

加工能力監視機能付き CAM システムの開発 (第 2 報)

-エンドミル加工音の解析とびびりの認識-

北海道大学大学院工学研究科 ○鶴谷 知洋 近藤 司 金子 俊一 五十嵐 悟

要旨

エンドミル加工音には様々な情報が含まれており、びびりなどの切削状態を自動判別することができれば高効率加工が実現できる。本報では、エンドミル加工音の周波数領域特徴量抽出に基づいた切削状態認識手法を提案する。

1.はじめに

本研究では、工具加工能率の管理に基づく工具経路生成、NC データ作成と加工処理、その評価機能を有機的に結合した CAM システムを提案してきた。前報<sup>[1]</sup>ではその CAM システムの概要と、加工音の音圧および周波数領域におけるパワーの解析を用いた切削状態の監視と認識、評価、制御方法、およびその妥当性について報告した。しかし、この認識手法はマイクセッティングの状態やセンシング系の感度など毎回同一条件下で監視を行うのは事実上不可能であることから、安定した認識が困難である。本報では、熟練技術者の感覚を考慮したエンドミル加工音に含まれる情報に基づく切削状態認識の新技术を提案する。

2. エンドミル加工音の特徴

熟練技能者は切削状態判断をする場合、判断のための情報を加工音から得ている。エンドミル加工音に含まれる切削状態の判断情報を実験により観察する。実験に関する諸条件を表 1 に示す。

表 1 実験条件

工作機械	立フライス盤(KSNCC-70)
工具	2 枚刃フラットエンドミルΦ12
被削材	真鍮
加工方法	アップカット
Z 軸方向切り込み	10[mm]
半径方向切り込み	1~8[mm]
送り速度	60~140[mm/min]
主軸回転数	400[rpm]
サンプリング周波数	44.1K[Hz]
サンプリング点数	396900[点],約 8 秒相当
FFT 解析点数	4096[点],約 1 切削相当

軽切削音波形とびびり切削音波形を比較すると振幅に顕著な違いが見られるが、図 1, 2 に示すような工具に対して重切削な条件での加工音波形に関しては振幅の大きさに顕著な違いが見られない。次に、これらの加工音波形に対して FFT 解析を行った結果を図 3, 4 に示す。正常切削時に

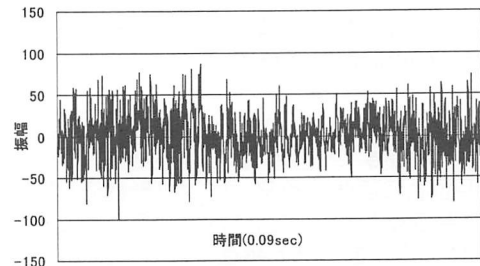


図1 正常加工 送り速度120[mm/min]切り込み4[mm]

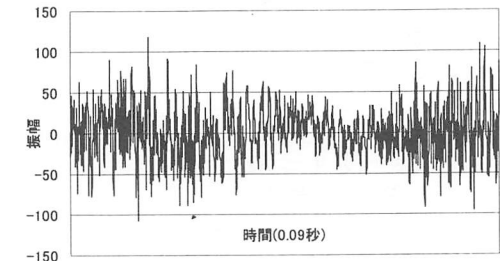


図2 びびり加工 送り速度140[mm/min]切り込み4[mm]

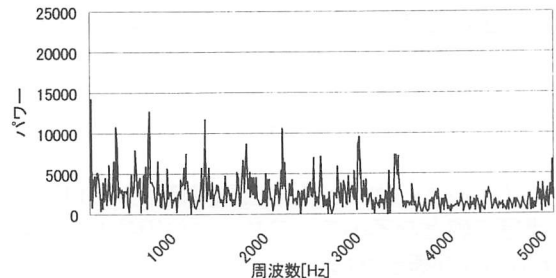


図3 正常加工(図1の場合)のFFT結果

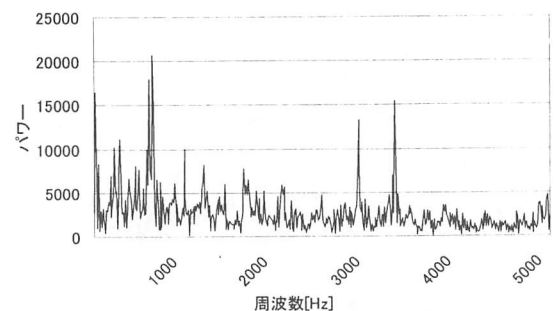


図4 びびり加工(図2の場合)のFFT結果

においては周波数領域全体にわたり、また平均的に各周波数音が存在する。一方、びびり加工音に関しては特定の周波数領域の音に強さが見られる。熟練作業者にこれらの加工音の違いを確認する実験とその認識を調査した結果、切削状態認識時に着目している特徴的な音は 650[Hz]近傍であることが確認された。熟練作業者はこの領域の音が他の周波数パワーより弱い場合でも聞き分け、認識に利用していると考えられる。したがって、この周波数領域に着目することで切削状態の認識が期待できる。

### 3. 加工音情報を用いた加工状態の認識

周波数領域 650[Hz]近傍（以後、着目周波数と呼ぶ）のパワーに着目することで加工状態の認識を試みる。一般に着目周波数のパワーは軽切削から重切削へうつるにしたがって増加する傾向にあるが、他の周波数の相対値としては必ずしも同様とはならない。そのため本報では着目周波数のパワーを他の周波数のそれに対する存在確率を求めることで定量化し、加工状態と関連づける。すなわち、着目周波数のパワーが全周波数領域に対して、その程度存在するかを統計量として求めようとするものである。そのために加工音波形に対してFFTを行った結果に対して、全周波数領域のパワースペクトルから求めた標準偏差  $S_x$  に対する着目周波数のパワースペクトル  $X_i$  を標準化することにより特徴量  $Z_i$ （以後標準化特徴量と呼ぶ）を求める。

$$Z_i = (X_i - X_c) / S_x$$

ここで、 $X_c$  は平均値である。

$Z_i$  が正值でありその値が大きいほど、すなわち確率変数  $X$  に関する例外値としての度合いが大きいほど着目周波数の存在を特徴づけることになり、他の周波数音に比較して大きく響いていることを意味する。

表2は新品のエンドミルで行った種々の加工条件の実験に対する加工状態評価と本研究で行った手法で求めた着目周波数の標準化特徴量を示したものである。網掛け部分は熟練作業者が加工音から判断し切削状態をびびりと判断したものを示している。

特徴量の算出は、多数回のサンプリングにより行い、LMedS<sup>[2]</sup>の原理を用いて全体の50%が入るようにその領域の上限と下限を求めた。軽切削から重切削の方向へ向かうにしたがい値は大きくなり、ある値を超えればびびり状態となっているのがわかる。

表3は摩耗が進行したエンドミルによる同様な実験結果である。摩耗が進行している分、中切削条件でも着目周波数の標準化特徴量が大きく現れている。また先の特徴量とほぼ同じ値によりびびり加工や正常加工など加工状態の認識がなされていることが確認できる。一方、摩耗が進んでいるにもかかわらず新品工具の場合ではびびり加工状態と判定されている重切削加工条件の一部で正常加工と判定でき

表2 新品工具の場合の標準化特徴量分布範囲  
(縦軸:切り込み[mm],横軸:送り速度[mm/min])

	60	80	100	120	140
1	1.9~2.6	2.1~3.2	2.1~2.9	2.2~3.7	2.6~4.7
2	2.2~3.8	3.1~5.1	3.5~5.2	4.2~7.6	6.2~10.3
3	2.1~3.3	3.1~5.1	5.0~7.7	6.9~11.6	7.6~14.3
4	2.8~5.0	4.0~5.9	5.6~8.4	7.4~11.5	9.4~17.1
5	3.1~5.4	4.0~6.5	5.7~9.7	9.3~16.0	10.8~18.6
6	5.3~8.6	7.4~11.9	6.9~11.5	13.0~22.0	15.0~22.5
8	15.2~23.5	10.3~23.4	13.1~23.8	21.1~28.4	18.2~27.1

表3 磨耗工具の場合の標準化特徴量分布範囲  
(縦軸:切り込み[mm],横軸:送り速度[mm/min])

	60	80	100	120	140
1	1.9~2.9	2.0~3.0	2.0~3.3	2.4~3.6	2.2~3.2
2	2.0~3.0	2.4~3.6	2.4~3.6	2.8~5.0	4.2~7.8
3	2.5~4.0	3.2~5.3	4.1~7.3	4.7~8.0	7.7~14.2
4	4.2~7.1	4.9~8.2	4.8~9.0	8.1~13.2	10.9~18.0
5	6.8~13.4	6.7~13.0	5.1~9.2	7.2~14.6	15.4~23.2
6	9.1~15.7	6.9~14.7	5.7~12.05	8.9~15.4	15.6~24.6
8	12.3~19.1	4.7~8.2	4.7~8.5	8.8~16.6	23.3~26.5

る特徴量が算出されている。しかし筆者らが聴いた感じからも加工状態は正常加工と認識できるものであった。提案した手法により正常加工とびびり加工の違いなど加工状態の認識が加工音を通して定量的に扱うことが可能となったと言える。

### 4. おわりに

本報では以下の項目に関して報告をした

- ・エンドミル加工音の特徴および、熟練技能者の感覚と加工音との関係について明らかにした
- ・エンドミル加工音の周波数領域特徴量の抽出とそれに基づく切削状態認識法を提案し、その評価を行った

### 5. 参考文献

- [1] 鶴谷知洋, 他: 加工能力監視機能付き CAM システムの開発, 2001 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集(2001)
- [2] 乾健太郎, 最小 2 乗メディアノ推定に基づく動画像系列の処理, 北海道大学修士学位論文(2000)