令和２年度九州地域ものづくり
中小企業事業化支援事業
「ミニマルファブ等の事業化に向けた
市場ニーズ調査及び販路開拓等支援事業」

報　告　書

令和３年３月

経済産業省九州経済産業局

（委託者：公益財団法人九州経済調査協会）

令和２年度九州地域ものづくり中小企業事業化支援事業
「ミニマルファブ等の事業化に向けた
市場ニーズ調査及び販路開拓等支援事業」

目　次

１　本事業の背景　1

１．１　はじめに ･･････ 1
１．２　事業内容 ･･････ 1
１．３　事業スケジュール ･･････ 3
１．４　事業体制 ･･････ 4

２　サポイン活用企業等の事業化実態調査　7

２．１　㈱ピーエムティー ･･････ 7
２．１．１　企業概要・事業概要 ･･････ 7
２．１．２　技術の概要 ･･････ 8
２．１．３　事業化に向けた課題・ニーズ等 ･･････ 10
２．２　㈱ロジック・リサーチ ･･････ 11
２．２．１　企業概要・事業概要 ･･････ 11
２．２．２　技術の概要 ･･････ 12
２．２．３　事業化に向けた課題・ニーズ等 ･･････ 12
２．３　熊本防錆工業㈱、石田産業㈱、㈱晴喜製作所 ･･････ 14
２．３．１　企業概要・事業概要 ･･････ 14
２．３．２　技術の概要 ･･････ 14
２．３．３　事業化に向けた課題・ニーズ等 ･･････ 15
２．４　㈱TCK ･･････ 17
２．４．１　企業概要・事業概要 ･･････ 17
２．４．２　技術の概要 ･･････ 18
２．４．３　事業化に向けた課題・ニーズ等 ･･････ 20
２．５　㈱新興精機、誠南工業㈱ ･･････ 22
２．５．１　企業概要・事業概要 ･･････ 22
２．５．２　技術の概要 ･･････ 22
２．５．３　事業化に向けた課題・ニーズ等 ･･････ 23
２．６　テクノデザイン㈱ ･･････ 24
２．６．１　企業概要・事業概要 ･･････ 24
２．６．２　技術の概要 ･･････ 24

２．６．３　事業化に向けた課題・ニーズ等 ····· 25
２．７　上野精機㈱ ····· 26
２．７．１　企業概要・事業概要 ····· 26
２．７．２　技術の概要 ····· 26
２．７．３　事業化に向けた課題・ニーズ等 ····· 27

３　ミニマルファブ等多品種少量生産ニーズの実態調査　29
３．１　アンケート調査概要 ····· 29
３．１．１　アンケート調査の調査対象 ····· 30
３．１．２　アンケートの回答状況 ····· 30
３．１．３　アンケート回答者の研究領域 ····· 30
３．２　半導体微細加工プロセスによる試作・小ロット生産のニーズ ····· 32
３．２．１　幅広いマーケット用途でのデバイス開発ニーズ ····· 32
３．２．２　年 10 回以上の多頻度が主流 ····· 33
３．２．３　求められる小ロット生産～希望数量は実現 ····· 33
３．２．４　求められる低コストでの試作・小ロット生産 ····· 34
３．２．５　外注が多用される試作・小ロット生産 ····· 34
３．３　ミニマルファブに対する認知と関心 ····· 36
３．３．１　半導体・エレクトロニクス分野での高い認知 ····· 36
３．３．２　試作や小ロット生産実施層での高い認知 ····· 37
３．３．３　低コスト運用に資するコンセプトで高い関心 ····· 38
３．３．４　試作・小ロットの未実施層も低コスト運用へ関心 ····· 39
３．３．５　低コスト運用と一貫研究のコンセプトが認知拡大のカギ ····· 40
３．４　サポイン活用企業の関連技術に対する関心 ····· 41
３．４．１　マスクレス露光技術とマルチチップボンダへの高い関心 ····· 41
３．４．２　研究分野で異なる要素技術への興味・関心 ····· 41
３．４．３　潜在需要がみられるマスクレス露光と CD-SEM ····· 42
３．５　研究開発の課題とミニマルファブの活用可能性 ····· 44
３．５．１　高い開発・研究期間の短縮化ニーズ ····· 44
３．５．２　試作委託と実機操作での開発環境に高いニーズ ····· 44
３．６　アンケート調査結果のまとめ ····· 46

４　ミニマルファブ等の市場ニーズ調査　49
４．１．半導体としての市場調査 ····· 49
４．１．１　メガファブ R&D での活用～短 TAT 試作と開発コスト低減 ····· 49
４．１．２　小ロット生産・変量変種生産での活用～宇宙用・MEMS・IoT デバイス ··· 52

４．１．３　EOL 品での活用～多種の半導体から MEMS までミニマルストアで対応 ···· 61
４．１．４　新構造・新材料デバイスでの活用～ミニマルオリジナルプロセスの活用 · 65
４．１．５　試作サービスでの活用～研究開発・小ロット生産のサポート ····· 71
４．１．６　教育での活用～オープンラボとプロセスインテグレータ育成 ····· 74
４．１．７　海外～ロードマップ掲載とデモ機設置の提案 ····· 75
４．２　半導体以外での市場調査 ····· 88
４．２．１　ミニマルシャトル技術の応用～細胞培養デバイス ····· 88
４．２．２　ミニマル要素技術の応用～微細加工 ····· 89
４．２．３　ミニマル要素技術の応用～マイクロ流体デバイス ····· 92
４．２．４　ミニマル要素技術の応用～抗原抗体検査キット（イムノクロマト） ····· 94
４．２．５　ミニマル要素技術の応用～観測技術（CD-SEM、CT-SEM） ····· 95
４．２．６　ミニマル要素技術の応用～バイオインクジェット技術 ····· 95
４．２．７　ミニマル要素技術の応用～熱工学研究分野 ····· 96

５　ハンズオン支援　99
５．１　ハンズオン支援概要 ····· 99
５．２　㈱ピーエムティー ····· 100
５．３　㈱ＴＣＫ ····· 100
５．４　熊本防錆工業㈱（石田産業㈱、㈱晴喜製作所） ····· 100

６　まとめ～ビジネスモデルの方向性　101
６．１　成果まとめ ····· 101
６．１．１　調査事業①サポイン活用企業等の事業化実態調査の成果 ····· 101
６．１．２　調査事業②ミニマルファブ等の市場ニーズ調査の成果 ····· 101
６．１．３　調査事業③ハンズオンでの事業化支援の成果 ····· 104
６．２　提言と今後の展望 ····· 105
６．２．１　ミニマルファブの商品化に向けた提言 ····· 106
６．２．２　ミニマルファブの特徴が活用できる新技術分野への提言 ····· 112
６．２．３　産総研九州センターのミニマル IoT デバイス実証ラボへの提言 ····· 116
６．２．４　アンケート結果のフォローアップ提言 ····· 118
６．２．５　今後の展望 ····· 118

参考資料１　アンケート調査 ····· 121
参考資料２　検討会議委員名簿 ····· 129
参考資料３　検討会議開催概要 ····· 131

１　本事業の背景

１．１　はじめに

本事業は令和２年度九州地域ものづくり中小企業事業化支援事業に関し、ミニマルファブ等の事業化に向けた市場ニーズ調査及び販路開拓等支援を行ったものである。

九州の半導体（IC）は生産金額が全国の約４割程度と高水準を維持しており、半導体関連分野は九州における基幹産業の一つとなっている。

IoT 社会の到来や顧客ニーズの多様化により、半導体関連分野においては、今後、多品種少量に対応した生産技術・製品・サービスの開発が求められている。

九州経済産業局では、地域における新事業・新産業を創出し、製造業の競争力強化や地域経済の活性化を図るため、「戦略的基盤技術高度化支援事業」（以降、サポイン事業）をはじめとした提案公募型研究開発事業により、地域の中小企業が取り組む革新的でハイリスクな実用化技術研究開発を戦略的・重点的に支援してきた。

本事業では、これまでサポイン事業を活用した研究開発の中でも、ミニマルファブ[1]等の、半導体分野における多品種少量生産技術開発に着目し、その事業化をフォローアップするための調査事業を行う。

ミニマルファブについては、これまで九州管内で累計６社がサポイン事業を活用して装置開発等を実施している。現在も国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）を中心に開発が進行しているが、半導体製造プロセスのすべてをカバーするには至っておらず、また、各社の事業化についても当初想定通りには実現していない状況である。

本事業では、今後の多品種少量生産技術・サービス等の確立と販路開拓に向けて、ミニマルファブ等の事業化における現状把握を行うとともに、国内外における半導体及び他分野メーカ等に対して多品種少量生産ニーズの調査を行うことで、潜在ユーザの発掘を行い、今後のミニマルファブ等の目指すべき方向性について取りまとめる。

１．２　事業内容

事業を進めるにあたっては、サポイン活用企業等の事業化実態調査、ミニマルファブ等の市場ニーズ調査、ハンズオンでの事業化支援という３つの調査事業を並行して行い、外部専門家を交えた検討会議にて議論しつつ行う。調査内容の全体像は、表 1.1 の通りであ

[1] 産総研が２０１２年に国家プロジェクトとして開発開始。従来大量生産を前提に膨大な設備投資を要する半導体製造工場のプロセスを小型・縮小化（１工程１装置）し、デバイスを１チップごとに製造可能。クリーンルームも不要であるため、大幅なコストカットを実現し、IoT デバイス等の多品種少量品向けの製造手法として期待。九州地域では後工程（３Ｄ実装等）開発を中心に２０機関（うち企業１７社）が参画。

る。

調査事業①サポイン活用企業等の事業化実態調査に関しては、九州でサポイン事業を活用したミニマルファブ等の多品種少量生産技術開発企業を対象にヒアリング調査を行った。ヒアリングでは、サポイン事業で培った技術の特性とその応用動向について把握し、その事業化実態と今後の課題や可能性について取りまとめた。調査結果は、第２章で取りまとめている。

調査事業②ミニマルファブ等の市場ニーズ調査に関しては、多品種少量生産技術に関するニーズ調査と併せて実施している。

まず、アンケートにて、わが国の研究開発の最先端を担っている大学や企業の研究者を約 1,000 名抽出し、研究開発における試作ニーズやミニマルファブの活用可能性について調査している。なお、調査事業①でサポイン活用企業各社が事業化を進めている技術や装置等についてのニーズ調査も行っている。調査結果は、第３章で取りまとめている。

また、ヒアリングにて、半導体、センサ、MEMS などの半導体微細加工に関わる多品種少量生産技術の活用可能性を調査している。加えて、創薬・バイオ、宇宙、素材などに関わる半導体以外の応用可能性が高い産業分野に関しても調査している。ヒアリングにあたっては、企業の研究開発部門や少量多品種生産を行っている製造部門、試作開発などを多用している大学の研究室をターゲットとして実施している。なお、海外企業に関しては、リモートミーティングなどを多用しつつ、情報収集に努めている。調査結果は、第４章で取りまとめている。

調査事業③ハンズオンでの事業化支援に関しては、適宜サポイン活用企業とのミーティングを進めつつ、調査事業①②を踏まえて、具体的なビジネスに直結する案件開拓に努めるとともに、具体的マッチングまでを行っている。その上で、今後の事業化に向けた波及が大きくなるようなビジネススキームの提言を行っている。ハンズオン支援の実施状況や具体的マッチング成果等に関しては、別途事業報告書で示すが、概要について第５章で取りまとめている。また、ビジネススキームの提言は第６章で取りまとめている。

なお、調査を進めるにあたっては、ミニマルファブエコシステム関係者、並びに外部専門家による検討会議を２回開催し、実態調査や市場ニーズ調査の内容を踏まえた事業化の方向性や今後求められるビジネスモデルに関して議論している。検討会議での議論を踏まえつつ、調査を進めるとともに、報告書の取りまとめを行っている。

今後の事業化促進に向けた目指すべき方向性に関しては、すべての調査結果や検討会議を踏まえ、第６章で取りまとめている。

表 1.1　事業内容の全体像

	調査内容	調査対象	工夫のポイントと留意点
調査事業①	サポイン活用企業等の事業化実態調査	九州のサポイン活用のミニマルファブ等多品種少量生産技術開発企業：ヒアリング10社 ※選定は九経局と協議	・技術特性の再整理とPR資料の協議 ・各社の技術を「技術の棚」として整理 ・技術特性のマーケットへのPR戦略の協議 ・新たなターゲットとビジネスモデルの検討 ・事業化に向けた課題の把握とフォローアップ
調査事業②	ミニマルファブ等の市場ニーズ調査	国内外のミニマルファブ等の技術活用可能性のある企業ならびに大学等の研究機関：アンケート1,000社程度、ヒアリング35社程度 ※特注半導体・センサー・MEMS、創薬・バイオ、宇宙、評価機器・評価ビジネス、大学等研究機関 ※選定は九経局並びにミニマルファブエコシステム関係者と協議	・技術特性のPRを兼ねたアンケート調査実施 ・アンケート結果をまとめた「企業カルテ」の作成 ・興味関心を示した企業への集中的ヒアリング ・企業ヒアリングへの開発者の同行 ・具体的アプリケーションや製品の実現を意識 ・特定技術の個別装置群の組合せを意識 ・ビジネス提案できる場合は複数回アプローチ ・海外企業は関係性の深化に注力
調査事業③	ハンズオンでの事業化支援	調査事業①の対象企業：２社 ※選定は九経局と協議	・事業化のためのビジネススキームを構築 ・事業化支援の波及が大きな企業を選定 ・事業化支援会議の開催：各社３回程度
検討会議	ミニマルファブエコシステム関係者ならびに外部専門家による検討会議	検討会議：２回程度 ※検討会議は２回程度とするも、関係者との個別協議は適宜行う	・実態調査と市場ニーズ調査を議論 ・深化のターゲットとビジネスモデルを議論 ・今後の目指すべき方向性を議論 ・ZOOMを用いたリモート会議へも対応
調査報告書	ミニマルファブを中心とした多品種少量生産技術の市場ニーズ調査結果及び今後の目指すべき方向性	調査事業①～③と検討会議結果	・報告書（冊子ならびに電子データ） ・企業カルテ集（アンケート結果の整理） ・ヒアリングメモ集

出典：九経調作成

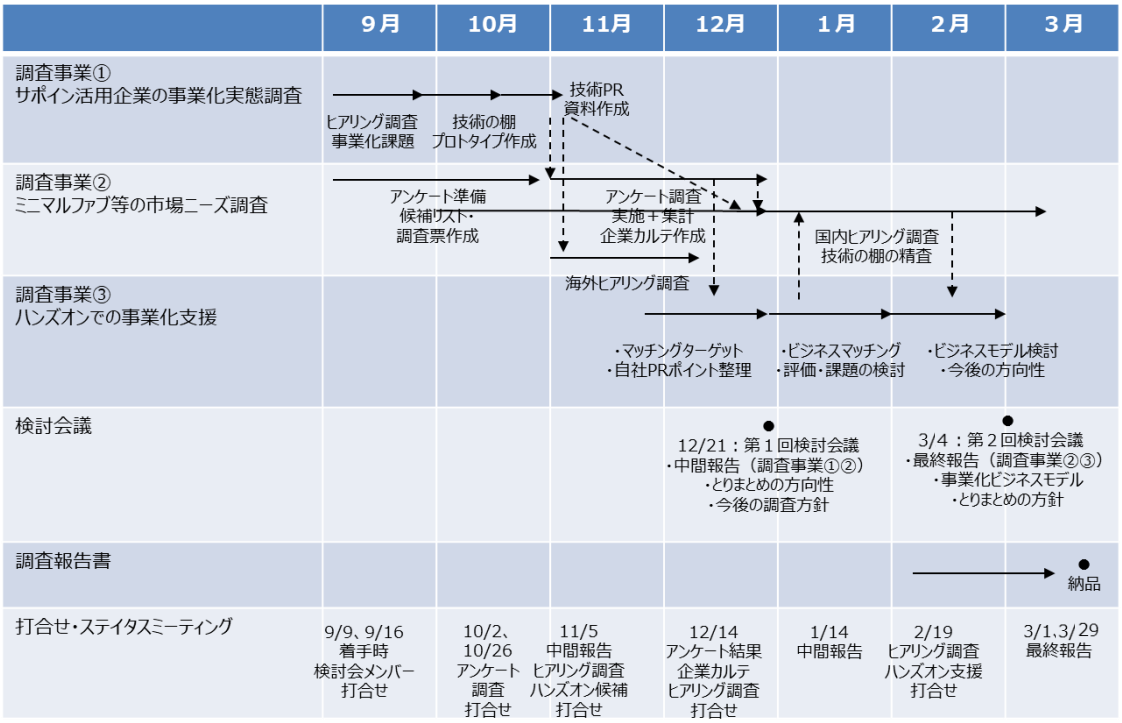
１．３　事業スケジュール

事業スケジュールは表 1.2 の通りである。

まず、調査事業①サポイン活用企業等の事業化実態調査を先行して行い、各社の事業化にあたってのコア技術を抽出し、技術 PR 資料への落とし込みを行った。このコア技術は、調査事業②ミニマルファブ等の市場ニーズ調査のアンケート調査項目にも加え、ニーズ把握に努めるとともに、技術 PR 資料を調査票に同封することで、調査対象者への情報の浸透を図った。また、調査事業②に関しては、アンケート調査とヒアリング調査を同時並行で進めた。ヒアリングで得られた多品種少量生産やミニマルファブに関するニーズや事業化の方向性について、アンケート調査票にも問や選択肢として盛り込みつつ、アンケート調査で興味を示した対象へのヒアリング調査を行うなど、相互に連動させながら取り組んでいる。更に調査事業③ハンズオンでの事業化支援に関しては、調査事業①②の結果を踏まえつつ、サポイン活用企業とのミーティングを通じてマッチングターゲットの選定から具体的なビジネスマッチング、マッチング結果の評価や課題の整理などを行い、今後の事業化ビジネスモデルの検討を行っている。

最後に、検討会議に関しては、12 月と３月に２回開催した。12 月の第１回会合は、調査事業①②を中心に中間報告を行い、今後の調査方針等について協議した。３月の第２回会合は、調査事業②③の結果の最終報告と、それを踏まえた事業化ビジネスモデルの協議を行い、調査報告書の取りまとめ方針について協議した。

表 1.2　事業スケジュール



出典：九経調作成

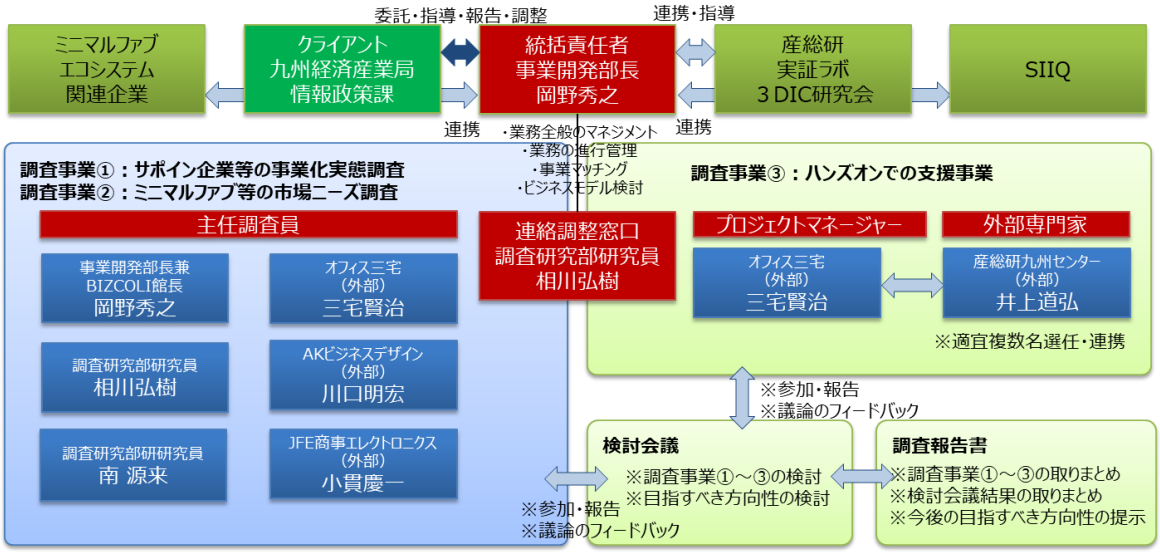
１．４　事業体制

図 1.1 に事業体制を示す。

半導体関連の調査研究事業に従事する岡野（事業開発部長兼 BIZCOLI 館長）が統括責任者を務め、業務全般のマネジメントを行った。

ミニマルファブの技術特性やマーケットニーズに精通した人材として、外部から３名の主任調査員と１名のプロジェクトマネージャー（主任調査員兼任）、さらに事業の方向性に応じて臨機応変に複数の外部専門家を組織して、事業に取り組んだ。

産総研や SIIQ をはじめ、ミニマルファブエコシステム関連企業との連携を密に取り組み調査に臨んだ。



出典：九経調作成

図 1.1 事業体制

２　サポイン活用企業等の事業化実態調査

本章では、調査事業①サポイン活用企業の事業化実態調査の結果を取りまとめる。調査対象は、九州のサポイン活用のミニマルファブ等多品種少量生産技術開発企業を 10 社程度としている。調査のポイントとしては、ヒアリングを通じて、サポイン事業等で開発を進めた各社の技術の特性や事業化実態を整理しつつ、事業化のコア技術について技術 PR 資料の作成を行う。技術 PR 資料に関して、その後のアンケート調査やヒアリング調査を通じたハンズオン支援（マッチング）などで活用している。

ヒアリング調査の項目としては、

・サポインで開発した技術特性
・技術特性のマーケットへの PR 戦略（技術 PR 資料の作成）
・事業化の実態、並びに事業化に向けた課題
（事業化に至っていない要因の探索と打開に向けた方策の検討）
・新たなターゲットとビジネスモデルの検討

などとし、報告書には、各社ごとに、企業概要・事業概要、技術の概要、事業化に向けた課題・ニーズ等の３項目で整理している。なお、各社共通する事業化の課題やビジネスモデルに関しては、第６章で再度整理し直し、提言を示している。

２．１　㈱ピーエムティー

２．１．１　企業概要・事業概要

㈱ピーエムティー（以下、PMT）は、1991 年に半導体製造装置の専門商社として創業し、その後製造業に参入した。現在は機械・装置事業や超精密加工事業を主要業務とする。

一般的にものづくり中小企業はコア・コンピタンスな技術により大企業等の協力会社となっている事例が多い。しかしながら、PMT は商社からスタートしたので、特別な技術を持っていなかった。現在のコア・コンピタンスである超精密軸制御技術をはじめとする技術はその多くを、地域コンソーシアムやサポインなどの補助金事業を通じて、自社の技術として身に着け、これらをベースとして下記の事業展開を行っている。

- ■　超精密加工事業
- ■　超精密軸制御
  - ➢　小型加工機
  - ➢　インクジェット塗布装置

- マスクレス露光装置[2]

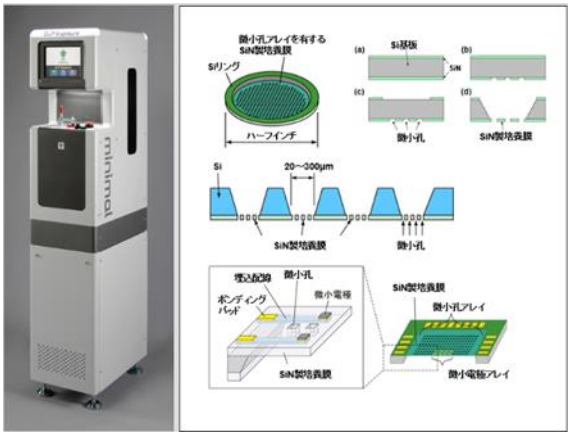
■ ライフサイエンス業界向け自動化装置

２．１．２　技術の概要

PMT は平成 28 年度サポイン事業として、「微小立体構造からなるセンサの試作開発期間短縮と多品種少量生産を可能とする、世界初の両面アライメント機能付きミニマルマスクレス露光装置」の研究開発を実施した。

ウェハ裏面に形成されたアライメントマークを基準として露光が可能な、両面アライメント機能付きミニマルマスクレス露光装置を開発し、同時に露光品質向上と高速化を達成した。これにより両面加工が必要な MEMS センサデバイスの試作・開発が、ミニマルファブで行うことが可能となり、開発期間の大幅短縮と費用低減を実現する。

図 2.1 に開発した両面アライメント[3]機能付きミニマルマスクレス露光装置と両面アライメントが必要なセンサデバイスの事例、及び、両面アライメントが必要なデバイス試作による評価結果を図 2.2 に示す。

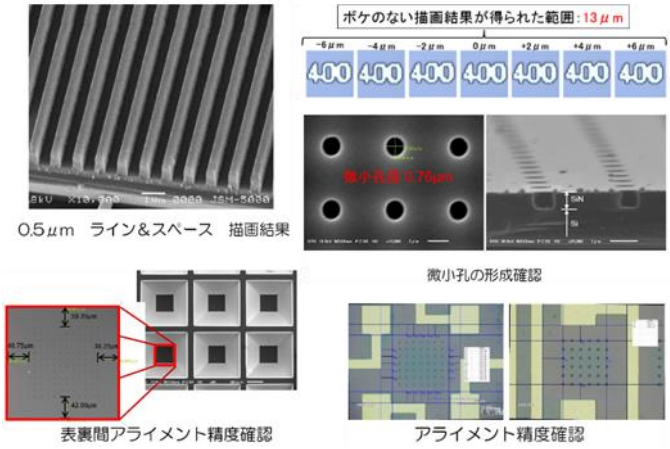


出典：PMT

図 2.1 サポイン事業で開発した装置とその応用事例

[2] ウェハ基板上に微細構造を焼き付ける装置

[3] ウェハに微細構造物を形成するため、構造パターンを幾層にも積み重ねて構築する。その場合、積み重ねを精度良く行うために下の層にマークを形成しておく。積み重ねる上の層は、下の層のマークに合わせることにより積み重ね精度が良くなる。このマークの重ね合わせを行う位置合わせのことをアライメントという。

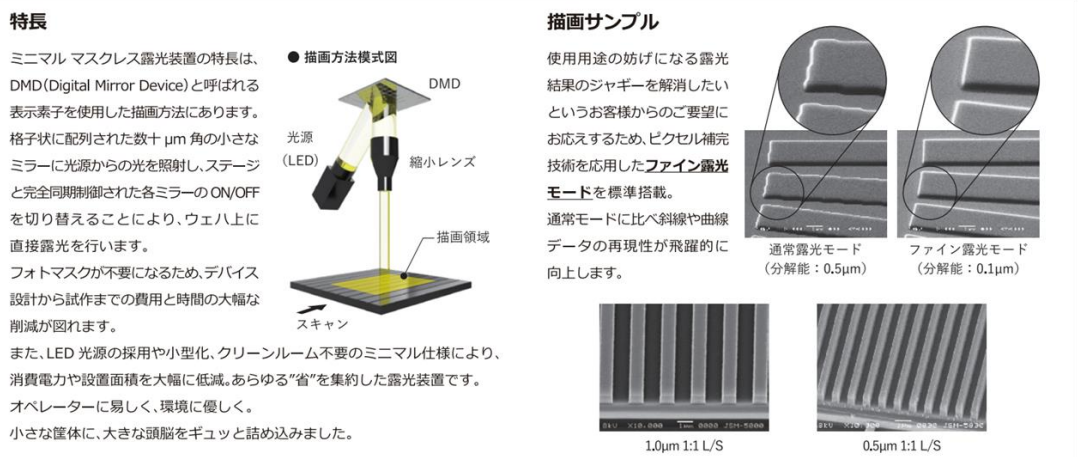


出典：PMT

図 2.2 サポイン事業で開発した装置の評価結果

なお、PMT は標準機としてミニマルマスクレス露光装置を保有している（図 2.3 参照）。この標準機をベースにサポインで開発した技術はオプション設定としている。

- 小型の表示素子DMD（Digital Micromirror Device)を活用することにより、高額なフォトマスクを使用せず、直接露光することが可能。
- 画素サイズは0.5μm。
- ファイン露光モードでは、最小0.05μmづつ位置をずらしながら多重露光することで、斜め線や曲線をジャギーなく滑らかに露光可能
- 裏面に設けたアライメントマークを基準にして露光できる、裏面アライメント機能をオプション設定



出典：PMT

図 2.3 ミニマルマスクレス露光装置

２．１．３　事業化に向けた課題・ニーズ等

裏面アライメント用光学系は半導体製造装置としては極小であるミニマル筐体の、わずかに残った空きスペースに収めるため、精度面から見ると理想的とは言えない構造になってしまった。このため、チャンバー内温度が大きく変動する場合などには目標の精度（±3μm）を逸脱することがある。この対策として、露光直前にキャリブレーション治具（ガラスウエハ）をロードして、露光用光学系と裏面用光学系のズレ量を測定し、オフセットをかけるキャリブレーション機能の開発を 2021 年度に計画している。

両面アライメント機能付きミニマルマスクレス露光装置が完成することにより、多くのセンサが低コスト、かつ短納期で開発製造可能となる。この装置を駆使することで、数日という超高速で試作～評価～改善試作を繰り返すことができる。

メガファブでは一般的にウェハ 25 枚でロットを構成しているが、ミニマル生産システムでは口径 0.5 インチのウェハ 1 枚で 1 ロットを構成する。このため、最低ロット枚数が大きい従来工場では敬遠されるような生産数量が少ないデバイス開発においては、ミニマル生産システムでの効率的な運用が期待される。

ひずみゲージとその応用計測器で国内シェア 40%を持っている共和電業は、R&D 用途として 2020 年にこの装置購入を行った。導入目的は、R&D の短 TAT[4]（Turn Around Time）である。

なお、企業へのヒアリング調査結果では、MEMS（センサを含む）関連企業は、両面アライメント機能付きミニマルマスクレス露光装置を必要としている。今後、MEMS メーカからの引き合いが期待される。

[4] 試作投入から試作完成までの期間。

２．２　㈱ロジック・リサーチ

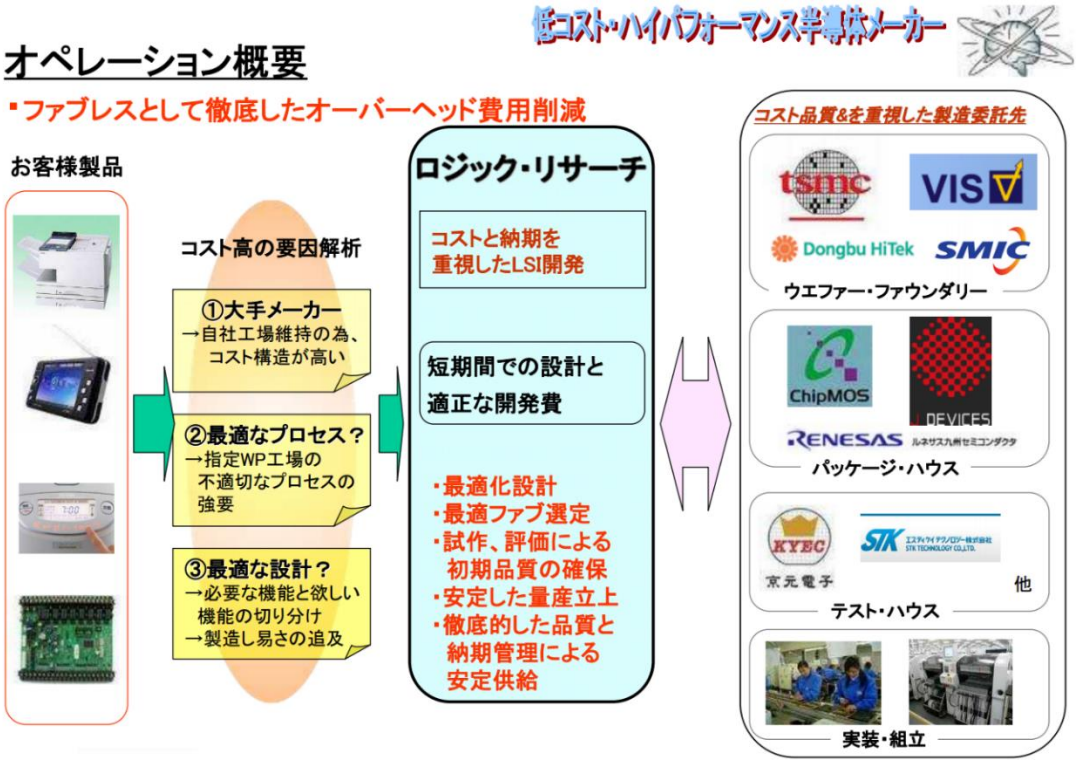
２．２．１　企業概要・事業概要

(株)ロジック・リサーチは、ファブレス IC 設計を主要業務としており、カスタム LSI に特化している。顧客の競争力の源泉である LSI を豊富な経験と技術力を持つ半導体設計陣営と、強いパートナーシップで連携している LSI 製造会社を駆使し、高いコストパフォーマンスで供給している。

ファブレス形態により、膨大な設備投資や先端プロセス技術への開発投資が不要なので、経営リソースを LSI の開発に集中でき、これまでの常識を越える 短 TAT と低コストを実現した性能の LSI を供給するビジネスモデル（図 2.4）を構築している。

また、数量やコストの面で、これまで ASIC の採用をあきらめていた顧客や、やむなく FPGA でプロダクトを進めていた顧客にも、競争力の高いビジネスを創出している。

既に、多くの顧客の製品競争力を 支えており、年間数生産量が百万個から数千個まで、あらゆる要求に対応している。



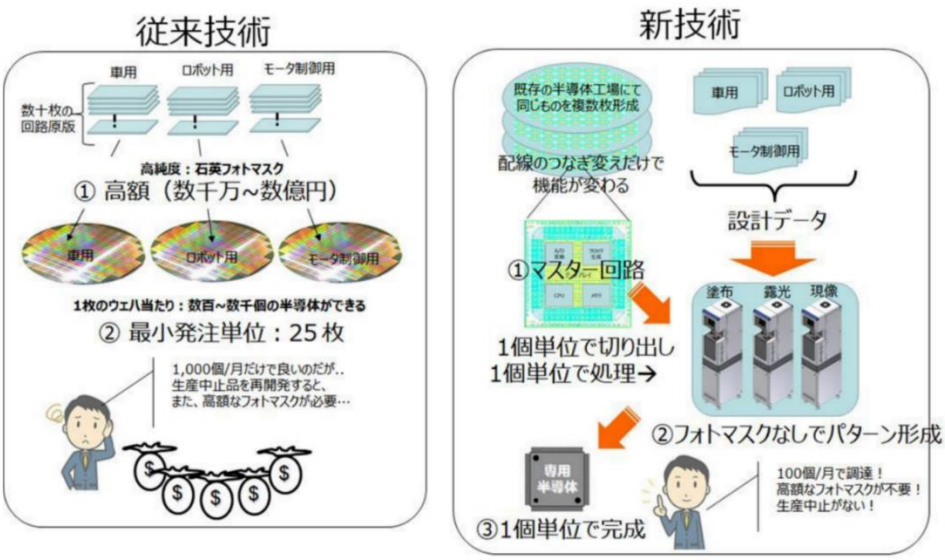
出典：ロジック・リサーチ

図 2.4 ビジネスモデル

２．２．２　技術の概要

生産中止となった産業機械の半導体部品など、多品種適量が求められる半導体を従来のメガファブで製造しようとすると、高価格で納期が長くなる。これは、ウェハサイズやロットあたりのウェハ枚数を柔軟に変更することが困難なことから、結果として数十年分に相当する半導体が生産・納品されるため。

そこで、㈱ロジック・リサーチでは、平成 30 年度のサポイン事業としてダイヤモンド電機㈱と共同で「配線方法で機能が変わる「マスタ回路」と「ミニマルファブ」を組み合わせた、多品種適量半導体の短納期・低コスト製造を実現する、新しい半導体製造技術の開発」に取り組んでいる。㈱ロジック・リサーチが半導体の設計、ダイヤモンド電機㈱が半導体製造プロセスを担い、多品種適量・短納期・低コストを実現する新しい半導体製造技術を開発する（図 2.5）。



出典：ロジック・リサーチ

図 2.5 サポイン事業概要

２．２．３　事業化に向けた課題・ニーズ等

本サポイン事業は令和 2 年度で完了予定である。今後、事業化に向けた課題・ニーズ等としては下記の通りである。

現在は、試作を九州工業大学マイクロ化総合技術センターや産総研つくばで実施している。これらの施設では、ビジネスとしての量産対応はできない。したがって、再配線技術

を活用したパッケージファウンドリを事業としている(株)ピーエムティー等との連携が必要となる。

２．３　熊本防錆工業㈱、石田産業㈱、㈱晴喜製作所

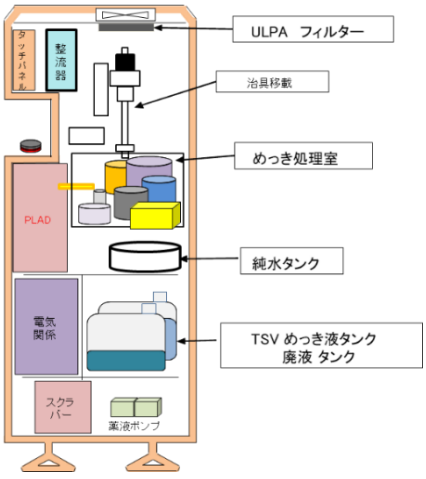
２．３．１　企業概要・事業概要

熊本防錆工業(株)は、石田産業(株)、(株)晴喜製作所と連携して、サポイン事業に取り組んだ。幹事会社である熊本防錆工業(株)は、半導体材料への表面処理や精密加工などが主要業務であり、石田産業(株)はめっき材料及び機器の調達、(株)晴喜製作所は装置製造で連携している。熊本防錆工業(株)は、IC 用リードフレームの部分銀めっき、ディプレス・テーピング加工をはじめ、IC の外装めっきやリード加工、IC 製造工程で使用する治工具や物流コンテナの洗浄などの事業で実績を上げている。

外装めっきでは、鉛フリーめっき技術を確立している。社内には使用済み薬品・水洗水を完全処理できる、環境に配慮した排水処理システムも保有している。開発部門では大学・公設試との共同研究に積極的に取り組んでいる。

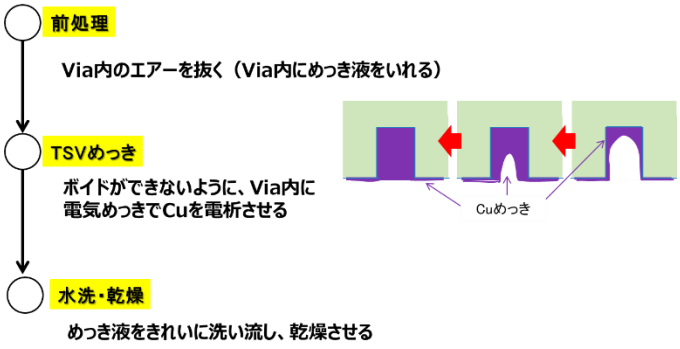
２．３．２　技術の概要

平成 25 年のサポインテーマは、「めっき時間大幅短縮、めっき液量大幅削減を実現するミニマル TSV めっき装置」である。石田産業(株)、(株)晴喜製作所、大阪府立大学と連携し、TSV めっき装置の小型化と高速化、ならびに使用する薬品・水洗量の最少化を実現している。



出典：熊本防錆工業(株)

図 2.6 TSV めっき装置概要



出典：熊本防錆工業(株)

図 2.7 TSV めっきプロセスフロー

■ TSV めっき装置の特徴（図 2.6、図 2.7）：

- めっきの全プロセスを装置 1 台に集約・小型・使いやすい
- 0.5 インチウェハへのめっきで、薬品量を極小化・環境にやさしい
- 小型筐体にめっき液、純水、廃液の 3 つのタンクを内蔵し、廃液処理を簡略化
- 現在、めっきは特定施設に該当するため、法律等の制約が大きい。小型化、密閉化により、環境にやさしいめっき装置にできる。
- ミニマルファブにこだわらずに、めっきの要素技術としての展開も可能である。筐体にこだわらずに、各種タンクの大型も対応できる。
- 0.5 インチウェハだけではなく、9mm 角チップでのめっきも可能である。治具は開発済みである。

■ TSV めっき装置の内容

- TSV サイズ：20μm×50μm　銅めっき
- TSV めっき時間：14 分程度
- TSV めっき温度：室温で可能
- 電流波形を特殊波形にすることにより、ビア内にめっきを析出させる
- 薬品の浴組成：Cu^{2+} ＋ 硫酸 又はメタンスルホン酸＋添加剤
- めっき液は国内メーカ製品を使用可能・めっき液のカスタマイズも可能
- 無電解めっきにも応用可能と思われる
- TSV めっきの対応時間は 14 分程度であり、その短縮を目指している

２．３．３　事業化に向けた課題・ニーズ等

めっき装置製造は、下記 3 台のみであり、企業への顧客販売実績はない。

■ めっき装置の製造実績

- ミニマル Cu めっき装置#1：産総研九州
- ミニマル Cu めっき装置#2：産総研つくば
- ミニマル TSV めっき装置#1：熊本防錆工業(株)

商品として販売するには、めっきの信頼性試験等のテクニカルデータが必要となる。この試験には評価パッケージの製造などが必要となり、熊本防錆工業㈱の単独ではできない。これには産総研九州センター等との連携が必要である。

ミニマル装置としての営業活動は、ミニマル装置の販売商社である、横河ソリューションサービス、東京貿易マシナリー、JFE 商事エレクトロニクスと非独占販売権を結んで営業活動を依頼することが効果的と思われる。

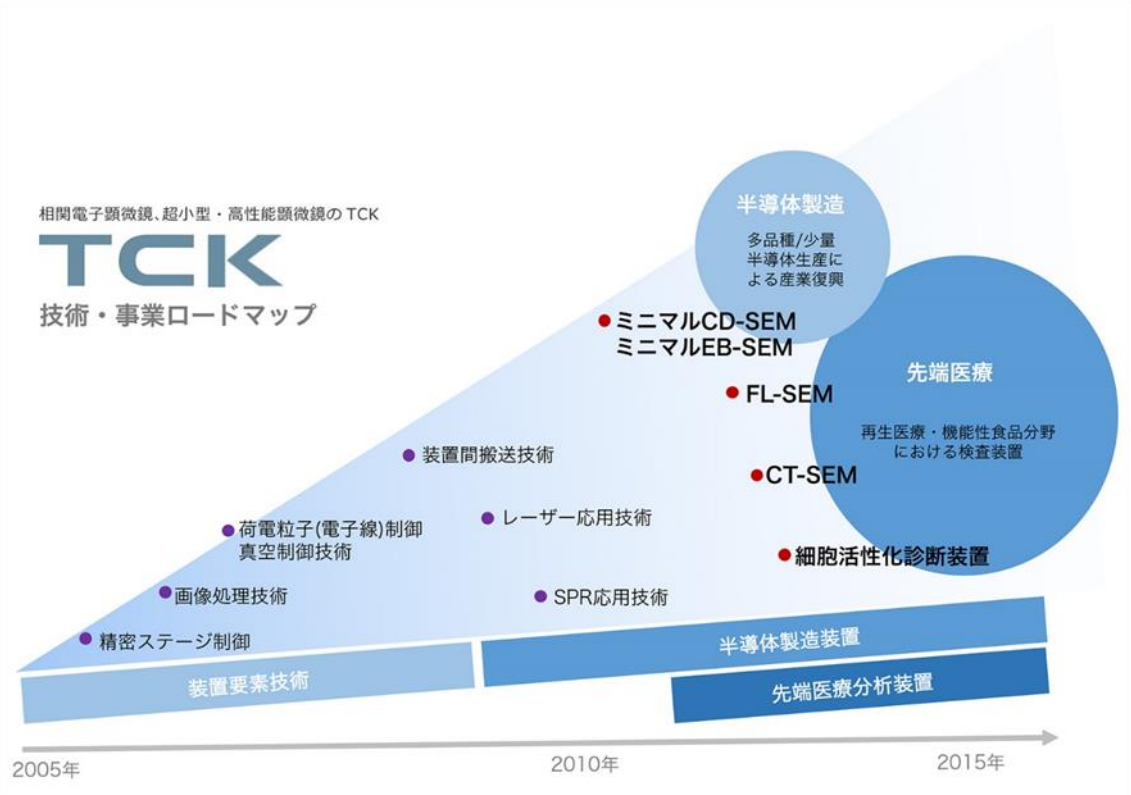
サポイン時に連携した石田産業㈱は金属表面処理関係の材料・薬品・設備を扱う専門商社である。この商社が持つネットワークを活用した簡易型めっき装置としての営業活動が有効と思われる。

２．４　㈱TCK

２．４．１　企業概要・事業概要

㈱TCK は 2005 年の設立以来、半導体産業向けに精密ステージや真空制御技術、電子線制御、画像処理技術などを基本技術に、ユニークな数々の半導体関連装置を開発・販売してきた。その集大成として、2014 年には、世界最小クラスの高分解能・超高真空 SEM を開発・販売し、多方面から多くの反響を得ている。

また、近年では半導体分野で培った精密技術を応用し、先端医療や材料分野などに向けた新しい装置開発を進めている（図 2.9）。



出典：TCK

図 2.9 TCK 技術・事業ロードマップ

TCK のサポイン事業での技術開発ならびにその後の展開の流れは以下の通りである。

① 2010 年度よりミニマルコンソーシアムのメンバーとして参画し 2015 年度にサポインで CD-SEM 装置（TFE 型）の開発に着手。

② 2017 年度からは CD-SEM の応用発展系製造装置として EB（電子ビーム）露光機に着手。

③ 2018 年度にはミニマル装置の共通部品である VacPLAD（真空 PLAD[5]: Particle Lock Air-tight Docking）の改良・製造をタツモから技術移管を受け開始。
④ その他 CT-SEM 装置も九大病院イノベーションセンターとサポインで共同開発中。

２．４．２　技術の概要

TCK がサポイン事業等で培った技術、ならびにその応用製品としては、CD-SEM、EB 露光機、VacPLAD、CT-SEM がある。以下、それぞれの装置に関する要素技術の概要や特徴を示す。

① CD-SEM：（TCK,オムロン、山口光半導体研究所、産総研と共同、図 2.10）
要素技術：複合レンズ方式による超小型電子光学系の開発。（電磁レンズ→静電レンズ）

- 新開発の複合方式静電レンズと小型超真空装置による世界最小クラスの高分解能・超高真空 SEM。ショットキーエミッション電子銃による高解像度パターン観察精密自動ステージによる試料位置管理完全ドライ真空によるクリーン観察に対応。
- SIP（スパッタイオンポンプ : 10-6EPa）とゲッター電極フィルの複合排気方式によって、超高真空状態の急速立ち上げと省エネ継続を実現。10 分程度（通常の 10 倍のスピード）で立ち上げ、無電源状態で 1 週間程度の高真空維持が可能。
- 複合方式の静電レンズや小型超真空装置のみのモジュール供給も可能。EB アタッチメントによる電子線描画装置化、EDS アタッチメントによる元素分析装置化など、いろいろな装置に進化可能。

出典：TCK

図 2.10 ミニマル CD-SEM

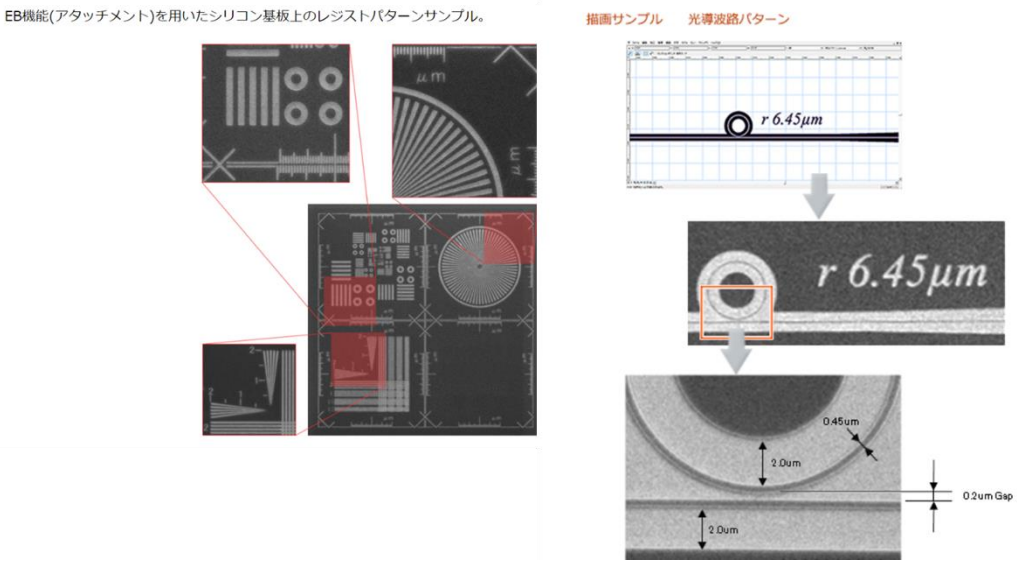
[5] ミニマルシャトルとプロセスチャンバーのインターフェース機能を持つ。VacPLAD は真空系のミニマル装置で使用する。

② EB 露光機：上記 CD-SEM の技術を応用し、製造装置開発に展開（図 2.11）。

要素技術：ショットキーエミッション電子銃（15kV）によるマスクレス直描

：ベクターとラスターの両方式を取り入れたハイブリッドアルゴリズム。

- 現状 0.2um デザインルールまで可、0.1um がゴール。（できれば 90nm）
- 課題は描画速度。（2-3 時間/wfr）、振動対策、EMI 対策、排熱対策。（電子光学系改良）
- ハード/ソフトウェアを含め、2021 年 2 月の完成を目指す。



出典：TCK

図 2.11 ミニマル EB 露光による描画パターン

③ VacPLAD：ミニマル装置のコア共通部品ユニット。（真空ウェハ搬送装置）

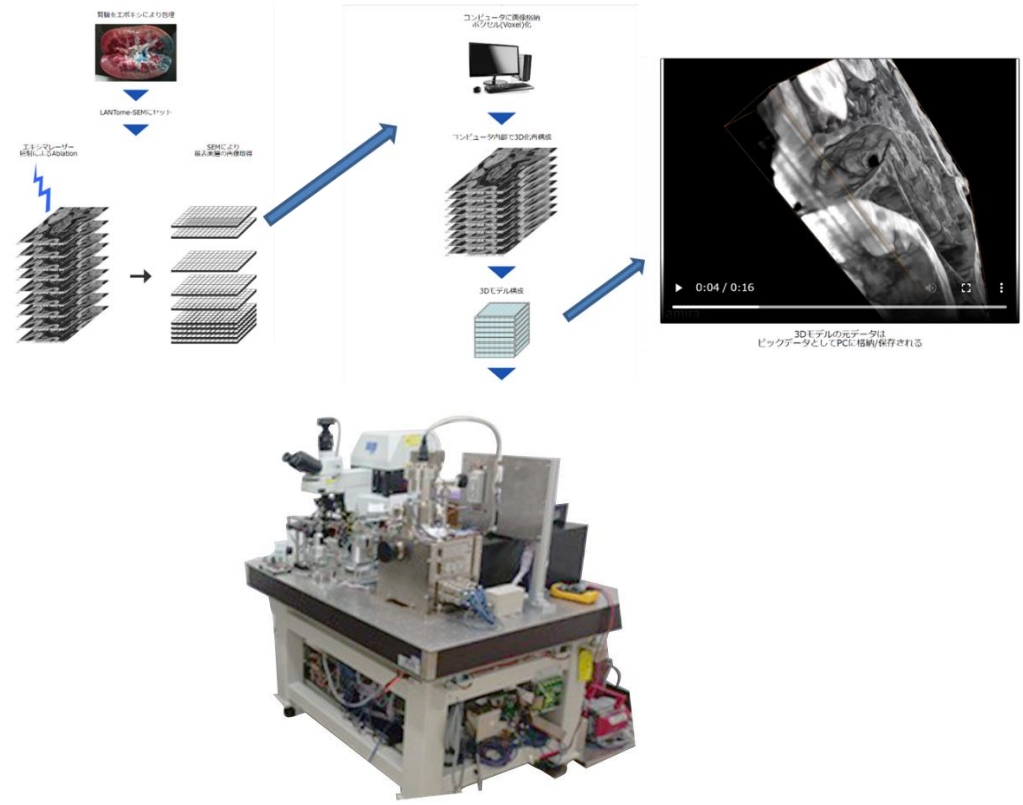
- タツモ社が製造していたが、退会したため、TCK 社が図面・版権を継承した。
- 立山マシン社でもバックアップは可能。

④ CT-SEM：レーザアブレーション＋SEM を応用したナノレベル３D 解解析装置（図 2.12、九州大学病院イノベーションセンターとの共同開発事業）

要素技術：ArF(193nm)レーザを導入した SEM の開発（炭素の結合乖離エネルギーが 6.3eV で ArF 照射エネルギーが 6.5eV のため、有機系物質にちょうど良く吸収され、乖離を促す）。

- アブレーションにより生細胞から離脱した分子をトラップ。CT 画像の高精度（解像度は２D で 2-10nm、３D で 20nm）とクラウドサーバー＋AI でデータベース化。（LPixel 社と開発）

- CT 画像の解像度は、2 D で 2～10nm、3 D で 20nm 程度とナノレベルの高精度。通常 1 週間程度かかるがんの生体検査が全自動により 3 時間程度で可能。画像データをクラウドサーバーでデータベース化し、AI で解析することで、受託分析体制も構築準備中。
- 人手不足となっている病理医の専門技官の見分時間が大幅カットの可能あり。
- 試料分析市場は 1360 億円/年で CAGR[6]（年平均成長率）も 5%以上あり、期待できる。



出典：TCK

図 2.12 CT-SEM

２．４．３　事業化に向けた課題・ニーズ等

通常、EB 露光機は振動対策として、図 2.12 の CT-SEM のように、除振台として石定盤の上に設置したり、EB 専用ルームに設置したり、あるいは EB 露光機を設置する床の基礎は、建物の基礎とは別にして施工している。

したがって、現状のミニマル CD-SEM は何らかの除振台が必要である。さらに、微細な

[6] Compound Annual Growth Rate：年平均成長率

振動も嫌うミニマル EB 露光機は、設置場所に応じた一層堅牢な振動対策が必要となる。

顧客ヒアリングやアンケート結果から、CT-SEM 装置は、特に再生医療分野等で活用が期待できる。

２．５　㈱新興精機、誠南工業㈱

２．５．１　企業概要・事業概要

㈱新興精機（以下、新興精機）は、医療、理化学器械器具の製造販売を主要業務としている。九州・山口の主な大学や公的機関を主要取引先として実績を重ねている。

誠南工業㈱（以下、誠南工業）は、真空装置・真空部品の製作をコア・コンピタンスとしており、開発・設計から製造・組立てに至る一貫生産体制としている。製品はほとんどが顧客の要望をベースに設計・製作する一品一様となっている。

新興精機と誠南工業で連携してサポイン事業に取り組んだ。連携してミニマル装置の開発に取り組んだが、現在、新興精機はミニマル装置の事業からは撤退し、誠南工業が事業を継続している。

２．５．２　技術の概要

新興精機・誠南工業は平成 29 年度サポイン事業として、「準共鳴型電子サイクロトロン共鳴技術に基づく小型・高密度プラズマ源の開発と、これをコア技術とする 3DIC 作製を目的とした高速ミニマルエッチング装置の開発」を実施した。

新興精機・誠南工業がサポインで開発に関わったミニマル装置は以下の通りである。

① 上記の TSV 形成用電子サイクロトロン共鳴型(ECR)エッチャー（新興精機と連携）。エッチング速度＞20μm/分。
② MEMS 加工用高速エッチャー（㈱和泉テックと連携）。優れた形状制御性を有し、エッチング速度＞4μm/分。
③ 単元スパッタ（Al, AiSi, Cu, Au, Pt, Cr, Ti, TiN）。小型 HiPIMS（ハイパワーインパルスプラズママグネトロン）方式電源を用い、基板を加熱しながら、10^{-6}Pa の高真空中で稼働。Al スパッタにおいて 300nm/分（TiN は 75nm/分）の成膜速度を達成。DC・RF（13.56MHz）2 電源搭載。
④ 3 元マルチターゲットスパッタ（㈱ワイドテクノと連携）。ヘリコン波プラズマ源を用い、Al, Cu のスパッタにおいて 100nm/分以上の成膜速度。強磁性体ターゲットを含め幅広いターゲット材料に対応する。マグネトロン方式に比べターゲット材料使用効率が高い。
⑤ イオンビームスパッター（6 元）、九大 S 先生と開発。強磁性体ターゲットを含め幅広いターゲット材料に対応する。貫通穴の側壁などにコンフォーマルな成膜が可能。
⑥ シリコン成長用熱 CVD の開発スタート（産総研と連携）。

⑦ その他として真空 PLAD を立山マシン㈱と共同開発に着手した（TCK とも情報共有）。検収条件にパスするレベルに仕上げるため、誠南工業と立山マシン㈱の 2 ケ所で搬送テストを行う。100 回以上の連続搬送をエラーなく行うことを指標として設定し、目標はほぼ達成されている。

２．５．３　事業化に向けた課題・ニーズ等

誠南工業は、ミニマル装置メンバーで最も多くの装置納入実績がある。（6 種 12 台）自動車部品メーカ U 社にも実績あり。電気部品メーカ V 社は中座した。

基本的には試作機開発を請け負うが販売はしない。SiN-CVD はコーテック社、マルチターゲットスパッターはワイドテクノが販売。量産時は外注生産で考える。

２．６　テクノデザイン㈱

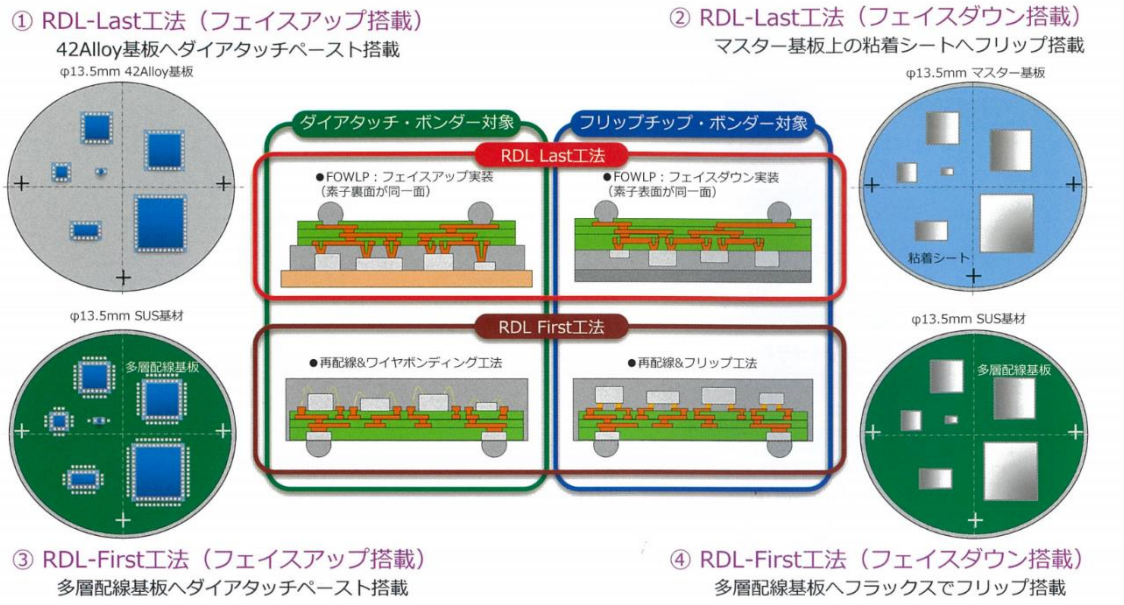
２．６．１　企業概要・事業概要

テクノデザイン㈱は、1988 年の創立以来、電子回路設計やプリント基板設計に加え、半導体製造装置、フラットパネルディスプレイ、車載関連設備などの設計製造、生産設備の OEM 生産などを手掛ける。

2014 年に熊本県の育成企業、リーディング企業に認定され、毎年、県内高校・大学から新卒者を採用しており、若手技術者の育成にも力をいれている。

２．６．２　技術の概要

テクノデザインは、4 種類のノズルを利用して、6 品種の素子の一括搭載を可能としたマルチチップボンダを開発した。機能の違う素子を 0.5 インチのウェハに並べることで、Heterogeneous パッケージが可能になる。チップをトレイに並べる動作は、自動化できていないが、素子をセットすれば、自動でダイボンディングを行う。１号機のデータによる実力値は±20μｍ。評価用の基板と搭載部品の精度改良により±７μｍが可能である。



出典：テクノデザイン㈱提供資料

図 2.13 マルチチップボンダ装置

インクジェット装置は、インクジェットプリンターの原理を利用してレジストをウェハに塗布する装置である。開発は㈱SS テクノ、㈱石井工作研究所とタイアップしたが、今後

の製造はテクノデザイン㈱が行う。インクジェットは、スピンコータより厚いレジストを塗布することができる。インクジェットは、平成 24 年の国プロの予算で開発した。

２．６．３　事業化に向けた課題・ニーズ等

マルチチップボンダは、アライメントマークの精度向上を目指して開発を行っている。性能評価に時間がかかるのが課題である。実際に引き合いがあるわけでないが、ネプコンジャパンに出展した際、想像以上の集客があった。

ミニマルファブ全体の普及に向けては、もちろん教育用、試作用といったニーズを掘り下げていくことも重要であるが、生産部門に向けてのニーズも応えていく必要があるとしている。特に九州でのミニマルファブ普及に向けては、後工程のデバイス生産企業の需要を満たす戦略が必要である。

２．７　上野精機㈱

２．７．１　企業概要・事業概要

上野精機(株)は、半導体・電子部品検査装置の製造と半導体・電子部品検査が主要業務である。「超高速スピード搬送」「ダメージレス制御技術」「高精度の外観検査」をコア・コンピタンスとしており、半導体・電子部品の検査装置の分野では世界トップシェアを誇る。

開発・設計・製造・メンテナンスまで一貫して行うワンストップ生産システムを構築している。

２．７．２　技術の概要

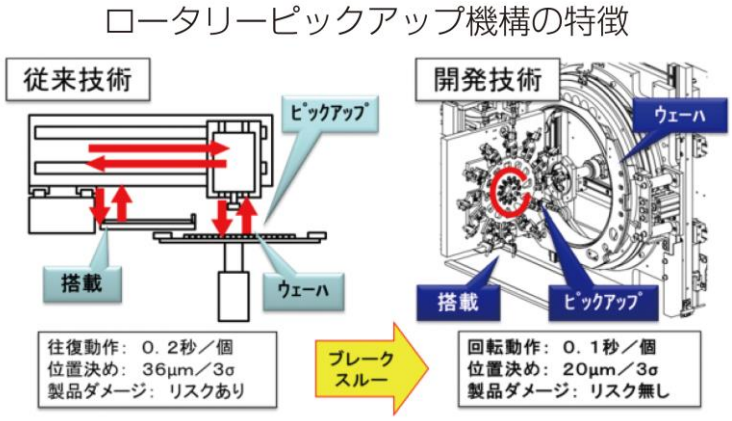
上野精機㈱は、平成 23 年度サポイン事業として、「LED 製造工程の高効率化、低コスト化を目指した世界最高速(0.1 秒/個)ダイアタッチ装置の開発」を実施した。

事業を実施した背景として、事業実施時点では従来型の白熱灯などの照明が LED へと置き換えられる過渡期であった。LED の製造について最大勢力は日亜化学、続いてトヨタ紡績、スタンレー、東芝などが並ぶ状況であった。そうした国内の LED 製造業を発展させるためには、製造工程の高効率化、低コスト化が必須であると考え、膨大な置き換え需要が創出されることを念頭に、民生品をターゲットとした低コスト高生産性の LED 製造装置の開発を当事業で行った。

ダイボンディングについて、従来のダイアタッチ装置を利用した固着工程は往復機構であり効率が悪かった。従来の方式では処理速度は 0.2～0.5 秒/個、位置決め精度は 36μm±3σ であり、製品ダメージのリスクがあった。本事業では回転機構を持つ独自のロータリーピックアップ機構を開発し、下記の性能を実現した。

■　LED 製造装置の内容

- 処理速度：0.1 秒/個
- 位置決め精度：20μm±3σ
- 製品ダメージ：リスク無し



出典：EYA 戦略的基盤事例集 2014

図 2.14 ロータリーピックアップ機構の特徴

２．７．３　事業化に向けた課題・ニーズ等

当該事業で製作した LED 製造装置は、事業化には至っていない。最も大きな要因は、装置価格の急激な下落である。本製品は高速度で大量生産を行うため、装置の価格と生産効率の費用対効果に優位性があれば、十分に販売は可能となる見込みであった。しかし実際には中国系メーカが続々と市場参入したことにより一気に装置が低価格化してしまい、コストパフォーマンスが悪い装置となってしまった。

3　ミニマルファブ等多品種少量生産ニーズの実態調査

3．1　アンケート調査概要

本章では、調査事業②ミニマルファブ等の市場ニーズ調査のアンケート調査結果を取りまとめる。

アンケート調査対象は、半導体微細加工にかかる多品種少量生産を指向する産業分野、すなわち半導体、センサ、MEMS、創薬、バイオ、メディカル、微生物、病原体、遺伝子、細胞、宇宙などの産業分野に関わる大学や企業の研究機関とした。中でも、わが国の研究開発を先導する研究テーマに限定し、そのプロジェクト代表者を対象とした。具体的には、NEDO プロジェクト、JST プロジェクト、AMED プロジェクト、JAXA プロジェクトなどから上記の産業分野に関するプロジェクトリストを作成した。また、産業技術総合研究所九州センターの協力を得て、ネプコンジャパン 2020 出展時にミニマルファブに関心を示した企業・研究機関も加えている。

調査票は、３つのパートに分けて作成している。まず、第一に多品種少量生産や試作に対するニーズや実態を把握し、第二にミニマルファブの多品種少量生産に対する関心やニーズを把握し、第三に調査事業①で事業化を進めるサポイン活用企業の技術に対する関心について把握している。なお、調査票には、調査事業①で取りまとめたサポイン活用企業の有する「技術 PR 資料」や「ミニマルファブの装置リスト」を同封し、個々の装置や技術の情報をアンケート調査対象となった研究者に伝えることに努めつつ、彼らからそれらの技術に対する興味関心や活用可能性について把握している。なお、回答率を高めるべく、回答者には「HETEROGENEOUS INTEGRATION ROADMAP 2019（翻訳版：本事業にて技術動向調査のために独自翻訳）」の PDF ファイルへのアクセス権を贈呈している。

具体的なアンケート調査票については、巻末に参考資料として示す。

３．１．１　アンケート調査の調査対象

アンケート発送対象は、ミニマルファブの市場調査対象として想定する産業分野の先端研究を行っている研究者（大学や研究機関、企業の研究部署含む）とすることから、具体的には、国立研究開発法人新エネルギー産業技術総合開発機構（NEDO）、国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）、国立研究開発法人 科学技術振興機構（JST）の採択事業代表者、一般社団法人 日本電子デバイス産業協会（NEDIA）会員、一般社団法人半導体産業人協会（SSIS）賛助会員、九州ヘルスケア産業推進協議会(HAMIQ)の代表者等などを 1,028 人抽出した。

３．１．２　アンケートの回答状況

アンケートの実施概要は以下の通りである。

・期間　　：2020 年 12 月 2 日(水)～12 月 16 日(水)
・発送数　　：1,028 通
・有効回答数：122 通
・有効回答率：11.9%

３．１．３　アンケート回答者の研究領域

アンケートの回答者の属性を研究領域別にみると、「半導体・エレクトロニクス」が 41.0%で最も多かった。加えて、「バイオ」「メディカル」「ヘルスケア」「マテリアル」なども２割以上となっており、ミニマルファブの想定マーケットからの十分な回答が得られている。

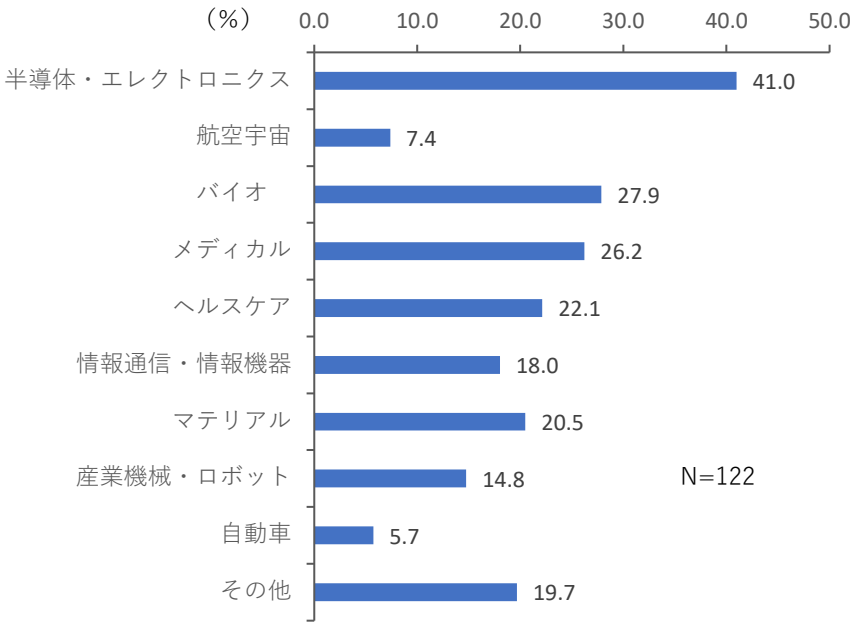


図 3.1 対象とする研究領域（複数回答）

３．２　半導体微細加工プロセスによる試作・小ロット生産のニーズ

３．２．１　幅広いマーケット用途でのデバイス開発ニーズ

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産は、「半導体・エレクトロニクス」で 48.0%の回答者が「行っている」としている。他分野では、「ヘルスケア」や「マテリアル」「情報通信・情報機器」「産業機械・ロボット」なども２割を超えている。ただし、これの回答者は、多くが「半導体・エレクトロニクス」にも回答した人がほとんどである。具体的な研究内容としては、バイオセンサーの開発等が挙げられるが、幅広いマーケット用途を見据えたデバイスの研究開発に携わっているとみられる。

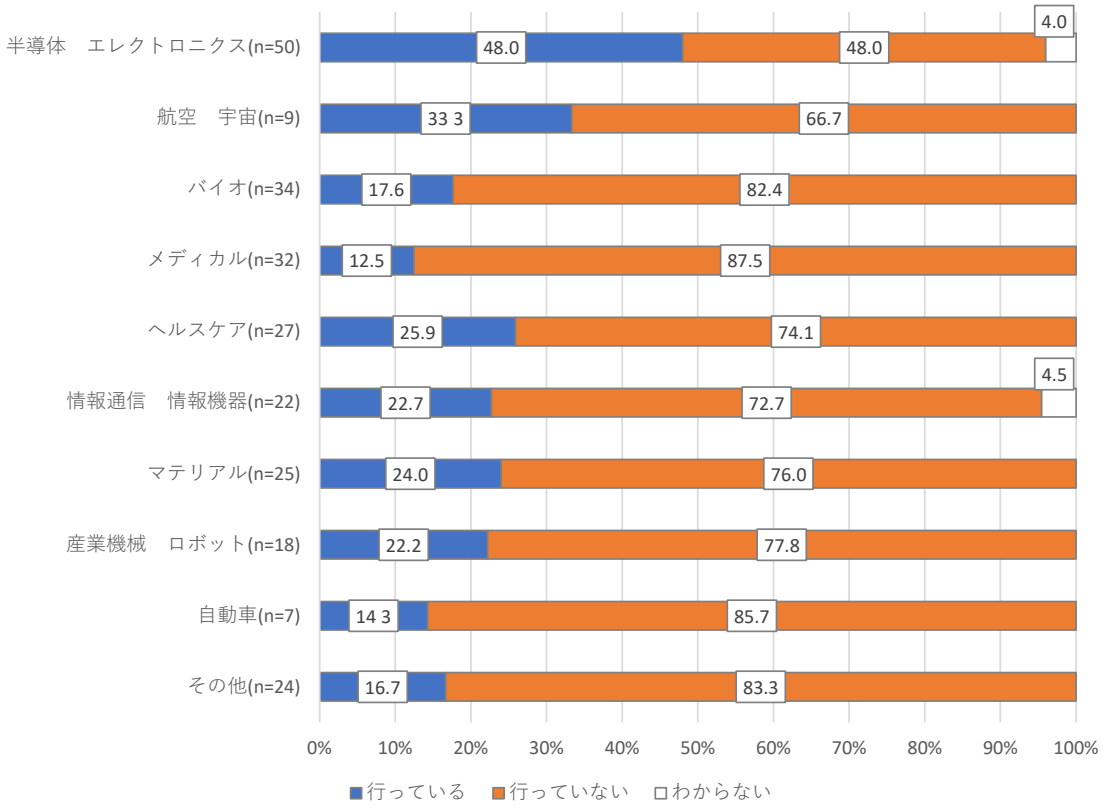


図 3.2 半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の有無（複数回答）

３．２．２　年 10 回以上の多頻度が主流

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の頻度は、年 10 回以上が約 5 割を占めており、かなりの多頻度で実施している。

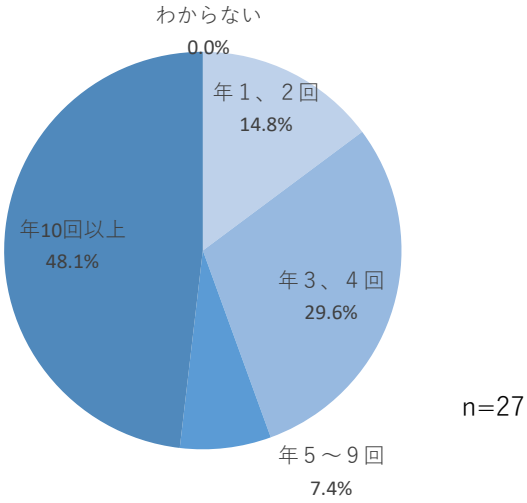


図 3.3 半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の頻度

３．２．３　求められる小ロット生産～希望数量は実現

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の 1 回あたりの数量は、50 未満を希望する回答者が、63.0%を占める。頻度は多いが、1 回あたり数量は小ロットである。また、実際の個数と希望する個数は一致していることが多い。

（人）

希望		10未満	10～50未満	50～100未満	100～500未満	500～1,000未満	1,000以上	わからない
実際	10未満	7						
	10～50未満	1	9	1				
	50～100未満			1	1			
	100～500未満			2	1			
	500～1,000未満				1			
	1,000以上						1	
	わからない							2

図 3.4 試作や小ロット生産の一回あたりにおける実際と希望の数量

３．２．４　求められる低コストでの試作・小ロット生産

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の１回あたりの数量は、50 万円未満を希望する回答者が、55.6%を占める。実際の金額と希望する金額に乖離がみられ、37.0%の回答者が実際より低額を希望している。

（人）

希望		10万円未満	10万～50万円未満	50万～100万円未満	100万～500万円未満	500万～1,000万円未満	1,000万円以上	わからない
実際	10万円未満	4						
	10万～50万円未満	2	3	1				
	50万～100万円未満	1	2	1				
	100万～500万円未満			2	2			
	500万～1,000万円未満		1		1			
	1,000万円以上			1			1	
	わからない	1	1					3

図 3.5 試作や小ロット生産の一回あたりにおける実際と希望の金額

３．２．５　外注が多用される試作・小ロット生産

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産について「外注」を「行っている」とした回答者は、試作や小ロット生産を「行っている」とした回答者のうち、66.7%となっている。ミニマルファブの普及にあたっては、試作の外注サービスを行うミニマルファブ所有組織を増やし、これらのニーズに対応していくことが求められる。ただし、試作や小ロット生産の課題（自由記述）として、外注費が高額であることが挙げられている。

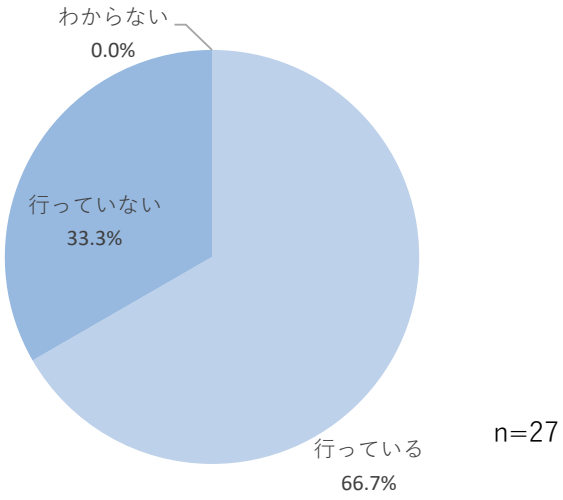


図 3.6 試作や小ロット生産について「外注」の有無

３．３　ミニマルファブに対する認知と関心

３．３．１　半導体・エレクトロニクス分野での高い認知

ミニマルファブの認知度について、「よく知っている」「少し知っている」とした回答者は、58.2%となった。研究分野別にみると、「半導体・エレクトロニクス」は 9 割となっており、「産業機械・ロボット」、「自動車」分野では８割を超える。一方、「バイオ」、「メディカル」分野では「あまり知らない」「まったく知らない」とした回答者の方が「よく知っている」「少し知っている」より多い。

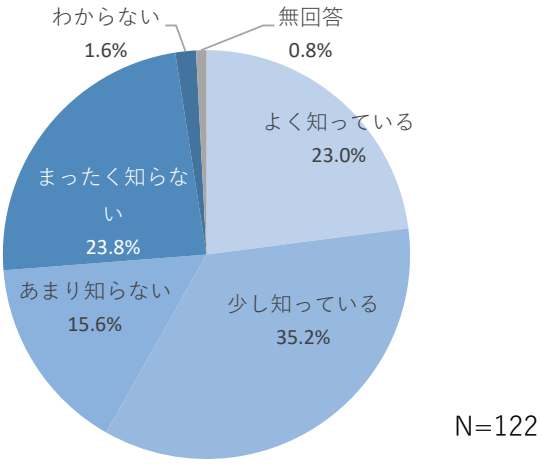


図 3.7 ミニマルファブの認知度

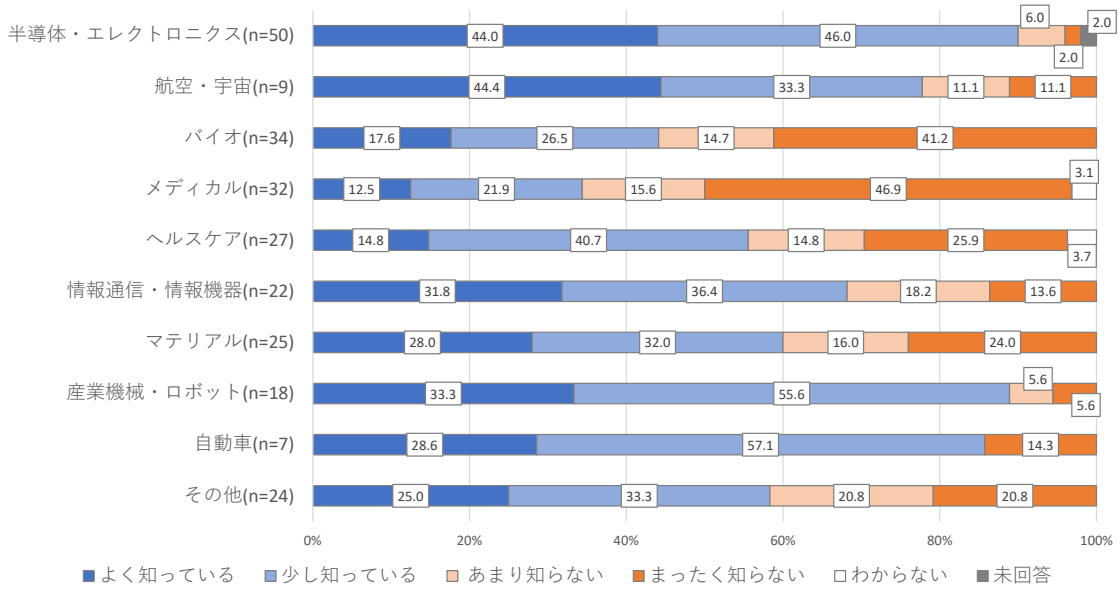


図 3.8 研究分野別ミニマルファブの認知度

３．３．２　試作や小ロット生産実施層での高い認知

ミニマルファブの認知度について、半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の有無別にみると、「行っている」とした回答者では「よく知っている」「少し知っている」の合計は 92.6%となっている。一方、「行っていない」とした回答者では、「よく知っている」「少し知っている」の合計は、47.3%となっている。ミニマルファブの普及には、「バイオ」分野など半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を行っていない大学・企業に対しては、ミニマルファブのコンセプトから説明しながら、活用可能性について協議することが求められる。

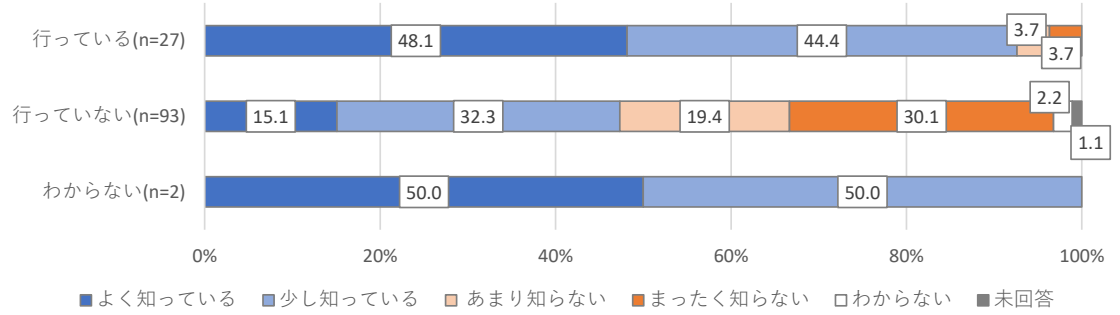


図 3.9 試作や小ロット生産の有無別ミニマルファブの認知度

３．３．３　低コスト運用に資するコンセプトで高い関心

ミニマルファブのコンセプトについて、「低コスト試作・小ロット生産（0.5 インチサイズ&マスクレス露光による省ロット対応）」や「低コスト設備運用（クリーンルーム不要、省スペース、省エネルギー）」が、どの研究領域においても回答した割合が比較的高い。また、「マテリアル」分野では、半導体製造工程について一貫して理解している人材のニーズがあると見られ、「プロセスインテグレート人材育成（研究者のプロセス理解と一貫研究能力の育成）」が 44.0%と高い。「産業機械・ロボット」分野では、「局所クリーン化（クリーンルーム不要での極小エリア（体積）での微細加工環境の実現）」が 44.4%と高い。

一方、無回答が「バイオ」分野では 44.1%、「メディカル」分野では 31.3%、「ヘルスケア」分野では、22.2%となっており、これらの回答者は興味・関心が現状では低い可能性が高い。

(%)	半導体・エレクトロニクス (n=50)	航空・宇宙 (n=9)	バイオ (n=34)	メディカル (n=32)	ヘルスケア (n=27)	情報通信・情報機器 (n=22)	マテリアル (n=25)	産業機械・ロボット (n=18)	自動車 (n=7)	その他 (n=24)
局所クリーン化（クリーンルーム不要での極小エリア(体積)での微細加工環境の実現）	34.0	22.2	26.5	21.9	25.9	31.8	28.0	44.4	14.3	33.3
シャトル搬送によるプロセスドッキングシステム	14.0	0.0	8.8	9.4	11.1	4.5	8.0	16.7	0.0	4 2
POC・一種一品試作・評価（マスクレス回路形成による可変化、セキュリティデバイス）	26.0	11.1	14.7	12.5	14.8	40.9	24.0	22.2	0.0	4 2
ラピッド・プロトタイピング（１プロセス数分程度の短TATでの試作、評価）	34.0	33.3	14.7	18.8	18.5	40.9	20.0	33.3	42.9	8.3
SDGs設備運用（省資源・省材料、省廃棄、省エネルギー、TCO削減）	12.0	22.2	11.8	9.4	14.8	13.6	20.0	11.1	14.3	25.0
低コスト設備運用（クリーンルーム不要、省スペース、省エネルギー）	38.0	33.3	29.4	40.6	44.4	54.5	36.0	55.6	28.6	41.7
低コスト試作・小ロット生産（ハーフインチサイズ＆マスクレス露光による小ロット対応）	56.0	55.6	41.2	34.4	51.9	50.0	40.0	50.0	57.1	33.3
多品種変量試作・生産（ハーフインチサイズ＆マスクレス露光による変量化対応）	40.0	44.4	11.8	6.3	14.8	36.4	32.0	33.3	42.9	16.7
プロセスインテグレート研究開発（設計・試作・テスト・評価での一貫研究の実現）	26.0	11.1	17.6	18.8	14.8	22.7	44.0	22.2	14.3	16.7
プロセスインテグレート人材育成（研究者のプロセス理解と一貫研究能力の育成）	16.0	11.1	2.9	6.3	3.7	22.7	20.0	22.2	0.0	8.3
Make LSI（LSI試作・生産の民主化）	20.0	11.1	0.0	6.3	11.1	13.6	12.0	27.8	0.0	4 2
独自開発プロセスの装置化（装置化に活用できるミニマル共通ユニット（PLAD、シャトル、制御ユニット等））	12.0	11.1	0.0	3.1	7.4	9.1	12.0	11.1	14.3	4 2
その他	8.0	11.1	2.9	9.4	7.4	4.5	4.0	5.6	0.0	16.7
無回答	8.0	11.1	44.1	31.3	22 2	0.0	16.0	5.6	0.0	16.7
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

図 3.10 研究領域別ミニマルファブへの興味・関心

３．３．４　試作・小ロットの未実施層も低コスト運用へ関心

ミニマルファブのコンセプトについて、半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っていない」とした回答者は、ほとんどのコンセプトで「行っている」とした回答者より低くなっており、無回答は 31.2%となっている。

しかしながら、「低コスト試作・小ロット生産（0.5 インチサイズ&マスクレス露光による省ロット対応）」や「低コスト設備運用（クリーンルーム不要、省スペース、省エネルギー）」の関心は比較的高い。

(%)	行っている (n=27)	行っていない (n=93)	わからない (n=2)
局所クリーン化（クリーンルーム不要での極小エリア(体積)での微細加工環境の実現）	48.1	17.2	50.0
シャトル搬送によるプロセスドッキングシステム	14.8	6.5	0.0
POC・一種一品試作・評価（マスクレス回路形成による可変化、セキュリティデバイス）	25.9	12.9	0.0
ラピッド・プロトタイピング（１プロセス数分程度の短TATでの試作、評価）	33.3	16.1	50.0
SDGs設備運用（省資源・省材料、省廃棄、省エネルギー、TCO削減）	11.1	11.8	0.0
低コスト設備運用（クリーンルーム不要、省スペース、省エネルギー）	44.4	30.1	50.0
低コスト試作・小ロット生産（ハーフインチサイズ＆マスクレス露光による小ロット対応）	59.3	32.3	50.0
多品種変量試作・生産（ハーフインチサイズ＆マスクレス露光による変量化対応）	33.3	18.3	0.0
プロセスインテグレート研究開発（設計・試作・テスト・評価での一貫研究の実現）	37.0	14.0	0.0
プロセスインテグレート人材育成（研究者のプロセス理解と一貫研究能力の育成）	22.2	5.4	0.0
Make LSI（LSI試作・生産の民主化）	22.2	7.5	0.0
独自開発プロセスの装置化（装置化に活用できるミニマル共通ユニット(PLAD、シャトル、制御ユニット等)）	11.1	4.3	50.0
その他	7.4	6.5	50.0
無回答	3.7	31.2	50.0
合計	100.0	100.0	100.0

図 3.11 試作や小ロット生産の有無別ミニマルファブへの興味・関心

３．３．５　低コスト運用と一貫研究のコンセプトが認知拡大のカギ

ミニマルファブのコンセプトについて、ミニマルファブの認知度が「よく知っている」「少し知っている」「あまり知らない」「まったく知らない」の順にそれぞれのコンセプトについて回答割合が低くなる傾向にある。しかし、「あまり知らない」「まったく知らない」層でも「低コスト設備運用（クリーンルーム不要、省スペース 、省エネルギー）」「低コスト 試作・ 小ロット生産（0.5 インチサイズ&マスクレス露光による省ロット対応）」「プロセスインテグレート研究開発（設計・試作・テスト・評価での一貫研究の実現）」への関心は比較的高い。以上のコンセプトを重点的に紹介すれば、ミニマルファブを知らない企業・大学も興味・関心が高まる可能性もある。

(%)	よく知っている (n=28)	少し知っている (n=43)	あまり知らない (n=19)	まったく知らない (n=29)	わからない (n=2)	無回答(n=1)
局所クリーン化（クリーンルーム不要での極小エリア(体積)での微細加工環境の実現）	42.9	37.2	5.3	3.4	0.0	0.0
シャトル搬送によるプロセスドッキングシステム	14.3	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0
POC・一種一品試作・評価（マスクレス回路形成による可変化、セキュリティデバイス）	25.0	20.9	10.5	3.4	0.0	0.0
ラピッド・プロトタイピング（１プロセス数分程度の短TATでの試作、評価）	46.4	20.9	10.5	3.4	0.0	0.0
SDGs設備運用（省資源・省材料、省廃棄、省エネルギー、TCO削減）	25.0	7.0	15.8	3.4	0.0	0.0
低コスト設備運用（クリーンルーム不要、省スペース、省エネルギー）	50.0	44.2	21.1	10.3	50.0	0.0
低コスト試作・小ロット生産（ハーフインチサイズ＆マスクレス露光による小ロット対応）	64.3	51.2	21.1	10.3	0.0	0.0
多品種変量試作・生産（ハーフインチサイズ＆マスクレス露光による変量化対応）	53.6	23.3	5.3	0.0	0.0	0.0
プロセスインテグレート研究開発（設計・試作・テスト・評価での一貫研究の実現）	28.6	18.6	21.1	10.3	0.0	0.0
プロセスインテグレート人材育成（研究者のプロセス理解と一貫研究能力の育成）	21.4	4.7	5.3	6.9	0.0	0.0
Make LSI（LSI試作・生産の民主化）	21.4	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0
独自開発プロセスの装置化（装置化に活用できるミニマル共通ユニット(PLAD、シャトル、制御ユニット等)）	7.1	11.6	5.3	0.0	0.0	0.0
その他	7.1	9.3	10.5	3.4	0.0	0.0
無回答	3.6	7.0	36.8	62.1	50.0	100.0
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

図 3.12 ミニマルファブの認知度別ミニマルファブへの興味・関心

３．４　サポイン活用企業の関連技術に対する関心

３．４．１　マスクレス露光技術とマルチチップボンダへの高い関心

ミニマルファブの要素技術への関心は、「マスクレスによる 0.5μm レベルの配線形成」（21.3%）、「異種デバイス混載システムモジュール」（20.5%）の順で高くなっている。

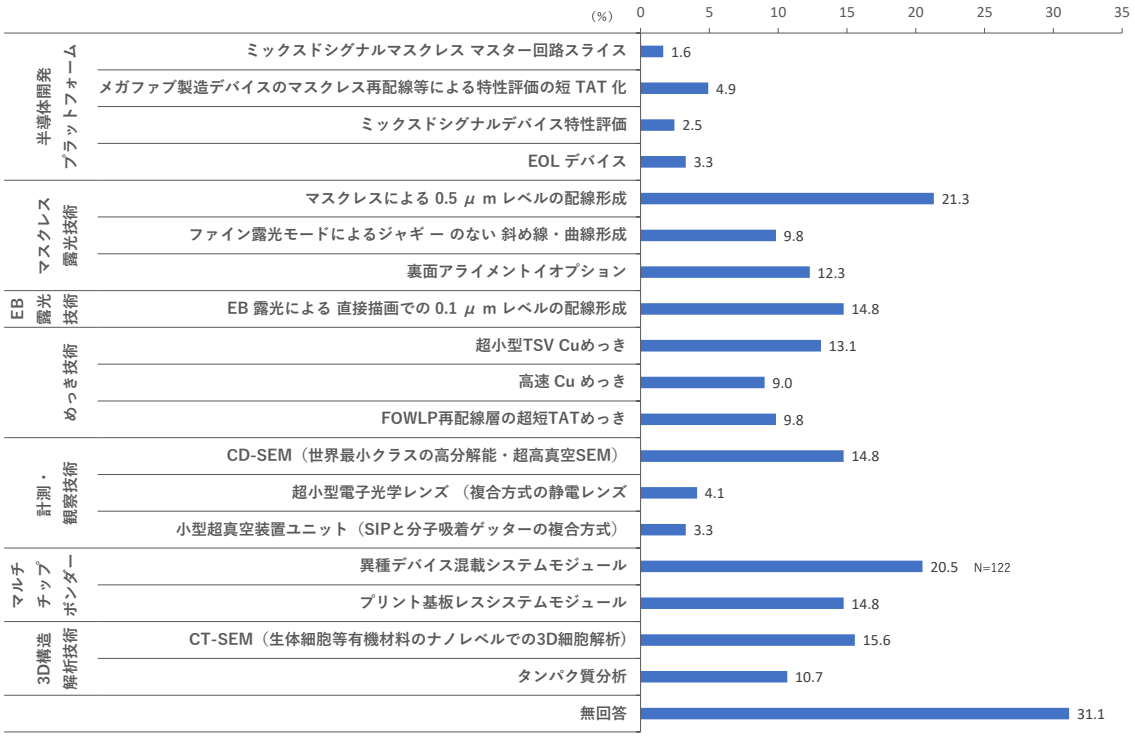


図 3.13 サポイン活用企業関連技術への興味・関心

３．４．２　研究分野で異なる要素技術への興味・関心

研究領域で見ると、「マスクレスによる0.5μmレベルの配線形成」と「EB露光による直接描画での0.1μmレベルの配線形成」では、前者の方が回答割合は高いが、研究領域別の回答は似た傾向にある。

めっき技術への興味・関心は、「半導体・エレクトロニクス」、「産業機械・ロボット」、「自動車」分野などで比較的高い。

「CD-SEM（世界最小クラスの高分解能・超高真空SEM）」は、「自動車」分野での関心が高い。

３D構造解析技術への興味・関心は、本来の用途である「バイオ」、「メディカル」、「ヘルスケア」分野に加えて、「産業機械・ロボット」、「自動車」分野にも３D構造解析技術への興味・関心が比較的高い。「産業機械・ロボット」では、ピッキングや検査などの機器に組み込むことが考えられる。

(%)		半導体・エレクトロニクス (n=50)	航空・宇宙 (n=9)	バイオ (n=34)	メディカル (n=32)	ヘルスケア (n=27)	情報通信・情報機器 (n=22)	マテリアル (n=25)	産業機械・ロボット (n=18)	自動車 (n=7)	その他 (n=24)
半導体開発プラットフォーム	ミックスドシグナル マスクレス マスター回路スライス	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	4.0	0.0	14.3	0.0
	メガファブ製造デバイスのマスクレス再配線等による特性評価の短 TAT 化	8.0	11.1	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	16.7	0.0	4.2
	ミックスドシグナル デバイス特性評価	2.0	0.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
	EOL デバイス	6.0	11.1	2.9	0.0	0.0	4.5	8.0	5.6	0.0	4.2
マスクレス露光技術	マスクレスによる 0.5 μ m レベルの配線形成	34.0	11.1	17.6	15.6	18.5	31.8	28.0	38.9	28.6	25.0
	ファイン露光モードによるジャギ ー のない 斜め線・曲線形成	14.0	11.1	8.8	9.4	14.8	13.6	12.0	27.8	14.3	8.3
	裏面アライメントイオプション	20.0	11.1	5.9	6.3	14.8	13.6	16.0	33.3	14.3	25.0
EB露光技術	EB 露光による 直接描画での 0.1 μ m レベルの配線形成	32.0	11.1	11.8	6.3	14.8	22.7	20.0	27.8	14.3	20.8
めっき技術	超小型TSV Cuめっき	24.0	11.1	8.8	3.1	11.1	22.7	8.0	27.8	28.6	16.7
	高速 Cu めっき	14.0	22.2	2.9	3.1	3.7	4.5	8.0	16.7	14.3	20.8
	FOWLP再配線層の超短TATめっき	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	8.0	22.2	0.0	8.3
計測・観察技術	CD-SEM （世界最小クラスの高分解能・超高真空SEM）	14.0	22.2	11.8	12.5	14.8	13.6	20.0	22.2	42.9	20.8
	超小型電子光学レンズ （複合方式の静電レンズ）	4.0	0.0	5.9	0.0	7.4	4.5	0.0	22.2	0.0	4.2
	小型超真空装置ユニット （SIPと分子吸着ゲッターの複合方式）	6.0	11.1	2.9	0.0	3.7	4.5	0.0	5.6	0.0	4.2
マルチチップボンダー	異種デバイス混載システムモジュール	38.0	44.4	11.8	18.8	18.5	31.8	28.0	50.0	28.6	16.7
	プリント基板レスシステムモジュール	26.0	11.1	8.8	9.4	18.5	22.7	20.0	33.3	28.6	4.2
3D構造解析技術	CT-SEM （生体細胞等有機材料のナノレベルでの3D細胞解析）	4.0	33.3	23.5	31.3	25.9	13.6	40.0	16.7	42.9	8.3
	タンパク質分析	4.0	0.0	29.4	31.3	22.2	4.5	16.0	0.0	14.3	4.2
無回答		22.0	11.1	29.4	25.0	22.2	27.3	16.0	16.7	14.3	33.3
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

図 3.14 研究分野別ミニマルファブ関連技術への興味・関心

３．４．３　潜在需要がみられるマスクレス露光と CD-SEM

認知度別で見ると、ミニマルファブを「よく知っている」層は、「メガファブ製造デバイスのマスクレス再配線等による特性評価の短TAT化」への関心が比較的高い。また、「異種デバイス混載システムモジュール」への関心も極めて高い。

研究分野で「半導体・エレクトロニクス」以外が多い「あまり知らない」・「まったく知らない」層は、細胞の観察等を目的とした３D構造解析技術への関心が高い。

「マスクレスによる0.5μmレベルの配線形成」や「CD-SEM（世界最小クラスの高分解能・超高真空SEM）」は、ミニマルファブを「あまり知らない」・「まったく知らない」層でも比較的関心が高い。

	(%)	よく知っている (n=28)	少し知っている (n=43)	あまり知らない (n=19)	まったく知らない (n=29)	わからない (n=2)	無回答 (n=1)
半導体開発プラットフォーム	ミックスドシグナル マスクレス マスター回路スライス	3.6	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	メガファブ製造デバイスの マスクレス再配線等による 特性評価の短 TAT 化	17.9	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	ミックスドシグナル デバイス特性評価	0.0	2.3	10.5	0.0	0.0	0.0
	EOL デバイス	10.7	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
マスクレス露光技術	マスクレスによる 0.5 μ m レベルの配線形成	39.3	27.9	0.0	10.3	0.0	0.0
	ファイン露光モードによる ジャギ ー のない 斜め線・曲線形成	14.3	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	裏面アライメントイオプション	25.0	16.3	0.0	3.4	0.0	0.0
EB露光技術	EB 露光による 直接描画での 0.1 μ m レベルの配線形成	28.6	20.9	0.0	3.4	0.0	0.0
めっき技術	超小型TSV Cuめっき	28.6	16.3	0.0	3.4	0.0	0.0
	高速 Cu めっき	17.9	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	FOWLP再配線層の 超短TATめっき	21.4	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0
計測・観察技術	CD-SEM （世界最小クラスの高分解能・ 超高真空SEM）	17.9	14.0	21.1	10.3	0.0	0.0
	超小型電子光学レンズ （複合方式の静電レンズ）	3.6	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	小型超真空装置ユニット （SIPと分子吸着ゲッターの 複合方式）	7.1	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0
マルチチップボンダー	異種デバイス混載システムモジュール	57.1	18.6	0.0	3.4	0.0	0.0
	プリント基板レスシステムモジュール	25.0	23.3	5.3	0.0	0.0	0.0
3D構造解析技術	CT-SEM （生体細胞等有機材料の ナノレベルでの3D細胞解析）	7.1	9.3	31.6	20.7	50.0	0.0
	タンパク質分析	0.0	9.3	15.8	20.7	0.0	0.0
無回答		17.9	16.3	42.1	55 2	50.0	100.0
合計		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

図 3.15 認知度別ミニマルファブ関連技術への興味・関心

３．５　研究開発の課題とミニマルファブの活用可能性

３．５．１　高い開発・研究期間の短縮化ニーズ

研究室において解決したい課題・問題は、半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っている」、「行っていない」両方の回答者で「開発・研究期間の短縮化」が最も多い。中でも、試作や小ロット生産を「行っている」とした回答者は、88.9%が希望している。ミックスドシグナルマスクレスマスター回路スライスなどの技術が、開発・研究期間の短縮化につながる可能性を模索する。また、試作や小ロット生産を行っているとした回答者は、「新しいプロセスの探索」が、51.9%と３番目に高くなっている。

(%)	行っている (n=27)	行っていない (n=93)	わからない (n=2)
開発・研究期間の短縮化	88.9	47.3	50.0
実験材料の低コスト化	33.3	18.3	0.0
実験環境・装置の低コスト化	40.7	30.1	50.0
試作の低コスト化	77.8	32.3	50.0
装置の操作負担軽減	25.9	6.5	0.0
予算の不足	33.3	21.5	50.0
工程管理の省力化	11.1	9.7	0.0
納品期間の短縮化	29.6	10.8	0.0
新しいプロセスの探索	51.9	19.4	50.0
新しい材料の探索	22.2	17.2	0.0
新しい実験装置の探査	7.4	17.2	0.0
人材育成の環境・設備の不足	14.8	19.4	0.0
無回答	0.0	12.9	50.0
合計	100.0	100.0	100.0

図 3.16 試作や小ロット生産の有無別研究室における課題・問題

３．５．２　試作委託と実機操作での開発環境に高いニーズ

理想とするミニマルファブの利用形態は、半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っている」、「行っていない」両方の回答者で「ミニマルファブ所有組織への試作依頼（受注型）」が最も高かった。

試作や小ロット生産を「行っている」回答者は、「ミニマルファブ所有組織への研究員派遣による活用」が 29.6%と比較的高く、ミニマルファブを実際に操作したいという

ニーズも一定数存在する。また、「ミニマルファブ所有組織への試作依頼（サブスクリプション型）」の回答も 40.7%となり、定期的な利用も考えられる。

研究者自身の手で装置操作ができる環境でのミニマルファブの試作サービス拠点の整備に一定のニーズがあるとみられる。

(%)	自らの組織内で購入して活用	ミニマルファブ所有組織への試作依頼（受注型）	ミニマルファブ所有組織への試作依頼（サブスクリプション型）	ミニマルファブ所有組織との共同研究	ミニマルファブ所有組織への研究員派遣による活用	その他	わからない	無回答
行っている (n=27)	25.9	51.9	40.7	22.2	29.6	3.7	7.4	11.1
行っていない (n=93)	11.8	37.6	12.9	23.7	4.3	4.3	25.8	8.6
わからない (n=2)	50.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0

図 3.17 試作や小ロット生産の有無別ミニマルファブの理想の利用形態

３．６　アンケート調査結果のまとめ

アンケート調査の結果、ミニマルファブ等の多品種少量生産技術に対する先導的研究者のニーズを明らかにすることができた。以下、その要点をまとめる。

①　少量・少額が多い試作や小ロット生産

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っている」とした回答は、22.1%にとどまっている。そのうち、数量・金額ともに 50 未満・100 万円未満で半数近くを占め、少量・少額のものが多い。実際と希望の乖離については、数量については一致しているところが多いが、金額については、実際より少ない費用を望む回答が多い。

②　試作や小ロット生産を行う企業の６割が外注を行う

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っている」回答者のうち、外注を「行っている」とした回答は、66.7%を占めている。試作や小ロット生産は頻度も限られてくることから、自らが設備を持つことが難しく、外注している可能性がある。ただし、試作や小ロット生産への課題として、外注費が高額であるとした回答が複数見られる。

③　ミニマルファブの認知度「半導体・エレクトロニクス」で９割

ミニマルファブの認知度について、「よく知っている」「少し知っている」とした回答は、「半導体・エレクトロニクス」で９割、「産業機械・ロボット」などで８割を超えている。一方、「バイオ」、「メディカル」で半数を割れている。

半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っていない」とした回答でも、「あまり知らない」・「全く知らない」が過半数を占めている。

非半導体以外、試作や小ロット生産を行っていないところには、アンケート結果の関心が高い後述の 4 及び 5 のミニマルのコンセプト・要素技術を PR し、どのような分野で可能性が見えるのかと今後協議しつつ、共同研究等に持ち込むといったことが考えられる。

④　ミニマルファブに期待するコンセプトは、低コスト化

ミニマルファブについて研究に活用できそう、興味・関心のあるコンセプトは、「低コスト試作・小ロット生産」、「低コスト設備運用」といった費用削減面について期待するものが多い。これらについては、「バイオ」、「メディカル」、「ヘルスケア」といった研究領域でも関心が高い。「マテリアル」では、設計・施策・テスト・評価の一貫研究に関し、興味を示している回答者が多い。「産業機械・ロボット」分野では、局所クリーン化に関心を示す回答者が多い。一方、「バイオ」、「メディカル」やミニマルファブを「全く知らない」層は、無回答も多い。

⑤　マスクレス露光、マルチチップボンダ―への高い関心

ミニマルファブについて活用できそう、興味・関心のあるコンセプトは、「マスクレス露光」、「マルチチップボンダ―」関連技術について答えた研究室が多い。これらは、「半導体・エレクトロニクス」、「産業機械・ロボット」「情報通信・情報機器」などで関心が高い。めっきに関しては、「半導体・エレクトロニクス」「産業機械・ロボット」「自動車」で特に高い。一方、「バイオ」、「メディカル」、「ヘルスケア」、「マテリアル」、「自動車」などについては、「３D 構造解析技術」への関心が高い。ミニマルファブを知らない層にも「マスクレス露光」、「CD-SEM」への関心は一定数見られる。

⑥　ミニマルファブ普及には、試作サービス拠点の増加が鍵

半導体微細加工プロセスを用いた試作・小ロット生産の頻度は、年間 10 回未満が半数を超える。そのため、ユーザに対してミニマルファブを購入してもらうことはハードルが高い。また、理想とするミニマルファブの利用形態は、「ミニマルファブ所有組織への試作依頼（受注型）」とした回答者が多く、試作サービスを行う組織・拠点の増加がミニマルファブ普及のポイントとなるだろう。可能性として、「４．１．５ 試作サービスでの活用～研究開発・小ロット生産のサポート」でも記述するが、横河ソリューションサービス㈱のような試作拠点の増加と認知度向上、㈱ピーエムティーのように試作サービス行う装置開発企業の増加などが考えられる。また、試作や小ロット生産を「行っている」とした回答者は、「ミニマルファブ所有組織への研究員派遣による活用」への希望も一定数存在し、実際にミニマルファブを操作することで、ミニマルファブの利点を実感してもらうことも必要となってくる。

⑦　解決したい課題・問題は、「開発・研究期間の短縮化」

研究室において解決したい課題・問題は、「開発・研究期間の短縮化」が最も多い。特に半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っている」とした回答者では９割を超えている。これに関して、ミックスドシグナルマスクレスマスター回路スライスのような短 TAT 化に貢献するような技術のニーズも高いと思われる。試作サービスを展開するためには、元来、ミニマルファブはメガファブに比べ、試作の短期化は得意であるが、装置の開発の進展に加え、できるだけ早い納期を実現するような受注システムの構築など仕組みづくりが必要である。

また、「実験環境・装置の低コスト化」「試作の低コスト化」、半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を「行っている」とした回答者では「新しいプロセスの探索」への関心も高いので、その部分にミニマルファブがいかにニーズを満たすかが重要である。

４　ミニマルファブ等の市場ニーズ調査

本章では、調査事業②ミニマルファブ等の市場ニーズ調査のヒアリング調査結果を取りまとめる。

調査対象は、国内外のミニマルファブ等の技術活用可能性のある企業、並びに大学等の研究機関としている。アンケート調査と同様に、半導体、センサ、MEMS、創薬、バイオ、メディカル、微生物、病原体、遺伝子、細胞、宇宙などの半導体技術を用いた多品種少量生産技術に関わる産業を対象としている。

ヒアリング対象は、35 社程度を目標として調査を行ったが、非常に高い関心を示す企業や研究者が多く、最終的には 70 社程度の調査を行った。また、海外企業に関しては、アメリカ、台湾、中国など、ミニマルファブへの関心を示している機関を中心にアプローチを行った。

具体的には、多品種少量生産、並びにミニマルファブに対する技術ニーズとして、新規プロセス、多条件試作、短 TAT、局所クリーン、省エネ、TCO 削減、NVA プロセス削減などの技術特性ごとに把握するとともに、各社の研究開発や生産実態と紐付けつつ、将来の活用可能性についてもディスカッションを行った。その結果、装置単体での活用、ラインとしての活用（装置群としての活用）、デバイス試作委託サービスとしての活用など、幅広い視点での市場ニーズを探索するとともに、事業化ビジネスモデルの検討に資する情報収集に努めた。取りまとめにあたっては、各社の事例を踏まえつつ、ビジネスモデルごとの整理をしている。

なお、ヒアリング調査での議論を深めるために、ヒアリング協力先には技術ロードマップ資料として、「HETEROGENEOUS INTEGRATION ROADMAP 2019」（翻訳版：本事業にて技術動向調査のために独自翻訳）を共有し、それぞれの分野や技術の世界最先端情報をベースとしつつニーズの深耕に努めた。

４．１．半導体としての市場調査[7]

４．１．１　メガファブ R&D での活用～短 TAT 試作と開発コスト低減

これまで、メガファブではミニマルファブの活用は難しいとされていた。この理由は、ミニマルファブとメガファブでは使用している装置がそもそも異なるためで、ミニマルファブで R&D を行っても、その成果をメガファブには展開できない。

しかしながら、㈱ロジック・リサーチのサポイン事例（第２章２節参照）を複数のメガ

7 ヒアリングを行った企業・大学などから承諾を得た活用事例のみを掲載。

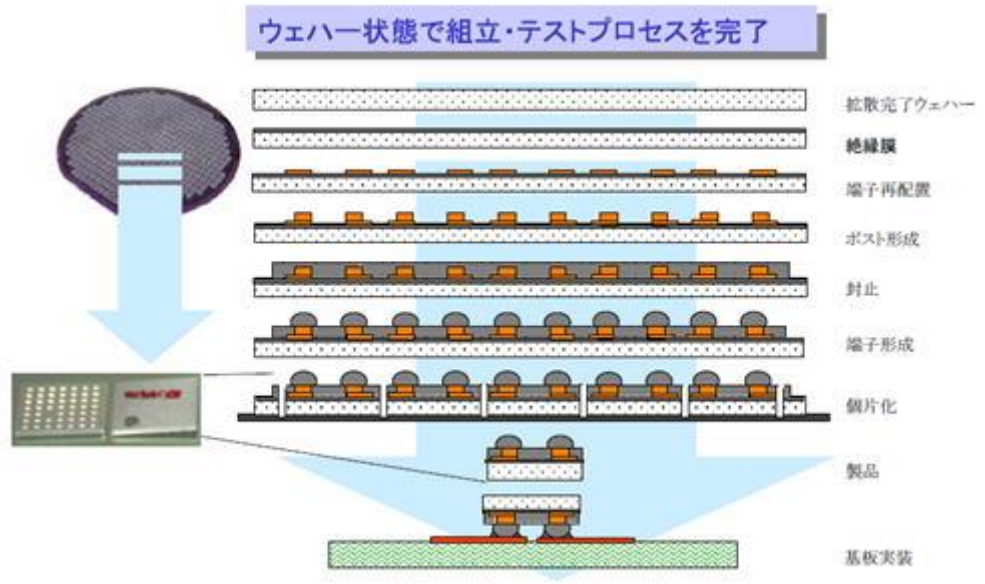
ファブ企業に提示すると以下に示すアイデア創出となった。

事例 1. シャトル・サービス を使用した WLP（Wafer Level Package）試作と電気的特性の課題解決に活用（アナログデバイスメーカ A 社）

a) シャトル・サービス を使用した WLP 開発時の課題

半導体デバイス開発時をシャトル・サービスで行っている企業は、WLP での電気的特性評価ができない。現状はリードフレームにワイヤーボンディングを行って評価している。なお、ボンディングのピッチは約 1 mm。

WLP ができない理由は、図 4.1 で示すように WLP はウェハ状態でパッケージして個片化する。したがって、シャトル・サービスの場合、ウェハ状態ではなく、個片化されたチップで納品されるので、WLP の組立ては不可能である。



出典：日本半導体歴史館

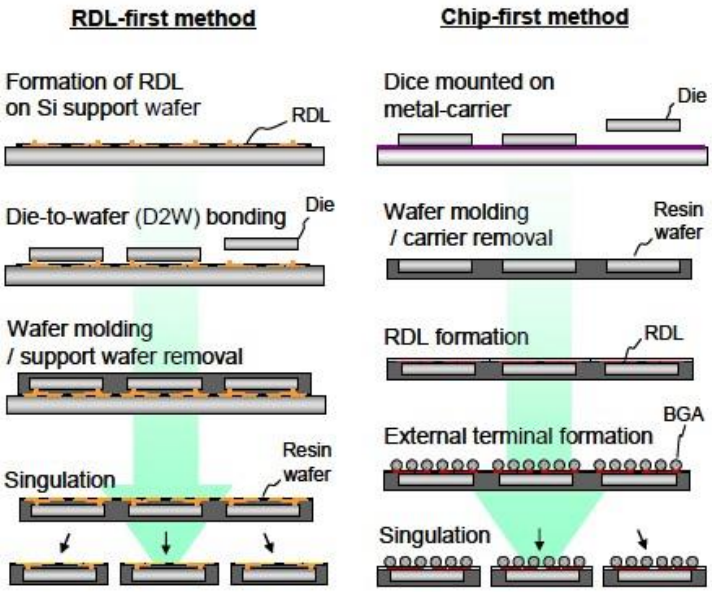
図 4.1 WLP の製造プロセス

b) ミニマルファブの課題

ミニマルファブの装置やプロセスには下記の課題がある。

- 図 4.2 に示す RDL-first、又は Chip-first のプロセス開発が必要。
- 電解めっき装置は、既存のミニマルめっき装置のようにウェハ裏面から電極を取るのではなく、ミニマル TSV めっき装置のようにウェハ表面からで取るように改造などが必要。

- UBM（Under Bump Metal）[8]層形成には無電解めっき装置が必要。
- 再配線はセミアディティブ法[9]のプロセス開発が必要。



出典：ETCT2011

図 4.2 FOWLP の製造プロセス

[8] Si チップ上の Al 電極にはんだバンプを形成するために介在させる金属層で、Al とはんだの反応を抑制し、膨張率を調整し、また応力を緩和し、かつ、はんだに濡れ、はんだ付けされるように複数層で構成される。

[9] シード層とレジスト形成後に電気めっきで配線形成する工法。

４．１．２　小ロット生産・変量変種生産での活用～宇宙用・MEMS・IoT デバイス

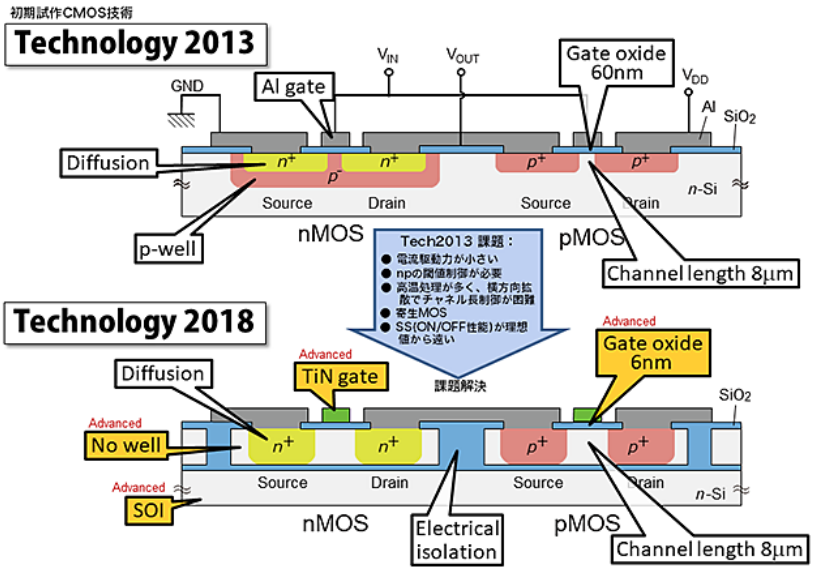
ミニマルファブ目的の一つとして多品種少量生産や変種変量生産がある。ヒアリング調査の結果、下記の団体や企業がこれらを目的にしてミニマルファブの活用や導入を行っている。

事例 1. 産総研と半導体開発協定を締結した宇宙航空研究開発機構（JAXA）

a)　JAXA のミニマルファブ活用

JAXA と産総研は、ミニマルファブの宇宙開発利用に関連する共同研究を実施しており、ミニマルファブで宇宙用を視野に入れた集積回路が製造可能であることを 2019 年 5 月に世界で初めて実証した。

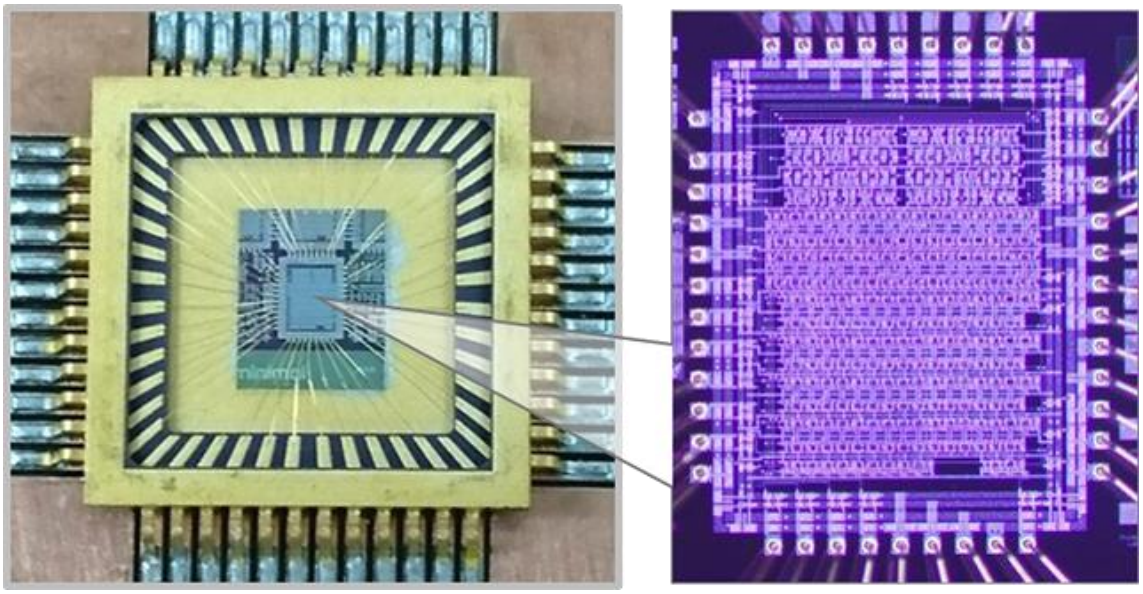
産総研は、Technology 2018 と呼ぶフルミニマル SOI[10]-CMOS、2 層アルミ配線プロセスを開発した（図 4.3）。JAXA は、多くの宇宙機開発において蓄積してきた集積回路の設計・製造にかかる知見を活用して、1000 トランジスタ規模の集積回路（4 ビットシフトレジスタ、及び I/O 回路を設計）を Technology 2018 のプロセスで試作し（図 4.4）、回路の正常な動作を確認することに成功した（図 4.5）。



出典：産総研

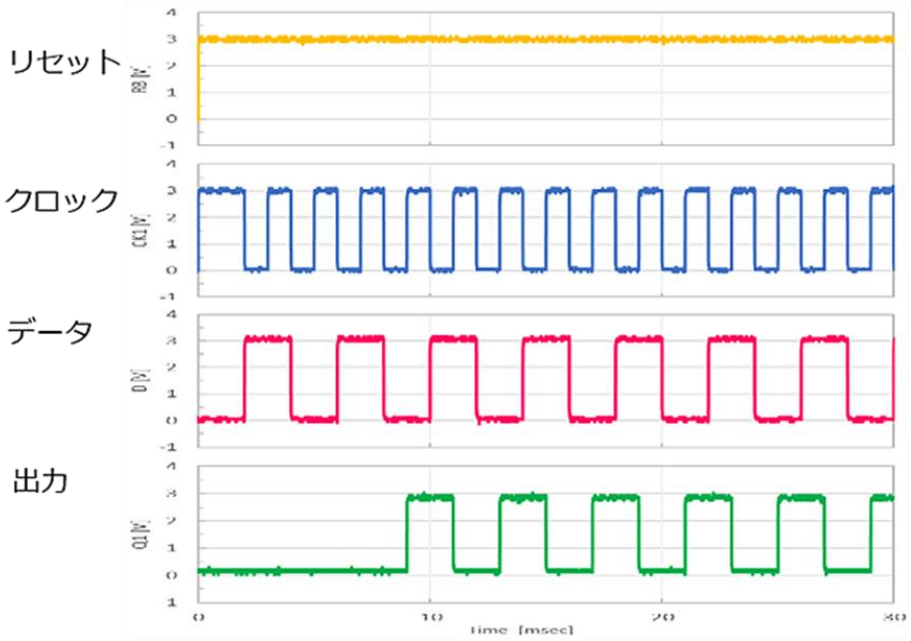
図 4.3 SOI-CMOS Technology 2018

[10] Silicon On Insulator の略。通常、IC は PN 分離により、それぞれの素子がチップ上に作り込まれる。SOI では、それぞれの素子間の分離は SiO2 膜を用いて行う。このため、従来、PN 分離で発生していた横方向や縦方向の寄生素子による IC の誤動作や破壊を防止することが可能となる（ウィキペディア）。



出典：JAXA

図 4.4 試作した集積回路（右）とそれをパッケージ化したチップ写真（左）

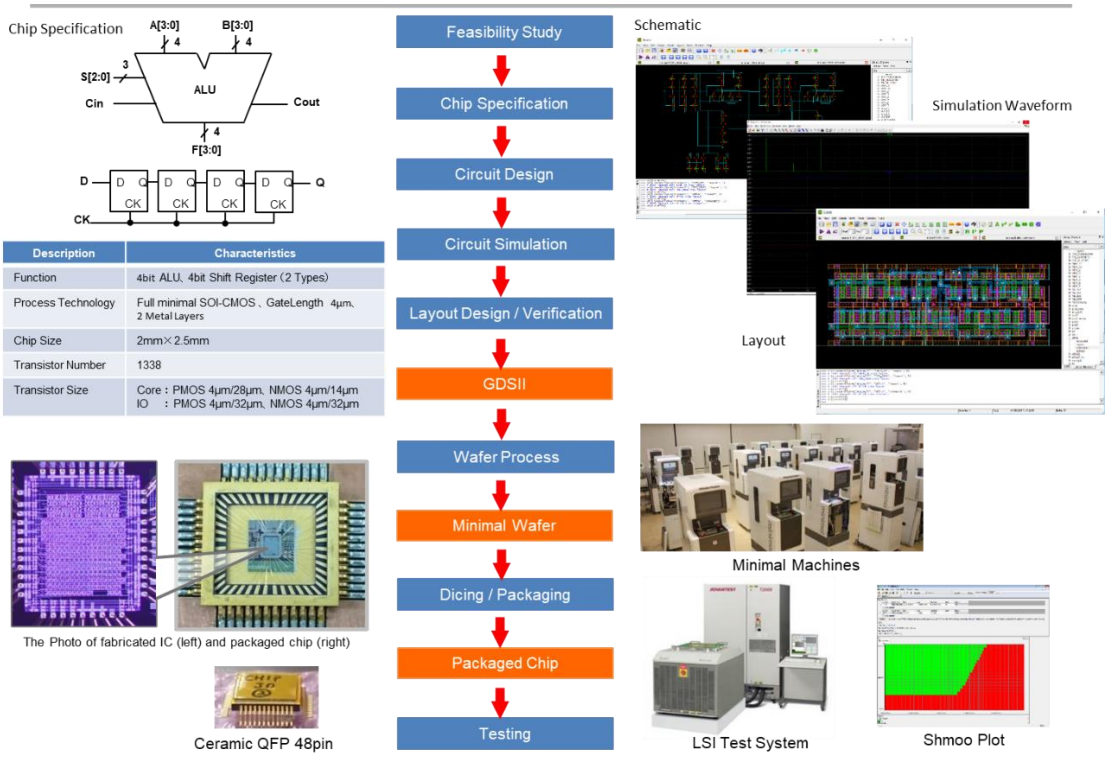


出典：JAXA

図 4.5 ビットシフトレジスタの測定結果

ミニマルファブにより一人のエンジニアが全プロセスを管理することができる。例えば、今回のミニマルファブによる実証は、一人の半導体設計者が、図 4.6 で示す半導体の設計から製造、更に評価テストまですべての工程を行った。

これによりミニマルファブを使用すれば、半導体の開発が従来方法より格段に速く安く行えることが明確になった。これは従来のメガファブでは不可能なことである。



出典：JAXA

図 4.6 ミニマルファブによる半導体製造フロー

さらに、宇宙用半導体のコスト削減にもなるので、ミニマルファブを手段として宇宙用半導体を開発する。宇宙用の半導体は 100 万円から数千万円と高い。よって、商用の小型衛星、超小型衛星コストアップになっている。

ミニマルファブの登場でユーザの選択肢が広がり、特に New Space[11]の人達が市場参入しやすくなり、結果的に宇宙産業自体が活性化する期待が高まる。

なお、ミニマルファブはイオン注入装置や減圧 CVD 装置がそろっていない、さらに EDA[12]ツールが不十分である。イオン注入装置に関しては、微細加工との絡みもあり、

11 従来の政府の主導によって進められてきた宇宙開発とは一線を画する異業種からの参入やベンチャー企業や民間宇宙団体等の新興勢力によって進められる宇宙開発（ウィキペディア）。

12 Electronic Design Automation：電子機器、半導体など電子系の設計作業を自動化し支援するためのソフトウェア、ハードウェア、及び手法の総称（ウィキペディア）。

必要である。

EDA ツールに関しては、どこまできっちり作り込むか程度問題のところもあるが、宇宙だと比較的若いエンジニアや大学生含め、半導体設計には少し不慣れな人達がミニマルファブを使って気軽に IC を作れるようになると世界が変わると期待している。要所を押さえたシンプルな EDA ツールが望まれる。なお、現状はフリーの EDA ツールで試作を行っている。

「ミニマルは古い技術の維持・代替ではなく、新しい技術の提案である」ということを今後はもっと意識してアピールすると話す。

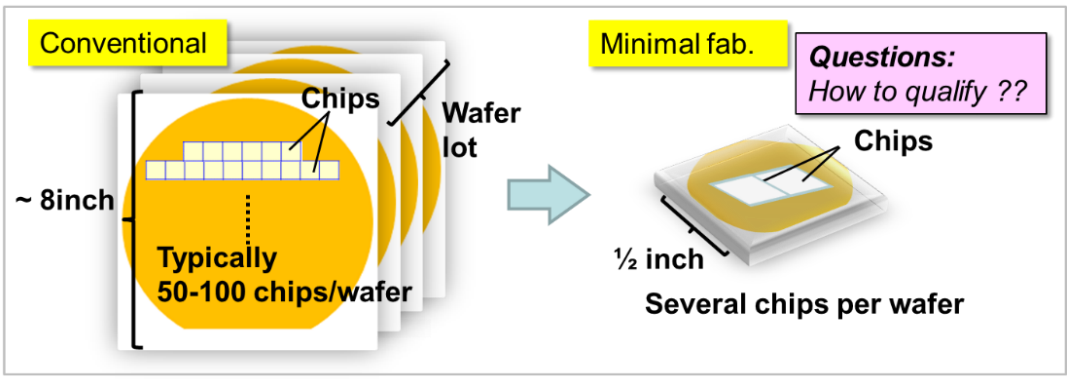
b) ミニマルファブに対するニーズ・意見

ミニマルファブで不足しているものは品質保証とパッケージ技術である。

メガファブは強大になりすぎて、全体のプロセスをエンジニアが管理することは不可能に近い。したがって、プロセス監査は各プロセスの変更管理に主体を置いている。

従来の宇宙機器認定制度では、QPL[13] / QML[14]制度に基づく認定試験や工程管理などが行われてきた。ミニマルファブシステムでは、製造ロットの定義が曖昧（図 4.7）なので、これまで実現できなかった新しい品質保証・管理手法が求められている。

JEITA-EDR-4711A[15]を参照しながら、ウェハをモニタリングするトランジスタをウェハ外周に埋め込む方法など、いくつかの新しいアイデアを現在調査中である。



出典：JAXA

図 4.7 従来、及びミニマルファブのウェハロットの概念図

c) 今後の方針

JAXA はミニマルファブによる試作実証から利用フェーズへ移行するために、2019 年 12 月、ミニマルファブ・スペースユーザ会を立ち上げた（図 4.8）。

本会の趣旨は、ミニマルファブを、宇宙用 IC 製造の革新的な手法として実用化し、同時に産業界へ広く普及させることを目指し、

---

13 qualified products list（認定品目表）
14 Qualified Manufacturers Lis
15 電子情報技術産業協会が規定する半導体の信頼性規格。

・ 宇宙利用ユーザとミニマルファブの距離を縮める。
・ 技術課題を協力して解決する仕組みを構築する。
・ 宇宙を中心に適用事例を集積し技術成熟度を高める。

2023 年にはミニマルファブ製造の半導体デバイスを宇宙空間で信頼性実験を予定している。

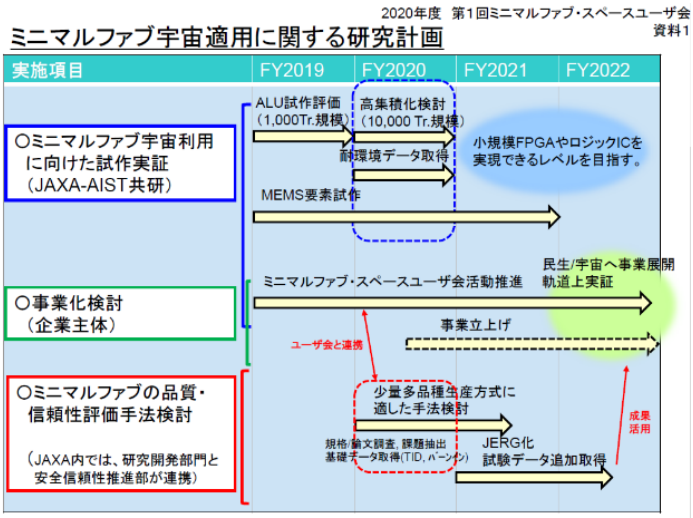
2019 年度の活動計画は：

・年度内に 3 回程度、当会を開催しディスカッションを実施
・JAXA 研究開発部門第一研究ユニットが事務局を当面受持ち、以下アウトプットをまとめ、ファブシステム研究会の場で共有する。

目標アウトプットは：

・ミニマルファブ利用が適する宇宙アプリケーションの具体化
・宇宙用（高信頼性用途）を想定した場合の課題リストアップとその具体的な解決策の提案
・軌道上技術実証に関する提案内容の具体化
・利用者視点からのミニマルファブに対する要望
・デバイス製造フロー、発注者と製造者の分担等を具体化

しかしながら、2020 年度は新型コロナ禍で十分な活動ができていない。



出典：JAXA

図 4.8 ミニマルファブ・スペースユーザ会の計画

事例 2. 宇宙用機器に搭載される半導体デバイス製造を計画している総合商社 B 社

JAXA は、研究開発を行った宇宙用途の半導体を量産して販売するビジネスはできない。そこで、B 社は、JAXA と連携して、宇宙用機器に搭載される半導体デバイスをミニマル

ファブで製造し、自社ブランドで発売する計画を持っている。B 社は宇宙用半導体デバイスの IDM[16] メーカをビジョンとしている。
事業化の課題として、下記が挙げられる。

・EB 装置、イオン注入装置、ポリシリコン CVD 装置の完成度
・共和電業が指摘した製造装置としてのミニマル装置の完成度
・事業として収益を望める宇宙用半導体デバイス市場の存在

メガファブ各社に取っては、宇宙用半導体デバイス製造は受注個数も少なく、うまみのないビジネスである。これをこの企業が一手に引き受けると、宇宙用半導体デバイスの低価格と安定供給が可能となる。なお、実用衛星に搭載される半導体の価格は 1 個が数百万円から数千万円と高価である。

事例 3. 多品種少量生産にミニマルファブを活用する株式会社共和電業

a) 企業概要

資本金 17 億 2,399 万円、東証 1 部上場。
ひずみゲージとその応用計測器は国内トップシェア。主に「自動車試験分野」「運輸・交通インフラ分野」「環境・防災・エネルギー分野」「工業計測分野」で使われる。カタログ品で数百種類に及ぶひずみゲージのラインナップがある。
測定器、ソフトウェア、システムも開発している。センサの種類はカタログ品で 1,000 型式以上、特注も作成、ほとんどがマニュアル製作。

b) ミニマルファブの要素技術に対する関心

共和電業の研究員は、 1 年間、産総研でミニマルファブの性能や可能性の調査を行った。その結果、共和電業の主力製品である加速度センサや圧力センサはミニマルファブを活用して開発や製造ができる可能性を持っていると結論付けた。デザインルールも 1 から 10um なので、ミニマルファブの露光装置で十分対応ができるという。

しかしながら、工場のラインで使用する製造設備としての評価は低かった。各装置を製造設備として 100 点満点で評価した結果は、最良の装置でも高々60 点と辛辣な内容だった。ただし、これはミニマル装置が使えないということではなく、試作向けには十分な性能を有しているとのことで、生産向けはさらに高いレベルが要求されるということである。

c) ミニマルファブに対するニーズ・意見

[16] 垂直統合型デバイスメーカ（Integrated Device Manufacturer）半導体製造メーカ。自社内で回路設計から製造工場、販売までのすべての設備を持つ統合メーカ（ウィキペディア）。

共和電業は、ミニマル装置を量産ラインでも使用できるようにする NEDO プロを 2019 年度から実施し、2021 年度で完了予定だ。これには、産総研が規定したミニマル仕様以外のカスタム仕様も含んでいる。

イオン注入装置は 200KeV が必要であるが、ミニマル装置は 30KeV と仕様を満たさない。ミニマル筐体では物理的に困難である場合は、例外として、複数ミニマル筐体やハイブリッドプロセス[17]を認めるべきだ。しかしながら、ハイブリッドプロセスの場合、クリーンルームが必要となりミニマルシャトルのコンセプトが生かせない。

ミニマルファブを製造ライン装置とした場合、現状の装置完成度ではラインストップの懸念がある。この対応を各装置メーカには望むという。

d) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

共和電業は、現在、コータ、露光機、現像機、微粒子測定、及び CAD ツールとして LAVIS-Plus を既に導入済である。2020 年度は、Al スパッタ、レーザ加熱、抵抗加熱、ウェハ反転装置を導入予定している。

NEDO プロ終了後は、約 100 平米の R&D ラインに DRIE[18]や洗浄装置、ベーク炉を含むミニマルファブ設備を設置予定だ（図 4.9）。

なお、教育設備としてミニマルファブは大変素晴らしい。大学院の新卒は、半導体の専門ではなかったが、産総研での 1 年間の実習で半導体の全プロセスを習得した。このような教育はミニマルファブ以外では不可能だった。

e) その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルのビジネスモデル含む）

センサの種類は、カタログ品が 1,000 型式以上あり、正にミニマルファブが目指す多品種少量生産に適する。今後、ミニマルファブ R&D ラインで開発した製品は、同じプロセスレシピで、ミニマルファブ量産ラインで製造を目指す。現状では 0.5 インチ 1 枚から約 10 個のセンサが取れる。

現状、アンプ内蔵型センサを駆動する LSI は外注しているので、供給不安がある。ミニマル装置を活用すると駆動回路も組み込むことができる。これら LSI の内製化もミニマルファブで目指す。

---

17 従来の装置とミニマルファブの装置を混在して使用すること。

18 Deep Reactive Ion Etching （深堀エッチング装置）

出典：日刊工業新聞 2020/7/22

図 4.9 共和電業ミニマルファブ導入

事例 4. 自社装置の専用半導体を考えている半導体装置メーカ C 社

a) ミニマルファブの要素技術に対する関心

このメーカはミニマルファブの装置を幾つか保持している。これらの装置と自社で保有している成膜装置などのハイブリッドで配線パターンなどを試作している。ミニマルファブはトライ＆エラーを繰り返して迅速に開発できるコンセプトが自社に合っているという。

b) ミニマルファブに対するニーズ・意見

このメーカのラボ管理者によると、チョコ停などが多数あり、ミニマルファブは課題が山積である。以下はその一部である。

- コンセプトは素晴らしいが早く進化したデバイスを作り上げるべきである。
- 現時点は研究開発用途である。しかしながら、装置の完成度が低いので、装置販売は厳しい。例えば、PLAD は設計をやり直さないと CE マークを得ることができない。
- 一発モノのプロットタイプの製造をメインにしている装置メーカが多く、量産機としてのコンセプト（例えば、保守メンテの容易性など）で設計がされていない。
- 装置開発が国の補助金頼みになっている。
- 量産に対応できるウェハ供給体制が成されていない。
- ミニマルシャトルは局所クリーン化として疑問である。長時間シャトルを放置すると真空度は落ちてパーティクルが発生する。窒素封止すべきである。

c) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

ミニマルファブ導入目的は、自社装置に実装するカスタマーIC の内製化である。さらに、自社装置を差別化する MEMS センサを開発して、装置のモニタリングを行う FDC[19],APC[20]などへの 用途を考えている。

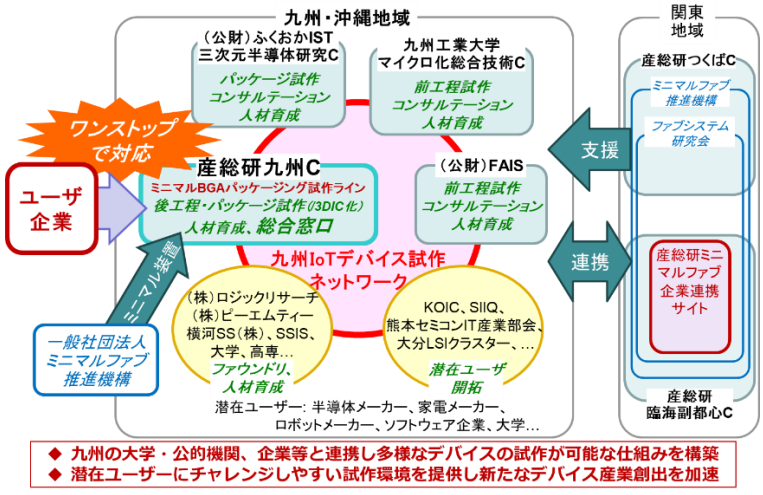
事例 5. My-IoT プロジェクト（九州大学）

a) ミニマルファブとの連携可能性

産総研九州センター長と九大の井上先生は、2021 年 1 月 27 日に産総研九州センターで、My-IoT プロジェクトと九州 IoT デバイス試作ネットワーク構想（図 4.10 参照）との連携について協議を行った。

結論として、My-IoT とミニマルファブをつなげて新しいエコシステムの可能性がある。My IoT コンソーシアムは、出会いの場（ハード、ソフト、ニーズ、ウォンツ）である。これにより各研究者や各企業の人と人とのマッチングが行え、My-IoT プラットフォームにより研究開発と社会実装をアジャイル的に行うことができる。

なお、九大井上先生は、九州大学 システム LSI 研究センター センター長も兼務されているので、システム LSI 研究センターとしての連携の可能性もある。



出典：産総研九州センター

図 4.10 九州 IoT デバイス試作ネットワーク構想

[19] Fault Detection and Classification。それぞれの半導体製造装置出力のモニターを行い、異常を検出した場合、その結果を統計的に処理することにより異常の種類を分類する技術。

[20] Advanced Process Control。半導体製造プロセスのバラつき変動や経時変化などをフィードフォワードなどによって制御する技術や装置の総称。

４．１．３　EOL 品での活用～多種の半導体から MEMS までミニマルストアで対応

ミニマルファブの目的の一つとして、以前から半導体の EOL 品[21]などの供給不安に対する用途が挙げられていた。今回のヒアリング調査の結果、具体的に下記の企業がこれらを目的にしてミニマルファブの活用を検討している。

事例 1. 消耗品のガラス電極が生産中止になるセンサメーカ D 社

a)　ミニマルファブの要素技術に対する関心

この企業のあるセンサは消耗品のガラス電極を使用している。しかしながら、このガラス電極は、白熱電球、蛍光灯の製造中止により、ガラスメーカがこのセンサ用の専用ガラス電極の製造中止を宣言した。この代替として、ガラス電極を使用しないセンサの開発を計画している。

このセンサは少品種少量生産であるので、ミニマルファブが最適であると考える。更に魅力的な点は、ミニマルファブであれば、試作を早く廻せることである。

b)　ミニマルファブに対するニーズ・意見

このセンサのプロセスには、ミニマルファブの課題であるポリシリコンやイオン注入、及び EB 露光は不要である。しかしながら、一部の成膜がミニマル・スパッターではできない。現状は、メガファブのハイブリッドを予定している。

c)　ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

2021 年度は産総研でこのセンサ試作を何サイクルか実施する。その結果で、次のフェーズに進む。

d)　その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルのビジネスモデル含む）

今後は、このセンサを足掛かりにしてミニマルファブで半導体センサのプラットフォームを構築する。これにより、まだ実用化されていない半導体センサの開発を行う。

東大ミニマルファブ・オープンラボが開所したら、東大との共同研究による半導体センサ開発も視野に入れる。

D 社はファブレスのメーカなので、例え、ミニマルファブでセンサなどが量産可能となっても、自社ではミニマルファブラインを持たない。量産は、ミニマルファブのラインを構築される企業へ製造委託を予定している。

測定器のライフサイクルは大変長く、使用している半導体の継続的な供給が問題になっている。例えば、4 ビットの CPU は在庫がなくなったら測定器を製造できない。この

[21] End of Life：半導体製造メーカが製造を打ち切った半導体。

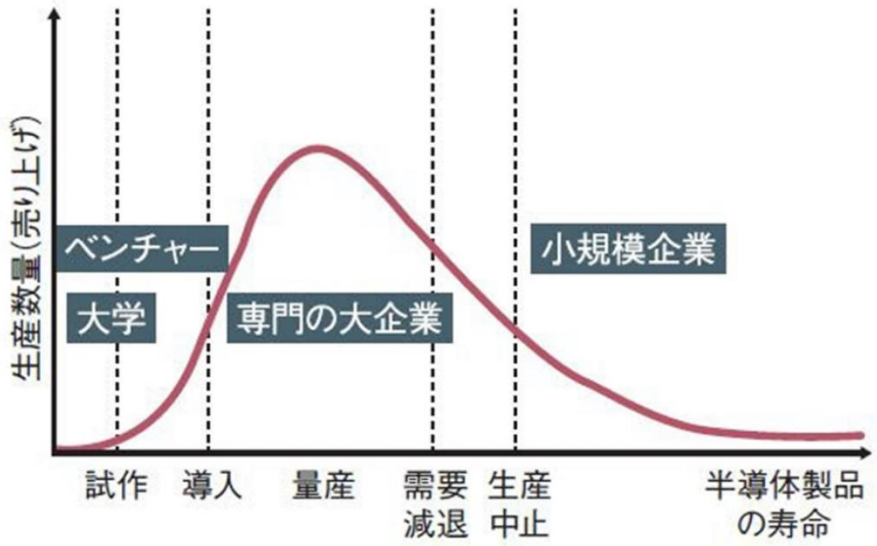
課題解決のために、8 ビットの CPU を使えるように設計変更を行っている。将来、ミニマルファブでロジック系半導体製造（100 個/年）が可能になることを期待している。

事例 2. EOL 販売の独立系のエレクトロニクス E 商社

a) ミニマルファブの要素技術に対する関心

図 4.11 は半導体製品の寿命と生産数量を示す。生産中止となった EOL デバイス販売はメガファブから押し付けられた在庫を持ったビジネスではなく、ミニマルファブの強みであるマスクレスを活用した、顧客が必要とする時に必要な数の EOL デバイスを供給することが可能と思われる。

さらに、日本の半導体産業はゼロにはならないがシュリンクしているので、儲からないデバイスは早期に EOL にする可能性が大いにある。ミニマルファブに対する EOL ニーズはあると思われる。



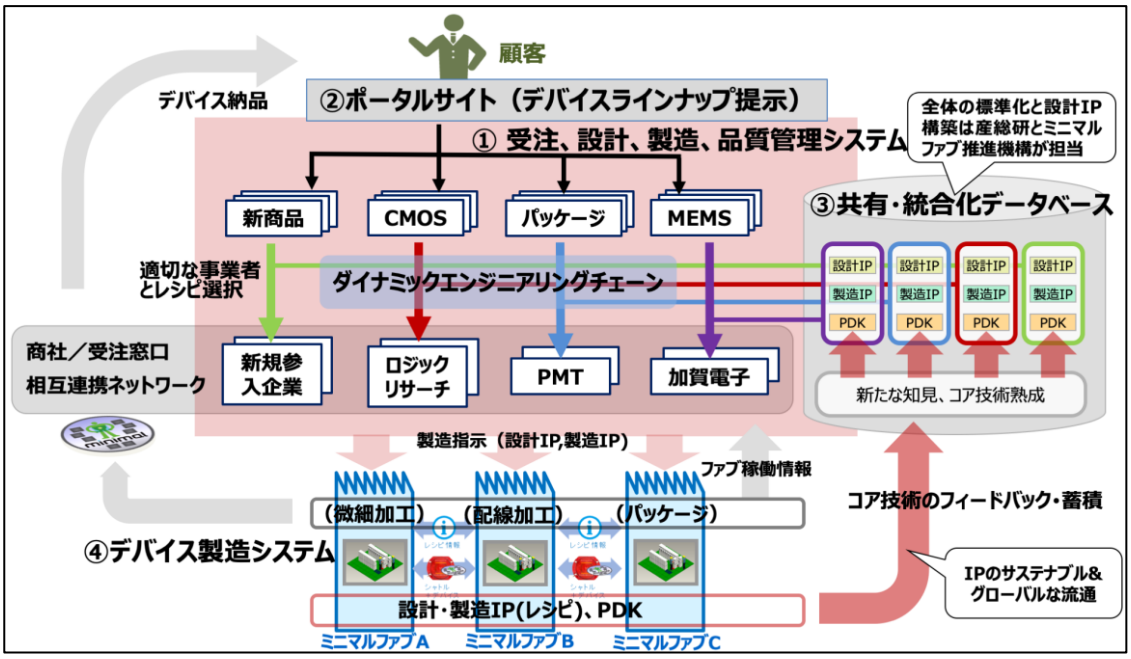
出典：日本経済新聞　2016 年 10 月 26 日

図 4.11 半導体の一生

b) ミニマルファブの活用可能性

この商社の強みは、最終製品の企画から、モジュール製造・販売まで半導体の技術商社としてのエコシステムを持っている。このエコシステムにミニマルストア[22](図 4.12)が加わることはビジネス化に向かって良い方向である。

[22] ㈱ロジック・リサーチは 2020 年度からスタートした NEDO プロジェクト「デバイス製造に関する



出典：㈱ロジック・リサーチ

図 4.12 ミニマルストア構想

今後、ミニマルストアのプラットフォームを活用して、どのようなビジネスモデルを創出するかが今後のキーポイントである。なお、この商社としては、ミニマルファブラインを持つ予定はないが、ラインを持つ会社へ出資することは可能と話す。

事例 3. 自社使用半導体の内製化を考えている産業機器メーカ F 社

a) ミニマルファブの要素技術に対する関心

SOI メタルゲート CMOS プロセスの進捗や IP やライブラリーの対応、あるいは設計ツールの対応などの最新状況、及び米国でのチップレット（4．1．5参照）状況とミニマルファブ後工程について関心を持っている。

b) ミニマルファブに対するニーズ・意見

このメーカの困り事は、新規のある産業機器システムを開発する場合、ASIC[23]を新規に 5 から 6 デバイスの開発が必要となる。現状の開発費用は、40nm の ASIC でも回収

ダイナミックエンジニアリングチェーンの構築」でこのプラットフォームを構築する。

[23] Application Specific Integrated Circuit：特定の用途向けに複数機能の回路を 1 つにまとめた集積回路の総称である（ウィキペディア）。

が難しいくらい高額なものになり、かつ改版時には多額の費用の追加とマスクリメークのための時間が必要になる。

しかしながら、日本の半導体メーカの凋落で、これも難しくなるとの見方がある。よって、この機器用の ASIC 開発をミニマルファブの CMOS プロセスで行うことを検討している。

そのためには、数百万ゲートの回路を C-MOS で実装することが必要となり、EB 露光装置の開発がキーとなるので、今年 3 月の EB 露光装置のリリースを期待する。

c) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

2021 年度は JAXA が EB 露光装置で 0.25μmCMOS プロセスを開発予定である。これが上手く行けば、数百万ゲートはムリにしても、このメーカのニーズには近づく。

d) その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルファブのビジネスモデル含む）

将来的には、チップレットをミニマルで希望されている。プロセッサや通信など IP で提供されていた機能をチップとして購入してミニマルファブで作ったロジックと組み合わせれば、微細化への対応や IP の提供といったミニマルファブの課題がすべて解消される。その場合、マルチチップ間の遅延などが課題となるので、チップレット専用の EDA ツールが必要である。

事例 4. 自社使用半導体の EOL を懸念している医療機器メーカ G 社

a) ミニマルファブの要素技術に対する関心

研究開発は、1 プロジェクトで期間は 5 年程度、予算は数億～10 億円程度で実施している。半導体関連の研究開発要素としては、バイオセンサデバイスや他反応系、光学系の構築などが対象となる。医療機器になるので、薬機法対応などを含むと長期の研究開発となり、製品化後も部材確保が長期に及び、15 年ほど必要となるケースもある。薬機法により、部材変更は簡単にできず、時間とコストがかかるものとなっている。また、市場出荷数も大きなものではない（病院向け大型機の販売数は、100～1000 台程度）。

上記の理由で、近年は半導体企業との連携による研究開発が難しくなっている。半導体企業と医療機器開発企業では研究開発、事業化の想定期間について、折り合いがつかない状況になっている。よって、自社でもクリーンルームを保有し、ある程度の設備を導入、微細加工(数十 μm 程度)なども対応可能にはなっている。しかしながら、それ以上の研究活動は半導体企業と連携するしかない。そのため、研究開発部材の自主試作による研究開発サイクルの短縮化と EOL 製品の製造に強く興味を示している。

b) ミニマルファブに対するニーズ・意見

- 研究開発サイクルの短縮化（研究開発用部材の試作：センサ・LED 等）

- EOL 製品の製造
- 抗体・遺伝子系のセンシング技術開発
- ターンキー的な、簡易な操作対応が必要
- ミニマルファブによる短納期試作サービスの実施
- ミニマルファブのレンタルサービスの実施

c) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触&当方の所感&次のアプローチ戦略含む）

半導体部材の自主試作、製造は、メディカル関連企業にとって、大きなニーズであると考える。しかしながら、半導体技術に精通した人材の確保や運用は大きな課題となる。そのため、ミニマルファブの短期試作サービスや、ミニマルファブ設備のレンタルサービスなどの検討は必要である。

４．１．４　新構造・新材料デバイスでの活用～ミニマルオリジナルプロセスの活用

ミニマルファブは、メガファブと競合しても勝ち目はない。全く新しいコンセプトでデバイスを作ることも必要だ。例えば、全く違う構造の MOSFET など。

ミニマルファブは装置開発が先行しているが、ALD やグラフェンなど、これらのプロセス装置が必要となるデバイス構造を設計するべきである。

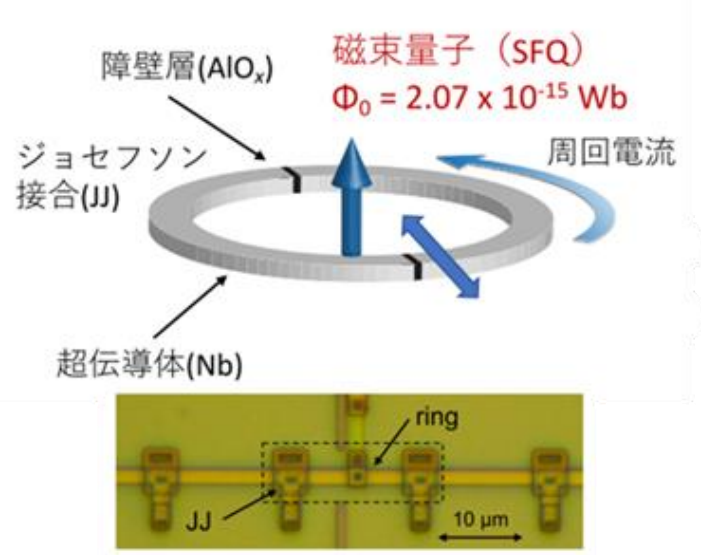
今回のミニマルファブ市場調査ヒアリングでこのような、意見を多く得た。この可能性を持っている事例を以下に述べる。

事例 1. 世界最先端の単一磁束量子集積回路開発を行う名古屋大学

a) 研究プロジェクトの概要

名古屋大学（名大）は、ジョセフソン効果を使用した超伝導回路の一つである単一磁束量子（SFQ）回路の研究を行っている。なお、SFQ 回路は、量子力学の重ね合わせを利用した量子計算回路とは異なり、これまでと同様に 0・1 を利用した汎用のデジタル回路である。

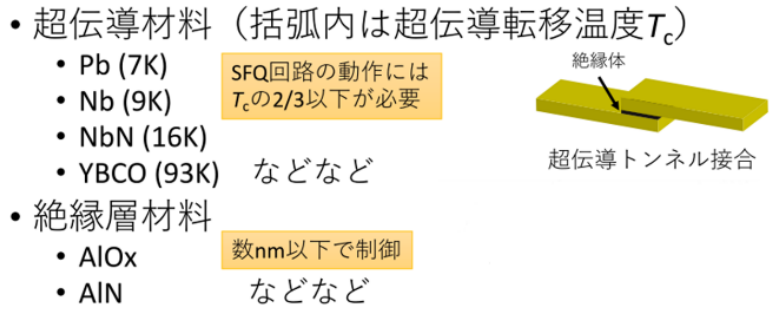
SFQ 回路は図 4.13 に示すようにジョセフソン接合（JJ）を含む超伝導リングを連結させ、超伝導リング内に保持される磁束量子の有無を情報担体とする超高速デジタル回路である。



出典：名大

図 4.13 単一磁束量子（SFQ）回路

ジョセフソン接合とは、図 4.14 に示すように、超伝導材料と絶縁層材料で構成されている。名大は、超伝導材料として Nb（ニオブ）、絶縁層材料として、AlOx（アルミの酸化物）を使用して、Nb/AlOx/Nb 構造の JJ を用いている。



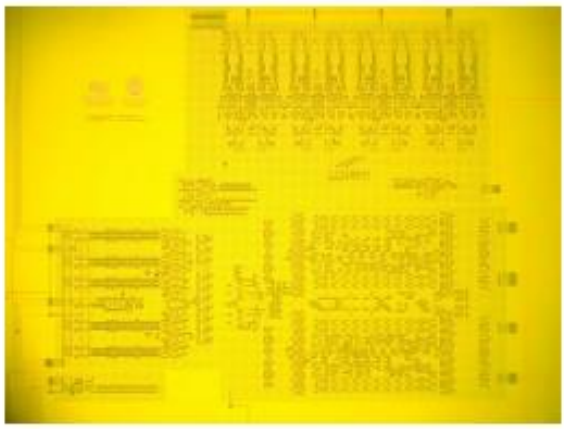
出典：名大

図 4.14 ジョセフソン接合

図 4.15 には動作実証に成功した SFQ 集積回路を示す。
この回路は下記の特徴を持っている。

- 100GHz 級の超高速回路
- 通常のデジタル回路（汎用）として使用可

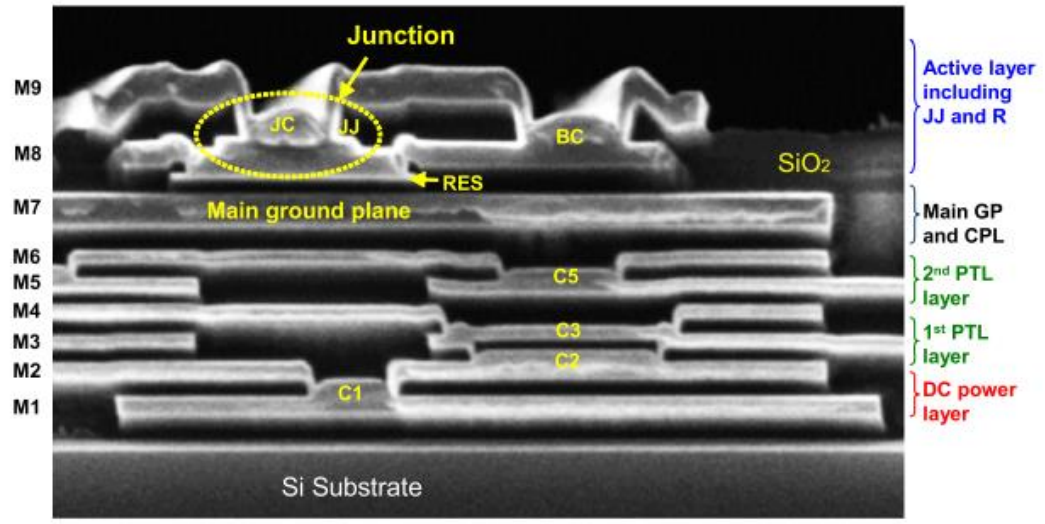
- 低消費電力（半導体比 1/1000）
  なお、動作温度が 4K(-269.1℃)なので、冷却エネルギーを考慮すると現状のエネルギー効率はトントンか 1 桁優れた程度。いっそうの SFQ 回路の低エネルギー化については研究中。
- 最大 25,000 JJ 規模の集積回路が動作実証に成功。これは 6K トランジスタに相当
- チップサイズは 7～10mm 角。
- 最小線幅は 1.0μm



出典：K. Ishida, et al., “32 GHz 6.5 mW gate-level-pipelined 4-bit processor using superconductor single-flux-quantum logic,” 2020 IEEE Symposium on VLSI Circuits, USA, Jun 2020.（九大と名大による共同設計）

図 4.15 動作実証に成功した SFQ 集積回路

デバイス構造としては、図 4.16 に示すように、9 層プロセス（超伝導の膜が 9 層）で製造している、配線は 2 層で Al ではなく Nb、抵抗は Mo（モリブデン）。SiO_2 は PECVD で製膜。基板は 3 インチのバルクシリコン、500μm 厚である。



出典：NAGASAWA, Shuichi, et al. Nb 9-layer fabrication process for superconducting large-scale SFQ circuits and its process evaluation. IEICE Transactions on Electronics, 2014, 97.3: 132-140.

図 4.16 SFQ 集積回路のクロスセクション

この製造プロセスは既存の半導体製造装置と同様のプロセスであり、基本的にはスパッタ法による成膜、i 線ステッパによるパターニング、RIE エッチング、クリーニングとオートプローブによる検査工程を経て作製される。

スケーリング則は通常の半導体と同じように成り立つ。Nb/AlOx/Nb 接合では 0.1μm 程度までスケーリングは可能である。しかしながら、これ以上、消費電力は下がるが速度は向上しない。

b) ミニマルファブに対するニーズ・意見

現在、名大は SFQ 集積回路の設計を行い、製造は産総研の CRAVITY の 3 インチラインに製造委託している。製造期間は約一ヶ月ほどであるが、R&D ラインなので、設備機器の老朽化などによる装置トラブルなどでスケジュールが大幅に遅れることがある。名大の試作は 4～6 回/年、他の研究プロジェクトの試作を合わせても 10 回/年程度である。このように産総研 3 インチラインの空きも少なくなっている。

SFQ 集積回路は、名大・九大・横国大で共同研究を行っており、1 回の試作で 9 種類程度のチップを製造する。この内、1 つはプロセス評価用で他の 8 種類を 3 大学で分けて評価を行っている。

課題は、歩留りも悪く、ジョセフソン接合の欠陥が 1000～1 万個に 1 個ある。この原因は不明である。

ミニマル装置であれば、恐らく数日で製造できるので、POC を短期間で廻すことにより研究開発のスピードが向上することが期待できる。

c)　ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

SFQ 集積回路は日米中で研究開発中であるが、日本が圧倒的優位な立場である。この開発研究をミニマルファブで行うことは意義がある。

これまで、化合物半導体をミニマルファブで製造する時の課題は、MOCVD とイオン注入装置がないことであった。SFQ 集積回路はこれらを必要としない。

しかしながら、課題として、多元のスパッタはあるが、Nb/AlOx/Nb は実績がなく、コンタミの可能性がある。また、ミニマルファブの ALD は Nb/AlOx/Nb をより欠陥が少ない製膜できる可能性を持っている。

ジョセフソン接合の障壁層に磁性体（11%Ni-Pd）を DC-スパッタで作成した、磁性ジョセフソン接合を導入した SFQ 回路の高度化、高機能化にもトライしている。これもミニマルファブでの可能性がある。

d)　その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルファブのビジネスモデル含む）

まずは、産総研と SFQ 集積回路試作可能性の議論を緊急事態宣言解除後につくばで行う。

化合物半導体なので、産総研のミニマルファブを使用するとコンタミの可能性があるので、国プロなどを立ち上げて、SFQ 集積回路専用のミニマルファブラインを構築すべきである。

事例 2. 日本で初めての試みであるマテリアル開発から実施してニューロモルフィック半導体開発を行う九州工業大学

a)　研究プロジェクトの概要

ニューロモルフィックとは、脳の神経回路における 非線形な電気的振る舞いを電子回路（集積回路）でまねて、 脳の情報処理機能の解明に役立てるとともに、効率のよい情報処理システムを構築しようとする考え方である。

九州工業大学（九工大）は、この研究を行うニューロモルフィック AI ハードウェア研究センターを 2020 年 4 月にオープンした。

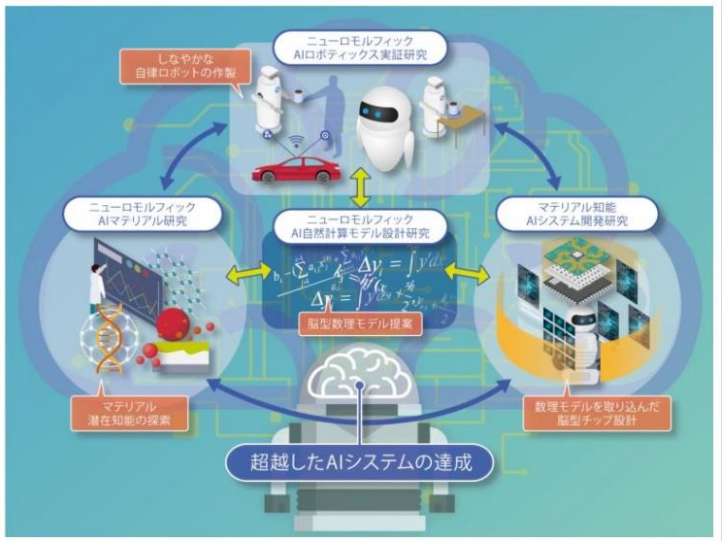
この研究センターの大きな特徴は、マテリアル開発から実施して AI ハードウェアの研究開発を行う。このようなアプローチは海外では既に開始されているが黎明期であり、日本では初めての試みである。

このセンターの研究内容は、図 4.17 に示すような下記である。

- デジタル計算機とソフトウェアベースの AI システムをハードウェアで補完し、相補的に発展させることを目指す。
- マテリアルの潜在的能力を引き出す「マテリアル知能」研究を中心とした、材料・デバイス・回路・システム・アルゴリズムの各研究分野が連携し、ニューロモル

フィック AI ハードウェアの研究開発を推進し、超高効率・高性能な AI システムを目指す。

- あわせて、脳科学の知見を生かした脳型ハードウェア研究にも力を注ぐ予定。
- 現在の AI システムをはるかに超越する次世代システムの実現を目指す。



出典：九工大

図 4.17 ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センター研究内容

具体的なニューロモルフィック半導体開発は下記を計画している。

- 各種材料の AI デバイス開発
- スピントロニクスによる AI デバイス開発
- ナノデバイスによる AI デバイス開発と提案
- 光デバイス材料による AI デバイス開発
- 誘電体材料による AI デバイス開発と評価
- ニューロモルフィック AI 回路チップの開発
- 自動ロボティクスへのニューロモルフィックＡＩ回路チップの応用

b) ミニマルファブに対するニーズ・意見

- 試作を短期間で、安価に実施したい。
- ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センターにステッパ導入を予定している。現有の北九州学研都市クリーンルーム設備とのハイブリッドで対応したい。

c) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

- 九工大に、ミニマルファブを導入したい。ファジィシステム研究所と FAIS[24]が連携することにより導入は可能かもしれない。現在、FAIS が保有しているナノテ

24 公益財団法人　北九州産業学術推進機構

クプラットフォームは、文科省予算でファジィシステム研究所の研究員が常駐して運営している。

- 他の方法として、九工大のニューロモルフィック AI ハードウェア研究センターと環境エネルギー融合研究センターが連携すれば、九工大独自予算の獲得の可能性もある。

４．１．５　試作サービスでの活用～研究開発・小ロット生産のサポート

試作サービス用途として、既に横河ソリューションサービス㈱がデバイス試作、㈱ピーエムティーがパッケージ試作を行っている。

事例 1. チップ試作サービスを提供する横河ソリューションサービス㈱

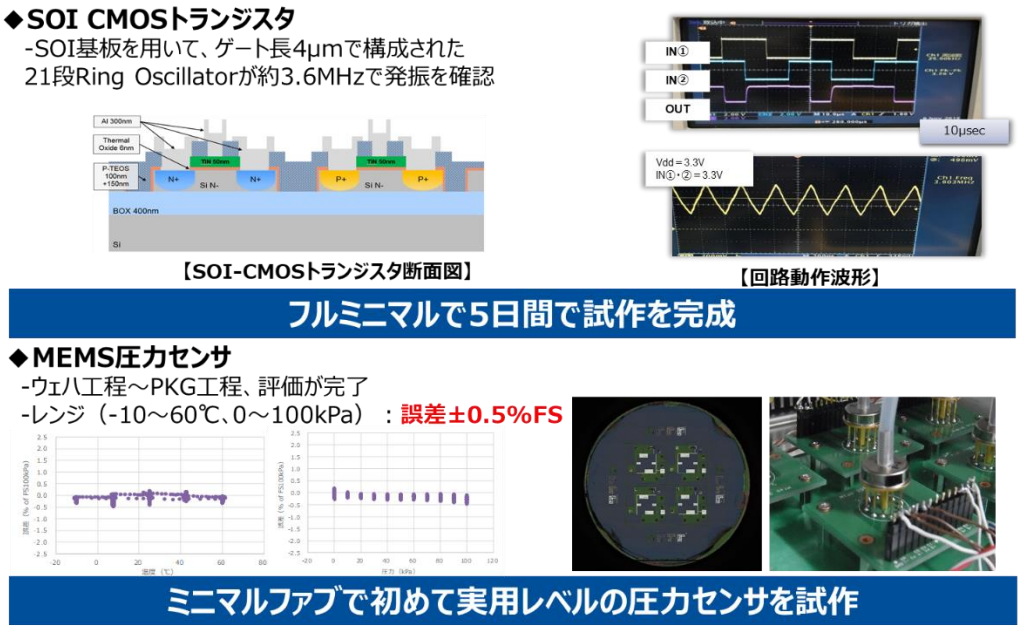
横河ソリューションサービス㈱（横河 SS）は、ミニマルファブのコンセプトに共感を持ち、ミニマルファブの黎明期からミニマル装置販売&保守メンテを目的に参加している。ファブシステム研究会への入会当初は、ミニマルファブの装置を理解するために、数名のエンジニアを産総研へ数年派遣させ、産総研と共にプロセス開発や装置メンテを行っていた。これらをベースに武蔵野本社内に世界初のミニマルインキュベーションセンター「横河ミニマルアプリケーションラボ」を 2016 年 4 月 1 日からオープンし、デバイスの試作やプロセス開発、エンジニアのトレーニングなどに提供をはじめた。

この試作ラボは、約 80 平米の広さに、ミニマル装置が 25 台設置されている。これらの装置の中には横河がメーカの開発を支援しているスパッタ、蒸着装置、RCA 洗浄装置もある。

9 名のエンジニアが顧客の試作対応を行っている。試作実績として、LSI は産総研が開発した SIO メタルゲート、MEMS は圧力センサ、MEMS ミラー、マイクロ流路、光導波路、ガスセンサ、MEMS スイッチ、表面弾性波フィルター（SAW フィルター）などがある（図 4.18）。

なお、イオン注入が必要なデバイスは、外注して、ミニマルファブとのハイブリッドで試作を行っている。

試作件数は年間 20 件程度で、価格は数十万円から数百万円程度。

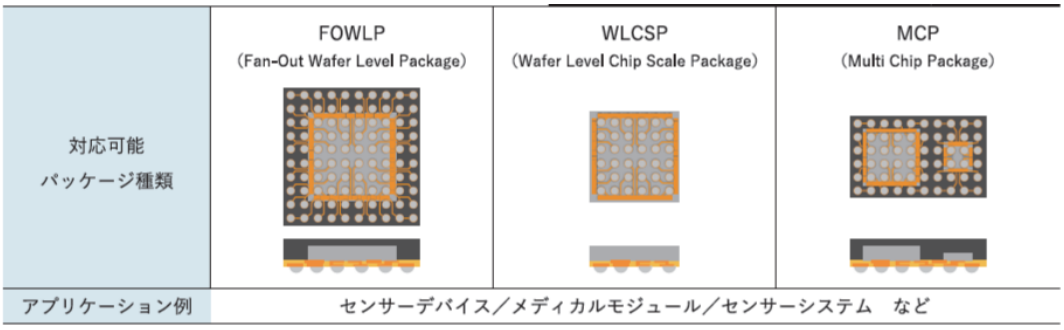


出典：横河 SS

図 4.18 横河 SS 試作事例

事例 2. パッケージ試作サービスを提供する㈱ピーエムティー

㈱ピーエムティー（PMT）は、ミニマルマスクレス露光の開発以外に 2019 年 2 月から FOWLP など(図 4.19)のパッケージ試作のファウンドリビジネスを新たにスタートした。エンジニアは、半導体メーカを退職したシニアなどで構成されている。



出典：PMT

図 4.19 PMT パッケージ試作

パッケージ試作に必要な設備は、一般社団法人ミニマルファブ推進機構からミニマルファブのコータ、露光機、現像機の 3 台を借用し、他はミニマル筐体ではない 0.5 インチ対

応の装置を自社開発や購入した。なお、スパッタ、ダイシング、バックグライディング、はんだボール搭載の各プロセスは外注で行っている。

ミニマル装置以外の装置もあるので、試作ラボは、約 100 平米のクラス 10K[25]クリーンルームになっている。

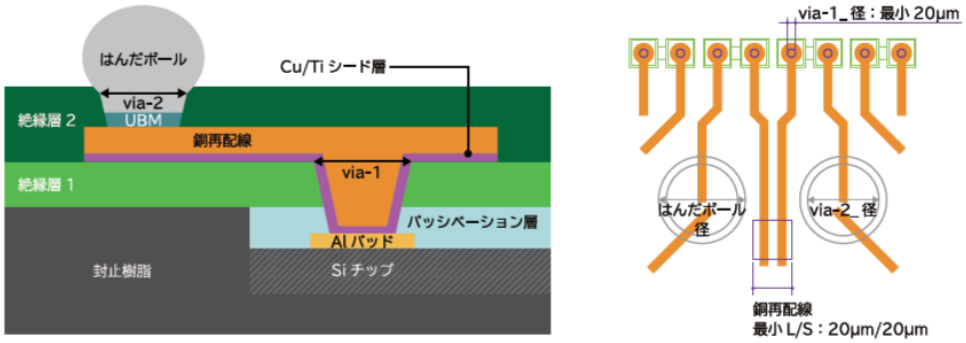
PMT は PDK（図 4.20）を顧客に開示し、図 4.21 に示すビジネスフローで試作サービスを行っている。

試作実績としては、アナログ IC 向けのローエンドの FOWLP をメインとして、価格は数百万円、年間 10 件程度を受注している。今後の課題として、生産能力を増やして、多くの試作を受注して収支改善を予定している。

デザインルール		
はんだボール	ボール径	150-500μm
	材質	Sn-Ag-Cu
	ボールピッチ	≧250μm

銅再配線 (Cu RDL)	層厚	3-10μm
	抵抗(Rs)	10-20mΩ/sq
パッケージ	厚さ	80-800μm
	サイズ	1.0-14.1mm (sq)

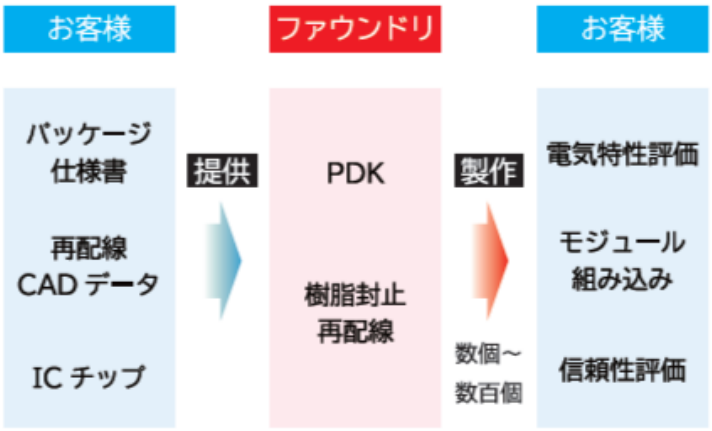
※ 表中の数値は 2020 年 12 月現在のデザインルールから抜粋したものです。最新の情報や詳細はお問い合わせください。



出典：PMT

図 4.20 PDK の抜粋

[25] 0.5μm 微粒子が 1 立方フィートの中に 10K 個以下。



出典：PMT

図 4.21 ビジネスフロー

４．１．６　教育での活用～オープンラボとプロセスインテグレータ育成

ミニマルファブは株式会社共和電業の事例でも述べたように教育的な価値もある。中国の日本法人事例を述べる。

事例１：中国向け半導体教育ビジネスを模索する中国系 EMS メーカ H 社

この企業は中国における半導体教育に関心を示している。例えば、ミニマルファブラインを都心に設置して、中国のエンジニア向けに、e-ラーニングで、半導体プロセスを学習し、その後、半導体製造演習として、日本で、自ら半導体製造を体験する教育ツアーなど、半導体製造の実技ができるのは、ミニマルファブを使用しないと不可能であるという。

このビジネスモデルは中国全土から 400 万人のエンジニアが登録している教育会社と連携すれば、事業化の可能性があると考えている。

４．１．７　海外～ロードマップ掲載とデモ機設置の提案

事例 1. Heterogenous Integration Road（HIR）に記載されたミニマルファブ

集積回路の発明から 50 年以上が経過した。ITRS[26]は 1991 年の設立以来、業界の進歩の指針であり、ムーアの法則[27]とスケーリング則[28]に沿った技術の進歩を予測していた。

しかしながら、ムーアの法則の経済性とパフォーマンスは図 4.22 に示すように明らかに停滞している。左へのグラフが 40 年の DRAM 能力と密度の減速を示す一方、近年横ばいになることによって、右へのグラフは 40 年のコンピューティング性能を示す。

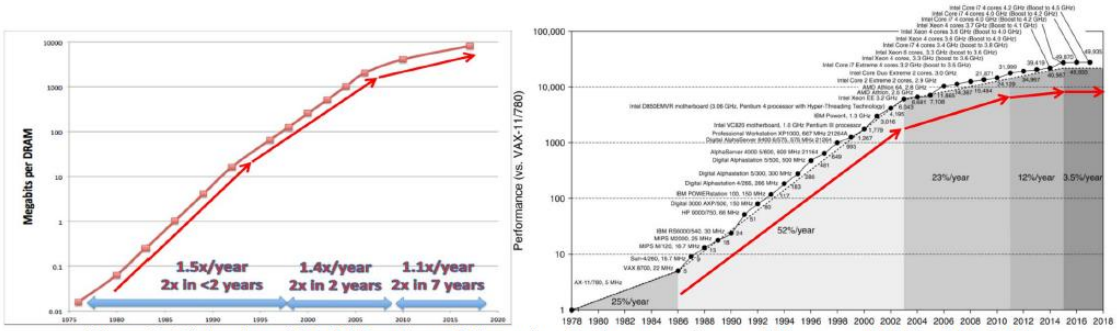


Figure 2. Plateauing of DRAM Density, and Computing Performance. Source: J Hennessy, ERI Conf July 2018

出典：HIR2019

図 4.22 DRAM 能力と密度、及びコンピューティング性能

さらに、微細化も物理限界に近づき、ITRS は 2016 年が最後の発表となった。これ以降、半導体ロードマップは、More Moore[29]を追求する IRDS[30]が 2017 年 3 月に、More than Moore[31]である HIR[32]が 2019 年 10 月に発表された。

ヘテロジニアス・インテグレーションとは、個別に製造されたコンポーネントをアセンブリ（System in Package － SiP）にインテグレーション（図 4.23）し、全体として機能を強化し、動作特性を改善することだ（ITRS Assembly＆Packaging Chapter より）。

---

26 International Technology Roadmap for Semiconductors：国際半導体技術ロードマップ。

27 大規模集積回路の製造・生産における長期傾向について論じた 1 つの指標であり、経験則に類する将来予測である（ウィキペディア）。

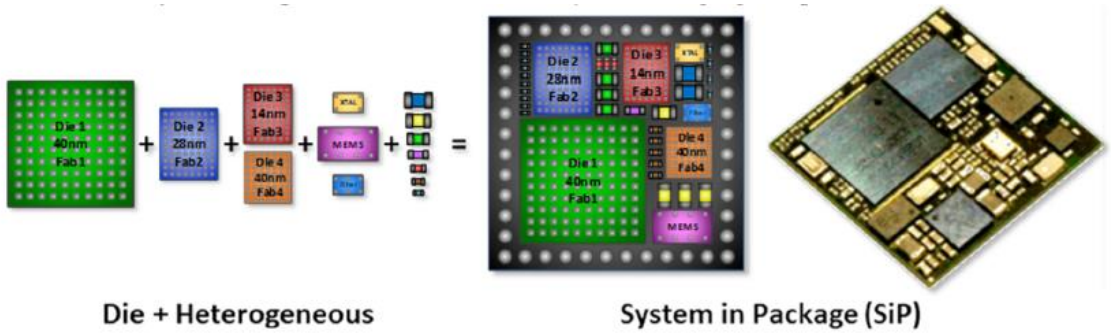
28 MOS トランジスタのサイズを縦、横、高さ方向をそれぞれ 2 分の 1 にし、電圧を 2 分の 1 にして使えば、基本的にはトランジスタの動作は保証され、スイッチング動作は高速で低電力になるという法則（コトバンク）。

29 スケーリング則を踏襲することである。

30 International Roadmap for Devices and Systems：国際デバイス及びシステムロードマップ。

31 必ずしもムーアの法則に従わないがいろいろな機能をデバイスに盛り込むこと。

32 Heterogeneous Integration roadmap：異種半導体統合ロードマップ。



出典：ASE

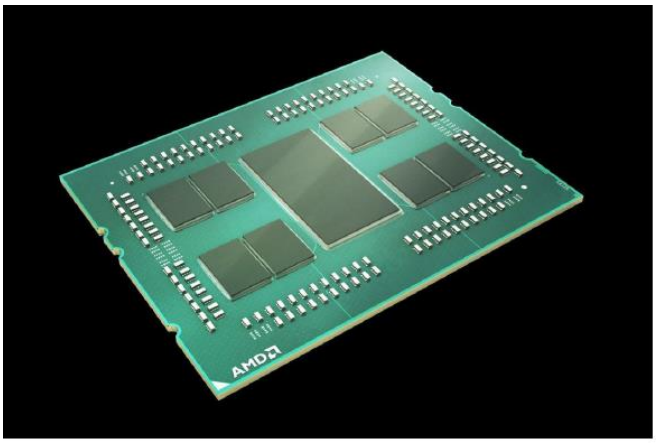
図 4.23 ヘテロジニアス・インテグレーション

ヘテロジニアス・インテグレーションの方法として、SiP に代替するチップレットがある。チップレットとは、チップを機能ブロック（RF ブロック、メモリーブロックなど）に分解して、それぞれのブロックを最適なシリコンノードのファブで製造し、各機能ブロックや受動電子部品をアプリケーションごとに、レゴ[33]のようにつなぎ合わせて、一つのモジュールとする（図 4.24）。

チップレットをけん引する要因として（TechReserch, E.Jan Vardanman, Outlook for 2021: Are There Supply Limitations to Growth?,2021/1/13 から引用）：

- 継続的なシリコンスケーリングの経済的課題を考えると、より費用効果の高いソリューションの必要性
- IP を再利用したい
- 改善された電気的性能
- 消費電力の削減
- 市場投入までの時間の短縮
- フォームファクターの利点

33 デンマークの玩具会社のおもちゃ。



出典：Wired.com

図 4.24 有機基板に実装された AMD のチップレット

HIR は、システムアプリケーション主導のロードマップであり、エレクトロニクス生態系全体を横切ってマーケット・プルとテクノロジー・プッシュの二重性を混合するようにデザインされている。将来の技術の進歩は、市場アプリケーションに対応するシステムインテグレーションの進歩によって推進されることを認識し、異機種間インテグレーションの主要な技術ドライバーである 6 つの市場アプリケーション分野を特定している。

- ハイパフォーマンスコンピューティングとデータセンター
- 医療、健康、ウェアラブル
- 自律型オートモーティブ
- モバイル
- 航空宇宙&防衛
- IoT

この航空宇宙&防衛の章には、図 4.25 が示すように今後 5 年から 10 年先のソリューションとしてミニマルファブがこのロードマップに記載された。

なお、ミニマルファブを代表して、本調査事業の嘱託研究員でもある三宅氏が 2021 年度から航空宇宙＆防衛の技術部会の委員になった（図 4.26）。これにより、正確なミニマルファブの情報が HIR へインプットできることになった。

9.2 Modular Single-Wafer Fabrication (5 to 10 Years)

Recent research in Japan is developing a concept called "minimal fab" which may offer a future solution for enabling high-mix, low-volume production of semiconductors, MEMS, and other microdevices.

TOKYO Semiconductor start-up NEITAS has succeeded in creating semiconductor components in 20 hours – just a fraction of the time normally required – using a "minimal fab," a system that can produce even a single wafer with low capital spending. The breakthrough was confirmed jointly with Toyohashi University of Technology in Toyohashi, Aichi Prefecture. The company plans to set up a contract fabrication plant in Okinawa by the end of the year with the aim of achieving 10 billion yen ($88.4 million) in sales by 2020.[15]

The minimal fab was born at the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) in Tsukuba, Ibaraki Prefecture. It can manufacture semiconductors using small wafers just 12.5mm, or 0.5 inch, in diameter.

Minimal fabs hold down costs. With existing fabrication systems, the circuit negatives known as masks that form circuits on wafers are expensive. But they are unnecessary in a minimal fab. Circuits are created by using some 1 million small mirrors. Clean rooms are also unnecessary because the processing is performed in enclosed spaces within the equipment.

Masks are not needed. As a result, the direct-exposure system has the challenge of reducing circuit linewidths. Using a maskless technology developed at Toyohashi University, the equipment is capable of defining 0.8 micron dimension. Although this is quite coarse for CMOS FEOL, this is the right ballpark for BEOL linewidths, so the most advanced lithography tools are not needed.

Figure 9-3. Minimal modular wafer fabrication technology

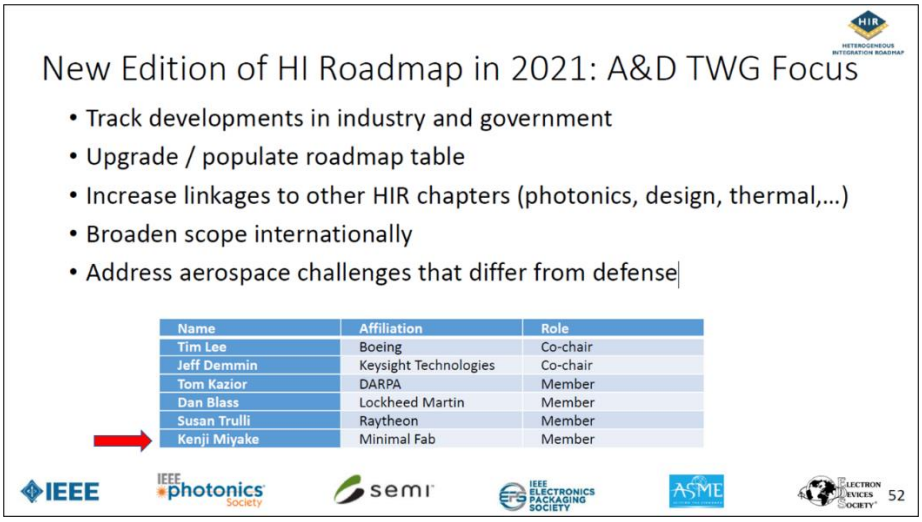
At "SEMICON Japan 2017"[16], Minimal Fab exhibited their equipment that houses self-contained processing capability for wafer cleaning, and exposure for wafers as small as 0.5 inch. A minimal shuttle container is used to move the wafer between processing machines. This type of equipment is suitable for small-lot production and is useful for research and development with drastically reduced capital costs. Minimal Fab is working with Disco, Ishii

[15] https://asia.nikkei.com/Business/Biotechnology/Minimal-fab-tech-promises-faster-cheaper-chip-production

[16] https://www.ewarrant-sec.jp/article/%E3%81%8B%E3%81%AE%E3%81%86%E3%81%A1%E3%81%82%E3%82%84%E3%81%93%E3%81%AE%E3%80%8Csemicon-japan-2017%E3%80%8D%E3%83%AC%E3%83%9D%E3%83%BC%E3%83%88/

出典：HIR2019

図 4.25 ミニマルファブが記載された航空宇宙＆防衛の章



出典：HIR

図 4.26 航空宇宙＆防衛の技術部会の委員

事例 2. UCLA からのミニマルファブ活用提案

a) 研究プロジェクトの概要

UCLA の L 教授はチップレットのコンセプトをベースとした CHIPS(Center for Heterogeneous Integration and Performance Scaling)を研究している。

これはチップを機能別に分解して、最適なプロセスルールでチップを製造（エコシステム）し、それらをシリコン基板に再配置して、ダマシンプロセス（最大メタル配線は４層）で結線する異種デバイス統合パッケージである。このプロセスはファブと後工程が必要なので、UCLA のファブと L 教授のパッケージラボで試作している。

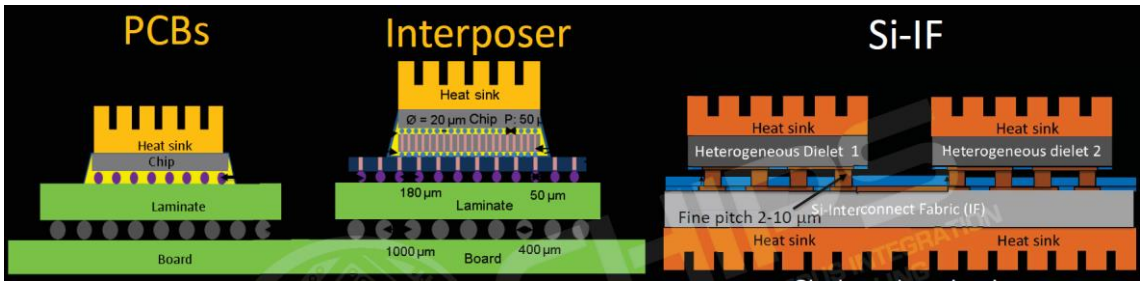
分割する最適なチップサイズは 1 m ㎡から 100m ㎡なので CHIPS はミニマルファブの 0.5 インチウェハにも入る。最適な I/O ピッチは 3 から 7μm である。このプロジェクトには IBM、TEL、図研（EDA メーカ）、ディスコ、GF、On Semi など多くの企業や政府がスポンサー（図 4.27）になっている。なお、図研、ディスコはファブシステム研究会[34]のメンバーである。

CHIPS の大きな特徴は実装基板にプリント基板が不要なことだ（図 4.28 の右図）。シリコン基板がプリント基板の代替となっている。したがって、遅延やノイズが少なく伝送速度が向上する。実装基板は他にフレキ、プラスチックなどが対象である。

出典：UCLA　L 教授

図 4.27 CHIPS プロジェクト参加企業

[34] 産総研主催のミニマルファブ関連企業の集まり。春と秋の年 2 回の総会で情報交換を実施している。また、セミコンジャパンではブース展示を行っている。



出典：UCLA　L 教授

図 4.28 PCB やインターポーザとの違い

b)　ミニマルファブの活用可能性

L 教授によるとミニマルファブの装置で Si-IF（シリコン基板製造）が可能であるという。L 教授は、これを実証するために、ミニマルファブの寄付を依頼している。一般的に米国の大学は固定資産としての装置購入は一切しなく、装置メーカは大学に寄付を行っている。

L 教授は UCLA にミニマル装置を設置するメリットとして下記を述べた。

- DARPA と緊密に協業している。 彼らが求めている少量生産に当てはまる
- ショールームとして活用、防衛関連会社への周知に適する
- ミニマルファブを有名するには最適。企業と結び付けることできる

c)　その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルのビジネスモデル含む）

ミニマルファブの普及のためには、UCLA、UC Berkeley、Stanford といった大学をショーケースとして利用して、一般企業に普及、販売をして行くのが現実的と考える。

寄付を含め、米国の有名大学にミニマルファブを設置する方策をファブシステム研究会も巻き込んで考えて行く必要がある。

事例 3. 国際学会からの米国展開提案

半導体パッケージの国際学会である IEEE EPS(Electronics Packaging Society)の財務部長、A 氏からミニマルファブを米国に普及させる提案を以下のように受けた。

a)　IEEE EPS とは

IEEE EPS は、マイクロシステムのパッケージングと製造における革新的な進歩の研究、設計、開発に従事する科学者とエンジニアのための主要な国際フォーラムである。

フォーカスしている EPS 分野には、電気、電子、光電子、生物学、マイクロメカニカル、及びセンシングコンポーネントのパッケージングとインテグレーションが含まれる。

この学会は HIR(Heterogeneous Integration Roadmap) も支援している。なお、A 氏は、HIR のサーマルマネジメント部会の Co-Chair を担当されている。

b) ミニマルファブの要素技術に対する関心

A 氏は、IEEE EPS 及び投資会社 J 社社長の両方の立場からミニマルファブへ強い関心を示されている。

A 氏からのミニマルファブ販売のアイデアは：

- ミニマルファブで対応可能なのは、MEMS & Sensors、Power 半導体、IC-教育目的、Prototyping（試作）
- ミニマルファブを周知し売り込むには、大学、企業を含め Prototyping(試作)の需要を取り込むのが望ましいと考える。安価かつ短納期を可能にすればおのずとミニマルファブが知れ渡る。

① 大学の研究所への売込

- 西海岸の主な大学
  - ✧ San Francisco／San Jose 地区： UCB、Santa Clara Univ、Stanford
  - ✧ Los Angeles 地区： UCLA、UCI、UCSD、USC（University of Southern California、私大）
  - ✧ 他：ジョージア工科大学[35]
- ミニマルファブの実機デモを想定した場合、一つの大学に長く置く必要はない。長く置いても活用されない懸念有。キャラバンを組んで上記大学を回った方が効果的だろう。彼らは GDS データを持っているので、装置到着次第試作開始、完成後検査に廻す。
- 米国の Semester （School Year、2 学期制）に合わせ、第一学期で試作、第二学期で検査というスケジュールで運営してはどうか。

② 企業へのアプローチ

- 公的研究機関が良い。例えば Lawrence Berkeley Lab（LBL）。ここは大学間でも協業している。LBL 以外に参考情報として Argonne National Laboratory がある。

③ 試作取り込み例として頻繁に試作を繰り返している Process Testing の需要を取り込んではどうか。

- PV（Photovoltaic、太陽光発電）
  現 PV の発電効率 30%→プロセスを変えることで 50%に発電効率を上げる取り組み有。ミニマルファブでも対応できるのではないか。

[35] 5G などで使用される最先端半導体パッケージ研究では世界の最先端を走っている。日本の材料メーカ T 社は研究員をこの大学に派遣して共同研究を行っている。

- MEMS & Sensor 領域の対象企業の絞り込みを行い、かつ Prototyping（Design）数を調べてアプローチしてはどうか。
- MEMS & Sensor 領域対象企業
  Apple、NXP、Philips、ON Semiconductor、TI（アナログデザイン）、及び AMAT、Lam Research 等の半導体製造装置メーカもターゲットとなりうる。

以上のような内容のアドバイスをいただいた。

c) ミニマルファブに対するニーズ・意見

今回のヒアリングで課題であった米国大学への装置寄付に対しては、A 氏から解決方法の提案があった。

- ファンドの活用提案
  Marvell Semiconductor[36] はファンドを持っている。このファンドがミニマル装置を購入して、米国大学へキャラバンを組んで巡回してはどうか？A 氏の経歴を見るとエンジェル投資家とのつながりがあるので、この提案の確度は高いと考える。
  なお、Qualcomm も資金はかなり持っているとのことである。

d) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

- レガシー・ファブでのニーズ
  以前、産総研が調査依頼した結果と同じ内容であった。この調査結果と異なっていた点は、最小プロセスルールは、100nm であった。TCK が開発している第二世代の EB がリリースされたら対応可能となる。なお、年間の製造チップ個数が 1000 個のファブもあり、ミニマルファブで十分対応可能である。
- 4 インチ、5 インチファブで作られているミリタリー品は 0.1um ルール、0.5mm 角で 500pcs/Year。しかしながら、20 年間の保証が必要となる。
- バイオメディカルへのニーズもある。例えば下記のとおり。
  - ✧ ジェネンテック
    この会社はバイオベンチャーとしてはアムジェンに次ぐ世界二位の売上げ規模を誇り、創業者は A 氏の友人。この企業は CRISPR-Cas9 と呼ばれる DNA 二本鎖を切断してゲノム配列の任意の場所を削除、置換、挿入することができる新しい遺伝子改変技術を持っている。
  - ✧ Google のメディカルの事例としてスマートコンタクトレンズ[37]を開発している。

---

[36] 1995 年にサンノゼに設立され、ARM SoC, Ethernet PHY, Switch Device などのネットワーク系を中心とした様々な製品ラインナップを取りそろえている。2018 年に Network Processor や Security 製品を取り扱う Cavium 社を買収、2019 年には Multi-G 及び 10G Ethernet PHY を取り扱う Aquantia 社を買収し、製品ラインナップの拡充を行うことで包括的なエンドツーエンドツーソリューションを提供している。日本国内ではマクニカが商社として製品を取り扱っている（ウィキペディア）。

[37] このコンタクトレンズには、涙腺から分泌される涙液から血糖値を測定し、糖尿病患者の体調管理を支援する機能が備わっている。

✧　A 氏の経歴には医療機器もあるので、この分野での知見もある。

e)　その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルのビジネスモデル含む）

- A 氏からの指摘で露呈した海外販売の課題は、米国の顧客へ、海外販売可能な装置、そのデリバリーの納期、価格などを即答できないことである。その裏事情としては、ミニマルファブの装置は、海外販売可能な安全規格を満たしていない。この件は、ミニマル輸出ワーキンググループが対応を行っている。
- しかしながら、研究機関であれば、安全規格を満たしていなくても輸出できるので、当面のターゲットとして大学や公的研究機関にするべきである。
- A 氏からの依頼で、現状の装置開発ロードマップや活用事例を彼に提供することになった。具体的に営業活動を依頼する場合は、西海岸に営業拠点を持っている商社との何らかの契約書が必要になる。
- A 氏からの提案として、米国でミニマルファブのテクニカル講演の開催。

事例 4. 米国 MEMS 試作メーカ I 社からの米国展開提案

a)　企業概要・事業概要

- 2003 年設立、MEMS 製品に関してのコンサルタント、設計、試作、テスト等を受託している。
- IP 化したものを専門ファウンドリーに受け渡すルートも確立している。
- ファブは主に UC Berkeley の Marvell NanoLab を使用、その他 MEMS 専用ファンドリーで No1 のスウェーデンの Silex　Technology 社などを活用して、160 以上のクライアント、400 以上のプロジェクトを遂行した。(メディカル・バイオ : 28%、イメージ・オプト : 20%、インダストリアル・科学 : 20%、コンシューマー : 14%、エアロスペース : 12%)

  （日本の顧客 : TDK,パナソニック、アコム、リコーイノベーション等）
- Rocket MEMS™といった多種の圧力センサを内蔵したマススタースライス方法に類似したセミカスタムチップも販売している。

b)　ミニマルファブの要素技術に対する関心

- 通常 CVD プロセスは大量のガスを使用する。しかしながら、ミニマルファブは、少量のガスで済み、環境負荷が少ないので素晴らしい。
- ＄0.5M/tool x10 台でも＄5M なら安い。
- 酸化プロセスは時間を要するが、ウェハサイズが小さいので速い。

（ミニマルファブには抵抗型、集光型、レーザ加熱型の 3 タイプがあり使い分け可能）

c)　ミニマルファブに対するニーズ・意見

- ベイエリアでは R&D の標準ウェハサイズは 2 インチで流通している。

- 開発チップはほとんどが 5mm 角以下が多いので価格が安ければ問題はない。
- 大学研究機関内の製造は ISO 等の認証取得が不可のため、試作プロセスがそのまま量産に使えないので、設置場所に装置を組み入れて ISO 取得できれば、素晴らしい。
- MEMS 開発プロセスではシャトルからウェハを取り出して、目視しなければならない工程がある。→クリーンベンチがあれば PLAD の開封は可能。

d) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

- 米国ではインチファブ構想があるが、進展がない。
- UCB の Marvell NanoLab の R&D は２つある。一つは最先端の研究者が使用する、今までに例を見ないようなアイデア（POC）。他は学生が使用する一般的な技術。このような使い方はミニマルファブの特徴が生かせる。

e) その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルファブのビジネスモデル含む）

- UCB, Stanford, CALTech 等の有名大学の設備は企業からの寄付が多いが、設備場所、作業、メンテナンス費は大学側が出す。卒業生が将来大きな需要家になる可能性あり。（UCLA はどちらかというと、産業に直結した研究開発が主体）
- UCB の NanoLab では最先端の研究を呼び込み、それに対する企業や政府などからファンドを取り付けるファンクションを担っている。

事例 5. 欧州への展開（東京貿易マシナリー）

a) 企業概要・事業概要

東京貿易マシナリーは、産業機械系の 10 大専門商社の一つとして、下記のような商材を世界中に販売している。特にロシアでのビジネスに強く、旧ソビエト連邦の日露国交回復後、1959 年にモスクワに事務所を開設するなど、早期から本格的にロシア・CIS[38]（独立国家共同体）との貿易に取り組み、これを強みの一つとしている。

[38] 独立国家共同体。ソビエト連邦の崩壊時に、ソビエト社会主義共和国連邦を構成していた 15 か国のうちバルト三国を除く 12 か国（発足当初は 10 か国）によって結成されたゆるやかな国家連合体（ウィキペディア）。

＜主要商材＞

・LNG 関連商材
・海上用ローディングアーム
・陸上用ローディングアーム
・スイベルジョイント
・バタフライバルブ
・ドレンシステム
・吸着式冷凍機
・流量計
・港湾関連設備
・その他

出典：東京貿易マシナリー

図 4.29 LNG 関連商材

ロシア CIS マーケティング部では、モスクワ事務所開設当初から日本製の電子顕微鏡（SEM や TEM）や理科学研究機器を数多く、大学、研究所、企業へ納入している。ロシアは欧州の中で、ドイツに次ぎにファブ（半導体製造工場）の数が多く、また、ロシアの大学・研究機関は、基礎研究においては未だに高い研究力を有しており、これは半導体関連の研究においても同様とされている。その一方、ロシアの半導体産業は先進諸国に比べ質・量ともに遅れをとっている。2010 年頃より、半導体関連産業（大学等の研究機関も含む）の近代化や人材育成を目的に、国家戦略的な投資が活発になってきた。ここに着眼して、新規ビジネスとしてロシアへミニマルファブを売り込むビジネスに参入した。

b) ミニマルファブの要素技術に対する関心

ロシア・欧州に対して、下記のようなセミナーや展示会、プロジェクト（PJ）コーディネーションを行いつつ、営業展開を行っている。

・ミニマルファブ啓蒙セミナーの開催（欧州：図 4.30、ロシア：図 4.31、CIS 諸国）
・展示会出展（SEMICON Europe、SEMIEXPO Russia etc.）
・ミニマルファブ活用ビジネス（試作受託）や装置販売の PR
・オランダのハイテク業界団体や公的機関を通じたプロモーション（販促用デモ機設置予定）
・ロシアの大学や科学アカデミーとのミニマルファブの普及のための協定書締結
・海外大学と日系メーカによるミニマル装置の開発 PJ コーディネーション
・半導体ウェハ開発 PJ コーディネーション（ロシアの工業用ダイヤモンド・メーカーである New Diamond Technology 社のダイヤモンド・ウェハのミニマルファブによる開発支援を開始した）

出典：東京貿易マシナリー

図 4.30 オランダで開催したミニマルファブセミナー

出典：東京貿易マシナリー

図 4.31 ロシアで開催したミニマルファブセミナー

c) 現在のロシア・欧州のビジネス状況

ロシアにおいて、モスクワ電子工科大学（MIET）やサンクトペテルブルグ電気工科大学(LETI)などの国内有数の工学系大学でミニマルファブの活用が検討されている。MIET の学長はプーチン大統領の技術顧問を兼務しており、大統領の耳にまでミニマル

ファブは届いており、ミニマルファブは日露関係構築の一つの材料になる可能性がある。アゼルバイジャンもミニマルファブに興味を示していたが、アルメニアとの戦争によって現在その話はトーンダウンしている。

2019 年 5 月に MOU を締結した MIET は、コロナ禍でトーンダウンしていたが、ミニマルセンターを設立し、半導体の試作などを通してミニマルファブをロシアへ浸透させる議論が再開している。MIET の先生が開発したある技術はミニマルファブのような小さなプロセスチャンバーでないと技術的には難しい。この開発には、ロシア政府の研究開発資金の活用が検討されている。

LETI はダイヤモンドの半導体研究を行っており、ミニマルファブ導入に関する進展は現状ではない。しかしながら、LETI と共同研究開発を行っている工業用ダイヤモンド製造業の New Diamond Technology 社は、CVD 方式ではなく、HPHT 方式（高温・高圧法）で 0.5 インチのダイヤモンド基板の製造に成功した。これにより、New Diamond Technology 社は、半導体用のダイヤモンド基板を製造する新会社を設立し、ロードマップを描いて日本の企業と連携する計画を持っている。

また、欧州に関しては、パートナー関係にあるオランダ DoMicro 社では、新技術導入のノウハウをプロジェクトベースのコンサルティングやプロセス開発で提供し、お客様と協力して試作品やサンプルを開発している。ここには、ミニマルファブの 3 台のデモ機（コータ、露光機、現像）を貸し出す予定がある。現在、オランダの政府機関とミニマルファブのコンソーシアムを立ち上げるために、もっと踏み込んだ議論を行っている。

オランダは欧州の中央に位置し、企業の研究開発拠点として魅力的な制度を用意している。また、オランダ南部の都市であるアイントホーフェンは、米国シリコンバレーと比較される欧州のハイテク・イノベーション拠点と位置付けられており、ミニマルファブの潜在需要が高い地域と考えられる。将来的にはオランダにミニマルファブの拠点を設け、ドイツやフランスなど周辺国の産業にミニマルファブを活用するなど話を広げるという。

d) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

東京貿易マシナリーは単なるミニマルファブの装置売りではなく、以下の 3 点を念頭に置いている。

・ミニマルファブの装置販売や試作受託ビジネスによる収益
・ミニマルファブから生まれる新しいビジネスの創出・投資
・ミニマルファブによる大学・研究機関との連携強化→既存事業とのシナジー

東京貿易マシナリーのロシア・ビジネスの原点である理科学機器事業のネットワークを活用し既存事業とのシナジーを狙いつつも、近い将来、ミニマルファブによって従来の機器販売の事業モデルから脱し新たな事業モデルを確立しようと考えている。

４．２　半導体以外での市場調査

４．２．１　ミニマルシャトル技術の応用～細胞培養デバイス

ミニマルシャトルとは、図 4.32 に示すように 0.5 インチウェハを格納する容器である。この容器は磁石で容器の開閉を行う。したがって、擦れがなく、パーティクルが発生しない密閉構造になっている。つまり、これが局所クリーンルームになっており、ミニマルファブがクリーンルームを必要としない技術の一つである。

出典：産総研

図 4.32 ミニマルシャトル

ミニマルシャトル技術の応用に関して、バイオ機器メーカにヒアリングを実施した。M 社は、細胞培養製品、培養細胞観察システムや細胞に関する作業を実施するためのクリーンテクノロジー製品の製造、販売までを実施している。

図 4.33 に示す細胞培養容器は、現在、一般に購入できる正規品を購入して使っている。独自仕様の試作については、顧客から時折依頼があるが、日本ゼオンなどに依頼しており特に問題はない。ただ、細胞培養ディッシュの自作を検討した時期はあったという。

しかしながら、近年、状況は変わりつつある。細胞培養から観察までの一連の作業を実施するにあたっての課題は、細胞培養の汚染（コンタミネーション）である。細胞培養容器や培養細胞観察システムなど、単体での製品、システム販売の際は、その課題を作業者に委ねることができた。しかし、近年、細胞培養から観察までの複数システムを自動化す

るニーズが高まってきている。その際には、システム間での培養細胞の受け渡しが重要となり、その課題はシステムにて解決しなければならない。この課題解決に、ミニマルシャトル技術は応用可能であると思われる。

出典：産総研

図 4.33 細胞培養容器

４．２．２　ミニマル要素技術の応用～微細加工

バイオメディカル分野の研究の基本技術として、細胞培養技術は重要である。細胞の制御や相互作用、分化誘導などを行うには、最適な細胞培養条件の探索が必要である。各大学では、微細加工機などを活用して研究を実施しているが、通常の微細加工機ではナノレベルの加工は難しい。学生でも手軽にナノレベルの加工ができる製造装置のニーズが高くなっている。

事例 1. バイオ MEMS 研究開発の九州工業大学

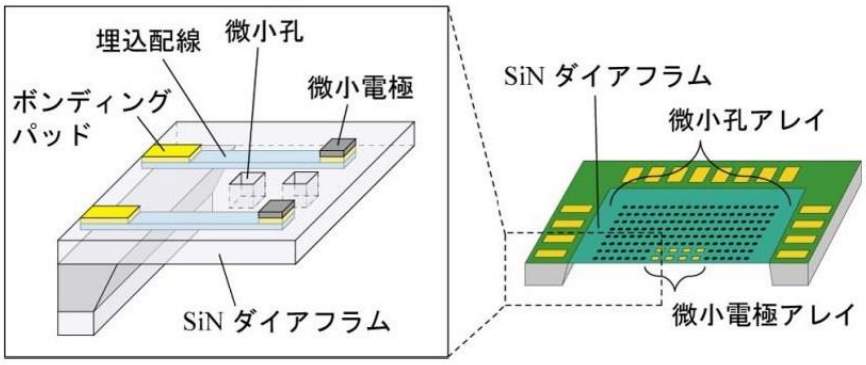
a)　研究プロジェクトの概要

半導体加工などを利用した MEMS 技術と、生体の微小な構造と機能を扱うバイオ技術を融合することで、医療分野や創薬分野に貢献する微小なデバイスを構築している。これまでに、シリコン基板やガラス基板に微小な流路や電極などを形成し、その上で血液や細胞、タンパク質、DNA などを扱うことで、培養細胞の機能解析を行うマイクロ流体デバイス、血液検査への応用を目指した血液分離デバイス、DNA や膜タンパク質を利用した生体分子計測用センサ、デバイス表面の濡れ性を制御して微量液体を操作する技術などを開発している。現在では特に細胞解析デバイスの研究開発に注力しており、直径数μm の貫通孔をアレイ状に形成した窒化ケイ素（Silicon nitride, SiN）製の自立薄

膜を培養膜として用い、微小孔を通じた物質輸送を利用した培養技術、細胞刺激技術、細胞計測技術を実現している。

b)　ミニマルファブの要素技術に対する関心

中小企業 P 社の戦略的基盤技術高度化支援事業（サポイン事業）に大学研究者として参画し、ミニマルマスクレス露光装置を用いて微小孔アレイ、微小電極アレイ、埋め込み配線を有する SiN 製のダイアフラム構造の製作を行った実績を有する（図 4.34）。



出典：戦略的基盤技術高度化支援事業　研究開発成果等報告書

図 4.34 微小孔アレイと微小電極を有する SiN 製ダイアフラム構造の概要

c)　ミニマルファブに対するニーズ・意見

現在、細胞解析デバイスを研究室独自で製作しているが、デバイス仕様の変更に応じてガラスマスクの製作が必要になり、そのための費用と時間がかかっているため、マスクレス露光装置があれば作業効率が格段と向上する。現在使用しているウェハのサイズが 2 インチであるので 2 インチ用の露光装置が望ましいが、デバイス仕様の変更により 0.5 インチウェハでも対応可能と思われる。細胞解析デバイスにおける培養膜の材料 SiN には透明性と機械的強度が要求されるため、SiN 膜の屈折率と内部応力を制御可能なミニマル成膜装置があると嬉しい。

d)　ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

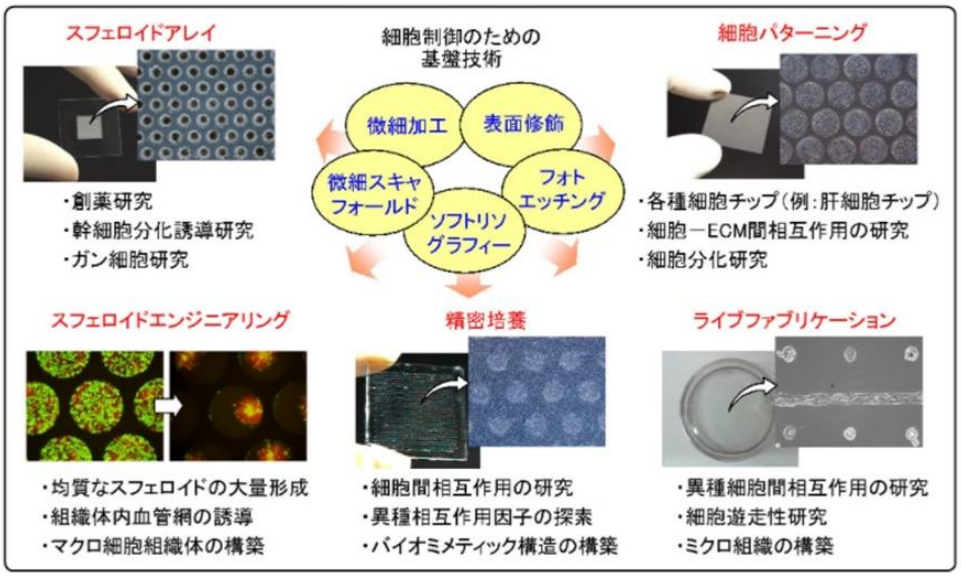
細胞解析デバイスの製作に活用できる。特に、研究用途では 1 仕様当たりのデバイスの必要個数が数 10 個程度と少なく、また解析用途に応じてデバイス仕様の変更が必要であるだけでなく、デバイス試作と細胞を用いた実証試験を繰り返してデバイス仕様の最適化を図る必要があるため、少量多品種の製作と試作開発期間の短縮が可能となるミニマルファブは有用と思われる。

また、現在、デバイスへの細胞播種や培地交換などを手作業で行う必要があり、煩雑でコンタミネーションのリスクもある。ミニマルファブの技術で、このような作業を完全閉鎖系で自動化できれば面白いと思われる。

事例 2. 細胞培養デバイスの製造に微細加工を必要とする北九州市立大学

a)　研究プロジェクトの概要

化学と工学を基礎として、バイオメディカルエンジニアリングの観点から、培養細胞を利用した新しい健康・医療技術の開発に取り組んでいる（図 4.35）。



出典：北九大

図 4.35 北九大の取り組み

b)　ミニマルファブの要素技術に対する関心

この大学は、サポイン企業である㈱ピーエムティーの微細加工機を活用して、細胞培養デバイスの切削加工を行っている。実験で細胞を培養する際には、細胞ごとに培養デバイスを微細加工機でカスタマイズして製作している。その理由としては、細胞は培養面の違いで動きが変わるからである。細胞培養面の微細加工内容については、下記の通り。

・構造（溝、ピラーの幅、高さ、面積：数百 nm から数百 μm 単位）

・材質（表面平坦性、表面修飾）

加工内容から見ると、ミニマルファブにおけるコーティング、マスクレス露光、エッチング、水素アニールなどの技術が該当する。

そして、理想的な培養基材の特性としては、下記の通りである。

・透明性：観察が容易・自家蛍光ができるだけ少ない

・操作性：最小限の操作で培養・取り扱や運搬が容易

・細胞適合性：毒性がない、増殖性や機能発現が良好、接着処理、非接着処理が可能

・安定性：滅菌処理、表面修飾、長期間保存可能

・汎用性：様々な形状、スケールに対応可能

特に、細胞パターニング（培養基板表面上の細胞接着性制御）方法として、フォトリソグラフィとソフトリソグラフィ[39]がある。これらをミニマルファブで実現できれば、応用の可能性はある。

実際に、医療機関から細胞培養デバイスの試作依頼を受けた経験がある。最終的には断った。

c) ミニマルファブに対するニーズ・意見

微細加工を手軽に（学生でも）利用できる製造装置が欲しい。細胞培養デバイスの素材は、透明性が重視される。そのため、ガラスウェハの活用が必要である。

表面修飾には、金、白金、コラーゲン、ポリエチレングルコールなど、対象としたい物質が多数存在する。

d) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）

細胞培養デバイスの製作には活用できる。特に、細胞ごとの最適な培養面探索研究での試作には、操作も簡単であるミニマルファブは最適である。

たんぱく質の反応レベル、分子レベルでの反応を探索する研究においても、活用できる可能性がある。放熱加工処理への応用可能性もある。

４．２．３　ミニマル要素技術の応用～マイクロ流体デバイス

マイクロ流体デバイスは、MEMS 技術などの微細加工技術を活用して、微細な流路（マイクロ流路）や基盤（マイクロアレイ）を形成することで、液体や液体中の微粒子の分離、濃縮、反応、解析を行うデバイスである。バイオやケミカル分野では必須の技術であり、多くの企業が開発、販売を実施している。マイクロ流路メーカ数社にヒアリングを実施した。

現在、マイクロ流路の素材は、樹脂（アクリル、COP[40]等）やゴム（PDMS[41]等）が主流となっているが、ガラス、石英、単結晶シリコンのニーズが多い。また、ナノレベルの微細加工や試作の低コスト化など、ミニマルファブ技術による応用可能性について、各社とも強い興味を示した。特にマスクレス露光装置のニーズが高い。

マイクロ流路メーカ K 社は産業技術総合研究所（産総研）への訪問やフィージビリティスタディ実施の希望もあり、今後も引き続き対応していく。

---

39 微細な鋳型にシリコーン樹脂などの「やわらかいもの」を流し込み、そのまま硬化させることで微細な立体構造を転写する技術（ウィキペディア）

40 シクロオレフィンポリマー

41 ジメチルポリシロキサン（dimethylpolysiloxane）は、表面張力を低下させ、消泡作用を持つシリコーンの一種（ウィキペディア）。

事例 1. 外資系マイクロ流路メーカの日本法人 K 社

a) ミニマルファブの要素技術に対する関心

K 社は、材料としてのガラスを開発、販売が本業であるが、2019 年にオーストラリア（メルボルン）のマイクロ流路製品メーカである X 社を買収し、ポリマー製品ソリューションを加えて診断およびライフサイエンス製品事業を強化した。X 社はマイクロ流路診断製品の開発・受託製造の専門メーカで、カスタムのポリマー性マイクロ流路製品の分野におけるマーケットリーダである。X 社では、流路にセンサを組み込むことも可能であり高付加価値化が目的である。日本でのマイクロ流路の引き合いは多い。大学やスタートアップ企業などであるが、現状、断ることがほとんどである。X 社はポリマー、ガラス、ポリマー/ガラスハイブリッド、にて対応可だが、カスタマイズ品のため一定の時間がかかる。低コスト、短時間でのガラスのマイクロ流路の試作ニーズがあるため、ミニマルファブには興味がある。

マイクロ流路試作は、MEMS 加工技術の応用で対応可能であり、電極形成もスパッタで対応できると思われる。シリコンエッチャーでの深掘りも可能である。接合装置があれば、更に用途は広がる。現時点で、ミニマルファブは、マイクロ流路、マイクロニードルやカンチレバーなどの試作実積がある。しかしながら、その詳細仕様は公開されていない。

現状の 0.5 インチウェハの厚さは 200μm である。マイクロ流路については、最低 200μm あれば十分である。

マイクロ流路は PDMS などの樹脂材料が一般的になっているが、細胞培養に関してはガラスの方が、親和性が高い。実際に、プレパラートや試験管などはガラス製が一般的である。その中でも、バイオメディカル分野で世界的に実積がある K 社製のガラスでマイクロ流路製造が可能になれば、高付加価値製品として大学や研究機関への引き合いがあると思われる。

b) ミニマルファブに対するニーズ・意見

- 医療用ガラスの標準サイズは、75.6mm×25.4mm であり、これがすべての基本となっている。（プレパラートサイズ）0.5 インチでは、マイクロ流路には小さすぎる。しかしながら、このサイズに盲目的に追従している現状であり、この現状を打破すべきである。
- アスペクト比 1 対 1 での深掘りが必要であり、流路の表面形状、粗さの均一性が必要である。（ミニマルファブの DRIE はそれなりにスキャロプ[42]フリーでできる）

[42] 貝殻の内側のような波打った縞模様

- 試作仕様等の情報が欲しい。若しくは、ガラスのマイクロ流路試作の FS を実施してほしい。
- 従来の流路パターンは 4 インチウェハサイズが殆どだが、流路設計を 0.5 インチサイズに収まるように設計しても良い。
- 表面に流路加工ができるならば、裏面はフィルム貼りでも良い。（低温プラズマで可）

c) ミニマルファブの活用可能性（先方の感触＆当方の所感＆次のアプローチ戦略含む）
- ガラスマイクロ流路の試作
- 試作サービスの利用
- K 社によるガラスウェハの提供（アルカリフリーガラスもある）

c) ガラス管用インゴットから円形ウェハのスライシングなら可能。
なお、0.5 インチガラスウェハは市販されている。

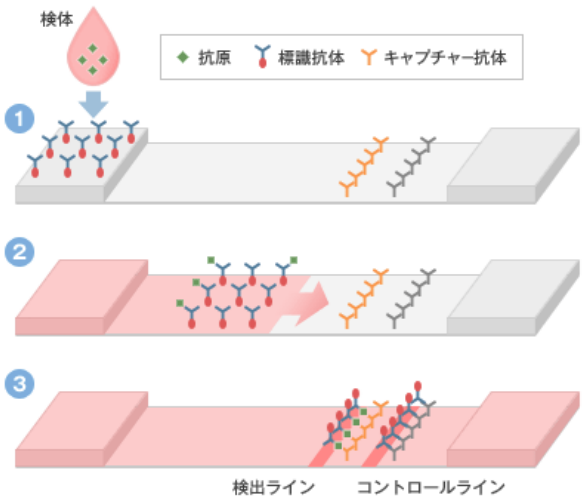
d) その他（今後の方針・応用で考えられるミニマルのビジネスモデル含む）
バイオメディカル分野での新規展開のためには、産総研での専門チームの立ち上げと、試作 FS の実施が必要であると考える。FS での試作データを、バイオメディカル企業に提供することにより推進可能となる。

４．２．４　ミニマル要素技術の応用～抗原抗体検査キット（イムノクロマト）

イムノクロマトは、被検体と試薬の抗原抗体反応を利用した検査手法であり、インフルエンザの診断や妊娠検査などで活用されている。昨年より、新型コロナウィルス検査へのニーズも高くなっており、大学や大手企業などでも開発が加速している。イムノクロマトは、試薬とキットにより構成されている。このイムノクロマトキットを開発、製造しているメーカ L 社にヒアリングを行った。

イムノクロマトキットは、その検出対象に応じての開発が必要である。具体的には、検体の分注液量、希釈率、検知幅などの最適化が必要であり、微量で高感度な検出を目指している。最近では、新型コロナウィルスとインフルエンザの同時検出のニーズがあるが、2 種類の同時検出は複雑な構成となり開発は難しい。ミニマルファブの微細加工技術を活用することで、低コストでの開発の可能性があると思われる。

がん治療用の次世代シーケンサの開発にも可能性がある。がんはゲノムの変異で引き起こされる病気であり、次世代シーケンサは、ゲノムを解析することより個人ごとに適切な治療薬の探索が可能になる。ゲノムと治療薬の反応を確認することになるが、表面処理や流路構造など、開発の難易度は高いものとなっている。ここでもミニマルファブの微細加工技術の活用が期待できる。



出典：https://www.acute-care.jp/ja-jp/learning/course/immunoassay/ria/ic [2021/2/25]

図 4.36 イムノクロマト法の原理

４．２．５　ミニマル要素技術の応用～観測技術（CD-SEM、CT-SEM）

第２章４節で述べたように CD-SEM と CT-SEM とも、㈱TCK が開発した技術である。CD-SEM は、世界最小クラスの高分解能、超真空操作電子顕微鏡（SEM）である。複合方式静電レンズと小型超真空装置にて構成されている。ショットキーエミッション電子銃による高解像度パターン観察精密自動ステージによる試料位置管理完全ドライ真空によるクリーン観察が可能となる。

CT-SEM は、レーザアブレーションと超真空操作電子顕微鏡（SEM）を応用したナノレベル 3D 解析装置である。九州大学病院との共同開発技術であり、CT 画像は、2D で 2～10nm、3D で 20nm 程度と高精度の解像度での撮影が可能となる。がんの生体検査が全自動で可能となり、期間も 1 週間から 3 時間程度に短縮できる。画像データのデータベース化と、AI 解析による受託分析体制も構築中である。

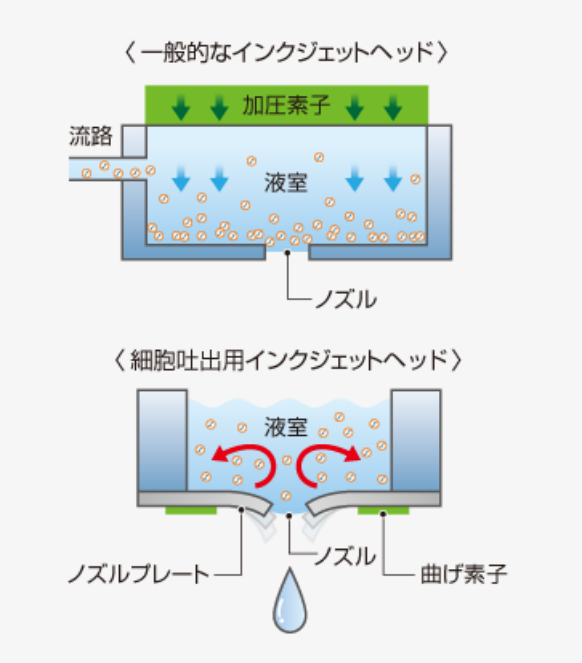
医療機器メーカ S 社や、バイオ機器メーカ T 社は、医療用、細胞観察用に活用できるとの興味を示した。バイオ機器メーカ T 社は、TCK 社との引合せを行い、ハンズオン支援にて対応していく。

CD-SEM の構成技術である小型超真空装置についても、自動車系電装メーカが興味を示し、応用可能性について検討中である。

４．２．６　ミニマル要素技術の応用～バイオインクジェット技術

バイオメディカル分野で注目されている技術に、バイオプリンティングがある。バイオプリンティングとは、細胞や組織などを所定の構造にパターニング、構築するための技術

である。この技術は、個別化医療、精密医療や再生医療の研究推進の重要な要素の一つとなっている。このバイオプリンティング技術の要素技術として、細胞や組織を正確に吐出するバイオインクジェット技術がある。このバイオインクジェット技術は、大手企業からベンチャー企業までが開発、販売を実施している。



出典：https://jp.ricoh.com/technology/institute/research/tech_dna_reference_plate [2021/2/25]

図 4.37 リコー社のバイオインクジェット技術

バイオメーカである T 社へのヒアリングにおいて、T 社では細胞 1 個を固定化する技術の探索をしているとのことであった。細胞の固定化は、熟練者の手作業にて実施している状況であり、自動化、均一化のニーズが高い。ここに、ミニマルファブのインクジェット技術の応用が可能であると思われる。インクジェットプリンターはテクノデザイン社が開発中である。また、㈱TCK もインクジェット技術を保有しており、ハンズオン支援にて対応していく。

４．２．７　ミニマル要素技術の応用～熱工学研究分野

公益財団法人北九州産業学術推進機構（FAIS）の協同研究開発センターでは、微細加工設備をベースに CMOS 及び MEMS の微細加工プロセスを提供している。その利用者として、九州工業大学熱デバイス研究室が多く利用されていたため、M 教授にヒアリングを行った。

熱工学研究の一環として、薄膜型温度センサや薄膜型熱電デバイスなどを MEMS 技術で製作している。電気自動車をはじめとする電子機器発熱問題が深刻であり、電子機器冷却技術の確立が分野において必須の課題となっている。薄膜型温度センサは、上記課題解決で大いに威力を発揮している（Morisaki et al., Exp.Therm.&Fluid Sci, Vol.121, 110285 (2021)）。近年ではバイオ関連の研究でも熱輸送問題が扱われるようになっており、「10 の 5 乗ギャップ問題」が世界的な研究課題となっている。

単一の細胞の熱産生計測で、実際の細胞を計測した実験値と、熱伝導方程式から期待される計算値で、5 桁（10 の 5 乗）のギャップがある問題である。そのため、生物と熱工学の研究者が連携して研究を実施している。この研究では、細胞の培養や温度センサなどの試作が必須であり、半導体微細加工装置が必要となっている。そのため、低コストで試作できる技術には強い興味があり、将来的にはミニマルファブの導入も検討したいとのことである。

熱工学関連企業として、熱対策部品の開発、販売を実施しているメーカ U 社にヒアリングを実施したところ、熱対策部品は銅やアルミなどの金属製であること、顧客ニーズはマイクロメートルレベルであり一般的な微細加工装置で可能であることなどから、ミニマルファブ技術の応用可能性は見つけだせなかった。

５　ハンズオン支援

５．１　ハンズオン支援概要

本章では、調査事業③ハンズオンでの事業化支援の概要を取りまとめる。ハンズオン事業の詳細は、別途事業報告書として示すこととし、ここでは概要のみを提示するにとどめている。

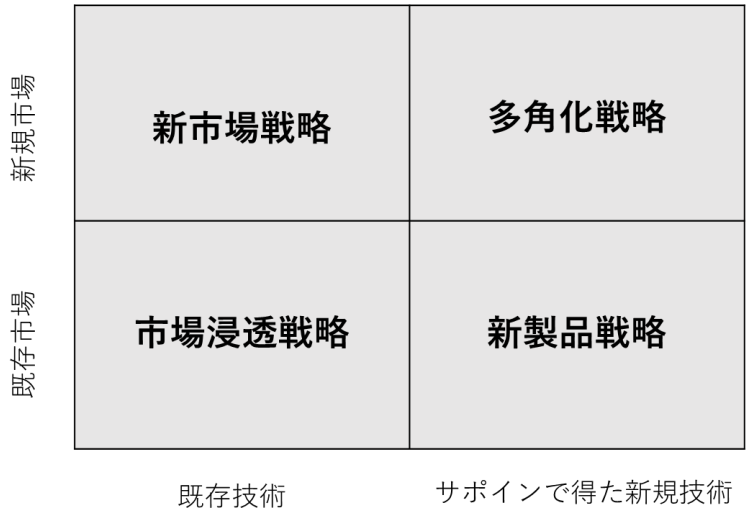
ハンズオン支援戦略として、図 5.1 に示すフレームワークに沿って、㈱ピーエムティー、㈱TCK、及び熊本防錆㈱（石田産業㈱、㈱晴喜製作所）に支援を行った。

① 市場浸透戦略
企業が持つ既存技術で、その企業の既存市場へ、更に販売を伸ばすための支援策。

② 新市場戦略
企業が持つ既存技術で、新たな市場へ販売するための支援策。

③ 新製品戦略
企業がサポインで開発した製品をその企業の既存市場へ販売するための支援策。

④ 多角化戦略
企業がサポインで開発した製品を新たな市場へ販売するための支援策。



出典：九経調作成

図 5.1 ハンズオン支援戦略のフレームワーク

５．２　㈱ピーエムティー

この企業の特徴として、サポイン等の技術連携で得た技術を自社のモノとして吸収し、新しく得た技術と既存の技術を組み合わせる、アブソープティブ・キャパシティを持っている。

例えば、12 インチウェハ対応のマスクレス露光機は、サポインで東北大学 O 先生の光学系の技術と PMT の超精密ステージ・コントロール技術で完成した。PMT は、光学系の技術を自社のモノとして吸収し、ミニマルファブ用のマスクレス露光機を開発した。この光学系は PMT オリジナルであり、東北大の特許を使用していない。

アブソープティブ・キャパシティの特徴をベースにして、他社との連携、若しくはサポイン技術を活用したハンズオン支援を実施した。

５．３　㈱ＴＣＫ

この企業の特徴として、サポインで開発された小型部品や小型モジュールのミニマルファブ用途以外の販売ビジネスがある。例えば、CD-SEM 用に開発された複合排気方式による超小型高真空ポンプは魅力的である。さらに、サポイン技術から発展した CT-SEM はメディカル・バイオ系には売れる可能性を持っている。ハンズオン支援戦略としては、ミニマルファブと同じような小型の 2 インチファブやメディカル・バイオ系の企業にフォーカスする。

５．４　熊本防錆工業㈱（石田産業㈱、㈱晴喜製作所）

この企業の特徴として、サポイン等の技術連携で得た TSV めっき、ミニマルファブで得た再配線用のめっき技術、及び、自社が持つリードフレームなどへのめっき技術を持っている。

６　まとめ～ビジネスモデルの方向性

本章では、本調査事業の結果を取りまとめるともに、サポイン事業等で研究開発を進めてきたミニマルファブを中心とした多品種少量生産技術の事業化に関するビジネスモデルの方向性を提示する。

６．１　成果まとめ

６．１．１　調査事業①サポイン活用企業等の事業化実態調査の成果

各サポイン活用企業のみならずミニマルファブ関連の企業に共通する課題・ニーズ等が下記のように明らかになった。

①　営業力の不足

→中小企業のため十分な営業力を確保できない

→試作機の出荷が中心でかつ数量が出ないので十分な営業体制が組めない

→装置数台がセットになったライン販売となるため単独営業しにくい

例えば、スパッタとめっきのセット、コータ・デベロッパと露光のセット等

→横河ソリューションサービス等の商社が顧客との間に入るため市場ニーズ等が直接掴めない

②　装置の安定稼働対応

→中小企業のため、メーカとしての装置製造経験に乏しく、長時間に渡るエイジング試験や 1,000 回程度のランニング試験、プロセスの信頼性試験などをクリアして納品していない。

→メンテナンス性を考慮した設計対応がなされていない。

６．１．２　調査事業②ミニマルファブ等の市場ニーズ調査の成果

アンケート調査の結果として、下記が明らかになった。

①　回答者の研究領域で「半導体・エレクトロニクス」の割合は 4 割

②　半導体微細加工プロセスによる試作・小ロット生産のニーズ

- 「半導体・エレクトロニクス」分野の 5 割が実施
- 頻度は年 10 回以上が約 5 割
- 1 回あたりの数量は実際と希望の個数が一致
- 1 回あたりの金額は実際より低額を希望

■ 3 分の 2 は外注を活用

③ ミニマルファブに対する認知と関心

■ 認知度は「半導体・エレクトロニクス」で 9 割

■ 試作・小ロット生産実施層の認知度は 9 割以上

■ ミニマルファブのコンセプトにはコスト削減への関心が高い

■ 試作・小ロット生産を行っていない層でも低コスト運用への関心

■ ミニマルファブを知らない層は低コスト運用、一貫研究（設計・試作・テスト・評価）に高い関心

④ サポイン活用企業の関連技術に対する関心

■ マスクレス露光技術とマルチチップボンダへの高い関心

■ サポイン企業要素技術への興味・関心は研究分野によって異なる

■ マスクレス露光、CD-SEM の認知度が低い層にも関心は見られる

⑤ 研究開発の課題とミニマルファブの活用可能性

■ 試作・小ロット生産実施層の約 9 割が「開発・研究期間の短縮化」を希望

■ 外部への試作委託と自身での操作へのニーズが高い

ヒアリングの成果として、図 6.1 に示すように、従来の半導体としての市場と半導体以外の潜在市場が下記のように明らかになった。

半導体としての市場：

① メガファブ R&D での活用～短 TAT 試作と開発コスト低減

■ シャトル・サービス を使用した WLP（Wafer Level Package）試作と電気的特性の課題解決に活用（アナログデバイスメーカ A 社）

② 小ロット生産・変量変種生産での活用～宇宙用・MEMS・IoT デバイス

■ 産総研と半導体開発協定を締結した宇宙航空研究開発機構（JAXA）

■ 宇宙用機器に搭載される半導体デバイス製造を計画している総合商社 B 社

■ 多品種少量生産にミニマルファブを活用する株式会社共和電業

■ 自社装置の専用半導体を考えている半導体装置メーカ C 社

■ My-IoT プロジェクト（九州大学）

③ EOL 品での活用～多種の半導体から MEMS までミニマルストアで対応

■ 消耗品のガラス電極が生産中止になるセンサメーカ D 社

■ EOL 販売の独立系のエレクトロニクス E 商社

■ 自社使用半導体の内製化を考えている産業機器メーカ F 社

■ 自社使用半導体の EOL を懸念している医療機器メーカ G 社

④ 新構造・新材料デバイスでの活用～ミニマルオリジナルプロセスの活用

■ 世界最先端の単一磁束量子集積回路開発を行う名古屋大学

■ 日本で初めての試みであるマテリアル開発から実施してニューロモルフィック半導体開発を行う九州工業大学

⑤ 試作サービスでの活用～研究開発・小ロット生産のサポート

■ チップ試作サービスを提供する横河ソリューションサービス㈱

■ パッケージ試作サービスを提供する㈱ピーエムティー

⑥ 教育での活用～オープンラボでの産学連携とプロセスインテグレータ育成

■ 中国向けに半導体教育ビジネスを考えている中国の EMS メーカの日本法人 H 社

⑦ 海外～ロードマップ・米国大学・国際学会等からの提案・欧州へデモ機

■ Heterogenous Integration Road（HIR）に記載されたミニマルファブ

■ UCLA からのミニマルファブ活用提案

■ 国際学会からの米国展開提案

■ 米国 MEMS 試作メーカ I 社からの米国展開提案

■ 欧州への展開（東京貿易マシナリー）

半導体以外での市場調査：

① ミニマルシャトル技術の応用～細胞培養デバイス

② ミニマル要素技術の応用～微細加工

■ バイオ MEMS 研究開発の九州工業大学

■ 細胞培養デバイスの製造に微細加工を必要とする北九州市立大学

③ ミニマル要素技術の応用～マイクロ流体デバイス

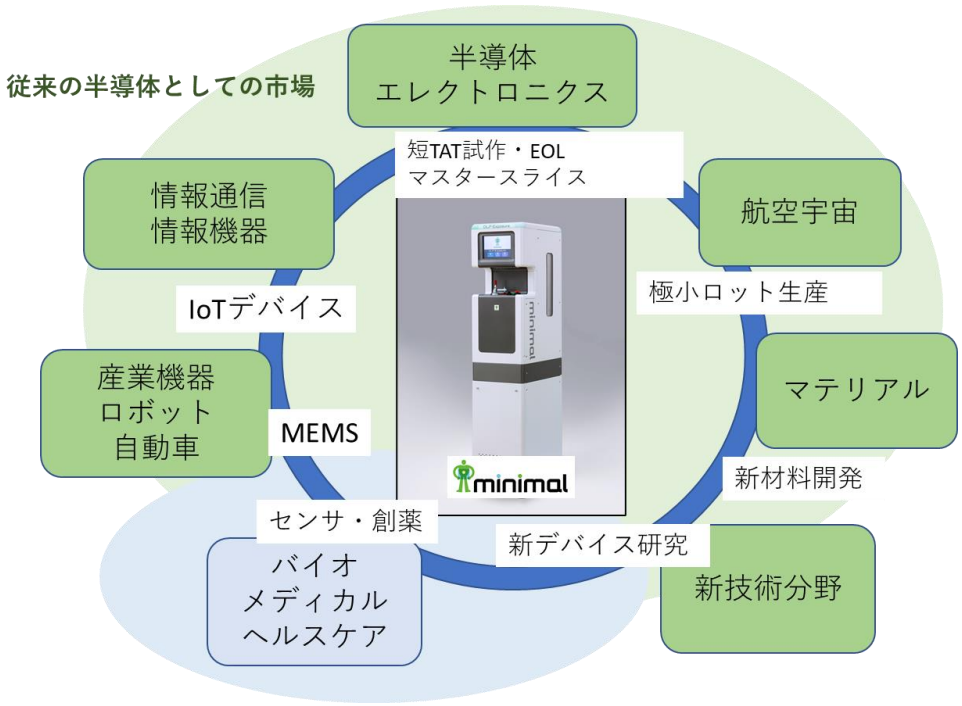
■ 外資系マイクロ流路メーカの日本法人 K 社

④ ミニマル要素技術の応用～抗原抗体検査キット（イムノクロマト）

⑤ ミニマル要素技術の応用～観測技術（CD-SEM、CT-SEM）

⑥ ミニマル要素技術の応用～バイオインクジェット技術

⑦ ミニマル要素技術の応用～熱工学研究分野



出典：九経調作成

図 6.1 ミニマルファブ及び関連技術の市場ニーズ

６．１．３　調査事業③ハンズオンでの事業化支援の成果

ビジネスマッチングの成果は、熊本防錆㈱と㈱ピーエムティーの成果のみであった。サポイン企業の事業化を進めるための方策として、以下の点が指摘できる。

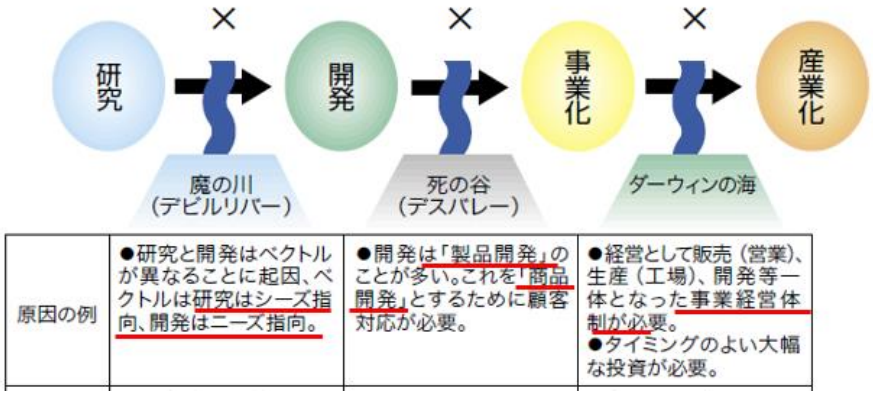
① 試作機ではなく商品としての装置とするためのブラッシュアップ
→安定稼働性能（工程能力指数 Cp, Cpk）の確立
→標準プロセスレシピの確立
→装置の安全基準の確立（CE マーク取得など）
→プラグインプレイが目標
② ミニマルプロジェクト等のサポインで確立した要素技術の応用商品の展開
→マスクレス露光、超小型高真空ポンプ、CT-SEM（３D 解析装置）
③ ニーズを有する研究機関・メーカ等との具体的な情報交換の場の設定
→装置改良・ブラッシュアップの共創、技術応用による新商品展開
④ 試作受託ビジネス＋大学や試験研究機関等での装置利用の場の拡大
→実際に装置を使える場・試作開発のできる場からの装置販売への展開

６．２　提言と今後の展望

この節では、デマンド・プルとテクノロジー・プッシュの観点から提言を行う。

デマンド・プルの観点として、企業並びに大学等の研究機関などユーザ側へのヒアリングでは、ミニマルファブは製品としての開発は終えたが、一部の装置を除き、まだ商品化までには至っていないとの声を多く聞いた。

図 6.2 に示すように、研究開発を終えた段階が“製品”、事業化が行える段階を“商品”と定義すると、現在、ミニマルファブは、“魔の川”を乗り越えた「開発ステージ」に立っている。これを「事業化ステージ」に移行するには“死の谷”が待ち構えている。したがって、ミニマルファブのサポイン活用企業が事業化へ向かうには、最初に、ミニマルファブがこの障壁を乗り越えることが求められる。よって、**「ミニマルファブの商品化に向けた提言」**を行う。

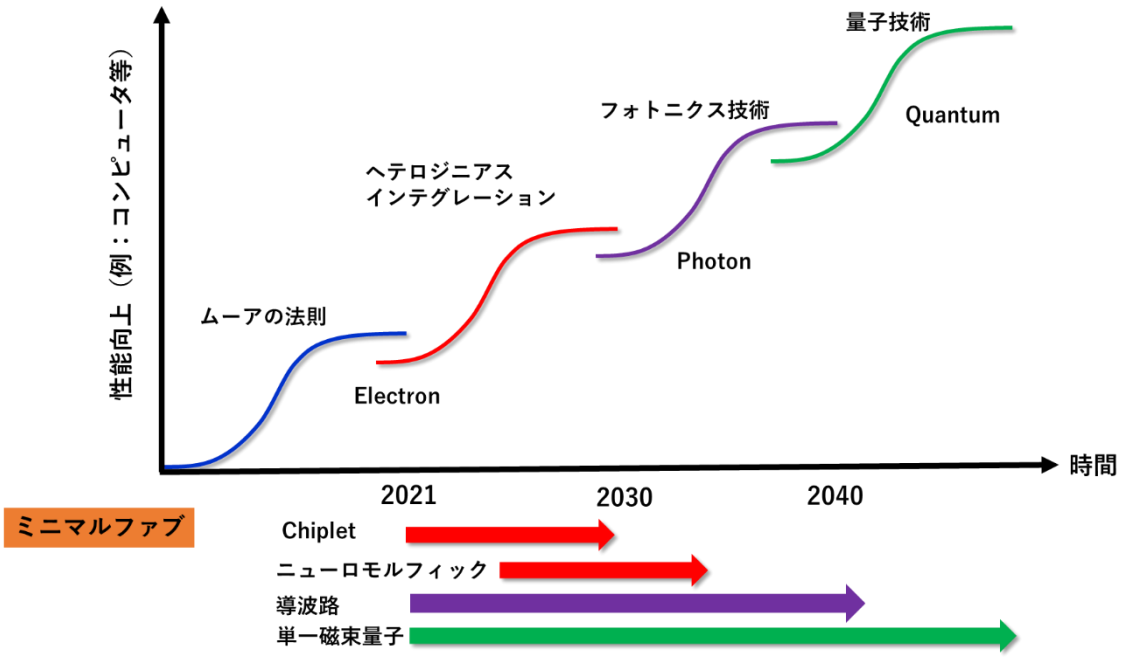


出典　産学官連携ジャーナル Vol.2 No.8 2006　p19

図 6.2 事業化への 4 つのステージと 3 つの障壁

テクノロジー・プッシュの観点として、図 6.3 に示すように、コンピュータ等の性能向上は、物理現象として、Electron、Photon、Quantum に遷移して行く。これに従って、テクノロジーS 字カーブは、ムーアの法則が限界に近くなり、ヘテロジニアス・インテグレーション、フォトニクス技術、さらに量子技術へと変遷して行くと予想される。

本調査結果から、ミニマルファブは、今後のヘテロジニアス・インテグレーション、フォトニクス技術、及び量子技術に適用できることが明確になった。よって、「ミニマルファブの特徴が活用できる新技術分野（これから必要とされる技術分野と日本が世界で最先端を走っている技術分野）研究への提言」、ミニマルファブのサポイン活用企業と密接な関係がある産総研九州センター「ミニマル IoT デバイス実証ラボ」への提言、「アンケート結果のフォローアップ提言」、及び今後の展望を述べる。



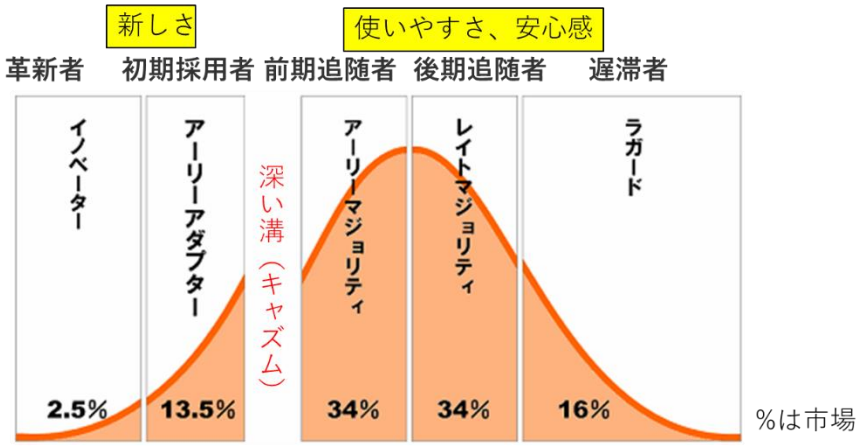
出典：九経調作成

図 6.3 テクノロジーS 字カーブとミニマルファブの適用可能性

６．２．１　ミニマルファブの商品化に向けた提言

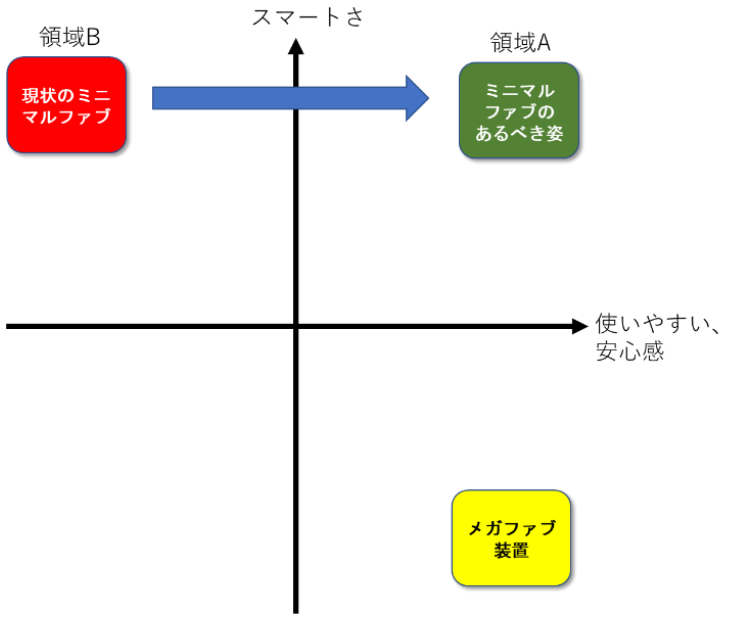
図 6.4 に示すように、ハイテック製品は、新しさを好むイノベーター、アーリーアダプターにより購入される。そのハイテック製品が使いやすく、安心感が持てる製品になるとアーリーマジョリティ、レイトマジョリティ、ラガードと呼ばれる顧客へ普及する。しかしながら、ハイテック製品が使いやすく、安心感が持てる製品になるには、キャズムと呼ぶ深い溝がある。

これはエベレット・M・ロジャースによって提唱された、新商品や新サービスの市場浸透に関する理論である。このキャズム理論は、イノベーションのボトルネックを指摘しており、イノベーティブなシステムであるミニマルファブにもキャズム理論が当てはまる。つまり、図 6.5 に示すように、現状で「領域 B」にあるミニマルファブの今後の姿として、「領域 A」が期待される。この領域を目指す手順を下記に 7 つ提言する。



出典：九経調作成

図 6.4 キャズム理論



出典：九経調作成

図 6.5 ミニマルファブの目指す姿（スマートさとは、ミニマルファブの特徴）

① 装置の安定化

ヒアリングによるとミニマルファブの装置は、メガファブの設備機器に比べると、チョコ停等が多く、使いやすさや安定感に欠けていると多くの企業から指摘されている。装置の安定性を評価するために、装置の故障や稼働状況を示す平均故障間隔（MTBF：Mean Time Between Failures）や平均復旧時間（MTTR：Mean Time To Repair）のデータを

取るべきである。例えば、MTBF が 100 の場合、その装置を 100 時間使用すると 1 回故障する。MTTR が 5 の場合、故障後復旧作業に 5 時間が必要である。これらのデータを取得し、蓄積、評価することで、装置の改善・改良が行える。これを行うには、ミニマル装置メーカとの協力も必要である。

②　プロセスの安定化

装置が安定化すると、次はプロセスの安定化を行う必要がある。ファブのプロセス技術は“ゆらぎ”の中でものづくりを行っているので、統計的な品質管理が必要となる。この“ゆらぎ”を管理する方法として、工程能力指数（Cp, Cpk）がある。

例えば、図 6.6 で仮に酸化膜の膜厚のバラツキを表現したとすると、バラツキを抑えるために Cp は 1.67 以上になるようにプロセスを管理する必要がある。

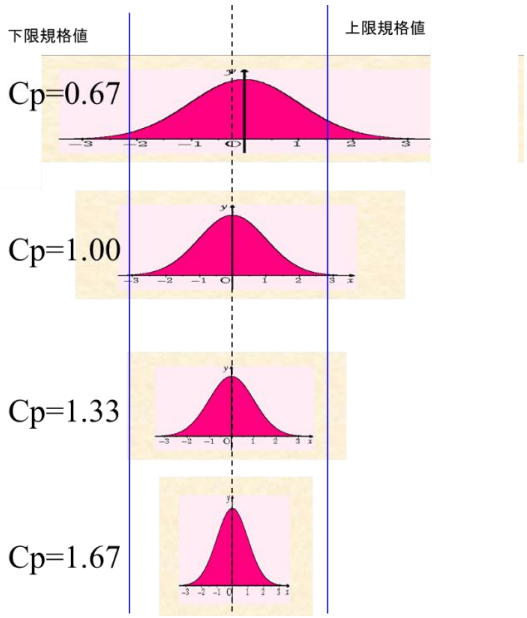


図 6.6　プロセスのバラツキと Cp との関係

しかしながら、Cp が図 6.7 のように、平均値（X バー）が規格の中心から大きくずれている場合は、Cp では工程能力を正しく示せない。規格の中心からの平均値のズレ具合を管理する指標として Cpk がある。Cpk は通常 1.33 以上必要とされている。なお、自動車業界では、1.67 以上としている。

半導体メーカが装置メーカにプロセス技術を教え、そして、装置が進歩したように、ミニマル装置メーカも同様なことを行う必要があると考える。

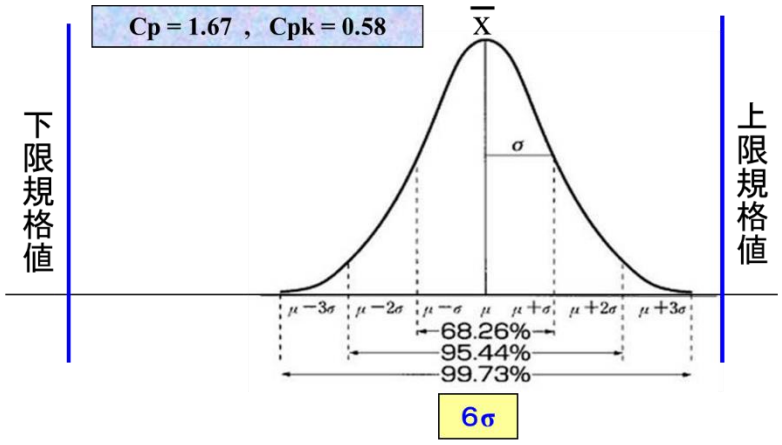


図 6.7 平均値が規格の中心からのズレ具合を管理する指標:Cpk

③ PDK の作成

各装置、各プロセスが安定化すると、これらをインテグレーションした IC や LSI などの集積回路プロセスを構築できる。この集積回路を設計するには、そのファブでの物理的な制約条件であるデザインルール（例えば、最小メタル線幅、最小 VIA 径など）と、集積回路を構成する能動素子（トランジスタ）と受動素子（抵抗など）の電気的特性が必要となる。これらを PDK（Process Design Kit）と呼んでいる。特に工程能力指数が不十分であると電気的特性は毎回異なり、歩留り低下の原因となる。

PDK は、設計する集積回路の構成要素である能動素子と受動素子を組み込んだ TEG チップを設計してミニマルファブで製造する。完成した TEG チップはプロービングして SPAICE モデルパラメータを抽出する。

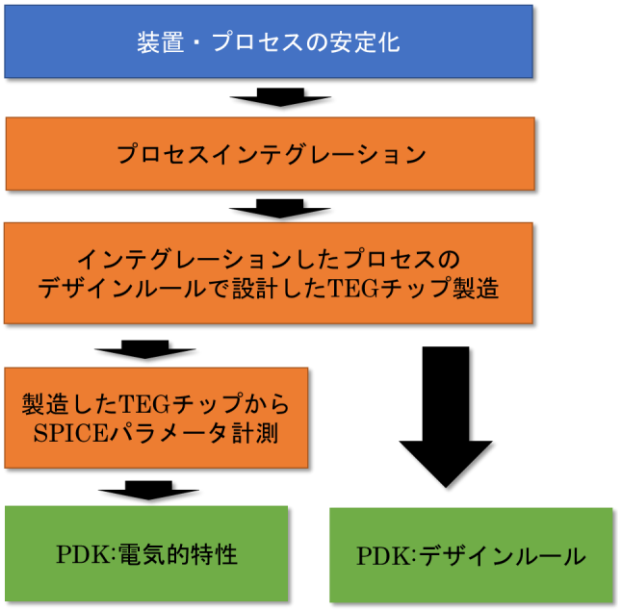
このように PDK は、ファブごとに異なる。つまり、産総研つくばで集積回路を設計して製造する場合は、産総研つくばの PDK、横河ソリューションサービスで設計して製造する場合は、横河ソリューションサービスの PDK が必要となる。なお、参考として図 6.8 に PDK 作成手順概要を示す。

半導体の設計ツールである EDA は PDK を入力パラメータ（回路シミュレータである SPAICE モデルへ入力）とするので、ミニマル EDA を使用しなくても設計ができる。つまり、EDA は汎用品が使用できる。

ここまでそろうと図 6.5 の領域 A に近づく。なお、ミニマルファブの装置を購入する顧客は、その顧客自身のミニマルファブラインで PDK を作成することになる。

ヒアリングではミニマルファブを使用したくても PDK がないことが大きな課題であると聞いた。これに対しては、（株）ロジック・リサーチと（株）アナジックスが中心となり、ミニマルファブの設計ツール（通称 MINEDA on クラウドサーバー）の充実化に取り組んでいる。これにより PDK を活用した IP 開発が可能となり、実用 LSI 作成に大きく

寄与すると考える。



出典：九経調作成

図 6.8 PDK 作成手順概要

④　アカデミックプライス戦略

ヒアリングから現状のミニマル装置の価格帯は、既存の 2 インチ、4 インチ装置購入金額と大差とのはないとの声を多く聞いた。もちろん、ミニマルファブはクリーンルームが不要となるのでランニングコストが下がる。しかしながら、大学や企業の研究機関等では、クリーンルームは既設であり、装置購入時の予算には、ランニングコストは考慮しない場合が多く、クリーンルームが不要になるというミニマルファブの特性が購入動機とはなっていない。

この打開策として、大学等にはアカデミックプライスの設定を検討する必要がある。具体的には、産総研へ納入した価格をアカデミックプライスにすることを提言する。装置メーカは、この価格でも赤字ではないと考える。保守メンテナンスも企業のような即時対応は求められないので、コンテンジェンシを含んだ保守メンテナンス費は少なくて良いと考える。

大学にとっては、既存の装置より安くなるので、魅力的な価格帯となり、予算に収まると考える。さらに、国内外の学生がミニマルファブを活用することにより、就職先でのミニマルファブ導入も期待できる。まずは、活用の裾野を広げ、将来の潜在的ユーザを創造するために、アカデミックプライスでの大学・研究機関市場の開拓が求められる。

⑤　ホールプロダクト戦略

キャズムを乗り越える戦略として、ホールプロダクト戦略がある。この戦略は、図 6.5 の領域 A に 100%到達してミニマルファブのライン販売を行うのではなく、多少、使い勝手が悪くても販売して、徐々にキャズムを乗り越えるものである。

ミニマルファブは、イオン注入装置など一部の装置が完成していない。この状態で販売し、イオン注入サービスなど、一部工程はハイブリッドプロセスで行うことを提言する。まずは、顧客にミニマルファブを使っていただくことを最優先とすべきである。

さらに、ハイブリッドプロセスの PDK により、ミニマルファブで製造可能な半導体の幅が広がる。

⑥　ミニマルファブの利用のしやすさの向上

今回、約 70 の企業、大学のヒアリングを通じたユーザの声として、ミニマルファブを使用するには、“敷居が高い”との意見を多く聞いた。具体的には、産総研で高額な有料トレーニングを受け、更に試験を受けて合格することがミニマルファブ装置の使用許可要件となっている点を “敷居が高い”と感じている。

一方で、敷居が低いと評価されているのが FAIS のオープンラボである。北九州市の FAIS のオープンラボ（2 インチライン）では、初めて使用する場合は、30 分程度の無料の安全教育を受け、スタッフが立ち合いつつ操作できるしくみとなっている。更に、スタッフが認める場合は、装置条件内で自由操作も可能である。この方法で 17 年間、装置が壊れたことも、事故も一度もない。なお、年間の使用件数は累計約 1,000 回であり、かなり活用もされている。

ミニマルファブも FAIS と同じように敷居を低くし、ユーザーが自ら操作しやすい環境を整備することが期待される。これにより多くの半導体関係が使用するので、ミニマルファブの装置販売につながると考える。

⑦　Si 0.5 インチウェハの安価で安定的な供給体制の確立

ヒアリングから 0.5 インチウェハに関する課題も指摘された。具体的には、0.5 インチウェハが 1 枚数万円と大変高価である点と、ガラス基板や SiC、GaN などの化合物基板が販売されていないという点である。この 2 点から、ミニマルファブに興味関心を示しながらも、ミニマルファブを活用した研究開発は厳しいとの声を多く聞いた。

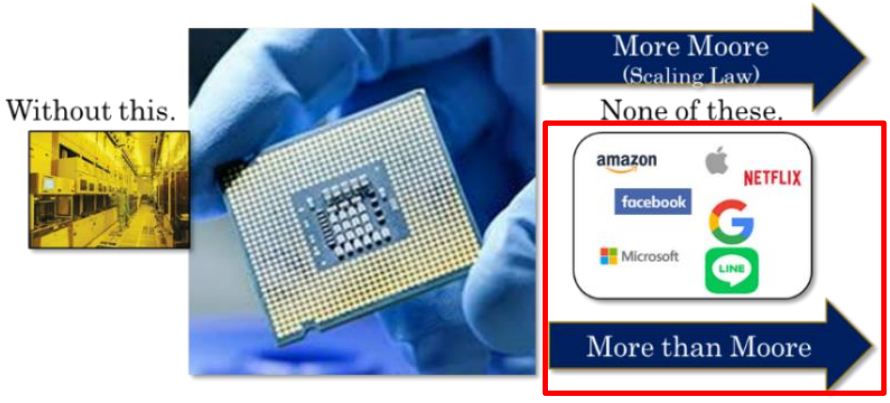
しかしながら、実情として、0.5 インチウェハの実販価格は約 3,000 円／枚であり、更に産総研では、GaAs、GaN、Ga_2O_3、SOI、ガラス、ダイヤモンド、サファイアなどの試作基板実績もある。これらの正確な情報が流通していない実態があり、ミニマルファブを十分知らない方へ、何らかの方法でこれらをアピールする必要がある。

なお、Si 0.5 インチウェハは、不二越機械工業株式会社が 8 インチウェハから水中レーザで 0.5 インチのウェハを切り出して、一枚一枚をベベリング加工[43]、更に洗浄プロセスを経て出荷されている。したがって、価格は高価で、セカンド・リソースがなく供給面でも不安がある。

商社 W 社がシリコンウェハメーカの 6 インチラインを一部活用する方式で商品化を進めている。これにより、2 社購買となるので、ウェハ供給が安定し、更に安い値段での購入が期待できる。

６．２．２　ミニマルファブの特徴が活用できる新技術分野への提言

図 6.9 に示すように、半導体は、スケーリング則により集積化を追い求める More Moore、実装技術により集積化を追求する More than Moore に方向性は大きく分かれる。しかしながら、近年、GAFA＋M と呼ばれる企業は、独自の半導体を製造し、その半導体の中にサービスを組み込み始めている。



出典：九経調作成

図 6.9 半導体の方向性

例えば、Google は半導体チップを自ら製造して、チップにサービスをエンベデッドした差別化サービスを提供している。同様に Apple の M1 チップもインテルから乗り換えた。これらはシリコン（半導体）を押さえることでサービスを取り込む戦略である。これは、ユーザ側のサービスに最適化したデバイスを組み込んで、サービスの付加価値と差別化を図るという半導体産業変革の姿の一つである。デバイス単体でのビジネスからサービスに組み込んだビジネスに変異している。

---

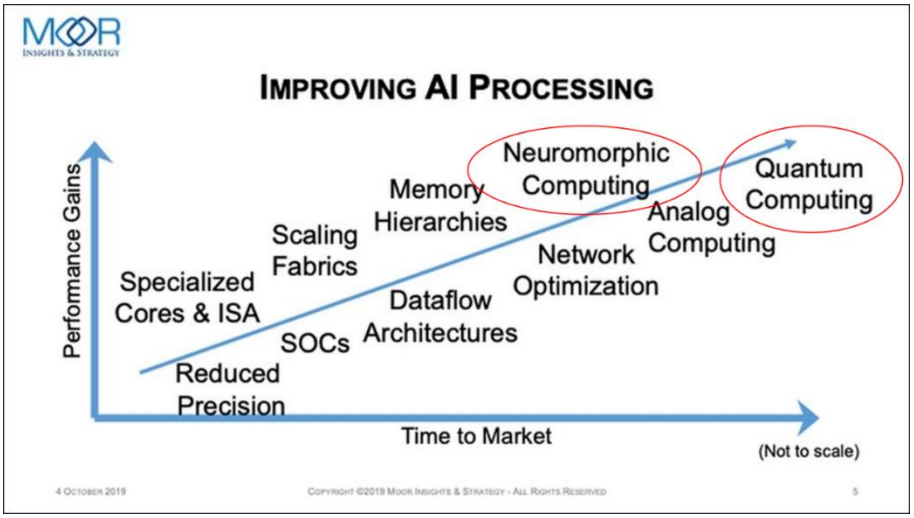
[43] ウェハエッジを砲弾の先端のように加工、これによりウェハが割れにくく、エッジからのパーティクルも減少。

ミニマルファブは、このようなメガファブと競合しても勝ち目はない。メガファブでなく（Without this）、全く新しいコンセプトでデバイスを作ることが必要である。

ミニマルファブは装置開発が先行している。ALD やグラフェンなど、これらのプロセス装置が必要となるデバイス構造を設計する必要がある。

具体的には、今後期待されているテクノロジーであるチップレット、量子コンピュータの一種である単一磁束量子（SFQ）回路、及びニューロモルフィック半導体を提言する。

特に、図 6.10、図 6.12 に示すように、ニューロモルフィックと量子コンピューティングは、AI 開発には注目を浴びている技術トレンドである。



出典：MOOR Insights and Strategy, AI Hardware: Harder Than It Looks

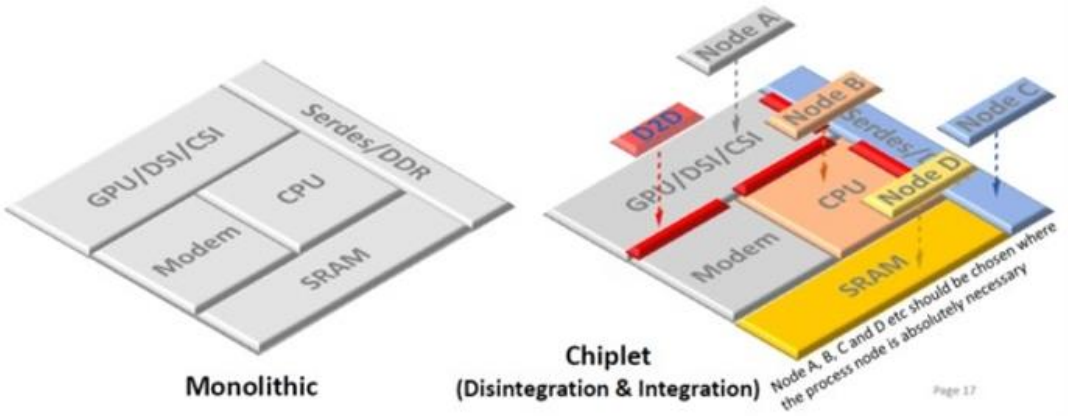
図 6.10 AI 処理技術の進化トレンド

① チップレット開発の提言

ミニマルファブが活用でき、これから必要とされるヘテロジニアス・インテグレーション技術分野としてチップレット開発を提言する。

図 6.11 に示すように従来は、単一シリコン基板上（モノシリック）に各種異なるモジュール（IP）をファブリケーションしていた。この課題として、チップサイズが大きくなり、歩留り低下の要因となる。この課題解決として生まれた技術がチップレットである。各種モジュールを最適なプロセスノードでファブリケーションを行い、目的とするモジュールを構成するチップをレゴのように組み合わせる。

これはさらなるコスト効果ソリューションとしてスケーリング則を経済的に進める方法である。例えば、モノシリックよりチップサイズが小さくなるので、歩留りは向上する。これはヘテロジニアス・インテグレーションには不可欠な技術である。



出典：SE-Ho You (Samsung), “From Package-Level to Wafer-Level Integration”, IEDM2020, SC1

図 6.11 チップレットとは

４．１．７ 海外で述べた UCLA L 教授によると、モノシリックをチップレットに分解した時のチップサイズは、最大 100mm² 角である。モノシリックの場合は、ミニマルファブの 0.5 インチウェハは小さい可能性があるが、チップレットの場合は、プロセスノードにも依存するがミニマルファブで十分対応ができる。

例えばハイエンドチップではなくエッジ処理で使われるセンサデバイスの場合、現状はコストの問題でセンサとの I/F で高速化が必要なデバイスにのみしか適用されていない。しかしながら、コストに影響するのが配線用のシリコンウェハである。安価な配線用ウェハが出てくる 2023 年頃から 15mm² 角くらいの LSI でもコストメリットが出ると予想されている。

こういった半導体製造の流れがあれば、プロセッサやメモリ、通信機能等、現状は IP として LSI に機能として内蔵されていたものがチップレットとして供給されるのではないかと考えられる。チップ間のインターフェースの統一化は既に ODSA（Open Domain Specific Architecture）が進めている。事実大量生産を狙った OSAT だけでなくチップレットを組み合わせて独自の LSI を製造するサービスを提供するスタートアップもぽつぽつ出てきている。

昨今の LSI 設計の手法は必要な IP を集めて、それらを結ぶ統一 BUS 上にオリジナルの機能を付加するといったやり方が一般的である。ところがちょっとした機能を入れようとすれば開発費 2 桁億円の世界である。

一方、CMOS で 0.35μm 程度（EB 露光の場合）のミニマルファブで可能な機能はオリジナルのロジックの部分だけに限定される。

チップレット化の動きは、CMOS の微細化が厳しい、また様々な IP を移植するのが難しいといったミニマルファブの課題を解決できる好機かと考える。

チップ全体のシミュレーションや今後共通化されて行くチップレットの I/F（インター

フェース）のサポート、更に 0.35μm では難しい設計に対するハイブリッド化への適用など、チップのトータルデザインを考慮したミニマル・ファブの活用を考えていくことが必要ではないだろうか。

このような取り組みを進めることによって、ミニマルファブの CMOS 対応の道が一気に開けると考える。その結果、少量生産の LSI で苦悩している産業機器メーカ等のニーズに合致した市場展開が期待できる。

② 単一磁束量子（SFQ）回路開発の提言

これは、４．１．４　の事例 1 で述べた名大・九大・横国大の共同研究である。

量子コンピュータの量子ビットの素子は、大きく２つの方法がある。国内では、産総研が開発している“超伝導量子ビット”と理研が開発している“シリコン量子ビット”である。しかしながら、これらは Google, IBM, Intel 等の研究が進んでいる。

これらの技術とは異なるものとして、単一磁束量子（SFQ）回路がある。これは、これまでの量子ビットは不可であった、通常のデジタル回路として使用できる。よって、半導体で行き詰まるところ、例えば、並列展開が難しいタスクや低レイテンシ計算などをカバーすることが可能となる。

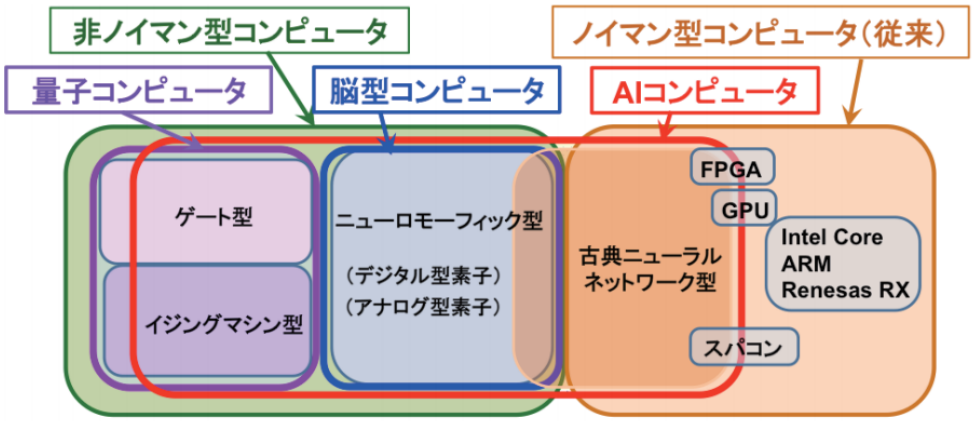
現在、POC などは産総研つくばの 3 インチラインへ製造委託を行っている。製造期間は約一ヶ月ほどであるが、ここは R&D ラインなので、設備機器のメンテナンスも不十分で装置トラブルなどでスケジュールは遅れがちになっている。これにより、名大の試作は 4～6 回/年、他の研究者の試作を合わせても 10 回/年程度である。このように産総研 3 インチラインの空きも少なくなっている。

ミニマルファブが十全に活用できる段階に至れば、この研究開発を加速することができると思われる。しかしながら、対象が化合物半導体のため、産総研のミニマルファブを使用するとコンタミの可能性があるので、SFQ 集積回路専用のミニマルファブラインを構築することが必要となる。

世界トップレベルの研究に取り組む名大も連携しているため、ミニマルファブを世界にアピールすることができると思われる。

③ ニューロモルフィック半導体開発の提言

これは、４．１．４　の事例 2 で述べた九工大のニューロモルフィック AI ハードウェア研究センターが研究開発を行っている。これは図 6.12 に示すように、非ノイマン型の脳型コンピュータである。



出典：NEDO TSC Foresight Vol.30 P4

図 6.12 AI を支えるコンピュータの分類

九工大は世界でも珍しく、日本で初めての試みとして、材料開発から脳型コンピュータの開発を行っている。研究センターは 2020 年 4 月に発足した。これから研究に必要な半導体製造設備の導入を予定している。これには、メガファブの設備ではなく、POC などがマスクレスで早く廻せるミニマルファブが導入できるような取り組みが期待される。

６．２．３　産総研九州センターのミニマル IoT デバイス実証ラボへの提言

後工程は労働集約型産業なので、マーケット特性上から、ミニマルファブの幅広い活用にはハードルが高いと思われる。しかしながら、後工程の FOWLP 等はファブの装置を必要とする資本集約型である。ここではミニマルファブの活用可能性がある。特に、多品種少量生産、セキュリティ、地産地消を求められる航空宇宙＆防衛産業用途には可能性があると考える。IEEE HIR の航空宇宙＆防衛からは Heterogeneous パッケージの可能性が期待されている。

ミニマルファブの事業化を進めていく上で、「デバイスの試作受注」がキーワードとなる。そこで、産総研九州センターが中核的な役割を担ってきたミニマル IoT デバイス実証ラボを効果的に活用し、企業や大学等の研究機関からの POC 受託や共同研究開発の拠点機能を担うことができれば、ミニマルファブに関連した事業化の取り組みが繋がり、個々の企業がそれぞれで取り組む以上の成果を期待することができると思われる。

しかしながら、当該実証ラボを活用するにあたって、次のような４つの課題を解消することが強く望まれる。

① 信頼性評価の実施

ミニマル IoT デバイス実証ラボが企業や大学等の研究機関から試作を受託するには、各装置の安定化、各プロセスの信頼性評価（例えば、エレクトロンマイグレーション 等）が非常に重要となることから、各装置メーカとの連携により、それぞれの装置における駆動データの収集や安定稼働のための条件設定を早急に確立することが必要。

② 環境整備（静電気対策など）

パッケージの試作では、企業や大学等の研究機関から貴重なチップの提供を受けることとなる。この際、例えばベアチップは、静電気により容易に破壊されるので、適切な静電気対策（例えば、静電マットなど）を行うなど、試作受注のための適切な環境整備が求められる。

③ 装置のバージョンアップ

現在、ミニマル IoT デバイス実証ラボに設置されているミニマルファブの装置は試作機や初号機が多く、受託製造や企業との共同研究開発を行うことには大変厳しい模様。装置メーカー等との共同を行う中で、それぞれ最新又は販売対象の装置を揃え、適切な試作環境を整えることが必要。めっき装置を例に挙げれば、汎用性を持たせるために、TSV めっき装置と同じく、ウェハ表面から電極を取る構造にするといった工夫・改造等を行うことにより、試作を受け入れる制約が減り、ビジネスに繋がる機会がより拡がることとなる。

④ 他機関との連携

様々なデバイスの試作を受けることによって、実ビジネスに向けた装置の完成度が高まるとともに、多様な顧客の広がりが期待できる。

一方、試作の受け皿として広く認知され、数多くの機会を捉えるためには、これまで実証ラボの取り組みに関わってきた関係者以外にも連携先を広げていくことが重要となる。こうした中、新たな連携先として九大の My-IoT コンソーシアムが挙げられる。このコンソーシアムは、ビッグデータを活用した新たなビジネス・産業活性化が期待される IoT 技術に着目し、IoT のシステム提供者と利用者とのギャップを解消するための研究開発とエコシステムを構築することによって IoT を活用した新たなビジネスを生み出していくことを目的としたものであり、多様な IoT の実装モデルを創出するプラットフォームとしての役割が期待され、デバイスへの新たなニーズなど、非常に有望な連携が期待できる。

今後、このような新たな連携先を含め、九州大学をはじめとする先導的な研究を行う大学や三次元半導体研究センター等との連携を効果的に行うことが重要。

このコンソーシアムは、出会いの場（ハード、ソフト、ニーズ、ウォンツ）としている。これにより各研究者や各企業の人と人とのマッチングが行え、My-IoT プラットフォームに

より研究開発と社会実装をアジャイル的に行う。My-IoT を進めるための基盤として、ミニマル装置購入の予算申請に繋げていくなどの工夫が必要である。今後、産総研九州センター、九大、三次元半導体研究センター、ミニマルファブのサポイン企業等で地域コンソーシアムを設立して国の大型予算獲得へ取り組むことを提言する。

６．２．４　アンケート結果のフォローアップ提言

アンケート調査の結果、多くの企業等が、サポイン企業の技術に興味を示している。今回のアンケート結果をミニマル関係者で共有・吟味しつつ、引き続き調査事業を通じて販路開拓支援を行うことが求められる。なお、これらサポイン企業は、営業リソースにも課題があることから、アンケートで得られた情報をベースにした下記の営業支援体制を提言する。

- ミニマル装置としての営業活動：
  ミニマル装置の販売商社である、横河ソリューションサービス、東京貿易マシナリー、JFE 商事エレクトロニクスと非独占販売権を結んで営業活動を任せる。
- ミニマルファブから派生した装置や技術の営業活動：
  これらは本業としての営業活動を各社で行う。
- SIIQ との連携
  SIIQ 会員企業の中には半導体以外の産業分野へ事業展開を計画する例もあるため、今回のアンケート結果を参考にできる可能性がある。

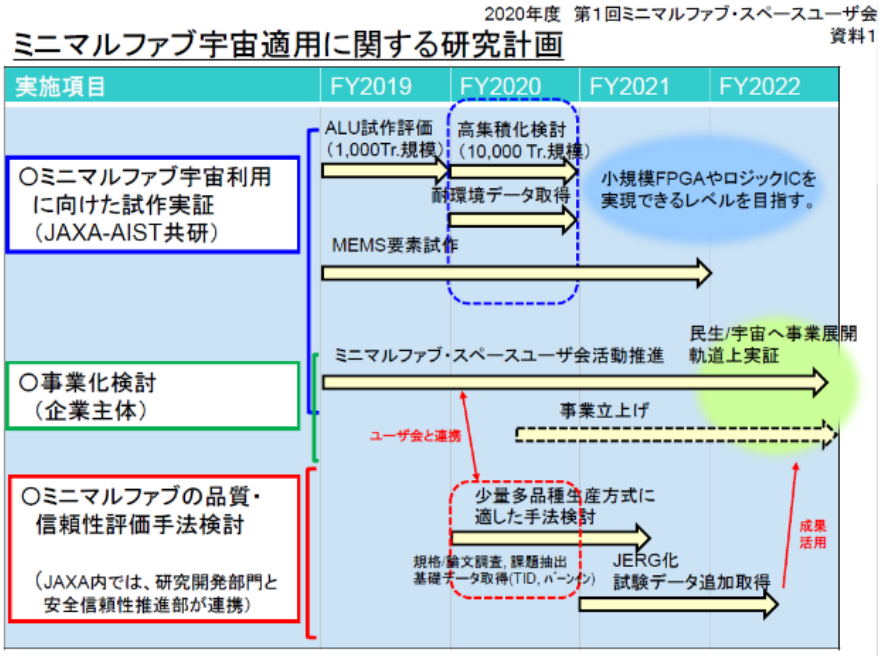
６．２．５　今後の展望

本調査事業の分析結果として、サポイン企業の事業化に向けたビジネスモデルの大前提として、最も求められることは「ミニマルファブの商品化」である。商品化に向けて、さまざまなブラッシュアップが求められるが、これらは装置が活用され、稼働することで確立されていくという背反する面も併せ持つ。そこで、各種の研究開発プロジェクトでの活用や受託ビジネスなどでの活用を通じて、ブラッシュアップを進めつつ、手離れのよい商品としていくことが求められる。

本調査を通じて、商品化に向けた方向性やミニマルファブの特徴が活用できる新技術分野研究のターゲット領域の方向性を示すことができた。今後の展望として、装置のブラッシュアップとビジネスモデルの確立を果たすために、下記に示すミニマルファブ導入に向けた計画に何らかの形で関与して、九州のサポイン企業のビジネスチャンスに結びつける必要があると考える。

①　宇宙ビジネス

JAXA は図 4.8 に示すように、JAXA で開発した宇宙利用に向けた試作や品質・信頼性評価手法を民間企業へ Take Over することを計画している。総合商社 B 社は、JAXA の宇宙イノベーションパートナーシップ（J-SPARC：JAXA Space Innovation through Partnership and Co-creation 、100%助成）を活用して、JAXA とパートナーシップを結び、共同で新たな発想の宇宙関連事業の創出を目指している。現在、B 社は、J-SPARC の申請を検討中である。



出典：JAXA

（再掲）図 4.8　ミニマルファブ・スペースユーザ会の計画

②　九工大ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センター

この研究センターはミニマル装置を含む設備機器の購入申請を九工大と協議中である。ミニマルファブのメリット&デメリットを見極めるために、この研究センターの学生を産総研九州センターの「ミニマルファブ体験講座」（無料）に参加させる予定である。この内容は、1～1.5 時間の座学（ミニマルファブのコンセプト等の講義）と 3 時間程度の実習（フォトリソグラフィで自分の名刺を焼き込む等）により構成されている。

参考資料１

ミニマルファブの活用に関するアンケート調査票

ミニマルファブの活用に関するアンケート調査

調 査 票

組織の概要について

貴社・貴大学についてご記入ください。

ご所属の 組織・研究室	
ご連絡先	氏名： TEL：　　FAX： email：

研究開発体制について

問１　対象とする研究領域は何ですか（いくつでも）。具体的な研究テーマもご記入ください。

１．半導体・エレクトロニクス	２．航空宇宙	３．バイオ
４．メディカル	５．ヘルスケア	６．情報通信・情報機器
７．マテリアル	８．産業機械・ロボット	９．自動車
10．その他（　　）		

【具体的な研究テーマ】

問２　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を行っていますか。（1 つだけ）

１．行っている	２．行っていない**→問 11 へ**	３．わからない**→問 11 へ**

問３　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の頻度をお答えください。またその目的と内容もご記入ください。

【年間における頻度】（1 つだけ）

１．年１、２回	２．年３、４回	３．年５～９回
４．年 10 回以上	５．わからない	

【半導体微細加工プロセスを用いた試作・小ロット生産の目的と内容】

問４　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の１回あたりの数量はどのくらいですか（１つだけ）。

１．10 未満	２．10～50 未満	３．50～100 未満
４．100～500 未満	５．500～1,000 未満	６．1,000 以上
７．わからない		

問５　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の１回あたりの金額はどのくらいですか（１つだけ）。

１．10 万円未満	２．10 万～50 万円未満	３．50 万～100 万円未満
４．100 万～500 万円未満	５．500 万～1,000 万円未満	６．1,000 万円以上
７．わからない		

問６　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の１回あたりで実際に必要な個数（希望する個数）はどのくらいですか（１つだけ）。

１．10 未満	２．10～50 未満	３．50～100 未満
４．100～500 未満	５．500～1,000 未満	６．1,000 以上
７．わからない		

問７　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の１回あたりの希望する金額はどのくらいですか（１つだけ）。

１．10 万円未満	２．10 万～50 万円未満	３．50 万～100 万円未満
４．100 万～500 万円未満	５．500 万～1,000 万円未満	６．1,000 万円以上
７．わからない		

問８　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産について「外注」を行っていますか（１つだけ）。

１．行っている	２．行っていない**→問 10 へ**	３．わからない**→問 10 へ**

問９　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産の「外注」について、年間における頻度と外注先をお答えください。

【年間における頻度】（1 つだけ）

１．年１、２回	２．年３、４回	３．年５～９回
４．年 10 回以上	５．わからない	

【外注先】（いくつでも）

１．民間企業	２．大学	３．国公立試験研究機関
４．その他（	）	５．わからない

問 10　半導体微細加工プロセスを用いた試作や小ロット生産を行うにあたっての課題はありますか。ご自由にご記入ください。

ミニマルファブのニーズについて

問 11　ミニマルファブを知っていますか（１つだけ）。

１．よく知っている	２．少し知っている	３．あまり知らない
４．まったく知らない	５．わからない	

問 12　ミニマルファブは以下のようなコンセプトのプロセスです。研究で活用できそうなもの、もしくは興味・関心があるものはありますか（いくつでも）。

１．局所クリーン化（クリーンルーム不要での極小エリア（体積）での微細加工環境の実現）
２．シャトル搬送によるプロセスドッキングシステム
３．POC・一種一品試作・評価（マスクレス回路形成による可変化、セキュリティデバイス）
４．ラピッド・プロトタイピング（１プロセス数分程度の短 TAT での試作、評価）
５．SDGs 設備運用（省資源・省材料、省廃棄、省エネルギー、TCO 削減）
６．低コスト設備運用（クリーンルーム不要、省スペース、省エネルギー）
７．低コスト試作・小ロット生産（ハーフインチサイズ&マスクレス露光による省ロット対応）
８．多品種変量試作・生産（ハーフインチサイズ&マスクレス露光による変量化対応）
９．プロセスインテグレート研究開発（設計・試作・テスト・評価での一貫研究の実現）
10．プロセスインテグレート人材育成（研究者のプロセス理解と一貫研究能力の育成）
11．Make LSI（LSI 試作・生産の民主化）
12．独自開発プロセスの装置化（装置化に活用できるミニマル共通ユニット（PLAD、シャトル、制御ユニット等）
13．その他（　　）

問 13　以下の内容は、ミニマルファブ装置の開発により、九州の企業等が実現させた、もしくは開発中の技術です。研究開発および小ロット生産で活用できそうなもの、もしくは興味・関心があるものはありますか（いくつでも）。ご回答の際は同封の「参考資料」をご活用願います。

◎半導体開発プラットフォーム・・・参考資料 p.2
１．ミックスドシグナルマスクレスマスター回路スライス
２．メガファブ製造デバイスのマスクレス再配線等による特性評価の短 TAT 化
３．ミックスドシグナルデバイス特性評価
４．EOL デバイス
◎マスクレス露光技術・・・参考資料 p.3
５．マスクレスによる 0.5μm レベルの配線形成
６．ファイン露光モードによるジャギーのない斜め線・曲線形成
７．裏面アライメントイオプション
◎EB 露光技術・・・参考資料 p.4
８．EB 露光による直接描画での 0.1μm レベルの配線形成
◎めっき技術・・・参考資料 p.5
９．超小型 TSV Cu めっき
10．高速 Cu めっき
11．FOWLP 再配線層の超短 TAT めっき

◎計測・観察技術・・・参考資料 p.6
12. CD-SEM（世界最小クラスの高分解能・超高真空 SEM）
13. 超小型電子光学レンズ（複合方式の静電レンズ）
14. 小型超真空装置ユニット（SIP と分子吸着ゲッターの複合方式）
◎マルチチップボンダー・・・参考資料 p.7
15. 異種デバイス混載システムモジュール
16. プリント基板レスシステムモジュール
◎3D 構造解析技術・・・参考資料 p.8
17. CT-SEM（生体細胞等有機材料のナノレベルでの３D 構造分析）
18. タンパク質分析

問 14　同封資料「ミニマル装置一覧」をご覧いただき、興味関心のある装置はありますか。資料の通し番号（No.1～No.70）をお答えください（数字で記入・いくつでも）。

問 15　問 12 ならびに問 13、問 14 でお答えいただいた技術について、活用ができそうなものがございましたら、その活用可能性について具体的にご記入ください。

問 16　問 12 ならびに問 13、問 14 の技術について、活用できそうにないと思われた場合、過剰または不足している個所・内容についてご記入ください。

問 17　ミニマルファブを利用した試作や評価・小ロット生産を行うと仮定した場合、どのような形態が望ましいですか（いくつでも）。

1．自らの組織内で購入して活用
2．ミニマルファブ所有組織への試作依頼（受注型）
3．ミニマルファブ所有組織への試作依頼（サブスクリプション型）
4．ミニマルファブ所有組織との共同研究
5．ミニマルファブ所有組織への研究員派遣による活用
6．その他（　　）　7．わからない

問 18　現在、貴研究室において、以下の選択肢のなかに解決したいと考える課題・問題はありますか（いくつでも）。

1．開発・研究期間の短縮化	2．実験材料の低コスト化	3．実験環境・装置の低コスト化
4．試作の低コスト化	5．装置の操作負担軽減	6．予算の不足
7．工程管理の省力化	8．納品期間の短縮化	9．新しいプロセスの探索
10．新しい材料の探索	11．新しい実験装置の探査	12．人材育成の環境・設備の不足

お忙しい中、アンケート調査にご協力いただきまして、誠にありがとうございました。

ミニマルファブの活用に関するアンケート調査

※問13をご回答いただく際の「参考資料」としてご活用願います。

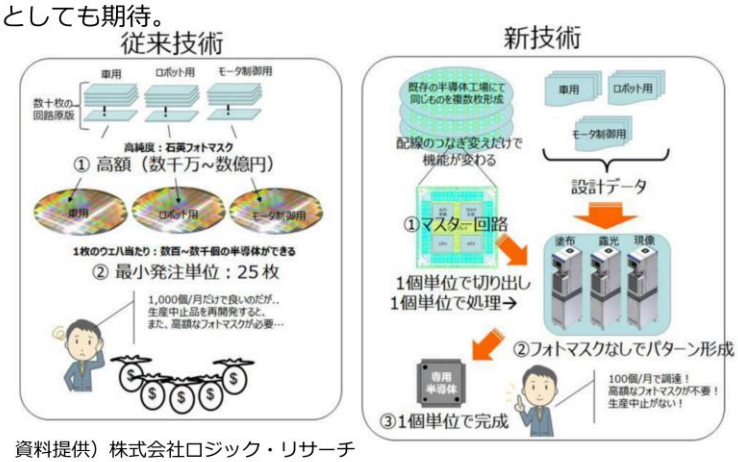
参考資料

1

◎半導体開発プラットフォーム

◎ ミックスドシグナルマスクレスマスター回路スライス

- 配線で機能が変わる「マスター回路」を従来のメガファブ等で製造。その後、ミニマルファブで再配線を行うことで、多品種・短納期・低コストを実現するコンセプト。
- メガファブで作製したチップにミニマルファブのマスクレス露光によって再配線することで、様々なアイディアの試作デバイスを一度に同時に作成ことができ、特性評価を短TAT化。また、シミュレーションでの評価が難しいアナログ系のセンサーデバイスやミックスドシグナルデバイスの試作評価が容易に。EOL（End of Life）デバイスの供給方法としても期待。



資料提供）株式会社ロジック・リサーチ

◎マスクレス露光

◎ マスクレス露光

- 小型の表示素子DMD（Digital Micromirror Device)を活用することにより、高額なフォトマスクを使用せず、直接露光することが可能。
- 画素サイズは0.5μm。
- ファイン露光モードでは、最小0.05μmづつ位置をずらしながら多重露光することで、斜め線や曲線をジャギーなく滑らかに露光可能
- 裏面に設けたアライメントマークを基準にして露光できる、裏面アライメント機能をオプション設定

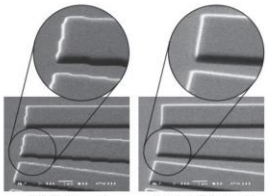
特長

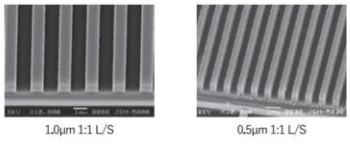
ミニマル マスクレス露光装置の特長は、DMD(Digital Mirror Device)と呼ばれる表示素子を使用した描画方法にあります。格子状に配列された数十 μm 角の小さなミラーに光源からの光を照射し、ステージと完全同期制御された各ミラーの ON/OFF を切り替えることにより、ウェハ上に直接露光を行います。
フォトマスクが不要になるため、デバイス設計から試作までの費用と時間の大幅な削減が図れます。
また、LED 光源の採用や小型化、クリーンルーム不要のミニマル仕様により、消費電力や設置面積を大幅に低減。あらゆる"省"を集約した露光装置です。
オペレーターに易しく、環境に優しく。
小さな筐体に、大きな頭脳をギュッと詰め込みました。

● 描画方法模式図

描画サンプル

使用用途の妨げになる露光結果のジャギーを解消したいというお客様からのご要望にお応えするため、ピクセル補完技術を応用した**ファイン露光モード**を標準搭載。
通常モードに比べ斜線や曲線データの再現性が飛躍的に向上します。





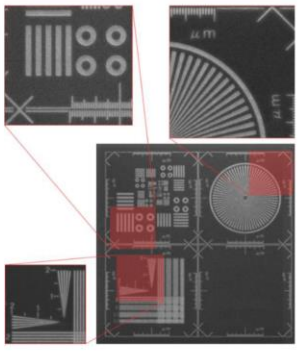
資料提供）株式会社ピーエムティー

◎EB露光

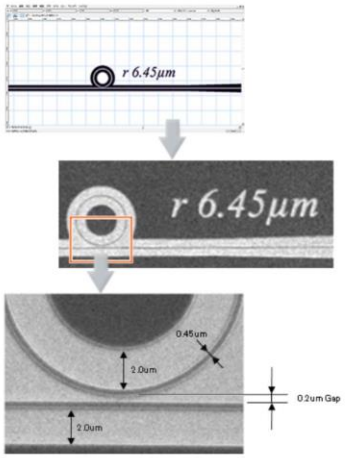
◎ EB露光

- ショットキーエミッション電子銃（15kV）によるマスクレス直描：ベクターとラスターの両方式を取り入れたハイブリッドアルゴリズム。
- 現状0.2umデザインルールまで可、目標は0.1um。描画速度は２～３時間／Wfr程度の高速処理を実現。

EB機能(アタッチメント)を用いたシリコン基板上のレジストパターンサンプル。



描画サンプル　光導波路パターン

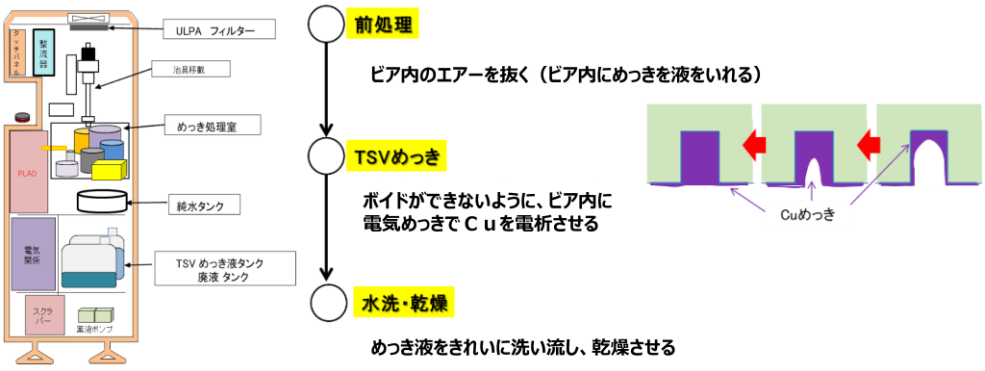


資料提供）株式会社TCK

◎めっき技術

◎ 超小型TSV Cuめっき

- めっきの全プロセス（前処理、めっき処理、洗浄・乾燥）を装置１台に集約。小型で経済性が高く、使いやすい。使用する薬品量と廃液量もごく少量でSDGｓにマッチした装置。めっき液は国内メーカー製品を使用可能でめっき液のカスタマイズも可能。
- 電流波形を特殊波形にすることで、めっきの溶解・析出をコントロールしてにビア埋め込みめっきの高速・適正処理を実現
- Cuめっきスピードは、1μm/min。ビアへの表面めっきは、膜厚5μm開口部150μm、深さ90μmのビアを5分で実現。TSV（シリコン貫通電極）では、サイズΦ20μm×深さ50μmのCu埋め込みめっきを温度25℃で20分で実現。
- FOWLPなどの再配線層のめっき処理にも活用可能。



資料提供）熊本防錆工業株式会社

◎計測・観察技術

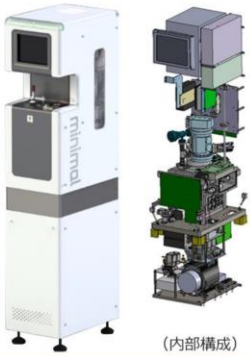
◎ CD-SEM

- 新開発の複合方式静電レンズと小型超真空装置による世界最小クラスの高分解能・超高真空SEM。ショットキーエミッション電子銃による高解像度パターン観察精密自動ステージによる試料位置管理完全ドライ真空によるクリーン観察に対応。
- SIP（スパッタイオンポンプ：10-6EPa）とゲッター電極フィルの複合排気方式によって、超高真空状態の急速立ち上げと省エネ継続を実現。10分程度（通常の10倍のスピード）で立ち上げ、無電源状態で１週間程度の高真空維持が可能。
- 複合方式の静電レンズや小型超真空装置のみのモジュール供給も可能。EBアタッチメントによる電子線描画装置化、EDSアタッチメントによる元素分析装置化など、いろいろな装置に進化可能。

専用ソフトでの操作画面。左から、100倍、10,000倍、CD計測画面。

資料提供）株式会社TCK

11.5インチLCDにSEM操作を凝縮

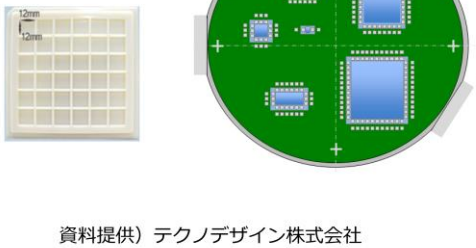


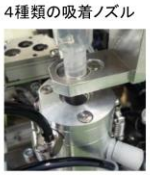
（内部構成）

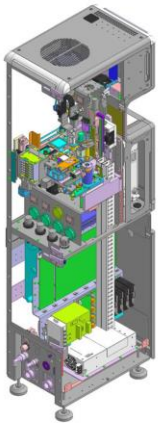
◎マルチチップボンダー

◎ マルチチップマウンター/ボンダー

- いかなる実装にも対応。リード/フリップチップ,SMD搭載。(FOWLP, System用途可)
- ６品種の素子を一括搭載（異種デバイス混載システムモジュール）。搭載精度+/-7um。（2インチトレイ6枚をマガジンに収納）
- フェイスアップ/ダウン搭載対応。
- ４種類の吸着ノズルを自動交換。（0.5mm～8mm角チップに対応）
- 初号機が今年１月に完成し、現在産総研つくばにて性能評価試験を実施中。
  ミニマルウェハーのダイでトライアルの後、市販のダイを使用して検証予定。
- ワイヤーボンダーオプションは開発中。
- 3Dパッケージング技術でのプリント基板レスの薄化システムモジュール







装置見取り図

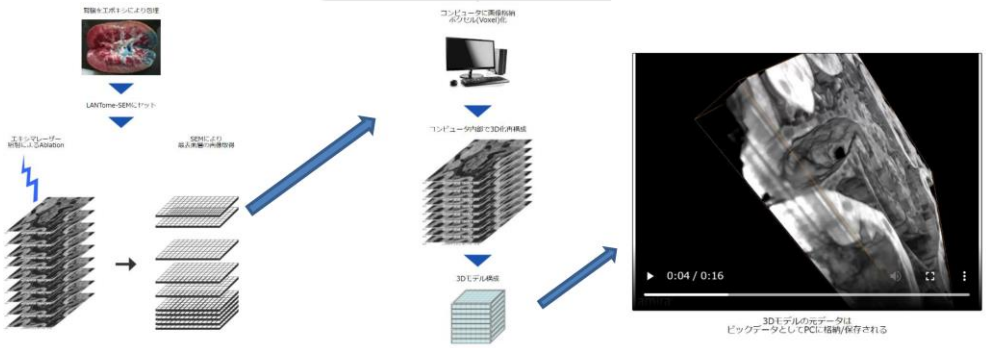
動画で実際の動作を見ることができます
http://www.kerc.or.jp/info/2020/11/post-82.html

資料提供）テクノデザイン株式会社

◎ 3 D構造解析技術

◎ CT-SEM

- レーザーアブレーション＋SEMを応用したナノレベル３D解解析装置。九州大学病院イノベーションセンターとの共同開発。要素技術は、ArF(193nm)レーザーを導入したSEM。生体細胞等の有機物にArF線でソフトアブレーションをかけ、生体細胞の分子トラップ構造を解析。レーシック技術のように発熱せずに処理が可能。
- CT画像の解像度は、２Dで2～10nm、３Dで20nm程度とナノレベルの高精度。通常１週間程度かかるがんの生体検査が３時間程度で全自動で可能。画像データをクラウドサーバーでデータベース化し、AIで解析することで、受託分析体制も構築準備中。
- 人手不足である病理医の専門技官の見分時間の大幅カットが可能。



資料提供）株式会社TCK

※この装置は、ミニマルファブの装置ラインナップではありません。
ミニマルファブの技術応用製品です

参考資料２

ミニマルファブ等の事業化に向けた市場ニーズ調査及販路開拓等支援事業検討会議

委 員 名 簿

氏 名	所 属	役 職	第1回	第2回	備 考
井上 道弘	産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門	客員研究員	web	出席	座長
加藤 義尚	福岡大学 半導体実装研究所	客員教授	web	web	
平井 寿敏	産業技術総合研究所 九州センター	所長	欠席	web	
大園 満	産業技術総合研究所 九州センター ミニマルIoTデバイス実証ラボ	副ラボ長	web	web	
牧野 豊	九州半導体・エレクトロニクス イノベーション協議会	統括コーディネーター	出席	欠席	
神田 誠	九州半導体・エレクトロニクス イノベーション協議会	技術部長 コーディネーター	出席	出席	
神谷 昌秀	福岡県産業・科学技術振興財団 ロボット・システム開発センター	センター長	出席	欠席	オブザーバー
野北 寛太	福岡県産業・科学技術振興財団 三次元半導体研究センター	副センター長	出席	欠席	オブザーバー
中尾 浩史	福岡県産業・科学技術振興財団 三次元半導体部	部長	出席	欠席	オブザーバー
平川 伸子	経済産業省 九州経済産業局 情報政策課	課長	出席	web	
村上 孝誠	経済産業省 九州経済産業局 情報政策課	課長補佐	出席	web	
佐藤 圭	経済産業省 九州経済産業局 情報政策課	情報産業第一係長	出席	出席	
井手 祐太	経済産業省 九州経済産業局 情報政策課	係員	出席	出席	
三宅 賢治	九州経済調査協会	プロジェクトマネージャー	欠席	出席	
川口 明宏	九州経済調査協会	主任調査員	欠席	出席	
小貫 慶一	九州経済調査協会 （JFE商事エレクトロニクス プロセスソリューション営業部）	主任調査員	web	出席	
岡野 秀之	九州経済調査協会 事業開発部	部長	出席	出席	
南 源来	九州経済調査協会 調査研究部	研究員	出席	出席	
相川 弘樹	九州経済調査協会 調査研究部	研究員	出席	出席	

参考資料３

ミニマルファブ等の事業化に向けた市場ニーズ調査及販路開拓等支援事業検討会議

開 催 概 要

第１回検討会議

日時：2020 年 12 月 21 日（月）15:30～17:30
場所：公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団
　　社会システム実証センター３階セミナー室（リモートミーティング併用）
議題：
・中間報告（成果報告）について
　（サポイン企業の事業化実態報告、ニーズ調査の中間報告、アンケート結果）
・取りまとめの方向性について
・今後の調査方針について

第２回検討会議

日時：2021 年３月４日（木）14:00～16:00
場所：公益財団法人九州経済調査協会
　　5 階 大会議室（リモートミーティング併用）
議題：
・最終報告（成果報告）について
　（ニーズ調査結果、ハンズオン支援結果）
・事業化ビジネスモデル（目指すべき方向性について
・取りまとめの方針について

調査プロジェクトメンバー

国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノエレクトロニクス研究部門
客員研究員 井上 道弘（外部専門家）
公益財団法人九州経済調査協会 事業開発部長兼 BIZCOLI 館長 岡野 秀之（事業統括）
公益財団法人九州経済調査協会 調査研究部研究員 南 源来
公益財団法人九州経済調査協会 調査研究部研究員 相川 弘樹
公益財団法人九州経済調査協会 嘱託研究員 三宅 賢治（プロジェクトマネージャー・主任調査員）
公益財団法人九州経済調査協会 嘱託研究員 川口 明宏（主任調査員）
公益財団法人九州経済調査協会 嘱託研究員 小貫 慶一（主任調査員）

（禁無断転載）

令和２年度九州地域ものづくり中小企業事業化支援事業
「ミニマルファブ等の事業化に向けた市場ニーズ調査及び販路開拓等支援事業」

報　告　書

令和３年３月

発注元：経済産業省九州経済産業局 情報政策課
〒812-8546　福岡市博多区博多駅東 2-11-1
TEL：092-482-5440
委託先：公益財団法人九州経済調査協会
〒810-0004　福岡市中央区渡辺通 2-1-82
TEL：092-721-4900