

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ミニマル半導体装置共通プラットフォームの開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 サンヨー株式会社

目 次

第 1 章	研究開発の概要	
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	5
1-3	成果概要	9
1-4	当該研究開発の連絡窓口	11
第 2 章	本論	
2-1	ドッキングステーションの開発	12
2-2	ミニマルリフターの開発	17
2-3	フリーアクセスフロア対応ドッキングステーションの開発	21
2-4	フィールドテスト	24
第 3 章	全体総括	28

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

＜研究開発の背景＞

近年、製造機械、計測機械、医療機械等の分野において、装置の小型・軽量化が進み、工場のみならずオフィスや研究室のような環境で装置を設置する機会が増えている。それにも関わらず、製造工程に合わせて装置を自在にレイアウトするという発想がなく、確実かつ容易に高精度で装置を設置及び着脱・固定できる汎用的な位置決め技術は存在していない。

特に、半導体製造装置等においてはウェハの大口径化と工場投資額に見合う月産生産量を確保するためにより高速な生産が必要になった結果、装置は巨大化・重量化する一方である。このため、装置搬入には大がかりな仕掛けと労力が必要になり

【図1】、また、装置のクリーンルームへの設置は、アジャスターで自重により固定するだけで済ませるようになってしまった【図2】。このことで、ロボットの位置決め精度等の性能が向上しても、装置と装置、装置と工場建屋の間の位置決め機構がないため、ひとたび大地震が発生すると、工場全体に張り巡らされた搬送システムと装置が相互にずれて搬送動作不能となり、壊滅的な打撃を受けることが明らかとなっている。また、装置自体の故障時はオンサイトでの修理が必要になり、その間ラインは止まることになる。



図1 大がかりなメガ装置の搬入



図2 半導体製造装置は、サイズが個々に異なり、床にはアジャスターで設置するだけである。

巨大な装置を移動させることは不可能であるため、やむを得ずワーク側、すなわちウェハを装置間で搬送させている。半導体製造においては、数百にのぼる製造工程間のウェハ搬送の手間と加工待ち時間の増大が、生産高効率化への大きな障害となっていることが指摘されている。

さらに、百万個オーダーの大量生産が前提となっている巨大な装置は、市場規模の約半分を占める多品種少量のデバイス生産には極めて対応が困難であり、日本に

おけるデバイス産業はビジネスとして成立していない。すなわち、中小量のデバイスが必要な民生品、産業機器、医療機器、自動車、宇宙航空、軍事関連等のメーカーは、製品に見合わない高額の開発費を支払ってデバイスメーカーに開発・製造を委託するか、不要な機能が含まれ十分にカスタマイズができない汎用のデバイスを無理して使わざるを得ないのが現状である。このような背景から、大手家電メーカー、デバイスメーカー、電子機器メーカーなどにおいて、多品種少量生産に適し、レシピに応じて配置換えが可能なミニマルファブをすぐにでも具現化して欲しい、又は購入したいという強いニーズが発生している。また、これまで大型クリーンルームを建設してきた建設業界においても、新規大型クリーンルームの需要が極端に減退している現状から、建設投資を軽減できるミニマルファブ向け建屋には強い興味がある。

この巨大化の課題を解決するために、産総研、産総研コンソーシアム・ファブシステム研究会及びミニマルファブ技術研究組合において、ハーフインチサイズのウェハを用いる小さな製造装置(ミニマル製造装置)と小さな工場(ミニマルファブ)による、全く新しい生産システムの提唱と装置開発が進められている。ミニマルファブ構想については、詳細は用語解説に記したが、ウェハと装置の小型化をテコとして、巨大化によって発生した課題をシステム全体として解決し、メガファブと比較して、投資額減(5000億⇒5億)、生産の高速化(製造日数30～60日⇒1日)、省エネルギー化(ウェハ面積当たり消費エネルギー13/100)、多品種少量(1個～数十万個)の高効率生産を実現する。

ここで重要なことは、このミニマル製造装置は、人より小さな1440mmの高さを持ち、幅は294mm、奥行き450mmという、従来のメガファブとは比較にならないコンパクト性と軽量性を有することである【図3】。

この軽量・コンパクト性の利点が最大限に発揮されるのが、ファクトリーシステムとしてミニマル装置群のフローショップ(用語解説参照)対応である。半導体デバイスの製造には、一般に数百に及ぶ製造プロセスが必要であり、さらにデバイスによってプロセス工程が異なる。従来のメガファブでは、ウェハを装置間で何度も行き来して搬送していたが、ミニマルファブによる量産ラインではデバイスの製造工程フローに合わせて、都度装置レイアウトを変更し、隣り合う後プロセス装置間でウェハを自動搬送する。これにより、ウェハ搬送の無駄を無くすと同時に、搬送に要する時間が最少となる。また、ミニマル装置ではプロセス処理の時間を装置によらず搬送時間も含めて1分程度と定めており、工程間の加工待ち時間が想定上ゼロとなる【図4】。



図3 開発中のミニマル装置

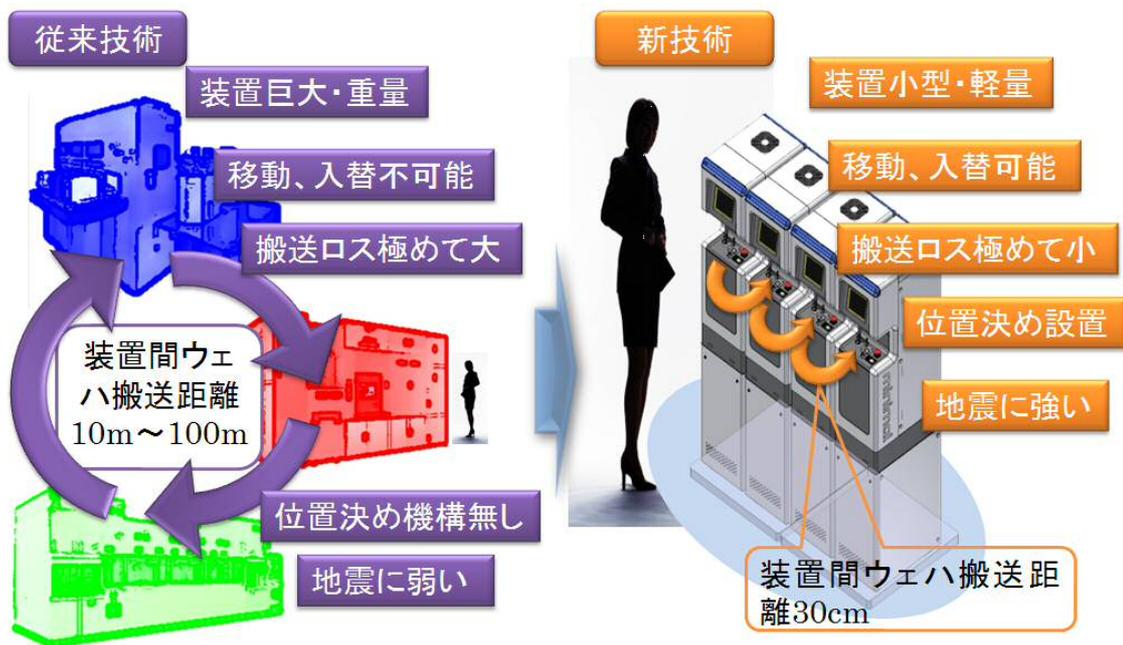


図4 プロジェクトの概要

<研究開発の目的>

ミニマルファブでは、規格統一された小型装置群を整然とライン配置し、また、プロセスレシピに応じ装置の並べ替えを高精度な位置決めをもって行うことが肝要であるが、「一発ドッキングにて装置を並び替える」技術及び「重量負荷・振動負荷状態での精密位置決めを行う」技術は従来には無く、製造装置本体の開発は急ピッチで進められており、ファクトリーシステムの中心的コア技術である装置共通プラットフォームも、装置開発と呼応して進めなくてはならない。

本研究開発では、この課題を解決するための装置共通プラットフォームを開発する。これにより次世代型半導体製造システム「ミニマルファブ」の確立に寄与することを目的とする。

<研究開発の目標>

従来のメガファブでは成しえなかった高効率の半導体デバイス多品種少量生産を実現するため、本研究開発では軽量コンパクトなミニマル半導体装置に合致する共通プラットフォーム技術の確立を目指す。具体的には、下記課題についての開発及び目標達成について取り組む。

【1】ドッキングステーションの開発

○工具を使用せず、かつ高度なスキル無しで、精密位置決め及びドッキング操作可能な方式を開発する。

- 操作性等ユーザビリティ及び位置決め・固定強度の信頼性を向上させる。
- 6mmの狭い装置間ギャップで装置を並べ、かつΦ12.5mmのウェハを装置間自動搬送による受け渡しを可能とする精密位置決めを開発する。(床～装置間位置決め精度目標値：±0.3mm)
- 大地震の際、装置が転倒しない強固な固定構造を開発する。(耐震強度目標値：震度7相当)
- 床構造と装置がロックされた状態でリフターの挿入及び装置ジャッキアップがされないセーフティロック方式を開発する。(ミニマルリフターとの相関目標)

【2】ミニマルリフターの開発

- 短時間で装置を搬入・搬出できる操作性に優れたリフターを開発する。(装置搬入又は搬出作業時間目標値：5分以下)
- 搬入・搬出並びにドック・アンドック時の衝撃緩和及び装置昇降時の装置揺れの低減を実現し、操作性・装置搭載時の安定性等ユーザビリティの向上と信頼性・安全性(対人・対ミニマル装置)を両立させる。
- 床構造と装置がロックされた状態でリフターの挿入及び装置ジャッキアップがされないセーフティロック方式を開発する。(ドッキングステーションとの相関目標)

【3】フリーアクセスフロア対応ドッキングステーションの開発

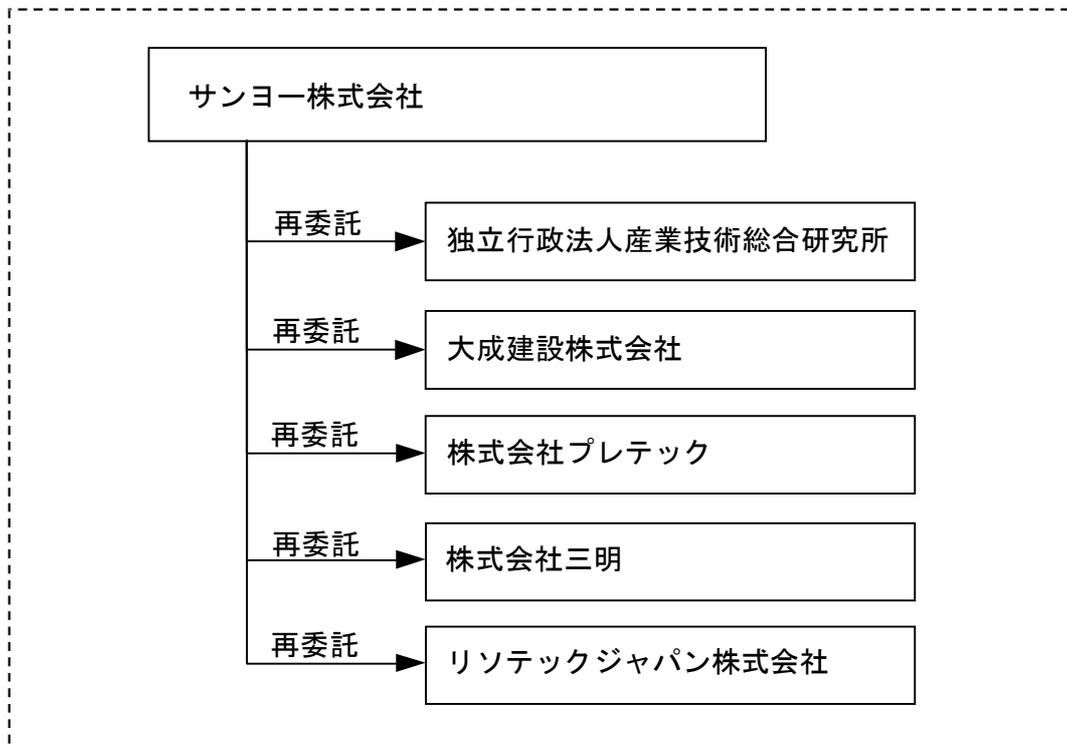
- ミニマルファブの想定基本床仕様であるフリーアクセスフロア(工場のフラットフロア化)対応ドッキングステーションの試作開発を実施し、ファブ及びプラットフォームとしての検証・課題抽出を行う(装置が設置されていない場合の床面突出高さ目標値：5mm以下)。
- 電源、圧縮空気、窒素ガス等のユーティリティの容易な接続方式を開発するとともに、それを適用したドッキングステーションを開発し、ミニマル装置標準筐体のユーティリティレイアウト規格等の開発内容と摺り合わせを行いながら、標準化に向けた相関開発を実施する。

【4】フィールドテスト

- 複数のミニマル装置実機にドッキングステーションを適用し、単体及びライン構成された際におけるユーザレベルでのフィールドテスト(実稼働テスト、搬入・搬出・並べ替え等レイアウト変更テスト)を実施することにより、本プラットフォームの検証を行い、課題抽出、高度化を図るとともに、ミニマルファブへの適合性を高めていく。

1-2 研究体制

<研究組織>



総括研究代表者（PL）

所属：サンヨー株式会社

役職：成形加工事業部

金型グループリーダー

氏名：安保 忠成

副総括研究代表者（SL）

所属：独立行政法人産業技術総合研究所

役職：ナノエレクトロニクス研究部門

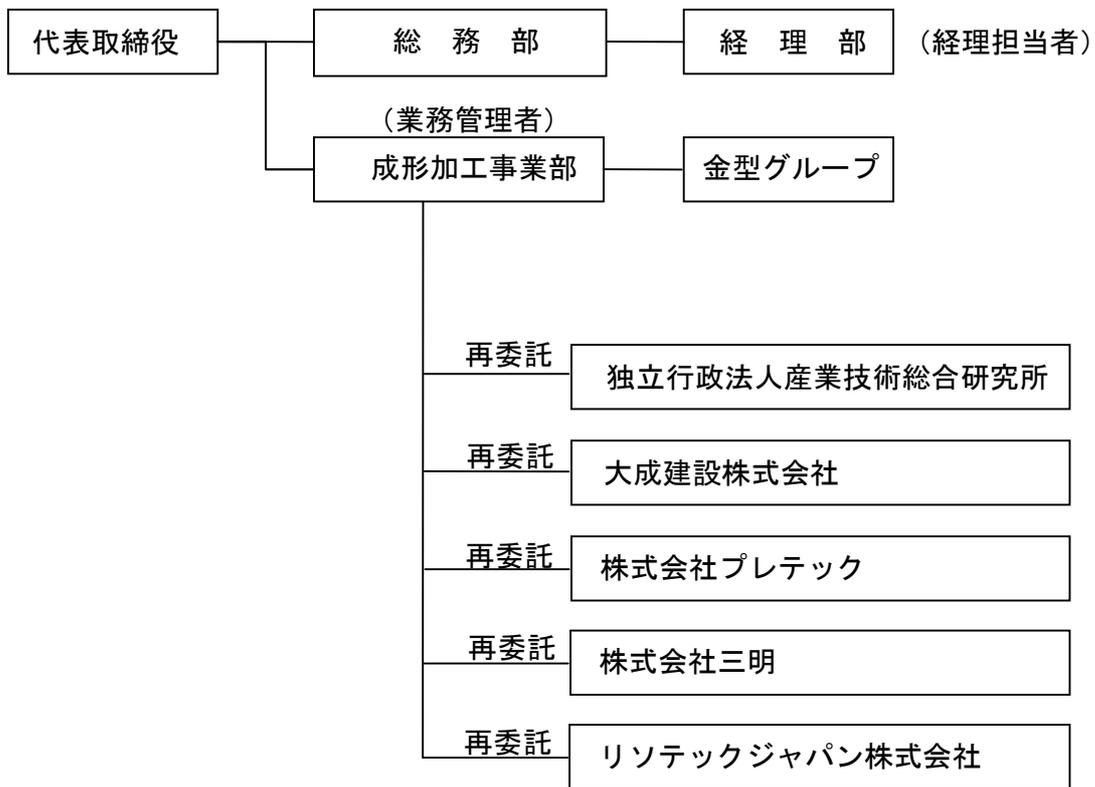
ミニマルシステムグループ長

氏名：原 史朗

<研究組織>

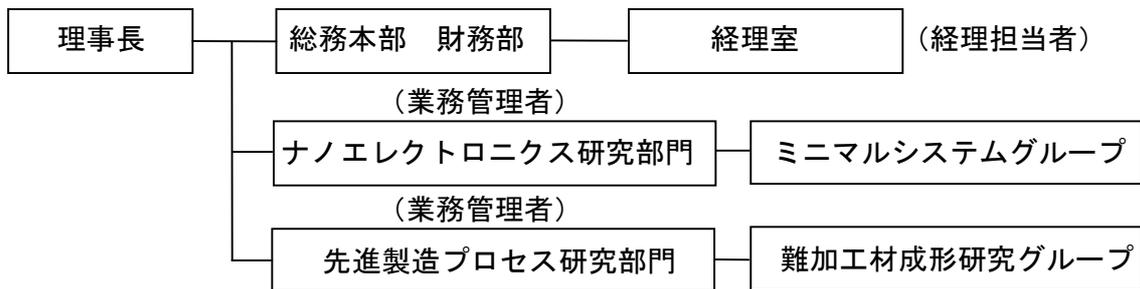
【事業管理機関】

[サンヨー株式会社]

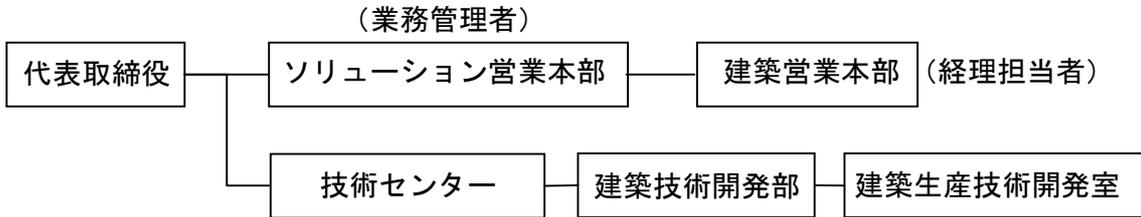


【再委託先】

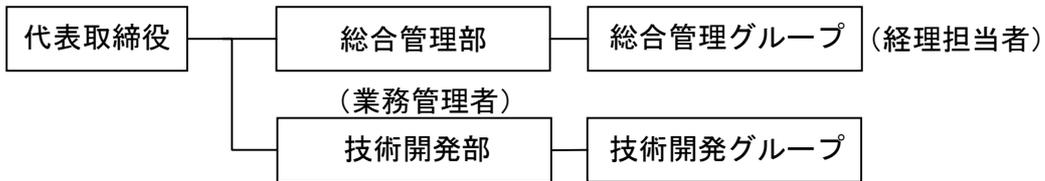
[独立行政法人産業技術総合研究所]



[大成建設株式会社]



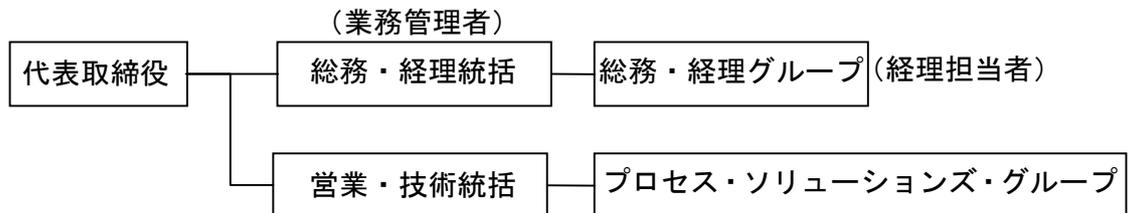
[株式会社プレテック]



[株式会社三明]



[リソテックジャパン株式会社]



<管理員及び研究員>

【事業管理機関】

[サンヨー株式会社]

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
安保 忠成	成形加工事業部 金型グループリーダー	⑤

② 研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
安保 忠成	成形加工事業部 金型グループリーダー	①②③④

【再委託先】

(研究員)

[独立行政法人産業技術総合研究所]

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
原 史朗	ナノエレクトロニクス研究部門 ミニマルシステムグループ長	①②③④
中野 禪	先進製造プロセス研究部門 難加工材成形研究グループ 上級主任研究員	①②③④
前川 仁	ナノエレクトロニクス研究部門 ミニマルシステムグループ 主任研究員	①②③④
池田 伸一	ナノエレクトロニクス研究部門 ミニマルシステムグループ 上級主任研究員	①②③④
クンプアン ソマワン	ナノエレクトロニクス研究部門 ミニマルシステムグループ 主任研究員	①②③④

[大成建設株式会社]

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
伊藤 宏	技術センター 建築技術開発部 建築生産技術開発室 課長	③④

[株式会社プレテック]

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小林 明雄	技術開発部 技術開発グループ 技術員	④

[株式会社三明]

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
犬塚 善樹	精機事業推進室 MEMS推進課長	④

[リソテックジャパン株式会社]

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
扇子 義久	営業・技術統括 プロセス・ソリューションズ・グループ長	④

<協力者(アドバイザー)の所属、氏名>

ミニマルファブ技術研究組合 事務局長 加藤 洋

株式会社デザインネットワーク 事業企画部 二川 真士

1-3 成果概要

【1】ドッキングステーションの開発

工具を使用せず、かつ高度なスキル(装置や機械の設置に関する特別な技術・技量)無しで、ミニマル装置の精密位置決め及びドッキング操作可能な方式を開発をした。具体的にはミニマル規格に準拠した構想に基づき「スタンドアローン型装置側ドッキングステーション」「スタンドアローン型床側ドッキングステーション」を試作・検証を実施した。

6mmの狭い装置間ギャップで装置を並べ、かつΦ12.5mmのウェハを装置間自動搬送による受け渡しを可能とする装置の精密位置決め構造(床～装置間位置決め精度目標値: ±0.3mm)を開発し、床～装置間の位置決め精度は±0.15mm以内を達成し、原理的に実用化レベルへ到達できた。

振動台による耐震試験を実施・検証し大地震の際、装置が転倒しない強固な固定構造を開発し、設置時の装置ガタ付きをほぼゼロとし、人がもたれかかっても傾いたり、動いてしまったりしない固定強度を達成した。耐震試験では実際の地震波による三軸同時加振試験(東日本大震災:宮城県栗原市の地震波)及び正弦波スイープ加振試験を実施したが、ロック機構部をはじめその他に有害なダメージもなく、装置の転倒も無かった。その際の震度は6強加速度は1400Galであった。

また、床とのロック固定時に対してリフターの誤挿入防止機能として、ロック状態またはロック不完全状態でのリフター挿入防止機構を実現した。

さらに、ロック時のロックノブ緩み防止機構を開発し、確実なロックの保持を実現した。これらにより、装置の高効率位置決め固定設置に係る基礎技術の確立ができ、概ね実用化レベルへ到達した。

【2】ミニマルリフターの開発

作業者が1人でかつ短時間に、ミニマル装置を搬入・搬出できる（装置搬入又は搬出作業時間目標値：5分以下）操作性に優れたリフターを開発した。具体的にはミニマル規格に準拠したトルボーイ型のミニマル装置を極めて少ないフットプリント内で保持・走行・ドッキングステーションへの位置決め昇降（設置・撤去）を実現する「ミニマルリフター」を試作・検証した。

リフター～装置間位置決め精度：±1mm以下を達成し、床側ドッキングステーションへの装置リフトダウンの位置決め性について実用化レベルへ到達した。さらに、装置搭載時の装置転倒防止策を実現し、装置搭載時の搬入・搬出・ドック・アンドック等作業時に対人・対物への安全性の確保を実現した。

また、装置搭載時のリフトアップ／リフトダウン時の装置横揺れを抑制し、従来8mm以上あった揺れ幅を3カ年で約3mmまで低減させた。

さらにミニマルファブに合致したミニマルリフターの最適な昇降方式として、ボールネジ駆動及び油圧駆動方式の2種類を開発して検証を行った。主力リフターのラインナップとして、フートポンプリフター（足踏み油圧リフター）をミニマル装置専用標準リフターとすることとし、リフトアップ／ダウン時、レバー操作の上昇端及び下降端（リミット）の明確化、リフトアップ／ダウン時のレバー操作数低減、操作力の低減、リフターの操作性向上、床側への装置着地時等衝撃低減によりユーザビリティ・安全性の高いミニマルリフターの開発が出来た。

【3】フリーアクセスフロア対応ドッキングステーションの開発

ミニマルファブではファブ及びルームの基本床仕様をフリーアクセスフロア又はそれに準ずる床構造としている。本事業では、フリーアクセスフロア対応型ドッキングステーションを開発・試作し、装置非設置時の床フラット化（目標値：フロア床面からの突出高さ0mm（カバー装着後5mm以下））を達成した。そして、60cm四方のフリーアクセスフロアに2台分の対応ドッキングステーションをレイアウト可能とした。

ミニマルファブにおいて、フリーアクセスフロアを床構造とすることへの妥当性・有効性を静解析及び試作・検証によって確認出来た。

さらに、ミニマルファブにおいてミニマル装置のモバイル性を最大限に引き出す為の重要な要素の1つとしてミニマル装置と設置床間における、電源・窒素ガス・圧縮空気・LAN・排気のユーティリティを工具不要で容易に接続可能とするユーティリティ接続方式の開発について、装置のドック・アンドックに連動したユーティリティの接続方式の基礎技術を研究し、試作・検証を実施した。また、現時点の市場ニーズに対応した標準ユーティリティの一括ワンタッチ接続方式を開発し、ミニマル装置の搬入・搬出作業性向上（作業工数の削減及び配線・配管作業に関する

リスク低減)に大きく貢献できる見通しがついた。

【4】フィールドテスト

ミニマルファブ(半導体工場)としてのフリーアクセスフロアをはじめとする本プラットフォームの環境適合性について産総研つくばセンターのミニマルファブ研究室にて検証を実施したが、これまでの半導体工場の様な無塵で、かつ温度・湿度など管理されたクリーンルームとは全く異なる、一般空調下の恒温・恒湿管理の無い環境でも本プラットフォームが問題無く機能することが分かった。

また、装置筐体の搬入・搬出・並べ替え試験を実施し、本プラットフォームの各課題抽出、高度化を目指した。さらに集光炉装置・コーター・ALウェットエッチャー・マスクライナーの各装置へ本プラットフォームを適用し、フィールドテストを実施した。

実稼働装置としてこれら装置の搬入・搬出・並べ替え試験を実施したが、限られた狭い取回し領域にて、作業性・フレキシブルなフロアレイアウト構成の実現度・装置及びプロセスへの支障の確認を実施し、現時点では支障なくプラットフォームとして機能することが確認出来、ミニマル装置群に適用可能な水準まで高度化することが出来た。今後ライン化された装置全台に本プラットフォームを適用し、半導体の高効率生産システムとしての実証研究を進める計画である。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

サンヨー株式会社 成形加工事業部 安保 忠成

所在地：〒375-0002 群馬県藤岡市立石1510

電話：0274-42-5757 FAX：0274-42-6511

E-mail：anpo@sanyo-inc.co.jp

第2章 本論

ミニマル装置共通プラットフォームは「ドッキングステーション（スタンドアローン型・フリーアクセスフロア対応型）」「ミニマルリフター」より構成される【図5】。スタンドアローン型は例えば、研究所やフリーアクセスフロアでない一般的な工場床など既設の床に対応することを想定したドッキングステーションであり、フリーアクセスフロアを基本床仕様としたミニマルファブ又は、ミニマルファブの試作ラインが完成するまでの当面はこのスタンドアローン型が普及すると考えられる。すなわち、フリーアクセスフロア型は量産ラインの立ち上がり以降急速に普及すると考えられる。

本研究開発の開発内容と共通プラットフォームによる装置フローショップ設置イメージを【図6】に示す。



図5 装置共通プラットフォーム構成

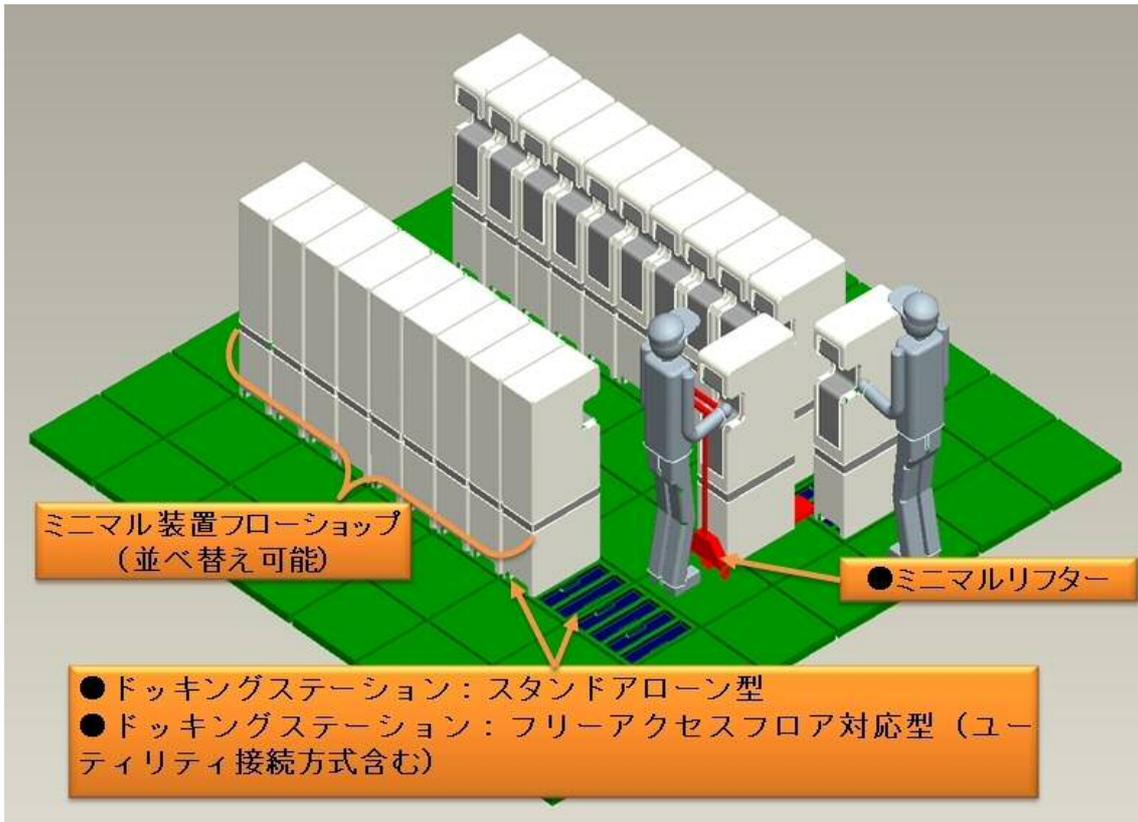


図6 開発内容と共通プラットフォームによる装置フロESHOP設置イメージ

2-1 ドッキングステーションの開発

2-1-1 ドッキングステーション試作と位置決め精度測定

<研究開発内容及び結果>

ミニマルファブでは規格統一された小型装置群（ミニマル装置群）を整然とライン配置し、またプロセスレシピに応じ装置の並べ替えを高精度な位置決めをもって行うことが肝である。ミニマルリフターによりミニマル半導体装置を床構造への搬入・搬出を容易とし、ミニマル半導体装置と床構造に精度良く容易にかつ強固にドッキングさせる機能を両立させる必要がある。

ドッキングステーションにおける構成は、ミニマル装置と一体となる「装置側ドッキングステーション」、床構造と一体となる「床側ドッキングステーション」からなる【図7】。本研究開発では、これらを試作開発し、各検証を行った。

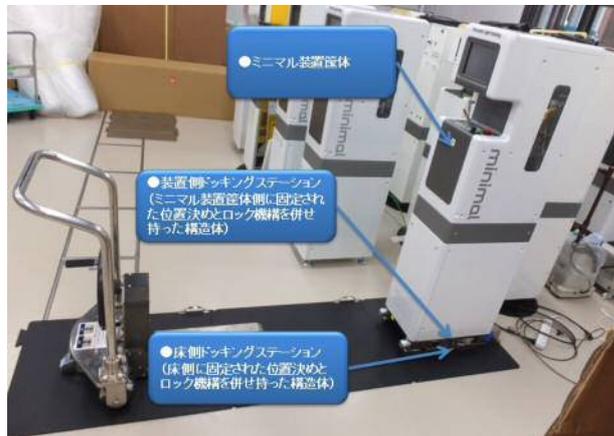


図7 装置側と床側ドッキングステーション

装置側ドッキングステーション及び床側ドッキングステーションのドッキング時の位置決め精度について下記の要領にて測定した。

これまでの研究より、三点位置決め的位置決め精度及び信頼性については有効であることを確認している。本スタンドアローン型床側ドッキングステーションでは位置決め機能を持ったブロックをそれぞれ独立に配置していることに留意し、床側ドッキングステーションスタンドアローン型では、元床の平坦度が出ていることを前提とし測定を実施した。評価試験は以下の測定要領において試行回数30回ずつ、試験してその精度を評価した。なお、後述するフリーアクセスフロア対応型ドッキングステーションにおける測定結果についてもここで示す。

【測定概要】

- ミニマルリフターによりドッキングステーションの脱着を30回実施しX・Y及びZの繰り返し位置決め精度を床側基準端面（固定）から装置側ドッキングステーションのブロック端面（可動）の距離をもって測定

測定結果を【表1】【表2】に対象床側がそれぞれスタンドアローン型、フリーアクセスフロア対応型の場合について示す。

表1 位置決め測定結果
(スタンドアローン型)

測定箇所	左手前側X	右手前側X	中央奥側Y	左手前側Z	右手前側Z	
測定機器	デジタルデプスゲージ		シックネスゲージ			
設計値	0.00	0.00	80.00	8.00	8.00	
測定値	1	0.10	0.10	79.98	7.60	7.60
	2	0.09	0.09	79.97	7.60	7.60
	3	0.10	0.10	79.99	7.60	7.60
	4	0.08	0.10	79.96	7.60	7.60
	5	0.10	0.09	79.95	7.60	7.60
	6	0.11	0.09	79.98	7.60	7.60
	7	0.09	0.08	79.99	7.60	7.60
	8	0.09	0.09	79.97	7.60	7.60
	9	0.10	0.10	79.96	7.60	7.60
	10	0.09	0.09	79.97	7.60	7.60
	11	0.08	0.09	79.99	7.60	7.60
	12	0.10	0.08	79.99	7.60	7.60
	13	0.11	0.09	80.01	7.60	7.60
	14	0.09	0.10	79.97	7.60	7.60
	15	0.11	0.08	79.99	7.60	7.60
	16	0.10	0.11	79.98	7.60	7.60
	17	0.09	0.09	79.97	7.60	7.60
	18	0.10	0.09	80.02	7.60	7.60
	19	0.08	0.10	79.96	7.60	7.60
	20	0.10	0.11	79.99	7.60	7.60
	21	0.09	0.09	80.00	7.60	7.60
	22	0.10	0.10	79.99	7.60	7.60
	23	0.09	0.09	80.01	7.60	7.60
	24	0.08	0.10	79.99	7.60	7.60
	25	0.10	0.09	80.02	7.60	7.60
	26	0.08	0.11	79.98	7.60	7.60
	27	0.11	0.09	79.99	7.60	7.60
	28	0.09	0.10	80.00	7.60	7.60
	29	0.10	0.09	80.00	7.60	7.60
	30	0.09	0.10	79.97	7.60	7.60
規格(目標値)	±0.30					
平均	0.09	0.09	79.98	7.60	7.60	
最大	0.11	0.11	80.02	7.60	7.60	
最小	0.08	0.08	79.95	7.60	7.60	
範囲(レンジ)	0.03	0.03	0.07	0.00	0.00	
標準偏差	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	

表2 位置決め測定結果
(フリーアクセス対応型)

測定箇所	左手前側X	右手前側X	中央奥側Y	左手前側Z	右手前側Z	
測定機器	デジタルデプスゲージ		シックネスゲージ			
設計値	213.00	312.00	190.00	8.00	8.00	
測定値	1	214.13	310.15	189.60	7.70	7.70
	2	214.14	310.18	189.57	7.70	7.70
	3	214.14	310.16	189.50	7.70	7.70
	4	214.15	310.16	189.52	7.70	7.70
	5	214.13	310.15	189.40	7.70	7.70
	6	214.12	310.18	189.55	7.70	7.70
	7	214.13	310.16	189.60	7.70	7.70
	8	214.16	310.18	189.35	7.70	7.70
	9	214.11	310.20	189.62	7.70	7.70
	10	214.16	310.09	189.42	7.70	7.70
	11	214.13	310.15	189.39	7.70	7.70
	12	214.14	310.17	189.46	7.70	7.70
	13	214.11	310.24	189.55	7.70	7.70
	14	214.13	310.16	189.42	7.70	7.70
	15	214.15	310.14	189.39	7.70	7.70
	16	214.16	310.18	189.45	7.70	7.70
	17	214.17	310.11	189.56	7.70	7.70
	18	214.15	310.15	189.61	7.70	7.70
	19	214.12	310.16	189.55	7.70	7.70
	20	214.13	310.16	189.53	7.70	7.70
	21	214.15	310.17	189.60	7.70	7.70
	22	214.16	310.19	189.58	7.70	7.70
	23	214.11	310.23	189.61	7.70	7.70
	24	214.12	310.16	189.55	7.70	7.70
	25	214.15	310.15	189.57	7.70	7.70
	26	214.13	310.17	189.61	7.70	7.70
	27	214.14	310.17	189.60	7.70	7.70
	28	214.16	310.17	189.61	7.70	7.70
	29	214.13	310.18	189.53	7.70	7.70
	30	214.12	310.16	189.46	7.70	7.70
規格(目標値)	±0.30					
平均	214.14	310.17	189.53	7.70	7.70	
最大	214.17	310.24	189.62	7.70	7.70	
最小	214.11	310.09	189.35	7.70	7.70	
範囲(レンジ)	0.06	0.15	0.27	0.00	0.00	
標準偏差	0.02	0.03	0.08	0.00	0.00	

結果、スタンドアローン型・フリーアクセス対応型いずれの場合も装置～床間の繰り返し位置決め精度として目標の±0.3mm以内を実現していることを確認した。

ロック操作における左右同時締め、左右非同時締めなどロック位置とタイミングによる位置決めへの有害な影響がないことは従来の研究によって確認できている。総じて、本位置決め構造は実用化のレベルに到達出来た。

2-1-2 強固なロック機構の検討

ミニマル装置はそのトルボーイ型のスタイリッシュな外観と引き換えに非常に倒れやすいというウイークポイントがある。更に、先の東日本大震災でもあった様にひとたび大地震が発生すれば装置・工場に甚大な被害をもたらすことは容易に想像できる。この課題解決の為、装置と床構造との強固なロックをもって、大地震でも装置が倒れない機構を持たせることが必要である。

ロック操作についても工具不要で確実なロックが誰でも出来ることが肝要である。装置側ドッキングステーションと床側ドッキングステーションのロックはカム機構を利用した手動操作によるロック方式がほぼ技術的に実用化レベルへ到達している。

装置側ドッキングステーションと床側ドッキングステーションが互いに離れ合う方向に負荷をかけ、ロック強度の妥当性確認をしたが、強固にロックされていることが確認された【図8】。

これまでの耐震試験などでロック周辺の構成要素が破損するという課題解決に向け、最終年度に試作開発されたドッキングステーションでは更なるロック部の強度アップについて見直しを実施し、強度アップの実現を確認した。



大地震でも装置が倒れないことを検証する為、**図8** 手押しによるロック確認
またドッキングステーションの耐震強度（ドッキング機構の物理的損傷及び機能障害）を評価することを目的とし、振動台による加振実験を実施した。

試料となるミニマル装置筐体は重量150kg・重心位置ほぼ中央とし、東日本大震災の地震波による三軸振動（宮城県栗原市の実際の地震波とその120%の波形にて）及び正弦波による単軸振動試験を実施した【図9】。

結果、耐震強度として震度7という定量的数値目標は試験の制約もあって実現出来なかったが、大地震（震度6強：加速度1400Gal）でも装置が倒れないこ

とを確認し、試験後の試料バラシによる構成要素部品の破損やダメージを確認したが、異常は認められなかった。



図9 耐震強度試験

また、試行回数として大地震クラスの加振を、予備加振を含め20回近く実施したが、耐久性という観点においても実用レベルに到達出来たと考える。

本プラットフォームでは通常使用において装置の搬入（床側ドッキングステーションへ設置）の度に位置決めブロックがほぼ点による接触を繰り返すことになるが、この位置決めブロック接点打痕についても、これまでの研究では深さ0.05mmであったのに対し、面圧などの見直しにより、これだけの大きな力と回数によるハンマーショックを与えても0.03mm未満となっており、通常繰り返し使用による摩耗・つぶれに対しても低減できることが分かった【図10】。

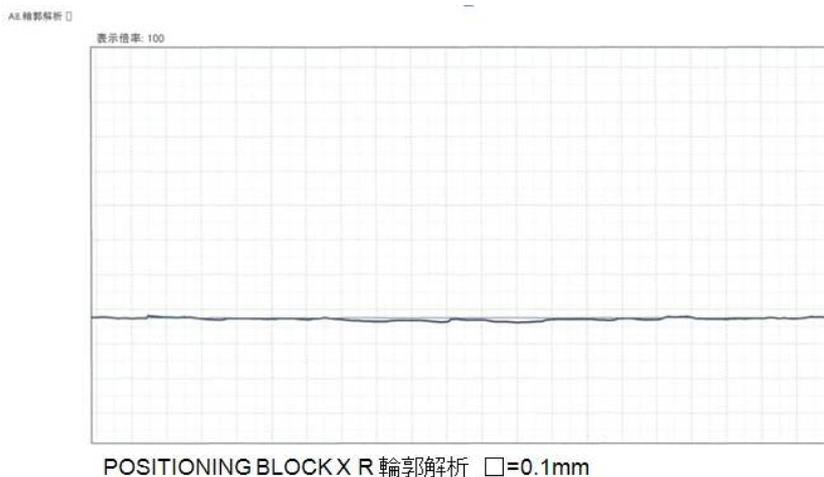


図10 耐震試験後の位置決め構成部品打痕調査

さらに、ロックノブが振動などで緩んでしまうといった懸念があるが、ロックネジ緩み対策として、ロックノブ内に回転規制機構を構成し、加振中でもロックノブが緩んでしまうということが無いことを確認した。

2-1-3 リフター誤挿入防止

<研究開発内容及び結果>

装置が床側へロックされている時にリフターを挿入し、リフトアップしてしまうと、装置・ドッキングステーション及びリフターが破損する恐れがある。このロック時のリフター誤挿入を防止する対策を実施した。

これまでの研究において誤挿入対策はいくつか検討してきたが、確実に解決に結びつく方法には至らなかった。そこで、ロック時またはロック不完全時でも物理的にリフターが装置側へ進入できない（奥まで進入しきれない）構造のストッパーを開発した。具体的にはロック動作にて摺動する部品をストッパーとして利用し、リフター前部のナイロン製ガイドに当てることでロック時及び中途半端にロックシャフトが押し込まれたロック不完全状態にストッパーとして機能することを確認した。これにより、より確度の高い誤挿入防止が実現できた【図11】。



図11 ロック時のリフター誤挿入防止

2-2 ミニマルリフターの開発

2-2-1 ミニマルリフター試作開発と位置決めドッキング検証

<研究開発内容及び結果>

ミニマル装置の脱着または並べ替え、それに伴うミニマル装置の搬送において台

車（リフター）が必要不可欠である。しかし、市販されている台車においてミニマル装置に適合している物は皆無であり、汎用的な運搬機能に加え位置決め昇降機能・位置決め静止機能等を併せ持ったミニマル専用リフターを開発する必要がある。また、ミニマルファブ（小さな工場）では装置入替時等向かい合う装置間隔、すなわち走行（取回し）可能領域に制約があり、さらに隣り合う装置間クリアランス6mmの装置間ギャップに装置を出し入れ可能とする取回し・操作性の良いリフターとしなければならない。

ミニマルリフターにおける構成は、ミニマル装置を搭載し昇降する「昇降部」、搬送操作・方向転換操作・昇降操作を行う「操作部」からなる。本研究開発ではギア+ボールネジ駆動による昇降動作及び、油圧機構による昇降動作によるミニマルリフターの試作を実施し【図12】、各検証を行った。



図12 ミニマルリフター（左：ボールネジ 右：油圧）

これまでミニマル装置の搬送、床側ドッキングステーションへの位置決め昇降について、原理の妥当性確認・検証を実施してきた。具体的には本昇降機構の原理が成り立つか、床側ドッキングステーションへの挿入時、位置決め静止の状態を保持できるか、ミニマル装置という極めて小さいフットプリントかつ不安定な底面受けに対して、精度の高い装置保持と昇降が可能か、空荷及び装置搭載時の走行は安全にかつ安定して行えるか検証し、課題を抽出してきた。

本研究開発では、実ミニマル装置に適用出来るレベルに高度化されたモデルを製作、各検証を実施した。また、万人が容易に使用出来ること、実用化度を高めることを目標にユーザビリティの向上及び製造性・安全性の向上・コスト低減を図った開発を実施した。

ミニマル装置のドッキングステーションへの搬入・搬出動作テストを繰り返し行

い、動作の確実性・装置脱着作業時間の計測（こちらについては後述する第4節フィールドテストの項にて報告する）・操作性の検証を行った。

ミニマルリフターを用いたミニマル装置の装置搬入・搬出フローを【図13】に示す。

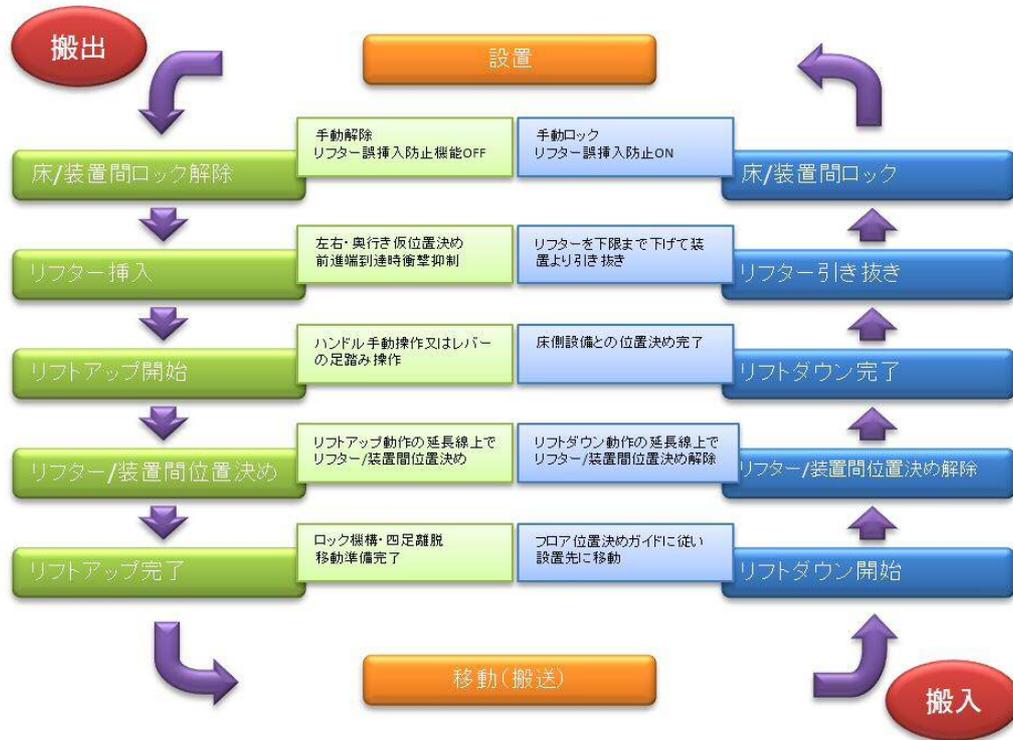


図13 ミニマルリフターを用いた装置の搬入・搬出フロー

装置～リフター間の位置決めについては先端（奥）側及び、手前側にて位置決め機構を構成し、位置決めすることによって装置～リフター間の位置精度±1mm以下を達成し、装置～リフター間及びリフター～床間の位置決め機構は実用レベルへ到達出来た。併せて、装置挿入時の前進端衝突時の衝撃緩和を実現した。また、操作性においても高度なスキルを不要とし、簡単なレクチャーだけで搬入・搬出・ドッキングを行うことが出来ることを確認した。

2-2-2 ユーザビリティ・精度・操作性・安全性の向上

<研究開発内容及び結果>

これまでの研究においてボールネジ駆動・油圧駆動と試作・検証を実施してきたが、スタンダードなラインナップ（ミニマル標準リフター）としてはフートポンプを使用した油圧リフターが良いと考えている。

リフトアップリミット（上昇端）／リフトダウンリミット（下降端）にて、レバー操作に伴い、ストロークリミットをインジケータのゲージにより明示する機構に

より、どこまで上げれば良いか・どこまで下げれば良いか、上昇端及び下降端を明確化できた。なお、本インジケータはリフター天板の昇降に連動してゲージが移動する機構とし、昇降状態（位置や昇降スピード）を確認できるものとなっている。

リフトアップ時のレバー操作回数に関しては約10回（約5秒）、リフトダウン時のレバー操作回数は1回（踏みっぱなしで約12秒）と操作回数も少なく、併せてレバー操作力についても従来のハンドポンプリフターから比べて低減した。なお、リミットに到達しているにも拘らず、レバー操作を続けたとしてもリミット以上にかかる・下がることは無い油圧回路となっている。

リフトダウンでは、床側ドッキングステーション及び工場床等へ接地する際の衝撃が有り、精密機器であるミニマル装置への影響が懸念されている。この課題解決に向けてリフトダウン時のスピードを任意で変えられる構成とし、接地時装置への衝撃を緩和出来た。この接地時装置への衝撃緩和については後述する第4節フィールドテストの項にて詳細を記す。

さらにミニマルファブの様な限られた（狭い）走行領域での取回しを可能とし、リフターの移動方向反転及び全方向移動操作の容易化を実現した。

ミニマルリフターへ装置搭載時の確実な転倒防止機構として、進行方向に対して手前側、奥側、左右の全方向に転倒防止機構を設け、その性能を評価した。

結果、ミニマル装置を搭載したリフターを左右に傾けたり、急発進・急停止・急旋回により操作し、ミニマル装置が転倒しないかどうかを試験したが、通常使用で想定されるよりはるかに速いまたは急な運転に対して、いずれの方向にも装置が転倒しないことが確認できた。ミニマルファブの様な非常に取回し領域の狭く制約のある環境では、危険運転のなされる可能性は低いと考えられるが、この転倒防止機構により、ユーザーは安心・安全にミニマル装置の運搬が可能となる。

装置搭載時において昇降時の



図14 装置搭載時の装置転倒防止

揺れに関しては搬入・搬出・ドッキング時に隣り合う装置同士が大きくぶつかる懸念がある。極力揺れを無くすことが肝要であるが、3カ年の研究開発において従来8mmであった揺れを3mm程度まで低減させることが出来た【図15】。昇降機構の基本構造は実用化レベルへ到達出来たと考える。ただし、3mm以下に揺れ幅が低減出来たと言っても、装置筐体の精度に依存することも分かっており、こちらは装置筐体開発と整合を取りながら実用化に結び付けて行きたい。

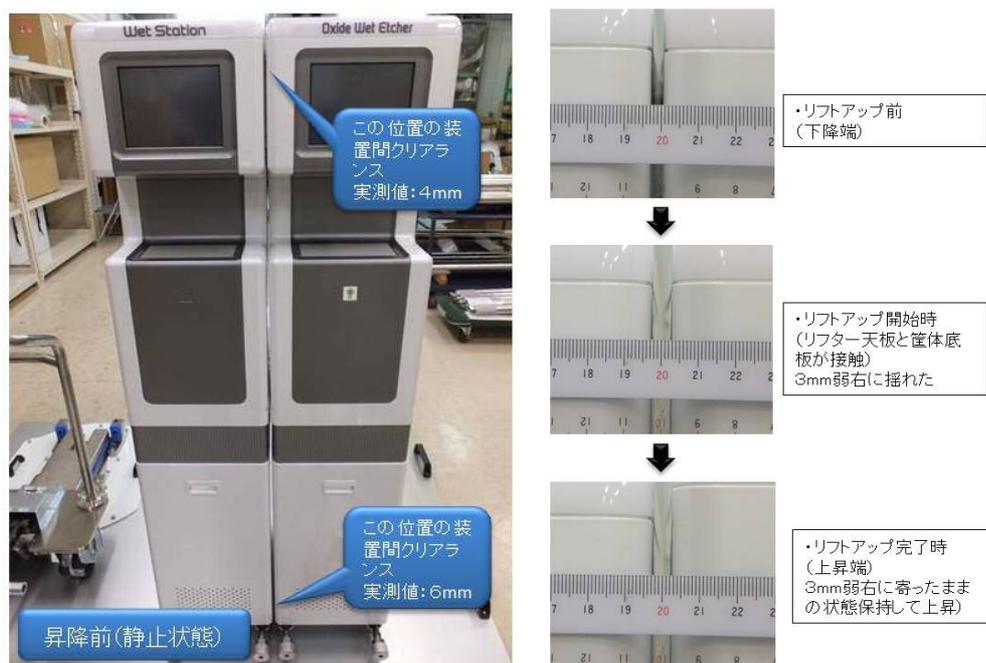


図15 装置昇降時の揺れ量低減

また、耐荷重試験を実施した。筐体にウェイトを積載し200kgf相当とし、300回リフトアップ、リフトダウンを繰り返しリフターの動作に問題がないか試験した。300回繰り返してもリフトアップ、リフトダウンの動作に異常は感じられず、異音・動作不具合・油圧ユニット部からの油漏れなども見受けられなかった。

さらに、200kgf相当の筐体をリフター上昇端まで持ち上げ、27時間そのまま保持する試験を行った。リフター上昇端は0.01mm下がったが、想定される使用状況の範囲では200kgfまでの重量では問題無く使用できることが分かった。

2-3 フリーアクセスフロア対応ドッキングステーションの開発

2-3-1 フリーアクセスフロアのプラットフォーム適合性確認とフリーアクセスフロア対応ドッキングステーション試作開発

<研究開発内容及び結果>

フリーアクセスフロア型ではミニマルファブ(工場)の床として、フリーアクセスフロアを想定しており、そのフロアプレートにいかにか装置のドッキングステーシ

ョン及びユーティリティ接続方式を盛り込むかが重要であり、当然工場床として考えた場合、フラットフロアもしくはフラットに限りなく近いフロアである必要がある。

ミニマルファブの床として十分な仕様・性能を満足することができるのか、妥当性確認を実施した。フロアベースに200kgの装置を2台並べて置いた状態を想定してCAEによる静解析を行った【図16】。

3点の装置側及び床側位置決めブロックに接触拘束して、その上から均等に荷重をかけ、合計400kgfの荷重とした。支持脚は四隅+中央の5点支持を想定。結果、最大変位は0.04mm、応力はほぼ問題なし、安全率も確保されていた。この形状でアルミにて製作しても、変形や劣化が生じないことが確認できた。また、市販されているフリーアクセスフロアに、

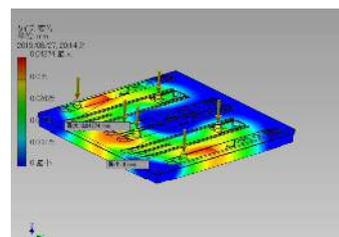


図16 フリーアクセスフロアベース静解析

スタンドアロン型のドッキング要素部品を搭載し、搬入・搬出・ドッキング動作テストを実施したが、耐荷重6000N級のフロアで十分耐えることが分かった。

また、本研究開発ではフリーアクセスフロア対応型のドッキングステーションについて試作開発を実施し、ファブ及びプラットフォームとしての検証・課題抽出を行った。

60cm四方のフリーアクセスフロアに2台分の対応ドッキングステーションをレイアウト可能とした【図17】。このことによって、フリーアクセスフロアを敷きつめるとミニマル装置が300mmピッチでライン配置されることになり、装置非設置時のフロア床面からの突出高さ0mm（カバー装着後5mm以下）を達成した。

これにより、ミニマルファブの高付加価値工場床としてライン構築し、革新的半導体生産を実現させることが可能となる。

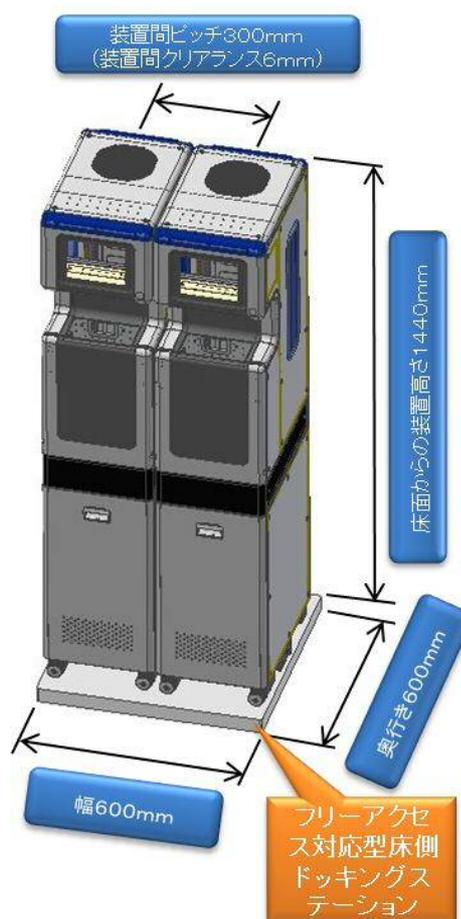


図17 フリーアクセスフロア対応型床側ドッキングステーション

将来的な製造方法として、鋳造が一般的には考えられる。本研究開発で試作したフロアベースの加工については試作の1品モノのため全切削にて行った。現状では、モジュール化（フリーアクセスフロアにドッキングや将来的にはユーティリティ接続に関する機構や部品を組み込み）したフロアをミニマルファブに敷きつめ施工する方法を検討している。今後実用化にあたっては、十分に工場への施工性及び電気・通信・ガスなどの責任境界点も踏まえて事業化に繋げて行く必要がある。

ドッキングテストにおいて、その位置決め性及びドッキング（ロック）に係る動作・性能・精度はスタンドアローン型と同等レベルを実現した。位置決め精度については第1節の【表2】に示したとおり、目標値を十分達成している。

2-3-2 ユーティリティ接続方式の開発

<研究開発内容及び結果>

ミニマルファブにおける装置レイアウト変更において、ミニマル装置のモバイル性という利点を最大限引き出す技術として、ユーティリティの容易な接続方式が期待されている。従来のミニマル装置におけるユーティリティ接続では、圧縮空気・窒素ガス・LAN・電源（AC100V）・排気系統が筐体背面下部のユーティリティパネル内に独立して集約されており、着脱の際はクランプやそれぞれの配管・配線の着脱が煩わしく、スピーディーな装置の搬入・搬出の障壁となっている【図18】。



図18 従来の煩雑なユーティリティ接続

本研究開発ではドッキング（装置の床側への上げ下げ）との連動によるユーティリティ着脱について原理試作を実施、妥当性を確認し、基礎技術を確立できた。また、ユーザーニーズに沿った接続方式、低コストで対応が可能か、装置メーカーにとっても装置開発が進めやすいか、などを鑑みて圧縮空気・窒素ガス・LAN・電源（AC100V）のミニマル筐体標準ユーティリティの容易な接続方式として試作開発を実施した。この接続方式の妥当性確認を実施し、ミニマル装置標準筐体のユーティリティレイアウトにおける規格などと摺り合わせを行いながら、標準化に向けた関連開発を実施した。開発されたユーティリティ接続が有効に機能するか検証を行った。

さらに、ミニマル筐体標準ユーティリティである圧縮空気・窒素ガス・LAN・電源を一つのハウジングに納め、これまでの研究から有効とされていた一括接続モ

ジュールにて構成したものを試作・検証した。これは圧倒的に接続作業性が向上するが、併せて、接続ミスや接続忘れなどのリスクを大幅に低減することになる。排気においても従来のトリクランプ及びセンターリングを用いた接続から軸シールを適用したワンタッチカプラを検討し、接続作業性を大幅に向上させた。これについても、シール部品であるセンターリングの付け忘れなどのリスクを低減出来る。

以上のように、接続容易性と接続の信頼性を高めたユーティリティ接続方式の原理・基礎技術が確立出来た。ミニマルファブにおけるコンパクトラインの構築実現に大きく近づいたことになる。

2-4 フィールドテスト

2-4-1 プラットフォームのミニマルファブ環境適合性検証

<研究開発内容及び結果>

ミニマルファブ構想では、幅294mmに規格化されたミニマル装置群を、1つの部屋に配置し、デバイスの研究・試作・生産を行う。ミニマルファブでは、外部空間から完全に密閉遮断された局所クリーン化搬送システムを開発しており、デバイス製造にクリーンルームが不要となる。ウェハ搬送空間だけ密閉化すれば一見クリーンルームが不要になる様に思われるが、実際にはクリーンルームを不要とするには、非常に高度な技術が必要であり、それを搬送系や装置群、本プラットフォームそれにそのルームにその局所クリーン化技術を完全に適用しなければならない。

具体的に制御を必要とする重要環境物理量は、パーティクル・温度・湿度である。それに付随して、光と空気の質の制御も必要となる。パーティクルは、一般のクリーンルームでは徹底的な排除が必要であったが、ミニマルルームではそれが不要と言うことは、パーティクルの制御はほとんど意図的になされないことが前提となる。そこで本研究開発では、プラットフォームのフィールドテストを行うミニマルファブ研究室の基本的性能を明らかにすると共に、フリーアクセスフロアを含む本プラットフォームの環境適合性検証の為、温湿度監視を行った【図19】【表3】。

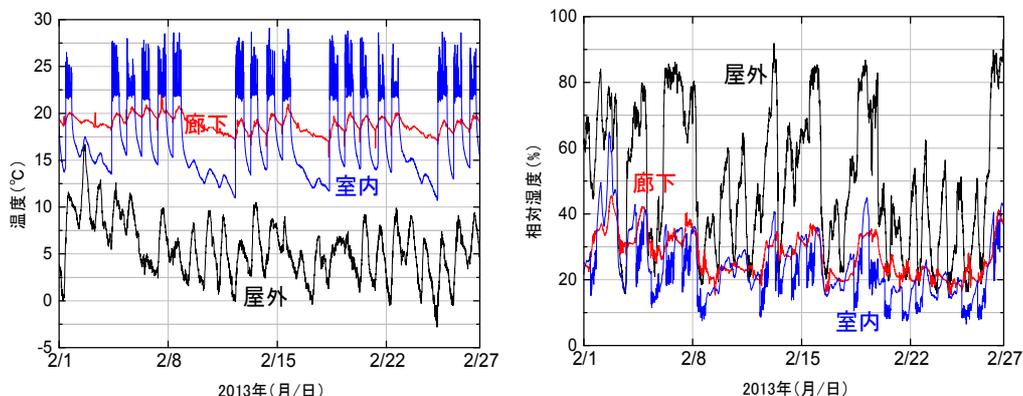


図19 温湿度測定による環境適合性検証

表3 温湿度データ（2013年2月時の統計データ）

	温度 [°C]				湿度 [%]			
	最高	最低	平均	標準偏差	最高	最低	平均	標準偏差
室内	29.1	10.7	17.6	4.4	65	6.5	24	9.8
廊下	22	15.3	18.9	0.8	45.6	15.3	27.4	6.5
屋外	16.7	-2.8	5.7	3.1	93.8	15.7	50.7	21

ルーム内の温度は、2月中最低10.7°Cで、最高29.1°Cであった。湿度も最低6.5%～最高65%まで大きく変動した。この表と上記1月間のデータから、温度と湿度ともに、ルームでは、既存のメガファブでのクリーンルームの仕様である、23°C±1°C、45%±5%などよりも遙かに大きく変動する悪条件であることがわかる。このような温湿度の悪条件を受け入れる以上、当然ミニマル装置群を含め本ミニマル装置共通プラットフォームはこれらの変動に対して、プロテクト性能が高くなければならないことが分かる。全く乾燥する条件から、90%近い高湿度、そして、温度も10°C付近から30°C程度までは、なんら問題なく動作することが必要となるが、少なくともこのルームにおける本プラットフォームのドック・アンドックなどのフィールドテストにおいて特に温湿度の変化によって不具合が発生することはなく、逆に本プラットフォームがルームへ及ぼす悪影響についても認めらず、クリーンルームでない半導体生産施設への本プラットフォームの適用妥当性について確認出来た。

2-4-2 本プラットフォームを用いたミニマル装置筐体の並べ替え

<研究開発内容及び結果>

これまでに試作開発したドッキングステーションとミニマルリフター、さらにミニマル装置筐体が一体化した状態で意図通り機能し、位置決め・ドッキング・アンドッキングが正常に行え、本プラットフォーム全体が機能するかフィールドテストを実施した。

1台の装置の搬入・搬出については3分以下でそのプロセスを完了することが出来ることを確認した。

また1台の装置では無く、2台の装置試料を用いて、並べ替えが有効に機能すること、及び並べ替えのプロセス自体について評価した【図20】【表4】。



図20 ミニマル装置筐体の並べ替えテスト

表4 装置の並べ替えサイクル実測

作業者:A		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)					
		合計	プロセstime																
装置の搬入	1	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8				
	2	22	12	19	10	20	11	19	10	19	10	20	11	19	10				
	3	31	9	30	10	29	9	29	9	29	9	29	9	29	9				
	4	54	23	53	23	51	22	49	20	50	22	50	21	48	20				
	5	67	13	66	13	64	13	62	13	63	13	61	13	62	13				
	6	78	9	74	10	74	9	73	9	74	10	73	9	73	9				
	7	89	11	84	10	83	9	78	10	84	10	83	10	81	10				
	8	99	10	93	9	92	9	87	9	93	9	92	9	90	9				
	9	108	9	103	9	101	9	95	9	102	9	101	9	100	9				
	10	139	30	138	32	132	30	128	28	132	30	129	27	127	26				
	11	154	14	144	13	140	13	135	13	144	13	143	13	142	13				
	12	155	4	154	4	154	4	148	4	144	4	144	4	143	4				
	13	168	10	159	11	154	10	149	9	159	10	157	11	153	10				
	14	173	5	164	5	159	5	153	5	164	5	162	5	162	5				
	15	185	22	182	18	177	18	169	18	184	20	181	19	177	18				
	16	204	9	191	9	188	9	178	9	193	9	190	9	188	9				
	17	234	30	218	27	212	28	209	30	221	28	221	31	212	28				
	18	248	14	231	13	230	13	221	13	234	13	234	13	229	13				
	19	253	5	236	5	243	5	235	4	238	4	238	4	236	4				
	20	262	9	246	10	253	10	234	9	247	9	247	9	238	9				
	21	268	5	250	5	250	5	252	5	252	5	248	5	251	5				
合計	4分23秒	合計	4分10秒	合計	4分18秒	合計	3分59秒	合計	4分12秒	合計	4分12秒	合計	4分03秒	合計	4分08秒	合計	4分11秒	合計	4分13秒

作業者:B		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)			
		合計	プロセstime														
装置の搬入	1	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
	2	22	12	20	11	20	11	19	10	20	11	19	10	20	11		
	3	31	9	30	10	29	9	29	9	29	9	29	9	29	9		
	4	54	23	53	23	51	22	49	20	50	22	50	21	48	20		
	5	67	13	66	13	64	13	62	13	63	13	61	13	62	13		
	6	78	9	74	10	74	10	72	9	74	10	73	9	73	9		
	7	89	11	87	10	84	10	81	9	87	10	85	10	80	10		
	8	99	11	97	10	94	10	91	10	92	10	93	11	90	10		
	9	108	9	103	9	102	9	100	9	102	9	102	9	101	9		
	10	139	30	138	32	132	30	128	28	132	30	129	27	127	26		
	11	154	13	151	13	146	13	141	13	144	13	143	13	142	13		
	12	155	4	154	4	150	4	145	4	144	4	144	4	143	4		
	13	168	10	166	11	160	10	156	11	162	11	157	11	154	10		
	14	170	5	171	5	165	5	161	5	164	5	162	5	162	5		
	15	180	20	182	21	187	22	184	23	185	23	188	21	185	23		
	16	199	9	191	9	188	9	183	9	184	9	184	9	183	9		
	17	227	28	229	28	225	29	221	28	221	27	223	28	217	28		
	18	240	13	245	13	238	13	234	13	236	13	236	13	227	13		
	19	245	5	246	4	243	4	238	4	240	4	240	4	231	4		
	20	254	9	255	9	251	9	248	10	247	9	250	10	241	10		
	21	259	5	260	5	256	5	256	5	256	5	256	5	247	5		
合計	4分19秒	合計	4分22秒	合計	4分18秒	合計	4分13秒	合計	4分12秒	合計	4分15秒	合計	4分09秒	合計	4分15秒	合計	4分07秒

作業者:C		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)			
		合計	プロセstime														
装置の搬入	1	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
	2	22	12	22	10	21	10	21	12	22	12	21	11	21	12		
	3	32	10	32	10	31	10	31	10	32	10	31	10	32	10		
	4	56	26	56	26	55	26	55	26	55	26	55	26	55	26		
	5	71	13	71	13	70	13	68	13	69	13	68	13	67	13		
	6	80	9	80	9	79	9	77	9	78	9	77	9	76	9		
	7	84	9	83	9	83	9	81	9	83	9	81	9	80	9		
	8	94	10	93	10	93	10	91	10	93	10	91	10	90	10		
	9	104	10	103	10	103	10	101	10	103	10	101	10	100	10		
	10	113	9	112	9	112	9	110	9	112	9	110	9	109	9		
	11	143	30	141	29	141	29	138	28	141	29	138	28	140	29		
	12	158	13	154	13	150	13	151	13	154	13	153	13	150	13		
	13	160	4	158	4	158	4	155	4	158	4	157	4	154	4		
	14	170	10	168	10	168	10	165	10	167	10	164	10	163	10		
	15	175	5	173	5	170	5	170	5	172	5	169	5	169	5		
	16	187	22	183	20	182	19	180	20	183	20	182	20	180	21		
	17	206	9	202	9	201	9	199	9	202	9	201	9	199	9		
	18	226	30	221	27	220	27	217	26	220	28	220	27	220	27		
	19	236	13	241	13	241	13	240	13	240	13	239	13	238	13		
	20	244	5	244	5	244	5	240	5	244	5	243	5	243	5		
	21	248	5	243	5	240	5	244	5	244	5	243	5	243	5		
合計	4分23秒	合計	4分23秒	合計	4分23秒	合計	4分19秒	合計	4分24秒	合計	4分18秒	合計	4分22秒	合計	4分17秒	合計	4分19秒

作業者:D		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)		サイクルタイム(sec)	
		合計	プロセstime												
装置の搬入	1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	2	21	12	20	11	20	11	19	10	20	11	19	10	20	11
	3	30	9	29	8	29	8	29	9	29	9	29	9	29	9
	4	56	26	56	26	55	26	55	27	55	27	55	27	55	26
	5	71	13	71	13	70	13	68	13	69	13	68	13	67	13
	6	80	9	80	9	79	9	77	9	78	9	77	9	76	9
	7	84	9	83	9	83	9	81	9	83	9	81	9	80	9
	8	94	10	93	10	93	10	91	10	93	10	91	10	90	10
	9	104	11	100	10	100	11	97	10	98	10	97	10	97	10
	10	113	9	109	9	109	9	106	9	107	9	106	9	105	9
	11	140	28	137	28	136	28	133	27	134	27	136	28	134	28
	12	150	13	150	13	151	13	148	13	147	13	148	13	146	13
	13	158	4	154	4	155	4	150	4	151	4	150	4	147	4
	14	168	10	164	10	165	10	160	10	161	10	160	10	157	10
	15	171	5	169	5	170	5	165	5	168	5	168	5	165	5
	16	182	21	180	20	180	20	185	21	185	20	188	21	185	20
	17	201	9	198	9	199	9	195	9	197	9	195	9	194	9
	18	222	28	225	27	226	27	226	28	222	27	223	28	222	27
	19	242	13	238	13	239	13	239	13	236	13	236	13	235	13
	20	243	5	243	5	244	5	244	5	240	5	241	5	240	5
	21	248	5	243	5	240	5	244	5	244	5	243	5	243	5
合計															

2-4-3 ミニマル装置実機への適用

<研究開発内容及び結果>

ミニマル装置実機の適用について本研究開発では、集光炉・コーター・ALウェットエッチャー・マスクライナー装置に、ドッキングステーションを搭載し【図21】、プラットフォームとしてのドッキングテストの実施により、これまでの研究で抽出したドッキングシステムの課題を克服し、実用化に支障のないレベルに高度化出来たか検証した。

ここで上記したミニマル装置はいずれも産総研にて稼働している装置であり、筐体内部には半導体加工プロセスに関するユニットや部品群・加工液等内蔵した精密装置であることを明記しておきたい。本ミニマル装置実機を用いた装置移動（並べ替えローテーション）を実施し【図22】、装置への影響及び半導体加工プロセスへの影響について調査した。

結果、数十回の装置移動（並べ替え）・ドッキングを実施したが、これまでに装置及び加工プロセスへの問題は出ていない。これは装置に対する対衝撃緩和の研究成果によるところが大きいと考えられる。ミニマル装置が実際にミニマルリフターに搭載された状態から、床側ドッキングステーションへ設置（接地）される際の加速度を測定しているが、従来のプラットフォームと今回（最終年度）で試作開発されたプラットフォームを比較した【図23】。



図21 ミニマル装置実機へのドッキングステーション適用

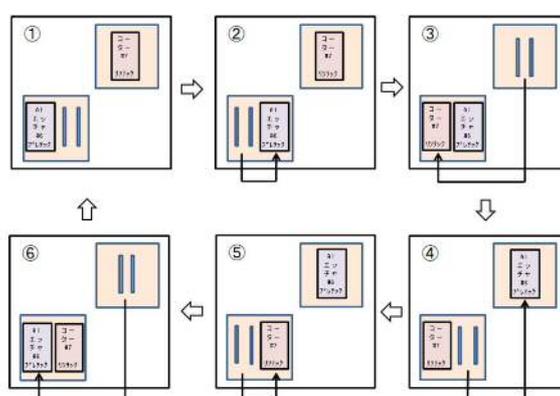


図22 ミニマル装置実機のドッキングシステムによるローテーションテスト

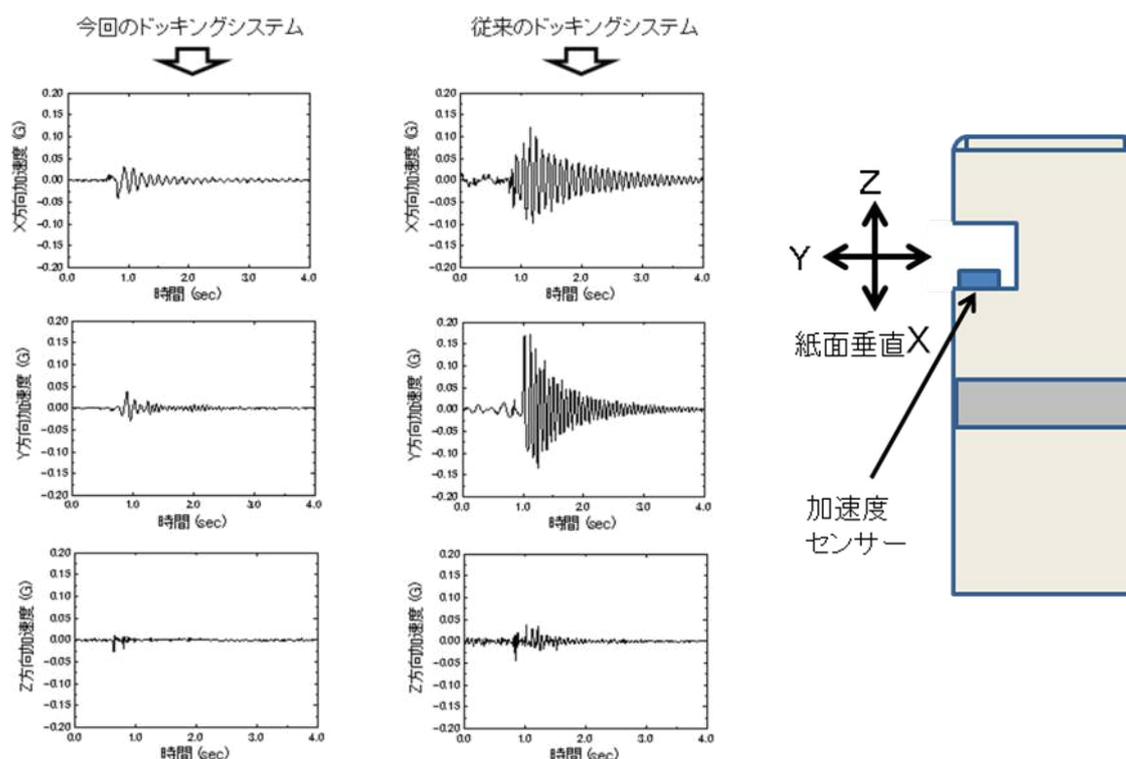


図 2 3 装置着地時の加速度

リフターにより、装置が床に着地する時の加速度を測定し、従来のドッキングシステムとの比較を行った結果今回はX方向加速度：約1/3、Y方向加速度：約1/4、Z方向加速度：約1/2に低減という結果で、設置時に装置が受ける力は大幅に低減出来ていることが分かった。

ミニマル装置実機にドッキングシステムを適用してユーザレベルでのフィールドテストをすることが出来、限られたコンパクトな領域の中で取回しが出来ることを確認し、デバイス製造の高効率生産に資するコンパクトラインの構築とレイアウト変更が可能であることが確認出来た。作業性・フレキシブルなフロアレイアウト構成の実現度・装置及び加工プロセスへの支障の確認を実施し、現時点では支障なくプラットフォームとして機能することを確認した。

本研究開発ではミニマル装置実機に適用可能な水準まで概ね高度化することが出来たことを意味する。このことにより、他のミニマル装置へ適用して行けるものと考えられるが、ミニマル装置群（ミニマルライン構成される装置全台）に適用させ、真のデバイス製造におけるフローショップ実現に向けた実証研究を実施し、事業化に繋げて行きたい。

第3章 全体総括

24年度では主にドッキングステーション・リフターの位置決め機構とその有効性について試作及び研究し、25年度では課題に対する改良や問題解決を図った試

作と検証、及びドッキング連動型ユーティリティ接続方式の原理について検証出来、知財に関し2件特許を出願した。26年度では商品レベルへ近づけるべく、安全性・ユーザビリティ・精度・耐久性などを重点項目とし、試作開発とミニマル実機によるフィールドテストを実施し、全体的に実施計画どおりの進捗で進められ、ほとんどの開発項目において目標を達成することが出来、ミニマル生産システムの装置共通プラットフォームとして概ね実用化レベルへ到達出来た。

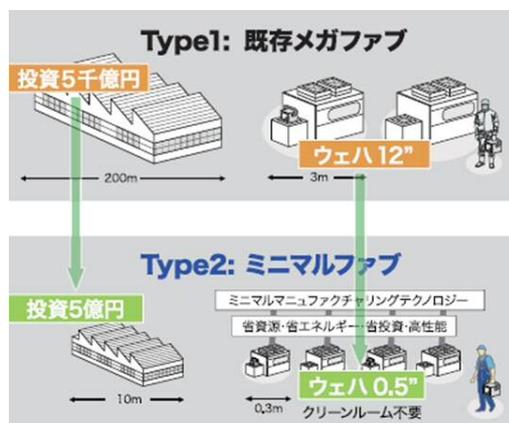
ミニマルファブ構想の具現化に向けて急ピッチで研究開発を進めている産総研、ファブシステム研究会、ミニマルファブ技術研究組合ではセミコンジャパン（半導体製造技術展）を重要なマイルストーンと位置付けている。本研究開発成果もセミコンジャパンに出展し、多くの来場者から有益な反応と情報を頂け、ミニマルファブの具現化と本プラットフォームの早い実用化をますます期待されていることを実感した。

事業化に際し、製品の出荷により売り上げが発生する段階を2016年と予定しているが、今後はライン構成されるミニマル装置全台にプラットフォームを適用し、生産システムとしての実証研究と併せて更なる安全性・施工性・コストについて川下・市場ニーズの持続的把握と対応を継続し、参画各機関・企業または外部との連携を強化しながら相関開発と水平展開を実施して、事業化に結び付けて行きたい。

用語解説

【メガファブ】

1ラインで投資額 5000 億円にも達する、半導体デバイスの製造工場を指す。“メガ”とはこの場合は、巨大であることを象徴的に表現している。ファブは、元来 fabrication(微細加工)の略であるが、半導体工場では、転じて、製造ラインのことをファブと称する。最新鋭ファブでは、直径 300mm のシリコンウェハを用いる。製造物である集積回路(LSI)の典型的なプロセス数は 600 工程程度であり、最低でも装置 300 台を有する。装置価格は平均 10 億円程度。最近では売り上げ1兆円程度を稼がなければ赤字になり、世界のほとんどの工場で独立採算性に問題を抱える。また、新潟中越沖地震や東日本大震災などにおいては、その巨大で複雑さ故に、壊滅的な被害が発生している。



【ミニマルファブ構想】

ミニマルファブ構想は、産総研が提唱した、多品種少量、及び変種変量生産ニーズに適応した、画期的な半導体デバイス生産方式で、①ハーフィンチ径ウエハ、②装置サイズ30cm 幅、③ミニマルマニュファクチャリング技術(ジャストインタイム型高効率テクノロジー)による地球環境対応と産業力強化の同時実現、という3つの特徴を有する。ミニマルファブでは、1ラインの投資額がメガファブと比べ 1/1000 の約5億円程度、装置重量は数十～100kg 程度で、従来の大工場(メガファブ)の装置の約 1/100 に「軽量化」される。

【フローショップ】

製造装置を、製造手順(製造フロー)順に並べる配置方法。対照的な配置方法は、製造装置を種類毎に集めたジョブショップ。ジョブショップは、必要原料・排出物種、供給エネルギー量等が同種の製造装置を集めるので、配管レイアウト上有利であるが、製造物が工場内を広く行き来するので、搬送に時間がかかり歩留まりが低下する欠点がある。

【フリーアクセスフロア】

床の上にネットワーク配線などのための一定の高さの空間をとり、その上の別の床を設け二重化したものである。OAフロアとも言う。600mm 角がスタンダードとなっている。工場や実験室向けにも利用されている。

