

11. ファクトリーインテグレーション

11-1 スコープ

現在進行中の 300mm ウェーハ移行は、製造コストを、集合的に且つ体系的に、制御し削減するという、半導体史上の中でも最も重要な機会を与えるものである。この大きな移行期に面して、対機能年 30%のコスト削減を数十年という範囲で持続するためには、コスト削減のあらゆる機会を活かすことが必須とされる。

ムーアの法則がもたらした、他に例のない経済成長の動きは、絶え間無い微細化、100%に限りなく近い歩留改善、ウェーハサイズの大口徑化、そして生産性の改善など、いくつかの施策によって維持されてきた。製造ラインでは単位面積当りのコストは常に歴史的な額を記録し続け、技術の開発は単位面積当りの集積度を常に増加させてきた。その結果、半導体産業界は繁栄してきたのである。

しかしながら、この目覚ましい記録を保持するには、半導体産業の成長を遅らせるいくつかの課題をしなければならない。リソグラフィや CMOS のスケーリングは、要となる技術リスクでもあり、且つデザインの限界もある。製造ラインでは生産性の衰退、ウェーハサイズ移行がもたらす生産性の低下、コストターゲットへの不適合などの問題が見えてきている。

これらの生産リスクに対応するため、単位面積当り一定のコスト保守管理、大量生産に至るまでの立ち上がり時間の短縮、新しいビジネスモデルに適合した汎用性の増大など、半導体製造の根本的な特質の追求が要求されている。

単位面積当りの一定コスト保守管理 — 単位面積当りの製造コストは対投資生産性を計る一つの指標である。近年、工場のコストは著しく増大してきている。80 年台には 1000 万ドル規模だった工場は、99 年には約 20 億ドルに増大している。たとえ単位時間当りに処理されるウェーハ数が変わらないとしても、大口徑ウェーハ化と装置性能の大幅改善により単位面積当りの製造コストを一定にしてきた。たとえ、最大歩留の追及、ウェーハ世代交代などがあっても、工場は単位面積当りの製造コストの維持管理を継続して取り組まなければならない。コスト管理は、技術革新がもたらすコスト高のプレッシャーにも関わらず、継続されなければならない。

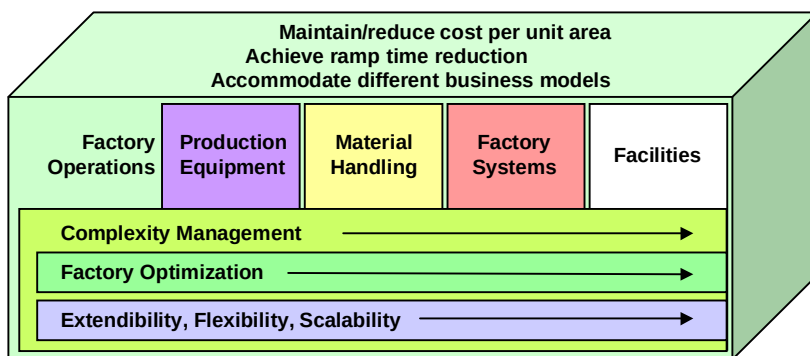
立ち上がり時間の短縮 — 工場のランプアップ時間の短縮が定常的な運用コストの削減よりも経済的効果の有ることがわかってきた。新規の工場はより急速に生産へ向かって立上らなければならない。同様に、既存の工場は現状の生産に最小のインパクトでより早くアップグレードされなければならない。

ビジネスニーズへの汎用性の拡大 — 多様な市場要求によるビジネス機会の増大やコスト低減への努力は半導体製造業をグローバルなものにして来ている。デバイスコストの低下と共に、新規市場が開拓され、この市場の多様性に対応した新規ビジネスモデルが形成されてきている。

これらの考察から工場に対する大チャレンジとして、複雑さへのマネージメント (complexity management)、そして常に変化する要求の中での工場の最適化 (factory optimization)、汎用性/拡張性/スケーラビリティ (extendibility, flexibility, scalability) の向上、が上げられる。

これらの大チャレンジを検討し、解決策候補と対応付けるために、本章は、半導体工場の機能に整合した技術項目毎 (thrust) に分けられた。項目には、工場運用 (factory operations)、製造装置 (production equipment)、マテハン (material handling)、工場システム (factory systems)、ファシリティ (facilities) がある。工場運用は、個々の課題の背景や他の技術項目の結果として位置づけ、複雑なマネージメントは、工場の最適化や汎用性/拡張性/スケーラビリティの背景として位置づけた。Figure36 は、これらの技術項目の領域と大チャレンジとの関係を示している。

Figure 36 Schematic Showing the Factory Integration Thrusts and Difficult Challenges



11-1-1 焦点となった工場エリア (Factory Focus Area)

本章では、量産工場が常に製造技術をリードしてきたことから、対象を量産工場とした。製品構成については少品種/他品種の対応についてそれぞれ検討を行った。

また、Figure 37 に示すように、半導体工場は様々な生産範囲に渡っているが、本章では、ウェーハレベルの集積回路の製造に焦点を絞った。

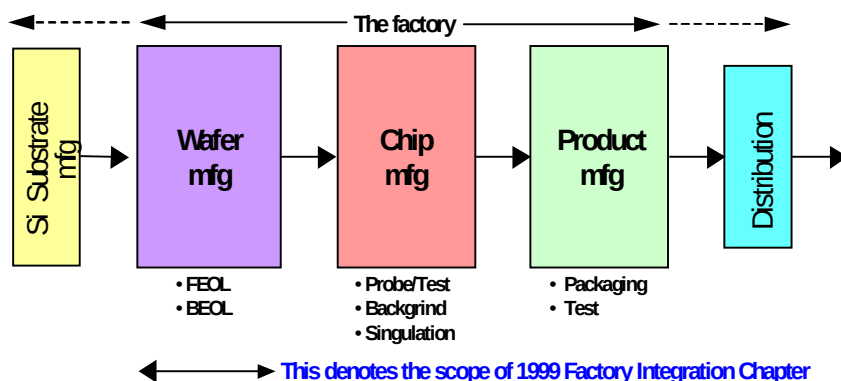


Figure 37 Factory Integration Scope

注：今年のロードマップについては、ファクトリーインテグレーションの検討範囲は意図的に狭めている。上記にあるように、限定されたトピックスのみの記載は、内容、質双方の観点から妥協できるものではないからである。ファクトリーインテグレーションロードマップは、今後の定期的なロードマップアップデートにて広げられる予定である。

11-2 大チャレンジ

ファクトリインテグレーションにおける大チャレンジを以下の3つのカテゴリーに集約し、5つの技術項目に分割した。これらの大チャレンジへの返答は工場運用の中断を最小化するための半導体産業界の利器として、往々にして技術導入へと繋がっていく。

複雑さへのマネージメント — 複雑さへのマネージメントは異なる工場、プロセス、製品などの要素とこれらの関係のマネージメントである。これらの要素の数は急速に増大し続けるため、工場の複雑さへのマネージメントは重要性和困難さが増大してきている。

工場要素の最適化 — 工場の最適化は、限定された資源の下で進められる調査とタイムリーなビジネス意思決定を可能にするプロセスによる。この環境は急速な変化や不確実なビジネス及び技術上の条件に影響される。

工場の汎用性、拡張性、スケーラビリティ — これらは投資生産性や工場の長寿命化に関係している。工場の拡張性(様々なテクノロジノードに渡り利用可能な工場)、工場の汎用性(変化への適用性)、工場のスケーラビリティ(指定された生産能力からの拡張性)に分類される大きな運用の変化に対して、工場を止めることなく対応することが要求されている。

Table 51.にこれら3つの挑戦課題に対する項目の概要を付加した詳細な検討項目と共に示す。

大チャレンジ	チャレンジ内容
複雑なマネジメント	ビジネスニーズとグローバルなトレンドの急速な変化 • 新製品及び新技術導入比率の増大 • バーチャルファクトリー • 異なる地域における規制の整合の必要性 プロセスと製品の複雑さの増大 • データ集積/解析要求の急増 • プロセスステップの増加 • 混載ロットへの対応 大口径ウェーハ及びキャリア運用への人間工学的な解決策 • 自動搬送システムへの期待の増大 工場システムへの依存度の増大 • 多様なシステムの相互依存性 • 既存システムと新規工場システムの共存
工場の最適化	顧客への納期確保 • 工期とスループットのバランス • 工場、製品、プロセスの立上げ時間短縮 工場全体の有用性（OFE）の改善 • 全ての工場に組み込まれる技術項目の改善 工場歩留りの改善 • 変動要素削減の為の製造装置と工場システムの制御 製造及び運用コストの削減 • 廃棄物とスクラップの最小化及び非生産ウェーハ（NPW）数量の削減 全ての地域的基準への準拠
拡張性、汎用性、スケーラビリティ	建家、製造/付帯装置及び工場システムの再利用 • 多世代の技術ノードにまたがる再利用 • ウェーハ径の変化にまたがる再利用 急速なプロセス及び技術変化に対応した工場デザイン • 汎用性、拡張性に結びつく先行投資への考え方 • 汎用性、拡張性の対する可否判断 • 生産ラインの中断時間の最小限化 より厳しくなるESHへの要求 プロセス及び材料に対する精度要求の拡大

TABLE 51 FACTORY INTEGRATION DIFFICULT CHALLENGES

複雑さへのマネジメント(complexity management)

複雑さは、半導体部品の製造や納入に必要とされる機能的ならびに運用的な工程及びインターフェースのコンビネーションの広がりこうした複雑さは、ビジネス及び経済的要素や競合圧力等、外的影響からくる場合と、広く行われているビジネスモデル、技術機会、受け継がれたシステムなどを基準とした決定等を意味する内的影響力からくる場合と両方である。

外的要因は、設備やサプライヤーのグローバル化、ビジネス上の要求やビジネスモデルの変化、新技術の導入、不確実な半導体市場の増大等が上げられる。内的要因には、より複雑なプロセス、大規模工場、より多くのプロセス工程の統一、工場内でのプロセスやプロダクトミックスの向上等がある。例えば、ICを私蔵するのに必要なプロセス工程数は2012年までには複雑制が増大することから、2倍以上になると予想されうる。

製造における複雑さは複数のレベルがある。通常されているすみわけは企業毎、工場毎、地域毎、装置毎などが頻繁である。これらのレベル間の複雑さマネジメントを統一できれば、非常に重大な効力を発揮する。というのはこの作業は単にローカルな状態での改善ではなく、グローバルに工場効率を高めうるからである。

効率的な半導体工場の経営には、増加する製造工程の複雑さを効果的に適合させることが必須となる。

これらの要求を効率よく実現、運用していくため、半導体工場に対する効果的なマネジメントが要求されている。

工場の最適化

工場を最適化するためには次の要点が最大限に実施されなければならない；

- 顧客納期確保
- 製品の品質及び信頼性
- 工場の効率

さらに、次の要因を最小限にする必要がある

- 種々の変動要因
- 生産コスト
- 廃棄コスト

これに加えて

- 安全への対応
- 地域基準への準拠
- 継続的な改善

が要求されている。しばしば、これらの要求はトレードオフの関係となる。

種々の変動要因は、工場の最適化の障害となる。例えば、それが歩留り、製品品質、計画、工期、納期、全般的な工場能率、やウェーハコストなどに影響する意味で、装置パフォーマンスの変動を押さえることは重要な課題となる。もし、装置パフォーマンスが不十分なものであるとするならば、その結果として納期の変動やスケジュールのずれの増加となる。このように、変動要因についての検討が工場最適化改善のために重要となる。

- 最適化を抑制する他の要因としては、受け継がれたシステムマネジメント、十分なデータマネジメント能力の欠如や原因と結果の重要な因果関係への理解不十分、意思決定時間の不足、方策や手法の不一致等がある。
- ビジネスモデルにおいては、工場マネージャーはトレードオフや妥協策も絡めて嗅ぎられたリソースや時間の中で決定をしなければならない。これは工場最適化の基本的な現実である。というのも、難しい選択を避けるに足る十分な時間、十分なりソース、十分な情報などは望めないからである。

工場の拡張性、汎用性、スケーラビリティ(EFS)

ビジネス環境が広範に変化する中でファシリティ、装置、工場システムの寿命を延長させる必要性から工場の汎用性、拡張性、スケーラビリティが要求されている。

拡張性 — 拡張性は多世代に渡る工場の有効寿命を延長することを意味している。これは、新規の技術やビジネスモデルの既存の工場に導入を、大規模な改造/再工事やその間の工場の混乱を抑え、最小限の新規設備投資と教育/訓練により実現する能力である。

汎用性 — 汎用性は工場の変化に適応する能力である。汎用性は多用途と機敏さの2つの要素からなる。多用途は工場の適応性をどれくらいに伸ばすことができるか、例えば、コスト効果範囲内で DRAM(dynamic random access memory)の工場を logic の工場へ変更もしくはその逆が可能か、ということであり、機敏さはいかに早く一つの運用モデルから他のモデルへの変換、例えば、多量/低混流生産から多量/高混流生産への変換ができるか、といったことである。

スケーラビリティ — スケーラビリティはシステム固有の能力であり、基本システムの広がりやどれくらいまで可能かと言うことを意味している。例えば、5000 枚の処理能力である工場ソフトウェアシステムを 7000 または 8000 の能力に拡張することができるか、である。

これらの能力は独立なものではなく、その要求レベルは供給分野、製品、需要の変化、リスクの対する経営基盤などのビジネスドライバに依存し決定されている。

これらの能力は工場有能力増強や耐用年数を目覚しく拡張する可能性を持ちあわせている。

11-3 技術的要求(technology requirements)

技術的要求を検討することは前述した大チャレンジの達成に必要である。その結果として、工場を互いに関連し合う機能から以下の 5 つの技術項目に分類し、大チャレンジへの解決策を検討した。

- 工場運用:工場内の生産を制御する運用方針と手順の組み合わせ
- 製造装置:検査/プロセス装置と工場における他の構成要素と装置のインターフェース
- 材料搬送システム:工場内における材料の移送、保管、認識、トラッキング及び直接的、
- 間接的な材料の制御
- 工場システム:コンピュータのハードウェア、ソフトウェア及び、製造関連の支援システム、スケジューラ、装置/材料管理、上位プロセス制御など
- ファシリティ:建家のインフラストラクチャ、用力、モニタリングシステム

個々の技術的要求、個々の大チャレンジ、そして他の関連する技術的項目の相関関係については本章の補足資料の中に記されている。

11-3-1 工場運用

年 ゲート幅 ウェハ口径	1999 180 nm 200 mm	2002 130 nm 300 mm	2005 100 nm 300 mm	2008 70 nm 300 mm	2011 50 nm 300 mm	2014 35 nm 450 mm
大規模／少品種工場において求められる指数						
1マスクあたりのサイクルタイム(通常ロット) [1]	1.75 日	1.5 日	1.4 日	1.3 日	1.2 日	1.1 日
1マスクあたりのサイクルタイム(特急ロット)	1.2 日	1.0 日	1.0 日	1.0 日	1.0 日	1.0 日
1キャリアあたりのロット数	1 ロット	1 ロット	1 ロット	1 ロット	1 ロット	1 ロット
大規模／多品種工場において求められる指数						
1マスクあたりのサイクルタイム (通常品種) [2,3]	1.8 日	1.6 日	1.4 日	1.3 日	1.2 日	1.1 日
1マスクあたりのサイクルタイム(特急ロット) [2,3]	0.9 日	0.85 日	0.8 日	0.75 日	0.7 日	0.65 日
1キャリアあたりのロット数	単一ロット [4]	複数ロット	複数ロット	複数ロット	複数ロット	複数ロット
上記両方の工場で共通に求められる指数						
着工からファースト・ロット完了までの期間	< 18 ヶ月	< 16 ヶ月	< 14 ヶ月	< 12 ヶ月	< 11 ヶ月	< 10 ヶ月
オペレータおよび技術者の総数	N	0.9×N	0.8×N	0.7×N	0.6×N	0.5×N
製品／プロセス切り替え時間	12 週	10 週	8 週	6 週	5 週	4 週

ソリューション有り 

ソリューション開発中 

ソリューション不明 

Table 52 工場運用に求められる指標

Table52 工場運用要求の注

- [1] 工場の特急ロットの数は総ロットの 3%以下と仮定。
- [2] 特急ロットあたりの平均ウェーハ数は 5～10 枚とする。
- [3] 工場の特急ロットの数は総ロットの 10%以下と仮定。
- [4] ロットあたりのウェーハ数は可変とする。

Table52 の説明

- Factory cycle time per mask layer: マスク当たりのサイクルタイム — 時間とコストのキーメトリクス。
例えば、あるプロセスが 20 枚マスクとしてマスク当たりのサイクルタイムが 1.5 日とすれば、トータルサイクルタイム (加工、搬送) は $20 \times 1.5 = 30$ 日。
- Number of lots per carrier: カセットキャリア内の品種数 — 各製造装置で、追跡、モニター、プロセスする各キャリアあたりのロットの数。言い換えると同じロットと次のロットの間で同じ製造装置で連続モード(ノンストップ)で加工可能にする分流レシピの総数でもある。
- Groundbreaking to first full loop wafer out: 立ち上がり時間 — 新工場立ち上げのキーメトリクス。起工式から初のフルプロセスロットが出るまでの月数で表わす。

- Total number of operators and technicians in the factory:オペレータ、テクニシャン人員 — 工場のオペレーター総数は常に相対ベースでは減少を期待。
- Process/product changeover time:プロセス/品種 変更完了の必要時間 — 新製品、新プロセスが実際に製造装置が搬入されて、第一ロットが出るまでの時間を週で表わす。約 80%の装置が流用、約 20%の装置が入替え。炉、洗浄装置は入替え無し。

工場の運用方針は、各企業での色々な要素に合わせて決定される。これら要素には、その会社の事業戦略、工場の規模、品種の数、混流生産の度合い、技術の成熟度、製品デザイン、構築済みの自動化のタイプ、情報システムのレベルなどがある。これらに従って、各企業に応じた工場の運用方針が検討されているが、一方で、一般的な工場の運用方針を理論的に検討することも必要となる。これらの運用方針や関連するモデル検討には装置構成、製品構成、プロセスフロー、需要、生産制御などの種々の組合せを考える事が必要である。

これらのモデルは、事業としての工場パフォーマンスの検証およびベンチマーキングのツールとなる。すなわち、多品種か少品種か、大規模か拡張前提のミニファブか、工場と装置の延命か新設か、などの検討に活用される。

主要な技術的要求項目には、Table52 に示されるように、サイクルタイムの低減、1 キャリアへの複数ロット混載、ロット割付の自由度の増加、新工場及びプロセス、製品切替えの早期立ち上げや人員の低減が盛り込まれている。

11-3-2 製造装置

年 ゲート幅 ウェハ口径	1999 180 nm 200 mm	2002 130 nm 300 mm	2005 100 nm 300 mm	2008 70 nm 300 mm	2011 50 nm 300 mm	2014 35 nm 450 mm
相 対 的 投 資 コ ス ト [1]		<1.3×200 mm [2]	対前項比 < 98%	対前項比 <98%	対前項比 <98%	<1.3×300 mm
相 対 的 消 費 材 料、排 気、廃 棄 物、 用 力 費 用		<1.0×200 mm	対前項 10%	対前項 10%削減	対前項 10%削減	対前項 10%削減
ボトルネック装置の OEE [3] (SEMI E79)	75%	87%	89%	91%	92%	92%
能力的に平均的な装置の OEE [3] (SEMI E79)	55%	65%	71%	78%	80%	82%
相 対 的 装 置 フ ッ ト プ リ ン ト		<1.0×200 mm	対前項比 < 98%	対前項比 < 98%	対前項比 < 98%	<1.0×300 mm
相 対 的 保 守 保 全 費 用 (部 品 コ ス ト 含)		<1.0×200 mm	対前項比 < 98%	対前項比 < 98%	対前項比 < 98%	対前項比 < 120%
比生産ウェハ使用量		生産量の < 16%	生産量の < 12%	生産量の < 11%	生産量の < 10%	生産量の < 9%
次世代に再利用される主要装置 の比率(%)	> 70%	> 0% [LSC1]	> 80%	> 80%	> 80%	> 20%
物理的に良品が取れないウェハエ ッジ幅 [4]	3 mm	2 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
製造装置のリードタイム(発注からフル 稼働まで) [5]	< 9 months	< 8 months	< 7 months	< 6 months	< 5 months	<5 months
製造装置立ち上げ、品質確認費 用	< 6%	対前項比 < 0.95	対前項比 < 0.95	対前項比 < 0.95	対前項比 < 0.95	対前項比 < 0.95
プロセス装置の稼働率 [6] (SEMI E10)	> 85%	> 90%	> 93%	> 95%	> 95%	> 95%
評価装置の稼働率 [6] (SEMI E10)	> 90%	>95%	>95%	>98%	>98%	>98%
キャリア内のプロセス・レシピ数	単一	複数	複数	複数	複数	複数

ソリューション有り

ソリューション開発中

ソリューション不明

Table 53 製造装置に求められる指標

Table53 製造装置要求の注

[1] ムーアの法則では毎年機能あたりのコストを 29%低減することが必要とされている。リソグラフィの改善により年 15～20%コスト低減が可能となる。残りはオペレーションの効率、コスト低減、サイ

クルタイム低減などの工場の生産性改善により達成しなければならない。工場コストの大きな部分を占める製造装置にとっては重要な課題である。

- [2] I300I 工場ガイドライン参照:1.3 の比率は V4.0 参照 Daniel Seligson の論文 “300mm プロセスの経済学,
- [3] 1998 ロードマップから再利用
- [4] 装置の基本的性能に関連する
- [5] このラインはサプライチェーンマネジメントのためのより良い知見を得ることを意味する。
- [6] 装置の可働率はすべての要素を含む。例えば、プロセスチャンバー、ロードポート、ウェーハ搬送システム、コントローラ、ミニアンバイロメントなどである。

Table 53 の説明

- Relative capital cost:相対的投資コスト — 130nm ノードに対して、(300mm 装置の投資コスト/300mm ウェーハのスループットの値)と(200mm 装置の投資コスト/200mm ウェーハのスループットの値)の比率である。100nm ノードとそれ以降に対しては、投資コストはスループットを同じとして前のノードの 98%である。
- Relative consumables, exhaust, emissions, and utilities:相対的な消費材料、排気、廃棄物、ユーティリティ費用 — 130nm ノードに対して、(300mm 装置の消費材費/300mm ウェーハのスループットの値)と (200mm 装置の消費材費/200mm ウェーハのスループットの値)の比率である。排気、廃棄物、ユーティリティー要求に対しても同じ方法を適用している。100nm ノードとそれ以降に対しては、消費材費はスループットを同じとして前のノードの 90%である。地球的な警告と ESH の主導により付加的に厳しくなる項目もでるだろう。
- Bottleneck production equipment OEE:ボトルネック装置の OEE — 能力的にボトルネックとなる装置の総合的な装置効率のこと。典型的には、ボトルネック装置は工場内で最も高価な装置である。[OEE の定義については SEMI E79 参照.]
- Average production equipment OEE:能力的に平均的な装置の OEE — 能力的に平均的な装置の総合的な装置効率のこと。典型的には、ボトルネック装置は工場内で最も高価な装置である。[OEE の定義については SEMI E79 参照.]
- Relative equipment footprint:相対的装置のフットプリント — 130nm ノードに対して、(300mm 装置のフットプリント/300mm ウェーハのスループットの値)と(200mm 装置のフットプリント/200mm ウェーハのスループットの値)の比率である。100nm ノードとそれ以降に対しては、フットプリントはスループットを同じとして前のノードの 98%である。[SEMI E72 参照 ここで用いるフットプリントは SEMI スタandardでのコストフットプリントを意味する。]
- Relative maintenance and spares cost:相対的メンテナンス、スペアのコスト — 130nm ノードに対して、(300mm 装置のメンテナンス、スペアコスト/300mm ウェーハのスループットの値)と(200mm 装置のメンテナンス、スペアコスト/200mm ウェーハのスループットの値)の比率である。100nm ノードとそれ以降に対しては、メンテナンス、スペアコストはスループットを同じとして前のノードの 98%であ

る。

- Overall factory non-product wafer usage (per wafer start):すべての非生産ウェーハ使用量(投入枚数あたり) — 非生産ウェーハの合計を同じ期間の投入された製造ウェーハで割ったもの。典型的な非生産ウェーハはテストウェーハ、モニターウェーハ、校正用ウェーハ、ダミーウェーハである。
- % Capital equipment reused from one process node to next:あるノードから次のノードへ再利用される主要装置の数量比(%) — ノードNからノード N+1 へ再利用される主要装置の数量比(%)。例:ノード N の X 台がノード N+1 で再利用されるとする。ノード N+1 の合計台数が Y とすると再利用率は X/Y と定義される。
- Wafer edge exclusion:ウェーハエッジの除去率 — 売れるチップを形成できないウェーハエッジからの領域(mm)
- Production equipment lead time (months from order to full throughput in factory):製造装置のリードタイム(注文からフル稼働までの月数) — ある装置に対して購入の注文が出てから、工場内にインストールされ見積もった能力でウェーハが処理できるよう品質確認できるまでの期間
- Production equipment installation, hookup and qualification cost as a % of capital cost:製造装置のインスタ、フックアップ、品質確認のコスト — (インスタコスト+フックアップコスト+品質確認コスト)を装置コストで割った比率。%で表示
- Process equipment availability:プロセス装置の可働率 — 可働率とは 100%から(スケジュールダウタイム%+スケジュールリングでないダウタイム%)を引いた値。これらのダウタイムは SEMI E10 で定義されている。
- Metrology equipment availability:測定装置の可働率 — 測定装置の可働率は SEMI E10 で定義されている。それは100%から(スケジュールダウタイム%+スケジュールリングでないダウタイム%)を引いた値。
- Number of process recipes per carrier:1キャリア内のプロセスレシピ数

技術分野としての製造装置とは装置ユニット、装置コンセプト、リアルタイムプロセス制御などすべての関連物、工場とのインターフェースを対象としている。製造装置としてはプロセス装置と測定(インライン、オフライン両方)機器を含んでいる。

製造装置の設計と制御は、単位面積当たりのプロセスコストの維持と削減の重要な要素である。加えて、工場コストの上昇は継続して押さえなければならない。そうでなければ、産業は増加する投資コストを支えられなくなる、と同時に今までの様な成長率を維持できなくなる。製造装置はコストを維持厳しな厳しくなるプロセス性能を満足し、更にスループット(throughput:単位処理能力)の向上を図らねばならない。主な技術的要求項目を以下に示す。

- 「相対的もしくは正規化された装置コスト」の低減(プロセス能力に対する装置コスト増の比率)
- 装置の信頼性向上、可働率と利用率、装置全体の利用効率

- 装置間ばらつきの低減、チャンバマッチングの達成
- データインターフェースの標準化による装置間での互換性の改善
- 多世代をサポートする装置寿命の延長
- 環境への影響を削減しながらのユーティリティと消費材料（非生産ウェーハを含む）の有効利用の達成
- クラス 100～1000 (ISO 規格ではクラス 3-5) の工場環境においては高歩留で操作できる製造装置のミニエンバイロメント化（ファシリティ技術的要求 Table 56 を参照のこと）

11-3-3 材料搬送システム

年 ゲート幅 ウェハ口径	1999 180 nm 200 mm	2002 130 nm 300 mm	2005 100 nm 300 mm	2008 70 nm 300 mm	2011 50 nm 300 mm	2014 35 nm 450 mm
総投資額における搬送装置への投資額比率(%)	< 5%	< 3% [1]	< 2% [2]	< 2%	< 2%	< 3%
工程内の搬送システムタイプ	工程内／ 工程間	工程内／ 工程間	工程内／ 工程間、 ダイレクト 搬送混在	ダイレクト 搬送	ダイレクト 搬送	ダイレクト 搬送
平均修理時間[MTTR](分) (SEMI E10)	30	20	15	15	12	10
24 時間あたりのシステム全体故障回数 (SEMI E10)	<1	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
システム・スループット						
工程間搬送 (回/hr)	1000	1200	1500	2000	2200	2500
工程内搬送 (回/hr)	150	170	200	n/a	n/a	n/a
ストック (回/hr)	200	240	300	360	360	360
ストックのサイクル時間 (sec)	18	15	12	10	10	10
工場間規模のキャリア引き渡し時間 (min)	平均=10 最大=20	平均=10 最大=20	平均=8 最大=15	平均=5 最大=15	平均=5 最大=15	平均=5 最大=10

ソリューション有り

ソリューション開発中

ソリューション不明

Table 54 自動搬送システムに求められる指標

Table 54 マテハン要求の注

[1] 西暦 2002 年－高スループット搬送

[2] 西暦 2005 年－ダイレクト搬送及びストックの削減

Table 54 の説明

- Material handling total capital cost as a % of total capital cost: 総投資額における搬送機器への投資額比率(%) — 製造装置や建屋の総投資額中の搬送(ウェーハやレチクル、ベイ内外)ハードウェアの総投資の比率で%で表す。例えば、搬送機器の投資コストが30M\$で、工場(装置や建屋コスト)投資が1000M\$であれば、この比率は30/1000で3%となる。
- Transport system types within a factory: 工場内の移送システムタイプ — ウェーハキャリア搬送のために工場内で使用される移送システムタイプ。典型的にはこれらは今日のベイ内及びベイ外移送システムをである。将来、ベイ内外の移送機能双方を果たす一つのシステムが必要となる。但し、これは一つのシステムを一つのサプライヤーから受ける意味ではない。このシステムは複数のサプライヤー(品種によりベストなもの)からの相互利用可能なサブシステムから構成されるものとなるであろう。
- MTTR: 平均修理時間 — フルにインテグレートされたシステムに対する分単位での平均修理時

間である。これは何らかのシステムコンポーネントが修理を受けている間の非計画ダウンタイム (SEMI E10 にて定義) である。

- Failures per 24 hour day (over total system): 24 時間当たりの故障 (全システムに対し) — 24 時間内でシステムを通してシステムコンポーネントの見込み故障数。[更に詳細な故障に関する定義は SEMI E10 を参照のこと]
- System throughput: システムスループット — サブシステムによる時間当りの搬送移動回数である。一回の移動は一つのキャリアの一つのストックから製造装置のロードポートもしくは一つのキャリアの一つの製造装置からの一つのストックへの移動または、一つのキャリアの X ストックから Y ストックへの移動もしくは一つのキャリアの同一ストックの一つの蓄積場所からの他の蓄積場所への移動と定義される。
- Stocker cycle time: ストックサイクルタイム — ストック内のロボットが蓄積場所またはポートのキャリア位置まで移動し、キャリアをピックアップして、同一ストック内のもう一つの蓄積場所またはポートに引き渡すまでの秒単位の要求される時間である。
- Factory-wide carrier delivery time: 工場規模のキャリア引渡し時間 — 工場内で一つのキャリアが一つの製造装置から他の製造装置に移送される分単位の時間。キャリア移動の要求開始から受け取る側の装置のロードポートにキャリアが移動を完了するまでの時間を示す。最大の引渡し時間は平均値 + 2 標準偏差として定義されるピーク能力を考慮される。

効率的で迅速な材料搬送への要求と組み合わされた人間工学と安全からの課題は、300mm 以降のウェーハ径時代の材料搬送システムを明確にするための主要な原動力となる。25 枚のウェーハを含むキャリアの正味重量から、材料搬送システムは完全自動化されることが要求される。しかしながら、これらシステムは全ての製造装置に対して直接的なインターフェースを持ちながら、十分な投資効果を上げなければならない。オペレータの安全性について考えると、材料搬送システムに対するオペレータインターフェースは非常に重要な検討領域である。

Table 54 は、材料搬送システムに対する需要が増加するにつれ、ベイ間とベイ内に分かれた搬送システムが、それらが統合されたもの (装置間のダイレクト搬送システム) にまとめられていく必要があるという前提に立って作られている。この表が示すように故障を半分に減らし、その故障に対する修理時間も同様に減らさなければならない。スループットの向上も搬送時間の短縮とともに十分に達成されなければならない。一方、材料搬送システムは、工場における拡張性やフレキシビリティに対する要求に答えられるように設計される必要があり、マニュアル搬送のバックアップ (例えば PGV) や迅速なエラー復旧などの機能も備えなければならない。

11-3-4 工場システム

年 ゲート幅 ウェハ口径	1999 180 nm 200 mm	2002 130 nm 300 mm	2005 100 nm 300 mm	2008 70 nm 300 mm	2011 50 nm 300 mm	2014 15 nm 450 mm
インテグレーションを含めた工場システムコスト (総投資に対する%)	< 3%	< 3%	< 2%	< 2%	< 2%	< 3%
必須アプリケーションの MTBF(月)	> 6	> 6	> 9	> 9	> 12	> 24
必須アプリケーションの復旧時間(分)	90	45	30	15	5	0
工場FAシステムの再利用率	> 80%	対前項比 > 80%	対前項比 > 80%	対前項比 > 80%	対前項比 > 80%	対前項比 > 80%
装置と工場システム間インタフェイス標準定義率 [2]	75% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	80% 450 mm	100% 450 mm
装置と工場システム間インタフェイス標準準拠率 [2]	100% 200 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	100% 450 mm
工場間でのシステムの相互インタフェイス標準の定義率 [2]	15% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	80% 450 mm	100% 450 mm
工場間でのシステムの相互インタフェイス標準の準拠率 [2]	0% 300 mm	75% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	100% 300 mm	100% 450 mm
必須アプリケーションを稼働中の工場 でインストール/アップグレードする時間(分)	< 60	< 30	< 15	0	0	0
生産中の工場で、必須データベースを インストール/アップグレードするときの ダウンタイム(HR)	6-24	6-24	2	2	< 1	< 1
キャリア内のプロセス・レシピ数	単一	複数	複数	複数	複数	複数

ソリューション有り ☐

ソリューション開発中 ☐

ソリューション不明 ☐

Table 55 工場システムに対する要求[1]

Table 55 工場システム要求の注

- [1] サプライチェーンマネジメントの標準化と準拠は、将来検討される必要がある。
- [2] 450mm に対する標準化は、量産が始まる5年前に開始されなければならない(グローバルジョイントガイダンス(GJG)に一年、標準の開発に二年、開発と検証に二年)

Table 55 の説明

- Factory systems cost including integration:インテグレーション含めた工場システムコスト — 工場コスト全体の中で工場システムに使われた割合。初期投資に限定。ソフトウェアの保守と年間の運転コストは含まない。コンピュータハードウェア、アプリケーションソフト開発費、ソフトウェアライセンス費、ネットワーク及びインテグレーション費用を含む。
- MTBF for mission critical applications:不可欠なアプリケーションの MTBF — 不可欠なアプリケーションの[計画外]ダウンタイムに対する平均故障間隔時間(MTBF)。工場システム内の不可欠なアプリケーションとは、ウェーハ工場全体を稼働させ続けるのに必要なアプリケーションをいう(パ

ックアップに記載)。MTBF は、月単位で実装アプリケーション毎に測定される。

- Mean time to recover for mission critical applications: 不可欠なアプリケーションの平均復帰時間 — 不可欠なアプリケーションの計画外ダウンタイムに引き続く平均復帰時間[上記の MTBF の故障毎]。工場システム内の不可欠なアプリケーションとは、ウェーハ工場全体を稼働させ続けるのに必要なアプリケーションをいう。平均復帰時間は、分単位で発生毎に測定される。
- Factory system reuse: 工場システムの再利用 — 工場システム(コンピュータハードウェアとソフトウェアの両方)がプロセス技術から次のプロセス技術に移るときに再利用される割合で、コストで測定される。
- % OF EQUIPMENT TO FACTORY SYSTEMS INTERFACE STANDARDS: 装置と工場システム間インターフェース標準の定義率 — 技術ノード毎にロードマップで要求される装置コントローラと工場システム間のインターフェースで、業界標準が定義されたものの比率
- % conformance: equipment to factory systems interface standards: 装置と工場システム間インターフェース標準の準拠率 — 技術ノード毎にロードマップで要求される工場システムとのインターフェースの業界標準に対し、準拠している装置の比率
- % of factory systems to factory systems interface standards defined: 工場システムと工場システム間のインターフェース標準の定義率 — 技術ノード毎にロードマップで要求される工場システムと工場システム間のインターフェースで、業界標準が定義されたものの比率
- % conformance: factory systems to factory systems interface standards: 工場システムと工場システム間のインターフェース標準の準拠率 — 技術ノード毎にロードマップで要求される工場システム間インターフェースの業界標準に対し、準拠している工場システムの比率
- Time to install/upgrade a mission critical application in a working factory (minutes): 不可欠なアプリケーションを稼働中の工場にインストール/アップグレードする時間(分単位) — 生産中の工場で、不可欠なアプリケーションをインストール或いはアップグレードするときの分単位のダウンタイム。ハードウェア、ソフトウェア、工場アプリケーション全体のデータベース部分のアップグレードの時間を含む。データベースのアップグレードでは、データベース方式の変更及びデータベースの中身自体のアップデートがされないことを前提としている。これらに対するシナリオは、次の指標 ” 不可欠なデータベースを稼働中の工場にインストール/アップグレードする時間(時間単位)” でカバーされる。

必要とされるアップグレードの頻度は、一年に一回以下であるべきである。それ以上の頻度でのアップグレードはユーザ要求による。

- Time to install/upgrade a mission critical database in a working factory (hours): 不可欠なデータベースを稼働中の工場にインストール/アップグレードする時間(時間単位) — 生産中の工場で、不可欠なデータベースをインストール或いはアップグレードするときの時間(Hour)単位のダウンタイム。工場アプリケーション全体のデータベース部分のアップグレードと再構成の時間を含む。

必要とされるアップグレードの頻度は、一年に一回以下であるべきである。それ以上の頻度でのアップグレードはユーザ要求による。

- Number of process recipes per carrier: キャリア内のプロセスレシピ数 — 製造装置に於いて、キ

キャリア内のどの二枚のウェーハ間でも自動的にレシピとプロセスパラメータを切り替える機能を実現し、またそれを中断或いはマニュアル操作無しに連続的に行うという工場システムへの要求を示している。また、キャリア内の複数ロットのトラッキングとコントロールも含んでいる。

工場システムの開発は、キーとなる幾つかのビジネスドライバーと呼応している。300mm ウェーハ製造の到来に伴い、工場システムは工場生産性向上ため、今までよりはるかに多量のデータを自動収集し処理しなければならない。このような製造技術の転換により、装置制御と自動スケジューリング、ディスパッチそして自動ハンドリングシステムとの高度な統合が必要となってくる。工場システムはデータ収集を行い、先端プロセス制御システム(advanced process control system)と協調することで、プロセス変動の抑制、歩留改善、やり直しによる工期の削減、装置の校正やメンテナンスの削減を実現する必要がある。更に、多品種少量生産の工場では、同一キャリア内での複数製品・ロットの混載が要求され、そのサポートのためにウェーハレベルの材料トラッキングと制御が必要となる。

Table 55 に示すように、工場制御システムへの依存が高まることで、システムの信頼性が非常に重要になっている。工場に不可欠な機能に対する平均故障間隔時間(MTBF)は、6ヶ月から2年に延ばされている。故障が発生したときの復旧時間をゼロにするために、バックアップシステムも必要とされる。

工場でプロセスや技術がアップグレードされたときに、これらのシステムが非常に高い割合で再利用できるように、システムの柔軟性が要求される。更に、工場に不可欠なシステムやデータベースのインストールやアップグレードの時間は、工場運用への影響を最小限に押さえるレベルでなければならない。

これらのゴールを実現するためには、業界のインターフェース標準への厳格な準拠が要求される。特定の装置のみに通用するような標準或いはメーカが独自に定義した標準を受け入れることは出来ない。

11-3-5 ファシリティ

ファシリティ(設備)には半導体製造運用に絡む物理的なインフラすべてが含まれる。これらのファシリティの設計は、特定の技術ノードに直接リンクするわけではないが、装置設計、製造目標、ESH観点からの考察、建屋コード、そして欠陥削減目標等によって左右される。環境や運用面のフレキシビリティな考察は初期建設費用に大きく影響するが、一方で、運用コストはユーティリティやガス、ケミカルによって変更する。

Table 56に見られるように、ファシリティはもっとフレキシブルに、拡張性を持ち、且つ信頼性を高め、より迅速に製造ラインを立ち上げ、コスト効果を高めることが必要となっている。プロセス技術の急速な変革は製造装置のインストールや撤去を効果的に行い、工場運用を極力妨げないようにしたいというニーズを生み出している。装置のミニエンバイロメント対応はファシリティへのクリーン度要求を削減できるだろう。しかし、ESH規制が急速に厳しさを増す中、革新的且つコスト効率的な局所(point-of-use)解決策や工場全体レベルの除害技術や再生、リサイクル技術が必要とされるだろう。

Table 56 Facilities Technology Requirements

YEAR TECHNOLOGY NODE WAFER DIAMETER	1999 180 nm 200 mm	2002 130 nm 300 mm	2005 100 nm 300 mm	2008 70 nm 300 mm	2011 50 nm 300 mm	2014 35 nm 450 mm
Factory construction cost per cleanroom area (\$/m ²) [1]	1999 factory costs	95% of previous node	95% of previous node	95% of previous node	95% of previous node	95% of previous node
Factory construction time (months)	12	11	10	10	10	9.5
Facilities services reliability (%)	99 %	99.5%	99.9%	99.9%	99.9%	99.9%
Cleanroom cleanliness class [2]	ISO Class 3-5 (Class 1-100)	ISO Class 3-5 (Class 1-100)	ISO Class 5-6 (Class 100-1000)	ISO Class 5-6 (Class 100-1000)	ISO Class 5-6 (Class 100-1000)	ISO Class 5-6 (Class 100-1000)

Solutions Exist Solutions Being Pursued No Known Solutions 

Table 56 ファシリティ要求の注

[1] 本表では、1999 欄のコストについては、1999 年 180nm 技術ノードに要求される現状レベルが記載されている

[2] 一般的に ISO Class 6(クラス 1000 レベル)を取得することによって、ファシリティや建屋システムにおいてかなりのコスト削減が出来ると確信されている。しかく、業界としてはこの環境下で稼動できる製造装置能力を十分に把握することが必要である。

ファシリティが欠陥を防ぎ、プロセス用の重要な流体や材料の純度要求をメンテしうるための性能要求については欠陥削減 (defect reduction) の章に記述している。

ファシリティが自然リソースの保護に関わってくるような性能要求は、ESH 章に記載されており、ガス、ケミカル、排気、放出、ユーティリティ等に関連する要求は、本章のプロセス装置項目に述べられている。

ファシリティが製造装置の据付に関連する性能要求については、本章のプロセス装置項目に記載されている。

Table 56 の説明

- Factory construction cost per cleanroom area (\$/m²): クリンルーム領域工場建設コスト(\$/m²)
— 工場建設コストは半導体工場建設に関わるすべての現場での仕事、設計、建設、建設管理費を含む。このコストは工場ビル骨組、オフィススペース、工場クリンルーム、サポートエリア、排水処理システム、バルクガス・ケミカルシステム、人命安全システム、制御システム、電気システムも含む。含まれないものは、土地代、製造装置、製造装置取り付けに含まれるガス・ケミカルディストリビューションシステムなどがある。
- Factory construction time(months): 工場建設期間(月) — 工場建設期間は、「最初のコンクリートが注がれた日 (first concrete pour)」から最初の製造装置が稼動可となる日までを定義する。「最初のコンクリートが注がれた日」とは、Table 52 の工場運用技術における要求にある、竣工式 (groundbreaking) に相当する

- Facilities services reliability(%):ファシリティサービス信頼性 — ファシリティサービス信頼性とは、

$$\{(\text{合計時間/稼動年}) - (\text{合計時間/ユーティリティ中断年}) \times (\text{供給停止またはスペックはずれ})\} \div \{(\text{合計時間/稼動年})\}$$
で定義される。ファシリティサービスには、電力、水、燃料、ガス、排水等すべてのユーティリティが含まれる。中断には、ユーティリティの供給停止や、スペックはずれ状態が含まれる。ユーティリティ性能スペックは、製造されるデバイスサイズ用の業界スタンダードを利用したプロセスエンジニアリングによって制定される。
- Cleanroom class:クリーンルームクラス — ウェーハ製造クリーンルームのクリーン度は ISO 14644-1 (Feb Std 209E)によって定義される。

11-4 解決策候補(Potential Solution)

ファクトリインテグレーションの基本的到達目標は、単位面積当たりの一定コストの維持、ランプアップ時間の削減、新規ビジネスモデルへの汎用性の拡大である。三つの挑戦課題－複雑さへのマネージメント、工場最適化、そして汎用性/拡張性/スケーラビリティはこれらの目標にを達成するためにある。解決策は工場運営、製造装置、搬送システム、工場システム、及びファシリティで区分される(Figure38-42)。ウェーハ口径を含むグラフの部分は、特定のウェーハサイズが解決策であることを留意されたい。

11-4-1 工場運用

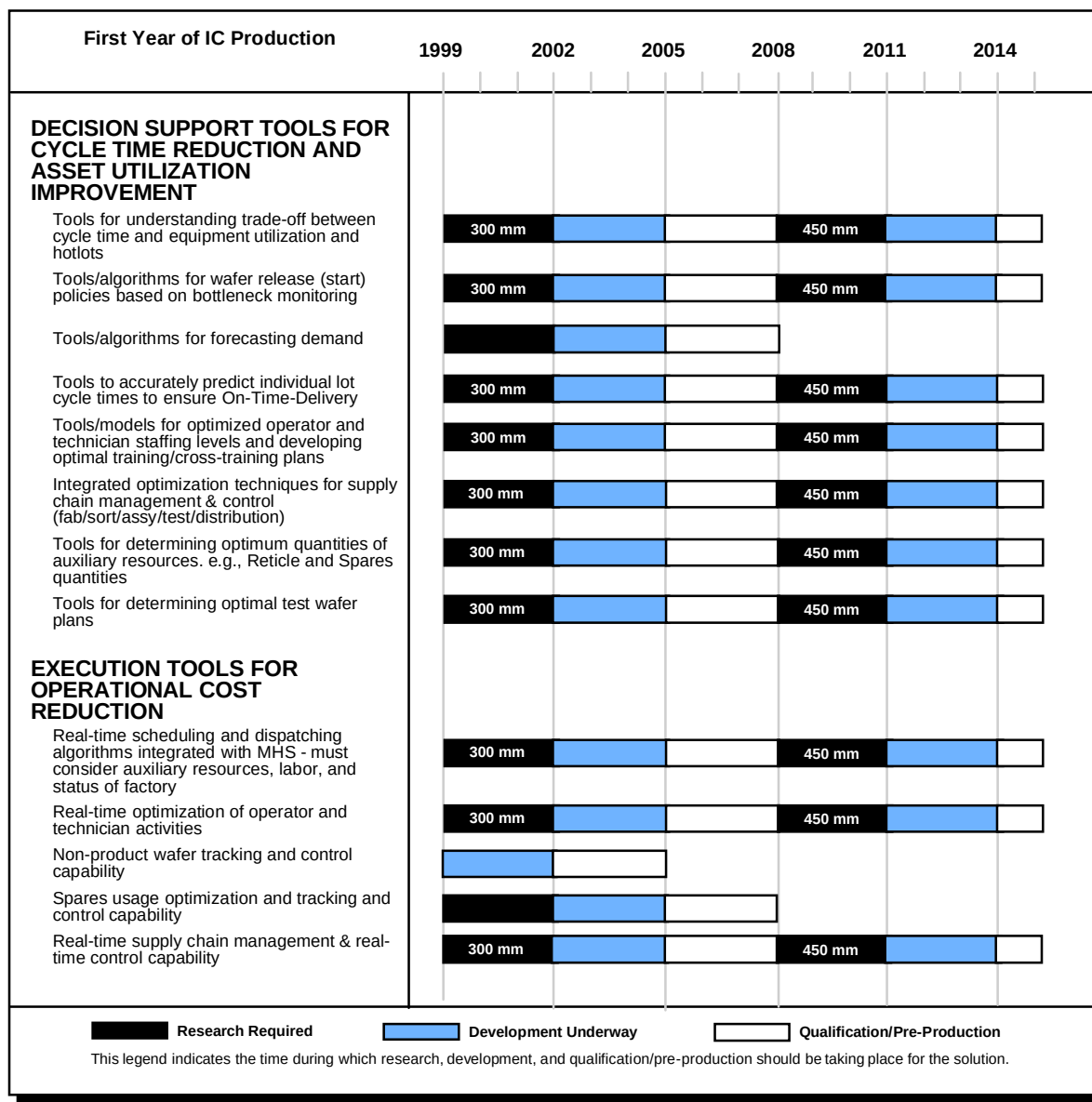


FIGURE 38 FACTORY OPERATIONS POTENTIAL SOLUTIONS

11-4-1 工場運用

出荷初年度	1999	2002	2005	2008	2011	2014
サイクルタイム短縮の為に機器および改善手法						
特急ロットと装置の割り当てのトレードオフによる サイクルタイム評価ツール	300mm			400mm		
ウェハの振り出し方法によるボトルネックの差のモニタ・アルゴリズム/ツール	300mm			400mm		
需要予測アルゴリズム/ツール						
オン・タイム・デリバリーを保证するロット毎の正確な サイクルタイム予測ツール	300mm			400mm		
オペレータ/技術者の配置最適化およびトレーニング 計画立案モデル/ツール	300mm			400mm		
サプライマネジメント・チェーンおよびコントロールの 為の高度な最適化技法(工場/選別/組立/検査/出荷)	300mm			400mm		
付帯治具(レティクル、スペアパーツ等)の保有量 決定最適化ツール	300mm			400mm		
テストウェハ出庫計画決定最適化ツール	300mm			400mm		
オペレータコスト低減の為のツール						
工場内の実労働者と生産状況を考慮した搬送機器と リアルタイム・スケジューリング/ディスパッチング・ アルゴリズム	300mm			400mm		
オペレータと技術者のリアルタイム最適化	300mm			400mm		
非製品ウェハのトラッキングと配送制御手法						
スペアパーツ供給の最適化、トラッキング、供給制 御手法						
リアルタイム・サプライ・チェーン・マネジメント および、リアルタイム制御手法	300mm			400mm		

研究段階

開発段階

試作段階

FIGURE 38 FACTORY OPERATIONS POTENTIAL SOLUTIONS

11-4-2 製造装置

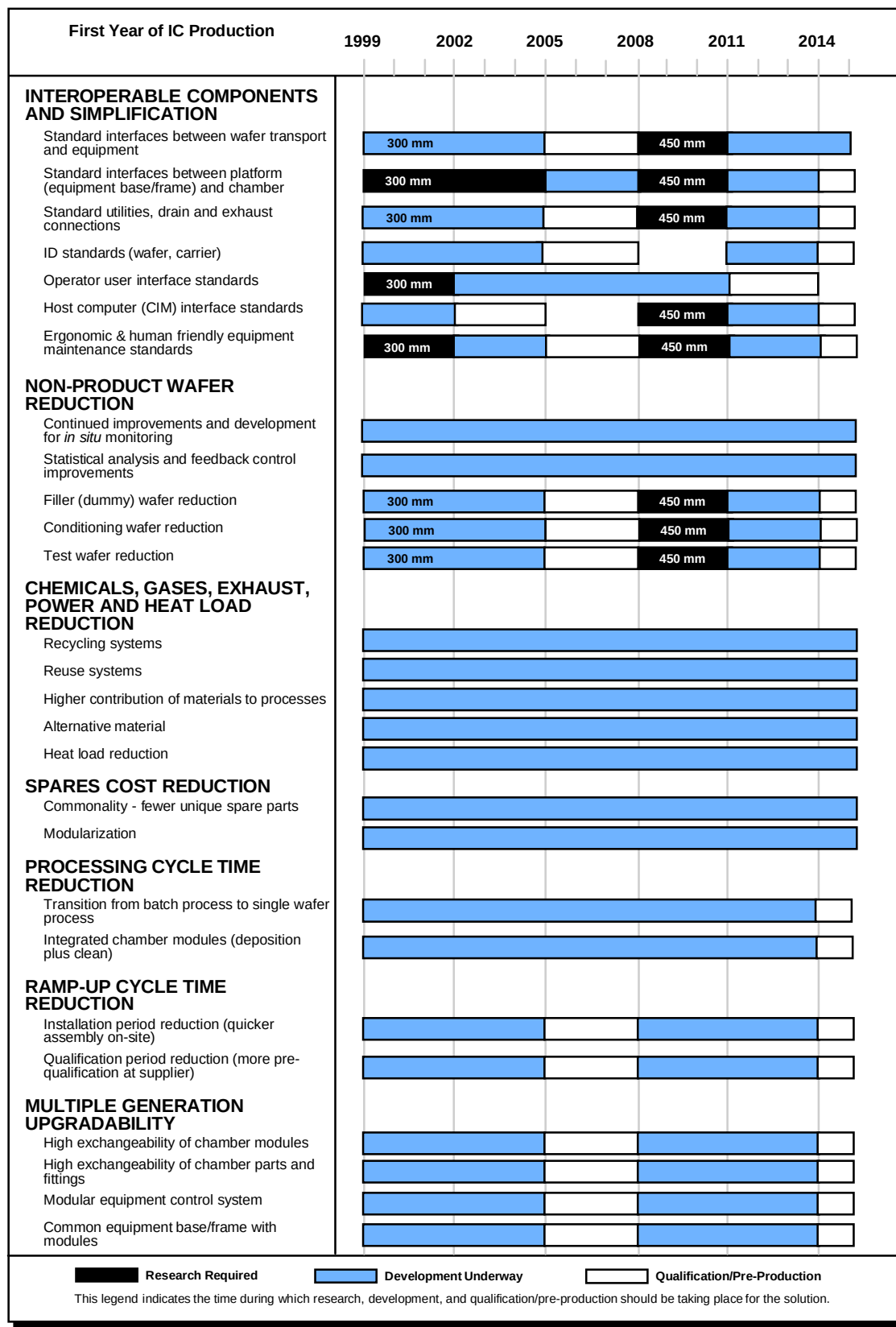


Figure 39 Production Equipment Potential Solutions

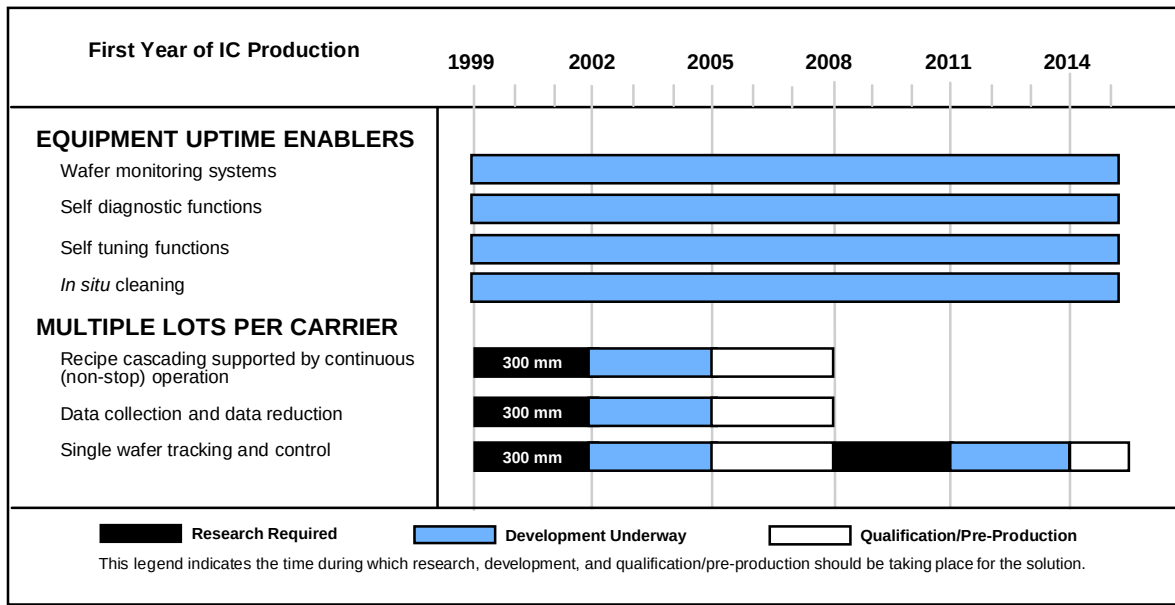


Figure 39 Production Equipment Potential Solutions (continued)

11-4-2 製造装置

出荷初年度	1999	2002	2005	2008	2011	2014
構成パーツの共有化とシンプル化						
ウエハ搬送装置と装置の間のインタフェースの標準化	30mm			40mm		
装置プラットフォーム(装置ベースやフレーム)とプロセス・チャンバとの間のインタフェースの標準化	30mm			40mm		
用力供給、排水、排気等の接続部の標準化						
I D(ウェハ、キャリア)の標準化						
オペレータ操作インターフェイスの標準化(SEMI E97)						
ホストコンピュータ(C I M) インターフェイスの標準化						
ユーマン・フレンドリ、エルゴノミクス考慮の装置メンテナンス手法の標準化	30mm			40mm		
非製品ウェハ削減						
イン・シチュ・モニタ手法の改善および開発の継続						
統計分析および、フィードバック制御の改善						
自己調整機能						
ダミー・ウェハの削減						
プロセス調整用ウェハの削減	30mm			40mm		
モニタ・ウェハの削減	30mm			40mm		
データ収集および、データ最適化	30mm			40mm		
薬品、ガス、排気、電力、熱排出量の削減						
リサイクル・システム						
再利用システム						
プロセスに依存性の高い材料						
代替材料						
熱排出量削減						
スペアパーツ代削減						
標準化一特殊部品の削減						
モジュール化						
プロセス時間の短縮						
パッチ処理から枚葉処理へ						
プロセスチャンバのインテグレーション(デボ+洗浄等)						
工場立ち上げ時間の短縮						
装置立ち上げ時間の短縮(オン・サイトの早期立ち上げ)						
装置条件出し時間の短縮(装置メーカー・サイトでの条件出し推進)						
多世代対応アップグレード						
チャンパー・モジュールの高い交換性						
チャンパー部品、フィッティングの高い交換性						
装置コントローラの分散モジュール化						
装置プラットフォーム(本体ベース、フレーム等)の標準化とモジュール化						

Figure 39 Production Equipment Potential Solutions

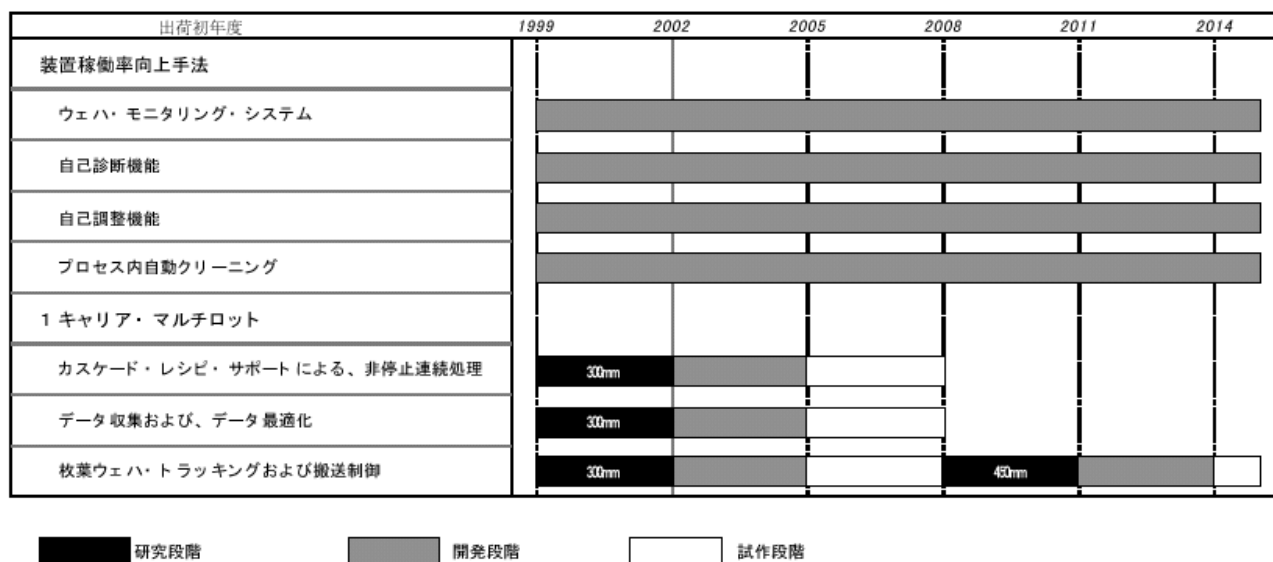


Figure 39 Production Equipment Potential Solutions (continued)

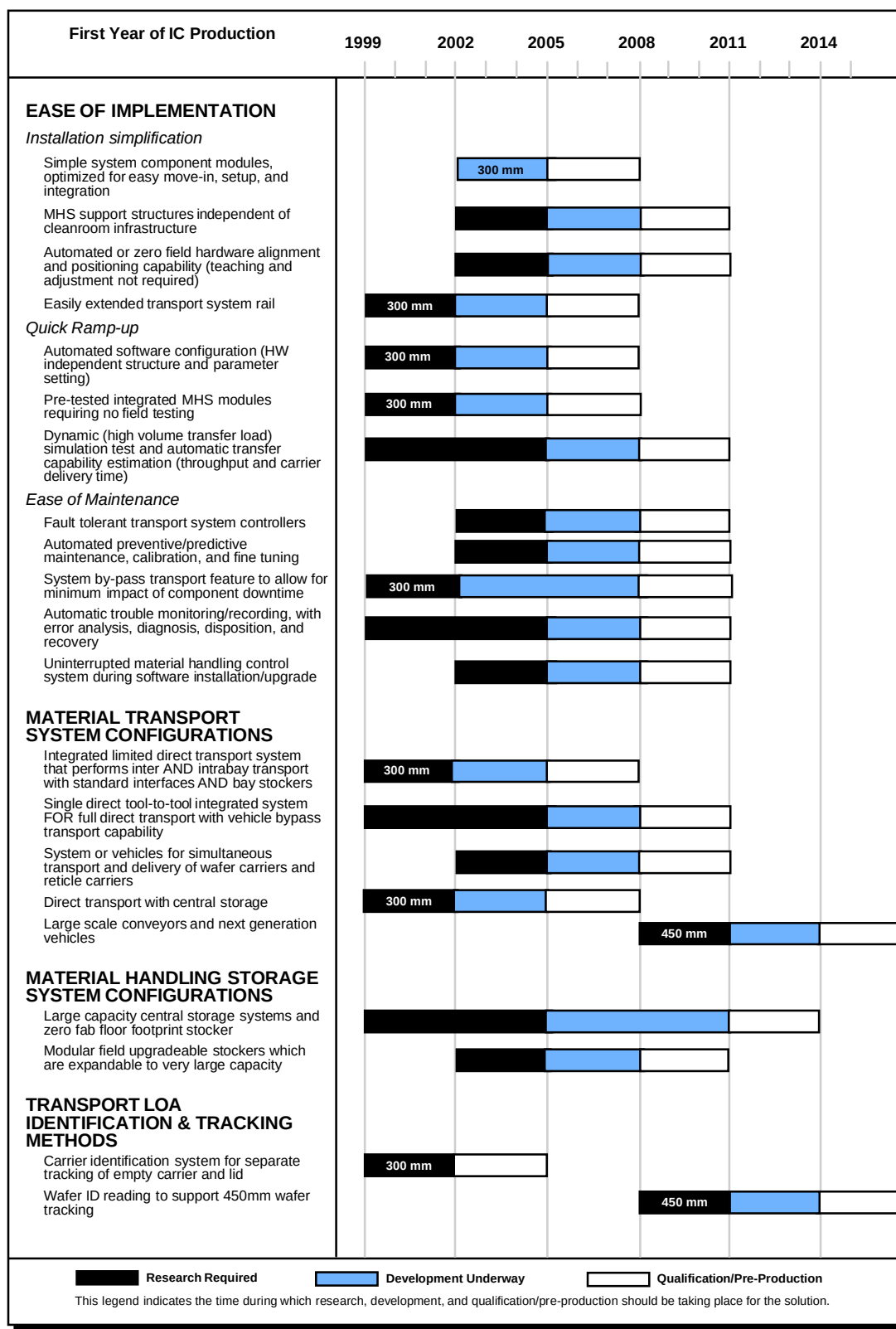


Figure 40 Material Handling Systems Potential Solutions

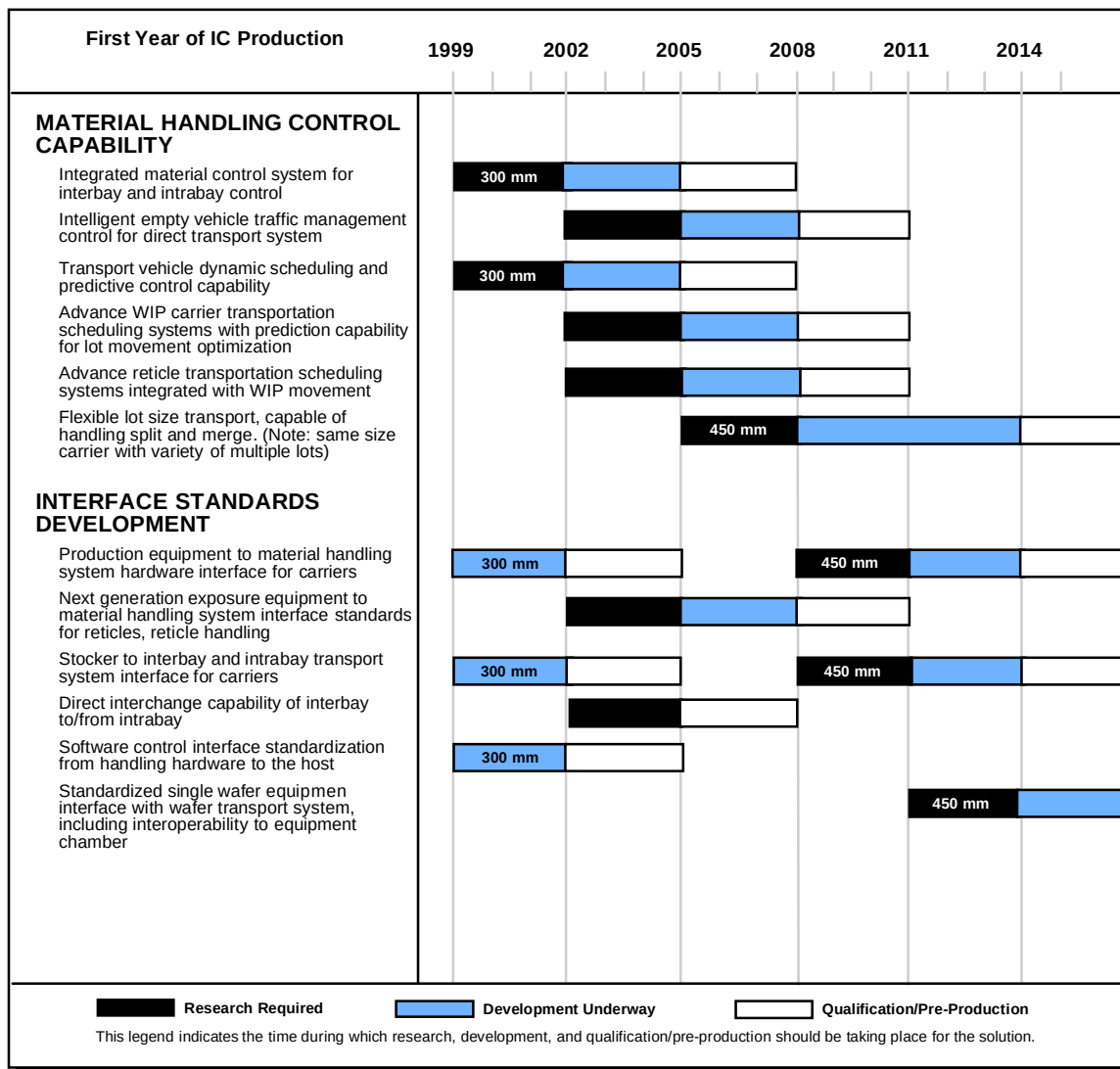


Figure 40 Material Handling Systems Potential Solutions (CONTINUED)

11-4-3 マテハンシステム

出荷初年度	1999	2002	2005	2008	2011	2014
イージーセット アップ						
立ち上げ作業の簡素化						
コンポーネント・モジュール化、搬入し易さ、立ち上げ作業、拡張性を考慮した設計		30mm				
クリーンルームのインフラとは独立した構造の搬送システム						
自動位置補正、ゼロ点校正機構（ティーチング、合わせ込み不要）						
走行レールなどが簡単に延長可能	30mm					
立ち上げ期間の短縮						
ソフトウェアの自動コンフィグレーション（ハードウェアの個別構成および、パラメータ調整）	30mm					
現地調整を不要とするための、搬送機器の予備調整	30mm					
動的シミュレーション（高搬送負荷時）および自動搬送能力算定（スループットおよび、キャリア搬送時間）						
メンテナンスの簡素化						
ミスに対する耐性に強い搬送システムコントローラ						
自動定期／突発メンテナンス、キャリアブレイション、調整機構						
構成機器ダウンの影響を最小化するためのシステム・バイパス搬送機能	30mm					
エラー解析、診断、処置、復旧を含む、自動ラブル監視／記録機構						
ソフトウェアのインストール／アップグレード中でも停止しない搬送コントローラ						
搬送システム・コンフィギュレーション						
工程内および工程間搬送システムおよび、標準インタフェイスとベイ・ストックと一部統合されたダイレクト搬送システム	30mm					
ピークル搬送をバイパスしたダイレクト搬送システムを見据えた単一装置間のダイレクト搬送システム						
異種ピークル混在およびウエハ・キャリア搬送とレティクル・キャリア搬送混在のシステム						
中央集中ストックを用いたダイレクト搬送システム	30mm					
大型コンベアおよび次世代搬送車				40mm		
搬送ハンドリング・ストレージ・コンフィギュレーション						
大規模中央ストック・システムおよび、工程外（ゼロ・フットプリント）ストック						
大規模化を見据えた現地追加可能なモジュール式ストック						
搬送物認識および物流トラッキング・システム						
空キャリアおよび空ケースの独自トラッキングのためのキャリア検知システム	30mm					
450mmウエハ・トラッキングを考慮したウエハI Dリーダ・システム				40mm		
搬送コントロール能力						
工程内／工程間向け統合型搬送コントローラ	30mm					
ダイレクト搬送のための高度な空台車マネジメント制御システム						
搬送台車のダイナミック・スケジューリングおよび、事前配車能力	30mm					
高度なプロセス処理中のウエハ・キャリア搬送スケジューリング・システムおよび、ロット搬送最適化予測能力						
プロセス処理中搬送予知とインテグレートした高度なレティクル搬送スケジューリング・システム						
ロット分割／統合による可変ロット・サイズ変更機構（注：同一サイズ・キャリアで色々なサイズのマルチ・ロットが可能）			40mm			
インタフェイスのスタンダード化						
キャリア搬送のためのプロセス装置と搬送システムのハードウェア・インタフェイス	30mm			40mm		
次世代露光装置向けのレティクルおよび、レティクル・ハンドリングのための搬送システム・インタフェイス						
キャリア搬送のためのストックから工程間／工程内搬送システム・インタフェイス	30mm			40mm		
工程間→工程内でのダイレクト移動能力						
搬送装置ハードウェアからホスト・コンピュータへのソフトウェ制御インタフェイス	30mm				40mm	
装置処理チャンバとの互換性を含めた、枚葉処理装置のウエハ搬送機構の標準化						

研究段階

開発段階

試作段階

Figure 40 Material Handling Systems Potential Solutions

11-4-4 工場システム

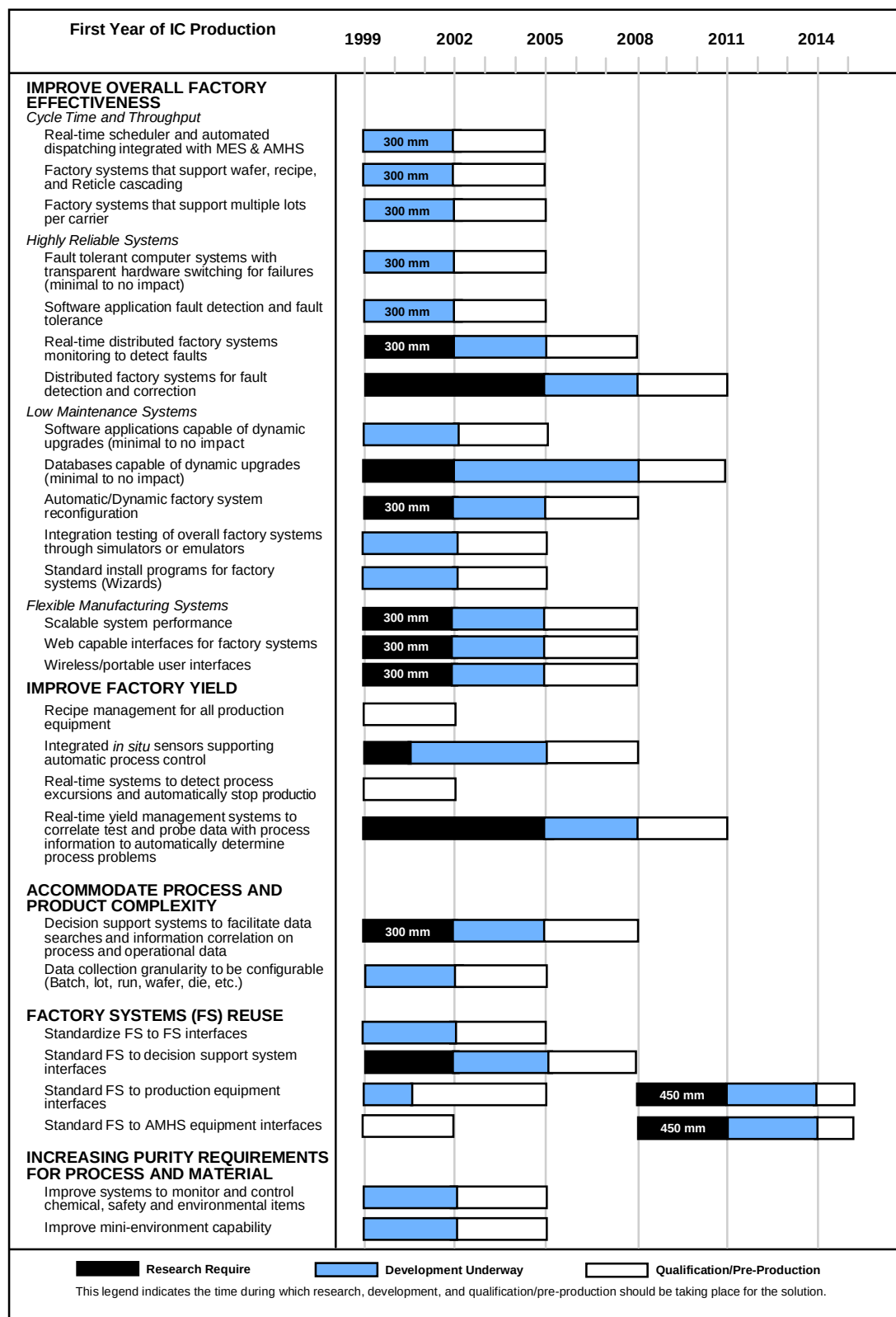


Figure 41 Factory Systems Potential Solutions

11-4-4 工場システム

出荷初年度	1999	2002	2005	2008	2011	2014
工場全体の生産性向上						
サイクル・タイムおよびスループット						
MES、AHMSによってインテグレートされたリアルタイム・スケジューラおよび自動ディスパッチング・システム	300nm					
ウェハ、レシビ、レティクルのカスケーディングに対応した工場システム	300nm					
1 キャリア・マルチロットに対応した工場システム	300nm					
高信頼性システム						
搬送装置のハードウェアの欠陥で発生するエラーに対する冗長性の高いコンピュータ・システム(無停止時間化)	300nm					
ソフトウェア・アプリケーションの欠陥検出および欠陥に対する冗長性	300nm					
検出したシステム欠陥をリアルタイムで工場システムに配信	300nm					
検出したシステム欠陥と修復情報をリアルタイムで配信する						
メンテナンスの最小化						
稼働中のシステムに対するソフトウェアのダイナミック・アップグレード手法(無停止時間化)						
稼働中のシステムに対するデータベースのダイナミック・アップグレード手法(無停止時間化)						
工場システムの自動/ダイナミック・コンフィグレーション更新手法	300nm					
シミュレータもしくはエミュレータによる工場システム全体のインテグレーション・テスト手法						
工場システムへの標準インストール・プログラム(ウィザード)						
フレキシブル・マニュファクチャリング・システム						
スケラブル・システム・パフォーマンス	300nm					
ウェブ・オリエンテッドな工場システム	300nm					
無線/携帯ユーザ・インタフェイス	300nm					
歩留り向上施策						
全プロセス装置に対するレシビ・マネジメント						
自動プロセス制御をサポートしたイン・シチュ・センサーの設置へのインテグレーション						
プロセス・パラメータ変動のリアルタイム自動検出機構および、自動装置停止						
プロセス上の問題解決のための、検査データとプロセス情報に基づいたリアルタイム・イールド・マネジメント・システム						
製品の複雑化とプロセス最適化						
プロセス・データとオペレーション・データの相互情報のデータ検索促進に対する意思決定補助システム	300nm					
制御可能にするための細かいデータ収集(パッチ、ロット、処理単位、ウェハ、ダイ等の単位)						
工場システム(FS)の再利用						
工場システム・インタフェイスに対するFS標準化						
意思決定補助システム・インタフェイスに対するFS標準化						
プロセス装置インタフェイスに対するFS標準化				400nm		
AHMS機器インタフェイスに対するFS標準化				400nm		
プロセスおよび材料に求められる高純度化要求						
環境、安全に対する化学薬品の制御および監視システムの改良						
ミニ・エンバロメント・システムの改善						



研究段階



開発段階



試作段階

Figure 41 Factory Systems Potential Solutions

11-4-5 ファシリティ

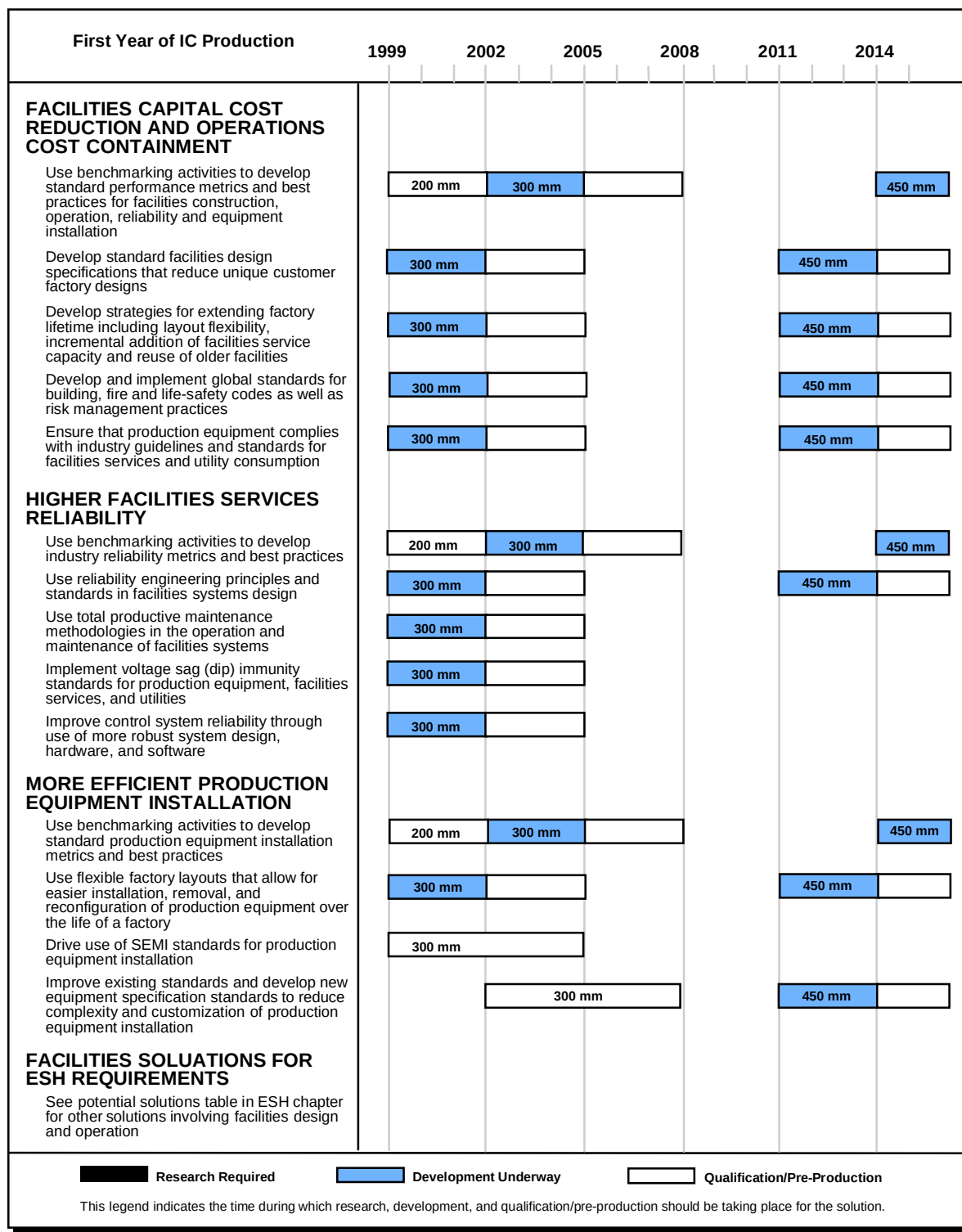


Figure 42 Facilities Potential Solutions

11-5 クロスカット課題 (Cross Cut Issues)

11-5-1 環境、安全、健康 (Environmental, Safety and Health)

ESH (環境、安全、健康)は半導体工場の設計および運用で常に重要な役割を持っている。工場計画の始めの段階での意志決定は、経済的に満足させながら安全および環境に関する厳しい要求を満たす工場を造ることに、大きなインパクトを持っている。安全と環境面に配慮した設計を早期にすることは、高価な再設計および改造を避けながら ESH からの要求条件に適合した工場を早期に立ち上げるスケジュールを達成するために、絶対必要である。

将来の工場における継続的な安全改善計画を確立しなければならない。自動装置に付随して発生する危険 (Safety Risks) の完全な理解から、作業員および製品のために安全な作業条件を保証する標準が導かれる。この標準は、自動システム、自動システムがインタフェースをとる装置、およびインタフェースに関しても、正しく管理されなければならない。

我々の業界はますます増加している環境制限に直面している。利用可能な給水能力はすでに工場のサイズおよび場所に制約を課している。リソース消費を最小にしリソース再利用を最大にする工場の建設が目標である。環境上有毒な材料 (Materials) の廃出液をゼロに近いレベル (多分ゼロレベル) に引き下げる必要がある。

これらのプログラムに対する多くの責任を装置サプライヤが負う一方で、先進のリソースマネジメントプログラムの適用は重要なインパクトを持つ。業界のために確立され、業界によって確立された訓練計画により ESH の標準化および設計に関する各プログラムの大幅な改善が可能となる。装置設計、メンテナンス、最終廃出処理における ESH 標準の考察が、ESH 性能ならびにコストに関してかなりの改善効果をもたらす。

11-5-2 欠陥低減 (Defect Reduction)

優れた欠陥低減戦略の開発はコストおよび投資リスクを減らす。工場欠陥低減歩留りモデルは代表的な運用性能を定義して、性能および歩留りについての悪化要因についてのパレート図をもたらす。実験的なプロセスパラメータのマッピングおよびプロセス制御戦略に基づいた工場モデルは評価ツールおよびモニタウェアの増加に対する要求を減らす。ライン最終位置での検査 (End-of-line Inspections) に対する依存を減らすように、プロセスパラメータおよびプロセス間のインタラクションについて変化の許容範囲を確定することも非常に重要である。

工場モデルは、また、急速な建設、急速な歩留りランプ、高い装置ユーティライゼーションおよび将来の技術ノードに対する拡張性のために効率的な工場設計を保証する欠陥低減入力を処理できなければならない。Table 57 は欠陥低減ニーズを概括する。

<i>Key Issues</i>	<i>Potential Solutions</i>
<i>Variational Tolerances of Critical Process Parameters</i> Process control enablers and extendability Root cause analysis of performance detractors	Experimental mapping of the parameter space for each process and correlation to device performance
<i>Process Interactions</i> Wafer state analysis Initial equipment state consistency Impact of contamination on OEE	Short loop modeling and experimental mapping of parameter state variations Component wear and lifetime studies
<i>Process Critical Fluids and Materials Purity Requirements</i> Point of Use contamination monitoring Materials reliability and consistency	Industry test structure for each node on roadmap Process parameter studies
<i>Reduce End Of Line Inspection And Monitor Wafers</i> Nonvisual defect detection Metrology for <.08 μm defects	<i>In situ</i> process control
<i>Rapid Yield Ramp</i> Process specific yield models Process control	Inline inspection metrology Correlation of parameter space variation and defects
<i>Facilities Impact to Yield</i> Electromagnetic interference Vibration Molecular contamination	Short loop models Data/metrics standards

Table 57 Defect Reduction Potential Solutions

11-5-3 モデリングおよびシミュレーション (Modeling and Simulation)

今日のモデルは工場運用に対して主要な貢献をもたらす。計画モデルおよびスケジューリングモデル、装置シミュレータ、プロセスシミュレータ、デバイスシミュレータおよび回路シミュレータ、ファシリティレイアウトモデルは全て工場生産性の向上に貢献する。ファクトリンテグレーションに対する挑戦課題についての解決策を達成するために必要なことは、これらのモデルを絶えず改善するだけでなく、多分もっと重要なのは運用および機能面についてこれらのモデルをインテグレーションすることである。

ファシリティ計画モデルおよびスケジューリングモデルをインテグレーションしなければならない。スループットおよび歩留りを改善するために高度プロセス制御 (Advanced Process Control: APC) を装置モデルおよびプロセスモデルに結びつけなければならない。装置およびプロセスのインシチュ監視により、センドアヘッド (Look-ahead) ウェハおよび非製品ウェハ (Non-product wafers: 非製品ウェハ) の要求が除去され、非生産的な装置品質保証時間を大いに短縮する。

装置モデルおよびプロセスモデルとデバイスおよび回路シミュレータとのインテグレーションは工場設計者と製品設計者の間のコミュニケーションを容易にし、工程能力と両立する設計をもたらす。設

計者が一緒になって効果的に作業するためには、非常に高速なモデルが必要である。これらのモデルを包括的な計画の組合せでインテグレーションすることにより、新規工場または新規技術を最小の遅延でオンライン化できる。

この高度知識モデルはセンサー、特に装置およびプロセスのインシチュ監視に、ますます依存する。これに対応してセンサーの信頼性は一層重要となるが、しかし、信頼性の改善だけでは十分とはいえない。測定パラメータ間の関係を理解して、不良信号を識別して、監視および制御について最尤値を計算するために、モデルは使用される。これにより、センサーの信頼性に対するモデルの依存性を減らす。

モデルの実効セットでは、データベース、物理学ベースの経験的なモデル、第一原理 (First-Principle) モデルおよび統計モデルと統合しなければならない。予測の精度を失わずに処理速度を高めるために、コンパクトモデルおよび挙動モデルが必要である。遺伝子アルゴリズム、ニューラルネットワーク、フラクタルジオメトリ、カオス理論、カーネル推定量および小波解析等のモデル化手法の開発は複雑なシステムモデリングにおいて非常に高度な機能を提供する。

データベースマイニング手法 (Database mining techniques) を適用しなければならない。工場の中で生成される膨大なデータ量により、多くの予備的な解析において手動介入は排除される。計算機モデルは工場状況の連続監視によりこのデータの多くを分析して、濾過する。最も生産的なリソース活用に製造を進ませる改善機会を特定することが目標である。

新しいモデリング言語は工場モデル技術者の生産性を上昇しなければならない。開発時間および評価時間において重要な改良を成し遂げるために、テンプレートライブラリからレゴ (Lego) スタイルにモデルをアセンブルしなければならない。ユーザがこのイネーブル機能を受け入れるためには、多種多様な工場ユーザおよび工場モデル技術者に対して構成可能なユーザインタフェースが必要である。

11-5-4 メトロロジインテグレーション (Metrology Integration)

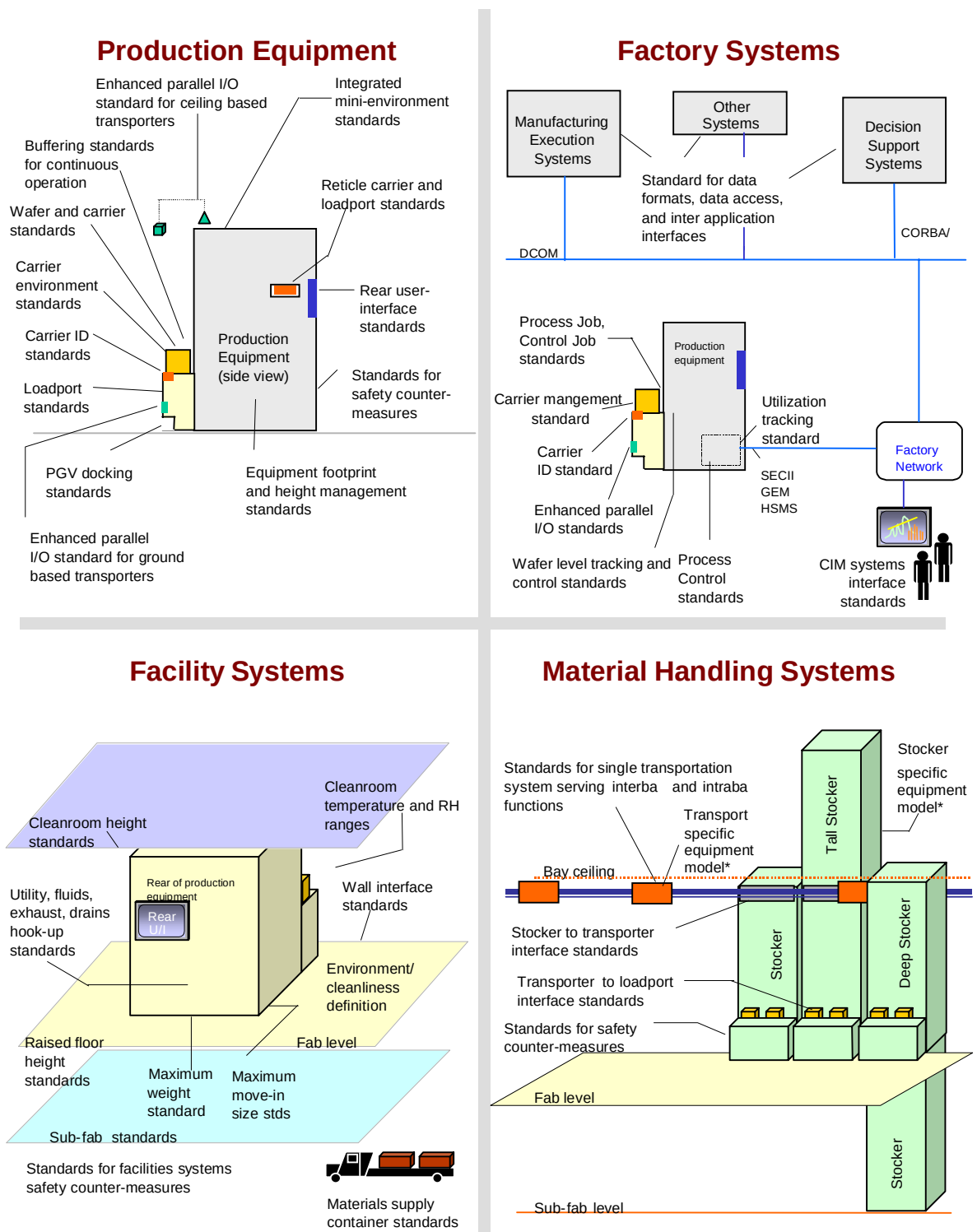
ウェハサイズが増加し所要測定解像度が縮小するにつれ、データ量およびデータレートは劇的に増大する。この膨大なデータ量を効果的に使用するためには、データが他のデータ並びにウェハトラッキング情報と関連づけできるように、メトロロジシステムを工場レベル通信制御システムおよび企業レベル通信制御システムに完全に統合しなければならない。装置の品質保証並びに工場の生産ランプ構築に費やされる時間を最小にするために、このデータ対情報 (Data-to-information) 機能が工場の歴史の中でできるだけ早期に存在しなければならない。測定データソースの範囲は主要サプライヤから (マスクおよびシリコンウェハ) アセンブリおよび最終試験へと広がり、企業内の他工場を取り込まなければならない。測定データに加えて、本質的に、このデータ (例えば欠陥ソースまたは空間シングニチャ) に基づく解析結果を同レベルの情報完全性および接続性で維持する。300mm の工場において、検査ツールおよび測定ツールは効率的な工場インタフェースをつくるために結局クラスタまたは一体化されたクラスタに搭載される場合がある。一部の 300mm プロセス装置は一体化された測定機能を含む。ますます増加しているこのメトロロジインテグレーションは APC 用の改善された機能で表明される。

11-5-5 工場インタフェース標準の必要条件 (Factory Interface Standards Requirements)

300mm 化に関する計画フェーズにおいて、特定企業の所有でないファクトリインテグレーション標準の分野では IC メーカーおよび装置サプライヤの間で重要な協力が存在していた。これは、装置開発時間を最小にし、プロセス開発の莫大なコスト/リスクを減らし、複雑性をよりよく管理する 1 つの方法である。競争的になる前の状態である分野 (Pre-competitive areas) に適用され、全ての参加者に利益がもたらされるときに、最も標準が有効であることを過去の経験は示す。

Figure 43 は 300mm 標準化に関する現在の作業努力を示し、継続した努力が将来必要である分野を示している。コンセプトはグローバルな共同作業によりもっとも大きな利益をもたらす工場の 4 つの基本要素-製造装置 (Production Equipment)、ファシリティシステム (Facilities Systems)、MHS (Material Handling Systems)、工場システム (Factory Systems) をカバーする。これらの標準の成功した開発、実現およびテストは、工場のオンライン化能力および速くて経済的な方式でのフル生産への立ち上げに関する能力に対して主要な効果を持つ。

運用間要素 (特に工場における異系統間のインタフェース) の標準化は工場の中で増加しつづけている複雑性レベルの管理に大幅に貢献する。インタフェース標準化における現在までの進歩はこのロードマップに反映されている。



*Specific equipment model that defines equipment behavioral characteristics

PGV---personal guided vehicle

DCOM---distributed components object model

GEM---generic equipment model

RH---relative humidity

CORBA---common object request broker architecture

SECSII---semiconductor equipment communication standard

HSMS---high speed messaging standard

U/I---user interface

Figure 43 Areas Where Nonproprietary Interface Standards Reduce Factory Cost and Risk