

塑性加工FMSの現状と課題

Present Status and Topics of FMS of Plastic Metal Working

木内 学*
Manabu KIUCHI

わが国における塑性加工FMSの現状を調査し、稼動中のシステムの事例とその構成・特徴・適用分野・稼動実績等に関するデータを収集・分析し、現時点における塑性加工FMSの開発・導入の動向を明らかにするとともに、この分野の今後の技術的課題について検討した結果を示す。

1. はじめに

わが国における塑性加工FMSは、機械加工の分野におけるFMS・FAの加速度的な開発・導入の動きに比較すると、まだその端緒についた段階であり、システムの集約度・機能・適用範囲・稼動実績など、いずれの面からみてもこれからの発展が期待されている状態にある。そこで現在稼動中のシステムの種類・構成・機能・特徴等の全体的な状況を把握し、この分野の統一的な認識を深め、技術的基盤作りの推進に寄与する目的で、昭和58・59年度、(社)日本機械工業連合会・(社)機械技術協会主導の「生産技術調査分科会」の中に、筆者を主査とする「塑性加工FMS・WG」が組織され、わが国の塑性加工FMSの現状に関する調査・研究が行われた。この結果は、第1次・第2次の報告書にまとめられ、関係方面から多くの関心を集めたが、本稿では、この調査・研究の結果をふまえて、この分野の現況と問題点について述べる。

2. 塑性加工FMSの適用分野

塑性加工の分野で、現在、FMSの開発・導入が、最も積極的に推進されているのは、板金加工の分野であり、次いで鍛造加工の分野である。表1には、これらの板金加工FMS・鍛造加工FMSで製造されている典型的な製品とその用途、ならびに調査の対象となったシステム数を示してある。ただし、システム数については、現在両者合わせて100以上のシステムが稼動中であると思われる。

ところで、各システムを構成する加工法・加工機の種類・数は、その目的により異なっている。多くの場合、

表1 塑性加工FMSによる製品例¹⁾

加工方式	対象加工品	用途	システム数
板金加工	フレーム ドア 側板 各種板金部品	自動販売機、配電盤、制御装置、通信機、計算機、エレベータ、鉄道車両、照明器具、水車発電機、電子機器	40
鍛造	リンク、コンロッド、タイロッドエンド、クランクシャフト、フロントシャフト、ハブ、ハブギア、ギア	自動車 オートバイ	6

板金加工FMSは、せん断加工・切断加工を中核とし、目的に応じて、曲げ・溶接・タッピング・マーキング・塗装などの加工を含んでいる。加工機械としては、タレットパンチプレス・レーザープレス・ブレードシャー、さらにプレスブレーキ・フォールディングマシン等の各種ベンダー、クランクプレス、ロールフォーミングマシン、溶接装置などがさまざまな形で組み合わせられ使用されている。これに対し、鍛造加工FMSは、せん断および型鍛造のほかに、中間加工としてのロール鍛造・転造加工・予成形加工、あるいは熱処理・ショットブラスト、さらに素材の加熱等を含み、各種プレス・転造機・加熱炉などの加工機群から構成されている。

板金加工FMSにより加工されている製品の特徴は、(1)ロットサイズが小さいこと、(2)大部分がせん断加工および曲げ加工により得られるものであること、などである。各システムの生産規模は、1ロット・1ヶ月当

* 東京大学生産技術研究所 第2部

たりの生産量が、10 個以下と極めて少量のものもあり、多いものでも 3000 個止まりである。これに対し、製品の種類は、10 種類以下と少ないものもあるが、100 種類以上のものも多く、最も多い場合には 20 000 種類の製品の加工が行われている。鍛造加工 FMS の場合は、板金加工 FMS に比べて、製品の種類が少なく、また 1 ロット当たりの生産量が多い。これは、鍛造加工においては、型・工具の汎用性が低く、またその交換に時間を要するため、システムの生産性やコストパフォーマンスを一定水準以上に維持するために、その適用形態が必然的に制約を受ける結果である。

3. 塑性加工 FMS のシステム構成

塑性加工 FMS のシステム構成の事例を図 1、2 に示

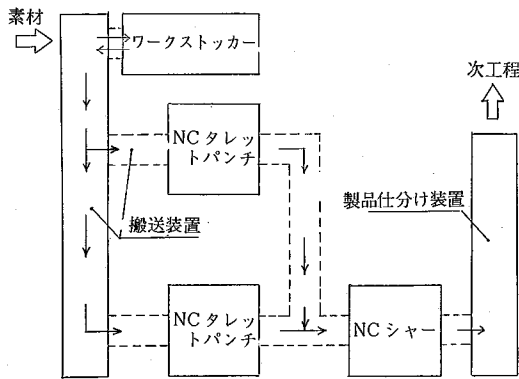


図1 塑性加工 FMS の事例(1)

す。図1は、コンピュータ周辺装置の管体製造用の板金加工 FMS であり、ワークストッカー・NCタレットパンチ・NCシャー・搬送装置等から構成されている¹⁾。システムそのものは比較的単純なものであるが、200 種類の製品を月産 100 000 点程度製造している。システムの特長としては、1)設計システムと板金 CAM システムを結合し、端末自動機に至るまで情報を一元化している、2)製造環境(ユーザー・設備)の変化や将来計画に容易に対応できる、3)製品設計の緊急変更への対応が容易である、4)段取りおよび仕分けなどの最適化を考慮した板取り処理が可能である、5)24 時間無人運転が可能である、などが挙げられている。また、制御・管理面では、1)CAM 用ホストコンピュータ・FMS 用ホストコンピュータを有し、中日程・小日程計画により作成されたスケジューリングから、段取り最小化情報・生産計画・材料情報などを的確に与える、2)オンラインリアルタイムで進捗実績管理を実施できる、3)NCTP 金型寿命管理を実施している、などの点が挙げられている。

図2は、同様な制御装置用管体製造板金 FMS の事例である¹⁾。このシステムは素材ストレージ・NCタレットパンチプレス・タッピング・マーキング複合加工機・ブランキング L 型シャー、その他自走台車・オートローダ等から構成され、製品は後工程の曲げ加工機へ送り出される。システムの特長としては、(1)工場全体の生産管理システムと直結した板金 CAM システムである、(2)製作情報をもとに、素材の供給からタッピング・マーキング・分割切断までを自動的に行う無人化ラインである、(3)マーキングを行うことにより、後工程の図面

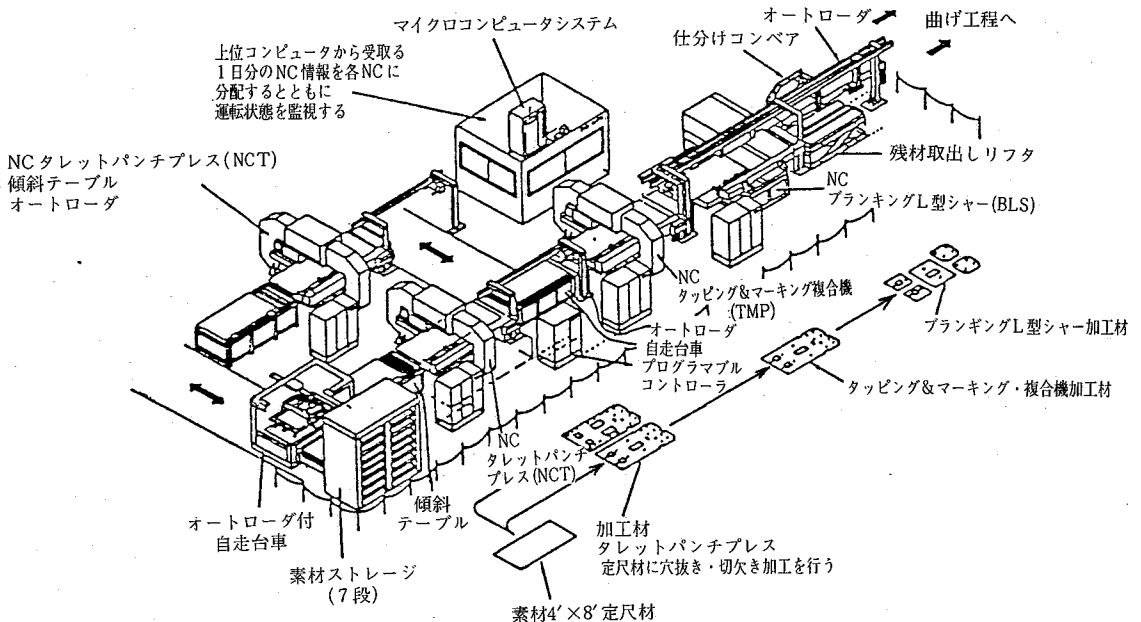


図2 塑性加工 FMS の事例(2)

レス作業を可能としている、などが挙げられる。さらに制御管理面の特長としては、(1) 計算機とシーケンサとに機能分担させた分散制御システムである、(2) マルチタスクモニタの使用により、安価なマイクロコンピュータでシステムを構成している、(3) 通常はオンライン全自動運転を行うが、トラブル発生時には、オフライン自動運転に切り替え、単一ロットの連続運転が可能である、(4) CRT ターミナルによるライン稼動状態の集中監視およびオペレータへのライン運転情報の提供ができる、などの点がある。このような塑性加工 FMS の事例をさまざまな角度から分析し、検討した結果の概要を以下に示す。

一般に、FMS におけるワークの流れは、システム構成の特徴をみるうえで重要である。そこで、これをグラフ理論を用いて類別すると²⁾、塑性加工 FMS ではいわゆるライン型が多く、ループ型・ネット型は非常に少ない。この点、機械加工 FMS とは際立った相違を示している。すなわち、機械加工 FMS では、ライン型は少なく、ループ型が多い。また最近のシステムでは、ツリー型が増えつつあり、複雑なシステムではネット型もある。このような相違は、塑性加工と機械加工の加工技術上の質的相違によるものと考えられる。すなわち、機械加工 FMS では、ワークが加工機から加工機へと移動し、加工が順次進行することが多く、また、ワークに対する当該加工機の加工時間が、ワークの取り付け時間や工具交換時間に比して、かなり長いのが普通である。一方、塑性加工 FMS では、ワークの送り速度や工具交換速度に比して、加工速度が速く、単位製品当たりの加工に要する時間が非常に短い場合が多い。したがって、複数個の素材またはワークを並列的に取り込み、当該加工機または工具でできるすべての加工をまとめて実行するほうが有利である。さらに、加工機一台当たりの加工内容が比較的限定されている一方で、その生産能力が大きい、という特徴があり、これらのことが、システム内のワークの流れに基本的な影響を与え、ライン型の多用という結果を招いている。

一般にライン型に比較して、ネット型やループ型は、加工機その他の加工ステーションの数が多いことが特徴としてあげられているが、塑性加工の分野においても、今後このようなシステムが増えることが予想される。また、ツリー型は、塑性加工 FMS にあまり適さないと思われるが、これもシステムの規模や含まれる加工機の数的大小による。上述のように、塑性加工機は機械加工機に比して、単位時間当たりの生産能力が格段に大きいことから、1システム当たりの加工機の数がどの程度の規模にまで拡張されていくか興味深い点であるが、これは、目的とするシステムの適用範囲、生産量、無人化達成の程度、等によって規定されるものであり、これらは

また工業的ニーズや基盤となる技術水準などによって変化する性格の問題である。現在、せん断加工を主体とするシステムでも、今後、下流に、曲げその他の成形・溶接・組み立て・検査等が加わっていくことは十分予想され、その結果、システム構成の考え方そのものが変わることも当然ありえる。

一方、FMS をより一般的にみたシステム構成は図 3 のように示される。全システムは、技術情報処理システム、管理情報処理システム、生産制御システム、生産プロセスシステム、等のサブシステムから構成される。各サブシステムに内包される技術項目は図に示されているとおりである。このようなシステム構成に対応して、FMS の中枢となるソフトウェアは、生産制御ソフトウェア、管理情報処理ソフトウェア、技術情報処理ソフトウェア、などに大別される。このうち、生産制御ソフトウェアは、素材から各種製品へと加工が進行する過程での、システムの各構成ユニット・プロセス等の制御に要する情報処理を対象としており、塑性加工 FMS においては、素材倉庫制御・各種加工制御・製品倉庫制御、等が主たる内容である。一方、管理情報処理ソフトウェアは、主として製品設計管理・生産管理を対象とし、この出力情報は、生産制御システムへの入力情報となる。また、技術情報処理ソフトウェアは、製品設計と生産工程設計に関する情報処理を行うものであり、管理情報処理システムと連携し、生産制御システムへと出力情報を伝達して所要の加工を実施する役割を果たす。現在稼働中の塑性加工 FMS では、上述の各サブシステムならびに情報処理ソフトウェアを完備しているものは少ないが、たとえば板金加工 FMS の場合、システム内の CAD および CAM 機能の有機的結合の成否が、システムの機能・効率に大きな影響を与えており、このような点で、機械加工 FMS と比較して、システム構成の要件が若干異なる場合がある。

システム管理・制御のハードウェア構成としては、一般に、設計・管理情報システムには大型コンピュータ、生産制御システムには小型コンピュータを配し、いわゆる階層構造となっている場合が多いが、現行の塑性加工 FMS では、機械加工 FMS に比較して、マイコンの使用比率が高い。これは、塑性加工 FMS が比較的新しく、かつマイコンの進歩が著しいこと、インプロセス計測等の導入が遅れており、加工情報の処理量が比較的少ないこと、などの理由による。他方、シーケンス/プログラマブルコントローラや、NC 制御装置を導入しているシステムが多く、この面からもシステム管理のハードウェア構成の階層構造化が進んでいることがわかる。

塑性加工 FMS のインターフェースの方式についてみると、現行では RS 232 C が圧倒的多数を占めている。データ転送速度を比較すると、GPIB のほうが有利と思わ

れるが、その使用例は比較的少ない。これは、上述のインプロモス計測の導入の遅れとも関係があると思われ、今後、計測技術の進歩と共に、インターフェース的方式にも変化が現れる可能性がある。

4. FMS導入の効果

これまでに塑性加工FMSを導入した各企業が挙げている主たる効果としては、以下のようなものがある。第1は、人員削減(省人化)の効果である。現状の塑性加工FMSでは、完全な無人化は、経済的にも生産効率的にも最適とは言い難い場合があり、人間の介在がフレキシビリティの向上に有効と考えられる面もあるが、いずれの場合も、人員削減の効果は大きいと考えられている。第2は、生産性の向上の効果である。これは、素材から製品までの全加工時間が短縮されるだけでなく、リードタイムが短縮され、コンピュータによる作業計画が効率的にたてられるため、各加工機・プロセスの作業量が平準化でき、設備の稼働率が向上することなどによるものである。第3は、投資効率の向上の効果である。すなわ

ち、フレキシブルな加工システムを有することにより、仕掛り在庫や完成品在庫を減らすことが可能となり、また、少ない設備で多様な製品の加工が可能となるため、土地・建屋への投資の削減、生産スペースの削減、フォークリフトや天井クレーン等の付帯設備の削減、などの効果が挙げられている。第4は、生産管理諸経費の削減の効果である。コンピュータの導入により、各加工プロセスの制御ばかりでなく、生産管理業務の合理化、効率化が図られ、工具費の削減・材料歩留りの向上・仕掛り費用の削減、等のほかに、帳票の削減や図面レス等によるメリットが非常に大きいことが指摘されている。第5は、製品品質の高度化・均一化・安定化の効果である。これはコンピュータによる生産管理・加工プロセス制御等の大きな成果である。第6は、省エネルギーの効果である。鍛造FMSでは、加熱炉等の熱管理が目的行的に行われるため、この面での合理化が著しい。塑性加工FMSの導入成果については、ほとんどの企業が当初の目的を十分に達成したと考えており、この点注目に値する。

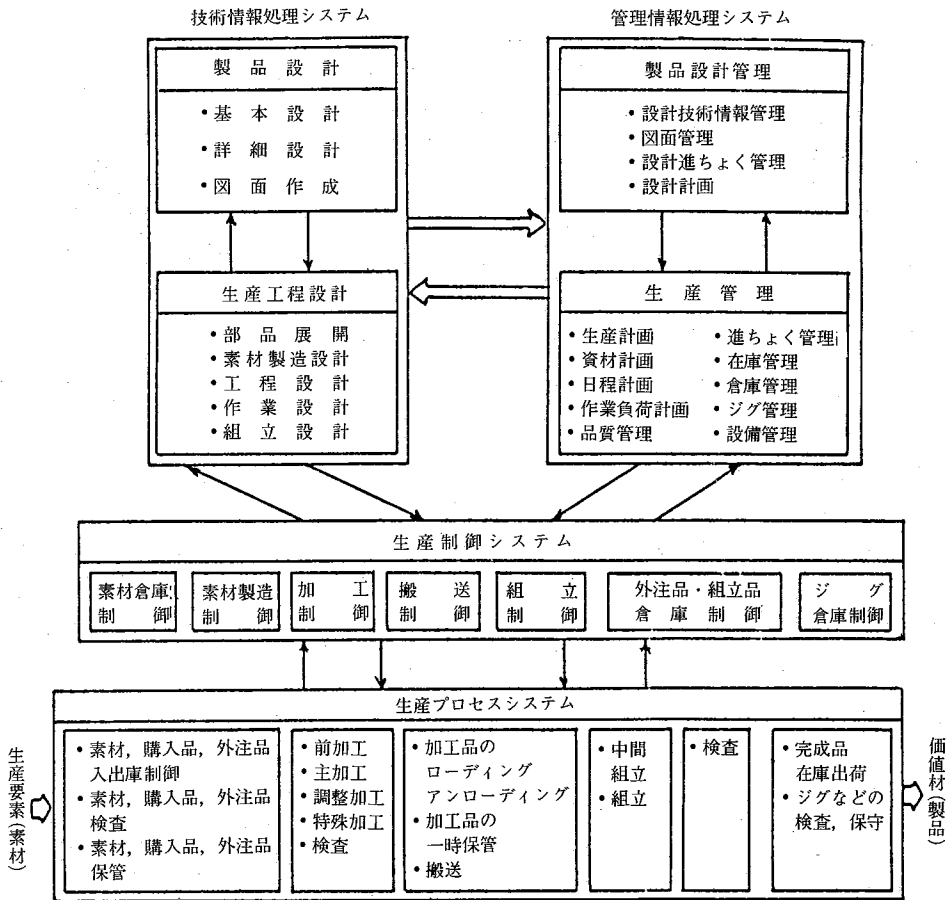


図3 生産加工システムの一般的構成(岩田による)³⁾

5. 塑性加工 FMS の技術的課題

上述のごとき状況をふまえて塑性加工の分野における FMS の将来を考えると、その一層の発展のためには、次のような技術的課題が残されている。

(1) 多機能加工機の開発

塑性加工は、その技術的発展の過程からも明らかなように、主として少品種多量生産技術として発達してきた。その結果、加工機械も単能化・専用化が進み、加工機能の面からみると、多機能性すなわちフレキシビリティに欠ける場合が多い。たとえば、いわゆるプレス機械は、金型の交換により、汎用性のある多機能加工機として利用されるが、金型そのものは単能化・専用化されているので、金型交換機能を持たない限り、プレス機械自体も単能化されているに等しい。ここでいう多機能加工機とは、加工機械そのものが多機能化されているものを意味するが、その場合にも 2通りの意味がある。第一は、加工機自体の機能は単純かつ単一の動作の繰り返しにすぎないが、金型あるいは工具等の交換機能を合わせて持つことにより、加工内容に関する多機能性を具備している場合である。第二は、加工機の機能自体が多機能化されている場合であり、たとえば多軸・多自由度プレスなどがそれである^{4),5)}。これは複数種類の金型やポンチあるいはその他の工具を持つ複数のラムやアームが、制御されたスケジュールに従って、被加工材にさまざまな形態の塑性加工を加え、所要の製品を成形する加工機である。前者については、金型の自動交換やクイックチェンジ等の面から盛んに技術開発が進められており、すでに多くの成果が得られている。それゆえ、今後の技術開発が特に期待されるのは、後者の場合である。この問題に関しては、工技院大型プロジェクト研究の課題として採り上げられ、超自由鍛造機・多軸回転加工機等の精力的な開発努力がなされたが、塑性加工分野全体からみればいまだ十分とは言えずむしろこれからの研究課題である。

(2) 多機能金型の開発

上述の加工機械に関する議論と同様に、塑性加工の代表的工具である金型についても、多機能性を付与する技術開発が必要である。経済的な面からみると、塑性加工 FMS の基本的目標である多品種少量生産の最大の障害が、金型の製作コストである場合が多い。この問題に対応するために、簡易金型の製作技術の開発研究が盛んに行われており、近年のその成果には見るべきものが多い。しかしながら、金型の多機能化に関する研究の必要性は必ずしも明確に認識されておらず、したがっていまだ見るべき研究成果が得られていない。金型の多機能化には、金型を一体構造から複数の基本モジュールからなる組み立て構造への転換し、基本モジュールとその空間

的配置の組み合わせにより、複数の機能を発揮させることなどが考えられる。これを実現するためには、基本モジュールの形態とその 3 次元的な組み合わせに関する図形情報処理、およびそれらの空間位置制御あるいはまたその固定・支持機構など、従来の金型技術とは、基本的に異なる新技術の開発・研究が必要となる。

(3) 金型・工具の交換・支持・固定に関する技術開発

上述のように加工機や金型の多機能化が進行しても、それにより所要の塑性加工のすべての場合も尽くことは事実上不可能であり、それゆえに金型・工具の交換技術の研究・開発の必要性はいささかも減じない。すでにクイックダイチェンジに関する研究開発は幅広く行われており、急速な進展を見せてはいるが、これを一層進めて、簡易着脱と必要十分な剛性を兼ね備える新しい金型の支持・固定ならびに交換技術の開発は、塑性加工 FMS にとって最重要課題の一つである。

(4) 素材・製品の搬送・挿入・取り出し技術の開発

素材および製品の搬送システムや加工機への挿入・取り出し用のローダー・アンローダーの開発は、機械加工を含めてのこれまでの FMS の開発の過程で最も精力的に行われており、その意味では、ハード・ソフトの両面においてすでに相当高度なシステムが構成されている。しかしながら塑性加工 FMS においては、機械加工の場合に見られない固有の問題がある。たとえば、機械加工 FMS における被加工材は、パレットに固定することにより、搬送・取り付け・取り外し等に際して機動性を高めることができるが、塑性加工 FMS においては、多くの場合、被加工材は裸のまま加工機に挿入することが必要であり、補助的な治具を用いることができない場合が多い。また、塑性加工の特徴として、加工前後に被加工材の形状・寸法が大幅に変わり、かつ加工後の形状・寸法を事前に精度よく予測することが難しいことがある。このため、搬送や加工機への挿入・取り出しに際して、機械加工の場合以上の高度かつフレキシブルな技術が必要であり、この面からの研究開発も重要である。

(5) インライン計測技術の開発

(4)で述べたように、塑性加工 FMS においては、被加工材の形状・寸法が各加工段階で大幅に変化する可能性があり、しかもそれが個々の被加工材ごとに変化することも予想される。たとえば鍛造加工におけるフラッシュ・バリや板成形における形状不整などのように、素材の寸法差や採取位置の相違、あるいは潤滑剤の塗布条件等の加工条件のわずかな違いが、製品の形状・寸法の相違となって出てくる場合がある。加工プロセスの中でこれらの相違を見分け、適切な判断の下でプロセスそのものを安定的に管理・制御するためには、これらの形状の認識・寸法計測など、システムの目となり触覚となる高度の計測技術を備えていることが必要である。塑性加工

FMSとして、このような計測システムを具備するものは未だ少ないが、より高度のFMSの開発にはこれらの計測システムのバックアップが不可欠であり、これもまた今後の重要な技術的課題である。

(6) 知能型管理・制御ソフトウェアの開発

多くの構成要素からなる塑性加工FMS全体を有効かつ高能率に運用するためには、性能の優れた管理・制御ソフトウェアが不可欠である。従来のFMSのソフトウェアの開発においては、各加工機を始めとする設備をシーケンシャルに作動せしめることが主たる役割となっており、管理・制御技術面での高能率化・最適化の問題にはようやく手が届き始めた状態にある。この問題は極めて広範な内容と高度に技術的な問題を含んでいるために、最適な管理・制御を実現するソフトウェアの開発について、汎用的な方法論あるいは手法の確立は早急には望めない。そこで、当面、現実的な手法として、可能な理論的・解析的な手法の適用の試みのほかに、実システムの稼動に伴うさまざまな情報を取り込み、これを分析することにより、システムの特性を現実に即して把握し、それをを用いてシステムのより高能率・高水準の管理・制御を実現することをシステム自らが行う機能をシステムの中にあらかじめ付与しておくことが必要かつ有効である。このような知識集積機能あるいは学習機能を有するシステム、自己改良機能を有するシステムの開発は、塑性加工FMSに限らず、生産システム全般からみても重要な課題である。

(7) システムの設計・評価手法の開発

これまでの塑性加工FMSの設計は、各場合のユーザー側の要求に対処する形で進められてきており、そのこと自体は当然そうあるべきであるとしても、一般性のある手法が開発されていない状況下でのシステムの設計は、その高度化・最適化を図る見通しを得にくいことも意味している。同様に、設計・開発されたシステムの評価の面でも、その手法が未発達の状態では、類似のシステム間の比較、あるいはシステムの達成すべき目標等を明確に設定することが難しく、また、システムの運用・改良・拡張などに際して、指針を得にくくしている。塑

性加工FMSに関し、このような一般性のある設計手法・評価手法の開発そのものが、果たして可能であるか否か、現状では必ずしも明らかではないが、塑性加工分野でのFMSの一層の発展を期するためには、この面からの検討も重要である。特に、要求されるシステムが大型化・複雑化すると共に、このような設計手法・評価手法の果たしえる役割は急速に増大することが考えられ、看過できない問題である。

6. おわりに

本稿では、昭和59年の時点におけるわが国の塑性加工FMSの実態を調査・分析した結果の概要と、今後予想される問題点の主なものを述べた。機械加工FMSの分野においては、世界の先端を行くと考えられているわが国においても、塑性加工FMSはようやく軌道に乗り始めた状態であり、適用の範囲、システムのレベル・集積度の面で、まだ検討すべき課題は多い。しかしながら、多くの企業において塑性加工FMSの開発と導入が熱心に続けられており、技術の大きな流れとなっていることは無視できない事実である。本稿がこの分野にかかわる多くの研究者・技術者に多少なりとも有用であれば幸甚である。なお、本稿は資料として用いた既述の「生産技術高度化に関する調査研究」報告書の共同執筆者諸氏の多大の協力によるものがあることを明記し、深甚の謝意を表す。

(1985年8月23日受理)

参考文献

- 1) (社)日本機械工業連合会, (社)機械技術協会: 機械エンジニアリング・プロジェクト開発事業報告書, 昭和58年度, 一生産技術高度化に関する調査研究(塑性加工におけるFMS)
- 2) 伊藤・岩田: 機械技術, 30-10(1982), 109
- 3) 機械技術協会: 昭和57年度生産技術高度化に関する調査研究報告(生産技術体系化—日本のFMS)
- 4) 佐野, 中沢: 塑性と加工, 25-279(1984), 259
- 5) N. Dostal & H. Noller: NC-Radialumformen, Fundamentals of Metal forming Technique II, Symposium Stuttgart 1983, 57

