

ファクトリーオートメーションシステム技術の動向と展望

Recent Trends and Future of Hitachi Factory Automation System

近年FAシステムは、急速な進展を見せている。これは低成長下での競争力強化のための合理化、ユーザーニーズの多様化に伴うフレキシブル生産システムの確立が主目的である。しかし、従来は部分的なFA化が多く、今後はその基盤の上にネットワーク技術の活用による統合化FAシステムへと進展すると考えられる。また、知識工学の発達に伴いFAに対する応用も進展しつつある。他に、画像処理技術、ロボット技術、システム評価技術なども進展を見せている。

FAは、システムを構成する要素技術とシステム技術の両者が進展して、初めて大きな効果が期待できるが、本稿では主なシステム技術に焦点を絞り、それらの動向と展望について論じる。

横井 博* *Hiroshi Yokoi*
三井善夫** *Yoshio Mitsui*
船橋誠壽*** *Motohisa Funabashi*
田中 昇**** *Noboru Tanaka*

1 緒 言

最近のFA(Factory Automation)システムの市場環境は、製品形態の多様化、製品ライフサイクルの短縮化の傾向が一段と顕著になり、設計、生産、検査などの運用管理の早急な見直しが必要となってきた。すなわち生産環境をフレキシブルに市場環境に対応させるためには、次に示すような課題に対するシステムの検討、評価がよりいっそう重要になってくる。

(1) FA, OA(Office Automation), LA(Laboratory Automation)の一体化

工場の生産環境(生産現場)の制御を中心として構築してきたFAシステムを、更に有効な生産支援のシステムとして利用してゆくためには、生産事務の合理化と一体になった支援システムとしての再構築が非常に重要なことである。生産事務の合理化対策としては、現場のペーパーレス化はもとより、グラフィック(画像)、音声、記号などを有効に利用した生産事務の支援強化が重要であり、生産事務管理を中心としたデータベースと、プロセス制御を中心としたデータベースの一体管理の実現が大前提となる。更には研究・開発を中心とした設計・テスト用データベースとの融合が実現して初めて生産環境と市場環境の一体化ができあがると考える。すなわち設備制御、生産事務、設計・開発などの支援機能が生産現場を中心にダイナミックに生産環境の変化に対応するようなフレキシブルな環境の整備がまず第一に手がけるべき対策と考える。

(2) 検査ラインの自動化

多品種少量の混合生産方式が市場環境から強く要求されるにつれ、生産ラインに密着して個々の製品の品質検査の管理の均一や精度の向上と併行して、検査処理の高速化が必要な対策課題になる。検査ラインの自動化、合理化のためには官能機能を直接間接を問わずどこまで電子化し、センシング、判定処理などできるかが、大きな技術課題である。この場合、単に官能機能の電子化を図るだけでなく、処理の高速化も併行して解決しなければならない重要な要素技術であり、オンライン確認機能が伴わない限り、生産ラインに密着した検査

ラインの自動化は達成できない。

(3) プロセス診断のシステム化

ハイテク産業での一般的傾向として見られるように、製品の早期開発、生産ラインの早期安定化をねらった試作・量産化への迅速な対応もFAシステムでの重要な目的になる。すなわち試作ロットを通常の製品ロットの間に混在させ、同一生産ラインで試作検討を進めながら、試作品の性能、品質も分析・解析し、短期間で安定した生産規格を作り上げる。それが終わると再び別の試作検討を同様の手順で繰り返す。このためには新製品の性能品質特性をすばやく解析し、それを生産の場にフィードバックする生産支援ツールの開発が必要であり、知識工学を応用したプロセス診断システムの開発などが有力なアプローチ手段と考えられる。

(4) 知能ロボット

高度な判断要素を含んだ現場作業分野の合理化、省力化を実現する手段としては、FAシステムでの知能ロボットの利用が考えられる。単に物を移送、搬送するような単純繰返し作業を主として単機能的なロボットに代わり、多機能ロボットすなわち考えるロボットを採用することにより、製造ラインのフレキシブル化を容易に実現しやすくなる。この場合は、仮想コンプライアンス制御方式などに代表されるような高度なセンシング技術だけでなく、容易な手順で高度な動作を教示するといった頭脳の移植・成長を支援するソフトウェア開発も併行して行なう必要がある。この分野も、知識工学の応用分野として大いに期待できるところである。

(5) CIM(Computer Integrated Manufacturing)への移行

市場環境、生産環境が複雑化してくる中で、より効率的な企業活動を展開するためには、広域に分散した情報を総合的に利用しながら種々の意思決定をする必要が出てくる。製品需要予測、製品流通状況、購入資材の市況状態など、従来はあまり厳しい時間的制約要素にならなかったこれらの情報を、シビアに生産状況にリンクさせることが必要になる。このためには、LAN(Local Area Network)、VAN(Value Added Network)などとの高度な通信処理技術に対応することはもち

* 日立製作所システム事業部 ** 日立製作所機電事業本部 *** 日立製作所システム開発研究所 **** 日立製作所生産技術研究所

ろんのこと、他システムとの融合のための知的なインタフェースの開発(システム間の会話手段、ソフトウェアの流通性の向上など)などが重要な要素となる。

2 統合化FAシステム

日立製作所ではFAシステムを、「受注から設計・製造・検査・出荷までを最新の情報処理及びメカトロニクス技術を駆使し、フレキシブルな生産を指向した工場一貫自動化システム」と定義してきた。しかし、従来のFAシステムの導入形態は、当初からこのようなトータルシステムとしての建設は新工場の場合を除いて少なく、むしろ管理・制御のFA化、物流のFA化、FMS(Flexible Manufacturing System)などのラインの自動化、個別自動化などの部分的FA化から着手されるケースが多く見られた。したがってトータルシステムとしてのFAシステムは、部分的FA化から段階建設を経て構築される最終的な姿であると考えられる。

2.1 統合化の背景

部分的FA化から始まったFAは、近年トータルシステムとしての統合化FAシステムへの道を進みつつある。この主な背景として下記の点が考えられる。

(1) 低成長下における競争力強化

現代のような低成長時代にあっては、製品のいっそうの競争力強化が必要とされる。消費者ニーズの多様化及び製品のライフサイクルの短縮化は進み、一方、高品質、高機能化だけでなく、価格低減も強く求められてくる。これらに対応するためには、従来以上の新製品の早期市場化、多品種少量生産、間接業務の合理化、自動化によるコスト低減が必要とさ

れる。

(2) 部分的なFA化の普及

初期のFA化時代では、トータルシステムとしての導入は少なく、むしろ部分的FA化としての導入が多くを占めた。したがって、それらの有機的な結合は少ないにしても、各サブシステム内では着手できる部分からのFA化は普及し、また一方、OA、LAなど関連分野の合理化も進んできた。ここで統合化FAシステムの基盤は確立されてきたと考えられる。

(3) ネットワーク技術の発達

近年のネットワーク技術の発達により、LANの高機能化、低価格化が進んでおり、一方、標準化に対しても、IEEE(米国電気電子学会)などの動きがある。また、広域ネットワークとしても、INS(Information Network System)、VANなどの進展があり、統合化に対する重要な基礎技術であるネットワーク技術が発達してきたことも大きな要因である。

2.2 統合化の特徴

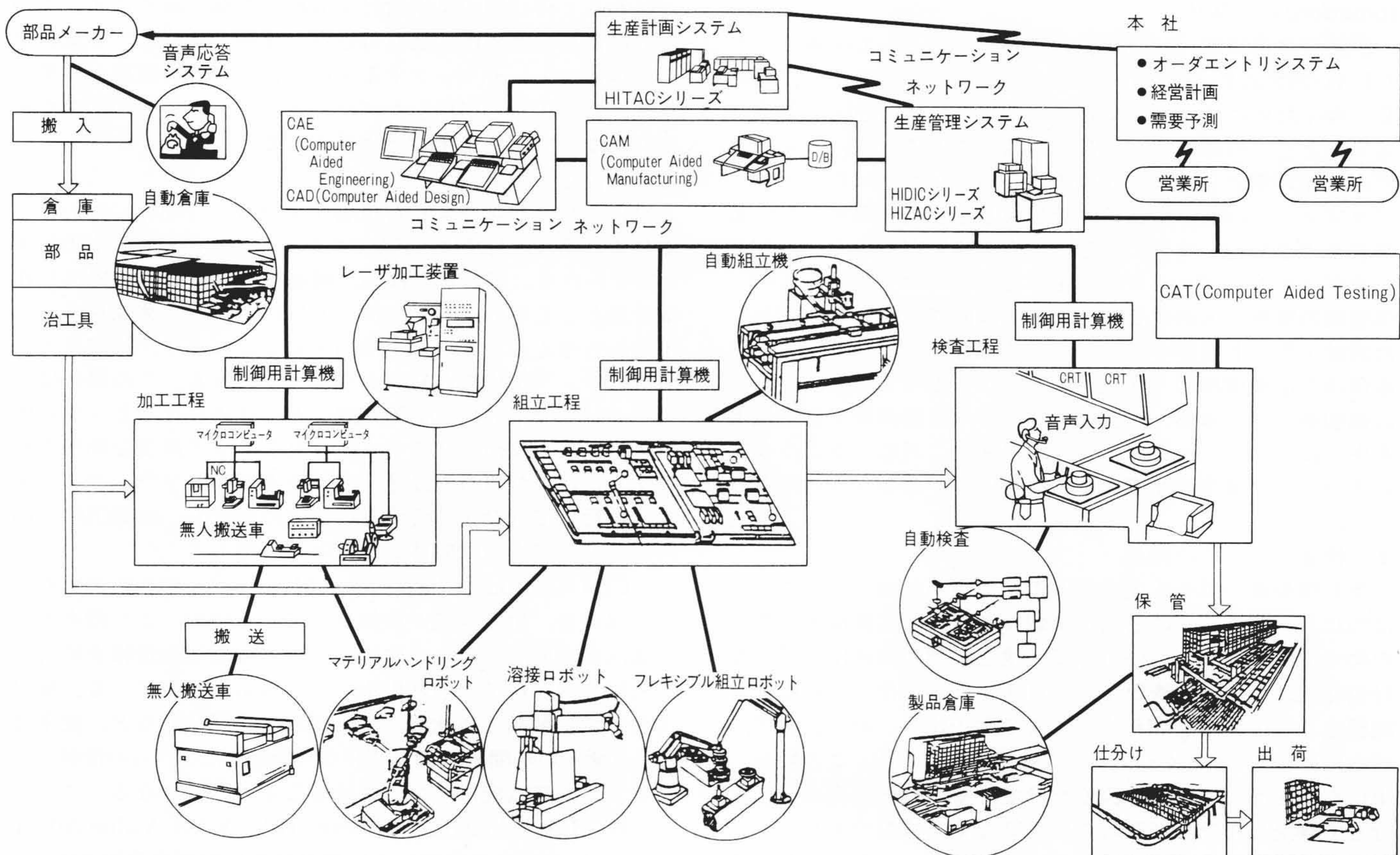
以上の背景のもとにFA、OA更にはLAまで包含した統合化が進むと考えられるが、その方向は本来FAの概念中に内蔵しており、主な特徴を次に記す。

(1) 情報の一元化によるトータルシステム

生産計画、生産準備、生産管理などの管理情報とCAE/ CAD/CAM/CAT(Computer Aided Engineering/Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing/Computer Aided Testing)などの技術情報が完全に結合した総合一貫システムを指向。

(2) オフィス生産性向上

ペーパーレス工場を目標とし、間接業務の簡素化、標準化



注：略語説明 CRT(Cathode Ray Tube)

図1 統合化FAシステムの例 ネットワークシステムの活用により、工場内だけでなく本社・営業所、外注部品メーカーまでを包含したトータルシステムである。

によるオフィス生産性向上を指向。

(3) ネットワーク領域の拡大

工場内FA化にとどまらず、本社、営業所、研究所、外注部品メーカーなどまでを包含した広域ネットワークを指向。

以上のほか、従来進展してきたFMS指向による生産効率の向上、物と情報の流れの完全同期化による納期短縮・仕掛け削減などの傾向は、ますます強くなるものと考えられる。統合化FAシステムの具体的表現の一例を図1に示す。なお、最近CIMに関する議論が盛んである。概念的には受注から出荷に至るすべての企業活動をコンピュータで支援するシステムであり、データベースの整備、ネットワーク環境の準備などがシステム構築上の課題とされているが、統合化FAシステムと軌を一にすると考える。

2.3 通信プロトコルの標準化

統合FAシステム構築のためには、ネットワークシステムの活用が重要になる。そのため、米国を中心に通信プロトコルの標準化が進められている。IEEE802委員会では、1980年からLAN標準化活動を開始し、現在802.1～802.8の8作業グループによって構成されている。特にFAに影響を与えるプロトコルとして、GM (General Motors)社が提唱したMAP (Manufacturing Automation Protocol)が注目されている。これはISO (国際標準化機構)のOSI (Open System Interconnection)参照モデルの枠組みに基づき、IEEE802.4のトークンバス方式が採用されている。現在、SME (Society of Manufacturing Engineers)のユーザーズグループで審議中であり、日本のユーザーズグループの窓口としてIROFA (財団法人国際ロボット・FA技術センター)が任に当たっている。またOAに重点を置いたボーイング社が推進しているTOP (Technical Office Protocol)も注目されている。これら標準化は、統合FAシステムを構築するに当たりマルチベンダを可能にする重要な要素となり得るものであり、今後の進展が注目される。

3 システム診断技法

生産システムの自動化は、環境変化への柔軟な適応性と同時に、システムが内包する欠陥の摘出・対応といった自己保存性を備えていなければならない。製品寿命の短期化に伴って、生産での種々の検査・診断結果を速やかに製品設計あるいは工程設計、設備にフィードバックしてゆくことが強く求められている。

システム診断技法は、このようなフィードバック経路を実現するための方法論であるが、異常現象を摘出し、その真の原因を突き止め、対策案を立案するというような課題に対して、数値的な扱いを基本とするのでは効果的な手法の立案は難しかった。しかし、最近の記号論的な考え方は有力なアプローチを提供しつつある。その中心的な方法は、システム構造化手法と知識工学的手法である。前者は、診断にかかわる知識の所在は一人の技術者にあるのではなく、技術者間に分散して存在する、あるいは複合的な技術としてとらえる必要がある、ということから、知識をいかに抽出し、かつそれを組織化するかという方法論である。知識工学的手法は、このようにして抽出・組織化した知識を、計算機を用いていかに活用するかという方法論を提供する。

3.1 システム構造化手法

システム構造化手法は、方法論的には計算機援用形KJ法ともいふべき考えを基本とする。すなわち、課題に関する事項をまず専門家から抽出し、更に、抽出した個々の事項の関連

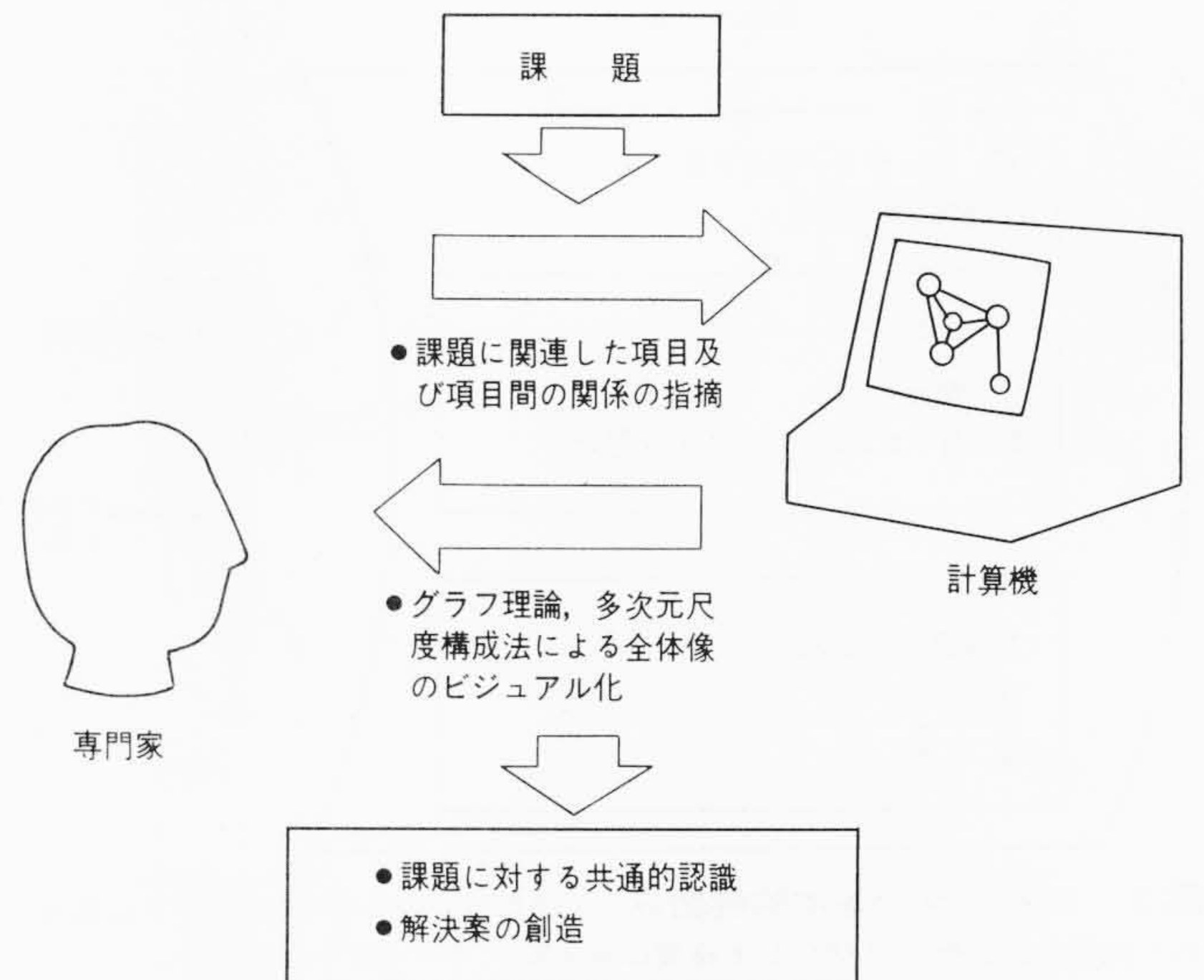


図2 システム構造化手法の基本的考え方 専門家と計算機との対話により、専門家間での課題に対する共通認識が形成され、解決の糸口を生み出す。

性の有無を専門家から取得する。計算機は、専門家から与えられた項目及び項目間の関連性をグラフ理論や、多次元尺度構成手法によって整理し、課題の全体像を専門家に提示し、課題の記述の十分性の検討を促す。これらを繰り返すことによって、専門家の課題に対する認識構造をビジュアル化し、複数の専門家の認識基盤を共通化するとともに解決案の創造を支援する(図2)。これまでに、SHS(Successive Hierarchical Structuring)、SSA (Structural Sensitivity Analysis)、HSA (Hierarchical Structural Analysis)と呼ぶ手法が開発され、実問題での効果が確認されている^{1)~3)}。

3.2 知識工学的手法

知識工学的手法は、構造化手法などで得られた断片的な知識を計算機に与えて知識ベースを作成し、この断片的な知識を推論エンジンと呼ぶプログラムに結合させることによって、必要とする情報を生成させようとするものである(図3)。

計算機に与える知識の形式は、if~then~(もし~ならば~である)というようにルールによって表現するものと、ある事象に関して、その属性を幾つか列挙し、更に事象間の関連性を示すというフレームによって表現するものとが一般に広く用いられる。所定の表現形式で知識を入力してやれば、あとは自動的にこの知識を結合してくれるソフトウェアは知識処理システム構築ツールと呼ばれる。本特集論文で紹介しているソフトウェアEUREKA (Electronic Understanding and Reasoning by Knowledge Activation)⁴⁾は、このツールの一つとみなすことができ、ルールとフレーム形の知識を有機的に組み合わせた表現形式をもち、更にこの種のソフトウェアで最大の問題と言われる処理の実用的な応答性の確保を、ネットワークアルゴリズムと呼ぶシステム技術によって達成している点に特徴がある。

知識工学的手法は、医療分野で多数の実験システム^{5)~7)}が開発されており、診断的問題への有効性は既に確認済みのものと言える。この基本的なアプローチは、図4に示すようにルール形知識で表わされる、原因-結果(症状)グラフを利用して、種々の症状から、真の原因と目される事項を摘出しようとするものである。すべての症状をあらかじめ知識ベースに教えることができれば、推論エンジンはグラフをたどって直ちに

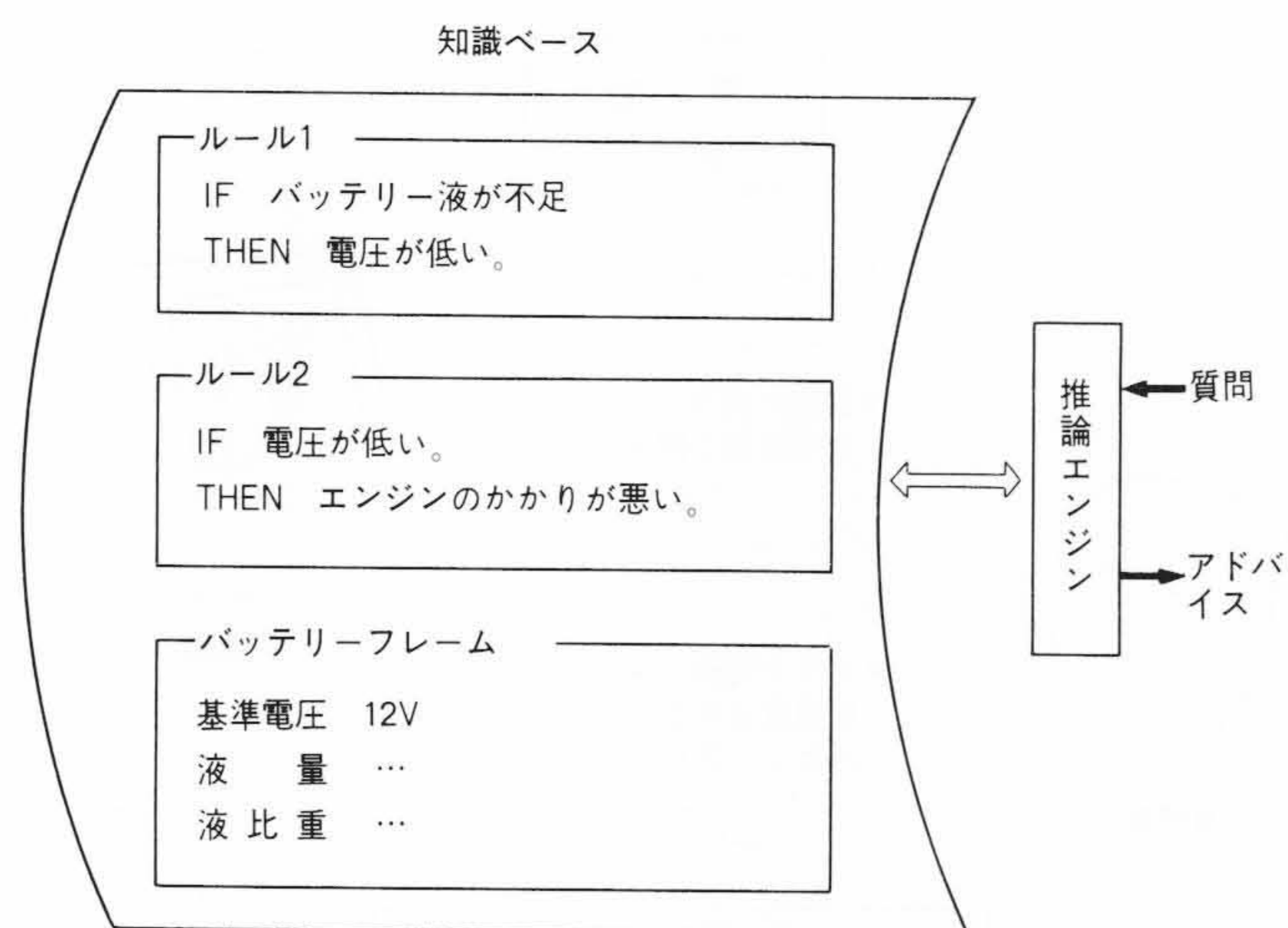


図3 知識工学の基本的枠組み 推論エンジンが知識ベースに蓄えられた知識を、自動的に結合して質問に対するアドバイスを生成する。

原因を抽出することができるが、実際には網羅的にすべての症状を事前に与えることは不可能である。このため、推論エンジンは部分的に与えられた症状から出発して、原因に関する仮説を生成し、この仮説の真偽を確認するために、幾つかの症状がみられるかどうかという質問を行なう、ということを反復することによって真の原因を抽出する。

知識工学の診断問題への適用は医療分野が端緒となったが、工学分野への適用も着実に進んでいる⁴⁾。半導体の製造で製品検査データから製品部門あるいは工程条件の不良抽出を支援する半導体プロセス診断システム、浄水場プラントで、多数の状態変化信号の中から真の異常原因を抽出し、対応のためのオペレータガイダンスを行なう浄水場監視制御システムなどが実用されている。これらは、いずれも知識処理のためのソフトウェアツールEUREKAを用いて実現している。

4 画像処理応用検査システム

4.1 最近の画像処理技術と検査システムへの応用の動向

近年産業界ではロボットをはじめ各種自動化機器を導入したFAの進む中で、画像処理技術すなわち視覚認識自動化を応用した製品の仕分けや製品の仕上がり検査のシステム化の要求が高まっている。

対象物を「白」と「黒」の2種類の映像情報として処理する2値画像処理(この方式では複雑な形状やきず、汚れなどは難しい。)をはじめ、濃淡画像や色彩画像処理技術も開発され、本格的な実用化時期に入りつつある。

4.2 画像処理の適用分野

画像処理の適用分野としては「認識」、「検査」(検出)、「計測」に大きく分類できる。また、適用分野ごとに専用の認識アルゴリズムが必要となり、そのための画像処理解析評価システムの準備も必要となる。更には、照明設備、搬送系の見直し、プラントとのインタフェースの準備なども、適用分野によっては、画像処理システムの有効性を大きく左右することになる。具体的な応用事例としては、ボトル中の薬液に混入する異物の検査、高速で移動する車両のナンバープレートの読み取り、鋼板の自動切断装置用ロボットの位置検出などが挙げられる。これらの応用例は高速処理(オンライン認識機能)が必要条件となり、画像処理装置としては「HIDIC-IP」が採用されている。

FA分野での応用範囲は、図5に示すようなものが考えられる。画像処理技術が、どのような形で応用されるかを示した

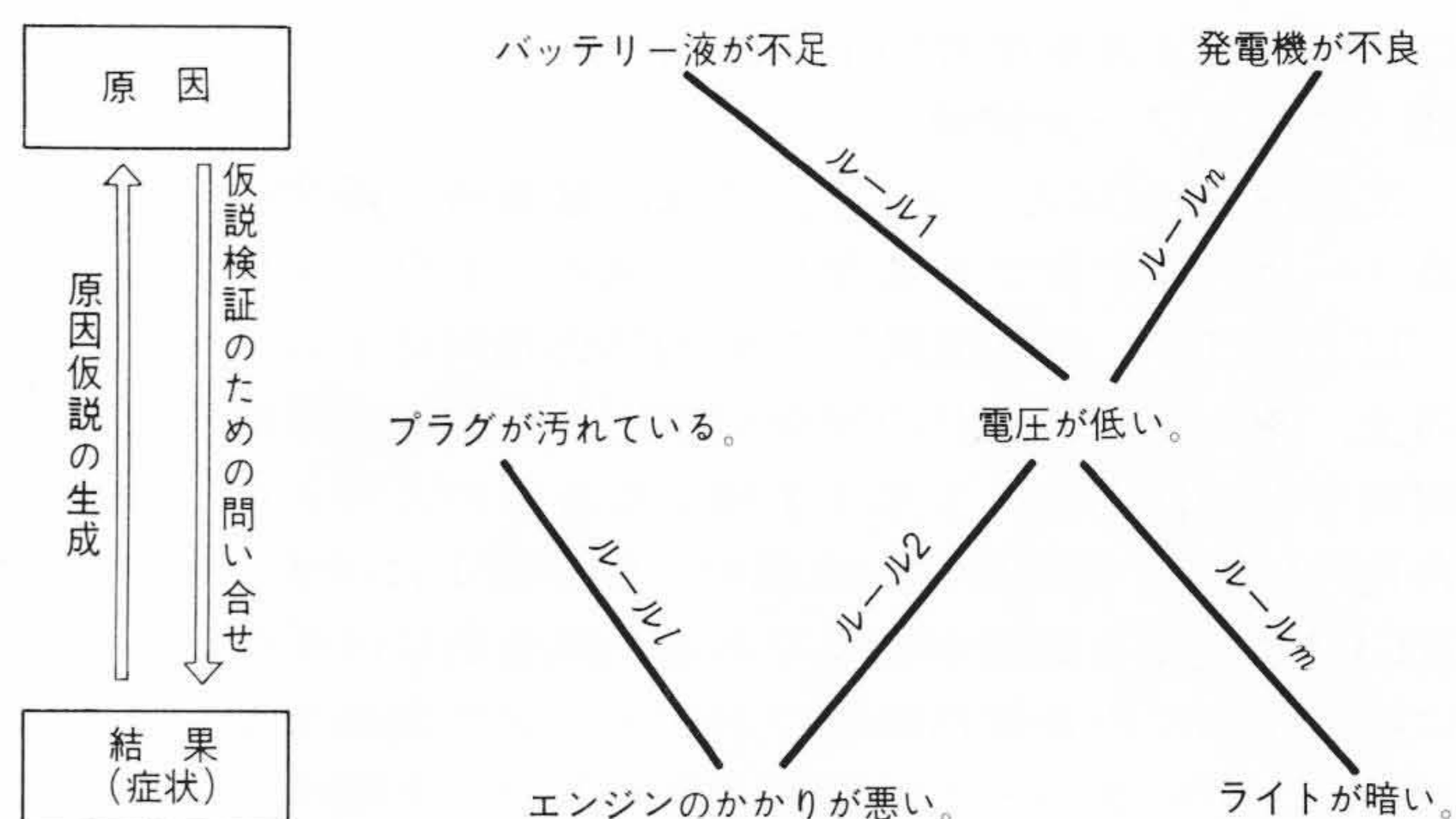


図4 ルール知識を用いた診断 症状からの原因仮説の生成、これを検証するための問い合せを反復することにより、真の原因を推論する。

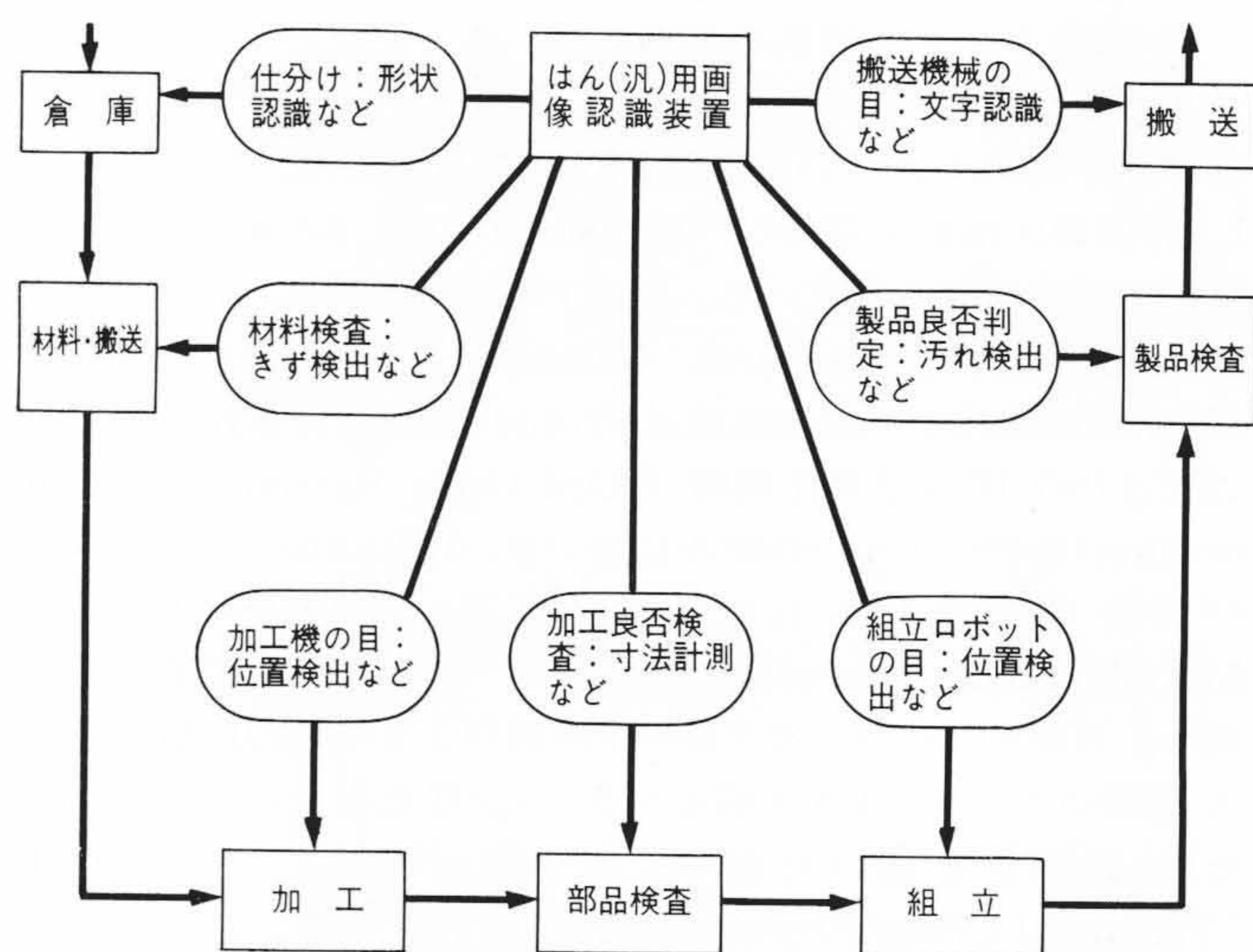


図5 FA分野での画像処理の応用範囲 今後は検査の自動化がFA分野では最大の課題であり、画像処理応用の最も期待されるところである。

処理：原画像→画像間演算→ヒストグラム

判定：ヒストグラムから下記を判定する。

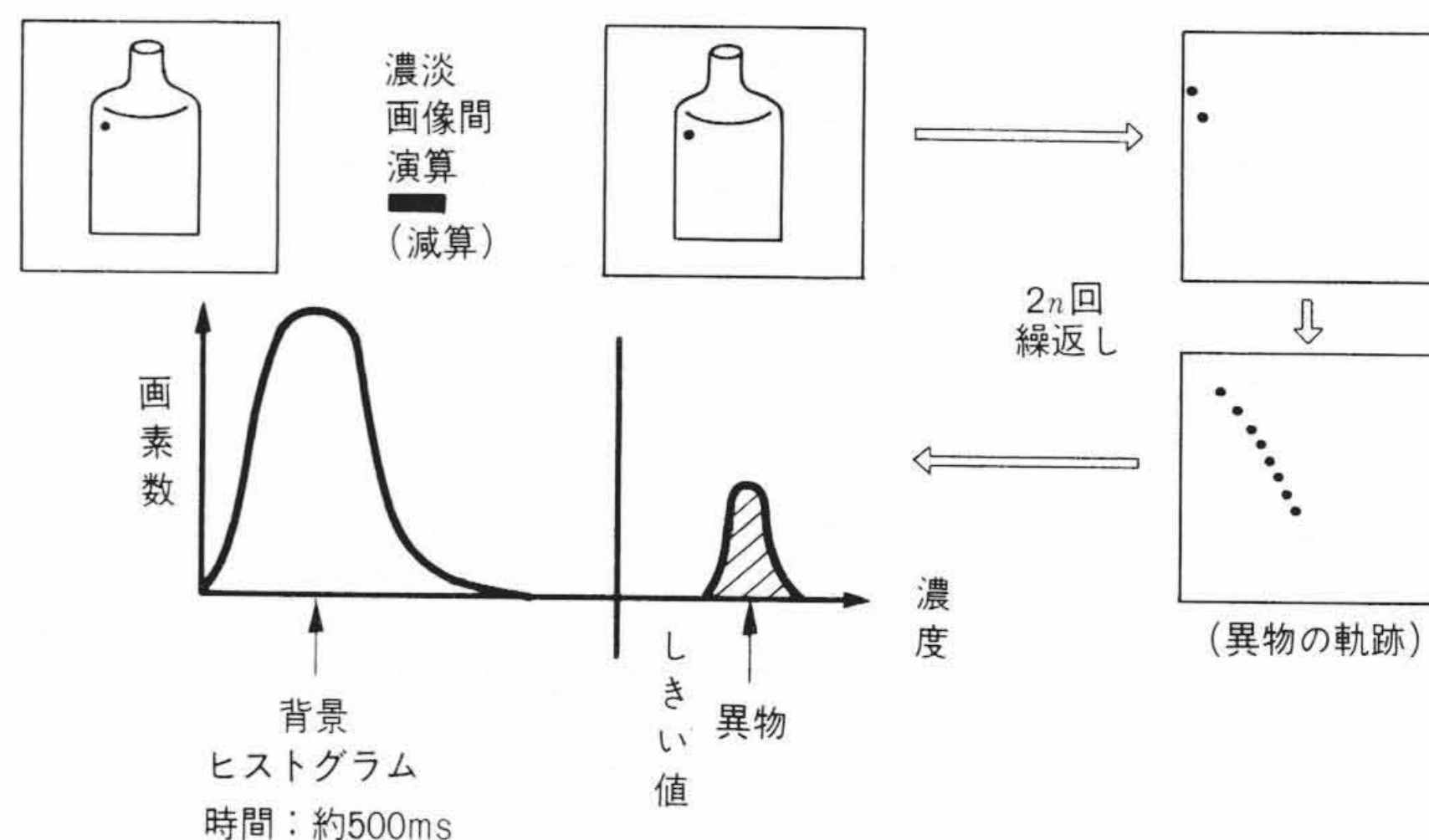


図6 薬液内異物検出システムの概要 薬液内の異物は、画像間のヒストグラムにより検出される。

ものである。特に検査の自動化が今後の最大の課題と考えられる。薬液(目薬)容器内の異物検出システムの概要を図6に、車両ナンバープレートの読み取りシステムの概要を図7に示す。

薬液容器内の異物検出システムは、次のような手順で処理される。

(1) 容器内異物は容器を回転させると浮遊運動を起こすことに着目し、画像処理で抽出する。

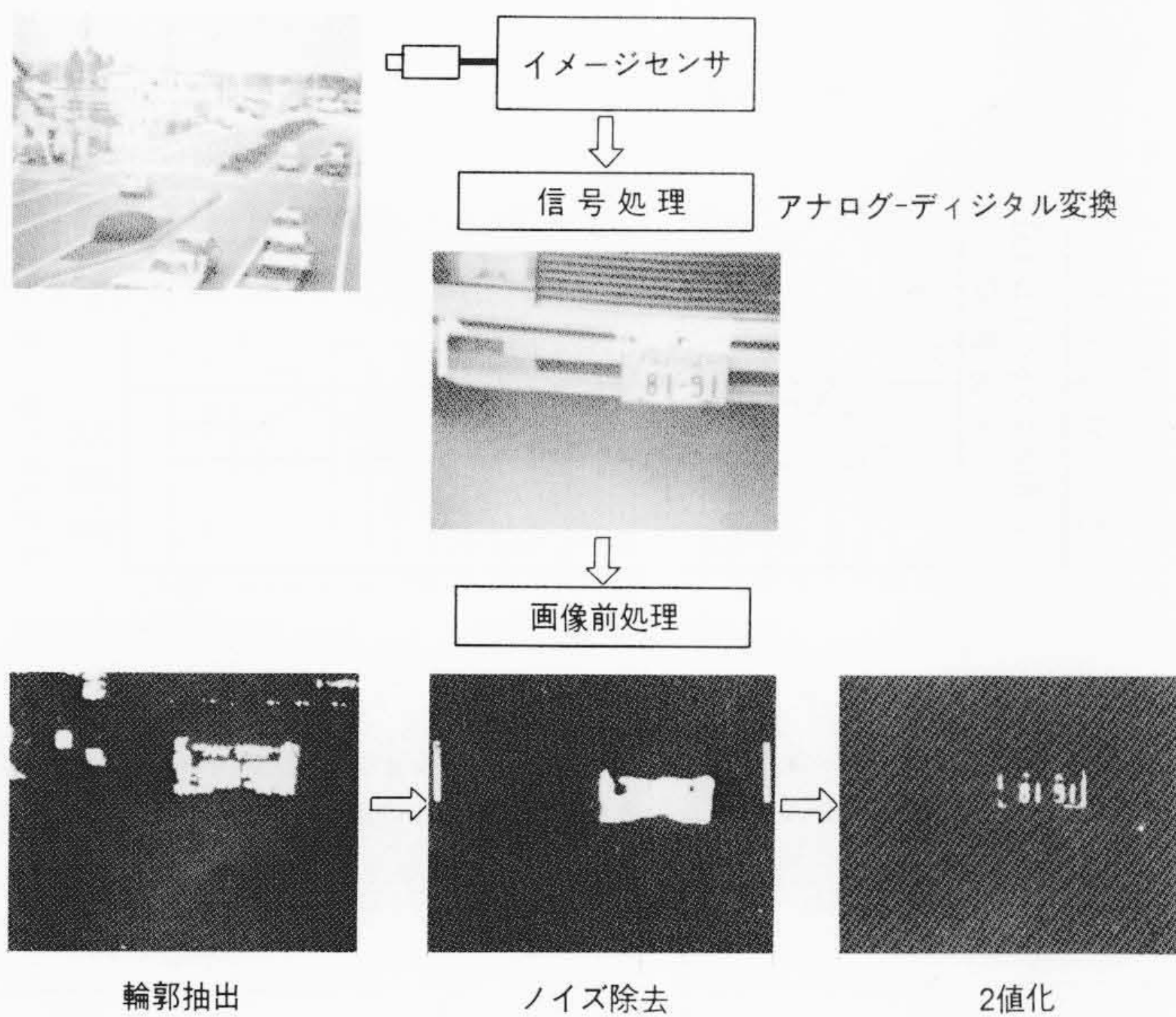


図7 ナンバープレートの読み取りシステムの概要 ナンバープレートの形状の特徴から、輪郭抽出した後に2値化して、数字部を抽出する。

- (2) ITV(工業用テレビジョン)カメラから取り込んだ画像と一定時間後に取り込んだ画像とを比較し、これを数回繰り返してヒストグラムで異物が混入しているか否かの判定をする。
- (3) 検出時間は演算処理、ヒストグラム処理、判定処理で約500ms程度で実行する。

高速で移動する自動車のナンバープレートは、複雑な背景の中から次のような手順で読み取られる。

- (1) イメージセンサ(ITV)でとらえた画像を、信号処理によりデジタル画像に変換する。
- (2) ナンバープレートの特徴(文字形状など)から、信号を微分処理し輪郭抽出をする。
- (3) 輪郭強調された画像を膨張させ、幾つかの塊の中から最も大きな面積をもつ対象物を抽出する(ノイズ除去)。
- (4) ノイズ除去された画像と原画像とを重ね合わせ、ナンバープレート部だけの画像を作り、それを2値化して数字部を抽出する。

4.3 技術課題

画像認識の一般的手法に対する技術課題としては図8に示したようなものが考えられる。

- (1) 高速化処理として、画素間平行演算、機能別平行演算の実現。
- (2) 素人でも使える分かりやすいソフトウェアの準備により、会話形画像評価、学習形パターン認識ソフトウェアの製品化。

これらの課題に対応した製品化が、より充実することによって今後更に幅広い分野での画像処理技術の応用が考えられると確信する。

5 システム評価法

5.1 ジョブショップ

システム評価の一般的方法として、シミュレーション法が知られている。これをジョブショップに適用すると、運用上の問題としては、物の動きが複雑に錯そうする上に生産する品種や生産量が変化するので、短期間の画一的なシミュレーションでは断片的な側面しか見ることができない。したがって、長期間のシミュレーションや多岐にわたる条件のシミュレーションを行なうことが必要となり、結果のまとめにも多大な工数を費やすことになる。一方、シミュレーションプロ



図8 画像処理の技術課題 画像処理を更に利用価値の高いものとして完成させるための技術課題と実現手段を示す。

グラムの開発面からみると、はん(汎)用的なプログラムの開発が困難なため専用プログラムとなり、多大な工数と期間が費やされることになる。

このようなシミュレーション法の欠点を補う方法として、待ち行列理論を応用した方法が有力で、二、三の報告例がある。以下に日立製作所で開発した設備計画プログラム“RE-PLICA”を紹介する。製品別工程手順・生産量、設備台数などの条件を与えると、図9に示すように仕掛け個数と生産速度及び生産期間の関係が得られ、仕掛け最小で最大の生産速度を得る適正仕掛け量とそのときの生産期間を求めることができる。

本方法を用いて最適設備台数を求める場合、設備台数の増減を試行錯誤で繰り返す必要があり、今後、知識工学などを応用して試行錯誤をなくす検討が必要である。

5.2 フローショップ

フローショップは、組立ラインに代表されるように流れる速度やラインの長さが異なるものの物の移動のしかたは類似性が高いので、一度プログラムを作成すると他のシステムに適用することも可能で、開発コストが割安になる。また、物の流れが単純でシステムの定常状態が長時間続くので、シミュレーションの信頼性が高いのでシステムの評価法としては有効である。図10は、自動組立ラインのシミュレーション結果であり、ロボットのマシンタイムと故障頻度及びステーション間バッファが入力データである。この結果から、シミュレーション開始後100分で定常状態に達し、目標サイクルタイムの8秒を満足している。

このようなシミュレーションは、従来からシステム計画時に実施しており、システム導入後の結果とよく一致している。

同様なシミュレーションとして製品供給システムの評価も行なっている。この自動組立システムの運用には、設備の監視修復を行なう作業が必要であるが、この作業の人数が少ない場合、設備の故障から修復までの時間が大きくなり、ライン全体の稼働率が低下する。したがって、ライン全体の稼働率(生産速度)が目標を満足する最小の作業人数と配置をシミュレーションにより求めた。図11は、シミュレーショ

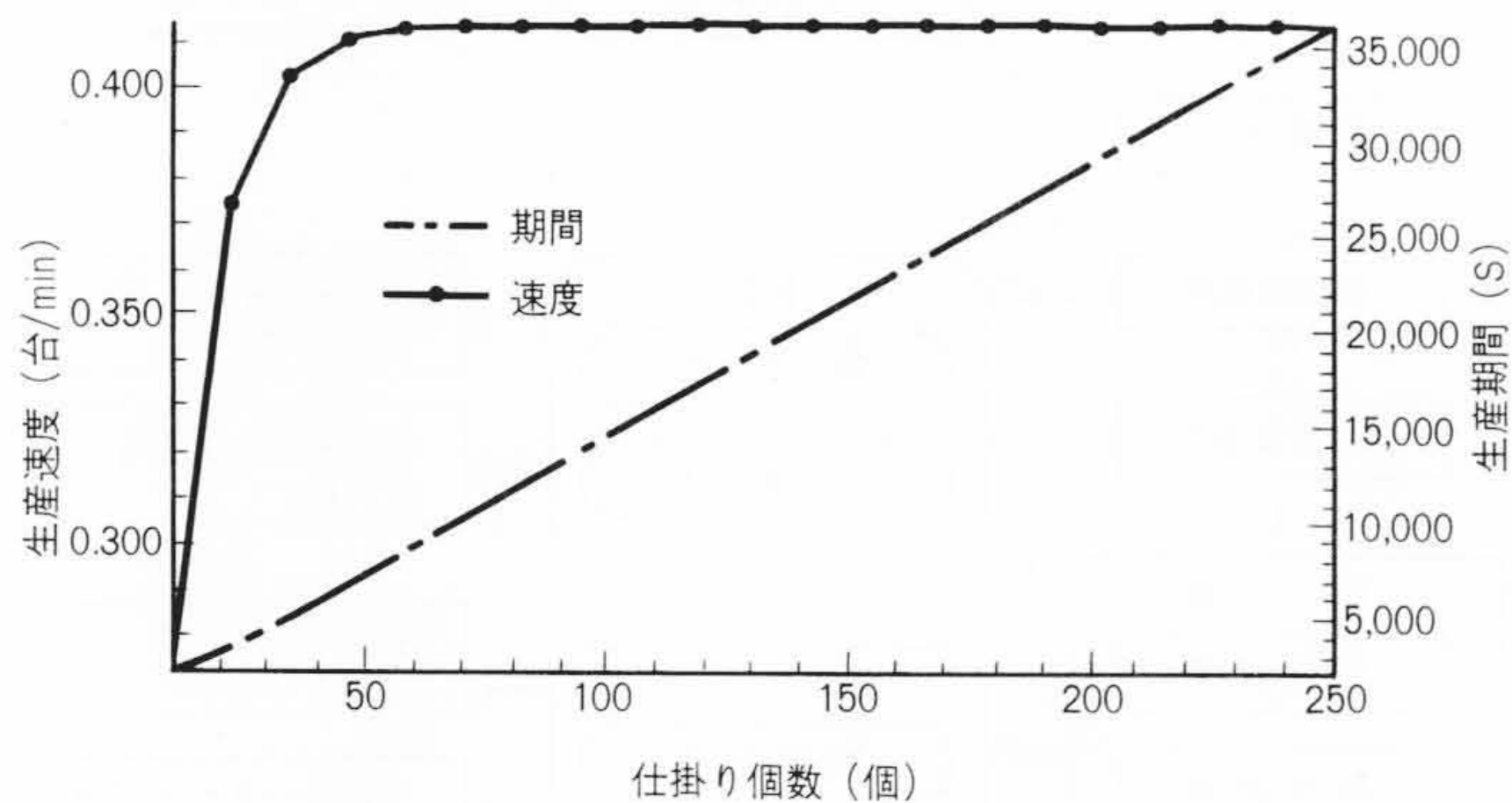


図9 仕掛け量と生産速度の関係 仕掛け最小で生産速度最大のときの適正仕掛け量及び生産期間を求めることができる。

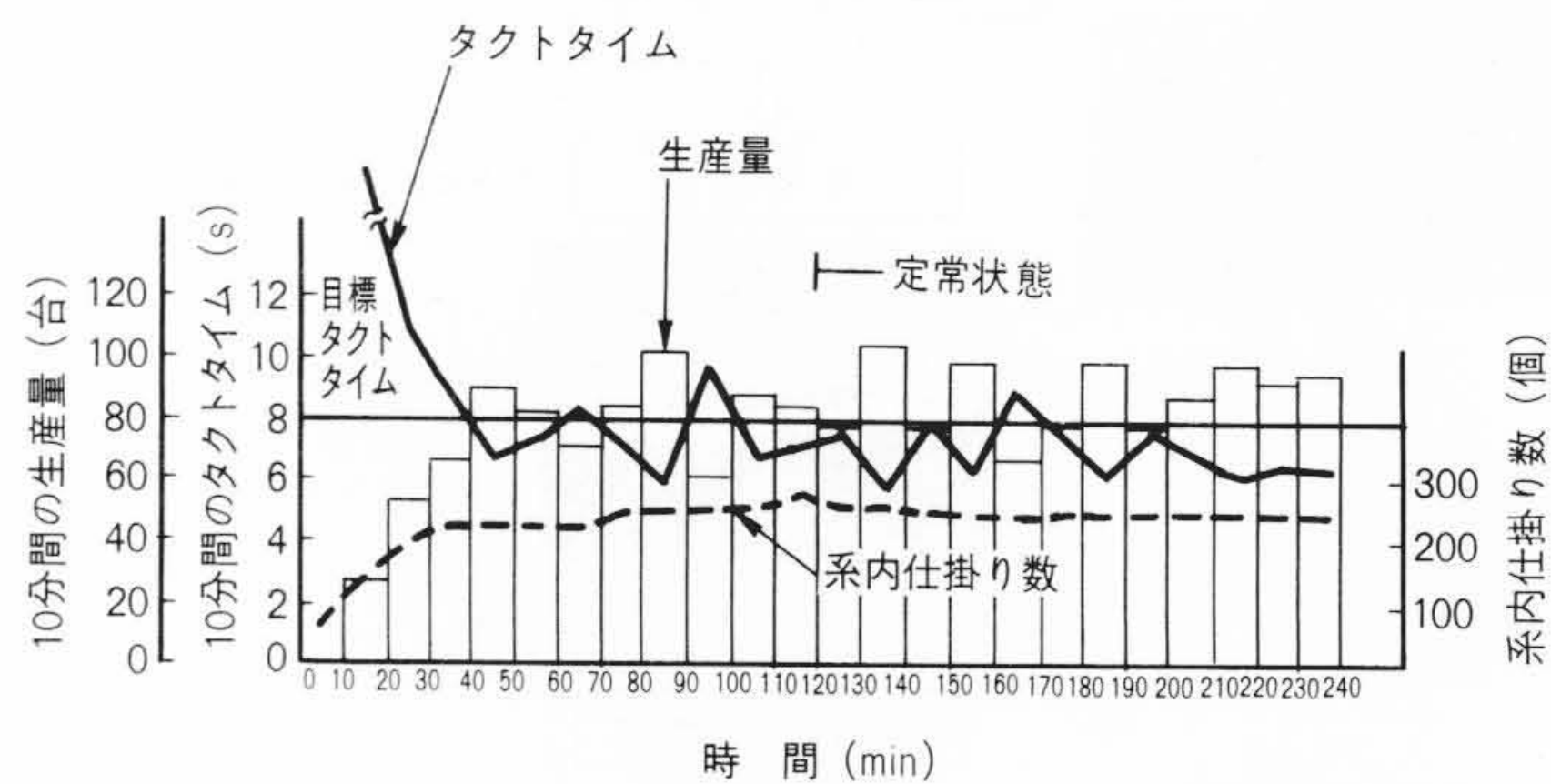


図10 シミュレーション結果 シミュレーション開始後約100分で定常状態に達し、目標サイクルタイムの8秒を満足している。

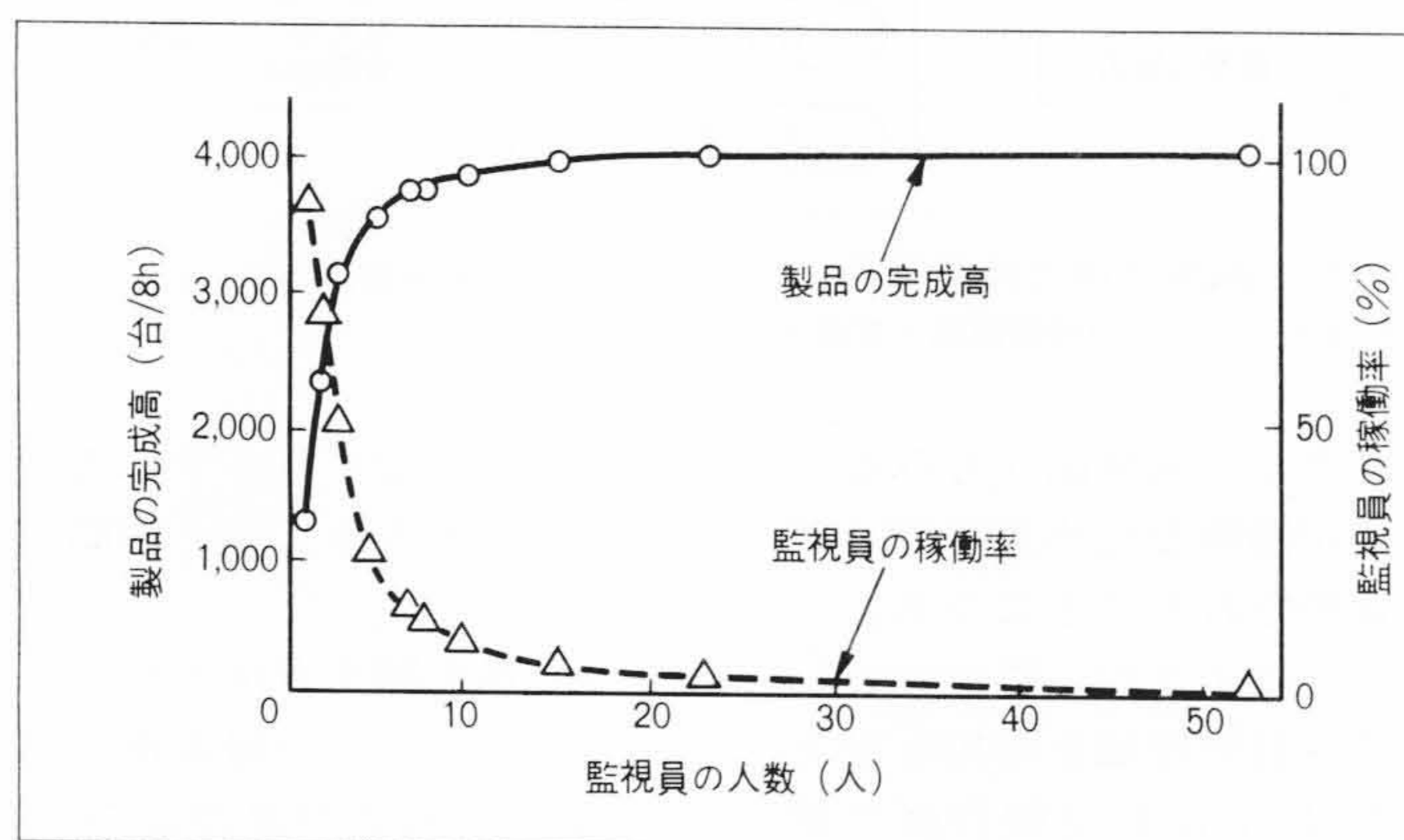


図11 監視員人数と生産速度の関係 ライン全体の稼働率(生産速度)が目標を満足する最小の作業人数を求めることができる。

ン結果であり作業者を10人とし、各作業者の受持ち範囲の累積故障確率が平準化するように配置することとした。これにより、設備投資段階でラインの運営に何人の作業者が必要であるかが明確となる。

前述したシミュレーション法は、限定されたフローショップには適用できるが、工場全体がフローショップになっている例は少なく、多段階のフローショップやジョブショップとフリーショップの組合せがほとんどである。したがって、工場全体のシステム評価を行なうためには、シミュレーションとREPLICAのような統計手法による方法を組み合わせて全体のシステム評価ができるようにする必要がある。

6 結 言

以上、FAシステム技術としての主要なものについて、その動向と展望を紹介した。

FAは現在急速な進展を見せており、本稿で述べた範囲だけでは十分とは考えられない。また一方、FAの進展はシステム技術だけでなく、システムを構成する要素技術も進展して初めて成し遂げられるのである。したがって、関連の深い参考文献を末尾に掲げたので参照されたい。

日立製作所は、システム技術の開発には今後とも力を入れてゆく考えである。また反面、ユーザーでもある利点を生かし、システム構築にそれらの経験とノウハウを折り込み、最適なFAシステムを提供するため努力する考えである。

参考文献

- 1) 中尾，外：複雑な問題認識のための一手法—逐次階層構造化手法の提案，電気学会論文誌C，100，1（昭55）
- 2) 春名，外：構造的感度解析法(SSA)の提案，電気学会論文誌C，99，8（昭54）
- 3) N. Komoda, et al.: Accessibility and Maintainability in Man-Machine Interactive Structural Modeling, 1978 Proc of International Conference on Cybernetics and Society (Tokyo)
- 4) 船橋，外：FA分野における知識処理システム構築用ソフトウェア“EUREKA”日立評論，68，11，921～926(昭61-11)
- 5) M. Weiss, et al.: Glaucoma Consultation by Computer, Computers in Biology and Medicine, 8, 1978
- 6) E. H. Shortliffe: Computer Based Medical Consultation MYCIN, New York Elsevier, 1976
- 7) J. C. Kunz, et al.: A Physiological Rule-based System for Interpreting, Pulmonary Function Test Rules, Stanford HPP Memo/HPP-78-19, 1978
- 8) 油井：ファクトリーオートメーション，日本工業新聞社
- 9) 三井，外：FAにおける技術動向と展望，日立評論，67，9，677～680(昭60-9)
- 10) 姫路，外：ファクトリーオートメーションシステムの計画技法，日立評論，65，12，819～822(昭58-12)
- 11) 福地，外：ロボットの動向と将来展望，日立評論，66，10，715～720(昭59-10)
- 12) 秦，外：日立におけるFA画像処理技術，日立評論，67，9，719～722(昭60-9)
- 13) 井原：知識工学の現状と動向，日立評論，67，12，927～932(昭60-12)