

平成22年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「航空エンジン部品等大型部品・複雑形状部品の
ワイヤ放電加工技術高度化の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 (財)名古屋産業科学研究所

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的および目標	1
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	3
1-3 成果概要	7
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	8
第2章 回転テーブルと治具の開発	9
2-1 研究目的および目標	9
2-2 実施内容および成果	9
2-3 研究成果	9
第3章 割出回転テーブルのレイアウトの検討	10
3-1 研究目的および目標	10
3-2 実施内容および成果	10
3-3 研究成果	10
第4章 加工液ノズルの開発	11
4-1 研究目的および目標	11
4-2 実施内容および成果	11
4-3 研究成果	12
第5章 シャーベットおよびウォーターカーテン水流供給装置の開発	13
5-1 研究目的および目標	13
5-2 実施内容および結果	13
5-3 研究成果	14
第6章 長時間連続運転が可能なワイヤ電極材の開発	15
6-1 研究目的および目標	15
6-2 検討内容および結果	15
6-3 研究成果	15
第7章 ワイヤ放電加工機の運転ソフトウェアの確立	17
7-1 研究目的および目標	17
7-2 実施内容および結果	17
7-3 研究成果	17
第8章 全体総括	19
8-1 成果の総括	19
8-2 工業所有権の取得状況および对外発表等の状況	20
8-3 今後の事業化に向けた取組み	20

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的および目標

1) 研究開発の背景

ジェットエンジン部品に多用される超耐熱材の加工技術と信頼性向上（精度維持）において、生産性の向上とコスト競争力の向上が国際的に要請（ニーズ）されている。本研究開発は、複雑形状のジェットエンジン部品（ブレードディスク）について、現状のブローチ盤による切削加工から、ワイヤ放電加工機による放電加工への移行を図るものである。放電加工の高度化により、耐熱性向上と信頼性向上と共に、生産性向上とコスト低減を図る。

具体的には、新たな難削材（一層高い耐熱合金等となるNi基超合金への移行）に対して、過酷な使用環境（燃焼温度の環境）および耐久性（耐熱性向上）に耐えられる高信頼性の加工を、低コストで実現する新技術を盛り込んだ低廉なワイヤ放電加工機を開発する。

航空機用エンジン難削材タービンディスクは、稀少なブローチ盤と高額ブローチカッターにより外周のブレード組立溝加工が行われているが、連続無人加工が困難で、コスト低減のネックとなっている。特許出願済みワイヤ放電の吹きかけ方式により、中小加工業者が保有している汎用小型ワイヤ放電加工機で寸法変化管理の容易化と、連続無人加工の実現を図り、大幅なコスト低減とともに中小企業でも難削材加工を可能とする。

2) 研究目的および目標

① 割出回転テーブルと治具の開発

連続的な複雑形状で外径がφ1200mmの大径ブレードディスクを小型ワイヤ放電加工機（ストローク X750、Y500）に搭載でき、NC 制御装置からの指令で間欠割出できるものを設計・試作・評価する。

② 割出回転テーブルのレイアウトの検討

ワーク外径φ800~1200mmの大径ブレードディスクを上記の割出回転テーブルに取付け、小型ワイヤ放電加工機（ストローク X750、Y500）の加工エリア内に最大限の加工部位（外径φ1200mmの大径ブレードディスク）を設置できるように機械レイアウトを確立すべく、既製品の小型ワイヤ放電加工機の改造を実施する。

③ 加工液ノズルの開発

大径ブレードディスクの断面形状はブレード係合部の厚さ寸法が異なる上に、その下に張出した縁があり、ノズルは加工部へ容易に接近出来ない場合がある。これらの条件でも満足する加工孔への水流到達性能・加工点の冷却性向上を図り、加工屑を効率良く排除するノズル装置を開発する。

設計条件: 一対のノズル間隔(0~200mm)を調節可能とし、板厚寸法(最大 200mm)の加工孔への水流到達性能・加工点の冷却性向上を図る。

- 特殊ノズルの設計: 中心ノズルに水流を通し、外周の環状ノズルにシャーベット状水流を通すことができるハイブリッド機能を持ったノズルの諸仕様・設計試作と評価を実施する。

④シャーベットおよびウォーターカーテン水流供給制御装置の開発

中心ノズルに水流を供給し、外周の環状ノズルにシャーベット状水流を供給するシャーベットおよびウォーターカーテン水流供給装置の設計・試作をする。具体的には、

- i) 市販のシャーベット供給装置を購入し、シャーベット状水流の供給機能を確認する。
- ii) <主な仕様> 水流とシャーベット状水流の温度: 氷点付近
水流の流量: 1~2リッター/分相当
- iii) シャーベット状水流は、微粉末のパウダー状を呈し、堆積状態で容易に崩れない壁効果の特性を示すものを生成させ、加工部の移動に追隨して水流・切粉の回収率が極めて高い特性を示すものを開発目標とする。
- iv) 上記シャーベット状水流を特殊ノズルの外周の環状ノズルに供給し、加工ポイントへの水流がシャーベットによって包括され、飛散することなく効率良く供給されるかを確認する。
- v) 切屑の排除性およびワイヤ電極の冷却効果については、シャーベット状水流の有無による比較試験において加工速度や加工精度で確認する。

⑤長時間連続運転が可能なワイヤ電極材の開発

シャーベット状水流で加工点を浸漬状態にすることは、ワイヤ電極の断線を回避するため必要となる。長時間連続運転に適応し断線しないコーティング剤とワイヤ材とからなる適正被覆線材を開発する。具体的には、加工速度 30%アップ、長時間(最大:12 時間)の無人運転にも断線しないワイヤ材を開発する。

⑥ワイヤ放電加工機の運転ソフトウェアの確立

小型ワイヤ放電加工機と加工液ノズル・割出回転テーブル・シャーベット供給装置とを12 時間無人運転で連動制御する運転制御系ソフトウェアの研究開発を実施する。具体的には、ブレードディスクの係合部の複雑な形状の加工プログラムをもって、上記小型ワイヤ放電加工機のCNC制御装置に用意されている機能を活用し、運転可能とする。

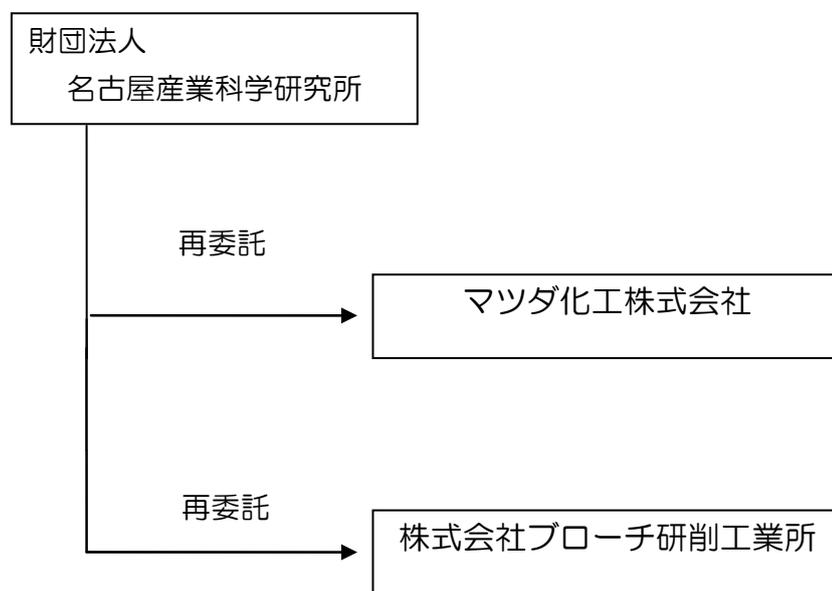
また、強度の大きいワイヤ材の開発により加工速度 30%アップ、12 時間無人運転の加工を行う。その新加工方法の優位性を実証する。

⑦プロジェクトの管理・運営

実施計画に基づく進捗確認、開発委員会の開催等プロジェクトの管理・運営を行なう。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1) 研究組織（全体）



総括研究代表者（PL）

マツダ化工株式会社
代表取締役 村瀬 一政

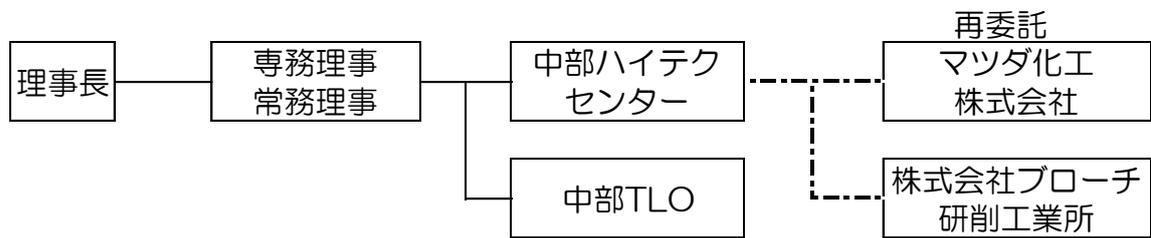
副総括研究代表者（SL）

株式会社ブローチ研削工業所
代表取締役社長 小粥 勝好

2) 管理体制

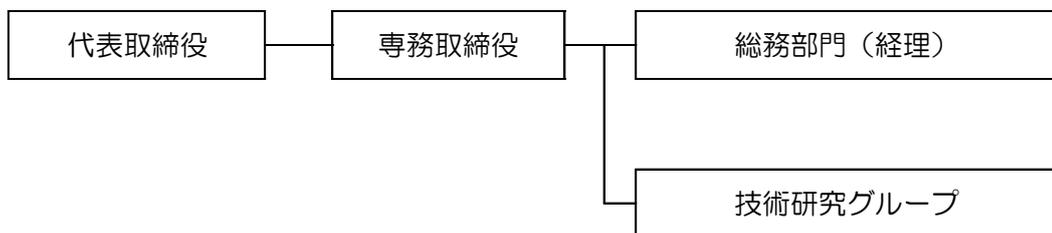
①事業管理者

財団法人名古屋産業科学研究所

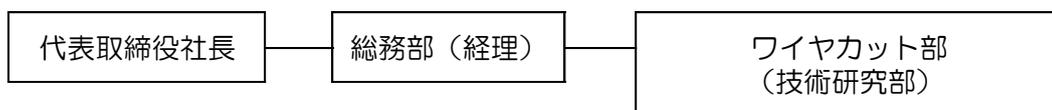


② (再委託先)

マツダ化工株式会社



株式会社ブローチ研削工業所



3) 管理員および研究員

【事業管理者】 財団法人名古屋産業科学研究所

① 管理員

氏名	所属・役職
藤根 道彦	中部ハイテクセンター 産学連携支援部長
浅田 節子	中部ハイテクセンター
坪内 秀樹	中部ハイテクセンター 事務局長

② 研究員

氏名	所属・役職
鈴木 秀治	主幹研究員（非常勤）

【再委託先】

マツダ化工株式会社

氏名	所属・役職
村瀬 一政	代表取締役
村瀬 巳喜久	専務取締役
鈴木 武司	生産技術部門長
青山 浩一	品質保証部門長
溝上 幸則	製造部リーダー
小島 國男	顧問
小池 成人	製造部
石戸 智子	総務部

株式会社ブローチ研削工業所

氏名	所属・役職
小粥 勝好	代表取締役社長
大石 真弥	ワイヤ部 主任
夏目 恭利	ワイヤ部 主任
望月 健司	ワイヤ部 副主任

③協力者（アドバイザー）

氏名	所属・役職
酒井 克彦	国立大学法人静岡大学 工学部 機械工学科 准教授
佐藤 憲治	静岡県工業技術研究所 浜松工業技術支援センター 機械材料科 科長
清水 智博	三遠南信バイタラゼーション浜松支部 （浜松商工会議所）
横川 卓見	株式会社ソディック 中日本支店 浜松営業所
杉山 和隆	井澤金属株式会社 名古屋支店 営業第一部 工機第二課 主任
森藤 哲也	三菱重工業株式会社 名古屋誘導推進システム製作所 工作部 生産技術課 主任チーム統括
池内洋一	川崎重工業株式会社 ガスタービンビジネスセンター 生産総括部 生産技術部 生産技術一課 課長
鈴木敏之	PTC 知財研究所 室長

1-3 成果の概要

① 割出回転テーブルと治具の開発

大径ディスクを搭載できる治具併用の間欠割出テーブルの構造、形状、大きさの検討・設計を行った。当初の目的であった12時間連続無人運転が不可能である為、次にNC割出回転テーブルの検討を行った。

ワイヤ放電加工機にNC割出回転テーブルを搭載する為に必要となる治具、スリップリング、製品のクランプの機能評価を行い、ディスクテストピースでの加工試験においてクリスマスツリー形状のスロット位置精度が、目標値である ± 0.1 以内で加工できることを検証し、システム全体の総合評価として満足する結果を得た。

② 割出回転テーブルのレイアウトの検討

割出回転テーブルをワイヤ放電加工機に適正配置する為にCADを使用し、シミュレーション設計で検討した。実機に搭載し、加工領域・スペース・カバーリング・操作性などレイアウト全体での干渉をチェックし、テストピース加工試験において問題なく加工できる事を実証した。

③ 加工液ノズルの開発

中心ノズルに水流を通し、外周の環状ノズルにシャーベット状水流を通すことのできるハイブリッド機能を持ったノズルの設計、試作、加工テストを行った。

シャーベット状水流の供給加工試験テストにおいて、ワイヤ放電加工機のクーラント噴流圧力によるシャーベットの飛散等の問題から、環状水流を持つハイブリッドノズルを改良し、ウォーターカーテンノズルの開発・試作をし、加工テストを行った。その結果、加工速度、加工精度での目標値を満足できる結果となった。

④ シャーベットおよびウォーターカーテン水流供給装置の開発

市販のシャーベット供給装置を使用し、シャーベットの生成、配管、流量の検討をし、テスト加工を行った。ワイヤ放電加工機の噴流によるシャーベット飛散の問題や、シャーベット生成に必要な防錆剤の濃度によるワイヤ放電加工機への影響の問題から、ハイブリッドノズルを改良したウォーターカーテン水流供給装置を開発し、設計、試作をし、テスト加工を行った結果、ウォーターカーテンの有効性を確認できた。

⑤ 長時間連続運転が可能なワイヤ電極材の開発

長時間連続運転での加工において断線が少なく、加工速度を30%アップできるコーティング、およびワイヤ線材の材質から最適なものを選定し、テスト加工を行った。加工速度、精度を満足し、コストも含めた部分での比較試験の結果を基に実用化での使用に適したワイヤ線材を選択する事ができた。

⑥ ワイヤ放電加工機の運転ソフトウェアの確立

間欠割出し回転テーブルにおけるプログラムの構成を検討し、マクロ計算での対応が可能なソフトウェアの開発を行い、確認することができた。

次に小型ワイヤ放電加工機とCNC割出回転テーブルのNC制御を連動させ、テストピース円周上360°の連続加工を可能とし、形状およびスロットの位置精度を保つプログラムを含めたソフトウェアの開発をした。

目標値は満足できたが、さらなる精度アップを目指し加工方法や治具を考えていきたい。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人 名古屋産業科学研究所

中部ハイテクセンター 産学連携支援部長 藤根 道彦

TEL : 052-223-6639

FAX : 052-211-6224

E-mail : fujine@nisri.jp

第2章 割出回転テーブルと治具の開発

2-1 研究目的および目標

連続的な複雑形状で外径がφ1200mmの大径ブレードディスクを小型ワイヤ放電加工機（ストローク X750、Y500）に搭載でき、NC 制御装置からの指令で間欠割出できるものを設計・試作し、評価する。

2-2 実施内容および結果

1. 間欠割出し円テーブルの検討

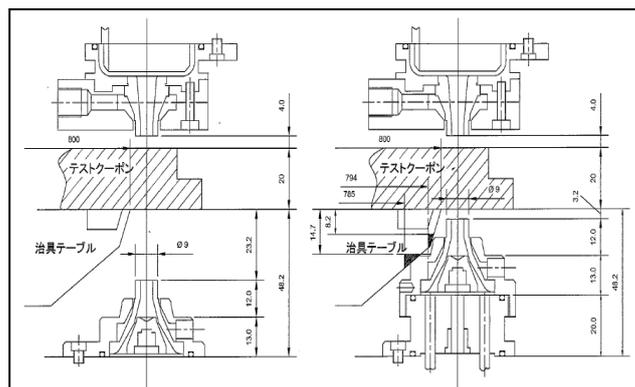
コストの高くなるNC 円テーブルに代わるものとして、間欠割出し円テーブルを考え、加工プログラムについても検討した。

2. 治具付き NC 割出し回転テーブルの検討

連続無人運転を可能とする為、NC 割出し回転テーブルへ大径ディスクを取付ける治具の構想を基に、通電させるスリップリングの給電ブラシ等を組み込んだ設計を進め、製作後、ワイヤ放電加工機へ搭載した。

3. ノズルと治具の干渉対策の検討

ノズルとワークの接近性を向上させる為に、ノズルの長さ、ノズル位置を高くするなどの検討をした。ノズルの長さを変更することによるワークとノズルの干渉をCADで確認、改善した。



2-3 研究成果

NC割出し回転テーブルと治具のレイアウトを基に、上下加工液ノズルとワークの接近性を高めることができた。それにより、加工の安定性を保ち、長時間連続運転を可能とした。

第4章 加工液ノズルの開発

4-1 研究目的および目標

大径ブレードディスクの断面形状はブレード係合部の厚さ寸法が異なる上に、その下に張出した縁があり、ノズルは加工部へ容易に接近出来ない場合がある。これらの条件でも満足する加工孔への水流到達性能・加工点の冷却性向上を図り、加工屑を効率良く排除するノズル装置を開発する。

- 設計条件： 一対のノズル間隔（0～200mm）を調節可能とし、板厚寸法（最大200mm）の加工孔への水流到達性能・加工点の冷却性向上を図る。
- 特殊ノズルの設計： 中心ノズルに水流を通し、外周の環状ノズルにシャワーベット状水流を通すことができるハイブリッド機能を持ったノズルの諸仕様・設計試作と評価を実施する。

<目標値>

加工溝の角度	0°（ストレート）	1°～7°（テーパ）
加工速度	2.9mm/min 以上	2.0mm/min 以上
ワイヤ電極線断線回数（6時間）	1回まで	3回まで
位置精度	±0.1mm 以内	±0.1mm 以内

4-2 実施内容および結果

1. 上下のノズル間隔が調整可能な構造の検討

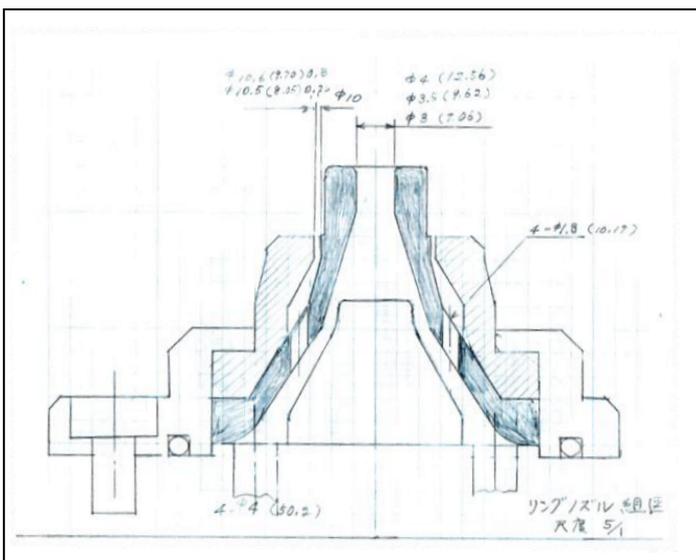
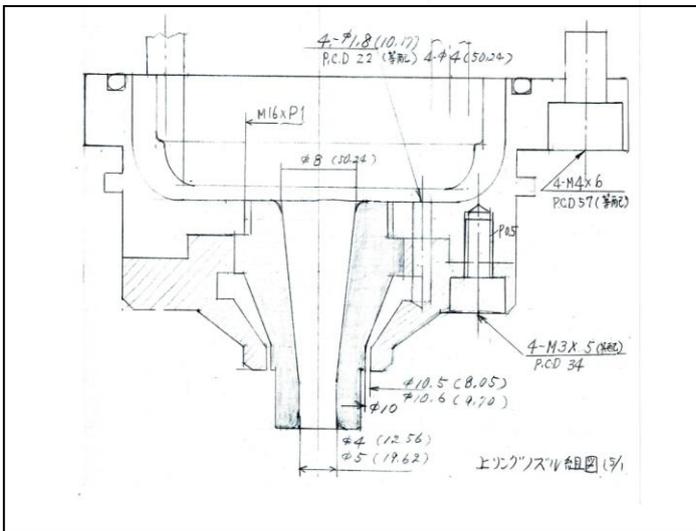
ワークに合わせたガイドノズルを標準寸法から伸ばし、ワークとノズルの距離を近づける事を検討した後、ロングノズルを設計、試作した。

2. 加工部を浸漬状態にする、環状水流を作れる加工液ノズルとして、ハイブリッドノズルを検討し、設計、試作した。

3. ハイブリッドノズルの改良として、ウォーターカーテン水流を供給できるノズルを設計、試作し、加工試験を行った。

4-3 研究成果

1. 自動結線テストにより、ノズル口径をφ4とし、シャーベットの溶解と飛散を防止する目的で加工テストを行ったが、シャーベットに対しては有効ではなかった。
2. ハイブリッドノズルによる加工テストでは 11%の加工速度向上と、断線率を低減することができた。
3. テーパ加工においてもウォーターカーテンノズルでの加工試験から、有効性が確認できた。



第5章 シャーベットおよびウォーターカーテン水流供給装置の開発

5-1 研究目的および目標

中心ノズルに水流を供給し、外周の環状ノズルにシャーベット状水流を供給するシャーベット状水流供給装置の設計・試作をする。具体的には、

- i) 市販のシャーベット供給装置を購入し、シャーベット状水流の供給機能を確認する。
- ii) <主な仕様> 水流とシャーベット状水流の温度：氷点付近
水流の流量：1～2リッター/分相当
- iii) シャーベット状水流は、微粉末のパウダー状を呈し、堆積状態で容易に崩れない壁効果の特性を示すものを生成させ、加工部の移動に追隨して水流・切粉の回収率が極めて高い特性を示すものを開発目標とする。
- iv) 上記シャーベット状水流を特殊ノズルの外周の環状ノズルに供給し、加工ポイントへの水流がシャーベットによって包括され、飛散することなく効率良く供給されるかを確認する。
- v) 切屑の排除性およびワイヤ電極の冷却効果については、シャーベット状水流の有無による比較試験において加工速度や加工精度で確認する。

<目標値>

加工溝の角度	0° (ストレート)	1° ~7° (テーパ)
加工速度	2.9mm/min 以上	2.0mm/min 以上
ワイヤ電極線断線回数 (6 時間)	1 回まで	3 回まで
無人運転 (自動結線を含む)	12 時間以上	8 時間以上

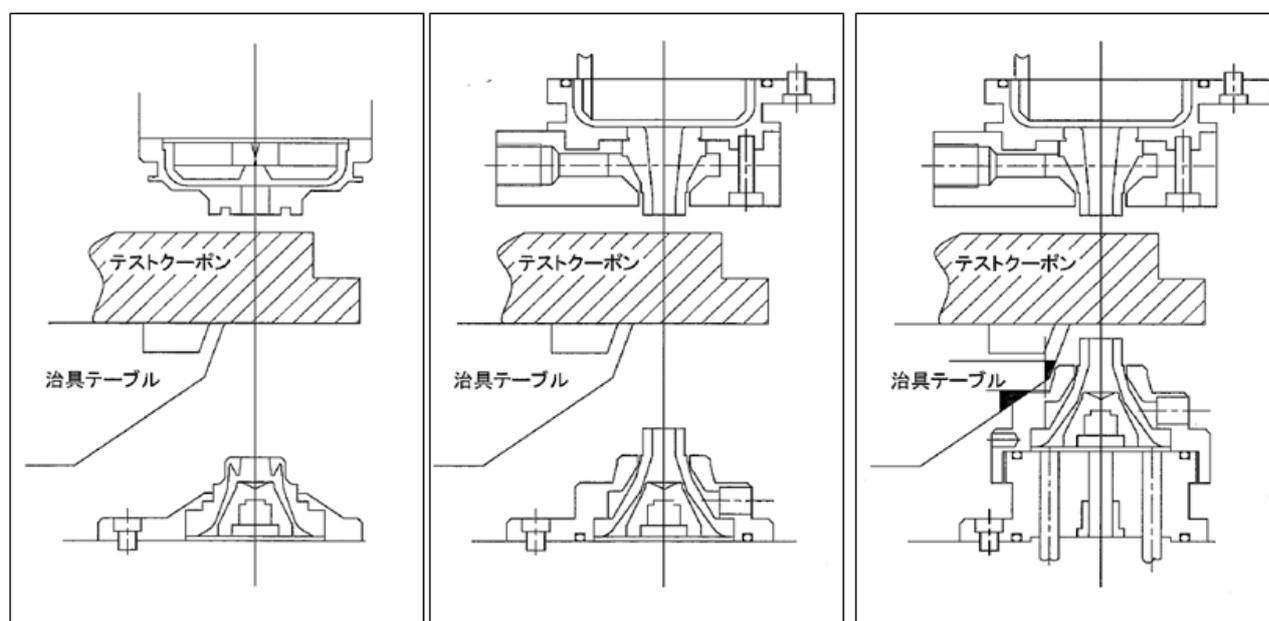
5-2 実施内容および結果

1. シャーベット生成に必要な添加物として防錆剤を選定し、比重 1.06 の水溶液を作る事ができ、シャーベット生成を可能にした。
2. シャーベット生成に必要な防錆剤についての調査により、悪影響のない物質として選定した防錆剤も、一定量を超えた場合は機械に対して問題となる事が分かった。それにより、添加量を少なくする方法として金属製スクレイパーを作成し、テストを行った。
3. シャーベットを堆積させ、加工部を浸漬状態にする事を目標としていたが、ワイヤ放電加工機の中心噴流の圧力により、シャーベットが吹き飛んでしまう為、ノズル口径の変更や、噴流圧力の調整を行い、テスト加工をした。
4. 環状水流を供給する目的のハイブリッドノズルを設計、試作し、加工テストを行った。

5. ハイブリッドノズルを改良したウォーターカーテンノズルおよび水流供給装置を実機に搭載し、供給装置のポンプについても圧力が異なるタ-
る比較試験を行った。

5-3 研究成果

1. シャーベット生成は、防錆剤を使用することで可能となった。しかし、防錆剤の添加量に対する問題を克服することが出来なかった。
2. 加工液噴流に対するシャーベット飛散については、シャーベットの周りにカバーを付ける方法や、ノズル口径を小さくし、中心噴流の流量を変更させようとしたが効果がなく、加工液噴流を少なくすると断線率が上がる結果となった。
3. 加工液の圧力、流量が一定であるハイブリッドノズルを使用した加工テストでも、加工速度の向上が見られ、ハイブリッドノズルの有効性は確認できた。
4. ウォーターカーテンノズルの水流、水圧を独立し、制御できるシステムによる加工テストでは、加工速度が20%向上し、断線率の低減についても有効性が確認できた。



①ワイヤ放電加工機付属の標準ノズルタイプ

②ウォーターカーテンノズルスタンダードタイプ

③ウォーターカーテンノズル 接近タイプ

第6章 長時間連続運転可能なワイヤ電極材の開発

6-1 研究目的および目標

シャーベット状水流で加工点を浸漬状態にすることは、ワイヤ電極の断線を回避するため必要となる。長時間連続運転に適応し断線しないコーティング剤とワイヤ材とからなる適正被覆線材を開発する。具体的には、加工速度 30%アップ、長時間（最大:12 時間）の無人運転にも断線しないワイヤ材を開発する。

<目標値>

加工溝の角度	0°（ストレート）	1°～7°（テーパ）
加工速度	2.9mm/min 以上	2.0mm/min 以上
ワイヤ電極線断線回数（6 時間）	1 回まで	3 回まで
無人運転（自動結線を含む）	12 時間以上	8 時間以上

6-2 実施内容および結果

1. 断線しないワイヤ電極材として選定した 2 種類のワイヤ電極材から、自動結線が不可能である、銅亜鉛被覆鋼芯線ワイヤを不採用とした。
2. 使用ワイヤを亜鉛被覆黄銅線（SD ワイヤ）とし、評価試験を行った。
3. SD ワイヤ電極材を用いてウォーターカーテンノズルとウォーターカーテン水流供給制御装置を組み合わせた状態でテスト加工を行った。
4. コスト面の比較をする為に、SD ワイヤ電極材と真鍮ワイヤ電極材との比較試験を行った。
5. ワイヤ放電加工での加工物の変質層について、加工試験を行ったテストピースを使用し、調査した。

6-3 研究成果

1. 加工試験により選定した 2 種類のワイヤ電極材の評価をした結果、SD ワイヤ電極材を選択することにした。
2. シャーベット状水流下での加工試験の比較評価はできなかったが、それに代わるウォーターカーテンノズルでのテストクーポンおよびディスクテストピースの加工試験を行ったところ、特に長時間運転において SD ワイヤ電極材が、加工速度、断線率およびトータルコストメリットの点で優位性が確認できた。

3. インコネル加工試験片の変質層の硬さ分布を再調査した結果、急速加熱—急速冷却を繰り返して加工される加工部位の近傍は僅かに硬度低下と表層面に数 μmm の熔融層が観測されたが、0.05mm以上の内部ではいずれも硬度、組織とも変化なく変質層は確認されなかった。極めて使用環境の厳しく高い機械強度が要求される航空機用エンジンのブレードディスクには、それらを除く、表面粗さや形状精度の改善のために、最終的にブローチによる仕上げ加工を行うべきであり、その仕上げ代は0.1mmあればよいことが分かった。

7章 ワイヤ放電加工機の運転ソフトウェアの確立

7-1 研究目的および目標

小型ワイヤ放電加工機と加工液ノズル・割出回転テーブル・シャーベット供給装置とを12時間無人運転で連動制御する運転制御系ソフトウェアの研究開発を実施する。具体的には、ブレードディスクの係合部の複雑な形状の加工プログラムをもって、上記小型ワイヤ放電加工機のCNC制御装置に用意されている機能を活用し、運転可能とする。

また、強度の大きいワイヤ材の開発により加工速度30%アップ、12時間無人運転の切削加工を行う。その新加工方法の優位性を実証する。

<目標値>

ワイヤ電極線の角度	0° (ストレート)	1° ~7° (テーパ)
無人運転 (自動結線を含む)	12 時間以上	8 時間以上
形状精度	±0.05mm 以内	±0.05mm 以内
位置精度	±0.1 mm 以内	±0.1 mm 以内

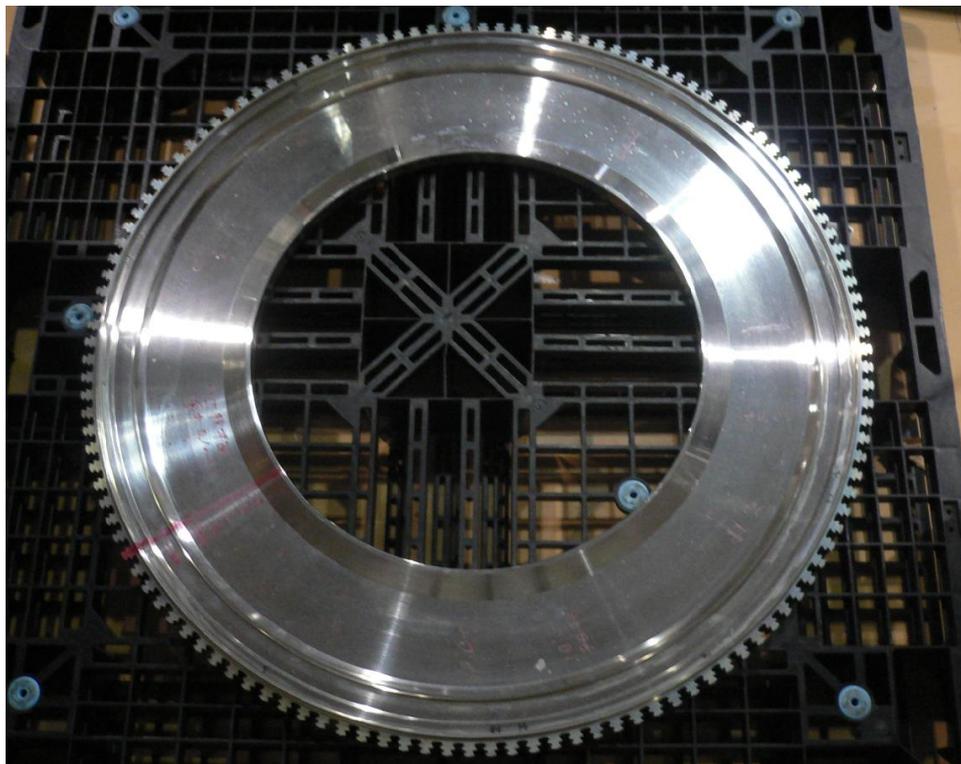
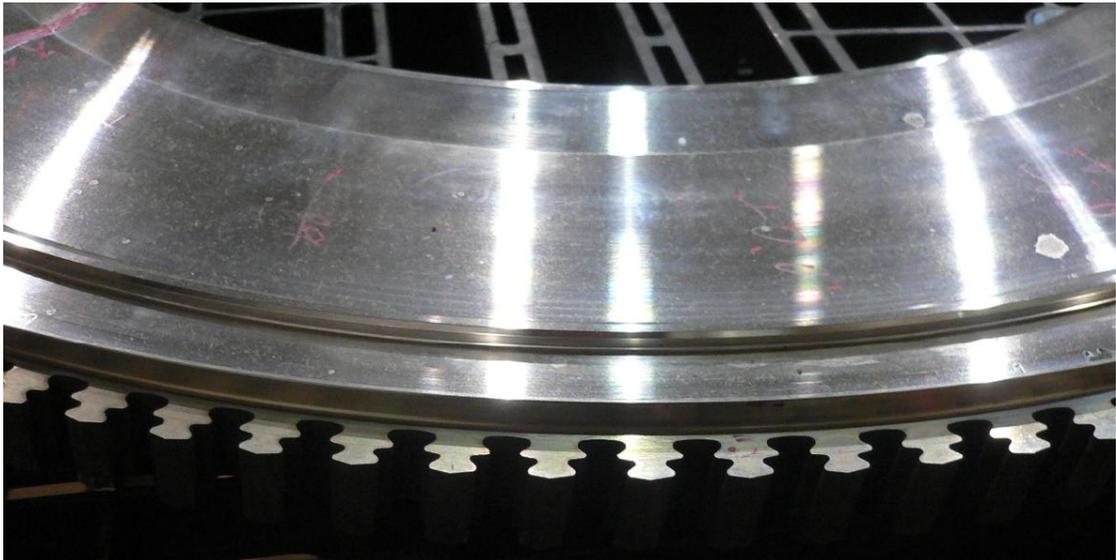
7-2 実施内容および結果

1. 間欠割出しとNC割出しにおいて、加工プログラムの対応性について検討した。
2. NC割出回転テーブルと小型ワイヤ放電加工機の制御系の信号を動作確認でチェックした。
3. NC割出回転テーブル上の60°エリアを加工と、割出しの動作を交互に行い、連動制御するプログラムを開発した。
4. 加工時の歪み対策として、60°分割をさらに細かいエリアに分割させる、もしくは対角での割出しで加工する等の方法をソフトウェアで対応できるよう検討する。
5. クリスマスツリー7°テーパ加工の形状測定を投影機により行った結果、形状に取り残し部が発生した為、プログラムによる形状補正を行い、テストピースによる加工テストを行った。

7-3 研究成果

1. 間欠割出しにおいては、開始点、終了点をマクロ計算方法で考え、製品によるスロット数が変わっても対応できるソフトウェアを開発した。

2. SUSテストピースで円周上360°の溝加工をし、運転ソフトウェアと加工プログラムの検証をしたところ、加工精度についても目標値をクリアすることができた。
3. 加工歪みに対しては、30°割出しで加工した結果、加工前後の歪みが0.05以内であり、特に問題となる点がない事が確認できた。
4. 形状補正をしたプログラムで加工したテストクーポンを投影機で測定した結果、正規形状にほぼ近づける事ができた。この形状でテストピース360°円周上を加工した時の位置精度が±0.1以内、形状精度±0.05以内と目標値を達成した。



第8章 全体総括

8-1 成果の総括

前々年度（1年目）は、本研究開発目標を実現するための第1ステップとして、小型ワイヤ放電加工機の導入およびそれぞれのテーマについての基本的な構想の具体化、装置仕様の検討・設計・予備テスト等を行った。

前年度（2年目）は、これらの結果を基に装置を試作してワイヤ放電加工機に搭載。テストピースを用いてプログラムによるテスト加工を行い、試作装置の作業性や機能について評価をし、問題点の改善・改良およびソフトの開発を行った。

本年度（3年目）は、実用化に向け、それぞれのテーマについて残された課題の抽出を行って対策し、構成要素のレベルアップを図り、総合的加工システムとして当初の目標をほぼ、クリアすることができた。これは、加工形状精度が厳しいスロットのテーパ角度 7° 厚さ20mmのテストクーポン及び $\phi 840$ のディスクテストピースを用いて加工試験を行い、構成要素の機能評価（加工速度、加工精度等）したことに基づくものである。本年度の本研究の成果は次のように要約することができる。

1. ワイヤ放電加工機の連続無人運転にあたって、ディスクを一定角度加工終了時に、ワイヤ電極材の断線の原因となる切れ端材の処理を自動でピックアップブレースする装置を構想し、実用化で設置することにした。これにより治具の簡素化、操作性が改善できる。
2. 実際のワークの種類を調査し、ワーク外径、ワーク重量、リム厚に対応する回転テーブルと治具のあり方をまとめた。
3. 加工液ノズルについては、リング状水流を個別に制御できるウォーターカーテンノズルを開発し、加工速度の向上やワイヤ電極材の断線の低減など加工の安定化に効果のあることが確認出来た。
4. 加工試験で、難削材であるインコネルのテストピースの加工変質層を再調査したところ、急速加熱—急速冷却を繰り返すために生ずる変質層の厚さは、 $50\mu\text{m}$ 程度であり、後工程となる仕上げブローチ加工の取り代は 0.1mm を設定量すればよいとの判断基準を明確にできた。
5. ワイヤ電極材については、ディスクテストピースの加工試験を行い、特に長時間運転において、SDワイヤ電極材が、加工速度、断線およびコストの面で有位性が確認でき、目標値をクリアした。
6. ウォーターカーテンノズルのリング状水流を加工液噴流と独立して供給することのできるウォーターカーテン水流供給制御装置を設計製作し、加工試験した結果、加工速度が20%向上しその効果を確認できた。

なお、シャーベット状ウォーターカーテンの供給装置については、課題が多く時間的な関係で試験を行うことができなかった。23年度の補完研究で実施する予定である。

7. ブレードディスクのスロットの複雑かつテーパ形状の加工に最適なプログラムや加工条件の開発により、課題はあったが、目標値とした形状精度、位置精度をクリアし、その効果を確認、検証できた。

8-2 工業所有権の取得状況および对外発表等の状況

現在の出願特許に対して、新たな目的・手段を持った技術を、前年度の研究で発案し、試験によりその効果を検証したので、この新規技術を新たな発明として、特許出願申請を行い、平成 22 年 8 月 23 日発明の名称「ワイヤカット放電加工機の加工液ノズル装置」を出願した。

对外発表については、三菱重工(株)および川崎重工(株)に対して、第 1 回～3 回の間接報告委員会にて本研究開発の進捗状況を報告、同時にテストワークについてアドバイスと意見を頂いた。また、平成 22 年 9 月 7 日名古屋工業大学で開催された日本機械学会年次大会(生産加工・工作機械部門 S1303-先端材料と加工)において、テーマ「シャーベット噴流援用ワイヤ放電加工によるインコネル材の高エネルギー加工」を研究発表した。

8-3 今後の事業化に向けた取組み

本年度は、これまでの研究開発での課題の解決および研究実施項目の完成度アップに注力し、実用化(受注)に向けた加工試験を行いながら対策して構成要素のレベルアップを図り、総合的加工システムとして本研究開発の目標をほぼクリアすることができた。

今後は、事業化のために、システム全体のさらなる完成度アップが求められるが、本研究開発の成果を基にした応用技術の範囲で設計、製作して実現していくことになる。すなわち、対象とするワークに対して、回転テーブルや治具、切れ端材の処理装置、加工プログラムなどを設計製作して対応することになる。

加工液ノズルについては、ウォーターカーテンノズルの加工の安定化の効果は非常に大きいですが、浸漬方式と比べ、まだ、若干の加工速度に差があり、さらなる改善が必要であり、引き続き補完研究テーマとして取り組んでいき、川下ユーザーのニーズ(早期技術確立)に役立てていきたい。

なお、前年度から課題となっていたシャーベット状水流の効果の検証は、課題が多く時間的な制約で出来なかったが、シャーベットには冷却効果があり、それがどのように加工に作用するかを今後の補完研究の中で検証していきたい。