

# 加工情報センシング技術

## －方法論・問題点・将来－

菊池 誠\* 小石川 勝男\*

### 1. 緒 言

本研究は、機械部品製造工程の自動化において、技術的障害になっている部分に着目し、その技術の向上と技術の普及を目的として行われた。

一般に、製造工程の自動化とは、その工程の運転状態を調べ、目的に合った状態で運転されているかどうかを評価し、その結果によって工程を制御することである。そして、この機能が全て満足出来たとき完全自動化が実現する。しかしながら、このような完全自動化は非常に難しく、特に中小企業の分野では極めて難しい。なぜならば、中小企業で対象とする工程においては、その工程の運転状態を正確に把握することが難しいからである。

茨城県内の中小企業の多くは、いわゆる自動車産業の末端の仕事を担っている。従って、仕事内容は当然、金属切削・研削・鍛造・鋳造部品加工が多くなる。そして、このような加工を物理的にとらえれば、その現象は極めて複雑なもので、作用因子、再現性の観点から簡単な理論や数式では把握しきれない。従って、このような工程では予測もつかない現象が起り、様々なトラブルを誘発することになる。これでは工程の自動化は困難である。

しかし、現在、コストダウン、作業員の高年齢化、新規就職者の中小企業離れ、等の重大な問題から中小企業の自動化は進めざるをえない状況になってきている。

本最終報告は、この難題に対して加工情報の収集という観点から、いくつかのアプローチを試みた研究記録である。

### 2. 研究の流れ

本研究は、当初「小径ドリルの折損予知」をテーマに、情報のキャリアに重点を置き研究が進められた。その後、AE、加工抵抗力、音響、機械振動、摩耗量、等いくつかの情報キャリアの試行・選別が行われたが、最終的には信号の解析アルゴリズムの良否によって、又は、その解析システムのアーキテクチャーによって、その情報処理能力が左右されるという結論に達した。ここでは、その過程を順次報告する。

### 3. センシングの現状

ここでのセンシングとは“機械の運転状態を把握すること”と定義する。運転状態とはなんである

---

\*機械金属部

うか。機械は正常に運転されていれば時間内に目的の仕事をしているが、時によってその目的を達成できずに止まってしまったり暴走してしまったりする。これは機械を自動運転する上で非常に大きな問題である。この問題を解決する為に以前から、機械の運転状態を様々な方法で評価する試みが行われてきた。しかし、これらは総て機械の物理情報を検出器で収集し、その信号の大きさを予め設定した値との差で評価するという点で、基本は殆ど同じであった。

例えば、機械の電動機に流れる電流を電流センサで収集し、ある一定のレベルを越えると警報が鳴るといったシステムはその代表的なものである。現実にはオプション販売されているシステムの場合、その検出器が振動計やAEセンサであったりするが、基本的な原理は同じである。そして、そのために、これらのシステムは同じ問題点を抱えている。

#### 4. 実験<sup>1)2)3)4)</sup>

著者らが行った最初の実験では、対象とする機械に直径3mm以下の小径穴専用穴明け機を選んだ。選択の主な理由は次の3つである。

- (1) 小径穴加工は実際に加工頻度が高い。
- (2) 加工中に穴内部でドリルが折れて残ってしまうトラブルが多い。
- (3) 現状では小径穴明けの自動化は遅れてる。

次に、実験専用の加工機を製作し、電流センサ及びAEセンサを取り付けてドリルの折損予知を試みた。そして信号ごとの解析アルゴリズムは次のとおりである。

電流信号：ドリル主軸負荷電流検出→しきい値を越えたかどうか→越えたら警報、機械停止。

AE信号：AE信号の検出→特定の周波数成分の切り出し→その成分のパワースペクトルの計算→

パワースペクトルがしきい値を越えたかどうか→越えたら警報、機械停止。

以上のアルゴリズムで機械の運転状態を推定したところ、以下の知見を得た。

- (1) しきい値の設定が難しく、設定によって誤動作が多くなったり、折損を検出に失敗した。
- (2) このアルゴリズムの場合、センサの種類を増やすと信頼性が低下する。

そして、これらの原因としてそれぞれ考えられることは次のとおり。

- (1) 最適なしきい値は、ドリルの強度や加工物の組織の不均一性等で、再現性が乏しく、予め一定値として設定することは困難である。
- (2) 情報間のネットワークが無い為、システム全体の信頼性が個々の情報の信頼性(1.0以下)の積になってしまう。

以上の考察から、実用に耐えられる“センシング”システムを模索する為、小径穴加工について加工現象をさらに詳しく調べることにした。

## 5. 加工現象の分析

ここでは、まず小径穴加工の加工現象について、その加工中の現象を切削動力という観点から捉えることにした。ここで対象にした切削動力は縦横高さ方向の3力と主軸についての回転トルクである。そして、穴明け加工の経過と切削動力の変化を実験によって調べることにした。

## 6. 実験 <sup>5)6)7)8)</sup>

実験で利用した機器は実験Iで製作した小径穴専用穴明け機とキスラー社が製作した圧電型切削動力計、横河電機製のアナライジングレコーダ、日本電気製のPC9801VX、それとこのシステム専用に著者が開発したデータ処理ソフトウェア-DISPである。

この実験では、穴加工中のドリルの位置とその時ワークが受けている力ベクトルを収集することによってドリルの挙動を視覚化し遠隔で監視できるようにした。そして、この実験により得られた知見は次の通り。

ドリルが食いつきで振れ回った場合は、ワークを押さえつける力が極端に弱く、力ベクトルは主軸を中心軸として大きく回転する。(ドリルが喰い付きで失敗する突発的な事故)

ドリルの振れ回りが大きい加工の場合、その大きさはドリルの進行深さによって比較的周期的に変化する。(ドリルが穴の側面に接触し先端以外で大きな振れ起こす)

ドリルが深く進行した場合、折損直前に振れ回りカクトさくなり、同時にトルクが急増することが多い。(何らかの原因でドリルが固定され回転と振れが停止しドリルが急激にねじられる。)

これらの知見の原因についての考察は次の通り。

ドリルが最初に接触した部分が、偶然硬かったり、ワークとチゼル部分との接触角が鋭角気味になる表面形状をしていた場合、又はチゼル部分が極端に摩耗していた場合、等が考えられる。

ねじりもしくはスラスト荷重によって、ドリルが曲がり穴の側面にドリル中間部分が接触した。又は、切屑の排出時の切屑の接触。

切屑詰まり、食い込み等によって、ドリル先端もしくは中間部が停止、固定され、主軸の回転トルクによって急激なねじりが起こった。

以上、ドリル加工のトラブルはいずれも突発的、偶発的であることが解る。そして、このような現象について、“センシング”を行う場合、非常に高速な処理が必要になる。しかもこれに伴う対策も短時間でこななくてはならない。しかしながら、これ以外のトラブルについては時系列的に観察すると僅かながら兆候らしきものがある。そこで、次に処理アルゴリズムに時系列的な要素を加えてセンシングを試みることにした。

## 7. 時系列的な処理

いくつかの事例や実験から、情報の種類よりも情報の処理アルゴリズムが重要であることが徐々に明らかになってきた。なぜなら、ここで取り扱うどの情報も時間軸と振幅軸を持つ情報であるから、基本的には音声のような情報を処理する前段的なアルゴリズムと複数の情報を相関づけるネットワークを考えればよい。そこで、著者らばまず音声認識で利用している時間遅れ型のニューラルネットワークを導入する事にした。そして、この手法が有効であれば、その後、複数のセンサからの情報を相互に結び付ける更に高レベルの処理系を導入すればよいと考えた。そして既に、音声処理の分野ではニューラルネットワークの有効性が常識化しつつあった為、直ちに実験を行った。

## 8. 実験 <sup>9)10)11)</sup>

実験では加工中の音の情報を利用した。まず、加工中の音を騒音計で収集し、A/D変換してパソコンに取り込む。そして、信号を時系列に分割した後、フーリエ変換、周波数毎のパワースペクトルを計算し、2次元のデジタルフィルタを通した後、ソノグラフを作成し、そのパターンを時間遅れニューラルネットワークの入力パターンとした。そして、予めバックプロパゲーション(誤差逆伝搬法)により、ユニット間の重み付けを最適化したシステムで、未知の加工音から、その時の機械の運転状態を推定することにした。

その結果、以下の知見が得られた。

予めバックプロパゲーションで学習した状態と相関が強い状態については、良好な結果が得られた。

予め学習した状態と運転条件が大きく異なる場合(例えばドリル径が異なる場合やワーク材質が異なる場合等)については、推定間違いや不明確な推定が多くなった。

結果の推定に時間がかかりすぎる。

予め学習する相関関係が間違っていると、その後の推定結果が間違ってしまう。

そして、これらの知見についての考察はそれぞれ次の通り。

結果はこの推定アルゴリズムが音声認識で高い評価を受けていることから理解できる。このような問題に関してニューラルネットワークやファジィ推定が良い結果をおさめるのは、システム同定に使用するパラメータ数が他の同定方法より極端に多いからだと考えられる。従って、他の同定方法でもパラメータ数を増やせば同様な結果が得られると予想できる。

運転状態が大きく異なる場合は、未学習の状態を推定する事と同じであるから、推定がうまくいかないのは当然である。このことは状態をより多く学習させることによってある程度回避できると考えられる。しかしながら、実際のシステムにおいてすべての状態を予測し、予め学習させておくことは現実的には不可能であるから、将来的には自己学習するようなシステムを構築しなければ実用にならない。

ニューラルネットワークを使用したシステムの問題点の一つは処理時間がかかりすぎることである。その原因は先に述べたようにニューラルネットワークが多くのパラメータを使用しているためである。

人間でも同様であるが、全くバックグラウンドが無い状態で新たな学習を間違っで行えば、その人間は間違っした推定を行うようなる。従って、バックプロパゲーションでは良い教師があつて始めて良い推定ができるのである。

以上、ソノグラフを入力パターンとした時間遅れニューラルネットワークによる推定アルゴリズムは、全体的には従来の“しきい値”による推定方法よりも、信頼性、発展性の点で優れていることが解つた。そして、このナルゴリズムを実行する為のハードウェアの充実が不可欠であることも解つた。

## 9. センシングの将来

“センシング”の研究を行った結果、センシングではその情報処理アルゴリズムが極めて重要であることが解つた。実際に収集可能な情報は得たい情報との相関が、さく、信頼性を高める為には、推定アルゴリズムを工夫して様々な情報から総合的に相関の大きな情報を作り出す必要がある。従つて、将来必要な推定アルゴリズムは、複数の情報を利用して、信頼性を低下させずに統合的に結果を導くタイプのものでなければならない。更に、学習アルゴリズムも工夫しなくてはならない。実際の現場は様々な環境、条件で機械が運転されている。従つて、このようなセンシングのシステムは、現場毎に適應するような柔軟なタイプのものでなくてはならない。ある意味では自己学習機能が必要だと考えられる。ここでの自己学習とは、情報処理ベースでの自己組織化である。将来、センシングシステムは、置かれた環境で自己組織化し、必要な推定アルゴリズム、データベース、他との通信、等をその現場に適應した形で自己構築していくタイプのものであると予想できる。

## 10. 応用製品例

次に本研究によって生み出された技術を利用した製品を紹介する。

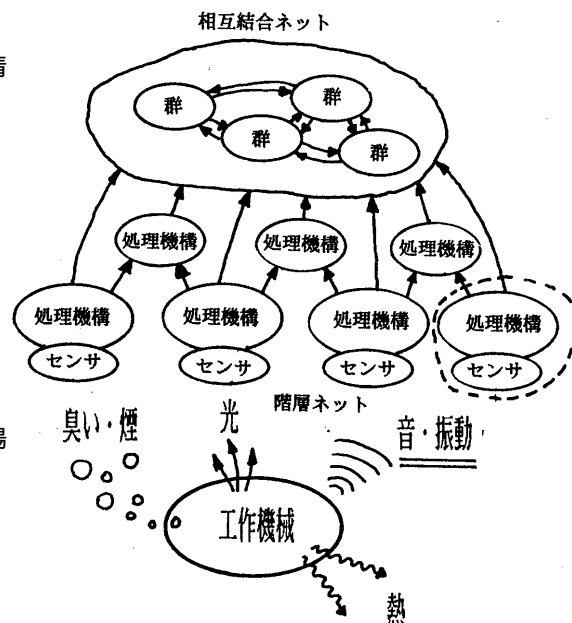


図1 将来のセンシングシステム

### 10.1 小径穴加工専用機

この試作機は、直径1mm前後の小径穴加工を自動で行う装置で、加工中のAE、振動、スラスト力を常時監視し、これらの情報から工具の折損を予測する機能が付加されている自動穴あけ機械である。尚、この開発は財団法人茨城県中小企業振興公社の助成金を(株)三友製作所が受け、平成元年度技術パイオニア養成事業のORT研修にて実施したものである。

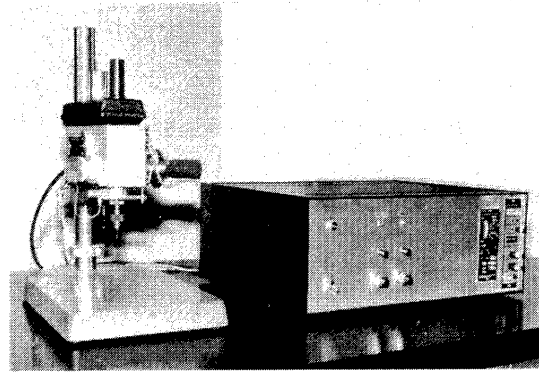


図2 小径穴加工専用機

### 10.2 自動ボール盤

この製品は、ホッパーにより供給された軸物部品の側面に自動で穴あけをする装置で、検出器として振動センサを使用したものである。尚、この製品開発は、平成元年度技術パイオニア養成事業のORT研修にて(株)TMPと実施したものである。

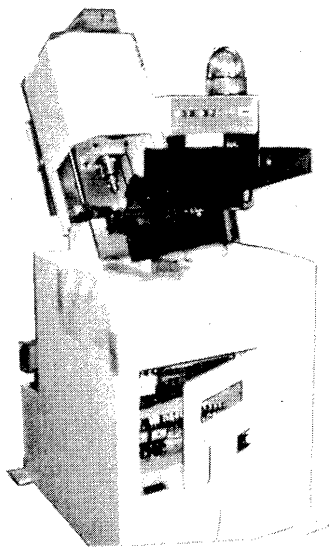


図3 自動ボール盤



図4 穴あけロボット

### 10.3 穴あけロボット

この製品は、主として板物を対象とし、面倒なケガキ作業無しで穴あけを自動で行う装置である。この製品では、比較的優れたマンマシンインタフェースの採用によって、穴あけ位置データの入力が簡単で、特に初心者向けに設計されている。これによって、人手不足や熟練者不足で悩んでいる中小企業への普及をねらった製品である。この製品開発は、財団法人茨城県中小企業振興公社の助成金を(株)TMPが受け、TMP、茨城大学、県の産学官共同研究にて実施した。

#### 10.4 微小粒魂強度試験機

この試験機はコンデンサ(電子部品)内部に誘電体として使用するタンタルを上下に押しつぶして、その機械的強度を試験するもので、試験対象となるタンタルの形状が約0.3mmの顆粒状をしているため、押しつぶし量、加圧速度、反力等を微妙に制御、測定する仕組みになっている。

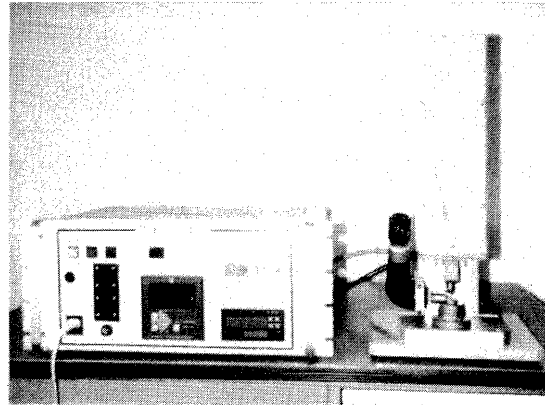


図5 微小粒魂強度試験機

#### 11. 結 言

本研究により得られた知見の中で最も重要なものは“人工知能”の必要性である。人工知能とえば、少し前まではSFの世界の存在で研究対象とするには大きすぎるテーマの一つであった。しかし、現在、世の中を見回してみると、この研究の必要性は極めて高く、応用範囲は限りないと言っても過言ではない。即ち、これからの技術は“システムに人間のような柔軟な知能を与える”ということが重要になる。これは、人の生活に余裕を生み出すという点で極めて重要な技術で、これから将来、永遠に様々な分野で研究しなくてはならないテーマであると感じた。

最後に、本研究をご支援、ご理解して頂いた様々な方々に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 小石川, 菊池: 小径ドリルの折損検出について(監視システムの試作), 精密工学会秋季講論集, 29/300 (1988)
- 2) 小石川: 小径ドリルによる加工情報センシング技術に関する研究第1報, 茨城県工業技術センター研究報告第16号, 31/41 (1988)
- 3) 小石川: 小径ドリルの折損検出法, 茨城県工業技術センター研究報告第16号, 42/48 (1988)
- 4) 小石川, 菊池: 小径ドリルの折損検出について(モータ負荷電流と切削抵抗の変化), 精密工学会春季講論集, 803/804 (1989)
- 5) 小石川, 菊池: 切削抵抗の動的成分による小径ドリルの性能評価, 精密工学会秋季講論集, 719/720 (1989)
- 6) 小石川, 菊池: 小径ドリルによる加工情報センシング技術に関する研究第2報(モータ負荷電流と切削抵抗の変化), 茨城県工業技術センター研究報告第17号, 20/24 (1989)
- 7) 小石川, 菊池: 小径穴における塑性流動層の生成機構に関する研究, 精密工学会山梨地方講演会講論集, 47/48 (1990)
- 8) 小石川, 菊池, 小松崎: 各種センサを利用した加工情報センシング技術, 茨城県工業技術センタ

ー研究報告第18号,5/9 (1990)

9) 菊池,小石川:時間遅れ神経回路網の工作機械状態監視システムへの応用,計測自動制御学会講演予稿集,609/610 (1991)

10) 菊池,小石川:加工情報センシング技術(機械加工におけるセンサ融合化技術),茨城県工業技術センター研究報告第19号, 17/21 (1991)

11) 菊池,小石川:加工データ計測処理システムの製作(解析ソフトウェアの製作),茨城県工業技術センター-研究報告第 19 号, 108/112(1991)