

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高密度高集束水を用いたウォータ・ジェット加工技術の
高度化に関する研究開発」

研究開発成果等報告書

平成 27年 3月

委託者 近畿経済産業局
委託先 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

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 研究の目的及び目標.....	4
1.2 研究体制.....	5
1.2.1 研究組織（全体）.....	5
1.2.2 管理体制.....	5
1.2.3 管理員及び研究員.....	6
1.2.4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名.....	7
1.2.5 他からの指導・協力者名及び指導協力事項.....	8
1.3 成果概要.....	9
1.3.1 高研磨性及び高精度加工用研磨材の開発.....	9
1.3.1.1 被切削材攻撃性の強い研磨材の開発.....	9
1.3.1.2 切断面精度と研磨材との相関の定量化.....	9
1.3.2 水溶性化合物および研磨材を回収・再利用する循環システムの開発.....	9
1.3.2.1 循環システムの開発.....	9
1.3.2.2 プランジャーポンプの性能確認.....	9
1.4 当該研究開発の連絡窓口.....	10
第2章 本論.....	11
2.1 実験装置.....	11
2.1.1 ウォータ・ジェット切断装置.....	11
2.1.2 高速液体噴射装置.....	11
2.1.3 最小部観察・解析システム.....	12
2.1.4 衝撃荷重動力センサ.....	12
2.2 加工能力向上のための最適高密度水の開発.....	13
2.2.1 高密度高集束性液体の開発.....	13
2.2.2 最適加工液の選定及び加工性能の評価.....	13
2.3 高研磨性及び高精度加工用研磨材の開発.....	13
2.3.1 被切削材攻撃性の強い研磨材の開発.....	13
2.3.1.1 最適加工条件試験.....	13
2.3.2 切断面精度と研磨材との相関の定量化.....	14
2.4 水溶性化合物および研磨材を回収・再利用する循環システムの開発.....	17
2.4.1 循環システムの開発.....	17
2.4.2 プランジャーポンプの性能確認.....	18
第3章 全体総括.....	19

第1章 研究開発の概要

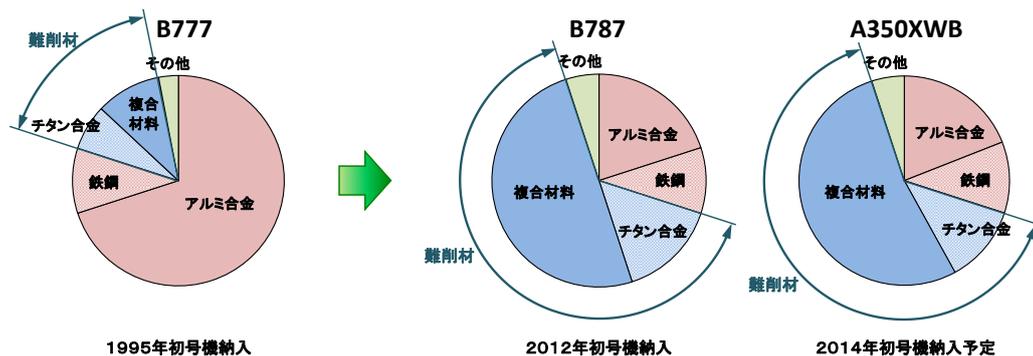
1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1.1.1 研究開発の背景

近年、民間航空機は燃費向上を目指し、構造軽量化に向けた新規技術開発に一段と力が注がれている。1990年代前半に開発された Boeing777（以下、B777）では炭素繊維強化複合材料（以下、複合材料）の適用率は10%であったが、2000年代に入って開発が進展し、全日空で平成24年1月から運用が開始された初号機の Boeing 787（以下、B787）ではその適用率は50%、また、B787の対抗機となる Airbus A350XWB においても53%となっている。

さらに、複合材料の大幅な採用に伴って結合されるフィッティング類も電食に強い耐熱性のチタン合金が大幅に採用され、B777では7%であったチタン合金の適用率がB787では15%、A350XWBで12%になっている。

複合材料およびチタン合金はともに難削材であり、この難削材を効率的に切削するために、国内の航空機製造メーカーはウォータ・ジェット加工（以下、WJ）を採用し、大型設備を導入したが、それでも現状では多大な加工時間を要しており、WJ加工能力の大幅な向上が求められている。



航空機製造メーカーにおいて今後の主力製品となる B787 の生産レートは、2014年に月産10機、2016年には月産14機までレートアップする計画が立てられているが、現状の設備は月産10機までの製造能力しか有していない。そのため設備の増設または生産の大幅な効率化が必須となっているほか、難削材についても効率的に切削し低コスト化を図ることが求められており、WJの加工能力向上は非常に重要な課題になっている。

WJ加工能力の大幅な向上を図るため、超高压ポンプを採用しノズルから噴射する水圧をより高くする方法が検討されているが、装置導入の初期投資の増加および運用コストの増大につながり実用化はなされていない。

さらに難削材加工のすべてに適用されているアブレイブジェット加工では研磨材として高価なガーネットを消耗品として用いているため運用コストが高くなり、これについても安価な再利用法の開発が望まれている。

このようにWJ加工では初期投資を抑えつつ加工費や運用コストを削減する革新的な技術確立が強く望まれており、コスト競争力の厳しい民間航空機の国際市場で勝ち残るための重要なポイントになっている。

1.1.2 研究の目的及び目標

本研究開発では、既述の研究開発の背景から、①W J加工能力の向上、②運用コストの削減、を解決すべき研究課題として挙げている。

このような課題を解決するために、本研究開発では通常の水に水溶性化合物を加え、その密度を水の1.4~1.5倍程度にまで高める。これにより加工液の粘度を増加させウォータービームの拡がりを抑えると共に、被切削材に当たる衝突エネルギーを増加させ、加工能力を著しく向上させることが可能になる。

また、従来は廃棄されていた加工液（水+研磨材）を回収・再利用し、環境負荷並びに運用コストの低減を目指すことで、画期的なW J加工技術の開発及び事業化を目指す。

なお、本研究開発のキーテクノロジーとなる上記の加工液（高密度高集束水）は、株式会社MORESCOが開発した特殊水溶性加工液の技術を元に開発を行うことにより差別化を図る。

本プロジェクトでは、下記を目標とする。

1)W J加工能力の向上

A)加工速度の向上

現行技術（水+ガーネット）で切断している加工限界速度、加工送り速度について、新技術（高密度高集束水=水+水溶性化合物）を用いた加工液を使用することにより1.5倍まで向上させる。

B)加工限界厚さの向上

同一加工速度条件下における切断可能な被削材の加工限界厚さを現行技術（水+ガーネット）で切断可能な加工限界厚さの1.5倍まで向上させる。

C)加工精度の改善

厚板材料における表裏の加工精度を従来技術より50%改善する。具体的には、従来技術において表裏で±0.5mmの加工精度差を、新技術（高密度水に適した研磨材）の適用により加工精度差を±0.25mm以下とする。

D)加工面粗度の改善

従来技術では切断加工面の粗度がRa3.9の精度が限界であったのに対して、新技術により加工面粗度をRa1.6以下の仕上げ加工に相当するレベルに改善する。

E)コスト低減目標

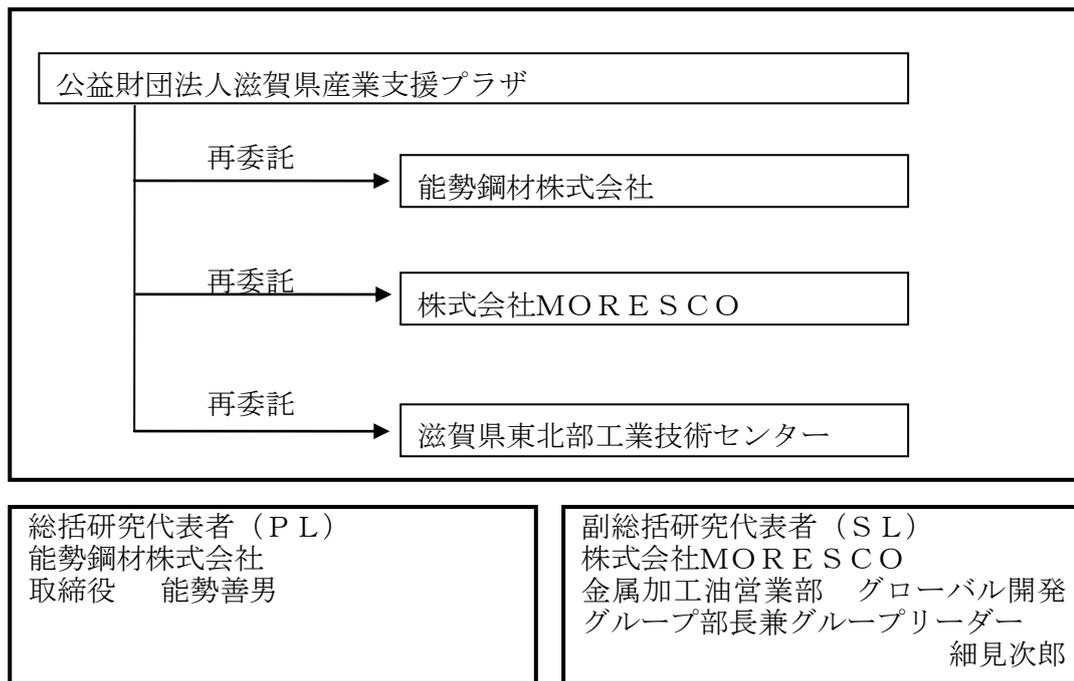
加工速度を高め切削時間を削減し、加工限界板厚を高くすること、および加工精度、加工面粗度の改善により、次工程で行っていた機械加工による仕上げ作業の削減または廃止することで、30%のコスト低減を目指す。

2)運用コストの削減

「高密度水および研磨材を回収・再利用する循環システムの開発」によりW J加工で使用する水溶性化合物および研磨材の高価な消耗品を回収・再利用することで、運用コストを現状の50%削減を目標とする。

1.2 研究体制

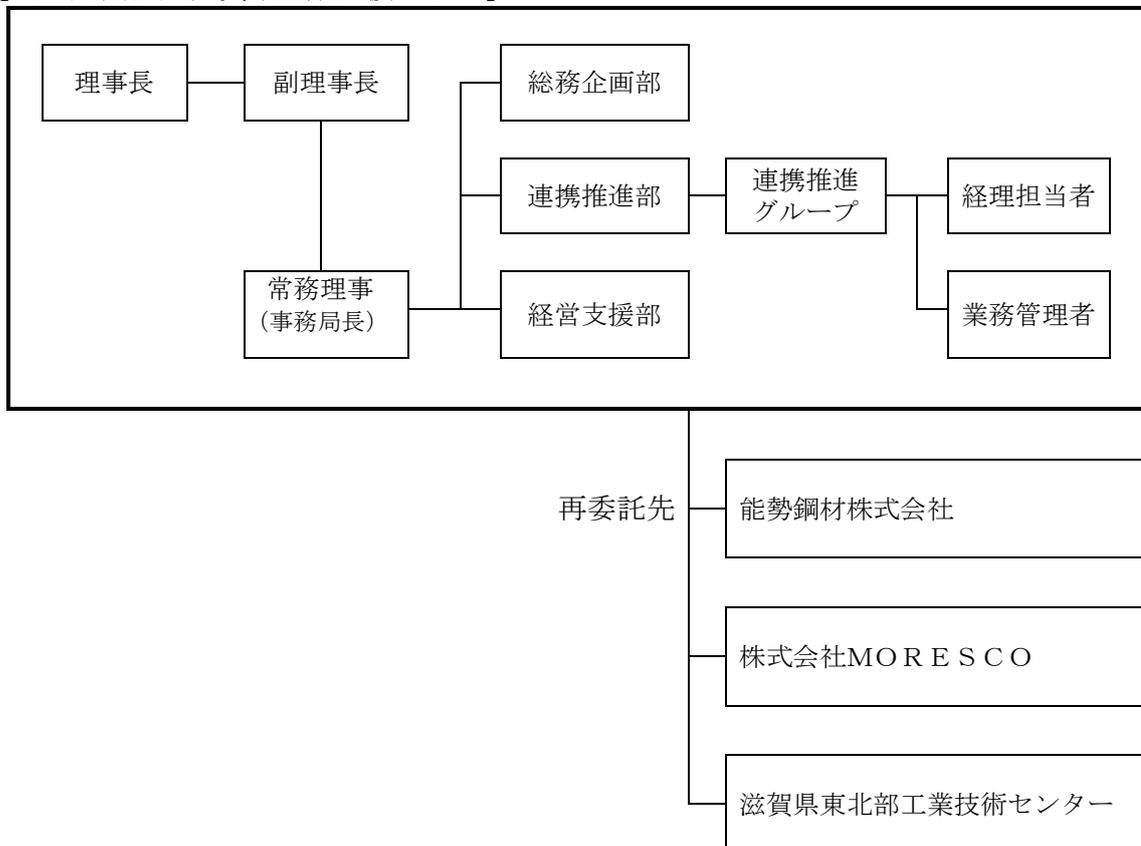
1.2.1 研究組織（全体）



1.2.2 管理体制

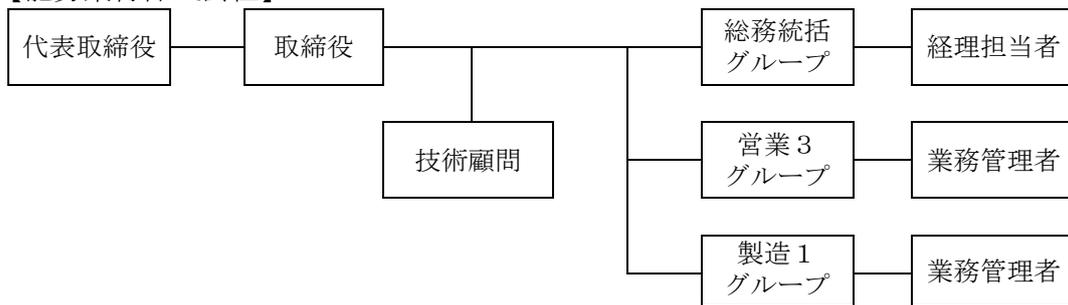
1) 事業管理機関

【公益財団法人滋賀県産業支援プラザ】

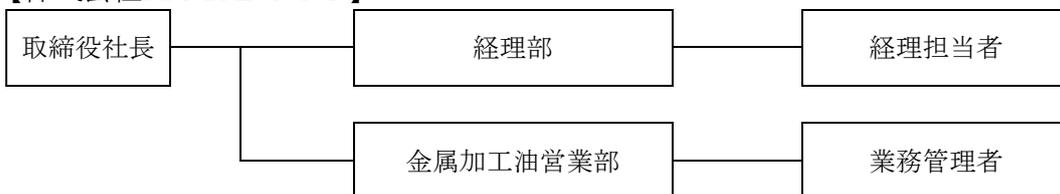


2)再委託先

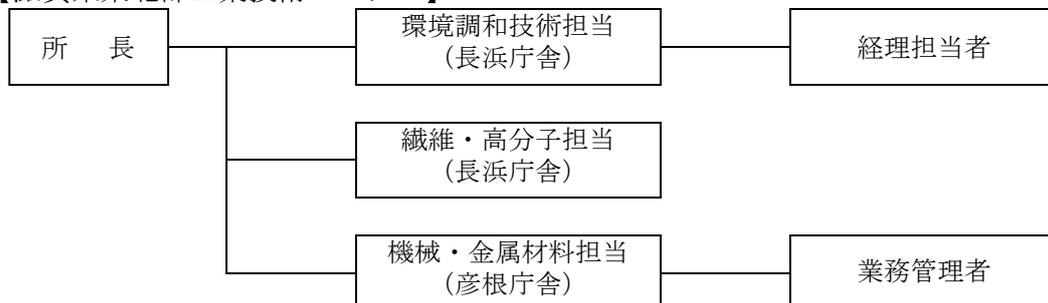
【能勢鋼材株式会社】



【株式会社MORESCO】



【滋賀県東北部工業技術センター】



1.2.3 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

管理員 (プロジェクト管理員)

氏名	所属・役職
篠原 弘美	連携推進部 連携推進グループ グループリーダー 主幹
山中 義文	連携推進部 連携推進グループ 参与

【再委託先】 ※研究員のみ

能勢鋼材株式会社

氏名	所属・役職
能勢 善男	営業製造担当役員 取締役
生山 通	技術顧問
西田 真一	製造1グループ 滋賀工場第6ヤードリーダー

株式会社MORESCO

氏名	所属・役職
細見 次郎	金属加工油営業部 グローバル開発グループ部長 兼 グループリーダー
稲垣 秀和	金属加工油営業部 グローバル開発グループ

滋賀県東北部工業技術センター

氏名	所属・役職
深尾 典久	機械・金属材料担当 専門員
今田 琢巳	機械・金属材料担当 主査

1.2.4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

(経理担当者)	連携推進部 連携推進グループ	福井 浩成
(業務管理者)	連携推進部 連携推進グループ グループリーダー 主幹	篠原 弘美

(再委託先)

能勢鋼材株式会社

(経理担当者)	総務統括グループ	柴坂 仁志
(業務管理者)	営業製造担当役員 取締役	能勢 善男

株式会社 MORESCO

(経理担当者)	経理部	榎本 博之 大西 久美子
(業務管理者)	金属加工油営業部 グローバル開発グループ 部長兼グループリーダー	細見 次郎

滋賀県東北部工業技術センター

(経理担当者)	環境調和技術担当・主査	田中 由美子
(業務管理者)	機械・金属材料担当・参事	阿部 弘幸

1.2.5 他からの指導・協力者名及び指導協力事項

研究開発推進委員会 委員

氏 名	所属・役職	備考
田中 克夫	新明和工業株式会社 航空機統括本部 生産本部 本部長	アドバイザー
中川 良治	澁谷工業株式会社 メカトロ事業部 部長	アドバイザー
榊 達朗	川崎重工業株式会社 航空宇宙カンパニー 社友 (元取締役 岐阜工場長)	アドバイザー
所 敏夫	滋賀県工業技術総合センター 専門員	アドバイザー

1.3 成果概要

1.3.1 高研磨性及び高精度加工用研磨材の開発

1.3.1.1 被切削材攻撃性の強い研磨材の開発

加工液を水道水及び高密度高収束水 A2種、高密度高収束水 A1種での、追加試験を実施し、5段階の評価方法を適用した。その結果、チタン合金（板厚 7.1t）、複合材料（板厚 8.2t）において、水道水に比べて 1.5 倍を上回る加工速度を得られた。

1.3.1.2 切断面精度と研磨材との相関の定量化

本節では切断精度（上面幅－下面幅）および表面粗さを評価指標として、加工精度の良い中低速の実用加工速度域における切断性能を評価した。

水および高密度高集束水候補高密度高収束水 A1種溶液を用いて切断特性の評価を行った。水および高密度高収束水 A1種溶液に加えて限界速度実験において優れた性能が得られた高密度高集束水 高密度高収束水 A2種 および 高密度高収束水 B2種 溶液を用い、ガーネット研磨材の粒度および量を変化させて切断性能評価を行った。用いた被削材は、板厚 7.1mm のチタン(Ti-6Al-4V 合金)および、板厚 8.6mm の複合材料(CFRP)である。

その結果、Ti 材については、切断精度、表面粗さともに高密度高集束水での切断により水道水での切断と比較して良い結果が得られた。これに対して、CFRP 材においては顕著な差は見られなかった。Ti 材のような硬い材料では高密度高集束水の特徴である高いエネルギー密度が有利に働くのに対し、CFRP 材のような柔らかい材料ではその違いが顕著で無いのではないかと考えられる。

1.3.2 水溶性化合物および研磨材を回収・再利用する循環システムの開発

1.3.2.1 循環システムの開発

本節では本研究開発にて選定した最適加工液を循環使用するための濾過循環装置を開発した。最適加工液を循環使用するためには、高圧ポンプへの影響がないように切断加工時に加工液に混入する研磨材（ガーネット）及び被削材切断屑等の夾雑物を加工液中から除去する必要がある。

夾雑物を除去する方法として各種濾過方法を検討した。その結果、除去効率及び精度が高く消耗品の交換頻度が少ない濾過方法を組み合わせる事で、効率的に循環可能な加工液として再生出来る事がわかった。それら濾過方法を用いて研磨材分離装置を開発した。

1.3.2.2 プランジャーポンプの性能確認

開発した循環システムで濾過、分離後の加工液が高圧ポンプに与える影響を確認するため、低圧のプランジャーポンプを用いて、性能試験を実施した。濾過後の残留物がポンプに与える影響を調べ、分離方式の妥当性を確認した。

1.4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人滋賀県産業支援プラザ 連携推進部 連携推進グループ
〒520-0806
滋賀県大津市打出浜 2-1 コラボしが 2 1 内
Tel: 077-511-1414 Fax: 077-511-1418
E-mail: shin@shigaplaza.or.jp

能勢鋼材株式会社
営業製造担当役員 取締役
能勢 善男
〒535-0031 大阪府大阪市旭区高殿 1 丁目 2 番 25 号
Tel: 06-6922-7631 Fax: 06-6925-2441
E-mail: y.nose@nose-sus.co.jp

第2章 本論

2.1 実験装置

2.1.1 ウォータ・ジェット切断装置

本研究の3テーマ、加工能力向上のための最適高密度水の開発、高研磨性及び高精度加工用研磨材の開発、水溶性化合物および研磨材を回収・再利用する循環システムの開発、を推進するため、図2-1-1-1に示す澁谷工業(株)製ウォータ・ジェット切断機を用いた。

本装置では加工液に水道水と高密度水の供給が可能な、加工液供給タンクが設置されている。主な仕様を下記に示す。

(装置の仕様)

- ① 最大吐出水圧：414 Mpa
- ② 加工速度：最大 6m/min
- ③ 研磨材供給量：0～500g/min



図 2-1-1-1 ウォータ・ジェット切断機

2.1.2 高速液体噴射装置

「加工能力向上のための最適高密度水の開発」を推進する上で、加工液の材料となる各種試料の集束性を評価するために図2-1-2-1に示す高速液体噴射装置を用いて集束性の簡易評価を実施した。

(装置の仕様)

- ① ランジャーポンプで液体を加圧し高速に噴射する機能
- ② 噴射する液体の圧力・高さ・角度の調整が可能な装置である。
- ③ 評価液体に研磨材を混合して高速噴射する機能



図 2-1-2-1 高速液体噴射装置

2.1.3 最小部観察・解析システム

切断面の微細形状や研磨材の粒度を観察するため、図 2-1-3-1 に示す最小部観察・解析システム オリンパス(株)製最小部観察システム DSX500 を用いた。

本システムは、2.5 倍、10 倍、50 倍の対物レンズを備え、総合倍率 35 倍から 900 倍での観察が可能である。



図 2-1-3-1 最小部観察・解析システム

2.1.4 衝撃荷重動力センサ

加工液の集束性能と切断性能の関係について解析するために図 2-1-4-1 に示す衝撃荷重動力センサを用いてウォータージェットのエネルギー分布を測定した。

エネルギー測定に用いるセンサの動的分解能力は 0.01N、最大測定値は 10kN まで測定可能である。ウォータージェットのエネルギーを受止める測定子は本測定用に設計し専用の治具に取り付けて測定を行う。さらに、測定子は高精度に位置決め可能である。



図 2-1-4-1 衝撃荷重動力センサ

2.2 加工能力向上のための最適高密度水の開発

2.2.1 高密度高集束性液体の開発

加工液の開発は本研究開発で重要な課題である。水との分子会合の強化が期待できる高密度高集束性液体 13 種類の集束性について高速液体噴射装置を用いて評価し、集束性が良好であった 4 種類（高密度高収束水 A～D 種）の高密度高集束性液体を選定した。

2.2.2 最適加工液の選定及び加工性能の評価

1)試験概要

4 種類の高密度高収束水（A～D 種）について WJ 切断装置を用いて切断試験を実施し、目的の加工性能が達成できる加工液を絞り込むとともに、加工液の最適濃度について開発した。加工液を選定するために対象とする被切削材は、層間剥離等により評価のバラツキが大きくなる複合材を除き、安定した切断結果が得られるチタン合金を用いた。

適用材料：チタン合金（Ti-6Al-4V）、7.1 t

加工液：高密度高収束水 A1 種、A2 種、A3 種
：高密度高収束水 B1 種、B2 種、B3 種
：高密度高収束水 C1 種、C2 種、C3 種
：高密度高収束水 D1 種、D2 種、D3 種

2)試験結果および成果

12 種類の加工液について実施した加工限界速度の試験結果より、次項で実施する被切削材攻撃性の強い研磨材の開発には、高密度高収束水 B2 種、B3 種、C1 種、C2 種の 4 種類の加工液を最終候補として選定し、評価することとした。

2.3 高研磨性及び高精度加工用研磨材の開発

2.3.1 被切削材攻撃性の強い研磨材の開発

2.3.1.1 最適加工条件試験

1)試験概要

WJ 加工の加工性能を向上させるための重要な要素の一つである研磨材について、粒度及び混合比率（研磨材供給量）を変化させた切断試験を実施し、加工速度、加工精度、加工面粗度などの目的とする加工条件に最適な研磨材をそれぞれ開発する。対象とする被切削材はチタン合金（Ti-6Al-4V）及び炭素系複合材（CFRP）に対して、それぞれ研磨材（ガーネット）の粒度を 3 種類、またそれぞれの粒度について研磨材の供給量を 3 種類変化させた試験を実施し、目的とする加工条件に最適な研磨材を求めた。

[加工液] 高密度高収束水（B2 種、B3 種、C1 種、C2 種）、水道水

[切断条件] 加工圧：340Mpa
研磨材の粒度（3 種類）

[評価方法] 切断面の状況を 5 段階で評価

2)試験結果および成果

チタン合金の場合、高密度高収束水 B3 種を適用することで、水の 1.59 倍の加工速度が得られた。また、高密度高収束水 C2 種においても、水の場合の 1.46 倍～1.5 倍の加工速度が得られた。複合材料の場合、高密度高収束水 C2 種を適用し、水の 1.55 倍の加工速度が得られた。チタン、複合材料ともに、目標値 1.5 倍を上回る結果が得られた。

2.3.2 切断面精度と研磨材との関連の定量化

1) 概要

目的は高密度高集束水を用いることで、加工速度および加工面精度を向上させることである。本節では加工面精度を評価する。加工面精度の評価指標には、切断面の直角度すなわち加工表面と裏面の切断幅の差および表面粗さを用いる。

水および高密度高収束水 A1種に加えて限界速度実験において優れた性能が得られた高密度高収束水 A2種および高密度高収束水 B2種を用い、ガーネット研磨材の粒度および量を変化させて切断性能評価を行った。

2) 評価指標

A)切断幅の評価

切断幅の差については、図 2-3-2-1 示す表面と裏面の切断幅を測定し、その差を用いた。

WJ加工では、「加工速度が遅くなるに従い切断幅は広くなる」ことおよび「水流が拡散することと切断加工が水流のあたる表面から進行すること」のバランスにより図 2-3-2-2 に示すように、高速の加工では水流のあたる表面の切断幅が、低速の加工においては水流の流れ出る裏面の切断幅がより広くなる」ことを確認した。

この傾向は高密度水を用いた場合でも同様であり、本実験ではその量を比較する。

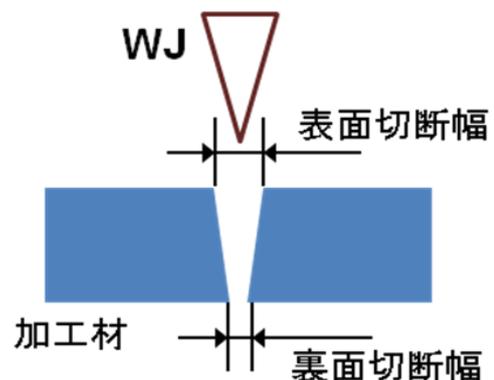


図 2-3-2-1 切断試料の切断幅

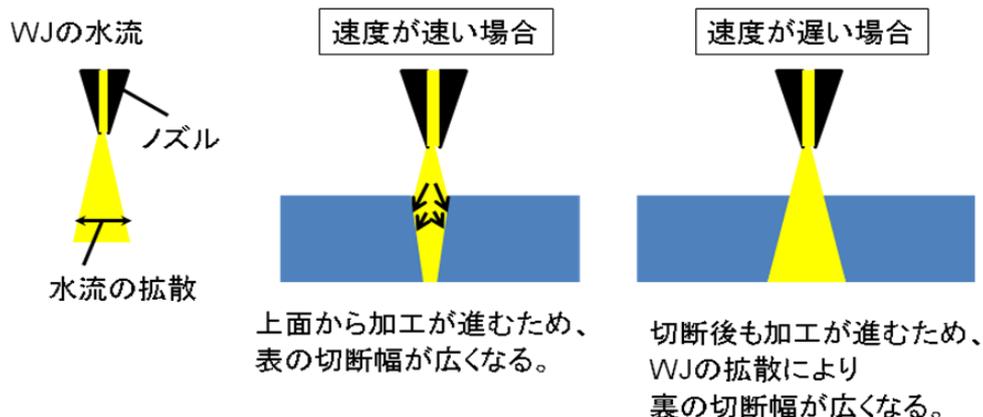


図 2-3-2-2 切断機構

B) 切断面表面粗さの評価

表面粗さについては、図 2-3-2-3 に示す切断面の上部(U)、中央部(M)、下部(L)の3カ所で中心線平均粗さ Ra を測定し、加工条件との比較を行った。昨年までの結果、厚板材の高速切断時、被削材の下部には図 2-3-2-4 に示すうねりが生じ表面粗さが悪化することが分かった。これは被削材の厚さに依存する量であり、薄板の場合には問題とならない。

そこで、本研究においては、目標値と比較して評価する値として、上部における中心線平均粗さ Ra を用いる。

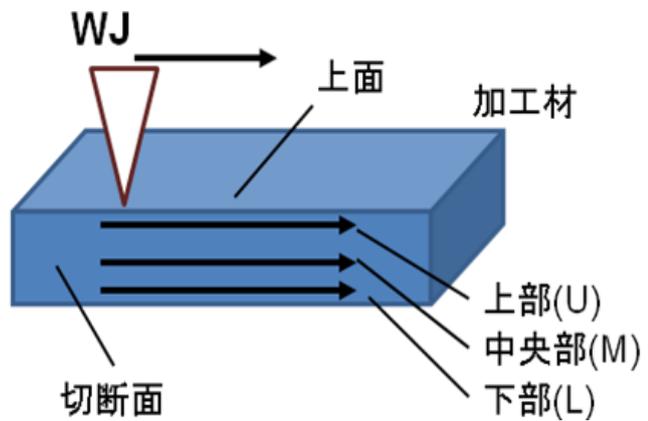


図 2-3-2-3 表面粗さ計測

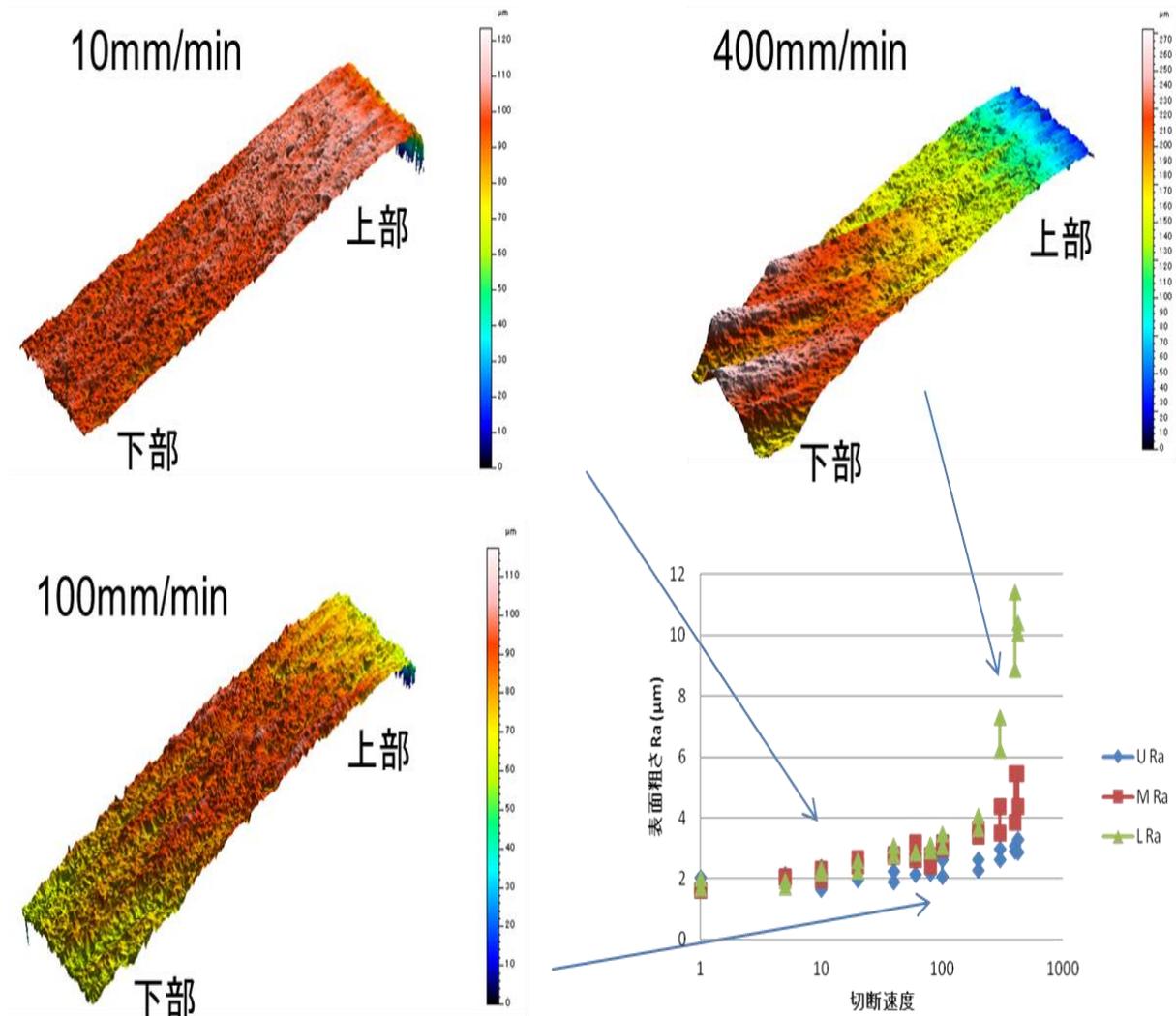


図 2-3-2-4 切断速度と被削面形状 (Ti 厚さ 10mm)

3) 実験方法

高密度高集束水高密度高収束水 A 1 種, 高密度高収束水 A 2 種, 高密度高収束水 B 2 種および比較のための水道水を用い、低速から高速に至る広い速度範囲で切断を行い、速度をパラメータとして切断面の精度（切断幅）と表面粗さ Ra を測定した。

被切断材には、限界速度試験で成績の良かった Ti (チタン) 7.1mm および、CFRP (炭素繊維) 8.6mm を用いた。

試験片は、図 2-3-2-5 に示すものを用いた。また、研磨材は一般的に流通している 3 種の粒径で、3 つの投入量で検討した。なお、本研究における目標値は、精度(切断幅) $\pm 0.25\text{mm}$ 以下、表面粗さ 1.6Ra 以下である。

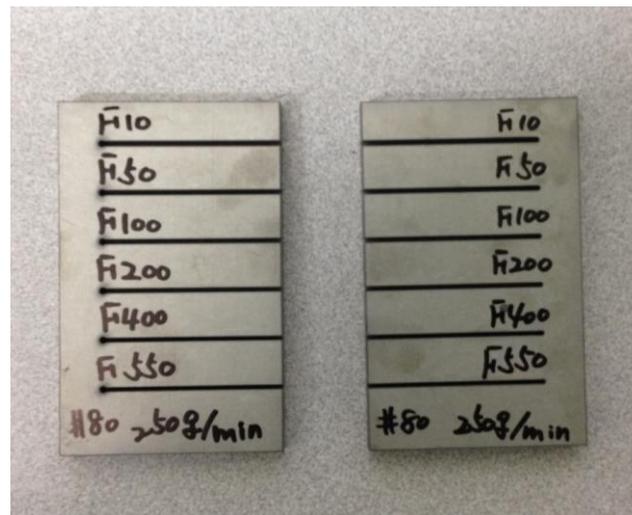


図 2-3-2-5 切断試料の外観

4) Ti-6Al-4V 合金 7.1mm 切断評価

切断精度、表面粗さともに、高密度高集束水は水道水と比較して良い結果をもたらした。一方、研磨材粒度および研磨材量に関しては、表面粗さに関しては粒度が細かく量が多いほど良い結果となったが、切断精度に関しては顕著な差は見られなかった。

5) CFRP 8.6mm 切断評価

切断精度、表面粗さともに、高密度高集束水と水道水との間で顕著な差は見られなかった。一方、研磨材の量に関しては、切断精度、表面粗さともに多いほど良い結果となったが、研磨材粒度については、粒度が粗いほど切断精度が良くなるが表面粗さが悪くなる、すなわち相反する結果となった。

A) CFRP 切断面観察

前節の結果から分かるように、CFRP 切断では Ti 切断に比べて、表面粗さが大きな値となった。これは、CFRP は炭素繊維と樹脂の複合材料であることから、その双方の硬さの差から相間で小さな段差ができるのではないかと考え、顕微鏡観察を行った。

その結果を図 2-3-2-8 に示す。3D 形状観察を行った結果からは、予想に反して、粗さの原

因となる凹凸と炭素繊維・樹脂相の間に関連は見られなかった。それに対して、水流の方向である縦方向には、研磨材が通過したとみられる凹凸がみられる。

このことから、粗さが大きくなる原因としては、複合材料であることではなく、材料自体の硬さが Ti に比べて柔らかいため研磨材の粒子がより大きく加工面を傷つけることによるのではないかと考えられる。

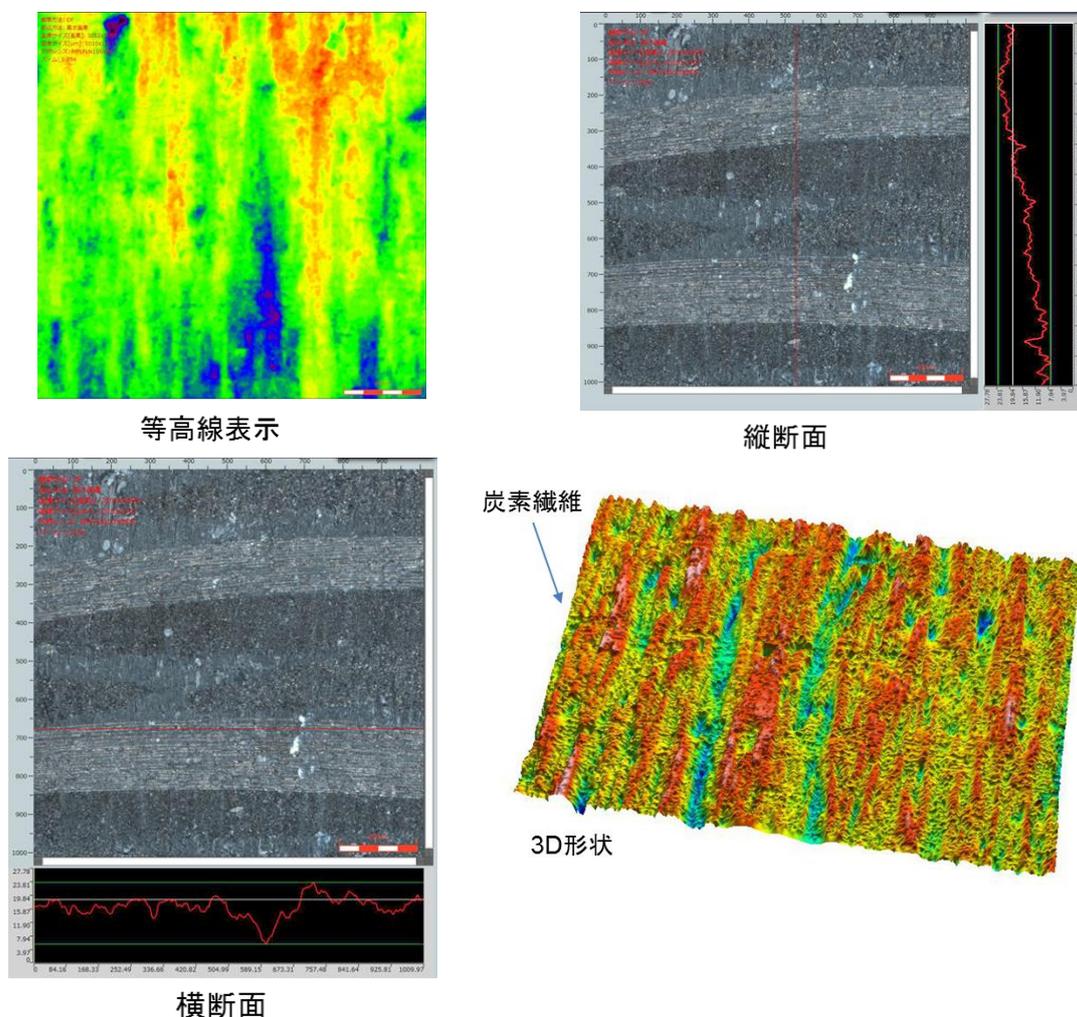


図 2-3-2-8 CFRP 表面観察

2.4 水溶性化合物および研磨材を回収・再利用する循環システムの開発.

2.4.1 循環システムの開発

本研究開発にて選定した加工液は被削材を切断加工した後に夾雑物となる研磨材及び被削材切屑を除去し繰り返し使用する。よって、加工液を再生するための濾過方法及び循環装置を開発した。複数種の濾過フィルターについて濾過試験を実施し、実用性を考慮した濾過処理方法を開発した。異なる濾過方法を組み合わせることで、個々のフィルターの負荷の低減が可能で効率的に処理ができる。



図 2-4-1-1 高密度高集束水濾過循環管理装置全体図

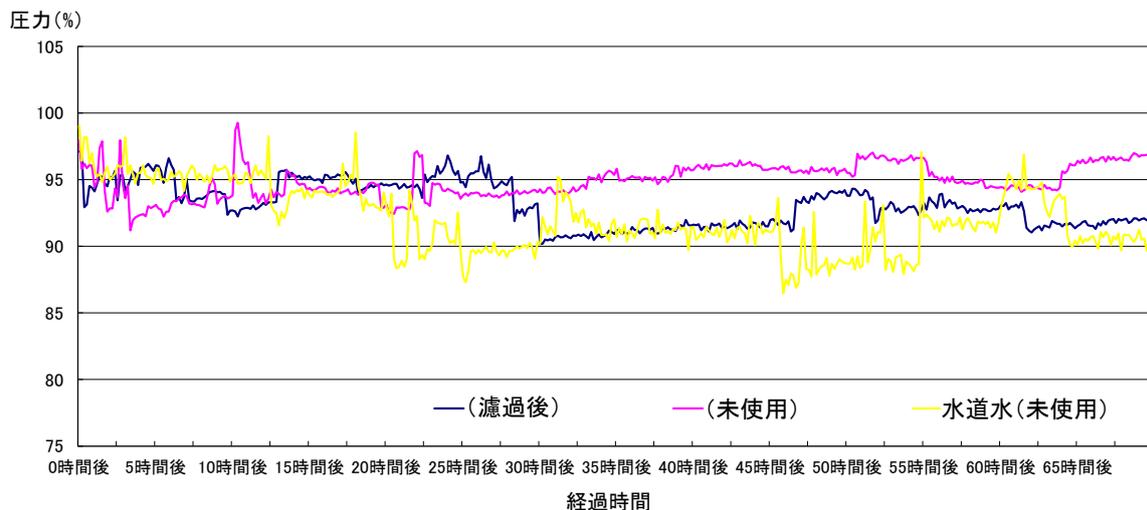
2.4.2 プランジャーポンプの性能確認

開発した循環システムで濾過、分離後の加工液が高圧ポンプに与える影響を確認するため、低圧のプランジャーポンプを用いて、性能試験を実施した。濾過後の残留物がポンプに与える影響を調べ、分離方式の妥当性を確認する。

具体的には、濾過後の加工液が、プランジャーポンプに与える影響を確認するため、水道水、加工に使用していない高密度高収束水 B2 種、濾過後の高密度高収束水 B2 種を用いて耐久性試験を実施し、圧力の変化を測定する（吐出圧力：20Mpa、計測期間：72 時間）。

ポンプ耐久性試験の結果を表 2.3.1.2 に示す。

表 2.4.2.1 ポンプ耐久試験結果（20Mpa を 100% で表記）



72 時間計測を行った結果、どの液も開始から数時間で圧力変化が見られ、その後も 85%までの間で圧力変化が見られるが、圧力低下による停止位置である 80%を下回ることはなかった。濾過後の高密度高収束水 B2 種でも同様の結果が得られ、開発した循環システムによる濾過が妥当であると言える。

第3章 全体総括

1)全体概要

本研究開発では、①WJ 加工能力の向上、②運用コストの削減、を解決すべき研究課題とし、図 3.1 の手順で研究開発を進めた。具体的目標として、①加工速度の向上、②加工限界厚さの向上、③加工精度の改善、④加工面粗度の改善、⑤コスト低減、⑥運用コストの削減、を設定した。この中で、研究課題として挙げた WJ 加工能力の向上と運用コストの削減に、大きく影響する目標値が、加工速度の向上である。本研究で開発した加工液、加工条件を用いる事で、従来技術の 1.5 倍以上の加工速度の向上を達成することが出来た（チタン合金、CFRP）。また、運用コストの低減に必要な循環システムについても、3つの濾過機構を組み合わせた循環システムを組み立て、実証試験を行った。本システムで濾過した加工液で、WJ マシンのポンプと同じ構造の小型のプランジャーポンプを用いた 72 時間の循環試験を実施し、ポンプに与える影響についても確認した。

なお、本循環システムの基本思想は特許出願済みであり、今後の事業化の進展が期待出来る。一方、切断面粗度、切断精度については、既存のレベルから大きな改善は得られなかった。しかし、研究過程で得られた知見で加工条件を設定することで、切断面性能の向上が図れることは確認出来た。

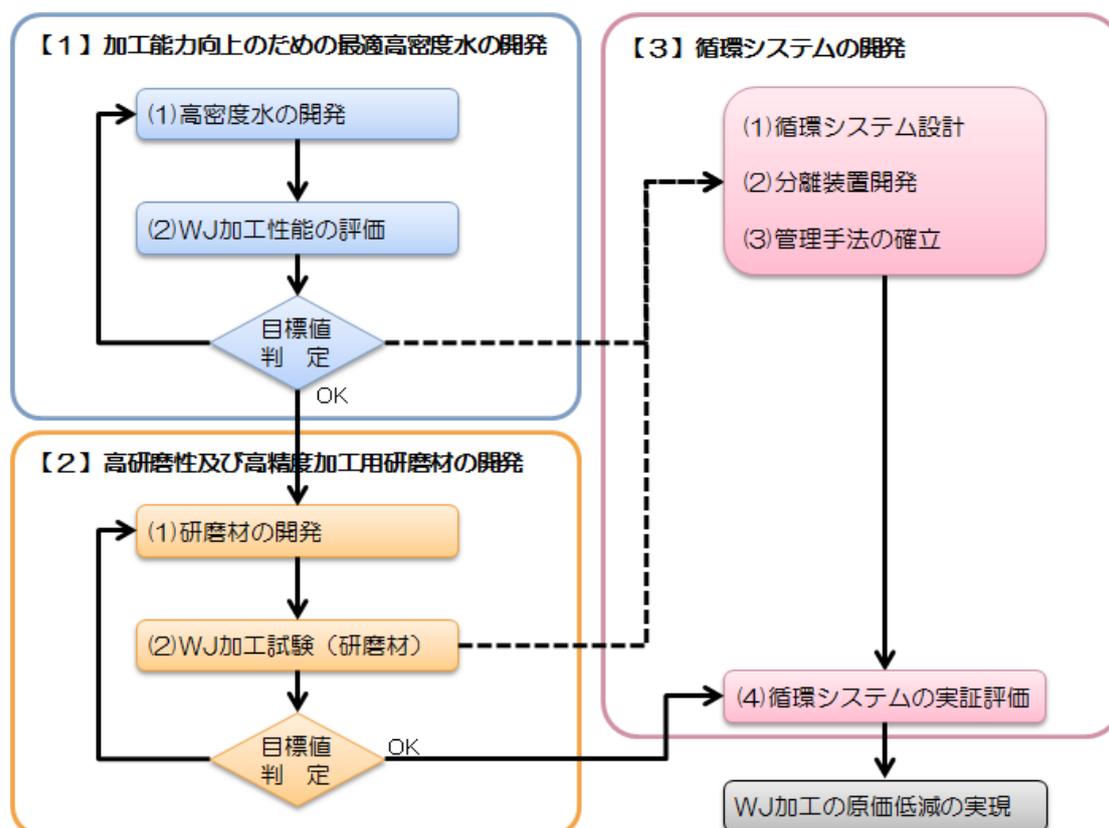


図 3.1 研究手順

2)事業化展開

本研究開発では 4 つの事業展開、①航空機産業向けニア・ネット・シェイプ材、②難削材

の WJ 切断加工製品、③WJ 切断用加工液、循環システム、④WJ 切断技術に関わる特許権、を目指している。研究終了後は、航空機産業向けニア・ネット・シェイプ材、難削材の WJ 切断加工製品の試作品提供を開始する。実機を用いて試作を行うことで、循環システムを稼働させ、実稼働時の初期問題を抽出する。実稼働時の問題点を解決し、循環システムの信頼性向上に努め、事業化につなげる。