

ビジョンシステムの実用化に関する研究開発 (第1報)

切削加工モニタリングシステムの開発

岡田芳雄, 竹保義博, 小池明^{*1}

Study on Utilization of a Vision System I

Development of the monitoring system for Metal Cutting

OKADA Yoshio, TAKEYASU Yoshihiro, and KOIKE Akira

The monitoring system used for the surveillance of metal cutting, tool and chip was developed.

A CCD camera and light emitting diode stroboscope are stored in the box, and the propeller which is rotating in front of the box is installed. Rotation angle of the propeller and the light of the stroboscope are synchronized with rotation angle of the tool.

This equipment can prevent the camera from being exposed to the dirt and cutting fluid.

マシニングセンタなど切削加工における, 加工状態や工具の監視などを行う切削加工モニタリングシステムを開発した。加工中のミスト, 切り屑などの飛散の影響を排除しながらクリアな視界を確保する方法として, CCDカメラとLEDストロボを箱に収納し, その前に回転するプロペラを組み込んだ防塵装置を試作した。プロペラの回転角度とLEDストロボの発光タイミングを工具の回転に同期させて, CCDカメラによる工具の静止画像の取り込み, および切削加工状態の動画像観測ができるようになった。

キーワード: 切削加工, モニタリング装置

1. 緒 言

自動加工や精密加工において, 工具の有効利用や加工品質を維持する上で, 工具の摩耗や欠損などの管理が重要な課題の1つである。機械加工業界では, この対応として, 工具の異常を振動やトルクで検知して目視で検査する。すべての工具を一定時間加工で交換する。切削油の出具合の目視確認など人手が介在しており, 最終的な判断は目視検査に依存することが多い。しかし, 生産ラインのシステム化や機械装置の密閉化によって, 目視による観察はますます困難になっている。また, 機械加工へのCCDカメラなどによる画像センシングの普及を妨げる要因として, 切削油や切屑の飛散など加工雰囲気による汚れや, これらの影響で形状の認識が正しくできないことなどが考えられる。省資源, およびコスト低減から, 遠隔での監視装置や, 正常運転を維持する切削加工状態のモニタリング装置などの必要性が高い。

機械加工の画像センサによるモニタリング技術の研究では, 高速切削加工における工具挙動の可視化技術の開発¹⁾, 湿式切削用工具切刃モニタリングシステムの開発²⁾などが行われている。後者では, 透明切削油を利用すれば加工中の鮮明な画像観察が容易となり, 切削油をモニ

タリングに積極的に活用した研究として注目を浴びている。一方, 工作機械メーカーにおいては, 油剤供給のエネルギー, 劣化に伴う廃油処理などによる環境負荷の低減から, 切削油剤を使用しないドライ加工や極少量切削油剤のみを使用するMQL(微量潤滑)切削加工が普及している。そこで, 本年度は, 少量の切削油を用いる切削加工を対象とし, 加工状態や工具の損傷監視などを行う切削加工モニタリングシステムを開発した。

2. モニタリング装置の概要

2.1 システムの構成

開発した装置の構成を図1に示す。切削加工状態の画像を取り込む画像入力部, および取り込んだ静止画像の処理を行う画像処理部からなる。画像入力部は, カメラの前方に切削油, 切屑などの飛散からCCDカメラを保護する防塵装置を設置し, LEDストロボで工具位置を照明して画像を取り込む。LEDストロボは, 高輝度の白色LED(5000mcd, 指向角度20°)を約400個使用した。発光の周期は5~10,000Hz, 発光時間は約0.01ms~5msの範囲で可変できる。この発光タイミングは, 発信周波数を手動で任意に設定して工具の回転速度に合わせる。あるいは, レーザセンサで工具の回転位置を検知して, 常に工具の回転角度が一定の位置にあるところで画像を取り込むように同期をとることができる。また,

平成15年度地域産業集積中小企業等活性化補助金
関連機関支援強化事業費補助事業

2004.5.30 受理 応用加工技術部

*1 情報技術部

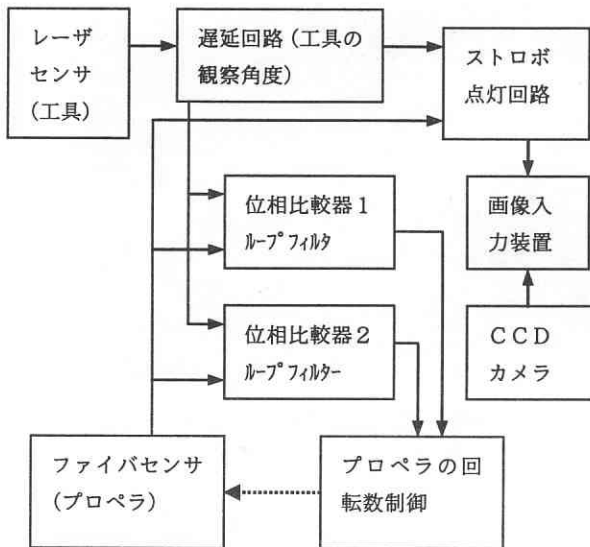


図1 モニタリング装置の構成図

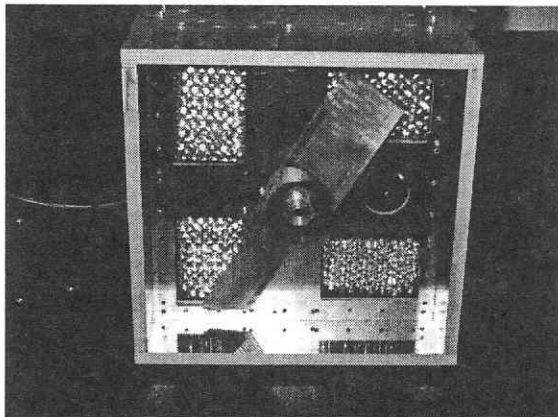


写真1 試作した切削加工モニタリング装置

このレーザセンサの出力信号は、遅延回路で任意の時間遅らせる機能を持ち、点灯のタイミングを変化させることができる。この結果、工具の観察角度をずらして全周の検査ができる。さらに、プロペラの回転位置とのインターロックがとられ、プロペラでカメラやLEDが遮蔽される位置では発光しない。この装置の外観を写真1に示す。

2.2 防塵装置

防塵装置は、切屑や回転工具の遠心力により飛散する油滴などからCCDカメラの汚れを防止する目的で使用する。塵埃、水滴などを阻止してクリアな視界を確保するには、①圧縮空気を勢いよく吹き出してシールドする、②円形のガラス板を高速回転して水滴の付着を防止する、③羽根を高速で回転するなど種々の方法が考えられる。

②の方法は、①の方法に比べて消費電力が少なく、円形ガラスの回転が停止中でも水滴が進入しないが、工作機械に適用する場合は、切削油の粘度が高く透明度が低いいため、洗浄機能が必要となる。

本研究では、③の方式について検討した。プロペラは、直径100mmで、2枚羽根のものを光造形で試作した。軸方向の幅は（奥行き）35mmとして、φ10mmのエンドミルの周囲長より若干大きくした。羽根の形状は単純に45°に傾けた平面としたので、送風機としての効率は低く、空気をカメラの方向（後方）から吸い込み前面ばかりでなく、側面の方にも吹き出して油霧の進入を防止する。また、粉塵や油滴などは、その速度が工具の周速と同程度の場合、プロペラの軸方向を通過する、1/2（2枚羽根の場合）の時間内にプロペラに衝突して通過を阻止される。しかし、工具の折損などで稀に生じる高速な破片は、この方法では遮れない可能性があり、アクリル板などによる保護が必要である。

このプロペラの回転速度は、CCDカメラの視界を遮らないように、ストロボが発光する時には常に一定の位置を維持するように同期がとられている。（この操作により工具が仮想停止した動画像を取り込むことができる）工具の回転速度をレーザセンサ、プロペラの回転速度をファイバセンサで検出して、両者の出力信号の位相をPLL回路（Phase-Locked Loop）で比較して、プロペラの回転角度を工具の回転角度に一致させる。この制御装置は、回転数と位相の制御を行う2つの位相比較器とループフィルタで構成し、これら2つの信号でモータの速度制御を行う。この結果、制御の安定性が高まり工具の回転速度への追従が良くなった。このモータには出力35(W)。

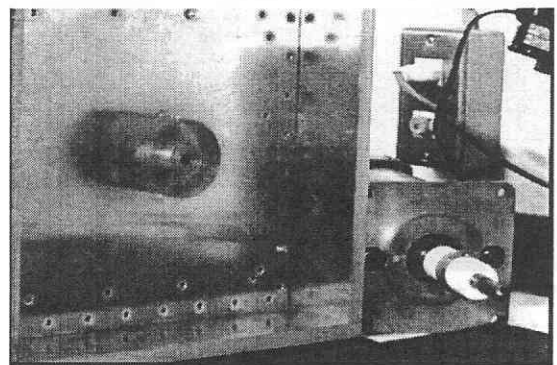


写真2 防塵プロペラ（左）と工具（右）3300rpm

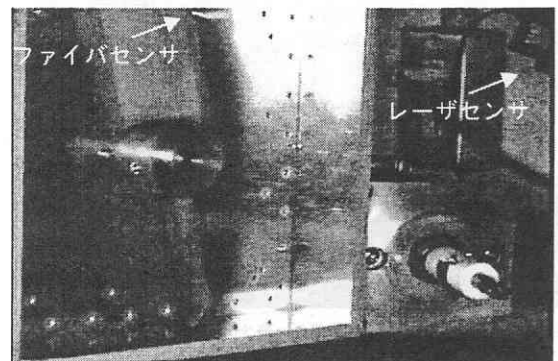


写真3 工具の回転に同期したLEDストロボで照明した画像（回転数3300rpm）

電圧で回転数を制御する回路が組み込まれているDCサーボモータを使用した。

写真2と3に、工具とプロペラの回転が同期している様子を示す。回転数は両者共に 3300rpm である。写真2は蛍光灯照明で撮影したものである。写真3は、工具の回転に同期したLEDストロボで撮影したもので、工具羽根とも静止した状態に見える。この位置で画像の取り込みを行う。

3. 実験方法および結果

3.1 プロペラによる水流の遮断効果

プロペラによる防塵装置の効果を確認する方法の1つとして、水流の遮断試験を行った。ワイヤカット放電加工機（三菱電機㈱PX-05）の加工液をテスト用の水流として使用した。プロペラの部分を上向きにセットして、上方から加工液を落下させて水が通過する状態を調べた。流速は、水流の外径と単位時間の流量から計算したものを概略の速度とした。また、水流が高速の領域では、通過した水流からモータを保護するため加工穴のないアルミ板を使用した。写真4～6にこの実験の様子を示す。プロペラの回転数は 3300rpm、水流の速度は、写真4と5

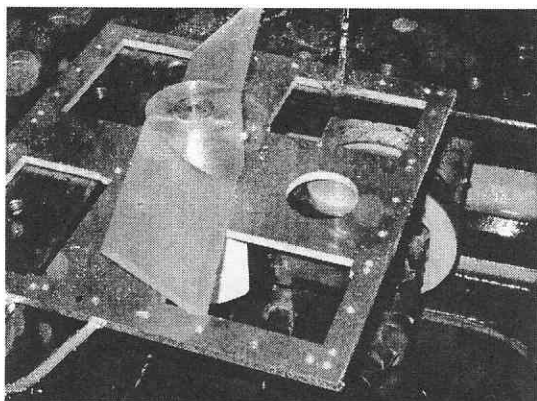


写真4 プロペラによる水流カットの直後
(プロペラ回転数 3300rpm、水流の速度 140cm/s)

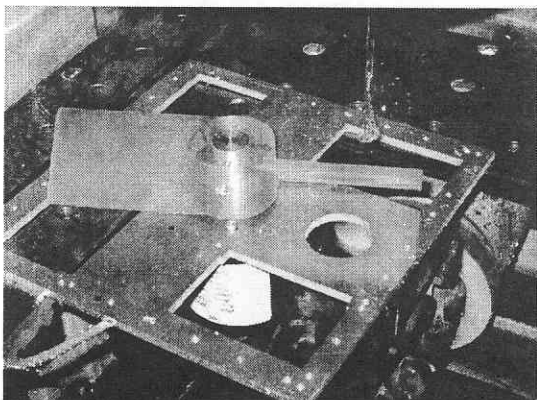


写真5 プロペラによる水流カットの直前
(プロペラ回転数 3300rpm、水流の速度 140cm/s)

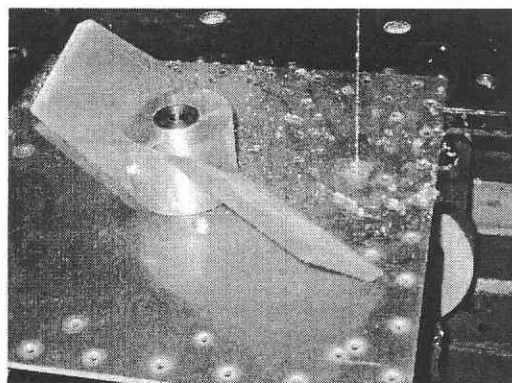


写真6 流速が大きく水流を阻止できない状態
(プロペラ回転数 3300rpm、水流の速度 710cm/s)

が 1.4 m/sec である。このとき、水流がプロペラの部分を通る時間は 25(ms) である。一方、プロペラが1回転に要する時間は 18(ms) である。写真5は、水流の流速が 7.1m/sec で、プロペラの軌道を横切る時間は 5ms である。写真3、および写真4では、何れも水流が阻止されて後方に進入しないことが確認できた。一方、写真5では、流速が大きいため、羽根をすり抜けてアルミニウムの板に衝突している様子が観測された。

3.2 工具の画像入力

φ10mmのハイスエンドミルを使用して、光沢のある回転工具の画像入力について調べた。写真6は、蛍光灯照明で回転中の画像を観測したものである。

写真7は、同じ状態の工具をLEDストロボで同期をとり画像入力した結果である。

写真8はこの画像の2値化処理を行い背景を分離した。この2値化データのみで工具全体の形状の評価はできないが、2値化レベルの調節、あるいは、ストロボの発光タイミングを変えて刃先等欠損の生じやすい部分の検査に利用できる。

3.3 加工状態の画像入力

立型フライス盤（日立精機㈱3 K）を使用して、鋼材 S50C の端面切削加工を行い、加工状態の動画観測を行った。工具はφ10mm、4枚刃ハイスエンドミルを使用

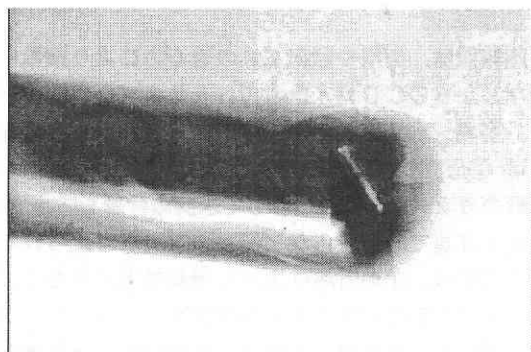


写真7 回転している工具の写真

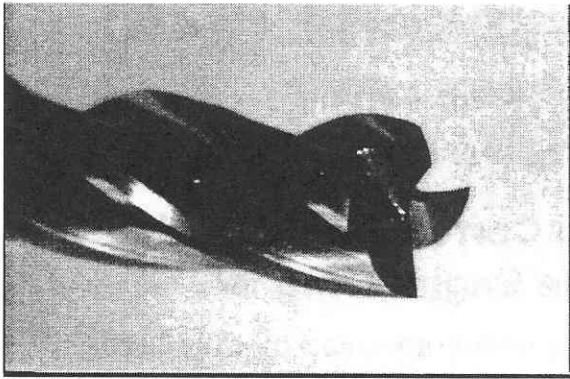


写真8 LEDストロボによる仮想停止

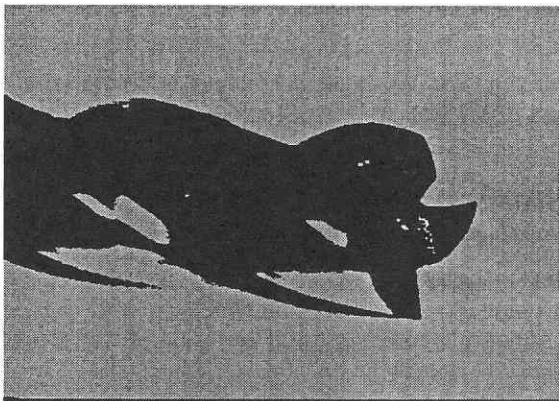


写真9 回転工具の2値化画像

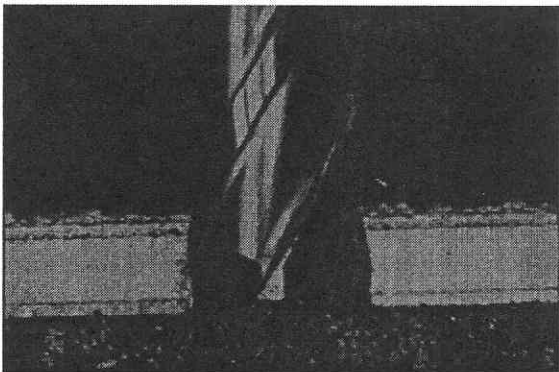


写真10 フライス盤での端面加工

した。工具の回転数は 1200rpm, 切込量 0.5mm, ストロボの発光時間は 0.1ms とした。写真 10 はその画像の 1 コマである。主軸の回転を検出するレーザセンサの信号を

遅延させて、工具の刃先が最もよく見えるタイミングでLEDストロボを発光させて、仮想停止した工具と切削の状態を動画像で記録した。LEDストロボの発光は、毎秒 20 回となり、NTSC 信号における画像の枚数 (30 枚) より少なく、撮像できないコマが出現して、ちらつきが感じられた。動画像観測では、画像データをストロボが発光するタイミングで書き換える処理が必要である。

4. 結 言

- 1) 切削加工における加工状態や工具の監視などを行う切削加工モニタリング装置の画像入力部分を開発した。
- 2) 加工中のミスト、切屑などからカメラを保護する防塵装置を試作して、汎用のCCDカメラで回転中の工具の形状が観察できることを確認した。
- 3) 工具主軸が回転中に、工具を任意の回転角度から観察した静止画像が得られた。
- 4) プロペラを3300rpmで回転して、上方から落下する流速 1.4m/sの水流をカットできることを確認した。
- 5) $\phi 10\text{mm}$ のエンドミルを使用して、S50Cの端面切削加工状況の動画像の取り込みを行い、工具の刃先部分の形状が観察できることを確認した。
- 6) 工具とプロペラの回転数の同期を行うPLL回路において、動作方式が異なる2種類の位相比較器を使用することで、慣性が大きく応答性が遅いモータの回転数を安定に制御することができた。また、1個の位相比較器と比べて、原理的に広帯域での動作が可能となった。(通常は PLL 回路内に位相比較器は 1 個で、動作周波数に応じてループフィルターの時定数を設定する)

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、光造型によるプロペラの製作技術でご協力いただいた広島県立西部工業技術センター生産技術アカデミー・佐々木憲吾氏に深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 南 晃：鹿児島県工業技術センター研究報告,16,43-48(2002).
- 2) 澤井信重：機械研 NEWS,1,6-8,(2001).