

メカトロニクスにおけるセンサフュージョン利用技術の研究

石川友彦* 富長 博* 平野 聡**

1. まえがき

我々人間は、五感と呼ばれる感覚器（センサ）を用いて外界からの情報を得ている。これらセンサはお互いに独立し、機能的に相違っているにも関わらず、我々が意図する情報を得ることができる。また、各々のセンサからの情報は、あいまいさや矛盾、あるいは一部が欠落した状態で得られるケースが数多くあるが、やはり結果的には、我々が必要とする情報を得ることができる。これは、それぞれのセンサ情報をお互いに補間したり統合したり、あるいは持ち合わせている知識と照合することにより、外界の変化や事物の状態を正確に認識・判断することができるためであると言われている。

このような複数のセンサからのデータを統合的に処理することにより、単一のセンサからは得られないような新たな認識機能を実現しようとするものがセンサフュージョンである。

従来のセンシング技術は、主に単一の情報を得て、その機能を実現しようとするための技術として位置づけされており、センシングの結果は独立した演算機能に伝えられ処理が行われるというのが一般的である。このため、単一のセンサからの信号に対しては十分な処理手法を与えてくれる従来のセンシング技術も、多種類のセンサからの情報に対する処理技術としては不十分な点が多いのが現状である。

このため我々は、単一のセンサとしての利用法を見直し、複合的なセンシングを行うための基礎技術を確立するために、センサ自身の見直しを行った。また、得られたセンサ情報の処理を統合的に行う情報処理技術についてもシステムを構築したので報告する。

2. 複合的センシング技術

センシングを行う非接触式センサとして、構造や信号処理回路が比較的簡単であり粉塵等の影響をあまり受けない点に特徴がある波動式センサの代表的なセンサである超音波センサを選んだ。

超音波センサに関する研究は数多く行われており、配管の欠陥検出や感应式交通信号機など数多くのシステムが実用化されている。また超音波センサを用いた計測法は、その計測原理により大きく分類すると、パルス反射法、ドプラー法、共振法、それに透過法がある。透過型超音波計測法には、超音波が被測定物を透過する際の透過時間を測定する流速計測法や材質判定法と、被測定物表面の透過波（強度）分布を観測する欠陥検出法や超音波顕微鏡などがある。

今回計測を行った方式は、被測定物を透過する際の信号強度を一つの評価値として使い、信号強度と外周条件などの各種パラメータから、被測定物の厚みや状態を評価しようとするものである。

2.1 測定原理

本方式による測定原理を図1に示す。信号発生装置から発せられた信号（正弦波信号）は、送信側素子に送

られる。送信側素子に送られた信号は空気中を伝播し、受信側素子に入射する。超音波素子間に何等障害物が無ければ、受信される超音波信号は図2(a)のような信号波形になる。しかし超音波素子間に障害物（被測定物）が存在すれば、その信号波形は図2(b)のような波形となる。この観測された超音波信号の振幅変化と各種パラメータにより超音波素子間の被測定物の厚みや変位を測ることができる。また、均一性の高い被測定物の場合、逆に環境パラメータの変化を得ることができ、生産システムの異常検出用センサとして活用できる可能性も秘めている。

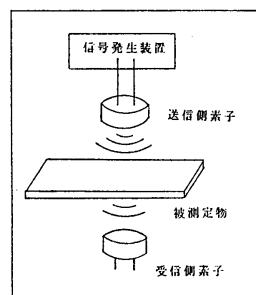
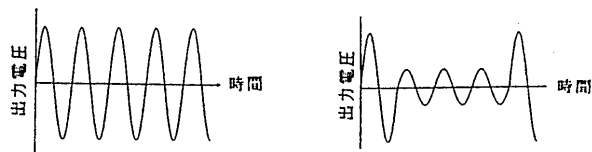


図1 超音波透過式計測システムの測定原理



(a) 障害物なし (b) 障害物あり

図2 出力信号波形の例

2.2 超音波センサの基本構造

今回用いた空中伝播型超音波素子の基本構造を図3に示す。伝播型の場合、超音波素子は送信側と受信側に分かれたタイプのものである。

送信側素子に入力された電圧信号により圧電素子（パイモルフ振動板）はたわみを生じる。この圧電素子に金属共振子を取り付けられており、圧電素子のたわみと共振した超音波信号が素子上方へと伝播媒質を通して発信される。

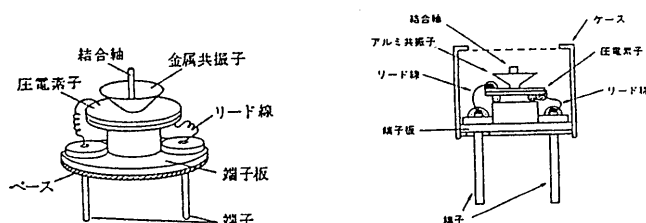


図3 超音波センサの基本構造

受信側素子の構造は送信側素子の構造とほぼ同構造であり、基本的には送信側素子の信号伝達と同じ原理に基づき、逆方向への信号伝達が行われる。

2.3 システム構成

2.1 節にて述べた原理に基づき透過型超音波計測システムを構築した。このシステム構成を図4に示す。信号発生装置（周波数発生器）から発せられた正弦波信号は送信側素子へ送られる。空气中を伝播した信号は、受信側素子にて受信される。この際、信号は減衰しているので可変型アンプにて増幅した後、A/D変換器にてアナログ信号からデジタル信号に変換しパソコンに取り込む。パソコンに取り込まれた信号は、各種処理を行った後、被測定物における特徴抽出を行う。

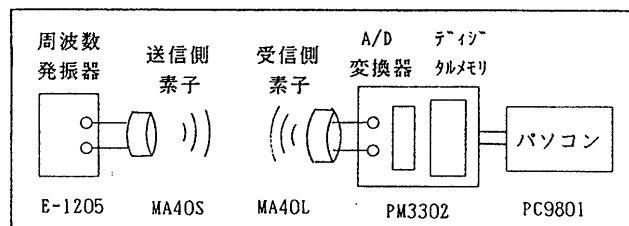


図4 透過型超音波計測システムの構成図

2.4 超音波素子の静特性

温度変化に対する超音波素子の静特性の測定結果を表1、表2に示す。ここでは、素子自身に温度上昇方向と温度下降方向における偏差（ヒステリシス）が存在するか否か検討するために、両方向について実験を行った。実験に用いた素子は、村田製作所製 MA40S（送信用素子）と VA40L（受信用素子）で、それぞれ各1個で1組とし、素子間のばらつきについても検討した。温度上昇方向と温度下降方向におけるヒステリシスを明確にするために、プロットしたものを図5、図6に示す。

表1 超音波の静特性（温度上昇方向）

(単位: mV)				
温度℃	センサA	センサB	センサC	センサD
-9.30	137.50	214.50	159.00	172.50
-6.30	151.50	226.50	169.00	173.00
-3.60	163.00	227.50	187.00	173.00
-0.40	182.50	231.00	209.00	177.50
2.50	205.50	231.00	236.00	199.00
5.50	225.00	229.00	266.00	231.00
8.20	252.00	237.00	301.50	271.00
11.10	274.50	244.50	338.50	314.00
14.00	298.50	252.50	388.00	389.00
16.60	309.00	254.00	446.00	453.00
19.60	296.00	257.00	476.00	519.00
22.90	285.50	270.00	496.00	528.00
25.90	271.50	281.00	496.00	547.00
29.00	272.00	294.50	478.00	530.00
31.90	276.00	317.50	441.00	543.00
34.80	299.50	333.00	400.00	524.00
37.70	329.00	330.00	378.00	514.00
40.70	377.50	305.00	357.00	493.00
43.80	431.00	285.50	339.50	452.00

表2 超音波の静特性（温度下降方向）

(単位: mV)				
温度℃	センサA	センサB	センサC	センサD
43.90	435.00	283.00	340.50	439.00
41.10	401.00	300.00	361.00	488.00
38.10	337.00	326.00	384.00	514.00
35.20	309.00	334.50	415.00	527.00
32.40	280.50	323.50	453.00	546.00
29.30	277.00	315.00	493.00	540.00
26.30	277.00	302.50	509.00	564.00
23.30	298.50	288.50	518.00	554.00
20.20	314.50	271.00	497.00	556.00
16.90	329.50	255.50	455.00	490.00
14.00	317.00	250.50	410.00	437.00
11.00	290.00	243.50	339.00	345.00
8.40	261.50	239.50	302.00	298.50
5.50	233.50	233.50	265.00	247.00
2.80	213.00	232.50	236.50	216.00
-0.20	193.00	232.50	210.00	185.00
-3.60	173.00	229.00	187.00	175.00
-6.40	155.50	226.00	170.00	173.00
-9.40	140.00	213.00	156.00	170.00

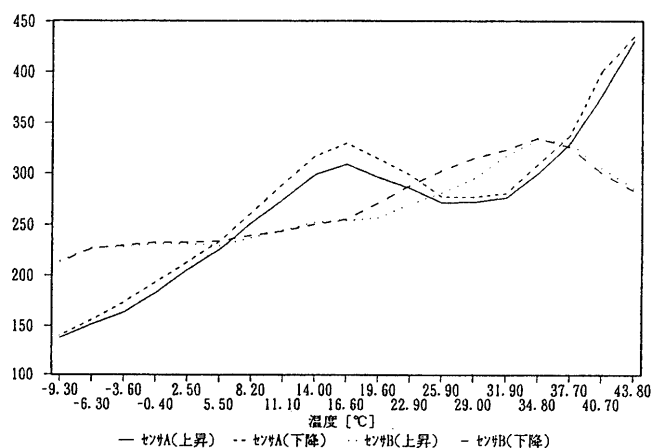


図5 超音波素子の静特性（1）
（温度上昇方向と温度下降方向）

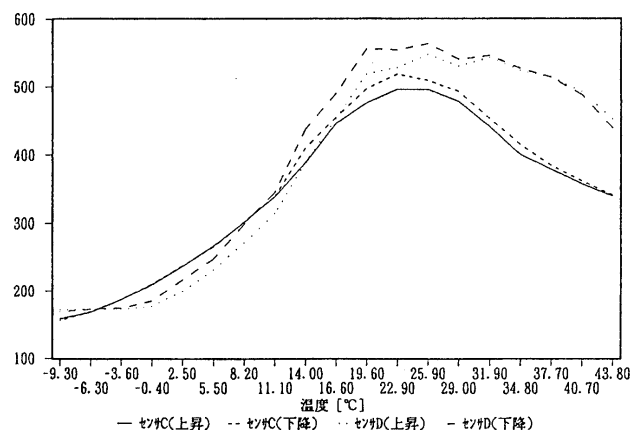


図6 超音波素子の静特性（2）
（温度上昇方向と温度下降方向）

この図からもわかるように各素子間のばらつきはあるものの静特性については、温度上昇方向と温度下降方向とでは偏差（ヒステリシス）は生じないことがわかるが、超音波素子個々による静特性におけるばらつきが存在することがわかる。

振幅の頂点を与える温度も個々の素子により異なり、一定とはならないが、超音波素子の静特性は素子ごとに固有であることがわかる。これは実用面においてはキャリブレーションによる温度補正を素子ごとに個別に行わねばならないことを示すものである。つまり温度補正は実用段階においては極めて重要なパラメータとなるものであることがわかる。

2.5 まとめ

重要なパラメータの一つである温度に関する問題は、実用段階では画一的に処理を行うことができず個々の素子ごとに対応せざるを得ないことがわかる。この問題は温度におけるフィードバックをリアルタイムで行うとともに、学習をさせることにより十分対処できると思われる。

また、測定を非静止状態にて連続的に行う場合、複数のパラメータに対する単なる補正だけでは対応することが困難であり、時間軸における変化を考慮する必要がある。この時間 t による変化に伴い、各々のパラメータは、単なる定数として定義されるわけではなく、時間の関数として表現されることになる。つまり、これら各種パラメータと透過信号との間に時間軸をも含めた定性的・定量的関係を持たせる必要があることがわかる。

これらのことより、被測定物の厚みや状態の計測に関しては、解決しなければならない問題が数多く存在するが、被測定物の種類により振幅電圧のレベル・振幅量に特徴を持つことから、相対計測という範疇において十分実用レベルのシステムとして開発できるものと思われる。

3. 統合処理システムの構築

3.1 統合処理の意義

研究室や実際の製造ライン上においてロボット（自動機）が周囲の状況を判断する際に音声だけ映像だけといったように断片的な情報のみからだけであると対応しきれない場面が生ずる。

例えば、切削中に加工対象物が過熱して発煙したような異常事態が生じた場合、異常な振動や音だけの単一種類の情報ではロボットは何か異常が起きたぐらいにしか判断できない。

そこで発煙しているという状況の映像とその音や振動などの多種類の情報をまとめて取り込んで、一括して処理（以下『統合処理』）したものを基にして判断することでロボットはそこではじめて加工対象物から発煙したと判断できる。

もちろん高いレベルの判断はニューロやファジィなどを応用したエキスパート情報処理部で行うことになるが、その判断の基となる情報が振動のみといったような単一種類のものだけではロボットが周囲の状況を的確に判断できないおそれがある。

すなわち高いレベルの判断機能と複数のセンサからの色々な種類の情報をまとめて取り込んで同一時間軸

に沿って互いの情報が対応するように並行的に処理する機能がセンサフュージョンには必要になってくる。

3.2 統合処理の概要

このシステムにおいては、複合的センシングによって例えば旋盤加工工程の映像とその周囲の音、加えて加工刃のびびり振動や加工対象物から生じる AE 信号など多種類のセンシング情報をコンピュータに同時に取り込んで一括して統合処理を行おうとしている。

最近では、このような映像や音声などの違った種類の情報を一括してコンピュータ上で統合処理する技術をマルチメディア技術と呼んでいる。

現状では、コンピュータの処理能力の問題があり、リアルタイムで多種の情報を一括して統合処理することは技術的にかなり難しい。

しかし、近い将来コンピュータの処理能力が上昇すれば、むしろマルチメディア技術を応用した情報処理の方法が一般的な姿になるものと予想される。

本研究では現状のコンピュータ（パソコン）の処理能力を最大限に活かして複合的にセンシングした複数種類の情報をまとめて取り込んで一括して統合処理（ここでは、同時に画面に表示するところまで）の可能性を探ることを行った。

3.3 統合処理システムの実例

まず今回は可能性の検証ということであるので、対象とする情報を映像情報と振動の2つに絞った。

次に図7のように実際の旋盤加工の場面において圧電マイクでセンシングした加工刃の振動と加工場面の映像をまとめてコンピュータに取り込むことを行った。（厳密には同時に一括してという訳にはいかなかった）

その後取り込んだ2種類の情報を再生処理をそれぞれについて行い、結果を図8のようにモニター画面に同時に表示させた。

本来ならば一括して統合処理ということであるので2つの情報の処理をリアルタイムに並行して行わなければならないのだが、現状でのコンピュータの能力では図8のように疑似的に統合処理を行って結果をモニター画面に表示できる程度にとどまっている。

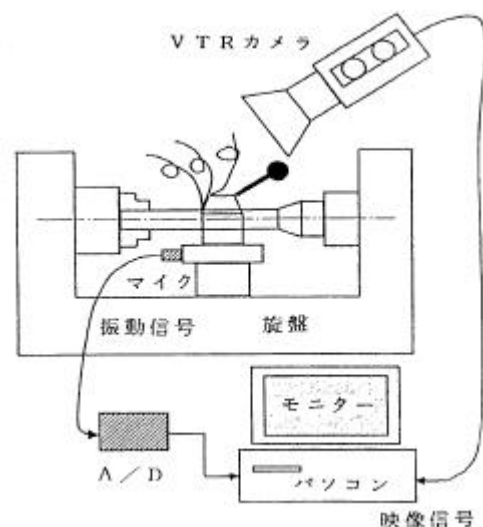


図7 システム構成例『旋盤加工シーン』

3.4 今後の可能性について

今回は当システムに用いたコンピュータの処理能力の限界もあって、当初目的としていたセンサフュージョンにおける複合センサからの色々な種類の情報の統合処理機能を100%満足には実現できず、疑似的にモニタ-画面に表示できた程度であった。

しかし疑似的ではあれ、ある程度のレベルまで実現できたことの意義は大きい。

なぜならコンピュータの処理能力さえ向上すればリアルタイムでの統合処理が実現できる可能性が大きいことを以上の結果は示している。

今後はコンピュータにかかる処理の負担を低減するなどの工夫をしてリアルタイムでの統合処理を実現を図っていく予定である。

参考文献

- 1) M.Tatsumi, Y.Ito, M.Masuko:Ultrasonic in-process measurement of silicon wafer thickness, PRECISION ENGINEERING (1982)
- 2) L.C.Lynnworth:Engineering Aspects of Ultrasonic Process Control-Flow, Temperature and Liquid Level Applications, Transactions of the ASME Vol.108 (1986)
- 3) J.Pope:The Two-Microphone Sound Intensity Probe, Transactions of the ASME Vol.110 (1988)
- 4) 実吉, 菊池, 能本監修:超音波技術便覧, 日刊工業新聞社 (1960)
- 5) 島川正憲:超音波工学一理論と実際一, 工業調査会 (1975)
- 6) 日本学術振興会:超音波探傷法, 丸善 (1956)

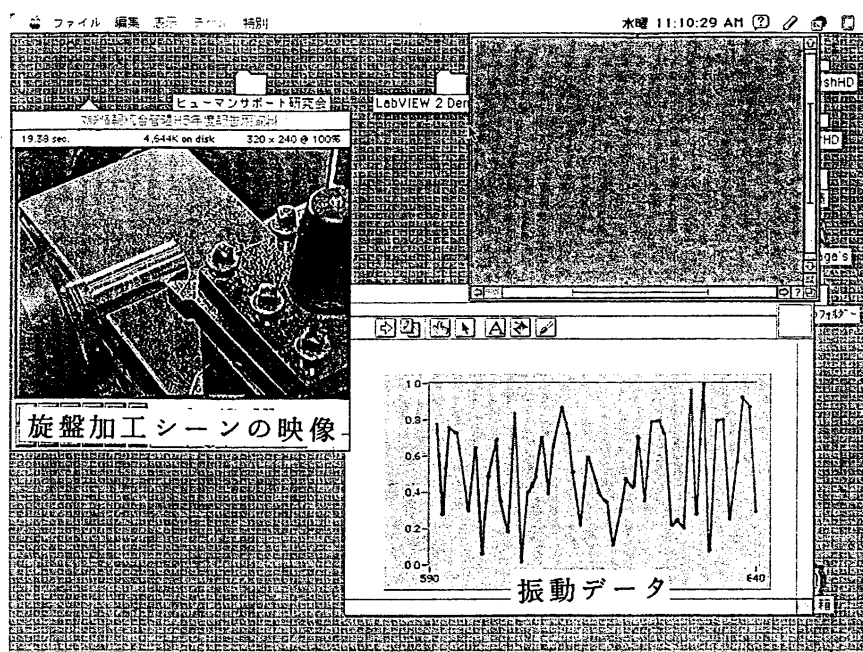


図8 統合処理の結果のモニタ-画面表示例