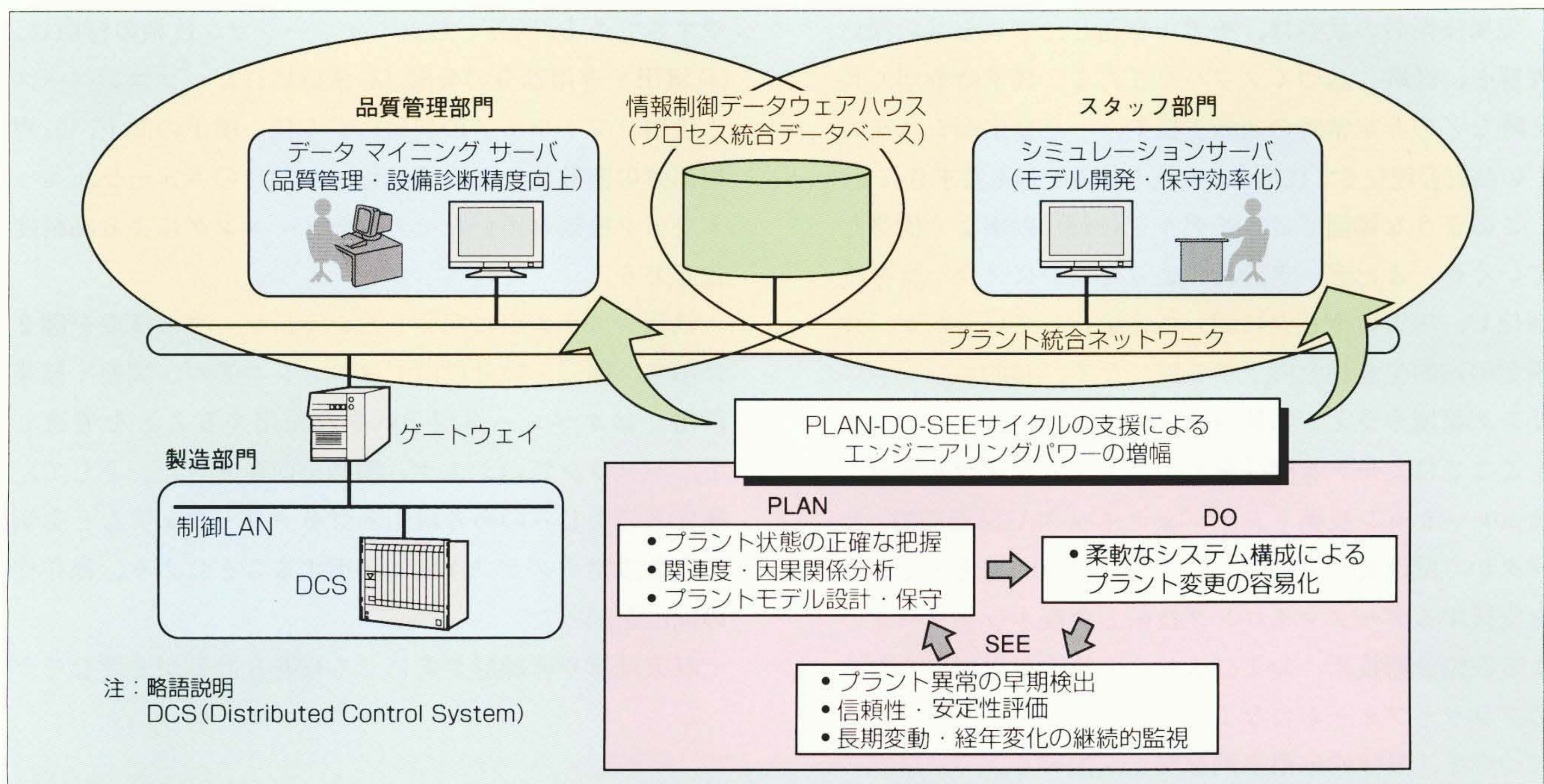


プラントの高効率化・高品質化を目指した 知的エンジニアリング環境

Intelligent Engineering Environment for Efficient and High-Quality Plant Operation

前田 章* Akira Maeda 市川芳明**** Yoshiaki Ichikawa
稲葉博美** Hiromi Inaba 中島正明***** Masaaki Nakajima
森 清三*** Kiyomi Mori



知的エンジニアリング環境

プラントヒストリカルデータ・品質管理情報・設備構造情報などを統合的に管理する情報制御データウェアハウスを知識共有のプラットフォームとし、生産技術を支えるエンジニアの技術力を最大限に発揮させる知的エンジニアリング環境を実現した。

急激な市場の変化に即応し、かつ競争優位を確保するために、製造業では生産技術のレベルアップが強く求められている。そこでは非定常時の安定運転の確保、短い製品サイクルでの品質の確保など、エンジニアリング部門がますます重要な役割を担うことになる。

日立製作所は、生産技術を支える現場技術者の能力を最大限に発揮させるため、最新の情報技術を用いた知的エンジニアリング環境を実現した。そのための技術として、(1) 制御モデルの事前評価・オンライン調整・チューニングのための大規模非線形シミュレーション技術と、ノ

ウハウを活用したAI(Artificial Intelligence)モデル開発を支援するシナジェティックAI構築環境、(2) ノウハウの定量化・洗練化のための高度データ分析技術としてのデータマイニング、および免疫ネットワークによる設備診断技術、(3) これらの技術の基板となるプラントデータを統合管理、情報共有するための情報制御データウェアハウスアーキテクチャを開発した。

この環境を活用することにより、技術者によるプラントの状況の迅速・正確な把握と、的確な対応を総合的に支援することが可能になる。

*日立製作所 システム開発研究所 **日立製作所 電力・電機開発本部 ***日立製作所 大みか工場 ****日立製作所 大みか工場 工学博士、技術士(情報処理部門)
*****日立製作所 大みか工場 技術士(電気・電子部門)

1. はじめに

製造業を取り巻く環境は急激に変化しており、価格破壊や競争の激化によってコストダウンが要求されるなど、生産効率のいっそうの向上が求められている。また、市場変化即応型生産による製品サイクルの短縮・短納期化や、PL(Product Liability：製造物責任)法の施行によって高度な品質管理が必要とされ、エンジニアリング業務の負荷はますます増大しつつある。

現場技術者の武器は、モデルを通じたプロセスの深い理解と、経験に基づくノウハウである。異常時や切り替え時などの非定常時の運転支援や、一品型生産システムでの品質管理などで技術者の高度な能力が最も要求される。

このような場面では、モデルをいかに効率よく構築していくか、またデータ分析によっていかにノウハウを洗練化し、現実のデータに即して定量化していくかが、技術者の知的生産性を向上する鍵になる。知的エンジニアリング環境を支える情報技術を図1に示す。

ここでは、モデル開発をサポートする大規模非線形シミュレーション技術とシナジェティックAI構築環境、データから関連要因を探索してノウハウの洗練化・定量化を支援するデータマイニング技術と免疫ネットワークによる設備診断技術、およびこれらの技術を活用するためのプラットフォームになる情報制御データウェアハウスについて、具体的応用事例を交えて述べる。

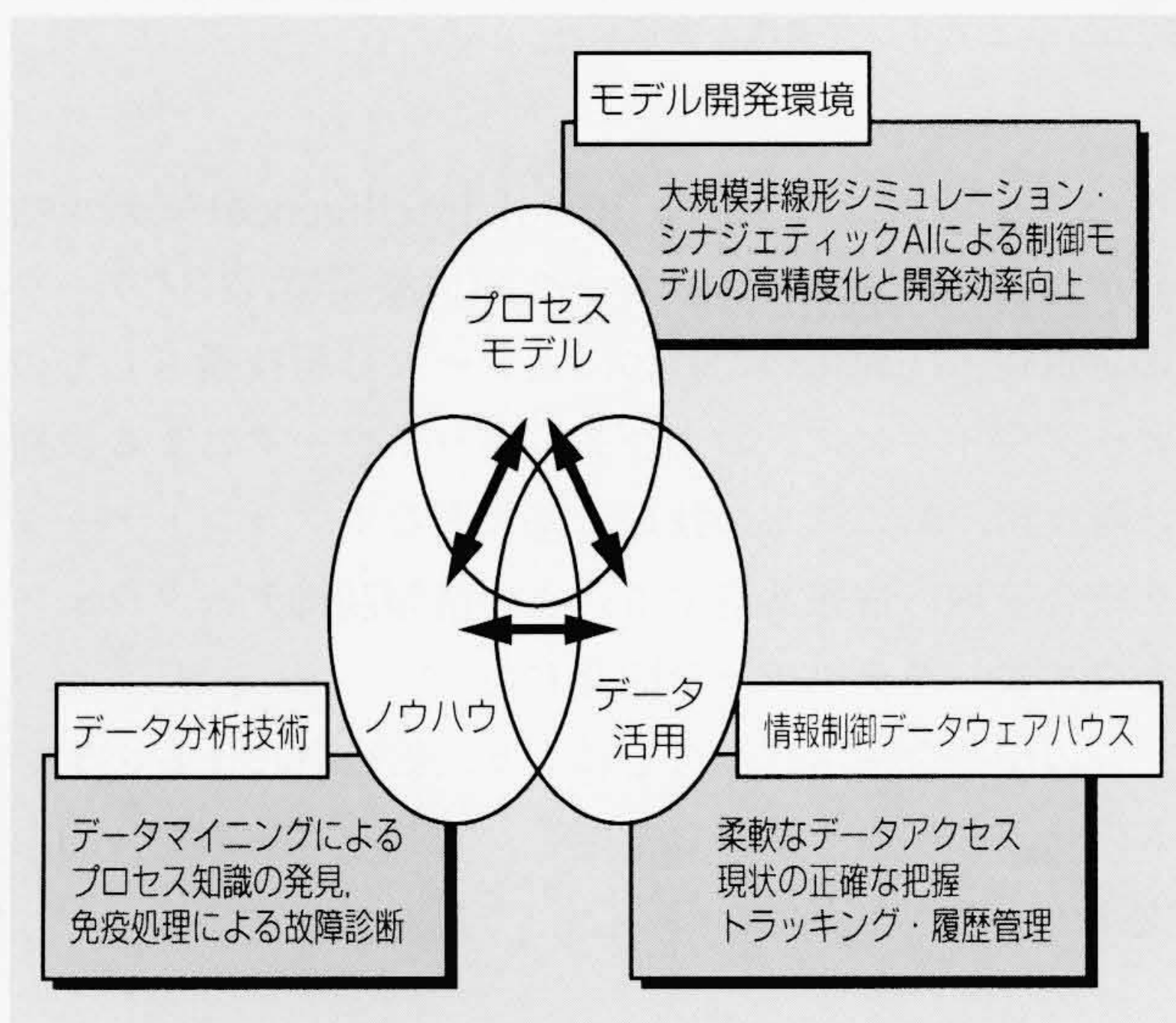


図1 知的エンジニアリング環境を支える情報技術

現場技術者の強みであるモデルとノウハウの洗練化を支援し、さらにプラント知識の定量化・情報共有を進めるためのデータ活用基盤を提供する。

2. モデル開発環境

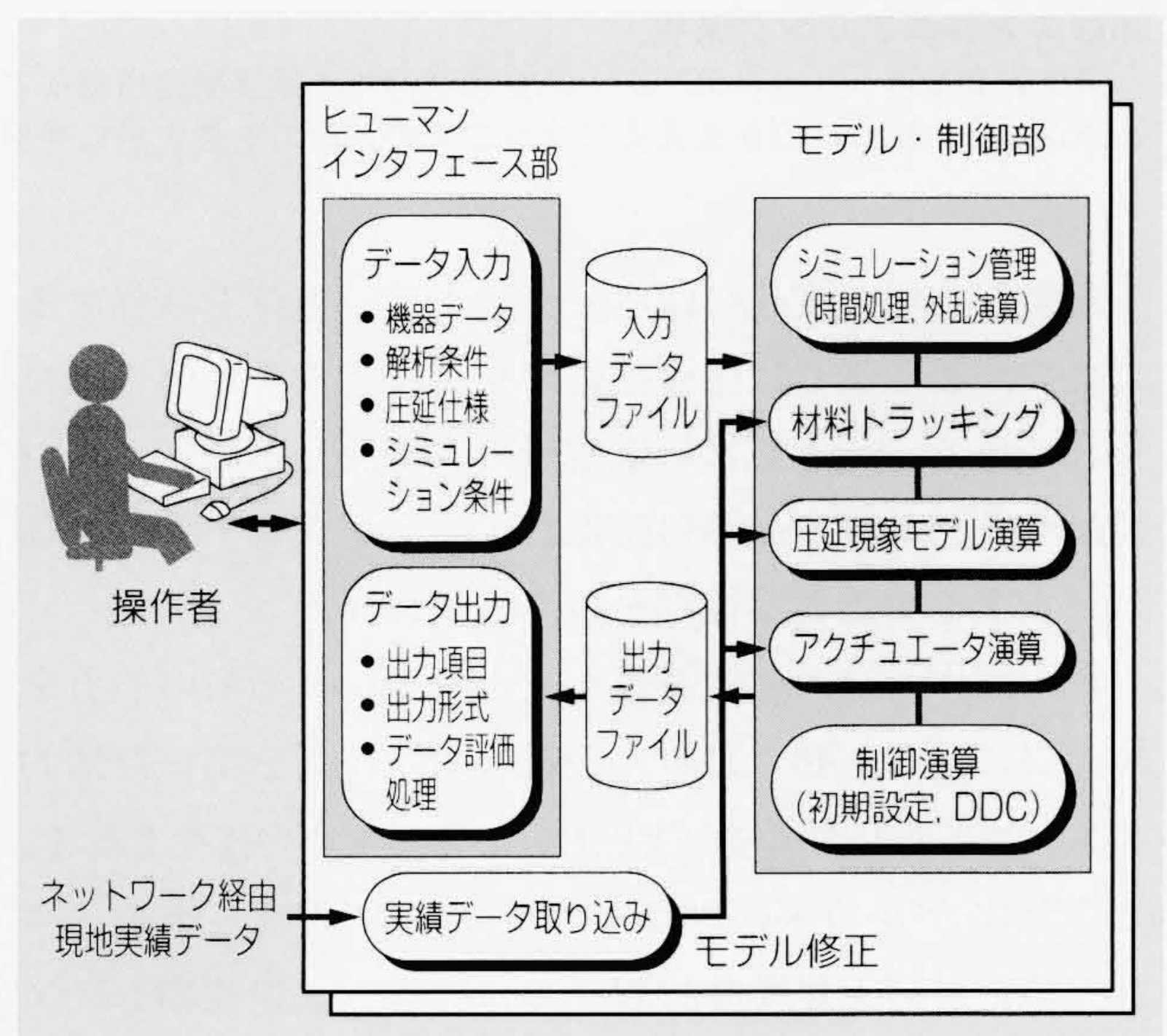
2.1 大規模非線形シミュレーション技術

大規模で非線形な要素を多く含むシステムの制御系設計、現地調整、操業支援には、実システムを等価的に可能なかぎり忠実に模擬したモデルの構築と、このモデルの持つ誤差を最小化するチューニング機能を持つプラントシミュレーション技術の確立が必須である。

シミュレータに要求される条件は、速度・精度・使いやすさである。開発したシミュレーション技術の特徴は、(1)汎用・専用部分の分離、(2)使い慣れたパソコンベースの汎用ソフトウェアの利用による使い勝手の向上、(3)専用部分の関数化による高速化、(4)独自のニューラルネットワーク技術を用いたモデルチューニングによる高精度化である。

鉄鋼システム用に開発したシミュレータの構成を図2に示す。開発・設計段階ではエンジニアが、調整・操業段階ではオペレータがそれぞれ使用することを考慮して、パソコンでのシステム構築を前提とした。そして、操作者のなじみのある汎用表計算ソフトウェアなどを制御定数設定やグラフ作成に活用することにより、操作性の向上を図った。

収束計算や非線形要素による複雑な計算が必要なモデ



注：略語説明 DDC(Direct Digital Controller)

図2 熱間・冷間圧延シミュレータの基本構成例

各納入先の仕様に応じた事前の制御系設計に活用するとともに、現地操業データを取り込んでモデルの修正、調整期間の短縮を支援する。

ル作成には、C言語によるユーザー定義の専用プログラムを利用できるようにし、モデル構築の自由度を確保した。一方、一般的な制御要素やブロック間を結線していく作業によって行う制御部の構築には、汎用制御系解析プログラムを活用し、良好な可視性と取り扱いやすさを確保した。このように専用部分と汎用部分を分割し、専用部分を関数化することによってシミュレーション時間を短縮し、モデル構築作業の効率化を図っている。

このシステムでは、対象となるシステムの機器・現象・解析機能など、物理的・機能的に分離可能な単位にモジュール化したオブジェクト指向によるソフトウェア構造を採用した。これによってシミュレーションシステムの拡張性と改造性を容易にし、エンジニアリングの目的に応じてシミュレータを再構築することができる。

日立製作所は、これまでさまざまな分野で蓄積してきたプラントノウハウと、ここで紹介した高速・高精度シミュレーション技術を融合させ、制御モデルを短期間に開発するためのエンジニアリング環境を実現している。

2.2 シナジェティックAI構築環境

エンジニアのノウハウに基づいた制御システムの効率的な開発を支援するために、AI応用システムの開発・保守支援環境“EUREKA-III (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-III)”を提供している。

シナジェティックAIとは、ルールベース・ファジィ・ニューロ、および遺伝的アルゴリズムや免疫処理などの個別AI技術を複合的に活用することにより、問題解決能力の拡大と制御精度の向上を図るものである。図3に示す構築環境では、複数のAI技術を組み合わせたモデルを統合的に構築、デバッグすることができ、構築したモデルはそのままオンライン環境で実行できる。シナジェティックAI構築環境の主な機能について以下に述べる。

(1) AI技術複合化支援

AI技術の複合実行、ユーザープログラムやAI技術群の相互呼出し、統合的テスト・デバッグのサポート

(2) ルールベース処理

変化データ駆動型マッチング方式による高速推論、課題を概略から詳細へとトップダウンに解決する階層推論機能

(3) ファジィ推論

対象の変化を予測することによって最適な操作を選択する予見ファジィ推論、メンバシップ関数の自動チューニング機能

(4) ニューロ

問題に応じた各種高速学習法の提供、学習結果をことば(ルール)で提示する可視化機能

これらの機能により、モデル開発効率を向上し、短期間でのシステム開発を可能としている。

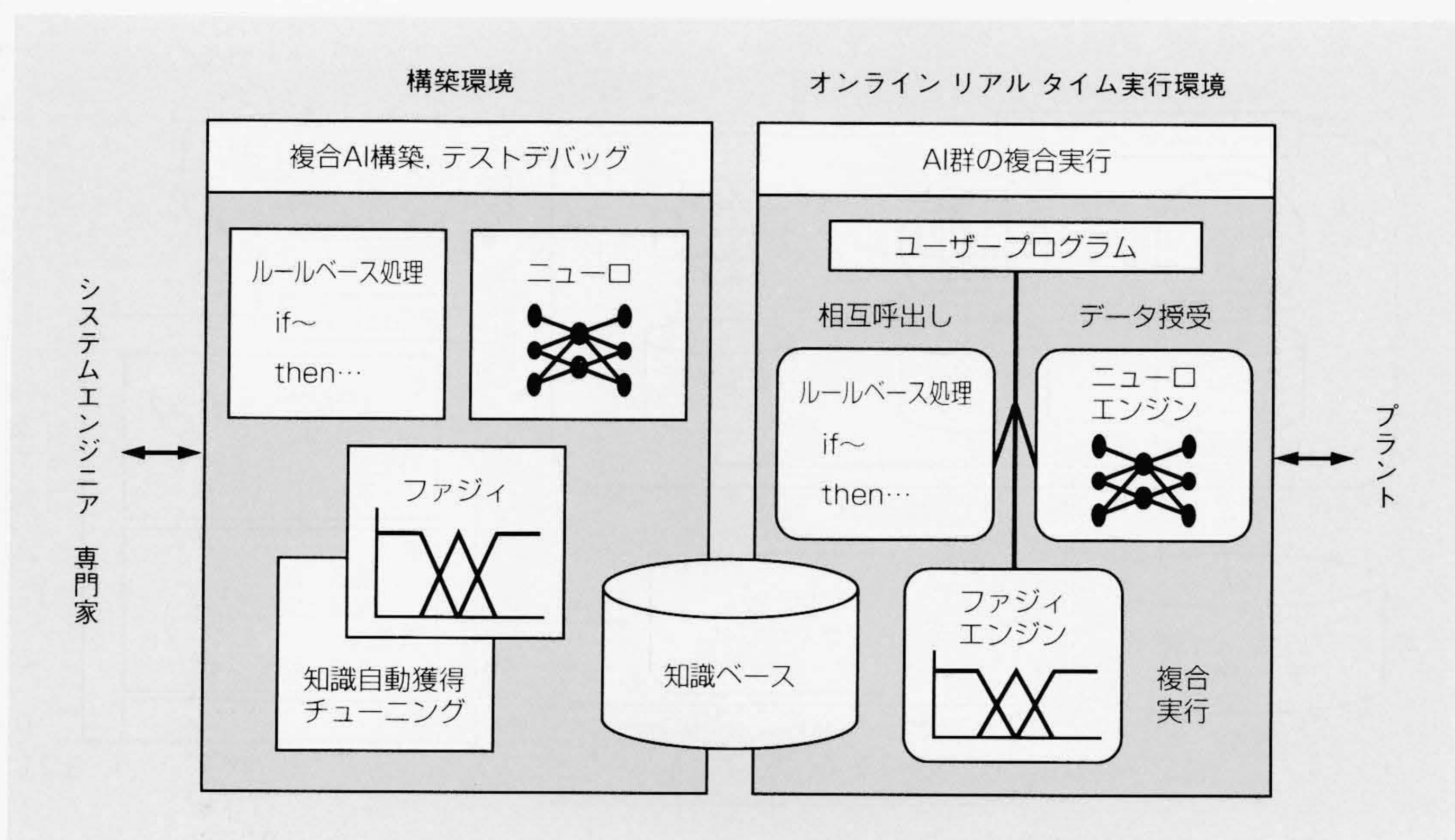


図3 シナジェティックAI構築環境

ルールベース・ファジィ・ニューロを複合的に活用したモデルの効率的な開発と、開発したモデルのオンライン環境へのスムーズな移行をサポートしている。

3. データ分析技術

3.1 データマイニング技術

故障診断・品質管理などのエンジニアリング業務にとって、データの分析によるプラントの現状の正確な把握は必要不可欠な作業である。データ分析には統計手法を用いるのが一般的である。しかし、統計手法は非線形な関係を把握するのが困難であること、また結果の解釈に統計に関する知識が必要になるなどの問題点がある。

データマイニング技術は、データ中の規則性や因果関係を自動的に発見するものである。この技術を適用することにより、分析業務の自動化レベルを上げると同時に、ユーザーが気づいていなかった新しい知見をデータから得ることが可能になる。

日立製作所が開発したデータマイニング技術では、雑音や欠損値、記号値などを含む任意のデータを入力し、そのデータに含まれる特徴的なパターンを「IF-THEN形式」のファジィルールとして出力する。この手法によれば、非線形でかつ局所的な規則性が発見でき、またきわめて多数の冗長な変数から有効な説明因子を自動的に抽出することが可能になる。出力されたルールはそのままノウハウとして活用したり、エキスパートシステムで利用することも可能である。

データマイニング技術を半導体製造プロセスの不良分析に適用した例を図4に示す。最先端の技術による論理

LSIの製造では、さまざまな要因が複雑に絡み合って不良が発生する。多くの品種を並行して製造するプロセスでは、不良発生要因をいかに正確・迅速に特定するかが、歩留りを向上するためのポイントになる。データマイニングを用いた不良分析支援システムでは、製造過程で生じる100項目以上の各種データ(検査データや製造方法・機器に関する情報)を入力し、特定の不良の発生に関係する要因を自動的に抽出する。

この例では、分析エンジニアのノウハウとデータマイニングによって大量のデータから発見する知識を組み合わせることにより、歩留りの早期立ち上げに貢献している。

3.2 免疫ネットワークによる設備診断技術

設備には多数のセンサが備え付けられ、制御や監視に使われている。これらのセンサによって得られる情報は、運転支援・品質管理などのシステムにとって不可欠なものであるが、システムの信頼性確保のためにはセンサ自身の故障を精度よく検出する診断技術が重要である。

従来、センサ異常の検出は、個々のセンサの出力を単独にチェックして判断していた。しかしこの方法では、それぞれのセンサは一見正常な値を出力しているが、あるセンサの経年変化が原因で全体としての制御の精度が低下している場合には、故障したセンサの特定が困難であった。そこで、複数のセンサ出力の相互依存関係を利用して高精度にセンサ異常を検出するため、免疫ネットワークを用いた診断技術を開発した。

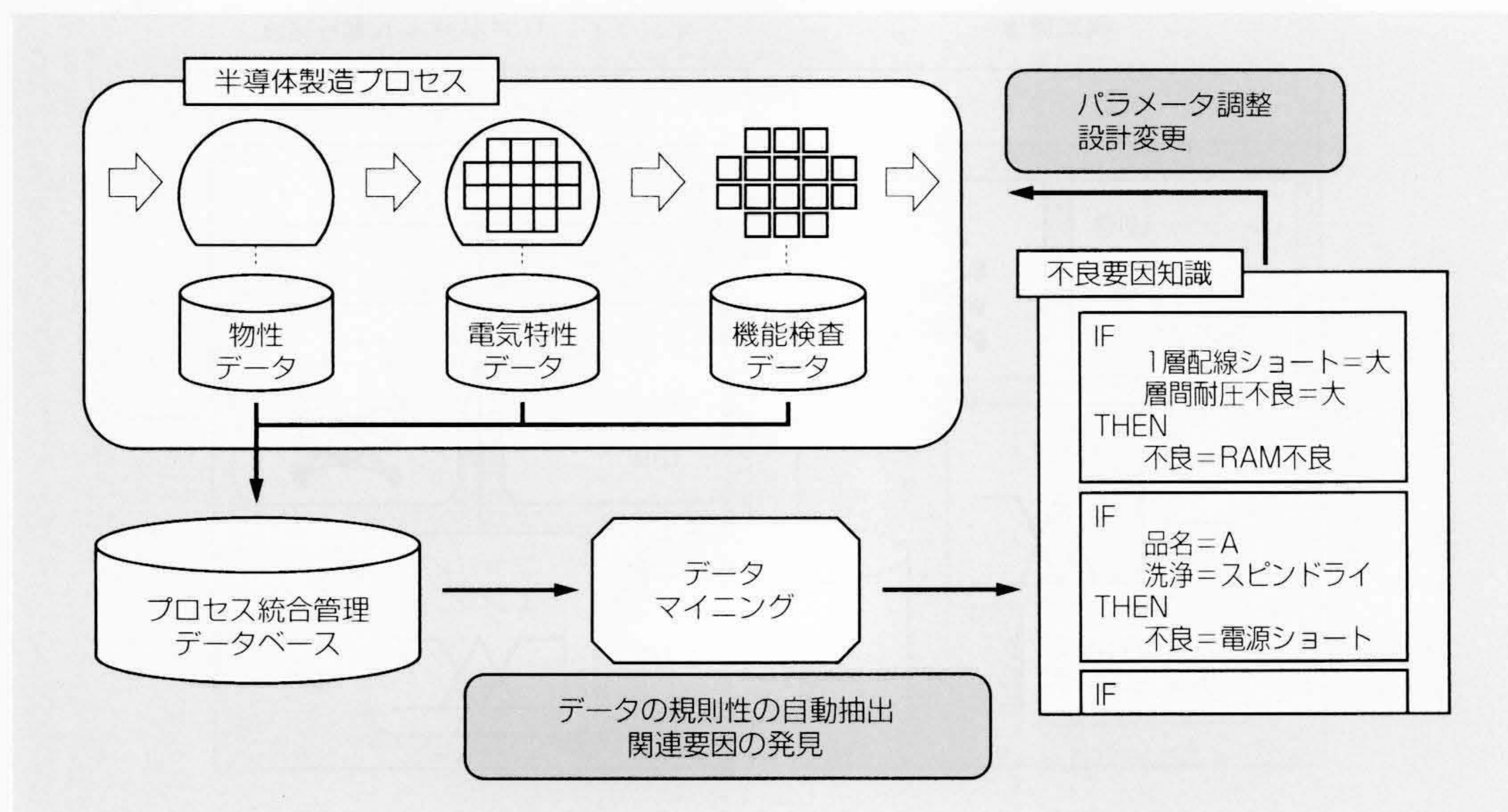


図4 データマイニング技術の半導体不良分析への適用例

論理LSIの製造過程で発生する各種検査データを入力し、特定の不良発生に関係する要因の自動抽出を行う。これにより、分析の効率向上と迅速な対策立案が可能になる。

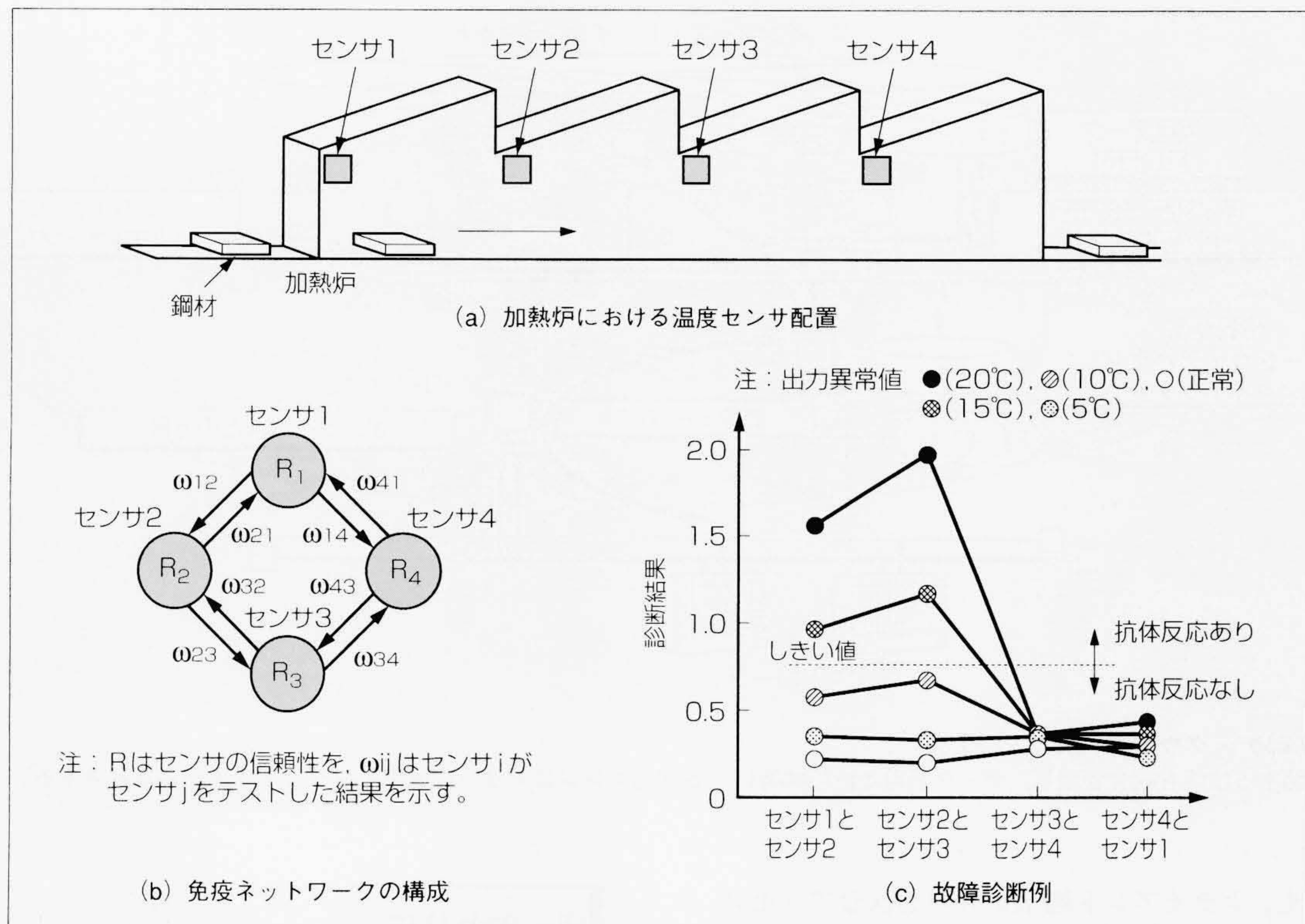


図5 免疫ネットワークによるセンサ故障診断

免疫ネットワークを用いた診断技術では、正常と異常を識別する生体の免疫機構を応用し、多数のセンサ間の相互監視によって精度よく故障を検知する。

この技術を熱間圧延ラインでの加熱炉プラントのセンサ診断に適用した例を図5に示す。加熱炉は鉄鋼プラントの熱間圧延上工程に位置し、圧延鋼材(スラブ)を1,200℃程度に昇温する設備であり、加熱炉の中の温度制御のためにセンサが配置されている。説明のために、センサを四つとしてこの四つのセンサ間で免疫ネットワークを構成した例を同図(a)に示す。

免疫処理とは、複数のセンサ出力が正常時に持っている大小関係や相対関係などの相互依存関係に従って、センサを図5(b)に示すようにネットワーク化し、生体での免疫反応を模擬したネットワークの収れん計算により、異常な値を出しているセンサを特定するアルゴリズムである。一つのセンサが異常となったときには、生体内で病原体が入ってきたときに免疫反応で異物を検出するのと同様なメカニズムにより、センサ間の相互監視によってセンサ異常を検出することができる。同図(c)に示すように、上記の例では、10℃程度の出力値差があれば異常検出が可能である。

このように、従来手法に比べて診断精度が向上するほか、免疫ネットワークを局所的な知識に基づいて分散し

た計算処理で診断するため、センサの追加・削除に対して診断システムの他の部分を変更する必要はなく、拡張性・保守性に優れたシステムの構築が可能である。また、複数センサ間の相互監視に基づいた診断であるため、センサを二重化して照合診断する場合に比べて余分なセンサを付加する必要がなく、コストの低減が可能である。

4. 情報制御データウェアハウス

プラントに関連する運転データ・設備保全データ・設計データなどを一元管理するニーズが高まっている。日立製作所は、プラント情報共有化のプラットフォームとしての統合データベースとして、プラント向け情報制御データウェアハウス(データ倉庫)を開発している。これにより、複数部門のエンジニアが自由にデータを加工、分析することができ、エンジニアリング業務を効率化することができる。

情報制御データウェアハウスの代表的な構成例を図6に示す。このシステムは以下の特徴を持つ。

- (1) オンライン系とは分離して性能への影響を排除
- (2) オープンなDBMS(Database Management Sys-

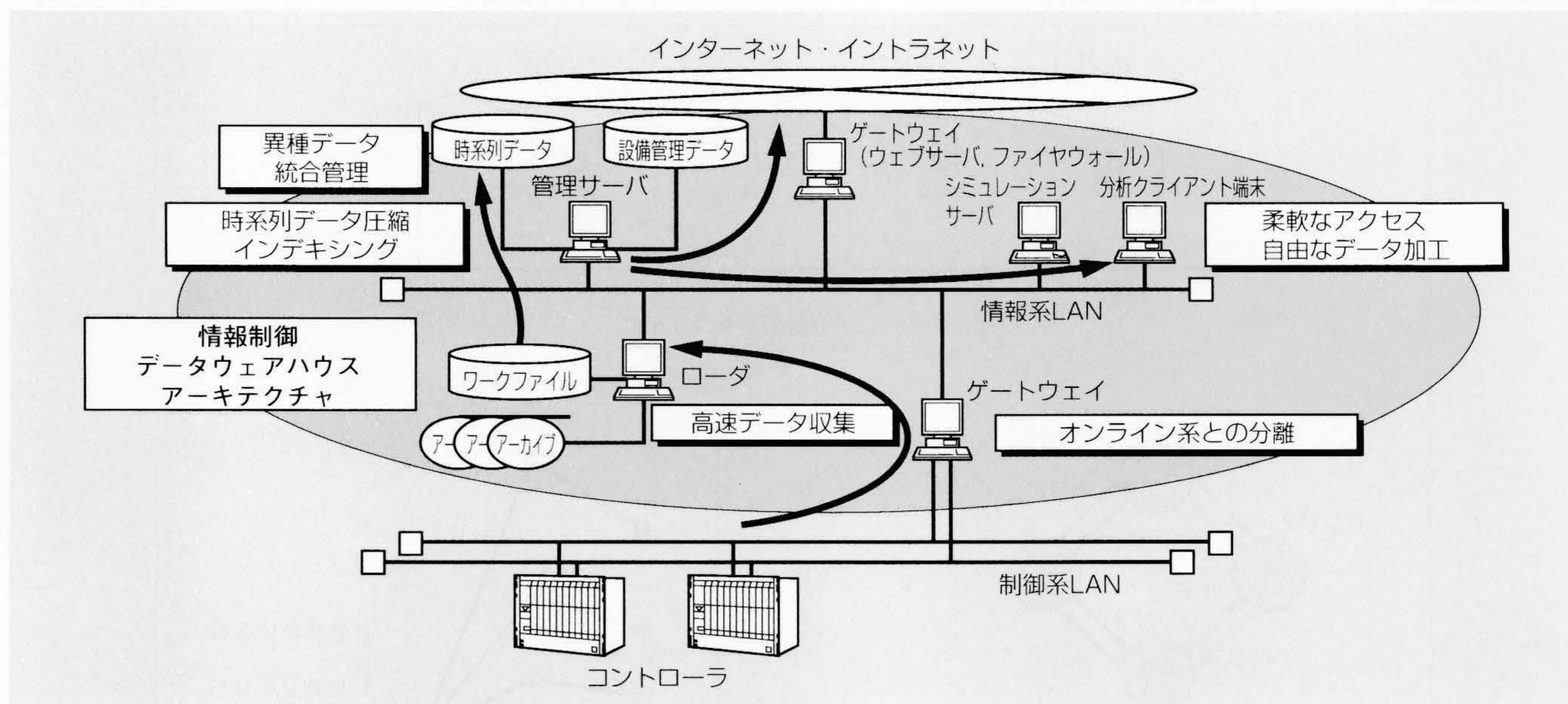


図6 情報制御データウェアハウスの構成例

プラントに関する情報を統合管理し、データ活用と情報共有による知的エンジニアリング環境のプラットフォームを提供する。

tem)を利用し、クライアント端末からの柔軟なアクセスと汎用ソフトウェアパッケージの利用による自由なデータ加工・分析が可能

- (3) 高速な制御ループからの情報収集機構
- (4) プロセス時系列データの圧縮と、高速検索のための索引を構成する技術
- (5) 図面を含む設備管理データとの連携

情報制御データウェアハウスは、前述したプラントシミュレータやシナジェティックAI構築環境への入力となる実績データ、およびデータマイニング技術を適用するデータを提供するプラットフォームとして位置づけることができる。品質管理や設備保全などのエンジニアリング業務にとって、プラントの実績データは貴重な資源である。これを一元的に管理し、共有化を推進するデータウェアハウスの考え方は、今後多くのプラントで採用されるものと考ええる。

5. おわりに

市場の変化に即応できる柔軟なプラント情報制御システムを実現し、かつそのシステムを限られた人員で安定かつ効率的に運転するためには、知的労働者であるエンジニアの生産性向上が必須の課題である。ここでは、この課題の解決に向け、計算機のパワーを積極的に活用する最新の情報技術を用い、個々のエンジニアの能力を最大限に発揮させる知的エンジニアリング環境の実現について述べた。

生産を支える現場技術者のパワーを増幅し、かつその技術を共有、伝承することが、グローバルな競争に勝ち抜くための生産技術を確立する条件になる。今後もイントラネット・インターネットに代表されるオープンな情報技術を積極的に活用することにより、産業会社に貢献する情報制御技術の開発を進めていく考えである。

参考文献

- 1) 杉田, 外: モデルチューニングを高精度に行うアジャスティングニューラルネットの構成と学習方式, 電気学会論文誌D, Vol. 115-D, No.4(平7-4)
- 2) M.Funababashi, et al.: Fuzzy and Neural Hybrid Expert Systems; Synergetic AI, IEEE Expert Magazine, Vol. 10, No. 4, pp.22~40(1995-8)
- 3) 牧, 外: ルール生成に基づくデータマイニングのLSI不良解析への適用, 情報処理第52回全国大会, Vol. 3, pp.139~140(平8-3)
- 4) 前田, 外: データベースからの知識獲得技術, システム/情報/制御, Vol. 39, No. 4, pp.185~190(平7-4)
- 5) 鹿山, 外: 免疫ネットワークとベクトル量子化を組み合わせたセンサ診断, 電気学会論文誌D, Vol. 115-D, No.7(平7-4)