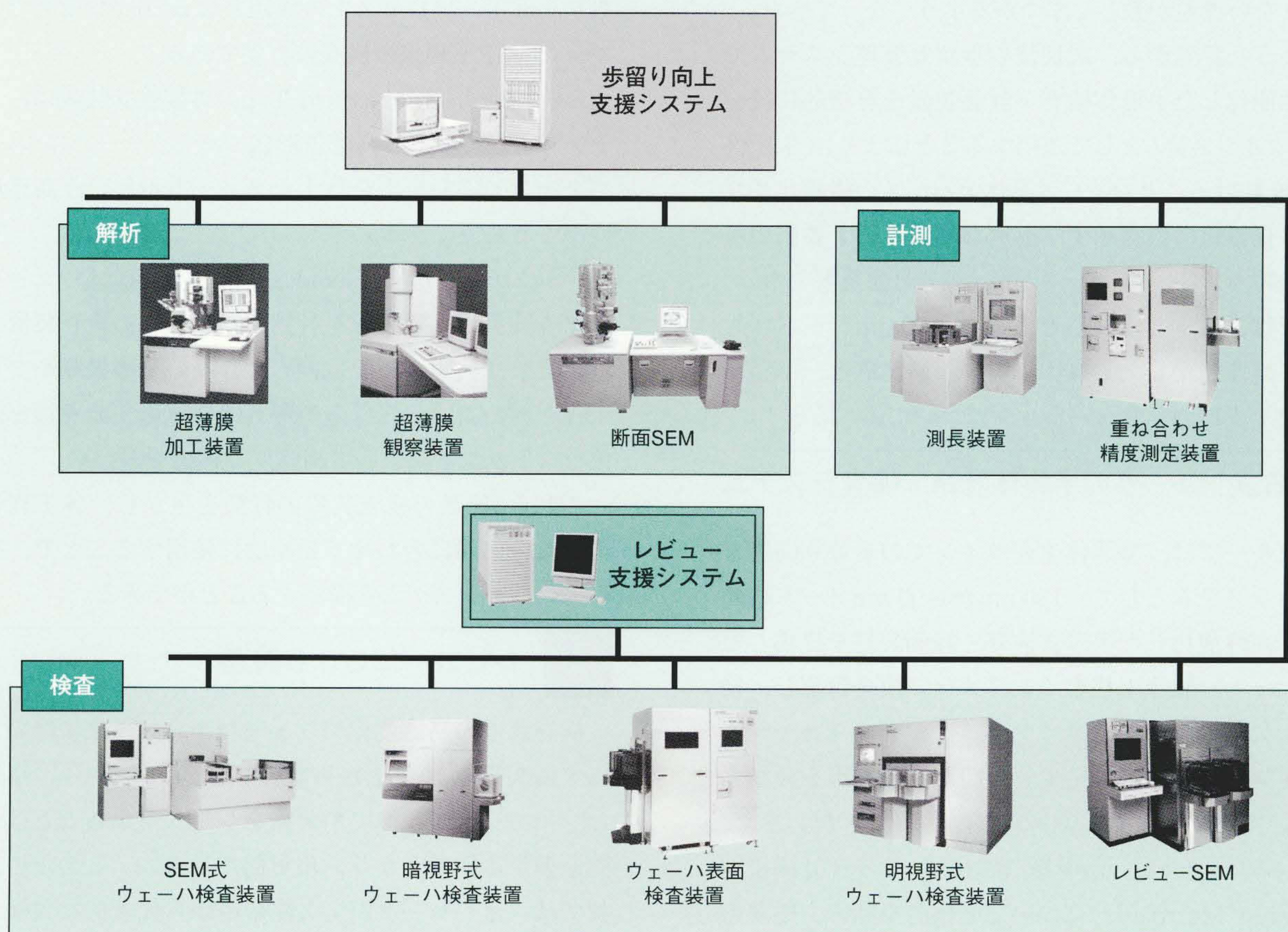


次世代半導体歩留り向上支援ソリューション

Semiconductor Yield Enhancement Solution for Next Generation

江口直之 Naoyuki Eguchi 宇佐見康継 Yasutsugu Usami
磯貝静志 Seiji Isogai



注：略語説明 SEM(Scanning Electron Microscope)

日立グループの半導体検査システム

日立グループは、半導体製造ラインで運用される計測、検査、解析のための個別の装置に加え、検査装置間をつなぐレビュー支援システムや各装置を統合管理するシステムを取りそろえ、半導体歩留り向上のトータルな提案をしている。

LSIのメーカーでは、収益確保の観点から、歩留り向上が重要な課題となっている。一方、半導体検査システムでは、高感度化や大口径化に伴い、検出される膨大な欠陥数を処理し、欠陥発生個所を特定することが求められている。

日立グループは、半導体生産の歩留り支援ツールとして、計測、検査、解析およびシステムをトータルに提案することにより、異常事態の早期発見、不良原因の究明、対策の実施、対策効果の検証といった一連の歩留り向上ソリューションを提供している。

1 はじめに

「歩留り管理の改善」は、過去十年間にわたってプロセス管理者の焦点であり続けるとともに、測定、検査および分析・評価を行うための検査装置を常に高感度、高速化のものへと更新していくことが求められてきた。十数

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%まで占めるようになっていく。

しかし近年、より新型の検査装置を導入し、複数工程の欠陥データを収集してフィードバックしていく枠組みは、出力データの急増とデータ解析時間の増加をもたら

し、この処理のためのコストが増大するという皮肉な結果となり、「生産性の改善[生産QTAT(Quick Turnaround Time)化]」と「歩留り改善(検査時間の増大)」という二つの相いれない課題が激しくぶつかるようになってきた。

このような背景から、次世代の歩留り管理システムでは、高性能化した半導体検査・評価装置を有機的に統合し、トータルシステムとして運用することにより、「生産性の改善」を妨げることなく、半導体デバイスの微細化やプロセスの複雑化に依存せず、迅速な歩留り低下要因の解析とラインへのフィードバックが行えることが重要となる。

ここでは、こうした背景を考慮し、90 nmノードに対応する、高性能化した半導体検査・評価装置と、半導体歩留り向上支援のソリューションについて述べる。

2 日立グループの半導体計測・検査システム

日立グループは、半導体生産ラインでの歩留り向上を支援するシステムとして、130 nmから90 nmノードに対応する、高性能化した半導体検査・評価装置を提供している。ウェーハ製造工程をインラインで検査管理し、検出された欠陥の分類を行うインライン検査ソリューションや、インライン検査で発生した問題点の原因を分析する評価システムソリューションを提供してきた。また、近年の「e-Manufacturing構築」に対応して統合計測技術(Integrated Metrology)についても検討を始め、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*in situ*(「その場」での)浮遊異物モニタや、ウェーハ表面の膜厚や物理的な形状・寸法を測定する光学的CD測定技術などの装置への組み込みを進めている。このような統合計測技術への対応は、日立グループのAPC(Advanced Process Control)技術を支えるとともに、「生産性の改善(生産QTAT化)」と「歩留り改善(検査時間の増大)」という二つの相いれない課題に対するソリューションとなる。

インライン検査ソリューションの提供について以下に述べる。

プロセスの微細化とともに要求される欠陥検出サイズの微細化に対応するためには、検出波長と画素サイズを小さくするだけでなく、プロセスで問題となるノイズや疑似欠陥を除去し、歩留り低下に影響する致命欠陥を確実に検出し、これらを工程にフィードバックする必要がある。

パターンが形成された製造工程中のウェーハに対する表面検査装置(インライン検査装置)は、以下の3種類に大別できる。

(1) 一般に暗視野式(Dark Field Type)と呼ばれるレーザ式異物検査装置は、比較的段差の小さいウェーハ上の異物や欠陥を高感度、高スループットで検出する装置であり、近年、プロセス上の課題となるCuプロセスでのダマシンCMP工程後の検査に有効である。

(2) 明視野式(Bright Field Type)外観検査装置は、エッチング工程後などの高段差形状のあるウェーハについて、パターン欠陥や異物を数十ナノメートルという高感度で検出する装置である。

(3) SEM(Scanning Electron Microscope)式ウェーハ外観検査装置は、電子線を利用したウェーハ検査装置である。光学式検査装置では検出できない微小欠陥やプラグ工程などの深い立穴構造の電気的な導通・非導通を、電位コントラストによって高感度で検出する。

これら3種類の検査装置の特徴を生かし、各工程や検出したい欠陥に合わせて効率的に使用することで、効率のよい検査システムを構築することができる。

3 レビューにおける課題

検査装置の高感度化やウェーハの大口径化に伴い、検出する欠陥数は数千から数万に上ることから、作業員(オペレータ)がすべての欠陥をレビューすることは長時間を要する作業となり、現実的ではない。このため、現状では、オペレータが全欠陥の中から代表的な欠陥だけを選択し、レビューを行っている。

欠陥検査装置から検出する欠陥データに対し、代表的なレビュー装置であるレビューSEMのスループットは300から600DPH(Defects per Hour)である。このスループットギャップを埋めるためには、全欠陥のレビューを行うのではなく、代表的な欠陥を効率よく選択的にレビューし、歩留り解析にフィードバックをする必要がある。したがって、全欠陥の中からどのようにレビュー対象とする欠陥を抽出するかは、歩留り解析を行ううえで重要な課題となる。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、レビュー支援システム“RI-1000”を開発し、効率的なレビュー装置と検査装置を組み合わせたシステムを提案している。

レビュー支援システムについて以下に述べる。

3.1 レビュー支援システム“RI-1000”

レビュー支援システムでは、半導体製造プロセスの検査工程で、検査装置からの膨大な欠陥データからレビューを行うべきレビュー対象欠陥を効率よく絞り込むことを目的としている。

従来のオペレータによるマニュアルサンプリングでは、オペレータによってサンプリングに差が生ずるという問題があった。また、装置による従来のランダムサンプリングでは、ウェーハ上の密集欠陥(クラスタ)や分布の偏りなどが存在した場合に、サンプリングした結果にも局所的な偏りが発生することがあった。これを回避するために、サンプリングの結果を逐一確認し、問題がある場合には、サンプリング条件を再度設定し直すなど、手間と時間を要していた。

RI-1000のE-Sampling(Effective Sampling)では、検査データからウェーハ内の欠陥分布の特徴を識別し、その特徴ごとに、(1)リピート欠陥、(2)クラスタ欠陥、(3)線状欠陥、(4)リージョン欠陥、および(5)ランダム欠陥に分類している(図1参照)。

レビューでは、チップ単位またはショット単位で重ね合わせを行い、その中で共通的な欠陥をリピート欠陥として分類する。ウェーハ内で局所的に欠陥が密集している部分は、クラスタ欠陥として分類する。密集度合いは、個々の欠陥間距離とその領域内の欠陥数で判断する。線状欠陥は、欠陥間距離とそれらを構成する欠陥群の直線性を判断して分類する。

リージョン欠陥は、ウェーハ内の欠陥密度分布の偏りを検出し、約3,000種類の環状あるいは塊状辞書パターンとのテンプレートマッチングを行って判定する。

ランダム欠陥は、全欠陥からリピート欠陥、クラスタ欠陥、線状欠陥およびリージョン欠陥に属する欠陥を除いたもので、ウェーハ内にランダムに分布している欠陥である。

このように、おのこの分類された欠陥群からレビュー対象欠陥を任意にサンプリングすることで、ウェーハ全体の欠陥分布を反映したレビューを実現することができる。

図1に示した例では、検査装置で検出された総数7,846個の欠陥(a)のウェーハ内分布を解析し、五つの欠陥に分類する。これらの各欠陥に対し、リピート欠陥から3個、クラスタ欠陥から3個、線状欠陥から6個、リージョン欠陥から5個、ランダム欠陥から65個、合計82個が欠陥レビュー対象欠陥として抽出される(g)。

E-Samplingでは、上記の例のように各欠陥群から抽出する欠陥数を設定する方法のほか、各欠陥群から抽出する欠陥数の比率を設定することもできる。

また、RI-1000は、このE-Sampling機能に加え、以下の機能を持っている。

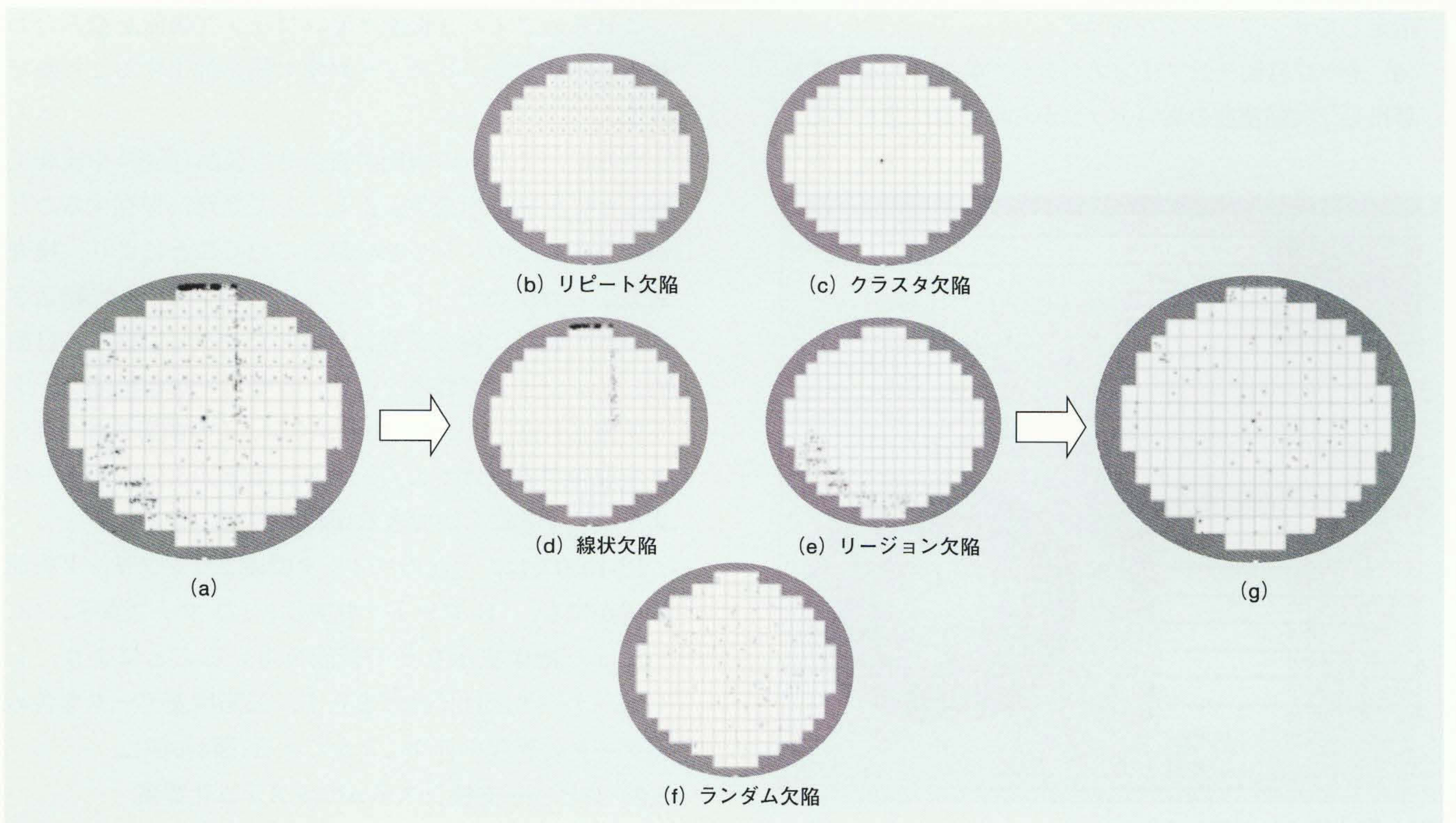


図1 サンプル機能の例

E-Samplingにより、欠陥総数から各欠陥群が抽出でき、その個数比率も設定することができる。

(1) フィルタ機能

(a) カテゴリーフィルタ：検査装置でのADC (Automatic Defect Classification) 機能やマニュアル分類により、カテゴリーづけされた情報を基にレビュー対象欠陥を選択する。

(b) 欠陥サイズフィルタ：検査装置で検出された欠陥のサイズにより、レビュー対象欠陥を選択する。

(c) 前工程欠陥フィルタ：同一ロット、同一ウェーハで前の検査工程での検査結果と今回の検査結果の座標突き合わせを行い、前工程からの欠陥であるか、現工程で検出された欠陥かの判定をし、この情報によってレビュー対象欠陥を選択する。

(d) ウェーハ間共通欠陥フィルタ：同一ロット、同一工程で2枚以上のウェーハを検査するとき、直前ウェーハの検査結果と今回ウェーハの検査結果の座標突き合わせを行い、ウェーハ間共通欠陥の判定をし、この情報によってレビュー対象欠陥を選択する。

(2) サンプルング機能

(a) 同心円サンプルング：ウェーハを同心円に分割し、分割単位ごとにサンプルング比率を設定する(図2参照)。

(b) 角度分割サンプルング：ウェーハを角度分割し、分割単位にサンプルング率を設定する。

(c) チップ指定サンプルング：チップ番号(X, Y)を指定してサンプルングを行う。

(d) チップ自動サンプルング：チップ単位に欠陥密度を算出し、欠陥密度の高いチップから自動的に選択する。

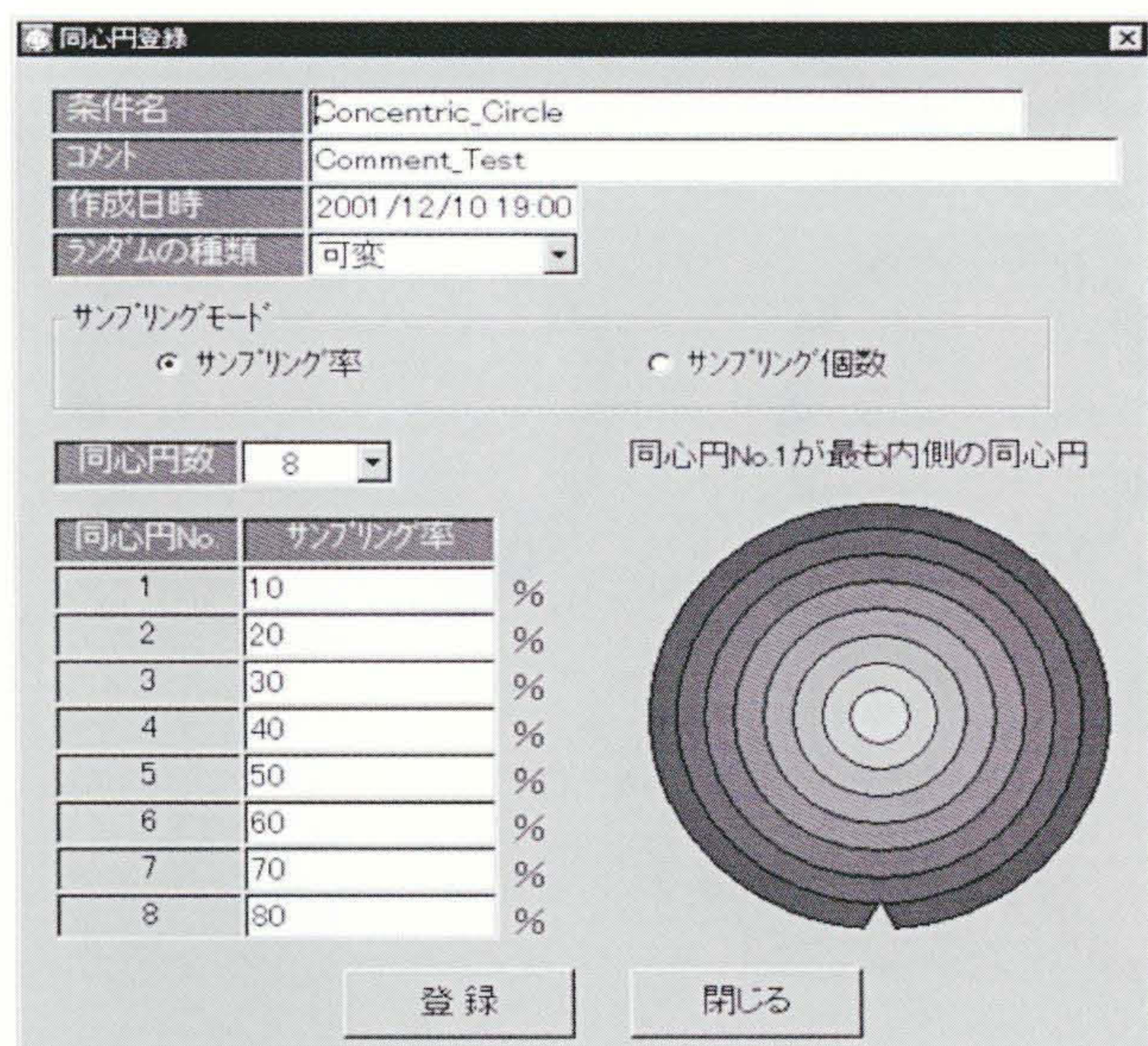


図2 同心円サンプルング例

種々のサンプルング機能により、着目する部分を選択的にレビュー対象にすることができる。

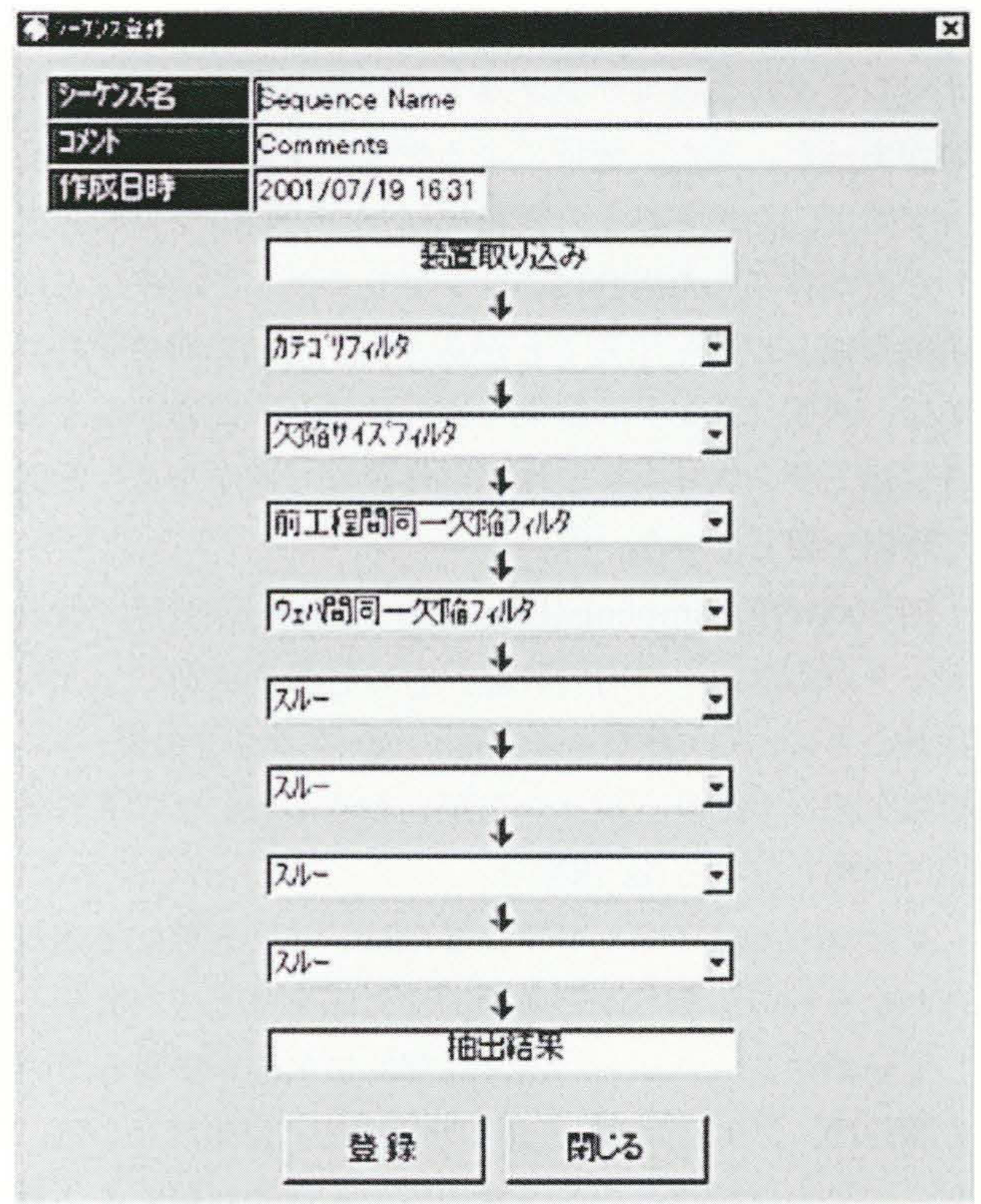


図3 フィルタ・サンプルングのシーケンス例

フィルタ条件とサンプルング条件の組合せをシーケンスとして登録することにより、効率のよいレビューを実現することができる。

これらのフィルタ機能とサンプルング機能を組み合わせることにより、レビュー対象欠陥を抽出することができる。

さらに、これらの機能の組合せを製品(品種)や検査工程ごとに欠陥抽出条件レシピとして登録、保存することができる。このレシピを登録しておくことにより、検査装置からの検査データがレビュー支援システムに転送されると、製品、検査工程に対応したレシピに従って自動的にサンプルング処理を行い、レビュー対象欠陥データが準備される。レビュー装置からは、その準備されたデータを取得するだけでよく、さらに効率のよいレビュー作業を実現することができる(図3参照)。

RI-1000では、上記のフィルタ機能とサンプルング機能のほかにも、(1)ロット一覧表示、(2)マップ表示、(3)レビュー画像表示などの機能を用いることにより、レビューデータだけにとどまらず、欠陥検査データも含めたデータの管理を行うことができる(図4参照)。

3.2 レビュー支援システムのシステム化提案

高感度化を実現している明視野式ウェーハ検査装置では、外観検査装置“SR-7300”やSEM式ウェーハ外観検査

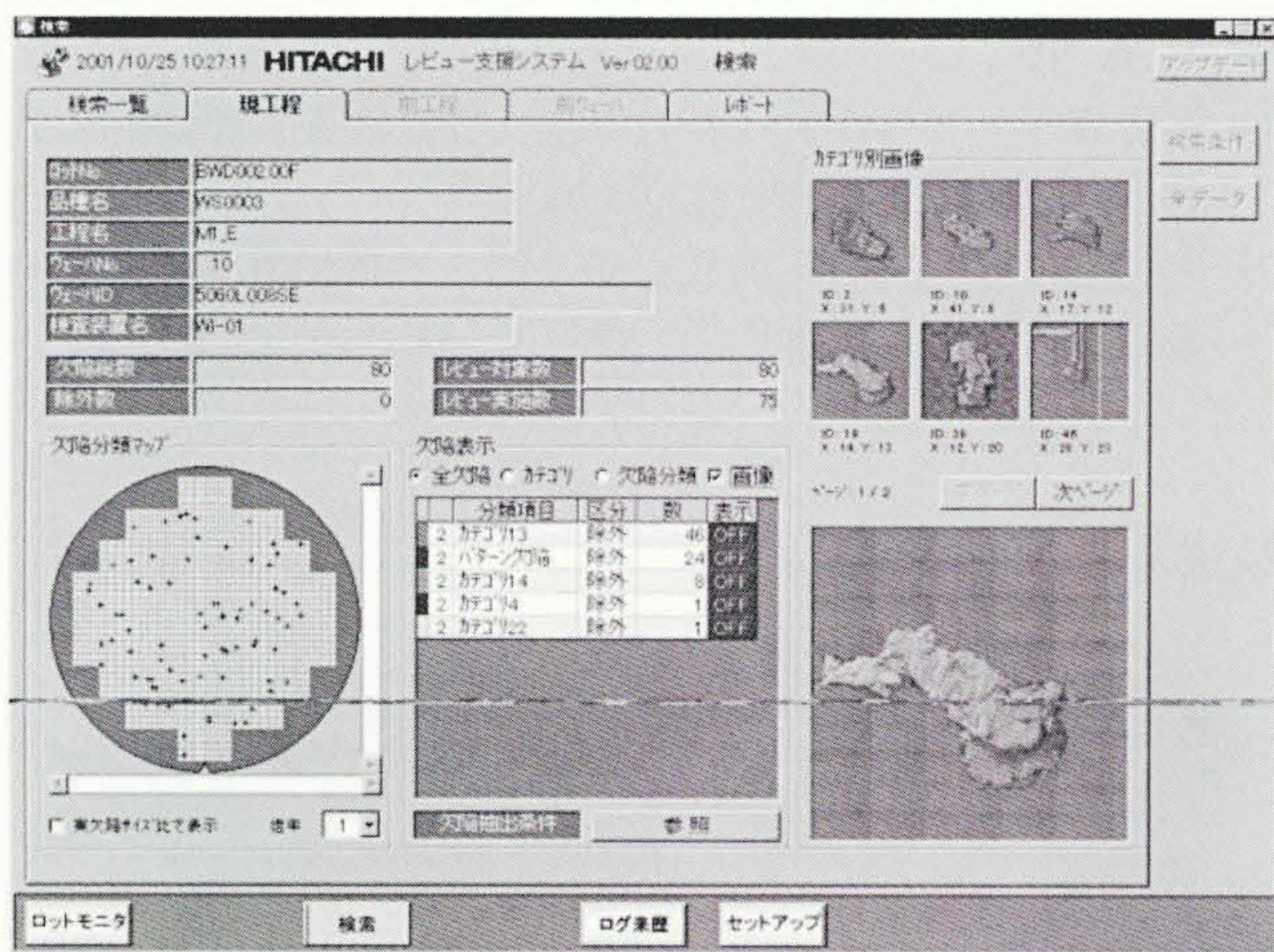


図4 レビュー結果の表示例

欠陥ウェーハマップとレビュー画面を一画面内に表示することにより、欠陥分布の傾向を容易に把握することができる。

装置“I-5110”と欠陥レビューSEM、およびこのレビュー支援システム“RI-1000”を組み合わせることで欠陥検査システムを構築することにより、高感度な検査を行いつつ、ADR (Automatic Defect Review)とADCによる適切なレビューを実現し、半導体製造におけるQTATを実現することができる。

また、“RI-1000”と歩留り管理システム“MI-7000”を組み合わせることにより、歩留り低下要因となる工程を迅速に究明することができる。

この歩留り解析技術について以下に述べる。

4 歩留り管理システム“MI-7000”

量産時の歩留りを改善するためには、開発・試作段階でのデータ蓄積を基にした効果的な検査工程の配置と、統計的手法を用いた歩留り解析が重要である。

歩留り管理システム“MI-7000”の最大の特徴は、検査装置からの膨大な検査データを自動的に収集、保存、解析することにある。その中でも、「トレースレポート機能」と呼ばれる解析ソフトウェアでは、歩留り解析の手法として実績のある、各検査工程で検出された欠陥 (Adder Defect) とプローブ検査データとの相関関係を、歩留り影響度 (Yield Impact) や欠陥の致命率 (Killer Ratio) として定量化する。このトレースレポート機能では、解析用の専用DWH (Data Warehouse)を導入することにより、この歩留り相関解析のきわめて高速な処理を実現しており、歩留り低下の要因となっている工程を即座に判断することができるため、従来よりも早い対策の実施が可能である。

歩留り解析では、欠陥の分類情報が重要な情報となる。レビュー支援システムによって効果的にサンプリングされた欠陥は、レビューSEMのADR/ADC機能によって自動的かつ高速に分類され、カテゴリーづけされる。このカテゴリーづけされたレビュー結果データは、レビュー支援システムを経由して、歩留り解析システムに送られる。トレースレポートでは、各検査工程で検出された欠陥とプローブ検査データから歩留り影響度や致命率を算出している。レビュー支援システムから送られた欠陥の分類情報は、この算出に有効なデータとして活用されている。レビュー装置で分類された情報はカテゴリーデータとしてトレースレポート内に登録されており、解析対象とする欠陥のカテゴリーを選択することにより、カテゴリーごとの歩留り影響を解析することができる。全欠

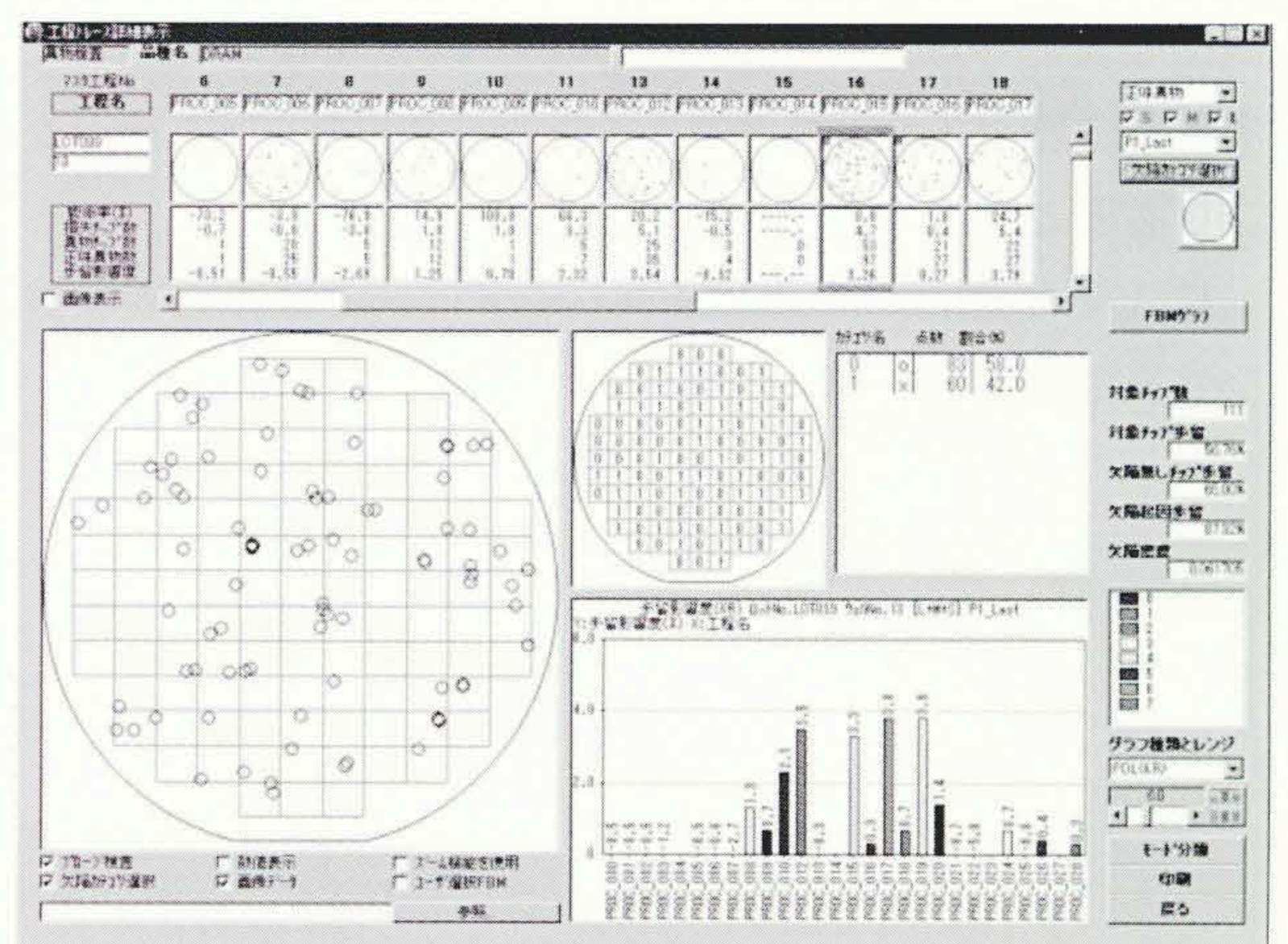


図5 全欠陥での歩留り影響解析例

検出欠陥とプローブ検査データとの相関関係を突き合わせることで、歩留り影響度を定量化することができる。

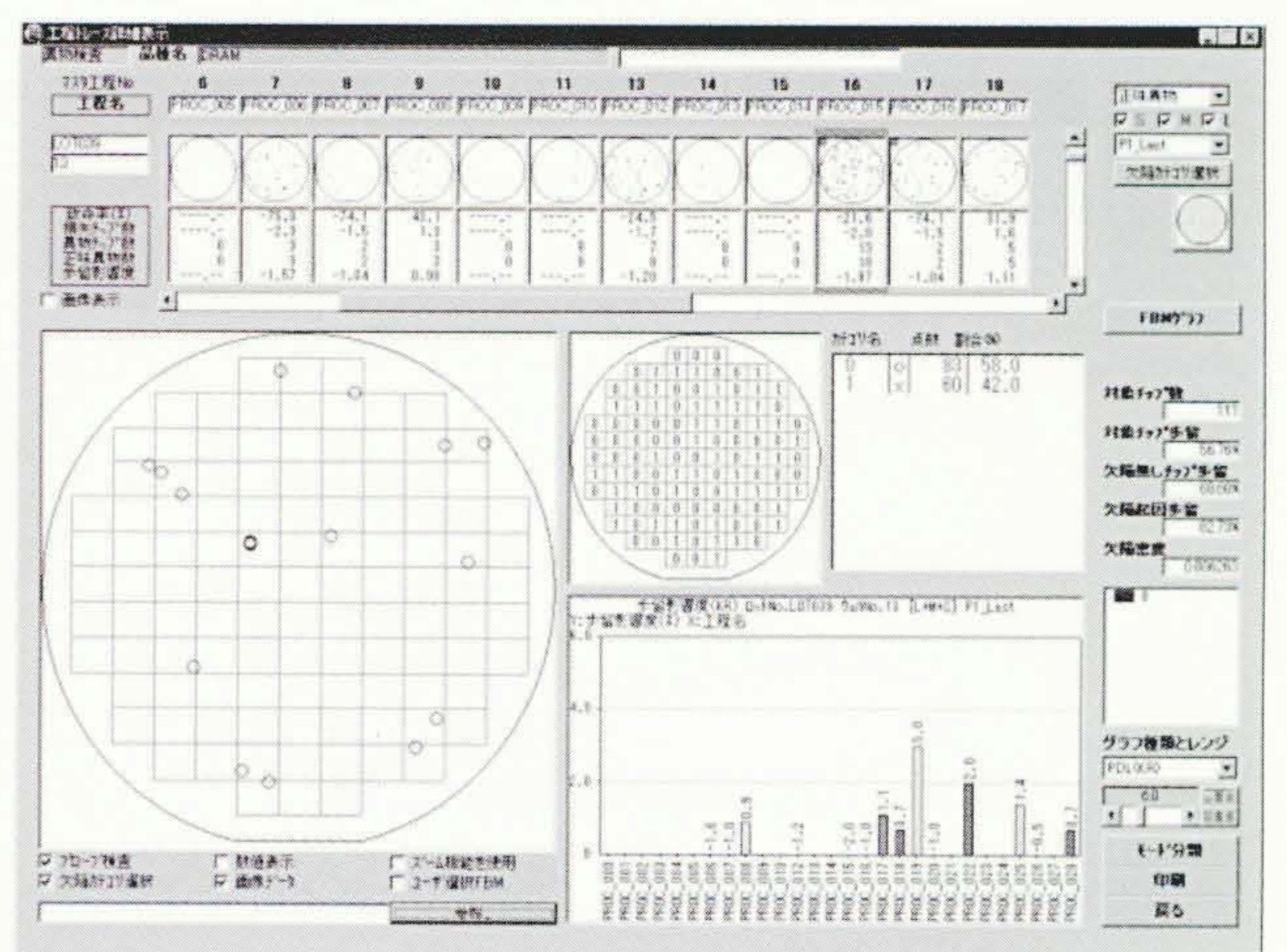


図6 欠陥カテゴリー選択による歩留り影響解析例

歩留りとの相関関係を定量化した歩留りインパクトや致命率がグラフ表示され、歩留り低下要因工程の絞り込みが容易となる。

陥で歩留り影響度を算出した例を図5に、カテゴリー選択機能で特定のカテゴリーだけを選択したときの歩留り影響度を算出した例を図6にそれぞれ示す。

以上のように、検査装置とレビュー支援システム、および歩留り管理システムをシステム化することにより、高感度検査装置からのデータをレビュー支援システムで効率的にサンプリングすることができる。さらに、レビュー装置で分類した結果を歩留り管理システムで解析することにより、歩留り低下要因に直結するデータをユーザーに提供することができる。

5 おわりに

ここでは、次世代に対応する半導体製造の歩留り向上支援システムについて述べた。

90 nm以降デバイス時代を切り開くためには、装置の高感度化もさることながら、歩留り向上支援システムや歩留り管理システムなどのライントータルなソリューションが必要となる。

株式会社日立ハイテクノロジーズは、これからも検査システムの提案を行って顧客のニーズにこたえていく。

参考文献

- 1) 宇佐見：半導体ウェーハの次世代表面検査・評価システム、非破壊検査、第50巻5号(2001)
- 2) 宇佐見，外：130 nm時代を切り開く次世代半導体検査・評価システム，日立評論，82，10，667～670(2000.10)

執筆者紹介



江口 直之

1992年日立製作所入社，株式会社日立ハイテクノロジーズ
デバイス製造装置事業統括本部 第一事業企画本部 所属
現在，半導体検査システムのマーケティングに従事
E-mail：eguchi-naoyuki @ nst. hitachi-hitec. com



磯貝 静志

1981年日立製作所入社，株式会社日立ハイテクノロジーズ
設計・製造統括本部 那珂事業所 所属
現在，半導体検査・歩留り向上支援システムの開発に従事
応用物理学会会員，電子情報通信学会会員
E-mail：isogai-seiji @ naka. hitachi-hitec. com



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ズ
デバイス製造装置事業統括本部 第一事業企画本部 所属
現在，半導体検査システムのマーケティング業務に従事
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