

## Factory Integration WG

### 第1章 はじめに

FI(Factory Integration)は、他のWGとは異なり、生産技術全体に視点をおいている。STRJ WG8(FI担当)で検討している範囲は、次の5つの分野から構成される。

- 1) 工場運用
- 2) 製造装置
- 3) 材料搬送システム
- 4) 制御システム (FICS)
- 5) ファシリティ

これを見て分かるように、検討範囲が広く、また SEAJ としては検討することが難しく、検討の範囲外としている分野もある。

しかし 2010 年より STRJ の活動が休止したため SEAJ としての ITRS への積極的な参加が困難となり一部のボランティアによる ITRS への情報収集が実施されているにとどまっている。

本ロードマップは ITRS2011 年版の **Factory Integration** に記述された内容に装置メーカー、ファシリティメーカー、材料メーカー、ソフトハウス等のサプライヤー側の視点から作成したロードマップであり、ITRS のロードマップを補完する観点とともに SEAJ 独自の視点から作成されている。特に本ロードマップ作成にあたり「Waste Reduction」を SEAJ 独自の視点①TAT 改善、②NPW の研究およびグリーンファブの視点から検討した。

また、2011 年より今後の自動制御の高度化に対応する目的で電気学会との定期的な情報交換を開始した。

#### 1-1 背景

本年度のロードマップは FI の検討項目全体に亘ってロードマップを作成している。

#### 1-2 期待する効果

本ロードマップでは検討項目毎に期待する効果は異なるが全体として以下の点があげられる。

サプライヤーの視点からの課題、解決策候補

- 1) ITRS ロードマップでは検討されなかった視点からの検討
- 2) ITRS ロードマップへのサプライヤーからの意見
- 3) ITRS ロードマップへのより詳細な検討

### 1-3 技術的要求・予測・課題・解決策候補

本ロードマップは検討項目毎に技術的要求・予測・課題・解決策候補などについて記述している。検討項目は以下の通りである。

- 1) 工場運用
- 2) 製造装置
- 3) 材料搬送システム
- 4) 工場情報制御システム
- 5) ファシリティ
- 6) TAT 改善
- 7) NPW 研究
- 8) グリーンファブ
  - ① 省エネの動向
  - ② 熱源最適化制御
  - ③ 純水システムの最新動向
- 9)ファブ内空間情報の一元管理について  
付属 用語説明

FI に関する、主要なゴールを達成するために、技術要件を評価し、困難な挑戦への可能性のあるソリューションを識別していく必要があり、次の5つの機能分野に分けられている。

- ・ 工場運用(FO、Factory Operation)は、工場内の生産を計画し、監視し、コントロールするために用いられる方針や手続きをカバーする。
  - ・ 製造装置(PE、Process Equipment)は、プロセス装置と検査装置と、他の工場の構成要素とのインターフェースをカバーする。
  - ・ 搬送システム(AMHS\*)は、材料を、搬送し、保管し、認証したり、追跡し、制御することをカバーする。
  - ・ 工場情報制御システム(FICS)は、コンピュータのハードウェアとソフトウェア、製造関連の支援システム、工場スケジューラ、装置や材料搬送システムの制御、上位プロセス制御を含んでいる。
- ファシリティは、建屋のインフラ、ユーティリティ、監視システムをカバーする。

## 第2章 工場運用

工場運用については、デバイスメーカー視点であるため、SEAJ としては検討・考察しにくい分野であるので、ITRS の技術的要求のみを記述している。

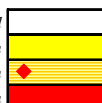
FI の重要な使命のひとつは各層のオペレーションに責任ある人に生産性や改善の前後の評価情報を提供することにより、工場の改善活動をアシストすることである。それらは CIP および改善実施計画というかたちで方法を明確にしなければならない。これらの方法を効果的にするために工場の活動情報は、各種判断を導くためにデータ利用を容易にする構造を持っていなければならない。

表 FI-2-1 工場運用の技術的要求 (ITRS 2011 年版より抜粋)

Table FAC3 Factory Operations Technology Requirements

Year of Production	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	40	36	32	28	25	22.5	20	17.9	15.9
<i>[Should be (from ORTC Table 1 - 1-yr pull-in):]</i>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>17.9</b>	<b>15.9</b>	<b>14.2</b>
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	450	450	450	450	450	450
Factory Cycle Time (days/ mask layer) of									
for 25 wafer lots	1.50	1.40	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	0.50
for 12 wafer lots	1.00	0.84	0.84	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.50
Super hot-lot (average top 1% of lots)	0.32	0.31	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Factory Wait Time Waste (WTW) (days /mask									
WTW for 25 wafer lots	1.18	1.09	1.09	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.20
WTW for 12 wafer lots	0.68	0.53	0.53	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.20
X factor	3.10	3.00	3.00	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.00
Factory Equipment Output Waste (EOW)	45%	35%	35%	25%	25%	25%	25%	25%	20%
Bottle neck equipment									
Utilization	92%	93%	93%	94%	94%	94%	94%	94%	95%
Availability	94%	95%	95%	96%	96%	96%	96%	96%	96%
Average delivery time (minutes)	5	4.5	4.5	4	4	4	4	4	3
Overall NPW activities versus production wafers activities (wafer move count ratio)	<7%	<6%	<6%	<5%	<5%	<5%	<5%	<5%	<5%
Bidirectional equipment functional visualization	partial	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Single Wafer Manufacturing System									yes

Manufacturable solutions exist, and are being optimized  
 Manufacturable solutions are known  
 Interim solutions are known  
 Manufacturable solutions are NOT known



- [1] X-factor は連続的に改良される数値である。実際の X-Factor の値は、プロセス技術や世代の生の処理データに大きく依存する。
- [2] 通常、ボトルネック装置はリソ装置となる。
- [3] 稼働率と有用性は連続的に改良される数値である。

表 FI-2-2 工場運用に対する要求項目の説明

Table FI-2-2 Explanation of Items for Factory Operations Requirements

項目	説明
Wafer diameter ウェハ径	すべての数値は 300mm ウェハに対応する。2014 年以降は 450mm への要求と換算できる。
Factory cycle time per mask layer (days)25 wafer lot 通常ロット(25 ウェハ)におけるサイクルタイム(日)/マスクレイヤ :	1 マスクレイヤあたりのロット処理合計時間。例えば、25 ウェハ・ロットで 1 プロセス 30 マスクレイヤでサイクルタイム/マスクレイヤ=1.5 の場合、全サイクルタイム=30×1.5=45 日となる。時間-コスト換算をするうえでの重要な基準となる。12 ウェハ・ロットの場合も同様に計算される。
Factory cycle time per mask layer (days)12 wafer lot 通常ロット(25 ウェハ)におけるサイクルタイム(日)/マスクレイヤ :	
Super hot-lot (average top 1% of lots) factory cycle time per mask layer 超特急ロットにおけるサイクルタイム/マスクレイヤ(平均全体の 1%)	1 ロット 5 枚のウェーハ以下を仮定。工場では他のロットに比べて最優先されるロット。次工程以降の製造装置はこのロットのために予約待機している。結果として超特急ロットのサイクルタイムは工場の生産ラインにおいてもっとも早いと考えられる。
Wait Time Waste (days); 25 wafers in a carrier ウェイト・タイム・ウェスト(日) :25 ウェハ キャリア	工場のウェイト・タイム・ウェストは以下に記述される。 ; $WTW(\text{平均}) = \Sigma(\text{待ち時間})/N[\text{day}/\text{mask layer}]$ N; マスクの数量 工場における超特急ロットのサイクルタイムはウェイト・タイム・ウェストサイクルタイムで替わりにあわせ、その計算式は工場運用の TR テーブルのサイクルタイムの値を用いて通常ロット(25 枚ウェハ)のサイクルタイムと超特急ロットのサイクルタイムの差であらわされる。 $= \Sigma (CT_{25} - CT_{SHL}) [\text{days}/\text{mask layer}]$ ここで、 CT <sub>25</sub> : 通常ロットのサイクルタイム [days/mask layer] CT <sub>SHL</sub> : 超特急ロットのサイクルタイム [days/mask layer]
Wait Time Waste (days); 12 wafers in a carrier ウェイト・タイム・ウェスト :12 ウェハ キャリア	12 ウェハロットのウェイト・タイム・ウェストは上記の式に準じて計算される。
X-factor [1]	X-factor とはサイクルタイム(キュー、ホールド、プロセス、移動時間の合計)をプロセスタイム(RPT)で割った値である。1 装置 1 ロットあたりの RPT とは、装置があるロットの処理を始めてから処理が終了し次の装置へ移動できるようになるまでの時間を指す。通常この時間はツールがロットを処理し始めてから完了して次の製造装置へ移動可能になるまでをさす。 X-factor は継続的な改善のために表される。
Equipment output waste (%); 25 wafers in a carrier, high mix production 装置・アウトプット・ウェスト(%); 25 ウェハキャリア、ハイミックス生産	装置アウトプット・ウェストは通常最速スルー・プットとある期間での平均スルー・プットとの差で定義される。平均スルー・プットには通常での装置の使用サイクルが該当しメンテナンスも含まれる。(月に 1 回 1 週間など)。最速スルー・プットはプロセスの変更のない連続運転時のものである。装置単体の EOW は以下で定義される。 ; $EOW = (TH_{25} - TH_0) / TH_0 \times 100[\%]$ ここで、TH <sub>25</sub> は平均スルー・プットで 25 枚ウェハキャリアでの生産環境である。

項目	説明
	<p>工場の EOW はすべての製造装置のスルー・プットを合計して装置の数で割って定義される。</p> $\text{Factory EOW} = \sum ((\text{TH}_{25} - \text{TH}_0) / \text{TH}_0 / N \times 100[\%])$ <p>FI ITWG はいくつかの装置について予備調査を実施した。Factory EOW はより多くの EOW データによってより良いものとなるであろう。</p> <p>データは 25 枚ウェハキャリアでハイミックス生産</p>
<p>High mix operation ハイミックスオペレーション</p>	<p>ハイミックスは以下で定義される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 同じ FAB で3以上の技術世代が同時進行</li> <li>・ 同じ技術世代で 10 以上のプロセスフローを運用</li> <li>・ FAB で 50 以上の製品が同時進行</li> <li>・ 多くの少数ロット(1-10 枚ウェハ)</li> <li>・ それぞれの露光装置が 1 枚のレチクルで平均 50 枚以下のウェハを処理</li> <li>・ ロットスタートが顧客のオーダーで開始。これは毎日異なるロット数量を同一でない製品・プロセスフローで開始することを意味する。</li> <li>・ 少なくとも 5 つの量産製品(プロセスフロー)があり、どの製品も全生産量の 50%未満。</li> </ul>
<p>Bottle neck equipment utilization and availability ボトルネック装置における稼働率と有用性 [2][3]</p>	<p>ボトルネック装置、通常はリソグラフィ・ツール</p> <p>有用性(Availability)とは「装置が要求された時にその意図した機能を実行できる状態にある見込み」、稼働率(Utilization)とは「装置が意図した機能を実行している時間の割合(%)」と SEMI E10 で定義されている。どちらも 1 ロット 25 枚ウェハを仮定。有用性には setup, idle, processing time を含むが、稼働率は直接価値を生み出しサイクルタイムに寄与する時間と見なされる。ボトルネック装置(通常はリソグラフィ)の稼働率はファブ全体の稼働率に影響するため重要な指標となる。</p>
<p>Average delivery time (minutes) 平均搬送時間(分)</p>	<p>搬送時間とは MES から移動命令が発せられるときに始まり、キャリアが受け入れ装置のロードポートに到着する時点までを指す。</p>
<p>Overall NPW activities versus production wafers activities 生産数に対する全非生産ウェハ利用率</p>	<p>装置で処理された全非生産ウェハ量を同じ期間に装置で処理された生産ウェハ量で割った値。装置は、設計された可動率と予定された稼働率で動いていることを前提とする。</p> <p>非生産ウェハには、テストウェハ、モニタウェハ、評価用ウェハ、テストファイヤウェハなどがある。この要求は、全ての生産装置(検査を除く)に適用する。</p>
<p>Bidirectional equipment functional visualization 双方向の装置機能の可視化</p>	<p>装置の機能に関する性能はサプライヤーからユーザーへ納入された時点で検証され可視化されなければならない。その後半導体の製造に使用される。双方向の可視化が、装置の性能、品質、トレーサビリティ、ユーザーとサプライヤーの効果的な技術情報の交換を確実なものとする。この双方向性は標準化された装置データ、モデル及び品質で構成されなければならない。</p> <p>装置の稼働状態において SECS を通して入手可能な装置データのような部分的な開始も通常可視化されない。第 2 の装置データポートと言われているものがこのような可視化を提供するであろう。</p>
<p>Single wafer manufacturing system 枚葉生産システム</p>	<p>キャリアを用いて非常に少ないウェハ枚数や時には個々のウェハを搬送するウェハプロセスは WIP 生産方法のみにおいて可能と考えられている。</p> <p>2009 年版のファクトリー・インテグレーション・ロードマップではこれらの生産方法は、2009 年から始まる非常に短い生産サイクルへの強い要求により可能と記述している。</p> <p>工場のサイクルタイムは劇的に減少されると考えられるが、コスト条件に見合った適正なサイクルタイムの要求に関する研究が将来的に求められる。</p>

### 第3章 製造装置

製造装置のセクションは工場内の全てのプロセス装置、計測検査装置、装置内蔵コントローラ、EFEM\*, ロードポート、キャリアとウェーハハンドリング、ホスト通信のためのソフトウェアやファームウェア、および装置へのファシリテイインターフェースを含むファクトリーインテグレーションを取り扱い範囲としてきた。この範囲においては、300mm 移行時に標準化が推進されたことにより製造装置とホストシステムのインターフェースのほとんどがスタンダード化された。2009年度のロードマップ改訂により、工場オペレーション由来の要求項目は、それを明確にするために FO のセクションに移動した。TR 表による直接要求項目は減少し、製造装置と計測検査装置の有用性と静電界に関する要求のみとなった。(表 FI-3-2)

表 FI-3-1 製造装置技術要求事項の改訂

Table FI-3-1 Production Equipment Technology Requirements

#	2007/2008 Metrics	2009 Editon
1	Overall NPW activities vsersus production wafers activities (wafer move count ratio)	FO 要求へ移動
2	% capital equipment reused from previous node	削除
3	Wafer edge exclusion	削除
4	Lithography Equipment Qualification Duration	削除
5	Process equipment availability (A80)	継続
6	Metrology equipment availability (A80)	継続
7	Equipment-induced non-value added time as a % of total processing time (high mix)	削除
8	Ability to run different recipes and parameters for each wafer	削除
9	248nm scanner productivity (wafers outs per week per tool)	削除
10	193nm scanner productivity (wafers outs per week per tool)	削除
11	Maximum allowed electrostatic field on wafer and mask surfaces (V/cm) for ESD	継続

2011年度のロードマップにおいては、2009年版からの継続取り組みを行い、NGF 要求の取り組みを前提とした 450mm 移行への議論の中で、以下の項目が取り上げられた。

- 1) Bidirectional Visualization
- 2) Waste Reduction
- 3) Productivity Requirements
- 4) Potential Solutions
- 5) Energy Saving and Factory Environment

2009年度 3)NGF Requirement の項目は、450mm 移行に包括し 3)Productvty Requirement 項目となった。

3-1 技術ロードマップ技術要求・課題

3-1-1 ITRS/STRJ ロードマップ

表 FI-3-2 製造装置の技術的要求 (ITRS 2011 年版より抜粋)

Table FI-3-2 Production Equipment Technology Requirements (refer to ITRS 2011)

Year of Production	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	40	36	32	28	25	22.5	20	17.9	15.9	14.2	12.6
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	450	450	450	450	450	450	450	450
Process equipment availability (A80)	>92%	>94%	>94%	>95%	>95%	>95%	>95%	>95%	>96%	>96%	>96%
Metrology equipment availability (A80)	>96%	>97%	>97%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%	>98%
Maximum allowed electrostatic field on wafer and mask surfaces (V/m) for ESD	4,400	3,800	3,500	3,100	2,800	2,500	2,200	2,000	1,800	1,500	1,300

白色—量産可能な解決策有り、最適化の検討中

黄色—量産可能な解決策が既知

赤色—量産可能な解決策は未知



表 FI-3-3 製造装置に対する要求項目の説明 (ITRS 2011 年版より抜粋)

Table FI-3-3 Explanation of Items for Production Equipment Requirements (refer to ITRS 2011)

項目	説明
Process equipment availability(A80) プロセス装置の可動率(A80)	可動率は、100%から（計画ダウンタイム%+非計画ダウンタイム%）を引いた値。この表の指標は、各プロセス装置(検査をのぞく)が週7日間x24時間のオペレーションにおいて、80%信頼性（装置は80%の時間においてこの数値以上）を要求する。計画・非計画ダウンタイムはSEMI E10で定義されている。注：製造装置の要求表に提示された数値は、全装置のA80の最小値である。工場のボトルネック装置の可動率要求については、工場運用の要求表を参照のこと。
Metrology availability(A80) 検査装置の可動率(A80)	可動率は、100%から（計画ダウンタイム%+非計画ダウンタイム%）を引いた値。この表の指標は、各プロセス装置(検査をのぞく)が週7日間x24時間のオペレーションにおいて、80%信頼性（装置は80%の時間においてこの数値以上）を要求する。計画・非計画ダウンタイムはSEMI E10で定義されている。
Maximum allowed electrostatic field on wafer and mask surfaces (V/m) ESD 防止のためのウェーハ・マスク表面間の最大許容電解 (V/m)	測定方法は SEMI E78 と E43 を参照。このガイダンスは EFM 防止には適用外。クロスカット課題の章を参照のこと。 (SEMI E78: Electrostatic Compatibility – Guide to Assess and Control Electrostatic Discharge (ESD) and Electrostatic Attraction (ESA) for Equipment. SEMI E43: Guide for Measuring Static Charge on Objects and Surfaces.)

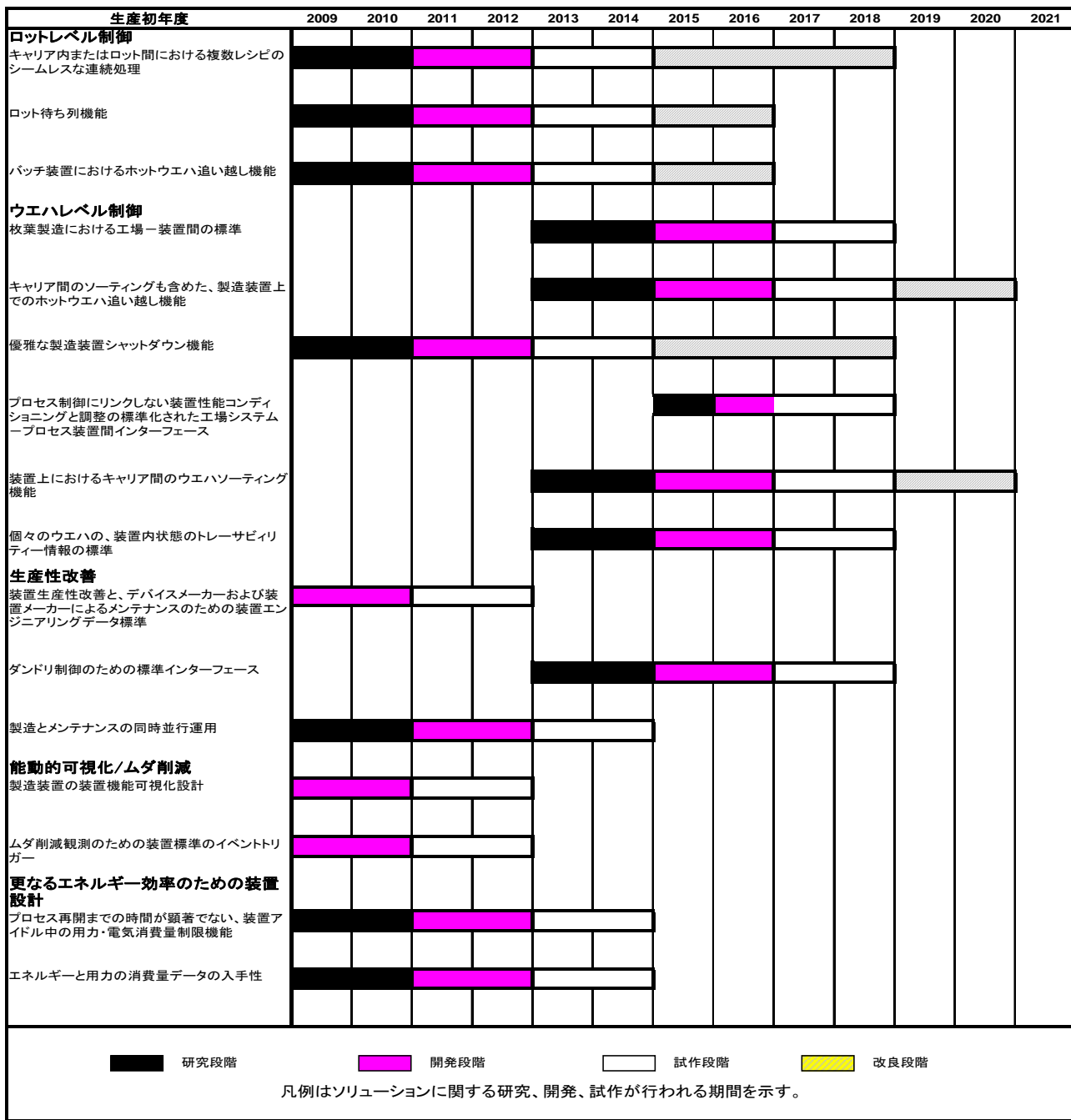


図 FI-3-1 製造装置の解決策候補 (ITRS 2011 年版より抜粋)  
 Figure FI-3-1 Production Equipment Potential Solutions (refer to ITRS 2011)



### 3-2 技術要求・課題と解決策・提言

製造装置に対して ITRS のロードマップに示されている要求指標を実現するために、「Waste Reduction」、および「階層的品質管理技術」についての考察を示す。

なお、従来提言していたフローショップ制については、昨年度に引き続き、検討の進展がないため今回のロードマップでは省略した。内容については 2007 年度版ロードマップを参照頂きたい。

#### 3-2-1 Waste Reduction

2009 年度の ITRS では、段取りロスについての分析が進み、FO の項目で、WTW(Wait Time Waiste)及び EOW(Equipment Out Waiste)が指針として提示された。

2011 年度の ITRS では、Waste Reduction の定義については、待機時間(サイクルタイム)、段取りロス、ウエハスクラップ、消耗品使用量、ダウンタイムと、エネルギーおよび天然資源の消費の、全体を複合分野の活動として定義した。今後の Virtual Metrology、予知保全(PDM)、予測スケジューリングなどの予測ソリューションが、WTW、計画外停止 計画停止、ウエハスクラップ対処等のムダ削減前進のためのキーテクノロジーとして今後、分析しその改善が期待される。

また、例えば FICS からの予測スケジューリングにより製造装置が協調動作する Sleep Mode 等のさらなる省エネソリューションにより、エネルギー消費低減が進む。

本項では、段取りロスの分析を、以下に記載する。

表 FI-3-4 段取り作業分析例  
Table FI-3-4 Dandori operation example

クラス	段取作業例	個別技術の改善	制御技術の改善
Class 1 主に装置内部のムダに関するもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シーズニング、クリーニング時間</li> <li>・WIP識別</li> <li>・プロセス指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シーズニング、クリーニング時間短縮</li> <li>・レシピ設定時間短縮</li> <li>・加工単位毎ID確認時間短縮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・装置内ウエーハの搬送スケジューリング*の最適化(装置内外処理タクトバランスの最適化)</li> </ul>
Class 2 主に装置作業が引き起こすムダに関するもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・WIP識別</li> <li>・キャリア識別</li> <li>・NPW準備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レシピのダウンロード時間短縮</li> <li>・加工単位毎ID確認時間短縮</li> <li>・荷姿ID確認時間短縮</li> <li>・NPW準備時間短縮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・シーズニング、クリーニングを他の処理作業と並列化する</li> <li>・事前レシピ設定</li> <li>・ウエーハ処理順の最適化</li> </ul>
Class 3 主に工場オペレーションが引き起こすムダに関するもの	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キャリアディスパッチ</li> <li>・装置プロセス安定化</li> <li>・製品品質確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キャリアディスパッチ時間短縮</li> <li>・装置安定度確認時間短縮</li> <li>・出来栄確認時間短縮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・NPW 処理ジョブ生成事前化、</li> <li>・ジョブ交換と搬送スケジューリングの精度向上</li> <li>・出来栄確認と他の作業との並列化</li> </ul>

上記の例にあるように、Class1(装置内部)から Class3(工場運用)の階層間で、多くの要素が共有される。必然的に WTW、EOW の改善は、各階層間の情報共有による複合技術が鍵となる。

今後は有効共有内容(装置内部のタイマーやカウンター)の抽出が進むと思われる。今後、WTW、EOW は、更なる分析で細分化が進み工場運用から装置の要求項目となる可能性と、~~NGF~~に於ける装置—FICS—FMHS 間の新たな仕組み作りに発展する可能性がある。

### 3-3-4 階層的品質管理技術

階層的品質管理技術には「装置品質管理技術」と「プロセス制御技術高度化」と「Virtual Metrology」が挙げられている。

#### (1) 装置品質管理技術

装置品質管理技術はさらに「装置品質保証高度化」と「装置レベル FDC(Fault Detection & Classification)」が含まれる。

##### (a) 装置品質保証高度化

EEQA(Enhanced Equipment Quality Assurance)により装置導入時の装置初期性能の品質保証、装置立上げの迅速化を行い、EEQM(Enhanced Equipment Quality Management)により装置納入後の装置品質維持と安定稼働、装置故障の検知や予知、PM(Preventive または Predictive Maintenance)の実施等、従来の EES\*よりさらに進化したシステムを用いる必要がある。

装置メーカーにとって EEQA は装置性能を引出し、装置性能を安定させて有効利用するものであり、装置に標準搭載されることが望まれるが、EEQA を標準搭載する場合のコスト負担や EEQA 実施レベルと内容等、議論が必要とされる。

さらに EEQM は装置安定稼働に貢献するものであるため、装置メーカーにとっては装置オプション化による有償対応が必要とされる。

##### (b) 装置レベル FDC

従来の FDC は、主としてデバイスメーカーのアプローチとして MES \*とのオンライン通信を途中で分岐することや標準化されていない装置セカンドポートなどを使用してデータを取り出し、FDCソフトにより、装置異常やプロセス異常の発見や、歩留まり向上に貢献してきたが、より適切な装置制御に利用するために、データ品質の向上と装置レベルでの使用が求められている。これは既存の装置内情報についてはデータやイベントの数、粒度、精度などを向上し、既存で取り込んでいない情報についても外部センサーなどを設けて情報を取り込み、オンライン通信ポートとは別の標準化したセカンドポートの利用が期待されている。

セカンドポートの開放については安全性・セキュリティからの議論が必要とされる。

装置レベル FDC を実施するオーナーや場所についても議論が必要である。EEQA/EEQM で使用するために進化した EES システムで実施することも考えられる。

#### (2) プロセス制御技術高度化

プロセス制御技術高度化はプロセス切り替え対応に貢献するものであり、ウェーハ単位でフィードバックループを短くし、ぎりぎりのタイミングで精度高く切り替えたい要求がある。実現方法として、「枚葉 APC \*」、「多変量制御技術」等が挙げられている。

これらは制御技術の最終形態になるものであるが、現在、SEMI にて規格、提案されている通信技術、モデルなどの具体化により基礎技術の確立を図るべきものとする。

#### (3) Virtual Metrology

プロセスの出来栄えについては、計測器(Metrology Tool)で測定することが一般的であるが、この工程を省き、プロセス装置から取得したデータから出来栄えを判定する試みが行われている。判定方法としては、多変量解析技術を用いる例が多いが、最近の研究ではニューラルネットワークを利用する試みも提案されている。

## 第4章 材料搬送システム

従来機器単体の性能のロードマップで AMHS に要求されている搬送を実現しようとしてきたが、実際にはファブレイアウト、搬送ルートの取り方等に大きく依存することがわかってきた。従って、ファブ全体に亘って効率の良い動線を考慮したレイアウトや搬送経路の多重化(例えば走行車線と追越し車線の分離)が可能になる搬送スペースの確保についての考慮が必要である。また中間バッファ(ZFB-Zero Footprint Buffer)等を活用することで、ロードマップにある搬送要求を満たす方向を示す。

以下 ITRS からの要求事項の概略である。

300mm およびそれ以降世代のウェーハ Fab では、高速かつ効率的な搬送の必要性和相まって人間工学と安全性重視という課題が材料搬送システムの要件を決定する為の最重要な要因となりつつある。

自動搬送システム(AMHS)を導入するに当たっては投資回収率(ROI)が受け入れられる値であることはもちろん、すべての製造装置(すなわち通常のプロセスフローで使用される)と直接インターフェース接続できなければならない。また 300mm の製造装置のサイズが増すにつれて、Fab での設置床面積の利用効率も改善されなければならない。さらに AMHS 設備の短納期化と設置期間の短縮を達成するための解決策や、プロセス装置と測定装置の統合化による設置床面積の効率化といったような工夫が開発されなければならない。

表 FI-4-1 は材料搬送システムの需要が今後も増加し続けることでインターベイ、イントラベイの搬送機能をひとつの統合された能力—統合搬送システム(Unified Track System)—が現実的であると言うことを前提としている。ただしこれはすべての搬送システムをひとつにするということでもあるいはただ一社の搬送サプライヤーで実現するという意味ではない。おそらくシステムの姿としては数社のサプライヤー(それぞれの得意分野からの)による相互に情報交換可能なサブ・システムから構成されるかもしれないし、ストックを介さずにロットを搬送するような能力を持つようになるかもしれない。

そのような環境で効率的な生産を行うためには、製品を製造するためのプロセス・サイクルタイム短縮、プロセス装置の生産性向上、WIP(仕掛品)保管必要数の削減およびロット全体の搬送数の低減といった目標を掲げることにより、WIP のスケジューリングと保管・搬送のディスパッチングシステムを統合するような工夫が必要である。

統合搬送システム(Unified Track System)搬送が必要な優先順位としては

1. スーパー・ホットロット(< 1% of WIP) および通常ホットロット(~5% of WIP)
2. ボトル・ネック(処理能力がぎりぎりの)装置を遊ばせないこと
3. 隘路となる忙しい測定工程、Send-ahead(試し焼き、試し塗りなど)用ウェーハあるいは状況に応じてその他のロットに対してダイレクト装置間搬送を使う

Reticle 搬送システムに関する可能な解決策に必要なことは、リソグラフィ(露光・現像)装置の床面積を増加させないこと、処理能力を阻害しないこと、そして搬送システムの据付や取外しが容易であること。

IC メーカーが Reticle の AMHS を採用するかどうかはそれら工場のもつビジネスモデルに依るといえる。

搬送システムはその搬送能力を実質的に向上させなければならないと同時に搬送時間の短縮も実現しなければならない。

加えて必要に応じての拡張性、柔軟性そして拡大性に対応した設計思想がなくてはならないし、多品種対応や少ロット・サイズ対応への影響の可能性も研究しておかなければならない。

さらに、工場の漸次的なサイズ拡大に対応すべく階間搬送や Fab 間を繋ぐ棟間搬送に対する影響も調査しておく必要がある。

## Factory Integration

450mm ウェーハに対する開発／評価はメカニカルインターフェイスとキャリアで先行している。ウェーハ搬送の効率化のためには AMHS、EFEM、shared EFEM、装置内ストレージなどすべての構成要素を考慮して再検討されている。AMHS の設計に影響するその他の項目としては 450mm の工場規模、工場レイアウト、AMC (Airborne Molecular Contamination) などの対策の必要性および工場の処理能力要件(\*)などがある。長期的に、コンパクト生産システムとして枚葉ウェーハや非常に小さいロットおよび特殊な用具や特殊なデバイスへの対応技術が開発されるべきであろう。

\*) 参照:

Material handling potential solutions table,

Supplemental files in the electronic chapter for additional details on Material Handling technology requirements and potential solutions

4-1 技術ロードマップ

4-1 ITRS/STRJ ロードマップ

表 FI-4-1 材料搬送システムの技術的要求 (ITRS 2011 年度版より抜粋)

Table FAC6 Material Handling Systems Technology Requirements

Year of Production	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	40	36	32	28	25	22.5	20	17.9	15.9
[Should be (from ORTC Table 1 - 1-yr pull-in):]	<u>36</u>	<u>32</u>	<u>28</u>	<u>25</u>	<u>23</u>	<u>20</u>	<u>17.9</u>	<u>15.9</u>	<u>14.2</u>
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	450	450	450	450	450	450
Transport E-MTTR (minutes) per SEMI E10	10	10	10	5	5	5	5	5	5
Storage E-MTTR (minutes) per SEMI E10	20	20	20	15	15	15	15	10	10
Transport MMBF (mean moves)	25k	35k	35k	50k	50k	50k	50k	50k	65k
Storage MCBF (mean cycles)	100k	150k	150k	200k	200k	200k	200k	200k	300k
Stocker cycle time (seconds) (100 bin capacity)	12	12	12	10	10	10	10	10	10
Peak delivery time (minutes)	12	12	12	10	10	10	10	10	10
Downtime to extend system capacity when previously planned (minutes)	15	10	10	5	5	5	5	5	5
Time required to integrate process tools to AMHS (minutes per LP)	15	12	12	5	5	5	5	5	5

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

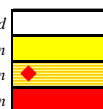


表 FI-4-2 材料搬送システムに対する要求項目の説明

Table FI-4-2 Explanation of Items for Material Handling Systems Requirements (refer to ITRS 2009)

項目	説明
Transport E-MTTR (min per SEMI E10) 搬送 E-MTTR(分:SEMI E10 に従う)	設備関連の故障平均修復時間(AMHS 搬送); 設備関連の故障を修復させ、設備が本来の機能を果たせるレベルまで戻ることにかかる平均時間。指定された一定の期間内に起こるすべての設備関連の故障時間合計(経過タイムであり、必ずしも総工数ではない)を、故障回数で割って平均値をだしたもの。(装置テストタイム、プロセステストタイムは含むが、メンテナンスの遅れによるダウンタイムは含まない) 注意: 予定外のサプライヤー責任の故障が対象であり、搬送装置に付随するロードポート、ソフトウェアは含むが、保管システムやこれらのエラーによって起こる故障は含まない。また、FOUP キャリアや MES *レベルのソフトウェアに起因する故障や、レクチルシステムは含まない。

## Factory Integration

<p>Storage E-MTTR (min per SEMI E10) 保管 E-MTTR(分:SEMI E10 に従う)</p>	<p>設備関連の故障平均修復時間 (AMHS 保管); 設備関連の故障を修復させ、設備が本来の機能を果たせるレベルまで戻ることにかかる平均時間。指定された一定の期間内に起こるすべての設備関連の故障時間合計(経過タイムであり、必ずしも総工数ではない)を、故障回数で割って平均値をだしたもの。(装置テストタイム、プロセステストタイムは含むが、メンテナンスの遅れによるダウンタイムは含まない) 注意: 予定外のサプライヤー責任の故障が対象であり、インターベイ、イントラベイの搬送システムや、付随のソフトウェア制御システム(輸送コントローラ)を含む。コンポーネントのオフライン修理はこの時間に含まれない。また、AMHS 保管設備や保管設備によって引き起こされるエラーやロードポート、FOUP キャリア、MES レベルのソフトウェア、レクチルシステムの故障も含まない。</p>
<p>Transport 搬送台車 MMBF(Mean Move Between Failure)</p>	<p>人が故障を修復するために介入する前に AMHS インターベイ、イントラベイ搬送システムが移動するサイクルの数 (Pt A から Pt B への搬送)の平均。搬送移動の数をサプライヤー責任の予定外の故障数で割ったもの。移動に関する詳細は輸送 MPH 定義を参照のこと。</p>
<p>Storage 保管 MCBF(Mean Cycle Between Failure)</p>	<p>人が故障を修復するために介入する前に AMHS 保管装置が移動するサイクルの数 (Pt A から Pt B への搬送)の平均。保管サイクルの数をクォーターごとのサプライヤー責任の予定外故障数で割ったもの。ストックサイクルに関する詳細はサイクルタイム定義を参照のこと。</p>
<p>Stocker cycle time (seconds) (100 bin capacity) ストッカーサイクルタイム(秒) (100 棚)</p>	<p>ストッカーサイクルタイムとは、「(秒単位で)ホスト(MCS)が移動命令を出してからストックがホストに動作が完了したことを表示し終わるまで」と定義される。物理的な動きはストック内部のロボットがあるポートのキャリアか格納棚のキャリアまで移動し、キャリアを積み込み、同じストック内の別のポートまたは格納棚まで運ぶことを指す。ストッカーサイクルタイムとは、いくつかの異なるタイプの動きについて一定期間の平均時間を出したものと定義される。移動にはすべてのポートとすべての棚の位置を含む。各移動は、異なるキャリアの間を行き来するものでなければならない。</p>
<p>Peak delivery time (minutes) ピーク搬送時間(分)</p>	<p>ピーク搬送時間とはピーク性能能力であり、平均搬送時間と 2 つの標準偏差を足したものと定義される。</p>
<p>Downtime to extend system capacity when previously planned (minutes) 既計画増設時のシステムダウン時間(分)</p>	<p>システムの拡大がもともと設計に組み込まれている際、トラックの拡大や新規のストッカーへの接合のために必要な搬送システムのダウンタイムによる影響を分単位で表したもの。</p>
<p>Time required to integrate process tools to AMHS (minutes per LP) 製造装置と AMHS をインテグレートするために必要な時間(分/ロードポート)</p>	<p>製造装置が AMHS とインテグレートされるとき搬送システムのダウンタイム。既存の搬送システムに装置を増設する場合も同様(装置廻りにバイパスユニットを持たない場合)。装置は正しい位置に設置されかつ装置搬入は AMHS にインパクトを与えてはならない。PIO のインストールがシステムを停止してはならない。この時間にはトラックへのハードウェアのインストール、ロードポートのティーチング、ソフトウェアのアップデートおよび搬送のテストが含まれる。すべての搬送台車が新しいロードポートに搬送可能になって時点でこのスコープは終了する。</p>

## 第5章 工場情報制御システム

工場情報制御システム(FICS)は MES、スケジューラ、ディスパッチャー\*、材料コントロールシステム(MCS)、プロセス制御(APC など)、レティクルシステム、ファシリティ(設備)制御システム等々、コンピュータのハードウェアとソフトウェア双方を含め、多岐に渡るシステムを総称している。これらは工場運用、製造装置、搬送システムなどを含んだ必須機能を実現する基礎インフラ技術となる。

### 5-1 技術ロードマップ

以下に、ITRS2011年版のロードマップの技術的要求項目表の内、Near Termのみ以下の表 FI-5-1 に示す。

表 FI-5-1 工場情報制御システムの技術的要求 (ITRS 2011年版より抜粋)

Table FI-5-1 Factory Information and Control Systems Technology Requirements (refer to ITRS 2011)

Year of Production	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
DRAM 1/2 Pitch (nm) (contacted)	40	36	32	28	25	22.5	20	17.9	15.9
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
					450	450	450	450	450
Unscheduled downtime of a mission critical application (minutes per year)	<15 min	<15 min	<10 min	<10 min	<10 min	<10 min	<10 min	<10 min	≤5 min
Scheduled downtime of a mission critical application (minutes per year)	<20 min	<20 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	<15 min	0 min
Wafer-level (within-lot) recipe / parameter adjustment	Partial	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Within-wafer recipe / parameter adjustment	Partial (Litho)	Partial (Litho+)	Partial (Litho+)	Partial (Litho+)	Partial (Litho+)	Partial (Litho+)	Partial (Litho+)	Partial (Litho+)	Yes (All)
Relative accuracy of mission critical FICS clocks to fab-level time authority	5ms	5ms	1ms	1ms	1ms	1ms	1ms	1ms	1ms
FICS design to support peak equipment data transfer rates (Hz)	10Hz	10Hz	10Hz	100Hz	100Hz	100Hz	100Hz	100Hz	100Hz
FICS design to support peak factory data transfer rates (Hz)	150 kHz	150 kHz	150 kHz	>500 kHz	>500 kHz	>500 kHz	>500 kHz	>500 kHz	>1 MHz

Manufacturable solutions exist, and are being optimized

Manufacturable solutions are known

Interim solutions are known

Manufacturable solutions are NOT known

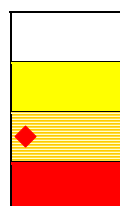


表 FI-5-2 工場情報制御システムに対する要求項目の説明 (ITRS 2011 年版より抜粋)

Table FI-5-2 Explanation of Items for Factory Information and Control Systems Requirements  
(refer to ITRS 2011)

項目	説明
<p>Unscheduled downtime of mission critical applications (minutes per year)</p> <p>必須アプリケーションの計画外ダウンタイム (分/年)</p>	<p>SEMI E10-0304E で定義されている計画外ダウンタイムイベントに起因して、装置が対象機能を実行できない時間。計画外ダウンタイムはメンテナンス遅延、修理、消耗品/化学薬品の交換、スペック外入力、設備関連のダウンを含む。</p>
<p>Scheduled downtime of mission critical applications (minutes per year)</p> <p>必須アプリケーションの計画ダウンタイム (分/年)</p>	<p>SEMI E10-0304E で定義されている計画ダウンタイムイベントに起因して、装置が対象機能を実行できない時間。計画ダウンタイムはメンテナンス遅延、生産テスト、予防保全、消耗品/化学薬品の交換、セットアップ、設備関連のダウンを含む。</p>
<p>Wafer-level recipe / parameter adjustment</p> <p>ウェーハ単位レシピ/パラメータ調整</p>	<p>キャリア内の個々のウェーハに対して、異なるレシピおよび/またはパラメータを実行する能力。後続ウェーハのレシピおよび/またはパラメータは、先にプロセスを完了したウェーハにより調整される。これは Wafer-to-Wafer レシピ/パラメータ調整を促進させ、1キャリア内に複数ロットを有する能力をサポートする。</p>
<p>Within-wafer recipe / parameter adjustment</p> <p>ウェーハ内でのレシピ/パラメータ調整</p>	
<p>Within-wafer recipe / parameter adjustment</p> <p>ウェーハ内でのレシピ/パラメータ調整</p>	<p>ウェーハ内でのレシピ/パラメータ調整を行うには、プロセス処理中の制御が必要とされる。その為のタイム・クリティカルなプロセス制御は分散型設計された上で、中央の信頼できるシステムと同期する事でコントロールすることができる。この要求は、必ずしも生産ツール制御での“Heart beat”の頻度の増加を要求しない。</p>
<p>FICS design to support peak equipment data transfer rates (Hz)</p> <p>装置データのピーク時のデータ転送レート(Hz)をサポートする FICS の設計</p>	<p>様々な生産におけるピーク時の 1 プロセス装置からの情報収集およびセントラルストレージへの転送レートに対する要求。</p>
<p>FICS design to support peak factory data transfer rates (Hz)</p> <p>工場データのピーク時のデータ転送レート(Hz)をサポートする FICS の設計</p>	<p>全てのプロセス装置からのデータ収集およびセントラルストレージへの転送に対する、生産ピーク時のデータ転送レート(数値/秒)。可変データサイズの平均は4バイトまたはそれ以下であり、もし可変データサイズの平均が大きき場合、バイト/秒の条件が一定になる様に、FICS のピーク時のレート要求は調整される。</p>



## 第6章 ファシリティ

2011年版ITRSロードマップではファシリティに関して以下のように言及している。

ファシリティには建物、クリーンルーム、インフラシステムなどの製造ライン環境を構成し、製品製造に直接かわるものを全て含む(一般事務所や駐車場などは含まない)。製造装置の要求、製造目標、経営管理指針、ESHの要求、建築物の法規、不良品削減目標およびウェーハのコスト削減目標が、ファシリティおよび生産サポートインフラの機能、構成およびコストに影響を及ぼす。

産業界はファシリティに対して、フレキシビリティの増加、拡張性、確実性、製造ライン立上げスピードアップおよびコストパフォーマンスの高さを要求し続けている。しかしながら製造装置の要求、ESHへの適合、操業のフレキシビリティがファシリティのイニシャル・ランニングコストを増大させている。製造装置・補機の複雑化、巨大化および重量増加によりファシリティの規模は増大の一途をたどっている。新たに開発・導入されるプロセスステップが製品の増産よりも早いペースでクリーンルーム面積を増大させている。結果として、製品出荷までの時間短縮、ファシリティコストダウン圧力、相反して拡大する工場の規模および複雑さ、製造装置および材料搬送システムの工場への要求は、高まる一方である。製造装置の運用、メンテナンス、環境への対応、ファシリティインフラデザイン、ユーティリティの能力およびファシリティスペース相互のより良い調和は、それぞれの目標達成、システムの正確さ、スペースの有効利用およびイニシャル・ランニングコストの管理に欠かすことはできない。

ファシリティの複雑さとコストはその他多岐に渡る分野からも影響を受けている、プロセスガスおよびケミカル、厳重になるESH法規、静電気対策(ESD)・電磁障害(EMI)制御要求などである。これら全ての要求に適応するためには製造装置メーカーと早い時期から協同し、メンテナンス・適正処理・リユース/リサイクルのための革新的でコストパフォーマンスの高い問題解決が要求される。製造装置のポイントオブユースでの要求(振動・純度)を満たすことが、コストやフレキシビリティを犠牲にすることなしに将来の要求事項に合致するより合理的なアプローチであろう。例えば製造装置メーカーと協同し、装置サイトで微振動制御を機能保障することにより、ファシリティ全体での要求を緩和し、フレキシビリティを損なうことなくコストを削減可能である。必要な装置やエリアに高純度のプロセスガスやケミカルを供給し、システム全体の純度や配管類の仕様をダウンさせることもまたコストコントロールを助け、フレキシビリティおよび運用の確実性を増大させる。

製造装置を設置する費用および時間は、増加するプロセスガス、ケミカル、ユーティリティおよびESH適合要求により増加し続けている。「ファシリティアダプタープレート」の開発と採用は、製造装置を確実に設置することおよび製造装置の設計変更要求を減少させることに寄与し、また正確な設置完了確認を容易にする。早期に新しい製造装置の設計を理解し、接続方法および材料を標準化することは、建設工程への「ファシリティ配慮設計(DFE)」の導入を推進する。

製造装置の複雑化、工場運用のフレキシビリティ化、グローバルスタンダードそして法規制が多様性を増す中で、着工から最初の量産出荷までの期間の短縮要求に応えることは、ファシリティに対してパラダイムシフトを求めるものであろう。このシフトはICメーカー、工場的设计者・請負者そして製造装置メーカーに実際のプロジェクトの場で具現化されなければならない。プロジェクトチームは早い段階から組織され、プロセスエンジニア、製造エンジニア、ファシリティエンジニア、設計コンサルタント、施工者、資機材供給者および製造装置メーカーを含まなければならない。標準化されたデザインコンセプト、世代ごとの工場モデルおよび工場でのプレファブ化技術などの開発は、現地作業を減らして工事期間を短縮し建設コストの削減を可能にする。製造装置メーカーおよび工場設計チームが標準

## Factory Integration

化されたユーティリティのインフラを開発し信頼性のあるものにするのは、コスト管理と市場に適合する建設工期に寄与するであろう。

工場の運用費用は、ファシリティコストの著しい低価格化、ユーティリティ使用量の激増そして労務費の著しい増加によって支配されている。工場の建設と運用のための持続可能な開発は原材料使用の改善および環境負荷低減で示される、例として：

- 1) 建設コストは、生産排気および外気導入要求量の低減、生産冷却水の高温度化および製造装置電源の高電圧化によって削減可能である。
- 2) 運用コストは、純水の革新的なリユース・リサイクルコンセプト、製造装置のスリープモードの実現、冷却水の送水温度上昇、ミニエンバイロメントやアイソレーション技術(SMIF, FOUP)を用いたクリーンルーム清浄度要求の緩和およびユーティリティのリアルタイム監視制御を用いて、運転状態の見える化を実施することにより低減可能である。

これからも初期投資コストは増加していくであろう、しかしながら持続可能性を求める努力によりライフサイクルコストおよび環境への負荷は低減可能と思われる。このエネルギー資源保存活動においては、ファシリティおよび製造装置の運用への前向きな改善努力が欠かせない。例として、クリーンルームの清浄度と循環風量の削減可能性は温度、湿度、清浄度および製造装置のメンテナンスなどの状況に依存する。これらは ESH、イールド改善および製造装置とも関連付けて考慮されなければならない。ISO クラス6の一般的なファブにおいて製造装置のメンテナンスはポータブルなパーティカルフローフードに対応することが求められるであろう。このことによりファブからの汚染を防止する局所的なクリーンエアの確保が可能となる。

ファシリティのインフラシステムの信頼性もまた生産をサポートする上で重要であり、これまではコストのかかる冗長設計で信頼性を確保してきた。生産停止を減少させるための電気、機械、および自動制御それぞれの構成とシステム全体の設計および運用の改善が求められている。ファシリティ機器メーカーの参加は信頼性を犠牲にすることなく、冗長性のための「N+1」コンセプトのコストへのプラスの影響を改善可能であろう。

最後に、いくつかの重大な製造装置に関する変化が新しい化学、ウェーハの雰囲気環境または搬送への要求(窒素または真空雰囲気、枚葉処理)それらは、ポスト CMOS および次世代のウェーハサイズの両方に対応するが、将来の工場への要求、スケジュールおよびコストにインパクトを与える。これらは現在の 300mm 生産技術からは正確に予測することはできない。

### 6-1 技術ロードマップ

ここでは ITRS ロードマップの技術的要求項目表の内、Near Term のみ次頁の表 FI-6-1 に示す。

ITRS ロードマップでは、ユーティリティ品質、省エネルギー・省資源関係は、「Yield Enhancement」や「ESH」の担当となっており、この「Factory Integration」では、ファシリティ清浄度、サブファブ領域/ファブ領域比率、寿命、振動、許容電界、待機中の製造装置のエネルギー消費比率などが取り上げられている。

表 FI-6-1 ファシリティの技術的要求 (ITRS 2011 年版より抜粋)  
Table FI-6-1 Facilities Technology Requirements (refer to ITRS 2011)

Year of Production	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
DRAM ½ Pitch (nm) (contacted)	40	36	32	28	25	22.5	20.0	17.9
Wafer Diameter (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300
				450	450	450	450	450
# Mask Levels—DRAM	26	26	26	26	26	26	26	26
Manufacturing (clean room) area/wafer starts per month/number of mask layers (300mm)	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087	0.0087
Manufacturing (clean room) area/wafer starts per month/number of mask layers (450mm)				0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
SubFab to Fab ratio (see definition)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Facility service life (in three-year nodes)	3	3	3	3	3	3	3	3
Facility cleanliness level (ISO 14644)	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 6 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest	Class 7 at rest
Facility cleanliness level (Airborne molecular contamination AMC)	Discussed in Yield Enhancement Chapter							
Design Criteria for Facility critical vibration areas (lithography, metrology, other) (µm/sec)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)	6.25 (VC D)
Design Criteria for Facility non-critical vibration areas (µm/sec)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)	50 (VC A)
Temperature and Humidity Specifications	Discussed in Yield Enhancement Chapter							
Maximum allowable electrostatic field on facility surfaces (V/m) for ESD prevention	4,400	3,800	3,500	3,100	2,800	2,500	2,200	2,000
Gas, water, chemical purity	Discussed in Yield Enhancement Chapter							
Facility power, water, and chemical consumption	Discussed in ESH Chapter							
Energy Consumption Total Fab Support System (kWh/cm <sup>2</sup> per wafer out)	Discussed in ESH Chapter							
Ratio of Tool Idle vs. Processing Energy Consumption (kW/kW)	0.75	0.60	0.60	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Manufacturable solutions exist, and are being optimized  
 Manufacturable solutions are known  
 Interim solutions are known  
 Manufacturable solutions are NOT known




表 FI-6-2 ファシリティに対する要求項目の説明 (ITRS 2011 年版より抜粋)

Table FI-6-2 Explanation of Items for Facilities Requirements (refer to ITRS 2011)

項目	説明
Manufacturing (cleanroom) area (m2) 生産(クリーンルーム)面積(m2) (300mm)	生産領域(クリーンルーム)は、フォトリソグラフ、拡散、エッチ、薄膜、CMP など直接生産プロセスに用いる生産装置や検査装置が設置されるスペースであり、月間ウェーハ生産枚数ごとまたマスクごとの平方メートルで表す。補機類やファシリティインフラシステムが設置されるサブファブ領域は除外される。 (300mm ウェーハ)
Manufacturing (cleanroom) area (m2) 生産(クリーンルーム)面積(m2) (450mm)	生産領域(クリーンルーム)は、フォトリソグラフ、拡散、エッチ、薄膜、CMP など直接生産プロセスに用いる生産装置や検査装置が設置されるスペースであり、月間ウェーハ生産枚数ごとまたマスクごとの平方メートルで表す。補機類やファシリティインフラシステムが設置されるサブファブ領域は除外される。 (450mm ウェーハ)
Wafer starts per month 月間ウェーハ投入枚数(WSPM)	月間ウェーハ投入枚数は、30 日間に生産に投入される 300mm 新ウェーハの数として定義される。
# of mask layers (low mix only) マスクレイヤー数(少品種のみ)	参考として DRAM のマスクレイヤー数
Sub-Fab to Fab ratio サブファブ領域対ファブ領域の比率	ファブ領域に対するサブファブ領域の比は、製造装置補機類設置面積とその上の生産領域のフットプリントの比で定義する。この項目は工場運用の床スペース使用効率に関連する。
Facility service life (in three-year nodes) ファシリティ寿命(3 年ノード)	ファシリティサービス(システム)寿命は、プロセス要求に適合させるため大改修を行うまでのノード(プロセス世代交代)数で表す。
Facility cleanliness class ファシリティ空気清浄度クラス (ISO 14644)	ウェーハを扱う工場の製造エリア(クリーンルーム)の清浄度を ISO14644-1 により規定する。
Facility critical vibration areas (litho, metro, other) (micrometers per second) クリティカル領域(リソ,計測,他)におけるファシリティの振動( $\mu\text{m/s}$ )	振動に対してクリティカル領域とは、装置の重要機能部分が床振動に極めて鋭敏である、装置自体に振動緩和機構が備えられていない、あるいは過剰な振動が生産に重大な支障を引き起こす生産装置のある床領域と定義する。この分類の要求に基づいてファシリティの構造と機械デザインの広範囲な測定が必要である。振動基準は床、その他装置支持物の振動速度の許容限界であり、VC-x で与えられる。ここで x はAからEの文字で指定され、各々振動速度スペクトルに対応する。振動速度の定義、測定法、および信号処理法は IEST-RP-DTE012.1 を参照のこと。
Facility non-critical vibration areas (micrometer per second) 非クリティカル領域におけるファシリティの振動( $\mu\text{m/s}$ )	振動に対して非クリティカル領域とは、全てあるいは大部分の装置が振動にあまり敏感でなく構造システム性能を緩和できる生産領域である。振動基準は、床またはその他装置支持物の振動速度の許容限界であり、VC-x で与えられる。x は A から E の文字で指定され、各々振動速度スペクトルに対応する。振動速度の定義、測定法、および信号処理法は IEST-RP-DTE012.1 を参照。
Maximum allowable electrostatic field on facility surfaces ファシリティ表面の最大許容電界(V/m)	ファシリティ表面の最大許容電界は、工場の全ての材料、例えば建設材料、備品、人間、装置やキャリアに適用される。測定法に関しては SEMI スタンダード E129、E78 および E43 を参照のこと。
Ratio of tool idle versus processing energy consumption (kWh) 待機中の製造装置のエネルギー消費比率	待機中の製造装置のエネルギー消費比率は、ウェーハ非処理中のエネルギー消費をウェーハ処理中のエネルギー消費で除したもので SEMI スタンダード S23 参照のこと。

## 6-2 技術要求・課題

2009年版からの変更点を表 8-6-3 に示す。

表 FI-6-3 ファシリティの技術的要求、2009年版からの変更部分

Table FI-6-3 Changed Items on Facilities Requirements

項目	変更点	備考
450mm ウェーハ生産(クリーンルーム)面積(m <sup>2</sup> )	追加	

## 第7章 TAT 改善

2007年度版ロードマップまでは、TAT(Turn Around Time)の改善はFactoryレベルで管理されており、主たる指標もFactoryレベルのCycle timeであった。2010年度版ロードマップでは新たな指標として工場運用にWTW(Wait Time Waste)とEOW(Equipment Output Waste)を定義した。本指標については、装置、FICS、AMHSなどFactoryの構成要素間の協調により改善が図られるべきものである。

改善のためには、製品視点、装置視点、MES視点、AMHS視点で、どこで待ちが発生しているか分析を図る必要があり、さらにその待ちが妥当なものなのかを検討することが必要である。待ちの中には必要な待ちもあり、不適切な削減を行うと、意図しない待ち時間の増加や、最悪の場合は製品に影響を与えることもありえるので、Factory Integration全体で検討する必要がある。

### 7-1 WTWとEOW 解説

#### 7-1-1 WTW(Wait Time Waste)解説

WTWは、最小待ち時間で処理されるSuper Hot Lotと、通常製品Lotのマスキレイヤー毎の製造プロセス時間(day/mask layer)の差で定義される。

すなわちWTWは、通常製品Lotの待ち時間を表し、工場運用面での無駄時間に関する指標となる。

WTWの要因は、例えば装置に材料が仕掛らない(材料遅れ、プロセス指示遅れ)や先行のプロセス終了待ちなどである。

計算式

$$\begin{aligned} \text{WTW (average)} &= \Sigma(\text{wait time}) / N \text{ [day/mask layer]} \\ &= \Sigma(\text{CT}_{25} - \text{CT}_{\text{SHL}}) \text{ [day/mask layer]} \end{aligned}$$

CT : Cycle time for production lots [days/mask]

CTSHL : Cycle time for super hot lots [days/mask]

N : # of total masks

25は、25枚/Lotの運用時を示す。

例: ・Super Hot Lot CTSHL=0.32day/mask

・通常製品 Lot CT = 1.5day/mask

の場合 Factory Wait Time Waste (WTW) (day/mask layer)

$$\text{WTW} = (1.50 - 0.32) = 1.18 \text{ day/mask}$$

#### 7-1-2 EOW(Equipment OutPut Waste)解説

EOWは、実運用時スループットと理想的なスループットの差で定義される。

すなわち、EOWは装置のスループットを理想的なスループットに近づける指標である。

しかしながら、スループットは装置運用により大きく変動する要素であるため、理想的なスループットを定義することは非常に難しい。2009年度版のITRSでは、理想的なスループット=連続したレシピ変更無時の最速スループットとして定義された。DRAM等多量少品種と、SOC等の少量多品種での生産対象の違いにより、EOWは幅が大きく異なり少量多品種生産では、EOWの低下が致命的な問題となる。

現行のEOWの要因は、例えばレシピやVP(Variable Parameter)変更で実行されるシーズニング等の、いわゆるダンドリによるオーバヘッドである。

計算式

$$\text{EOW (工場平均)} = (\Sigma(\text{TH0}-\text{TH25}) / \text{TH0}) / \text{N} \quad [\%]$$

TH0 : レンピ変更無時の最速スループット (maximum throughput without any disturbance)

TH25 : 1ヶ月間平均の実運用スループット (the averaged throughput over a month period)

N : 装置数 (# of total process tools)

例: 装置単体の

• TH0 = 100 枚/h

• TH25 = 55 枚/h

• N = 1台

の場合 EOW(%)

$$\text{EOW} = (100-55) / 100 = 45 \quad [\%]$$

## 7-2 装置視点の分析例

EOW の一要因として、ロット切替時のシーズニング時間に着目してみる。

ロット切替時には、次の処理の準備のため、温度を切り替えるなど条件を変更する必要があり、これがスループットを低下させる一要因になることがある。

この解決策として、下記が考えられる。

(1) 装置のハードウェアやソフトウェアを改善し、シーズニング時間を短縮する。

(2) FICS 側で装置への仕掛け順番を変更し、同じ又は似た条件のロットを集めるなどして、シーズニング時間を短縮する。

(3) FICS の指示順番に関わらず、装置側で判断して仕掛け順を変更し、同じ又は似た条件のロットを集めるなどして、シーズニング時間を短縮する。

(1)については、装置単体の改善で実施できる内容であり、現在も装置の競争領域として実施されているものである。

(2)や(3)については FICS と装置双方の改善が必要であり、工場運用も変更されるのでデバイスメーカーも含めて、実施の検討が必要である。

## 7-3 まとめ

装置視点の分析例を示したが、今後は他の視点での分析も必要である。

多様化する生産形態での Waste Reduction のためには、装置－FICS－AMHS の、それぞれの界面での双方向の見える化が必要であり、その結果ロット視点の新たな情報発信や、その情報を考慮したディスパッチ技術や材料搬送の議論が進むことが予測される。

また、450mmなどの次世代の工場では、Wafer 視点での更に粒度の高い情報により Waste Reduction を実現することが必要であると考えられる。

## 第8章 NPW 研究

### 1. はじめに

半導体工場の生産性を検討する上で、外部者から見てよく理解できない項目として、NPW (Non-Product Wafer)がある。F I WGでは、より工場の生産状態を理解するために、NPW の実態を調査することにした。

### 2. NPW の調査

#### (1) NPW の種類

NPW は生産に寄与しないウェーハで、製品評価用 NPW、装置の性能確認用 NPW、装置の治工具としての NPW がある

	フロー	ウェーハ種類	例
製品評価用 NPW	一部製品フローと同じ。製品と同時に処理を行う。	製品と同レベル	電気特性評価、加工寸法・形状評価
装置の性能確認用 NPW	一部製品フローと同じ。製品を処理する前に装置性能の確認のため処理を行う。	使う目的によって品質ランクは下がる	成膜工程の膜厚評価、異物検査
装置の治工具としての NPW	なし。製品と同時に装置に投入する。	使う目的によって品質ランクは下がる	CMP の圧力調整用ダミー、成膜工程のガス整流用ダミー

#### (2) NPWの履歴管理について

NPWの実態を調べるため、まず、I S M I が 2008 年度に発行している「Non-Product Wafer (NPW)Tracking Guidelines, SEMATECH DOC ID #: 08094955A-ENG, September 25, 2008」を勉強することから始めた。(～2009年11月)

図 FI-8-1 は装置ごとの NPW 使用状況であり、工場内でのクロスコンタミをなくし、無駄なく NPW を使う目的で整理されている。トラッキング指針では、①NPW の流れを整理すること、②NPW のストック設置、③NPW 処理履歴の登録などが提案されている。(当時、製品フローはMESで管理されているが NPW フローはMESで管理されていなかった。現状は未調査。)



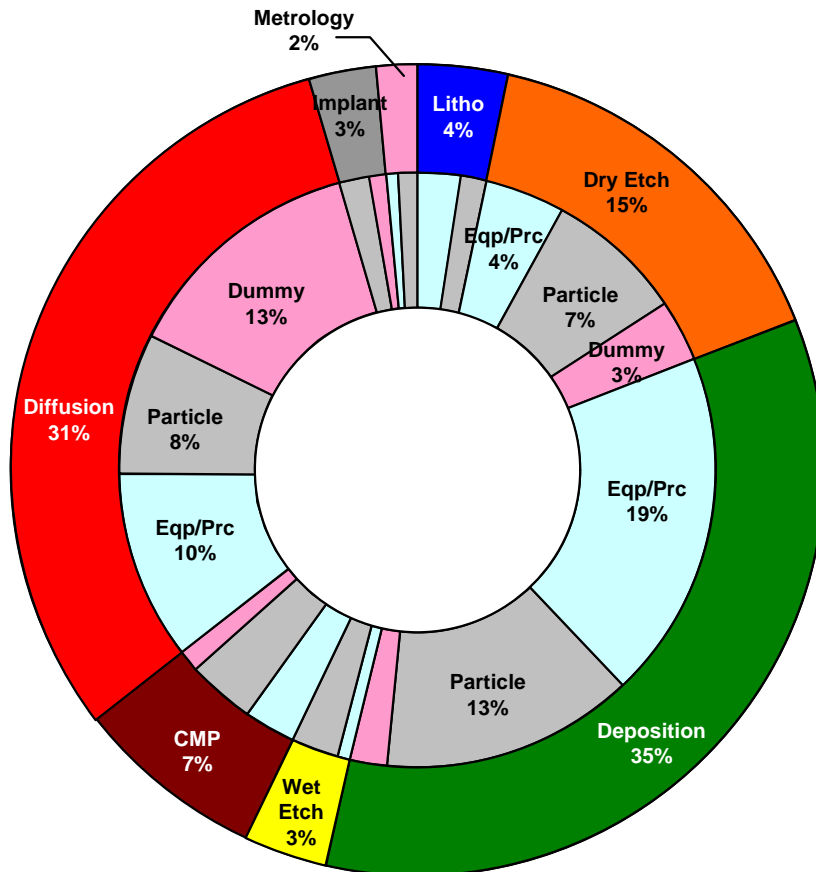


図 FI-8-1 装置ごとのNPWの用途

(3) 半導体工場における NPW 使用量

8 インチラインの工場では、NPW の使用枚数は製品ウェーハに対して当初は 100% 近くであったが、現在は 20% 強である。

従来、NPW のうち新品ウェーハは 1/3 であり、他の 2/3 は再生品である。(一般に新品ウェーハはおおむね 5000 円/枚に対し、再生ウェーハは 2500 円/枚である。)

12 インチウェーハの工場では、EES (Equipment Engineering System) の導入 (5) と測定技術の向上 (6) により、さらに NPW は削減されている。

(4) NPW の再生方法について

再生ウェーハとは、表面をラッピング、研磨で 30 μm 程度削ったもの。従来、1 枚のウェーハで 2~3 回の再生が限度であった。

現在は研磨量を、5~10 μm に減らすことにより、再生回数を 10 回に増やすことができた。(一般に NPW の厚さの限界は 650 μ ← 725 μ (新品ウェーハ))

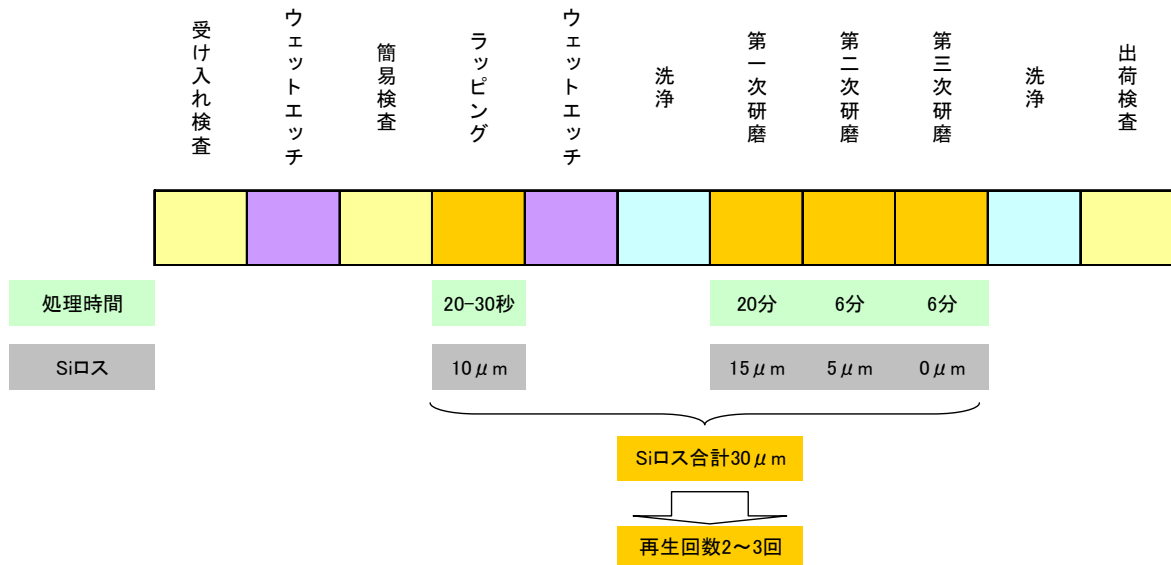


図 FI-8-2 従来のウェーハ再生

**注) 現在の再生ウェーハの研磨量は再生メーカーのノウハウ**

(5) EESの導入と装置状態の可視化/安定稼働とNPWについて

EESの導入により装置稼働の可視化とVM (Virtual Metrology) の展開が可能になり、測定用のNPWの削減が進みつつある。

(6) 計測技術の進化とNPWについて

計測によるロット判定/方法は以下のように推移している。

・ 第一世代：ウェーハモデル（'80～'95）

ウェーハ上のランダム欠陥（パーティクル）数（歩留まり予測 $Y \sim DO$ ）、寸法膜厚計測値の計数管理、繰り返し再現性のみを重視

ツールとしては、ウェーハ・パーティクル検査装置(レーザ散乱方式)。CD-SEM、OL、光学式膜厚計

・ 第2世代：チップレベル（'95～Now）

チップベースでの歩留まりモデルと、実際のウェーハ上の欠陥密度（ランダム）に基づく歩留まり予測（クリティカルエリア(CA法)、キルレスオ法等 $Y \sim \exp(-\lambda)$ ）

ウェーハ上欠陥密度。寸法、膜厚計測の計数管理ではTMU重視

欠陥密度モニターツールとしては、製品ウェーハを用いて光学式欠陥検査装置(UV、DUV)、CD-SEM、OCD、光学式膜厚計、その他

第2世代の測定の時代では、12インチの大口径化とともに測定装置の高精度化が実現され、従来NPWで測定していた膜厚等が実ウェーハ上で測定可能となった。

VMが測定用NPWの変わりになり、NPWの削減が更に加速されてきている。

3.まとめ

NPWは計測が未熟な時代(8インチ以前の時代)には製品ウェーハの加工情報を得る有効な手段であったが、計測技術が進化した現在では、VMに取って代わられつつある。

## 第9章 グリーンファブ

### 9-1 省エネの動向

ITRS の活動で 2011 年よりグリーンファブがテーマとして大きく取り上げられ ESH ワーキングと合同で検討が進められている。これまでも省エネルギーへの取り組みは製造装置やファシリティシステム単独で進められ機器の効率化や廃熱の回収利用などによりハードウェアとしては限界に近いところまで達していると考えられる。

近年は製造装置のアイドル状態 (Sleep mode) に真空ポンプ等を低速で運転し、装置の排気量削減および発熱量の削減で結果的にファシリティの消費エネルギーも削減する手法も提案されている。今後はこのようなシステム横断的な省エネ手法の確立・普及が工場情報システムの有効活用・統合により進められる必要がある。

また、半導体工場自体が巨大なシステムの有機的ともいえる集合体であるため、最近研究が進められているスマートグリッドシステムをうまく取り込む形のファブ省エネルギーシステムの提案が検討されていくであろう。

### 9-2 熱源最適化制御

#### 9-2-1 全体最適による省エネ余地

半導体工場の省エネを考える場合、デバイス品質、歩留まりが最優先である製造装置での省エネには限界がある。一方で、クリーンルーム空調においては、機器単体に限らず、機器間の実質的な状態量干渉を伴うシステム構成の性質から、省エネの余地が見出される。本章で紹介する熱源最適化制御は、オフィスビルなどに採用されるセントラル空調方式における省エネ技術であるが、半導体工場として見ればクリーンルームの空調設備に対する省エネ技術と捉えられる。

まず従来は、冷凍機など個々の熱源機器のエネルギー効率を改善し、省エネを図ってきたと言える。これはこれで、将来においても欠かせない改善努力である。一方で近年は、熱源機器などを組み合わせた連携動作 (図 FI-9-1) を対象に、消費エネルギーを最小化しようとする最適化制御が試みられている。

主要あるいは中核的な最適化対象としては、冷房能力を供給する冷水の温度と流量を調整する最適化が挙げられる (図 FI-9-2)。冷房能力を高めるには、冷水の温度を低くすることと、冷水の流量を多くすることの、少なくともいずれか一方でよい。これにより、下記の関係が成り立つ。

- (1) 冷水の温度を低くする場合：冷凍機出力を上げるので、冷凍機での消費エネルギーが増大する。しかし、冷水の流量は少なくて済むので、冷水ポンプの回転数を下げることによる消費エネルギーの削減効果が得られる。
- (2) 冷水の流量を多くする場合：冷水ポンプの回転数を上げるので、冷水ポンプでの消費エネルギーが増大する。しかし、冷水の温度は低くなくて済むので、冷凍機出力を下げることによる消費エネルギーの削減効果が得られる。

上記のように、この両者が代表的なトレードオフの関係 (図 FI-9-3) として認識されている。そして、熱交換器の熱交換効率も踏まえた上で、送風量を決める空調ファン動力なども最適化の要素として取り込まれる場合もある。いずれにしても、複雑化、多様化する空調システムでは、全体最適による省エネ余地は大きい。

#### 9-2-2 実用化に向けた具体的な手法

消費エネルギーが最小になる最適条件の冷水温度、冷水流量、送風量などの組合せは、トレードオフの関係の中から探索的に選ばれることになるが、外気温度などの外的条件に依存して最適条件の冷水温度、冷水流量、送風量などは変化する。したがって、外的条件を取り込んだ最適条件探索手法 (例えば下記) が必要になる。

【最適条件探索手法】

■タイプ A: ある程度の物理モデル構造を規定し、実測データを利用してモデリングを行ない、このモデルを用いたシミュレーションにより非線形数理計画法などを用いて最適条件を探索するタイプ。オブジェクト指向プログラミングなどにより、汎用性、拡張性を高めている。モデル構造を詳細化することにより、空調ファン動力など多要素の最適化も可能になる。

■タイプ B: RSM (Response Surface Methodology) などの多変量解析系の手法を用い、実測データを利用してブラックボックスモデルとも言える評価関数を作成し、最適解探索により最適条件を求めるタイプ。実用段階に入ってから運用データも簡易に利用できることから、学習型の構成にして適応性を高めている。

【具体的事例】

●大気社: 冷凍機(冷水温度), 冷凍機負荷分布, 冷水ポンプ(冷水流量), 空調ファン(送风量)など多要素の最適化。シミュレーションベース探索(タイプ A)。PC, SCADA, PLC など工業系の標準的プラットフォーム実装により実用性を向上。

●日立プラントテクノロジー: 冷却塔(冷却水温度), 冷却水ポンプ(冷却水流量), 冷凍機(冷水温度), 冷水ポンプ(冷水流量), 空調機(送風温度), 空調ファン(送风量)など多要素の最適化。シミュレーションベース探索(タイプ A)。オブジェクト指向ソフトウェア, オープンネットワーク活用により実用性を向上。

●アズビル(山武から社名変更): 冷凍機(冷水温度), 冷水ポンプ(冷水流量)の最適化。学習型ブラックボックス評価関数探索(タイプ B)。SaaS/ASP型サービス形態の採用により実用性を向上。

最適化制御による省エネ効果として、試験的な実績ではいずれも約 10%の省エネであり、現時点での標準的な数字と捉えてよいように思われる。そして、これらは次世代 FI (Factory Integration) の必要不可欠な省エネ手段と考えられ、さらなる省エネ効果の改善も期待できる。しかし、冷水温度, 冷水流量を調整できる機器(インバータ利用)などが必要なハードウェア的構成要素になるので、費用対効果(特にクリーンルームの安定性を含めた性能)でのメリットが、実装前(投資前)に見通せるような「長期的な省エネ効果保証」が普及の課題になるであろう。



図 FI-9-1 冷水システム

Fig. FI-9-1 Chilled Water System

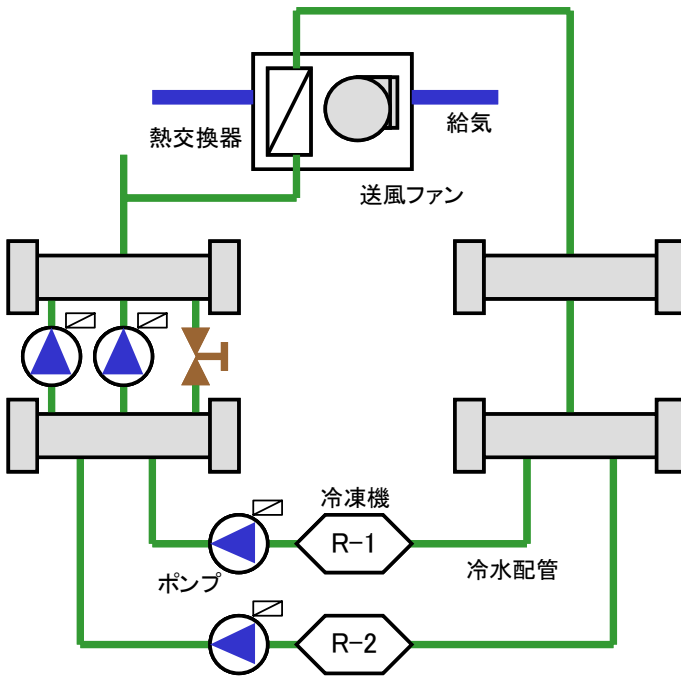


図 FI-9-2 冷房能力を決める冷水の流れ  
 Fig. FI-9-2 Chilled Water Flow

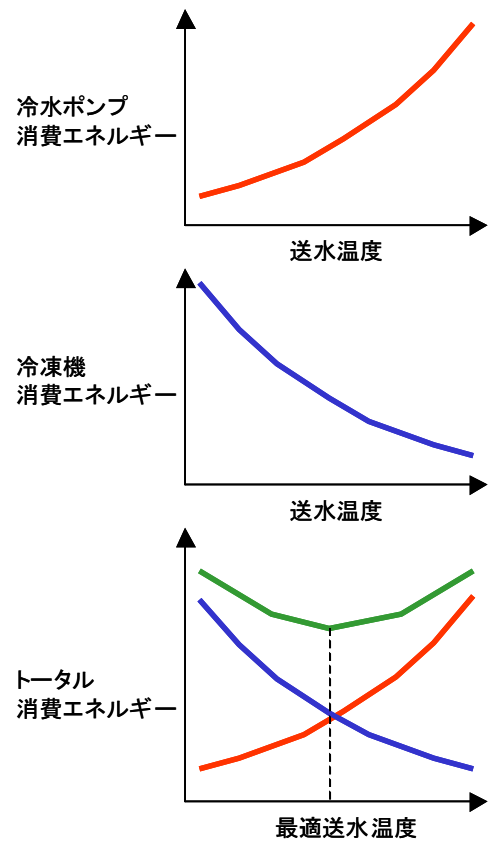


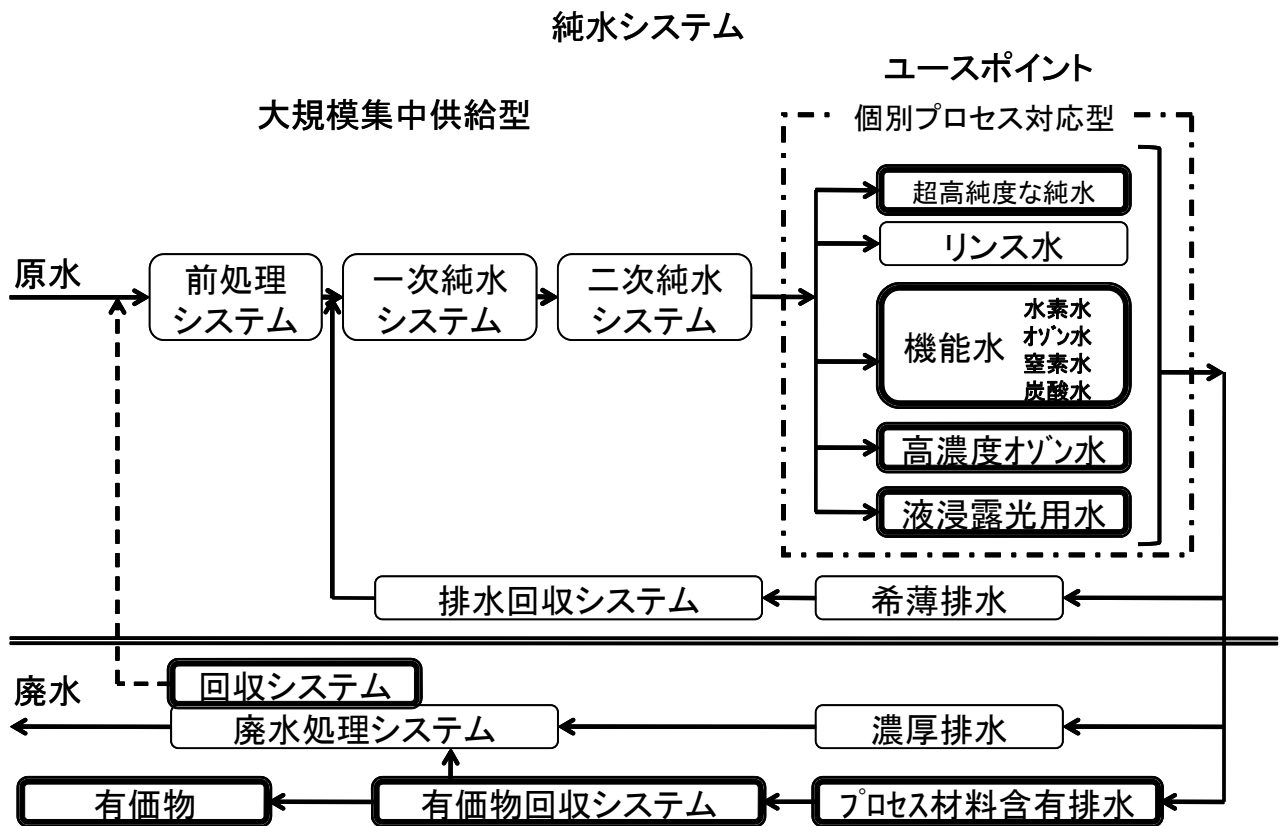
図 FI-9-3 消費エネルギー  
 Fig. FI-9-3 Energy Consumption

### 9-3 純水システムの最新動向

#### 9-3-1. はじめに

最近、半導体においては新材料等の採用で、従来のプロセス技術の延長線上にない、革新的な技術の開発と実用化が急速に進み始めている。現在の半導体向けの純水システムは、図 FI-9-4 に示すように、大規模集中供給型の純水システムと、個別プロセス対応型の純水システムと、洗浄後の希薄排水回収システムを導入し再利用する構成をとっており、将来の純水システムにおいては、基本構成は図 FI-9-4 に示すものと変わらないと推測するが、個別プロセス対応型の純水システムに関しては、これら新材料や革新的な技術の実用化に最適な超純水の純度、付加機能、コスト、環境対策、省エネを考慮した技術および装置が要求され、ニーズは多様化し始めている。

図 FI-9-4 現在の半導体向け純水システム



#### 9-3-2. 大規模集中供給システムの純水システムの動向

純水システムは、処理工程毎に、前処理システム、一次純水システム、二次純水システム、排水回収システムに分けられる。

前処理システムは、工業用水など原水中の懸濁物質などを除去し、後段の一次純水システムの負担を軽減することが役割であり、従来砂ろ過塔の凝集ろ過法であったが、最近は安定した処理水が得られる限外ろ過膜(UF)などの膜式前処理法が多くなっている。

一次純水システムは、前処理水や排水回収処理水に含まれる不純物を除去し、末端超純水に準ずる水質まで高めることが役割であり、主要機器としてはRO (逆浸透装置)、2 B 3 T・MB (イオン交換装置)、真空脱気装置 (溶存ガス除去装置)、TOC-UV (有機物分解装置) などがある。最近は、運転圧力 0.3~0.7MPa の省電力運転 (従来比で半分以下) のROや、MB代替として再生薬品不要で廃棄樹脂を激減できる電気式連続脱イオン装置(EDI : Electrodeionization)の採用が多い。

二次純水システムは、一次純水に残存する極微量な不純物をさらに除去し、ppb~pptレベルの高純

度な超純水をユースポイントへ連続供給することが役割であり、主要機器は、TOC-UV、ポリッシャー(非再生型イオン交換樹脂)、UF(限外ろ過膜)などがある。主要機器が不純物を極限まで除去し、かつ他使用部材(主に配管材料等)からも不純物を出さないことが重要である。

超純水製造装置の前述した単位機器およびシステム構成で水質がppb～pptレベルの装置は現時点で完成した技術のため容易に製造できる。今後の動向としては、半導体の最先端デバイス製造のための微細化に伴うppqレベルの超高純度化の要求と、パワー半導体や非シリコン半導体(SiC、GaN等)の既存品質で低コスト化の要求の2つの方向に分かれる。

排水回収システムは、洗浄工程から排水されてきた希薄な排水を、例えば野村マイクロ・サイエンス製の高効率RO技術(HERO)やオゾンステージアなどを用い不純物を除去して一次純水システムの前に戻す。現在回収率は70～80%に達する高回収率が実現されている。

廃水中には、プロセス材料として使用される貴重で高価なレアメタルやシリコン切削・研磨屑、CMPスラリーなど、有価物として回収可能な材料が含まれており、この回収についても最近ユーザーの関心が高まってきていることと、回収対象も新材料、新プロセスに移行し始めているため、今後新たなレアメタル回収も検討する必要がでてくるであろう。

### 9-3-3. 個別プロセス対応型純水システムの動向

ITRS2011では、2015年以降に量産されるパターン幅1Xnm向け純水中の金属成分は1ppt以下と規定されている。しかし、現時点で、すでにNANDにおいては19nmの量産が始まり、ITRSの予想より早まっている。また、製造工程の個別プロセスではさらなる高純度を要求されており、この場合大規模集中供給型の純水システムでは膨大なコストがかかる。これは、必要なプロセスに必要なだけ超高純度な純水を供給する事で解決でき、これを実現するためには低溶出の素材や部品を評価分析し、さらに超高純度な純水でメークアップした特別な純水システムで対応しなければならない。但し、純水中の不純物をppqレベルで分析検証できる技術がなければ、高純度は純水システムを実現することは不可能である。

また、洗浄プロセス用として、水素水やオゾン水などの機能水があるが、薬品レス化、環境対策のニーズに加えて、新材料対応や個別プロセス対応向けに、採用し導入する場合は最近見られてきた。例えば、シリコンウェーハ大口径化に伴うウェット洗浄の枚葉化によって、シリコン半導体の洗浄プロセスにおける静電気の問題とこの対策が応用物理学会の分科会でも議論されている。問題点は、超純水とウェーハとで静電気が発生することで、酸化膜増膜現象などが発生しデバイス特性不良となることである。この対策として炭酸水が有効との報告がある。

### 9-3-4. おわりに

アジアに半導体の主力工場が集中し、その中でも、中国が現在中心的な量産工場の役割を果たすまでに成長してきている。このため、中国の半導体向けには先端の大規模集中供給型の純水システムが導入されてきている。しかし、中国は量産工場としての役割が中心であるため、新材料や新デバイス構造の開発は、日本、米国および韓国に劣っているのが現状である。量としての中国は当然無視することはできないが、日米韓には基礎技術力が十分にあり、また周辺技術も十分に整っている国である。今後の純水システムは、大規模集中供給型においては高純度化技術と低コスト化技術の2つの方向へ進み、また、最先端デバイス向けの新材料および新プロセスに対応した個別プロセス対応型純水システムの重要性がますます高くなり、基礎技術力のある日米韓でこれら技術は推進されてゆくであろう。

## 第10章 工場空間情報の一元管理

工場建設の全体計画、コスト低減、効率的な立上げなど随所で、情報の疎通や管理の重要性について言及されている。ここでは、工場空間情報一元管理について SEAJ からの提言を述べる。

工場内生産・ユーティリティ情報は、装置外形や装置仕様の様に「時間軸上で変化しない情報」と、装置稼働情報の様に「時間軸上で変化する情報」に分けられる。この内、「時間軸上で変化しない情報」は、工場計画・建設時に大量に発生し、工場稼働後も必要な情報が多いので、計画段階から図 FI-10-1 のような一元的な情報集積・管理が欠かせない。

－3次元CAD化+属性情報の一体的運用－

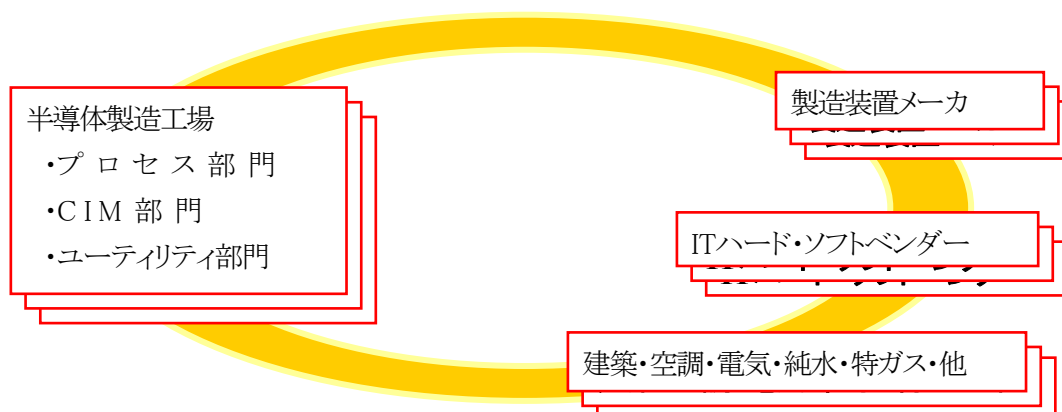


図 FI-10-1 工場計画・建設全体の情報の輪

Figure FI-10-1 Common Information for Factory Planning and Construction

工場計画・建設時、事前検討が十分でない場合は、工場建設時に至っても、装置配置、仕様、考え方(例:各装置排気をどの排気系統に接続すべきか)が、非同期的に変わる。これによって、搬送、静荷重、振動対策、デマンド(各サプライポイントでの特ガス、純水、電力、冷却水、排水等)が変更される。

装置台数、空間座標、仕様変更に起因するこれらの変更は、互いに関連性があるにも関わらず、空間構成情報を含む全体情報が一貫性をもって訂正されることはまれである。部分変更情報が、文章、図面(紙)、写真、2次元CAD等様々なデータ形式で飛び交い、各職種毎の検討及び全体整合とそのフィードバックとが、日々多重的に発生し進行する。

半導体製造工場では、多様な職種があり、職種ごとに装置メーカー、ユーティリティ関連企業、ITハード・ソフトベンダー等多くの企業が支援業務を行っている。しかしながら、これらの職種間、企業間で、その職種名称、技術用語の定義、空間表記手法、空間表記の精密度合い等が定まっていないことが多い。

以上の結果、ある時点で、空間構成の視点から、稼働中の工場内を一元的に把握するのは困難となり、工場大型化や装置台数増加に伴う空間容積・密度増大で、深刻度合いが増している。

これら現状課題の他、空間の複雑化、振動、電磁波、ESH対応、電源高電圧化、装置水冷化率向上、サブファブ/ファブ面積比率低下、サブファブ領域での柱林立、補機類増加、短工期化等がある。解決策は、工場に関わる全ての組織が、計画初期から床上・床下空間情報の一体的3次元表現を行い、干渉チェック、離隔(幹線ケーブル間等)チェック、3次元組立工程シミュレーション等を通じ、投入資機材・工数・エネルギー・組立手順等、様々な視点から全体最適・ミニマム設計を図り、これを基に一気に建設すべきである。この手法は、すでに原子力発電プラント、石油化学プラント、製鉄プラントでは行われてきた。近年、このような技術情報モデルを BIM [Building Information Modeling] と呼び、大型建築物でも空間構成が複雑な事例を中心に使われ、半導体製造工場への適用も始まって



いる。

米国では、この方法を推進する為、政府組織、有力民間企業多数が CURT [the Construction Users RoundTable] を組織し、オーナー団体として建設産業界にデータ規格 IFC を使うよう要求している。

図 FI-10-2 (出典:国土交通省)は変更発生時期とコスト、労力との相互関係を示している。変更が後になるほどコスト増になることを示している。

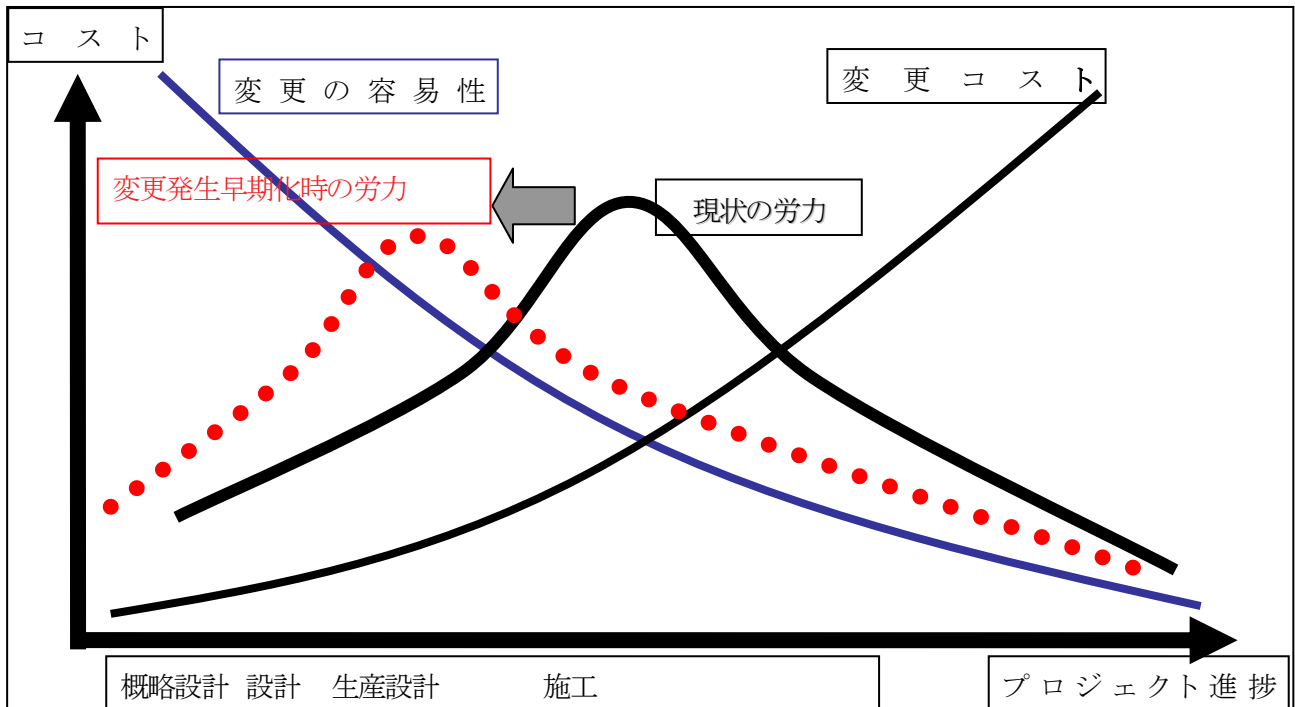


図 FI-10-2 変更発生時期とコストとの相互関係

FigureFI-10-2 Time of change and cost

### 空間情報一元管理の効果、よくある質問と今後の課題

計画・建設段階での、工場空間情報一元管理への取組は、3次元オブジェクトCADによる配置配管や装置接続位置等の空間情報管理と装置・機器仕様情報とを一体的に情報集積することになる。

この情報蓄積は、前項で述べた建設段階での効果だけでなく、ファブ運用時の装置増設・入替時の省力化につながるはずである。

さらに、3次元仮想空間上で、装置・ファシリティ機器の動的状態変化を表現できるので、解決困難だった課題を解き易くする効果がある。以下よくある質問と今後の課題について述べる。

- (1) 何故3次元空間データが必要なのか
  - (a) ケミカルコンタミネーション防止・黄色照明領域厳密化・供給電圧上昇・振動抑止・省エネ等、各種3次元空間解析(熱流体、照明、ケミカルコンタミネーション、振動、電磁波等)の必要性が増しており、建屋内・装置内空間の3次元モデル化が欠かせなくなっている。
  - (b) 柱・梁・ダクト・配管・幹線類 空間高密度化・短工期化に伴い、厳密な建屋内-3次元空間設計(干渉チェック、離隔チェックによる整合含む)と資機材手配(数量・時期)・工事工程・検査手順等を事前に合理的に決める必要がある。
  - (c) 空間解析ソフト、時間・工数管理ソフトとの併用によって、コストのミニマム化を図る必要がある。

これまでの2次元CADでは、

平面図と部分的断面図では、高さ情報が欠落し易く、半導体工場のような複雑な空間では、事実上、空間のモデ

ル化を行いこく、干渉チェック・離隔チェックに向かない。

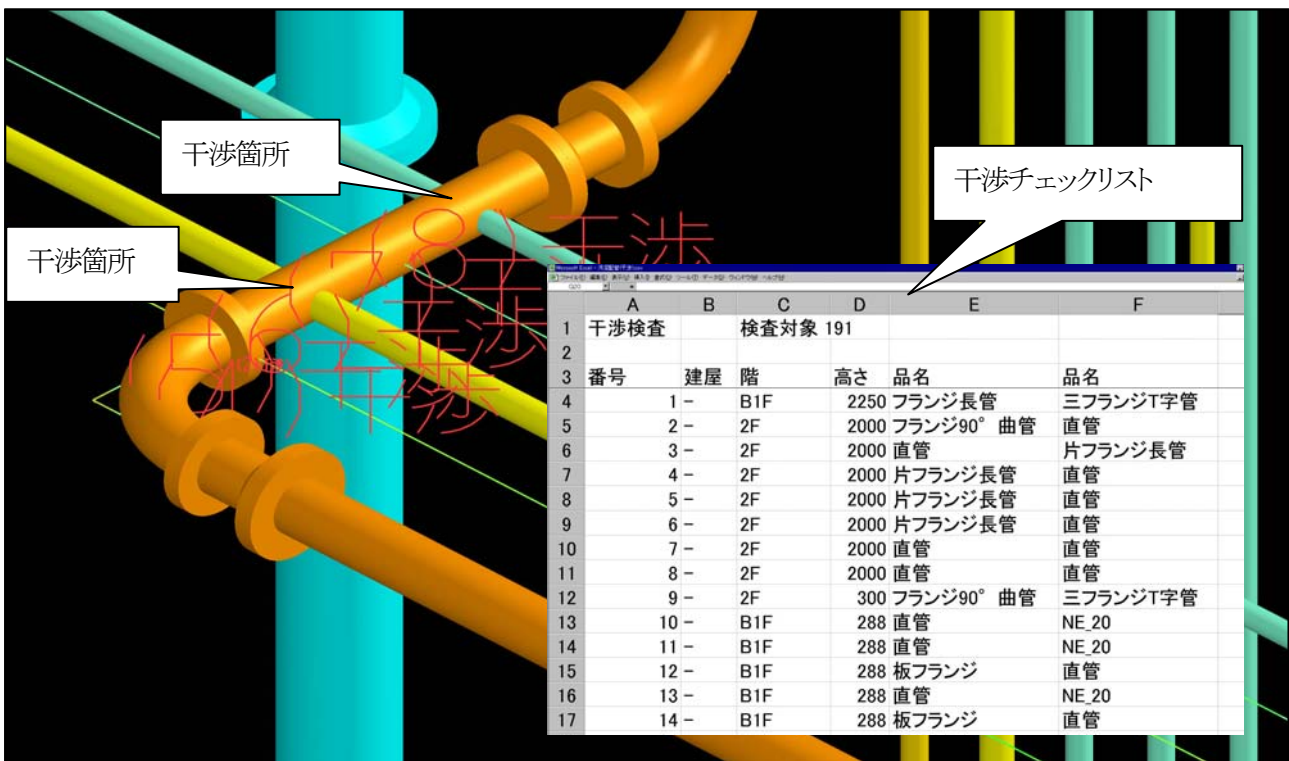


図 FI-10-3 干渉チェック  
FigureFI-10-3 Crush check

(2) 干渉チェックとは

図 FI-10-3 は、配管同士の干渉(ある空間に二つ以上の配管が存在する不適合状態)とそのリストが表示される。複雑な空間構造を短工期で完成させるには、事前の調整・整合・フィードバック調整・再整合に干渉チェックが欠かせない。

(3) 離隔チェックとは

離隔チェックとは、干渉とは別に一定の空間距離を必要とする場合に用いる。例えば、装置のメンテナンススペース、電気幹線間の離隔等で使用される。

(4) 3次元オブジェクトCADのオブジェクトとは

空間上の人・物(装置・補機・ユーティリティ機器その他)には、空間外形形状を含む属性がある。属性には、装置仕様のように時間軸上で変化しない静的属性と、ポンプ能力のように時間軸上で変化するものがある。また、人・物には、必ず何らかの関係(例えば位置関係)があり、その関係をも取扱える。

(5) これまでのオブジェクト指向との違い

ファブ内現象の各種モデル化に関し、オブジェクト指向での解析手法が各方面で構築されている。もし、オブジェクトの属性に空間座標を考慮し、空間上の人・物の相互関係(例えば、座標による影響度合い)を定義すれば、各種空間解析(コンタミ・振動・熱流体・電磁波等)が行える。その結果を3次元仮想空間上に表わせ、改善提案(空間上のどこをどう改善するのか)を出し易くなるはずである。

その意味で、3次元オブジェクトCADは、技術情報伝達の基盤ツールである。例えば、ファブ建設段階では、詳

細な装置配置座標、装置の外形形状、装置接続口の形状・空間座標、配管加工図が必要となる。これらは全て空間情報である。

建設段階で用いる情報伝達ツールを改善(物の空間形状を3次元化し、その属性データを一体的に電子化)すれば、有益な総合空間データベースがファブ構築段階で築ける。図FI-10-4は、本項で述べる総合空間データベースと、(空間情報のない)オブジェクトデータベース、各種空間解析結果の相互関係である。

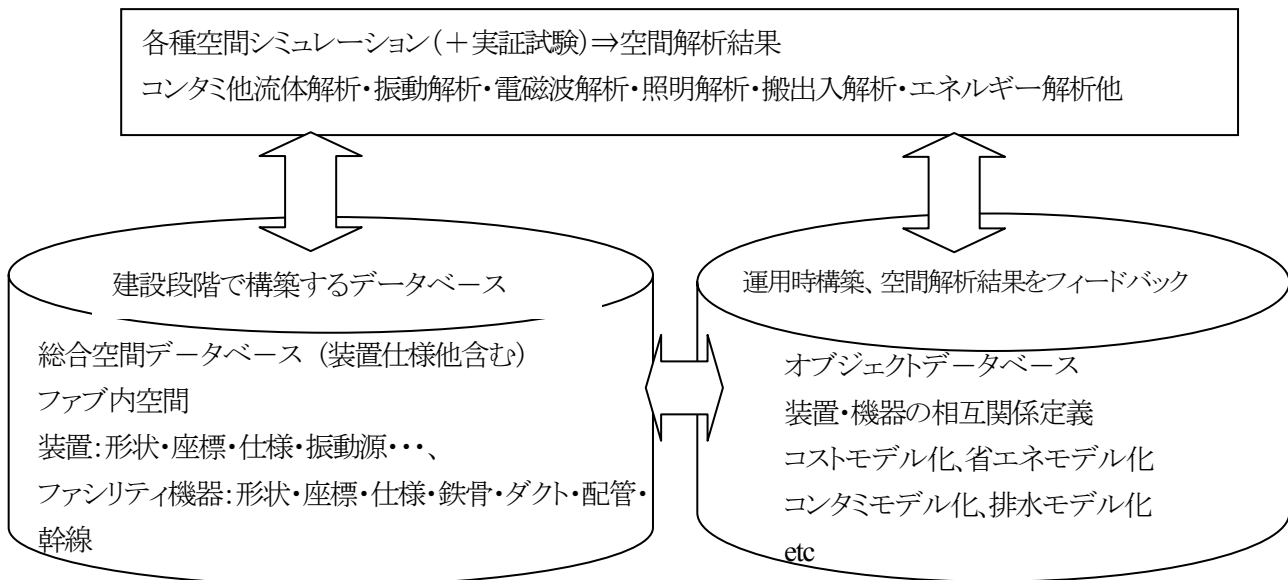


図 FI-10-4 総合空間データベース・オブジェクトデータベース・空間解析 \*

FigureFI-10-4 Relationship of synthesized space database, object database, spatial analysis

以下に、3次元オブジェクトCADについて、幾つかの基本要素を説明する。

(6) 扱う空間領域

3次元オブジェクトCADが扱う空間範囲は基本的に、装置の内外を問わない。

ファブ全体を、一体的に考えるには、何らかの視点が必要であるが、ここではファブのある空間座標(XYZ座標)を0.0.0ポイントとして、ファブ内を空間座標の視点で考える。

(7) 機械系3次元CADとのデータ受渡し方法

機械系3次元CADは、自動車、家電製品、工業製品の設計・製造合理化推進の為、広く使われている。装置メーカー・搬送メーカーも2次元CADから3次元CADへ移行しつつある。

ファシリティの視点では、装置メーカーによる装置一形状モデル(特ガス・純水・電気他接続口詳細記述含む)の無償提供が課題である。そのデータ受け渡しについては、データ容量を小さく、正確に伝達させる為、3次元カーネルベースのデータ交換を提唱する。

3次元カーネルとは、3次元CADに用いられるコア部分のことで、3次元CADアプリケーションを開発する為のツールキット集である。

(8) 建築・設備3次元CAD間のデータ受渡し方法

IAI(International Alliance for Interoperability)が構築してきたデータ交換規約 IFC(Industry Foudation Classes)は

## Factory Integration

ISOにて協議中で2013年3月末までには国際標準となると考える。

尚、米 Autodesk社 AutoCADと Bentley 社 MicroStationとの間では形状データの相互出し入れが可能になっている。

### (9) 既存建築設備 CAD 間の 3 次元 CAD データ受け渡し方法

国内ファブに関わる建築・ファシリティ関連組織間では、国内建築設備CAD間で用いられるBE-Bridge \* と呼ばれる3次元CADデータ交換規約があり、これを活用する。

### 今後の課題

最新鋭の半導体製造工場は、多様な解析をスピーディに行う必要があり、BIM で作成された空間構造データを用い、解決策を見出していく手法が必須となり、SEMI で協議が進められている。

半導体製造工場での 3 次元 CAD 化の課題は、生産装置、補機、機器の外形形状モデル(配管、ダクト、計装等の接続口位置・形状情報含む)とその仕様との一体的取得であり、装置や補機等の機器製造販売メーカーには、3次元外形形状モデルと仕様とを一体化させたデータ提供を要望したい。また、各装置仕様の記述形式(語句定義、項目記載順、単位等)は、半導体製造工場側の運用を考慮した上で統一すべきであろう。

## 付) 用語説明

- 1) ウェーハリテーナ (Wafer retainer)  
FOUP(キャリア)の搬送時の振動や衝撃により箱内のウェーハが前後、左右、上下に容易に動かないように保持する目的で、FOUPの正面ドアに設けられているのが一般的である。図 FI-付-1 参照。
- 2) 空間解析  
空間情報を基に、空間現象の解析、シミュレーションを行うこと(実証試験による補正を含む場合もある)を空間解析のこと。
- 3) 空間情報  
空間位置座標と一体的に扱う情報を、空間情報と言う。
- 4) 工程間搬送 (Inter-Bay Material Transportation)  
半導体製造過程において、各製造プロセス群(成膜群、洗浄群など)を一つの工程ととらえ、それらの工程間を結ぶ搬送の事を云う。一般に、工程にはその工程用のストック(保管設備)が存在し、工程間搬送はストック間の搬送となることが多い。
- 5) ストッカ (Stocker)  
保管棚、スタッククレーン、入出庫部で構成される自動倉庫の一種。保管物をクリーンな環境に維持することを特徴とする。保管庫内の保管物の位置を管理するために、棚一つ一つに付けられた番地をストック内棚アドレスと呼ぶ。図 FI-付-2 参照。
- 6) スループット (Throughput)  
単位時間内に処理できるマスク、ウェーハなどの基板の数量。
- 7) ダイレクト搬送 (Direct transport)  
ファブ内に設置された製造装置において、幾多の製造工程をへて製品が出来上がっていく。現状のファブは工程間搬送と工程内搬送で構成されており各ベイには工程調整の為に自動棚が設けられて一旦保管され次工程へ供給されている。搬送リードタイム短縮の方法として、処理が完了した装置のロードポートから次の処理製造装置のロードポートへ FOUP を直接搬送する。これをダイレクト搬送という。
- 8) ディスパッチャ (Dispatcher)  
スケジューラの作成した生産計画のガントチャートをベースに、ロットの進捗情報や装置の稼動状況等を考慮し、各装置で処理すべき最適なロットを選択し振り分ける機能。MES の機能の一部として組み込まれる場合や、スケジューラと共に独立したコンポーネントとして機能する場合がある。
- 10) トップロボットフランジ  
OHT 搬送用に FOUP の天井部に設けられているフランジである。図 FI-付-1 参照。
- 11) 搬送スケジューリング  
搬送対象 FOUP の搬送順序や搬送経路を、様々な最適化条件を考慮しながら負荷平準化・最適化を行うと同時に、時間軸に沿った最良の搬送計画を作成する機能。AMHS インテグレータ等の搬送制御システムに組み込まれる。
- 12) フローショップ (Flowshop)  
プロセスステップに従って装置を並べて配置する装置レイアウトを指す。材料が装置間を最短距離で移動できる。
- 13) ロードポート (Loadport)  
装置に材料を供給するインターフェース部分を指す。300mm 生産においては、AMHS、PGV またはオペレータから FOUP の供給を受け、ウェーハを装置に送り込み、プロセスの終了したウェーハを FOUP に収納し、前述した搬送系に渡す役割を果たす。ロードポートの機能は、FOUP のクランプ、ドッキングとアンドッキング、

FOUP ドアの開閉などであり、ウェーハの取り出しと挿入は別のロボットが行う。このため、「FOUP オープナー」と呼ばれる場合もある。FOUP 内のウェーハをマッピングする機能を持つロードポートもある。ロードポートとウェーハ移載ロボット、ウェーハの移載空間を清浄に保つための FFU を統合したモジュールを EFEM とも「エンクロージャ」とも呼ぶ。ロードポートに載置された FOUP を境界として、装置側を高クリーン度、外側を低クリーン度とすることで、クリーンルーム建設・運転経費を抑制する効果があるとされる。ロードポートは SEMI により高度に標準化されており、各社の FOUP やロードポートの間で機械的互換性がある。詳細は SEMI スタンドアードを参照されたい。図 FI-付-2、図 FI-付-3 参照。

- 14) AMHS (Automated Material Handling Systems)  
搬送設備、保管設備、搬送管理設備などを組み合わせた自動化(無人化)システムの総称を云う。
- 15) APC (Advanced Process Control)  
プロセス変動をフィードバックやフィードフォワード制御によって制御すること。プロセス・エラーの中のいわゆるランダム・エラー解消のための解決手段。
- 16) BE-Bridge  
異なる CAD 間の 3 次元データ交換規約で Building Equipment BRief Integrated format for Data exchanGE の略。普及団体は (財)建設業振興基金。現在、BE-Bridge の適用範囲は、国内・建築設備分野のみ。
- 17) CIM (Computer Integrated Manufacturing)  
生産に関係するすべての情報を、コンピュータネットワークおよびデータベースを用いて統括的に制御・管理することによって、生産活動の最適化を図るシステムの総称。
- 18) EES (Equipment Engineering System)  
装置エンジニアリング業務を支援するシステムである。IC メーカー及び装置サプライヤーが一体となって情報の提供・管理を行い、サービスの実現を図る。
- 19) EFEM (Equipment Front End Module)  
FFU(FanFilterUnit)を備えたフレーム内に大気搬送ウェーハロボットを設置し、前面にロードポートを取り付けたモジュール機器。プロセス装置の前面に設置される。
- 20) FOUP (Front-Opening Unified Pod)  
SEMI スタンドアード E47.1 に規定されている、ミニエンバイロメント方式の半導体工場で使われる 300mm ウェーハ用の搬送、保管を目的としたキャリアであり、正面開口式カセット一体型搬送、保管箱である。図 FI-付-1 参照。
- 21) MCS (Material Control System, Material Handling Control System)  
AMHS インテグレータ (Automated Material Handling System Integrator) と呼ばれることもある。  
INTERBAY/INTRABAY AMHS SEM(IBSEM)及び、AMHS STORAGE SEM(STOCKER SEM)に準拠した搬送設備と接続し、各搬送設備に対する搬送命令を統括して制御する搬送制御システム。工程間搬送設備、工程内搬送設備及び、ストックと MES との間に設置され、MES からの各種指示を各搬送設備に適時伝え、各搬送設備からの報告をまとめて MES へ伝達する機能を持っている。
- 22) MES (Manufacturing Execution System)  
工場現場における様々な情報管理の中心的な役割をになう統合生産情報システム。一般に生産時点情報管理 (POP:Point of Production)機能と合わせて、工程管理、ロット管理、品質管理、製造指示、進捗管理、工場内物流管理、生産設備制御、保守管理などの各種の生産支援・管理を行う機能を備えている。
- 23) MTBF (Mean Time between Failure)  
平均修理時間。故障を修理して装置がその計画機能を果たす状態までに復元するのに要する平均時間。
- 24) MTTR (Mean Time to Repair)  
平均修理時間。故障を修理して装置がその計画機能を果たす状態までに復元するのに要する平均時間。

- 25) NPW (Non Product Wafer)  
半導体製造ラインにおいて製品デバイスを製造するために使用されるウェーハ以外のダミーウェーハ、QCウェーハの総称。
- 26) OHS (Over Head Shuttle)、OHT(Overhead Hoist Transport)  
軌道レールを必要とし、天井レベルの空間を走行する無人搬送車のうち、主として工程間搬送に使用するものを OHS、工程内搬送に使用するものを OHT と呼ぶ。今後のダイレクト搬送においては、工程間・工程内を OHT が全て搬送する方式もあり、区分を行わなくなって来ている。図 FI-付-2、図 FI-付-3 参照。
- 27) VM (Virtual Metrology)  
半導体製造装置/プロセスパラメータおよび製品に関する間接的な測定情報を過去のデータ等を活用して、実際に計測を行わずウェーハの加工特性を予測するもの。
- 27) ZFB  
Zero Footprint Buffer の略。一般的には、頭上バッファ、軌道下バッファと呼ばれる、空中バッファ。

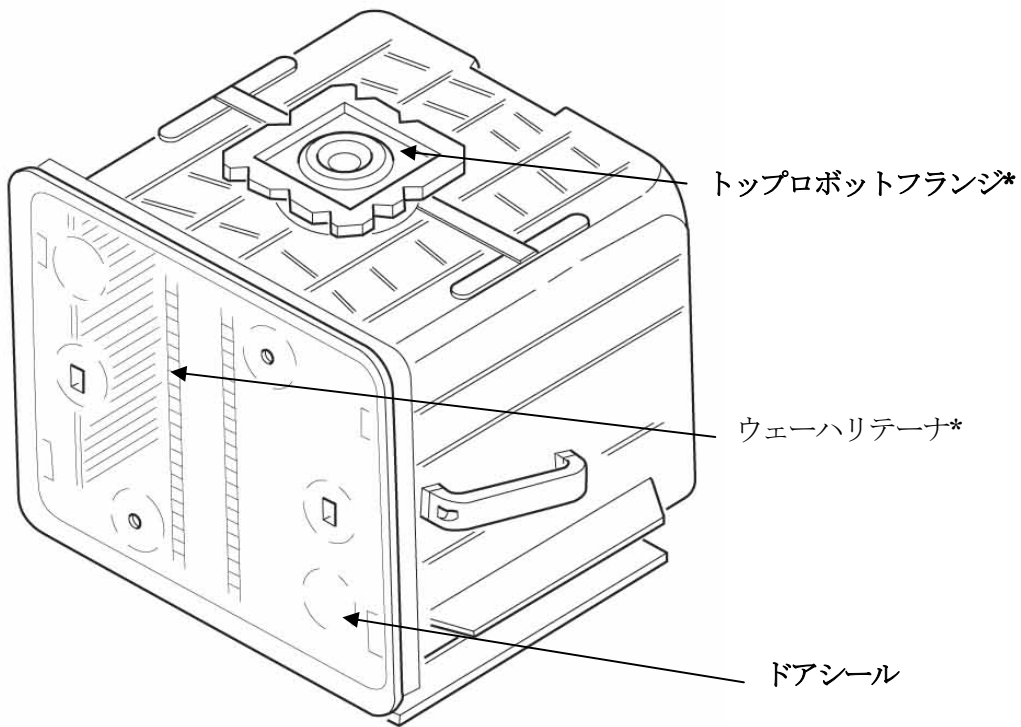


図 FI-付-1 SEMI E47,1 FOUP (Front Opening Unified Pod)  
Figure FI-付-1 SEMI E47,1 FOUP (Front Opening Unified Pod)



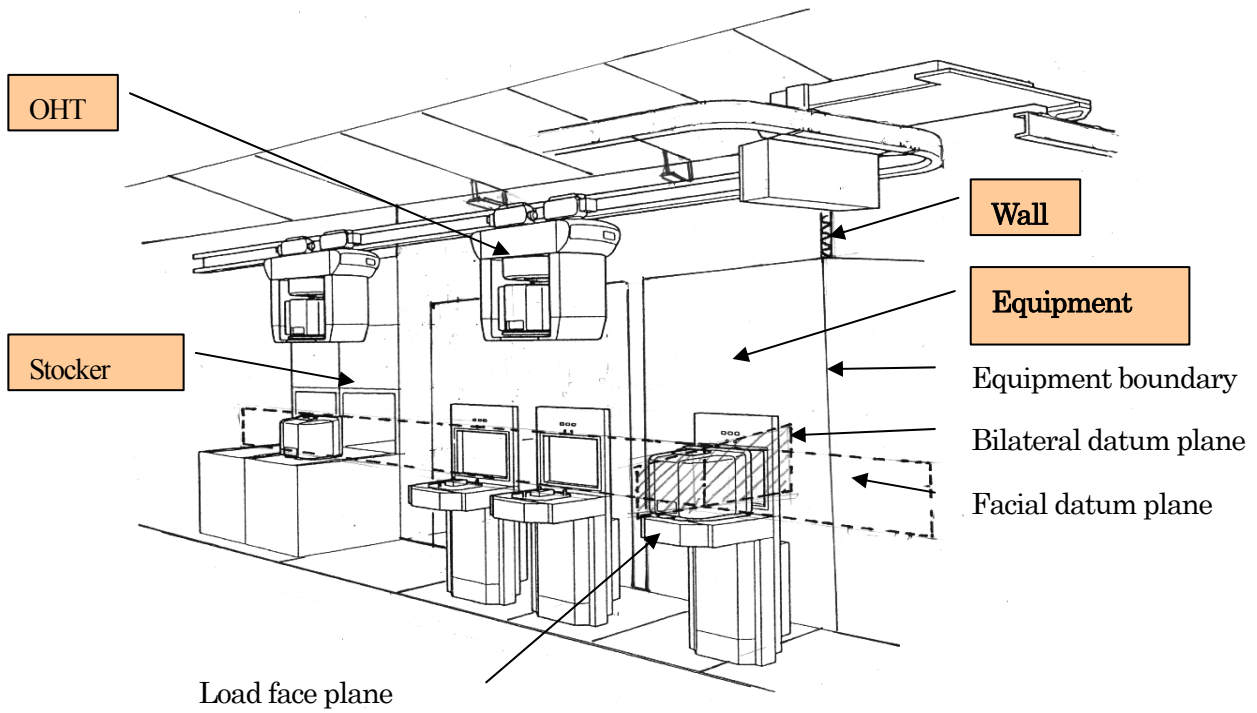


図 FI-付-2 搬送設備概念図

Figure FI-付-2 Conceptual figure of Material Handling Systems

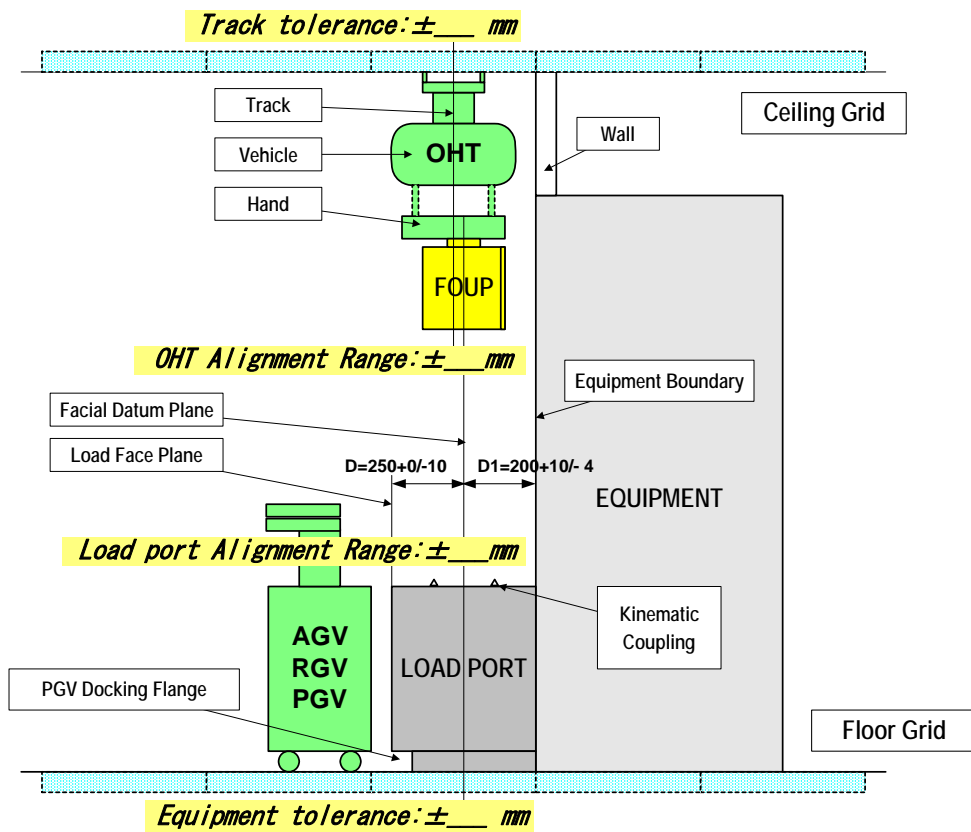


図 FI-付-3 搬送設備断面図

Figure FI-付-3 Material Handling Systems