特集

生産技術のニューウェーブ
「CIMと未来生産システム」

③ 自動車産業における CIM*

黒 須 則 明**

CIM in Automobile Industries*

by Noriaki Kurosu**

キーワード：CIM, 調和型自律分散システム, 生きているシステム, パラニューロン, MAP, リモート ID, AI, 可協調性, 縮小性, 再形成性, 再構成性

1. はじめに

激動する環境の変化に、製造業の代表業種である自動車産業も見回れている。生産システムも従来以上に、「変化への迅速な対応」がせまられている。図1にそれを示す。この図は以前からいろいろな場で紹介しているものであるが、「低コスト」化が最近の変化にあわせ修正を加えたものである。この課題達成のため多くの面で見直しが行われている。CS (Customer Satisfaction) の御旗の下、ある面では必

[市場の変化]

- ・ ニーズの多様化
- ・ 豊かさ重視
- ・ 個性重視
- ・ 感性を満足
- ・ クオリティ オブ ライフ
- ・ 短納期化

[労働環境]

- ・ 高齢化
- ・ 高学歴化
- ・ 魅力ある職場
- ・ 自己表現/達成感
- ・ 時短

[グローバル化]

要以上にふくれ上がったものへの見直しが行われている。車種、車型、部品数の見直し、より生産性の上る車構造の検討などと共に、生産システムそのもの、成長を暗黙の前提とした拡張性、改良性ばかりでなく企画販売台数を実績が大幅に下った時でも価格原単位が同一であるような縮小性をも考慮した柔軟性、弾力性が求められている。

トヨタの場合、「FA をやろう」、「CIM をやろう」と FA や CIM そのものを目指しているわけではなく「受注—生産—納車（納品）までの生産活動におけ

F A システムの狙い

- 変化への迅速な対応 —
- ・ CS (お客様満足度)
- ・ 高品質化, 低コスト化...
- ・ 環境保護
- ・ リードタイム短縮
- ・ 変種変量
- ・ 高生産性
- ・ 海外生産
- ・ 職場環境
- ・ 高齢化

工場の
ラインの
工程の

自律化

図1 生産を取り巻く環境の変化

*原稿受付 平成5年11月4日
** トヨタ自動車㈱

るシステムの効率化、運用、管理、制御を行う」ことに過去から営々と取り組んでいる。「受注・設計・

図2 当社の CIM 体系

製造・物流を情報技術により統合したシステム体系」というものを CIM と定義づけるならば、トヨタの生産システムにも当然それに近いものが存在している。それを図2に示す。

この中で生産 CIM と称しているものを、過去どのような考え、コンセプトで構築してきたか？結論的に言えばそれは「自律分散」概念であるが、それを本稿では概括的に紹介し、前述した柔軟性・特に縮小性が最近の環境変化で特に見直されているのでそのことに焦点を当てて事例紹介を行い本特集号への話題提供とする。

2. システム構築の基本概念

トヨタ社内での生産システム構築の基本コンセプトは「トヨタ生産方式」である。Just In Time と自動化がそれを支える2本柱である。必要なときに、必要なものを、必要なだけつくる JIT 思想を具現化する情報制御ツールとして「かんばん」などが使われている。基本的考え方をベースに具現手技を近代化させているのが、最近の生産システムづくりの現状である。

3. 調和型自律分散システム

環境の変化に対応するために生産システムにおいては人と機械が共存・共生した「生きている」システムを具現しなければならない。人と機械が共存する以上に、常に人間が主人公でありどんな画期的な設備・システムでも自分の手で改善できる現場体質が生産システムの決め手である。トヨタ生産方式はこのようなシステムづくりを心がけてきた。いわゆる「生きているシステム」づくりである。生きているシステムの定義は難しいが図3にキーワードを列記する。これから派生し図4に示すような要件が生産システムに要求される。これら概念の結果は生物の進化の歴史、生命とは何であるか²⁾の考えに基づいている。概念の抽象化を生物モデルに取ったことで、「トヨタ生産方式」という企業内標語を一度むいて、システムづくりの基本概念を「調和型自律分散システム」と言っている。

「本来分かれていて、自ら立てた規範に従って行動する部分が他の部分との協調によって、自らの目的を達成する集合体」がその定義である。「自律分散システム」の定義そのものでもあるが現時点では一

・自己組織化	・Self-organization	・共生	・Symbiosis
・自己増殖	・Self-proliferation	・共存	・Co-existence
・自己回復	・Self-Recovery	・散逸構造	・Dissipative structure
・自己創出性	・Autopoiesis	・カタストロフィー	・Catastrophe
・新陳代謝	・Metabolism	・ゆらぎ	・Fluctuation
・相互進化	・Co-evolution	・自己変態	・Metamorphic
・共創	・Co-creation	・突然変異	・Genetic mutations
・知的共鳴	・Intelligent resonance	・共働	・Synergy

図 3 生きているシステム Living Systems

◆ 安 全 性	◆ 保 全 性
◆ 拡 縮 性	◆ 親 和 性
◆ 改 良 性	◆ 接 近 性
◆ 発 展 性	◆ 快 適 性

図 4 システムの具備要件

般に認知されている用語でもないため、他との協調ということに力点を置いて「オーケストラ」のイメージを頭に置いて「調和型」の接頭語を付けている。図 5 に概念を他の例と共に示す。

4. 生きているシステムの評価指数

図 6 に「生きているシステム」の評価指数を示す。システム評価を行う時点のプライオリティによって

FULL FIGURE FROM BACK SIDE

図 5 調和型自律分散システム

各指数の重みが変わる。一例として大規模システムの高信頼化を評価するものとして図 7 を示す⁹⁾。可協調度を横軸に、可制御度（一部のサブシステムが故障しても残りの正常なシステムが自らを制御できる

Index of Living Systems

アクセシビリティ	acceptability	到達性	reachability
接近性	accessibility	判読性	readability
責務性	accountability	再形成性	reconfigurability
適応性	adaptability	縮少性	reduceability
親和性	affinity	冗長性	redundancy
快適性	amenity	信頼性	reliability
連携性	associativity	再新性	renewability
自己創出性	autopoiesis	修理性	repairability
アベイラビリティ	availability	繰り返し性	repeatability
ケイパビリティ	capability	取り替え性	replaceability
一緻性	compatibility	糊性	resiliency
複雑さ	complexity	再構成性	restructurability
一貫性/両立性	consistency	再利用性	reusability
制御性	controllability	転換性	reversibility
接続性	connectivity	堅固性	robustness
可協調度	cooperability	安全	safety
々	coordinatability	スケラビリティ	scalability
弁別性	discriminatory	保安	security
ディペンダビリティ	dependability	自己増殖性	self-proliferency
発展性	developability	自己充足性	self-sufficiency
耐久性	durability	自己更新	self-renewing
進化性	evolvability	自己修復性	self-replaceability
拡張性	expandability	々	self-reparability
柔軟性	flexibility	自己回復性	self-recovery
改良性	improveability	分離性	separability
相互接続性	interchangeability	サービス性	serviceability
々	interoperability	類似性	similarity
可読性	legibility	単純性	simplicity
保全性	maintainability	安定性	stability
マニピュラビリティ	manipulability	適合性	suitability
可動性	mobility	支援性	supportability
運用性	operability	余裕度	tolerance
可動作度	operational readiness	追跡可能性	traceability
梱包性	packageability	訓練性	trainability
搬用性	portability	透明性	transparency
実用性	practicality	使用性	usability
有益性	profitability		

図 6 生きているシステムの評価指数

図7 システムの分類³⁾

度合)を縦軸に、自律分散、階層、集中、機能分散の各システムを分類している。

本稿では指数の中の可協調度や再形成性などについて事例紹介のあと紹介する。

5. 要素技術

先述の図4に示したシステム具備要件、図6に示して評価指数を全て満足させるシステムを経済性を満たしつつ構築することは難しいことであるし、達成手段としての要素技術も現時点では未熟なものではあるが、それなりに手に入れられる。それらのうち情報関連のものを図8に示す。

分散したモジュールが互いに有機的に結合し相互に協調しながら全体として調和のとれたシステムとして機能させる為のネットワーク、現場の「智恵」の取り込みに必要なAI(Artificial Intelligence)、生命体のたん白質が、DNAからメッセンジャーRNAを介して合成されるイメージを彷彿させるリモートIDシステム、それは車輛に取り付けられ、仕様が書き込まれたメモリ内の情報を無線で加工、組付機に

□ネットワーク技術 ・ブロードバンド ・Ether-net ・MAP ・mini-MAP(FAIS) ・ME-NET	□データベース ・オブジェクト指向
□ソフトウェアサイエンス ・AI ・ファジィ ・ニューロシステム ・オブジェクト指向	□情報媒体 ・リモートID
	□マンマシンインターフェース
	□安全信頼性技術

図8 要素技術

指示するためのタグ(Data Carrier)と地上部側に設置された情報読み書き用のアンテナから構成されていて、トヨタの制御・情報システム構築の考え方の一つである「物と情報の一致」、「物検」などを具現する手段であるが、それらが重要な情報関連要素技術である。

6. システム事例

トヨタにおける車造りの仕組みを図9に示す。情報はコンピュータ・ネットワークと共に「かんばん」で流され「売れるものを売れるスピード」で造っている。生体システムにおいて新潟大・藤田教授の提起した「パラ・ニューロン」、ニューロンと同等の働き(パラ)が腸のシステムでも行われているというものであるが、そのシステムの神経系がネットワーク、ホルモン系がかんばん、これは情報伝達速度での分け方であるが、そういう生体システムにアナロジ的に生産システムをモデル化できなくも無い。

図10は、将来工場像でこれは、大きな機能モジュール「生産管理」「物流管理」…といくつかの自律モジュールが有機的に調和・協調して生産システムを構築していることを示す。この中で現時点での、コンピュータ、ネットワーク中心のものは生産管理システムで、具現している例を図11に示す。

(1) 新ALCシステム

工場の生産管理、その中核をなすものはALC(Assembly Line Control)と略称される。お客様からの注文に従った各種仕様をラインの作業員やロボットに指示する生産指示システムで工場の上位系のシステムとして位置づけられている。このシステムは旧のものは'66年に構築して以来、本社集中システムであったが'89年、環境変化にあわせ再構築した。その時の基本コンセプトが「調和型自律分散」でA工場、B工場毎に、又、ボデー、塗装…とショップ毎に機能を自律分散させ、工場、ショップの問題はそこで自己完結的に処理できるようにして、環境変化に対応した工場ニーズに迅速に対応できるようにした。新しく構築したものを新ALCと言っている。概要を図12に示す。要素技術的には極力、標準のものをということでネットワークにMAP、ミニMAPを使用していることが特徴である。

(2) 組立生産指示システム

図13に概要を示すものは、工場の下位のシステムで組立ショップの中にあるロボットなどの自動機

図9 トヨタにおける車造りの仕組み
(物と情報の流れ)

図 10 将来工場像

図 11 車両工場生産指示システム

図12 新ALC概要

図13 組立生産指示システムの概要

図13 組立生産指示システムの概要

に仕様指示する組立生産指示システムである。このシステムの特徴は車両に搭載されたIDタグ内に書

き込まれた情報を必要な時に、必要な所で読めるようにして各工程、各設備が自律的に加工、組み付けが出来るように自律分散制御、システム化してあることで、こういう構成によって上位コンピュータの負荷軽減、異常トラブル処理の簡易化がはかられている。

(3) 塗装ライン・ストレージライン制御システム

図14は、組み立てラインの負荷を平準化するために、塗装・組み立てショップ間に設置されたストレージラインの運用にAI技術を適用して、現場の作業者のライン運用の知恵を、問題領域を整理し必要なパターンを分類し簡素に作り上げたものである。本システムはある許容制約条件内なら人間以上の性能を発揮しているが、それを超えたものは人間の知的支援に依存している現況である。

7. 生きているシステム・評価指数の事例

図6に掲げた指数の中の特徴的なものを、前項で紹介した事例に従って紹介する。

(1) 可協調性 (Co-operability)

可協調性とはお互いに協調できる度合である。図

15 は新 ALC システムで使用してる、ショップ毎の仕事の司るラインコンピュータのバックアップシステムで、ほぼ同機能を持つ自律したラインコンピュータが同時に 2 つが故障する確率は非常に小さいという前提で N:1 バックアップを採用した例である。組立ラインで作業者が突然休みを取っても他の作業者がバックアップしてラインは停止しないというような相互扶助システムをコンピュータシステムで実現させている。本システムの要諦は自律する各モジュールがほぼ同様の機能・性能を持っていることである。人を中心としたシステムは、多能工化により他人を扶助できる人を組織して組織が構成されているが、それに類似化される。

同様な仕組みは、ロボットを使った溶接ラインでも具現されている。ラインのどれかのロボットが故障してもバックアップ工程のロボットが当該ロボットのプログラムを組み込み、ツールチェンジを行う

図 15 N:I バックアップシステムと規模の比較

図16 トヨタ生産台数推移

ことでN:Iバックアップシステムを構成している。

(2) 縮小性 (Reduceability)

今までの生産システムは、成長を暗黙に前提としていた。図 16 にトヨタの生産台数を示すが、これは全体概要である。車種・ラインによっては大幅な企画台数割れをおこしている。コスト的には減価償却費が台数比例とはなっていないため台当りコストの上昇となっている。

生産システムの負の柔軟性、縮小性が問われるゆえんである。正への柔軟性、拡張性はそれなりに過去の成長経験からシステムへうまく組み込まれているが減産対応はこれからの課題である。

本事例で紹介した新 ALC システムではライン閉鎖、閉鎖されたラインでの車種の他ラインへ集約して生産する変化に対しては、分散化されたモジュールを他へ転用して減価償却、電算経費の低減をはかった。しかし大型集中処理をしているメインフ

図 17 設備再構成

図 18 ライン再構成

図 19 エンジン混合組付システム

レーマの経費は仕事が零にならない限り廃棄できないため、定コストのため、台当りコストの上昇を招いている。ロボットなどの汎用設備と言われているものでも同様の状況である。縮小性を達成するための再形成性、再構成性、可搬性が、減産状況の中、強く問われている。

再形成 (Reconfigure) とは、もともとは航空機のフォールト・トレラントシステムから生まれた概念で⁵⁾ある程度予測できるものに対するものを再形成、それに対して予測できないものに対するものを再構成 (Restructure) と定義されている。

設備、ライン・システムが企画販売台数に満たない場合、別の製品を、当該の設備、ライン、システムを再形成、再構成して生産をする必要がある。日立・生研の松本氏の再構成の概念図⁶⁾を図 17 に引用させていただく。

図 18 は AGV (Automatic Guided Vehicle) を用いたライン再構成の案である。図 19 は AGV を用いた多種類エンジン組付システムで生産変動に対応して搬送速度・ピッチ、AGV 台数を可変にして生産性を確保してる例である⁷⁾。

8. おわりに

自動車車両生産工場の生産指示システムを主事例に「自動車産業の CIM」を紹介した。生産システムには、規模の大規模化、厳しい経済環境の下で多くの要件が求められている。生物でこれら要件が満たされてるものが多い。生命誕生以来、35 億年と言われる歴史の生み出した自然の妙と言える。自動車などの生産システムでは、やはり人間中心にシステムを考えざるを得ない。そこではシステム構築論を生物学的アナロジィで行うことが論理的でないという批判はあるものの多くの人から共鳴、賛同を得ることが多い。このような学問追求のプロセスは過去にもあった。19 世紀科学主義、英では生物学、独では物理学をモデルに社会科学が探求された⁸⁾。その遺産か、独では生物学モデルは結果としてあるものに過ぎないと相手にされてない感があると、シュベングラの「西洋の没落」を例に阪大の三島憲一氏が紹介⁹⁾している。本稿での主たる概念、自律分散システム概念は、わが国で最初に提言された独自の概

念であるが、まだ緒についたばかりで統一的な理論体系が生まれているわけでない。しかし生産システム工学者ばかりでなく、社会、経済、生物、物理…と多方面に関係するもので、各分野での知見が参考となり相乗効果的に進展が期待されている。本稿で紹介した、パラニューロンなる概念も生理学の世界では既に '75 年には提言されていた。コンピュータの世界ではその頃 '71 年のマイコンの開発を機に現在まで加速的な速度でダウンサイジングが進んでいる。後世、科学史家が各分野の「分散化」の時代の流れを指摘するかも知れない。藤田教授の著書⁴⁾は視野を広く、多くのことに関心を持つことの重要性を改めて教えてくれた。これからの生産システムは、ますます複雑化する要件を満たしつつ構築しなければならない。その為には、多くの分野の人の協力を仰がねばならない。その為、「見える・分かる・軽く・小さく」と予かくは言ってる。固くは「調和型自律分散システム」の構築と言っている。自律分散の概念は立派でもそれを具現する技術は未だ未熟である。一部の問題を本稿で紹介した。いずれこれら問題も解決されていくはずであるが、長い地道な努力が要求される。そのために一人でも多くの方がこの分野の研究に参加され、日本が得意としている、進んでいると言われている生産技術をなお一層、進化させることを願うものである。そういうことに本稿がいささかでも「ため」になるならば幸いである。

参考文献

- 1) 黒須：CIM における生産管理、オペレーションズ・リサーチ、37-10 (1992)、471
- 2) シュレディンガー：生命とは何か、岩波新書
- 3) 森 欣司：自律分散システム、電子通信学会誌、69-3 (1986)、226-230
- 4) 藤田恒夫：腸は考える、岩波新書 (1991)
- 5) 佐藤光政、他：自己修復型制御則の試設計、日本航空宇宙学会誌、37-431 (1989)
- 6) 松本義雄：未来の生産技術における知能ロボットシステム、電学誌、113-6 (1993)、454
- 7) 堀 秀樹、他：自動車構成ユニット混合組付システムの開発、1993 年度精密工学会、秋季大会學術講演会論文集 E 83、865
- 8) 伊藤光晴、根井雅弘：シュンペーター、岩波新書 (1993)、195
- 9) 三島憲一、染まらず批判的に読め、朝日新聞(夕)、1993 年 3 月 14 日号