

平成 2 2 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「航空機エンジン部品等一体部品・複雑形状部品の加工技術高度化の研究開発」

研究開発成果報告書

平成 2 3 年 3 月

委託者 関東経済産業局
委託先 農工大ティー・エル・オー株式会社

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

1－2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1－3 成果概要

1－4 当該研究開発の連絡窓口

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

i 背景

近年、航空輸送需要の伸びは目覚しく、ボーイング社等は2026年には、貨物量、旅客数それぞれ、現在の3倍、2.6倍以上になると予測しており、結果、航空機も相当の需要増が見込まれる。他方、企業間競争の激化、燃料価格の高騰、炭素税の制度化など航空会社の経営環境は一層厳しくなっており、安全性、運航経済性、共に優れた航空機の出現が強く待ち望まれている。

航空機の運航経済性の構成要素は、燃費ならびに整備費であり、定期交換が求められるタービンブレードにかかる費用は整備費の多くを占めるため負担が大きい

ii 要請（ニーズ）

例えば、ジェットエンジン1基に通常2～4個あるタービンそれぞれに、難削材（耐熱合金等）製で複雑な形状のNi基ブレードが50～100枚以上使用されている（200～800枚/機体）。飛行中に不具合が生じると大惨事に繋がるため、このブレードには、耐久性、加工精度など品質面で極めて高い信頼性が要求されるが、価格面での競争も厳しい。即ち、ブレードメーカは極めて高い品質と低コストとを同時に実現する必要がある。そして、その手法は環境性に優れたものでなければならない。さらに今後爆発的な増加が見込まれる需要にも対応しなければならない。

しかしながら、現行の加工・製造方法ではこれらの要請に応えることは出来ない。現行法は、多くの工程に分かれており各工程間に作業者が介在するため、①加工精度の高精度化ならびに品質の均一性確保に限界があり、②自動化できずコスト低減が難しいためである。また、現行法は加工対象の位置決めに鉛を使用する点で、環境負荷も大きい。

航空機メーカの品質、価格面での要求を満たし、また、今後一層の激化が予想される国際競争において引き続き高い競争優位を確保するため、人手への依存度が高い現行法に代わる「タービンブレード研削加工の24時間全自動化」を確立する必要がある。

v 研究目的

かかる中、上記課題を克服するため、以下の特徴を有する新技術「航空機エンジン用タービンブレードの全自動24時間稼働工法」の実用化を目指し事業を行った。

- ①-1 特許治具により高精度かつストレスフリーな拘束方法の実現。
- ①-2 機内自動測定による作業員間のムラの排除。
- ②-1 砥石自動交換による荒加工と仕上げ加工の適正化。
- ②-2 5軸機+特許治具による工程集約。
- ③ 特許治具による環境への配慮

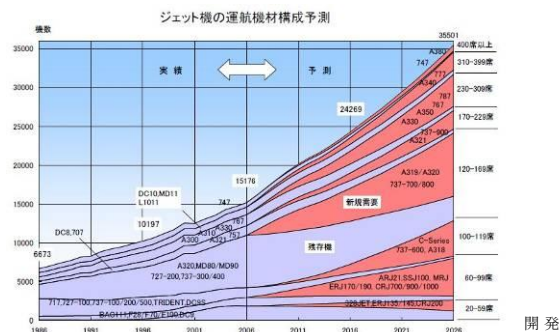
具体的には、以下を行った。

[1] タービンブレード固定技術・装置の開発：

従来の鉛の代わりに、環境負荷が無く、凝固→溶融が容易な液体を用いて、プレート部（中間羽根部）を高精度・低ストレスに保持し、連結部加工が超精密に加工でき、且つ、加工コストを低減し、中間羽根部のストレスによる変質・変形を無くしたタービンブレード固定技術、ならびに、その装置を開発する。

[2] 次世代型（低摩耗・高研削効率）砥石の開発：

従来加工方法は外径 405φ以上の砥石を使用していた。7工程分の砥石を付け替



えするために、繰り返し取付精度のアップ、機械コストの低減、消費エネルギーの削減のために、砥石の外径を 180φとする。小径化するために形状維持性の優れた超砥粒ホイールで粗加工を行い、加工ダメージの少ない砥石で仕上加工を行うために砥石及び方式を開発する。

[3] 5 軸制御研磨機で全自動運転する加工方法〔ソフトウェア〕の開発：

環境性、省資源性、加工精度に優れた自動加工方法を開発しプログラム化する。具体的には、

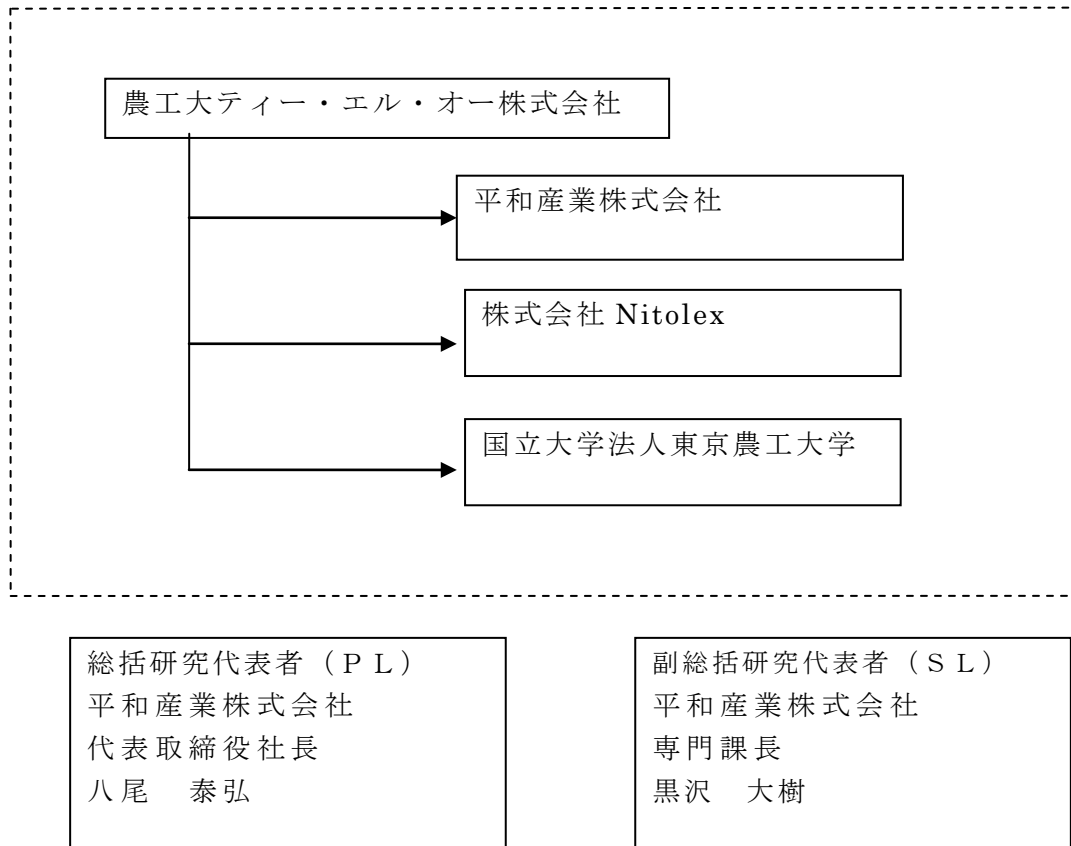
[1]のタービンブレード固定装置、[2]の次世代型（低磨耗・高研削効率）砥石、5 軸制御研削機とオートローダーとを組合わせて、現行 7 工程を 2 工程とし、シームレスな加工システムを実現する。この加工方法（ソフトウェア）は、他分野〔医療用資材・人工関節等の製作〕にも適用可能である。

1－2 研究体制

1. 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

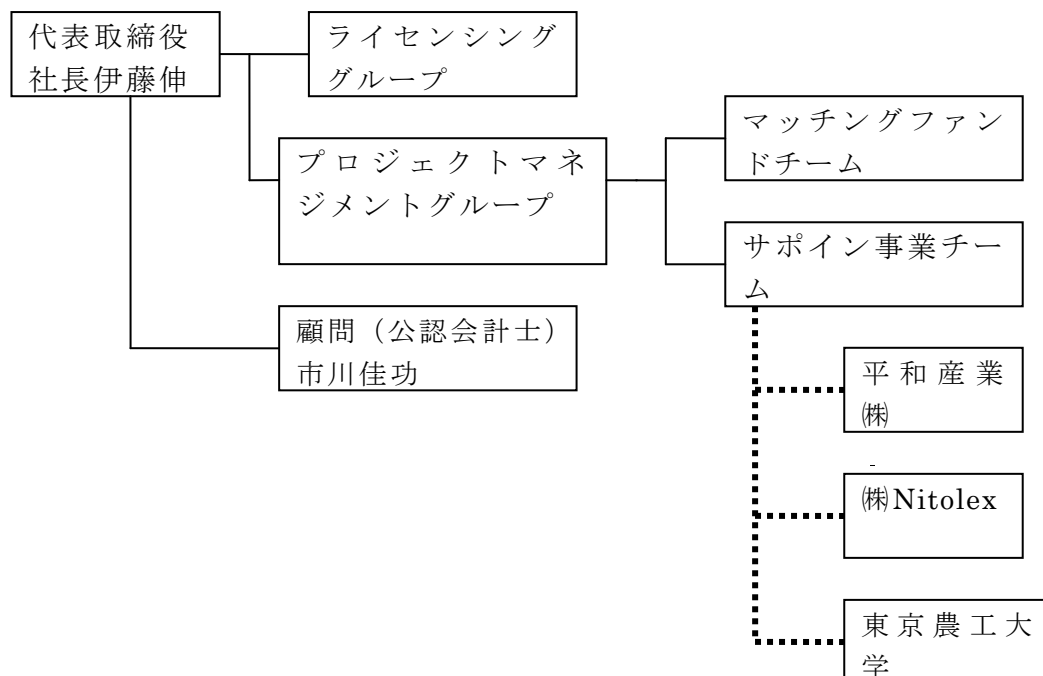
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

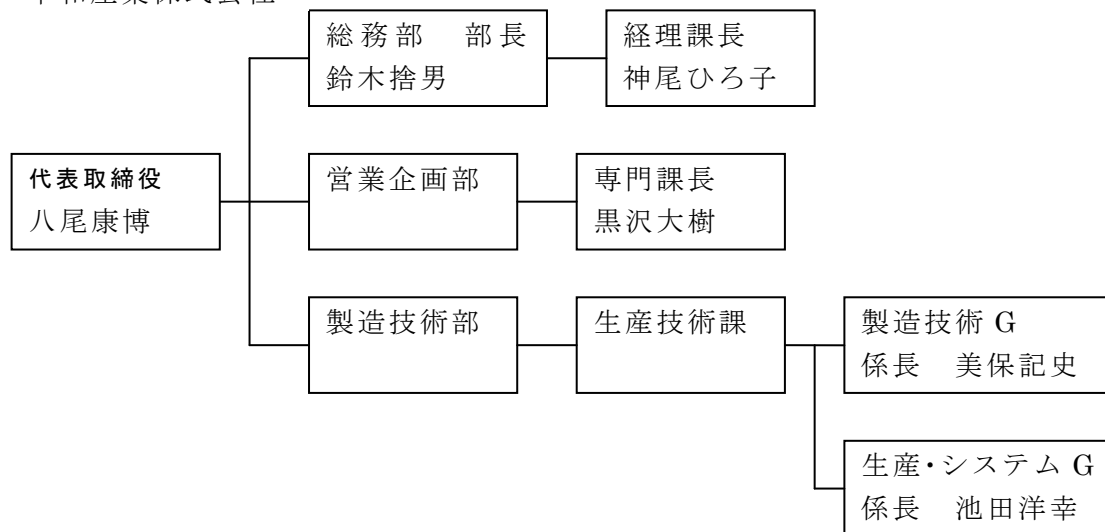
①事業管理者：

[農工大ティー・エル・オー株式会社]

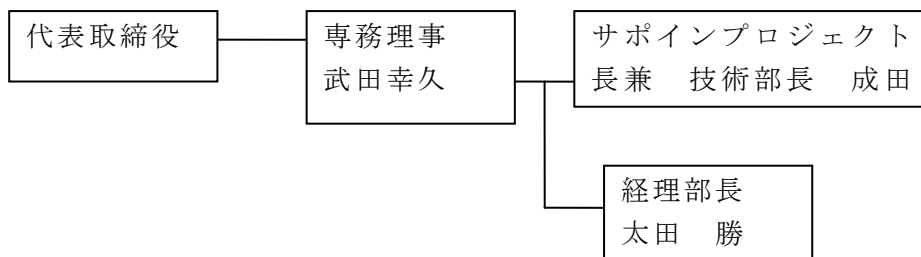


②（再委託先）

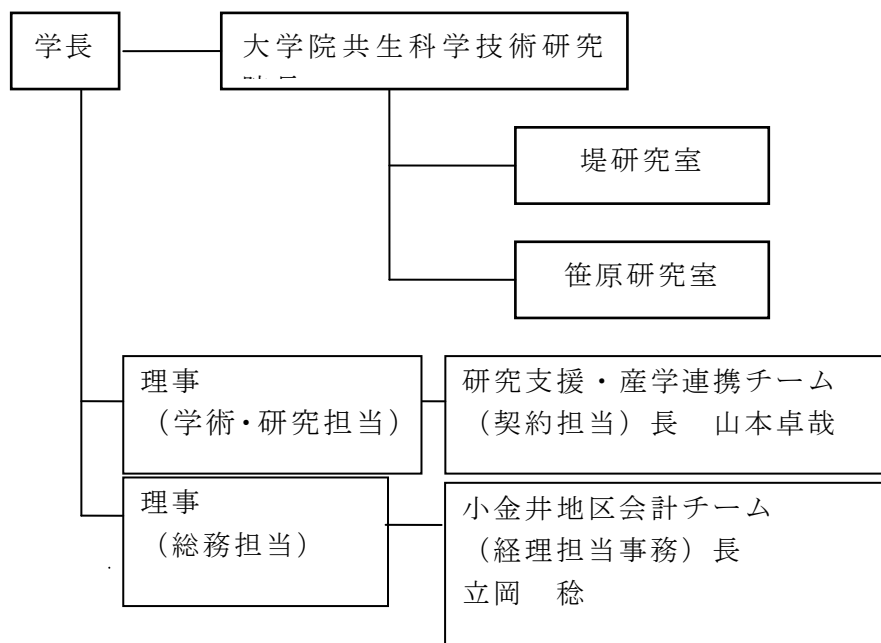
平和産業株式会社



株式会社 Nitolex



国立大学法人東京農工大学



③ アドバイザー

氏名	所在地又は住所	所属機関
柴田 亮太	〒485-8561 愛知県小牧市東田中 1200	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
森岡 武	〒351-0193 埼玉県和光市中央 1-4-1	株式会社本田技術研究所 基礎技術研究センター
岸本 政則	〒351-0193 埼玉県和光市中央 1-4-1	株式会社本田技術研究所 基礎技術研究センター
山本 博雅	〒480-0197 愛知県丹羽郡大 口町竹田 1-131	ヤマザキマザック株式会社 技術生産本部 新技術開発部
伊藤 正昭	〒130-0015 東京都墨田区横網 1-6-1	三菱マテリアル株式会社 加工事業カンパニー
山之内 晃	〒464-0850 愛知県名古屋市 千種区今池 4-15-11	三菱マテリアルツールズ株式会社 中部支店
池内 洋一	〒673-8666 兵庫県明石市川崎町 1-1	川崎重工株式会社 ガスタービンビジネスセンター

1－3 成果概要：

本事業においては、以下を行った。

- ①高精度且つ、大量生産可能な位置決め冶具の開発。
- ②24h 無人運転に耐えうる砥石の開発。
- ③無人、連続運転においても寸法を監視、修正出来るメインコントロールプログラムの開発。

また、研削機はブレード専用の特殊機ではなく、誰にでも入手可能かつ安価な市販機で行う事もテーマと考え、今回はワルター社工具研削機『VISION』（図2）を選択した。砥石自動交換、ワークローダー、機内測定子、機内ドレス装置などが準備しており、これらをブレード用のコントロールプログラムでつなぎ合わせる事で目的が達成できる。



（図2 ワルター社『VISION』）

①高精度且つ、大量生産可能な位置決め冶具

当社ではすでに水（氷）を固定媒体とした拘束冶具について特許出願済みであったが、氷点下での機械稼働を避けるため、固定媒体を樹脂に変更し、射出成型技術を用い連続生産を可能とした。

位置決め精度についても想定していた精度は確保できたが、個々の製品ごとに要求値は異なる為、それぞれにおいて異なるノウハウが必要になると思われる。

②24h 無人運転に耐えうる砥石の開発

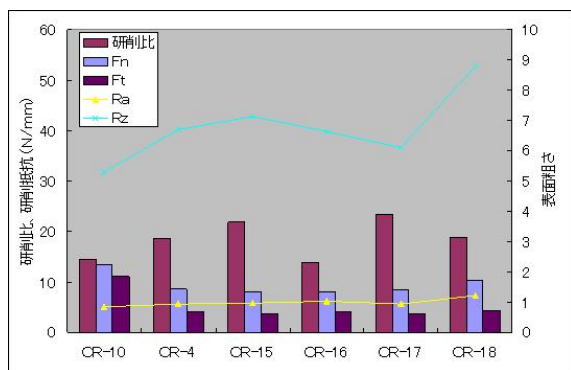
加工目標

- ・ 加工変質層 $5\mu\text{m}$ 以内（研削抵抗:15N/mm 以下）
- ・ 加工能率 $60\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{min}$
- ・ 研削比 60

砥石製作方法の最適化

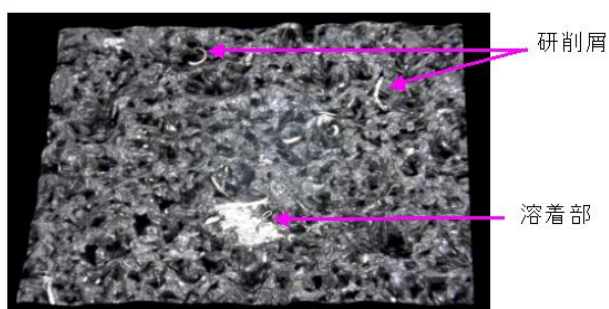
- ・ 製作コストを 30%削減

結果 $60\text{mm}^3/\text{mm} \cdot \text{min}$ にて研削抵抗 10N/mm、研削比 34 の CBN 170 L CR05NP が最良の結果であった（図3）。



(図 3 テスト結果)

加工後の表面には砥粒と結合剤の摩耗と溶着と研削屑が見られた (図 4)。
結合剤と砥粒の耐摩耗性の向上と研削液による冷却、研削屑の排出が必要。



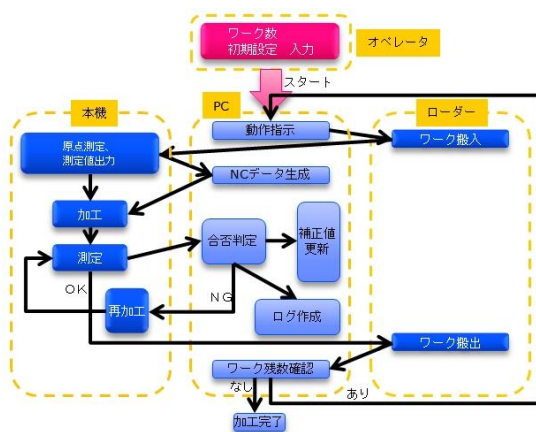
(図 4 加工後砥石表面写真)

現在のところ CR05NP 結合剤を用い、# 140~200、K~L、集中度 150 のホイールが最も適している。

砥石の形状だしが容易な CR 系結合剤を用いることで形状は容易に成形できる。

③無人、連続運転においても寸法を監視、修正出来るメインコントロールプログラムの開発

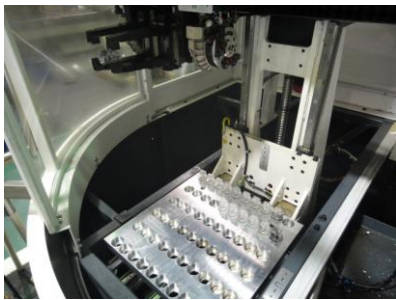
通常ワルター社マシンは工具研削用専用ソフトを用いて運用されているが、下記のような順で処理を行い、ポストプロセッサ、測定&合否判定、ドレスなどの各要素となるプログラムも専用のものを開発した (図 5)



(図 5 加工フローチャート)

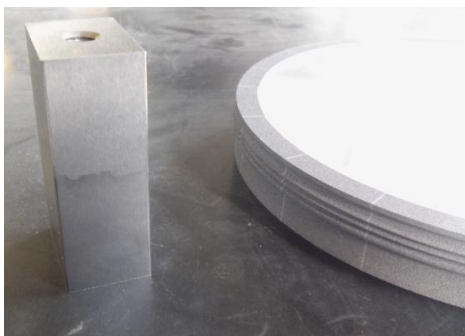
■開発された製品・技術のスペック

24h 無人連続運転が可能になり、運転中の寸法監視、測定子のキャリブレーションを適度に行う事により安定した寸法が得られた(図 6)。



(図 6：固定済みブレードとオートローダー)

専用金型でニアシェイプ状にプレスすることで原材料の使用量が 10～40%削減 (図 7)。



(図 7 ニアシェイプ金型)

1－4 当該プロジェクト連絡窓口：事業管理者

住所：東京都小金井市中町 2－24－16
名称：農工大ティー・エル・オー株式会社
代表者役職・氏名：代表取締役社長・伊藤 伸
Tel:042-388-7254 Fax:042-388-7255
E-mail:shin@tuat-tlo.com

連絡担当者所属役職・氏名：シニアアソシエイト・木下 豊
Tel:042-388-7254 Fax:042-388-7255
E-mail:office@tuat-tlo.com