

令和元年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「超高压クーラント噴射機構を装備した
医療用難削部材加工用小型精密工作機械の開発」

研究開発成果等報告書

令和2年3月

担当局 東北経済産業局

補助事業者 一般社団法人 産学金連携推進機構

目次

第1章	研究開発の概要.....	3
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標.....	3
1-1-1	研究開発の背景.....	3
1-1-2	研究目標.....	6
1-2	研究体制（研究組織・管理体制）.....	8
1-3	成果概要.....	9
1-4	当該研究開発の連絡窓口.....	9
第2章	本論（実施内容及び成果）.....	10
2-1	実施内容.....	10
2-2	成果.....	19
第3章	全体概要.....	23

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

長谷川機械製作所は、1928年の創業以来、「小物高精度部品の加工は小型機が適する」という設計思想の下、小型工作機械にこだわり、超小型機で高性能な旋盤、フライス盤、NC旋盤、マシニングセンタの開発生産を行ってきた。2000年に超小型のNC旋盤P15を発表以来、国内外の川下企業からの関心を集め、2009年にはものづくり補助金支援制度を活用して超小型立形ミーリングセンタの開発を行い、2013年には戦略的基盤技術高度化支援事業で東京大学 帯川教授（当時、現 東京電機大学・教授）と協力して超小型横形ミーリングセンタの開発を行った。これらの開発はいずれも成功裏に終了し、これまで国内外から多くの受注を得て、同社の主力製品となっている（図 1-1 参照）。



超小型NC型旋盤



小型タレット旋盤



超小型立形ミーリングセンタ



超小型横形ミーリングセンタ



超小型工作機械ライン

図 1-1 長谷川機械製作所製工作機械

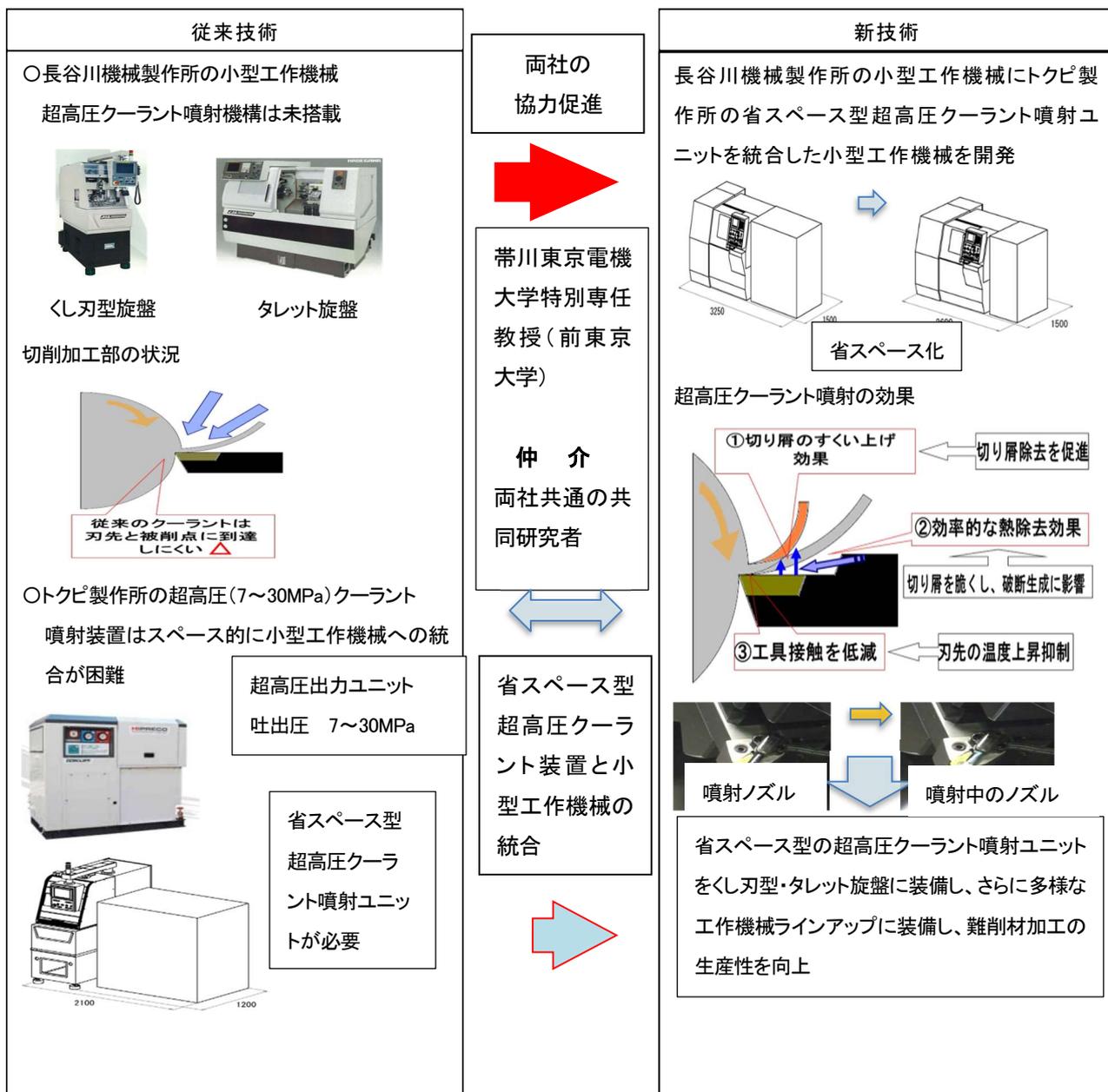
長谷川機械製作所の工作機械は様々な分野で使われている。その特色の一つとして人工関節や外科用ボーンスクリューなど整形外科分野の医療用品の大手である米国の DePuy Synthes 社（世界最大の健康生活製品メーカー Johnson & Johnson 社の子会社で売上規模 1 兆 1000 億円）への納入実績が挙げられる。

人工関節や人工骨などを始めとする医療用部品はチタン合金、ステンレス、コバルト・クロム合金といった材料がよく使われている。これらの材料を使用する理由は各々製品として優れた性質を材料が持っているためである。一方、これらの材料はその優れた特性ゆえ加工が困難であり、難削材と呼ばれている。しかし、難削材を切削するとき、工具摩耗が生じやすい、切削効率向上のための条件を上げられない、切削温度が高い、切りくずの処理性が悪いなどといった問題が生じる。このような問題は工具寿命を縮め、加工効率・コスト・精度を悪化させるため、適切な工具や加工条件を選択することにより解決を図っている。しかし、それらを選択した場合でも、一般の被削材と比較して加工時間が長くなることや工具摩耗寿命が短くなることは避けられない。

そこで別の観点からこの問題の解決を図るために長谷川機械製作所は超高压クーラントに注目した。そして、超高压クーラント装置のメーカーとして知られているトクビ製作所と協力して超高压クーラントを活用した小型工作機械の開発をすることとした。

現在ごく一部の中・大型工作機械で 15MPa 以上の超高压クーラント装置を統合したものがあるが、小型精密工作機械で統合した機械は市場にはない。その理由として、超高压クーラント装置自体が大きく統合した時に小型機械とすることに課題があることや、超高压クーラント技術が発展途上であり導入後の効果の想定や超高压クーラントの取扱いが困難であるためである。今までそのような機械が市場にでていないことから長谷川機械製作所は超高压クーラントを切削部に噴射し切りくず除去と切削熱低減を図る機構を装備し難削材の高度加工が可能な小型精密旋盤の開発を決めた。この小型精密旋盤が開発されれば医療分野を始め、航空宇宙、自動車等の幅広い川下産業で重要性が高まる難削材の精密加工を小型工作機械で実現し、川下産業のニーズに対応することができる。

長谷川機械製作所としては超高压クーラント噴射の効果は相対的に大型の工作機械よりも小型の工作機械の方が大きいと考えており、長谷川機械製作所の生産している各種小型工作機械のラインアップへ超高压クーラント噴射装置の装備を考えている。本プロジェクトはその第一歩として、超高压クーラント噴射を小型くし刃型旋盤で実現し、その効果を確認し、その後、省スペースで 30MPa 吐出圧力を可能とする超高压クーラントユニットをタレット旋盤に統合するという 2 ステップの計画で技術開発を行う(図 1-2 参照)。



課題

- 小型機械内での超高压クーラント供給経路確保
- 超高压クーラントによる機械精度低下の回避
- 工作機械とクーラント装置の制御一体化
- 省スペース型高圧噴射装置の試作
- 回転タレットへの超高压クーラントの安定供給

特徴

- 小型工作機械で困難とされた難削材加工が可能
- 超高压クーラント噴射機構も含めて省スペース
- 切削加工の加工精度向上、生産性の向上
- 独自技術を保有する地域中小企業の発展
- 医療、航空、自動車等川下産業への貢献

図 1-2 従来技術での課題と新技術まとめ

1-1-2 研究目標

今回の研究開発では、トクピ製作所の超高压クーラント噴射技術を長谷川機械製作所の得意とする小型精密工作機械に統合し、世界初の難削材加工用の超高压クーラント噴射機構を装備した小型精密工作機械を開発する。第1ステップとしては超高压クーラントユニットとくし刃型旋盤との統合で、その成果を踏まえ、第2ステップとして試作する30MPaの超高压クーラントが噴射できる省スペース型装置をタレット型旋盤に統合させる。基本方針を以下に示す。

- (1) 超高压クーラント噴射機構を装備した小型精密工作機械による医療用小物難削材の切削加工技術を確立する。
- (2) 難削材切削加工の生産性を30%向上させる。
- (3) 超高压クーラント噴射機構も含めたコンパクトな敷地面積(占有面積の少ない小型工作機械のイメージ確保)を実現する。
- (4) 旋盤にとどまらず長谷川機械製作所の各種小型精密工作機械のラインアップへの超高压クーラント噴射機構の適用を実現する。

この方針に従って、各テーマの開発目標を以下に列挙する。

【1】くし刃型旋盤と超高压クーラント装置との統合【平成29年度】

【1-1】工具刃物テーブルへの超高压クーラント供給回路の開発【平成29年度】

- ・コモンレール式マニホールドタイプの経路で切り替え機能を付加した供給構造
- ・電磁弁1個で4系統の配管が可能
- ・工具刃物テーブルの寸法は現状(標準仕様)と同じ

【1-2】くし刃型旋盤と超高压クーラント装置との結合【平成29年度】

- ・結合スペース込みでP25の専有面積1.25㎡とHIPRECO1.6㎡の合計2.85㎡の1.1倍である3.1㎡以内
- ・各種モードの設定操作と表示機能を有し、工作機械側と連携する超高压クーラント制御確立
- ・切削の生産性向上：30%以上

【1-3】超高压クーラントの工作機械精度への影響低減【平成29年度～平成30年度実施】

- ・脈動変化：14%以下(アキュムレーターなしの場合)、0.7%以下(アキュムレーターありの場合)
- ・加工精度：現状レベルを維持
- ・工作機械の剛性：現状レベルを維持

【2】省スペース型超高压(30MPa)クーラント噴射装置の試作

	平成30年度試作1号機	平成31年度試作2号機
占有床面積	1.3㎡	0.8㎡
モーター出力	11~15kW (30MPa)	7.5kW (30MPa)
吸水量	10ℓ/min (30MPa)	10ℓ/min (30MPa)
吐出量	25ℓ/min (30MPa)	10ℓ/min (30MPa)
ポンプ剛性	30MPaに対応可能	30MPaに対応可能
高精度ろ過装置ろ過目標	15μm以下	15μm以下

- ・上記設計目標の具体化した試作機を製作

【3】くし刃型旋盤での切削条件の確立

【3-1】難削材の加工に対応する吐出圧、切削条件の把握【平成 29 年度～平成 30 年度実施】

以下の材料、工具を利用して吐出圧力、送り条件等を把握

- 医療部材用チタン合金、航空機耐熱材料 INCONEL、ステンレス鋼
- 工具形状：噴射ノズル付チップ、噴射ノズル付ドリル
- 加工精度は現状以上を維持
- 被削物の真円度、表面粗度を測定、加工条件との相関把握

【3-2】切削の最適な工具、ノズル形状の検討【平成 29 年度～平成 30 年度実施】

- 高速度カメラで切削の動き、クーラントの流れを測定し、最適なノズル形状、噴射位置を把握
- ノズル径の想定：14MPa の場合φ1 ノズル×（1～2）、30MPa の場合φ1.5 ノズル×（1～2）

【4】タレット型旋盤と省スペース型超高压クーラント噴射装置との統合

【4-1】タレット旋回部分への超高压クーラント安定供給ジョイント機構の開発【平成 30 年度～平成 31 年度実施】

- 30MPa 超高压クーラントに耐える高信頼性ロータリージョイント機構、交換可能シール機構の開発
- 各種工具切換え弁、切換え時間 0.5 秒以下
- 工具刃物タレットの寸法は現状と同程度

【4-2】タレット型旋盤と省スペース型超高压クーラント噴射装置との統合【平成 31 年度実施】

- 結合スペースも含めて超小型精密タレット型旋盤 C25 の専有面積 2.21 m²と省スペース超高压クーラント噴射ユニット装置の占有床面積 0.54 m²の合計 2.75 m²の 1.1 倍、3.0 m²以内
- 工作機械側の信号と連携する超高压クーラント制御機能
- 切削の生産性向上：30%以上

【4-3】超高压クーラントを装備したタレット型旋盤の運転条件の確立【平成 31 年度実施】

- 様々な材料、工具に対して短期、長期の運転実験を行い、被削材料の加工精度や工具の摩耗状況、切削条件の最適化、超高压シール部材の品質確保、クーラントの循環システム等統合的な運転条件を確立
- シール交換時間：2000 時間以上
- 工具寿命：1.3 倍以上へ改善

【5】難削材切削加工のユーザー評価とフィードバック

【5-1】サンプル加工【平成 30 年度～平成 31 年度実施】

- ユーザーと協議して各種難削材について、切削条件、クーラント圧条件、工具形状等各種加工条件を変えサンプル加工を行い被削物の加工形状、真円度、表面粗度等を測定し、加工条件との相関を把握
- 面粗度：切削条件によらず現状レベルを維持
- 真円度：切削条件によらず現状レベルを維持

【5-2】ユーザー評価と結果のフィードバック【平成 30 年度～平成 31 年度実施】

- ユーザースペックを満たすよう、結果をフィードバックしプロセス条件を改善（開発グループ内での評価に加え、川下ユーザー企業の協力を得て試作した部品を評価し、その結果をフィードバックし、加工プロセスを改良）

1-2 研究体制（研究組織・管理体制）

研究体制を以下の図に示す。

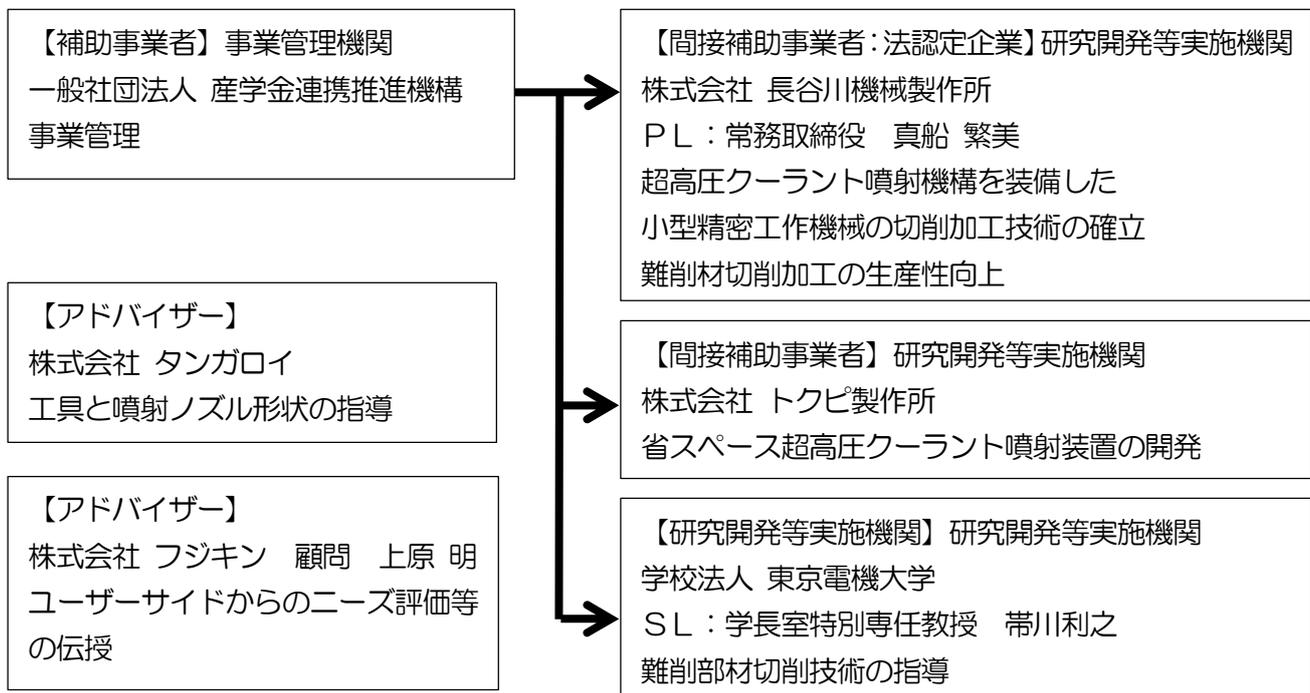


図 1-3 研究開発体制図

本プロジェクトに関係した研究者及び協力者を以下の表に示す。

表 1-1 研究者氏名・協力者

	氏名	所属・役職
統括研究代表者（PL） 研究開発推進委員会委員	真船 繁美	株式会社長谷川機械製作所 常務取締役 技術部長
副統括研究代表者（SL） 研究開発推進委員会委員	帯川 利之	学校法人 東京電機大学 学長室（ものづくりセンター）・特別専任教授
研究開発推進委員会委員	沼野 大輔	株式会社長谷川機械製作所 技術部生産技術課
//	鎚木 義裕	株式会社長谷川機械製作所 技術部設計開発課
//	小林 洋平	株式会社長谷川機械製作所 技術部生産技術課 主任
//	菊池 基	株式会社長谷川機械製作所 技術部生産技術課
//	穂積 裕樹	株式会社長谷川機械製作所 製造部電機課
//	金子 史	株式会社長谷川機械製作所 製造部仕上課 課長
//	大河内 一輝	株式会社長谷川機械製作所 製造部仕上課 主任
//	森合 主税	株式会社トクピ製作所 代表取締役社長
//	森合 勇介	株式会社トクピ製作所 技術部係長
//	原田 雄彦	株式会社トクピ製作所 技術部
//	小田桐 勝彦	株式会社トクピ製作所 専務取締役
//	小島 彰	一般社団法人産学金連携推進機構 代表理事会長
//	箕浦 忠行	（一社）産学金連携推進機構 技術開発推進部 部長・主席研究員
//	浜田 ちひろ	（一社）産学金連携推進機構 技術開発推進部 管理員
アドバイザー	中山 喜由	株式会社タンガロイ マーケティング部 航空宇宙産業担当
アドバイザー	上原 明	株式会社フジキン 顧問

1-3 成果概要

1-1-2 研究目標に示す各テーマに掲げた目標達成に向け種々の研究開発活動を行った。

その結果、

- (1) 超高压クーラント噴射機構を装備した小型精密工作機械による医療用小物難削材の切削加工技術を確立することができた。
- (2) 難削材切削加工の生産性を30%向上させることが確認できた。
- (3) 超高压クーラント噴射機構も含めたコンパクトな敷地面積（占有面積の少ない小型工作機械のイメージ確保）を実現することができた。従来工作機であるくし刃型旋盤およびタレット型旋盤と省スペース超高压クーラント噴射機を結合した工作機械の試作が完了し、今後のメニュー化の核となった。
- (4) (3) で開発した工作機械は、旋盤にとどまらず長谷川機械製作所の各種小型精密工作機械のラインアップへの超高压クーラント噴射機構の適用を実現する可能性を示すものとなり、今後のメニュー発展の核となった。

以上の成果を得た。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属・氏名：株式会社長谷川機械製作所 技術部設計開発課 鏑木 義裕

E-mail：kaburaki@hasegawa-m.co.jp

電話： 0248-25-2226

FAX： 0248-25-2227

第2章 本論（実施内容及び成果）

2-1 実施内容

【1】くし刃型旋盤と超高压クーラント装置との統合

【1-1】工具刃物テーブルへの超高压クーラント供給回路の開発

平成 29 年度に省スペース型 4 系統切替可能な工具刃物テーブルへの超高压クーラント供給回路を開発した。これは左右に伸びた長いパイプの左側にある穴からクーラントが供給されて右側の穴からタンクに戻っていく構造である。このとき、戻りの先に付けた電磁弁を閉じることによりパイプ中央に開けた穴からクーラントが一つのマニホールドだけに供給され、そこから超高压対応のホースを介して今回合わせて開発したノズル付バイトホルダまで到達する。

これらに実際の超高压クーラントを流し耐久性、圧損状況、制御性を評価し、ラダー変更によって電磁弁切替のタイミング等、クーラント吐出プロセスに改良を加えた。

また、マニホールドのコンパクト化を図れば最大 6 系統の切替が可能であることがわかった。

平成 29 年度に長谷川機械製作所へ導入した微細複雑形状加工が可能な 5 軸マシニング切削加工機を活用して新規開発されたバイトホルダを作製した。今回導入したマシニングがないと複雑なクーラント経路の加工が非常に困難であった。

バイトホルダから直接超高压クーラントを噴出することができ、バイト自体には内部給油の機構が不要になったことから、従来から普及している内部給油の機構が付いていない様々なバイトでも超高压クーラントが使用可能となった。

これらの開発と併せ、超高压クーラントの供給回路の特許権申請と噴射条件、加工条件に係る技術、ノウハウを獲得し、必要な知的所有権の権利化を図った。

【1-2】くし刃型旋盤と超高压クーラント装置との統合

超高压クーラント装置を結合するくし刃型旋盤 P25 を研究用に試作・組立てた。この組立てのときに超高压クーラント装置を連結して制御システムを統合した。これから占用面積の実測値は約 2.9m²である。内訳はくし刃型旋盤 P25 が 1.2m²、超高压クーラント装置が 1.42m²、配管部が 0.32m²である。実測値の 2.9m²は目標値の 3.1m²より狭いため目標を達成することができた。さらに超高压クーラントユニット試作 1 号機を統合した場合は 2.8m²とより小さくなった。（図 2-1 参照）



図 2-1 くし刃型旋盤と 30MPa 超高压噴射装置試作 1 号機

【1-3】超高压クーラントの工作機械精度への影響低減

超高压クーラントを噴射した場合それがシールに侵入したり多量のミストが飛散したりして、主軸や Z 軸ベアリング部分の潤滑が落ちてしまうと予測されたためクーラント侵入防止対策が必要と考えた。そこでクーラント侵入防止メカニカルシールの設置、ベアリング部の構造変更を施した。ベアリング内部を正圧にして切粉やミストの侵入を防止できる機構とした。超高压クーラント用に加工部にステンレスカバーを設置する等の仕様変更をした。以上の構造を組み立てた後、超高压クーラントを長期かつ連続で使用したが加工精度に悪影響が出ないことを確認した。

【2】省スペース型超高压（30MPa）クーラント噴射装置の試作

【2-1】省スペース型超高压（30MPa）クーラント噴射装置の設計、試作

平成 29 年度に実施した省スペース型超高压（30MPa）クーラント噴射装置の設計に基づき、クーラント噴射装置を試作した。

長谷川機械製作所での小型精密タレット型旋盤に統合にむけ、平成 30 年度事業内で実施した省スペース型超高压クーラントの設計内容から、更に外観的改良と振動騒音の低下改良を加味した、よりボックス形状に近い再設計も進めたが、占有面積が省スペースタイプより 30%拡大となり、本来の目的である省スペース化が実現できないことが判明した為、改良設計については不採用とし、初期設計で採用となった。

平成 29 年度設計の成果として、従来の 30MPa の吐出圧力を有する、箱型超高压クーラント噴射ユニット HIPRECO の占有床面積が 1.3 m²の大きさで完成となり、従来の大きさの 60%の大きさという結果となった。平成 30 年度はこの設計結果をもとに実機試作を行った。導入測定器を利用しポンプ部品の測定と改善を行い、結果、省スペースを実現しつつ高出力が可能な省スペース型超高压クーラント装置が完成した。

平成 30 年度に導入した真円度測定器及び 3 次元測定器を使用し、ポンプ部品の測定と改良を加えながら、確定した設計内容をもとに平成 31 年 1 月から省スペース型超高压（30MPa）クーラント噴射装置の試作を進めてきた。

試作については概ね計画通り遂行されたが、組み立て完了後の試運転でインバーターの発熱を確認し、追加でファンを内部増設に至り改善とした。

超高压クーラント噴射機構を装備した小型精密工作機械の開発 において、さらに小型、省スペースの高圧クーラント噴射装置の開発開発を行った。

長谷川機械の詳細仕様要望として、クーラント最高圧力は下げずに、高圧クーラント流量を下げる。モータ容量を下げる。以上の仕様で更なる省スペース化を検討し、構造設計に反映させ、省スペース型超高压（30MPa）クーラント噴射装置試作 2 号機として製作を行った。

超高压クーラント噴射機構を装備した小型精密工作機械の開発において、さらに小型で省スペースの高圧クーラント噴射装置を開発し、クーラント噴射装置試作 2 号機として制作を行った。

占有面積としては、結果 0.52 m²と、本事業における試作 1 号機の成果である、1.3 m²の占有面積から更に 60%も省スペースとなり、設置スペースを含めた運用コストの軽減に大きく寄与する可能性をもたらす装置として実現した。

【3】くし刃型旋盤での切削条件の確立

【3-1】難削材料の加工に対応する吐出圧、切削条件の把握

本節では Ti-6Al-4V (以降 Ti) や SUS316L (以降 SUS)、INCONEL 718 (以降 INCONEL) の 3 種類の難削材を使い各種条件を変更して切削試験を実施した。

材料寸法は直径 30mm 長さ 40mm、送り速度が 0.14mm/rev、切込深さは 0.85mm、工具はチップが Tungaloy 製「CNMG120404-HRF-AH8005」、ツールホルダは Sandvik 製「PCLNR 2020K 12HP」である。

クーラント圧を上げることで最長切りくず長さが短くなることがわかった。また 7MPa、20MPa のクーラント圧を使用している場合は周速によらず切りくずのサイズが一定であった。

次に切削精度の指標を真円度とした。結果として切削精度はクーラント圧による差がないことがわかった。

今回の試験条件である切込半径 $a_p=0.5$ では切りくずの分断の変化が僅かではあったが、徐々に短くなっていることがわかる。 $a_p=0.1$ に変更したところ、圧の変更による切りくずの分断が顕著となった。

INCONEL においてもクーラント圧力は真円度に影響を与えていない結果となった。

次に SUS の適切な切削条件を調査した。そしてここで決定した適切な条件でチップの摩耗量調査も実施した。SUS とした理由は適切な条件の判明及び摩耗量試験に多くの被削材が必要となることから安価であることを念頭に医療分野にも使われる難削材ということで選定した。

各種切削条件における材料寸法は直径 30mm、長さ 50mm、工具はチップが Tungaloy 製「CNMG120404-HRF-AH8005」、ツールホルダが Sandvik 製「PCLNR 2020K 12HP」、クーラント圧は 20MPa であった。

送り速度 f によって表面粗さに大きな違いが出ていることがわかった。今回の試験は並仕上げ (Ra6.3 以下) 程度を見込んでいるためどの条件でも表面粗さに問題はないと判断した。

以上の結果と短時間でチップ摩耗量の調査をしたいということで上記の真円度と表面粗さが良好な条件から単位時間あたりの切削量が多い条件をチップ摩耗試験の条件とした。

基準条件は周速 400m/min、送り速度 0.23mm/rev、切込深さ 1.5mm、クーラント圧 20MPa、チップが難削材用である Tungaloy 製「CNMG120404-HRF-AH8005」(S 種)、ツールホルダが Sandvik 製「PCLNR 2020K 12HP」、被削材は SUS316L、直径が 30mm、長さ 50mm である。この基準条件からクーラント圧を 1MPa に変更した条件、チップを M 種に変更した条件、長谷川機械製作所製バイトホルダに変更した条件、周速を 300m/min に変更した条件で試験した。切削量については長手方向の切削距離が 30mm、直径が 18mm になるまで 1 個の被削材を切削した。この場合のワーク 1 個当たりの切削長は、36.9m である。ここでチップ寿命の目安を最大逃げ面摩耗幅 (以下、チップ摩耗量) 300 μ m とした。

それぞれ条件の違いによる比較をした。はじめにクーラント圧による寿命である。1MPa に対して、20MPa を使用したほうが長寿命であることがわかった。しかし、寿命の違いは 1.3 倍ほどで想定よりも小さい差であった。次にチップによる寿命の違いを比較した。S 種チップの比較の結果、M 種チップのほうが長寿命であった。これはチップのカタログ通りの結果であった。

周速を下げて摩耗試験をした。その結果周速を下げている 300m/min のほうが周速 400m/min より 3 倍ほど長寿命であった。これより周速 400m/min の条件ではクーラントによる単位時間あたりの冷却効果が不足していたか切削抵抗が大きいと考えられる。

ここで今回 INFOS の切りくず形状分類を見直した。具体的には長さに関する記述が必要であった。長

さの不明瞭な部分を明確にした分類を長谷川の切りくず形状分類（図 2-2）として活用した。

1. リボン状切りくず		
2. もつれた切りくず		×
3. 平ならせん状切りくず		
4-1. 斜めのらせん状切りくず(短) ~15mm		◎
4-2. 斜めのらせん状切りくず(中) 15~50mm		○
4-3. 斜めのらせん状切りくず(長) 50~mm		×
5-1. 円筒らせん状切りくず(短) ~15mm		◎
5-2. 円筒らせん状切りくず(中) 15~50mm		○
5-3. 円筒らせん状切りくず(長) 50~mm		×
6. うずまきらせん状切りくず		◎
7. うずまき状切りくず		
8. ちぢれた切りくず		○
9. 破砕切りくず		○

（加工機の切りくずとして）◎：好ましい ○：適当 ×：不適

図 2-2 長谷川機械製作所における切りくず形状分類

【3-2】切削の最適な工具、ノズル形状の検討

最適な工具については、前項までの3.【3-1】で記述したように、被削材に合わせた工具材種を選択することでより工具寿命を伸ばせることが判明している。

次に、ノズル形状について市場調査を行った。キーエンス製画像寸法測定機を用い、各メーカーから市販されている高圧クーラント噴射ノズル付バイトについて、クーラント経路がどのようになっているかを調査した。

画像寸法測定機によってクーラント経路を可視化することで、どのメーカーも設計思想が異なっており高

圧クーラントに対する捉え方の違いが判明した。また、これらのデータを集約し自社製のバイトホルダを新規開発する為の参考にした。実際のクーラント経路について、ハイスピードマイクロスコープを使用してクーラントがチップのどの部分に噴射されているかを観察した。

市販品のノズルの方がチップのすくい面と平行に近い角度でクーラントを噴射しているが、噴射口からチップ先端までの距離がある。また市販品はチップの取付穴に一部クーラントが当たっているのに対し、長谷川機械製作所製ノズルは直接チップの加工部にクーラントを噴射できている。また Sandvik 製ツールホルダは下から上に向けて噴射する機構がないのに対して長谷川機械製作所製ノズルはある。以上のような差異がチップの寿命に変化を与えていたのではないかと考えられる。

東京電機大学では、工具摩耗の抑制を主たる目的とした場合の超高压クーラントの冷却効果について理論的に検討した。このため、有限要素解析ソフト DEFORM を用いて旋削に相当する三次元切削状態をシミュレートし、切りくずならびに仕上げ面の温度に及ぼす熱伝達率の影響を調査した。細部に注意し解析するには二次元切削モデルが適しているが、工具、工作物の冷却は、熱が刃先から三次元的に広く移動することにより促進されるため、三次元解析が不可欠である。

設定した切削条件は、切削速度 67 m/min 及び 120 m/min、切込み 1.0 mm、送り速度 0.2 mm/rev である。工具の材種は超硬でその形状は CNMA120408、工具ホルダは DCLNR2020、工作物はチタン合金 Ti-6Al-4V で長さ 7.0 mm、幅 3.2 mm、厚さ 2.0 mm の簡易形状としている。

その他、難削材の切削における工具冷却効果と工具摩耗低減効果を高めるため、工具表面テクスチャの効果について検討し、工具表面上の微細溝がクーラントの流れと工具摩耗に及ぼす影響を解析数値流体解析と工具摩耗実験から明らかにした。

また、一連の研究開発実験により得られたクーラントの圧力と切りくず形状の関係を取りまとめた。本結果は、難削材から低炭素鋼までをカバーする、おそらく世界で唯一の実用的なものである。トラブルを生じない切りくず処理のためには 15~20 MPa 程度のクーラント圧力が必要であることを明確に示しており、本研究開発の有用性を実証している。

【4】タレット型旋盤と省スペース型超高压クーラント噴射装置との統合

【4-1】タレット旋回部分への超高压クーラント安定供給ジョイント機構の開発

長谷川機械製作所において、タレット旋回部分への超高压クーラント安定供給ジョイント機構やそのノズル、カバリングなどを新規開発した。安定供給のために主にノズルやカバー部に覆われているタレットボディを新規開発した。これによりクーラントがタレット旋回部までもれなく供給できるようになった。ただしその先であるバイトホルダとタレット旋回部分の間でクーラント漏れが発生しているためこれは今後の課題となっている。

【4-2】タレット型旋盤と省スペース型超高压クーラント噴射装置との統合

長谷川機械製作所のタレット型旋盤 C25 に 7~30MPa の吐出圧力を有する省スペース超高压クーラント噴射装置の試作機を統合しタレット型旋盤に装着した工具に超高压クーラントを供給することができた。占有面積はタレット型旋盤が 2.2m²、試作 1 号機が 1.3m²、配管部は 0.3m²なので合計 3.8m²であった。

超高压クーラント装置試作 2 号機とタレット型旋盤を統合した占有面積は 3.3m²であった。(図 2-3) また試作 1 号機、2 号機ともに制御は同様で工作機械側でできるようになった。

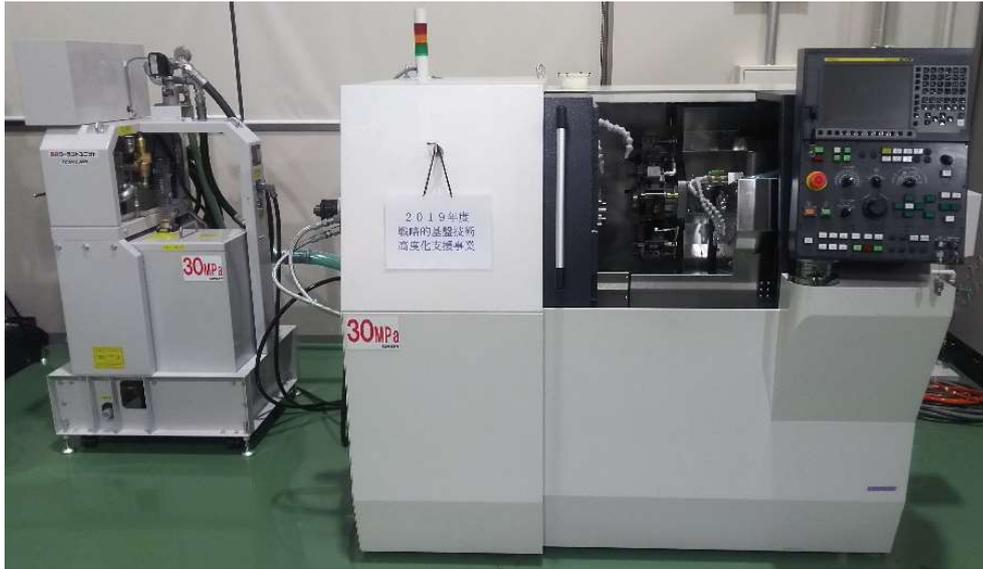


図 2-3 タレット型旋盤と超高压クーラント噴射装置試作2号機

【4-3】超高压クーラントを装備したタレット型旋盤の運転条件の確立

長谷川機械製作所のタレット型旋盤に超高压クーラント噴射装置を結合したシステムについて、短期の運転実験をした。被削材料の加工精度や工具の摩耗状況、切削条件の最適化と併せ、超高压シール部材の品質確保、クーラントの循環システムも含めた統合的な運転条件を検討した。

加工精度とクーラント循環システムについて、不水溶性クーラントを使用する場合クーラント温度が60°C近くまで上昇してしまいその熱で被削材料が膨張して精度に影響をあたえることがわかった。もしこのような条件で試験する場合はクーラント用恒温装置が必要であった。このクーラント温度の問題や他の運転条件の確立の詳細は本2章の「【5-1】サンプル加工」で記述する。

【5】難削材切削加工のユーザ評価とフィードバック

【5-1】サンプル加工

【5-1-1】と【5-1-2】はユーザーからサンプル図面を提示され、その試験結果をまとめたものである。サンプル図面の提示にあたり打ち合わせを実施した。また現在ユーザーが抱える問題を聞き、超高压クーラントで解消できる可能性があったため長谷川機械製作所でテストカットを実施することとなった。

以下に記述するサンプル加工は長谷川機械製作所に設置される統合試作機で行われ、加工は長谷川機械製作所の研究員が行ったがトクビ製作所及び東京電機大学の帯川教授から必要な指導、助言を受けた。

【5-1-1】ユーザー試験体切削試験

本研究ではユーザーから提供された試験体をくし刃型旋盤で加工した。本試験体における加工の特徴として小径深穴(φ1.8 mm、深さ28mmのL/D=15)とアメリカ管用テーパねじ(NPT1/8)がある。

φ1.8mmの深穴加工は、クーラント圧力14MPaと30MPaで各N=30加工した。加工条件は回転数S5500[min^{-1}]、送りF0.02[mm/rev]、0.6mmステップ、戻り量0.3mmとした。N=30加工後のドリルの観察結果からクーラント圧を14MPaから30MPaへ上げた場合工具寿命が延長する効果があった。

次にアメリカ管用テーパねじ(NPT1/8)の加工では、一般的な鋼材に対するパス数は6パス、ねじ切

り周速は 30 条件から振ったもの、ねじ切り方法については標準的なラジアルインフィードとねばりのある材質に有効な修正フランクインフィードを使った。その結果多くの条件でチップ寿命がワーク 1 個分にも満たなかった。しかし、パス数を 25 と通常の 4 倍以上にした場合、チップ寿命はワーク 10 個ほどになった。ユーザーでは 20 個ほど加工できているので今後はパス数を 25 程度またはそれ以上にし、他の条件も変更してチップの寿命を伸ばすことを検討する。

ねじ切り加工の切りくずはけについて、30MPa におけるラジアルインフィードでのねじ切り加工による切りくずはけは悪く、ねじ切り加工後に刃具に複雑に絡まったりワーク内に切りくずが押し込まれたりしていることが多かった。これはクーラント圧が 14MPa など他条件のときも同様であった。

切りくずはけが悪いのは、残留した切りくずがいずれも長いことであった。今まではこの厚さの切りくずであれば 30MPa のクーラントで分断されていたが、このねじ切り加工では、分断されていない。その理由はクーラントが刃先先端へピンポイントに当たっていないためであると考えられる。つまりバイト要因である。そのためバイト選定も今後の検討に入れることとした。

またワーク内に切りくずが残留するということから超高压クーラントにより長い切りくずを余計に奥に押し込んでしまい切りくずはけを悪化させる可能性があるといえる。今後は超高压クーラントが加工を悪化させる可能性も念頭に取る必要がある。

【5-1-2】バルブボディ(ユーザー)切削試験

ユーザーから提示されたバルブボディの材質は SUS316L 材である。本研究ではこのワークをタレット型旋盤で加工した。本ワークにおける加工の特徴として端面溝入れ加工とねじ切り加工(M22)がある。

端面溝入れ加工での加工条件は回転数が 1500min^{-1} 、送り速度が 0.02mm/rev 、クーラント圧力が 2MPa または 30MPa であった。クーラント吐出口は、刃先からではなく刃具ホルダから刃具と同じ軸方向へ噴出するジェットスルータイプを採用した。N=30 加工完了時のクーラント圧による工具の摩耗状態の違いを比較した。30MPa で加工した工具の方が角の摩耗量を 50%以上抑えられていた。この要因としては、超高压クーラントが分断前の切りくずをすくい上げて、クーラントが刃先の隅々まで行き渡るようになり工具全体に十分な冷却と潤滑効果をもたらしたからと考えられる。

ねじ切り加工(M22 並目)の加工条件は回転数が 1200min^{-1} 、クーラント圧力が 2MPa または 30MPa であった。クーラント吐出口は標準丸バイトホルダの球体状ノズルである。これは刃先から 30mm 程度離れていた。

端面溝入れ加工と同様に N=30 加工完了時のクーラント圧による工具の摩耗状態の違いを比較した。

クーラント圧 2MPa で加工した時のねじ切り工具では溶着しており、エッジの立っていない部分も見受けられるが、30MPa で加工した工具は溶着が少なく、エッジが立っていた。

2MPa で加工した工具の二ゲ面を観察すると黒く焦げた部分が観察された。これより 30MPa のほうが 2MPa よりも沸騰膜領域が小さく、また焦げが直線的なので安定した状態であったといえる。つまり 30MPa ならば冷却効果が 2MPa よりもでているといえる。

さらにクーラント吐出口が切削点に対して 30mm 程度離れていても超高压クーラントの効果があったことが確認できた。

切りくずの状態に関して、ユーザーは刃物に絡み付いた切りくずがワーク内径を傷つけてしまうという問題を現在抱えている。本研究でもクーラント圧の比較試験で 2MPa のときは同様の問題が発生した。一方 30MPa での加工については切りくずが分断されて刃具にはほとんど絡みつかなかった。

次にワーク 1 個から発生する切りくずを観察した。これもクーラント圧力による違いを比較するため

2MPa、14MPa、30MPaの条件で加工した。2MPa、14MPaでは分断されずに固まっている切りくずが発生している。しかし、30MPaは切りくずが分断され、ワーク内部や刃具に対して絡みにくい形状になっていることがわかった。

クーラント圧30MPaで30個のワークを切削した後に回収した切りくずの嵩密度は、クーラント圧のみ2MPaに変更した加工の切りくずに対して1.5~2倍程度となった。このように、超高压クーラントを適用することで切りくずがかさばらないことから、切りくず搬出の頻度を抑えられるため搬出処理性が向上した。

バルブボディ(ユーザー)切削試験について、このワークの特徴であった端面溝入れ加工とM22ねじ切り加工において切りくずの分断性及び刃具寿命は30MPaのほうが2MPaよりも良い結果であると予測された。また切りくずが分断されることでその搬出処理性が向上することもわかった。サイクルタイムについてユーザーで現状約9分であったが、長谷川機械製作所では約8分10秒であった。そのため、高压クーラント加工に優位性があることがわかった。

加工精度について今回の加工では、30MPaの超高压クーラントを使用すると機械・切削油ともに温度が上昇し、ワーク精度が安定しなかった。温度上昇の原因としては、高粘度のクーラント使用や、ポンプやモータの排熱の影響、摩擦熱によると推測できる。これからこの条件で切削するときはクーラント恒温装置が必須であると考え。以上の結果とユーザーでの現状を比較検討し、長谷川機械製作所での要修正または要調査の事項を明らかにした。恒温装置を取付けて刃具寿命の確認も今富居のような検討課題である。

【5-1-3】その他超高压クーラントを用いた切削試験

現在、エンジンバルブの製造メーカーから切削試験の引き合いがあり、随時切削試験を行う予定である。

【5-2】ユーザ評価と結果のフィードバック

【5-1】で実施したテストカットの結果をユーザーへ評価してもらったところどちらも刃具寿命をより延長してほしいとの意見であった。

一般ユーザーの評価を得るために平成29年度に開発した超高压クーラント装置を搭載したくし刃型旋盤P25GHPをJIMTOF2018に出展することとした。この出展では占用面積や加工プログラムなどを想定した後に、ユーザの目を少しでも引けるように外見や供給・搬出部に協働ロボットを取り付けるなどの改造をした。JIMTOF2018での長谷川機械製作所ブースは大盛況で超高压クーラントの効果もアピールできた。

MECT2019には、くし刃型旋盤P25を出展した。この展示会で超高压クーラントが搭載できることをアピールする為に図2-4のPR資料を作成し積極的に配布した。

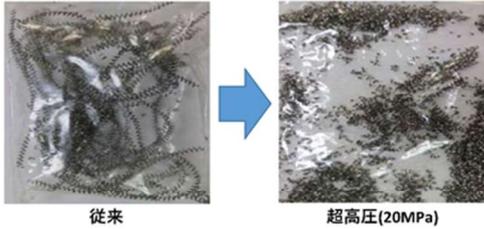
超高压クーラント加工 (14~30MPa)

4つのソリューション

1. 切粉トラブルで自動化稼働率低下
2. 難加工で品質保障が困難
3. サイクルタイムが長すぎる
4. 切粉はけで設備投資コストが増大

超高压クーラントで
解決!

解決1 切粉破碎・分断 ⇒ 切粉はけ向上 (無人化支援技術)

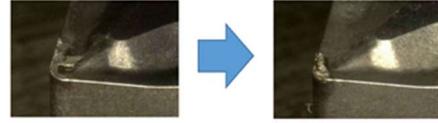


超高压にすると切粉が短く、細かく破碎可能!

- ・ワークやチャック、刃物への巻き付きによるチョコ停がなくなる ⇒ 品質、稼働率向上
- ・切粉による傷の防止 ⇒ 歩留まり向上
- ・切粉の体積が減る ⇒ 廃棄処理が容易に

解決2 工具刃先からの引きはがし効果

⇒ 摩耗抑制, 溶着防止による確実な品質保障



- ・工具寿命向上 ⇒ 刃具費用と品質確認時間の削減 ⇒ ランニングコスト削減
 - ・難削材を容易に切削 (インコネル・チタン・SUS・SS・純銅など)
- (マシニング加工例) 小径ロングドリル L/D=33
- 材質: インコネル
内径: φ1.5 通し穴
加工深さ: L=50
主軸回転: S10000
送り速度: F90
圧力: 14MPa

解決3 切削条件向上 ⇒ サイクルタイム短縮

(NC旋盤加工例) SUS316

・ 周速 [m/min]	150	⇒	200	超高压クーラントで 加工時間1/2以下に
・ 送り [mm/rev]	0.14	⇒	0.23	
・ 切込ap [mm]	1.5	⇒	1.5	

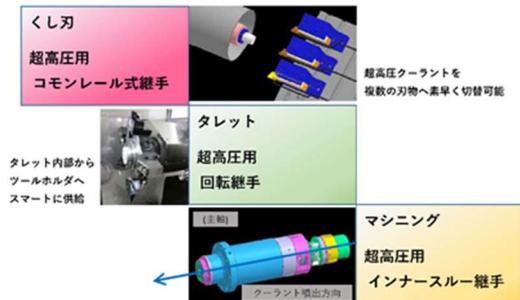
解決4 機械サイズを選ばない ⇒ 投資コスト削減

- ・ 切粉はけの問題による大型機の選定 ⇒ 小型機でも対応可能に



超高压クーラント14~30MPaに対応する 長谷川機械製作所の最新技術

1. 独自開発の配管システム (特許出願中)



2. 超高压対応の専用設計

- ・ 機械系 ⇒ 加工室カバーや、機械構造の最適設計
- ・ 電気系 ⇒ 超高压制御ソフトウェアや電装系の最適設計

■ 本社/営業部 埼玉県さいたま市見沼区大和田町1-602 TEL:048-683-5061
 ■ 東北営業所/白河工場 福島県西白河郡西郷村熊倉折口原415 TEL:0248-25-2226
 ■ 名古屋営業所 愛知県刈谷市桜町1-33 TEL:0566-26-0105

超高压クーラント加工



株式会社 長谷川機械製作所

2019.10.

図 2-4 超高压クーラント加工 PR 資料

2-2 成果

【1】くし刃型旋盤と超高圧クーラント装置との統合(目標達成率：100%)

【1-1】 工具刃物テーブルへの超高圧クーラント供給回路の開発

- ・ コモンレール式マニホールドタイプのクーラント供給構造を開発した。
 - コモンレール式マニホールドタイプのクーラント供給構造を特許出願した。
 - 電磁弁 1 個で 6 系統の切り替えを可能にした。
- ・ 超高圧対応 S 型バイトホルダを開発した。
 - より多くのバイトで超高圧クーラントを使用できるようになった。

【1-2】 くし刃型旋盤と超高圧クーラント装置との統合

- ・ くし刃型旋盤と超高圧クーラント装置の結合設置面積は目標 3.1 m² に対して 2.9m² であった。
 - 結合した状態でも少ない設置面積で小型機械として売り出せる。
- ・ 超高圧クーラント装置試作 1 号機とも結合した。
 - 試作 1 号機と結合したときの設置面積は 2.6m² であった。

【1-3】 超高圧クーラントの工作機械精度への影響低減

- ・ クーラント侵入防止のためメカニカルシールを開発した。
- ・ クーラント侵入防止のためオイルエア潤滑機構を開発した。
 - 超高圧クーラントを長期または連続使用したとき悪影響が出ないことを確認した。

【2】 省スペース型超高圧 (30MPa) クーラント噴射装置の試作(目標達成率：100%)

【2-1】 省スペース型超高圧 (30MPa) クーラント噴射装置の設計、試作

すでに掲げた目標値 (平成 31 年度) に関してその結果は以下の表 2-1 に示すようなものであった。特に重要とみなした占用床面積に関しては、目標を大幅に上回る成果が得られ、今後の実用化に向け重要なステップを刻むことができた。

表 2-1 各試作機の目標と成果

項目	平成 30 年度 試作 1 号機目標	平成 31 年度 試作 2 号機目標	目標に対する成果
占用床面積	1.3 m ²	0.8 m ²	0.52 m ² 150%の達成数値となり 30MPa クラスでは国内のクーラント装置業界において最もコンパクトなサイズとなる。今後小型機への導入の基準機として期待ができる。
モータ出力	18.5kW(30MPa)	7.5kW(30MPa)	目標通り(100%)
吸水量	27 l /min(30MPa)	10 l /min(30MPa)	目標通り(100%)
吐出量	27 l /min(30MPa)	10 l /min(30MPa)	目標通り(100%)
ポンプ剛性	30MPa に対応可能	30MPa に対応可能	目標通り(100%)
高精度ろ過 目標	15 μm 以下	15 μm 以下	目標通り(100%)
総合成果			目標通り(115%)

【3】くし刃型旋盤での切削条件の確立(目標達成率：100%)

【3-1】難削材料の加工に対応する吐出圧、切削条件の把握

- Ti-6Al-4V, SUS316L, INCONEL718 の被削材で超高压クーラントと切削条件の関係を得た。
-今後超高压クーラントを使用するときその効果が想定できるようになった。
- SUS316L の切削試験においては超高压クーラントによるチップの長寿命化を確認できた。
-ユーザに対して超高压クーラントを導入するときの価格的なメリットを出しやすくなった。
- 真円度と面粗度は超高压クーラントを使用した場合とそうでない場合の差は小さかった。
-超高压クーラントを使用しても機械(刃具、チャッキング)の剛性に影響はでていなかった。

東京電機大学における切削加工実験では、切削部の温度分布が正確に測定できるサーモグラフィを導入して、主にドライの状況での切削加工における加工部の昇温状況を把握するとともにこれが冷却クーラントの噴射によりどの程度低減されるかを把握し、冷却効果の基礎的データを収集した。さらに東京電機大学が導入する切削シミュレーションソフトを用いて超高压クーラントの効果を想定した切削シミュレーションを東京電機大学で行い、冷却効果を可視化することにより長谷川機械の加工条件の改善検討へ反映させた。

【3-2】切削の最適な工具、ノズル形状の検討

- 市場に出ている高压対応のバイトホルダの重要寸法部を画像寸法測定機で測定した。
-加工の仕方によりどのメーカーのバイトホルダが適切か推定できるようになった。
- 噴射ノズル付きバイトホルダを開発した。
- 高速度カメラでバイトホルダのノズル位置が適切な場所を狙っているかわかるようになった。
-このバイトホルダで市販品のツールホルダと同程度超高压クーラントを扱えるようになった。

東京電機大学は超高压クーラントによる切削効果の理論的研究の深化を図り、本事業を学術面から支援した。

1. DEFORM 3Dを用いてチタン合金の旋削加工の有限要素解析を行い、高压クーラントの冷却能力を評価した。切削温度の低下を視覚的に確認できるほどの冷却効果を実現するためには、通常の高圧クーラントでは不十分であり、超高压クーラントを使用して $h = 100 \sim 200 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{ K})$ レベルの非常に大きな熱伝達係数を実現することが不可欠であることが明らかとなった。
2. 工具表面に設けた微細溝によるクーラントの流れの制御と工具摩耗に及ぼす影響を、数値流体解析と工具摩耗実験により検討し、一見変哲もない微細溝が工具摩耗の低減と工具寿命の延長に極めて大きな効果を持つことを明らかにした。一般の切削に対し微細溝の位置と形状の最適化を直ぐに行うことはできないが、大量の工具を消費する自動車等の部品加工では、高压クーラントと組み合わせ使用する微細溝付きのカスタムツールの開発が期待できる。
3. 現実には、超高压クーラントを使用しても、高压クーラントより工具寿命が延びない状況や却って寿命が短くなる状況が発生する。これに対し、使用するクーラントの圧力によってクーラントの濃度を変え、高压になるほど濃度を低下させることが、高い切削能力を引きだすうえで重要となることを示した。実際に調査した範囲では、世界的にもこのような切削条件の選定基準が示されておらず、特に、超高压クーラントを使用する上で極めて重要な指針が確認できた。また、本指針の根拠

となるエビデンスを、使用済み工具表面のEDS解析と元素マッピングにより示すことにより、本指針をより強固なものとした。

4. サーモグラフィを使用してチタン合金の切削における切削温度を測定した。一般の技術者にとって工具摩耗の主たる要因となる切削温度と切削パラメータとの関係を理解することは困難であるが、サーモグラフィにより切削温度を簡便に計測し、これらの関係を理解を促進できることを示した。

【4】 タレット型旋盤と省スペース型超高压クーラント噴射装置との統合(目標達成率：80%)

【4-1】 タレット旋回部分への超高压クーラント安定供給ジョイント機構の開発

- タレット旋回部分への超高压クーラント安定供給ジョイント機構を開発した。
- 切替時間については従来のタレットと同等であり 0.5 秒未満である。
 - この機構がサイクルタイムに悪影響をあたえることがない。
- 工具刃物タレットの外形寸法は現状に変更を加えることなく、全く同じとなった。
 - 今までのユーザで超高压クーラント装置だけ追加したいというときに簡単に対応できる。
- 開発目標にはないタレットヘッドとバイトホルダの結合部でクーラントの漏れが発生している。今後はこの対策が必要である。

【4-2】 タレット型旋盤と省スペース型超高压クーラント噴射装置との統合

- タレット型旋盤の占有面積 2.21m²、超高压クーラント噴射装置試作 1 号機の占有面積 1.3m² また配管部が 0.3m² なので合計 3.8m²
- 超高压クーラント噴射装置試作 2 号機の占有面積は 0.8m² なので合計 3.3m²
 - 当初の目標は 3.0m² で目標には到達しなかったが小型旋盤として売り出せる面積ではある。
- 工作機械側の信号と連携して超高压クーラント制御できた。
- 切削の生産性について向上する傾向はわかったが今回定量的にその数値をだせなかった。

【4-3】 超高压クーラントを装備したタレット型旋盤の運転条件の確立

- 材料は SUS316L のダブルメルト材であった。
- 被削材料の加工精度は標準クーラントと比較して変わらないが 3 時間以上連続使用した場合クーラントや機械が昇温して加工精度にまで影響を及ぼした。
 - 実際に販売する際はクーラントや使用状況を聞き必要ならクーラント恒温装置を取り付ける。
- 工具の摩耗状況を確認した。
 - 超高压クーラントを使用したほうが摩耗を抑制できた。
- 切削条件を最適化した。
- 超高压シール部材の品質を確保した。
 - クーラントの循環システム等統合的な運転条件を確立した。

【5】 難削材切削加工のユーザ評価とフィードバック (目標達成率:100%)

【5-1】 サンプル加工

- 2 種類のワークの切削試験を行った。
- ボディの加工について加工時間短縮の見通しがついた。
- φ1.8mm、深さ 15mm の穴加工は工具摩耗の抑制で超高压クーラント 30MPa の効果を確認した。

- ・タレット型旋盤では超高压クーラントにより切りくず処理性や工具の耐摩耗性が向上した。
- ・切削油温度が上昇した為、長手寸法や径が安定しなかった。
- ・目標にある面粗度と真円度についてはユーザに求められなかったため測定していない。

【5-2】ユーザ評価と結果のフィードバック

- ・切りくず処理性向上については大きな成果であるとユーザからコメントがあった。
- ・刃具寿命が同等以上になれば訪問の検討を含めて次に話をすすめることとなった。
- ・JIMTOF2018 に超小型精密 CNC くし刃型旋盤 P25GHP 試作機を出展した。
- ・MECT2019 に超小型精密 CNC くし刃型旋盤 P25GHP 試作機を出展した。

【研究開発成果に係る製品など】

(1) 超高压クーラント噴射機構を装備した医療用難削部材加工用小型精密工作機械

本研究開発により医療用難削小物部品の精密切削加工が可能な超高压クーラント噴射機構を装備した超小型精密旋盤が提供できれば、医療用小物部品の加工を低コストで行い、高精度、高効率生産が可能となる。

大型機を1台置くスペースに小型工作機械を複数台配置する加工ラインでは、ライン長を短くでき、作業者の歩行距離や被加工物の移動距離を短くし、工場の単位面積当たり生産性が高くなる。

(2) 超高压クーラント噴射機構を装備した汎用難削部材加工用小型精密工作機械

医療用合金以外の難削部材用途にスペック変更するもので、医療以外に航空宇宙、自動車、情報家電、光学等多くの分野で期待され、波及効果は高い。

第3章 全体概要

第1章 1-1-1 研究開発の背景 においては、まず本研究開発の基本技術とその発展、課題について概説した。さらにその課題に対してどのような技術開発を行うのかの構想を述べた。

同章 1-1-2 研究目標では、この研究開発を実施するにおいて組み立てたテーマ及びその構成と各テーマに対して設定した定量的な目標を記述した。

第2章 2-1 実施内容では、設定した各テーマに関する実施内容を示した。

その研究開発活動の結果、第2章 2-2の成果で示したように、本研究開発において、第1章 1-1-2 研究目標 で当初掲げた各テーマの目標に対して、多くの点で、目標を達成したか、それ以上の成果を得ることができた。

その結果、

- (1) 超高压クーラント噴射機構を装備した小型精密工作機械による医療用小物難削材の切削加工技術を確立することができた。
- (2) 難削材切削加工の生産性を30%向上させることが確認できた。
- (3) 超高压クーラント噴射機構も含めたコンパクトな敷地面積（占有面積の少ない小型工作機械のイメージ確保）を実現することができた。従来工作機であるくし刃型型旋盤およびタレット旋盤と省スペース超高压クーラント噴射機との結合した工作機の試作が完了し、今後のメニュー化の核となった。
- (4) (3) で開発した工作機械は、旋盤にとどまらず長谷川機械製作所の各種小型精密工作機械のラインアップへの超高压クーラント噴射機構の適用を実現する可能性を示すものとなり、今後のメニュー発展の核となった。

以上の成果を得た。これら成果として得られた技術をもとに、長谷川機械製作所では、新規開発機械のメニュー化とその横展開により、販売額を大きく進展させる目標を掲げ、今後その実用化計画の策定と実践に着手する。

福島県では医療用具産業の集積が高く、平成27年12月に策定されたふくしま創生総合戦略の7つの挑戦の中で第一にしごと作りが掲げられ、その中で医療機器産業が位置付けられ平成23年の医療機器生産額976億円を令和2年には1,750億円以上とする目標が掲げられている。

長谷川機械製作所は、福島県医療福祉機器研究会や福島県ものづくり中小企業連絡協議会に参加して、こうした計画の推進、地域関係企業との連携を進めている。新しい機械の開発が世界的医療部品企業に評価されることは、福島県の医療機械メーカを世界の整形医療関係者に認識され、地域産業にとっても大きなインパクトとなる。