

# エンドミル表面温度の工具寿命に及ぼす影響に関する研究\*

竹山 隆仁\*<sup>1</sup>・長友 良行\*<sup>1</sup>・荒武 崇幸\*<sup>1</sup>

Study on Effect of Surface Temperature in End-milling on Tool Life

Takahito TAKEYAMA, Yoshiyuki NAGATOMO and Takayuki ARATAKE

本研究はエンドミル加工中の刃先温度を測定する技術を確認し、刃先温度と工具摩耗との相関を把握することによる工具の長寿命化と加工品質の向上を目的として取り組んだ。今年度は直径20mmのエンドミルを固定し、被削材を回転させた状況での刃先温度測定を実施した。

キーワード：エンドミル，工具寿命

## 1 はじめに

切削加工において使用頻度の高いエンドミルの摩耗は、加工精度・加工表面性状・コストに影響を与える。この工具摩耗に関しては、物理的接触以外の要因として熱の影響が考えられる<sup>1)</sup>。

本研究は、エンドミル加工中の刃先温度を測定する技術を確認し、刃先温度と工具摩耗との相関を把握することによる工具の長寿命化と加工品質の向上を目的として取り組んだ。

## 2 実験方法

### 2-1 温度測定方法

#### 2-1-1 実験装置構成

本報では、直径20mmのエンドミルを固定し、被削材を回転させた状況での刃先温度測定を実施した結果を述べる。

切削温度を測定する方法としては工具-被削材熱電対方式が一般的である<sup>2)</sup>。しかしながらエンドミルによる断続切削では被削材とエンドミルが接触している間しか熱起電力が生じず、それ以外の時間帯の過渡的特性を把握できないため、エンドミルに埋め込み固定した熱電対と非接触温度計を使用し温度を計測する方法を採用した。実験装置構成を図1に示す。工具が回転しないようにバ

イスに固定し、被削材をミーリングチャックで把持し回転させながら工具の外側から中心方向に送ることにより切削を行う。通常のエンドミル切削と異なり、工具を固定し材料を回転させる方式とした理由は、エンドミルを回転させた場合、回転部から固定部に対して温度測定情報を伝達する機構を準備しなければならず、それよりも切削実験を優先させたためである。また、側面切削時の回転するエンドミルの外周逃げ面温度をファイバ式放射温度計により測定する方法もあるが、所有する装置の応答速度が高速回転に対応できないため断念した。

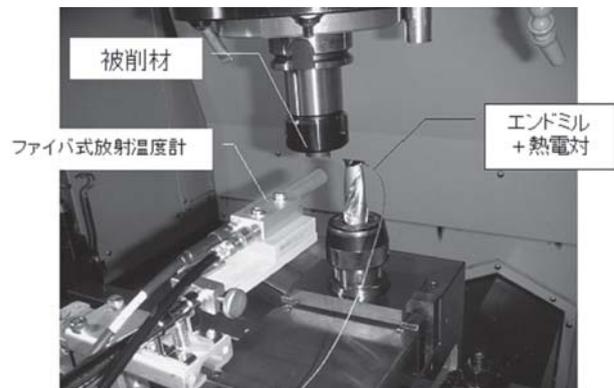


図1 装置構成

#### 2-1-2 熱電対による測定

図2に、熱電対を埋め込んだエンドミルを示す。底刃逃げ面から外周逃げ面に貫通する穴を開け、刃先近傍にK熱電対を埋め込み固定した。熱電対

\* エンドミル表面温度の工具寿命に及ぼす影響に関する研究 (第2報)

\*1 機械電子部

のリード線をアナライジングレコーダーと接続しデータを記録した。熱電対はエンドミルの刃先近傍に設置してはいるものの、刃先から直線距離にして約2mmの位置にあり、先端から伝導した熱で変化した温度が示される。

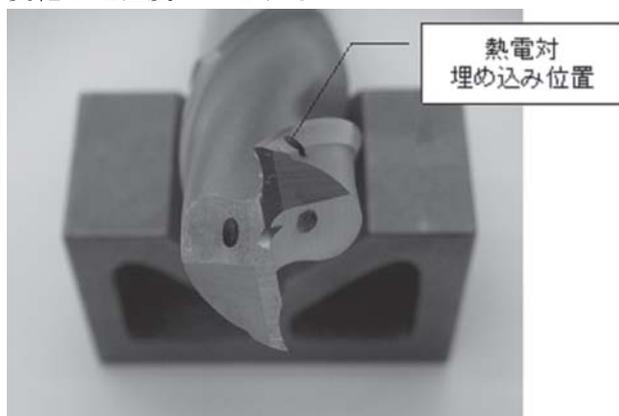


図2 熱電対埋め込みエンドミル

### 2-1-3 ファイバ式放射温度計による測定

熱電対と併用する形で、刃先温度をファイバ式放射温度計（株式会社チノー IR-FAI）によって工具すくい面方向から測定した。なお、ファイバ式放射温度計で計測される値は計測範囲φ5の平均値である。

### 2-1-4 赤外線サーモグラフィによる測定

温度分布を画像として表示させるために赤外線サーモグラフィ（NEC Avio赤外線テクノロジー株式会社 TH6300R）にて測定した。サーモグラフィは三脚に固定し加工テーブル前に設置した。

### 2-1-5 易融合金による測定

上記方法に加えて、エンドミルを回転させて切削した場合における刃先のおおよその温度域を確認する目的で、被削材に低温で熔融する易融合金を埋め込んで共削りを実施した。この方法は正確な温度が測定できるわけではないが、切粉や切削面の熔融状態から視覚的に温度域を推察することができる。S45Cに幅2mm、深さ6mmの溝を加工して易融合金を流し込んだものを試験材料とした。易融合金はUアロイ183とスズを用いた。

### 2-2 被削材

被削材は炭素鋼S45Cを用いた。断続切削を再現するために突起を加工し、工具の接触・非接触状態を擬似的に作り出した。図3に被削材形状の写真を示す。工具径方向切込量に応じて、刃が一回

転あたりで切削する円弧長は変化するので、この円弧長に応じた突起幅のものを製作した。被削材の直径は20mmとし、突起の高さは2mmとした。実際の切削においては被削材中心部の回転速度はゼロとなり、そのまま切削してしまうと被削材中心において突起を工具でへし折る形となり工具刃先が欠損する可能性があるため、外周部から8mm切削した時点で終了としている。なお、この切削形態だとねじれ角を有する切れ刃に沿って切削させることはできないが、軸方向切込量が小さい領域では近似的に無視できると考えて実験した。

また、工具を回転させる場合と比較して回転による放熱がないため工具温度が高めになることも当然予想されるところである。

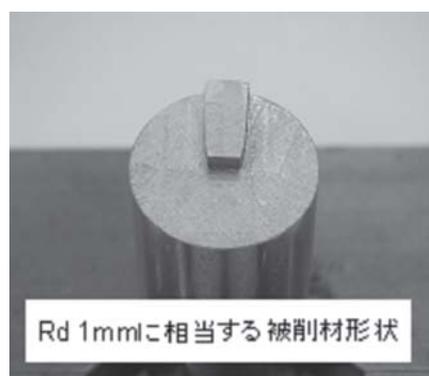


図3 被削材形状

### 2-3 使用工具および実験条件

エンドミルは直径 20mm のハイスエンドミル（コーティングなし、2枚刃）を使用した。

実験条件は表1のとおりである。

表1 実験条件

被削材	S45C
使用工具	ハイスエンドミルφ20
軸方向切込量 Ad	0.4, 1mm
径方向切込量 Rd	0.2~10mm
1刃あたり送り量	0.1mm/rev/刃
切削方向	ダウンカット
冷却方式	ドライ
使用機械	マシニングセンタV55 (株式会社牧野フライス製作所)

### 3 結果および考察

#### 3-1 赤外線サーモグラフィによる測定結果

図4に赤外線サーモグラフィにより取得した温度分布画像を示す。おおよその温度域は把握できるものの、エンドミル先端部とそれ以外（被削材およびバックグラウンド）との境界が明瞭でなく微小領域の測定という点で正確性を欠いた。このような結果をうけ、非接触測定手段としてはファイバ式放射温度計を主とした。

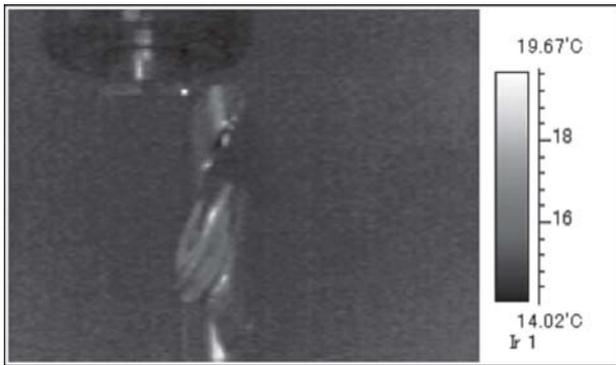


図4 赤外線サーモグラフィによる測定結果

#### 3-2 切削速度と切込量の影響

図5, 6に種々の工具径方向切込量Rdのもとで切削した際の温度を切削速度Vごとにまとめた結果を示す。プロットした温度は測定時間内の最高温度であり、後のグラフも同様である。図5がファイバ式放射温度計による測定結果, 図6が熱電対による測定結果である。切込量Rdが大きくなるほど、また切削速度が大きくなるほど刃先温度は上昇することがわかる。

また図7, 8に、工具回転数と刃先温度の関係を示した。回転数が大なるほど温度が高くなっていることが確認できる。

#### 3-3 工具摩耗量が切削温度に与える影響

エンドミル先端が切削に伴って摩耗することにより、熱の発生状況が変化するのではないかという予測の元に実験した。

実験方法としては、工具を回転させる通常の側面切削により、新品状態からそれぞれ2m, 4m, 8mの距離を切削したエンドミルを準備した。その事前に切削したエンドミルを固定し、被削材を回転させる切削方法で刃先温度を計測した。図9, 10に切削長に対する刃先温度の関係を示す。横軸に

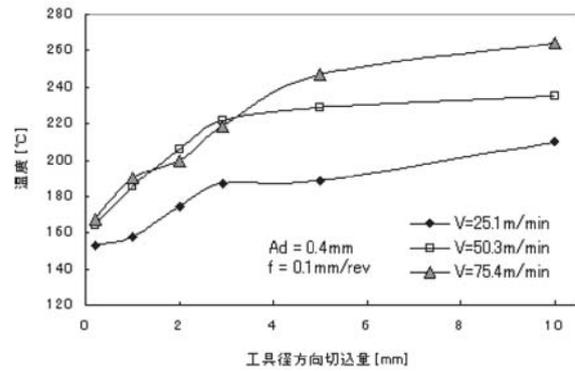


図5 刃先温度と切込量(ファイバ式放射温度計)

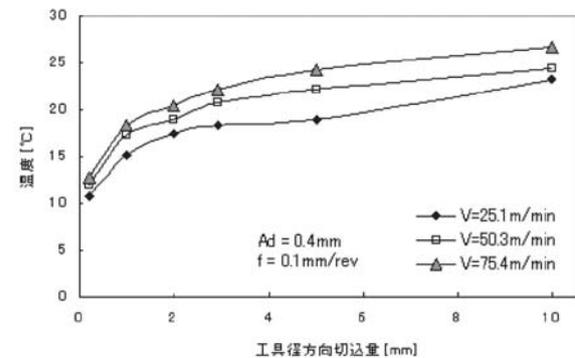


図6 刃先温度と切込量(熱電対)

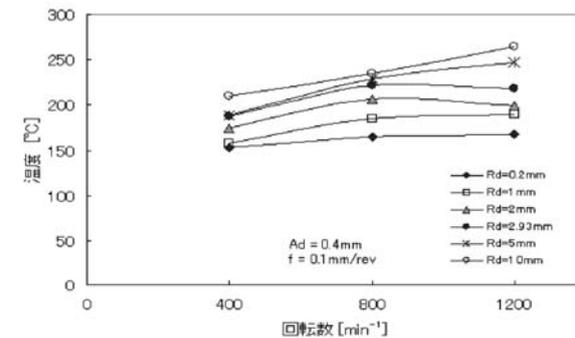


図7 工具回転数依存性(ファイバ式放射温度計)

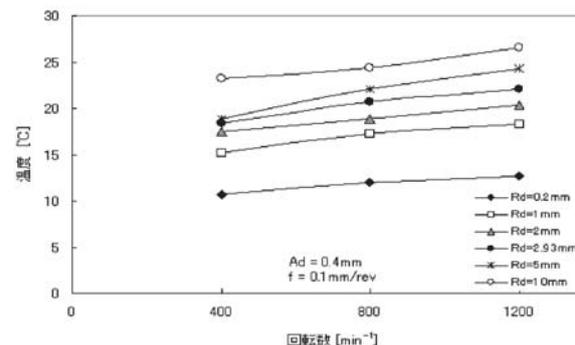


図8 工具回転数依存性(熱電対)

切削距離をとり、切削距離に応じた刃先温度をプロットしている。刃先温度は切削速度 $V$ が25.1m/minと75.4m/minの2つの条件において測定した。測定された温度から求めた近似直線を破線で追加した。併せて、エンドミルの逃げ面摩耗幅も記載した。切削距離が長くなっていくにつれて刃先の接触面積が増大し温度が上昇するのではないかという予測をしたが、今回実施した切削長8mまでの範囲では、幾分の上昇傾向が見られる（熱電対で約10℃）。さらに長い距離を切削し摩耗が進行すると刃先温度が大きく上昇する可能性はあるが、今回の範囲では温度上昇幅は極端に大きいわけではなく、刃先温度と工具摩耗との間に相関性が見られるとは断言できない。

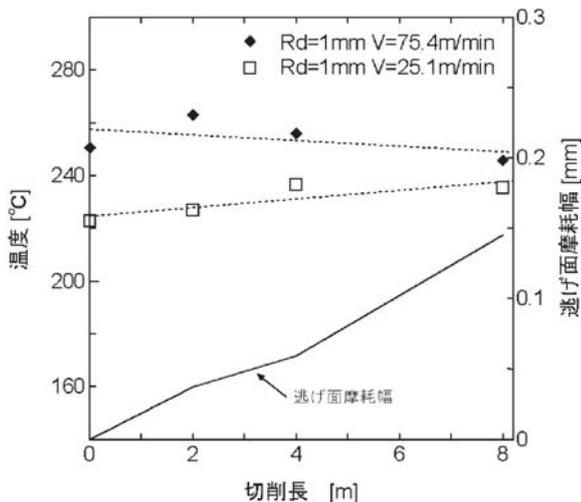


図9 事前切削したエンドミルの刃先温度（ファイバ式放射温度計）

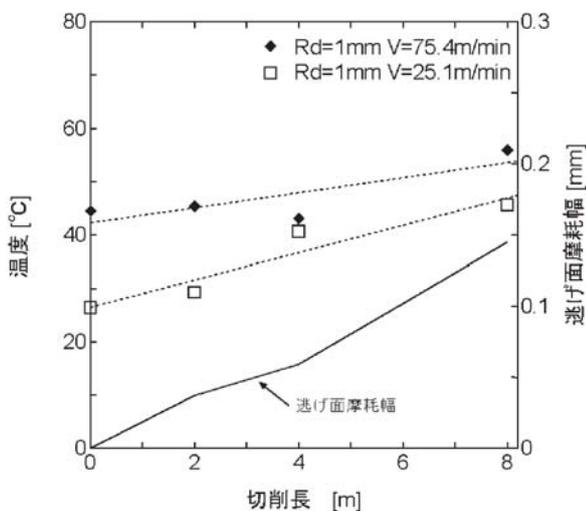


図10 事前切削したエンドミルの刃先温度（熱電対）

ところで文献によると炭素鋼の切削において低温域ではアブレシブ摩耗が優勢との指摘もある<sup>4)</sup>（ただし引用文献では超硬工具を使用）。図11の切削温度と工具摩耗原因との関係を見ると、摩滅（アブレシブ摩耗）は切削温度への依存性が小さいといえる。S45Cの摩耗原因としては摩滅が支配的であることが推察される。

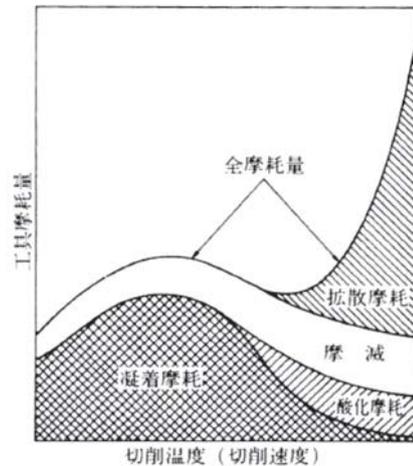


図11 切削温度と工具摩耗原因<sup>3)</sup>

### 3-4 易融合金埋め込み材の切削結果

図12~14にS45Cと共削りした易融合金切粉の観察写真を示す。図12はUアロイ183（融点約183℃）、図13と14はスズ（融点約232℃）である。図12の切削条件では溶融している切粉が見られ、刃先温度は183℃以上に達していると推定される。図12の切削条件から $R_d$ を6mmとした図13では、溶融した切粉は稀であった。図14では図13の条件から切削速度を50.3m/minと倍にしたところ、溶融した切粉が確認されたため、刃先は232℃以上に達しているものとみられる。

以上の結果は、図5に示したファイバ式放射温度計による計測結果と概ね合致している。

## 4 まとめ

炭素鋼S45Cを被削材として、エンドミルを固定し、被削材を回転させた状況での刃先温度測定を実施した。工具径方向切込量が大きくなるほど、また切削速度が大きくなるほど刃先温度は上昇することが確認できた。また新品状態から切削長が8mに至るまでに温度変化が生じるかを調査したと

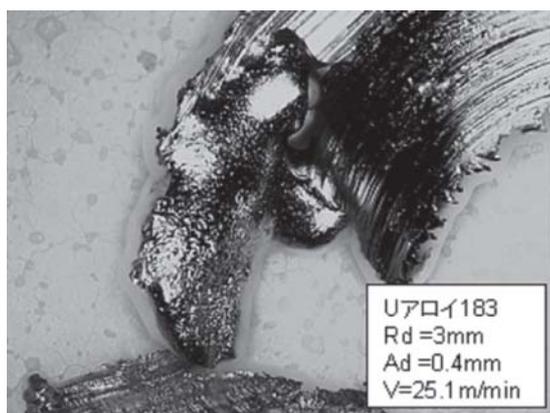


図12 易融合金 (Uアロイ183)

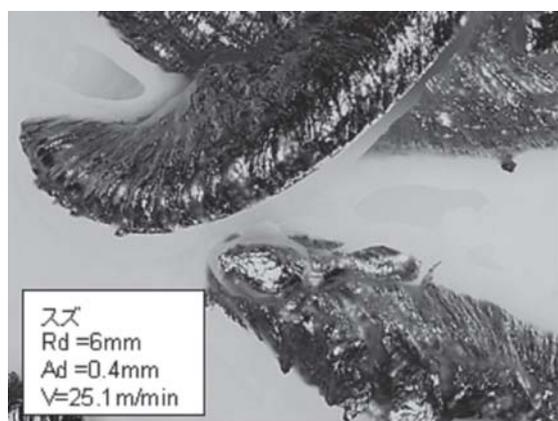


図13 易融合金 (スズ)

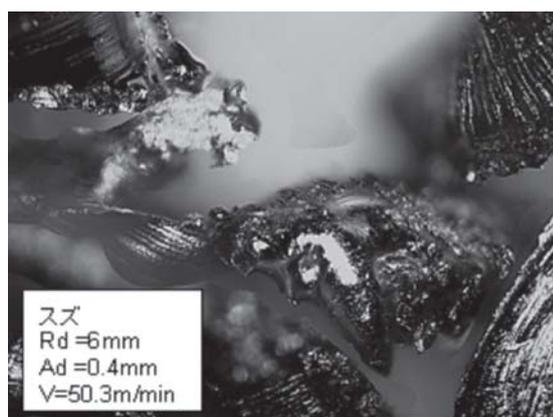


図14 易融合金 (スズ)

ころ、幾分の上昇傾向が見られるものの刃先温度と工具摩耗との間に相関性が見られるとは断言できなかった。

## 5 参考文献

- 1) 中島利勝：機械加工学, コロナ社, 92(1983)
- 2) 精機学会編：新訂精密工作便覧, コロナ社, 83

-86(1970)

3) H. Opitz: Metal Transformation, Gordon and Breach, New York, 261(1968)

4) 竹山秀彦：精密機械, **27**-1, 33-38(1961)