



# 令和3年度製造基盤技術実態等調査

(我が国製造業における技術分野の長期的展望に関する調査)

調査報告書

株式会社ローランド・ベルガー

2022年3月31日

# Contents

A.本事業の背景と目的	3
B.テーマの選定	8
C.分析手法	29
D. テーマ①「捨てる」の削減につながる生物模倣や天然由来／分解可能な素材	49
E. テーマ②ものづくり工程におけるデジタル上での物理空間の再現	119
F. テーマ③モビリティの低炭素化と高効率な電力制御・変換	179
G. 本事業から得られた示唆	237

This document shall be treated as confidential. It has been compiled for the exclusive internal use by our client and is not complete without the underlying detailed analyses and the oral presentation. It must not be passed on and/or must not be made available to third parties without prior written consent from Roland Berger.



## A. 本事業の背景と目的

# 本事業では2050年の社会・経済に関わるメガトレンドを念頭に、重要技術分野の抽出、及び政策立案に向けた示唆出しを実施

- > サステナビリティ推進やデジタル革命をはじめとする技術革新により、製造業を取り巻く環境は急速に変化。既存の枠組みを超えた新業態の台頭や、国際政治による産業界への介入強化、安全保障におけるサプライチェーン国内回帰必要性の高まりなど、製造企業個社もしくは個別産業での対応が難しい課題が多数存在、長期的な視点での政策立案が求められている
- > 斯様な状況下、政策資源を有効に活用していくために、エビデンスに基づく政策形成(EBPM)の有用性が増加。複雑かつ急速に変化していく事業環境の中から、日本の社会・経済にとっての重要課題、及び、その解決を担いうる技術分野を、客観的データに基づき、的確かつ迅速に捉えて政策立案に繋げていくことの重要性が高まりつつある
- > 以上を踏まえ、本事業では、日本がカーボンニュートラルを目指している2050年をターゲットとして設定し、特許の申請件数等の統計やインターネットを対象としたデータマイニング等、定量的なデータを基にして2050年における重要技術分野、すなわち、急速に技術が進展する分野および日本が牽引する分野を抽出。EBPMとしての手法の有効性を検証し、日本の今後の政策立案に役立てることを目的とする



# 政策資源が限られる中、政策の有効性・効率性の向上に役立つEBPMの重要性は高まりつつあり、我が国においても導入に向けた動きが進みつつある

## EBPMの効果

### 各国のEBPM(エビデンスに基づく政策立案)導入事例と我が国の方針

#### 海外事例

##### 米国



#### ホームレス支援施策の費用対効果改善(シアトル市×民間研究機関)

- ・ 住居支援施策として、住宅提供施策(1年以内の期限で住宅を提供)と家賃補助施策(6ヶ月以内の期限で住民が借りた民間住宅への家賃を補助)を実施していた
- ・ 両施策の費用対効果を検証し、家賃補助施策がもう一方の約3割の費用で約7割の政策効果(住居の恒常化に繋がった割合)があることが判明

##### 英国



#### 失業者支援施策における費用対効果が高いグループの特定(英国×民間研究機関)

- ・ 就労インセンティブ(奨励金)の効果の大きさ(累積収入増加率)、支援終了後を含む効果の持続性を複数のグループに分けて検証
- ・ 長期失業者のグループが効果の大きさ、持続性共に高く、重点的な支援対象と決定

#### 我が国の方針

#### 各省庁の政策立案総括審議官で構成される「EBPM推進委員会」を設け、EBPM導入に向けた各省庁の体制づくりを支援

- ・ 有識者との議論の元、各種方針を整備
- ・ 各府省の取り組み(ロジックモデルと効果検証の結果)を共有、等

### EBPMのもたらす効果



政策の有効性・  
効率性の向上



国民からの  
信頼の向上

# 本事業はデータ分析を政策立案に役立てるトライアルとして位置付け、2050年を見据え3つの重要テーマを設定し、それらのテーマ内での重要技術の抽出を行う

## 本事業の位置づけとアプローチ



### 本事業の位置づけ

将来的には、全ての技術分野からの技術抽出を可能とすべく、手法のトライアルを実施

- 短期間で、手法の有効性を検証
- 3つの重要テーマを設定し、それらのテーマ内での重要技術の抽出を企図

### アプローチ

1

#### 重要テーマの選定

- 重要テーマは2050年に向けて日本の社会・経済が抱える課題の中から設定
- 取組む意義のより大きく、成長技術分野を含みそうな重要テーマを3つ選択

2

#### 重要技術分野の抽出

- 重要テーマごとに、アスタミューゼ社独自の分析手法により重要技術を抽出
- 世界的に注目を集める技術、その中での日本の位置付け、代表企業を抽出

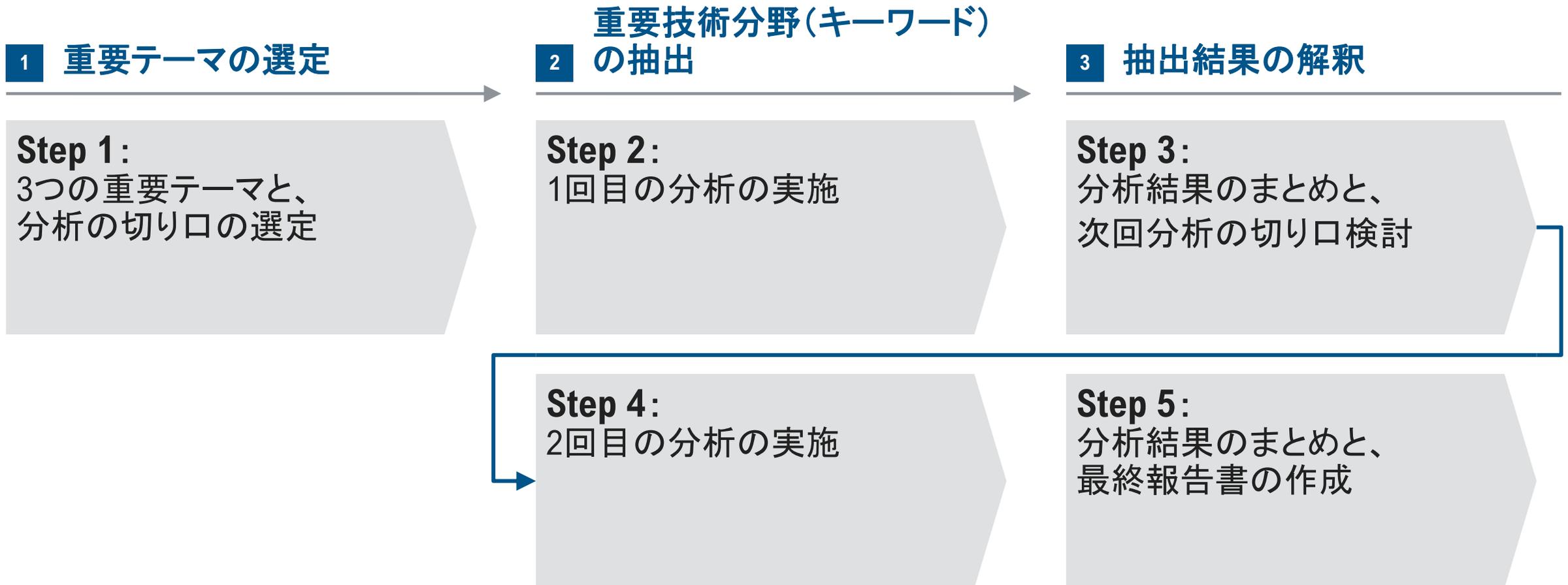
3

#### 政策立案への示唆出し

- 当該技術が世界的に注目を集める背景、日本経済・社会への波及効果を考察
- 本事業における分析手法のEBPMとしての今後の活用余地・有用性をとりまとめ

# 本事業は5つのステップで推進。技術分野抽出のプロセスを2サイクル行うことで、分析のアプローチ・精度を向上

## 本事業の進め方





## B. テーマの選定

# 本事業では、2050年の日本の姿を見据え、「カーボンニュートラル×ものづくり」の観点からテーマを3つ選定した

## テーマ選定の考え方

### 選定の視点1

#### カーボンニュートラル

- CO2削減は我が国の長期的なテーマであり、2050年の削減目標達成のための技術進展は必須

### 重要 テーマ の選定

### 選定の視点2

#### ものづくり

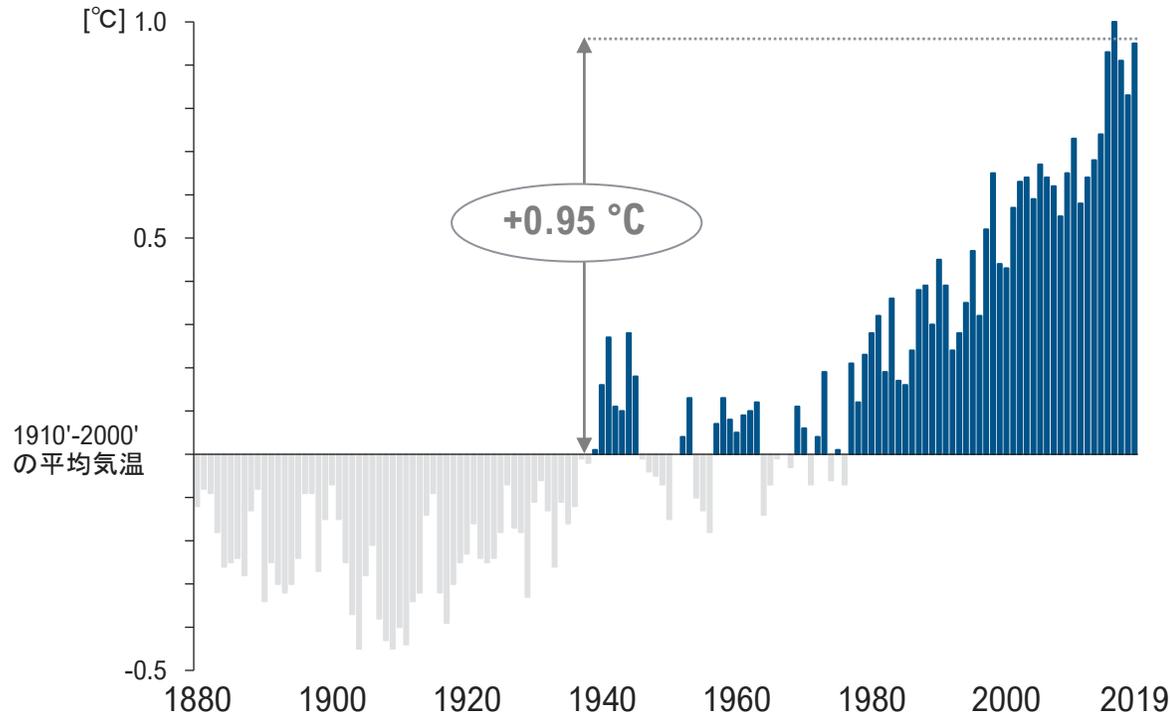
- ものづくりは我が国の基幹産業であり、2050年を見据えた中長期的な成長のための技術進展が重要

# 「カーボンニュートラル」の実現は、地球環境を守るために喫緊の課題である

## 地球温暖化起因の社会課題

### 世界の年平均地上気温(GMST)の推移(1900年代平均値との差分)

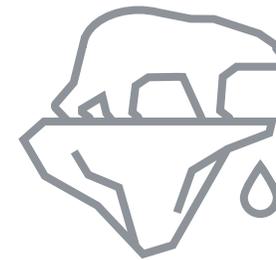
1900年代の平均気温と比較して、ここ数年は約1°C近い気温上昇がみられる



### 気温上昇によりもたらされる社会課題

#### 1 海面上昇

- 温暖化に伴う海面上昇で浸水地域は増大し、災害・洪水リスクは急増



#### 2 気候変動

- ハリケーンや集中豪雨等、異常気象の発生は増加し、その規模は拡大



# 2015年のパリ協定の採択以降、気候変動の抑制に向けた取り組みが世界的に進みつつある

## パリ協定の概要



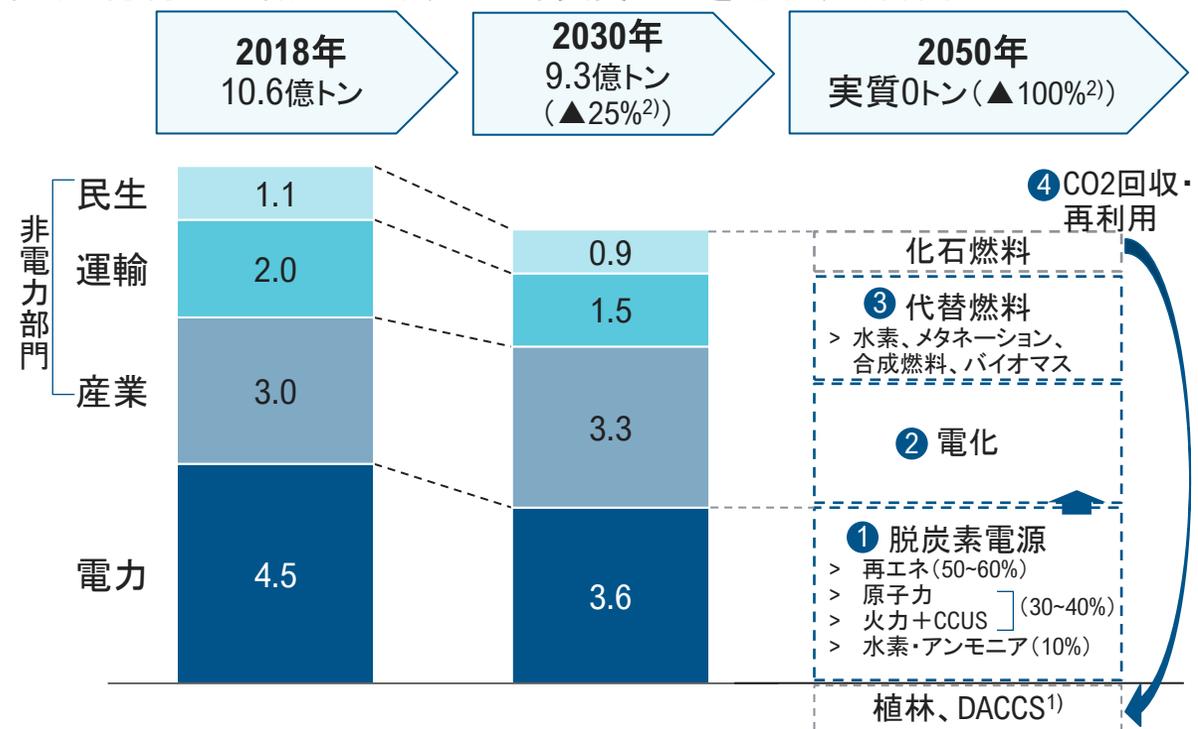
2015年に採択されたパリ協定に法的拘束力はなく、あくまでも脱炭素化に向けた国際的な枠組みであるが、同協定の目標に基づいた規制等の整備が着実に拡大・具体化しており、非常に重要なものとして位置付けられている

# 「カーボンニュートラル」の実現は我が国の長期的なテーマであるが、実現には技術革新が必須であり、様々な支援が行われている

## 我が国のグリーン成長戦略

### 2050年カーボンニュートラル実現イメージ

① 脱炭素電源の活用、② 非電力部門の電化、③ 代替燃料の活用、④ CO2回収・再利用の活用により、2050年実質0トン達成する計画



1) Direct Air Carbon Capture and Storage 2)2018年比での削減率

### 技術革新に向けた分野横断的支援策

#### 予算

- > NEDOに10年間で2兆円の基金を造成

#### 税制

- > 投資促進税制の創設 (脱炭素対応の設備投資の最大10%の税額控除または50%の特別償却)
- > 繰り越し欠損金の控除上限引き上げ
- > 研究開発税制の控除上限引き上げ

#### 金融

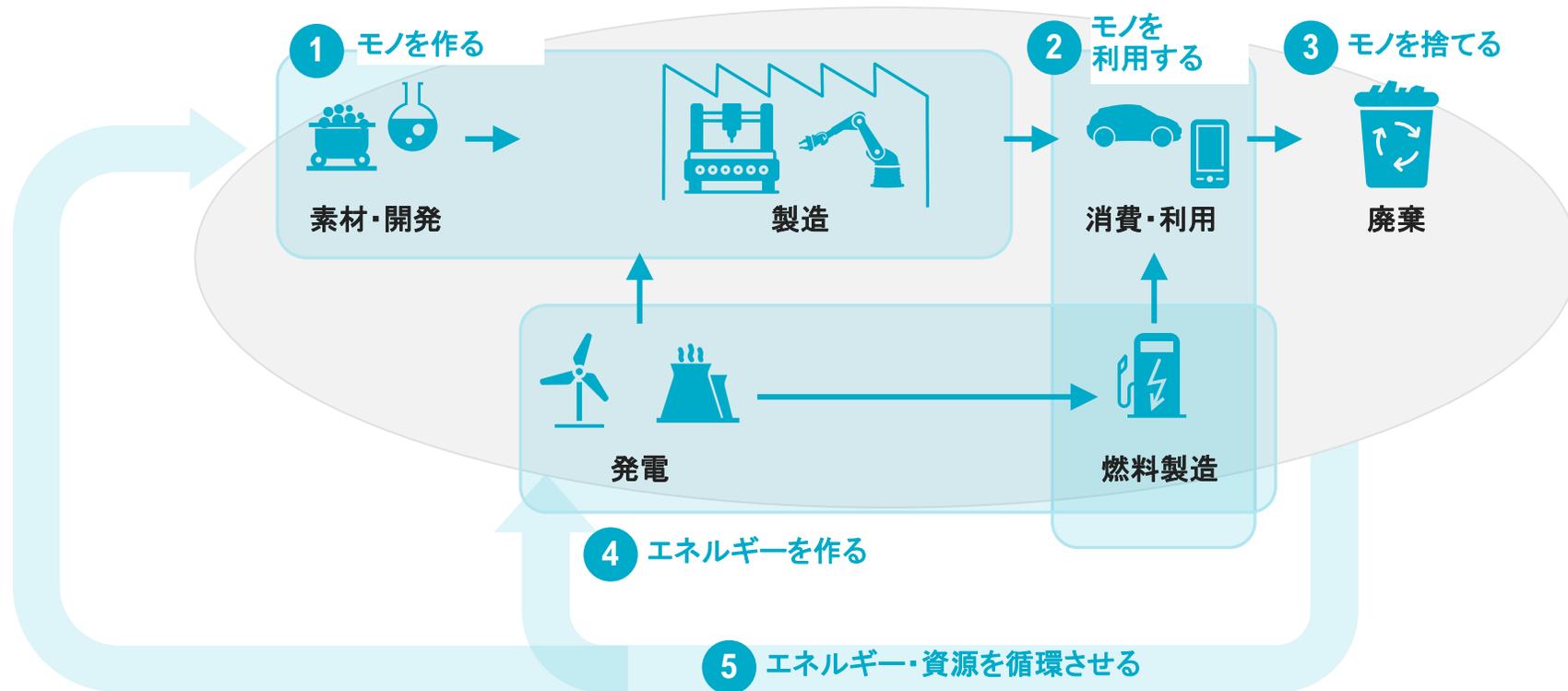
- > トランジションファイナンスの日本語版基本方針やロードマップの策定
- > グリーン投資促進ファンドの創設

#### 規制改革・標準化

- > 技術創出を促す規制強化・緩和
- > カーボンプライシング等のマーケットメカニズムの導入

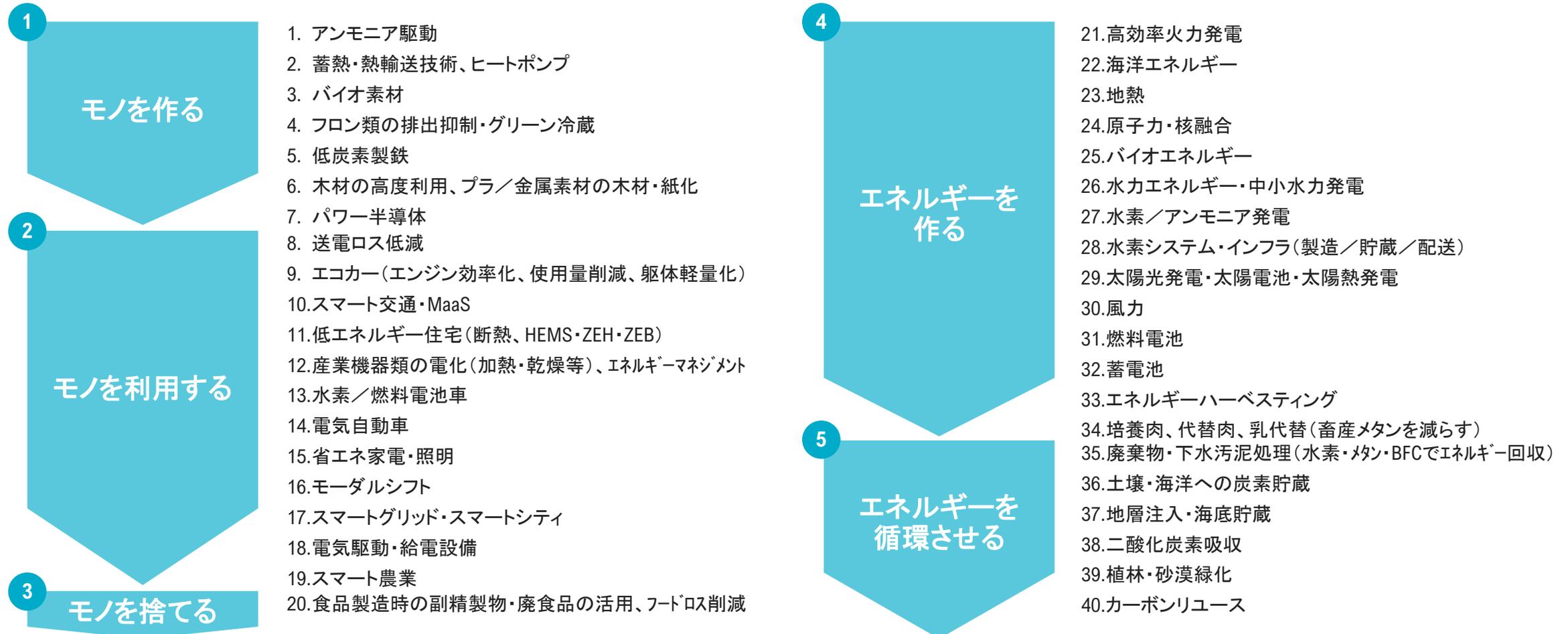
# 「カーボンニュートラル」は、①モノを作る②モノを利用する③モノを捨てる④エネルギーを作る⑤エネルギー・資源を循環させる、の5フェーズに分類

## カーボンニュートラルの全体像



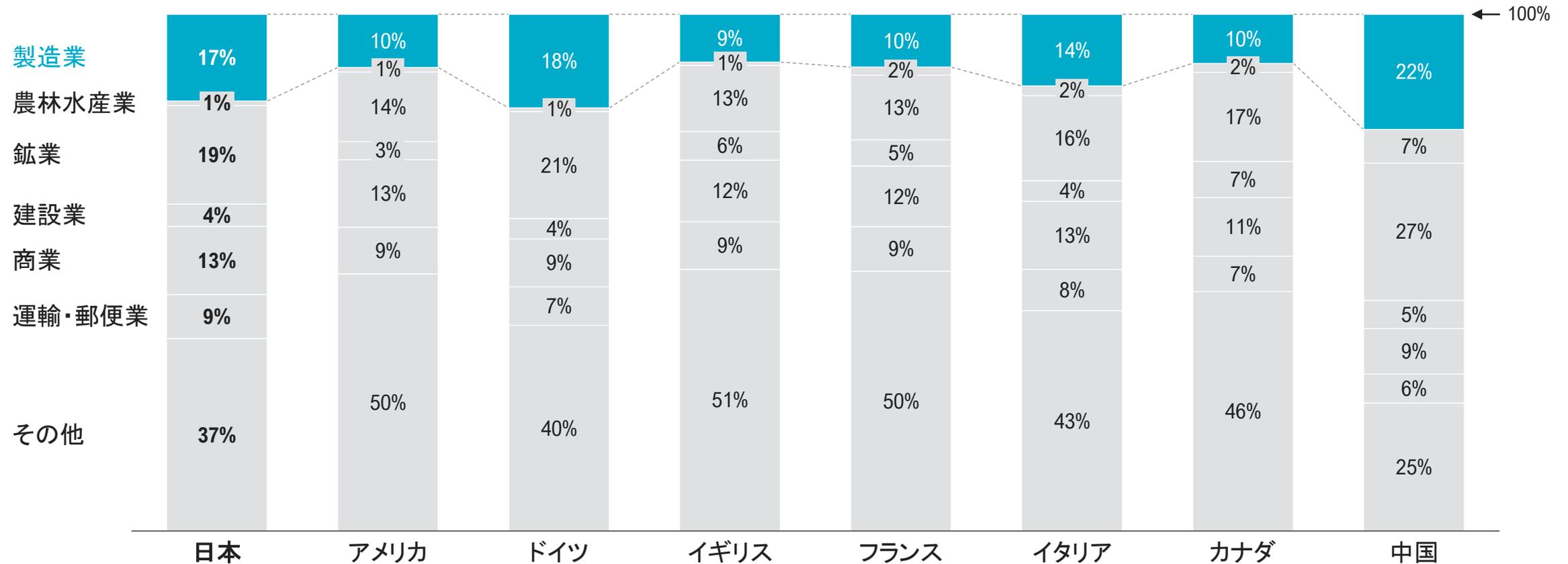
# 5つのフェーズそれぞれについては、例えば以下のようなサブテーマが紐付く

## 脱炭素に向けた多様な選択肢



# また、「ものづくり」は、主要国と比較して国内総生産に占める割合が比較的高く...

G7構成国＋中国の産業別国内総生産(11'-20'/平均値)



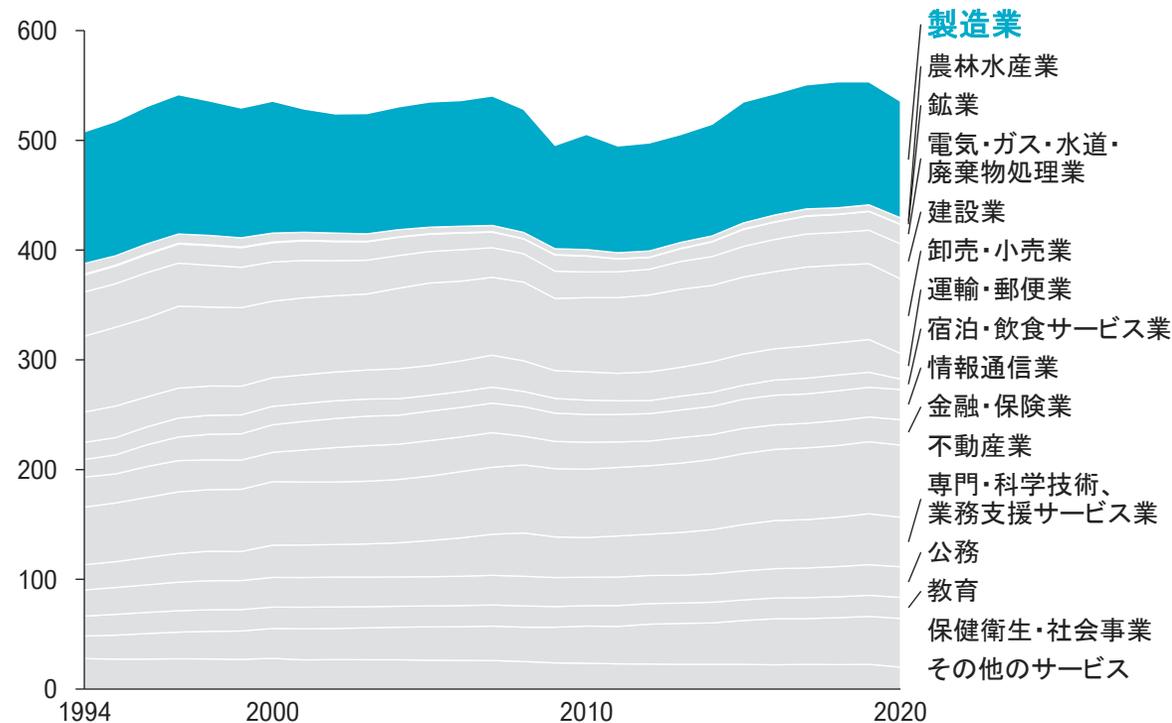
# ...この傾向は過去25年間一貫している。加えて、他産業への生産波及力が大きく、今後も我が国の基幹産業として成長が期待されるため、技術進展が重要な領域

## 我が国の国内製造業の状況

### 産業別国内総生産の推移('94~'20)

国内製造業は、コロナ禍以降の伸び悩みはあるものの、一貫して国内総生産の20%程度を占める基幹産業

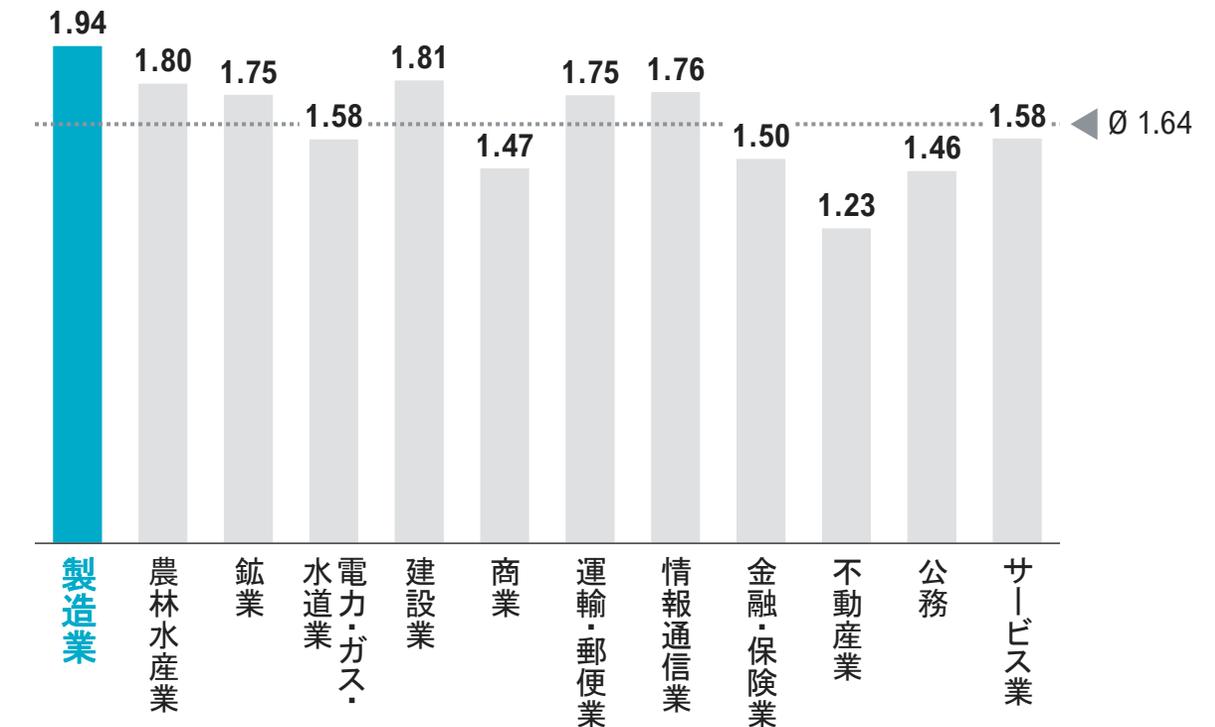
[兆円]



1) 国内総生産と産業の生産波及効果で用いられる産業分類は異なる点に留意

### 産業別の生産波及の大きさ(2015年)

製品1単位当たりの最終需要に対する生産波及を見ると、製造業は全産業平均を上回る1.94倍を誇り、他産業の生産を誘発する特性が強いことが伺える



# その上で、「素材産業」「ロボティクス・デジタル」「モビリティ」の3つの観点から1テーマずつ選定することが望ましいと判断した

## 重要テーマ選定の方向性

### 推奨理由

- 製造業における国内総生産に占める割合が高い
- 国内製造業の成長に向け、サポーティングインダストリーの代表である素材産業の維持・発展が不可欠

#### 素材産業

- 製造業における国内総生産に占める割合が高い
- ロボティクス・デジタルの最先端技術活用による製造業の高度化を通じた効率化・省エネ化は、政府の長期的な重要政策領域

#### ロボティクス・デジタル

- 製造業における国内総生産に占める割合が高い
- 日本の基幹産業である自動車産業の発展と、カーボンニュートラルの実現の両立は、政府の長期的な重要政策領域

#### モビリティ

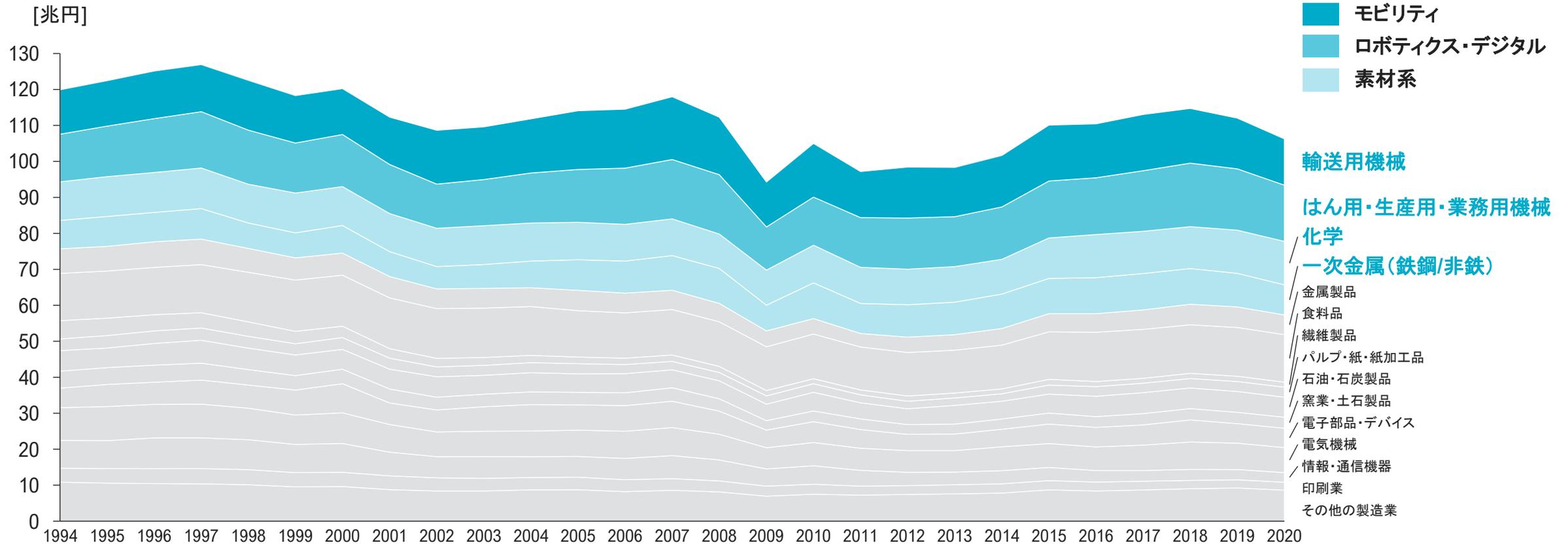
# 「素材産業」「ロボティクス・デジタル」「モビリティ」は製造業の国内総生産額に占める割合が高く、政府の重要政策や製造業内の波及効果の面でも重要な領域

## 重要テーマ選定の方向性

	製造業のGDPに占める割合(2020年)	2050年を見据えた際の政府の重要政策分野との関連性	製造業内の他分野との相互関連性
素材産業	19.3%	—	高 <ul style="list-style-type: none"> <li>他分野と相互の需要喚起が生じやすい</li> </ul>
ロボティクス・デジタル	14.7%	高 <ul style="list-style-type: none"> <li>デジタル田園都市国家構想と関連</li> <li>グリーン成長戦略と関連</li> </ul>	中 <ul style="list-style-type: none"> <li>他分野の需要喚起に繋がりやすい</li> </ul>
モビリティ	12.1%		高 <ul style="list-style-type: none"> <li>他分野と相互の需要喚起が生じやすい</li> </ul>

# 製造業の国内総生産において、「輸送用機械」「はん用・生産用・業務用機械」「化学・一次金属」は単体でも比較的高い割合を持ち、合計で約5割を占める

製造業(国内総生産)の推移('94~'20)



# 加えて、「ロボティクス・デジタル」「モビリティ」は、2050年を見据えた際、政府の重要政策領域であり、「素材産業」は製造業の基盤となる領域である

## 各領域の意義

### 政府の重要な長期施策との関係性

ロボティクス・デジタル

モビリティ

ロボティクス・デジタル領域、モビリティ領域は、政府の重要施策であるデジタル都市田園都市国家構想やグリーン成長戦略における重要領域

#### デジタル田園都市国家構想

- デジタルの力で、「暮らし」「産業」「社会」を変革し、地域を全国や世界と有機的に繋げていく取り組み
  - デジタル共通基盤やスマートファクトリー/シティ/農業の実装において、ロボティクス・デジタル関連の技術革新が重要
  - MaaSや自動配送の実装において、モビリティ関連の技術革新が重要

#### グリーン成長戦略

- 脱炭素電源の活用、非電力部門の電化、代替燃料の活用、CO2回収・再利用の活用により、2050年のCO2排出量実質0トンを達成する計画
  - 「産業」のみで2018年時点のCO2排出量の約3割を占め、製造工程の省エネルギー化、石炭由来素材の代替等、ロボティクス・デジタル関連の技術革新が重要
  - 「運輸(モビリティの『利用』のみ)」でCO2排出量の約2割を占め、EV化、バイオ燃料の活用等、モビリティ関連の技術革新が重要

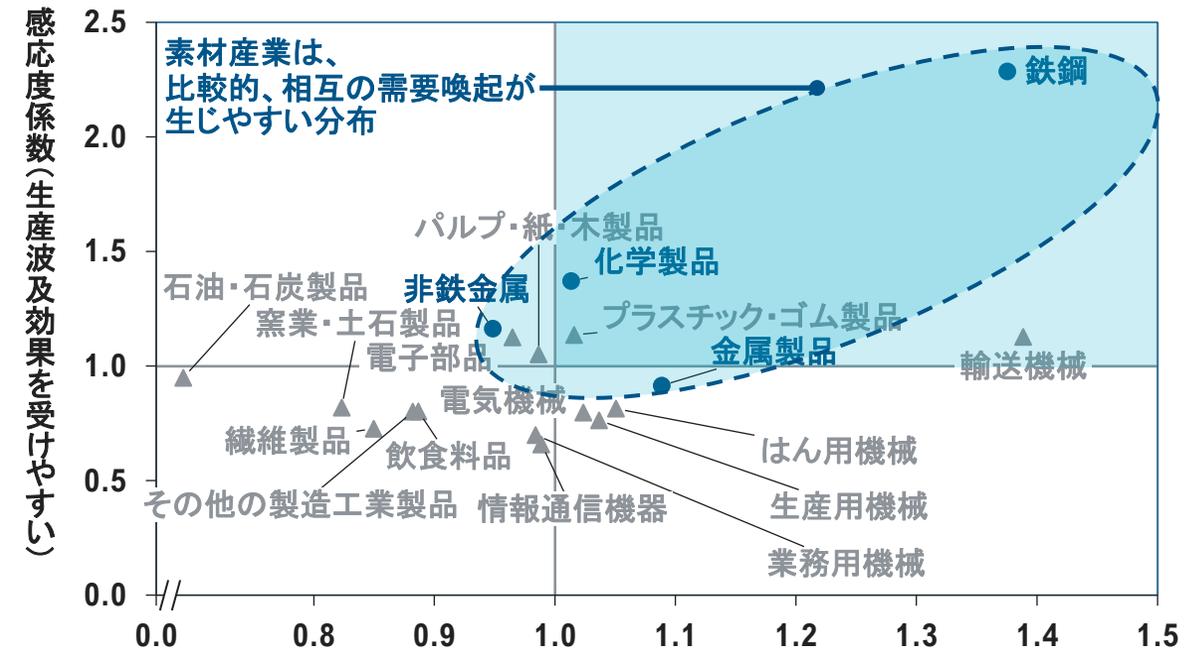
### 製造業全体との相互影響性

素材産業

サポーティングインダストリーの代表である素材産業は、両係数が比較的高いため、他分野と相互に需要喚起が生じやすく、製造業の基盤となる領域であると言える

### 製造業内における生産波及効果<sup>1)</sup>(2015年)

● 素材系



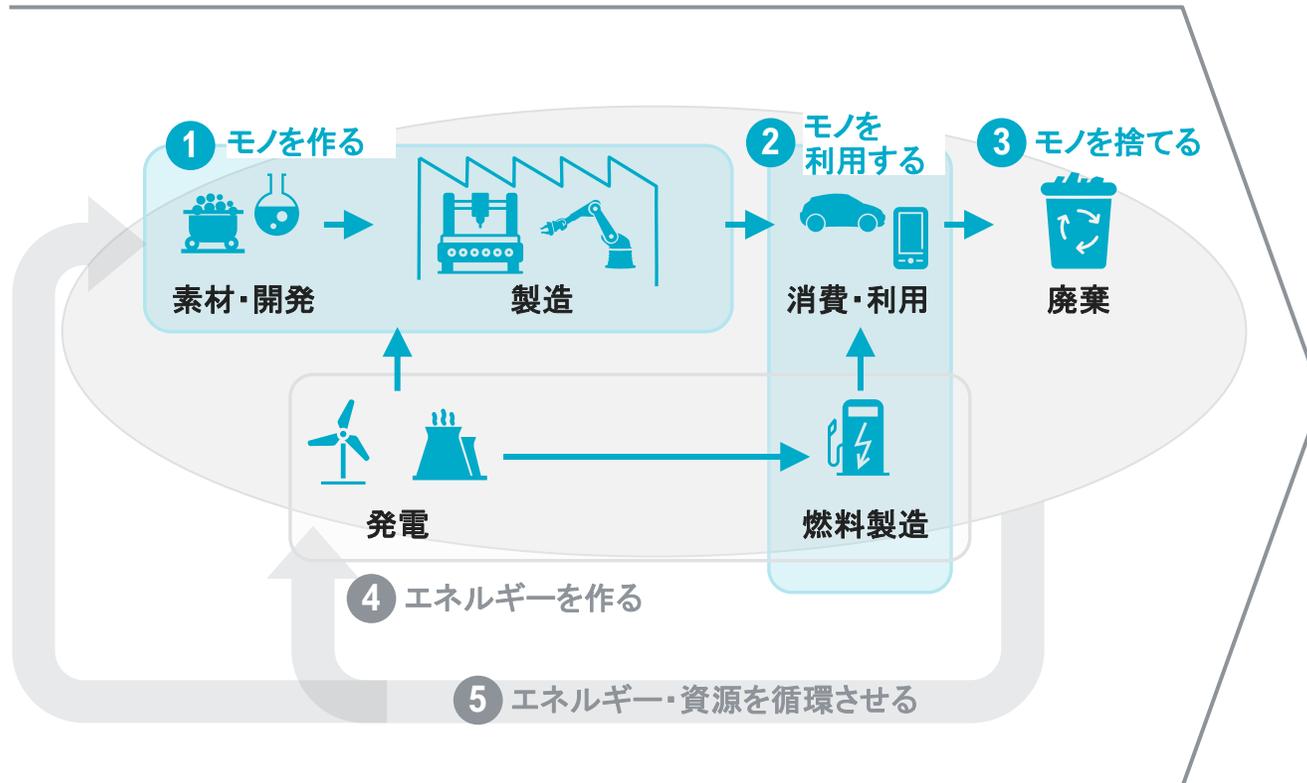
1) 影響力係数: その分野で1単位需要が生まれたときに、自国内の他分野からどの程度の中間財を調達するかを示す「生産波及効果」の平均を取り、各分野の値を割ったもの  
感応度係数: 自分分野への生産波及効果について平均を取り、自分分野の値を割ったもの

影響力係数(生産波及効果を与えやすい)

# 「カーボンニュートラル」は、大きく5フェーズに分類できる 中でも、「ものづくり」に親和性の高い①～③に絞り、具体的なテーマを選定

「カーボンニュートラル×ものづくり」からのテーマ選定

「カーボンニュートラル×ものづくり」の全体像



CNのフェーズ  
(分類)

- 1  
モノを作る
- 2  
モノを利用する
- 3  
モノを捨てる

重要テーマ・レベル1

- 開発・設計プロセスの効率化(省エネ化)
- 省エネ・環境負荷に配慮した素材・部材の開発・利用
- 製造プロセスの効率化(省エネ化)・高度化
- 利用時のエネルギー消費の削減
- 炭素を出さないエネルギーによるモノの利用
- エネルギーを必要としないモノの利用
- 焼却技術向上による炭素等排出の削減
- 分解によるごみの削減
- 再資源化によるごみの削減

1) 今回はものづくり(製造業)におけるカーボンニュートラルに着目しているため、①②③を主なターゲットとして設定し、④⑤は対象外とした

# 下記のように、レベル2の粒度感にブレイクダウンし、テーマ案を抽出

## ①モノを作るからは、9テーマを候補とした

2050年を見据えた重要テーマ候補(案) - ①モノを作る

### CNのフェーズ(分類)



### 重要テーマ・レベル1

開発・設計プロセスの効率化(省エネ化)

省エネ・環境負荷に配慮した素材・部材の開発・利用

製造プロセスの効率化(省エネ化)・高度化

### 重要テーマ・レベル2

1 スキャンングによる立体認識とデザイン  
(3Dスキャン・3Dプリント・実体ディスプレイ)

2 生物模倣による革新的製品・機能の開発  
(バイオミメティクス・バイオニクス)

...

3 軽量・電気/熱伝導性の高い素材の活用(炭素ナノ材料)

4 エレクトロニクスの印刷形成による必要材料削減  
(導電性高分子・有機エレクトロニクス)

5 天然由来/分解可能な素材の活用  
(天然物化学・高分子合成/分析)

6 機械のマイクロ化(MEMS・マイクロマシン・組込システム)

...

7 工場のオートメーション・スマート化  
(Industry4.0・工場IoT・協働ロボット)

8 人の作業アシスト(パワースーツ・外骨格パワーロボット)

9 デジタル上での物理空間の再現(デジタルツイン・DX)

...

このレベルで3つのテーマを選ぶ想定

※各テーマの詳細・技術分野例については後述

# ②モノを利用する、③モノを捨てるからは、4テーマを候補とした

2050年を見据えた重要テーマ候補(案) - ②モノを利用する／③モノを捨てる

## CNのフェーズ(分類)

2

モノを利用する

3

モノを捨てる

## 重要テーマ・レベル1

利用時のエネルギー消費の削減

炭素を出さないエネルギーによるモノの利用

エネルギーを必要としないモノの利用

焼却技術向上による炭素等排出の削減

分解によるごみの削減

再資源化によるごみの削減

## 重要テーマ・レベル2

10 効率的な電力制御・変換(パワー半導体)

11 エネルギーマネジメントの効率化  
(量子コンピューター・量子通信)

...

12 低炭素動力源の利用(回転体・動力機械)

13 クリーンなエネルギー創出(核融合・プラズマと超電導)

...

(1) スキャニングによる立体認識とデザイン  
(3Dスキャン・3Dプリント・実体ディスプレイ)

...

...

...

(5) 天然由来／分解可能な素材の活用  
(天然物化学・高分子合成/分析)

...

(5) 天然由来／分解可能な素材の活用  
(天然物化学・高分子合成/分析)

...

このレベルで3つのテーマを選ぶ想定

※各テーマの詳細・技術分野例については後述

# 各テーマの概要は以下の通り

## 2050年を見据えた重要テーマ候補(案)詳細

テーマ・Lv2	テーマ概要	テーマ・Lv2	テーマ概要
1 スキャニングによる立体認識とデザイン (3Dスキャン・3Dプリント・実体ディスプレイ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>物理空間のモノをデジタルデータとして取込み、デジタル上で研究・開発、必要に応じてモノを作成することで、試行錯誤にかかる資源ロスを抑制、生産性を向上</li> <li>遠隔地のモノの利用・コミュニケーションを実現し、ヒト・モノの移動・配送を最小限に抑えることで、エネルギー消費・CO<sub>2</sub>排出を削減</li> </ul>	4 エレクトロニクスの印刷形成による必要材料の削減(導電性高分子・有機エレクトロニクス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>印刷形成により、製品・部材製造に必要な材料の減少や、ロスの削減・資源活用の効率化を図る</li> <li>また、省スペース・軽量・柔軟性といった特徴を生かした応用(太陽光発電パネル等)にも期待</li> </ul>
2 生物模倣による革新的製品・機能の開発 (バイオメティクス・バイオニクス)	<ul style="list-style-type: none"> <li>生物の構造・機能(特に、エネルギー効率が極めて高いもの)を模倣することで、より優れた新製品／機能や素材の開発に繋げる</li> <li>また、試行錯誤による資源ロスの抑制や、バイオ素材の利用促進によりCO<sub>2</sub>だけでなくメタンやフロンなどの温室効果ガス全般を含むGHG低減に寄与</li> </ul>	5 天然由来／分解可能な素材の活用 (天然物化学・高分子合成/分析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>植物由来のプラスチックなど、環境負荷の低い素材・代替資源を利用することで資源利用の効率化を図る</li> <li>また、微生物や光による分解可能な素材活用により、自然の回復速度を超えないレベルでの天然資源利用や廃棄物削減や廃棄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出減・省エネ化に寄与</li> </ul>
3 軽量・電気/熱伝導性の高い素材の活用 (炭素ナノ材料)	<ul style="list-style-type: none"> <li>フラーレンやグラフェン、ナノチューブ等の電気や熱伝導率の高い炭素ナノ素材を各種部材等に利用することにより、省エネ効果の最大化を図る</li> <li>キャパシタ・二次電池など再エネ系技術への活用に期待</li> </ul>	6 機械のマイクロ化 (MEMS・マイクロマシン・組込システム)	<ul style="list-style-type: none"> <li>微小サイズかつ自立したロボットの活用により、高効率・低負荷な作業を実施可能にすることで省エネ化を実現</li> <li>また、資源利用の効率化や、DX実現の重要要素技術として各種課題解決への貢献に期待</li> </ul>

# (続き)

## 2050年を見据えた重要テーマ候補(案)詳細

テーマ・Lv2	テーマ概要	テーマ・Lv2	テーマ概要
<p><b>7</b> 工場のオートメーション・スマート化 (Industry4.0・工場IoT・協働ロボット)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工場や製造ラインにおけるIoT・ロボット・自動化等新技術の応用により製造工程の効率化・省人化を図る</li> <li>人的労働では発生していたミスをなくすことによる廃棄物・資源ロスの抑制や、人間が人間らしい創造的な仕事に注力できる社会の実現に寄与</li> </ul>	<p><b>10</b> 効率的な電力制御・変換 (パワー半導体)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力損失が少なく、発生した熱を効率よく逃すことで、各種機器の電力消費の効率化・省エネ性能の向上を実現</li> <li>また、xEV等動力源の電動化や効率的なエネルギーマネジメントといった観点からも、重要度が高まると想定</li> </ul>
<p><b>8</b> 人の作業アシスト (パワースーツ・外骨格パワーロボット)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製造現場における人の作業をアシストすることで、作業の効率化・パフォーマンス向上を図る</li> <li>また、遠隔アバターやテレイグジスタンス技術等の活用により、労働力の広域化・長寿化を実現することで、熟練人材不足の解消や、就業機会を地域間格差なく提供可能な働きがいある社会の実現に寄与(テーマ7とも一部関連)</li> </ul>	<p><b>11</b> エネルギーマネジメントの効率化 (量子コンピューター・量子通信)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電力需給状況を踏まえた、電力系統内の再生可能エネルギー電源や電力貯蔵設備の効率的なマネジメントを実現</li> <li>また、少ないエネルギー消費での計算を可能にすることで、省エネ化にも寄与</li> </ul>
<p><b>9</b> デジタル上での物理空間の再現 (デジタルツイン・DX)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デジタル空間でのシミュレーション・分析/解析と現実世界へのFBにより、電力消費及び稼働の最適化・高度化を通じて、省エネ化を実現(サイバー空間とリアル融合(CPS))</li> <li>また、物理空間でのモノの利用・消費をしないため、資源ロスの抑制にも期待</li> </ul>	<p><b>12</b> 低炭素動力源の利用 (回転体・動力機械)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>を排出しない、又は省エネ・燃費性能の高い動力源を利用することで、CO<sub>2</sub>排出削減・省エネ化を実現</li> <li>再生可能エネルギーを中心に利用することで、持続可能な社会の実現に寄与(水素パワートレイン等)</li> </ul>
		<p><b>13</b> クリーンなエネルギー創出 (核融合・プラズマと超電導)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>資源が海水中に豊富にあり、二酸化炭素を排出しない発電方法として、カーボンニュートラル実現に寄与</li> <li>気象条件等に左右されるその他再生可能エネルギーと比較して安定的・高効率な発電方法であるため、ベースロード電源として、原子力発電や石炭火力発電の代替に期待</li> </ul>

# 13テーマから3テーマへの選定の考え方は以下の通り

## テーマ選定の 考え方



### ① **カーボンニュートラル×ものづくりの3フェーズ** **「作る」「利用する」「捨てる」から満遍なく**

- > CO2削減は我が国の長期的なテーマであり、2050年の削減目標達成のための技術進展は必須
- > ものづくりに関する3フェーズから満遍なくテーマを選定し、進展の方向性を見極めたい



### ② **ものづくりの3つの観点** **「素材産業」「ロボティクス・デジタル」「モビリティ」から満遍なく**

- > ものづくりは我が国の基幹産業であり、2050年を見据えた中長期的な成長のための技術進展が重要
- > 日本の製造業にとって重要な「素材産業」「ロボティクス・デジタル」「モビリティ」から満遍なくテーマを選定し、進展の方向性を見極めたい

# 13のテーマにつき、前頁の観点から簡易評価を実施

## 13のテーマの簡易評価1)

		モノを作る	モノを利用する	モノを捨てる	素材	ロボティクス デジタル	モビリティ
1	スキャンングによる立体認識とデザイン (3Dスキャン・3Dプリント・実体ディスプレイ)	✓	✓	-	-	✓	✓
2	生物模倣による革新的製品・機能の開発 (バイオミメティクス・バイオニクス)	✓	-	-	✓	-	✓
3	軽量・電気/熱伝導性の高い素材の活用 (炭素ナノ材料)	✓	-	-	✓	✓	✓
4	エレクトロニクスの印刷形成による必要材料の削減 (導電性高分子・有機エレクトロニクス)	✓	-	-	✓	✓	✓
5	天然由来/分解可能な素材の活用 (天然物化学・高分子合成/分析)	✓	-	✓	✓	✓	✓
6	機械のマイクロ化 (MEMS・マイクロマシン・組込システム)	✓	-	-	-	✓	✓
7	工場のオートメーション・スマート化 (Industry4.0・工場IoT・協働ロボット)	✓	-	-	-	✓	-
8	人の作業アシスト (パワースーツ・外骨格パワーロボット)	✓	-	-	-	✓	-
9	デジタル上での物理空間の再現 (デジタルツイン・DX)	✓	-	-	✓	✓	✓
10	効率的な電力制御・変換 (パワー半導体)	-	✓	-	-	✓	✓
11	エネルギーマネジメントの効率化 (量子コンピューター・量子通信)	-	✓	-	-	✓	✓
12	低炭素動力源の利用 (回転体・動力機械)	-	✓	-	-	✓	✓
13	クリーンなエネルギー創出 (核融合・プラズマと超電導)	-	✓	-	-	-	-

1) 広義に捉えるには13のテーマは素材・ロボティクス・モビリティのほとんどの産業に関連するが、主要な関連付けに絞って評価

# モノを「作る」「利用する」「捨てる」の要素、「素材産業」「ロボティクス・デジタル」「モビリティ」の要素、を踏まえ、バランスよく3テーマを選定

## 3つのテーマ

### テーマ①

#### 「捨てる」の削減につながる生物模倣や天然由来／分解可能な素材

**2** 生物模倣による革新的製品・機能の開発  
(バイオミメティクス・バイオニクス)

**5** 天然由来／分解可能な素材の活用  
(天然物化学・高分子合成/分析)

- モノを「作る」「捨てる」に関連
- 日本の重要産業である素材産業に関連
- 中長期的課題であるサーキュラーエコノミーに資するテーマ

### テーマ②

#### ものづくり工程におけるデジタル上での物理空間の再現

**9** デジタル上での物理空間の再現  
(デジタルツイン・DX)

- 広い意味での製造業の業種を対象とする  
(食品加工業、製薬業、自動車部品業等が含まれ、IT企業、外食産業、等は対象外)
- 生産・製造のためのデジタルを対象とする  
(研究・開発のためのデジタル活用は対象外)

- モノを「作る」に関連
- 日本の重要産業である製造業そのものに直結
- デジタルを活用した進化が長期的に見込まれる
- 生産の効率化はカーボンニュートラルへも寄与

### テーマ③

#### モビリティの低炭素化と高効率な電力制御・変換

**10** 効率的な電力制御・変換(パワー半導体)

**12** 低炭素動力源の利用  
(回転体・動力機械)

- モビリティ産業を対象とする

- モノを「利用する」に関連
- 日本の重要産業である自動車産業に関連
- ”輸送部門”はカーボンニュートラルに向けた重要テーマ



## C.分析手法

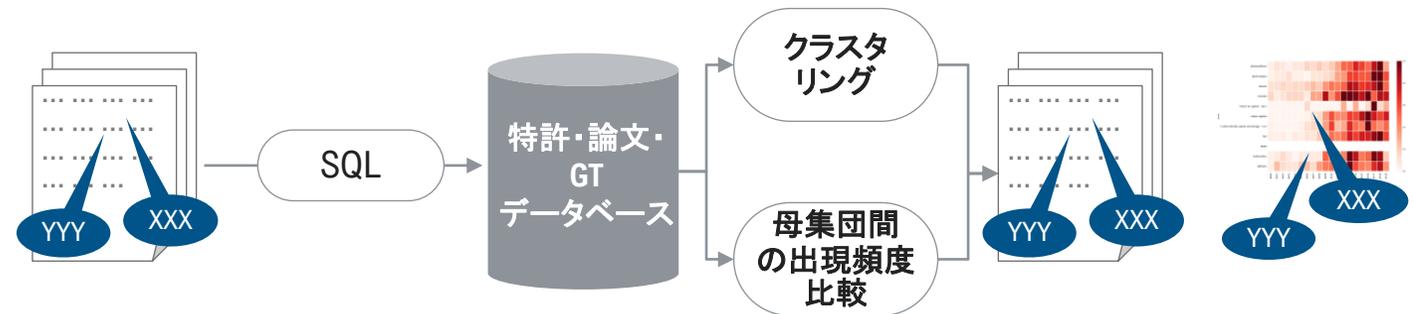
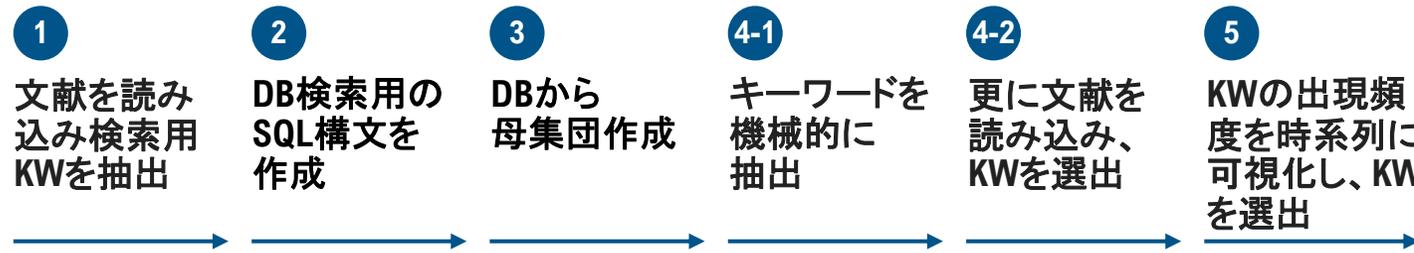


## C-1.分析手法

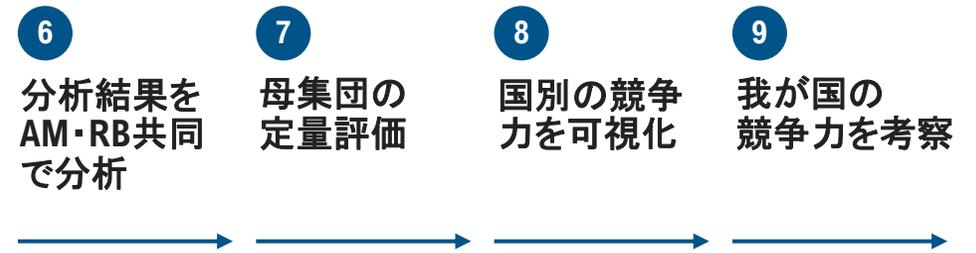
# STEP 2~5は以下の9プロセスで構成される

## 分析手法の全体像

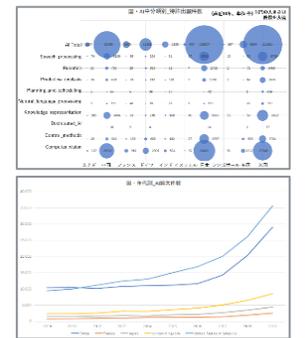
### STEP 2 / 4 (母集団の作成→キーワードの抽出)



### STEP 3 / 5 (結果の分析)



- 技術動向
  - 現在主流の技術動向
  - 現時点で今後主流となると想定される技術動向、等
- 国別の競争力分析
  - 特許のスコアリング
  - 国別の出願件数、論文出版件数等、時系列推移
- 我が国の競争力を考察



# 対象テーマそれぞれに対して技術文献等を読み込み、テーマに紐づく技術の詳細分類を作成

重要技術分野の抽出アプローチの全体像



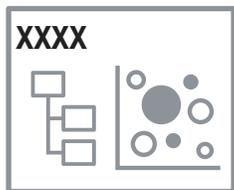
## グラント・論文

- 研究投資額や研究概要から、注目すべき領域を把握
- 論文についても、引用数やJournal知名度に着目して調査



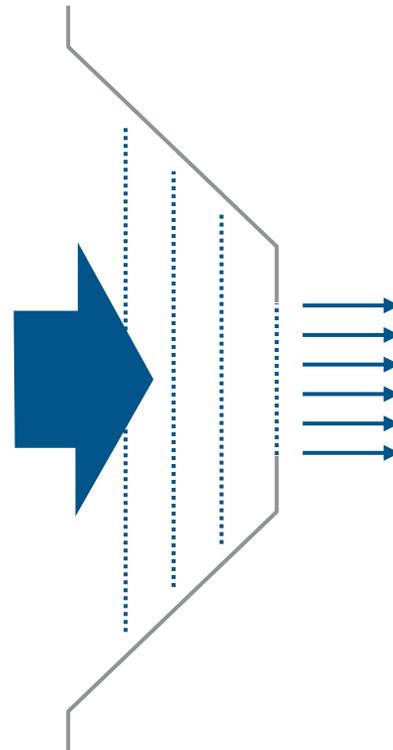
## 特許

- 実用化を見据えた技術活用について、理解を深める



## 研究展望資料

- 各国の動向がマクロ視点で追える一覧性の高い報告資料なども、全体感把握に活用



## Step1の内数

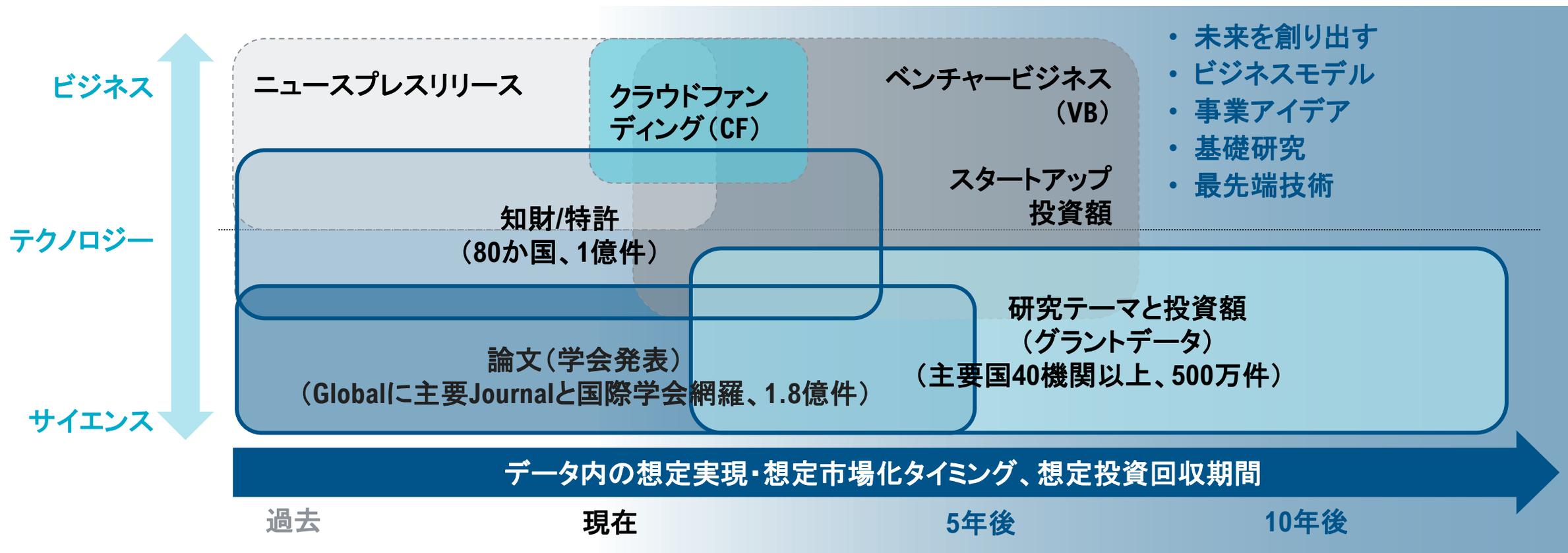
### 詳細分類の作成 (脱炭素領域のイメージ)

- バイオエネルギー
- スマートグリッド・スマートシティ
- 太陽光発電・太陽電池
- 海洋エネルギー
- 土壌・海洋への炭素貯留
- 燃料電池
- ...

# 技術分野と時間軸双方の観点から幅広く将来動向を予測するため、特許・論文・グラントの3種類のデータソースを用いる

分析に用いるデータソース

世の中のデータ



# 特許・論文・グラントデータそれぞれの検索式を作成し、分析対象母集団を取得

## 重要技術分野の抽出アプローチ①

### 1 文献を読み込み、 検索用キーワードを抽出

- アナリストが前述の文献や先行研究を読み込みデータ検索用のキーワードを収集

```
(AAA OR BBB OR  
CCC) AND (XXX OR  
YYY OR ZZZ) ...
```

### 2 DB検索用のSQL構文を作成

- アナリストが特許・論文・グラント用のSQL文を作成(特許のIPCなどデータソース固有のカテゴリも織り込む)

```
select * from dt_cf.v_cf  
where ( XXX like  
'%YYY%' &...%' OR  
'%ZZZ%' ... )
```

### 3 DBから母集団作成

- 分析に資するデータ数であることを確認してダウンロード



# 特許・論文・グラントデータそれぞれの検索式を作成し、分析対象母集団を取得

各母集団の要素数

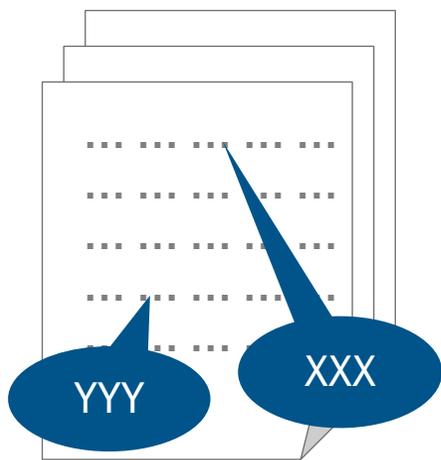
	① バイオミメティクス・天然由来素材	② DX	③ モビリティ領域の回転体
特許	92,316	21,909	62,498
論文	11,760	28,562	16,586
グラント	3,100	3,657	2,531

# テキストマイニングによって各母集団に含まれるキーワードを抽出し、出現頻度を時系列に可視化することによって技術動向を予測

## 重要技術分野の抽出アプローチ②

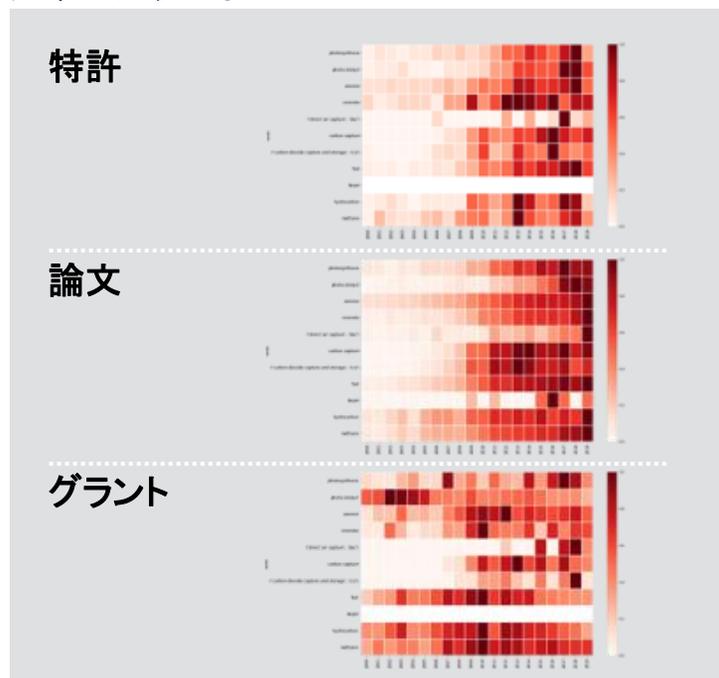
### 4 各文献の文書からキーワード抽出

- 各母集団に含まれる文献のタイトルや概要に形態素解析を施し、一般語を除外してテクニカルタームを抽出 (詳細は次ページに記載)



### 5 キーワードの出現頻度を時系列に可視化

#### アウトプットイメージ



### 6 分析結果をRBとAM共同で考察

#### 注目ポイント(案)

- 現在主流の技術動向
- 現時点で今後主流となると想定される技術動向
- 意外なキーワードの組み合わせの出現有無(少数派の可能性)

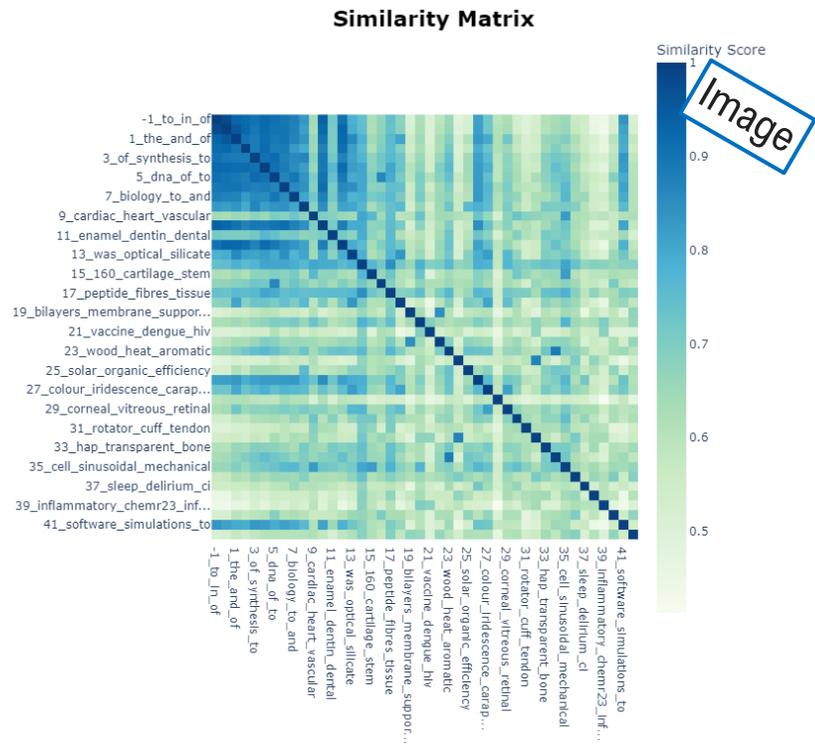
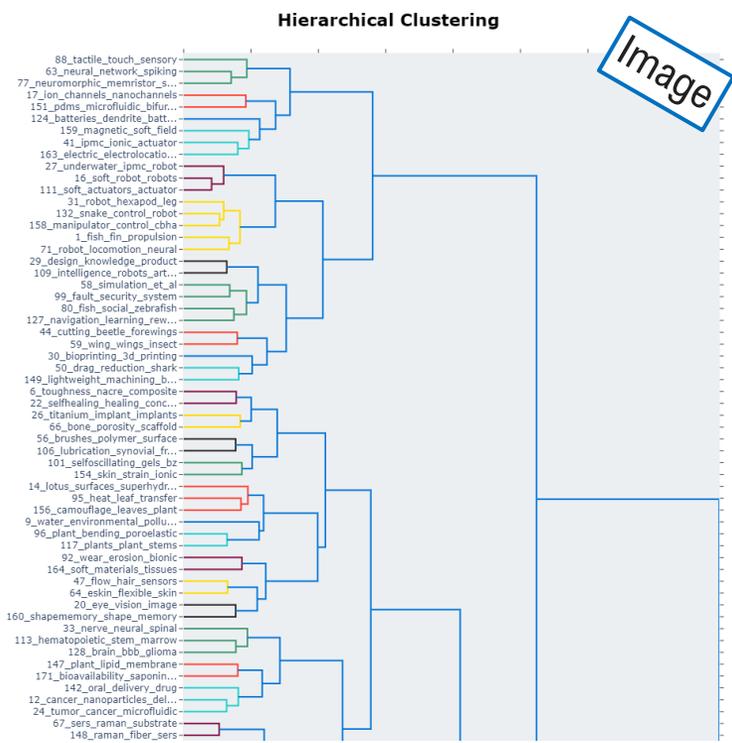


# 2種類のテキストマイニングの手法を用い、対象母集団に含まれるInnovation wordの抽出を試みる

KW抽出方法①の具体的なイメージ

対象領域母集団を文書の特徴に基づきクラスタリング

各クラスタに含まれる特徴的な(Topicを表す)キーワードを抽出

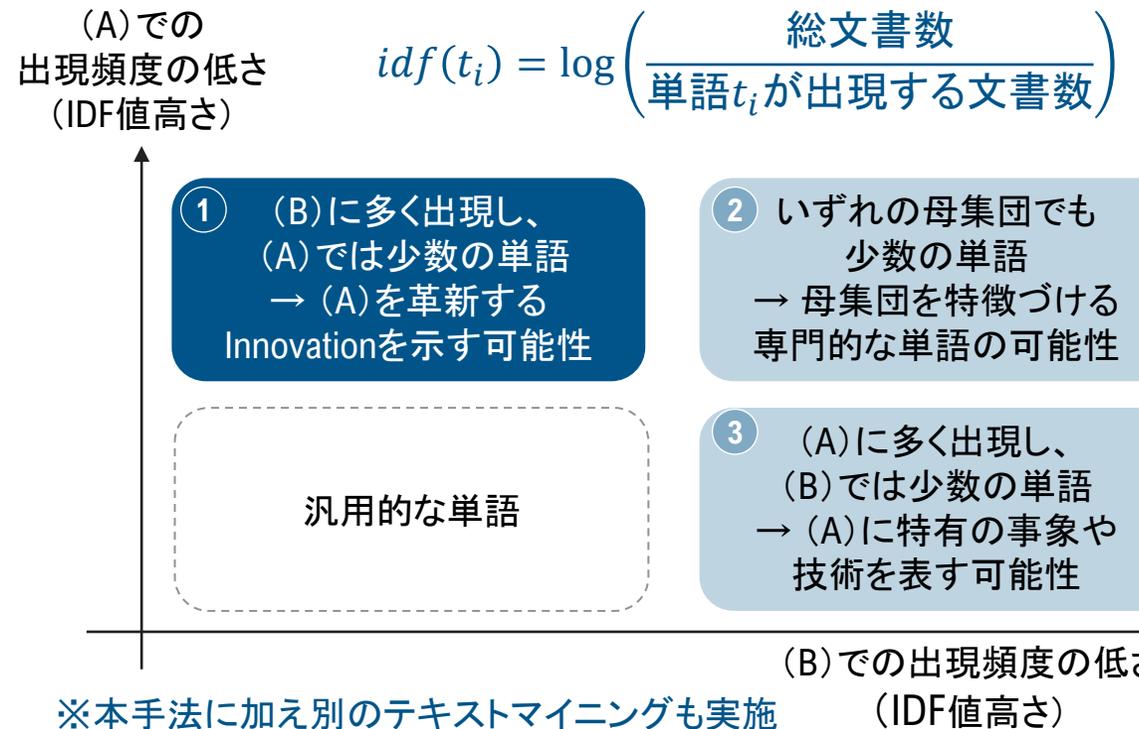
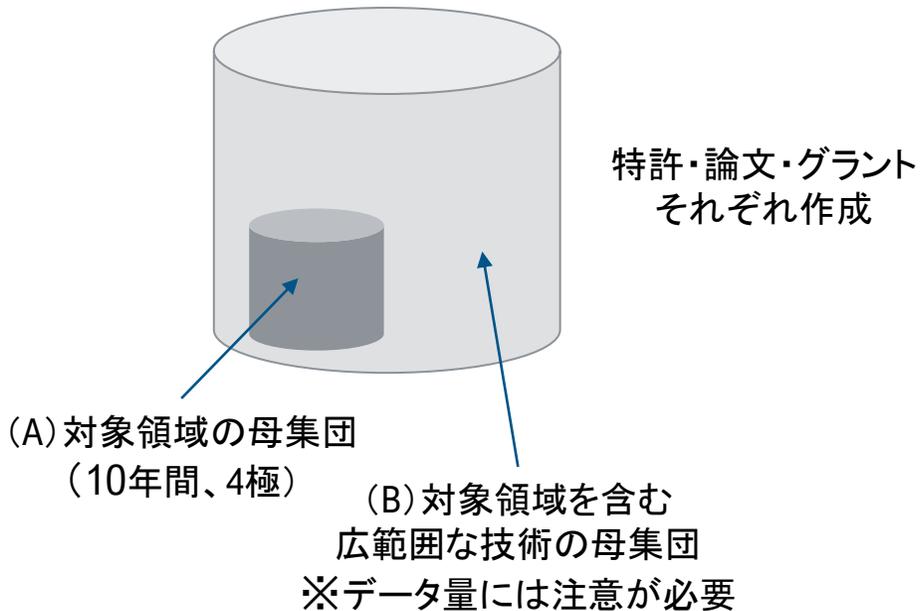


# 2種類のテキストマイニングの手法を用い、対象母集団に含まれるInnovation wordの抽出を試みる

KW抽出方法②の具体的なイメージ

対象領域そのものと、対象領域を含む広範囲な技術の技術母集団を作成

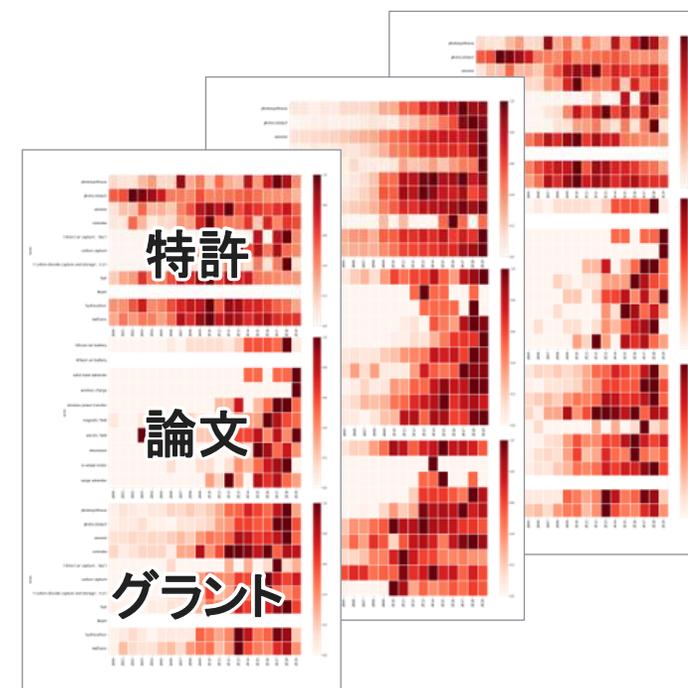
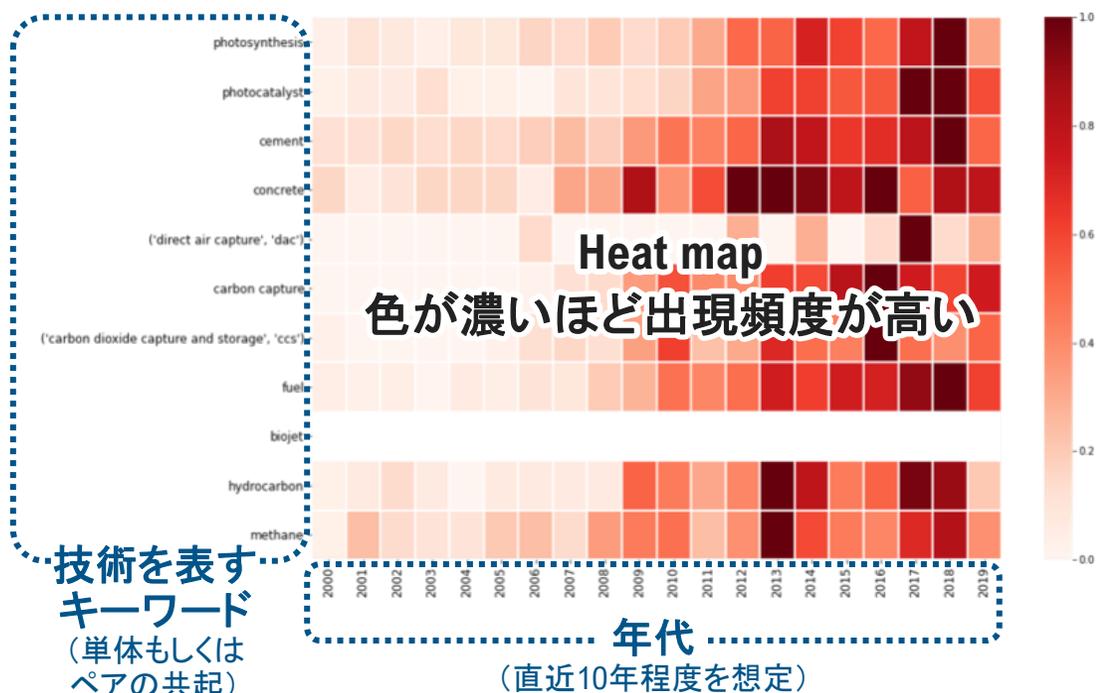
各母集団に含まれる単語の出現頻度を計算し4象限に分類、①→②→③の順でKWを発掘



# 各テーマの3データソース母集団それぞれから技術キーワードの出現頻度を可視化、俯瞰的に技術動向を把握し、アナリストが考察

重要技術分野のアウトプットイメージ

技術文献のテキストマイニングによるキーワード出現頻度の可視化



以下の視点で、今後重点分野となりうる技術を予測

- 出現頻度が上昇しているキーワード

各テーマに含まれる技術領域・データソースごとに作成

# アナリストが時系列変化に特徴のあるキーワードを抽出

特徴的な変化の例

件数が増加する順番



アカデミア起点で研究  
開発が進み、事業化して  
いる技術

件数が増加する順番



企業起点で研究開発が進み、  
事業化したのちに新たな用途  
探索や課題解決、性能向上に  
取り組まれている技術

- 例: 規制対応や市場動向対応で  
企業に取り組むケース

いずれも直近2~3年で急激に変化が見られるキーワードを重点的に確認

# キーワード分析の結果、2050年時点で重要と考えられる技術の中で特に注目すべきものを抽出・考察

特に注目すべき技術の抽出



主に以下の点についてまとめる

✓ 技術概要

✓ 現時点での研究開発状況

✓ どのように社会実装され、普及していくのかの推察

3 モジュール化技術
特許

CoSでは様々な階層における安定した通信が重要になり、本特許では運搬について記載

4 攻撃防御モデル技術
GT

格、拡張性、遅延されつつある

通信機器・サービスを提

5 ロバスト制御技術
特許

自動運転における標識の誤認識などに利用され得る、人工的摂動による攻撃を、遺伝的アルゴリズムを用いて作成したサンプルを利用して防御

Image

会社概要	事業概要										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>会社名</td><td>Zhejiang University of Technology</td></tr> <tr><td>所属国</td><td>中国</td></tr> <tr><td>業種</td><td>大学・研究所</td></tr> <tr><td>売上 (2020年)</td><td>-</td></tr> <tr><td>Webサイト</td><td>http://www.wsc.zjut.edu.cn/zjuten/index.jsp</td></tr> </table>	会社名	Zhejiang University of Technology	所属国	中国	業種	大学・研究所	売上 (2020年)	-	Webサイト	http://www.wsc.zjut.edu.cn/zjuten/index.jsp	<ul style="list-style-type: none"> <li>浙江省の主要大学であり、工学、科学、教養、法、経済学、薬学、管理、教育など、さまざまな科目のプログラムを提供</li> </ul>
会社名	Zhejiang University of Technology										
所属国	中国										
業種	大学・研究所										
売上 (2020年)	-										
Webサイト	http://www.wsc.zjut.edu.cn/zjuten/index.jsp										

**技術概要**

$x$   
"panda"  
57.7% confidence

$+ .007 \times$ 
 $=$

$x + \text{csign}(\nabla_x J(\theta, x, y))$   
"nematode"  
8.2% confidence

$-$ 
 $=$

$x + \text{csign}(\nabla_x J(\theta, x, y))$   
"gibbon"  
99.3% confidence

人工的摂動による誤判定

- 画像上の人工的摂動(小さな攪乱)に基づく画像分類器に対する攻撃への防御
- 遺伝的アルゴリズムにより、効果の高い摂動とそれに対抗するサンプルを得、分類器の学習に使用

**参考文献**

<b>タイトル</b>	Image classifier adversarial attack defense method based on disturbance evolution
<b>出願日</b>	2018/4/4
<b>出願番号</b>	CN201810299242A
<b>出願人</b>	Univ Zhejiang Technology

# 各データソースごとに技術を定量評価し、我が国と主要国の競争力を可視化

重要技術分野の抽出アプローチ③



## 7 各データソース母集団の定量評価

- データソースごとに異なるロジックを選択

### 特許

- アスタミューゼ独自のスコアリングロジック(後述)
- 国別出願件数時系列推移

### 論文

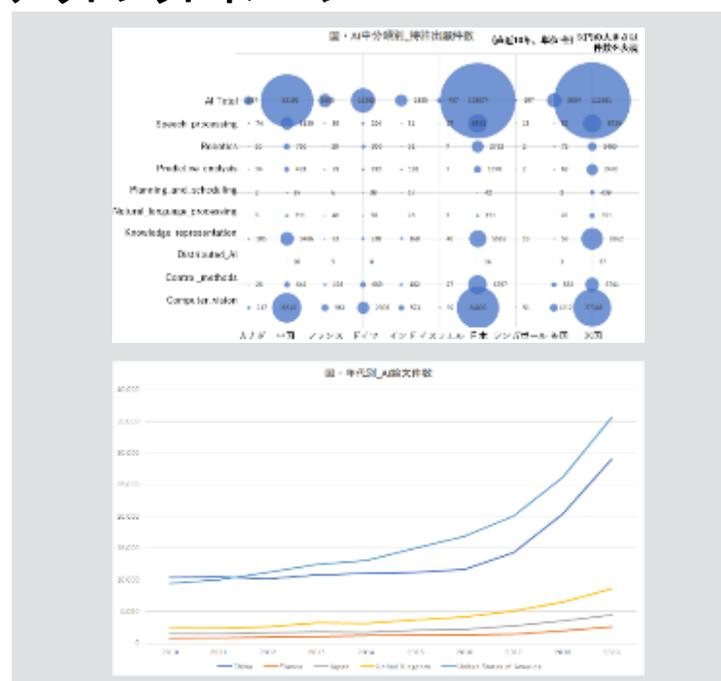
- 国別出版件数時系列推移

### グラント

- 国別研究配賦額時系列推移

## 8 国別の競争力を可視化

アウトプットイメージ



## 9 我が国の競争力を考察

- ローランド・ベルガーとアスタミューゼが共同で実施



# 特許の定量評価にはアスタミューゼのスコアリングロジックを採用 特許1件ごとのパテントインパクトスコアを算出し、国ごとに集計

(参考) 特許スコアリングロジック①



	スコア名	算出ロジック
特許毎	パテントインパクトスコア Patent impact score	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆「他社への技術的脅威（他社拒絶査定引用回数など）」</li> <li>◆「権利の地理的範囲（出願国など）」</li> <li>◆「権利の時間的範囲（権利の経過年数など）」</li> </ul> <p><u>他社への排他権としてのインパクト評価</u>を中心に、更に地理的な権利範囲、権利の時間的な残存期間などを重み付けした定量的な評価指標</p> <p>特長1：推定有効期限について国ごとの特性及び領域ごとの技術の陳腐化スピードを反映。 特長2：対象母集団（各技術分類、市場分類）毎に、偏差値化。 特長3：経済規模と特許経済インパクト（損害賠償額等）が大きな国の特許を牽制している企業のスコアが高くなるように調整。</p>
企業毎	A. トータルパテントアセット Total patent asset	各社の <u>特許ポートフォリオとしての総合的な競争力を計る指標</u> として使用。 = $\sum [\text{パテントインパクトスコア} (\geq 50) \times \text{特許権利残存年数}]$
	B. パテントエッジスコア patent edge score	競合他社に対して大きな脅威となりうる突出した特許(1件)があるかどうかの指標として用いる。 = $\text{MAX}[\text{パテントインパクトスコア}]$
	C. トータルパテントポテンシャル Total patent potential	価値が高い特許ポートフォリオとしての視点と、特許ポートフォリオの中に突出した技術があるかという視点で評価 = $A \times B$
参考値	D. トータルパテントパフォーマンス Total patent performance	価値が高い特許ポートフォリオを効率的に作れているかという視点で評価 = $\sum [\text{パテントインパクトスコア} \times \text{特許権利残存年数}] \div \text{出願件数}$ (各母集団毎に偏差値化)

# 被引用回数に加え、引用元の国籍に応じた重みづけを実施 さらにファミリー文献数によってマーケットの広さも考慮

(参考) 特許スコアリングロジック②



## 技術/特許の競争優位性評価に用いる指標の概念

- 分析対象の市場について、出願人・譲受人ごとに特許1件1件につき特許個別の強さ(=パテントインパクトスコア)を算出
- 計算には下表のようなパラメータを用いるが、**被引用の構成内容の寄与が最も大きい**

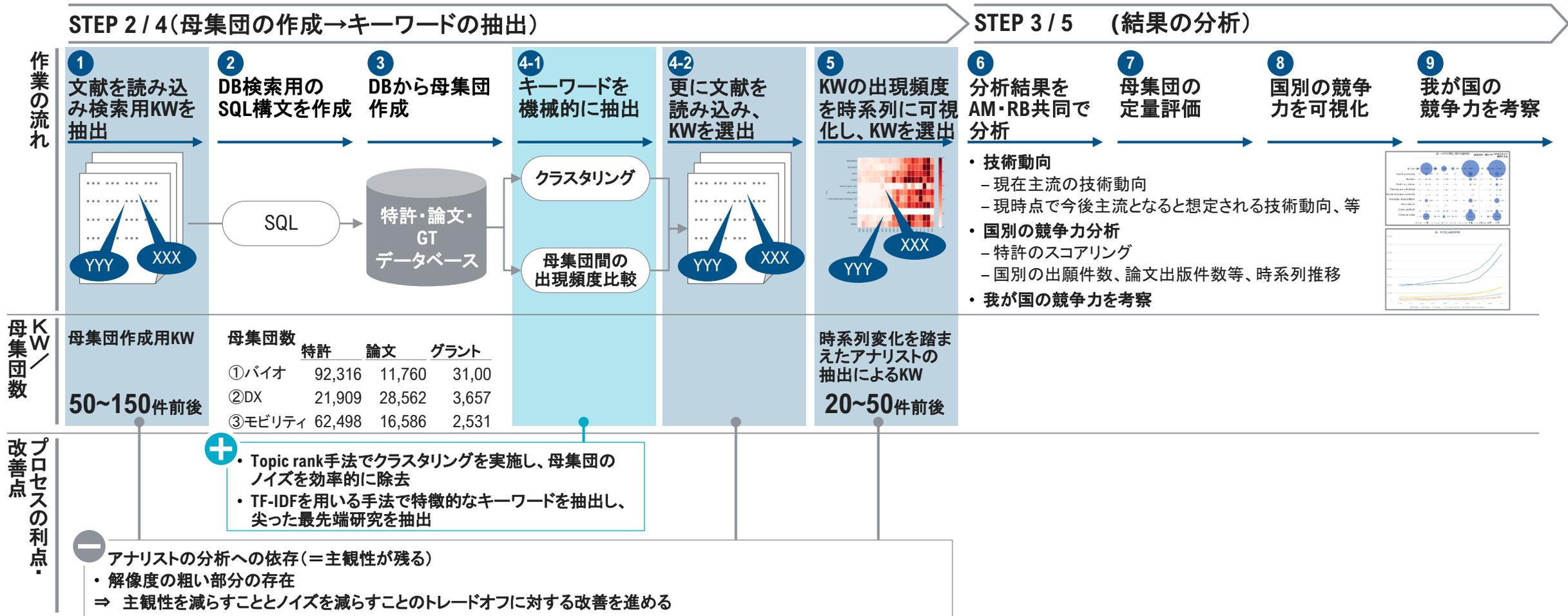
特許/技術評価の基本指標	<p>『パテントインパクトスコア』  <u>他社からの注目度(審査官引用、著者引用など)</u>          の他社への排他権としてのインパクト評価を中心に、          さらに<u>自社権利化意欲、地理的な権利範囲などを重み付けし計算した定量的な評価指標</u></p>
パテントインパクトスコアに用いる パラメータ群(一部)	出願から権利化までの所要年数(短い方が良い)
	評価基準日から権利有効残存年数(長い方が良い)
	評価基準日が、出願日から想定権利喪失日(通常出願後20年)までのどの時点にいるか
	<p>被引用数(日米欧W0の特許庁と中・韓・インド・カナダ・豪など諸国特許庁に分けて評価)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>経済規模(GDP)と特許重要度(損害賠償額)が大きな国の特許に引用されている企業のスコアが高くなるように重み付け(米国の特許に引用されているスコアが高くなる傾向)</li> </ul>
	ファミリー文献数(多い方を高く評価)



## **C-2.STEP 2を踏まえた課題と STEP 4での対応方法**

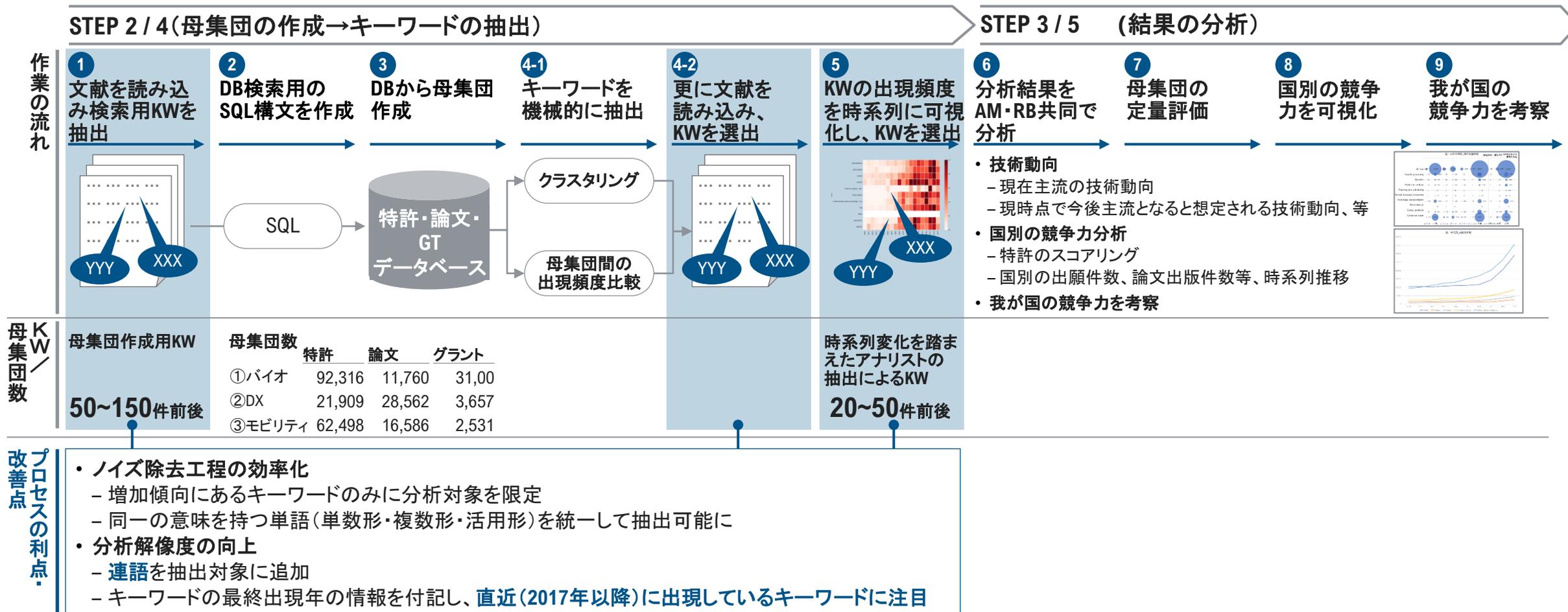
# キーワード抽出プロセスにおいて、「主観性の排除」と「ノイズ除去」というトレードオフへの対応が進化へのポイントとして挙げられた

STEP 2/3のプロセス全体像と、その利点・改善点



# STEP 4/5では、STEP 2/3を踏まえ、連語を抽出対象に加え、比較的新しい時期に使われているキーワードに注目するという改善を行い、解像度を向上

STEP 2/3を踏まえたSTEP 4/5における改善の方向性



尚、STEP 4/5はプロセスを1からやり直したわけではなく、連語を抽出対象に加えることで解像度の向上を図ったものであり、新たなキーワードや事例が追加された

#### STEP 2/3とSTEP 4/5の相違点

- STEP 4では、連語をキーワード抽出対象とするとともに、2017年以降という比較的最近に使われているキーワードに注目した
- 結果として、「連語」という情報量が増えたことで、解像度が上がり、新たな/かつ具体的なキーワードや事例が追加で抽出出来た
- STEP 2/3で単語として扱われていたキーワードは、Step 4/5では殆どが連語の形で抽出されるようになるため、相対的に弱まって見える。しかし、連語に含まれて抽出されていることに変わりはなく、Step 2/3で見られた傾向を強化することになったと解釈できる



**D. テーマ①「捨てる」の削減に  
つながる生物模倣や  
天然由来／分解可能な素材**



## D-1. 重要技術分野(キーワード)の抽出

## STEP 2/3においてアナリストが時系列変化に特徴のあるキーワードを抽出した結果は以下の通り

### KW時系列推移からの考察



#### 特許における注目キーワード

- subassembly, graphene, imaging, adhesive, bionic, photocatalytic, nanoparticles, toughness

#### 論文におけるの注目キーワード

- self-healing, biomaterials, scaffold, imaging, bioactive, adhesive, bionic, photocatalytic, nanoparticles, photocatalysis, hydrogels, toughness

#### グラントにおける注目キーワード

- scaffold, imaging, bioactive, adhesive, bionic, nanoparticles



グラントではbionic以外はピークアウトしており、アカデミア起点の研究が多くGT→PT→PPの順に成熟すると仮定すると、bionicが最先端成長途上、nanoparticles・imaging・scaffold が医学系などで熟成中と推察できる

grapheneは特許特異的に目立つ動きである可能性がある

# STEP 4/5においてアナリストが時系列変化に特徴のあるキーワードを抽出した結果は以下の通り

## KW時系列推移からの考察

### 特許における注目キーワード

- subassembly, graphene, imaging, adhesive, bionic, photocatalytic, nanoparticles, toughness, biodegradability, environment, cellulose, titanium, chloroplast, thylakoid, artificial cell, synthetic biology, microalgae, thermal waste, biofuel

### 論文におけるの注目キーワード

- self-healing, biomaterials, scaffold, imaging, bioactive, adhesive, bionic, photocatalytic, nanoparticles, photocatalysis, hydrogels, toughness, MIP (Molecularly imprinted polymers), host-guest, photosynthesis, chloroplast, RuBisCO, biofouling, microplastic, self-cleaning, photosynthesis, CO2 adsorption, photocatalytic, fuel cell, photoelectrocatalytic, electricity generation, porous, coral-like, photoelectrode, memristor, neuromorphic, DACCS (Direct Air Carbon dioxide Capture and Storage), BECCS (Bioenergy with Carbon dioxide Capture and Storage), nanofluid

### グラントにおける注目キーワード

- scaffold, imaging, bioactive, adhesive, bionic, nanoparticles, nanocoating, microplastic, chloroplast, RuBisCO, self-cleaning, photosynthesis, switchable, tunable, adhesion, graphene, host-guest, temporally controlled, time-controlled, biodegradable polymer

当領域では、アカデミア起点の研究が多くGT→PT→PPの順に成熟すると仮定すると、bionicが急成長途上にあるほか、文献数はbionicより少ないものの、biomimetics関連の様々な特徴的kwを含む研究が2017年以降増えている

キーワード(kw)分布の特徴と、個々の事例と注目ポイントを次ページ以降にまとめる

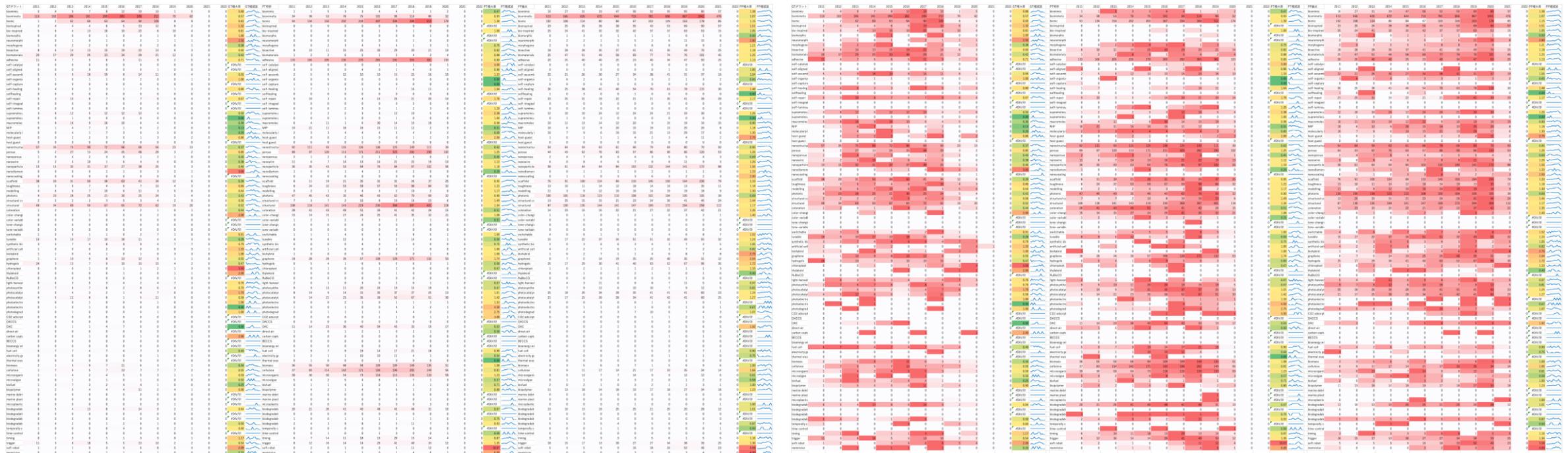
# グラント・特許・論文のキーワードに類推語も加え、出現頻度をヒートマップ化、より最近に出現する語を特定

KW時系列推移からの考察



データソース単位で濃淡づけ: 相対的に多いものをハイライト

キーワード単位で濃淡づけ: 出現頻度によらず増加をハイライト



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	PP増大率	PP増減図
PP論文														
biohybrid	1	0	2	7	1	1	4	6	8	7	8	0	2.75	
graphene	0	7	5	14	19	25	25	40	35	31	12	0	2.04	
hydrogels	25	17	29	30	41	40	63	52	67	96	35	0	1.72	
chloroplast	1	0	2	1	1	1	2	1	1	1	3	0	1.33	
thylakoid	0	0	1	0	2	2	1	0	0	1	0	0	0.40	

# グラント・特許・論文のキーワード分布を俯瞰、抽出する事例を絞り込む

## KW時系列推移からの考察



キーワード分布は単純に母集団内で量が多く増えているものを見るのではなく、年次推移で減っていないこと、2017年以降のより新しい時期に使われていること、望ましくはより新しい年次に増えていることを重視している

- 3データソースのいずれかで2017年以降、相対的に際立って増えているkw(前頁画像左)として、biomimetics, bionic, bio-inspired, neuromorphic, bioactive, biomaterials, adhesive, self-assemble, self-healing, nanostructure, porous, nanoparticles, scaffold, photonic, structural, coloration, color-changing, tunable, graphene, hydrogels, photosynthesis, photocatalysis, photocatalytic, DAC, biomass, cellulose, microorganisms, biodegradable, timing, soft robot, trigger 等がある
  - 特に、ナノ構造やナノポーラス(活性炭のような微細多孔)、構造色、光合成、DAC(空中CO2吸収)、BECCS(CO2からのエネルギー・物質生産)関連が3データソース全てに散見される
  - 前頁画像右の個別kwの出現傾向を見ると、母集団内で必ずしも多くないが、より新しい年次に使われている特徴的な言葉が明らかとなり、事例抽出で特に重視している
  - 脳模倣AIに関する neuromorphic(神経形態学)や memristor(メモリ素子)が少数ながら増えていることが注目される
  - MIP(molecularly imprinted polymer), host-guest など特定分子識別・分子捕獲技術が3ソースで増えており、実用化と更なる応用研究の活性化が進むことが読み取れる
  - 葉緑体・光合成、DACも同様の傾向が見られ、実用化と更なる進化・深化が期待される
  - バイオ燃料や人工光合成、生分解性プラスチックに関しては、本来は他の成長領域「バイオ燃料」「人工光合成」「マリンデブリ」に含まれ、本母集団には含まれないが、上記注目kwを持つ事例が少数含まれており、事例抽出を行なった
  - 有機ソフトロボットやバイオセンサも散見されるが生物模倣を部分的に含むだけのものが多く、今回は抽出していない
- 以下、各ソースごとの事例の特徴を次ページ以降にまとめる

# 論文では、構造色や自己洗浄、太陽光とCO2からの物質生産(BECCS)や空中CO2吸収(DACCS)、脳模倣AI・ロボット、MIPやホスト-ゲスト分子回収など12報抽出

## KW時系列推移からの考察

### 論文における注目事例（【towards 2050】2050年に向けての萌芽研究として注目、現時点の完成度は問わず）

- 抗原抗体反応や基質酵素反応を模倣する【MIP】→【分子識別・分離、目的物捕獲・回収、不純物除去・無毒化】
- 【自己洗浄】コットン材料→海洋等の【環境汚染除去・工場排水浄化】
- 導電性高分子膜に【構造色】画像生成→低コスト・軽量薄型の多機能材料→【廃棄コスト・エネルギー低減】
- 【構造色】の機能応用→材料劣化や交換時期のアラートなど、【廃棄時期の最適化・リサイクルマネジメント】
- ホスト-ゲスト化学で水中に拡散・沈降した【マイクロプラスチック】回収→【マリンデブリ解消・廃棄物削減】
- 天然【ナノポーラス】構造模倣による光電極の集光力向上と燃料電池応用→【エネルギー効率向上・脱炭素加速】
- 光触媒で汚染分解、【自己再生】で触媒賦活→【メンテナンスフリーなインフラ構築】
- ナノテク・合成生物学による【葉緑体】機能の人工制御→【BECCS (Bioenergy with Carbon dioxide Capture and Storage)】【towards 2050】
- ナノテク・合成生物学による【葉緑体】のソフトデバイス化→【DACCS (Direct Air Carbon dioxide Capture and Storage)】【towards 2050】
- 【ナノポーラス】材料を用いた脳シナプス模倣のメモリシステム→【ニューロモルフィック・コンピュータ/AI】【towards 2050】
- 【ナノ流体】電解質を用いた脳シナプス模倣→【ニューロモルフィック・コンピュータ/AI】【towards 2050】
- 【有機エレクトロニクス】による環境情報の電気信号への変換→【人工神経・ニューロロボティクス】【towards 2050】
- 葉緑体を用いた合成生物学的研究が注目される。植物生産性の向上を図る(BECCS)ほか、空中二酸化炭素の直接吸収(DACCS)への応用など現状では実用には時間がかかるが、2050年を見据えた技術開発の萌芽として要注目
- 脳シナプス模倣のニューロモルフィックコンピュータ、人工神経・ニューロロボットも萌芽段階として注目
- MIP (Molecularly imprinted polymers) やホスト-ゲスト化学による分子ターゲティングは環境保全に有望

# グラントでは、自己洗浄・自己修復、生分解性時間制御、5D分子配向プリンタ、高分子構造エンコード、葉緑体人工細胞、バイオハイブリッド(BECCS)など10件抽出

## KW時系列推移からの考察

### グラントにおける注目事例(【towards 2050】2050年に向けての萌芽研究として注目、現時点の完成度は問わず)

- 【自己洗浄】機能の日常化→生活空間・都市等の【メンテナンスフリーなインフラ構築】
- ウェアラブル材料の【自己修復】化→製品の長寿命化による【廃棄低減】
- 葉緑体をハイドロゲルに埋込んだ【人工細胞】→【石油製品に替わる持続可能なバイオニック材料】【towards 2050】
- 【5D】分子配向プリント→マイクロプラスチック回収クローラーなど複雑な動き実現で【廃棄物削減】【towards 2050】
- 【ナノコーティング】技術のバイオニック化→【機能性材料の環境低負荷な生産】
- 【ナノコーティング】技術のバイオニック化→粘着性・自己洗浄性など【機能性材料の環境低負荷な生産】
- 人工材料と微生物の【バイオハイブリッド】で光合成を模倣→【燃料等の環境低負荷生産(BECCS)】【towards 2050】
- 環境トリガーによる【時限生分解性】ポリマー →マイクロプラスチック拡散抑制と【マリンデブリ解消・廃棄物削減】
- 原子細胞系における【バイオエネルギー】 →流体セルによる【バイオエネルギー生成】【towards 2050】
- 高分子の一次配列【高次構造のエンコード】 →ソフトマテリアルの【バイオニックな分子設計】【towards 2050】
- 葉緑体を用いた合成生物学的研究として、人工光合成を超えた人工細胞による物質生産への試みが注目される
- バイオハイブリッドも光合成プロセスを模倣したものであり、今後、葉緑体やミトコンドリア機能を模倣したエネルギー生産系や物質生産系の研究が伸びる可能性
- 5Dプリンタや高分子構造のエンコーディングは、複雑な機能性材料実現というモノづくりの高度化に資する可能性
- 分子モード変更による生分解性や粘着性・自己洗浄性などの高分子機能のスイッチングは環境負荷低減に有望

# 特許では、構造色応用や自己修復のほか、高分子のメモリー応用、微生物バイオマスプラント(BECCS)、葉緑体人工細胞、自律駆動魚型ロボットなど10件抽出

KW時系列推移からの考察

asta muse  
company

特許における注目事例(【towards 2050】2050年に向けての萌芽研究として注目、現時点の完成度は問わず)

- 【構造色】による劣化アラート→【廃棄時期最適化・リサイクルマネジメント】
- 【構造色】による劣化アラートと【自己修復】→【廃棄物削減】
- 得意な形状の【超分子】→分離・分解等【環境低負荷の触媒反応の場】
- 生体高分子配列に【エンコード】→データマネジメントの【環境低負荷・廃棄物削減】【towards 2050】
- 【光合成】模倣微生物プラント→【フードロス・廃棄物削減・バイオマス生産・バイオ燃料生産(BECCS)】【towards 2050】
- 【生分解性】かつ難燃性のポリマー→【環境低負荷・消費エネルギー低減・廃棄物削減】
- 農業廃棄物由来の【セルロース】利用→【環境低負荷・消費エネルギー低減・廃棄物削減】
- 【葉緑体】と光触媒を混在したコーティング材→【環境低負荷・空気清浄化・長寿命化】
- 葉緑体モデル系としての【人工細胞】→【電子伝達系再現・バイオエネルギー変換】【towards 2050】
- 【自律駆動】魚型ロボット→【海洋資源探査・環境保全・マリンデブリ回収】
- 特許においても葉緑体や光合成応用技術が見られ、特に人工細胞におけるエネルギー変換が注目される
- 微細藻類をフォトバイオリクターで生産する光合成模倣プラントはフードロス低減やバイオ材料生産にも応用可能
- 生体高分子配列のデータマネジメント応用は情報産業のバイオニック化に繋がり要注目
- 構造色の材料劣化やリサイクルの指標・アラートへの応用は実現性・実用性ともに高く興味深い
- 生分解性材料の産業化は進んでおり、2030年までに普遍的技術として定着する可能性が比較的高い
- 水中ロボットによる海洋環境保全は喫緊の課題

# 3データソースの比較から、2050年の脱炭素社会に向けて有望な萌芽技術と応用の方向性を定性的に予測

## KW時系列推移からの考察



- 論文・グラント・特許を通して、原始光合成細菌から進化共生したとされる葉緑体を用いた合成生物学的研究が注目される。特に、葉緑体包含人工細胞におけるエネルギー変換や葉緑体機能を制御することで植物生産性の向上を図る戦略(BECCS)や、空中CO<sub>2</sub>の直接吸収(DACCS)への応用など現状では実用には時間がかかるが、2050年を見据えた技術開発の萌芽として要注目
- 微細藻類をフォトバイオリクターで生産する光合成模倣プラント(特許)はフードロス低減やバイオ材料生産にも応用可能で、東大発ベンチャーのユーグレナ社が食品やジェット燃料開発ですでに事業化している部分を進化させることで、2025-2030年での段階的実用化も可能と考えられる
- 情報分野では、脳シナプス模倣のニューロモルフィックコンピュータ(2021年の論文2報)や人工神経・ニューロロボット(論文)が萌芽段階として注目される。一方、生体高分子配列のメモリ応用(特許)は、高分子ポリマーのメモリ化の実用可能性を示唆しており、2050年に向けての情報産業のバイオ化・環境負荷低減の道筋として検討価値が大きい
- 論文に見られたMIP(Molecularly imprinted polymers)やホスト-ゲスト化学による分子ターゲティングは、マイクロプラスチックや環境汚染除去のみならず、味覚センサ的な電子舌、バイオテロ対策としての環境モニタリングと併せてインフラ化することで安全保障技術としても有望。ターゲットごとに分子設計必要なので2050年以前の普遍化は困難
- グラントで見られた5D分子配向プリントや高分子の立体構造のエンコードは、複雑な動きや高機能の材料実現というモノづくりの高度化に資する一方、応用範囲や効果測定がネックとなり、用途の普遍化は困難が予想される
- 構造色のリサイクル指標化(特許・論文)は実現性・実用性ともに高く、2025-2030年での実用化の可能性は高い
- 生分解性材料の産業化は進んでおり、2030年までに普遍的技術として定着する可能性が比較的高いが、グラントで見られた時限生分解などのスイッチング設計は製品寿命管理上重要だが、さらに時間がかかると見られる
- マリンデブリ等の回収など海洋環境保全には特許で見られた魚型ロボット等の導入も直近の課題



## D-2. 具体的な研究事例

asta  muse  
company

# Autonomous University of Barcelonaは、分子認識過程を模倣するインプリントポリマー(MIP)による電子舌(分子センサーアレイ)開発を目指す

抗原抗体反応や基質酵素反応を模倣する【MIP】→【分子識別・分離、目的物捕獲・回収、不純物除去・無毒化】

バイオ事例:①

高性能化によるライフの延長

## 論文情報 PP-01

研究機関(所属国)	Autonomous University of Barcelona(スペイン)
著者	Anna Herrera-Chacon; Xavier Cetó; Manel del Valle
掲載雑誌	Analytical and bioanalytical chemistry
掲載年	2021
DOI	<a href="https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00216-021-03313-8.pdf">https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00216-021-03313-8.pdf</a> <a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s00216-021-03313-8">https://link.springer.com/article/10.1007/s00216-021-03313-8</a>

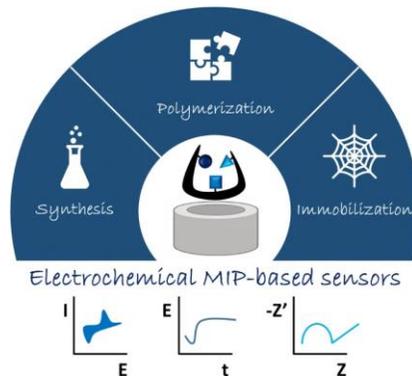
## 論文タイトル

**Molecularly imprinted polymers - towards electrochemical sensors and electronic tongues**

## 注目キーワード

**macromolecules, molecularly imprinted polymers (MIPs), molecular recognition, electrochemical, chemometric, electronic tongues, sensor array**

## 技術概要



図D-1 研究概念図

### (研究されている技術の概要)

- 基質:酵素や抗原:抗体など生体高分子の分子認識過程を模倣する合成材料であるインプリントポリマー(MIP)と電気化学の組合せによる高度なセンシングデバイスが開発と性能向上
- MIPのターゲット類似分子との交差反応とケモメトリックスを組合せた分子識別センサーアレイ(電子舌)の開発

### (研究成果や今後の方向性)

- MIPと電気化学センサーの統合戦略、分子合成アプローチ、多様なアプリケーションにおける組合せ探索

# Sichuan University(四川大学)は、油水分離材料として、耐久性と太陽光による自己洗浄が可能な抗菌性・超撥水性コットン布を開発

【自己洗浄】コットン材料→海洋等の【環境汚染除去・工場排水浄化】

バイオ事例:②

環境負荷低減

## 論文情報 PP-02

研究機関(所属国)	Sichuan University(中国)
著者	Hongyu Liu et al.
掲載雑誌	Cellulose
掲載年	2021
DOI	<a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-020-03585-w">https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-020-03585-w</a>

## 論文タイトル

**A robust and antibacterial superhydrophobic cotton fabric with sunlight-driven self-cleaning performance for oil/water separation**

## 注目キーワード

**macromolecules, molecularly imprinted polymers (MIPs), molecular recognition, electrochemical, chemometric, electronic tongues, sensor array**

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- Ag/AgClをポリドーパミン修飾綿布表面に静電吸着
- Ag/AgCl担持布をディップコーティング法によりポリジメチルシロキサン(PDMS)によりコーティング

### (研究成果や今後の方向性)

- 調製した綿布(PDMS-Ag/AgCl@CF)は、水接触角約155°の超撥水性、幅広いpHと種々の有機溶媒に対して優れた耐性、50サイクルの摩耗や60分間の超音波処理にも機械的耐久性を示した
- 油/水混合物を重力によって高い分離効率(97.8%以上)で分離
- 油性水浄化のための有望な材料

# Linköping University (リンショーピン大学) は、高解像度の構造色画像を低コストで容易に作製する技術を開発、多機能ディスプレイなどの用途に競争力を発揮

導電性高分子膜に【構造色】画像生成→低コスト・軽量薄型の多機能材料→【廃棄コスト・エネルギー低減】

バイオ事例: ③

低コスト・プロセスの簡略化

## 論文情報 PP-03

研究機関(所属国)	Linköping University (スウェーデン)
著者	Shangzhi Chen et al.
掲載雑誌	Advanced materials (Deerfield Beach, Fla.)
掲載年	2021
DOI	<a href="https://www.researchgate.net/publication/348647990">https://www.researchgate.net/publication/348647990</a>

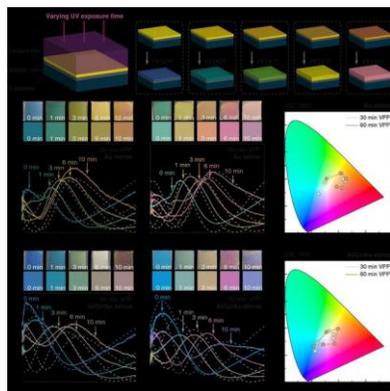
## 論文タイトル

Tunable Structural Color Images by UV-Patterned Conducting Polymer Nanofilms on Metal Surfaces.

## 注目キーワード

structural color, optical coating, monochromic conducting polymer film, metallic surface, vapor phase polymerization, UV light patterning, polymer redox state

## 技術概要



図D-2 UV light controlled structural colors

## (研究されている技術の概要)

- フォトニック結晶、ファブリ・ペロー空洞、プラズモニクス、高屈折率誘電体メタサーフェスなどを利用した技術は、光学コーティングから反射ディスプレイまで幅広く応用研究されてきた
- サブ波長ナノ構造体の複雑な作製手順、限られた活性領域、および、これらのアプローチに固有の調整能力の欠如が、柔軟で大規模、スイッチング可能なデバイスの開発を阻害してきた
- 本論文では、気相重合と紫外線パターニングにより金属表面上に作製した単色導電性高分子膜を用いて、構造色画像を生成する新しい方法を提案
- 紫外線照射量を変化させることで、ナノスケールの膜厚と高分子誘電率を相乗的に制御し、紫から赤の構造色を生成することができ。グレースケールのフォトマスクと組み合わせることで、高解像度の構造色画像を容易に作製
- 高分子酸化還元状態を電気化学的に調節することで、着色表面や画像をダイナミックに調整

# 福岡工業大学は、ペロブスカイト構造色コロイドゾルを高分子フィルムに固定化、メカノクロミック材料を作製、メカノセンサーやディスプレイへの応用に期待

【構造色】の機能応用 → 材料劣化や交換時期のアラートなど、【廃棄時期の最適化・リサイクルマネジメント】

バイオ事例: ④

溶剤とか顔料を大量に使わずに色を出せる → 環境負荷低減

## 論文情報 PP-04

研究機関(所属国)	福岡工業大学(日本)
著者	日本 Wenqi Yang; Shinya Yamamoto; Keiichiro Sueyoshi; Takumi Inadomi; Riki Kato; Nobuyoshi Miyamoto
掲載雑誌	Angewandte Chemie (International ed. in English)
掲載年	2021
DOI	<a href="https://www.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.202015982">https://www.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/anie.202015982</a> <a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33480099/">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33480099/</a>

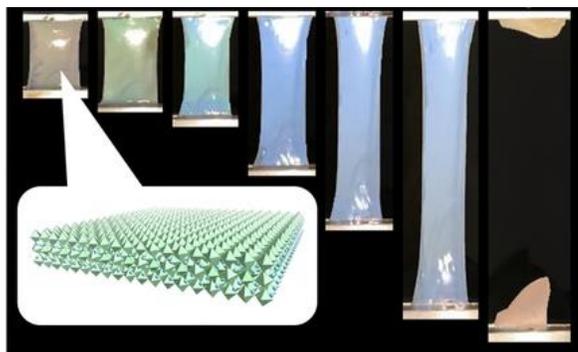
## 論文タイトル

Perovskite Nanosheet Hydrogels with Mechanochromic Structural Color

## 注目キーワード

structural color, colloidal sol, perovskite nanosheet, polymer hydrogel film, in situ photopolymerization, mechanochromic, toughness, 3D network of hydrogel

## 技術概要



図D-3 コンセプト図

### (研究されている技術の概要)

- ペロブスカイトナノシートの構造色コロイドゾルを合成し、in-situ光重合によって高分子ヒドロゲルフィルムに固定化し、新しいメカノクロミック材料を作製
- (研究成果や今後の方向性)
- 可視光吸収分光法、偏光光学顕微鏡法、小角X線散乱法により、ナノシートはフィルム表面に平行に配列し、その周期距離は最大約300nmであることが明らかになり、全色域で調整可能な構造色を与えることができた
- この構造色ゲルは、1 kPa の弱い応力を 1 ms 以下の応答時間で検出する可逆的なメカノクロミック応答と、3 MPa までの圧縮破壊応力という高い機械的強度を示した

# 独・University of Koblenz-Landauでは、マリンデブリ等のマイクロプラスチックを回収するため、ホスト-ゲスト関係に基づくハイブリッドシリカゲルを開発している

ホスト-ゲスト化学で水中に拡散・沈降した【マイクロプラスチック】回収→【マリンデブリ解消・廃棄物削減】

バイオ事例:⑤

環境保全・汚水浄化・環境負荷低減

## 論文情報 PP-05

研究機関(所属国)	University of Koblenz-Landau(ドイツ)
著者	Adrian Frank Herbort; Katrin Schuhen
掲載雑誌	Environmental science and pollution research international
掲載年	2016
DOI	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27421855">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27421855</a>

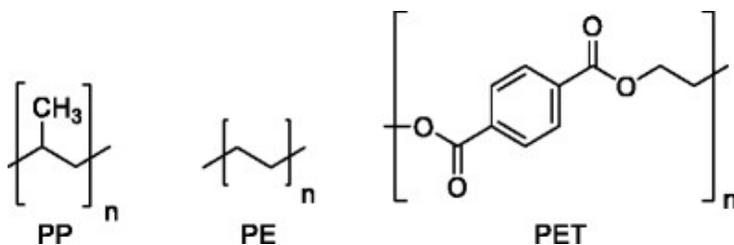
## 論文タイトル

**A concept for the removal of microplastics from the marine environment with innovative host-guest relationships.**

## 注目キーワード

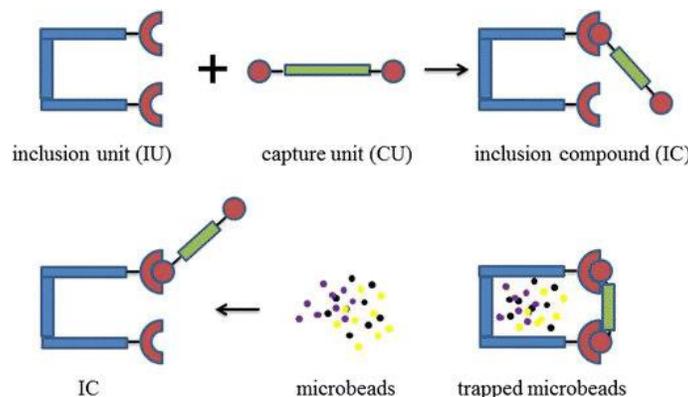
**Microplastics, Green chemistry; Hybrid silica gel, Microbeads, Self-organised organosilanes; Sol-gel process; Sustainable development; Water pollution**

## 技術概要



図D-4(左) Structural formulas of PP, PE and PET

図D-5(右) Capture mechanism of hydrophobic anthropogenic stressors



## (研究されている技術の概要)

- マリンデブリ等の水中マイクロプラスチック除去に向け、革新的な無機-有機ハイブリッドシリカゲルを適用、費用対効果が高く、簡単なアプローチを提供する
- ゾル-ゲルプロセスにより、バイオインスパイアードシラン化合物を高分子化し、疎水性の人為的ストレス要因を持続的に除去するために、固定化およびフィルター材料としての特性を調べているところである

# 中国・ハルビン工程大学は、光触媒作用と自己再生機能で防汚効果を示す環境低負荷なコーティング材料を開発、海洋工学等への応用をめざしている

光触媒で汚染分解、【自己再生】で触媒賦活→【メンテナンスフリーなインフラ構築】

バイオ事例:⑥

光触媒・自己再生機能を持つ  
防汚コーティング材料  
→海洋工学等での環境負荷低減

## 論文情報 PP-06

研究機関(所属国)	Harbin Engineering University(中国)
著書	Linlin Zhang; Fan Song; Rongrong Chen; Qi Liu; Jingyuan Liu; Jing Yu; Hongsen Zhang; Jizhou Duan; Jun Wang
掲載雑誌	Catalysis Science & Technology
掲載年	2021
DOI	<a href="https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/cy/d0cy01761b">https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/cy/d0cy01761b</a>

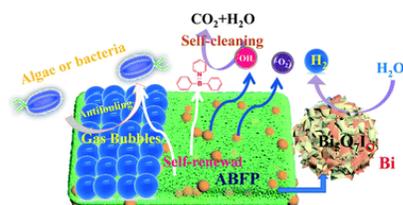
## 論文タイトル

**Construction of Bi/Bi507I anchored on a polymer with boosted interfacial charge transfer for biofouling resistance and photocatalytic H<sub>2</sub> evolution**

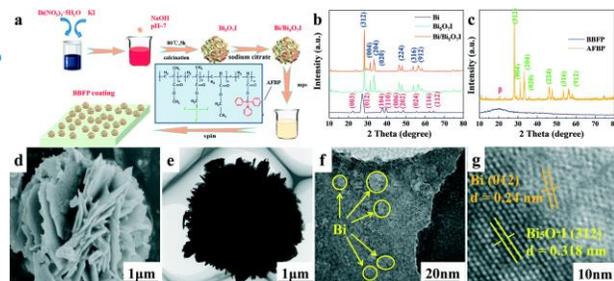
## 注目キーワード

**biofouling, self-cleaning, photocatalytic, flower-like structure, SPR, piezoelectric**

## 技術概要



図D-6 メカニズム図



図D-7 コンセプト図

## (研究されている技術の概要)

- Bi/花状構造Bi507I/アクリル酸フルオロボロンポリマー(AFBP)を新材料BBFP複合体として作製
- Bi/Bi507Iフラワー系はAFBPの表面と内部に均一に分布、界面電荷移動を促進、BBFPコンポジットの空間電荷分離は、光触媒によるH<sub>2</sub>発生量(835μmol h<sup>-1</sup> g<sup>-1</sup>)を著しく高め、Bi507Iの8.26倍となった
- ニッツキア・クロステリウム(Anabaena)の規則的な成長速度とTOC除去効率の高さから、複合コーティングの非生物的毒性およびセルフクリーニング機能が証明された。優れた珪藻の沈降防止性能を示したが、これは自己再生過程と水素発生により、基材表面と汚濁生物の間にガスバリアーが形成されたためであると考えられる
- AFBPの自己再生した表面を徐々に剥がすことで、外部の機械的な擾乱を受けずに圧電効果を発揮することができる。同様に、電気化学的水素製造による防汚方法と比較して、複合コーティングは余分なエネルギーを消費することなく優れた防汚性能を発揮することができ、将来的に海洋工学への応用の可能性を提供する

# カリフォルニア大学リバーサイド校では、植物の生産性向上やバイオマテリアル開発をめざし、葉緑体機能を制御する合成生物学的研究に取り組んでいる

ナノテク・合成生物学による【葉緑体】機能の人工制御→【BECCS】

バイオ事例:⑦

【towards 2050】

葉緑体機能の制御  
→植物生産やバイオ材料生産の向上  
→持続可能技術の開発拡大

## 論文情報 PP-07

研究機関(所属国)	University of California, Riverside (米国)
著書	Gregory Michael Newkirk; Pedro de Allende; Robert E. Jinkerson; Juan Pablo Giraldo
掲載雑誌	Frontiers in plant science
掲載年	2021
DOI	<a href="https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.691295/full">https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.691295/full</a>

## 論文タイトル

Nanotechnology Approaches for Chloroplast Biotechnology Advancements

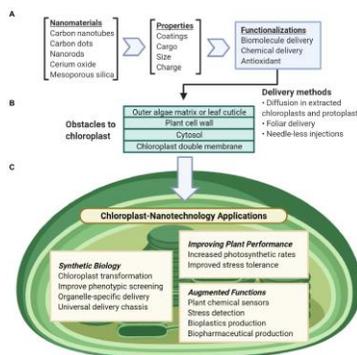
## 注目キーワード

chloroplast, bioengineering, nano-enabled agriculture, nanosensor, plant nanobiotechnology, targeted delivery

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- ナノテクノロジーによる葉緑体バイオテクノロジーの高度化
- 光合成生物は、持続可能な食料、再生可能なバイオ燃料、新規バイオ医薬品、次世代バイオマテリアルなど、現代社会に不可欠な物質の供給源。ナノテクノロジーは、葉緑体への化学物質や遺伝子の標的送達、葉緑体生体分子のナノセンサー、葉緑体の性能を向上させるナノ治療法などの進歩を可能にしている。ナノテクノロジーによるDNAの葉緑体への導入は、導入遺伝子や合成されたDNAライブラリーを様々な光合成種に導入することを可能にし、葉緑体合成生物学を革新する可能性
- ナノテクノロジーと合成生物学のアプローチにより、分離した葉緑体を工学的に処理することで、豊富なCO2と水資源を利用して自己修復し、再生可能な太陽光エネルギーを動力源とする新世代の植物由来のバイオマテリアルが生み出す。
- 合成生物学とナノテクノロジーの融合による葉緑体バイオテクノロジーの今後の研究により、多様な植物種の葉緑体機能を in vivo および ex vivo で正確に制御・モニタリングするツールが生み出され、植物の生産性の向上と広く利用可能な持続可能技術への転換が可能になると期待される



図D-8 研究概念図

# スイス連邦工科大ローザンヌ校では、光合成酵素RuBisCOを模倣し、室温でCO<sub>2</sub>を吸着する2次元ナノ構造体を開発、生物模倣的な脱炭素戦略を提案している

ナノテク・合成生物学による【葉緑体】のソフトデバイス化→バイオニック【DACCS】

バイオ事例:⑧

【towards 2050】

光合成酵素模倣→CO<sub>2</sub>吸着

## 論文情報 PP-08

研究機関(所属国)	École Polytechnique Fédérale de Lausanne(スイス)
著者	Daniel E. Hurtado Salinas; Ane Sarasola; Bart Stel; F. P. Cometto; Klaus Kern; Andrés Arnau; Magalí Lingenfelder
掲載雑誌	ACS omega
掲載年	2019
DOI	<a href="https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsomega.9b00762">https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsomega.9b00762</a>

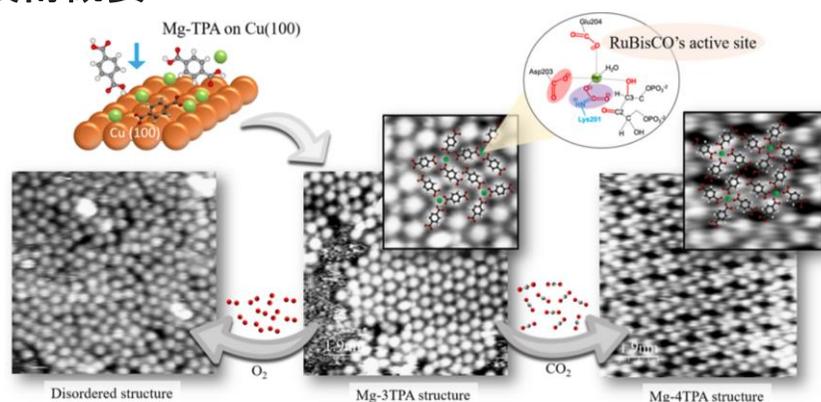
## 論文タイトル

Reactivity of Bioinspired Magnesium-Organic networks under CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> exposure

## 注目キーワード

RuBisCO, self-cleaning, photosynthesis, nanostructure, CO<sub>2</sub> adsorption

## 技術概要



図D-9 コンセプト図

## (研究されている技術の概要)

- 光合成はエネルギー変換のモデルシステムである。サイクルの最初の段階は、CO<sub>2</sub>の固定化と活性化であり、地球上で最も豊富なタンパク質であるRuBisCO酵素に触媒される
- 本研究は、Mg-カルボキシレート型RuBisCO活性部位を還元的に模倣することにより、室温でCO<sub>2</sub>を吸着する新しいバイオミメティック2次元(2D)ナノ構造体を開発する戦略を提案する
- カルボキシレート環境で安定化したMg<sup>2+</sup>中心に基づく2次元表面支持系を合成し、その構造ダイナミクスとCO<sub>2</sub>またはO<sub>2</sub>曝露による反応性を室温で追跡する方法を提示する。
- CO<sub>2</sub>分子は一時的にMg<sup>2+</sup>中心に吸着して電荷の不均衡を生じさせ、異なる配置への相転移を触媒する
- O<sub>2</sub>はMg<sup>2+</sup>中心に吸着し、金属-有機結合に歪みを生じさせ、相転移を触媒する

# Beihang University(北京航空航天大学)は、多孔質材料をメモrista素子に用いた人工シナプスを開発、脳模倣コンピュータやAIへの展開をめざしている

【ナノポーラス】材料を用いた脳シナプス模倣のメモリシステム→【ニューロモルフィック・コンピュータ/AI】

バイオ事例:⑨

【towards 2050】

ナノポーラス→人工シナプス

## 論文情報 PP-09

研究機関(所属国)	Beihang University(中国)
著者	Qin Gao; Anping Huang; Jing Zhang; Yuhang Ji; Jingjing Zhang; Chen Xueliang; Geng Xueli; Qi Hu; Mei Wang; Zhisong Xiao; Paul K. Chu
掲載雑誌	NPG Asia Materials
掲載年	2021
DOI	<a href="https://www.nature.com/articles/s41427-020-00274-9.pdf">https://www.nature.com/articles/s41427-020-00274-9.pdf</a>

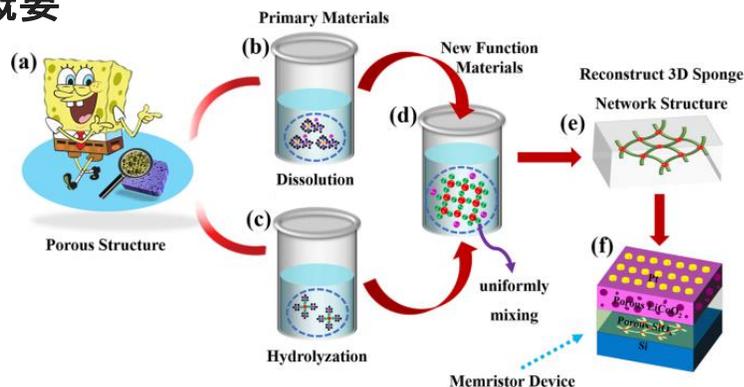
## 論文タイトル

Artificial synapses with a sponge-like double-layer porous oxide memristor

## 注目キーワード

artificial synapse, nanoporous, neuromorphic, presynaptic, postsynaptic

## 技術概要



図D-10 研究概念図

## (研究されている技術の概要)

- シナプス機能のシミュレーションのために、ナノポーラス二層構造を採用したメモrista(電荷通過を記憶する受動素子)による人工シナプスは、白金/多孔質LiCoO<sub>2</sub>/多孔質SiO<sub>2</sub>/Siのスポンジ状二層多孔質(SLDLP)酸化物スタックをシナプス前膜およびシナプス後膜として設計。
- このバイオニック構造は、安定性試験において108までの高いON-OFF比を示し、0.5Vという小さな読み出し電圧にもかかわらず105秒間のデータ保持が可能であった。
- このデバイスでは、非線形伝送特性、スパイクタイミングに依存した可塑性、学習・経験行動などの典型的なシナプス機能が同時に実現。多孔質スポンジにおける水分子の流体力学的輸送機構と水の貯蔵原理に基づいて、このデバイスのシナプス挙動を考察している。

# École Normale Supérieure (パリ高等師範学校)は、脳模倣により、フォン・ノイマン型に代わるエネルギー効率の高いイオンベースの計算実現をめざしている

【ナノ流体】電解質を用いた脳シナプス模倣→【ニューロモルフィック・コンピュータ/AI】

バイオ事例:⑩

【towards 2050】

2次元電解質→神経伝達模倣

## 論文情報 PP-10

研究機関(所属国)	École Normale Supérieure (フランス)
著者	Paul Robin; Nikita Kavokine; Lydéric Bocquet
掲載雑誌	arXiv: Soft Condensed Matter
掲載年	2021
DOI	<a href="https://arxiv.org/pdf/2105.07904.pdf">https://arxiv.org/pdf/2105.07904.pdf</a>

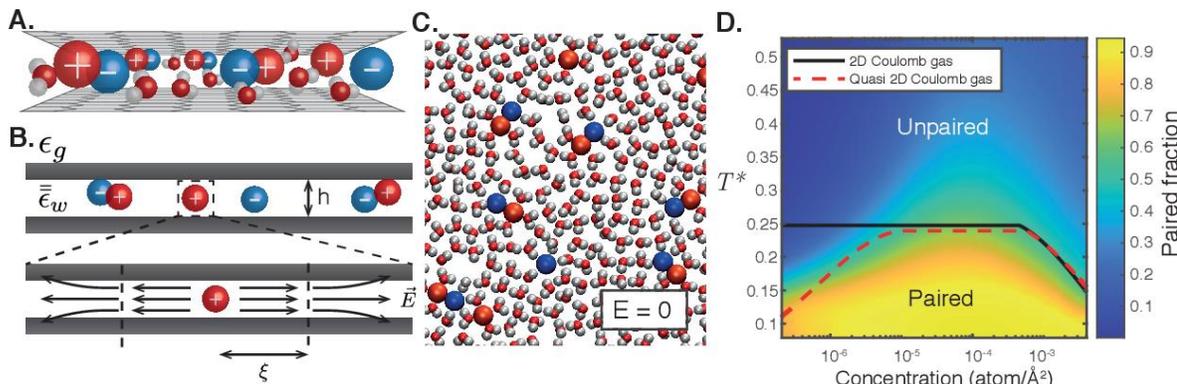
## 論文タイトル

Principles of Hodgkin-Huxley iontronics with two-dimensional nanofluidic memristors

## 注目キーワード

neuromorphic, nanofluidics, ion-based computation, subnanometric slit, Hodgkin-Huxley neuron model

## 技術概要



図D-11 コンセプト図

## (研究されている技術の概要)

- 2次元ナノ流体メモリスターによるホジキンハクスリーイオンロニクスの実現。フォン・ノイマン型に代わるエネルギー効率の高いイオンベースの計算実現。サブナノスリットに閉じ込められた2次元電解質は電場下では、イオンはミセル状のクラスターに集合し、伝導性がもたらされ、神経細胞モデルを、生体模倣ナノ流体回路で再現、特徴的な電圧スパイクの自発的な放出が確認された。イオンは様々な大きさ、化学的性質を持つため、電子よりも汎用性が高い。特に、イオン系は、多くの異なる化学種のフラックスを通じて情報を符号化できるため、省エネルギーに不可欠な並列計算手法の実装に最も適している。実験的に利用可能な分子チャネルをイオンの導管として組み込み、高度な機能を持つ人工イオンロニクスデバイスを発明・設計

# 上海師範大学では、サンゴ様多孔構造の高光収率光電極を用いて発電と汚染物質の分解が同時に行える光触媒燃料電池を開発している

天然【ナノポーラス】構造模倣による光電極の集光力向上と燃料電池応用→【エネルギー効率向上・脱炭素加速】

バイオ事例:⑪

高性能化によるライフの延長

## 論文情報 PP-11

研究機関(所属国)	Shanghai Normal University(中国)
著者	Donglai Pan et al.
掲載雑誌	Environmental Science & Technology
掲載年	2019
DOI	<a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30816704/">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30816704/</a>

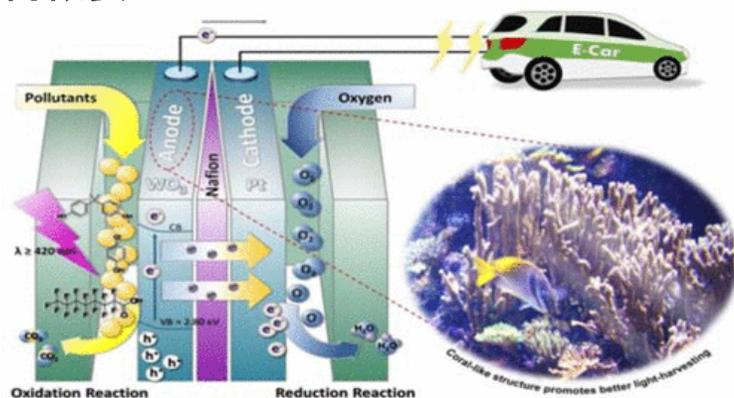
## 論文タイトル

**Efficient Photocatalytic Fuel Cell via Simultaneous Visible-Photoelectrocatalytic Degradation and Electricity Generation on a Porous Coral-like WO<sub>3</sub>/W Photoelectrode.**

注目キーワード

photocatalytic, fuel cell, photoelectrocatalytic, electricity generation, porous, coral-like, photoelectrode

## 技術概要



図D-12 コンセプト図

## (研究されている技術の概要)

- 多孔質サンゴ状WO<sub>3</sub>/W光電極における可視光分解と発電の同時進行による効率的な光触媒燃料電池
- 光触媒燃料電池(PFC)は、環境・エネルギー問題の解決に向けて、発電と汚染物質の分解に有効
- エネルギーバンド構造を工夫した多孔質サンゴ状WO<sub>3</sub>/W(PCW)光電極を用いて、難分解性有機汚染物質(POPs)の光電触媒分解と発電を同時に行うことに成功
- バイオニックポーラスサンゴ状ナノ構造は、PCW光電極の光捕集能力を大幅に向上させた。可視光( $\lambda > 420 \text{ nm}$ )照射下で最大光電流密度(0.31 mA/cm<sup>2</sup>)と高い入射光量変換効率(IPCE)値(420 nmで5.72%)が達成されました。このPCW光電極は、サンゴのような多孔質構造、適切なエネルギーバンド位置、および強い酸化力により、高い光電変換効率を示すことがわかった

# スタンフォード大学では、圧力情報を活動電位に変換する人工感覚神経を作製、点字識別や筋肉作動などの生体電子反射弧の構築に取り組んでいる

【有機エレクトロニクス】による環境情報の電気信号への変換→【人工神経・ニューロロボティクス】

バイオ事例: ⑫

【towards 2050】

人工神経・ニューロロボット

## 論文情報 PP-12

研究機関(所属国)	Stanford University (米国)
著者	Yeongin Kim et al.
掲載雑誌	Stanford University
掲載年	2018
DOI	<a href="http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29853682">http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29853682</a>

## 論文タイトル

A bioinspired flexible organic artificial afferent nerve.

## 注目キーワード

neurorobotics, neuroprosthetics, somatosensory, oscillator

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- バイオインスパイアードによる柔軟な有機人工求心性神経
- 体性感覚系の受容体、ニューロン、シナプスの分散型ネットワークは、複雑な触覚情報を効率的に処理。フレキシブルな有機エレクトロニクスを用いて、感覚神経の機能を模倣した。この人工求心性神経は、圧力センサーのクラスタから圧力情報(1~80キロパスカル)を収集し、リングオシレーターを用いて圧力情報を活動電位(0~100ヘルツ)に変換し、複数のリングオシレーターからの活動電位をシナプストランジスタで積分
- バイオミメティックな階層構造により、物体の動きを検出し、同時に入力される圧力を合成し、点字を識別でき、人工求心性神経を運動神経に接続し、筋肉を作動させるハイブリッド生体電子反射弧を構築。本システムは、ニューロロボティクスやニューロステティクス(神経補綴学)の分野への応用が期待される

# ニース・ソフィア・アンティポリス大学は、自動車用室内環境向け自己洗浄機能を持った超撥水性表面技術開発に取り組んでいる

【自己洗浄】機能の日常化→生活空間・都市等の【メンテナンスフリーなインフラ構築】

バイオ事例: ⑬

環境負荷低減

## グラント情報 GT-01

研究機関 (所属国)	Université Nice Sophia Antipolis (フランス)
グラント種別 (国)	ANR (フランス)
代表研究者	Monsieur Frédéric Guittard
配分額	534.633 (千ドル)
Webサイト	<a href="https://anr.fr/Project-ANR-18-CE22-0018">https://anr.fr/Project-ANR-18-CE22-0018</a>

## 研究タイトル

BioInspired Oleophobic Self-Cleaning surfaces for Automotive indoor environment – BIOSCA

## 注目キーワード

bioinspired, oleophobic, automotive, car interior, functionalization, honeycomb film, hexagonal array, breath figure, self-assembly, superhydrophobic, superoleophobic, anti-fouling, self-cleaning

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- セイタカクチマガリのような天然生物資源から得た超疎水性表面の質感と組成の生物学的モデルに基づく
- このプロジェクトでは、1) ポリマー表面のナノ・マイクロレベルでの調製と構造化、2) 低表面エネルギーを実現するための化学的機能化、3) 自動車内装材サンプルでの性能評価とプロセス工業化、を組み合わせる

### (研究成果や今後の方向性)

- 防汚・セルフクリーニング処理に関心のある自動車内装部品を選択
- 経年劣化後の耐久性を含むプロセスの性能を検証し定量化する一連の標準試験を受ける

# UCL:ロンドン大学は、自己修復型有機半導体を開発、ウェアラブル有機発光ダイオード(OLED)・織物一体型有機薄膜太陽電池(OPV)等への応用に期待

ウェアラブル材料の【自己修復】化→製品の長寿命化による【廃棄低減】

バイオ事例:⑭

傷がつきにくく、自己修復するので  
ライフの延長

## グラント情報 GT-02

研究機関 (所属国)	University College London (英国)
グラント種別 (国)	UKRI (英国)
代表研究者	Bob Camille Schroeder
配分額	1,570,942 (千ドル)
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=MR/S031952/1">https://gtr.ukri.org/projects?ref=MR/S031952/1</a>

## 研究タイトル

Self-healing organic semiconductors for bionic skin

## 注目キーワード

self-healing, organic semiconductor, bionic, degradation, maintenance redundant, wearable, bio-inspired, robotics, organic light emitting diode (oled)  
textile integrated organic photovoltaics (opv)

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 自己修復性有機半導体を合成し、柔軟で伸縮自在なウェアラブル電子デバイスに組み込むことが初めて可能になり、生体代謝物の測定が可能
- 電荷は共役系高分子骨格を介して輸送、超分子機能(非結合性相互作用)を化学構造に組み込むことで、動的結合の形成による自己修復を可能にする

### (研究成果や今後の方向性)

- 本研究を他の動的結合を持つ官能基に拡張し、どの化学物質が有機半導体に最も適しているかを評価する予定
- 自己修復のダイナミクスや速度、新しい材料をフレキシブルな電子プロトタイプデバイスに組み込むことにも焦点を当てる予定

# 九州大学は、3D座標(x, y, z)に磁場制御による材料物性の配向( $\theta$ , $\varphi$ )を加えた5Dプリンタを開発、磁場駆動型アクチュエータなどを作製している

【5D】分子配向プリント→マイクロプラスチック回収クローラーなど複雑な動き実現で【廃棄物削減】

【towards 2050】

バイオ事例: ⑮

環境負荷低減

## グラント情報 GT-03

研究機関(所属国)	九州大学(日本)
グラント種別(国)	KAKEN(日本)
代表研究者	准教授 津守 不二夫
配分額	57.971(千ドル) = 650万円
研究期間	2017~2019
Webサイト	<a href="https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-17K18830">https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-17K18830</a>

## 研究タイトル

5Dプリンタの開発と応用 | Development and Application of 5D-printer

## 注目キーワード

5d printer, orientation, magnetic field, bio-mimetic artificial cilia, metachronal wave, uv-laser, scanning mirror, dispenser

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- ガルバノスキャナを備えたuvレーザー光源により樹脂を硬化するタイプと、細いノズルから材料を吐出しながら積層造形を行うディスペンサタイプの2タイプの装置を完成。吐出された樹脂内に磁性粒子鎖構造を配置することを確認
- 磁性粒子分散型アクチュエータとして、磁場駆動型ピンセットおよび、生体模倣構造として人工繊毛構造を作製
- 人工繊毛をアレイ状に出力する際、一本一本に磁気異方性を付与することにより、それぞれの動きが異なる構造を出力、実際に自然界にて観察されるメタクロナル波を再現することが可能となった

### (研究成果や今後の方向性)

- 今後、さらに精細かつ複雑な構造および動きを実現する必要がある

# MITは、太陽光と二酸化炭素で成長する植物のような新規合成材料の開発をめざし、必要な化学反応の詳細な反応モデルを構築している

葉緑体をハイドロゲルに埋込んだ【人工細胞】を作製→【石油製品に替わる持続可能なバイオニック材料】

バイオ事例: ⑩

【towards 2050】

環境負荷低減  
ゼロエミッションモノづくりの可能性

## グラント情報 GT-04

研究機関 (所属国)	Massachusetts Institute of Technology (米国)
グラント種別 (国)	DOE (米国)
代表研究者	Strano, Michael
配分額	2,548.5 (千ドル)
研究期間	2018～2021
Webサイト	—

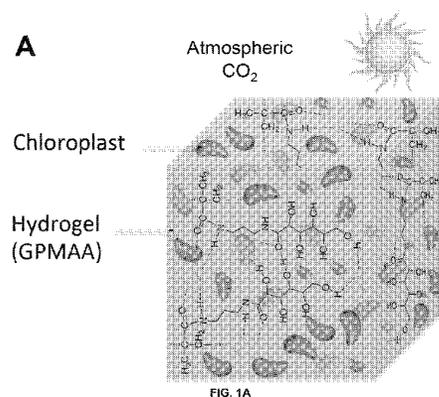
## 研究タイトル

Materials Exhibiting Biomimetic Carbon Fixation and Self-Repair: Theory and Experiment

## 注目キーワード

biomimetic carbon fixation, self-repair, carbon dioxide, atmospheric,

## 技術概要



図D-13 コンセプト図

### (研究されている技術の概要)

- 化学反応の詳細な反応モデルを構築し、拡散計算と組み合わせて、このような系のダイナミクスを数学的に記述
- 抽出した植物の葉緑体を炭素固定源とするモデル系として有用な系で、現在プロトタイプ of 材料を開発している
- 材料の挙動と数学モデルを比較することで、材料が時間とともにどのように進化していくか、また成長速度にどの程度の限界があるかについて理解を深める

### (研究成果や今後の方向性)

- 再生コーティングや複合材料としてより広い応用が期待される

# ジュネーブ大学は、昆虫の複眼にみられる自己組織化ナノコーティング現象を、生分解性材料により人工的に再現、環境低負荷な材料技術を提案

【ナノコーティング】技術のバイオニック化→【機能性材料の環境低負荷な生産】

バイオ事例: ⑰

生物ナノ構造模倣  
→環境低負荷高機能性材料

## グラント情報 GT-05

研究機関 (所属国)	Université de Genève (スイス)
グラント種別 (国)	SNF (スイス)
代表研究者	Katanaev Vladimir
配分額	746.4 (千ドル)
研究期間	2020～2024
Webサイト	<a href="http://p3.snf.ch/project-192527">http://p3.snf.ch/project-192527</a>

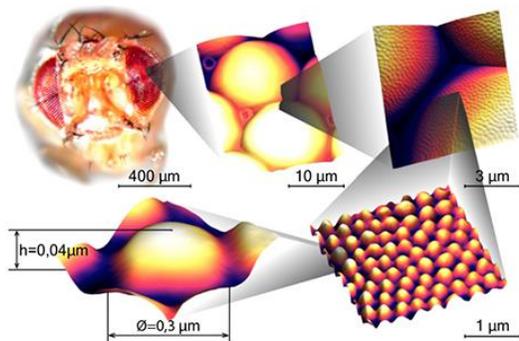
## 研究タイトル

Insect retinin-like proteins in multifunctional self-assembled surface nanocoatings

## 注目キーワード

insect, self-assembled, nanocoating, retinin

## 技術概要



図D-14 昆虫の複眼の構造

### (研究されている技術の概要)

- 昆虫レチニン様タンパク質からヒントを得たバイオミメティック・ナノコーティングとその応用
- ナノコーティングは、厚さが数ナノメートル以下の微小な層で、太陽エネルギーから医療用インプラントまで、さまざまな産業に応用されている新しい研究分野。本研究では、バイオミメティックな代替品を開発するために、天然のナノコーティングの研究を行い、ハエの目にナノコーティングの構成要素を発見、人工表面上に再構築することに成功
- ハエだけでなく、他の昆虫のナノコーティング形成のメカニズムをより深く理解することを目的。遺伝学、生化学、工学の複合的なアプローチにより、このナノコーティングが具体的にどのような機能を持ち、目以外のどの臓器に存在し、どのような分子構造をしているかを評価、自然からヒントを得たナノテクノロジー応用の開発に有望な道を切り開く

# ノーステキサス大学は、ヤモリの足裏や甲虫の前翅に見られるナノ構造に倣った電氣的にon-off可能なグラフェンベースの機能性材料開発に取り組んでいる

【ナノコーティング】技術のバイオニック化→粘着性・自己洗浄性など【機能性材料の環境低負荷な生産】

バイオ事例: ⑱

生物ナノ構造模倣  
→環境低負荷高機能性材料

## グラント情報 GT-06

研究機関 (所属国)	University of North Texas (米国)
グラント種別 (国)	NSF (米国)
代表研究者	Zhenhai Xia
配分額	398.3 (千ドル)
研究期間	2017～2021
Webサイト	<a href="https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1662288">https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1662288</a>

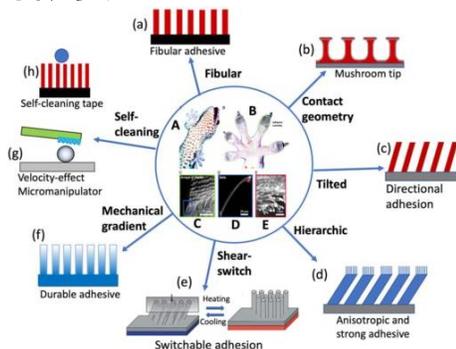
## 研究タイトル

Electromechanics of Bioinspired Switchable-Surface Nanocomposites

## 注目キーワード

switchable-surface, nanocomposite, gecko (ヤモリ), tunable, adhesion, self-cleaning, wrinkle, graphene-based nanocomposite

## 技術概要



図D-15 研究概念図

## (研究されている技術の概要)

- 表面切替型ナノコンポジットのエレクトロメカニクス: ヤモリは埃の多い壁を走るとき、足の粘着力を素早くオン・オフして汚れないようにしたり、砂漠のカブトムシは前翅で霧から飲み水を集めたりすることができる。自然界の表面を模倣することで、多くの用途に向けたユニークな機能を持つ新規材料が生まれる可能性。セルフクリーニング、センシング、ナノテク、極乾燥地域での集水などに有用な、次世代の人工材料を開発するための技術基盤が期待
- ヤモリの足裏や甲虫の前翅に見られる生物学的構造のユニークな特徴を模倣して、粘着性とセルフクリーニング機能を調整できる新しい生物模倣型しわグラフェンベースのナノコンポジットが作製される予定。マルチスケール原子・マイクロメカニクスモデリングにより、実験結果を解釈し、生体模倣の特徴をどのようにスイッチング能力、セルフクリーニング能力、放出制御能力の強化につなげるかを検討する

# ケンブリッジ大学は、人工集光材料と非光合成細菌とを組合せたバイオハイブリッドにより、燃料合成など、持続可能な太陽光駆動の化学変換をめざしている

人工材料と微生物の【バイオハイブリッド】で光合成を模倣→【燃料等の環境低負荷生産（BECCS）】

バイオ事例：⑱

【towards 2050】

バイオハイブリッド→  
持続可能な化学合成戦略

## グラント情報 GT-07

研究機関 (所属国)	University of Cambridge (英国)
グラント種別 (国)	UKRI (英国)
代表研究者	Erwin Reisner
配分額	473.062 (千ドル)
研究期間	2019～2022
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=BB/S00159X/1">https://gtr.ukri.org/projects?ref=BB/S00159X/1</a>

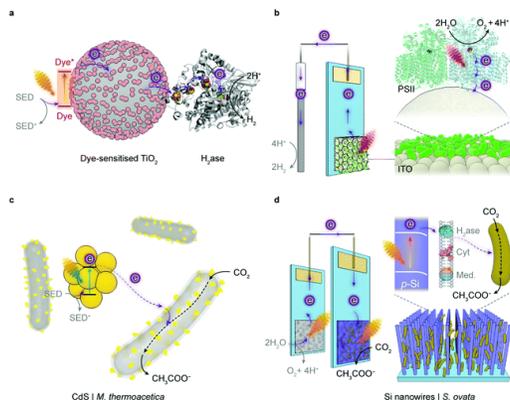
## 研究タイトル

Biohybrids for Solar Chemicals and Fuels: Whole-cell Photocatalysis by Non-photosynthetic Organisms

## 注目キーワード

biohybrid, fuel, solar, photocatalysis,

## 技術概要



図D-16  
Representative semi-artificial photosynthesis systems  
Chem. Soc. Rev., 2020, 49, 4926-4952

## (研究されている技術の概要)

- 光合成は、自立した再生可能なモデルだが、光捕集システムは太陽スペクトルの極一部しか吸収しないのに対して、ソーラーパネルの合成集光材料は堅牢であり、さらに「虹色吸収体」はより多くの太陽光スペクトルを利用することができる
- 本研究では、堅牢な合成集光材料と非光合成細菌とを組合せ、強力かつ持続可能な化学変換を実現することを目指す。このバイオハイブリッドは、2種類の燃料を同時に生産するが、副産物がなく、自然の光合成を模倣する
- 太陽光エネルギーによって、電子がバクテリア内の酵素触媒とバクテリア外の合成触媒の間を移動し、バクテリア内のある燃料とバクテリア外の別の燃料の生産を統合する

# 群馬大学は、マリンデブリ解消のために海底への沈降をトリガーに分解開始する時限生分解性ポリマー開発をめざす

環境トリガーによる【時限生分解性】ポリマー → マイクロプラスチック拡散抑制と【マリンデブリ解消・廃棄物削減】

バイオ事例: ⑳

生分解性ポリマーの分解時間制御

## グラント情報 GT-08

研究機関 (所属国)	群馬大学 (日本)
グラント種別 (国)	KAKEN (日本)
代表研究者	粕谷 健一
配分額	16,770 (千円)
研究期間	2019～2024
Webサイト	<a href="https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-19H04311/">https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-19H04311/</a>

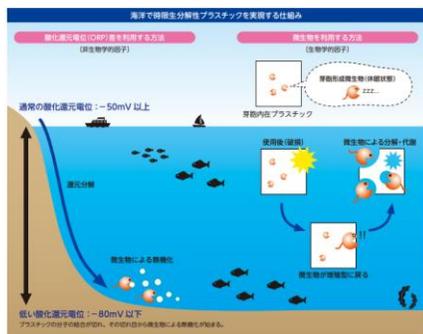
## 研究タイトル

海洋環境中での高分子完全有機リサイクルを実現する時限生分解性高分子の開発

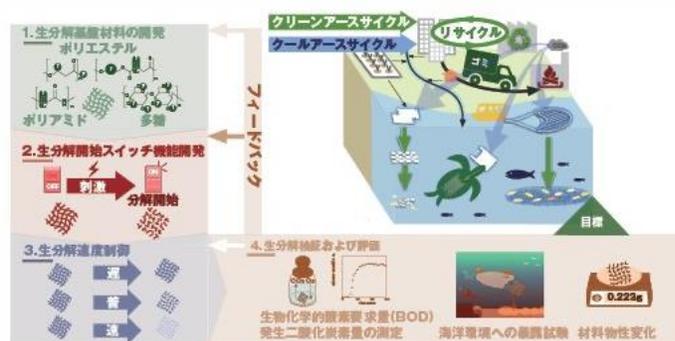
## 注目キーワード

biodegradation, marine debris, trigger, switch, ORP (oxidation-reduction potential)

## 技術概要



図D-17 海洋で時限生分解性プラスチックを実現する仕組み



図D-18 研究概念図

## (研究されている技術の概要)

- 生分解性高分子の実用性を高めるため、海洋環境において分解開始時期および分解速度が完全に制御された「時限生分解性高分子、TBP: Timing biodegradable plastics」創出を目指す。
- 本研究課題では「潜在的生分解性高分子、PBP: Potentially biodegradable plastics」を基盤材料として、分解開始時期制御トリガーシステムを利用し、材料の分解開始時期制御の実現を目指す。
- トリガーには非生物学的因子の酸化還元電位 (地上: -50mV以上, 海底: -80mV以下) と生物学的因子の微生物が用いられる。

# ロンドン大学は、生命の起源におけるエネルギーの流れを模したマイクロ流体系を用いた実験系でCO2からの合成エネルギー開発の可能性を提唱している

原子細胞系における【バイオエネルギー】→流体セルによる【バイオエネルギー生成】

【towards 2050】

バイオ事例: ②

バイオエネルギーを模した  
合成エネルギー開発

## グラント情報 GT-09

研究機関 (所属国)	University College London (英国)
グラント種別 (国)	UKRI (英国)
代表研究者	Finn Werner
配分額	3095.920 (千ドル)
研究期間	2020～2025
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=BB/V003542/1/">https://gtr.ukri.org/projects?ref=BB/V003542/1/</a>

## 研究タイトル

Origins of Biology: How energy flow structures metabolism and heredity at the origin of life

## 注目キーワード

protocell, metabolism, genetic, prebiotic, energy flow

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 生物学の起源: 生命の起源において、エネルギーの流れは代謝と遺伝をどのように構造化するか
- 膜を通過するプロトンの流れが、二酸化炭素と水素の反応を促進し、細胞のすべての構成要素を作るために使われる炭素「骨格」を形成することができるという包括的な仮説を立て、構造化された環境を通るエネルギーの流れによって活発に成長する原細胞の文脈で、その謎めいた起源を最もよく理解することができる、と提唱。(1) 成長の原動力を理解する、(2) 生物学を原始代謝のガイドとして利用する、(3) 原始細胞における遺伝暗号の起源を解明する
- この助成金では、厳密に無機的であるが構造化された環境(熱水系の無機的障壁を越えた地質学的に持続するプロトン勾配など)から、遺伝の初歩的形態を持つ単純なプロトセルの形成、そして最後にプロトセルにおける真の遺伝の出現に至るステップを厳密にモデル化する。
- バイオミメティックなエネルギーフローを利用して二酸化炭素を有機分子として固定すれば、合成ガソリンを生産するための炭素回収が容易になり、エネルギー安全保障のためのゼロエミッションの解決策となる可能性

# MITは、高分子の一次配列に材料の立体構造をエンコードし、生物のような複雑で高度な構造と機能を持ったソフトマテリアルの分子設計をめざしている

高分子の一次配列【高次構造のエンコード】→ソフトマテリアルの【バイオニックな分子設計】

バイオ事例: ②

【towards 2050】

環境負荷低減  
リサイクルしやすい

## グラント情報 GT-10

研究機関 (所属国)	Massachusetts Institute of Technology (米国)
グラント種別 (国)	DOE (米国)
代表研究者	Olsen, Bradley
配分額	2910 (千ドル)
研究期間	2020～2023
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=BB/T009314/1">https://gtr.ukri.org/projects?ref=BB/T009314/1</a>

## 研究タイトル

Encoding Material Structure Into the Primary Sequence of Polymers

## 注目キーワード

encoding, sequence, polymers, equilibrium

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- ソフトマテリアルの高分子の一次配列に材料構造を書き込むことで、原子の配置をコード化する分子を化学で設計すること
- s はポリマー鎖の骨格に沿った経路長変数、f は疎水性、極性、特定の水素結合基の存在、電荷、芳香族など、鎖の長さに沿った関連特性のベクトルで、ステップ関数はジブロックコポリマーを特徴付け、単調に増加または減少する曲線はグラデーションコポリマーまたはテーパコポリマーを特徴付ける
- 鎖の特性(疎水性など)をコードするモノマーを水溶液中の共溶媒濃度および塩濃度の関数として研究し、鎖の配列を設計するためのグループ貢献の基礎を提供。次に、高分子鎖の配列の関数として形成されるナノ構造のタイプを予測する逆設計戦略を開発し、このシミュレーションを使用して、これまでに報告されていない高分子ナノ構造をコードする鎖配列を設計する。次に、これらの予測配列をコードするエルプスを合成し、自己集合と加工経路を探索し、合理的設計プロセスによってこれらの新しいナノ構造を実現することを目指している。最後に、高分子鎖の熱力学的空間の次元を効果的に拡張できるような特異的な相互作用を付加し、運動学的障壁を回避して非平衡構造形成を精緻に制御できるような加工経路を作り出す。特に、可逆的鎖再構成の形態として、局所運動停止と高分子折りたたみの二つの方法を開発する予定である

# 日立化成は、応力が加わったときに可逆的に色調が変化する構造色可変弾性粉体や、構造色可変シート・ポリマ粒子を開発している

【構造色】による劣化アラート→【廃棄時期最適化・リサイクルマネジメント】

バイオ事例: ⑳

環境負荷低減  
故障早期発見でライフの延長

## ① バイオミメティクス・天然由来素材領域の研究開発事例

### 特許情報 PT-01

出願人	日立化成株式会社
所属国	日本
発明者	渡邊優, 山岸恭子
公報番号	JP2020090578A・JP2020089999A
出願日	2018-12-04

### 特許タイトル

JP2020090578A: 構造色可変弾性粉体  
JP2020089999A: 構造色可変シート、その製造方法及び構造色可変シートに用いられるポリマ粒子

### 注目キーワード

structural color-variable elastic powder, tone-changing material, polymer particle

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 色調変化型材料に応力が加えられると有効に作動し、応力を除去すると色調の変化が不可逆的でなく可逆的に構造色に変化し可視光の変化で容易に認識することができる構造色可変弾性粉体を提供する
- 架橋ポリスチレン粒子の表面の少なくとも一部に(A)メタアクリルポリマ層を有し、更に、前記(A)表面の少なくとも一部に前記(A)とは異なる(B)(メタ)アクリルポリマ層とが設けられた粉体であり、ブラッグ反射領域を有し、圧力によりブラッグ反射領域が変化する平均粒径が5～500nmである構造色可変弾性粉体
- 色調変化型材料に応力が加えられると有効に作動し、応力を除去すると色調の変化が不可逆的でなく可逆的に構造色に変化し可視光の変化で容易に認識することができる新材料を提供する
- ポリマ粒子の表面の少なくとも一部に、第一のメタアクリルポリマを含む層と、前記第一のメタアクリルポリマとは異なる、第二の(メタ)アクリルポリマとを含む層を有し、第二の(メタ)アクリルポリマは、反応性官能基を有する構造単位を有し、更に、架橋剤により架橋されている構造色可変シート

# 武漢紡織大学は、材料劣化時に自己警告として色変化し、自己修復できるインテリジェントポリエステルエラストマを開発している

【構造色】による劣化アラートと【自己修復】→【廃棄物削減】

バイオ事例: ②④

環境負荷低減  
故障早期発見でライフの延長

## 特許情報 PT-02

出願人	Wuhan Textile University
所属国	中国
発明者	Wang Dong et al.
公報番号	CN109456460B
出願日	2018-11-01

## 特許タイトル

Force-sensitive color-changing self-repairing intelligent polyester elastomer and preparation method thereof,

## 注目キーワード

force-sensitive, color-changing, self-repairing, intelligent polyester, elastomer,

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 感応色変換自己修復型インテリジェントポリエステルエラストマーおよびその調製方法を開示
- 疲労亀裂の進展に耐える機能と自己警告機能を有し、ポリエステルエラストマーの長寿命化、構造部品の損傷による事故リスクの低減に非常に重要であり、広い応用市場を有する新規ポリエステルエラストマーを開発
- 力覚応答性高分子材料は、機械的な力の変化に伴って性能変化を発生させることができるインテリジェント材料であり、特に外力刺激による自己警告材料の調製に重要
- ポリエステルエラストマー高分子鎖にウレイドピリミドン構造とスピロピラン環構造を導入し、ウレイドピリミドン構造の分子構造間で容易に可逆的に四水素結合を形成してポリエステルエラストマー材料の自己修復を実現し、スピロピラン環の破壊により表面に色変化を起こし、色変化によりポリエステルエラストマー材料の応力状態を定性的に判断する。本発明が開示する調製方法は、操作が比較的簡単で、反応時間が短く、後処理が簡単で、収率が比較的高く、調製されたポリエステルエラストマー材料は、耐用年数が比較的長く、外力を検知して予戦することができる

# 神奈川大学は、反応場として付加価値の高いナノシート形状等の特異な形状を有する超分子結晶からなる固体触媒を開発している

得意な形状の【超分子】→分離・分解等【環境低負荷の触媒反応の場】

バイオ事例: ②⑤

環境負荷低減

## 特許情報 PT-03

出願人	神奈川大学
所属国	日本
発明者	金仁華, 松木園裕之
公報番号	JP5936192B2
出願日	2012-10-25

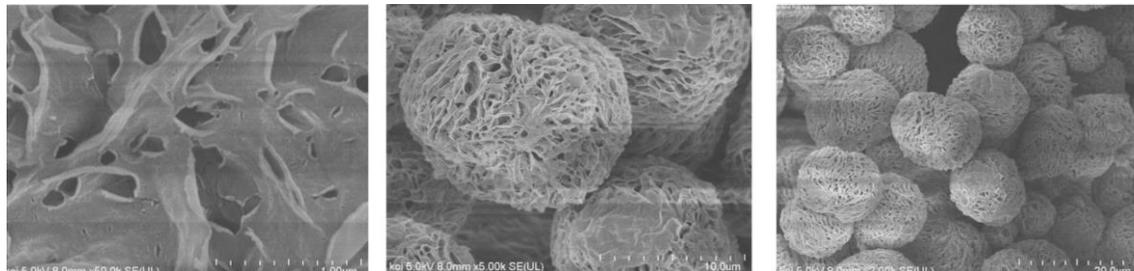
## 特許タイトル

キラル超分子結晶及びそれからなる固体触媒、並びにキラル超分子結晶の製造方法

## 注目キーワード

supramolecular, crystal, chiral, nanosheet, reaction field, supramolecular, polyethyleneimine, saccharic, dicarboxylic

## 技術概要



図D-19 コンセプト図

### (研究されている技術の概要)

- 反応場として付加価値の高いナノシート形状等の特異な形状を有するキラル酸塩基型錯体の超分子結晶及びその製造方法を提供する
- 直鎖型のポリエチレンイミン骨格を有するポリマー; 及びジカルボン酸であり、5個以上の炭素原子を備えるキラルな糖類化合物; を含む酸塩基型錯体のキラル超分子結晶を使用す
- 酸塩基型キラル超分子結晶は、ナノシート形状などの特異な形状を有し、反応場として高い付加価値を有す

# MITは、生体高分子の配列にコード化された情報を、高速に検索する技術やエンコードされた情報ブロックを分解する方法を開発している

生体高分子配列に【エンコード】→データマネジメントの【環境低負荷・廃棄物削減】

バイオ事例: ⑳

【towards 2050】

環境負荷低減  
リサイクルしやすい

## 研究開発事例

### 特許情報 PT-04

出願人	Massachusetts Institute of Technology
所属国	米国
発明者	Ratanalert, Sakul   Veneziano, Remi   Banal, James   Shepherd, Tyson   Bathe, Mark
公報番号	US2020327421A1
出願日	2017-04-27

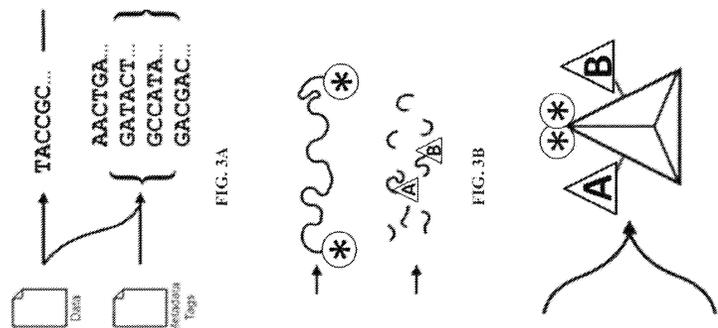
### 特許タイトル

Sequence-controlled polymer random access memory storage

### 注目キーワード

encoded, biopolymer, nucleic acid, polypeptide, nanostructured data, sequence, memory, data-encoded biopolymer, tag, Boolean logic

## 技術概要



図D-20 コンセプト図

### (研究されている技術の概要)

- バーコード付きのナノスケール粒子に形成された配列制御された生体高分子内に符号化された情報を保存し、整理する。コード化されたデータを含む核酸、ポリペプチド、または他の配列制御された高分子などのバイオポリマーは、バーコード化され、個別のメモリブロックとして機能するナノ粒子にカプセル化または折り畳まれる。この方法は、核酸配列などの生体高分子配列によってコード化された情報ブロックの制御された分離を可能にし、ナノ粒子の多重アドレス指定に基づく迅速な検索を可能にするものである
- カプセル化されたバイオポリマーは、情報のブロックの制御された分離を可能にする離散的なメモリ記憶ユニットを形成する

# 錦江祥凱靴材有限公司は、生分解性ポリマーを基材及び難燃剤に用いることで、生分解性かつ難燃性のプラスチックフィルムを開発している

【生分解性】かつ難燃性のポリマー→【環境低負荷・消費エネルギー低減・廃棄物削減】

バイオ事例: ⑳

生分解性ポリマーをベースとする  
生分解性と難燃性が共存するポリマー

## 特許情報 PT-05

出願人	Jinjiang Xiangqian Shoe Material Co Ltd
所属国	中国
発明者	ZHANG KAILI
公報番号	CN111690251A
出願日	2020-06-18

## 特許タイトル

Degradable flame-retardant plastic film and production process thereof

## 注目キーワード

degradable, plastic, flame-retardant, polyurethane, polylactic acid, polybutylene succinate, halloysite nanotube

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 本発明が開示する分解性難燃性プラスチックフィルムは、ポリウレタン樹脂、ポリ乳酸及びポリブチレンサクシネートをフィルム形成マトリックスとして使用するので、生分解性の特性を有する;
- フィルムの原料に高分子マトリックスに難燃剤を均一に分布できるのみならず、ポリウレタン分子鎖と化学結合効果を生ずるので、難燃剤の移動及び移行現象を有効に回避することができる。難燃剤との相乗効果を得るために変性ハロイサイトを採用し、フィルムの難燃性をさらに向上させ、生分解性の特性に基づいて、プラスチックフィルムは優れた難燃性を有している。

# NingBo Feichai Robot Technologyは、農業廃棄物から抽出したヒドロキシメチルセルロースを利用した低コスト・生分解性の光触媒複合膜を開発している

農業廃棄物由来の【セルロース】利用→【環境低負荷・消費エネルギー低減・廃棄物削減】

バイオ事例: ⑳

農業バイオマスのリサイクル→  
低コスト・無毒・生分解性・環境低負荷

## 特許情報 PT-06

出願人	NingBo Feichai Robot Technology Co.,Ltd
所属国	中国
発明者	GAO ZHENGCHUN
公報番号	CN108855211B
出願日	2018-06-07

## 特許タイトル

Environment-friendly biological hydroxymethyl cellulose photocatalytic composite membrane as well as preparation method and application thereof

## 注目キーワード

biodegradability, environment-friendly, cellulose, photocatalytic

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 環境対応型生物由来ヒドロキシメチルセルロース光触媒複合膜およびその調製方法と応用例
- 本発明は、環境に優しい生物由来ヒドロキシメチルセルロース光触媒複合膜、並びにその調製方法及び応用を開示するものであり、光触媒調製及び光触媒環境管理の分野に属する
- 環境に優しい生物由来ヒドロキシメチルセルロース光触媒複合膜の調製方法は、主に以下の工程からなる: 第一に、大麦若葉の超音波補助バイオニック抽出; 第二に、ヒドロキシメチルセルロースの抽出; 第三に、大麦若葉ヒドロキシメチルセルロース膜の調製; 第四に、ヒドロキシメチルセルロース光触媒複合膜の調製。本発明が開示する調製方法によって調製された複合膜は、安全で毒性がなく、生分解性があり、経済的で環境に優しく、低コストであるという長所があり、農業廃棄物としての大麦わらをリサイクルすることにより、経済の循環的發展を実現させる

# 陝西師範大学は、葉緑体と酸化チタンを組合せることで、集光性と酸素放出性を兼ね備えたバイオニック紙用コーティング材を開発している

【葉緑体】と光触媒を混在したコーティング材→【環境低負荷・空気清浄化・長寿命化】

バイオ事例: ②9

環境負荷低減  
リサイクルしやすい

## 特許情報 PT-07

出願人	Shaanxi Normal University
所属国	中国
発明者	SHEN SHUKUN   ZHANG RUI   LIU XIAOBANG   CHEN JIANGANG   HU DAODAO   ZHOU YAJUN
公報番号	CN107456952B
出願日	2017-08-28

## 特許タイトル

Preparation method of light-harvesting and oxygen-releasing paper coating material

## 注目キーワード

light-harvesting, oxygen-releasing, chloroplast, coating

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 集光性及び酸素放出性のある紙用コーティング材の調製方法を開示する。新鮮な完全葉緑体および親水性ナノ酸化チタンを直接十分かつ均一に混合する工程、親水性ろ紙で抽出る過を行い、集光および酸素放出機能を有するバイオニックペーパーコーティング材を調製する。
- 体外葉緑体およびナノ酸化チタンの複合系において、酸化チタンの紫外線光触媒活性を利用し、葉緑体の光吸収を高め、光合成により発生した活性酸素フリーラジカルを還元し、光照射条件下で酸素放出が実現
- 原料は生物材料に属し、低コストで、入手しやすく、環境に優しい; 調製方法は簡単で、得られた紙コーティングは安定した光捕集性と一定の酸素放出効果を有するので、光捕集及び酸素放出紙コーティング材料は空気浄化及び広告展示板コーティングの分野で潜在的な応用展望を有する

# ハルビン工業大学は、光駆動電子移動過程を実現できるモデルとして、新鮮な葉緑体を用いた人工細胞を作製し、バイオミメティック化学を研究している

葉緑体モデル系としての【人工細胞】→【電子伝達系再現・バイオエネルギー変換】

バイオ事例: ③

【towards 2050】

合成生物学・人工細胞  
自然界のシミュレーション

## 特許情報 PT-08

出願人	Harbin Institute of Technology
所属国	中国
発明者	HAN XIAOJUN   ZONG WEI
公報番号	CN108855211B
出願日	2017-11-23

## 特許タイトル

Preparation method of thylakoid-containing artificial cells and photosynthesis simulating method

## 注目キーワード

chloroplast, thylakoid, artificial cell, photosynthesis

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 新鮮なホウレンソウの葉からチラコイド粒子(葉緑体)を抽出し、緩衝液に保存する工程、リン脂質溶液をITOガラス電極に塗布する工程、溶剤揮発後、リン脂質膜の層を形成する工程、からなる
- ポリテトラフルオロエチレン骨格を真空グリッドで固定し、ポリテトラフルオロエチレン骨格内に液相を添加し、ITOガラス電極に交流電流を流してGUV溶液を調製し、GUV溶液とチラコイド溶液を混合してチラコイド含有人工細胞を作製する
- チラコイドを含む人工細胞は、天然の植物細胞の構造と機能を理解した上で、人工太陽光照射下での光駆動電子移動過程を実現できるモデルとして作製した
- このモデル構築により、自然界に存在する葉緑体の特性を、構造と機能から二重にシミュレートすることができる。複雑な細胞が簡略化された研究を実現することで、バイオミメティック化学の発展と進歩を促進することができる

# イタリア・Danieli & C社は、CO2と工場廃熱で増殖させた微細藻類を用いて食品・医薬・バイオ燃料等を生産するバイオマスプラントを研究している

【光合成】模倣微生物プラント→【フードロス・廃棄物削減・バイオマス生産・バイオ燃料生産(BECCS)】

【towards 2050】

バイオ事例: ③

光合成微細藻類  
バイオマスプラント

## 特許情報 PT-09

出願人	Danieli & C. Officine Meccaniche S.P.A.
所属国	イタリア
発明者	Alessandra PrimaveraAlessio MILOCCO
公報番号	WO2021224811A1
出願日	2020-05-06

## 特許タイトル

Plant and process for the production of photosynthetic microorganisms

## 注目キーワード

photosynthetic, microorganisms, microalgae, thermal waste, nutraceutical, pharmaceutical, biofuel

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 光合成微生物の製造プラント及び製造方法
- 本発明は、CO2と鉄鋼工場からの廃棄物の熱を利用して、光合成微生物、特に微細藻類をフォトバイオリクターで生産するプラントおよびプロセスに関する。一般に他の用途に活用できない低温の熱廃棄物を利用することで、非常に経済的なシステムとなっている
- 熱廃棄物は、熱交換器を通してその熱を栽培用水に伝える。冶金工場、特に鉄鋼工場から廃棄される二酸化炭素は、貴重なバイオマス、特に微細藻類に変換される
- 生産された微細藻類は、例えば、栄養補給、栄養補助食品または医薬に関心のある生体分子の抽出、およびバイオ燃料の生産に役立つ

# 北京大学のJia Yongnanらは、環境モニタリングや海底探査、環境保全などのタスクに広く応用することができる魚型ロボットを開発している

【自律駆動】魚型ロボット→【海洋資源探査・環境保全・マリンデブリ回収】

バイオ事例: ③②

バイオニックロボット→環境保全

## 特許情報 PT-10

出願人	Jia, Yongnan
所属国	中国
発明者	Jia, Yongnan
公報番号	AU2020103022A4
出願日	2020-10-27

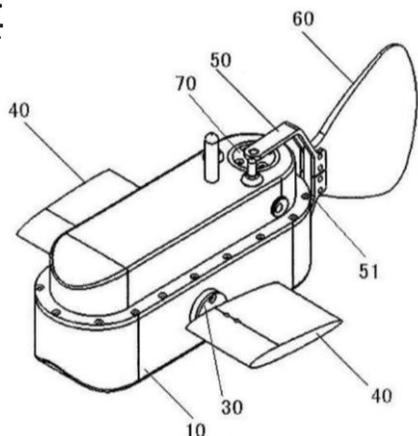
## 特許タイトル

Autonomous Robotic Fish

## 注目キーワード

robot fish, autonomous, fan-shaped tail fin, tail fin propulsion, environmental monitoring, seabed exploration, salvage and rescue, military reconnaissance

## 技術概要



図D-21 魚型ロボットコンセプト図

## (研究されている技術の概要)

- 複数のバイオニック推進モードを採用し、水環境における複数の運動形態を有し、自由に切り替えられ、自律位置決め、自律判断等の機能を実現することが可能な魚型ロボット
- 環境モニタリング、海底探査、サルベージ・レスキュー、軍事偵察などのタスクに広く応用することができる
- 本発明は自律型ロボット魚に関するもので、密閉された主キャビン本体を備え、主キャビン本体の2つの側面はそれぞれ広葉樹材料からなる胸鰭と動的密閉装置を介して連結され、主キャビン本体の後端部は軟質ゴム材料からなる扇形の尾鰭と上部連結棒と下部連結棒を介して連結され、上部連結棒と主キャビン本体の尾鰭駆動出力端間に油密封動的密閉構造が配されていることを特徴としている



## D-3. 国際競争力の評価

asta  muse  
company

# 領域・データソース・国ごとに件数の時系列推移の集計や競争力評価を実施した

## 3データソースに基づく国別競争力評価項目



### • グラント

- 件数年次推移
- 研究配賦額年次推移(研究配賦額をProject期間で均等割りして集計)
- グラントスコア(astamuse独自の指標、最大値・合計値・件数でBubble chartを作成)  
※評価基準日は2020/01/01

### • 論文

- 件数年次推移
- 論文スコア(被引用回数合計値・平均被引用回数・件数でBubble chartを作成)  
※評価基準日は2022/01/01

### • 特許

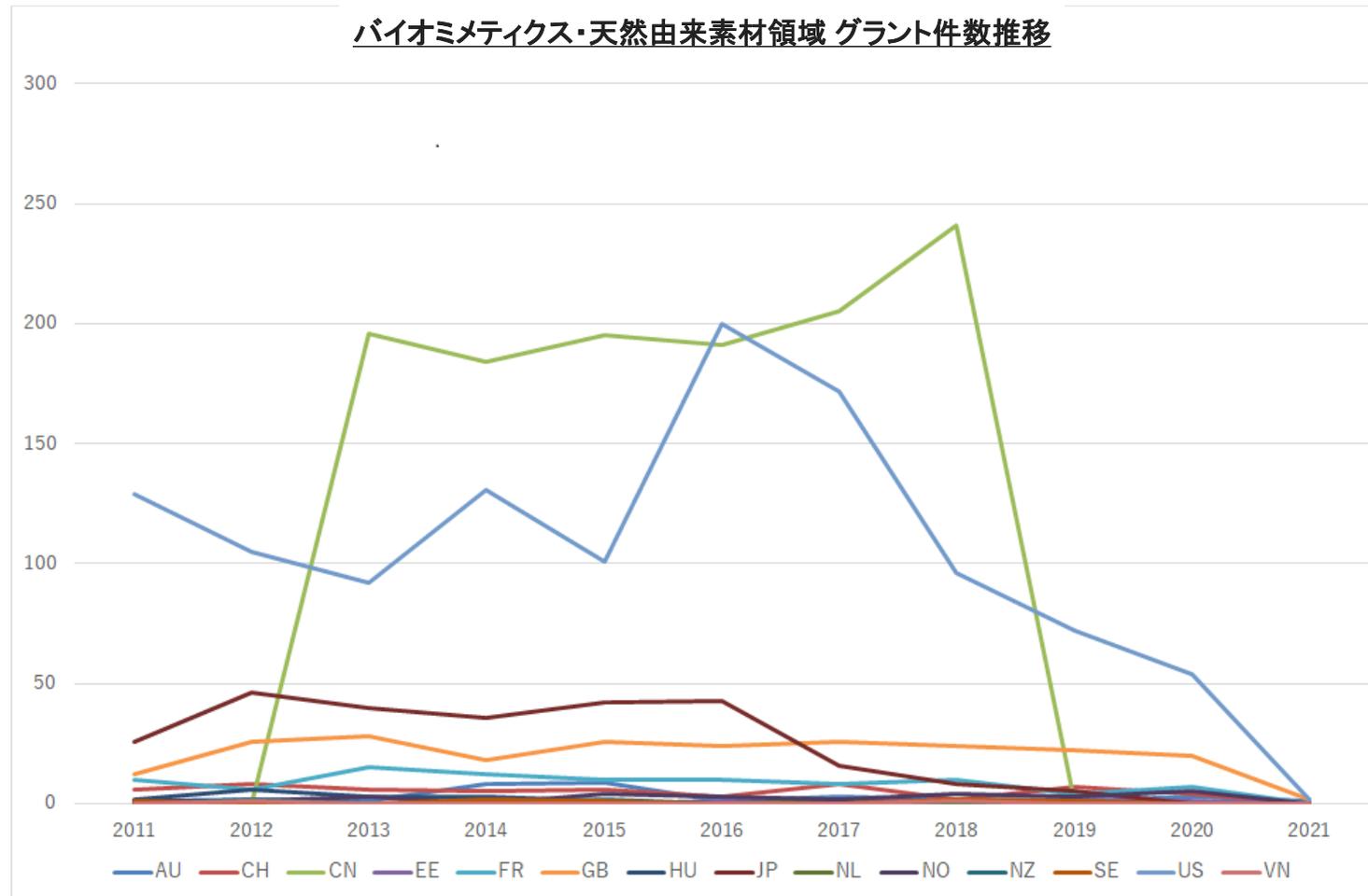
- 件数年次推移
- 特許スコア(astamuse独自の指標、トータルパテントアセット(TPA)・エッジスコア(最大値)・件数でBubble chartを作成)  
※評価基準日は2022/03/31

## 国コード凡例は以下の通り

国コード	国名	国コード	国名
AN	オランダ領アンティル	HU	ハンガリー
AT	オーストリア	IE	アイルランド
AU	オーストラリア	IL	イスラエル
BB	バルバドス	IN	インド
BE	ベルギー	IT	イタリア
BM	バミューダ諸島	JP	日本
BR	ブラジル	KR	韓国
CA	カナダ	KY	ケイマン諸島
CH	スイス	LI	リヒテンシュタイン
CN	中国	LT	リトアニア
CZ	チェコ	LU	ルクセンブルク
DE	ドイツ	MY	マレーシア
DK	デンマーク	NL	オランダ
FI	フィンランド	RU	ロシア
FR	フランス	SE	スウェーデン
GB	英国	SG	シンガポール
GR	ギリシャ	TR	トルコ
HK	香港	TW	台湾
		VG	英領ヴァージン諸島

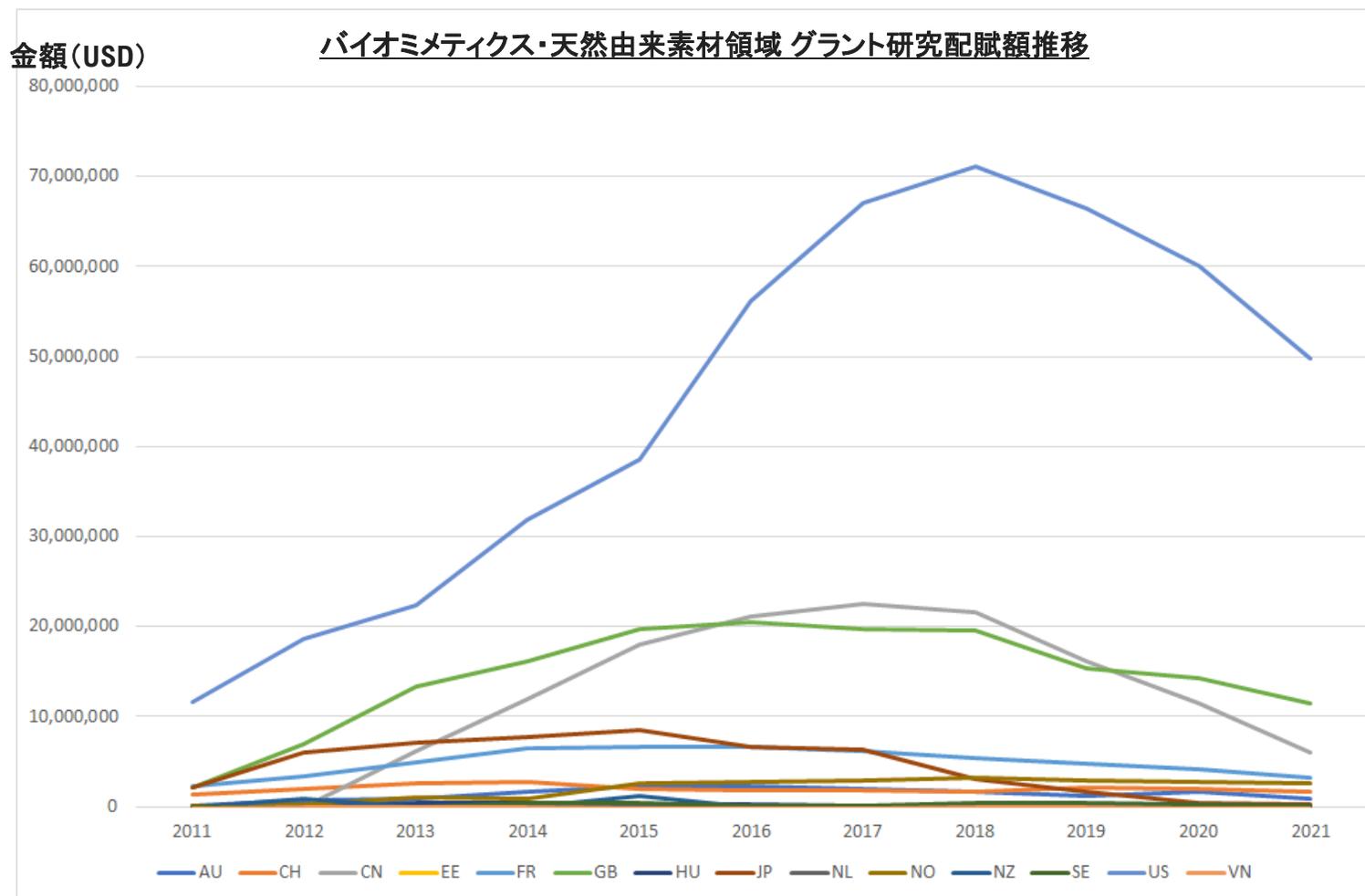
# グラント件数は中国と米国が圧倒的に多く、近年減少傾向である

## グラント件数推移



# グラント研究配賦額は米国が圧倒的に大きく、次いで英国、中国であった

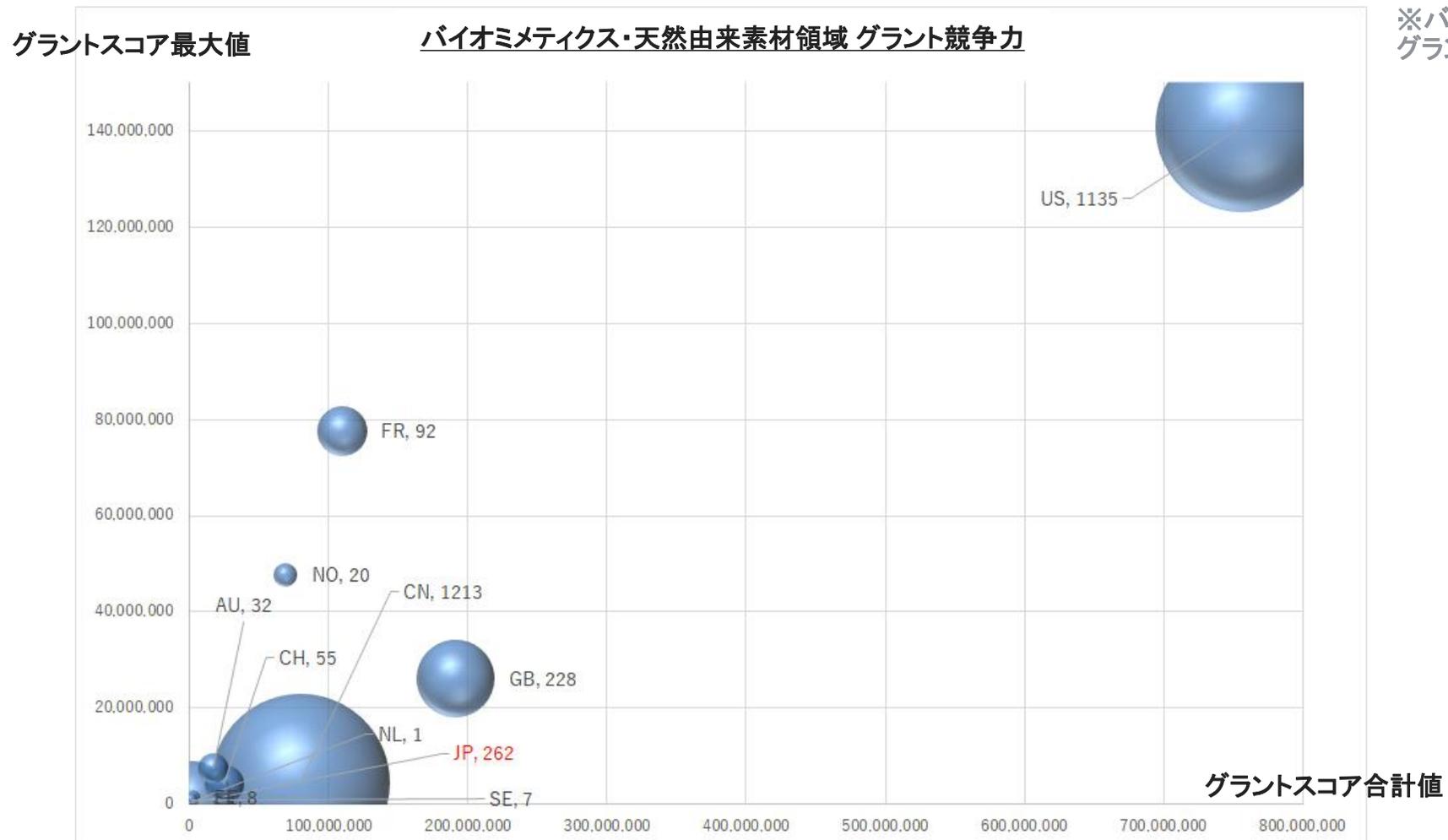
## グラント研究配賦額推移



※研究配賦額はProject期間で均等に割った値を集計

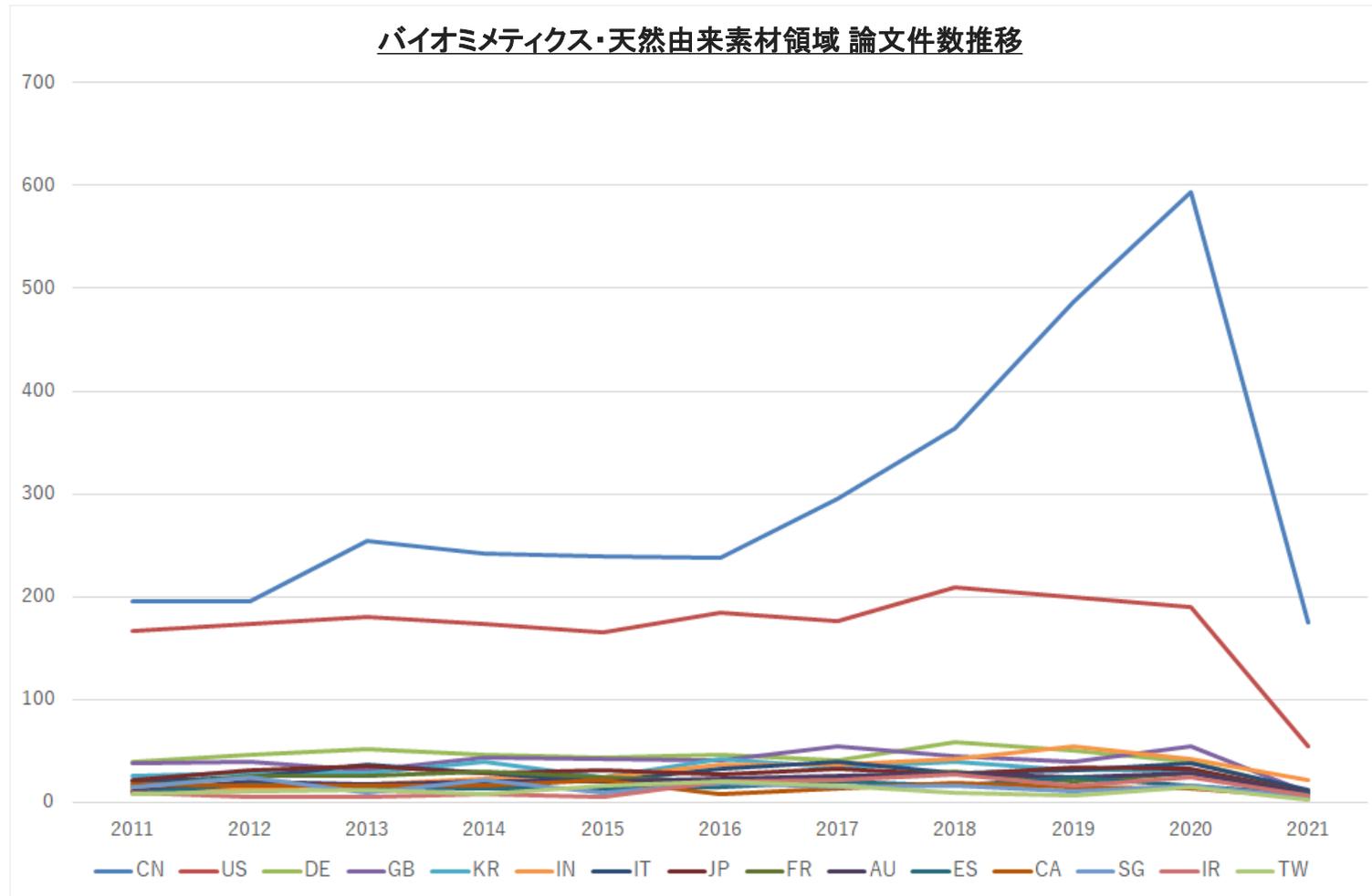
# グラント競争力は米国が圧倒的であり、最大値の2位は英国、合計値の2位はフランスであった

## グラント競争力



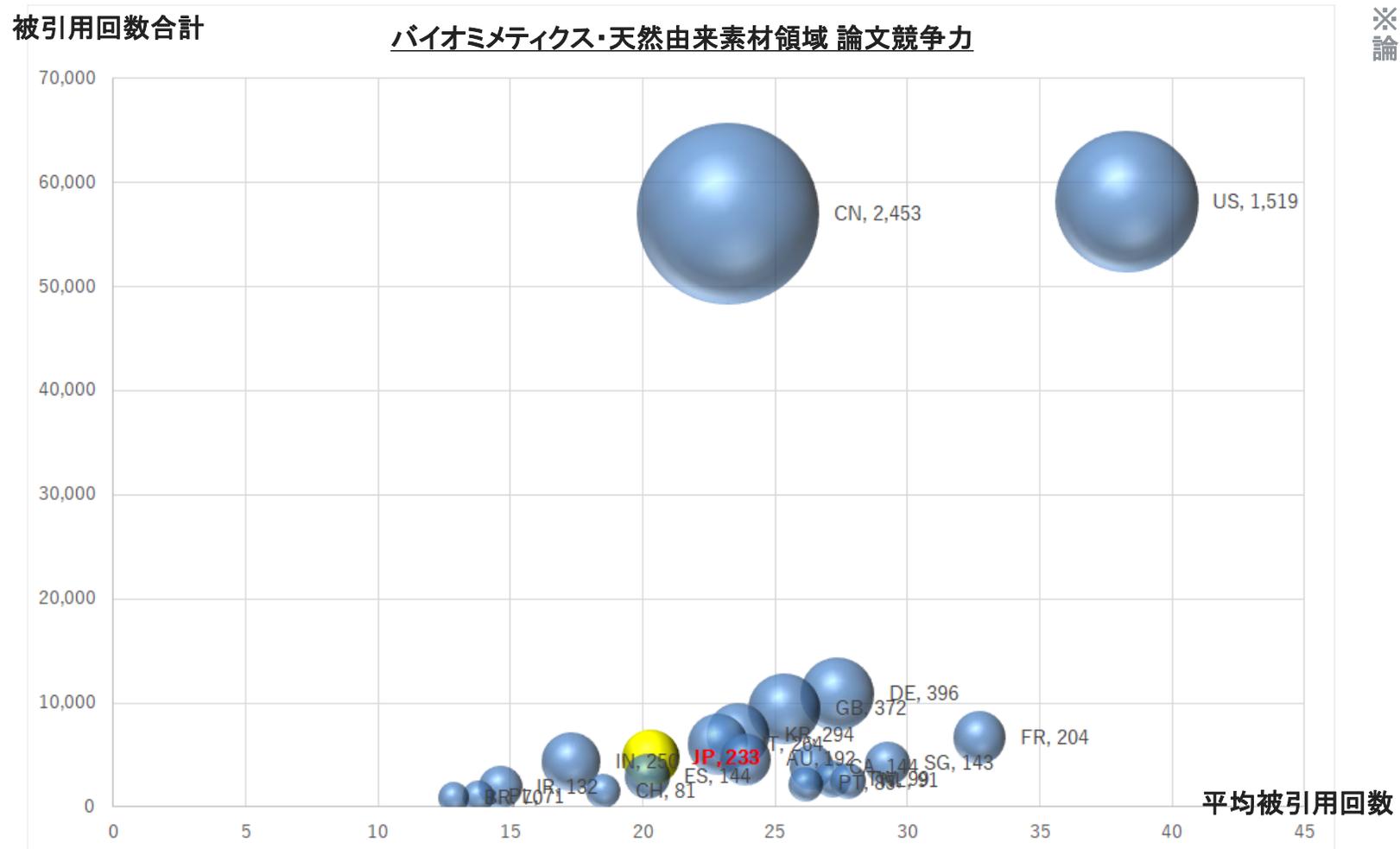
# 論文件数は中国が最も多く近年上昇傾向であり、次いで米国である

## 論文件数推移



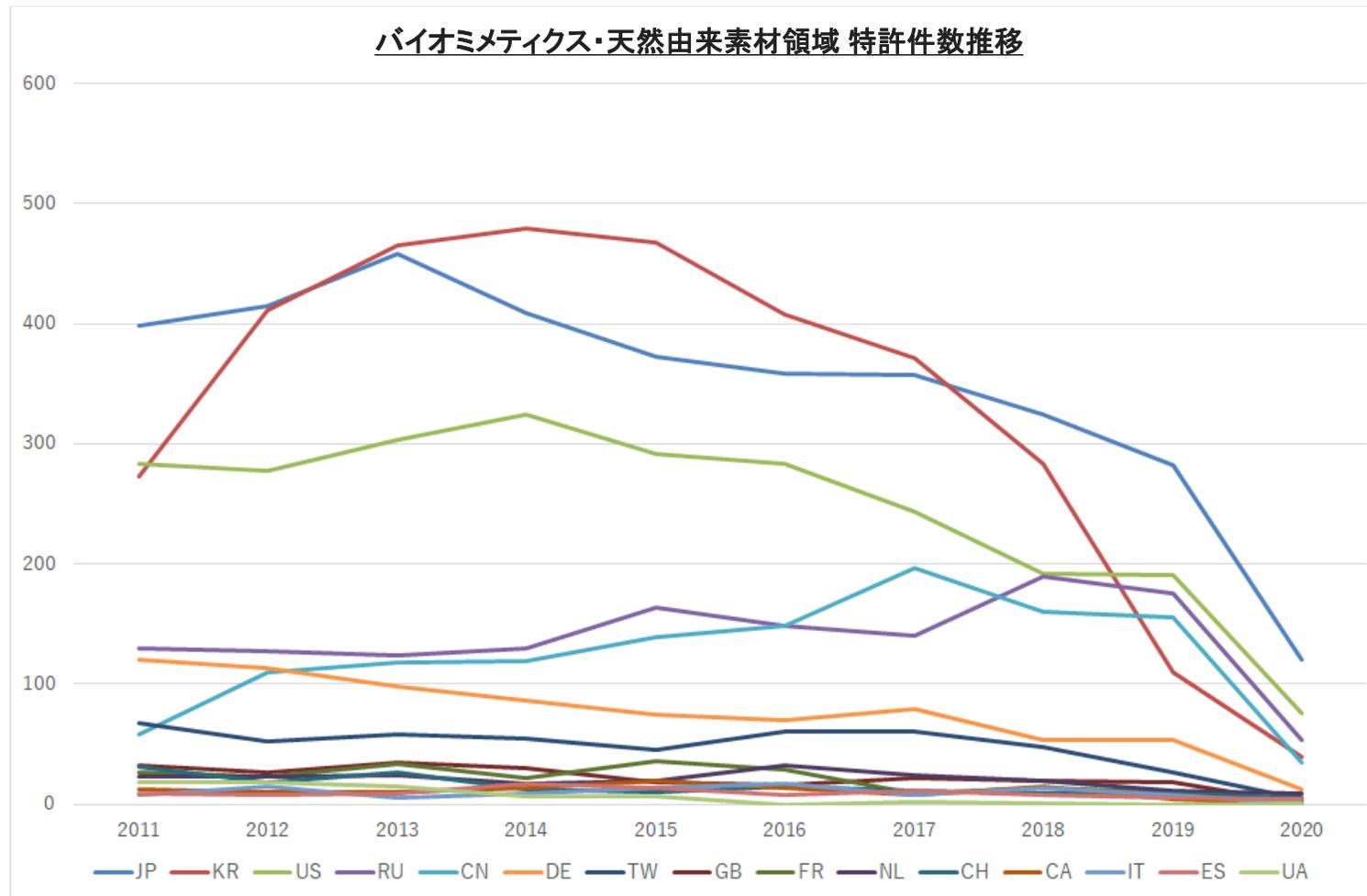
# 論文競争力は米国の被引用回数が平均・合計共に最も多かった。中国は平均被引用回数で欧州諸国よりも低い

## 論文競争力推移



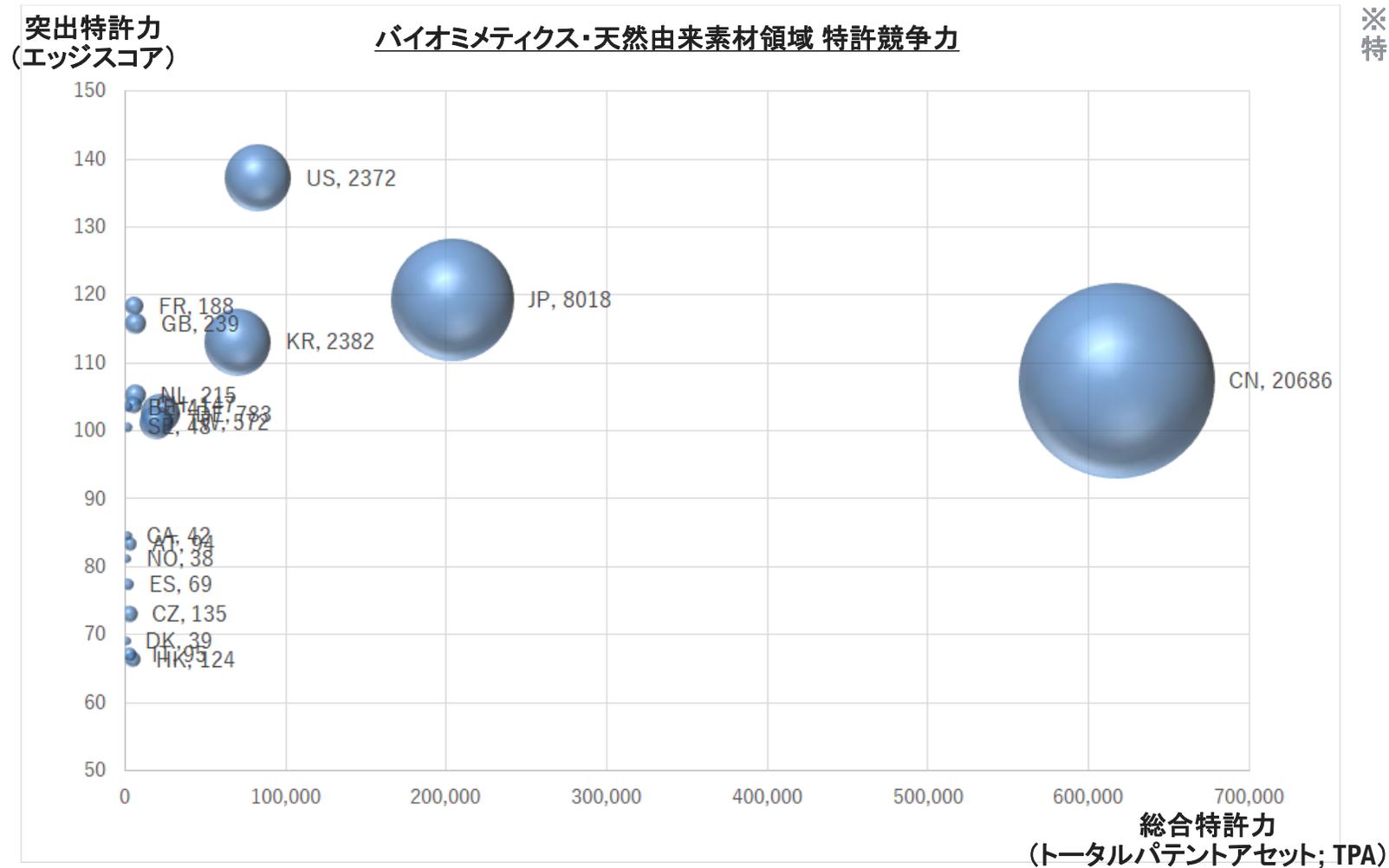
# 特許件数は韓国、日本、米国が多いが、日本は近年急激に減少している

## 特許件数推移



# 特許競争力は、エッジスコアでは米国、日本、フランス、英国が高く、TPAは件数の多い中国が圧倒的である

## 特許競争力





## D-4. 抽出結果の解釈

# バイオミメティクス領域からは多様な環境負荷削減の方向性が確認されたが、殆どが基礎研究段階であるため、視野を広く持ち応用可能性を見守ることが重要

抽出されたキーワード・研究事例を踏まえた全体としての解釈

- バイオミメティクス領域からは、単なる省エネルギー、廃棄物削減関連の技術の他、自己修復素材による製品のライフの延長、マリンデブリの削減、人工光合成の実現(CO2回収～有機物・エネルギー生成)等、様々な環境負荷削減の方向性が確認された
- また、そのほとんどが基礎研究段階であったが、直接的にCNに貢献するもの、解釈によってはCN実現の抜本的な解決策に化けるかもしれないものが混在している。両方の観点を意識してウォッチすることが重要
  - 直接的に貢献するものの例：  
光合成機能の再現や葉緑体の活用による、CO2の回収、再利用手段の提供。CO2の安定的な回収手段、再利用手段をもたらすことで、環境負荷削減活動にパラダイムシフトをもたらしうる可能性も
  - 解釈によっては貢献するものの例：  
複雑な運動の再現を可能にする5Dプリント技術による、マリンデブリの抜本的な削減手段の実現
- また、社会に実装されるためには実用化に向けた量産技術・コスト削減技術の研究が不可欠であり、これらの動向をウォッチすることも同様に重要

青字: Step 2/3に加えて  
STEP 4/5で更新・追加された内容

# 事例をカテゴライズし、抽出されたKWと紐づけると、以下の通り(1/2)

#	カテゴリ	重要技術の研究例	事例No.	時系列変化に特徴のある注目キーワード	事例に登場する関連キーワード
A	自己修復機能を持つ高分子・超分子素材による、製品のライフの延長 (+撥水機能と組み合わせた汚水削減)	自己修復可能で長寿命化した機能性材料・半導体等	14	self-healing (self-repairing)	self-healing, organic semiconductor, bionic, degradation, maintenance redundant, wearable, bio-inspired, robotics, organic light emitting diode (oled), textile integrated organic photovoltaics (opv)
		寿命に応じて構造色でアラートが出せる機能性材料(自己修復を組み合わせたもの)	24	self-healing(self-repairing), color-changing	force-sensitive, color-changing, self-repairing, intelligent polyester, elastomer,
		寿命に応じて構造色でアラートが出せる機能性材料(自己修復機能はないもの)	23	structural, color-changing	structural color-variable elastic powder, tone-changing material, polymer particle
		自己修復可能な素材については、ライフの延長に留まらず、撥水加工等と組み合わせることで汚水処理や汚れ防止に役立つ技術もあり、汚水削減にも応用可能	2	biomaterials (electric tongues)	macromolecules, molecularly imprinted polymers (MIPs), molecular recognition, electrochemical, chemometric, electronic tongues, sensor array
B	高分子・超分子素材を用いた構造色精製技術による、製造工程の省エネルギー化・汚水削減	構造色生成の機能性材料はディスプレイ等の製造を低コスト化し、製造工程の低エネルギー化。また、顔料・溶剤が不要になることによる汚水・廃棄物の削減	3	structural, color-changing	structural color, optical coating, monochromic conducting polymer film, metallic surface, vapor phase polymerization, UV light patterning, polymer redox state
		同上	4	structural, color-changing, hydrogels	structural color, colloidal sol, perovskite nanosheet, polymer hydrogel film, in situ photopolymerization, mechanochromic, toughness, 3D network of hydrogel
C	生物の構造模倣を用いた撥水・自己洗浄素材による、汚水削減、省エネルギー化	セイタカチマガリの超疎水性表面を応用した撥水・自己洗浄素材で、自動車用室内向け自己洗浄機能の実装向けに研究が進められている	13	biomaterials(bioinspired), Self-healing(self creaning)	bioinspired, oleophobic, automotive, car interior, functionalization, honeycomb film, hexagonal array, breath figure, self-assembly, superhydrophobic, superoleophobic, anti-fouling, self-cleaning
		抗体などの生体高分子の分子認識過程を模倣し、インプリントポリマーと組み合わせた電子舌。分子識別・分離による汚水削減に応用可能	1	biomaterials (electric tongues)	macromolecules, molecularly imprinted polymers (MIPs), molecular recognition, electrochemical, chemometric, electronic tongues, sensor array
D	生物の構造模倣とナノコーティング技術を用いた、多様な機能性材料における生産時の環境負荷削減	昆虫の複眼にみられる自己組織化ナノコーティング現象を、生分解性材料により人工的に再現、環境低負荷な材料技術	17	self-assembled, nanocoating	insect, self-assembled, nanocoating, retinin
		ヤモリの足裏や甲虫の前翅に見られるナノ構造に倣った電氣的にon-off可能なグラフェンベースの機能性材料開発	18	self-cleaning, adhesion, tunable, switchable-surface (switchable), graphene-based nanocomposite (graphene)	switchable-surface, nanocomposite, gecko(ヤモリ), tunable, adhesion, self-cleaning, wrinkle, graphene-based nanocomposite
E	研究途上の素材・化学のもつポテンシャルを捉えた マリンデブリの解消 (+5Dプリント、ホスト・ゲスト化学は他応用可能性も存在)	足場としての材料に、抗体等を貼り付けることで、様々な反応を生成できる技術も存在。有害物質の除外等に応用可能な素材	25	biomaterials(supermolecular), nanosheet(nanoparticles)	supramolecular, crystal, chiral, nanosheet, reaction field, supramolecular, polyethyleneimine, saccharic, dicarboxylic
		マリンデブリ等のマイクロプラスチックを回収するため、ホスト・ゲスト関係に基づくハイブリッドシリカゲルを開発	5	Microplastics, Self-organised organosilanes (self-assemble)	Microplastics, Green chemistry; Hybrid silica gel, Microbeads, Self-organised organosilanes; Sol-gel process; Sustainable development; Water pollution
		5Dプリンター繊維構造(せん毛)というこれまで生成できなかった構造を実現することで、何らか環境負荷を削減できる可能性がある	15	biomaterials (biomimetic)	5d printer, orientation, magnetic field, bio-mimetic artificial cilia, metachronal wave, uv-laser, scanning mirror, dispenser
		環境モニタリングや海底探査、環境保全などのタスクに広く応用することができる魚型ロボットを開発	32	robot fish(robot)	robot fish, autonomous, fan-shaped tail fin, tail fin propulsion, environmental monitoring, seabed exploration, salvage and rescue, military reconnaissance
		マリンデブリ解消のために海底への沈降をトリガーに分解開始する時限生分解性ポリマー開発	20	marine debris(Microplastics), trigger, switch, biodegradable polymer	biodegradation, marine debris, trigger, switch, ORP(oxidation-reduction potential),
		生分解性ポリマーを基材及び難燃剤に用いることで、生分解性かつ難燃性のプラスチックフィルム	27	plastic, biodegradable polymer	degradable, plastic, flame-retardant, polyurethane, polylactic acid, polybutylene succinate, halloysite nanotube
		農業廃棄物から抽出したヒドロキシメチルセルロースを利用した低コスト・生分解性の光触媒複合膜を開発	28	cellulose, photocatalytic, biodegradable polymer	biodegradability, environment-friendly, cellulose, photocatalytic

青字: Step 2/3に加えて  
STEP 4/5で更新・追加された内容

# 事例をカテゴライズし、抽出されたKWと紐づけると、以下の通り(2/2)

#	カテゴリ	重要技術の研究例	事例No.	時系列変化に特徴のある注目キーワード	事例に登場する関連キーワード
F	生物模倣を情報産業に活用する技術による省エネルギー化、廃棄物の削減	生体高分子(塩基等)の配列へのコード化やその検索技術、情報ブロックの分解技術	26	biomaterials(electric tongues)	encoded, biopolymer, nucleic acid, polypeptide, nanostructured data, sequence, memory, data-encoded biopolymer, tag, Boolean logic
		高分子の一次配列に材料の立体構造をエンコードし、生物のような複雑で高度な構造と機能を持ったソフトマテリアルの分子設計を目指す	22	biomaterials	encoding, sequence, polymersone, equilibrium
		多孔質材料をメモリスタ素子に用いた人工シナプスを開発、脳模倣コンピュータやAIへの展開	9	neuromorphic, nanoporous, memristor	artificial synapse, nanoporous, neuromorphic, presynaptic, postsynaptic
		脳模倣により、フォン・ノイマン型に代わるエネルギー効率の高いイオンベースの計算実現	10	neuromorphic	neuromorphic, nanofluidics, ion-based computation, subnanometric slit, Hodgkin-Huxley neuron model
		圧力情報を活動電位に変換する人工感覚神経を作製、点字識別や筋肉作動などの生体電子反射弧の構築	12	neuromorphic(neurorobotics, neuroprosthetics)	neurorobotics, neuroprosthetics, somatosensory, oscillator
G	天然素材や生物模倣を活用した新しい光触媒作用	サンゴ様多孔構造の高光収率光電極を用いて発電と汚染物質の分解が同時に行える光触媒燃料電池を開発	11	photocatalytic, photoelectrodeporous, coral-like, fuel cell	photocatalytic, fuel cell, photoelectrocatalytic, electricity generation, porous, coral-like, photoelectrode
		光触媒作用と自己再生機能で防汚効果を示す環境低負荷なコーティング材料を開発、海洋工学等への応用	6	biofouling, self-cleaning, photocatalytic	biofouling, self-cleaning, photocatalytic, flower-like structure, SPR, piezoelectric
H	光合成機能を再現したバイオハイブリッド素材等や、葉緑体の活用によるCO2回収(DAC)、エネルギー・有機物の生成(BECCS)や、自己増殖・自己再生によるライフの延長	太陽光と二酸化炭素で成長する植物のような新規合成材料の開発をめざし、必要な化学反応の詳細な反応モデルを構築	16	biomaterials(biomimetic), self-healing(self-repair)	biomimetic carbon fixation, self-repair, carbon dioxide, atmospheric,
		植物の生産性向上やバイオマテリアル開発をめざし、葉緑体機能を制御する合成生物学的研究	7	chloroplast	chloroplast, bioengineering, nano-enabled agriculture, nanosensor, plant nanobiotechnology, targeted delivery
		光駆動電子移動過程を実現できるモデルとして、新鮮な葉緑体を用いた人工細胞を作製	30	chloroplast, photosynthesis, artificial cell	chloroplast, thylakoid, artificial cell, photosynthesis
		光合成酵素RuBisCOを模倣し、室温でCO2を吸着する2次元ナノ構造体を開発	8	RuBisCO, self-cleaning, photosynthesis, nanostructure, CO2 adsorption	RuBisCO, self-cleaning, photosynthesis, nanostructure, CO2 adsorption
		人工集光材料と非光合成細菌とを組合せたバイオハイブリッドにより、燃料合成など、持続可能な太陽光駆動の化学変換	19	biohybrid, photocatalysis, (fuel), (solar)	biohybrid, fuel, solar, photocatalysis,
		葉緑体と酸化チタンを組合せることで、集光性と酸素放出性を兼ね備えたバイオニック紙用コーティング材を開発	29	chloroplast	light-harvesting, oxygen-releasing, chloroplast, coating
		CO2と工場廃熱で増殖させた微細藻類を用いて食品・医薬・バイオ燃料等を生産するバイオマスプラント	31	photosynthetic, microorganisms, microalgae, thermal waste, biofuel	photosynthetic, microorganisms, microalgae, thermal waste, nutraceutical, pharmaceutical, biofuel
生命の起源におけるエネルギーの流れを模したマイクロ流体系を用いた実験系でCO2からの合成エネルギー開発の可能性を提唱	21	bionic	protocell, metabolism, genetic, prebiotic, energy flow		

# カテゴリ毎に技術のもたらす影響を解釈すると、以下の通り

## 技術のもたらす影響 (1/6)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

<p>A</p>	<p>自己修復機能を持つ高分子・超分子素材による、製品のライフの延長 (+撥水機能と組み合わせた汚水削減)</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>多くの製品が長寿命化することにより、消費者はリユース・リサイクル・シェアを前提としたライフスタイルへと転換</li> <li>また、ライフの延長による廃棄物の削減の面で環境負荷削減に貢献(+撥水機能と組み合わさっている場合、汚水削減にも貢献可能)</li> </ul> <hr/> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>消費財については、リユース・リサイクル・シェア市場の大幅な拡大に寄与(サーキュラー・エコノミーの実現)</li> <li>産業用機械等については、自己修復・メンテナンス、予知保全が可能になり、工場の安定稼働やメンテナンス費用の削減に寄与するほか、リユース・リサイクル業界が大幅に拡大</li> </ul>
<p>B</p>	<p>高分子・超分子素材を用いた構造色精製技術による、製造工程の省エネルギー化・汚水削減</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ディスプレイ等の低価格化が進み、薄型の電子ラベルへの応用や、テレビをはじめとするデジタルデバイス・サイネージ等の普及が一層進展</li> <li>製造工程の省エネルギー化・塗料削減による汚水削減効果が期待製造工程の省エネルギー化・塗料削減による汚水削減効果が期待</li> </ul> <hr/> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ディスプレイ産業の構造変化が再度生じ、日系メーカーの競争力向上、再浮上に寄与する可能性</li> </ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響 (2/6)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

<p>C</p>	<p>生物の構造模倣を用いた撥水・自己洗浄素材による、汚水削減、省エネルギー化</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 汚水削減と污水处理工程の省エネルギー化に貢献可能</li> <li>• また、自然界の構造を模倣することで、自然界で分解可能・リサイクル可能な素材として廃棄物削減に貢献</li> </ul> <hr/> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 汚水削減技術や淡水化技術については、各国の水インフラや工場の排水処理工程、淡水化プラントにおいて需要も存在し、日本の水インフラ産業の競争力向上に寄与</li> <li>• また、製品のリユース・リサイクル・シェアの可能性を広げ、同市場の拡大に寄与</li> </ul>
<p>D</p>	<p>生物の構造模倣とナノコーティング技術を用いた、多様な機能性材料における生産時の環境負荷削減</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 機能性材料をナノコーティングのみで生成可能にすることで、製造時の素材やエネルギーを大きく削減する可能性</li> </ul> <hr/> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 従来型の機能性材料のうち、ナノコーティングで代替でき、低価格化/省エネルギー化にもつながるようなものは淘汰され、化学素材企業等の競争力に影響</li> </ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響 (3/6)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

E	研究途上の素材・化学のもつポテンシャルを捉えたマリンデブリの解消 (+5Dプリント、ホスト-ゲスト化学は他応用可能性も存在)	ホスト-ゲスト化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>ホスト-ゲスト化学を活用することで、マリンデブリの削減や、汚水削減、汚水処理工程の省エネルギー化、生活用水の生成に貢献可能</li> </ul>
		社会	<ul style="list-style-type: none"> <li>5Dプリント/自律駆動魚型ロボット</li> <li> <ul style="list-style-type: none"> <li>繊毛運動を再現可能になることで、下水道や排水管等、狭く複雑な空間内でのマイクロプラスチックの回収に役立つクローラロボット等の製作が可能に</li> <li>バイオニック推進モードと自律駆動システムによって自由に潜航できるロボットが実用化した場合、海中の環境モニタリング、サルページ等の可能性を大きく拡大</li> </ul> </li> </ul>
		生分解性ポリマー	<ul style="list-style-type: none"> <li>時限トリガー分解や、難燃性等の安定性を兼ね備えた生分解性プラスチックが実用化されることで、従来型プラスチックの置き換えが進み、マリンデブリ等の環境負荷を削減できる可能性</li> </ul>
	経済	ホスト-ゲスト化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚水削減技術や淡水化技術については、各国の水インフラや工場の排水処理工程、淡水化プラントにおいて需要が存在し、日本の水インフラ産業の競争力向上に寄与</li> <li>また、製品のリユース・リサイクル・シェアの可能性を広げ、同市場の拡大に寄与</li> <li>マイクロプラスチックの回収に役立つ技術として海洋国を中心に輸出できる可能性</li> </ul>
		5Dプリント/自律駆動魚型ロボット	<ul style="list-style-type: none"> <li>クローラロボットの場合、マイクロプラスチックの回収や、その他従来型のロボットでは難しい、インフラの検査や医療処置等にも活用出来、多様な産業への普及可能性が存在</li> <li>自律駆動魚型ロボットの場合も、海中の環境モニタリング、その他海底探査、サルページ等に活用出来、多様な産業への普及可能性が存在</li> </ul>
		生分解性ポリマー	<ul style="list-style-type: none"> <li>安定性を兼ね備えた生分解性プラスチックを供給できるようになることで、化学素材企業の競争力向上に寄与</li> </ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響(4/6)

### カテゴリ

生物模倣を情報産業に活用する技術による省エネルギー化、廃棄物の削減

F

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

社会	エンコード技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>IoTや機械学習の活用によって飛躍的に増大し続けるデータ量を、低エネルギーで保存可能に</li> <li>また、効率的に格納できるため総量が減る上、バイオポリマー利用のためリサイクルもしやすく、廃棄物削減にも貢献可能</li> </ul>
	脳模倣AI、等	<ul style="list-style-type: none"> <li>高速で柔軟な計算・判断を省電力で実行可能に</li> <li>「人間の脳」のような瞬時の判断が求められる自動運転システム、顧客の要望に即応可能なAI、等に応用可能で、自動運転の普及を通じた更なる環境負荷削減にも貢献できる可能性</li> </ul>
経済	エンコード技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>サステナブルなデータセンターが提供可能になり、IT産業の競争力向上に寄与</li> <li>海外資源(レアメタル)への依存を抑制可能(エネルギー安全保障の実現)</li> </ul>
	脳模倣AI、等	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動運転ソフトウェア等のモビリティ関連産業や、サービス業向けのAIを提供するIT企業等の競争力向上に寄与</li> </ul>

## (続き)

### 技術のもたらす影響(5/6)

#### カテゴリ

#### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

カテゴリ	技術のもたらす影響の解釈	
G	<p>天然素材や生物模倣を活用した新しい光触媒作用</p>	<p>社会</p> <ul style="list-style-type: none"><li>光触媒作用を応用し、防汚効果の持続するコーティングをインフラ表面等に施すことで、インフラのメンテナンスフリー化、ライフの延長が可能に(日照部という制約は存在)</li><li>発電と汚染分解が同時に行える技術を下水道処理場等やプラント等に施すことで、施設の電力をある程度賄いつつ汚水削減が可能に</li></ul>
		<p>経済</p> <ul style="list-style-type: none"><li>光触媒コーティングを低価格で提供できる化学系メーカーの競争力向上</li><li>汚水削減や淡水化+発電技術については、各国の水インフラや工場の排水処理工程、淡水化プラントにおいて需要も存在し、日本の水インフラ産業の競争力向上に寄与</li></ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響 (6/6)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

H	<p>光合成機能を再現したバイオハイブリット素材等や、葉緑体の活用によるCO2回収(DAC)、エネルギー・有機物の生成(BECCS)や、自己増殖・自己再生によるライフの延長</p>	<p>まだ基礎研究の段階だが、実用化されれば以下のような様々な貢献をもたらし、「脱炭素」を加速させ、ひいては脱炭素関連の取り組みの一部を取りやめることも出来る可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>都市インフラ等にCO2吸着体を埋め込むことで、空気中のCO2を回収・削減</li> <li>回収したCO2を元にエネルギーの生成が可能のため、新しいエネルギー源として利用可能。また生成システムを小型化出来れば、CO2を出す物体(自動車等)に搭載し、反永久機関として活用可能</li> <li>回収したCO2を元に燃料・食品・医薬等有機物の生成や、自己増殖が可能となり、素材生成時の大幅な省エネルギー化が可能</li> </ul>
	<p>経済</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO2の回収やCO2を活用したエネルギー・有機物の合成を行う産業、CO2のサプライチェーンが誕生</li> <li>CO2の回収・再利用の可能性を大幅に広げることでCO2を排出する産業(工場、火力発電、内燃機関を搭載したモビリティ)を救済</li> <li>有機物合成や自己増殖技術は、石油由来素材を代替できるサステナブルな化学素材を提供可能にするため、そうした素材を提供可能な企業の競争力が大きく高まり、素材産業に構造変革が起きる可能性</li> <li>また、製品のライフの延長により、リユース・リサイクル・シェアの可能性を広げ、同市場の拡大に寄与</li> </ul>

# 日本は特許の質が高く、企業が技術開発を牽引。アカデミアの基礎研究力を高めるため、特許・論文ともに有力な米国、フランスを参考にした検討が有益か

## 国際競争力評価の考察

- バイオミメティクス領域は、どのデータソースでも米国の競争力がトップで、中国は論文、特許共に件数は多いものの、スコアは伸び悩む。日本は特許のエッジスコアについてのみ、米国に次ぐ位置に付けている
  - グラント競争力は、最大値、合計値ともに米国がトップ。最大値ではフランス、合計値では英国が次点。日本は上位に位置していない
  - 論文競争力は、被引用回数合計値、平均回数共に米国がトップ。合計回数では中国が次点、平均回数ではフランス、ドイツ等欧州勢が続く。日本は上位に位置していない
  - 特許競争力は、エッジスコアでは米国、日本、フランス、英国の順で高く、総合特許力では中国、日本、米国の順で高い(件数も同様)
- 日本は、特許の質(突出力)においては米国に次ぐ順位であり、革新的な技術を有する素材系メーカーが存在し、技術発展を牽引していること推測できる
- 米国、フランスがグラント・論文・特許のいずれ(特に論文・特許)においても質・量ともに強い。この二カ国がバイオメティクス領域の中長期的な技術進展を牽引し、今後も競争力を高めていく可能性
- 日本は企業による応用研究・実用化開発は強いものの、アカデミアの担う基礎研究は弱いと推測できる。主流となる米国の研究動向を注視しつつも、より立ち位置に近いフランスの取り組みを参考にし、アカデミアの基礎研究を強化することが方向性の一つか



## D-5. 外部有識者のコメント

# インタビューによって、抽出された技術領域は概ね妥当と示された。一方で、技術抽出におけるさらなる精度向上の余地も伺えた

## インタビュー結果

### インタビューの結果

#### 抽出された技術の意義・課題

- DNA塩基配列を用いた情報エンコード技術、繊毛運動を活用したマイクロプラスチックの回収材などは有意義
- 葉緑体については、有意義な技術ではあるものの、実用化の技術ハードルが極めて高い

#### 特に重要な技術領域

- 抽出されていない技術領域としては「人工光合成」「脳神経回路の模倣によるエネルギーの少ない計算技術」「味センサー（五感センサー）の実用化技術」「バイオ燃料の実用化技術」が挙げられた

#### その他

- 抽出プロセスについては、特許や論文のトレンド（量）だけではなく、技術の重要度（質）の面の評価を入れられると尚良い
- 社会・経済へのインパクトを捉える上では、量産化やコストダウンといった実用化に向けた技術開発もセットでとらえることが重要



A大学 a氏



### インタビューから得られた示唆

- 妥当な技術が上がってきている一方で、技術抽出において、更なる精度向上の余地があることも伺えた
- 具体的には、量だけではなく質の面の評価を入れる、基礎研究だけでなく実用化に向けた技術開発もセットでとらえるなどの方向性が示唆された

# インタビュー結果の全文は以下の通り

## インタビュー結果（詳細、1/2）

### 以下抽出技術の意義・課題

### インタビュー結果

A	<p>自己修復機能を持つ高分子・超分子素材による、製品のライフの延長                      （＋撥水機能と組み合わせた汚水削減）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機能性素材については、化学系メーカーによる取り組みが多く、2050年より早く実用化される可能性が高い                             <ul style="list-style-type: none"> <li>撥水性、汚水削減、光機能性、模倣材料は化学メーカー、大学で盛んに研究がおこなわれている領域</li> <li>2050年より早く実用化される可能性が高いのでは</li> </ul> </li> </ul>
E	<p>研究途上の素材・化学のもつポテンシャルを捉えたマリンデブリの解消                      （＋5Dプリント、ホスト-ゲスト化学は他応用可能性も存在）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>織毛運動再現技術は確かにマイクロプラスチックの回収材作成等に応用できる可能性があり、有意義</li> </ul>
F	<p>生物模倣を情報産業に活用する技術による省エネルギー化、廃棄物の削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DNAの塩基配列を用いた情報エンコード技術は有意義で、2050年を見据えた実用化も可能では</li> </ul>
F	<p>光合成機能を再現したバイオハイブリッド素材等や、葉緑体の活用によるCO2回収(DAC)、エネルギー・有機物の生成(BECCS)や、自己増殖・自己再生によるライフの延長</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>葉緑体の自己増殖技術は有意義な技術だが、実用化の技術的ハードルが高い                             <ul style="list-style-type: none"> <li>事例として提示されているMITの論文では、「増殖の原理」しか述べられておらず、実用化の方策には言及がない</li> <li>コストや量産などの観点を含めた実用化の方法は大きな課題</li> </ul> </li> </ul>

## (続き)

### インタビュー結果(詳細、2/2)

#### 質問

#### インタビュー結果

##### 特に重要な技術領域

- CO2から有機物を生成する人工光合成の技術は、カーボンニュートラルに資する生物模倣の中では重要性・注目度の高い領域
- エネルギーの少ない計算を実現するための、脳神経回路の模倣なども有っても良いのではないかと(事例として提示されている遺伝子配列をデータ蓄積に活用する技術と類似する領域)
- 味センサーは現在もある技術だが、センサーの寿命が短いなど、実用化のハードルが極めて高く、2050年頃に実用化される可能性はある
- バイオ燃料も実用化に向けては課題が多く、本命となる技術の注視は重要
  - 日本にも先進的なプレイヤーは存在するが、淡水生藻類(ミドリムシ等)を主戦場としている
  - 海洋性藻類と淡水性藻類で特徴が異なり、海洋性が異物混入リスクの面や培養に海水を使用できる面で優れているともされており、どちらが主流になるか見極める必要がある
- 尚、生分解性プラスチックについては化学メーカーを中心に実用化が相当進んでおり、2050年を見据えた上での重要性は低い

##### その他

- 特許や論文トレンドに乗っかるだけが良いとは限らず、技術の重要度に関する目利きを入れる必要が有る。つまり、量が多いものが良いとは限らず、質の面の評価も出来る仕組みが有ると良い
- 要素技術だけを捉えてもイノベーションが実現するとは限らない。社会・経済へのインパクトを考えるなら 重要な要素技術に加えて、量産化やコストダウンといった実用化に向けた技術開発のものとセットで捉えることが重要

# インタビューによって、一段上の概念を意識することで、より高度な/最新の技術を抽出しやすくなることも示唆された

## インタビュー結果

### インタビューの結果

抽出された  
技術の意義・  
課題

- 全体的に、発想は10年以上前からある研究ではある点に留意

特に重要な  
技術領域

- 生物単体ではなく、生態系の循環性や、相互作用、レジリエンスを模倣することで、環境に活かせる技術の研究

その他

- ①母集団形成時のキーワード/切り口をより精緻化②(古い研究がデータベースに含まれていないため)昔からある理論が再燃したものを区別③ニュース/企業動向/政策からの最新の動きを補完する、の3点を踏まえるとより良いプロセスに
- 最新のトレンドを拾いやすいようにするならば、機械的な検索をする前に、分野の研究者や企業、マスコミ等の専門家を集め、定性的な調査を元にキーワードを決めるとよい



• B大学 教授 b氏



### インタビューから得られた示唆

- 現在抽出されている領域は、発想としては昔からあるものの、実用化、産業での応用に結び付く段階に至っていないものであると理解出来る
- テーマとしては歴史があるものの、実用化に時間を要していることから考えると、2050年という時間軸に沿う領域であるといえる
- 一方で、一段上の概念(生物単体→生態系)を意識することで、より高度な/最新の技術を抽出しやすくなることも示唆された

# インタビュー結果の全文は以下の通り

## インタビュー結果（詳細、1/1）

### 質問

### インタビュー結果

#### 抽出された 技術の意義・課題

- **古くからある課題は取り上げられているが、最新の研究の課題感が追加されるとよい**
  - 例えば、光触媒は酸化チタンの業績から始まっている。表面のクリーンな材料で、光触媒で汚れが取れる技術を開発
  - しかしその後、LIXILは完全な生物模倣でカタツムリの殻をまねて、雨のみで汚れが取れる技術を開発、実用化した。日照部が必要な光触媒より進化した技術ともいえる（\*なお、本事業ではスコープ外とした内容のため分析対象母集団には含まれていない）
  - 似たように、ホスト-ゲスト化学や、ナノコーティング、自己修復も構想として全く新規のものではない点には注意が必要

#### 特に重要な 技術領域

- **個別の生物の一部分の模倣はある程度研究しつくされていて、生態系の循環性や、相互作用、レジリエンスを模倣することで、環境に活かせる技術の研究が現在の最新トレンド**

#### その他

- **①母集団形成時のキーワード/切り口をより精緻化②（古い研究がデータベースに含まれていないため）昔からある理論が再燃したものを区別③ニュース/企業動向/政策からの最新の動きを補完する、の3点を踏まえるとより良いプロセスに**
  - ニュースや企業動向が検索対象に含まれていないため、最新の動きが入っていないのではないかと考えられる
  - 関連して、各国のプロジェクト（アメリカの「バイオミメティクス3.8」や、日本の「緑の職業システム戦略」、等）の動きを掴めると、より最新の動きを広くつかみやすくなる（いずれ論文化されるため、論文から把握することは可能）
  - また、古い研究はデータ化されておらず、データベースに含まれていないため、機械的に抽出を行うと、昔からある理論が再燃した際に「新規性のある研究」と見なされる可能性があり、この除去も効果的か
  - 適切なテーマ設定と、母集団形成時のキーワードの精緻化が最も効果的では
- **現在のプロセスを改良するならば、機械的な検索をする前に、分野の研究者や企業、マスコミ等の専門家を連れてきて、定性的な調査を元にキーワードを決めるという方法のが、より最新の動きは掴みやすい可能性**



## E. テーマ②ものづくり工程における デジタル上での物理空間の再現



# E-1. 重要技術分野(キーワード)の抽出

asta  muse  
company

# STEP 2/3においてアナリストが時系列変化に特徴のあるキーワードを抽出した結果は以下の通り

## KW時系列推移からの考察

### 特許における注目キーワード

- scheduling, cloud, plan, virtual, mes, tracing, cost, rfid, cnc, ofdm, algorithm, execution, tracking, mesbased, optimization, platform, task, delivery, optimal, scheme, matching, shell, management, traceability, m2m

### 論文におけるの注目キーワード

- twin, blockchain, edge, logistics, transformation, maintenance, big, erp, 5g, virtual, smart, plm, fuzzy, iot, release, industry, fog, data, enterprise, reality, learning, inspection, digital, analytics, resource, lifecycle, security

### グラントにおける注目キーワード

- cps, construction, security, wireless, scheduling, cad, manufacturing, infrastructure, attacks, cyberphysical, control, optimization, cyber, autonomy, shell, simulation



全体件数はいずれのDBでも近年増加しており、立ち上がりの時期からGT→特許→論文の順に成熟している様子が窺える

## (続き)

### KW時系列推移からの考察



新しい技術・概念である、5G、blockchain、twin、transformationなどのKWは、いずれのDBでもここ数年で急増している

それ以外では大きな変動はなく全体件数と同じように推移しているものの、KWごとの年次推移を全体件数との比率で見えていくと、以下のような傾向が見られる

- big、data、learning、smartなどのAI関連用語や、iot、virtualなどの一般用語もすべてのDBで件数比が増加
- scheduling、optimization、schemeなど、生産工程の最適化に関するKWはGT、論文では低下傾向だがPTで伸びている。理論的な仕事が落ち着いて実用段階に入っていることが推察される
- SMES (Small and medium-sized enterprises; 中小企業) がGTと論文で伸びており、DXの中小企業への浸透が進む
- PLM、lifecycleなどプロダクトライフサイクルマネジメントに関しては、特に特許・論文において全体比として低下傾向である(件数としては微増)。上記の別の概念に置き換えられている可能性もある
- iot、logistics、traceabilityなどサプライチェーンに直結するKWがいずれのDBでも伸びており、依然重視されている
- rfid、wirelessはいずれのDBでも全体比としては低下傾向(件数としては微増)であり、他の技術に押されている

# STEP 4/5においてアナリストが時系列変化に特徴のあるキーワードを抽出した結果は以下の通り

## 特許における注目キーワード

- scheduling, cloud, plan, virtual, mes, tracing, cost, rfid, cnc, ofdm, algorithm, execution, tracking, mes-based, optimization, platform, task, delivery, optimal, scheme, matching, shell, management, traceability, m2m, gwo, grey wolf, augmented reality, virtual reality, continuous physical processes, fluid, 5g-mec, cmos, p-type, n-type, drone, robot, thermoelectric, energy harvesting, cooling, production planning, demand forecasting, modulation

## 論文におけるの注目キーワード

- twin, blockchain, edge, logistics, transformation, maintenance, big, erp, 5g, virtual, smart, plm, fuzzy, iot, release, industry, fog, data, enterprise, reality, learning, inspection, digital, analytics, resource, lifecycle, security, ts-lora, lorawan, energy harvesting, quantum, cognition, cognitive twin, cognitive, real-time, rtrt, process analytical, pat, ann, multi-robot, multiple, computer-aided engineering, cae, 3d machine learning, 3d-ml, production management, prediction, forecasting, big data, graphic, mold, reverse engineering, maintenance-free, jidoka, automation

## グラントにおける注目キーワード

- cps, construction, security, wireless, scheduling, cad, manufacturing, infrastructure, attacks, cyberphysical, control, optimization, cyber, autonomy, shell, simulation, supply chain, multi-party, padp, modeling, machine-to-machine, sensor network, additive manufacturing, 3d-print, 3d-scan, three-dimensional, heat management, personalizing, small-lot

全体件数はいずれのDBでも近年増加しており、立ち上がりの時期からGT→特許→論文の順に成熟している様子が窺える

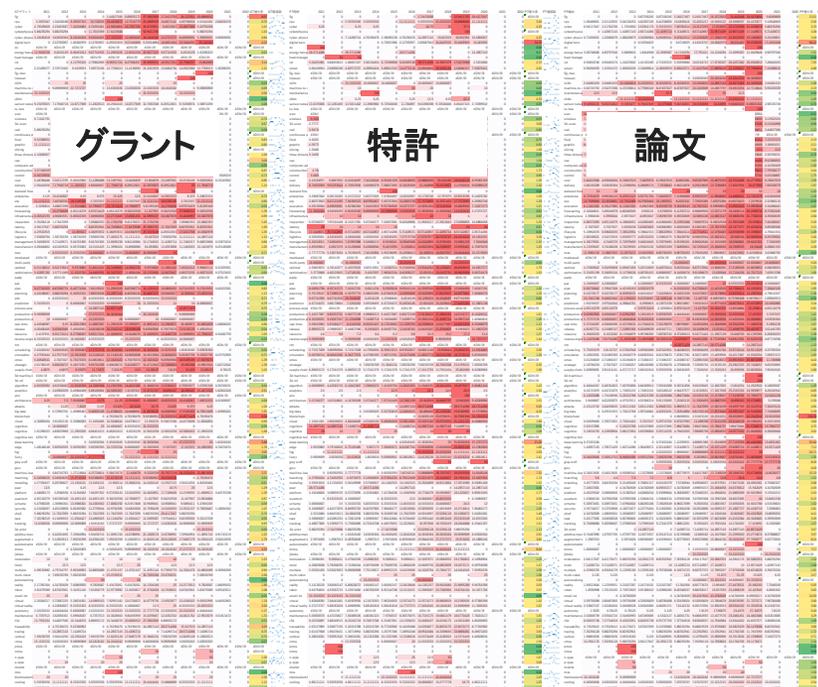
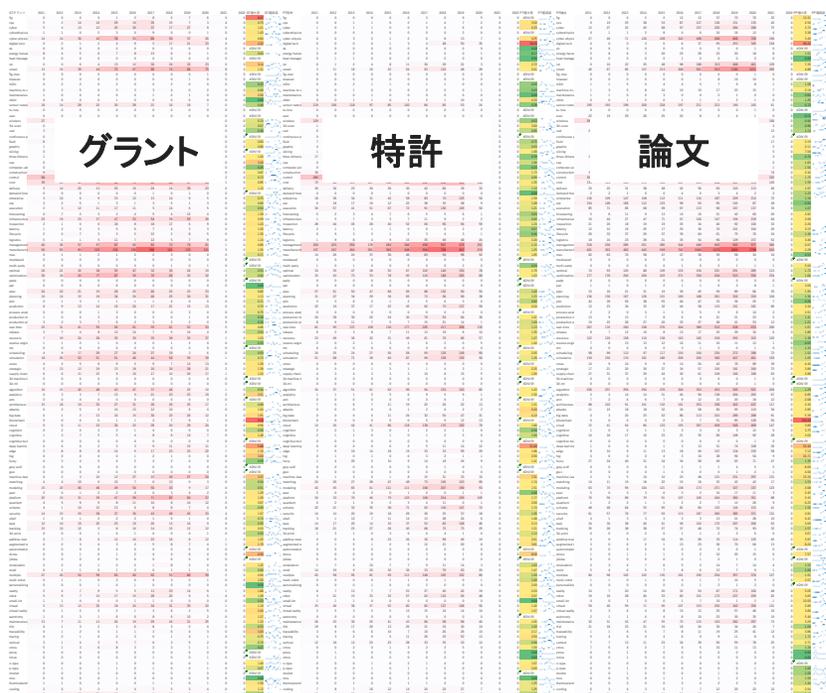
# グラント・特許・論文のキーワードに類推語も加え、出現頻度をヒートマップ化、より最近に出現する語を特定

KW時系列推移からの考察



データソース単位で濃淡づけ: 相対的に多いものをハイライト

キーワード単位で濃淡づけ: 出現頻度によらず増加をハイライト



PP論文	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	PP増大率	PP増減図
erp	12.7589064	12.2618061	13.7531069	9.27920464	10.1905551	8.2021541	7.70505385	7.87075394	8.45070423	7.2079536	2.31980116	0	0.50	
execution	8.11843362	6.78127985	8.11843362	6.4947469	9.45558739	9.26456543	10.7927412	8.59598854	15.9503343	13.0850048	3.34288443	0	1.07	
forecasting	2.18340611	3.49344978	4.80349345	3.930131	5.6768559	6.11353712	6.98689956	13.5371179	18.3406114	26.2008734	8.73362445	0	2.82	
infrastructur	1.5984016	4.3956044	2.6973027	4.6953047	7.09290709	6.69330669	10.5894106	14.6853147	19.3806194	21.7782218	6.39360639	0	2.68	
inspection	4.88372093	4.65116279	4.18604651	4.41860465	4.41860465	8.13953488	7.90697674	9.30232558	21.3953488	23.255814	7.44186047	0	2.26	

# グラント・特許・論文のキーワード分布を俯瞰、抽出する事例を絞り込む

## KW時系列推移からの考察



キーワード分布は単純に母集団内で量が多く増えているものを見るのではなく、年次推移で減っていないこと、2017年以降のより新しい時期に使われていること、望ましくはより新しい年次に増えていることを重視している

- 3データソースのいずれかで2017年以降、相対的に際立って増えているkw(画像左)として、blockchain, 5g, deep learning, drone, machine-learning, traceability, iot, cae, fog, analytics, maintenance-free, virtual reality, big data, attacks, cyber, ofdm, cyber-physical, augmented reality, cps, tracing, logistics, small-lot, grey wolf, edge, slicing, quantum 等がある。
- 5G、blockchain、cyber-physicalなどの新しい概念と、deep learning などのコンピューティングに関するKWは特に増えている
- 画像右の個別kwの出現傾向を見ると、母集団内で必ずしも多くないが、より新しい年次に使われている特徴的な言葉が明らかとなり、事例抽出で特に重視している
- scheduling、optimization、scheme、grey wolfなど、生産工程の最適化に関するKWはGT、論文では低下傾向だがPTで伸びている。理論的な仕事が落ち着いて実用段階に入っていることが推察される
- SMES (Small and medium-sized enterprises; 中小企業) がGTと論文で伸びており、DXの中小企業への浸透が進む
- PLM、lifecycleなどプロダクトライフサイクルマネジメントに関しては伸びが止まっている一方で、predictionが大きく伸びており、コンピューティングの活用による種々の予測が発展していることが伺える
- iot、logistics、traceabilityなどサプライチェーンに直結するKWがいずれのDBでも伸びており、依然重視されている

以下、各ソースごとの事例の特徴を次ページ以降にまとめる

# 論文では、通信の安定化技術、工場の最適化のためのアルゴリズム、ロボットの協調制御などを抽出

## KW時系列推移からの考察



### 論文における注目事例

- 【LoRaWan】による通信の省電化・安定化→ センサーの長寿命化による【メンテナンスフリー】な製造ライン
  - 【量子コンピューティング】→ 【センサーネットワーク】の複雑化に対応し、安定なIoT通信を実現
  - 【コグニティブツイン】→ 製造工場の【意思決定】を最適化
  - 【プロセス分析技術】→ プロセスデータのフィードバックによる【製造ロスの削減】
  - 【労働者の状態】の数値化・モデル化→ 【労働環境や仕事のやり方を最適化】し人間らしいモノづくりの在り方を見つける
  - 【耐用年数の予測】→ 製品ライフサイクル予測による生産計画の【最適化】、機器寿命予測によるメンテナンスの【最適化】
  - 【ロボットの協調制御】ロボットの協調制御→ 複数のロボットが稼働するスマートファクトリーの【最適化・自動化】
  - 入力情報としての【3D情報処理】→ ロボットによる識別や品質管理によりスマート工場の【自動化】に貢献
- 
- 論文・グラント・特許を通して、インプットである通信技術、プロセスであるソフトウェア技術、アウトプットである生産技術への適用と、多岐にわたる技術が報告されている
  - センサーネットワークを支える通信技術はますます重要。省電化もセンサーの低メンテナンスの観点で重要
  - 生産工程の最適化は重要な課題であり、コグニティブツインの概念に基づく技術が報告されている。労働者や機器寿命なども含めて様々な条件が対象になる
  - ロボティクスによる自動化は2050年を見据えて重要であり、キーになる要素のひとつとして3D情報がある

# グラントでは、流通システムや製造技術のデジタル化、通信技術の効率化のほか、機器を冷却する熱電デバイスなどを抽出

## KW時系列推移からの考察



### グラントにおける注目事例

- 【マルチパーティ】にまたがる流通システム→ 産業全体のサプライチェーンの【最適化】
  - 【PADPモデリング】による超音波溶接技術の最適化→ 様々な製造技術のデジタル化による【生産条件の最適化】
  - 【ワイヤレスセンサーネットワーク】の最適化→ スマートファクトリーの精度向上による【効率化】
  - 機械学習を活用した【アディティブマニュファクチャリング】→ 小ロット生産における【コストの削減】
  - 物質状態の【シミュレーション】→ 生産工程の【最適化】
  - IoT通信のパフォーマンスを高める【5G-MEC】→ スマート工場における【効率化・自動化】
  - 【熱電デバイス】による冷却とエネルギー回収・再利用→ コンピュータと通信機器の【安定作動と省エネルギー化】
- 
- 流通システムなど大規模な社会的な試みが行われており注目される
  - 溶接など生産技術の様々な分野において、DXを活用した最適化手法が進められている
  - 2050年のモノづくりの方向性のひとつとしてパーソナライズが挙げられるが、この観点では3Dプリンティング(アディティブマニュファクチャリング)は重要。もともとデジタルデータを利用するが、計算機技術の発展を背景にスマート化が検討されておりさらなる発展が期待される
  - コンピュータやデバイスの効率化は重要な課題であり、冷却・エネルギー再利用も注目される。

# 特許では、拡張現実による可視化技術のほか、生産管理・予測などに基づく種々の最適化技術を抽出

## KW時系列推移からの考察



### 特許における注目事例

- 【GWO】による生産スケジュールの最適化→ 製造ラインの【効率化】
- 【拡張現実】による不具合個所の可視化→ 正確・迅速な検査を可能にし、生産を【効率化】
- 【MES】をベースとした生産管理システム→ 製造工程全体の【効率化】
- 思考進化的アルゴリズムによる【品質傾向予測】→ 予測結果に基づく生産条件の変更による【ロスの削減】
- エンジェッジクラウド協調による【品質予測】→ 予測結果に基づく生産条件の変更による【ロスの削減】
  
- 特許においてもインプットである通信技術、プロセスであるソフトウェア技術、アウトプットである生産技術への適用と、多岐にわたる技術が報告されている
- 生産工程の最適化に関する個別技術は機械学習アルゴリズムの発展を背景に多く報告されている。グラント、論文ではさほど増加していないことから、実用段階に入っていることが伺える
- 生産の省人化・効率化において、拡張現実の活用は有用

# 3データソースの比較から、2050年の脱炭素社会に向けて有望な萌芽技術と応用の方向性を定性的に予測

## KW時系列推移からの考察



- 論文・グラント・特許を通して、インプット、プロセス、アウトプットの多岐にわたる技術が報告されており、いずれも大量のデータを活用することで製造の効率化に結び付けることを目的とする
- インプット(データ取得)では、幅広いデータの取得により最適化の精度を上げていくことが課題であり、工場内においては生体計測による労働者の状態のデータや、3D機械学習を利用した高精度の立体情報の取得、自社のサプライチェーンに留まらず業界をまたがるマルチパーティの情報取得、などが注目される
- インプット(通信)では、多数のセンサーが行うM2M通信の高速・安定化が課題であり、5G-MECやLoRaWanなどの通信技術が注目される。センサーのメンテナンスもまた実際の運用において重要な課題のひとつであり、電力消費の少ない通信技術や熱電デバイスによるエネルギーハーベスティングが注目される
- プロセス(製造の最適化・効率化)には、膨大なデータを扱うための処理速度と演算の正確さをさらに上げていくことが課題であり、生産管理ソフトウェア技術に加えて、GWOなどのアルゴリズム、量子コンピューティングによるモデル化などの処理技術が注目される
- アウトプット(生産への適用)には、パーソナライズに伴う多品種小ロット化への対応が重要であり、アディティブマニュファクチャリング(3Dプリンティング)とIoTや機械学習を組み合わせたスマート生産の試みに注目される
- アウトプット(生産への適用)のもうひとつの課題として「自動化」があり、種々の生産制御技術に加えて複数台のロボットによる協調制御技術の開発が進められており注目される



## E-2. 具体的な研究事例

asta  muse  
company

# Tyndall National Instituteではセンサーネットワークのための通信技術の効率化のため、低電力の広域通信技術LoRaWanの信頼性を高める研究を行っている

【LoRaWan】による通信の省電化・安定化→ センサーの長寿命化による【メンテナンスフリー】な製造ライン

DX事例:①

製造の効率化による  
消費エネルギー削減

## 論文情報

研究期間(所属国)	Tyndall National Institute(アイルランド)
著者	Dimitrios Zorbas; Khaled Q. Abdelfadeel; Panayiotis Kotzanikolaou; Dirk Pesch
掲載雑誌	Computer Communications
掲載年	2020
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.01.056">https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.01.056</a>

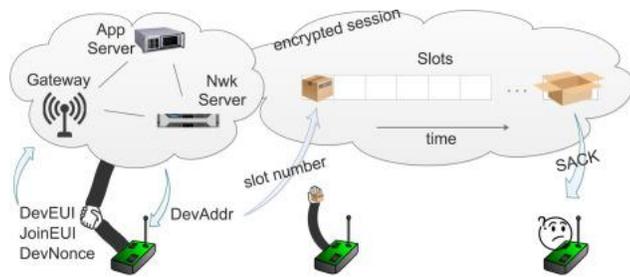
## 論文タイトル

TS-LoRa: Time-slotted LoRaWAN for the Industrial Internet of Things

## 注目キーワード

lot, lorawan

## 技術概要



図E-1 TS-LoRaのフェーズ: ネットワーク登録、データ送信、および同期

### (研究されている技術の概要)

- 製造業での自動化とデータキャプチャには、産業環境での多数のワイヤレスセンサーデバイスの展開が必要。LoRaWANは、低電力でリーズナブルなコストのネットワークテクノロジーを提供する
- 信頼性の高いネットワークのため、時間分割メカニズムを使用したTS-LoRaを検討

### (研究成果や今後の方向性)

- パケット配信率を損なうことなく、LoRaWANよりも低いエネルギー消費量を示した

# Hochschule Heilbronnでは、複雑な製造プロセス計算のための量子コンピューティングによるモデル化を研究している

【量子コンピューティング】→【センサーネットワーク】の複雑化に対応し、安定なIoT通信を実現

DX事例:②

製造の効率化による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究期間(所属国)	Hochschule Heilbronn(ドイツ)
著者	Javier Villalba-Diez et.al.
掲載雑誌	Sensors
掲載年	2021
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/s21155031">https://doi.org/10.3390/s21155031</a>

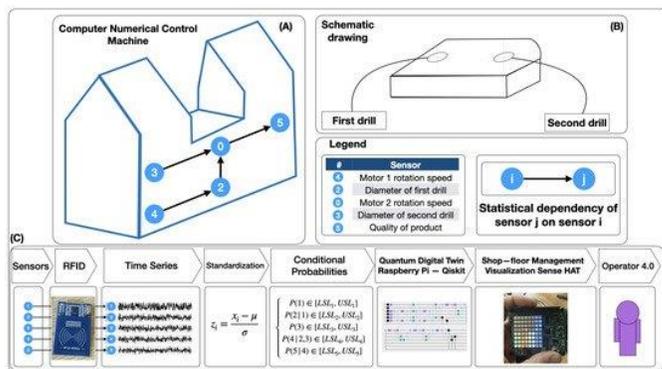
## 論文タイトル

Quantum JIDOKA. Integration of Quantum Simulation on a CNC Machine for In-Process Control Visualization

## 注目キーワード

Control, quantum, sensor

## 技術概要



図E-2

量子自動化のケーススタディのスキーム

(A) CNNマシンと概略センサーネットワーク。(B)概略製品図。(C)量子自動化作成プロセス

### (研究されている技術の概要)

- センサーネットワークにより製造プロセスを制御できる可能性が示されているが、意思決定にはかなりの計算時間を要するため自動化プロセスは困難である
- センサーネットワークの量子コンピューティングによるモデル化を検討

### (研究成果や今後の方向性)

- 量子コンピューティングは、その高い計算能力によりセンサー内部の複雑なネットワークをシミュレートでき、自動化に適用できることが示された

# École Polytechnique Fédérale de Lausanneでは、知識グラフを活用した認知モデルにより製造工場の意思決定を補助する研究を行っている

【コグニティブツイン】→ 製造工場の【意思決定】を最適化

DX事例:③

製造の効率化による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究期間(所属国)	École Polytechnique Fédérale de Lausanne (スイス)
著者	Joze M. Rozanec; Jinzhi Lu; Jan Rupnik; Maja Skrjanc; Dunja Mladenic; Blaz Fortuna; Xiaochen Zheng; Dimitris Kiritsis
掲載雑誌	International Journal of Production Research
掲載年	2021
DOI	<a href="https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2002967">https://doi.org/10.1080/00207543.2021.2002967</a>

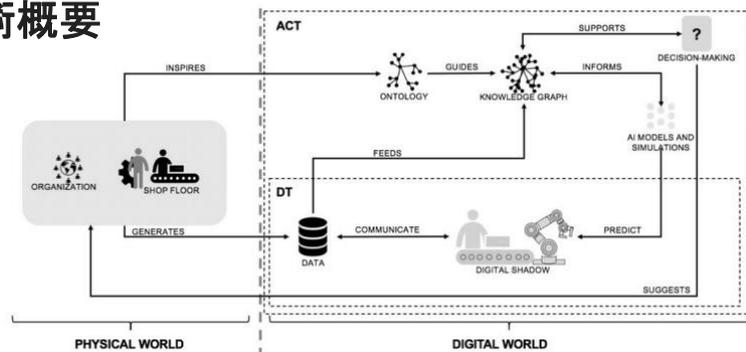
## 論文タイトル

Actionable Cognitive Twins for Decision Making in Manufacturing.

## 注目キーワード

Twins, cognitive

## 技術概要



図E-3 Actionable Cognitive Twinsの概要

### (研究されている技術の概要)

- Actionable Cognitive Twinsは、知識グラフと人工知能モデルを通じて認知機能が強化された次世代のデジタルツインである。製造工場における生産計画と需要予測に関連する知識グラフのモデリングアプローチを提案する
- 自動車産業に関連するヨーロッパのOEM向けに開発された2つのユースケースでアプローチを評価

### (研究成果や今後の方向性)

- さまざまなタイプの知識を関連付けて意味表現と演繹的推論機能を実現し、ユーザーに意思決定オプションを提案できる

# Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfungでは、プロセス分析技術によるリアルタイムモニタリングの効率化を研究している

【プロセス分析技術】→ プロセスデータのフィードバックによる【製造ロスの削減】

DX事例:④

製造の効率化による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究期間(所属国)	Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung(ドイツ)
著者	Simon Kern; Sascha Liehr; Lukas Wander; Martin Bornemann-Pfeiffer; Simon Müller; Michael Maiwald; Stefan Kowarik
掲載雑誌	Analytical and bioanalytical chemistry
掲載年	2020
DOI	<a href="https://doi.org/10.1007/s00216-020-02687-5">https://doi.org/10.1007/s00216-020-02687-5</a>

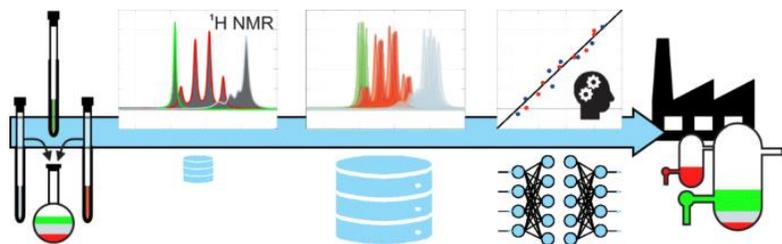
## 論文タイトル

Artificial neural networks for quantitative online NMR spectroscopy

## 注目キーワード

release, pat

## 技術概要



図E-4 PATのプロセス:測定、データ解析、定量、生産ラインへのフィードバック

### (研究されている技術の概要)

- プロセス分析技術(PAT)は、生産における自動化とデジタル化において重要性を増しているが、利用可能なデータセットが不十分なため実用性が限定されることがある
- オンライン核磁気共鳴(NMR)分光法において、大きなデータセットを得るための新しいプロトコルを検討

### (研究成果や今後の方向性)

- 人工ニューラルネットワーク(ANN)により、比較的限られた入力データからプロセス情報を推測できる可能性が認められた

# Raynor Foods Limitedらは、産学での取り組みによりマルチパーティ（複数の産業ドメイン）にまたがる流通システムを検討している

【マルチパーティ】にまたがる流通システム→ 産業全体のサプライチェーンの【最適化】

DX事例:⑤

製造の効率化による  
環境負荷低減

## グラント情報

研究機関 (所属国)	Raynor Foods Limited, University of Lincoln, R3 Limited, Tata Communications (UK) Limited, ほか9機関 (英国)
グラント種別 (国)	UKRI (英国)
代表研究者	Clare Hanning
配分額	5,052 (千ドル)
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=105810">https://gtr.ukri.org/projects?ref=105810</a>

## 研究タイトル

The Digital Sandwich - Digitised Food Supply Chain, fusing IoT, Blockchain and AI data layers to improve productivity, traceability and reduce waste

## 注目キーワード

Supply, multi-party

## 技術概要



図E-5 digital sandwich

### （研究されている技術の概要）

- ブロックチェーン、IoTプラットフォーム、AI分析などの新しいIDTテクノロジーは大規模な国際企業で行われているものの、中小企業を含む業界全体での採用がなければメリットは限定される
- 英国を代表するサンドイッチ企業であるRaynor Foods Ltdは、デジタル化された食品サプライチェーンのオープンなデモンストレーターを開発

### （研究成果や今後の方向性）

- 製薬、航空宇宙、自動車など、複雑で動きが速く信頼性の高いサプライチェーンを必要とする複数の産業ドメイン間（マルチパーティ）でベストプラクティス、テクノロジー、学習を共有する

# University of Illinois at Urbana-Champaignでは、新しい溶接技術において製造プロセスをモデル化した機械学習ツールの開発を行っている

【PADPモデリング】による超音波溶接技術の最適化→ 様々な製造技術のデジタル化による【生産条件の最適化】

DX事例: ⑥

製造の効率化による  
環境負荷低減

## グラント情報

研究機関 (所属国)	University of Illinois at Urbana-Champaign (米国)
グラント種別 (国)	NSF (米国)
代表研究者	Chenhui Shao
配分額	500(千ドル)
研究期間	2020～2025
Webサイト	<a href="https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1944345">https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1944345</a>

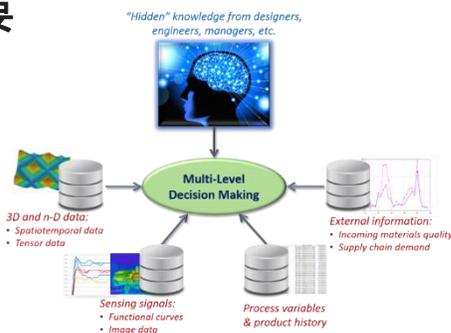
## 研究タイトル

CAREER: Dynamic Process-Attribute-Data-Performance Modeling to Enable Smart Ultrasonic Metal Welding

## 注目キーワード

Process, real-time

## 技術概要



### (研究されている技術の概要)

- 超音波金属溶接 (UMW) は、従来の熔融溶接技術に比べて異種金属の接合、エネルギー効率、短い溶接サイクル、環境への配慮などの利点があり、電動化・軽量化車両の高度製造用に有望
- プロセス-属性-データ-パフォーマンス (PADP) をモデル化し、プロセスの最適化、オンライン品質監視、リアルタイム制御など、プロセス制御のための機械学習ツールを開発する

### (研究成果や今後の方向性)

- 微細構造溶接属性、オンラインセンシングデータ、および溶接性能などのプロセスメカニズムの理解を深め、最終的にスマートUMWを可能にする機械学習ベースの意思決定ツールを確立する

図E-6 製造アプリケーションにおけるリアルタイムの意思決定のためのアプローチ

# IMT, Télécom SudParisでは、機械間通信に用いる通信ネットワークの最適化を研究している

【ワイヤレスセンサーネットワーク】の最適化→スマートファクトリーの精度向上による【効率化】

DX事例: ⑦

処理の最適化による  
消費エネルギーの低減

## グラント情報

研究機関 (所属国)	IMT, Télécom SudParis (フランス)
グラント種別 (国)	ANR (フランス)
代表研究者	BADII JOUABER
配分額	399 (千ドル)
研究期間	2020～2024
Webサイト	<a href="https://anr.fr/Project-ANR-19-LCV2-0012">https://anr.fr/Project-ANR-19-LCV2-0012</a>

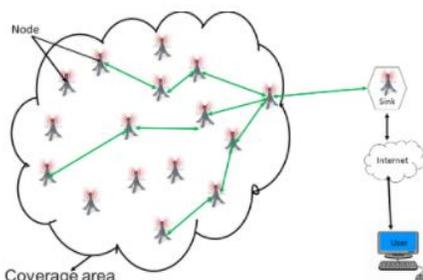
## 研究タイトル

Artificial Intelligence and Dynamic Modeling tools for Future Flexible Networks – AIDY-F2N

## 注目キーワード

5g, machine-to-machine

## 技術概要



図E-7 ワイヤレスセンサーネットワーク

### (研究されている技術の概要)

- 通信ネットワークとサービスのシステムの挙動をリアルタイムでモデル化し、進化を予測するための人工知能ツールの研究
- 複雑な問題、組み合わせ最適化、確率的限界、学習手法（機械学習と深層学習）をより簡単かつ迅速に解決するために、分解と集約の手法を含むいくつかの最適化手法を検討

### (研究成果や今後の方向性)

- IoTにおけるマシン間のリアルタイム予測、仮想ネットワークの動的な自動化などへの適用が期待される

# University of Nebraska-Lincolnでは、3DプリンティングとIoTを組み合わせたスマート生産を研究している

機械学習を活用した【アディティブマニュファクチャリング】→ 小ロット生産における【コストの削減】

DX事例: ⑧

製造の効率化による  
環境負荷低減

## グラント情報

研究機関 (所属国)	University of Nebraska-Lincoln (米国)
グラント種別 (国)	NSF (米国)
代表研究者	Prahalada Rao
配分額	649 (千ドル)
研究期間	2018～2023
Webサイト	<a href="https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1752069">https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1752069</a>

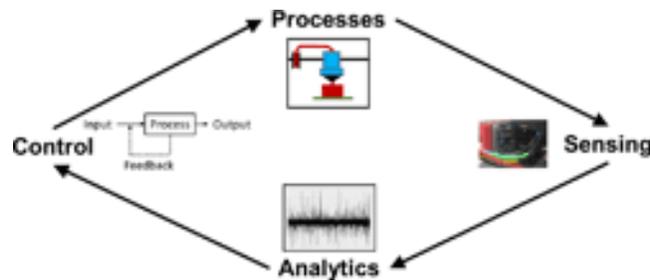
## 研究タイトル

CAREER: Smart Additive Manufacturing - Fundamental Research in Sensing, Data Science, and Modeling Toward Zero Part Defects.

## 注目キーワード

Manufacturing, additive

## 技術概要



図E-8 生産プロセスのコンセプト図

### (研究されている技術の概要)

- アディティブマニュファクチャリングは3Dプリンティングをプロトタイピングでなく実生産に使用する。スマートマニュファクチャリングは複数のセンサから収集したデータを用いて製造を監視し、いずれもコスト削減に有効。
- レーザー粉末床融合ベースの金属の積層造形における部品品質の低下を軽減するためのスマート積層造形フレームワークを確立する

### (研究成果や今後の方向性)

- アディティブマニュファクチャリングとスマートマニュファクチャリングを組み合わせ、産業を変革する

# Kunming University of Science and Technologyでは、灰色オオカミ最適化手法 (GWO)を適用し製造ラインのスケジューリングの最適化を研究している

【GWO】による生産スケジュールの最適化→ 製造ラインの【効率化】

DX事例: ⑨

製造の効率化による  
環境負荷低減

## 特許情報

出願人	Kunming University of Science and Technology
所属国	中国
発明者	QIAN BIN   HUANG YUANYUAN   HU RONG   WU LIPING
公報番号	CN109102112A
出願日	2018-07-27

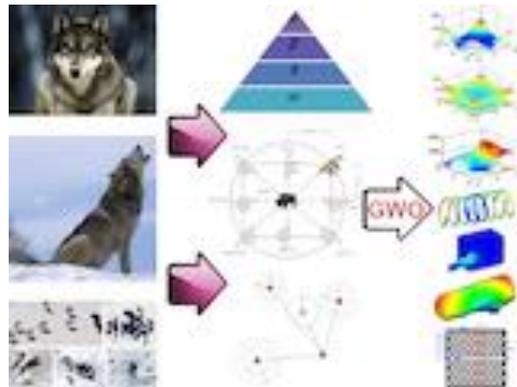
## 特許タイトル

An optimal scheduling method for the production process of an applied garment factory assembly line

## 注目キーワード

Optimization, prediction

## 技術概要



図E-9 灰色オオカミ最適化アルゴリズム

### (研究されている技術の概要)

- 衣料品工場のラインフロー手順に適用される一種の最適化スケジューリングであり、各マシンを合理的に利用し、省エネを実現する
- 灰色オオカミ最適化手法を用いてモデルに対応する最適化を実行する

### (研究成果や今後の方向性)

- ラインフロー手順を短期間でより合理的な生産決定を提供することにより、リードタイム、省エネ、省ロスなどに結び付けることが可能

# The Boeing Companyでは、拡張現実を活用した不具合箇所の可視化による効率的な製造について研究している

【拡張現実】による不具合箇所の可視化→ 正確・迅速な検査を可能にし、生産を【効率化】

DX事例: ⑩

検査の効率化による  
環境負荷低減

## 特許情報

出願人	The Boeing Company
所属国	米国
発明者	Scott, Jeremiah Kent   Baker, Robert Stephen Kanematsu   Beretta, Bryan James   Bernardoni, Michael Louis
公報番号	US10740987B2
出願日	2018-10-12

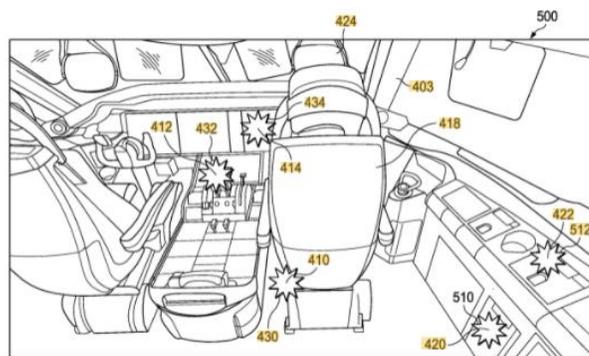
## 特許タイトル

Augmented reality system for visualizing nonconformance data for an object

## 注目キーワード

reality, nonconformance

## 技術概要



図E-10 航空機(コックピット)の不具合箇所の可視化イメージ

### (研究されている技術の概要)

- 航空機の製造において製造段階にある航空機の不適合データを視覚化する方法、装置、およびシステムに関連する
- 三次元スキャナー、カメラ、GPS、タイムオブフライトなどによる三次元情報を取り込むとともに、別途検出された不適合箇所のデータを拡張現実システムにより可視化する

### (研究成果や今後の方向性)

- 自動車、発電所、橋、ダム、製造施設、建物、エンジンなど、様々な製品の製造に応用できる

# University of Nottinghamでは近赤外分光法を用いて労働者の精神状態を非侵襲的に測定する技術を研究している

【労働者の状態】の数値化・モデル化→【労働環境や仕事のやり方を最適化】し人間らしいモノづくりの在り方を見つける

DX事例: ⑪

労働者の状態の可視化

## 論文情報

研究期間(所属国)	University of Nottingham(英国)
著者	Elizabeth M. Argyle; Adrian Marinescu; Max L. Wilson; Glyn Lawson; Sarah Sharples
掲載雑誌	International Journal of Human-Computer Studies
掲載年	2021
DOI	10.1016/j.ijhcs.2020.102522

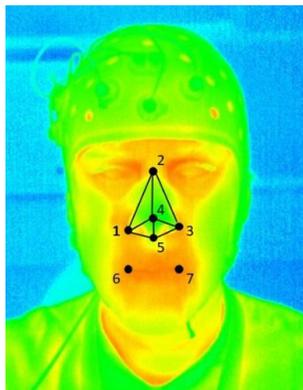
## 論文タイトル

Physiological indicators of task demand, fatigue, and cognition in future digital manufacturing environments

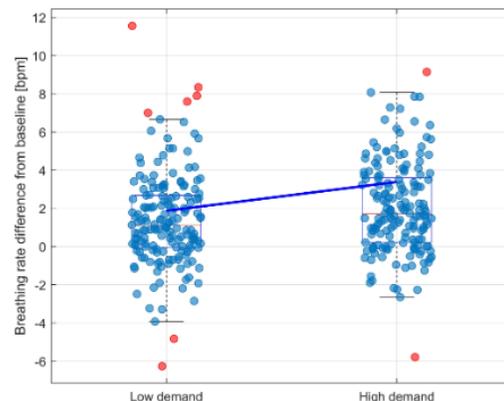
## 注目キーワード

near IR, physiological data, monitoring, cerebral hemodynamic response

## 技術概要



図E-11 顔のサーモグラフィ



図E-12 呼吸数とタスク強度の関係

### (研究されている技術の概要)

- 近赤外分光法を用いて脳血流を測定することによって疲労や集中力を非侵襲的に疲労を測定する
- 測定の結果、脳血流は心拍数や呼吸数に有意に関連することが明らかとなっている

### (研究成果や今後の方向性)

- 作業タスクと集中力の持続性との関連を明らかにすることでより良い労働環境を提供する

# Centre national de la recherche scientifiqueらのグループでは、デジタルツインによる燃料電池の残存耐用年数の予測について研究している

【耐用年数の予測】 → 製品ライフサイクル予測による生産計画の【最適化】、機器寿命予測によるメンテナンスの【最適化】

DX事例: ⑫

寿命予測

## 論文情報

研究期間(所属国)	Centre national de la recherche scientifique(フランス)
著者	Safa Meraghni; Labib Sadek Terrissa; Meiling Yue; Jian Ma; Samir Jemei; Nouredine Zerhouni
掲載雑誌	International Journal of Human-Computer Studies
掲載年	2021
DOI	<a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.108">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.108</a>

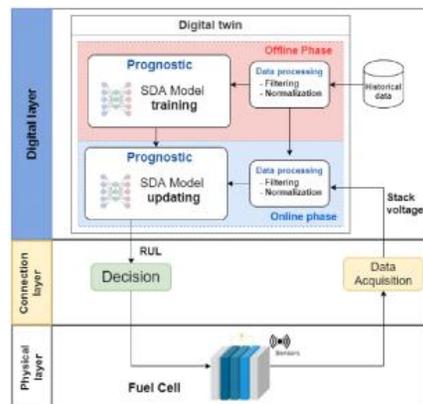
## 論文タイトル

**A data-driven digital-twin prognostics method for proton exchange membrane fuel cell remaining useful life prediction**

## 注目キーワード

**Data-driven digital twin, life prediction, smart manufacturing, deep transfer learning**

## 技術概要



図E-13 コンセプト図

### (研究されている技術の概要)

- プロトン交換膜燃料電池は耐久性が重要な課題であり、デジタルツインを利用した寿命予測を行う
- 深層伝達学習モデルを利用したデータ駆動型デジタルツイン技術により、オンラインで寿命予測を行う

### (研究成果や今後の方向性)

- ケーススタディにおいて高い予測精度が得られ、限られた測定データでも影響が少ないことが示された
- 製品ライフサイクルの予測による需要予測、機器のメンテナンスの効率化などに活用することで、モノづくり全体の効率化を図ることができる

# Chinese Academy of Sciencesらのグループは、複数のロボットの衝突を防ぐための監視システムについて研究している

【ロボットの協調制御】ロボットの協調制御→ 複数のロボットが稼働するスマートファクトリーの【最適化・自動化】

DX事例: ⑬

複数ロボットの監視システム

## 論文情報

研究期間(所属国)	Chinese Academy of Sciences(中国)
著者	Xueyan Zong; Yan Luan; Hongliang Wang; Shu Li
掲載雑誌	Procedia Computer Science
掲載年	2021
DOI	DOI:10.1016/j.procs.2021.02.035

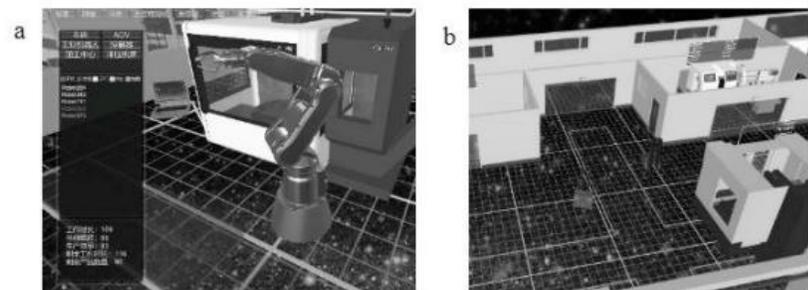
## 論文タイトル

A multi-robot monitoring system based on digital twin

## 注目キーワード

Monitoring, multi-robot, digital twin,

## 技術概要



図E-14 コンセプト図 (a) The working interface of the robot (b) Collision scene

### (研究されている技術の概要)

- 自働化工場においては複数台のロボットがそれぞれのタスクにより自動走行することが想定されるが、それらを衝突することなく連携させることは難しい。
- デジタルツインにより実モデルを仮想モデルにマッピングし、ロボットの動きをシミュレートするマルチロボット監視システムを提案

### (研究成果や今後の方向性)

- 設計されたシステムにより実際の生産をシミュレートし、産業用ロボットを監視することで工場の生産効率を高められる

# Norwegian University of Science and Technologyらのグループでは、3D機械学習を活用した3D情報のモデル化について研究している

入力情報としての【3D情報処理】→ロボットによる識別や品質管理によりスマート工場の【自動化】に貢献

DX事例: ⑭

3D機械学習によるモデル化

## 論文情報

研究期間(所属国)	Norwegian University of Science and Technology(ノルウェー)
著者	Tiril Sundby; Julia Maria Graham; Adil Rasheed; Mandar Tabib; Omer San
掲載雑誌	Digital
掲載年	2021
DOI	<a href="https://doi.org/10.3390/digital1020009">https://doi.org/10.3390/digital1020009</a>

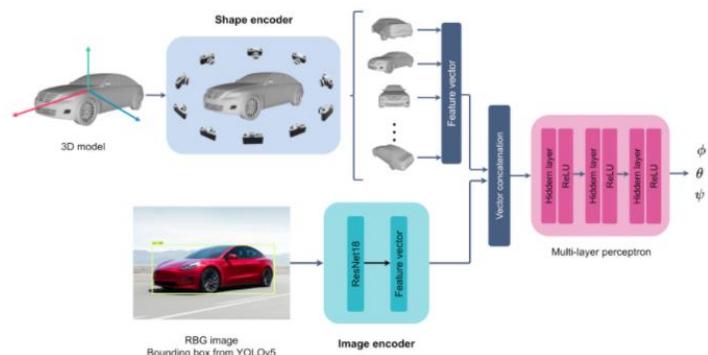
## 論文タイトル

**Geometric Change Detection in Digital Twins using 3D Machine Learning.**

## 注目キーワード

**3D-ML, modeling, dynamic mode decomposition, digital twins**

## 技術概要



図E-15 コンセプト図

### (研究されている技術の概要)

- 3D情報のデジタルへの取り込みは工場生産において有用性が高いが、情報量の多さのため迅速な処理が必要。
- 3D機械学習を用いて特徴量を抽出し、姿勢の変化と関連するデータのみを保存することで3Dシーンをリアルタイムで更新する。

### (研究成果や今後の方向性)

- モデル実験においては姿勢の変化を精度高く取り込むことが可能であった。
- 3D情報の迅速な取り込みにより、精度の高いロボット操作や製品の管理が可能になる。

# Imperial College Londonらのグループでは、化学工業などの生産プロセスに重要な力学シミュレーションについて研究している

物質状態の【シミュレーション】→生産工程の【最適化】

DX事例: ⑮

力学シミュレーション

## グラント情報

研究機関 (所属国)	Imperial College London、University of Warwick、University of Exeter、University of Oxford (英国)
グラント種別 (国)	UKRI (英国)
代表研究者	Paul Kelly
配分額	223.670 (千ドル)
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=EP/V001493/1">https://gtr.ukri.org/projects?ref=EP/V001493/1</a>

## 研究タイトル

Gen X: ExCALIBUR working group on Exascale continuum mechanics through code generation.

## 注目キーワード

Exascale computing, continuum mechanics, simulation, continuous physical process

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 連続体力学は固体と流体の力学特性に関する学際分野であり、材料の製造において重要な基礎的知識である。
- 本プロジェクトはコンピューティングの専門家を筆頭としプロジェクトであり、様々な計算手法を検討することでエグザスケールの高速演算を活用したシミュレーションソフトウェアの構築を目指す。

### (研究成果や今後の方向性)

- 流体力学を利用した製品(化学、医薬、食品など)の製造ライン設計・運転の最適化のために利用される。
- 固体力学を利用した素形材の製造ライン設計・運転の最適化のために利用される。

# UNIVERSITETET I STAVANGERでは、5Gの工場でのパフォーマンスを革新するマルチアクセスエッジコンピューティング (MEC) の信頼性を研究している

IoT通信のパフォーマンスを高める【5G-MEC】→スマート工場における【効率化・自動化】

DX事例: ⑩

5G-MEC

## グラント情報

研究機関 (所属国)	UNIVERSITETET I STAVANGER DET TEKNISK (ノルウェー)
グラント種別 (国)	RCN (ノルウェー)
代表研究者	Associate professor Gianfranco Nencioni
配分額	1513.243 (千ドル)
Webサイト	<a href="https://prosjektbanken.forskningradet.no/project/FORISS/308909">https://prosjektbanken.forskningradet.no/project/FORISS/308909</a>

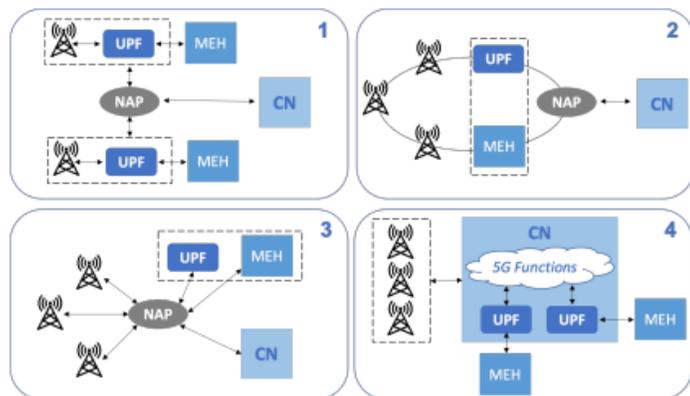
## 研究タイトル

5G Management and Orchestration for Data and Network Integration

## 注目キーワード

multi-access edge computing, mec, 5g, orchestrating, 5g-mec

## 技術概要



図E-16 5G-MEC Deployment Scenarios

### (研究されている技術の概要)

- 様々な機器が同時にアクセスできる分散型コンピューティングシステム (MEC) は5Gを用いたIoT通信のパフォーマンスを飛躍的に向上させる
- 本プロジェクトでは5G-MECのセキュリティの信頼性について評価し、自動車用の5G-MECテストベッドを開発する

### (研究成果や今後の方向性)

- 5G MECは、eHealth、Smart City、Industry 4.0、自動車などにおいて大容量の高速IoT通信を可能にし、パフォーマンスを高める

# Loughborough Universityでは、様々な情報機器のエネルギーハーベスティングに利用できる熱電デバイスについて研究している

【熱電デバイス】による冷却とエネルギー回収・再利用→コンピュータと通信機器の【安定作動と省エネルギー化】

DX事例: ⑰

熱電デバイス

## グラント情報

研究機関 (所属国)	Loughborough University (英国)
グラント種別 (国)	UKRI (英国)
代表研究者	Kelly Morrison
配分額	1,087.120 (千ドル)
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=EP/P006221/1">https://gtr.ukri.org/projects?ref=EP/P006221/1</a>

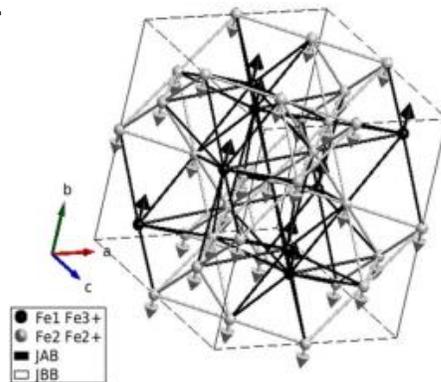
## 研究タイトル

Reliable, Scalable and Affordable Thermoelectrics: Spin Seebeck Based Devices for Energy Harvesting

## 注目キーワード

Energy harvesting, thermoelectric, spin seebeck

## 技術概要



図E-17 Fe304の構造

### (研究されている技術の概要)

- 熱電デバイスは熱を電気に変換することができ、発熱が課題となっているコンピュータや通信機器の冷却とエネルギーの再利用のために利用できる
- イットリウム鉄ガーネットや酸化鉄などのナノエンジニアリング素材を活用した高性能な熱電デバイスの開発を目的とする

### (研究成果や今後の方向性)

- コンピュータや通信機器の発熱を抑制し、エネルギーを回収・再利用する
- 量子効果のために高度な冷却を必要とする量子コンピュータへの利用

# Jiangsu Bohao Intelligent Technology社は、製造実行システム(MES)に基づく生産管理システムを開発している

【MES】をベースとした生産管理システム→製造工程全体の【効率化】

DX事例: ⑱

MESベースの生産管理システム

## 特許情報

出願人	JIANGSU BOHAO INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.
所属国	中国
発明者	SI YANQING   LIN ZHAO   LIU JUNDONG   WANG JIE
公報番号	CN111581200B
出願日	2020-05-09

## 特許タイトル

MES-based production management system

## 注目キーワード

MES, manufacturing execution system, optimize

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- MESをベースとした生産管理はモノづくりの効率化において重要
- MESは注文・スケジューリング・生産指示・プロセス実行監視・生産データ取得・統計処理などからなるが、実行データの蓄積によりサーバーが圧迫される課題がある
- 本出願では、データストレージを比較・識別することで無駄なデータ保存を削減する技術により、MESベースの管理システムを開発した

### (研究成果や今後の方向性)

- 生産プロセスの全体を統合したMESベースのシステムは、スマート工場の生産効率化のために今後ますます重要となる
- コンピュータの演算能力の将来的な進化が予測されるとはいえ、生産プロセスにおいて必要とされるデータ量はそれを上回る可能性もあり、データの効率的な利用技術は将来的にも重要

# 北京工業大学では、思考進化的アルゴリズムを用いた品質傾向予測技術を開発している

思考進化的アルゴリズムによる【品質傾向予測】→予測結果に基づく生産条件の変更による【ロスの削減】

DX事例: ⑱

品質予測技術

## 特許情報

出願人	BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
所属国	中国
発明者	CHU HONGYAN   ZHAO KAILIN   CHENG QIANG   LIU CHENFEI   LI RUI
公報番号	CN111598435A
出願日	2020-05-14

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 品質予測技術は、ロスをなくし最適な生産を達成するために大きく貢献できるものの、多くの要素が関係するために、製造時間内に予測が間に合わないことがあり、課題となっている
- モデルの確立、誤差影響の算出、データの融合、多層パーセプトロンの最適化によって構成される品質傾向予測モジュールを確立

## 特許タイトル

Quality trend prediction method based on adaptive feature selection and improved mind evolutionary algorithm

## 注目キーワード

thought evolutionary algorithm, adaptive feature selection, multi-layer perceptron, quality trend prediction

### (研究成果や今後の方向性)

- 優れた品質予測技術が確立されることにより、不測の事態に対応することが可能となり、振れの大きい天然原料由来の製品を効率的に生産できる

# 東北大学(中国)では、エンドエッジクラウド協調による製品品質の予測技術を開発している

エンドエッジクラウド協調による【品質予測】→予測結果に基づく生産条件の変更による【ロスの削減】

DX事例: ⑳

品質予測技術

## 特許情報

出願人	NORTHEASTERN UNIVERSITY
所属国	中国
発明者	DING JINLIANG   MA YUFEI   Liu Changxin   CHAI TIANYOU   ZENG CHENG
公報番号	CN111258984A
出願日	2020-01-17

## 特許タイトル

Product quality end-edge-cloud collaborative forecasting method in industrial big data environment

## 注目キーワード

quality forecasting, end-edge-cloud collaborative, real-time, cloud computing, edge computing

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 製品品質の予測のため、産業用ビッグデータの活用のためのクラウドコンピューティングと、センサーによる製造プロセスデータのためのエッジコンピューティングを協調的に利用する
- クラウド上のビッグデータを使用して学習する一方で、ターミナルサーバーにおいて予測モデルを継続的に修正することでより正確な予測を可能にする

### (研究成果や今後の方向性)

- 製造プロセスで生成されたリアルタイムデータを効果的に利用することで、より効率化された最適生産が可能になる
- こうした予測モデルの精密かつ迅速な生成は、多品種小ロット生産にも耐えうる自働化工場の制御に結び付く

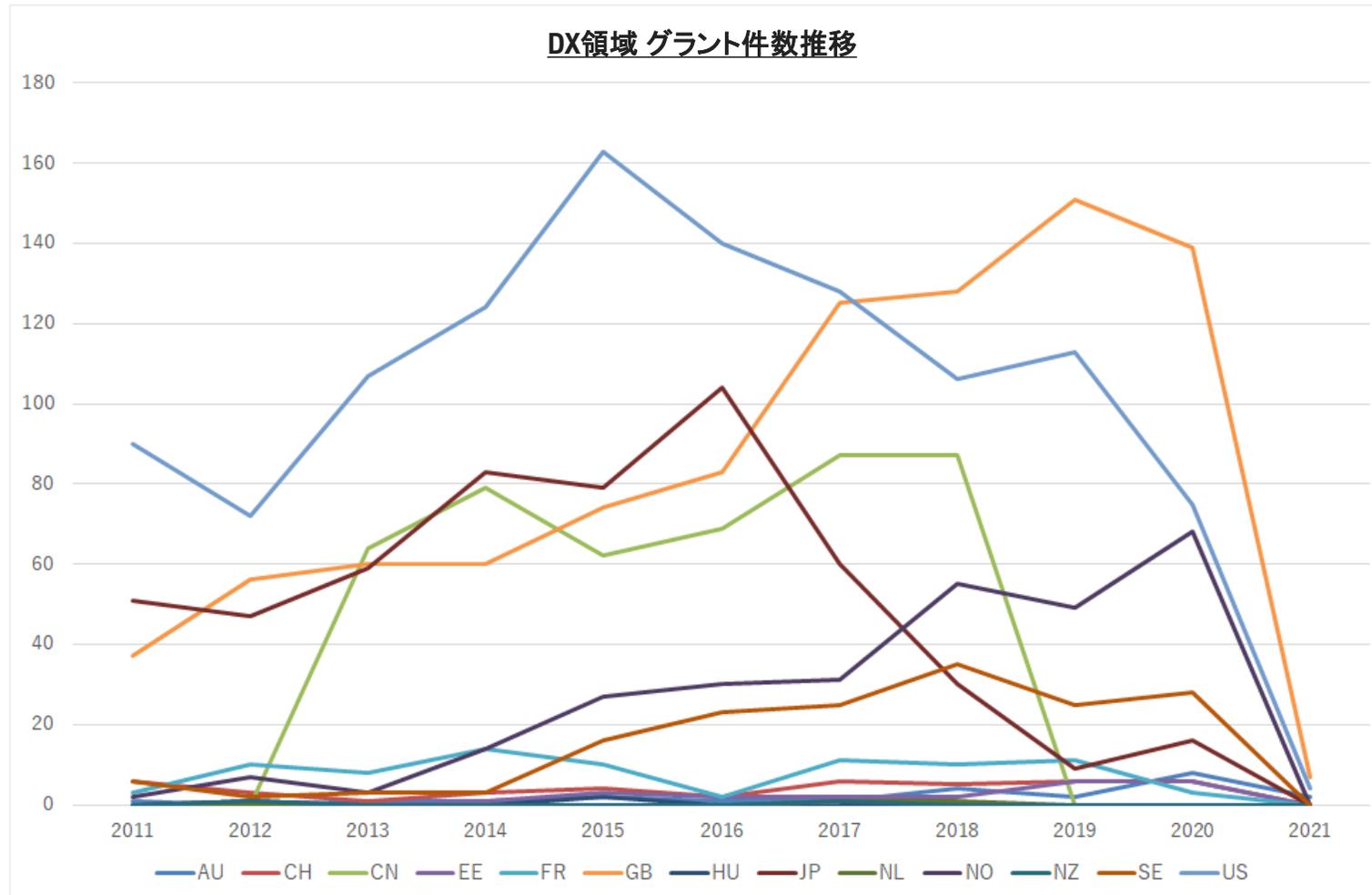


## E-3. 国際競争力の評価

asta  muse  
company

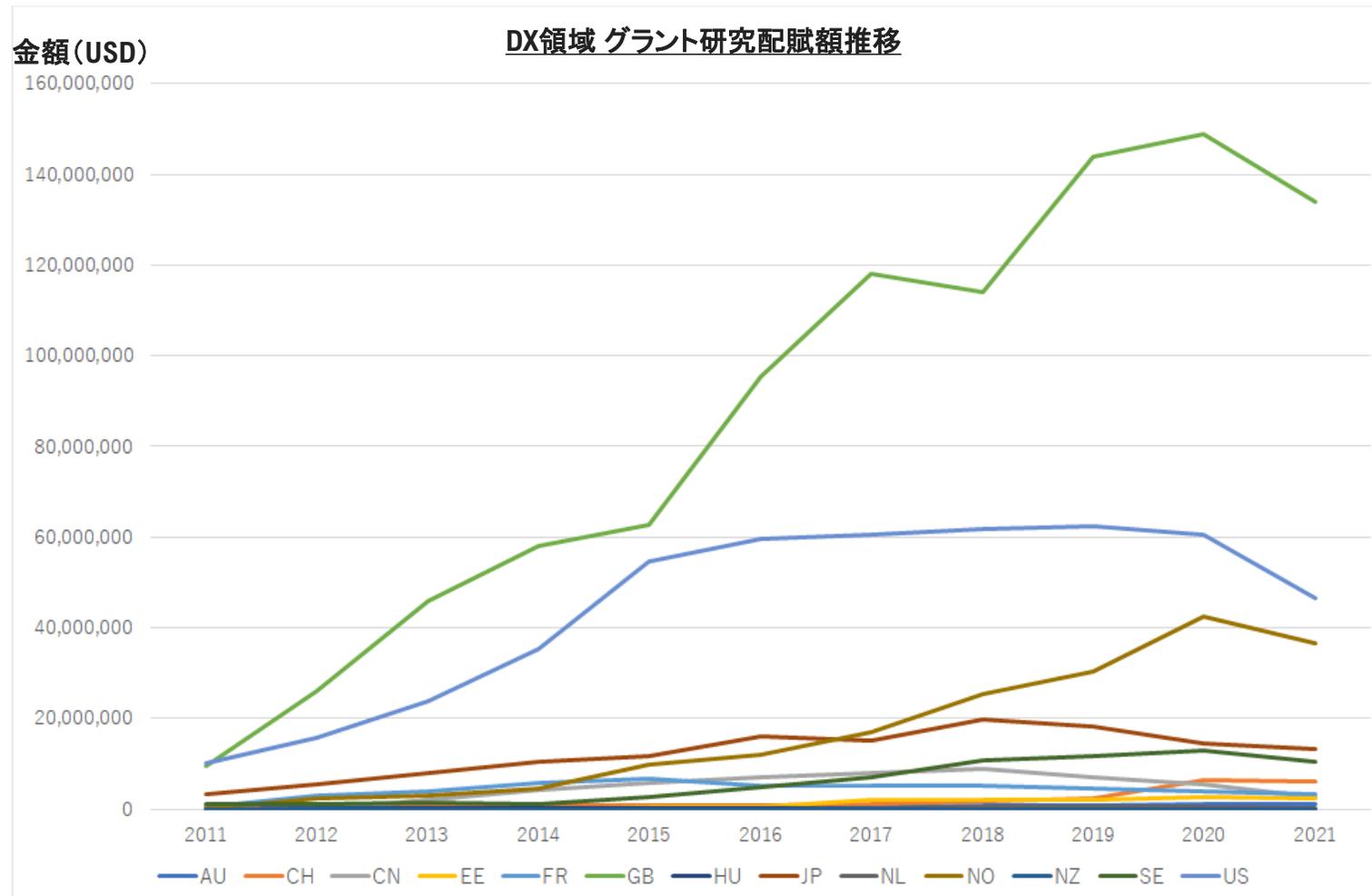
# グラント件数は米国が最も多かったが、2017年以降英国が一位となっている。 日本は2016年以降急激に減少している

## グラント件数推移



# グラント研究配賦額は英国が最も多く、上昇しており、次いで米国が多かった。 件数の多い中国の配賦額は小さかった

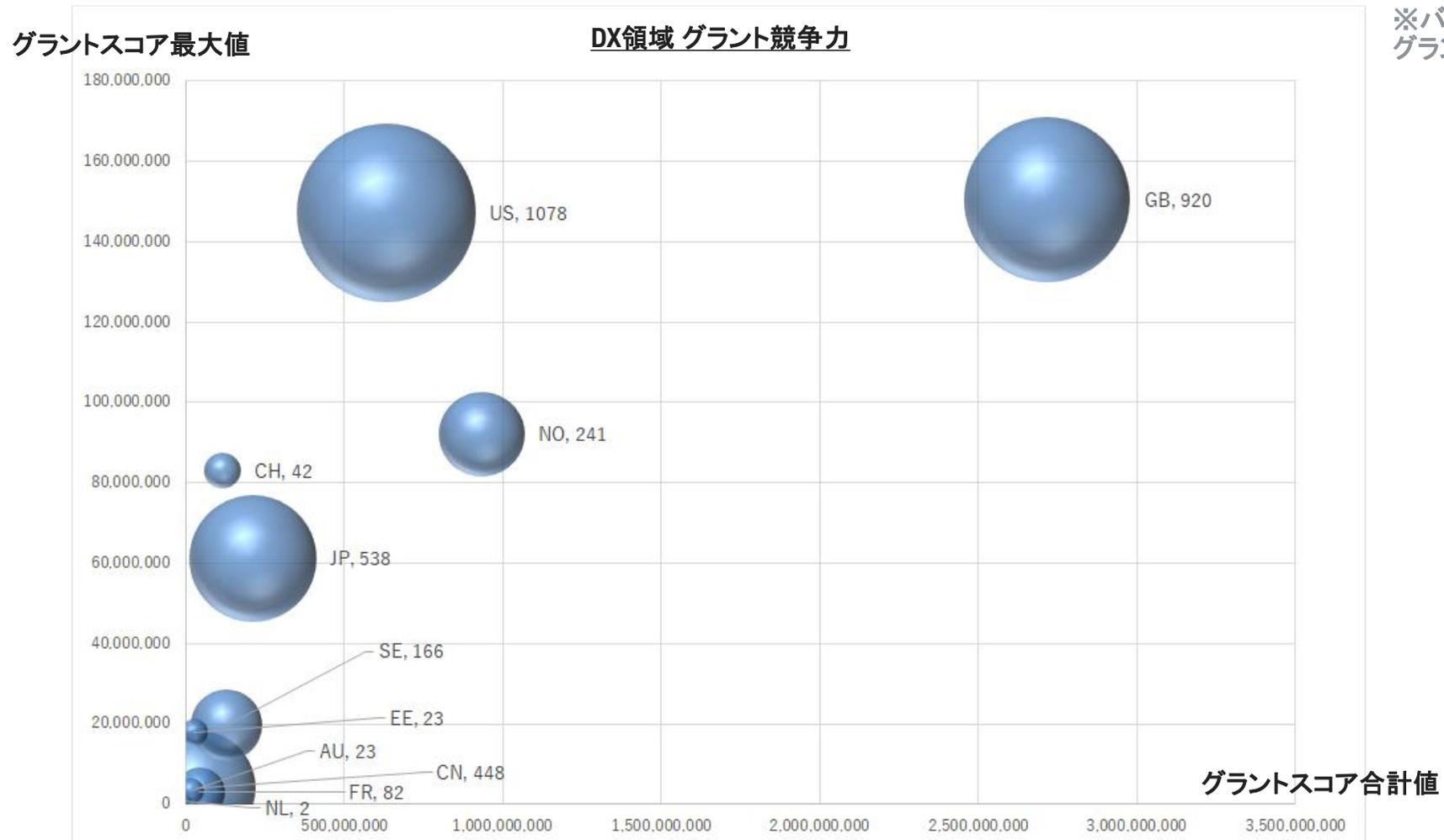
## グラント研究配賦額推移



※研究配賦額はProject期間で均等に割った値を集計

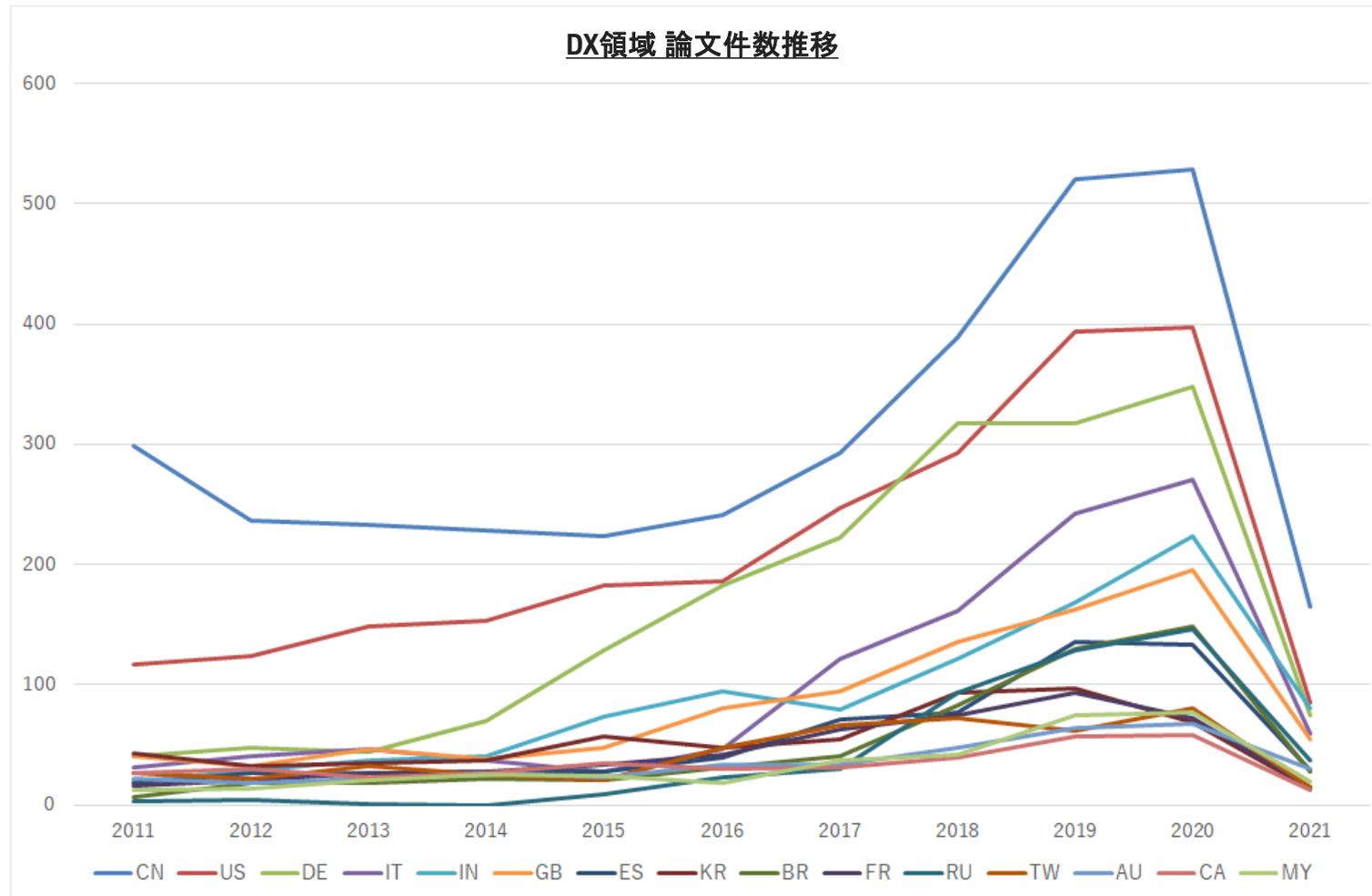
# グラント競争力はスコア合計値・最大値共に英国が最も高く、合計値においては2位がノルウェー、最大値においては米国であった

## グラント競争力



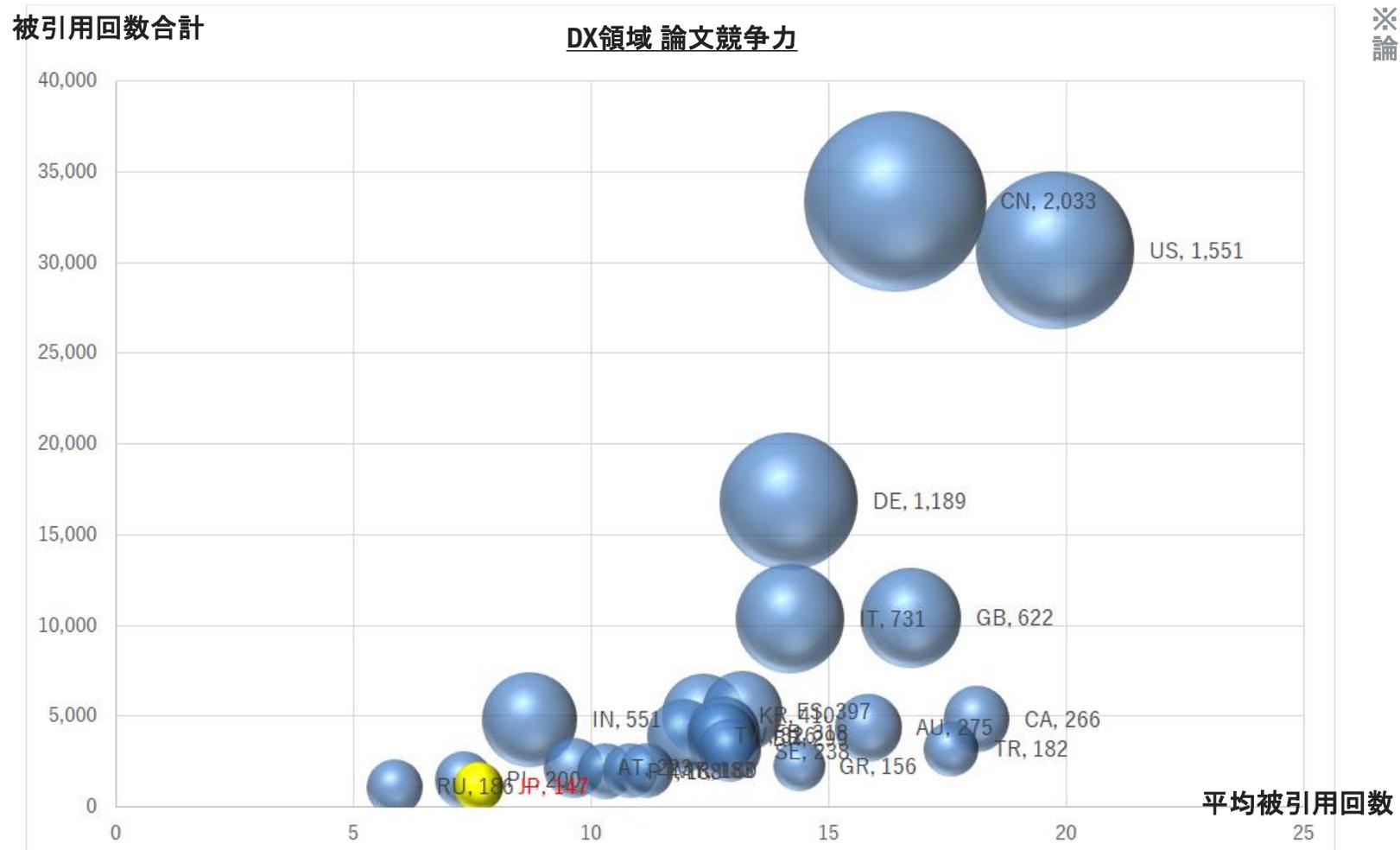
# 論文件数は中国が最も多く、次いで米国、ドイツ、イタリアであり、日本は上位15位以内にランクインしなかった

## 論文件数推移



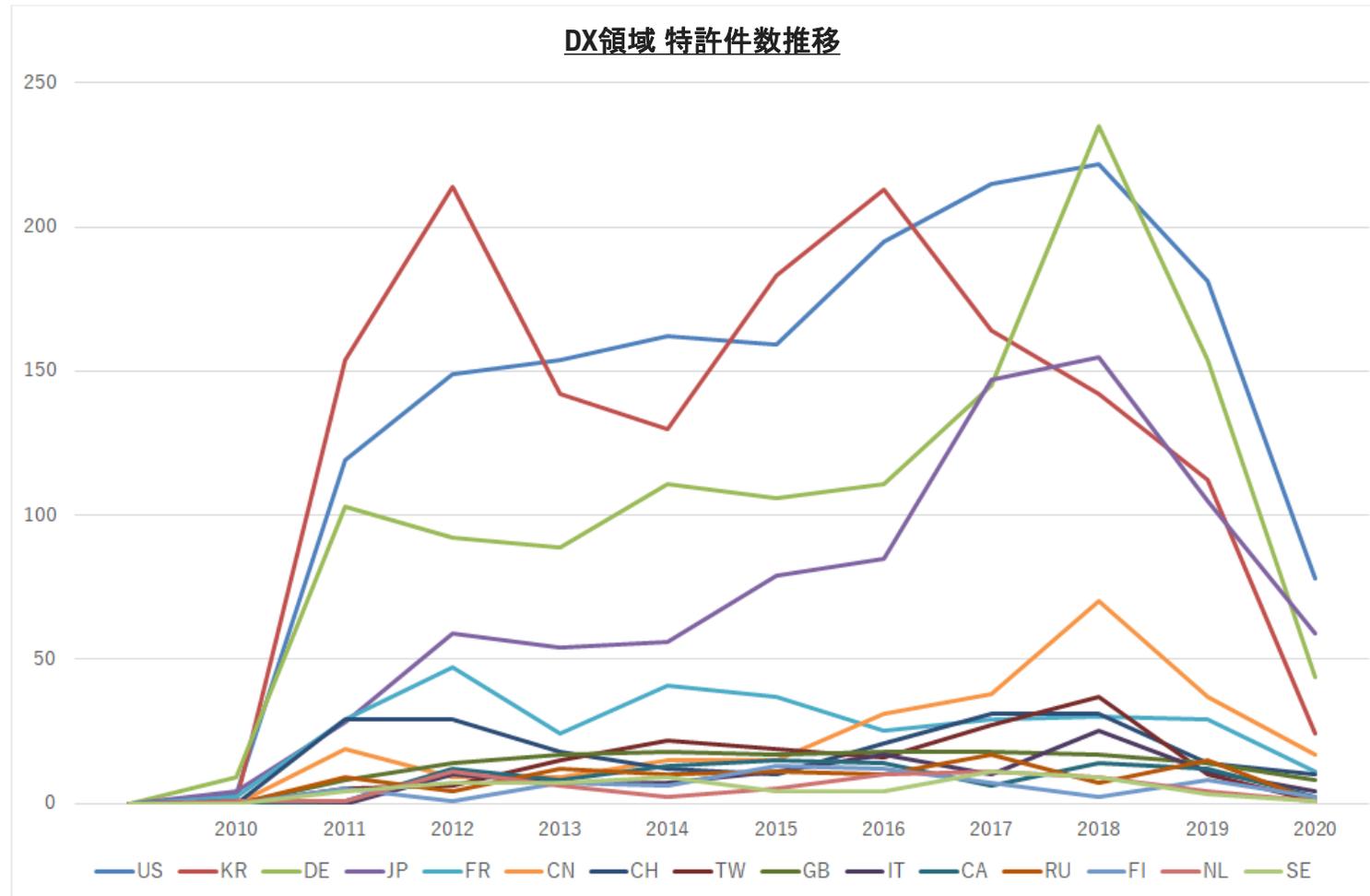
# 論文競争力は平均被引用回数において米国が最も多く、件数は少ないものの次いでカナダであり、欧州諸国も高い。日本は下位に位置していた

## 論文競争力



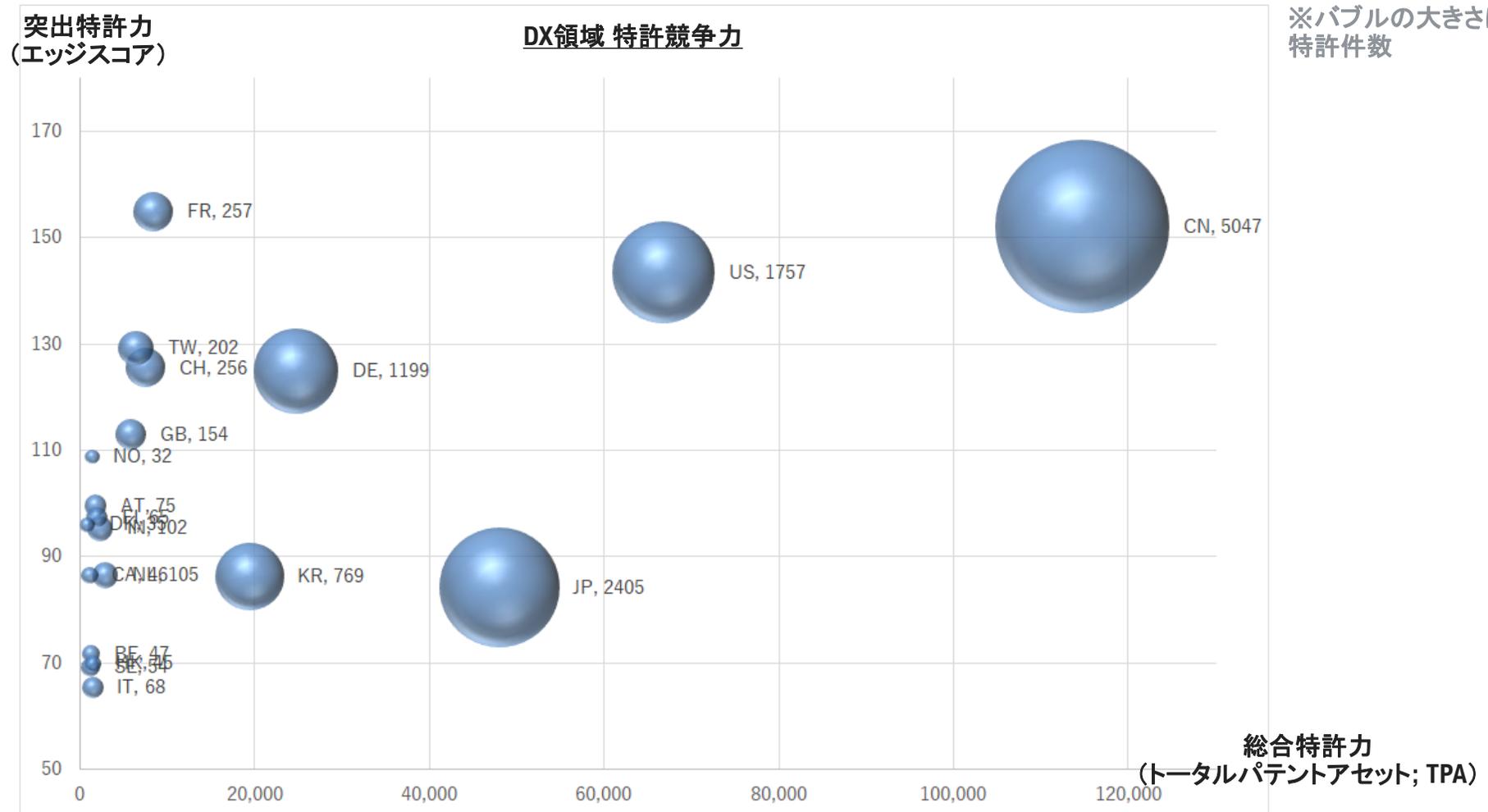
# 特許件数は米国が最も多く、次いでスウェーデン、韓国、日本である

## 特許件数推移



# 特許競争力は、TPD・エッジスコア・件数において中国が強く、件数は少ないものの、米国やフランスも高い。日本は件数は多いが競争力は低い

## 特許競争力





## E-4. 抽出結果の解釈

# ものづくりDXは、個々の技術は既存技術の延長線上での進化であるものの、その「掛け合わせ」が2050年にかけて実用化され、断続的な進化をもたらすと解釈可能

抽出されたキーワード・研究事例を踏まえた全体としての解釈

- 連語による抽出/直近年度への着目の結果、STEP2と比較して、より具体的なキーワードが抽出され(※)、事例としても広がりが生じた
  - 例えば、通信系だとSTEP 2では「5G(単語)」が特徴的であったが、STEP 4では「5G」に加え「5G-mec ( multi-access edge computing )」が抽出された、等
- ものづくり工程のDXによる価値の広がり方で捉えると、以下の5段階に分類可能
  - ①特定のものづくり工程の最適化(A)
  - ②協調制御の導入、生産計画・需要予測等、製造工程を俯瞰した最適化による「ムダ(エネルギー・製造ロス)」の削減(B)
  - ③①②を支える、センサー/画像処理等によるアナログ情報のデータ化(C)
  - ④①②を支える、通信技術・ハードウェア関連技術の高度化(D・E)
  - ⑤①②の効果を最大化する為の、業界・サプライチェーンを跨いだ最適化(F)
- 個々の技術は既存の技術の延長戦上での進化(応用～実用化研究)と解釈できるものが大半であり、2030年頃には実用化、浸透し始めている可能性もある。しかし、ものづくり工程全体の最適化は、A～Eまでの技術の「掛け合わせ」によって実現されるため、インテグレーションが進み、真の意味で「実用化」が行われるのは2030年~2050年にかけてであると推測できる
- 上記に関連して、特に企業や業種間を跨いだ最適化(F)は、セキュリティ技術の向上やルールメイキング等、テーマ外の技術や、技術以外の観点も重要である
- また、今回抽出されたような技術の導入に乗り遅れる企業が生じた場合、企業や業種を跨いだ最適化を妨げる可能性がある

青字: Step 2/3に加えて  
STEP 4/5で更新・追加された内容

# 事例をカテゴライズし、抽出されたKWと紐づけると、以下の通り(1/2)

#	カテゴリ	重要技術の研究例	事例No.	時系列変化に特徴のある注目キーワード	事例に登場する関連キーワード
A	ものづくりの特定工程の最適化による、省エネルギー化/製造ロス(廃棄ロス)の削減	個別の技術のプロセスをモデル化し、機械学習で制御可能にし、製造効率化、省エネルギー化(例は溶接のもの)	6	Data, algorithm, learning (Process-Attribute-Data-Performance Modeling)	Process, real-time
		3Dプリントをプロトタイプだけではなく、小ロット生産においては実生産で用いることで低コスト化を図り、間接的に省エネルギー化、材料ロス削減(3Dプリンタだと柔軟な修復が可能)	8	Manufacturing, Data , small-lot, 3d-print	Manufacturing, additive
		拡張現実を用いて、航空機の不適合データを視覚化して把握しやすくし、検査工程を効率化	10	Virtual/twin/reality(Augmented reality)	reality, nonconformance
		化学工業などの生産プロセスに重要な力学シミュレーション	15	continuous physical processes	Exascale computing, continuum mechanics, simulation, continuous physical process
		複数のロボットの衝突を防ぐための協調制御・監視システム	13	Monitoring, multi-robot, digital, twin	Monitoring, multi-robot, digital twin,
B	協調制御の導入、生産計画・需要予測等、製造工程を俯瞰した最適化による「ムダ(エネルギー・製造ロス)」の削減	製造実行システム(MES)に基づく生産管理システムを開発	18	MES, manufacturing, optimize	MES, manufacturing execution system, optimize
		思考進化的アルゴリズムを用いた品質傾向予測技術を開発	19	algorithm, prediction	thought evolutionary algorithm, adaptive feature selection, multi-layer perceptron, quality trend prediction
		エンドエッジクラウド協調による製品品質の予測技術を開発	20	forecasting, real-time, cloud,	quality forecasting, end-edge-cloud collaborative, real-time, cloud computing, edge computing
		知識グラフを活用し、人工知能の認知機能の強化をし、意思決定オプションを提供することで、製造を効率化、間接的に省エネルギー化	3	Twins, algorithm, learning, manufacturing, plan, scheduling	Twins, cognitive
		デジタルツインによる燃料電池の残存耐用年数の予測	12	digital, twin, prediction, learning, manufacturing, demand forecasting	Data-driven digital twin, life prediction, smart manufacturing, deep transfer learning
		灰色オオカミの習性を応用した、衣料品の製造ラインフローをスケジュール化・合理化し、省エネルギー化	9	Optimization, algorithm, learning, scheduling	Optimization, prediction
C	センサー・画像処理等、多様なアナログ情報のデータ化を可能する技術による、ものづくりの効率化を通じた間接的な環境負荷削減	プロセス分析技術(PAT)において、限られた収集データからプロセス情報を予測し扱えるデータ量を増やす、リアルタイムモニタリングの効率化	4	release, analytics, data, pat	release, pat
		近赤外分光法を用いて労働者の精神状態を非侵襲的に測定する技術	11	multi-robot	near IR, physiological data, monitoring, cerebral hemodynamic response
		3D機械学習を活用した3D情報(ロボットの姿勢等)のモデル化	14	3D-ML, 3d-scan, three-dimensional, modeling, digital twin	3D-ML, modeling, dynamic mode decomposition, digital twins

# 事例をカテゴリライズし、抽出されたKWと紐づけると、以下の通り(2/2)

青字: Step 2/3に加えて  
STEP 4/5で更新・追加された内容

#	カテゴリ	重要技術の研究例	事例No.	時系列変化に特徴のある注目キーワード	事例に登場する関連キーワード
D	製造の効率化・安定化を支える通信技術の最適化、省エネルギー化	「LoRaWan」という、低電力・低コストのネットワークテクノロジー技術が存在。これの更なる低電力化を実現する技術が研究されている	1	lot, ts-lora, lorawan	lot, lorawan
		機械同士のネットワークを最適化し、処理の省エネルギー化	7	5g, m2m, algorithm, learning	5g, machine-to-machine
		5Gの工場でのパフォーマンスを革新するマルチアクセスエッジコンピューティング(MEC)の信頼性を研究	16	multi-access edge computing, mec, 5g	multi-access edge computing, mec, 5g, orchestrating
E	製造プロセスを担う機器の負荷削減/熱の利用等による、製造の安定化、エネルギー効率の向上	計算の負荷を減らす量子コンピューティングによるモデル化技術。計算負荷を減らすことで、省エネルギー化が可能	2	control、Simulation、MES、Scheduling(CNC Machine for In-Process Control Visualization)	Control, quantum, sensor
		様々な情報機器のエネルギーハーベスティングに利用できる熱電デバイス	17	Energy harvesting, cooling, thermoelectric、	Energy harvesting, thermoelectric, spin seebeck
F	業種・サプライチェーンの階層を跨いだプラットフォームを生成する技術/取り組みによる様々な環境負荷削減	マルチパーティー(複数の産業にまたがる)サプライチェーンに関するベストプラクティス、テクノロジー、学習等の共有し、より高度な製造工程の効率化による省エネルギー化、廃棄物削減を実現	5	Blockchain, AI, Data, Traceability、platform、industry	Supply, multi-party

# カテゴリ毎に技術のもたらす影響を解釈すると、以下の通り

## 技術のもたらす影響(1/4)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

A	ものづくりの特定工程の最適化による、省エネルギー化/製造ロス(廃棄ロス)の削減	社会	<ul style="list-style-type: none"><li>• 特定の作業や製造ライン等レベルで効率化・最適化が進むことで、製造ロス・エネルギーの削減、コスト削減等に貢献</li><li>• 特に3Dプリンタについては、小ロット/パーソナライズ製品における型レスでの実生産や、部分修理に活用することで、顧客満足と製造ロス・エネルギーの削減の両立が可能に</li><li>• また、型や部品在庫が破棄された場合でも修理が可能になるため、製品のライフの延長に貢献</li></ul>
		経済	<ul style="list-style-type: none"><li>• 製造～検査、メンテナンス工程の労働力を代替することで製造の最適化、コストの最小化を図れるものの、そのための中長期的なIT投資に踏み切れず、後れを取る企業が発生する可能性も</li><li>• 労働力の安さが製造拠点の選定条件から外れ、例えば消費財は物流コスト/時間の短さから都市近郊に集中する等、製造拠点の在り方に変化が生じる可能性</li><li>• また、3Dプリンタによって製品(特に、耐久消費財)の修理がし易くなり、シェア・リユース・リサイクルがライフスタイルとして定着、市場が拡大</li><li>• 上記に関連して、3Dプリンタによる修理・スペアパーツ供給のみを担う新産業が生まれる可能性</li></ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響(2/4)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

B	<p>生産計画・需要予測等、製造工程を俯瞰した最適化による「ムダ(エネルギー・製造ロス)」の削減</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>センサー系の技術の進化や、データ蓄積量の拡大、アルゴリズムの進化と合わせて、<b>需要予測等によりあらゆるプロセスのデジタル制御・効率化が可能になった場合、製品の製造・検査、機械のメンテナンス等に必要な人員を最小化し、労働力不足の解消に貢献</b></li> </ul> <hr/> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>プロセス最適化技術のうち、特に「需要予測」の精度がメーカー(orアルゴリズムを提供するIT企業)の競争力を大きく左右する可能性</b></li> <li>(他、カテゴリAと同様 ※3Dプリンタ関連を除く)</li> </ul>
C	<p>センサー・画像処理等、多様なアナログ情報のデータ化を可能する技術による、ものづくりの効率化を通じた間接的な環境負荷削減</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ありとあらゆる情報のデジタルツイン化が進むことで、アルゴリズム等による制御の最適化を可能にし、<b>製造ロス・エネルギーの削減等に間接的に、かつ大きく貢献</b></li> <li>また、ありとあらゆる情報のデジタルツイン化を可能にすることで、<b>バーチャル化・自動化が進行。製品の製造・検査、機械のメンテナンス等に必要な人員を最小化し、労働力不足の解消に貢献</b></li> </ul> <hr/> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(カテゴリAと同様 ※3Dプリンタ関連を除く)</li> </ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響 (3/4)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

D	製造の効率化・安定化を支える通信技術の最適化、省エネルギー化	社会	<ul style="list-style-type: none"> <li>アナログデータの収集～製造工程全体の最適化を支える通信技術が最適化されることで、通信の省エネルギー化に加え、製造工程全体の省エネルギー化、電池寿命の伸長等に貢献</li> </ul>
		経済	<ul style="list-style-type: none"> <li>スマートファクトリー化が進むことで、量産品の製造の最適化には、安い労働力より大容量通信の安定性、安全性、スピードが重要視されるように。結果、通信技術の高い事業者の存在する国が次の「世界の工場」と化す可能性</li> </ul>
E	製造プロセスを担う機器の削減/熱の利用等による、製造の安定化、エネルギー効率の向上	社会	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器の負荷の削減や、負荷の一つである「熱」の回収・エネルギー化が可能になることで、エネルギー効率が向上し、CNの実現に貢献</li> </ul>
		経済	<ul style="list-style-type: none"> <li>負荷の低い機器(特に情報機器)は安定稼働によるメンテナンスコスト・エネルギーの削減に繋がるため、機器メーカーの競争力向上に寄与</li> <li>熱負荷の解消、再生エネルギー共に需要の高いテーマであるため、熱電デバイスは実用化された場合、新しい市場を創造する可能性</li> </ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響(4/4)

### カテゴリ

F

業種・サプライチェーンの階層を跨いだプラットフォームを生成する技術/取り組みによる様々な環境負荷削減

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

社会

- (ルール作りや、セキュリティ技術の向上も必要だが) 業種や、サプライチェーンの階層を跨いだプラットフォームが誕生することで、省エネルギー化・廃棄物削減に繋がる製造高度化の取り組みが広域化・高度化

経済

- 「広域プラットフォーム」に加入できた企業と、(セキュリティ上の懸念等や競合関係から)加入出来なかった企業の間でものづくりDXに関する情報面/技術面での格差が生じ、競争力に大きく影響
- 「広域プラットフォーム」における覇権獲得が企業のみならず、国の経済安全保障上の重要課題になる可能性

# 日本は論文・特許の質・量ともに高くはなく、中長期的に競争力を落とす懸念が存在。競争力の高い米国、中国の動向を注視した検討が有益か

## 国際競争力評価の考察

- **DX領域は、グラント競争力では英国が強いものの、論文、特許では中国が強い。また、米国がどのデータソースでも次点を占めている。日本は全てのデータソースで競争力が高くはない**
  - グラント競争力は、合計値・最大値共に英国がトップ。合計値はノルウェー、最大値は米国が次点。日本は中間(上位から5番目前後)に位置
  - 論文競争力は、合計回数では中国がトップで、米国、ドイツと続く。平均回数では米国がトップで、カナダや欧州諸国が続く。日本はどちらでも下位に位置
  - 特許競争力は、エッジスコア、総合特許力共に中国がトップ。エッジスコアではフランス、米国が続き、総合特許力では米国、日本が続く。日本は、件数は多いものの、突出した特許がなく競争力が低い
- **日本はグラント・論文・特許のいずれにおいても質・量ともに上位ではない。特許においては総合特許力が3位と若干ながら存在感を持つため、企業努力によって技術が支えられていることが伺えるものの、中長期的に企業競争力を落とす可能性が存在**
- **米国・中国がグラント・論文・特許のいずれ(特に論文・特許)においても質・量ともに強い。これらの2カ国がDX領域の中長期的な技術進展を牽引し、競争力を高めていく可能性**
- **よって、日本としては、企業、アカデミアの研究力を高めるため、米国、中国のアカデミア、企業の研究動向を注視し、最新の技術トレンドを把握した上で検討の参考にすることが方向性の一つか**



## E-5. 外部有識者のコメント

# インタビューによって、抽出された技術領域は概ね妥当であることが確認できた。 テーマ外ではあるが、PLMの下流の領域やセキュリティ技術が重要と示唆された

## インタビュー結果

### インタビューの結果

#### 抽出された技術の意義・課題

- 全般的に有意義かつ実現可能性も高い技術
  - 特に、産業やサプライチェーンの階層を跨いだ可視化の技術や、需要予測の技術は製造業全体にもたらす波及効果大きい
  - 多品種少量生産品における3Dプリンタの様なプロセス技術革新も有意義

#### 特に重要な技術領域

- 抽出されていない技術領域としては「PLMの取り組みが遅れている領域の技術」、「企業や業界の垣根を超えた可視化や最適化の実現を支えるセキュリティ技術」が挙げられた

#### その他

- ものづくりDXにおいては、革新的な技術領域が誕生し、進化がもたらされるといふより、要素技術の進化を積み重ねながら、それらをうまくインテグレーションすることにより、徐々にシステム全体を高度化していく形
  - 革新的な組み合わせを企業が開示しない懸念があることに留意
- 今後、2030年頃を境に、中堅企業のDXの進捗が二極化し、サプライチェーン上のリスクになる可能性がある。特に重要なサプライヤーについては、護送船団的にDXを進める仕組み、支援が必要



C社 生産・SCMシステム部 c氏

66

### インタビューから得られた示唆

- IoTの進化は加速度的に進むことが前提であることから、抽出された技術の多くは現在の方向性と照らして妥当であった
  - 量産工場における自動化・ロボット化、多品種少量生産工場における型レスプロセス技術の進化(3Dプリンタ等)など、生産品目の特性に応じたデジタル活用の要素技術開発は益々進化
  - 企業や業界の垣根を超えた、よりオープンなネットワークにおける最適化(サプライチェーン可視化や需要予測・スケジューリング等)については、未だ進んでおらず無駄が多く眠っているためCNIに大いに貢献しうる領域である。ただし社会システムのインテグレーション・最適化の側面があるため、技術だけで解決できないルールや人の意識の課題も合わせ解決していく事も同時に求められる
- 企業内のデジタルツイン化は企画・設計・試作段階の前後までは進んでいるものの、量産、検査、アフターセールス、廃棄等の下流まではデジタル化が十分進んでいないため、注視が必要と示唆された

ものづくりDXの実現には、多数の関係者が関わる社会システムのインテグレーション・最適化の側面もあり、  
技術以外の課題解決も合わせた検討が必要

# インタビュー結果の全文は以下の通り

## インタビュー結果(詳細、1/5)

### 以下抽出技術の意義・課題

ものづくりの特定工程の最適化による、省エネルギー化/製造ロス(廃棄ロス)の削減

A

### インタビュー結果

- **3Dプリンターは製造スピードが遅く、しばらくは大量生産には向かない。一方で型の成形工程をなくすことが出来るため、少量生産において製造ロス・エネルギーの削減に繋がる有意義な技術**

  - 3Dプリンターは製造スピードがあまり早くないため、現時点では大量生産には向いていない。しかし、少量生産では実現性が高い。型の成形という時間がかかり素材ロスが多い工程をなくすことが出来るため、圧倒的にスピードを上げることが出来、製造ロスも減らせる
  - 例えば、修理等で部品が少量だけ必要な場合などに効果を発揮する
  - (参考)ダイレス成形という技術を活用し、一枚のパネルを成型する技術を開発した。全く思想が異なる工法だが、これまでである要素技術を活用したものではある
- **検査という観点では、モノの検査において機械学習・画像解析等の技術が用いられ、人力工程が代替されていくことが想定できる**

  - 特に物流後の工程の検査においてDXが進むと考えられる。生産直後の検査工程はともかく、物流後の検査の工程が人力で行われている業界は多い
  - 機械学習・画像解析等を用いた不具合・破損の解析は進むと考えられる
- **また、モノの検査もさることながら、ソフトウェアの検査が今後より重要になるため、シミュレーション技術の進化が大変重要**

  - 例えば自動車では走る、曲がる、止まる等の基本機能や排ガス等の検査がものすごく重要だが、これらの制御の根幹はソフトウェア
  - ソフトウェアの検査は数STEPで構成されるが、まずソフトウェア自体が設計通りかを確認した後、きちんと各部品を想定通りに制御できているかを試作段階含め何度も確認している
  - 特に、試作段階でのソフトウェアの制御の検査をシミュレーションで行えるようになると、試作回数が大幅に削減でき、製造ロス・エネルギーの削減、コストの削減に繋がるため大変重要

# (続き)

## インタビュー結果(詳細、2/5)

### 以下抽出技術の意義・課題

協調制御の導入、生産計画・需要予測等、製造工程を俯瞰した最適化による「ムダ(エネルギー・製造ロス)」の削減

B

### インタビュー結果

- **2050年を視野に入れると、量産品については殆どの業種の製造ラインが自動化されデジタル化が進むと想定される**

  - 様々なFA技術が導入され、人の介在する頻度が減っている。溶接だけでなく、塗装も実作業→検査まで最適化されたロボットが行っている
  - 細かい組み立てなどは現在でも人が行っている部分が多いが、熟練工の確保が難しくなるという将来的なリスクを見越して、各社熟練工の技術をロボットに移植しようと努力している
  - 2050年の世界を想定すると、このまま取り組みが進んでいけば、家電のようなセル生産であろうが、コンベアーを用いるような自動車の生産であろうが、全てが自動化されている可能性が高い
  - 上記によって、品質の均質化、製造ロス・エネルギーの削減、コロナ等パンデミックによるリスクの低減等の効果が見込め大変意義深い
- **また、需要予測→生産への反映は、足下でも取り組まれているものの、生産側の予測、営業側の予測に乖離が存在。2050年頃には、その調整まで織り込まれたような精度の高い技術が実現する可能性**

  - 需要から生産への反映も2050年にかけて進むと考えられる。足元では、例えば顧客のサイトの閲覧履歴等の情報をビッグデータとして活用し、営業が需要予測を行っている
  - 生産側と営業側、どちらが需要予測を行うかで計画が全く異なってくる。生産側はサプライチェーンの状況等、制約要因を入れた需要予測を行い、営業側は、顧客の閲覧データ等、売れそうな要因を元に需要予測を行う
  - サプライチェーンの上流が精度の高い需要予測を行うことで、サプライチェーンを通じて産業全体に波及し、製造ロス・エネルギーの大規模な削減や、逸失利益の最小化などの効果が見込める

# (続き)

## インタビュー結果(詳細、3/5)

### 以下抽出技術の意義・課題

### インタビュー結果

**D/E**

製造の効率化を支える諸技術・処理(ネットワークテクノロジー/計算負荷、等)の省エネルギー化

---

製造プロセスを担う機器の削減/熱の利用等による、製造の安定化、エネルギー効率の向上

- **量子計算や仮想サーバー、ITインフラプラットフォーム等、製造の効率化を支える諸技術は今後進化し、浸透するであろう領域**
  - 現在もIoTを加速度的に導入しており2050年を見越すと、大量のデータが蓄積されている状況になるのは間違いないので、処理能力、ストレージやネットワーク等のITインフラの高速化・大量処理は極めて重要な領域
  - 量子計算は将来的に実用化されると考えている。足下の似たような取り組みとしては、大規模なサーバーに仮想サーバーを構築、活用することで、個別サーバーを運用するよりも省エネルギー、低コスト化を進められている
  - また、個々の会社でITインフラを維持管理しようとする取り組みにも限界が来る、現在の解決策であるクラウドや、それ以上の規模のITインフラプラットフォームの意義は重要になってくる

**F**

プラットフォームを異業種間に拡大する技術/取り組みによる省エネルギー化、廃棄物削減

- **サプライチェーン全体の見える化は製造業の目下の課題であり、産業やサプライチェーンの階層を跨いだ可視化の技術は大変有意義な技術**
  - サプライチェーンの状況が可視化出来ておらず、目下半導体の問題で困っている。Tier1と直接取引をしているが、Tier2以下のサプライヤーの情報が全く見えず、これの確認に人・工数・時間をかけて、あらゆる原始的手段を用いて供給を安定化させようとしており、省エネ・効率化の両面で大きな無駄が生じている。今後も技術進化等による課題解決が進まなければ、将来にわたっても起き得るものであり企業や業種を超えたプラットフォーム技術の進化は重要
  - 階層を跨いだ可視化は、大変意義深い。ただ、クラウドと同様、セキュリティに関する課題の解決がなされないと普及が進まない。技術面の進化によるセキュリティの担保もちろん重要だが、ルール作りなどソフト面の課題解決も併せて必要になる
  - 足下でもハッキングが大量に起きている。サプライヤーのサイバーセキュリティ対応レベルも二極化する可能性があり、対応レベルの低い企業は淘汰されるだろう

# (続き)

## インタビュー結果(詳細、4/5)

### 質問

特に重要な  
技術領域

### インタビュー結果

- **PLMについては、製品の企画・設計～試作～量産～廃棄まで一貫してデジタルツイン化が出来れば大きな競争力に繋がるもので大変重要な領域だが、出来ている領域と未だ出来てない領域が分かれる**
  - 現在は企画・設計(CAD・E-BOM)～試作(3Dシミュレーション)くらいまでの上流におけるデジタルツイン化までに留まっており、量産～廃棄にかけての物理的な部分を伴う所は、トライはしているものの、道半ば
  - 弊社工場について、組み立て設備の位置まで3D化し、バーチャルファクトリー化して、設備導入による干渉等を確認している。ただ、これを設計段階のデジタルツインと繋げて、新部品の生産し美優レーションに活用する、といったところまでは出来ていない
  - 市場に出てから寿命を終えるまでを捉えられるのが、真の意味のPLMで、これが果たされるとよりインパクトは大きいですが、現状出来ていない、難易度も高いという印象
  - RB解釈: PLMというコンセプトレベルのキーワードではなく、PLMの実現が出来ていない所の課題や技術開発キーワードを捉える必要がある
- **Beyond 5Gの観点では、通信速度が驚異的に上がることで空間的な距離の概念が極めて小さくなり、様々な付加価値をもたらすと想定されるため、重要性は高い**
  - 通信速度が驚異的に上がれば、空間的な距離の概念が極めて小さくなり、バーチャル空間と物理空間がシームレスに繋がる、人間が考えたことがすぐさま生産に反映されるといった効果が見込める

## (続き)

### インタビュー結果(詳細、5/5)

#### 質問

#### インタビュー結果

#### その他

- ←

  - **ものづくりDXにおいては、革新的な技術領域が誕生し、進化がもたらされるというより、要素技術の進化を積み重ねながら、それらをうまくインテグレーションすることにより、徐々にものづくりシステム全体を高度化していく進化になると考える**

    - なお、革新的な組み合わせが発見されたとしても、企業側が開示していない懸念があることに留意すべき
  - **今後、2030年頃を境に、中堅企業のDXの進捗が二極化し、サプライチェーン上のリスクになる可能性がある。特に重要なサプライヤーについては、護送船団的にDXを進められる仕組み、支援が必要**

    - 足下、製造業では、大企業を中心にIoT関連技術を加速度的に取り入れている。モノからありとあらゆる情報が上がってくる環境を整備し、情報分析が適切に出来る環境に置き、専門性のある人間またはアルゴリズムが分析する、という流れの構築に取り組んでいる
    - 例えば自動車メーカーで重要な溶接技術。溶接にもチップの消耗度合いや関節の摩耗度合いをセンサー(振動センサー等)で判断している
    - 2030年時点までに、個別企業での取り組みはだいぶ進むと思う、その後、企業間での連携が図られることで、想像できないような取り組みが生まれる可能性がある
    - 一方で、中堅企業は日々の運営を四苦八苦しなからやっている状態。サプライチェーンに参加している企業のDXの進展状況が二極化してくると考えている
    - 特に重要なサプライヤーについては、護送船団的にDXを推し進める仕組みが重要ではないか
  - **AI・機械学習が活用されている領域が多くあるものの、このAIの出す結果をどこまで信用できるのか、何を以て信用すればいいのか、という論点はしばらく残るだろう**

    - 現場の感覚として、AI・機械学習を活用する場合、その予測が生じる過程が理解しづらいため、何を以て信頼すればいいのか、という感覚の払しょくが課題として存在する
    - 失敗した場合の責任の取り方も組織として難しい上に、異業種間に広げた場合により大きな問題になる可能性

# インタビューによって、ものづくりのデジタル化が産業全体に行き渡るためには、2050年を見据えた技術面以外の取り組みが重要であることが示唆された

## インタビュー結果

### インタビューの結果

#### 抽出された技術の意義・課題

- 日本のものづくり技術の維持のために、高齢化しつつある熟練工の技術のデジタルツイン化は極めて重要
- 広域プラットフォームの実現は技術的な制約のみならず、国際協調、スキームの検討が必要であり、実現に時間がかかると想定される
- また、日本のものづくり中小企業は数が多く規模が小さいため、プラットフォームへの参加にハードルがあり、政策的なテコ入れが必要か

#### その他

- ものづくり関連の技術は、トップダウン的に構想されるものではなく、改善の積み重ねで実現していくものなので、10年先程度まで見渡すことが限界。30年後を見据えつつも、柔軟に射程を検討することが重要
- 技術的なデータのみならず、人口等の所与の条件や、国としての考え方、課題感を反映したテーマ設定をすると良いのでは
- また、プロダクトアウトな発想の技術が抽出されやすいプロセスであり、ユーザーニーズに寄り添う技術や取り組みを抽出する上で難がある可能性に留意して活用することが重要



D社 エンジニアリング本部 d氏



### インタビューから得られた示唆

- 個々の技術の実用化自体は5~10年で行われるものの、中小企業の参画支援や、ルールメイキングが必要な側面から、システムとして産業全体に行き渡るには更なる時間を要する
- 今後、政策立案への反映を念頭において、プロセス面では以下の2点を示唆された
  - 技術的なデータのみならず、人口等の所与の条件や、国としての考え方、課題感を反映したテーマ設定をすると良いのでは
  - また、プロダクトアウトな発想の技術が抽出されやすいプロセスであり、ユーザーニーズに寄り添う技術や取り組みを抽出する上で難がある可能性に留意して活用することが重要

# インタビュー結果の全文は以下の通り

## インタビュー結果(詳細、1/3)

### 以下抽出技術の意義・課題

### インタビュー結果

A	<p>ものづくりの特定工程の最適化による、省エネルギー化/製造ロス(廃棄ロス)の削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 概ね5~10年後に実現すると想定</li> <li>• また、熟練工(特に中小企業に多い)の高齢化に伴う技術喪失が日本においては死活問題な為、熟練工の技術のデジタルツイン化は極めて重要な技術</li> </ul>
B/C	<p>協調制御の導入、生産計画・需要予測等、製造工程を俯瞰した最適化による「ムダ(エネルギー・製造ロス)」の削減</p> <p>.....</p> <p>センサー・画像処理等、多様なアナログ情報のデータ化を可能する技術による、ものづくりの効率化を通じた間接的な環境負荷削減</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ものづくり企業が目下経営課題として取り組んでおり、Aと同様に5~10年で概ね実現すると想定している</li> </ul>
D/E	<p>製造の効率化を支える諸技術・処理(ネットワークテクノロジー/計算負荷、等)の省エネルギー化</p> <p>.....</p> <p>製造プロセスを担う機器の削減/熱の利用等による、製造の安定化、エネルギー効率の向上</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• スマートファクトリーを実現する上で重要なファクターという想定</li> </ul>

# (続き)

## インタビュー結果(詳細、3/3)

### 以下抽出技術の意義・課題

プラットフォームを異業種間に  
拡大する技術/取り組みによる  
省エネルギー化、廃棄物削減

F

### インタビュー結果

- **設計～小売りまで射程を広げた最適化のためには広域プラットフォームの実現が必須だが、そのためには国際的な協調、スキームの検討が不可欠**
  - 例えばファーストリテイリングの場合、SPA形態の為、(設計～)製造～物流～小売りまで一貫した効率化が来ている。しかし、多くのものづくり企業は分業体制のため、ファーストリテイリングのような製造～小売りまで見渡した効率化を実現するには業界横断的なプラットフォームが必須
  - プラットフォームを作る上では、消費者に合わせたものづくりを実現するという視点が最も重要。地域や国、文化によって提供するものが異なると思われるが、これは1か国の企業のみでは実現不可能で、国際的な協調、スキーム作りが重要
- **日本のものづくり中小企業は、技術は持っているものの、プラットフォームに乗るには規模が小さすぎる。仕組みづくり等、政策的なテコ入れが必要では**
  - 日本のものづくり中小企業は数が多く規模が小さいため、プラットフォームに参加するための投資や、セキュリティ面の準備等が難しい可能性
  - プラットフォーム問題以外にも、後継者不足等課題を抱えているため、そういった課題も含めて対処し、技術が消えてしまわないようにしていくことが必要

## (続き)

### インタビュー結果(詳細、3/3)

#### 質問

#### インタビュー結果

##### 全体として

- 広域プラットフォームを除き、5~10年後には実現しそうな技術が多いという印象
- ものづくり関連の技術は、トップダウン的に構想されるものではなく、改善の積み重ねで実現していくものなので、10年先程度まで見渡すことが限界。30年後を見据えつつも、柔軟に射程を検討することが重要
- また、日本のものづくりでは、「良いものを、速く、安く」といわれてきた。つまり、付加価値を高めることよりも、生産性を高める、性能を高めることに腐心していた。この姿勢を反省することが、技術的なハードル以上に最も重要な観点  
(※本事業の分析スコープとは別観点)

##### その他

- 2050年のものづくりの在り方を検討した際に、技術的なデータのみならず、人口等の所与の条件や、国としての考え方、課題感を反映したテーマ設定をすると良いのでは
  - 日本の人口は1億人を切り、生産人口が5000万人前後、GDPが4兆~5兆USD程度になると想定している。ブラジルやインドにGDPで抜かれている可能性がある状態
  - こういった社会的な状況や、ものづくり企業が抱える問題(熟練工の高齢化、中小企業の後継者問題等)を踏まえたテーマ設定にすることが重要では
- プロダクトアウトな発想の技術が抽出されやすいプロセスであり、ユーザーニーズに寄り添う技術や取り組みを抽出する上で難がある可能性
- また、ものづくりは、いわゆる製造業だけではなく、流通や、農業や水産業の工業化、という視点も含めて産業として捉える視点が重要では



## F. テーマ③モビリティの低炭素化と 高効率な電力制御・変換



# F-1. 重要技術分野(キーワード)の 抽出

asta  muse  
company

# STEP 2/3においてアナリストが時系列変化に特徴のあるキーワードを抽出した結果は以下の通り

## KW時系列推移からの考察



### 特許における注目キーワード

- aircraft, measuring, heat, gear, hybrid, flywheel, hydrogen, additive, brake, biogas, microbial, recycling, magnetic, vacuum, pumping, ultrasonic, warning, mirror, pumping, camera, sealing, lens, electric

### 論文におけるの注目キーワード

- nanoparticles, diesel, biodiesel, additives, emission, biogas, learning, management, ems, algorithm, propulsion, brushless, motor, optimal, thermal, thermoelectric, temperature, harvesting, nanoparticle, algae, magnetic

### グラントにおける注目キーワード

- autonomous, driving, ecorouting, gan, power, sic, silicon, devices, plasma, combustion, coating, aluminum, alloys



全体件数はGT、特許において近年減少。落ち始める時期からGT→特許→論文の順に推移していく様子が窺え、技術分野として停滞期に入っている可能性も考えられる

## (続き)

### ③モビリティ領域の回転体のKW時系列推移からの考察



diesel、biodiesel、nanoparticle、additiveなどのバイオディーゼル関連KWは論文では件数が増加しており、GTにおいても全体の件数が落ち込む中で一定の件数を維持している。一方で特許においてはこれらは少なめの件数で推移しており、今後実用化が進んでくる可能性がある

electric、electromagnetic、motorなどの電気推進力に関するKWは件数も多く注目度が高い。特許・論文では年次推移はやや増加、GTでも全体件数が落ち込む中で一定の件数を維持している

ems、learning、optimal、algorithm(ただし直近のGTで減少)など、コンピューティングによる省エネルギー化はいずれのDBでも増加している

GaN、SiC、siliconなどパワー半導体関連のKWは論文において増加。GTでも全体件数が落ち込む中で一定の件数を維持している。特許では横ばいか微増程度で、今後増加する可能性がある

flywheelは特に特許において比較的件数が大きく、実用レベルでの技術開発が続けられている。年次推移としては特許・論文ではおおむね横ばいだがGTでは低下傾向

# STEP 4/5において、アナリストが時系列変化に特徴のあるキーワードを抽出した結果は以下の通り

## KW時系列推移からの考察

### 特許における注目キーワード

- aircraft, measuring, heat, gear, hybrid, flywheel, hydrogen, additive, brake, biogas, microbial, recycling, magnetic, vacuum, pumping, ultrasonic, warning, mirror, pumping, camera, sealing, lens, electric, emitting, reduction, regeneration, **cmos, nmos, pmos, n-type, injection, combustion, turbine engine, thermoelectric, converter, inverter, power density, power split, energy recovery, waste heat, heat recovery, vibration energy, energy storage, recycling, energy harvesting, quantum, UAV, wave energy**

### 論文におけるの注目キーワード

- nanoparticles, diesel, biodiesel, additives, emission, biogas, learning, management, ems, algorithm, propulsion, brushless, motor, optimal, thermal, thermoelectric, temperature, harvesting, nanoparticle, algae, magnetic, regenerative, electrical, renewable, in-wheel, **rankine cycle, injection, combustion, turbine engine, thermoelectric, converter, inverter, power density, power split, energy recovery, waste heat, heat recovery, vibration energy, energy storage, recycling, energy harvesting, quantum, UAV, wave energy, fuel cell, supercapacitor, microemulsion**

### グラントにおける注目キーワード

- autonomous, driving, ecorouting, gan, power, sic, silicon, devices, plasma, combustion, coating, aluminum, alloys, in-wheel, motor, charge, **energy harvesting, circuit, inverter, power electronics, converter, mosfet, mos, cooling, semiconductor, diamond, turbine engine, thermoelectric, power density, power split, energy recovery, waste heat, heat recovery, vibration energy, energy storage, recycling, energy harvesting, quantum, UAV, wave energy, fuel cell, supercapacitor, microemulsion, boost converter**

全体件数はGT、特許において近年減少。落ち始める時期からGT→特許→論文の順に推移していく様子が窺え、技術分野として成熟しているものが多い可能性がある

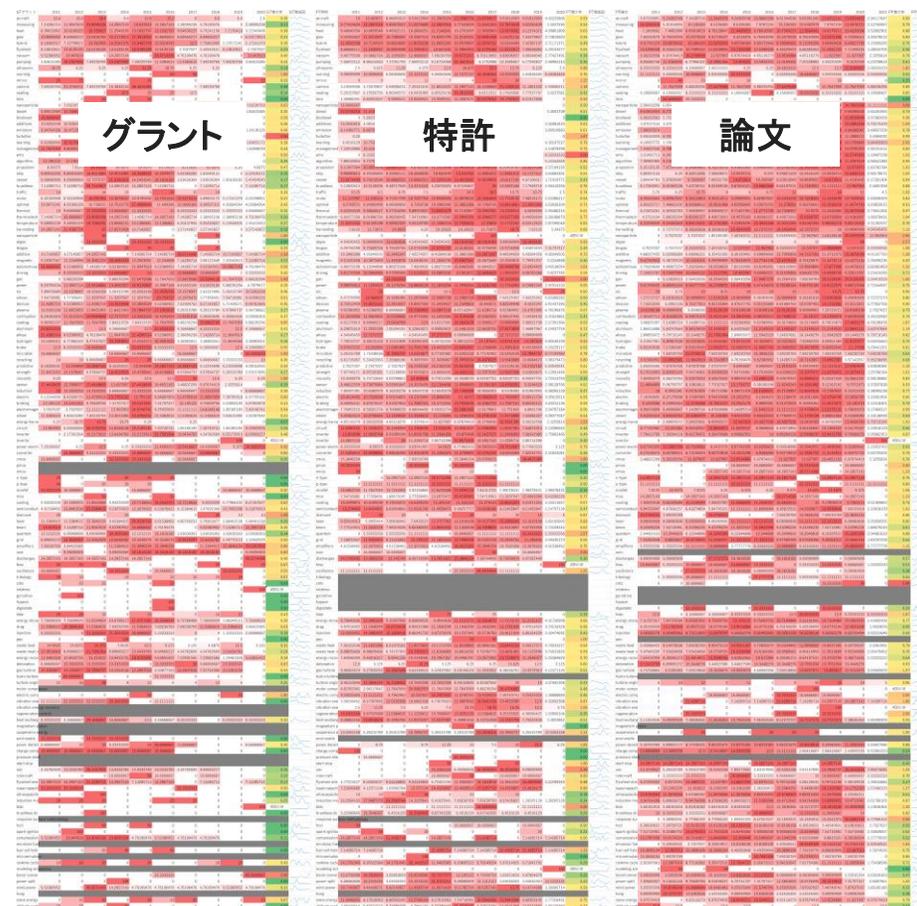
# グラント・特許・論文のキーワードに類推語も加え、出現頻度をヒートマップ化、減少していない、もしくはより最近に出現する語を特定

## KW時系列推移からの考察

データソース単位で濃淡づけ: 相対的に多いものをハイライト



キーワード単位で濃淡づけ: 出現頻度によらず増加をハイライト



# グラント・特許・論文のキーワード分布を俯瞰、抽出する事例を絞り込む

## KW時系列推移からの考察



キーワード分布は単純に母集団内で量が多く増えているものを見るのではなく、年次推移で減っていないこと、2017年以降のより新しい時期に使われていること、望ましくはより新しい年次に増えていることを重視している

- 3データソースのいずれかで2017年以降、相対的に際立って増えているKW、もしくは年次推移で減っていないKWとして、heat, gear, hybrid, flywheel, hydrogen, additive, brake, biogas, microbial, recycling, magnetic, vacuum, pumping, ultrasonic, warning, mirror, pumping, camera, sealing, lens, electric, emitting, reduction, regeneration, cmos, nmos, pmos, n-type, injection, combustion, turbine engine, thermoelectric, power density, energy recovery, waste heat, heat recovery, vibration energy, energy storage, recycling, energy harvesting, quantum, UAV, wave energy等がある
- energy recovery, energy storage, heat recoveryなどのエネルギー回生・回復に関するKWは特に増えている
- 画像右の個別KWの出現傾向を見ると、母集団内で必ずしも多くないが、より新しい年次に使われている特徴的な言葉が明らかとなり、事例抽出で特に重視している
- heat, thermal, temperature, cooling, rankine cycleなど温度や燃焼に関連するKWは、いずれのデータソースでも増加もしくは件数を維持している
- electric, electromagnetic, converter, inverter, power densityなど電動化に関連するKWも増加傾向にある
- management, optimum, algorithm, predictiveなどソフトウェアに関連するKWも同様である
- 一方、injection, combustion, diesel, turbine engineなど従来技術に関するKWもGT件数はやや減少傾向にあるものの、特許・論文においては一定の件数を維持している

以下、各ソースごとの事例の特徴を次ページ以降にまとめる

# 論文からは、従来技術から電動化やエネルギー回生などのゼロエミッションまで多様なKWが出現

## KW時系列推移からの考察



### 論文における注目KW

- heat, thermal, temperature, cooling, rankine cycle (温度や燃焼に関連するKW)
- injection, combustion, hybrid, diesel, turbine engine (従来型Powertrainに関連するKW)
- electric, electromagnetic, converter, inverter, power density, power split (電動化に関連するKW)
- energy recovery, waste heat, heat recovery, vibration energy, energy storage (エネルギー回収・回生・貯蔵に関連するKW)
- management, optimum, algorithm, predictive (ソフトウェアに関連するKW)
- quantum, UAV (異分野最先端技術や新たなMobilityに関連するKW)
- wave energy (海洋エネルギーに関連するKW)
- 上記KWはいずれも近年上昇傾向、もしくは直近10年間で出現頻度が高水準を維持している
- ゼロエミッションの方策だけでなく、従来型のPowertrainに対する高効率化は主に大型車(や農業用機械、工作機械)を対象に継続することが予想される
- 電動化の要素技術に関するKWも増加もしくは高頻度維持であり、要素技術の性能向上や組み合わせによるさらなる高効率化が進められている
- エネルギー回収に関連するKWも近年増加しており、Powertrainの効率化と合わせたカーボンニュートラルに向けた重要な要素となっている
- 機械的なBreakthroughだけでなく、制御やセンシングによる高効率化の取り組みも増加している

# 論文からは、内燃機関の効率化、陸上以外のMobilityの性能向上、ZEVの性能向上に関する研究を抽出

KW時系列推移からの考察



## 論文における注目研究事例

### 内燃機関の効率化やゼロエミッションに向けた研究

- 自動車以外で活用されている【超臨界CO2タービン】→熱エネルギーを効率的に【回収・再利用】
- 燃焼効率を高める【添加剤】→他技術と組み合わせ【内燃機関の実質ゼロエミッション化】の可能性
- 【AI技術】を活用した燃焼効率向上→他技術と組み合わせ【内燃機関の実質ゼロエミッション化】の可能性
- 【再生可能なバイオ燃料】→自然由来の原料で排ガス低減による【CO2低減】

### 陸上以外のMobilityへの代替・性能向上

- 再生可能エネルギーである【波力を活用した発電】→水上【ゼロエミッションMobility】の可能性
- 燃焼効率を高める【極低温推進剤】→【スペースデブリ】問題へアプローチ
- 【空飛ぶクルマの性能向上】→利便性向上とともに【移動の効率化】【道路の渋滞解消】

### ZEVの性能向上

- 【In-wheel motor】によるエネルギー回生効率化→AIによる予測やセンシングと組み合わせ、さらなる【エネルギー効率化】の可能性
- 【ゼロエミッションのハイブリッド】→さらなる【エネルギー効率の向上】

# 特許からも論文同様従来技術から電動化やエネルギー回生などのゼロエミッションまで多様なKWが出現

## KW時系列推移からの考察



### 特許における注目KW

- heat, thermal, temperature, cooling, rankine cycle (温度や燃焼に関連するKW)
  - injection, combustion, hybrid, diesel, turbine engine (従来型Powertrainに関連するKW)
  - electric, electromagnetic, magnetic, thermoelectric, converter, inverter, power density, power split (電動化に関連するKW)
  - energy recovery, waste heat, heat recovery, vibration energy, energy storage, recycling, energy harvesting (エネルギー回収・回生・貯蔵に関連するKW)
  - management, optimum, algorithm, predictive (ソフトウェアに関連するKW)
  - quantum, UAV(異分野技術や新たなMobility)
  - wave energy (海洋エネルギーに関連するKW)
- KWの上昇傾向・維持傾向は論文と近しいが、やや論文よりもピークのタイミングが早く、増減がなだらか

# 特許からはさまざまな種類のエネルギー回生技術、Powertrain以外のComponentの性能向上技術を抽出

KW時系列推移からの考察



## 特許における注目研究事例

### 従来は捨てられていたエネルギーの回収・回生

- タイヤに設置された【圧電素子】→運動エネルギーを【回収・回生】
- 【廃熱エネルギー回収機構】→捨てられるエネルギーを可能な限り【回収・再利用】
- 【フライホイール】を活用したハイブリッドシステム→電池の併用によって【電池の小型化】【システムの高効率化】の可能性

### Powertrain以外のComponentの性能向上

- 転がり抵抗が低い【エアレスタイヤ】→走行中の摩擦を低減し【省エネルギー化】の可能性

# グラントは特許・論文よりもピークが早く、直近まで上昇傾向を維持しているのは 温度や熱、エネルギー回収・回生に関するKW

## KW時系列推移からの考察



## グラントにおける注目KW

- heat, thermal, temperature, cooling, rankine cycle (温度や燃焼に関連するKW)
  - injection, combustion, hybrid, diesel, turbine engine (従来型Powertrainに関連するKW)
  - electric, electromagnetic, power electronics, (電動化に関連するKW)
  - energy recovery, waste heat, heat recovery, vibration energy, energy storage (エネルギー回収・回生・貯蔵に関連するKW)
  - management, optimum, algorithm, predictive (ソフトウェアに関連するKW)
  - Wave energy (海洋エネルギーに関連するKW)
- 
- KWの上昇傾向・維持傾向は論文・特許と近いが、これらよりもピークのタイミングが早い
  - 直近まで上昇傾向があるKWには、温度や熱に関連するKW、エネルギー回収・回生に関連するKWが多い

# グラントからは様々なエネルギー回収・回生に関する研究、無線給電、未来の半導体技術に関する研究を抽出

KW時系列推移からの考察



## グラントにおける注目研究事例

### 従来は捨てられていたエネルギーの回収・回生

- 【廃熱エネルギー回収機構】→捨てられるエネルギーを可能な限り【回収・再利用】
- 【振動エネルギー回収機構】→捨てられるエネルギーを可能な限り【回収・再利用】

### EVの特性を生かしたルーティンの効率化

- 走行中に充電が可能な【無線給電】→充電行動の省略による【エネルギーロスの削減】の可能性

### 次世代・次々世代モータに関する研究

- 【車載用パワーデバイス】→モータなどの車両の電気系統を【効率的に制御】
- 高性能な【次世代半導体デバイス】→EVや通信設備、航空宇宙、電力網などの【電力制御】【towards 2050】

# 3データソースの比較から、2050年の脱炭素社会に向けて有望な萌芽技術と応用の方向性を定性的に予測

## KW時系列推移からの考察



- パワートレインの高効率化: 燃焼効率向上、新バイオ燃料の開発  
→ バイオ燃料やCO<sub>2</sub>回収技術と組み合わせることでゼロエミッションを目指し、大型車や工業・農業機械用のP/Tとして進化
- パワートレインの代替: EV化、FC化、ゼロエミッションパワートレインのHybrid化  
→ 電動化できるクラスの自動車他Mobilityはより効率を高めたゼロエミッションへ
- ゼロエミッションPowertrainの高効率化: パワー半導体の高性能化、高耐久化  
→ よりエネルギー効率が高くライフの長いモータが自動車を含む様々な用途に展開
- P/T以外のエネルギーロスの低減: 転がり抵抗低減  
→ 従来から存在するComponentも極限まで高効率化
- エネルギー回収・回生: 廃熱エネルギー(排ガス・物理ブレーキの摩擦熱等)、振動エネルギー(車体)の変換  
→ 燃費・電費を抑えるだけでなく、積極的に発電し、永久機関に近づける
- 充電の効率化: 路面給電  
→ AIやセンシングを活用し、無駄な移動を省略
- 移動手段の代替: ドローン・UAVの高性能化・高エネルギー効率化  
→ クルマからの代替手段としてトータルで省エネルギー化、空の環境維持のためのゼロエミッション化



## F-2. 具体的な研究事例

asta  muse  
company

# Guangxi Universityらによる超臨界CO2タービンを含む2種類のエンジンとタービンを用いたハイブリッドな熱エネルギー回収・利用システムが搭載された自動車

自動車以外で活用されている【超臨界CO2タービン】→熱エネルギーを効率的に【回収・再利用】

モビリティ事例:①

エネルギーの効率化による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	Guangxi University(中国)、University of Glasgow(英国)
著者	Youcai Liang; Xingyan Bian; Weiwei Qian; Mingzhang Pan; Zhibo Ban; Zhibin Yu
掲載雑誌	Energy Conversion and Management
掲載年	2019
DOI	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890419308271?via%3Dihub">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890419308271?via%3Dihub</a>

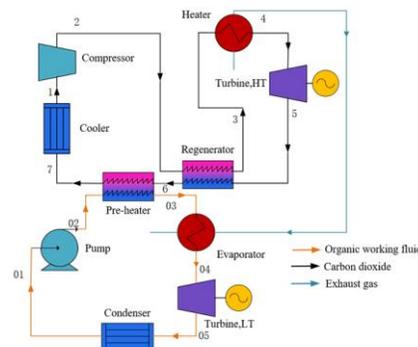
## 論文タイトル

Theoretical analysis of a regenerative supercritical carbon dioxide Brayton cycle/organic Rankine cycle dual loop for waste heat recovery of a diesel/natural gas dual-fuel engine

## 注目キーワード

Regenerative, thermal

## 技術概要



図F-1 Schematic diagram of RSCBC/ORC dual-loop cycle

### (研究されている技術の概要)

- 超臨界CO2タービン(ブレイトンサイクル)と水を用いた従来の有機ランキンサイクルのハイブリッドな熱エネルギー回収システムをDiesel/天然ガスエンジンに搭載する研究
- 熱エネルギーを双方のエンジンに有効活用することにより燃焼効率を向上
- 一般に超臨界CO2タービンは水蒸気タービンと比較して30%以上エネルギー効率がよいとされている

### (研究成果や今後の方向性)

- GHG削減

# San Diego State Universityによる波のエネルギーによって発電し、走行する電動船舶 充電・給油が不要になることで環境負荷を低減しつつ航続距離が大幅に伸びる可能性

再生可能エネルギーである【波力を活用した発電】→水上【ゼロエミッションMobility】の可能性

モビリティ事例: ②

再生可能エネルギーによる  
ゼロエミッションの可能性

## 論文情報

研究機関(所属国)	San Diego State University(米国)
著者	Kaustubh Khedkar; Nishant Nangia; Ramakrishnan Thirumalaisamy; Amneet Pal Singh Bhalla
掲載雑誌	Ocean Engineering
掲載年	2021
DOI	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801821003140">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801821003140</a>

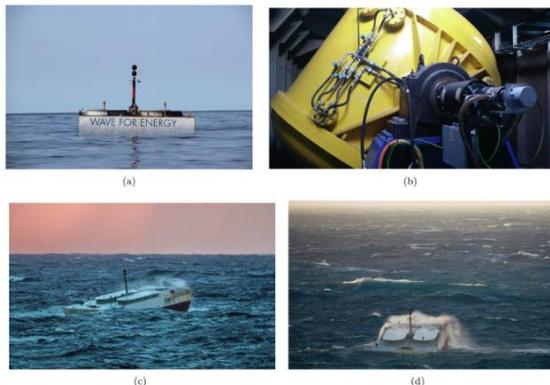
## 論文タイトル

The inertial sea wave energy converter (ISWEC) technology: Device-physics, multiphase modeling and simulations

## 注目キーワード

Electrical, renewable energy

## 技術概要



図F-2 波力発電機構を搭載した船

### (研究されている技術の概要)

- 波力発電を活用した電気駆動船舶の研究
- 船体が受ける波のエネルギーを発電ユニットのジャイロスコープへ伝達し、船体とジャイロから生まれる歳差運動によって発電機を駆動、パワーテイクオフ(PTO)ユニットへ電力を伝達

### (研究成果や今後の方向性)

- GHG削減

# Polytechnic University of Milanの、スタビリティコントロールと組み合わせた、In-wheel motorによるエネルギー回生を効率化する技術

【In-wheel motor】によるエネルギー回生効率化

→AIによる予測やセンシングと組み合わせ、さらなる【エネルギー効率化】の可能性

モビリティ事例:③

エネルギーの効率化による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	Polytechnic University of Milan(イタリア)
著者	Michele Vignati; Mattia Belloni; Davide Tarsitano; Edoardo Sabbioni
掲載雑誌	Mathematical Problems in Engineering
掲載年	2021
DOI	<a href="https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/1088805/">https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/1088805/</a>

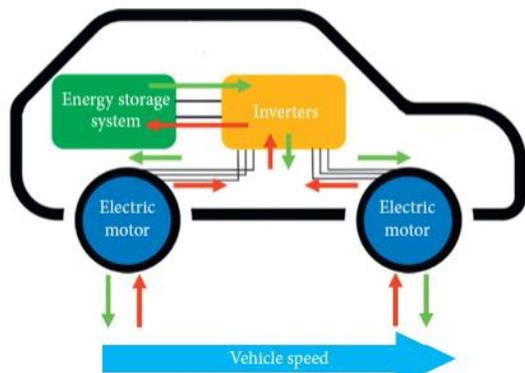
## 論文タイトル

Optimal Cooperative Brake Distribution Strategy for IWM Vehicle Accounting for Electric and Friction Braking Torques

## 注目キーワード

Electric, regenerate, in-wheel

## 技術概要



図F-3 エネルギーの流れイメージ

### (研究されている技術の概要)

- In-wheel motorで効率よくエネルギー回生する研究
- スタビリティコントロールとあわせて、求められる制動力を維持しつつ、4輪に装備されたIn-wheel motorへの回生エネルギーの配分を最適化

### (研究成果や今後の方向性)

- 高効率化、省エネルギー化

# University of Technology, Iraqの、添加剤を工夫することにより、ディーゼルエンジンの燃焼効率を高める技術。バイオ燃料やCO2回収技術と組み合わせた内燃機関継続の可能性

燃焼効率を高める【添加剤】→他技術と組み合わせ【内燃機関の実質ゼロエミッション化】の可能性

モビリティ事例:④

燃焼効率改善による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	University of Technology, Iraq(イラク)
著者	Mohammed A. Fayad; Hayder A. Dhahad
掲載雑誌	Fuel
掲載年	2021
DOI	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236120323590">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236120323590</a>

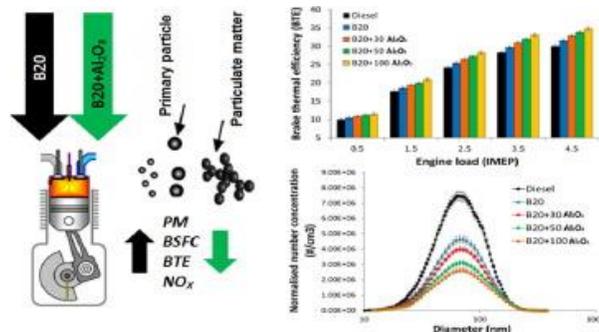
## 論文タイトル

Effects of adding aluminum oxide nanoparticles to butanol-diesel blends on performance, particulate matter, and emission characteristics of diesel engine

## 注目キーワード

emission characteristics

## 技術概要



図F-4 添加剤のイメージ

### (研究されている技術の概要)

- 異なる濃度の酸化アルミニウム (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ナノ粒子をブタノール-ディーゼルブレンド (B20) に混合し、燃焼、粒子状物質 (PM)、エミッション特性への影響を検討した研究
- 異なるエンジン負荷における燃焼特性、PM 濃度、およびガス排出量に最も効果的な Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ナノ粒子濃度を検証

### (研究成果や今後の方向性)

- GHG削減効果

# University of the Basque Countryらの2種類のAIを活用することにより、ディーゼルエンジンの燃焼効率を高める技術。バイオ燃料やCO2回収技術と組み合わせることで内燃機関継続の可能性

【AI技術】を活用した燃焼効率向上→他技術と組み合わせ【内燃機関の実質ゼロエミッション化】の可能性

モビリティ事例:⑤

燃焼効率改善による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	Basque Research and Technology Alliance (BRTA)、University of the Basque Country(スペイン)
著者	Joseba Castresana; Gorka Gabiña; Leopoldo Martin; Zigor Uriondo
掲載雑誌	Applied Thermal Engineering
掲載年	2021
DOI	10.1016/j.applthermaleng.2020.116343

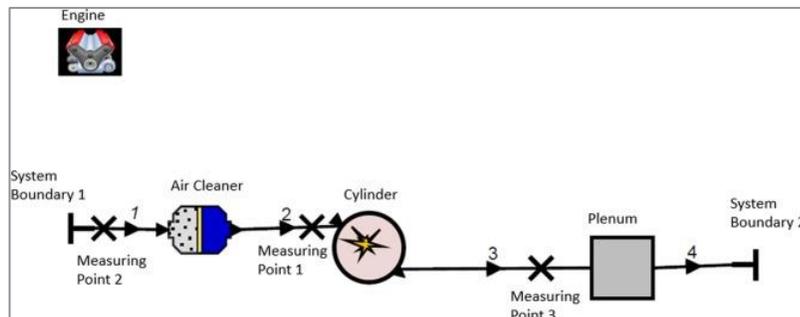
## 論文タイトル

Comparative performance and emissions assessments of a single-cylinder diesel engine using artificial neural network and thermodynamic simulation

## 注目キーワード

emissions assessments, thermal

## 技術概要



図F-5 システムのイメージ

### (研究されている技術の概要)

- ディーゼルエンジンの性能予測について、熱力学的モデリングと人工ニューラルネットワーク(ANN)の2つの異なるアプローチを比較

### (研究成果や今後の方向性)

- GHG削減効果

# Atilim Universityのシミュレーションによって液体ロケットエンジンの燃焼効率を高め汚染物質を低減させる研究

燃焼効率を高める【極低温推進剤】→【スペースデブリ】問題へアプローチ

モビリティ事例:⑥

燃焼効率改善による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	Atilim University(トルコ)
著者	Muhammad Omair; Hasan U. Akay
掲載雑誌	2021 International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technologies (IBCAST)
掲載年	2021
DOI	<a href="https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9393022">https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9393022</a>

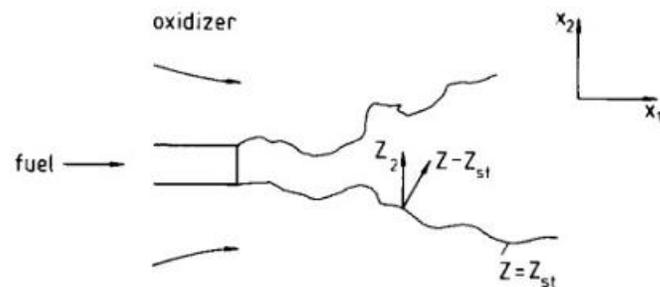
## 論文タイトル

Effects Of Chamber Pressure Variation On Pollutant Formation In Cryogenic Combustion

## 注目キーワード

emissions assessments, thermal

## 技術概要



図F-6 Schematic representation of the coordinate transformation

### (研究されている技術の概要)

- 液体ロケットエンジンの燃料消費をできるだけ抑えながら汚染物質を削減するための極低温推進剤を用いた極低温燃焼のシミュレーション
- 高圧力で燃焼させることにより、汚染物質の低減が確認された

### (研究成果や今後の方向性)

- GHG削減効果

# JIANGXI TECHNICAL COLLEGE OF MANUFACTURING 圧電素子によってタイヤの運動エネルギーを回収する技術。エネルギーを回収する技術は将来継続的に搭載される可能性が高い

タイヤに設置された【圧電素子】→運動エネルギーを【回収・回生】

モビリティ事例: ⑦

エネルギー回生による  
省エネルギー化

## 特許情報

出願人	JIANGXI TECHNICAL COLLEGE OF MANUFACTURING
所属国	中国
発明者	ZOU PENGJUN
公報番号	CN110601598A
出願日	2019-09-12

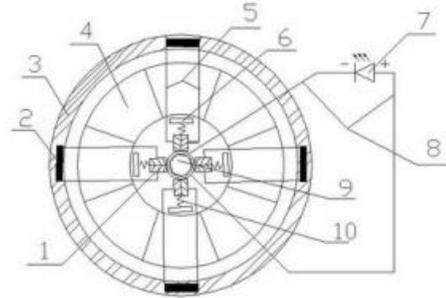
## 特許タイトル

Tire power generation device based on piezoelectric ceramic bimorphs

## 注目キーワード

Emitting, piezoelectric

## 技術概要



図F-7 タイヤ発電装置の概要

### (研究されている技術の概要)

- 圧電セラミックデバイスを利用したタイヤ発電装置により、運動エネルギーを回収する
- 4つの圧電セラミックをタイヤに均一に埋め込み、タイヤが路面を転がる時圧力を受けた圧電セラミックが電気エネルギーを出力する

### (研究成果や今後の方向性)

- 回生ブレーキとは異なるエネルギー回収技術であり、振動エネルギーの回収等にも利用できる

# SHANDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGYの、タイヤの回転エネルギーを 回転エネルギーのまま保持するフライホイールを用いた機械的ハイブリッド

【フライホイール】を活用したハイブリッドシステム

→電池の併用によって【電池の小型化】【システムの高効率化】の可能性

モビリティ事例:⑧

エネルギー回生による  
省エネルギー化

## 特許情報

出願人	SHANDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
所属国	中国
発明者	SUN BINBIN   LI WENTAO   HU ZIHAO   ZHANG TIEZHU   GE WENQING   LI BO
公報番号	CN111674384A
出願日	2020-07-24

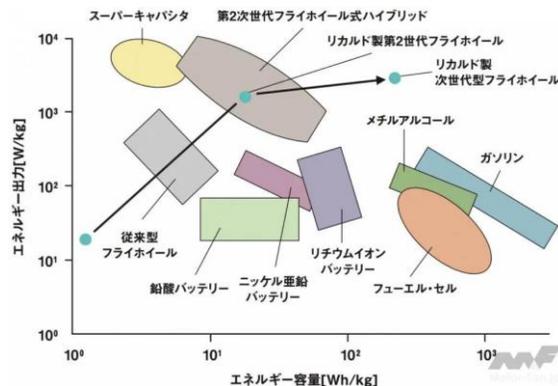
## 特許タイトル

Drive control method of electromechanical flywheel hybrid power system

## 注目キーワード

Flywheel, hybrid, regeneration

## 技術概要



図F-8 (参考) Ricardo社Flywheelのエネルギー容量と効率 (Motorfan記事より)

### (研究されている技術の概要)

- 現在普及しているエネルギー回生システムは回生エネルギーを電気エネルギーに変換して電池に蓄電されるものが大半であるのに対し、本技術は回生エネルギーを回転(運動)エネルギーのままフライホイールに伝達するという仕組み
- 電池式よりも技術的にシンプルで低コスト、エネルギー変換不要のため高効率、高パワー密度でF1でも採用実績がある (Williams Hybrid Power)
- 英Ricardo社も本技術開発に力を入れている

### (研究成果や今後の方向性)

- 電池の小型化、高効率エネルギー回生、低電力消費化

# 東大・東京理科大の走行中に路面から無線で給電される電気自動車システムの技術 インフラ整備、自動運転によるルート予測とあわせることで将来主流になる可能性

走行中に充電が可能な【無線給電】→充電行動の省略による【エネルギーロスの削減】の可能性

モビリティ事例:⑨

充電の効率化による  
環境負荷低減

## グラント情報

研究機関(所属国)	東京大学・東京理科大学(日本)
グラント種別(国)	KAKEN(日本)
代表研究者	藤本 博
配分額	43,550,000(円)
研究期間	2018~2022年
Webサイト	<a href="https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-18H03768">https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-18H03768</a>

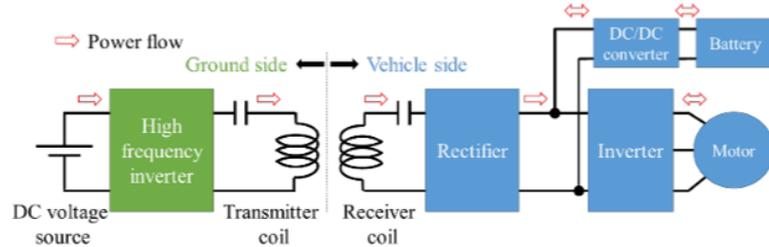
## 研究タイトル

ワイヤレスインホイールモータによる革新的な電気自動車に関する研究

## 注目キーワード

In-wheel motor, charge

## 技術概要



図F-9 ワイヤレス給電システム

### (研究されている技術の概要)

- 道路の一部に送電用コイルを敷設し、走行中のEVに無線で給電する研究
- 車輪内に駆動用モータと蓄電デバイスを配置し、その車輪に路面から直接電力を供給する、ワイヤレスインホイールモータ方式
- 送電能力とデバイスサイズはトレードオフにあるため、小型化が課題

### (研究成果や今後の方向性)

- 充電の効率化、軽量化、航続距離向上、充電時間の短縮

# BEIJING UNIVERSITY OF CHEMICAL TECHNOLOGYらの空気の補充を必要としないタイヤの設計・製造技術。自動運転によるルート計算や車両制御技術と組み合わせ、転がり抵抗が極小のタイヤが実現される可能性

転がり抵抗が低い【エアレスタイヤ】→走行中の摩擦を低減し【省エネルギー化】の可能性

モビリティ事例: ⑩

転がり抵抗低減による  
省エネルギー化

## 特許情報

出願人	BEIJING UNIVERSITY OF CHEMICAL TECHNOLOGY   BAODING BANGTAI POLYMERIC NEW-MATERIALS CO., LTD.
所属国	中国
発明者	YANG WEIMIN   YIN FANGFANG   Tan Jing   DING YUMEI   LANG ZENGKE   LI SIQI
公報番号	CN110039957A
出願日	2019-04-24

## 特許タイトル

Safe, environment-friendly, energy-saving and noise-reduction airless tire

## 注目キーワード

energy, reduction

## 技術概要



図F-10 エアレスタイヤイメージ

### (研究されている技術の概要)

- 空気の補充を必要としないタイヤの研究
- 樹脂素材を使うことにより、軽量化が可能
- 再生可能な素材で環境負荷も低減
- 構造を工夫することにより乗り心地への悪影響を低減

### (研究成果や今後の方向性)

- 量子コンピュータを活用した膨大なルート計算や、ち密な車両制御技術と組み合わせることで、乗り心地を損ねずに転がり抵抗によるロスを最小化できる可能性

# IntelliEPI-IRの、分子線エピタキシーを利用した窒化ガリウムベースの車載用パワーデバイスに関する研究

【車載用パワーデバイス】→モータなどの車両の電気系統を【効率的に制御】

モビリティ事例: ⑪

電気系統の効率制御材料

## グラント情報

研究機関(所属国)	IntelliEPI-IR, Inc. (米国)
グラント種別(国)	DOE (米国)
代表研究者	Fraser, Everett
配分額	200.000 (千ドル)
研究期間	2020~2021年
Webサイト	<a href="https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1835519">https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1835519</a>

## 研究タイトル

GaN-based Power Device Manufacturing for Automotive Applications Utilizing Production MBE Technology

## 注目キーワード

GaN、power electronics、semiconductor、molecular-beam epitaxy

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 窒化ガリウムベースの車載用パワーデバイスの開発を目指す
- 車載用デバイスとしては現在シリコン系が優勢だが、スイッチング周波数などいくつかの点で窒化ガリウムが優れている
- 分子線エピタキシー(MBE)を利用して製造する

### (研究成果や今後の方向性)

- 200mmサイズの基盤が既に製造されており、課題であったコストの削減に期待できる
- 車両の電化は炭素排出量の削減に期待できる

# Advent Diamondの、高温で動作し高出力なダイヤモンドベースの半導体デバイスに関する研究

高性能な【次世代半導体デバイス】→EVや通信設備、航空宇宙、電力網などの【電力制御】

モビリティ事例⑫

【towards 2050】

次世代半導体デバイス

## グラント情報

研究機関(所属国)	Advent Diamond, Inc.(米国)
グラント種別(国)	SBIR(米国)
代表研究者	Manpuneet Benipal
配分額	750.000(千ドル)
研究期間	2020~2022年
Webサイト	<a href="https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1705771">https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/1705771</a>

## 研究タイトル

SBIR Phase II: Advancing High-Power Diamond Devices Towards Commercialization

## 注目キーワード

diamond、power electronics、semiconductor

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- ダイヤモンド半導体デバイスは、耐熱・耐真空性、高出力、高周波数など、理論的には半導体として理想的な特性を有し、次世代パワーデバイスとして期待されるが、これまでは理論値に比べ低い電流値と極端に短い寿命でしか達成されていない
- 本研究では、材料体積のワークフローの最適化によりデバイスを設計し、1200Vのブロッキング電圧の達成を目指す

### (研究成果や今後の方向性)

- 次世代パワーデバイスとして、EVの電力制御のほか、通信基地局や航空宇宙、電力網など幅広く活用できる
- 佐賀大学においても新動作原理により世界最高水準の出力電力を得ることに成功しており\*、今後さらに研究が進むものと思われる

\*; <https://www.saga-u.ac.jp/koho/press/2021042021534>

# Eaton Intelligent Power Limitedのブレーキで生じる摩擦熱を回収し、駆動力に変換するシステム。生じたエネルギーを回収・回復する技術は今後も重要と考える

【廃熱エネルギー回収機構】→捨てられるエネルギーを可能な限り【回収・再利用】

モビリティ事例: ⑬

廃熱回収によるエネルギー効率化

## 特許情報

出願人	Eaton Intelligent Power Limited
所属国	英国
発明者	Stoltz, Thomas
公報番号	US10710442B2
出願日	2020-05-14

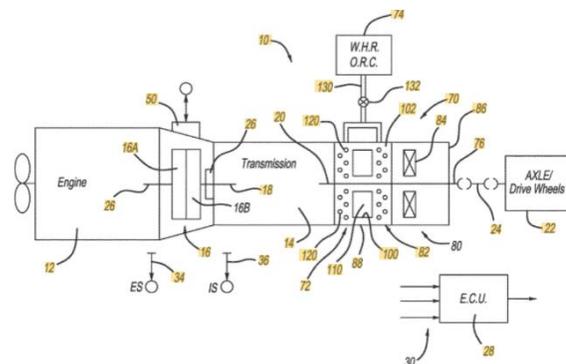
## 特許タイトル

Thermal kinetic energy recovery system for hybrid vehicle

## 注目キーワード

waste heat, energy recovery,

## 技術概要



図F-11 熱エネルギー回収システム概要

### (研究されている技術の概要)

- ハイブリッド車の物理ブレーキで生じる摩擦熱を回収し、駆動エネルギーに変換する技術
- 流体を介して熱エネルギーが伝達される
- 蓄熱ユニットに含まれる金属が摩擦熱を吸収し、加熱された流体が気化して駆動力に変換される
- ブレーキの摩擦熱以外にも内燃機関の排気ガスやエアコンで生じた熱などの回収にも応用が可能

### (研究成果や今後の方向性)

- EV化されても物理ブレーキは残る可能性が高く、高効率化されれば2050年でも有効な技術
- ディーゼルエンジンが当面残るとされる大型車は発熱量も多いため回収できるエネルギーも多く、有効

# Northumbria Universityの刺繍型圧電・焦電素子を用いて自動車の廃熱を電気エネルギーに変換する研究

【廃熱エネルギー回収機構】→捨てられるエネルギーを可能な限り【回収・再利用】

モビリティ事例: ⑭

焦電エネルギー回収による  
エネルギー効率化、温暖化抑制

## グラント情報

研究機関(所属国)	Northumbria University (英国)
所属国(国)	UKRI (英国)
代表研究者	Linzi Emma Dodd   Katie McCONVILLE
配分額	記載なし
研究期間	2020~2024年
Webサイト	<a href="https://gtr.ukri.org/projects?ref=studentship-2434346">https://gtr.ukri.org/projects?ref=studentship-2434346</a>

## 研究タイトル

Flexible substrate rectenna devices for energy recovery

## 注目キーワード

energy recovery, heat

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 刺繍型の圧電性・焦電性・光電性・光起電力性を持つポリフッ化ビニリデンの素子を用いることにより、日常の様々なシーンでのEnergy harvestingの実現を目指す研究
- 耐熱性がクリアできた際には自動車のエキゾーストチューブなどに装着して排ガスの熱エネルギーを回収できる可能性もあると述べている

### (研究成果や今後の方向性)

- 通常排ガスの熱は大気に放出されるため、1台1台のエネルギーは微量だが、温暖化抑制にも貢献
- ディーゼルエンジンが当面残るとされる大型車は排気量も大きいいため回収できるエネルギーも多く、有効
- 非常に軽量で柔軟な素材であるため、質量増による燃費の悪化やレイアウトの課題が少なく、排ガスの熱以外にブレーキなどの熱源にも応用できる可能性が高い

# 西安科技大学の振動エネルギーを回収して動作する自己発電型アクティブサスペンションの研究

【振動エネルギー回収機構】→捨てられるエネルギーを可能な限り【回収・再利用】

モビリティ事例: ⑮

振動エネルギー回収による  
エネルギー効率化

## グラント情報

研究機関(所属国)	西安科技大学(中国)
グラント種別(国)	SCEINCENET(中国)
代表研究者	教授 寇发荣
配分額	600,000 RMB
研究期間	2018~2021年
Webサイト	<a href="http://fund.sciencenet.cn/project/306615">http://fund.sciencenet.cn/project/306615</a>

## 研究タイトル

車両用電磁リニア自己給電型ハイブリッドアクティブサスペンションの作動機構と協調制御に関する研究  
(原文: 车辆电磁直线式自供能混合主动悬架工作机理与协调控制研究)

## 注目キーワード

Vibration energy, energy recovery

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 従来電気を供給してアクチュエータが動作することにより、乗り心地と操安性を向上させるアクティブサスペンションに、振動エネルギーの回生機構を搭載した自己発電型アクティブサスペンションの研究

### (研究成果や今後の方向性)

- EV化が進んだとしてもサスペンションはすべての自動車に必要な機構であるため、台数効果からエネルギー効率化の効果も大きい
- アクティブサスは操安・乗り心地向上に大きく寄与するため、自動運転時のショックや揺れの制御に貢献できる可能性が高い

# Eskisehir Technical UniversityらのドローンやUAVの推進機として搭載する 2軸ターボジェットエンジンの熱力学特性に関する研究

【空飛ぶクルマの性能向上】→利便性向上とともに【移動の効率化】【道路の渋滞解消】

モビリティ事例: ⑩

移動手段の代替による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究期間(所属国)	Eskisehir Technical University、İğdır University (トルコ)
著者	Elif Koruyucu; Selcuk Ekici; T. Hikmet Karakoc
掲載雑誌	Journal of Thermal Analysis and Calorimetry
掲載年	2021
DOI	<a href="https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-020-10449-9">https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-020-10449-9</a>

## 論文タイトル

Performing thermodynamic analysis by simulating the general characteristics of the two-spool turbojet engine suitable for drone and UAV propulsion

## 注目キーワード

UAV, thermal

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- ドローン・UAVの推進力としてターボジェットエンジンを活用した際のエンジン特性をシミュレートし、燃焼効率の高いパラメタを算出する研究

### (研究成果や今後の方向性)

- 新たなMobilityの可能性として空飛ぶクルマは注目されているが、積載性や航続距離の面で課題があり、ターボジェットエンジンはバッテリー駆動よりもこれらの面では有効
- CO2排出面においてはバッテリー駆動に対して不利であるため、燃焼効率の向上は重要
- 路面走行自動車の代替としてトータルで移動を効率化することによるCO2削減の可能性

# Virginia State UniversityらのドローンやUAVに搭載する小型・軽量な燃料電池の研究

【空飛ぶクルマの性能向上】→利便性向上とともに【移動の効率化】【道路の渋滞解消】

モビリティ事例: ⑱

移動手段の代替による  
環境負荷低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	Virginia State University、Old Dominion University(米国)
著者	Jinmyun Jo; Xiaoyu Zhang; Ali A. Ansari
掲載雑誌	ASME 2021 Heat Transfer Summer Conference
掲載年	2021
DOI	<a href="http://asmedigitalcollection.asme.org/HT/proceedings-pdf/doi/10.1115/HT2021-62626/6734126/v001t13a002-ht2021-62626.pdf">http://asmedigitalcollection.asme.org/HT/proceedings-pdf/doi/10.1115/HT2021-62626/6734126/v001t13a002-ht2021-62626.pdf</a>

## 論文タイトル

Lightweight PEM Fuel Cell Stack for Unmanned Aerial Vehicle

## 注目キーワード

UAV, fuel cell

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 燃料電池搭載のUAVは、内燃機関やバッテリー駆動のUAVよりも航続距離の面で有効であるが、航続距離を伸ばすためには多くのFCスタックを搭載する必要がある
- 航続距離と重量は比例関係にあるため、小型・軽量なFCスタックを3Dプリンティング技術等を用いて開発

### (研究成果や今後の方向性)

- Fuel cellのUAVはゼロエミッションと航続距離を両立できる可能性
- 路面走行自動車の代替としてトータルで移動を効率化することによるCO2削減の可能性

# Chalmers University of Technologyらの、Fuel cellとスーパーキャパシタのEVのエネルギー効率最適化に関する研究

【ゼロエミッションのハイブリッド】→さらなる【エネルギー効率の向上】

モビリティ事例: ⑩

エネルギー効率の向上

## 論文情報

研究機関(所属国)	Chalmers University of Technology (スウェーデン)、University College Dublin (アイルランド)
著者	Qian Xun; Yujing Liu; Xiaoliang Huang; Emma Arfa Grunditz; Jian Zhao; Nan Zhao
掲載雑誌	IEEE Transactions on Industry Applications
掲載年	2021
DOI	<a href="https://research.chalmers.se/en/publication/520158">https://research.chalmers.se/en/publication/520158</a>

## 論文タイトル

Drive Cycle Energy Efficiency of Fuel Cell/Supercapacitor Passive Hybrid Vehicle System

## 注目キーワード

supercapacitor, fuel cell

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 燃料電池とスーパーキャパシタのハイブリッドEVは、電圧変換(DC-DCコンバータ)が不要のため、低コスト化、コンパクト化につながる
- 走行モードに応じて燃料電池システムとスーパーキャパシタのそれぞれが最も効率化できる最適な組み合わせをシミュレーション

### (研究成果や今後の方向性)

- 燃料電池車自体がゼロエミッションであるが、走行モードによって効率の悪い部分をスーパーキャパシタで補い、さらに効率を高められる可能性

# Dr. B. R. Ambedkar National Institute of Technology Jalandharらの、マイクロエマルジョンベースのハイブリッドバイオ燃料(MHBF、再生可能な脂質)をベースにした代替燃料に関する研究

【再生可能なバイオ燃料】→自然由来の原料で排ガス低減による【CO2低減】

モビリティ事例: ⑱

自然由来の原料によるCO2低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	Dr. B. R. Ambedkar National Institute of Technology Jalandhar、Sardar Swaran Singh-National Institute of BioEnergy (インド)
著者	Himansh Kumar; Amarendra K. Sarma; Pramod Kumar
掲載雑誌	Renewable and Sustainable Energy Reviews
掲載年	2020
DOI	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119307063">https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119307063</a>

## 論文タイトル

A comprehensive review on preparation, characterization, and combustion characteristics of microemulsion based hybrid biofuels

## 注目キーワード

hybrid, biofuel, microemulsion

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- 乳化やハイブリッド燃料調製プロセスは、化学反応や複雑な化学処理プロセスを必要としない、他のバイオ燃料製造プロセスの中で最もシンプルなプロセスであり、環境負荷が低い
- エネルギー効率はバイオディーゼルと石油ディーゼルの混合と同等であった一方、COX、NOX、SOX排出量はこれらよりも低いことが分かった

### (研究成果や今後の方向性)

- 天然由来の原料から簡易なプロセスで生成可能であり、かつ環境負荷が低いマイクロエマルジョンベースのバイオ燃料は今後内燃機関の燃料として普及する可能性

# National Taiwan Ocean Universityらのナノエマルジョンのバイオ燃料生成に関する研究

【再生可能なバイオ燃料】→自然由来の原料で排ガス低減による【CO2低減】

モビリティ事例: ⑳

自然由来の原料によるCO2低減

## 論文情報

研究機関(所属国)	National Taiwan Ocean University (台湾)
著者	Cherng-Yuan Lin; Shih-Ming Tsai
掲載雑誌	Molecules (Basel, Switzerland)
掲載年	2019
DOI	<a href="https://europepmc.org/articles/PMC6804196">https://europepmc.org/articles/PMC6804196</a>

## 論文タイトル

Comparison of Engine Performance between Nano- and Microemulsions of Solketal Droplets Dispersed in Diesel Assisted by Microwave Irradiation.

## 注目キーワード

biofuel, microemulsion

## 技術概要

### (研究されている技術の概要)

- ディーゼル燃料の添加剤としてソルケタルを用い、マイクロ波を照射することにより、マイクロエマルジョン・ナノエマルジョンを生成
- 低回転領域ではナノエマルジョンの方がマイクロエマルジョンや従来のディーゼル燃料と比較して燃焼効率や排ガス温度が高いことが分かった
- 高回転領域では効率はマイクロエマルジョンに近づくことが分かった

### (研究成果や今後の方向性)

- マイクロエマルジョンよりもより細かいナノエマルジョンを用いることにより、燃焼効率をさらに高められる可能性

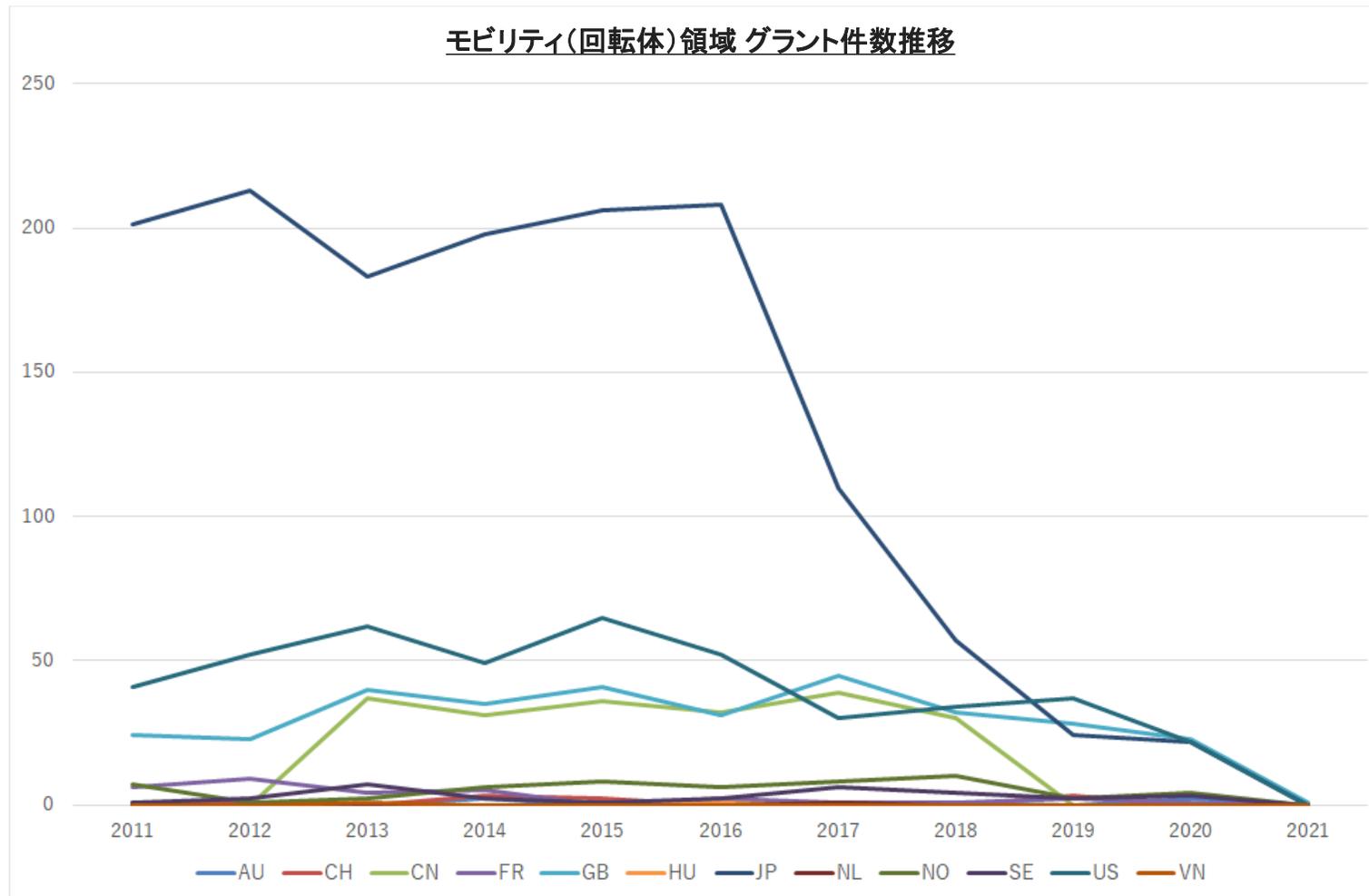


## F-3. 国際競争力の評価

asta  muse  
company

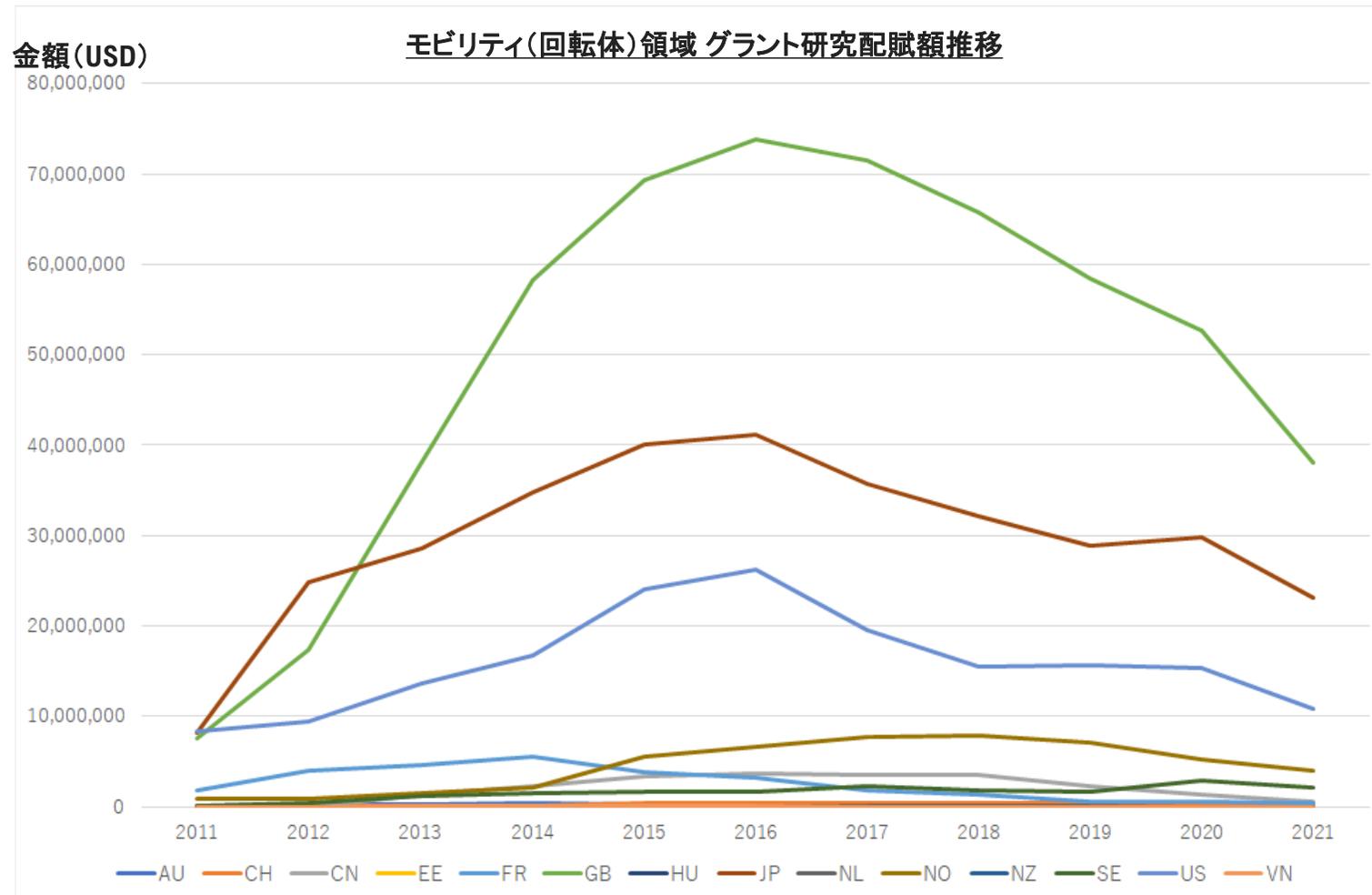
# グラント件数は日本が最も多かったが、2016年以降急激に下降している。全体的にグラントの件数は多くない

## グラント件数推移



# グラント研究配賦額は英国が最も大きく、次いで日本、米国の順であった。いずれの国も2016年以降、件数だけでなく金額も減少している

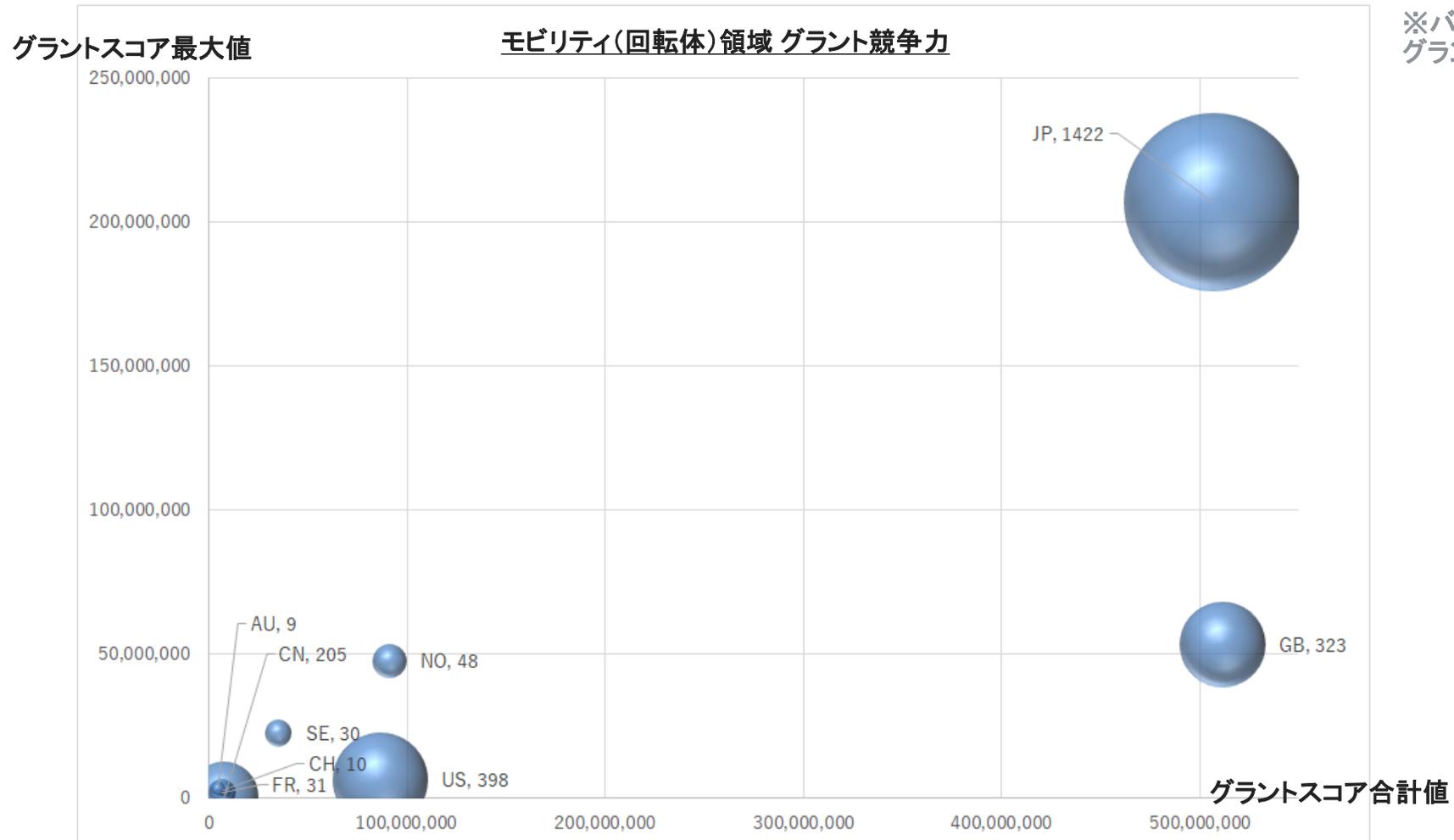
## グラント研究配賦額推移



※研究配賦額はProject期間で均等に割った値を集計

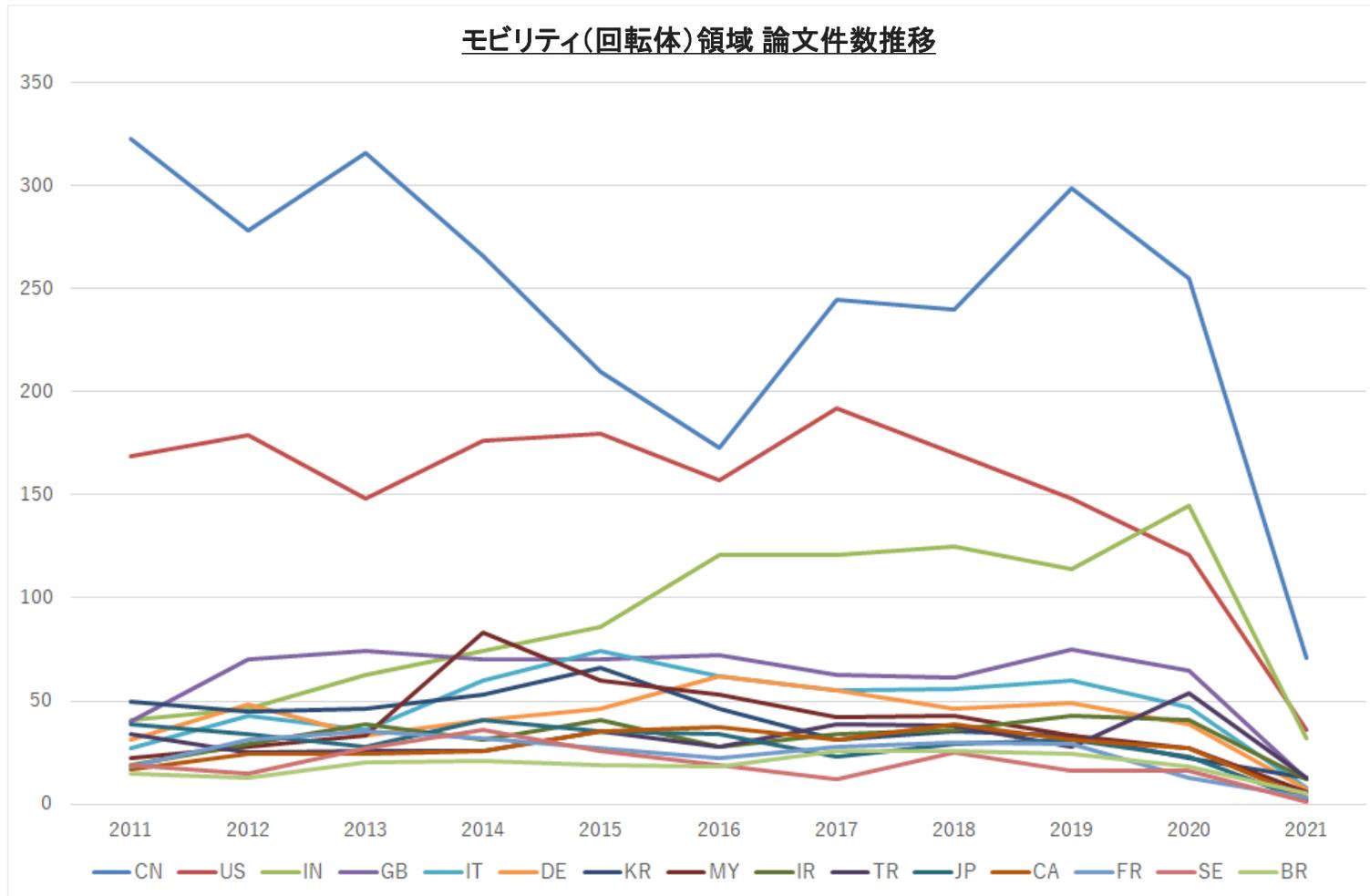
# Grant競争力は、合計値においては英国が1位、僅差で日本が2位であった。最大値は日本が圧倒的であった

## Grant競争力



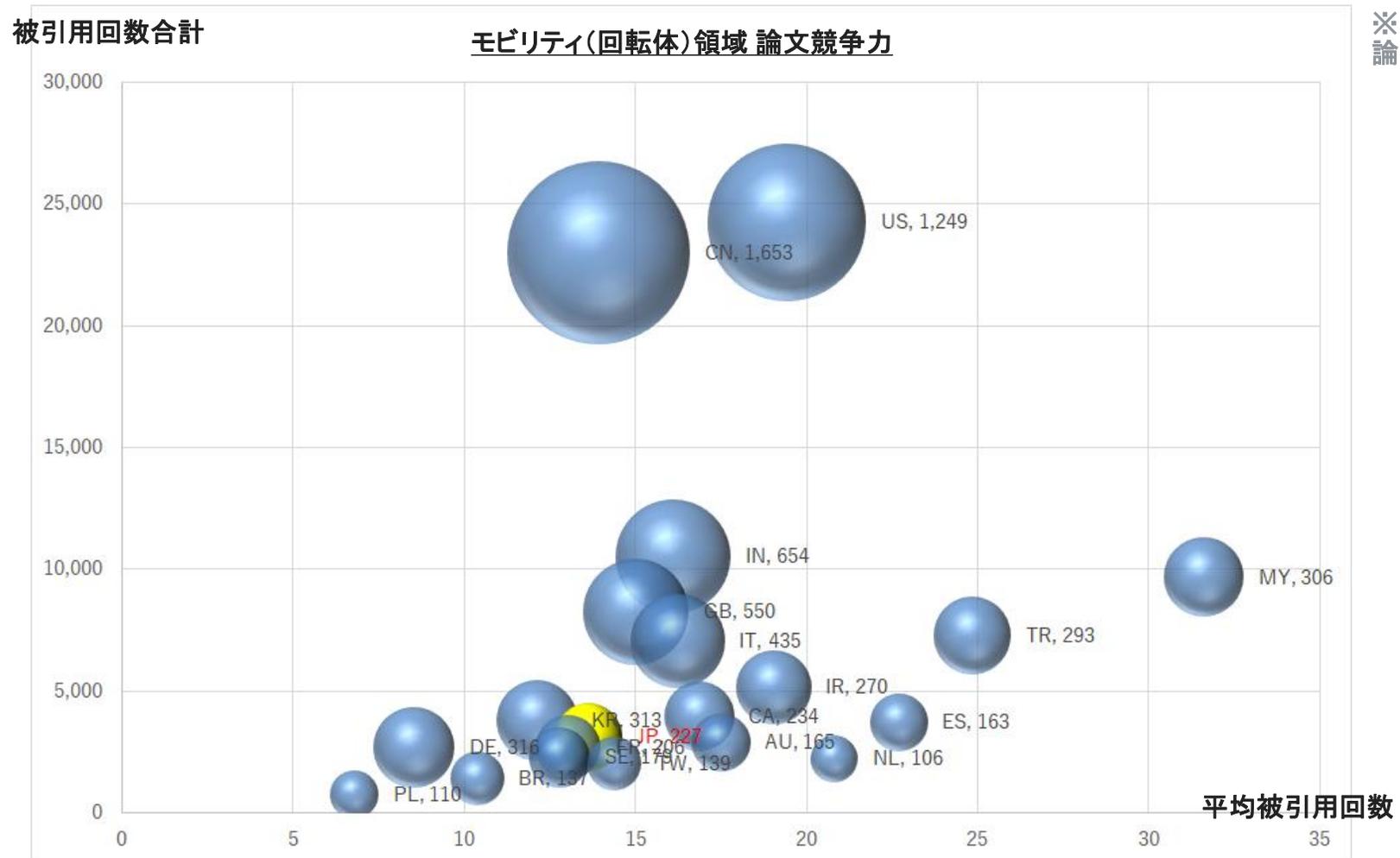
# 論文件数は中国が最も多く、次いで米国であったが、近年インドが増加している

## 論文件数推移



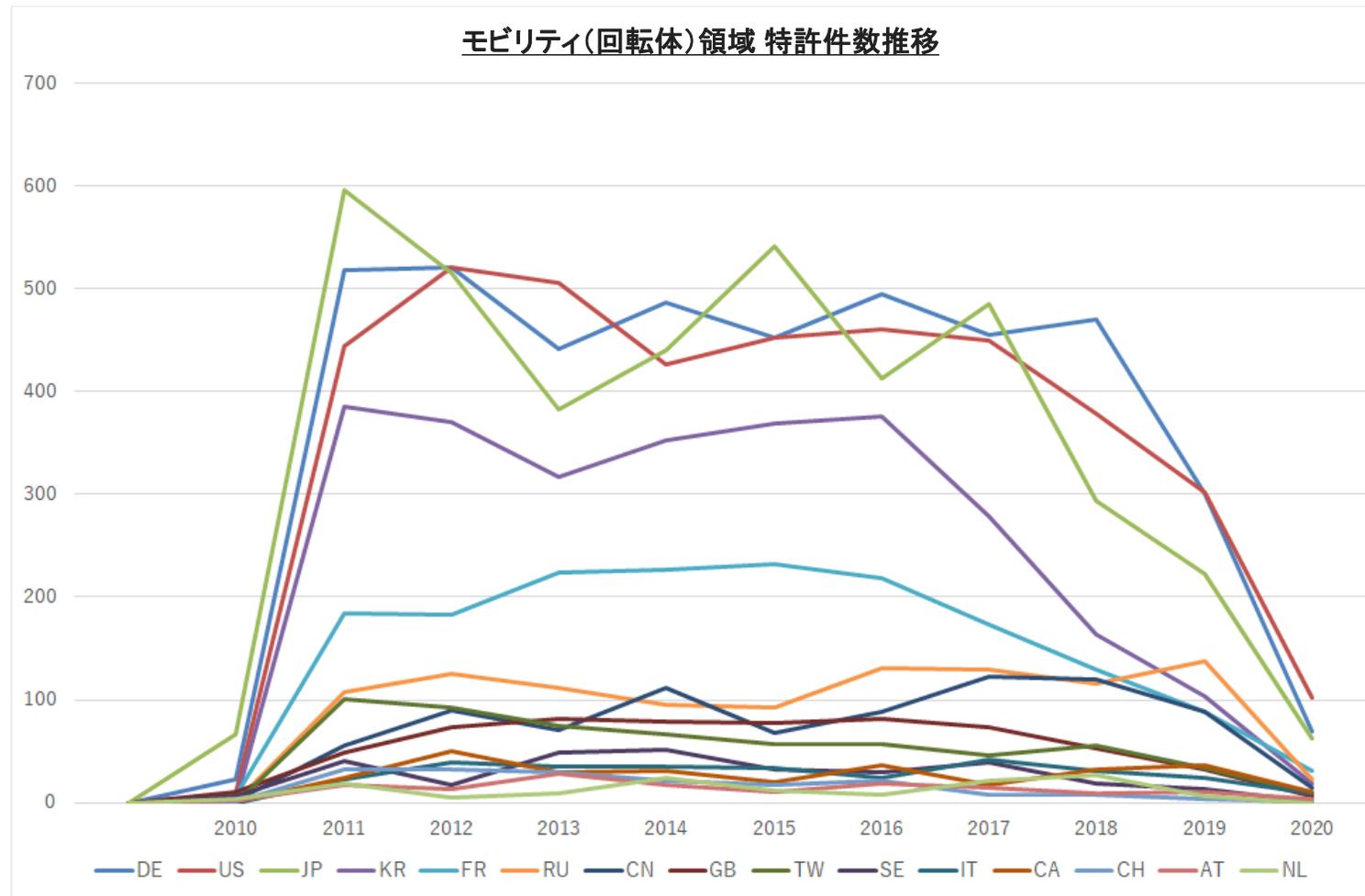
# 論文競争力は被引用回数においてはマレーシア、トルコ、スペインが上位であった

## 論文競争力



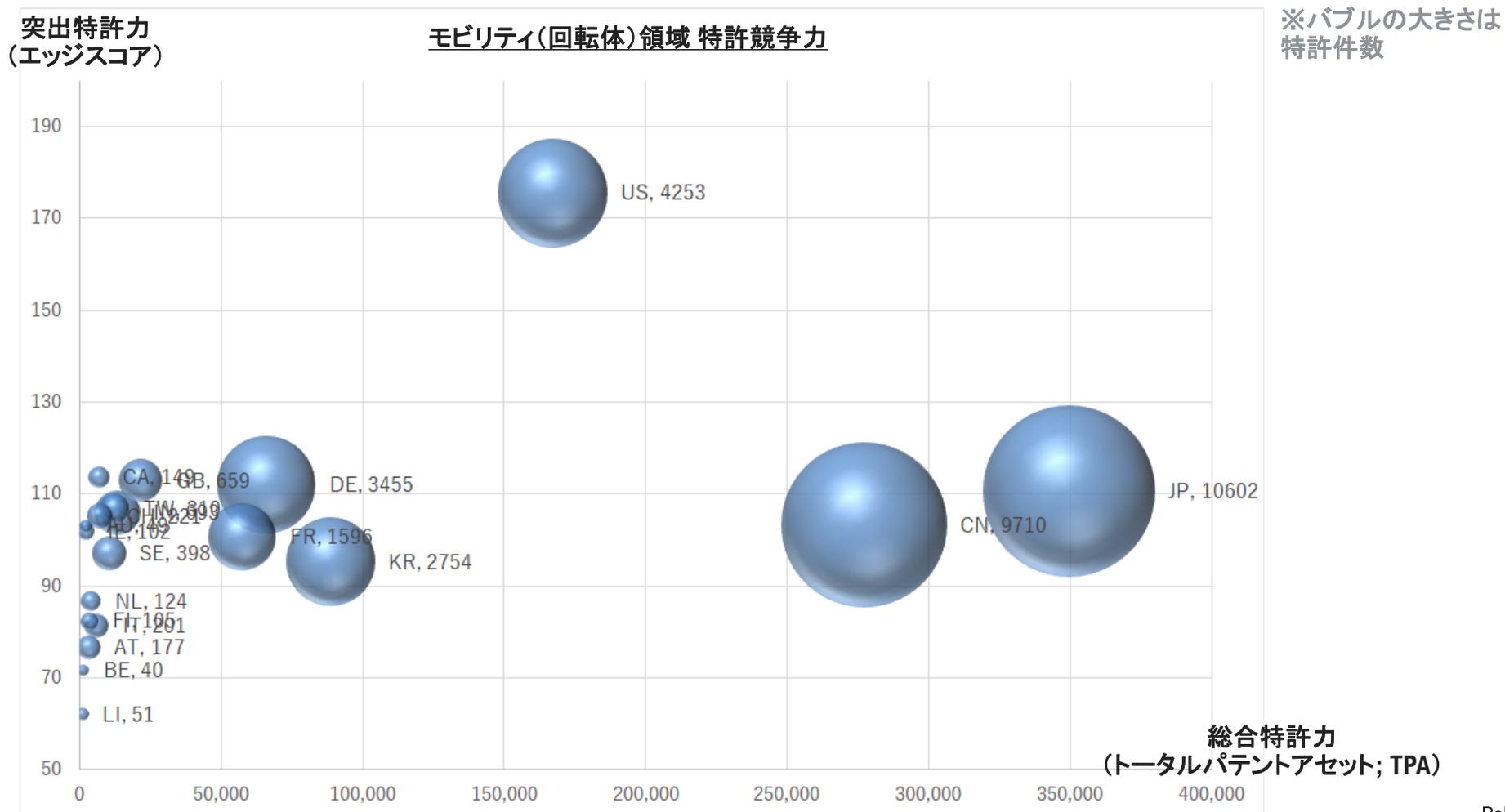
# 特許件数は日本が最も多かったが、近年ドイツ、米国に抜かれている

## 特許件数推移



# 特許競争力は、TPA・件数で日本が最も高く、中国と似た傾向である。米国は件数は少ないものの、エッジスコア・TPAで競争力が高い

## 特許競争力





## F-4. 抽出結果の解釈

# 大型モビリティ向けに、脱炭素と高いエネルギー密度の両立を実現する技術が特に重要視されていることが伺える

抽出されたキーワード・研究事例を踏まえた全体としての解釈

- 大型モビリティ関連が多く導出されており、EV化のみでは対応できない高いエネルギー密度／超高効率の実現が、CNに寄与する技術として求められている  
「ムダ(エネルギーロスや充電時のダウンタイムに加え、渋滞なども)の削減」が重要視されるということを意味している
  - エネルギー密度の観点でEV化が難しかったトラックやバスなどが想定される
  - 中／大型のドローン・UAV(Unmanned Aerial Vehicle)についても、実用化に向けた後押しとなる
- その実現として、技術単体ではなく、下記のような「うまい組み合わせ」がポイントとなる
  - ディーゼルと廃棄回収技術／バイオ燃料や、燃料電池×スーパーキャパシタ、等を組み合わせた、エネルギー密度/効率とゼロエミッションの両立
  - エネルギーの回収と、回収されたエネルギーの活用というサイクル
  - 「快適性は劣るが超効率的」×「快適性をカバーする制御」という組み合わせ
- モビリティ全体の高効率化を実現する、窒化ガリウムやダイヤモンドを用いた次世代型パワー半導体も候補にあがる
- 逆の見方をすると、小型モビリティ向け技術は多く抽出されておらず、20～30年先を見据えた革新(イノベーション)ではないと捉えることができる

# 事例をカテゴライズし、抽出されたKWと紐づけると、以下の通り(1/2)

青字: Step 2/3に加えて  
STEP 4/5で更新・追加された内容

#	カテゴリ	重要技術の研究例	事例No.	時系列変化に特徴のある注目キーワード	事例に登場する関連キーワード
A	大型モビリティの脱炭素化を実現する、エネルギー密度/効率を高める技術と脱炭素技術の組み合わせ (内燃機関×バイオ燃料、スーパーキャパシタ×燃料電池、等)	添加物を工夫し、ディーゼルエンジンの燃焼効率を向上	4	emission characteristics、additive、aluminum、nanoparticles、diesel	emission characteristics
		二種類のAIを活用し、ディーゼルエンジンの燃焼効率を向上	5	emissions assessments、thermal、diesel、algorithm、learning	emissions assessments、thermal
		(ロケット)航続距離の増加、スペースデブリの減少などのための燃焼効率の向上	6	emissions assessments、thermal、combustion	emissions assessments、thermal
		マイクロエマルジョンベースのハイブリッドバイオ燃料(MHBF、再生可能な脂質)をベースにした代替燃料	19	microemulsion、biogas、biodiesel	microemulsion
		ナノエマルジョンのバイオ燃料生成に関する研究	20	microemulsion、biogas、biodiesel	microemulsion
		インフラで活用されているような発電機能(超臨界CO2タービン)を搭載できる可能性。現時点ではサイズ、安全性にやや課題があり、克服のための研究が行われている	1	thermal、heat、diesel、recycling (regenerate)、turbine engine	Regenerative、thermal
		Fuel cellとスーパーキャパシタのハイブリッドEVのエネルギー効率最適化に関する研究	18	supercapacitor、fuel cell	supercapacitor、fuel cell
B	ドローン・UAVの、CNを意識した実用化技術	ドローンやUAVの推進機として搭載する2軸ターボジェットエンジンの熱力学特性に関する研究	16	UAV、fuel cell	UAV、fuel cell
		ドローンやUAVに搭載する小型・軽量な燃料電池	17	UAV、thermal	UAV、thermal
C	次世代型パワー半導体によるエネルギー効率向上	分子線エピタキシーを利用した窒化ガリウムベースの車載用パワーデバイス	11	GaN、power electronics、semiconductor、	GaN、power electronics、semiconductor、molecular-beam epitaxy
		高温で動作し高出力なダイヤモンドベースの半導体デバイスについて研究	12	diamond、power electronics、semiconductor	diamond、power electronics、semiconductor

# 事例をカテゴライズし、抽出されたKWと紐づけると、以下の通り(1/2)

青字: Step 2/3に加えて  
STEP 4/5で更新・追加された内容

#	カテゴリ	重要技術の研究例	事例No.	時系列変化に特徴のある注目キーワード	事例に登場する関連キーワード
D	稼働が重要な商用モビリティのダウンタイムのないEV充電	走りながら充電できる技術。走行中に路面から無線で給電できるようになれば、充電による30分~数時間の停止時間が要らなくなる	9	In-wheel motor	In-wheel motor, charge
E	走行中のエネルギーの回収・再利用	タイヤに圧電素子のセンサーをつけ、タイヤに与えられる圧力から運動エネルギーを回収する技術	7	emission, devices, recycling (piezoelectric)	Emitting, piezoelectric
		インホイールモーターによるエネルギー回生の、更なる効率化	3	Electric, in-wheel (motor), brake, ems, optimal, recycling (regenerate)	Electric, in-wheel (motor), regenerate
		電池を使わずに回生できるフライホイール技術。ブレーキの摩擦エネルギーを回収し、電池を充電する技術はあるが、その充電を経ずにフライホイールで保持する技術	8	Flywheel, hybrid, recycling (regenerate)	Flywheel, hybrid, regeneration
		ブレーキで生じる摩擦熱を回収し、駆動力に変換	13	waste heat, energy recovery, recycling	waste heat, energy recovery,
		刺繍型圧電・焦電素子を用いて自動車の廃熱を電気エネルギーに変換	14	energy recovery, heat, recycling	energy recovery, heat
		振動エネルギーを回収して動作する自己発電型アクティブサスペンション	15	Vibration energy, energy recovery, recycling	Vibration energy, energy recovery
F	エネルギー効率追求と快適性の両立のための組み合わせ技術 (樹脂技術×制御技術)	(船舶)波の変動を感知してジャイロスコープで発電できる技術。充電・給油が要らない技術が実用化できる可能性	2	wave energy, electrical, devices, recycling (renewable energy)	Electrical, renewable energy
		エアレスタイヤを、3Dプリンタを用いて樹脂で作れば、低コスト化、石油由来のゴムの削減・置き換え、路面抵抗の削減による燃費向上が予想される。尚、量子コンピューターを用いた最適なルートの計算や、車両制御技術との組み合わせが必要	10	algorithm, learning, quantum,	energy, reduction

# カテゴリ毎に技術のもたらす影響を解釈すると、以下の通り

## 技術のもたらす影響 (1/4)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

大型モビリティの脱炭素化を実現する、エネルギー密度/効率を高める技術と脱炭素技術の組み合わせ  
(内燃機関×バイオ燃料、スーパーキャパシタ×燃料電池、等)

A

社会	技術のもたらす影響の解釈
<p>内燃機関×バイオ燃料</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>前提として、<b>バイオ燃料によってCO2をゼロ</b>にすることが出来れば、内燃機関はエネルギー密度の点で有望な動力源</li> <li>特に、<b>エネルギー密度の観点で電動化が難しい大型モビリティ</b>においても省エネルギー化・脱炭素化が突き詰められることで、小型モビリティへの応用可能性含め、CNの実現に大きく寄与する</li> <li>ただ、上記インパクト実現には、「ディーゼル」「内燃機関」というもの自体が「悪」というイメージから脱却できるか、国際的な標準の1つにしていくことが求められる</li> </ul>
<p>スーパーキャパシタ×燃料電池</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料電池と、瞬間的に高い出力を出せ/回生効率も高いスーパーキャパシタを、走行モードに合わせて組み合わせることで、<b>燃料電池単体よりエネルギー効率を高め、航続距離の向上またはダウンタイムの削減</b>が可能に</li> <li>スーパーキャパシタは劣化しないため、<b>動力部のライフの延長</b>にもある程度貢献</li> <li>また、<b>コンバータが不要な為、より柔軟な車内空間の設計や、コンパクト化</b>(に伴う低コスト化)も可能に</li> </ul>
<p>経済</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>モビリティの中でも容易にEV化できない<b>大型モビリティ(バス・トラック等)</b>に対して適用できることで、日本の自動車産業(特に<b>商用車</b>)の競争力向上にも寄与</li> <li>特に、<b>バイオ燃料の主流技術において技術的優位性を築き、同時に量産化技術も開発出来れば、他国への資源依存からの脱却</b>が可能(エネルギー安全保障の実現)</li> <li>また、<b>航空機・ロケットなどの日本が後発な分野でのキラーコンテンツ</b>に</li> </ul>

# カテゴリ毎に技術のもたらす影響を解釈すると、以下の通り

## 技術のもたらす影響 (2/4)

カテゴリ	技術のもたらす影響の解釈	STEP 4における主な追加・更新部分
<p>B</p> <p>ドローン・UAVの、CNを意識した実用化技術</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>UAVは道路による制約がないため移動速度が飛躍的に向上し、僻地移動・輸送への寄与が見込めるなど、実用化すれば移動の概念を大きく塗り替える(日本においては、特に島嶼部や瀬戸内海、中山間地域の交通の改善にも有効)</li> <li>実用化に向けては、技術だけでなく、ルール作り、社会受容性、オペレーションなどの課題の解決が必要</li> </ul> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>UAVは用途が幅広く、産業の裾野が広いいため、巨大な新市場が形成される可能性</li> <li>主導するためには、開発だけでなくルール作りも携わり、UAVそのものや周辺産業について日本のプレイヤーが動きやすいようにすることが必要</li> </ul>	
<p>C</p> <p>次世代型パワー半導体によるエネルギー効率向上</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>現在主流のSi、SiCベースと比較してエネルギー損失を抑えることが出来、燃費向上、省エネルギー化が可能に</li> <li>また、エネルギー損失に伴う排熱の減少によって、より柔軟な車内空間の設計や、コンパクト化(に伴う低コスト化)も可能に</li> </ul> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ダイヤモンドベースの半導体の研究・実用化、量産化において日本がイニシアチブを取ることで、新たな主力産業化や、自動車業界の側面支援を可能に</li> <li>(シリコンベースのサプライチェーンにおいて強い)製造装置、シリコンウェハ以外の分野でもシェアを拡大することで、半導体サプライチェーンにおける影響力を拡大し、経済安全保障実現のための一手として活用</li> </ul>	

# カテゴリ毎に技術のもたらす影響を解釈すると、以下の通り

## 技術のもたらす影響 (3/4)

### カテゴリ

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

<p>D</p>	<p>稼働が重要な商用モビリティのダウンタイムのないEV充電</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>走行中の無線充電が可能になれば、充電によるダウンタイムが大幅に減少。一定の稼働効率が求められるバス・トラック等の電動化ハードルが大きく下がり、CNの実現に寄与する(より技術的難度の低い、信号待ち、バス停等の一時停止中の無線充電でもある程度の効果は見込める)</li> <li>また、搭載する蓄電池の容量を減らすことが出来、モビリティの低価格化による電動車の普及や、利用資源削減効果も想定</li> </ul> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>モビリティの中でも容易にEV化できない大型モビリティ(バス・トラック等)に対して適用できることで、日本の自動車産業(特に商用車)の競争力向上にも寄与</li> <li>また、無線給電システムを社会インフラとして新興国向けの輸出産業化することも可能性としてあり得る</li> </ul>
<p>E</p>	<p>走行中のエネルギーの回収・再利用</p>	<p><b>社会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー回収ができることで、駆動初期に必要なエネルギーの充電のみでモビリティを動かすことが可能になり、大幅な省エネルギー化に繋がる</li> <li>充電時間が極めて少なくなり、稼働時間の大幅向上や、電動化ハードルも大きく下がり、CNの実現に寄与できる</li> <li>また、必要な電力供給を最小限に留めることで、海外資源への依存の抑制が可能(エネルギー安全保障)</li> </ul> <p><b>経済</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>モビリティの中でも容易にEV化できない大型モビリティ(バス・トラック等)に対して適用できることで、日本の自動車産業(特に商用車)の競争力向上にも寄与</li> <li>エネルギー回収は、モビリティの分野に限らず多様な分野への応用が期待される</li> </ul>

# (続き)

## 技術のもたらす影響(4/4)

### カテゴリ

F

エネルギー効率追求と快適性の両立のための組み合わせ技術(樹脂技術×制御技術)

### 技術のもたらす影響の解釈

STEP 4における主な追加・更新部分

社会	<ul style="list-style-type: none"><li>樹脂製タイヤの導入によって、特に低速(100km/h未満)の場合、例えば市街地走行やフォークリフト等産業用途を中心に路面抵抗の減少による燃費向上、省エネルギー化が可能に</li><li>また、石油由来素材部分の再生可能樹脂への代替と3Dプリンタでの製造が可能になれば、製造時の省エネルギー化や、マテリアルリサイクルが可能に</li><li>樹脂製タイヤへの変更のみでは快適性が損なわれるが、制御技術との組み合わせによって快適性を保つことが可能</li><li>ゴム製品利用の削減へも繋がる</li></ul>
経済	<ul style="list-style-type: none"><li>環境負荷低減効果と制御システムの組み合わせにより、サプライヤーにとって新しいビジネス機会</li></ul>

# 日本は特許の質・量ともに上位で、自動車メーカー・サプライヤーが高い技術を有する。競合となり得る米国は、革新的な技術の開発に長けていることが伺える

## 国際競争力評価の考察

- モビリティ(回転体)領域は、日本、英国、アメリカが強い。日本についてみると、グラントは競争力が高く、論文は低いという状況、特許については突出力で米国に負けているものの、件数、総合特許力でいうと圧倒的であった
  - グラント競争力は、合計値は英国がトップで、次点が日本かつ、それ以下を大きく突き放す。最大値は日本が圧倒的に強く、英国が次点
  - 論文競争力は、合計回数では米国がトップで、中国、インドと続く。平均回数ではマレーシアがトップで、トルコ、スペインが続く。日本はどちらでも下位に位置
  - 特許競争力は、エッジスコアでは米国が圧倒的に強く、イギリス、ドイツ、日本等が続く。総合特許力では日本がトップで、中国、米国が続く
- 日本はグラント・特許においても質・量ともに上位で、特に特許の件数、総合特許力は圧倒的。しかし、論文の指標は弱く、自動車メーカー・サプライヤーが中心に技術を引っ張っていること、今後もその傾向が続くであろうことが想定できる
- 米国が特許の質(突出力)に優れており、概してイノベーションを生みやすい環境があり、革新的な技術の開発に長けていることが推測できる



## F-5. 外部有識者のコメント

# インタビューによって、抽出された技術領域は、一部実用化に向けた懸念はあるものの、概ね妥当であると示された

## インタビュー結果

### インタビューの結果

#### 抽出された技術の意義・課題

- 大型車やロケット、航空機におけるバイオディーゼルの活用については、EV化のハードル(エネルギー密度、等)を考えると現実的
- 真空化したフライホイールでエネルギーを回収する技術も有望
- また、コイルによる移動中の無線給電や圧電子、波エネルギー等、一部の事例についてはエネルギー効率の面で実用化は簡単ではない

#### 特に重要な技術領域

- 「空飛ぶクルマ」「パワー半導体の熱効率の向上・コスト削減技術」「CASEの進化の系譜にあたる技術」「バッテリー技術」が挙げられた

#### その他

- 日本が強みを持つ領域として「ハイブリッド技術のコスト・性能バランスの良さ」「内燃機関とモーターのエネルギーを回収し走行エネルギーに変換する技術」「バイオディーゼルエンジンの開発
- 今後強みとすべき領域は、「バイオ燃料の低価格での量産」



E社 代表取締役社長 e氏



### インタビューから得られた示唆

- 抽出された技術は大きくは妥当であった
  - 特に、大型車やロケット、航空機におけるバイオディーゼルの活用についてはEV化のハードル(エネルギー密度、等)を考えると現実的で有望
  - また、真空化したフライホイールでエネルギーを回収する技術もエネルギー効率が高く、有望
- 一方で、一部の事例についてはエネルギー効率や技術以外の要素等、実用化に向けたハードルがあり、実用化に向けた動きを注視することが重要と示唆された
- 空飛ぶクルマ、パワー半導体、CASE、バッテリー技術などが特に重要な技術と示唆された

# インタビュー結果の全文は以下の通り

## インタビュー結果(詳細、1/4)

### 以下抽出技術の意義・課題

大型モビリティの脱炭素化を実現する、エネルギー密度の高いエンジン・タービンと脱炭素技術の組み合わせ

A

### インタビュー結果

- **大型モビリティ(自動車)のうち、短距離系(都市内の路線バス、ラストワンマイルの宅配トラック等)はEV化も考えられるが、長距離モビリティはFCVやバイオディーゼル、モーダルシフトが現実的**

  - 短距離系は停止するタイミングが多く、その間に充電も可能なため、大型モビリティの中ではまだEV化の実現可能性がある
  - 一方で、長距離モビリティのCN化においてEV化を考えるのは、停止中の充電機会が殆どなく、無線給電も技術的に大変難しいため、2050年までの実現は難しい(100年程度かかる可能性も)
  - 無線給電は、現時点では給電効率が悪く、給電時に発生する磁場による安全性の問題もあるので、大型モビリティ向けの実用化は難しい
  - CNを実現する面では、バイオディーゼルへの転換+自動運転+隊列走行によるエネルギー効率向上と、電車へのモーダルシフトの組み合わせが現実的
  - ハイブリッド車の性能・コストの両立やバイオディーゼルエンジンは日本の得意領域
  
- **ロケットや飛行機もEV化はバッテリーの重量の面で難しく、CN実現に向けて、バイオディーゼルへの置き換えが可能になった場合の価値は大きい**

  - 飛行機・ロケットのEV化は、バッテリーの重量が障害となり難易度が非常に高い
  - 飛行機は成層圏を航行するため、大気汚染が問題視されており、その点でもバイオディーゼルや原子力など、新しい燃料のもたらす環境負荷軽減の度合いは大きい
  - 欧米でも研究が進んでいない印象の為、日本が先んじて開発できると競争優位を築ける可能性

# (続き)

## インタビュー結果(詳細、2/4)

### 以下抽出技術の意義・課題

### インタビュー結果

<p>B</p>	<p>稼働が重要な商用モビリティのダウンタイムのないEV充電</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>無線給電は実現の意義はあるものの、現時点では給電効率・安全性の面でのハードルが非常に高く、政府としてどう育成していくべきか検討が必要             <ul style="list-style-type: none"> <li>事例にあるコイルによる走行中の無線給電は、給電効率・安全性の面で実現が難しく、マイクロウェーブまたは架線の方が現実的                 <ul style="list-style-type: none"> <li>給電効率:コイルの位置と車体が一致していないと給電効率が落ち、走行中の充電は極めて難しい(小型車向けや路線バス・ラストワンマイルの配達トラック向けの停止中充電ならまだ可能性がある)</li> <li>安全性:磁界発生により、医療用ペースメーカー等に悪影響</li> </ul> </li> <li>マイクロウェーブによる給電は高所から指向性を付与して当てられるため、停車時に行う場合現実的。人間にあたらないような安全性面での技術進展は必要</li> <li>日系メーカーも近年積極的に開発していた領域であり、政府としてどうバックアップすべきかについて検討が必要</li> </ul> </li> </ul>
<p>C</p>	<p>走行中のエネルギーの回収・再利用</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フライホイールを真空にし、エネルギーを貯める技術はエネルギー効率が高く有力。停止時などの時間経過によるロスをどれだけ減らせるかが実用化に向けた鍵             <ul style="list-style-type: none"> <li>フライホイールに貯めるという考え方自体は存在しているものの、この事例はフライホイールを真空にすることでエネルギー効率の向上を図っており、特に先進的で有力な技術</li> <li>信号停止時など、エネルギー回収～使用までに間が空くとエネルギーが減少し、ロスが起きるため、これをどう減らすかが実用化に向けた挑戦では</li> </ul> </li> <li>圧電素子によるエネルギー回収はエネルギー効率が低く、タイヤの抵抗も増えるため、あまり現実的ではない</li> <li>船舶における波からのエネルギー回収については、専門外ではあるが、エネルギー効率が低く現実的ではない。ただ、船舶も完全なEV化が難しいため、バイオ燃料等何らかのCN実現技術の開発は重要             <ul style="list-style-type: none"> <li>専門外だが、波から回収できるエネルギーはそこまで大きくないと推測</li> <li>船舶も航続距離が長く、完全なEV化は難しいため、バイオ燃料や内燃機関関連のソリューションの開発は重要</li> </ul> </li> </ul>

# (続き)

## インタビュー結果(詳細、3/4)

### 以下抽出技術の意義・課題

エネルギー効率追求と快適性の両立のための組み合わせ技術(樹脂技術×制御技術)

F

### インタビュー結果

- 転がり抵抗の削減は時速100km以下では有効なものの、それ以上の場合風の抵抗が大きいため、燃費への貢献効果はそこまで高くない可能性があり、制動の面でも課題が残る
  - 低速走行の場合転がり抵抗>空気抵抗の為、燃費削減効果が期待できるが、時速100kmを超えると転がり抵抗の影響は小さくなく、燃費削減効果は限定的
  - また、ゴムを全く用いない場合、ハンドリングに懸念が存在。止まる・曲がるといった動作が出来なくなる可能性がある
  - 転がり抵抗削減、パンクしないタイヤというコンセプトは面白いので、日本として開発を進める意義は存在
  - パンクしないタイヤというコンセプトを活かせる領域としては、低速運航のフォークリフト等への活用が検討できる

# (続き)

## インタビュー結果(詳細、4/4)

### 質問

### インタビュー結果

#### 特に重要な技術領域

- **空飛ぶクルマは実現できれば移動速度、交通事故の減少などの面で革新的**
  - 空飛ぶクルマは安全性(4基プロペラ破損時の落下可能性、等)や法規制等のハードルはあるものの、2050年までには実現できる可能性が高い
  - 実現出来れば道路による制約がないため移動速度が上がり、交通事故の減少も見込める等、大きなブレークスルー
- **パワー半導体の熱効率の向上、コスト削減技術は電動化に向けた重要な技術領域**
  - 熱効率を上げることと低コスト化を図ることが重要
  - 現在はコストを以下に落とせるかで競争が起きているが、日本はトップとは言えない
- **CASEの進化もCN実現の観点で重要な技術領域**
  - CNという観点で言うと、CASEの系譜の技術が出てきていない点は違和感がある
  - 例えば自動運転レベル5のEVタクシーが実現できると、充電(ダウンタイム)・運行スケジュールの最適化が高いレベルで可能となり、CNに大きく貢献する
  - また、シェアリングが進めば車の絶対数が減り、製造時・利用時の省エネに確実にインパクトをもたらす
- **全固体電池・燃料電池等のバッテリー技術も、大型モビリティのEV化やCN実現の観点で重要な領域**

#### その他

- **日本が強みを持つのは、カテゴリA/Cに関連する「ハイブリッド技術」の性能・コストのバランスの良さと、内燃機関とモーターのエネルギーを回収し走行エネルギーに変換する技術、バイオディーゼルエンジンの開発の3点**
  - 例えばプリウスなど、日系メーカー製のハイブリッド車の燃費性能は非常に高い。エンジンとモーターの切り替え技術が高い上に、システムとしてのコストを抑えることにも成功している
  - 内燃機関とモーターのエネルギーを回収し走行エネルギーに変換することも高い技術が必要だが、ロスが少ない技術を持っている
  - バイオ燃料を用いるバイオディーゼルエンジンについても、昔から開発に取り組んでおり技術を持っている
- **日本が今後、磨くべきはバイオ燃料の低価格での量産技術**
  - バイオ燃料については、普及に向けた低価格化が課題。石油資源を持たない日本としては、自国生産の実現と輸出産業化を目指し取り組むべき領域



## G. 本事業から得られた示唆

# 抽出されたキーワード・技術の解釈の仕方はパターン化でき、そのパターンを持つことで、多様なキーワード・技術の解釈をスムーズに実施できる

## 抽出されたキーワード・技術の捉え方

- 抽出されたキーワード・技術は、単に「その技術が将来重要になる」のではなく、『どのように重要になるのか解釈が必要』となる
- 本事業で3テーマへの取組みを行ったことから、5つの解釈のパターンを抽出した
- 今後、3テーマに限らず分析範囲を広げ、抽出されるキーワード・技術の量が増えることを想定し、解釈のパターンを持つておくことは、効率的に政策に繋げていくために有用と思われる

## 抽出された技術の解釈パターン

技術の実用化	アプリケーション・応用方法が想定されている技術が実用化されることで社会・産業に影響を与えるパターン - 人工光合成、次世代型半導体、等
応用先が予測できない技術	基礎研究段階の技術であり、応用範囲が多岐に渡り、社会・産業への影響の与え方が予測できないパターン - 5Dプリント技術、等
複数技術の組み合わせ	個々の技術は2050年感はないものの、その組み合わせにより社会・産業に価値を生み出すパターン - ものづくりDX関連技術、内燃機関×バイオ燃料、等
技術と技術以外の要件の実現	技術進化に加え、ルール作りや社会受容性醸成など技術以外のハードルを越えることで実現できる革新のパターン - 塩基配列の活用、脳模倣AI、広域プラットフォーム、等
一段上の視点での解釈	その技術で実現できることのみではなく、一段上のエコシステム全体に革新的な影響を及ぼすパターン - 生態系の模倣、広域DXプラットフォーム、等

# EBPMに向け、網羅性高く客観的にキーワード・技術を抽出する可能性を示せた

## 本事業の実施プロセスに関する示唆 — 外部有識者の視点

- **不確実性の高い2050年の重要技術の抽出と言う課題に対して、データを起点とした機械的なプロセスと解釈を組み合わせることで、より網羅性高く実現できる可能性を示すことが出来た**
  - 客観的データが起点であることをベースにしたうえで…
  - 単語に加え連語も抽出対象とする／傾向値の読み方を工夫することで、取りこぼしを減らす／網羅性をより高く抽出することが出来た
  - 抽出された結果に解釈を加える、その解釈方法のパターンを持っておくことで、「重要である理由」がより理解できる
- **分析対象データに表れないトレンドのカバーや、消費者・ユーザー目線の担保といった課題を指摘する声もあったが、一方でEBPMの根幹である「客観性」の担保とのバランス／判断が求められる**
  - テーマ設定により母集団の範囲が決まるため、検索性キーワード設定や母集団形成時に有識者の意見を仰ぐことも選択肢としての指摘があり  
(ただし、客観性担保のレベル感が下がる可能性)
  - 技術というシーズベースでの分析が故にプロダクトアウト的な解釈になりやすく、ユーザーニーズ変化も含めた分析といった指摘もあり  
(ただし、客観性担保のレベル感の低下に加え、技術トレンドはユーザーニーズの表れというとらえ方も可能)

Roland  
Berger



## 二次利用未承諾リスト

報告書の題名

令和3年度製造基盤技術実態等調査（我が国製造業における技術分野の長期的展望に関する調査） 調査報告書

委託事業名

令和3年度製造基盤技術実態等調査（我が国製造業における技術分野の長期的展望に関する調査）

受注事業者名 株式会社ローランド・ベルガー

頁	図表番号	タイトル
10		世界の年平均地上気温（GMST）の推移（1900年代平均値との差分）
15		G7構成国＋中国の産業別国内総生産（11' -20' /平均値）
16		産業別国内総生産の推移（'94' ~ '20）
16		産業別の生産波及の大きさ（2015年）
19		製造業（国内総生産）の推移（'94' ~ '20）
20		製造業内における生産波及効果（2015年）
60	D-1	研究概念図
62	D-2	UV light controlled structural colors
63	D-3	コンセプト図
64	D-4	Structural formulas of PP, PE and PET
64	D-5	Capture mechanism of hydrophobic anthropogenic stressors
65	D-6	メカニズム図
65	D-7	コンセプト図
66	D-8	研究概念図
67	D-9	コンセプト図
68	D-10	研究概念図
69	D-11	コンセプト図
70	D-12	コンセプト図
75	D-13	コンセプト図
76	D-14	昆虫の複眼の構造
77	D-15	研究概念図
78	D-16	Representative semi-artificial photosynthesis systems
79	D-17	海洋で時限生分解性プラスチックを実現する仕組み
79	D-18	研究概念図
84	D-19	コンセプト図
85	D-20	コンセプト図
91	D-21	魚型ロボットコンセプト図
131	E-1	TS-LoRaのフェーズ：ネットワーク登録、データ送信、および同期
132	E-2	量子自動化のケーススタディのスキーム
133	E-3	Actionable Cognitive Twinsの概要
134	E-4	PATのプロセス：測定、データ解析、定量、生産ラインへのフィードバック
135	E-5	digital sandwich
136	E-6	製造アプリケーションにおけるリアルタイムの意思決定のためのアプローチ
137	E-7	ワイヤレスセンサーネットワーク
138	E-8	生産プロセスのコンセプト図
139	E-9	灰色オオカミ最適化アルゴリズム
140	E-10	航空機（コックピット）の不具合箇所の可視化イメージ
141	E-11	顔のサーモグラフィ
141	E-12	呼吸数とタスク強度の関係

