

# 協調自律分散システムの製造システムへの適用

## - モノづくり現場の見える化によるサプライチェーンの改善 -

### Cooperative Autonomous Decentralized System for Manufacturing System

豊内順一<sup>\*1</sup>  
Junichi Toyouchi

鮫嶋 茂稔<sup>\*1</sup>  
Shigetoshi Sameshima

寺野 隆雄<sup>\*2</sup>  
Second Author's Name

<sup>\*1</sup> 株式会社日立製作所 研究開発グループ  
Hitachi, Ltd. Research & Development Group

<sup>\*2</sup> 東京工業大学大学院総合理工学研究科  
Interdisciplinary Graduate school of Science and Engineering,  
Tokyo Institute of Technology

To cope with rapid changes in circumstances surrounding manufacturing industry, it is required to visualize manufacturing premise and improve flexibility and agility of production system. In this paper, we describe the cooperative autonomous decentralized system architecture for manufacturing system and functions of gateway to cooperate heterogeneous systems. In addition we propose a learning method for configuration of data integration and filtering functions of gateways. This method facilitates efficient information gathering for SCM application to support optimizing the whole business activities.

## 1. はじめに

わが国の製造業は、社内体制と情報制御システムの整備によって、高品質製品の低コスト大量生産、多品種少量生産、アジャイル生産などの多様なニーズに柔軟に対応できる生産体制を整えてきた。近年、製造業を取り巻く環境の変化がさらに激しくなる中、IoT やビッグデータ解析などの技術を用いて、製造技術の革新や運用・保守の高付加価値化などを図る、Industrie 4.0 や Industrial Internet の取り組みも始まっている[入江 2015]。

本稿では、製造システムに自律分散システムアーキテクチャを適用することで現場の見える化を支援し、さらには異種のシステムを相互接続するためのゲートウェイ機能を拡張することで、サプライチェーンマネジメント(SCM)システムに必要な情報を提供する機能についても提案する。

## 2. 自律分散製造システム

### 2.1 協調場を用いた自律分散システムアーキテクチャ

自律分散は、生物体をアナロジーとしたシステム概念である。システムの部分的停止が全体の機能停止を引き起こさないフォールトトレランス性、稼働中の拡張・保守が可能なオンライン拡張性と保守性、アプリケーションの可搬性などの特性を持つ。

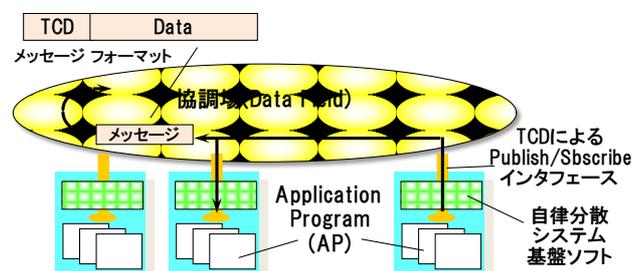


図1 自律分散システムアーキテクチャ

自律分散の実装の一つが、Publish/Subscribe インタフェースと協調場とを用いた、図1に示すアーキテクチャである。データの送信時に宛先を指定するのではなく、データの内容を示すトランザクションコード(TCD)を付与して、データフィールド(DF)

連絡先: 豊内順一, (株)日立製作所 横浜研究所, 〒244-0817  
横浜市戸塚区吉田町 292, junichi.toyouchi.su@hitachi.com

という協調場にマルチキャスト(Publish)する。受信側サブシステムは、どの TCD のデータを受信するかを指定(Subscribe)し、DFを流れるデータを自律的に選択受信する。この仕組みによりサブシステム間を疎に結合し、自律分散の特性を実現している。

### 2.2 製造業への適用

図2に、典型的な製造業の本社と工場との間の関係や計算機システムの構成などを示す。本社では、各工場がどの製品をいつまでに幾つ作るべきかという生産指示を作成し、製品仕様などのデータとともに工場に送る。工場では、受信した生産指示と設備の状況、材料や仕掛品、および在庫の量などを勘案し、翌日以降の製造計画を作成、あるいは修正し、生産ラインのシステムに流すと同時に翌日以降の生産に備える。生産ラインでは製造計画に沿って生産を行うが、計画値との差が発生する。事務所では生産実績データを収集、集約し、それに基づき翌日以降の製造計画を見直し、在庫データなどとともに本社に送る。

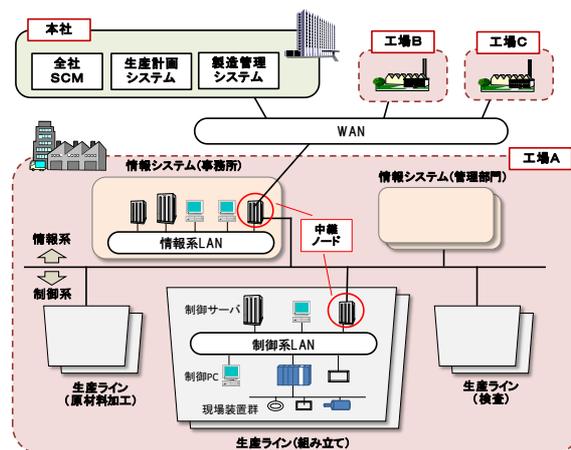


図2 製造業の情報制御システム構成の事例

### 2.3 異種システム間協調のための拡張

生産ラインでは、原材料加工、組み立て、検査などの工程ごとに協調場が構築され、相互に接続されることで、全体が大きな自律分散生産システムとなっている。制御系の製造現場ではリアルタイム性が重視され、比較的サイズの小さいデータが高い頻度で流される。一方、本社からの生産指示を受信し、製造計画の作成や、生産実績の集計などを行うのは、情報システム

である。制御系に比べるとサイズの大きなデータが、低い頻度で交換される。かつては制御系と情報系のシステムは相互接続されることはなく、独立して運用された。それは制御系のリアルタイム性を阻害しないためであり、またそれぞれ全く異なる形式のネットワーク機器を用いており、接続することも不可能だった。

しかし、より柔軟で効率的な生産を行うため、現場でも事務所が管理する全体の製造計画や生産実績データを見たい、あるいは情報系のユーザからも、現場の状況をモニタリングしたい、生産実績を出来るだけリアルタイムで知りたいという、相互参照や見える化の要望が高まった。これらを受け、情報系と制御系という、性質の異なるシステムを連携させるため、協調自律分散システムアーキテクチャが提案された[奥 1996][鮫嶋 1999]。

異種システムを接続する際に、求められないデータを互いの協調場にマルチキャストすることによる、計算機やネットワークの負荷の増大、それに伴う本来の業務の遅滞などを防ぐため、協調場をつなぐ中継ノードにはゲートウェイ機能を持たせ、必要なデータだけを転送するフィルタリングと TCD やデータ形式などの変換を行う。これらの機能により、異種の自律分散システムを接続した、協調自律分散システムにおいても、柔軟性と拡張性が実現できる。例えば、従来は必要なかった情報を新たに参照したい場合や、拡張したシステムから既存のシステムを制御したい場合などにも、この機能で既設の部分には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[山本 2013]。

一般的に制御系に流れるデータはサイズが小さく、通信頻度も高いが、制御系から情報系に転送されてくる情報は、情報系の計算機がそのまま活用できる形式や内容であることが重要である。そこで、ゲートウェイに複数のデータをルールに基づいて統合した上で転送する統合機能を追加した。統合ルールとしては、同種のデータを複数個結合する同種結合、異種のデータが一定時間枠内に揃った時点で統合する異種統合などがある。

### 3. サプライチェーンマネジメントへの適用

#### 3.1 ゲートウェイ機能の拡張と製造業 SCM への適用

1990 年代の国内需要の減速や円安の進行を受けて、製造現場の効率化や低コスト化だけでは競争力を維持しきれなくなってきた。そのため、自社内あるいは取引先との間で情報を共有し、企業活動の全体最適を図る SCM と、そのための情報システムの適用が進んでいる。SCM の実現には、チェーンの要となる拠点で必要となるデータとイベントとを整理し、タイムリーにそれらを収集して一元管理できるシステムの構築が必須である。しかし現実には、拠点ごとにシステムの設計方法や計算機環境が異なり、また必要なデータやイベントを迅速に入手し、SCM ツールに転送するための仕組みがない場合が多い。

しかし、協調自律分散アーキテクチャを適用したシステムの場合には、複数のゲートウェイをホップしながら「フィルタリング機能」と「統合機能」を順次適用することで、拠点の中に SCM ツールに対応するための新たな仕組みを構築することなく、SCM 実現の要件に対処できる。適切にデータとイベントの設計をすることが出来れば、ゲートウェイの階層構造と各種機能への要件が明確になる。すなわち、中継ノード上の統合機能によってリアルタイムに必要なデータを作成し、同時にフィルタリング機能で SCM ツールにイベントとともに転送することができる。

#### 3.2 学習機能を用いたゲートウェイの設定手法

大規模でグローバルな SCM システムの構築には、自社のみならず協力会社や取引先などのシステムとの連携が必須となる。このような場合は、中継ノードの数が膨大になると同時に、デー

タ自体の量や質の多様さや複雑さも増す。各拠点のシステム管理者が、SCM ツールがどのようなデータやイベントを要求し、そのデータのどの部分が自分の管理するシステムのどこに存在しているか、あるいはイベントがどこで発生するかを理解し、分散したゲートウェイのデータ統合やフィルタリングの条件を適切かつ、整合性を持って設定することは容易ではない。

この課題の解決を支援するため、ゲートウェイに学習機能を持たせることを試みた。企業組織では、一般的に SCM に必要なデータやイベントの多くは、現場から本社に向かって段階的に上がっていく。そして、複数のゲートウェイを通過するうちに、データの一部分が抽出され、統合され、変換され、転送され、最終的に SCM ツールへと渡される。

これに対して、学習時には逆に、SCM ツールからチェーンを進行させるために必要なデータやイベントとその内容を記述したテーブルをゲートウェイに対して送信する。これは自律分散システム・インタフェースで受信指定(Subscribe)する TCD の設定ファイルを開示することに相当する。要求されるデータは、複数のデータを統合した場合が多いので、ゲートウェイはその構成要素へと分解し、さらに下位の階層のゲートウェイへと送信する。これを SC のステップごとに段階的かつ階層的に繰り返すことで、各ゲートウェイでの統合とフィルタリングの条件が設定できる。

### 4. まとめと今後の課題

本稿では、製造分野の情報制御システムに協調自律分散システムアーキテクチャを適用することで、従来の信頼性や保守性に加えて、工場全体の拡張性を高める手法について述べた。また、異種の協調場間をつなぐ中継ノードのゲートウェイ機能を拡張することで、製造現場を見える化し、SCM ツールに必要な情報を容易に提供するための手法を提案した。

ゲートウェイの学習的な設定機能は、現時点では自動化には至っておらず、システム管理者の設定支援ツールとして利用されている状況である。データの定義方法や各種の用語は、自工場内、自社内では比較的共通認識が得られやすいが、協力会社や取引先、さらには海外拠点などのシステムとのやりとりを自動的に行うには、オントロジや変換辞書の作成など、補完的な作業が求められる。さらに、激甚な災害や社会的問題などの発生に対して、可能な限り事業を継続し、早期に回復し、必要あればサプライチェーン(SC)を再構築することに対しては、現状の仕組みでは十分とはいえない[藤本 2011]。グローバル競争を生き抜くための SC の「効率性」と、事業継続計画の「強靱性」のバランスの取れた両立を図るために、どのようなシステムアーキテクチャが有効であるかを検討・評価するためにも、SC の効率性と強靱性を測る手法の確立も今後の課題である。

#### 参考文献

- [入江 2015] 入江直彦:IoT 利活用へ向けた共生自律分散コンセプトと新産業ソリューション, 電機, 日本電機工業会, 2015
- [奥 1996] 奥雅春, 大村賢, 伊藤俊彦, 吉沢隆司:市場変化への即応を支えるオープン自律分散情報制御システム, 日立評論, 1996
- [鮫嶋 1999] 鮫嶋茂稔, 河野克己:オープン自律分散 FA システム, システム制御情報学会誌, 1999
- [山本 2013] 山本秀典, 加藤博光, 鮫嶋茂稔:情報制御システムにおける異種システム間相互接続のためのミドルウェア連携, 計測自動制御学会論文集, 2013
- [藤本 2011] 藤本隆宏:サプライチェーンの競争力と頑健性, MMRC DISCUSSION PAPER, 東京大学ものづくり経営研究センター, 2011