

ビジョンシステムの実用化に関する研究開発（第3報）

高速ミーリングに対応した切削加工モニタリングシステムの開発

竹保義博，前田圭治，佐々木秀和，廣川勝久^{*1}，岡田芳雄

Study on Utilization of a Vision System III

Monitoring system for high-speed milling

TAKEYASU Yoshihiro, MAEDA Keiji, SASAKI Hidekazu, HIROKAWA Katsuhisa^{*1} and OKADA Yoshio

This paper proposes a monitoring system for high-speed Milling. This system enabled us to capture still images of rotating tool with camera which installed in the cutting machine. It was shown that this system enables us to capture still images of the tool of 1mm in diameter that rotated by 150,000 rotations a minute. Moreover, as a result of the processing experiment using this system, it was shown that this system was useful for the tool abnormality diagnosis of high-speed milling.

高速ミーリングに対応した切削加工モニタリングシステムを開発した。このシステムは、加工機内に設置したカメラによって、回転中の工具を静止画像として観察できる。このシステムにより、150,000回転/分で回転する直径1mmの工具を観察出来ることを示した。また、高速ミーリングによる加工実験を行って、このシステムの工具異常診断での有用性を検証した。

キーワード：CCDカメラ，高速ミーリング，モニタリング，ストロボ

1. 緒 言

日本が高い国際競争力を持つ生産技術として、エレクトロニクスや医療分野向け微細形状部品の加工技術が挙げられる。特に微細形状金型などを高精度、高能率に切削する手法として高速ミーリングが注目されており、既に導入し成果を挙げている加工現場もある。高速ミーリングは、高速回転させた小径工具を浅い切込みで高速に送ることによって実現される加工技術であり、この加工技術に適した加工機や工具、CAMソフト、モニタリング技術など、要素技術の開発が活発に行われている。

今回我々は、高速ミーリングの実現に不可欠な要素技術のなかからモニタリング技術に着目した。切削加工の現場では従来より、工具の寸法や切れ味の管理が、生産性や加工品質を左右する重要な課題とされている。しかし、高速ミーリングでは使用する工具が小径であるため、接触式の工具長測定装置では工具が変形してしまったり、主軸の消費電力や音による切れ味の診断ではその変化量が微小で捉えられないなど、従来からのモニタリング手法の適用が難しいことが課題となっている。

筆者らは平成15年度より、安価で高機能なCCDカメラとLED照明の普及を背景に、工具切れ刃を画像によりモニタリングする切削加工モニタリングシステムの開発を行っ

てきた¹⁾。開発したシステムは、加工機内にCCDカメラを設置し、モニター上で工具切れ刃を観察する手法をとっている。このとき、工具の回転に同期してストロボ照明を閃光させることにより、回転中の工具を仮想停止させて観察している²⁾。

本研究では、昨年度までに開発した切削加工モニタリングシステムを基本とし、異常診断が困難とされる高速ミーリングに対応すべく改良を行った。具体的には、直径1mm以下の小径工具について、主軸回転数が最大150,000回転/分まで対応できることを目標とした。以下に開発した切削加工モニタリングシステムの詳細と、その有用性を加工実験により検証した結果を報告する。

2. 切削加工モニタリングシステムの開発

高速ミーリングに適用可能な切削加工モニタリングシステムの開発にあたっては、昨年度までに開発したシステムを基本としながら、以下の点について改良を行った。

2.1 カメラ部の改良

切削加工モニタリングシステムのカメラ部は、直径1mm以下の小径工具を観察するため、エクステンダーレンズと鏡筒の追加により倍率を高めた。その結果、焦点位置での実視野は約1.5×1.1mmとなった。

また、150,000回転/分で回転する工具を仮想停止させるストロボ照明の光源には、応答速度と発光の立ち上がり速度が求められるため、昨年に引き続き高輝度の白色

LEDを採用した。LED光源は、その配置や照射角度を検討するため、リンク機構を備えたアームで保持した。

今回新たに製作したカメラ部は、防塵装置とハウジングの小型化により、昨年度よりさらにコンパクトにできた。その外観を写真1に、仕様を表1に示す。

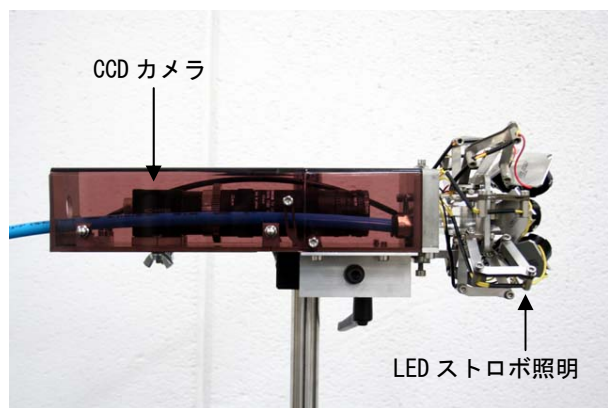


写真1 カメラ部の外観

2.2 回転位置センサの見直し

CCDカメラは、回転中の工具に対し毎回同じ回転位置でストロボ照明が閃光することにより、工具を任意の角度からの静止画像として観察することが可能である。これは、主軸に貼った反射テープの位置を回転位置センサが1回転ごとに検知し、検知した瞬間からの遅延時間によってストロボ照明の閃光タイミングを決定しているからである。150,000回転/分で回転する工具を仮想停止させるためには、回転位置センサの時間分解能を高める必要があり、センサにはスポット径が小さく応答時間の短い光ファイバセンサを採用した。

表1 カメラ部の仕様

項目	仕様
外形寸法	65×270×50 (W×D×Hmm) ストロボ照明部を除く
質量	約1 (kg) スタンドは含まない
カメラ	白黒カメラモジュール XC-HR50 (ソニー(株)) 1/3型プログレッシブスキャンCCD VGAクラス (648 (H) × 494 (V))
レンズ	50mm固定焦点レンズ スペーサー (鏡筒) 2×エクステンダーレンズ
ストロボ照明	LED高出力光源 (ルミレッズ社) LXHL-NWE8×8個
レンズ防塵方式	圧縮空気を光軸上に噴出
回転位置センサ	光ファイバセンサ (株)キーエンス アンプ : FS-M1H ファイバ+レンズ : FU-35TZ+F-2HA

2.3 工具観察アプリケーションの改良

本システムは、ストロボ照明の閃光タイミングと閃光時間をパソコンにより制御している。昨年度と配置を変更した工具観察アプリケーションの操作画面を図1に示す。観察刃先指定ボタンの追加により、初期値として入力した工具の刃数情報と、工具が1回転に要する時間情報からストロボ照明の閃光タイミングを計算し、任意の刃先画像を瞬時に映し出せるようにした。

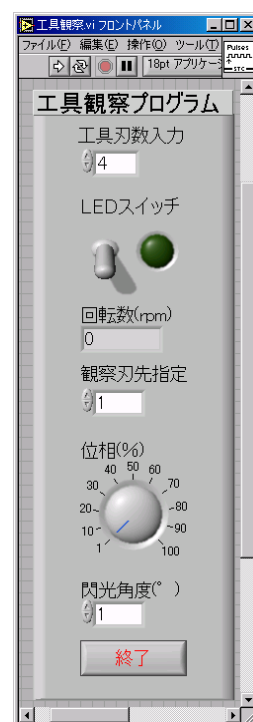


図1 操作画面

3. 実験方法

3.1 観察実験

150,000回転/分で回転する小径工具を仮想停止させて観察できることを確認するため、表2の条件により観察実験を行った。観察実験では、150,000回転/分の高速回転を得るため、マシニングセンタの主軸にエアタービンスピンドルを取り付けて使用した。このとき、回転位置センサはエアタービンスピンドルの主軸に取り付けた。観察実験状況を写真2に示す。

表2 観察実験条件

項目	仕様
スピンドル	エアタービンスピンドル HTS1500 (株)ナカニシ
回転数	150,000回転/分
工具	直径1mmボールエンドミル

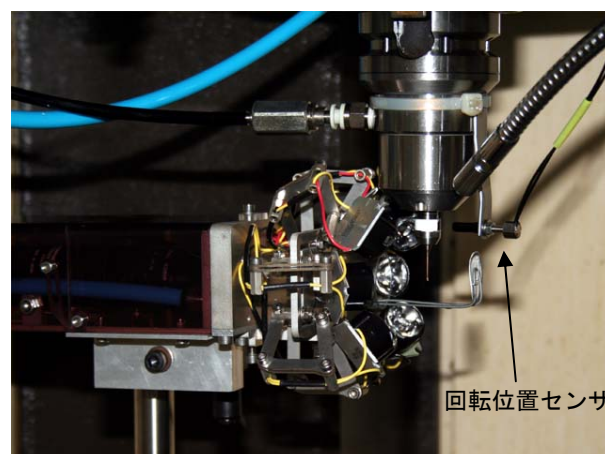


写真2 観察実験風景

3.2 加工実験

開発した切削加工モニタリングシステムについて、超硬エンドミルによるオーステナイト系ステンレス鋼（SUS304）の側面切削による加工実験を行って、このときの工具異常の診断に適用し、その有用性を検証した。使用工具、被削材および使用機器を表3に示す。

表3 使用機器

項 目	仕 様
使用工具	超硬2枚刃フラットエンドミル
被削材	オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304
工作機械	立型マシニングセンタ YBM640V（安田工業㈱）

加工実験は、被削材を写真3に示すようにマシニングセンタの定盤上に設置したバイスで固定し、側面切削を行った。送り方向は、X方向とした。このときの切削条件を表4に示す。



写真3 加工実験風景

表4 加工条件

項 目	条 件
切削速度	47m/min
主軸回転数	150,000min ⁻¹
送り速度	1,000mm/min
一刃当たりの送り量	0.033mm/刃
径方向切り込み	0.05mm
軸方向切り込み	1mm
切削方向	ダウンカット
切削油剤	エアブロー
工具突き出し	30mm

4. 結果および考察

4.1 観察実験結果

昨年度の観察実験結果より、静止画像はストロボ照明の閃光時間が短ければ短いほど鮮明であり、最低でも工具の回転角度に換算して1°以下が望ましいことを経験則として得ていた。そこで、150,000回転/分で回転する小径工具に対し、ストロボ照明の閃光時間を工具の回転角度換算で1°に設定して画像を取り込んだ結果、画像は真っ暗で工具形状の判別が不可能であった。これは、150,000回転/分で回転する工具が1°回転するのに要する時間は約1μ秒と短く、CCDカメラが画像を得るには光量が不足したためである。そこで、CCDカメラのシャッタースピードをもっとも遅い1/100秒に設定し、25回転分の画像を蓄積して出力する多重露光を採用することにより、1枚の静止画像を取り出すことができた。

本システムにより、150,000回転/分で回転中の工具を撮影した画像を写真4に示す。光ファイバセンサとLEDストロボ照明が高速回転に追従し、150,000回転/分で回転する工具を仮想停止させて観察できること確認できた。従来までであれば、今回のような静止画像を得るためには高価な高速度ビデオカメラを利用するのが一般的であったのに対し、安価なシステムでも画像による切削加工のモニタリングが実現可能であることを示せた。

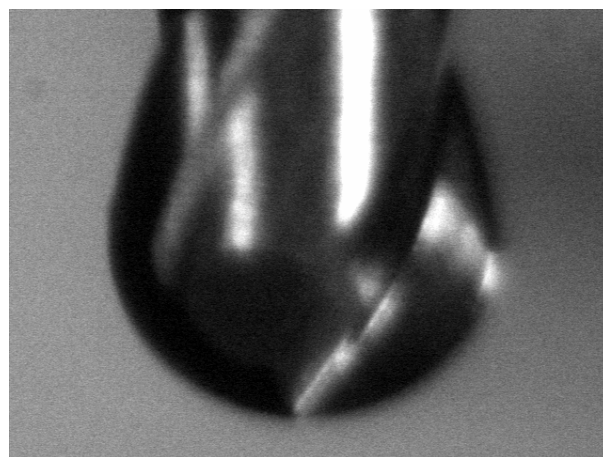
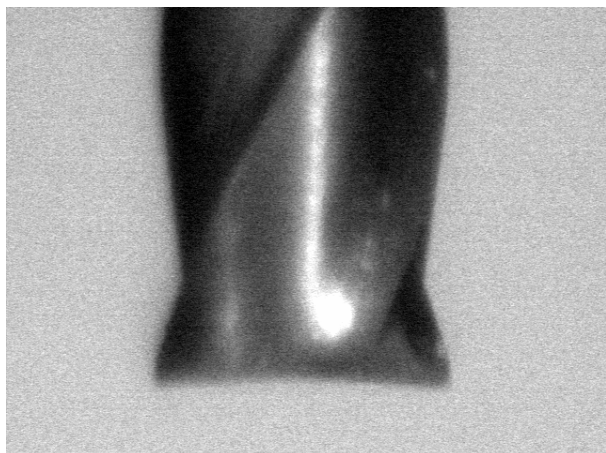


写真4 工具切れ刃画像

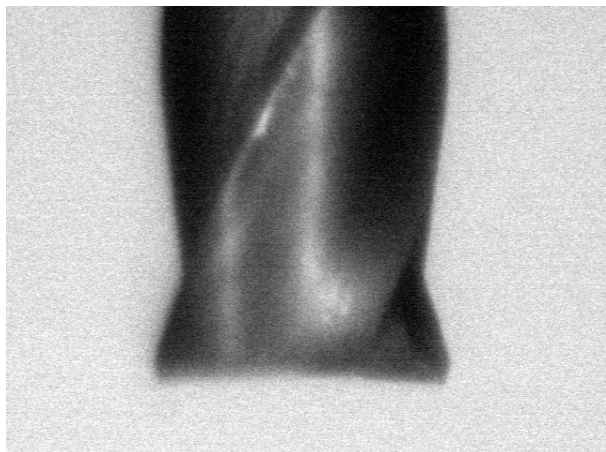
一方で、今回の観察実験で得られた画像は、工具が静止状態で撮影した画像に比べるとノイズが多めで不鮮明なものであった。本システムのストロボ照明では、多重露光でも十分な光量が得られなかったことから、CCDカメラのゲインを上げたことが原因である。より鮮明な静止画像を得るためには、より輝度が高く光量の立ち上がり早いストロボ照明の採用や、高感度で高解像度のCCDカメラの採用、高性能レンズの採用などが考えられる。しかし、いずれもシステムの価格が高くなる要因となるため、使用目的によって選択する必要があると考える。

4.2 加工実験結果

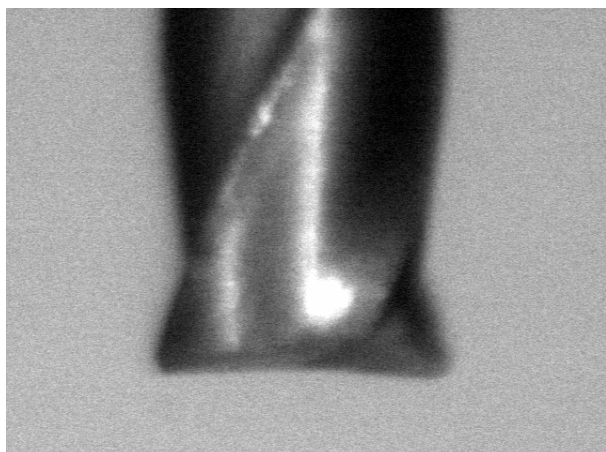
加工実験を行いながら工具を観察し、その有用性を検証した。写真 5 に、切削距離 L がそれぞれ 0, 10, 20m のとき、工具を撮影した画像を示す。



切削距離 $L=0m$



切削距離 $L=10m$



切削距離 $L=20m$

写真 5 工具写真

写真より、切削距離の増加に伴い、切れ刃の被削材表面付近を切削している部位で白い反射が大きくなっていることが確認できる。これは、切削による境界摩耗の進行によるものであり、従来は一定加工距離で工具を取り外し、顕微鏡観察により行っていた工具の異常診断を、当システムの利用により、大幅に迅速化が図れることを示している。さらに、従来のモニタリング手法では不可能であった、工具の実回転状態での回転触れや工具長の測定が可能であることを確認できた。

工具の撮影に際しては、切れ刃に付着した切りくずや油の除去を、スプレー式の洗浄剤により行った。自動運転をしながら画像を取り溜める場合は何らかの対策が必要である。例えば、観察直前に層状のエアーを吹き付けることが考えられる。

5. 結 言

昨年までの研究成果を基に、高速ミーリングに対応した切削加工モニタリングシステムの開発を行った。開発したモニタリングシステムは、加工機内に設置した CCD カメラにより、工具切れ刃をモニター上で観察する手法をとっている。このとき、工具の回転に同期してストロボ照明を閃光させることにより、回転中の工具を仮想停止させて観察している。以下に実験結果を示す。

- 1) 観察実験により、直径1mm以下の小径工具について、主軸回転数150,000回転/分まで対応可能であることを確認した。
- 2) 加工実験により、本システムを用いることで工具異常診断の迅速化が図れることを示した。さらに、従来は困難であった回転中工具の触れや、工具長の測定が可能であることを確認した。

今後、より安価で高機能なCCDカメラとLED照明が開発されれば、今回報告した方式の切削加工モニタリングシステムの優位性がさらに高まることが期待される。

文 献

- 1) 岡田芳雄ほか3名：広島県立東部工業技術センター研究報告, **17**, 46-49 (2004).
- 2) 竹保義博ほか3名：広島県立東部工業技術センター研究報告, **18**, 21-24 (2005).