

# 油膜付き水滴を用いた深穴ドリル加工

河田圭一<sup>\*1</sup>、石川和昌<sup>\*1</sup>

## Deep Drilling with Oil on Water

Keiichi KAWATA<sup>\*1</sup> and Kazumasa ISHIKAWA<sup>\*1</sup>

Industrial Technology Division, AITEC<sup>\*1</sup>

本研究では、油膜付き水滴による深穴加工の性能を検討するため、立形マシニングセンタによる炭素鋼 S45C のドリル加工を行った。ドリルには 8mm の TiAlN コーティングドリルを用いた。加工条件は、主軸回転数 4000rpm、送り 0.2mm/rev、加工深さ 120mm (L/D=15) とした。逃げ面摩耗幅、切削力、加工精度などを調べた結果、油膜付き水滴による深穴加工は、MQL や水溶性切削液と比較して、遜色ない加工性能が期待できることが確認できた。

### 1. はじめに

環境負荷の低減やコストの削減を目的として、従来一般的に行われてきたクーラントを大量に供給して行う加工方法から、MQL (Minimum Quantity Lubrication) に代表される環境対応型加工方法への転換が、現在、自動車産業を中心に盛んに行われている。MQL は、1 時間に 10 ~ 50mL の必要最小限の植物油系油剤をミストにして供給する加工方法<sup>1)</sup>であり、外部からミスト供給が可能な旋盤加工やエンドミル加工などを主に行っている生産ラインにおいて比較の実用化が進んでいる。一方、これまで当所では、環境対応型加工方法のひとつである水滴の表面に極微量の植物油を膜状に乗せ、加工点に供給する油膜付き水滴 (Oil on Water) による研究<sup>2) 3)</sup>を行ってきた。油膜付き水滴は、水の蒸発潜熱を利用しているため MQL に比べ冷却性が高いことを特徴としており、加工精度を要求される生産ラインにおいて利用が進んでいる。

自動車のクランクシャフトやミッションケースなどの生産工程では、ドリル直径の 7 ~ 20 倍の深穴が加工されている。これまでは、ガンドリルによる加工やドリルによるステップ加工が主に行われてきた。しかし、ガンドリルによる加工では切削送りが遅く、またステップ加工ではステップ数が多いため加工時間が長くなることが課題となっていた。これに加えて、これらの加工方法は環境対応が遅れている。

外部からのミストによる供給では、加工深さが深くなるほど加工点に切削油剤が届きにくくなり、潤滑効果の低下や加工温度の上昇を招き、切りくず詰まりやドリルへの被削材の溶着によってドリルが折損するため、深穴

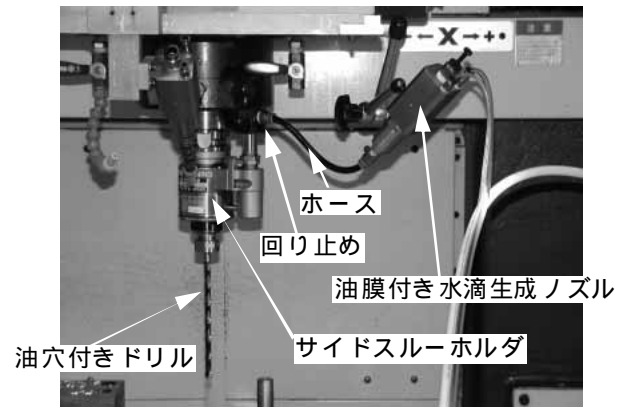


図 1 加工システム構成

加工が行われていなかった。最近では、工具性能の向上や加工機の高剛性化・高精度化にともない MQL を用いたロングドリルによる一発深穴加工が実現しており、これに対応した加工機が市販される<sup>4)</sup>など一部実用化が進んでいる。しかし、自動車部品での利用が増えているアルミニウム合金の加工では、アルミニウム合金がドリルに溶着しやすいため油剤の使用量が多くなることや加工条件によっては加工できないことが課題となっている。これらの原因に、潤滑不足と冷却不足が考えられている。

そこで、本研究では冷却効果や潤滑効果が高く油剤の使用量が少ない油膜付き水滴加工法に注目し、深穴加工への適用を検討したので報告する。

### 2. 実験方法

油膜付き水滴を用いて深穴加工を行うためには、ドリル内部に設けられている油穴を通してドリル先端から油膜付き水滴を吐出する必要がある。そこで、本実験では、

<sup>\*1</sup> 工業技術部 機械電子室

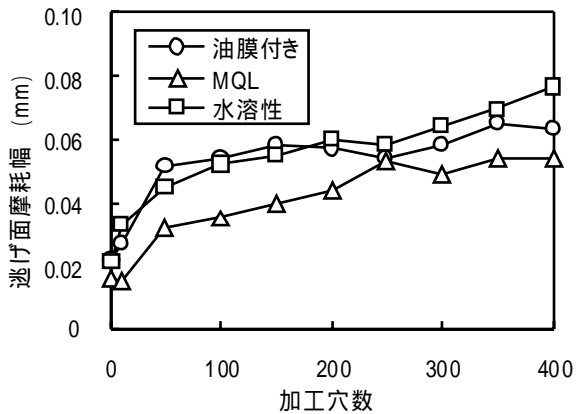


図2 逃げ面摩耗幅の比較

MQL用に市販されているサイドスルーホルダを用いることにより、油膜付き水滴の工具スルーを実現した。加工システムの構成を図1に示す。油膜付き水滴は、生成ノズル内部で生成された後、ホースと回り止めを通り、サイドスルーホルダに送られ、ドリル内部の油穴を通りドリルの先端から吐出される。

実験では、TiAlNコーティングした8mmのドリルを用いて深穴加工を行った。主軸回転数4000rpm、送り0.2mm/rev、加工深さ120mm(L/D=15)の条件で炭素鋼S45Cを加工した。ドリルによる深穴加工の前に、同径のドリルを用いて深さ8mmのガイド穴を開けてから、120mmの穴を加工した。

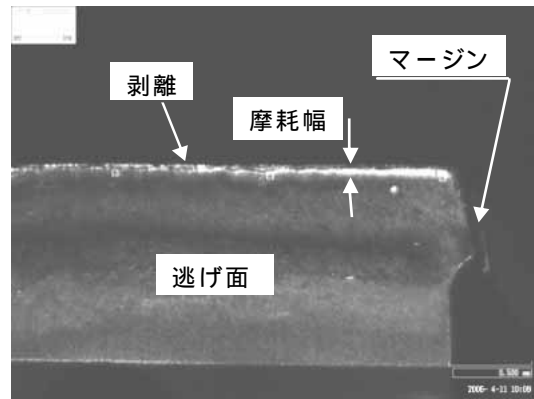
油膜付き水滴は、圧縮空気0.5MPa、水1.2L/h、油30mL/hの条件で供給した。比較のために、水溶性切削液(0.2MPa)、MQL(圧縮空気0.5MPa、油30mL/h)による実験も行った。それぞれの条件で400穴の加工を行い加工特性や加工精度について調べた。

### 3. 実験結果及び考察

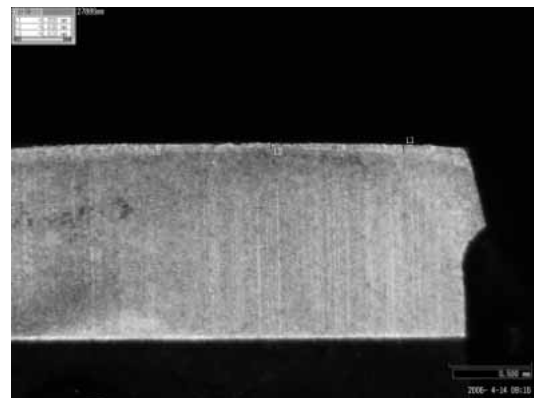
#### 3.1 工具寿命

工具寿命を調べるため本実験では工具逃げ面摩耗幅の測定を行った。図2にドリルの逃げ面摩耗幅を測定した結果を示す。油膜付き水滴と水溶性切削液ではほぼ同じように摩耗が進行した。400穴を加工した時点で油膜付き水滴の場合は約0.06mm、水溶性切削液の場合は約0.08mm摩耗した。一方、MQLは前者に比べて摩耗の進行が遅かった。400穴加工した時点の摩耗幅は約0.05mmと最も小さくなった。

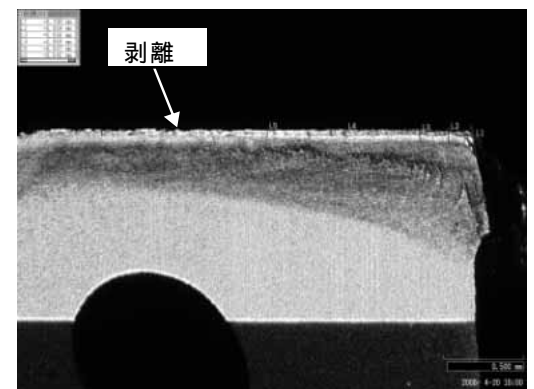
図3に400穴加工後のドリル先端の刃先をマイクロスコブで観察した結果を示す。(a)油膜付き水滴と(c)水溶性切削液の刃先はコーティング層が一部剥離しており、チッピングが起こっている。これは、切削液に含まれる水分により、冷却と加熱が繰り返されることでコーティ



(a) 油膜付き水滴



(b) MQL



(c) 水溶性切削液

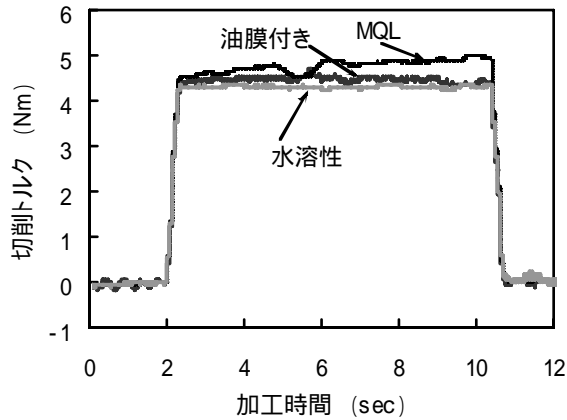
図3 400穴加工後のドリル刃先

ング層に亀裂が入りやすくなることが原因と推察される。一方、(b)MQLではこのようなコーティング層の剥離は見られなかった。このため、MQLの摩耗の進行が最も遅くなったと考えられる。

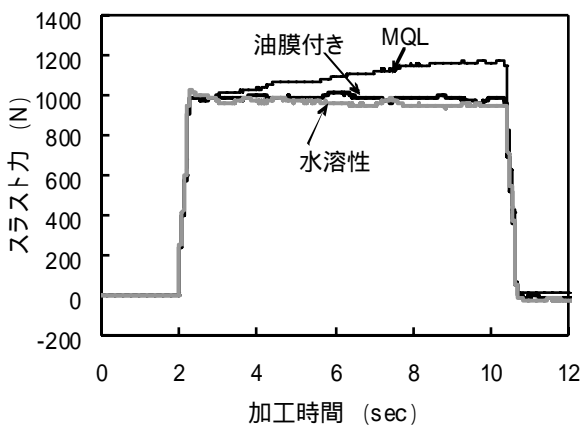
本実験により油膜付き水滴の冷却性能は水溶性切削液に近いものと推察される。

#### 3.2 切削力

本実験では、ひずみゲージ式動力計を用いて切削力を測定した。図4に穴加工時の切削力の変化を加工液ごとに比較した結果を示す。加工時間の経過とともに加工位置は深くなり、約10秒で120mmの深さの加工が完了する。図を見ると、(a)切削トルクおよび(b)スラスト力ともに、



(a) 切削トルク



(b) スラスト力

図4 切削力の比較 (10 穴目)

油膜付き水滴および水溶性切削液では加工位置が深くなっても値に変化はなく、ほぼ一定であった。一方、MQLでは、浅い位置での切削力は油膜付き水滴や水溶性切削液の場合とほぼ同じ値であったが、加工位置が深くなるにつれて値は上昇した。このことから、MQLでは深い位置で切りくずの排出が困難になるが、油膜付き水滴と水溶性切削液では、安定した切りくず排出と潤滑が得られることが確認できた。

加工消費電力は切削トルクとスラスト力から算出するが、スラスト力の影響は極めて小さいため、ここでは切削トルクだけから算出した値を加工消費電力とした。加工消費電力は(1)式により表される。

$$P = 2\pi T \times \frac{N}{60} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $P$ は加工消費電力(W)、 $T$ は切削トルク(Nm)、 $N$ は主軸回転数(rpm)である。加工消費電力量の推移を加工液ごとに比較した結果を図5に示す。加工消費電力量は加工初期では僅かではあるが水溶性切削液が最も小さく、次いで油膜付き水滴、MQLの順に大きくなった。しかし、加工穴数が100穴を越えると水溶性切削液の加工

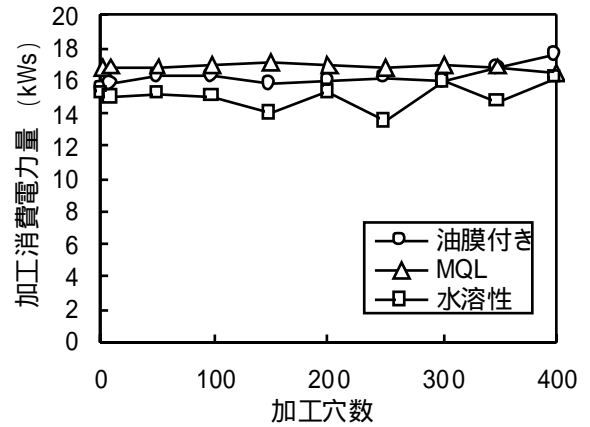


図5 加工消費電力量の比較

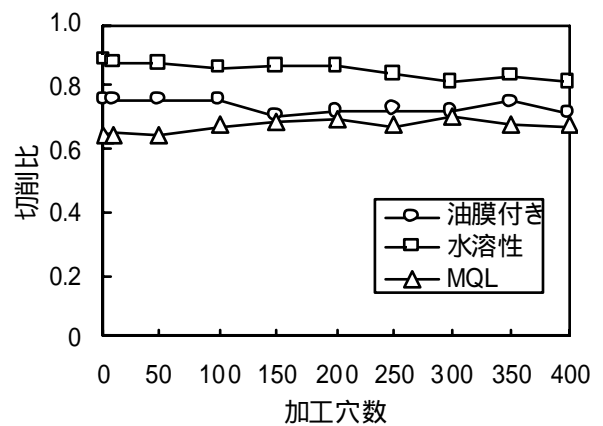


図6 切削比の比較

消費動力はばらつきが大きくなった。ドリルの逃げ面が摩耗し、コーナ部分も大きく摩耗したためと考えられる。油膜付き水滴の場合も、加工穴数が増えると徐々に加工消費電力量は上昇し、400穴目ではMQLよりも大きくなった。一方、MQLの場合は加工穴数が増えても加工消費電力量は大きく変化はしなかった。

### 3.3 切削比

切りくず厚さをマイクロメータで測定し、潤滑性の大小を示す切削比を計算した。それぞれの条件について切りくず厚さを10個測定し、その平均値を用いた。図6に加工穴数に対する切削比の推移を加工液ごとに比較した結果を示す。100穴以下の加工初期を見ると、切削比は水溶性切削液、油膜付き水滴、MQLの順に小さくなった。このことから、潤滑性は水溶性切削液が最も優れており、次いで油膜付き水滴、MQLの順となった。油膜付き水滴の潤滑性はMQLよりも高いことが確認できた。

加工穴数が増えるとともに油膜付き水滴や水溶性切削液では切削比は小さくなり、MQLではほとんど変化しなかった。これは、油膜付き水滴や水溶性切削液では摩耗が大きく実際のすくい角が変化したためと考えられる。

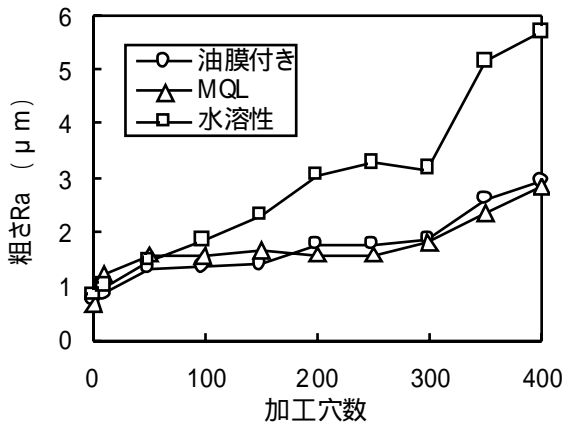


図7 粗さの比較

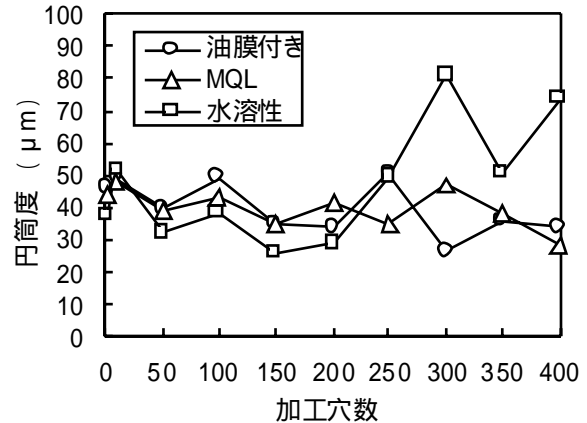


図8 円筒度の比較

### 3.4 加工精度

図7に加工穴数の増加による仕上げ面粗さの推移を示す。測定位置は穴の入り口から約20mmとした。フィルタはガウシアンフィルタを用い、カットオフは0.8mmとした。図から、どの切削液においても加工穴数が増えると仕上げ面粗さも大きくなった。しかし、増加の割合は水溶性切削液がもっとも大きく、油膜付き水滴とMQLはほぼ同じように緩やかに増加した。工具を観察したところ、水溶性切削液を用いたドリルのコーナ部はコーティングが剥離し大きく摩耗していた。このため、剥離・摩耗を起こした部分が加工面を傷つけ仕上げ粗さが大きくなったと考えられる。

次に、加工穴の真直性を評価するために円筒度を測定した。円筒度は穴の入り口から10mmごとに11断面測定することにより求めた。図8に円筒度の測定結果を示す。200穴程度まではどの加工液も約30~50μmの円筒度であった。MQLではスラスト力が油膜付き水滴や水溶性切削液に比べ大きくなったことから、加工穴の真直性が悪くなり円筒度も悪くなると予想されたが、加工液による顕著な差はなかった。400穴までは油膜付き水滴とMQLともに円筒度は大きな変化は見られなかった。しかしながら、水溶性切削液は加工穴数が増えると、仕上げ面粗さの影響から円筒度は大きくなった。

## 4. 結び

油膜付き水滴による深穴加工を検討するため、炭素鋼

S45Cを加工したところ以下の結果が得られた。

- (1)油膜付き水滴による工具の摩耗形態は水溶性切削液の摩耗形態に近かった。
- (2)油膜付き水滴と水溶性切削液では、加工深さに関係なく切削力は一定であった。一方、MQLでは加工深さにより切削力が増加した。
- (3)加工消費電力量は水溶性切削液、油膜付き水滴、MQLの順に大きくなった。
- (4)切削比は水溶性切削液、油膜付き水滴、MQLの順に小さくなった。
- (5)油膜付き水滴の仕上げ面粗さはMQLと同程度であった。
- (6)円筒度はどの加工液においても30~50μm程度であった。

このことから、油膜付き水滴による深穴加工は他の加工液と比較して遜色ない加工性能が期待できることが確認できた。また、深穴加工においても冷却性と潤滑性が良好なことから、アルミニウム合金への適用にも期待できることが分かった。

## 文献

- 1) 佐藤ほか：日本機械学会論文集 C 編，62(604)，4696(1996)
- 2) 河田ほか：精密工学会誌，69(9)，1342(2003)
- 3) 河田ほか：精密工学会誌，70(4)，573(2004)
- 4) 清都俊之：NACHI-BUSINESS machining news，5B2(11)