

# NACHI-BUSINESS

## Machining news

Vol. **6A2**  
February/2005

マシニング事業

コーティング・マシンリー

■ 寄稿・論文・報文・解説

環境負荷の低減と高能率加工を追求する

### 「MQL加工について(2)」

MQL Machining Technology (2) ---  
Highly Efficient Cutting with Lesser  
Environmental Impact

〈キーワード〉 MQL加工・切りくず排出・TiAlNコーティング・  
湿式加工・ミスト供給装置・切削油剤

機械工具事業部/サーモテック部

安岡 学 Manabu Yasuoka

機械工具事業部/マシンリー技術二部

清都 俊之 Toshiyuki Kiyoto

## 要 旨

NACHIは、環境問題の高まりから、「<sup>※1</sup>エコ&ECO」のコンセプトの下、ドライ加工を指向した加工技術の開発を行ってきた。

その中でも、とくに注目されている「MQL加工」について、機械、工具、コーティング技術をあわせもつよみを活かし、環境性の向上とともに、加工能率の向上、加工品質の向上をめざした研究を行ってきた。

今般、深穴ドリル加工、ブローチ加工、転造加工などそれぞれに適合した機械や工具を新たに開発し、「MQL加工」の効果を最大限に活かす加工システムを商品化した。

## Abstract

Since the rising numbers of environmental issues, NACHI has been developing the cutting tools for dry process under the concept of "Economy and Ecology."

Among the dry machining methods, the MQL machining method has been drawing a special attention. Utilizing our strength of machine, tool and coating technologies together, we have been studying how to improve the environmental impact, machining efficiency and quality of machined products with MQL machining.

Recently we have developed new machines and tools that are severally suitable for deep-hole drilling, broaching and roll forming and marketed the machining system that utilizes the MQL machining method to the maximum level.



## 1.MQL加工システム

NACHIは、「MQL加工」の研究を進めるなかで、機械、工具、コーティングの各々のコア技術をあわせもつよみを活かし、「MQL加工」を適用した加工システムを開発している。

現在、「MQL加工」を適用した具体的な商品には、<sup>※2</sup>深穴加工の加工能率を飛躍的に向上する「MQL <sup>※3</sup>パワーロングドリル&MQL <sup>※4</sup>パワーセル」、ブローチ加工のコスト低減と加工精度向上を実現する「<sup>※5</sup>セミドライブローチ&高速ブローチ盤」、このほか、転造加工の工具寿命と加工精度を向上する「MQL対応フォーミングラック&NC転造盤」がある。

それぞれが、「MQL加工」の効果を最大限に引出すため、各加工メカニズムを研究し、そのメカニズムにあった工夫を工具形状、コーティング、機械に施している。

前報(MQL加工について Vol.3 A3)では、MQLが切削に及ぼす基本的な効果について紹介した。本報は、MQLの基本的な事象ならびに作用について、ひき続いて紹介し、考察する。



図1. MQLパワーセルDH524

# 2. MQLパワーロングドリルによる高能率深穴加工

## (MQLにより切りくず排出性向上)

切削加工におけるクーラントやコーティングの作用と切削油剤の効果として、前報で記したように、潤滑と冷却効果の他に切りくず排出の機能が重要である。

しかし、最近、切削機能で新たな作用が認められてきた。図2はMQLパワーロングドリルにより、直径の20倍の深穴をMQL加工した場合と湿式加工した場合の比較である。とくに着目したいのが(c)に示す切りくず形状の違いである。MQL加工の場合は、小さくカールした短い切りくずが生成されているのに対し、湿式では、カールせずに伸びた切りくずとなっ

ている。すなわち、後者の方がドリル溝内に切りくずが詰まりやすく排出性が悪い。これは、(b)の主軸の負荷電力値にも端的に現れており、湿式加工の場合、加工の後半9秒を過ぎた辺りから主軸負荷が上昇し、切りくずの排出性が悪化していることがわかる。

深穴加工の場合、切りくず排出性が工具寿命を支配し、(a)に示すように、切りくず排出性に優れるMQL加工の方が、長寿命で安定した加工が得られる結果となった。

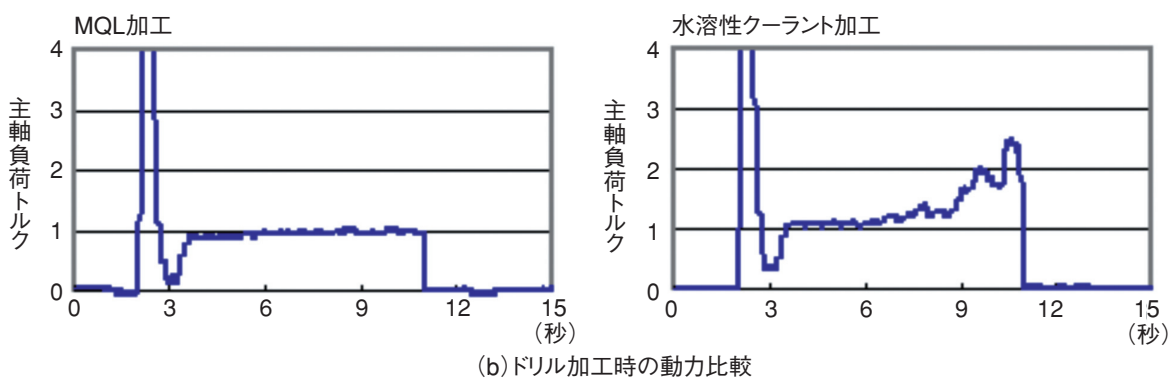
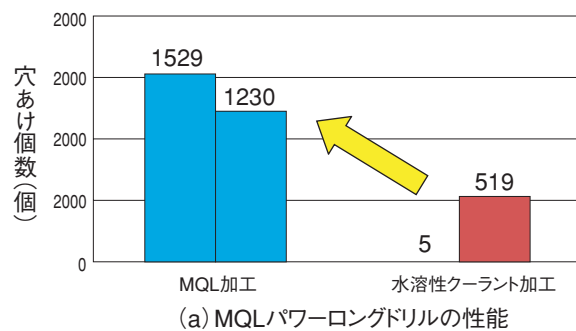


図2. MQLパワーロングドリルの試験結果

## (MQLパワーロングドリルによる20Dの深穴ノンステップ加工が可能)

この現象は、図3に示す切りくず生成の模式図から、以下のように考察される。

切削工学の一般論では、切削油剤を用いた方が摩擦係数は低くなるので、切りくずの接触長さは短くなる。いま、切り込みを $t_1$ とした時のせん断角が $\phi$ の場合に、切りくずは $t_2$ の厚みで生成される。一般的に、摩擦係数が小さくなるとせん断角は大きくなり、 $\phi$ となって切りくず厚み $t_2$ は薄くなる。MQL加工の場合は、切りくずのカール状態から判断して、湿式加工に比べて摩擦係数の小さな状態が起きていると推察される。この現象は、レビンダー効果と密接な関係にある。MQLのミストがせん断エネルギーを減少させ、これが、せん断角の変化になって現れ、切りくずが小さくカールし分断されたものと考えられている。

MQLパワーロングドリルにおいては、切りくず排出性を上げる溝形状設計と切りくず排出を阻害するコーティングのマクロパーティクルを極小化する技術に

より、直径の20倍の深穴加工を可能とした。最近では、再研削時のコーティングの重ね塗り回数を制御するため、ドリル先端にのみコーティングする方法になっている。

深穴加工のニーズは果てしなく、従来のガンドリル工程のMQLドリル加工化も検討されており、技術的には直径の30倍を越える深穴加工も可能となってきている。

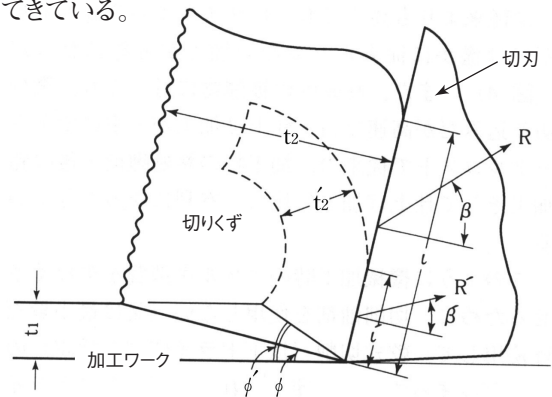


図3. 切削現象に見る切りくず形成

## 3. ブローチ加工におけるMQL加工の効果

### (ブローチ加工は直線的な二次元切削)

ブローチ加工は図4に示すとおり、“かんな”を連続的にかけるような加工法である。直線的な二次元切削であり、ドリルの切削状態とは様相が異なる。インターナルブローチで鋼を加工する場合、<sup>※6</sup>すくい角が $10\sim 15^\circ$ と比較的鋭利であり、切削速度も $3\sim 10\text{m/min}$ と非常に遅い。また、一刀の切り込み量は $0.02\text{mm}\sim 0.05\text{mm}$ と薄切り切削を行なう。ドリルとの切削機構の違いを分かりやすくシミュレーションにより説明する。

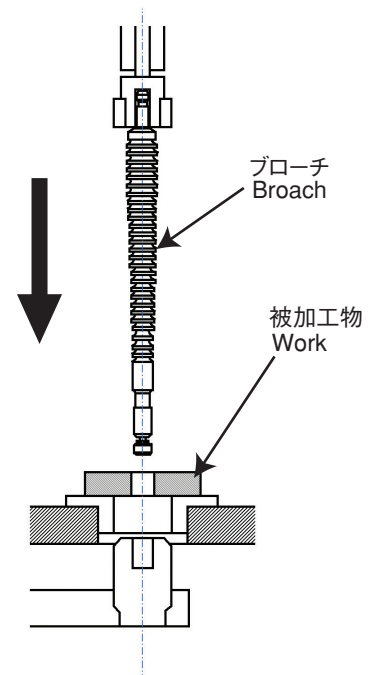


図4. ブローチおよびその加工法

## (シミュレーションによる切りくず解析)

ブローチ加工における切りくずの様相をシミュレーションにより比較した結果を図5、図6に示す。MQLドリルにおいては、MQL加工により摩擦係数が減少することを切りくず形状の違いから推察した。同様にブローチ加工のシミュレーションでも、摩擦係数を極端に変化させ、切りくず生成の違いを検証した。

図5、図6を見ても明らかなように、摩擦係数を大きく変化させても、切りくずの出方に大きな差は見られない。厳密には、せん断角は摩擦係数の小さい方が大きくなり、また、切りくずの接触長さも短くなっている。MQLドリル加工の場合、図7に示すとおり、切り込み量がブローチ加工より大きく、摩擦係数の差がすくい面での摩擦力の差となるため、切りくず長さとかール径に差が見られる。

以上の理由により、従来の湿式加工をMQL加工に代替しても、ブローチ加工の場合では、加工性はあまり変わらない。すなわち、MQLブローチ加工では、従来の湿式加工の高能率性を損なわずに、コストを抑え加工精度を満足させることが可能になっている。

また、ブローチ加工においても、ドリル加工と同様、切りくず処理は重要な問題である。切削速度が遅いため、切れ刃への被削材の凝着は避けがたく、構成刃先の生成と切りくず残存が問題になる。このため、MQL加工に使用するブローチには、耐摩耗性、断熱性と潤滑性に加え、耐凝着性の改善のためTiAlN系皮膜を被覆している。

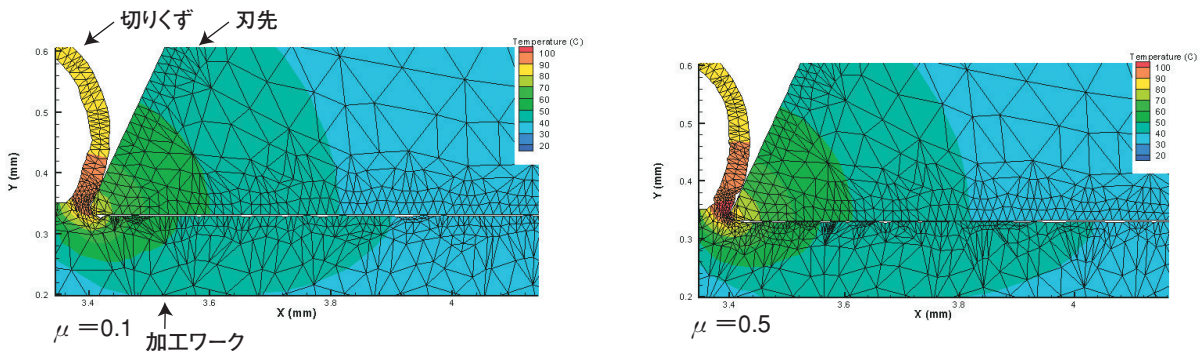


図5. 摩擦係数の違いによる切りくず形成時の温度比較

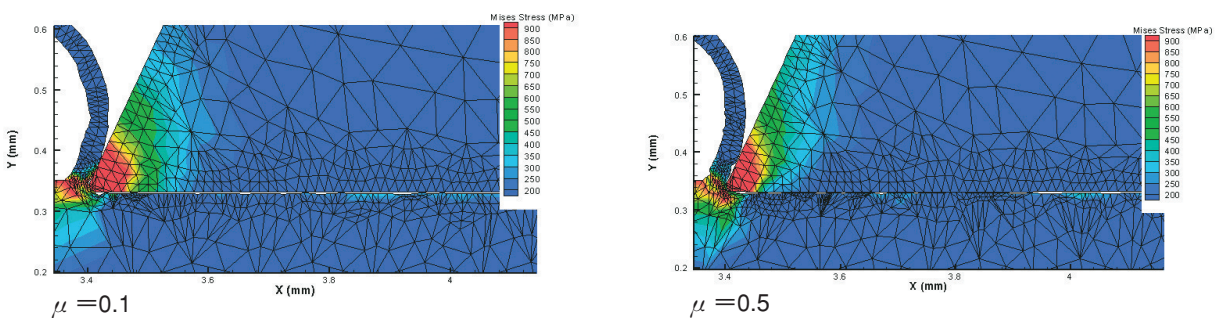


図6. 摩擦係数の違いによる切りくず形成時の工具刃先応力分布の比較

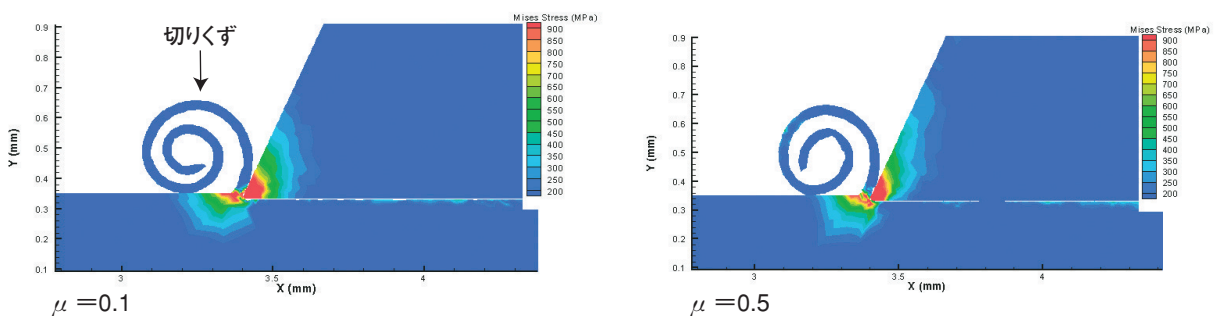
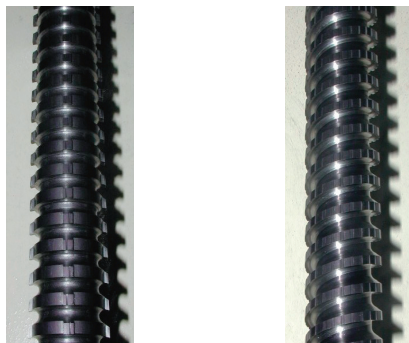


図7. ドリルの切削条件での切りくず形成の比較

### (ブローチ形状での改善)

図8右の写真は、ねじれ刃溝をもつブローチである。これは、ブローチの刃を傾けることによって、刃先が被削物に一度に接触しないようにすることにより断続切削を回避し、切削荷重変動を軽減して、切削性を高めている。また、図9右に示すとおり、切りくずはねじのようになるため、ブローチは溝から離脱しやすくなる。従来の軸直角溝ブローチの切りくずは、図9左に示すとおりであり、ブローチ刃溝に残存しながら切削している。



軸直角刃溝ブローチ(従来刃溝)      ねじれ刃溝ブローチ

図8. ねじれ刃溝ブローチ

軸直角刃溝ブローチ      ねじれ刃溝ブローチ



図9. ねじれ刃溝ブローチの切りくず

加工条件  $V=5\text{m}/\text{min}$

- ・ブローチ盤：NBV-5-10SA
- ・給油装置：エコブースタ(ブルーベ)
- ・切削油：合成エステル油
- ・給油量：2cc/h・ノズル×4ノズル
- ・被削材：S48C(220~270HB)
- ・切削長：40mm
- ・切込量： $\phi 0.06\text{mm}/\text{刃}$
- ・ブローチ：FAXG2+CA04

### (ブローチ加工の高速化)

図10は、NACHIが開発したMQL対応高速ブローチ盤である。MQL加工をさらに効果的にするためには、凝着を起こしにくい切削速度で加工することが肝要である。前報の図2にも示したが、二次元切削においては、切削速度 $50\text{m}/\text{min}$ 以上が、凝着を起こしにくい切削速度領域となる。前述の、ねじれ刃溝ブローチやTiAlN系皮膜のコーティングにより、高速加工でも十分な耐熱性・耐摩耗性を具備したブローチとすることにより、高速MQLブローチ加工が可能になった。この高速MQL加工により、図11に示すような、加工コスト低減を達成することができる。

(形式Hi-5010)



特長

- ・切削速度：1~80m/min
- ・最大引抜力：50kN
- ・ストローク：1000mm
- ・タイプ：カッター移動式
- ・駆動方式：ボールねじ+サーボモーター
- ・所要床面積：1100×1700
- ・MQL&湿式に対応

図10. 新しい高速ブローチ盤

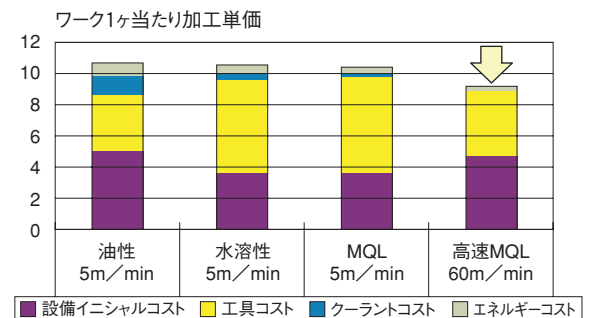


図11. 高速MQL加工によるコストダウン

## 4. 転造加工への展開

### ( 転造におけるMQLの効果 )

前述の2事例は、MQL加工の切削現象としての効果についてであり、いずれも切りくずの形成過程において特色を有している。即ち、MQLパワーロングドリルによる深穴加工では、切りくず排出性に注目し、ブローチ加工では、MQL採用による切削油剤の削減と高速化に注目して、切削性能を向上することができた。これらは、いずれも切りくず形成の際、刃先直前で被削材が温度上昇することによって、剪断強度が低下するためではないかと考えられる。

一方、転造加工においてもMQLの効果が見られる。図12のNC転造盤を用いてMQL加工による試験をした結果を図13に示す。MQL対応のフォーミングラックを用いることによりラックの寿命が50%向上した。

このように、MQL加工は、従来の湿式加工法と比較して、コストパフォーマンスが有利になることは明白である。

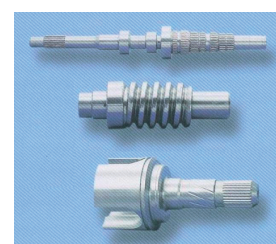
また、前述のMQLパワーセルや高速ブローチ盤、NC転造盤など、MQL加工を前提とした工作機械は、従来の湿式加工法で使用する切削油剤、すなわちクーラントの循環供給装置が不用で、小さなミスト供給装置だけでよいので、機械がコンパクトで省エネルギーとなっている。



NC転造盤 PFM-610E



フォーミングラック



転造加工例

図12. NC転造盤PFM-610E

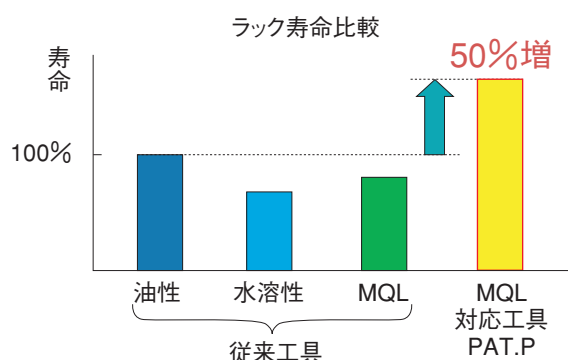


図13. 転造加工におけるMQLの効果

## 5. 「エコ&ECO」の展開

MQL加工について、2回にわたり切削現象を主に解説を試みた。とくに前報「MQL加工について(1)」で記した、引っ張り試験における切削油剤を塗布した場合と塗布しない場合の亀裂発生之差は、切削現象の本質的な部分であり、今後解明していく必要がある。また、コーティング膜の作用についても、さらに研究・開発を進める必要がある。

切削油剤を用いた湿式切削は、必ずしも定常潤滑状態とは言い難いが、MQL加工の場合は疑似的な境界潤滑状態であると考えられる。本報で示したMQL加工の試験結果や効果は、切削加工の高能率を可能にする技術として注目される。

それぞれの加工法における切削現象のMQLの効果はさまざまである。NACHIは、機械、工具、コーティング技術という加工システムのコア技術を合わせもつつよみを活かし、環境変化や高精度化・高能率化のニーズに対応して進化する生産技術の向上に貢献していきたい。

### 用語解説

- ※1 **エコ&ECO**  
エコノミー&エコロジー。
- ※2 **MQLパワーロングドリル**  
深穴のMQL加工(微少ミスト加工)に最適な形状とコーティングを施した、先端コーティング超硬ロングドリル。
- ※3 **MQLパワーセル**  
クランクシャフトの油穴に特化した、MQL加工対応のコラムトラバース型横形マシニングセンタ。
- ※4 **セミドライブローチ**  
ブローチ加工のMQL(セミドライ加工)を可能にした、コーティングブローチカッタ。
- ※5 **MQL対応フォーミングラック**  
歯車の転造加工のMQL加工を可能にした、コーティングフォーミングラック。
- ※6 **すくい角**  
工具の切れ刃面と加工物の角度。

### 関連記事

安岡 学・清都俊之：  
環境負荷の低減と高能率加工を追求する「MQL加工について」  
NACHI-BUSINESS news Vol.3 A3、May/2004