

日鋼特機 (株) 早川保 和田候衛 青野文朗 ○佐藤功一

## 要 旨

現在の切削加工では、能率向上、コスト低減などに対応して、自動化・無人化が求められており、そのための監視技術の開発が重要な課題のひとつとなっている。本研究は、切削加工のなかでも、加工状況を直接監視することができず、作業者の技能に頼る部分が多いB. T. A. 方式による深穴加工での、センサシステムを用いた切削異常監視自動化技術の確立を目的としている。

## 1. 緒 言

一般に深穴とは、穴深さが穴径に対し10倍以上のものをさし、B. T. A. 方式は、特に大径の深穴加工に用いられる加工法である。B. T. A. 方式だけに限らず、穴加工は加工状況を直接監視することが不可能であり、なかでも、深穴をワンステップで加工できることが特性のひとつである。B. T. A. 方式の場合、加工を中断し、穴内部を確認することもできない。そのため、作業者は加工中に発生する振動、切削音、排出される切り屑の状態により、切削状況を判断している。

第一報では、作業者が切削状況を判断する要因のひとつとしている切削振動に着目し、加速度ピックアップにより検出した振動波形の周波数解析を行った。その結果から、加工の正常時と異常時において、振動振幅や周波数成分に大きな違いがあることを見出し、切削振動の解析が、切削異常監視に対して有効であることを示した。

本報告は、前報の結果を基に、加速度ピックアップにより検出した切削振動をデジタル信号化し、パーソナルコンピュータを用いて、処理及び解析することで、リアルタイムに切削異常診断を行うシステムを検討したものである。

## 2. 工作機械とセンサシステム

B. T. A. 方式は、加工穴径などにより、数種類の工具を使用するが、本研究は、その中のトレパンボーリング工具による加工を対象としている。振動測定を行ったトレパンボーリング盤は、ボーリングバーと呼ばれる、鋼管の先端に取り付けた工具の切れ刃部に、高圧で多量の切削油剤を供給することで、切り屑の排出と切れ刃の冷却、潤滑をし、深穴加工を行う工作機械である。切り屑は切削油剤の圧力により、ボーリングバー内部を通り、穴の外部へ排出される。切削振動は工具切れ刃部より発生していると考えられるため、センサはトレパンボーリング工具、もしくはボーリングバーに取り付けることが理想であるが、本工作機械では、両者とも加工中は回転しているため、直接取り付けることができない。そこで間接的ではあるが、ボーリングバーを支持している圧力台上部を加速度ピックアップ (リオン製PV-65) 取り付け位置とした。図1に工作機械形状及びセンサ取り付け位置を示す。

加速度ピックアップにより検出された切削振動は、アナログ信号のままデータレコーダに採録し、その後、デ

ィジタル信号化しながら、パーソナルコンピュータ (NEC製PC9821 Xa7/C8) に取り込まれ、ソフトウェアによって信号処理、解析される。図2にセンサシステムのブロック図を示す。

異常診断のサンプルとして使用した切削振動は、実際の使用を想定し、加工開始から工具寿命に至るまでを継続して採取したものである。さらに、異常診断の信頼性を高めるため、被削材は材種が異なるものを数種類用いている。

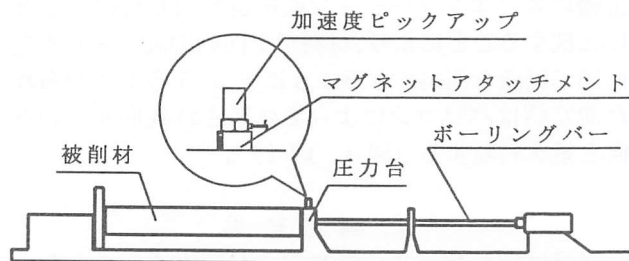


図1. 工作機械形状及びセンサ取り付け位置

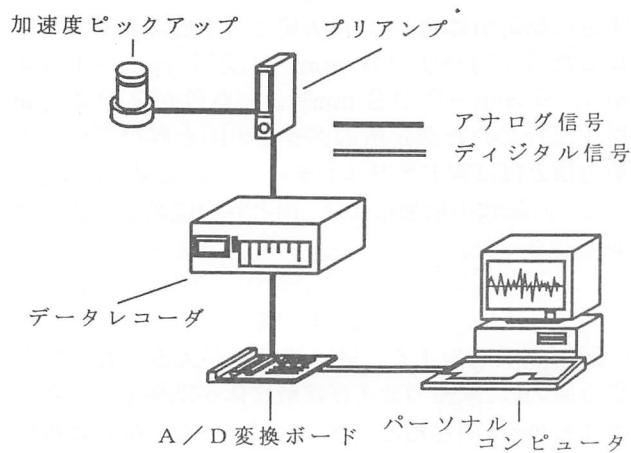


図2. センサシステムのブロック図

## 3. 振動解析による異常診断

切削加工において発生する異常は、きわめて多岐にわたるが、その多くが最終的に工具損傷を招く結果となる。工具損傷は、ある一定の値以上に進行すると、加工精度の低下といった様々なトラブルを引き起こし、切削加工の継続を不可能にさせる。つまり工具寿命である。

工具寿命は大きく二種類に分けられ、実切削振動の解析の結果、これらの工具寿命は、定常時の切削振動波形に以下の様な変化をもたらすことが判った。

表1. 工具寿命の種類と振動波形に与える変化

工具寿命	振動波形の変化
正常摩耗による工具寿命	長時間かけて進行する 微細な変化の積重
異常損傷による工具寿命	突発的な大きな変化

本システムは、この工具寿命を切削振動の解析により検出することで、異常診断を行っている。測定される切削振動に、上記2点の変化と更に「振動振幅の急激な拡大」を加えた、三つの変化のいずれかが現れた場合を非定常振動（切削異常振動）と仮定し、パーソナルコンピュータでの線形予測法を用いたデジタル信号処理により、それを診断する。

#### 4. 切削異常振動の診断法

切削異常診断ソフトウェアの処理手順を図3のフローチャートに添って説明する。

STEP1. 最初の切削振動データを加工開始から切削が安定した時点でサンプリングする（サンプリング間隔1 msec、2000個をひとつのデータとする）。このデータを定常振動データとして、監視振動データの非定常性検定の指標として用いる。

STEP2. 定常振動データから、線形予測法に基づき自己回帰モデルを作成し、これをフィルタとして定常振動データに作用させる。自己回帰モデルにより、監視信号から、定常時の信号で説明可能な成分を引いた値である予測誤差を求めることが、このフィルタリングの目的である。

STEP3. フィルタリング結果の統計的な分布を求めるため、ヒストグラムを作成する。

STEP4. 監視振動のサンプリングを行う。サンプリングした振動データに、STEP2. で作成した定常振動データの自己回帰モデルをフィルタとして作用させ、予測誤差を求め、ヒストグラムを作成する。

STEP5. 監視振動データより作成したヒストグラムを定常振動データより作成したヒストグラムと比較し、確率論を用い、振動振幅の大きさと振動波形の変化を判別する。図4に各振動波形とそのヒストグラム形状を示す。ヒストグラム横軸は振動振幅の大きさを表す。定常振動データのヒストグラムを境に、振動振幅が大きければ左側、小さければ右側にヒストグラムが現れる。振動波形の変化は、定常振動データのヒストグラム形状との違いで判別する。振動波形の変化が大きいく程、ヒストグラム形状の違いも大きくなる。

#### 5. 結 言

深穴加工における、切削振動による異常監視自動化技術の確立を目的に、切削異常が切削振動へ与える変化の特定と、それを利用した切削異常診断ソフトウェアを開発した。その結果、以下の様な成果が得られた。

(1) 切削異常（本研究では工具寿命）の種類によって切削振動に与える変化が違ふことが判明した。

(2) 自己回帰モデルを用いたデジタル信号処理は振動波形解析に有効であることが判明した。

(3) 切削異常診断ソフトウェアを開発した。またそれにより、パーソナルコンピュータによるリアルタイムでの異常診断の可能性を見出した。

今後、実際の深穴加工での使用を重ね、ソフトウェアを更に信頼性の高いものにしていく。また、振動解析も引き続き行い、多岐に渡る切削異常が切削振動に及ぼす変化を細かく特定していくこととする。

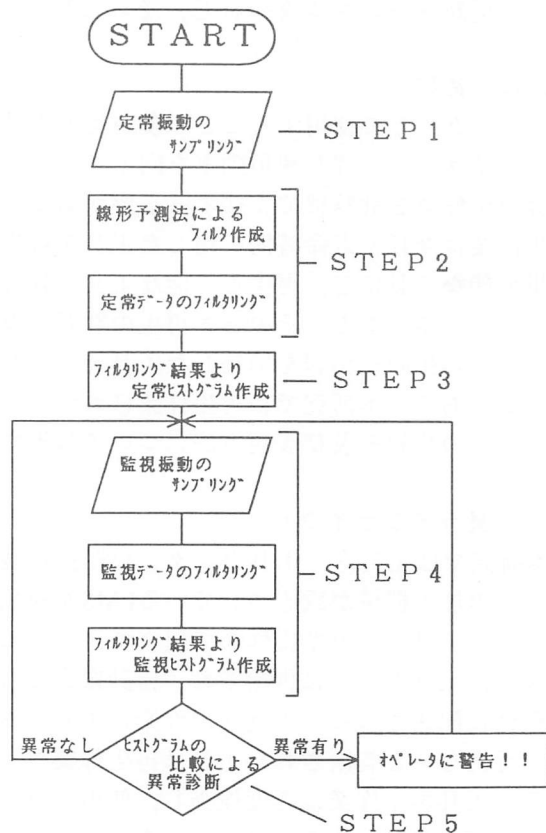


図3. 切削異常診断ソフトウェアフローチャート

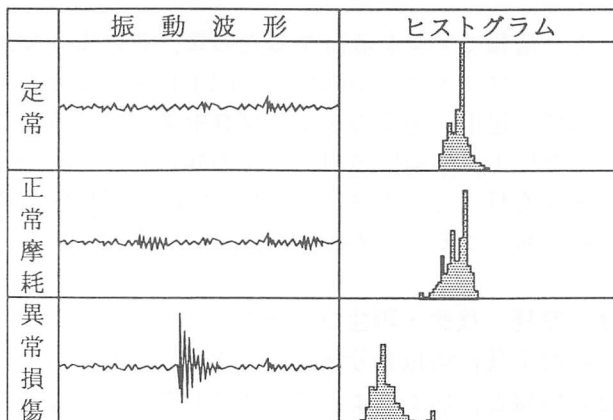


図4. 振動波形とヒストグラム形状