CIM/ROBOT の発展

藤 本 英 雄* 菅 野 重 樹**

1. はじめに

生産技術の自動化から統合生産システム (CIM) に至る過程と、更に近年の CIM の変遷について概説する。

自動化、量産体制そして多種生産の流れをたどると、標準化、モジュール化の工夫と情報の概念の導入が CIM 形成までのキープポイントであり、表面的な形態は変わってもすべて“効率”至上主義により貫かれているといえる。

CIM の近況では、従来の原理原則を越えた複雑な様相を呈しつつある。それは、いろいろなヒューマンファクターや製品の多様化から一歩進んで、生産環境の多様化の考慮を必要とする状況である。自律分散やヒューマンコミュニケーションに対して共通の課題は“協調”問題の解決であろう。

種々のインテリジェント化、ロボット化技術と共に、新しい発想に基づく人工 (仮想) 現実感などのヒューマンインターフェースが次世代 CIM へのキーテクノロジーとなり得るであろう。

2. CIM への歴史

2.1 機械化から自動化へ

18 世紀後半の英国において、画期的な技術革新が生じた。腕に抱えて加工していた工具を台に据えつけて加工に用いる技術、すなわち工作機械の発明である。そして、代表的な工作機械である旋盤・中ぐり盤の加工性能の向上により、円筒内面の加工精度が飛躍的に上がり、高精度のシリンダを利用した蒸気機関の出現に始まる産業革命の成功につながったとされている。

19 世紀末から 20 世紀後半にかけて米国で起こった第二次産業革命において威力を発揮したのが、自動化された工作機械である。大量生産と効率重視が自動化の特徴であり、以後の生産技術を貫く至上目標とされている。

2.2 数値制御工作機械とロボットの出現

1950 年代に開発された数値制御 (NC) は、数値情報で機械の動きを制御する方式であり、あらかじめ用意した NC テープを読み込ませることで所望の加工を行わせることができる。複雑な形状の加工が可能になると同時に、自動工作機械になることにより失われていた汎用性は、NC 情報として複数の情報を用意することで補うことができた。NC のうち、特にミニコンピュータやマイクロコンピュータにより工作機械を制御するのが CNC であり、よりフレキシブルな加工が可能である。

ロボットの歴史に目を転じると、NC 技術を発展させた産業用ロボットの初めての特許が米国で出願されたのは 1954 年である。その後、この特許を具体化したユニメート、パーサトランといった産業用ロボットが誕生したが、これら初期のロボットは、工作機械間の搬送のみを目的とした単能機であり、形態も搬送作業に適した専用の形をとっていた。

2.3 システム化・情報化へ

機械部品は、通常、多工程による加工を経て完成される。この場合、複数の専用工作機械の間を順次搬送され加工されるが、機械部品の工作機械への取り付けと取りはずし、工作機械間の搬送に多くの時間が費やされ、また、取り付け誤差が生じて加工精度に多大の影響を及ぼすことがある。このような欠点を除くためには、一度の

図 1 FA/CIM の歴史

原稿受付：1992 年 4 月 18 日

Development of CIM/ROBOT

* 名古屋工業大学

** 早稲田大学 理工学部

取り付けで全工程の作業が行えればよい。そのために開発された工作機械がマシニングセンタ (MC) やターニングセンタ (TC) である。

MC, TC は、多数の工具と工具自動交換装置を備えており、ほとんどの加工を一台の機械で段取り替え無しで完成させることができる利点を有する。MC は角物部品加工, TC は丸物部品を加工するのに用いられる。

DNC は、計算機統括制御システム、群制御システム、直接数値制御システムなどと呼ばれ、複数台の NC 工作機械をコンピュータに直結し、オンラインリアルタイム方式の指令情報によりこれらを制御する。さらに、NC 機構を備えた搬送装置、倉庫、ロボットなどを同様に制御することが可能である。管理用コンピュータと結合され、情報システム化され、次に述べるフレキシブル生産システムの原型とされる。

2.4 フレキシブル生産システム (FMS)

FMS は加工装置として複数の数値制御工作機械を備えている生産システムであり、典型的な加工用 FMS では、NC 工作機械や MC, TC などが、組立用 FMS では組立ステーションや組立ロボットが用いられる。また、各装置を結ぶ自動搬送装置として、ベルトコンベア、クレーン、リフト、搬送車、モノレール、ロボットなどが備えられる。保管装置には、素材、半製品や製品を貯蔵する自動倉庫と、短時間の一時的保管、たとえばパレットプールステーション、そしてベルトコンベアなどの搬送装置を利用した緩衝の役割をするものもある。FMS には、加工、搬送、保管というハードウェアに加えて、それらの装置を制御するためのコンピュータとそのソフトウェアも含まれる。

元来、FMS は、適度に種類と数量の多い生産に適した自動化生産システムとして考案された。流れ作業の大量生産方式に比べて、近年の好みの多様化に対処できる生産方式であるとされ、多種少量生産方式への効果的適用が期待できる。そのためには、種々のソフトウェアの果たす役割の重要性が高い。

素材から製品を作り上げるために FMS のハードウェアにより、加工、保管、搬送などのプロセスが実行されるが、このとき、対象部品の流れをうまくコントロールすることが FMS を有効に活用するためには必要である。直接 FMS をコントロールするソフトウェアを FA 制御と称する。その他、周辺のソフトウェア技術として設計、計画、管理に関するソフトウェアが密接に関連している。

このうち、FMS を効率良く運用するためには、製品設計、工程設計と呼ばれる設計プロセスの自動化が不可欠である。製品設計の自動化は CAD (コンピュータ援

用設計) と呼ばれ、そのエキスパートシステム化やインテリジェント化が研究されている。製品設計に続いて生産の準備をするプロセスが工程設計であり、その自動化に関しては、バリエーション方式と創生方式がよく知られているが、近年、エキスパートシステム化も試みられている (図 2)。

2.5 FMS におけるロボット

ロボットが FMS の中で特にその威力を発揮するのが組立作業においてである。組立作業は、一連の製造工程の内ではその約 60% 以上を占める中心的作業であるが、高精度が必要であること、多種類の形状の部品をハンドリングできなければならないことなど、ロボット化にあたっては技術的に難しい課題が多く存在する。

近年では、家庭電気製品の組立作業を中心に、ロボットが組立作業にも広く普及するようになった。その背景には、ロボットによる組立用のために製品の設計そのものが改良されたこと、高精度の位置センサや安価な視覚、触覚センサといったセンサ類の開発が進み、ロボットの高精度、高知能化が図りやすくなり、部品同士の結合における精度や部品形状の認識能力が向上してきたことなどの理由がある。

図 2 FMS 構成図

ロボットの形態も、可動範囲の拡大や種々の作業への適応性の向上が図られ、結果として人間に近づいた肘を有するマニピュレータが主流となった。特に SCARA 型のマニピュレータは組立作業に適しており、上述の家電製品組立に大量に使用されている。

一方、搬送作業についてもセンサ制御の発展が寄与しており、自律移動が可能な無人搬送車による工場内での部品搬送が自動化されている。従来のマニピュレータによる工作機械どうしあるいは搬送車と工作機械間での部品の搬送・取り付けと併せ、全ての工程の搬送作業がロボット化されている。

2.6 情報の統合化

コンピュータを利用する自動化は、設計から生産までの一連のプロセスの中のある限られたいくつかの部所で始まった。これでは、部分部分は自動化されても全体の流れは途切れ途切れであり、これを“自動化の島”とよぶ。

コンピュータにより設計や工程設計に関する技術情報を取り扱うことは技術の情報化である。

FMS を効率よく運用するためには、技術情報以外にも生産制御 (FA 制御) 情報、生産計画情報、生産管理情報など種々の情報が必要である。そして、相互に密接に関連したこれらの情報をばらばらに利用するのではなく、一元管理のもとで有効に利用する必要がある。ネットワークやデータベースの技術を利用した情報の統合化である。

2.7 管理情報統合化の拡大

生産現場における素材から製品までの物の流れと同様に、情報の流れに着目することの必要性和重要性が指摘されている。設計・生産準備に係る技術情報の流れ、計画・管理に関する管理情報の流れがそれぞれ導入され、さらに柔軟性への対応として相互に密接な関連を持つそれら全体が LAN を介して 1 つのシステムとして統合化が図られている。この生産部門の情報の統合化は、特に管理情報の統合化として、生産現場から一層の広がりを見せている。

商品が流行しうる期間がますます短くなってきている。このため売れる物をすばやく供給する体制の必要性が従来に増して高まり、生産リードタイムの短縮が至上命令である。研究・開発部門との統合、生産と営業・販売との統合、更に進んで経営計画との統合が指向される。また、同時に空間的な広がりも一つの傾向であろう。

現場情報やユーザー情報の的確な自動取得に技術開発が進んでいる (図 3)。

2.8 統合生産システム (CIM)

CIM の概念、定義はしだいに変化している。通常、

図 3 管理情報統合化の拡大

CIM の発展段階は本節で述べた CIM への歴史に沿って幾段階かに分類される。

CIM は今後も発展していくであろう。将来まで見込んで、CIM を①生産の自動化が実現していること、②情報ネットワークが完備していること、③上記①②を有効に利用するための意志決定や戦略などのソフトウェアを備えていること、により構成されるという枠組みで定義することにする。以下に述べる第 3 章のような状況の変化に応じて、③を柔軟に対応させることができる。

3. CIM の近況と今後

3.1 コンカレントエンジニアリング

生産の一連のプロセスに対して、それに関与するいくつかの専門技術グループが協調して作業を効率的に行うための共通の計算機支援環境をコンカレントエンジニアリングと呼ぶ。米国では、新規事業や新製品開発等のプロジェクトの開始に際し、一つの目的の下に社内だけではなく、いろいろな社外企業やグループから専門家集団が集まって仕事をすることが多い。この場合、仕事の成否を決める決定的要因が協調作業環境である。

一方、以前から日本では自動車業界を中心として、同様の手法が、しかし、ほとんど社内技術者間において用いられプロジェクトが遂行されている。

いずれにせよ共通していることは、早期の製品化や品質の向上、価格の低減などのために必要とされることである。

3.2 開発・生産期間の短縮

販売、営業、経営計画を管理情報ネットワークで結ぶことにより、リードタイムの短縮やユーザーの好みにタイムリーに対処するなどの従来製造業が苦手としていた間隔を相当うめることができ、多大の効果をあげることができたことは事実である。しかしながらユーザの“好みの多様化”に対処するためには、生産現場に密着した技術上の大きな問題がある。一つは FMS を用いても膨大な組み合わせの製品を効率よく作ることを計画する必

要がある。従来にも増して、ジョブショップスケジューリングに対する期待が高まっている理由である。

もう一つ大きな問題がある。ユーザーの嗜好を反映した製品を作りあげるためには、工程設計の段階で純粋に生産技術者の技術力が製品の成否を決めるキーとなる。特に、意匠性、デザイン性を扱うには、自由形状を含む図形形状をコンピュータで扱うことによる困難さを解決することが必要である(図4)。

以上のような多くの未解決の課題に対して、次に述べる広範な知能化新技術とその統融合の応用が期待できる。

3.3 知能化技術の統融合

単一目的最適化問題として定式化して最適解を求めるだけではなく、価値観の多様化と解の概念の柔軟化が求められる。価値観の多様化については多目的の評価基準の導入であり、解の概念の柔軟化については、非劣解や選好解さらに満足解を導入することである。

複雑なシステムの評価技術として、視覚対話型かつ三次元のコンピュータシミュレーション技術が注目され、そこでのモデリングの重要性も指摘されている。

定式化、アルゴリズム化が難しい対象に対して人工知能の応用が提唱されて以来、従来の数理工学で苦手とするあいまいさや事例ベース推論に基づく新技術、ファジーやニューロなどが次々と注目を集めている。

これらの知能化新技術と最適化やシミュレーションの新しい展開を含めて、今後の CIM の展開に不可欠なインテリジェント技術と呼ぶことにする。それは、これからの生産技術の困難な局面に対して対処するためには、これらの技術を有効にかつそれぞれを単独ではなく統融合(複合, 統合, 融合, 連合)することにより利用する必要があるからである。

図4 好みの多様化により派生する技術上の問題の所在

3.4 人・機械の統合

生産現場における人と機械の調和の重要性や生産における人間性指向が強調され始めている。インターフェースや人・機械の仕事分担のほかに、人と人、人と機械のコミュニケーションの道具や環境が注目を集めている。協調の道具として臨場感通信“テレビ会議”、コンピュータシミュレーションやCGの技術の延長として視覚を重視することなどである。自然な立体感による臨場感覚やCGに入りこんだ感覚、触覚などの五感を積極的に利用することを指向している人工(仮想)現実感やテレプレゼンス、レイグジスタンスなどの新しい流れが注目される。

テレプレゼンスや人工現実感は広範な科学技術の分野に多大な貢献が期待できるが、生産技術においても実仮想統合生産工場が考えられる。まだできていない製品を取り扱うことができることにより、仮想製品の開発・設計支援や評価ができ、また実工場での危険・過酷な作業を代替し、人間が実際に行かずとも必要な現場の環境を体験できるなど利点が多い(図5)。

ただし現状の人工現実感は、人間と機械の表面的なインターフェースにとどまっており、今後は情緒空間の取り込みを考慮する必要がある。環境のアメニティについても一層の研究の発展が望まれる。

ヒューマンオリエントな工場では、ロボットについても人との協調が課題となろう。機能的には、人間の生産に関する熟練技能を知識ベースとして有し、単に自律作業ができるだけでなく人間を補助し人間との共同作業ができる能力が不可欠である。形態的には、汎用性と人間との親和性を考えるならば、人間形に近づくことが必然となろう。このようなロボットの開発では、人間科学を土台にしたヒューマンインターフェースがキーテクノロジーとなる。

人間科学には、人間の喜び、満足といった感情を定量化する方法論、これらの値を測定し評価するための方法

図5 実仮想統合型工場

論が含まれる。人間科学の適用は、ロボットのみが対象ではなく、生産システム全体の構築が対象となる。

上述の生産における人間の介在と経済性の両立とは相反する課題である。しかし完全自動化には、人間と機械の本質的違い、人工知能の限界、故障の防御と保守・修復の自動化の難しさ、トラックへの部品搬送に代表される末端作業における人間の必要性、そして雇用の確保といったさまざまな問題が内在しており、むしろ積極的に人間と機械との協調を図ることで、高付加価値な生産、経済性に優れた生産を実現する方向を考えるべきである。

4. 価値観の多様化と次世代 CIM

製品に対する価値観はいつの時代でも変化している。ただ今日では影響を及ぼす環境が複雑さを増している。製品に対するユーザーの好みの多様化に対しては、問題解決技術の価値観の多様化を含む生産技術の高度化、インテリジェント化により対処するべきであろう。

価値観の多様化は、“製品に対する価値観の多様化”に止まらず、生産に対する価値観の多様化”を巻き込んで更に広がりを見せている。典型的な日本式生産の負の側面も指摘され、特に、環境汚染、資源のリサイクル、地域社会文化との調和や貢献に対して配慮した生産体制が

図 6 次世代 CIM 統合化の歴史

要求されている。生物や自然に学ぶ新しい概念に基づいた次世代 CIM への期待と関心は高まりつつある (図 6)。

参 考 文 献

- 1) 藤本英雄, “計算機援用対話型多目的最適化法の機械設計への応用”, システムと制御, 28-11, システム制御情報学会, 1984.
- 2) Hideo Fujimoto et al. “Software Technology in Intelligent FA/CIM and Its Applications to Production System Design”, Proc. 2nd Int. Conf. on Computer Integrated Manufacturing, IEEE, 1990.
- 3) 菅野重樹他, “マイロボット”, 読売新聞社, 1990.
- 4) 菅野重樹, “人間に近づくロボット”, 日本機械学会講習会「ロボティクス入門」資料 No.910-92, 1991.

藤本英雄 (Hideo FUJIMOTO)

昭和 45 年名古屋大学工学部機械学科卒。名古屋大学工学博士。名古屋工業大学機械工学科助教授。生産システムやロボットの知能化が専門分野。ヒューマン的側面に興味。現在、日本機械学会FA部門運営委員、生産スケジューリング研究分科会主査、計測自動制御学会誌編集委員、CIM 研究会、人工現実感研究会を主宰、IMACS '92 国際会議生産部門プログラム委員長、MIT, T. H. Aachen 独大客員教授を歴任。

(日本ロボット学会正会員)

菅野重樹 (Shigeki SUGANO)

昭和 56 年早稲田大学理工学部機械工学科卒。昭和 61 年同大学院理工学研究科博士後期課程 3 年修了。同年早稲田大学理工学部助手。鍵盤楽器演奏ロボットに関する研究により工学博士。平成 2 年早稲田大学専任講師。平成 4 年同助教授。バイオメカニズムの視点から見直した人間—機械系を人間形パーソナルロボット、知的生産システムなどに適用することに興味あり。1990 年第 1 回ロボット学会技術賞受賞。

(日本ロボット学会正会員)