

— 第 7 章 —

成形工場トータルデータ管理システム

## 第7章 成形工場のトータルデータ管理システム

### 7.1 緒言

射出成形機で生産されるプラスチック成形品は、短時間で多量の製品を生産することができる。しかし、最近では、多品種少量生産の流れが射出成形機の生産体系にも求められ、効率的な工場運営の手法が模索されている。

この課題を克服するための具体的な手段として、コンピュータとネットワーク技術の利用がある。OA（オフィスオートメーション）の世界では多くの要素技術が開発され、既に多くの職場で導入されている。しかし、FA（ファクトリーオートメーション）、特に射出成形工場では、ようやく上記のような課題を克服する手法としてコンピュータが検討され、導入が開始されたところである。<sup>1), 2)</sup>

本研究では、射出成形工場に適した管理システムの構成、管理システムを利用した品質管理について、そしてこの管理システムを利用した実際の成形工場について報告する。

### 7.1.1 生産現場におけるコンピュータ利用の歴史

1960年代、FA分野への電算機（コンピュータ）の利用は、始めにNC（Numerical Control）のように工作機械の制御から始まった。その後、IBMなどがMOS（Management Operating System）のように生産現場へのコンピュータ利用を提唱している。1970年代には、CAD/CAMのようにコンピュータは設計や製造分野にも利用されるようになってきた。さらに1980年代にはメインフレームと呼ばれていた大型コンピュータに変わってエンジニアリングワークステーションが登場すると共に、CIM（Computer Integrated Manufacturing）などのコンピュータによる統合生産という概念が登場し、製造現場へのコンピュータ利用がますます加速されている。各要素技術の変遷<sup>3)</sup>～<sup>5)</sup>を図7.1.1に示す。

|                 | ～1960年代                   | 1970年代   | 1980年代   | 1990年代～                            |
|-----------------|---------------------------|--|--|------------------------------------|
| 企業環境            | 生産工場<br>少品種大量生産<br>一貫生産   | 生産工場<br>中品種中量生産<br>ジョイントタイム                                    | 生産工場<br>多品種少量生産<br>統合生産                          | （安価安量）                             |
| コンピュータを利用した生産形態 | ・MOS・PICS                 | ・MRP   | ・JIT   | →                                  |
| FA技術の高度化        | 産業技術の開発期                  | FMS普及・成長期  | FA成熟期  | FA統合化・高度化期<br>デジタル化                |
| コンピュータの利用       |                           |  |  |                                    |
|                 | ・NC誕生<br>・FMS誕生<br>・DTP誕生 | ・DNC<br>・FMS普及<br>・CAD/CAM導入<br>・ジョイントタイム<br>・AGV登場<br>・知能化DTP | ・POP<br>・CIM<br>・人機共生<br>・AGV<br>・FMS<br>・知能化DTP | ・CALB<br>・統合システム技術<br>・統合システム化     |
| コンピュータ技術        | 利用創成期                     | 利用大型化<br>（メインフレーム・ミニコン）<br>・バリエーションの誕生                         | メインフレームワーク<br>・タスクウェア・データベース<br>・分散処理            | パソコン・ワークステーション<br>・分散処理<br>・データベース |
| ネットワークの発展       | 集中一括処理                    | 集中分散処理<br>（LAN）  | 分散処理<br>（LAN）                                    | 分散処理<br>（LAN）                      |
| ネットワーク技術        |                           | ・RS-232-C  | ・LAN/WAN<br>・OS/MA/TP<br>・イーサネット                 | ・インターネット<br>・イントラネット               |
| 射出成形機システム       |                           | ・NCネット   | ・MOLD 24<br>・MOLD 24<br>・MOLD 24                 | ・MOLD 24<br>・MOLD 24<br>・MOLD 24   |

図 7.1.1 各要素技術の変遷

1990年代はまさに製造現場におけるコンピュータ利用の成熟期ともいえる。その大きな牽引力となったのがパーソナルコンピュータであることは言うまでもない。また、この1990年代は40年に及ぶ製造現場におけるコンピュータ利用の歴史の中でも、最も大きな変革期とも言える。この大きな理由は、マイクロプロセッサの高速化によるパーソナルコンピュータの進歩と利用技術の発展である。具体的にはクライアント・サーバシステムによるシステムのダウンサイジング、SQLサーバなどに代表されるリレーショナルデータベース

ソフトウェアの登場、そして、低価格なパーソナルコンピュータを利用した実践的なPOP（Point Of Production）の登場である。

1995年にはさらにイントラネットと呼ばれるネットワーク技術が登場し、ブラウザ（閲覧）ソフトウェアによる自由度の高いシステムを構築することができるようになり、現在に至っている。

射出成形機分野でも、コンピュータの利用はまず機械本体から始まっている。これは工作機械から約10年遅れた1970年代である。また、1970年の後半から1980年初期には、複数の射出成形機を管理する群管理システムが提唱されている。この時代のシステムは管理装置本体にはオフィスコンピュータを利用し、射出成形機と直接接続するため機械1台1台に<sup>6)</sup>インタフェースを取り付けて運用していた。また、機能として大きく次の3つが上げられている。

- 1) 成形機の状態監視
- 2) 金型の成形条件の管理
- 3) 成形機の稼動管理

また、機械の状態監視項目として表7.1.1に示すように15の項目が上げられている。

表 7.1.1 射出成形機の状態監視項目

| 監視項目       | 監視項目      | 監視項目       |
|------------|-----------|------------|
| ヒータゾーン温度異常 | 作動油温異常    | 射出サーボ全開監視  |
| 金型温度異常     | 作動油温異常    | 回転サーボ全開監視  |
| 金型保護       | フィルタ詰まり   | ラム圧異常監視    |
| サイクル異常     | 最小クッション監視 | 漏電監視       |
| 集中潤滑異常     | 最大クッション監視 | 回転計ランプ切れ監視 |

このように、射出成形機分野においても、成形工場の自動化や省力化を目的として生産現場におけるコンピュータの利用が提唱されていたことがわかる。

1985年、本研究における成形工場のトータル管理システムMOLD 24の開発がスタートし、コンピュータの発展に合わせて機能を拡張し、今日に至っている。



### 7.1.2 生産システムの用語について

生産システムには色々な用語が使用されている。その代表的なものを下記に示す。

#### ・MOS: Management Operating System.<sup>7)</sup>

1960年 (IBM)

MOSでは、計算機が予測をおこない、一定期間後に生産すべき商品の品種、数量をきめ、これを自動的に部品に分解し、所要材料、部品数量を算出し、在庫の有無を調べ、不足分に対しては自動的に製作命令を出し、加工順序も考慮した職場別の日程計画を作成し、個々の製作物に対する差立も計算機が行い現場における進捗状況は、データ収集装置が行い、その結果は、すぐに計算機に戻されるというシステム

#### ・PICS: Production Information and Control System<sup>8)</sup>

COPICS: Communications Oriented -

1966年 (IBM)

MOSは、顧客要求の変化や、設計変更にたいしての柔軟性がなく、新たな管理システムが必要とされていた。この欠点を改良し、汎用コンピュータを利用した新たな日程管理システムとして PICS が作成される。

PICSでは、営業からの販売情報を基にして日程管理を実行すべきと考え、材料所要量計画、能力(余力)計画、日程計画が展開される。

#### ・MRP: Material Requirements Planning<sup>9)</sup>

1968年

注文量から多段階(部品、半製品、製品など)の在庫量を差し引いた正味所要量計算を行い、仕掛かり削減を行うことにある。また、この生産管理方式で、何かの変動要因があった場合には、たえず計画段階に戻して対応するという上流指向の管理方式

#### ・かんばん方式:<sup>10)</sup>

生産には、前工程から生産命令が順次後工程へ伝えられる(押し出し型)と後工程から生産命令を前工程に伝える(引張り型)がある。かんばん本式は、後工程による引っ張り方式として、基準材を設定し、常にその基準量を確認することにより生産の進行を進めようとする在庫管理方式

#### ・JIT: just in time.<sup>11)</sup>

通常の生産では、前工程から生産命令が順次後工程へ伝えられる(押し出し型)。対して JIT では、逆に後工程から看板を前工程に渡すことで、生産命令が伝えらる、後工程引き取り型生産(引張り型)

#### ・GT: Group テクノロジー<sup>12)</sup>

類似部品群をグループ化して、加工することによって、ロットを大きくし、より大量生産のかたちに近づけて生産効率をあげること。

#### 部品中心方式:<sup>13)</sup>

製品中心の生産管理の弊害(新製品開発時の生産部品数の増加)を部品中心で考えることで、大量生産のメリットを生かすべく部品中心に考えられ、その点数の削減が考えられた。製品は品種を減らさず、部品は、小品種化。

#### POP: Point of Production

生産時点情報管理

#### POS: Point of Sale

販売時点情報管理

#### 製番管理方式:<sup>14)</sup>

受注登録時に受注オーダを製番として作業手配するもの。



- ・FA :FACTORY Automation
- ・FMS :Flexible Manufacturing System
- ・IMS :Intelligent Manufacturing System
- ・OA :Office Automation
- ・EA :Engineering Automation
- ・CIM :Computer Integrated Manufacturing
- ・CALS :Continuous Acquisition and Lifecycle Support<sup>12)</sup>

製品開発、設計、資材調達、生産、運用、管理、保守など製品のライフサイクル全部の情報をデジタル情報として統合データベースで管理し、利用しようという考え方。各企業で共通に利用できるデータとする目的で、

|           |              |
|-----------|--------------|
| 文書形式      | SGML         |
| 技術イラストの形式 | CGM          |
| CAD データ形式 | IGES, STEP   |
| 画像データ形式   | CCITT グループ 4 |

もとは、1985 年米国防省が軍事物資の調達手続きを全面的にコンピュータ化するプロジェクト(Computer Aided Acquisition and Logistics Support)の名称だった。当時の考え方を拡張し、適用範囲も民間の製造業一般に広げたのが現在の CALS。

企業間の取引きが効率化できることをとらえて、Commerce At Light Speed という単語があてられることもある。

- ・MAP :Manufacturing Automation Protocol
- ・TOP :Technical and Office Protocol
- ・PDM :Product Data Management

## 7.2 システムの検討

現場の情報管理の手法は、色々な提案がなされている。その中でも流通業界(コンビニエンスストア等)における POS (販売時点情報管理) は、非常に大きな実績をあげている。POS が成功した最も大きな理由は、通常行う作業を軽減し、この同じ作業の中で付加情報として商品データを取得する点にあると思われる。

この商品データをマーケティングに利用し、需要の激しく変化する市場に即応することで、POS システムは多種多様な商品を適切なタイミングで生産・供給するなど、大きな成果をあげている。

生産工場においても POP (生産時点情報管理) があり、多くの形態が存在するが、POS の方が少ない入力情報から多くの付加情報入手できるシステムになっているため、多くのメリットを生み出していると言える。

POS が成功したもう一つの理由はネットワークである。ネットワークを利用することで現場と事務所、あるいは現場と本社の距離が克服でき、また、情報の共有化と一元管理が可能になったことが上げられる。

多くの情報を共有するためには、大きなメモリが必要になる。しかしながら、射出成形機の制御装置のように機械を制御することが目的の装置では、大きなメモリを搭載することは機械のコストアップにつながり得策ではない。そこで、ネットワークを利用し、外部の大容量メモリを上手く活用する方法を考案する必要がある。この手法の大きなメリットとして、図面のような大容量データであっても現場で参照することができるようになるということが上げられる。

また、OA とのインタフェースを十分に考慮することも重要である。この理由は、せっかくネットワークで接続しても OA と FA の間で自由にデータ交換ができなければ効率が悪いシステムになってしまうからである。

このように、本節では成形工場のトータル管理システムを構築する上で考察した事項、および新しく開発した外部メモリを効率よく参照できるネットワークシステムについて報告する。

### 7.2.1 フレキシブルなシステムの構築

工場の管理システムを構築する場合、いつも課題としてあげられるのはシステム変更時の対応方法である。従来のシステムでは、設備機器とシステム側にそれぞれ独立したソフトウェアが存在し、システムを変更するには両方のソフトウェアを同時に変更する必要があった。この変更を実際に稼働している設備に対して実施するには、機械を停止させなければならない問題とか、設置場所の問題で、物理的に変更が困難な場合など多くの課題があった。このため、フレキシブルなシステム<sup>13)~15)</sup>を構築するためには、システム側だけの変更で全てが変わるような仕組みを考案する必要がある。

例えば、図 7.2.1(a)に示すように、検査情報の表示項目を機械側に内蔵しているような場合では、検査項目等が変更された場合、いちいち機械側のシステムを変更しなければならず大変な作業になってしまう。

しかし、図 7.2.1(b)のように機械側を単なる情報端末にし、管理装置（システム）のデータを選択しつつ参照できる構成であれば、管理装置側のファイルを更新するだけですべてのシステムが変更されるので簡便である。射出成形機の通信機能からみても、複雑な機能を搭載する必要がなく、システムの信頼性の確保が容易に行なえるなどの利点がある。

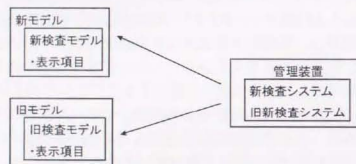


図 7.2.1(a) 機械側で表示情報を規定したシステムの場合

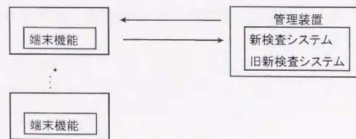


図 7.2.1(b) 管理装置側だけに検査システムがある場合

### 7.2.2 射出成形機のオンライン端末化技術

最近では、表示や入力機能およびネットワーク機能の豊富さから、情報端末としてパソコンを利用するのが一般的である。しかし、パソコンがいかに低価格になったからといって、工場内で使用する情報端末としては、現状まだ課題が多い。たとえば、価格、スペース効率、機械とのインタフェース、取り扱いなどを考慮する必要がある。表 7.2.1 はパソコンを利用した場合と、射出成形機自体を情報端末として利用した場合の比較である。

射出成形機を情報端末として利用した場合、入力機能と通信機能を強化すれば工場内で使用する機器として、パソコンよりすぐれていることがわかる。

表 7.2.1 工場内で使用する情報端末の比較

| 項 目                                  | 射出成形機の<br>端末化 | パソコン |
|--------------------------------------|---------------|------|
| 1 価格のアップ                             | ○             | ×    |
| 2 スペース効率（機械と別置きになる）                  | ○             | ×    |
| 3 機械とのインタフェース<br>（余分なインタフェースを必要としない） | ○             | ×    |
| 4 取り扱い<br>（工場の作業者は取り扱いに精通している）       | ○             | △    |
| 5 表示装置                               | ○             | ○    |
| 6 入力機能                               | △             | ○    |
| 7 通信機能（成形機はイーサネットなどネットワーク能力は低い）      | △             | ○    |
| 8 信頼性（成形機は工場環境を考慮して設計されている）          | ○             | △    |

### (1) 入力機能の検討

パソコンと射出成形機の入力装置を比較すると、射出成形機は機械操作を目的としているため、キーの数も少なく、全電気式射出成形機（FANUC ROBOSHOT）においては操作盤上に数字キーがあるだけである（図 7.2.2）。

成形工場での入力作業は一般のOAの世界とは異なり、確認入力や選択入力あるいは数値入力が必要な内容で、たくさんの文字を入力したり、文書を作成する必要がない。また、逆に現場で、フルキーボードやマウスのようなものを利用しようとした場合、机上での作業が必要になり、間接的な時間が増大してしまう。これでは合理化・効率化のテーマと相反してしまうことになる。

これらの理由で、入力装置は射出成形機の操作盤をそのまま使用することにした。この入力装置であれば、作業者は使用方法も熟知しているし、すぐに利用できるなどのメリットもある。

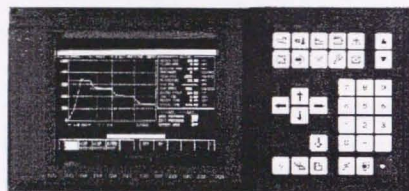


図 7.2.2 ROBOSHOT の操作盤

### (2) 通信機能（ネットワークの方式）の検討

射出成形機をオンライン化するためには、ネットワークのインフラとして何を利用するかが大きな問題となる。MAPなど幾つかの方式があったが、イーサネットを利用することにした。この最も大きな理由は、社内幹線としてイーサネットが大きく普及し、OAと直結できるからである。しかし、今回利用する射出成形機は、RS-232-Cは標準搭載されているが、イーサネットは搭載されていない。このため、RS-232-Cをイーサネットに変換し、標準でついているハードウェアだけを利用することにした。

図 7.2.3 は導入されるネットワークシステムのハードウェア構成である。

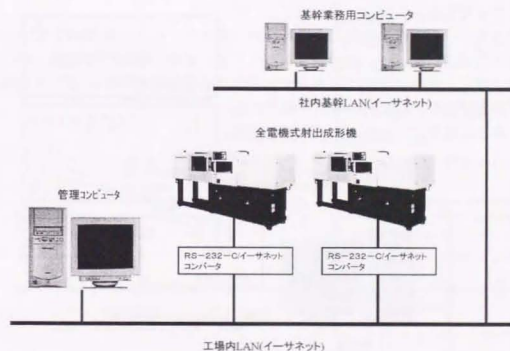


図 7.2.3 実際の工場ネットワーク



### (3) 通信機能（ソフトウェア）の検討

射出成形機の情報端末化で一番考慮した点は、射出成形機側にできるだけ情報を持たせずに様々な業務の遂行を可能にする方法である。これには幾つかの理由があるが、1つは射出成形機に標準で大容量メモリがないため、工場内のすべての業務をこなすための情報を保存できないこと、また、あまり多くの情報をもつと、射出成形機側の依存性が高くなりすぎる等があげられる。

これらの点を考慮して、射出成形機は一切データを持たず、管理コンピュータから全てを供給する方式をとった。たとえば、設計変更の内容を表示したければ、図 7.2.4 のような表示イメージのファイルを作成すればこの内容が射出成形機側に表示されるようにしてある。射出成形機側ではテキストやグラフィック、さらにイメージデータを表示することができる。このため、管理サイドから射出成形機へ、イメージスキャナで取り込んだ手書き図面なども、簡単に送ることができる。この機能により設計現場から成形中の機械に対して、ダイレクトに変更図面等の情報を送信することができる。

この方式では射出成形機側に、表示情報に関するデータを一切持たないためメモリに制限がなく、どんな情報でも共有することができる。この他、射出成形機の状態データを定期的に管理装置に送信する機能をもっている。この機能により稼働管理や、品質監視等が可能になる。

図 7.2.5 に通信ソフトウェアの概要を示す。

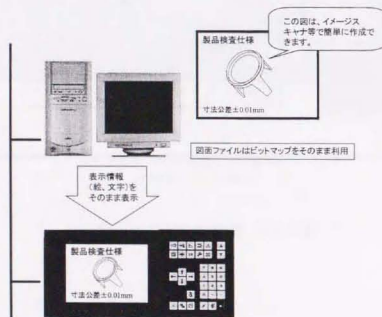


図 7.2.4 図面の表示と表示ファイル

### 7.2.3 通信ソフトウェア (FACTOLINK)

成形機の端末にブラウザ<sup>18)</sup>～<sup>19)</sup>を稼働させ、成形機をネットワーク端末として利用するオンライン技術をFACTOLINKと命名して提供している。端末に表示する表示情報は、テキストファイルのスクリプト (インタプリタコマンドの記述ファイル) を記述する方式で、システム運用者自身で簡単に内容を変更することが可能になった。

図 7.2.7 のスケジュール画面は、図 7.2.6 に示すスクリプト言語を使った実際の画面である。表 7.2.2 にFACTOLINKで利用できるスクリプトコマンドの例を示す。

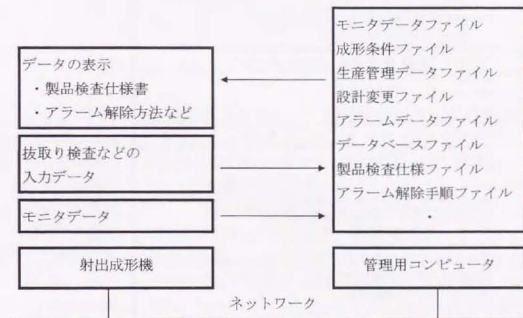


図 7.2.5 通信ソフトウェアの概要

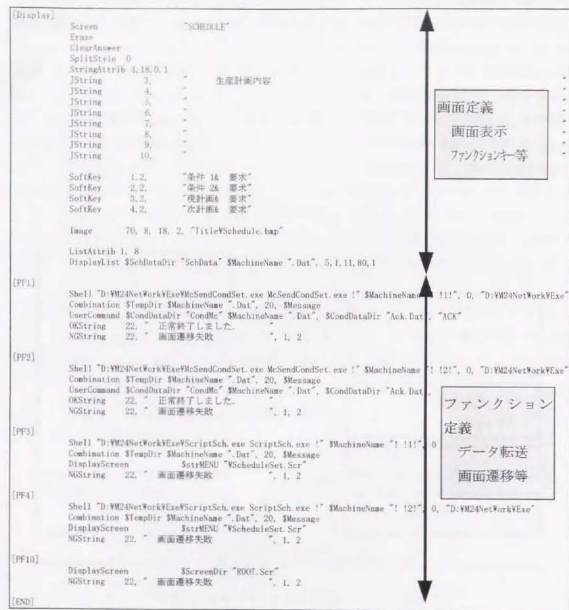


図 7.2.6 スクリプトファイルの実例

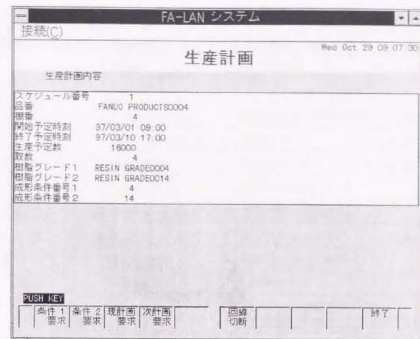


図 7.2.7 スクリプトファイルで作成した画面

このスクリプトの例は、生産計画の読み出しと計画に対応する成形条件の読み出しを実現するものである。

図 7.2.7 の白抜き以外の部分の表示は、図 7.2.6 の [Display] 以下の Jstring, SoftKey, Image コマンドにより記載されている。白抜きの部分は、DisplayList コマンドにて、指定したファイルの内容を表示している。現在生産中のスケジュール番号(計画番号: 機械毎に固有)、製品番号、棚番(金型のロケーションを示す)、生産の開始終了予定時刻、生産予定数、取り数(1 ショットあたりの成形製品数)、樹脂グレード 1, 2 (混色に対応)、成形条件番号 1, 2 が、DisplayList コマンドで表示されている。ファイルの内容を変更することで、任意の情報を表示可能にしている。ファンクションキー操作時の動作は、各キー名称 [PF1], [PF2] .. 以下に記述する。

生産終了時に、次生産のスケジュールを読み込み、情報をシステムから取出すことで、段取りを容易にしペーパーレス化を可能にしている。しかも、必要な情報や、動作は、紹介したスクリプトコマンドを使用することで、容易に変更が可能である。

紹介した例以外にも、管理システムが所有する情報を機械に表示する機能(ブラウザ)を使用して、MOLD 24 では、以下の機能を実現している。

- ・スケジュール表示機能
- ・アラーム解除マニュアル表示機能
- ・製品検査仕様確認機能

以上のように、管理システムがもつ情報を利用することで、成形現場の作業レベルを均一に保つことを可能にし、最新の作業情報をもとに成形現場を運用することを可能にした。

成形機との情報により実現される機能

- ・抜き取り検査入力機能
- ・工程監視画面

以上の機能により、成形機の画面をPOP端末として利用することが可能になる。また、通常のPOP端末とは異なり入出力の情報を自在に変更可能なシステムとすることができたため、ペーパーレス化を達成することができた。

表 7.2.2 FACTOLINKスクリプトコマンド一覧

|               |                |                               |
|---------------|----------------|-------------------------------|
| 画面表示コマンド      | Screen         | 表示画面の定義                       |
|               | Erase          | 全画面消去                         |
|               | EraseChar      | キャラクタ画面の消去                    |
|               | EraseGraphic   | グラフィック画面の消去                   |
|               | ClearAnswer    | 回答のクリア                        |
|               | SplitStyle     | 画面分割スタイルの設定                   |
|               | DisplayTime    | 現在時刻表示の設定                     |
|               | Answer         | 回答データの設定                      |
|               | SoftKey        | ソフトキーの設定                      |
|               | StringAttrib   | 文字表示属性の指定                     |
|               | Jstring        | 文字列の表示                        |
|               | Color          | グラフィック描画色の指定                  |
|               | LineStyle      | ラインスタイルの指定                    |
|               | Line           | 直線描画                          |
|               | Rect           | 矩形描画                          |
| リスト表示コマンド     | Circle         | 円・楕円描画                        |
|               | Fill           | 塗り潰し                          |
|               | Image          | イメージの表示                       |
| データ転送コマンド     | DisplayList    | リストボックスの表示                    |
|               | ListAttrib     | リストボックスの属性設定                  |
|               | Download       | 射出成形機 NC プログラムのホストから射出成形機への転送 |
|               | Upload         | 射出成形機 NC プログラムの射出成形機からホストへの転送 |
|               | GetPMCDData    | 射出成形機(PMC)データの射出成形機からホストへの転送  |
|               | PutPMCDData    | 射出成形機(PMC)データのホストから射出成形機への転送  |
|               | GetNCParameter | 射出成形機(NC)パラメータの射出成形機からホストへの転送 |
|               | PutNCParameter | 射出成形機(NC)パラメータのホストから射出成形機への転送 |
|               | GetVersion     | ソフト系列と装置情報の読み出し               |
|               | SaveAnswer     | 回答内容の保存                       |
| コミュニケーションコマンド | Combination    | ユーザアプリケーションとの連携               |
|               | Shell          | プログラムの起動                      |
|               | DisplayScreen  | 画面遷移の指定                       |
| メッセージ表示コマンド   | Fstring        | 一般メッセージの表示                    |
|               | Okstring       | 正常終了時のメッセージ表示                 |
|               | Ngstring       | 異常終了時のメッセージ表示                 |



### 7.3 成形品質における多変量解析の応用

エンジニアリングプラスチックや金型技術の進歩により、プラスチック成形品の用途がより精密化へ向かい、成形品質に対する要求<sup>19)</sup>がますます厳しいものになってきている。これらの背景をふまえて、成形品質と成形機のプロセスデータの関連について調べ、間接的に成形品を評価する研究<sup>20)21)</sup>が行われている。しかし、従来の技術では評価のためのデータを収集する手法、分析する手法、分析した結果を利用する方法などが、それぞれ独立したテーマとして研究されており、一連のプロセスソリューションを提供するものは開発されていない。本研究では、コンピュータネットワークとコンピュータによる数値解析技術を利用し、成形品質に関する一連のテーマを統合する品質分析システムの検討を行った。このシステムの紹介と効果について報告する。



図 7.3.1 オンラインによる品質管理システムの例

#### 7.3.1 オンライン計測技術

射出成形機の品質管理の手法として、機械内の成形モニターデータ（圧力の変化、時間の変化、位置の変化、温度の変化）を分析し、統計的に成形品を評価する方法があり、長い間研究が重ねられている。しかし、この方法を汎用的な機能として開発するには、下記のような課題があった。

- 1) 量産工場などで、分析用のデータを探るのは難しく実用的でない。
  - 2) 採取された大量のデータを分析するのに時間がかかるので、実用的でない。
- 1) の課題については、コンピュータネットワークを利用し、無人で成形時

のデータを採取することがMOLD 24システムにて可能になっている、次に2)の課題である。現在では、射出圧力の変動データなど1ショットあたり30項目以上の成形データをモニターすることができるが、確かにこの膨大なデータを人手で処理していたのでは、整理に時間を費やしてしまい、分析まで手が回らないことになってしまう。(表7.3.1に成形モニターデータの種類、図7.3.2に人手で行う場合の処理フローを示す。)このため、このデータ分析に主成分分析を応用し、自動でデータを分析する機能を開発した。(図7.3.2において★印の部分が自動化される。)

表7.3.1 成形機から出力される機械状態データ

| 機械情報   | 時間関係    | 位置関係     | 圧力関係    | 温度関係  | 生産情報  | その他  |
|--------|---------|----------|---------|-------|-------|------|
| 稼働モード  | サイクルタイム | 最小クッション量 | ピーク圧力   | 金型温度  | 生産数   | 消費電力 |
| アームコード | 射出時間    | 計量位置     | 高速セック5点 | ノズル温度 | 良品数   |      |
| 金型番号   | 計量時間    | V.P位置    | 計量セック6点 | バレル温度 | 不良品数  |      |
| 計画番号   |         | 保圧完了位置   |         | ホッパ下  | 生産残数  |      |
|        |         |          |         |       | ロット数  |      |
|        |         |          |         |       | コンテナ数 |      |

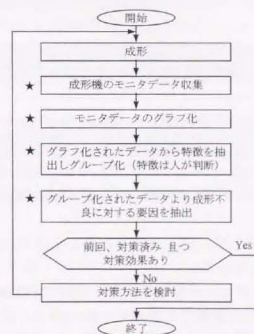


図 7.3.2 人手による対策フロー

### 7.3.2 多変量解析の応用（品質レーダ）

主成分分析は、多変量解析<sup>23)</sup>の1つの手法であり、莫大なデータの中から特徴を抽出することができる。射出成形の場合では、成形モニタデータを分析して、最もバラツキが大きいデータ項目を抽出したり、このデータと同じような変動をするデータ群をグループ化することなどができる。

例えば、30項目のモニタデータには、厳密に言えば30種類の変化の形態（成分）がある。この変化の特徴を目視で把握できるようにグラフなどで表現すると、類似するデータどうしを1つのグループとして分類することができる。成形モニタデータの場合、変化のしかたは図7.3.3に示すように①周期的変化、②単調増加・減少、③突発的变化、④変化なしの4種類位の形態に分類することができる。これらの変化の形態の内、分類された要素の数が最も多い変化の形態を第1主成分と呼んでいる。

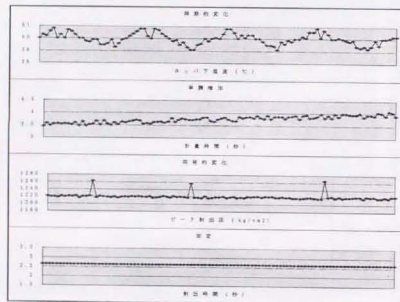


図 7.3.3 モニタデータの主な変化の形態

分析された結果を利用して、第1主成分と第2主成分を直交座標にして各要素をグラフ化することを考える。

一例として、周期的な変化の形態を示す第1主成分をX軸に取り、単調増加・減少を示す変化の形態を示す第2主成分をY軸に取る。この場合原点からの距離はバラツキの大きさ（抽出された特徴の強さ）を示し、X軸の正方向と負方向は位相が180度ずれた周期的な変化の形態を示すことになる。また、Y軸の正方向が単調増加の場合、負方向は単調減少の変化の形態になる。

また、45度方向は、単調増加しながら周期的に変動する変化の形態を示す

ことになる。このように、主成分分析の第一、第二の直交座標のグラフは、成形モニタデータのバラツキの程度と特徴的な変化の形態を2次元で表現していることになる。（図7.3.4）

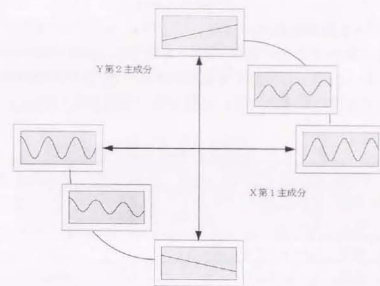


図 7.3.4 第1主成分と第2主成分の2次元表現

これら、一連の作業を全てコンピュータを利用して実現したのが、成形工場管理システムMOLD 24に搭載されている品質レーダ機能である。

品質レーダを利用することで、下記のような分析が可能である。

- 1) 成形モニタデータの中から、成形の不安定要因を特定し、対策の指標を与える。
- 2) 成形モニタデータの中から、成形の不安定要因を特定し、良否判別の為の基準値を作成する。
- 3) 成形品の測定データ（寸法、重量など）とモニタデータを一緒に分析し、実成形品の測定データの傾向と同じ傾向を示すモニタデータを抽出する。

### 7.3.3 主成分分析の利用

#### (1) 成形モニタデータの標準化

成形モニタデータのように、色々な単位系を比較する場合、データを標準化する必要がある。この理由は、単位系が異なる圧力と温度を単純に比較しても、結果は測定単位に影響され、意味がある結果を得ることができないためである。具体的には、圧力1MPaの変化と、温度1℃の変化が成形に同じ影響を与えるとは限らないのと同じ理由である。

データを標準化するためには、下記の2つの事柄に注意する必要がある。

- 1) サンプルデータの分解能が十分かどうかの検討
- 2) 単位系をとり除くためのデータの規格化の検討

## (2) サンプルデータの分解能

特に、分析するデータの分解能が不揃いの場合は、分析結果が実際の結果と異なる可能性があるため十分検討する必要がある。表 7.3.2 は射出成形機で一般に利用される状態量の範囲と分析に必要な最少検出単位の例を示している。

表 7.3.2 状態量の範囲と最少検出単位

|   | 状態量 | 範囲          | 最少検出単位   |
|---|-----|-------------|----------|
| 1 | 温度  | 0~400 °C    | 0.1 °C   |
| 2 | 圧力  | 0~400 MPa   | 0.1 MPa  |
| 3 | 速度  | 0~1000 mm/s | 0.1 mm/s |
| 4 | 位置  | 0~1000 mm   | 0.01 mm  |

## (3) サンプルデータの規格化

データの規格化に一般的な手法として、標準偏差で規格化する方法がある。これは、データ全体のバラツキ度合を1として、各々のデータがバラツキのどの辺に位置するかを示す方法である。

具体的には項目  $n$  に対する標準偏差を

$$s(n) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N(n)} (x(n)i - \bar{x}(n))^2}{N(n)}} \quad \dots \quad (7.3.1)$$

として、この標準偏差で規格化すると、項目  $n$  に対応する新しい要素  $X(n)i$  が作成される。

$$X(n)i = \frac{(x(n)i - \bar{x}(n))}{s(n)} \quad \dots \quad (7.3.2)$$

$\bar{x}(n)$  は平均値を示す

この要素は、サンプルされたグループの中で単位系によらない評価値として利用することができる。

図 7.3.5(a), (b) はある成形における圧力データを異なるレンジでグラフ化したものである。このように規格化されていないデータは、グラフのレンジによって見え方が異なるため、判断を誤る場合がある。図 7.3.5(c) はこの規格化によって示したものである、データを直接グラフ化したものと比較すると、全体的な変化の特徴が明確になっていることがわかる。

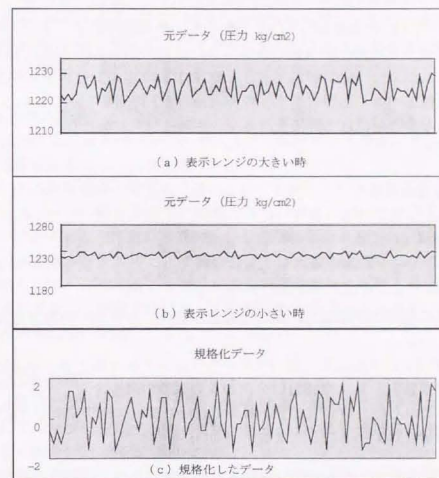


図 7.3.5 表示レンジの違い

## (4) サンプルデータのグループ化

(2) 式によって規格化された各項目を、変化の形態が似たもの同士を集めるために相関行列を求めると、データ全体が  $n \times i$  の要素を半分に減らすことができる。



表 7.3.3 規格化されたデータの相関行列

|       | X (1) | X (2)     | X (3)     | ... | X (n)     |
|-------|-------|-----------|-----------|-----|-----------|
| X (1) | 1     | $a(1, 2)$ | $a(1, 3)$ | ... | $a(1, n)$ |
| X (2) | ...   | 1         | $a(2, 3)$ | ... | ...       |
| X (3) | ...   | ...       | 1         | ... | ...       |
| ...   | ...   | ...       | ...       | 1   | ...       |
| X (n) | ...   | ...       | ...       | ... | 1         |

この関係から、主成分を求めるには、表 7.3.3 の相関行列  $a(i, j)$  の固有値と固有ベクトル求め、固有値の最も大きい成分を第一主成分のように序列をつける。これによって分析が完了する。表 7.3.4 は主成分分析表と呼ばれるもので、固有値  $c(n)$  と固有ベクトル  $b(m, n)$  の関係を示している。

ここで、寄与率と呼ばれる評価値があり、定義は次式で表される。

$$d(i) = \frac{c(i)}{\sum_{i=1}^n c(i)} \quad \dots \dots \dots (7.3.3)$$

これは非常に重要な評価値で、第  $n$  主成分が全体の様子をどの程度含んでいるかを示している。

例えば、 $d(1) = 0.4$ 、 $d(2) = 0.2$  とすると第 1 主成分は全体の 40% の内容を含み、第 2 主成分は全体の 20% の内容を含んでいることを意味している。このため、第 1 主成分と第 2 主成分で表現される 2 次元空間では、60% の情報を表していることになる。

表 7.3.4 主成分分析表

|       | 第 1 主成分   | 第 2 主成分   | 第 3 主成分   | ... | 第 $n$ 主成分 |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----|-----------|
| X (1) | $b(1, 1)$ | $b(1, 2)$ | $b(1, 3)$ | ... | $b(1, n)$ |
| X (2) | $b(2, 1)$ | $b(2, 2)$ | $b(2, 3)$ | ... | $b(2, n)$ |
| X (3) | $b(3, 1)$ | $b(3, 2)$ | $b(3, 3)$ | ... | $b(3, n)$ |
| ...   | ...       | ...       | ...       | ... | ...       |
| X (n) | $b(m, 1)$ | $b(m, 2)$ | $b(m, 3)$ | ... | $b(m, n)$ |
| 固有値   | $c(1)$    | $c(2)$    | $c(3)$    | ... | $c(n)$    |
| 寄与率   | $d(1)$    | $d(2)$    | $d(3)$    | ... | $d(n)$    |

## 7.3.4 分析データの評価

### (1) 主成分分析の問題点

主成分分析を利用した品質レーダではモニタデータの波形（形状）を認識し、データをグループ化することで、各データ間の関係を確認できる。ところが品質レーダに表示される X 軸と Y 軸は、1 回の分析におけるパラツキの特長を抽出したものであり、複数の分析間の評価ができない。

たとえば、初めの分析でクッション量のバラツキが第 1 主成分として抽出されたとする。次にこのクッション量のバラツキを対策した条件で成形した場合、対策されたクッション量のバラツキが第 1 主成分ではなくなる可能性があるため、2 つの分析を定量的に評価することができないのである。

### (2) 分析間の評価について

量産成形および試作成形を問わず、成形不良に対する対策とその効果の確認は成形技術者にとって大きな課題である。

もし、この対策効果の確認を定量化することができれば量産成形においては、成形エキスパートの負担を大巾に軽減できる。また、試作においても量産成形条件の作成あるいは金型設計時間の大巾な短縮につながる事が期待できる。

今回、多変量解析を利用し、1 回の分析では大量の成形モニタデータを自動的に分析しグループ化することで、対策の項目を抽出することができた。この成果を基に分析間の評価方法について次のようなシステムを考案したので、その内容と成果について報告する。

## ○ 主成分軸の固定

主成分分析によって、多くのデータから特徴を抽出し、全データをいくつかの大きなグループに分類することができる。しかし、分析毎に主成分の内容が異なるため分析間の評価はできない。

この性質を逆利用すると、目的とした特徴に関するデータを抽出することができる。具体的には、重量データ  $W(i)$  の分析に際して、 $W1(i)$ 、 $W2(i)$ ... のように、同じデータ群を  $n$  回同時分析すると、重量の特徴が強調され、重量データの特徴が、第一主成分の中でもっとも顕著な項目となる。

図 7.3.6 は、ある成形における品質レーダに重量データ  $W(i)$  が含まれる例である。次に重量データ  $W(i)$  と同じデータ  $W1(i)=W1(i) \dots = Wn(i)$  を合計 3 個にして分析したものが、図 7.3.7 である。図 7.3.7 が示すように重量データが第一主成分軸上でもっとも顕著な項目となり、軸が固定化されたことがわかる。

この方法では、データの平均値や最大、最小値、バラツキなど固有データに変化をあたえずに、主成分軸だけを固定化できる点に特徴がある。

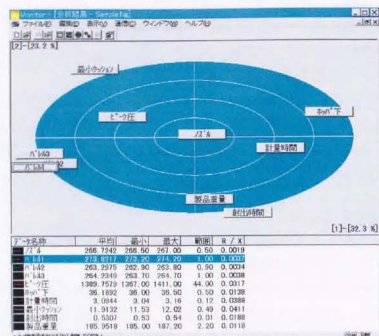


図 7.3.6 条件調整前のデータの製品重量の重みづけ前のレーダ

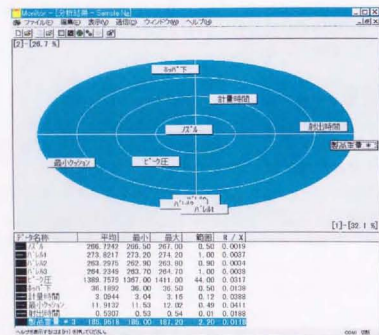


図 7.3.7 条件調整前のデータの製品重量に重みづけ後のレーダ

### ○ 分析間の評価

主成分軸の固定化がおこなわれると、分析間のデータを1つの主成分を軸として比較評価することが可能になる。

図 7.3.8 は、図 7.3.7 の成形データのうち、温度データを変更して成形したときの分析結果である。この分析においても同一の重量データ 3 個を同時に分析して主成分軸の固定を行っている。この図が示すように重量データが第1主成分として選択されていることがわかる。

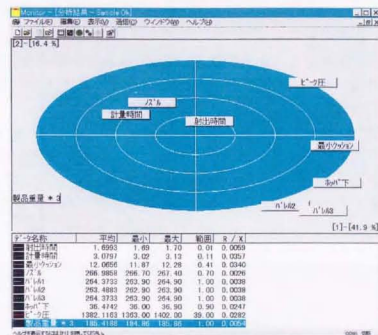


図 7.3.8 条件調整後のデータの製品重量に重みづけした後のレーダ

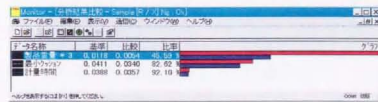


図 7.3.9 調整(対策)前後のバラツキの比較

図 7.3.7 と図 7.3.8 は、製品重量の変化の特長に対して、現在どのデータが強く影響を受けているかを明確にあらわしている。

図 7.3.9 は、対策前後の成形におけるバラツキの変化を主成分分析の結果を加味して比較したものである。単純にバラツキの大きさを比較した場合との違いは、重要視すべき項目の特徴抽出を行うことにより、ターゲットとする評価項目(製品重量)を評価するために必要な項目に順位をつけて表示する点にある。



従って、成形条件改善後のデータで、まだ不十分な場合には、このレーダの指針に従って、改善策を立てていけば良いことがわかる。

### 7.3.5 品質レーダの利用とその効果

品質レーダ機能を利用して、安定成形を達成した例を示す。成形品はCDケース8ヶ取りで、樹脂はポリスチレンである。この成形品の場合外観品質は勿論重要であるが、1サイクルが5.5秒という高速成形のため、安定成形が非常に重要である。この成形品の場合、製品8ヶの合計重量約185gに対し、ショット間のバラツキが1g、あるいは $R/\bar{X} = 0.5\%$ が超精密安定成形の評価基準とされている。テストの方法は30分の間隔で、30ショットのサンプルを4回採る方式である。

第一回目の測定では合計120サンプルの重量偏差が2.20g、 $R/\bar{X} = 1.18\%$ と目標にいたることはできなかった。そこで、品質レーダを利用し、不安定要因を分析することにした。図7.3.10が分析結果とレーダの内容である。このレーダをみると、まず温度要素に変動が多いことがわかる。また、重量データと射出時間に強い相関があることがわかる(図7.3.11)。

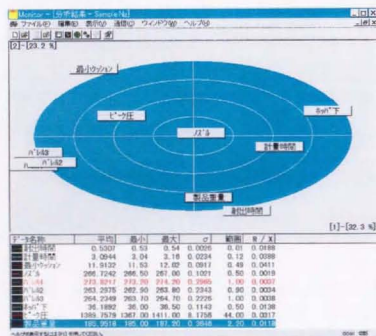


図 7.3.10 品質レーダ (第1回目の成形)

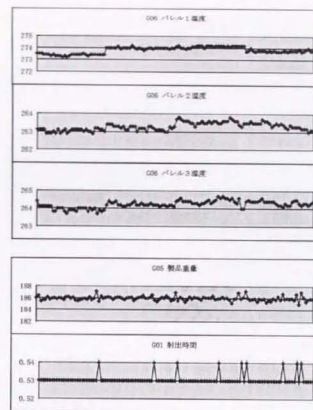


図 7.3.11 成形データの変動 (第1回目の成形)

このことから、射出時間のバラツキを対策することで、製品重量の安定化が可能なことがわかる。そこで、成形条件を検討すると最大射出圧力が最大180Mpaに対して155Mpaと、まだ余裕があり最大射出圧を上げて強引に射出時間を安定させる対策が考えられる。しかし、この方法では圧力変動につながりかねて不安定になる可能性がある。次に、温度条件を検討すると、設定が260℃と5.5秒というハイサイクルでは少し低く、可塑化の影響で温度が不安定であることが予想された。このため、設定温度を5℃上げ、流動性を向上させる対策をして次の成形を行った。

対策前後のデータを比較するために軸固定の方法を利用したのが、図7.3.12である。図7.3.12では、対策前後のレーダを同時に表示してある。どちらのレーダも製品重量で特徴抽出を行い第一主成分軸を固定してある。また、第一主成分軸を固定した後、 $R/\bar{X}$ の比を利用してレーダの縮尺を変更してある。この結果、対策後のレーダではデータが中心に集まり、対策がうまくいったことを示している。図7.3.13が、重量データと射出時間のデータである。最初ばらばらだった射出時間が見事に安定している。この結果、重量偏差が1.00g、 $R/\bar{X} = 0.54\%$ と改善されている。

今回の例は、品質レーダを成形不良対策の指針として利用したが、良否判別



の判定基準作成にも利用することができる。

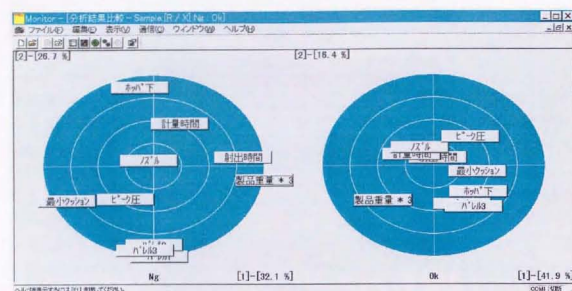


図 7.3.12 対策前後のレーダ比較

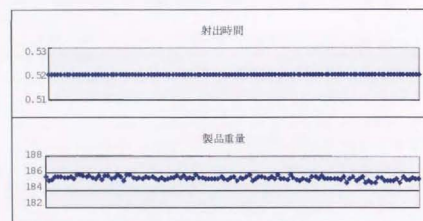


図 7.3.13 成形データの変動（第2回目の成形）

#### 7.4 ネットワークとロボットを利用した射出成形工場

システム構築の様々な技術について報告してきた。ある成形工場に応用した事例を紹介しながら、今までの技術の効果について検証する。

このシステム化にあたっての課題は、土日の休日を無人運転が可能な成形工場とすることであった。つまり、72時間の無人運転を実現する必要があった。実現のためにネットワークとロボットを利用した射出成形工場の管理システムを構築した。本節では本システムの構成と効果について示す。

##### 7.4.1 成形工場を合理化するための検討

成形工場では、射出成形機に金型を取り付けたり、樹脂材料を用意したり、インサート部品を用意するなどの段取り作業がある。この工程では、樹脂の色の違いや金型の種類が多く、汎用的な自動化機器を設備することは非常に難しい。一方、実際に量産が開始されると成形された部品を回収し、検査前の一時保管あるいは出荷のための保管工程に移行する。この工程では、金型や樹脂によって成形品が異なっても製品を回収する容器をある程度規格化することができれば、汎用的な自動化機器の使用が可能である。また、この工場で成形される成形品である制御装置のプラスチックケースなどは、体積があり、保管スペースの効率的な運用も重要な課題であった。このような理由から図7.4.1に示すように、段取り工程においては、設備投資の少ないネットワークシステム(MOLD 24)の利用に重点をおき、作業情報を効率的に伝達してペーパーレス化を実現している。また、保管工程では、ロボット、無人搬送車、および自動倉庫を駆使して製品の無人保管システムを構築している。また、ネットワークシステムは、搬送系の情報伝達や、無人成形時の品質管理にも利用され、有効に活用されている。

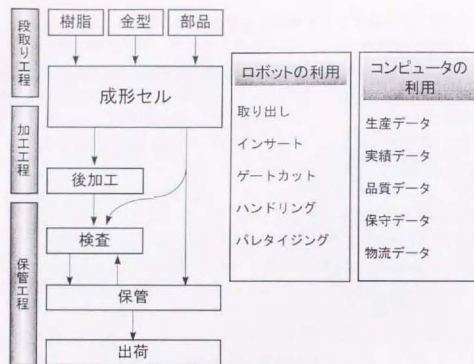


図7.4.1 成形工程と利用技術

#### (1) ロボットの利用

今回のシステムは、成形品の効率的な保管に重点があり、この目的を達成するためには、搬送系や倉庫系をシンプルな信頼性の高いシステムに設計する必要があった。そこで、成形品を移動するパレットの規格化に着目し、すべての成形品で同じパレットが使えないかを検討することにした。成形品によっては、自動落下した物をパレットで回収し、ただ移動すれば良いものから、強度やスペースの関係で、きちんとパレット内に整列しなくてはならない物まで、形状、大きさ、強度など、成形品をパレットに詰めるには多くの検討事項がある。これらのことから、成形品をパレットに詰める時に、色々な工夫が必要になり、専用取出機の代わりに、自由度の高い汎用ロボットを使用すれば、パレットの規格化が可能になることが判った。また、汎用ロボットを使う他のメリットとして、インサート成形、ゲートカット、およびパレタイジングなど、いろいろな成形工程の自動化にも利用できる等がある。今回のシステムでは、自動倉庫にもロボットを利用したロボット倉庫を開発した。この倉庫も、汎用ロボットを活用することで、従来の概念を打ち破るコストパフォーマンスを発揮している。

#### (2) ネットワークの利用

今日最も脚光をあびている技術の一つに、インターネットに代表されるネットワーク技術がある。この技術を活用して、成形機をネットワーク端末として

利用できるFACTOLINKを開発したことを7.2節で述べた。このインターネット技術が普及した大きな理由は、だれでも容易にネット上にあるすべてのデジタル情報を活用し、だれでも容易にネットに参加できる点にある。つまり、情報のオープン化によるメリットを全世界の人々が享受できた点にある。

現在、工場内では機械自身がデジタル情報で動作し、デジタル情報を蓄積している。この環境にネットワークを導入し、工場全体で機械情報を活用できるメリットは大きい。今回のシステムでは、全電気式射出成形機ロボショット自身をネットワークの端末として利用する技術（FACTOLINK）を導入した。この技術には2つの機能がある。1つは成形機の稼動状態や成形状態を自律的に上位コンピュータに報告する機能である。この機能により、上位では実績管理だけではなく、成形品の品質管理も行うことができる。また、もう1つの機能は、成形機の実操作画面自体が、ネットワークシステムの情報端末になる機能である。この技術により、成形工場のイントラネットを構築することで、ペーパーレス化を実現している。

#### 7.4.2 システム構成

本システムは集中管理セル、成形セル、搬送セル、倉庫セルの4つのセルで構成している。集中管理セルは、システム全体を管理するコントローラで、成形セルの中心となる。成形機や搬送コントローラとはイーサネットに接続されている。図7.4.2にシステム構成図を示す。

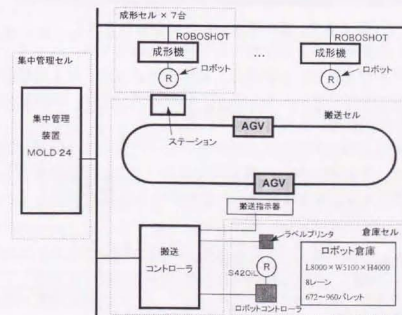


図7.4.2 システム構成図



### (1) 集中管理セル

図7.4.3に集中管理セルを示す。このシステムは、イントラネット対応になったMOLD 24を利用している。また、集中管理セルの主な働きは1) スケジュールの立案、2) 品質データの収集、3) 各機器への情報伝達、4) 物流管理である。

スケジュールの立案では、成形工場に特化した自動スケジュール機能が搭載されている。この機能では、登録されている受注データをルール（表7.4.1に示す）によって最適化することができる。特に樹脂の色に関するルールは、段取りで最も時間のかかる樹脂替えを、最小回数におさえることを目的としている。

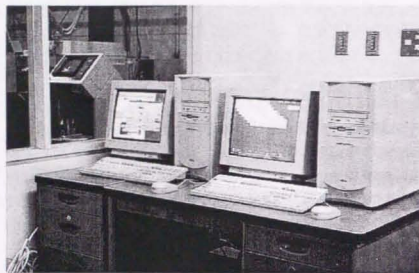


図7.4.3 集中管理セル (MOLD 24)

品質データの収集では、各成形機の成形情報を最大30,000ショット分（10秒サイクルで3日分）を蓄積し、夜間や休日など、無人稼働時の品質データを出力することができる。もちろんこれらのデータは、品質管理ばかりでなく保守管理や生産管理にも利用されている。

集中管理セルは工場内のすべての制御セルとイーサネット回線で接続されている。このため、各制御セルとの情報伝達はすべてこの回線を使用していることができる。図7.4.4に集中管理セルと各制御セルの間で利用している情報内容を示す。

表7.4.1 スケジュールリングルール

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| 1 納期の厳守    | 受注した納期を厳守します。              |
| 2 グループ管理   | 成形機をグループ化して管理します。          |
| 3 成形時間帯の考慮 | 無人運転可能な製品と、それ以外の製品を考慮します。  |
| 4 段取り時間の割付 | 生産切り替え時間帯を指定できます。          |
| 5 樹脂の色     | 薄い色の樹脂から、濃い色の樹脂になるよう立案します。 |
| 6 工場の休日    | 休日指定（成形の停止・運転）が可能です。       |

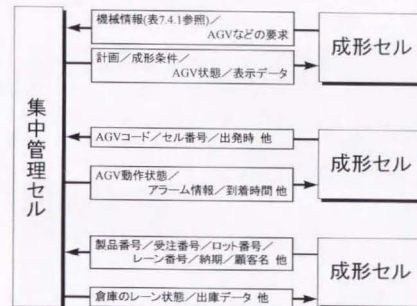


図7.4.4 集中管理セルと各セルの通信内容

### (2) 成形セル

成形セル（図7.4.5）は、全電気式射出成形機ロボショットとロボットから構成されている。今回のシステムでは、ロボットとして成形機専用の取り出し装置ではなく、汎用のロボットを使用している。この理由として、

- 1) 成形品にインサートが多いこと、
- 2) ゲートカットを行なう必要があること、
- 3) 無人搬送車を使用するため成形品を色々な形態にパレタイジングする必要があること、
- 4) 仕切り板のハンドリング動作を含むこと、
- 5) 汎用ロボットではハンドの自動交換動作など自動化には不可欠な技術がすでに確立されていること

等があげられる。

ロボショットと管理装置はイーサネット回線で接続されている。このため、大容量のデータを高速に転送することができる。また、電動サーボ式射出成形機には、専用のFACTOLINKのブラウザ（閲覧ソフト）が組み込まれていて、必要に応じて管理装置のデータを参照することができる。今回、この機能を利用して、生産スケジュールの参照機能などを開発し、ペーパーレス化を達成している。（図7.4.6）

ロボショットとロボットはRS-232-Cで接続されていて、生産情報や動作プログラムは、集中管理セルからロボショットを経由してロボットにローディング



される。このため、ロボット内部には成形品の種類に応じて動作プログラムを記憶する必要がなく、経済的なシステムの構築が可能である。

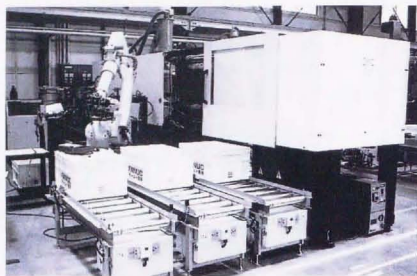


図 7.4.5 成形セル



図7.4.6 スケジュール画面

### (3) 搬送セル

搬送セル（図7.4.7）は、

- 1) 搬送コントローラ
- 2) 複数台の無人搬送車
- 3) 搬送コントローラの指示を光信号に変換して無人搬送車にデータ伝達するための搬送指示器
- 4) 成形セルから成形品を受け渡すコンベアステーションから構成されている。



図 7.4.7 搬送セル

無人搬送車には、搬送指示器を基点とした、各コンベアステーションまでの動作ルートが予めプログラムされている。動作指示は、集中管理装置のスケジュールに従って成形機が成形数をカウントし、搬出要求（パレット交換要求）の信号をイーサネット経由で集中管理装置に送信することで行われる。搬送コントローラは集中管理装置内の記憶装置を監視し、成形機からの搬出要求を検出すると、成形機番号を確認して無人搬送車に動作指令を与える。

このように、各セル間をイーサネットで結合したので、専用 I/O の場合と比較すると、配線工数を減らし、情報量を増加させる効率的なシステムを構築することができる。

### (4) 倉庫セル

倉庫セル（図7.4.8）は、2階建てのコンベア倉庫とロボットおよび搬送コントローラに接続されたラベルプリンタで構成されている。コンベア倉庫は1

階、2階とも8つのレーンを設置してある。各階の用途は2階が空パレットで、1階が実パレットを入れる設計になっている。2階に空パレットを入れるようにしたため、簡単な荷重構造にすることができコストが低減できる。また、立体的な構造のためスペース効率が良く、入庫と出庫を上下に分けて同一平面内で行えるなどメリットも多い。今回のシステムではパレットの移動をすべてロボットとコンベアで行う方式をとっている。一般に、倉庫の列間にスタックレーンを使用した場合は、倉庫空間のすべてにアドレスを付けることができ、詳細な管理ができる。しかし、スペース効率の問題や設備費用を考慮し、今回はスタックレーンの代わりに、ロボットでパレットに直接バーコードを貼る方式を採用している。この方式により、スタックレーンを利用したアドレス管理をしのぐパレットの個別管理方式を可能にしている。



図 7.4.8 倉庫セル

#### 7.4.3 本実施例のまとめ

今回のシステムでは、工場の生産形態を分析し、後工程の製品搬送、自動倉庫を中心に合理化を推進している。本システムの特長は、規格化しなくてもいい工程間のハードウェアインタフェースとして自由度の高い汎用ロボットを利用することでフレキシブルな制御セルを構成した点と、ネットワークを利用して各セル間の情報を統合した2点にある。

この2点の特長を生かし、昼間のみならず夜間・休日を含む総稼働時間を最大限にし、時間当たりの工場経費：(7.4.1)式の低減を可能にした。

$$\text{時間当たりの工場経費} = (\text{労務費} + \text{工場経費}) / (\text{稼働時間}) \cdots (7.4.1)$$

本システムを利用することで、図 7.4.9 のように、システム導入当初にくらべ、1年後に時間当たりの工場経費を約2/3に低減することができた。

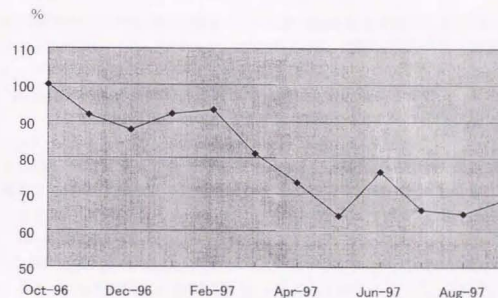


図 7.4.9 システム導入後の時間当たりの工場経費の推移

(図 7.4.9 は、1996 年 10 月を 100 % として表している)

## 7.5 結 言

従来、射出成形工場に管理システムを導入するには、ネットワーク化のため設備投資やシステム構築のための投資が多であった。また、製品サイクルに合わせたシステム変更に対応するためには、多くの課題があった。本研究報告では、一般に使用されているパソコンと既存設備をネットワーク結合し、自由度が高い射出成形工場トータルデータ管理システムを構築し、下記のような成果を得ることができた。

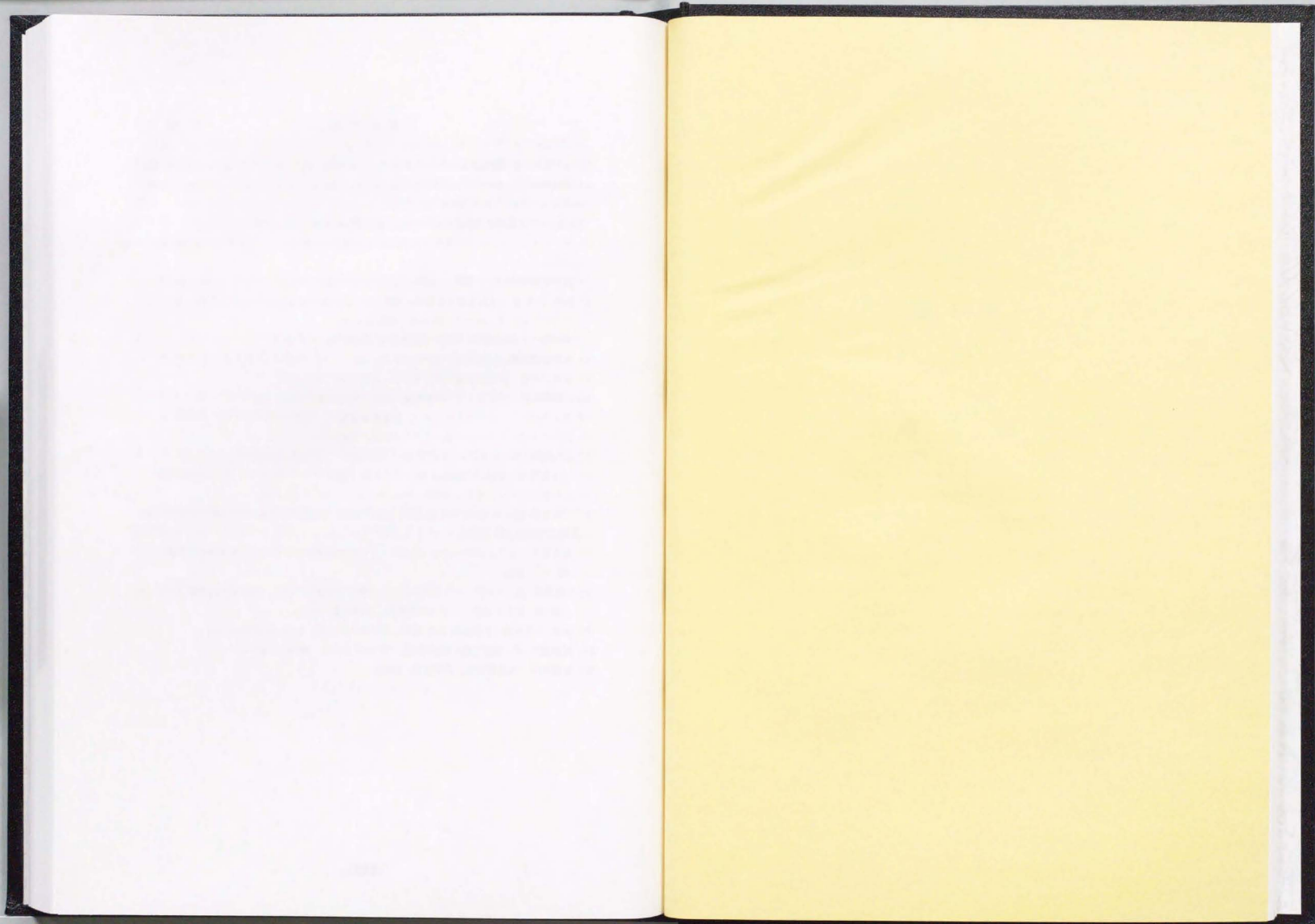
- 1) 製造現場におけるコンピュータ利用形態を検討し、成形工場に適したシステムを考案した。
- 2) ネットワークの形態を検討し、射出成形の表示・入力装置をネットワークの端末にする技術を開発した。
- 3) 射出成形工場における品質管理に着目し、主成分分析を利用した実質的な品質管理・分析技術を開発した。
- 4) ネットワーク技術と品質管理・分析技術を実際の射出成形工場に導入し、射出成形工場トータルデータ管理システムの効果を確認した。

本研究の結果、射出成形工場トータルデータ管理システムを利用することで、射出成形工場の合理化が達成できることを時間当たりの工場経費の推移で定量的に確認することができた。

## 〔 参 考 文 献 〕

- 1) 北川和昭 他：射出成形工場のFA化へのアプローチ，プラスチック，48，4，(1997)74-79
- 2) 大橋浩司：「Y-MAPシステム」-成形工場FA化のための汎用ソフトパッケージの開発-，プラスチックエージ，42，3，(1996)123-128
- 3) CIM/FA 事典編集委員会：CIM/FA 事典，産業調査会事典出版センター，(1990)，47
- 4) フーチャ・ファクトリシステム(FFS)に関する調査研究報告書IV，日本電子工業振興協会(1988)
- 5) 服部徳衛：近づく「情報シームレス化時代」，生産材マーケティング，33，1，(1996)A-40
- 6) 桜井 正信 他：成形工場の自動化・省力化のための射出成形機の群管理システム<SPINCS>，プラスチック・エージ，25，297，(1979)103-106
- 7) 吉谷龍一：コンピュータによる生産管理，日刊工業，(1964)16
- 8) 生産管理事典，日刊工業，(1996)100 104 106
- 9) 長谷川幸男：多品種少量生産システム，日刊工業，(1984)367
- 10) 人見勝人他：GTによる生産管理システム，日刊工業，(1981)141
- 11) 21世紀にむけてのFAビジョン，通商産業省監修，(1989)169
- 12) デジタルファクトリ，日経メカニカル別冊，(1996)228
- 13) J. Jeffry, M. Erwin: Using CGI, Que, 3, (1996)
- 14) Java 研究会: HTML と JavaScript, 工学図書, (1996)
- 15) 好川哲人: イントラネット構築, Open Design No. 16, 3, 5, (1996)
- 16) 小林秀樹 他: ネットワークを介した設計思想の公開(グリーンブラウザの一利用例), 精密工学論文集, (1995)
- 17) 樺木哲夫: コミュニケーションのメディアから知識のインフラへ, 日本機械学会誌, 98, 91, (1995)
- 18) 井越昌紀 他: エージェントモデルによる人間統合生産システム, 精密工学論文集, (1995)113
- 19) 大津 亘: 設計技術者のための品質管理, 日科技連, (1989)
- 20) 特集 不良判別と計測制御技術 解説, 成形加工学会誌, 9, 10, (1997)759-794
- 21) 稲葉善治 他: 成形工場の品質管理, プラスチックス, 46, 8, (1995)
- 22) 奥野忠一: 多変量解析, 日科技連, (1985)





— 第 8 章 —

総 括

## 第8章 総括

序論に述べたごとく、1872年に世界初の射出成形機が開発されてから既に100年以上が経過した。当初、プラスチックは、ガラス及び金属などの代替材料として開発された。その後、射出成形機、金型及びプラスチック材料の進歩により、色や形が自由で、天然素材にない特徴を活かしたプラスチック部品が種々の製品に使用されるようになった。

近年になると、商品の軽薄短小化の要求に応えるため、プラスチック部品はむしろ積極的に使用されるようになり、かつ、これらの部品に要求される仕様は年々厳しくなっている。即ち、強度、耐熱性などの物性や寸法精度などに高度な仕様が求められるようになり、プラスチック材料はエンジニアリングプラスチック（エンブラ）と呼ばれる一群の高度な仕様を持つ材料が次々に世に送られ、更に、超エンブラと呼ばれる正に金属やガラスの仕様に迫る特性を実現した材料が開発されている。

しかしながら、これらの材料を成形するプラスチック射出成形機は人力から油圧駆動式に、そしてマイコンを搭載したプログラム式へと進化して来たが、材料、金型の進歩に比べて、近年、新しい技術が開発されていなかった。

本研究はこのような現状を鑑み、油圧駆動方式の限界を打ち破る新しい駆動方式の射出成形機を実現する目的で着手された。そして、射出型締めなど、主な駆動軸に対して、最近進歩が著しいACサーボモータを新しい駆動源として採用した。また、補助的な軸に対しては誘導電動機で直接駆動する方式を採用した。

この結果、油圧駆動源を全く使用しない、全電動式の射出成形機を開発する事に成功し、当初の目的であったエンブラや超エンブラに対する高精度な成形機を実現した。

また、電動サーボ式射出成形機は、当初の開発目的であった高精度という特徴ばかりではなく、同時に、時代が要求する省エネ性、システム性にも優れた特徴を有する事が明らかになった。



## 8.1 本論文各章における研究概要とその成果

本研究は、電動サーボ式射出成形機に必要な各ユニットの電動サーボ化の開発過程と試作及びそれらの評価を述べると共に、電動サーボ式射出成形機が持つ制御上の大きな自由度を活かした数々の新しい制御方式と管理機能についても言及した。第1章の序論を除く第2章から第7章における研究概要とその成果を以下に整理する。

### 8.1.1 第2章 「電動サーボ式射出装置」

射出スクリューの前後進を駆動する電動サーボ式射出機構として、クランク式とボールねじ式の2種類を製作し評価した結果、摩擦抵抗の小さいボールねじ式のほうが高分解能の圧力制御に対応できることがわかった。

射出機構には、数百kNの大荷重が小ストロークで負荷するため、ボールねじにとっては過酷な稼働条件であり、従来以上に高い負荷能力と寿命を持ったボールねじが必要となった。そこで従来のボールねじとリターンチューブの配置を工夫した高荷重ボールねじの寿命試験を、大荷重・小ストロークで行った。その結果、電動サーボ式射出機構用のボールねじの寿命計算の指針を示し、さらに高荷重ボールねじの有効性を確認することができた。

本章の成果を以下にまとめる。

- 1) 射出スクリューの前後進機構にクランクを使用するクランク式射出装置は、サーボモータの回転角とスクリュー位置の関係が線形でない。そのため下死点の近傍では力が増幅されるため、保圧時のサーボモータの出力を約15%程度小さくする事が出来た。しかしながら、高推力で発生する軸受部のスティックスリップを抑えるために圧力ループゲインを高くすると、低推力ではサーボ系が発振してしまった。
- 2) 射出スクリューの前後進機構にボールねじを使用するボールねじ式射出装置は、サーボモータとスクリュー位置の関係が線形であり、また、駆動系の摩擦抵抗が少ないため、高分解能の圧力制御に対応できると考えた。
- 3) 1)、2)よりボールねじ式が電動サーボ式射出機構に最適と判断したことから、その実用化に必要な研究を行うこととした。
- 4) ストローク中において、負荷の加わる部分は同じまま無負荷ストローク部分を変化させた場合、寿命計算上は同じになるが、全体のストロークが短くなると、実際のボールねじの寿命は短くなった。
- 5) 射出用のボールねじのようにストローク係数が小さい場合、最近のボールねじメーカーのカatalogに記載されているボールねじの基本動定格荷重を使った寿命計算より、それ以前の複列アンギュラ玉軸受のモデルにLundbergとPalmgrenの理論式を適用した基本動定格荷重による寿命計算

の方が、実際の寿命結果に近かった。

- 6) 2.5巻3列ボールねじの場合、リターンチューブの配列による負荷分布の不均一に着目して、2列目のボールリターンの位相(向き)を180°対向とする高荷重ボールねじは、ボールねじ内部の接触面圧の分布が均一化し、長寿命化が実現した。
- 7) ボールねじの接触面圧と無限寿命について検討し、極圧添加剤入りのグリスを塗布し、ボールの最大接触面圧が2500MPa以下である場合、転がり軸受と同じようにボールねじでも無限寿命が期待できることがわかった。
- 8) 4)、5)、6)、7)の研究の結果、型締力1500kN機までの射出用ボールねじを実現した。さらに、このボールねじのナットを直列にし、両ナットの負荷方向を同一にすることにより、型締力3000kN機の射出用ボールねじを実現した。

### 8.1.2 第3章 「電動サーボ式型締装置」

電動サーボ式型締機構の研究として、まず、直動式、クランク式およびトグル式の3種類について製作して比較した結果以下の結論を得た。

- 1) 2 モータ式の直動式電動サーボは、直圧式油圧型締機構と比べてドライサイクルタイムが数倍長くなる。一方、クランク式電動サーボ型締機構は2モータ式の直動式電動サーボ型締機構に比して、より高速の型開閉が可能であり、直圧式油圧型締機構と遜色の無い実用性を実現した。
- 2) 力の拡大率の特性の違いから、トグル式はクランク式より高速で動作できるので、トグル式が電動サーボ式型締機構に最適であると判断した。

このことから、トグル式の電動サーボ式型締機構の研究をさらに進めた。本研究ではトグル式電動サーボ型締機構の静解析を進展させ、実際の機構設計においてトグルの各寸法を決める手法を示した。また、この手法により改良した四点トグルと五点トグルとを比較し、さらにこれらのトグルとは異なるRDP五点トグル型締機構を考案した。以下に要点をまとめる。

- 3) トグル式電動サーボ型締機構の静解析結果を実際の設計に利用できるようにするため、静解析によって得られる性能評価量であるサイクルタイム、機構全長、クロスヘッドストロークおよび最大クロスヘッド推力を定義して、各性能評価量をトグルの各寸法(幾何学的な独立パラメータ7個)から計算する方法を示した。
- 4) トグルの幾何学的な独立パラメータ7個の変化に対する性能評価量の変化および制約条件を、マトリックス状に配置したグラフ群で表示し、各々の関係を把握した上で、設計目的に適合するように各パラメータを決める手順を抽出することで、論理的に設計を進められることを示した。

- 5) 従来の四点トグル及び五点トグルを、3)4)項の手法で改良し性能評価量を比較すると、それぞれ一長一短であったが、さらに上記の手法を用いることで、従来の四点トグル及びの五点トグルそれぞれの長所を併せ持ち、多くの性能評価量において優れている RDP 五点トグルを考案した。

#### 8.1.3 第4章 「電動サーボ式制御システム」

電動サーボ式射出成形機を開発するにあたり、油圧駆動式射出成形機で実現していた制御システムを検討した。その結果、電動サーボ式射出成形機が持つ制御能力を利用し、従来技術では達成できなかった成形技術を開発することができた。

- 1) 射出工程で、初めて位置制御を利用した速度プロファイル制御を行う機能を開発したため、速度が切り替わる位置が極めて正確になり、成形限界を広げると同時に抜群の再現性を実現した。
- 2) 複数のプロセッサを利用したハードウェア構成としたため、射出圧、射出速度、最小クッション量、シリンダ温度など、成形品の品質管理に重要なアナログデータを含む大量の項目のモニタが可能になった。このモニタにより、射出・保圧工程の圧力波形もダイレクトに画面でモニタすることが可能になり、成形現象の把握が容易になった。
- 3) サーボ制御にデジタルサーボを採用したため、オブザーバなどを利用した高度な制御が可能になった。この結果、金型保護などで高精度な機能を開発することができた。
- 4) 型締装置で型開閉や製品突出しなどのタイミング、速度、位置が完全に制御出来る事を利用し、複合動作や金型内の加工を可能にした。この結果、サイクルタイムを短縮したり、後加工工程を簡略化することができるようになった。

これらの機能により、油圧式を上回る高速成形を可能にし、生産性を向上する事が出来た。また、金型内ゲートカットやコンプレッション成形、圧縮成形などを可能にし、成形工程の自動化や成形精度の向上に寄与した。

#### 8.1.4 第5章 「電動サーボ式射出成形機における圧力制御」

プラスチック射出成形において、保圧及び計量工程では樹脂に対する圧力制御機能が不可欠である。射出成形機を電動サーボ化するにあたり、最大の課題は電動サーボによる圧力制御機能の実現であった。電動サーボによる圧力制御そのものは、サーボモータの力を制御する事で容易に実現出来る事はロボットなどに関する従来の研究でも明らかであったが、射出成形機用の圧力制御として使用するには制御性、応答性及び安全性などの点で不十分であった。

本研究では、従来、工作機械の位置決め制御などで一般に使用されているサーボ制御系に力制御機能を付加することで、十分な制御性、高応答性及び安全性などを確保した電動サーボによる圧力制御機能を開発した。

下記に本研究で開発された電動サーボによる圧力制御の利点と特徴を示す。

- 1) CNC 工作機械に使用されている CNC 制御装置に圧力制御機能を付加した。
- 2) CNC 制御装置の位置、速度及び電流の各ループに圧力指令値を入力し、どのループを使用しても圧力制御が可能である事を実証した。
- 3) また、開ループではヒステリシスが大きく、十分な圧力制御の精度を得る事が出来ない事が判った。
- 4) 3つのループのうち、速度ループに圧力偏差を帰還する方式が、次の理由で射出成形機用の圧力制御として一番適している事が判った。
  - ① 圧力を制御する速度ループの外側にある位置ループにより射出スクリューのストロークを規制する事が出来るため、機械の安全性を確保出来る。
  - ② 射出工程から保圧工程に移行する区間で、速度制御から圧力制御にスムーズにつなぐ事が可能であり、バリやショートなどの成形不良の発生を抑えるのが容易である。
- 5) 速度ループを使用した圧力制御において、圧力偏差から速度偏差を得る適当なパラメータ量を得る事が出来た。また、その際、0.1 MPa という、十分な圧力分解能を実現した。



#### 8.1.5 第6章 「電動式射出成形機における圧力波形追従制御」

従来、成形機の成形条件は、射出スクリュの位置に対して、射出速度及び保圧圧力を切り換えポイント毎に設定していた。即ち、速度と圧力は互いにどちらかの制御の結果であり、同時に両方を制御出来ない。従って、通常、射出工程では速度優先、保圧工程では圧力優先の制御をしていた。

しかしながら、これは従来の技術が速度の早い射出工程で圧力の制御が追いつかない為に制御が不可能であった為であり、本来は射出工程においても圧力が主体の制御をしたい場合が多々あった。

本研究では、射出成形がサイクリックな工程であることに着目し、学習制御の概念の考え方を取り込む事により、射出から保圧までつなぎ目の無い滑らかな制御が可能になった。また、成形条件の入力、修正も画面上の圧力曲線をCADと同じ感覚で作成または修正する機能を開発した。

この結果、画面上の圧力曲線に従って成形機が射出から保圧まで作動する機能を初めて実現した。

以下に本章の成果をまとめる。

- 1) 従来のポイントからポイントの間で切り換え位置と速度または圧力を設定する成形条件の設定方式に変えて、画面上に作成または修正した圧力波の曲線に従って圧力制御を実行する機能を初めて開発した。
- 2) この機能により、今まで切り換え位置や速度などを変更する事により試行錯誤で修正していた圧力のピークや谷をダイレクトに修正する事が可能になった。
- 3) 圧力プロファイルそのものを制御するため、射出スクリュ、逆流防止リングなどのメカニカルな磨耗による変化の影響を受けず、常に安定した圧力制御が可能になった。また、機械の影響を受けないので、圧力プロファイルを入力する事により、どの機械でも成形条件の再現が可能になった。

#### 8.1.6 第7章 「成形工場のトータルデータ管理システム」

電動サーボ式射出成形機は、射出、型締などの作動を電動サーボ化する事から出発した。しかしながら、その電動サーボ化は同時に全てのデータをソフトウェアと通信機能を使用する事により、外部のコンピュータシステムとやり取りが出来る事を意味している。

本章では、従来の管理システムが単なるモニタシステムになっており、且つ、射出速度や現在位置などのデータのモニタリングや、成形条件のダウンロードやアップロードの機能が欠如していた事に注目し、これらの機能を可能にした成形工場のイントラネットの実現を図った。

- 1) 電動サーボ式射出成形機が持っている全てのデータのやり取りが可能な通信機能を開発し、外部のコンピュータシステムと接続出来るようにした。
- 2) 射出速度、スクリュ位置、シリンダ温度など、30項目以上のデータに加え、圧力波形まで外部コンピュータに転送出来る機能を開発した。
- 3) 成形機の画面をネットワークの端末として使用出来る機能を初めて開発し、特別なハードウェアを用意しなくても外部のコンピュータシステムと会話が出来ようになった。
- 4) 以上から、成形工場の管理システムが単にモニタリングではなく、双方向の通信機能を実現しているので、生産管理、品質管理、成形技術の管理などの業務を幅広くカバーする事が出来た。



## 8.2 電動サーボ式射出成形機の今後の展開

これまで述べた如く、本研究により電動サーボ式射出成形機は従来からの油圧駆動式射出成形機に比較して数々の優れた特徴を備えた成形機が実現した。この意味においては既に開発としては目的を果たしているが、今後の研究開発テーマとして下記の項目があげられる。

- 1) 今回開発したのは最大で型締力 3000kN トンまでであったが、市場では更に大型の機種が開発が望まれる。
- 2) 共通油圧駆動源を使用して各軸の駆動を行う油圧駆動式射出成形機に対して、各軸にそれぞれ独立した駆動源を必要とする電動サーボ式射出成形機はどうしても製造コストが高くなる。従来の油圧式射出成形機と同等のコストを実現する電動サーボ式射出成形機の開発が望まれる。
- 3) 本研究で開発された電動サーボ式射出成形機のインライン式射出機構とトグルクランプ式型締機構そのものは油圧駆動式射出成形機のそれと基本的な構造は同一である。電動サーボ式に最適な基本的な機構の開発が望まれる。
- 4) CAEによる金型内の樹脂の流動解析結果と成形機の圧力制御機能を統合した成形条件自動取得システムの開発が望まれる。

以上、まだまだ本研究分野においても今後進めていくべきテーマが数多く存在している。

## 8.3 本研究の成果

本研究では、近年ますます高度化するプラスチック部品の射出成形に対する要望に応えるべく、射出成形機の高精度化を目指した。その手段として射出成形機の電動サーボ化を検討し、従来の油圧駆動式射出成形機の性能を超える電動サーボ式射出成形機を開発を図った。

この結果、所期の目標である高精度電動サーボ式射出成形機の開発に成功し、且つ、従来の油圧式射出成形機に勝る耐久性、利便性および省エネ性などの優れた特徴を実現したので、以下にその成果を示す。

- 1) 射出・計量・型締・突出しの4動作のそれぞれをACサーボモータ駆動とし、CNC制御装置を使った電動サーボ式射出成形機を開発、実用化した。
- 2) 電動サーボ式射出成形機の実現の為に、電動サーボ駆動に適した射出機構、型開閉機構などを開発した。
- 3) 電動サーボ式射出機構の開発過程において、高負荷荷重を受けるボールねじに適した寿命計算を提案し、且つ、負荷容量を向上させたボールねじの構造及びナット構成を開発した。
- 4) 電動サーボ式型開閉機構の開発過程において、従来、試行錯誤で行われていたトグル機構の設計を論理的に進める手法を開発し、その結果、従来の五点トグルを改良した新五点トグルの開発に成功した。このトグル機構は主節を駆動する対偶が通常の位置と反対側にある為、RDP (Reverse Drive Point) 五点トグルと命名した。このRDP五点トグルは、従来の四点トグルや六点トグルと比較してコンパクトで且つ高速な動作を実現した。
- 5) 電動サーボによる圧力制御方式を検討し、速度制御を利用した圧力制御機能を開発し、良好な特性を実現した。また、この圧力制御は、従来開発されていた力制御に比較して巨大な力を扱うため機械の保護が重要であるが、速度制御の外側にある位置ループを使用する事で、機械のストロークを管理する事ができ、機械の安全を確保する事が出来た。
- 6) また、射出スクリュの各位置における圧力偏差を学習する事により、従来不可能であった射出工程における圧力の閉ループ制御を可能にした。これにより、基準となる圧力波形に追従する機能を実現し、圧力波形追従制御と命名した。この圧力波形追従制御は、良品が成形されている圧力波形のモニタデータを基準波形とする事で良好な成形再現性を実現し、成形を安定させる事ができた。
- 7) 更に、成形機の画面上でCADと同じ感覚で圧力波形を編集し、ここで作成された圧力波形に射出が追従する機能を開発し、圧力波形画面編集機能と命

名した。この機能は、射出スクリュの各位置でのゲインを学習する事と、射出速度の変化と圧力の変化の遅れを考慮した制御方式を開発する事で実現した。この機能により、射出速度と切替位置を入力する事で間接的に圧力波形を修正していた従来の成形条件の設定方法に代わり、成形技術者が圧力波形を直接修正する事が出来るようになった。このため成形不良時のトラブルシューティングを視覚的に進める事が可能になり、未熟練者でも成形不良の対策が容易になった。

- 8) 油圧駆動式射出成形機に比べ、省エネ性、静粛性、システム化の機能で大幅な改善を果たした。特に、省エネ性では、従来の油圧式に比較して3分の1から4分の1の電力消費量で同等の成形能力を達成した。
- 9) 市場の80%を占める150kNから3000kNまでのレンジで実用的な電動サーボ式射出成形機の開発と実用化に成功した。また、それ以上の大きな電動サーボ式射出成形機の実現可能性を示す事が出来た。
- 10) 射出圧、射出速度、シリンダ温度など、全てのデータを外部のシステムとやり取り出来る通信機能を開発し、生産管理、品質管理、成形技術の管理など、トータルなデータ管理システムを構築した。特に、成形の豊富なモニタデータ項目を大量に蓄積し、多変量解析を駆使したユニークな品質管理機能を開発し、視覚的に成形の安定性の確認と修正方向の決定を可能にした。
- 11) 成形機の入力装置をデータ管理システムの端末として利用するブラウザ(閲覧)ソフトウェアを開発し、上記のデータ管理システムと工場の成形機群の間で工場のイントラネットシステムを実現した。

#### 8.4 結 言

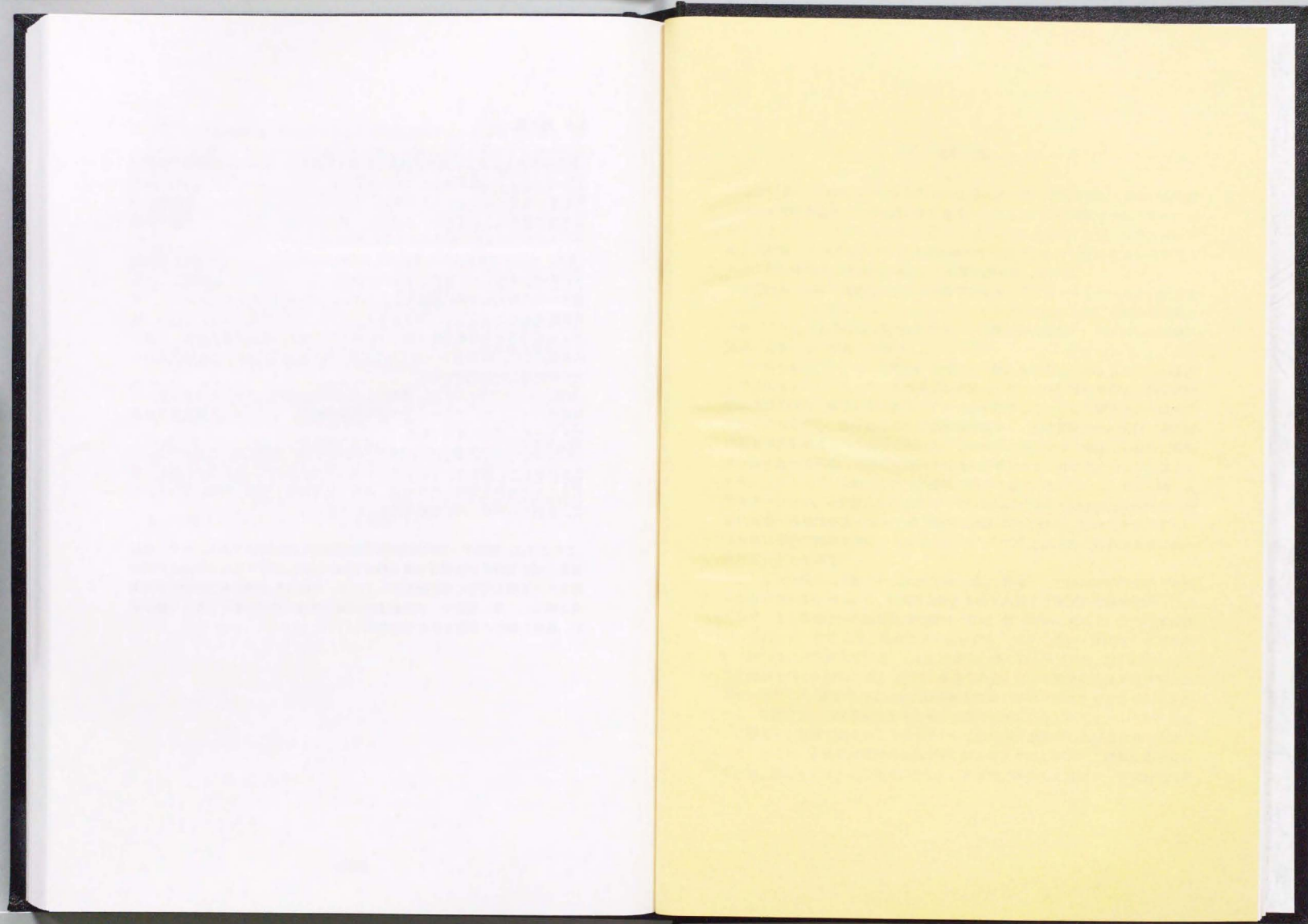
射出成形機で従来主に使用されていた油圧駆動源は、以前は工作機械の制御や工業用ロボットの駆動源として広く使用されていた。しかしながら、昭和49年の第一次オイルショックを契機に、そのエネルギー効率の悪さから電動サーボに急速に置換えられてきた。本研究は、射出成形機分野においても必ず電動サーボ式射出成形機の時代が来るとの信念の基にスタートした。

実際、本研究で開発された電動サーボ式射出成形機は、その省エネ性が期待以上の特性を実現した。現在日本国内で稼働している約8万台の成形機がこの電動サーボ式射出成形機に置換えられた場合、平均省電力を10kWh/台、平均稼働率を60%として、実に480万kWhという計算になる。これは100万kWhの原子力発電所約5箇所分に相当する膨大な省エネ量である。年間の石油量にして、約70万トン分であると言う事も出来る。正に、この時代に合った地球に優しい成形機である。

勿論、省エネ効果の他にも、電動サーボ式射出成形機が実現した特徴は多い。振動や油污れの無いクリーンで快適な作業環境も、時代が求める製造現場を実現するために非常に有効である。

また、従来の油圧駆動式射出成形機の操作が経験と熟練に頼った部分が多かったのに対して、電動サーボ式射出成形機は全ての操作項目をデジタル化し、更に良好な再現性を実現したために、技術で管理運営する事が可能になった。正に、技能から技術への大変換を果たしたと言える。

このように、電動サーボ式射出成形機は開発されたばかりであり、今後、更に開発を進めて行くべき項目も多々残っているが、プラスチック射出成形分野を大きく変えて行く可能性を示している。今後も引き続き本分野での研究開発に精進し、更に電動サーボ式射出成形機の発展に微力を尽くして行く事を誓い、最後の纏めの言葉とさせていただきます。





## [ 謝 辞 ]

本研究は、16年前の昭和58年7月に当時ファナック株式会社代表取締役社長（現代表取締役会長）の稲葉清右衛門博士が米国最大の工作機械メーカーであったシンシナティ・ミラクロン社（現ミラクロン・インク）を訪問した際、プラスチック射出成形機メーカーでもあった同社の当時のオーナーであるガイヤー会長からプラスチック射出成形機の事業化を勧められた事に端を発している。

稲葉社長（当時）は帰国後すぐに著者等を集め、プロジェクトチームを結成させた。そして、その年のうちにシンシナティ・ミラクロン社から油圧式射出成形機の技術ライセンスを導入し、その技術をベースに著者等は電動サーボ式射出成形機の開発に着手した。昭和59年の1月であった。

著者等5名は、ライセンス契約に基づいて、昭和59年1月から3月までの3カ月間、米国シンシナティ市にあるシンシナティ・ミラクロン社に滞在し、油圧式射出成形機的设计・製造および販売のノウハウを取得した。ここで著者等5人は一軒家を共同で賃借し、昼は油圧式射出成形機を勉強し、夜は電動サーボ式射出成形機の基本構想を練るという毎日が続けた。その年の4月に日本に帰国し、直ちに電動サーボ式射出成形機の本格的な開発を開始し、同年の11月に300kN、500kN、750kNの型締力を持つ3機種の開発に成功した。しかし、その当時、プラスチック材料、金型および成形技術に関しては付け焼き刃の知識しか持たず、射出成形機の各機構をサーボモータで精密に駆動すれば精密成形ができるはずという単純な発想で開発を進めてしまったが、今にして思えば非常に乱暴な発想であったと言わざるを得ない。

こうして完成した電動サーボ式射出成形機は、当時としては画期的な性能を実現したと自負しているものの、不完全な箇所も多々内蔵する荒削りな機械であった。そして、この電動サーボ式射出成形機は、当時、使っていたくと、この機械にのめり込むグループと二度と触れたがらないグループの二グループにユーザがきれいに別れたことを覚えている。しかしながら、多くのユーザから、扱いにくかったこの機械を何とか使いこなしながら、貴重な助言、沢山の激励の言葉を著者等にお寄せいただいた。電動サーボ式射出成形機を完成の域まで到達させることができたのも、本論文でその成果をまとめる事が出来たのも、こうしたフィールドからの生のご意見・ご要望に負うところが大きい。ここに深く感謝申し上げる次第である。

このように、本研究は社内外を問わず、沢山の方々のご助力とご理解に助けいただき、進めてきたものである。そして、本研究で開発した電動サーボ式射出成形

機は、開発目標であった従来の油圧式射出成形機に勝る精密成形能力を実現し、また、省エネルギー性においても従来機の約三分の一から四分の一という低電力消費量を可能にするなど、まさに時代が求める成形機を完成することができた。この証拠に、現在、世界の殆どの成形機メーカーが電動サーボ射出成形機の開発・実用化を推進するか、若しくは開始している。

ここで、この成果をまとめるにあたり、16年間、電動サーボ射出成形機の開発の機会を与えていただき、且つ、その企業化を忍耐強く支えていただいた著者の父である現ファナック株式会社代表取締役会長稲葉清右衛門博士に心から感謝申し上げます。

次に、大変お忙しい激務の身にもかかわらず、本論文作成のご指導を快く引き受けていただき、論文作成に慣れない筆者に対して一から懇切丁寧に指導とご教示を賜りました中川威雄東京大学生産技術研究所教授にも心から感謝申し上げます。日常の企業活動の雑多な業務に追われる中、論文作成が遅々として進まず、大変ご心配をお掛け致しました。ここにお詫びを申し上げると同時に完成まで暖かく励ましていただきましたご厚意に重ねて御礼申し上げます。

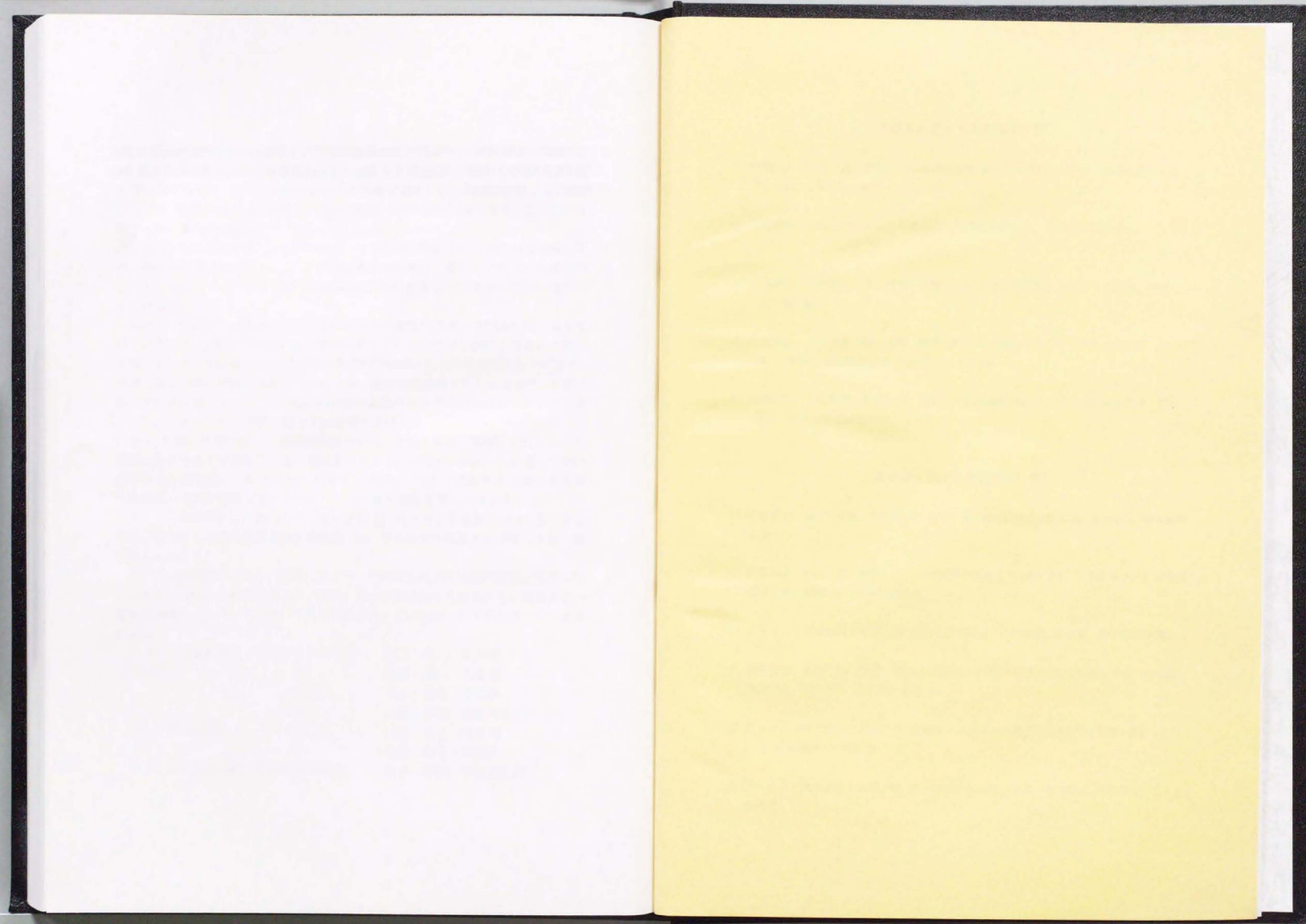
また、本論文や学会誌への投稿原稿について、懇切丁寧に指導をいただきました樋口俊郎東京大学教授に心より感謝致します。可視化プロジェクトを通して射出成形現象を学問的に分析することで長年ご指導をいただいております横井秀俊東大教授にも大変お世話になりました。ここで厚く御礼を申し上げます。

更に、ご多忙中にもかかわらず、本論文作成にあたり、有意義、かつ、適切なご助言を賜りました長尾高明東京大学教授、板生清東京大学教授の両教授にも深く感謝申し上げます。

ここで、本研究にあたり、当時、ファナック株式会社の研究部門担当として公私にわたりお世話をいただきました、現ファナック株式会社代表取締役社長野澤量一郎殿に感謝すると共に、一緒に開発や実験を進めていただいた下記の方々にも感謝致します。

|           |            |       |       |
|-----------|------------|-------|-------|
| ファナック株式会社 | ロボマシニング研究所 | 石川 恬  | 所長殿   |
|           | 同          | 伊藤 進  | 次長殿   |
|           | 同          | 上口 賢男 | 次長殿   |
|           | 同          | 内藤 保雄 | 所長付殿  |
| ファナック株式会社 | サーボ研究所     | 内田 裕之 | 所長殿   |
|           | 同          | 松原 俊介 | 次長殿   |
| ファナック株式会社 | 知的財産管理本部   | 根子 哲明 | 室長補佐殿 |

最後に、単身赴任のため、もとより家を空けがちな著者が、更に家に帰る日を少なくする本論文の執筆に対し、快く応援してくれた妻律子と三人の息子達に心より感謝の意を表して謝辞の結びと致します。





〔本研究に関する発表論文一覧〕

- 1) 稲葉善治, 伊藤 進: 電動サーボ式射出成形機用高負荷ボールネジの寿命に関する研究, 精密工学会誌投稿中 (1998)
- 2) 稲葉善治, 内藤保雄: トグル式電動サーボ型締め機構, 精密工学会誌投稿中 (1998)
- 3) 稲葉善治, 松原俊介, 上口賢男: 電動サーボ式射出成形機における圧力制御, 精密工学会誌投稿中 (1998)
- 4) 稲葉善治, 上口賢男, 根子哲明: 電動式射出成形機における圧力波形成制御 (第1報), 精密工学会誌受理済, 印刷中 (1998)
- 5) 稲葉善治, 上口賢男, 根子哲明: 電動式射出成形機における圧力波形成制御 (第2報), 精密工学会誌投稿中 (1998)

〔本研究に関する受賞業績一覧〕

- 1) 稲葉善治, 曾我部正豊: 昭和61年 第21回 機械振興協会賞受賞, 財団法人 機械振興協会
- 2) 稲葉善治, 石川 恬, 伊藤 進, 上口賢男: 平成5年 第24回 中小企業向け自動化機械賞受賞, 財団法人 機械振興協会
- 3) ファナック株式会社: 平成5年 日刊工業新聞社 十大新製品賞受賞, 日刊工業新聞社
- 4) 稲葉善治, 石川 恬, 伊藤 進, 上口賢男: 平成7年 第5回 成形加工学会 青木園技術賞受賞, 社団法人 成形加工学会
- 5) ファナック株式会社: 平成7年 優秀省エネルギー機器賞(通商産業大臣賞)受賞, 社団法人 日本機械工業連合会
- 6) ファナック株式会社: 平成9年 グッドデザイン賞 受賞, 財団法人 日本産業デザイン振興会

