

## 環境に配慮した切削加工の研究

## ～油膜付水滴加工液を用いたエンドミル加工の加工精度～

河田圭一\*1 佐藤豊\*1 水野和康\*1 栗田浩和\*2

Study on Cutting with Consideration to Environment  
- Accuracy of Milling with Oil film on Water fog Metalworking Fluid -

Keiichi KAWATA, Yutaka SATO, Kazuyasu MIZUNO and Hirokazu KURITA

機械加工分野においても環境問題に対する意識の高まりから、環境を重視した様々な加工方法が研究されている。その1つに水滴の周りに油膜を付け加工点に供給する油膜付水滴加工液を用いた加工方法がある。この加工液は、1)少量の油剤で加工ができる、2)生分解性のある植物油を使用しているため廃液処理が簡単である、3)水滴による冷却効果が期待できるなどの利点があり、環境に配慮した加工方法として期待されている。本研究は、この油膜付水滴加工液を用いたスクエアエンドミルによる切削加工を行い、製品加工工程で重要となる加工精度について検討した。加工はアルミニウム合金(A5052)と炭素鋼(S45C)について行った。実験では、多量の水溶性切削加工液を使用する従来法および環境に配慮した方法の1つであるMQL法との比較を行った。その結果は以下のとおりである。1)工作物の温度上昇は、水溶性加工液、油膜付水滴加工液、MQLの順に大きくなる。2)寸法誤差は、水溶性加工液、油膜付水滴加工液、MQLの順に大きくなるが、油膜付水滴加工液の誤差は水溶性とほぼ同等かわずかに大きい。3)加工液供給法の違いによる真円度、表面粗さの差は認められなかった。4)油膜付水滴加工液において、冷却性だけを考慮した場合油剤と水の混合比は1:60程度で十分である。これにより、油膜付水滴加工液による切削加工が環境に配慮した加工方法として有効であることがわかった。

## 1. はじめに

現在、切削加工においても環境に対する配慮が求められている。特に、水溶性加工液については廃油処理のコストや作業者に対する健康上の問題から、これまでのような多量な加工液を用いた加工の見直しが始まっている。そのため、環境を重視した様々な加工方法が研究されている。例えば、加工液を使用しないドライ加工、加工点に冷風を供給して切削を行う冷風加工、微量の植物油をミスト状にして加工点に供給する極微量潤滑法(以下MQLと記す: Minimal Quantities of Lubricant)などがある。

その中で、名古屋工業大学において油膜付水滴加工液を用いた加工方法<sup>1) 2) 3)</sup>が新たに提案された。この方法は図1に示すように、水滴表面に油膜の張った水滴を加工液として圧縮空気により加工点に供給するものである。このため、活性の高い加工表面および工具表面に油剤が最初に到達して潤滑を得ることができる。油膜は、数分子程度の厚さで、加工点に的確に供給されるので、少量の油剤で十分な潤滑効果が期待できる。また、油剤として生分解性のある植物油を使用

するので、廃液処理も容易である。このため環境を考慮した加工方法として期待されている。また、水滴は油剤を運ぶ役割と加工物や工具を冷却する役割を果たしている。

本研究では、この油膜付水滴加工液を用いた切削加工特性を明らかにし、実用化の可否を検討した。本年度は、マシニングセンタによるスクエアエンドミル加工を行い、主として加工精度について調べた。従来法である水溶性加工液(エマルジョン)を用いた加工およびMQLによる加工との比較を行った。

## 2. 実験方法

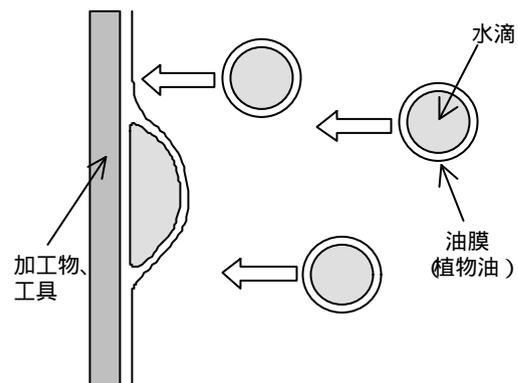


図1 油膜付水滴加工液の概略図

\*1 機械電子部 \*2 名古屋工業大学大学院生

2.1 加工方法

加工精度を調べるために、図2に示すような形状を、角材からスクエアエンドミルを用いて削りだした。被削材にはアルミニウム合金 (A5052) と炭素鋼 (S45C) を用いた。使用した工具の仕様を表1に示す。加工は、熱変形抑制装置を持つ立形マシニングセンタ (YBM640V) を用いて行った。マシニングセンタは外部からの熱の影響を避けるために  $20 \pm 1$  の恒温室に設置してある。

図3に加工手順を示す。図中の点線は主軸中心の加

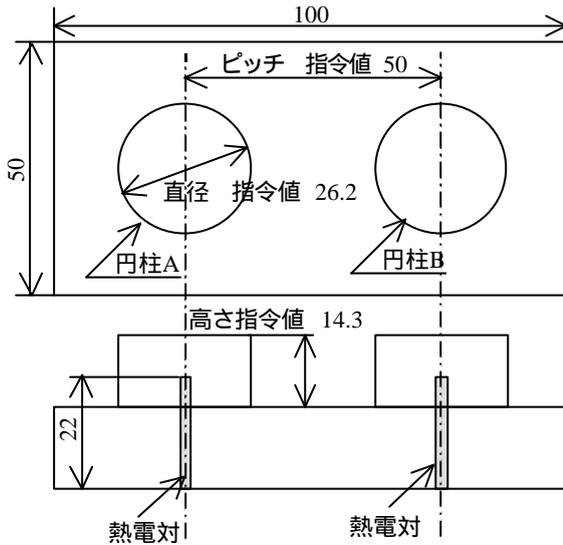


図2 加工形状

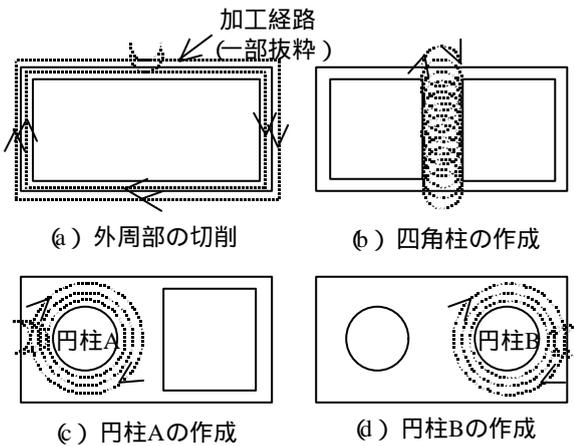


図3 加工手順 (上方図)

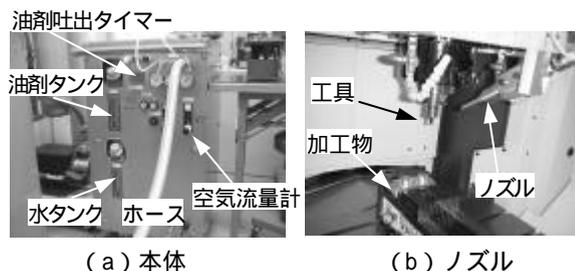


図4 油膜付水滴加工液供給装置

表1 使用工具

被削材	工具種類
アルミニウム合金 (A5052)	超硬ソリッドスクエアエンドミル 2枚刃
炭素鋼 (S45C)	AlTiNコーティング 超硬ソリッドスクエアエンドミル 4枚刃

表2 加工条件

主軸回転数	8000rpm (切削速度: 251m/min)
送り	2400mm/min A5052: 0.15 mm/刃 S45C : 0.075mm/刃
突出し量	18mm
軸方向切込み	14.3mm
半径方向切込み	0.5mm

表3 加工液吐出量

加工方法	吐出量
油膜付水滴加工液	10mL/h : 油剤 (S-35) 20mL/min : 水 300NL/min : 空気
水溶性加工液	7 L/min : 油剤エマルジョンタイプ (EZ-20) 20倍希釈
MQL	4mL/h : 油剤 (BL-1)

工経路である。まず (a) の工程で、外周を切削し、直方体とした。次いで (b) の工程で、図の経路に示したように中央を円弧状に連続的に削り取り、2つの直方体を形成した。最後に (c) と (d) の行程で直方体の外周を円弧切削し、2本の円柱を完成させた。加工は、エンドミルの刃全体を使用し、低切込み、高送りで行った。加工条件を表2に示す。

図4に油膜付水滴加工液供給装置を示す。水はポンプにより加圧されノズルに送られる。油剤は、一定時間ごとに 0.03mL づつ供給され、空気によって搬送される。ノズル内部で油膜付水滴が生成され加工点に供給される。従来法で使用する水溶性加工液はマシニングセンタ付属の装置を用いてノズルから加工点に供給される。MQL 装置もマシニングセンタ付属の装置を用いた。この装置はセンタースルー方式なので、ミスト化した油剤は、主軸内部をとり、コレットに設けられた穴から加工点に供給される。表3にそれぞれの加工液供給方法における加工液と吐出量を示す。

2.2 加工精度の測定方法

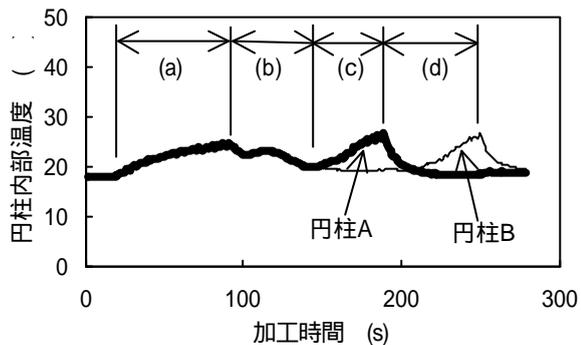
寸法精度は、2つの円柱のピッチ、直径および高さで評価することにし、三次元測定機により測定をした。仕上面粗さは表面粗さ測定機を用いて円筒面を測定した。真円度は真円度測定機を用いて測定した。精度変化をもたらす加工物の温度上昇は、円柱の中心部に挿入した熱電対(Tタイプ)により測定した。

### 3. 実験結果及び考察

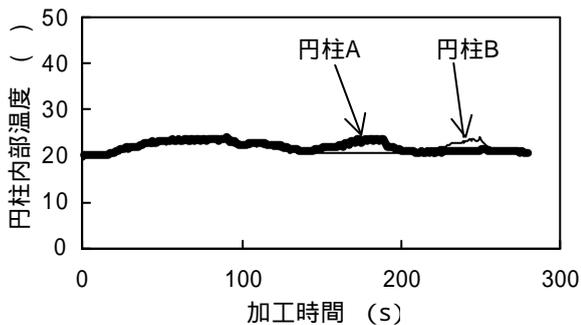
#### 3.1 アルミニウム合金の加工特性

##### 3.1.1 加工時の温度変化

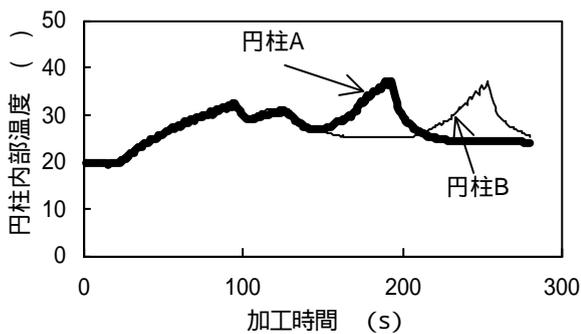
円柱中心部の温度は加工開始から終了まで、図5に示すように変化した。太線は円柱Aに挿入した熱電対、細線は円柱Bに挿入した熱電対で測定した温度である。加工前に、加工液を約5分間吐出し、加工物の温度が定常状態になってから加工を開始した。水溶性加工液とMQLの場合、加工物温度は室温と同じ20から始まっているが、油膜付水滴加工液の場合、細かい水滴の気化熱のため、約18から始まっている。図中の(a)



(a) 油膜付水滴加工液



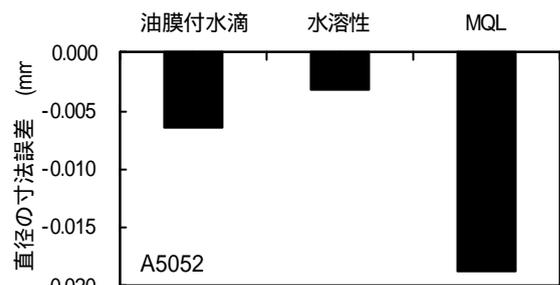
(b) 水溶性加工液



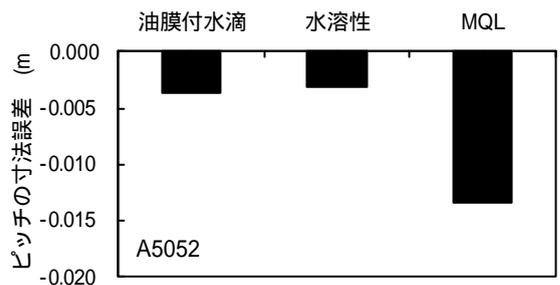
(c) MQL

図5 円柱内部温度変化

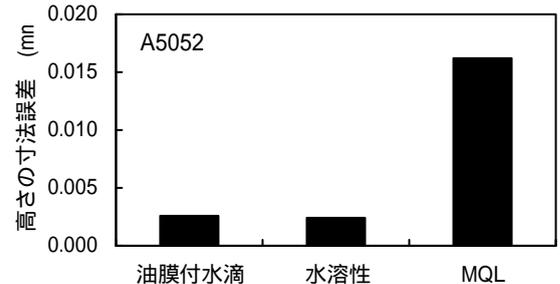
~(d)の温度は、図3の加工手順(a)~(d)に対応している。加工中の最高温度はいずれの加工液でも、熱電対が挿入されている円柱を加工している場合に生じた。温度上昇がもっとも小さいのは、当然ながら、水溶性加工液を多量にかけた場合で、約4であった。油膜付水滴加工液は約9、MQLは約17となった。油膜付水滴加工液は加工開始時の温度が18であるから、精度測定温度20に対しては約7の温度上昇となる。温度変化の測定から、油膜付水滴加工液は少量の水を使用することにより、顕著な冷却効果を発揮することがわかる。円柱Bを加工しているときの円柱Aの温度について注目すると、油膜付水滴加工液および水溶性加工液の場合、約20に戻っている。しかし、MQLの場合、約25であるので、加工終了時の加工物全体の温度は25を超えているものと推定できる。このことからMQLは、油膜付水滴加工液や水溶性加工液に比べ冷却性が劣ることがわかる。



(a) 円柱直径の寸法誤差



(b) 円柱ピッチの寸法誤差



(c) 円柱高さの寸法誤差

図6 寸法誤差の比較

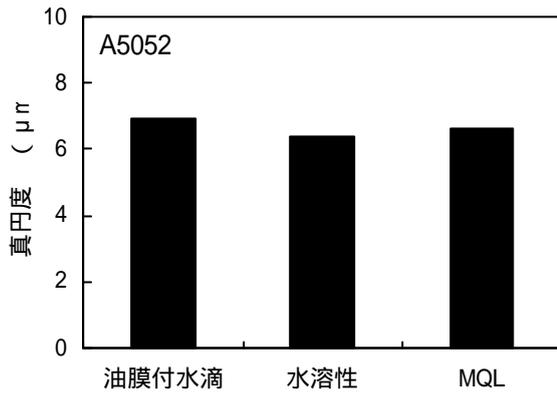


図7 真円度の比較

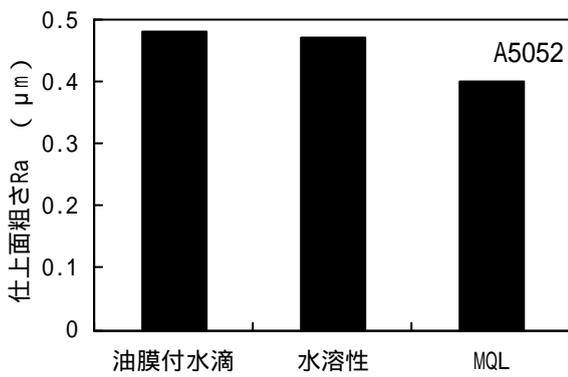


図8 仕上面粗さの比較

### 3.1.2 寸法精度

エンドミル加工において、寸法精度に影響を及ぼす原因は様々であるが、恒温室に設置した高精度マシニングセンタで被削性のよい材料を軽切削する本実験では、加工時における加工物と工具の温度上昇が支配的と考えられる。温度が上昇した状態で指令値どおり加工された工作物は、室温に戻ったときには収縮するので、指令値に対して円柱の直径とピッチでは減少、高さは増加として現れる。一方、工具の温度上昇は、工具長さ、工具径を増加させるので、円柱の直径の減少と円柱高さの増加として現れる。

エンドミル加工における寸法誤差が加工誤差に比べて有意かどうかを判定するため、同一条件で加工液ごとに繰り返し5回の加工を行った。寸法のばらつきは、直径、ピッチ、高さとも3 μm 以内であり、極めて再現性のよい加工が可能であることがわかった。

図6はアルミニウム合金を各加工液により加工したときの寸法誤差を示したものである。いずれの寸法誤差もMQLがもっとも大きく、油膜付水滴加工液は水溶性加工液と同等か少し大きい値を示した。これは、温度変化の傾向と一致している。

### 3.1.3 真円度および仕上面粗さ

図7に真円度の測定結果を示す。円柱の加工開始位

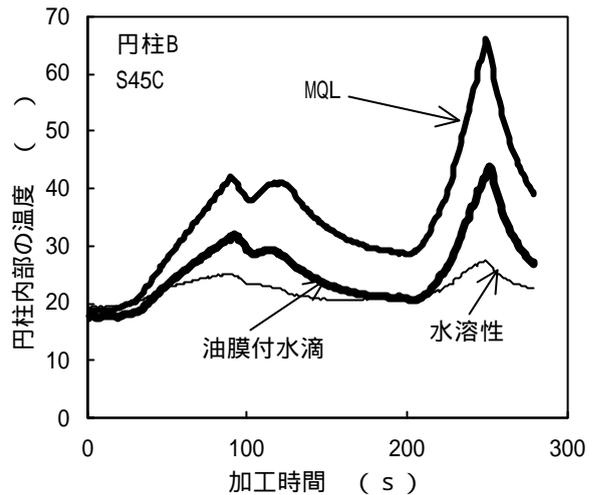


図9 温度変化の比較

置で切り残しが存在したのでその部分は除外して評価を行った。いずれの加工液も真円度は6~7 μm となり、加工液の違いによる影響は見られなかった。

図8に仕上面粗さの測定結果を示す。MQL が他に比べ少し小さな値を示しているが、その差は小さく、真円度と同様、加工液の違いによる影響は見られなかった。以上のことから、油膜付水滴加工液は、形状精度、仕上面粗さについて、従来法と同等の性能を持つことが確認できた。

### 3.2 炭素鋼の加工特性

#### 3.2.1 加工時の温度変化

図9に円柱Bの中心部の温度変化を示す。アルミニウム合金の加工の場合と同様、水溶性加工液を用いた場合が最も冷却効果が大きく、温度上昇は約8 °Cであった。油膜付水滴加工液では約24 °C、MQLでは約46 °Cであった。炭素鋼はアルミニウム合金に比べ加工熱が高いため温度上昇は大きくなったが、各加工液の冷却効果の比率はアルミニウム合金とほぼ等しくなった。円柱Bを加工しているときの円柱Aの温度は、アルミニウム合金の場合と同様、油膜付水滴加工液および水溶性加工液では約20 °Cまで冷却された。しかし、MQLでは約29 °Cであり、冷却効果の少ないことが再確認できた。

#### 3.2.2 寸法精度

図10に寸法精度を加工液ごとに比較した結果を示す。アルミニウム合金の場合と同様、いずれの寸法誤差もMQLが最も大きく、油膜付水滴加工液は水溶性加工液より若干大きい値を示した。炭素鋼の場合、直径および高さにおいて、MQLによる加工が他の加工方法よりも大きな寸法誤差となった。これは、MQLの冷却性が低いため、工具温度が上昇し、工具の熱膨張が大きかったためと思われる。

### 3.3 油膜付水滴加工液における水の冷却効果

油膜付水滴加工液による加工において、水の量がどの程度冷却効果に影響しているかを調べるために、油剤および空気の流量を一定にして水の供給量を変化させた。被削材はアルミニウム合金である。その円柱内部の温度上昇を図11に示す。図から、水を加えない場合、冷却効果は小さく円柱内部の温度は約12度上昇した。一方、10mL/minの水を供給すると、内部温度上昇は約7度に減少し、冷却効果が大きく向上することがわかる。しかし、水の供給量を50mL/minまで増加させても、冷却効果はほとんど向上しない。これから、油剤流量10mL/h、空気流量300NL/minの条件では、油剤と水の混合比は1:60で十分な冷却効果が得られることがわかった。

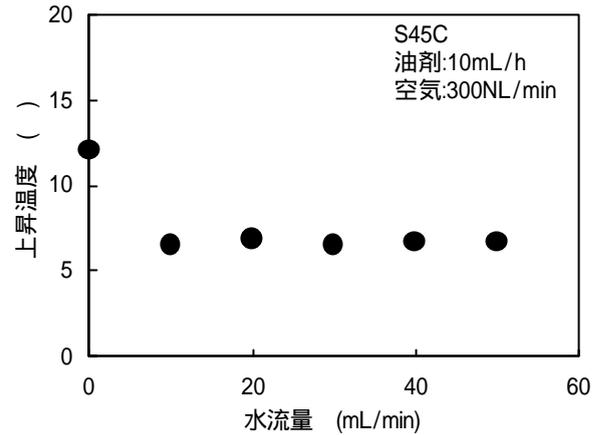
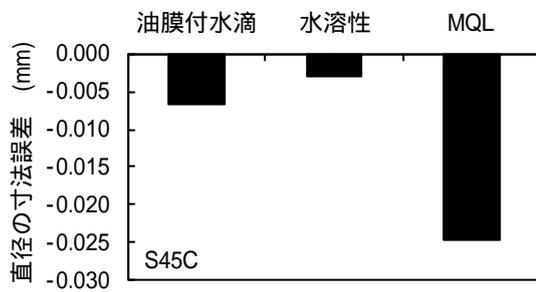
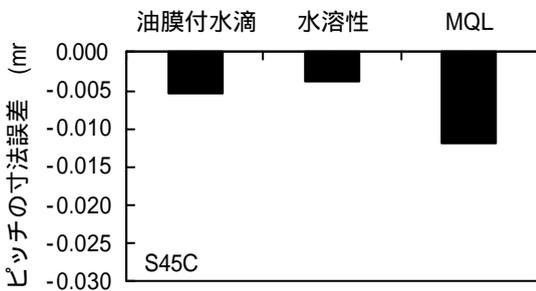


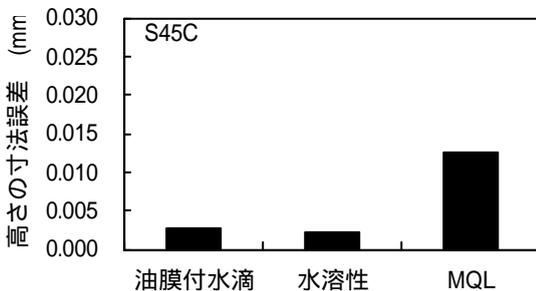
図11 円柱内部の上昇温度の変化



(a) 円柱直径の寸法誤差



(b) 円柱ピッチの寸法誤差



(c) 円柱高さの寸法誤差

図10 寸法誤差の比較

### 4. 結び

アルミニウム合金 (A5052) と炭素鋼 (S45C) のエンドミル加工を行い、加工液供給法と加工精度の関連について調べた結果、油膜付水滴加工液を用いた加工で、従来法による加工に近い加工精度が得られた。このことから、従来法に比べ少ない量の油剤と水で加工ができる油膜付水滴加工液の切削加工が、環境に配慮した加工方法として有効であることがわかった。

今後は、製品コストに直結する工具摩耗についても調べていく予定である。

### 謝辞

本研究は内藤科学技術振興財団の助成を受けて行いました。記して感謝します。

### 参考文献

- 1) 中村隆ほか：1999年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、550(1999)
- 2) 中村隆ほか：1999年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、89(1999)
- 3) 中村隆ほか：日本トライボロジー学会トライボロジー一会議予稿集 (高松 1999-10)、279(1999)