

工具モニタリングシステムの開発 (第1報)

機上工具観察システムの開発

竹保義博*1, 佐々木秀和, 門藤至宏*2, 廣川勝久, 宗廣修興*3, 筒本隆博*4

Development of Tool Monitoring Systems I

Development of On-Machine Digital Microscope

TAKEYASU Yoshihiro, SASAKI Hidekazu, MONDO Munehiro, HIROKAWA Katsuhisa
MUNEHIRO Shuko and TSUTSUMOTO Takahiro

We suggest a device to observe the tool in the machine, in order to assist the advancement of machining technology of mold manufacturing. This device is a digital microscope directly to observe the rotating tool mounted on the machining center. Two different types of prototypes were made on the assumption that this system will be used on the site of machining. This report describes the results have been examined for their specifications.

広島県では、県内金型製造業の加工技術の高度化支援を目的として、加工途中の工具観察を省力化する機上工具観察システムの実用化に取り組んでいる。この装置は、マシニングセンタに取り付けられた回転工具を直接観察するためのデジタルマイクロスコープである。企業の加工現場においてその有用性を評価するため、異なる2種類の試作機を製作し仕様を検討した結果を報告する。

キーワード：金型，切削加工，モニタリング，イメージセンサ

1. 緒 言

切削加工では、加工途中に工具刃先を観察することで、切削状況を類推するための極めて多くの情報を得ることができる。このため、生産性や加工品質を左右する切削条件の選定では、工具観察は最適切削条件探索の手がかりを得るために必須の作業である。しかし、加工を中断して取り外した工具を観察する作業は非常に手間と時間を要することから、切削条件を十分に最適化できないまま加工を続けている例は少なくないと予想される。独自に最適化した加工条件は企業のノウハウであることから、工具観察を省力化できれば加工ノウハウの蓄積が促進され競争力強化に繋がると考える。

本県では、平成22年度より「ものづくり基盤技術高度化プロジェクト」をスタートさせた。このプロジェクトは、県内金型製造業の加工技術の高度化を図ることを目的としており、「NCデータ最適化システムの開発」¹⁾と「工

具モニタリングシステムの開発」の2つの研究開発を実施している。「工具モニタリングシステムの開発」では、平成15～17年度の研究成果^{2,3,4)}を活用した装置の実用化に取り組んでおり、機上工具観察システムはその一部である。開発中の機上工具観察システムは、ストロボ照明を加工機の主軸回転に同期して発光させることにより、回転中の工具を任意の回転位置で仮想停止させて観察できることを特徴とするデジタルマイクロスコープである。この装置を実用化することで、加工機に取り付けられた回転工具を取り外すことなく観察することを実現し、加工途中の工具観察を省力化して加工ノウハウの蓄積を支援することを目指している。加工現場における有用性の検証実験に向け、これまでに2機の試作機を製作し仕様を検討してきた。その結果、実用化に関する多くの知見を得たので報告する。

2. 開発コンセプト

機上工具観察システムは、撮像部をマシニングセンタなどの加工機内に設置しておき、作業者は登録した視野位置へ回転工具を移動するだけで簡単に刃先を観察、撮像できることを実現する。この装置の実用化に向け、実際に企業の加工現場で評価ができる試作機を作製し、本システムの有用性を明らかにできるように以下のコンセプトに沿って開発を進めている。

2012.6.29 受理 加工技術研究部

*1 西部工業技術センター 生産技術アカデミー
金型加工プロジェクトチーム

*2 西部工業技術センター 生産技術アカデミー
製品設計研究部

*3 食品工業技術センター
凍結含浸本格普及プロジェクトチーム

*4 西部工業技術センター 生産技術アカデミー

(1) 高画質

- ・ 県内金型製造現場でよく利用される直径 1~20mm 程度のボールエンドミルを観察対象とし、工具刃先の欠けや摩耗、付着物を鮮明な画像で確認できる。
- ・ 加工機内に浮遊する油滴や埃の付着によって観察視野が妨げられないよう、防汚機構を有する。

(2) 堅牢・コンパクト

- ・ 撮像部はマシニングセンタ内に常時設置することから、飛散する切りくずや切削液によって壊れない。
- ・ 加工機内への設置による加工領域への影響が最小限となるよう、コンパクトである。

(3) 簡単・便利

- ・ 簡単に設置でき、特別な訓練がなくても工具の正しい位置を短時間で観察、撮像できる。
- ・ 撮像した工具画像を加工情報とともに保存でき、後で簡単に参照できる。

(4) 低価格

- ・ 導入しやすい価格で製品化できるよう、なるべく汎用機器を組み合わせることで上記コンセプトを実現できる仕様、設計である。

表 1 撮像部の主な仕様

項目	試作 1 号機	試作 2 号機	
本体	大きさ*1 (mm)	236 × 143	229 × 88
	インターフェイス	USB2.0	Gi gE
カメラ	撮像素子	1/2 インチカラーCCD	
	解像度	1392 × 1040	140 万画素
	フレームレート(F/S)	0~15	
	トリガ	外部トリガ	
	レンズマウント	C マウント	
レンズ	作動距離(mm)	92	90
	ズーム比	6.5	3.3
	最小視野(mm)	1.4 × 1.06	6.4 × 4.8
	最大視野(mm)	9.1 × 6.9	21 × 16
照明	光源	キセノン	LED
	照明タイプ	リングライトガイド	無影ドーム型
	発光時間(μ sec)	10~16	1~999
	消費電力(W)	15*2	17.4*3

*1 スタンドを含まない

*2 最大ランプ入力電力量(15Hz 発光時)

*3 連続発光時

3. 構成と仕様

3.1 全体構成

機上工具観察システムは、主轴の回転基準位置を検出するセンサと撮像部（防汚ケースに収めたカメラ、レンズ、照明）と制御部（照明用電源、デジタル I/O デバイス、PC）で構成される（図 1）。製作した 2 機の試作機の機器構成は基本的に同様で、撮像部の仕様が異なるのみである。

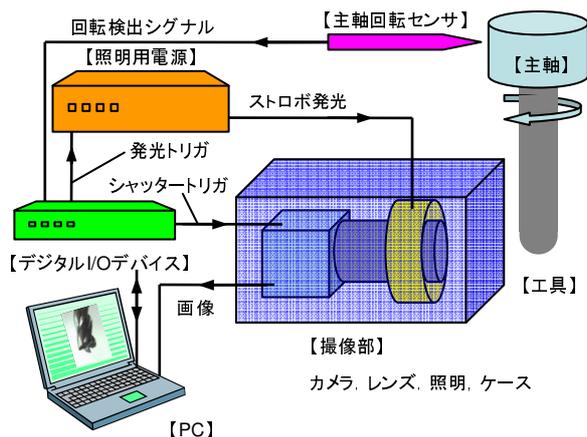


図 1 機器構成

3.2 撮像部仕様

2 機の試作機について、撮像部の主な仕様を表 1 に示す。以下、試作 1 号機、試作 2 号機と呼ぶ。それぞれの撮像部の外観を写真 1、写真 2 に示す。

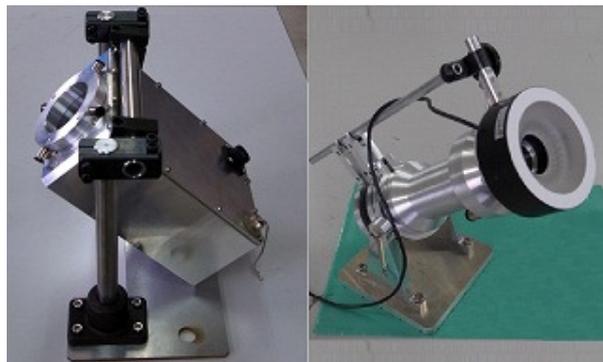


写真 1 試作 1 号機

写真 2 試作 2 号機

3.3 試作 1 号機

試作 1 号機の特徴は、USB2.0 インターフェイスカメラ、高ズーム比マクロズームレンズ、キセノンフラッシュランプを採用した点である。撮像部の機器構成は図 2 に示すとおり防水ケースにカメラ、レンズ、照明を収めている。防水ケースのカメラ窓の防汚は、円環状エアノズルのスリットから中心に向かって圧縮空気を噴出する方式とした。照明は、キセノンフラッシュランプと小型のリング照射型ライトガイドを一体化して防水ケースに内蔵しており、外部に電源を置く方式とした。外部に光源を置いた場合、光の伝送にファイバ製のライトガイドを配索する必要があるが、電源ケーブルに比べ最小曲げ半径が大きく長さの変更もできないため加工機内での取り回しが難しくなると考えた。なお、リング照射型ライトガイドは、照射方向がレンズの焦点位置を向くように特注で製作した。

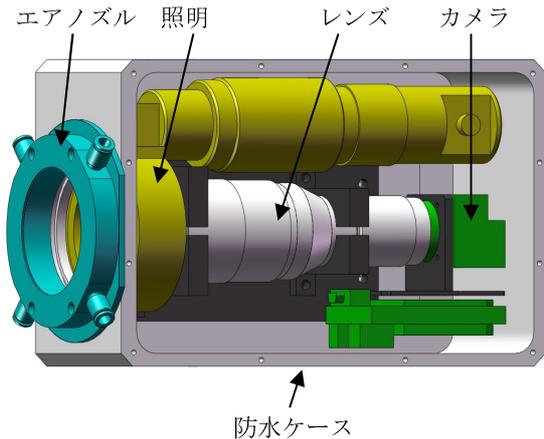


図2 試作1号機撮像部構成



写真3 実験状況（試作1号機）

3.4 試作2号機

試作2号機の特徴は、GigE インターフェイスカメラ、低ズーム比マクロレンズ、LED 照明を採用した点である。撮像部の機器構成を図3に示す。防水対応の産業用カメラに独自の防水レンズケースを組み合わせた。視界を確保するための防汚機構は、防水レンズケースのガラス窓前面に設けた空気室に圧縮空気を導入し、前方に向かって一様に空気を流す方式とした。

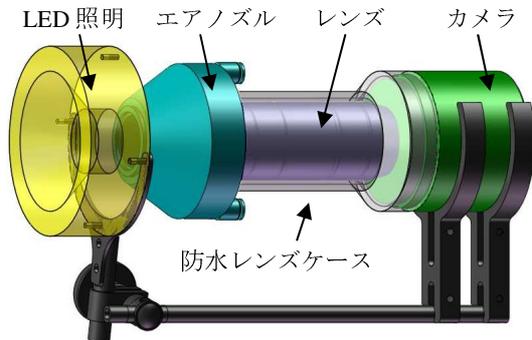


図3 試作2号機撮像部構成

4. 試作機の評価および考察

2種類の機上工具観察システムを試作して仕様を検討した。実用化に向け得られた知見は以下のとおりである。

4.1 防水機構

マシニングセンタの機内に設置する撮像部は、加工時の切削油や切りくずからカメラを保護するため防水対応の必要がある。試作1号機の撮像部の防水性は、内部の電子機器を取り外した状態で加工機上に設置し、水溶性の切削液を3時間かけ続けた後に、内部に浸水が無いことを確認した。さらに、深さ0.5mの水中に2時間浸漬し、取り出した後に分解して内部に浸水が無いことを確認した（写真3）。実用化にあたっては、同様のテストにより防水機能を評価する必要がある。

4.2 防汚機構

防水ケースのカメラ窓へ油滴や埃が付着し視界が妨げられないよう、圧縮空気を利用した防汚機構を検討した。実験状況を写真4に示す。試作1号機の防汚機能を評価するため、撮像部の視野を上に向けエアノズル先端部より0.1m上方から水滴を落としたりしたところ、カメラ窓に水が付着した。これは、円環状エアノズルのスリットから噴出し中心部で衝突した圧縮空気の一部にカメラ窓に戻る流れが発生することが原因で、この流れに入った水滴が付着した。この現象は市販の流体解析ソフトであるCFdesignにより確認できた。カメラ窓が汚れる原因の一つとしては、カメラ視野および照明の範囲をカバーするカメラ窓自体の大きさが影響していることが考えられる。そのため、カメラ視野範囲を妨げない程度までカメラ窓を小型化する方法で検討する。

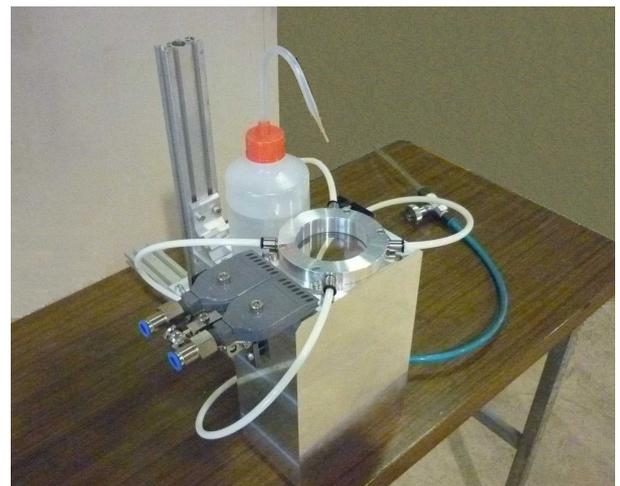


写真4 実験状況（試作1号機）

試作2号機では、照明をエアノズル前方へ配置することでノズル口径を試作1号機の60mmに対し20mmに縮小した。また、空気室を設けることでカメラ窓の前方に向かって一様な速度の空気の流れを作ることができ、同様

の実験において清浄な視界の確保を実現できた。しかし、撮像時以外も常時空気を流し続ける必要があり、ランニングコストの上昇に繋がる。その対策としては、カメラ窓にシャッタを設置することで圧縮空気による防汚運転を撮像時のみに限定する方法があり、実用化に向けて防汚用シャッタの開発に取り組む計画である。

4.3 カメラ

カメラは、外部トリガによる撮影機能を有する産業用カメラを利用した。今回の用途では、高精細で明るい画像を得るため、高画素で画素サイズの大きいイメージセンサを持つカメラが適していると考えた。しかし、一般的にカメラは高画素であるほど、同じ画素数であれば画素サイズが大きいほど高価である。いずれの試作機も20万円前後の価格帯のカメラの中から、17インチの液晶ディスプレイ(1280×1024ピクセル)を有効に利用できる1/2インチ140万画素(1392×1040画素)のイメージセンサを選択した。工具の撮像実験における画質については、後に述べるレンズや照明との組み合わせや評価する個人の感性にもよるが、特に不満を感じることは無かった。

カメラのインターフェイスは、画像入力ボードを必要としないことから安価に利用可能なUSB2.0とGigEを試した。両者のカメラには基本的な撮像機能に大きな違いは無いが、GigEの最大ケーブル長が100mであるのに対しUSB2.0は5m以内に限定されるため、加工機によっては設置が難しくなることが予想される。同機能のカメラであればインターフェイスがUSB2.0であるほうが安価であるが、今回の用途ではインターフェイスがGigEであるほうが汎用的であると考えられる。

4.4 レンズ

製作した2機の試作機は、どちらも幅広い工具径に対応できるようズームレンズを採用した。しかし、撮像実験中は防水ケースに入っているため倍率を変えることは無かった。実用化に際しては、防水ケースの外から倍率を変更できる機構を用意するか、低価格、コンパクトであることを重視するのであれば固定倍率のレンズの採用が効果的である。

切削加工では工具の逃げ面摩擦幅が0.2mm以上となった時点工具寿命とするのが一般的である。画像によって逃げ面摩擦の進行を検知するには0.01mm程度の解像度(水平視野/イメージセンサの水平画素数)が必要と考えられる。参考として、試作機の1/2インチ(6.4mm×4.8mm)のイメージセンサに対して解像度が0.01mm程度となるレンズ倍率(センササイズ/視野の大きさ)は約0.5倍であり、このときの視野は12.8×9.6mmとなる。

4.5 照明

ボールエンドミルは、半球面上に切れ刃がある。機上工具観察システムは、このボールエンドミルの切れ刃を斜め45度の方向から1枚ずつ観察する。照明の配光を検討した結果、切れ刃の先端から端までを観察するにはド

ーム状の拡散照明が最も適していることが分かった。

照明用の光源はキセノンフラッシュランプとLEDを検討した。キセノンフラッシュランプは、高速で動く観察対象を止めて見る用途に一般的に利用され、10 μ 秒程度の短い発光時間と十分な光量の特徴としている。しかし、光量の調整幅が小さいため適切な露出値が得られるように撮像系(カメラ+レンズ)を選択する必要がある。

一方、近年急速に普及が進むLED照明は、光量はキセノンフラッシュランプに及ばないものの価格やサイズの面で有利である。さらに、発光時間で露光量を調整することで工具の色や撮像系の変化に柔軟に対応することができる。機上工具観察システムは、加工を中断して工具を観察することを想定しており、このときの工具回転数は任意に指定できることから、少ない光量でも工具の回転数を落とすことで仮想停止させて観察することが可能である。試作2号機は市販のLED照明を採用し、観察位置での照度は試作1号機のキセノンフラッシュランプの約1/10である。発光時間を100 μ 秒で使用しており、発光中に切れ刃が移動する距離が画像のぶれ量となることから、直径8mmの工具を観察する際の許容ぶれ量を10 μ mとすると観察可能な最高回転数は240min⁻¹となる。現状市販のストロボ観察用のLED照明は見当たらないが、カメラの最高フレームレートを有効に活用するためには900min⁻¹(主軸1回転につき1画像の取得時に15フレーム/秒に相当)での観察が望まれるため、今後は専用照明の開発を検討していく。

4.6 制御部

カメラとストロボ照明のタイミング制御および画像の表示、保存などのアプリケーション開発は、日本ナショナルインスツルメンツ社のLabVIEWとハードウェアを使用している。これは、開発効率を上げるためであり、現状は実用化の際の生産コストは考慮していない。開発中のアプリケーションの画面を図4に示す。画面右上に現在の主軸回転数を表示し、その下に主軸回転同期と非同期の切り替えスイッチ、観察方向の調節ダイヤル、任意刃先位置への観察位置のジャンプボタン、ストロボの発光と停止の切り替えボタンなどを配置した。これらは、工具の観察方向を直感的に操作できるよう考慮している。

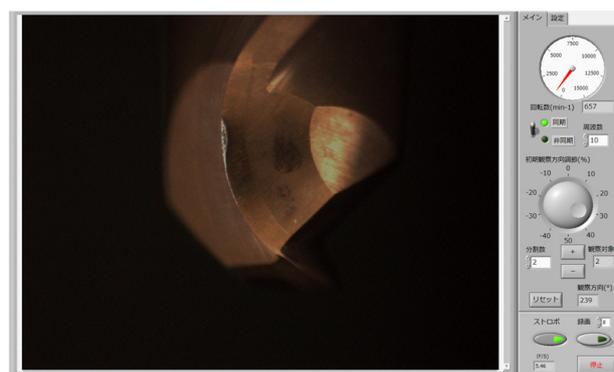


図4 システム操作画面

5. 結 言

加工途中の工具観察を省力化する機上工具観察システムの実用化を目標に、2 機の試作機を製作した。その結果得られた実用化に向けた多くの知見を紹介した。今後は、得られた知見を基に試作 3 号機を製作し、実際の加工現場における有用性の検証を行う。

文 献

- 1) 西川隆敏ほか：広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告，**54**，5-8（2011）。
- 2) 岡田芳雄ほか：広島県立東部工業技術センター研究報告，**17**，46-49（2004）。
- 3) 竹保義博ほか：広島県立東部工業技術センター研究報告，**18**，21-24（2005）。
- 4) 竹保義博ほか：広島県立東部工業技術センター研究報告，**19**，1-4（2006）。