

第 10 章 WG8 ファクトリ・インテグレーション

10-1 はじめに

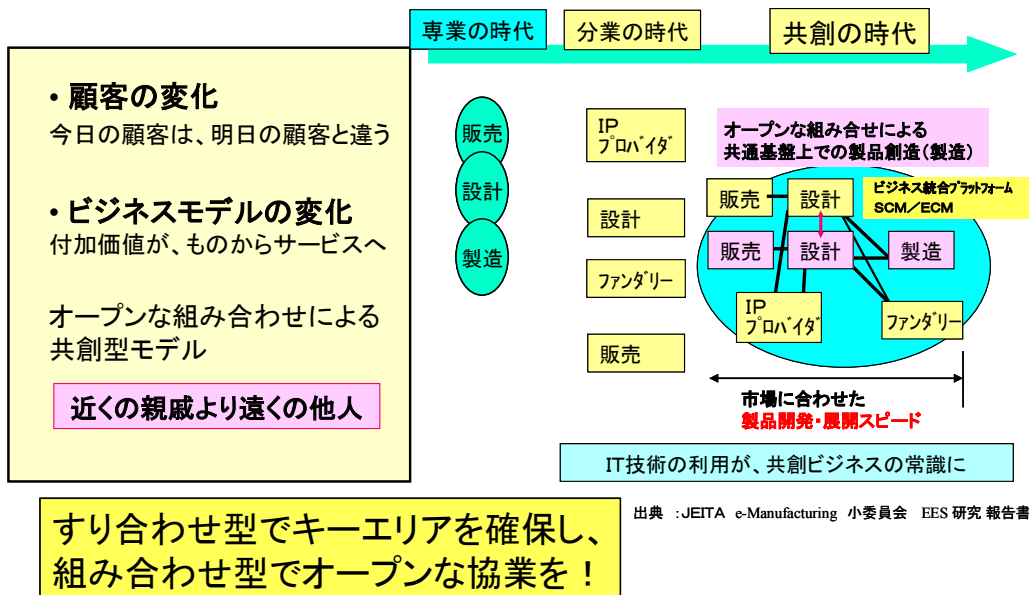
ITRS では、従来は米国や韓国のメモリや MPU に代表される大量生産を前提とした検討が主流であった。しかし、STRJ からの毎年継続した提案により、SOC を中心としたカスタム製品を流すラインの生産課題も平行して議論するようになってきている。2004 年度の ITRS の議論では、ビジネス戦略やマーケットの要求がプロセス技術の変化と同列のレベルで、ラインの生産課題を検討する柱になってきた。また、経済やビジネスの変化が、生産や環境やプロセス技術の変化と同等に議論されるものとして認識されている。2004 年度の STRJ の活動では、これらのビジネスや環境、プロセス技術の変化をどのようにして工場の生産と連携していくかを議論した。其中で、工場の状態を正しく把握することが、第一と認識し、其の方向を議論することになった。そのため、2003 年度に取り上げた「工場アクティビティの可視化」を深掘し、「生産の能動的可視化: Proactive Visualization」を 2004 年度の主要テーマにした。2004 年度のトピックスとしては、工場の 450mm 化の検討が、米国から提案された。この課題は、日本の SOC ビジネスとしての経済性検討が、まず必要であり、今後の課題として検討を保留した。以上が反映されたものとして、図表 10-1 に 2004 年度の ITRS のキーメッセージを示す。

1. **Business strategies, market demands, and process technology changes continue to make factories difficult to integrate**
2. **Economic and business challenges are equal to our manufacturing, environment and process technology challenges**
3. **Gaps in Production Equipment OEE, Factory NPW usage, and Factory modeling still must be improved**
Metrics needed to cover versatility, productivity, agility, quality, environment compatibility
4. **Factory's speed and flexibility are gaining more attention to accommodate various production methodology**
Proactive Visualization is needed for manufacturing activity
5. **Enterprise and FO level requirements should meet new production methodology and improve current needs**
Proactive Visual Mfg; ECM Platform; Traceability and Strategic Quality Assurance
6. **Common platform for solutions and standard developments should be continued**
7. **Key focus areas identified and we need to start addressing these areas**
450mm, Proactive Visual Mfg (Strategic Hierarchical QA), NG Litho needs, AMC, etc.

図表 10-1 ITRS のキーメッセージ

10-2 日本を取り巻く環境

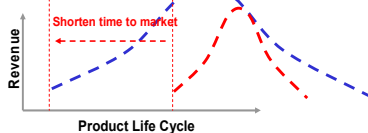
日本の半導体メーカーの多くが進めている SOC 事業拡大にとって、設計から生産を如何に効率よく統合するかが、主要課題になっている。その背景には、微細化・高集積化による LSI 開発負担の増大、マスクコストや製造コストの増大、信頼性・歩留保障の負荷増大といった技術的背景がある。さらに、顧客からマスクメーカー、装置メーカーなどを含めた業務分担の多様化が重要な要素になっている。このイメージを表すと図表 10-2 のようになる。



図表 10-2 日本にビジネス環境の推移

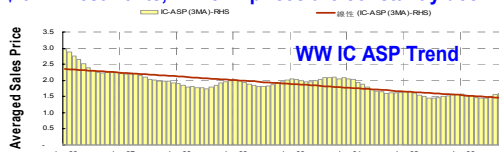
また、このような状況を加速している要因の一つとしては、図表 10-3 に見るように製品の立ち上げは微細化が進むにつれて時間がかかるようになり、さらに、個々の半導体の製品寿命も短くなること。すなわち、結果として半導体製品個々の総生産数量が少なくなっていることと、平均売価も図表 10-3 に見るように低下していることにより、1 品種当たりの生涯売り上げが減少していることになることがある。生産ラインとしては、このような状況にあっても、生産コストを減少させ、設計との連携を強化して、商売になる製品の量を増やさなければならない。それには、生産から設計の総合効率を向上させることが益々望まれている。

- Shortened products life cycle drives the needs of shorten time to market



生産サイクルの短期化
生涯生産量の低下

- Fab investments sharply increased, a 300mm fab cost around \$ 3B investments, while IC prices are constantly declining



平均売価の低下
35% ↓ / 7年

出典: Thomas Chang, TSMC: SEMI Symposium Dec. 2004

1品種当たりの生涯生産枚数／売り上げが大幅にダウン

図表 10-3 小規模生産の拡大

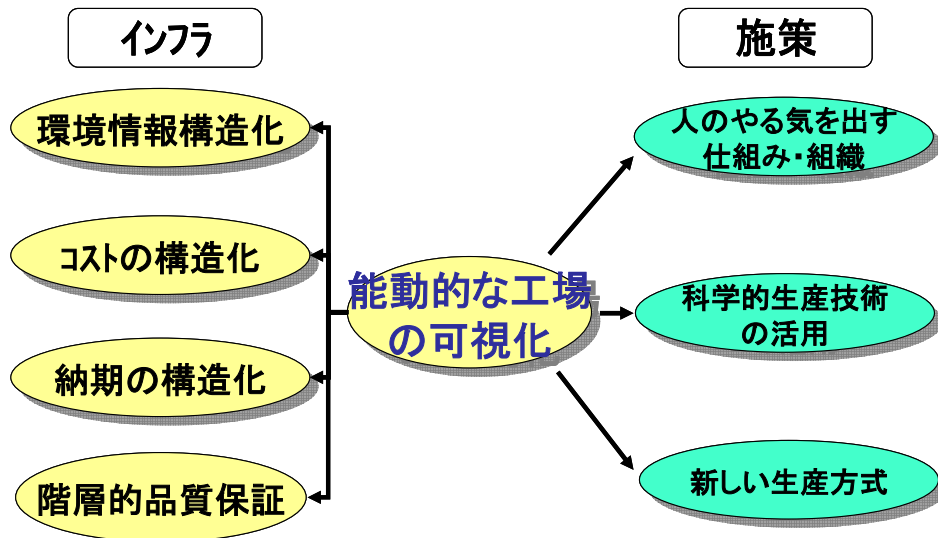
このような中、海外の会社では、IT を使ったインフラ作りが急速に進展している。この動きは ECM (Engineering Chain Management) として顧客から設計、マスク、生産(ファブ)、装置・材料メーカを繋ぐ動きとして現れている。日本は、個々のプロセス技術の開発や装置個々のオペレーションは現場のエンジニアやオペレータの努力で技術レベル維持されているが、それらを統合して全体として効率化する技術やインフラで立ち遅れが目立ってきている。日本でも、装置の稼働を徹底的に上げる試みや、トヨタ生産方式を取り入れた生産方式を採用して効果を上げて

いる企業も出ているが、部分的な効果に終わっていることが多い。これらの生産改善活動をより効果的に進める上でも、情報の活用が急務になっている。また、ECM を作り上げるためにも、工場での情報インフラの再構築が重要である。

10-3 生産の能動的可視化

10-3-1 能動的可視化の要求

生産の能動的可視化への検討によって、図表 10-4 の構造を得た。これを得るために、下記項目のケーススタディを実施し、将来方向に合わせた可視化の要求を抽出した。



図表 10-4 能動的可視化のフレームワーク

1) 次世代工場の改革方向

次世代工場で要求される継続的な改革に必修な構成要件としての議論を進めた。物の流し方を含めた新しい生産方式(新しい生産方式)や、人にどのようにモチベーションを与えて管理をするか(人にやる気を出す仕組み・組織)、科学的にエンジニアリング活動を行っていくために必要なインフラやツール、それを使いこなす組織などを議論した(科学的生産技術の活用)。

2) 戦略的な階層的品質管理

少量生産に対応した新しい品質管理の方式が必要である。そのためには製品レベルからプロセス、装置、装置内の部品レベルまでを階層化し、全体として品質を保証する方式が有用になる。

3) ESH とのクロスカット

これから工場を管理するときに重要な課題の一つである ESH、特に省エネをどう進めていくのかを、検討するために、ESH の WG とクロスカットを実施した。省エネを中心とした、課題の整理と業界への提言をまとめることができた。詳しい検討成果は、10-7に記した、ESH&FIクロスカット報告「見える管理の出来る工場のES&H」を参照されたい。

4) 元気がでる原価管理WG

コストを如何に把握するかは、工場の可視化のキーになる項目である。これについては、経済性小委員会の元

気が出る原価管理 WG で、一橋大学へ委託研究を実施した。活動の詳細は「元気になる原価管理」の章を参照されたい。

10-3-2 省エネルギーの可視化

10-7 の「見える管理の出来る工場の ES&H」を参照されたい。

10-3-3 コストの可視化

第 2 部 半導体産業・技術開発の経済性検討委員会の部、第 2 章「元気になる原価管理」を参照されたい。

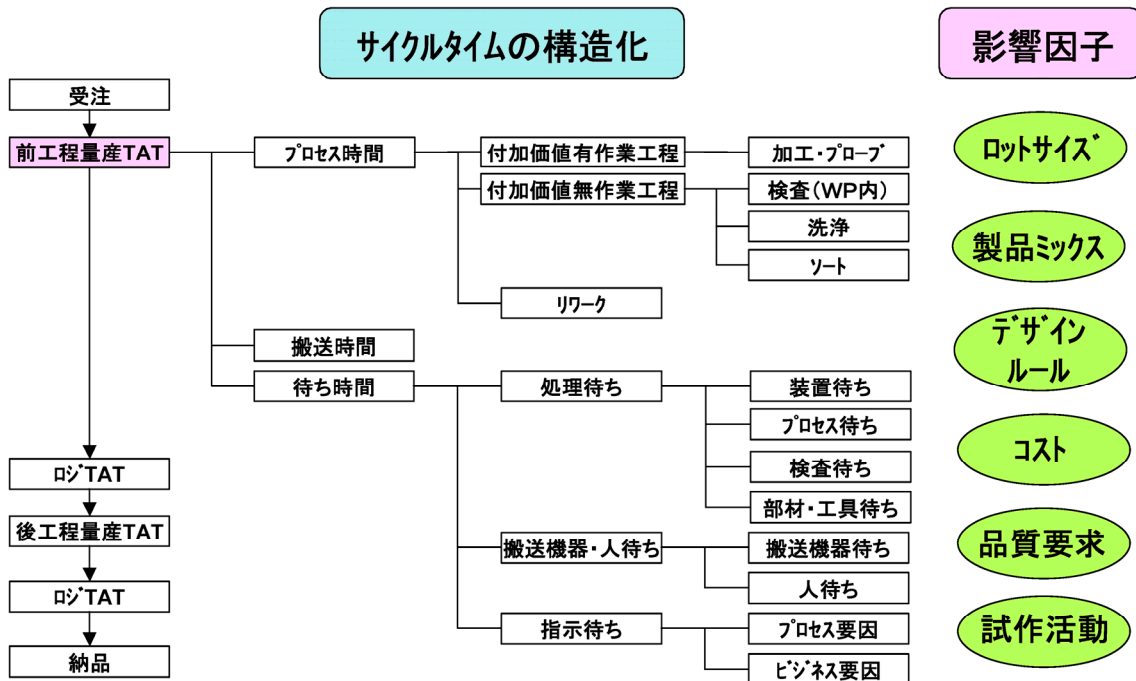
10-3-4 納期の可視化

工場サイクルタイム短縮への要求は、顧客満足度 (CS) 向上のための納期遵守と事業リスクの回避のための在庫削減の観点から益々強くなっている。これまでのスループットを第一とした枠組みでの工場サイクルタイム短縮は既に限界に達しているが、サイクルタイムとコストや品質などのトレードオフの関係が詳細レベルでまだ検討されていない。図表 10-5 に示すように工場サイクルタイムと各種影響因子との関係を理解した上で工場運用の最適化を行えることが望まれている。

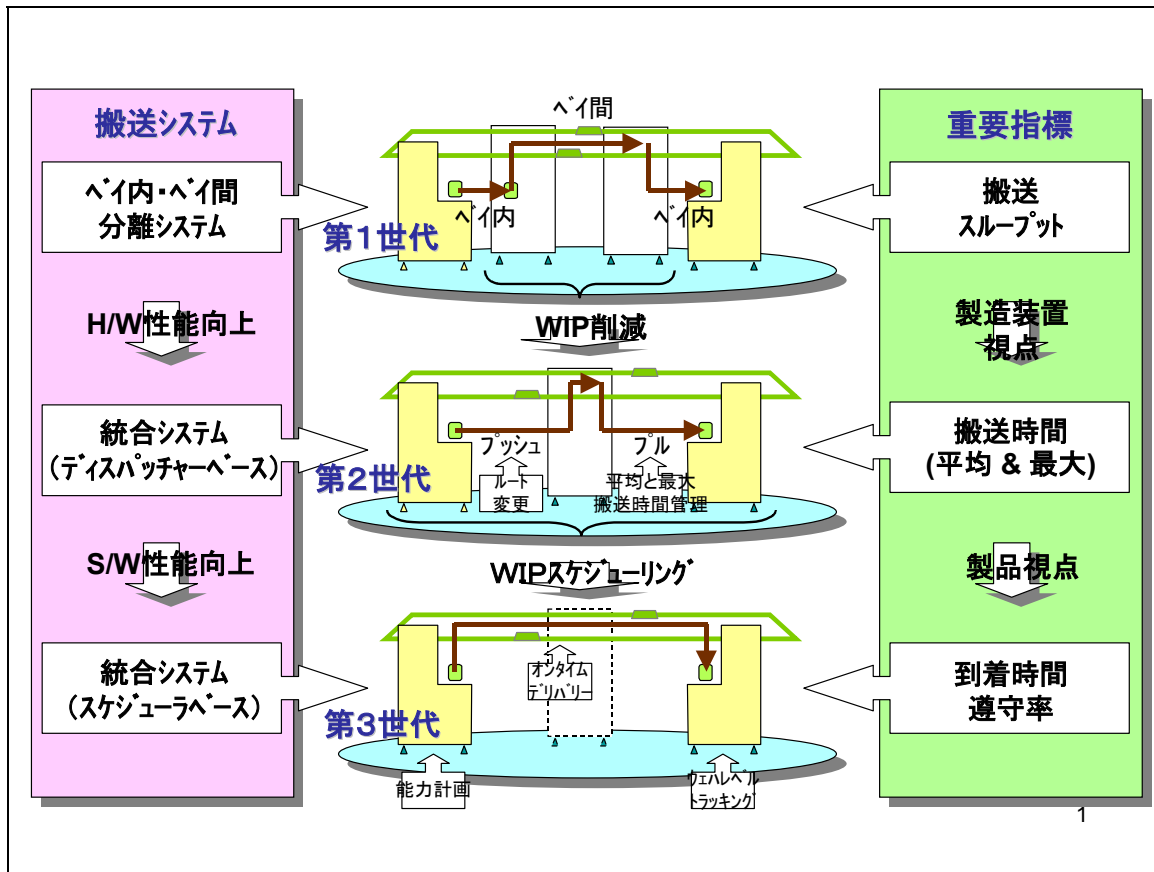
300mm 工場から自動化が大きく進んだもののスループットを第一とした枠組みに依然あり、システムが統合されていないなど構造化された形で工場サイクルタイムの待ち理由を自動分析できるような環境にはない。可視化されているとは言えない。

工場の搬送システムについて考えれば、図表 10-6 に示すとおり第 1 世代のベイ内・間分離システムから第 2 世代のディスパッチャーベースの統合システムを経て第 3 世代のスケジューラベースの統合システム、更には枚葉搬送システムへと進化していくことを半導体技術ロードマップでは予想している。現在は第 2 世代にあり、第 3 世代や枚葉搬送システムへと進化させ新しい枠組みでの工場サイクルタイムの短縮を進めるための基本要件が、工場サイクルタイムの可視化であると考えられる。

工場サイクルタイム短縮の要求に応えるため、可視化をベースにした科学的なアプローチの適用による次世代システムへの具体的な施策検討を加速することが、今後の課題である。



図表 10-5 工場サイクルタイムの可視化



図表 10-6 搬送システムの世代による進化

10-3-5 階層的品質管理

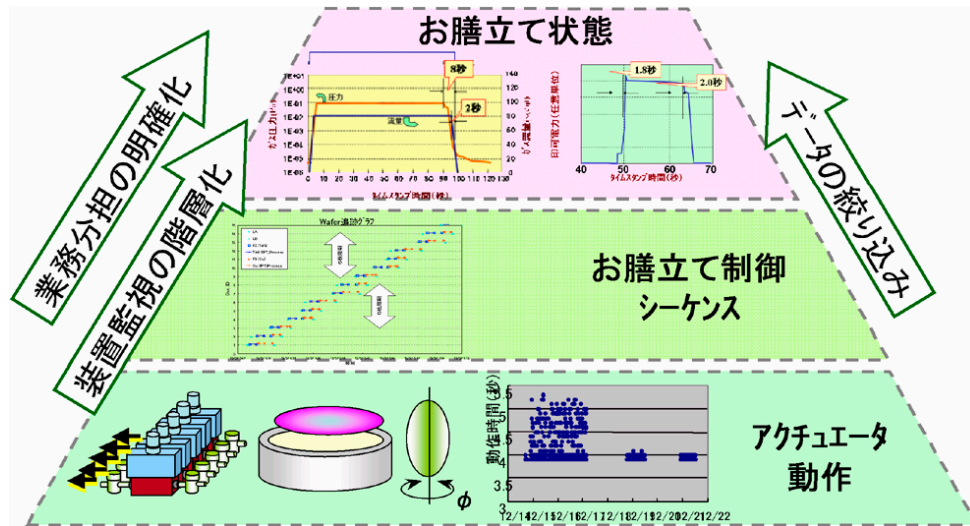
10-3-5-1 階層的品質管理の必要性の説明

以下 階層的品質管理について 具体的な説明を行う。なお、以下の内容は、JEITA 半導体部会の半導体生産技術専門委員会に設置された e-Manufacturing 小委員会の中の EES ワーキングにも、検討された経緯がある。

階層的な品質管理の目指すところは、装置から収集した装置エンジニアリングデータをベースにして、より精度の高い装置機能の性能確認の手法を確立することで階層的に装置の品質を高め、その結果として量産技術としてプロセスの再現性や機差を圧縮する状況を醸成することである。また装置の基本機能の不具合発見機能、或いは不具合予知機能 (FD/FP) 機能の導入により、常に信頼性が高く且つ安定したプロセスを実行できる装置が提供されることが奨励されるべきである。

半導体製造プロセスにおいては微細化・大口径化に伴う加工マージンの要求が厳しさを増し、品質の劣化や変動の監視は元より、製品品質事故における装置起因の発生割合が約半数を占めていることから、装置機能の劣化や変動、機差の有無の監視をその場で行い、できるだけ速やかに異常を検知することが重要な課題となってきている。

製造装置自身だけをとり、複雑化が進み、装置全体としての信頼度低下や、性能維持業務の複雑化・高度化が問題となっている。具体的には、構成要素である制御部品(アクチュエータ)の数が増え、また複雑な制御を行っている。一般的に装置は複数の制御階層から成り立っており、それぞれの階層の中でさらに複数の小さな制御単位に分かれている。プロセスに問題が発生した場合、どの制御単位がプロセスに影響を与えているのかを診断することは大変困難である。このために装置全体としての動作の健全性の確認対象が非常に多岐に亘り、且つ、構成要素相互の関連によって複雑化している。このために装置が提供する機能の健全性は、簡単に検証できる物ではない。またいったん調整されたコントローラであっても制御性能は時間を経るとともに変化するものであり、その性能を維持管理していく機能が必要となっている。



図表10-7 装置不具合捕捉のピラミッド

デバイスメーカは装置サプライヤに対し、納入する装置の信頼性が十分に高まったものであることと、信頼性についての合理的な設計手法が確立されていること、また納入後には装置機能の性能が高く維持されえるものであることを強く要求する動きがある。このような要求は、SeleteとJEITAによって明示的かつ体系的に提案され、EEQA (Equipment Engineering Quality Assurance)と呼ばれている。まず装置レベルでの製造加工工程の信頼性の向上を行うのが EEQA の目的である。EEQA によって装置健全性の検定業務を品質の検定業務と可能な限り分離し、それぞれのレイヤーでの健全性を確認することを積み上げる方法が JEITA/Selete から提案されている。

10-3-5-2 なぜ装置基本機能毎の不具合監視が必要か

品質の変動や劣化を早期に検出するために、製造ラインでは品質の監視と装置の監視が定期的に行われる業務となっている。上記 不具合検出の技術として、装置から装置の様々な稼働状態を表すデータを収集して、そこに変化が出現しないかを監視することで、装置或いは装置が司るプロセスに何らかの変動があったことを検出する努力が広くおこなわれている。このような機能を一般に FDC (Fault Detection & Classification) と呼ばれている。

しかしながらプロセス或いは品質の変動は非常に複雑な要因が絡み合っているために、装置機能の不全による要因の切り分けが以下に述べる理由で 難しいし、また果たして本当に必要な感度でプロセスや品質の変動が捕捉されるのか等、十分に技術として発展していない状況である。

装置基本機能のアクチュエータ/部品レベルの不具合発見では 装置に実装されている個々の機能に限って監視し 診断をするために判定条件のセットアップが単純であり、またプロセスレシピに強く依存せずに機能させることができるポテンシャルが高い。シンプルな診断であるために虚報も少ないこと、より簡単な根本原因究明が期待できる。

この不具合発見機能であれば装置が導入されたその日から動作し、ユーザを守ることができると期待されるが、通常の FDC では その設定には プロセスの立ち上げ 習熟などが必須である。

上記に述べたアクチュエータ/部品機能の不具合発見あるいは 不具合予知をする機能は、装置の詳細な内部構造を知っていて開発できるものである。装置内容を知っていても、非常に多くの検定を行うために、その閾値をそれぞれに経験を積んで適正值にセットすることは 非常に多大な時間を要する作業である。デバイスメーカはこのような 作業に従事することは不向きであるのが通常である。また 装置一々で 異なる構成を持つものであり ユーザが装置の種類とバージョンに併せて診断ルールをメンテナンスすることは現実ありえないシナリオである。

したがって装置の基本機能を部品レベルで監視する機能については、装置サプライヤが主導で提供することがもっとも現実的であると想定している。従って、デバイスメーカがこのような機能を開発することは非常に難しいが、

この欠点を補ってあまりあるメリットがある場合も多いと考えられている。

このような機能は、アクチュエータ/デバイスレベルの活動情報での診断であるために、装置サプライヤはユーザからその情報の開示を受け、フィールドデータとして解析し、装置品質を一層たかめることが可能であり、かくして装置サプライヤとユーザとの協力によってプロセス装置の機能についての積極的な分業を成立させることが期待されている。

10-3-5-3 装置基本機能の不具合監視の具体例

<装置基本機能健全性監視の例(1): ガス供給機能>

ガス供給機能の代表的な部品に MFC (Mass Flow Controller) がある。直接的にプロセスの条件を生成するデバイス(アクチュエータ)の機能監視が殆ど行われていないのにもかかわらず、生成条件の検定に現在の主要な FDC 努力が集中しているのが現状である。しかしながら MFC はサーボ系を内装しているために、指示値に対して同じ観測値を報告することになり、以下の不具合を知ることができない場合が多々ある。

- ・MFCのゼロ点オフセットがずれた場合
- ・MFC内に異物が詰まり適正なコンダクタンスが取れなくなりつつある場合
- ・何らかの不具合のために観測値と真値とがずれてしまった場合

更に MFC が正常に動作するには MFC の前後のバルブが適正なタイミングで協調して動作する必要があるが通常はこのような粒度までの装置機能の監視が行われることがない。

プロセスの健全性を確認する上で 重要なのはこのようなデバイス(アクチュエータ)が正常に機能しているかを常に確認することと、生成されたプロセス条件を検討することを分離することである。後者はレシピ等のコンテキストデータを読み解釈することが必要である場合があり、必要な診断が複雑化 あるいは 診断ルールのメンテナンスを行うことが難しい場合がある。MFC 自身の機能の検定方法の例としては、サーボ系の内部で扱われているバルブ制御電圧を読むことで MFC 機能そのものの診断をすること等が実装され始めている。

<装置基本機能健全性監視の例(2): ウェーハ搬送機能>

ウェーハ搬送機能は常に安定に機能してもらいたい機能の代表格であるが、その信頼性を高めるための情報ソースは主にフィールドデータに依拠している。Selete の EES プログラムでは、装置からハードウェアのアクティビティを示すイベントデータを収集して、搬送のようなハードウェアの QA と監視に使用することを提案した。搬送は複雑な動作をしており クラスツール等では搬送経路等もレシピによって種々枚葉で変化するのが一般である。しかしながら搬送系の動作をいくつかの定型動作の集合として分解し、それぞれの定型動作を 動作時間の観点から検定することで、ウェーハ枚葉でデータが収集され、特に磨耗性の故障にいたる過程での動作不安定性の早い時期の発見などに有効と考えられている。総合的な搬送時間では、少しの動作時間のズレは これを発見することは至難の技となる。細かい動作に分解して監視するメリットの例として、めったに発生しない不具合の発見が挙げられる。たとえばロードロックでのウェーハの搬送は 枚葉で反復されるために、1000 回に 10 回のプッシャーの動きの不安定さが発生しても、あるいはチョコ停であっても、これらを捕らえることができる。ここでもレシピに依存しない監視が可能であることが極めて重要な要件であることが理解されるべきである。

<装置基本機能健全性監視の例(3): 真空排気機能>

真空機能は多くのプロセス装置に存在するが、装置種類によって所定の真空生成機能は大きく異なる。スパッタ装置の高真空排気機能は できるだけ高真空に排気する、これは言わば、オープンループ機能であり、CVD 装置などで実装されている一定の圧力を生成する APC(Automatic Pressure Control)機能は、クローズドループの機能である。真空排気系の健全性を確認するに、総合性能で確認することはもちろん必要であるが、メンテナンス経緯でその時々で 検定に掛ける真空度は 大きく異なるために、十分な監視機能は なかなか得がたいのが実情であ

る。

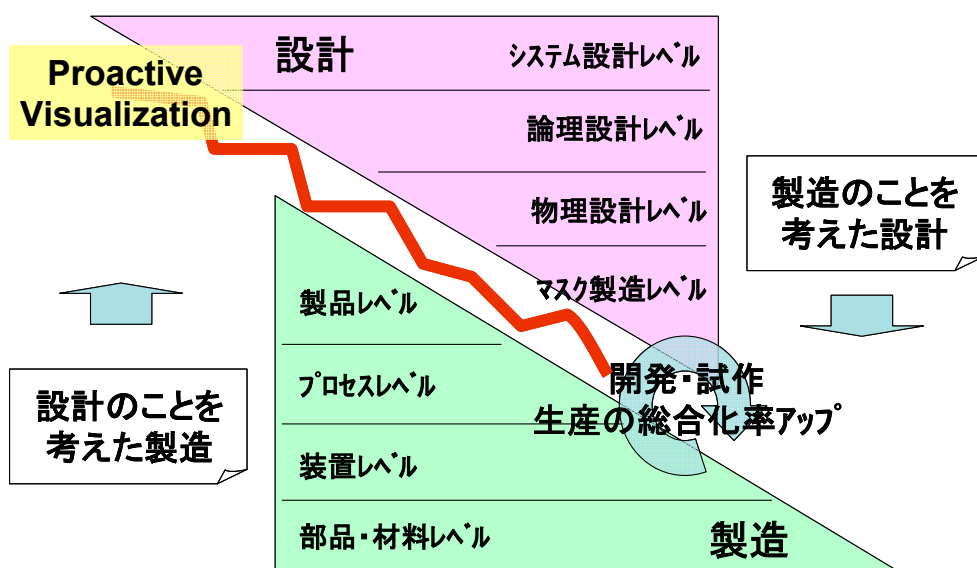
真空機能も部品(アクチュエータ)レベル機能の集合体であり、メインの機能部品として真空ポンプが挙げられる。真空ポンプ自身の健全性を確認することができれば メンテナンス経緯に依拠しない 早い判定が可能となり、長い時間真空排気を行っての最終的な総合性能の確認以前に、有効な情報を提供することができる場合があると考えられる。

真空ポンプの健全性は、粗引きであれ、高真空排気であれ、排気開始直後の真空度と時間経過の関係を求めることで知ることができる。より具体的には、真空度をログスケールにプロットし、横軸に時間を絶対軸でプロットすることで、排気カーブは 排気開始直後については 直線となり、その負の傾きは 真空排気時定数を表す。真空排気するチェンバの容積は めったなことでは変更されることがないから、真空排気速度を求めることができ、これがとりまなおさず真空ポンプの健康を示す数値となる。

更にポンプの健全性の上に APC などの制御機能が位置し、MFC について述べた例のように健全性を確認する事で、全体の機能が検定される。これによって、レシピ等に依存することなく機能の確認を行うことができるものであることに注意を払われない。

10-4 業務階層の連携

階層的品質管理にも見られるように、半導体の機能を生産していくためには、いろいろな機能を積み重ねて実現していかなければならない。トランジスタを形成するためには、各装置で加工されるプロセスの「できばえ」が、関係する工程フロー全体で整合できている必要がある。たとえば、トランジスタの Ion は、ゲート CD、イオン注入の注入量やコンタクトの接続性などが総合的に調整できていて達成される。ゲート CD はリソグラフィやエッチングなどの総合的「できばえ」の整合が必要である。さらに、エッチングの「できばえ」の実現には、装置プロセスの機能が十分性能を達成していることが必要である。また、装置プロセスの機能は、装置を構成するモジュールや部品が機能を発揮してはじめて性能を発揮できる。これらの階層を担当する業務は、デバイス設計部門から、プロセス技術部門、装置メーカー、部材メーカーと多段階になる。多段階の部門間を跨いで、全体最適化するためには、各階層の機能を達成するモデルを作成し、入力と出力とそれらを結ぶ関係ルールを明確化していく必要がある。これにより、トランジスタ(製品)レベルから装置の部材レベルまでの連携が達成できる。



図表 10-8 業務階層の連携

図表 10-8 にこの関係のイメージを示した。また、この図には、設計サイドの業務階層も示した。現在は、マスク情報とスパイスパラメータで、工場サイドの業務階層と設計サイドの業務階層が細々と結びついている。しかし、コストや納期、品質、省エネなどが、設計段階でも考えられるようになり、尚且つ、設計を容易化する工場サイドの活動を進めるためにも、生産の能動的可視化を進めることが重要である。半導体の販売から製造に係わるいろいろな階層の人が、コストや品質、納期、省エネを意識しながら業務を行える環境を準備していくことが、今後の第一課題である。

10-5 業界への提言

生産の能動的可視化のような項目は、業界のいろいろな会社が係わるため、業界で共通化することが必要である。工場サイドの可視化や可視化課題の整理や検討を実施する組織を設立すべきである。この組織で、課題を解決する施策を調査して、体系化することも重要である。JEITA 半導体生産技術専門委員会やSEAJ、SEMIなどの既存組織の中に作ることも含めて、検討を進めていきたい。

10-6 まとめと今後の課題

本年度は、生産の能動的可視化を ESH や大学の協力も受けて進めてきた。ようやく、この数年進めてきた SOC 生産を進める方向の第一歩を示すことができたと考えている。この方向に装置メーカーや材料・ソフトメーカーなどを向かわせていく努力が、必要になる。

来年度は、少量多品種や試作と量産の並存などの課題を解決するための装置メーカー向けの目標的指標を、ITRS のロードマップに載せることをしていきたい。また、本年度はじめた、生産の能動的可視化の各要素間のトレードオフ問題も検討を進めたい。納期と生産性(コスト)問題や、品質要求と生産性(コスト)問題など、研究する課題は多い。また、これらが、ビジネスとどのように関係しているかも考えてみたい。ライン忙しいときとそうでない時、先端製品と枯れた製品などが、ラインの特性にどのように影響するかなど、多面的な検討が必要である。生産と設計をどのように最適化していくのか、能動的可視化がその第一歩になるが、設計サイドとの連携については、はなはだ研究が不足している。生産サイドの可視化を通して、設計サイドとの連携も進めていきたい。図 10-9 にそのイメージをまとめる。

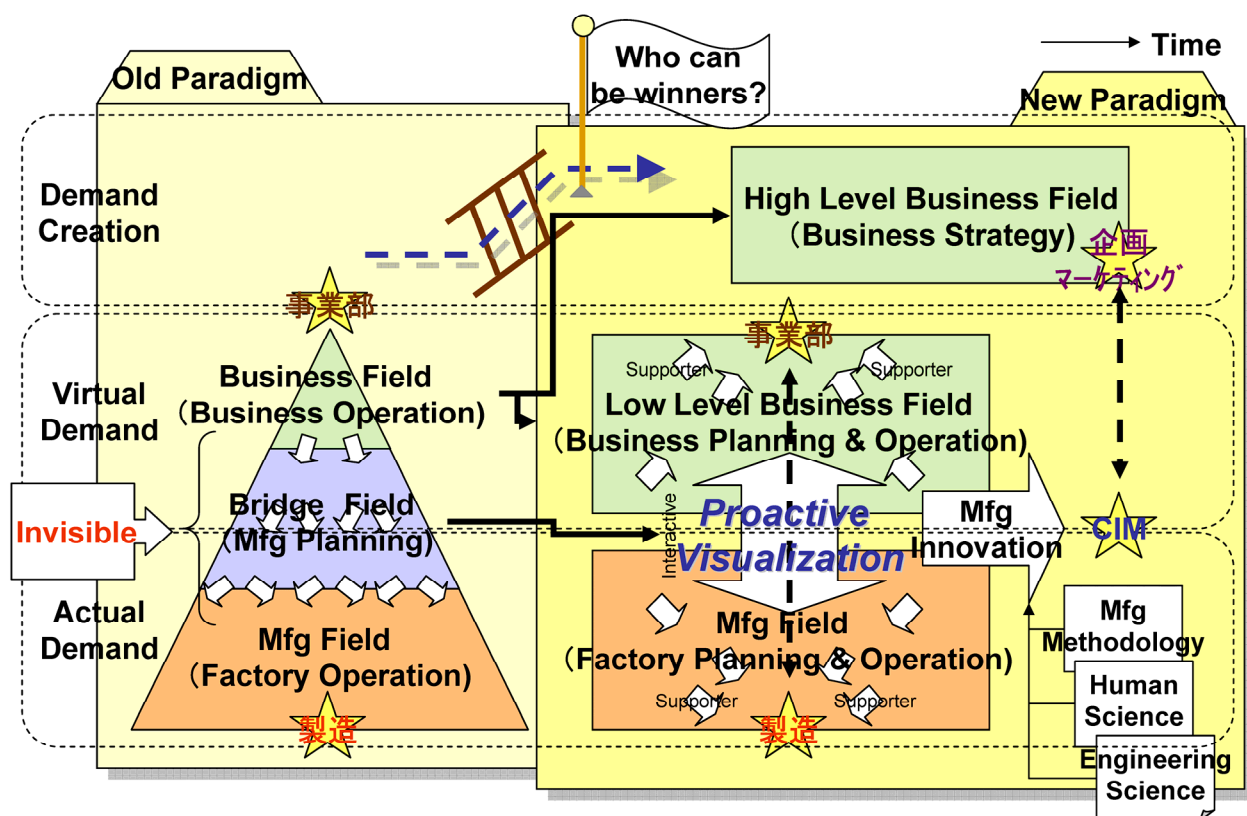


図 10-9 階層化した機能を結び、全体最適へ導くイメージ図

10-7 見える管理の出来る工場の ES&H—省エネルギーの検討—

10-7-1 半導体産業における環境保護活動経緯

10-7-1-1 本 WG 検討テーマの抽出 何故「省エネ」なのか

JEITA においては、半導体環境安全委員会として 10 年以上前から環境安全に関するテーマを採り上げ、各社での活動状況についての情報交換や経産省への働きかけをしてきている。特に資源活用に関して早くから取り組み、再資源化率の高さにも現れている。

現在、半導体ロードマップにおいて 5 つの重要テーマがあり、その中に『気候変動の緩和』と『資源の有効活用』があるが、いずれも省エネルギーと密接な関連があるにもかかわらず、前者のテーマについては、温室効果が炭酸ガス(省エネは、エネルギーを使用することによって、その製造時に排出される炭酸ガスの問題に結びつくので、主要な対策の一つとなる)の 5000 倍以上ある 7 種の PFC (perfluorocarbon) 等ガスの排出削減が最優先となっている。

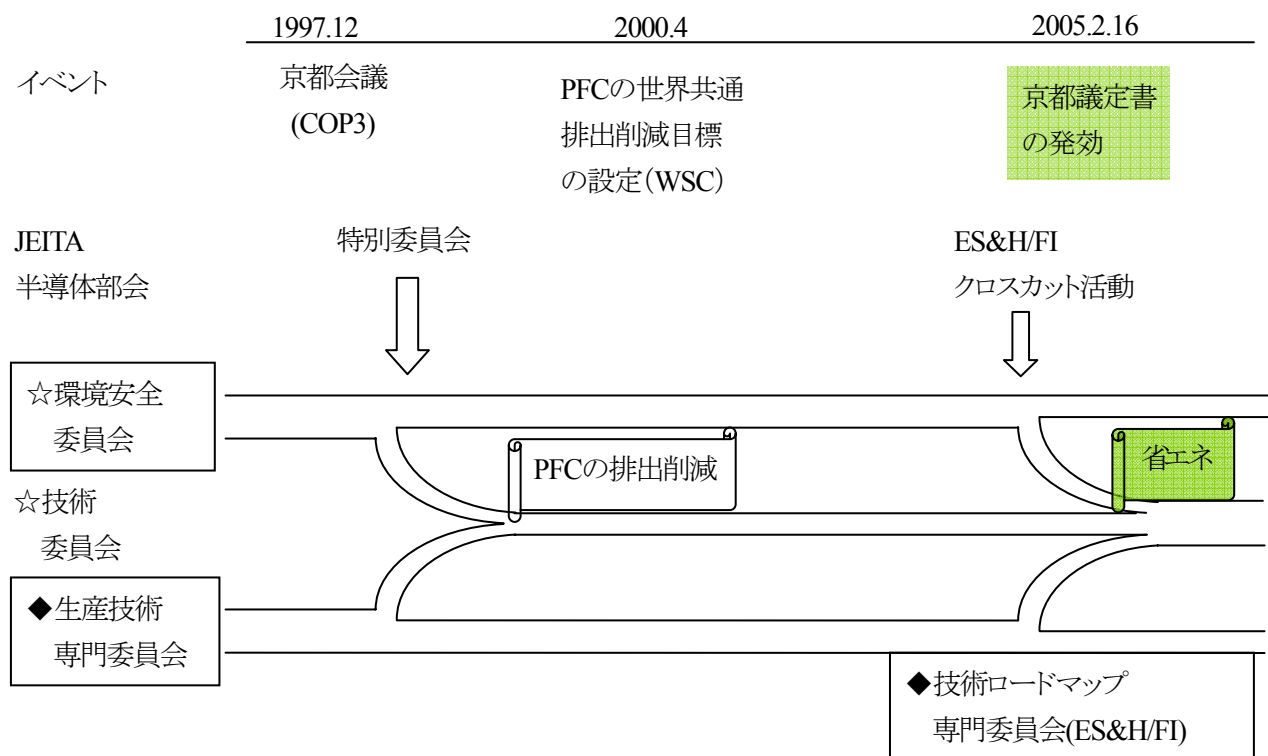
一方、後者のテーマについては、エネルギーも主要な資源の一つであるが、意識的に、水資源の有効利用や水のリサイクル率の向上(多大なエネルギーを必要とするので、省エネとのトレードオフを考えるべき)に目を向けている面がある。このロードマップに象徴されるように、省エネは、重要なテーマであるものの、コスト削減に直結するので、これまで個々の企業努力に向けられていて、前面に出ることが少なかったと考えられる。

ESH 項目	削減対象	監視要求	コメント
地球温暖化抑制対策	PFC ガス(7 種類)	排出量、PFC/HAPS (Hazardous Air Pollutants) 測定	デフォルト値を用いて排出量の 上限値を算出・報告、現状把握、 削減の推進
	CO ₂	電気換算エネルギー	省エネ対策として、地球温暖化 対策と識別算出・報告
環境汚染防止対策	有害性物質	大気や水系への排出量	PRTRの管理対象物質と合わせ て行う必要性
	難分解性・高蓄積性物 質	大気や水系への排出量	
	HF(排水処理)	排水量	
	NOx、Sox	大気への排出量	
資源保護	化学物質の有効利用	原材料、化学薬品、純水 等	マテリアルフローの把握(LCA)
	3R	最終処理量	サーマルリサイクルをマテリアル リサイクルへ転換
総合的な環境負荷評 価(Life Cycle Assessment: LCA)	重み付けするがすべて が対象	装置、ライン毎のすべて が対象	現在は、事業所全体の使用量か ら生産量等で比例配分

図表 10-10 ITRS 困難な環境課題と解決方法

環境安全を推進する上で重要なこととして、法制面での規制や自主削減目標等のように外的な圧力を加えるか、又は率先して導入した企業や個人に対してインセンティブのようなご褒美を与えることが上げられていて、環境配慮するためにお金の持ち出し(多くの場合、官に頼ることが多かった)が必要な課題が優先的に扱われてきた側面があると考えられる。この具体例として PFC 排出削減対策があり、京都議定書の遵守であり、政府の方針にも沿っているということで、先導者の様々なご苦労があったものの、現在でも多くの賛同者を得て、日本だけでなく、国際的な活動になっている。当初米国が、この PFC 排出削減対策にいち早く取り組み、装置産業を中心としてビジネス的に優位に立つ戦略を着々と進めていたのに対し、日本は、経産省の支援を受けて PFC 排出削減のために3つの国家プロジェクトを始動させ(この際の資金は、元来省エネのために用意されていた資金と言われている)、米国の戦略を殺ぐだけでなく、液晶産業にも広がり、日本が指導的な立場を勝ち得ている。

このような経緯を鑑みた場合、本来注力すべきテーマであった省エネに向けて舵をきり、他産業で培った先進的な省エネ技術を導入して、先端企業としての役割を果たすべき時期に来ていると言えるだろう。環境安全の側面から逸脱するが、これを契機としてかつてのように半導体製造技術においてもトップを目指して欲しいと切望している。よって、本 WG のテーマを「省エネルギーの検討」とした。



図表 10-11 JEITA-ESH 活動から見た 経緯と方向性 イメージ

10-7-1-2 京都議定書と半導体業界省エネ活動

1997 年 12 月の気候変動枠組条約第 3 回国際会議(地球温暖化防止京都会議 COP3: Conference of Parties)の国際合意に先立って、同年 2 月の経団連に属する各業界が環境自主行動計画を宣言し、半導体業界が属する電子産業界も「2010 年度の売上高エネルギー源単位を 1990 年度比で 25%削減する」という目標を掲げた。図表 10-12 に京都議定書内容と現行大綱を示す。

1998 年 5 月に EIAJ の中に発足した地球温暖化対策特別委員会(CPGW:Committee for Preventing Global Warming) の下、翌年の 1999 年 5 月に省エネルギーを推進する CPGW-省エネ WG(以下省エネWGと略記)を結成し、半導体工場の省エネを更に広い観点で推進するための活動をスタートさせた。

今後の半導体業界全体の省エネを加速させる為に、JEITA の省エネWG発足に前後して、クリーンルームの空調付帯設備関連業界の JACA(日本空気清浄協会:Japan Air Cleaning Association)と、半導体製造装置業界の SEAJ(日本半導体装置製造協会:Semiconductor Equipment Association of Japan)におのおの結成して頂いた省エネWGと SEMI(Semiconductor Equipment and Materials International)ジャパンに加わって頂き「省エネ推進協議会」を 1999 年 6 月に発足し相互に連携した活動を進める事とした。活動の手始めとして 2010 年度に向けた経団連目標を睨んで、3 者で連携して活動するための検討プラットフォームの共有化を図る事にした。具体的には関連業界間の工場設備エネルギー評価方法の共有が必要なので、デバイスメーカ(JEITA)、製造装置メーカ(SEAJ)、空調付帯設備メーカ(JACA)の3者の連携促進を図るために、個々のエネルギーの評価指標、及び消費エネルギー改善のロードマップを共有化させる事から取組みを開始した。

先ず、JEITA に加盟されているデバイス各社の過去の消費エネルギー調査を実施し、並行して、半導体工場の消費エネルギーは装置と空調とで 90%以上占めるので、ここに関わる消費エネルギー把握を SEAJ、SEMI ジャパンに加盟されているメーカ装置、及び JACA の協力を得ながら調査を行った。

1 番目に、装置の各種消費エネルギーの値を議論するには個々のエネルギーを測定することが必要なので、測定基準の標準化を行う。(SEAJ との共同作業)

2 番目に、今回の検討ではクリーンルームの消費エネルギーを議論するので、製造装置をクリーンルームで稼

働させるための電力以外の排気・冷却水等の各種付帯設備のエネルギーも含めたトータルのエネルギーを一元的に把握する事が必要であり、JEITA、SEAJ、JACA の 3 者間で測定値を共有化するための係数を設定する。(JACA の省エネ WG で策定頂き、その後 SEAJ で制定した測定規準に採用頂いた、エネルギー変換係数)

3 番目に、2010 年度に向けた予測をするために製造装置の消費エネルギーの現状把握及び装置省エネ化のロードマップとクリーンルーム付帯設備の省エネルギー化のロードマップを調査する。(SEAJ 傘下メーカーのアンケート協力)

4 番目に将来のクリーンルームのエネルギー消費の予測を行うために、プラントの専門家でなくても簡易的にクリーンルームの消費エネルギーを算出できるように、積算システムを構築する。(JACA 省エネ委員会)

5 番目に上記積算システムを用いて将来のクリーンルームの消費エネルギーを算出するにあたり、得られたデータに普遍性を持たせる意味で、前提とする標準プロセスを規定する。

以上、基本的な枠組みとそれに伴う施策を実施した。その集大成として、2003 年 5 月に「ホワイトペーパー;半導体業界 環境自主行動計画目標達成に向けてのガイドライン」を配布するに至った。

2005 年 2 月に京都議定書が発効されるにあたり、ここに来て、半導体工場における省エネ活動をさらに推進に対する気運が高まってきている。

課題の一つは、半導体業界における省エネ目標の考え方であり、現状の売上高原単位においては、製品価格などの外的要因を受けるため省エネの努力分を反映させる指標となっておらず半導体業界にとって、最適な指標の考え方を構築することが重要になってきている。

そこで、LCA 的観点から、半導体業界における省エネ目標検討をしている。

例としては、ホワイトペーパーの中でも触れているパターンルール補正ウェーハ原単位やあるいは、機能原単位としてトランジスタ当りの消費エネルギーなど試算している。

2004 年 11 月より、中断していた「省エネ推進協議会」を再開して、関連業界相互に連携した活動を再開することとした。今回の狙いは、これまで、整備されてきたインフラの上にならって、本質的な省エネルギーを目指すための「省エネガイドライン」を作成し、実施していくことに重点をおいている。省エネ技術(開発)の方向を示し、装置・機器メーカーの省エネに対する具体的な活動を促す事をも目的としている。

既存ラインにおける、省エネも必須となってきており、設備、ユーティリティメーカーの改善事例の紹介や、省エネ事例集を今回も作成して、デバイスメーカー各社のレベルを向上させることを今後計画している。

京都議定書

- 対象ガス:CO₂, CH₄, N₂O, 代替フロン等3ガス(HFC, PFC, SF₆)
- 基準年:1990年(代替フロン等は1995年)
- 約束期間:2008～2012年(5年間)
- 主要国の削減率:日本 -6%, 米国 -7%, EU -8%, 露 ±0%
- 発効条件:①条約締約国の55ヶ国以上が批准 ②排出義務を負う国(先進国)のうち、1990年のCO₂排出量の55%を占める国が批准。

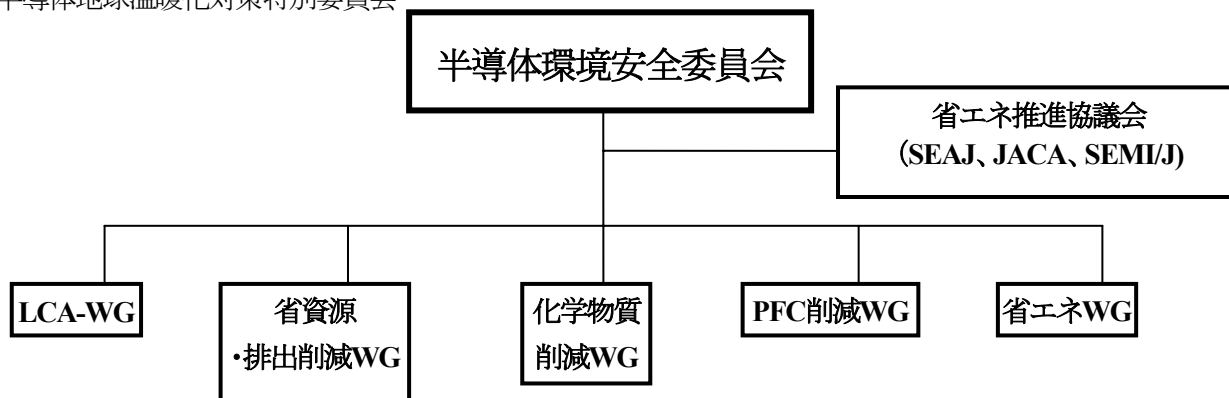
日本の削減目標(現行大綱) 05年2月		削減量(%)
国内排出削減対策		-0.5
	エネルギー起源 CO ₂ (産業, 民生, 運輸合計)	±0
	革新的技術開発, 国民の努力	-1
	非エネルギー起源 CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	-0.5
	代替フロン等3ガス(HFC, PFC, SF ₆)	+2
森林吸収		-3.9
その他(京都メカニズム)		-1.6
合計		-6

図表 10-12 京都議定書と現行大綱

(半導体部会)

全7委員会

- 半導体運営委員会
- 半導体産業委員会
- 半導体国際委員会
- 半導体技術委員会
- 半導体調査統計委員会
- 半導体地球温暖化対策特別委員会



図表 10-13 JEITA 環境安全委員会組織

10-7-1-3 関連団体の活動

10-7-1-3-1 SEMI 活動

SEMI の EHS(Environment, Health & Safety)活動は EHS Division での活動と SEMI スタンダード活動の中での EHS に大別できる。主な活動を項目別に記すと以下のようになる。

- EHS Executive Committee
- ICRC (International Compliance & Regulatory Committee)
- グリーン調達 WG 活動
- Global Care 推進活動
- 省エネルギー推進活動
- The Akira Inoue Award
- SEMITrack

がある。

7 月の SEMICON WEST と 12 月の SEMICON Japan で日米の共同会議が開催される。日米共通の主な課題として、法規制(WEEE、ROHS、EuP、REACH、CE マーキング、中国の法規制等)動向、グリーン調達対応、省エネルギー促進、SEMATECH の Supplier ESH Leadership Project 対応等がある。この中で、省エネルギー推進活動では、WSC(World Semiconductor Council)の ESH TF の省エネ WG から、装置サプライヤに対する省エネ促進のための White Paper が提示され、昨年 SEMICON WEST で WSC ESH TF 省エネ WG と SEMI との共同会議が行われた。省エネは世界的課題であり、SEMI で先頃公開された SEMI S23-0305「Guide for Conservation of Energy, Utilities and Materials used by Semiconductor Manufacturing Equipment」がこの White Paper の趣旨を充分包含するものであり、それぞれの装置サプライヤが自身のロードマップを明確にして対応していくことが明記されている。

10-7-3-2 SEAJ としての温暖化対策の必要性

COP3 での削減目標は達成が危ぶまれている。そのためそれを補間する「排出(量)権取引」「CDM :クリーン開発メカニズム」「JI:共同実施」が実施される。これらはそれぞれに痛みを伴うが、社会的責任において甘受すべきものである。

製造装置メーカーとしては装置の運転時の消費エネルギー削減がデバイスメーカーより強く要求されている。一方、日本の製造装置メーカーはその半数以上を海外に輸出しており、中国など COP3 の「途上国」向けの装置については CDM(Clean Development Mechanism)の適用を受けることも考えられ、省エネ化のインセンティブになることが期待される。

また、SEAJ では年度ごとのテーマとして、

平成 12 年度	稼動状態の製造装置消費電力実測
平成 13 年度	製造装置のクリーンルームへの熱放出測定
平成 14 年度	製造装置構成要素の放熱特性測定
平成 15 年度	製造装置の LCA に関する調査研究
平成 16 年度	製造装置の LCA に関する調査研究 2

の活動をおこなっている。

10-7-1-3-3 JACA の活動

JACA のクリーンルーム省エネルギー委員会は、JEITA の要請により 2000 年 1 月に設置され、現在までに以下の活動を行った。

- 省エネルギー事例集作成
- 設備・装置ユーティリティのエネルギー換算計数作成

- 半導体工場消費エネルギー簡易積算プログラム作成
- SEAJの製造装置のクリーンルームへの熱放出測定に参加
- SEAJの製造装置構成要素の放熱特性測定に参加

JACAとして、今後の課題をクリーンルーム設備部分だけでは、現在までの省エネには限界が見えている。プロセス、製造装置、クリーンルーム設備が一体となり、省エネシステムの構築が必要と考えている。また、特に、検討すべき項目として、装置排気量の削減、装置の水冷化、装置アイドル時の省エネルギー化等が挙げられる。

10-7-1-3-4 WSCの活動

WSC(世界半導体会議)では、その名を示す通り、IPからESHまで半導体に関するものを広範囲に渡り、検討対象としている。ESHは主たる対象であり、ESH-TFを設け、その下に、PFC WG :PFCガスの排出量削減、化学物質管理 WG:化学物質規制への対応、数値目標設定 WG:エネルギー、水、廃棄物に関する活動の原単位目標値設定等と平行して、省エネWGがその主な検討内容は、省エネ技術の共有化、数値目標の定義検討、SEMIとの共同作業、共同省エネ白書の作成、共同ワークショップの設置である。

年2回開催されるESH-TFでESHに関するテーマが話し合われ、その成果が春に開催される本会議で承認される。これまでの主な成果と今後の課題は、

- PFCの世界共通自主削減目標の設定(2000年4月)とそのフォロー
 - PFC排出量(5つの工業界の集計値)の年推移の把握と分析
 - PFC排出量の算出に必要な計算式及びデフォルト値の定期的見直し
 - ISESH(世界環境安全会議)におけるBIA(Best In Association)の紹介
- 省エネに向けたインフラの構築
 - 省エネホワイトペーパーのSEMIへの提示
 - 省エネ目標の設定に向けた原単位に関する検討

が挙げられる。

10-7-1-4 半導体業界におけるニーズ

10-7-1-4-1 業界構成員へのモチベーション

地球温暖化対策に対して、各産業界では、その状況により構成員のモチベーションがかなり、異なっている。

原子力産業

原子力は、エネルギー政策上極めて重要にもかかわらず、原子力発電所から発生する核廃棄物の処理問題や安全操業に関する問題等の理由で、ダーティなイメージが先行し、その構成員の志気が全く上がらず、革新的技術の開発も断念されているように見える。

自動車産業

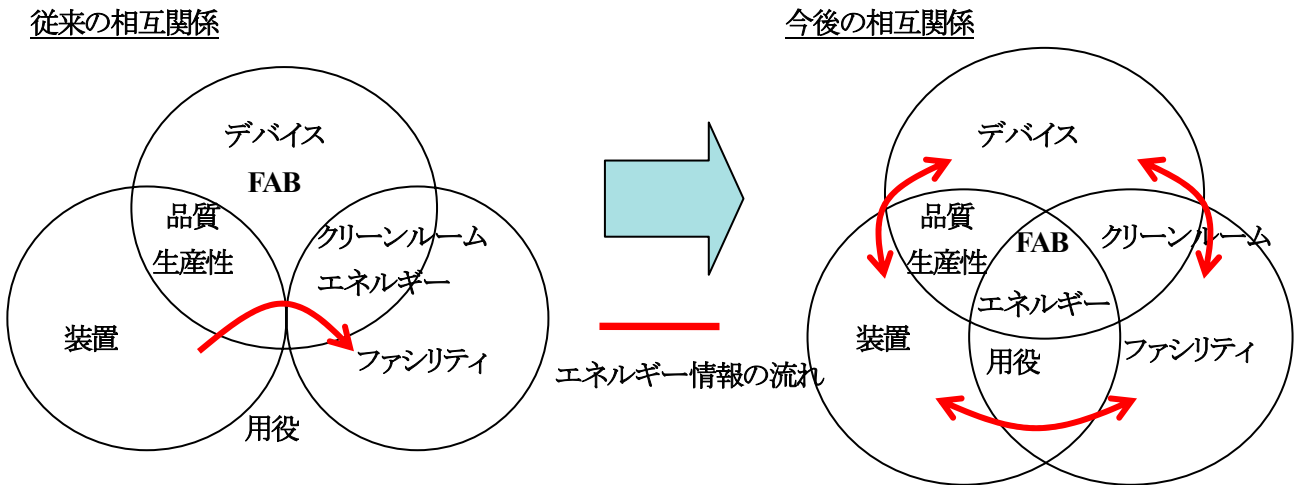
自動車事故による死傷者の数(戦争の死者よりも多い)、多くの有害な化学物質(ダイオキシンを上回る)を含んでいる排気ガス等の悪いイメージを払拭すべく、クリーンなイメージを積極的にアピールしている。利潤を上げながら、然るべき環境投資を行うことができ、その構成員のやる気を引き出している。

半導体産業

これまでのところ、重さの割に資源を消費して製造されているという実態が目立っていないが、今後省エネ目標未達成産業という烙印を捺されかねない。上記の自動車を含めたありとあらゆる製品に使用され、その機能の向上だけでなく、省エネルギーにも役立っていて、製造時に使用するエネルギーを含む資源を考慮しても、それを上回る環境負荷低減に貢献していることをLCAにより示すことによって構成員の志気を鼓舞することができる

10-7-1-42 デバイスメーカ・装置メーカー・ファシリティメーカーの協業ニーズ

これまでの省エネ活動で行われて来たのは、個々の機器効率向上のみが対象としてクローズされたものであった。これだけでは、今後の大きな効果は期待できないところまで、機器は改善されて来ている。今後は、ハード、ソフト、ノウハウのあらゆる観点から工場エネルギー全体最適へのアプローチが必要であり、デバイス・装置・ファシリティ相互の関係を重視した活動展開の必要性が増してきている。



図表 10-14 エネルギー情報の流れの変化

そして、協業により次の内容の利便が期待される。

- －工場の生産計画を考慮した装置・ファシリティエネルギーの変動化
- －デバイス・装置・ファシリティ相互でのエネルギー配分の最適化
- －装置用力実績値の裏付けによるファシリティエネルギー最小化の実現
- －デバイス・装置・ファシリティの省エネ検討共通プラットフォームの構築（モデル工場、モデルプロセス、エネルギー評価指標）

10-7-1-43 生産ラインのファシリティ、装置、オペレーションの全体最適

デバイス・装置・ファシリティのエネルギー消費全体最適化により、生産負荷に応じたエネルギー消費の変動化、すなわち、エネルギーのジャストインタイムが期待される。

生産ラインとして、全体最適化を図るには、現状では、何故そのエネルギーが必要かの問い掛け、そして、ファシリティ・装置・オペレーション相互に省エネルギーを阻む制約が潜んでいる。それらの例として、

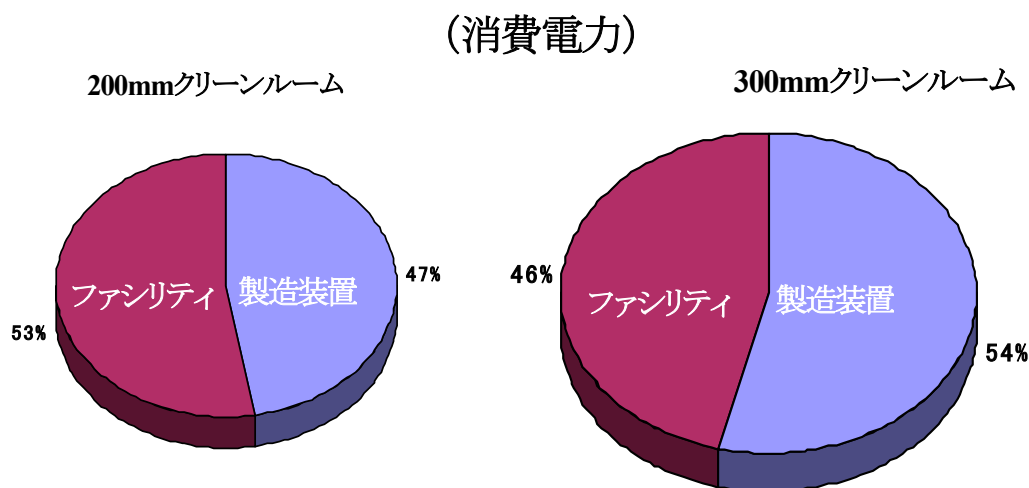
- ・装置：何故物待ち状態で、処理時と変わらないエネルギー消費が必要か（加熱、冷却、真空等）？
- ・生産：何故数時間（数日）以上、すぐ処理できる状態で装置は待たなければならないか？
- ・ファシリティ：23℃のクリーンルーム室温管理の為に何故7℃の冷水が必要か？
- ・経営：何故初期投資額にこだわり、ランニングコスト（エネルギー）の考慮を怠るのか（既存工場のファシリティ省エネ活動は後付けのランニングコスト削減）？

が挙げられる。

制約はファシリティ・装置・オペレーションの相互関係に起因し、制約を排除することの中に全体最適につながる解がある。現在、さらに、JEITA 省エネ WG で潜在化している相互間の制約条件について、アンケート調査を進めている。

10-7-1-4-4 装置対策の重要性

図表 10-15 に、200mm ウェーハ及び 300mm ウェーハ各クリーンルームのファシリティと製造装置消費電力比率を表した円グラフを示す。本図の比較では、200mm では、ファシリティ 53% > 製造装置 47%、300mm では、ファシリティ 46% < 製造装置 46%となっており、消費電力比率の関係が逆転して、ウェーハ径の増大に伴い、製造装置の消費電力が増大していることが示されている。これは、従来の 200mm クリーンルームでは、省エネ活動の対象となる主体がファシリティであった(もちろん製造装置も省エネ活動の対象ではあった。)のに対し、今後は製造装置の消費電力比率が高まる傾向であり、この製造装置の省エネ化が必須である。



図表 10-15 生産ラインの消費電力内訳

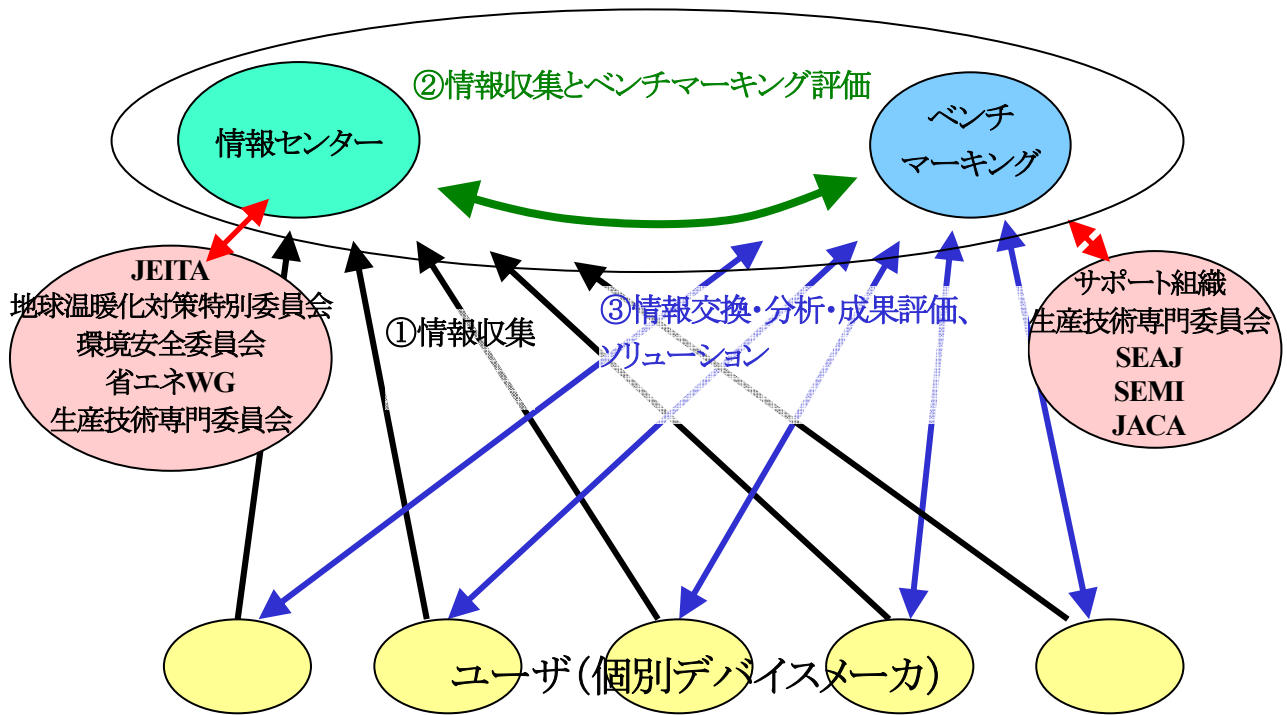
10-7-2 業界活動への提言

10-7-2-1 組織的提言

冒頭に記した様に、これまで省エネ活動は、個々の企業努力に向けられていて、前面に出ることが少なかった。また、ファシリティ分野などで、省エネアイテムの実施事例とその効能が公の場に報告されたとしても、その報告の対象となる指標が揃っていない。そのため、妥当な評価となっているのか判断ができていなかった。

さらに、製造装置の省エネ改善の分野では、いままで、個別企業で実施された情報が外に出ることが無く、業界全体としての省エネ活動としては、停滞状態にあった。

本 WG での議論の結果、省エネ活動加速化へ向けて、省エネ情報共有化の仕組みを提言した。図表 10-16 に情報共有化とそのベンチマーキングの仕組みの模式図を示す。ここでは、ユーザ(個別デバイスメーカ)からの省エネに関する情報(消費エネルギー評価データ、改善手法、改善成果など)を収集し、それらに対する評価指標の決定と分析を行うベンチマーキング評価そして、評価結果とそれによる改善アイテム(ソリューション)をユーザに対して提供する機能を有する組織を提案する。



図表 10-16 情報センター・ベンチマーキング構想

この省エネ活動に関する情報(事例)の共有化とベンチマークによって、半導体業界における、省エネ活動の促進とモチベーションの向上を図ることができる。

情報共有化組織の業務詳細は、下記内容を想定している。

- 組織間の調整
 - 国際対応(WSC、SEMI)
 - 国内対応(SEAJ、JACA)

国際対応としては、WSC への ESH 報告書作成の受け皿、また、SEMI に向けては、SEMI ガイド作成のためのユーザ要求のまとめやガイドラインの提示などが考えられる。SEAJ 殿、JACA 殿には、装置、ファシリティでの省エネ促進のための作業・開発などにご協力をお願いすることになる。

- 情報の共有化
 - 改善事例の共有
 - 成果の費用便益計算
 - ベンチマーキング業務

ユーザ、サプライヤ、コンソーシアからの省エネ情報取得とユーザ間でその情報共有が主体となる。その中で、特に、情報の公平評価のための指標決定、算出ルールの規程、その指標をベースにした、ユーザ改善事例情報の取得評価、個々事例の改善成果の費用便益算出、それらの個々事例効果の比較やユーザ毎の総合的評価結果の比較をするベンチマーキング業務を主体として考えている。これらの情報を参加ユーザ間でシェアすることにより、ユーザは公正な自らの位置付けを知ることができる。また、同時に、効果の最も大きな改善手段(BKM: Best Known Method)を知ることができる。

- 業界活動事務局
 - モデル会社プロジェクト制度事務局
 - 業界への広報宣伝
 - ガイドライン作成

● 情報可視化インフラ

⇒リアルタイムの装置/ファシリティ消費エネルギーの把握

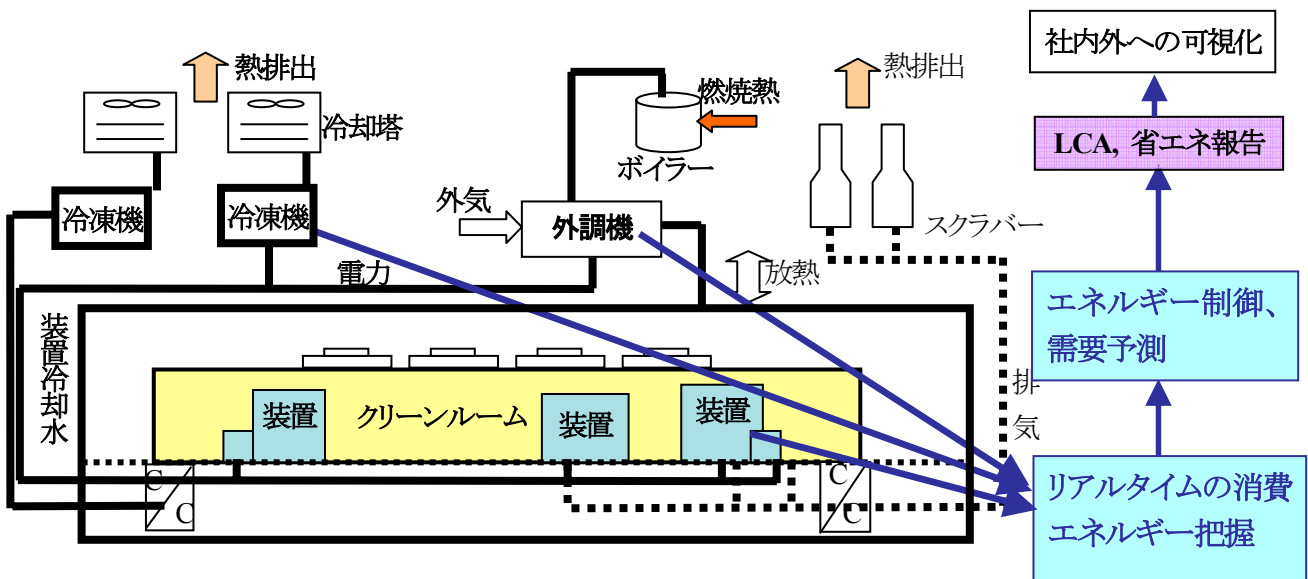
特定な開発・改善テーマによっては、ユーザの中で、モデル会社を募り、プロジェクト方式をとって、テーマの試行を行う。そのプロジェクトの取りまとめを行う事務局の役目を本提案の情報センター組織が担うことも考えられる。

その他、参加ユーザの要求を代表して、ガイドラインを作成し、サプライヤ、コンソーシアなどに広報する業務や、後述する技術的提言内容であるリアルタイムの消費エネルギー把握などの、指標データの取得手段などの改善のための共通インフラ整備促進のための広報活動を担うことができる。

10-7-2-2 技術的提言

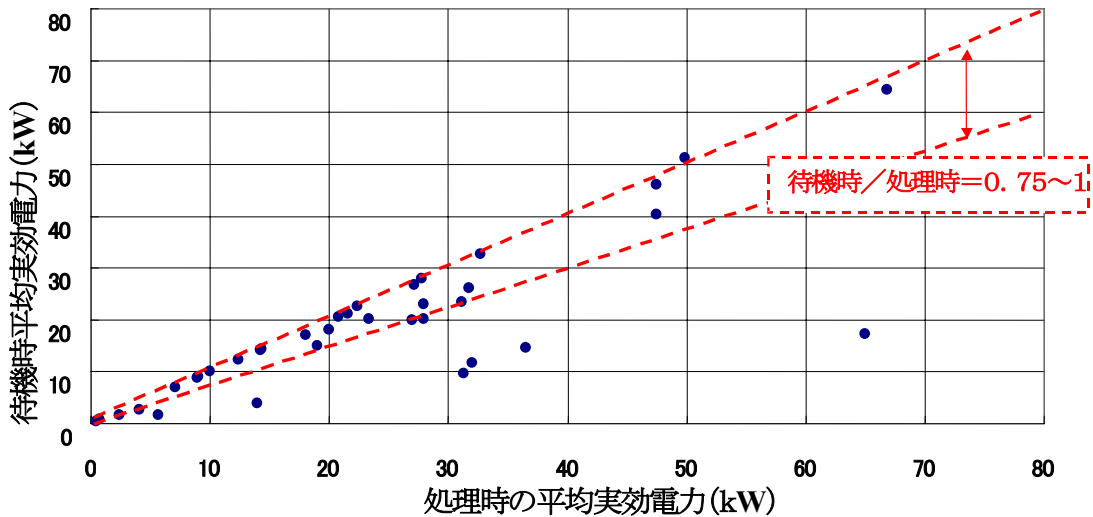
10-7-2-2-1 省エネのための可視化

同時に、本WGは、省エネのための技術的なインフラ整備について、提言する。クリーンルームの省エネ改善施策を進める上で、ファシリティ設備や製造装置の消費電力そしてそれらに關係する装置からの発熱、排気温度、冷却水温度など詳細評価が必要になる。これらの詳細評価データの可視化は、省エネ施策を実施すべき対象の絞りこみや、ファシリティ運用、エネルギー制御のための需要予測、改善結果の評価データの取得に利用できる。そして、ファシリティ、装置からの廃熱処理をコントロールする全体最適施策や装置運用、レイアウト、廃熱再利用などの更なる省エネ推進が企業間でのベンチマーク(情報共有、流通)として利用できる。



図表10-17 省エネルギーのための可視化

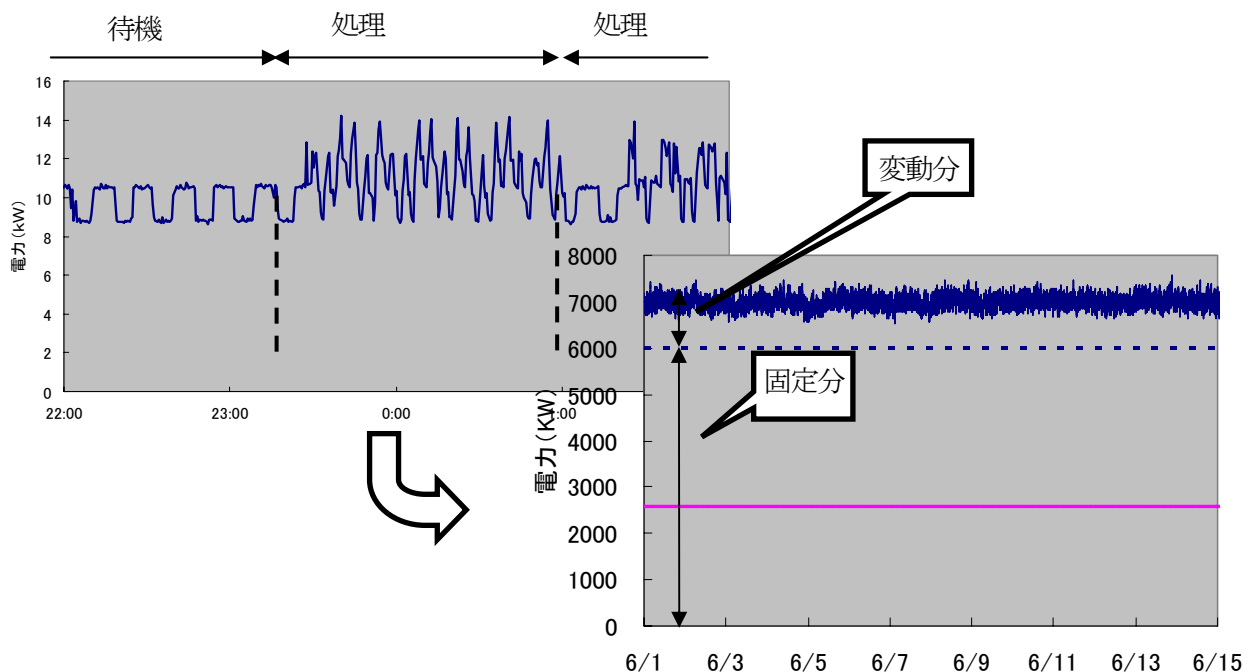
消費エネルギーに対する可視化により、得られる消費エネルギーの詳細把握の代表的なものとして、装置エネルギーの変動管理を挙げる。



図表10-18 処理時vs待機時 平均実効電力相関

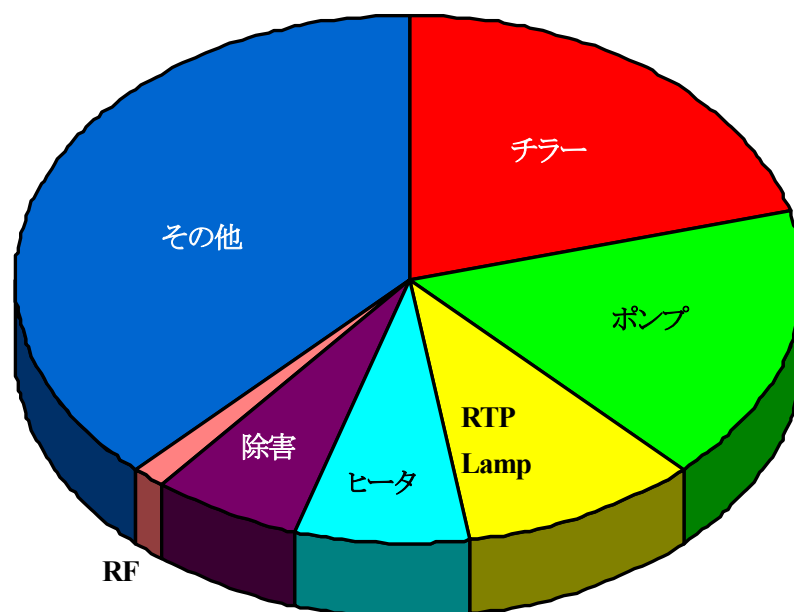
様々なタイプの装置の処理時及び待機時それぞれの消費電力平均実効値を図表10-18にプロットした。ここでは、各装置の処理時と待機時の消費エネルギーが同じであることがわかった。装置待機時は、クリーンルームにとって、付加価値を生まない時間である。この待機時エネルギー削減施策が重要である。

この装置消費電力について、装置個別に詳細を追ってみる。その例として、図表10-19にリアルタイム(時間単位と日付単位)に追ったものを示す。待機時と処理時にそれぞれに、常時エネルギー消費している固定分とウェーハ単位で発生している変動分が存在することが把握できる。このリアルタイムの消費電力データの把握によって、最大エネルギーの見積りと固定部分の把握による消費エネルギー低減見積りができる。装置の待機時電力に対する低減によって、一般的製造ラインの消費電力は最大30%程度削減可能である。そして、製造ライン全体の80%程度を占める、装置の固定分電力の分析が、省エネ/ランニングコスト低減に非常に有効である。



図表 10-19 エネルギーの変動管理:消費電力固定分の把握

更に、クリーンルーム内の製造装置全体として、この消費電力の固定分について、装置内のどの部位で消費されているのか追跡をしてみると、図表10-20に示す円グラフの様な配分であることがわかった。このようなデータの可視化によって、省エネ改善の対象を絞ることができる。



図表 10-20 装置主要部品毎の消費電力(固定分)

10-7-2-2-2 (ファシリティ) 省エネルギー活動フローの再構築

省エネルギーの対象の多くは、既存工場である。既存工場の省エネ改善を進めるためには、上記で述べた可視化によるエネルギー消費状態の詳細を把握の次に、既存工場設計の既成概念に対し再分析・再評価の検討が必要となる。これには、

- ◆エネルギーのジャストインタイム(必要なとき、必要なエネルギーを、必要なだけ)から従来のエネルギーフローの見直しの必要性
- ◆熱力学、流体力学的な観点からの原理・原則と実態との対比
- ◆既存要素の最適再構成による徹底したエネルギーロス低減
- ◆既存工場の全体改造(高額投資)による大きな効果(コストダウン)の創出

という一連のフローが必要になる。

これらは、具体的には、例えば、

⇒効率(COP: Coefficient of Performance)を考慮して必要な供給温度の見直し

冷水の二重化: 冷却水設定として従来5°Cであったものを5°Cは潜熱処理として、14°Cを顕熱処理とする。

⇒変動に対する過度な余裕度の見直し

単一送水系化: 従来1次・2次ポンプに二重化していたものを2次ポンプ廃止する。

⇒廃熱ロス活用性の見直し。生産冷却水戻り、コンプレッサ廃熱、他

⇒熱の水搬送化

等が挙げられる。

10-7-2-2-3 自動制御による新しい全体最適化技術

一方、最近ファシリティサプライヤーから、全体自動制御システム提案もある。これにより、高い省エネ施策を実現し、ファシリティの省エネポテンシャルを最大限引き出すには、機器のネットワーク化と全体自動制御化が不可欠

である。工場の可視化との観点でもファシリティのネットワーク化・自動制御化の方向を把握する必要がある。ファシリティの完全自動制御システムにより、下記の有効性を実現できる。

- ⇒マニュアル不可能な高度制御、高い省エネレベルの実現
- ⇒マニュアル制御で実現できないファシリティシステムの持つ潜在的省エネレベルを達成
- ⇒要素機器特性と全体系への影響考慮した全体最適制御
- ⇒必然的にプラントエネルギー可視化と高精度実績把握(CO₂排出権取引への対応)
- ⇒気候変動、生産変動など環境変動への予測制御実現

10-7-3 提言の狙い

10-7-3-1 装置改善のインパクト

上述した、消費エネルギーのリアルタイムな可視化のためには、装置、ファシリティの消費エネルギー測定位置毎に、検知のためのインターフェースを設置することになる。これらの検知インターフェースが、装置、ファシリティの種別なく標準化されていれば、被測定部位のインターフェースあるいは、検知センサーのインターフェースにおいて共通化される。よって、必要な箇所をジャストタイミングで、データ収集を最低限のインフラ投資により、実現できる。

10-7-3-2 情報共有化のインパクト

前述の様に、ベンチマーキングによって、ベスト手段の洗出しと把握、そしてユーザ各社で自社状況を把握することができる。これによって、成功体験の継承などより、省エネ活動としてのモチベーションの向上とシナジー活動を誘発することができる。

10-7-3-3 情報共有化組織による社会的インパクト

本WGにて提案した情報共有化組織によって、わが国の半導体業界の競争力の回復、向上に貢献できると信じている。そして、国際的対応により、世界半導体業界への貢献することができる。

また、同時に、これは半導体業界の温暖化対策の限界の打破をも意味する。このことにより、半導体及び関連業界の温暖化対策への取り組み姿勢を表明したい。

10-7-4 まとめ

以上、本WGの議論から、

- デバイス・装置・ファシリティメーカーの協力が省エネ活動の成否を決定する。
- 相互に情報が見える仕組みが必要である。

という、共通認識を持った。

これには、身近で、具体的な協業活動から進めることが大事である。