

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「航空機用薄型FRP複合材の効率的加工に関する開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 9月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人石川県産業創出支援機構

# 目 次

## 第1章 研究開発の概要

1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
2	研究体制	2
3	成果概要	6
4	当該研究開発の連絡窓口	6

## 第2章 FRP複合材に適した切削工具形状の研究

## 第3章 薄型複雑形状を有するFRP複合材の固定治具の開発

## 第4章 効率的加工技術の確立

## 第5章 完全自動化を達成するためのバリ取りロボットを付加した 専用複合加工機の開発

## 第6章 全体総括

## 第1章 研究開発の概要

### 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### 1-1 研究開発の背景

次世代航空機では、機体の約50%がFRP複合材である。主翼を組み立てる最終取り付け部品であるアクセスパネルは、他部品の公差が蓄積していることから、設計通り製造しても機体には取り付けることができず、現状は機体に合わせた加工を手作業で行っている。本研究開発では、アクセスパネルのような複雑形状であり、難削材であるFRP複合材において多品種少ロット部品の加工技術の確立、安全環境に配慮した自動加工装置の開発を行った。

#### 1-2 研究の目的

航空機主翼表面の部品に代表される複雑形状を有するFRP複合材加工において、多品種少ロット部品の加工技術確立、安全環境に配慮した自動加工装置の開発を行い、高精度でかつ加工時間の短縮を実現することにより今後の増産ニーズに対応することを目指す。

#### 1-3 研究の概要

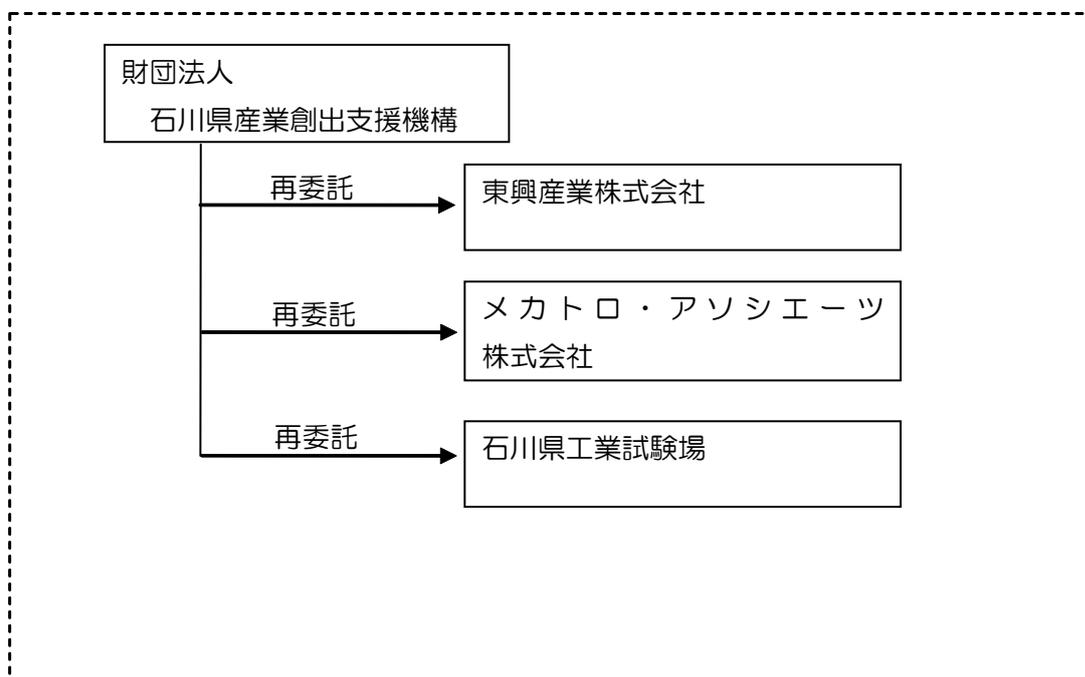
軽量で高強度なFRP複合材で設計された航空機の製品は、軽量化のために薄く設計されたものが多いが、薄くて複雑形状（凹凸がある）の被削材を固定するための専用治具は製品化されていない。そのため薄くて凹凸のある被削材をしっかりと固定することが出来ず、切削時の振動やドリル貫通時の反動で切削精度が確保できない等の問題がある。現状では被削材を手加工しており、早急な加工治具と工具の開発が望まれている。これらを機械加工化することで高精度化かつ加工時間の短縮を図ることができ、さらに品質の安定化が期待できる。

薄型FRP複合材の自動加工化のための技術課題を示す。

- ・薄くて複雑形状のFRP複合材を高効率に加工できる工具の開発
- ・薄くて複雑形状のFRP複合材を固定するための専用治具の開発
- ・上記開発工具及び治具を用いた効率加工のための最適条件抽出
- ・完全自動化を達成するための専用複合加工機の設計指針の確立

## 2 研究体制

### 2-1 研究組織（全体）



総括研究代表者（PL）

東興産業株式会社

代表取締役 間戸朋之

副総括研究代表者（SL）

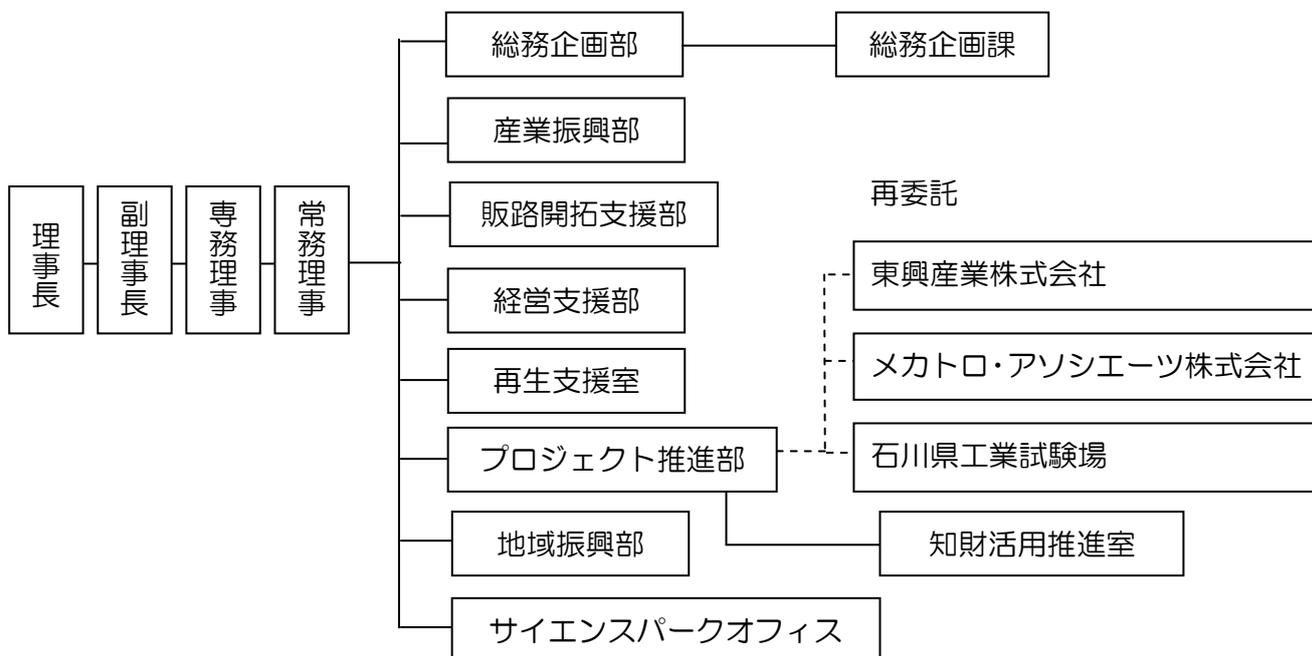
メカトロ・アソシエーツ株式会社

代表取締役 酒井良明

## 2-2 管理体制

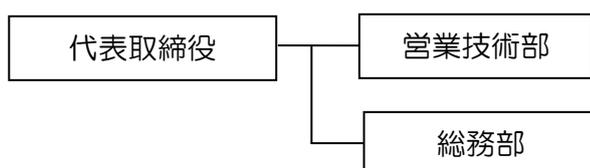
### (1) 事業管理者

財団法人石川県産業創出支援機構

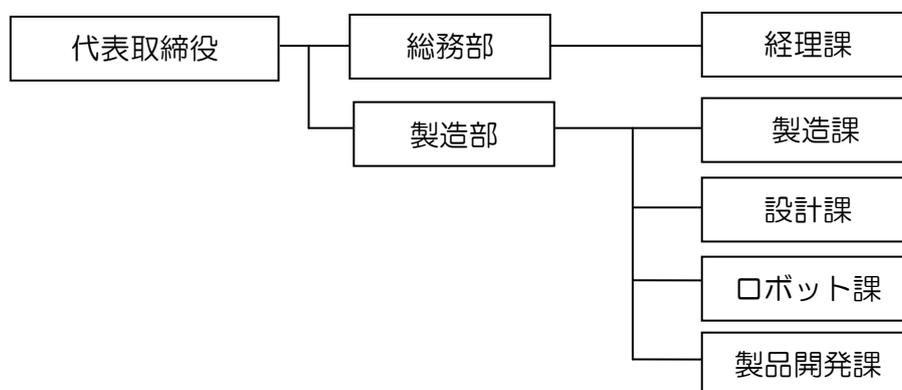


### (2) 再委託先

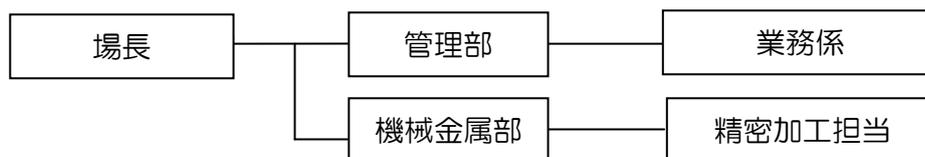
東興産業株式会社



メカトロ・アソシエーツ株式会社



石川県工業試験場



2-3 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人石川県産業創出支援機構  
管理員

氏名	所属・役職
西村 聡	プロジェクト推進部長
高畑 典男	プロジェクト推進部知財活用推進室長
中尾 一也	総務企画部 総務企画課長

【再委託先】

研究員

東興産業株式会社

氏名	所属・役職
間戸 朋之	代表取締役
辻谷 正彦	営業技術部・主任
石川 晃宏	営業技術部

メカトロ・アソシエーツ株式会社

氏名	所属・役職
酒井 良明	代表取締役
坂井 信洋	ロボット課・課長
藪内 文雄	設計課
長岡 稔	ロボット課
灰田 聖	製造課
金田 洋一郎	ロボット課

石川県工業試験場

氏名	所属・役職
南川 俊治	機械金属部・部長
廣崎 憲一	機械金属部・研究主幹
山下 順広	機械金属部・技師

## 2-4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

### 【事業管理者】

財団法人石川県産業創出支援機構

(経理担当者)	総務企画部 総務企画課長	中尾 一也
(業務管理者)	プロジェクト推進部長	西村 聡

### 【再委託先】

東興産業株式会社

(経理担当者)	総務部	義浦 裕美
(業務管理者)	営業技術部 主任	辻谷 正彦

メカトロ・アソシエーツ株式会社

(経理担当者)	総務部 経理課	二木 真奈美
(業務管理者)	ロボット課 課長	坂井 信洋

石川県工業試験場

(経理担当者)	管理部 業務係 主幹	梶 清孝
(業務管理者)	機械金属部長	南川 俊治

### 3 成果概要

従来の工具より切削抵抗及び加工時間を短縮可能な工具を開発した。また、高精度で安定した保持が可能な治具を開発し、同治具を備えた専用加工機を製作した。さらに、バリ取りロボットを開発し、トリミング加工からバリ取り加工まで一連の加工が可能な専用複合加工機を構築した。構築した専用複合加工機を用いれば、今後、品質の安定化と健康被害抑制が可能である。また、専用複合加工機による自動化により加工時間を従来の3～4時間／枚から1時間以内／枚に短縮可能である。

今後は、未検証であるアクセスパネルにおける最適加工条件の抽出及び専用複合加工機の製作を行い、事業化に向け検討を行う。

本研究開発の実現により、航空機の生産効率向上が見込まれ、今後の航空機増産に寄与するものとする。

### 4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人石川県産業創出支援機構

プロジェクト推進部 知財活用推進室長 高畑典男

Tel:076-267-6291 Fax:076-268-1322

Email:[takabatake@isico.or.jp](mailto:takabatake@isico.or.jp)

## 第2章 FRP複合材に適した切削工具形状の研究

### 1 研究内容

FRP複合材の穴あけ加工やトリミング加工において、各種工具によるFRP複合材の切削特性や加工面性状を評価するとともに、剛性の小さい薄型FRP複合材のたわみを抑制するために、加工プロセスにおける切削抵抗や切削トルクを軽減できる切削工具形状の検討を行った。

### 2 FRP複合材の切削特性試験

#### 2-1 検討内容

GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を対象に、ドリル工具による穴あけ加工や、エンドミル工具によるミーリング加工における切削抵抗の測定を行った。また、航空機や一般的工業材料として用いられるアルミ合金についても同様な加工試験を行い、切削特性における金属材料との比較検討を行った。

#### 2-2 成果

FRP複合材の切削に要する力は、アルミ合金を基準とした場合、連続切削となるドリル工具による穴あけ加工において約1/4、断続切削となるエンドミル工具によるミーリング加工において1/2程度となることがわかった。CFRPとGFRPの比較では、CFRPが10~20%程度GFRPよりも切削抵抗が高くなる傾向にあった。また、切削抵抗に及ぼす加工条件の影響については、一般的な金属材料の場合と同様に、切削速度に対しては依存性が小さく、送り速度に対しては1刃あたりの切削量が増加するため切削抵抗は上昇するが、比切削抵抗は減少する傾向がみられた。

### 3 切削工具形状の検討

#### 3-1 検討内容

剛性の低い薄型パネル部品に対して切削加工の安定性を図るため、ドリル工具及びエンドミル工具に関して切削抵抗を抑制できる切削工具の形状について、調査および開発を行った。また、工具寿命の長寿化を図るため、コーティングが工具寿命に及ぼす効果についても評価を行った。

#### 3-2 成果

##### (1) 穴あけ用ドリルの検討

薄板パネル部品のドリル加工時に発生するたわみを抑制することを目的に、加工時間

と加工品位を維持した条件の下、切削抵抗（特にスラスト荷重）を抑制するドリル工具の形状設計を行った。その結果、開発したドリル工具は、市販の標準型ドリルに比して、スラスト荷重を約 44%削減することができた。

## (2) 形状加工用エンドミルの検討

断続切削加工となるミーリング加工において、切削抵抗のピーク値を抑制するためには、刃数を増加し、1刃当たりの切削量を減少させる方が良く、また、エンドミルのリード角を小さくすることにより、工具軸方向の切削抵抗を抑えることができた。一方、それにより面内の切削抵抗（トルク）は増大するが、その面内の切削抵抗はニックを施した工具により抑制することが可能であった。本試験で最も切削抵抗が総合的に抑制できた工具は、ファインカット用である 12 枚刃ニック付き工具であった。

## (3) コーティングの検討

超硬ドリルに各種コーティングを施し、工具摩耗試験を行った。コーティング材種としては、GFRP材およびCFRP材の両者に対してダイヤモンドが最も耐摩耗性に富んでいた（図 2-1）。しかし、今回成膜したダイヤモンドの膜厚が 10um と厚く、切れ刃の切れ味が失われたものと考えられ、その結果、切削抵抗が大きく、加工品位が損なわれた。また、GFRP材においては、コーテッド工具がノンコート超硬工具に比べて耐摩耗性において優位性が認められず、加工品位に直結する切れ刃稜線の鋭利性を考慮した場合、ノンコートの超硬工具を使用することも可能と考えられる。

## 4 片持ち固定条件下における最適な加工条件の導出

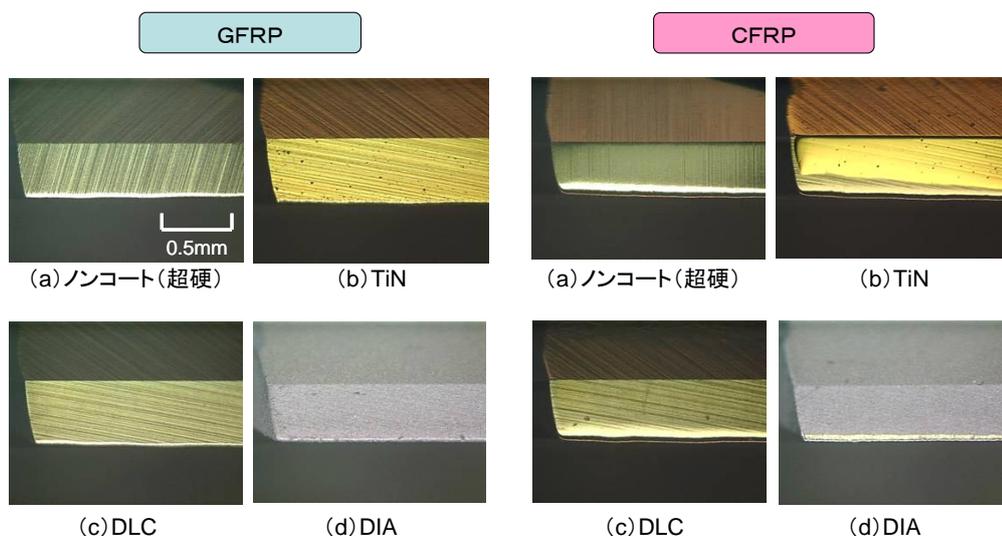


図 2-1 工具切れ刃の観察（500 穴加工終了時）

#### 4-1 検討内容

前節で開発したドリル工具を用いて、片持ち固定条件下における穴あけ加工を行った。また、市販ドリルによる加工も行い、それらの切削性能について比較評価した。

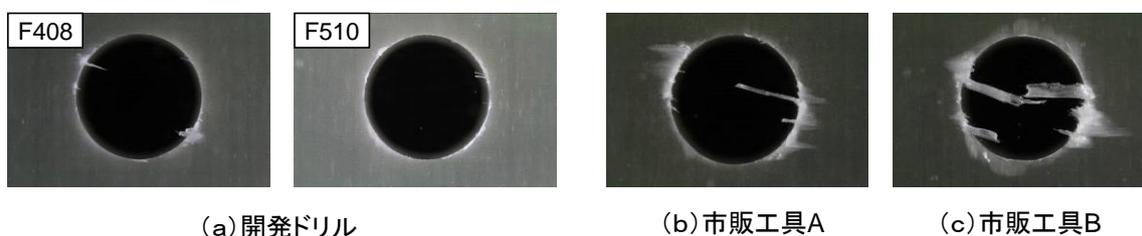
#### 4-2 成果

片持ち固定条件下における開発ドリルと市販ドリルとの性能比較をまとめて示す（表 2-1 及び図 2-2）。市販ドリルAを基準値とすると、開発ドリルは、スラスト荷重が 16N と市販ドリルAの 46%に縮小することができた。また、加工時間に関しては、市販ドリルAが 1.28 秒要するところを開発ドリルでは 1.0 秒となり、78%に短縮された。したがって、従来工具に対して、スラスト荷重で 30%の削減、加工時間で 10%の短縮目標を達成した。また、片持ち固定条件下において、開発ドリルを適用することにより、ワークのたわみ量が抑制され、その結果、加工穴径の偏差を抑制することができた。

表 2-1 片持ち固定条件下における開発ドリルと市販ドリルとの性能比較

工具種別	送り速度 (mm/min)	最大スラスト (N)	最大トルク (N・m)	実加工時間 (s)	UCFR※) (%)
開発ドリル	408	13	0.086	1.25	0.6
	510	16	0.083	1.00	0.9
市販ドリルA	204	35	0.075	1.28	3.1
市販ドリルB		33	0.098	1.50	17.1

※)加工穴に対するアンカットファイバの占有面積率



(a)開発ドリル

(b)市販工具A

(c)市販工具B

図 2-2 片持ち固定条件下における加工品位の比較

### 第3章 薄型複雑形状を有するFRP複合材の固定治具の開発

#### 1 開発内容

薄くて凹凸のある形状の被削材は切削時の反動等により切削精度が確保できない。そこで、様々な形状の被削材に対応するための固定治具を開発した。当該治具は、図 3-1 に示すように剣山のように小さな数多くの固定具が高さを調整しながら形状に沿うように被削材を下から支え固定できる構造とし、またその先端には真空パッドを取り付け、被削材を吸着して固定するものとした。

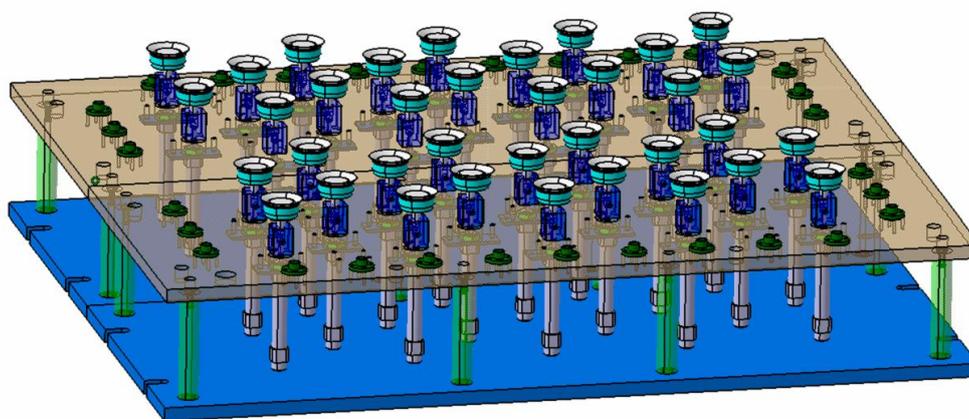


図 3-1 治具のイメージ

#### 2 吸着真空パッドの適用と配置スパンの検討

##### 2-1 検討内容

新規に開発する治具は、被削材を引き上げる方向にかかる力により被削材が外れないだけの固定力が必要になる。まず被削材にひずみが発生しない吸着パッドの素材、パッドサイズの検証を行い選定した。また、パッドの個数及び配置は、第2章で得られた切削特性より被削材にかかる力を算出し、固定に必要な吸着部の総面積を求め、様々な形状のアクセスパネルに対応できるよう検討した。

##### 2-2 成果

吸着パッドは、切削特性データを基に大きさを選定し、繰り返し耐久性、耐薬品性及び吸着後に色移りしない材質とした。また吸着パッドの個数は1支柱あたり複数個設置する構造とした。

さらに、支柱は水平方向に移動可能な構造とし、190～400[mm]までスライドできる機構とした。また、基本サイズ（1000[mm]×400[mm]以下）のFRP複合材がY軸方向中央（工作機の奥行き方向の中央）付近となるよう基準位置を決定した。

### 3 複雑形状に対応する高さ調整機能の開発

#### 3-1 検討内容

位置決め機構として、比較的安価なメカニカルシリンダーとエアシリンダーの採用を検討した。両シリンダーとも位置決め用のブレーキシステムは市販されているが、シリンダーの全長が1.5倍から2倍になる。それを採用すると治具の全高が高くなり段取りの作業性を損なうことになる。そこで、シリンダーを強固に固定できるコンパクトなブレーキシステムを開発した。またエアシリンダーに供給される空気圧をコントロールすることにより、形状になじむように固定治具の高さを自動で決める機構も開発した。

#### 3-2 成果

高さ調整は、支柱の高さ調整にメカニカルシリンダー、吸着パッドの高さ調整をエアシリンダーにて行う構造を開発した。エアシリンダーを併用することにより軽量かつコンパクトな構造を実現した。また、エアシリンダーには、形状に馴染んだ高さで位置固定可能とするためブレーキ機能を付与した。開発したエアシリンダーと市販のエアシリンダーの仕様の比較を表3-1に示す。

表 3-1 エアシリンダーの仕様の比較

	開発エアシリンダー	市販エアシリンダー
作動方式	複動型	複動型
使用流体	空気	空気
チューブ内径	20mm	20mm
ストローク	30mm	30mm
最高使用圧力	1.0MPa	1.0MPa
最低使用圧力	0.05MPa	0.15MPa
使用ピストン速度	50～500mm/s	50～500mm/s
保持力	130N	251N
全長（ロッド含む）	123.5mm	212mm
重量	480g	500g

## 4 自動制御シーケンスシステムの構築

### 4-1 検討内容

製品のCADデータから製品形状の高さや大きさの情報を取得し、それぞれの形状に合わせて、各機構をコントロールする（例えば、大きい製品の場合には多くの真空パッドを使用するが、小さい製品の場合には少ない真空パッドだけ使用し、残りの真空パッドは吸引動作を行わない等）システムを開発した。

### 4-2 成果

構築したシーケンスシステムの機能を以下に示す。

#### (1) スライダの移動

各支持点を固定物の形状に合わせて水平方向に移動する。

#### (2) メカニカルシリンダーの上昇・下降

各支持点で固定物の高さを決める。

#### (3) エアーシリンダーの上昇・下降

各支持点周辺の形状に馴染むように吸着パッドの高さを調整する。

#### (4) 吸着パッドの使用・不使用

必要なパッドのみ使用する。

#### (5) ブレーキシステムのON・OFF

形状に馴染んだ吸着パッドの高さを保持する。安定した加工の実現。

#### (6) 位置決め基準ピンの使用・不使用（上昇・下降）

アイテムの形状に合わせて最適な基準位置を使用する。

#### (7) 吸着状態の正常・異常チェック

正常に固定されていないことにより起こる事故の防止。

#### (8) 加工対象物の整合性チェック

加工対象物と加工データの喰い違いによる不具合品発生防止。

#### (9) 治具の状態（正常・異常）を工作機へ通信

正しく固定されていない場合はその瞬間にメッセージを表示し工作機を自動停止させ事故を防ぐ。

## 第4章 効率的加工技術の確立

### 1 研究内容

工具及び治具の試作開発が完了後、航空機用薄型FRP加工の切削性能試験を行い、最適条件の抽出を行う。具体的には送り速度、工具回転数を検討する。また、航空機用薄型FRP複合材には作業員2人で扱うような大きさのものもあり、専用加工機に載せたマルチワーク治具への段取り作業性や段取り時間の計測、固定状態の検証を行う。これにより安定的に高精度な加工を短時間でを行い、手加工ゼロ化を進めていく。

### 2 実施内容

開発した専用加工機を用いて、テスト材（ケミカルウッド）の切削加工を行った。加工の結果、要求されるトリム精度（0.254mm）を満たしていることを確認した。

### 3 まとめ

震災の影響により治具を構成する部品の調達に時間を要したことで、十分な切削試験を行うことができなかった。今後補完研究により、開発した工具及び治具を用いて最適加工条件の抽出を行う。

## 第5章 完全自動化を達成するためのバリ取りロボットを付加した専用複合加工機の開発

### 1 開発内容

現在自動化へのネックとなっているのは、治具工具も当然であるが、その後処理のバリ取りである。このバリ取りの自動化の開発をした。

開発は、自由曲面のエッジに対して形状に倣う動作をするバリ取りロボットの開発と、これを付加した専用複合加工機の構築を行った。

### 2 ロボットによるバリ取り専用CAD/CAMソフトの開発

#### 2-1 検討内容

現状、ロボットでバリを取るにはロボット実機によるティーチングが必要になる。本開発は3次元CADデータからロボットの軌跡を算出し、教示にてバリ取りを行うためのCAD/CAMソフトを開発する。また、ビジョンセンサーユニット及びレーザ変位センサーによって出力される製品加工位置データと、ロボットの軌跡データとの違いを計測し、電機制御盤を通してロボットの軌跡を補正するシステムを開発した。

開発内容としては、

- ・ 6軸ロボット専用3次元CAD/CAMシステムの開発
- ・ 3次元CAD/CAM座標をロボット軌跡プログラムに変換するシステムの開発
- ・ ロボットバリ取り専用コマンドの開発
- ・ ロボット用ティーチングペンダントタッチパネルの開発
- ・ ビジョンセンサー・レーザ変位センサーI/F 制御装置の開発

を行った。その内容をA社のコアを活用したプログラム作成に反映させ、開発及び検証を実施し、国内初の3次元CAD/CAMティーチングレスロボットシステムを短期間で確立した。

#### 2-2 成果

##### (1) 6軸ロボット専用3次元CAD/CAMシステムの開発

既存のCAD/CAMをベースに、B社製のロボットとカメラを用いた加工システムにおけるロボットジョブの元となる工具軌跡をCLデータ（エッジデータ）に生成するシステムを開発した。

開発により、工具軌跡は

- ・ CADモデル及び実測後CADに取り込んだ形状データ
- ・ 工具中心の移動軌跡座標値、工具半径分オフセットさせた座標値
- ・ 実加工部分だけでなく、延長した部分
- ・ 連続した複数の辺のデータ

において生成を可能とした。また、工具軌跡は、実加工部分と延長部分とで送り速度を独立して設定可能とした。

さらに、工具姿勢（工具ベクトル）は、任意の方向・角度を指示可能とした。

## (2) 3次元CAD/CAM座標をロボット軌跡プログラムに変換するシステムの開発

CAD/CAMから出力されたCLデータ（エッジデータ）を基に、バリ取り加工に必要な情報を取得し、ロボットプログラムを生成するシステムを開発した。

開発したシステムでは、

- ・ CLデータの表示
- ・ 工具方向（ベクトル）の表示
- ・ 表示したCLデータに加工条件を付加
- ・ データの編集

等を可能とした。CLデータの表示の例を図5-1に示す。

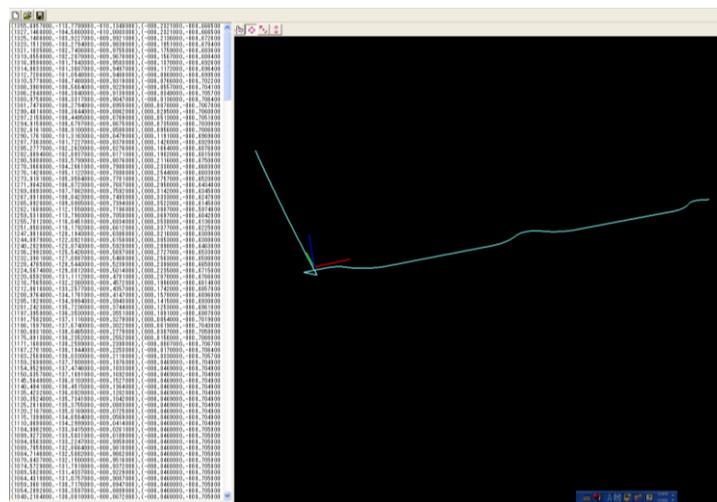


図5-1 CLデータの表示

(3) ロボットバリ取り専用コマンドの開発

CADデータと実ワークデータの差異をコントローラ内部にて演算するコマンドを作成した。処理は、実ワーク計測機器（ビジョンセンサー・レーザ変位センサー）から出力される位置データを、I/F 制御 BOX からロボットコントローラ内部デバイスネット基盤に取り込み、同データを内部マクロにて演算後、ロボットプログラムに反映するシステムとした。

(4) ロボット用ティーチングペンダントタッチパネルの開発

ロボットコントローラ用開発ソフト及びロボットティーチングペンダント開発ソフトを用いて、ティーチングペンダント用バリ取り専用操作画面を作成した。

従来及び開発したティーチングペンダントを図 5-2 に示す。



(a) 従来のペンダント



(b) 開発したペンダント

図 5-2 ティーチングペンダント

(5) ビジョンセンサー・レーザ変位センサーI/F 制御装置の開発

外部機器（ビジョンセンサー・レーザ変位センサー）にて計測したデータをロボットに転送するシステムを開発した。通信は、

- ・ビジョンセンサー、PLC 間はイーサネットと I/O
- ・レーザ変位センサー、PLC 間は I/O
- ・PLC、ロボット間はデバイスネット

により行うシステムとした。

### 3 ロボット専用バリ取りモータスピンドルの開発

#### 3-1 検討内容

本開発では、ロボットの先端にモータスピンドルを取りつけ、ロボットの機構に適した回転工具によるバリ取りを検討した。

#### 3-2 成果

ロボットのI/OによりPLCへ回転数の指令値を出力し、PLCで受け取った指令値をアナログ信号に変換しモータスピンドルの回転数を変化させるシステムを構築した。

### 4 バリ取りロボットを付加した専用複合加工機の構築

#### 4-1 検討内容

トリミング加工からバリ取り加工までの一連の加工が可能な専用複合加工を構築し加工時間の短縮と完全無人化を図った。

#### 4-2 成果

トリミング専用加工機及びバリ取りロボットの加工を考慮した複合加工機の検討・図面作成・部品製作を行った。

## 第6章 全体総括

### 1 研究開発成果

#### 1-1 FRP複合材に適した切削工具形状の研究

本項で得られた成果を以下に示す。

- (1) 切削抵抗に及ぼす加工条件の影響は、切削速度に対しては依存性が小さく、送り速度に対しては1刃あたりの切削量が増加するため切削抵抗は上昇するが、比切削抵抗は減少する傾向がみられた。
- (2) 段付き複合アングルドリル（SWAD）により切削抵抗（スラスト荷重）を抑制することができた。
- (3) エンドミル工具では、刃数が多く（12 枚刃）、ニック付きの工具が比較的切削抵抗が小さく、安定した加工が行えることがわかった。
- (4) コーティング材種の性能では、ダイヤモンドコートが最も耐摩耗性に優れていた。しかし、切れ刃の切れ味に及ぼす膜厚の影響を考慮する必要がある。
- (5) CFRPを切削した場合、TiN膜やDLC膜は工具逃げ面において削り取られる現象があり、効果が無かった。
- (6) GFRPはCFRPに比べて比較的工寿命が長く、切れ刃の切れ味を考慮した場合、ノンコート超硬工具が適している可能性がある。
- (7) 片持ち固定条件下において、SWAD工具を適用することにより、標準型ドリルに比べて、加工時間 10%、切削抵抗（スラスト荷重）30%の削減が可能であった。
- (8) 片持ち固定条件下において、SWAD工具を適用することにより、ワークのたわみ量が抑制され、その結果、加工穴径の偏差を抑制することができた。

#### 1-2 薄型複雑形状を有するFRP複合材の固定治具の開発

吸着パッドの形状や材質を検討し、FRP複合材を固定するのに必要な固定力を持つ治具を開発した。スライド式支柱及びブレーキ付エアシリンダー並びにシーケンスプログラムを開発し、精度を保てる剛性を持ち、複雑形状に柔軟に適応可能な治具を開発した。

開発した治具の仕様を以下に示す。

- (ア) 固定対象サイズ：max 1300×1300×100[mm]
- (イ) 吸着パッドによる吸着固定
- (ウ) 位置調整機構
- (エ) シーケンス制御による各機構のコントロール

(オ) 段取りミス検出機能

(カ) 所要動力源

① 電源 …… AC200[V], 60[Hz], 40[VA]以下

(一次側 200[V]、内部 24[V]仕様)

② 使用空気圧 …… 0.5[kPa]以下

(キ) 安全機能付き

### 1-3 効率的加工技術の確立

開発した専用加工機を用いて、テスト材（ケミカルウッド）の切削試験を行った。切削試験の結果、要求されるトリム精度（0.02[mm]）を満たしていることを確認した。しかし、震災の影響により治具を構成する部品の調達に時間を要したことで、十分な切削試験を行うことができなかった。

### 1-4 完全自動化を達成するためのバリ取りロボットを付加した専用複合加工機の開発

本項で得られた成果を以下に示す。

- (1) 3次元 CAD データから、ロボットプログラムの元となる工具軌跡をCLデータ（エッジデータ）に生成するシステムを開発した。
- (2) 編集・追加する機能を有した、3次元 CAD/CAM より出力されCLデータをロボットプログラムに変換するシステムを構築した。
- (3) CAD データと実ワークデータの差異をコントローラ内部にて演算するコマンドプログラムを開発し、ロボットを自動軌跡補正することができた。
- (4) ロボットコントローラ開発ソフトにて、バリ取り専用コマンド及び、加工条件などを設定するロボットペンダント用操作画面を作成した。
- (5) ロボットの操作画面にてモータスピンドルの回転速度を設定するシステムを構築した。
- (6) ビジョンセンサー及びレーザ変位センサーを考慮した、軽量かつ小型のツールを製作した。
- (7) 専用加工機及びバリ取りロボットの加工を考慮した複合加工機の検討を行い、図面を作成した。

## 2 今後の課題

各研究開発項目における今後の課題を以下に示す。

- (1) FRP複合材に適した切削工具形状の研究
  - ・開発ドリルの剛性について検討
  - ・開発ドリルのねじれ角について検討
- (2) 薄型複雑形状を有するFRP複合材の固定治具の開発
  - ・吸着パッドの塗装への影響を調査
  - ・固定力の実測
  - ・シーケンスシステムにおける安全チェック機能の追加
- (3) 効率的加工技術の確立
  - ・アクセスパネルの最適加工条件の抽出
- (4) 完全自動化を達成するためのバリ取りロボットを付加した専用複合加工機の開発
  - ・3次元CAD/CAMソフトに軌跡変換システムを組み込む
  - ・航空機部品に適した精度の追求
  - ・軽量化を進めている電気自動車産業向け機器への転用