令和 2 年度重要技術管理体制強化事業
（重要産業技術基盤調査）

報告書

2021 年 3 月

株式会社三菱総合研究所

はじめに

本調査は、我が国の産業競争力の維持及び適切な貿易管理を図るため、内外の技術研究・開発状況等についての情報収集を通じて、技術基盤の実態を把握することを目的として実施するものである。

ロボットテクノロジー分野、バイオメディカルテクノロジー分野、マテリアルテクノロジー分野等に係る以下のテーマについて、文献や公表されている情報等を活用し、要素技術の内外における蓄積状況と、当該要素技術の保有者の状況等を調査し、技術の特性や技術の保有者に係る経営環境の面等から、当該技術を支える技術基盤についての評価を実施した。

1	マイクロ波・ミリ波領域の電磁波デバイス用メタマテリアルの技術調査
2	RF 用 GaN デバイスの技術動向及びサプライチェーン調査
3	ポリイミド/モノマーのサプライチェーン調査
4	光学結晶に関する技術調査及びサプライチェーン調査
5	ロボットビジョンセンシングコントロールに関する技術調査
6	PNT（Positioning, Navigation and Timing）システムに関する技術調査
7	空間除菌に関する技術動向調査
8	ドローンに関する技術調査
9	日本の製造業に関するマクロ調査

目 次

1. マイクロ波・ミリ波領域の電磁波デバイス用メタマテリアルの技術調査 1

1.1 概要 1

1.2 背景と目的 1

1.3 調査方法 2

1.3.1 勉強会 2

1.3.2 文献調査 2

1.3.3 インタビュー調査 2

1.3.4 特許調査 2

1.4 調査結果 3

1.4.1 技術動向 3

1.4.2 技術保有者と経営基盤 19

1.4.3 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤 46

1.5 参考 49

1.5.1 メタマテリアル勉強会（1） 49

1.5.2 メタマテリアル勉強会（2） 49

1.5.3 メタマテリアル勉強会（3） 50

1.5.4 主要参考文献 50

1.5.5 用語・略称 52

2. RF 用 GaN デバイスの技術動向及びサプライチェーン調査 53

2.1 概要 53

2.2 背景と目的 54

2.3 調査方法 54

2.3.1 勉強会 54

2.3.2 文献調査 54

2.4 調査結果 55

2.4.1 技術動向 55

2.4.2 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤 57

2.5 参考 58

2.5.1 GaN デバイス勉強会（1）GaN デバイス 58

2.5.2 GaN デバイス勉強会（2）RF 用 GaN-HEMT 58

2.5.3 GaN デバイス勉強会（3）Si CMOS 実装フェーズドアレイ無線機の技術開発 58

2.5.4 主要参考文献 59

2.5.5 用語・略称 59

3. ポリイミド/モノマーのサプライチェーン調査 60

3.1 概要 60

3.2 背景と目的 60

3.3 調査方法 61
3.3.1 文献調査 61
3.3.2 インタビュー調査 61
3.3.3 特許調査 61
3.4 調査結果 62
3.4.1 技術動向 62
3.4.2 技術保有者 64
3.4.3 サプライチェーン調査 70
3.4.4 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤 86
3.4.5 主要参考文献 88
3.4.6 用語・略称 89
4. 光学結晶に関する技術調査及びサプライチェーン調査 92
4.1 概要 92
4.2 背景と目的 93
4.3 調査方法 93
4.3.1 勉強会 93
4.3.2 文献調査 94
4.3.3 インタビュー調査 94
4.3.4 特許調査 94
4.4 調査結果 94
4.4.1 非線形光学結晶に関する市場動向 94
4.4.2 非線形光学結晶に関する技術動向 99
4.4.3 他の深紫外光源の種類とその用途 105
4.4.4 技術保有者と経営基盤 111
4.4.5 重要技術と非線形光学結晶に求められる技術的課題 112
4.5 参考 114
4.5.1 非線形光学結晶に関する勉強会 114
4.5.2 主要参考文献 114
4.5.3 用語・略称 115
5. ロボットビジョンセンシングコントロールに関する技術調査 117
5.1 概要 117
5.2 背景と目的 117
5.3 調査方法 118
5.4 調査結果 119
5.4.1 市場動向 119
5.4.2 技術動向 119
5.4.3 技術保有者動向 130
5.4.4 研究動向 149
5.4.5 総括・提言 157

5.5 参考 160
5.5.1 用語の説明 160
5.5.2 ロボットビジョンセンシングコントロール勉強会（1） 162
5.5.3 ロボットビジョンセンシングコントロール勉強会（2） 162
5.5.4 主要参考文献 163
5.5.5 用語・略称 164
6. PNT（Positioning, Navigation and Timing）システムに関する技術調査 165
6.1 概要 165
6.2 調査方法 165
6.3 背景と目的 165
6.3.1 文献調査 166
6.3.2 インタビュー調査 166
6.3.3 特許調査 166
6.4 調査結果 167
6.4.1 技術動向 167
6.4.2 技術保有者の動向 187
6.4.3 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤 203
6.5 参考 207
6.5.1 PNT システムに関する専門家インタビュー（ENRI 坂井丈泰氏） 207
6.5.2 PNT システムに関する専門家インタビュー（SPAC 三神専務理事） 207
6.5.3 PNT システムに関する専門家インタビュー（株式会社コア） 208
6.5.4 PNT に関する国際会議 208
6.5.5 主要参考文献 210
6.5.6 用語・略称 211
7. 空間除菌に関する技術動向調査 212
7.1 本項目を読み進めるにあたって 212
7.2 概要 212
7.3 背景と目的 213
7.4 調査方法 213
7.4.1 文献調査 213
7.4.2 特許調査 213
7.5 調査結果 214
7.5.1 空間除菌の概要 214
7.5.2 技術保有者と経営基盤 228
7.5.3 重要技術と脆弱と考えられる基盤 244
7.6 参考 246
7.6.1 主要参考文献 246
8. ドローンに関する技術調査 247

8.1 概要 247
8.2 背景と目的 247
8.3 調査方法 247
8.3.1 文献調査 248
8.3.2 特許調査 248
8.3.3 勉強会 248
8.4 調査結果 249
8.4.1 技術動向 249
8.4.2 市場動向 255
8.4.3 技術保有者の動向 260
8.4.4 まとめ・提言 270
8.5 参考 272
8.5.1 ドローン勉強会（1） 272
8.5.2 ドローン勉強会（2） 272
8.5.4 主要参考文献 272
9. 日本の製造業に関するマクロ調査 273
9.1 概要 273
9.2 背景と目的 273
9.3 調査方法 273
9.3.1 分析に使用したデータの詳細 273
9.3.2 各業種の概要・定義 275
9.3.3 分析に使用した財務指標の説明 279
9.3.4 インタビュー調査 282
9.4 調査結果 282
9.4.1 国内（日本）の業種同士の比較 282
9.4.2 海外との比較 291
9.4.3 総合評価（業種別） 311
9.4.4 注目業種の抽出と深掘り 325
9.5 日本の製造業に関するマクロ調査のまとめ 332
9.6 参考 333
9.6.1 指標の選定に関する参考資料 333
9.6.2 5 つの国・ブロックの財務データ（集計データ） 339

図 目 次

図 1-1　誘電率と透磁率の関係と右手系と左手系 5
図 1-2　SRR 構造.....6
図 1-3　伝送線路型による左手系媒質の実現 7
図 1-4　CRLH 線路分散特性.....8
図 1-5　代表的な左手系メタマテリアルの構造による分類.....9
図 1-6　メタマテリアルの EBG 特性 10
図 1-7　ウッドパイル型反射鏡を用いた試作アンテナ.....11
図 1-8　CRLH 線路の増幅器への応用展開.....13
図 1-9　メタマテリアルフィルタの試作 14
図 1-10　人工誘電体共振器フィルタ 15
図 1-11　メタマテリアルによる反射板による実証実験.....16
図 1-12　メタマテリアルによる反射板の利用イメージ.....16
図 1-13　国内特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）.....20
図 1-14　国内特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）.....21
図 1-15　PCT の出願年と出願人国（メタマテリアル） 24
図 1-16　PCT の出願年と出願人国（メタサーフェス） 25
図 1-17　米国特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）.....28
図 1-18　米国特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）.....29
図 1-19　欧州特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）.....32
図 1-20　欧州特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）.....33
図 1-21　中国特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）.....37
図 1-22　中国特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）.....37
図 1-23　メタマテリアルの論文発表件数の国別比較（2009 年 8 月 12 日検索）.....48
図 2-1　AlxGa1-xN/GaN の分極ドーピング.....56
図 2-2　FP-HEMT 構造と動作原理 56
図 2-3　デュアルフィールドプレート構造 57
図 3-1　イミド結合（1 級アミン、アンモニアは上記 R_3 が H） 60
図 3-2　工業的に用いられている高分子材料とポリイミドの比較.....62
図 3-3　DuPont 社の Kapton の製造方法 63
図 3-4　上市されているポリイミドの例 63
図 3-5　ポリイミドに関する国際 PCT 出願件数の推移 65
図 3-6　ポリイミドに関する日本国内特許の出願件数の推移.....67
図 3-7　ポリイミドに関する中国特許・実用出願件数の推移.....69
図 4-1　固体レーザーにおける紫外レーザー光源の必要性.....100
図 4-2　LBO 結晶の基本構造の例 101
図 4-3　CLBO 結晶の基本構造.....101
図 4-4　NEDO「フォトン計測・加工技術」プロジェクトにおける産学の役割分担.103
図 4-5　CLBO のフォトマスク検査への応用例.....104
図 4-6　深紫外 LED/LD の応用分野 110
図 4-7　殺菌灯深紫外 LED の研究開発目標.....111

図 5-1　機械学習を用いた物体検出の流れ 119
図 5-2　CNN の改良に係る研究の変遷 121
図 5-3　R-CNN の処理の流れ 122
図 5-4　Fast R-CNN の処理の流れ 122
図 5-5　R-CNN などの処理プロセスの概念図 123
図 5-6　Faster R-CNN の処理プロセスの概念図 123
図 5-7　Faster R-CNN の処理の流れ 123
図 5-8　YOLO の処理の流れ 124
図 5-9　SSD の処理の流れ 125
図 5-10　Mask R-CNN によるインスタンスセグメンテーションの例 125
図 5-11　DETR の処理の流れ 126
図 5-12　エンコーダ処置のイメージ 126
図 5-13　デコーダ処置のイメージ 127
図 5-14　物体検出技術の概念的な分類・評価 129
図 5-15　国内特許の出願年と出願人国 131
図 5-16　PCT の出願年と出願人国 132
図 5-17　米国特許の出願年と出願人国 134
図 5-18　中国特許の出願年と出願人国 136
図 5-19　国内特許の出願年と出願人国 138
図 5-20　PCT の出願年と出願人国 139
図 5-21　米国特許の出願年と出願人国 140
図 5-22　中国特許の出願年と出願人国 142
図 5-23　CVPR の執筆者・投稿者・レビュー実施者の推移 149
図 5-24　CVPR2020 の論文執筆者の内訳 150
図 5-25　CVPR2020 の論文レビュー者の内訳 150
図 5-26　CVPR2020 の物体検出の手法 151
図 5-27　CVPR2019 の物体検出の手法 152
図 5-28　本論文の姿勢推定方法 154
図 5-29　Temporal Faster R-CNN アーキテクチャ 156
図 5-30　物体検出技術の概念的な分類（再掲） 158
図 5-31　人工知能の分類（概念図） 160
図 5-32　ニューラルネットワークの概念（多層パーセプトロン） 160
図 5-33　ディープラーニングの概念 161
図 5-34　CNN による特徴抽出及び識別の流れ 161
図 5-35　IoU の評価式 162
図 6-1　衛星測位による PNT のイメージ 167
図 6-2　GNSS ジャミング装置専門サイトの例（シガレットソケット挿入タイプ）.170
図 6-3　スプーフィングの実験例（上：船舶を乗っ取った例、下：スマートフォンを乗っ取った例） 171
図 6-4　RF キャプチャ装置の例 172
図 6-5　ネットワークの乗っ取りの例 173
図 6-6　SCCS 技術イメージ（Alan（2019）及び Scott（2003）） 176

図 6-7　SAS 技術イメージ（Pozzobon ほか（2010）による） 177
図 6-8　NMA 技術イメージ（Mark（2018）による） 178
図 6-9　SAASM 対応製品の事例.....179
図 6-10　NTT によるスペクトラム分解合成技術イメージ.....180
図 6-11　リニアアレイアンテナの例 181
図 6-12　アレイアンテナの研究事例 181
図 6-13　ビームフォーミングアンテナ技術 182
図 6-14　ビームフォーミングアンテナによる受信結果.....182
図 6-15　マルチ GNSS 技術（左：マルチ GNSS、右：GPS のみ） 183
図 6-16　マルチ GNSS 受信機の例 183
図 6-17　GNSS 受信機のセキュリティ診断（イネーブラー株式会社） 184
図 6-18　GNSS と IMU とのカップリング技術 185
図 6-19　株式会社コア、みちびき対応 cm 精度測位受信機.....186
図 6-20　古野電気株式会社、マルチ GNSS 受信チップ 187
図 6-21　国内特許の出願年と出願人国 188
図 6-22　PCT の出願年と出願人国（PNT） 190
図 6-23　米国特許の出願年と出願人国（PNT） 193
図 6-24　欧州特許の出願年と出願人国（PNT） 195
図 6-25　中国特許の出願年と出願人国（PNT） 197
図 7-1　微生物制御手法 216
図 7-2　光触媒の酸化分解力の原理 217
図 7-3　TiO_2 から Cu や Fe のような助触媒への界面電荷移動型光励起（左）と酸素多電子還元触媒（右） 218
図 7-4　TiO_2 の表面に金属イオンのアモルファス状のクラスター助触媒を担持した構造を高分解 TEM により観察（左：Cu 系、右：Fe 系） 218
図 7-5　波長ごとの電磁波の名称 220
図 7-6　紫外線によって発生する代表的な DNA 損傷.....220
図 7-7　紫外線殺菌ランプの構造 221
図 7-8　コロンビア大学技術であるフィルタを用いた際の分光特性.....222
図 7-9　殺菌・ウイルス不活化効果の動物実験概要 223
図 7-10　HClO の膜透過性と殺菌機構の概念図.....224
図 7-11　オゾンによる殺菌メカニズム 225
図 7-12　光触媒に関する国内特許出願件数の推移 229
図 7-13　光触媒に関する PCT 出願件数の推移 231
図 7-14　紫外線に関する国内特許出願件数の推移 233
図 7-15　紫外線に関する PCT 出願件数の推移 235
図 7-16　次亜塩素酸に関する国内特許出願件数の推移.....237
図 7-17　次亜塩素酸に関する PCT 出願件数の推移 239
図 7-18　オゾンに関する国内特許出願件数の推移 241
図 7-19　オゾンに関する PCT 出願件数の推移 243
図 7-20　空間除菌装置に使用されている技術の人体への安全性及び経済性.....245
図 8-1　適用分野ごとのドローンの用途、機体形式及び運航形態の整理結果.....250

図 8-2　ドローン技術の整理結果 251
図 8-3　ドローン阻止のプロセス 251
図 8-4　カウンタードローンの方式の体系 252
図 8-5　国内特許の出願年と出願人国 261
図 8-6　PCT の出願年と出願人国 262
図 8-7　米国特許の出願年と出願人国 264
図 8-8　中国特許の出願年と出願人国 266
図 8-9　カウンタードローンの方式の体系（再掲） 270
図 9-1　日本の業種別の営業利益率（横軸）×売上高伸び倍率（縦軸）別の売上高（バルーンの大きさ）の分布 290
図 9-2　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（繊維工業） 300
図 9-3　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（印刷・出版業） 300
図 9-4　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（化学品および関連品製造業） 301
図 9-5　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（石油製品・石炭製品製造業） 302
図 9-6　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（ゴム製品・プラスチック製品製造業） 302
図 9-7　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（窯業・土石製品製造業） 303
図 9-8　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（鉄鋼・非鉄金属製造業） 303
図 9-9　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（金属製品製造業） 304
図 9-10　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（一般機械器具製造業） 305
図 9-11　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（電気機械器具製造業） 305
図 9-12　ブロック別の売上高×営業利益の推移（（直近 3 期平均/3-5 期前平均）輸送機械器具製造業） 306
図 9-13　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（精密機械器具製造業） 306
図 9-14　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（その他製造業） 307
図 9-15　45 度線上に各国が乗るパターン 308
図 9-16　45 度線の下で日本が目立っているパターン 309
図 9-17　特定の国が突出してリードしているパターン 311
図 9-18　財務分析のピラミッド 333
図 9-19　グローバルベンチマークの検討手順 335

表目次

表 1-1　電波の周波数と波長による分類 4
表 1-2　メタマテリアルのアンテナ応用 12
表 1-3　光領域でのメタマテリアルの応用分野 17
表 1-4　メタマテリアルの主な作製方法 18
表 1-5　IPC 分類上位 5 位 21
表 1-6　出願者上位 30（メタマテリアル） 22
表 1-7　出願者（メタサーフェス） 23
表 1-8　IPC 分類上位 5 位 25
表 1-9　出願者上位 30（メタマテリアル） 26
表 1-10　出願者上位 30（メタサーフェズ） 27
表 1-11　IPC 分類上位 5 位 29
表 1-12　出願者上位 30（メタマテリアル） 30
表 1-13　出願人上位 30（メタサーフェス） 31
表 1-14　IPC 分類上位 5 位 33
表 1-15　出願者上位 30（メタマテリアル） 34
表 1-16　出願者上位（メタサーフェス） 35
表 1-17　IPC 分類上位 5 位 38
表 1-18　出願者上位 30（メタマテリアル） 39
表 1-19　出願者上位（メタサーフェス） 39
表 1-20　主要技術保有者（企業等）の概要 41
表 1-21　主要技術保有者（大学等）の概要 45
表 2-1　各種半導体材料の物性 55
表 3-1　ポリイミドに関する PCT 出願の出願人ランキング 65
表 3-2　ポリイミドに関する日本国内特許の出願人ランキング 67
表 3-3　ポリイミドに関する中国特許・実用出願人ランキング 69
表 3-4　販売されている主なポリイミド製品とメーカ 70
表 3-5　ジアミンモノマーの種類 73
表 3-6　ジアミンモノマー別参入メーカ [37] 74
表 3-7　酸無水物モノマーの種類 [37] 75
表 3-8　酸無水物モノマー別参入メーカ [37] 76
表 4-1　主な光学結晶の分類と特徴・用途 96
表 4-2　主な非線形光学結晶の種類と特徴 97
表 4-3　CLBO と他の結晶との特性比較 102
表 4-4　半導体の前工程・後工程の CLBO の用途例 105
表 4-5　主な紫外線の呼称（CIE による分類） 106
表 4-6　CIE 以外の紫外線の呼称 106
表 4-7　主な深紫外光源の波長、種類及び用途 108
表 4-8　主な非線形光学結晶の特許出願人、発明の名称及び権利の状況（国内特許） 112
表 5-1　各手法の性能比較（一例） 128

表 5-2　Faster R-CNN と DETR の性能比較.....128
表 5-3　IPC 分類上位.....131
表 5-4　上位保有者.....132
表 5-5　IPC 分類上位.....133
表 5-6　上位出願者.....133
表 5-7　IPC 分類上位.....134
表 5-8　上位出願者.....134
表 5-9　IPC 分類上位.....136
表 5-10　上位出願者.....137
表 5-11　IPC 分類上位.....138
表 5-12　上位保有者.....138
表 5-13　IPC 分類上位.....139
表 5-14　上位出願者.....140
表 5-15　IPC 分類上位.....140
表 5-16　上位出願者.....141
表 5-17　IPC 分類上位.....142
表 5-18　上位出願者.....142
表 5-19　主な特許出願者の概要（CNN）.....143
表 5-20　主な特許出願者の概要（YOLO）.....146
表 5-21　CVPR2020 の研究分野.....150
表 5-22　CVPR2020 の物体認識（検出及び分類）の分野の CNN を活用した研究.....152
表 6-1　PNT における脅威とその対策技術の概要.....174
表 6-2　IPC 分類上位.....189
表 6-3　出願者上位.....189
表 6-4　IPC 分類上位.....191
表 6-5　出願者上位.....192
表 6-6　IPC 分類上位.....193
表 6-7　出願者上位.....194
表 6-8　IPC 分類上位.....195
表 6-9　出願者上位（PNT）.....196
表 6-10　IPC 分類上位.....197
表 6-11　出願者上位（PNT）.....198
表 6-12　主な特許出願者（企業等）の概要.....199
表 6-13　主な特許出願者（大学等）の概要.....201
表 6-14　国内における脅威に対する対策技術の評価.....203
表 7-1　微生物制御における用語の意味.....214
表 7-2　紫外線ランプの特徴.....221
表 7-3　生体へのオゾンガスの影響.....226
表 7-4　オゾンガスによる腐食.....227
表 7-5　調査時の条件（光触媒・国内特許）.....228
表 7-6　光触媒に関する国内特許出願の出願人ランキング.....229
表 7-7　調査時の条件（光触媒・PCT 出願）.....230

表 7-8　光触媒に関する PCT 出願の出願人ランキング 231
表 7-9　調査時の条件（紫外線・国内特許） 232
表 7-10　紫外線に関する国内特許出願の出願人ランキング.....233
表 7-11　調査時の条件（紫外線・PCT 出願） 234
表 7-12　紫外線に関する PCT 出願の出願人ランキング 235
表 7-13　調査時の条件（次亜塩素酸・国内特許） 236
表 7-14　次亜塩素酸に関する国内特許出願の出願人ランキング.....237
表 7-15　調査時の条件（次亜塩素酸・PCT 出願） 238
表 7-16　次亜塩素酸に関する PCT 出願の出願人ランキング 239
表 7-17　調査時の条件（オゾンガス・国内特許） 240
表 7-18　オゾンに関する国内特許出願の出願人ランキング.....241
表 7-19　調査時の条件（オゾンガス・PCT 出願） 242
表 7-20　オゾンに関する PCT 出願の出願人ランキング 243
表 8-1　ドローンの分類 249
表 8-2　日本市場における主要プレイヤー・製品一覧.....258
表 8-3　IPC 分類上位.....261
表 8-4　出願者上位 262
表 8-5　IPC 分類上位.....263
表 8-6　出願者上位 263
表 8-7　IPC 分類上位.....264
表 8-8　出願者上位 265
表 8-9　IPC 分類上位.....267
表 8-10　出願者上位 268
表 8-11　主な特許出願者の概要 268
表 9-1　今回分析上の産業分類と日本標準産業分類の比較（製造業） 275
表 9-2　5 つの国・ブロック別の上位企業（売上高 10 位以内の企業のみ、1 つの国・ブロック当たり 2 社までを表示）　1/2.....277
表 9-3　5 つの国・ブロック別の上位企業（売上高 10 位以内の企業のみ、1 つの国・ブロック当たり 2 社までを表示）　2/2.....278
表 9-4　本分析で集計する財務指標の一覧 279
表 9-5　日本の各種指標 1/2 288
表 9-6　日本の各種指標 2/2 289
表 9-7　5 つの国・ブロックのデータ比較　①5 つの国・ブロック中に占める売上高のシェア 292
表 9-8　5 つの国・ブロックのデータ比較　②研究開発費総額.....294
表 9-9　5 つ国・ブロックのデータ比較　③固定資産の新規購入額.....296
表 9-10　5 つの国・ブロックのデータ比較　④時価総額.....298
表 9-11　5 つの国・ブロックに占める日本のシェア 299
表 9-12　総合評価（繊維工業） 313
表 9-13　総合評価（印刷・出版業） 314
表 9-14　総合評価（化学品および関連品製造業） 315
表 9-15　総合評価（石油製品・石炭製品製造業） 316

表 9-16　総合評価（ゴム製品・プラスチック製品製造業）.....317
表 9-17　総合評価（窯業・土石製品製品製造業）.....318
表 9-18　総合評価（鉄鋼・非鉄金属製造業）.....319
表 9-19　総合評価（金属製品製造業）.....320
表 9-20　総合評価（一般機械器具製造業）.....321
表 9-21　総合評価（電気機械器具製造業）.....322
表 9-22　総合評価（輸送機械器具製造業）.....323
表 9-23　総合評価（精密機械器具製造業）.....324
表 9-24　総合評価（その他製造業）.....325
表 9-25　日本の製造業上場企業の財務指標における 5 つの国・ブロック内の偏差値.....327
表 9-26　5 つの国・ブロックにおける企業規模別集計　①輸送機械.....329
表 9-27　5 つの国・ブロックにおける企業規模別集計　②電気機械.....329
表 9-28　財務分析の主な指標.....333
表 9-29　ローカルベンチマークにおける指標.....334
表 9-30　グローバルベンチマークにおける指標（1 次検討）.....335
表 9-31　グローバルベンチマークにおける競争性指標、成長性指標の検討例.....336
表 9-32　本調査で扱う財務データ項目の検討.....338
表 9-33　財務データの一覧　①5 つの国・ブロック平均 1/2.....340
表 9-34　財務データの一覧　①5 つの国・ブロック平均 2/2.....341
表 9-35　財務データの一覧　②日本 1/2【再掲】.....342
表 9-36　財務データの一覧　①日本 2/2【再掲】.....343
表 9-37　財務データの一覧　③北米 1/2.....344
表 9-38　財務データの一覧　③北米 2/2.....345
表 9-39　財務データの一覧　④西欧 1/2.....346
表 9-40　財務データの一覧　④西欧 2/2.....347
表 9-41　財務データの一覧　⑤中国 1/2.....348
表 9-42　財務データの一覧　⑤中国 2/2.....349
表 9-43　財務データの一覧　⑥韓国 1/2.....350
表 9-44　財務データの一覧　⑥韓国 2/2.....351

1. マイクロ波・ミリ波領域の電磁波デバイス用メタマテリアルの技術調査

1.1 概要

メタマテリアルのマイクロ波・ミリ波領域の電磁波デバイスへの応用について、講師を招いた勉強会、文献調査、インタビュー調査を行った。

メタマテリアル[1]は、「人工的に導入した構造体によって物性の特性を制御し、単なる複合体の限界を超える特殊な性質を付与した疑似物質」と定義することができる。メタマテリアルでは、負の誘電率と負の透磁率を持つ左手系を始め、自然界には存在しない性質を持つ物質を作り出すことができることが大きな特徴である。

メタマテリアルの実現方法としては、電磁波の波長と比較して十分小さな微細な共振器を材料中に分散させる共振型左手系媒質、非共振型の右手/左手系複合媒質が代表的である。後者は広帯域かつ低損失性を有することから応用上極めて有利である。

メタマテリアルのマイクロ波領域での応用としては、アンテナが代表的である。携帯電話の基地局は小型化が求められているが、複数の周波数に対してアンテナを設置する必要がある。メタマテリアルの一種である周波数選択板 FSS を利用すると、小型化を図ることができる。他にも、メタマテリアルによる指向性の制御や EBG 特性を活用してアンテナを小型化したルーターが発売されている。広角にビーム走査が可能な漏れ波アンテナも検討されている。

また、アンテナ以外でも複合右手系左手系線路（CRLH 線路）を応用して、RF フロントエンド回路の増幅器の小型化、フィルタの小型化を実現することができ、実用段階まで至っている。

より波長が短い光領域でもクローキング（光学迷彩）、フラットレンズ、スカイラジエーター、光吸収体、発色体とマイクロ波領域と同様あるいは光領域特有の多様な応用が考えられているが、マイクロ波領域と比較して金属の物性を考慮する必要があり、半導体製造と類似した微細な加工技術が求められる。

メタマテリアルは 2000 年以降に研究が活発化した分野であり、研究においては欧米がリードされているとされ、2009 年時点の調査でもその点は確認できる。また、近年は中国が急速に伸びていると指摘されている。特許保有状況からはボーイング等の防衛企業、特許ファンド、大学が挙がっており、欧米の出願が多いが、2011 年以降は中国も伸びている。

1.2 背景と目的

我が国の産業競争力の維持及び適切な貿易管理を図るため、内外の技術研究・開発状況等についての情報収集を通じて、技術基盤の実態を把握することを目的とした。

具体的には、経済産業省貿易経済協力局貿易管理部安全保障貿易管理政策課技術調査室と協議の上で、ロボットテクノロジー分野、バイオメディカルテクノロジー分野、マテリア

[1] メタマテリアルという語は、Walter によって 2000 年のアメリカ物理学会のシンポジウムで初めて用いられたとされる。Filippo Capolino 編、萩行正憲、石原照也、真田篤志監訳『メタマテリアルハンドブック基礎編』講談社（2015）

ルテクノロジー分野等に係る 10 程度のテーマについて、文献や公表されている情報等を活用し、要素技術の内外における蓄積状況と、当該要素技術の保有者の状況等を調査し、技術の特性や技術の保有者に係る経営環境の面等から、当該技術を支える技術基盤についての評価を実施した。

ここではテーマの一つとしてメタマテリアルを取り上げる。メタマテリアルは「人工的に導入した構造体によって物性の特性を制御し、単なる複合体の限界を超える特殊な性質を付与した疑似物質」と定義することができ、2000 年頃から欧米を中心に研究が活発化してきた[2]。

通常メタマテリアルは波、特に電磁波を対象としており、本調査では、電磁波の中でも特に応用が近いと考えられるマイクロ波ミリ波領域のメタマテリアルを中心に研究動向を整理し、一部テラヘルツ波、光についても触れる。なお、近年では電磁波以外の音波、弾性波にもメタマテリアルの概念が拡張されている。

1.3 調査方法

メタマテリアルの特性（機能）を利用して、電磁波、特にマイクロ波・ミリ波領域の実用化デバイス等の技術的成熟度を分析し、国内外の技術蓄積状況を知るため、勉強会、文献調査、インタビュー調査、特許調査を実施した。

1.3.1 勉強会

メタマテリアルの研究者を講師として招き、経済産業省またはオンラインで勉強会を実施した。勉強会は合計 3 回（講師 4 名）実施し、講師の講演と質疑応答を実施した。勉強会の概要は 2.5 に示している。

1.3.2 文献調査

書籍、論文・総説、企業のプレスリリース等の公開情報による文献調査を行った。

1.3.3 インタビュー調査

勉強会を補完する位置づけで、企業に対するインタビュー調査を実施した。

1.3.4 特許調査

特許データベースによる検索を行い、各国の特許保有状況、主要な特許保有者について調査を行った。結果は、6.4.2(1)に示している。

[2] 田中拓男『光メタマテリアル入門』丸善出版（2016）

1.4 調査結果

1.4.1 技術動向

(1) メタマテリアルの概念と特性

メタマテリアル[3]は、「人工的に導入した構造体によって物性の特性を制御し、単なる複合体の限界を超える特殊な性質を付与した疑似物質」と定義することができる。通常メタマテリアルは波、特に電磁波を対象としているが、電磁波の波長（周波数）によって、光メタマテリアル、テラヘルツ波メタマテリアル、マイクロ波メタマテリアルのように分けられており、それぞれ研究動向や応用分野には違いが見られる。本調査では、特に応用が近いと考えられるマイクロ波ミリ波領域のメタマテリアルを中心に技術動向を整理する。

1) 電磁波

電磁波は電磁気学の基礎方程式であるマクスウェルの方程式で説明され、電場と磁場が互いに変化しながら伝わっていく。伝播は真空中と物質中では異なっており、物質と電場の相互作用の強さを表す誘電率 ε 、物質と磁場の相互作用の強さを表す μ によって特性を表せる。真空中の誘電率 ε_0、透磁率 μ_0 との比として比誘電率 ε_r、比透磁率 μ_r も用いられる。また、誘電率、透磁率は電磁波の周波数によっても異なった値をとる。

電磁波は周波数によって異なった性質、名称を持つ。大きくは周波数が高い（波長が短い方から、放射線、光線（光）、電波に分けることができる。光は波長で表すことが多く、電波は周波数で表すことが多いなど扱われ方に違いがある。周波数が高い（波長が短い）ほど直進性が強く、通信用途では多くの情報を送ることができる。マイクロ波は高調波と呼ばれる周波数が高い（光に近い）電波であり、マイクロ波はさらに周波数が低い（波長が長い方から極超短波（UHF）、センチ波、ミリ波、サブミリ波に分類される。ただし、ミリ波、サブミリ波を別としてマイクロ波、ミリ波、サブミリ波に分類したり、電波のサブミリ波と光に重なる領域について周波数 1THz 前後の領域をテラヘルツ波と呼んだり、統一された定義、重複しない定義があるわけではない。

我が国の携帯電話について、4G 等は 700/800/900MHz 帯、1.5/1.7/2GHz 帯、3.4/3.5GHz 帯を利用しており、5G では 3.7/4.5GHz 帯、28GHz 帯が 2019 年 4 月に割り当てられている。

[3] メタマテリアルという語は、Walter によって 2000 年のアメリカ物理学会のシンポジウムで初めて用いられたとされる。Filippo Capolino 編、萩行正憲、石原照也、真田篤志監訳『メタマテリアルハンドブック基礎編』講談社（2015）

表 1-1　電波の周波数と波長による分類

種類			周波数	波長	用途等
放射線					
光					
電波	マイクロ波（広義）	サブミリ波（EHF）	0.3-3THz	0.1-1mm	光通信システム 1THz 付近はテラヘルツ波と呼ばれる。
		ミリ波（EHF）	30-300GHz	1-10mm	各種レーダ、衛星通信
		センチ波（SHF）	3-30GHz	10mm-0.1m	電子レンジ、携帯電話、デジタルコードレス電話機、地上デジタル放送、無線 LAN 6GHz 付近（未満）は Sub6 と呼ばれる。
		極超短波（UHF）	0.3-3GHz	0.1-1m	警察・消防通信、携帯電話
	超短波（VHF）		30-300MHz	1-10m	FM 放送、アナログテレビ放送、航空管制通信
	短波、中波、長波、超長波、極低周波				

（出所）堀越智編著『図解メタマテリアル』日刊工業社（2013）等を元に作成

2) 右手系と左手系

多くの物質は通常（比）誘電率 ε は正であり、（比）透磁率も正である。図 2-1 では右上の第 1 象限に位置することになる。この場合、電磁波の電場の向きを E、磁場の向きを H、位相が進む向き k としたとき、それぞれが直交させた右手の親指、人差し指、中指に対応するので右手系と呼ぶ。また、エネルギーが伝わる向き S は k と一致する。

図 2-1 で左下の第 3 象限では、（比）誘電率 ε は負であり、（比）透磁率も負である。このような物質は 1960 年代末に V.G.Veselago によって理論的な検討がなされ、負の屈折率を持つなど特異な性質を持つことが想定された。E、H、k の関係は、直交させた左手の親指、人差し指、中指に対応するので、左手系と呼ばれる。S は k とは逆向きとなる[4]。

なお、（比）誘電率が負、（比）透磁率が正の第 2 象限に相当するのは金属やプラズマであり、（比）誘電率が正、（比）透磁率が負の第 4 象限に相当するのはマイクロ波領域での磁性体である。光領域では比透磁率が 1 となってしまうため、自然界では第 1 象限と第 2 象限の一部しか存在しなくなってしまう。

[4] 後進波（バックワード波）と呼ばれる。

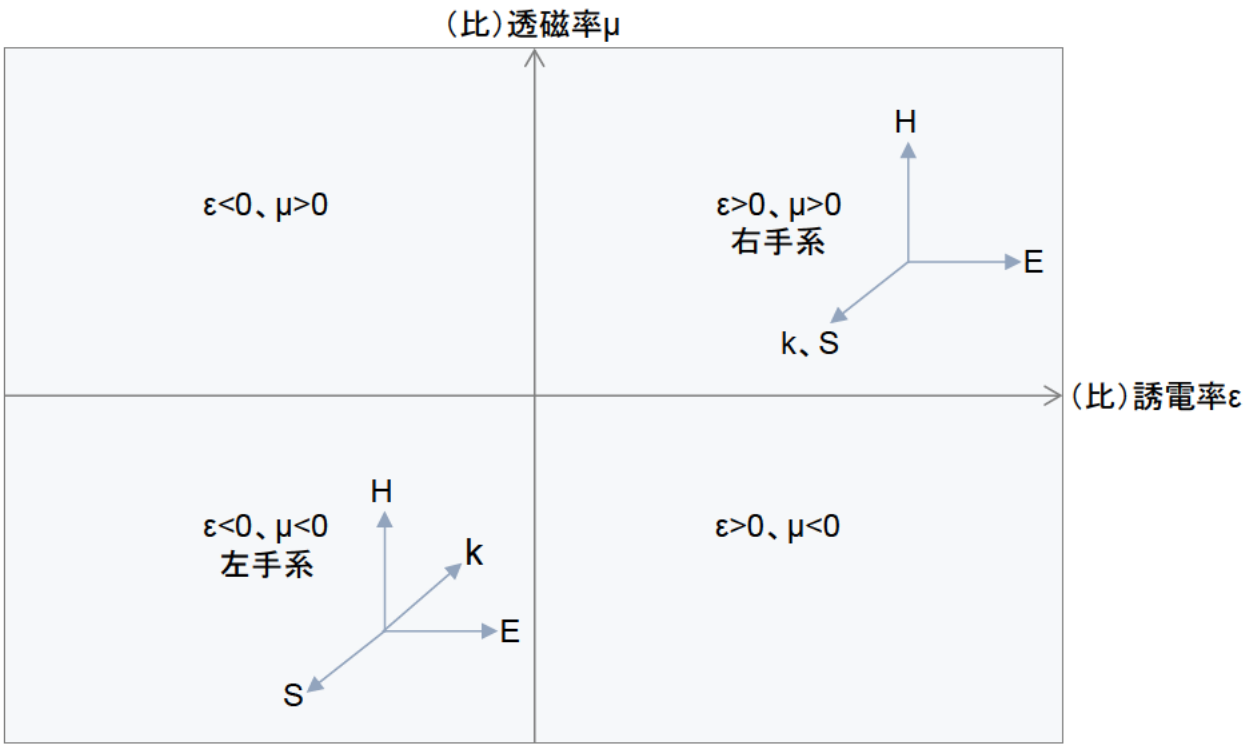


図 1-1　誘電率と透磁率の関係と右手系と左手系

左手系の存在は 1967 年に Veselago が理論的に予見していた。メタマテリアルでは、自然界には存在しない左手系の性質を持つ物質を作り出すことができることが大きな特徴である [5]。

3) 共振型左手系媒質

電磁波の波長と比較して十分小さな微細な共振器を材料中に分散させると、電磁波からみてあたかも均質な材料のように振る舞わせることができる。2000 年に Smith らは、負の透磁率を示す分割リングと負の誘電率を示す金属線を組み合わせて、負の屈折率を示す最初のメタマテリアルを作成した [6]。分散させる微細な共振器については幾つか提案されている。

a. SRR（Sprit-Ring Resonator、分割リング共振器）による負の透磁率の実現

SRR は切れ込みの入った同心円状のリングを 2 つ組み合わせた構造である。この構造はコンデンサ C とコイル L で構成された LC 回路と見なすことができ、磁性材料によらずに磁気応答を生み出すことができる。共鳴周波数前後で透磁率が大きく変化し、負にすることもできる。特に周波数が電波より高い光領域では比透磁率が 1 となってしまうため、SRR

[5] ただし、左手系の実現はメタマテリアルの特徴ではあるが、メタマテリアルは左手系に限定されるものではない。また、メタマテリアルという用語が使われる以前から、負の誘電率をもつ媒質としての人工プラズマ、磁性材料によらない人工磁性体の研究は行われていた。SRR による人工磁性体も 1940 年代から知られていた。

[6] D. R. Smith,W. J. Padilla, D. C.Vier, S. C.Nemat-Nasser and S. Schultz: “Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity,”Phys. Rev. Lett., 84 (2000)

によって透磁率を変化させることができることに意味がある。SRR で負の透磁率を実現し、誘電率も負にすれば、負の屈折率を持つ左手系の媒質が実現できることになる。

SRR を用いた負の屈折率を持つメタマテリアルはマイクロ波領域で先行的に実験が行われてきたが、より周波数が高い光領域での実現に向けて動作波長の短波長化が進められてきている。形状も様々な工夫が行われている。



図 1-2　SRR 構造

（出所）理化学研究所田中拓男主任研究員勉強会会講演資料

b. 金属細線構造による負の誘電率の実現

金属の細線を密に並べた構造によって、共振周波数の前後で正負の誘電率を実現することができる。窓のサイズが小さい網目構造でも同様の効果が得られる。

4) 非共振型の右手/左手系複合(composite right/left-handed) 媒質

3)で挙げた微少な共振器を分散させて構成したメタマテリアルは、共振周波数で誘電率と透磁率が特異点を持つが、共振周波数付近では材料損失（導体損や誘電体損）の影響が顕著となってしまう。

一方、右手/左手系複合媒質では誘電率と透磁率の周波数特性において特異点を持たず、共振型と比較して広帯域かつ低損失性を有することから応用上極めて有利であり、マイクロ波帯でよく解析されている [7]。

[7] 真田篤志『電波領域におけるメタマテリアル・左手系媒質の応用』「光学」36 巻 10 号（2007）

非共振型左手系媒質中の波の伝搬は、伝送線路理論により記述することができる。特にマイクロ波領域において、メタマテリアルにおける電磁波の現象を等価回路モデルで分析が行われている。

直列にコンデンサ C、並列にコイル L という単位を繰り返した構成をとることによって、実効的な誘電率と透磁率が負となって左手系の伝播となる（図 1-3 右）。



図 1-3　伝送線路型による左手系媒質の実現

（出所）龍谷大学 石崎俊雄教授 勉強会講演資料

しかし、現実的には左手系線路を作ろうとしても、寄生的な右手系成分が存在して純粋な左手系線路を作ることは不可能であり、複合右手系左手系線路（Composite Right-Left—Handed Transmission Line、CRLH 線路）を検討することになる。

CRLH 線路の周波数による分散特性[8]を図 1-4 に示す。周波数ωが高いときは右手系、それより低い領域では左手系になる。右手系と左手系の間の領域には伝播しないギャップが生じる（アンバランス型）が、適切に設計することによってバンドギャップをなくし、連続的に左手系から右手系になるバランス型を実現できる。

[8] 周波数による特性の変化

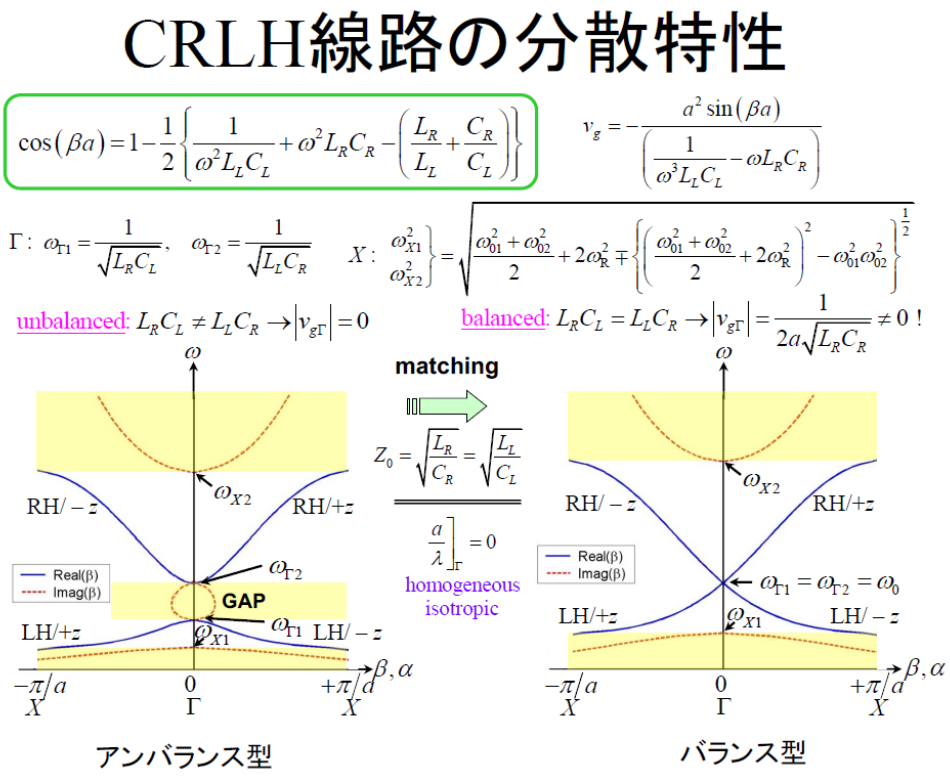


図 1-4　CRLH 線路分散特性

（出所）龍谷大学 石崎俊雄教授 勉強会講演資料

非共振型のメタマテリアルの実現方法としては、導波管構造、伝送線路、マッシュルーム構造が挙げられる。

構　造	形　式	動作原理	特　徴
立体構造	リング＆ワイヤ	共振型	狭帯域
	導波管構造	非共振型	広帯域、低損失
平板構造	伝送線路		広帯域、製造が容易
	マッシュルーム構造		広帯域、製造が容易

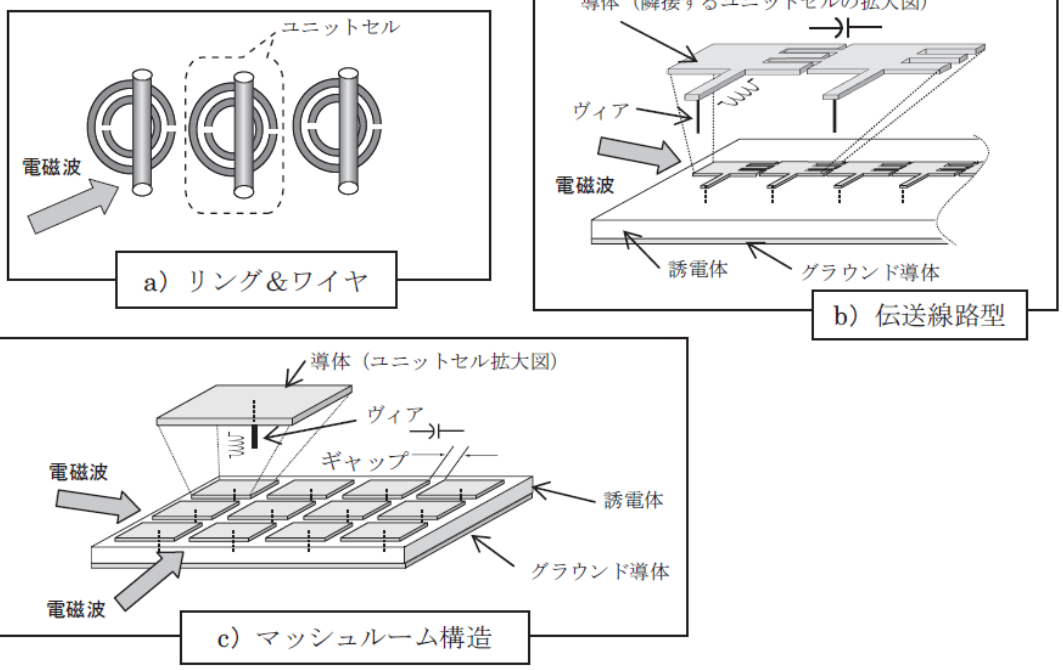


図 1-5　代表的な左手系メタマテリアルの構造による分類

（出所）『情報通信デバイスで注目される左手系メタマテリアル技術』科学技術振興機構「科学技術動向」（2009）

5) EBG（Electromagnetic Band Gap）特性

EBG 特性とは、バンドギャップ領域では電磁波を反射するが、帯域外では透過する性質である。誘電率または透磁率の一方が負となる領域（図 1-1 の第 2 象限、第 4 象限に対応する）では、伝播解が存在せず電磁波が伝播できない。

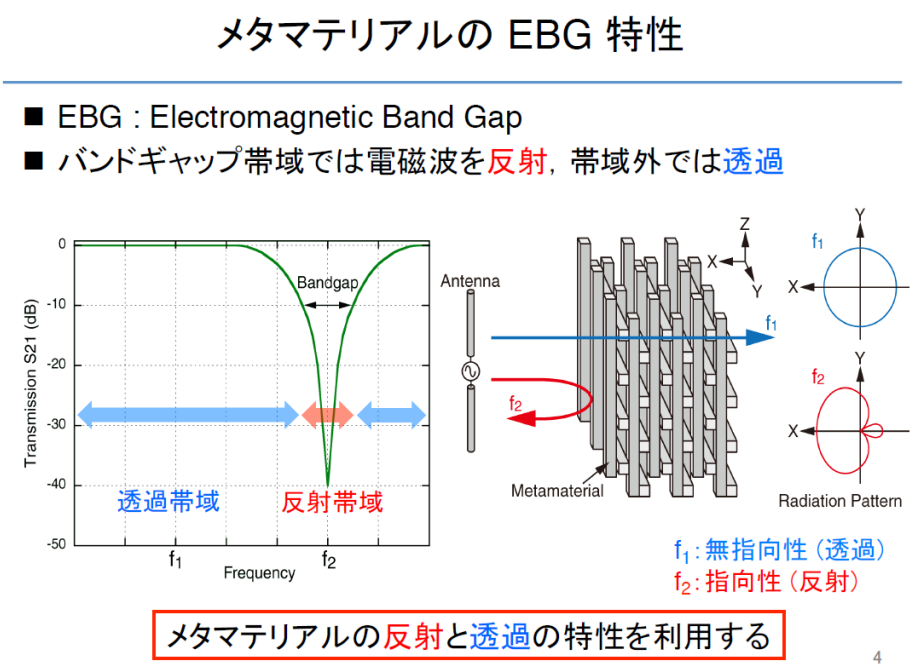


図 1-6　メタマテリアルの EBG 特性

（出所）新潟国際情報大学安藤篤也教授 勉強会講演資料

メタマテリアルの EBG 特性を利用すれば、特定の周波数は透過させ、特定の周波数は反射させることによって基地局アンテナの小型化を図れる（(2)1)a）。また、LSI や無線回路が実装されているプリント基板では、数百 MHz から数 GHz のマイクロ波帯で電源ノイズを発生させるため、EBG を実現する「EBG 構造」をプリント基板の電源・グラウンドプレーンの間の層に形成することによって、電磁ノイズの伝播を基板内で抑制し、空間への放射を大幅に低減できると考えられる[9]。電磁ノイズを抑制すればデジタル回路とアンテナの距離を接近させることができ、小型化が実現できる。

6) メタサーフェス

自然界には存在しない反射特性を持つ人工表面はメタサーフェスまたはメタ表面と呼ばれており、メタマテリアルの 1 つと分類されることもあるが、差別化して使われることも多い[10]。

メタサーフェスの研究は近年活発化しており（6.4.2(1)参照）、その理由としてはバルクのサブ波長構造の作製が特に光領域において困難であることと同時に、波長よりも薄い二次元パターンにおける局所的な位相の変化によっても様々な制御が可能であることがわかってきたからとされる[11]。

[9] 鳥屋尾 博　半杭 英二　小林 準人　安藤 利和『メタマテリアルを用いた電磁ノイズ抑制技術とその実用化』「NEC 技報」Vol.66 No.2（2014）

[10] 堀俊和『メタ・サーフェスの設計技術とアンテナ・電波への応用』「電子情報通信学会論文誌 B」 Vol. J99–B No. 9（2016）

[11] 石原照也『メタマテリアルの研究動向』「光学」48 巻 12 号（2019）

例えば、金属のワイヤーを V 字型に曲げた、波長に比べて小さなアンテナを適切に設計して配置すると位置に依存した位相差を作ることができ、任意の方向に光を屈折させることができる。このように表面構造を工夫することによって平面レンズも作ることができる。

(2) マイクロ波領域での応用

1) アンテナ

a. 基地局アンテナの小型化

携帯電話基地局では、利用している周波数毎にアンテナを設置するので、基地局アンテナが多くなってしまっているため、共用して小型にしたいという要求がある。メタマテリアルの EBG 特性を利用すると、特性の周波数は透過させ、特定の周波数は反射する反射板を作成することができ、これを並べると共通の放射素子と複数の反射板で構成できる。3 個のアンテナが必要だったところ、1 個のアンテナに小型化できる。3 つの周波数でビーム幅を同じにできる。

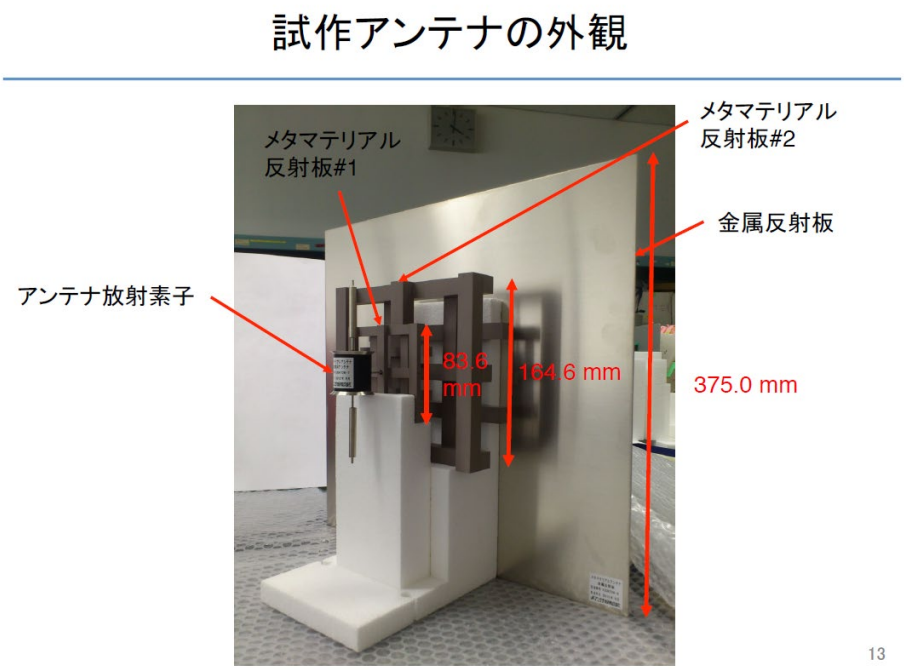


図 1-7　ウッドパイル型反射鏡を用いた試作アンテナ

（出所）新潟国際情報大学安藤篤也教授 勉強会講演資料

図 1-7 に示す試作アンテナのメタマテリアル反射板はウッドパイル型の反射板を使っているが、プリント基板を利用した周波数選択板 FSS（Frequency Selective Surface）を利用することで、薄型、軽量化を図ることができる。実用化に向けた技術的な課題は解決される段階に至っている。

同様にホーンアンテナも入れ子構造にすればデュアルバンドに対応させることができる。

b. その他のアンテナ応用

一般的にアンテナの大きさは扱う電磁波の波長に依存してしまうため、小型化が難しい。メタマテリアルによって波長によらずにアンテナを実現できれば、小型化が可能となる。

アンテナ応用としてはアンテナ素子自体にメタマテリアルを利用したものと、アンテナ素子周辺にメタマテリアルを配置したものに分類される。

表 1-2　メタマテリアルのアンテナ応用

適用箇所	名称		特徴
アンテナ素子	共振型	放射素子	小型化
		寄生素子	結合抑制・指向性制御
	非共振型		広帯域化
アンテナ周辺	電磁バンドギャップ（EBG）構造		結合抑制
	人工磁気導体		低姿勢化
	負屈折率レンズ		薄型化・小型化

（出所）道下尚文『メタマテリアルのアンテナ応用』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.33 夏号（2015）

2008 年に米 Netgear はメタマテリアル技術によって電波の指向性を制御することによって搭載アンテナ数を増やしたブロードバンドルーターを発売している。米カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）で開発された技術を基礎に、ベンチャー企業の米レイスパン（6.4.2(2)参照）がアンテナを設計したとされている。[12]

日本電気株式会社（NEC）では、2012 年に SRR をアンテナ素子として採用した世界最小クラスのアンテナを開発したと発表している[13]。プリント基板に形成したスプリットリング共振器を複数積層する構造によってアンテナの小型化を実現している。2013 年には NEC と NEC アクセステクニカ株式会社がこれを利用した国内最小サイズの Wi-Fi ホームルータを発売している[14]。さらに 2018 年には NEC と日本航空電子工業株式会社は、無線通信機器内部の基板表面に実装可能な超小型アンテナを共同開発したと発表している[15]。微細で複雑なスプリットリング構造を形成し、小型化と同時に基板のコーナ以外にも実装できる自由度を実現している。

非共振型の応用例として漏れ波アンテナがある。動作周波数を連続的に変化させることにより、機械的制御やシステムが複雑で高額なフェーズドアレイなしに広角にビーム走査が可能となる。右手系材料と比べてわずかな周波数変化で広角度のビーム走査が可能である。

---

[12] 日経クロステック「メタマテリアル・アンテナが実用化」（2008）
<https://xtech nikkei.com/it/article/COLUMN/20080819/312937/>

[13] 日本電気株式会社プレスリリース「NEC、メタマテリアルを応用し、無線モジュールの通信性能を向上する世界最小クラスのアンテナを開発 ～ M2M ネットワークを構築するセンサへの活用に最適 ～」(2012) < http://www.nec.co.jp/press/ja/1203/1902.html >

[14] 日本電気株式会社プレスリリース「「Draft IEEE802.11ac」対応で国内最小サイズの Wi-Fi ホームルータ「AtermWF800HP」など 4 機種 8 モデルを発売」（2013）< https://jpn nec.com/press/201306/20130611_01 html >

[15] 日本電気株式会社プレスリリース「NEC と日本航空電子工業、メタマテリアルを活用した世界最小クラスの高性能アンテナを開発」 <https://jpn.nec.com/press/201810/20181009_02.html>

2) 電磁ノイズ抑制

NEC では試作機における実証ステップを経て、同社独自の EBG 構造である μEBG 構造を搭載した NEC アクセステクニカ製 Wi-Fi ホームルータ AtermWG1800HP/WG1400HP の出荷を 2013 年 4 月から始めた [16]。

3) 無線回路の小型化

a. 増幅器

RF フロントエンド回路においては高出力増幅器の消費電力が大きく、電力効率を上げるために高調波処理が必要となっている。分布定数線路を用いる高調波処理回路は波長に依存したサイズとなってしまい、小型化が課題となる。

CRLH 線路は高い周波数領域では右手系電磁波の性質が、低い周波数領域では左手系電磁波の性質が支配的になる。左手系領域を使うことで、分散形状（周波数による特性変化）を制御可能になる。機能とサイズを独立に制御できるため、最適化が可能である。

高調波処理のためのスタブ回路を CRLH 回路に置き換え、バイアス回路とも一体化することによって回路が小型化できる。実用化に障害はない段階となっている。

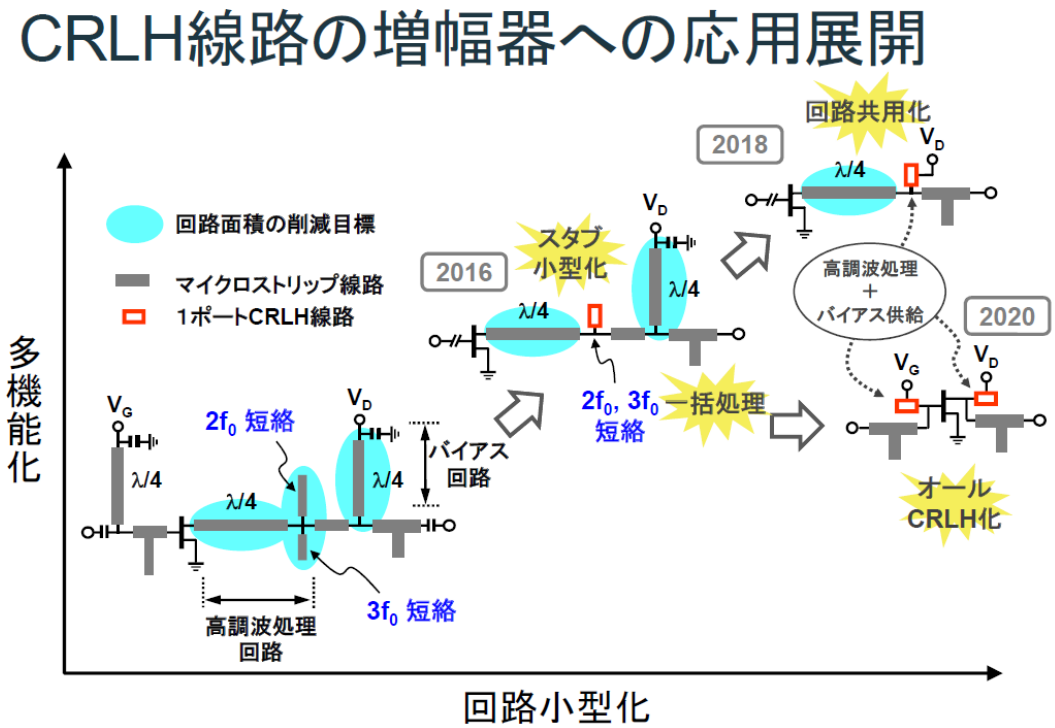


図 1-8　CRLH 線路の増幅器への応用展開

（出所）芝浦工業大学　田中愼一教授 勉強会講演資料

[16]鳥屋尾 博　半杭 英二　小林 準人　安藤 利和『メタマテリアルを用いた電磁ノイズ抑制技術とその実用化』「NEC 技報」Vol.66 No.2（2014）

b. フィルタ

フィルタについても LTCC（セラミック多層基板）で CRLH 線路を実現することができる。狭帯域で、小型のフィルタを作成できる。

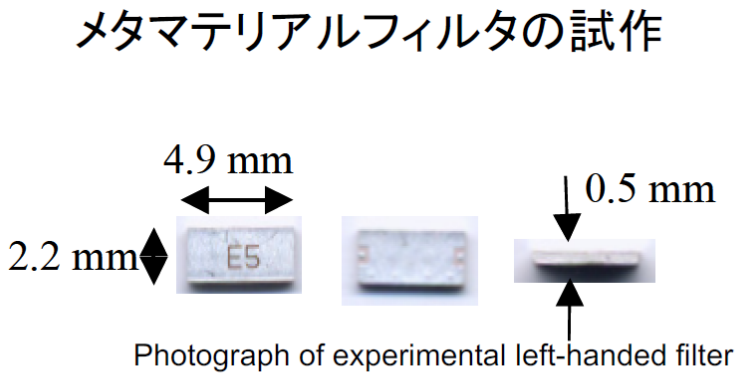


図 1-9　メタマテリアルフィルタの試作

（出所）龍谷大学 石崎俊雄教授 勉強会講演資料

基地局等で小型化が課題となっているローパスフィルタでも、寄生成分を活用するコンセプトを適用すると、小型で優れたフィルタを作成することができる。

さらに、多数の金属ストリップで右手系の人工誘電体を作成することができ、金属のパターンと結合させやすいため、優れた特性のフィルタを実現することができる。

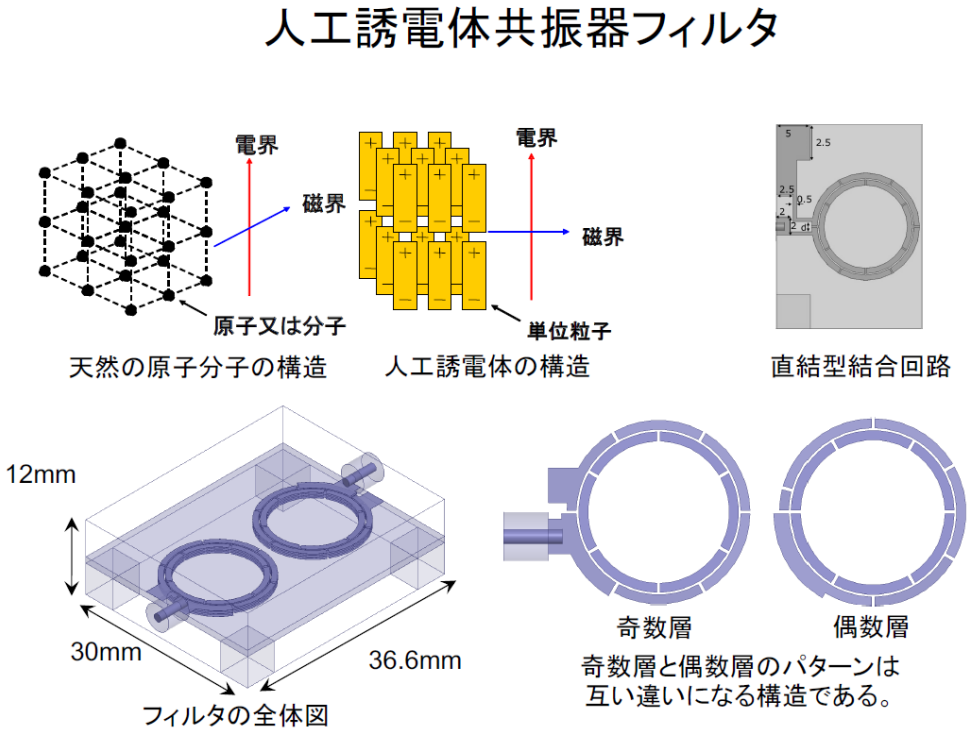


図 1-10　人工誘電体共振器フィルタ

（出所）龍谷大学 石崎俊雄教授 勉強会講演資料

4) 5G 用の反射板

5G で利用される電波のうち、28GHz 帯は直進性が高いため、基地局からの見通しが確保できないエリアをカバーすることが課題となっている。この対策として考えられるのが、電波を反射する反射板を設置して電波を到達させることである。反射板は波長に対して大きなサイズを使う必要があるために波長が長いマイクロ波領域では街中に設置することが困難だが、マイクロ波ではそもそも電波が回り込むために反射板の必要性も少ない。一方、28GHz 帯では電波が回り込まないために反射板が有効であり、かつ街中に設置できる程度の大きさで実現できる。

ただし、通常の金属の反射板では反射させる角度や反射させたビームの形状がコントロールできないため、設置場所の確保等の制約が生じる。

NTT ドコモは 2018 年にメタマテリアル技術を適用した反射板で、28GHz 帯の 5G エリア拡大の実証実験に成功したと発表している [17]。このメタマテリアル反射板は、NTT ドコモが設置場所の選定・ビーム制御方向などを検討し、Metawave Corporation が設計、開発したもので、反射波の方向やビーム形状を任意に設計することが可能である。

[17] NTT ドコモ株式会社プレスリリース「（お知らせ）世界初、メタマテリアル技術を適用した反射板による、28GHz 帯の 5G エリア拡大の実証実験に成功」（2018）
< https://www nttdocomo.co.jp/info/news_release/2018/12/03_00 html>

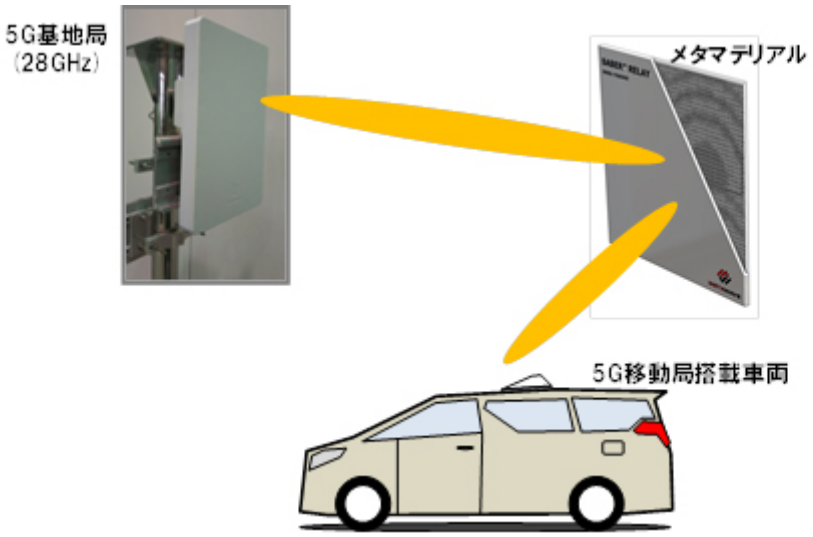


図 1-11　メタマテリアルによる反射板による実証実験

（出所）NTT ドコモ株式会社プレスリリース「（お知らせ）世界初、メタマテリアル技術を適用した反射板による、28GHz 帯の 5G エリア拡大の実証実験に成功」（2018）< https://www nttdocomo.co.jp/info/news_release/2018/12/03_00 html>

基地局建設を行う株式会社ミライトも Metawave Corporation と共同で反射板「ECHO」の実験を行っていると 2020 年 1 月に発表している[18]。反射する角度と反射するビームのフォーム（形状）を制御できる。

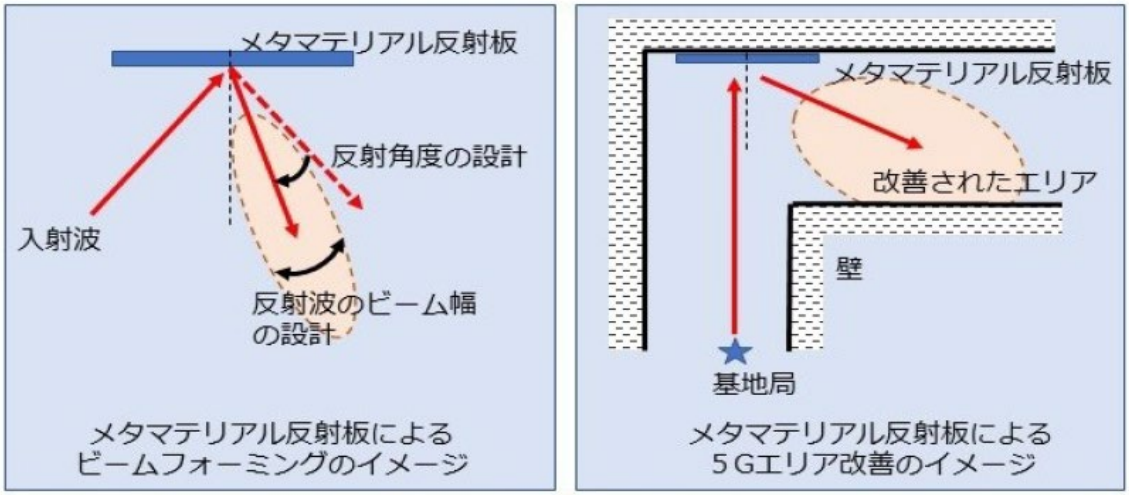


図 1-12　メタマテリアルによる反射板の利用イメージ

（出所）株式会社ミライトニュースリリース「5G エリア構築用メタマテリアル技術を適用した反射板「ECHO」の屋内実証験 屋内実証験 を実施（2020）
<https://www mrt mirait.co.jp/wp-content/uploads/20200120_02.pdf >

NTT ドコモは、さらに 2020 年に「透明動的メタサーフェス」のプロトタイプを開発し、28GHz 帯電波の透過・反射を動的に制御する実証実験に世界で初めて成功したと発表して

[18] 株式会社ミライトニュースリリース「5G エリア構築用メタマテリアル技術を適用した反射板「ECHO」の屋内実証験 屋内実証験 を実施（2020）<https://www mrt mirait.co.jp/wp-content/uploads/20200120_02.pdf >

いる[19]。この透明動的メタサーフェスは、小さな構造体を規則的に多数配置したメタサーフェス基板を透明化したものに透明なガラス基板を重ね、重ねたガラス基板を微小に可動させることで、入射電波を透過するモード、電波の一部を透過し一部を反射するモード、すべての電波を反射するモードの 3 パターンを動的に制御することが可能となっている。NTT ドコモが原理提案・設計をし、AGC が材料・微細加工技術の検討及び製造を行った。

なお、NTT ドコモと AGC は、ミリ波帯（28GHz 帯）の屋内での電波の受信電力を向上させるための「メタサーフェスレンズ」のプロトタイプを開発したと 2021 年 1 月 26 日に発表している。この「メタサーフェスレンズ」を屋内側から窓ガラスに貼り付けることにより、屋外から屋内へと窓ガラスを通るミリ波を屋内の特定の場所（焦点）に集めることができる。焦点位置にリピーターやリフレクター等のエリア改善ツールを置くことで、屋外の基地局アンテナによる建物内のエリア化が実現できるとしている。[20]

(3) ミリ波領域での効用

もともと波長が短いミリ波領域ではアンテナも小型化するため、マイクロ波領域のようなメタマテリアルによるアンテナの小型化のメリットが大きくない可能性がある。

また、回路の小型化においては、ミリ波領域ではマイクロストリップ線路も小型化するため、CRLH 線路の利用による小型化のメリットが減じ、高調波もテラヘルツになるため制御が難しくなるものと考えられる。

(4) 光・テラヘルツ波領域での応用

光領域についてもメタマテリアルの応用について研究が進められている。メタマテリアルの実用化がマイクロ波領域で先行した理由としては、光領域と異なり、金属の物性を完全導体若しくは良導体とみなしてよいこと、光領域と比べて波長は長く、作製上の課題（微細加工）が少なかったことも考えられる。

表 1-3　光領域でのメタマテリアルの応用分野

応用分野	概要
クローキング（光学迷彩）	屈折率分布を作って光を曲げ、反射せず、しゃへいされないようにすると存在を見えなくすることができる。マイクロ波について試作例がある。
フラットレンズ	光の曲げ方を光軸中心から離れるように作ると、フラットなレンズを作ることができる。
スカイラジエーター	エネルギーを使わないクーラーを実現するフィルムであり、例え

[19] NTT ドコモ株式会社プレスリリース「（お知らせ）世界初、28GHz 帯 5G 電波の透過・反射を動的制御する透明メタサーフェス技術の実証実験に成功 -高い透明性で景観を損ねずに柔軟な 5G エリアの拡大を実現-」（2020）＜https://www nttdocomo.co.jp/info/news_release/2020/01/17_01.html>

[20] NTT ドコモ株式会社プレスリリース「（お知らせ）メタサーフェス技術により窓ガラスの電波レンズ化に世界で初めて成功-屋外から屋内へ効率的にミリ波を誘導-」（2021）
＜https://www nttdocomo.co.jp/info/news_release/2021/01/26_00 html>

	ば建物の屋根に使うと冷える。中国人による Radi-Cool というベンチャー企業がある。
光吸収体、発色体	表面に MIM(Metal-Insulator-Metal)構造のメタマテリアルの薄い層を表面に作製することによって、反射せずに光を吸収させることができる。 メタマテリアルの表面に物質を付着させて測定すると、背景光を弱めることができるため、赤外分光法の測定精度を向上させることができ、これをデバイスにすればがん検知犬や味覚に優れている人のような優れたセンサを作ることができる。

（出所）理化学研究所田中拓男主任研究員勉強会会講演資料を基に作成

テラヘルツ波領域では、光源や検出器が未発達であったため、テラヘルツ波自体の利用自体の歴史が浅く、メタマテリアルでの研究も未発達である。

(5) 作製方法

バルクのメタマテリアルを作製する際にはその構造が電磁波の波長と比べて同程度か十分小さい必要がある。そのため、マイクロ波領域では加工の課題は少ない一方で、より波長が短い光領域のメタマテリアルの作製には微細加工が必要となる。また、メタマテリアルの 3 次元構造は、2 次元構造を組み合わせて作詞することも考えられるが、構造が小さい光領域メタマテリアルでは活用しにくく、3 次元加工技術が必要となる。また、実用化のためには大量生産ができる技術が必要である。

微細加工技術のうち、リソグラフィ法、集束イオンビーム法、ナノコーティングリソグラフィ法は面的な加工技術である。多光子重合法、多原子還元法は 3 次元加工技術である。自己組織化は大量生産を意図した作製方法である。

こうした作製方法のうち、加工技術の多くは半導体チップの回路作成技術と類似であり、メタマテリアルに特化した技術ではない。光領域のメタマテリアルの発展は、半導体集積回路製造において培われた微細加工技術の恩恵が大きい[21]。

表 1-4　メタマテリアルの主な作製方法

作製方法	概要と特徴
リソグラフィ法	半導体製造で利用されている手法。基板の表面に（光）レジストを塗布し、加熱して固化させる。レジストは光で溶解または硬化する性質を持っており、パターンを露光して現像することによってレジストをパターン化、エッチングしてから、レジスト膜を除去する。 光を使う場合は光リソグラフィ法と呼ばれ、電子線を使うと電子線リソグラフィ法となる。
集束イオンビーム法	イオンを加速して絞ってビームとして照射、材料の表面の原子

[21] 石原照也『メタマテリアルの研究動向』「光学」48 巻 12 号（2019）

	を削り取って加工する。
ナノコーティングリソグラフィ法	光リソグラフィ法等で作成したパターンに、スパッタリング等でナノレベルの成膜を行い、エッチングで成膜部分のみを残す。
ナノインプリント法	はんこのように、作成したい形状のモールドを材料の表面に押し当ててパターンを転写する。
多光子重合法、多光子還元法	多光子吸収現象を活用して、赤外線を集中させたスポットの紫外線硬化樹脂を光重合する、あるいは金属イオンに光を照射して金属を還元する。微細な三次元構造を作ることができる。
自己組織化	生物の身体のように、「ボトムアップ」で大量に構造を作り出す方法。DNA を利用する方法、磁場配向を利用する方法がある。

（出所）田中拓男「光メタマテリアル入門」、堀越智編著「図解メタマテリアル」から作成。

1.4.2 技術保有者と経営基盤

特許分析によって技術保有者を調査し、主要な技術保有者の概要を整理した。なお、ここでの分析はマイクロ波・ミリ波領域のメタマテリアルに限定したものではなく、メタマテリアル全般に関するものとなっていることに注意が必要である。

(1) 特許分析

日本、米国、欧州、国際（PCT）についてメタマテリアルの特許分析（2021 年 2 月時点）、メタサーフェスの特許分析（2021 年 2 月時点）を行った。

全体傾向としては以下のとおりである。

- メタマテリアルの出願数は 2008 年頃から増加し、横ばいか微増の傾向。一方メタサーフェスの出願が 2015 年以降は急増しており、メタマテリアルの出願数に迫っている。
- 日本特許では日本からの出願が多いが、それ以外では米国、中国が多い。メタサーフェスについては米国が他国を圧倒している。
- IPC 分類では公開 H 電気、G 物理がほとんどであり、特にアンテナ、導波管、光学要素が多い。
- メタマテリアルについて、日本特許では NTT、村田製作所、NEC が一定数出願しているが、海外では軍事関係企業や中国企業も多い。メタサーフェスでは、日本特許では京セラが最も多い。米マジック・リープは日本だけではなく、PCT、米国、欧州でも上位である。
- 中国企業 Kuang-chi はメタマテリアルについて PCT 出願、欧州出願で恐らく 2011 年にまとまった出願をしていると思われる。

なお、本分析はマイクロ波・ミリ波領域のメタマテリアルに限定したものではなく、メタマテリアル全般に関するものとなっているが、一方でメタマテリアル関連特許には「メタマテリアル」「メタサーフェス」の語を用いずに出願されているものもり、それらは補足されていないことに注意が必要である。

1) 国内特許

a. 検索結果

	メタマテリアル	メタサーフェス
出願先	日本国特許	
公開	公開、登録（重複除去）	
キーワード	メタマテリアル	メタサーフェス or メタ表面 or メタサーフェイス
件数	328	72

b. 出願年と出願人国

メタマテリアルの出願数は 2016 年にピークとなっている。メタサーフェスについては 2016 年以降に急増している。いずれも約半分が日本による出願となっており、次いで米国が多い。

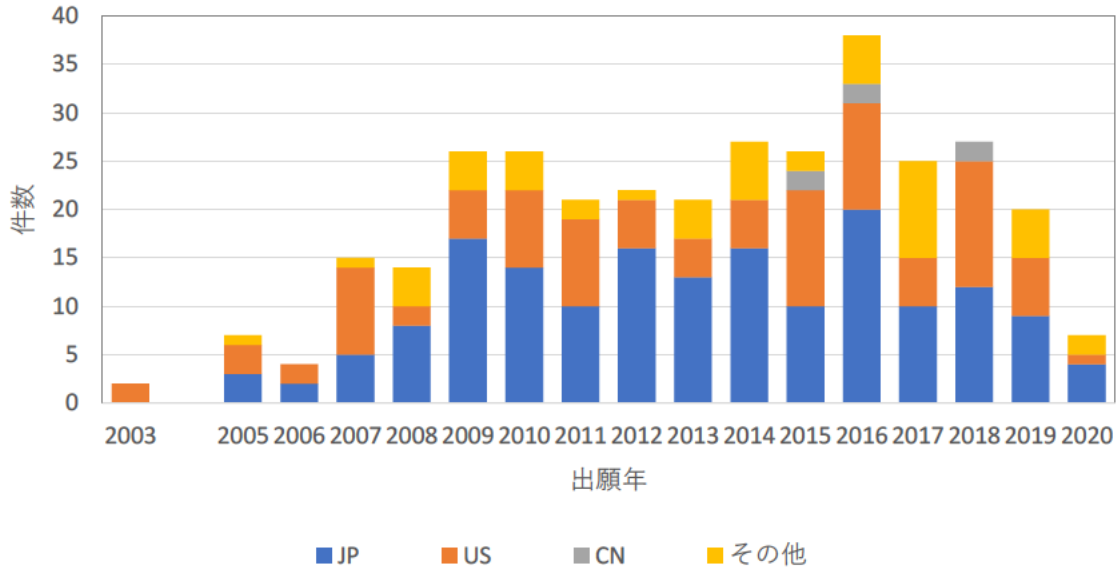


図 1-13　国内特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）

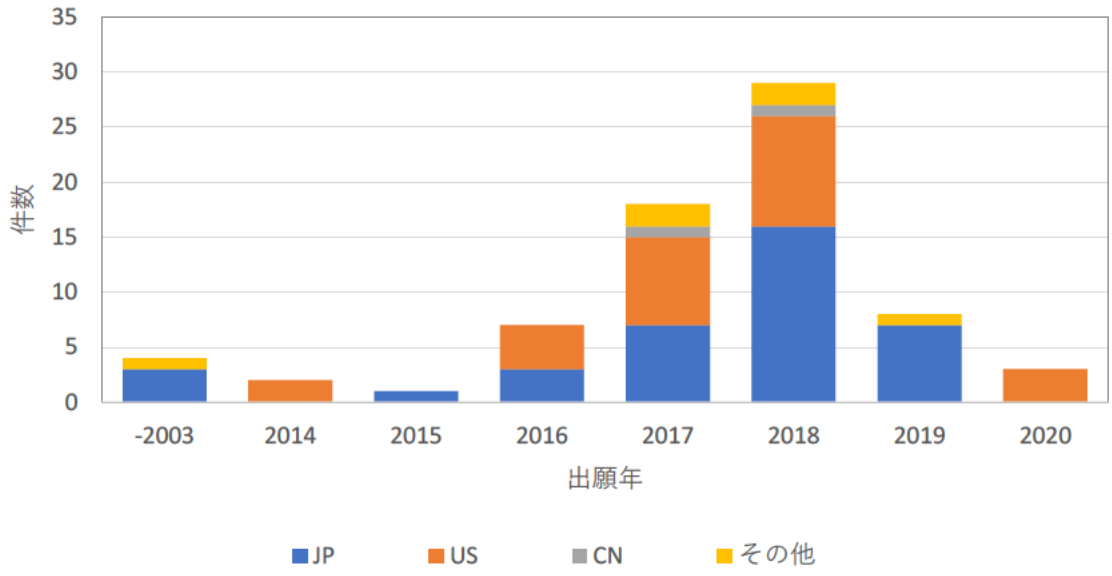


図 1-14　国内特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）

c. 技術分野（IPC）

H 電気、G 物理がほとんどを占めている。

表 1-5　IPC 分類上位 5 位

IPC 分類	説明	メタマテリアル件数	メタサーフェス件数
G01J	赤外線，可視光線または紫外線の強度，速度，スペクトル，偏光，位相またはパルスの測定；色の測定；放射温度測定［2］		13
G01S	無線による方位測定；無線による航行；電波の使用による距離または速度の決定；電波の反射または再輻射を用いる位置測定または存在探知；その他の波を用いる類似の装置		18
G02B	光学要素，光学系，または光学装置	44	35
G02F	光の強度，色，位相，偏光または方向の制御，例．スイッチング，ゲーテイング，変調または復調のための装置または配置の媒体の光学的性質の変化により，光学的作用が変化する装置または配置；そのための技法または手順；周波数変換；非線形光学；光学的論理素子；光学的アナログ／デジタル変換器［2，4］	20	
H01L	半導体装置，他に属さない電気的固体装置	28	9

H01P	導波管；導波管型の共振器，線路または他の装置	65	
H01Q	アンテナ，すなわち空中線	129	12
H04N	画像通信，例．テレビジョン［4］		9
H05K	印刷回路；電気装置の箱体または構造的細部，電気部品の組立体の製造	20	

d. 特許出願状況

メタマテリアルについてトップはNTT、その他国内企業は、村田製作所、NEC 等となっている。メタサーフェスについては、京セラがトップで、続いてマジック・リープとなっている。

表 1-6　出願者上位 30（メタマテリアル）

出願者	件数
日本電信電話株式会社	19
日本電気株式会社	10
パロ　アルト　リサーチ　センター　インコーポレイテッド	9
株式会社村田製作所	9
ザ・ボーイング・カンパニー	8
国立大学法人京都工芸繊維大学	8
浜松ホトニクス株式会社	6
国立大学法人山口大学	6
シナジー　マイクロウェーブ　コーポレーション	5
日本碍子株式会社	5
ソニー株式会社	5
イーエムダブリュ　カンパニー　リミテッド	5
国立大学法人茨城大学	5
パロ・アルト・リサーチ・センター・インコーポレーテッド	4
日立マクセル株式会社	4
三菱電機株式会社	4
メルク・パテント・ゲゼルシヤフト・ミツト・ベシユレンクテル・ハフツング	4
レイスパン　コーポレーション	3
ハンド　ヘルド　プロダクツ　インコーポレーティッド	3
エナージャス　コーポレイション	3
旭硝子株式会社	3
ラムダ　ガード　テクノロジーズ　リミテッド	3
ザ　リージェンツ　オブ　ザ　ユニバーシティ　オブ　カリフォルニア	3

ハリス　コーポレイション	3
株式会社日本自動車部品総合研究所|株式会社デンソー	3
シーレイト　リミテッド　ライアビリティー　カンパニー	3
タイコ　エレクトロニクス　サービス　ゲーエムベーハー	3
キヤノン株式会社	3
トヨタ　モータ　エンジニアリング　アンド　マニュファクチャリング　ノース　アメリカ，インコーポレイティド	3
富士通株式会社	3
パナソニック株式会社	3
三菱重工業株式会社	3

表 1-7　出願者（メタサーフェス）

出願者	件数
京セラ株式会社	18
マジック　リープ，　インコーポレイテッド	15
浜松ホトニクス株式会社	7
日本電気株式会社	3
ジョンソン・アンド・ジョンソン・ビジョン・ケア・インコーポレイテッド	2
アイソトロピック　システムズ　リミテッド	2
カリフォルニア　インスティチュート　オブ　テクノロジー	2
三星電子株式会社	2
ルミレッズ　リミテッド　ライアビリティ　カンパニー	1
カイメタ　コーポレイション	1
華為技術有限公司	1
トラスティーズ　オブ　ボストン　ユニヴァーシティ|オーエフエス　ファイテル，エルエルシー	1
アプライド　マテリアルズ　インコーポレイテッド	1
プレジデント・アンド・フェロウズ・オブ・ハーバード・カレッジ	1
旭化成株式会社|国立大学法人東北大学	1
国立大学法人　名古屋工業大学	1
株式会社 SOKEN|株式会社デンソー	1
住友電気工業株式会社	1
セイコーエプソン株式会社	1
ザ　トラスティーズ　オブ　コロンビア　ユニバーシティ　イン　ザ　シティ　オブ　ニューヨーク	1
ヘキスト　アクチェンゲゼルシャフト	1
松下電器産業株式会社	1
日本電信電話株式会社	1

日本電業工作株式会社	1
アカデミア　シニカ	1
▲東▼南大学	1
富士通株式会社	1
メタレンズ，インコーポレイテッド	1
ユニバーシティ　オブ　ワシントン	1

2) 国際出願（PCT）

a. 検索結果

	メタマテリアル	メタサーフェス
出願先	PCT 出願（重複除去）	
キーワード	Metamaterial	Metasurface
件数	792	214

b. 出願年と出願人国

メタマテリアルは 2007 年から増加傾向にあり、メタサーフェスは 2018 年から急増している。いずれも米国の出願が多く、日本は中国よりも少ない。

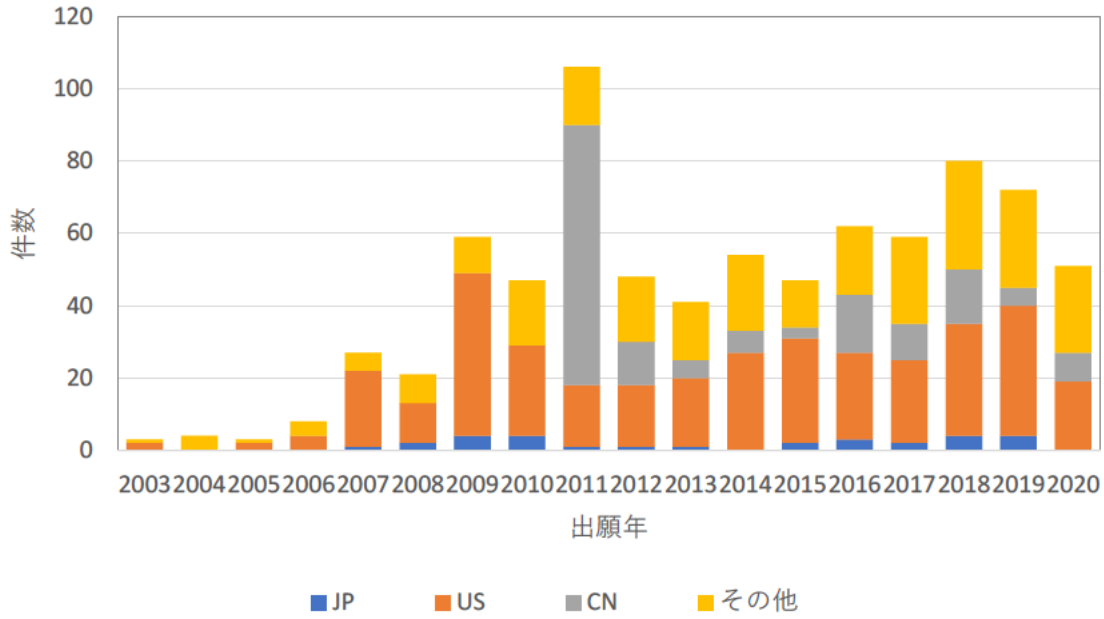


図 1-15　PCT の出願年と出願人国（メタマテリアル）

（注）2011 年には中国 KUANG-CHI INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY|KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.からまとまった出願があった。

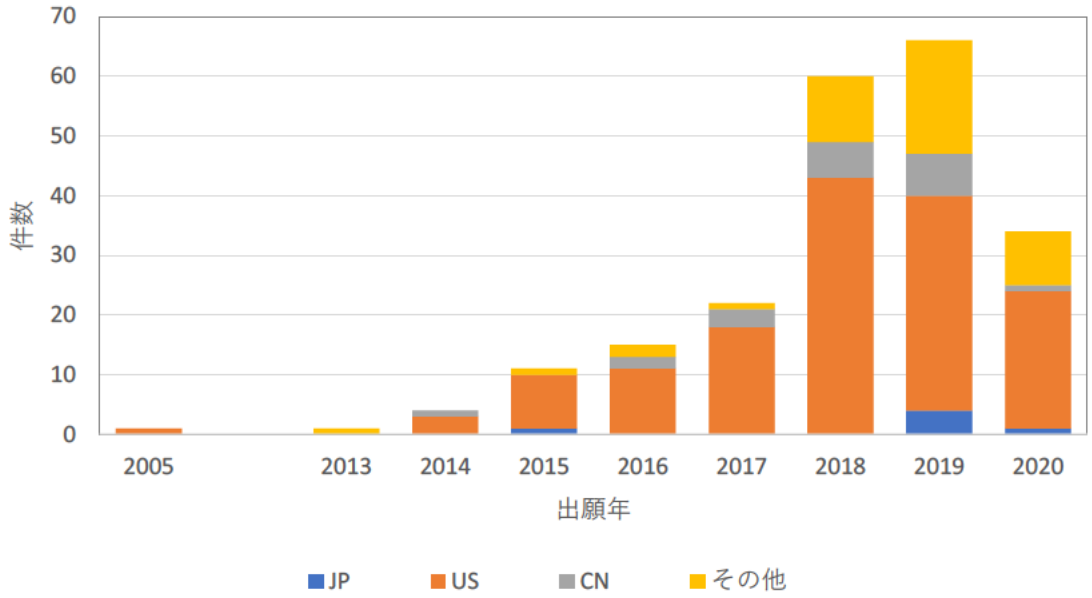


図 1-16　PCT の出願年と出願人国（メタサーフェス）

c. 技術分野（IPC）

H 電気、G 物理がほとんどを占めている。

表 1-8　IPC 分類上位 5 位

IPC 分類	説明	メタマテリアル件数	メタサーフェス件数
B82Y	ナノ構造物の特定の使用または応用；ナノ構造物の測定または分析；ナノ構造物の製造または処理［2011.01］		14
G01N	材料の化学的または物理的性質の決定による材料の調査または分析（参照，免疫分析以外の酵素または微生物を含む測定または試験 C12M，C12Q）	37	8
G02B	光学要素，光学系，または光学装置	113	99
G02F	光の強度，色，位相，偏光または方向の制御，例．スイッチング，ゲーテイング，変調または復調のための装置または配置の媒体の光学的性質の変化により，光学的作用が変化する装置または配置；そのための技法または手順；周波数変換；非線形光学；光学的論理素子；光学的アナログ／デジタル変換器［2，4］		21

H01L	半導体装置，他に属さない電気的固体装置	67	16
H01P	導波管；導波管型の共振器，線路または他の装置	68	
H01Q	アンテナ，すなわち空中線	272	48

d. 特許出願状況

メタマテリアルのトップは中国系企業である KUANG-CHI である。メタサーフェスについてはマジック・リープがトップであり、ハーバード大学、カリフォルニア工科大学が続いている。

表 1-9　出願者上位 30（メタマテリアル）

出願者	件数
KUANG-CHI INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY|KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.	83
RAYSPAN CORPORATION	28
ELWHA LLC	17
DUKE UNIVERSITY	15
EMW CO., LTD.	13
SEARETE LLC	12
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	12
HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.	10
THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA	9
LOCKHEED MARTIN CORPORATION	8
KYMETA CORPORATION	7
ENERGOUS CORPORATION	7
HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.	7
KUANG-CHI CUTTING EDGE TECHNOLOGY LTD.	6
THE BOEING COMPANY	6
THE HONG KONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	6
THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF COLORADO, A BODY CORPORATE	6
FRACTAL ANTENNA SYSTEMS, INC.	6
THE PENN STATE RESEARCH FOUNDATION	6
METAWAVE CORPORATION	6
PRASAD, Muthukumar	5
MURATA MANUFACTURING CO., LTD.	5
NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY	5
RAYTHEON COMPANY	5
INTEL CORPORATION	5
QINETIQ LIMITED	5
THE TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA	4
SYNERGY MICROWAVE CORPORATION	4

BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM	4
SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	4
KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.	4
LOS ALAMOS NATIONAL SECURITY, LLC	4
SHENZHEN SUPER DATA LINK TECHNOLOGY LTD.	4
PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE	4
BAE SYSTEMS PLC	4
THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF MICHIGAN	4
KUANG-CHI INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY	4

表 1-10　出願者上位 30（メタサーフェズ）

出願者	件数
MAGIC LEAP, INC.	18
PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE	17
CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	15
ELWHA LLC	7
PIVOTAL COMMWARE, INC.	6
THE TRUSTEES OF COLUMBIA UNIVERSITY IN THE CITY OF NEW YORK	5
BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM	4
THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY	4
THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA	4
DUKE UNIVERSITY	4
ESSILOR INTERNATIONAL	3
TELEFONAKTIEBOLAGET LM ERICSSON (PUBL)	3
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	3
HAMAMATSU PHOTONICS K.K.	3
HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.	3
UNIVERSITY OF WASHINGTON	3
METALENZ, INC.	3
HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	3
KYMETA CORPORATION	3
LUMILEDS HOLDING B.V.	3
CORNELL UNIVERSITY	2
MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	2
10644137 CANADA INC.	2
3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY	2
MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC	2
APPLIED MATERIALS, INC.	2
THALES CANADA INC.	2
PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD COLLEGE|PRINCETON UNIVERSITY	2

FACEBOOK TECHNOLOGIES, LLC	2
RAMOT AT TEL-AVIV UNIVERSITY LTD.	2
FRACTAL ANTENNA SYSTEMS, INC.	2
SHENZHEN GOODIX TECHNOLOGY CO., LTD.	2

3) 米国特許

a. 検索結果

	メタマテリアル	メタサーフェス
出願先	米国特許	
公開	公開、登録（重複除去）	
キーワード	Metamaterial	Metasurface
件数	1,474	311

b. 出願年と出願人国

メタマテリアルは 2006 年から増加傾向にある。米国による出願が多く、2011 年以降は中国も一定の出願をしている。日本の出願は少ない。

メタサーフェスについては 2015 年から急増していて米国の出願が多い。日本、中国の出願は少ない。

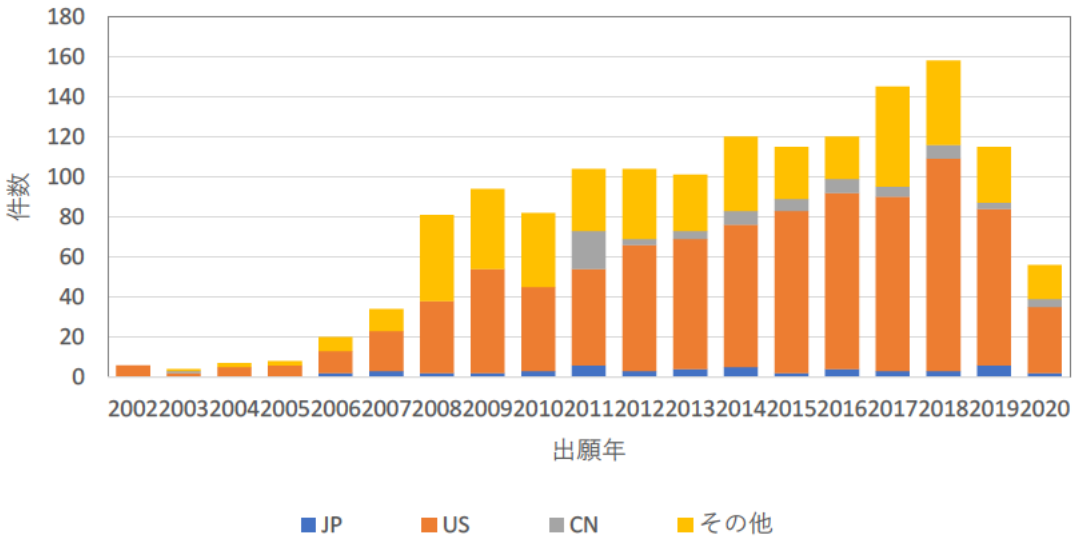


図 1-17　米国特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）

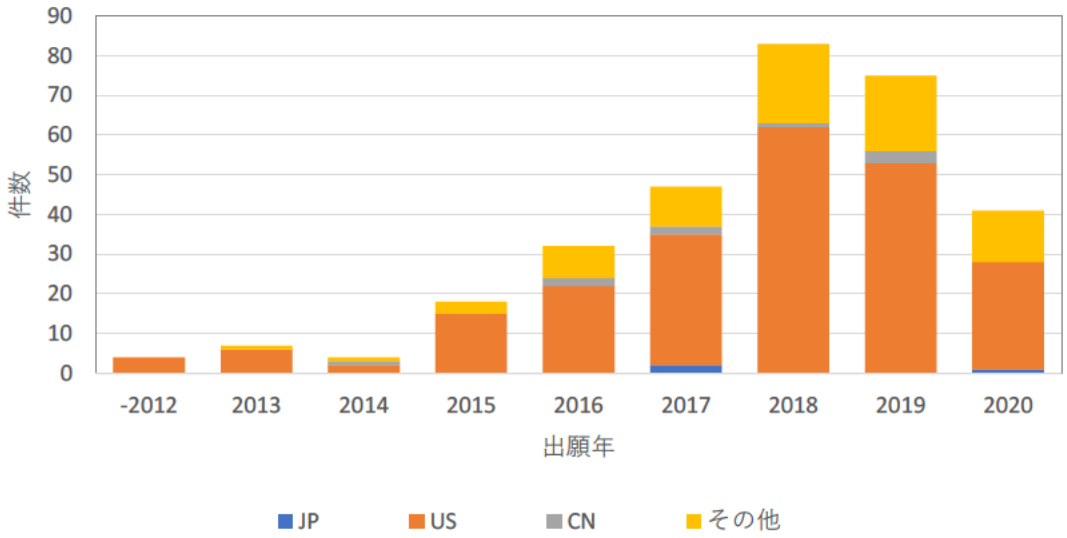


図 1-18　米国特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）

c. 技術分野（IPC）

H 電気、G 物理がほとんどである。

表 1-11　IPC 分類上位 5 位

IPC 分類	説明	メタマテリアル件数	メタサーフェス件数
G01S	無線による方位測定；無線による航行；電波の使用による距離または速度の決定；電波の反射または再輻射を用いる位置測定または存在探知；その他の波を用いる類似の装置		30
G02B	光学要素，光学系，または光学装置	308	152
G02F	光の強度，色，位相，偏光または方向の制御，例．スイッチング，ゲーテイング，変調または復調のための装置または配置の媒体の光学的性質の変化により，光学的作用が変化する装置または配置；そのための技法または手順；周波数変換；非線形光学；光学的論理素子；光学的アナログ／デジタル変換器［2，4］	109	61
H01L	半導体装置，他に属さない電気的固体装置	167	44
H01P	導波管；導波管型の共振器，線路または他の装置	122	
H01Q	アンテナ，すなわち空中線	518	96

d. 特許出願状況

メタマテリアルでは特許ファンドが上位に入っている。メタサーフェスではカリフォルニア工科大学、マジック・リープが上位である。

表 1-12　出願者上位 30（メタマテリアル）

現所有者	件数
(空白)	110
Elwha LLC	64
The Invention Science Fund I LLC	33
Metawave Corporation	31
THE BOEING COMPANY	28
Tyco Electronics Services GmbH	26
Duke University	24
Energous Corporation	22
Fractal Antenna Systems, Inc.	20
The United States of America as represented by the Secretary of the Navy	18
Lockheed Martin Corporation	18
Samsung Electronics Co., Ltd.	17
The Regents of the University of California	15
KYMETA CORPORATION	15
Raytheon Company	15
Toyota Motor Engineering & Manufacturing North America, Inc.	14
Palo Alto Research Center Incorporated	14
KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.	13
Purdue Research Foundation	12
The Invention Science Fund I, LLC	12
KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.|KUANG-CHI INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY	12
Massachusetts Institute of Technology	11
Intel Corporation	11
Rayspan Corporation	11
Halliburton Energy Services, Inc.	11
Sandia Corporation	11
National Technology & Engineering Solutions of Sandia, LLC	10
Rockwell Collins, Inc.	10
Board of Regents, The University of Texas System	10
Q1 NANOSYSTEMS CORPORATION	10
Qorvo US, Inc.	10
Electronics and Telecommunications Research Institute	10

表 1-13　出願人上位 30（メタサーフェス）

出願人	件数
CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	24
Magic Leap, Inc.	17
Elwha LLC	14
(空白)	13
Purdue Research Foundation	13
Intel Corporation	12
Pivotal Commware, Inc.	11
President and Fellows of Harvard College	10
THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA	10
Board of Regents, The University of Texas System	8
SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	7
SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.|CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	6
Duke University	6
KYMETA CORPORATION	6
Elwha, LLC	5
Fractal Antenna Systems, Inc.	4
The Johns Hopkins University	4
SOS LAB CO., LTD	4
University of Washington	4
THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY	3
Searete LLC	3
National Technology & Engineering Solutions of Sandia, LLC	3
Isotropic Systems Ltd.	3
Apple Inc.	3
Avalon Holographics Inc.	3
Metalenz, Inc.	3
THE TRUSTEES OF COLUMBIA UNIVERSITY IN THE CITY OF NEW YORK	3
International Business Machines Corporation	3
HRL Laboratories, LLC	3
Lumileds Holding B.V.	3
AJOU UNIVERSITY INDUSTRY-ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION	3
Lumotive, LLC	3

4) 欧州特許（EPO）

a. 検索結果

	メタマテリアル	メタサーフェス
出願先	欧州特許	
公開	公開、登録（重複除去）	
キーワード	Metamaterial	Metasurface
件数	349	50

b. 出願年と出願人国

メタマテリアルの出願は 2009 年に急増してその後は横ばい傾向である。米国の出願が多いが、中国も増加している。

メタサーフェスについては絶対数は少ないが、2018 年に大きく伸びている。

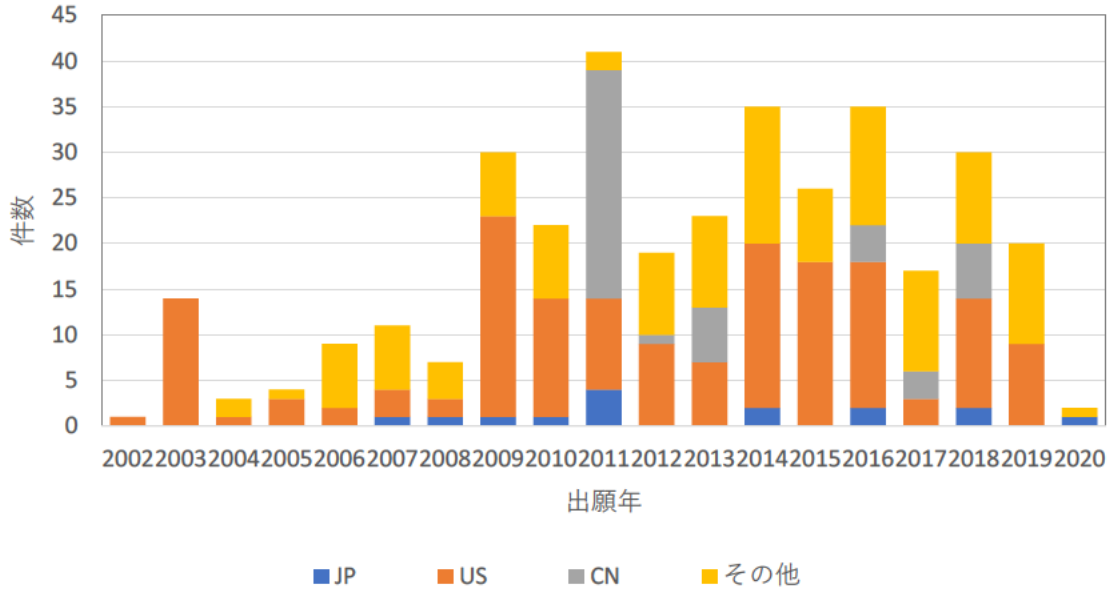


図 1-19　欧州特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）

（注）2011 年には中国 KUANG-CHI INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY|KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.からまとまった出願があった。

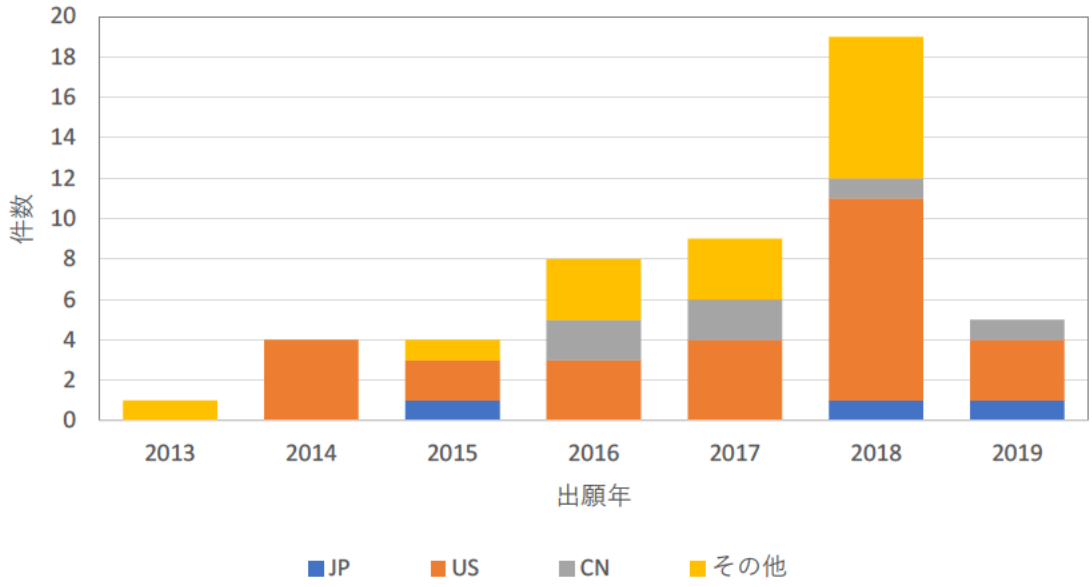


図 1-20　欧州特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）

c. 技術分野（IPC）

H 電気、G 物理がほとんどを占めている。

表 1-14　IPC 分類上位 5 位

IPC 分類	説明	メタマテリアル件数	メタサーフェス件数
G01S	無線による方位測定；無線による航行；電波の使用による距離または速度の決定；電波の反射または再輻射を用いる位置測定または存在探知；その他の波を用いる類似の装置		4
G02B	光学要素，光学系，または光学装置	60	26
G02C	眼鏡；サングラスまたは眼鏡と同様な性質をもつ限りにおいてのゴーグル；コンタクトレンズ		5
G02F	光の強度，色，位相，偏光または方向の制御，例．スイッチング，ゲーテイング，変調または復調のための装置または配置の媒体の光学的性質の変化により，光学的作用が変化する装置または配置；そのための技法または手順；周波数変換；非線形光学；光学的論理素子；光学的アナログ／デジタル変換器［2，4］		5

G10K	音を発生する装置（音を発生する玩具 A63H5／00）；騒音または他の音響波を防ぎ，または減衰させるための方法または装置一般；他に分類されない音響［6］	15	
H01L	半導体装置，他に属さない電気的固体装置［2］	30	
H01P	導波管；導波管型の共振器，線路または他の装置（光周波数で動作するもの G02B）	41	
H01Q	アンテナ，すなわち空中線	153	17
H04B	伝送［4］		4

d. 特許出願状況

メタマテリアルのトップは中国系企業である KUANG-CHI である。メタファーフェスはマジック・リープとなっている。

表 1-15　出願者上位 30（メタマテリアル）

出願者	件数
Kuang-chi Innovative Technology Ltd.|Kuang-Chi Institute of Advanced Technology	23
The Boeing Company	19
HARRIS CORPORATION	14
Palo Alto Research Center, Incorporated	10
Tyco Electronics Services GmbH	8
Lockheed Martin Corporation	8
Raytheon Company	6
Kuang-chi Innovative Technology Ltd.	6
Searete LLC	5
Halliburton Energy Services, Inc.	5
Palo Alto Research Center Incorporated	5
Samsung Electronics Co., Ltd.	4
Synergy Microwave Corporation	4
Kuang-Chi Institute of Advanced Technology|Kuang-chi Innovative Technology Ltd.	4
Rayspan Corporation	4
Duke University	4
Hand Held Products, Inc.	4
Merck Patent GmbH	4
The Regents of the University of California	3
Trimble Inc.	3
BAE SYSTEMS plc	3
King's College London	3
NEC Corporation	3

Flextronics AP LLC	3
The Regents of the University of Colorado, A Body Corporate	3
Gula Consulting Limited Liability Company	3
Lamda Guard Technologies Ltd	3
Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V.	3
UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON	2
Shenzhen Super Data Link Technology Ltd.	2
E.G.O. ELEKTRO-GERÄTEBAU GmbH	2
Metawave Corporation	2
Taiwan Semiconductor Manufacturing Co., Ltd.	2
Innovative In Vivo Sensing, LLC	2
Lumileds LLC	2
Fábrica Nacional de Moneda Y Timbre - Real Casa de la Moneda	2
Université de Franche-Comté|CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE	2
Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives	2
Grau, Günter	2
Koninklijke Philips N.V.|Philips Intellectual Property & Standards GmbH	2
Technische Universität München	2
Fractal Antenna Systems, Inc.	2
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	2
Bangor University	2
Energous Corporation	2
Schlumberger Technology B.V.|Schlumberger Holdings Limited|Services Pétroliers Schlumberger|Prad Research And Development Limited	2
Università Degli Studi Roma Tre	2
General Electric Company	2
Huawei Technologies Co., Ltd.	2
SEGTON ADVANCED TECHNOLOGY SAS	2
LUCENT TECHNOLOGIES INC.	2

表 1-16　出願者上位（メタサーフェス）

出願者	件数
Magic Leap, Inc.	5
President and Fellows of Harvard College	3
Johnson & Johnson Vision Care, Inc.	3
Thales Canada Inc.	2
University of Washington	2
Huawei Technologies Co., Ltd.	2
Kyocera Corporation	2
Microsoft Technology Licensing, LLC	2
Samsung Electronics Co., Ltd.	1

The Institute of Optics and Electronics The Chinese Academy of Sciences	1
Southeast University	1
Board of Regents, The University of Texas System	1
University Of Cyprus	1
Isotropic Systems Ltd	1
Schleifring und Apparatebau GmbH	1
California Institute of Technology	1
THALES|Université de Rennes 1|Centre National de la Recherche Scientifique	1
Korea Advanced Institute of Science and Technology	1
Tongyu Communication Inc.	1
Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives	1
Rosemount Aerospace Inc.	1
Duke University	1
Samsung Electronics Co., Ltd.|California Institute of Technology	1
Magna International Inc.	1
SHENZHEN GOODIX TECHNOLOGY CO., LTD.	1
Metalenz, Inc.	1
Esa European Space Agency	1
ELWHA LLC	1
The Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University	1
Applied Materials, Inc.	1
The Trustees of Columbia University in the City of New York	1
OSRAM Opto Semiconductors GmbH|President and Fellows of Harvard College	1
University of Central Florida Research Foundation, Inc.	1
Paris Sciences et Lettres - Quartier Latin|Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS|Università degli Studi di Siena|Politecnico Di Torino|Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris	1
ESSILOR INTERNATIONAL (COMPAGNIE GENERALE D'OPTIQUE)	1
ELWHA, LLC	1
Nagoya Institute Of Technology	1

5) 中国特許

a. 検索結果

	メタマテリアル	メタサーフェス
出願先	中国特許	
公開	公開、登録（重複除去）	
キーワード	Metamaterial	Metasurface
件数	2,298	66

b. 出願年と出願人国

メタマテリアルの出願は2011年、2012年に急増し、その後一旦減少後に増加傾向にある。中国の特許がほとんどである。

メタサーフェスについては絶対数は少ない。

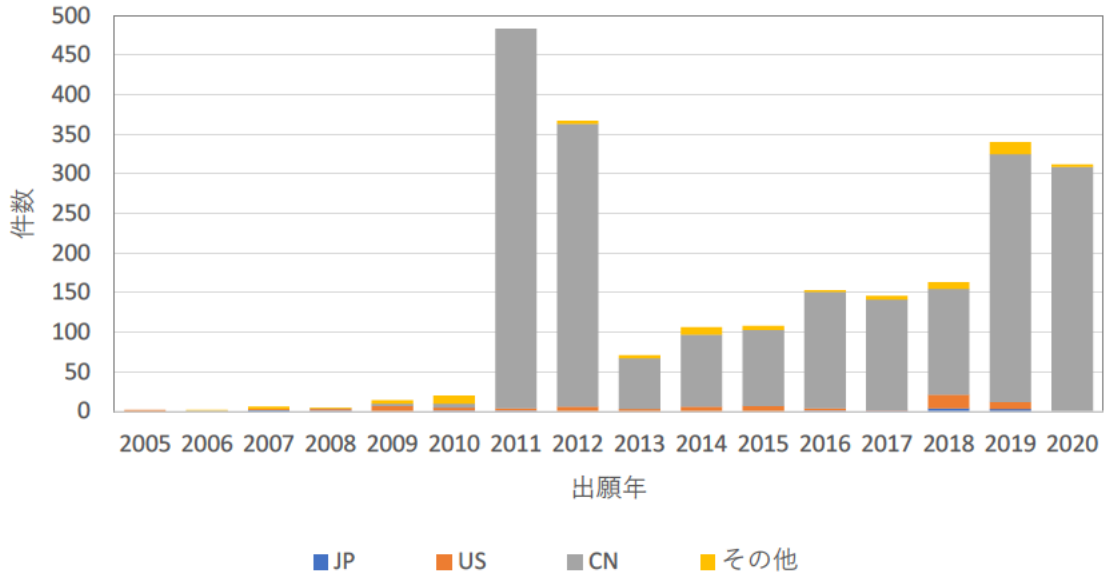


図 1-21　中国特許の出願年と出願人国（メタマテリアル）

（注）2011年には中国 KUANG-CHI INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY|KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.からまとまった出願があった。

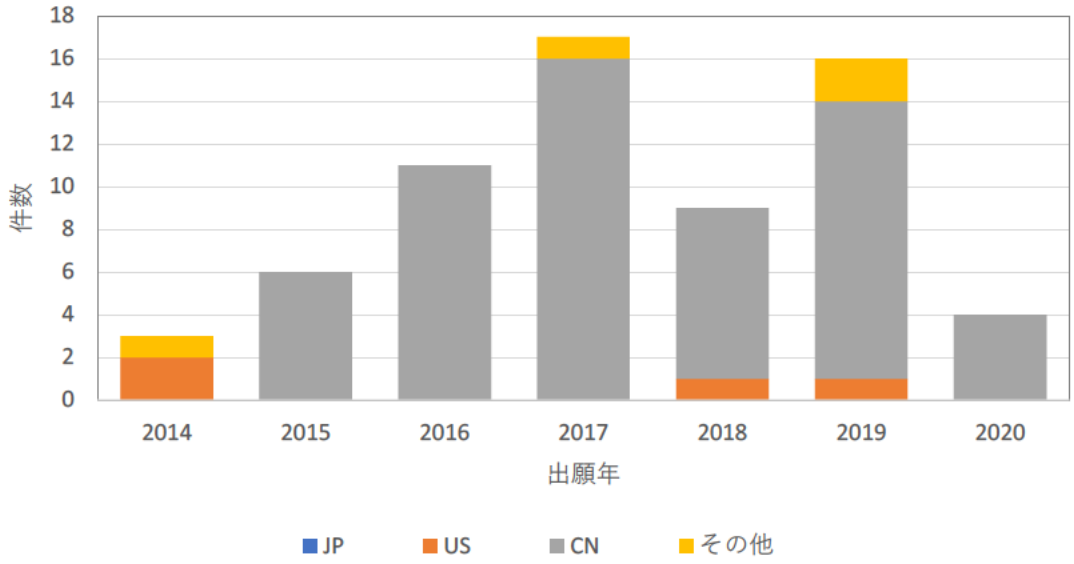


図 1-22　中国特許の出願年と出願人国（メタサーフェス）

c. 技術分野（IPC）

H 電気、G 物理がほとんどを占めている。

表 1-17　IPC 分類上位 5 位

IPC 分類	説明	メタマテリアル件数	メタサーフェス件数
B32B	積層体，すなわち平らなまたは平らでない形状，例．細胞状またはハニカム状，の層から組立てられた製品	94	
G01N	材料の化学的または物理的性質の決定による材料の調査または分析（参照，免疫分析以外の酵素または微生物を含む測定または試験 C12M，C12Q）	94	
G01S	無線による方位測定；無線による航行；電波の使用による距離または速度の決定；電波の反射または再輻射を用いる位置測定または存在探知；その他の波を用いる類似の装置		4
G02B	光学要素，光学系，または光学装置	239	12
G02F	光の強度，色，位相，偏光または方向の制御，例．スイッチング，ゲーテイング，変調または復調のための装置または配置の媒体の光学的性質の変化により，光学的作用が変化する装置または配置；そのための技法または手順；周波数変換；非線形光学；光学的論理素子；光学的アナログ／デジタル変換器［2，4］	101	8
G10K	音を発生する装置（音を発生する玩具 A63H5／00）；騒音または他の音響波を防ぎ，または減衰させるための方法または装置一般；他に分類されない音響［6］		4
H01P	導波管；導波管型の共振器，線路または他の装置（光周波数で動作するもの G02B）	123	
H01Q	アンテナ，すなわち空中線	1,162	29

d. 特許出願状況

メタマテリアルは深圳光启高等理工研究院（KUANG CHI INST ADVANCED TECH）、深圳光启创新技术有限公司（SHENZHEN GUANGQI INNOVATIVE TECHNOLOGY CO LTD）が上位を占めている。

表 1-18　出願者上位 30（メタマテリアル）

出願者	件数
深圳光启高等理工研究院|深圳光启创新技术有限公司	423
深圳光启创新技术有限公司	306
深圳光启高等理工研究院	121
电子科技大学	81
东南大学	41
华中科技大学	31
北京理工大学	28
西安交通大学	27
清华大学	25
哈尔滨工程大学	24
深圳光启尖端技术有限责任公司	22
西安电子科技大学	19
南京大学	19
大连理工大学	18
中国人民解放军空军工程大学	17
浙江大学	15
西北工业大学	15
中国计量大学	14
同济大学	13
北京大学	12
上海交通大学	12
哈尔滨工业大学	11
北京邮电大学	11
中国科学院上海微系统与信息技术研究所	11
厦门大学	11
中国人民解放军国防科技大学	11
合肥工业大学	10
张永超	10
中国科学院光电技术研究所	10
武汉理工大学	10

表 1-19　出願者上位（メタサーフェス）

出願者	件数
西安电子科技大学	7
华中科技大学	4

北京理工大学	4
中国人民解放军空军工程大学	4
东南大学	3
西南大学	2
北京邮电大学	2
电子科技大学	2
庄臣及庄臣视力保护公司	2
南开大学	2
南京大学	2
SOS 实验株式会社	2
深圳大学	1
华为技术有限公司	1
深圳珑璟光电技术有限公司|湖南大学|湖南大学深圳研究院	1
青岛理工大学	1
济南大学	1
中国科学院光电技术研究所	1
哈尔滨工业大学深圳研究生院	1
中国科学院上海技术物理研究所	1
英特尔公司	1
中国科学院微电子研究所	1
应用材料公司	1
三星电子株式会社|加州理工学院	1
青岛金智高新技术有限公司	1
南京航空航天大学	1
哈尔滨工程大学	1
宇龙计算机通信科技(深圳)有限公司	1
浙江科技学院	1
郑州携能通信技术有限公司	1
兰州大学	1
上海慧希电子科技有限公司	1
华中科技大学|深圳华中科技大学研究院	1
武汉科技大学	1
复旦大学	1
武汉大学	1
枣庄学院	1
北京星英联微波科技有限责任公司	1
香港科技大学	1
北京大学	1

上海理工大学	1
南京理工大学	1

(2) 技術保有者の概要

6.4.2(1)で挙げられたメタマテリアル、メタサーフェスの特許出願者（マイクロ波領域に限らない）のうち、主要な出願者について概要を示す。

1) 企業等

表 1-20　主要技術保有者（企業等）の概要

企業名		本社所在地	概要
日本電信電話株式会社	NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	東京都	日本電信電話株式会社等に関する法律（NTT 法）に基づき、通信事業を主体とする企業集団である NTT グループの持株会社として設立された特殊会社。 NTT の研究開発部門はグループ企業の事業用技術開発だけにとどまらず、通信分野の技術標準化、学術研究、オープンソースソフトウェア(OSS)にも大きく貢献している。
株式会社村田製作所	Murata Manufacturing Co., Ltd.	京都府	革新的な技術やソリューションの創出により、エレクトロニクス社会の進展に貢献。材料から製品までの一貫生産体制を構築し、小型、高機能、薄型化などエレクトロニクス業界のトレンドをリードし、製品の 90%以上が海外で販売されるなど、グローバルであらゆる地域のお客様に技術、製品、サービスを提供している。
京セラ株式会社	KYOCERA Corporation	京都府	部品事業（産業・自動車用部品、半導体関連部品、電子デバイス）、機器・システム事業（コミュニケーション、ドキュメントソリューション、生活・環境）を手がける。

日本電気株式会社	NEC Corporation	東京都	有線・無線通信機器（IP 電話網、携帯電話基地局、テレビジョン放送設備、都市・交通無線、鉄道無線、船舶無線、航空無線、自動車通信、宇宙通信等）、コンピュータ（IA サーバ、UNIX サーバからメインフレーム、スーパーコンピュータまで）及び IT サービス（システムインテグレーション）を主力事業とし、サーバやミドルウェアなどのクラウドコンピューティング基盤、IoT のためのエッジコンピューティング基盤、NGN や SDN などの通信ネットワーク、スマートグリッドなどのエネルギーネットワーク、社会ソリューション向け人工知能 (AI)、ビッグデータアナリティクスやサイバーセキュリティ、さらに近年では FinTech（ブロックチェーン開発）や自動運転技術にも力を入れている。
浜松ホトニクス株式会社	Hamamatsu Photonics K.K.	静岡県	「日本のテレビの父」と尊称される高柳健次郎博士に学んだ堀内平八郎が 1953 年に設立。以来、高柳博士が開発した光を電気に変える「光電変換技術」と、世界で初めてテレビのブラウン管に「イ」の字を映した「人類未知未踏の領域を追求する精神」を継承し、一貫して光電変換素子とその応用製品の開発に携わり、光技術の進歩とともに歩んできた。 半導体レーザー、フォトダイオード、光電子増倍管、X 線管、分析用光源など光関連で高い技術力を持つ。光電子増倍管で世界シェア約 90%。 「光」に関することなら医学、情報、スポーツ生理学までも手がける研究開発型企業。
ザボーイング	The Boeing Company	米国	米国に所在する世界最大の航空宇宙機器開発製造会社。現在米国で唯一の大型旅客機メーカであり、ヨーロッパのエアバス社と世界市場を二分する巨大企業である。旅客機だけでなく、軍用機、ミサイル、宇宙船や宇宙機器などの研究開発、設計製造を行う。機体の設計に関して、有限要素法の設計手法の導入に先んじていて、その技術は車輌構体設計など他分野にも技術供与されており、世界の航空宇宙機器業界をリードしている。

ロッキード・マーチン	Lockheed Martin Corporation	米国	グローバルなセキュリティ及び航空宇宙企業であり、主に高度な技術システム、製品、サービスの研究、設計、開発、製造、統合、維持に従事している。
レイセオン	Raytheon Company	米国（マサチューセッツ）	2020 年 4 月、ユナイテッド・テクノロジーズと合併し、レイセオン・テクノロジーズとなった。 （レイセオン・テクノロジーズ） 米国マサチューセッツ州ウォルサムに本部を置き、防衛・航空宇宙事業を展開する多国籍企業。 主な事業内容は、航空機エンジン、アビオニクス、機体、サイバーセキュリティ、ミサイル、防空システム、そして無人航空機である。航空宇宙・防衛産業を代表する巨大軍需企業であり、その収入の多くは米国政府の軍事予算から請け負っている。
ハリスコーポレーション	HARRIS CORPORATION	米国	米国のテクノロジー企業、防衛請負業者、及び情報技術サービスプロバイダーであり、政府、防衛、商業部門で使用するための無線機器、戦術無線、電子システム、暗視装置、地上アンテナと宇宙用アンテナの両方を製造していた。 監視ソリューション、マイクロ波兵器及び電子戦に特化。
パロアルトリサーチセンター	Palo Alto Research Center, Incorporated	米国カリフォルニア	米ゼロックス (XEROX) 社が 1970 年にアーキテクチャー・オブ・インフォーメーションの創出を目標として開設。コンピューターサイエンス方面に与えた影響が大きく、マウス、Smalltalk、イーサネット、レーザープリンターなどの発明が行われ、他にグラフィカルユーザーインタフェース (GUI)、ユビキタスコンピューティングなどの研究開発も行っている。デバイス領域では VLSI、半導体レーザー、電子ペーパーなどの研究を行う。2002 年、ゼロックスの完全子会社となり、医療技術、「クリーン・テクノロジー」、ユーザーインタフェース設計、sensemaking、ユビキタスコンピューティング、エレクトロニクス全般、組み込みシステムや知的システムなどについて研究を行っている。

	Halliburton Energy Services, Inc.	米国（テキサス）	油田サービス会社として運営されている。石油及びガスの探査、開発、生産のための製品、サービス、ソリューションを提供するとともに、石油探査及び生産会社に油田機器、部品、ロジスティクス、人材を提供している。
マジック・リープ	Magic Leap, Inc.	米国（フロリダ）	ヘッドマウント方式の拡張現実、複合現実のデバイスを販売している。
	RAYSPAN CORPORATION	米国	高性能無線通信ネットワーク向けの革新的なメタマテリアルエアインターフェースソリューションの世界をリードするイノベーター。（2020 年時点でウェブサイトは閉鎖されている）
エナージャス	ENERGOUS	米国（カリフォルニア）	2013 年設立。システムソリューション企業として、シリコンベースのワイヤレス電力伝送（WPT）テクノロジーとカスタマイズ可能なリファレンスデザインを開発。また、遠距離ワイヤレス充電に関する世界初の FCC パート 18 認定を取得し、これまでに 215 以上の特許を取得している。
	INVENTION SCIENCE FUND I LLC	米国	特許取引会社である Intellectual Ventures が運営するファンド。米国の主要な特許保持者であり、世界のトップ 100 の米国特許保持者にランクされている。
	ELWHA LLC		（NPENPE(Non-practicing Entity)と思われるが詳細不明）
	Searete LLC		（NPENPE(Non-practicing Entity)と思われるが詳細不明）
タイコエレクトロニクスサービス	TYCO ELECTRONICS SERVICES GMBH	スイス	あらゆる種類の投資、特に Tyco グループの会社が保有する投資の取得、販売及び管理。
	Kuang-chi Innovative Technology Ltd.	中国（深圳）	Kuang-Chi Innovation Technology Ltd.は、電子製品の研究と製造を行っている。 ネットワークスイッチ、無線通信機器、電子部品などを生産のほか、テクニカルサポートサービスも提供している。
	Kuang-Chi Institute of Advanced Technology	中国（深圳）	（深圳光启高等理工研究院で検索） 2010 年に深セン広汽イノベーションテクノロジー株式会社の持ち株会社である深セン大鵬広汽テクノロジー株式会社によって設立された民間非民間の新しい科学研究機関。

イ ー ・ エ ム ・ ダブリュ	EMW CO., LTD.	韓国	携帯電話アンテナの製造に従事する韓国会社。通信・無線周波数（RF）・材料・薄膜トランジスタ（TFT）・他の事業の 5 つセグメントを通じて、携帯電話・自動車用アンテナの生産、無線周波数識別（RFID）アンテナ・イーサネットブリッジ(E-Bridge)・材料・空気消毒剤・金型等の提供を行う。
	PIVOTAL COMMWARE, INC.	米国（ワシントン州）	5G を展開する通信事業者向けに、ホログラフィックビームフォーミングという技術を使用したミリ波技術、システム、及びアプリケーションを提供している。
	GULA CONSULTING LLC		（詳細不明）

2) 大学等

表 1-21　主要技術保有者（大学等）の概要

大学名		所在地	概要
京都工芸繊維大学	KYOTO INSTITUTE OF TECHNOLOGY	京都府	1949 年に、旧制の京都工業専門学校・京都繊維専門学校を母体として設置された日本の国立の工科系単科大学であり、電子工学、機械工学、情報工学、生物学、化学などの先端科学技術分野から繊維学、建築学、デザイン学まで幅広い分野において、ものづくりを基盤とした「実学」を目指した特色ある教育研究を行っている。中でも、「科学」と「芸術」の融合を強く意識したカリキュラムは国内の学術研究機関としては異色。
山口大学	YAMAGUCHI UNIVERSITY	山口県	長州藩士「上田鳳陽」によって、1815 年に創設された私塾「山口講堂」を起源とし、明治・大正期の学制を経て、1949 年に、地域における高等教育及び学問研究の中核たる新制大学として創設された。

デューク大学	DUKE UNIVERSITY	米国ノースカロライナ州	ノースカロライナ州ダーラムに本部を置く米国の私立大学で、1924 年に設置された。モットーは『Eruditio et Religio 』（ラテン語、意味は『知識と信仰』）。 U.S.NEWS 全米総合大学ランキングにおいて常にトップ 10 入りする世界屈指の名門大学である。米国を代表する大学として、アイビー・プラス、ヒドゥン・アイビー、に数えられる。
マサチューセッツ工科大学	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY	米国	1865 年に設置された、米国マサチューセッツ州ケンブリッジに本部を置く私立工科大学。 5 つのスクール（School）と 1 つのカレッジ（College）があり（これらが日本の大学における「学部」・「研究科」に相当する）、スクールとカレッジには、34 の学部（Department）、学科（Division）、大学院・研究科・専攻（Degree-granting program）などがおかれている。さらには、教育研究プログラムとして WHOI とのジョイントプログラムも実施している。
サンディア国立研究所	NATIONAL TECHNOLOGY & ENGINEERING SOLUTIONS OF SANDIA LLC	米国	米国エネルギー省が管轄する国立研究所。ニューメキシコ州アルバカーキとカリフォルニア州リバモアの 2 箇所に施設がある。核兵器の開発と管理、軍事科学、安全保障の全分野などについて、国家機密に属する先進的な研究が行われている。 現在、研究所施設は政府の財産であるが、管理・運営は請負契約を結んだサンディア社（Sandia Corporation、ロッキード・マーチン社の 100% 出資子会社）が行っている。この運営形態は GOCO (Government - Owned, Contractor - Operated) と呼ばれる。
米国海軍	UNITED STATES NAVY	米国	米国海軍

1.4.3 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤

6.4.1、0 の調査結果をもとに、電磁波、特にマイクロ波領域のメタマテリアルについて、重要性と脆弱性の観点から整理すると以下のようになる。

(1) 重要技術

メタマテリアルは2000年以降に研究が活発化した分野であり、比較的先行しているマイクロ波領域においても様々な応用が提案されているものの、広く利用されている段階には至っていない。アンテナの小型化や電磁ノイズ抑制のための応用は早い段階で進んだものの、メタマテリアルの課題としてキラーアプリケーションがないことも挙げられていた[22]。しかし、CRLH線路利用した増幅器の小型化、フィルタの小型化・高性能化も実用的な段階に至ってきている。

近年では波長よりも薄い二次元パターンにおける局所的な位相の変化によっても様々な制御が可能であることがわかってきたこともあり、メタサーフェスの研究が活発になっている。周波数選択板FSS（Frequency Selective Surface）を利用した基地局アンテナの小型化も実用化レベルに達している。さらに、5Gでより周波数が高く、直進性が強い帯域の電波を利用するための反射板にメタサーフェスを利用する実証も行われている。

こうした実用化が進められているマイクロ波領域、ミリ波領域については波長が長いため、特に二次元のメタサーフェスでは微細加工技術は求められず、作成技術の重要性は低い。むしろ、設計技術が重要である。メタマテリアルの概念と技術の発展には電磁場シミュレーション能力の発展によるところが大きいと指摘されている[23]。

ただし、三次元の材料を作製する場合には、LTCC（セラミック多層基板）のようにノウハウが必要な作成技術もある。さらに、今後より周波数が高い光領域のメタマテリアルを作製しようとする場合は微細加工技術、三次元材料の作成技術が重要となる。

(2) 生産基盤の脆弱性

メタマテリアルの研究においては欧米がリードされているとされ、図 1-23 の 2009 年時点の調査でもその点は確認できる。また、近年は中国が急速に伸びていると指摘されている[24]。

[22]株式会社富士キメラ総研『メタマテリアルにおける国内企業の開発動向と特許状況に関する調査』(2012)

[23] 石原照也『メタマテリアルの研究動向』「光学」48巻12号（2019）

[24] 勉強会での指摘

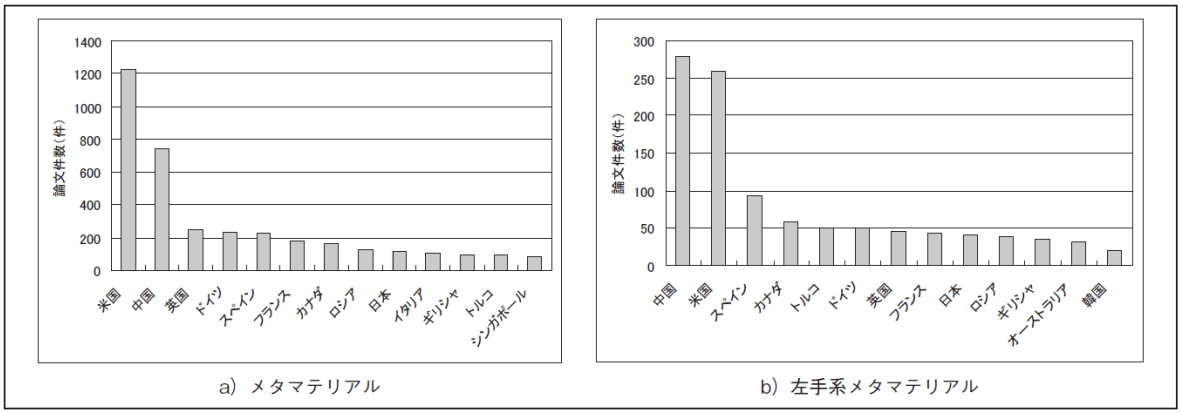


図 1-23　メタマテリアルの論文発表件数の国別比較（2009 年 8 月 12 日検索）

（出所）『情報通信デバイスで注目される左手系メタマテリアル技術』科学技術振興機構「科学技術動向」（2009）

特許出願状況についても米国が強く、中国も伸びているのに対し、日本の存在感は小さい。メタマテリアルの特許出願状況からはボーイング等の防衛企業、特許ファンド、大学が挙がっており、欧米の出願が多いが、中国 KUANG-CHI が 2011 年にまとまった出願を行っており、国際出願（PCT）及び欧州特許ではトップの特許出願者となっている。メタサーフェスの出願については米国が強く、マジック・リープは多くの特許を出願している。我が国では大学の他、電機メーカ、セラミック電子部品メーカが特許を出願しているが、メタマテリアルでもメタサーフェスでも、国内特許以外ではその割合は小さい。

これまでのメタマテリアル、メタサーフェスの特許出願分野ではアンテナ関連が多く、無線通信への適用が考えられるが、移動体通信では基地局、端末共に我が国企業の世界市場でのシェアは限定されている。また、メタマテリアル、メタサーフェスの生産においては汎用的な材料が使用されており、調達に関連した問題は見受けられない。

しかし、今後より波長が短い光領域でのメタマテリアル、メタサーフェスとなると高い微細加工技術が求められるようになる。光領域のメタマテリアル作成等に必要とされるナノ加工技術は安全保障の観点で重要となるとの指摘[25]がある。半導体加工技術と共通の技術として重要である。

また、マイクロ波領域・ミリ波領域においても、我が国が強みを持つ電子部品について、例えば我が国のセラミックメーカが技術を有している LTCC（セラミック多層基板）等の製造技術はメタマテリアル、メタサーフェスを使った電子部品を製造するためにも有効であり、ノウハウが必要な技術として重要である。

さらに、メタマテリアルを活用した回路やシステムを設計できる技術者の確保も重要な課題と考えられる。

[25] 勉強会での指摘

1.5 参考

1.5.1 メタマテリアル勉強会（1）

日時	2020 年 7 月 21 日（水）14:00-16:00
場所・実施方法	経済産業省+オンライン
講師	国立研究開発法人理化学研究所　開拓研究本部　田中メタマテリアル研究室田中拓男主任研究員
講演タイトル	メタマテリアルとは- 究極の光制御をめざして -
講演概要	メタマテリアルによって光をどこまで制御することができるのか、応用分野であるクローキング、フラットレンズ、スカイラジエーター、光吸収体・発色体、赤外分光法も含めて紹介する。ミリ波も含めた電波も同じ電磁波として考えることにより、制御することが可能である。

1.5.2 メタマテリアル勉強会（2）

日時	2020 年 8 月 6 日（木）14:00-16:00	
場所・実施方法	オンライン	
講師	新潟国際情報大学 経営情報学部 情報システム学科 安藤篤也教授	芝浦工業大学 工学部 情報通信工学科 田中愼一教授
講演タイトル	無線通信におけるメタマテリアルのマイクロ波・ミリ波への応用	右手／左手系複合線路のマイクロ波半導体素子回路への応用
講演概要	メタマテリアルは誘電率と透磁率を負値にすることができる人工構造物である。このメタマテリアルのマイクロ波・ミリ波への応用例を 3 つ紹介する。具体的には、複数のメタマテリアル反射板を用いた周波数共用アンテナ、周波数選択板（FSS）によるメタマテリアル反射板薄型化、周波数選択板を壁面に適用したデュアルバンドホーンアンテナを紹介する。	携帯電話が普及し始めてから 5G 時代の今日まで四半世紀が経過した。その間、通信方式の高度化が無線技術の飛躍的な発展を牽引してきたが、それをハード面で支えてきたのが無線回路技術である。とくにアンテナ近傍で電波を直接扱う RF フロントエンド回路に関しては、回路構成の改良の積み重ねが無線機の高性能化や小型化に貢献してきた。一方、回路設計の基本原理は 30 年以上変わっておらず、回路技術の停滞も予見される中、ブレークスルー技術の一つとして左手系電磁波を利用するメタマテリアル（右手／左手系複合線路）技術に注目が集まっている。同技術はこれまでアンテナや受動素子回路への応用が幅広く検討されてきた

		が、半導体素子回路への応用の報告例は少ない。本会合では、講師が検討してきた半導体素子回路ならではのメタマテリアル回路の新しい設計方法と利用方法について論ずる。

1.5.3 メタマテリアル勉強会（3）

日時	2020 年 8 月 11 日（火）15:00-16:30
場所・実施方法	オンライン
講師	龍谷大学先端理工学部 電子情報通信課程　石崎俊雄教授
講演タイトル	マイクロ波通信デバイスにおけるメタマテリアルの応用（メタマテリアルと応用デバイス）
講演概要	メタマテリアル（CRLH 線路）と人工誘電体の原理と基本的性質を説明するとともに、マイクロ波通信用デバイス、特にマイクロ波フィルタへの応用事例について紹介する。

1.5.4 主要参考文献

- D. R. Smith,W. J. Padilla, D. C.Vier, S. C.Nemat-Nasser and S. Schultz: “Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity,”Phys. Rev. Lett., 84 (2000)
- 石原照也『電磁メタマテリアルの研究動向』「光学」36 巻 10 号（2007）
- 真田篤志『領域におけるメタマテリアル・左手系媒質の応用』「光学」36 巻 10 号（2007）
- 日経クロステック「メタマテリアル・アンテナが実用化」（2008）<https://xtech.nikkei.com/it/article/COLUMN/20080819/312937/>
- 『情報通信デバイスで注目される左手系メタマテリアル技術』科学技術振興機構「科学技術動向」（2009）
- 真田篤志『メタマテリアルとは？これで世の中はどう変わるのか??』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.15 冬号（2010）
- 道下尚文『電波を遮断する EBG 構造』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.15 冬号（2010）
- 榊原久二男『メタマテリアルアンテナの種明かし』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.15 冬号（2010）
- 萩行正憲『電磁メタマテリアルの基礎と最近の展開』光物性研究会論文集（2010）
- 佐藤和夫、飯塚英男『左手系メタマテリアルを用いたダイポールアンテナとその応用』「電子情報通信学会論文誌 B」 Vol. J94-B No. 9（2011）
- 株式会社富士キメラ総研『メタマテリアルにおける国内企業の開発動向と特許状況に関する調査』（2012）
- 日本電気株式会社プレスリリース「NEC、メタマテリアルを応用し、無線モジュールの通信性能を向上する世界最小クラスのアンテナを開発 ～ M2M ネットワークを構築するセンサへの活用に最適 ～」（2012）<.http://www.nec.co.jp/press/ja/1203/1902.html >
- 日本電気株式会社プレスリリース「「Draft IEEE802.11ac」対応で国内最小サイズの Wi-Fi

ホームルータ「AtermWF800HP」など 4 機種 8 モデルを発売」（2013）
< https://jpn.nec.com/press/201306/20130611_01.html >
- 堀越智編著『図解メタマテリアル』日刊工業社（2013）
- 鳥屋尾 博　半杭 英二　小林 準人　安藤 利和『メタマテリアルを用いた電磁ノイズ抑制技術とその実用化』「NEC 技報」Vol.66 No.2（2014）
- Filippo Capolino 編、萩行正憲、石原照也、真田篤志監訳『メタマテリアルハンドブック基礎編』講談社（2015）
- Filippo Capolino 編、萩行正憲、石原照也、真田篤志監訳『メタマテリアルハンドブック応用編』講談社（2015）
- 真田篤志『メタマテリアルの新展開』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.33 夏号（2015）
- 宇野亨『メタマテリアル設計解析のための電磁界解析法』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.33 夏号（2015）
- 道下尚文『メタマテリアルのアンテナ応用』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.33 夏号（2015）
- 鳥屋尾 博、小林 準人、安藤 利和、半杭 英二『メタマテリアル技術の EMC 応用と実用化』電子情報通信学会「通信ソサイエティマガジン」No.33 夏号（2015）
- 田中拓男『光メタマテリアル入門』丸善出版（2016）
- 堀俊和『メタ・サーフェスの設計技術とアンテナ・電波への応用』「電子情報通信学会論文誌 B」 Vol. J99-B No. 9（2016）
- 日本電気株式会社、日本航空電子工業株式会社プレスリリース「NEC と日本航空電子工業、メタマテリアルを活用した世界最小クラスの高性能アンテナを開発」（2018）
<.https://jpn.nec.com/press/201810/20181009_02.html>
- NTT ドコモ株式会社プレスリリース「（お知らせ）世界初、メタマテリアル技術を適用した反射板による、28GHz 帯の 5G エリア拡大の実証実験に成功」（2018）
< https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2018/12/03_00.html>
- 石原照也『メタマテリアルの研究動向』「光学」48 巻 12 号（2019）
- NTT ドコモ株式会社プレスリリース「（お知らせ）世界初、28GHz 帯 5G 電波の透過・反射を動的制御する透明メタサーフェス技術の実証実験に成功 -高い透明性で景観を損ねずに柔軟な 5G エリアの拡大を実現 - 」（2020）< https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2020/01/17_01.html>
- 株式会社ミライトニュースリリース「5G エリア構築用メタマテリアル技術を適用した反射板「ECHO」の屋内実証験　屋内実証験　を実施（2020）
<https://www.mrt.mirait.co.jp/wp-content/uploads/20200120_02.pdf >
- Marco Di Renzo et al. “Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces: How it Works, State of Research, and Road Ahead” <https://arxiv.org/abs/2004.09352>
- NTT ドコモ株式会社プレスリリース「（お知らせ）メタサーフェス技術により窓ガラスの電波レンズ化に世界で初めて成功-屋外から屋内へ効率的にミリ波を誘導-」（2021）
< https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2021/01/26_00.html>

1.5.5 用語・略称

本報告書での表記	正式名称・意味など
SRR	分割リング共振器（Sprit-Ring Resonator）。
CRLH 線路	右手/左手系複合(composite right/left-handed)線路。複合右手系左手系線路。右手系と左手系の両方の性質を有する線路。
EBG 特性	EBG（Electromagnetic Band Gap）特性。 特定の帯域の周波数の電磁波のみ透過し、それ以外を反射する性質。
FSS	周波数選択板（Frequency Selective Surface）。 EBG 特性を利用して、特定の周波数のみ選択的に透過する板。
LTCC	セラミック多層基板。

2. RF 用 GaN デバイスの技術動向及びサプライチェーン調査

2.1 概要

GaN-HEMT デバイスについて、講師を招いた勉強会、文献調査を行った。

GaN は、発光素子分野で、高輝度な青色 LED や緑色 LED、青紫色半導体レーザー（Blu-ray Disc）が製品化された。GaN の材料定数において Si や GaAs に比べてバンドギャップが大きい、絶縁破壊電界が大きい、電子の飽和速度も高いと言った特性からから高出力高周波素子として横型 GaN デバイスである GaN HEMT が開発された。

AlGaN/GaN HEMT の基本構造は、GaN チャネルの上に、AlGaN の電子供給層を乗せ、ソース、ドレイン、ゲート電極を設置した構造である。GaN は、AlGaN 層にドーピングを行わなくても分極で電子が強制的に移動し、高移動度かつ高密度な 2DEG[26]が発生する（分極ドーピング）ため、RF デバイスに適している。

GaN デバイスの場合、耐圧とコラプス [27]はトレードオフの関係があり、高電圧大電流動作を阻害する。そのため、フィールドプレート（FP）の設置により、ゲート端の電界集中緩和を起こし耐圧性能を向上させている。

AlGaN/GaN HEMT は、周波数が高くなると GaN は微細化できていないので出力は落ちていく、Si CMOS に直接作り込むことができない、ゲート電極に電圧を加えないとオフとならないノーマリオン動作、逆方向耐圧 [28]といった課題がある。

このような課題が解決すれば、4G/LTE の基地局では、GaAs から GaN への置き換えが進むと見られ、5G 通信対応基地局で GaN-HEMT の使用や、ポスト 5G ではミリ波帯で超高速大容量通信用途での適用が期待される。

GaN デバイスは、デバイス単体で、高出力、高周波数を要求される場合、他のデバイスと比較において高い特性（出力飽和電力では、GaN が一番高出力）が得られることが期待される。

一方、Si CMOS 技術の進展により、Si デバイスが、GaN デバイスより低出力であるにもかかわらず、Massive MIMO （Massive multiple-input and multiple-output）アンテナのような素子当たりの出力が低い場合の SiGe（Si CMOS と相性が良い）との組合せや、フェーズドアレイアンテナのような多数のデバイスの組合せ（1 デバイスあたりの要求出力は低出力）により、現時点ではデバイス市場で主流となっている。

GaN 横型電子デバイスは、ノーマリオンデバイスであり、ノーマリオフ化技術が確立すればその適用範囲は拡大する。

GaN デバイスは、現状高価格であり、導入普及のためには更なる低コスト化が望まれる。

---

[26] 二次元電子ガス（2DEG：two dimensional electron gas）は、半導体中で二次元状に電子が分布する状態。半導体中に電子が充満（電子ガス）といい、電子ガスが通常、二次元状に分布する。

[27] デバイスに大電流かつ高電圧のストレスを印加することでオン抵抗が増加する現象。電圧ストレスにより加速された電子がデバイス内部の結晶欠陥や膜界面に存在するトラップに捕獲されることに起因。

[28] スイッチング時にオン抵抗が一時的に増大してしまう「電流コラプス」（電流が一時的に低下する）が起こる現象。

2.2 背景と目的

我が国の産業競争力の維持及び適切な貿易管理を図るため、内外の技術研究・開発状況等についての情報収集を通じて、技術基盤の実態を把握することを目的とした。

具体的には、経済産業省貿易経済協力局貿易管理部安全保障貿易管理政策課技術調査室と協議の上で、ロボットテクノロジー分野、バイオメディカルテクノロジー分野、マテリアルテクノロジー分野等に係る 10 程度のテーマについて、文献や公表されている情報等を活用し、要素技術の内外における蓄積状況と、当該要素技術の保有者の状況等を調査し、技術の特性や技術の保有者に係る経営環境の面等から、当該技術を支える技術基盤についての評価を実施した。

ここではテーマの一つとして GaN デバイスを取り上げる。デバイス材料の GaN は材料定数において Si や GaAs に比べてバンドギャップが大きい、絶縁破壊電界が大きい、電子の飽和速度も高く、高い周波数での利用が可能となる。1994 年、米国で世界初の GaN トランジスタが開発されて以来、RF デバイスとして横型 GaN デバイスである GaN HEMT[29]の開発、スイッチングデバイスとして縦型デバイスの開発について、我が国を始め欧米としのぎを削っている状況である。

GaN デバイスは、高周波、高出力で Si や GaAs に対して優位性があり、軍事用レーダ、気象用レーダ、5G 基地局等への活用が期待され、4G/LTE の基地局で GaAs から GaN への置き換えが進むと見られ、5G 通信対応基地局で GaN-HEMT の使用や、ポスト 5G ではミリ波帯で超高速大容量通信用途が期待される GaN HEMT を中心に研究動向を整理する。

2.3 調査方法

RF デバイスとして GaN HEMT の実用化等の技術的成熟度を分析し、現状 RF デバイスの中で市場占有率の高い Si CMOS を用いたデバイス（5G 通信における Si CMOS 実装フェーズドアレイ無線機）の技術開発の状況も把握し、GaN HEMT の実用化導入、GaN RF デバイスの国内の技術蓄積状況を知るため、勉強会、文献調査を実施した。

2.3.1 勉強会

GaN デバイスの研究者及び Si CMOS 実装フェーズドアレイ無線機の研究者を講師として招き、経済産業省またはオンラインで勉強会を実施した。勉強会は合計 2 回（講師 3 名）実施し、講師の講演と質疑応答を実施した。勉強会の概要は 2.5 に示している。

2.3.2 文献調査

書籍、論文・総説、企業のプレスリリース等の公開情報による文献調査を行った。

[29] HEMT（High Electron Mobility Transistor）：高電子移動度トランジスタ。

2.4 調査結果

2.4.1 技術動向

(1) GaN の材料定数

GaN は、材料定数において Si や GaAs に比べてバンドギャップが大きい、絶縁破壊電界強度が大きい、電子の飽和速度も高い、と言った特性からから高出力高周波素子としての開発が期待される。

表 2-1　各種半導体材料の物性

項目	Si	GaAs	4H-SiC	GaN	β-Ga_2O_3
バンドギャップ（eV）	1.11	1.43	3.26	3.4	4.5～4.9
電子移動度（cm^2/Vs）	1350	8000	1200	1200	300
飽和速度（cm/s）	1×10^7	1×10^7	2×10^7	2×10^7	$1.8\sim2\times10^7$
絶縁破壊電界強度（MV/cm）	0.3	0.4	2.8	～3.5	～8（推定）
誘電率	11.8	12.8	9.7/10.2	9.0	10
バリガー性能指数	1	15	450	900	3500

（注）バリガー性能指数：パワーデバイスの高周波動作における材料固有の限界性能指標、ドリフト層の抵抗を小さくすることができる可能性がある。
（出所）勉強会資料より三菱総合研究所が（出所）を元に作成

GaN はバンドギャップが大きいので高温でも動く性質（GaN は 400℃まで、Si は 200℃まで）がある。高温動作への対応は、冷却ファンや放熱用フィンが不要となり機器の小型化や低コスト化に寄与する可能性がある。

GaN の絶縁破壊電界強度は、Si、GaAs より一桁大きく 10 倍の大電圧を同じ寸法の素子で扱える。トランジスタは、高電圧動作の方が効率を理論限界に近づけやすく線形性を確保しやすいため、高電圧動作の GaN は、増幅器として歪みを低く抑え動作帯域幅を広げることが可能となる。

GaN は、飽和電子速度が高く、GaN は、AlGaN（窒化アルミニウムガリウム）などの異種材料とヘテロ接合を形成して HEMT 構造を実現できることから、高周波動作（高速に電子が移動）に適している。

1) GaN 横型電子デバイス（AlGaN/GaN HEMT）

AlGaN/GaN HEMT の基本構造は、GaN チャネルの上に、AlGaN の電子供給層を乗せ、ソース、ドレイン、ゲート電極を設置した構造である。GaN は、AlGaN 層にドーピングを行わなくても分極で電子が強制的に移動し、高移動度かつ高密度な 2DEG が発生する（分極ドーピング）ため、RF デバイスに適している。

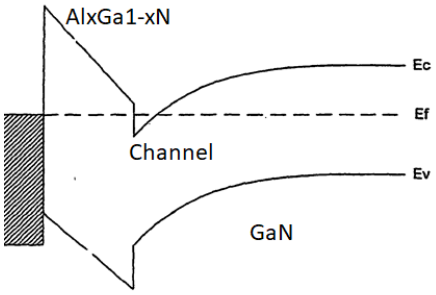


図 2-1　AlxGa1-xN/GaN の分極ドーピング

（注）ドーピングを行わずとも AlGaN と GaN の自発分極＋ピエゾ分極の差に対応する電子が界面（GaN 側）に誘起される。

（出所）O. Ambacher et al.: JAP 85, 3222 (1999)

RF デバイスにおいて、AlGaN/GaN HEMT は、Si-MOSFET や AlGaAs/GaAs HEMT を、電子移動度、耐圧性、耐熱性及び価格で比較すると、Si-MOSFET の性能は他の二つに比べて低いが価格が低い点が特徴である。AlGaAs/GaAs HEMT は高い電子移動度が特徴である。AlGaN/GaN HEMT は、高電子移動度、高耐圧、高温動作が特徴である。

AlGaN/GaN HEMT の低コスト化については、GaN on Si の製品化が進み、低コスト化が実現すれば各種用途への活用が期待される。

GaN デバイスの場合、耐圧とコラプスはトレードオフの関係があり、高電圧大電流動作を阻害する。保護膜のないデバイスは、耐圧は高いが、電流コラプスが起き高速での変調が難しい。一方、SiN 保護膜があるデバイスは、変調は容易であるが、耐圧が低い。そのため、フィールドプレート（FP）の設置により、ゲート端の電界集中緩和を起こし耐圧性能を向上させた。ゲート電圧を変えることにより、FP 下部のキャリア濃度の変調が起こるため電流コラプスも発生しなくなった。

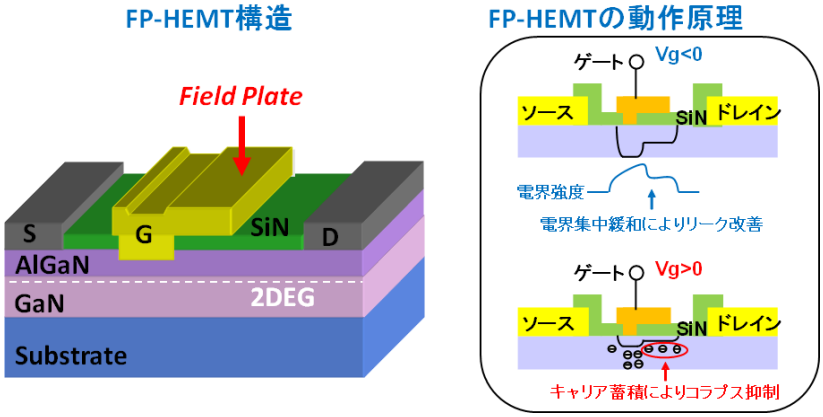


図 2-2　FP-HEMT 構造と動作原理

（出所）Y. Ando et al., IEEE Electron Device Lett., vol. 24, pp. 289, 2003.

フィールドプレート長を長くすると耐圧は良くなるが、ゲートドレイン間の容量が増えて利得が下がるという課題がある。この課題を解決するために考案されたのが、デュアルフィールドプレート構造である。FP HEMT の上に窒化膜の保護膜をかぶせ、その上にさらにフィールドプレートを乗せ、この FP をソース電極とつなげるという構造である。同構造により、ゲートとドレインの間の電界が FP により遮蔽されるため、ゲートドレイン間の容量が

下がって利得が向上する。デュアルフィールドプレート構造により、GaN デバイス構造の原型が完成した。

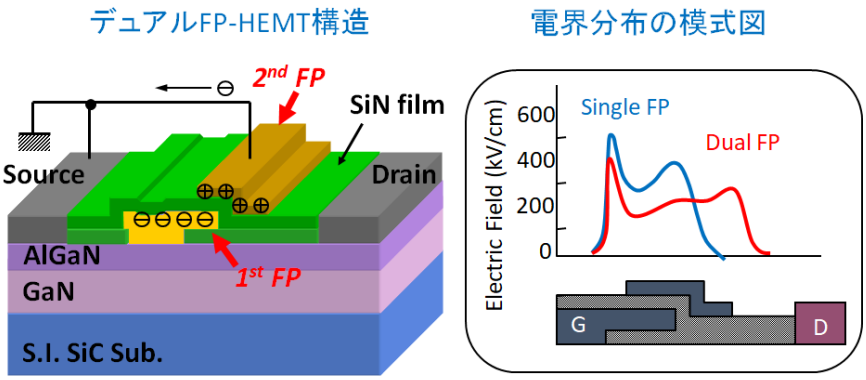


図 2-3　デュアルフィールドプレート構造

（出所）Y. Ando et al., presented at IEDM 2005.

2) GaN 横型電子デバイスの課題

- ノーマリオフ化

GaN-HEMT のノーマリオフ化は、ヘテロ界面に正電荷発生してドーピング無しで 2DEG 発生するため、GaN-HEMT は本質的にノーマリオフ化が難しい。現状、RF 用 GaN-HEMT のノーマリオフ化は製品レベルでは実現していない。

パワーデバイスにおいても同様に、GaN のノーマリオフ化については課題となっており、複数のアプローチの研究（無極性面 GaN、ジャンクションゲート構造、MOS ゲート構造、AlGaN バッファ構造）が進められている。

2.4.2 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤

RF-GaN デバイス世界市場規模は 2024 年に 20 億ドル程度に達すると考えられ、通信インフラと防衛関連が牽引する。

RF GaN の市場予測では、GaN on SiC のターゲットは、サブ 6（6GHz 未満の周波数帯）とミリ波の基地局である。GaN on Si の潜在ターゲットは 5G 端末（技術的な課題があるため、実現性は不透明）である。次世代 GaN（ダイアモンド、GaN 基板）は 2025 年以降の展開を想定している。

5G/6G 基地局では、基地局通信はミリ波を利用するが、ミリ波は直進性が高い電波であり、移動体に向けての発射が必要となる（ビームフォーミング技術）。アンテナ数が少ないとマクロセル、アンテナ数が多いとスモールセルとなる。高い周波数で動作させるためゲート長を微細化すると、Si ではどうしてもパワーが出ないが GaN はパワーが出る。ミリ波マクロセル [30]は多数素子で高出力を達成するフェーズドアレイ化等を考えない限り GaN が本命となると考えられる。アンテナ/送受信回路間のミリ波減衰を抑制する技術が重要である。

[30] マクロセル：セルとは移動通信システムにおいて 1 つの基地局アンテナがカバーするエリア。マクロセルは半径 500m程度以上の比較的広いセル。

端末では、5G では、Si ベースで普及すると予想されているが、6G では、GaN のノーマリオフ化が実現すれば、GaN デバイスの利用もあるかもしれない。

100GHz 以上、1W 以上の領域は GaN でしか実現できない領域で、展開先としては 6G 基地局、衛星通信、軍事レーダが想定される。

課題としては、ノーマリオフ化技術と電流コラプス対策のためのフィールドプレートの最適化技術が必要である。

2.5 参考

2.5.1 GaN デバイス勉強会（1）GaN デバイス

(1) 勉強会概要

日時	2020 年 8 月 5 日（水）9:30-10:45
場所・実施方法	経済産業省+オンライン
講師	須田　淳　名古屋大学大学院工学研究科電子工学専攻教授、名古屋大学エネルギー変換エレクトロニクス　実験施設（C-TEFs）施設長、副総長補佐、GaN 研究戦略室長
講演タイトル	GaN デバイスの研究開発の現状と将来展望-
講演概要	半導体材料・デバイスの全体像について述べた後、各種半導体の得意分野の紹介、GaN 光デバイスおよび電子デバイスの研究開発の経緯、現状、将来展望について解説した。-

2.5.2 GaN デバイス勉強会（2）RF 用 GaN-HEMT

(1) 勉強会概要

日時	2020 年 8 月 5 日（水）10:50-12:15
場所・実施方法	経済産業省+オンライン
講師	安藤　裕二　名古屋大学　大学院工学研究科 電子工学専攻特任教授
講演タイトル	RF 用 GaN-HEMT 研究の来し方と行く末-
講演概要	GaN-HEMT は現在の RF 用 GaN デバイス市場の主力である。本講演では、GaN-HEMT に関して講師が企業で行った研究内容と内外の研究動向を紹介し、RF 用 GaN-HEMT 研究の歩みと行方について議論した。

2.5.3 GaN デバイス勉強会（3）Si CMOS 実装フェーズドアレイ無線機の技術開発

(1) 勉強会概要

日時	2020 年 9 月 15 日（火）15:00-17:00
場所・実施方法	経済産業省+オンライン

講師	岡田　健一　東京工業大学 工学院 電気電子系 教授
講演タイトル	5G に用いるミリ波フェーズドアレイ無線通信技術
講演概要	5G 通信に用いるミリ波帯フェーズドアレイ無線機の基本原理について、数値例を示しつつ解説する。CMOS による実装を中心に、フェーズドアレイ無線機の内部構成や、GaN の導入について説明した。

2.5.4 主要参考文献

(1) 技術調査

勉強会資料の他、以下。

- Y. Ando et al., IEEE Electron Device Lett., vol. 24, pp. 289, 2003.
- J.Pang, et al., ISSCC 2019
- J.Pang, et al., VLSI Circuite 2020

2.5.5 用語・略称

本報告書での表記	正式名称･意味など
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
2DEG	two dimensional electron gas
FP	Field Plate
HEMT	High Electron Mobility Transistor
LTE	Long Term Evolution
Massive MIMO	Massive multiple-input and multiple-output
MOSFET	metal-oxide-semiconductor field-effect transistor
RF	radio frequency

3. ポリイミド/モノマーのサプライチェーン調査

3.1 概要

ポリイミド/モノマーに関して、文献調査、インタビュー調査にもとづきサプライチェーン調査を行った。

ポリイミドは繰り返し構造単位内にイミド結合（1 級アミンまたはアンモニアにカルボニル基が 2 つ結合した構造）を有する高分子材料と定義される。高分子材料の中でも最高レベルの熱的、機械的、化学的（耐薬品性）性質を持つスーパーエンプラとして知られ、フレキシブルプリント基板、機械部品、電池材料等に用いられている。

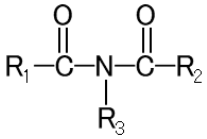


図 3-1　イミド結合（1 級アミン、アンモニアは上記 R_3 が H）

一般にポリイミドは等モルの酸二無水物とジアミンの二種類のモノマーを原料とし、極性溶媒中で混合して反応させ、中間体であるポリアミド酸の溶液とし、加熱処理による脱水閉環によるイミド化で得られる。原料である酸二無水物とジアミンについては、それぞれ様々な種類のモノマーが提案されているが、実用化されているモノマーの組合せとしては、PMDA/ODA、BPDA/ODA、BPDA/PPD、BPDA/PEPA/1,3-bis(4-aminophenoxy)benzene/1,3 diaminobenzen、ODPA/ODA 等が知られている。

モノマーの組合せとして、PMDA/ODA がポリイミドの中で現在最も販売量が多く、東レ・デュポン、PI Advanced Materials（旧 SKC Kolon）、カネカ等が製造しており、また中国でも 10 社程度の参入企業があると言われている。このようにポリイミドの中には品質よりも価格競争化していると考えられるものがあるが、ハイエンドのポリイミドについては日本企業が強みを有している。日本企業の強みの源泉は、分子設計、有機合成、分析・評価等の基礎化学にもとづく新材料の提案力と高品質製造を可能とする長年蓄積された生産技術・ノウハウであると考えられ、これらの強みをポリマーメーカだけではなく、国内のモノマーメーカも備えていることも重要となっている。

日本企業にとってのリスクとしては、海外の技術力が向上して新興企業が参入することにより PMDA/ODA と同様に他のポリイミドも品質よりも価格競争化していく可能性があることが挙げられる。

3.2 背景と目的

ポリイミドは高分子材料の中で最高レベルの熱的、機械的、化学的（耐薬品性）性質を持つスーパーエンプラであり、軽量性、柔軟性も兼ね備えることから、電気絶縁材（フレキシブルプリント配線板等）や半導体素子の表層保護膜、機械部品、人工衛星の温度制御膜やソーラーセル等の航空・宇宙用途のように、幅広い分野で用いられている。また、輸

出貿易管理令の先端素材に含まれるものもある。

ポリイミドは 1960 年代に米国 DuPont 社が初めて工業化に成功した後、米国や日本を中心に研究開発が行われ、製品化されてきた素材であるが、近年は中国や韓国でも研究開発が活発に行われている。

そこで、ポリイミドならびにそのモノマーに関して、要素技術の内外における蓄積状況と、当該要素技術の保有者の状況等を調査し、技術の特性や技術の保有者に係る経営環境の面等から、当該技術を支える生産基盤について分析を行った。

3.3 調査方法

ポリイミド/モノマーの市場動向と主要なプレイヤーを整理し、生産基盤について分析を行うため、文献調査、インタビュー調査、特許調査を実施した。

3.3.1 文献調査

書籍、論文・総説、企業のプレスリリース等の公開情報による文献調査を行った。

3.3.2 インタビュー調査

ポリイミド生産に関連する企業へのインタビュー調査を実施した。

3.3.3 特許調査

特許データベースによる検索を行い、各国の特許出願状況、主要な特許出願者について調査を行った。

3.4 調査結果

3.4.1 技術動向

(1) ポリイミドの特徴

ポリイミドはイミド結合を含む高分子であり、1960 年代から工業的に利用されている素材である。図 3-2 に示すとおり、高分子材料の中で最も耐熱性が高い素材であり、フレキシブルプリント基板をはじめとする電子部品、機械部品、電池材料等として用いられている。

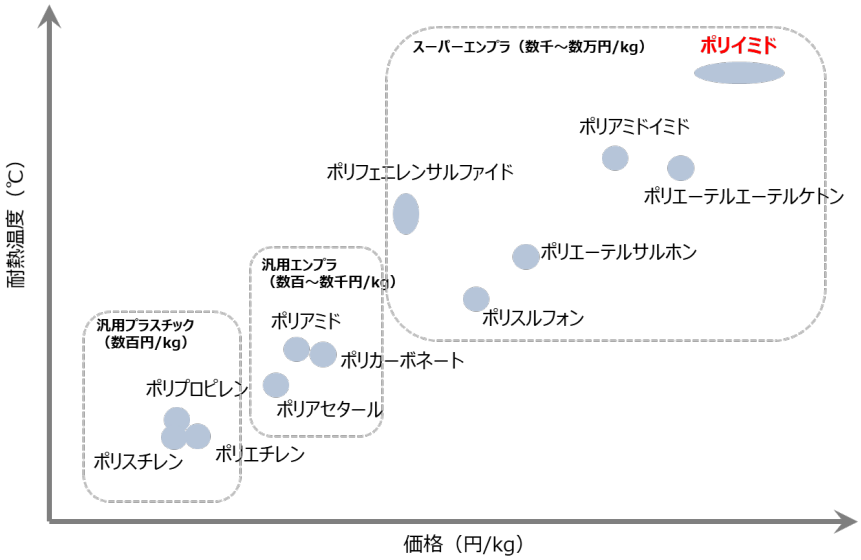


図 3-2　工業的に用いられている高分子材料とポリイミドの比較 [31]

1) 主要なポリイミドの種類と製造方法

一般にポリイミドは等モルの酸二無水物とジアミンの二種類のモノマーを基本原料とし、極性溶媒中で混合して反応させ、中間体であるポリアミド酸の溶液とし、加熱処理による脱水閉環によるイミド化で得られる。原料である酸二無水物とジアミンについては、それぞれ様々な種類のモノマーが提案されている。例えば、初めて工業化されたポリイミドである米国 DuPont 社の Kapton は、ピロメリット酸二無水物（PMDA）とジアミノジフェニルエーテル（ODA）を原料として図 3-3 のように合成され、-269～+400℃まで優れた機械的・電気的・耐性などの特性を有する。また、宇部興産が開発したポリイミドである Upilex は、ビフェニルテトラカルボン酸二無水物（BPDA）とジアミン（ジアミンは図 3-4 に示すとおりグレードによって異なる種類が用いられる）を原料とし、引張弾性率や低熱膨張性に優れる。その他、ポリイミドのモノマーとして、二種類ではなく第三の成分の配合なども行われており、多様な特性の製品が開発されている。極性溶媒には主に N-メチル-2-

[31] （出所）富士キメラ総研　「『ポリイミド vs. 高耐熱樹脂』応用製品市場の将来展望」2019http://www.tsukasa-co.net/knowledge html、http://enpla.jp/enpla/bunrui_super html、を基に作成

ピロリドン（NMP）が用いられるが、N,N-ジメチルホルムアミド（DMF）や N,N-ジメチルアセトアミド（DMAc）、あるいはこれらの混合物が用いられることもある。[32]

ポリイミドは耐熱性、電気・機械特性に優れるが、用途に応じてこれらの特徴をより高める、あるいは成形性を改善するため、モノマーの組合せや純度等の工夫が行われている。例えば、ポリイミドの代表的な性質である耐熱性は、モノマーの組合せによって変化する。また、構造的な対称性のよいモノマーを選択して得られるポリマーの結晶性を高める、モノマー純度を高めて得られるポリマーの分子量を大きくすることで耐熱性が向上するなどの例が報告されており、原料の組合せや純度がポリイミドの性質に影響する。[33]

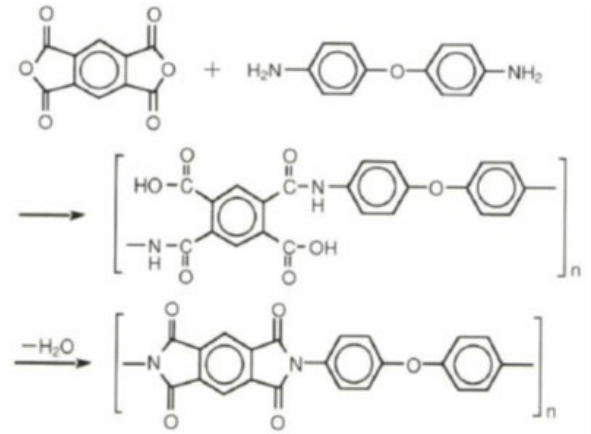


図 3-3　DuPont 社の Kapton の製造方法 [34]

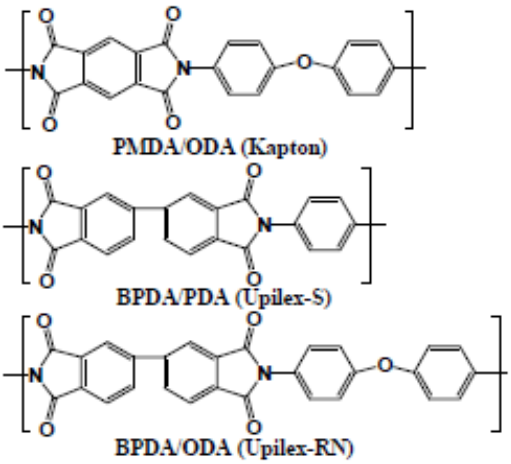


図 3-4　上市されているポリイミドの例 [35]

[32] 特許第 6661206 号（2020 年）

[33] 村山宏、「ポリイミドにおける最近の技術動向」、サーキットテクノロジー（1987 年）

[34] 今井淑夫、「ポリイミドの構造と物性」、エレクトロニクス実装学会誌（2001 年）

[35] 安藤慎治、「ポリマー系耐熱・絶縁材料物性の基礎－ポリイミドを中心に－」、材料の化学と工学（2012 年）

3.4.2 技術保有者

(1) 特許分析

国際（PCT）、日本、中国特許についてポリイミドの特許出願動向分析（2020 年 10 月時点）を行った。

全体傾向としては以下のとおりである。

- 2000～2020 年の PCT 出願では、米国と日本からの出願が多い。韓国、中国からの出願件数も 2000 年代後半以降に増えているが、日米と比較すると件数は少ない。
- 日本国内特許の出願は国内からがほとんどを占める。全体の出願件数は 2000～2020 年の間、ほぼ横ばいである。
- 中国特許の出願件数は、過去 20 年の間に急増しており、特に 2000 年代後半から中国による研究開発が活発化している。

特許検索条件としては、polyimide またはポリイミドをキーワードとし、有機高分子化合物に関わる国際特許分類 IPC08 で絞り込みを行った。なお、ポリイミドはそのモノマーの選択が重要であり、モノマーについての特許検索が、polyimide またはポリイミドをキーワードとした場合で十分かを確認した。キーワードにモノマー名を用いて検索した場合は、そのモノマーを用いて合成されるポリイミドに関する特許が多く抽出され、polyimide またはポリイミドをキーワードとした場合で抽出できる結果となった。網羅的にポリイミドに関する特許を抽出する上では、キーワードに polyimide またはポリイミドを用いることで、モノマーをキーワードとしなくても十分と判断した。

1) 国際出願（PCT）

以下の条件で検索を行った。

- キーワード: “polyimide”
- IPC : C08（有機高分子化合物 ; その製造または化学的加工 ; それに基づく組成物）、下位分類含む
- 対象：国際 PCT 出願
- 出願日：2000 年以降
- 調査日：2020/10/20

a. 検索結果

合計 3,326 件

b. 出願年と出願人国

ポリイミドは米国で工業化が始まった経緯もあり、2000 年代前半までは米国からの出願が多い。2000 年代後半以降は日本からの出願が増えている。

韓国からの出願は 2005 年頃から徐々に増え、中国からの出願も 2010 年代から増えているが、日米からの出願と比較すると件数は少ない。

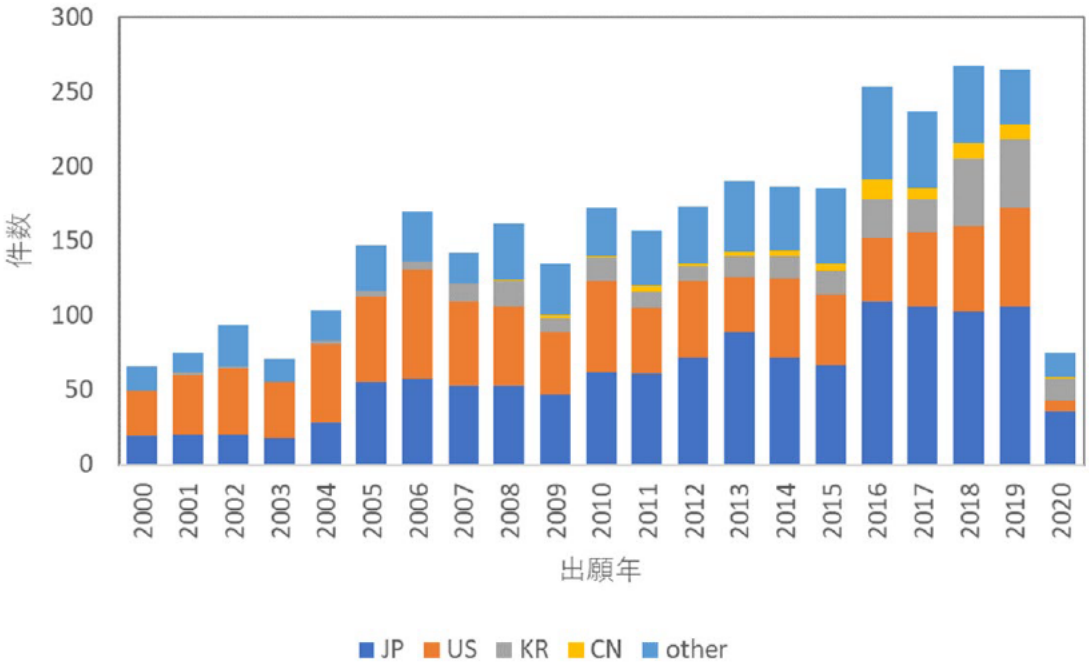


図 3-5　ポリイミドに関する国際 PCT 出願件数の推移

c. 出願人ランキング

ポリイミドに関する国際 PCT 出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキングを見ると、日本、米国、韓国企業が上位に入る

表 3-1　ポリイミドに関する PCT 出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	NISSAN CHEMICAL CORPORATION	JP	243
2	UBE INDUSTRIES, LTD.	JP	107
3	KANEKA CORPORATION	JP	92
4	E. I. DU PONT DE NEMOURS AND COMPANY	US	89
5	GENERAL ELECTRIC COMPANY	US	78
6	3M INNOVATIVE PROPERTIES COMPANY	US	77
7	LG CHEM, LTD.	KR	73
8	TORAY INDUSTRIES, INC.	JP	72
9	FUJIFILM CORPORATION	JP	62
10	MITSUBISHI GAS CHEMICAL COMPANY, INC.	JP	61
11	SABIC GLOBAL TECHNOLOGIES B.V.	NL	60
12	SKCKOLON PI INC.	KR	57
13	SABIC INNOVATIVE PLASTICS IP B.V.	NL	56
14	KOLON INDUSTRIES, INC.	KR	37
15	MITSUI CHEMICALS, INC.	JP	35
16	BASF SE	DE	34
17	EXXONMOBIL CHEMICAL PATENTS INC.	US	25

	筆頭出願人	国	出願件数
18	ARKEMA FRANCE	FR	22
19	SUMITOMO CHEMICAL COMPANY, LIMITED	JP	22
20	HITACHI CHEMICAL DUPONT MICROSYSTEMS, LTD.	JP	21
21	MOMENTIVE PERFORMANCE MATERIALS INC.	US	20
22	NIPPON STEEL CHEMICAL CO., LTD.	JP	20
23	CYTEC TECHNOLOGY CORP.	US	19
24	UOP LLC	US	18
25	POLYONE CORPORATION	US	17
26	RHODIA OPERATIONS	FR	17
27	FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.	DE	16
28	ASAHI KASEI KABUSHIKI KAISHA	JP	15
29	MITSUBISHI CHEMICAL CORPORATION	JP	15
30	ROLIC AG	CH	15

2) 日本国内特許出願

以下の条件で検索を行った。

- キーワード：”ポリイミド”
- IPC：C08（有機高分子化合物；その製造または化学的加工；それに基づく組成物）、下位分類含む
- 出願日：2000 年以降
- 調査日：2020/10/21

a. 検索結果

合計　9,667 件

b. 出願年と出願人国

日本国内特許の出願件数は国内プレイヤーからがほとんどを占める。全体の出願件数は2000～2020 年の間、ほぼ横ばいとなっている。

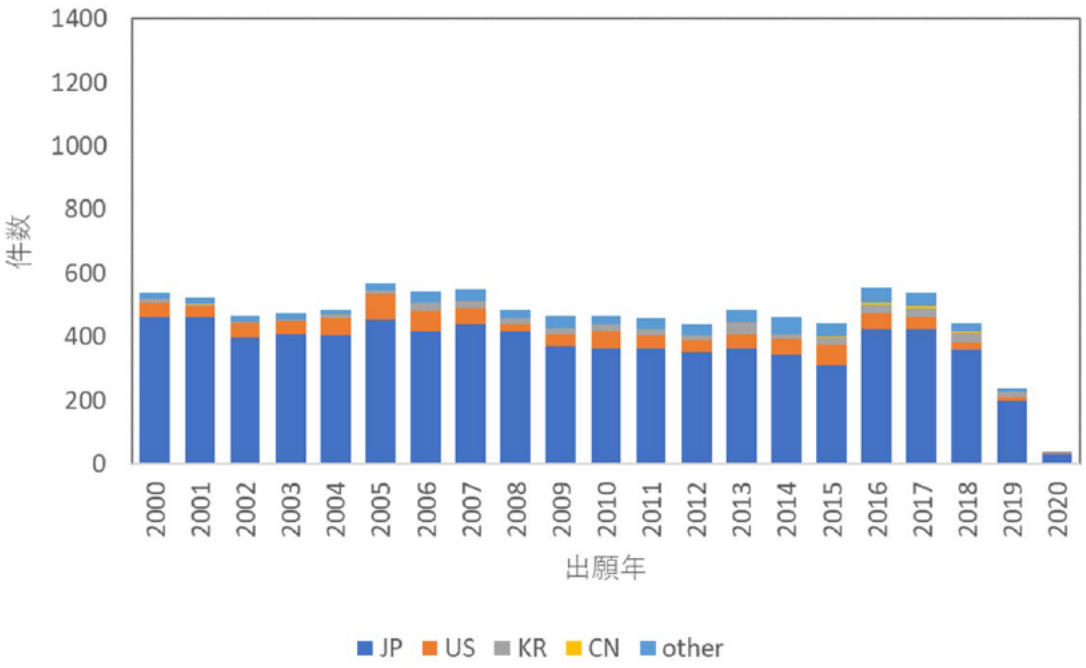


図 3-6　ポリイミドに関する日本国内特許の出願件数の推移

c. 出願人ランキング

ポリイミドに関する国内の特許出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキング上位は、17 位の米国 DuPont、18 位の韓国 LG ケム、25 位の米国 GE 以外は全て日本企業である。

表 3-2　ポリイミドに関する日本国内特許の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	株式会社カネカ	JP	530
2	東レ株式会社	JP	425
3	宇部興産株式会社	JP	398
4	日産化学株式会社	JP	398
5	ＪSR 株式会社	JP	305
6	昭和電工マテリアルズ株式会社	JP	279
7	東洋紡績株式会社	JP	262
8	東レ・デュポン株式会社	JP	247
9	日東電工株式会社	JP	231
10	三井化学株式会社	JP	231
11	旭化成株式会社	JP	192
12	日鉄ケミカル&マテリアル株式会社	JP	170
13	住友ベークライト株式会社	JP	163
14	信越化学工業株式会社	JP	141
15	日立化成デュポンマイクロシステムズ株式会社	JP	138

	筆頭出願人	国	出願件数
16	富士ゼロックス株式会社	JP	133
17	イー・アイ・デュポン・ドウ・ヌムール・アンド・カンパニー	US	126
18	エルジー・ケム・リミテッド	KR	124
19	富士フイルム株式会社	JP	119
20	帝人株式会社	JP	112
21	積水化学工業株式会社	JP	92
22	大日本印刷株式会社	JP	89
23	住友化学株式会社	JP	87
24	三菱瓦斯化学株式会社	JP	84
25	ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ	US	79
26	チッソ株式会社	JP	74
27	日本化薬株式会社	JP	70
28	DIC 株式会社	JP	66
29	ユニチカ株式会社	JP	57
30	株式会社リコー	JP	55

3) 中国特許出願

以下の条件で検索を行った。

- キーワード：”polyimide”
- IPC：C08（有機高分子化合物；その製造または化学的加工；それに基づく組成物）、下位分類含む
- 対象：中国特許、中国実用
- 出願日：2000 年以降
- 調査日：2020/10/21

a. 検索結果

合計　9,656 件

b. 出願年と出願人国

中国特許出願件数は 2000 年以降、増えている。日本企業も継続的に中国での出願を行っているが、特に中国からの出願が 2000 年代後半から活発化している

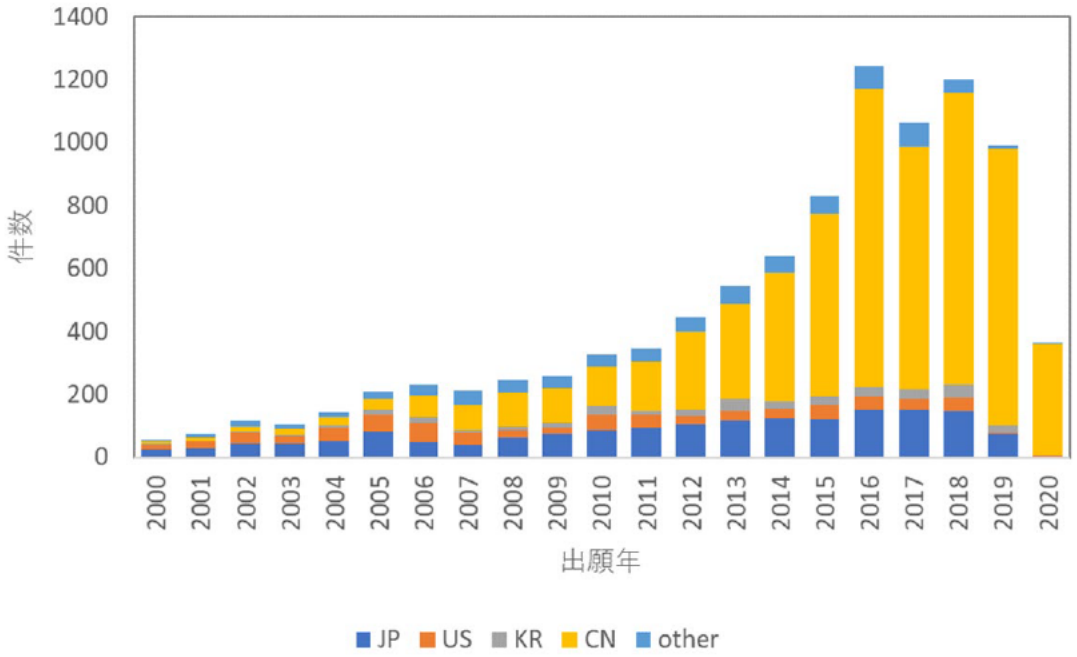


図 3-7　ポリイミドに関する中国特許・実用出願件数の推移

c. 出願人ランキング

ポリイミドに関する中国特許・実用出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキングを見ると、日本、中国、韓国企業が上位に入る。中国のプレイヤーは大学が多い。

表 3-3　ポリイミドに関する中国特許・実用出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	NISSAN CHEMICAL CORP	JP	301
2	DONGHUA UNIVERSITY	CN	191
3	JSR CO LTD	JP	119
4	UBE INDUSTRIES LTD.	JP	112
5	GUANGDONG SHENGYI SCI TECH CO	CN	101
6	TORAY INDUSTRIES	JP	98
7	JILIN UNIV.	CN	96
8	CHINESE ACAD INST CHEMISTRY	CN	91
9	LG CHEM LTD.	KR	89
10	BEIJING CHEMICAL UNIV	CN	83
11	CHANGCHUN APPLIED CHEMISTRY	CN	83
12	KANEGAFUCHI CHEMICAL IND	JP	63
13	HARBIN INST OF TECHNOLOGY	CN	61
14	GENERAL ELECTRIC CO.	US	61
15	NINGBO INST MATERIALS TECH & ENG CAS	CN	60

	筆頭出願人	国	出願件数
16	GUILIN ELECTRICAL EQUIPMENT SCIENT RESEARCH INSTITUTE CO LTD	CN	57
17	SICHUAN UNIVERSITY	CN	56
18	UNIV HUNAN TECHNOLOGY	CN	53
19	BYD CO LTD	CN	51
20	3M INNOVATIVE PROPERTIES CO	US	51
21	SUMITOMO CHEMICAL CO	JP	50
22	SABIC INNOVATIVE PLASTICS IP	NL	50
23	GUANGDONG GUANGSHAN NEW MAT CO LTD	CN	49
24	DU PONT	US	47
25	MITSUBISHI GAS CHEMICAL CO	JP	47
26	SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY	CN	47
27	UNIV TONGJI	CN	46
28	LANZHOU INST CHEMICAL PHYSICS CAS	CN	45
29	SUN YAT-SEN UNIV	CN	44
30	NITTE DENKO CORP	JP	43

3.4.3 サプライチェーン調査

(1) ポリイミドのマテリアルフロー

ポリイミド市場において最も取引量が多いのは、PMDA/ODA をモノマー原料として製造されるポリイミドフィルムで、東レ・デュポン、カネカ、PI Advanced Materials（旧 SKC Kolon）が主要メーカである。その他、PMDA/ODA を原料とするポリイミドは、中国国内で生産され、中国国内で電線被覆材等として消費されているものがあると言われている。中国では少なくとも 10 社のポリイミドメーカが参入していて比較的安価なポリイミドを製造しており、ポリイミドが必要とされていない領域にでも用いられているとみられる。[36]

(2) ポリイミド製品の種類

ポリイミドはフィルム（有色）、ワニス、感光性 PI、透明フィルム、粉体、繊維などの形態で製品化されている。形態別のポリイミドのメーカ、製品名、用途を表 3-4 に示す。

表 3-4　販売されている主なポリイミド製品とメーカ

PI 形態	メーカ	製品名	用途
有色 PI フィルム	カネカ	超耐熱ポリイミドフィルム　アピカル、ピク	FPC 用 FCCL，グラファイトシート向け

[36]ヒアリングにもとづく

PI 形態	メーカ	製品名	用途
		シオ	
有色 PI フィルム	東レ・デュポン	カプトン	FPC, LIB セパレータ等
有色 PI フィルム	DowDuPont	Kapton	
有色 PI フィルム	PI Advanced Materials (SKC KOLON PI)		FPC, LIB セパレータ等
有色 PI フィルム	宇部興産	ユーピレックス	COF, TAB, FPC
PI ワニス	JSR	液晶配向膜　オプトマー	液晶配向膜
PI ワニス	JNC	カラーフィルタ用保護膜（オーバーコート）	カラーフィルタ用オーバーコート剤向け
PI ワニス	日鉄ケミカル＆マテリアル	エコパネックス	2 層 FCCL
PI ワニス	東レ	セミコファイン	半導体保護膜等
PI ワニス	宇部興産	ユピア	OLED 用 TFT 基板、複写機ベルト等
PI ワニス	カネカ		OLED 用 TFT 基板等
PI ワニス	日産化学	サンエバー	液晶配向膜
PI ワニス	I. S. T	Pyre-M.L., SKYBOND, DREAMBOND	複写機ベルトやマグネットワイヤ用被覆材
PI ワニス	日東電工		複写機ベルト自消分
感光性 PI	東レ	フォトニース、ポジ型ポリイミド高屈折率レンズ材料 CS シリーズ	OLED 用バンク材、半導体保護膜等
感光性 PI	日立化成デュポン MS	HD-4100 シリーズ、HD-1503	半導体保護膜
感光性 PI	旭化成	感光性樹脂組成物 PIMEL™ 溶剤現像ネガ型シリーズ	半導体保護膜
透明 PI フィルム	住友化学		フォルダブルスマートフォン
透明 PI ワニス	三菱ガス化学	ネオプリム	ディスプレイ用
透明 PI フィルム	Kolon Inudstries	Colorless Polyimide Film	フォルダブルスマートフォン
PI 繊維	宇部興産	UBE N2 セパレーター	窒素分離用中空糸
PI 粉体	デュポン	ベスペル	機械部品
PI 粉体	宇部興産	UIP	半導体装置部品、産業機械部品等

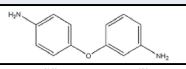
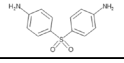
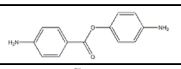
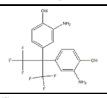
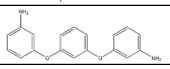
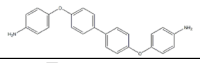
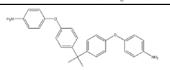
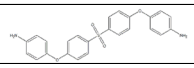
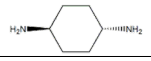
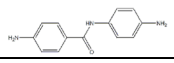
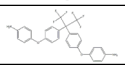
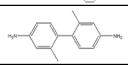
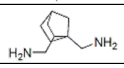
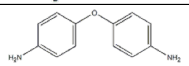
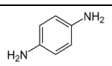
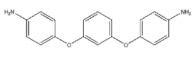
（出所）公開情報にもとづき MRI 作成

(3) モノマーの種類

1) ジアミンモノマーの種類とそれぞれの参入メーカ

ポリイミド向けジアミンは製品により、様々な化合物が配合されている。用いられるジアミンの例を表 3-5 に、ジアミンごとの参入メーカを表 3-6 に示す。

表 3-5　ジアミンモノマーの種類 [37]

略称	化学名	構造式	CAS No.	分子量
3,4'-DAPE	3,4'-Diaminodiphenyl ether		2657-87-6	200.24
4,4'-DDS	4,4'-Diaminodiphenyl sulfone		80-08-0	248.3
4-BAAB	4-Aminophenyl-4-aminobenzoate		20610-77-9	228.25
6FAP	2,2-Bis(3-amino-4-hydroxyphenyl)hexafluoropropane		83558-87-6	366.26
APB-N	1,3-Bis(3-aminophenoxy) benzene		10526-07-5	292.33
BAPB	4,4'-Bis (4-aminophenoxy) biphenyl		13080-85-8	368.43
BAPP	2,2-Bis[4-(4-aminophenoxy)phenyl]propane		13080-86-9	410.51
BAPS	Bis[4-(4-aminophenoxy)phenyl]sulfone		13080-89-2	432.49
CHDA	trans-1,4-Diaminocyclohexane		2615-25-0	114.19
DABAN	4,4'-diaminobenzanilide		785-30-8	227.26
DBA	diamino benzoic acid		535-87-5	152.15
HFBAPP	2,2-Bis [4-(4-aminophenoxy phenyl)] hexafluoropropane		69563-88-8	518.45
M-TB	2,2'-dimethyl-4,4'-diaminobiphenyl		84-67-3	212.29
NBDA	bicyclo [2.2.1] heptanebis (methylamine)		56602-77-8	154.25
ODA	4,4'-Diaminodiphenyl Ether		101-80-4	200.24
PPD	p-Phenylenediamine		106-50-3	108.14
TFMB	2,2'-bis(trifluoromethyl)benzidine		341-58-2	320.23
TPE-R	1,3-Bis(4-aminophenoxy)benzene		2479-46-1	292.33

[37] 富士キメラ総研、「「ポリイミド vs. 高耐熱樹脂」応用製品市場の将来展望」（2019）、化学工業日報「化学商品」、各社の製品カタログにもとづき作成

表 3-6　ジアミンモノマー別参入メーカ [37]

略称	日本メーカー（生産拠点）				中国メーカー（生産拠点）								
	セイカ	日本純良薬品	三井化学	その他	山東冠森絶縁製品	南通汇順化工	山東万達化工	自貢中天勝新材料科技	天津市均凱化工科技	常州市陽光薬業	衆泰化工科技	成都遠大化工	浙江龙盛集团股份
	（和歌山県内）	（吹田、新潟、福井）			（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	
3,4'-DAPE	○	○											
4,4'-DDS	○												
4-BAAB		○											
6FAP	○								○				
APB-N	○	○	○								○		
BAPB	○												
BAPP	○	○						○	○				
BAPS	○									○			
CHDA													
DABAN	○												
DBA													
HFBAPP	○							○	○		○		
M-TB	○												
NBDA			○										
ODA	○		○	富士フィルム和光、東京化成、関東化学	○	○	○						
PPD				精工化学、協和化学、洛東化学、大新化成工業、三井化学ファイン									○
TFMB	○								○	○	○	○	
TPE-R	○	○						○	○	○	○		

2) 酸無水物モノマーの種類とそれぞれの参入メーカ

ポリイミド向け酸無水物は製品により、様々な化合物が配合されている。用いられるモノマーの例を表 3-7 に、モノマーごとの参入メーカを表 3-8 に示す。

表 3-7　酸無水物モノマーの種類 [37]

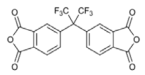
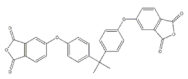
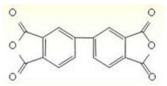
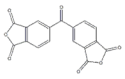
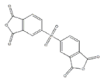
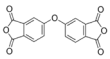
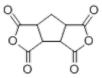
略称	化学名	構造式	CAS No	分子量
6FDA	4,4'-(Hexafluoroisopropylidene)-diphthalic Anhydride		1107-00-2	444.24
BPADA	4,4'-(4,4'-Isopropylidendiphenoxy)bis(Phthalic Anhydride)		38103-06-9	520.49
BPDA	3,3',4,4'-Biphenyltetracarboxylic dianhydride		2420-87-3	294.2
BTDA	3,3',4,4'-Benzophenonetetracarboxylic Dianhydride		2421-28-5	322.23
CBDA	1,2,3,4-Cyclobutanetetracarboxylic Dianhydride		4415-87-6	196.11
DSDA	3,3',4,4'-Diphenylsulfonetetracarboxylic Dianhydride		2540-99-0	358.28
HPMDA	1,2,4,5-Cyclohexanetetracarboxylic Dianhydride		2754-41-8	224.17
ODPA	4,4'-Oxydiphthalic Anhydride		1823-59-2	310.21
PMDA	Pyromellitic Dianhydride		89-32-7	218.12
	1,2,3,4-Cyclopentanetetracarboxylic Dianhydride		6053-68-5	210.14

表 3-8　酸無水物モノマー別参入メーカ [37]

略称	日本メーカー（生産拠点）						欧米メーカー		中国メーカー（生産拠点）														
	ダイセル	宇部興産	三菱ケミカル	三菱ガス化学	ダイキン工業	マナック	JAYHAWK Fine Chemicals	NEXAM Chemical	南京龍沙化工	如皐市楽恒化工	常熟市聯邦化工	山東和利時石化科技	山西立鉑隆新材料	漯陽市慶豊精細化工	濮陽龍徳洋新材料	自貢中天勝新材料科技	天津市均凱化工科技	常州市陽光薬業	常州市武進臨川化工	衆泰化工科技	成都遠大化工	栄成市科盛化工
	（新潟）	（山口、大阪）	（福岡）		（日本、中国）	（広島）	（ドイツ）	（スイス）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	（中国）	
6FDA					○	○		○								○	○	○		○	○	
BPADA																				○		
BPDA		○	○										○				○		○			
BTDA	○						○									○				○		
CBDA																						
DSDA																						
HPMDA				○																	○	○
ODPA						○							○				○		○	○		
PMDA	○						○	○	○	○	○	○		○	○							

(4) サプライチェーン

文献調査より整理される製品ごとのサプライチェーンを以下に示す。

1) 宇部興産

a. ポリイミドフィルム　ユーピレックス [38]

モノマーのうち、BPDA は宇部興産の内製であるが、BPDA の原料や製法は公開されていない。標準グレードの PI（ユーピレックス）ではジアミンに PPD を採用している。

b. ポリイミドワニス　ユピア [39]

モノマーのうち、BPDA は宇部興産の内製である。Samsung Display 社向けに供給されて

[38] 宇部興産製品カタログ、化学商品、「ユーピレックスＶＴの開発とその応用」
http://www.ando-cap.mac.titech.ac.jp/DVD_new/pdf/2001_02.pdf　（閲覧日 2020 年 11 月 12 日）

[39] https://www.ube-ind.co.jp/ube/jp/news/2011/2011_06.html　（閲覧日 2020 年 11 月 12 日）

いることが発表されており、PIの安定供給体制を構築するため、2011年、韓国に宇部興産とSMD(Samsung Mobile Display)社の合弁会社を設立した。

c. ポリイミドマトリックス樹脂（開発品）[40、41]

宇部興産はNASAからライセンス供与を受けて航空機向け耐熱ポリイミドを製造している。モノマーは4種類あり、酸無水物にはBPDAとPEPAを用いている。

2) 東レ・デュポン

a. ポリイミドフィルム　カプトン[42]

カプトンは、米デュポン社により1960年代に実用化された最も古いポリイミド製品で、国内では東レ・デュポン社により1986年から国内で製造されている。

3) 東レ

a. 感光性ポリイミド　フォトニース[43]

東レのOLED用バンク材向け感光性PIでは、原料はODPA、ODA、3-アミノフェノールが用いられる。

4) カネカ

a. ポリイミドフィルム　アピカル[44]

FCCLやグラファイトシート向け耐熱PIフィルム、アピカルを1984年から主に滋賀工場で製造している。モノマーの組み合わせはODAとPMDAである。

5) 住友化学

a. 透明ポリイミドフィルム[45]

住友化学はフォルダブルスマートフォン向け透明ポリイミドフィルムを開発している。

---

[40] https://www.ube-ind.co.jp/ube/jp/news/2004/2004_11.html （閲覧日 2020年12月21日）

[41] https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/pub/techbriefs/materials/255 （閲覧日 2020年12月21日）

[42] 東レ　https://www.td-net.co.jp/kapton/about/　（閲覧日 2020年11月12日）

[43] http://fibertech.or.jp/JPIC/pdf/2010_04.pdf　（2020年11月12日）

[44] https://www.jstage.jst.go.jp/article/tanso/2012/251/2012_251_2/_pdf/-char/ja　（閲覧日 2020年11月12日）

[45] THE INVESTOR　http://www.theinvestor.co kr/view.php?ud=20180919000656（閲覧日：2020年11月2日）、Business Korea http://www.businesskorea.co kr/news/articleView html?idxno=34023　（閲覧日：2020年11月2日）、マイナビニュース　https://news mynavi.jp/article/20200808-1205335/　（閲覧日：2020年11月2日）

(5) 主要プレイヤーの事業

国内の主なポリイミドメーカ、モノマーであるジアミンメーカならびに酸無水物メーカについて調査を行った。

1) ポリイミド

a. 宇部興産

設立	1942 年
従業員	連結で 10,890 人（2020 年 3 月期）
事業内容	化学、建設資材、機械の 3 事業を展開 化学事業の製品は、ナイロン樹脂、カプロラクタム、工業薬品、ポリブタジエン、電池材料、ファインケミカル、ポリイミド、機能品、医薬品（原体・中間体）等
拠点	● 東京本社（東京都） ● 宇部本社（山口県）
工場	● 宇部ケミカル工場（山口県宇部市）：ポリイミド原料である BPDA、ポリイミドフィルム、ポリイミドワニス ● 堺工場（大阪府堺市）：ポリイミドフィルム
売上	6,678 億円（2020 年 3 月期）
主な PI 関連製品	＜ポリイミド＞ ● ポリイミドフィルム（ユーピレックス） ● ポリイミドワニス（ユピア） ● ポリイミドパウダー（UIP-R, S） ● ポリイミドマトリックス樹脂（PETI、開発品） ＜酸無水物モノマー＞ ● BPDA（外販もしている）
生産能力	FPC（フレキシブル・プリント回路基板）用途のポリイミド販売量が増加していることから、2019 年度に休止中であった堺工場（大阪府堺市）のポリイミドフィルム製造ラインを再稼働させ、宇部ケミカル工場のポリイミドワニス工場の生産能力も増強した。また、2023 年度下期から宇部ケミカル工場における原料の BPDA の生産能力を 1.6 倍に増強することが発表されている [46]
グループ会社	● SUMaterials Co., Ltd.：ディスプレイ基板材料用途のポリイミドの製造、販売

[46] https://www.ube-ind.co.jp/ube/jp/news/2020/20201202_01.html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

b. **東レ** [47]

設立	1926 年
従業員	国内外関連会社　合計で 48,031 人（2020 年 3 月時点）
事業内容	繊維、機能化成品、炭素繊維複合材料、環境・エンジニアリング、ライフサイエンス等製品の製造・加工および販売
拠点	● 本社（東京都） ● 大阪本社（大阪府）
工場	● 東レ・デュポン　東海事業所（愛知県）：ポリイミドフィルム、カプトン ● 滋賀事業所：セミコファイン、フォトニース
売上	22,146 億円（2019 年度）
主な PI 製品	＜ポリイミド＞ ● ポリイミドフィルム（カプトン） ● 感光性ポリイミド（フォトニース） ● 非感光ポリイミド（セミコファイン）
生産能力	不明
グループ会社	● 東レ・デュポン株式会社：ポリイミドフィルム・カプトン

[47] https://www.toray.co.jp/aboutus/ （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

c. カネカ

設立	1946 年
従業員	連結で 11,013 人（2020 年 3 月時点）
事業内容	Vinyls and Chlor-Alkali, Performance Polymers（MOD）, Performance Polymers（MS）, Foam & Residential Techs, E & I Technology, PV & Energy management, Performance Fibers, Medical, Pharma & Supplemental Nutrition, Foods & Agris
拠点	● 東京本社（東京都） ● 大阪本社（大阪府）
工場	● 滋賀工場（アピカル、ピクシオ生産） ● 米国テキサス州、マレーシア（アピカル生産） ● 栃木カネカ（グラフィニティ生産）
売上	6,015 億円（2020 年 3 月期）
主な PI 製品	＜ポリイミド＞ ● ポリイミドフィルム（アピカル） ● ポリイミドを原料とする 2 層銅張積層板（ピクシオ） 5G ミリ波帯対応の超耐熱ポリイミドフィルムとしてピクシオ™を発表（2020 年 11 月）[48] ● ポリイミドを原料とするグラファイトシート（グラフィニティ）
生産能力	● 2005 年時点では、アピカルの生産能力は滋賀工場 2,400t、米国 200t だった [49] ● 2012 年にマレーシアに新会社を設立し、日本、米国、マレーシアにおけるアピカルの生産能力合計は 3,200t となった [50] ● 2019 年に滋賀工場、栃木カネカの生産設備を増設し、アピカルの生産能力を日本、米国、マレーシアの合計で 3 割増とすること、グラファイトシートの生産を 3 倍にすることが発表された [51]
グループ会社	● カネカテキサス株式会社：アピカル生産 ● カネカ・アピカル・マレーシア：アピカル生産 ● 栃木カネカ株式会社：グラフィニティ生産

[48] https://r nikkei.com/article/DGXLRSP600261_Y0A111C2000000 （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[49] http://www.elecdiv kaneka.co.jp/news/20040804 html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[50] https://www kaneka.co.jp/topics/news/n20120419/ （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[51] https://www kaneka.co.jp/topics/news/nr20180626/ （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

d. JSR

設立	1957 年
従業員	9,050 名（2020 年 3 月時点）
事業内容	エラストマー事業、合成樹脂事業、デジタルソリューション事業を展開している
拠点	● 本社（東京都）
工場	デジタルソリューション事業の製品に関する工場は以下 ● 四日市工場 ● 千葉工場
売上	4,720 億円（2020 年 3 月期） うち、デジタルソリューション事業は 1,448 億円（2020 年 3 月期）
主な PI 製品	＜ポリイミド＞ ● LCD 用配向膜（オプトマー） 顧客側での焼成温度を低温化が可能で、溶媒は NMP ではなく一般的な有機溶剤を用いることが可能なグレードを開発した（2019 年 5 月発表）
生産能力	不明
グループ会社	アジアにディスプレイ関連の子会社を持つ ● JSR Micro Korea Co., Ltd. ● JSR (Shanghai) Co., Ltd. ● JSR Micro Taiwan Co., Ltd.

e. 日産化学

創業	1887 年
従業員	連結　2,640 名（2020 年 3 月時点）
事業内容	化学品事業、機能性材料事業、医薬品事業を展開している
拠点	● 本社（東京都）
工場	機能性材料事業に関連する工場は以下がある ● 袖ヶ浦工場 ● 富山工場
売上	2,068 億円（2019 年） うち、機能性材料事業は 654 億円
主な PI 製品	＜ポリイミド＞ ● 液晶配向材（サンエバー） ポリイミド樹脂を原料とする、液晶ガラス表面のコーティング材料
生産能力	不明
グループ会社	● .NCK Co., Ltd. ● Nissan Chemical America Corporation

2) ジアミン

a. セイカ株式会社 [52]

創立	1955 年
従業員	セイカグループ全体で 252 人（2020 年 8 月時点）
事業内容	高機能性ポリマー原料、ウレタン硬化剤、各種中間物・工業薬品の製造・販売および関連する原料の仕入れ
拠点	● 本社（和歌山県）
工場	● 海南工場（和歌山県）： ● 和歌山工場（和歌山県）※2020 年 4 月竣工 ● 研究施設「未来創造館」（和歌山県）
売上	約 100 億円 機能性電子材料向け製品が売上の 71%を占める
主な PI 関連製品 （ジアミン）	● ODA ● BAPP ● TPE-R ● 4,4’-DDS ● 3,4’-DAPE ● M-TB ● BAPB ● TFMB ● DABPAF
生産能力	不明
グループ会社	● 和歌山精化工業株式会社：1955 年設立（和歌山県）。高機能性ポリマー原料、ウレタン硬化剤の製造、各種中間物・工業薬品の製造を行う。小雑賀工場（和歌山県）、南陽工場（和歌山県）を保有 ● OmniSpecialty Corp.：1994 年に創立（米国ニュージャージ州）。高機能性ポリマー原料、染料・顔料中間物、ウレタン硬化剤の販売を行う

b. 日本純良薬品株式会社 [53]

設立	1945 年
従業員	吹田事業所：39 名 新潟事業所：27 名 福井事業所：38 名　（2019 年 4 月時点）
事業内容	コア技術である水添技術をベースにしたアニリン誘電体、ポリイミド樹脂などの高機能性ポリマーに使用される芳香族ジアミンの受託や自社開

[52] https://waseika.com/company/index.html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[53] http://www.njchem.co.jp/company.html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

	発を行っている
拠点	● 本社　吹田事業所（大阪府）：医薬中間体や原薬をジェネリックメーカに供給。電子材料分野向け製品も生産可能 ● 新潟事業所（新潟県）：医農薬中間体や化粧品原料を生産している。また、フッ素系有機中間体や機能性材料を製造している ● 福井事業所（福井県）：記録紙材料の受託や化粧品原料を年産数百トンレベルまで対応可能
工場	● 同上
売上	純利益　1 億 4817 万 4000 円（2018 年 3 月期）
主な PI 関連製品 （ジアミン）	● BAPP ● 4-APBP ● 4-APB ● 3,4'-DAPE ● 3,5-DABA ● 4-BAAB ● TMDA
生産能力	福井事業所では年産数百 t レベルまで対応可能
グループ会社	● 子会社であったニチジュン化学株式会社（新潟県）とエヌ・ジェイ・化成株式会社（福井県）を 2019 年に吸収合併し、3 事業所体制となった。

3) 酸無水物

a. マナック株式会社 [54]

設立	1948 年
従業員	188 人（2020 年時点）
事業内容	難燃剤、医薬品、動物用医薬品、食品添加物、写真感光材料、高機能性材料、染料、香料など様々な分野の先端技術産業に原材料を供給
拠点	● 本社（東京都） ● 大阪営業所（大阪府）
工場	● 福山工場・研究所（広島県）：ファインケミカル事業、難燃剤事業、ヘルスサポート事業
売上	9,386 百万円（2020 年 3 月期） 事業はファインケミカル事業、難燃剤事業、ヘルスサポート事業に分けられ、ポリイミドが含まれるファインケミカル事業は全社売上の 43.6%を占める
主な PI 関連製品（酸無水物）	● オキシジフタル酸無水物 <ODPA> (Oxydiphthalic anhydride) ● P-フェニレンビス（トリメリテート無水物）<TAHQ> (p-phenylenebis(trimellitate anhydride)) ● フェニルエチニルフタル酸無水物 <PEPA> (Phenyl ethynyl phthalic anhydride)
生産能力	200L～10,000L の反応缶を保有し、特に 2,000L 以下の反応缶が多い(約 47 基）。ベンチスケールから少量試作の対応が可能。
グループ会社	● 曼奈科（上海）貿易有限公司（中国上海市）：2016 年設立。中国国内における化学品の輸出入業務を行う ● 八幸通商株式会社：2009 年に株式取得。マナックに製品の製造受託を行い、製品を販売している。茨城県の鹿島工場にファインケミカル生産設備を有する

[54] http://www manac-inc.co.jp/index html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

b. 株式会社新菱（三菱ケミカル[55]）

ポリイミド樹脂の原料である BPDA は三菱ケミカルが製造していたが、2020 年 10 月に三菱ケミカル HD グループの株式会社新菱が、三菱ケミカルのファインケミカル事業の一部を吸収したことに伴い、BPDA 事業を継承した。[56]

設立	1964 年 （三菱ケミカルの子会社）
従業員	約 1,200 人
事業内容	産業廃棄物の無害化・再生、半導体製造装置部品の精密洗浄、シリコンウエハの再生、ファインケミカル、ヘルスケアなど
拠点	● 本社（福岡県）
工場	三菱ケミカル 福岡事業所内各工場（福岡県） ※BPDA はもともと三菱ケミカルの福岡県の工場で生産されていた[57]
売上	150 億円（2019 年度実績）
主な PI 関連製品（酸無水物）	● BPDA
生産能力	不明
グループ会社	● 華菱科技（蘇州）有限公司（中国）

[55] https://www m-chemical.co.jp/products/departments/group/shinryo/product/1209832_6992.html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[56] https://www.shinryo-gr.com/service （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[57] https://www mitsubishichem-hd.co.jp/ir/pdf/20100601-1.pdf （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

ダイキン工業 [58]

設立	1934 年
従業員	連結 80,369 名（2020 年 3 月時点） 化学事業　3,876 名（2020 年 3 月時点）
事業内容	空調・冷凍機、化学、油機、特機、電子システム
拠点	● 本社（大阪府）
工場	（多数あるが、6FDA の生産工場は不明）
売上	25,503 億円（2020 年 3 月期） 事業は空調・冷凍機、化学、その他に分けられ、ポリイミドが含まれる化学事業は全社売上の 7%を占める
主な PI 関連製品（酸無水物）	● 6FDA
生産能力	不明
グループ会社	フッ素化学関連会社としては以下がある（6FDA の生産への関与は不明） ● 東邦化成 ● 共栄化成工業 ● ダイミクス ● 大金フッ素化学(中国)有限公司

3.4.4 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤

(1) 重要技術

ポリイミドはフィルム、ワニス、パウダー、接着剤等、多様な形態で製品化されているが、用途別では、FPC の表面を保護するカバーレイフィルム、FPC 用 FCCL、放熱・熱拡散素材であるグラファイトシート、絶縁材料、電線被覆材等の販売量が多く、その他、電池材料、COF テープ用 FCCL、TAB テープ、液晶配向膜、カラーフィルタ用オーバーコート剤等で用いられている。

ポリイミドは、PMDA/ODA、BPDA/ODA、BPDA/PPD、ODPA/ODA、BPDA/PEPA/1,3-bis(4-aminophenoxy)benzene/1,3 diaminobenzen 等のモノマーの組合せからなるポリマーが製品化されている。PMDA/ODA は最初に工業化されたポリイミドであり、ポリイミドの中で現在最も販売量が多いモノマーの組合せで、参入企業も複数存在する。例えば、東レ・デュポン、PIAM（PI Advanced Materials，旧 SKC Kolon）、カネカ等の企業に加え、中国では 10 社程度の参入企業があり、中小規模での乱立があり、フィルムの生産技術力に課題がある状況と見られている。また、韓国では政府の指導でポリイミドメーカの

58 https://www.daikinchemicals.com/jp/solutions/products/fine-chemicals-and-intermediates/intermediates_6fda_others.html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

集約が進められ、現在は PIAM が SKC Kolon のポリイミドフィルム事業を継承し、国内唯一のフィルムメーカとなっている。

BPDA/ODA、BPDA/PPD のモノマーの組合せから製造されるポリイミドは宇部興産から製品化されている。その他、使われているモノマーの種類は明らかではないが、ポリイミドを製品化しているメーカとして東レ、JSR、日産化学等がある。このように、ポリイミドは様々なモノマーから作られており、その一部は品質よりも価格競争化しているものの、品質の高いポリイミドや用途ごとに性能を高めたハイエンドのポリイミドは日本企業が強みを有している。

ポリイミド関連企業の動向として、宇部興産は 2019 年度にポリイミドフィルムならびにポリイミドワニスの設備再稼働・増産を実施し、2020 年には内製しているポリイミドモノマーの増産を発表した。また、カネカは、ポリイミドフィルムとグラファイトシートの生産設備増設を 2019 年に実施しており、ポリイミドの原料となるジアミンのメーカであるセイカは、2019 年 4 月に新工場を竣工した。このように国内各社が 2019 年以降、ポリイミド生産設備の能力増強を進めている背景として、ICT 関連デバイスの成長、IOT の広がりに伴う半導体の成長、モビリティ電動化の進展等に伴うポリイミド市場の成長があり、それに連動する形でポリイミドの市場拡大傾向が続くと見られている。

今後注目されるポリイミド材料としては、高周波対応材料と透明材料が挙げられる。高周波材料としては、東レが 5G 通信、ミリ波レーダ向け電子部品に適した低誘電損失のポリイミドを開発している [59]他、カネカが 5G ミリ波対応のポリイミドを新製品として発表し、2021 年からの本格販売を予定している [60]。5G、6G に続く信号高速化に対応する基板材料には、低誘電率、低誘電正接が求められ、今後もこうした特性をもった新しいポリイミドの製品化が進められていくと考えられる。なお、一般にポリイミドは 2-3%程度の吸水性を示し [61]、吸水すると誘電特性が失われるため [62]、高周波向け材料としては低吸水性もポイントとなる。

透明ポリイミドはディスプレイ周辺材料として将来性が期待されている。透明ポリイミドの材料候補にはフッ素化ポリイミドと脂環式ポリイミドとがあり、フッ素化ポリイミドのサプライチェーン構築においては原料調達における外国依存度が高くなると考えられる。なお、一時期、透明ポリイミドのフォルダブルスマートフォンのカバーウィンドウへの適用も検討されていたが、フォルダブルスマートフォンについては、当面は超薄型ガラスが用いられると見られており [63]、市場の立ち上がり時期は不透明となっている。

---

[59] https://cs2.toray.co.jp/news/toray/newsrrs01 nsf/0/27F65AE80B7A2FBD4925840A0006C60D?open （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[60] https://www kaneka.co.jp/topics/news/2020/nr2011181 html （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[61] http://www.ando-cap mac.titech.ac.jp/DVD_new/pdf/2007_06.pdf （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[62] https://www.jstage.jst.go.jp/article/ejisso/21/0/21_0_85/_pdf （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

[63] https://news mynavi.jp/article/20200808-1205335/ （閲覧日 2020 年 12 月 21 日）

(2) 生産基盤

ポリイミドは、酸二無水物とジアミンを原料として製造される。酸二無水物とジアミンには様々な種類があるが、最も一般的な組み合わせは PMDA/ODA である。このうち PMDA は中国企業のシェアが高い。それ以外の酸二無水物は日本と中国でシェアを取り合っている。ジアミンについては、広範に使用されている ODA は中国と日本がシェアを取り合っているが、その他のモノマーは主に国内メーカが製造している。

今後も日本企業の産業競争力を維持・拡大していくためには、将来にわたって市場トレンドに応じた新しいポリイミド材料の開発を継続的に行っていくことが必要と考えられる。特許出願状況の分析では、PCT 出願、中国出願、日本出願のいずれにおいても、過去 20 年間の出願数のランキングは日本企業が上位を占め、技術の蓄積という点では日本が競争力を有していると考えられる。しかし、出願件数の伸びという観点では、過去 20 年間の日本での出願がほぼ横ばいであるのに対して、2010 年以降、中国からの中国出願数が大きく伸びており、活発化していることがわかった。

企業ヒアリングでは、学術機関との連携・コミュニケーションをきっかけに新材料の開発を進めているという話も聞かれた。日本では東工大、東邦大、東大を中心にポリイミドの先端的な研究開発が行われ、日本ポリイミド・芳香族系高分子学会で学術的な議論が行われているが、近年はこれらの国内学会に中国からの参加者が増えているという。学術的な交流等を通じた国内の研究者・技術者の流出、技術の流出を懸念する意見もあった。

以上をふまえると、日本企業の強みは、高品質のポリイミド、ならびに用途ごとに特性を高めたポリイミドを生産できる点にあり、その強みの源泉は、分子設計、有機合成、分析・評価という基礎化学にもとづく新材料の提案力と高純度・高品質製造を可能とする長年蓄積された技術・ノウハウであると考えられる。また、これらの強みをポリマーメーカだけではなく、モノマーメーカも備え、国内でモノマーを生産し安定供給していることも重要となっている。

日本企業にとってのリスクとしては、中国で 2010 年以降、研究開発が活発化しており、技術力が上がっていると考えられること、それに伴い PMDA/ODA と同様に他のポリイミドも中国からの参入等で品質よりも価格競争化していく可能性があることが挙げられる。また、ポリイミド産業を支えるモノマーメーカは従業員数 100～300 人規模の会社が多く、高純度なモノマー生産を行うための設備維持が負担になっていることも課題として挙げられる。

従って、日本が将来にわたってポリイミドに関する競争力を持ち続けるためには、関連メーカへのポリイミド設備の設置・維持、ならびに次世代材料開発を通じた新材料提案力の維持と研究者・技術者の流出防止策を講じていくことが有効と考えられる。

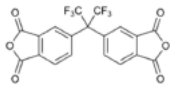
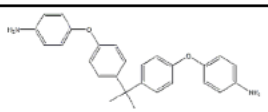
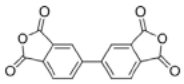
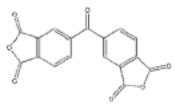
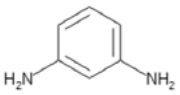
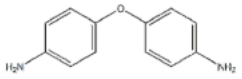
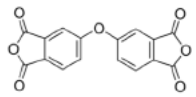
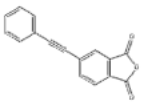
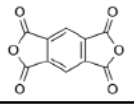
3.4.5 主要参考文献

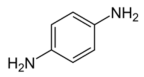
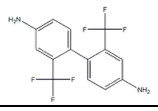
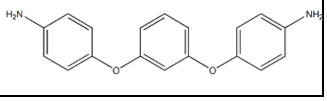
- 富士キメラ総研、「「ポリイミド vs. 高耐熱樹脂」応用製品市場の将来展望」（2019）
- 村山宏、「ポリイミドにおける最近の技術動向」、サーキットテクノロジー（1987 年）

- 今井淑夫、「ポリイミドの構造と物性」、エレクトロニクス実装学会誌（2001 年）
- 安藤慎治、「ポリマー系耐熱・絶縁材料物性の基礎－ポリイミドを中心に－」、材料の化学と工学（2012 年）

3.4.6 用語・略称

化合物の略称

本書での表記	種類	正式名称・意味など	CAS 番号	構造式
6FDA	酸二無水物	4,4'-(ヘキサフルオロイソプロピリデン)ジフタル酸無水物	1107-00-2	
BAPP	ジアミン	2,2-ビス[4-(4-アミノフェノキシ)フェニル]プロパン	13080-86-9	
BPDA	酸二無水物	ビフェニルテトラカルボン酸二無水物	2420-87-3	
BTDA	酸二無水物	3,3',4,4'-ベンゾフェノンテトラカルボン酸二無水物	2421-28-5	
DMAc	溶媒	N,N-ジメチルアセトアミド	127-19-5	
DMF	溶媒	N,N-ジメチルホルムアミド	68-12-2	
MPD	ジアミン	m-フェニレンジアミン	108-45-2	
NMP	溶媒	N-メチル-2-ピロリドン	872-50-4	
ODA	ジアミン	ジアミノジフェニルエーテル	101-80-4	
ODPA	酸二無水物	4,4'-オキシジフタル酸無水物	1823-59-2	
PEPA	無水物	フェニルエチニルフタル酸無水物	119389-05-8	
PMDA	酸二無水物	ピロメリット酸二無水物	89-32-7	

PPD	ジアミン	p-フェニレンジアミン	106-50-3	
TFMB	ジアミン	2,2'-ビス(トリフルオロメチル)ベンジジン	341-58-2	
TPE-R	ジアミン	1,3-ビス(4-アミノフェノキシ)ベンゼン	2479-46-1	

化合物以外の用語の略称

本報告書での表記	正式名称・意味など
COF	Chip on Film（ポリイミド等のフィルムの配線回路基板上に半導体チップを実装する技術）
FCCL	Flexible Cupper Clad Laminate（フレキシブル銅張積層板）
FPC	Flexible Printed Circuits（フレキシブルプリント回路基板）
LIB	Lithium Ion Battery（リチウムイオン電池）
OLED	Organic Light Emitting Diode（有機物質が発光体のダイオード、有機 EL）
PI	Polyimide（ポリイミド）
PLED	Polymer organic Light-Emitting Diode（高分子有機 EL）
TAB	Tape Automated Bonding（半導体集積回路とポリイミド等から成るテープ状のフレキシブル回路基板を自動で接合していく技術）
TFT	Thin Film Transistor（薄膜トランジスタ）

4. 光学結晶に関する技術調査及びサプライチェーン調査

4.1 概要

光学結晶は、半導体製造や医療等の分野で使用されるレーザー機器の根幹となる、レーザー発振に不可欠な材料であるが、原材料の多くは中国が有しているため将来的な供給不安があり、安全保障上重要な材料と考えられる。今般の調査では、レーザー光の波長変換（深紫外線や中赤外線領域）に用いられる非線形光学結晶の中でも、日本が強みを有しているCLBO に注目し、その技術動向及びサプライチェーンの把握を、有識者による勉強会・関係者へのインタビュー・文献確認等により行った。また、半導体ウエハの洗浄や空間除菌等に利用される、CLBO 以外での深紫外光源についても確認し、その用途及び技術的課題等について調査を行った。

市場に流通している非線形光学結晶には、主に 8 種類（KTP、PPLN、BBO、LBO、CLBO、DKDP、ADP、KDP）があり、その用途は、非線形光学結晶の波長変換の機能を活用した製品への応用、特に、レーザー技術、医療、水中写真、光通信などの分野で用いられている。また、非線形光学結晶が持つパラメトリック下方変換の機能を活用して、量子情報科学への応用に向けても研究開発が行われている。これら 8 種の非線形光学結晶は、2028 年において、2019 年の市場規模の 3 倍以上となることが見込まれている。

一般的に、固体レーザーが発生するレーザー光は、赤外から赤色までの長波長領域が中心である。紫外領域の光を得るためには、非線形光学結晶等を用いて、赤外光から紫外光への波長変換が必要になる。非線形光学結晶は、光源の出力・波長を決定する重要な素子であり、レーザー光の特性は非線形光学結晶の特性（線形光学定数、複屈折、吸収端、結晶育成、損傷耐性の観点）で決まる。これまで、非線形光学結晶の深紫外領域への応用は、深紫外領域で十分な透明性を有し、非線形光学定数、複屈折が大きいボレート系結晶（BBO、LBO、KBBF）を中心に発展してきた。しかし、これらの非線形光学結晶では、波長変換特性が十分でないために、エキシマレーザーを超える紫外線レーザーが実現してこなかった。

大阪大学森勇介教授らは、LBO と CBO の 2 種類の全く異なる構造を持つ光学結晶から、1993 年に、CLBO（$CsLiB6O_{10}$／セシウム・リチウム・ボレート）結晶を発見した。CLBO は混晶ではなく、LBO でも、CBO でもない新材料であり、波長域が 266nm、213nm の光の発生特性に優れ、既存のボレート系結晶と比べて、非線形光学結晶の特性に優れている等の特徴を有している。一方で、CLBO は水に弱い性質があるため、結晶の加工過程において手間がかかるデメリットがあるが、この特性こそが、諸外国等の研究機関等が模倣しにくい要因の一つになっている。その結果、CLBO は、諸外国との技術競争に打ち勝ち、実用化に必要とされた結晶育成技術、研磨技術及びレーザー技術に関する課題を克服し、現在では、前工程における半導体フォトマスクの微小欠陥検査や、Si ウエハ上のナノ微粒子検出装置に搭載されるまでに至っている。また、昨今の EUV リソグラフィ技術の実用化により、リソグラフィの周辺装置の開発ニーズも向上しており、特に、IoT に必須な高性能チップの製造工程・パッケージにおいて、深紫外レーザー技術を用いた様々な計測・加工の技術の高度化が必要とされている。

紫外レーザー光以外の深紫外光源については、近年深紫外 LED の開発が進んでおり、低圧水銀灯に代わる用途としても注目されている。深紫外光源は、半導体ウエハや液晶ガラス

基板の洗浄、樹脂の硬化、リソグラフィ（半導体露光）の光源、殺菌、ウイルス不活化の用途、皮膚治療等の医療用途、水の殺菌・浄化といった広範な用途に用いられており、今後もその用途が広がることが期待されている[64]。

特に、405nm～365nm 帯の発光波長を持つ紫外線 LED の製品化が進んでいる。紫外線樹脂硬化の用途等において、365nm 帯では、紫外線ランプから紫外線 LED への置き換えが進んでいるとの指摘がある。

4.2 背景と目的

我が国の産業競争力の維持及び適切な貿易管理を図るため、内外の技術研究・開発状況等についての情報収集を通じて、技術基盤の実態を把握することを目的とした。具体的には、レーザー発振やレーザー光の波長変換などに不可欠な「光学結晶」を採り上げた。

光学結晶は、主にレーザー媒質用の結晶と非線形光学結晶に大別される。

このうち、レーザー媒質用結晶（またはレーザー結晶）は、レーザー装置の主要部品（固体レーザーの媒質）として用いられる。レーザー媒質用結晶には、Nd:YAG などの希土類イオンを含む酸化物単結晶や、YVO_4 などの遷移金属イオンを含む結晶などがあるが、レーザー媒質用結晶そのものを海外からの輸入に頼っているとの指摘がある[65,66]。

一方、非線形光学結晶は、光の波長変換とパラメトリック下方変換の機能を持つ。うち、前者については、レーザー媒質用結晶のみでは限定的であった固体レーザーの波長域を、非線形光学結晶を用いることで､深紫外や中赤外領域に広げるのに重要な役割を果たしている。

本調査では、光の波長変換の機能に着目して、非線形光学結晶の機能・種類・特性、用途別の市場規模について概観した。なかでも、日本発の技術として、今後の活用が期待される $CsLiB_6O_{10}$（CLBO）結晶を詳細に取り上げた。加えて、非線形光学結晶以外の方法として、LED・放電ランプを活用した深紫外光源についても、光源の種類別用途の整理、市場の展望について整理を行った。

4.3 調査方法

調査は主に、非線形光学結晶の機能や用途から、技術的成熟度や課題を分析し、国内外の技術蓄積状況を知るため、勉強会、文献調査、インタビュー調査、特許調査を実施した。

4.3.1 勉強会

非線形光学結晶を専門とする研究者を講師として招き､経済産業省及びオンラインを併用して勉強会を実施した。勉強会は合計 1 回（講師 1 名）に対して実施し、講師の講演と質疑応答を実施した。勉強会の概要は 2.5 に示している。

---

64 国立研究開発法人産業技術総合研究所「深紫外光を含む超短パルスレーザー加工プラットフォームを構築」、https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190924_2/pr20190924_2 html（2020/12/24 閲覧）

65 JST「技術紹介 - PROJECT2 超小型パワーレーザー｜ImPACT PROGRAM ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現」https://www.jst.go.jp/impact/sano/technical/project2 html（2020 年 12 月 10 日アクセス）

66 レーザー媒質は、結晶以外にも、セラミックスを用いたものもある。

4.3.2 文献調査

書籍、論文・総説、企業のプレスリリース等の公開情報による文献調査を行った。

4.3.3 インタビュー調査

勉強会での講演内容を補完する位置づけで、企業に対するインタビュー調査を実施した。

また、非線形光学結晶以外の深紫外光源（光学結晶・LED・放電ランプ等）についても、有識者及び企業にインタビュー調査を行い、深紫外光源に関する市場展望、深紫外光を発する製品の種類・用途について整理を行った。

4.3.4 特許調査

非線形光学結晶あるいは製造法に関する特許の有無について調査を行った。

4.4 調査結果

4.4.1 非線形光学結晶に関する市場動向

(1) 光学結晶の種類・機能・特性

光学結晶は、主にレーザー媒質用の結晶と非線形光学結晶に大別される。両者の特徴と主な用途を

表 4-1 に整理した。

レーザー媒質用結晶は、固体レーザーの媒質として用いられ、産業用レーザー、医療用途（レーザーメス）などに用いられる。

非線形光学結晶は、「光の波長変換」と「パラメトリック下方変換」の機能を活用した製品（素子）へ応用され、また研究開発が行われている。前者については、固体レーザーの波長域を深紫外や中赤外領域に広げる素子として重要な役割を果たしている。後者については、非線形光学結晶が持つパラメトリック下方変換（2 次の光学非線形性を用いて、1 光子から 2 光子を生成する現象）の機能を活用して、量子情報科学への応用に向けた研究開発が行われている。

表 4-1　主な光学結晶の分類と特徴・用途

種類	特徴	主な用途
レーザー媒質用結晶（酸化物単結晶）	● 固体レーザーの媒質として用いられ、固体レーザーに必須。	● 産業用レーザー、医療用途（レーザーメス）など
非線形光学結晶	● 光の波長変換（波長域を深紫外や中赤外領域に広げること）機能を有する。固体レーザーでは実現が困難な深紫外・中赤外領域の光源としての需要がある。 ● 他に、パラメトリック下方変換（2 次の光学非線形性を用いて、1 光子から 2 光子を生成する方法）機能を有する。	● 応用分野もレーザー技術、医療、水中写真、光通信など幅広い。 ● 日本発の技術として、活用が期待されている結晶がある。CLBO は、半導体製造工程におけるフォトマスクの微小欠陥検査、ウエハ上のナノ微粒子検出装置にも搭載されている。 ● パラメトリック下方変換による非線形光学結晶の効果を活用した例には、PPLN（周期的分極反転ニオブ酸リチウム）による量子情報技術への応用などがある。

市場に流通している主な非線形光学結晶としては以下の 8 種類があり、主にレーザーの波長変換素子として用いられている（表 4-2）。

PPLN については、パラメトリック下方変換による量子情報科学への応用に向けた研究開発が行われている。NTT と東京大学は、PPLN を用いて、室温での動作が可能な、汎用光量子コンピュータチップに必要不可欠となる、広帯域・高性能量子光源（スクィーズド光源）を開発した。NTT が非線形光学結晶デバイス（PPLN 導波路）を開発し、PPLN により発生するスクィーズド光源の測定を、高精度な光制御・受光技術を有する東京大学が行った。任意の量子計算を実行できる量子もつれの生成には、65 パーセントを超える量子ノイズの圧縮が必要とされるが、本開発により、75 パーセント以上の量子ノイズ圧縮に成功している[67]。

[67] JST「光量子コンピュータチップ実現にむけた高性能量子光源の開発に成功 ～室温動作可能な大規模・高速・汎用光量子計算の実現にむけて大きく前進～」
https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200330/index html#ZU7（2021/2/1 アクセス）

表 4-2　主な非線形光学結晶の種類と特徴

種類	結晶の特徴・用途
KTP	● 強誘電体 - 超伝導体の組合せから成る材料。 ● 光損傷耐性、大きな非線形光学定数、温度安定性を有する。 ● Nd:YAG レーザーなどの高調波変換用に用いられる（波長 532nm）。
PPLN	● レーザーなどの高調波変換用、主に可視域（700～800 nm）での波長変換素子に用いられる。 ● パラメトリック下方変換を活用した量子情報科学への応用が見込まれている。
BBO	● 深紫外領域で十分な透明性を有し，非線形光学定数、複屈折が大きいボレート系結晶。様々な企業が生産している。 ● 低出力であり損傷耐性に弱い。 ● レーザー光の第二高調波発生や超短パルスレーザーに用いられる。
LBO	● 非線形光学定数が低く、エネルギー変換効率が悪い。
CLBO	● 266nm、213nm 光の発生特性に優れる特徴を有している。適度な複屈折率を有し、大きな非線形光学定数を有する。 ● CLBO を用いた深紫外レーザーの集光性を活かして、半導体フォトマスクの微小欠陥検査や、Si ウエハ上のナノ微粒子検出に用いられている。
DKDP ADP KDP	● 紫外光に対して透過率が良く、高い損傷耐性を持つ。また、高い複屈折率がある。 ● レーザー光の波長変換の他、電気光学効果（Electro-Optic effect; EO、電気信号による光の振幅変調・位相変調）を利用した、Q スイッチング（出力の大きいパルス的なレーザー光を取り出す方法）などに使用される。 ● KDP は使用波長の透過領域が広く、光損傷耐性があり、大型の結晶育成ができ、材料が安価であることから、古くから用いられてきた。

（出所）Polaris Market Research, ” Global Non-linear Optical Crystals Market FORECAST TO 2028”、

(2) 非線形光学結晶の市場規模

本調査で採り上げた 8 種類の非線形光学結晶の市場規模は、2015 年から一貫して増加傾向にあり、2028 年には 2 倍以上になると見込まれている。北米（North America）、欧州（Europe）、アジア太平洋（Asia Pacific）、中南米（Latin America）、中東・アフリカ（MEA）のいずれの地域も増加の見込みである。

非線形光学結晶の市場規模を種類別に見ると、いずれも結晶においても、2028 年は 2019 年の市場規模の 3 倍以上になると予測されている。[68]

(3) 非線形光学結晶の用途

非線形光学結晶の市場規模を用途（application）別に見ると、特にレーザー技術、医療、水中写真、光通信において拡大することが見込まれている。

(4) 主要企業

非線形光学結晶を製造し、開発するグローバル企業として、主に以下の企業が挙げられる[69]。

- Covesion Ltd（英国）
- HC Photonics（台湾）
- Eksma Optics（リトアニア）
- Hangzhou Shalom Electro-optics Technology Co., Ltd（中国）

1) Covesion Ltd

Covesion Ltd は 2009 年に Stratophase Ltd.と英国サウサンプトン大学からのスピンアウト企業としてスタートした英国企業である。同社は、可視光と中赤外光に利用される PPLN のレーザーシステムの設計・製造に強みを持つ企業である。特に、MgO をドープした PPLN を提供している。2019 年には、導波路型 PPLN デバイスを提供している [70]。

2) HC Photonics Corp.

HC Photonics は、スタンフォード大学の卒業生グループによって 2000 年に設立された企業である。PPLN、PPL を製造するリーディングカンパニーであり、台湾に拠点を置く。導波路型 PPLN デバイスを世界で最初に製造したことでも知られる [71]。RGB ディスプレイ、バイオ医薬品、バイオフォトニクス、センシング、材料の加工、科学/研究アプリケーションを含む様々なレーザーの波長変換用の非線形光学結晶を提供している [72]。

---

[68] Polaris Market Research, ” Global Non-linear Optical Crystals Market FORECAST TO 2028”

[69] Polaris Market Research, ” Global Non-linear Optical Crystals Market FORECAST TO 2028”に基づく。

[70] Covesion Ltd「About us」、https://www.covesion.com/company/about-us html（2020/2/1 アクセス）

[71] 有限会社ブロードバンド「HC Photonics 周期分極反転 LiNbO3 結晶（導波路型 PPLN）」 http://www.bblaser.com/bbl_item/022hcp html（2020/2/1 アクセス）

[72] HC Photonics、https://www.hcphotonics.com/（2020/2/1 アクセス）

3) EKSMA Optics

1983 年に設立されたグローバル企業であり、リトアニアに拠点を置く。高出力レーザーアプリケーション用の精密光学部品と光学システム、非線形光学結晶、オプトメカニクス、電気光学ポッケルスセル及び関連製品を製造し、グローバルに供給している。

非線形光学結晶に関しては、特に LBO、BBO を製造し提供している。また、光学研磨設備を有しており、DKDP、KDP、LBO、BBO、ZnGeP2 結晶の加工・最終研磨を行っている[73]。

4) Hangzhou Shalom Electro-optics Technology Co., Ltd

中国の杭州に拠点をおくグローバル企業であり、2011 年に設立された。顧客からの個別リクエストにも対応したカスタマイズ製品も手掛けるグローバル企業である。非線形光学結晶以外にもウエハなど、以下に挙げる様々な製品を手掛ける[74]。

- レーザーシステム用の結晶、光学系、光学フィルタ、部品、光学機器、器具
- 赤外線サーマルカメラやアプリケーション用の IR レンズ、窓材、光学部品
- X 線検出用のシンチレーション結晶とコンポーネント
- 半導体、HTSC、産業、医療、科学、研究用アプリケーション用途の弾性表面波結晶とウエハ、サファイア及び他の結晶基板・ウエハ。

非線形光学結晶については、主に BBO、KTP、高パワーレーザー用の KTP（HGTR（High Gray Track Resistant）KTP）を提供している。

4.4.2 非線形光学結晶に関する技術動向

(1) 紫外レーザー光を得る方法

現在、半導体分野等で使われる紫外線レーザーの主流はエキシマレーザー方式である。エキシマレーザーでは、ガスを放電させることで、その放電エネルギーで電子を励起させ、そこから元の状態に戻る際に放出されるエネルギーを用いる。現在の半導体露光工程の主役として、市場に普及している。一方、連続的な繰り返し発光が難しく、集光性も不安定になりがちであること、エネルギーの変換効率が高いことから、メンテナンス費用が高いことが指摘されている[75]。

紫外レーザー光を得るための他の方法として、固体紫外レーザーを用いる方法がある。

固体レーザーは、レーザー媒質用結晶（固体）を励起させ、レーザーを発振させる[76]。し

---

[73] EKSMA Optics「About Us」、https://eksmaoptics.com/about-us/（2020/2/1 アクセス）

[74] Hangzhou Shalom Electro-optics Technology Co., Ltd.「About Us」https://www.shalomeo.com/About-us（2020/2/1 アクセス）

[75] NEDO「実用化ドキュメント」、https://www nedo.go.jp/hyoukabu/articles/201312kogakugiken/index html（2020 年 12 月 10 日アクセス）

[76] 名古屋大学「Nd:YAG レーザー (LS-2147, LOTIS TII 社)」
https://www nuee nagoya-u.ac.jp/labs/yoshidalab/equipments/NdYAG.html#:~:text=Nd%3AYAG%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%B6%E3%83%BC%E3%81%AFKrF,%E3%81%AE%E5%95%8F%E9%A1%8C%E7%82%B

かし、その波長域は、赤外から赤色までの長波長域が中心である。現在、医療用、産業用等で広く用いられている Nd:YAG レーザー（固体レーザー）の基本波は赤外光（1,064nm）であり、紫外光を得るためには、赤外光から紫外光への波長変換が必要になる。

この紫外光への変換は、入射光の整数分の 1 となる波長の光を発生する非線形光学結晶を用いることにより、実現することが可能である（図 4-1）。

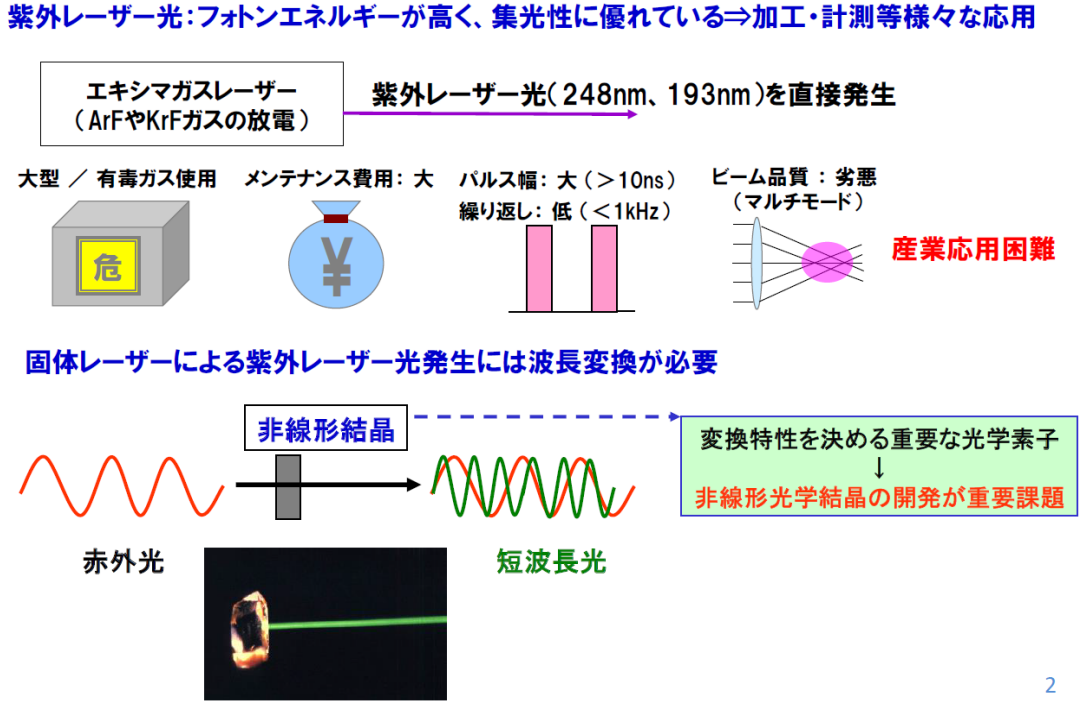


図 4-1　固体レーザーにおける紫外レーザー光源の必要性

（出所）大阪大学森勇介教授　勉強会講演資料

(2) 非線形光学結晶の特性

紫外レーザー光を実現する非線形光学結晶は、光源の出力・波長を決定する重要な素子である。レーザー光の特性は、以下に挙げる非線形光学結晶の特性（線形光学定数、複屈折、吸収端、結晶育成、損傷耐性の観点）で決まる。

- 吸収端が短いこと（透明であり、結合が強い結晶であること）
- 複屈折（光の角度により屈折率が異なること、ウォークオフ角）が適度にあること
- 大きな非線形光学定数を有すること
- 結晶育成が容易であること
- 損傷耐性があること

全固体紫外レーザーに用いられる非線形光学結晶は、深紫外領域で十分な透明性を有し，非線形光学定数、複屈折が大きいボレート系結晶を中心に発展してきた経緯がある。以下の主要なボレート系結晶は、いずれも中国の C.T.Chen グループが発明した [77]。しかし、これ

9%E3%82%82%E6%8C%81%E3%81%A4%E3%80%82

[77] 大阪大学森勇介教授　勉強会講演資料

らの非線形光学結晶では、先に挙げた波長変換特性が十分でないために、エキシマレーザーを超える固体紫外レーザーとしては実現しなかった。

【C.T.Chen グループが発明したボレート系結晶】

- BBO（β-BaB_2O_4）
- LBO（LiB_3O_5）（図 4-2）
- KBBF（$KBe^2BO_3F_2$）



図 4-2 LBO 結晶の基本構造の例

（出所）大阪大学森勇介教授 勉強会講演資料

大阪大学の森勇介教授らは、LBO と CBO の 2 種類の全く異なる構造を持つ光学結晶から、1993 年に、CLBO（$CsLiB_6O_{10}$／セシウム・リチウム・ボレート）結晶を発見した。CLBO は混晶ではなく、LBO でも CBO でもない新材料であり、266nm、213nm 光の発生特性に優れる特徴を有している（図 4-3）。

1994 年に特許を出願後、日本、欧州と米国で物質特許が成立している。

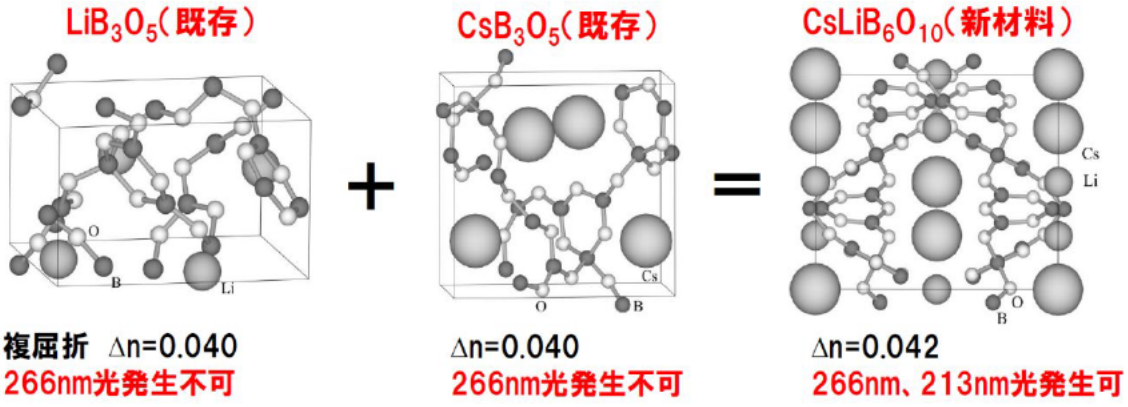


図 4-3 CLBO 結晶の基本構造

（出所）大阪大学森勇介教授 勉強会講演資料

(3) CLBO と他のボレート系結晶との比較

ボレート系結晶である BBO、CLBO、LBO、KBBF の波長変換特性を、線形光学定数、複屈折、吸収端、結晶育成、損傷耐性の観点から比較した（表 4-3）

紫外光発生用の非線形光学結晶には、以下の特性が求められるが、いずれの条件も満たすのは CLBO のみである。

- 吸収端波長が短いこと
- 複屈折（ウォークオフ角）が適度にあること
- 大きな非線形光学定数を有すること
- 結晶育成が容易であること
- 損傷耐性があること

266nm 光を発生する主な非線形光学結晶には、BBO、CLBO、LBO の 3 種類がある。

しかし、LBO は波長変換の工程が 1 回多く、エネルギー変換効率が悪い。BBO は低出力であり損傷耐性に弱い。

表 4-3　CLBO と他の結晶との特性比較

	吸収端波長 (nm)	実効非線形光学定数 (pm/V)	ウォークオフ角 (mrad)	角度許容幅 (mrad・cm)	温度許容幅 (°C・cm)	結晶成長	損傷耐性
BBO	189	1.75	85.3	0.19	6.0	Easy (flux) Difficult (melt)	× NLA大
CLBO	180	0.79	32.2	0.55	6.2	Easy (melt & self-flux)	○ PRD
LBO (1+3)	160	0.47	17.5	1.24	4.8	Easy (flux) Difficult (self-flux)	△ PRD
KBBF*	147	0.39	52.9	0.42	77	Difficult	×

（出所）大阪大学森勇介教授　勉強会講演資料

(4) CLBO の作製方法

CLBO の実用化に向けては、結晶育成技術、研磨技術及びレーザー技術の全てが必要とされ、いずれかが欠けても実用化には大きな課題が生じる。

大阪大学による CLBO の発見後、実用化に向けた NEDO による支援プロジェクト「フォトン計測・加工技術」プロジェクト（1997-2001 年）では、必要とされる技術開発を得意とする企業及び大学の役割分担により共同研究が進められた（図 4-4）。その結果、CLBO の性能を大幅に向上させることに成功した。

- 三菱電機：レーザー技術開発
- 大阪大学：結晶育成技術
- 光学技研：研磨

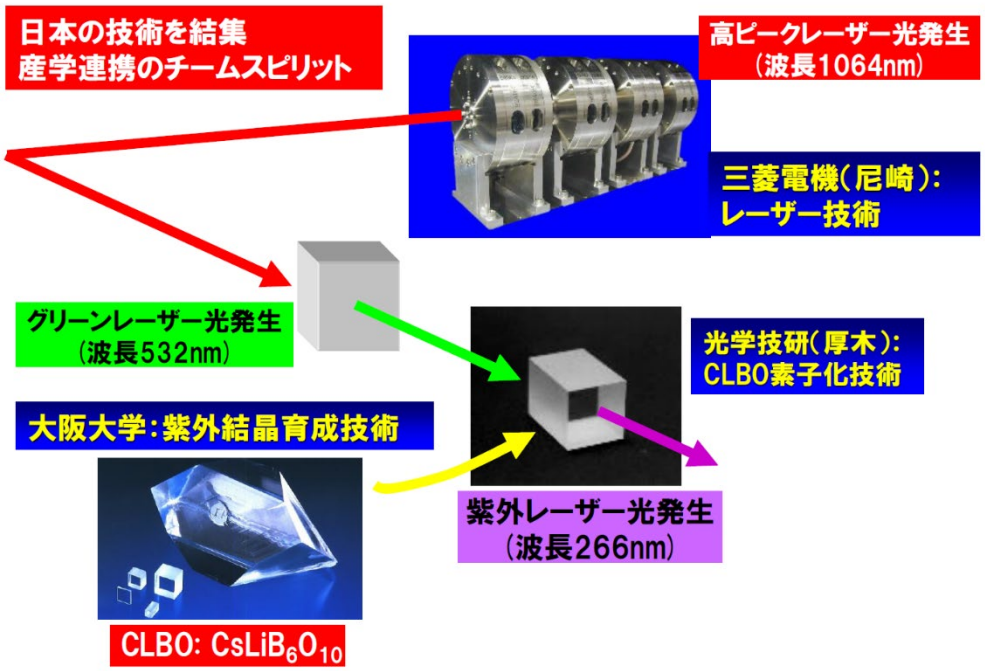


図 4-4　NEDO「フォトン計測・加工技術」プロジェクトにおける産学の役割分担

（出所）大阪大学森勇介教授　勉強会講演資料

CLBO の短所は、水に弱いことである。運搬の過程でも留意が必要である上、研磨の部屋の湿度を下げるなど、結晶の加工の過程においても手間がかかるため、デメリットとなる。しかし、この特性こそが、諸外国等の研究機関等が CLBO を模倣しにくい要因の一つになっている。

(5) CLBO の用途

CLBO を用いた深紫外レーザーの集光性を活かして、半導体フォトマスクの微小欠陥検査や、Si ウエハ上のナノ微粒子検出において、CLBO が用いられている。

CLBO が搭載されている製品例としては、以下の製品がある。

- フォトマスク検査装置：米 KLA 社、ニューフレアテクノロジー社、レーザーテック株式会社（図 4-5）
- ウエハ検査装置：米 KLA 社

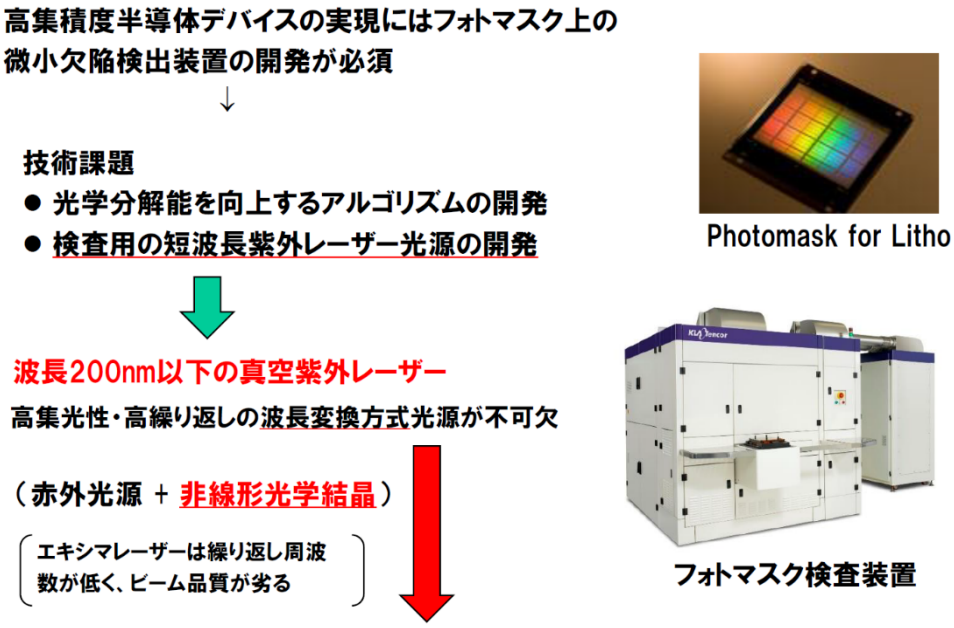


図 4-5　CLBO のフォトマスク検査への応用例

（出所）大阪大学森勇介教授　勉強会講演資料

(6) IoT の高度化による CLBO の市場へのインパクト、技術的課題

2010 年代前半から IoT が注目され、小さく高性能なデバイスの開発が最重要課題となっている。高性能なデバイス実現のため、半導体の集積度が近年飛躍的に向上しており、現在の半導体集積回路の線幅は 2nm を目指すとの報告もある [78]。ここで重要となるのが短波長（極端紫外線 : EUV）光源による半導体の微細加工技術（EUV リソグラフィ技術）である。オランダの ASML 社は EUV リソグラフィ装置を出荷し、台湾に拠点を置く TSMC 社では、プロセス開発が行われている [79]。

EUV リソグラフィ技術の実用化により、周辺装置の開発ニーズも向上している。特に、IoT に必須な高性能チップの製造工程・パッケージにおいて、深紫外レーザー技術を用いた様々な計測・加工の技術の高度化が必要とされている。

CLBO は、半導体の前工程におけるフォトマスク検査やウエハ検査装置、後工程におけるビア加工やダイシング加工に用いられることで、用途を広げている（表 4-4）。

[78] TSMC「研究開発計画」https://www.tsmc.com/japanese/dedicatedFoundry/technology/future_rd（2021/2/1 アクセス）

[79] 文部科学省科学技術・学術審議会　先端研究基盤部会　量子科学技術委員会「最先端フォトニクス・レーザー（産業応用の高度化）に係る議論 (H29.1.26、第 8 回)の骨子案」
https://www mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu17/010/houkoku/1382226 htm（2021/2/1 アクセス）

表 4-4　半導体の前工程・後工程の CLBO の用途例

製造工程	製品の種類（例）	CLBO の用途
半導体の前工程	ウエハ検査装置 （KLA 株式会社）	シリコンウエハ上のナノサイズの不純物検出を 20W 超の高出力 266nm 紫外レーザーにより行う。「全品検査」する必要が生じている。
半導体の後工程	ピコ秒 266nm レーザー （スペクトロニクス株式会社、三菱電機）	IoT 用プリント基板材料はガラスを含有しており、加工が難しい場合も多い。266nm レーザーにより、ガラスを含む多層プリント基板回路の超微細加工が可能となった。

（出所）大阪大学森勇介教授　勉強会講演資料

4.4.3 他の深紫外光源の種類とその用途

ここまで、主に CLBO を始めとする非線形光学結晶による紫外レーザー光の原理とその応用についてまとめてきた。本項では、紫外レーザー光以外の深紫外光源の種類と用途について、概観する。

深紫外光源は、その用途として、半導体ウエハや液晶ガラス基板の洗浄、樹脂の硬化、リソグラフィ（半導体露光）の光源、殺菌、ウイルス不活化の用途、皮膚治療等の医療用途、水の殺菌・浄化等、広範に用いられている。今後もその用途が広がることが期待されている[80]。

深紫外光源の種類についてみると、エキシマレーザーや固体紫外レーザー光の、従前から用いられている水銀灯、エキシマランプの他、LED 等がある。

なかでも、近年の開発の特徴として、深紫外 LED の開発が挙げられる。

深紫外 LED は、低圧水銀灯に代わる用途としても注目されている。低圧水銀灯が深紫外 LED に置き換えられた場合、低電圧駆動、交流電源不要、高速応答、長寿命、波長選択性、低環境負荷等のメリットを有する[81]。

405nm～365nm 帯の発光波長を持つ紫外線 LED については、製品化が進んでいる。365nm 帯では、紫外線樹脂硬化の用途等において、紫外線ランプから紫外線 LED への置き換えが進んでいるとの指摘がある。

(1) 紫外線の呼称

紫外線（専門用語では「紫外放射」）には、用途や分野に応じて様々な呼称がある。国際照明委員会（Commission Internationale de l'Eclairage：CIE）で定義された紫外線の分類・呼

[80] 国立研究開発法人産業技術総合研究所「深紫外光を含む超短パルスレーザー加工プラットフォームを構築」、https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190924_2/pr20190924_2 html（2020/12/24 閲覧）

[81] 東京農工大学学報「世界トップレベルの高性能深紫外線発光ダイオード（ＬＥＤ）の作製に成功」http://web.tuat.ac.jp/~koukai/gakuho/2012/529/news2_siryou.pdf

称として、UV-A、UV-B、UV-C がある[82]。また、CIE とは異なる分類として、深紫外線（DUV）、極端紫外線（EUV）、近紫外線、中紫外線、遠紫外線などの呼称がある。本調査で採り上げた CLBO は、深紫外線である 266nm の波長域のレーザーを実現する波長変換素子である。

表 4-5　主な紫外線の呼称（CIE による分類）

呼称	波長
UV-A	315～400nm
UV-B	280～315 nm
UV-C	100～280 nm

（出所）国立環境研究所「絵とデータで読む太陽紫外線」、
https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/m018/all_M018.pdf（2020/12/24 アクセス）

表 4-6　CIE 以外の紫外線の呼称

呼称	波長
遠紫外線	1～200nm
深紫外線（DUV）	200～300nm
極端紫外線（EUV）	10～121nm
近紫外線	300～400nm
中紫外線	200～300nm

(2) 深紫外光源の主な種類

[82] 国立環境研究所「絵とデータで読む太陽紫外線」
https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/m018/all_M018.pdf（2020/12/24 アクセス）

表 4-7 に、深紫外（及び周辺の波長域を含む）光源の種類、波長域、特徴、主な用途について整理した。深紫外光源は、エキシマレーザーや固体紫外レーザー光の、従前から用いられている水銀灯、エキシマランプの他、LED 等がある。

表 4-7　主な深紫外光源の波長、種類及び用途

波長	種類	特徴	用途（例）
172nm	エキシマランプ	大面積対応が可能、低コスト、メンテナンス性に優れる、小型 酸素をオゾン化する作用あり	半導体ウエハや液晶ガラス基板の洗浄、高分子材料の表面改質
193nm	エキシマレーザー（ArF） Nd:YAGやNd:YVO4の基本波を非線形光学結晶（KTP・CLBO）で波長変換した固体レーザー	高フォトンエネルギー（エキシマレーザーの特徴） コヒーレント光（位相のそろった光）	リソグラフィ（半導体露光）
222nm	エキシマランプ	人体への悪影響は少ないとの検証結果あり	殺菌、ウイルス不活化
248nm	エキシマレーザー（KrF）	高フォトンエネルギー（エキシマレーザーの特徴） コヒーレント光（位相のそろった光）	半導体露光
254nm/185nm	低圧水銀灯	水銀蒸気圧が 100Pa 以下の水銀蒸気中のアーク放電の発光を利用した放電ランプ。	水の殺菌、ウイルス不活化、液晶の光洗浄、印刷キュアリング、液晶バックライト等
270nm（265～285nm）	LED（AIN、AlGaN）	研究開発段階、 高い除菌効果	局所的な殺菌
266nm	Nd:YAGやNd:YVO4の基本波を非線形光学結晶（KTP・CLBO）で波長変換した固体レーザー	コヒーレント光（位相のそろった光）	フォトマスク検査装置、ウエハ検査装置等
308nm	エキシマレーザー（XeCl）、LED	高フォトンエネルギー コヒーレント光（位相のそろった光）	皮膚疾患の治療
365nm～405nm～436nm	ランプ、レーザー LED（青色、InGaN）	半導体、フラットパネルディスプレイやプリント基板に多用	露光や樹脂の硬化

（出所）特許庁「平成 22 年度特許出願技術動向調査」、https://www.jpo.go.jp/resources/report/gidou-houkoku/tokkyo/document/index/22laser_manu.pdf、環境省「日本における水銀対策技術 LED 技術」https://www.env.go.jp/chemi/tmms/mtbs/mtbs-jp_011.pdf 及び企業ヒアリングに基づき作成

以下では、深紫外光源の種類別に、主な製品やその用途について整理する。なお、非線形光学結晶については前項で扱っているため、ここでは固体紫外レーザー以外の深紫外光源について扱う。

1) エキシマレーザー

エキシマレーザーは、ガスを放電させることで、その放電エネルギーで電子を励起させ、そこから元の状態に戻る際に放出されるエネルギーを用いる。主に、193nm（ArF）、248nm（KrF）、308nm（XeCl）、353nm（XeF）がある。主な用途は、半導体露光（フォトリソグラフィ）や視力矯正手術用レーザーメスなどがある。

紫外線光源は、半導体の微細加工用途の市場ニーズの高まりにより、短波長化が進む。半導体 KrF(248nm)から ArF(193nm）へと進み、さらに先に触れた EUV（極端紫外光、13.5nm)光源の開発が進んでいる [83]。

2) エキシマランプ

エキシマランプは、エキシマレーザーに比べるとフォトンエネルギーが低い一方、「大面積対応が可能、低コスト、メンテナンス性に優れる、小型」[84]といったメリットがある。

エキシマランプで市販されているものには、放電ランプがある。放電ランプは、誘電体バリア放電を利用し、希ガス原子／希ガス原子とハロゲン原子によって形成されるエキシマからの光を放射する。また、エキシマランプの主な波長域は、126nm(Ar)、146nm(Kr)、172nm(Xe)、222nm(KrCl)、308nm(XeCl)等がある。

エキシマランプの主な産業応用としては、乾式洗浄、親水化/濡れ性向上、密着性/接着性向上、アッシング/残渣除去などがある [85]。携帯電話のディスプレイ、オートモーティブ、医療機器向けにエキシマランプが用いられている [86]。

また最近では、222nm のエキシマランプがウイルス不活化・殺菌用途で製品化された。

222nm 紫外線は、人体の皮膚への安全性と殺菌効果の両立が立証されたとの研究成果が報告されている [87]。新たに有人環境でも使用できる特徴を活かして、空間除菌、表面のウイルス抑制・除菌用途として、医療機関等の待合室、トイレ、食品加工場、公共施設・乗り物等での活用が見込まれている [88]。

---

[83] ウシオ電機「フォトリソグラフィ（フォトリソグラフィ―）」
https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/glossary_ha/photo_lithography html

[84] 菅原寛「エキシマランプと応用」https://www.jstage.jst.go.jp/article/lsj/35/Supplement/35_S5/_pdf

[85] ウシオ電機「エキシマランプの産業応用」https://www.ushio.co.jp/jp/feature/uv_equipment/products/vuv html
及びエキシマ」https://www.ushio.co.jp/jp/feature/uv_equipment/products/vuv html

[86] ウシオ電機「エキシマ」https://www.ushio.co.jp/jp/feature/uv_equipment/products/vuv.html

[87] 神戸大学「222nm 紫外線の人体皮膚への安全性と殺菌効果の両立を立証 ― これまでにない、新たな感染症予防・治療法開発へ ―」
https://www kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/collaborations/2020_08_13_01.html（2021/2/1 アクセス）

[88] ウシオ電機「Care222®とは？」https://clean.ushio.com/ja/care222/

3) 低圧水銀灯

低圧水銀灯は、低コスト、製造も容易であることから、水の殺菌、ウイルス不活化、液晶の光洗浄、印刷キュアリング、液晶バックライト等多様な用途に用いられてきた。しかし、「水銀に関する水俣条約」により、低圧水銀灯は 2021 年度から製造、輸出入が禁止されている[89]。

4) 深紫外 LED

近年、深紫外 LED の開発が進んでおり、低圧水銀灯に代わる用途としても注目されている。低圧水銀灯が深紫外 LED に置き換えられた場合、低電圧駆動、交流電源不要、高速応答、長寿命、波長選択性を有すること、低環境負荷等のメリットを有する。

深紫外 LED は、殺菌、浄水&空気浄化、医療（皮膚治療、院内感染防止等）、紫外線硬化樹脂、作物の病害駆除（農業）印刷コーティング等、多様な用途への活用が期待されている（図 4-6）[90]。

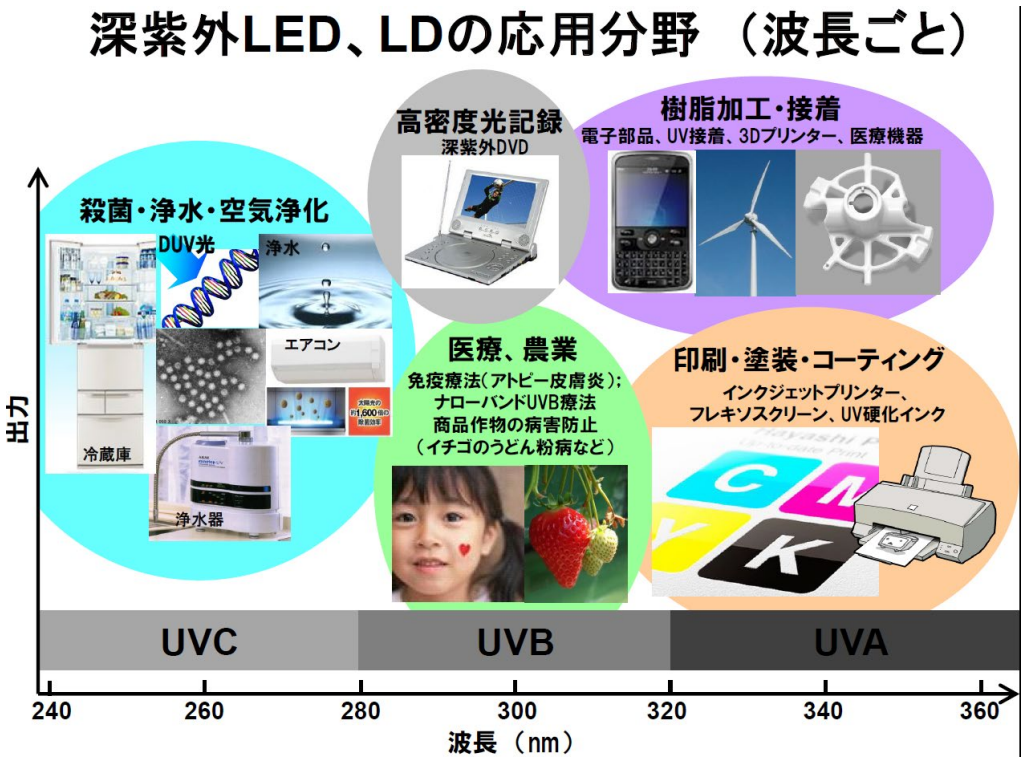


図 4-6　深紫外 LED/LD の応用分野

（出所）理化学研究所平山秀樹主任研究員からの提供資料

特に、405nm～365nm 帯の発光波長を持つ紫外線 LED の製品化が進んでおり、紫外線樹脂硬化の用途等において、365nm 帯では、紫外線ランプから紫外線 LED への置き換えが進

[89] 環境省「「水銀に関する水俣条約」について」https://www.env.go.jp/chemi/tmms/pdf/full.pdf

[90] 理化学研究所平山秀樹主任研究員からの提供資料に基づく

んでいるとの指摘がある[91]。

現在、光出力 500mW を超える 265nm 帯の LED や、AlGaN 深紫外 LED の高効率化に関する研究開発が行われている。殺菌灯用途としての深紫外 LED の効率（外部量子効率）は、現状では 2～3%である。将来の目標効率として、低圧水銀灯の効率 20%を超える 40%に据え、研究開発が実施されている（図 4-7）。効率が 20%を超える深紫外 LED が登場すれば、深紫外 LED がランプ殺菌灯に置き換わる可能性が現実的になると考えられる。

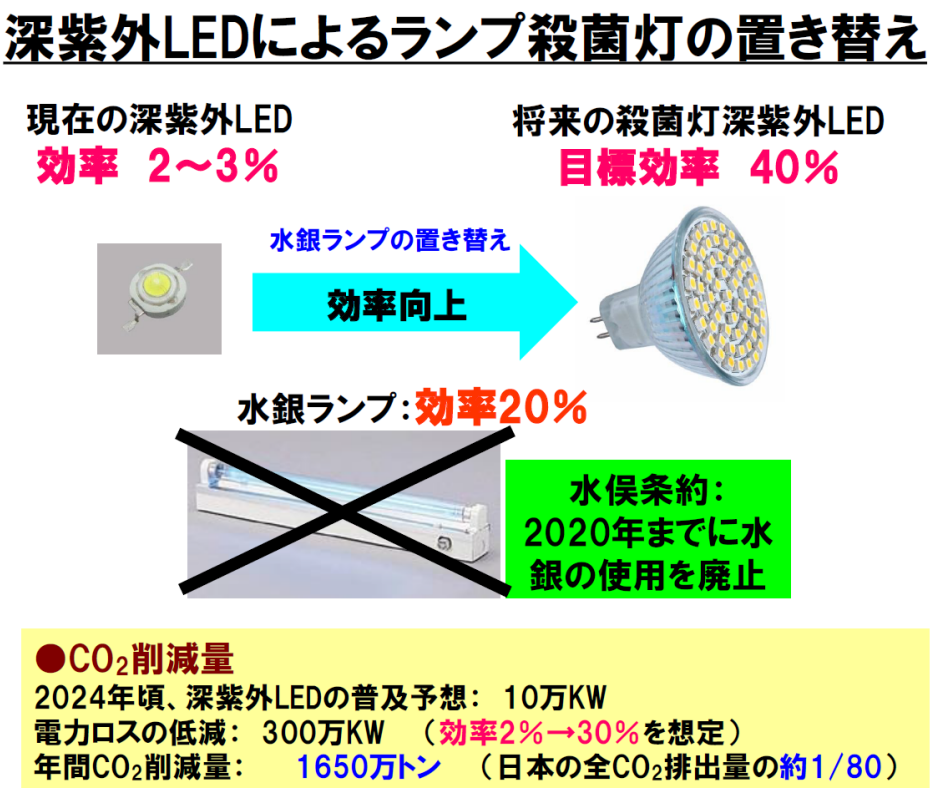


図 4-7 殺菌灯深紫外 LED の研究開発目標

（出所）理化学研究所平山秀樹主任研究員からの提供資料

4.4.4 技術保有者と経営基盤

(1) 特許分析

主な非線形光学結晶（KTP、PPLN、BBO、LBO、CLBO、DKDP、ADP、KDP）の国内特許、国際出願（PCT）の状況について整理する。

国内特許の状況について調べたところ、LBO 及び CLBO に関する発明が検索された。LBO は、かつて中国のフージャンキャステッククリスタルズが出願していたが、権利は満了している。現在は、8 種の非線形光学結晶のうち、CLBO の「ボレート系結晶の製造方法とレーザー発振装置」及び「波長変換光学素子、波長変換光学素子の製造方法、波長変換装置、紫外線レーザー照射装置及びレーザー加工装置」について、特許権が存続している。

[91] 環境省「日本における水銀対策技術 LED 技術」https://www.env.go.jp/chemi/tmms/mtbs/mtbs-jp_011.pdf（2020/12/24 閲覧）

表 4-8　主な非線形光学結晶の特許出願人、発明の名称及び権利の状況（国内特許）

種類	出願人	発明の名称	権利の状況
KTP	-	-	-
PPLN	-	-	-
BBO	-	-	-
LBO	フージャンキャステッククリスタルズ	非線形光学的装置	権利満了
CLBO	独立行政法人科学技術振興機構	ボレート系結晶の製造方法とレーザー発振装置	特許第 4619946 号 権利満了予想時期：2024/2
	三菱電機/大阪大学	波長変換光学素子、波長変換光学素子の製造方法、波長変換装置、紫外線レーザー照射装置及びレーザー加工装置	特許第 4911494 号 権利満了予想時期：2026/3
DKDP	-	-	-
ADP	-	-	-
KDP	-	-	-

(2) 技術保有者の概要

1) 企業（フージャンキャステッククリスタルズ（CASTECH 社））

かつて LBO の特許を保有していた中国企業である。自社で結晶成長、切り出し、コーティングまでの行程を全て自社で行っているとの指摘がある[92]。

2) 大学等

CLBO に関する特許としては「ボレート系結晶の製造方法とレーザー発振装置」（科学技術振興機構が出願人、大阪大学の森勇介教授他が発明者）及び、「波長変換光学素子、波長変換光学素子の製造方法、波長変換装置、紫外線レーザー照射装置及びレーザー加工装置」（三菱電機/大阪大学が出願人）がある。

4.4.5 重要技術と非線形光学結晶に求められる技術的課題

(1) 重要技術

固体レーザーは、レーザー媒質用結晶（固体）を励起させ、レーザーを発振させる。しか

[92] オプトサイエンス社「CASTECH」https://www.optoscience.com/maker/castech/

し、その波長域は、赤外から赤色までの長波長域が中心である。レーザー光により紫外領域の光を得るためには、現状では、エキシマレーザーを用いるか、非線形光学結晶等を用いて、赤外光から紫外光への波長変換が必要になる。

日本発の技術として知られる非線形光学結晶CLBOは、CLBOは、波長域が266nm、213nm、193nm の光の発生特性に優れる。また、他のボレート系結晶（LBO、BBO）と比べて、非線形光学結晶に求められる 5 つの以下の条件をいずれも満たす唯一の非線形光学結晶である。

- 吸収端波長が短いこと
- 複屈折（ウォークオフ角）が適度にあること
- 大きな非線形光学定数を有すること
- 結晶育成が容易であること
- 損傷耐性があること

一方で、CLBO は水に弱い性質があるため、結晶の加工過程において手間がかかるデメリットがあるが、この特性こそが、諸外国等の研究機関等が模倣しにくい要因の一つになっている。

CLBO の実用化に向けては、結晶育成技術、研磨技術及びレーザー技術の全てが必要とされ、政府・資金配分機関による支援の下、これらの技術開発の支援が行われてきた。その結果、CLBO は、諸外国との技術競争に打ち勝ち、実用化に必要とされた結晶育成技術、研磨技術及びレーザー技術に関する課題を克服し、現在では、前工程における半導体フォトマスクの微小欠陥検査や、Si ウエハ上のナノ微粒子検出装置に搭載されるまでに至っている。

2010 年代前半から IoT が注目され、小さく高性能なデバイスの開発が最重要課題となっている。高性能なデバイス実現のために必要となる半導体の微細加工に必要とされるのが、短波長（極端紫外線：EUV）光源による半導体の微細加工技術（EUV リソグラフィ技術）の研究開発・製品化の国際競争が起きている。

EUV リソグラフィ技術の進展に伴い、周辺装置の開発ニーズも向上している。特に、IoT に必須な高性能チップの製造工程・パッケージにおいて、深紫外レーザー技術を用いた様々な計測・加工の技術の高度化が必要とされている。CLBO は、半導体の前工程におけるフォトマスク検査やウエハ検査装置、後工程におけるビア加工やダイシング加工に用いられることで、用途を広げている。

4.5 参考

4.5.1 非線形光学結晶に関する勉強会

日時	2020 年 10 月 28 日（火）13:30-15:30
場所・実施方法	オンライン
講師	森勇介 大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報通信工学専攻 教授 （吉村政志 大阪大学レーザー科学研究所 教授もご同席）
講演タイトル	CLBO 結晶の発見から実用化に至る道程と将来展望-
講演概要	非線形光学結晶の技術動向、実用化の状況、市場へのインパクトについて開設する。特に、半導体製造プロセスにおける CLBO の用途、今後の潮流から見た CLBO の技術的インパクト・市場へのインパクト、CLBO と他の非線形光学結晶との比較、などについて紹介する。

4.5.2 主要参考文献

- JST「技術紹介 - PROJECT2 超小型パワーレーザー｜ImPACT PROGRAM ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現」<https://www.jst.go.jp/impact/sano/technical/project2.html>
- JST「光量子コンピュータチップ実現にむけた高性能量子光源の開発に成功 ～室温動作可能な大規模・高速・汎用光量子計算の実現にむけて大きく前進～」<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200330/index.html#ZU7>
- Polaris Market Research, ” Global Non-linear Optical Crystals Market FORECAST TO 2028”
- Covesion Ltd「About us」<https://www.covesion.com/company/about-us.html>
- 有限会社ブロードバンド「HC Photonics 周期分極反転 LiNbO3 結晶（導波路型 PPLN）」<http://www.bblaser.com/bbl_item/022hcp.html>
- HC Photonics、<https://www.hcphotonics.com/>
- EKSMA Optics「About Us」<https://eksmaoptics.com/about-us/>
- Hangzhou Shalom Electro-optics Technology Co., Ltd.「About Us」<https://www.shalomeo.com/About-us>
- NEDO「実用化ドキュメント」<https://www.nedo.go.jp/hyoukabu/articles/201312kogakugiken/index.html>
- 名古屋大学「Nd:YAG レーザー (LS-2147, LOTIS TII 社)」<https://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/yoshidalab/equipments/NdYAG.html#:~:text=Nd%3AYAG%E3%83%AC%E3%83%BC%E3%82%B6%E3%83%BC%E3%81%AFKrF,%E3%81%AE%E5%95%8F%E9%A1%8C%E7%82%B9%E3%82%82%E6%8C%81%E3%81%A4%E3%80%82>
- TSMC「研究開発計画」<https://www.tsmc.com/japanese/dedicatedFoundry/technology/future_rd>
- 文部科学省科学技術・学術審議会　先端研究基盤部会　量子科学技術委員会「最先端

フォトニクス・レーザー（産業応用の高度化）に係る議論 (H29.1.26、第 8 回)の骨子案」
<https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu17/010/houkoku/1382226.htm>
- 国立環境研究所「絵とデータで読む太陽紫外線」、
<https://www.cger.nies.go.jp/publications/report/m018/all_M018.pdf>
- 国立研究開発法人産業技術総合研究所「深紫外光を含む超短パルスレーザー加工プラットフォームを構築」
<https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190924_2/pr20190924_2.html>
- 特許庁「平成 22 年度特許出願技術動向調査」
<https://www.jpo.go.jp/resources/report/gidou-houkoku/tokkyo/document/index/22laser_manu.pdf>
- 環境省「日本における水銀対策技術 LED 技術」
<https://www.env.go.jp/chemi/tmms/mtbs/mtbs-jp_011.pdf>
- ウシオ電機「エキシマ」
<https://www.ushio.co.jp/jp/feature/uv_equipment/products/vuv.html>
- ウシオ電機「フォトリソグラフィ（フォトリソグラフィー）」
<https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/glossary_ha/photo_lithography.html>
- 菅原寛「エキシマランプと応用」
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/lsj/35/Supplement/35_S5/_pdf>
- ウシオ電機「エキシマランプの産業応用」
<https://www.ushio.co.jp/jp/feature/uv_equipment/products/vuv.html>
- 神戸大学「222nm 紫外線の人体皮膚への安全性と殺菌効果の両立を立証 ― これまでにない、新たな感染症予防・治療法開発へ ―」
<https://www.kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/collaborations/2020_08_13_01.html>
- ウシオ電機「Care222®とは？」<https://clean.ushio.com/ja/care222/>
- 環境省「「水銀に関する水俣条約」について」
<https://www.env.go.jp/chemi/tmms/pdf/full.pdf>
- 環境省「日本における水銀対策技術 LED 技術」
<https://www.env.go.jp/chemi/tmms/mtbs/mtbs-jp_011.pdf>
- オプトサイエンス社「CASTECH」<https://www.optoscience.com/maker/castech/>

4.5.3 用語・略称

本報告書での表記	正式名称・意味など
CLBO 結晶	$CsLiB_6O_{10}$／セシウム・リチウム・ボレート結晶
KTP 結晶	$KTiOPO_4$ 結晶
PPLN 結晶	Periodically Poled Lithium Niobate 結晶
BBO 結晶	β-BaB_2O_4 結晶
LBO 結晶	LiB_3O_5 結晶
DKDP 結晶	Deuterated potassium dihydrogen phosphate（KD_2PO_4）結晶
ADP 結晶	Ammonium dihydrogen phosphate 結晶
KDP 結晶	Potassium Dihydrogen Phosphate 結晶
DUV	Deep Ultraviolet（深紫外線）
EUV	Extreme ultraviolet（極端紫外線）
Nd:YAG	Nd（ネオジウム）をドープした YAG 結晶

本報告書での表記	正式名称・意味など
YVO_4	イットリウム・バナデート
KBBF	Potassium beryllium fluoroborate（$KBe_2BO_3F_2$）

5. ロボットビジョンセンシングコントロールに関する技術調査

5.1 概要

本調査では、ロボットビジョンセンシングコントロール（RVSC[93]）というテーマの中から、センシングコントロール部分における、「物体検出」技術のソフトウェア領域を対象として、構成する要素技術を整理し、国内外における研究動向などについて調査を行った。

物体検出は、領域判定、特徴の抽出及び識別で構成され、畳み込みニューラルネットワーク及びディープラーニングを活用した R-CNN（Region with Convolutional Neutral Network: Two-stage detector 系）の登場により各段に検出精度が向上した。リアルタイムの物体検出を行うには、R-CNN は処理時間を要することが課題であり、R-CNN を開発した研究者を中心に、R-CNN の改良型の研究が進められた。2017 年には、物体検出と画像識別を同時に行う YOLO（You only Look Once：One-stage detector 系 [94]）が開発され、処理時間が大幅に短縮化された。

物体検出の研究は画像認識技術に関する著名な国際学会である、CVPR（Computer Vision and Pattern Recognition：CVPR） などにおいて多数発表されているが、物体検出の研究が体系的に進められているわけではなく、個別課題に対する多様な研究がなされているのが現状である。一方、R-CNN や YOLO など、基盤となる技術については、それぞれの技術を開発した研究者が継続して改良を図っている。我が国の研究者、研究機関は、欧米や中国などと比較して、このような物体検出技術自体の開発をあまり公表していない。しかし、有識者によると、我が国の製造業の現場で得られるデータは利用価値が高く、我が国の研究者、研究機関は、これらのデータを活用した学習済みモデルの作成やハードなどへの適用に係る応用研究へもっと活用できる環境が必要である。

今後、物体検出技術は精度と性能が向上し、適用範囲も広がっていくことが予想される。更なる高解像度と高速処理の実用化は、新たな産業分野への応用が期待される。我が国はディープラーニングなどを活用した物体検出分野での研究開発が欧米や中国と比較して遅れているが、物体検出の産業応用に向けた共同研究を研究者が製造メーカなどと進めていくことで、技術基盤の確保につながっていく。あわせて、得意領域であるハード技術をベースとして活用しつつ、従来の物体検出技術にとらわれない独創的な視点による新たな価値創造を目指した研究の推進が、今後の競争力の源泉になるとの有識者の指摘もある。

5.2 背景と目的

近年、我が国が世界市場の 6 割弱のシェアを有する重要産業であるロボット産業においては、従来の製造プロセスの自動化から自律化への進化が注目されている。ロボットの自律型の進化には、RVSC の網膜となるビジョンセンシング技術の高度化が必須となる。この応用分野は広く、ロボットに限らず、自動車、ドローン、セキュリティ、軍事など、多岐にわたっており重要度も大きい。それらの市場規模も年々大幅に増加している。

---

93 RVSC：Robot Vision Sensing Control の略。ロボットの一連の処理フローの総称

94 One-shot detector とも呼ばれる。

RVSC を構成するハード面（イメージセンサ、レンズなど）の技術では、我が国が技術的優位性を有するものが多く含まれているが、さらなる高度化や高速化に必要と言われる AI などのソフト面では、世界各国の技術開発に比べ、我が国の優位性が高いとは言えない状況である。

RVSC の進展において、ソフト技術の開発動向を把握することは重要であり、その中でも「高速処理性」と「高精度性」の相乗的な性能向上の重要性が指摘されている。そこで、どのようなソフトモデルが研究開発されているかを対象に、著名な学会や論文にも取り上げられている物体検出をテーマに、アルゴリズムレベルまで掘り下げて技術調査を行い、動向を整理することとする。

5.3 調査方法

RVSC の技術要素、国内外の技術研究の動向、我が国の技術基盤の調査を行うため、文献調査、特許調査、勉強会を実施した。

(1) 文献調査

書籍、論文・総説など公開情報による文献調査を行った。調査結果を 5.4 に、主要参考文献を 5.5.4 に示す。

(2) 特許調査

特許データベースによる検索を行い、各国の特許保有状況、主要な特許保有者について調査を行った。調査結果を 5.4.3 に、利用したデータベースを 5.5.4 に示す。

(3) 研究動向調査

画像認識技術に関する著名な国際学会の一つである CVPR の概要や主な投稿論文の状況について調査を行った。

(4) 勉強会

東京大学 石川正俊 特任教授及び産業技術総合研究所 佐藤雄隆 人工知能研究センター副研究センター長を講師として 2 回の勉強会を開催した。勉強会の概要を 5.5.2 及び 5.5.3 に示す。

5.4 調査結果

5.4.1 市場動向

現在、ディープラーニングを活用した画像認識技術は、農林水産業、建設業、製造業、運輸業、情報通信、卸売・小売、金融、医療、公共・公益、サービス業などの様々な産業分野での活用が期待されている。

上記の産業分野のうち、特に自動運転に関わる市場の伸びが大きくなると推察される。自動車の走行環境では、考慮すべき対象（対向車、歩行者、自転車など）が限られ、物体検出技術の適用における環境の条件設定が他の分野と比べて容易であることが、市場規模増加の要因として挙げられる。リアルタイムの物体検出技術は、自動運転への応用などとの親和性が高く、社会的ニーズも高まっている。自動運転分野における物体検出技術の発展を通じて、将来、他の産業分野への波及が期待できる。次節では、物体検出技術の技術動向を整理した。

5.4.2 技術動向

(1) 物体検出技術の概要

1) 物体検出のプロセス

物体検出とは、入力画像から物体の位置と種類を識別する技術をいう。物体検出は、機械学習を用いることにより、処理精度が大幅に向上し、機械学習を用いた物体検出技術の向上が幅広く研究されている。機械学習は、まずは物体検出を行うための学習済みモデルを作成し、作成した学習済みモデルを用いて、画像を入力し、物体検出を行う。

学習済みモデルの作成のため、入力データに対して、まず学習に適した前処理を行う。前処理後、領域判定により分析対象を検出し、分析対象の特徴の抽出、識別を行い、識別結果を出力する。識別結果の正誤判定をフィードバックし、特徴の抽出、識別を行うためのモデルのパラメータの修正を行う。適切な識別が行われるまで学習を繰り返し行い、学習済みモデルを作成する。

学習済みモデルに対して領域判定を行ったデータを入力すると、識別結果を出力として得ることができる。学習済みモデルは、候補領域を対象として特徴の抽出、識別を行う。

機械学習を用いた物体検出の流れを図 5-1 に示す。

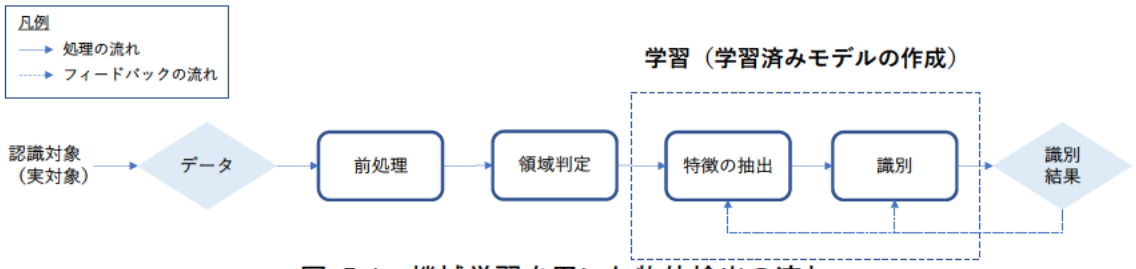


図 5-1　機械学習を用いた物体検出の流れ

領域判定、特徴の抽出及び識別の細部を以下で説明する。

a. 領域判定

画像から物体を検出するに当たり、まずは画像から物体が存在する領域候補を判定する。領域候補の判定にはいろいろな手法があり、走査型スキャンは、左上から、右下まで走査的にスキャンする方法として古くから行われてきた。

画像全体をスキャンし、画像のどの領域に物体があるのかを判定する。この後、特徴の抽出、識別を行い、検出した物体が何であるのかを判定する。

b. 特徴の抽出

候補となる領域について、物体の特徴を抽出し、識別のための情報を取得する。画像認識においては空間方向に広がる特徴のある「形」の評価が重要であり、各方向性を持つ形（エッジフィルタ）について画像全体の評価を行う。この処理を「畳み込み」という。

続いて畳み込みによって得られた評価結果の位置ずれやノイズに対するロバスト性 [95]を高めるための処理を行う。この処理を「プーリング」という。畳み込みとプーリングを行うことにより、画像の特徴を表す特徴空間を得ることができる。

c. 識別

特徴空間において、識別のための識別境界を設定する。入力画像を特徴空間上にプロットすることにより、識別境界を用いて入力画像の識別を行う。

(2) 物体検出技術の動向

1) 物体検出の技法

物体検出の技法は機械学習の活用が進展している中で、2014 年頃のディープラーニング登場により劇的な発展を遂げた。様々な技法が試される中で特に精度が高く、発展の主流として確立されたものが、「畳み込みニューラルネットワーク（以下、「CNN」という。）」を利用した技法である。この CNN を利用した技法の登場により、物体検出の精度が格段に向上することになった。物体検出は、1 次元の数値データの処理とは異なり、縦横の 2 次元の画像データを扱い、色情報も含めた 3 次元の情報を扱う点が特徴として挙げられる。画像情報は対象の周辺情報の把握が重要な意味を持ち、CNN は画像情報を 2 次元又は 3 次元で処理を行うことにより物体検出精度を向上させている。

一方、CNN の処理には多くの計算量を必要とし、リアルタイムの物体検出においては、特に CNN の処理速度が課題として挙げられる。これまで CNN の改良に係る研究が数多くなされてきている。CNN の改良に係る研究の変遷を図 5-2 に示す。

[95] 環境の変化など外乱の影響を受けることを防ぐ仕組み、または性質を指す。

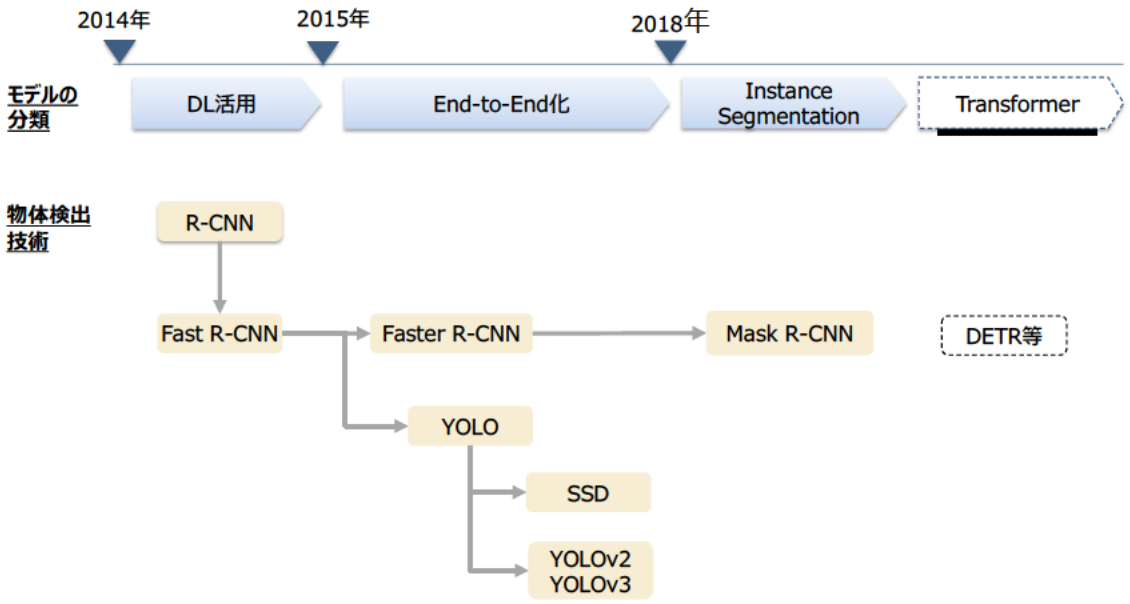


図 5-2　CNN の改良に係る研究の変遷

（出所）三菱総合研究所作成

R-CNN の登場以降、R-CNN を起点とした物体検出技術の改良が継続的に実施されている。Ross Girshick 氏を中心としたグループが、2014 年に物体検出にディープラーニングを活用した R-CNN（Regional CNN）を開発した。翌 2015 年に、同グループが R-CNN を拡張した Fast R-CNN を開発した。

Ross Girshick 氏らは 2015 年に Faster R-CNN を開発した。入力から出力までを単一のモデルで学習・処理を行うことを、処理の End-to-End 化といい、Faster R-CNN により、画像のインプットから物体検出までを全てディープラーニングを活用して行う End-to-End 化が実現した。2016 年には、R-CNN とは違う方式で物体検出を行う YOLO が開発され、その後に YOLO を拡張した SSD、YOLOv2、YOLOv3 が開発された。

2018 年には、Kaiming 氏を中心としたグループが、物体を矩形ではなくピクセル単位で区切った領域で検出（インスタンスセグメンテーション）する Mask R-CNN を開発した。

各物体検出技術を以下で説明する。

a. R-CNN

2014 年以前は、単一物体を示した画像の認識の研究が主流であったが、R-CNN が開発された以降は、複数物体を含む一般画像に対する物体検出の研究が進んだ。R-CNN は、一般画像の中から関心領域を切り出し、切り出し後に関心領域ごとに CNN 層による処理を行う点が特徴である。CNN は画像全体で特徴量を抽出するが、R-CNN は関心領域ごとに特徴量を抽出する点が特徴である。例えば、R-CNN は、画像中に人と馬が映っている場合、人と馬の特徴をそれぞれ抽出することが可能となる。R-CNN の処理の流れを図 5-3 に示す。

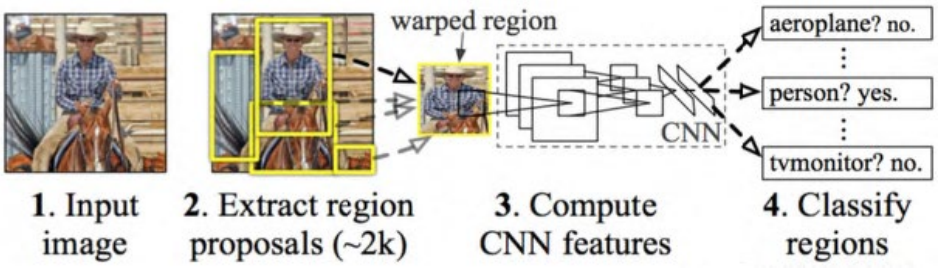


図 5-3　R-CNN の処理の流れ

（出所）Ross Girshick, Jeff Donahue, Trevor Darrell, Jitendra Malik『Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation』(CVPR 2014)

R-CNN は、画像から人と馬を分離して関心領域を切り出し、関心領域ごとに CNN による画像認識を行う。関心領域の抽出には Selective Search が用いられる。Selective Search は、色や特徴をもとに類似度が高い領域を段階的に結合していき、最終的な関心領域を抽出する手法である。

b. Fast R-CNN

R-CNN の処理速度向上を目的として、Fast R-CNN が開発された。Fast R-CNN は、領域の切り出しと領域の物体認識を効率化するため、畳み込みの回数を減らすための技術である。R-CNN は、候補領域を抽出した後に全結合層に渡し、全結合層において畳み込み処理を行うという一連の流れを繰り返すため処理時間が要するという課題があった。Fast R-CNN は、R-CNN とは異なり、候補領域をまず畳み込んだ後、全結合層に渡すため、全結合層において繰り返し行われる畳み込み処理が不要となり、処理時間を大幅に改善することができる。Fast R-CNN の処理の流れを図 5-4 に示す。

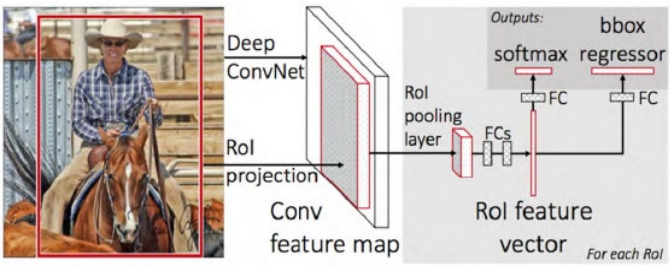


図 5-4　Fast R-CNN の処理の流れ

（出所）Ross Girshick『Fast R-CNN』(ICCV2015)

c. Faster R-CNN

Faster R-CNN は、Fast R-CNN の処理速度向上などを目的として開発された。Faster R-CNN は、Region Proposal Network(RPN)と呼ばれる領域判定を行い、切り出した領域に対してディープラーニングを用いた物体認識を行う。R-CNN などの処理プロセスの概念図を図 5-5 に示す。

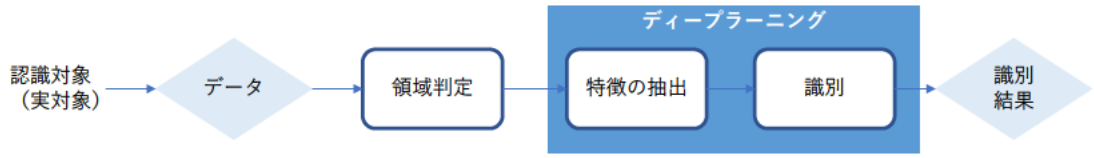


図 5-5　R-CNN などの処理プロセスの概念図

2015 年、領域判定にディープラーニングを活用した Faster R-CNN が開発された。領域判定にディープラーニングを活用した。Faster R-CNN は、ディープラーニングを用いた RPN と呼ばれる領域探索処理を行うため、入力から識別結果の出力まで、一つのモデルでの実行が可能となった。入力から出力までを単一のモデルで学習・処理を行うことを、処理の End-to-End 化といい、入力から出力までの間の全ての処理を、ディープラーニングを用いて実行する。Faster R-CNN の処理プロセスの概念図を図 5-6 に示す。

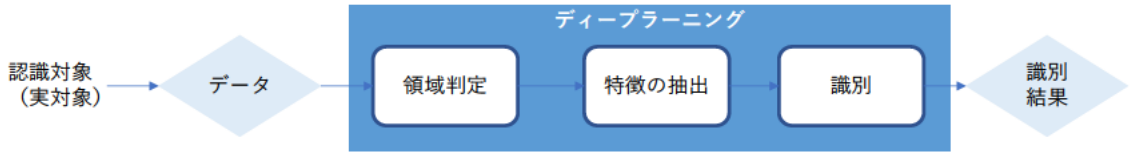


図 5-6　Faster R-CNN の処理プロセスの概念図

Faster R-CNN は、領域判定に RPN を用いることにより、処理時間が Fast R-CNN よりも格段に向上した。Faster R-CNN は、物体検出における End-to-End 化を実現し、有識者によると、現在の物体検出技術の本命と言われている。Faster R-CNN の処理の流れを図 5-7 に示す。

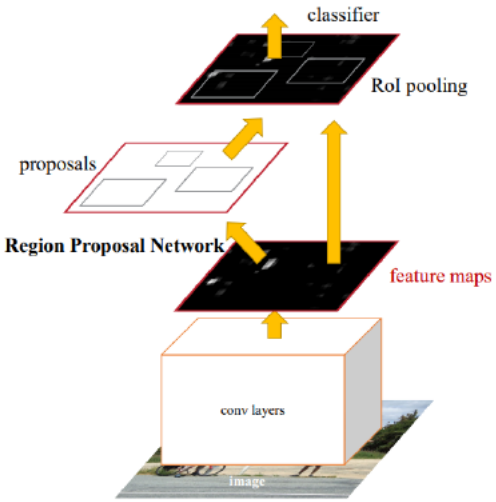


図 5-7　Faster R-CNN の処理の流れ

（出所）Shaoping Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun『Faster R-CNN』(NIPS 2015)

d. YOLO (You Only Look Once)

R-CNN、Fast R-CNN 及び Faster R-CNN は、領域判定の後、特徴の抽出・識別の 2 段階の処理で行う。この処理形式を Two-stage detector と呼ぶ。一方、処理速度の向上を目的として 2016 年に開発された YOLO は、画像入力から領域判定と特徴量の抽出・識別を 1 段階の処理で行う。この処理形式を One-stage detector と呼ぶ。YOLO は、領域判定から特徴の抽

出・識別を 1 段階で行うため、Faster R-CNN よりも処理速度が向上している。YOLO の処理の流れを図 5-8 に示す。

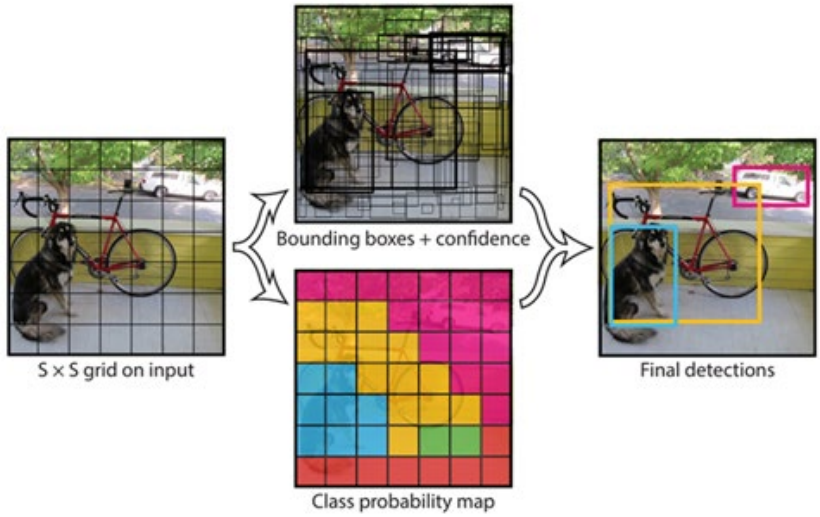


図 5-8　YOLO の処理の流れ

（出所）Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi『You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection』

図に示すとおり、入力された画像に対して、バウンディングボックス[96]を定める処理プロセス（図中真ん中上部）と物体種別の確率マップを定める処理プロセス（図中真ん中下部）を並行的に行う。これら二つの処理結果を統合して、最終的に物体のバウンディングボックスとその物体種別の結果を示す流れである。

R-CNN のような領域探索を行い、領域を切り出した後、その領域に含まれる物体の分類評価を繰り返す 2 段階の処理プロセスと比べて、領域分割と物体識別を同時に行う YOLO は処理速度が速い。YOLO は YOLOv2 や YOLOv3 を始め、多くの拡張モデルが開発されている。

e. SSD (Single Shot Multi Detector)

SSD は、多層の CNN では特徴マップが後段に行くほどグリッドが粗くなる特徴を利用する。SSD は、繰り返し行う CNN で得られるそれぞれの特徴マップで異なるサイズの物体検出を行う。SSD では異なる矩形のデフォルトボックスについて、物体がどれくらいの割合で含まれるのかを評価すると同時に物体が何であるかの識別も行う。SSD の処理の流れを図 5-9 に示す。

[96] 画像中の物体やテキストを囲む長方形の枠線を指す。

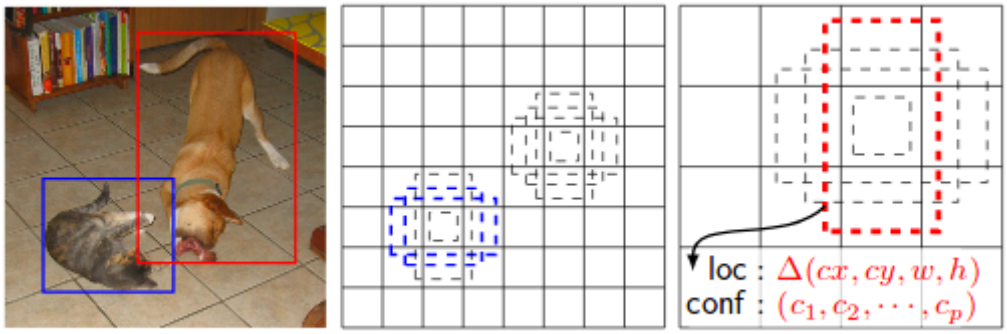


図 5-9　SSD の処理の流れ

（出所）Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg『SSD: Single Shot Multibox Detector』

SSD は、YOLO と同様に、領域判定と特徴の抽出・識別を同時に行う処理であり、R-CNN のような Two-stage detector よりも処理速度が速い。

f. Mask R-CNN

Mask R-CNN は、R-CNN をベースとして、物体検出をバウンディングボックスのような矩形で区切るのではなく、ピクセル単位で物体に近い形状で区切る手法である。物体の形状に近い形で区切って物体の種類を識別する技術をセマンティックセグメンテーションといい、物体を種類だけではなく、人、車などの個々の物体の識別を行う技術をインスタンスセグメンテーションという。Mask R-CNN は、インスタンスセグメンテーションを行い、人や車をそれぞれ識別することができる。Mask R-CNN によるインスタンスセグメンテーションの例を図 5-10 に示す。



図 5-10　Mask R-CNN によるインスタンスセグメンテーションの例

（出所）Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar, Ross Girshick『Mask R-CNN』

Mask R-CNN はインスタンスセグメンテーションを行うことにより、R-CNN などの手法よりも認識精度は高い一方、計算量が多いため処理速度が遅い。また、サイズが小さい物体はインスタンスセグメンテーションには適さないなどの課題も存在する。

g. DETR

2020 年 5 月に Facebook が DETR (DEtection TRansformer)という新たな物体検出のモデルを発表した。DETR は、Transformer という新しい処理方式を画像認識・物体検出に適用したモデルである。Transformer は、自然言語処理において活用されたモデルであり、単語間の潜在的な関係性を考慮する自己注意機構（Self-Attention）を有する点が特徴であり、2018 年 10 月に Google 社が自然言語処理において提案した BERT（Bidirectional Encoder Representations from Transformers）で活用された。DETR の処理の流れを図 5-11 に示す。

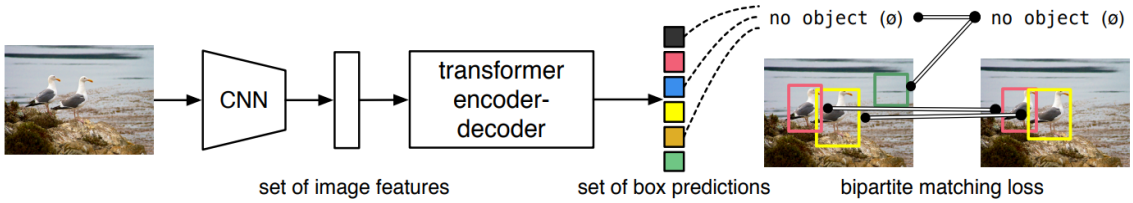


図 5-11　DETR の処理の流れ

（出所）Nicolas Carion, Francisco Massa, Gabriel Synnaeve, Nicolas Usunier, Alexander Kirillov, and Sergey Zagoruyko『End-to-End Object Detection with Transformers』

DETR は、R-CNN などとは異なり、バウンディングボックスの重複を抑制する NMS など複雑な処理なしに、バウンディングボックスを決定する。まずは画像を CNN を用いて特徴空間を生成し、transformer のエンコーダ及びデコーダ処理を経て、複数物体に対する検出を同時に精度よく行う。エンコーダ処理のイメージを図 5-11 に示す。

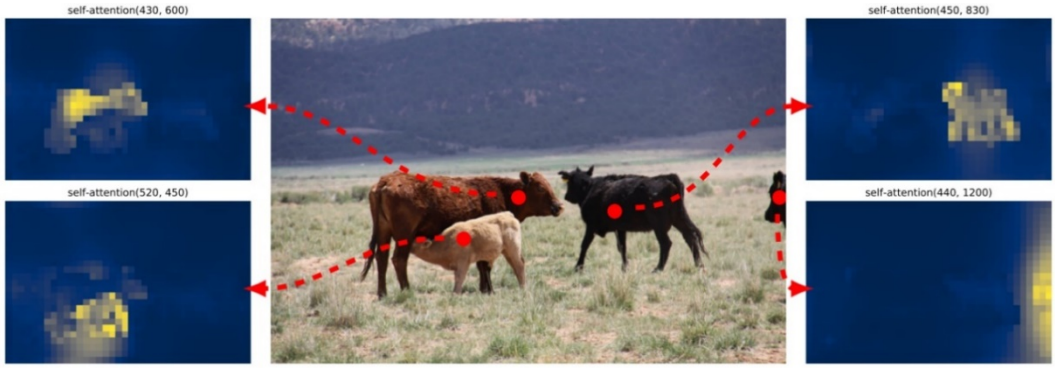


図 5-12　エンコーダ処置のイメージ

（出所）Nicolas Carion, Francisco Massa, Gabriel Synnaeve, Nicolas Usunier, Alexander Kirillov, and Sergey Zagoruyko『End-to-End Object Detection with Transformers』

エンコーダ処理では画像中のインスタンスの分割がある程度実施されている。エンコーダ処理に続くデコーダ処理のイメージを図 5-13 に示す。

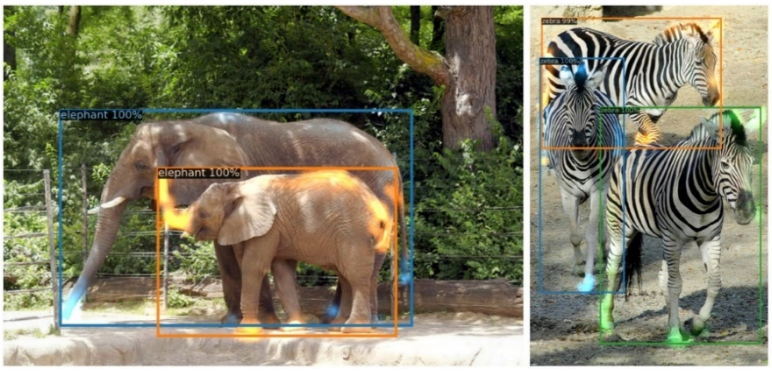


図 5-13　デコーダ処置のイメージ

（出所）Nicolas Carion, Francisco Massa, Gabriel Synnaeve, Nicolas Usunier, Alexander Kirillov, and Sergey Zagoruyko『End-to-End Object Detection with Transformers』

デコーダ処理ではエンコーダで分割したインスタンスを活用し、インスタンスの境界を認識し、バウンディングボックスを決定する。

Transformer は、Google 社のディープラーニングを活用した言語認識の研究の拡張であり、R-CNN の系統とは異なるモデルといえる。近傍の関係を記述する R-CNN に対し、Transformer は位置が離れている物体の関係も記述できるため、物体検出の精度は向上している。一方、Transformer は組合せの数の増加に伴い、学習に必要な画像枚数が増加することが報告されている。Transformer は、細部処理の方法は明らかになっていないが、計算コスト及び学習コストがかかること、適用のためのシステム側の追加設計が必要となることなど、各種課題が存在し、モデル開発者は課題克服も含めたモデルの改善を研究している。

2) 性能評価

a. 各手法の性能の比較

CVPR などの学会において物体検出手法に係る研究が多数行われているが、検出する対象、画像サイズ、処理系などにより、物体検出技術の処理速度及び精度が異なるため、同一基準による横並びの評価は難しい。各手法の比較方法としては、Pascal VOC などのデータセットを用いることが多い。Pascal VOC は、各手法の性能比較を目的とした物体クラス認識のための標準的なデータセットであり、インターネット上のサイト[97]からデータをダウンロードすることができる。Pascal VOC（2007 及び 2012）を用いた各手法の性能比較（一例）を表 5-1 に示す。

[97] Pascal VOC のサイト：http://host robots.ox.ac.uk/pascal/VOC/index html

表 5-1　各手法の性能比較（一例）

Detection Frameworks	Train	mAP	FPS
Fast R-CNN [5]	2007+2012	70.0	0.5
Faster R-CNN VGG-16[15]	2007+2012	73.2	7
Faster R-CNN ResNet[6]	2007+2012	76.4	5
YOLO [14]	2007+2012	63.4	45
SSD300 [11]	2007+2012	74.3	46
SSD500 [11]	2007+2012	76.8	19
YOLOv2 288 × 288	2007+2012	69.0	91
YOLOv2 352 × 352	2007+2012	73.7	81
YOLOv2 416 × 416	2007+2012	76.8	67
YOLOv2 480 × 480	2007+2012	77.8	59
YOLOv2 544 × 544	2007+2012	**78.6**	40

（出所）Joseph Redmon, Ali Farhadi『YOLO9000:Better,Faster,Stronger』

表中の比較は、Fast R-CNN などの Two-stage detector や、YOLO、SSD などの One-stage detector を評価対象として、精度（mAP[98]）及び処理速度（FPS[99]）の比較を行っている。ここでは、Fast R-CNN などの Two-stage detector や、YOLO、SSD などの One-stage detector の精度（mAP）はほぼ同等である一方、処理速度（FPS）は YOLO や SSD300 が、10 倍程度能力が高いことを示している。本比較は飽くまでも一例であり、論文ごとに検証している性能比較の細部は異なる点に注意が必要である。

続いて、Faster R-CNN と DETR の性能比較を表 5-2 に示す。

表 5-2　Faster R-CNN と DETR の性能比較

Model	GFLOPS/FPS	#params	AP	AP_{50}	AP_{75}	AP_S	AP_M	AP_L
Faster RCNN-DC5	320/16	166M	39.0	60.5	42.3	21.4	43.5	52.5
Faster RCNN-FPN	180/26	42M	40.2	61.0	43.8	24.2	43.5	52.0
Faster RCNN-R101-FPN	246/20	60M	42.0	62.5	45.9	25.2	45.6	54.6
Faster RCNN-DC5+	320/16	166M	41.1	61.4	44.3	22.9	45.9	55.0
Faster RCNN-FPN+	180/26	42M	42.0	62.1	45.5	26.6	45.4	53.4
Faster RCNN-R101-FPN+	246/20	60M	44.0	63.9	**47.8**	**27.2**	48.1	56.0
DETR	86/28	41M	42.0	62.4	44.2	20.5	45.8	61.1
DETR-DC5	187/12	41M	43.3	63.1	45.9	22.5	47.3	61.1
DETR-R101	152/20	60M	43.5	63.8	46.4	21.9	48.0	61.8
DETR-DC5-R101	253/10	60M	**44.9**	**64.7**	47.7	23.7	**49.5**	**62.3**

（出所）Nicolas Carion, Francisco Massa, Gabriel Synnaeve, Nicolas Usunier, Alexander Kirillov, and Sergey Zagoruyko『End-to-End Object Detection with Transformers』

表中の AP_S、AP_M 及び AP_L は、それぞれ、対象サイズごとの部隊検出精度を示している。小さい物体の検出（AP_S）においては Faster R-CNN 及び DETR の検出精度はほぼ同等であ

[98] Mean Average Precision の略であり、物体検出の精度を評価するための指標の一つである。

[99] Frame Per Second の略であり、物体検出の処理速度を評価するための指標の一つである。

るが、大きい物体の検出（AP_L）においては、DETR が Faster R-CNN よりも高い検出精度であることを示している。本比較は飽くまでも一例であり、論文ごとに検証している性能比較の細部は異なる点に注意が必要である。

b. 各手法の分類・整理

RVSC におけるリアルタイム処理を実現するためには、Two-stage detector 及び One-stage detector ともに、高速化、処理精度の向上を図る必要があり、Faster R-CNN や YOLO などは、開発した特定の研究者が継続して改良のための研究を行っている。各手法の性能について同一基準で横並びの評価を行うことは難しいため、代表的な手法についてそれぞれの特徴に基づく概念的な分類・評価を検討した。精度及び処理速度の二軸で概念的に分類・評価した場合の物体検出技術の分類を図 5-14 に示す。

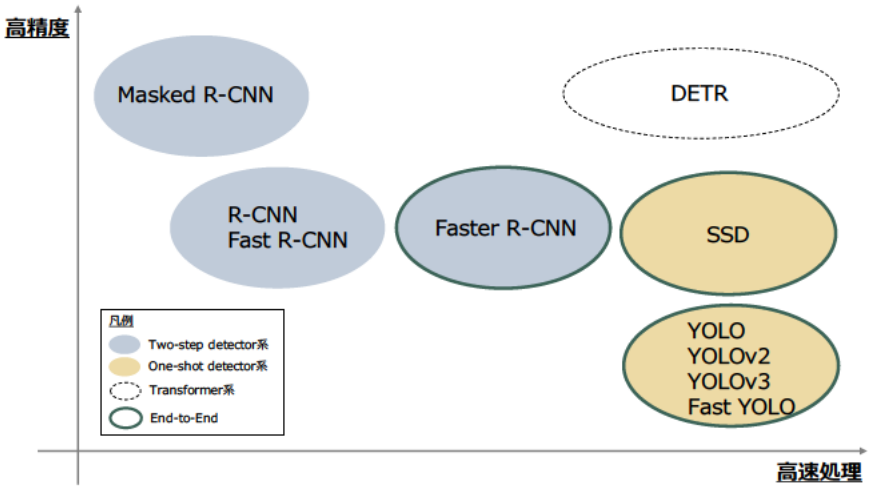


図 5-14　物体検出技術の概念的な分類・評価

（出所）MRI 作成

物体検出の手法は、検出する対象、画像サイズ、処理系などにより、処理速度及び精度が異なる。図に示した分類は、飽くまでも概念的な分類・評価である。R-CNN、Fast R-CNN は効率的で演算量の少ない、Selective Search という領域探索を行うのに対して、ディープラーニングを活用した RPN という領域探索を行う Faster R-CNN は処理速度が向上している。One-stage detector である YOLO や SSD は、Two-stage detector である R-CNN、Fast R-CNN、Faster R-CNN よりも処理速度が高いといえる。2017 年以降に開発された Masked R-CNN は、ピクセル単位で領域分割を行う手法であり、物体検出の精度は格段に向上した一方、計算量が多く、処理速度は従来の R-CNN に比べて遅い。これらの方法はアドホックに様々な工夫をしてそれぞれの技術が個別に結果を出しているものであり、技術的に体系的な発展が行われているわけではない。物体検出技術は、選択する技術手法により処理速度と処理精度がトレードオフの関係にあり、目的や処理系などの条件に応じて適切な手法が取捨選択される。

DETR は、Transformer と呼ばれ、高い汎用性を示す、新しい概念のモデルである。DETR は、理論的に不明な点が多いが、精度及び処理速度の面での性能向上が期待されている。

(3) 技術動向のまとめ

物体検出は、領域判定、特徴の抽出及び識別で構成され、畳み込みニューラルネットワーク及びディープラーニングを活用したR-CNNが登場し、格段に検出精度が向上した。物体検出技術は、R-CNNを起点として、高速化を図ったFaster R-CNN、One-stage detector系であるYOLOなど各種技術を中心として、これまで発展してきた。

物体検出技術は、選択する技術手法により処理速度と処理精度がトレードオフの関係にあり、目的や処理系などの条件に応じて適材適所で手法が取捨選択される。

Transformer と呼ばれる新しい概念のモデルがあり、理論的にはいまだ不明な点が多い状況であるが、高い汎用性と高い処理精度を示している技術も登場している。現状では高い計算コストなど、各種課題を保有しているが、将来性のある物体検出技術として今後の動向を注視する必要がある。

物体検出技術に関する技術保有者の状況を明らかにするため、次節では画像認識技術に関する特許分析を通じて、我が国及び諸外国における技術保有者の動向を整理した。

5.4.3 技術保有者動向

特許分析によって技術保有者を調査し、主要な技術保有者の概要を整理した。

(1) CNN を用いた物体検出及び物体認識

1) 日本特許

a. 検索結果

合計61件（G06T：59件）

b. 出願年と出願人国

出願数は2016年以降増加しており、2019年以降は韓国による出願が多数を占めている（図5-15）。

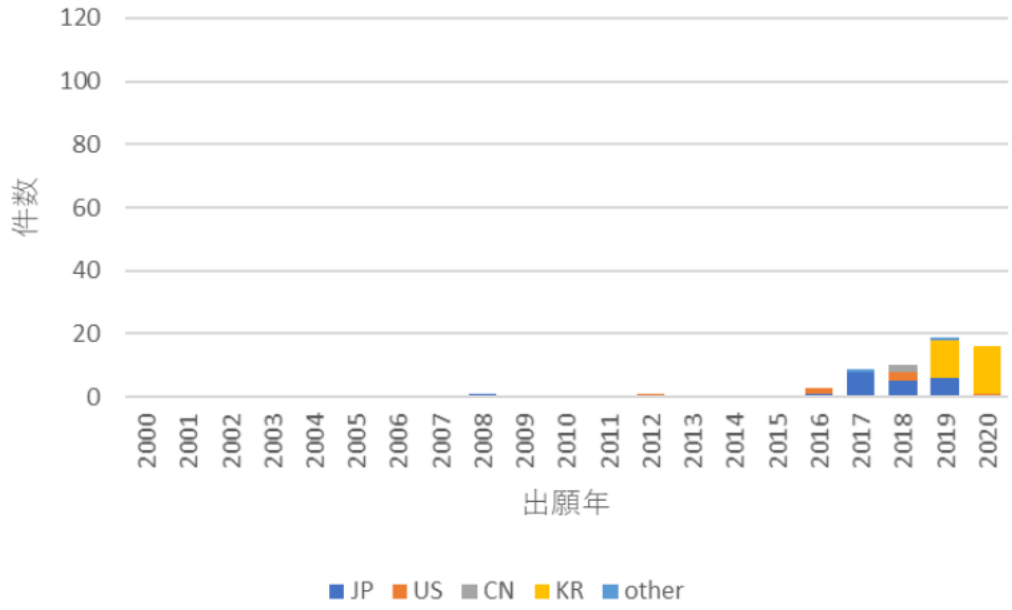


図 5-15　国内特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

公開及び登録の分析では、G 物理が中心になっている（表 5-3）。

表 5-3　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06T	イメージデータ処理 発生一般	59
G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	29
G08G	交通制御システム	8
H04N	画像通信，例．テレビジョン	4
A61B	診断 手術 個人識別	1
B25J	マニプレータ マニプレータ装置を持つ小室	1
B60W	異なる種類又は異なる機能の車両用サブユニットの関連制御 ハイブリッド車両に特に適した制御システム 特定の単一のサブユニットの制御に関するものではない，特定の目的のための道路上の車両の運転制御システム	1
B65G	運搬 貯蔵装置，例．荷積み 荷あげ用コンベヤ 工場コンベヤシステム 空気管コンベヤ	1
G01C	距離，水準，方位の測定 測量 航行 ジャイロ計器 写真測量 映像測量	1
G06F	電気的デジタルデータ処理	1

d. 特許出願状況

上位保有者には株式会社ストラドビジョン、エヌイーシー　ラボラトリーズ　アメリカ インク、コニカミノルタ株式会社などが挙げられる（表 5-4）。

表 5-4　上位保有者

保有者	件数
株式会社ストラドビジョン	27
エヌイーシー　ラボラトリーズ　アメリカ　インク	3
コニカミノルタ株式会社	3
株式会社東芝	2
株式会社日立製作所	2
三菱電機株式会社	2
日本電信電話株式会社	2
*その他出願者の件数は 1 件となっている。	1

2) 国際出願（PCT）

a. 検索結果

合計 164 件（G06T：47 件）

b. 出願人と出願人国

出願者数は 2017 年から急増している。米国の出願が最も多く、次いで日本、韓国、中国からの出願を確認することができる（図 5-16）。

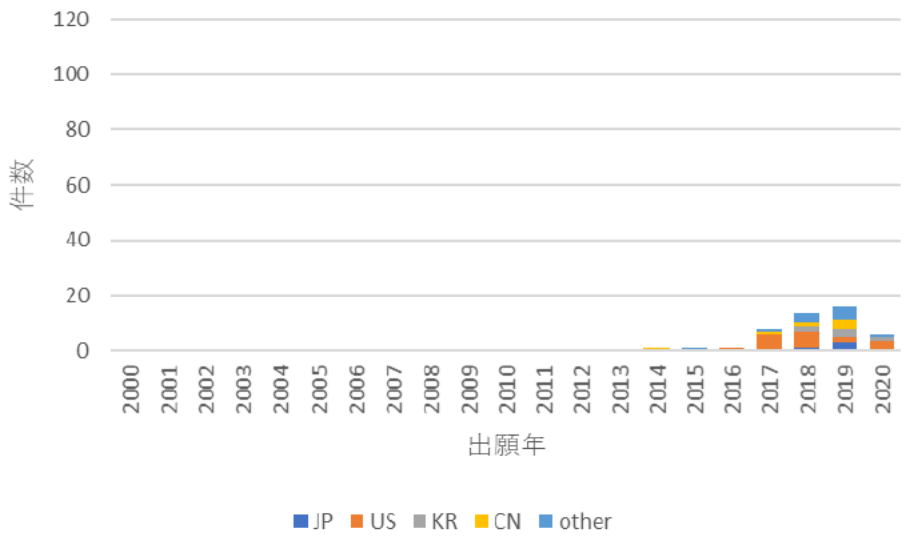


図 5-16　PCT の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

Gセクション物理学が中心になっている（表 5-5）。

表 5-5　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06K	データの認識 データの表示 記録担体 記録担体の取扱い	91
G06T	イメージデータ処理 発生一般	47
G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	40
G06F	電気的デジタルデータ処理	12
G05D	非電気的変量の制御 調整系	7

d. 特許出願状況

米国企業である INTEL CORPORATION がトップであり、出願者は特定の国に集中していない（表 5-6）。

表 5-6　上位出願者

出願者	件数
INTEL CORPORATION	7
AVIGILON CORPORATION	2
HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.	2
NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	2
SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	2
*その他出願者の件数は 1 件となっている。	1

3) 米国特許

a. 検索結果

合計 317 件（G06T：136 件）

b. 出願年と出願人国

出願者数は 2015 年以降から 2018 年まで増加している。2019 年以降、出願者数は減少しているが、これは公開されている情報が限られているためである。米国の出願が最も多く、次いで韓国、日本、中国から出願を確認することができる（図 5-17）。

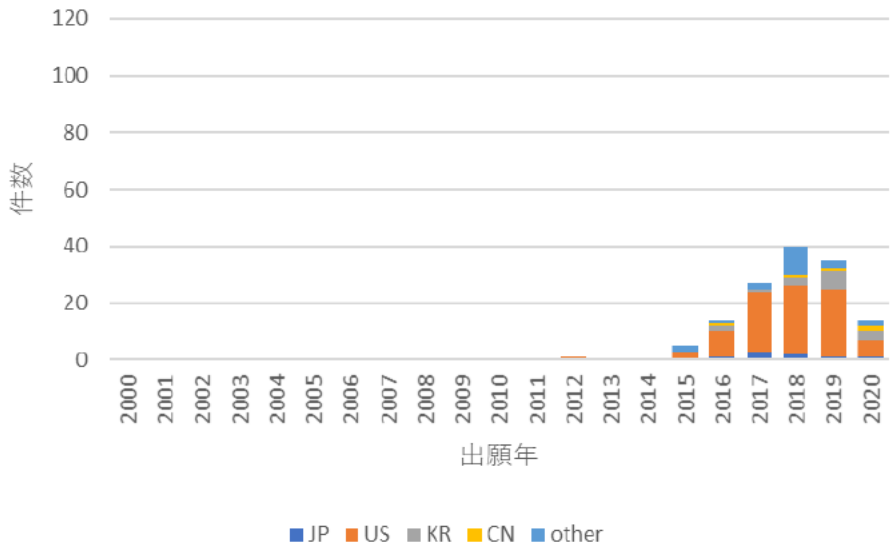


図 5-17　米国特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

G セクション物理学が中心になっている（表 5-7）。

表 5-7　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06K	データの認識 データの表示 記録担体 記録担体の取扱い	261
G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	189
G06T	イメージデータ処理 発生一般	136
G06F	電気的デジタルデータ処理	35
H04N	画像通信，例．テレビジョン	30

d. 特許出願状況

米国企業である DIGITALGLOBE, INC.がトップであり、SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.、Stradvision, Inc.などによる出願を確認することができる（表 5-8）。

表 5-8　上位出願者

出願者	件数
DIGITALGLOBE, INC.	7
SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	6
INTEL CORPORATION	5
Stradvision, Inc.	5
NEC Corporation	4
Snap Inc.	4
ADOBE INC.	3
CAPITAL ONE SERVICES, LLC	2

Chiral Software, Inc.	2
CORNELL UNIVERSITY	2
Google LLC	2
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION	2
12 Sigma Technologies	2
Accenture Global Solutions Limited	2
Amazon Technologies, Inc.	2
FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, LLC	2
GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC	2
HERE Global B.V.	2
MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC	2
NEC Laboratories America, Inc.	2
Northrop Grumman Systems Corporation	2
NVIDIA CORPORATION	2
Slyce Acquisition Inc.	2
THE BOEING COMPANY	2
TOKITAE LLC	2
VasuYantra Corp.	2
*その他出願者の件数は 1 件となっている。	1

4) 中国特許

a. 検索結果

合計 1,207 件（G06T：288 件）

b. 出願年と出願人国

出願者数は 2017 年以降から増加しており、増加は継続している。米国、日本、韓国などの出願もみられるが、中国からの出願が中心となっている（図 5-18）。

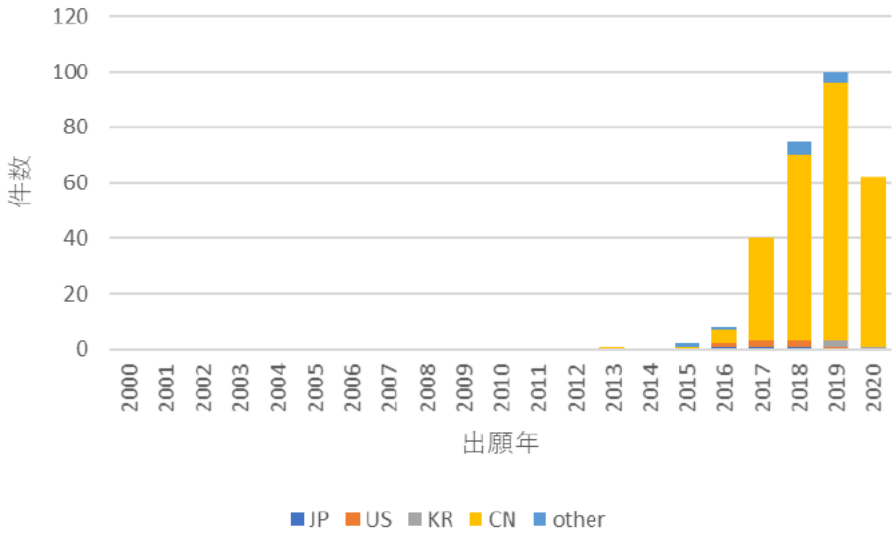


図 5-18　中国特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

G セクション物理学が中心になっている（表 5-9）。

表 5-9　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06K	データの認識 データの表示 記録担体 記録担体の取扱い	937
G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	708
G06T	イメージデータ処理 発生一般	288
G06F	電気的デジタルデータ処理	88
H04N	画像通信，例．テレビジョン	43
G06Q	管理目的，商用目的，金融目的，経営目的，監督目的 予測目的に特に適合したデータ処理システム 方法 他に分類されない，管理目的，商用目的，金融目的，経営目的，監督目的 予測目的に特に適合したシステム 方法	39
G08G	交通制御システム	28
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	20
G01N	材料の化学的 物理的性質の決定による材料の調査 分析	17
B25J	マニプレータ マニプレータ装置を持つ小室	16

d. 特許出願状況

浙江工业大学、天津大学、西安电子科技大学といった、大学など研究機関が多数ランクインしている（表 5-10）。

表 5-10　上位出願者

出願者（英文名称）	件数
浙江工业大学（UNIV ZHEJIANG TECHNOLOGY）	7
天津大学（UNIV TIANJIN）	5
西安电子科技大学（UNIV XIDIAN）	4
中山大学（UNIV SUN YAT SEN）	4
广东工业大学（UNIV GUANGDONG TECHNOLOGY）	4
东南大学（UNIV SOUTHEAST）	4
华中科技大学（UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH）	4
OPPO 广东移动通信有限公司（GUANGDONG OPPO MOBILE TELECOMMUNICATIONS CORP., LTD.）	3
斯特拉德视觉公司（STRADVISION INC）	3
重庆邮电大学（UNIV CHONGQING POSTS & TELECOM）	3
深圳市唯特视科技有限公司（SHENZHEN 3D VISION TECH CO LTD）	3
清华大学（UNIV TSINGHUA）	3
南京大学（UNIV NANJING）	3
北京城市网邻信息技术有限公司(BEIJING URBAN NETWORK NEIGHBOR INF TECH CO LTD)	3
北京百度网讯科技有限公司（BEIJING BAIDU NETCOM SCI & TEC）	3
广州视源电子科技股份有限公司（GUANGZHOU SHIYUAN ELECT TECH）	3
浙江科技学院（UNIV ZHEJIANG SCIENCES）	3
浙江大学（UNIV ZHEJIANG）	3
电子科技大学（UNIV ELECTRONIC SCI & TECH CHINA）	3
腾讯科技(深圳)有限公司（TENCENT TECH SHENZHEN CO LTD）	3

(2) YOLO 及び SSD を用いた物体検出及び物体認識

1) 日本特許

a. 検索結果

合計 5 件（G06T：5 件）

b. 出願年と出願人国

出願数は 2019 年以降確認することができる。出願人国は日本のみである（図 5-19）。

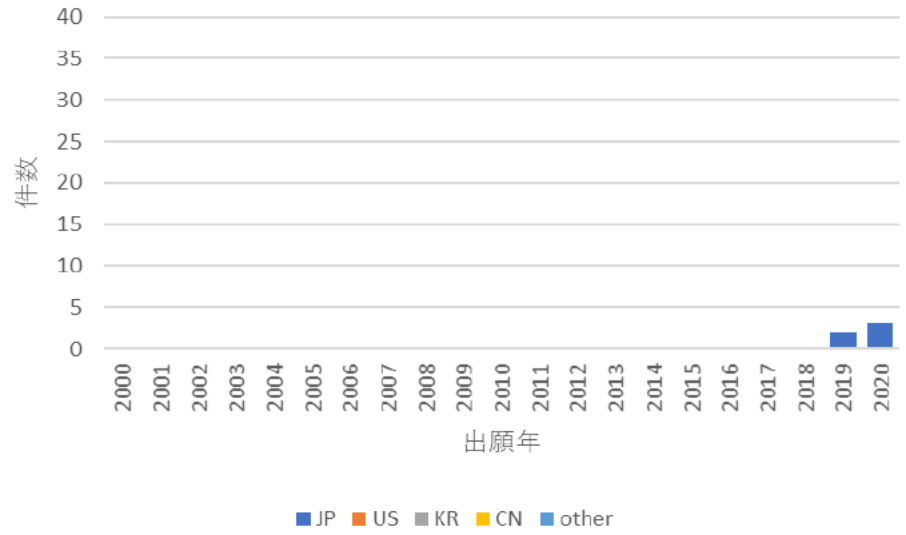


図 5-19　国内特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

公開及び登録の分析では、G 物理を中心に B 処理操作 成形及び運輸に関係している（表 5-11）。

表 5-11　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06T	イメージデータ処理 発生一般	5
B25J	マニプレータ マニプレータ装置を持つ小室	2
G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	2
B65G	運搬 貯蔵装置，例．荷積み 荷あげ用コンベヤ 工場コンベヤシステム 空気管コンベヤ	1

d. 特許出願状況

富士通株式会社が 3 件出願しているが、その他出願企業であるグローリー株式会社、株式会社島津製作所はそれぞれ 1 件出願している（表 5-12）。

表 5-12　上位保有者

保有者	件数
富士通株式会社	3
グローリー株式会社	1
株式会社島津製作所	1

2) 国際出願（PCT）

a. 検索結果

合計 17 件（G06T：5 件）

b. 出願年と出願人国

出願者は 2017 年以降確認することができる。米国の出願を中心に日本及びその他の国の出願を確認することができる（図 5-20）。

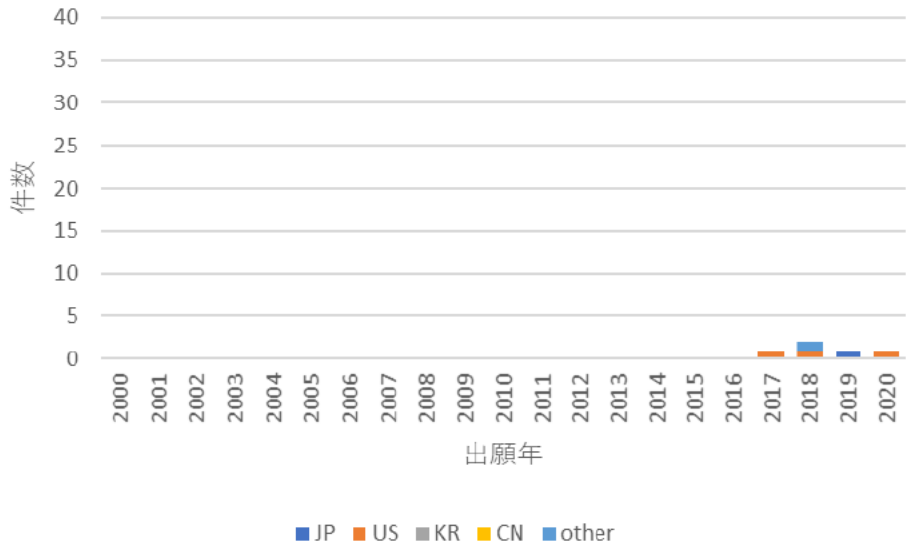


図 5-20　PCT の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

G セクション物理学が中心になっている（表 5-13）。

表 5-13　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06K	データの認識 データの表示 記録担体 記録担体の取扱い	9
G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	5
G06T	イメージデータ処理 発生一般	5
G01N	材料の化学的 物理的性質の決定による材料の調査 分析	2
G06F	電気的デジタルデータ処理	2

d. 特許出願状況

各出願者はそれぞれ 1 件出願している（表 5-14）。

表 5-14　上位出願者

出願者	件数
ARITHMER INC.	1
INTEL CORPORATION	1

3) 米国特許

a. 検索結果

合計 26 件（G06T：10 件）

b. 出願年と出願人国

出願者数は 2016 年以降から確認することができる。米国の出願を中心に韓国及びその他の国からの出願を確認することができる（図 5-21）。

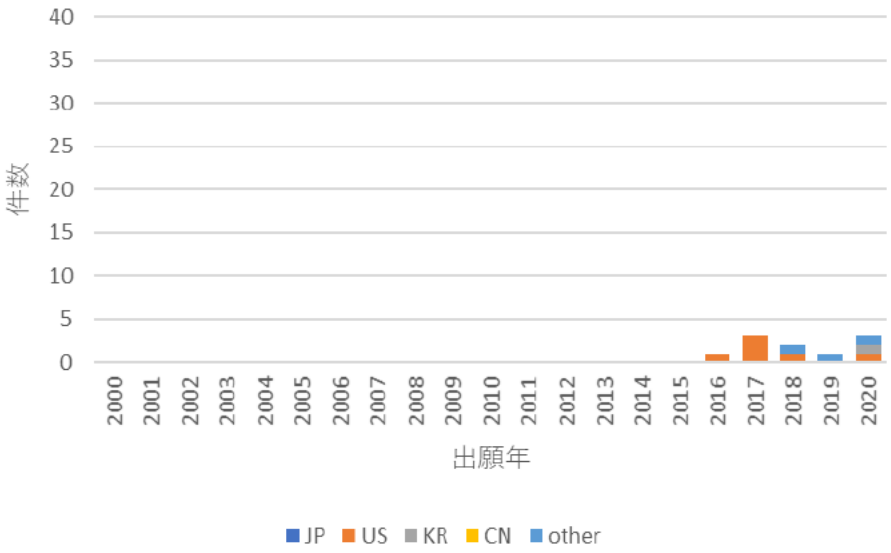


図 5-21　米国特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

G セクション物理学が中心になっている（表 5-15）。

表 5-15　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06K	データの認識 データの表示 記録担体 記録担体の取扱い	21

G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	10
G06T	イメージデータ処理 発生一般	10
G06F	電気的デジタルデータ処理	4
H04N	画像通信，例．テレビジョン	4

d. 特許出願状況

米国企業である VasuYantra Corp.社が 2 件の特許を保有するが、その他企業はそれぞれ 1 件の出願となっている（表 5-16）。

表 5-16　上位出願者

出願者	件数
VasuYantra Corp.	2
TCL RESEARCH AMERICA INC.	1
GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC	1
SAS Institute Inc.	1
NATIONAL APPLIED RESEARCH LABORATORIES	1
PEGATRON CORPORATION	1
SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	1
Rutgers, The State University of New Jersey	1
Aptiv Technologies Limited	1

4) 中国特許

a. 検索結果

合計 372 件（G06T：91 件）

b. 出願年と出願人国

出願者は主に 2017 年以降から一定数の出願が確認することができる。日本及びその他の国からの出願もみられるが、中国からの出願が中心となっている（図 5-22）。

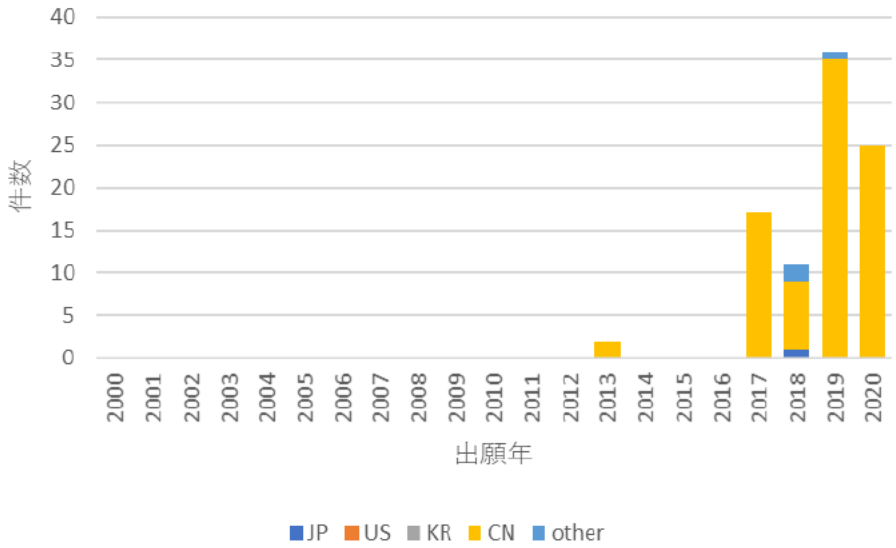


図 5-22　中国特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

G セクション物理学が中心になっている（表 5-17）。

表 5-17　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G06K	データの認識 データの表示 記録担体 記録担体の取扱い	279
G06N	特定の計算モデルに基づくコンピュータ・システム	172
G06T	イメージデータ処理 発生一般	91
G06F	電気的デジタルデータ処理	33
H04N	画像通信，例．テレビジョン	20

d. 特許出願状況

哈尔滨工业大学をトップに广东工业大学及び华南理工大学が上位に位置付けられ、他にも大学など研究機関が多数ランクインしている（表 5-18）。

表 5-18　上位出願者

出願者（英文名称）	件数
哈尔滨工业大学（HARBIN INST OF TECHNOLOGY）	6
广东工业大学（UNIV GUANGDONG TECHNOLOGY）	3
华南理工大学（UNIV SOUTH CHINA TECH）	3
山东大学（UNIV SHANDONG）	2
重庆大学（UNIV CHONGQING）	2
中国科学院电子学研究所（CHINESE ACAD INST ELECTRONICS）	2
中国海洋大学（OCEAN UNIV CHINA）	2
北京城市网邻信息技术有限公司（BEIJING URBAN NETWORK NEIGHBOR INF	2

TECH CO LTD）	
浙江工业大学（UNIV ZHEJIANG TECHNOLOGY）	2
华中科技大学（UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH）	2

(3) 主な特許出願者の概要

主な特許出願者の概要を示す。

表 5-19　主な特許出願者の概要（CNN）

企業名（英文）		本社所在地	概要
株式会社日立製作所	Hitachi, Ltd.	日本	高度な金融・社会分野におけるデジタルソリューション事業を通じて社会価値の向上を図るとともに、製品・サービスのライフサイクル全般における環境効率の向上に努め、環境価値の創出を目指している。
コニカミノルタ株式会社	KONICA MINOLTA JAPAN, INC.	日本	複合機（MFP）・プリンター、印刷用機器、ヘルスケア用機器、産業用計測機器などの販売、並びにそれらの関連消耗品、ソリューション・サービスなど。「新しい価値の創造」を経営理念に社会価値・企業価値向上を目指している。
三菱電機株式会社	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	日本	技術革新と創造力により、活力とゆとりある社会の実現に貢献することを企業理念とし、重電システム、産業メカトロニクス、情報通信システム、電子デバイス、家庭電器などの製造・販売を事業目的としている。
日本電信電話株式会社	NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	日本	全ての人々が ICT の恩恵を享受し、より働きやすく、楽しく、幸せに暮らすことができる世界の実現に貢献することを企業理念に、NTT グループ顧客基盤・通信ネットワーク・ICT 技術ノウハウを活用する通信事業を行っている。

企業名（英文）		本社所在地	概要
株式会社東芝	TOSHIBA CORPORATION	日本	発電システム、上下水道システム、鉄道システムなどインフラ事業や、電子デバイス事業など約20の事業体から構成される幅広い領域で事業を展開。人間尊重を基本に豊かな価値を創造し、世界の人々の生活・文化に貢献することを経営理念とする。
―	DIGITALGLOBE, INC.	米国	米国防総省から認可を受けて人工衛星を活用したリモートセンシング事業を行っている。
―	INTEL CORPORATION	米国	半導体を通じて、人々の仕事と生活をさらに豊かにする先進的な技術と製品を開発、提供している。
―	NEC Laboratories America Inc.	米国	社会に貢献するテクノロジーイノベーション創造を理念に、NEC のビジネスのパートナーとして市場にイノベーションをもたらす。
―	Snap Inc.	米国	写真共有アプリの Snapchat やスマートグラスの Spectacles などを開発・販売している。
―	Stradvision, Inc.	米国	自動車業界における画像処理技術のパイオニア。完全自動運転車の実用化を促進している。ディープラーニング、組み込みプラットフォーム、物体検知、高度なアルゴリズムに関する専門知識を基に、日々業界の課題に取組んでいる。
―	AVIGILON CORPORATION	カナダ	革新的な製品により人々と社会の安全実現に貢献することを企業理念に、AI 活用によるセキュリティーソリューションを設計、開発及び製造している。

企業名（英文）		本社所在地	概要
华为技术有限公司	HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.	中国	あらゆる人、家庭、組織にデジタル化の価値を提供し、全てがつながったインテリジェントな世界の実現を企業理念に、通信事業者向けネットワーク事業、法人向け ICT ソリューション事業、コンシューマー向け端末の製造とソリューション事業を行っている。
浙江工业大学	UNIV ZHEJIANG TECHNOLOGY	中国	中国本土トップ産業大学の一つ。浙江省で 2 番目の規模で、科学・生物・工学などに強みを持つ。
天津大学	UNIV TIANJIN	中国	中国教育省傘下の中国初の近代大学で、工学、科学、ビジネス、法律など重点。州立研究所 4 拠点、国立工学研究所 2 拠点、州立工学研究センター3 拠点など所有する。
西安电子科技大学	UNIV XIDIAN	中国	科学、エレクトロニクス及び情報技術などの研究を主眼としている。中国教育省傘下で、中国トップ大学が行う主要領域プロジェクトの一端を担う。
中山大学	UNIV SUN YAT SEN	中国	人文学科、社会科学、自然科学、医学、工学などトップ国立大学として知られている。
广东工业大学	UNIV GUANGDONG TECHNOLOGY	中国	広東省の技術協会が前身で、工学に力を入れた 19 施設を保有。機械、素材、科学及び情報技術の国家プロジェクトを担う。
东南大学	UNIV SOUTHEAST	中国	江蘇省の大学で、コミュニケーション、工学、バイオ工学分野など優秀な大学として知られている。
华中科技大学	UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH	中国	中国教育省傘下の主要国立大学で、国家重点大学のひとつとして機械工学など強みを有する。

企業名（英文）		本社所在地	概要
―	SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	韓国	韓国企業で世界最大級の総合家電・電子部品・電子製品メーカであるサムスングループの中核会社。スマートフォン・薄型テレビ・NAND 型フラッシュメモリ・DRAM、中小型有機 EL ディスプレイの世界シェア 1 位を占める。

表 5-20　主な特許出願者の概要（YOLO）

企業名（英文）		本社所在地	概要
Arithmer 株式会社	ARITHMER INC.	日本	高度数学を応用して、新しい AI・IT 技術を創造している。
富士通株式会社	FUJITSU LIMITED	日本	「コンピューティング」、「AI」、「5G」、「IoT」、「サイバーセキュリティ」、「クラウド」、「データ」の 7 つを重点領域として、技術開発を通じ DX ビジネスを実現している。
グローリー株式会社	glory ltd.	日本	通貨処理機、情報処理機及び通貨端末機器、自動販売機、自動サービス機器などの開発・製造・販売・メンテナンス等を行っている。
株式会社島津製作所	SHIMADZU CORPORATION	日本	「人の健康」、「安心・安全な社会」、「産業の発展」の事業領域で、世界中のパートナーとともに革新的な製品・サービスを創出し、より豊かな社会の構築に貢献ことを企業理念とし、計測機器、医療機器、航空機器、産業機器、その他の各事業分野で研究開発、製造、販売、保守サービスなどにわたる事業活動を行っている。
―	INTEL CORPORATION	米国	半導体を通じて、人々の仕事と生活をさらに豊かにする先進的な技術と製品を開発、提供している。
―	TCL RESEARCH AMERICA INC.	米国	TV ビジネス、携帯ビジネス等に係るコンシューマーエレクトロニクス企業である。

企業名（英文）		本社所在地	概要
―	GM GLOBAL TECHNOLOGY OPERATIONS LLC	米国	電気自動車の電子機器関連技術分野で注目度の高い特許を所有している。
―	SAS Institute Inc.	米国	革新的なソフトウェアとアプリケーションのサービスを通じて顧客に対し、データインテリジェンス変換、データ統合、IT マネジメントサービスを行っている。
―	Rutgers, The State University of New Jersey	米国	全米で 8 番目に古い歴史をもつ名門大学。医学、環境学、社会学、文学部、ビジネス産業、経済の研究を行っている。
―	Aptiv Technologies Limited	米国	アクティブセーフティ（予防安全）、自動運転、車内外接続サービスなどのシステム・インテグレーション技術やソフトウェア技術で次世代モビリティーを開発している。
儀器科技研究中心	NATIONAL APPLIED RESEARCH LABORATORIES	台湾	台湾科学技術省の傘下で 2003 年設立。8 つの研究センターを持ち、地球と環境、情報コミュニケーション技術、バイオ、化学と技術ポリシー分野で研究、開発プラットフォーム及び技術サービスを提供する。
和碩聯合科技	PEGATRON CORPORATION	台湾	EMS（電子機器の受託製造サービス）シェア No.1 の鴻海につぐ企業となっている。
哈尔滨工业大学	HARBIN INST OF TECHNOLOGY	中国	主要国立 6 大学のひとつで、衛星開発など宇宙研究も行っている。
广东工业大学	UNIV GUANGDONG TECHNOLOGY	中国	広東省の技術協会が前身で、工学に力を入れた 19 施設を保有。機械、素材、科学及び情報技術の国家プロジェクトを担う。
华南理工大学	UNIV SOUTH CHINA TECH	中国	芸術、科学、社会科学、経営管理など多岐にわたるプログラムを有している。
山东大学	UNIV SHANDONG	中国	国家重点大学のひとつで、哲学、経済学、法律学、文学、歴史学、自然科学、技術工学、経営学、医学などのコースを有している。

企業名（英文）		本社所在地	概要
重庆大学	UNIV CHONGQING	中国	自然科学、社会科学、人文学、工学、建築、情報技術など強みを有する。ファーウェイ CEO など著名人を多く輩出している。
中国科学院电子学研究所	CHINESE ACAD INST ELECTRONICS	中国	中国の主要マイクロエレクトロニクス研究機関のひとつで、IC イノベータ。ハイエンド IC 技術、集積 IC プロセッシング、マイクロ波集積回路、IoT とセンシング技術及び最先端ナノエレクトロニクス分野の研究で強みを有する。
中国海洋大学	OCEAN UNIV CHINA	中国	主要大学のひとつで、自然科学、工学、農学（水産）、薬剤学、経済、経営、人文学、教育、史学、芸術学部を有する。
浙江工业大学	UNIV ZHEJIANG TECHNOLOGY	中国	中国のトップ産業大学のひとつで浙江省 2 番目の規模。科学、生物、工学に強みを有する。
华中科技大学	UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH	中国	中国教育省傘下の主要国立大学で、国家重点大学のひとつとして機械工学など強みを有する。
―	SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.	韓国	韓国企業で世界最大級の総合家電・電子部品・電子製品メーカであるサムスングループの中核会社。スマートフォン・薄型テレビ・NAND 型フラッシュメモリ・DRAM、中小型有機 EL ディスプレイの世界シェア 1 位を占める。

(4) 技術保有動向のまとめ

日本、米国、中国、国際（PCT）について CNN を用いた物体検出及び物体認識、YOLO 及び SSD を用いた物体検出及び物体認識の特許分析（2020 年 12 月時点）を行った。全体傾向として、主な特許出願者には、日本、米国、韓国、中国などの企業が確認された。

R-CNN は 2016 年頃から出願件数が増加しており、YOLO をはじめ One-stage detector 系は主に 2016 年以降から出願件数が確認された。R-CNN は出願数に一定の広がりがみられるものの、YOLO は限定されていた。次に、出願者の国籍別でみた場合、出願件数は中国が多いものの、出願時期は米国などが早く中国は米国などの出願を後追いしている状況にあるといえる。R-CNN や YOLO は何れも、基盤となる最新の研究は、それぞれの技術を開発した主に米国の研究者個人が中心となって継続的に改良を図っているともいわれている。

我が国では、米国や中国と比較して、このような物体検出技術自体の開発に携わっている研究者や研究機関が多くない。我が国の研究者、研究機関にとって、物体検出技術自体の研究開発は、技術的優位性のある分野ではないといえる。また、個別分野の応用展開に関しては、研究上のノウハウとして十分公開していないとみられる。

このような中で、物体検出の研究に関する状況を明らかにするため、次節では物体検出技術に関する著名な国際学会を通じて、研究の最前線における議論を整理した。

5.4.4 研究動向

物体検出技術に係る論文動向及び産業界における応用研究動向について調査を行った。

(1) 研究論文の動向（CVPR[100]）

画像認識技術に関する著名な国際学会として、CVPR が挙げられる。CVPR はコンピュータを用いて人間の視覚を表現する Computer Vision（CV）に関する世界三大国際会議の一つに位置づけられる。2020 年度の CVPR は 6 月にオンラインで実施された。2020 年度の CVPR は前年度と比較し、論文執筆者数は約 20%、論文投稿数は約 29%、レビュー者数は約 26%増加し、全体として規模は増加傾向にある。2019 年から 2020 年の推移を図 5-23 に示す。

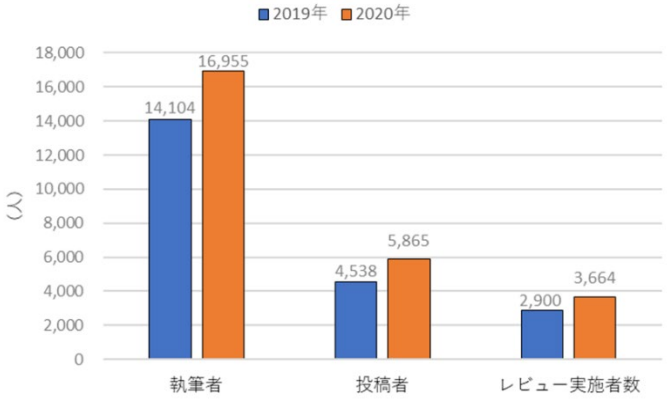


図 5-23　CVPR の執筆者・投稿者・レビュー実施者の推移

（出所）CVPR2020 を基に作成

1) CVPR2020 の論文執筆者及びレビュー実施者の内訳

論文執筆者の国籍は、中国（39.2%）、米国（22.7%）の順に、上位 1 及び 2 位を占める。また、論文執筆者の所属組織は、主に中国または米国の研究機関や事業者が上位 10 位内にランクインしており、中国は清華大学、上海交通大学など、米国は Google、Facebook などが上位を占める。CVPR の論文執筆者の内訳を図 5-24 に示す。

[100] Computer Vision and Pattern Recognition の略。

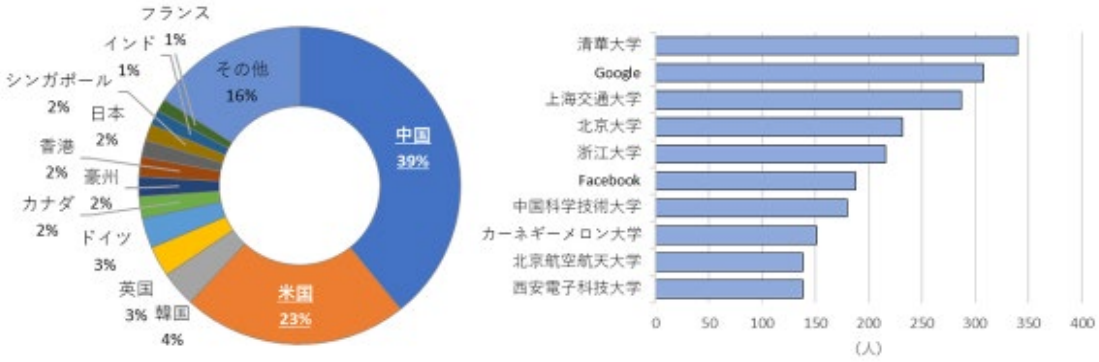


図 5-24　CVPR2020 の論文執筆者の内訳

（出所）CVPR2020 を基に作成

レビュー実施者の国籍は、米国（34.3%）、中国（20.4%）の順に、上位 1 及び 2 位を占める。また、レビュー実施者の所属組織は、主に欧米の研究機関及び事業者が上位 10 位内にランクインしており、米国の Google、Facebook が上位 1 及び 2 位を占める。CVPR の論文執筆者の内訳を図 5-25 に示す。

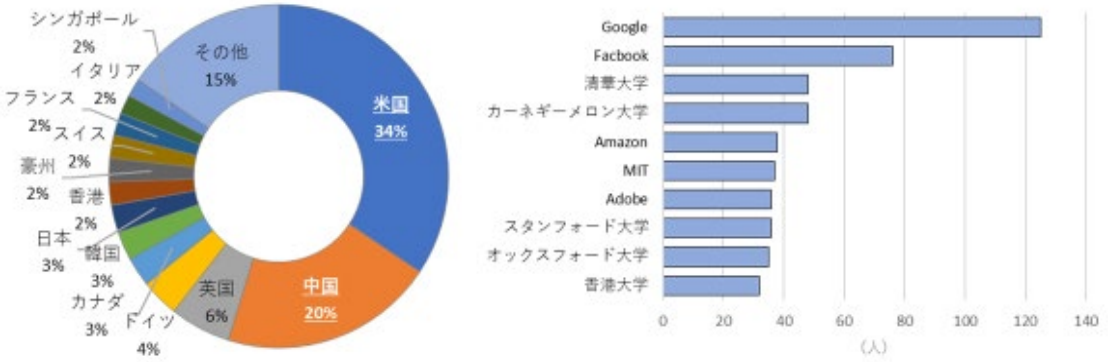


図 5-25　CVPR2020 の論文レビュー者の内訳

（出所）CVPR2020 を基に作成

2) CVPR2020 の研究分野及び手法の傾向

a. CVPR2020 の研究分野

CVPR2020 の主催者によると、2020 年度は前年度から継続し、認識（検出及び分類）に関する論文が最多となっている。前年度からの変化では、Deep Learning に関する研究分野が細分化され、新たに説明可能な AI 及び FATE が追加されている（表 5-21 表 5-21 CVPR2020 の研究分野）。

表 5-21　CVPR2020 の研究分野

Machine learning architectures and formulations	Vision applications and systems
Explainable AI	Datasets and evaluation
Efficient training and inference methods	Optimization and learning methods
Generative models	Video analysis and understanding
Adversarial learning	Biometrics
Transfer/ Low-shot/ Semi/ Unsupervised learning	Vision for robotics or autonomous vehicles
Recognition (detection, categorization)	Action recognition
Face, gesture, and body pose	Medical, biological and cell microscopy
Image and video synthesis	Visual reasoning and logical representation
Segmentation, grouping and shape	Image retrieval
Vision and language	FATE（Fairness, Accountability, Transparency and Ethics）in Vision
3D from Multiview and sensors	Vision and other modalities
Low-level and physics-based vision	Motion and tracking
3D from single image and shape-from-x	Representation learning
Computational photography	Scene analysis and understanding

（出所）CVPR2020 を基に作成

b. CVPR2020 の手法の傾向

CVPR2020 では物体検出に関する研究が最も多く、本年度は三次元物体検出の手法が増加しており（図 5-26 及び 図 5-27）、自動運転などへの応用を意識した研究が増加していると考えられる。

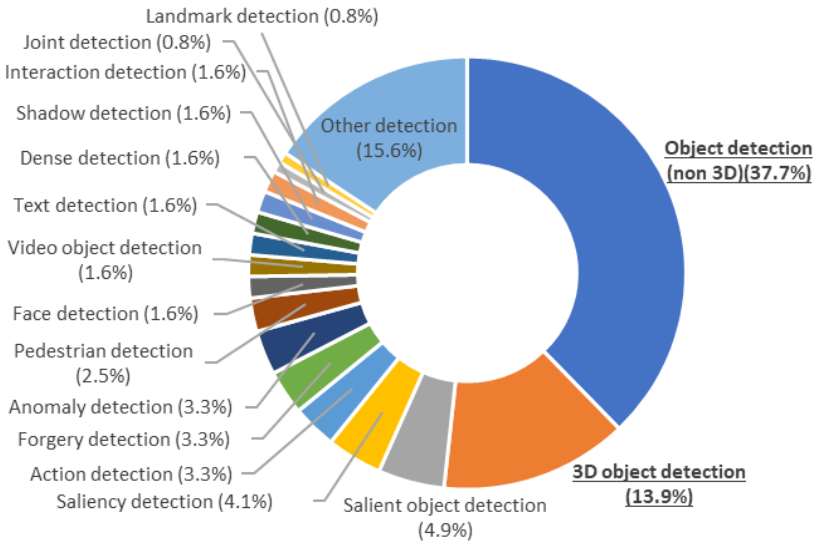


図 5-26　CVPR2020 の物体検出の手法

（出所）CVPR2020 を基に作成

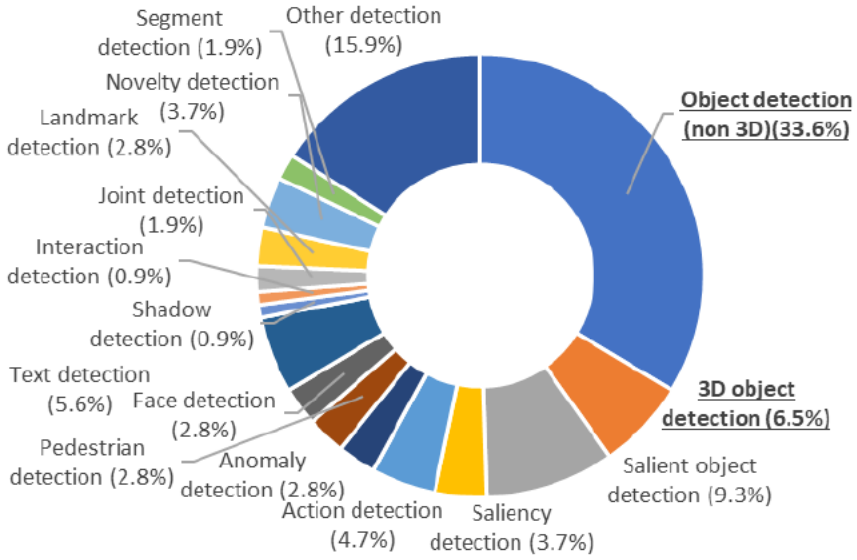


図 5-27　CVPR2019 の物体検出の手法

（出所）CVPR2020 を基に作成

c. CVPR2020 における CNN の活用の概要

CNN を活用した物体検出及び物体認識に関する最新の研究に関して、CVPR2020 の物体認識（検出及び分類）の分野では、次の表のような論文が発表されている（表 5-22）。

表 5-22　CVPR2020 の物体認識（検出及び分類）の分野の CNN を活用した研究

タイトル	概要
Few-Shot Pill Recognition	錠剤の画像認識を Few-Shot 学習で行うため、背景のセグメンテーションの結果から複数の CNN に処理を分岐させて学習させる複合的な画像認識モデルのフレームワークを設定
ABCNet: Real-Time Scene Text Spotting With Adaptive Bezier-Curve Network	画像に含まれるテキスト領域の検出に関する研究で、バウンディングボックスごとに検出する CNN と RNN の組合せにより、曲がったテキストを検出する手法を提案
Improving Convolutional Networks With Self-Calibrated Convolutions	CNN の精度向上のために、畳み込みフィルタを使用した新たな構造の設計を提案
Learning to Structure an Image With Few Colors	画像の構造を維持しながら、色の数を削減する ColorCNN を提案
Rethinking Classification and Localization for Object Detection	R-CNN 系のモデルを Box 回帰に用いて、分類には異なるモデルを用いる二重構造により効率的に行う手法を提案
Multiple Anchor Learning for Visual Object Detection	CNN ベースの物体検出器について、特徴量の設計にアンカーによる bbox 推定とクラス推定を共同で最適化する手法を提案

PV-RCNN: Point-Voxel Feature Set Abstraction for 3D Object Detection	三次元点群からの物体検出において、3D CNN、2D CNN を組み合わせて、共同で特徴量の抽出を行うための手法を提案
Visual Commonsense R-CNN	推論に関わる上位タスク（VQA, VCR, Image Captioning など）に活用できる教師なし学習による特徴表現学習手法（Visual Commonsense Region -based CNN：VC R-CNN）を提案
Overcoming Classifier Imbalance for Long-Tail Object Detection With Balanced Group Softmax	物体検出における不均衡な教師データへの対策として、Faster R-CNN、Cascade R-CNN、Mask R-CNN にソフトマックス関数で分類する手法を提案
Combining Detection and Tracking for Human Pose Estimation in Videos	動画から複数人の姿勢推定及びトラッキングを行うタスクに関する研究で、オクルージョンや密集した人物の姿勢推定の課題に、2D CNN の手法より精度の高い 3D CNN の姿勢推定で対処する手法を提案
D2Det: Towards High Quality Object Detection and Instance Segmentation	位置回帰とクラス分類を改善することで、高速で高い検出精度を有する、Faster R-CNN のモデルを提案。インスタンスセグメンテーションにも応用が期待
Equalization Loss for Long-Tailed Object Recognition	物体検出における不均衡な教師データに関する研究で、Mask R-CNN のモデルにより精度を向上する手法を提案
Gated Channel Transformation for Visual Recognition	CNN の特徴量の関係をモデル化する軽量で効果的な構造（Gated Channel Transformation：GCT）を提案

（出所）CVPR2020 を基に作成

d. CVPR2020 における CNN の活用の事例

CNN を活用した物体検出及び物体認識に関する最新の研究の事例として、Amazon 社の研究チームが発表した検出とトラッキングを組み合わせて動画から人物の姿勢推定を行う論文（“Combining detection and tracking for human pose estimation in videos[101]”）が挙げられる。本論文は動画から複数人の姿勢推定とトラッキングの問題に取組む新しい「トップダウン型アプローチ」を提案する。本論文の手法を用いることで、従来の「トップダウン型アプローチ」で生じていた、人が重なり合い身体の一部が隠れてしまうことで安定した結果が得られない問題を解決することができる。

[101] Manchen Wang, Joseph Tighe, Davide Modolo, “Combining detection and tracking for human pose estimation in videos”
＜https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2020/papers/Wang_Combining_Detection_and_Tracking_for_Human_Pose_Estimation_in_Videos_CVPR_2020_paper.pdf＞

本論文における姿勢推定とトラッキングは 3 つの手法から構成される。第 1 に、「Clip Tracking Network」という手法で、動画クリップ内の人物候補を検出し、クリップ内の画像から検出した人物候補の領域ごとに切り取る。この領域は「Tubes」と称される。そして、作成された Tubes から、身体の関節の位置について検出とトラッキングを並行して実施し、動画 Clip 全体にわたり人物の身体関節の位置を推定した「Tracklets」と称される一連の画像を作成する。

第 2 に、「Video Tracking Pipeline」という手法で、「Tracklets」を任意の長さに合成する。最後に、「SpatialTemporal Merging」という手法で身体の関節の動きが自然になるように、「Tracklets」を重ね合わせる（図 5-28）。

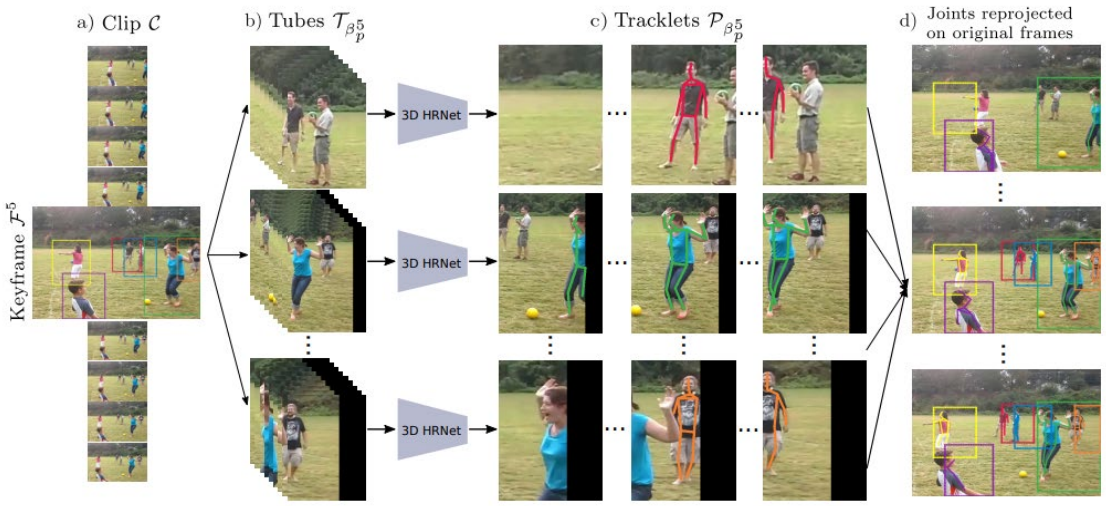


図 5-28　本論文の姿勢推定方法

（出所）Combining detection and tracking for human pose estimation in videos）

本論文の手法では､3D Mask R-CNN を用いて短時間の動画 Clip 内で身体の関節を検出し、lightweight tracker により検出されたバウンディングボックスの位置を比較することで､連続する動画 Clip を経時的に合成する。これにより検出を見逃しても、バウンディングボックスを動かすことで検出前後のフレーム内の人物の位置を推定する。

(2) 産業界における応用研究動向

1) 物体検出技術の応用研究の動向

「物体検出」部分の仕組みは世界的に汎用化が進んでおり、産業分野における技術として新規性は高くない。各産業分野においても、各々の目的に応じた物体検出技法の拡張が個別に図られている。物体検出技術の産業への応用を検討する際、処理系統、改良の容易性（チューニング）、特許の有無といった要素を考慮に入れる必要がある。物体検出技術は、処理環境により性能が左右され、GPU 上に実装する場合、GPU 上での処理速度が速い One-stage detector 系が選択されることが多い。一方、Faster R-CNN は、性能向上のための改良（チュ

ーニング）が比較的容易であることもあり、実際の応用面では、Faster R-CNN をベースとした物体検出の改良モデルが比較的と多いといえる[102]。ただし、Faster R-CNN は米国での特許もあり、当該特許の利用を避けたい研究者は、One-stage detector 系である SSD、YOLO などを選択することもある。

各産業分野において個別の物体検出技術が研究されている一方、現場での学習データが鍵になるともいわれている。我が国においては、実データを用いた学習済みモデルに係る研究は活発であり、各メーカと連携して学習済みモデルの高度化を研究する研究者も少なくない。日本は製造業分野において優位性があり、優位性の高い現場で得られるデータの価値は高く、産業分野における物体検出技術の活用が期待されている。

物体検出分野の研究開発において、これまでは日本の企業の研究能力が高く、企業の研究所が個別に研究を進めることができていた。しかしながら、有識者によると、近年は画像認識分野における競争の激化や資金面などを背景として、企業の研究機関が単独で行うのではなく、国などの研究機関と共同開発を行うケースも見られるようになってきている。

産業分野への応用面でいえば、現時点では自動運転分野における応用が進展している。これは、自動車関連では、走行環境で出現すると想定される物体が限定的であるため、他の分野より環境に最適化することが容易であることが理由と考えられる。

2) 自動運転分野への応用事例

自動運転車の場合、障害物検知とその回避が目的であり、車載カメラを用いたリアルタイム物体検出の高速化、自動運転分野においては、Faster R-CNN をベースとした研究開発が見られる。これは、Faster R-CNN の処理速度が速いこと、改修が容易であること、処理系統との相性が良いことが理由として挙げられる。自動運転分野における研究開発を進める主な企業に電機メーカの Panasonic 社が挙げられる。同社の取組の事例を自動運転分野での応用事例として、以下に示す。

Panasonic 社は、自動運転車の障害物検出機能のための新たな物体検出手法として Temporal Faster R-CNN の研究開発を行っている。Temporal Faster R-CNN アーキテクチャを図 5-29 に示す。

[102] Kaggle など、画像認識、物体検出の処理速度及び処理精度を競うコンペティションにおいては、Faster R-CNN を用いたモデルが多い。

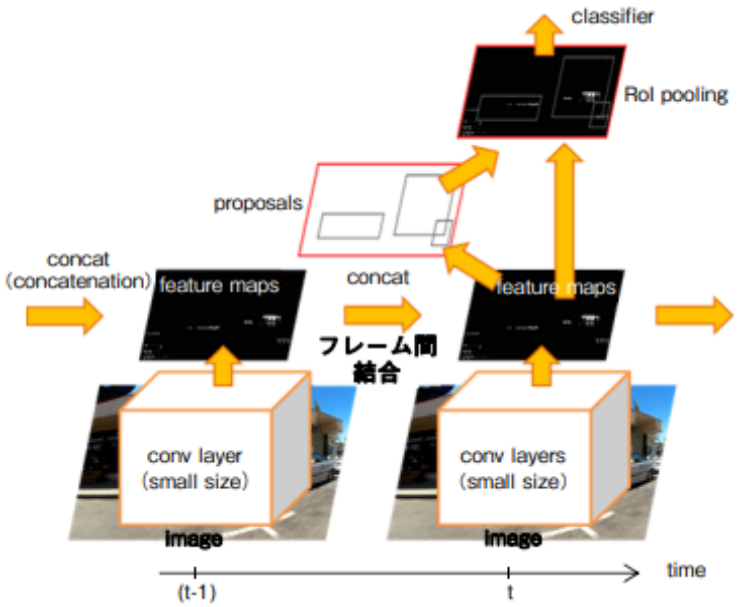


図 5-29　Temporal Faster R-CNN アーキテクチャ

（出所）Panasonic Technical Journal Vol.63 No.1 May 2017『自動運転向けディープラーニング』

車載カメラの動画データによる物体検出を高速で行うため、Faster R-CNN をベースとして、処理計算を高速化するためのモデルを研究している。本モデルでは、畳み込み層により特徴を抽出する「Feature map」の算出を軽量化し、計算量を低減させている。さらにマルチフレーム方式により、過去のフレーム検出で算出した feature map を新たなフレーム検出に再利用する方式とし、処理の高速化を実現している。

(3) 研究動向のまとめ

1) 研究論文の動向（CVPR）

物体検出技術の技術保有者の傾向として、物体検出技術に関わる特許の出願件数は中国が多いものの、出願時期は米国などが早く中国は米国などの出願を後追いしている状況にある。我が国の研究者、研究機関は、欧米や中国などと比較して、このような物体検出技術自体の研究、開発をあまり公表していない。

物体検出技術に関わる国際学会である CVPR においても、論文投稿者数は中国の研究者が多いものの、論文レビュー者は米国などが多数を占めており、米国などの技術的優位性は維持されていると考えられる。

物体検出技術に関する研究は多数発表されているが、物体検出の研究が体系的に進められているわけではなく、個別課題に対する特定の研究がなされているのも現状である。なお、これまで研究開発のベースとなってきた R-CNN や YOLO などの技術は、それぞれの技術を開発した研究者が継続して改良を図っている。

2) 産業界における応用研究動向

産業界における応用研究動向からも、物体検出技術は適用方法が各分野で異なり、革新的

な方法が確立されていない状況にあるといえる。さらに、自動車関連のように認識に関わる環境の条件設定は容易ではなく、実用化までのハードルが高くなっている。自動車関連では、走行環境で出現すると想定される物体が限定的であるため、他の分野より環境に最適化することが容易であることが理由と考えられる。一方で、自動運転分野においても応用研究はいまだ発展途上であり、主流となる手法が確立されているわけではなく、アドホックな研究の実施が多い状況もある。

各産業分野において、現場での学習データが鍵になるといわれている。各企業は研究開発の内容を秘匿にする傾向があり、研究開発の実態把握は難しいが、実データを用いた学習済みモデルに関わる研究は高い有用性がある。

5.4.5 総括・提言

(1) 総括

本調査では、RVSC のうち、ソフトウェアを用いて実現される「物体検出技術」を対象として、構成する要素技術を整理し、国内外における研究動向、要素技術の蓄積状況及び当該要素技術の技術保有者の状況を調査した。

1) 物体検出の特徴と市場性

物体検出技術は、様々な産業分野において活用が期待されている。しかし、技術の適用方法は分野で異なり、各産業分野で横断的・統一的な方法が確立されていない。その中で、比較的容易に活用ができる分野として自動車産業が挙げられる。これは、車は衝突しないことを前提に、人・車・建物などの認識対象が限られており、システム上の設定が単純であることが要因である。自動車関連では、自動運転の市場の伸びが大きくなると推察される。さらに、自動運転では安全性確保の観点から、リアルタイム物体検出技術が重要であり、この技術は他分野への応用も可能であり、広く産業の発展に寄与することが期待される。

2) 物体検出の技術性と現状

ディープラーニングを活用した畳み込みニューラルネットワークの登場で格段に検出能力が向上した。これまで様々な CNN のモデルが研究開発されてきたが、精度と処理速度の両輪の追求が難しく両方を実現したモデルはない。そこで、精度及び処理速度の二軸で概念的に分類・評価した「物体検出技術の分類（再掲）」を図 5-30 に示す。物体検出技術の現状把握としたい。

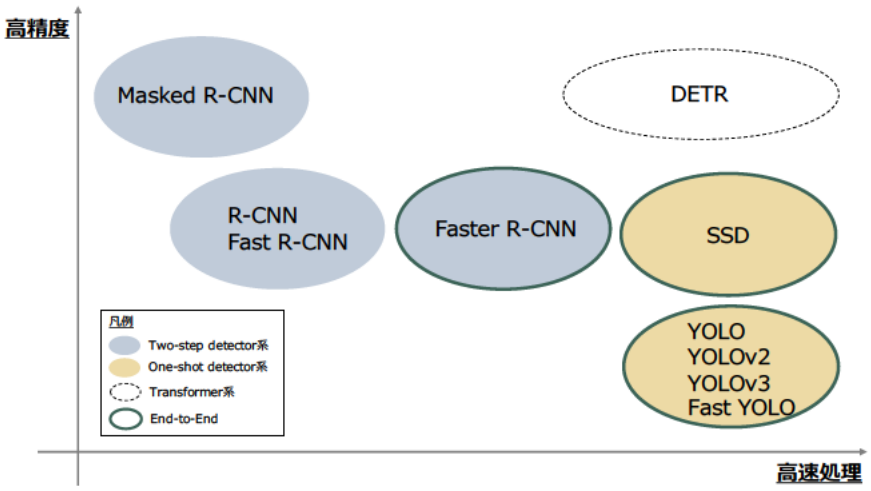


図 5-30　物体検出技術の概念的な分類（再掲）

（出所）三菱総合研究所作成

物体検出の手法は、検出する対象、画像サイズ、処理系などにより、処理速度及び精度が異なり比較が難しい。現状は、One-stage detector である YOLO 系が性能面では速く、Two-stage detector である R-CNN 系が精度面で高い。さらに、DETR（新たな概念）などの台頭もあり、各者各様に研究開発が進められていることが分かる。高性能・高品質の二軸を実現できるモデルの出現には時間がかかるものと想定される。

3) 論文・特許の状況

物体検出技術に関する研究は、国際学会である CVPR などにおいて多数発表されているが、物体検出の研究が体系的に進められているわけではなく、個別課題に対する多様な研究がなされているのが現状。一方、R-CNN や YOLO などの技術は、それぞれの技術を開発した研究者が継続して研究開発を図っている。技術保有者の傾向は、関連特許の出願件数で中国が多く、出願時期は米国などが早い。なお、中国は米国などの出願を後追いしている状況。また、CVPR でも論文投稿者数は中国の研究者が多いものの、論文レビュー者は米国などが多数を占めている。

これらの公開情報からいえることは、米国の技術的優位性が維持されており、我が国は、欧米・中国などと比較して、この分野自体の開発に携わっている研究開発主体の層が薄く、脆弱性を有していると懸念される。

(2) 提言

ディープラーニングを活用した物体検出技術は、欧米、中国を中心に研究が盛んに行われているが、研究の多くはアドホックな目的に向けた研究にとどまっているものが多い。その中で、Faster R-CNN や YOLO などはこれまで物体検出技術の研究開発のベースとなってきた。しかし、これらの技術は、欧米の特定のグループが研究を続け先行しており、我が国の研究者・研究機関にとっては、物体検出自体の研究開発は優位性のある分野ではない。

物体検出の各モデルは周知の技術であり、欧米の技術基盤としても定着している。しかし、物体検出分野での支配的な技術手法とまではいえない状況である。DETR のような

Transformer 系の技術は、これまでの延長線上にある技術ではなく、高い汎用性を持った新しい概念の技術であり、今後の動向を注視する必要がある。

我が国も Transformer のような革新性を狙った、独創性の高い技術の開発が有効と推察する。独創性の高い技術としては、例えば、強みのハードがあり、そのハード処理系とソフトが融合した物体検出技術を研究開発することは有効と考えられる。ハードとソフトを適切に機能配分し、システム全体として必要な能力を実装するためのシステム・エンジニアリングの視点も重要といえる。

我が国においては製造に携わる多くの企業が研究を行っている。製造業全体として技術力が高くニーズも高い。彼らにとって、画像認識・物体検出機能を各種処理系・ハード系に有効実装するためにも、研究者とのコラボレーション強化が必要となる。このコラボの実現により、研究・研究機関は、企業などが保有する、学習のための学習データの活用が可能となる。ここで重要なのは、研究者・研究機関が、物体検出技術そのものの高度化を組織単体として研究することに加え、関連する製造メーカなどとのコラボレーション強化の仕組み作りである。

そこで提言として、①新たな価値創造を目指した研究開発（例えば、ソフト・ハードの垣根を越えた独創的視点やシステム指向）、②そのためのコラボレーションスタイルの確立。これらの点が実現できる環境整備を中長期的視野において検討すべきである。他方、③我が国の安全保障貿易管理の面から、上記、製造メーカが保有する学習データ及びそれらを学習した学習済みモデルについては、秘匿性の堅持や機微性の可否について検討を進めていくことも重要である。企業としてはノウハウであり、社外には公表しない点もネックとなっているが、企業が保有する技術の秘匿性保持を堅持しつつ、企業と物体検出技術の研究者・研究機関の関係強化を促す枠組みが急がれる。

5.5 参考

5.5.1 用語の説明

(1) 人工知能の分類

コンピュータが行う人工的な知的活動を人工知能（Artificial Intelligence (AI)）という。人工知能のうち、データの背後に潜む規則性や特異性を発見することにより人間と同程度あるいはそれ以上の学習能力をコンピュータで実現しようとする技術[103]を機械学習という。

後述するディープラーニングは、機械学習の一つの手法である。人工知能の分類（概念図）を図 5-31 に示す。

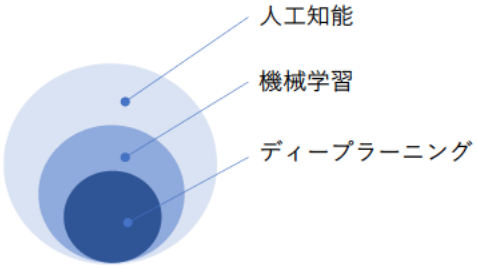


図 5-31　人工知能の分類（概念図）

（出所）三菱総合研究所作成

人工知能の中に機械学習が含まれ、機械学習の中にディープラーニングが含まれる。ディープラーニングには、CNN などの各種手法が含まれる。

(2) ニューラルネットワーク

ニューラルネットワークは、人間の脳の神経細胞（ニューロン）を模したアルゴリズムである。ニューラルネットワークは機械学習の一つの手法であり、神経細胞を模したアルゴリズムとなる。ニューラルネットワークの概念（多層パーセプトロン）を図 5-32 に示す。

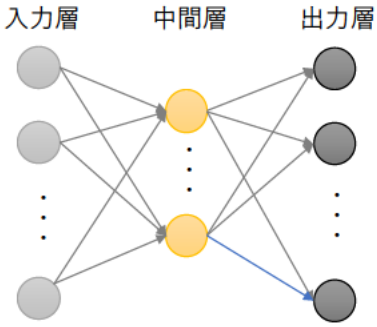


図 5-32　ニューラルネットワークの概念（多層パーセプトロン）

（出所）三菱総合研究所作成

[103] （出所）JST（研究開発の俯瞰報告書）システム・情報科学技術分野（2019 年）：「2.1.1 機械学習」

図 5-32 は 3 層のネットワーク構成であり、1 層目が入力層、2 層目が中間層、3 層目が出力層となる。入力と出力の関係性を重みとして示すのが中間層であり、数学的には入力と出力を対応づける関数で示される。

(3) ディープラーニング

ディープラーニングは機械学習の一つの手法であり、ニューラルネットワークにおける中間層を増やしたものである。ディープラーニングは深層学習ともいう。ディープラーニングの概念を図 5-33 に示す。

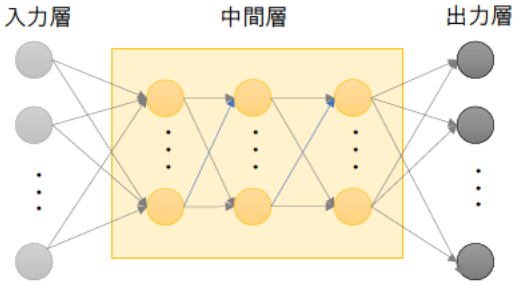


図 5-33　ディープラーニングの概念

（出所）三菱総合研究所作成

ディープラーニングは、深い中間層を有する関数を利用する点が特徴であり、データと計算量を増やすことにより精度が向上する。

(4) 畳み込みニューラルネットワーク

畳み込みニューラルネットワーク(CNN)は、畳み込み層、プーリング層及び全結合層で構成され、入力された画像に対する特徴抽出及び識別を行う技術である。畳み込み層では、カーネルと呼ばれるフィルタを用いて画像から特徴を抽出し、プーリング層では、画像サイズを小さくするための処理を行う。畳み込み層とプーリング層の処理を繰り返した後、全結合層を経て画像を分類し、出力層に識別結果を出力する。CNN による特徴抽出及び識別の流れを図 5-34 に示す。

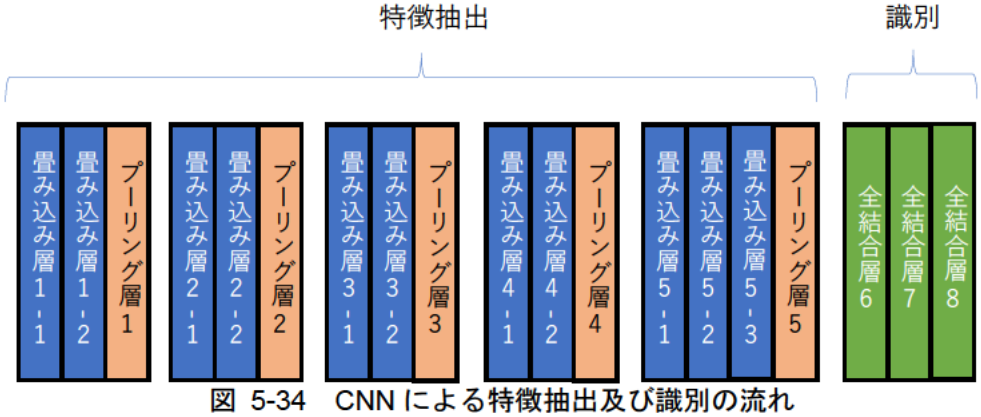


図 5-34　CNN による特徴抽出及び識別の流れ

（出所）三菱総合研究所作成

(5) NMS (Non-Maximum Suppression)

NMS は物体検出において、同一物体に対して重複して検出したバウンディングボックスを除去・集約するためのアルゴリズムの一つである。NMS は IoU (Intersection over Union)に基づき、重複したバウンディングボックスを評価し、除去・集約を行う。IoU の評価式を図 5-35 に示す。

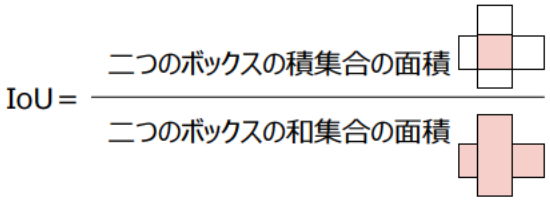


図 5-35　IoU の評価式

IoU は 0 から 1 の間の数字をとり、値が 0 に近づけば重複はあまりなく、値が 1 に近づけば重複範囲が広くなることを意味する。

5.5.2 ロボットビジョンセンシングコントロール勉強会（1）

日時	2020 年 10 月 26 日（月）13:30-15:30
場所・実施方法	オンライン
講師	東京大学 情報基盤センターデータ科学研究部門 石川正俊 特任教授
講演タイトル	高速画像処理とその応用展開 －日本が世界をリードするためには－
講演概要	「科学技術と社会受容性－夢をかたちにするためには何をすべきか？－」というテーマについて、世界に通じる独創的システムを創生することの必要性に係る提言を説明した。画像処理の動向を概説しつつ、日本が世界をリードする技術分野である高速画像処理及びその応用分野であるロボット、FA、検査、自動車、ドローン、セキュリティ、バイオ医療、書籍電子化、ヒューマンインターフェイス、メディアアートなどを紹介し、その技術戦略について説明した。

5.5.3 ロボットビジョンセンシングコントロール勉強会（2）

日時	2020 年 12 月 22 日（水）13:30-15:00
場所・実施方法	オンライン
講師	産業技術総合研究所 人工知能研究センター 副研究センター長（兼） 筑波大学大学院 システム情報工学研究群 情報理工学位プログラム 教授 佐藤 雄隆 氏
講演タイトル	リアルタイム物体検出技術とその近年の動向について-
講演概要	物体検出処理は主に、①「物体位置の検出」と、②「物体の認識」で構成される。物体検出処理の精度向上には、DNN（深層ニューラルネットワーク）による処理全体の end-to-end 化など一定のパターンがあるものの、全体としてはケースバイケースでのアドホックな手法にとどまる。なお、日本では物体検出処理自体の研究は少ないが、応用研究はみられる。 「物体の認識」は汎用化が進んでいるため、その仕組み自体よりも、産業分野など現場の学習データ活用に関する研究が中心になっている。

5.5.4 主要参考文献

- (株)富士キメラ総研『2020 画像・音声 AI/次世代インターフェース市場の現状と将来展望』（2020）
- ミック経済研究所(株)『AI（ディープラーニング）活用の画像認識ソリューション市場の現状と展望【2020 年度版】』(2020)
- 東京大学石川グループ研究室ウェブサイト https://ishikawa-vision.org/index-j.html
- Ross Girshick, Jeff Donahue, Trevor Darrell, Jitendra Malik『Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation』(CVPR 2014)
- Ross Girshick『Fast R-CNN』(ICCV2015)
- Shaoping Ren, Kaiming He, Ross Girshick, Jian Sun『Faster R-CNN』(NIPS 2015)
- Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi『You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection』
- Wei Liu, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Christian Szegedy, Scott Reed, Cheng-Yang Fu, Alexander C. Berg『SSD: Single Shot Multibox Detector』
- Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollar, Ross Girshick『Mask R-CNN』
- Nicolas Carion, Francisco Massa, Gabriel Synnaeve, Nicolas Usunier, Alexander Kirillov, and Sergey Zagoruyko『End-to-End Object Detection with Transformers』

【利用データベース】

- UltraPatent：https://www.ultra-patent.jp/About/Subscription

5.5.5 用語・略称

本報告書での表記	正式名称・意味など
ADAS	Advanced driver-assistance systems
AI	Artificial Intelligence
BERT	Bidirectional Encoder Representations from Transformers
BP	Backpropagation
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CNN	Convolutional Neutral Network
CVPR	Computer Vision and Pattern Recognition
DETR	DEtection TRansformer
DNN	Deep Neural Network
FC	Full Connected
IoU	Intersection over Union
IPC	International Patent Classification
LiDAR	Light Detection and Ranging
MLP	Multilayer Perceptron
NAS	Neural Architecture Search
NMS	Non-Maximum Suppression
PCT	Patent Cooperation Treaty
R-CNN	Region with Convolutional Neutral Network
RPN	Region Proposal Network
RVSC	Robot Vision Sensing Control
SSD	Single Shot Multi Detector
SVM	Service Vector Machine
VOC	Visual Object Classes
YOLO	You only Look Once

6. PNT（Positioning, Navigation and Timing）システムに関する技術調査

6.1 概要

PNT（Positioning, Navigation, and Timing）システムについて、文献調査、特許調査及び専門家インタビュー調査を行った。

6.2 調査方法

PNT システムを構成する技術のうち、特に PNT システムが持つ脆弱性に対応するための技術について分析し、国内外の技術蓄積状況を把握するため、文献調査、インタビュー調査及び特許調査を実施した。

6.3 背景と目的

米国が GPS による衛星を利用した測位サービスの提供を本格的に開始して以来、世界各国、各地域において様々な測位サービスが提供されるようになった。ここで、衛星を利用した測位とは、「人工衛星から発射される信号を用いてする位置の決定及び当該位置に係る時刻に関する情報の取得並びにこれらに関連付けられた移動の経路等の情報の取得 [104]」と定義することができる。我が国でも、2018 年より運用を開始したみちびきによって、GPS を補完する形で独自の測位サービスが提供されている。米国による GPS によって本格的な測位サービスが提供されるようになる以前は、GPS による測位の主目的は軍事利用に限定されていたが、本格的な測位サービス提供開始と同時に民間での利用も開始され、現在ではスマートフォンに代表されるように､個人が保有するモバイル端末や自家用車に設置されるカーナビゲーションシステムでも、位置の把握に利用されるにいたっている。

しかし、衛星より送信される信号には、運用開始当初より脆弱性になりうる幾つかの特徴が知られていた。例えば、信号を送信するための電波が非常に微弱なものであることや、信号の形式が一般に公開されていること等である。このような特徴を持った信号は、強力な電波による妨害を受けたり、現在位置を誤認識させるような偽の信号を送信されたりする可能性があるが、運用開始当初はそのような妨害をするための仕組みを構築することが困難であったり、そもそも妨害しようとする動機が存在しないこと等から、特別な対策がとられないままであった。

ところが、近年、技術の進展により妨害装置の構築が容易になったのに加え、衛星を利用した測位が非常に幅広い分野で行われるようになり、妨害を行う動機が生じうるようになってきている。米国では 2020 年 2 月 12 日、米国大統領令（EO-13905；PNT サービス抗たん性強化）[105]において、「*衛星測位による PNT サービスは、電力網、通信インフラ、モ*

[104] 平成十九年法律第六十三号「地理空間情報活用推進基本法」第一章第二条二項の 4 における「衛星測位」の定義

[105] Executive Order 13905 of February 12, 2020、「Strengthening National Resilience Through Responsible Use of Positioning, Navigation, and Timing Services」
<https://www.govinfo.gov/content/pkg/FR-2020-02-18/pdf/2020-03337.pdf>（2021/1/15 最終閲覧）

バイル機器、あらゆる交通手段、精密農業、気象予報、緊急対応などの技術・インフラ・多くの公共サービス分野において、幅広くユーザーが意識しないユーティリティ（a largely invisible utility）となった。PNT サービスが広く採用されているため、サービス中断又は妨害は、米国の国家及び経済の安全に悪影響を与える可能性がある。」旨が記載されており、衛星測位への依存度の高まりが衛星依存リスクとして指摘されているところである。一方、Galileo を運用している欧州でも衛星測位に対する脅威への関心が高く、GNSS 信号のモニタリングステーションを世界各地に展開し、干渉信号を捕捉してきた。

そのため本調査では、PNT システムを構成する様々な技術の中で、近年国際的にも重要な課題となっている衛星測位の脆弱性とそのセキュリティ対策技術に焦点を当て、脆弱性対策に関する技術の動向、技術保有者及び重要技術と脆弱と考えられる生産基盤を把握することを目的とする。

なお、「自律測位」については、本調査では取り扱わないものとする。

6.3.1 文献調査

書籍、論文・総説、企業のプレスリリース等の公開情報による文献調査を行った。

6.3.2 インタビュー調査

PNT システムの産学における専門家に対し、オンラインでインタビュー調査を実施した。インタビュー調査は合計 3 回実施し、専門家から技術についての解説を受けるとともに質疑応答を実施した。

6.3.3 特許調査

特許データベースによる検索を行い、各国の特許保有状況、主要な特許保有者について調査を行った。結果は、6.4.2(1)に示している。

6.4 調査結果

6.4.1 技術動向

(1) PNT システムの概要

PNT は、外部からの情報を受信及び処理を行い、現在地の位置測定、航法、時刻配信を行うシステムである。PNT は、人工衛星からのデータを用いる「衛星測位」と、人工衛星からのデータを用いない「自律測位」の 2 とおりに分けることができる。

我が国では、地理空間情報活用推進基本法において、「衛星測位」とは「人工衛星から発射される信号を用いて行う位置の決定及び当該位置に係る時刻に関する情報の取得並びにこれらに関連付けられた移動の経路等の情報の取得」とされる。

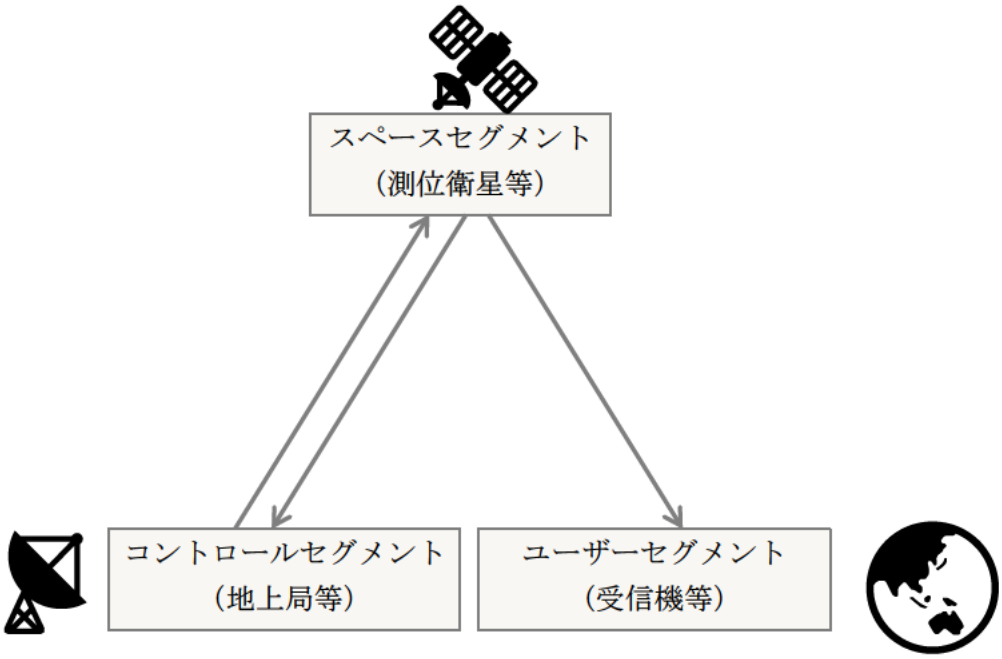


図 6-1　衛星測位による PNT のイメージ

衛星測位による PNT のイメージを図 6-1 に示す。衛星測位を構成する要素としては、スペースセグメント、コントロールセグメント及びユーザーセグメントに区分される。

- スペースセグメント
  スペースセグメントは測位衛星そのものを指す。大きくは全地球向けの GNSS と、地域が限定された RNSS に分かれる。GNSS には米国の GPS、ロシアの GLONASS、欧州の Galileo 及び中国の BeiDou がある。RNSS には日本の QZSS（準天頂衛星システム「みちびき」）及びインドの NavIC がある。
- コントロールセグメント
  コントロールセグメントは測位衛星を管理するための地上管制を指す。衛星の状態監視、制御、時刻、軌道等の維持管理を行う。
- ユーザーセグメント

ユーザーセグメントは GNSS 受信機を指す。測位衛星からの電波を受信して位置を計算する。一般に、「GPS」や「GNSS」等の記載がある場合、通常は受信機側を指している。

これらを構成する技術面に関しては、そもそも衛星を作る技術、衛星を打ち上げる技術、衛星を管制する技術、無線技術など含め、総合的に見ると人類の持つ広範にわたる技術の集合体である。

従来、スペースセグメントとコントロールセグメントは、主として政府主導で整備が行われてきた。一方で、ユーザーセグメントは政府のみならず民間も積極的に関与しており、様々なアプリケーションが出てきている。顕著な例としては、精密農業、精密測量、自動運転及びドローン制御などの分野で利用拡大がますます進んでいる。

(2) PNT における脅威

衛星を用いた PNT における脅威について整理する。測位衛星から地上に送信される信号に関する基本的なポイントとして以下の点が指摘されている（坂井、2018）[106]。

- 地上で受信する信号そのものが微弱である。
- 信号の形式・内容が公知である。
- 正当な信号かどうか検証する仕組みがない。

衛星測位は、高度約 2 万キロメートル上空からの測位衛星が発する微弱な電波を利用するため、地上の受信機側は簡単に周囲の影響を受ける。衛星測位に関するインシデントとしては、2010 年頃からソウル周辺で航空機が GNSS を利用できないなど、様々な事例が報告されている（坂井、2018）。米国においては 6.3 節にて米国大統領令（EO-13905）に示されているとおりであり、また、欧州においてもモニタリングステーションによる干渉信号の捕捉を行うなど、欧米では脅威の認識が高いことが背景に挙げられる。

これらを踏まえて脅威としては、「ジャミング」、「スプーフィング」、「ミーコニング」及び「ネットワークの乗っ取り」の 4 点が挙げられる。

- ジャミング（Jamming; 妨害電波）
  - ✓ 測位衛星から受信機側で受け取る電波は微弱であることから、攻撃者は GNSS と同じ周波数帯域の電波を発信することにより、受信機の測位機能を妨害できる。これはジャミングと呼ばれる。
- スプーフィング（Spoofing; なりすまし）
  - ✓ GNSS の信号の形式・内容は公知である（軍用コードを除く。）ことから、攻撃者は GNSS 信号の偽物を作ってアンテナから発信することにより、受信機に間違った位置を測位させて妨害できる。これはスプーフィングと呼ばれる。ジャミングとも類似しているが、ジャミングの場合は測位自体ができなくなるため、受信機ユーザーは攻撃に気づくことが可能である。しかしスプーフィングの場合は

[106] 坂井丈泰、2018、「GPS ハッキング：GPS のセキュリティ」、セキュリティコンテスト SECCON 国内大会 カンファレンス SC-04「GPS ハッキング」
<https://www.enri.go.jp/~sakai/pub/seccon_gps_hacking_sakai.ppt>（2021/1/20 最終閲覧）

信号の真偽が受信機側で分からないため、攻撃者が意図した偽物の位置や時刻を本物と認識してしまう。

- ミーコニング（Meaconing; 再放送）
  - ✓ 主として GNSS の信号を取り込んで時間差を空けてそのまま再放送することにより妨害できる。これはミーコニングと呼ばれる。過去には建物内部に GNSS 信号を送るためのリピーターなどが原因でミーコニングが発生した事象もある。スプーフィングでは攻撃者が意図的に信号を作り出すのに対して、ミーコニングは GNSS から受信した信号をそのまま又は一部を加工して放送するため、信号自体は全く本物の信号である場合が多い。
- ネットワークの乗っ取り
  - ✓ スマートフォン等に搭載された GNSS 機能では基地局を経由して補正データを受信しているが、インターネットを介在している以上、攻撃者など何らかの第三者による「ネットワークの乗っ取り」が新たな脅威となる可能性がある。ネットワークの乗っ取りを更に具体化すると、データの乗っ取り又はソフトウェア（API; Application Program Interface）の乗っ取りが挙げられる。正当な信号かどうか検証する仕組みがないことから、受信機はそのまま測位計算を行い、ユーザーを混乱させることとなる。

1) ジャミング

測位衛星からの信号は非常に微弱である。そのため衛星信号帯域内のノイズの影響を受ける。意図せず無線機器の運用や故障により測位衛星が送信する電波に干渉するものは、通常「電波干渉」と呼ばれる。帯域フィルタの故障などにより高調波が発生した際にも起こりうる。

ジャミングとは、攻撃者が意図的に電波干渉を発生させる妨害電波（GNSS と同じ周波数帯域の電波）を発信することにより、GNSS 受信機を利用できない状態にすることをいう。

2010 年頃から韓国ソウル周辺では航空機が GNSS を使えないといった、外部要因のジャミング事例が報告されている（坂井、2018）。海外では Resilient PNT に関するテーマに特化した議論が行われており、海外機器メーカが主催する会議[107]では、北朝鮮や黒海など常にジャミングが行われているエリアの存在が指摘されている。

一方で、GNSS 受信者が「自分自身」をジャミングする装置も存在する。米国ではジャミング装置が PDD（Personal Privacy Device；プライバシー保護デバイス）として過去には販売されており、トラック運転手等が自分の運行実績を会社側に知られないようにするために用いていた。現在米国では PDD の利用は違法であるが、図 6-2 のように、インターネットの専門サイトでは現在でも PDD そのものは販売されている。車両のシガレットソケットに差し込むタイプの他、USB 接続タイプなど様々な装置が存在している。価格帯は 1 万円台のものから安いものでは千円程度である。

米国ニュージャージー州のニューアーク国際空港では、付近の高速道路を走行するトラッ

[107] 例えば、オロリア社によるウェビナー「PNT Coffee Talk: Resilient PNT - The European Perspective」<https://www.orolia.com/resources/webinars/pnt-coffee-talk-resilient-pnt-european-perspective>（2020/12/17 視聴）

ク運転手がジャミング装置を利用していたことが原因で、航空管制システムの GPS を狂わせることでフライトの中断が発生した事象がある [108]。

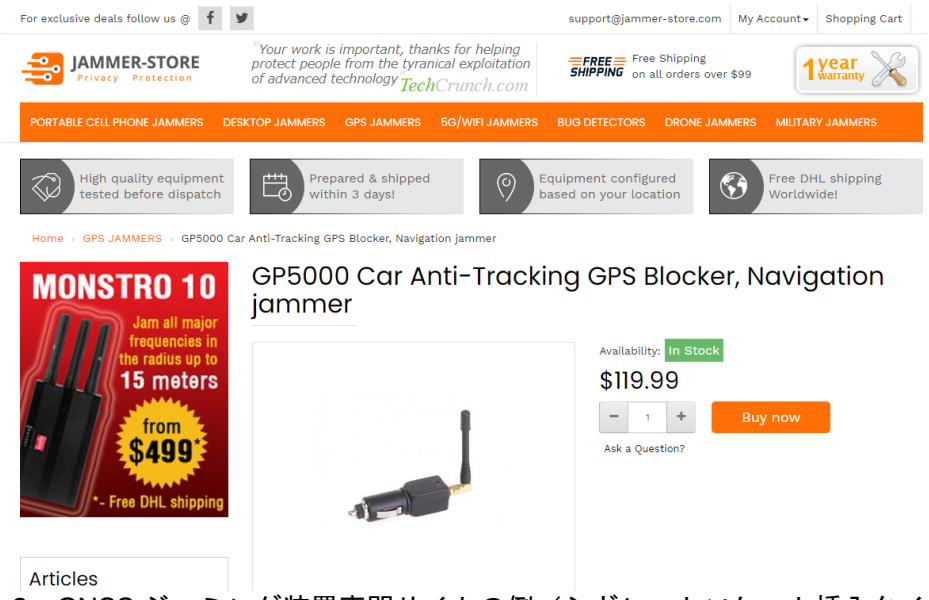


図 6-2　GNSS ジャミング装置専門サイトの例（シガレットソケット挿入タイプ）

（出所）ジャミング装置サイト、https://www.jammer-store.com/gp5000-car-use-gps-jammer-blocker html、（2021/1/28 最終閲覧）

2) スプーフィング

スプーフィングとは「なりすまし」を意味する。GNSS 信号の形式・内容は公知であり、誰でも正しい形式の GNSS 信号を作り出すことができる。そのため、上空の衛星からではなく地上から偽の、しかし形式的には正規の信号と何ら変わることのない GNSS 信号を発信する（なりすます）ことにより、GNSS 受信機利用者の測位結果をだますことができる。その結果、発信源の周辺にある GNSS 受信機は誤った位置を示す。GNSS スプーフィングにより、無人航空機（UAV; Un-manned Air Vehicle）、車両又は船舶等を混乱させるために意図的に使用されうる。

坂井（2018）によると、スプーフィングは微弱な電波で可能であり、かつ、受信機側では本物の信号との区別が付かない点、並びに、近年のソフトウェア無線技術の進展によりスプーフィング行為が安価で実行できるようになった点が指摘されている。スプーフィング事例を図 6-3 に示す。攻撃者の意図する位置を相手方に算出させることで船舶の位置を誤らせたり（図 6-3、上）、スマートフォンの現在地をエベレストの山頂にしたり（図 6-3、下）することができる。

[108] ヒューレット・パッカードウェブサイト、GPS の将来展望、https://www hpe.com/jp/ja/japan/insights/articles/the-future-of-gps-1907 html、（2021/1/28 最終閲覧）

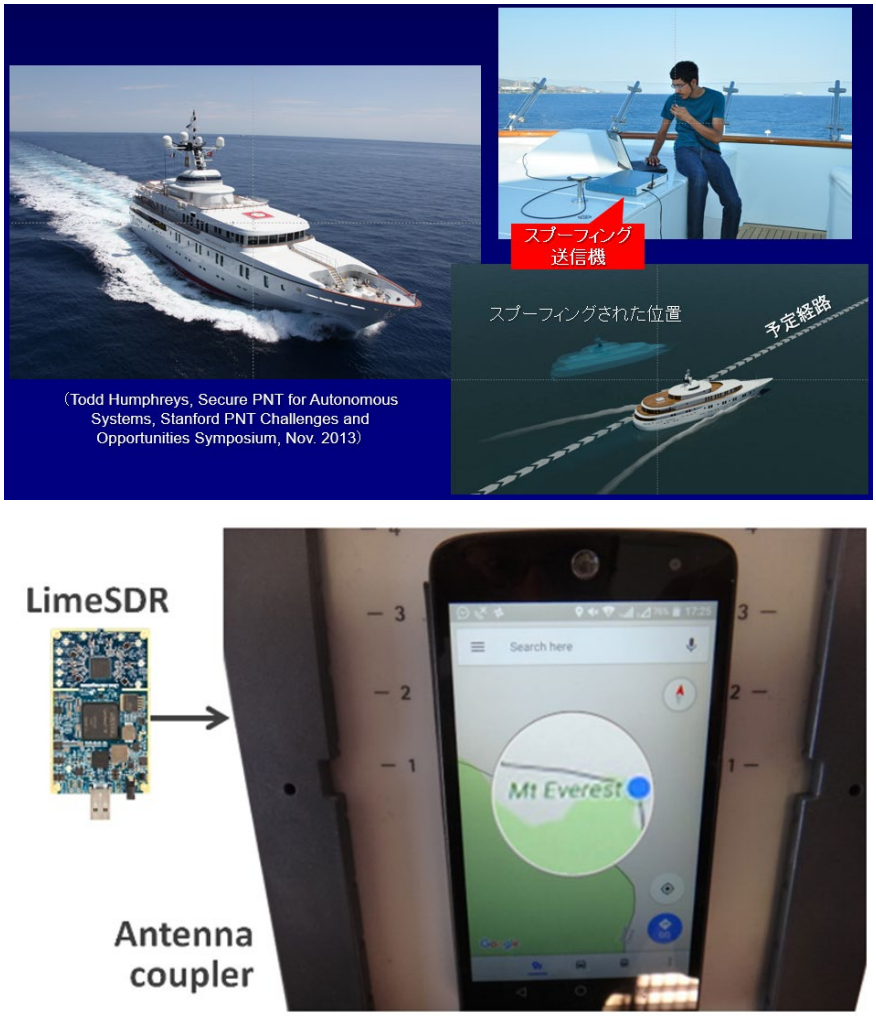


図 6-3　スプーフィングの実験例（上：船舶を乗っ取った例、下：スマートフォンを乗っ取った例）

（出所）坂井丈泰、2018、「GPS ハッキング：GPS のセキュリティ」、セキュリティコンテスト SECCON 国内大会 カンファレンス SC-04「GPS ハッキング」
<https://www.enri.go.jp/~sakai/pub/seccon_gps_hacking_sakai.ppt>（上図原図）Todd Humphreys, Secure PNT for Autonomous Systems, Stanford PNT Challenges and Opportunities Symposium, Nov. 2013 より。
（下図原図）セプテントリオ社ウェブサイトより。

3) ミーコニング

ミーコニングは、攻撃者が GNSS 信号を一旦受信したものを遅延を持たせて「再放送」することをいう。GNSS 信号をそのまま再放送するケースや多少の加工を行うケースがある。

製品事例を図 6-4 に示す。電磁波のレコーダ・プレイヤー機能を一体化した RF（Radio Frequency）キャプチャ装置であり、ラジオ、TV、GPS、通信（Wi-Fi／Bluetooth）に用いられる帯域の他、25MHz～2.7GHz の周波数の電波まで対応している。本来の用途は、製品開発や試験、生産ライン等、試験施設内で活用される機材である。しかしこれを試験施設でない一般の場所で GNSS 信号を再生すると、周囲の GNSS 受信機は正しい測位結果を得られ

なくなる。



図 6-4　RF キャプチャ装置の例

（出所）イネーブラー株式会社（旧 測位衛星技術株式会社）ウェブサイト、電磁波キャプチャ装置 MP7200、<https://www.enabler.co.jp/gnss/mp7200>（2021/2/12 最終閲覧）

4) ネットワークの乗っ取り

ネットワークの乗っ取りは、通信又は処理（機器内）の脆弱性を突いた、いわゆるハッキングに近いものである。GNSS 受信機内部若しくは有線又は無線ネットワークにおいて、何らかの操作が行われ、測位結果や補正データ等が意図的に操作される。GNSS 受信機は、一般的には衛星からデータを受信したあとは、内部でのソフトウェア的な処理となる。操作においては API を悪用されるケースも含まれる。ネットワークの乗っ取りのイメージを図 6-5 に示す。GPS 受信機の出力に対する「意図的な操作」が攻撃である。「意図的な操作」としては、標準フォーマットで通信される位置情報の通信インターフェースとしてイーサネットを狙うケースと、ソフトウェアベースでの API 操作を狙うケースなどが挙げられる。後者については 2016 年からサービスが開始されたスマートフォン向けアプリケーション「ポケモン GO」において、位置情報を偽装することが問題となったケースもある。

なお、ネットワークの乗っ取りは、一般にハッキングといったサイバーセキュリティ分野に関わる事項になり衛星測位の分野からそれることから、本調査では対象外とする。

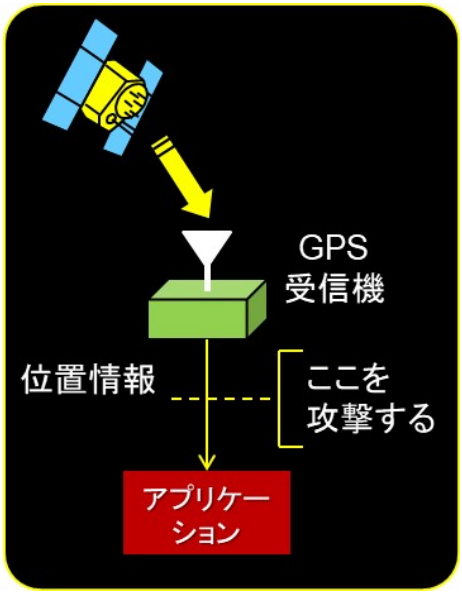


図 6-5　ネットワークの乗っ取りの例

（出所）坂井丈泰、2018、「GPS ハッキング：GPS のセキュリティ」、セキュリティコンテスト SECCON 国内大会 カンファレンス SC-04「GPS ハッキング」<https://www.enri.go.jp/~sakai/pub/seccon_gps_hacking_sakai.ppt>（2021/2/12 最終閲覧）

(3) PNT における脅威とその対策技術

衛星測位による PNT の脆弱性に対して脅威が存在するが、脅威に対する対策及びその対策技術が幾つか存在する。対策技術の概要を表 6-1 に示す。

表 6-1　PNT における脅威とその対策技術の概要

脅威に対する対策（大項目）		セグメント	脆弱性に対する脅威				対策技術	
			ジャミング	スプーフィング	ミーコニング	ネットワーク	ネットワーク型	自立型
信号認証技術（暗号化）	拡散コードの暗号化	スペースコントロールユーザー	×	○	○	×	－	SCE SSSC SAS SAASM スペクトラム分解合成伝送による通信
	航法メッセージの信号認証						NMA	－
信号認証技術（非暗号化）	指向性アンテナ受信機ネットワーク	コントロールユーザー	○	○	○	×	マルチ GNS 受信機	アレイアンテナビームフォーミングアンテナ
セキュリティ診断	GPS 信号レベルや時刻差、距離差等に基づく診断	ユーザー	○	○	○	×	－	GNSS シミュレータ
センサフュージョン	ハイブリッド航法：GPS 以外にセンサ等との組合せ	ユーザー	○	○	○	○	－	IMU 等

（出所）海老沼拓史（中部大学）「GNSS 信号認証の最新動向」
<http://www.eiseisokui.or.jp/media/pdf/seminar_01/06.pdf>（2020/1/28 最終閲覧）に基づき、三菱総合研究所作成

1) 信号認証技術（暗号化）

暗号化による信号認証技術を用いた脆弱性対策技術について整理する。

a. SCE（Spreading Code Encryption）

測位衛星の信号は CDMA（Code Division Multiple Access）と呼ばれる変調方式により、スペクトラム拡散コードとして送信されている。SCE（Spreading Code Encryption）は、この拡散コード全てを暗号化し、特定ユーザーのみに提供したセキュリティキーを用いる技術であ

る[109]。暗号化は対称鍵（symmetric key）を用いて行うが、対称鍵としては、公開鍵暗号基盤（PKI; Public Key Infrastructure）や非対称暗号技術（asymmetric encryption techniques）が用いられる。鍵を持たないユーザーはそもそもコードを受信することができない。また、攻撃者はコードを知らないため、なりすまし信号による妨害が不可能となる。米国 GPS では GPS の P(Y)コード[110]として利用されている。また、EU の Galileo では、PRS[111]として利用されている。

b. SSSC（Spread Spectrum Security Codes）

SCE では拡散コードの全てを暗号化するのに対し、SSSC（Spread Spectrum Security Codes）では拡散コードの一部を暗号化する[112]。技術イメージを図 6-6 に示す。セキュリティキーは航法メッセージを介して配信される。受信機側では、暗号化された拡散コードを含む信号を記憶しておき、その後に受信したセキュリティキーによって暗号化された拡散コードを復号し相関をとる。この処理により受信信号の認証を行う。この方式であれば、受信機側だけで認証処理が可能である。認証については、公開鍵基盤（PKI；Public key infrastructure）認証要素を用いて、受信したデータが実際に衛星から発信されたものかどうかを検証する仕組みが使われる（Scott（2003））。

---

[109] 海老沼拓史、「GNSS 信号認証技術の最新動向」、http://www.eiseisokui.or.jp/media/pdf/seminar_01/06.pdf、（2021/1/12 最終閲覧）

[110] GPS コードには、民生用の C/A コードと軍事用の P コードの 2 種類がある。P コードは秘匿操作をかけられて Y コードに変換されており、一般にこれを「P(Y)コード」と表記する。

[111] PRS（Public Regulated Service；政府規制サービス）は、欧州各国の軍や政府機関向けの暗号化信号をいう。European Global Navigation Satellite Systems Agency、「PRS」、https://www.gsa.europa.eu/security/prs、（2021/1/12 最終閲覧）

[112] Scott, L. “Anti-spoofing and authenticated signal architectures for civil navigation systems.” Proceedings of the ION GNSS Meeting, pp. 1543-1552, Institute of Navigation, 2003.

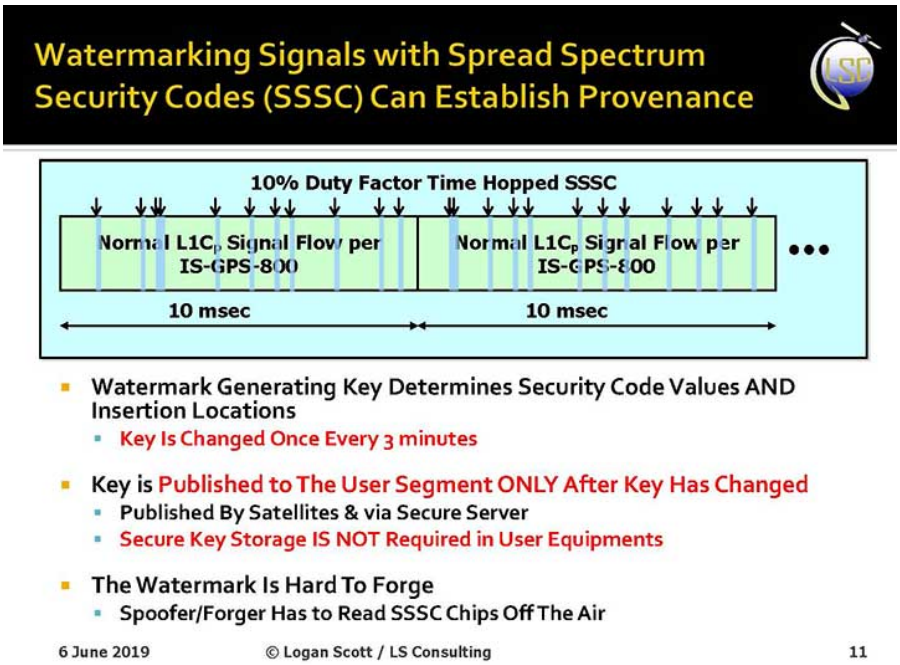


図 6-6　SCCS 技術イメージ（Alan（2019）及び Scott（2003））

（出所）Alan Cameron、2019、「AFRL tests Chimera to battle spoofers and hackers」
<https://www.gpsworld.com/afrl-tests-chimera-to-battle-spoofers-and-hackers/>（2020/12/14 最終閲覧）

c. SAS（Signal Authentication Sequences）

SAS（Signal Authentication Sequences）は、測位信号の I チャンネル及び Q チャンネルのうち、Q チャンネルの拡散コードを暗号化する。セキュリティキーは I チャンネルの航法メッセージで配信する[113]。SAS の技術イメージを図 6-7 に示す。地上セグメントは SAS メッセージを生成し航法メッセージとともに衛星にアップロードする。SAS メッセージはオープン信号で送信され、ユーザー受信機で受信され、データ内容の整合性を検証したりデータ内容を復号化したりする。受信機側は暗号化されたメッセージを所定のエポック（受信機が測位に用いるデータ取得間隔）で取得し、定められたアルゴリズムで信号の真正性を検証する。

[113] 海老沼拓史（中部大学）「GNSS 信号認証の最新動向」http://www.eiseisokui.or.jp/media/pdf/seminar_01/06.pdf、（2020/1/28 最終閲覧）

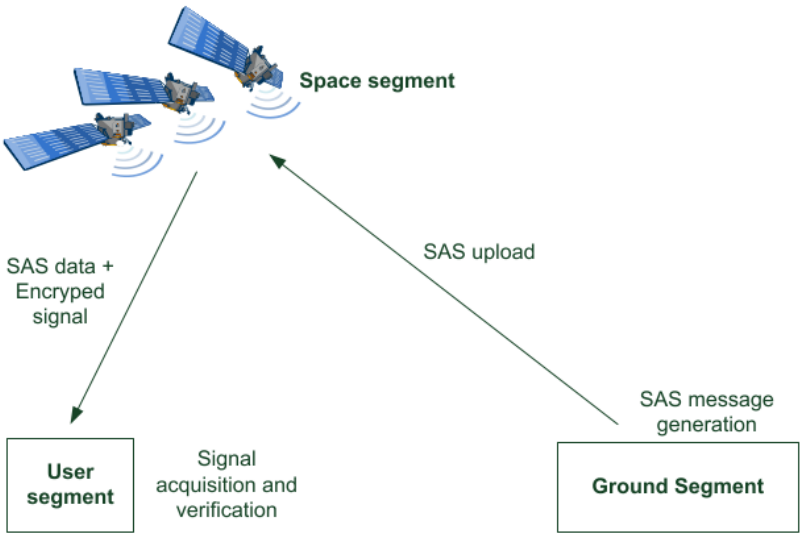


図 6-7　SAS 技術イメージ（Pozzobon ほか（2010）による）

（出所）Pozzobon, O., Canzian, L., Danieletto, M., & Chiara, A. D. (2010). Anti-spoofing and open GNSS signal authentication with signal authentication sequences. Programme and Abstract Book - 5th ESA Workshop on Satellite Navigation Technologies and European Workshop on GNSS Signals and Signal Processing, NAVITEC 2010, (May)

d. NMA（Navigation Message Authentication）

NMA（Navigation Message Authentication）は、信号認証技術（暗号化）のうち、航法メッセージの信号認証する技術である。信号にはデジタル署名がされており、ユーザーは認証機関の発行する公開鍵によってデジタル署名を認証する。Galileo における NMA 技術イメージを図 6-8 に示す。メッセージ認証において、まず送信者は秘密鍵を用いて元のメッセージから認証署名を生成する。図 6-8 では、K_0 から K_N の一連のキーチェーンと「Priv」と呼ばれるガリレオ秘密鍵からデジタル署名アルゴリズム「S」を用いて署名「Sig」が生成される。一方、署名「Sig」はメッセージとともに衛星から送信されている。受信機ユーザーはメッセージと署名の両方を受け取り、送信されたメッセージと受信したメッセージが対応していることを確認する仕組みである。

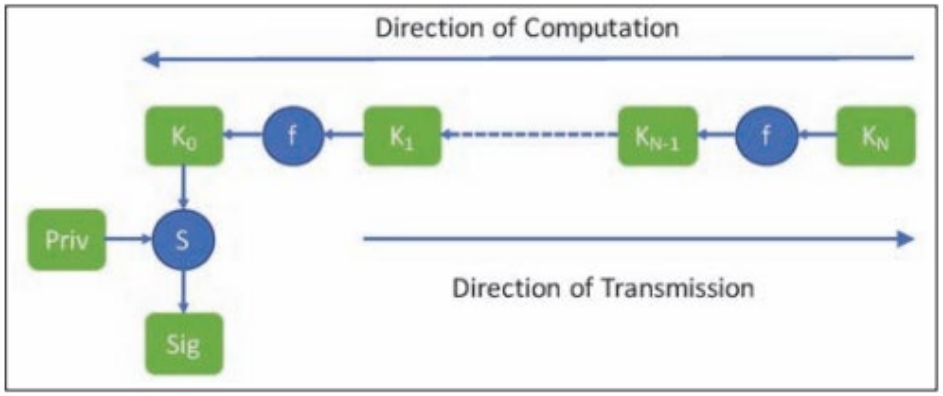


図 6-8　NMA 技術イメージ（Mark（2018）による）

（出所）Mark Petevello、2018、What is navigation message authentification ?、InsideGNSS、26-31
<https://insidegnss.com/wp-content/uploads/2018/04/janfeb18-SOLUTIONS.pdf>（2021/2/12 最終閲覧）

日本では、みちびきの「公共専用サービス（公共専用信号）」は、ジャミング（測位信号への妨害電波）、スプーフィング（偽測位信号の送信）を回避することを目的として、政府が認めた利用者だけが使用できる信号を配信するサービス。公共専用信号は、衛星測位を行うだけでなく、測位補強情報等も含んでおり、GPS 信号に対するジャミングやスプーフィング発生時においても、みちびき単独で測位補強情報、時刻情報等を取得可能とする。公共専用信号は、我が国独自の高水準な方式によって秘匿・暗号化を行い、厳重なセキュリティ対策を施した運用を実施し、秘密保全性を保証する [114]。

e. SAASM（Selective Availability Anti-Spoofing Module）

SAASM（Selective Availability Anti-Spoofing Module）は、軍用 GPS 受信機に用いる、汎用対欺瞞 GPS 受信モジュールをいう。

1990 年代は米国 GPS には、SA（Selective Available）と呼ばれる測位精度を劣化させる機能（精度を選択（selective）する機能）があった [115]。その後 SA 機能は 2000 年 5 月に停止されたがその一方で、米国家安全保障局から米軍及び同盟国軍事関係機関には「SAASM キー」が配布され、軍事用の PPS（Precise Positioning Service）において、P コードを Y コードで暗号化した P(Y)コードを利用することで単独測位で数十センチの精度で測位が可能である。この PRS に対応した受信機は SAASM 対応受信機と呼ばれている。海外製品事例を図 6-9 に示す。

[114] 準天頂衛星システム Web サイト「公共専用サービス」、https://qzss.go.jp/overview/services/sv10_public html、（2020/12/14 最終閲覧）

[115] 測位衛星技術株式会社、2016、GNSS の基礎知識、http://gnss.co.jp/wp-content/uploads/2016/07/ddd790b4eae745d43594c4f302b14761.pdf、（2021/2/12 最終閲覧）

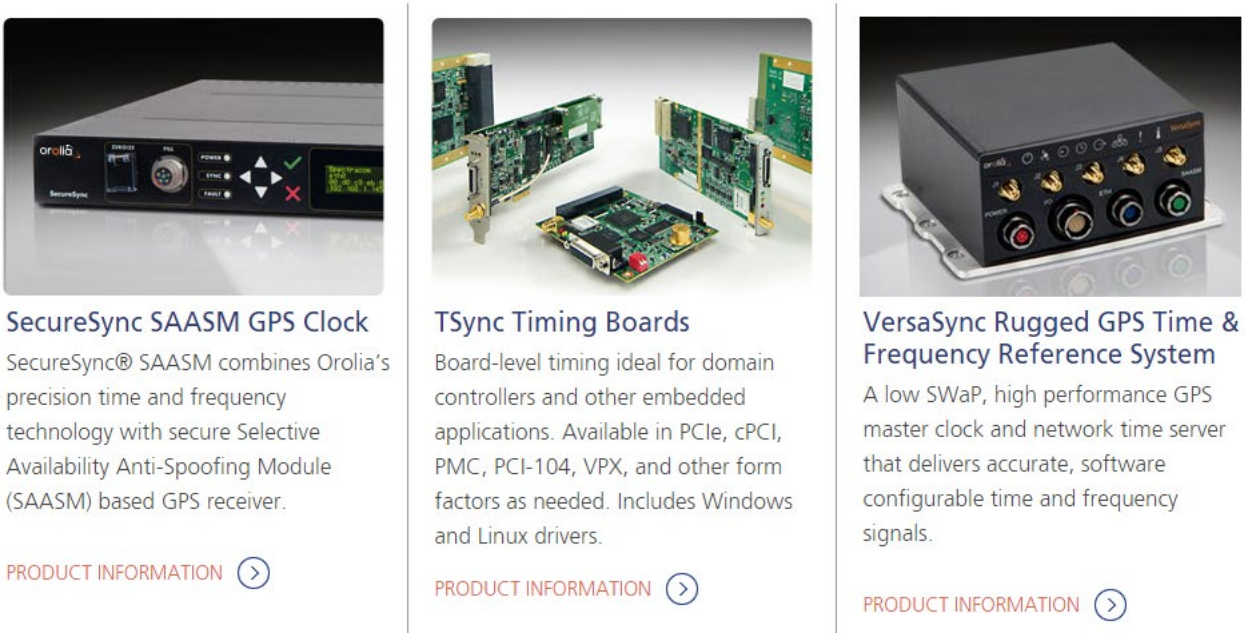


図 6-9　SAASM 対応製品の事例

（出所）オロリア社ウェブサイト、SAASM GPS 製品
<https://www.orolia.com/resources/blog/david-sohn/2016/saasm-gps>（2021/2/15 最終閲覧）

f. スペクトラム分解合成伝送

NTT 情報ネットワーク総合研究所においてスペクトラム分解合成技術が研究開発されている[116]。技術イメージを図 6-10 に示す。スペクトラム分解合成技術は、スペクトラム編集技術（信号の分解）とスペクトラム同期合成技術（信号の合成）からなる。2019 年には実際の衛星を用いて衛星中継器に分解した信号を配置して通信し、受信側で分解された信号を再合成する実証実験を行った。

[116] 日本電信電話、「衛星に送信する無線信号を自在に複数の信号に分解・合成するスペクトラム分解合成伝送技術を実現し衛星実験で実証成功」、https://www ntt.co.jp/news2019/1912/191211a.html、（2020/12/14 最終閲覧）

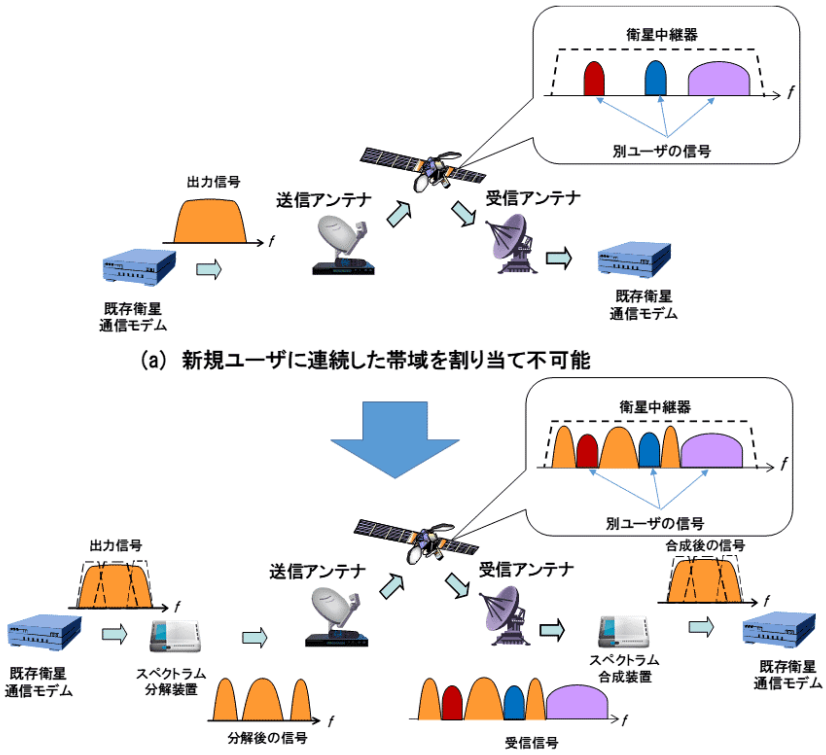


図 6-10　NTT によるスペクトラム分解合成技術イメージ

（出所）日本電信電話ニュースリリース <https://www ntt.co.jp/news2019/1912/191211a html#lg=1&slide=0>
（2020/12/14 最終閲覧）

2) 信号認証技術（非暗号化）

a. アレイアンテナ

アレイアンテナは、複数のアンテナ素子（放射素子）を規則的に配列することで、素子の振幅、位相を電気的に制御し、アンテナ指向性の制御を容易にする技術である [117]。直線上に配列する「リニアアレイ」、平面上に配列する「プレーナアレイ」、円形上に配列する「サーキュラーアレイ」及び任意形状に配列する「コンフォーマルアレイ」といった種類が存在する。リニアアレイによるアンテナ指向性の制御イメージ [118]を図 6-11 に示す。

荒井（2019）[119]によると、日本では民生用としてあまりアレイアンテナの必要性は求められていない一方で、米国では軍の要求でジャミング及びスプーフィング対策として研究されていることが示唆されている。アンテナ指向性により、ハッキング信号やジャミング信号の到来方向の検知が可能と考えられている。

---

[117] 吉田孝、改訂 レーダ技術、電子情報通信学会、1996、119 ページ.

[118] 菊間信良、アレーアンテナの基礎、マイクロウェーブワークショップ 2009、https://apmc-mwe.org/MicrowaveExhibition2010/program/tutorial2009/TL03-01.pdf、（2021/2/3 最終閲覧）

[119] 荒井 修、GNSS アレイアンテナ技術について、平成 31 年 2 月 1 日測位技術懇話会、http://jsapt net/ja/download/17963/、（2021/2/3 最終閲覧）

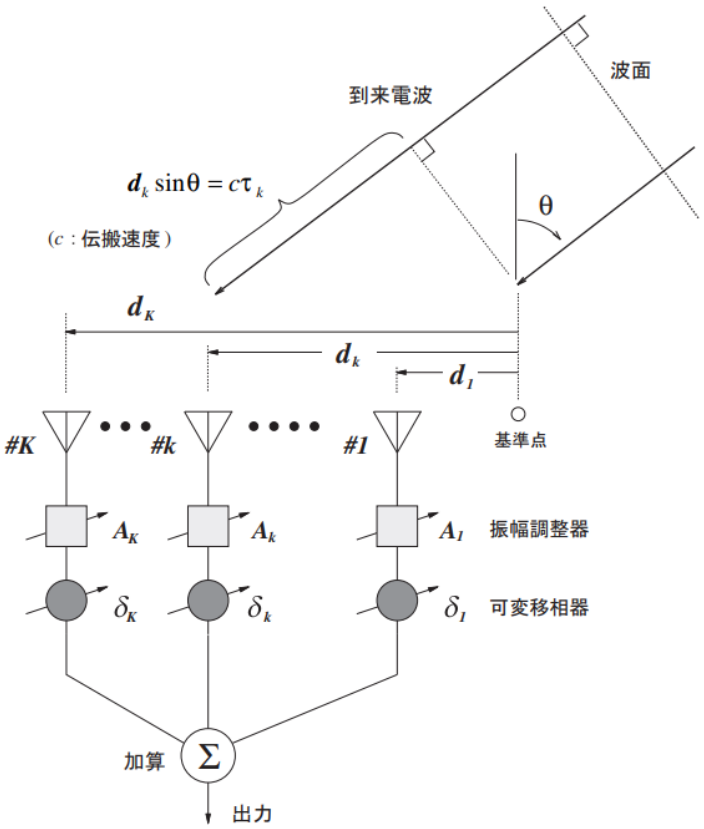


図 6-11　リニアアレイアンテナの例

（出所）菊間信良、アレーアンテナの基礎、マイクロウェーブワークショップ 2009
<https://apmc-mwe.org/MicrowaveExhibition2010/program/tutorial2009/TL03-01.pdf>（2021/2/3 最終閲覧）

米国 NAVSYS 社によるアレイアンテナの研究事例を図 6-12 に示す。車両に搭載した 109 個のアンテナ素子の実験を行い、マルチパス成分が抑えられる等の効果が得られている。



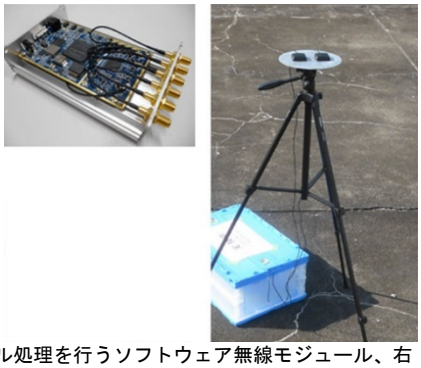
図 6-12　アレイアンテナの研究事例

（出所）Gold, Kenn ほか、2005、"Bistatic Sensing and Multipath Mitigation with a 109-Element GPS Antenna Array and Digital Beam Steering Receiver"、Proceedings of the 2005 National Technical Meeting of The Institute of Navigation、https://apps.dtic mil/dtic/tr/fulltext/u2/a444497.pdf、（2021/2/12 最終閲覧）

b. ビームフォーミングアンテナ

ビームフォーミングアンテナは、複数のアンテナ素子（アレイアンテナ）を電気的に結合することにより、アンテナに指向性を持たせる技術をいう。

国内では、中部大学海老沼拓史准教授が JAXA らとの共同研究の事例がある。海老沼准教授によると、「GPS 用のビームフォーミングアンテナは多くの国で輸出規制品として扱われているのが現状」であり、「意図的な攻撃（ジャミング）だけでなく、移動体通信基地局と干渉する場合もあり、妨害や障害に耐性の高い GPS 用のビームフォーミングアンテナの必要性」を踏まえ、汎用的な民生品とデジタル信号処理によるソフトウェア無線（SDR；Software Defined Radio）の技術を応用した、GPS 用ビームフォーミングアンテナを開発した。フィージビリティスタディで用いられたアンテナを図 6-13 に示す。また、これによる受信結果を図 6-14 に示す。黄色が受信感度あり、青色が受信感度なしである。ビームフォーミングで真南からの信号を受信しないようにしている。攻撃者からの信号の存在を検知し不要な信号として除外するなど妨害対策が可能である。



左：受信した信号のデジタル処理を行うソフトウェア無線モジュール、右：試験用アンテナ（2 素子）

図 6-13　ビームフォーミングアンテナ技術

（出所）中部大学 妨害に強い GPS 受信システムを JAXA らと共同研究
<https://qzss.go.jp/news/archive/chubu_191007.html>（2020/12/14 最終閲覧）

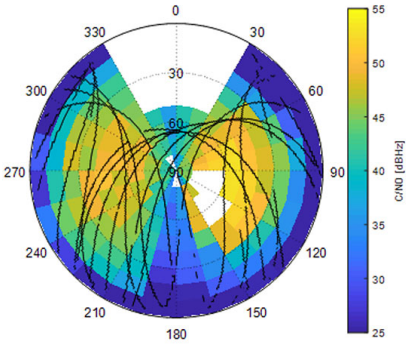


図 6-14　ビームフォーミングアンテナによる受信結果

（出所）中部大学 妨害に強い GPS 受信システムを JAXA らと共同研究
<https://qzss.go.jp/news/archive/chubu_191007 html>（2020/12/14 最終閲覧）

c. マルチ GNSS 受信機

マルチ GNSS 受信機（マルチ GNSS タイミング受信機）は、異なる周波数帯の GNSS 信

号を同時に使用するとともに、機器内外のノイズを軽減する技術を用いた受信機である。

マルチ GNSS 技術は、複数（GPS だけでなく GLONASS など含めた GNSS 衛星）の測位衛星を同時に用いる技術である [120]。利用可能な衛星の数、信号の数、周波数帯の数が増えることにより、信頼性・安全性の付加、利用範囲の拡大、精度改善が期待される。マルチ GNSS 技術イメージを図 6-15 に示す。GPS 単独と比較して衛星数が多い点で、都市部のアーバンキャニオンでも多くの信号を受信できる。また、周波数の観点でも、GPS L1 C/A 信号と GLONASS L1OF 信号を用いるなど異なる周波数帯の信号を同時に処理することにより、妨害波に対して堅牢性（ロバスト性）が向上する。

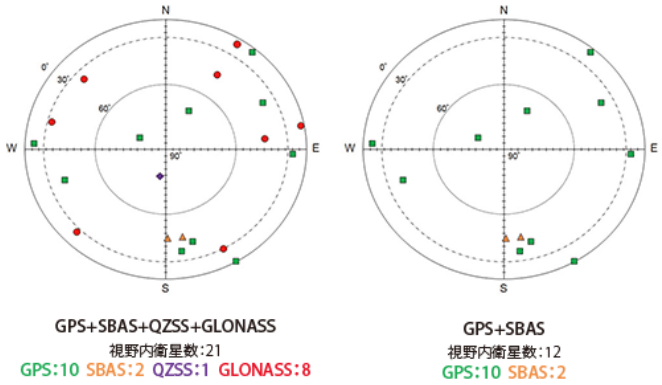


図 6-15　マルチ GNSS 技術（左：マルチ GNSS、右：GPS のみ）

（出所）古野電気株式会社ウェブサイト、マルチ GNSS（多周波 GNSS）技術、
<https://www furuno.com/jp/gnss/technical/tec_multi>（2021/2/12 最終閲覧）

株式会社コア（ベルギーのセプテントリオ社と技術連携）による、マルチ GNSS 受信機の例を図 6-16 に示す。対応信号は、GPS（L1、L2、L5）／QZSS（L1、L2、L5、L6(*)／GLONASS（L1、L2、L3）／Galileo(*)（E1、E5ab、AltBoc、E6）／BeiDou(*)（B1、B2、B3）／SBAS（EGNOS、WAAS、GAGAN、MASA、SDCM（L1、L5））／NavIC(*)（L5）である（*印はオプション）。なお、本体に取り付けるアンテナそのものは多周波対応しているものが必要である。



図 6-16　マルチ GNSS 受信機の例

（出所）株式会社コアウェブサイト、AsteRx-U 受信機 <https://www.core.co.jp/service/gnss/asterx-u>
（2020/12/14 最終閲覧）

[120] 古野電気株式会社ウェブサイト、マルチ GNSS（多周波 GNSS）技術、
https://www furuno.com/jp/gnss/technical/tec_multi、（2021/2/12 最終閲覧）

3) セキュリティ診断

GNSS のセキュリティ診断技術、主として GNSS 受信機やデバイス等の製造者向けの技術である。「GNSS のセキュリティ診断」技術のイメージを図 6-17 に示す。偽の GNSS 信号と本物の GNSS 信号とをそれぞれ生成する、これを合成してテスト対象受信機に送信し、テスト対象受信機のハッキング可能性を定量的に検証する。診断の際に重要となるパラメータとしては、「信号のレベル（S/N 比）」、「時刻差」及び「距離差」の 3 要素が挙げられている（イネーブラー株式会社による）。

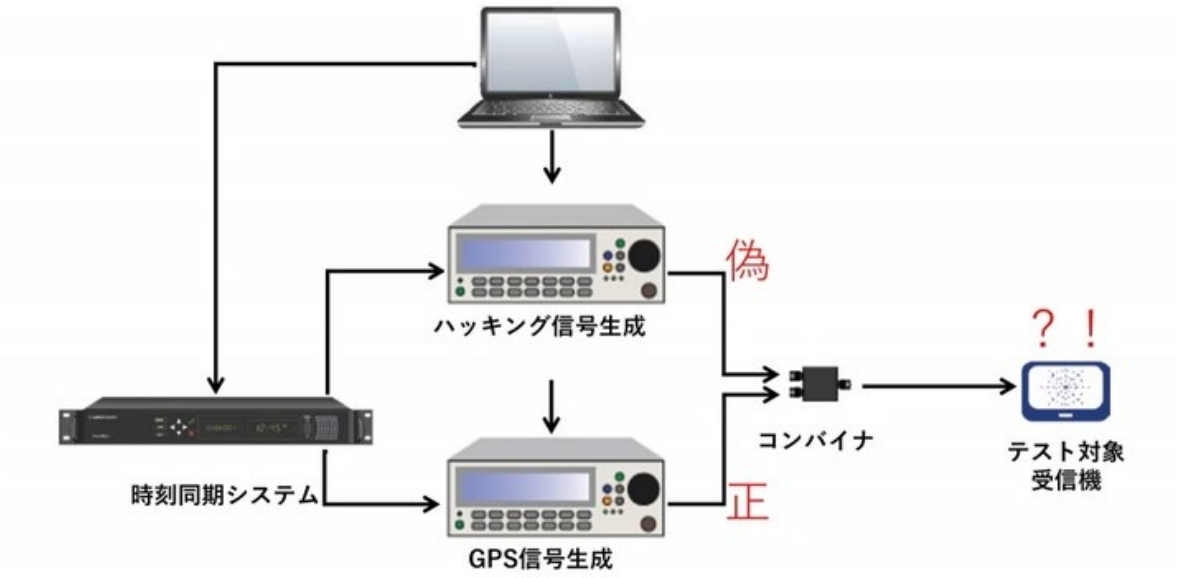


図 6-17　GNSS 受信機のセキュリティ診断（イネーブラー株式会社）

（出所）「偽の電波で“GPS のなりすまし”攻撃、誤誘導される恐れも。黒海沿岸などで頻発、ドローンの撃退が目的か？GNSS/GPS もセキュリティ対策を考えるべき時代に」、INTERNET Watch <https://internet.watch.impress.co.jp/docs/column/chizu3/1202619 html>（2020/12/14 最終閲覧）

4) センサフュージョン技術

IMU（Inertial Measurement Unit）は、一般に自律測位に用いられる慣性計測装置である。IMU によるセンサフュージョン技術は、「自律測位」と「衛星測位」とを相互補完するようシームレスに接続し、安定した測位を行う技術である。マゼランシステムズジャパン株式会社による、GNSS と IMU による測位の「カップリング」技術の例を図 6-18 に示す。カップリングとは GNSS 測位と IMU 測位を相互補完して誤差を低減する技術。例えば電波干渉等により GNSS 測位ができない場合は自動的に IMU 測位により補完する。

また、主として GNSS 測位を用い、GNSS 信号を受信できないトンネル等では IMU 測位で補完して測位を継続する技術は「デッドレコニング（dead reckoning；推測航法）」と呼ばれる。

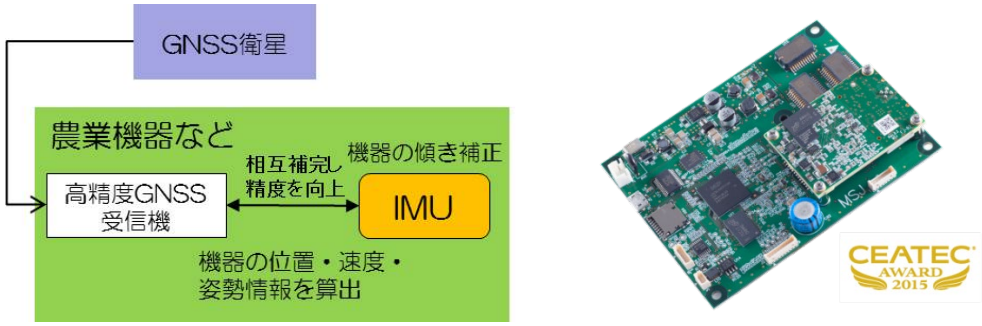


図 6-18　GNSS と IMU とのカップリング技術

（出所）IoT 時代の新 IT 応用ビジネス先駆的事例　第 3 回、超高精度測位技術の自動運転応用　GNSS 慣性計測システム（マゼランシステムズジャパン株式会社）
<https://www kansai meti.go.jp/E_Kansai/page/201611/04 html>（2020/12/14 最終閲覧）
マゼランシステムズジャパンウェブサイト
<https://www magellan.jp/products/positioning_module/multifrequency-gnss-positioning>（2020/12/14 最終閲覧）

(4) 対策技術の動向

これまで海外ではジャミング等の妨害は頻繁に発生しているが、日本では意図的な妨害がほとんど行われてこなかったため、PNT の脆弱性に対する認識（対策の必要性に対するニーズ）があまりない。一方で、今後は妨害の機会が増えると見込まれることから、国内メーカにおいて幾つか脆弱性対策が考慮された製品が出されている。以下に PNT の脆弱性に対応した製品を販売している民間企業の事例を示す。

1) 株式会社コア

a. 組織について

1969 年（昭和 44 年）に設立された。企業理念として「コアグループは、ベンチャースピリッツによって育まれた技術と経験をもって社会に貢献し、併せて企業としての存立基盤を確固たるものとして次世代へ継承していく。」ことを掲げ、DX を促進・強化するためのソリューションを市場に提供し、課題解決・理想実現を共創するため、以下のドメインを軸に事業を推進している [121]。

- ソリューションビジネス
  幅広い分野に対応する独自製品で顧客の課題を解決するための事業。安全・安心、セキュリティ、効率化、クラウド・ビッグデータ活用、クラウドサービス、M2M（Machine to Machine）、GNSS、その他関連する事業を行っている。
- SI（System Integration）ビジネス
  顧客業務分析、RFP（Request for proposal；顧客からの提案要求）に応じた企画から

[121] 株式会社コア中期経営計画資料、https://www.core.co.jp/system/files/2020-10/plan_20201102.pdf、（2021/2/26 最終閲覧）

運用までの一貫サービス。家電、OA 機器、車載機器、設備機器、製造装置などの組み込みソフトウェア・システム開発、金融、流通、製造、公共など幅広い業種や業務のシステムインテグレーションサービスを行っている。

2005 年から GNSS 事業への取り組みを開始、2019 年からベルギーのセプテントリオ社との共同開発によりみちびきの cm 級受信機の開発を開始、2020 年には CLAS 対応の AsteRx4 受信機を発売している。

b. 技術動向について

位置情報を活用した高精度測位ソリューションとして、準天頂衛星関連製品を展開している。マルチ GNSS 対応受信機の製品事例を図 6-19 に示す。CLAS 測位に特化させることで小型軽量化及び低価格化を実現している。対応信号としては、QZSS、GPS、GLONASS、Galileo 及び SBAS である。鉄道車両やドローン、測量・土木など高精度測位が必要な場面に対応している。また、セキュリティ面では、妨害波対策、マルチパス軽減機能を持ち、狭帯域信号から広帯域パルスジャマーまで、多様な干渉を抑制する機能を持つ。



図 6-19　株式会社コア、みちびき対応 cm 精度測位受信機

（出所）株式会社コア、みちびき対応 cm 精度測位受信機「Cohac∞（コハクインフィニティ）Chronosphere-L6 Ⅱ」 <https://www.core.co.jp/service/gnss/chronosphere-l62>（2021/2/26 最終閲覧）

2) 古野電気株式会社

a. 組織について

1951 年（昭和 26 年）に設立された。企業理念[122]として「1.会社存立の原点は社会の役に立つことである。2.経営は創造である。3.社員の幸福は会社の発展とともにある」ことを掲げ、センシング（Sensing）、情報処理（Processing）及び情報通信（Communication）の 3 つの技術に事業で培った知識・スキル・ノウハウを統合（Integration）することで、ソリューションを提供し、「海中や船の周囲の状況」「地殻変動」「人々の健康状態」など、“見えないものを見えるようにする”ことで、安全・安心で快適な社会の実現に貢献するとして

[122] 古野電気株式会社ウェブサイト、企業理念、https://www furuno.co.jp/corporate/philosophy/、（2021/2/26 最終閲覧）

いる。事業ドメインは大きくは以下の 2 つが挙げられている。

- 船用事業
  大型商船を始め、漁船や小型ワークボートなどの船舶に、様々な船舶用電子機器・サービスを提供する。商船向け事業、漁業向け事業及びプレジャーボート向け事業がある。
- 産業用・その他事業
  ヘルスケアや GPS（GNSS）・ITS 機器など、安全・安心で、快適な暮らしを実現するための機器・サービスを提供する。PNT 事業、ヘルスケア事業、無線 LAN／EMC・環境試験サービス事業及びインフラ維持管理・気象観測システム事業がある。

b. 技術動向について

1980 年代の後半から GPS 受信機の市販を開始している。当時は衛星数が少ないことから測位可能な時間帯に制約があった。1992 年には車載向け受信機を発売、その後高集積化及び小型化を推進している。

現在、準天頂衛星関連の製品として、マルチ GNSS 受信チップ、自律航法マルチ GNSS 受信モジュール等を販売している。マルチ GNSS 対応受信機の製品事例を図 6-20 に示す。Android ドライバと API が用意されており、完成品メーカが Android をベースとしたカーナビゲーションや、車載機器に GNSS チップ／モジュールを組み込む際、開発負荷の軽減に資する特徴を有する。

セキュリティ対策の観点では､異なる周波数帯の信号を同時処理することにより妨害波に対して堅牢性（ロバスト性）が向上している点が挙げられる。



図 6-20　古野電気株式会社、マルチ GNSS 受信チップ

（出所）古野電気株式会社、マルチ GNSS 受信チップ「eRideOPUS 7」
<https://www furuno.com/jp/products/gnss-chip/ePV7010B>（2021/2/26 最終閲覧）

6.4.2 技術保有者の動向

特許分析によって技術保有者を調査し、主要な技術保有者の概要を整理した。

(1) 特許分析

日本、米国、欧州、国際（PCT；Patent Cooperation Treaty）、中国について PNT システムの特許分析（2021 年 2 月時点）を行った。全体傾向としては以下のとおりである。

各特許出願先の総出願数では、中国が最も多く、PCT、米国、欧州、日本の順であり日本の出願数は少ない。

PCT、米国、欧州、日本の特許では、米国の出願が主となっている。

中国特許では、2009 年以前は中国以外の企業が出願しているが、2009 年以降は中国企業からの出願を確認することができる。これら中国企業の出願は、2013 年以降は大幅に増加している。

1) 国内特許

a. 検索結果

出願先	日本国特許
公開	公開
件数（G01S）	11（8）

b. 出願年と出願人国

国内特許では PNT システムの出願数は限定的である。米国からの出願が最も多く、次に日本が続いている。

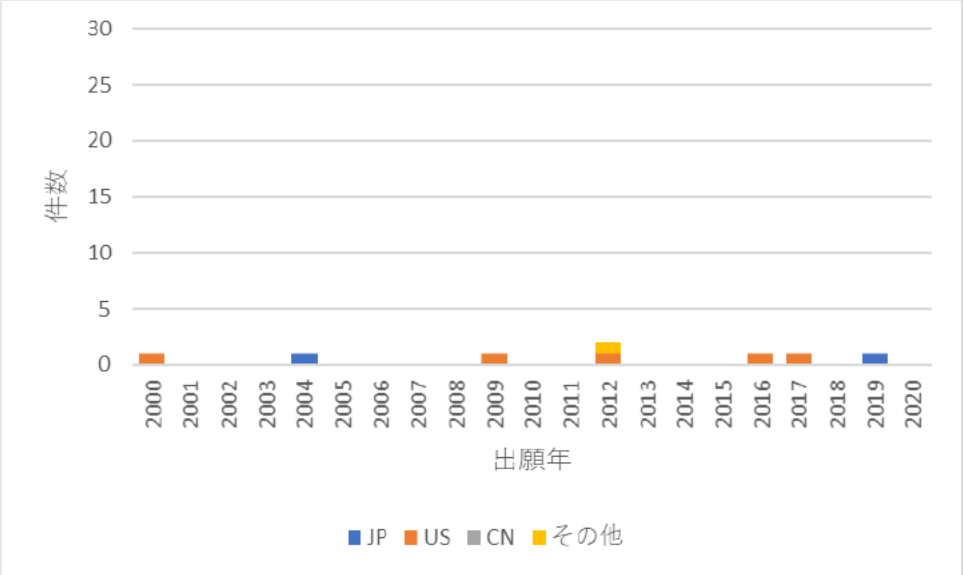


図 6-21　国内特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

G（物理学）又は H（電気）が主となっている。

表 6-2　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	8
G01C	距離，水準， 方位の測定 測量 航行 ジャイロ計器 写真測量 映像測量	2
H04L	デジタル情報の伝送，例．電信通信	2
F42B	装薬，例．爆破用 煙火 弾薬	1
H02J	電力給電 電力配電のための回路装置 方式 電気エネルギーを蓄積するための方式	1
H04B	伝送	1
H04J	多重通信	1
H04Q	選択	1
H04W	無線通信ネットワーク	1

d. 特許出願状況

PNT システムについてトップは、米国企業であるノースロップ グラマン ガイダンス アンド エレクトロニクス カンパニー インコーポレイテッドであり、日本企業では株式会社ヨコオや、三菱電機株式会社が特許を保有している。

表 6-3　出願者上位

出願者	件数
ノースロップ グラマン ガイダンス アンド エレクトロニクス カンパニー インコーポレイテッド	1
ノヴァテル　インコーポレイテッド	1
コネクサント　システムズ，　インコーポレイテッド	1
株式会社ヨコオ	1
ビーエイイー・システムズ・インフォメーション・アンド・エレクトロニック・システムズ・インテグレイション・インコーポレーテッド	1
クゥアルコム・インコーポレイテッド	1
レイセオン　カンパニー	1
三菱電機株式会社	1

2) 国際出願（PCT）

a. 検索結果

出願先	PCT 出願（重複除去）
件数（G01S）	75（47）

b. 出願年と出願人国

PNT システムは PCT では、平均して主に米国からの出願が多いが、日本を始めその他の国からの出願を確認することができる。

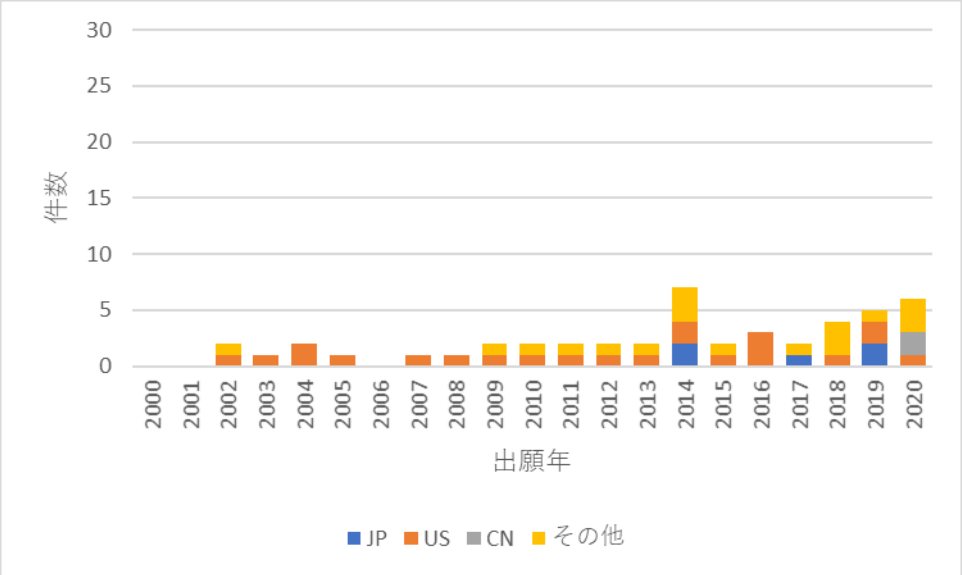


図 6-22　PCT の出願年と出願人国（PNT）

c. 技術分野（IPC）

G（物理学）又はH（電気）が主となっている。

表 6-4　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	47
H04K	秘密通信 通信妨害	5
G08G	交通制御システム	4
H01Q	空中線	4
H04B	伝送	4
G08B	信号 呼出し装置 指令発信装置 警報装置	3
G06F	電気的デジタルデータ処理	2
G06Q	管理目的，商用目的，金融目的，経営目的，監督目的 予測目的に特に適合したデータ処理システム 方法 他に分類されない，管理目的，商用目的，金融目的，経営目的，監督目的 予測目的に特に適合したシステム 方法[ipc8]	2
H04M	電話通信	2
H04W	無線通信ネットワーク	2

d. 特許出願状況

PNT システムの特許は PCT では、日本企業の MAGELLAN SYSTEMS JAPAN, INC.等、米国企業の RAYTHEON COMPANY や QUALCOMM INCORPORATED 等.が出願している。

表 6-5　出願者上位

出願者	件数
MAGELLAN SYSTEMS JAPAN, INC.	3
RAYTHEON COMPANY	3
QUALCOMM INCORPORATED	3
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES	2
CORNELL UNIVERSITY	2
MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	2
MOTOROLA INC.	2
REGULUS CYBER LTD.	2

3) 米国特許

a. 検索結果

出願先	米国特許
公開	公開
件数（G01S）	40（30）

b. 出願年と出願人国

PNT システムは米国特許では主に米国からの出願が中心になっている。

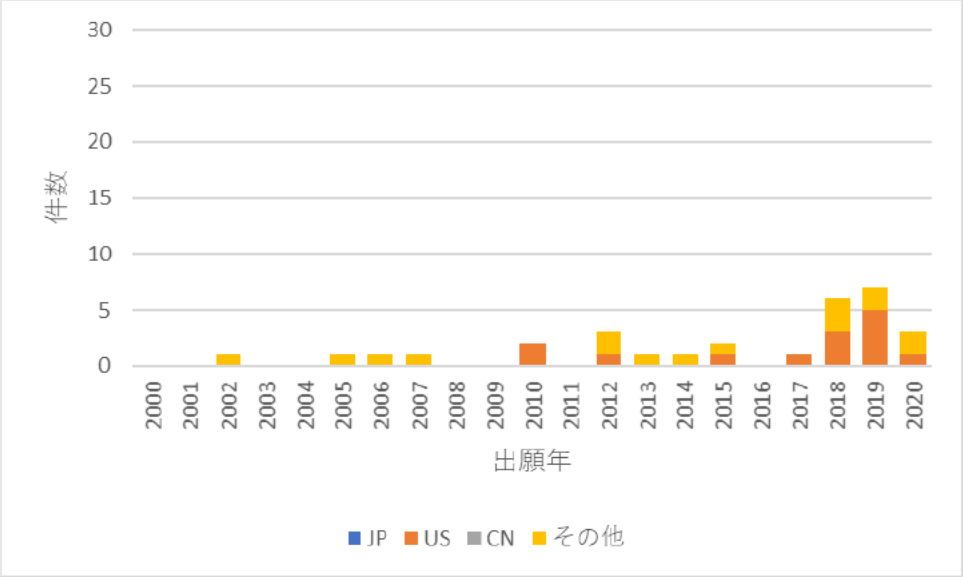


図 6-23　米国特許の出願年と出願人国（PNT）

c. 技術分野（IPC）

G（物理学）又は H（電気）が主となっている。

表 6-6　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	30
H04W	無線通信ネットワーク	8
H04K	秘密通信 通信妨害	4
H01Q	空中線	3
H04L	空中線	3
G01C	距離，水準，　方位の測定 測量 航行 ジャイロ計器 写真測量 映像測量	2
G06F	電気的デジタルデータ処理	2
H04B	伝送	2

d. 特許出願状況

PNT システムでは、CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES（FR）、COHERENT NAVIGATION, INC.（US）、Raytheon Systems Limited（GB）が上位に入っている。

表 6-7　出願者上位

現所有者	件数
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES	2
COHERENT NAVIGATION, INC.	2
Raytheon Systems Limited	2

4) 欧州特許（EPO）

a. 検索結果

出願先	欧州特許
公開	公開
件数（G01S）	23（19）

b. 出願年と出願人国

PNT システムの出願は欧州特許では、2010 年以降から出願が見られ、米国や日本を始め様々な国からの出願が確認できる。

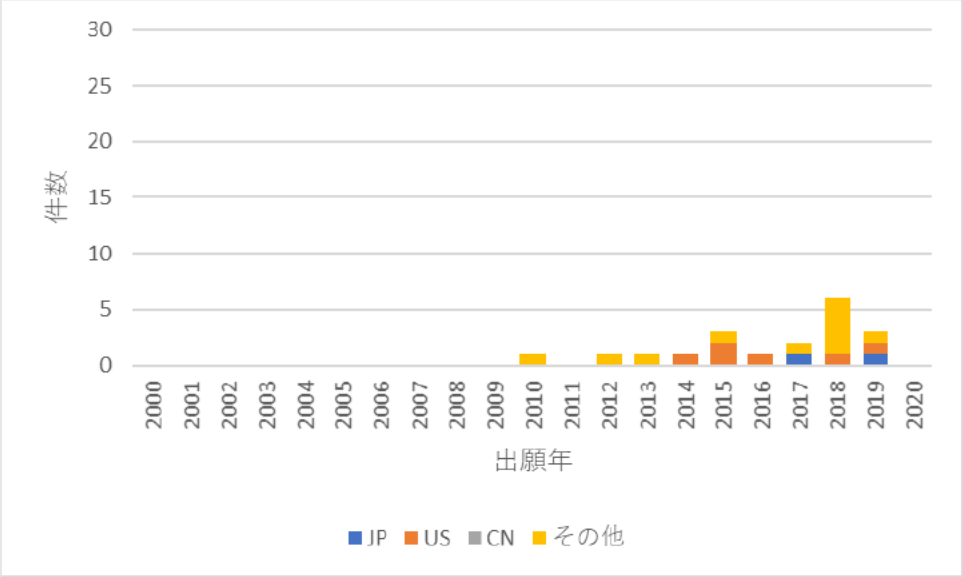


図 6-24　欧州特許の出願年と出願人国（PNT）

c. 技術分野（IPC）

G（物理学）又は H（電気）が主となっている。

表 6-8　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	19
H04K	秘密通信 通信妨害	3
G08B	信号 呼出し装置 指令発信装置 警報装置	1
G08G	交通制御システム	1
H02H	非常保護回路装置	1
H02J	電力給電 電力配電のための回路装置 方式 電気エネルギーを蓄積するための方式	1
H04B	伝送	1
H04W	無線通信ネットワーク	1

d. 特許出願状況

PNT システムの上位は、Geosatis SA（CH）、HERE Global B.V.（NL）、Magellan Systems Japan, Inc.（JP）、NovAtel Inc.（CA）、The Mitre Corporation（US）等がある。

表 6-9　出願者上位（PNT）

出願者	件数
Geosatis SA	2
HERE Global B.V.	2
Magellan Systems Japan, Inc.	2
NovAtel Inc.	2
The Mitre Corporation	2

5) 中国特許

a. 検索結果

出願先	中国特許
公開	公開
件数（G01S）	307（173）

b. 出願年と出願人国

PNT システムは中国特許では、2009 年以前は中国以外の企業が出願しているが、2009 年以降は中国企業からの出願を確認することができる。これら中国企業からの出願は、2013 年以降は大幅に増加している。

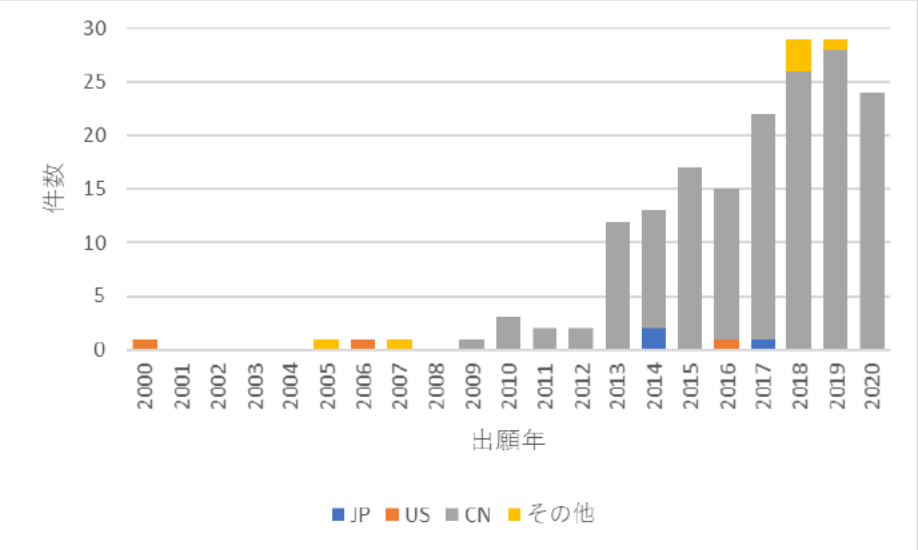


図 6-25　中国特許の出願年と出願人国（PNT）

c. 技術分野（IPC）

G（物理学）又は H（電気）が主となっている。

表 6-10　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	173
G01C	距離，水準， 方位の測定 測量 航行 ジャイロ計器 写真測量 映像測量	27
G08G	交通制御システム	21
H04B	伝送	18
G05D	非電気的変量の制御 調整系	17
H04L	デジタル情報の伝送，例．電信通信	17
H04W	無線通信ネットワーク	12
H04K	秘密通信 通信妨害	11
G08B	信号 呼出し装置 指令発信装置 警報装置	10
H01Q	空中線	9
H04N	画像通信，例．テレビジョン	9
G08C	測定値，制御信号 類似信号のための伝送方式	8

d. 特許出願状況

PNT システムの上位には中国电子科技集团公司第二十研究所、芜湖航飞科技股份有限公司、电子科技大学であり、軍事関連の企業等がランクインしている。

表 6-11　出願者上位（PNT）

現所有者	件数
中国电子科技集团公司第二十研究所	9
芜湖航飞科技股份有限公司	6
电子科技大学	5
桂林电子科技大学	4
西南电子技术研究所(中国电子科技集团公司第十研究所)	4
哈尔滨工业大学	4
清华大学	3
西安交通大学	3
西安电子科技大学	3
天津七六四通信导航技术有限公司	3
北京自动化控制设备研究所	3
安徽四创电子股份有限公司	2
安徽尼古拉电子科技有限公司	2
三菱重工业株式会社	2
四川信能科技发展有限公司	2
曾成富	2
中国南方电网有限责任公司超高压输电公司	2
中国民航大学	2
中国电子科技集团公司第五十四研究所	2
南京航空航天大学	2
南京理工大学	2
法国国家太空研究中心	2
北京航空航天大学	2
北京国科导通科技有限公司	2
北京泰豪联星技术有限公司	2
北京无线电计量测试研究所	2

(2) 特許出願者の概要

(1)で挙げられた特許出願者のうち、主な出願者について概要を示す。欧米等では企業等が主要技術保有者になっているが、中国では企業以外に大学の数が多くなっている。その理由には、中国では政府の認定により大学を国家重点大学として設置し、研究等に関わる予算を支援していることが背景にあると考えられる。

1) 企業等

表 6-12　主な特許出願者（企業等）の概要

企業名		本社所在地	概要
株式会社ヨコオ	YOKOWO CO LTD	日本東京都	独自の先進技術力と、グローバルに展開する生産拠点の生産技術力、サービス拠点網を駆使し、進化が加速する世界の電子・電機・自動車メーカに対して、革新的な先端製品を提供してきました。また、ITS に代表される社会インフラ用システムから医療デバイスに至るまで事業領域を拡大している。
三菱電機株式会社	MITSUBISHI ELECTRIC CORP	日本東京都	技術革新と創造力により、活力とゆとりある社会の実現に貢献することを企業理念とし、重電システム、産業メカトロニクス、情報通信システム、電子デバイス、家庭電器などの製造・販売を事業目的としている。
三菱重工業株式会社	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.	日本東京都	ものづくりとエンジニアリングのグローバルリーダーとして、造船を始め、交通輸送システム、民間航空機、発電システムなどのインフラ、宇宙システムに至るまで、幅広い分野に高度な技術力で統合したソリューションを提供している。
マゼランシステムズジャパン株式会社	MAGELLAN SYSTEMS JAPAN, INC.	日本兵庫県	超高感度・高精度衛星測位システム、セミソフトウェア GPS 及びソフトウェア GPS、UWB 及び超高感度デジタル信号処理技術に関する研究・開発・ライセンス、次世代超高感度 GNSS 技術に関する開発・支援・普及活動、GNSS 関連ソフトウェア並びにハードウェア開発、人工衛星利用技術及び関連部品の輸入販売及び支援を行っている。

企業名		本社所在地	概要
―	RAYTHEON COMPANY	米国	社会課題の解決のためにリスクをとり、主に航空宇宙や防衛分野にまたがる視点から革新的なアイデアを提供している。
―	QUALCOMM INCORPORATED	米国	主に情報通信分野において、革新的な技術を提供している。
―	CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES	仏国	フランスの宇宙開発・研究を行う政府機関であり、欧州による国際協力の枠組みの中で、フランスの宇宙政策の形成及び導入を行っている。
―	MOTOROLA INC. REGULUS CYBER LTD.	米国	主に携帯電話等の情報通信分野において、携帯電話、携帯電話基地局、関連製品技術の開発等を行っている。
―	Geosatis SA	スイス	2011 年にスイス連邦工科大学ローザンヌ校のスピンオフとして成立した企業で、公共の安全等に関する電子モニタリングに関するソリューションを提供している。
―	HERE Global B.V.	オランダ	物流や保険等の分野で位置情報や地図情報をソフトウェア関連のソリューションとして提供している。
―	NovAtel Inc.	カナダ	情報通信分野において、通信ネットワークの展開、近代化、保守等に関する事業を行っており、迅速で安全性が高く高品質のサービスを提供している。
―	The Mitre Corporation	米国	非営利団体として、システム工学、連邦政府からの調査・開発の請負、情報通信、国土安全保障等に関するサービスを提供している。
中国电子科技集团公司第二十研究所	NO 20 RES INST CHINA ELECTRONICS TECH GROUP CORP	中国	2002 年に設立された、中国の国営企業であり、情報通信機器、コンピュータ、電子機器、ソフトウェア開発、研究、軍民用製品の投資及び資産管理等を行っている。
芜湖航飞科技股份有限公司	WUHU HANGFEI SCIENCE & TECHNOLOGY CO LTD	中国	2011 年 9 月に設立され、ワイヤ、ケーブル、マイクロ波製品、航法技術、レーダシステム、飛行訓練シミュレータ等に関する開発、販売を行っている。

企業名		本社所在地	概要
西南电子技术研究所(中国电子科技集团公司第十研究所)	10TH RESEARCH INST CHINA ELECTRONICS TECH GROUP CORP	中国	1955 年に北京で設立され、1957 年に成都に移転した。信号・情報処理、電磁波・マイクロ波技術等に関する研究を行っている。
天津七六四通信导航技术有限公司	TIANJIN 764 COMMUNICATION AND NAVIGATION TECH CO LTD	中国	1949 年に設立された国有企業で、情報通信システム、航法システム等に関する製品の研究開発、製造、販売等を行っている。
北京自动化控制设备研究所	BEIJING AUTOMATION CONTROL EQUIPMENT INST	中国	1965 年に設立された国営企業で、中国航空宇宙科学産業公社(CASIC)の機関として、慣性計測装置(IMU)等に関する研究を行っている。

2) 大学等

表 6-13　主な特許出願者（大学等）の概要

大学名		所在地	概要
—	CORNELL UNIVERSITY	米国	米国 NY 州の私立大学であり、アイビーリーグの一つとして、機械工学、生命科学、物理学、建築学、造園学、都市計画学、コンピュータ工学、経営学、医学、獣医学、農学等の学問分野で業績を有する。
电子科技大学	UNIV ELECTRONIC SCIENCE & TECH	中国	電子情報類学科を中心とする国家重点大学であり、電子情報技術や通信情報技術などの IT 分野での研究を行っている。
桂林电子科技大学	UNIV GUILIN ELECTRONIC TECH	中国	国家防衛科学技術産業局と広西省政府が共同で設立した大学であり、「973 計画」、軍事モデル、防衛装備品や安全保障技術に関わる研究開発等を行っている。

大学名		所在地	概要
哈尔滨工业大学	HARBIN INSTITUTE TECHNOLOGY	中国	1920 年に設置された国立大学で、国家重点大学として、宇宙工学等の分野において研究を行っており、月探査プロジェクト(嫦娥計画)にも関与している。
清华大学	UNIV TSINGHUA	中国	1911 年に設置され、国家重点大学として、工学分野では特に高い研究力を有している。
西安交通大学	UNIV XI AN JIAOTONG	中国	1896 年に設置された南洋公学を前身とする理工系の国家重点大学で、科学、工学、医学、経済学、経営管理、人文科学、法律、哲学、教育、芸術分野を有する総合大学である。
西安电子科技大学	UNIV XIDIAN	中国	1931 年に設置され、国家重点大学として、特に電子情報科学分野において研究を行っている。

6.4.3 重要技術と脆弱と考えられる生産基盤

6.4.1、0 の調査結果を元に国内で研究開発されている脆弱性対策技術が、どの脅威の対処が可能か評価した結果を表 6-14 に示す。

重要技術と脆弱と考えられる生産基盤について整理する。

表 6-14　国内における脅威に対する対策技術の評価

脅威に対する対策技術	対処可能な脅威 Jamming 妨害	Spoofing なりすまし	Meaconing 遅延
スペクトラム分解合成伝送	×	○	×
みちびきの「公共専用サービス（公共専用信号）」	○	○	×
ビームフォーミングアンテナ（アンテナ・アレイ）	○	○	○
マルチGNSSタイミング受信機	○	○	○
GNSSとIMUとのカップリング	○	○	○
セキュリティ診断	△※	△※	△※

【凡例】
○：対処可能
×：対処不可能
△：間接的に対処可能

※セキュリティ診断は脅威対処に有効な技術であるが、それ自体によって攻撃を防ぐものではないため間接的に対処可能とした。

（出所）海老沼拓史（中部大学）「GNSS 信号認証の最新動向」
<http://www.eiseisokui.or.jp/media/pdf/seminar_01/06.pdf>（2020/1/28 最終閲覧）に基づき、三菱総合研究所作成

(1) 重要技術

PNT における脆弱性対策に関する重要技術としては以下が挙げられる。

1) 認証技術

認証技術は表 6-1 の「信号認証技術（暗号化）」に相当する。特許出願状況においては「秘密通信」[123]に相当するものと考えられる。「秘密通信」については国内特許は出願例がないものの、国際、米国、欧州、中国ではそれぞれ特許出願が幾つか行われており、セキュリティ対策として重要な技術と位置づけられる。国内でも「みちびき」に代表されるように、秘匿・暗号化を行い、厳重なセキュリティ対策を施した運用を実施し、秘密保全性を保証する技術が挙げられる。

2) 電波干渉抑制技術

電波干渉抑制技術は表 6-1 の「信号認証技術（非暗号化）」において、受信部はアレイ

[123] 「秘密通信」は、「認証技術」のほか「妨害手段」や「音声低減」も含む広い概念を含む。

アンテナ等の指向性を持つアンテナ技術、処理部はマルチ GNSS 技術に相当する。特許出願状況においては、特許分類の「無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置」が近年最も件数が伸びている傾向があり国際的にも重要視されている。当該特許分類は幅広く多様な技術が含まれうるが、その中でも国内では 8 件の特許が出されている。うち 2 件はアンテナ技術に関するものである。これらは電波干渉の抑制も内包しており PNT における脅威への対策として基礎的な技術の一つとも言える。その実装として、アンテナ部に着目するとスマートアンテナのように指向性を持つアンテナ技術、受信機部に着目すると複数種類の衛星に対応可能なマルチ GNSS 技術が電波干渉に堪えるために重要な存在と考えられる。

(2) 生産基盤の脆弱性

前項の認証技術と生産基盤との観点について、海外を見ると、PNT 関連メーカは Open PNT Industry Alliance のようにメーカ連携を進めるなど製品開発やセキュリティ対策に積極的であり、レジリエントな PNT を推進する動きが見られる。一方、国内では PNT に関しては、重要技術は存在しているものの「みちびき」関連では現状では精密農業もドローン事業も実証実験がメインであるため、国内メーカが大量生産するには至らず海外製品が入っている。電波干渉抑制技術と生産基盤の観点についても、マルチ GNSS 技術及びアレイアンテナ技術が用いられている国内製品の利用は、公共交通、精密農業あるいは測量等一部の分野に限られる。

次に PNT における生産基盤の脆弱性について、脆弱性の種類の観点として、アカデミア及び企業を中心とした研究開発に関わる「人的資源」と、実際の製品開発に関連してサプライチェーン等に関わる「物的資源」の 2 つに区分し、以下に整理する。

1) 人的資源（研究／開発関係者数）

国内の生産基盤の脆弱性について、大学等の研究機関及びメーカの人的資源に着目する。

大学等の研究機関として、測位技術に関わる研究者及び技術者の人数が海外と比較して少ない点が挙げられる。一般社団法人測位航法学会は学会設立趣旨 [124]において、「*我が国の測位航法調時分野の研究・開発は世界的に見て立ち遅れており、その主因は人材の確保が難しいことにある*」ことを述べている。また、「*地理空間情報活用基本法が成立し、位置情報活用の分野で多くの提案が為され、それに掛かる期待は大きく膨らんでおり、多額の国家予算が投入されようとしているが、そのよりどころである測位技術に関しては要求を満たせない状況*」であることを危惧している。国内では PNT に関連する学会として、測位航法学会 [125]（約 300 人）及び日本航海学会 [126]（約 700 人）があり、およそ 1 千人の規模がある。これに対して、米国 ION（Institute of Navigation）は約 2 千 500 人 [127]、中国 CSNC（China Satellite

[124] 一般社団法人測位航法学会、https://www.gnss-pnt.org/aboutus/、（2021/2/26 最終閲覧）

[125] 2020/02/26 現在、正会員 385（人）

[126] 2020/12/18 現在、正会員（終身会員含む）：721（人）

[127] 参考情報としては“Institute of Navigation”、https://en.wikipedia.org/wiki/Institute_of_Navigation、（2021/3/12

Navigation Conference）は約 3 千人規模[128]とされる。

2) 物的資源（サプライチェーン等）

国内の生産基盤の脆弱性について、民間企業におけるものづくりとして物的資源に着目する。

専門家インタビューからは、海外メーカの状況としては、欧米メーカは GPS や Galileo 利用のマーケットを背景に高性能・高価格のものづくりをしている一方、中国メーカは低価格帯のものづくりをしている。ここで国内メーカを世界的な価格及び性能とのバランス面で見ると、欧米と中国との狭間にあること、また、国内での研究開発において海外製品あるいは技術が必要な状況があることから、不利な立ち位置にあるといえる。

国内における研究開発の特徴として、GNSS 受信機を製造する以外の研究開発に対してあまり積極的ではない点が挙げられる。しかし国内に内製のための技術力は存在しており、製造期間やコストの関係で海外の部品を購入している。技術力がなくて必要な製品の製造できないのではなく、製造したとしてもそもそもマーケットを確保しビジネスとして成立させることが難しいため、メーカにとって参入障壁が高いのが実態である[129]。特に海外依存が懸念されている技術としては、RTK の心臓部となるチップが挙げられる。チップ技術には技術者の長年の経験が必要とされているが、欧米やロシアと比較すると、マルチパスの軽減やスプーフィングの検出に関して日本企業は経験が不足していることが専門家インタビューでも指摘されている。具体的な技術としては、搬送波測位による測位演算の前処理が挙げられるが、現在のところ海外の一部のメーカのチップに依存しているのが現状である。

国内メーカの研究開発が海外と比較して活発でない背景として、国内は欧州のように妨害を行う主体がほとんどいないため国内では妨害対策の必要性があまり認識されていないことから、脆弱性対策に対する具体的かつ大きなマーケットニーズが広がっていないことが挙げられる。

「みちびき」を中心とした、日本独自の取り組みが進む一方、国内メーカが国内市場のみならず海外市場でもビジネスを行うためには、マルチ GNSS に対応した汎用的な製品を作る技術が必要である。衛星同士の互換性を持たせ汎用性を高めることが、少量多品種生産から少品種大量生産への移行にもつながり、国内メーカが性能的にも価格的にも競争力ある製品の開発を実現するのに重要である。そのための研究開発を促進するには、例えば、公的機関や大企業のみが有する試験環境を他の国内メーカが利用できるようにすることが有効と考えられる。

衛星を用いた PNT 技術について国内の生産基盤を見ると、現状では規制の在り方を検討すべき具体的な技術はなく、逆に、海外製品や海外技術に頼らざるを得ないケースも出てきており、この点は国内の生産基盤の脆弱性と考えられ、将来的にも影響を及ぼす恐れがある。PNT 技術については自動運転やドローン分野などこれから広がることが想定される市場動

最終閲覧）

[128] 専門家インタビューより

[129] GNSS 受信機だけでなく「みちびき」に関しても同様で、国産可能であってもビジネス上の理由により一部の部品は海外製品を用いている。

向、セキュリティ面も含めたユーザーニーズ、海外の研究開発動向を継続的に注視しつつ、国内研究機関及び国内メーカによる研究開発及び生産基盤の強化を後押しする施策が求められる。

6.5 参考

6.5.1 PNT システムに関する専門家インタビュー（ENRI 坂井丈泰氏）

日時	2021 年 1 月 7 日（木）15:00-16:00
場所・実施方法	オンライン
インタビュー先 （敬称略）	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 衛星航法グループ 坂井 丈泰　氏
タイトル	PNT システムにおける脆弱性対策技術に関するインタビュー
概要	衛星を用いた PNT システムにおいて考慮すべき脆弱性及びその対策技術並びに技術開発の動向について、アカデミアの立場の視点から意見を伺った。現状、日本では研究者がまだまだ不足しており、日本国内でしか取り組まれていない研究開発はあまりなく、諸外国と比較して優位性があまり見られないが、その一方で、信号の暗号化の面では今後進展することが期待されることが指摘された。

6.5.2 PNT システムに関する専門家インタビュー（SPAC 三神専務理事）

日時	2021 年 1 月 28 日（木）15:00 ～ 16:00
場所・実施方法	オンライン
インタビュー先 （敬称略）	高精度衛星測位サービス利用促進協議会（QBIC）事務局 衛星測位利用推進センター（SPAC）専務理事 三神 泉　氏
タイトル	PNT システムにおける脆弱性対策技術に関するインタビュー
概要	衛星を用いた PNT システムにおいて考慮すべき脆弱性及びその対策技術並びに民間企業における技術開発の動向について、業界団体の立場の視点から意見を伺った。PNT 分野は米ロが 80 年代から研究が進められており、日本が海外に勝っている技術は少ない点、セキュリティ面で見ると処理部での対応だけでなく信号の入り口となるアンテナ部の重要性が指摘された。

6.5.3 PNT システムに関する専門家インタビュー（株式会社コア）

日時	2021 年 2 月 18 日（木）13:30 ～ 14:30
場所・実施方法	オンライン
インタビュー先 （敬称略）	株式会社コア　GNSS ソリューションビジネスセンター 山本 享弘　氏、寺尾 和洋　氏
タイトル	PNT システムにおける脆弱性対策技術に関するインタビュー
概要	衛星を用いた PNT システムにおいて考慮すべき脆弱性及びその対策技術開発の動向について、メーカの立場の視点から意見を伺った。

6.5.4 PNT に関する国際会議

(1) 会議概要

日時	2020 年 12 月 18 日（木）00:00 ～ 01:00 JST（17 Dec 2020, 10:00-11:00 EST）
場所・ 実施方法	オンラインウェビナー
主催	Orolia 社
会議 タイトル	PNT Coffee Talk Resilient － PNT the European Perspective
概要	レジリエントな PNT は世界的な優先事項であり、そのために防衛分野や重要インフラの PNT を守るための措置が講じられている。本ウェビナーでは、欧州各国の専門家から重点分野に関して見解を提供し PNT コミュニティにおける迅速なイノベーションを検討した。また、政府の取り組みを支援し、経済面、安全保障面を強化するため、PNT 関連企業の連合である「Open PNT Industry Alliance」が紹介された。
URL	https://www.orolia.com/resources/webinars/pnt-coffee-talk-resilient-pnt-european-perspective

(2) 会議内容

1) 航空分野における GNSS

Eurocontrol より、航空分野における GNSS に対する脅威についての紹介がなされた。航空分野では GPS Outage(GPS の機能停止)が、増加傾向にある。2020 年は COVID の影響で運航便数そのものは少ないが、特に 2018 から 2019 年にかけて急増した。これは、ICAO の GNSS RFI MItigation manual に基づく、パイロットレポートによるもので、1 日 10 件の割合で報告が上がっている。

2) 欧州 GNSS Agency（GSA）の取り組み

欧州 GNSS Agency より、欧州ではスプーフィングやジャミングが繰り返し発生している状況が紹介された。対策として、センサフュージョンを基本としつつ、その次に信頼できる

PVT のためには GNSS 認証がキー要素となることが指摘された。

ガリレオサービスにおける、オープンサービス認証（OS-NMA）、range 認証（CAS）及び政府規制サービス（PRS）については、スプーフィングリスクの軽減に貢献している。OS-NMA は運送分野でうまく運用されている。GNSS レジリエンスについては、マルチ周波数、マルチコンステレーション、GNSS 認証、RFI 検知と影響緩和技術が重要と考えられている。

STRIKE3 プロジェクト[130]においては 2016 年から約 3 年にわたり 20 か国 50 サイトでジャミング事象をモニターした。87%の意図しない干渉、13%の意図的なジャミングがあった。ジャミングに対しては、以下のようにマルチレベルの戦略が PNT ソリューションとって必要であることが報告された。

1. GNSS は、よりレジリエントにして、ナローバンドの干渉に対応する。
   ・周波数拡散：ガリレオ E1, E5, E6 信号
   ・ワイドバンド信号：ガリレオ E5 信号
2. センサフュージョン

3) Orolia Systems and Solutions（O2S）

オロリア社より、「GEARS イニシアチブ」が紹介された。これは重要インフラ向けのガリレオベースの GNSS 受信機について、オロリア社が主体で進めている活動である。

具体的なソリューションとして、4 つのアンテナを用いて意図的なジャミングに対応する製品事例が紹介された。マルチプル周波数対応。マルチプルコンステレーションに対応している。

次に IDM（Interference Detection & Mitigation）受信機が紹介された。これは「レジリエンス」、「インテグリティ」及び「利便性」を特徴としている。レジリエンスについては、主要な 5 種類[131]のジャミングをフィルタリングする。インテグリティについては、OS-NMA 認証機構をサポートする。利便性については他のアプリケーションとの連携も可能としている。

4) Open PNT Industry Alliance の取り組み

Satelles 社及び NextNav 社より、Open PNT Industry Alliance の取り組みが紹介された。本アライアンスの目的を以下に示す。

- 重要インフラの所有者と事業者が、運用上のニーズを満たすような市販の代替 PNT ソリューションを早期の機会に採用する自由を確保すること。
- GPS/GNSS バックアップに対する国としての要件が、技術的なソリューションの範囲を含むように十分に広範であることを確認すること。

---

[130] STRIKE3 プロジェクト（http://gnss-strike3.eu/）は、欧州 GNSS Agency（GSA）が中心となり、2016 年 2 月から 2019 年 1 月にかけて、GNSS 信号をモニタリングとともに GNSS 受信機試験に関する国際規格の開発を目的として実施された。

[131] ①ワイドスイープ（高速リピートレート）、②マルチプルナローバンド、③トライアングル、④ティックタイプ、⑤CW（定常波）の 5 種類。

- 多様な PNT ソリューションの長期的な持続可能性のための政策と資金調達に対する国家政府のコミットメントを確保すること。

PNT のレジリエンスを確保し、PNT ソースへの途切れることのないアクセスを提供するソリューションを実装するため､政府関係者と民間部門のリーダーとの間のパートナーシップを提唱し、政府の活動を保証するとともに、PNT ソリューションの長期的な継続性に関して政府コミットメントを確実にする活動を行うとしている。

本アライアンスを構成する団体を以下に示す[132]。

- infiniDome 社
- iridium 社
- Jackson Labs Technologies 社
- NAVSYS 社
- NextNav 社
- OPNT 社
- Orolia 社
- OshoCorp Global 社
- Qulsar 社
- Satelles 社
- SEVEN Solutions 社
- TAG 社
- TrustPoint 社
- Xona Space Systems 社

6.5.5 主要参考文献

- 一般財団法人衛星測位利用推進センター（SPAC）編、2020、市場調査レポート「衛星測位システム受信機総覧 2020」、シード・プランニング、248pp.
- 久保 信明、2018、「図解よくわかる 衛星測位と位置情報」、日刊工業新聞社、180pp.
- 西 修二郎、2016、「衛星測位入門 ―GNSS 測位のしくみ―」、技報堂出版、115pp.
- トランジスタ技術編集部、2009、「GPS のしくみと応用技術―測位原理、受信データの詳細から応用製作まで」、CQ 出版、247pp.

[132] Open PNT Industry Alliance ウェブサイト、https://openpnt.org/alliance-members/、（2021/2/10 最終閲覧）

6.5.6 用語・略称

本報告書での表記	正式名称･意味など
BeiDou	中国による全球測位衛星システム。（BeiDou とは「北斗」をいう。）
CDMA	Code Division Multiple Access。無線通信方式の一つ。符号分割多重アクセス方式。
CLAS	Centimeter Level Augmentation Service。「みちびき」が提供する、センチメータ級測位補強情報サービス。
Galileo	EU による全球測位衛星システム。
GLONASS	GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema。ロシアによる全球測位衛星システム。
GNSS	Global Navigation Satellite System。GPS、GLONASS、Galileo 及び BeiDou の総称。
GPS	Global Positioning System。米国による全球測位衛星システム。
IMU	Inertial Measurement Unit。慣性計測装置。加速度センサ（並進運動を検出）と角速度センサ（回転運動を検出）からなり、三次元の慣性運動を検出する。
NavIC	Navigation Indian Constellation。インド地域の航法衛星システム。
NMA	Navigation Message Authentication。航法メッセージ認証。
PDD	Personal Privacy Device。プライバシー保護デバイス。GNSS 利用者が自己位置を他人に知られないよう自らジャミングする装置。
PKI	Public Key Infrastructure。公開鍵基盤。公開鍵暗号方式に基づく認証の仕組み。
PNT	Positioning, Navigation and Timing。測位、航法及び測時。
PPP	Precise Point Positioning。基準局を用いない高精度単独測位。
PRS	Public Regulated Service。政府規制サービス。政府機関向けの暗号化信号。
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System。日本の準天頂衛星システム。
RNSS	Regional Navigation Satellite System。地域測位衛星システム。GNSS に対する位置づけとして、NavIC と QZSS を総称して RNSS という。
RTK	Real Time Kinematics。基準局からのデータを用いたリアルタイム測位。
SA	Selective Availability。選択利用性。過去、民間向けには測位精度を落とすため米国が GPS に施していた措置。2000 年 5 月に SA は停止された。
SAASM	Selective Availability Anti-Spoofing Module。選択的可用性アンチスプーフィングモジュール。
SAS	Signal Authentication Sequence。信号認証シーケンス。
SBAS	Satellite-based Augmentation Systems。航空機向けに、静止衛星を介して航空航法用途に使用しうる、誤差補正情報等を放送するシステム規格。
SCE	Spreading Code Encryption。拡散コード暗号化。拡散コードの全てを暗号化。
SSSC	Spreading Spectrum Security Codes。拡散スペクトルセキュリティコード。拡散コードの一部を暗号化。
UAV	Un-manned Air Vehicle。無人航空機。

7. 空間除菌に関する技術動向調査

7.1 本項目を読み進めるにあたって

- 本調査では空間除菌技術を用いた各個別の空間除菌装置自体の実生活中における効果については言及しない。
- 本調査は空間除菌装置の殺菌原理とその効果についての技術動向調査であり、実空間における細菌・ウイルスの予防効果を担保するものではない。細菌・ウイルスの予防のためには複数の対策を行うことが重要である。細菌・ウイルスを予防するには、本資料において記載されている空間除菌装置のみに頼るのではなく、「うがい」「手洗い」等の日常的な取組と併せて使用することが重要である。
- 本来は厚生労働省における「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」に基づき厚生労働大臣が品質・有効性・安全性を確認した「医薬品・医薬部外品」の製品でない限り、「滅菌」「殺菌」「消毒」のような単語は使用に制限があるが、本資料中では原理的に菌を殺すことができるものは全て殺菌と表現する。

7.2 概要

空間除菌装置に利用されている殺菌・ウイルス不活化技術に関して、文献調査、特許調査に基づき技術動向調査を行った。

現在コロナ禍の影響により、国内での殺菌・ウイルス不活化技術への関心が高まっており、自宅内に設置することで除菌効果が得られると謳われる空間除菌装置のニーズも高まっている。空間除菌装置は複数の企業から発売されており、それらの製品は光触媒・紫外線・次亜塩素酸水・オゾンガス等によって効果を生み出していると想定される。

光触媒による殺菌技術は触媒反応により継続的な反応が可能で経済性も高く、人体への安全性も高い。現在、実空間での殺菌効果・ウイルス不活化効果の評価手法の標準化が急がれている。紫外線を用いた殺菌技術は今までは人体への安全性が低く使用が限定されていたが、2018 年、人体に有害な波長を遮断するフィルタにより人体への直接照射が可能な技術が開発され安全性が向上した [133]。次亜塩素酸水を用いた殺菌技術は既に日本において機能性殺菌水として定められ殺菌料として利用されている。殺菌料の定義における「次亜塩素酸水」は比較的安全性が高いが、次亜塩素酸水の表記だけで消費者が安全な製品を判断することが困難になっており、「次亜塩素酸水」の空間噴霧は殺菌効果も安全性評価も不明確で推奨されない [134]。オゾンガスを用いた殺菌技術は、オゾンガスが比較的低濃度でも人体に有害であることから、低濃度オゾンガスの活用方法が検討されている。また、低濃度のオゾンガスであってもゴムや金属等が腐食する可能性もあり、使用可能なケースが限定されている。

今後、期限満了となった特許が多く日本の優位性が下がってきたと想定される光触媒分野

---

133 神戸大学「世界初、神戸大学とウシオ電機が人体正常皮膚への 222nm 紫外線直接照射で、障害なく常在菌の殺菌に成功」<https://www kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/collaborations/2018_11_14_01 html>

134 「新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について（厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ）」<https://www mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001 html>

では海外を含む他企業の参入が増加してくる可能性が高い。そのため、既に日本が特許を有しているような有望技術の開拓や、現在既に「人体に無害な紫外線殺菌法」に必要な特許発明の独占的な実施権を持つ紫外線での空間殺菌分野において優位性の堅牢化等の戦略が必要になると推察する。

7.3 背景と目的

現在コロナ禍の影響により、新型コロナウイルスに関連した技術開発が期待されており、PCR のような診断法や罹患後の治療法から、ワクチンを含む予防法にまで、技術開発が行われている。中でも購入・設置によって簡便に自衛できるという利点も踏まえ、国内での殺菌・ウイルス不活化技術への関心が高まっており、「空間除菌装置」のニーズが急激に高まっている。空間除菌装置は複数の企業から発売されており、それらの製品は光触媒・紫外線・次亜塩素酸水・オゾンガス等によって効果を生み出していると想定される。

上記を踏まえ、本調査は、空間除菌装置に用いられている主な技術の分類と特徴を整理し、諸外国及び我が国における空間除菌技術の調査を行い、研究開発動向と共に市場動向、関連技術に係る特許出願者の動向などを把握することを目的とする。

7.4 調査方法

「空間除菌装置（「空気清浄機」は含まない）」として販売されている製品に主に用いられている技術について、現在の国内における研究開発状況を把握するため、文献調査及び特許調査を実施した。加えて、市場動向と主要なプレイヤーを整理した。

7.4.1 文献調査

書籍、論文・総説、企業のプレスリリース等の公開情報による文献調査を行った。

7.4.2 特許調査

特許データベースによる検索を行い、各国の特許出願状況、主要な特許出願者について調査を行った。

7.5 調査結果

7.5.1 空間除菌の概要

(1) 菌の殺菌、ウイルスの不活化

菌やウイルスのような微生物にはヒトに有害な病原性をもつものがいるため、該当する微生物は取り除く等の方法で制御する必要がある。詳細な微生物制御技術については次項にて記載するが、まずは微生物制御において慣用的に使用されている用語を示す（表 7-1）。また、ウイルスは生物ではなく細菌の区分でもない。そのため、ウイルスに対しては、「不活化（不活性化）」という単語を使い、熱や紫外線、薬剤でウイルスの構造を破壊し感染性を失わせることを示す。

表 7-1　微生物制御における用語の意味

用語	定義
滅菌	目的とする対象物（固体、液体、気体）中および表面の全ての微生物を殺滅または除去すること
殺菌	目的とする対象物（固体、液体、気体）中および表面の微生物の一部または全てを殺すこと
静菌	目的とする対象物（固体、液体、気体）中および表面の微生物の増殖阻害あるいは増殖阻止すること
制菌	目的とする対象物（固体、液体、気体）中および表面の微生物種を特定して増殖を阻害あるいは抑制すること
除菌	目的とする対象物（固体、液体、気体）中および表面から微生物を除去する事。濾過除菌、沈降除菌、洗浄除菌などがある
抗菌	殺菌、滅菌、消毒、除菌、静菌、制菌、防腐、防菌…等を含む

（出所）東レリサーチセンター、「抗菌・防カビ・抗ウイルス」（2015）を元に三菱総合研究所作成

（注）厚生労働省からの発表[135]では「「除菌」は、菌やウイルスの数を減らすことです。「医薬品・医薬部外品」以外の製品に記されることが多いようです。「消毒」の語は使いませんが、実際には細菌やウイルスを無毒化できる製品もあります（一部の洗剤や漂白剤など）。」とされているが、本資料では一般に微生物制御の技術において慣用的に使用される場合の意味をまとめている。

菌はその構造からいくつかのグループに分けられる[136]が、本調査では基本的にこの真正細菌の殺菌とウイルスの不活性化について触れている。以下、今回触れる申請細菌とウイルスの概要である。それぞれの菌やウイルスの外形的特徴も、微生物制御の効果や効率に関与する。

- 真正細菌：生物のうち、原核生物と呼ばれるもの（狭義の細菌）。その構造の違いからグラム染色により染色される「グラム陽性菌」と染色されない「グラム陰性菌」に

[135] 「新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について（厚生労働省・経済産業省・消費者庁特設ページ）」<https://www mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001 html

[136] 東レリサーチセンター「抗菌・防カビ・抗ウイルス」

分類される。

- ✓ グラム陰性菌 : 外膜を有するため、細胞がグラム染色により染色されることがない。
- ✓ グラム陽性菌 : 外膜を有さない。その代わりにペプチドグリカン層があつく、細胞表面の電化が負に保たれている。

- ウイルス:他の生物の細胞を用いて自己を複製させることができる寄生型の微生物である。細胞を持たないため、生物ではないとされることもある。自身の遺伝情報である DNA または RNA をタンパク質の殻（カプシド）内にもつという基本構造で、ウイルス種によってこれの外側に更に脂質や糖タンパク質の被膜（エンベロープ）を持つ。

(2) 空間除菌

1) 微生物制御の方法

人間の生活環境には病原性を持つ菌・ウイルスが蔓延していることからも、微生物の制御技術は重要である。制御技術を原理別に大別したものが図 7-1 である。これらの方法は、物理的制御、物理化学的制御、化学的制御、生物学的制御に大別され、更に殺菌、遮断、除菌、増殖抑制、増殖促進等に分類される。これらの手法は、それぞれ殺菌・除菌等の原理が異なるため、制御対象となる微生物や利用環境により使い分けられている。

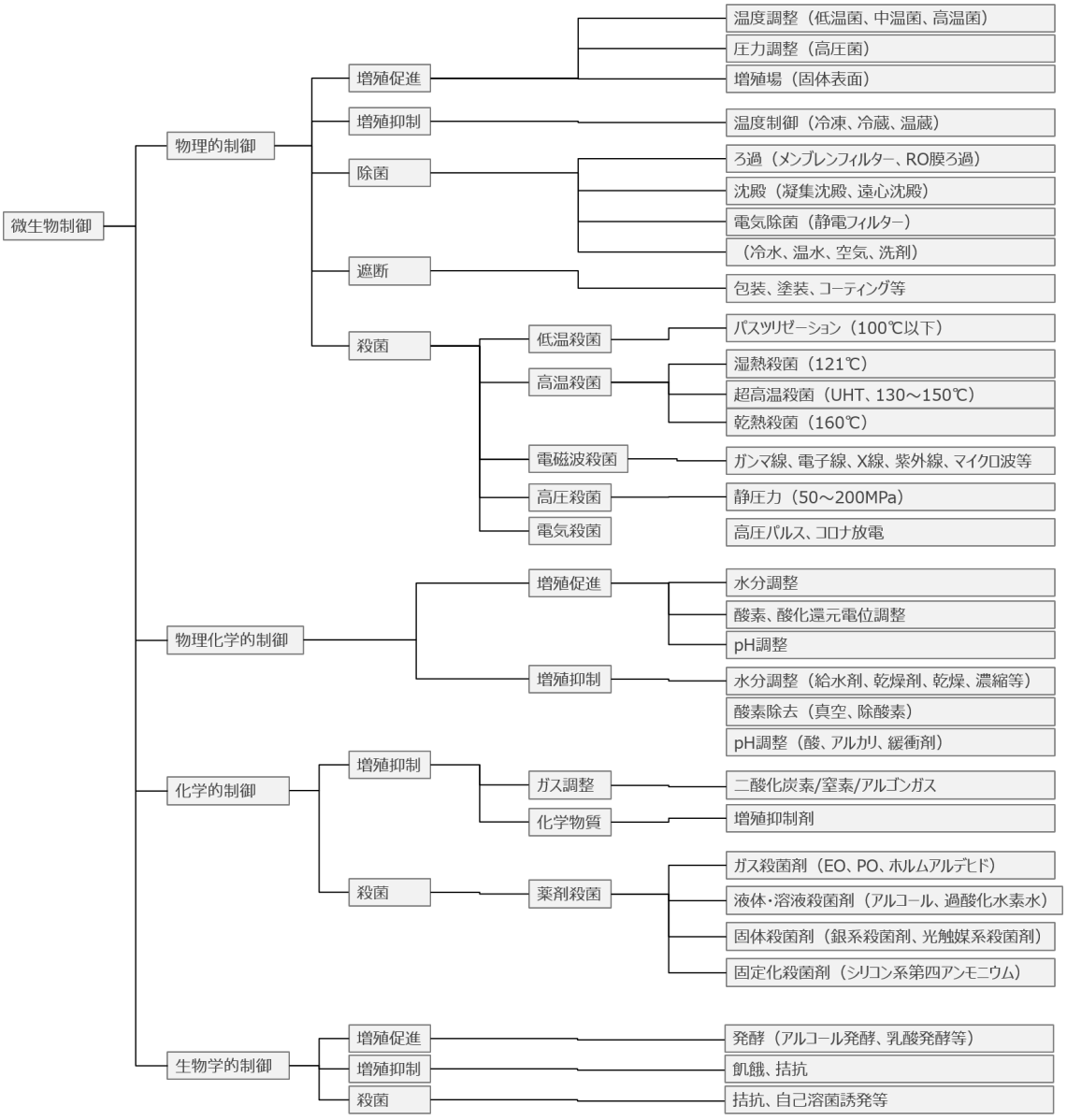


図 7-1　微生物制御手法

（出所）東レリサーチセンター、「抗菌・防カビ・抗ウイルス」（2015）を元に三菱総合研究所作成

2) 微生物・ウイルスの「空間除菌」の技術

本調査では、「空間除菌装置」として発売されている製品で主に用いられている以下の 4 つの技術について調査した。

- 光触媒
- 紫外線（UV）
- 次亜塩素酸水
- オゾンガス

(3) 技術動向

1) 光触媒

光触媒とは、特定波長の光を吸収して光励起し、そのエネルギーを用いて化学反応を起こさせる物質の総称である（図 7-2）。通常の触媒反応では進まないような化学反応を常温で進めることができる等の利点がある。酸化チタン（TiO_2）による光触媒反応では、大腸菌での実験において、外膜の部分分解から細胞質膜分解まで進み細胞が死滅することが知られている[137]。

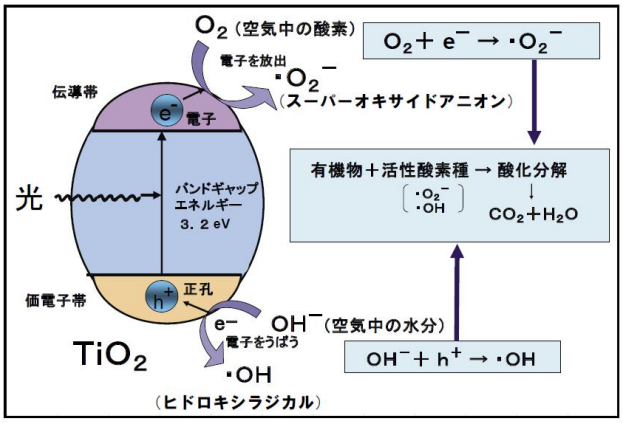


図 7-2　光触媒の酸化分解力の原理

（出所）村上武利、藤島昭「事業課広がる光触媒」JST 産学官連携ジャーナル 2010 年 6 月号特集 1　グリーン・イノベーション（2010）

光触媒は、光のエネルギーによって本来常温では進まない化学反応を常温で進められるなど、特殊な環境下でなくとも反応が進むという利点がある。また、短時間でも照射されていれば、その光の照射量に応じて効果が持続するため、効果の持続性も高い。

光触媒として利用される金属は複数あるが、特に利用されているのは TiO_2 である。TiO_2 は他の光触媒と異なり複数の酸化還元反応を誘起するため他の材料と比べて活性が高く高効率である。加えて、触媒本体の毒性がなく安全で、素材の安定性も高く、安価で調整が容易である。

ただし、この光触媒の反応にはいくつかの短所がある。まず、光触媒の種類によって反応に利用できる光の波長が限定される。TiO_2 でいえば、紫外光のみしか吸収せず、他の波長の光では光触媒による反応を進めることができない。また、光触媒自体に光が当たらなければ反応が進まない点も課題として挙げられる。

これらの課題を解決するために作成されたのが、可視光応答型光触媒である。可視光応答型光触媒は TiO_2 表面に銅イオン（Cu イオン）や鉄イオンのクラスターの「助触媒」を担持した構造となっている。この構造により、可視光照射時に助触媒と TiO_2 の界面で界面電荷移動遷移[138]が起こり、価電子帯の電子が表面の助触媒に励起する。さらにこの電子が大気

[137] 酸化チタンの光触媒反応を利用した抗菌作用、

[138] 異種物質の界面での電子遷移（参考：
https://kaken nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-25620054/25620054seika.pdf）

中の酸素の過酸化水素への還元反応（多電子還元反応）に利用されることで、TiO_2 に残った正孔が光触媒反応に利用できるようになる（図 7-3）。この「助触媒」ありの TiO_2 光触媒は、可視光に反応する光触媒材料でも極めて活性の高い触媒となっている。

特に、Cu イオンを TiO_2 表面に担持した Cu/ TiO_2 においては、暗所でも殺菌・ウイルス不活化の効果があるという特徴を有している。これは、Cu を TiO_2 に担持することで Cu 単体ではなく Cu イオンとしても存在でき、Cu イオンの持つ抗菌効果も作用しているためだと考えられている [139]。

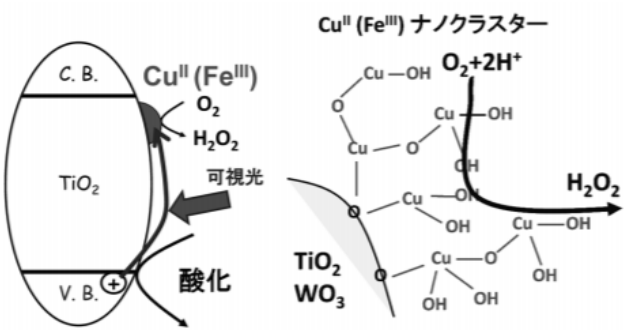


図 7-3　TiO_2 から Cu や Fe のような助触媒への界面電荷移動型光励起（左）と酸素多電子還元触媒（右）

（出所）「生活空間に存在するリスク低減を目指した可視光応答型光触媒の開発」におい・かおり環境学会誌　44 巻 3 号　平成 25 年<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jao/44/3/44_174/_pdf>

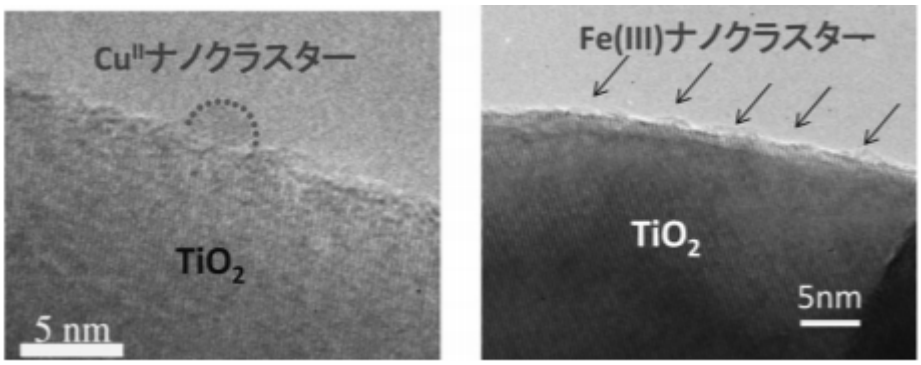


図 7-4　TiO_2 の表面に金属イオンのアモルファス状のクラスター助触媒を担持した構造を高分解 TEM により観察（左：Cu 系、右：Fe 系）

（出所）におい・かおり環境学会誌　44 巻 3 号　平成 25 年「生活空間に存在するリスク低減を目指した可視光応答型光触媒の開発」<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jao/44/3/44_174/_pdf>

TiO_2 の光触媒反応では、大腸菌の殺菌だけでなく、グラム陽性菌である黄色ブドウ球菌やウイルスの一種であるバクテリオファージの不活化の効果があることも知られている [140]。TiO_2 に担持する金属により殺菌／ウイルス不活化効果を示す菌種／ウイルス種が異なっており、奈良県立医科大学における研究では銅担持酸化チタンの新型コロナウイルスの不活化

[139] 東レリサーチセンター「抗菌・防カビ・抗ウイルス」

[140] 高麗寛紀、高鳥浩介（2019）．最新の抗菌・防臭・空気質制御技術　株式会社テクノシステム

を確認している[141]。

現在、本技術における課題として、実空間での評価方法が定まっていない事が挙げられている。可視光応答型光触媒材料はISO/JISの規格により評価が行われており、生菌数が4桁減少するという結果が報告されている。しかし、ベトナムのノイバイ国際空港の男子トイレにて行われた一般細菌の調査では、可視光応答型光触媒を用いない場合と比べて、同光触媒を用いたトイレでは、細菌数の減少量は95%程度と、現在の評価手法での4桁減少（99.99%近い減少）に比べて効果が薄いことが示唆された。これを受け、実空間における抗菌・抗ウイルス活性評価に関するISO提案がなされている。

2) 紫外線

紫外線はその高いエネルギーによって化学反応を誘起して殺菌することが可能である。特に、UV-Cと呼ばれる比較的短波長（波長200-280nm程度）な紫外線が殺菌に用いられている（図 7-5）。紫外線の照射により細胞のゲノムDNAに260nmの波長域のUV-Cが吸収され、DNA鎖上で隣り合うピリミジン塩基2つが結合、DNAの複製やDNAからの遺伝情報の読み出しが困難になり細胞が死滅する[142]（図 7-6）。

長所としては、有害な薬剤等が殺菌後の製品に残留しないために耐性菌が発生しづらいことや、光源や装置が簡便であるために設置コストやランニングコストが比較的小さいことが挙げられる。

ただし、この紫外線系殺菌については、以下のような課題が挙げられる。

- 紫外線の当たり方により殺菌効果に差異が生じるため、照射表面に凹凸がある場合は空間や表面を均一に殺菌できないこと
- 紫外線照射中しか殺菌効果がないため照射していない間の殺菌効果がないこと
- 人体への安全性が低いこと
- ランプの寿命の短さ（従来の水銀ランプを用いていた場合）
- 従来水銀ランプを利用していたため環境への悪影響があること（従来の水銀ランプを用いた場合）

[141] 奈良県立医科大学プレスリリース「(世界初)可視光応答形光触媒による新型コロナウイルス不活化を確認」<https://www naramed-u.ac.jp/university/kenkyu-sangakukan/oshirase/r2nendo/documents/syousai.pdf>

[142] **エラー! ブックマークが定義されていません。**に同じ

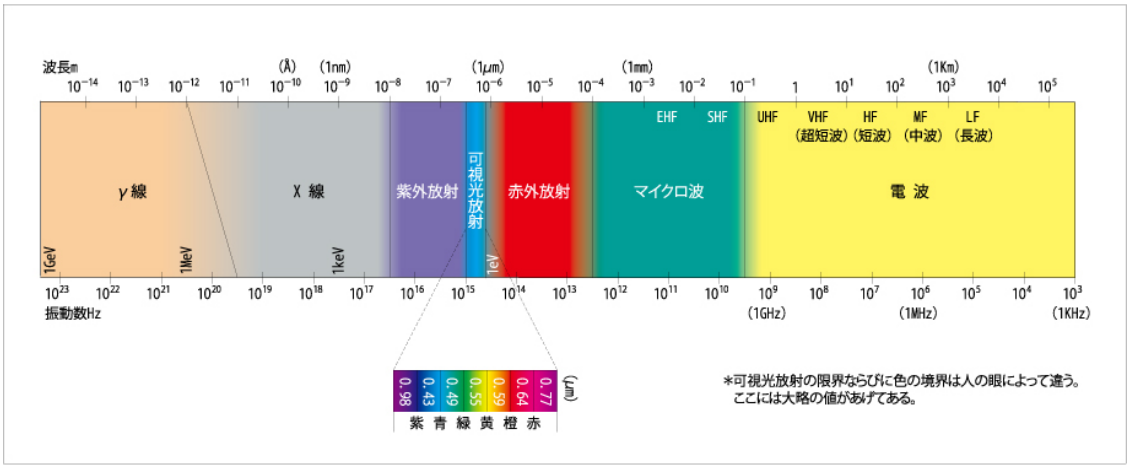


図 7-5　波長ごとの電磁波の名称

（出所）ウシオ電機「電磁波と光」
<https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/material/attached_material_01 html>

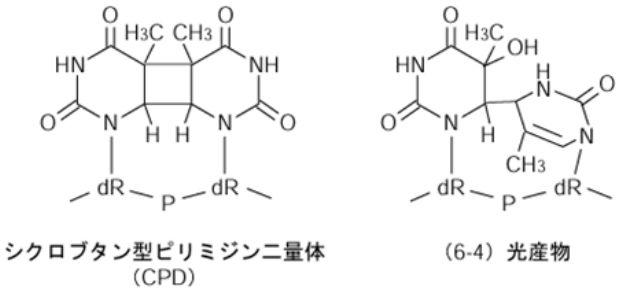


図 7-6　紫外線によって発生する代表的な DNA 損傷

（出所）JST「図 1　紫外線によって発生する代表的な DNA 損傷」（2005）
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20050506/zu1 html>

上記課題の内の幾つかは研究開発により解決されている。まず、ランプの寿命等の特性及び環境への悪影響である。従来、紫外線殺菌は、水銀を封入した低圧水銀ランプのガラス管内の電極に通電することで紫外線を発生させ、その紫外線を殺菌したい物体表面や空間に照射することで行っていた（図 7-7）が、この水銀ランプは、点灯に数十秒～数分かかり点灯/消灯を頻繁に繰り返すことができなかった。また、ランプ内に金属水銀を用いていることから、環境汚染の懸念もあった。現在はいくつかの種類のランプが開発されており、ランプの特性に応じてエキシマランプ[143]や LED などが用いられている（表 7-2）。

[143] エキシマ（Excimer）とは、一般に励起状態（エネルギーの高い準安定状態）にある多原子分子のことを指し、2 原子分子では Xe2*（キセノンエキシマ。ここで、*は励起状態にあることを表す）、Kr2*（クリプトンエキシマ）、Ar2*（アルゴンエキシマ）などの希ガス 2 量体や、KrF*（フッ化クリプトンエキシプレックス）、ArF*（フッ化アルゴンエキシプレックス）、KrCl*（塩化クリプトンエキシプレックス）、XeCl*（塩化キセノンエキシプレックス）などの希ガスハロゲン化物などのエキシプレックスを指す。（参考：https://www.ushio.co.jp/jp/technology/lightedge/201210/100465 html）

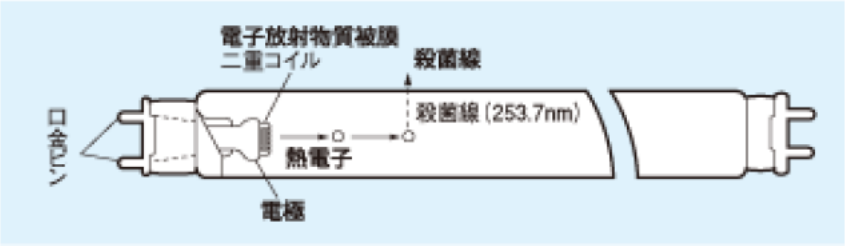


図 7-7　紫外線殺菌ランプの構造

（出所）パナソニック株式会社ウェブサイト「照明設計資料」

表 7-2　紫外線ランプの特徴 [144]

低圧水銀ランプ	高圧水銀ランプ	エキシマランプ	紫外線 LED[145]
● 装置が簡便 ● 比較的寿命が短い	● 低圧水銀ランプよりも高効率な照射が可能 ● 高温になる	● 瞬時点灯が可能 ● ON/OFF による劣化が少ない ● 比較的低温	● 瞬時点灯が可能 ● ON/OFF による劣化もなく、紫外線ランプの数倍～10 倍の寿命をもつ ● 単色光であり、ディープ UV カットフィルタ等が不要

次に、人体への安全性が低いという課題である。先述のとおり、紫外線を照射することで、細胞のゲノム DNA に 260nm の波長域の UV-C が吸収され、DNA の複製や DNA からの遺伝情報の読み出しが困難になる。これは細菌のみならず人体へも同様に作用するため、殺菌作用がある紫外線を浴びると 10mJ/cm^2 程度で皮膚の急性傷害の指標である紅斑が現れる等の症状が発生する。

現在紫外線系の殺菌装置の注目度は国内で高まっているが、市場で流通する紫外線系の殺菌装置は、安全機能あるいは安全指示が適切かどうか不明である。現時点で UV-C 装置の包括的な技術安全標準は発行されておらず、消費者が安全な装置を判断することは困難である。標準は国際電気標準会議等によって策定されると考えられるが、策定には時間を要する。現時点では Global Lighting Association (GLA)[146]が安全な使用に関するガイダンスを提供しているのみであり、早期の技術安全標準の策定が望まれている [147]。

144 ウシオ電機「エキシマランプと紫外線蛍光ランプ「UV-XEFL」
<https://www.ushio.co.jp/jp/technology/lightedge/201210/100465 html>

145 ウシオ電機「紫外線 LED」
<https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/glossary_sa/sa_ultraviolet_LED html>

146 グローバル照明協会。照明産業の問題に関する情報共有を行っている団体。

147 一般社団法人日本照明工業会「殺菌用 UV-C 照射に関するポジションステートメント UV-C 安全ガイドライン」<https://www.jlma.or.jp/anzen/covid-19/pdf/GLA_UV-C_Safety_Position_Statement_japanese.pdf>

対して、ウシオ電機株式会社と神戸大学の黒田良祐教授グループは、紫外線の中でも222nm の波長をもつ紫外線が人体皮膚に対して安全でありながらも殺菌効果を発揮することを明らかにした。また、ウシオ電機製 222nm 照射装置(Care222)を用いることで、500mJ/cm^{2}という高い照射量でも皮膚に急性傷害が発生しないことが確認された [148]。

この Care222 は米 Columbia University（コロンビア大学）の特許技術である特定波長のみを透過するフィルタにより、人体に有害な波長の光を大幅に除去できることができるため（図 7-8）、人体への直接照射が可能になった（図 7-9）。なお、ウシオ電機社はこの特許の全世界での独占実施権を所有している。

ウシオ電機はこの Care222 の光源モジュールを東芝ライテック社へ提供し、東芝ライテック社がこのモジュールを用いた装置や照明器具を開発・製品化する予定である。東芝ライテックは駅や空港などの公共施設向けの除菌・ウイルス抑制装置を開発し、2021 年 1 月に販売開始する予定である [149]。また、東芝ライテック社は自動車の社内向けの装置や 222nm 紫外線光源モジュールと可視光光源を組み合わせた証明器具も開発予定であり、既に自動車メーカ等から問い合わせが来ている模様である [150]。

なお、222nm 紫外線は米国産業衛生専門家会議にて、人体照射の許容限界が 1 日あたり 8 時間以内、露光量は 22mJ/cm^2 以下と定められているため、人感センサを搭載、有人環境では点灯／消灯を切り替える等の形で対応予定である。

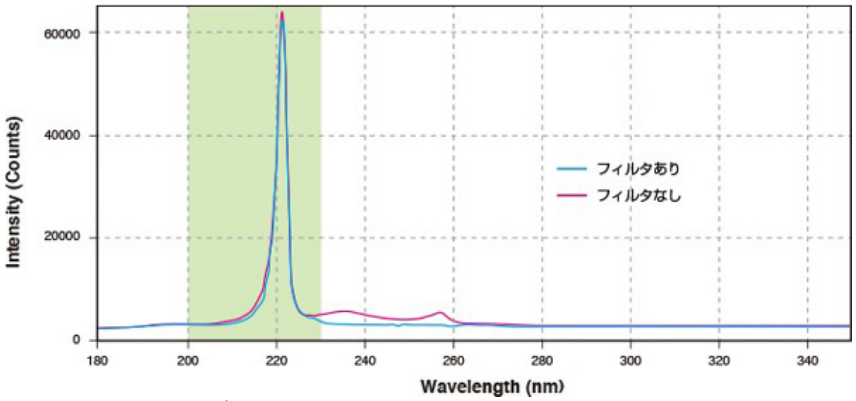


図 7-8　コロンビア大学技術であるフィルタを用いた際の分光特性

（出所）Woods JA, et al.,Photodermatol Photoimmunol Photomed. 31(3):159-66.2015

[148] 神戸大学「222nm 紫外線の人体皮膚への安全性と殺菌効果の両立を立証 ― これまでにない、新たな感染症予防・治療法開発へ ―」
<https://www kobe-u.ac.jp/research_at_kobe/NEWS/collaborations/2020_08_13_01 html>
[149] 日経 XTECH「照射して新型コロナ抑制、222nm 紫外線が 21 年に製品化」
<https://xtech nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/04515/>
[150] 日経 XTECH「照射して新型コロナ抑制、222nm 紫外線が 21 年に製品化」
<https://xtech nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/04515/>

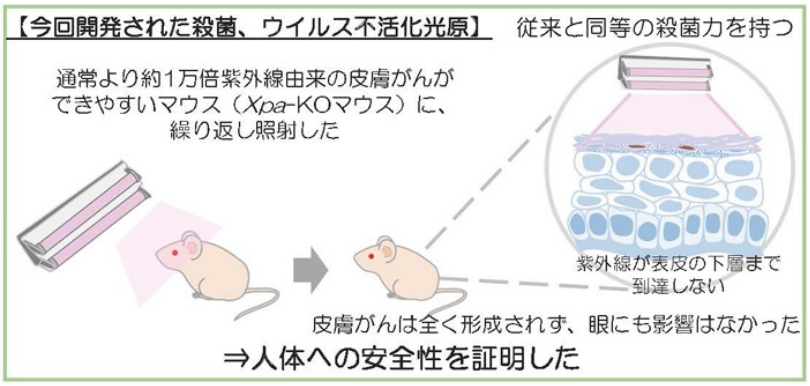


図 7-9　殺菌・ウイルス不活化効果の動物実験概要

（出所）神戸大学「皮膚がんなどの発症なし　222nm 紫外線（UV-C）繰り返し照射の安全性を世界で初めて実証　-医療分野や日常での殺菌・消毒の用途拡大に期待-」（2020）

3) 次亜塩素酸水

次亜塩素酸水は、「再現性のある有用な機能を獲得した水溶液の中で、その処理と機能に関して科学的根拠が明らかにされたもの」と定義される「機能水」のうち、殺菌性機能水（殺菌力を有する機能水）に分類される、殺菌力のある水溶液である。一般に、殺菌性機能水はユーザー自身が生成装置を操作して機能水を生成して希釈等の操作はせずに流水（かけ流し）で利用する点に特徴があるため、生成装置とセットで販売される。また、殺菌料としての次亜塩素酸はその製法や種類、物性により名称が異なっている。

次亜塩素酸水の殺菌活性は次亜塩素酸（HClO）にあり、細菌細胞内に取り込まれた HClO が OH ラジカルを発生し、細胞内の DNA やタンパク質と化学反応して損傷を与え殺菌すると考えられている [151]。HClO は pH5-6 程度の弱酸性の水溶液中では非乖離型の HClO として存在し、塩基性の水溶液中ではイオン化し、OCl-として存在する。HClO の方が OCl-型に比べて細胞内へ透過しやすいため、HClO は低濃度でも強い殺菌活性を示す [152]（図 7-10）。

次亜塩素酸水の長所としては、残留性が低く環境負荷が少ないことや、生成装置から所定の濃度の次亜塩素酸水が安定的に供給されるため殺菌効果が安定すること、次亜塩素酸生成装置に関する JIS 規格（JIS B 8701153）が 2017 年に制定されており生成装置の信頼性が高いこと、生成装置の操作が簡便で容易に理解しやすいことなどが挙げられる。

---

[151] **エラー! ブックマークが定義されていません。**に同じ

[152] 福﨑智司「食品衛生や空中浮遊菌対策のために次亜塩素酸が実現する「安全・安心」空間。」<https://www mie-u.ac.jp/report/wm/wm047_14_15.pdf>

[153] 経済産業省「次亜塩素酸水生成装置に関する JIS 制定－JIS 制定により国内外の市場拡大へ－」<https://www.meti.go.jp/press/2017/10/20171020004/20171020004-3.pdf>

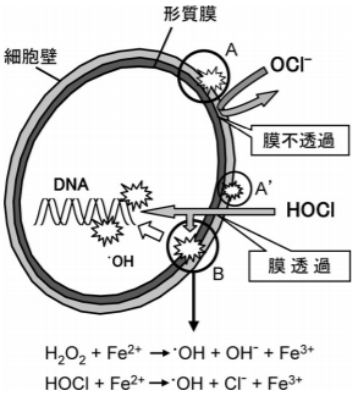


図 7-10　HClO の膜透過性と殺菌機構の概念図

（出所）福崎智司「次亜塩素酸による洗浄・殺菌機構と細菌の損傷」日本食品微生物学会雑誌　26(2), 7680, 2009（2009）

対して、短所としては以下のような課題が挙げられる。

- 使用時に生成装置を使って都度調整しなければならず保存がききにくいこと（次亜塩素酸水の中でも、特に強酸性次亜塩素酸水の場合、開放系では短日で殺菌活性が低下。遮光容器に蓋をして静置することで 1 週間程度であれば規格の濃度範囲を維持可能）
- 継続的に次亜塩素酸水を生成するため定期的に反応原料を投入しなければならず、定期的なメンテナンスが必要であること
- 有機物混在による殺菌活性の顕著な低下
- 「次亜塩素酸水」の販売時の表記

近年では多種多様な「次亜塩素酸水」が販売されている。殺菌性機能水に分類される「次亜塩素酸水」は希薄な食塩水等を電気分解してできた水溶液であり、生成方法や物性の規格が存在する食品添加物として指定されている [154]。しかし、電気分解以外の方法、例えば次亜塩素酸ナトリウムを原料として pH を下げた「酸性化希釈次亜塩素酸ナトリウム溶液」を希釈したものも次亜塩素酸水として販売されている。この希釈された次亜塩素酸ナトリウム溶液については規格や基準がない。そのため、成分が明確ではない製品、有効性・安全性試験の根拠が不明確な製品、有人空間での「次亜塩素酸水」等の噴霧が公式に認められていると誤認させるような製品等が販売されている [155]。

そのため、次亜塩素酸水として販売されている製品の物性によっては、皮膚や手指、粘膜への悪影響が起こりうる。例えば、2012-2013 年度には次亜塩素酸ナトリウム配合の首から下げるタイプの除菌製品のうち、化学熱傷等の皮膚障害に対する注意表示が記載されていなかった製品について化学熱傷等の皮膚障害に関する危害相談件数が急増し、自主回収等が行われた [156]。

上記の課題の内、有機物混在による次亜塩素酸水の殺菌活性の顕著な低下については、次亜塩素酸水の使用前に有機物を除去できないような場合、類似の化学物質である亜塩素酸水

---

[154] **エラー! ブックマークが定義されていません。**に同じ

[155] 経済産業省「次亜塩素酸水」等の販売実態について（ファクトシート）」
<https://www meti.go.jp/press/2020/05/20200529005/20200529005-2.pdf>

[156] **エラー! ブックマークが定義されていません。**に同じ

を利用する方法が考案されている。亜塩素酸水は食品添加物の殺菌料として認可されており、$HClO_2$ を含む水溶液である。次亜塩素酸ナトリウムが有機物（牛血清アルブミン）存在下で大腸菌の殺菌／ネコカリチウイルス（FCVF9 株）ウイルス不活化効果が認められなかったのに対し、亜塩素酸水は同条件において、殺菌／ウイルス不活化の効果が認められている[157]。

4) オゾンガス

オゾンは酸素（O_2）の同素体であり、3 つの酸素原子からなる分子である。オゾンは酸化力が高く反応が早いうえに薬物残留が起きないため、欧米の浄水場での水処理等に利用されている。オゾンは、細胞の細胞膜を酸化して死滅させることで殺菌すると考えられている（図 7-11）。オゾンガスでは、黄色ブドウ球菌や大腸菌、結核菌等の細菌や、インフルエンザウイルス等の殺菌が可能である[158]。

長所としては、分解後には無害な酸素に戻るため残留性が低く、環境負荷が少ないことや、無声放電や紫外線ランプ等のオゾンガス生成装置による電気エネルギー共有を止めることでオゾンガス生成の制御が容易で安全性が高いことが挙げられる。

対して、短所としては、比較的低濃度でも人体への毒性が高いこと、腐食性が強く、ゴムやプラスチックが変性することなどが挙げられる。

特にオゾンガスの濃度によっては人体への有害性が深刻であり、有人環境下での利用等では十分注意が必要である（表 7-3）。有人空間で利用する場合は活性炭フィルタ付きマスク等で対策を講じる必要がある。

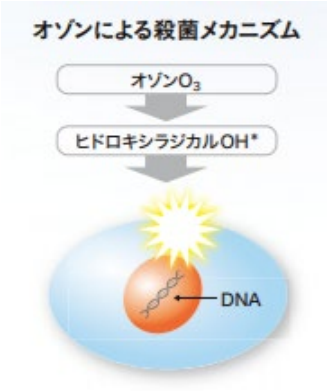


図 7-11　オゾンによる殺菌メカニズム

（出所）IHI アグリテック「研究し施設向けオゾン殺菌装置 HZ シリーズ」

[157] 小林由佳、吉澤重克、金子誠二、清水敏克「亜塩素酸水と次亜塩素酸ナトリウムの有機物存在化における殺菌効果およびウイルス不活化効果」環境感染誌 31,3,158（2016）
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsei/31/3/31_15-053/_pdf>

[158] 日本医療環境オゾン研究会 および 厚生省予防衛生研究所データ（参考：https://www.sat.co.jp/knowledge/ozone/）

表 7-3　生体へのオゾンガスの影響

オゾンガス濃度	影響
0.01～0.02	多少の臭気を感じる場合がある
0.02～0.05	オゾン特有の匂いがわかる
0.06	慢性の肺疾患の患者にも悪影響はない
0.1～0.3	鼻・のどに刺激を感じる
0.5	オゾン環境に労働する者に慢性気管支炎等が増える
0.6～0.8	胸痛・咳・呼吸困難・肺機能の低下等を生じる
1.0～2.0	疲労感・頭痛等を 1~2 時間で生じる
5.0～10	脈拍増加・体痛・麻酔状態・肺水腫をおこす

（出所）三協エアテック「オゾンについて」＜https://www.sat.co.jp/knowledge/ozone/>を基に作成

上記のとおり、オゾンガスは人体への影響が大きいため有人環境下での利用を想定した製品は低濃度オゾンガスを放出するというコンセプトで販売されている。また、藤田医科大学による基礎的な研究より、低濃度オゾンガスによるコロナウイルスの不活性化効果が報告されるなど、現在でも低濃度オゾンガスによる効果が研究されている。

また、オゾンガスは低濃度であっても金属やゴムを腐食してしまうため、使用可能なケースが限定されている点も課題の一つである（表 7-4）。

表 7-4　オゾンガスによる腐食

	材質	高濃度		低濃度		極低濃度	備考
		＞100	＞50	＞1000	＜200	＜10	
		g/m^3	g/m^3	ppm	ppm	ppm	
構造材料	SUS316L	要定期点検	○	◎	◎	◎	※1
	SUS316	要定期点検	○	○	◎	◎	※1
	SUS304	要定期点検	要定期点検	○	○	○	
	アルミ（ｱﾙﾏｲﾄ処理）	×	要定期点検	要定期点検	○	○	
	アルミ	×	×	×	×	×	
	テフロン	要定期点検	○	○	○	○	
	石英ガラス	◎	◎	◎	◎	◎	
	コンクリート	要定期点検	要定期点検	○	○	○	
配管材料	SUS316	要定期点検	○	◎	◎	◎	
	SUS304	要定期点検	○	◎	◎	◎	
	テフロン	要定期点検	○	◎	◎	◎	
	硬質塩ビ(VP管)	×	×	○	○	○	
	シリコン内面テフロンコート	×	×	×	○	○	
	シリコンチューブ	×	×	×	×	要定期点検	
	ウレタン	×	×	×	×	×	
	ナイロン	×	×	×	×	×	
パッキン材料	テフロン	要定期点検	○	○	◎	◎	
	軟質テフロン	要定期点検	○	○	◎	◎	
	バイトンゴム	×	×	要定期点検	○	○	
	シリコンゴム	×	×	要定期点検	○	○	
	塩ビゴム	×	×	×	○	○	
	エチレンプロピレンゴム	×	×	×	○	○	
	クロロプレンゴム	×	×	×	×	×	
	ニトリルゴム	×	×	×	×	×	
	シリコンスポンジ	×	×	×	○	○	
	ポリウレタンフォーム	×	×	×	×	×	
Oリング	テフロン	○	○	○	○	○	
	バイトン・テフロンコート	×	×	要定期点検	○	○	
	バイトン	×	×	要定期点検	○	○	
配管継手	ＳＵＳくい込み	○	○	○	○	○	
	ねじ込み(テフロンシール)	×	○	○	○	○	
	塩ビ継手(接着)	×	×	○	○	○	
	溶接フランジ継手	要定期点検	○	○	○	○	※1
	※1　溶接部処理（酸洗い、電解研磨、等）の処理を行うこと						

（出所）環境分野におけるオゾン水の利用指針　基礎編（第 2 版）
<http://www.js-mhu-ozone.com/riyou/image/2013-009/2018-114_riyoukiso.pdf>

7.5.2 技術保有者と経営基盤

(1) 特許分析

それぞれの技術に関して、日本における特許出願及び PCT 出願状況を調査した。

1) 光触媒

a. 日本国内特許出願

調査時の条件を表 7-5 に示す。

表 7-5　調査時の条件（光触媒・国内特許）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 9 日
対象	日本国内特許出願
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009
キーワード	光触媒

ア）検索結果

合計 970 件

イ）出願年と出願人国

日本国内特許の出願件数は国内プレイヤーからがほとんどを占める。全体の出願件数は 2000~2020 年の間、2005 年以降に劇的に減っている。

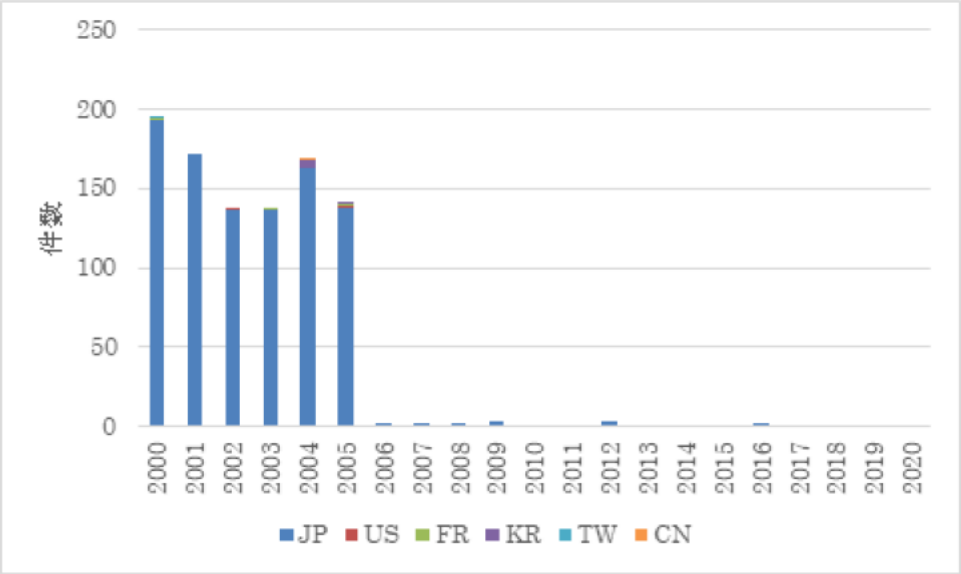


図 7-12　光触媒に関する国内特許出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

光触媒に関する国内の特許出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキング上位は、全て日本企業である。

表 7-6　光触媒に関する国内特許出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	松下電器産業株式会社	JP	50
2	ダイキン工業株式会社	JP	32
3	東陶機器株式会社	JP	31
4	株式会社東芝	JP	28
5	三菱製紙株式会社	JP	15
6	三洋電機株式会社	JP	15
7	アンデス電気株式会社	JP	14
8	株式会社富士通ゼネラル	JP	12
9	東芝ライテック株式会社	JP	12
10	日本無機株式会社	JP	11
11	独立行政法人産業技術総合研究所	JP	10
12	岡谷電機産業株式会社	JP	9
13	株式会社デンソー	JP	9
14	豊田合成株式会社	JP	9
15	小久保　　重昭	JP	8
16	東芝ホームテクノ株式会社	JP	8
17	セイコーエプソン株式会社	JP	7

	筆頭出願人	国	出願件数
18	株式会社フジクラ	JP	7
19	パナソニック株式会社	JP	6
20	ヤンマー農機株式会社	JP	6
21	株式会社東芝|東芝コンシューママーケティング株式会社|東芝家電製造株式会社	JP	6
22	株式会社日本触媒	JP	6
23	松下電工株式会社	JP	6
24	松下冷機株式会社	JP	6
25	日東電工株式会社	JP	6
26	シャープ株式会社	JP	5
27	旭化成ケミカルズ株式会社	JP	5
28	株式会社ゼクセルヴァレオクライメートコントロール	JP	5
29	株式会社明電舎	JP	5
30	三菱電機株式会社	JP	5

b. 国際特許調査

調査時の条件を表 7-7 に示す。

表 7-7　調査時の条件（光触媒・PCT 出願）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 9 日
対象	PCT 出願
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009
キーワード	Photocatalyst

ア）検索結果

合計 165 件

イ）出願年と出願人国

PCT 出願は 2007 年以降増加している。日本企業も継続的に出願を行っているが、2006 年以降中国から、2010 年以降韓国からの出願が活発化している。

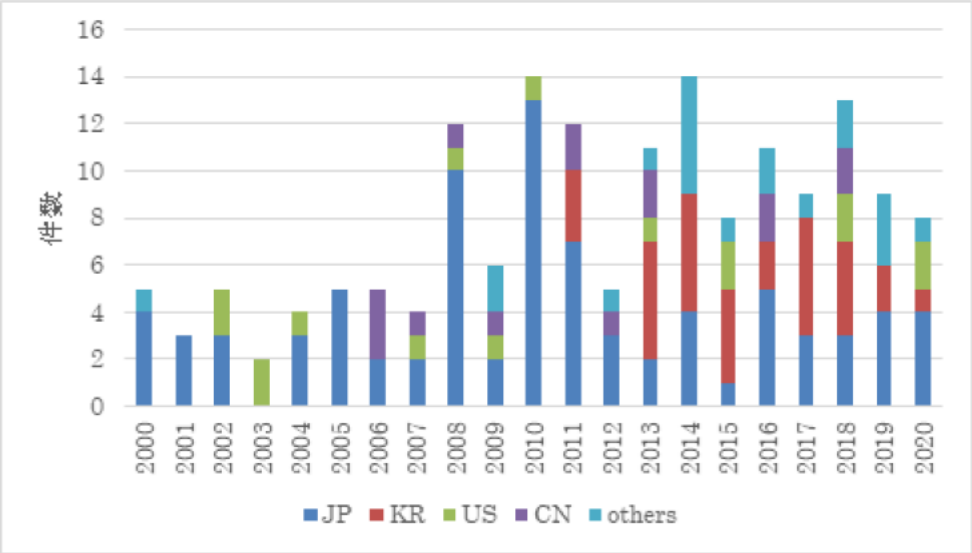


図 7-13　光触媒に関する PCT 出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

光触媒に関する PCT 出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキング（表 7-8）を見ると、日本、中国、韓国企業が上位に入る。

表 7-8　光触媒に関する PCT 出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	合計
1	PANASONIC CORPORATION	JP	6
2	SEOUL VIOSYS CO., LTD.	KR	5
3	SHARP KABUSHIKI KAISHA	JP	3
4	LG HAUSYS, LTD.	KR	3
5	NANO WAVE CO.,LTD.	JP	3
6	NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY	JP	3
7	RENATECH CO., LTD.	JP	3
8	72G GROUP LIMITED	CN	3
9	CARRIER CORPORATION	US	3
10	DAIKIN INDUSTRIES, LTD.	JP	3
11	O.T.A Inc.	JP	3
12	APS JAPAN CO., LTD.	JP	2
13	LG ELECTRONICS INC.	KR	2
14	STERLING AND WILSON PVT. LTD.	IN	2
15	COMMERCIAL AIRCRAFT CORPORATION OF CHINA, LTD.|SHANGHAI AIRCRAFT DESIGN AND RESEARCH INSTITUTE OF COMMERCIAL AIRCRAFT CORPORATION OF CHINA	CN	2

	筆頭出願人	国	合計
16	NITTO DENKO CORPORATION	JP	2
17	GOOTZ	KR	2
18	EVEREST INSTRUMENTS PVT. LTD.	IN	2
19	KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA|TOSHIBA MATERIALS CO., LTD.	JP	2
20	FUJICO CO., LTD.	JP	2
21	WOONGJINCOWAY CO., LTD.|SNU R&DB FOUNDATION|YUN, Seong-Jin	KR	2
22	O.T.A Inc.|SHONAN CERAMICS CO., LTD.	JP	2
23	CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE|UNIVERSITE DE STRASBOURG	FR	2
24	SHIN-ETSU QUARTZ PRODUCTS CO., LTD.	JP	2
25	UNIVERSITY OF FLORIDA	US	2
26	ZEXEL VALEO CLIMATE CONTROL CORPORATION	JP	2
27	CALSONIC KANSEI NORTH AMERICA, INC.	US	1
28	TOKYO PRINTING & EQUIPMENT TRADING CO., LTD.	JP	1
29	CERAFT CO., LTD.	JP	1
30	OSHKOSH CORPORATION	US	1

2) 紫外線系

a. 国内特許調査

調査時の条件を表 7-9 に示す。

表 7-9　調査時の条件（紫外線・国内特許）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 10 日
対象	国内出願
出願日	2000 年以降
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009
キーワード	紫外線

ア）検索結果

合計 970 件

イ）出願年と出願人国

日本国内特許の出願件数は国内プレイヤーからがほとんどを占める。全体の出願件数は2000~2020 年にかけて減少している。

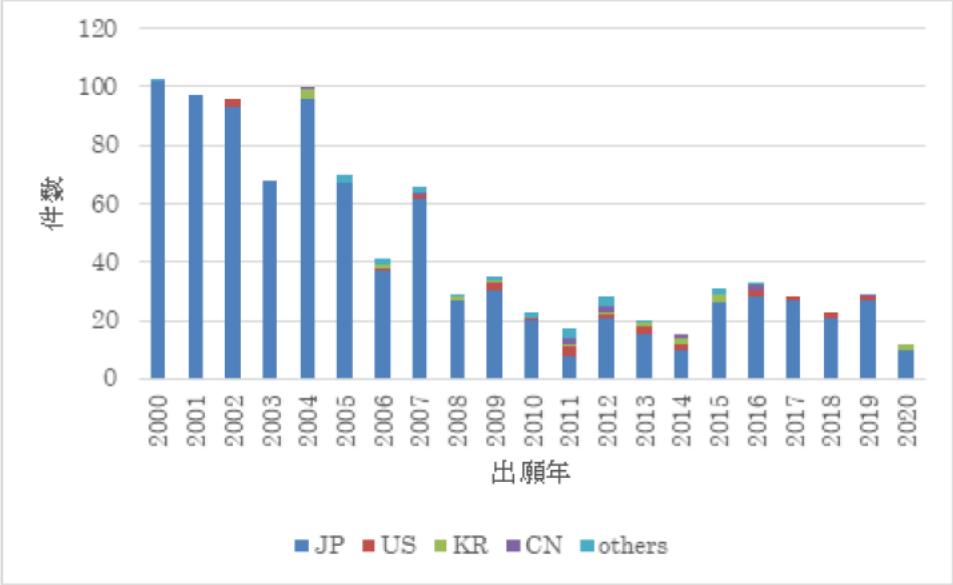


図 7-14　紫外線に関する国内特許出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

紫外線に関する国内の特許出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキングを見ると、27 位の韓国企業以外日本企業が上位に入る。

表 7-10　紫外線に関する国内特許出願の出願人ランキング

	出願人	国	出願件数
1	松下電器産業株式会社	JP	41
2	三洋電機株式会社	JP	28
3	株式会社富士通ゼネラル	JP	27
4	株式会社東芝|東芝マテリアル株式会社	JP	18
5	パナソニック株式会社	JP	17
6	株式会社東芝	JP	16
7	ウシオ電機株式会社	JP	14
8	株式会社デンソー	JP	14
9	株式会社東芝|東芝コンシューマエレクトロニクス・ホールディングス株式会社|東芝ホームアプライアンス株式会社	JP	13
10	東芝ライテック株式会社	JP	12
11	東芝ホームテクノ株式会社	JP	11
12	東陶機器株式会社	JP	10
13	エネフォレスト株式会社	JP	10

	出願人	国	出願件数
14	三菱電機株式会社	JP	10
15	岡谷電機産業株式会社	JP	9
16	株式会社オーク製作所	JP	8
17	小久保　　重昭	JP	8
18	シャープ株式会社	JP	7
19	旭化成株式会社	JP	7
20	株式会社トクヤマ	JP	7
21	株式会社荏原製作所	JP	7
22	株式会社東芝|東芝コンシューママーケティング株式会社|東芝家電製造株式会社	JP	7
23	岩崎電気株式会社	JP	7
24	豊田合成株式会社	JP	7
25	APS ジャパン株式会社	JP	6
26	カルソニックカンセイ株式会社	JP	5
27	ソウル　バイオシス　カンパニー　リミテッド	KR	5
28	ダイキン工業株式会社	JP	5
29	住友電気工業株式会社	JP	5
30	松下冷機株式会社	JP	5

b. 国際特許調査

調査時の条件を表 7-11 に示す。

表 7-11　調査時の条件（紫外線・PCT 出願）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 9 日
対象	PCT 出願
出願日	2000 年以降
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009
キーワード	UV

ア）検索結果

合計 300 件

イ）出願年と出願人国

PCT 出願は 2007 年以降増加傾向にある。日本企業の出願数は少なく、米国がコンスタントに出願数を増やしており、2011 年以降、韓国からの出願が活発化している。

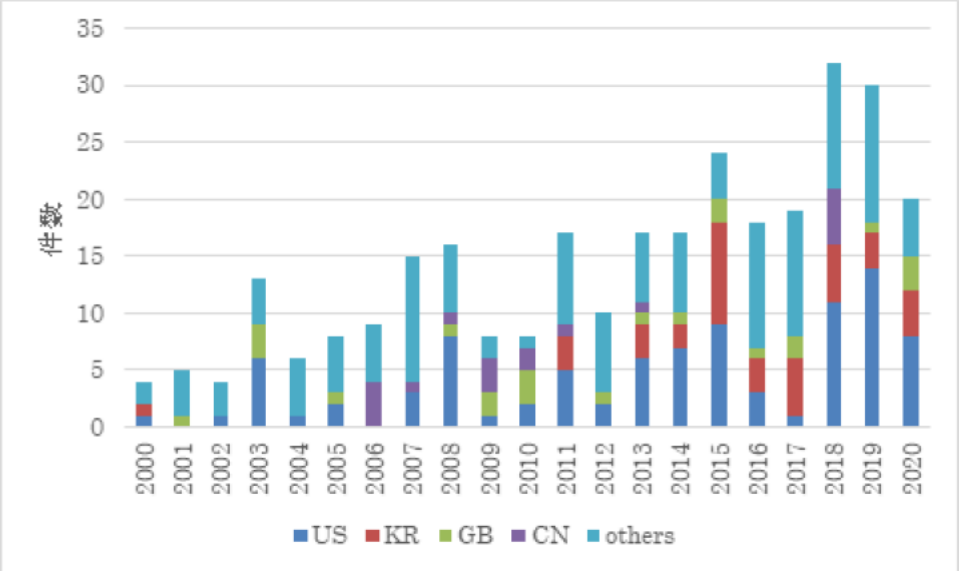


図 7-15　紫外線に関する PCT 出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

紫外線に関する PCT 出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキングを見ると、韓国、米国、中国、と多くの他国企業が上位に入る。

表 7-12　紫外線に関する PCT 出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	SEOUL VIOSYS CO., LTD.	KR	16
2	THE PROCTER & GAMBLE COMPANY	US	5
3	UV PARTNERS, INC.	US	4
4	LIFA AIR LTD	CN	4
5	FIRMENICH SA	CH	4
6	NOVATRON, INC.	US	4
7	72G GROUP LIMITED	CN	4
8	GAMA HEALTHCARE LTD	GB	3
9	TRI-AIR DEVELOPMENTS LIMITED	GB	3
10	SILDERHUIS, Hermannus, Gerhardus, Maria	NL	3
11	FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.	DE	2
12	SPX COOLING TECHNOLOGIES, INC.	US	2

	筆頭出願人	国	出願件数
13	INTERNATIONAL FLAVORS & FRAGRANCES INC.	US	2
14	HUTCHINSON	FR	2
15	STERLING AND WILSON PVT. LTD.	IN	2
16	CAR IN CLEAN CO., LTD.	KR	2
17	KROSNEY, Mark D.	US	2
18	UD INNOVATIONS, LLC	US	2
19	HALDOR TOPSØE A/S	DK	2
20	BLUEMORPH LLC	US	2
21	HANON SYSTEMS	KR	2
22	ATLANTIUM TECHNOLOGIES LTD.	IL	2
23	ANGELINI PHARMA, INC.	US	2
24	EMPIRE TECHNOLOGY DEVELOPMENT LLC	US	2
25	WOONGJINCOWAY CO., LTD.|SNU R&DB FOUNDATION|YUN, Seong-Jin	KR	2
26	OY HALTON GROUP LTD.	FI	2
27	BEAUDOUIN, Jean-Michel	CH	2
28	KIM, Darrick, S.	US	2
29	SCHRODER, Werner	DE	2
30	WEIGL, Lidia	US	2

3) 次亜塩素酸系

a. 国内特許調査

調査時の条件を表 7-13 に示す。

表 7-13　調査時の条件（次亜塩素酸・国内特許）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 11 日
対象	国内出願
出願日	2000 年以降
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009、下位分類含む
キーワード	次亜塩素酸

ア）検索結果

合計 306 件

イ）出願年と出願人国

日本国内特許の出願件数は国内プレイヤーからがほとんどを占める。全体の出願件数は2000~2020 年の間、若干の波はあるが、コンスタントに出願が行われている。

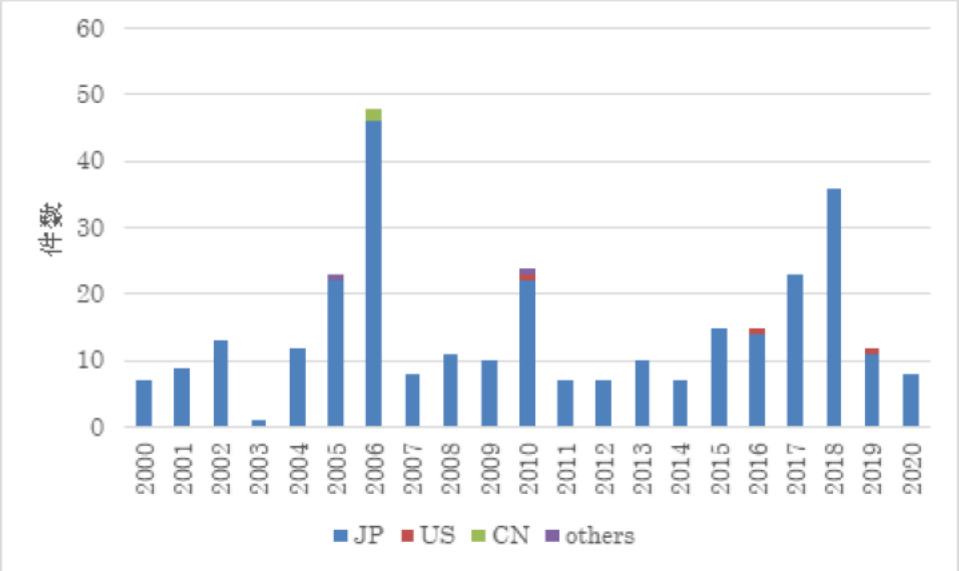


図 7-16　次亜塩素酸に関する国内特許出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

次亜塩素酸に関する国内の特許出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキング上位は、全て日本企業である。中でも、三洋電機株式会社からの出願件数が突出している。

表 7-14　次亜塩素酸に関する国内特許出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	三洋電機株式会社	JP	84
2	パナソニック IP マネジメント株式会社	JP	33
3	キヤノンマーケティングジャパン株式会社	JP	11
4	株式会社東芝	JP	10
5	花王株式会社	JP	6
6	イーエス・テクノロジー株式会社	JP	5
7	石井　義久	JP	5
8	株式会社アクト	JP	5
9	パナソニック株式会社	JP	4
10	株式会社オメガ	JP	3
11	株式会社日本触媒	JP	3
12	株式会社テックコーポレーション	JP	3
13	株式会社ピーズガード	JP	3
14	沖原　正宜	JP	3

	筆頭出願人	国	出願件数
15	松下電器産業株式会社	JP	3
16	株式会社クボタ|クボタ空調株式会社	JP	2
17	株式会社大林組	JP	2
18	本多電子株式会社	JP	2
19	ノーリツ鋼機株式会社	JP	2
20	株式会社双葉マテリアル|株式会社　ナフタック	JP	2
21	株式会社キャタラー	JP	2
22	栗田工業株式会社	JP	2
23	オルガノ株式会社	JP	2
24	有限会社　健康百二十才	JP	2
25	富士電機システムズ株式会社	JP	2
26	株式会社双葉マテリアル	JP	2
27	株式会社丸昇八田	JP	2
28	株式会社トーメーポート	JP	2
29	株式会社敬友|神崎　敬胤	JP	2
30	株式会社荏原製作所	JP	2

b. 国際特許調査

調査時の条件を表 7-15 に示す。

表 7-15　調査時の条件（次亜塩素酸・PCT 出願）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 11 日
対象	PCT 出願
出願日	2000 年以降
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009、下位分類含む
キーワード	Hypochlorous acid

ア）検索結果

合計 23 件

イ）出願年と出願人国

次亜塩素酸に関する PCT 出願件数全数は少なく、多くは日本企業が出願している。

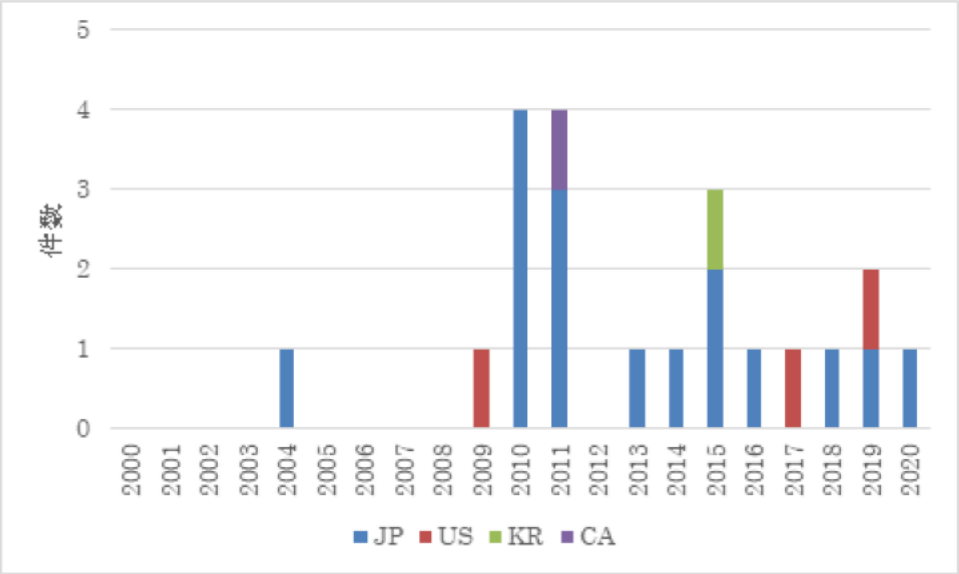


図 7-17　次亜塩素酸に関する PCT 出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

次亜塩素酸に関する PCT 出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキングを見ると、日本を主として、米国、韓国、といくつかの他国企業が出願している。出願件数が突出している企業は見受けられなかった。

表 7-16　次亜塩素酸に関する PCT 出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.	JP	2
2	PANASONIC CORPORATION	JP	2
3	EVATECH corporation	JP	2
4	PED TECHNOLOGIES HOLDINGS, LLC	US	1
5	YAMAMOTO PERFUMERY CO., LTD.	JP	1
6	WATERTECH HOLDINGS, LLC	US	1
7	NIBM CO., LTD.	JP	1
8	LEE, Donghwan	KR	1
9	KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA	JP	1
10	TOKUTAKE MANUFACTURING CO., LTD.|APPLY LIMITED COMPANY|KUBOTA MANUFACTURING CO., LTD.	JP	1
11	JAPAN FLOWER CORPORATION|ISHIBASHI CO., LTD.	JP	1
12	SIRIUS CO. LTD.	JP	1
13	Common Gain Incorporated	JP	1
14	TOYO SEIKAN KAISHA, LTD.	JP	1

	筆頭出願人	国	出願件数
15	PATHOCEPT CORPORATION	CA	1
16	SANYO Electric Co., Ltd.	JP	1
17	DRUG ENHANCEMENT COMPANY OF AMERICA, LLC	US	1
18	PALMER, Craig, R.|CHI, Emil, Y.		1
19	TAKAHASHI, Sanae	JP	1
20	VEETA INC.		1

4) オゾンガス

a. 国内特許調査

調査時の条件を表 7-17 に示す。広く情報を取得するため、キーワードはオゾンガスではなく「オゾン」にて取得。

表 7-17　調査時の条件（オゾンガス・国内特許）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 11 日
対象	国内出願
出願日	2000 年以降
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009、下位分類含む
キーワード	オゾン

ア）検索結果

合計 882 件

イ）出願年と出願人国

日本国内特許の出願件数は国内プレイヤーからがほとんどを占める。全体の出願件数は2000~2020 年の間、減少している。

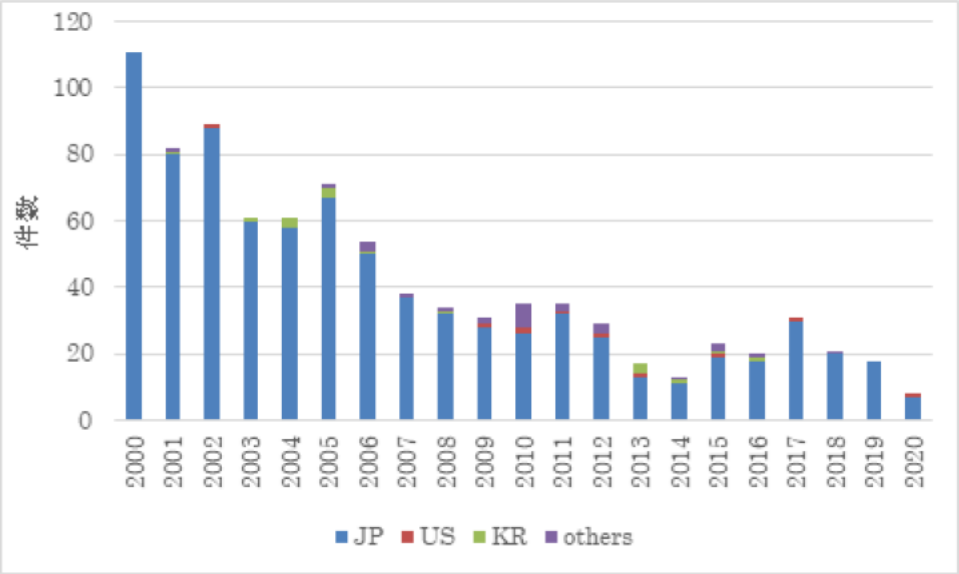


図 7-18　オゾンに関する国内特許出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

オゾンに関する国内の特許出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキング上位は、24 位の韓国企業、27 位の英国企業を除き、全て日本企業である。

表 7-18　オゾンに関する国内特許出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	三洋電機株式会社	JP	47
2	シャープ株式会社	JP	46
3	株式会社東芝	JP	40
4	株式会社富士通ゼネラル	JP	25
5	松下電器産業株式会社	JP	19
6	ウシオ電機株式会社	JP	18
7	パナソニック株式会社	JP	17
8	パナソニック IP マネジメント株式会社	JP	16
9	三菱電機株式会社	JP	14
10	株式会社東芝|東芝コンシューマエレクトロニクス・ホールディングス株式会社|東芝ホームアプライアンス株式会社	JP	13
11	株式会社オーク製作所	JP	12
12	ダイキン工業株式会社	JP	12
13	株式会社東芝|東芝コンシューママーケティング株式会社|東芝家電製造株式会社	JP	12
14	リコーエレメックス株式会社	JP	11
15	東陶機器株式会社	JP	9

	筆頭出願人	国	出願件数
16	高砂熱学工業株式会社	JP	8
17	株式会社デンソー	JP	8
18	株式会社 IHI シバウラ	JP	7
19	東芝ホームテクノ株式会社	JP	7
20	大阪瓦斯株式会社	JP	6
21	トヨタ自動車株式会社	JP	6
22	東洋紡績株式会社	JP	6
23	日置電機株式会社	JP	6
24	三星電子株式会社	KR	6
25	東芝ライテック株式会社	JP	5
26	ミドリ安全株式会社	JP	5
27	ステリトロックス・リミテッド	GB	5
28	日本特殊陶業株式会社	JP	5
29	株式会社ダイレクトジャパン	JP	4
30	株式会社リスクベネフィット	JP	4

b. 国際特許調査

調査時の条件を表 7-19 に示す。

表 7-19　調査時の条件（オゾンガス・PCT 出願）

データベース	Ultrapatent
調査日	2021 年 3 月 11 日
対象	PCT 出願
出願日	2000 年以降
調査対象範囲（母集団）	IPC：A61L-009、下位分類含む
キーワード	Ozone

ア）検索結果

合計 287 件

イ）出願年と出願人国

PCT 出願（2000 年以降）の件数を見ると、米国、日本、韓国、中国のそれぞれからコンスタントに出願が行われていることが分かる。

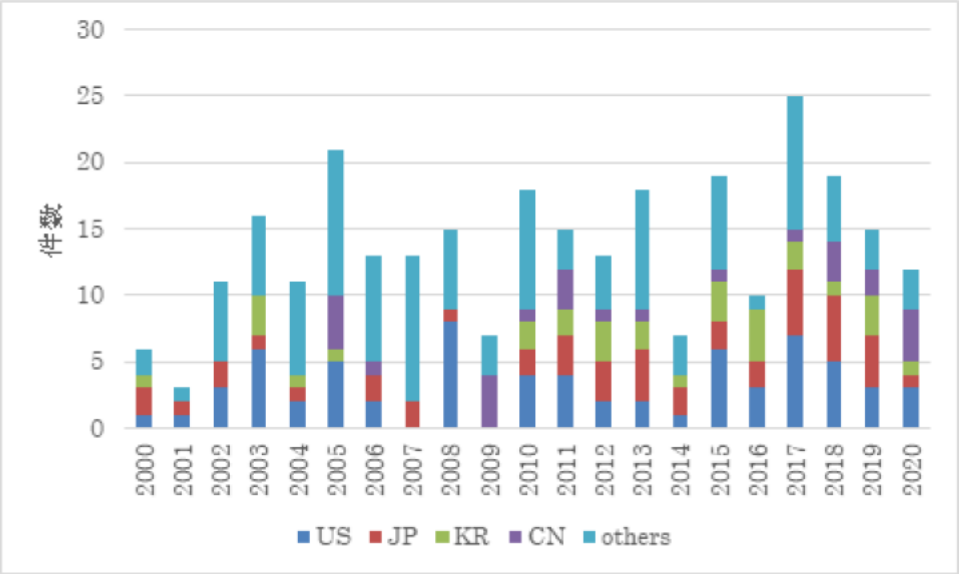


図 7-19　オゾンに関する PCT 出願件数の推移

ウ）出願人ランキング

オゾンに関する PCT 出願（2000 年以降）の筆頭出願人ランキングを見ると、英国、中国、米国、韓国と多くの他国企業が上位に入る。

表 7-20　オゾンに関する PCT 出願の出願人ランキング

	筆頭出願人	国	出願件数
1	USHIO DENKI KABUSHIKI KAISHA	JP	10
2	STERITROX LIMITED	GB	6
3	KATANO KOGYO CO., LTD.	JP	5
4	RHT LIMITED	CN	5
5	SOCLEAN, INC.	US	4
6	TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA	JP	4
7	PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.	JP	3
8	SHARP KABUSHIKI KAISHA	JP	3
9	WELLIS CO. LTD.	KR	3
10	TRI-AIR DEVELOPMENTS LIMITED	GB	3
11	MOVING SUN LIMITED	GB	3
12	SUDO PREMIUM ENGINEERING CO., LTD.	KR	3
13	UV03, INC.	US	3
14	SHANGHAI BIXIUFU ENTERPRISE MANAGEMENT CO., LTD.	CN	2
15	OSHKOSH CORPORATION	US	2
16	DU, Guodong	CN	2
17	UAB "AIRPLUS1 LITUANICA"	LT	2
18	BLUEZONE IP HOLDING LLC	US	2
19	GRN CONSULTANT (HONG KONG) LIMITED	CN	2
20	HÄRKÖNEN, Risto	FI	2

	筆頭出願人	国	出願件数
21	PHU DYTRYCH SP. Z O. O.	PL	2
22	RUKS ENGINEERING LTD.	CA	2
23	PANASONIC CORPORATION	JP	2
24	JINWOO CO., LTD.	KR	2
25	EMPIRE TECHNOLOGY DEVELOPMENT LLC	US	2
26	PROMPT CARE, INC.	US	2
27	BIOZONE SCIENTIFIC INTERNATIONAL OY	FI	2
28	HOOPER, David, M.	US	2
29	AQUA ACTIVE SINGAPORE PTE LTD	SG	2
30	CHEN, Paicheng	CN	2

7.5.3 重要技術と脆弱と考えられる基盤

微生物を制御する方法は幾つか存在するが、その中でも、現在「空間除菌」に利用されている技術は主に光触媒、紫外線、次亜塩素酸、オゾンガスを用いた技術である。

我が国は従来、光触媒の技術においてその基礎的な部材・材料に関する特許を取得しており光触媒分野で優位性を保っていた[159]。しかし、2011 年以降は韓国や中国からの PCT 出願が増加している。この傾向は、1991 年頃より日本が出願してきた特許の存続期間が満了となり、他国が参入しやすくなったことによることも考えられる。光触媒の分野では主な材料として TiO_2 が利用されているが、TiO_2 は安価で加工がしやすいという特徴を持つ。今後も特許存続期間が満了となる特許が増え他国が参入しやすい状況になった際には、チタン原料を全て他国に頼っている上に生産等の人件費がかさみやすい日本は、生産過程に特殊な加工技術が必要とされるなどの制約がない限り、製品の価格競争において不利な立場に置かれる可能性も考えられる[160]。一方、紫外線系技術については、ウシオ電機の「Care222」の技術により日本の優位性が一定期間保たれると想定される。本技術の人体への安全性を担保しているのはコロンビア大学による特定の波長のみを通す特殊なフィルタであり、ウシオ電機はこのフィルタ技術の特許について全世界での独占的な実施権を得ている。人体に直接照射できる紫外線殺菌灯は今まで存在しておらず、公共の場や車中等、今まで想定されていなかった市場が開拓されていくと考えられる。

各技術の経済性（消費者のランニングコスト）及び人体への安全性は以下のとおりプロットされる（図 7-20）。

[159] 渡部俊也、上條由紀子「光触媒技術の国際競争力と海外の研究開発動向」
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/sfj/55/5/55_5_320/_pdf>

[160] 石油天然ガス・金属鉱物資源機構「鉱物資源マテリアルフロー 2017 26.チタン（Ti）」
<http://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2018/03/material_flow2017_Ti.pdf>

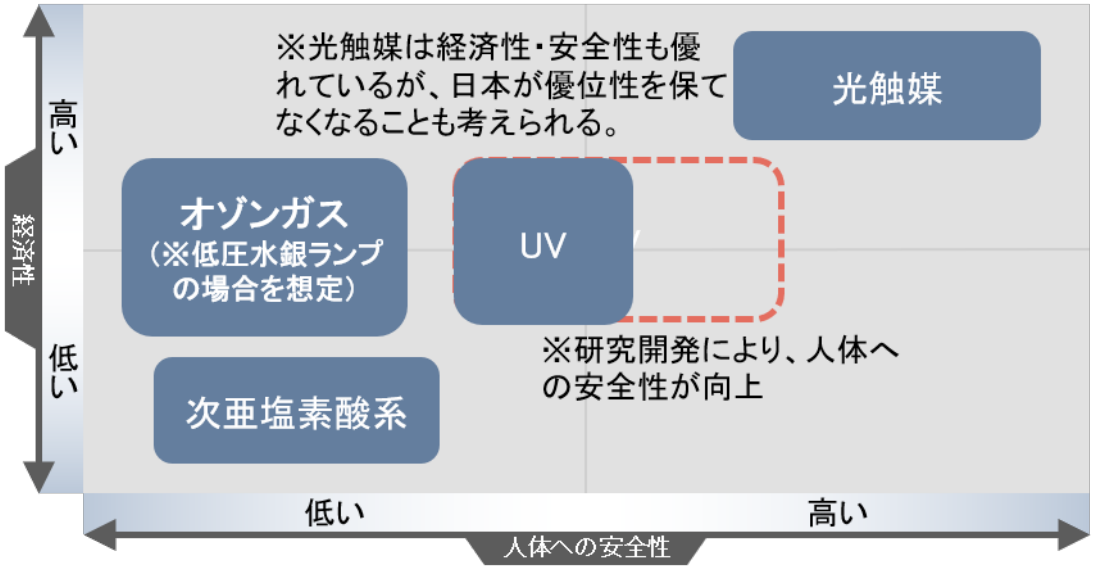


図 7-20　空間除菌装置に使用されている技術の人体への安全性及び経済性

7.6 参考

7.6.1 主要参考文献

- 東レリサーチセンター、「抗菌・防カビ・抗ウイルス」（2015）
- 株式会社テクノシステム「最新の抗菌・防臭・空気質制御技術」（2019）
- 富士キメラ総研、「After／With コロナで期待される内装環境・空間環境における抗ウイルス製品市場の将来展望」（2020）

8. ドローンに関する技術調査

8.1 概要

カウンタードローンを対象として、文献調査、インタビュー調査及び勉強会を実施し、カウンタードローンの技術動向、規制動向、市場動向及び技術保有者の動向について調査を行った。本調査では、カウンタードローンを、テロや犯罪など悪質な目的で利用されるドローンを無効化するための措置全般を指すものとする。

本調査では、まずはドローン技術の特性を整理した上で、カウンタードローン技術の分類と特徴について整理を行った。次いで、諸外国及び我が国におけるカウンタードローンシステムの調査を行い、それぞれのシステムの特徴を整理した。あわせて、カウンタードローンシステムの市場動向、関連技術に係る技術保有者の動向についても調査を行った。

軍が主導してカウンタードローンシステムの開発を進めている諸外国では、高性能レーダ、高性能カメラなどの検知・確認を行う器材とジャミングや撃退を行うための器材を一体化したシステムを保有している。一方、我が国では、需要や規制による制約などにより、空港周辺の警備目的でのカウンタードローンシステムなど、検知、確認から撃退までの一体化したシステムを保有していない。

今後は、AI を用いた画像認識技術の向上などにより、ドローンの自律化が進むことが予想されるため、カウンタードローンシステムとしても自律型ドローンによる脅威に対する新たな対処方策の開発が必要になると推察する。

8.2 背景と目的

近年、ドローン技術の普及により産業向けなど各種応用分野が拡大している一方、悪質なドローンによる脅威も顕在化するようになってきた。諸外国では、例えば、サウジアラビアの石油施設に対するテロ攻撃（2019 年 9 月）などが挙げられる。我が国では首相官邸上空をドローンが飛行し落下した事件（2015 年 4 月）が発生している。

ドローンによる脅威の高まりとともに、カウンタードローンシステムの需要が高まっており、諸外国では、カウンタードローンシステムの各種製品が開発されている。我が国においても 2015 年以降、ドローンに対する規制が強化され、悪質なドローンに対する措置を取ることが可能となり、各種カウンタードローンシステムが導入されている。このように諸外国及び我が国では、カウンタードローンシステムの開発・導入が進められており、脅威の増加と併せてカウンタードローン技術も進化している。

上記を踏まえ、本調査は、カウンタードローン技術の分類と特徴を整理し、諸外国及び我が国におけるカウンタードローンシステムの調査を行い、製品動向とともに市場動向、関連技術に係る技術保有者の動向などを把握することを目的とする。

8.3 調査方法

カウンタードローンの市場動向と主要なプレイヤーを整理し、技術動向について整理を行うため、文献調査、特許調査、勉強会を実施した。

8.3.1 文献調査

書籍などの公開情報による文献調査を行った。

8.3.2 特許調査

特許データベースによる検索を行い、各国の特許保有状況、主要な特許保有者について調査を行った。

8.3.3 勉強会

澤田雅之技術士事務所の澤田雅之事務所長及び一般財団法人先端ロボティクス財団の野波健蔵理事長（千葉大学名誉教授）を講師として勉強会を開催した。

8.4 調査結果

8.4.1 技術動向

(1) ドローンの動向の概要

1) ドローンの分類等

ドローンは遠隔操縦型として登場し、1990 年代～2000 年代にかけて微小電気機械システム（Micro Electro Mechanical Systems：MEMS）等により自律飛行型として発展した。2000 年以降は、GPS 信号の利用や、GPS と慣性航法（Inertial Navigation System：INS）を複合した航法技術も発展した。近年では、5G を利用した運航形態の研究が進んでいる。

ドローンの機体形式としては、回転翼機（シングルロータ、マルチコプタ）、固定翼機、ティルト機及び軽航空機に分類できる。運航形態としては、無線、GPS、自律航法装置（INS）、5G 通信等に分類できる。応用分野としては、産業用及び軍事用に大きく分類できる。ドローンの分類を表 8-1 に示す。

表 8-1　ドローンの分類

分類	概要
機体形式	✓ 回転翼機（シングルロータ、マルチコプタ） ✓ 固定翼機 ✓ ティルト機 ✓ 軽航空機
運航形態	✓ RF：無線周波数を利用 ✓ GPS：衛星測位システムを利用 ✓ INS：自律航法システムを利用 ✓ 5G：次世代ネットワークを利用 ✓ その他：上記の組合せ
応用分野	✓ 産業用：農林水産業、土木・建設（測量等）、空撮、搬送物流（輸送等）、防犯監視、点検、倉庫・工場（設備点検等）、計測・観測、損害保険（事故や災害時の状況把握等）、エンタテイメント（ホビー等）、通信基地局としての利用、公共（状況把握、捜索等） ✓ 軍事用：偵察、戦闘、訓練標的としての利用

（出所）特許庁「平成 30 年度特許出願技術動向調査報告書」（平成 31 年 2 月）を基に作成

ドローンの用途は、GPS 機能を有さない「ホビー型」、 GPS 機能を有しセンサ等の機能を付加した「汎用型」、 GPS 機能及び各種センサ等により拡張性を高めた「産業・業務用型」に分類できる。ドローンの適用分野ごとに、ドローンの用途、機体形式及び運航形態は異なる。適用分野ごとのドローンの用途、機体形式及び運航形態の整理結果を図 8-1 に示す。



図 8-1　適用分野ごとのドローンの用途、機体形式及び運航形態の整理結果

（出所）特許庁「平成 30 年度特許出願技術動向調査報告書」（平成 31 年 2 月）を基に作成

図に示すとおり、ドローンの適用分野（産業用、軍事用）は多岐にわたり、それぞれの分野に対して様々なドローンが活用される。ドローン技術の進展に伴い、産業及び軍事の適用分野は今後も拡大することが予想される。次項では、ドローンの操縦方式の整理を行う。

2) ドローン技術の分類

ドローンに関連する技術は大きく、機体と運用・管理に分類でき、運用・管理はさらに無人機管制と飛行支援装置に分類できる。ドローン技術の中で特に重要となる機体の飛行制御は、飛行中及び着陸時に行い、飛行中には航路制御、姿勢制御、編隊・群体飛行制御、衝突回避、自己位置推定（SLAM[161]）、放送型自動従属監視（ADS-B[162]）、航空機衝突防衛装置（ACAS[163]）の制御技術を利用する。ドローン技術を飛行のプロセスごとに整理した結果を図 8-2 に示す。

---

161 Simultaneous Localization and Mapping の略であり、画像認識技術により位置特定及び地図作成を同時に行う技術を指す。

162 Automatic Dependent Surveillance-Broadcast の略であり、航空機側が自身の位置等を地上側に自発的に通知する技術を指す。

163 Airborne Collision Avoidance System の略であり、衝突リスクを事前に検知し、操縦者に知らせる技術を指す。

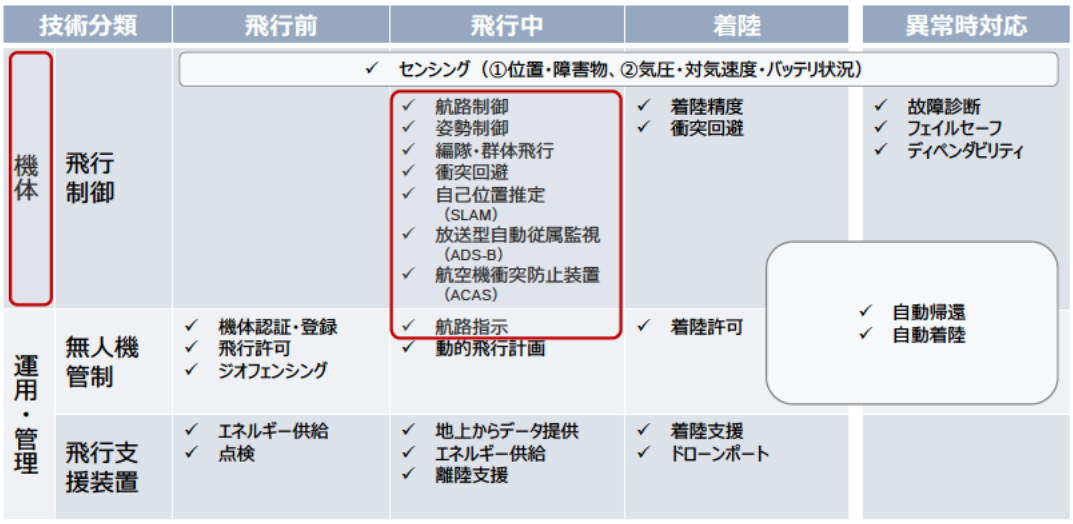


図 8-2　ドローン技術の整理結果

（出所）特許庁「平成 30 年度特許出願技術動向調査報告書」（平成 31 年 2 月）を基に作成

ドローンの飛行制御には、特に飛行中の制御（図中赤枠）が重要となり、飛行しているドローンの侵入阻止には、機体及び飛行中の制御に対する措置が有効となる。カウンタードローンの技術動向を次項において説明する。

(2) カウンタードローンの技術動向

ドローンの侵入を阻止するためには、侵入した物体を検知し、ドローンであることを確認し、ドローンを撃退する必要がある。ドローン阻止のプロセスを図 8-3 に示す。



図 8-3　ドローン阻止のプロセス

カウンタードローンは上記のプロセスごとに対処の方式が異なる。カウンタードローンの方式の体系を図 8-4 に示す。

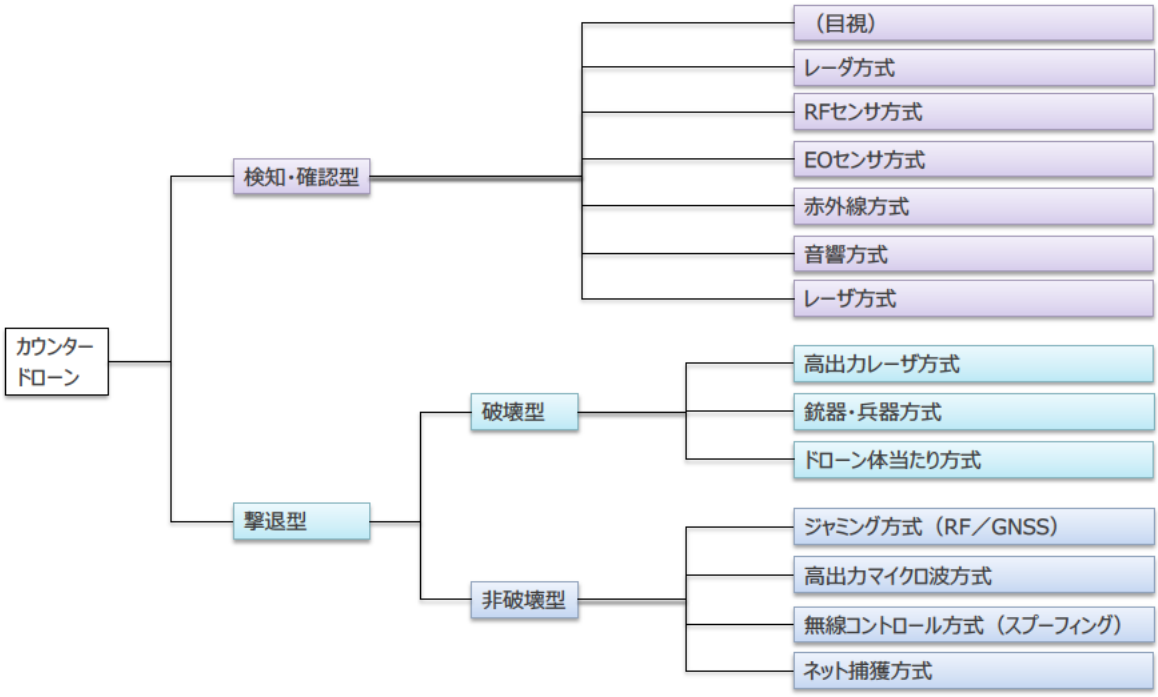


図 8-4　カウンタードローンの方式の体系

カウンタードローンは大きく、検知・確認型と撃退型に分類できる。撃退型はさらに破壊型及び非破壊型に分類できる。細部について以下で説明する。

1) レーダ方式（検知・確認型）

レーダ方式による検知・確認は、電波の反射波を測定することで、対象物までの距離や方向を測る方法である。この方法は昼夜に関わらず使用可能であり、送信パワー次第で 100m～数 km の範囲において、ドローンの探知・確認が可能である。使用するレーダに 3 次元レーダを用いる場合には、方位・高度・距離についても判別することが可能である。ただし、探知した飛行物体が鳥かドローンかという区別は困難となっている。

2) RF センサ方式（検知・確認型）

電波（Radio Frequency：RF）センサ方式による検知・確認は、無線操縦用電波からドローンの位置を特定する方法である。ドローンは飛行時に、ドローンから送信するテレメトリ情報・画像伝送用の電波と、ドローンが受信するドローン操縦制御や GPS 測位用の電波を利用しており、RF センサ方式による方法では、これらのコントロール・テレメトリ電波を利用して位置を推定する。本方法は昼夜に関わらず使用可能である、受信アンテナ次第で数 km の範囲においてドローンの探知・確認が可能である。また、事前解析した機種に関しては、現在位置・飛行方向・飛行速度等も把握することができる。コントロール・テレメトリ電波を利用したドローン検知システムには、東京エレクトロニックや日本電気等の製品がある。

3) EO センサ方式（検知・確認型）

電気光学（Electro-Optic：EO）センサによる検知・確認は、高性能なビデオカメラによりドローンを探知・確認する方法である。この方法は光を利用する特性上、日中のみで使用されるが、数 km の範囲においてドローンの探知・確認をすることが可能である。

4) 赤外線方式（検知・確認型）

赤外線方式による検知・確認による検知・確認は、あらゆる物体がその温度差に応じて発する赤外線を可視化してドローンを探知・確認する方法である。この方法は昼夜に関わらず使用可能であり、数 km の範囲においてドローンの探知・確認をすることが可能である。海外では、FLIR 等の製品[164]があり、同社の製品では赤外線でドローンを検出し、ジャミング等と組み合わせて撃退することが可能になっている。

5) 音響方式（検知・確認型）

音響方式による検知・確認は、ドローンから発せられる音がどの方向から到来しているのかを推定する方法である。この方法は昼夜に関わらず使用可能であり、数百 m の範囲で、音響解析により方位・高度を判別する。しかし、ドローンと電車・自動車・ヘリコプタ等との音による区別は困難である。

6) レーザー方式（検知・確認型）

レーザー方式は、照射したレーザーについて、対象から反射したレーザーを受光して、照射から受光までの時間を計測して距離を測定する方式である。

7) 高出力レーザー方式（破壊型）

高出力レーザー方式による対処には、地上からレーザーで攻撃する方法と、ドローンに搭載したレーザーにより空中から攻撃する方法がある。日本では、防衛省が車両搭載型の高出力レーザーによる対処を検討している。本検討は、2018 年度から開始されており、2024 年度の実用化を目指している。2021 年度からは、高い出力とともに車両の搭載用に小型化することの両立を目指し、実証実験を開始する予定とされる[165]。

8) 銃器・兵器方式（破壊型）

銃器・兵器方式による対処は、地上から射撃し飛行するドローンを撃墜する方法である。海外では、Rheinmetall Air Defence AG の製品等がある。本製品は地上から発射した散弾型の弾頭により、標的のドローンを撃墜する。

---

[164] FLIR Systems, Inc.,“FLIR Solutions for Unmanned Aerial System”＜https://www flir.com/suas/＞

[165] 防衛省「研究開発ビジョン　多次元統合防衛力の実現とその先へ　2019 年」
＜https://www mod.go.jp/atla/soubiseisaku/vision/rd_vision_full.pdf＞

9) ドローン体当たり方式（破壊型）

ドローン体当たり方式による対処は、違法ドローンにカウンタードローン用のドローンが体当たりして衝突する方法である。海外では、AerialX が不審ドローンをロケット型のドローンで撃ち落とす、「DRONEBULLET」という製品を開発している[166]。本製品は AI を活用したマシンビジョンにより不審なドローンを把握し、追尾する。

10) ジャミング方式（非破壊型）

ジャミング方式による対処は、物理的手段ではなく電波を用いてジャミングを行い、飛行停止等をさせる間接的な方法である。この方法は、地上または飛行するドローンから、無線デバイスを使用してジャミングを行い、数 km の範囲において飛行するドローンに対して操縦用電波及び GPS 測位用電波の受信妨害を行う。

11) 高出力マイクロ波方式（非破壊型）

高出力マイクロ波方式による対処は、対象となるドローンに対して電磁波の一種であるマイクロ波を照射することで、ドローンの電子回路を破壊して撃墜する方法である。日本では、防衛省がドローン対策として、高出力マイクロ波でドローンの電子回路を破壊する技術を研究開発している。高出力マイクロ波を照射する装置は小型化が難しいため、艦艇等への搭載が想定されている。

12) 無線コントロール方式（スプーフィング）（非破壊型）

無線コントロール方式（スプーフィング）による対処は、物理的手段ではなくスプーフィングを行い、飛行停止、進路変更、飛行空域移動等をさせる間接的な方法である。この方法は、地上または飛行するドローンが受信する操縦用電波と GPS 測位用電波についてスプーフィング（なりすまし）を行い、標的ドローンの飛行停止、進路変更、飛行空域移動等を行う。

13) ネット捕獲方式（非破壊型）

ネット捕獲方式による対処は、地上からネット砲により対処する方法とドローン捕獲ドローンを用いてネットで捕獲する方法がある。ネット砲の射程は 10～20m のもの、100～300m のものがあるといわれる。

ネット砲を用いる方法の例には、OpenWorks Engineering が開発した「SkyWall Patrol」が挙げられる[167]。本製品はネットによりドローンを捕獲し、ネットに附属するパラシュートにより捕獲したドローンを破損させず着陸させる。日本では、警視庁がネットを装着した迎撃ドローンにより不審なドローンを捕獲する方式を採用している。この方式では、直径約 1m の大型ドローンがつり下げる縦 3m×横 2m のネットを用いて、不審ドローンを空中でから

---

166 AERIALX,“DRONEBULLET”＜http://aerialx.com/dronebullet/＞

167 OpenWorks Engineering,“SkyWall Patrol”＜https://openworksengineering.com/skywall-patrol/＞

め取る。

(3) 技術動向のまとめ

ドローンは産業用途としての活用範囲が広がっており、AI を用いた画像認識技術の進化により、ドローンの自律化が進んでいる。自律化により、個々の操縦が不要となり、複数機のドローンを扱う群制御技術の発展などが脅威となる見込みである。また、5G を用いたドローンの飛行は、これまでにない範囲での操縦及び耐ジャミング性能を有することになり、大きな脅威となる可能性が高い。技術の進化によるドローンの脅威は今後も増大するため、カウンタードローン技術の継続的な開発が今後も求められる。

カウンタードローンは、撃退型、検知・確認型に分類でき、撃退型を破壊型と非破壊型に分類できる。カウンタードローンシステムとしては、目的や環境条件等に応じて、適切な方式を選択する必要がある。

8.4.2 市場動向

(1) 世界の動向

カウンタードローンの世界市場動向について示す。

国家の重要施設やインフラ等に対するドローンからの防護は今後も重要であり、防衛関連の需要を中心に、政府関連の需要も今後の伸びが期待できる。

以下では、主要プレイヤーの製品について概要を示す。主要プレイヤーとして、主な地域での上位の企業である、米国の Lockheed Martin、SRC、欧州の Leonardo（イタリア）、Airbus Defence and Space（ドイツ）、ロシアの Lokmas、IEMZ Kupol、中国の Jiangsu Digital Eagle Technology、Poly technology の製品概要を以下に示す。

1) Lockheed Martin

Lockheed Martin は、レーダによるドローン検知、高出力レーザーによるドローン破壊、RF センサによるドローンの検知及び無効化を行う The Advanced Test High Energy Asset（ATHENA）システムを開発している。本システムは、レーダにより検知したドローンを指揮統制システムに表示し、ドローンの追尾、識別を行い、高出力レーザー等による対処を行う。

【高出力レーザー】

高出力レーザーは、指揮統制システムから指示を受けた目標に対して、モジュール化された 60kW の高出力レーザーを照射して、ドローンの物理的破壊を図る。

【ICARUS システム（RF センサ）】

ICARUS システムは、ドローンから受信した電波を解析し、対処すべきドローンに対する電子的な攻撃によりドローンの無効化を図る。

【Q-63 レーダ】

Q-53 レーダは、ドローンを監視し、ドローンの検知後、連接する指揮統制システムに目

標情報を送信し、ドローンの追尾、識別を行う

2) SRC

SRC は、レーダによるドローン検知、EO/IR カメラによる確認、電子戦システムによる戦闘支援を行う Silent Archer を開発している。本システムは、レーダ及び EO/IR カメラにより検知・確認したドローンを指揮統制システムに提供し、ドローンの追尾、識別を行う。

【空中レーダ】
空中監視レーダは、ドローンを検知、追尾、類別を行うためのレーダであり、固定型、可搬型、車両搭載型の型式を選択することができる。

【電子戦システム】
電子戦システムは、ドローンが利用する電波を妨害するためのソフトウェア無線機である。

【方向検知センサ】
方向検知センサは、ドローンから発生せられる電波を検知し、ドローンの飛行する方向を検出する。

【EO/IR カメラ】
EO/IR カメラは、レーダにより検知したドローンを短時間で識別・確認する。識別した目標については自動で追尾を行い監視要員の負担を軽減する。

【ユーザーディスプレイ】

検知したドローンを 3D 画面上に表示する。

3) Leonardo

Leonardo は、EO カメラによる検知・確認を行う NERIO-LR を開発している。本製品は、EO カメラによりドローンを含む航空機を 70km の範囲で検知、40km の範囲で認識、20km の範囲で特定する

4) Airbus Defence and Space

Airbus Defence and Space は、レーダによるドローン検知、EO/IR カメラ、RF センサ等により確認する統合ソリューションとして Counter UAV System を開発している。本製品は 5～10km を対象に機能し検知したドローンの操縦を妨害する [168]

[168] Airbus Defence and Space,“Counter-UAV System from Airbus Defence and Space protects large installations and events from illicit intrusion”＜https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2015/09/counter-uav-system-from-airbus-defence-and-space-protects-large-installations-and-events-from-illicit-intrusion html＞

5) Lokmas

Lokmas は、ジャマーによるドローン対処する PARS-P という製品を開発している

6) IEMZ Kupol

IEMZ Kupol は、レーダによりドローンを検知し、銃器・兵器により対処する TOR short-range air defense system を開発している。本製品は全天候型の地対空ミサイルによる防空システムにより検知したドローンを撃墜する。ロシアは、このような小型ドローン向けにコストの低いミサイルを開発しているとされる。

7) Jiangsu Digital Eagle Technology

Jiangsu Digital Eagle Technology は、ジャマーによるドローン対処を行う QR-07S3, QR-MINI, QR-12 といった製品を開発している。QR-07S3 は携行型ジャマーであり、1,500m の範囲を対象に機能する [169]。

QR-MINI は、小型のジャマーで 1,500m の範囲を対象に機能する。

QR-12 は、飛行するドローンを検知し、ジャミングする装置で 8 ㎞の範囲を対象に機能する [170]。

8) Poly technology

Poly technology は、EO センサによりドローンを検知し、レーザーにより対処する Silent Hunter という製品を開発している。本製品は車両等の搭載で使用し、200～4,000m の範囲で検知し 2m 以下、かつ秒速 60m の機体を対象に機能する [171]。

(2) アジア圏の動向

アジア圏のカウンタードローンシステムの動向について示す。

アジア圏では、中国の Jiangsu Digital Eagle Technology や Poly technology がカウンタードローンシステムを製造しており、中国企業の売上が今後も伸びることが予想される。

国内メーカについては、主に従来の航空機や防衛用のレーダや探知技術を応用する形で開発が進められている。また、警備用途のために自社開発している事例もある。（例：セコム）

---

[169] Digital Eagle“QR-07S3 Anti Drone Jammer Gun”＜
https://www.digitaleagle-uav.com/qr-07s3-anti-drone-jammer-gun html＞

[170] Digital Eagle“QR-12 Drone Detection and Jamming System”＜
https://www.digitaleagle-uav.com/qr-12-drone-detection-and-jamming-system html＞

[171] Globaldroneuav,“Silent Uunter Anti Drone Laser Weapon Developed”＜
https://globaldroneuav.com/Product/Silent-Uunter-Anti-Drone-Laser-Weapon-Developed-8367.html＞

表 8-2　日本市場における主要プレイヤー・製品一覧

	企業名	製品種別	製品名	概要
1	東芝エレクトロニックシステムズ	検知/受信＋カメラ	ドローン検知システム	電波監視によるドローン検知システム
2	日立製作所	検知/レーダ	ドローン検知システム	レーダを用いて不審なドローンを検知
4	三菱電機	検知/受信/ジャミング	電波探知妨害装置	ドローンの電波を探知し、ジャミングで阻止する装置
5	セコム	検知/カメラ	セコム・ドローン検知システム	ドローンをレーダで探知し、音と映像で確認する装置
6	パナソニック システムネットワークス	検知/カメラ/音響センサ	ドローン検知システム	集音アレイマイクで飛行音の方位を探知し、カメラで目視確認

1) 東芝エレクトロニックシステムズ

東芝エレクトロニックシステムズは、電波監視によるドローン検知システムを提供している。本システムは、ドローンが発する電波を検知し、監視制御端末に情報を伝達し、カメラによる監視映像を提供する。

【受信部】
ドローンから発射される電波を受信部（RF センサ）で自動検知し、電波の発信元を方位角、仰俯角の方向で測定する。

【カメラ】
ドローンの検知後、カメラで撮影した背景画像と、ドローン検知情報を合成し、監視制御端末に伝送する。カメラは複数台設置することにより全方位監視を図っている。

【監視制御端末】

ドローン検知後、カメラが合成した映像情報を表示するとともに、ドローンの到来方向を地図上に表示する。

2) 日立製作所 [172]

日立製作所は、レーダを用いて不審なドローンを検知する装置を提供している。本装置は

[172] 株式会社日立製作所「不審なドローンを迅速に発見するドローン検知システムを提供開始」
＜http://www hitachi.co.jp/New/cnews/month/2017/10/1006.pdf＞

レーダによるドローンの検知情報からカメラを用いて、ドローンを追尾することで、ドローンの状況をリアルタイム映像で確認することができる。

本装置は地図ソフトウェアと連携しており、不審なドローンの侵入経路や検知位置、映像などを地図ソフトウェア上に表示することができる。これにより、障害物によるレーダ、カメラの死角の再現や、ドローンの想定航路に対する検知状況のシミュレーションが可能となっている。

本装置はレーダ、カメラ、操作端末等から構成される。本装置のレーダ及びカメラ等の構成品は小型軽量であり、少人数かつ短時間での設置・運用・撤収が可能となっている。

3) 三菱電機 [173]

三菱電機はドローンの電波を探知し、ジャミングで阻止する装置を提供している。本装置は、ドローンが放射する電波を捉え遠距離で探知し、ジャミングによる通信妨害を行う。探知・妨害覆域は頂角 45 度の円錐状の空間であり、距離は最大で 3 ㎞である。

本装置は空中線部、送受信部、操作部から構成される。空中線部は指向性を持ち、ドローンの探知や妨害を行う。送受信部は受信信号の信号処理及び送信信号生成する。操作部は、ドローンの探知情報を表示するとともに、妨害電波の操作及び発射を行う。

4) セコム [174]

セコムは、ドローンをレーダで探知し、音と映像で確認する装置である、「セコム・ドローン検知システム」を提供している。本装置は、直径約 50cm 以上のドローンを対象としている。こうしたドローンが、重要施設等の監視対象の半径 100m 以内に接近した際に、レーダで自動的に検知する。

レーダで検知した場合、飛行物体の方向及び距離が監視卓に表示される。同時に、3D 指向性マイクにより、レーダで検知した方向の音を集音するとともに、近赤外照明付高速パンチルトズームカメラがライブ映像を表示する。

「セコム・ドローン検知システム」は、レーダ、3D 指向性マイク、近赤外照明付高速パンチルトズームカメラから構成される [175]。

5) パナソニック システムネットワークス [176]

パナソニック システムネットワークスは、ドローンを音響センサで探知し、映像で確認する装置である、「ドローン検知システム」を提供している。本装置は、32 個のマイクを

---

173 三菱電機株式会社「電波探知妨害装置」＜
https://www.giho mitsubishielectric.co.jp/giho/pdf/2019/1902110.pdf＞

174 セコム株式会社「接近してくるドローンを検知『セコム・ドローン検知システム』を発売　早期の侵入検知で迅速な対応を支援」＜https://www.secom.co.jp/corporate/release/2015/nr_20160114 html＞

175 阿部幸司「空の監視サービス」『通信ソサイエティマガジン』No.39 冬号，電子情報通信学会， 2016 年＜https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/10/3/10_150/_pdf＞

176 パナソニック株式会社「約 300m 先のドローンを飛来音で検知　ドローン検知システムの受注を開始」＜https://news.panasonic.com/jp/press/data/2016/03/jn160304-1/jn160304-1 html＞

円形に配置したマイクアレイ構成の「集音マイク」により、ドローンの飛来音を約 300m 先から検知することを可能にしている。

本装置は、「ヒートマップ機能」により設置場所の騒音環境を視覚的に把握する機能を有している。また、検知対象区域以外を検知エリアから除外することで、収集する音響情報のノイズの影響を低減している。

音検知センサ及びカメラ等のセンサ・カメラ部と、映像・PC 用モニター及び信号処理・カメラ制御端末等の運用端末部から構成される。センサ・カメラ部は、32 チャンネルマイクアレイ構成の集音マイクと、全方位カメラに加え、昼夜に対応した旋回・ティルト、光学 30 倍のズームが可能な監視カメラと連携することで、集音マイクで検知したドローンを映像で確認することができる。

(3) 市場動向のまとめ

カウンタードローンの需要は今後も高まることが予想され、諸外国では多くのカウンタードローンシステムが開発、製造されている。諸外国では、軍が主導しているため、遠距離でのドローン検知から撃墜までの対処が一体化しているシステムが多い。一方、我が国のシステムは、警察等が主導して対応することとなるため、撃退能力については諸外国と比較して限定的な能力となっている。

8.4.3 技術保有者の動向

特許分析によって技術保有者を調査し、主要な技術保有者の概要を整理した。

(1) 特許分析

日本、国際（PCT）、米国、中国について PNT システムの特許分析（2021 年 2 月時点）を行った。全体傾向としては以下のとおりである。

各特許出願先の総出願数では、中国が最も多く、米国、PCT、日本の順であるが、出願数はいずれも 2015 年以降から確認することができ、全体的に出願数は限定的である。総出願数が最多の中国特許での出願人国は中国のみである。

1) 国内特許

a. 検索結果

出願先	日本国特許
公開	公開
件数（F41H）	4（2）

b. 出願年と出願人国

カウンタードローン技術の出願数は限定的である。米国からの出願を確認することができる。

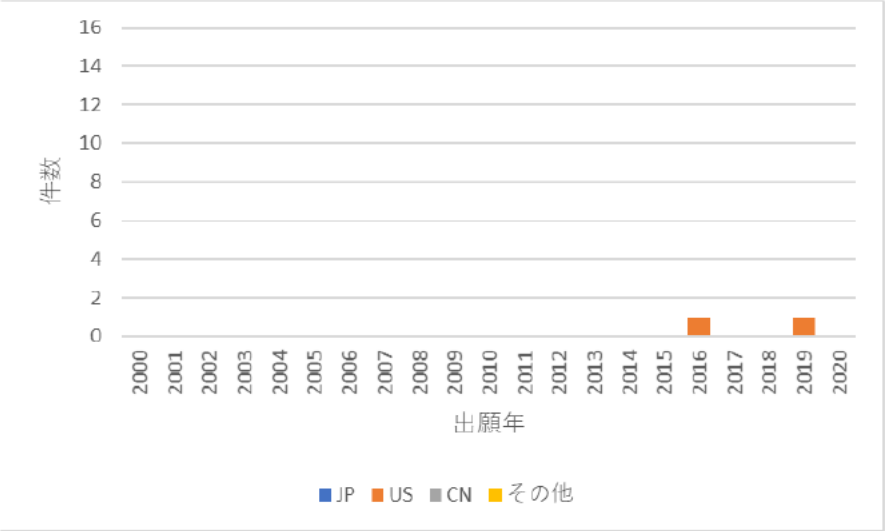


図 8-5　国内特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

B（処理操作；運輸）、F（機械工学；照明；武器）、G（物理学）、H（電気）等が主となっている。

表 8-3　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
B64C	飛行機 ヘリコプタ	2
F41H	装甲 装甲砲塔 装甲車両 武装車両 攻撃 防御の手段一般，例．偽装一般	2
G06F	電気的デジタルデータ処理	2
A01M	動物の捕獲，わな猟，　威嚇	1
B63B	船舶 その他の水上浮揚構造物 艤装品	1
G05D	非電気的変量の制御 調整系	1
G06Q	管理目的，商用目的，金融目的，経営目的，監督目的 予測目的に特に適合したデータ処理システム 方法 他に分類されない，管理目的，商用目的，金融目的，経営目的，監督目的 予測目的に特に適合したシステム 方法[ipc8]	1
G08B	信号 呼出し装置 指令発信装置 警報装置	1
H04W	無線通信ネットワーク	1
H05F	静電気 自然に発生する電気	1

d. 特許出願状況

特許出願状況では、米国企業である、デパートメント　13，インコーポレイテッドから出願を確認することができる。

表 8-4　出願者上位

出願者	件数
デパートメント　13，インコーポレイテッド	2

2) 国際出願（PCT）

a. 検索結果

出願先	PCT 出願（重複除去）
件数（F41H）	11（5）

b. 出願年と出願人国

カウンタードローン技術は、数は限定的であるものの、米国以外にその他の国からの出願を確認することができる。

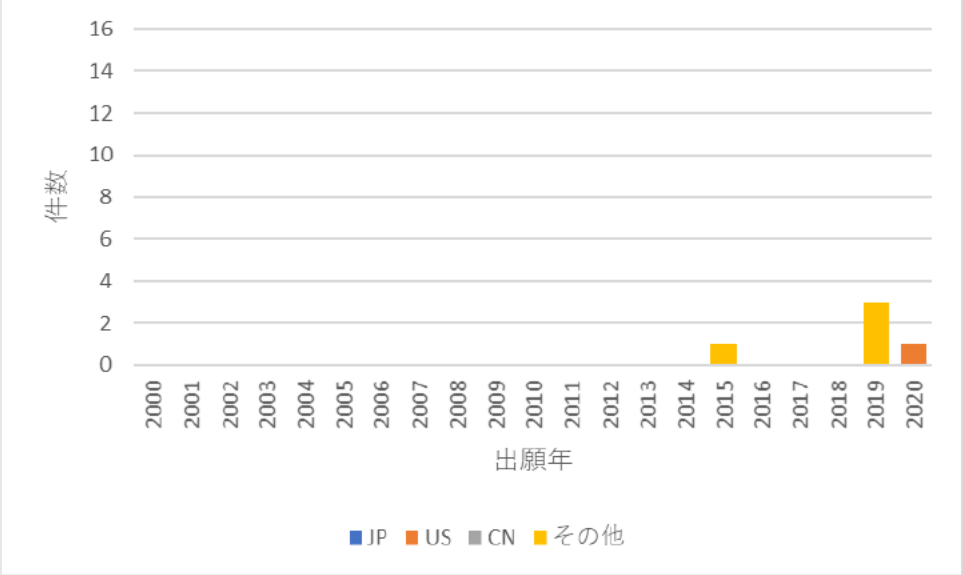


図 8-6　PCT の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

B（処理操作；運輸）、F（機械工学；照明；武器）、G（物理学）、H（電気）等が主となっている。

表 8-5　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
F41H	装甲 装甲砲塔 装甲車両 武装車両 攻撃 防御の手段一般，例．偽装一般	5
B64C	飛行機 ヘリコプタ	3
F41B	爆発性 燃焼性推進装薬を用いない飛しょう体発射用武器 他に分類されない武器	2
F42B	装薬，例．爆破用 煙火 弾薬	2
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	2
G08G	交通制御システム	2
B64D	航空機の装備 飛行服 パラシュート 動力装置 推進伝達機構の設備 装置	1
F41G	武器用照準器 照準合わせ	1
G05D	非電気的変量の制御 調整系	1
G06T	イメージデータ処理 発生一般	1
H04B	伝送	1
H04K	秘密通信 通信妨害	1
H04N	画像通信，例．テレビジョン	1

d. 特許出願状況

特許出願状況では、ADVANCED MATERIAL ENGINEERING PTE LTD（SG）等の企業から出願を確認することができる。出願人国は、米国、シンガポール、ドイツとなっている。

表 8-6　出願者上位

出願者	件数
ADVANCED MATERIAL ENGINEERING PTE LTD	2
ANDURIL INDUSTRIES INC.	1
RHEINMETALL LANDSYSTEME GMBH	1
DIEHL BGT DEFENCE GMBH & CO. KG	1

3) 米国特許

a. 検索結果

出願先	米国特許
公開	公開
件数（F41H）	17（8）

b. 出願年と出願人国

カウンタードローン技術は、2016 年から確認することができる。出願人国は主に米国である。

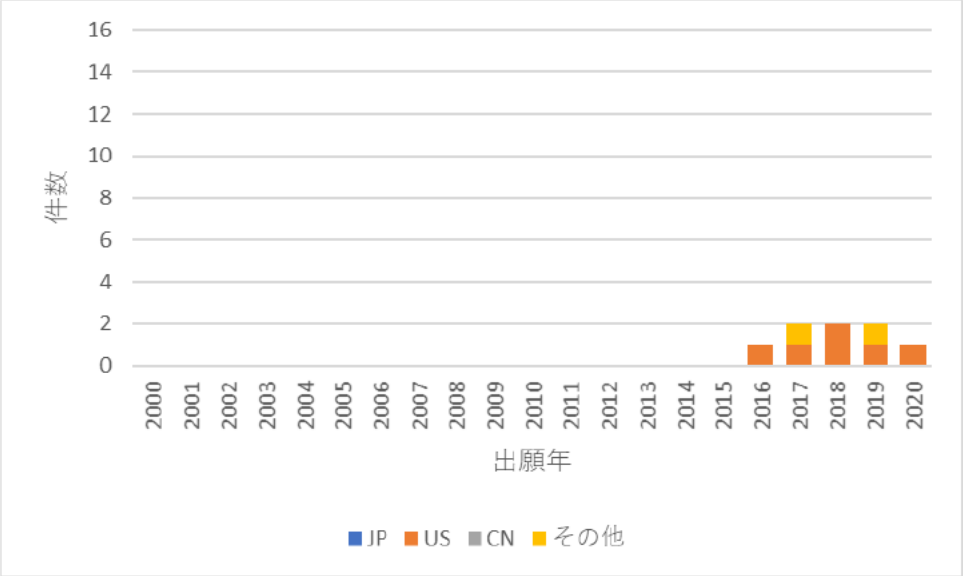


図 8-7　米国特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

B（処理操作；運輸）、F（機械工学；照明；武器）、G（物理学）、H（電気）等が主となっている。

表 8-7　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
B64C	飛行機 ヘリコプタ	9
F41H	装甲 装甲砲塔 装甲車両 武装車両 攻撃 防御の手段一般，例. 偽装一般	8
H04W	無線通信ネットワーク	6
F42B	装薬，例. 爆破用 煙火 弾薬	4
G05D	非電気的変量の制御 調整系	4
G08G	交通制御システム	4
B64F	地上設備 航空母艦の甲板上の設備	3
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	3
H04K	秘密通信 通信妨害	3

d. 特許出願状況

特許出願状況では、Raytheon BBN Technologies Corp.、Anduril Industries Inc.、The United States of America, as represented by the Secretary of the Navy、IXI Technology といった米国の企業に加え、Diehl Defence GmbH & Co. KG（DE）、ADVANCED MATERIAL ENGINEERING PTE LTD（SG）といった企業から出願を確認することができる。

表 8-8　出願者上位

現所有者	件数
Raytheon BBN Technologies Corp.	1
Diehl Defence GmbH & Co. KG	1
Anduril Industries Inc.	1
The United States of America, as represented by the Secretary of the Navy	1
ADVANCED MATERIAL ENGINEERING PTE LTD	1
IXI Technology	1

4) 中国特許

a. 検索結果

出願先	中国特許
公開	公開
件数（F41H）	94（41）

b. 出願年と出願人国

カウンタードローン技術は、2016 年以降に出願を確認することができる。出願人国は何れも中国である。

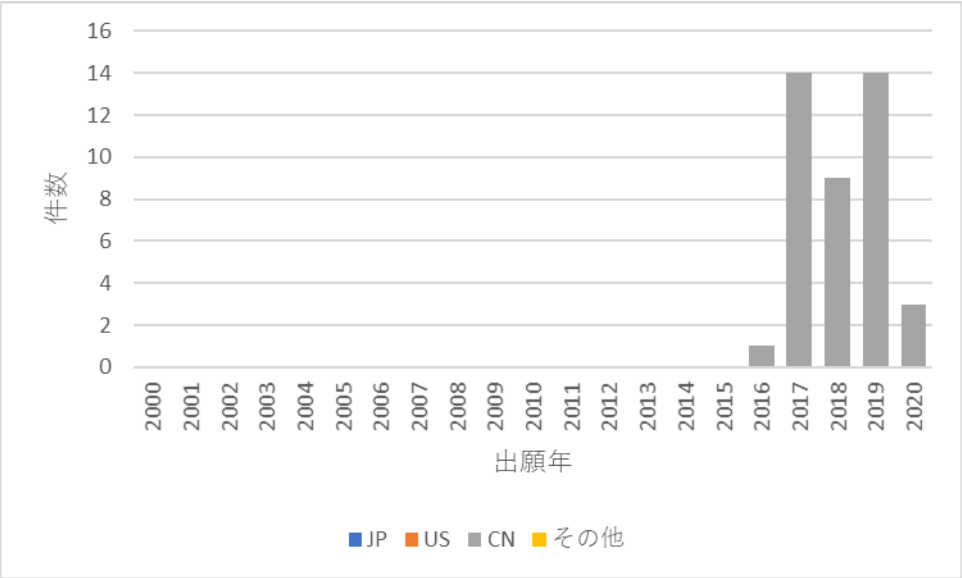


図 8-8　中国特許の出願年と出願人国

c. 技術分野（IPC）

B（処理操作；運輸）、F（機械工学；照明；武器）、G（物理学）、H（電気）等が主となっている。

表 8-9　IPC 分類上位

IPC 分類	説明	件数
F41H	装甲 装甲砲塔 装甲車両 武装車両 攻撃 防御の手段一般，例．偽装一般	41
G01S	無線による方位測定 無線航行方式 電波の使用による距離 速度の決定 電波の反射 再輻射を用いる位置測定 存在探知 その他の波を用いる類似の装置	28
H04K	秘密通信 通信妨害	19
H04N	画像通信，例．テレビジョン	7
B64D	航空機の装備 飛行服 パラシュート 動力装置 推進伝達機構の設備 装置	6
G05D	非電気的変量の制御 調整系	6
B64C	飛行機 ヘリコプタ	5
F41F	砲身からの発射体 飛しょう体発射装置，例．大砲	5
F42B	装薬，例．爆破用 煙火 弾薬	5
G06F	電気的デジタルデータ処理	5
G06K	データの認識 データの表示 記録担体 記録担体の取扱い	5
H04B	伝送	5
G01C	距離，水準，　方位の測定 測量 航行 ジャイロ計器 写真測量 映像測量	4
G01R	電気的変量の測定 磁気的変量の測定	3
G08G	交通制御システム	3
H04W	無線通信ネットワーク	3

d. 特許出願状況

特許出願状況では、科立讯通信股份有限公司、江西洪都航空工业集团有限责任公司、江苏贝壳防务技术有限公司、江苏中戎帝晓曼安防科技有限公司、芜湖博高光电科技股份有限公司といった企業に加え、南京理工大学等の研究機関が上位に入る。出願人国は何れも中国である。

表 8-10　出願者上位

現所有者	件数
佛山市海科云筹信息技术有限公司|王娅（FOSHAN HAIKE YUNCHOU INFORMATION TECH CO LTD|WANG YA）	8
科立讯通信股份有限公司（KIRISUN COMMUNICATIONS CO LTD）	2
江西洪都航空工业集团有限责任公司（JIANGXI HONGDU AVIAT IND GROUP）	2
江苏贝壳防务技术有限公司（JIANGSU SHELL DEFENSE TECH CO LTD）	2
江苏中戎帝晓曼安防科技有限公司（JIANGSU ZHONGRONG DIXIAOMAN SECURITY TECH CO LTD）	2
南京理工大学（UNIV NANJING SCIENCE & TECH）	2
芜湖博高光电科技股份有限公司（WUHU BOGAO OPTOELECTRONICS TECH CO LTD）	2

(2) 特許出願者の概要

主な特許出願者について概要を示す。

表 8-11　主な特許出願者の概要

企業名（英文）		本社所在地	概要
—	Department 13	米国	企業及び政府向けにターンキーシステムとソリューションを提供するイノベーティブなドローン技術企業。
—	ADVANCED MATERIAL ENGINEERING PTE LTD	シンガポール	誘導システム装置、武器弾薬や最先端の保護材料の設計・製造を行っており、防衛や商業セクター向けコンサルティング、訓練、設計・エンジニアリングサービスを提供している。
—	ANDURIL INDUSTRIES INC.	米国	防衛、エネルギー施設、山火事探知及びインフラストラクチャー等セキュリティーソリューションを提供している。
—	RHEINMETALL LANDSYSTEME GMBH	ドイツ	装甲車、装輪装甲車、装甲塔と調査用システムのリーディングカンパニーで、戦術支援車両ビジネスとして車両の販売、開発、製造と注文及びサービス加工を行っている。
—	DIEHL BGT DEFENCE GMBH & CO. KG	ドイツ	誘導ミサイル等の開発を行っており、防衛用最先端のシステムソリューションを提供している。

企業名（英文）		本社所在地	概要
—	Raytheon BBN Technologies Corp.	米国	情報セキュリティ分野のサービス、製造、ライセンス知的財産、言語処理、ネットワーキング、分散システム及びセンシングとコントロールシステムを提供している。
—	Anduril Industries Inc.	米国	軍用防衛、エネルギー施設防衛、山火事探知及びインフラストラクチャー防衛等のセキュリティーソリューションを提供している。
—	IXI Technology	米国	海軍戦術データシステム(NTDS) I / O プロトコル等を提供しており、軍用システムインテグレーターとして 400 年の歴史を有する。
科立讯通信股份有限公司	KIRISUN COMMUNICATIONS CO LTD	中国	無線端末とシステムソリューションで通信キャリアとプライベートネットワークを提供している。
江西洪都航空工业集团有限责任公司	JIANGXI HONGDU AVIAT IND GROUP	中国	訓練機、輸送航空機、軍用機、農林業専用機、大型機及び土木用機の製造、修理及び研究開発を行っている。
江苏贝壳防务技术有限公司	JIANGSU SHELL DEFENSE TECH CO LTD	中国	セキュリティ、コンピュータ技術分野における技術開発、技術コンサルティング、技術移転、電子アクセサリー、ドローン販売、コンピュータ情報システム統合サービス、コンピュータソフト・ハードウェア開発、販売等を行っている。
南京理工大学	UNIV NANJING SCIENCE & TECH	中国	中国工業情報化部付属 7 大学のひとつで、世界アカデミック大学ランキングで 36 位。工学、化学、材質科学及びコンピューターサイエンス等に強みを有する。
芜湖博高光电科技股份有限公司	WUHU BOGAO OPTOELECTRONICS TECH CO LTD	中国	蕪湖市ハイテク産業工業地域にあり、ミリ波のアプリケーション技術と T/R コンポーネント、センサ、パワーアンプ、関連モジュール開発や製造を行っている。

8.4.4 まとめ・提言

(1) まとめ

ドローンは、AI を用いた画像認識技術による自律飛行の高度化が見込まれ、遠隔からの操縦や複数機体による編隊飛行の進化が予想される。技術の進化によるドローンの脅威は今後も増大するため、カウンタードローン技術の継続的な開発が今後も求められる。

カウンタードローンの方式の体系を図 8-9 に示す。

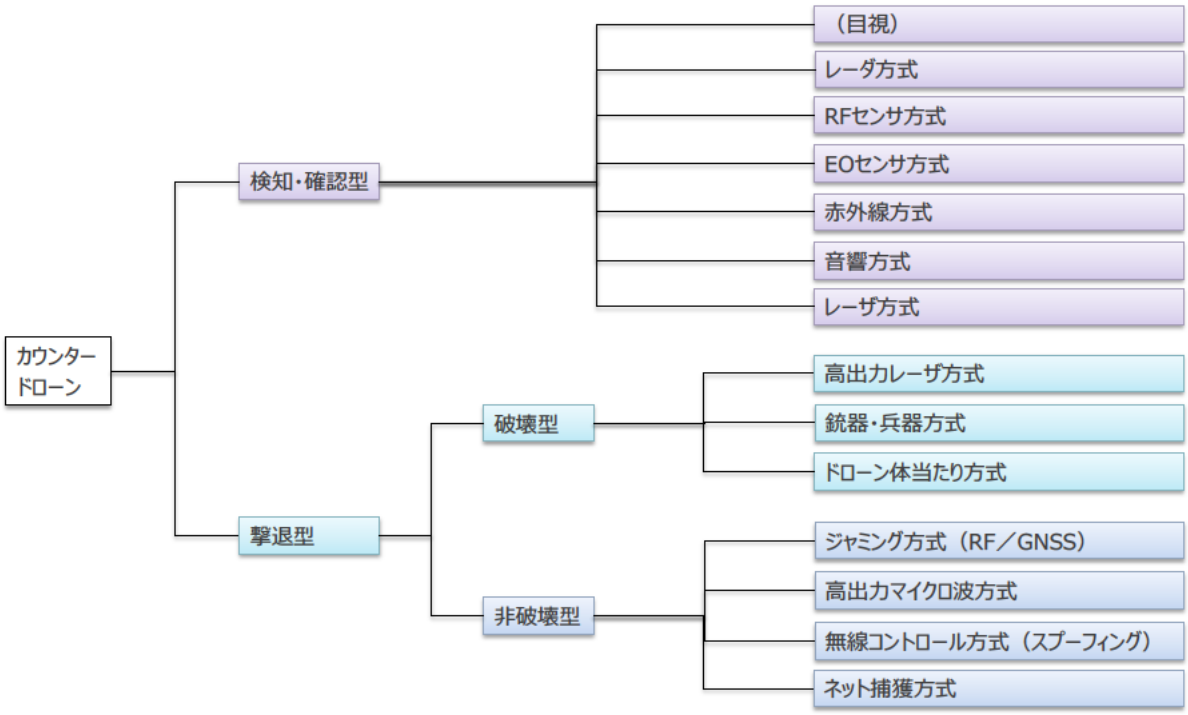


図 8-9　カウンタードローンの方式の体系（再掲）

カウンタードローンの方式は、検知・確認型、撃退型に分類でき、撃退型を破壊型と非破壊型に分類できる。カウンタードローンシステムとしては、目的や環境条件等に応じて、適切な方式を選択する必要がある。

我が国では、2015 年の首相官邸ドローン落下事件以降、ドローン対策に係る法整備が進んだ。2016 年に施行され 2019 年及び 2020 年に改正された小型無人機等飛行禁止法により、空港などの重要施設においてドローンの妨害や破壊を伴う対策を講じることができるようになった。我が国の規制は、ドローンが重要施設周辺のイエローゾーンに侵入した後、警察官等による排除命令・排除措置が可能になっている点が特徴である。

カウンタードローンの需要は今後も高まることが見込まれ、諸外国では多くのカウンタードローンシステムが開発、製造されている。諸外国では、軍が主導しているため、遠距離でのドローン検知から撃墜までの対処が一体化しているシステムが多い。一方、我が国のシステムは、警察等が主導して対応することとなるため、撃退能力については諸外国と比較して限定的な能力となっている。

(2) 提言

ドローンの自律化、編隊飛行などドローンの脅威は今後も高まることが見込まれる。我が国の現在の法制度下では、時速 100km 付近で侵入してくるドローンをイエローゾーン内で撃退するためには、10 秒程度で対処する必要があり、一体的・連動的なカウンタードローンシステムの開発が求められる。我が国としては、高性能レーダやカメラの個別技術の開発だけではなく、検知、確認から撃退まで、短時間で対処可能な一貫したシステムを開発する必要があり、システム・インテグレーション能力の向上も必要となる。高出力レーザー、高出力マイクロ波やジャミング技術のような撃退能力の高度化については、防衛省が開発する要素技術の活用なども、カウンタードローンシステムの能力向上には有効な選択肢といえる。

規制の面では、我が国においても、政府施設、防衛施設、原発、空港など、国家の重要施設やインフラ等について、ドローン攻撃からの防護方針を策定することも重要と考える。カウンタードローンのみでは対応が完全ではないため、米国では国内空域で動作する無人機（UAS）と、UAS を運営する事業者及びオペレータに対し、FAA への登録やライセンスの取得を求めている。我が国でも、2020 年の航空法改正により、「無人航空機の登録制度」が創設された。実際の運用開始は 2022 年の予定であるが、無人航空機に該当するドローンは、国土交通大臣が定める「無人航空機登録原簿」に機体や所有者に関する情報を登録して、通知された「登録記号」を当該機体に表示しなければ飛行させることができなくなる。カウンタードローンは物理的な侵入阻止だけではなく、このような規制を整備することにより、非公式に製造されたドローンに対する効率的な識別・対処を実施することも重要となる。

安全保障貿易管理の面から捉えると、カウンタードローンの分野においては、我が国として技術的な優位性を有している分野は現状ない、といえる。一方、今後、5G という高い通信能力を有し、AI の画像認識に基づく自律飛行を行うドローンが登場した場合、このようなドローンに対処するため、各国がカウンタードローン技術の新たな研究開発を行う必要がある。例えば、5G 対応のカウンタードローンシステムなど、我が国が先進的な技術開発を目指すことも、今後の技術開発の一つの選択肢となる。

8.5 参考

8.5.1 ドローン勉強会（1）

日時	2021 年 1 月 21 日（木）13:30-15:00
場所・実施方法	オンライン
講師	澤田雅之技術士事務所所長（元警察大学校警察情報通信研究センター所長） 澤田雅之　氏
講演タイトル	カウンタードローンの技術・運用の現状と将来展望
講演概要	ドローン対策は、「探知」、「確認」、「阻止」のステップで構成される。「探知」には、人の目、レーダ、音響探知、テレメトリ検知がある。「確認」には、人の目、高精細ビデオカメラ、サーマルカメラがある。「阻止」には、ジャミング(電波妨害)、事前解析によるコントロール奪取、ネット捕獲がある。 「空の産業革命」により 5G による“コネクテッド・ドローン”が実現すると、ジャミング(電波妨害)により操縦用電波を遮断して急停止させるのが困難になる恐れや、テレメトリの受信と解析による飛来探知も困難になる恐れがあり、これまでの「無線対策」に代わる効果的なドローン対策技術(飛来したドローンの探知・確認・阻止)の開発が、喫緊の課題となっている。また、「AI の目」で自律航行し、低空を高速飛行するドローンについても、新たに探知・確認する手段の研究開発が欠かせない。

8.5.2 ドローン勉強会（2）

日時	2020 年 2 月 18 日（木）14:30-16:00
場所・実施方法	オンライン
講師	先端ロボティクス財団理事長・千葉大学名誉教授　野波健蔵 先生
講演タイトル	最新の自律型ドローンとアンチドローン（ドローン対抗技術）
講演概要	諸外国では、精力的に研究開発やビジネス展開が行われていることを背景に政策を検討すべきである。違法ドローンを 100%防御することは極めて困難であり、国家の重要施設やインフラ等の防護方針の策定、ドローンの免許制度、機体認証・登録制度、機体整備制度等の法制度化、UTM などの地上支援システムの開発により違法ドローンの早期発見システムの構築とともに、飛行する違法ドローンにドローンで対抗することを可能にする法的制度を設計することが必要である。

8.5.4 主要参考文献

- Global Counter-Drone Market Report 2020
- UltraPatent：https://www.ultra-patent.jp/About/Subscription

9. 日本の製造業に関するマクロ調査

9.1 概要

本パートでは、日本の製造業全体について俯瞰的に現状を把握し、技術基盤の維持強化の点から見た課題を探る。

具体的には、日本の製造業上場企業の各種の財務データを 5 つの国・ブロックの財務データと比較し、業種（中分類 [177]）別に安全性、収益性、成長性等の面から日本の現状を把握し、技術基盤の維持強化という観点における懸念点を把握する。併せてこの問題意識をもとに有識者の意見を把握し、今後の検討課題を整理する。

9.2 背景と目的

本パートの問題意識は、各業種の日本企業は「持続的に技術開発が可能な経営基盤」を有しているか、ということである。この問題意識に則って、国内における業種間の業績比較のみならず、5 つの国・ブロックにおける同業種間の業績比較をとおして日本の相対的地位を把握し、懸念点がないか検証することを目的とする。

なお、用いるデータは、5 つの国・ブロックの製造業上場企業の財務データ（Osiris を活用）とし、業種中分類ベースで 5 つの国・ブロックとの相対比較を行う。

9.3 調査方法

日本と 5 つの国・ブロックの製造業上場企業の財務データについて、業種別にクラスター分けし（業種中分類とする）、それらクラスター毎に財務状況、利益率、設備投資、研究投資等の経営指標を整理し、クラスターの現状を把握する。また、3 年程度の時系列での変化も比較することで、近年の傾向も捉えることとする。

9.3.1 分析に使用したデータの詳細

(1) 情報源とするデータベース

日本と 5 つの国・ブロックの製造業上場企業の財務データの収集に当たっては、「Osiris」データベースを活用する。同データベースは、EU ブリュッセルに本社を置く金融情報プロバイダーのビューロー・ヴァン・ダイク社（BvD）が提供しているもので、世界の上場企業約 7 万社を収録している。

収録項目は、貸借対照表（BS）、損益計算書（PL）掲載項目の他に、研究開発費等かなり多い。

[177] 中分類は、例えば、「輸送用機械器具製造業」、「電気機械器具製造業」といった単位である。

(2) 抽出するデータ

同データベースから、日本、北米、西欧、中国、韓国の製造業上場企業の財務データを抽出した（2020 年 12 月 6 日時点でのダウンロード)。合計で 15,764 社であり、内訳は次のようになっている。

＜製造業上場企業＞

- 日本・製造業　　1,545 社
- 北米（米加　　3,083 社
- 西欧　　2,189 社
- 中国　　7.351 社
- 韓国　　1,596 社

同データベースには、複数の業種分類（西欧コード等）が付与されているが、このうち US SIC を活用することとした。US-SIC は日本の標準産業分類に近いためである。

(3) データの加工方法

集計対象となる企業については、直近の会計年度から 5 期前まで、合わせて 6 期分のデータをダウンロードした。

これをもとに、次のように現時点データ、時系列的な変化率のデータを作成した。

- 現時点データ＝直近 3 期データの平均値
- 変化率データ＝（直近 3 期データの平均）/（3 期前から 5 期前のデータの平均値）

(4) データに関する留意点

本データについては、次のような留意点がある。

- 同データベースにおける直近の会計年度のデータは、随時更新されており、データをダウンロードした日によって数字が異なる。今回作業では、2020 年 12 月 6 日にダウンロードしたデータを用いている。
- 国によって収録率が低い項目がある。具体的には、次の指標についてはデータベースへの収録率が低いため、参考値として扱うこととした。
  - ✓ 米国　固定資産の新規購入額
  - ✓ 中国　時価総額
  - ✓ 韓国　労働生産性（従業員数データの収録率が低いため）
- 複数の業種にまたがる事業を行っている企業の場合でも代表的な業種一つに分類されている。そのため、業種単位での活動を正確に反映したものではない。
  - ✓ 例えば、東レは繊維でなく化学に分類されている。
  - ✓ Apple は、US SIC の「一般機械」（小分類ではコンピュータ及びオフィス機器）に分類されおり、情報通信機器を含む「電気機械」ではない。
- なお、「企業」の国籍をもとにした集計であり、海外生産等が多い業種においては、必ずしも当該「国」の生産活動等の状況を示すものとは言えないことにも留意が必要

である。

- 金額は、ドル表示である。特に、売上高の伸びを見る際には、為替レートの影響を受けていることに留意が必要である。
- 今回調査は、上場企業のデータを対象としており、非上場企業を含めた産業全体の特徴を表すものではないことについては留意が必要である。上場企業の存在感は国によって異なる。例えば、ドイツでは非上場の巨大企業（例：ボッシュ）が多く存在しており、上場企業データだけでは日本と同列に比較できない面がある。

9.3.2 各業種の概要・定義

(1) 今回分析データの産業分類の特徴

今回分析の業種分類は、Osiris データベース上で付与されている US SIC を用いた。この分類は、日本の標準産業分類に近いが、以下の表のように部分的に違いがある。特に大きな相違点としては、US SIC の一般機械器具製造業には、“Computer and office equipment”も含まれることで、Apple や Dell もこの分類に含まれる。

一部の業種分類は、該当企業が非常に少なくなっており（例：日本のたばこ製造業は 1 社、皮革・皮革製品製造業は 2 社）、国によっては該当企業がゼロの場合もある。

なお、これ以降、業種の表記については、「電気機械器具製造業」を「電気機械」というように略して表記することがある。

表 9-1　今回分析上の産業分類と日本標準産業分類の比較（製造業）

今回分析上の産業分類 （US SIC）	日本標準産業分類 （大分類 E 製造業）	備考
20_食料品製造業	09_食料品製造業	
	10_飲料・たばこ・飼料製造業	
21_たばこ製造業		US SIC では「たばこ」のみ。
22_繊維工業	11_繊維工業	
23_衣服及び関連製品製造		
24_木材・木製品製造業	12_木材・木製品製造業（家具を除く）	
25_家具・調度品製造業	13_家具・装備品製造業	
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	14_パルプ・紙・紙加工品製造業	
27_印刷・出版業	15_印刷・同関連業	
28_化学品および関連品製造業	16_化学工業	いずれも「医薬品」を含む。
29_石油製品・石炭製品製造業	17_石油製品・石炭製品製造業	
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	18_プラスチック製品製造業（別掲を除く）	

	19_ゴム製品製造業	
31_皮革・皮革製品製造業	20_なめし革・同製品・毛皮製造業	
32_窯業・土石製品製造業	21_窯業・土石製品製造業	
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	22_鉄鋼業	
	23_非鉄金属製造業	
34_金属製品製造業	24_金属製品製造業	
35_一般機械器具製造業	25_はん用機械器具製造業	
	26_生産用機械器具製造業	
	30_情報通信機械器具製造業	US SIC では「Computer and office equipment」は「35 一般機械」に含まれる [178]
36_電気機械器具製造業		US SIC では通信機器は、「36 電気機械器具製造業」に含まれる
	28_電子部品・デバイス・電子回路製造業	
	29_電気機械器具製造業	
37_輸送機械器具製造業	31_輸送用機械器具製造業	
38_精密機械器具製造業	27_業務用機械器具製造業	医療機器が含まれる。
39_その他製造業	32_その他の製造業	

出所）日本は、総務省「日本標準産業分類（平成 25 年 10 月改定）（平成 26 年 4 月 1 日施行）」による

(2) 各分類に含まれる企業の例

それぞれの業種分類に含まれる企業の例を挙げると、次の表のとおりである。

この業種分類（US SIC による）は、日本の産業分類に近いが、主な相違点として、一般機械の中にコンピュータ及びオフィス機器が含まれており、Apple や Dell 等の企業が含まれている点が挙げられる、

[178] Appel や Dell も「35_一般機械器具製造業」に含まれている。

表 9-2　5 つの国・ブロック別の上位企業（売上高 10 位以内の企業のみ、1 つの国・ブロック当たり 2 社までを表示）　1/2

	金額（B$）				
	日本	北米	西欧	中国	韓国
22_繊維工業	● DAIWABO HD ● NISSHINBO HD[179]	● MOHAWK INDUSTRIES（米国）	（上位 10 位内になし）	● JIANGSU HIGH HOPE INTERNATIONAL ● XINFENGMING	● HYOSUNG
27_印刷・出版業	● TOPPAN PRINTING ● DAI NIPPON PRINTING	● NEWS（米国） ● R. R. DONNELLEY & SONS（米国）	● RELX（英国） ● LAGARDERE SCA（フランス）	● HENGYI PETROCHEMICAL	（上位 10 内になし）
28_化学品および関連品製造業	（上位 10 位内になし）[180]	● JOHNSON & JOHNSON（米国） ● PFIZER	● BASF SE（ドイツ） ● ROCHE HD（スイス）	● SINOPHARM	● HANWHA
29_石油製品・石炭製品製造業	● ENEOS HD ● IDEMITSU KOSAN	● EXXON MOBIL（米国） ● CHEVRON（米国）	● BP（英国）	（上位 10 内になし）	（上位 10 位内になし）
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	● BRIDGESTONE	● NIKE（米国） ● GOODYEAR（米国）	● CONTINENTAL（ドイツ） ● MICHELIN（フランス）	（上位 10 内になし）	（上位 10 位内になし）
32_窯業・土石製品製造業	● AGC	● 3M（米国）	● SAINT-GOBAIN（フランス） ● CRH（アイルランド）	● CHINA NATIONAL BUILDING MATERIAL ● ANHUI CONCH CEMENT	（上位 10 位以内になし）
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	● NIPPON STEEL ● JFE	● NUCOR（米国）	● ARCELORMITTAL（ルクセンブルク） ● THYSSENKRUPP（ドイツ）	● BAOSHAN IRON & STEEL ● ALUMINUM CORPORATION OF CHINA	● POSCO ● POSCO INTERNATIONAL
34_金属製品製造業	● LIXIL ● HITACHI METALS	● PARKER HANNIFIN（米国） ● BALL（米国）	● SANDVIK（スウェーデン） ● ASSA ABLOY(スウェーデン)	● CHINA INTERNATIONAL MARINE CONTAINERS	● HYUNDAI STEEL

（注）社名のうち、INC、CORPORATION、AG、GROUP、COMPNY LIMITED 等の表記は省略した。
（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計。

[179] （出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計 TORAY INDUSTRIES は、28 化学品及び関連品製造業に入っている（上位 10 位以内に含まれない）。
[180] MITSUBISHI CHEMICAL は、同業種中、5 つの国・ブロック内で売上高 15 位。

表 9-3　5 つの国・ブロック別の上位企業（売上高 10 位以内の企業のみ、1 つの国・ブロック当たり 2 社までを表示）　2/2

	金額（B$）				
	日本	北米	西欧	中国	韓国
35_一般機械器具製造業	● MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES ● FUJITSU	● APPLE（米国） ● DELL TECHNOLOGIES（米国）	● SIEMENS（ドイツ）	● FOXCONN INDUSTRIAL INTERNET	（上位 10 位以内になし）
36_電気機械器具製造業	● HITACHI ● SONY	● INTEL（米国） ● CISCO SYSTEMS（米国）	● ABB（スイス）	● XIAMEN XIANGYU	● SAMSUNG ELECTRONICS ● LG ELECTRONICS
37_輸送機械器具製造業	● TOYOTA MOTOR ● HONDA MOTOR	● FORD MOTOR（米国） ● GENERAL MOTORS	● VOLKSWAGEN(ドイツ) ● DAIMLER（ドイツ）	● SAIC MOTOR	（上位 10 位以内になし）
38_精密機械器具製造業	● FUJIFILM　HD	● NORTHROP GRUMMAN（米国） ● THERMO FISHER SCIENTIFIC（米国）	● FRESENIUS SE（ドイツ） ● MEDTRONIC（アイルランド）	（上位 10 位以内になし）	（上位 10 位以内になし）
39_その他製造業	● NINTENDO ● BANDAI NAMCO	● HASBRO ● MATTEL	● RICHEMONT（スイス） ● PUMA（ドイツ）	● LAO FENG XIANG	（上位 10 位以内になし）

（注）社名のうち、INC、CORPORATION、AG、GROUP、COMPNY LIMITED 等の表記は省略した

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計。

9.3.3 分析に使用した財務指標の説明

本分析では、各種の先行検討を参考にして財務指標を選定した（詳細は、9.6.1 を参照）。

このうち、成長性、収益性、効率性、安全性の 4 つは、企業の財務分析の代表的な指標である。その 4 つに加えて、生産性、競争力の観点を加えて集計することとした。

表 9-4　本分析で集計する財務指標の一覧

分類	指標名	指標の計算式 （当該国の該当企業の合算値）	指標の見方
成長性	売上増加率（倍）	直近 3 期の売上高の平均÷その前の 3 期の売上高の平均	数値が高いほど成長性が高い。
収益性	売上高営業利益率（%）	営業利益額÷売上高　【直近 3 期平均】	数値が高いほど収益性が高い。 なお、業種によって水準が異なることに留意（例：低マージンの場合は低くなる）。
	総資産利益率（ROA）（%）	純利益÷総資産　【直近 3 期平均】	数値が高いほど資産の効率的な利用が進んでおり、収益性が高い。
	自己資本利益率（ROE）（%）	純利益÷自己資本（株主資本）【直近 3 期平均】	数値が高いほど株主資本を効率的に活用して利益を上げていることを示す。
	EBITDA Multiple[181]	EV÷EBITDA　【直近 3 期平均】 ※EV（Enterprise Value：事業価値）＝株式時価総額＋純債務 ※ EBITDA （earnings before interest, tax, depreciation, and amortization）＝税引前利益＋特別損益＋支払利息＋減価償却費	当該企業の事業価値が EBITDA の何倍と評価されているかを示す。M&A をする場合には、8 倍程度が妥当とされている。 EBITDA は、キャッシュベースの本業の儲けを示す。
	PER（株価収益率）（倍）	株式時価総額÷純利益　【直近 3 期平均】 ※個社の場合、PER＝株価÷一株当たり当期純利益　と計算される	数値が高いほど株式市場での評価が高い（＝投資家にとっては割高）。 14～20 程度が標準値とされるが、当該企業の成

[181] EBITDA は、イービット・ディーエー等と読む。

			長期待が高い場合は高いPERとなる
効率性	総資産回転率（回）	売上高÷総資産額　【直近3期平均】	数値が高いほど総資産が効率的に活用されている。
安全性	自己資本比率（%）	自己資本÷総試算額　【直近3期平均】	数値が高いほど他人資本への依存度が低く、安全性が高い。
生産性	労働生産性（千ドル/人）	営業利益÷従業者数　【直近3期平均】	数値が高いほど労働生産性が高い。 なお、業種によって水準が異なることに留意が必要（例：資本集約的な業種は高くなる）。
競争力に関連する指標	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	当該国の売上高÷主要国の売上高合計　【直近3期平均】	数値が高いほど当該国の競争力、市場支配力が強いとみなせる。
	売上高研究開発費比率（%）	研究開発費÷売上高　【直近3期平均】	数値が高いほど当該国の企業の研究開発投資が盛ん。
	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	研究開発費（総額）　【直近3期平均】	数値が高いほど当該国全体としての研究開発投資力が高い。
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	固定資産の新規購入額÷売上高　【直近3期平均】	数値が高いほど当該国の企業の設備投資が盛ん。
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	固定資産の新規購入額（総額）【直近3期平均】	数値が高いほど当該国全体としての設備投資力が高い。
その他	Sales Multiple	EV÷売上高　【直近3期平均】 ※EV（Enterprise Value：事業価値）＝株式時価総額＋純債務	数値が高いほど売上高に比して事業価値が高く評価されていることを示す。
	時価総額（B$）【絶対額】	時価総額（総額）　【直近3期平均】	数値が高いほど株式市場における評価が高い。

（出所）伊藤邦雄『新・企業価値評価』日本経済新聞社、2014年　ほか各種資料をもとに三菱総合研究所において作成

分析に採用した財務指標の概略は以下のとおりである。

(1) 成長性に関する指標

- 代表的な指標として、売上増加率（倍）を採用した。

(2) 収益性に関する指標

- 利益率に関する代表的な指標として、対売上高比、対総資産比、対自己資本比の観点で、次の 3 つの指標を採用した。
  - ✓ 売上高営業利益率（%）
  - ✓ 総資産利益率（ROA）（%）
  - ✓ 自己資本利益率（ROE）（%）
- 株式市場での評価のされ方（時価総額）を勘案した収益性の指標として、次の 2 つの指標を採用した。
  - ✓ EBITDA Multiple
  - ✓ PER（株価収益率）（倍）

(3) 効率性に関する指標

- 代表的な指標として、総資産回転率（回）を採用した。

(4) 安全性に関する指標

- 代表的な指標として、自己資本比率（%）を採用した。

(5) 生産性に関する指標

- 代表的な指標として、労働生産性（千ドル/人）を採用した。

(6) 競争力に関する指標

- 以下は、一般的な財務分析で取り上げられることは少ないが、現状の競争力、将来の競争力の面から、次の指標を採用した。
  - ✓ 現在の競争力を示すもの
  - ✓ 5 つの国・ブロック中の売上高シェア（%）
  - ✓ 将来の競争力を示すもの
  - ✓ 売上高研究開発費比率（%）
  - ✓ 研究開発費（総額）（B$）【絶対額】
  - ✓ 設備投資率（固定資産新規購入）（%）
  - ✓ 設備投資額（同上）（B$）【絶対額】

(7) その他の指標

- その他の指標として以下を採用した。

- ✓ Sales Multiple
- ✓ 時価総額（B$）【絶対額】

9.3.4 インタビュー調査

国内において相対的に業績の良い業種から 1 つ、悪い業種から 1 つを選び、それらの業種を専門とする有識者として証券会社の企業アナリスト 2 名にインタビューを行うこととした。

インタビュー内容は、次の点である。

- 好調企業・不調企業の特徴
- 今後の懸念、大きな環境変化について
- 財務データ分析からわかること
- 今後の展望

9.4 調査結果

9.4.1 国内（日本）の業種同士の比較

最初に、日本企業の財務データを用いて、国内業種同士の比較を行った。その結果は、以下のとおりである。いずれも、Osiris データベースに収録されている製造業上場企業を対象としており、2020 年 12 月 6 日時点でダウンロードしたデータに基づく。業種分類は、US SIC による。詳細は、表 9-5、表 9-6 に示す。

なお、以下のコメントでは、企業数が極端に少ない業種、具体的には、たばこ（1 社）、皮革（2 社）を除いている [182]。また、生活関連業種（食料品等）についてもコメント対象外としている。

石油・石炭は、3-5 期前の業績が非常に悪く、直近 3 期にかけて利益率がマイナスからプラスに変化しているため、増減率の表示をしていない箇所がある（マイナス表示となるため）。

(1) 企業数、売上高

- 日本の製造業上場企業は 1,545 社（直近）である。業種中分類別にみた企業数の上位は一般機械（261 社）、化学（232 社）、電気機械（230 社）等である。
- 売上高（直近 3 期平均）は、輸送用機械（935B ドル（9,350 億ドル＝96.3 兆円 [183]））、電気機械（588B ドル）、一般機械（453B ドル）等が多い。

(2) 成長性（売上高増減）

- 成長性の指標として、直近 3 期平均の売上高がその前の 3 期の平均（3-5 期前）と比べた増減を把握した。全業種平均では、1.14 倍だった（ドル表示での推移であること

[182] ここでは、業種の表記については、「電気機械器具製造業」を「電気機械」というように略して示す。
[183] 1 ドル 103 円（2021 年 1 月 19 日時点為替相場）として計算した場合。

に留意[184]）。これは、5 つの国・ブロックの平均 1.18 倍を下回る。

- 上位は、その他製造業（1.35 倍）、石油・石炭（1.24 倍）であった。
  - ✓ その他製造業には、任天堂、バンダイナムコ、セガサミー等のゲーム機器メーカが含まれ、これら企業の寄与が大きい。
  - ✓ 石油・石炭は 3-5 期前の業績が著しく悪かったため、その反動として成長性が高くなった面がある。
  - ✓ 輸送機械（1.13 倍）、電気機械（1.08 倍）の増加率は、日本の製造業上場企業の平均増加率（1.14 倍）よりも低い。
- 成長性の面から懸念される業種は、相対的に成長率が低い電気機械（1.08 倍、全業種平均 1.14 倍より低い）である。

(3) 収益性

1) 売上高営業利益率

- 売上高営業利益率の全業種平均は 6.3%であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 9.1%の 3 分の 2 の水準である。
- 上位は、その他製造業（11.6%）等である。機械系業種では、精密機械（10.5%）が高く、輸送用機械（5.4%）は全体平均（6.3%）を下回る。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、その他製造業（1.97 倍）、電気機械（1.32 倍）等である。輸送用機械（0.78 倍）はこの間の低下が著しい。
- 売上高営業利益率の面から懸念される業種は、石油石炭（1.9%）、鉄鋼・非鉄金属（3.0%）等である。

2) 総資産利益率（ROA）

- 総資産利益率（ROA）の全業種平均は 3.7%であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 4.4%よりも低い。
- 上位は、その他製造業（7.6%）等である。機械系業種では、精密機械（5.0%）において高い一方、輸送用機械（3.3%）が低い。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、電気機械（2.33 倍）、その他製造業（1.85 倍）等である。
- 総資産利益率（ROA）の面から懸念される業種は、石油・石炭（1.6%）、鉄鋼・非鉄金属（1.5%）である。

---

[184] 2015-17 年の円ドルレート平均は 114.0 円/ドル、2018-20 年の円ドルレート平均は 108.7 円/ドルであった。日本円で同額の売上があった場合、2015-17 年から 2018-20 年にかけて米ドル表示では 1.048 倍の売上となる。

3) 自己資本利益率

- 自己資本利益率の全業種平均は 7.8%であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 11.9%よりもかなり低い水準である。
- 上位は、その他製造業（10.7%）、電気機械（10.0%）等である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、電気機械(2.13 倍)、その他製造業（1.80 倍）等である。
- 自己資本利益率の面から懸念される業種は、鉄鋼・非鉄金属（3.2%）である。

4) EBITDA マルチプル

- EBITDA マルチプルの全業種平均は、7.96 であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 10.95 よりも低い。EBITDA マルチプルは、M&A をする場合に 8 倍程度が妥当とされており、M&A をしやすい水準にあるとも考えられる。
- 上位は、その他製造業（12.47）、衣服（11.46）、精密機械（10.38）等である。
  - ✓ 直近3期の数値がその前の3期と比べて上昇しているのは、ゴム・プラスチック、衣服等である。
- EBITDA マルチプルの面から懸念される業種は、ゴム・プラスチック（5.62 倍）である。

5) 株価収益率（PER）

- 株価収益率（PER）の全業種平均は 17.19 倍であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 21.20 倍よりも低い。
- 上位は、衣服（64.55 倍）、その他製造業（25.48 倍）、印刷・出版（24.77 倍）等において高い。PER は、一般的には成長期待が高い企業において高くなる傾向にあるが、業績が急に悪化したケースでも高くなることがあることに留意が必要である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、衣服等である。
- 株価収益率（PER）の面から懸念される業種は、株式価格が収益性と比べて低くされているという意味で、輸送機械（11.61 倍）、石油石炭（13.51 倍）等である。

(4) 効率性

- 総資産回転率の全業種平均は 0.79 であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 0.68 倍よりも高い。
- 上位は、石油・石炭（1.33）、食料品（1.06）等である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、その他製造業（1.12 倍）、パルプ・紙（1.04 倍）等である。
- 総資産回転率の面から懸念される業種は、特にない。

(5) 安全性

- 自己資本比率の全業種平均は 47.7%であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 40.0%よりも高い。
- 上位は、その他製造業（70.7%）、衣服（62.6%）等である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、石油・石炭（1.15 倍）、電気機械（1.09 倍）等である。
- 自己資本比率の面から懸念される業種は、相対的に同数値がかなり低い石油・石炭（32.3%）である。

(6) 生産性

- 労働生産性の全業種平均は 22.8 千ドル/人であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 33.9 千ドル/人の約 3 分の 2 の水準であり、著しく低いと言える。
- 上位は、その他製造業（51.9 千ドル/人）、石油・石炭（48.6 千ドル/人）、化学（45.1 千ドル/人）等である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、その他製造業（2.56 倍）、電気機械（1.43 倍）等である。
- 労働生産性の面から懸念される業種は、印刷・出版（7.9 千ドル/人）、鉄鋼・非鉄（9.2 千ドル/人）等である。

(7) 競争力

1) 5 つの国・ブロック中の売上高シェア

- 5 つの国・ブロック中の売上高シェアの全業種平均は 19.4%であった。
- 上位は、その他製造業（29.1%）、電気機械（25.1%）等となっている。
  - ✓ 鉄鋼・非鉄、金属製品、一般機械、電機機械、輸送機械といった金属・機械系業種において 2 割強となっている。繊維、印刷・出版、ゴム・プラスチックにおいても 2 割台となっている。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、石油・石炭（1.15 倍）、その他製造業（1.06 倍）等である。一方、多くの業種では横ばいないし低下しており、特に衣服（0.80 倍）、電気機械（0.88 倍）、精密機械（0.89 倍）は低下が著しい。
- 5 つの国・ブロック中の売上高シェアの面から懸念される業種は、化学（16.0%）、精密機械（16.0%）である。これら 2 業種には、それぞれ医薬品、医療機器が含まれており、特に北米、西欧では大きな割合を占めている。

2) 売上高研究開発費比率、研究開発費の総額【絶対額】

- 売上高研究開発費比率の全業種平均は 3.55%であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 3.53%をわずかに上回る。とはいえ、他国・ブロックが売上高研究開発費比

率を高めてきた中で、差がなくなってきていることに注目が必要である。

- 上位は、化学（6.19%）、精密機械（6.06%）等である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、家具（1.13 倍）等である。金属機械系では、1.0 倍前後と変化がない。
- 研究開発費の総額【絶対額】の上位は輸送機械（38.1B ドル（3.9 兆円））、化学（27.7B ドル）、電気機械（26.4B ドル）、一般機械（15.1B ドル）である。この 4 業種で、全業種の研究開発費の 8 割強を占める
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、家具（1.27 倍）、窯業・土石（1.21 倍）、化学、鉄鋼、木材（いずれも 1.18 倍）等である。
- 売上高研究開発費比率の面から懸念される業種については、いずれの国・ブロックにおいても業種によって水準がかなり異なることから、国内業種間の比較によって抽出するのは適当ではない。そこで、5 つの国・ブロックの平均との違いに注目して抽出すると、電気機械（日本 4,48%、5 国・ブロック平均 6.33%）、ゴム・プラスチック（日本 2.19%、5 国・ブロック平均 2.62%）においては、両者の差が大きく懸念される。

3) 設備投資率、設備投資額【絶対額】

- 設備投資率の全業種平均は 5.5%であった。これは、西欧の 4.6%を上回るが、中国 6.6%、韓国 8.4%を下回る（北米はデータ収録率低く集計不能）。
- 上位は、窯業・土石（8.6%）、輸送機械（6.9%）、ゴム・プラスチック（6.3%）等となっている。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、窯業・土石（1.31 倍）、金属製品（1.25 倍）、鉄鋼・非鉄（1.20 倍）等となっている。
- 設備投資額【絶対額】の上位は、輸送機械（64.5B ドル（6.6 兆円））、電気機械（30.5B ドル）、化学（24.5B ドル）、一般機械（20.2B ドル）等である。この 4 業種で全業種の 7 割強を占める。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、窯業・土石（1.52 倍）、その他製造業（1.44 倍）等である。
- 設備投資率の面から懸念される業種は、繊維（3.8%）であり西欧（6.6%）よりも比率が低い。他の業種は概ね、西欧よりも高い水準にある。

(8) その他

1) Sales Multiple

- SalesMultiple の全業種平均は 0.93 であった。これは、5 つの国・ブロックの平均値 1.61 よりも低い。
- 上位は、その他製造業（1.82）、精密機械（1.66）等である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、その他製造業（1.47

倍）、精密機械（1.66 倍）等である。

- Sales Multiple の面から懸念される業種は、石油・石炭（0.35）である。これは、同業種の 5 つの国・ブロック平均 0.91 と比べてかなり低い。

2) 時価総額【絶対額】

- 時価総額【絶対額】の上位は、化学（622B ドル（64 兆円））、電気機械（539B ドル）、輸送機械（478B ドル）等である。
  - ✓ 直近 3 期の数値がその前の 3 期と比べて上昇しているのは、その他製造業（1.81 倍）、石油・石炭（1.49 倍）、精密機械（1.37 倍）等である。
- 時価総額【絶対額】自体は、懸念業種の抽出に馴染まないので、懸念業種についての言及は避ける。

表 9-5　日本の各種指標 1/2

			成長性	収益性										効率性		安全性	
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	売上高営業利益率の変化	総資産利益率（ROA）（%）	総資産利益率（ROA）の変化	自己資本利益率（ROE）（%）	自己資本利益率（ROE）の変化	EBITDAマルチプル	EBITDAマルチプルの変化	株価収益率（PER）	株価収益率（PER）の変化	総資産回転率（回）	総資産回転率の変化	自己資本比率（%）	自己資本比率の変化
20_食料品製造業	126	237	1.16	5.3%	1.15	4.0%	1.18	7.6%	1.15	10.13	0.98	22.63	0.85	1.06	0.94	52.5%	1.02
21_たばこ製造業	1	20	1.07	22.0%	0.95	6.9%	0.81	13.6%	0.87	9.91	0.82	15.39	0.79	0.40	0.86	51.0%	0.93
22_繊維工業	36	27	1.11	3.7%	0.99	2.2%	1.17	4.6%	1.12	7.10	0.98	17.12	0.91	0.91	1.03	47.2%	1.04
23_衣服及び関連製品製造業	31	13	1.03	3.1%	0.81	1.2%	0.43	2.0%	0.44	11.46	1.32	64.45	2.71	0.92	0.97	62.6%	0.99
24_木材・木製品製造業	16	7	1.17	5.0%	0.98	3.3%	0.97	6.0%	0.96	6.44	1.08	16.17	1.16	0.96	0.97	54.7%	1.02
25_家具・調度品製造業	12	7	1.12	5.0%	0.95	3.4%	0.96	5.5%	0.92	5.98	1.10	17.73	1.14	0.91	0.98	62.1%	1.04
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	40	59	1.15	5.0%	1.13	2.5%	1.19	5.9%	1.15	9.65	1.01	23.89	1.01	0.81	1.04	42.5%	1.04
27_印刷・出版業	61	45	1.10	2.8%	0.91	1.9%	0.97	3.3%	0.97	6.88	1.00	24.77	1.01	0.81	0.96	58.1%	1.00
28_化学品および関連品製造業	232	447	1.18	9.6%	1.16	4.7%	1.08	8.5%	1.11	9.46	1.05	19.68	0.92	0.66	0.89	55.1%	0.97
29_石油製品・石炭製品製造業	11	171	1.24	1.9%	-	1.6%	-	4.9%	-	7.21	0.50	13.51	–	1.33	0.99	32.3%	1.15
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	47	86	1.12	7.6%	0.78	4.9%	0.92	8.8%	0.90	5.62	1.07	13.66	1.02	0.93	0.99	55.6%	1.02
31_皮革・皮革製品製造業	2	1	1.03	2.7%	0.52	0.8%	0.30	1.8%	0.29	9.14	1.36	23.64	2.74	0.76	0.93	44.5%	1.04
32_窯業・土石製品製造業	53	57	1.15	6.9%	0.96	3.2%	1.13	6.0%	1.07	6.43	0.96	15.68	0.88	0.72	1.02	53.6%	1.05
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	77	227	1.18	3.0%	0.68	1.5%	0.67	3.2%	0.69	6.49	0.89	18.96	1.17	0.84	1.02	46.9%	0.97
34_金属製品製造業	92	80	1.13	4.3%	0.77	2.4%	0.75	4.6%	0.73	7.35	1.06	24.36	1.37	0.91	1.00	52.1%	1.04
35_一般機械器具製造業	261	453	1.15	7.0%	0.94	3.9%	1.02	7.8%	1.01	7.60	0.97	18.62	0.96	0.83	0.99	50.8%	1.01
36_電気機械器具製造業	230	588	1.08	6.8%	1.32	4.4%	2.33	10.0%	2.13	7.20	0.98	16.46	0.50	0.79	0.95	43.8%	1.09
37_輸送機械器具製造業	97	935	1.13	5.4%	0.78	3.3%	0.84	7.8%	0.81	7.15	0.97	11.61	0.97	0.75	0.99	42.0%	1.03
38_精密機械器具製造業	88	101	1.12	10.5%	1.04	5.0%	1.11	8.7%	1.11	10.38	1.19	24.56	1.07	0.73	0.97	57.4%	1.00
39_その他製造業	32	37	1.35	11.6%	1.97	7.6%	1.85	10.7%	1.80	12.47	0.98	25.48	0.82	0.87	1.12	70.7%	1.03
総計	1,545	3,599	1.14	6.3%	1.00	3.7%	1.12	7.8%	1.10	7.96	1.00	17.19	0.89	0.79	0.97	47.7%	1.03

（注）石油・石炭は、3-5 期前の業績が非常に悪く、直近 3 期にかけて利益率がマイナスからプラスに変化しているため、増減率の表示をしていない箇所がある（マイナス表示となるため）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-6　日本の各種指標 2/2

		生産性		競争力										その他			
	企業数	労働生産性（千ドル/人）	労働生産性の変化	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	市場シェアの変化率	売上高研究開発費比率（%）	売上高研究開発費比率の変化	研究開発費（総額）（B$）	研究開発費の変化	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資率の変化	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	設備投資額の変化	Sales Multiple	Sales Multipleの変化	時価総額（B$）	時価総額の変化
20_食料品製造業	126	27.8	1.22	14.9%	1.00	1.04%	0.94	2.5	1.09	4.3%	1.17	10.2	1.36	0.94	1.06	202	1.24
21_たばこ製造業	1	70.5	0.78	13.2%	1.00	2.91%	1.19	0.6	1.28	5.7%	1.15	1.1	1.24	2.92	0.83	52	0.80
22_繊維工業	36	11.2	1.09	23.5%	0.94	1.95%	0.98	0.5	1.08	3.8%	0.98	1.0	1.09	0.53	0.97	11	1.15
23_衣服及び関連製品製造業	31	5.3	0.82	3.9%	0.80	0.35%	1.06	0.0	1.09	3.3%	0.94	0.4	0.97	0.83	1.25	12	1.24
24_木材・木製品製造業	16	18.3	1.07	10.2%	0.92	1.02%	1.01	0.1	1.18	4.0%	1.09	0.3	1.27	0.55	1.13	4	1.35
25_家具・調度品製造業	12	15.3	0.95	11.9%	0.97	1.07%	1.13	0.1	1.27	2.8%	1.00	0.2	1.12	0.52	1.11	4	1.25
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	40	21.2	1.20	18.3%	1.03	0.73%	0.99	0.4	1.14	5.7%	1.07	3.3	1.23	1.04	1.04	43	1.34
27_印刷・出版業	61	7.9	0.94	24.2%	0.98	1.28%	1.03	0.6	1.13	3.8%	1.05	1.7	1.16	0.52	0.99	26	1.12
28_化学品および関連品製造業	232	45.1	1.25	16.0%	0.99	6.19%	1.00	27.7	1.18	5.5%	1.17	24.5	1.38	1.51	1.16	622	1.32
29_石油製品・石炭製品製造業	11	48.6	–	12.0%	1.15	0.25%	0.94	0.4	1.16	2.1%	0.87	3.6	1.08	0.35	0.98	27	1.49
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	47	16.8	0.82	21.6%	0.93	2.19%	0.90	1.9	1.00	6.3%	0.97	5.4	1.08	0.75	0.95	62	1.07
31_皮革・皮革製品製造業	2	5.9	0.30	2.1%	0.90	0.78%	2.70	0.0	2.77	3.4%	0.86	0.0	0.89	0.49	1.00	0	0.90
32_窯業・土石製品製造業	53	19.2	1.04	13.7%	0.95	2.03%	1.04	1.2	1.21	8.6%	1.31	5.0	1.52	0.87	0.95	40	1.12
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	77	9.2	0.73	20.2%	0.96	1.47%	1.00	3.3	1.18	6.5%	1.20	14.9	1.41	0.60	0.85	77	0.91
34_金属製品製造業	92	12.3	0.81	23.7%	0.97	1.43%	0.97	1.1	1.10	5.3%	1.25	4.2	1.40	0.69	1.02	51	1.17
35_一般機械器具製造業	261	19.5	1.03	21.6%	0.94	3.33%	0.91	15.1	1.05	4.5%	1.02	20.2	1.18	0.93	1.00	403	1.14
36_電気機械器具製造業	230	17.6	1.43	25.1%	0.88	4.48%	1.01	26.4	1.09	5.2%	1.05	30.5	1.14	0.87	1.19	539	1.32
37_輸送機械器具製造業	97	26.6	0.83	23.6%	1.00	4.08%	1.03	38.1	1.17	6.9%	0.93	64.5	1.05	0.78	0.88	478	0.94
38_精密機械器具製造業	88	23.9	1.13	16.0%	0.89	6.06%	1.02	6.1	1.14	4.4%	1.03	4.5	1.15	1.66	1.24	170	1.37
39_その他製造業	32	51.9	2.56	29.1%	1.06	4.53%	0.86	1.7	1.16	2.6%	1.06	1.0	1.44	1.82	1.47	82	1.81
総計	1,545	22.8	1.09	19.4%	0.97	3.55%	0.99	127.8	1.13	5.5%	1.03	196.6	1.18	0.93	1.04	2,907	1.18

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(9) 日本の業種別の営業利益率×売上高伸びのマッピング

日本の業種別に営業利益率（横軸）×売上高伸び倍率をマッピング（バルーンの大きさは売上高）すると、図 9-1 のようになる。

ボリュームゾーンは、営業利益率が 4~8%程度、売上高の伸び倍率（直近 3 期平均÷3-5 期前平均）が 1.1~1.2 倍程度のところにある。

特徴的な業種としては、次のものが挙げられる。

- 営業利益率が特に高い：たばこ製造業（1 社のみ）
- 売上高伸び倍率が高い：その他製造業（グラフの上部）
- ボリュームゾーン近傍で営業利益率・売上高伸び倍率がともに高い：化学品および関連品製造業
- ボリュームゾーン近傍で売上高伸び倍率が低い：電気機械器具製造業

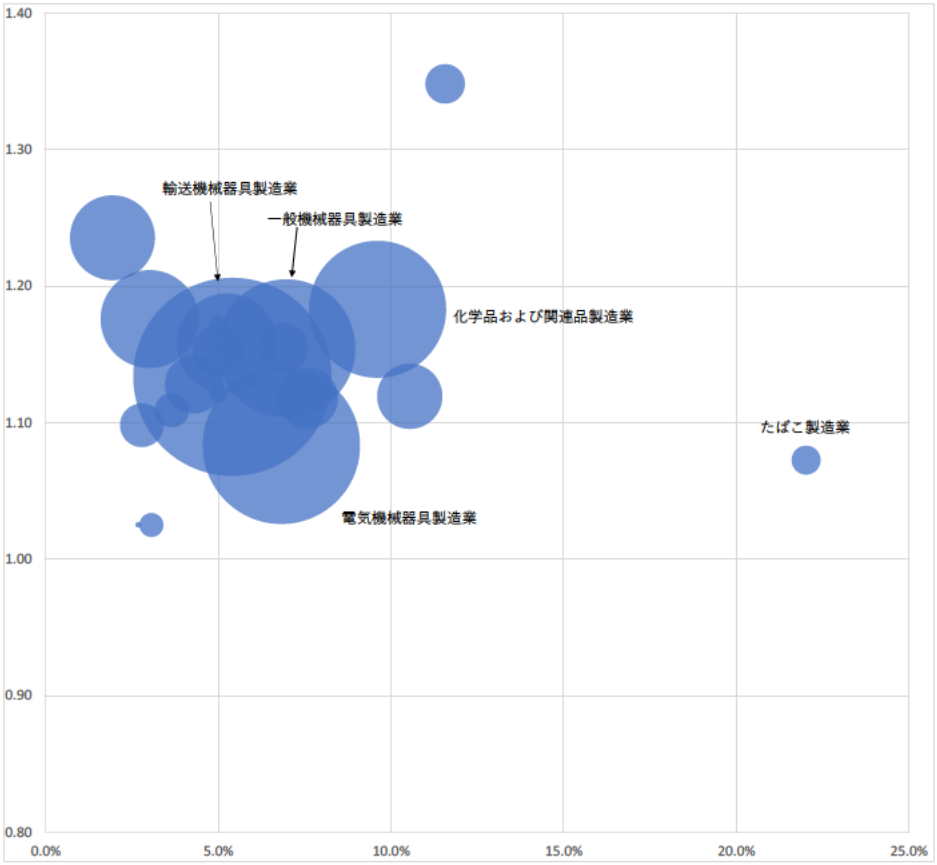


図 9-1　日本の業種別の営業利益率（横軸）×売上高伸び倍率（縦軸）別の売上高（バルーンの大きさ）の分布

（注）業種分類は US SIC によっており、9.3.2 で記載したように日本の標準産業分類とは一部異なることに留意。

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

9.4.2 海外との比較

(1) 5 つの国・ブロック中に占める売上高シェア

ここでは、5 つの国・ブロックの企業の売上高の総計を分母として、当該国の企業の売上高を分子とすることにより売上高のシェアを算出した（表 9-7）。

- 5 つの国・ブロックの製造業上場企業の売上高の合計は、18,541B ドル（1,910 兆円）であり、各ブロックのシェアは、日本 19.4%、北米 29.7%、西欧 28.2%、中国 15.3%、韓国 7.3%である。
- 日本のシェア上位業種は、その他製造業（29.1%）、電気機械（25.1%）、金属製品（23.7%）、輸送機械（25.8%）、繊維（23.5%）、等である。
  - ✓ 日本は金属機械系業種（鉄鋼・非鉄、金属製品、一般機械、電気機械、輸送機械、精密機械）において 2 割前後のシェアとなっている。
- 直近 3 期÷その前の 3 期での売上高の増減率をみると、全業種計では、日本は 14.2%増で、北米（10.6%増）、西欧（14.8%増）と比べて遜色ない水準となっている。一方、中国（45.9%増）、韓国（19.4%増）はそれよりも高い伸びとなっている。
- なお、北米で、売上高増加率が高い業種の特徴を見ると次のとおりである。
  - ✓ 精密機械（24.9%増）には、医療機器が含まれており、精密機械の約 4 割を占めている（表中に数字表記はしていない）。
  - ✓ 一般機械（23.1%増）には、コンピュータ及びオフィス機器が含まれており、同業種の 6 割を占める（同上）。北米の売上高上位は、Apple（267B ドル）、Dell（87B ドル）、HP（58B ドル）の 3 社だけで 412B ドルを占めており、同業種の約半分を占める。

表 9-7　5 つの国・ブロックのデータ比較　①5 つの国・ブロック中に占める売上高のシェア

	金額(B$)					シェア					増減率(直近3期/3期前から5期前)				
	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国
20_食料品製造業	237	520	539	184	113	14.9%	32.6%	33.8%	11.6%	7.1%	15.8%	4.3%	13.0%	57.4%	34.6%
21_たばこ製造業	20	57	67	-	4	13.2%	38.4%	45.5%	—	2.9%	7.3%	3.9%	9.0%	–	12.9%
22_繊維工業	27	14	10	58	6	23.5%	12.0%	8.6%	50.5%	5.4%	10.9%	18.3%	31.0%	45.3%	-54.1%
23_衣服及び関連製品製造業	13	40	187	93	15	3.9%	11.5%	53.6%	26.6%	4.4%	2.5%	5.6%	30.7%	42.9%	25.7%
24_木材・木製品製造業	7	48	8	5	3	10.2%	66.7%	11.8%	6.7%	4.6%	17.1%	33.8%	8.5%	32.3%	20.3%
25_家具・調度品製造業	7	33	3	12	2	11.9%	58.2%	5.6%	20.5%	3.8%	12.1%	4.9%	14.9%	57.6%	53.4%
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	59	110	105	33	12	18.3%	34.6%	33.0%	10.4%	3.7%	15.3%	10.0%	2.0%	49.7%	23.0%
27_印刷・出版業	45	55	56	27	3	24.2%	29.7%	30.0%	14.4%	1.8%	9.8%	6.3%	1.7%	62.6%	25.7%
28_化学品および関連品製造業	447	766	856	515	203	16.0%	27.5%	30.7%	18.5%	7.3%	18.3%	7.4%	13.7%	56.2%	28.9%
29_石油製品・石炭製品製造業	171	849	334	36	43	12.0%	59.2%	23.3%	2.5%	3.0%	23.6%	0.9%	8.6%	34.9%	125.4%
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	86	95	152	44	22	21.6%	23.7%	38.0%	11.1%	5.5%	11.8%	12.9%	26.0%	37.5%	12.0%
31_皮革・皮革製品製造業	1	15	11	3	2	2.1%	47.1%	34.4%	10.0%	6.5%	2.5%	20.3%	9.7%	5.7%	10.2%
32_窯業・土石製品製造業	57	56	173	120	14	13.7%	13.2%	41.2%	28.5%	3.3%	15.5%	11.5%	4.9%	75.0%	23.0%
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	227	133	262	369	135	20.2%	11.8%	23.3%	32.8%	12.0%	17.6%	14.7%	11.8%	39.8%	16.3%
34_金属製品製造業	80	96	67	65	28	23.7%	28.5%	19.9%	19.5%	8.4%	12.8%	13.9%	13.6%	27.7%	23.9%
35_一般機械器具製造業	453	822	401	376	47	21.6%	39.2%	19.1%	17.9%	2.2%	15.5%	23.1%	12.2%	43.1%	43.5%
36_電気機械器具製造業	588	478	373	481	426	25.1%	20.4%	15.9%	20.5%	18.1%	8.3%	21.2%	10.8%	61.0%	24.6%
37_輸送機械器具製造業	935	1,025	1,383	357	268	23.6%	25.8%	34.8%	9.0%	6.7%	13.4%	7.3%	19.1%	19.7%	-3.5%
38_精密機械器具製造業	101	280	204	40	5	16.0%	44.4%	32.4%	6.3%	0.8%	11.9%	24.9%	26.9%	72.6%	40.3%
39_その他製造業	37	24	35	28	3	29.1%	18.9%	27.8%	21.9%	2.2%	34.8%	12.6%	25.4%	29.1%	61.3%
総計	3,599	5,514	5,227	2,846	1,355	19.4%	29.7%	28.2%	15.3%	7.3%	14.2%	10.6%	14.8%	45.9%	19.4%

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(2) 研究開発費総額

- 5 つの国・ブロックの研究開発費の総額は、654B ドル（67 兆円）であり、各ブロックのシェアは、日本 19.6%、北米 38.4%、西欧 26.8%、中国 9.5%、韓国 4.8%である。
  - ✓ 日本は売上高のシェア（19.6%）と研究開発費のシェアは同程度で、西欧も同様である。
  - ✓ 北米は売上高のシェア（29.7%）に比べて研究開発費のシェアが非常に高い。
  - ✓ 中国、韓国は、売上高シェア（それぞれ 15.3%、7.3%）に比べて研究開発費のシェアが低い。
- 日本のシェア上位業種は、その他製造業（46.6%）、印刷・出版（43.1%）、繊維（35.9%）輸送機械（29.0%）等である。
  - ✓ 金属機械系業種の中では、輸送機械（29.0%）、鉄鋼・非鉄（26.5%）において高く、精密機械（17.0%）、電気機械（17.8%）はやや低い。
- 直近 3 期÷その前の 3 期の増減率（金額の増減率）でみると、全業種計では、日本は 13.4%増で、北米（19.6%増）よりも低いが、西欧（14.7%増）並みとなっている。一方、中国（87.7%増）、韓国（34.1%増）は増加が急速である。

表 9-8　5 つの国・ブロックのデータ比較　②研究開発費総額

	金額(B$)					シェア					増減率(直近3期/3期前から5期前)				
	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国
20_食料品製造業	2.5	2.4	4.2	1.1	0.4	23.3%	22.4%	40.2%	10.0%	4.1%	8.9%	-1.3%	3.1%	89.5%	4.8%
21_たばこ製造業	0.6	0.7	0.2	-	0.0	39.8%	46.3%	11.0%	—	2.9%	27.7%	7.8%	52.6%	–	28.5%
22_繊維工業	0.5	0.1	0.0	0.8	0.0	35.9%	3.9%	2.2%	56.0%	2.0%	8.4%	3.8%	11.2%	114.0%	-74.5%
23_衣服及び関連製品製造業	0.0	0.1	0.4	0.6	0.0	3.9%	7.2%	35.1%	52.5%	1.4%	8.8%	-30.5%	21.2%	142.5%	2.4%
24_木材・木製品製造業	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	32.5%	30.8%	3.6%	28.5%	4.5%	18.4%	3.9%	31.1%	118.7%	76.6%
25_家具・調度品製造業	0.1	0.2	0.0	0.3	0.0	12.5%	41.2%	0.9%	44.6%	0.8%	26.8%	15.4%	-1.7%	117.6%	29.5%
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	0.4	0.5	0.3	0.8	0.0	19.9%	24.3%	16.2%	38.4%	1.3%	14.3%	-3.2%	-2.7%	95.8%	45.3%
27_印刷・出版業	0.6	0.2	0.3	0.2	0.0	43.1%	16.0%	26.1%	13.8%	0.9%	12.6%	79.5%	-5.4%	144.4%	18.7%
28_化学品および関連品製造業	27.7	86.2	69.0	9.9	2.7	14.2%	44.1%	35.3%	5.1%	1.4%	18.2%	19.8%	15.9%	117.3%	62.7%
29_石油製品・石炭製品製造業	0.4	5.1	0.5	0.2	0.1	6.9%	81.3%	8.3%	2.5%	1.0%	15.8%	-42.2%	-12.1%	222.1%	*
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	1.9	1.1	6.0	1.1	0.3	18.1%	10.2%	57.9%	10.5%	3.3%	0.3%	10.7%	40.4%	92.5%	23.8%
31_皮革・皮革製品製造業	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	1.6%	5.6%	71.8%	19.4%	1.6%	176.9%	51.2%	68.9%	40.2%	-16.8%
32_窯業・土石製品製造業	1.2	2.0	0.9	1.1	0.0	21.9%	38.1%	17.7%	21.4%	0.9%	20.6%	5.2%	-5.5%	88.8%	20.7%
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	3.3	1.7	2.0	5.4	0.2	26.5%	13.3%	16.0%	42.6%	1.7%	17.6%	20.7%	-2.2%	114.3%	-5.7%
34_金属製品製造業	1.1	0.9	1.3	1.5	0.1	23.3%	17.6%	26.8%	30.9%	1.5%	9.7%	5.1%	23.4%	74.6%	48.2%
35_一般機械器具製造業	15.1	40.9	13.4	9.4	0.9	19.0%	51.4%	16.8%	11.8%	1.1%	5.5%	42.8%	11.1%	84.6%	60.4%
36_電気機械器具製造業	26.4	54.9	26.7	18.0	22.4	17.8%	37.0%	18.0%	12.2%	15.1%	9.3%	22.4%	18.9%	100.0%	32.9%
37_輸送機械器具製造業	38.1	34.3	47.2	8.7	3.3	29.0%	26.1%	35.9%	6.6%	2.5%	16.9%	8.3%	9.4%	36.6%	24.5%
38_精密機械器具製造業	6.1	19.0	8.3	2.4	0.2	17.0%	52.8%	22.9%	6.7%	0.6%	14.2%	32.7%	30.5%	93.9%	53.0%
39_その他製造業	1.7	0.7	0.3	0.6	0.2	46.6%	20.7%	8.3%	17.7%	6.8%	15.6%	1.4%	27.9%	59.4%	165.7%
総計	127.8	251.1	181.5	62.2	31.1	19.6%	38.4%	27.8%	9.5%	4.8%	13.4%	19.4%	14.7%	87.7%	34.1%

（注）韓国の石油・石炭の研究開発費の変化は、特異な値のため、棒グラフ表示から除外して表示した。

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(3) 固定資産の新規購入額

- 5 つの国・ブロックの研究開発費の総額は、755B ドル（78 兆円）である。但し、北米についてはデータの収録率が低いため、参考値である。
- 北米の収録率が低い点に留意したうえで各ブロックのシェアを見ると、日本 26.0%、西欧 31.9%、中国 24.8%、韓国 15.0%である。
- 日本のシェア上位業種は、輸送機械（39.1%）、一般機械（36.1%）、金属製品（32.3%）等である。
  - ✓ 金属機械系業種の中では、電気機械（20.0%）が相対的に低い。
- 直近 3 期÷その前の 3 期の増減率（金額の増減率）でみると、全業種計では、日本は 17.6%増で、西欧（10.3%増）より高い。一方、中国（54.0%増）、韓国（37.0%増）は増加が急速である。

表 9-9　5 つ国・ブロックのデータ比較　③固定資産の新規購入額

	金額（B$）					シェア					増減率（直近3期/3期前から5期前）				
	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国
20_食料品製造業	10	3	22	11	8	19.4%	4.8%	41.3%	20.0%	14.4%	36.1%	-23.9%	-14.5%	51.6%	63.2%
21_たばこ製造業	1	0	1	-	0	43.3%	0.0%	45.5%	—	11.2%	23.8%	–	8.0%	–	38.2%
22_繊維工業	1	0	1	4	0	15.6%	0.0%	10.0%	67.6%	6.8%	9.2%	–	36.4%	93.4%	-46.5%
23_衣服及び関連製品製造業	0	0	9	3	1	3.3%	1.2%	67.2%	24.4%	3.9%	-3.1%	39.8%	34.2%	44.0%	15.0%
24_木材・木製品製造業	0	1	0	1	0	13.2%	38.8%	17.5%	25.1%	5.4%	27.3%	31.7%	28.2%	205.8%	18.6%
25_家具・調度品製造業	0	0	0	1	0	13.9%	3.5%	7.3%	69.6%	5.6%	12.1%	-13.7%	48.0%	107.6%	62.5%
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	3	1	5	3	1	26.2%	4.5%	40.2%	23.5%	5.5%	22.9%	67.0%	25.3%	53.2%	32.1%
27_印刷・出版業	2	0	1	2	0	28.7%	8.1%	21.4%	39.2%	2.6%	15.7%	-16.7%	-3.7%	191.1%	6.2%
28_化学品および関連品製造業	24	3	46	36	15	19.7%	2.0%	36.8%	29.0%	12.4%	38.2%	357.4%	9.0%	58.2%	50.4%
29_石油製品・石炭製品製造業	4	4	18	2	3	11.8%	14.6%	57.9%	7.4%	8.2%	7.8%	-14.6%	-16.6%	117.7%	224.5%
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	5	0	9	3	2	28.3%	0.4%	45.5%	17.3%	8.5%	8.3%	2.0%	24.8%	39.6%	-15.5%
31_皮革・皮革製品製造業	0	0	0	0	0	2.5%	0.0%	42.4%	40.7%	14.4%	-11.4%	-20.9%	-30.6%	41.5%	67.8%
32_窯業・土石製品製造業	5	0	10	8	1	20.5%	0.1%	42.1%	34.0%	3.4%	51.5%	74.0%	12.8%	46.7%	41.9%
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	15	0	11	19	4	30.1%	0.3%	22.6%	38.6%	8.5%	40.6%	166.9%	4.3%	9.9%	-6.4%
34_金属製品製造業	4	1	2	4	2	32.3%	4.5%	18.0%	32.9%	12.4%	40.5%	18.0%	10.3%	5.5%	-25.5%
35_一般機械器具製造業	20	0	12	21	2	36.1%	0.4%	21.2%	37.9%	4.4%	17.7%	38.1%	10.1%	78.2%	50.4%
36_電気機械器具製造業	30	1	15	45	62	20.0%	0.7%	9.6%	29.3%	40.5%	13.5%	73.6%	28.5%	82.0%	63.8%
37_輸送機械器具製造業	65	3	67	18	12	39.2%	2.1%	40.6%	10.6%	7.5%	5.4%	11.6%	21.0%	28.7%	-22.0%
38_精密機械器具製造業	4	0	10	4	1	23.5%	0.1%	53.7%	19.6%	3.2%	15.3%	72.9%	35.3%	78.5%	53.3%
39_その他製造業	1	0	2	1	0	25.2%	1.4%	41.1%	29.5%	2.9%	43.6%	65.3%	20.5%	43.5%	145.1%
総計	197	17	241	187	113	26.0%	2.3%	31.9%	24.8%	15.0%	17.6%	5.6%	10.3%	54.0%	37.0%

（注）北米のデータは収録率が低いため参考値である。

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(4) 時価総額

- 5 つの国・ブロックの時価総額は、25,316B ドル（2,608 兆円）である。但し、中国についてはデータの収録率が低いため、参考値である。
- 中国の収録率が低い点に留意したうえで各ブロックのシェアを見ると、日本 11.5%、北米 46.1%、西欧 27.5%、韓国 3.9%である。
  - ✓ 日本は、売上高のシェア（19.4%）に比べて時価総額が低いことが特徴である。
- 日本のシェア上位業種は、輸送機械（39.1%）、一般機械（36.1%）、金属製品（32.3%）等である。
  - ✓ 金属機械系業種の中では、電気機械（20.0%）が相対的に低い。
- 直近 3 期÷その前の 3 期の増減率（金額の増減率）でみると、全業種計では、日本は 17.6%増で、西欧（10.3%増）より高い。一方、中国（54.0%増）、韓国（37.0%増）は増加が急速である。

表 9-10　5 つの国・ブロックのデータ比較　④時価総額

	金額（B$）					シェア					増減率（直近3期/3期前から5期前）				
	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国	日本	北米	西欧	中国	韓国
20_食料品製造業	202	958	1,094	431	42	7.4%	35.1%	40.1%	15.8%	1.5%	23.9%	8.5%	13.8%	107.1%	2.9%
21_たばこ製造業	52	244	142	-	13	11.5%	54.1%	31.5%	—	2.9%	-20.0%	-3.4%	-10.8%	–	15.2%
22_繊維工業	11	17	10	45	4	12.8%	19.4%	11.8%	51.5%	4.5%	14.8%	0.9%	83.7%	1.0%	-26.8%
23_衣服及び関連製品製造業	12	59	461	68	7	1.9%	9.7%	76.1%	11.2%	1.2%	24.1%	9.8%	54.9%	8.2%	-0.9%
24_木材・木製品製造業	4	60	11	6	3	4.9%	72.1%	12.8%	7.0%	3.2%	35.4%	25.3%	13.3%	12.8%	-36.6%
25_家具・調度品製造業	4	33	1	13	1	8.4%	62.4%	2.3%	24.4%	2.5%	24.6%	3.7%	-21.5%	7.7%	-0.2%
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	43	120	108	43	6	13.6%	37.4%	33.8%	13.3%	1.9%	33.5%	5.3%	30.1%	-13.9%	44.9%
27_印刷・出版業	26	85	82	25	3	11.9%	38.5%	37.0%	11.3%	1.3%	12.4%	33.4%	36.1%	-10.7%	48.7%
28_化学品および関連品製造業	622	2,861	1,975	599	215	9.9%	45.6%	31.5%	9.6%	3.4%	31.9%	28.5%	16.9%	12.4%	49.9%
29_石油製品・石炭製品製造業	27	832	173	13	17	2.6%	78.3%	16.3%	1.2%	1.6%	48.9%	-0.1%	27.4%	1.0%	115.2%
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	62	159	158	39	13	14.4%	36.8%	36.7%	9.1%	3.0%	6.6%	27.8%	38.5%	6.1%	-2.4%
31_皮革・皮革製品製造業	0	20	20	5	3	0.4%	41.4%	42.3%	10.7%	5.2%	-9.7%	1.8%	-9.7%	-10.0%	67.4%
32_窯業・土石製品製造業	40	139	151	97	8	9.3%	31.9%	34.6%	22.3%	1.9%	12.3%	14.2%	9.4%	18.9%	20.8%
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	77	96	121	190	44	14.6%	18.2%	22.9%	36.0%	8.4%	-9.3%	11.0%	7.7%	0.7%	11.1%
34_金属製品製造業	51	115	119	60	13	14.3%	32.2%	33.3%	16.8%	3.5%	16.7%	28.4%	32.2%	1.2%	-4.1%
35_一般機械器具製造業	403	2,017	448	332	42	12.4%	62.2%	13.8%	10.2%	1.3%	14.5%	76.2%	26.7%	4.4%	43.3%
36_電気機械器具製造業	539	1,517	605	514	429	15.0%	42.1%	16.8%	14.3%	11.9%	32.5%	61.5%	33.4%	23.1%	51.3%
37_輸送機械器具製造業	478	1,053	707	225	99	18.7%	41.1%	27.6%	8.8%	3.8%	-6.1%	2.3%	24.9%	-7.4%	-8.6%
38_精密機械器具製造業	170	1,238	491	87	9	8.5%	62.1%	24.6%	4.4%	0.5%	37.0%	87.0%	43.1%	16.7%	37.9%
39_その他製造業	82	42	73	23	11	35.3%	18.2%	31.7%	10.1%	4.7%	81.3%	63.9%	-0.7%	29.5%	108.2%
総計	2,907	11,664	6,950	2,815	980	11.5%	46.1%	27.5%	11.1%	3.9%	18.2%	33.1%	22.6%	16.5%	33.6%

（注）中国の時価総額の収録率が低いため参考値である

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(5) 5 つの国・ブロックに占める日本のシェアのまとめ

4 つの指標について世界主要国に占める日本のシェアをみると、売上高、研究開発費はいずれも 2 割弱である。固定資産新規購入額においては 3 割弱（但し北米の収録率が低いことに留意）である。一方で、時価総額は 1 割強に過ぎない。

表 9-11　5 つの国・ブロックに占める日本のシェア

	売上高	研究開発費	固定資産新規購入額	時価総額
20_食料品製造業	14.9%	23.3%	19.4%	7.4%
21_たばこ製造業	13.2%	39.8%	43.3%	11.5%
22_繊維工業	23.5%	35.9%	15.6%	12.8%
23_衣服及び関連製品製造業	3.9%	3.9%	3.3%	1.9%
24_木材･木製品製造業	10.2%	32.5%	13.2%	4.9%
25_家具･調度品製造業	11.9%	12.5%	13.9%	8.4%
26_パルプ･紙･紙加工品製造業	18.3%	19.9%	26.2%	13.6%
27_印刷･出版業	24.2%	43.1%	28.7%	11.9%
28_化学品および関連品製造業	16.0%	14.2%	19.7%	9.9%
29_石油製品･石炭製品製造業	12.0%	6.9%	11.8%	2.6%
30_ゴム製品･プラスチック製品製造業	21.6%	18.1%	28.3%	14.4%
31_皮革･皮革製品製造業	2.1%	1.6%	2.5%	0.4%
32_窯業･土石製品製造業	13.7%	21.9%	20.5%	9.3%
33_鉄鋼･非鉄金属製造業	20.2%	26.5%	30.1%	14.6%
34_金属製品製造業	23.7%	23.3%	32.3%	14.3%
35_一般機械器具製造業	21.6%	19.0%	36.1%	12.4%
36_電気機械器具製造業	25.1%	17.8%	20.0%	15.0%
37_輸送機械器具製造業	23.6%	29.0%	39.2%	18.7%
38_精密機械器具製造業	16.0%	17.0%	23.5%	8.5%
39_その他製造業	29.1%	46.6%	25.2%	35.3%
総計	19.4%	19.6%	26.0%	11.5%

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(6) 主要業種別にみた国・ブロック別の業績マッピング

ここでは、主要業種について、集計対象の国・ブロック別の売上高シェア、営業利益のシェアの変化をグラフ上にマッピングして示す。なお、主要業種とは、生活関連型業種である食料品、たばこ、衣服、木材・木製品、家具・調度品、皮革・皮革製品を除いた 13 業種とする。

＜グラフの見方＞

- グラフ上に原点から右上に伸びる赤線を表示している。これは、売上高シェアと営業利益のシェアがイコールになるポジションを示している。便宜上、これを「45 度線」と呼ぶ。
- 45 度線上に各国が並ぶパターンは、各国とも利益構造（営業利益率）が同程度であることを示す。その場合の各国間の相違は規模の大小、規模の増減のみである。
- グラフ中の「×」は 3-5 期前平均、「○」は直近 3 期平均を示す。×と○の間の矢印は、その間の変化を示している。

1) 繊維工業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて中国が売上高シェアを伸ばす一方、韓国の売上高シェアは大きく低下した。
- 北米、西欧、中国は、3-5 期前には概ね「45 度線上」に乗っているが、日本は 45 度線より下にあり、営業利益率が低いことがわかる。

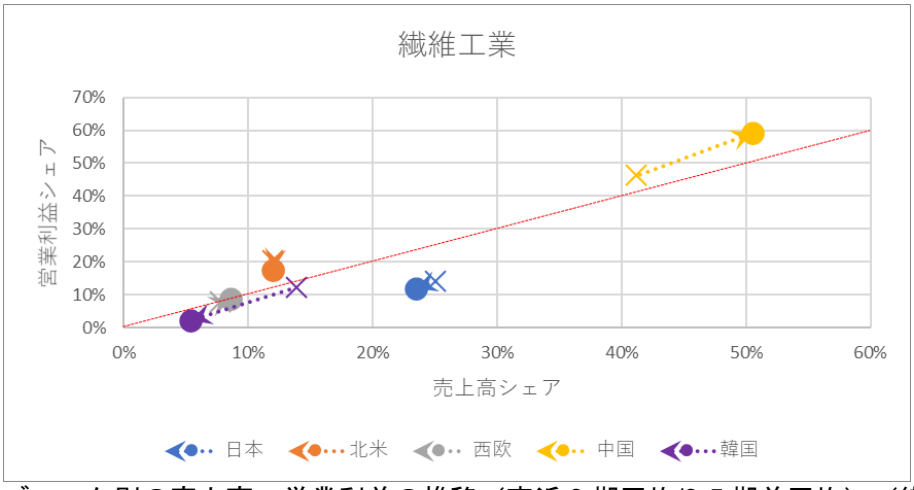


図 9-2　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（繊維工業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

2) 印刷・出版業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて中国が売上高シェアを伸ばす一方、西欧の売上高シェアは低下した。西欧は、売上高シェアを下げたものの、営業利益のシュアが上昇した。
- 北米、西欧、中国は概ね 45 度線上に乗っているが、日本は線の下にあり、営業利益率が低いことがわかる。

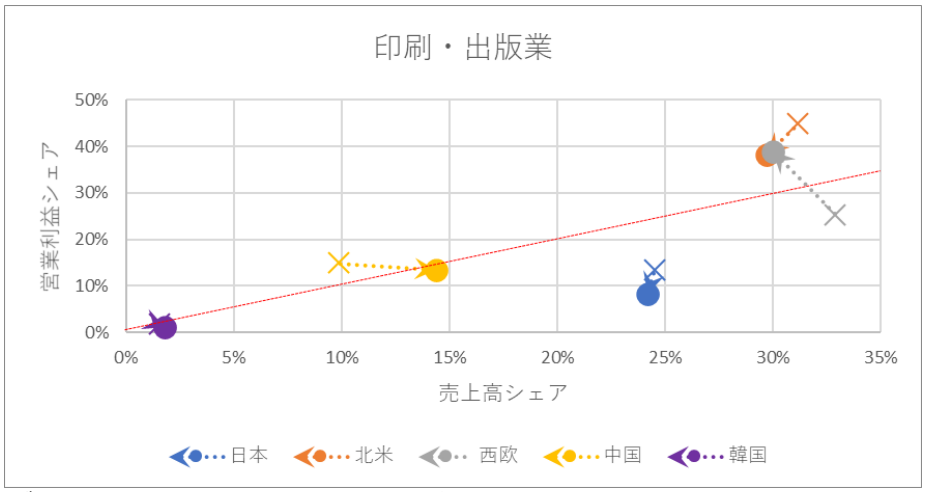


図 9-3　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（印刷・出版業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

3) 化学品および関連品製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて北米の売上高シェアが下がる一方、中国の売上高シェアが上昇した。
- 日本と西欧は概ね 45 度線上に乗っている。北米は、線より上にあり、営業利益率が高いことがわかる。米国においては医薬品の売上高が相対的に高いことによる可能性がある。

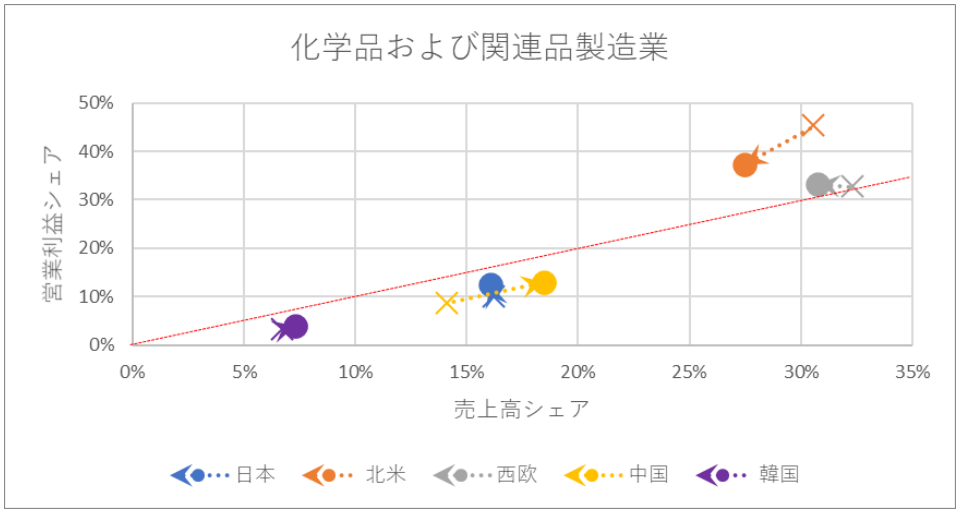


図 9-4　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（化学品および関連品製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

4) 石油製品・石炭製品製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて売上高シェアは大きくは変化しなかったが、営業利益のシェアは大きく変動した。北米の営業利益シェアが下がった一方、西欧、日本は営業利益シェアが上昇した。
- 北米、西欧は概ね 45 度線上に乗っているが、日本は線よりも下にあり、営業利益率が低いことがわかる。

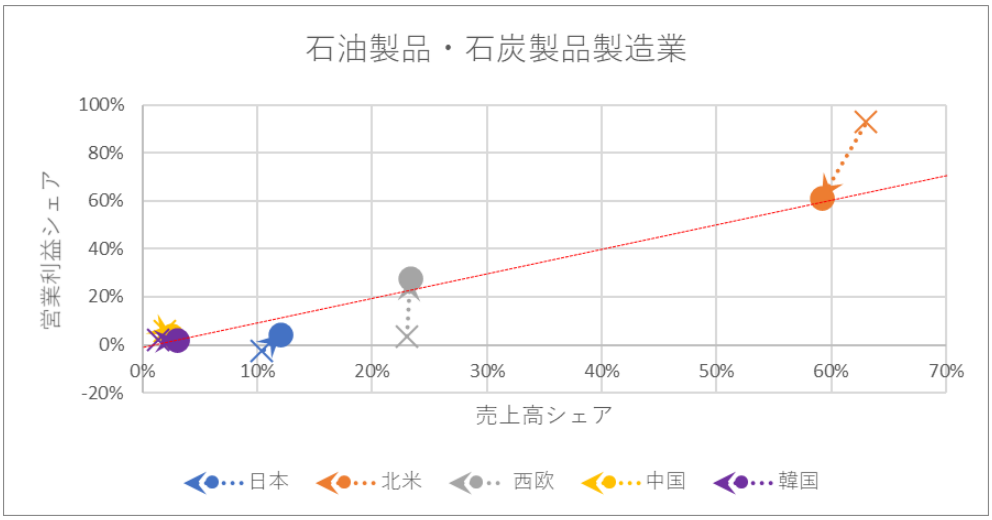


図 9-5　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（石油製品・石炭製品製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

5) ゴム製品・プラスチック製品製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて売上高シェアは大きくは変化しなかった。
- 5 ブロックとも概ね 45 度線上に乗っており、収益構造が類似している。

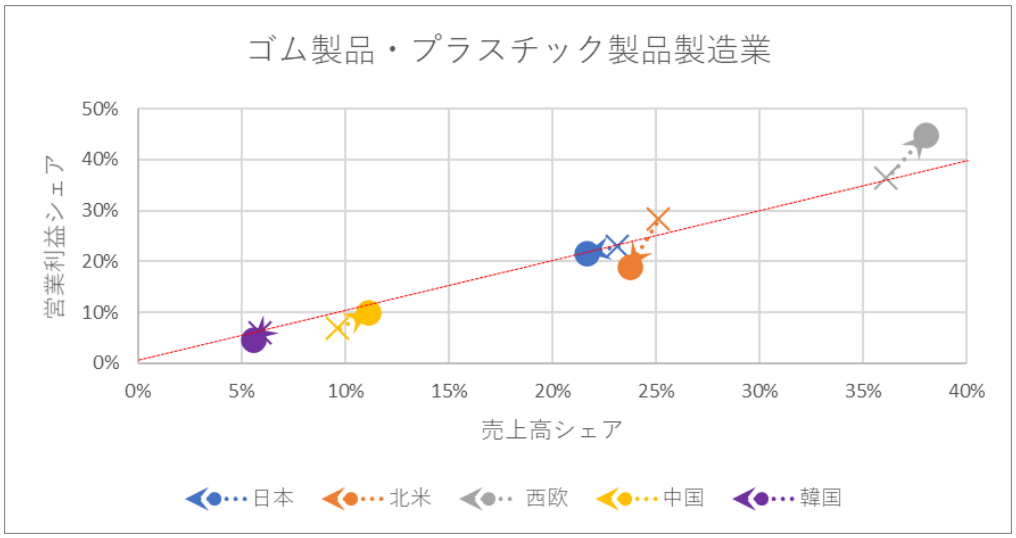


図 9-6　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（ゴム製品・プラスチック製品製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

6) 窯業・土石製品製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて中国が大きく売上高シェアを伸ばした一方、西欧の売上高シェアは低下した。
- 北米、中国は 45 度線上より上にあるが、西欧、日本は線の下にあり、収益性の面で劣る。

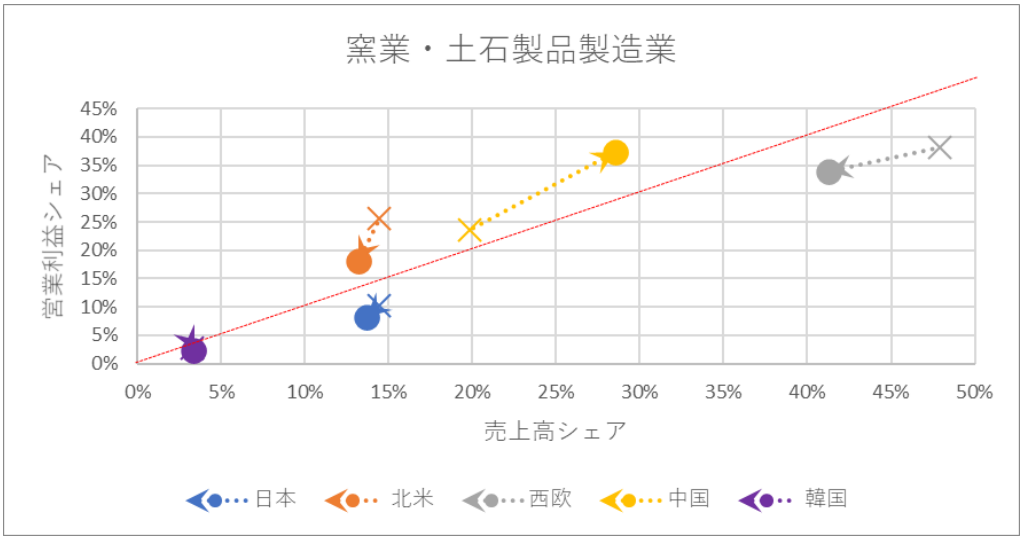


図 9-7　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（窯業・土石製品製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

7) 鉄鋼・非鉄金属製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて中国が売上高シェアを上げた一方、他の 4 ブロックは総じて売上高シェアを下げた。
- 中国は、45 度線の下から上に転じており営業利益率が上がったことがわかる。一方、西欧、日本はこの間、営業利益率を下げた。

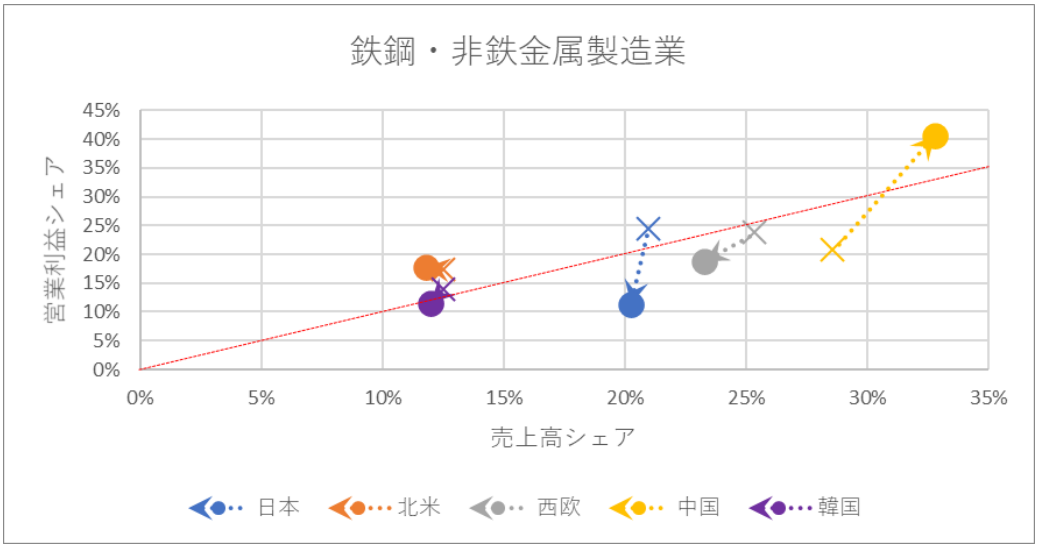


図 9-8　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（鉄鋼・非鉄金属製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

8) 金属製品製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて売上高シェアには大きな変化はなかった。
- 北米、西欧は 45 度線上にあり、中国も 45 度線上にあるが、日本は線の下にあり、この間、さらに下がっている。

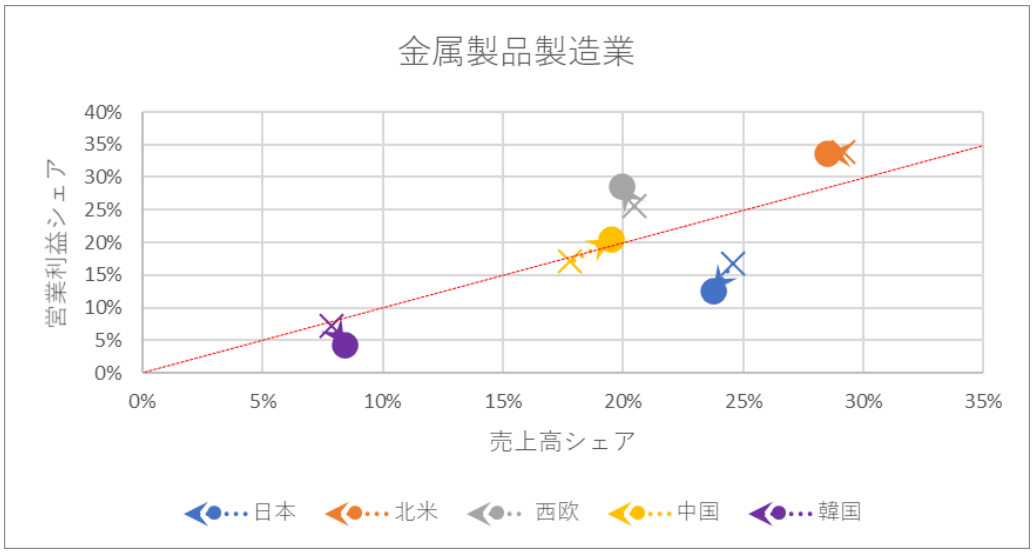


図 9-9　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（金属製品製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

9) 一般機械器具製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて売上高シェアに大きな変化はなかった。
- この業種には、コンピュータ及びオフィス機器を含まれている。特に北米においては Apple、Dell 等のメーカの存在感が大きく、北米は 45 度線よりかなり上にある。
- 日本、西欧、中国はいずれも 45 度線の下にあり、ポジションが類似している。

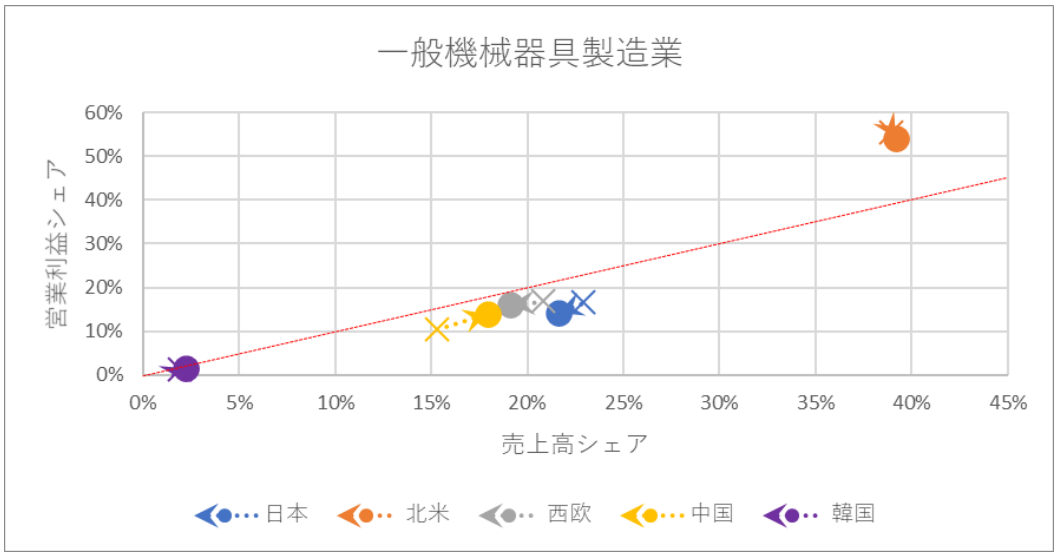


図 9-10　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（一般機械器具製造業）

（注）コンピュータ及びオフィス機器は一般機械器具製造業に含まれることに留意。
（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

10) 電気機械器具製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて日本の売上高シェアが下がった一方、中国の売上高シェアが上昇した。
- 北米は 45 度線上よりかなり上にあり、収益性が高い。韓国も線上にシフトしている。
- 日本、中国が線の下にある。

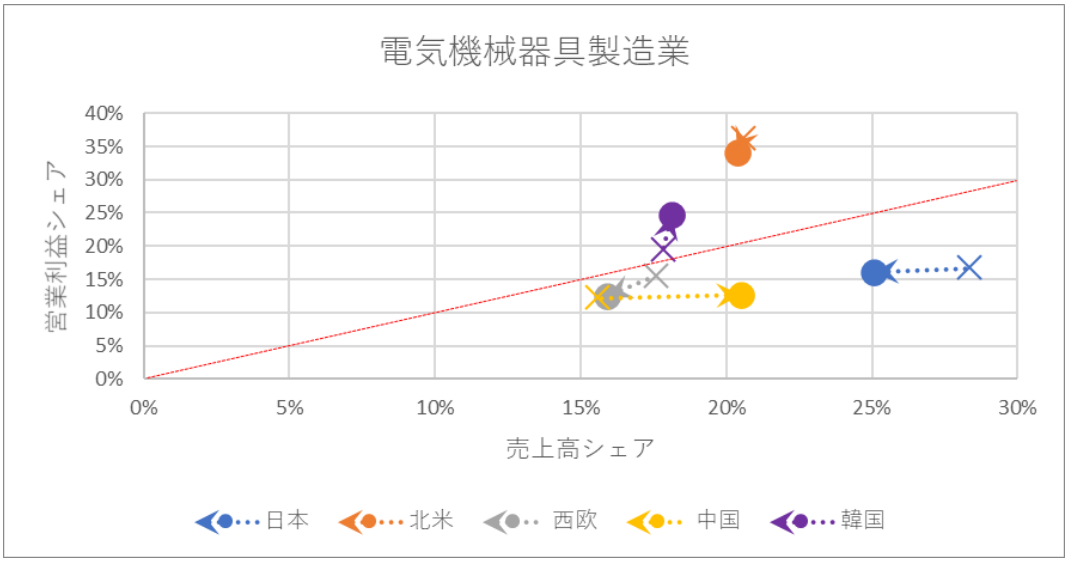


図 9-11　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（電気機械器具製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

11) 輸送機械器具製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて売上高シェアには大きな変化はなかった。
- 西欧、北米、日本は概ね 45 度線上に乗っており、収益構造が類似している。
- 中国、韓国の売上高は 10%未満で、45 度線の下にある。

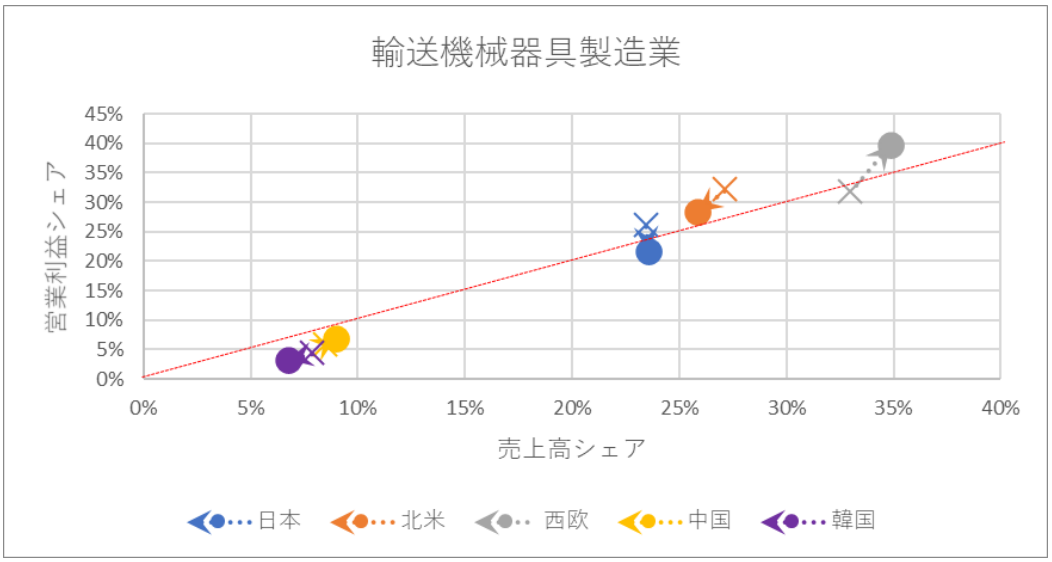


図 9-12　ブロック別の売上高×営業利益の推移（（直近 3 期平均/3-5 期前平均）輸送機械器具製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

12) 精密機械器具製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて売上高シェアに大きな変化はなかった。
- 5 ブロックとも概ね 45 度線上に乗っており、収益構造が類似している。

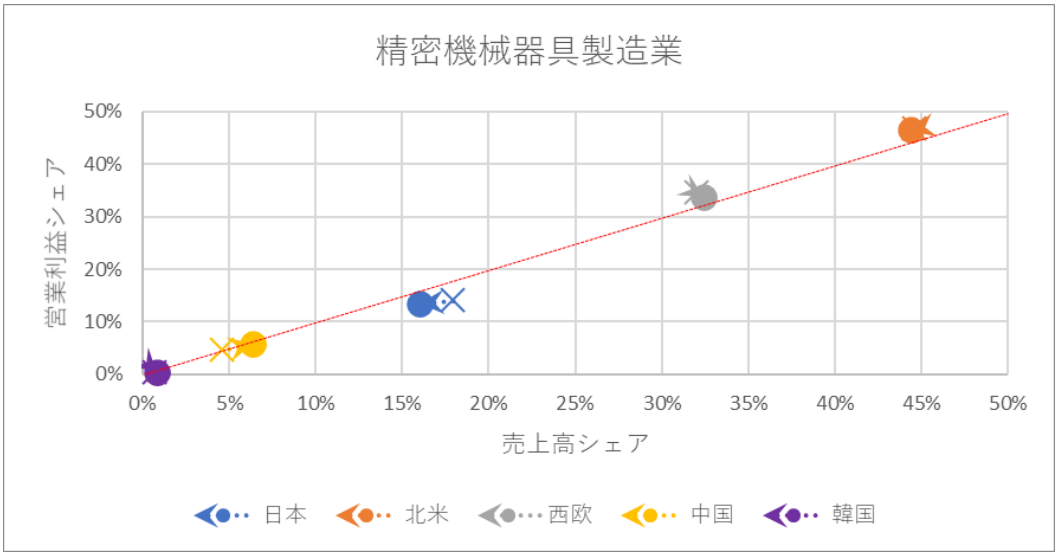


図 9-13　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（精密機械器具製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

13) その他製造業

- 3-5 期前から直近 3 期にかけて日本の売上足シェアがやや上昇した一方、北米の売上高シェアが下がった。
- 日本は、45 度線の下から線上に乗るポジションにシフトした。
- 一方、北米は、45 度線上から戦の下にシフトした。

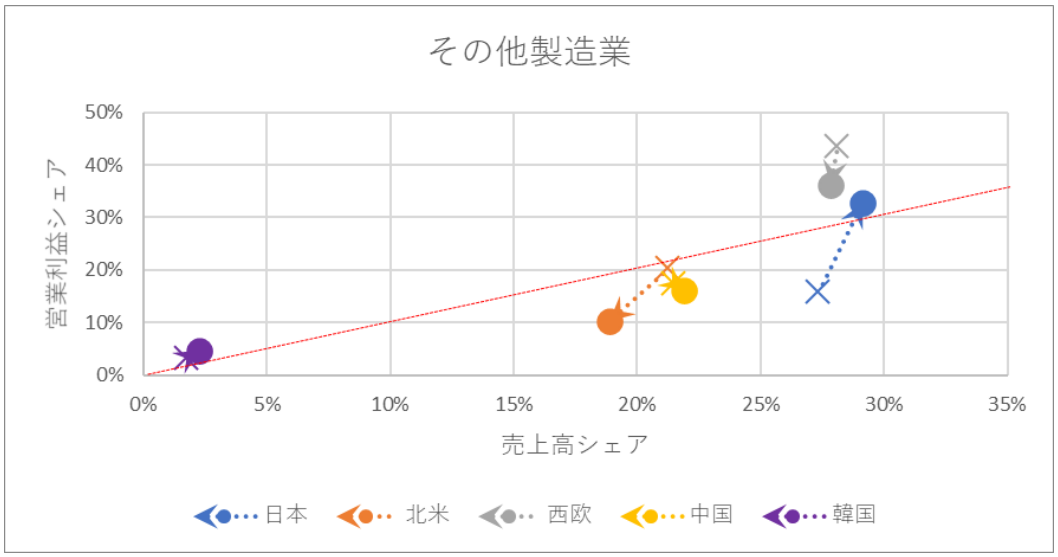


図 9-14　ブロック別の売上高×営業利益の推移（直近 3 期平均/3-5 期前平均）（その他製造業）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

14) 業績マッピングの結果の考察

ここでは、業績マッピングの結果、わかったことについて考察する。

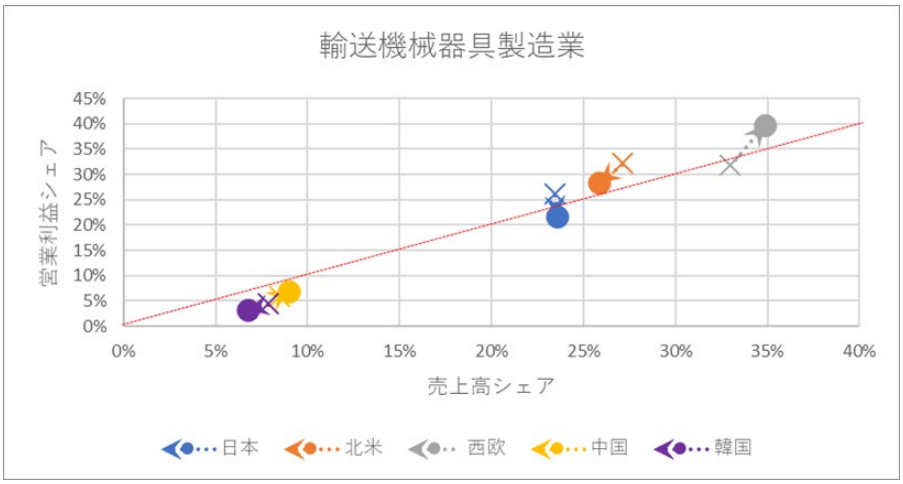
業種別（中分類別）にマッピングを行ったところ、いくつかパターン化できることがわかった。ここでは 3 つのパターンについて述べる

a. 45 度線上に各国が乗るパターン（利益構造が同じ）

このパターンは、5 つの国・ブロックが 45 度線上に乗っている。売上規模は違うものの、営業利益率は同じ水準であり、利益構造は同じとみることができる。

輸送機械、精密機械がこのパターンを示している。両業種は、日本の中では業績が良好とされているが、5 つの国・ブロックの中ではごく標準的だったということがわかる。

輸送機械器具製造業



精密機械器具製造業

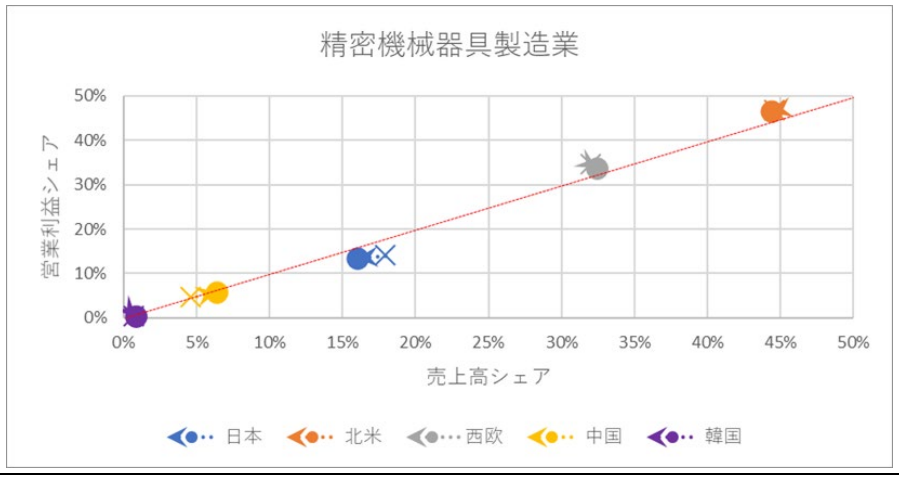


図 9-15　45 度線上に各国が乗るパターン

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

b. 45 度線の下で日本が目立っているパターン

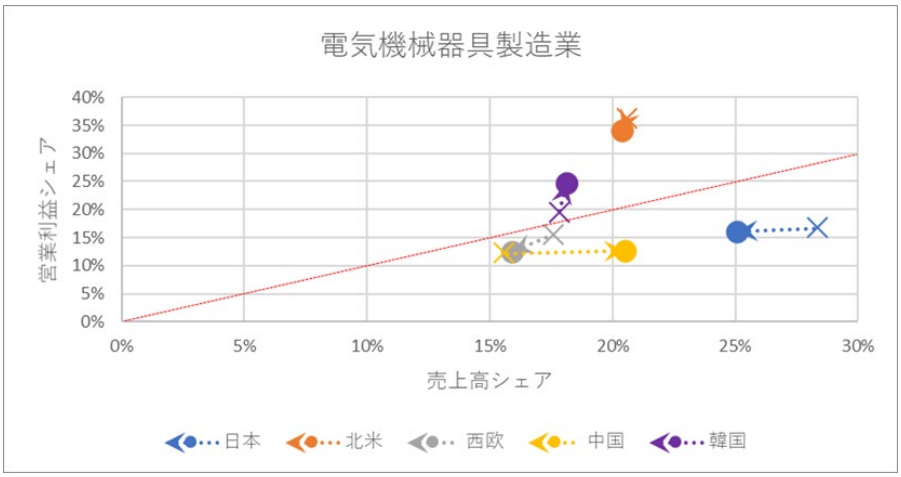
次は、日本だけが 45 度線上からかなり下にあるパターンである。電気機械と金属製品がこのパターに属する。

電気機械の場合、3-5 期前、直近 3 期とも 45 度線のかなり下にあり、売上高シェアも下がっている。中国は、売上高シェアを伸ばしつつ、営業利益率を下げている。北米は、45 度線上のかなり上方にある。

金属製品では、売上高シェア 20%以上の国・ブロックの中で日本だけが 45 度線のかなり下方にある。

これら業種については、背景に何らかの構造的な問題があるではないかと考えられ、要因の分析が課題となる。

電気機械器具製造業



金属製品製造業

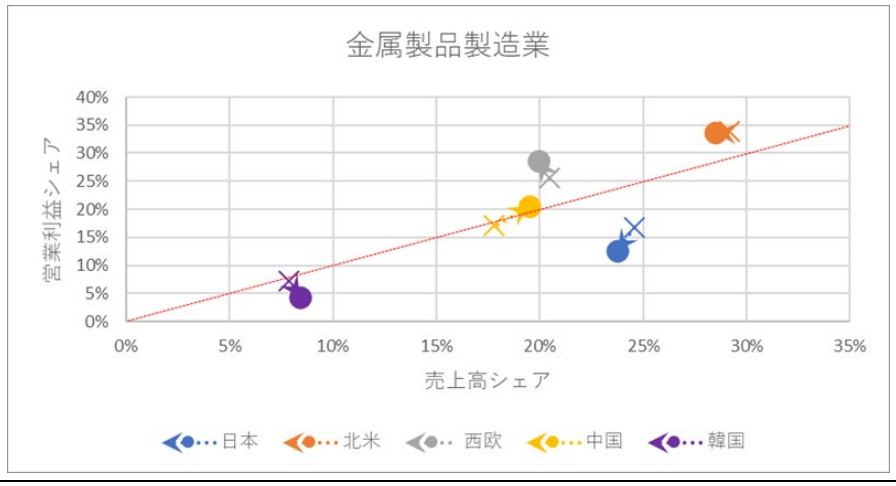


図 9-16　45 度線の下で日本が目立っているパターン

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

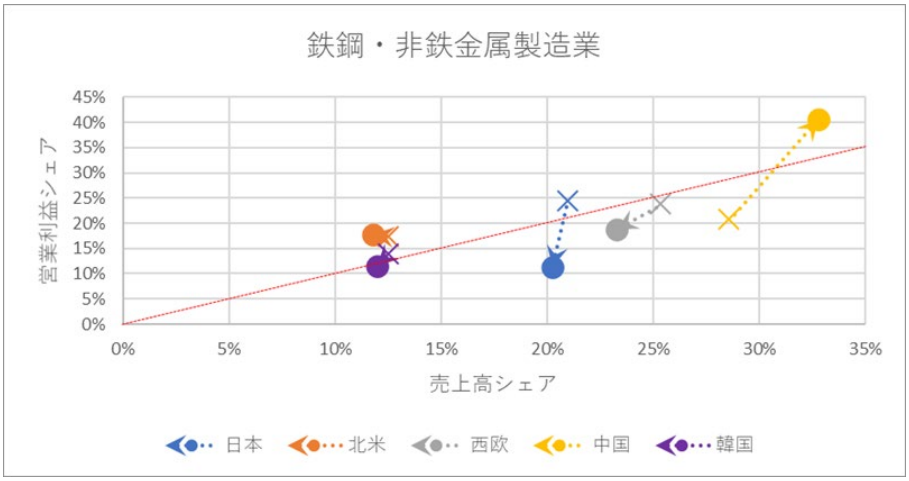
c. 特定の国が突出してリードしているパターン

鉄鋼・非鉄金属では、中国が売上高シェアを伸ばすとともに、営業利益率も上昇させている。その一方で、日本、西欧は、売上高シェア、営業利益シェアとも下げている。その結果、中国が突出したシェア、営業利益率になってきている。

一般機械では、北米の売上高シェアが突出して高く、営業利益率も高いことから、45 度線のかなり上方で北米が目立っている。ただし、US SIC の業種分類で Apple、Dell といったコンピュータ機器メーカがこの業種に分類されていることに起因する部分が大きいことに留意が必要である。

特定の国が突出してリードしている場合、我が国としてはどのように対応すべきか、検討することが課題になると考えられる。

鉄鋼・非鉄金属製造業



一般機械器具製造業

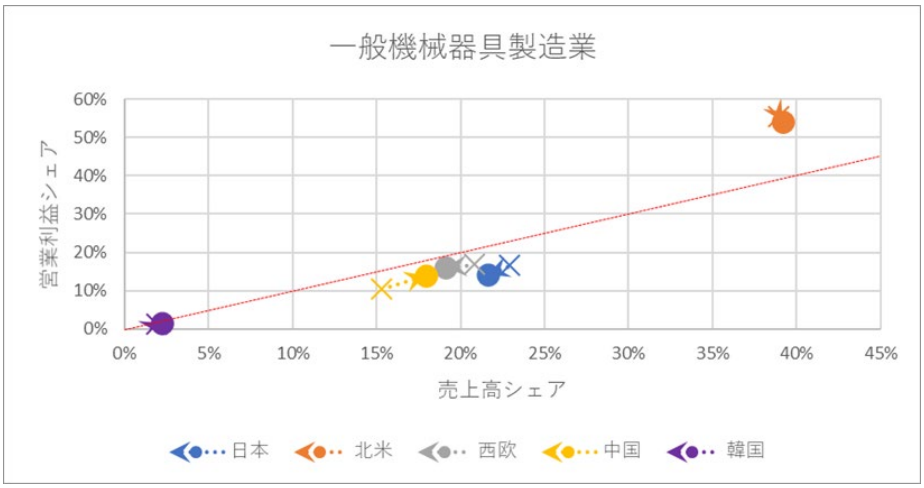


図 9-17　特定の国が突出してリードしているパターン

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

9.4.3 総合評価（業種別）

ここでは、主要 13 業種について、財務指標の増減傾向、国内業種間の比較、世界の 5 ブロック間での比較を行い、総合的に評価する。

以下の表では、財務指標について次の項目を表頭に整理している。

- 日本の数値
  - ✓ 【日本】指標の数値
  - ✓ 【日本】指標の増減傾向（直近 3 期平均÷3-5 期前平均）
    - 次の 4 段階で表示する。
    - △△　1.2 倍以上
    - △　　1.0 倍超

- ▼　1.0 倍以下、0.9 倍以上
- ▼▼　0.9 倍未満

- 世界との比較
  - ✓ 【日本】5 つの国・ブロックの同業種内での順位（直近 3 期）
    - 5 つの国・ブロック内の同業種内での順位を示す。
    - 4 位、5 位の場合はマーカーを付した。
  - ✓ 【日本】5 つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近 3 期）
    - 5 つの国・ブロック内の同業種内のなかでの偏差値を算出し、示した。
    - 偏差値が 45 以下の場合にはマーカーを付した。
  - ✓ 【日本】偏差値の増減傾向（直近 3 期平均÷3-5 期前平均）
    - 5 つの国・ブロック内での偏差値を、直近 3 期と 3-5 期前で比較し、増減傾向を示した。
    - 次の 4 段階で表示する。
    - △△　1.2 倍以上
    - △　1.0 倍超
    - ▼　1.0 倍以下、0.9 倍以上
    - ▼▼　0.9 倍未満
- 世界の数値
  - ✓ 【世界】指標の数値（5 つの国・ブロックの企業の平均値）
- 国内比較
  - ✓ 【日本】国内 20 業種中の指標順位
    - 国内 20 業種間での順位を示す。
    - 16-20 位の場合はマーカーを付した。

(1) 繊維工業

- 売上高研究開発費比率は、5 つの国・ブロック内で 1 位であり、研究開発費総額も 2 位と高い。ただし、偏差値でみるといずれも下がっており、他の国・ブロックに対する優位性が若干下がっている。
- 成長性、収益性は、4 位ないし 5 位となっている指標が多い。

表 9-12　総合評価（繊維工業）

22_繊維工業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.11	–	4位	50.2	–	1.18	15位
収益性	売上高営業利益率（%）	3.7%	▼	4位	39.8	△	7.1%	15位
	総資産利益率（ROA）（%）	2.2%	△	5位	38.7	▼	3.7%	15位
	自己資本利益率（ROE）（%）	4.6%	△	5位	39.3	▼	7.8%	15位
	EBITDA Multiple	7.1	▼	5位	43.3	△△	8.7	14位
	PER（倍）	17.1	▼	2位	53.2	△	14.3	13位
効率性	総資産回転率（回）	0.91	△	1位	61.5	△	0.71	6位
安全性	自己資本比率（%）	47.2%	△	3位	51.3	▼	47.7%	14位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	11.2	△	5位	43.9	▼	14.4	16位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	23.5%	▼	2位	52.1	▼	–	6位
	売上高研究開発費比率（%）	2.0%	▼	1位	65.9	▼	1.3%	10位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	3.8%	▼	4位	45.6	▼	5.7%	15位
その他	Sales Multiple	0.53	▼	5位	32.2	▼	1.00	16位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	0.5	△	2位	57.2	▼▼	1.5	14位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	1.0	△	2位	48.2	▼	6.6	15位
	時価総額（B$）【絶対額】	11	△	3位	45.6	△	87	17位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(2) 印刷・出版業

- 売上高研究開発費比率は、5 つの国・ブロック内で 1 位、研究開発費総額も 1 位と高い。
- 一方で、成長性、収益性は、4 位ないし 5 位となっている指標が多い。

表 9-13　総合評価（印刷・出版業）

27_印刷・出版業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.10	–	3位	44.9	–	1.12	16位
収益性	売上高営業利益率（%）	2.8%	▼	5位	35.5	▼	8.1%	18位
	総資産利益率（ROA）（%）	1.9%	▼	4位	45.2	△	3.4%	16位
	自己資本利益率（ROE）（%）	3.3%	▼	4位	42.7	△	8.2%	17位
	EBITDA Multiple	6.9	▼	5位	39.3	△	9.4	15位
	PER（倍）	24.8	△	2位	55.0	△△	24.8	3位
効率性	総資産回転率（回）	0.81	▼	1位	63.0	△	0.71	12位
安全性	自己資本比率（%）	58.1%	▼	2位	61.4	▼	41.6%	4位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	7.9	▼	4位	34.1	▼▼	21.0	18位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	24.2%	▼	3位	53.9	△	–	3位
	売上高研究開発費比率（%）	1.3%	△	1位	68.5	△	0.7%	13位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	3.8%	△	3位	49.0	▼	3.2%	14位
その他	Sales Multiple	0.52	▼	5位	37.3	△	1.37	18位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	0.6	△	1位	66.4	△	1.3	12位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	1.7	△	2位	56.5	▼	5.9	13位
	時価総額（B$）【絶対額】	26	△	3位	44.6	▼	221	15位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(3) 化学品および関連品製造業

- 効率性（総資産回転率）、安全性（自己資本比率）は、5 つの国・ブロック内で 1 位と高い。ただし、いずれも 3-5 期前に比べて、指標数値は下がっており（日本の指標の数値）、5 つの国・ブロック内での偏差値も下がっている。
- 売上高研究開発費比率は、研究開発費総額は 5 つの国・ブロック内で 3 位である。
- 他の指標も、5 つの国・ブロック内で 3 位となっているものが多い。

表 9-14　総合評価（化学品および関連品製造業）

28_化学品および関連品製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.18	–	3位	46.1	–	1.20	3位
収益性	売上高営業利益率（%）	9.6%	△	3位	46.2	△	12.3%	4位
	総資産利益率（ROA）（%）	4.7%	△	2位	53.8	△	4.7%	5位
	自己資本利益率（ROE）（%）	8.5%	△	3位	45.3	△	11.0%	6位
	EBITDA Multiple	9.5	△	5位	38.1	△	12.9	7位
	PER（倍）	19.7	▼	5位	41.0	△	26.5	9位
効率性	総資産回転率（回）	0.66	▼▼	1位	60.7	▼	0.55	19位
安全性	自己資本比率（%）	55.1%	▼	1位	65.2	▼	42.5%	7位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	45.1	△△	3位	46.3	△	53.2	4位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	16.0%	▼	4位	45.3	▼	–	11位
	売上高研究開発費比率（%）	6.2%	▼	3位	51.2	▼	7.0%	1位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	5.5%	△	3位	51.3	△	3.3%	7位
その他	Sales Multiple	1.51	△	3位	43.8	△	2.53	4位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	27.7	△	3位	46.5	▼	195.3	2位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	24.5	△△	3位	49.8	△	124.0	3位
	時価総額（B$）【絶対額】	622	△△	3位	43.7	△	6,272	1位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(4) 石油製品・石炭製品製造業

- 総資産回転率は、5 つの国・ブロック内で 1 位と高い。
- 売上高研究開発費比率は、研究開発費総額は 5 つの国・ブロック内で 3 位である。
- 売上高利益率は世界平均の 5.0%に比べ、1.9%とかなり低い。ただし、3-5 期前と比べて大きく改善している。

表 9-15　総合評価（石油製品・石炭製品製造業）

29_石油製品・石炭製品製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.24	–	3位	46.6	–	1.07	2位
収益性	売上高営業利益率（%）	1.9%	△△	5位	35.4	▼	5.0%	–
	総資産利益率（ROA）（%）	1.6%	△△	5位	36.0	△	3.7%	–
	自己資本利益率（ROE）（%）	4.9%	△△	5位	32.0	▼	8.0%	–
	EBITDA Multiple	7.2	▼▼	3位	46.3	▼▼	7.7	11位
	PER（倍）	13.5	△△	4位	45.0	△	18.7	–
効率性	総資産回転率（回）	1.33	▼	1位	63.5	△	0.92	1位
安全性	自己資本比率（%）	32.3%	△	5位	39.1	△	45.6%	20位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	48.6	△△	3位	41.4	▼	140.1	–
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	12.0%	△	3位	46.2	△	–	16位
	売上高研究開発費比率（%）	0.3%	▼	3位	46.2	▼	0.4%	20位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	2.1%	▼▼	4位	41.6	▼	2.1%	20位
その他	Sales Multiple	0.35	▼	5位	37.4	▼	0.91	20位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	0.4	△	3位	45.7	△	6.3	15位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	3.6	△	3位	45.7	▼	30.6	11位
	時価総額（B$）【絶対額】	27	△△	3位	44.1	▼	1,063	14位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（注）利益率の変化はマイナス（赤字→黒字）となるため、ブランクとした。労働生産性はマイナスの数字となるのでブランクとした。

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(5) ゴム製品・プラスチック製品製造業

- 安全性（自己資本比率）は、5 つの国・ブロック内で 1 位と高い。
- 売上高研究開発費比率は 5 つの国・ブロック内で 3 位、研究開発費総額が同じく 2 位である。
- 売上高営業利益率は、世界平均と同等水準の 7.6%であるが、3-5 期前と比べてかなり悪化している。

表 9-16　総合評価（ゴム製品・プラスチック製品製造業）

30_ゴム製品・プラスチック製品製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.12	–	5位	42.0	–	1.20	14位
収益性	売上高営業利益率（%）	7.6%	▼▼	2位	54.5	△	7.6%	5位
	総資産利益率（ROA）（%）	4.9%	▼	2位	60.6	△△	4.1%	4位
	自己資本利益率（ROE）（%）	8.8%	▼	3位	51.5	△	9.4%	4位
	EBITDA Multiple	5.6	△	5位	36.6	△	9.1	20位
	PER（倍）	13.7	△	5位	42.1	▼	23.0	18位
効率性	総資産回転率（回）	0.93	▼	2位	57.3	△	0.88	4位
安全性	自己資本比率（%）	55.6%	△	1位	61.4	▼	44.0%	6位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	16.8	▼▼	3位	48.3	△	19.5	13位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	21.6%	▼	3位	51.5	▼	–	7位
	売上高研究開発費比率（%）	2.2%	▼▼	3位	49.3	▼	2.6%	8位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	6.3%	▼	3位	53.2	△	4.8%	4位
その他	Sales Multiple	0.75	▼	5位	40.3	△	1.23	12位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	1.9	△	2位	49.0	▼	10.4	8位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	5.4	△	2位	55.3	▼	19.2	7位
	時価総額（B$）【絶対額】	62	△	3位	46.1	▼	431	9位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(6) 窯業・土石製品製造業

- 安全性（自己資本比率）、設備投資率は 5 つの国・ブロック中 1 位と高い。
- 売上高研究開発費比率、研究開発費総額は 5 つの国・ブロック内で 2 位である。

表 9-17　総合評価（窯業・土石製品製品製造業）

32_窯業・土石製品製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.15	–	3位	45.8	–	1.22	7位
収益性	売上高営業利益率（%）	6.9%	▼	5位	38.7	▼	11.4%	7位
	総資産利益率（ROA）（%）	3.2%	△	5位	43.0	▼	4.1%	12位
	自己資本利益率（ROE）（%）	6.0%	△	5位	42.8	▼	9.5%	10位
	EBITDA Multiple	6.4	▼	4位	42.6	△	7.7	18位
	PER（倍）	15.7	▼▼	3位	51.2	△	15.3	16位
効率性	総資産回転率（回）	0.72	△	2位	58.7	△	0.61	18位
安全性	自己資本比率（%）	53.6%	△	1位	63.4	△	43.5%	9位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	19.2	△	4位	39.9	▼▼	29.8	10位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	13.7%	▼	3位	45.3	▼	–	14位
	売上高研究開発費比率（%）	2.0%	△	2位	54.3	△	1.3%	9位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	8.6%	△△	1位	61.0	△	5.8%	1位
その他	Sales Multiple	0.87	▼	4位	43.0	△	1.39	9位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	1.2	△△	2位	51.6	△	5.3	10位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	5.0	△△	3位	50.3	△	24.3	8位
	時価総額（B$）【絶対額】	40	△	4位	41.5	▼	436	13位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(7) 鉄鋼・非鉄金属製造業

- 売上増加率（直近 3 期÷3-5 期前）は、5 つの国・ブロック内で 2 位と高い。設備投資率は同じく 1 位、設備投資額は同じく 2 位であり、活発な設備投資がなされている。
- 一方で、売上高営業利益率は同じく 5 位と低く、他の収益性に関する指標低い。
- 売上高研究開発費比率は 5 つの国・ブロック内で 1 位、研究開発費総額は同じく 2 位である。

表 9-18　総合評価（鉄鋼・非鉄金属製造業）

33_鉄鋼・非鉄金属製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.18	–	2位	47.6	–	1.22	4位
収益性	売上高営業利益率（%）	3.0%	▼▼	5位	36.2	▼▼	5.4%	17位
	総資産利益率（ROA）（%）	1.5%	▼▼	5位	34.5	▼▼	2.9%	18位
	自己資本利益率（ROE）（%）	3.2%	▼▼	5位	35.5	▼▼	6.6%	18位
	EBITDA Multiple	6.5	▼▼	4位	43.8	△	7.0	16位
	PER（倍）	19.0	△	1位	63.1	△△	13.7	10位
効率性	総資産回転率（回）	0.84	△	4位	44.6	▼	0.84	10位
安全性	自己資本比率（%）	46.9%	▼	2位	55.5	▼	43.6%	15位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	9.2	▼▼	4位	39.0	▼▼	21.7	17位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	20.2%	▼	3位	50.3	▼	–	9位
	売上高研究開発費比率（%）	1.5%	△	1位	58.9	▼	1.1%	11位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	6.5%	△	1位	62.4	△	4.4%	3位
その他	Sales Multiple	0.60	▼▼	3位	43.5	▼	0.71	14位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	3.3	△	2位	54.7	▼▼	12.6	6位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	14.9	△△	2位	57.2	△	49.5	5位
	時価総額（B$）【絶対額】	77	▼	4位	44.1	▼	527	8位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(8) 金属製品製造業

- 効率性（総資産回転率）、安全性（自己資本比率）は 5 つの国・ブロック内で 1 位と高い。
- 一方、成長性、収益性に関する指標の多くが 5 つの国・ブロック内で 4 位ないし 5 位と低位にある。
- 売上高研究開発費比率、研究開発費総額は、いずれも 5 つの国・ブロック内で 3 位である。

表 9-19　総合評価（金属製品製造業）

34_金属製品製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.13	–	5位	41.0	–	1.17	11位
収益性	売上高営業利益率（%）	4.3%	▼▼	4位	38.7	△	8.1%	14位
	総資産利益率（ROA）（%）	2.4%	▼▼	4位	44.5	▼	3.6%	14位
	自己資本利益率（ROE）（%）	4.6%	▼▼	4位	42.5	▼	8.5%	16位
	EBITDA Multiple	7.4	△	5位	38.9	△	10.7	10位
	PER（倍）	24.4	△△	2位	56.0	△△	22.7	5位
効率性	総資産回転率（回）	0.91	▼	1位	60.7	▼	0.77	8位
安全性	自己資本比率（%）	52.1%	△	1位	60.3	△	42.6%	11位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	12.3	▼▼	4位	38.4	▼▼	21.6	15位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	23.7%	▼	2位	55.6	▼	–	4位
	売上高研究開発費比率（%）	1.4%	▼	3位	50.8	▼	1.5%	12位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	5.3%	△△	3位	54.5	△	3.9%	8位
その他	Sales Multiple	0.69	△	5位	37.4	△	1.33	13位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	1.1	△	3位	53.2	▼	4.9	11位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	4.2	△△	2位	61.0	△	13.1	10位
	時価総額（B$）【絶対額】	51	△	4位	44.9	△	358	11位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(9) 一般機械器具製造業

- この業種分類には、コンピュータ及びオフィス機器が含まれることに留意する必要がある（米国では、Apple、Dell 等が上位にある）。
- 成長性は、5 つの国・ブロック内で 4 位と低い。売上高営業利益率は同じく 5 位と低い。
- 売上高研究開発費比率は 5 つの国・ブロック内で 3 位、研究開発費総額は同じく 2 位である。

表 9-20　総合評価（一般機械器具製造業）

35_一般機械器具製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.15	–	4位	41.0	–	1.23	8位
収益性	売上高営業利益率（%）	7.0%	▼	5位	41.8	▼	10.5%	6位
	総資産利益率（ROA）（%）	3.9%	△	3位	46.5	▼	5.4%	8位
	自己資本利益率（ROE）（%）	7.8%	△	3位	43.5	▼	15.2%	8位
	EBITDA Multiple	7.6	▼	5位	35.9	▼▼	11.5	9位
	PER（倍）	18.6	▼	3位	47.4	△	20.4	11位
効率性	総資産回転率（回）	0.83	▼	1位	59.0	▼	0.71	11位
安全性	自己資本比率（%）	50.8%	△	1位	65.1	▼	35.3%	13位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	19.5	△	3位	44.1	▼	34.3	9位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	21.6%	▼	2位	45.4	▼▼	–	8位
	売上高研究開発費比率（%）	3.3%	▼	3位	51.2	▼	3.8%	6位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	4.5%	△	3位	53.9	▼	2.7%	10位
その他	Sales Multiple	0.93	▼	5位	42.1	△	1.74	7位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	15.1	△	2位	49.4	▼	79.7	4位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	20.2	△	2位	60.4	▼	56.0	4位
	時価総額（B$）【絶対額】	403	△△	3位	46.5	▼	3,243	4位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(10) 電気機械器具製造業

- 5 つの国・ブロック中の売上高シェアは 5 つの国・ブロック内で 1 位と高い。一方、売上高増加率は同じく 5 位と低く、売上高営業利益率も 4 位と低い。
- 売上高研究開発費比率は 5 つの国・ブロック内で 4 位、研究開発費総額は同じく 3 位である。

表 9-21　総合評価（電気機械器具製造業）

36_電気機械器具製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.08	–	5位	41.1	–	1.23	17位
収益性	売上高営業利益率（%）	6.8%	△△	4位	41.2	△	10.7%	8位
	総資産利益率（ROA）（%）	4.4%	△△	3位	45.2	△△	5.4%	6位
	自己資本利益率（ROE）（%）	10.0%	△△	3位	46.9	△△	11.4%	3位
	EBITDA Multiple	7.2	▼	4位	39.5	△	10.0	12位
	PER（倍）	16.5	▼▼	4位	43.6	▼▼	19.8	14位
効率性	総資産回転率（回）	0.79	▼	1位	60.8	△	0.70	14位
安全性	自己資本比率（%）	43.8%	△	4位	44.6	△	47.2%	17位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	17.6	△△	3位	45.1	△	30.3	12位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	25.1%	▼▼	1位	66.7	▼	–	2位
	売上高研究開発費比率（%）	4.5%	△	4位	43.0	▼	6.3%	4位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	5.2%	△	3位	47.1	▼	6.5%	9位
その他	Sales Multiple	0.87	△	5位	41.4	△	1.61	8位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	26.4	△	3位	47.4	▼	148.5	3位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	30.5	△	3位	50.0	▼	152.5	2位
	時価総額（B$）【絶対額】	539	△△	3位	45.5	▼	3,604	2位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(11) 輸送機械器具製造業

- 売上高研究開発費比率は 5 つの国・ブロック内で 1 位、研究開発費総額は同じく 2 位である。
- 設備投資率は同じく 1 位と高い。
- 他の多くの指標は、5 つの国・ブロック内で 2 位ないし 3 位であり、相対的に業績が良いと言える。
- ただし、3-5 期前と比べて収益性の指標は軒並み悪化している。

表 9-22　総合評価（輸送機械器具製造業）

37_輸送機械器具製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.13	–	3位	52.5	–	1.13	10位
収益性	売上高営業利益率（%）	5.4%	▼▼	3位	51.7	▼▼	5.9%	9位
	総資産利益率（ROA）（%）	3.3%	▼▼	2位	58.1	△	2.8%	10位
	自己資本利益率（ROE）（%）	7.8%	▼▼	3位	47.7	△	9.4%	7位
	EBITDA Multiple	7.2	▼	4位	43.7	△	8.9	13位
	PER（倍）	11.6	▼	4位	43.2	△	15.6	20位
効率性	総資産回転率（回）	0.75	▼	1位	62.1	△	0.68	16位
安全性	自己資本比率（%）	42.0%	△	3位	56.9	▼	30.0%	19位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	26.6	▼▼	2位	55.2	△△	25.1	6位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	23.6%	△	3位	53.4	▼	–	5位
	売上高研究開発費比率（%）	4.1%	△	1位	62.0	△	3.3%	5位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	6.9%	▼	1位	62.0	▼	4.1%	2位
その他	Sales Multiple	0.78	▼▼	3位	46.6	▼	0.96	11位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	38.1	△	2位	56.9	△	131.7	1位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	64.5	△	2位	61.6	▼	164.6	1位
	時価総額（B$）【絶対額】	478	▼	3位	49.0	▼	2,561	3位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(12) 精密機械器具製造業

- 効率性（総資産回転率）、安全性（自己資本比率）は、いずれも 5 つの国・ブロック内で 1 位と高い。
- 売上高研究開発費比率、研究開発費総額は、いずれも 5 つの国・ブロック内で 3 位である。

表 9-23　総合評価（精密機械器具製造業）

38_精密機械器具製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.12	－	5位	38.7	－	1.26	13位
収益性	売上高営業利益率（%）	10.5%	△	4位	48.9	△	12.6%	3位
	総資産利益率（ROA）（%）	5.0%	△	2位	57.6	△	4.7%	3位
	自己資本利益率（ROE）（%）	8.7%	△	2位	54.6	△	9.2%	5位
	EBITDA Multiple	10.4	△	5位	39.4	△	17.9	3位
	PER（倍）	24.6	△	5位	43.6	△	36.7	4位
効率性	総資産回転率（回）	0.73	▼	1位	64.7	△	0.54	17位
安全性	自己資本比率（%）	57.4%	▼	1位	62.1	△	50.7%	5位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	23.9	△	3位	48.7	△	28.0	7位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	16.0%	▼▼	3位	47.6	▼	－	12位
	売上高研究開発費比率（%）	6.1%	△	3位	55.8	▼	5.7%	2位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	4.4%	△	4位	45.9	▼	3.0%	11位
その他	Sales Multiple	1.66	△△	5位	41.4	△	3.42	3位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	6.1	△	3位	48.3	▼	36.1	5位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	4.5	△	2位	51.8	▼	19.0	9位
	時価総額（B$）【絶対額】	170	△△	3位	44.9	▼	1,995	6位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(13) その他製造業

- 5 つの国・ブロック中の売上高シェアは、国内 20 業種中で 1 位、5 つの国・ブロック内でも 1 位であり、高い。
- 売上高研究開発費比率は 5 つの国・ブロック内で 2 位、研究開発費総額は同じく 1 位である。

表 9-24　総合評価（その他製造業）

39_その他製造業		日本の数値		世界との比較			世界の数値	国内比較
財務指標		【日本】指標の数値	【日本】増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内での順位（直近3期）	【日本】5つの国・ブロックの同業種内の地位（偏差値、直近3期）	【日本】偏差値の増減傾向（直近3期/それ以前の3期）	【世界】指標の数値	【日本】国内20業種中の指標順位
成長性	売上増加率（倍）（直近3期平均/その前の3期）	1.35	–	2位	51.4	–	1.27	1位
収益性	売上高営業利益率（%）	11.6%	△△	3位	49.4	△△	10.3%	2位
	総資産利益率（ROA）（%）	7.6%	△△	2位	56.9	△△	4.8%	1位
	自己資本利益率（ROE）（%）	10.7%	△△	3位	54.5	△△	9.2%	2位
	EBITDA Multiple	12.5	▼	3位	44.2	▼	13.0	1位
	PER（倍）	25.5	▼▼	3位	45.1	▼▼	26.7	2位
効率性	総資産回転率（回）	0.87	△	2位	61.0	△	0.71	9位
安全性	自己資本比率（%）	70.7%	△	1位	61.5	△	52.4%	1位
生産性	労働生産性（千ドル/人）	51.9	△△	1位	64.6	△△	28.5	2位
競争力	集計対象国中の売上高シェア（%）	29.1%	△	1位	59.5	△	–	1位
	売上高研究開発費比率（%）	4.5%	▼▼	2位	52.6	▼▼	2.8%	3位
	設備投資率（固定資産新規購入）（%）	2.6%	△	4位	47.2	▼	3.0%	19位
その他	Sales Multiple	1.82	△△	4位	45.7	△	1.86	2位
絶対額による指標	研究開発費（総額）（B$）【絶対額】	1.7	△	1位	68.6	△	3.6	9位
	設備投資額（同上）（B$）【絶対額】	0.0	▼▼	3位	0.0	▼▼	0.0	0位
	時価総額（B$）【絶対額】	82	△△	1位	62.9	△	231	7位
			1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分	4位5位にマーカー	45以下にマーカー	1.2倍以上/1倍超/0.9-1倍/0.9倍未満の4区分		16位以下にマーカー

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

9.4.4 注目業種の抽出と深掘り

(1) 注目業種の抽出

ここでは、日本の財務指標について、次のようにして、5 つの国・ブロック内の偏差値を算出し、注目業種を算出することとした。

- 対象業種は、生活関連業種である食料品製造業等を除外した 13 業種で集計することとした。
- 主な財務データについて、5 つの国・ブロックの中での日本の偏差値を算出
- 偏差値が 50 未満、45 未満、40 未満の 3 段階に分け、業種別に該当する指標数をカウント

この検討の結果、偏差値が低い指標の数が多い業種（BAD 業種）、少ない業種（GOOD 業種）として次の業種に注目することとした。

- 材料系の GOOD 業種　→「ゴム・プラスチック」
- 材料系の BAD 業種　　→「鉄鋼・非鉄」

- 製品系の GOOD 業種　→「輸送機械」
- 製品系の BAD 業種　　→「電気機械」

表 9-25　日本の製造業上場企業の財務指標における 5 つの国・ブロック内の偏差値

	参考情報		成長性	収益性					効率性	安全性	生産性	競争力					その他		★印の指標について			
	★		★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★				
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	総資産利益率（ROA）（%）	自己資本利益率（ROE）（%）	EBITDAマルチプル	株価収益率（PER）	総資産回転率（回）	自己資本比率（%）	労働生産性（千ドル/人）	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	売上高研究開発費比率（%）	研究開発費（総額）（B$）	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	Sales Multiple	時価総額（B$）	偏差値50未満の指標数	偏差値45未満の指標数	偏差値40未満の指標数	
22_繊維工業	36	27	50.2	39.8	38.7	39.3	43.3	53.2	61.5	51.3	40.7	52.1	65.9	57.2	45.6	48.2	32.2	45.6	9	6	4	
27_印刷・出版業	61	45	44.9	35.5	45.2	42.7	39.3	55.0	63.0	61.4	34.1	53.9	68.5	66.4	49.0	56.5	37.3	44.6	9	7	4	
28_化学品および関連品製造業	232	447	46.1	46.2	53.8	45.3	38.1	41.0	60.7	65.2	46.3	45.3	51.2	46.5	51.3	49.8	43.8	43.7	11	4	1	
29_石油製品・石炭製品製造業	11	171	46.6	35.4	36.0	32.0	46.3	45.0	63.5	39.1	41.4	46.2	46.2	45.7	41.6	45.7	37.4	44.1	15	8	5	
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	47	86	42.0	54.5	60.6	51.5	36.6	42.1	57.3	61.4	48.3	51.5	49.3	49.0	53.2	55.3	40.3	46.1	8	4	1	○材料系
32_窯業・土石製品製造業	53	57	45.8	38.7	43.0	42.8	42.6	51.2	58.7	63.4	39.9	45.3	54.3	51.6	61.0	50.3	43.0	41.5	9	7	2	
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	77	227	47.6	36.2	34.5	35.5	43.8	63.1	44.6	55.5	39.0	50.3	58.9	54.7	62.4	57.2	43.5	44.1	9	8	4	●材料系
34_金属製品製造業	92	80	41.0	38.7	44.5	42.5	38.9	56.0	60.7	60.3	38.4	55.6	50.8	53.2	54.5	61.0	37.4	44.9	8	8	4	
35_一般機械器具製造業	261	453	41.0	41.8	46.5	43.5	35.9	47.4	59.0	65.1	44.1	51.4	51.2	49.4	53.9	60.4	42.1	46.5	10	6	1	
36_電気機械器具製造業	230	588	41.1	41.2	45.2	46.9	39.5	43.6	60.8	44.6	45.1	66.7	43.0	47.4	47.1	50.0	41.4	45.5	14	7	1	●製品系
37_輸送機械器具製造業	97	935	52.5	51.7	58.1	47.7	43.7	43.2	62.1	56.9	55.2	53.4	62.0	56.9	62.0	61.6	46.6	49.0	5	2	0	○製品系
38_精密機械器具製造業	88	101	38.7	48.9	57.6	54.6	39.4	43.6	64.7	62.1	48.7	47.6	55.8	48.3	45.9	51.8	41.4	44.9	10	5	2	
39_その他製造業	32	37	51.4	49.4	56.9	54.5	44.2	45.1	61.0	61.5	64.6	59.5	52.6	68.6	47.2	53.4	45.7	62.9	5	1	0	
総計	1,545	3,599	44.7	36.2	43.5	41.6	36.2	45.9	66.2	61.2	43.6	49.3	53.9	49.6	51.5	55.8	41.4	44.4	11	8	2	

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(2) 注目業種の深掘り

注目業種の 2 つについて、企業規模別（売上規模別）の業績を集計してみた。その結果は、次のとおりである。

1) 輸送機械器具製造業

輸送機械器具製造業における、売上規模別の利益額、利益率を集計すると次の表のとおり（表 9-26）。

- 日本：純利益の過半を売上 10B ドル以上（10.3 兆円以上）の企業が占める。売上高 100M 以上 10B 未満の企業の利益率が低い。
- 米国：利益率がやや低い。売上高 1B 以上 10B 未満の企業の利益率が高い。売上高 100M 未満の企業の利益率がマイナス。
  - ✓ 米国のこの業種には、宇宙旅行、自動配送等のベンチャー企業が入っている。
- ドイツ：上場企業数が少ない。利益率は高い。
- 韓国：売上高 10M 以上 10B 未満の企業は赤字ないし非常に低い利益率。
- 中国：利益率が意外と高い。

2) 電気機械器具製造業

電気機械危惧企業における、売上規模別の利益額、利益率を集計すると次の表のとおり（表 9-27）。

- 米国：売上高 1B ドル未満（約 1,030 億円未満）は赤字で、投資重視の傾向。10B（1.03 兆円）以上は利益率 18%と高い。
- 日本：売上規模拡大とともに利益率が上昇しているが、利益率は米国と比べて低い。
- ドイツ：日本とほぼ同様の傾向。上場企業数が少ない（同国では、大手手も非上場企業が多い傾向）。
- 韓国：企業数が最も多い売上高 100M~1B のゾーンでは、日本と同等の利益率。最大企業 1 社で純利益の 7 割を稼いでいる。
- 中国：利益率はそれほど高くない。

表 9-26　5 つの国・ブロックにおける企業規模別集計　①輸送機械

	主要5か国の計				米国				日本				ドイツ				韓国				中国			
売上高	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率
1Mドル未満	50	10	-103	-1041.0%	39	6	-96	-1649.5%	0	0	0	-	2	0	-0	-	0	0	0	–	5	3	-7	-223.2%
1Mドル以上	82	404	-191	-47.1%	16	42	-167	-395.7%	0	0	0	-	0	0	0	-	1	6	0	3 8%	50	292	0	0.1%
10Mドル以上	289	10,735	230	2.1%	17	660	-201	-30.5%	11	641	45	7.0%	1	20	1	5.6%	36	1,953	-104	-5 3%	200	6,489	465	7.2%
100Mドル以上	266	101,425	7,032	6.9%	23	11,564	367	3.2%	36	15,292	428	2.8%	9	3,073	3,875	126.1%	58	23,049	68	0 3%	112	37,496	1,698	4.5%
1Bドル以上	153	473,470	17,020	3.6%	35	132,085	6,392	4.8%	34	84,302	1,578	1.9%	6	25,697	1,538	6.0%	19	58,359	-548	-0 9%	31	78,104	2,804	3.6%
10Bドル以上	54	1,708,249	66,283	3.9%	14	511,244	15,180	3.0%	13	316,059	11,431	3.6%	3	116,440	6,573	5.6%	4	184,364	6,113	3 3%	6	106,393	6,562	6.2%
100Bドル以上	10	1,673,835	73,433	4.4%	2	300,963	7,357	2.4%	3	519,183	27,656	5.3%	3	597,614	28,433	4.8%	0	0	0	-	1	128,096	4,734	3.7%
	904	3,968,127	163,705	4.1%	146	956,563	28,833	3.0%	97	935,477	41,138	4.4%	24	742,844	40,420	5.4%	118	267,731	5,530	2.1%	405	356,873	16,257	4.6%

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-27　5 つの国・ブロックにおける企業規模別集計　②電気機械

	主要5か国の計				米国				日本				ドイツ				韓国				中国			
売上高	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率	企業数	売上高	純利益	利益率
1Mドル未満	159	46	-379	-815.1%	104	23	-272	-1194.9%	0	0	0	-	5	2	-1	-62.9%	0	0	0	–	21	10	-13	-128.4%
1Mドル以上	544	2,817	-739	-26.2%	65	277	-359	-129.5%	3	20	-6	-29.1%	2	10	-1	-5.9%	17	118	-75	-63.6%	402	2,141	-75	-3.5%
10Mドル以上	1,126	44,000	676	1.5%	102	4,008	-533	-13.3%	52	2,744	48	1.8%	11	712	-26	-3.7%	225	10,435	-223	-2.1%	653	22,604	1,470	6.5%
100Mドル以上	799	278,795	8,009	2.9%	70	30,065	-486	-1.6%	119	46,342	1,520	3.3%	23	6,925	207	3.0%	152	46,035	1,638	3.6%	364	125,339	3,848	3.1%
1Bドル以上	229	661,724	43,872	6.6%	56	172,808	15,448	8.9%	45	140,083	6,761	4.8%	7	31,589	1,573	5.0%	15	48,168	2,828	5 9%	75	180,149	10,927	6.1%
10Bドル以上	42	1,145,163	98,059	8.6%	9	257,055	48,363	18.8%	11	399,062	24,415	6.1%	0	0	0	-	3	107,214	9,127	8 5%	8	151,058	3,350	2.2%
100Bドル以上	1	213,606	32,150	15.1%	0	0	0	–	0	0	0	-	0	0	0	-	1	213,606	32,150	15.1%	0	0	0	-
	2,900	2,346,151	181,649	7.7%	406	464,236	62,161	13.4%	230	588,252	32,738	5.6%	48	39,238	1,752	4.5%	413	425,578	45,445	10.7%	1,523	481,302	19,506	4.1%

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

(3) インタビュー調査

注目業種を 2 つ選び、業界における好調企業・不調企業の動向、今後の見込み等について、有識者へのインタビュー調査を行った。具体的には、自動車業界を専門とする企業アナリスト、エレクトロニクス業界を専門とする企業アナリストである。

その結果概要は、次のとおりである。

1) 自動車業界に関する有識者意見

a. 好調企業・不調企業の特徴

- 完成車メーカは、経営方針によって違いが出てきた。台数を目指すと台数が増えないというパラドックスがある。生産台数を目標にすると、設備投資を先にするようになる。設備投資をすると稼働を確保するために粗雑なモデルをつくってしまう。

b. 業界における懸念点、大きな環境変化（技術革新、制度等）への対応

- CASE[185] は幻想だった。期待が大きすぎた。自動運転への期待は株式市場では現在地に落ちており、これからまた頑張ろうというところにいる。
  - ✓ 全天候での自動運転は 50 年後でも無理ではないかという見方になっている。
  - ✓ 通常の車と自動運転車が混在しない形が良いという話になってきており、自動運転銘柄は暴落した。
- 株式市場では、バッテリーEV への価値が高い。テスラの時価総額をみれば明らか。
  - ✓ バッテリーEV は、電池の価格が下がるという前提にたった議論が多いが、ここ数年では下がらないのではないかとみている。
- 今後、電動化についていけないところもあるだろう。
- EV になると自動車部品の点数が減るという誤解があった。いくつか特徴的な部品はなくなるが、そこに関連する企業は、既に一回手を打っていて、二巡目三巡目になっている。

c. 財務データ分析からわかること

- 財務データを見る際の代表的指標としては、「売上高営業利益率」が最も良い。EBITDA も良い。ROE は個社の財務戦略によりばらつきがある。
- 個社の競争力を診断する際には、お客様がほしい価格で売れているかをみる。クルマは買いたい人はいて需要はあるので、値段を下げれば売れる。競争力のないメーカはディスカウントしている。

---

[185] Connected（コネクテッド）、Autonomous（自動運転）、Shared & Services（シェアリングとサービス）、Electric（電動化）のこと。

d. 今後の展望

- 規制、技術の進展によって自動車メーカへの影響は変わる。20 年前からある話で、事前予想は難しい。日本のメーカはバランス良く対応している。
- バッテリーEV は、電池の価格が下がるという前提にたった議論が多いが、ここ数年では下がらないのではないかとみている。

2) エレクトロニクス業界（精密機械）

a. 好調企業・不調企業の特徴

- 好調企業の特徴は、需要があり成長する領域に自社のポートフォリオを当てはめられていることである。日本企業はコストダウンの発想になりがちである。
- 人の命に係わる医療用計測機器、環境用の計測機器は、先進国の技術の優位性がある。
- 市場が伸びないところには中国の企業が入ってこない。カメラ、プリンタはそういう面がある。（複写機）についても中国のメーカが入ってこないのは市場が成長しないため。

b. 業界における懸念点、大きな環境変化（技術革新、制度等）への対応

- 製造に特化していると陳腐化する。海外企業は戦略が明確で、利益率が高い。日本企業はコストダウンの発想が強い。
- 技術が良く、過去の財務が良いが、今のままだと将来のバランスシートは不安な企業群がある。技術力がありビジネスが悪い会社は M&A に狙われやすい。

c. 財務データ分析からわかること

- 財務データは過去の蓄積であり、バックミラーで過去を見ているようなものである。財務指標から今後を占うことは難しい。
- 米国企業で、比較的小規模なところは、赤字のところが多く、赤字を出しても積極的に投資をしているように見える。アメリカの会社は債務超過を気にしない。赤字でもその後にすごいビジネスができている。それゆえに時価総額が高い。
- 技術と業績と相関しているかは疑問である。社長とのミーティングでは、「技術が売上に結びつく評価体系を持っているか」を尋ねている。技術に誇りを持っていても、売上に結びつく視点を欠いている場合が少なくない。
- 自己資本の絶対額がどう推移しているか。利益が出れば大きくなる。産業毎に異なる。自己資本が積み上がっていて、かつ収益が悪化しているところは懸念される。
- 雇用を重視すると、従業員一人当たりの売上高が低くなっても構わないという考えになってしまう。アメリカの会社は違うかも知れない。

d. 今後の展望

- 中国は、ミドルエンド以下をやるなら物まねで良く、最初は研究開発費がいらない。

しかし、性能面で欧米に近づいてくると同じように研究開発費がいるフェーズに入る。

- 海外の企業に戦略を電話でヒアリングすることがあるが、説明がわかりやすい。日本企業はコスト削減など社内の話が多い。

9.5 日本の製造業に関するマクロ調査のまとめ

今回調査により、業種中分類別に、日本の製造業の業績の状況を全体的に把握でき、主要国・ブロックにおける日本の相対的な位置も把握することができた。今後、さらに踏み込んだ検討をするには、業種小分類単位で分析を行うことが必要と考えられる。特に、電気機械、金属製品において、日本の業績が特に悪い点については、要因解明が課題となる。

海外においては、一部業種において特定国が他国を突き離す傾向、ベンチャー企業に投資を集中させる傾向がみられた。そうした事態が進んだ場合、技術面でどのような影響があるかの検討が課題になると考えられる。

日本の産業技術の維持強化という観点からは、将来にわたる競争力の維持強化という観点での分析が重要だという指摘が有識者からはなされ、今後の分析の重要視点だと考えられた。

この点について、今回調査では、指標として研究開発投資、設備投資を取り上げており、ある程度、定量的に比較することができた。

製造業の研究開発の推進者として米国ではベンチャー企業の役割が大きくなっていることが示唆された。日本では、製造業ベンチャーが少ない中で、どのように次世代に向けた技術開発投資等を進めるべきか、課題はないのか、と言った点について検討が必要である。

9.6 参考

9.6.1 指標の選定に関する参考資料

以下のような文献をもとに、財務分析で用いられる指標について検討した。

- 伊藤邦雄「新・企業価値評価」日本経済新聞社、2013 年
- 経済産業省　「ローカルベンチマーク」
- 経済産業省　日本の稼ぐ力研究会における「グローバルベンチマーク」2014 年度
- みずほ銀行「わが国企業の競争力強化に向けて――海外企業の先進事例に学ぶ戦略の方向性」2018 年 8 月

(1) 伊藤邦雄「新・企業価値評価」日本経済新聞社、2013 年

伊藤邦雄「新・企業価値評価」では、「一般に、企業のファンダメンタルズは、「収益性」、「効率性」、「安全性」、「成長性」という 4 つの側面からとらえることができる。」とされている（同書 p.96）。

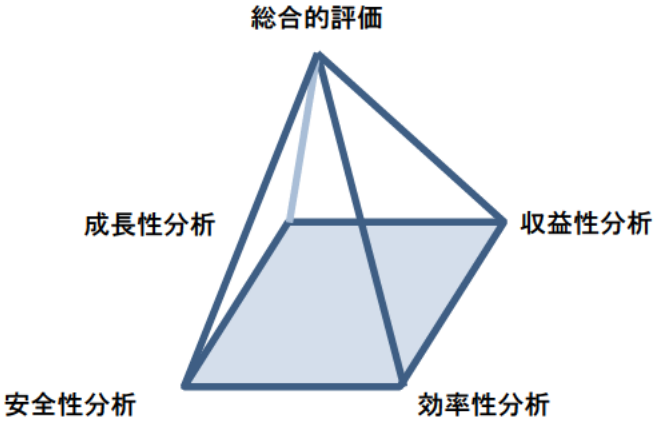


図 9-18　財務分析のピラミッド

（出所）伊藤邦雄「新・企業価値評価」日本経済新聞社、2013 年（図を転記）

表 9-28　財務分析の主な指標

財務分析の視点	主な指標
収益性	➢ 売上高利益率（ROS）　% ➢ 総資産利益率（ROA）　% ➢ 総資本事業利益率（ROI）　% ➢ 自己資本利益率（ROE）　%
効率性	➢ 総資産回転率　　=売上高/総資産 ➢ 有形固定資産回転率 ➢ 棚卸資産回転率

	➢ 打ち上げ再建回転率 ➢ 売上債権回転日数 ➢ キャッシュ化速度 ➢ 手元流動性比率
安全性	➢ 流動比率　% ➢ 当座比率　% ➢ 営業 CF 流動負債比率　% ➢ 自己資本比率　% ➢ 負債比率（デット・エクイティ・レシオ）　% ➢ 固定比率 ➢ 固定長期適合率 ➢ 営業 CF 対固定負債比率 ➢ インタレスト・カバレッジ・レシオ ➢ インタレスト・カバレッジ・レシオ
成長性	➢ 各フローとストックの経年変化率　%

（出所）伊藤邦雄「新・企業価値評価」日本経済新聞社、2013 年

(2) 経済産業省　ローカルベンチマーク

経済産業省のローカルベンチマークは、企業の経営状態の把握、いわゆる「健康診断」を行うツール（道具）として、企業の経営者等や金融機関・支援機関等が、企業の状態を把握し、双方が同じ目線で対話を行うための基本的な枠組みであり、事業性評価の「入口」として活用されることが期待されるもの、とされている。

指標としては、6 つの視点で 6 つの財務データが取り上げられている。

表 9-29　ローカルベンチマークにおける指標

売上持続性	①売上増加率	%	（最新期売上高/前期売上高）－１
収益性	②営業利益率	%	営業利益／最新期売上高
生産性	③労働生産性 ※8	千円	営業利益／従業員数
健全性	④EBITDA有利子負債倍率	倍	（借入金－現金･預金）／（営業利益＋減価償却費）
効率性	⑤営業運転資本回転期間	ヶ月	{売上債権（売掛金＋受取手形）＋棚卸資産－買入債務（買掛金＋支払手形）}／（売上高／１２）
安全性	⑥自己資本比率	%	純資産／負債･純資産合計

（出所）経済産業省

(3) 経済産業省　日本の稼ぐ力研究会　グローバルベンチマーク（2014 年度）

この研究会では、産業構造上主要な産業、低収益産業・不安定産業を抽出し、当該業種について詳細な分析が実施された。

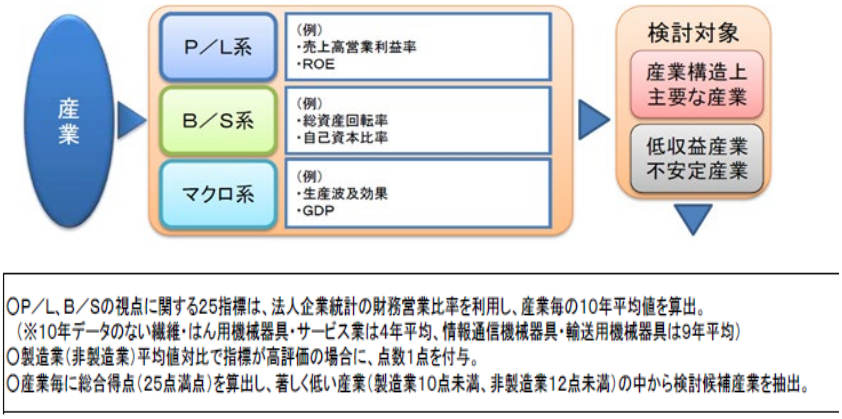
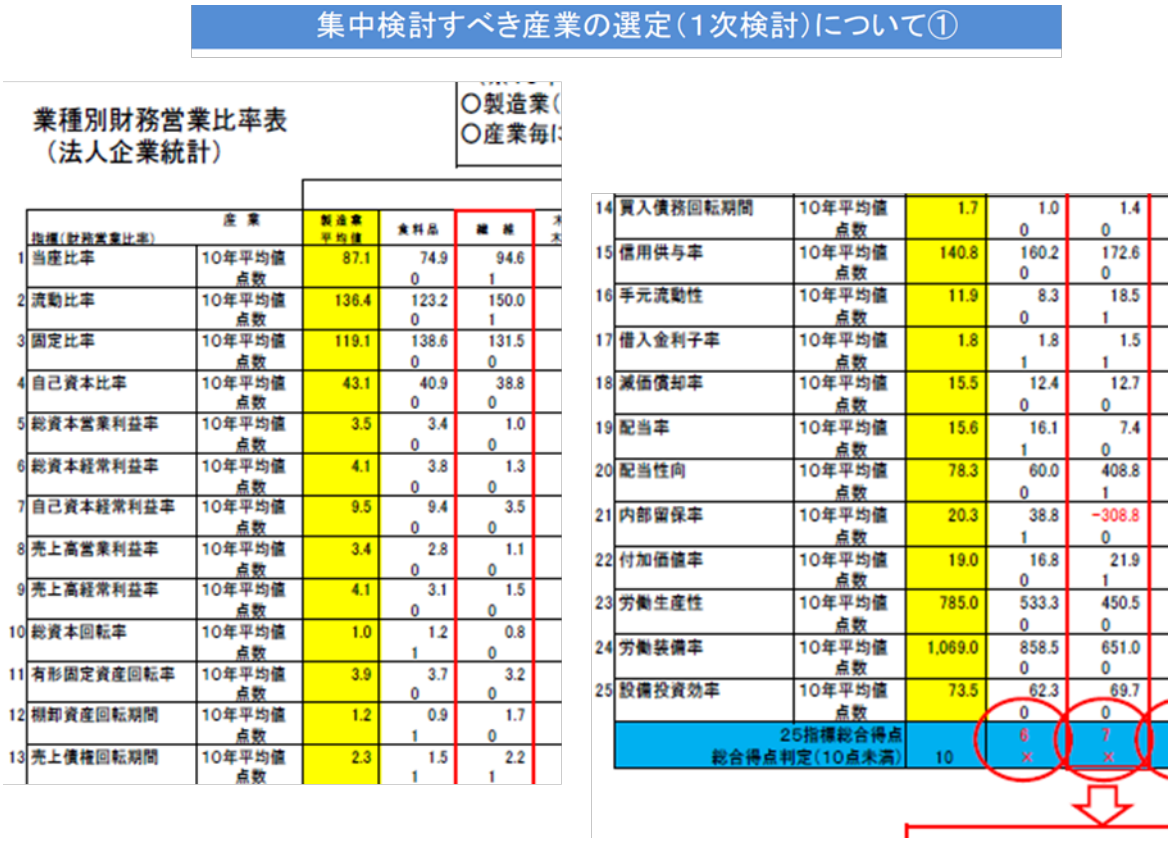


図 9-19　グローバルベンチマークの検討手順

（出所）経済産業省経済産業政策局「第 10 回 日本の「稼ぐ力」創出研究会グローバルベンチマークについて参考資料」2015 年 4 月

同研究会では、25 の財務指標を抽出し、1 次検討を行っている。

表 9-30　グローバルベンチマークにおける指標（1 次検討）



	指標（財務営業比率）	産業		製造業平均値	食料品	繊維
1	当座比率	10年平均値	点数	87.1	74.9 0	94.6 1
2	流動比率	10年平均値	点数	136.4	123.2 0	150.0 1
3	固定比率	10年平均値	点数	119.1	138.6 0	131.5 0
4	自己資本比率	10年平均値	点数	43.1	40.9 0	38.8 0
5	総資本営業利益率	10年平均値	点数	3.5	3.4 0	1.0 0
6	総資本経常利益率	10年平均値	点数	4.1	3.8 0	1.3 0
7	自己資本経常利益率	10年平均値	点数	9.5	9.4 0	3.5 0
8	売上高営業利益率	10年平均値	点数	3.4	2.8 0	1.1 0
9	売上高経常利益率	10年平均値	点数	4.1	3.1 0	1.5 0
10	総資本回転率	10年平均値	点数	1.0	1.2 1	0.8 0
11	有形固定資産回転率	10年平均値	点数	3.9	3.7 0	3.2 0
12	棚卸資産回転期間	10年平均値	点数	1.2	0.9 1	1.7 0
13	売上債権回転期間	10年平均値	点数	2.3	1.5 1	2.2 1
14	買入債務回転期間	10年平均値	点数	1.7	1.0 0	1.4 0
15	信用供与率	10年平均値	点数	140.8	160.2 0	172.6 0
16	手元流動性	10年平均値	点数	11.9	8.3 0	18.5 1
17	借入金利子率	10年平均値	点数	1.8	1.8 1	1.5 1
18	減価償却率	10年平均値	点数	15.5	12.4 0	12.7 0
19	配当率	10年平均値	点数	15.6	16.1 1	7.4 0
20	配当性向	10年平均値	点数	78.3	60.0 0	408.8 1
21	内部留保率	10年平均値	点数	20.3	38.8 1	-308.8 0
22	付加価値率	10年平均値	点数	19.0	16.8 0	21.9 1
23	労働生産性	10年平均値	点数	785.0	533.3 0	450.5 0
24	労働装備率	10年平均値	点数	1,069.0	858.5 0	651.0 0
25	設備投資効率	10年平均値	点数	73.5	62.3 0	69.7 0
	25指標総合得点				6	7
	総合得点判定（10点未満）			10	×	×

（出所）経済産業省経済産業政策局「第 10 回 日本の「稼ぐ力」創出研究会グローバルベンチマークについて参考資料」2015 年 4 月

なお、競争性指標、成長性指標については次のような候補が挙げられている。

表 9-31　グローバルベンチマークにおける競争性指標、成長性指標の検討例

競争性指標の例

指標	選別内容	業界
製品シェア	市場成長率、技術優位性などと共に、製品シェアを分析することで成長可能性を比較	全業種
需給バランス	需要と供給のバランスを分析することで成長性の有無を比較	全業種 （特に商圏の限られる企業など）
工場稼働率	規模の経済を求めるべき業種の現状の供給構造、設備余力を比較	製造業
労働装備率	労働集約的でないか、適切な設備投資がなされているか等を比較	製造業 （特に装置産業など）
参入障壁要素 （新規参入者数　等）	許認可などの法制度および装置産業など実質的な参入障壁について比較	全業種
川上・川下の寡占度	対象業種の川上・川下の寡占度により価格決定力への影響等を検討	全業種
海外/国内競争者数	業界の競争者数を比較	全業種
競争相手の変化	事業ポートフォリオの入れ替えや、ビジネスモデルの変化を分析	全業種

成長性指標の例

指標	選別内容	業界
海外売上高比率	グローバルトップ企業と比較して、海外売上高比率（主要消費地）を比較しグローバルな業界・産業を選別	全業種 （特に輸出型企業など）
市場成長率	地域毎の市場成長率を分析し、製造拠点と共に成長の可能性を比較	全業種
拠点配置	成長市場をとらまえることが出来るか、拠点戦略と商圏、コスト優位性（輸送費、人件費など）を比較	全業種
設備投資額（率）	成長市場に対し適切に設備投資を行っているかを比較	装置企業
研究開発費（率）	技術優位性に対し適切に十分な研究開発を行っているかを技術動向も踏まえつつ、比較	開発型企業
広告宣伝費（率）	（業界によっては）シェア維持のために適切な広告宣伝を行っているかを比較	BtoC型企業
新製品投入量/売上高	過去〇年以内に投入した新製品の売上高割合を比較することで、事業の成長性を評価	BtoC型企業
EV/EBITDA倍率	同業他社との比較により市場の評価を比較	全業種
PER	市場（投資家）からの、その企業に対する期待度を比較	全業種
売上高、総資産　等	中長期の変化率を市場の変化率と比較することで、これまでの成長性を評価	全業種

（出所）経済産業省経済産業政策局「第 10 回　日本の「稼ぐ力」創出研究会グローバルベンチマークについて参考資料」2015 年 4 月

(4) みずほ銀行　「わが国企業の競争力強化に向けて－－海外企業の先進事例に学ぶ戦略の方向性」2018 年 8 月

本レポートでは、業種ごとに詳細な分析がなされている。例えば、以下のような指標が取り上げられている。

- BS(負債・自己資本)と時価総額の比較
- 債務償還能力（NetDebt/EBITDA）
- NetDER（NetDebtEquityRatio）
- 投下資本利益率（ROIC）
- 営業利益率（営業利益/売上高）

- 研究開発費比率（研究開発費/売上高）

(5) 指標の設定

以上のような検討を参考にして、本調査では、次の表のように、注目すべき指標を抽出した。

表 9-32　本調査で扱う財務データ項目の検討

分類	指標名	単位	算出方法	伊藤邦雄「新・企業価値評価」	METIローカルベンチマーク	METIグローバルベンチマーク（2014年度）の1次スクリーニング	みずほ銀行「わが国企業の競争力強化に向けて」等	左記以外で重要と思われる指標（MRI見解）
成長性	各フローとストックの経年変化率	%		●				
	売上増加率	%	（最新期売上高/前期売上高）－1	●	●			
	有機的成長率	%	M&Aや事業売却の影響を除いた既存事業の成長率					●
	EBITDAの伸び率		利払い前・税引き前・償却前利益				●	
収益性	売上高利益率（ROS） 営業利益率	%	利益/売上高×100 営業利益／最新期売上高	●	●	●●	●	
	総資産利益率（ROA）	%	利益/総資産×100	●				
	総資本事業利益率（ROI）	%	事業利益/自己資本×100	●		●●		
	自己資本利益率（ROE）	%	当期純利益/自己資本×100	●		●		
	売上高	金額						●
	EBITDA（earnings before interest, tax, depreciation, and amortization）	金額	税引前利益＋特別損益＋支払利息＋減価償却費				●	
	EBITDAマージン	%	EBITDA/売上高				●	
効率性	総資産回転率	回	売上高/総資産	●		●		
	有形固定資産回転率	回	売上高/有形固定資産	●		●		
	棚卸資産回転率	回	売上高/棚卸資産	●				
	棚卸資産回転日数	日	棚卸資産/（売上高/365）	●		●		
	売上債権回転率	回	売上高/売上債権	●				
	売上債権回転日数	日	売上債権/（売上高/365）	●		●		
	キャッシュ化速度（Cash C0nversion Cycle）	日	棚卸資産回転日数＋売上債権回転日数ー仕入債務回転日数	●				
	手元流動性比率	倍	（現金預金＋短期性有価証券）/（売上高/12）	●		●		
	営業運転資本回転期間	ヶ月	{売上債権（売掛金＋受取手形）＋棚卸資産－買入債務（買掛金＋支払手形）}/（売上高/12）		●			
	投下資本利益率（ROIC）	%	ROIC＝EBITDA／投下資本（純資産＋有利子負債）。				●	
	買入債務回転期間	月？				●		
安全性	流動比率	%	流動資産/流動負債×100 ※短期支払い能力を示す	●		●		
	当座比率　%	%	当座資産/流動負債×100	●		●		
	営業CF流動負債比率　%	%	営業CF/流動負債×100	●				
	自己資本比率　%	%	自己資本/総資産×100 純資産／負債・純資産合計 ※長期支払能力を示す。	●	●	●		
	負債比率（デット・エクイティ・レシオ）	%	負債/自己資本×100	●				
	EBITDA有利子負債倍率	倍	（借入金－現金・預金）/（営業利益＋減価償却費）		●			
	固定比率	%	固定資産/自己資本×100	●		●		
	固定長期適合率	%	固定資産/（自己資本＋固定負債）×100	●				
	営業CF対固定負債比率	%	営業CF/固定負債×100	●				
	インタレスト・カバレッジ・レシオ（ICR）	%	事業利益/支払利息・割引料	●				
	インタレスト・カバレッジ・レシオ（キャッシュベース）	%	営業CF/支払利息・割引料	●				
	債務償還能力（NetDebt／EBITDA）	%	有利子負債/収益（EBITDA）				●	
	NetDER（Net Debt Equity Ratio）	%	有利子負債－現金及び現金同等物－有価証券 ※有利子負債（同様にネットベース）が返済義務のない純資産でどの程度カバーされているかという観点で財務構成を示す指標。				●	
	信用供与率	%				●		
	借入金利子率	%				●		
生産性	付加価値率	%				●		
	労働生産性	金額/人	営業利益／従業員数		●	●		
	労働装備率	%				●		
	設備投資効率	%				●		
競争力関連	市場シェア	%	※今回調査では、同業種企業の売上合計に占める当該企業の割合と定義					●
	売上高研究開発費比率	%					●	●
	研究開発費	金額						●
	設備投資率	%	設備投資額/売上高×100					●
	設備投資額	金額						●
	企業買収投資額	金額						●
	外国売上高比率	%						●
その他	減価償却率	%				●		
	配当率	%				●		
	配当性向	%				●		
	内部留保率	%				●		
	時価総額						●	
	企業価値／投下資本		（時価総額＋有利子負債）／（純資産＋有利子負債）				●	

（出所）三菱総合研究所作成

また、以上の指標の他に、次の指標も追加して集計することとした。

- EBITDA マルチプル
- SalesMultiple
- PER

9.6.2 5 つの国・ブロックの財務データ（集計データ）

以下に、5 つの国・ブロックの財務データを示す。

表 9-33　財務データの一覧　①5 つの国・ブロック平均 1/2

			成長性	収益性										効率性		安全性	
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	売上高営業利益率の変化	総資産利益率（ROA）（%）	総資産利益率（ROA）の変化	自己資本利益率（ROE）（%）	自己資本利益率（ROE）の変化	EBITDAマルチプル	EBITDAマルチプルの変化	株価収益率（PER）	株価収益率（PER）の変化	総資産回転率（回）	総資産回転率の変化	自己資本比率（%）	自己資本比率の変化
				営業利益/売上高		純利益/総資産		純利益/自己資本		EV（株式時価総額＋Net Debt）/EVITDA		株式時価総額/純利益		売上高/総資産		株主資本/総資産	
20_食料品製造業	1,005	1,592	1.15	10.8%	1.01	5.0%	1.02	12.6%	1.04	13.51	1.02	22.39	0.96	0.65	0.93	39.7%	0.98
21_たばこ製造業	20	148	1.07	26.1%	1.02	10.7%	0.83	33.0%	0.47	11.98	0.86	11.02	0.62	0.39	0.60	32.3%	1.78
22_繊維工業	291	116	1.18	7.1%	1.08	3.7%	1.20	7.8%	1.14	8.71	0.80	14.30	0.71	0.71	0.96	47.7%	1.05
23_衣服及び関連製品製造業	284	349	1.29	12.1%	1.05	5.3%	0.93	11.7%	0.96	10.89	0.97	26.22	1.14	0.80	0.97	45.3%	0.97
24_木材・木製品製造業	133	72	1.28	8.9%	1.12	4.3%	0.90	8.8%	0.88	10.73	0.86	23.56	0.97	0.88	0.96	49.0%	1.02
25_家具・調度品製造業	103	56	1.16	7.1%	0.86	4.3%	0.70	10.8%	0.71	9.90	0.95	22.17	1.15	1.01	0.88	39.9%	0.98
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	304	319	1.12	9.0%	1.15	5.9%	1.66	14.4%	1.52	8.96	0.89	13.43	0.60	0.78	0.98	40.5%	1.10
27_印刷・出版業	318	186	1.12	8.1%	1.44	3.4%	1.35	8.2%	1.36	9.43	1.02	24.82	0.82	0.71	0.99	41.6%	1.00
28_化学品および関連品製造業	3,171	2,787	1.20	12.3%	0.92	4.7%	0.83	11.0%	0.85	12.95	1.05	26.55	1.14	0.55	0.91	42.5%	0.98
29_石油製品・石炭製品製造業	95	1,434	1.07	5.0%	1.88	3.7%	1.58	8.0%	1.58	7.73	0.83	18.66	0.63	0.92	1.01	45.6%	1.00
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	473	399	1.20	7.6%	0.77	4.1%	0.71	9.4%	0.71	9.10	1.11	23.02	1.37	0.88	0.93	44.0%	0.99
31_皮革・皮革製品製造業	63	33	1.14	8.0%	0.71	3.3%	0.56	6.7%	0.61	11.18	0.98	34.06	1.38	0.76	0.90	49.8%	0.91
32_窯業・土石製品製造業	493	420	1.22	11.4%	1.12	4.1%	1.26	9.5%	1.24	7.67	0.84	15.28	0.74	0.61	1.01	43.5%	1.02
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	628	1,125	1.22	5.4%	1.42	2.9%	3.54	6.6%	3.42	7.02	0.72	13.67	0.25	0.84	1.06	43.6%	1.04
34_金属製品製造業	636	336	1.17	8.1%	0.99	3.6%	1.07	8.5%	0.97	10.66	0.98	22.66	1.01	0.77	1.05	42.6%	1.11
35_一般機械器具製造業	2,044	2,099	1.23	10.5%	1.02	5.4%	1.09	15.2%	1.15	11.46	1.18	20.41	1.11	0.71	1.01	35.3%	0.95
36_電気機械器具製造業	2,905	2,346	1.23	10.7%	1.22	5.4%	1.22	11.4%	1.22	10.00	1.02	19.84	0.91	0.70	0.95	47.2%	1.00
37_輸送機械器具製造業	907	3,968	1.13	5.9%	0.93	2.8%	0.88	9.4%	0.85	8.86	0.92	15.65	1.03	0.68	0.98	30.0%	1.03
38_精密機械器具製造業	1,278	630	1.26	12.6%	0.96	4.7%	0.95	9.2%	0.92	17.86	1.26	36.66	1.31	0.54	0.95	50.7%	1.04
39_その他製造業	613	127	1.27	10.3%	1.00	4.8%	0.82	9.2%	0.88	12.98	1.00	26.73	1.18	0.71	0.97	52.4%	0.93
総計	15,764	18,542	1.18	9.1%	1.05	4.4%	1.04	10.9%	1.03	10.95	1.01	21.20	0.99	0.68	0.96	40.0%	1.01

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-34　財務データの一覧　①5 つの国・ブロック平均 2/2

		生産性		競争力										その他			
	企業数	労働生産性（千ドル/人）	労働生産性の変化	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	市場シェアの変化率	売上高研究開発費比率（%）	売上高研究開発費比率の変化	研究開発費（総額）（B$）	研究開発費の変化	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資率の変化	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	設備投資額の変化	Sales Multiple	Sales Multipleの変化	時価総額（B$）	時価総額の変化
		営業利益/従業員数		当該国の売上高/5つの国・ブロック全部の売上高		研究開発費/売上高		研究開発費（総額）（B$）		固定資産の新規購入額/売上高		固定資産新規購入額		企業価値（＝株式時価総額＋Net Debt）/売上高）		株式時価総額	
20_食料品製造業	1,005	41.3	1.14	100%	-	0.66%	0.94	10.6	1.08	3.3%	0.95	52.6	1.10	2.08	1.08	2,727	1.21
21_たばこ製造業	20	153.0	1.03	100%	-	0.97%	1.12	1.4	1.20	1.7%	1.10	2.6	1.17	3.88	0.96	451	0.92
22_繊維工業	291	14.4	1.16	100%	-	1.28%	1.16	1.5	1.37	5.7%	1.22	6.6	1.44	1.00	0.90	87	1.06
23_衣服及び関連製品製造業	284	30.0	1.15	100%	-	0.35%	1.18	1.2	1.52	3.8%	1.03	13.3	1.32	1.79	1.10	606	1.41
24_木材・木製品製造業	133	28.7	1.21	100%	-	0.32%	1.04	0.2	1.33	3.1%	1.18	2.2	1.51	1.38	0.95	83	1.17
25_家具・調度品製造業	103	14.0	0.84	100%	-	1.02%	1.28	0.6	1.48	2.5%	1.48	1.4	1.71	1.09	0.95	53	1.05
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	304	32.3	1.22	100%	-	0.68%	1.13	2.2	1.26	4.0%	1.18	12.7	1.32	1.32	0.99	320	1.13
27_印刷・出版業	318	21.0	1.66	100%	-	0.72%	1.10	1.3	1.23	3.2%	1.23	5.9	1.38	1.37	1.11	221	1.25
28_化学品および関連品製造業	3,171	53.2	0.92	100%	-	7.01%	1.01	195.3	1.21	4.5%	1.11	124.0	1.33	2.53	1.06	6,272	1.24
29_石油製品・石炭製品製造業	95	140.1	1.89	100%	-	0.44%	0.59	6.3	0.64	2.1%	0.90	30.6	0.97	0.91	1.01	1,063	1.05
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	473	19.5	0.85	100%	-	2.62%	1.09	10.4	1.30	4.8%	0.98	19.2	1.17	1.23	1.06	431	1.24
31_皮革・皮革製品製造業	63	19.3	0.74	100%	-	1.00%	1.40	0.3	1.60	2.9%	0.87	0.9	0.99	1.59	0.88	48	0.97
32_窯業・土石製品製造業	493	29.8	1.24	100%	-	1.27%	0.96	5.3	1.17	5.8%	1.07	24.3	1.31	1.39	0.93	436	1.13
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	628	21.7	1.62	100%	-	1.12%	1.15	12.6	1.40	4.4%	0.94	49.5	1.15	0.71	0.85	527	1.03
34_金属製品製造業	636	21.6	1.04	100%	-	1.46%	1.09	4.9	1.28	3.9%	0.94	13.1	1.10	1.33	1.02	358	1.21
35_一般機械器具製造業	2,044	34.3	1.11	100%	-	3.80%	1.07	79.7	1.31	2.7%	1.10	56.0	1.34	1.74	1.21	3,243	1.47
36_電気機械器具製造業	2,905	30.3	1.32	100%	-	6.33%	1.03	148.5	1.27	6.5%	1.23	152.5	1.51	1.61	1.22	3,604	1.44
37_輸送機械器具製造業	907	25.1	0.96	100%	-	3.32%	1.00	131.7	1.13	4.1%	0.97	164.6	1.10	0.96	0.97	2,561	1.04
38_精密機械器具製造業	1,278	28.0	1.01	100%	-	5.73%	1.05	36.1	1.31	3.0%	1.09	19.0	1.37	3.42	1.30	1,995	1.65
39_その他製造業	613	28.5	1.08	100%	-	2.83%	0.98	3.6	1.24	3.0%	1.06	3.8	1.35	1.86	1.04	231	1.27
総計	15,764	33.9	1.10	100%	-	3.53%	1.03	653.7	1.22	4.1%	1.06	754.8	1.25	1.61	1.09	25,316	1.26
		韓国は集計対象外								北米の収録率が低いことに留意						中国の収録率低い	

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-35　財務データの一覧　②日本 1/2【再掲】

			成長性	収益性										効率性		安全性	
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	売上高営業利益率の変化	総資産利益率（ROA）（%）	総資産利益率（ROA）の変化	自己資本利益率（ROE）（%）	自己資本利益率（ROE）の変化	EBITDAマルチプル	EBITDAマルチプルの変化	株価収益率（PER）	株価収益率（PER）の変化	総資産回転率（回）	総資産回転率の変化	自己資本比率（%）	自己資本比率の変化
20_食料品製造業	126	237	1.16	5.3%	1.15	4.0%	1.18	7.6%	1.15	10.13	0.98	22.63	0.85	1.06	0.94	52.5%	1.02
21_たばこ製造業	1	20	1.07	22.0%	0.95	6.9%	0.81	13.6%	0.87	9.91	0.82	15.39	0.79	0.40	0.86	51.0%	0.93
22_繊維工業	36	27	1.11	3.7%	0.99	2.2%	1.17	4.6%	1.12	7.10	0.98	17.12	0.91	0.91	1.03	47.2%	1.04
23_衣服及び関連製品製造業	31	13	1.03	3.1%	0.81	1.2%	0.43	2.0%	0.44	11.46	1.32	64.45	2.71	0.92	0.97	62.6%	0.99
24_木材・木製品製造業	16	7	1.17	5.0%	0.98	3.3%	0.97	6.0%	0.96	6.44	1.08	16.17	1.16	0.96	0.97	54.7%	1.02
25_家具・調度品製造業	12	7	1.12	5.0%	0.95	3.4%	0.96	5.5%	0.92	5.98	1.10	17.73	1.14	0.91	0.98	62.1%	1.04
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	40	59	1.15	5.0%	1.13	2.5%	1.19	5.9%	1.15	9.65	1.01	23.89	1.01	0.81	1.04	42.5%	1.04
27_印刷・出版業	61	45	1.10	2.8%	0.91	1.9%	0.97	3.3%	0.97	6.88	1.00	24.77	1.01	0.81	0.96	58.1%	1.00
28_化学品および関連品製造業	232	447	1.18	9.6%	1.16	4.7%	1.08	8.5%	1.11	9.46	1.05	19.68	0.92	0.66	0.89	55.1%	0.97
29_石油製品・石炭製品製造業	11	171	1.24	1.9%	-	1.6%	-	4.9%	-	7.21	0.50	13.51	–	1.33	0.99	32.3%	1.15
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	47	86	1.12	7.6%	0.78	4.9%	0.92	8.8%	0.90	5.62	1.07	13.66	1.02	0.93	0.99	55.6%	1.02
31_皮革・皮革製品製造業	2	1	1.03	2.7%	0.52	0.8%	0.30	1.8%	0.29	9.14	1.36	23.64	2.74	0.76	0.93	44.5%	1.04
32_窯業・土石製品製造業	53	57	1.15	6.9%	0.96	3.2%	1.13	6.0%	1.07	6.43	0.96	15.68	0.88	0.72	1.02	53.6%	1.05
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	77	227	1.18	3.0%	0.68	1.5%	0.67	3.2%	0.69	6.49	0.89	18.96	1.17	0.84	1.02	46.9%	0.97
34_金属製品製造業	92	80	1.13	4.3%	0.77	2.4%	0.75	4.6%	0.73	7.35	1.06	24.36	1.37	0.91	1.00	52.1%	1.04
35_一般機械器具製造業	261	453	1.15	7.0%	0.94	3.9%	1.02	7.8%	1.01	7.60	0.97	18.62	0.96	0.83	0.99	50.8%	1.01
36_電気機械器具製造業	230	588	1.08	6.8%	1.32	4.4%	2.33	10.0%	2.13	7.20	0.98	16.46	0.50	0.79	0.95	43.8%	1.09
37_輸送機械器具製造業	97	935	1.13	5.4%	0.78	3.3%	0.84	7.8%	0.81	7.15	0.97	11.61	0.97	0.75	0.99	42.0%	1.03
38_精密機械器具製造業	88	101	1.12	10.5%	1.04	5.0%	1.11	8.7%	1.11	10.38	1.19	24.56	1.07	0.73	0.97	57.4%	1.00
39_その他製造業	32	37	1.35	11.6%	1.97	7.6%	1.85	10.7%	1.80	12.47	0.98	25.48	0.82	0.87	1.12	70.7%	1.03
総計	1,545	3,599	1.14	6.3%	1.00	3.7%	1.12	7.8%	1.10	7.96	1.00	17.19	0.89	0.79	0.97	47.7%	1.03

（注）石油・石炭は、3-5 期前の業績が非常に悪く、直近 3 期にかけて利益率がマイナスからプラスに変化しているため、増減率の表示をしていない箇所がある（マイナス表示となるため）

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-36　財務データの一覧　①日本 2/2【再掲】

		生産性		競争力										その他			
	企業数	労働生産性（千ドル/人）	労働生産性の変化	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	市場シェアの変化率	売上高研究開発費比率（%）	売上高研究開発費比率の変化	研究開発費（総額）（B$）	研究開発費の変化	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資率の変化	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	設備投資額の変化	Sales Multiple	Sales Multipleの変化	時価総額（B$）	時価総額の変化
20_食料品製造業	126	27.8	1.22	14.9%	1.00	1.04%	0.94	2.5	1.09	4.3%	1.17	10.2	1.36	0.94	1.06	202	1.24
21_たばこ製造業	1	70.5	0.78	13.2%	1.00	2.91%	1.19	0.6	1.28	5.7%	1.15	1.1	1.24	2.92	0.83	52	0.80
22_繊維工業	36	11.2	1.09	23.5%	0.94	1.95%	0.98	0.5	1.08	3.8%	0.98	1.0	1.09	0.53	0.97	11	1.15
23_衣服及び関連製品製造業	31	5.3	0.82	3.9%	0.80	0.35%	1.06	0.0	1.09	3.3%	0.94	0.4	0.97	0.83	1.25	12	1.24
24_木材・木製品製造業	16	18.3	1.07	10.2%	0.92	1.02%	1.01	0.1	1.18	4.0%	1.09	0.3	1.27	0.55	1.13	4	1.35
25_家具・調度品製造業	12	15.3	0.95	11.9%	0.97	1.07%	1.13	0.1	1.27	2.8%	1.00	0.2	1.12	0.52	1.11	4	1.25
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	40	21.2	1.20	18.3%	1.03	0.73%	0.99	0.4	1.14	5.7%	1.07	3.3	1.23	1.04	1.04	43	1.34
27_印刷・出版業	61	7.9	0.94	24.2%	0.98	1.28%	1.03	0.6	1.13	3.8%	1.05	1.7	1.16	0.52	0.99	26	1.12
28_化学品および関連品製造業	232	45.1	1.25	16.0%	0.99	6.19%	1.00	27.7	1.18	5.5%	1.17	24.5	1.38	1.51	1.16	622	1.32
29_石油製品・石炭製品製造業	11	48.6	–	12.0%	1.15	0.25%	0.94	0.4	1.16	2.1%	0.87	3.6	1.08	0.35	0.98	27	1.49
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	47	16.8	0.82	21.6%	0.93	2.19%	0.90	1.9	1.00	6.3%	0.97	5.4	1.08	0.75	0.95	62	1.07
31_皮革・皮革製品製造業	2	5.9	0.30	2.1%	0.90	0.78%	2.70	0.0	2.77	3.4%	0.86	0.0	0.89	0.49	1.00	0	0.90
32_窯業・土石製品製造業	53	19.2	1.04	13.7%	0.95	2.03%	1.04	1.2	1.21	8.6%	1.31	5.0	1.52	0.87	0.95	40	1.12
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	77	9.2	0.73	20.2%	0.96	1.47%	1.00	3.3	1.18	6.5%	1.20	14.9	1.41	0.60	0.85	77	0.91
34_金属製品製造業	92	12.3	0.81	23.7%	0.97	1.43%	0.97	1.1	1.10	5.3%	1.25	4.2	1.40	0.69	1.02	51	1.17
35_一般機械器具製造業	261	19.5	1.03	21.6%	0.94	3.33%	0.91	15.1	1.05	4.5%	1.02	20.2	1.18	0.93	1.00	403	1.14
36_電気機械器具製造業	230	17.6	1.43	25.1%	0.88	4.48%	1.01	26.4	1.09	5.2%	1.05	30.5	1.14	0.87	1.19	539	1.32
37_輸送機械器具製造業	97	26.6	0.83	23.6%	1.00	4.08%	1.03	38.1	1.17	6.9%	0.93	64.5	1.05	0.78	0.88	478	0.94
38_精密機械器具製造業	88	23.9	1.13	16.0%	0.89	6.06%	1.02	6.1	1.14	4.4%	1.03	4.5	1.15	1.66	1.24	170	1.37
39_その他製造業	32	51.9	2.56	29.1%	1.06	4.53%	0.86	1.7	1.16	2.6%	1.06	1.0	1.44	1.82	1.47	82	1.81
総計	1,545	22.8	1.09	19.4%	0.97	3.55%	0.99	127.8	1.13	5.5%	1.03	196.6	1.18	0.93	1.04	2,907	1.18

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-37　財務データの一覧　③北米 1/2

			成長性	収益性										効率性		安全性	
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	売上高営業利益率の変化	総資産利益率（ROA）（%）	総資産利益率（ROA）の変化	自己資本利益率（ROE）（%）	自己資本利益率（ROE）の変化	EBITDAマルチプル	EBITDAマルチプルの変化	株価収益率（PER）	株価収益率（PER）の変化	総資産回転率（回）	総資産回転率の変化	自己資本比率（%）	自己資本比率の変化
20_食料品製造業	185	520	1.04	11.1%	0.97	4.9%	0.95	13.6%	0.96	14.01	1.00	23.37	0.95	0.62	0.87	36.0%	1.00
21_たばこ製造業	12	57	1.04	32.5%	0.91	13.3%	0.65	-4014.1%	17.99	12.69	0.92	19.65	1.19	0.61	0.83	-0.3%	0.04
22_繊維工業	18	14	1.18	10.5%	0.95	5.9%	0.87	10.8%	0.82	9.43	0.86	16.93	0.86	0.82	0.88	55.0%	1.07
23_衣服及び関連製品製造業	31	40	1.06	10.0%	0.93	6.0%	0.74	15.6%	0.80	13.02	1.09	22.13	1.18	0.92	0.84	38.7%	0.93
24_木材・木製品製造業	39	48	1.34	9.2%	1.10	4.5%	0.89	9.4%	0.86	11.30	0.89	25.73	1.07	0.94	1.01	48.5%	1.03
25_家具・調度品製造業	25	33	1.05	7.6%	0.88	6.3%	0.89	23.4%	0.96	10.64	1.04	20.66	1.05	1.30	0.94	27.1%	0.92
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	37	110	1.10	10.2%	1.16	5.3%	1.38	18.1%	1.23	8.64	0.85	17.52	0.68	0.85	0.98	29.2%	1.12
27_印刷・出版業	64	55	1.06	10.4%	1.28	2.7%	0.90	8.6%	1.08	10.25	1.15	41.63	1.44	0.72	1.03	30.9%	0.84
28_化学品および関連品製造業	907	766	1.07	16.6%	0.84	4.5%	0.65	12.2%	0.72	15.74	1.25	37.88	1.59	0.45	0.87	36.7%	0.91
29_石油製品・石炭製品製造業	24	849	1.01	5.2%	1.33	4.3%	1.34	8.5%	1.31	8.36	0.89	18.87	0.74	0.84	1.00	51.1%	1.02
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	55	95	1.13	6.0%	0.55	3.2%	0.39	9.9%	0.45	14.23	1.27	48.19	2.61	0.91	0.91	32.3%	0.87
31_皮革・皮革製品製造業	13	15	1.20	6.8%	0.61	2.8%	0.46	6.2%	0.50	9.88	1.04	45.04	1.93	0.98	1.05	45.7%	0.92
32_窯業・土石製品製造業	35	56	1.12	15.6%	0.87	8.0%	0.80	28.7%	0.95	13.60	1.14	24.14	1.14	0.77	0.89	27.9%	0.84
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	66	133	1.15	8.1%	1.54	3.8%	1.51	9.4%	1.70	7.06	0.89	17.82	0.65	0.93	1.02	40.1%	0.89
34_金属製品製造業	104	96	1.14	9.6%	1.01	4.0%	1.43	12.8%	1.14	11.03	1.08	24.24	0.92	0.80	1.17	31.1%	1.26
35_一般機械器具製造業	306	822	1.23	14.6%	0.99	8.2%	1.12	29.8%	1.36	13.70	1.42	22.93	1.38	0.76	1.08	27.3%	0.83
36_電気機械器具製造業	462	478	1.21	17.9%	1.16	8.0%	1.23	17.6%	1.34	12.48	1.25	24.21	1.08	0.61	1.00	45.3%	0.92
37_輸送機械器具製造業	169	1,025	1.07	6.4%	0.87	2.0%	0.62	12.0%	0.73	11.74	0.95	34.00	1.64	0.67	1.06	16.9%	0.84
38_精密機械器具製造業	471	280	1.25	13.2%	0.97	5.2%	0.94	11.2%	0.93	23.53	1.43	44.81	1.48	0.53	0.93	46.4%	1.01
39_その他製造業	60	24	1.13	5.6%	0.58	0.2%	0.04	0.7%	0.05	18.79	1.80	679.13	30.09	0.89	0.91	33.7%	0.89
総計	3,083	5,514	1.11	11.3%	0.98	5.0%	0.93	14.5%	0.98	13.34	1.16	27.88	1.25	0.66	0.97	34.3%	0.95

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-38　財務データの一覧　③北米 2/2

		生産性		競争力										その他			
	企業数	労働生産性（千ドル/人）	労働生産性の変化	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	市場シェアの変化率	売上高研究開発費比率（%）	売上高研究開発費比率の変化	研究開発費（総額）（B$）	研究開発費の変化	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資率の変化	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	設備投資額の変化	Sales Multiple	Sales Multipleの変化	時価総額（B$）	時価総額の変化
		営業利益/従業員数		当該国の売上高/5つの国・ブロック全部の売上高		研究開発費/売上高		研究開発費（総額）（B$）		固定資産の新規購入額/売上高		固定資産新規購入額		企業価値（＝株式時価総額＋Net Debt）/売上高）		株式時価総額	
20_食料品製造業	1,005	41.3	1.14	100%	-	0.66%	0.94	10.6	1.08	3.3%	0.95	52.6	1.10	2.08	1.08	2,727	1.21
21_たばこ製造業	20	153.0	1.03	100%	-	0.97%	1.12	1.4	1.20	1.7%	1.10	2.6	1.17	3.88	0.96	451	0.92
22_繊維工業	291	14.4	1.16	100%	-	1.28%	1.16	1.5	1.37	5.7%	1.22	6.6	1.44	1.00	0.90	87	1.06
23_衣服及び関連製品製造業	284	30.0	1.15	100%	-	0.35%	1.18	1.2	1.52	3.8%	1.03	13.3	1.32	1.79	1.10	606	1.41
24_木材・木製品製造業	133	28.7	1.21	100%	-	0.32%	1.04	0.2	1.33	3.1%	1.18	2.2	1.51	1.38	0.95	83	1.17
25_家具・調度品製造業	103	14.0	0.84	100%	-	1.02%	1.28	0.6	1.48	2.5%	1.48	1.4	1.71	1.09	0.95	53	1.05
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	304	32.3	1.22	100%	-	0.68%	1.13	2.2	1.26	4.0%	1.18	12.7	1.32	1.32	0.99	320	1.13
27_印刷・出版業	318	21.0	1.66	100%	-	0.72%	1.10	1.3	1.23	3.2%	1.23	5.9	1.38	1.37	1.11	221	1.25
28_化学品および関連品製造業	3,171	53.2	0.92	100%	-	7.01%	1.01	195.3	1.21	4.5%	1.11	124.0	1.33	2.53	1.06	6,272	1.24
29_石油製品・石炭製品製造業	95	140.1	1.89	100%	-	0.44%	0.59	6.3	0.64	2.1%	0.90	30.6	0.97	0.91	1.01	1,063	1.05
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	473	19.5	0.85	100%	-	2.62%	1.09	10.4	1.30	4.8%	0.98	19.2	1.17	1.23	1.06	431	1.24
31_皮革・皮革製品製造業	63	19.3	0.74	100%	-	1.00%	1.40	0.3	1.60	2.9%	0.87	0.9	0.99	1.59	0.88	48	0.97
32_窯業・土石製品製造業	493	29.8	1.24	100%	-	1.27%	0.96	5.3	1.17	5.8%	1.07	24.3	1.31	1.39	0.93	436	1.13
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	628	21.7	1.62	100%	-	1.12%	1.15	12.6	1.40	4.4%	0.94	49.5	1.15	0.71	0.85	527	1.03
34_金属製品製造業	636	21.6	1.04	100%	-	1.46%	1.09	4.9	1.28	3.9%	0.94	13.1	1.10	1.33	1.02	358	1.21
35_一般機械器具製造業	2,044	34.3	1.11	100%	-	3.80%	1.07	79.7	1.31	2.7%	1.10	56.0	1.34	1.74	1.21	3,243	1.47
36_電気機械器具製造業	2,905	30.3	1.32	100%	-	6.33%	1.03	148.5	1.27	6.5%	1.23	152.5	1.51	1.61	1.22	3,604	1.44
37_輸送機械器具製造業	907	25.1	0.96	100%	-	3.32%	1.00	131.7	1.13	4.1%	0.97	164.6	1.10	0.96	0.97	2,561	1.04
38_精密機械器具製造業	1,278	28.0	1.01	100%	-	5.73%	1.05	36.1	1.31	3.0%	1.09	19.0	1.37	3.42	1.30	1,995	1.65
39_その他製造業	613	28.5	1.08	100%	-	2.83%	0.98	3.6	1.24	3.0%	1.06	3.8	1.35	1.86	1.04	231	1.27
総計	15,764	33.9	1.10	100%	-	3.53%	1.03	653.7	1.22	4.1%	1.06	754.8	1.25	1.61	1.09	25,316	1.26
		韓国は集計対象外								北米の収録率が低いことに留意						中国の収録率低い	

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-39　財務データの一覧　④西欧 1/2

			成長性	収益性										効率性		安全性	
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	売上高営業利益率の変化	総資産利益率（ROA）（%）	総資産利益率（ROA）の変化	自己資本利益率（ROE）（%）	自己資本利益率（ROE）の変化	EBITDAマルチプル	EBITDAマルチプルの変化	株価収益率（PER）	株価収益率（PER）の変化	総資産回転率（回）	総資産回転率の変化	自己資本比率（%）	自己資本比率の変化
20_食料品製造業	222	539	1.13	13.2%	0.98	5.1%	1.02	13.3%	1.07	13.81	1.04	21.49	0.95	0.54	0.96	38.4%	0.95
21_たばこ製造業	5	67	1.09	21.7%	1.30	10.4%	1.22	26.3%	0.62	11.93	0.77	5.88	0.29	0.29	0.44	39.6%	1.96
22_繊維工業	67	10	1.31	7.2%	1.12	3.7%	1.32	9.1%	1.43	11.81	1.24	22.36	1.07	0.79	1.00	40.1%	0.92
23_衣服及び関連製品製造業	62	187	1.31	17.4%	1.12	6.5%	1.03	14.2%	1.10	10.59	0.97	27.92	1.12	0.73	0.98	45.5%	0.94
24_木材・木製品製造業	31	8	1.08	10.3%	1.12	7.3%	1.22	14.2%	1.08	9.97	0.94	17.99	0.81	1.05	0.95	51.8%	1.13
25_家具・調度品製造業	16	3	1.15	2.1%	0.65	-0.3%	-0.25	-1.0%	-0.28	10.60	0.83	-139.30	-1.98	1.10	0.73	32.6%	0.91
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	60	105	1.02	9.4%	1.15	10.6%	2.24	22.3%	2.04	8.84	1.09	8.17	0.53	0.84	0.93	47.3%	1.10
27_印刷・出版業	88	56	1.02	10.5%	2.43	4.4%	3.20	12.9%	2.98	9.81	1.02	20.90	0.39	0.62	0.93	33.8%	1.08
28_化学品および関連品製造業	416	856	1.14	13.2%	0.98	6.1%	0.98	13.8%	0.94	11.88	0.98	20.97	0.95	0.56	0.90	44.2%	1.04
29_石油製品・石炭製品製造業	14	334	1.09	6.0%	17.20	2.5%	7.17	7.0%	7.55	5.81	0.70	21.04	0.17	1.02	1.02	36.0%	0.95
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	58	152	1.26	8.9%	0.90	5.2%	0.89	12.7%	0.87	7.78	1.09	19.35	1.15	0.97	0.93	41.0%	1.03
31_皮革・皮革製品製造業	11	11	1.10	10.1%	0.75	4.2%	0.55	8.6%	0.67	11.75	0.93	29.68	1.18	0.69	0.80	48.9%	0.83
32_窯業・土石製品製造業	93	173	1.05	9.4%	1.16	3.2%	1.38	7.2%	1.37	7.17	0.89	16.00	0.72	0.60	0.96	44.9%	1.01
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	72	262	1.12	4.4%	1.23	3.9%	-32.64	8.8%	-30.83	5.86	0.86	10.34	-0.03	0.88	1.03	44.9%	1.06
34_金属製品製造業	77	67	1.14	11.6%	1.15	7.1%	1.30	16.0%	1.17	12.25	0.98	22.48	0.97	0.90	1.08	44.7%	1.11
35_一般機械器具製造業	261	401	1.12	8.9%	1.07	5.4%	1.31	15.2%	1.19	9.97	1.01	15.54	0.84	0.75	0.97	35.3%	1.10
36_電気機械器具製造業	277	373	1.11	8.4%	1.08	4.2%	0.94	9.6%	0.97	11.79	1.11	28.39	1.22	0.73	0.96	43.3%	0.97
37_輸送機械器具製造業	118	1,383	1.19	6.7%	1.11	3.2%	1.28	12.0%	1.17	7.04	0.94	10.13	0.77	0.64	0.94	27.1%	1.10
38_精密機械器具製造業	186	204	1.27	13.1%	0.93	4.1%	0.95	7.7%	0.86	13.89	1.09	29.97	1.16	0.51	0.98	53.3%	1.10
39_その他製造業	55	35	1.25	13.3%	0.84	7.3%	0.85	12.9%	1.02	11.47	0.91	19.32	0.87	0.68	0.93	56.2%	0.83
総計	2,189	5,227	1.15	9.8%	1.10	4.8%	1.20	12.5%	1.16	10.20	0.97	17.93	0.83	0.65	0.93	38.3%	1.04

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-40　財務データの一覧　④西欧 2/2

		生産性		競争力										その他			
	企業数	労働生産性（千ドル/人）	労働生産性の変化	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	市場シェアの変化率	売上高研究開発費比率（%）	売上高研究開発費比率の変化	研究開発費（総額）（B$）	研究開発費の変化	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資率の変化	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	設備投資額の変化	Sales Multiple	Sales Multipleの変化	時価総額（B$）	時価総額の変化
20_食料品製造業	222	40.0	1.09	33.8%	0.98	0.79%	0.91	4.2	1.03	4.0%	0.76	21.7	0.86	2.57	1.05	1,094	1.14
21_たばこ製造業	5	140.1	1.37	45.5%	1.02	0.23%	1.40	0.2	1.53	1.7%	0.99	1.2	1.08	3.19	1.00	142	0.89
22_繊維工業	67	13.5	1.27	8.6%	1.11	0.33%	0.85	0.0	1.11	6.6%	1.04	0.7	1.36	1.39	1.34	10	1.84
23_衣服及び関連製品製造業	62	48.1	1.26	53.6%	1.02	0.23%	0.93	0.4	1.21	4.8%	1.03	9.0	1.34	2.48	1.18	461	1.55
24_木材・木製品製造業	31	22.4	1.13	11.8%	0.85	0.10%	1.21	0.0	1.31	4.6%	1.18	0.4	1.28	1.37	1.05	11	1.13
25_家具・調度品製造業	16	3.6	0.66	5.6%	0.99	0.17%	0.86	0.0	0.98	3.2%	1.29	0.1	1.48	0.62	0.89	1	0.78
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	60	36.1	1.22	33.0%	0.91	0.33%	0.95	0.3	0.97	4.8%	1.23	5.1	1.25	1.26	1.19	108	1.30
27_印刷・出版業	88	25.5	2.77	30.0%	0.91	0.62%	0.93	0.3	0.95	2.3%	0.95	1.3	0.96	1.88	1.27	82	1.36
28_化学品および関連品製造業	416	59.9	1.03	30.7%	0.95	8.05%	1.02	69.0	1.16	5.3%	0.96	45.7	1.09	2.62	1.05	1,975	1.17
29_石油製品・石炭製品製造業	14	201.6	19.67	23.3%	1.01	0.16%	0.81	0.5	0.88	5.3%	0.77	17.8	0.83	0.68	1.22	173	1.27
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	58	22.9	1.04	38.0%	1.05	3.98%	1.11	6.0	1.40	5.8%	0.99	8.7	1.25	1.16	1.11	158	1.39
31_皮革・皮革製品製造業	11	24.0	0.70	34.4%	0.96	2.10%	1.54	0.2	1.69	3.6%	0.63	0.4	0.69	1.97	0.87	20	0.90
32_窯業・土石製品製造業	93	25.6	1.18	41.2%	0.86	0.54%	0.90	0.9	0.95	5.9%	1.08	10.2	1.13	1.21	1.03	151	1.09
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	72	14.5	1.37	23.3%	0.92	0.77%	0.87	2.0	0.98	4.3%	0.93	11.2	1.04	0.57	0.92	121	1.08
34_金属製品製造業	77	25.6	1.28	19.9%	0.97	1.96%	1.09	1.3	1.23	3.5%	0.97	2.4	1.10	1.97	1.10	119	1.32
35_一般機械器具製造業	261	22.0	1.10	19.1%	0.92	3.34%	0.99	13.4	1.11	3.0%	0.98	11.9	1.10	1.33	1.12	448	1.27
36_電気機械器具製造業	277	19.7	1.14	15.9%	0.90	7.16%	1.07	26.7	1.19	3.9%	1.16	14.6	1.29	1.71	1.23	605	1.33
37_輸送機械器具製造業	118	28.5	1.17	34.8%	1.06	3.41%	0.92	47.2	1.09	4.8%	1.02	66.9	1.21	0.87	1.07	707	1.25
38_精密機械器具製造業	186	25.7	0.96	32.4%	1.01	4.05%	1.03	8.3	1.31	5.0%	1.07	10.2	1.35	2.74	1.10	491	1.43
39_その他製造業	55	34.9	0.85	27.8%	0.99	0.84%	1.02	0.3	1.28	4.4%	0.96	1.6	1.21	2.18	0.87	73	0.99
総計	2,189	33.6	1.16	28.2%	0.98	3.47%	1.00	181.5	1.15	4.6%	0.96	240.8	1.10	1.63	1.08	6,950	1.23

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-41　財務データの一覧　⑤中国 1/2

			成長性	収益性										効率性		安全性	
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	売上高営業利益率の変化	総資産利益率（ROA）（%）	総資産利益率（ROA）の変化	自己資本利益率（ROE）（%）	自己資本利益率（ROE）の変化	EBITDAマルチプル	EBITDAマルチプルの変化	株価収益率（PER）	株価収益率（PER）の変化	総資産回転率（回）	総資産回転率の変化	自己資本比率（%）	自己資本比率の変化
20_食料品製造業	384	184	1.57	13.8%	1.20	7.9%	1.06	14.6%	1.12	13.81	1.16	23.55	1.23	0.79	1.00	54.1%	0.95
21_たばこ製造業	0																
22_繊維工業	147	58	1.45	8.4%	1.13	3.2%	0.97	6.5%	0.95	7.63	0.64	15.76	0.75	0.65	1.04	48.5%	1.02
23_衣服及び関連製品製造業	122	93	1.43	4.8%	0.86	3.2%	0.79	7.2%	0.74	11.57	0.88	19.60	1.00	0.86	1.05	44.7%	1.07
24_木材・木製品製造業	40	5	1.32	13.3%	1.77	2.6%	0.82	5.6%	0.89	8.33	0.52	20.04	0.61	0.43	0.76	45.6%	0.93
25_家具・調度品製造業	42	12	1.58	8.8%	0.75	2.5%	0.37	5.4%	0.41	9.56	0.73	28.32	1.60	0.63	0.88	46.5%	0.92
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	128	33	1.50	11.4%	1.08	2.5%	0.88	5.3%	0.80	9.04	0.55	26.35	0.74	0.51	1.14	47.0%	1.11
27_印刷・出版業	88	27	1.63	7.5%	0.89	5.4%	0.88	9.2%	0.88	7.65	0.58	13.20	0.69	0.77	1.11	58.9%	1.00
28_化学品および関連品製造業	1,317	515	1.56	8.7%	1.06	3.5%	0.90	7.6%	0.92	10.54	0.69	21.87	0.78	0.65	0.98	46.1%	0.98
29_石油製品・石炭製品製造業	39	36	1.35	7.9%	1.13	3.0%	0.98	7.7%	0.96	5.40	0.77	7.95	0.77	0.66	1.00	39.5%	1.02
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	279	44	1.37	6.8%	1.00	2.7%	0.80	5.6%	0.81	8.99	0.75	20.48	0.88	0.64	0.91	49.5%	0.99
31_皮革・皮革製品製造業	26	3	1.06	9.6%	0.75	3.1%	0.56	5.3%	0.58	11.28	0.96	24.33	1.20	0.48	0.79	58.7%	0.97
32_窯業・土石製品製造業	277	120	1.75	15.0%	1.24	4.4%	1.72	10.2%	1.56	5.72	0.57	9.83	0.50	0.53	1.28	43.1%	1.11
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	326	369	1.40	6.7%	2.44	2.9%	64.91	7.4%	57.83	7.43	0.50	13.32	0.01	0.76	1.13	39.7%	1.12
34_金属製品製造業	307	65	1.28	8.5%	1.09	2.9%	0.93	6.7%	0.91	9.64	0.74	19.07	0.81	0.60	0.94	42.9%	1.02
35_一般機械器具製造業	1,000	376	1.43	8.2%	1.17	2.5%	0.98	7.1%	1.02	9.79	0.79	17.99	0.73	0.51	0.98	34.8%	0.96
36_電気機械器具製造業	1,523	481	1.61	6.6%	0.97	2.5%	0.72	5.7%	0.75	10.09	0.72	26.37	1.03	0.62	0.98	44.1%	0.97
37_輸送機械器具製造業	405	357	1.20	4.5%	1.05	3.3%	0.72	7.5%	0.69	8.59	0.71	13.82	0.98	0.72	0.91	43.8%	1.04
38_精密機械器具製造業	451	40	1.73	11.6%	0.91	3.9%	0.76	7.1%	0.78	11.92	0.63	25.41	0.90	0.45	1.01	54.9%	0.97
39_その他製造業	450	28	1.29	7.6%	0.91	2.2%	0.44	5.2%	0.45	11.86	0.69	19.95	1.13	0.52	0.92	42.2%	0.98
総計	7,351	2,846	1.46	8.0%	1.17	3.3%	1.00	7.6%	0.99	9.61	0.71	19.26	0.80	0.64	1.00	43.4%	1.01

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-42　財務データの一覧　⑤中国 2/2

		生産性		競争力										その他			
	企業数	労働生産性（千ドル/人）	労働生産性の変化	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	市場シェアの変化率	売上高研究開発費比率（%）	売上高研究開発費比率の変化	研究開発費（総額）（B$）	研究開発費の変化	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資率の変化	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	設備投資額の変化	Sales Multiple	Sales Multipleの変化	時価総額（B$）	時価総額の変化
20_食料品製造業	384	28.3	1.72	11.6%	1.36	0.57%	1.20	1.1	1.90	5.7%	0.96	10.5	1.52	2.29	1.33	431	2.07
21_たばこ製造業	0																
22_繊維工業	147	13.5	1.51	50.5%	1.23	1.42%	1.47	0.8	2.14	7.6%	1.33	4.4	1.93	1.01	0.74	45	1.01
23_衣服及び関連製品製造業	122	11.9	1.09	26.6%	1.11	0.68%	1.70	0.6	2.42	3.5%	1.01	3.2	1.44	0.78	0.82	68	1.08
24_木材・木製品製造業	40	20.2	1.99	6.7%	1.04	1.36%	1.65	0.1	2.19	11.5%	2.31	0.6	3.06	1.42	0.71	6	0.87
25_家具・調度品製造業	42	8.4	0.81	20.5%	1.36	2.21%	1.38	0.3	2.18	8.3%	1.32	1.0	2.08	1.33	0.74	13	1.08
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	128	20.8	1.40	10.4%	1.34	2.51%	1.31	0.8	1.96	9.0%	1.02	3.0	1.53	1.68	0.60	43	0.86
27_印刷・出版業	88	18.7	1.35	14.4%	1.46	0.69%	1.50	0.2	2.44	8.7%	1.79	2.3	2.91	0.79	0.53	25	0.89
28_化学品および関連品製造業	1,317	19.9	1.23	18.5%	1.31	1.92%	1.39	9.9	2.17	7.0%	1.01	36.0	1.58	1.40	0.75	599	1.12
29_石油製品・石炭製品製造業	39	27.6	1.03	2.5%	1.25	0.44%	2.39	0.2	3.22	6.2%	1.61	2.3	2.18	0.58	0.72	13	1.01
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	279	11.0	1.28	11.1%	1.15	2.48%	1.40	1.1	1.93	7.5%	1.02	3.3	1.40	1.04	0.79	39	1.06
31_皮革・皮革製品製造業	26	7.6	0.82	10.0%	0.93	1.94%	1.33	0.1	1.40	11.7%	1.34	0.4	1.41	1.82	0.91	5	0.90
32_窯業・土石製品製造業	277	29.9	1.81	28.5%	1.44	0.95%	1.08	1.1	1.89	6.9%	0.84	8.3	1.47	1.23	0.64	97	1.19
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	326	24.9	3.14	32.8%	1.15	1.46%	1.53	5.4	2.14	5.2%	0.79	19.1	1.10	0.84	0.72	190	1.01
34_金属製品製造業	307	15.2	1.18	19.5%	1.09	2.31%	1.37	1.5	1.75	6.6%	0.83	4.3	1.06	1.28	0.83	60	1.01
35_一般機械器具製造業	1,000	18.2	1.23	17.9%	1.17	2.49%	1.29	9.4	1.85	5.6%	1.25	21.2	1.78	1.18	0.92	332	1.04
36_電気機械器具製造業	1,523	10.9	1.20	20.5%	1.31	3.75%	1.24	18.0	2.00	9.3%	1.13	44.6	1.82	1.25	0.84	514	1.23
37_輸送機械器具製造業	405	10.5	1.12	9.0%	1.06	2.44%	1.14	8.7	1.37	4.9%	1.08	17.5	1.29	0.67	0.80	225	0.93
38_精密機械器具製造業	451	13.1	1.08	6.3%	1.38	6.07%	1.12	2.4	1.94	9.3%	1.03	3.7	1.79	2.18	0.69	87	1.17
39_その他製造業	450	12.1	0.95	21.9%	1.02	2.29%	1.23	0.6	1.59	4.0%	1.11	1.1	1.44	1.26	0.70	23	0.70
総計	7,351	17.0	1.39	15.3%	1.24	2.19%	1.29	62.2	1.88	6.6%	1.06	186.8	1.54	1.19	0.84	2,815	1.17
																中国の収録率低い	

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-43　財務データの一覧　⑥韓国 1/2

			成長性	収益性										効率性		安全性	
	企業数	売上高（B$）	売上増加率	売上高営業利益率（%）	売上高営業利益率の変化	総資産利益率（ROA）（%）	総資産利益率（ROA）の変化	自己資本利益率（ROE）（%）	自己資本利益率（ROE）の変化	EBITDAマルチプル	EBITDAマルチプルの変化	株価収益率（PER）	株価収益率（PER）の変化	総資産回転率（回）	総資産回転率の変化	自己資本比率（%）	自己資本比率の変化
20_食料品製造業	88	113	1.35	4.6%	0.96	1.8%	1.22	6.8%	1.25	12.61	0.87	15.75	0.59	0.77	0.95	26.6%	0.97
21_たばこ製造業	2	4	1.13	28.7%	0.94	10.1%	0.86	12.8%	0.79	9.10	1.01	13.61	1.08	0.46	0.91	79.2%	1.09
22_繊維工業	23	6	0.46	3.0%	0.52	8.1%	4.05	19.4%	3.24	35.75	2.43	3.45	0.22	0.44	0.57	41.8%	1.25
23_衣服及び関連製品製造業	38	15	1.26	5.0%	0.88	2.1%	0.70	4.4%	0.70	8.05	0.82	22.43	1.12	1.04	1.00	48.0%	1.00
24_木材・木製品製造業	7	3	1.20	3.1%	0.54	2.0%	0.45	4.1%	0.48	25.09	0.93	39.93	1.04	0.98	0.89	49.2%	0.94
25_家具・調度品製造業	8	2	1.53	4.7%	0.79	5.1%	0.89	7.1%	0.93	10.07	0.80	14.26	0.81	1.19	1.11	72.2%	0.95
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	39	12	1.23	5.7%	1.35	2.1%	7.91	4.7%	7.20	13.32	0.77	19.56	0.16	0.81	1.09	43.6%	1.10
27_印刷・出版業	17	3	1.26	4.8%	0.81	-0.2%	-0.06	-0.4%	-0.06	15.07	1.29	-360.00	-16.39	0.71	0.81	40.9%	0.98
28_化学品および関連品製造業	299	203	1.29	6.7%	1.03	2.1%	0.90	6.8%	0.85	16.63	1.08	28.42	1.27	0.57	0.98	31.4%	1.06
29_石油製品・石炭製品製造業	7	43	2.25	3.6%	1.03	2.7%	0.59	7.2%	0.77	17.12	1.07	17.64	1.06	1.19	0.66	37.4%	0.77
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	34	22	1.12	6.3%	0.64	2.6%	0.53	5.1%	0.49	12.17	1.26	16.32	1.57	0.73	0.95	51.7%	1.08
31_皮革・皮革製品製造業	11	2	1.10	5.4%	18.57	2.2%	-1.39	3.8%	-1.30	23.40	0.45	38.54	-0.94	0.69	0.86	57.1%	1.07
32_窯業・土石製品製造業	35	14	1.23	8.0%	0.95	3.6%	1.10	8.2%	1.26	10.02	1.08	9.56	0.70	0.58	0.78	43.1%	0.87
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	87	135	1.16	5.2%	1.22	2.4%	2.48	4.6%	2.26	10.13	0.70	13.73	0.43	0.98	1.11	51.2%	1.10
34_金属製品製造業	56	28	1.24	4.1%	0.57	1.1%	0.48	2.2%	0.46	19.67	1.34	25.09	1.75	0.64	1.08	51.0%	1.04
35_一般機械器具製造業	216	47	1.44	7.6%	1.34	3.3%	11.15	7.4%	10.23	13.49	0.71	21.47	0.10	0.78	1.07	44.2%	1.09
36_電気機械器具製造業	413	426	1.25	14.6%	1.52	8.3%	1.28	13.2%	1.28	6.72	0.80	9.44	0.83	0.77	0.87	62.8%	1.00
37_輸送機械器具製造業	118	268	0.96	2.8%	0.82	1.5%	0.57	3.5%	0.52	34.73	0.89	17.83	1.55	0.72	0.93	42.7%	1.09
38_精密機械器具製造業	82	5	1.40	5.7%	0.84	0.8%	0.39	1.5%	0.40	25.84	1.12	143.82	2.36	0.67	0.94	53.0%	0.97
39_その他製造業	16	3	1.61	21.4%	1.12	8.9%	1.08	13.1%	1.11	16.01	1.16	25.63	1.25	0.59	1.05	68.0%	0.98
総計	1,596	1,355	1.19	8.0%	1.25	4.0%	1.18	8.5%	1.13	10.75	0.82	13.45	0.90	0.74	0.94	46.6%	1.05

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

表 9-44　財務データの一覧　⑥韓国 2/2

		生産性		競争力										その他			
	企業数	労働生産性（千ドル/人）	労働生産性の変化	5つの国・ブロック中の売上高シェア（%）	市場シェアの変化率	売上高研究開発費比率（%）	売上高研究開発費比率の変化	研究開発費（総額）（B$）	研究開発費の変化	設備投資率（固定資産増新規購入額）	設備投資率の変化	設備投資額（固定資産新規購入額）（B$）	設備投資額の変化	Sales Multiple	Sales Multipleの変化	時価総額（B$）	時価総額の変化
20_食料品製造業	88			7.1%	1.17	0.39%	0.78	0.4	1.05	6.7%	1.21	7.6	1.63	0.73	0.88	42	1.03
21_たばこ製造業	2			2.9%	1.06	0.97%	1.14	0.0	1.29	6.8%	1.22	0.3	1.38	2.72	0.94	13	1.15
22_繊維工業	23			5.4%	0.39	0.47%	0.56	0.0	0.25	7.2%	1.17	0.4	0.54	1.34	1.45	4	0.73
23_衣服及び関連製品製造業	38			4.4%	0.98	0.11%	0.81	0.0	1.02	3.3%	0.91	0.5	1.15	0.53	0.78	7	0.99
24_木材・木製品製造業	7			4.6%	0.94	0.32%	1.47	0.0	1.77	3.6%	0.99	0.1	1.19	0.99	0.59	3	0.63
25_家具・調度品製造業	8			3.8%	1.33	0.21%	0.84	0.0	1.30	3.6%	1.06	0.1	1.63	0.57	0.67	1	1.00
26_パルプ・紙・紙加工品製造業	39			3.7%	1.10	0.23%	1.18	0.0	1.45	5.9%	1.07	0.7	1.32	0.83	1.02	6	1.45
27_印刷・出版業	17			1.8%	1.13	0.38%	0.94	0.0	1.19	4.6%	0.84	0.2	1.06	1.07	1.24	3	1.49
28_化学品および関連品製造業	299			7.3%	1.08	1.31%	1.26	2.7	1.63	7.6%	1.17	15.4	1.50	1.24	1.11	215	1.50
29_石油製品・石炭製品製造業	7			3.0%	2.10	0.15%	21.30	0.1	48.02	5.9%	1.44	2.5	3.24	0.64	1.12	17	2.15
30_ゴム製品・プラスチック製品製造業	34			5.5%	0.94	1.54%	1.11	0.3	1.24	7.4%	0.75	1.6	0.84	0.88	0.87	13	0.98
31_皮革・皮革製品製造業	11			6.5%	0.97	0.25%	0.76	0.0	0.83	6.4%	1.52	0.1	1.68	1.48	1.35	3	1.67
32_窯業・土石製品製造業	35			3.3%	1.01	0.33%	0.98	0.0	1.21	5.8%	1.15	0.8	1.42	0.84	1.04	8	1.21
33_鉄鋼・非鉄金属製造業	87			12.0%	0.95	0.16%	0.81	0.2	0.94	3.1%	0.80	4.2	0.94	0.55	0.84	44	1.11
34_金属製品製造業	56			8.4%	1.06	0.26%	1.20	0.1	1.48	5.7%	0.60	1.6	0.75	0.87	0.79	13	0.96
35_一般機械器具製造業	216			2.2%	1.17	1.89%	1.12	0.9	1.60	5.2%	1.05	2.5	1.50	1.06	0.90	42	1.43
36_電気機械器具製造業	413			18.1%	1.02	5.27%	1.07	22.4	1.33	14.5%	1.31	61.7	1.64	1.04	1.21	429	1.51
37_輸送機械器具製造業	118			6.7%	0.86	1.23%	1.29	3.3	1.25	4.6%	0.81	12.3	0.78	0.64	1.01	99	0.91
38_精密機械器具製造業	82			0.8%	1.12	4.02%	1.09	0.2	1.53	11.6%	1.09	0.6	1.53	1.81	0.99	9	1.38
39_その他製造業	16			2.2%	1.27	8.50%	1.65	0.2	2.66	3.9%	1.52	0.1	2.45	3.65	1.30	11	2.08
総計	1,596			7.3%	1.02	2.29%	1.12	31.1	1.34	8.4%	1.15	113.4	1.37	0.90	1.07	980	1.34
		従業員データの収録率低															

（出所）Osiris データベースをもとに三菱総合研究所において集計

（様式２）

二次利用未承諾リスト

報告書の題名 令和2年度重要技術管理体制強化事業
（重要産業技術基盤調査）報告書

委託事業名 令和2年度重要技術管理体制強化事業
（重要産業技術基盤調査）

受注事業者名 株式会社三菱総合研究所

頁	図表番号	タイトル
6	図 1-2	SRR構造
7	図 1-3	伝送線路型による左手系媒質の実現
8	図 1-4	CRLH線路分散特性
9	図 1-5	代表的な左手系メタマテリアルの構造による分類
10	図 1-6	メタマテリアルのEBG特性
11	図 1-7	ウッドパイル型反射鏡を用いた試作アンテナ
12	表 1-2	メタマテリアルのアンテナ応用
13	図 1-8	CRLH線路の増幅器への応用展開
14	図 1-9	メタマテリアルフィルタの試作
15	図 1-10	人工誘電体共振器フィルタ
16	図 1-11	メタマテリアルによる反射板による実証実験
16	図 1-12	メタマテリアルによる反射板の利用イメージ
17	表 1-3	光領域でのメタマテリアルの応用分野
18	表 1-4	メタマテリアルの主な作製方法
48	図 1-23	メタマテリアルの論文発表件数の国別比較（2009年8月12日検索）
56	図 2-1	AlxGa1-xN/GaNの分極ドーピング
56	図 2-2	FP-HEMT構造と動作原理
57	図 2-3	デュアルフィールドプレート構造
63	図 3-3	DuPont社のKaptonの製造方法
63	図 3-4	上市されているポリイミドの例
100	図 4-1	固体レーザーにおける紫外レーザー光源の必要性
101	図 4-2	LBO結晶の基本構造の例
101	図 4-3	CLBO結晶の基本構造
102	表 4-3	CLBOと他の結晶との特性比較
103	図 4-4	NEDO「フォトン計測・加工技術」プロジェクトにおける産学の役割分担
104	図 4-5	CLBOのフォトマスク検査への応用例
105	表 4-4	半導体の前工程・後工程のCLBOの用途例
106	表 4-5	主な紫外線の呼称（CIEによる分類）
106	表 4-6	CIE以外の紫外線の呼称
110	図 4-6	深紫外LED/LDの応用分野
111	図 4-7	殺菌灯深紫外LEDの研究開発目標
122	図 5-3	R-CNNの処理の流れ
122	図 5-4	Fast R-CNNの処理の流れ
123	図 5-7	Faster R-CNNの処理の流れ
124	図 5-8	YOLOの処理の流れ
125	図 5-9	SSDの処理の流れ

（様式２）

125	図 5-10	Mask R-CNNによるインスタンスセグメンテーションの例
126	図 5-11	DETRの処理の流れ
126	図 5-12	エンコーダ処置のイメージ
127	図 5-13	デコーダ処置のイメージ
128	表 5-1	各手法の性能比較（一例）
128	表 5-2	Faster R-CNNとDETRの性能比較
154	図 5-28	本論文の姿勢推定方法
156	図 5-29	Temporal Faster R-CNNアーキテクチャ
170	図 6-2	GNSSジャミング装置専門サイトの例（シガレットソケット挿入タイプ）
171	図 6-3	スプーフィングの実験例（上：船舶を乗っ取った例、下：スマートフォンを乗っ取った例）
172	図 6-4	RFキャプチャ装置の例
173	図 6-5	ネットワークの乗っ取りの例
176	図 6-6	SCCS技術イメージ（Alan（2019）及びScott（2003））
177	図 6-7	SAS技術イメージ（Pozzobonほか（2010）による）
178	図 6-8	NMA技術イメージ（Mark（2018）による）
179	図 6-9	SAASM対応製品の事例
180	図 6-10	NTTによるスペクトラム分解合成技術イメージ
181	図 6-11	リニアアレイアンテナの例
181	図 6-12	アレイアンテナの研究事例
182	図 6-13	ビームフォーミングアンテナ技術
182	図 6-14	ビームフォーミングアンテナによる受信結果
183	図 6-15	マルチGNSS技術（左：マルチGNSS、右：GPSのみ）
183	図 6-16	マルチGNSS受信機の例
184	図 6-17	GNSS受信機のセキュリティ診断（イネーブラー株式会社）
185	図 6-18	GNSSとIMUとのカップリング技術
186	図 6-19	株式会社コア、みちびき対応cm精度測位受信機
187	図 6-20	古野電気株式会社、マルチGNSS受信チップ
203	表 6-14	国内における脅威に対する対策技術の評価
217	図 7-2	光触媒の酸化分解力の原理
218	図 7-3	TiO2からCuやFeのような助触媒への界面電荷移動型光励起（左）と酸素多電子還元触媒（右）
218	図 7-4	TiO2の表面に金属イオンのアモルファス状のクラスター助触媒を担持した構造を高分解TEMにより観察（左：Cu系、右：Fe系）
220	図 7-5	波長ごとの電磁波の名称
220	図 7-6	紫外線によって発生する代表的なDNA損傷
221	図 7-7	紫外線殺菌ランプの構造
222	図 7-8	コロンビア大学技術であるフィルタを用いた際の分光特性
223	図 7-9	殺菌・ウイルス不活化効果の動物実験概要
224	図 7-10	HClOの膜透過性と殺菌機構の概念図
225	図 7-11	オゾンによる殺菌メカニズム
226	表 7-3	生体へのオゾンガスの影響
227	表 7-4	オゾンガスによる腐食
333	図 9-18	財務分析のピラミッド