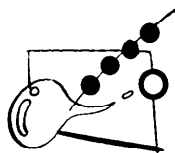


概説

ファクトリオートメーション



F A の 現 状 と 将 来†

佐田 登志夫††

1. はじめに

この20年ほどの間の計算機、制御機器、機械自体の機能の発達は機械工場の様相を画期的に変えようとしている。何台もの数値制御工作機械を計算機で制御するフレキシブル生産システムにより多品種小量生産の自動化が実現し、さらにそのシステムの夜間無人運転の成功はその稼働率を飛躍的に向上した。また工業ロボットという新しい作業機械の誕生はマテリアルハンドリング、溶接、塗装、組立などこれまで人が行っていた作業の自動化も可能としてきた。計算機の利用はさらに機械の設計や設計にもとづく生産準備の作業の一部の自動化も実現し、機械工場の運営のスケジューリング、作業の進行や製品品質の管理も計算機によって行われるようになってきた。このように機械工場内のいろいろな活動がつぎつぎに自動化され、効率化してくると、さらにこれを統合化してより一層機械の稼働率をあげ、生産性を向上し、生産のリードタイムを短縮することを志向するようになってくる。最近ファクトリオートメーション (FA) といわれているものの中にはこのような機械工場内の全活動を有機的に統合し、自動化を進めようとする志向が含まれていると理解してよいであろう。

この小文では、ファクトリオートメーションの展望、とくにそのなかでも重要な課題と考えられている機械加工の自動化、ロボットの応用、CAD/CAM システムとの結合、機械工場の生産計画、生産管理システムの現状と将来とについて概説する。

2. 機械加工の自動化

機械加工は機械工場のなかでもっとも取り

扱う部品数も多く、手間もかかるので自動化の最大課題であった。すでにいろいろな所で述べられているように、何台かの数値制御工作機械の作業を計算機で集中管理し、同時に工作物及び工具の流れも制御するフレキシブル生産システム、FMS がつぎつぎに設置され、多品種小量の機械加工の自動化に大きな貢献をした。とくにそのシステムに加工作業と機械運転の監視機能を持たせることにより夜間1シフトあるいは2シフト無人運転を可能とし、生産性を大いに高めた。現在もっとも成功している例では、6~10台程度のマシーニングセンタからなるライン型のFMSの月間の稼働時間が400時間程度(稼働率で約55%)、システムの故障間平均時間、MTBFが200時間程度(すなわち月間1~2回のシステム故障)になっている。そしてある工作機械メーカーでは図-1に示すようにこのようなFMSを6システム設置し、ほとんどの部品加工をこのシステムで行い、これまで3~4カ月かかっていた工作機械の生産のリードタイムを、このシステム導入により4週間に短縮するという目ざましい効果をあげている。

ただこれまでのFMSの多くは一つの部品の加工時

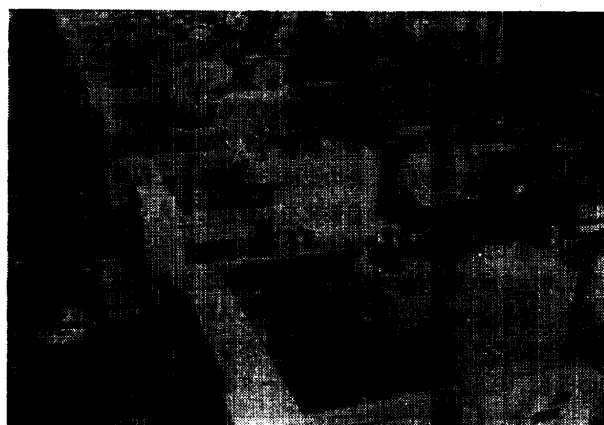


図-1 多数のFMSを導入した機械工場

† Present State and Future of Factory Automation
by Toshio SATA (University of Tokyo).

†† 東京大学工学部

間が1～2時間と比較的長く、そのため素材、あるいはパレットのストック面積もそれほど広くとらなかった。今後の発展の方向としては、FMS をさらに加工時間の短い(たとえば10～30分程度)部品加工にも適用することが考えられ、そのときには一つのパレットへの多数の部品取付け、部品の自動パレタイジング、立体倉庫とスタッククレーンによる多数の部品ストックを考えていかななくてはならない。また自動車産業のような大量生産型の機械工場でも、なかにはそれほど量が多くなく(月500程度)、種類の多様に変化する加工を必要とするものもあり、この種の加工の自動化のためにはタクトタイム2～4分程度の新しいタイプのFMS が求められている。このような場合には従来の数値制御工作機械の機能を大幅に削減した低価格の専用数値制御工作機械の開発が望まれるようになるであろう。このようにして近い将来、自動車工業、家電産業などの量産型産業にもフレキシブルな高度に自動化した加工ラインが数多く設置されるものと期待される。

FMS の稼働率を向上するためには個々の構成機械の信頼性を上げるだけでなく、機械の故障時のシステム運転のリスケジューリングの機能、各構成機械の運転状態の監視情報の収集と分析の機能も必要となる。これだけ多くの情報を数台以上の工作機械からなるFMSで転送しようとする普通の通信回線では容量が不足し、今後は光ケーブルによるデータハイウェイの設置が必要となり、またそのための数値制御装置の改善も求められるであろう。

現在のFMSのハードウェア上の最大の弱点は無人搬送台車の価格の高さ、機能と信頼性の低さにある。確かに機械としてまだ成長期にあるといえないでもないが、早急に大幅なコストダウン、電池使用の場合にはその自動交換、機能の具備、故障間平均時間の増大(少なくともMTBFにして2000時間程度)などの改善が望まれている。

これまでのFMSの計画の際には、加工する部品が比較的類似していて、加工工程も短い場合が多かったため、確固とした生産方式についての信念があれば、それにもとづいてシステム設計をして良い結果を得ていた。しかし加工する部品の種類が広範囲になり、工程数が多くなると、機械選択に制約がでてくるので、システムの稼働を最適化するために事前にシミュレーションを十分に行っておき、機械の配置、搬送台車の台数と速度、ジョブ選択のためのプライオリティルールなどを決定しておかなくてはならない。図-2にFMS

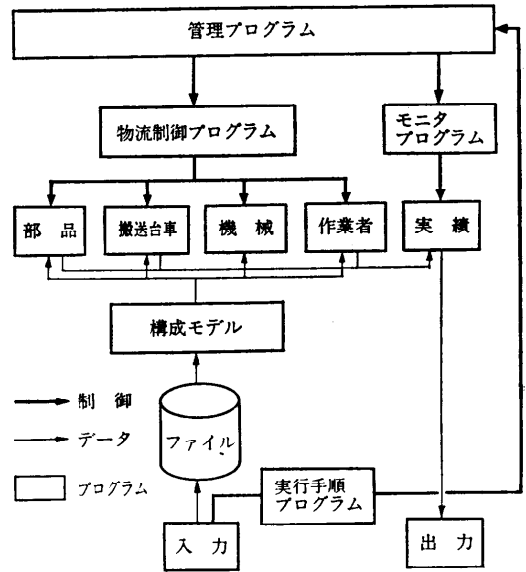


図-2 FMSのシミュレーションプログラムのブロック図
(小松製作所若井秀之氏による)

シミュレーションプログラムのブロック図の一例を示す。ここではシステムのモデルを構成し、工作機械、部品、バッファステーション、倉庫、ローティングステーションを構成要素として、いろいろな入力を与えてシミュレータにより運転結果を出力する。すでに汎用のシミュレーションプログラムも各種存在しているが、FMSにはそれなりの固有の問題があり、現在はFMSを企画する企業が自前で作成をし、確認をしている。

3. ロボットによる各種作業の自動化

ロボットは工業的にはこの10数年前に始めて実用化したまったく新しい作業機械であるが、それに使われるマイクロコンピュータと各種制御機器、情報処理技術と制御技術の発展にともなって急速にその適用範囲を広げてきた。始めは高温下や危険な環境下での簡単なマテリアルハンドリングに使われていたが、ついで薄板のスポット溶接、さらに厚板のアーク溶接、塗装と順次複雑な作業の自動化の実現に成功した。これは、これまでのロボットが主としてティーチングプレイバック方式によるとはいえプログラマブルな機械であり、設計変更にも適応できること、垂直多関節ロボットはオープン構造であるため位置ぎめ精度は高くないが、作業空間が広くとれて前にあげた作業に適していたこと、関係者の非常な努力により故障間平均時間

が初期の数 100 時間の程度から 2000~3000 時間を越すようになってきたことなどにもとづくものと考えられる。

ついで比較的小形の直交座標型及び水平多関節型のロボットが普及し、これらは位置ぎめ精度が 0.05~0.2 mm と高いため組立作業の自動化に使われ始めた。そして現在では小形の電装品、家電製品などの自動組立システムの開発が急速に進められ、組立ステーションにして数 10 から 100 以上のシステムで、1 種類、ときには 10 種類近くの類似製品の組立が、小形電装品では 0.8~1 秒、家電製品では 5~30 秒程度のサイクルタイムで行われている。今後しばらくの間はこのような進歩は当然続き、やがて電気産業、自動車産業で数の多い中形の機械部品の自動組立の実現へと発展していくであろう。

この分野での今後の課題の第一はロボットのオフラインプログラムの実現である。現在のティーチングプレイバック方式のプログラム方法はロボットを個別に使用する場合には問題が少ないが、ラインの中で使用する場合には作業変更のための工数が膨大になること、ライン停止時間が長すぎるなどのため限界にきている。始めは数値制御の自動プログラムのように図面を頼りの動作指示型のロボット言語によるオフラインプログラミングシステムになり、やがて計算機内の部品モデル利用によるさらに高度な作業指示型のプログラミングシステムへと移行していくであろう。

課題の第二はロボットへの視覚を含めての認識機能を付与することである。現在の中形以上のロボットはその機械構造からくる制約上 1 mm 程度の位置誤差は避けられないこと、作業対象も大形になると作業点自体がミリ程度の誤差を持つことがあること、組立作業のような場合ロボット座標系と組立品座標系とを所要精度内に合致させるために費用をかけて位置ぎめ装置、パレットなどを使用していることを考えると、上の二つの座標系合わせのための適当なセンサをロボットが備え、サーボシステムのサイクルタイム内で制御コマンドの座標変換を行うようにすることは是非必要となる。

第三の課題はロボット及びロボット周辺機器の価格の低減とロボット作業の信頼性の向上にある。今のロボットを組立作業に使用するとき、作業者の 0.6~0.8 人分ぐらいの作業量をすると考えられていること、ロボットの構成部品数と組立工数、制御機器の価格などから考えて、ロボットが広く機械工場に使われていく

ためにはその価格が 1~2 年前の値の 1/2~1/3 程度に低減することが期待され、実際にも一部の小形組立用ロボットではそれが実現しようとしている。組立作業では部品供給装置の価格と部品の自動供給の信頼性の低さが自動化の大きな障害になっていることも否めない。いずれにしても高い生産性を志向する自動化機械工場の実現が、その生産設備製造やソフトウェア開発の低い生産性によって妨げられるようなことがあってはならない。

前に述べた無人搬送台車及びロボットについての課題が順次解決されていくにつれて、機械工場内の多くの作業は相当のレベルまで自動化され、組立作業でも数の多いものについては 50% 以上自動化される日もそう遠くはないであろう。

4. CAD/CAM システムとの結合

機械作業が次々に自動化されてくると、当然目は機械工場の中で行われ、多くの人手をかけているエンジニアリング作業、とくに設計、生産設計に向けられてくる。

機械設計作業を計算機によって行わせようという考えはすでに 20 年ほど前に提案されたが、当時はまだ物の形状を計算機で取り扱う技術がなかったため、この試みは成功しなかった。その 10 年後に計算機内に立体モデル（ソリッドモデル）を生成することが提案され、立体の生成、変形、合成などの処理方法、自由曲面表現、モデルの表示方法、入力方法などが開発され、現在では計算機によって機械設計を進めるための基本的なツールは一応そろったといつてよいであろう。ただこの立体モデリングシステムはまだモデル処理に時間を要すること、入出力、とくに入力が利用者の便利になっていないことなどによって、航空機産業や自動車産業の一部を除いては実用にはなっていない。

これに対し、始めに計算機による機械設計を夢みた人々が後に機械製図のような線モデル（ワイヤフレームモデル）で立体を表現するモデリングシステムを早くから開発していた。勿論線モデルでは立体を完全に表現することはできないから、これをツールとして機械設計を始めから行うことは困難であるが、紙の上で設計をほぼ終了させてからこれを図面化するには十分の機能を持ち、また線モデルはモデルが簡単なだけに計算時間も短く、早くから商品化されているため利用者の使い易さに十分な工夫がこらされていることなど

のため、この数年の間にこの種の CAD システムが急速に普及し、現在わが国でもすでに 200 セット以上のシステムが各企業の設計室に導入され、設計、とくに製図の自動化に大きな効果をあげている。

本来の機械設計は機械に要求される機能から概念設計を行い、それを次第に肉付けしながら運動機能、強度、振動、温度上昇などの技術解析を行い、仕様に合わせて変わったり、あるいは新しい着想が浮かべば随時モデルを変更、修正するという手順を繰り返して最終段階にいたる。またその間これまでの知識も参照する必要もあり、したがって将来の計算機による設計システム、CAD システムとしては立体モデリングシステムをツールとし、知識ファイルを参照し、またモデルからエンジニアリング解析プログラムの入力を生成して、そこから解析結果も検討できるような機能を持つことが求められる。勿論この過程で材料、熱処理、寸法公差、表面仕上げなどのような技術データもモデルに付加していかななくてはならず、設計者の創造的設計を援助する図-3 のような CAD システムの早急な開発が望まれている。

どのような形であれ設計過程で計算機内に物のモデルを生成すれば、それを利用して以後の生産設計、たとえば工程設計、作業設計、治工具設計、数値制御工作機械やロボットの制御命令の生成ができるはずである。

ただこれらの諸作業のなかで工程設計、治工具設計などはこれまでほとんど体系化していず、生産技術者のノウハウ、経験によることが多い。したがって物のモデルから計算機によってたとえば工程設計、すなわち物の加工の順序とそのときの使用機械を一般的に定めることは著しく困難である。そのため現在行われている計算機による工程設計は物の形状及び技術的特色

から工程を類形化し、またその特徴により工程の変化するルールを見つけてこれをプログラム化した変化法 (Variant method) によるものである。もっと一般的な創成法 (Generative method) による工程設計は生産技術者のノウハウ、経験をルール化し、Expert システムを構成することが考えられるが、これらは今研究段階にある。いずれにしても計算機による工程設計はまだ十分実用になっているとはいえない。

工程設計の困難さに比べれば、数値制御工作機械の制御命令の自動生成はすでにこの種の自動プログラミングシステムが長い間実用になっているので、物のモデルからその入力プログラムを生成して結合してやればよいので比較的容易であろう。また既存のシステムを使用しないでも、工具経路は加工面より工具先端半径だけオフセットするという幾何学的問題であるので、加工方法、工具形状、加工条件などの加工ノウハウを十分に取り入れて CAD システムに結合して専用にしてもよい。市販の CAD システムにはこのようにして限定した範囲ではあるが切削用の CAM システムがついているのが普通である。

前に述べたロボットのプログラミングも本質的には数値制御の自動プログラミングと同様で、使用される作業の特性を解明して仕様を決定すれば、物とロボットのモデルから作業のための制御情報を生成することに技術的困難はなく、近い将来このようなシステムが次々と作られてくるであろう。そしてこれらの運動制御命令を計算機上でシミュレーションプログラムを作って十分に誤りを除去しておけば、機械工場に持っていったときあまり手をかけずに実際作業にはいれ、生産準備時間、テスト時間の短縮に大きな効果をあげると期待される。いずれにしても FMS やロボットの効率的な稼働のため、CAD システムの出力からこれらのオフラインプログラムを直ちに行う CAM システムに近い将来さかんに使用されることになる。

5. スケジューリングと生産管理システム

以上のようにして設計から個別の作業までが結合されると、次に機械工場全体を有機的に統合して運転するための生産計画、すなわちスケジューリングと生産の進行管理のための計算機プログラムが必要となる。

複雑な生産システムについて所望の生産計画を達成するための最適スケジュールを求めることは難しいが、機械工場を適当なブロックに分け、ブロック別に工程ごとの生産時間から負荷を求め、それを適当なプ

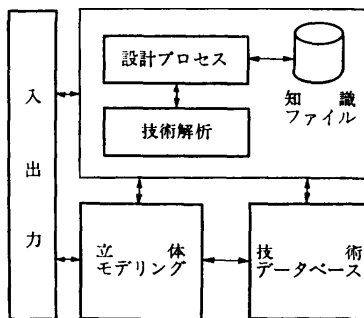


図-3 望ましい CAD システムの構成図

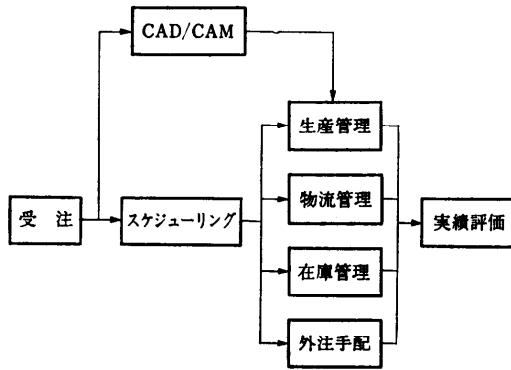


図-4 統合生産管理システムの構成図

ライオリティールにしたがって前倒しに負荷の山くずしを行って平準化する従来の手法で十分有効なスケジュールリングが行える。ただ作業の自動化のレベルが上がれば、各工程、ステーションでの作業時間はより正確に算定され、したがってスケジュールもより精細で、修正の必要の少ないものを作ることができるはずである。そしてこのスケジュールと同期するように外部購入品、外注品の発注プログラム、治工具準備プログラム、工場内物流プログラムなども準備し、生産スケジュールにもとづいてこれらのプログラムから適切な指示を出せるようにしなければならない。生産管理プログラムは適切な時間に作業指示とこれらの付属指示とを出すとともに、各工程の生産結果を収集し、その結果から製品の進捗管理、工程管理、在庫管理を行い、また各種の実績評価、原価管理までを行っている。現在多くの機械工場が計算機を導入して何らかの形で図-4のような統合的な生産管理を行い、生産のリードタイムの短縮、在庫量の低減、生産方式の改善に効果をあげている。しかし相当に生産管理の良く行われている機械工場でも素材の投入から完成製品搬出までの時間のうち実作業時間の占める割合はわずかであり、搬送に必要な時間を除いた滞留時間が実作業時間の20倍を超えているという事実は工場全体の生産活動にまだ改善の余地が多いことを物語っている。あるいは、このような事実を顕在化し、改善を進め得ることに工場内全生産活動を生産管理システムで統合化

するファクトリオートメーション (FA) の大きな意義があるともいえる。

6. むすび

ファクトリオートメーションの現状と将来について概説を試みたが、その結果を要約すると次のようになる。

(1) 数値制御工作機械、部品、工具の搬送装置を計算機で集中制御するフレキシブル生産システムの導入、とくにその夜間無人運転の実施は多品種少量の機械加工の生産性を飛躍的に高めた。この生産方式は次第に中量生産の方へ移行していく。

(2) ロボットは新しいプログラマブルな生産機械として発展し、マテリアルハンドリング、スポット溶接、アーク溶接、塗装などの作業の自動化を進め、最近では位置ぎめ精度を高め組立の自動化の促進へと努力が向けられている。

(3) 今後ロボットによる各種作業の自動化により効果をあげていくためには、ロボットのオフラインプログラミングの実現、認識機能の付与、ロボットの信頼性の向上と大幅なコストダウンが望まれる。

(4) 市販の CAD システムは機能としてはそれほど高くないが、すでに相当普及し、設計、とくに製図作業の自動化に大きな効果をあげている。今後は立体モデルにもとづく CAD システムが開発され、設計者の創造活動の援助、設計期間の短縮、設計性能の保証に役立つことが期待される。

(5) CAD システムにより計算機内に生成される製品モデルから計算機内で直ちに工程設計、作業設計が行われ、シミュレーションの実行により生産準備期間の短縮に役立つ。

(6) 機械工場の全生産活動に対し生産管理用計算機によって、スケジュールリング、作業指示を行い、また作業結果を収集し、進捗管理、工程管理、実績評価をすることにより、それらが顕在的に管理可能となり、生産のリードタイムの短縮、在庫量の削減、原価低減などに大きな効果をあげている。

(昭和 59 年 2 月 9 日受付)

