

## 旋削加工におけるMQLの効果 — 工具すくい面および逃げ面に供給されるオイルミストの作用機構 —

小澤匡史\*1, 細川 晃\*2, 田中隆太郎\*2, 古本達明\*2, 上田隆司\*2

Effects of minimum quantity lubrication in turning  
— Actions of oil mist supplied to tool rake face and flank face —

Masahito OZAWA, Akira HOSOKAWA, Ryutaro TANAKA, Tatsuaki FURUMOTO and Takashi UEDA

本研究では、クロム-モリブデン鋼とパーライト可鍛鋳鉄を対象として、ミストホール付きMQL専用バイトを用いたMQL旋削加工を行っている。MQL専用バイトはシャンク内にインサート近傍まで2つのオイル穴を有しており、オイルミストをすくい面および逃げ面の両方にピンポイントで供給することができる。クロム-モリブデン鋼においては工具すくい面にオイルミストを供給することで、100m/min以下の低切削速度域で切削抵抗が大きく減少する。一方、工具逃げ面側からのオイルミストの供給は、30m/min～300m/minの広範囲の切削速度域で仕上げ面粗さの改善に寄与する。工具逃げ面温度については、乾式に比べ逃げ面ノズルからのオイルミスト供給でおおよそ70°C、すくい面ノズルからの供給でおおよそ30°C低下し、同時に供給することで両者の冷却効果を加算した100°C程度温度冷却される。

Key words: MQL, oil mist, cutting temperature, fiber-coupled two-color pyrometer, turning

### 1. 緒言

近年、機械加工において、生産性の向上を目的とした高速切削やNi-基合金などの難削材加工の要求がますます増加している。切削速度の高速化や工作物の難削化は必然的に切削温度の上昇を招き、工具摩耗の促進、加工精度の低下や仕上げ面の劣化など多くの悪影響を及ぼす要因となる。そのため、切削液の供給が避けられない場合が生じるが、大量の切削液は自然環境や作業環境への負荷に加え廃液処理コストの増加など多くの問題が発生してしまう。このような背景の下、極微量の油をミスト化して切削点に供給するMQL加工が注目され<sup>1)2)</sup>、著者らをはじめ多くの研究が行われている<sup>3)~9)</sup>。

MQL加工の効果を最大に得るためには、オイルミストの噴射を的確に行い、切削点に極微量のオイルミストを効率よく供給することが重要である<sup>3)~6)</sup>。とくにオイルミストが切削点に届きにくい旋削加工においては、安定したオイルミスト供給システムを構築することが不可欠になる<sup>7)~9)</sup>。著者らはミストホール付きMQL専用バイトとオイルミスト流量やミスト径が調整可能なミスト発生装置を組み合わせたMQL旋削システムを構築し、機械的特性が異なる2種類の鉄系材料(クロム-モリブデン鋼、パーライト可鍛鋳鉄)を対象にMQLの効果について検討を行ってきた<sup>8)9)</sup>。その結果、オイルミストが工具や工作物に付着し

て潤滑膜として作用するにはある程度大きな油滴径が必要であること、クロム-モリブデン鋼の切削では、切削速度 $v$ が100m/min以下の領域でMQLの効果が顕著になり、乾式切削に比べ切削抵抗が1～20%程度減少すること、仕上げ面粗さと工具逃げ面温度は $v=30\text{m/min} \sim 300\text{m/min}$ の領域で改善されること、さらに、パーライト可鍛鋳鉄では $v=100\text{m/min} \sim 600\text{m/min}$ の速度域にわたりMQLの効果がみられ、工具逃げ面温度は乾式に比べおおよそ100～120°C低下することなどを明らかにしてきた<sup>9)</sup>。そして、その過程で、工具すくい面および逃げ面に供給されるオイルミストの作用が異なっているとの認識を得るに到った。

そこで本研究では、工具すくい面および逃げ面に供給されるオイルミストがそれぞれ切削性能にどのような影響を与えるかを個別に検討し、より詳細にMQLの効果を実証することを目的としている。すくい面、逃げ面でのオイルミストの役割が明らかになれば、たとえば両者で流量、ミスト径、油剤を変えるなど、より効果的なMQL切削システムの構築が可能になろう。本報では工具逃げ面温度、切削抵抗および仕上げ面粗さからすくい面および逃げ面におけるオイルミストの潤滑・冷却効果を評価するとともに、前報<sup>9)</sup>で未検討であった工具摩耗への影響についても切削温度と関連づけながら検討を加えている。

### 2. 実験装置および方法

#### 2.1 MQL旋削システム

MQL切削では、オイルミストの噴霧位置(ミストの供給方向やノズルからの距離)さらには油滴の量や大きさによってその

\*1 金沢大学大学院: 〒920-1192 石川県金沢市角間町  
Graduate School of Natural Science and Technology,  
Kanazawa University

\*2 金沢大学: 〒920-1192 石川県金沢市角間町  
Kanazawa University

(学会受付日: 2008年9月18日)

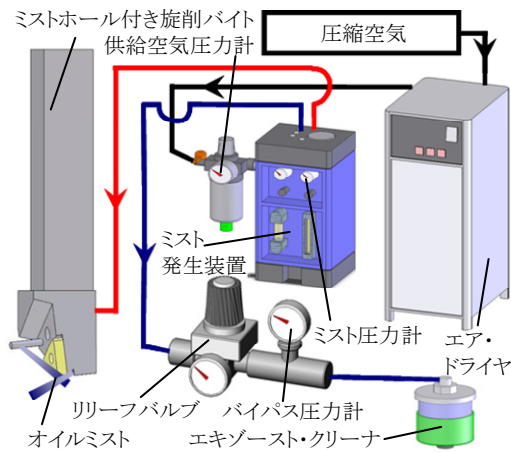


図1 ミストホール付きバイトを用いた MQL 旋削システム

表1 オイルミスト供給条件

ミスト発生装置	荏原エコミスト ZELLS MBM02
供給空気圧力	0.7 MPa
ミスト圧力	0.6 MPa
バイパス圧力 $p_b$	0.1 MPa
切削油剤	植物油

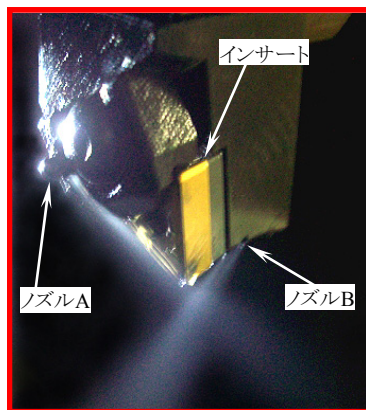


図2 すくい面および逃げ面に供給されるオイルミスト

供給効果が大きく異なる<sup>3) 7) 9)</sup>. 本研究では前報<sup>9)</sup>に引き続き、ミストホール付きMQL専用バイト (EBtool, フジBC技研(株)) を用いて旋削実験を行った。図1にMQL旋削システムを示す。エアコンプレッサで圧縮した空気はエアドライヤによって水分とゴミを除去され、さらに、フィルタ・レギュレータで所定の空気圧に調整された後、超微粒オイルミスト噴霧装置 (荏原エコミスト ZELLS MBM02) に供給される。生成されたオイルミストはミストホール付きMQL専用バイトに送られ、バイト内の管路を経由し、工具逃げ面およびすくい面に供給される。表1にオイルミストの生成条件を示す。ここで、断面積の小さいミストホールから十分なオイルミスト量を確保するため、図1に示すように噴霧装置にバイパス配管を構築することでミスト濃度改善を図っている。リリーフバルブを開放し、バイパス圧力  $p_b$  を 0.1MPa に設定することで有意な潤滑・冷却効果が得られるオイルミスト総流量 25ml/h を確保している<sup>9)</sup>。図2はこの供給条件で実際に工具すくい面および逃げ面にオイルミストを供給した

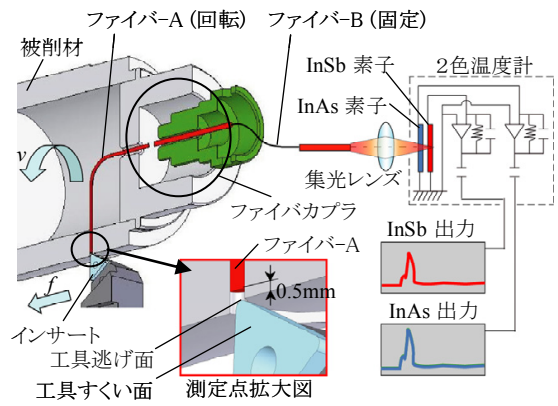


図3 ファイバ連結型2色温度計の構造図

表2 ファイバ連結型2色温度計の特性

2色検出素子 検出波長域	光起電力型 (InAs, InSb) InAs : 1 ~ 3 $\mu\text{m}$ InSb : 3 ~ 6 $\mu\text{m}$
光ファイバ コア径	カルコゲナイドガラス ファイバー-A (回転) : 400 $\mu\text{m}$ ファイバー-B (固定) : 500 $\mu\text{m}$
開口数	NA=0.4
周波数応答	400 kHz

様子である。図にみるように、両ノズル (A:すくい面, B:逃げ面) から工具刃先にオイルミストは到達し、工具-切りくず接触領域および工具逃げ面にピンポイントで供給されることがわかる。

### 2.2 光ファイバ連結型2色温度計

前報<sup>9)</sup>と同様、工作物が回転する旋削加工においても工具逃げ面温度を測定することが可能なファイバ連結型2色温度計を用いて工具逃げ面温度を測定した。図3に温度測定法の詳細を、表2に温度計の仕様を示す。図3に示すように、円筒状の工作物径方向に測定孔 ( $\phi 1.1\text{mm}$ ) を貫通させ、ファイバー-Aを挿入する。このとき、ファイバ端面と工具刃先の距離は 0.5mm になるよう調節する。ファイバー-Aの一端は工作物端面に取り付けられたファイバカプラに挿入され、工作物とともに回転する。切削時、回転ファイバー-Aの入射端面が工具刃先前方を通過する際工具逃げ面からのふく射エネルギーを受光し、非接触光カプラを介してファイバー-Bに伝送される。ファイバー-Bに受光されたふく射エネルギーが最終的に2色素子に伝送される。2色素子とは分光感度波長域がそれぞれ  $1\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$  および  $3\mu\text{m} \sim 6\mu\text{m}$  と異なる InAs 素子および InSb 素子を同一光軸上で積層構造にしたものである。工具の温度は2色素子の出力比から求めるため、両ファイバの軸芯のずれやファイバ間距離などのカップリング内の設定誤差は測定精度に影響されない特徴を持っている<sup>9)</sup>。

### 2.3 実験方法

図4に実験装置の概略を示す。実験にはオークマ(株)製複合加工機 (Mac Turn30) を用いた。切削抵抗はひずみゲージ式3分力動力計 (サトーマシナリー(株), AST-TTH) をバイトホルダに取り付け、主分力  $F_v$ 、背分力  $F_p$  および送り分力  $F_f$  を測定し

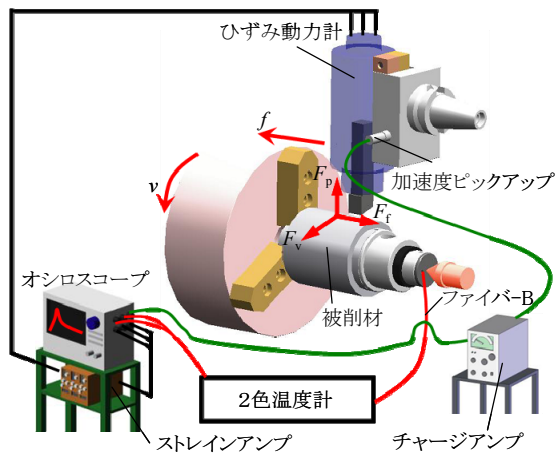


図4 実験装置系統図

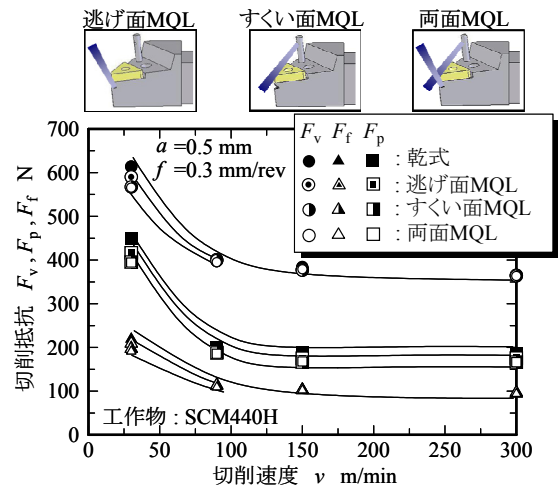


図5 切削抵抗に及ぼすMQLの効果

表3 実験条件

被削材	クロムモリブデン鋼 (SCM440H)
切削工具	TNGM 160408 刃先半径: 0.8 mm, すくい角: -6° 工具材種: TiCNコーテッドサーメット
切削速度	$v = 30\text{--}300$ m/min
切り込み	$a = 0.5$ mm
送り速度	$f = 0.3$ mm/rev
被削材	パーライト可鍛鋳鉄 (FCMP)
切削工具	DNGA 150408 刃先半径: 0.8 mm, すくい角: -6° 工具材種: アルミナ系セラミックス
切削速度	$v = 200, 500$ m/min
切り込み	$a = 0.15$ mm
送り速度	$f = 0.15$ mm/rev

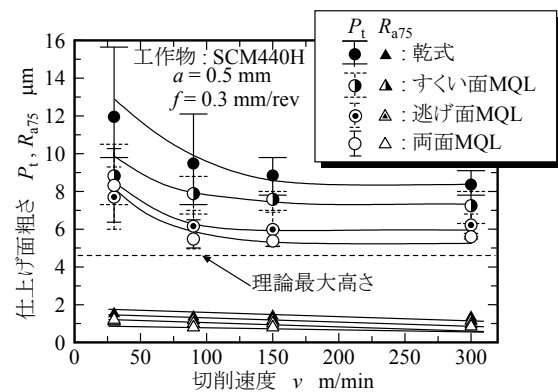


図6 オイルミスト供給面による仕上げ面粗さの違い

た。切削温度測定は2.2節で説明したように、円筒状工作物にあけた貫通穴に光ファイバを挿入して工作物とともに回転させ、固定した別の光ファイバに非接触で熱エネルギーを伝送する方法(ファイバ連結型2色温度計)で行っている。ところで、工具が測定孔上部を通過する前後では切りくずなどからの熱パルスも観測される。そこで図4に示すようにバイトホルダに加速度ピックアップを取り付け、測定孔上部を切削する際の振動を感知して温度パルスの同定を行っている。送りを  $f$ 、測定孔の径を  $d$  とすると計算上  $df$  回の温度パルスが観測されることになり、これらの平均値を当該実験条件における温度とした。

工作物には主としてクロム-モリブデン鋼(SCM440H)を用い、切削抵抗、仕上げ面粗さおよび工具逃げ面温度により、工具すくい面および逃げ面に供給されるオイルミストの効果を個別に検証している。ここで、工具すくい面あるいは逃げ面のみにオイルミストを供給する場合、片側のノズルを塞ぐのではなく、それぞれ各ノズルの前方に遮蔽板として銅箔を設置し、オイルミストがすくい面あるいは逃げ面に到達するのを防いでいる。このようにすることによって、すくい面側ノズルおよび逃げ面側ノズルから噴霧されるオイルミストの流量(すくい面側: 13ml/h, 逃げ面側: 12ml/h)および油滴径分布が通常の使用状態(両ノズルからミストが供給)と同等になり、両側から供給した前報の結果と比較することが可能になる。

MQL加工が工具摩耗に及ぼす実験では、工作物としてクロム-モリブデン鋼に加え、被削性が異なるパーライト可鍛鋳鉄(FCMP)を採用した。用いる工具はSCM440HにはTiCNコーテッドサーメット、FCMPにはアルミナ系セラミックスである。なお、工具摩耗曲線の測定を除き、実験は3分間捨て切削し、工具が安定摩耗域に入った後に行っている。表3に主たる実験条件を示す。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 工具逃げ面・すくい面に作用するオイルミストの効果

##### 3.1.1 切削抵抗

図5に切削速度  $v$  を30m/minから300m/minまで変化させた時のSCM440Hの切削抵抗の変化を示す。乾式加工、すくい面MQL、逃げ面MQLおよび両面MQLの測定結果を比較している。図にみるように、切削抵抗は  $v$  の影響を顕著に受け、30m/minから100m/minの間で急速に低下している。また、100m/minを超える高速域ではほぼ安定した切削状態を維持していることがわかる。MQLの効果については、主分力  $F_v$  および背分力  $F_p$  で顕著にみられ、低切削速度域でオイルミストによる切削抵抗低減効果が現れている。とくに、低速の  $v=30$ m/minでは工具すくい面にオイルミストを供給した場合に大きな減少がみられ、その効果は逃げ面・すくい面の両面に



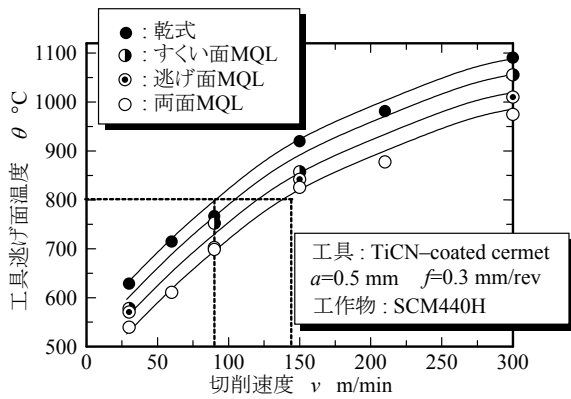


図7 工具逃げ面温度に及ぼす MQL の効果

供給したときと同程度の効果が現れている。一方、工具逃げ面にオイルミストを供給した場合、ある程度の動力低減効果は確認されたがその効果は小さい。このことから、低温度域で発生しやすい切りくずの凝着が、工具すくい面(工具-切りくず接触部)に作用するオイルミストによって抑制されていることが推察される。

3. 1. 2 仕上げ面粗さ

図6は仕上げ面粗さ(中心線平均粗さ $R_{a75}$ , 最大高さ $P_t$ )と切削速度 $v$ の関係である。粗さは工作物長手方向に測定した5ヵ所の平均値であり、 $P_t$ ではそのばらつきをエラーバーで示している。図にみるように、乾式加工においても $v$ の増大とともに仕上げ面は良好になるが、MQL方式と比較すると値、ばらつきともに大きいことがわかる。 $P_t$ に着目すると、MQL加工を行うことで $P_t$ はさらに改善され、とくに逃げ面、すくい面の両面にオイルミストを供給した場合、その値は図中に示す理論最大高さに近づいており、切削が非常に安定していることがうかがえる。ここで、理論最大高さは実測した刃先形状をもとに作成した仕上げ面のプロファイルより求めた粗さである。

各MQL切削の効果に関しては、乾式、すくい面MQL、逃げ面MQLそして両面MQLの順に $P_t$ は改善され、粗さのばらつきも少ないことがみてとれる。仕上げ面粗さはオイルミストの供給量の影響が顕著に現れるが<sup>9)</sup>、今回の実験ではすくい面と逃げ面に個別に供給されるオイルミスト量はほぼ等しい( $q_r \approx 13 \text{ ml/h}$ ,  $q_f \approx 12 \text{ ml/h}$ )ことから、仕上げ面性状の改善効果は主に逃げ面に供給されるオイルミストが担っているといえる。すくい面側のオイルミストは切削状態を安定させ、その結果仕上げ面の良化に寄与するものと思われる。

3. 1. 3 工具逃げ面温度

図7に乾式と各MQL切削における工具逃げ面温度と切削速度の関係を示す。図にみるように、切削速度の増加とともに工具逃げ面温度は上昇し、乾式加工の $v=300 \text{ m/min}$ においては $1090^\circ\text{C}$ に達している。MQLの効果についてはすくい面、逃げ面そして両面の順に大きくなっている。すくい面にオイルミストを供給した場合、 $v=30 \text{ m/min} \sim 300 \text{ m/min}$ の範囲で工具温度は $580^\circ\text{C} \sim 1060^\circ\text{C}$ と約 $480^\circ\text{C}$ 上昇しており、乾式加工と比較して全体的に $30^\circ\text{C}$ 程度の冷却効果といえる。一方、工具逃げ面にオイルミストを供給すると工具温度は $570^\circ\text{C} \sim 1010^\circ\text{C}$ であ

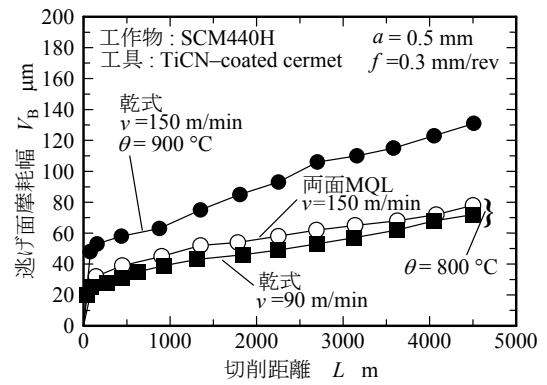


図8 クロムモリブデン鋼における切削距離と逃げ面摩耗の関係

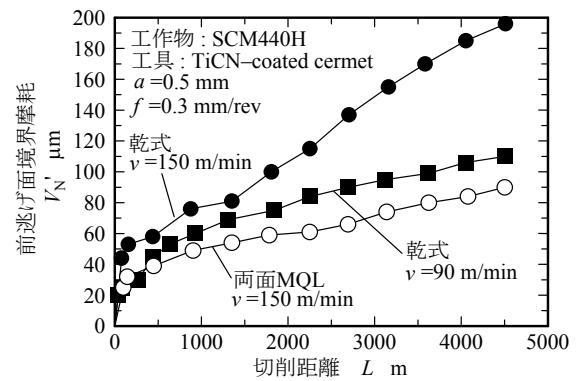


図9 クロムモリブデン鋼における切削距離と逃げ面送り境界部摩耗の関係

り、切削速度域全般にわたっておよそ $70^\circ\text{C}$ 温度が低くなっている。このことから、逃げ面側に供給したオイルミストが工具冷却に大きく寄与しているといえる。当然ながら、工具すくい面・逃げ面同時に供給すれば工具温度は両者の冷却効果をそのまま加算した $100^\circ\text{C}$ 程度の低下となっている。

ここで、図7より、一般的な切削速度 $v=150 \text{ m/min}$ において、MQL加工(両面)での工具温度は約 $800^\circ\text{C}$ であるが、同じ工具温度で切削を行うとすれば乾式では $v=90 \text{ m/min}$ となる。すなわち、工具摩耗量が工具温度に依存するとすれば、計算上MQL加工では乾式に比較しておよそ $150/90=1.7$ 倍の能率で切削することが可能となる。そこで、次節ではMQL加工の工具摩耗への影響について、主として工具温度との関係で検討する。

3. 2 MQLの工具摩耗抑制効果

3. 2. 1 クロム-モリブデン鋼

MQLの工具摩耗抑制効果を検証するため、クロム-モリブデン鋼(SCM440H)を用いて工具摩耗試験を行った。なお、摩耗試験ではオイルミストはすくい面、逃げ面両側から供給している。図8に切削距離と工具逃げ面摩耗 $V_B$ の関係を示す。一般的な中切削速度 $v=150 \text{ m/min}$ において乾式(●)とMQL(O)を比較すると、乾式では切削距離約 $150 \text{ m}$ で比較的大きな初期摩耗( $V_B \approx 58 \mu\text{m}$ )を形成し、切削実験終了時( $L=4500 \text{ m}$ )には摩耗幅は $V_B \approx 130 \mu\text{m}$ に達している。一方、

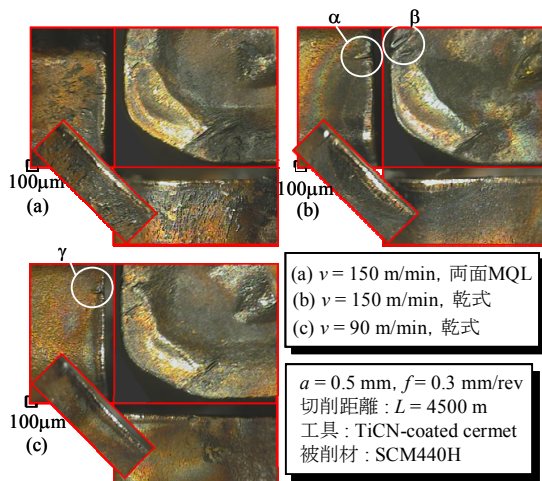


図 10 切削距離 4500m における工具損傷形態

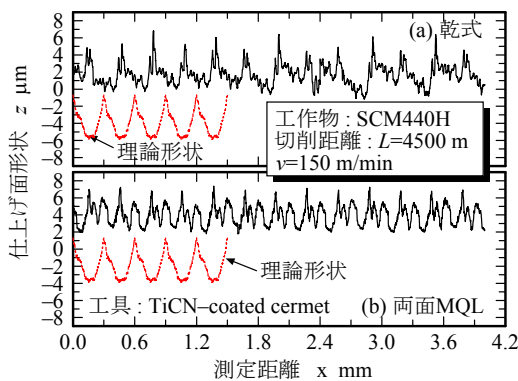


図 11 切削距離 4500m における仕上げ面プロフィール

MQL加工では初期摩耗も小さく、切削終了時の逃げ面摩耗幅もおよそ80 $\mu$ mに抑制されている。

ここで、 $v=150$ m/minのMQL切削と工具逃げ面温度がほぼ800 $^{\circ}$ Cと等しくなる $v=90$ m/minの乾式(■)の結果を併せてプロットしている。図にみるように、MQL加工とほぼ同じ摩耗曲線を得ていることがわかる。このことから、SCM440Hの切削においては、工具逃げ面摩耗は主として工具逃げ面温度に左右されるものといえる。したがって、前節で言及したように、MQLの冷却作用によって乾式と比較しておよそ1.7倍の加工能率が得られることになる。

図9は仕上げ面性状に大きな影響を及ぼす前逃げ面境界摩耗 $V_N'$ (送り境界部)の結果である。図にみるように、 $v=150$ m/minの乾式加工(●)においては切削距離 $L=4500$ mにおいて境界摩耗は200 $\mu$ mに達し、比較的大きな摩耗を形成している。これに対し、工具逃げ面温度 $\theta$ がおよそ100 $^{\circ}$ C低下する低切削速度 $v=90$ m/min(■)になると熱的影響が緩和されて境界摩耗の進行は緩やかになり、 $L=4500$ mにおいて $V_N' \approx 110\mu$ mとほぼ半減している。注目すべきは $v=150$ m/minのMQL加工(○)の結果で、境界摩耗はさらに抑制され、 $L=4500$ mにおいて $V_N' \approx 90\mu$ mとなっている。前逃げ面上の境界摩耗生成の要因の一つとして前加工によって加工硬化した被削材が工具を擦過することによって生じることが挙げられるが<sup>10)</sup>、MQLの工具冷却効果による熱的影響の抑制に加え、

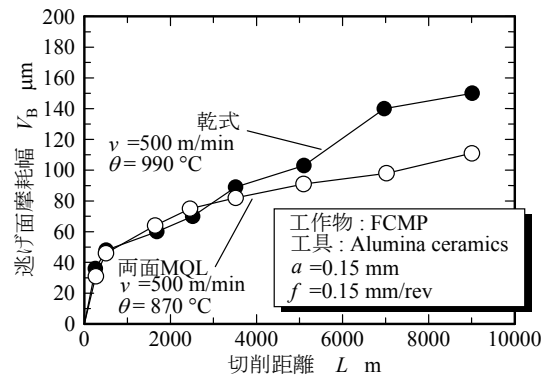


図 12 パーライト可鍛鉄における切削距離と逃げ面摩耗の関係

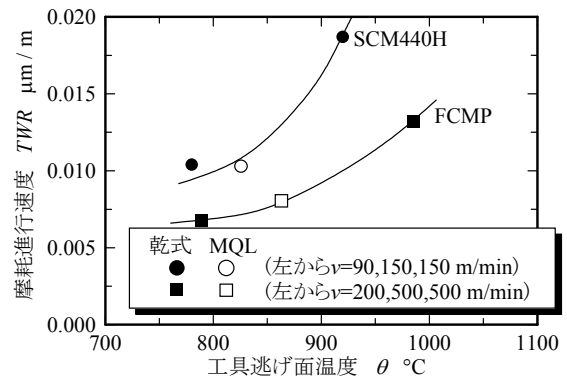


図 13 クロムモリブデン鋼とパーライト可鍛鉄における工具摩耗進行速度の比較

オイルミストの潤滑効果によって機械的摩耗も抑制されると考えられる。

図10に切削距離 $L=4500$ mにおける工具損傷形態を示す。図(b)より、 $v=150$ m/minの乾式加工では逃げ面送り境界部(同図'α'部)ならびにすくい面上(同図'β'部)に明確な境界摩耗が生じていることがわかる。逃げ面摩耗に関しては切削速度が極端な高速域ではないため、目立った損傷はみられないが、他の切削条件と比較すると工具温度が高温になっているため(約900 $^{\circ}$ C)、比較的大きな摩耗が生じたと考えられる。

一方、 $v=150$ m/minのMQL加工(工具温度 $\theta \approx 800^{\circ}$ C)においては顕著な境界摩耗は生じていない。工具温度が同程度( $\theta \approx 800^{\circ}$ C)になる $v=90$ m/minの乾式加工では境界摩耗が発達していることから(同図(c)'γ'部)、MQL加工では工具冷却効果に加え、潤滑効果が効果的に作用すると考えられる。なお、すくい面摩耗については、工具寿命を決定するほど大きく進行していないが、摩耗領域および摩耗深さも小さくなっており、MQLの効果が確認できる(同図(a))。このように、MQL加工では送り境界部(前逃げ面)の境界摩耗が比較的顕著に抑制されることから、仕上げ面性状が改善されることが期待できる。

図11は乾式とMQL加工について仕上げ面プロフィールを比較したものである( $v=150$ m/min,  $L=4500$ m)。図にみるように、乾式では送りマークが明確に形成されておらず切削が不安定であることが推察される。境界摩耗の影響と相まって最大

高さ $P_f=8.2\mu\text{m}$ となっており、理論粗さ(4.7 $\mu\text{m}$ )と比較して大きな値を示している。これに対し、MQL加工においては、工具の摩耗の影響で理論粗さプロフィールとは異なっているが、工具形状が明確に転写され切削が比較的安定していると考えられる。この時の最大高さは $P_f=5.8\mu\text{m}$ であり、粗さの悪化も抑えられている。

### 3. 2. 2 パーライト可鍛鋳鉄

MQLの工具摩耗に与える影響をさらに検証するため、被削性の異なるパーライト可鍛鋳鉄(FCMP)においても工具摩耗実験を行った。工具はアルミナ系セラミックスを用い、切削条件は表3に示すように仕上げ加工を対象としている。図12に切削距離 $L$ と工具逃げ面摩耗 $V_B$ の関係を示す。なお、図中に切削初期の段階で測定した工具逃げ面温度 $\theta$ を示している。本実験では仕上げ加工を対象としており、図12で示される $V_B$ は刃先部の摩耗幅である。図にみるように、MQL加工(○)では乾式(●)に比べて逃げ面摩耗が抑制されていることがわかる。また、乾式においては切刃に微小なチッピングが生じたが、MQLではとくに観察されなかった。ただし、境界摩耗の抑制効果についてはSCM440Hに比較して小さかった。

ところで、乾式切削とMQL加工の工具温度の差がおよそ120°Cもあることを考えると、SCM440Hの場合と比較して、MQLの工具冷却効果が摩耗抑制に及ぼす影響はあまり顕著ではないように思われる。この理由として、FCMPは連続型切りくずを排出するSCM440Hとは異なり細かい不連続型切りくずが発生すること、使用したセラミックス工具自体がより耐熱性を持つことなどから、工具摩耗に及ぼす熱的影響がそれほど顕著でなかったものと考えられる。

図13にSCM440HとFCMPにおける工具逃げ面摩耗進行速度 $TWR$ を工具温度との関係で示す。工具温度はそれぞれ摩耗実験を行った切削条件における温度測定結果を用いている。また、摩耗進行速度は、図8および図12における定常摩耗域の摩耗量と切削距離の関係から算出した。図にみるように、SCM440Hにおいては工具温度が約800°C~900°Cにかけて $TWR$ が急激に増加しており、工具は熱的影響を受けやすいといえる。一方、FCMPも工具温度の増加に伴い $TWR$ が増大するが、200°Cの温度上昇からするとその増加は非常に緩やかであり、工具は熱的影響を受けにくく、より耐熱性を有しているといえよう。切削条件が異なるため一概にはいえないが、MQL旋削加工はクロム-モリブデン鋼に対してより効果的に作用することが確認された。

## 4. 結言

工具すくい面および逃げ面に供給されるオイルミストがそれぞれ切削性能にどのような影響を与えるかを詳細に検討するとともに、被削性の異なる2種類の鉄系材料(クロム-モリブデン鋼、パーライト可鍛鋳鉄)における工具摩耗を工具温度との関連で検討した。以下に結果をまとめる。

- (1) クロム-モリブデン鋼の切削においては、切削速度 $v=100\text{m/min}$ の低速域でMQLの効果が顕著に現れる。

とくに、すくい面側からオイルミストを供給することで切削抵抗は大きく低下する。

- (2) MQL加工によって仕上げ面粗さは切削速度全域で改善され、その効果は主として逃げ面から供給されるオイルミストが担っている。すくい面側のオイルミストは切削状態を安定させ、その結果仕上げ面の良化に寄与すると考えられる。
- (3) 工具逃げ面側から供給したオイルミストが工具冷却に大きく寄与し、乾式と比較すると約70°C抑制できる。すくい面側からの効果は30°C程度であるが、工具すくい面および逃げ面同時に供給することで両者の冷却効果をそのまま加算した100°C程度温度が低下する。
- (4) クロム-モリブデン鋼の切削では工具摩耗は熱的影響を受けやすい。したがってMQLの工具冷却効果が顕著に現れ、乾式と比較して約1.7倍の効率で加工が可能となる。一方、パーライト可鍛鋳鉄においてもMQLの摩耗抑制効果は確認できたが、その効果は工具温度低下から考慮するとあまり顕著ではない。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり、複合加工機をご寄贈いただいたオークマ株式会社ならびにMQL切削オイルをご提供いただいた株式会社荏原エコミストに深謝する。

## 5. 参考文献

- 1) 鈴木康夫：ミスト切削加工技術の最新動向，機械の研究，53，12(2001)1239。
- 2) T. MATSUBARA: Present State and Problems of Eco-Machining Technology, Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 68, 7 (2002) 885 (in Japanese).
- 3) H. SASAHARA, F. MIZUTANI and M. TSUTSUMI: Effects of Oil-Mist Supply on Tool Wear at High-Speed Milling, Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 66, 1 (2000) 80 (in Japanese).
- 4) T. OBIKAWA, Y. KAMATA and J. SHINOZUKA: Performance of MQL in High Speed and High Efficiency Grooving, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, 71, 701 (2005) 311 (in Japanese).
- 5) Y. KAMATA and T. OBIKAWA: Mist Flow and Tool Wear in MQL Grooving, Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 71, 6 (2005) 734 (in Japanese).
- 6) H. MINEKAWA, I. INASAKI, M. NAKAMURA, S. SUZUKI, T. KAMIMA and H. YOKOTA: Cutting with Minimal Quantity Lubrication (Fundamental Research on the Milling Process), Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, 66, 646 (2000) 2054 (in Japanese).
- 7) T. UEDA, A. HOSOKAWA and K. YAMADA: Effect of Oil Mist on Tool Temperature in Cutting, Trans. ASME, 128 (2006) 130.
- 8) M. OZAWA, A. HOSOKAWA, R. TANAKA, T. FURUMOTO and T. UEDA: Minimum Quantity Lubrication Turning of Ferrous Metals -Measurement of Tool Temperature Using Fiber-Coupled Two-Color Pyrometer-, Proc. 4th Int. Conf. on LEM21, (2007) 339.
- 9) A. HOSOKAWA, M. OZAWA, R. TANAKA, T. FURUMOTO and T. UEDA: Effect of Minimum Quantity Lubrication on Turning Characteristics -Measurement of Tool Flank Temperature in Turning Using Fiber-Coupled Two-Color Pyrometer-, Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 74, 10 (2008) 1080 (in Japanese).
- 10) 奥島啓式，垣野義昭：工具前逃面摩耗の切削仕上げ面あらしに及ぼす影響，潤滑，18，2(1973)136。