

インプロセス計測の研究

石川 友彦* 富長 博* 平野 聡*
 藤沼 良夫** 遠西 隆文***

1. はじめに

製品の多様化・高度化の要求とともに多品種少量生産の傾向が大いに強まり、大量生産の時代は終わりにつつある。一方技術的にはメカトロニクスの進歩により高度な機能を持つ機械(産業用ロボットやマシニングセンタ-等)が安価に提供されるようになってきた。このようなニーズとシーズがうまく合体して登場したのが FMS であり、FA である。これらの目指すところは、自動化・省力化・無人化のシステムであるが、FMS、FA 全体の流れを最適に維持するためには、サブシステムである個々の加工機械等を管理することが要求される。つまり、省力化・無人化のためには通常的环境下において機械が正常に動作し、精度良く所定の作業を行えるようにしなければならないのである。

また、最終的に生産されたものは品質として評価され、常に良好な状態に維持する必要がある。これら制御システムの中で外乱となるものは例えば工具の摩耗であり、びびり振動などの加工プロセスで発生する因子である。従って現在のような加工形態が続く限り、加工精度として測定結果に基づく制御なしでは工作機械そのものの運動精度以上を期待するのは一般に困難である。

つまり、加工プロセス・工具・工作物などに関する計測技術は真の FMS 化のために重要な役割を演じることになり、その計測技術の一つとしてインプロセス計測というものが唱えられている。

インプロセス計測の本来意味するところは、「加工中の工作物についての状態を計測し、得られた情報によってその粗さや寸法あるいはびびりなどを制御するためのオンライン計測」である。つまり、通常の制御系がそうであるように、オンラインによる測定結果を制御対象にフィードバックし、訂正動作を行うことによりはじめてインプロセス計測の意義がでてくるのである。

従来インプロセス計測については、内外を問わず非常に多くの方式が提案されているが、形状寸法を対象とした場合、実際に適応できる方式となると、どの方式も実用の域に達していないのが実状である。

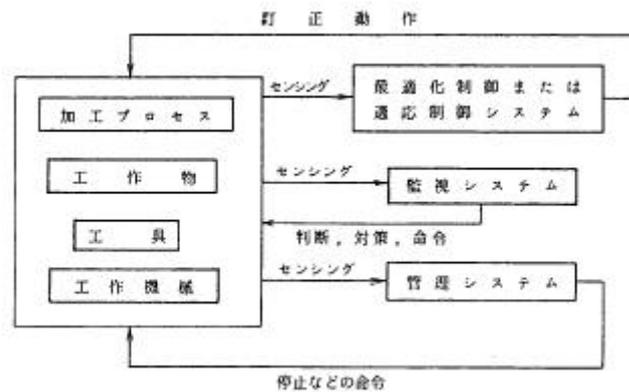


図1 インプロセス計測の概念

*新技術応用部 **企画情報室 ***工芸意匠部

そのために我々は、加工中の工作物の形状寸法などを計測するため各種非接触式センサを用いた計測技術の確立を目指し研究を進めた。

2. 各年度における研究

加工中の工作物の寸法誤差・形状誤差・表面粗さに関するインプロセス計測法の確立を図ることを目的に進めた。

2.1 《平成元年度》

〔流体式計測法の原理の確立〕を中心、とした研究：

- ・空気マイクロメータの原理の確立
- ・圧縮性粘性流の場合と圧縮性膨張流の場合の解析
- ・空気マイクロメータの試作
- ・流量係数の算出
- ・実験装置の作製
- ・オリフィスの流量係数算出
- ・ノズルとレイノルド係数の導出

を行った。具体的には、流体式計測法により工作物の寸法・形状・表面粗さのインプロセス計測手法を確立することを目標に、空気マイクロメータの理論式を算出した。この理論式ではオリフィスとノズルの流量係数を実験的に求められれば、工作物の径・圧力・オリフィスとノズルの径・検出感度等のパラメータを与えることにより、空気マイクロメータの設計ができることがわかった。

また本年度の研究を基礎として、流体式計測法により円筒型工作物に対する計測精度・信頼性が確認されれば、インプロセス計測手法の一つとして工作物の寸法・形状・表面粗さ計測への応用ができることがわかった。

2.2 《平成2年度・3年度》

(1)〔空気マイクロメータを用いた計測〕に関する研究：

- <静特性の測定>として
- ・流量係数の算出
- ・平板による計測実験
- <動特性の測定>として
- ・工作物の寸法計測
- ・最適出口絞り径の算出
- ・供給圧力と最大検出感度
- ・圧力変換器と最大検出感度
- ・設計の具体例

以上の項目について研究を進めた。半径法を用いた工作物の寸法測定を行うために、空気マイクロメータの設計法について検討し実験を行った。7種類の空気マイクロメータを試作し流量係数を実験的に求め、入り口絞り流量係数を求めることができた。また、流れの状態が断熱膨張流であることが解かり理論式を導入することができた。

(2)〔レーザ式変位計を用いた計測〕に関する研究：

- ・レーザ式変位計の原理
- ・レーザ式変位計の測定範囲
- ・線材の形状測定
- ・コイルばねの形状測定

(3)〔渦電流式変位計を用いた計測〕に関する研究：

- ・渦電流式変位計の原理
- ・材質と測定範囲
- ・線径と測定範囲
- ・線材の形状測定
- ・コイルばれの形状測定

を行った。レーザ式変位計を用いたコイルばれの形状測定では、ピッチ間距離・変位・長さ・曲がり等を測定することが可能であり、渦電流式変位計では線径の太いものやピッチ間距離の大きいものに対して形状測定が可能であることがわかった。また、レーザ式変位計では被測定物との距離を40mmと大きくとることができるが、渦電流式変位計では300 μ m以内と非常に狭くとることしかできないことが確認できた。形状検出装置としてはフレキシビリティが要求されるため、レーザ変位計がより使いやすいセンサであると考えられる。また、測定システム構築上の課題としては、変位計の支持台、X-Yテーブルの設置法、被測定物の取付台等の充実があり、これらの解決を図ることができればオフラインでの形状計測装置として、またオンラインにおけるコイルばれの寸法管理装置として利用することができるものと思われる。以上の結果を得ることができた。

2.3 《平成4年度》

〔具体的なシステムを想定した基礎実験〕

空気マイクロメータによる工作物の寸法測定を行うシステムを開発するため、基礎実験により基本特性を得ることを目標として進めた。

(1) 実験システムの構成と実験方法

背圧の変化をアンプ内蔵の圧力センサユニットで検出し、A/D変換を行った後、パソコンに取り込み処理を行った。(図1)

静特性の測定:

え
ノズル径と絞り径の組み合わせを変えて距離-背圧の静特性曲線を求めた。

動特性の測定:

し
X軸ステージを使って対象物を移動しながら表面形状の計測を試みた。

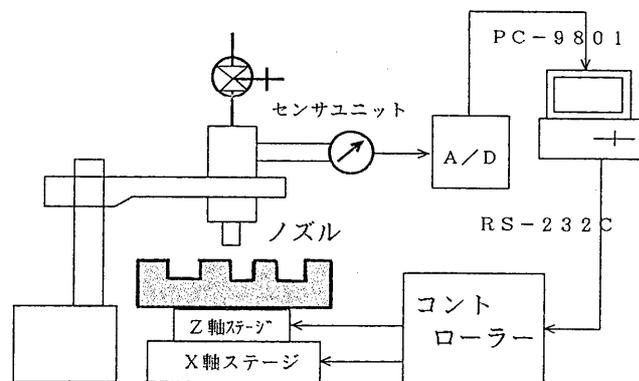


図2 実験システムの構成

(2) 結果

静特性:静特性曲線の例を図3-1に、ノズル径と絞り径の組み合わせについて検討し、ノズル径を3.1mmに固定し絞り径を0.13mm~2.4mmまで変えて求めた静特性曲線の例を図3-2に示す。

動特性:測定対象物として凹凸のあるプラスチックシートを選んだ。図4の表面形状計測例はノ

ノズル径が 0.8mm で絞り径が 0.4mm の場合である。

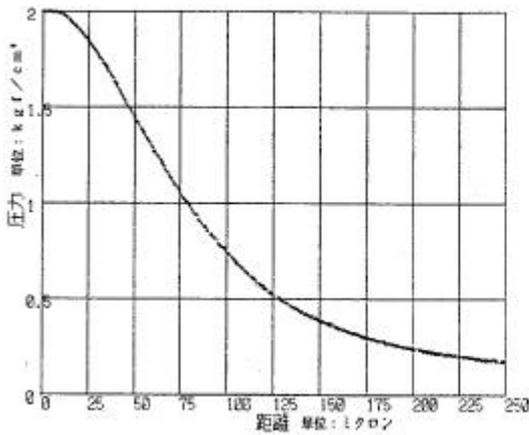


図 3-1 静特性曲線の例
(ノズル径 0.8 絞り径 0.4)

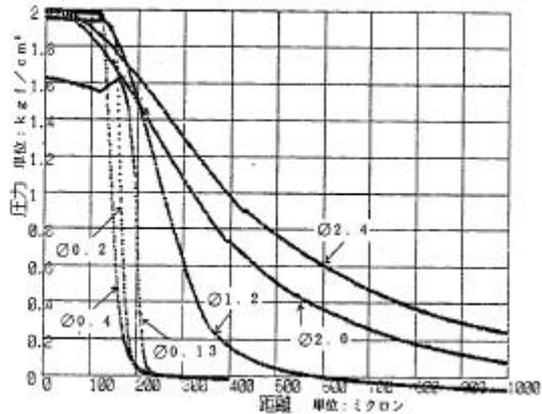


図 3-2 絞り径を変えたときの静特性曲線
(ノズル径は 3.1 に固定)

2.4 考察

静特性:

空気マイクロメータをインプロセス計測に適用するに当たって対象物の表面形状が回転や切削などにより 変化する状況が考えられる。このときノズルが対象物に接触しないようにするためにはクリアランスを大きくとる必要がある。加えてそこからの凹凸を計測するのであるから測定可能範囲は広くしなければいけない。

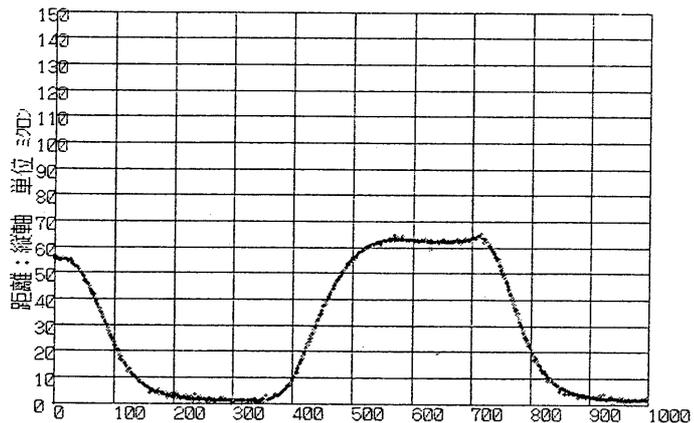


図 4 移動物体表面の凹凸を計算した例

それに対し実験より適切な絞りの径はノズル径の 1/2~3/4 程度に設定すればよいという結果が得られた。この結果を適用して下記の動特性の実験を行った。

動特性:

空気マイクロメータを使って回転体などの移動物体の表面形状を計測することは可能であるという成果を得ることができた。そこで空気マイクロメータは測定表面に油等の汚れがあってもそれらを吹き飛ばしてしまうので、現場での加工ラインに適用する際に汚染の影響をほとんどうけない

という特長を持つ。その点を活かして、比較的速い圧力の変化を精度よく距離に換算できるようにしていけば、インプロセス計測の一つのセンシング要素として空気マイクロメータを応用した実用に耐え得る計測システムを構築することができると予想される。

3. おわりに

数年にわたるインプロセス計測における研究の概要を示した。対象物に対し何等影響を与えない非接触式センサを用いた計測はこれからますます広く用いられていく技術であり、特に加工中の工作物の寸法を計測し得られた情報を制御系にフィードバックし活用していくインプロセス計測の技術は大いに注目されていくことであろう。

今後は、今回得られた結果をもとにこれら計測技術を加工ラインの中に取り込んで技術指導に役立てていく予定である。

最後に本研究を進めるにあたり御指導をいただきました佐久間与一郎元新技術応用部長、高島茂雄前新技術応用部長(現いばらきサロン)、富田玄隆新技術応用部長、また貴重な御教示と御助言をいただきました茨城大学工学部白石昌武教授に感謝の意を表します。