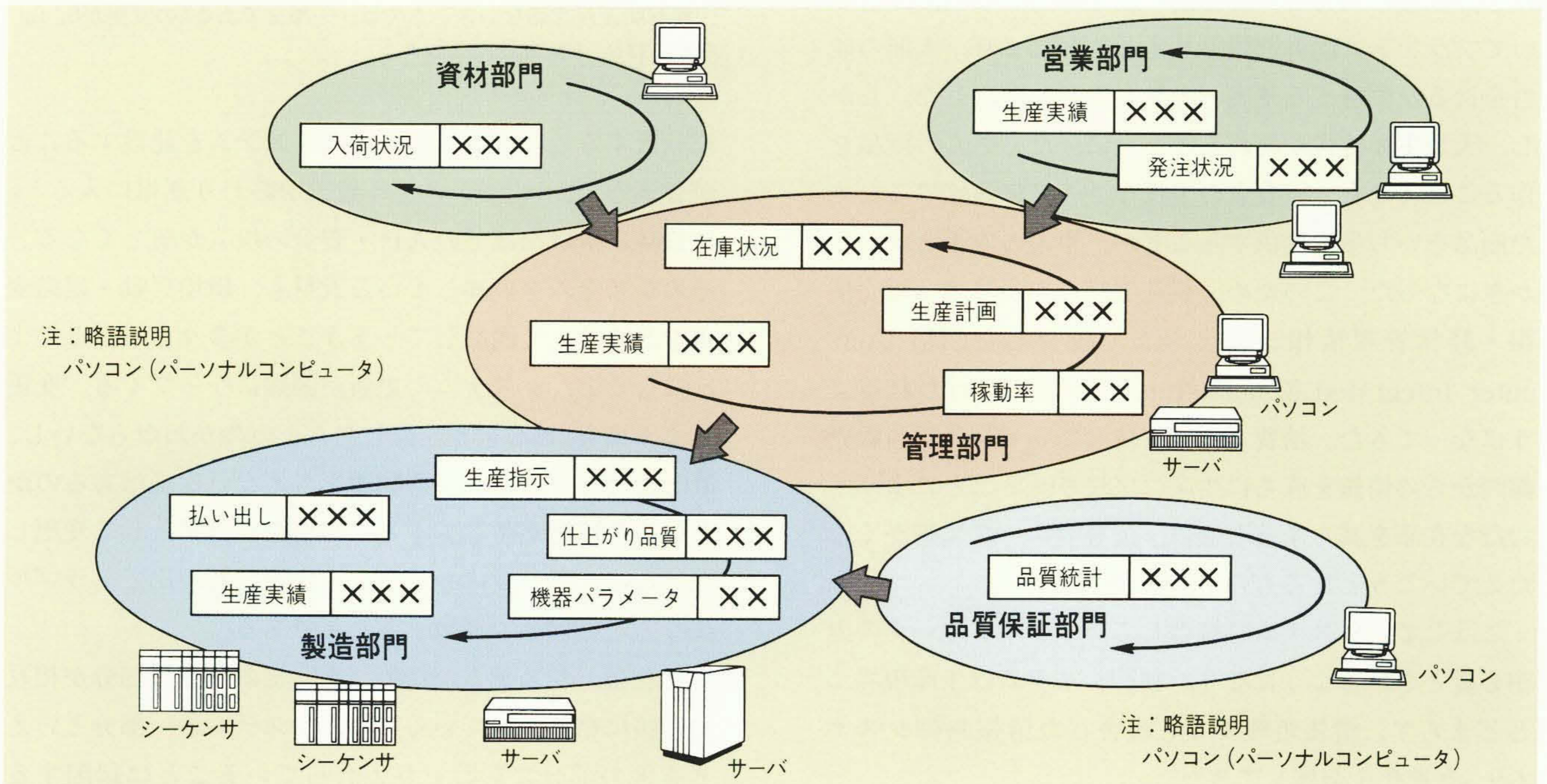


産業用情報制御システムの成長を支える 協調自律分散システム

Cooperative Autonomous Decentralized System Makes Integrated Control and Information Processing Systems Expand and Grow

林 慶治郎* Keijirō Hayashi 河野 克己*** Katsumi Kawano
綿谷 洋** Hiroshi Wataya 佐々布昭義**** Akiyoshi Sasō



協調自律分散システムの概念

協調自律分散システムでは、システムを構成するサブシステム間で固有のデータフィールドが定義できる。この複数のデータフィールド間で情報を交換するとき、フィルタリングや意味の変換が行える。これにより、情報の意味や質を変え、異なるサブシステムの統合を容易にするとともに、既存のシステムを生かしながら新しい意味づけのデータを使い、それまでにない新しい機能を追加するなど、システムの質的成長にも対応できる。

情報制御システムでは、マーケットニーズの変化や規制緩和、環境法、PL (Product Liability: 製造物責任) 法などに柔軟に対応し成長していくことが必須(す)要件となってきた。

日立製作所が開発した「協調自律分散システム」は、この要件を満たし、成長するシステムを実現するのに適したものである。

自律分散の考え方は、システムを構成するプログラムとプログラムの直接の結び付きを切り離して、プログラムとデータフィールドの結び付きに単純化する。これによってシステムをわかりやすくし、処

理の変更や機能の追加の影響を排除して、成長を容易にする。

協調自律分散ではこの考えをさらに拡張し、サブシステムごとに個別のデータフィールドを定義可能とする。そして、このデータフィールド間でデータを交換するとき情報をフィルタリングし、有用な情報だけを通したり、情報の意味づけを変えて流すなどの機能をサポートする。これにより、従来の情報に今までにない新しい意味づけをし、これを用いて新しい考え方の処理を追加して発展させるというシステムの質的成長も図ることができる。

* 日立製作所 大みか工場 工学博士 ** 日立製作所 大みか工場 *** 日立製作所 システム開発研究所 **** 日立製作所 機電事業部

1 はじめに

生産自動化システムでは、速さと正確さが大切とされていた。大量に作るためには生産速度を上げなければならない、品質を保つためには正確さが必要とされ、仕事をすばやく正確にこなせるという特徴を持つ計算機が制御に使われてきた。この特徴を生かし、プラントからの情報を計算機に入力し、計算機の迅速・適確な判断に基づいてプラントに制御情報を与えることにより、人間の能力をはるかに越える確実・大量な生産が実現した。しかし、大量生産時代が終わるとともに、たくさんの商品を作ることも、消費者の多様なニーズに正確にこたえた商品をいち早く提供することが、事業の成否を決めるかぎになった。このため、製造現場と生産管理・販売情報・経営管理情報システムまで統合したCIM(Computer Integrated Manufacturing)が盛んに行われるようになってきた。消費者に直接接している最先端の販売部門からの情報を直ちに生産に反映させることにより、むだな在庫を減らすとともに、消費者ニーズに細かくこたえていこうとするものである。

こうして、システムを統合していくネットワークの力が必要とされるようになり、制御システムは生産現場にとどまらず、情報処理までも統合した情報制御システムへと進化・発展してきた。

生産規模の拡大といった量的成長のほかに、ビジネスの変化という質的成長に対応して、あらゆる情報を活用して生産活動を行うことができるシステムを構築することも企業発展のかぎを握るようになった。すなわち、市場変化・システムの成長に応じて自分自身が成長でき、発信・受信する情報を柔軟に追加・変更できることが、現代の情報制御システムに求められている。

また、最初は小さなシステムから構築を始め、実際の投資効果を見ながらだいに大きなシステムへと成長させていくことは、初期投資を小さく抑えることができるという点でも大きなメリットがある。

ここでは、このようなユーザーのニーズにこたえることができる自律分散システムアーキテクチャの考え方、特質、機能、および応用事例について述べる。

2 ユーザーニーズにこたえる自律分散アーキテクチャ

2.1 成長を困難にするシステムの複雑さ

システムを建設するときは、そのときの知識・人材を

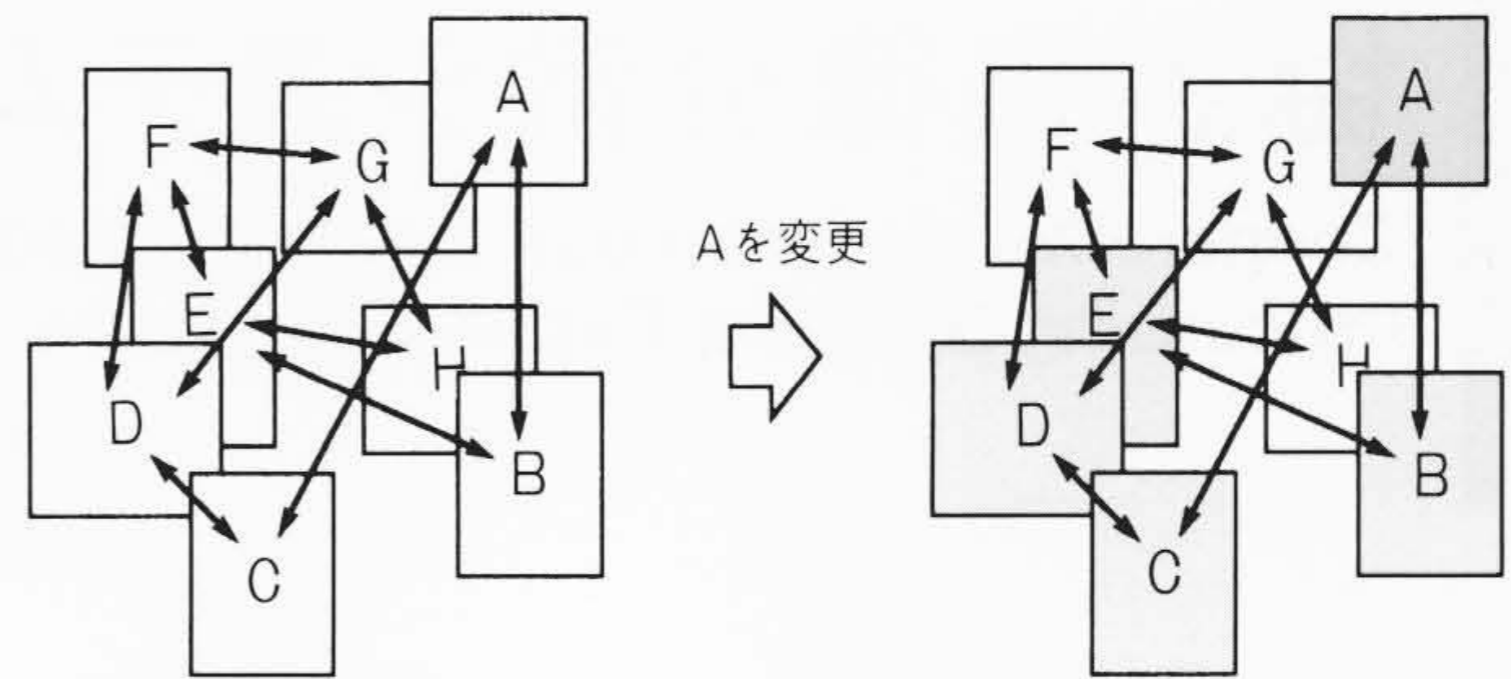


図1 成長を阻害する要因

相互関連が複雑なシステムでは、一部分であるAの変更がB, C, さらにはD, Eにも及んでしまう。

総動員することにより、最高のシステムを建設することができる。しかし、システム建設が終わり運用に入ると、建設時に掛けたほどの人材・資金の投入が難しくなる。そのシステムを熟知している人材も、職場異動・組織変更などに伴って四散してしまうことが多々ある。このようになると、システムの更新が困難になってくる。変更しようにも、どこをどう直したらよいかかわからないし、直したとしてもそれが悪影響を与えない保証はあるのかといった問題が生じてくる。影響ないはずとして変更したところ、思いがけないところに悪影響が出てトラブルになることはよく経験することである。

これは、システムが複雑になっており、各部分が相互に密接に絡みついているため、システムの一部といえども他の部分に影響を与え合っていることに起因する(図1参照)。特に制御システムでは、対象プラントの状態や運転員の指示などに応じて処理を臨機応変に変えなければならないため、プログラム相互の依存関係がOA系のソフトと比べてはるかに強いものとなっている。このため、制御系のソフトウェアは変更が難しくなっている。

また、このような複雑な相互関連は、その関連をドキュメントに残すことが困難である。システム建設当初にはシステムを精緻(ち)にドキュメント化することができても、保守段階でシステムに加えた変更が必ずしも十分にドキュメント化できるとは言えない。こうした事情も、システム変更を困難にする一因となっている。

2.2 成長を容易にする自律分散の考え方

自律分散システム²⁾は、こうしたシステムの複雑さを排除し、絶えず成長していくシステムを実現することができるシステム技法を提案するものである。

(1) 生体に学ぶ自律分散の考え方

生体は1個の細胞から始まって細胞分裂を繰り返す、同じ遺伝子情報を持った細胞がさまざまな機能を持った器官に発達していくことが知られている。自律分散シ

テムは、この生体の知恵に習い、システムを構成するノードにその所在場所ゆえに差異を設けることをせず(どのノードも潜在的には同じ素質を持っていると考える。)、どのノードも他のノードと同じ情報を受け取り、そのノードにとって必要な情報を選択的に使って自律的に処理を行う。

これを具体的実現するために、自律分散システムでは基本的通信メカニズムに機能コード通信と呼ぶ方式を使う。

(2) 相互依存を排除する機能コード通信

従来の通信では相手を指定してデータを送り、そのデータがどのようなデータであるかを通信相手とあらかじめ取り決めておかなければならない。したがって、違う種類のデータを利用するときは、自分も相手も変更しなければならない。また、システム建設途中で相手が正常でないときは、自分も正常動作ができなくなる。「相手異常」で通信エラーになってしまうからである。

機能コード通信は、このような従来の通信と異なってあて先を特定しない。データは、その内容がどのようなものを表す識別子(機能コード)と組になって、システムを構成する全ノードに送り出される。ノードは送られて来たデータが自分が必要としているデータか否かを機能コードを見て判断し、自分に必要なデータだけを取り込んで処理する(図2参照)。

送信されたデータは特定の相手に向かって送り出されるわけではなく、いわばデータのプールに送り出されるのである。このデータのプールをデータフィールドと呼ぶ。データを受信するときは、このデータフィールドからデータを受け取るのであり、送信元のプログラムから

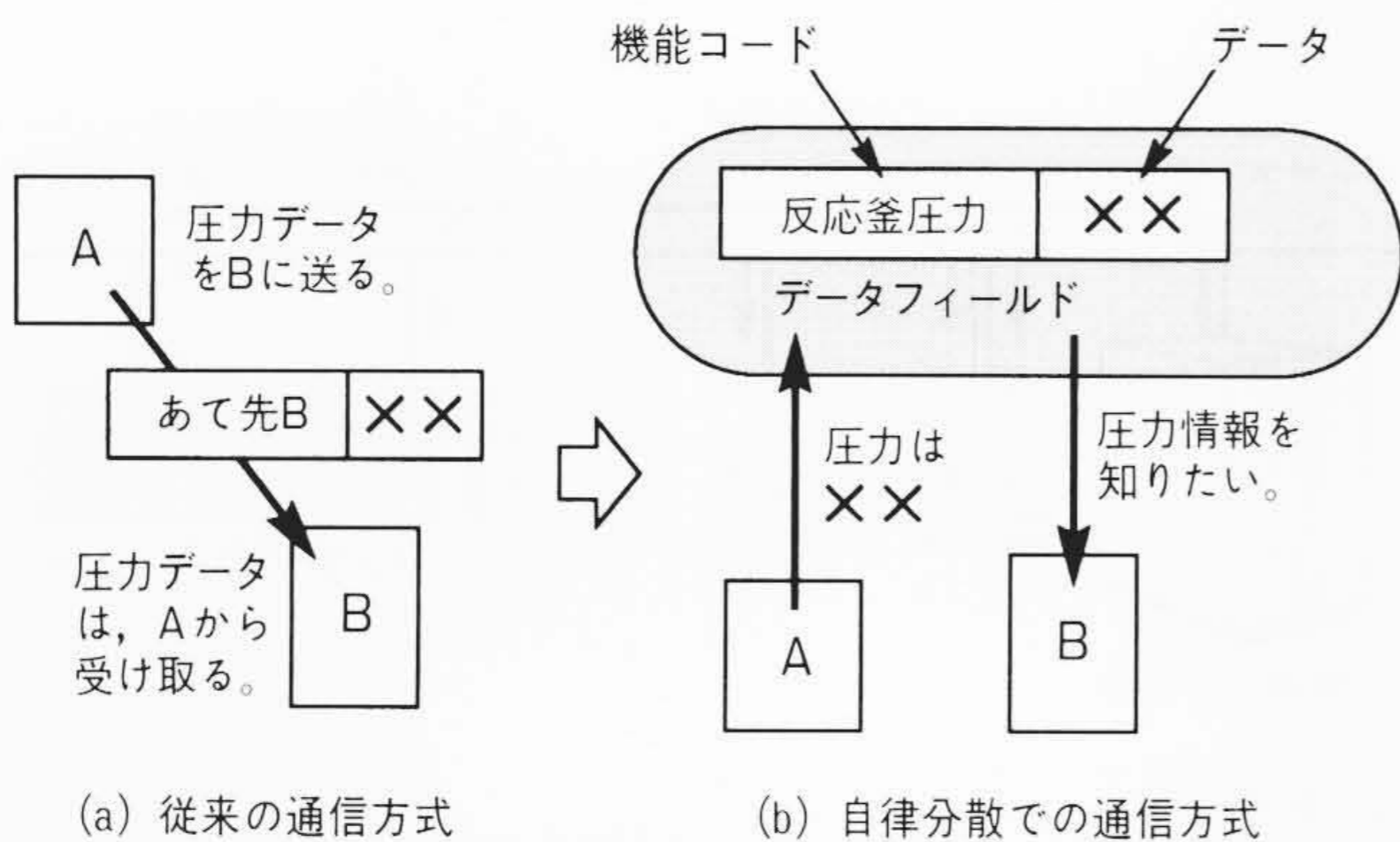
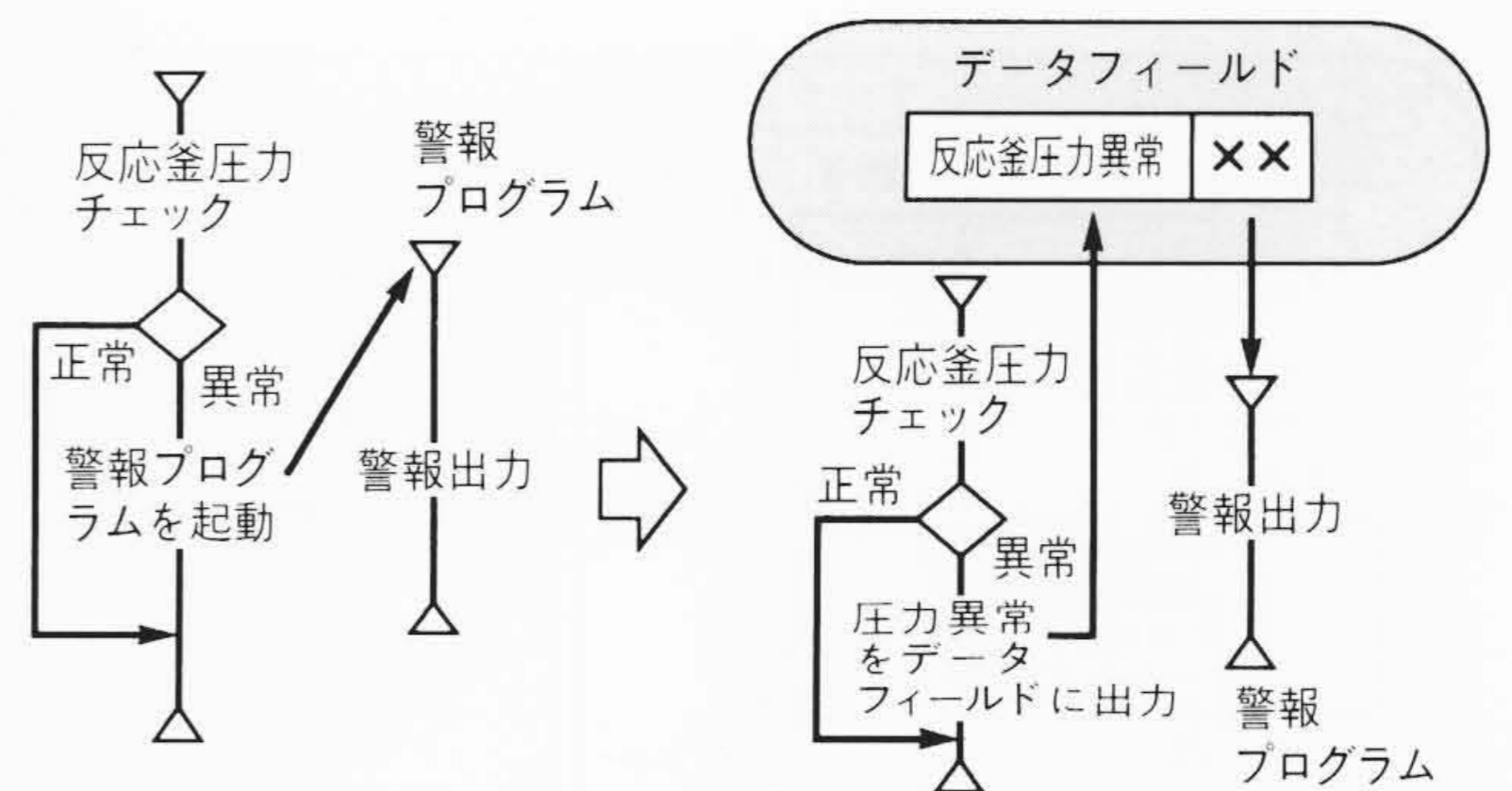


図2 従来の通信方式と自律分散の違い

従来の方式ではどのようなデータをだれとやり取りするかを決めておくため、一方を変更すると相手も変更しなければならなかった。自律分散ではデータフィールドを介してデータを授受するので、一方を変更しても他方に影響が及ばない。



(a) 従来の考え方で相互関連 (b) 自律分散の考え方で相互関連

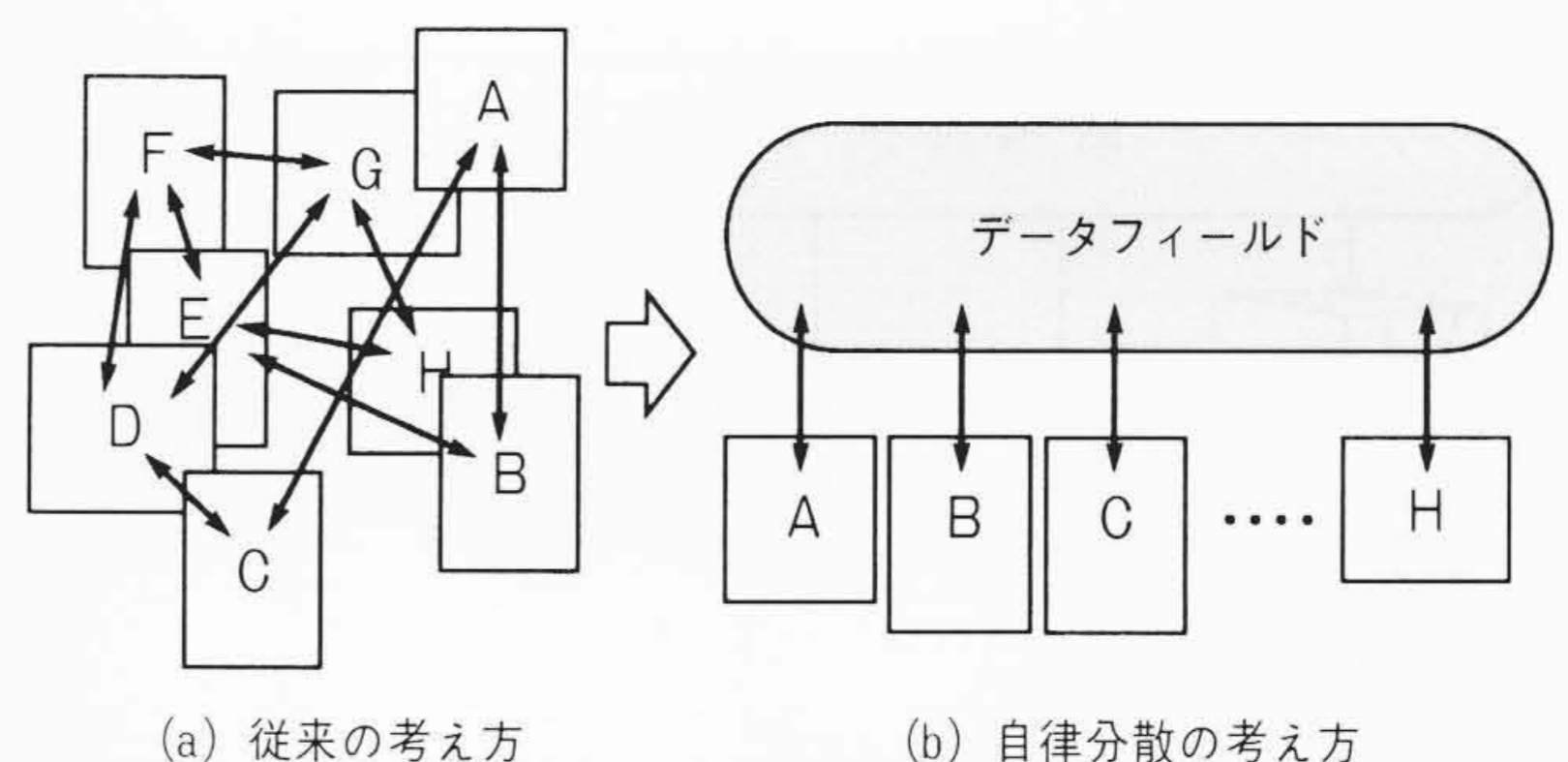
図3 自律分散でのプログラム相互の直接的結び付きの切り離し

従来の考え方では、プログラムに相手プログラムの起動指示を直接記述する。自律分散の考え方では、特定の相手を起動する指示をしないで、単にデータフィールドに圧力異常を出力する。警報プログラムはこの情報により、自動的に起動される。

受け取るのではない。このようにデータのやり取りを特定プログラム相互の直接的結び付きではなく、プログラムとデータフィールドの結び付きに変えてしまうことにより、プログラム相互の干渉を排除する。これにより、例えばデータを送り出す側は、相手がデータを受け取ったか否かの影響を受けない。また、受信側はこのデータがだれから送られてきたか意識する必要がないので、このデータの送り手が別ノードに移動してもまったく影響を受けずに処理をすることができる(図3参照)。

(3) プログラムの直接の関連を断つデータ駆動方式

データがデータフィールドに送られて来ると、このデータを必要とするプログラムをシステムが自動的に起動する。この方式をデータ駆動方式と呼ぶ。データ駆動方式では、動作に必要なデータがそろった時点で該当プログラムが自動的に起動されるので、プログラム内に他プログラムの起動など動作指示を直接プログラミングしておく必要がない。そのプログラムが動くか否かは、そのプログラムが必要とするデータがデータフィールド上に



(a) 従来の考え方 (b) 自律分散の考え方

図4 自律分散によるシステムの単純化

相互関連が複雑なシステムも、データフィールドとプログラムの1対1の単純な関係にできる。

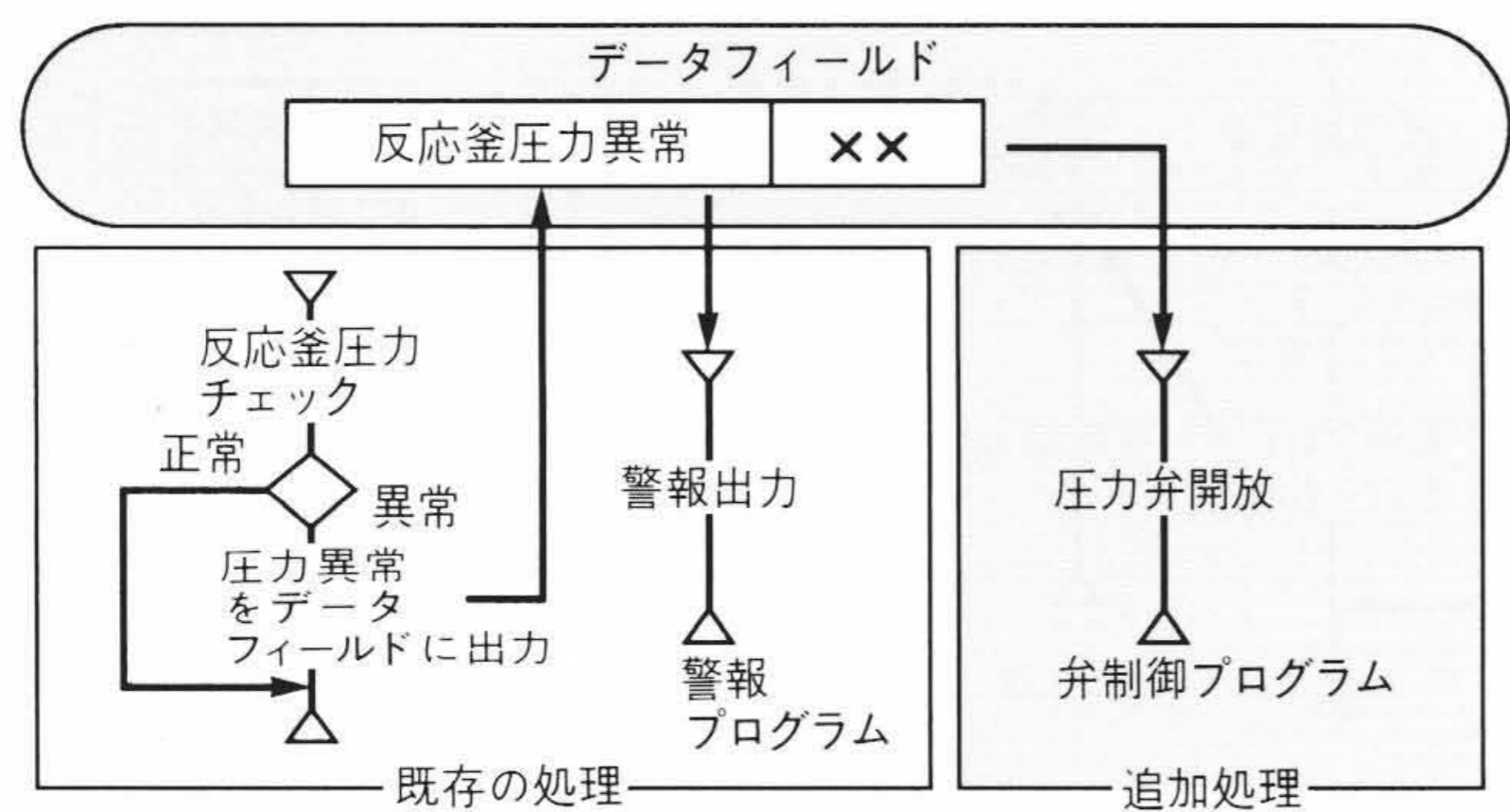


図5 自律分散では変更や追加が簡単
自律分散の考え方では、警報出力のほかに自動的に圧力弁を開ける処理を追加することが、既存の処理に一切変更を加えずに行える。

そろっているか否かによってだけ決められるように単純化できる。このため、他のプログラムの状態に直接の影響を受けなくなる。

このようにして、自律分散の考え方により、プログラム相互の直接的結び付きをプログラムとデータフィールドの関係に解きほぐし、プログラムの起動をデータ駆動方式に統一化することによってプログラムの動きを単純化し、大規模システムでもプログラム相互の関係を簡単なものにすることができる(図4参照)。

例えば図5に示すように、反応釜の圧力異常で圧力弁の開放を自動的に行うように処理を追加しようとしたとき、「反応釜圧力異常」という機能コードを取り込み動作するモジュールを追加するだけで、既存のプログラムをまったく変更する必要がない。「圧力異常」という情報は、これを必要とするすべてのプログラムに送られており、この情報を新規追加されたプログラムが参照しようとしまいと、送り側には影響しないからである。

(4) 自律分散システムの構成要素

このような優れた特徴を持つ自律分散システムは、機能コード通信をサポートする制御用ネットワークとその

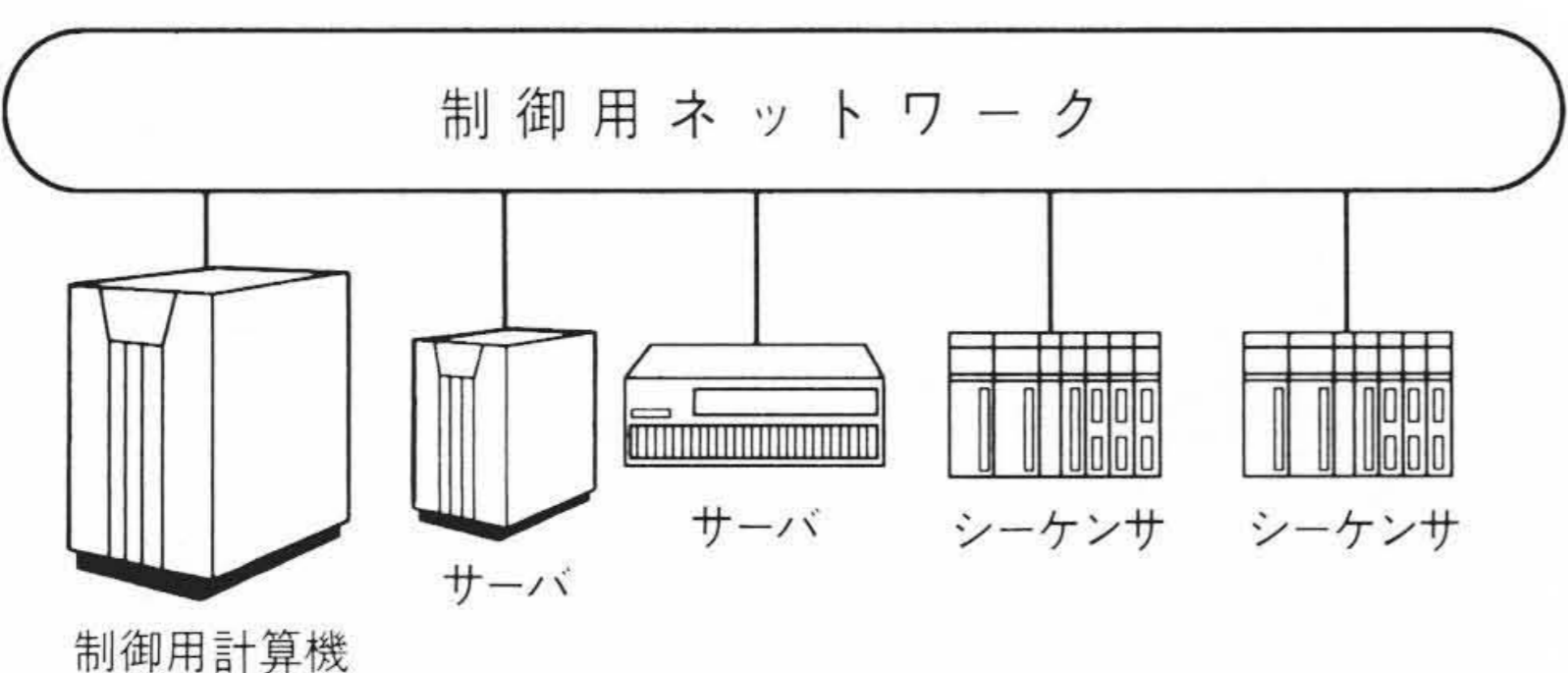


図6 自律分散システムの構成
機能コード通信をサポートする制御用ネットワークに、計算機、コントローラなどをノードとして接続し、自律分散システムを構成する。

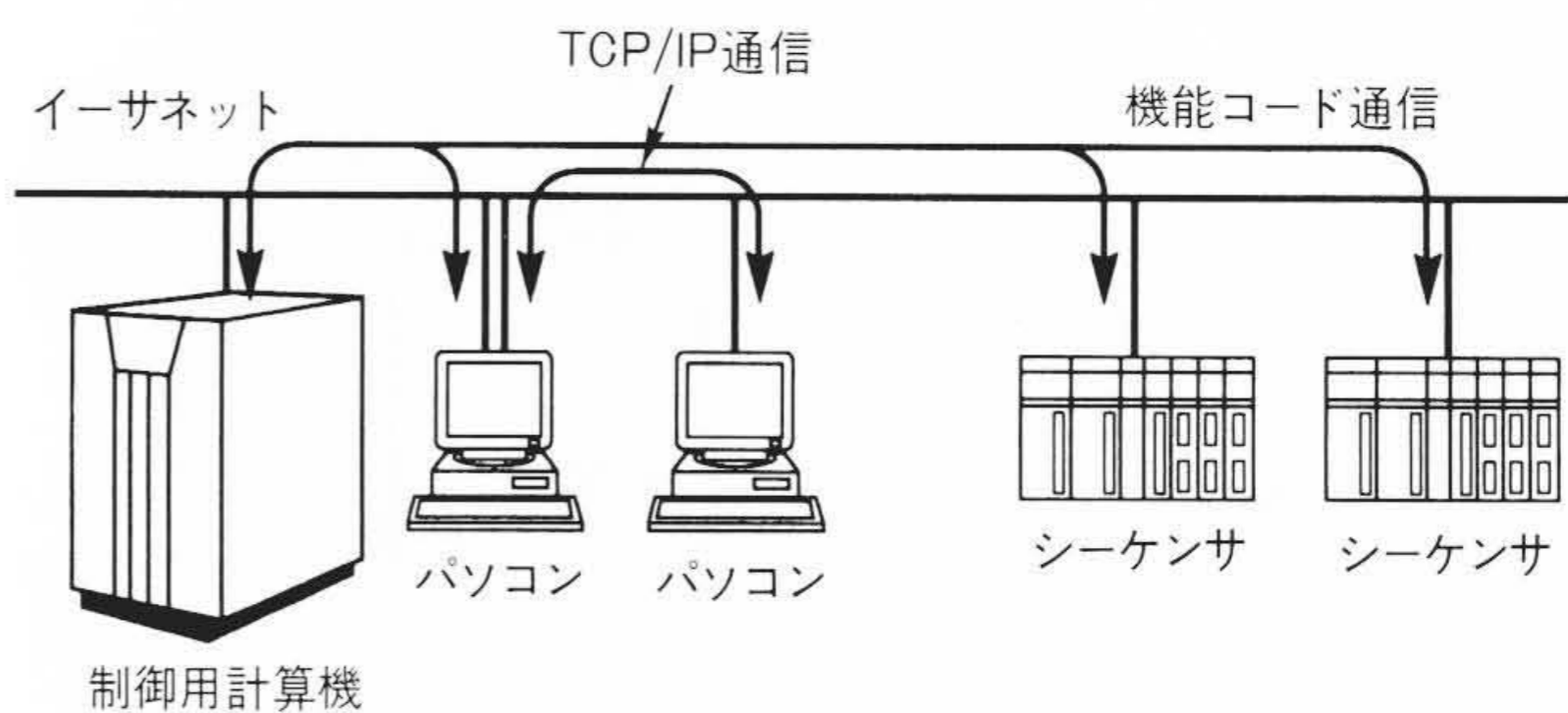
ネットワークに接続された計算機やコントローラ(ノードと呼ぶ。)で構成される。機能コード通信をサポートする制御用ネットワークは、そのネットワークに接続されたすべてのノードに、機能コード付きデータを送り届けることによってデータフィールドとして機能する(図6参照)。

今回は、自律分散システムの利点が制御用ネットワークだけでなく、汎(はん)用ネットワークでも享受できるように拡張を図った。制御の枠を越えてシステムを発展させていくためには、パソコンやワークステーションもこのシステムに組み込んでいくことができなければならない。このため、オープンなネットワークとして広く普及しているイーサネット*1)でも機能コード通信を実現した(図7参照)。このとき、TCP/IPとして知られている従来の通信方式も共存できる方式で機能コード通信を実現した。したがって、すでにイーサネットが張られているとき、このイーサネットを自律分散システムに組み込んでも、従来方式で行われている処理や機能に影響はない。

2.3 質的成長も容易にする協調自律分散の考え方

自律分散は生体の知恵に学び、システムを構成するすべてのノードが同じ潜在能力を持っていると考え、情報はすべてのノードで共用できるようにしている。しかし、実際にシステムは幾つかのサブシステムに分けられることが多く、必ずしもすべての情報を全ノードに送る必要はない。例えば、制御機器を直接制御しているサブシステムと事務所フロアのサブシステムでは、必要とされる

※1) イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の商品名称である。



注：略語説明
TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)

図7 オープンな自律分散システムの構成
オープン化に対応してイーサネットで機能コード通信を実現した。パソコンなども自律分散システムに簡単に組み込める。標準のTCP/IP通信とも共存ができる。

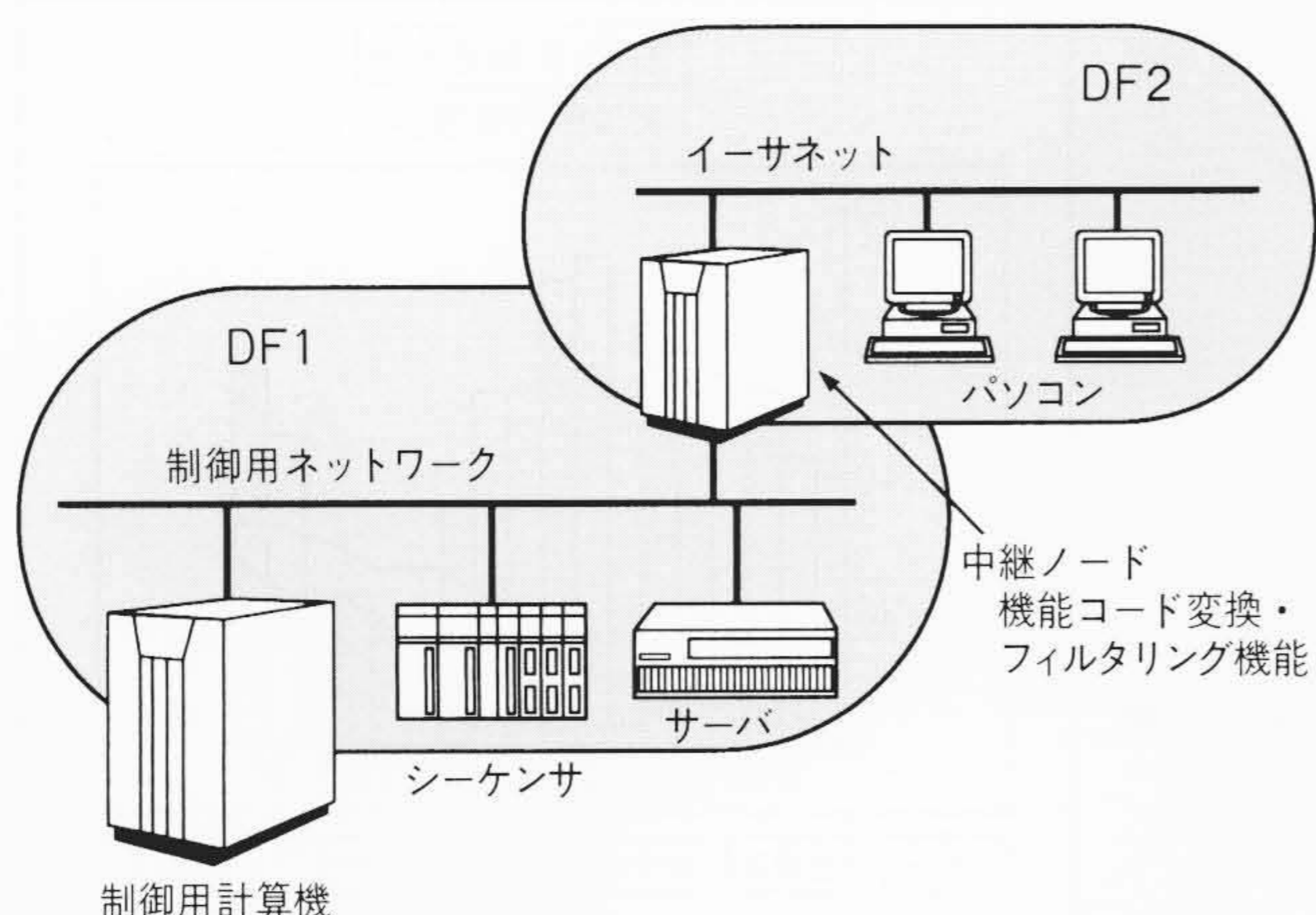


図8 複数のデータフィールドをサポートする協調自律分散
複数のデータフィールドをサポートし、データフィールド間の中継ノードで機能コードのフィルタリングや変換を行う。これによって拡張性・柔軟性があるシステム構築ができる。

情報の種類は異なるのが普通である。このため、システムを構成するデータフィールドをいくつかのデータフィールドに分けて、複数のデータフィールドでシステムを構成し、このデータフィールドが相互に協調を取りながら処理を進めていくことが効果的である。この考え方を協調自律分散と呼ぶ(図8参照)。

協調自律分散では、データフィールド間を結ぶ地点に位置するノード(中継ノード)は、一方のデータフィールド“DF1”から他方のデータフィールド“DF2”に機能コード付きデータを中継する。このとき中継ノードは、機能コードによってデータの内容が判別できるので、不要なデータを中継せずに必要なデータだけを中継するフ

ィルタリング機能を果たす。また、必要に応じて機能コードを変換・中継することにより、システムに柔軟性と拡張性を与える。

これにより、例えば製造現場で発生する情報を事務所フロアのDF2で新たに必要とするようになっても、中継ノードの交換・中継・フィルタリング機能によってDF2にこの情報を流すようにするだけで、製造現場のDF1は変更する必要がない。従来想定していなかったような新たな情報が必要となったり、あるいは、新たな情報から従来のシステムを制御しなければならないときも、この機能によって既存システムに大きな影響を与えずにシステムを成長させていくことができる(図9参照)。

また、データフィールド間で情報を受け渡していくとき、交換・中継機能によって情報の質を変えていくことが可能なので、システムを質的に変化成長させていくことができる。このことは単に量的あるいは規模の拡大ではなく、質的成長が必要とされている現代システムに最適な性質であり、協調自律分散システムアーキテクチャが情報制御システムを統合する共通プラットフォームとして好適であることを示している。

2.4 パソコンも簡単にシステム化する自律分散

パソコンでは表計算プログラムなど流通プログラムが整備されており、これらの流通プログラムを上手に活用することがシステム作りの工数を削減するポイントとなる。イーサネットを使った自律分散システムでは、パソコンの流通プログラムと制御系の情報を簡単に交換できるように、自律分散システムの仕掛けの中で標準の

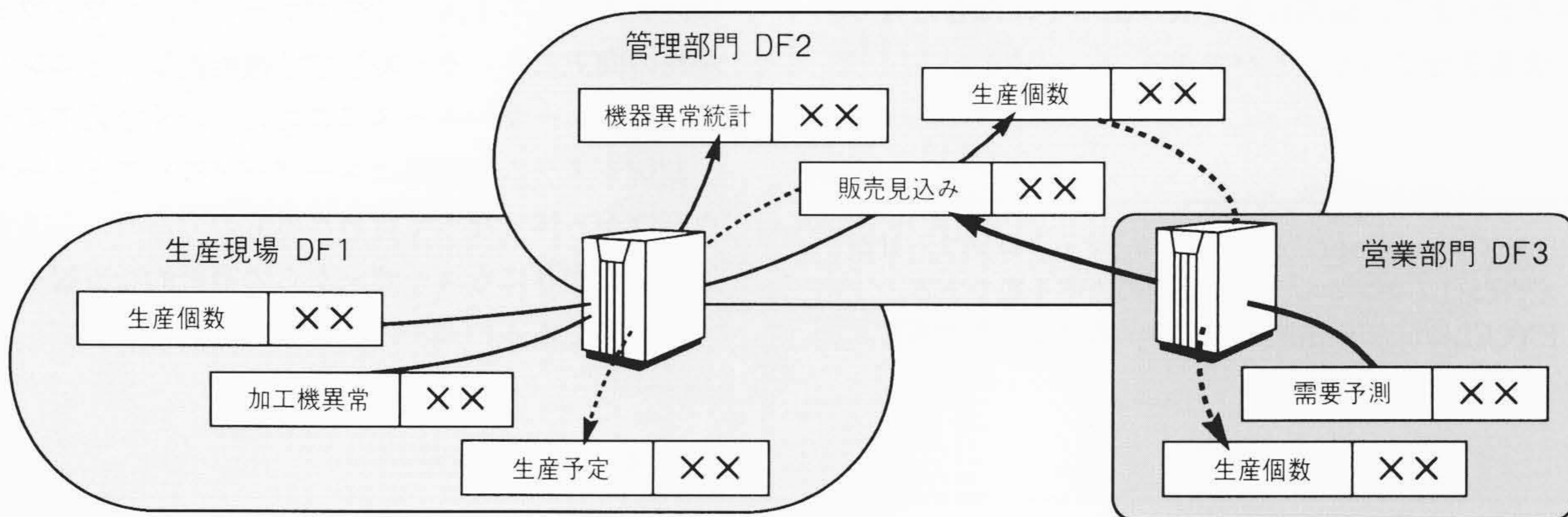


図9 質的にも柔軟に成長できる協調自律分散システム

営業部門のデータフィールドを新設し、生産現場の生産個数情報を営業部門にまで伝えて活用したり、逆に営業部門の需要予測を管理部門に販売見込み情報として伝えたりするシステム拡張が簡単に行える。このような機能コード変換により、システムの質的成長にも対応できる。また、生産機器の異常など営業部門に直接関係ない情報は中継ノードでフィルタリングし、営業部門のデータフィールドに注入されないようにすることができる。

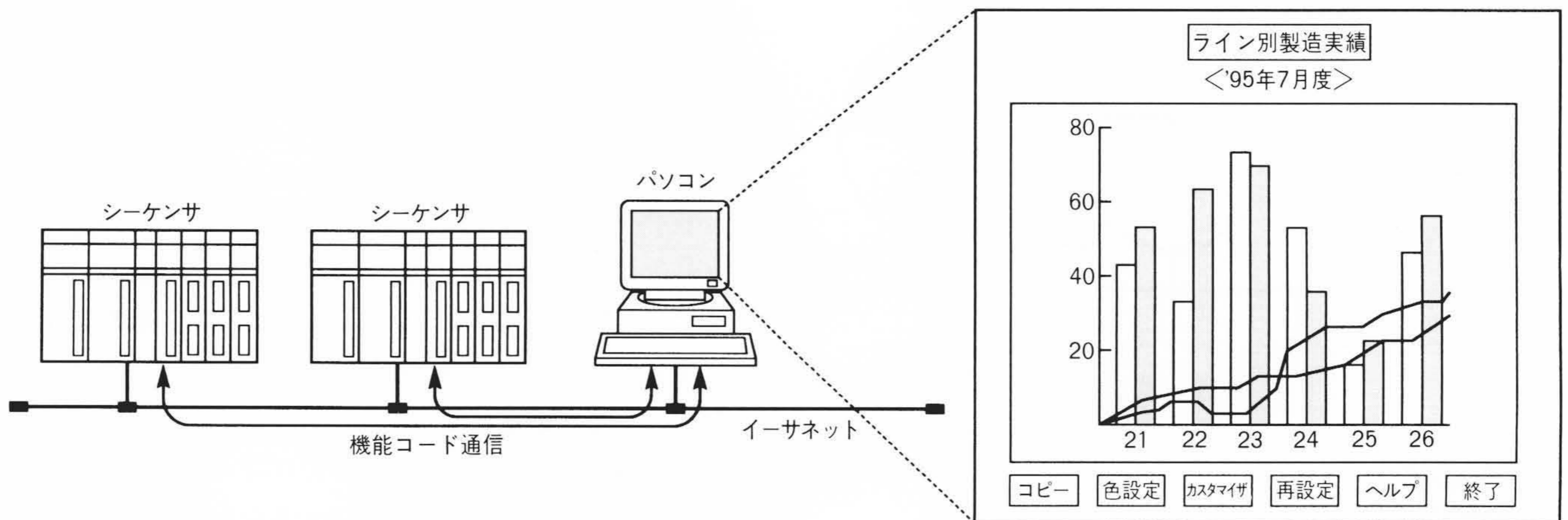


図10 パソコンとシーケンサによるシステム構築

パソコンの流通ソフトウェア、例えばEXCELなどと、標準のデータ交換(DDE)機能によって接続することをサポートする。これにより、EXCELの画面にシーケンサからの情報が簡単に表示できる。このとき、シーケンサとパソコンのデータ交換には自律分散の基本メカニズムである機能コード通信を使っているため、拡張も自由にできる。

DDE^{※2)}機能をサポートしている。この機能により、コントローラの情報をパソコン上に表形式で表示するときも、ユーザーは表示ソフトウェアを自分でプログラミングしなくても、例えば表計算ソフトウェアであるEXCEL^{※3)}を使って簡単に表示することができる(図10参照)。

このようなサポートにより、パソコンとシーケンサだけで簡単な制御システムを構築することができる。パソコンとシーケンサの情報交換には自律分散システムとしてイーサネットを使った機能コード通信を使っており、これまで述べた自律分散のメリットを生かしてシステムを簡単に拡張していくことができる。つまり、パソコン+シーケンサだけの簡単な小型システムから、これにFA用ワークステーションや制御用コンピュータまで加えた大規模システムまで、協調自律分散の統一された考え方で構築・成長させていくことができる。

※2) DDE(Direct Data Exchange)は、マイクロソフト社が定めたパソコンでのデータ交換の標準手順である。

※3) EXCELは、米国Microsoft Corp.の商品名称である。

3 おわりに

成長できるシステムを構築することが企業生き残りの必須要件となっている中で、協調自律分散の考え方がシステムの量的成長だけでなく、質的成長にも柔軟に対応できることについて述べた。この協調自律分散の考え方は、日立製作所の新産業用情報制御システムの基本アーキテクチャとしてパソコン、シーケンサから制御用計算機に至るまで共通してサポートしており、ユーザーのニーズに合わせたシステムを構築することができる。

自律分散の考え方は日立製作所が提案³⁾した考え方であり、近年は学会、業界の注目を集めている。今後、自律分散国際学会などを通じて普及に努めていくとともに、システムの上流設計のサポート等、ソフトウェア生産性の向上にいつそう寄与する機能拡張などエンハンスを行い、ユーザーニーズにこたえていく考えである。

制御システムの構築はユーザーノウハウとメーカーノウハウが一体となって行われるものであり、システム発展の基盤作りにもユーザーからの継続的な支援をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 笠嶋, 外: 情報制御の時代と計算機システム, OHM, 1993-12, 21~25(1993-12)
- 2) 河野, 外: 情報制御システムのニーズ動向と自律分散シ

- ステムにおける実現, 日立評論, 73, 8, 765~768(平3-8)
- 3) 森, 外: 自律分散概念の提案, 電気学会論文誌, 104-C, 12, 303~310(1984-12)