

JOURNAL OF SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN

自動車技術

VOL.74

5

2020

特集 The Future of Autonomous Technology and Social Environment

自動運転と社会環境の未来

自動運転の技術進歩と
社会環境との関係について、
未来をどう描いてゆけるのか、
さまざまな観点から紹介します。



自動車
ARCHIVES

高圧クーラントの実力—切削の悪問題を解消し難削材の快適切削加工を実現*

High Performance Cutting without Ill-defined Problems by using High Pressure Coolant

帯川 利之¹⁾ 森合 主税²⁾ 長谷川 透³⁾
Toshiyuki Obikawa Chikara Morigo Toru Hasegawa

High pressure coolant offers solutions for troubles associated with chip control and tool wear and thus, contributes to the high performance cutting of difficult-to-machine materials. This review shows the large effect of high pressure coolant on the tool life elongation and some quite efficient drilling processes of small holes with very large L/D values using high pressure coolant. Finally, it is emphasized that ultra-high pressure coolant of 20 MPa or higher is indispensable for perfect chip fracture and breakage based on the cutting experiments of many kinds of work materials and the observation of produced chips.

KEY WORDS

Production・Manufacture, Machining

High Pressure Coolant, Difficult-to-machine Materials, Chip Control, Tool Life 

1 はじめに

環境保護（特に、二酸化炭素排出量削減）や高齢化、グローバル化への対応など多くの社会課題の解決に向け、低燃費の航空機や自動車、機能的で安全安心な医療・生体用部品等が求められている。革新的な製品・部品では、例えば、航空機や自動車の軽量化・高効率化にみられるように、チタン合金やニッケル基超耐熱合金などの切削困難な材料の使用量が増加しており、難削材のさらなる高効率な切削に向けた技術開発が不可欠となっている。

ではどうすればよいか。やり尽くした感がある難削材切削加工技術の中で、今、高圧クーラントがブレイクスルーのための技術として注目されている。高圧クーラントには、表1に示すように切りくずの破碎・折断作用、冷却促進作用、洗浄促進作用の三つの基本作用があり、それから派生する多くの効果が図1の良好な切削状態をもたらす。これらの効果の中には、切りくず処理やバリ取りなどの切削における悪問題の解決につなが

るものが含まれている。これが高圧クーラントの際立った特徴であり、活用のための主要な判断要因のひとつとなっている。

さて、自動車部品の加工ラインでは、不確定要素を極力排除すべく技術開発が進められてきた。不確定要素となる厄介なトラブルは多々あるが、その最たるものが、切りくずとバリに関連するものである。これらトラブルには効果的な解決策が少なく、抜本的な解決を諦め、加工能率を犠牲にする、あるいは、バリ取りなどのように後処理を徹底することが多い。このような状況に対し、高圧クーラントは、例えば、切りくず詰まりがなく、しかも高能率な深穴ドリル切削を実現するなど、従来の切削の常識を超える加工を提供する。

以下では、工具摩耗の低減と切りくず処理に注目し、これらに対する高圧クーラントの顕著な効

表1 高圧クーラントの効果

基本作用	派生効果
切りくずの破碎・折断作用	切りくず処理 切りくずの巻き付き防止 傷のない高品位仕上げ面 穴あけでの切りくず詰まり防止 ステップ加工不要の深穴加工
冷却促進作用	切削温度低下 工具摩耗低減 異常損傷低減 加工精度向上 仕上げ面引張残留応力低減
洗浄促進作用	バリ取り 仕上げ面への切りくず溶着防止 工具面への切りくず溶着防止

* 2020年3月2日受付

1) 東京電機大学 ものづくりセンター
(120-8551 足立区千住旭町5)
E-mail: obikawa@mail.dendai.ac.jp

2) 藤トクビ製作所
(581-0854 八尾市大竹3-167)

3) 藤長谷川機械製作所
(337-0053 さいたま市見沼区大和田町1-602)



図1 高圧クーラントによりもたらされる良好な切削状態

果について解説する。ところで、工作機械用の高圧クーラント装置の圧力は、通常、7 MPaである。中途半端な圧力のように思われるが、ポンドインチ系であれば1,000 psiに相当し、非常にきりのよい値である。しかし、7 MPaの圧力では切りくずを十分に破碎・折断できない場合が多く、これにより高圧クーラントは利用価値がないと判断されたことが少なからずあったのではないかと推察する。本稿では、切りくず処理に効果的に作用する30 MPaまでの高圧クーラントを対象に事例を紹介する。さて、本論に入る前に、今回初めて切削加工における高圧クーラントの利用技術に関心をもたれた読者には、理解を助けるため旋削での事例動画、例えば、参考文献(1)の視聴を強く推奨する。

表2 高圧クーラントの深穴ドリル加工への適用例⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

L/D	加工時間	切削条件, 加工速度
72	41 秒	穴径 6 mm, 深さ 432 mm 切削速度 80 m/min(主軸回転速度 4,244 min ⁻¹) 送り速度 0.15 mm/rev(637 mm/min) ステップ加工不要 高速度鋼のガンドリルの4倍の穴あけ速度
9.4	4 秒	穴径 8 mm, 深さ 75 mm 被削材: M200 tool steel 1穴当たりの加工時間: 低圧クーラント(要ステップ加工) 1分以上 高圧クーラント(ステップ加工不要) 4秒

2 高圧クーラントによる高能率ドリル加工

切りくずのトラブルによって切削能率を上げることができない加工法のひとつが、ドリルによる深穴加工である。切りくずをトラブルなく排出するためドリルを頻繁に引き戻すステップ加工(ペッキングサイクル)が深穴加工の基本戦略となっているが、この非効率なステップ加工を使用する代わりに高圧クーラントを用いて深穴を一気にドリル切削する動画が2011年頃より見られるようになった。参考文献(11)と(12)は、まさにその頃の動画であり、高圧クーラントは、通常(低圧)の内部給油と同様に、ドリルの油穴を通してドリル先端に送られる。表2に、それら

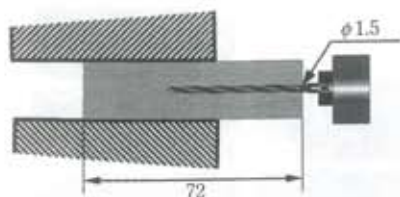


図9 HASTELLOY C-22製真空ボルトの小径深穴加工の模式図

の加工の特徴を示す。前者は穴径6 mm、深さ432 mm、深さ L と穴径 D の比 $L/D=72$ の貫通穴を41秒で、後者は穴径8 mm、深さ75 mm、 $L/D=9.4$ の貫通穴を4秒で穿孔することが可能となり、従来法に対し前者は4倍、後者は15倍の加工能率を実現している。

上記のような加工の映像は大変説得力があり、高圧クーラントは難削材の深穴加工にも適用されるようになった。図9はHASTELLOY C-22の真空ボルトの中心に直径1.5 mm、深さ72 mmの小径深穴を加工するときの模式図である。工具メーカーの標準ドリルの溝長が最大55 mmであったため、両端から穿孔し貫通穴とした⁽¹³⁾。切削速度28.3 m/min (6,000 min^{-1})、ドリルの送り速度0.02 mm/rev、クーラント圧力20 MPaの条件でステップ加工を使用しない穿孔が可能となり、極めて削りにくい材料のため手で慎重にドリルを送っていた従来の作業に対し、10倍の生産性を実現した。その様子は動画で見ることができ、ドリル先端の2カ所にある直径0.15 mmの油穴から20 MPaの噴流が飛び出す様子も確認できる⁽¹⁴⁾。

4 高圧クーラントによる切りくず処理

難削材にはチップブレーカで切りくずを適度な長さで折断できないものが多い。強いせん断変形を受けた炭素鋼の切りくずが比較的脆いのと対照的に、ニッケル基超耐熱合金やチタン合金、ステンレス鋼などの切りくずは強いせん断を受けても強度が高く粘り強いからである。このような難削材に対し、10 MPa以上の高圧クーラントの水撃が有効に作用し、切りくずを効果的に破碎・折断することができる。一例として、図10にクーラント圧力1, 7, 20 MPaにおけるチタン合金Ti-6Al-4Vの最長切りくず長さと切削速度の関係を示す。切込みと送り速度は、それぞれ0.85 mm、

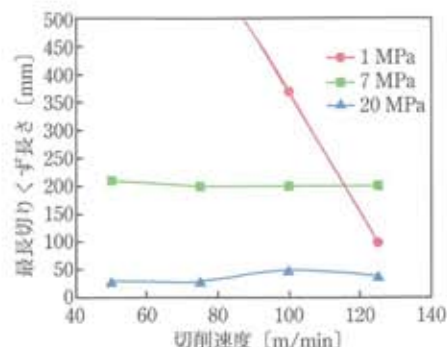


図10 チタン合金Ti-6Al-4Vの最長切りくず長さと切削速度の関係

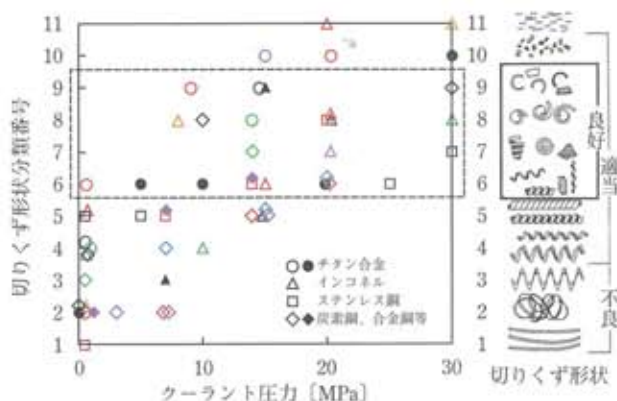


図11 各種被削材の切りくず形状とクーラント圧力の関係

0.14 mm/revである。切りくずはクーラント圧力の増加に伴い確実に細分化されるようになるが、7 MPaでは切りくずの細分化が不十分であり、切りくずに起因するトラブルを完全になくすためには、切りくず長さが確実に50 mm以下となる20 MPa程度の圧力が必要であろう。

一方、炭素量が0.12%以下と非常に少ない熱間圧延鋼板SPHCのようなありふれた材料も、そのねばさゆえに、切りくず処理が難しい材料である。図11は、参考文献(6)に掲載した切りくず形状とクーラント圧力の関係を示す図に、SPHCを含めた自前の複数の実験結果を新たに追加したものである。なお、縦軸の切りくず形状分類番号は右の添え図に対応するものであり、ここでは、6番から9番の切りくず形状を適切な形状とする。同図では、クーラント圧力の増加に伴い、切りくずが破碎・折断され、切削トラブルが生じにくい適切な形状に変化する傾向が明確に示されている。クーラント圧力が15~20 MPaになれば、多くの被削材において切りくずはほぼ適正な形状になる。ただし切りくず形状は切削条件によって大きく変化するので、確実に切りくず形状を適正なも

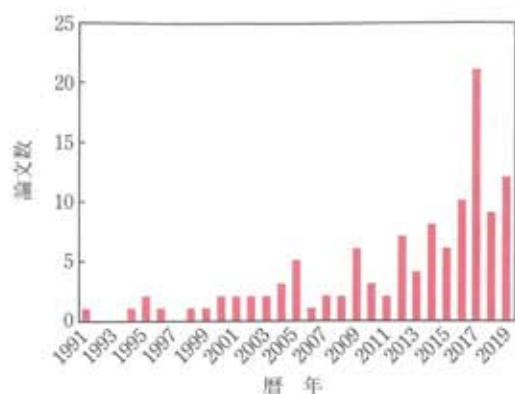


図12 Web of Scienceに登録された切削加工の高圧クーラント利用技術に関する論文数

のとするには、テストカットで最適な圧力を確認し、圧力不足のないように装置導入を図ることが大切である。

上述のように、難削材の切りくず処理に対しては20~30 MPaの超高压クーラント装置が不可欠となることが多いが、その利用を拡大するためには工作機械や加工ラインの構成上も、面積的にも小型化を図らなくてはならない。小型工作機械向けの30 MPaの最新高圧クーラント装置の投影床面積は1,180 mm × 850 mmであり、従来機種に比べ非常にコンパクトな省スペース仕様を実現している。

5 まとめ

自動車産業では、1990年代、エンジン工場を中心に、圧縮空気でオイルミストを切削点に噴射するMQL(Minimum Quantity Lubrication)切削加工技術をフラッドクーラントに代えて導入した。MQL切削は、コスト削減と環境問題(40%程度の大幅な電力の削減とひいては二酸化炭素排出量削減)を同時に解決する重要な切削加工技術となり、ミストコレクタが不可欠であるとはいえ、クリーンな加工技術として受け入れられることになった。

これに対し、高圧クーラントは、MQLと真逆の切削加工技術とみなされることがある。そのため、他の切削加工法では代替不可能な高圧クーラントの効果を正しく評価することが極めて重要である。図12に、切削加工における高圧クーラントの利用技術に関する論文で、科学技術データベースWeb of Scienceに登録された論文数を

示す。1991年の最初の論文からの登録数はわずかに116編しかないが、そのうち2015年から2019年までの5年間の登録数が58編と半数を占めており、本格的な研究が世界的に行われるようになったのは最近のことである。今後、多くの成果が発表され、新たな切削加工技術の開発が進むことを期待したい。

参考文献

- (1) <http://www.youtube.com/watch?v=mjTNAAdGDBsA> (2020年1月12日確認)
- (2) 平野力:加工データシート(バインダレスcBN工具, チタン合金Ti-6Al-4V), 機械技術, 66(2), 51(2018)
- (3) 松本航, 帯川利之:切削性能に及ぼすジェットクーラントの効果, 2016年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 705(2016)
- (4) Z. Fang, T. Obikawa: Cooling performance of micro-texture at the tool flank face under high pressure jet coolant assistance, Precision Engineering, 49, 41(2017)
- (5) T. Obikawa, M. Yamaguchi: Computational fluid dynamic analysis of coolant flow in turning, Procedia CIRP, 8, 270(2013)
- (6) 帯川利之, 森合主税, 松本航, 林達:高圧クーラントを用いた高速切削の動向と最新のトピックス, 生産研究, 67, 607(2015)
- (7) E. O. Ezugwu, J. Bonney: Effect of high-pressure coolant supply when machining nickel-base, Inconel 718, alloy with coated carbide tools, Journal of Materials Processing Technology, 153-154, 1045(2004)
- (8) Y. Ayed, G. Germain, A. Ammar, B. Furet: Tool wear analysis and improvement of cutting conditions using the high-pressure water-jet assistance when machining the Ti17 titanium alloy, Precision Engineering, 42, 294(2015)
- (9) T. Obikawa, Z. Fang, W. Matsumoto, M. Hayashi, H. Hattori, C. Morigo: Deposition of trace coolant elements on flank face in turning Inconel 718 under high pressure conditions, International Journal of Automation Technology, 13, 41(2019)
- (10) V. T. G. Naves, M. B. Da Silva, F. J. Da Silva: Evaluation of the effect of application of cutting fluid at high pressure on tool wear during turning operation of AISI316 austenitic stainless steel, Wear, 302, 1201(2013)
- (11) <https://www.youtube.com/watch?v=60052AWpRkk> (2020年1月12日確認)
- (12) <https://www.youtube.com/watch?v=0Byx0F-yXgc> (2020年1月12日確認)
- (13) 徳永秀夫:小径深穴加工のための高圧クーラント活用技術, 機械と工具, 2019年10月号, 14(2019)
- (14) https://www.youtube.com/watch?v=kVzjoQ_m4iw (2020年1月12日確認)

フェイス



帯川利之



森合主税



長谷川 透