

平成30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

「航空機・自動車部品等の材料と冷間鍛造間の加工最適化及び高生産性を実現する流体表面研削技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局 中部経済産業局

補助事業者 公益財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

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) 研究開発の背景

「高度化指針」において定める、川下製造事業者等が抱える共通の課題及びニーズ

(三) 精密加工に係る技術に関する事項

1 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(3) 川下分野横断的な共通の事項

①川下製造業者等の共通の課題及びニーズ

ウ.品質の安定性・安全性の向上

オ.環境配慮

カ.生産性・効率化の向上、低コスト化

線材の表面処理を既存処理方法（ショットブラスト、酸洗）に代わる、流体研削加工技術を開発して、線材表層部のスケールを除去すると共に、線材表面キズを取り除き、表面品質向上を図る。これによって表面キズによる割れ不良の低減、歩留りが向上し生産の効率化、低コスト化も実現する。

また、流体研削加工は水と研磨材を混合したスラリーを、圧縮エアの力を使って高速に噴射するため、乾式のショットブラストと比較すると粉塵が発生せず、騒音レベルも低いため、作業環境に優れる。

航空機関連

主たる研究実施者の名北工業(株)では、自動車冷間鍛造用線材の製造で培った技術を利用し、2008 年より本格的に航空機事業へ参入した。航空宇宙材料規格（AMS 規格）に適合した『SAE8740』の母材を海外より輸入、加工を行い、国内の航空機ファスナーメーカー4 社（メイラ(株)、尾張精機(株)、(株)寺内製作所、ミネベア(株)）に供給している。

航空機冷間鍛造用線材は表面キズがあると、川下企業で冷間鍛造加工後、材料表面キズが起点となって、更に大きな割れが発生する。

航空機ファスナー部品は主に航空機エンジン（図 1）、降着システム（図 2）に使用されている。表面キズに対する要求が特に厳しく、冷間鍛造加工後、全数磁粉探傷を実施している。表面キズが原因の不良率は約 3%であり、これがコスト、生産性に大きく影響している。航空機ファスナー部品は廉価な海外製部品採用が増えつつあり、国産航空機ファスナー部品の価格競争力向上のため、低コスト化、生産性向上に貢献する線材表面キズ除去のニーズを強く求められている。

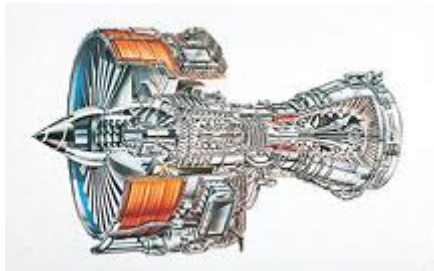


図 1 航空機ターボファンエンジン

（出典）川崎重工業（株）ホームページ

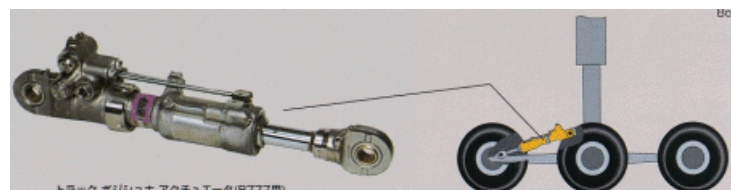


図 2 航空機降着システム

（出典）（株）島津製作所ホームページ

今後 20 年間で航空機の年間平均成長率は 4.7%（一般財団法人 日本航空機開発協会より）と予測される。これにより、ファスナー需要が更に伸びると考えられる。

自動車関連

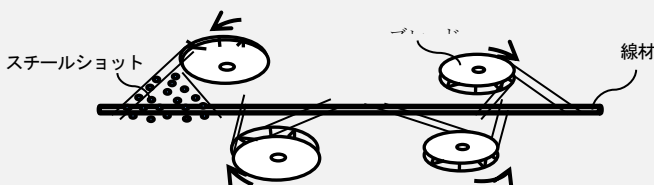
自動車冷間鍛造用線材も同じく、表面にキズがあると、川下企業で冷間鍛造加工後、割れが発生する。さらに、自動車部品は軽量・高強度かつ安価の要求を受けて、新たな冷間鍛造用高強度鋼の導入が進んでいる。その中に合金鋼や炭素を多く含んだ鋼（中・高炭素鋼）がある。これらの鋼は圧延工程でのキズが発生しやすいことから、本研究開発に対する自動車部品・ファスナーメーカーの期待は大きい。

研究開発の概要

○従来技術での課題

従来は、ショットブラストと酸洗が主であるが、何れもスケール除去を

【従来技術 1：ショットブラスト】

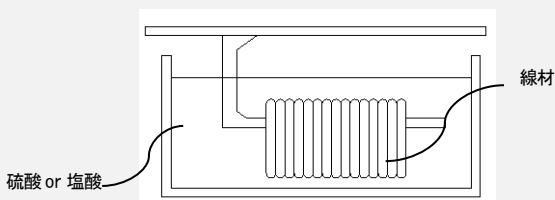


ショットブラストは次のような課題と特徴がある。

【課題と特徴】

- | | |
|-----|---|
| 品質 | ・ 線材表面キズが取れない
・ 線材表面粗度が粗く、製品表面粗度にも影響あり ($Ry \approx 25 \mu m$) |
| 環境 | ・ 粉塵、騒音（レベル 90db 以上）が発生 |
| 生産性 | ・ 加工スピードに優れる (80m/min) |
| コスト | ・ 12 千円/トン |

【従来技術 2：酸洗】



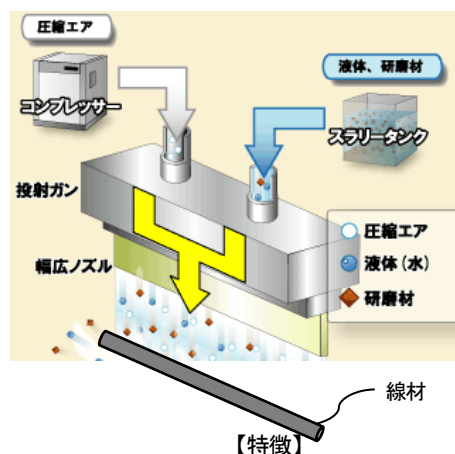
酸洗は次のような課題と特徴がある。

【課題と特徴】

- | | |
|-----|-----------------------|
| 品質 | ・ 線材表面キズが取れない・処理ムラが発生 |
| 環境 | ・ 大量な産業廃棄物が発生 |
| 生産性 | ・ 大量生産に向いている |
| コスト | ・ 15 千円/トン |

冷間鍛造加工技術の高度化に貢献する、低コスト・高効率な線材表面キズ除去技術。

【新技術：流体表面研削】

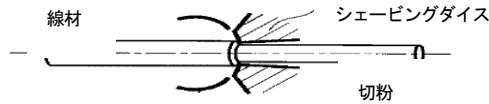


【特徴】

- | | |
|-----|---|
| 品質 | ・ ミクロン単位で表面キズを均一に除去可能
・ 線材表面粗度が細かく、リン酸皮膜処理に適した表面精度実現可能。 ($Ry \leq 15 \mu m$)
・ 処理ムラが発生しない |
| 環境 | ・ 粉塵が発生しない
・ 騒音レベルが低い (60db 以下)
・ 産業廃棄物が発生しない |
| 生産性 | ・ 加工スピード 80m/min (ショットブラストと同等) |
| コスト | ・ 10 千円/トン |

【従来技術 3：シェービング加工】

極一部の企業は、シェービング加工を採用しているが、生産コストが高くなり実用的ではないと判断した。



シェービング加工は次のような課題と特徴がある。

【課題と特徴】

品質	・線材表面キズを均一に除去できない
環境	・大量な切粉が発生
生産性	・加工速度が遅い（60m/min） ・鋼種が限定され、適用範囲が狭い。
コスト	・25 千円/トン（コストが高い）

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

- 【1. 流体研削装置の開発】
- 【2. 低コスト・加工スピード 80m/min を実現する加工条件の確立】
- 【3. 表面品質の検証】

研究開発の背景（これまでの取組など）

鍛造分野では素材、加工機械、金型等の技術革新に伴い、高精度、高品質かつ高効率な製造が可能となり、これが中国、タイなどの後発国に対する競争優位の一つとなっている。とりわけ加工精度が高い冷間鍛造品では、自動車部品等の量産品において製造コスト低減のため切削加工品から代替するケースも少なくない。こうした状況を受け、さらに大口径（φ50 mm以上）品や複雑形状品への対応、ネットシェイプ化（後加工なしで利用される製品）のニーズが高まっている。

しかしながら、ネットシェイプ化等が進むに従って、線材表面のわずかなキズに起因する製品不良（割れ、キズ）の問題が顕在化している。つまり、その箇所が鍛造工程で割れの起点となるためである。

こうした表面キズによる割れは高強度な材料ほど発生しやすい。これまでは目視検査で選別しているが、微細なキズは見落としがあるため、根本的な対策技術確立が望まれている。冷間鍛造分野では、機械装置や金型、潤滑など技術高度化が進む一方で、こうした材料技術は遅れていると言わざるを得ない。

図 3 に当該分野のサプライチェーンを示す。製鋼メーカーから供給された線材は伸線加工メーカーである名北工業(株)で熱処理、表面処理（ショットブラスト or 酸洗皮膜）、伸線加工（伸線機械、ダイスを使用して線材の直径を細くし長さを伸ばす塑性加工の一種）を行い、鍛造加工メーカーで航空機用ファスナー部品、自動車用部品に加工され、航空機メーカーや自動車メーカーに供給される。

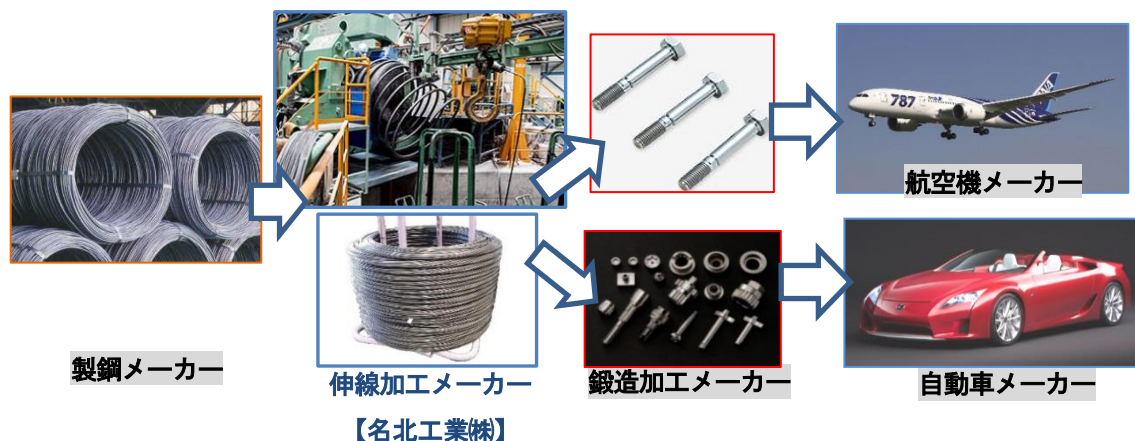


図3 冷間鍛造のサプライチェーンと名北工業㈱製品の位置付け図

冷間鍛造用線材の製造方法として、熱間圧延による方法が広く知られている。線材の表面には、鋼片段階でのキズに起因したキズ、圧延工程で生じたキズ（以降では、表面キズという）がある。さらには、熱間圧延により、線材表面に酸化皮膜（以降では、スケールという）が生じる。伸線加工メーカーで行う表面処理はスケールを除去するのみであり、製鋼メーカーで発生した表面キズはそのまま線材製品に残る（図4参照）。

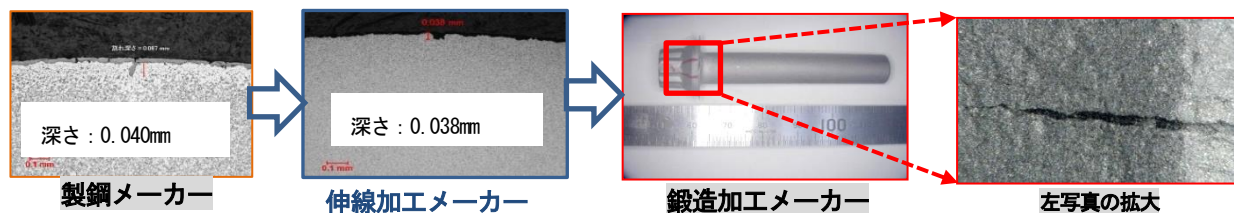


図4 加工による線材表面キズの残存状況

当該分野における研究開発動向

名北工業㈱は川下企業ニーズに対応するため、流体による研削に着目し表面キズ除去技術を研究してきた。流体研削はマコー㈱が開発したウェットブラスト（特開 2015-104774「ウェットブラスト処理装置」及び名北工業㈱の出資会社である㈱神戸製鋼所の「線材の連続表面処理技術」（特開 2015-193900「鋼線材の連続表面処理方法」）を応用している。

これまでに、ウェットブラストでの表面キズ削り能力を検証するため、マコー㈱の試験機でテストを行った。検証の結果は現段階で材料表面が削れることを確認したが、その削り量は0.005mm程度である。更に、研磨材の変更、ノズルの増量等で削り量は増やせることがわかった。



写真1 試験機全体

写真2 加工前のサンプル

写真3 加工後のサンプル

また、(株)神戸製鋼所の特許技術についても同社の協力を得て事前検証したところ、表1の結果となった。

表1 マコー(株)と(株)神戸製鋼所特許の事前検証結果

	マコー(株)の特許技術	(株)神戸製鋼所の特許技術
削り量	0.005mm 程度	0mm (スケール除去のみ)
生産性	棒鋼と切断品の加工に限られる。	生産性が悪い。 (加工スピード約 30m/min)
コスト	量産での評価は無い。	高価な研磨材を使用するため、生産コストが高い (13 千円/トン)

(2) 研究目標

「高度化指針」において定める高度化目標

三) 精密加工に係る技術に関する事項

(3) 川下分野横断的な共通の事項

②高度化目標

イ.品質の安定性・安全性の向上

ウ.環境配慮の取組

オ.生産性・効率化の向上、低コスト化

線材の表面処理を既存処理方法（ショットブラスト、酸洗）に代わる、流体研削加工技術を開発して、線材表層部のスケールを除去すると共に、線材表面キズを取り除き、表面品質向上を図る。これによって表面キズによる割れ不良の低減、歩留りが向上し生産の効率化、低コスト化も実現する。

また、流体研削加工は水と研磨材を混合したスラリを、圧縮エアーの力を使って高速に噴射するため、乾式のショットブラストと比較すると粉塵が発生せず、騒音レベルも低いため、作業環境に優れる。さらに、酸洗処理と比較すると薬品を使用しないため、有害な産業廃棄物が発生しない。

本研究開発では Q、C、D+環境性能で、次の目標を達成した。

1.品質目標

- ・線材表面削り量：0.05mm（残留キズ深さ“0”）
- ・線材表面粗さ： $Ry \leq 15 \mu m$
- ・表面キズによるボルトの割れ不良率：3%（現状）→0%

2.コスト目標

- ・10 千円/トン

3.加工スピード

- ・80m/min（ショットブラストと同等）

4.環境性能

- ・粉塵が発生しない
- ・騒音レベル 60db 以下
- ・産業廃棄物が発生しない

本研究開発における技術的目標値

【1. 流体研削装置の開発】

【1-1】流体研削装置の設計と改造

（目標値）線材表面キズ深さ 0.05mm に対して表面を均一の 0.05mm 削る。

【1-2】流体噴射シミュレーション

（目標値）噴射ノズルの本数、ノズルと線材の角度等の条件を見出す

【1-3】環境評価

（目標値）騒音レベルを 60db 以下にする。

粉塵の発生を 0 にする。

産業廃棄物発生量 0 にする。

【2. 低コスト・加工スピード 80m/min を実現する加工条件の確立】

【2-1】研磨材の選択

（目標値）選択した研磨材と加工コスト、削り量と加工スピードとの相関関係を確立。

【2-2】エア圧力の設定

（目標値）0.2~0.6MPa の中で最適なエア圧を選定する。

【3. 表面品質の検証】

【3-1】線材表面削り量の検証

（目標値）削り量を 0.05mm 確保しつつ伸線する。

【3-2】表面キズ深さの検証

（目標値）最大高さ Ry を 15 μ m 以下にする。

(3) 当初の目的及び目標に対しての実施結果等

【1-1】流体研削装置の設計と改造

（目標値）線材表面キズ深さ 0.05mm に対して表面を均一の 0.05mm 削る。

- ・目標値に対して、ワイヤー砥石と流体研削装置の組み合わせにより、片面 0.05mm の研削が可能となった。

【1-2】流体噴射シミュレーション

（目標値）噴射ノズルの本数、ノズルと線材の角度等の条件を見出す

- ・シミュレーションにより、ノズル内部のスラリの挙動と運動エネルギーの評価を行ったが、実際のテストとの整合性がとれず、シミュレーションそのものの信頼度が低くなってしまった。

【1-3】環境評価

（目標値）騒音レベルを 60db 以下にする。

粉塵の発生を 0 にする。

産業廃棄物発生量 0 にする。

- ・騒音を 60db 以下に抑えることは出来なかったが、従来のショットブラストと比較して大きく騒音を低減できた。
- ・ワイヤー砥石によって粉塵の発生を 0 にすることは出来なかったが、ショットブラストと比較して大きく減少させることができた。

- ・産業廃棄物の発生は特殊な薬品などを使うことなく、「鉄」「水」のみの廃棄物だけでの生産が可能となった。

【2. 低コスト・加工スピード 80m/min を実現する加工条件の確立】

【2-1】研磨材の選択

（目標値）選択した研磨材と加工コスト、削り量と加工スピードとの相関関係を確立。

- ・手動テスト機を用いてベストな濃度、研磨材粒度を選定した。
- ・実機へ展開した際、手動テスト機と同等の結果が得られなかった。

【2-2】エア圧力の設定

（目標値）0.2～0.6MPa の中で最適なエア圧を選定する。

- ・手動テスト機や実機を用いてテストを行い、エア圧力を 0.1MPa 上げることで、1 秒あたり 0.01mm の削り深さが向上することが分かった。
- ・28 年度導入した機械では 0.37MPa まではしか上げることが出来なかった。
- ・コンプレッサーの増設は、実際生産を行う際の電気使用量の増加が懸念されるため見送りとした。

【3. 表面品質の検証】

【3-1】線材表面削り量の検証

（目標値）削り量を 0.05mm 確保しつつ伸線する。

- ・ワイヤー砥石と流体研削装置との組み合わせを行うことで、削り量を確保しての伸線が可能となった。

【3-2】表面キズ深さの検証

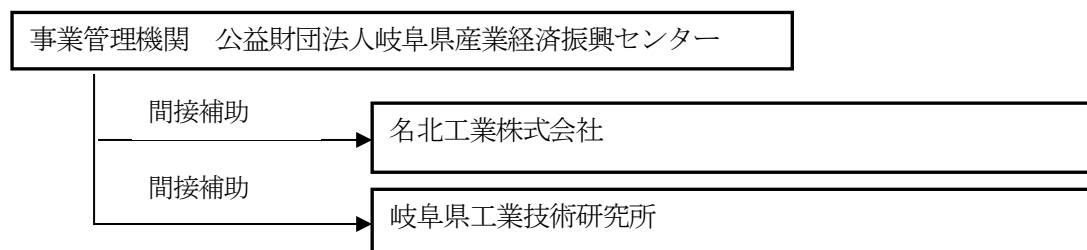
（目標値）最大高さ Ry を 15 μ m 以下にする。

- ・削り量と表面粗度は 2 律背反の関係であったが、ワイヤー砥石装置で削り、流体研削装置で表面を整えることで、最大高さを Ry に抑えることが出来た。
- ・使用研磨材の径のよっても加工後に表面の影響がことなることが分かった。

1-2 研究体制

（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

○履行体制図



1-3 成果概要

- ・成果としては、表面を 0.05mm 削り、かつ、現在の製品と遜色ないテスト材の加工手段を得ることが出来た。
- ・研磨材の径により、最終的な製品の表面に影響を与えることが分かった。

- 表面の削り量は線材表面の硬度にも影響していることがわかっており、炭素含有量が0.2%以上の材料では0.05mmを削ることが出来なかった。
- 伸線加工速度に対しても影響があることが分かっており、伸線速度 40m/min 以上で伸線加工を行うことで、ワイヤー砥石による削り痕が一部残る結果となった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

名北工業株式会社 生産本部生産技術部 部長 田邊 浩

所在地：岐阜県美濃加茂市蜂屋台1丁目8番地1

電話：0574-24-0622 FAX：0574-24-0616

E-mail：tanabe@meihoku-kogyo.co.jp

第2章 本論一（1）

【1. 流体研削装置の開発】

【1-1】流体研削装置の設計と改造

2016年に表面を削るという目的のために機械メーカー、マコー(株)に依頼し、機械を導入した。既存の弊社伸線機に組み合わせることで、インラインで、「削る」と「伸線」の加工を一度で行えるようにした。



写真4 試験機全体



写真5 流体研削装置

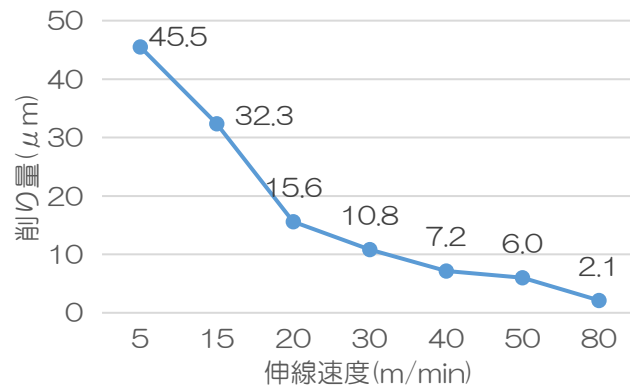
しかし、流体研削装置にてスラリ(研磨材+水)を吹きかけるため、後工程の伸線にて使用する潤滑剤が湿気により上手く機能せず、伸線工程でキズが出る事象が発生した。

その為、弊社内で使用されていないインライン皮膜装置の乾燥機部分を使用して、線材を乾燥させることとした。



写真6 インライン皮膜装置

伸線速度を上げていくと正味の処理時間が短くなり、ほとんど削れないことが分かった。



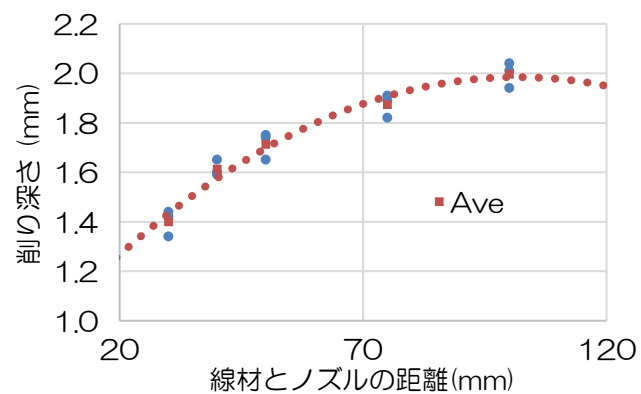
グラフ1 伸線速度と削り量の関係

2017年度では、2016年度に設置した簡易版の手動テスト機を用いて、最適な条件の検討を行った。

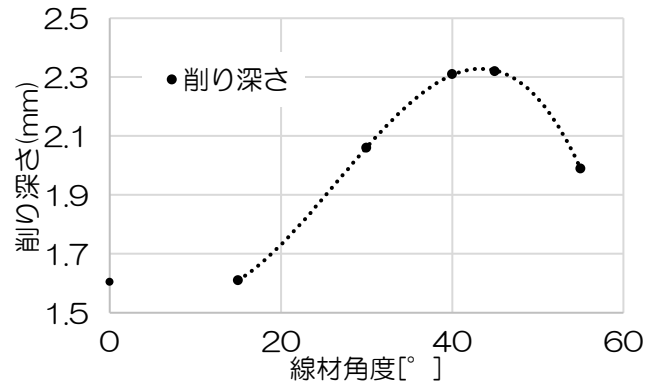


写真7 手動テスト機

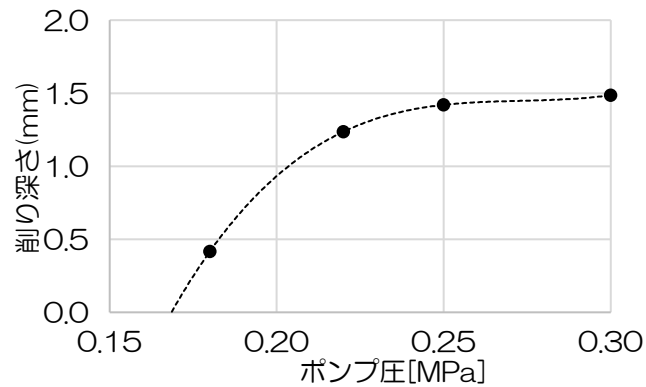
距離、投射角度、ポンプ圧の3観点にてテストを行い、最適な距離と角度を求めた。テスト結果をグラフ2、グラフ3、グラフ4に示す。



グラフ2 距離と削り深さの関係性



グラフ 3 角度と削り深さの関係性



グラフ 4 ポンプ圧と削り深さの関係

また、マコー株からスラリとエアーの混合性をよくしたエアジェット部の新形状の提案があった。2016 年度のシミュレーション結果より、エアーとスラリが上手く混合されていないことが分かったため、エアーの通り道を複数に分岐させることで、スラリとエアーの混合性を向上させた。(図 5、図 6 参照)

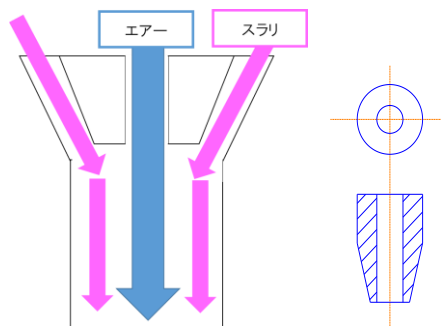


図 5 初期エアジェット内部形状

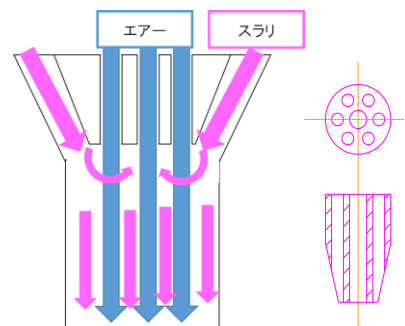
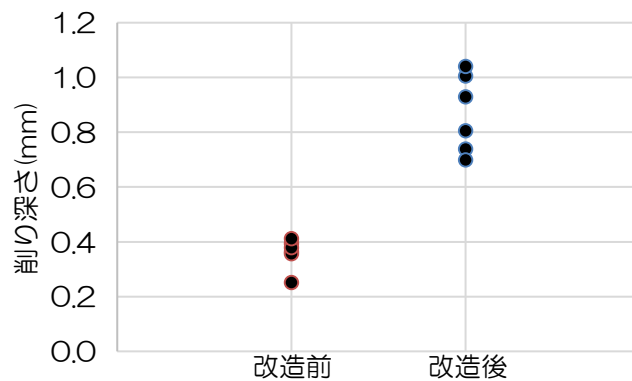
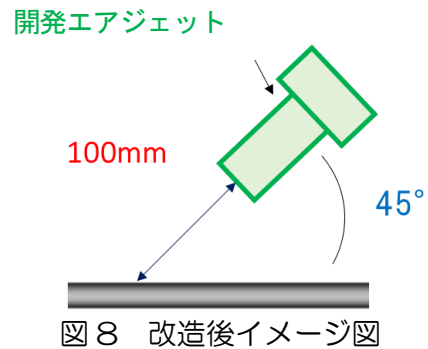
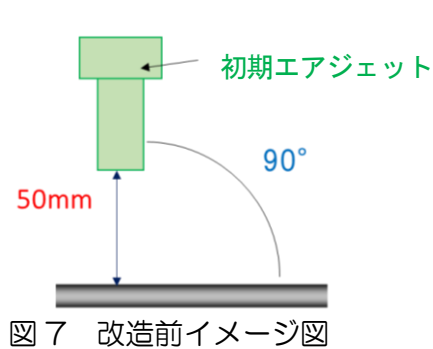


図 6 開発エアジェット内部形状

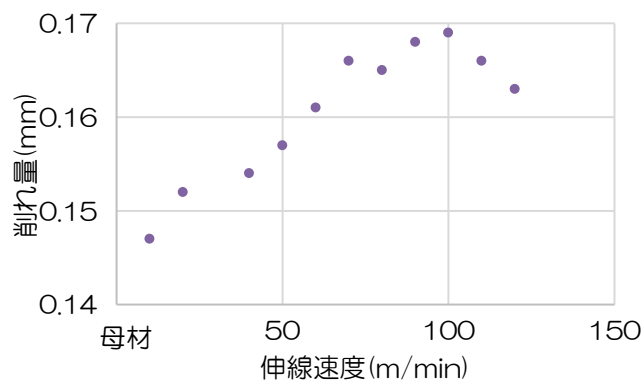
手動テスト機で行ったテストをもとに実機の改造を行った。その結果、2.5 倍弱の改善結果となった。



グラフ 5 改造前後測定結果

設置当初から 2.5 倍弱の加工能力となっても 0.05mm 以上削る加工能力は確保できないことがあらかじめ分かっていた為、東北大学の厨川教授（砥粒加工学会会長）に相談した。

その結果、ワイヤー砥石の紹介を受けた。厨川教授による助言のもと、弊社内、既存の機械にて先行テストを行った。結果、目標としている 80m/min でも十分な削り量が確保できることが分かった。(グラフ 6 参照)



グラフ 6 ワイヤー砥石先行テスト結果

同時に削り量は確保出来るものの、ワイヤー砥石の削り痕が残る問題点が生まれた。ワイヤー砥石の削り痕が流体研削装置にて消せることが分かったため、流体研削装置の前にワイヤー砥石で荒削りを行い、その後、流体研削装置で表面を整え、伸線を行うこととした。(写真 8 参照)



写真 8 先行テスト外観

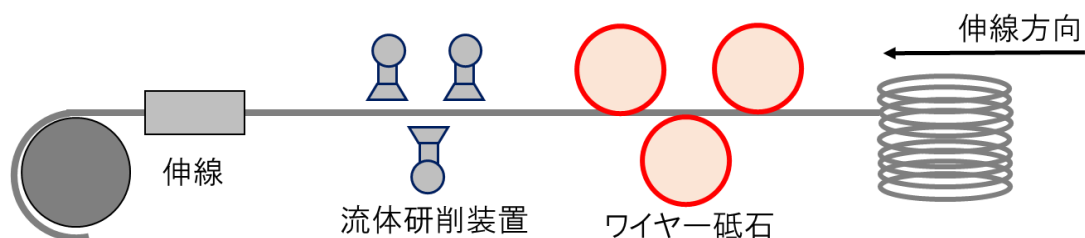


図 9 全体感イメージ図

2018 年度はワイヤー砥石加工をインラインで加工を行えるように、設置装置の手配を進めた。テスト時に使用した機械メーカーからの助言に基づき、ワイヤー砥石を当てる角度や回転数を変更出来るように仕様作成を依頼し、設計、製作をした。

また、同時に流体研削装置に関してはノズル内部の形状変更による、能力向上を図った。エアーがスラリの入り口へ逆流していることがシミュレーションを通して分かったので、スラリの入り口を緩やかにしたり、エアーとスラリの合流部をノズルの出口側に近づけるような工夫を行ったが、能力が低下する結果となった。

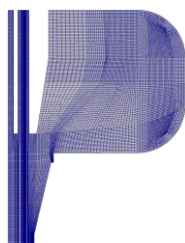


図 10 通常流路

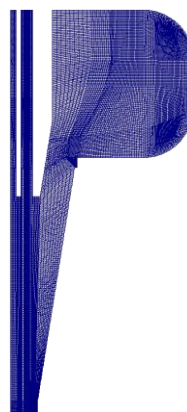
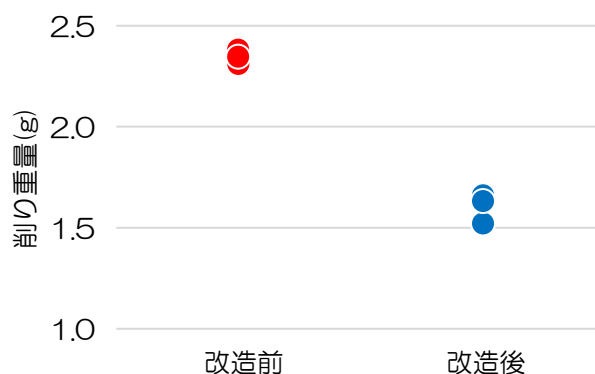


図 11 改善後流路



グラフ 7 流路改善テスト結果

【1－2】流体噴射シミュレーション

シミュレーションからのアプローチとしては、ノズル内部の流体の流れについてシミュレーションを行った。

シミュレーション結果よりガンからのスラリの出が間欠であること、エアーが逆流してスラリの噴出を邪魔することが分かった。

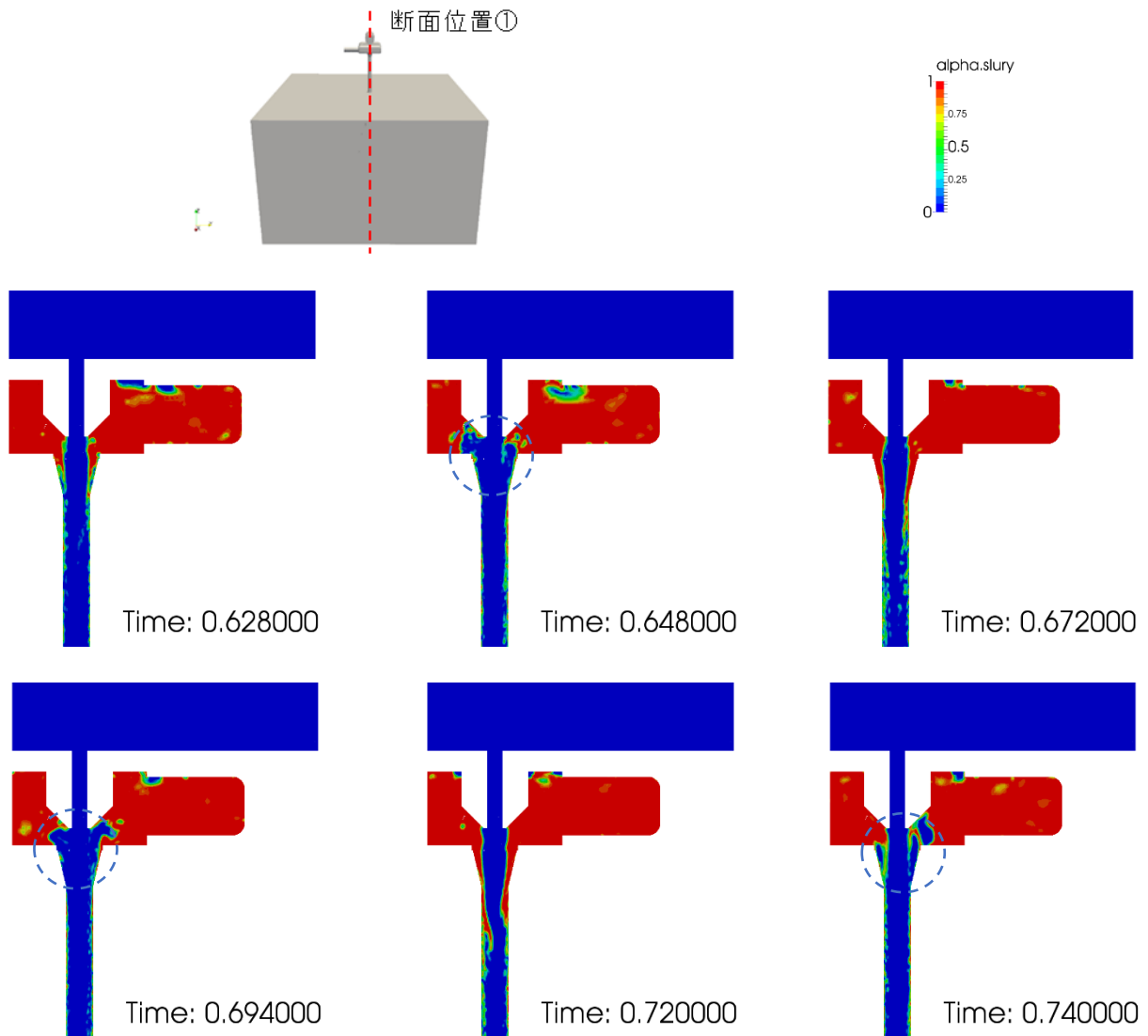


図 12. プラストガンにおける流体の挙動

これらの結果を元に改善を行ったものの、エアーとノズルの混合部のシミュレーションを行ったが、実際の結果とは不一致となり信頼性に欠ける結果となった。

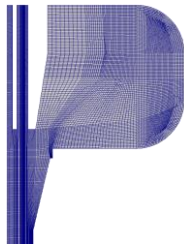


図 10 現状形状
(再掲)



図 13 改善案 1

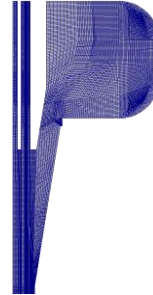


図 14 改善案 2

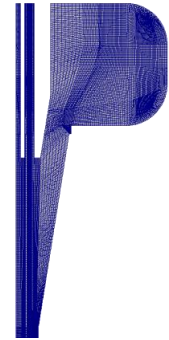
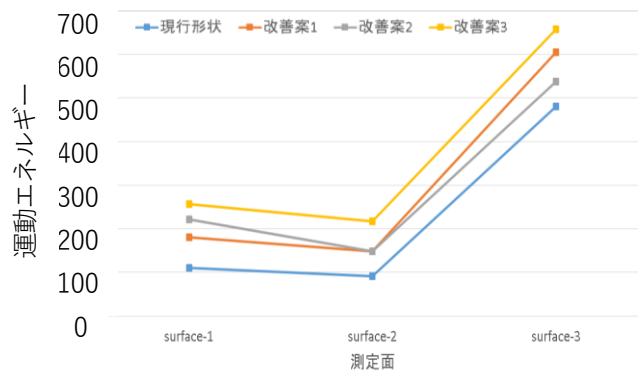


図 11 改善案 3
(再掲)



グラフ 8 運動エネルギーの評価結果

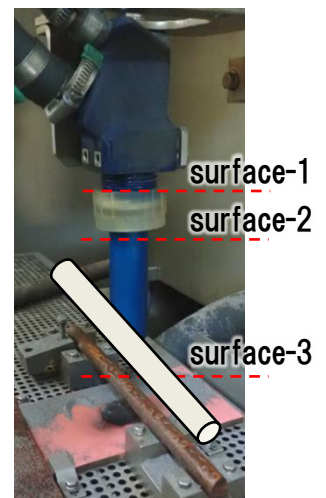


図 15 測定面

【1－3】環境評価

機械を稼動させた際の騒音測定を行った。敷地境界線で測定した結果を図 16 に、機械の横で測定した結果を図 17 に示す。

目標としている 60db というのは機械の横では達成できなかったが、敷地境界線ではほとんど影響の無いレベルとなっていた。(騒音規制法第3種区域による規制値 65db 以下)

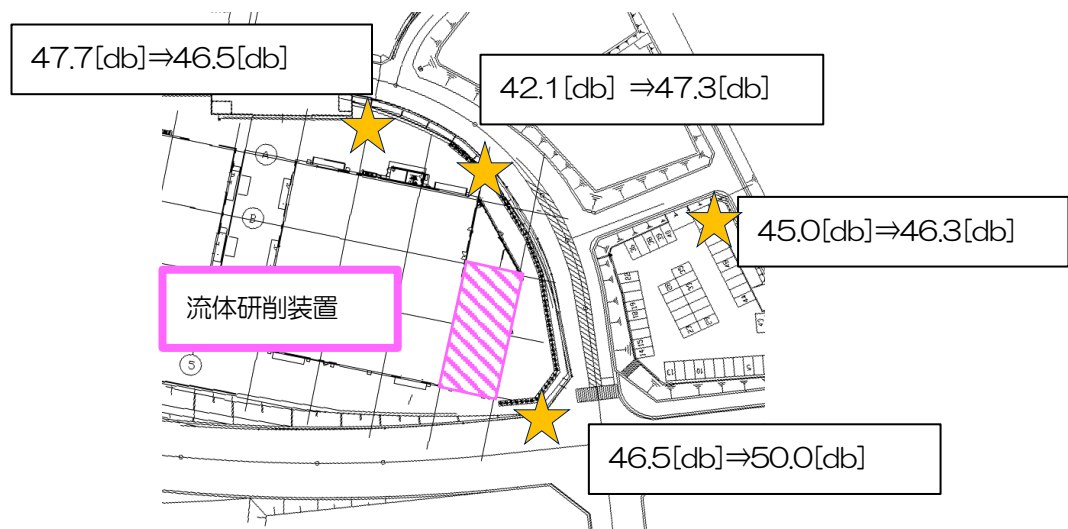


図 16 敷地境界騒音測定結果

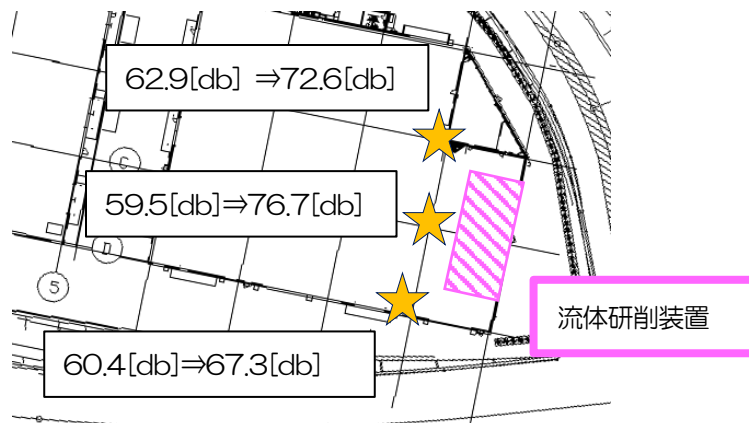


図 17 機械周り工場内騒音測定結果

【2. 低コスト・加工スピード 80m/min を実現する加工条件の確立】

【2-1】研磨材の選択

2017 年度に手動テスト機を導入し、研磨材の違いによる削り量・深さの影響に関して調査し、研磨材の与える影響を確認した。



写真 9 ステンレスグリッド外観



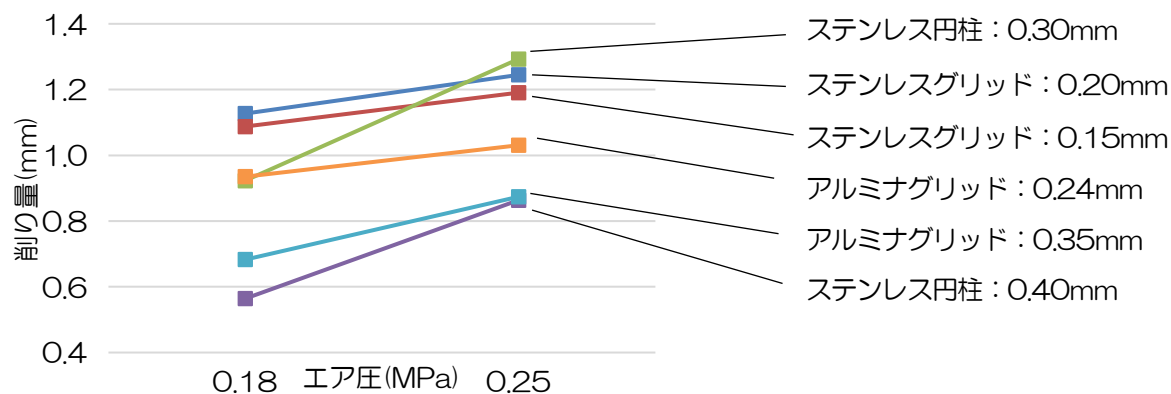
写真 10 ステンレスカットワイヤー外観



写真 11 アルミナグリッド外観

表 1 テスト結果

研磨材	深さ(mm)		重量(g)	
	0.18	0.25	0.18	0.25
ステンレスグリッド 0.2mm	1.153	1.130	0.99	1.22
	1.158	1.288	1.02	1.13
	1.070	1.316	0.88	1.01
ステンレスグリッド 0.15mm	1.074	1.195	0.82	0.79
	1.094	1.180	0.78	0.92
	1.095	1.197	0.82	0.85
ステンレス円柱 0.3mm	0.880	1.321	0.61	1.10
	0.918	1.277	0.66	0.67
	0.971	1.281	0.45	1.04
ステンレス円柱 0.4mm	0.542	0.844	0.36	0.57
	0.560	0.865	0.18	0.56
	0.590	0.882	0.6	0.72
アルミナ 0.35mm	0.699	0.873	0.49	0.67
	0.613	0.914	0.51	0.68
	0.736	0.835	0.58	0.71
アルミナ 0.24mm	0.941	1.072	0.74	0.94
	0.932	1.058	0.75	0.84
	0.932	0.962	0.64	0.77



グラフ 9 研磨材別削り量結果

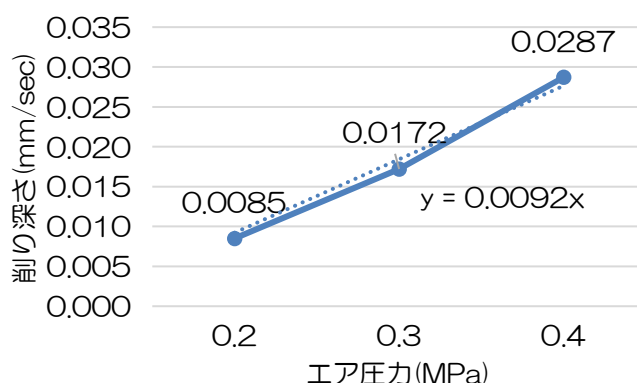
結果をもとに実機へ研磨材の種類を変更して効果を確認したが、研磨材のテスト結果は手動テスト機の結果と不一致となった。

現状、結果に差異が生じたのは配管の高さ、ポンプがスラリを運搬する距離が原因と考えているが、予想の域を超えていない。

【2-2】エア圧力の設定

エアの圧力を変更してテストを行った。

その結果、エア圧を 0.1MPa 上げることで、1 秒辺りの削り量が 0.00092mm 増えることがわかった。



グラフ 10 エア圧別時間当たりの削り深さ

【3. 表面品質の検証】

【3-1】線材表面削り量の検証

【3-2】表面キズ深さの検証

名北工業（株）に既存の脱スケール機を一部改良し（ワイヤー砥石加工法装置）、線材（φ 5.0～φ 6.5）について、送り速度、押さえつけ量を変化させたときの削り量並びに表面キズ深さをそれぞれ、3次元測定機による直径と真円度を測定することによって調査した。

一例として、図 18(a)、(b)に線材（φ 6.5）について、(a) 未処理材並びに (b) 送り速度 120m/min でワイヤー砥石加工した時の直径並びに真円度測定結果を示す。直径は、(a) 6.497mm、(b) 6.355mm であることから、削り量は、0.142mm であることが分かった。また、真円度（≒最大キズ深さ）は、(a) 0.029mm 並びに (b) 0.025mm であることが分かった。その他のパラメーターについても同様の測定を行うことにより、ワイヤー砥石加工

法の研削能力についてのデータを得ることができた。

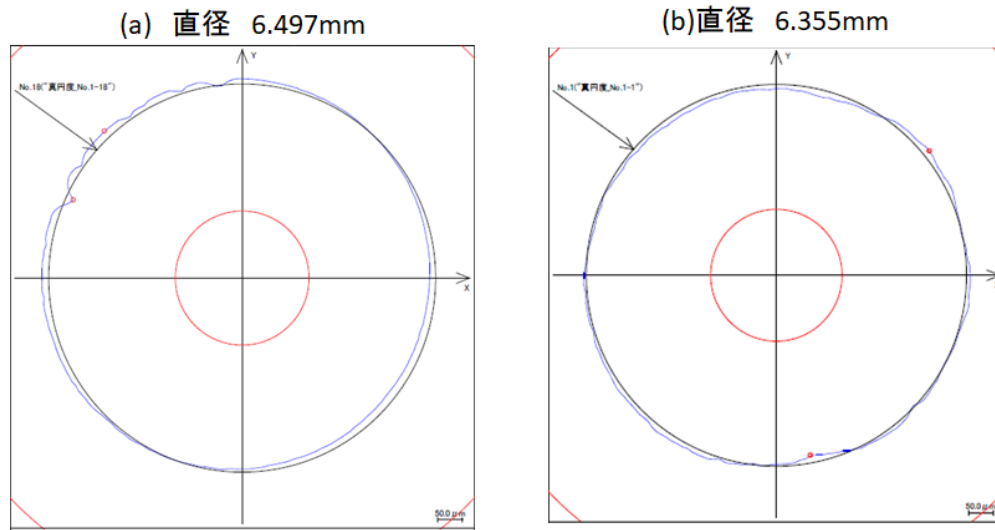


図 18 ワイヤ砥石測定結果

レーザー顕微鏡により表面粗さを測定した。その結果の一例を図 19 に示す。本測定結果は、流体研削後の結果である。同図より、最大高さ粗さ (R_z) は、 $34.8\mu\text{m}$ であり、算術平均粗さは (R_a) は、 $3.5\mu\text{m}$ であることが分かった。その後、3 次元測定機を用いることによって真円度を最大表面粗さとして評価できることが分かった。そこで、図 20 に線材 ($\phi 6.5$) について、(送り速度 $60\text{m}/\text{min}$) でワイヤ砥石加工した時の真円度測定結果を示す。同図から、真円度は 0.025mm であることが分かり、この値を最大高さ粗さとして評価した。

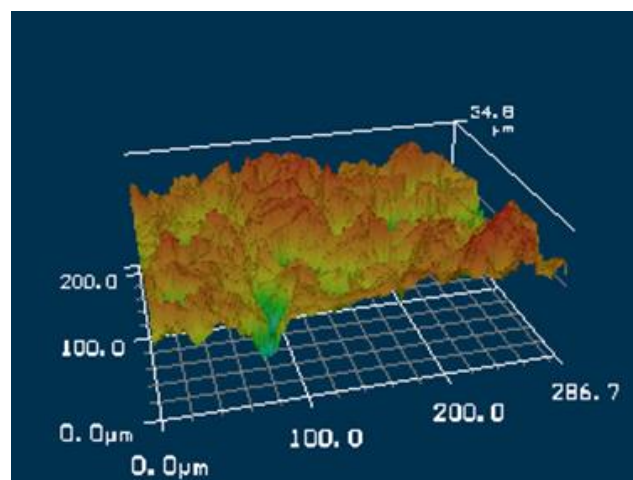


図 19 レーザー顕微鏡測定結果

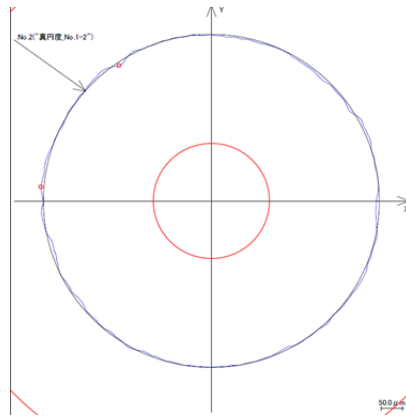


図 20 3次元測定機による真円度測定結果

最終章 全体総括

ワイヤー砥石と流体研削装置を組み合わせることで、削り量を確保しつつ、表面も現在の名北工業の製品と遜色ない製品の製作する加工技術を手に入れた。

研究開発後の課題としては、流体研削後のキズの発生するリスクが現状存在しており、その点の改善を行っていく必要がある。