

# 製造データの超効率的解析による 高収益生産への挑戦

## Meeting the Challenge of High-Profit Production by Super-Efficient Manufacturing Data Analysis

株式会社 山武  
アドバンスオートメーションカンパニー

山縣 謙一  
Kenichi Yamagata

株式会社 山武  
アドバンスオートメーションカンパニー

黒澤 敬  
Takashi Kurosawa

株式会社 山武  
アドバンスオートメーションカンパニー

村上 英治  
Eiji Murakami

### キーワード

EES, FDC, EEQA/M, 統計処理, 切り出し, 代表値化, VM

半導体製造に代表される設備産業では、複雑なバッチ処理工程の組み合わせにより、製造ラインが構築される。さらに、市場の細やかなニーズに応えるために膨大な製造データ管理による品質改善が求められている。本稿では、独自のデータ解析手法を採用したプロセスデータ解析ツール Orchard Tequira™ による顧客品質向上へのアプローチについて述べ、膨大かつ複雑な挙動を持つデータの収集、データの容易な切り出し、特徴付け(代表値化)、統計処理、品質向上につながる管理状態の実現、これら一連の作業の一気通貫処理など要素技術の組み合わせにより構築したシステムによる課題解決方法について論ずる。

In industrial facilities, especially those for semiconductor manufacturing, production lines are constructed by combining complicated batch processes. In addition, quality improvements in order to meet the fine points of market needs require the management of enormous amounts of manufacturing data. This paper describes our approach to the improvement of product quality by making use of Orchard Tequira™, which adopts a unique data analysis method. This paper also discusses a solution method using a system that is established by combining elemental technologies such as the collection of huge amounts of complexly changing data, easy data extraction, characterization (calculation of representative values), statistical processing, actualization of controlled states that leads to quality improvement, and uninterrupted sequential execution of such processes.

## 1. はじめに

最先端の半導体製造プロセスでは歩留まりの改善と装置稼働率の向上が大きな課題となっている。諸問題の解決手段としてEES (Equipment Engineering System : 装置エンジニアリングシステム) が存在する。EESにより装置の稼働率改善につながる装置特性が可視化される。

山武では、独自のデータ解析手法を採用したEESである、Orchard Tequiraを開発し顧客の製品品質向上へ向けたソリューションを展開し、国内の最先端半導体製造プロセスの諸問題解決を支援している。

本論文の構成は、次のとおりである。第2章に現在抱えている製造データ管理・分析における諸問題について論じる。第3章にこれら諸問題を解決する手段として当社が開発したEESを紹介する。第4章にまとめと今後の予定を述べる。

## 2. 製造データ管理・分析における諸問題

最先端の半導体市場は実質的なビット単価ベースでは年率10%という非常に高いレベルのコスト低減を定常的に求められている特殊な市場であり、その実現のために半導体製造業各社は技術革新にしのぎを削っている。その市場における競争の典型は、ムーアの法則、

あるいは、More Than ムーア(図1)で推し進められている半導体素子の微細化であり、そのトレンドから外れないように市場にデバイスを供給し続けることが必要である。

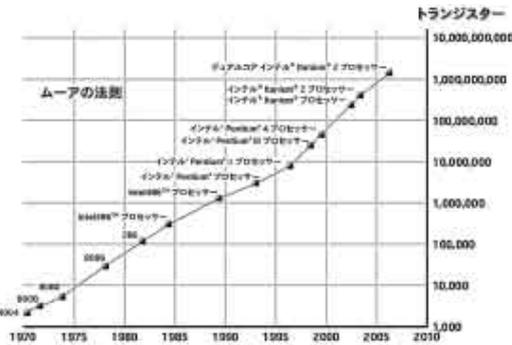


図1. ムーアの法則

(<http://www.intel.com/jp/technology/mooreslaw/> より引用)

半導体製造工程は、いわゆる設備産業の集合体であり、半導体製造装置が、各製造工程における品質のバラつきそのものを握っているといえる。

近年、バラつきのない製造装置で均一の処理を施すことにより品質のバラつきを最小にすることができるという思想に基づき、半導体製造装置が装置を稼働させる際に制御しているパラメータや、処理中にモニタできるセンサからの信号を1秒間隔あるいは数ミリ秒間隔という短周期で記録し、装置そのものの異常を検知したり、装置で加工される半導体の歩留まりに影響を及ぼす情報を検知したりする取組みが一般的に行われるようになってきた。このデータ収集システムはEquipment Engineering System(EES)と呼ばれ必要な仕様等も SEMI あるいは Selete といった団体から半導体装置メーカーに対する要求事項として提唱されるようになった<sup>(1)</sup>。

EES の活用の方向性としては、Fault Detection and Classification(FDC)と呼ばれ、主には半導体メーカーが製造工程の監視手法として用いるケースがある<sup>(2)</sup>。

また、半導体装置メーカーと半導体メーカーとの間で半導体製造装置の品質を保証するための手段としてEESを活用する取り組みはEEQA(Enhanced Equipment Quality Assurance)と呼ばれる<sup>(3)</sup>。

EES は、1つ1つの半導体製造装置が巨大なシステムであることから、そのデータの質と量(パラメータ数)がまず問題になる。従来は1つの工程である処理を施したときの処理条件の値として、1回の処理中の値を平均して1つの値に丸め記録していたため、パラメータ数が数百あったとしても、データの数として1回の処理当たり数百の値が記録されているだけであった。これに対し、EESは時系列のプロセスデータを短周期で連続的に取得するようになり、半導体製造工程におけるプロセスデータの量は従来に比べ桁違いに膨大になった。

またデータの質に関してみても、従来は、工程に問

題がありそうなときに振り返って、データを確認するために保存する程度だったのに対し、問題を検知したら、装置の稼働率に影響する「着工停止」シグナルとして使われる On-Line FDC 等に活用するようになったため、要求されるデータの信頼性とその活用方法の種類も増大した<sup>(4)</sup>。

「FDC等を行うためにEESデータをどう取り扱えば良いか」という視点に立って実際に取得したEESデータを見てみると、また、別の問題に直面する<sup>(5)</sup>。

即ち、より細かく装置の機器を監視し、デバイスに対する影響まで検知できるようにするために、バッチ生産方式が主で、設定されたレシピに従って変化するパラメータを監視する。従来どおりの幅の広いエラー・バンド管理では無理で、目標値に対して追従しているかどうかの厳密な管理が必要になる。レシピで目標値が変わってもその変わった目標値に対する追従性等をきめ細かに制御する必要がある。

それを実現するには多種多様な着眼点に基づいたパラメータを抽出できる(切り出す)ことがEESツールに求められている。

図2に示す様に、1回の単純なバッチ処理から取得したデータを監視するためにも、立上り/下がりや追従性に着目した6項目程度の着眼点が指摘されている。

パラメータを切り出した後で特徴を表すために用いる代表値化に関しても、目的に応じて柔軟な対応が求められる。

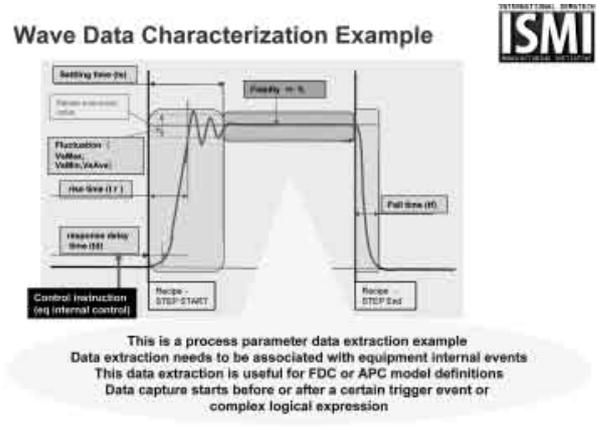


図2. バッチ処理データの監視例

(2009 12/1 ISMI Next Generation Factory e-Manufacturing ワークショップより引用)

さらには、装置は生き物のように正常でもドリフトするケースを想定しておく必要がある、いったん作ったFD(Fault Detection)モデルを臨機応変にリモデルすることにより、より厳密な管理を実現するという視点も外せない。

そして、現状では正確な物理モデルが作りにくい部類にある多くの半導体製造工程の管理指標は少なくとも統計的に裏づけられたものでなければならない。

以下に列挙すると

1. EES は、1 製造装置あたり数百、場合によっては 1000 を超えるパラメータのデータを高品位に 1 秒以下の粒度で管理できなければならない。
2. EES データには、温度、圧力、流量といったプロセスパラメータだけでなく、バルブの開閉、ロボットの動きを示すシーケンス情報、さらには装置のメンテナンスの情報等多岐に渡る情報が含まれる。
3. EES データに要求される時系列的な粒度は多岐に渡る特徴から、数ミリ秒レベルまで細かいものも含まれる。
4. データの切り出し～代表値化が簡単にできる必要がある。
5. 代表値化後のデータの統計的分析を容易に行い、見直し～再検討のサイクルを効率的に行えなければならない。
6. 取得したデータはロットや時期等多様な切り口でまとめて任意に比較解析ができなければならない。
7. FDC (Fault Detection and Classification) を実現するためには、EES データ単独ではなく、工程で処理した結果等、他の検査装置やシステムからの情報を適宜加味して解析できる柔軟性が必要がある。
8. 解析結果をスムーズに活用できなければならない。

なお、山武は、Savemation Review 2005 年 8 月号記載の活動を継続して半導体メーカーと行っている<sup>(2)</sup>。さらには半導体メーカー、半導体装置メーカーと連携した共同研究等を多数行っており、市場におけるニーズについては常に余すことなく把握した活動を継続している<sup>(6),(7),(8)</sup>。

### 3. Orchard Tequira

#### 3.1 Orchard Tequira の構成

Orchard Tequira の標準的構成を図 3 に示す。Orchard Tequira は大きく 2 つのサブシステムから構成されている。Modeler はユーザーインターフェースを備え、データを可視化したり、解析を行ったりして、管理モデルを作成する機能を持つ。Executor は、Modeler で作成した管理モデルを自動的に実行して、プロセスの管理を行うサブシステムである。

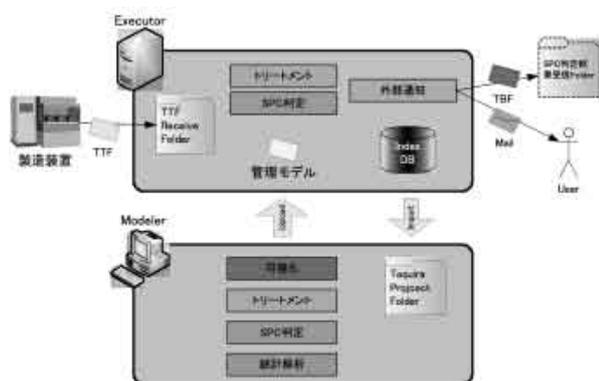


図 3. Orchard Tequira の構成

#### 3.2 大規模データへの対応

前節で述べたとおり、センサから定周期で取得される装置の稼働情報は非常に膨大であり、また、製造装置ごとに計測すべき項目が異なることが普通である。

このように膨大かつ、計測項目が装置ごとに異なるようなデータを、従来のリレーショナルデータベース（以下 RDB とする）を使用して安価に管理することは困難である。

前述したような装置の稼働情報の解析においては、対象とするウエハに対する処理の記録が重要となる場合が多い。

そこで、Orchard Tequira では、図 4 に示すように、RDB をデータのインデックスとして利用し、データについては、解析を行う際に意味のある単位のファイル (Tequira Binary File) として管理するアーキテクチャを採用する。このようにデータを管理することで、過大なデータを DB に蓄積することなく、解析を行うのに都合のよい形で保存することができる。

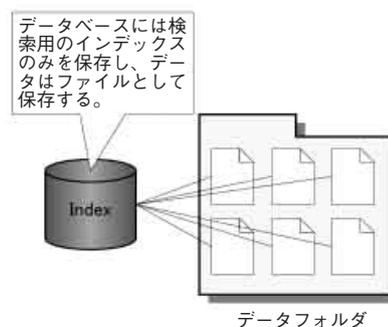


図 4. Orchard Tequira のデータ管理方法

#### 3.3 Modeler

本節では、Orchard Tequira のなかで、ユーザーが直接操作するアプリケーションとなる Modeler の主な機能を紹介します。

##### 3.3.1 データの可視化・解析

取得された製造情報や代表値を結果ビューの画面で表示できる(図5)。



図 5. 結果ビュー

結果ビューでは、装置から取得された製造情報や、Executorによって計算された代表値を、ユーザーと対話的に確認することができる。これにより、装置の動作の確認や、異常な処理が行われたウエハを特定したりする操作を素早く行うことができる。

また、Orchard Tequiraの統計解析機能を利用すると、「代表値間の挙動の関係」や「代表値を説明変数、製品品質を目的変数とする重回帰分析」などを簡単に実行でき、装置挙動の統計的性質や、品質情報を対象とするVirtual Meteorology (VM)を簡単に構築することができる。使用できる統計解析手法は、基本統計量、相関係数、主成分分析、重回帰分析等、一般に良く使われる手法である(図6は相関係数機能の対散布図の例)。

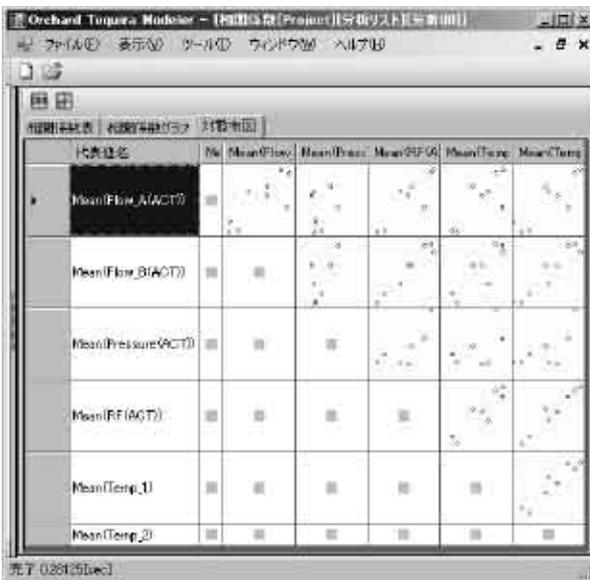


図6. 対散布図の例

### 3.3.2 代表値化

Orchard Tequiraでは、図2の例のように製造情報から代表値をプログラムを記述することなしに簡単に作成することができる。また、3.3.1で説明したように、もともとなる製造情報や計算された代表値を対話的に表示できるため、代表値の算出アルゴリズムの微調整などを直感的に行える。

図7に代表値算出設定の例を示す。これは、図2で示した、動特性から特徴量を算出する場合の設定例である。

この設定では、Delay, Raise, Setting, Unstable, Stableの各区間の定義と、それらの時間、Unstableにおいては、Flow\_A(Act)の最大値, 最小値, 平均値, Stableにおいては、Flow\_A(Act)の標準偏差を計算するような設定となっている。



図7. 代表値算出設定の例

### 3.3.3 SPC 管理

Orchard Tequiraでは、計算された代表値をもとにして、製造品質の管理を行うための機能として、SPC (Statistical Process Control) 管理機能がある。SPC管理機能では、算出された各代表値に対して、3レベルでのバンド管理及び、WECOルールによる傾向管理を行うことができる(図8)。

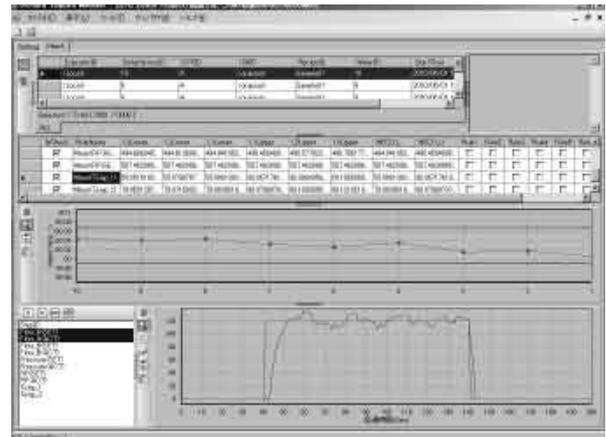


図8. SPC 判定画面の例

### 3.4 Executor

ExecutorはModelerで作成した管理モデルを使用して、製造プロセスを監視するサブシステムである。装置から取得された製造情報をもとに代表値を計算し、各代表値のSPC判定方法を自動的に実行して、製造プロセスが正常に動作していることを監視し、異常発見時に装置に対して対処することができる。

## 4. おわりに

Orchard Tequira のデータの可視化機能と代表値化機能を利用することで、膨大な装置の稼働情報を、装置管理のキーとなる挙動に合わせた代表値に集約し、プロセスや、装置の挙動・故障の管理を効率的に行ったり、ソフトセンサを簡単に構築したりすることができる。将来は、製造データをリアルタイムに代表値化し監視することで、プロセスを高品位化することを目指す。

### <参考文献>

- (1) 装置エンジニアリング・システム ユーザシステム要求仕様書(2003), pp.120-151, 株式会社半導体先端テクノロジーズ SEMI 規格
- (2) 鹿島 亨他: 半導体市場向け, 歩留まり向上 FDC システム, Savemation Review(2005), pp.76-83, 株式会社 山武
- (3) 装置導入時の品質保証高度化要求 (装置 QA の高度化 (社)電子情報技術産業協会(2004), 株式会社半導体先端テクノロジーズ (Selete)
- (4) 装置データを使う業務の効率向上に関する検討 (2009), 株式会社半導体先端テクノロジーズ (Selete)
- (5) The Enhanced Equipment Quality Assurance (EEQA) Methodology, Semicon Japan 2009 e-Manufacturing Workshop(2009)
- (6) Katsuhisa Sakai et al: The way to improve the effectiveness of a comprehensive FD system , AEC/APC Symposium Asia 2009
- (7) Toru Kashima: Anomaly Detection Using Average Normal Profile of Time-Series Process Data, AEC/APC Symposium Asia 2009
- (8) Katsuhisa Sakai et al: Comprehensive plug and play FD system realized Predictive Maintenance, ISSM 2008

### <商標>

ORCHARD は、株式会社 山武の商標です。  
Tequira は、株式会社 山武の商標です。

### <著者所属>

- 山縣 謙一 アドバンスオートメーションカンパニー  
エンジニアリング本部  
ソリューション技術部1グループ
- 黒澤 敬 アドバンスオートメーションカンパニー  
営業本部営業技術部  
アプリケーショングループ
- 村上 英治 アドバンスオートメーションカンパニー  
エンジニアリング本部  
ソリューション技術部1グループ

