第20回計装技術発表会・特別講演2

自律分散システム —FA システムオープン化の実際—

株式会社日立製作所機電事業部 伊 藤 俊 彦
大みか工場 綿 谷 洋

Autonomous Decentralized System —New-Generation Open-Architecture Integrated Information and Control System—

Toshihiko Ito

Industrial Processing Divisions, Hitachi, Ltd.

Hiroshi Wataya

Omika Works, Hitachi, Ltd.

伊藤俊彦

綿谷 洋

Autonomous Decentralized System (“ADS”) is the system architecture to be able to construct high expandability, maintainability, reliability, connectivity and flexibility Integrated Information and Control Systems. ADS has been applied in a lot of systems, such as Iron and Steel Plant Control Systems, Traffic Control Systems, Industrial Systems and Information Communication Systems, after the study and development of ADS had been started in 1977. ADS has already been manufactured as communication middle software packages in the current rapid openoriented situation. The connection interface of ADS has also been opened at the beginning in 1996, and the ADS standardization as the decentralized system communication architecture for Integrated Information and Control Systems is now proceeding.

1. はじめに

長期に渡る円高や政府間による規制緩和, それらに伴う経済危機や製品ライフサイクルの短命化が懸念されるなか, 多くの産業界では, 製品と設備について販売・開発・購買・管理や生産システムなど経営全体の見直しによる BPR (Business Process Reengineering) や, コンカレントエンジニアリング, FA, CIM 等の再検討が必要とされている。

これらを実行するには, 新しいコンセプトとそのコンセプトを実現するツールが必要である。例えば, BPR 関連ではグループウェアが目覚ましい勢いで普及しており, またコンカレントエンジニアリングでは, 散在している情報の統合化・基盤整備を行うツールとして PDM (Product Data Management) が実用段階に入りつつある。一方, FA・CIM については, CSS アーキテクチャの普及に伴い各種ツールが開発されてきたが, CSS アーキテクチャ自身がもともと

制御システム向けには開発されていない背景もあり、リアルタイム性及び制御機器や設備も含めたシステム化対応について多くの課題を抱えている。

変種変量生産等のキーワードにより、現場に於ける「ヒトの復権」が叫ばれる今日ではあるが、コンピュータとネットワークを如何に巧く活用するかが新しい生産システム作りのポイントであることは間違いない。本稿では、各種産業界で標準通信アーキテクチャとして採用頂いている「自律分散システム」について述べる。

2. 自律分散システムアーキテクチャ (図1)

2.1 製造業を取り巻く環境と自律分散の役割

低成長時代における競争激化や円高によるグローバル化（ボーダーレス化）の急進展、地球環境問題及びサービス・ニーズの多様化など産業社会を取り巻く環境は急転しており、製造業においても変化する環境への即応が重要となっている。多くの製造業では、リードタイムの短縮や多品種生産を目的とした製造システムの構築を行ってきたが、先行き不透明な現状に於いては、膨大な投資を伴うシステム増改造や新規構築を行うにはリスクが大きい。市場ニーズの変化が緩やかで、動向を見極めてから投資判断を行っても相応の回収が可能であった時代と違い、現在は、対応が遅れば製品の市場投入時には需要ピークが終わり、投資を回収するチャンスを失いかねない状況である。

経済、需要、ニーズの変化に応じ、最低限度の投資で設備変更・拡大に即応する製造システムが必要とされている。自律分散アーキテクチャでは、生産設備の神経系統である情報制御システムにおいて、変化への即応を可能とする柔軟なシステム構築を実現する。

2.2 自律分散とは

コンピュータ技術の革新が、ワークステーション

(WS) やパソコン (PC) の低価格化や高機能化をもたらし、また制御用コントローラにおいても、従来機よりインテリジェンス性を高めたプログラマブルコントローラ (PLC) の普及が進んでいる。更に、こうした各コンポーネントを接続するためのネットワークとしてイーサネットが事実上の業界標準になるなど、情報制御システムを立ち上げるための環境は急速に整備されつつある。しかしながら、こうしたハードウェアの環境整備にもかかわらず、情報制御システムの立ち上げや運用開始後の改造・変更では、依然として大きな負担を伴うのが実状である。

ネットワークを用い複数の WS や PC, PLC を接続している情報制御システムでは、ネットワークで接続されたコンピュータ (ノード) 同士の間で、たくさんの小さなプログラムが連携しながら一連の処理を実行していく。そのため個々のコンピュータやその内部のプログラムの結び付きが強く構造が複雑になり、改造やトラブル時の解析を困難にしている。これがシステムの変更・増設を阻害している要因の一つである。自律分散システムとは、この複雑さを排除しシステムの成長をより容易に実現するためのシステムアーキテクチャである。

2.3 自律分散システム技術

自律分散システムでは、ネットワーク上に接続された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自律的に選択し処理を行う。こうした自律的な処理を行う各ノードをサブシステムと呼んでいる。また、このような処理を実現するための基本的な機構として機能コード通信と呼ばれる方式を用いている。機能コード通信とは、データとその内容がどのようなものであるかを表す識別子 (機能コード) とが対となってデータフィールドと呼ばれる特定のネットワーク内に送出される通信方式である。

図1 自律分散アーキテクチャ

各ノードはデータフィールド内の機能コードを参照し、自分に必要があればデータを取り込み処理を行う。この通信方式では、データのやり取りを特定のコンピュータ同士やプログラム相互の結び付きではなく、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ので、コンピュータやプログラム相互の干渉を排除することができる。

3. 自律分散の特長

3.1 CSS との相違

クライアントサーバシステム (CSS) は分散性、柔軟性、拡張性の強化をめざしたシステムアーキテクチャであるが、ハードウェアの分散化は実現したもののソフトウェア構造としては従来のホスト集中型を継承しているため、これからの FA・CIM に必要とされる変化への即応や部分的システム構築といった点について課題が残る。例えば、システム構成要素として全体を纏めるサーバが不可欠であるため、システム内の一部の増改造の場合でもクライアント・サーバ双方の処理変更が必要となることや、サーバダウン時のシステム全体停止、及びそれを防止するためには高機能なハードウェアが必要でありそのためのコスト負担大といった課題がある。また新規システム立ち上げ時でも、そのラインの将来の姿や他ラインとの連携などを常に考慮したサーバの選定・設定が必要となることから、システム構築の実作業に入る前の詳細な検討が要求される。その結果、計画時から運用開始までに多くの時間を消費するだけでなく、極端な場合にはシステム立ち上げ直後に変更仕様の検討といった事態を招くケースも見受けられる。

一方、自律分散システムでは、システム全体を管理するサーバを必要としないため、こうしたサーバに起因する問題を排除している。この違いを組織に置き換

えた例を図2に示す。1つの課を1つのシステムと考えると、課長が管理サーバに課員がクライアントに相当する。CSS型では、全ての業務を課長が掌握し、担当者を意識した課長の指示により業務が運営されるので、課長の負担が増えれば組織の生産性は低下する。自律分散型の場合には、課長は業務に対する入出力のみを管理するだけであり、極端に課長の負荷が増えたり生産性が低下することはない。

3.2 自律分散の特長

自律分散システムでは、図3に示すような5つの特長が挙げられる。以下に、それぞれの詳細について述べる。

(1) 拡張性及び保守性

自律分散システムでは各ノード及びそこに含まれるプログラムがデータフィールドとだけ接続され、通信相手を意識しないデータの送受信を行うため、個々のノードで改造・保守を行う場合でもシステム全体を停止させる必要はない。

オンライン保守の例として、システム改造時に必要なシミュレーションテストを、オンラインシステムのなかで実施する例を図4に示す。従来、システム増改造等を行う場合には、オンラインシステムと同等のシミュレーションシステムを構築しテスト・デバッグを行うことが多かったが、シミュレーションシステムの構築を不要にしたことにより大幅なテスト工数の削減が可能になる。

自律分散システムでは、各ノードごとにオンラインモードとテストモードの設定が可能である。具体的には、自律分散通信ミドルウェア上でオンライン/テストのソフト的な切替えを行う。テストモードとして立ち上げられたノードが受信系サブシステムの場合、増設自体は他のサブシステムには何ら影響を及ぼさないため、オンラインデータをそのまま利用したデバッグ

●CSS(クライアント・サーバ・システム)型

●自律分散型

図2 CSSと自律分散との相違

図 3 自律分散の特長

図 4 オンラインテスト

を行うことができる。また、送信系サブシステムの場合には、送出データにテストフラグが付加されるので、他のサブシステムが誤って取り込むことなく送信テストが実施できる。この後、テストが無事終了すれば、テストモードからオンラインモードへソフト上でのスイッチ切替えを行い、そのまま即運用へと移行できる。このように自律分散システムでは、オンラインを停止することなく拡張や保守といった作業を行うことができる。

(2) 信 頼 性

自律分散システムに於いては、重要度に応じた設備投資で信頼性を確保することができる。例えば、先に述べたサーバレス構成によりシステム全体停止が発生しないという点のほかに、フリーランデュアルなマル

チコンピュータシステムを容易に構築できることがあげられる。図5にフリーランデュアルシステムの概念図を示す。

これは、システム内でとりわけ高い信頼性が要求されるサブシステムについてのみ2重化を行う構築技術であり、システム全体のコストは低く押えることができる。具体的には、他のサブシステムから送られてきたデータを全く同じ機能を持つマスター機とスレーブ機が同時に取り込む方式である。個別の2台のコンピュータがそれぞれのディスクなどに書き込みを行うことでデータの2重化を実現し、またデータ出力についてはマスター側だけで行い、スレーブ側は出力抑止設定を行うことによって外部出力を一本化する。更に、マスター・スレーブ間で相互監視を行い、マスターダウン

図 5 フリーランデュアルシステム

時でもスレーブ機と即座に入替えを行いデータ欠損を防ぐことで、信頼性を確保することができる。従来のシステムアーキテクチャでもこうしたシステム構成は可能であるが、そこでは膨大な開発工数と高価なハードウェアを必要としていた。自律分散システムでは、アーキテクチャ自身つまり通信ミドルウェアの部分に各種の機能を組み込むことにより、汎用的なハードウェアを用い、アプリケーション作成におけるネットワークインターフェースの簡略化と製作工数の削減を実現しながら、このような信頼性の高いシステムを構築することを可能にしている。

(3) 接続性及び汎用性 (図 6)

自律分散システムでは、全てのサブシステムでデータ形式が共通であり、WS から PC, PLC が、統一インターフェースで統合されたシステム仕様となる。よっ

て、マルチベンダー環境で構成されたシステムであっても、お互いのハードウェアや OS を意識せず容易なデータのやり取りが可能となる。WS や PC、つまり UNIX や Windows といった業界標準と呼ばれる OS が存在するハードウェアはともかく、PLC に関しては未だ各メーカーの独自性が強く、上位コンピュータとの接続にあたっては専用の通信ドライバソフトが必要とされてきた。そのため、マルチベンダーシステム構築に携わる開発者は、各 PLC ごとに異なる設定方法の修得や各アプリケーションとの連携等の高い技術力が必要とされ、実際に接続されるまでには長い構築工数を費やすのが実状である。自律分散システムの導入により、こうしたハードウェア依存による個別の接続技術は不要となり、開発者は本来の業務であるアプリケーションソフトの開発に多くの時間を当てられる

図 6 接続性と汎用性

ようになる。これより、システム構築にあたり最適なコンポーネントが選択可能になったばかりでなく、マンマシン系を中心とした市販の優れた流通ソフトウェアを使うことにより、使い勝手に優れたシステムをより短期間で構築することも可能としている。

4. 自律分散パッケージソフトウェアの開発

日立では、これまで独自の制御システム向けアーキテクチャであった自律分散を、よりオープンな環境で幅広い分野への適用を図るため、WSやPC、PLCなどに対応したミドルウェアパッケージを開発し、ユーザー視点に立った機器構成を可能としている。パッケージ構成として、ハードウェアごとのオンラインパッケージ以外にシステム構築ツールや保守支援ツールを製品化している。構築ツールや保守支援ツールを Win-

dows 対応としたことで、アプリケーションに精通したベンダーだけでなく、エンドユーザでもシステム構築・運用が可能である。また、DDE や OLE 接続などによる Windows 市販ソフトとの親和性も強化し、システム構築時のソフト製作工数削減や従来の資産活用を図ることができる。図 7 に主なパッケージ構成を示す。

5. 標準化への取組み

5.1 インタフェース公開 (図 8)

日立製作所では、1977 年より自律分散システムの研究を開始、以来、鉄道や鉄鋼などの一般産業向け情報制御システムに適用し、システムアーキテクチャとしての確立を図ってきた。

1993 年に ISADS (International Symposium on

図 7 パッケージ構成

*HMC: Hitachi Middleware technical support Center

図 8 インタフェースライセンス公開

Autonomous Decentralized Systems) が開催され世界 16ヶ国 286 人の研究者、メーカ、ユーザが参加し自律分散システムの可能性についての議論がなされ、その後 1995 年には米国フェニックスで第 2 回総会を実施、更に 1997 年には第 3 回総会をベルリンで予定している。文部省の科学研究費重点領域研究の対象にも選ばれ研究が進められており、また、カリフォルニア大学やアリゾナ州立大学との共同研究等により産業界と米国次世代生産システムプロジェクトでの交流を行うなど幅広い研究活動がなされている。

このように、従来は日立独自の技術であった自律分散アーキテクチャを各種研究機関に広く門戸を開放し、1996 年初頭には接続インターフェースを公開、日立だけがサプライヤーとなるのではなく、情報制御システムに関連するハードウェア/ソフトウェア各メーカによる自律分散システム対応製品の開発を可能としている。すでに、コントローラメーカを中心とした数社で自律分散対応製品の開発・製品化を行っている。

5.2 標準化活動

自律分散インタフェースの公開に伴い、日立では各種公的団体と連携した標準化活動にも力を入れている。国内では、IROFA (財団法人国際ロボット・エフ・エー技術センター) が推進している FA オープン推進協議会において「分散型構造システムコミュニケーションアーキテクチャの研究開発」専門委員会として自律分散のより広い可能性を研究している。海外では、省配線等を目的としデバイスレベルのインテリジェント化を高めた DeviceNet の内部仕様により、標準化団体である ODVA (Open Devicenet Vender Association) において、自律分散アーキテクチャが採用された。これにより、上位システムから下位システムまでが統一アーキテクチャで統合され、デバイスレベルを含む透過的な情報制御システム構築を実現できる。更に、ここで述べた以外にも各業種別の様々な団体で自律分散アーキテクチャの採用が検討されている。

6. 事例紹介 (FA 生産ラインへの適応事例と効果)

オープン自律分散を適用した FA 生産システムを開発した事例について述べる。

6.1 事例製品市場でのニーズとシステム化の課題

近年、特に顧客要求スピードと、これを取り巻く環境変化に対応するため、事例の分野では人や組織も含めた製造プロセスの見直し、再構成を行っている。この状況の下で、製造プロセスを低価格で速く変えるために、製造システムの柔軟性、つまりシステム全体の

仕様が不明確のまま部分的にシステム稼働後の機能追加・改造等が容易であることが必要とされ、これを実現するには、ビルディングブロック設計と再構成システムが必須の要素となっている。

現在のコンピュータシステムは分散化が中心となっているが、単にハードウェアを物理的に分散させただけでは、設計手法、ソフトウェア構成は従来のトップダウン式階層構造と何ら変わりが無い。これではシステムの変更に即応しようとしても、全体システムについて再検討が必要であるばかりでなく、変更時、システムの停止、再試験などが必要となる。このようなシステムの部分進行を実現するために、自律分散システム技術を適応した FA 生産システムを開発した。システム概要を図 9 に示す。

6.2 システムの課題とオープン自律分散の適用

今回適用した FA システムの課題と自律分散システムでの解決を図 10 に示す。従来のシステムは何の協調もなく単独で運転されており、規格データや運転結果などの情報は担当者によって運ばれていた。このシステムは、年 2 回数日停止する以外は 24 時間運転され、保守や改造のための設備停止ライン単位だけで可能であった。今回のシステム化では、自律分散システムを採用することによってシステムの段階的ネットワーク化をスムーズに実現した。

6.3 効果と今後の課題

今回適用したシステムでは停止時間が限られており、従来の技術では少なくとも 3 回のシステム停止とシステム完成に約 10ヶ月の工程が必要であったが、自律分散システムの適用により大幅に短縮することができた。従来の方法では、サブシステムの改造中に全システム停止が必要となり、数日から数週間の時間と多くの作業者を必要としていたが、自律分散のオンラインテスト機能によってこれらの問題を解決した。新人を中心にシステム構築を実施したにもかかわらず、ソフトウェア設計、試運転を中心に工数を大幅に低減した。今後、メンテナンス時、部分改造時でのいっそうの効果が期待できる。

オープン自律分散システムをタイヤ生産 FA ラインの制御に適用することにより、FA システムの段階的ネットワーク化がスムーズに実現でき、システムの部分更新に即応できるようになった。これからは、価格も含めたシステムの最適化を実現するうえで、自律分散機能搭載のシーケンサメーカーの増加などマルチベンダ化を展開し、いっそうの分散システム開発・保守の環境改善も図るとともに、OA 部分も含めたシステムを進めていく。

図 9 FA 製造システム構成概要

図 10 システム化の課題と自律分散での対応

7. おわりに

本来, 生産現場からヒトの数をいかに減らすかを一つの目標にしてきた FA であるが, 生産のフレキシビリティが求められる現状では, 「ヒトの復権」こそ

が実現のための最も近道であることは否めない。コンピュータは, 与えられた仕事を延々とこなすだけの道具である。急な作業変更の場合, 相手がヒトであれば手書きの変更指示書で足りることも, 相手がコンピュータとなれば決められた手順どおりに決められた方

法で変更の指示をしていかなければならない。自律分散システムは、こうしたヒトの持つ素晴らしい柔軟性にコンピュータが少しでも近づくために研究・開発されたシステムアーキテクチャである。今後も、多くの分野で利用されることにより、より扱いやすい情報制御システムを構築すべく洗練されていくことと考える。

参考文献

- 1) 奥, 外: 市場変化への即応を支えるオープン自律分散制御システム, 日立評論, 78, 4, (1996-4)
- 2) 内藤, 外: 変種変量に対応する生産システムの推進と考え方, Business Research, 862, (1996.04)