

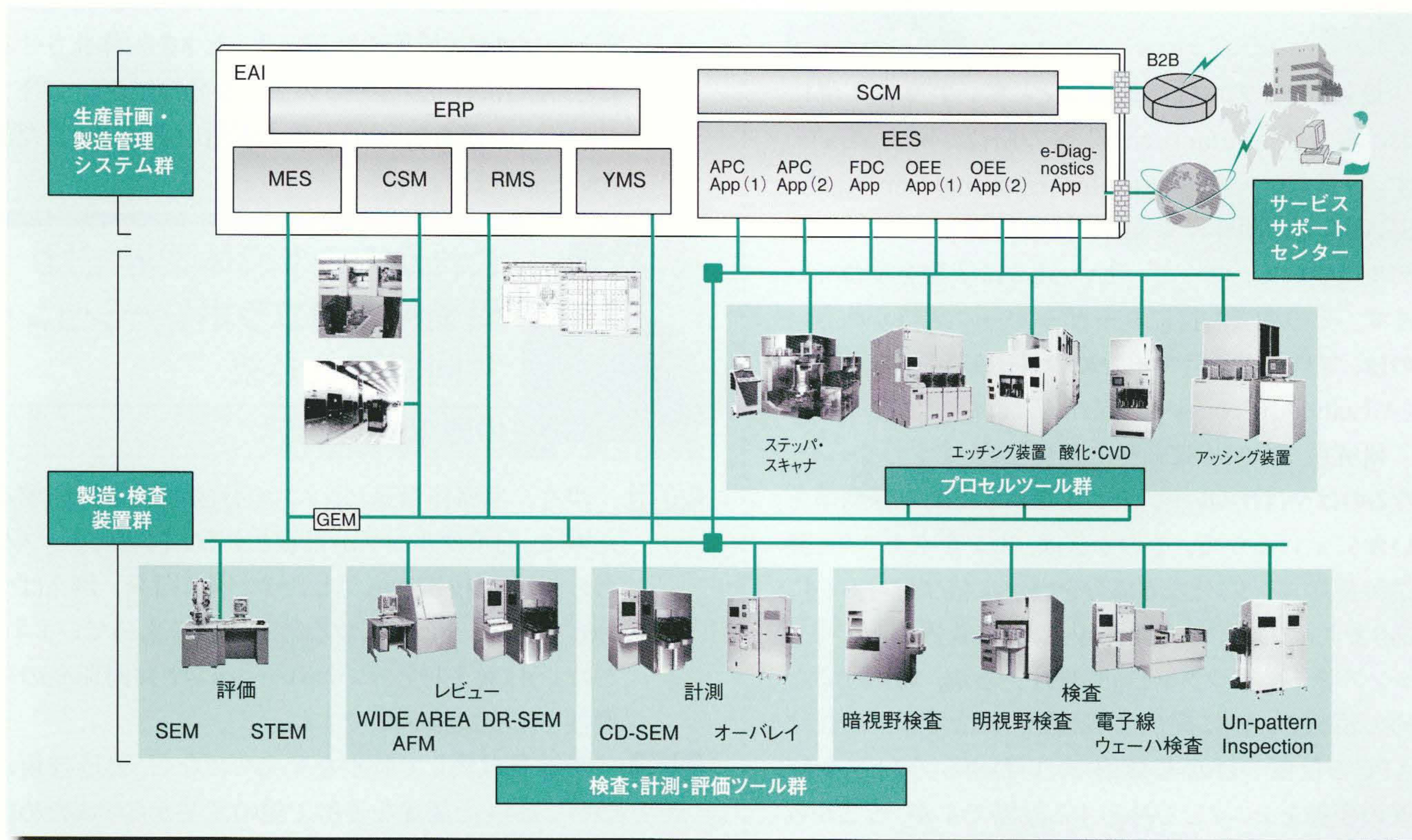
次世代半導体生産を実現する e-Manufacturingへの取り組み

e-Manufacturing System for Next-Generation Semiconductor Production

宇佐見康継 Yasutsugu Usami
川田 勲 Isao Kawata

山本秀之 Hideyuki Yamamoto
森 弘義 Hiroyoshi Mori

谷口素也 Motoya Taniguchi



注：略語説明

EAI(Enterprise Application Integration), ERP(Enterprise Resource Planning), MES(Manufacturing Execution System), CSM(Carrier System Management), RMS(Recipe Management System), YMS(Yield Management System), SCM(Supply Chain Management), APC(Advanced Process Control), APP(Application), FDC(Fault Detection and Classification), OEE(Overall Equipment Effectiveness), e-Diagnostics(遠隔診断), B2B(Business to Business), GEM(Generic Equipment Model), CVD(Chemical Vapor Deposition), SEM(Scanning Electron Microscope), STEM(Scanning Transmission Electron Microscope), AFM(Atomic Force Microscope), DR-SEM(Defect Review SEM), CD-SEM(Critical Dimension SEM)

日立グループが提案する次世代半導体生産ラインのためのe-Manufacturingの全体構成

次世代半導体生産ラインでのe-Manufacturingでは、生産計画・製造管理システム群、製造・検査装置群とサービス サポート センターをIT(情報技術)で接続し、情報を有効利用することにより、生産性を向上させる。

次世代半導体工場では、サブ100 nm時代の微細化対応と、300 mm径ウェーハを中心にした生産効率の改善が求められている。特に半導体デバイスの低価格化、開発期間の短縮(QTAT化)、および製品の短寿命化に対応するため、生産性向上をシステムとして実現することが半導体メーカーとしての必須条件となっている。

日立グループは、このようなニーズにこたえるために、次世代半導体生産ラインのe-Manufacturingを支援するソリューションを提案している。

1 はじめに

今日、半導体・電子部品業界では、IT化による構造変革と利益率改善が大きな課題となっている。利益率を最も圧迫している開発投資と設備投資への改善策とし

て、ITを活用した“e-Business”構築と“e-Manufacturing”構築が注目されている。

ISMT[International SEMATECH(Semiconductor Manufacturing Technology)]発表の「半導体デバイス製造におけるチップコスト性能比の削減動向」を図1に示す。

従来、半導体デバイスでのチップコスト性能比の削減には、微細化による性能向上やウェーハ大口径化による取得チップ数の増大が寄与してきた。今後ともデバイスの微細化による性能改善は、ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors)で提案されているように、積極的な進展が予想される。しかし、ウェーハの大口径化は、近年の300 mmウェーハの登場以降、プロセス装置と搬送装置の大型化、枚葉処理技術の導入などで複雑さを増している装置設計とともに、設備投資負担に大きく影響しつつある。

同様に、歩留りの改善は、過去10年間にわたってはプロセス管理の焦点であるが、測定、検査および分析・評価を行う検査装置を常に更新することにより、達成されてきた。10年前までは、プロセス管理用検査システムの全製造設備投資額に対する比率は約5%であったが、最近では10~20%を占めるようになっている。しかし近年、高感度な検査装置の導入による欠陥データの収集は、出力データの急増とデータ解析時間の増加、さらに、コストアップの要因となっている。このため、チップコスト性能比の削減を担う主な課題として、製造装置の運用効率“OEE(Overall Equipment Effectiveness：以下、総合装置効率と言う。)”の改善がクローズアップされてきた。

ISMTが調査した半導体工場での装置運用(装置実稼動状況)の現状と、これに対する装置メーカーへの要望を図2に示す。この調査により、現状の総合装置効率は43%に過ぎず、工場稼動時間の半分以上は実生産に寄与していないことがわかる。

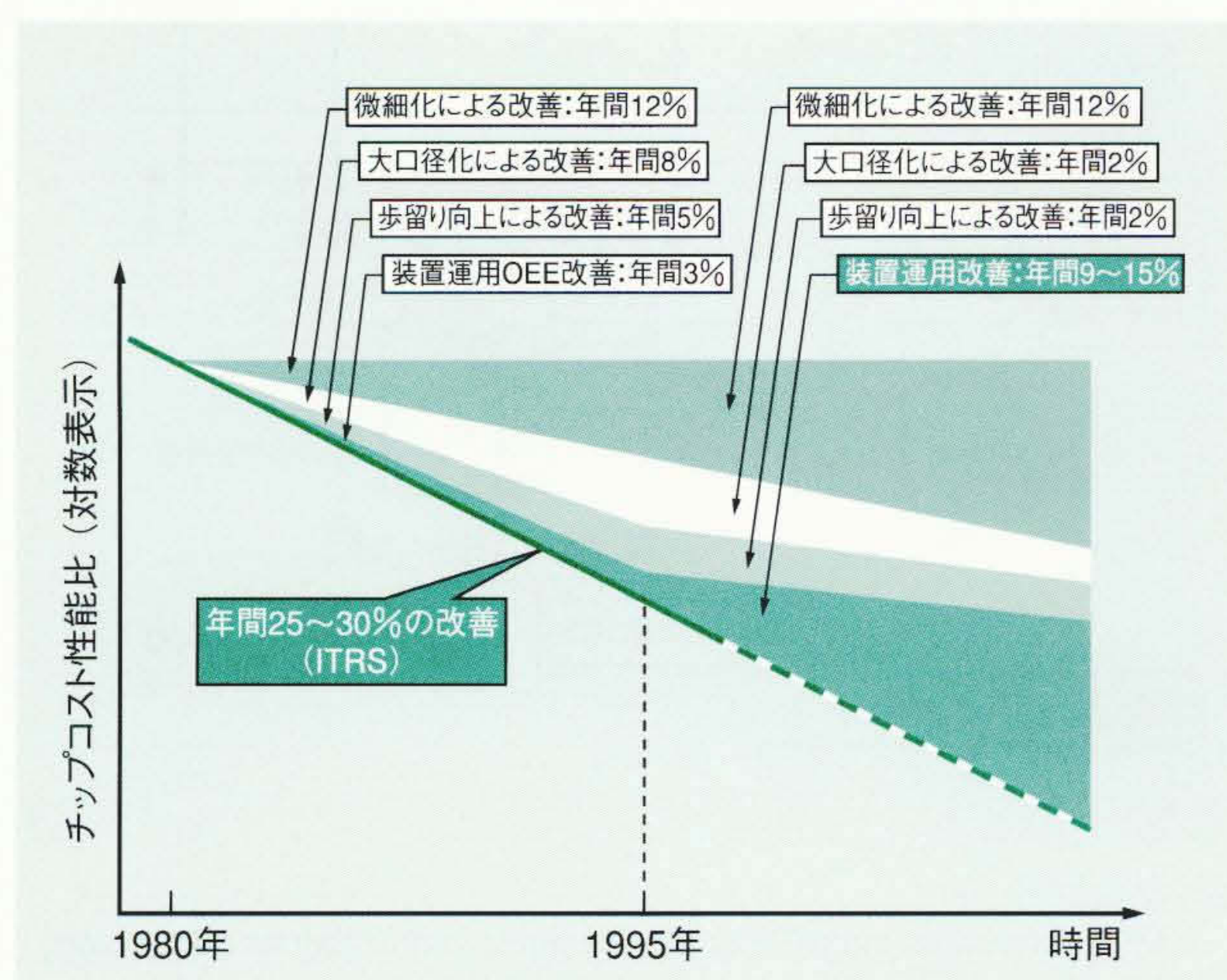


図1 半導体デバイス製造におけるチップコスト性能比の削減
チップコスト性能比を削減するためには、装置運用効率を年間9~15%改善する必要がある。

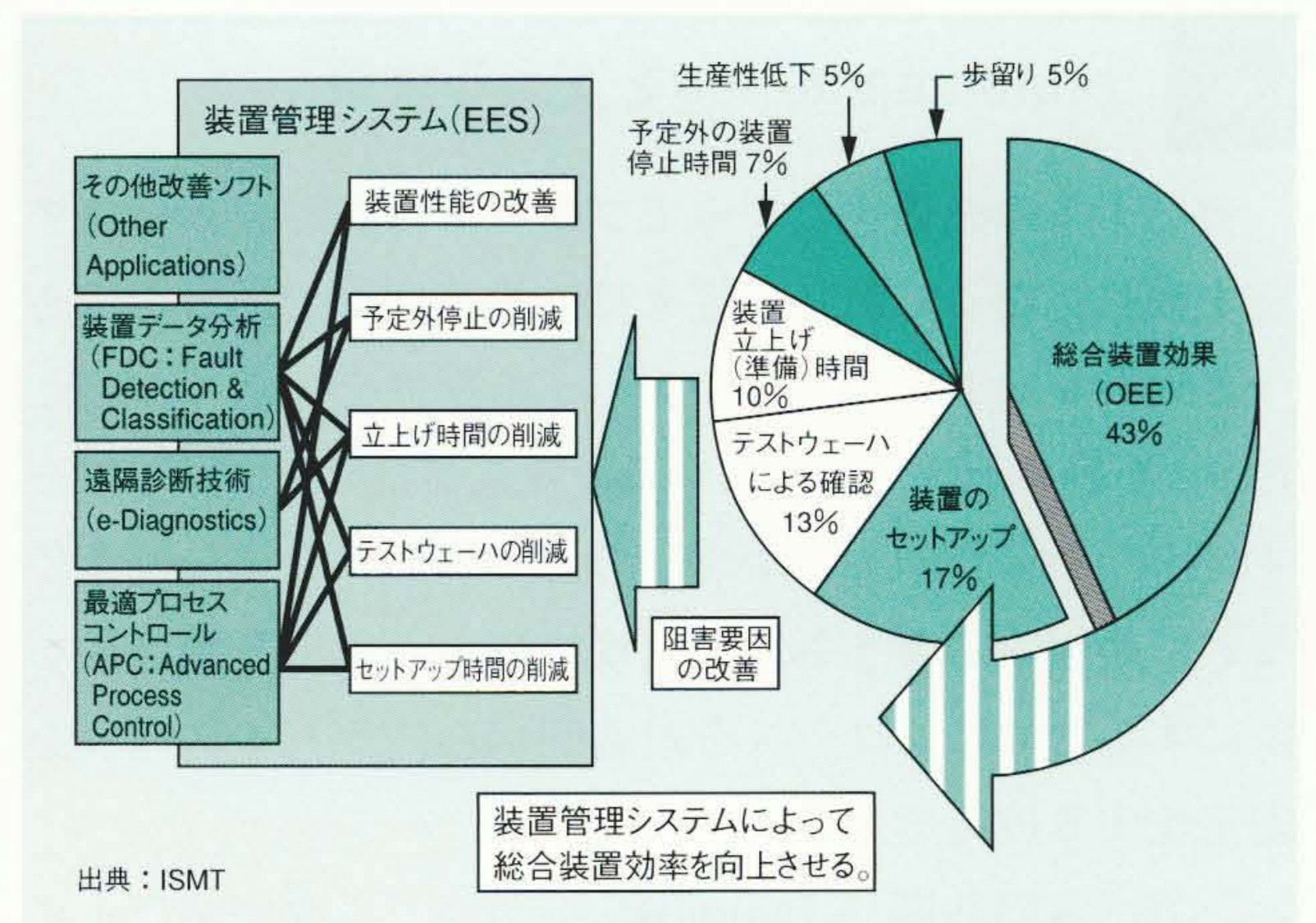


図2 半導体工場における装置運用(装置実稼動状態)実績と装置メーカーへの要望

最適プロセスコントロールや遠隔診断などの機能を実現する装置管理システム(EES)を新たに導入して、総合装置効率(OEE)を向上する。

総合装置効率低下の主要要因の一つである「装置のセットアップ時間」には、前の処理が正しく行われたか否かの判断や処理条件の変更時間が含まれる。また、「テストウェーハによる確認」作業には、プロセス装置の異物発生状況の事前確認や、露光工程での「試し焼き」と呼ばれる露光条件の最適化などが含まれる。従来、これらプロセス条件の設定は開発段階で決められていたが、今後の微細加工ではさらにプロセス裕度が小さくなり、また装置間の機差や変動によって条件再設定の時間が増大していく。一方、「装置立上げ(準備)時間」や「予定外の装置停止時間」では、プロセスノウハウや装置管理技術を持つエキスパートの対応が必要とされ、このための複雑な作業をオペレータに負担させている。

これら総合装置効率の阻害要因の改善には、装置のプロセス情報や稼動状況のデータの収集・分析・最適化予想を行う装置管理システム(EES: Equipment Engineering System)の活用が有効である。具体的には、装置からの多種多量な情報を管理するデータベース機能を持ち、そのフレームワーク上で稼動する最適プロセスコントロール(APC: Advanced Process Control)、遠隔診断(e-Diagnostics)、装置データ分析(FDC: Fault Detection & Classification)などの機能を実行管理するシステムである。

ここでは、これらe-Manufacturingを支えるコア技術として日立グループが取り組んでいる最適プロセスコントロール技術と遠隔診断技術、および今後のビジネスへの展開について述べる。

2 e-Manufacturingを支える技術

デバイスの微細化によってプロセスの許容誤差はますます厳しくなっており、従来は許容範囲内であったばらつきやドリフト変動などがデバイス特性を大きく左右したり、不良の原因となっている。最適プロセスコントロール(APC)は、プロセス条件、装置の機差、ウェーハ条件などに起因するさまざまな精度のばらつきや変動を最小限にするためにプロセスを最適制御し、デバイス品質を安定化する技術である。

一方、遠隔診断(e-Diagnostics)は、インターネットによってデバイスメーカー(工場)のサイトの製造装置にアクセスし、装置診断を行うことにより、保守コストの削減、予測メンテナンスの実現を目的とする技術である。具体的には、承認された装置サプライヤーのサービス員が、デバイスメーカーの施設や工場の外部からインターネット接続を利用して重要な生産装置や設備装置にアクセスできる機能を持っている。

2.1 リソグラフィー工程の最適プロセスコントロール(APC)技術

リソグラフィー工程におけるAPCの適用モデルを図3に示す。リソグラフィー工程は、複数台の露光装置と「トラック」と呼ばれるレジスト塗布・現像装置で構成する。また、プロセスの正常性を管理する計測・検査装置として、「オーバレイ」と呼ばれる、重ね合わせ誤差を計測する装置や、微小寸法(CD: Critical Dimension)を測定するCD-SEM(走査電子顕微鏡)が重要な役割を果たす。

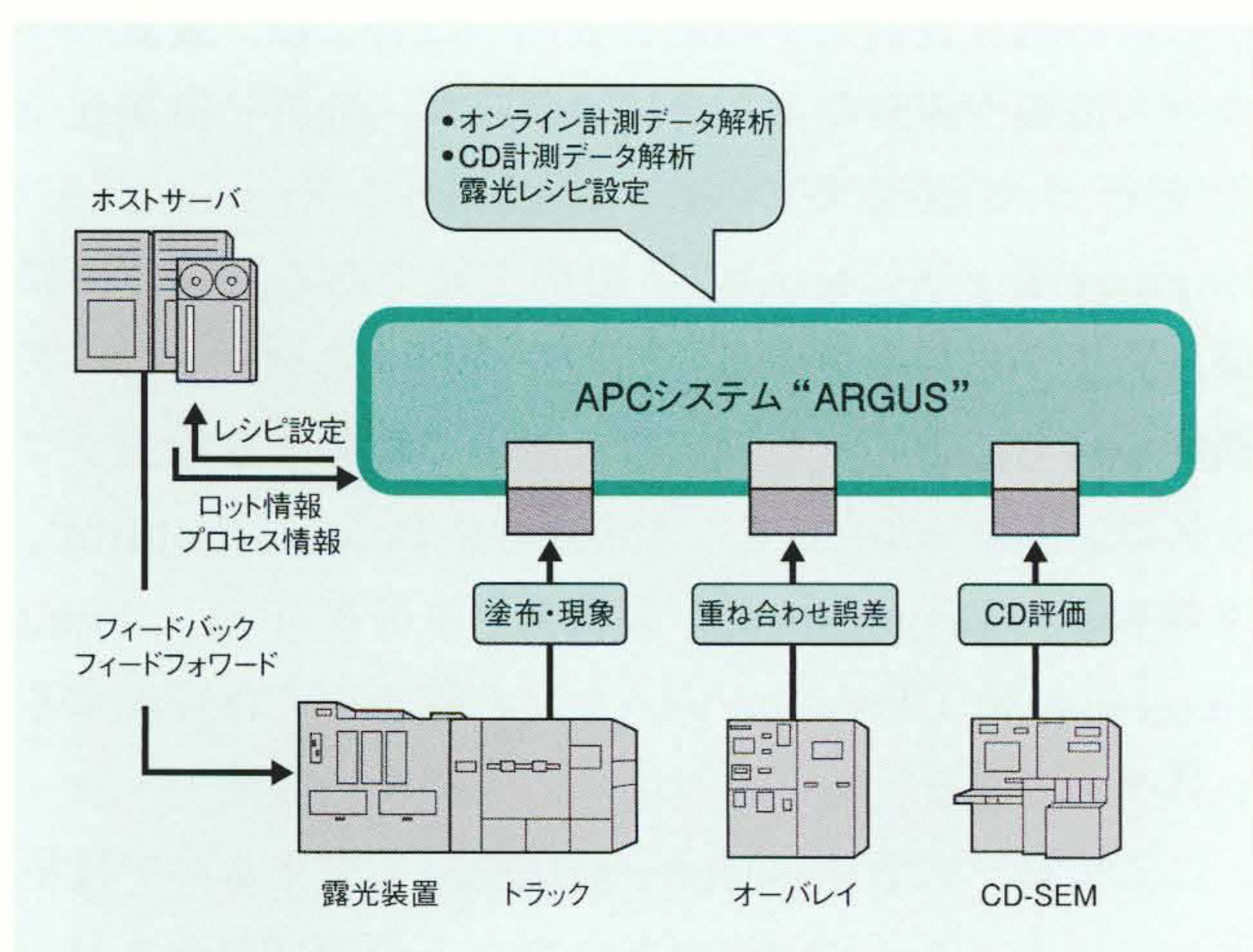


図3 リソグラフィー工程のAPCシステムの構成

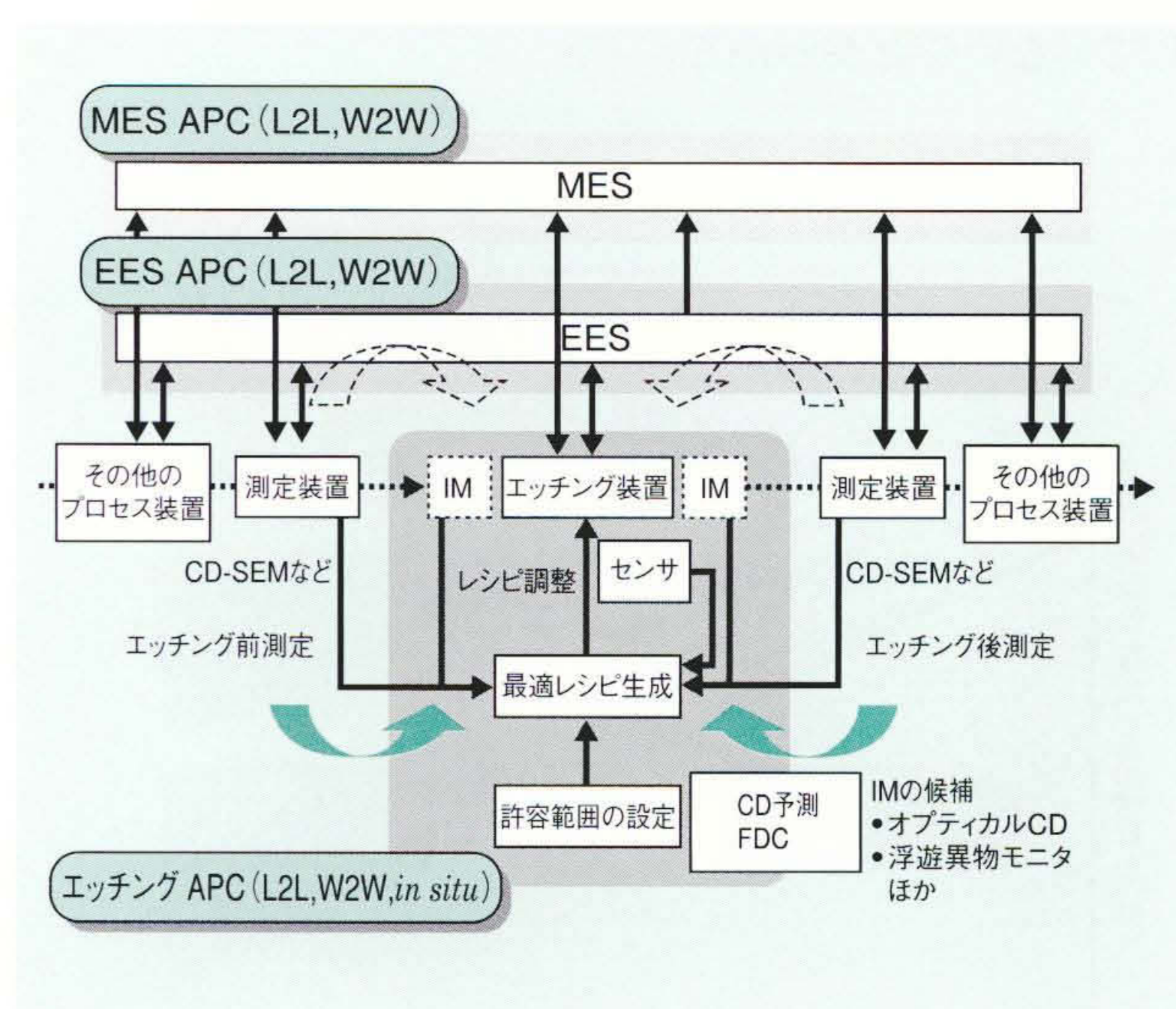
ARGUSでは、プロセス後の変動を検知、解析し、処理レシピを補正することで、プロセス変動の安定化を図る。

日立グループは、CD-SEMおよびオーバレイの供給メーカーとして多くの顧客ユーザーからリソグラフィー工程の検査管理に関するニーズを把握し、その安定化に努めている。このような知見を基に、New Vision Systems社と協力し、APCシステム“ARGUS”^{※)}を提供している。ARGUSは、オーバレイ、CD-SEMなどの測定装置からのデータを取得し、プロセスの変動を監視するとともに、プロセス装置を“Run to Run”制御(プロセス実行ごとにフィードバック・フォワード制御を行う技術)する統合化システムである。また、プロセス後の変動を検知、解析し、処理レシピを補正することでプロセス変動の安定化を図る。

多くのAPCソフトウェアメーカーはフレームワークだけを提供しており、コンテンツであるデータ解析や制御用プログラムはユーザー自身が作成しているが、ARGUSでは、データ解析とプロセス制御を行う機能を含むソリューションを提供する。

さらに、多品種・小ロット生産工場にも対応した高精度解析機能を持っているので、露光装置の総合装置効率向上とTAT(Turnaround Time)の短縮に寄与するほか、先行ウェーハの削減やリワーク(再生)率の低減などによるコスト低減も大きい。

※) “ARGUS”は、New Vision Systems社の登録商標である。



注：略語説明

MES (Manufacturing Execution System), IM (Integrated Metrology)
L2L (Lot to Lot), W2W (Wafer to Wafer)

図4 エッチング工程のAPCシステムの概要

エッチング工程での装置モニタと最適処理レシピの管理を行うエッチングAPCのシステム概要を示す。

2.2 エッチング工程の最適プロセスコントロール(APC)技術

エッチング工程における装置モニタと最適処理レシピの管理を行うエッチング工程のAPCシステムの概要を図4に示す。

エッチング工程では、微細化と多品種少量生産が進行していく中で、装置起因の変動だけでなく、エッチング装置以外で発生する製品起因の変動にも、常に最適なプロセス処理条件を設定し、要求仕様どおりに加工することが求められる。

日立グループは、このようなニーズにこたえて、エッチング装置におけるプロセス性能の変動監視と制御技術の基礎検討を早くから開始してきた。現在は、さらに高度なエッチング工程のAPCを目指し、プロセス性能・状態を“*in situ*”（「その場」での）で的確にモニタするための各種センサ技術や解析技術、Run to Run制御などの各種制御技術、オプティカルCDなどの計測器をエッチング装置に組み込む“Integrated Metrology”技術、CD-SEMとのデータ連携を行うデータ抽出・ネットワーク技術など、多くのAPC関連技術の開発を進めている。

中でもIntegrated Metrologyは、プロセス装置に各種検査装置を統合することにより、以下の成果を得るものである。

- (1) インラインまたは“*in situ*”での“Wafer to Wafer”のQC(Quality Control)が可能となり、装置の稼働率とオペレータの効率が向上
- (2) プロセス装置内で、処理前後または処理中の状態確認が可能となり、プロセス制御の精度が向上
- (3) 高速かつウェーハ全数のQCが可能となり、スタンダードアロン式のプロセス管理ツールに比べて品質管理精度が向上

日立グループは、処理中のウェーハ周辺での異物の挙動をリアルタイムに計測する「浮遊異物モニタ」や、ウェーハ表面の膜厚や物理的な形状・寸法を測定するオプティカルCDなどを統合することで、エッチングプロセスの制御性の向上を推進していく。

2.3 e-Diagnosticsシステム

日立グループの装置専門技術者が日立側の拠点からデバイスメーカーのサイトにある装置の立ち上げ、診断および修理を行うシステムであり、以下の成果が期待できる。

- (1) MTTR(Mean Time to Repair)の短縮
- (2) 装置稼働率の向上
- (3) 装置保全費用の低減(保守費、人件費など)

ISMTは、e-Diagnosticsに関するガイドラインを順次

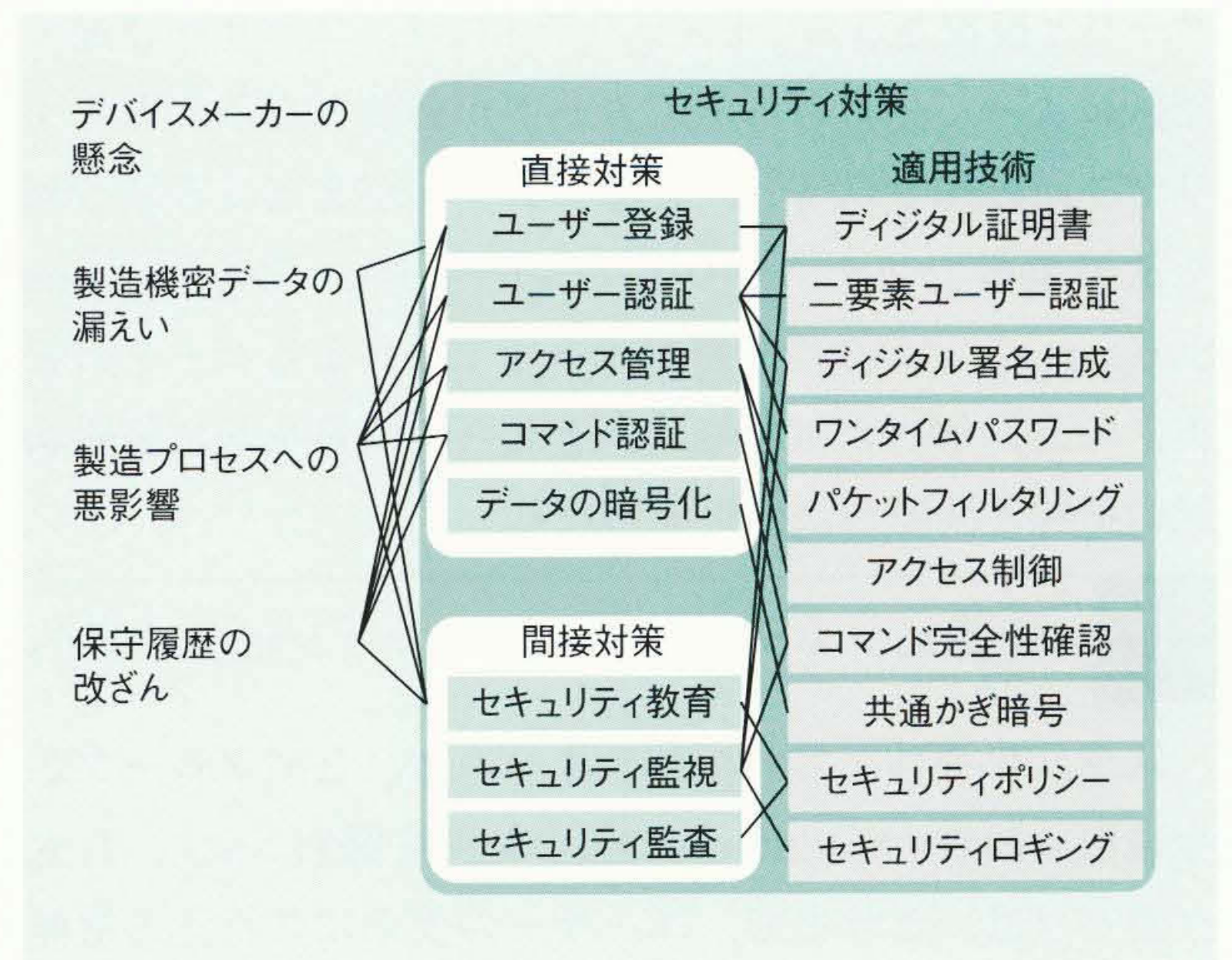


図5 セキュリティ対策と対応技術

e-Diagnosticsでは、セキュリティ技術によってデバイスメーカーの機密データや製造プロセスを保護する。

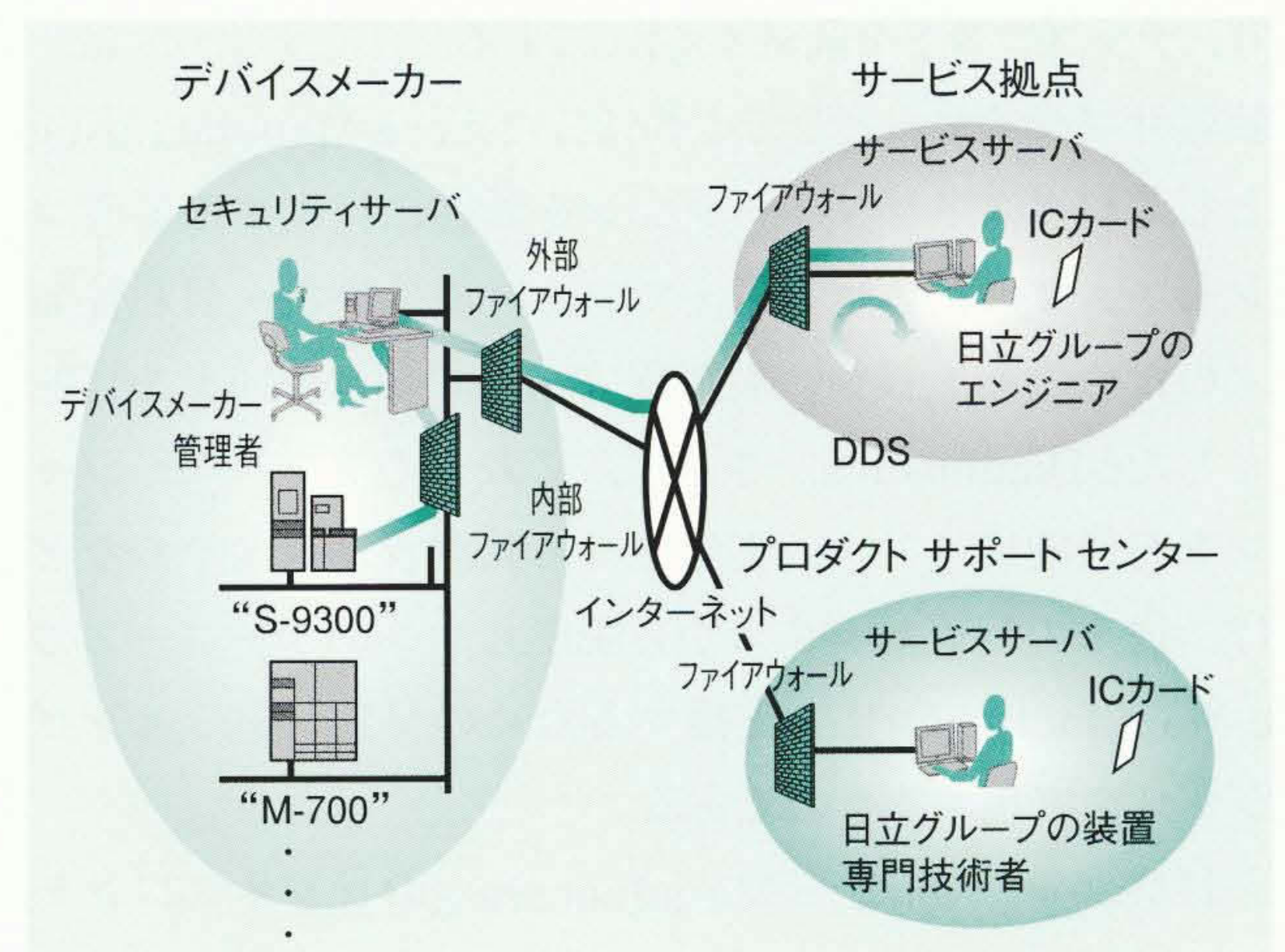


図6 e-Diagnosticsシステムの構成例

デバイスメーカーとサービス拠点およびプロダクトサポートセンターを結んだe-Diagnosticsシステムの適用実施例を示す。

発表している。日立グループは、他社に先駆けて先進デバイスメーカーのニーズにこたえている。

e-Diagnosticsに対するデバイスメーカーの懸念とそれらに対応する日立グループのセキュリティ技術を図5に示す。e-Diagnosticsでは、装置をデバイスメーカーのサイト外からインターネットでアクセスするため、製造機密データの漏えい、製造プロセスへの悪影響、保守履歴の改ざんなどが懸念される。これに対し、日立グループは、デジタル証明書、二要素ユーザー認証などの技術を開発し、データのセキュリティを確立する。

e-Diagnosticsの適用実施例の構成を図6に示す。デバイスメーカーサイトの装置は、セキュリティサーバとファイアウォールを経由してサービス拠点のサービス

サーバと接続される。セキュリティには、ユーザー登録・認証によって発行されるICカードが必要となる。セキュリティが確保されると、各種ナレッジが豊富に蓄積された故障解析システムやDDS(Defect Part Diagnostics Support)などの故障診断ソフトウェアによるデータの収集、転送、解析が実行され、それらの情報を基に装置状態の把握と問題解決が可能となる。

3 装置ビジネスからソリューションビジネスへ

次世代半導体工場の全体スキームと、日立グループが今後取り組むe-Manufacturingの範囲を図7に示す。日立グループは、これまで、ユーザーの要求にこたえる機能と性能を持つ検査・計測、製造装置、歩留り向上支援システムなどの製品・システムを供給してきた。しかし、近年の顧客ニーズは、「いかに総合装置効率の向上を図り、チップコストを低減するか」にある。日立グループは、装置サプライヤーとしてこれにこたえ、e-Manufacturingとしてのベストソリューションを顧客に提供する事業コンセプトと供給体制を備えている。装置性能・信頼性向上のためのAPC技術、装置保守・サービスの向上を目的としたe-Diagnostics、さらに、これらのアプリケーションを有機的にリンク、実行させる装置管理システムなどは、従来の装置ビジネスから脱皮し、ユーザーニーズのe-Manufacturing化を支援するためのソリューションビジネスを実現するものである。

日立グループは、e-Manufacturingのビジネスコンテンツ(情報制御システム群、装置・システム群)と、新機

能(装置管理システム、APC、e-Diagnosticsほか)への技術対応力を持つ(図7参照)。今後、製品力・技術力のシナジーを発揮することで、顧客ニーズに合わせた最先端製造装置から上位システムまでのベストソリューションを提案していく。

4 おわりに

ここでは、日立グループが取り組んでいる最適プロセスコントロール(APC)技術と遠隔診断(e-Diagnostics)技術、および今後のビジネスへの展開について述べた。

現在、日米を中心とする半導体関連団体がe-Manufacturingを実現するための各種ワークショップや標準化の活動を進めている。これにより、e-Manufacturingによる次世代半導体工場が具体化しつつある。

日立グループは、このような関連団体の活動に参画し、半導体・電子部品業界のe-Manufacturingの推進に貢献していく。

執筆者紹介



宇佐見康継

1984年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジー デバイス製造装置事業統括本部 第一事業企画部 所属
現在、半導体新ビジネス創生業務に従事
日本真空協会会員、日本電子顕微鏡学会会員
E-mail: usami-yasutsugu @ nst. hitachi-hitec. com



川田 勲

1979年日立東京エレクトロニクス株式会社入社、株式会社日立ハイテクノロジー デバイス製造装置事業統括本部 事業企画部 所属
現在、次世代ソリューションビジネス創生業務に従事
E-mail: kawata-isao @ nst. hitachi-hitec. com



山本 秀之

1984年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジー 設計・製造統括本部 笠戸事業所 設計部 所属
現在、エッチング装置のAPC/e-Diagnostics技術の開発業務に従事
E-mail: yamamoto-hideyuki @ sme. hitachi-hitec. com



森 弘義

1978年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジー 設計・製造統括本部 那珂事業所 エレクトロニクスシステム第一設計部 所属
現在、APCシステムビジネスに従事
E-mail: mori-hiroyoshi @ naka. hitachi-hitec. com



谷口 素也

1976年日立製作所入社、株式会社日立ハイテクノロジー グループ戦略本部 戦略企画部および研究開発推進部 所属
現在、主に日立グループ半導体製造装置関連部門との各種コラボレーション業務に従事
工学博士
精密工学会会員
E-mail: taniguchi-motoya @ nst. hitachi-hitec. com

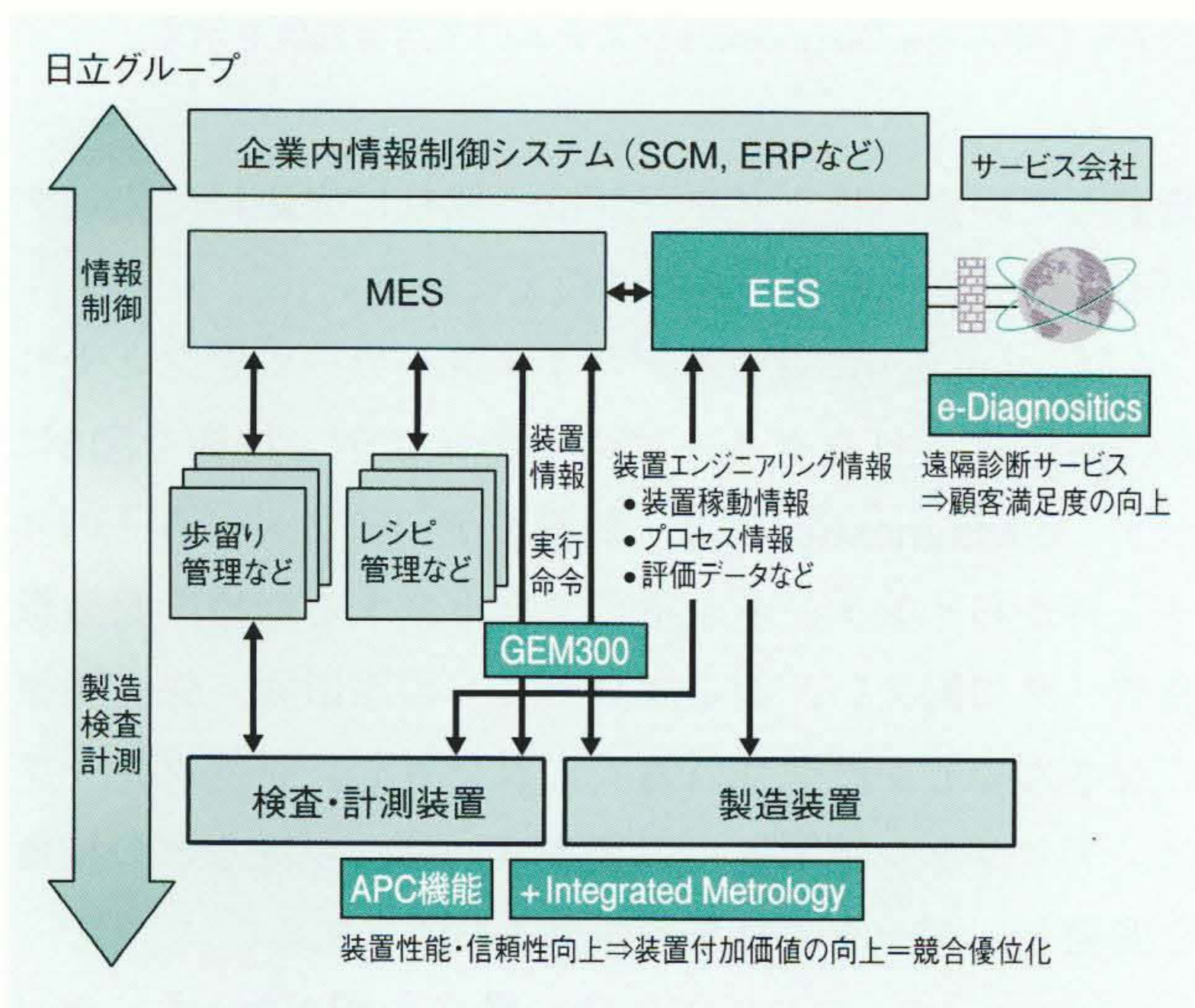


図7 e-Manufacturingの対象範囲

最先端製造装置から上位(情報制御)システムまで、顧客ニーズに合わせたベストソリューションを提案していく。