

# エンドミル加工における工具温度のインプロセスモニタリング (小型2色温度計の適用)

## In-process Monitoring of Tool Temperature in End Milling by Newly Developed Compact Two-color Pyrometer

○小矢畑亘\*, 岡田将人\*\*, 安井慎之介\*, 細川晃\*, 田中隆太郎\*, 上田隆司\*  
\*金沢大学

\*\*福井工業高等専門学校

Wataru KOYAHATA, Masato OKADA, Shinnosuke YASUI, Akira HOSOKAWA, Ryutarō TANAKA, Takashi UEDA  
\*Kanazawa University

\*\*Fukui National College of Technology

Key Words: End milling, Tool temperature, Two-color pyrometer, Optical fiber

### 1. 緒言

切削加工において、工具の温度は工具寿命や加工精度に大きく影響を及ぼすため、加工中において工具温度をモニタリングすることができれば、切削状況を判断するのに非常に有用である。著者らはこれまで、光ファイバと赤外線検出素子を組み合わせた光ファイバ型2色温度計を開発し、種々の加工温度の測定に適用してきた。この温度計は応答速度や微小測定領域において優れた特性を有しており、高速エンドミル加工の工具温度測定にも適している。

しかし、この温度計は2色素子を液体窒素で冷却する必要があるためセンサが大型になり、使用時の姿勢も制限される。さらに、電気的な波形出力に対し、実験者が手作業でデータの処理にあたる必要があり、実際の加工現場での汎用的な使用は難しい状況にある。

そこで本研究では、電子冷却型素子を用いた小型2色温度計とA/D変換ボードを用いた測定システムを構築し、より実用的で汎用性に富む工具温度モニタリング手法を開発した。本報では、開発した温度計を用いて各種材料のエンドミル加工における工具刃先逃げ面温度を測定するとともに、その実用性を検証している。

### 2. 工具温度モニタリング用小型2色温度計

#### 2-1 小型2色温度計の構成

図1に本温度計の概略図を示す。本温度計は、測定対象物から輻射された赤外線が光ファイバにより受光・伝送し、赤外線検出素子に照射することにより出力を得る。赤外線検出素子から出力された電気信号は変換増幅回路を介して、モニタリングシステムへ出力される。

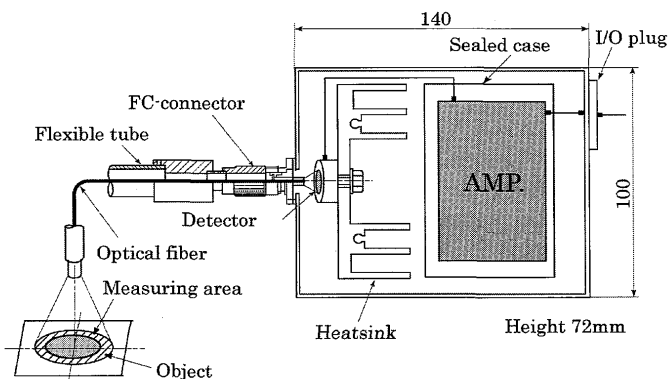


Fig.1 Structure of compact two-color pyrometer

#### 2-2 赤外線検出素子

図2に赤外線検出素子の分光感度特性を示す。本温度計は、波長 $\lambda=1.0\sim 3.4\mu\text{m}$ に感度を有する光起電力型InAs素子と $\lambda=3.4\sim 6.5\mu\text{m}$ に感度を有する光導電型InSb素子を積層構造にした赤外線検出素子を用いている。分光感度特性の異なる各素子からの出力比より温度を求めるため、測定対象物の輻射率の影響を受けない特徴を有する。また、本検出素子はペルチェ素子とサーミスタを内蔵し、外部温度コントローラにより、電氣的に温度を $-60^\circ\text{C}$ で一定に保つ電子冷却型を採用している。これにより、液体窒素などの冷却媒体を充填する必要がなく、温度計の小型化が可能となるとともに、取り扱いも簡便となる。

#### 2-3 光ファイバプローブ

図3に光ファイバプローブの外観を示す。本温度計に用いる光ファイバはステンレス製フレキシブルチューブにより保護し、ファイバの折損を防止するとともに測定時の位置合わせを容易にした。また、2色素子への照射端面側は通信用規格にあるFC-コネクタとし、従来型で必要であった集光レンズや精密位置ステージを不要とした。

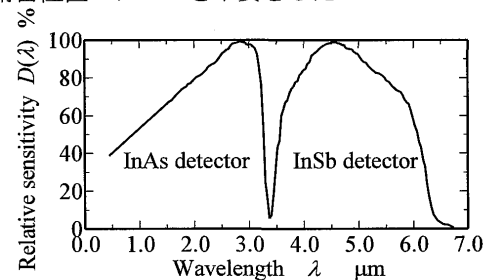


Fig.2 Specific detectivity of InAs/InSb two-color detectors

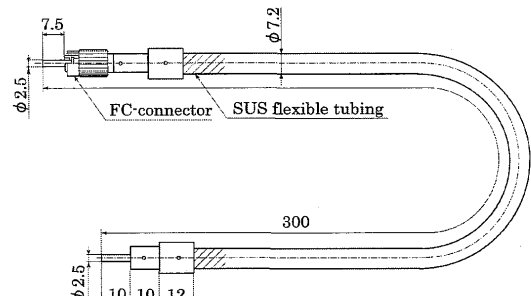


Fig.3 Optical fiber probe

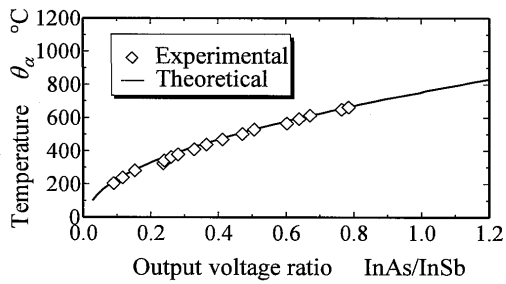


Fig.4 Caribration curve

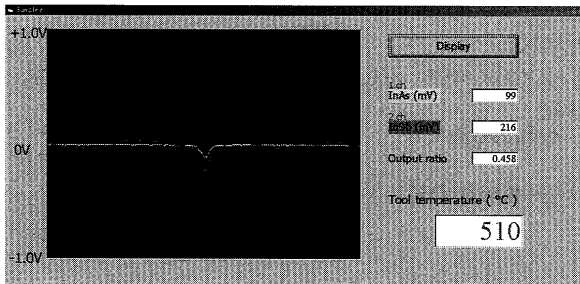


Fig.5 Monitoring form of the pyrometer

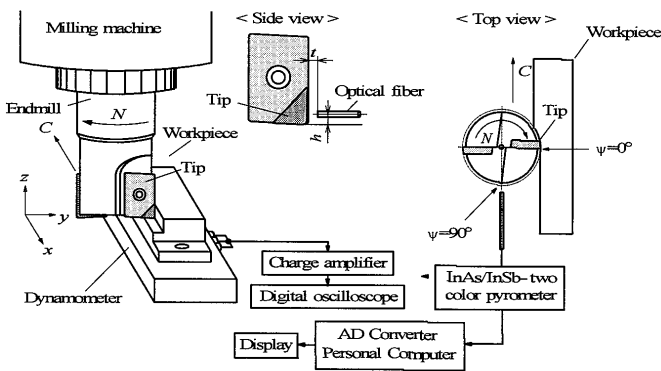


Fig.6 Experimental setup

### 2-4 温度計の出力校正

InAs 素子, InSb 素子から得られた出力比と温度との定量的な関係を示すために温度計の校正実験を行った. 図 4 に 2 色素子の出力比と温度の関係を示す. 図中の実線は理論的に求めた温度計の感度曲線を示している. 図より, 実験値と理論値が近似しており, 本温度計は約 200°C 以上において良好な精度を有した温度測定が可能であることがわかる.

### 2-5 A/D 変換システム

温度計からのアナログ出力を A/D 変換ボードによりデジタル量に変換し, パソコン上で演算して, 工具温度を逐次ディスプレイにモニタリングする. A/D 変換ボードの最大サンプリング速度は, 温度計の応答速度(≈400kHz)を上回る 10MHz であり, 十分な性能を有している.

モニタリングフォームの一例を図 5 に示す. 図にみるように, フォーム中に各素子からの出力波形ならびに出力電圧と工具温度が一定間隔で表示され, 作業者が工具の状況を確認できる. なお, データはパソコンに記録・保存される.

## 3. エンドミル工具温度のインプロセスモニタリング

### 3-1 実験方法および実験条件

開発した温度モニタリングシステムのエンドミル加工における実用性を検証するため, 切削後 90°回転した位置における工具温度測定実験を行った. 実験装置の概略図を図 6 に示す.

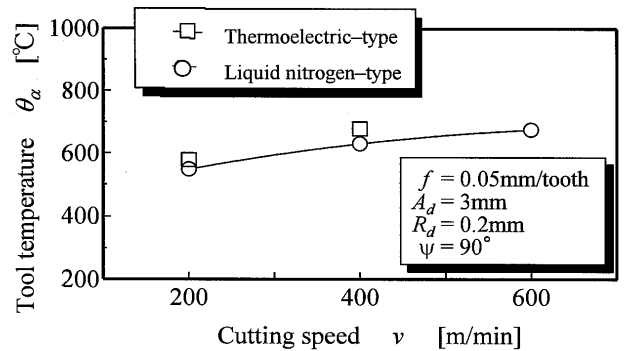


Fig.7 Influence of cutting speed on flank face temperature

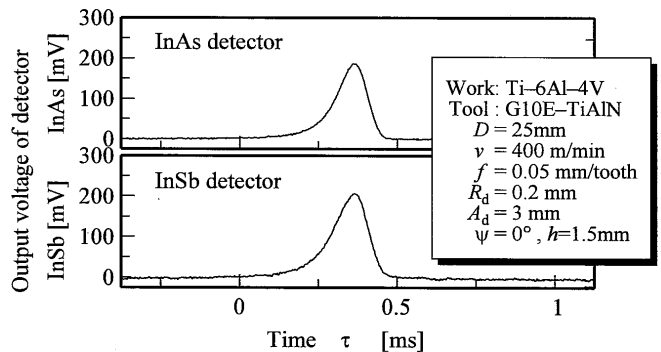


Fig.8 Typical output waves of pyrometer

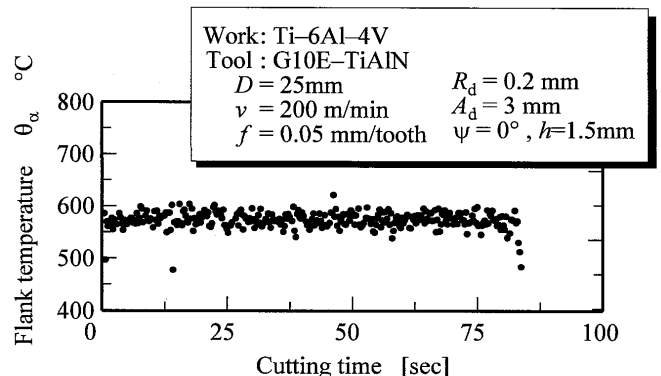


Fig.9 Tool temperature history during a cutting path

### 3-2 測定精度の検証

図 7 に切削速度と工具逃げ面温度の関係を従来型の温度計による結果と併せて示す. 図より, いずれの切削速度においても, 両者の結果はほぼ一致しており, 開発した小型温度計が従来型と同程度の測定精度を有しているといえる.

図 8 に本システムで収集した切削速度  $v=400\text{m/min}$  における出力波形例を示す. また, 切削開始から終了までの 1pass を通した工具温度の変遷を図 9 に示す. これより連続した温度測定が安定して行えることが確認できた.

## 4. 結言

高速エンドミル加工における工具温度のインプロセスモニタリングシステムを開発し, 実験でその性能を検証して次の結論を得た.

- (1) 小型 2 色温度計を高速エンドミル加工における温度測定に適用したところ, 切削パルスごとの出力が得られ, 測定精度も良好な結果を示した.
- (2) 本システムは小型, 軽量であるため既存設備への実装が容易なうえ, 工具温度をリアルタイムモニタリングすることが可能である. これらの特徴は, 生産現場での汎用的な使用の可能性を高めた.