

## 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）

機械金属部 小石川 勝男

### 1. はじめに

近年、機械加工の分野は、高精度、高能率など経済性の高い工作機械を要求されるようになってきた。これらの機械を利用する場合には長時間連続加工を無人で行う傾向が多くなっている。このシステム化された機械でも、実際に切削機能を担うものは工具刃先である。汎用機械などでは作業員が切前状態を常時監視しながら加工するので、突発的な状況が起きても直ちに対応して被害を極力少なくすることができる。しかし、無人運転かそれに近い状態での加工状況が急変した場合、それに対して対応が遅れるために大きな被害が生ずることも考えられる。また、切前工具を監視する方法とし従来から行われている定期監視や定期交換などでは、切削工具が突発的に損傷や破損が発生した場合、迅速に対応がとれないために工作物や機械を損傷して大きな被害を生じる。このような状況を防止するために、切削工具の状態を常時監視し、工具損傷のインプロセス計測の確立が必要であると考えられる。

穴加工専用機やNC、MC 機等でのドリル加工において、ドリル折損は後加工に大きな影響を及ぼすため、ドリル加工における損傷、折損検出に関して数多くの研究がなされている。検出方法にはITV を用いての摩耗量を測定する方法<sup>1)</sup>、切削抵抗から摩耗、折損を検出する方法<sup>2~4)</sup> AE 信号による折損検出する方法<sup>5,6)</sup> モータの電力、電流の検出方法<sup>7)</sup> 等がある。特に、直径2mm 以下の小径ドリル加工において、これらの検出を行った研究は非常に少ない。

以上の理由から本研究では、小径ドリルそのものが折損しやすいために加工状況を常時、インプロセス検出することによって、小径ドリルの折損検出及び折損防止を図るために、AE 信号とモータ電流を組み合わせた装置を試作し、加工情報の検討を行った。

### 2. 実験装置及び実験方法

#### 2.1 AE センサ装置

実験に使用したAE センサ装置の外観写真を写真1に、そのシステム構成を図1 に示す。この装置は、AE源からのAE（アコースティック・エミッション）固体材料が望性変形、割れの発生や成長、破壊等に伴い、貯えられたエネルギーが解放されて弾性波が放出される現象をいう。その周波数帯域は可聴周波数から数MHz におよぶ）信号をセンサ（AE変換子）によって

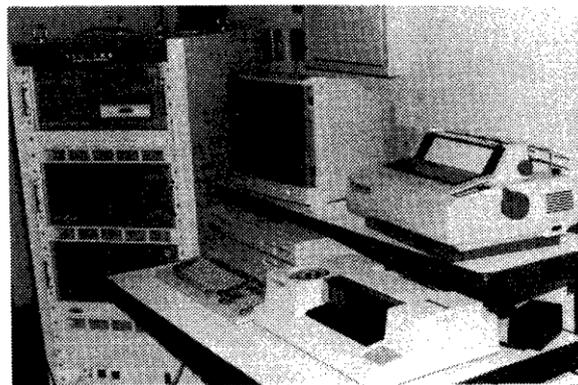
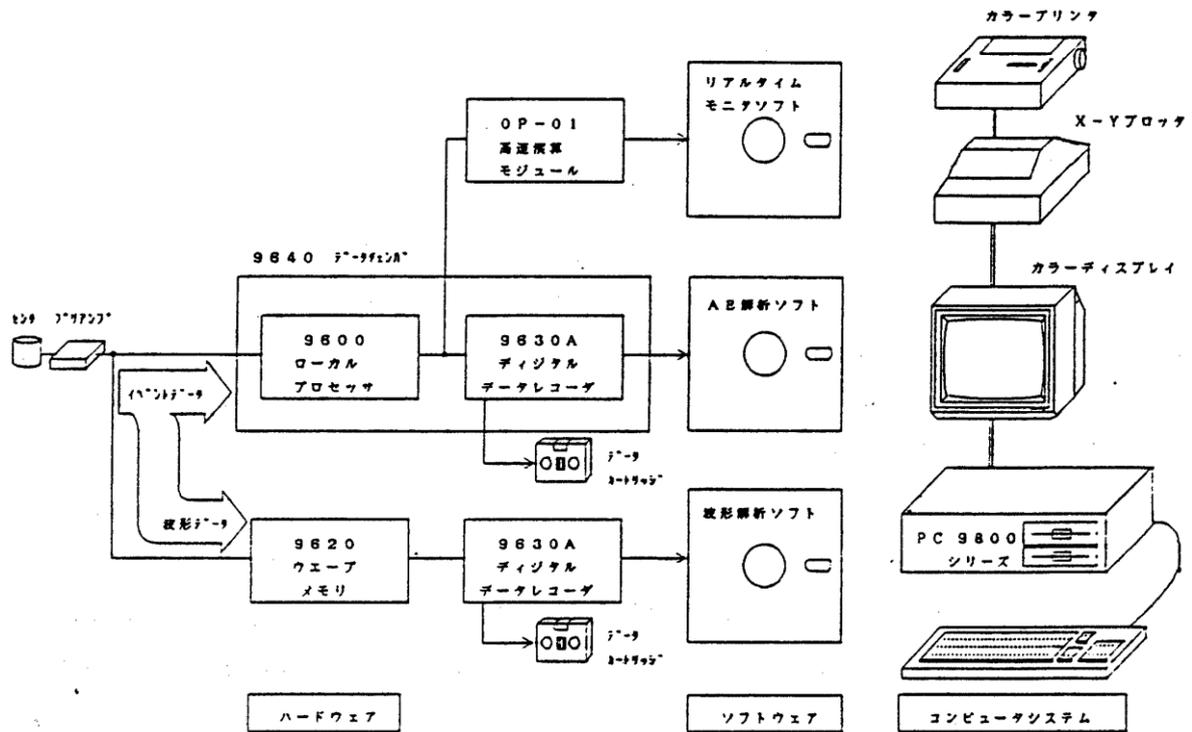


写真1 AE センサ装置の外観写真



電気信号に変えて検出される。まず、AE 信号をリアルタイムモニタで加工状況を観察する場合、9600ローカルプロッサ（イベントデータ収集装置からOP-01 高速演算モジュールによってCRT に出力することができる。AE解析を行う場合には、9640 データチェンバ(イベントデータ収集・記録装置によって、AE解析結果をCRT及びプロッタに出力する。AE信号の周波数波形解析解析を行う場合には、9620 ウェーブメモリ(波形記憶装置)をへて9630A デジタルレコーダを介して磁気テープに一度記憶して、読み出した上で解析してCRT及びプロッタに出力することができる。



写真2 三次元テーブル装置の外観写真

## 2.2 三次元テーブル装置

三次元テーブル装置(穴あけ加工機)を写真2 に、装置の略図を図2 に示す。

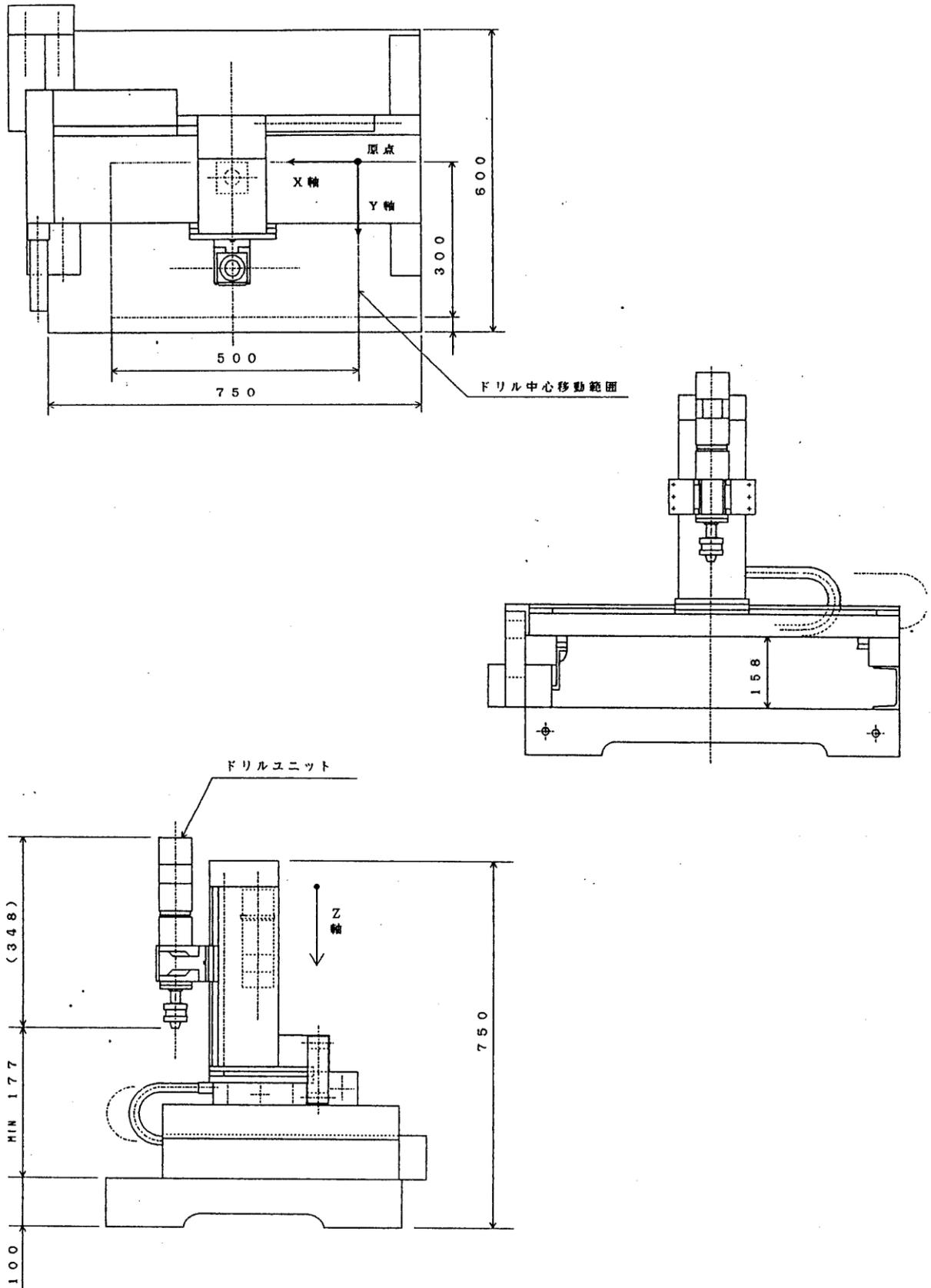


図2 三次元テーブル装置の略図

また、図3 にドリルユニット構造図を示す。表1 (a), (b)にこの装置のX, Y, Z 軸およびドリルユニットの機能を示す。なお、Z 軸の駆動は連続送り機構になっている。

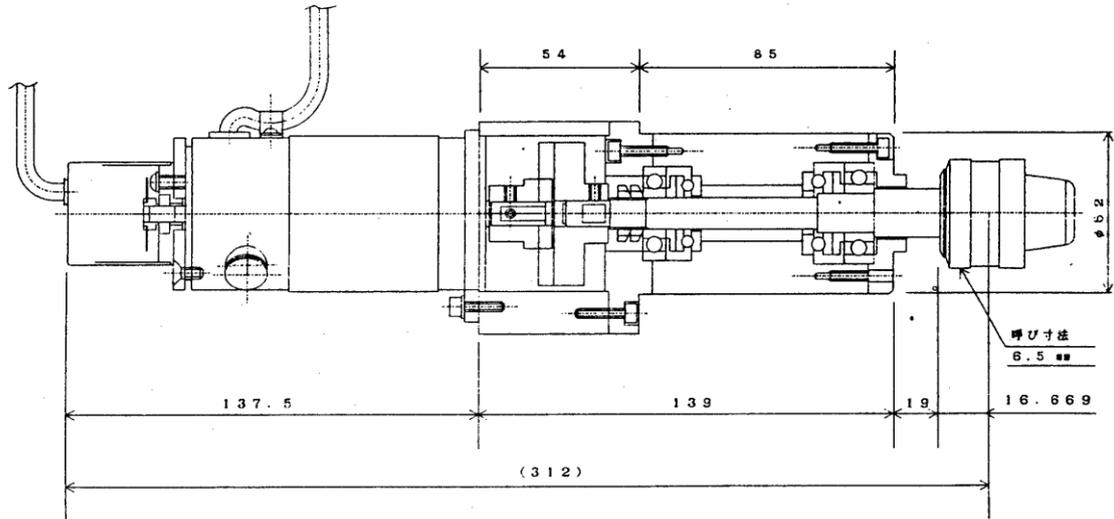


図3 ドリルユニット

表1 X,Y,Z軸およびドリルユニットの機能

項目	軸	X	Y	Z
移動距離(mm)		500	300	250
D C モーター		山洋 R506B-012EL6		
ロータリエンコーダ		200パルス/R		
減速機		ハーモニックドライブ CS14-50-2A-GR		
送り用ボールねじ		φ15, サード10		
定格移動速度(mm)		10		
1パルス当り移動距離(mm)		0.001		

(a)

ドリルユニット	
D C モーター	山洋R511-012EL6
回転速度(ppm)	3000
ドリルチャック	JIS 6.5 mm

(b)

### 2.3 実験方法

ドリル等の回転工具の場合、AE センサを取付ける場合、直接工具に取付けることは不可能であることから、AE 信号の伝達特性を考慮するとAE センサはAE 発生源にできるだけ近い位置に取付けることが要求させるが、被前付に取付けるにしても被前付がかわるごとに取付け直さなければならないので作業上あまり好ましいことではない。そこで本実験ではAE センサの取付け位置として、ドリルユニットの側面に取付けて検討した。また、AE 信号を検出するのに影響しないようにドリルユニットのモータ軸とドリルチャックとの連結部に隙間がないように考慮した。AE センサは共振周波数が1MHZ と500KHZ のものを用いた。AE センサによって検出したAE 信号をアンプで20dB 増幅した。また、ウエーブメモリにサンプリング間隔0.2μs で記憶した。

次に、モータ電流による検出方法によって小径ドリルの折損検出であるが、従来の方法では困難であったが、著者らが開発した検出方法を組み込んだ回路を用いて、小径ドリルの折損検出を行った。一般に、ドリルは小径になるほど①直径に比べて過大な送り量が原因となるドリルの座屈現象の発生、②切り屑のつまりによるトルクの増大、③切れ刃の摩耗にスラストカの増大、④被制材の不均一性による切削力の変化などの諸要因が複雑に起り加工中ドリルの折損が生じやすくなる。モータ電流では、上述の①～④等の現象、すなわちスラストとトルクを合計したものを検出することになる。また、必要に応じて加工中のスラストカを切削動力計によって測定した。

実験に使用した機器及び加工条件は次のとおりである。

AE センサ装置

AE センサ：PZT (ジルコン酸チタン酸鎖)

三次元テーブル装置

切削動力計(ひずみゲージ使用のもの,測定範囲0～500Kgf)

ドリル：1.0, 1.5, 2.0mm(材質SKH9)

被削材：SS41(H<sub>B</sub>128), S45C(H<sub>B</sub>207), SUS304(H<sub>B</sub>170), A1050P(H<sub>B</sub>(10/500)24)

ドリル周速度：9～18m/min

ドリル送り速度：35,75mm/min

ドリル切込み深さ：5mm

切削液:乾式

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 ドリル折損時のAE 検出波形

ドリル折損時のAE 検出波形は、何KHZ に特徴ある波形が存在しているかを確認するために、広帯域のAE センサ(周波数特性100KHZ～1MHZ)を使用して、ドリルをドリルチャックに取付け、故意にドリルを折って、その時のAE 検出波形を求めた。その結果を図4 に検出波形、図4 に周波数解析した図を示す。図5 からわかるように、240KHZ 以下にパワーの大きな成分があり、480KHZ 付近にわずかにパワー変化がみられる。

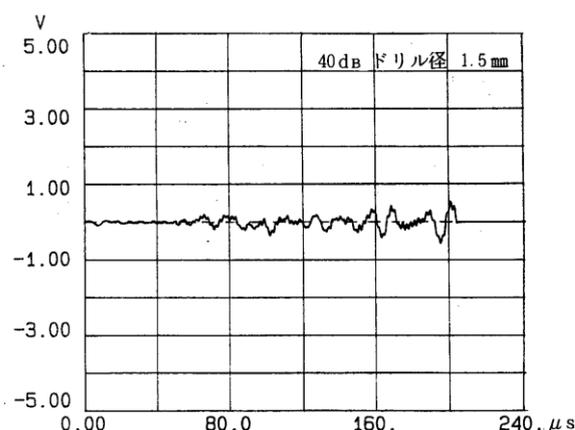
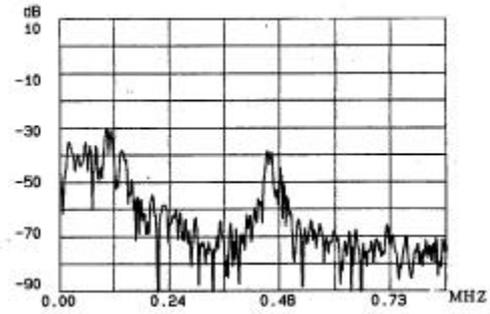
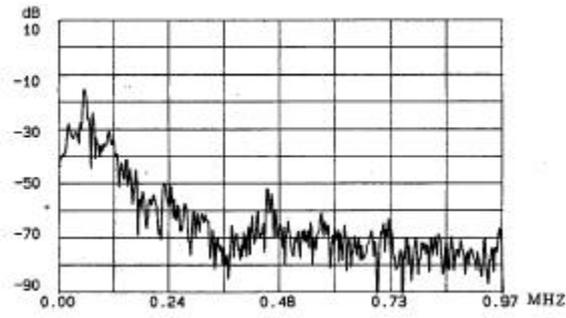
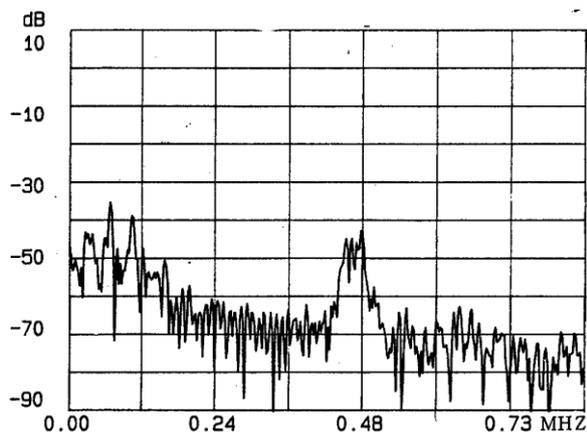


図4 検出波

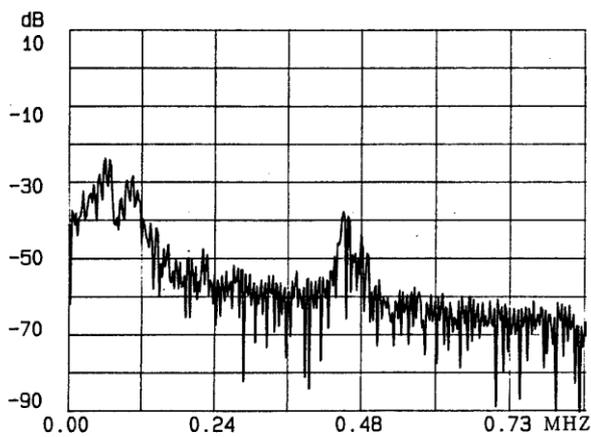
そこで、共振周波数500KHZ のAE センサで測定して結果図6 に示すように図5 と同様に



480KHZ 付近にパワーの大きな成分があることを示している。さらに、ドリル径が1.0, 2.0 に変えて折ったときの周波数解析結果を図7 に示す。



(a)  $\phi$  1.0の折損



(b)  $\phi$  2.0の折損

図7 折った場合の周波数解析

ドリル直径 1.5mm の結果と同時に480 KHZ 付近においてパワーが大きくなることがわかった。また、図 8 にドリルを折った時の出力電圧を指す。この図をみるとドリル直径と折損時出力電圧この間の比例関係がみられる。

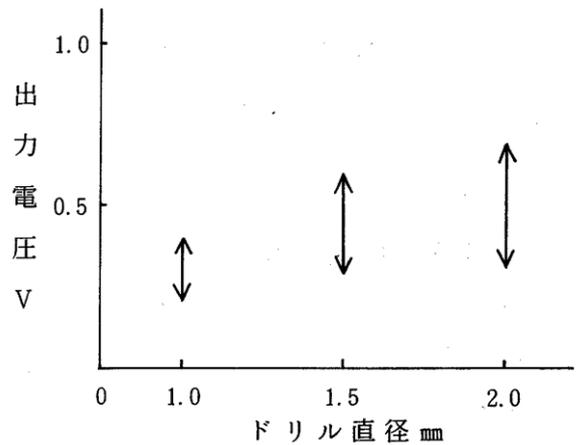


図8 折った時の出力電圧

### 3.2 AE 信号とノイズ域の分布

穴あけ加工時にAE信号とノイズの分布を調べた結果を図9に示す。図からわかるようにAE信号とノイズの分布位置が明らかに異なっていることがわかる。

### 3.3 穴あけ加工時の周波数解析

図10(a), (b), (c)は、穴あけ加工時のドリル折損の周波数解析を示す。これらの図をみると、被前付を変えた場合でも図5, 6に示したものの同様に480KHz付近に特徴的なパワー変化を示した。

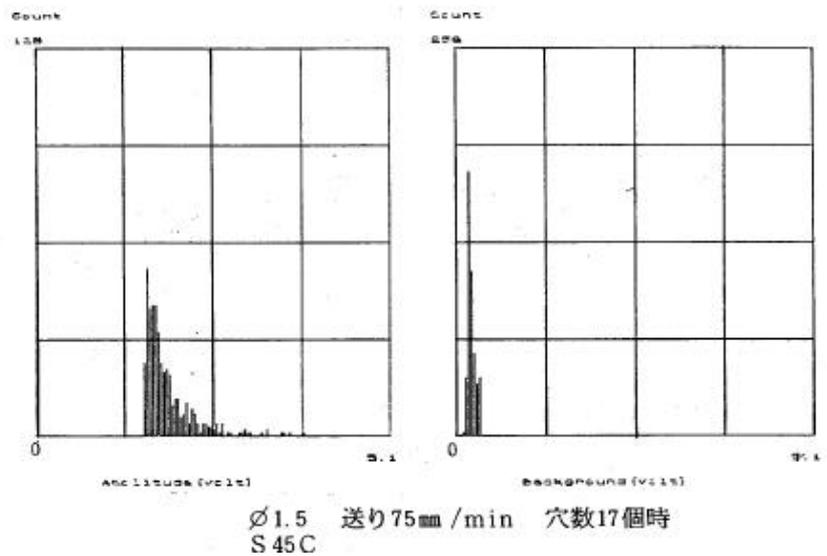
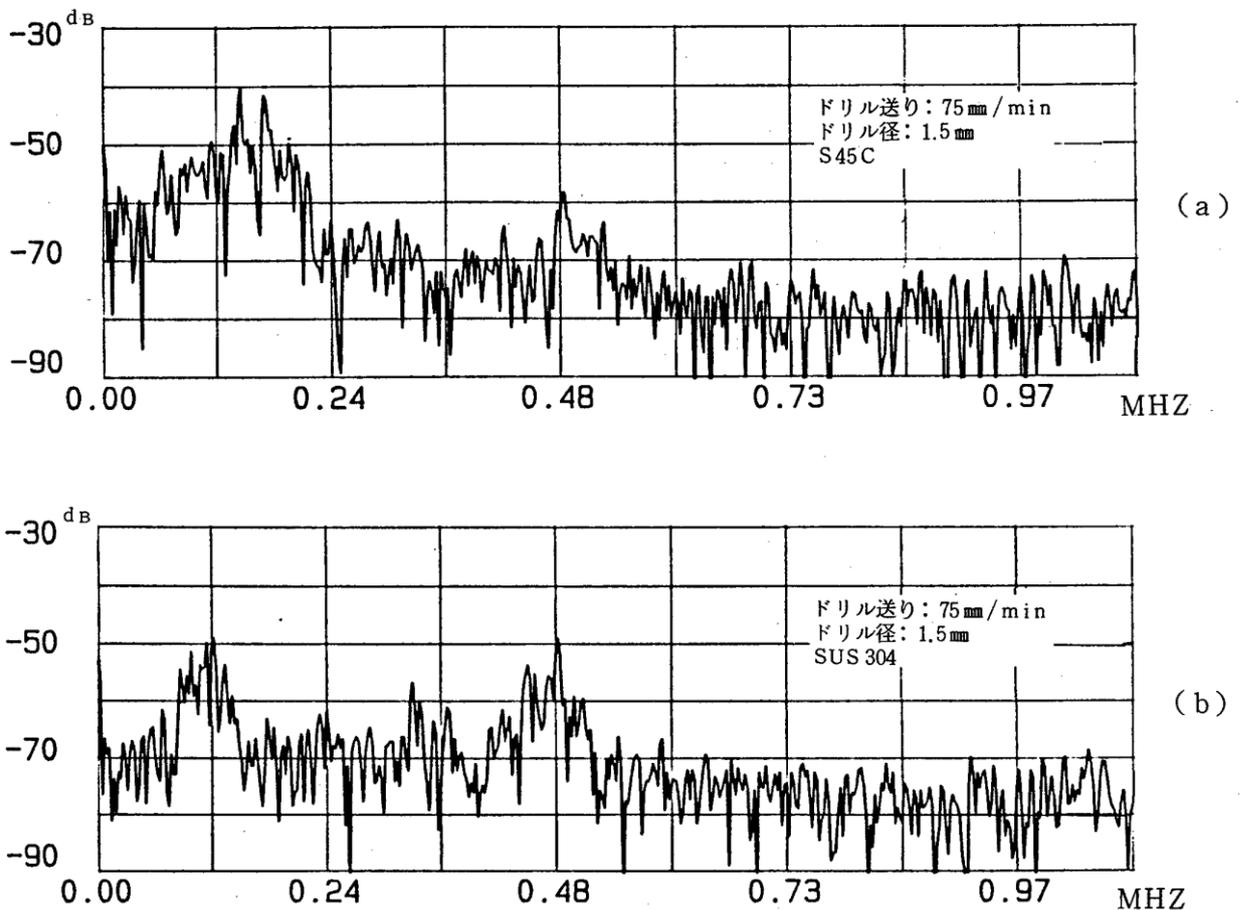


図9 加工時のAE信号とノイズの関係

このようなことから約200~300KHz以下の成分をカットして、それ以上の情報を利用することが有効と考えられる。



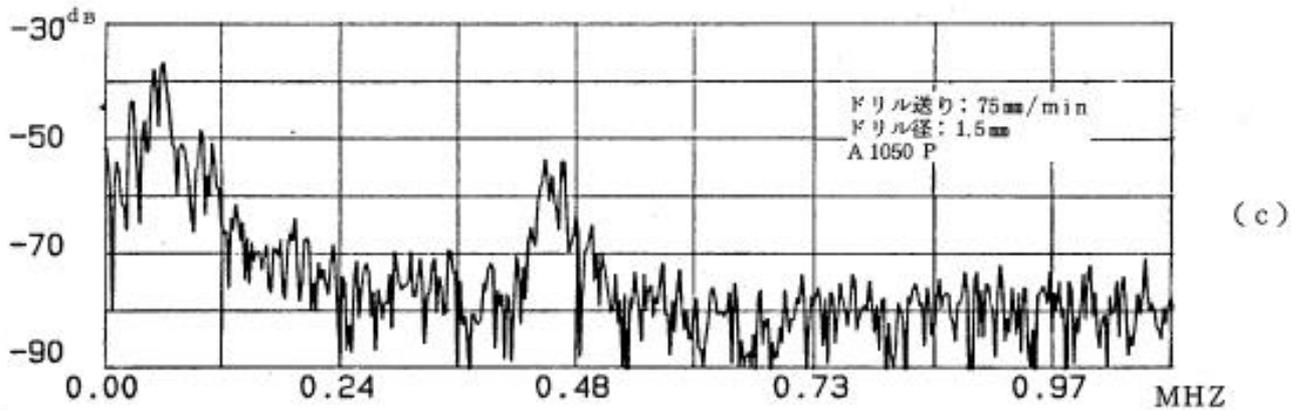


図10 穴あけ加工時のドリル折損のAE波形

### 3.4 モータ電流と切前動力計による測定

図11 は、モータ電流によって測定された図を示す。この図からみられるようにドリル折損時点では、モータ電流が急激に上昇していることがわかる。このデータを裏付けるために、切削動力計によりスラスト力を測定した。その結果、図12 に示すように折損時には急激にスラスト力が増大している。

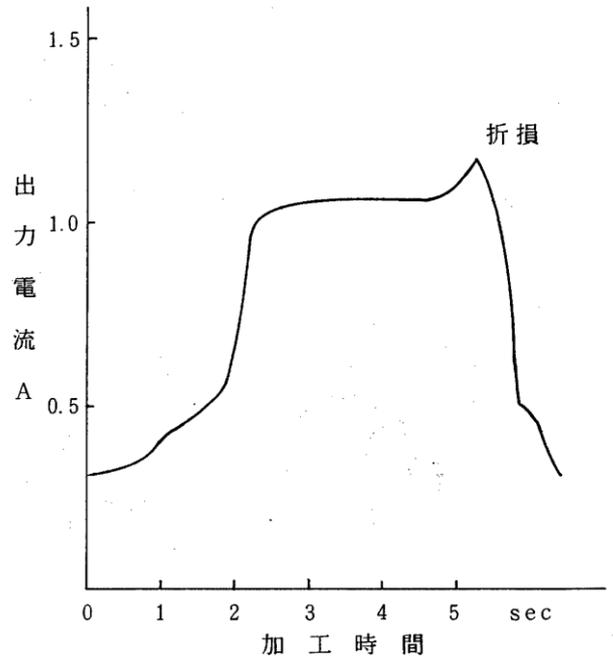


図11 モータ電流

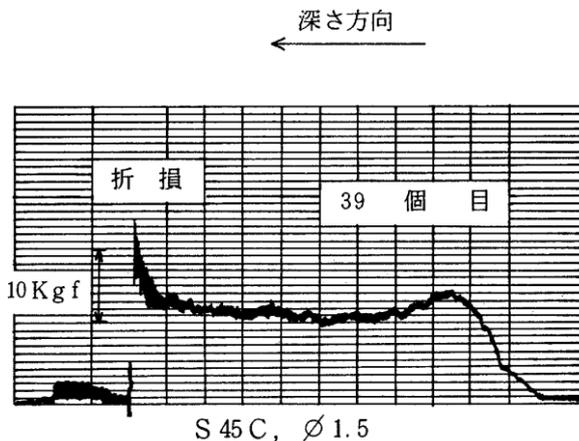


図12 スラスト力

## 4. 小径ドリル折損検出装置の試作

図13 は、AE センサとモータ電流を組み合わせた方法を示す。この方法はAE センサからの信号に任意のしきい値を設定することとモータ電流に対しても任意のしきい値を設定して、どちらかの加工情報を得て、小径ドリルが折れる寸前に検出することと、折損した場合も検出して主軸送りを後退させて加工停止する装置を試作した。

ドリルユニットの側面に取付けたAE センサからの信号をアンプで増幅し、その信号を300KHz以下の信号をカットするハイパスフィルタをかけ、1MHz以上の信号をカットするためにローパスフィルタをかける。

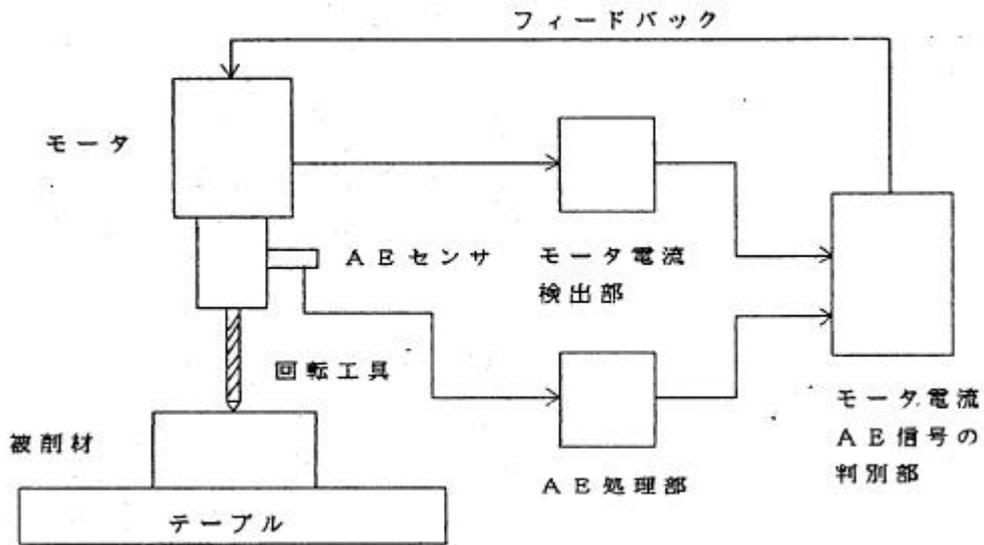


図13 小径ドリル折損検出装置

#### 4.1 装置による結果

この装置によりAE センサによる加工状況を検出した結果を写真3 に示す。この写真は直径1.5mm ドリル、被削材SUS304、ドリル回転数3000rpm 送り速度75mm/min 乾式で行ったものである。乾式で加工した場合、穴加工回数が増えるにしたがって、AE 信号が増加することがわかる。このことは、加工がすすむにつれて

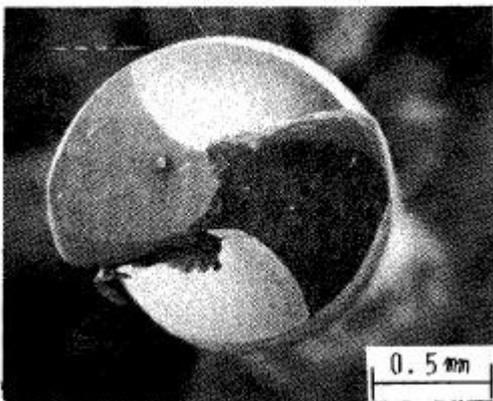
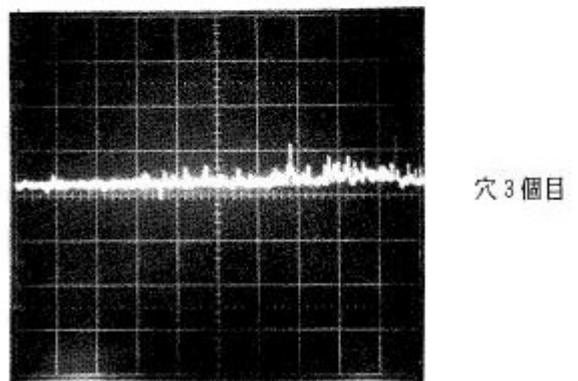
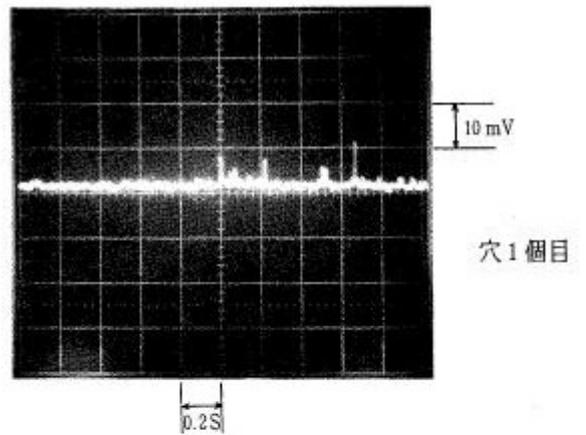


写真4 ドリル刃先の外観写真

刃先の摩耗量が増加することでわずかながら座屈の量が増え、ドリル外周部と穴内周面との接触が大きくなるために起ると考えられる。写真4 は、そのとき折れる直前の刃先の写真である。この写真からわかるようにコーチ摩耗が大きくすすんでいる。また、チゼル摩耗は少ない量である。

モータ電流の検出は前述と同様、折損にいたるまでには電流が上がることを確認できた。この装置では、ドリル直径1.0~2.0mm において折損検出することができた。また、0.5mmのドリルにおいても検出可能であることがわかった。

## 5. 結言

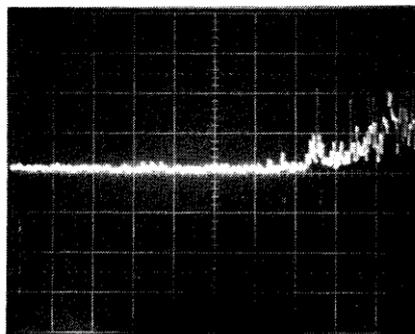
小径ドリルの折損検出及び折損防止を図るために、穴あけ専用の加工機械を試作し、それにAE センサによるAE 信号の検出と主軸駆動モータ電流を検出方法を採用して得られた結果を以下に示す。

- (1) ドリルの折損の周波数帯は約500KHz 付近に明瞭に現われる。
- (2) AE センサをドリルユニット側面に取付けて、小径ドリルの折損検出ができた。
- (3) モータ電流によっても折損検出ができた。

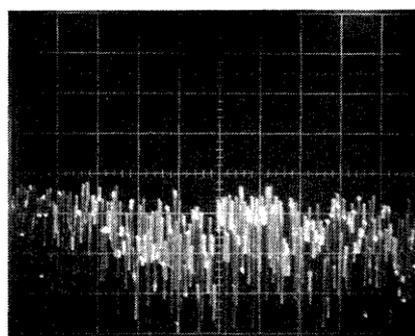
最後に、この研究は昭和62 年度技術開発研究費補助金(共同研究)によってすすめたものである。

## 参考文献

- 1) 菅野ら: ITV 利用によるドリル刃先摩耗の自動測定,機論,44-385 (昭53), 3260
- 2) 檜村, ドリル損耗検出に関する研究, 精密機械,50-6(昭59),939
- 3) 畑村ら:小径ドリル用工具ホルダー形FM 式トルク・スラスト温度センサーの開発昭和59年度精密機械学会春期大会学術講演会論文集, (昭59),87
- 4) 大久保ら:微小径ドリルの折損原因の究明と折損予知に関する研究, 機論, 51-471, C (昭60), 2929
- 5) 大宮ら:アコースティックエミッションによるドリル折損のインプロセス検出機論, 51-472,C (昭60), 3322



穴 8 個目



穴 9 個目  
折れ

写真3 AE 信号出力波形