

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「樹脂製導光板に三次元形状の微細溝を精密加工するために、  
被加工面形状の機上計測機能を具備した多軸制御工作機の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成25年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人名古屋産業振興公社

## 目 次

第1章 研究開発の概要.....	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	1
1-2 研究体制（研究組織、研究者氏名、協力者）.....	1
1-3 成果概要.....	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口.....	7
第2章 機上計測機能の開発.....	8
2-1 研究目的.....	8
2-2 研究目標.....	8
2-3 結果.....	8
2-3-1 多軸制御工作機械（試作機）のレーザセンサでの測定.....	8
2-3-2 多軸制御工作機械（試作機）による加工面補正試験.....	8
第3章 高速工具ホルダ（テストベンチ）の開発改良.....	9
3-1 研究目的.....	9
3-2 研究目標.....	9
3-3 結果.....	9
3-3-1 弾性支持形式の改良.....	9
3-3-2 エアベアリングへの換装.....	10
3-3-3 ミーリングユニットの追加.....	10
第4章 多軸制御工作機（試作機）の3Dモデルと多軸制御工作機（試作機）による振動 解析と制振制御システムの開発.....	11
4-1 研究目的.....	11
4-2 研究目標.....	11
4-3 結果.....	11
4-3-1 主軸ユニットの改良点.....	11
4-3-2 振動測定部位と測定条件.....	11
4-3-3 測定結果.....	12
第5章 多軸制御工作機（試作機）の開発改良.....	13
5-1 研究目的.....	13
5-2 研究目標.....	13
5-3 結果.....	13
5-3-1 微細溝の形状、面粗さ測定および結果.....	13
5-3-2 切削速度課題と多種加工パターンサンプル作成.....	13
第6章 加工プログラム作成支援ソフトウェアの開発.....	14
6-1 研究目的.....	14

6-2	研究目標.....	14
6-3	結果.....	14
第7章	切削工具の開発.....	15
7-1	樹脂導光板加工に適した切削工具の設計製作.....	15
7-1-1	研究目的.....	15
7-1-2	研究目標.....	15
7-1-3	実験方法と結果.....	15
7-2	試加工による工具形状・精度の確定及び加工方法・条件の確立.....	17
7-2-1	研究目的.....	17
7-2-2	研究目標.....	17
7-2-3	実験方法と結果.....	17
7-3	研究成果.....	19
最終章	全体総括.....	20

## 第1章 研究開発の概要

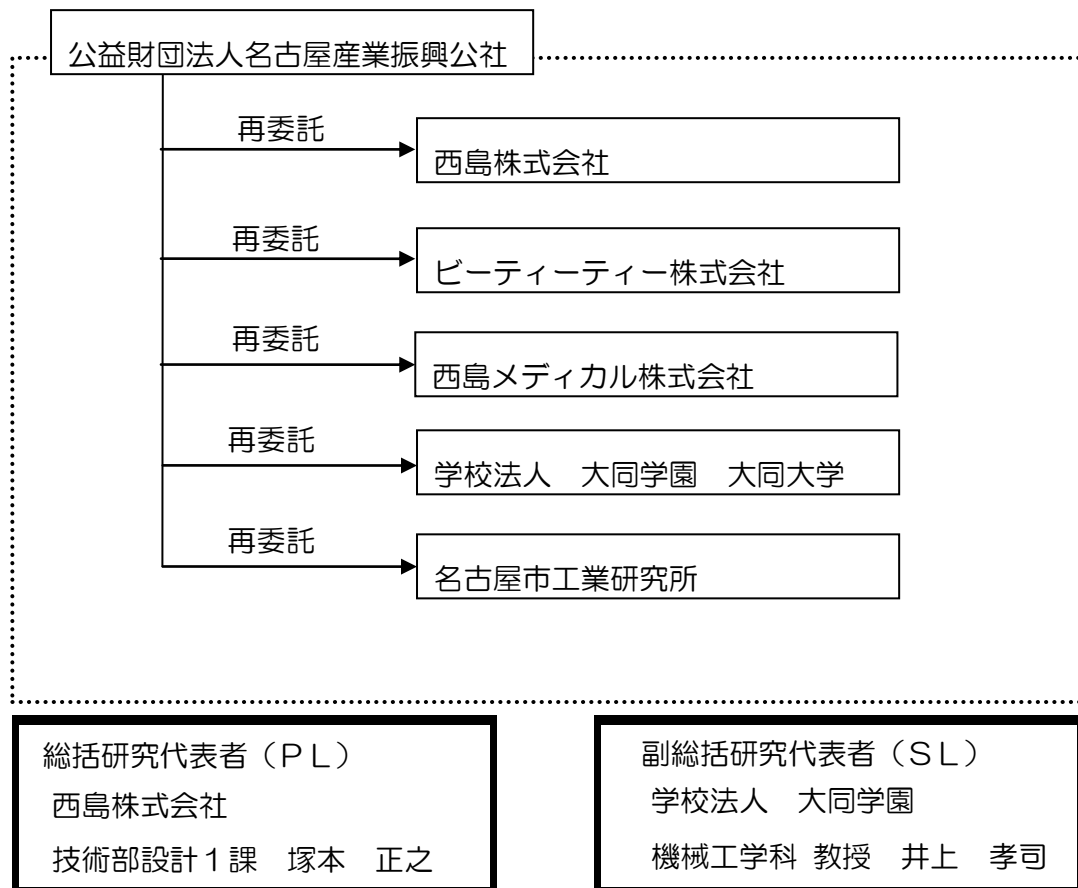
### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

従来、大型面発光看板等に用いられる導光板では、素材形状の変動による加工溝の不均一や、加工面の粗さの不安定性による発光ムラ、発光効率や輝度の低下などがみられた。また意匠性の高い製品に対する迅速な対応の難しさがあった。これら諸問題に 대응べく、被加工面計測、高速対応工具ホルダを搭載する多軸制御工作機、鏡面仕上げ、大面積加工に対応する切削工具、最適加工プログラム作成を支援するソフトウェアを含む加工システムを創出し実用に供するものである。また、川下企業のニーズに対応するため、本技術を用いてメガネレンズ等の光学部品も製造する。

### 1-2 研究体制（研究組織、研究者氏名、協力者）

#### (1) 研究組織

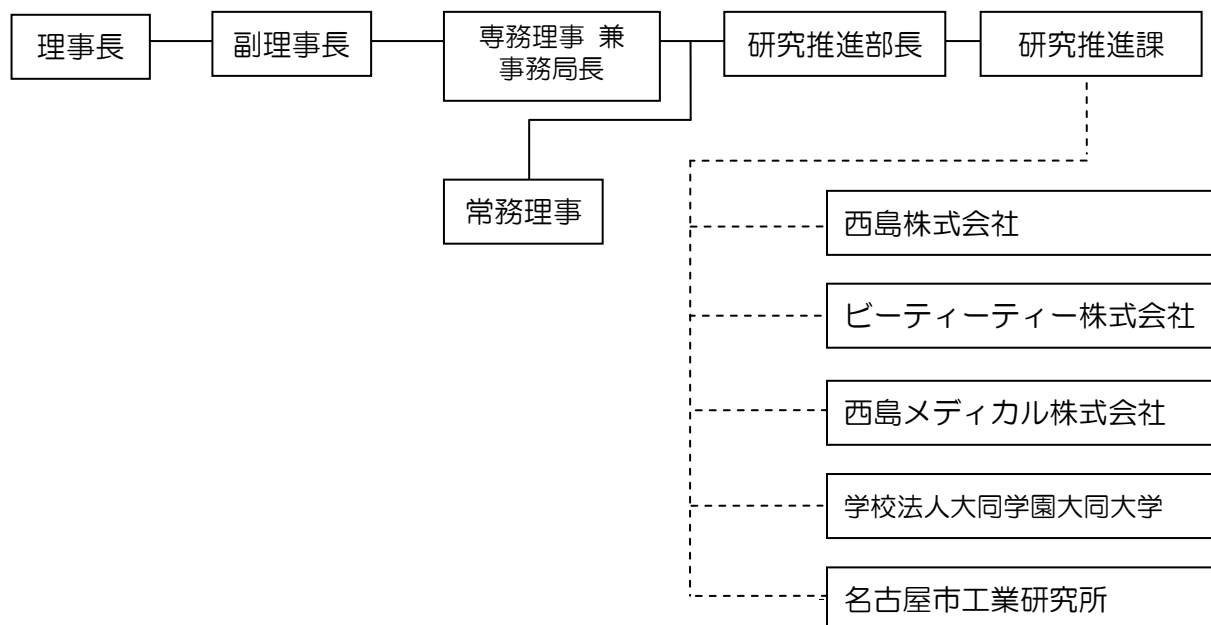
##### 1) 研究組織（全体）



## 2) 管理体制

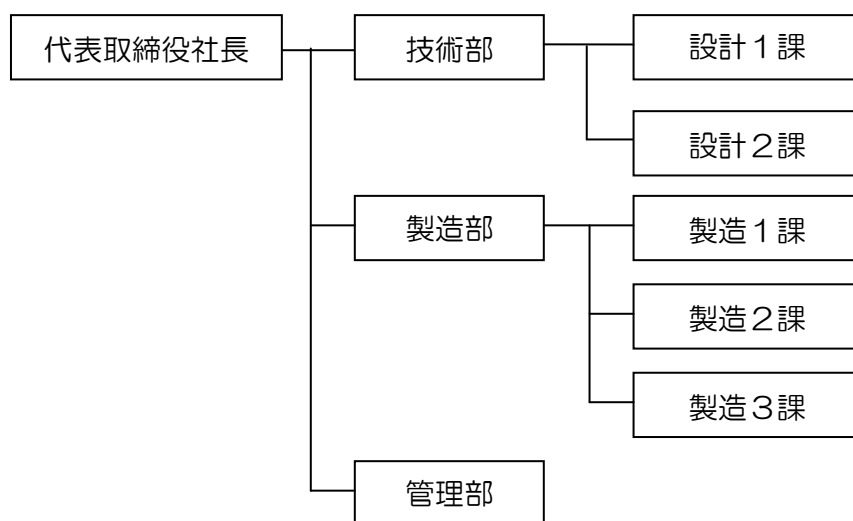
### ① 事業管理者

[公益財団法人名古屋産業振興公社]

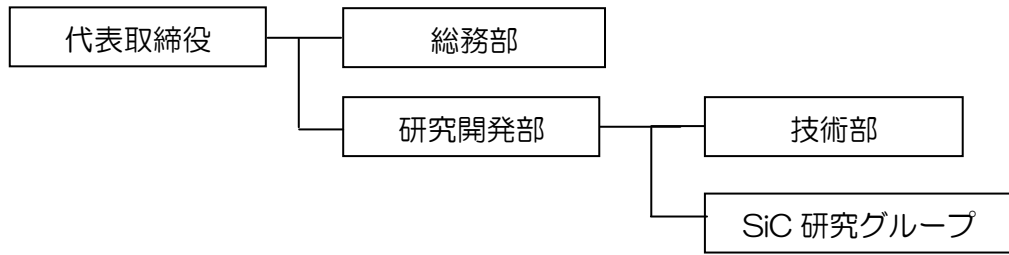


### ② 再委託先

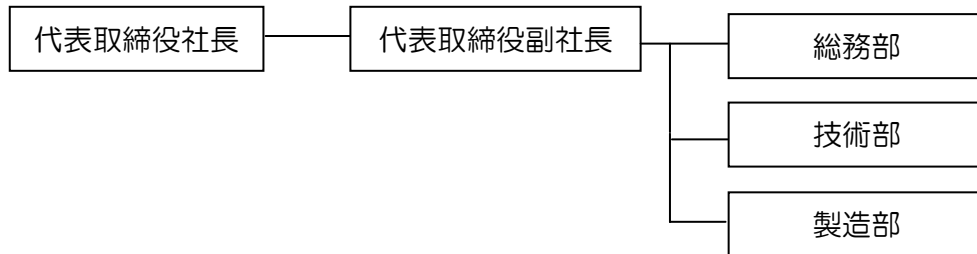
[西島株式会社]



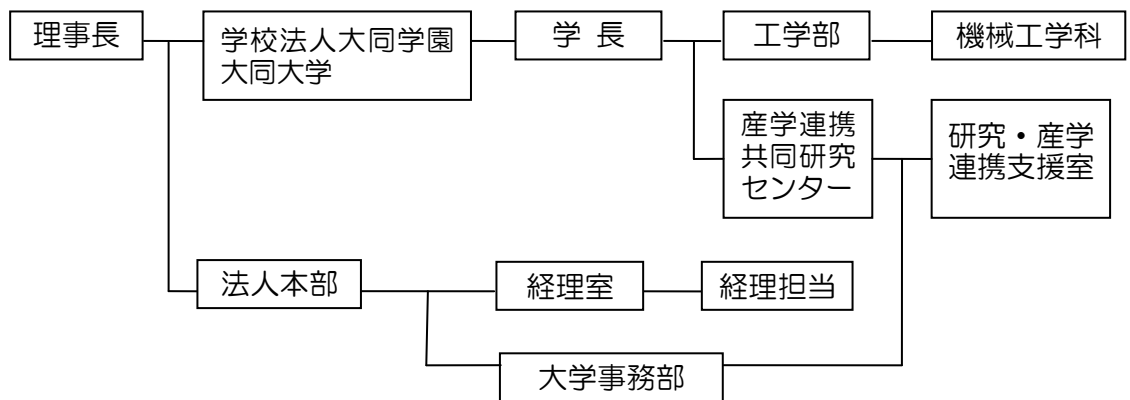
[ビーティーティー株式会社]



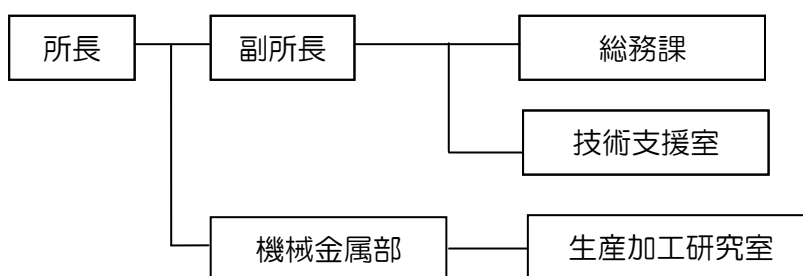
[西島メディカル株式会社]



[学校法人大同学園大同大学]



[名古屋市工業研究所]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 公益財団法人名古屋産業振興公社

管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
小島 雅彦	研究推進部長	⑤
稲垣 正人	研究推進課長	⑤
荒井 優佳	研究推進課	⑤

【再委託先】

研究員

西島株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
塚本 正之	技術部 設計1課	①②④
柴田 雅章	技術部 設計1課	①②④
大竹 伸明	技術部 設計1課	①②④
久保田和義	技術部 設計1課	①②④
大井 道隆	技術部 設計2課長	①②④
白井 彰	技術部 設計2課	①②④
安藤 英樹	技術部 設計2課	①②④
西島 正典	製造部 製造3課長	①②④
杉浦 敏弘	製造部 製造2課長	①②④

ビーティーティー株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
青木 渉	代表取締役	③④

西島メディカル株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
日垣 重彦	代表取締役副社長	①-1 ①-2 ①-5 ②③④

学校法人大同学園大同大学

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
井上 孝司	機械工学科 教授	①-3 ①-4 ④

名古屋市工業研究所

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
清水 孝行	機械金属部 生産加工研究室 主任研究員	①-2 ①-5 ④



## 1-3 成果概要

### 1-3-1 機上計測機能の開発

昨年度実装することができたマッピングデータを基に、多軸制御工作機（試作機）による加工面補正試験を行った。その結果、表面形状測定データの0.001秒内の高速書き込みによるマッピングデータを作成することができた。また、加工面補正の結果も溝深さのばらつきが0.02mm~0.03mm程度に抑えることができ、当初の目標を達成することができた。

### 1-3-2 高速応答追従システム（テストベンチ）の開発改良

昨年度までの刃具ホルダの弾性支持方式では、応答周波数と表面粗さについて目標とする数値に達することができなかった。今年度はこの弾性支持方式に改良を加えて目標とする応答周波数200Hzを達成することができた。

また加工面の表面粗さ向上のために主軸受を転がり軸受から空気静圧軸受へと換装した。このことにより振れ精度が1 $\mu$ m程度から、0.2 $\mu$ mに抑えることが可能となり、表面荒さについても目標とするRz=0.8 $\mu$ mを達成することができた。この時にバイナリ運転による高速駆動も可能となった。

さらに、レンズ加工時の荒取り用高速ミーリングヘッドの製作を行った。このことによりレンズ加工機の実用化を図る上で重要な量産化を行う上での工程の効率化を図ることができた。

### 1-3-3 3Dモデル・試作機による振動解析と制振制御システムの開発

多軸制御工作機（試作機）において動特性試験を行った結果、高速加減速時に主軸ユニットに著しい振動が発生した。このため、今年度は主軸ユニットの形状の見直しを行った。その結果、設計時における3Dモデルでの解析と、実機による運動特性の解析より従来の形状と比較して主軸ユニットの振動を抑えることができたことを確認した。

また、制振制御システムにおいても制御ゲインの自動調整を行い、制振動作パターンに応じた加減速を可能とすることにより、加工に問題ない機械振動に抑えることができた。

### 1-3-4 多軸制御工作機（試作機）の開発改良

昨年度に引き続き新CPU基板による多軸制御工作機（試作機）の試運転を行い、制御ソフト、ハードウェアの改善を行った。

当初の目標値である、真直度2 $\mu$ m/ストローク、位置決め精度：X、Y軸 $\pm$ 5 $\mu$ m、Z軸 $\pm$ 2 $\mu$ m、A、C軸 $\pm$ 0.002 $^{\circ}$ を達成することができた。切削送り速度は1m/secとなっており目標とする2m/secには達していない。また加工した溝形状、面粗さを測定評価し目標の面粗さをほぼ達成できた。

### 1-3-5 加工プログラム作成支援ソフトウェアの開発

多軸制御工作機（試作機）により、輝度、照度測定用のサンプルの製作を行った。また、従来のレーザ加工溝による導光板と比較を行った。その結果、90度の溝加工においてはレーザ加工溝よりも輝度が40%以上上回ることを確認し、多軸制御工作機（試作機）による溝加工の優位性を確認することができた。

### 1-3-6 樹脂導光板加工に適した切削工具の設計製作

前年度に開発した切断治具の改良により荒修正工程の省略が可能となる治具を開発した。また従来1枚ずつ研削加工していたものを8枚同時に加工可能な治具を新たに開発した。この2点の治具により量産化に向けての工具製造時間を短縮した。被削材に対する工具の最適進入角度を分析し切削抵抗及び切屑排出性を改善した。SiC単結晶の切削面をCMPにおいて、刃先丸み20ナノメートルを達成した。

### 1-3-7 試加工による工具形状・精度の確定及び加工方法、条件の確立

樹脂性導光板の入光部分の切削加工用超硬エンドミルの切れ刃エッジの鋭利化を進め、刃先丸み0.5 $\mu$ mを実現した。導光板最適溝形状の確定のため超微粒超硬で刃先丸み0.5から2.0 $\mu$ m、刃先角度90°チップを試作しそれによって加工された導光板の輝度が従来のレーザ加工溝の約1.5倍となった。

### 1-3-8 事業化の検討

研究開発の事業化については、サブテーマに関わる技術を高度化していきながら、最終製品の完成と事業化を目指した。具体的には以下について取り組んだ。

- 多軸制御工作機の事業化に係る検討
- 導光板の製品サンプルを作成
- レンズサンプル加工実施
- ミーリングユニットの他機種への転用検討

### 1-3-9 プロジェクトの管理運営

アドバイザーを交えた「研究開発委員会」を3回実施し、研究開発における問題点や課題などを協議して進捗状況や開発状況を管理し、突発的な問題に対しては、必要に応じて検討会を開催するなどして柔軟に対応した。これらにより研究計画の円滑なスケジュール管理を行った。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### **総括研究代表者**

西島株式会社

設計一課 塚本 正之

TEL 0532-88-5511

FAX 0532-88-5523

E-mail: tech@nishijima.co.jp

### **事業管理者**

公益財団法人名古屋産業振興公社

研究推進部 研究推進課 小島 稲垣 荒井

TEL 052-736-5680

FAX 052-736-5685

E-mail: kojima@nipc.city.nagoya.jp

## 第2章 機上計測機能の開発

### 2-1 研究目的

変位センサにより素材樹脂板の表面の形状を測定し、導光板加工用の加工プログラムの補正用データとして使用するマッピングデータを作成する。試作機主軸部に変位センサを取り付け、主軸を移動、素材表面を走査し、その高さを読み込みデータテーブルに書き込む。また、表面の形状測定データの高速（0.001秒以内）での書き込み、加工時の読み出しに対応する機上計測ソフトウェアを開発し、制御装置の機能として組み込む。

### 2-2 研究目標

測定データよりマッピングデータを作成し多軸制御工作機（試作機）の動作制御ソフトに取り込み、その上で加工軌跡の補間データを作成し、加工面補正試験を行う。

### 2-3 結果

#### 2-3-1 多軸制御工作機（試作機）のレーザセンサでの測定

アクリル板素材の平面度測定の機上での測定を[図2-1]に示す。

また、5mm 間隔で作成したマッピングデータにおいてエラーとなるデータや、測定漏れとなるデータが無いことから、0.001秒内での高速書き込みの実現ができたと判断できる。

#### 2-3-2 多軸制御工作機(試作機)による加工面補正試験

作成されたマッピングデータを基に500×500mm、厚さ10mmのアクリル板に溝形状の加工、溝形状の測定を行った。

マッピングデータを基にしたフィードバック有りの溝形状加工の深さ測定の結果を[表2-1]へ示す。フィードバック無しの加工として従来よりあるレーザ加工と比較した。

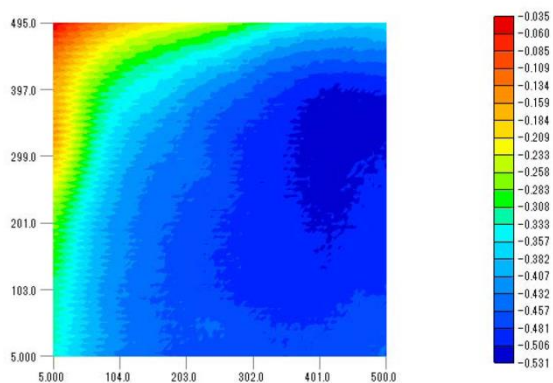
(mm)

サンプル位置	フィードバック無し (レーザ加工)	フィードバック有 り①	フィードバック有 り②
1-1	0.444	0.177	0.112
1-5	0.383	0.179	0.127
3-3	0.283	0.156	0.12
5-1	0.252	0.172	0.11
5-5	0.283	0.145	0.113
誤差	0.192	0.034	0.017

[表2-1] 形状フィードバックの効果代表例

使用したアクリル板材は最大で0.5mm程度の板厚誤差を持っている。フィードバック有りの加工では無に比べて深さ誤差が非常に小さくなっている。深さ誤差が大きいと溝断面積の変化が大きくなり、発光ムラの原因となる。

マッピングデータを利用することにより、安定した溝加工を行うことができた。



[図2-1] アクリル板素材の機上での測定

### 第3章 高速工具ホルダ（テストベンチ）の開発改良

#### 3-1 研究目的

超高速加工となる本システムでは、複雑で精密な被加工面形状に正確に応答する駆動装置、高速応答追従システムが要素として必要になる。本研究ではピエゾスタックによる駆動システムを備えた高速応答追従システム（テストベンチ）の開発改良を進める。

#### 3-2 研究目標

昨年度試作した弾性支持ピエゾスタックによる駆動システムの応答性に問題があったため、これらの不具合の解消と評価を行う。

またレンズ試加工において面粗度が良くなかった。機械構成の検討の結果、軸受構造に問題があると思われるため、主軸にエアベアリングを換装し性能評価を行う。

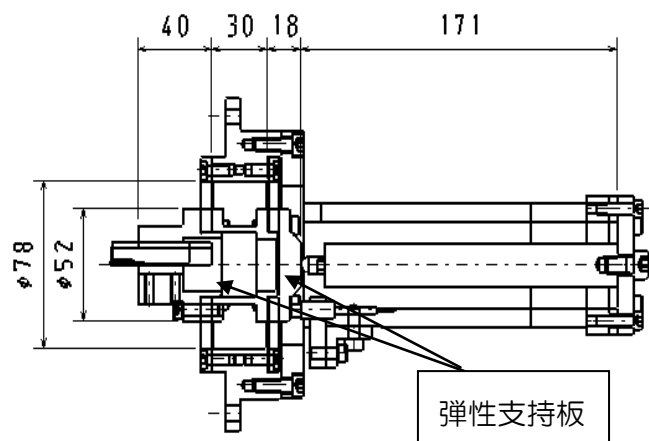
#### 3-3 結果

##### 3-3-1 弾性支持形式の改良

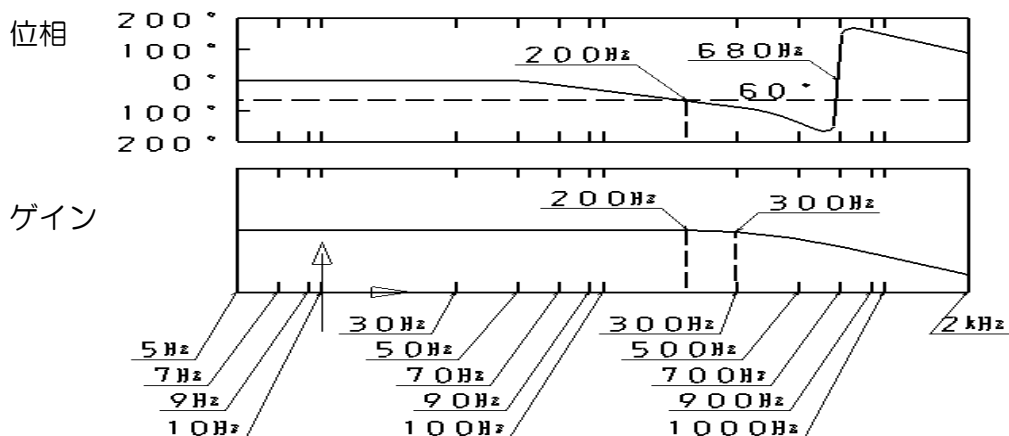
数種類の弾性支持板（ばね）を試作し、評価を行った。[図3-1]に弾性支持ホルダ構造を示す

応答性の評価により雲型バネの構造が良い結果を得ることができた。[図3-2]に周波数応答測定結果を示す。

ゲイン特性において、200Hz までほぼ減衰がなく、その後の低下も 300Hz 程度まで緩やかで安定している。位相特性においても同様に、300Hz では 90° 以下の遅れであり安定している。今回目標とする 200Hz 以上の応答性は達成することができた。



[図3-1] 弾性支持ホルダ

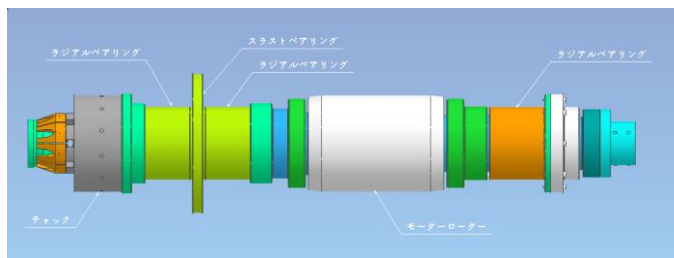


[図3-2] 雲型バネタイプの弾性支持板の周波数応答結果

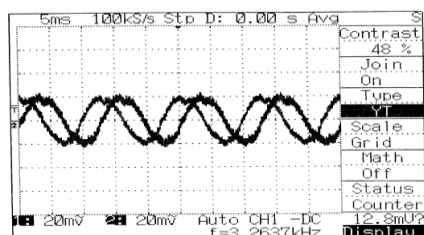
### 3-3-2 エアベアリングへの換装

[図3-3]に試作、換装したエアベアリング搭載スピンドルの構成を示す。

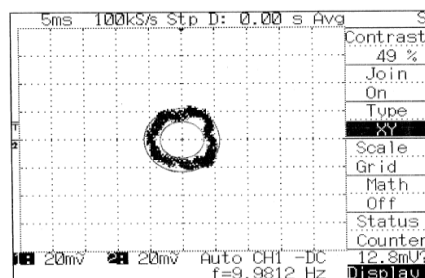
[図3-4]に、チャック部外径振れを示す、外周の振れは  $1\mu\text{m}$  以内に収まっている。正弦波状の振れは、測定部分の機械的精度が現れており、エアベアリングの精度としては高調波成分として観察される右側のデータにおける二重円の幅が相当する。この部分は  $0.2\mu\text{m}$  程度で、これが現状のエアベアリングの精度と考えられる。



[図3-3] エアベアリング搭載スピンドルの構成



横軸 時間 5ms/1目盛  
縦軸 変位 20mV/1目盛  
40mV/1  $\mu\text{m}$



横軸 変位 20mV/1目盛  
40mV/1  $\mu\text{m}$   
縦軸 変位 20mV/1目盛  
40mV/1  $\mu\text{m}$

[図3-4] 4800rpm における外周の振れ

次に、固有振動数、剛性等を[表3-1]に示す。

今後は、未測定のアキシャル方向の振れ特性の評価を行い、試加工により性能確認を進める。

	ラジアル方向	アキシャル方向
固有振動数	695Hz	478Hz
剛性	381N/ $\mu\text{m}$	190N/ $\mu\text{m}$
慣性(質量)	0.45kgm <sup>2</sup>	21kg

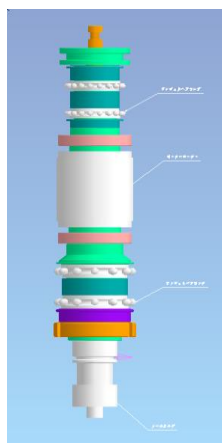
[表3-1] エアベアリング特性

### 3-3-3 ミーリングユニットの追加

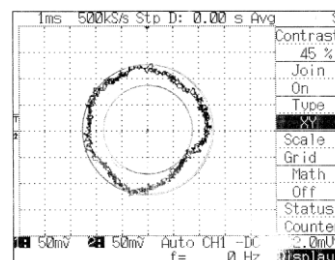
レンズ加工の実用化に向けて、レンズ加工の高效率化を図るために荒取り加工用のミーリングユニットの製作を行った。

ミーリングユニットの構造を[図3-5]に、12000rpm 時の外周振れを [図3-6] に示す。

エアベアリングの外周振れ測定の時と同様に、測定部の機械的精度により振れは大きいですが、二重円の幅では  $1\mu\text{m}$  以内に収まっているので、目標とする振れは達成できている。



[図3-5]



横軸 変位 50mV/1目盛  
40mV/1  $\mu\text{m}$   
縦軸 変位 50mV/1目盛  
40mV/1  $\mu\text{m}$

[図3-6]

## 第4章 多軸制御工作機（試作機）の3Dモデルと多軸制御工作機（試作機）による振動解析と制振制御システムの開発

### 4-1 研究目的

制振制御システム開発の基礎データとして、機械本体の振動特性、剛性を把握する。制振制御システムを機械に搭載するに当たって、有効なシステムを実現するためには多軸制御工作機（試作機）の動作に起因する振動、切削に起因する振動を十分把握した上で進める必要がある。3Dモデル上の解析と実機からのセンサデータからの解析を統合し、本機特性に最も適合し動作制振ソフトに組み込むにあたって無理のない制御システムを開発する。

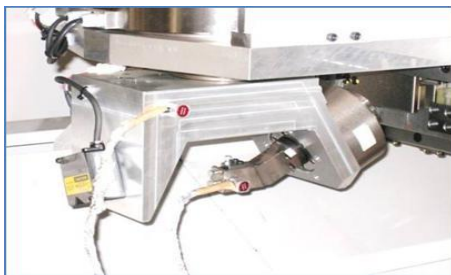
### 4-2 研究目標

昨年度の多軸制御工作機(試作機)の動特性性能試験を行った結果、高速加減時に主軸ユニットに著しく振動が発生した。このため、今年度は主軸ユニットの形状の見直しを行い、運動特性の解析を行う。

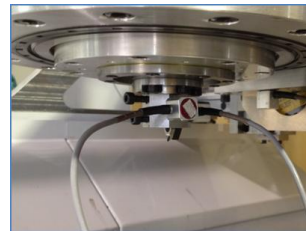
### 4-3 結果

#### 4-3-1 主軸ユニットの改良点

旧仕様の主軸ユニットを[図4-1]に、新仕様の主軸ユニットを[図4-2]に示す。



[図4-1] 旧仕様主軸ユニット

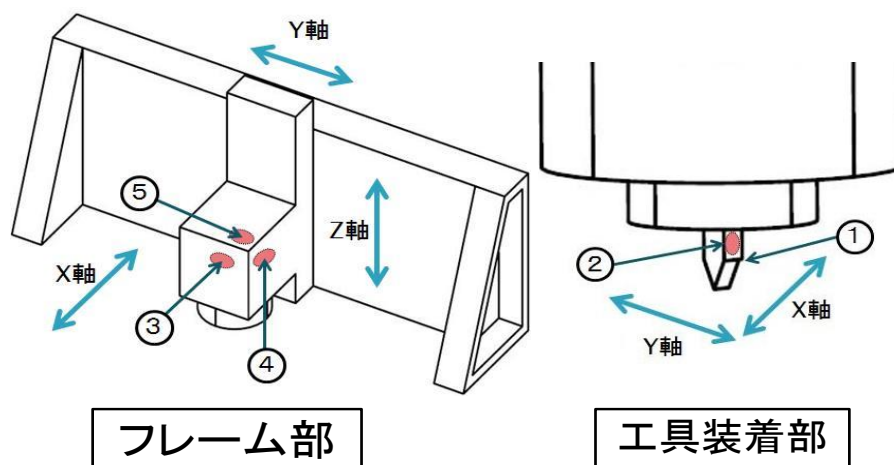


[図4-2] 新仕様主軸ユニット

#### 4-3-2 振動測定部位と測定条件

機上に加速度変換器を取り付け、条件を設定して測定した。今回の測定部位を[図4-3]、切削条件を[表4-1]に示す

工具ホルダ部 ①② 2カ所  
旋回ヘッド部 ③④⑤ 3カ所



[図4-3] 測定部位



1 切削条件

送り速度 (m/min)	3
切り込み量 (mm)	0.05・0.10・0.15

2 主軸部の回転速度

回転速度 (rpm)	60・120・150
------------	------------

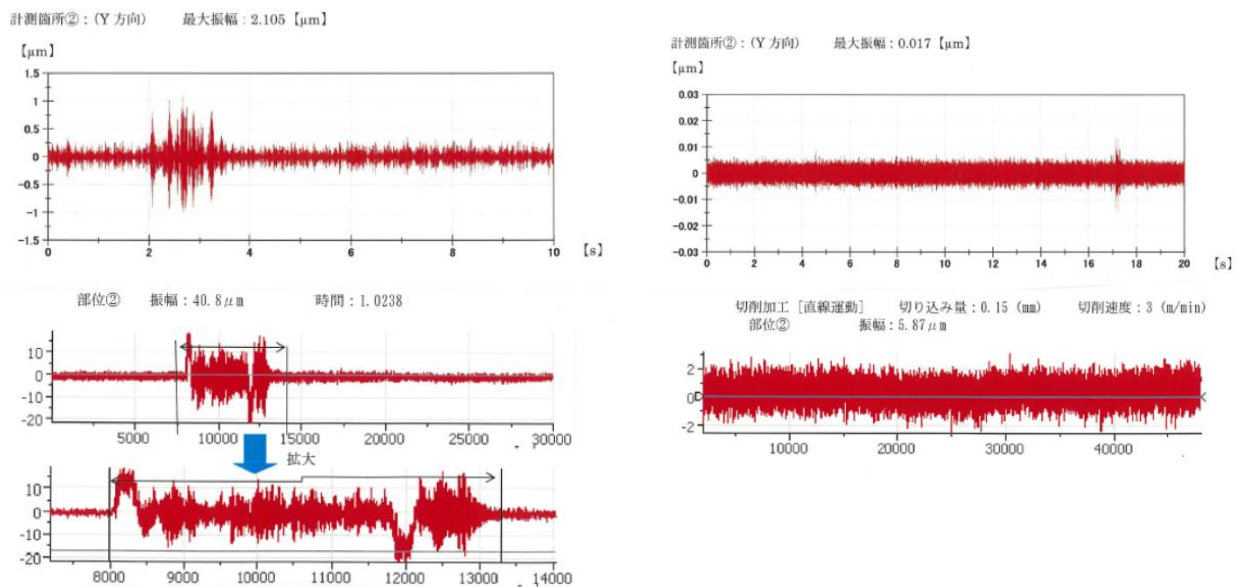
3 x軸方向・y軸方向への移動速度

送り速度 (m/min)	20
--------------	----

[表4-1] 測定条件

4-3-3 測定結果

ヘッド改造前後の工具装着部における振幅の比較を X 軸移動時、切削時について[図4-4][図4-5]に示す。図の上段が改造後、下段が改良前である。これにより、改造前に比べて大幅に振幅が減少していることが分かる。



[図4-4] X軸移動  
(20m/min) 時

[図4-5] 切削  
(切り込み0.15mm) 時

振動時間をみると、移動の場合は300mm 移動時間+加減速時間とほぼ一致しており残留振動は非常に少ない。

これらの測定結果より、工具ホルダ部の振動は前年度より大幅に小さくなり、残留振動時間も非常に小さくなっている。このことより、今年度の目標としていた主軸ユニットの振動の改善を行うことができた。

## 第5章 多軸制御工作機（試作機）の開発改良

### 5-1 研究目的

導光板の加工に適した機械構造を有し、機上計測機能を含む高速応答追従システム、制振制御システムと5軸同時制御装置を搭載した多軸制御工作機（試作機）の開発改良を行う。

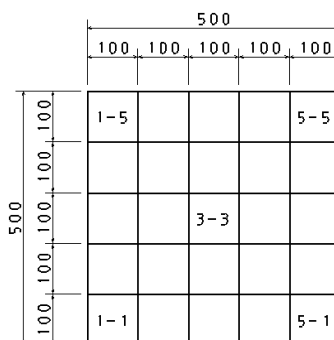
### 5-2 研究目標

前年度より継続して開発している新CPU基板への換装を完了し、新基板での試運転を開始し、機械、制御とも完成度を高める。また制振制御、高速応答制御についても実験を並行して実施し動作制御プログラムに組み込む。同時に試験切削を行い、溝形状、面粗さの測定評価とあわせて輝度測定用のサンプルを作成する。

### 5-3 結果

#### 5-3-1 微細溝の形状、面粗さ測定および結果

アクリル板をレーザ（レーザ出力10W±1W）、超硬チップ、SiCチップにより、サンプル加工し微細溝の形状、面粗さの測定を行った。パネルは500×500mm、厚さ10mmの大きさから、測定機の仕様条件により、[図5-1]に示すように、100×100mmにカットした。測定サンプルはパネル全面の四隅と中央の5カ所でサンプル名を1-1～5-5とした。非接触三次元測定装置を、[写真5-1]に示す。



[図5-1]



[写真5-1]

非接触三次元測定装置

サンプル	超硬Rチップ		超硬60°チップ		超硬90°チップ		SiCチップ	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
1-1	0.07	0.36	0.76	3.97	0.33	1.84	0.89	5.86
1-5	0.04	0.18	1.38	7.41	0.27	1.36	0.58	4.54
3-3	0.07	0.28	0.67	3.86	0.68	3.93	0.53	3.72
5-1	0.07	0.31	0.62	3.13	0.30	1.47	0.19	1.08
5-5	0.06	0.30	1.17	7.23	0.71	4.06	0.11	0.60

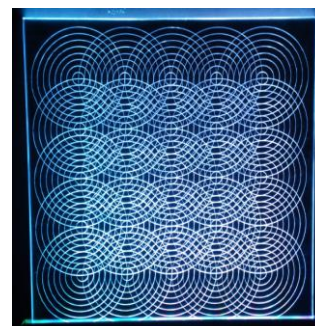
[表5-1]

サンプルの中央部を1×0.5mm、1.5×0.5mmエリアを三次元測定した。超硬チップ、SiCチップで加工し溝の面粗さの結果を[表5-1]に示す。測定箇所は超硬チップ60°、90°は溝側面超硬R、SiCチップは溝底面を溝方向の断面形状データから、粗さ演算し求めた。超硬Rチップではアクリル材サンプル加工の目標値Rz0.8μmをクリアしている。

#### 5-3-2 切削速度課題と多種加工パターンサンプル作成

当初の目標値である、真直度2μm/ストローク、位置決め精度：X、Y軸±5μm、Z軸±2μm、A、C軸±0.002°を達成することができた。しかし切削送り速度は4軸補間制御の限界のため1m/secとなっており目標とする2m/secには達していない。

今後はバイナリ運転等補間制御プログラムの改善による切削送り速度向上、測定方法の変更による面測定時間の短縮によるトータル製作時間の短縮を図る必要がある。また加工パターンのバリエーションを増やしサンプル製作を進める。様々な動きができるようになった中で加工サンプルを[図5-2]に示す。



[図5-2] 加工サンプル



## 第6章 加工プログラム作成支援ソフトウェアの開発

### 6-1 研究目的

導光板に任意のパターンの溝を加工するために、多種多様な入光パターン、発光パターンの要求に対して効率的な溝加工のプログラムを容易に早く制作する必要がある。そのための加工プログラムの作成を支援するソフトウェアを開発するものである。

### 6-2 研究目標

試作機を使用して輝度、照度測定用のサンプルを作成する。サンプル作成にあたって入光用に LED を使用したエッジライトを取り付ける。入光対出光の関係を定量化するために評価基準を作成し導光板の輝度、照度測定を実施する。発光パターン、入光パターン、材種、溝形状、加工条件等のデータベースも平行して作成を行う。

### 6-3 結果

SiC チップ、超微粒超硬チップ等による試作工具にて導光板の試加工を行い、レーザ加工による物との比較評価を行った。評価は、500mm×500mm のサンプルを、100mm×100mm の範囲に25分割し、それぞれの輝度を評価することで行った。輝度測定結果を、[表6-1]に示す。

測定点	SiC	超硬 60° ①	超硬 60° ②	超硬 90° ①	超硬 90° ②	レーザー
1	20.7	29	31.1	28.6	26.6	30.8
2	20.2	31.5	29.1	30	26	35.6
3	23.2	23.3	28.9	30.2	28	32.6
4	23.7	30.1	29.1	27.7	28	38.7
5	24.1	30.5	30.3	27.6	26.7	32.8
6	30.2	44.7	40.8	46.4	43.1	39.7
7	30.2	43.8	39.2	49.9	44	51.6
8	33.2	42.1	40.4	54.2	47.9	61.5
9	34.1	43.6	40.9	50.5	45.2	61.7
10	34.4	43.8	44.1	49.9	52.7	49.1
11	48.8	59.7	55.5	78.4	73.4	65.9
12	57.3	67	58.4	84.3	85.9	76.5
13	53.3	64.7	57.6	91.9	88.7	82.6
14	52.4	69.2	62	90.5	83.8	86.3
15	57.1	75.6	64.2	86.9	80.6	65.7
16	62.5	89.1	82.7	140.7	136.1	77.7
17	83.9	98.5	94	162.6	151.7	97.9
18	82.5	98.3	87.5	171.4	174.5	105.7
19	86.5	103.9	106	166.4	159	101.8
20	79.4	98.6	107.2	172	168.7	71.4
21	75.9	107.1	94	177.4	155.4	88.8
22	74.2	108.8	118.7	202	181.4	98.5
23	98.9	118.8	122.5	217	233	116.1
24	91.3	117.3	113.2	212	216	111.5
25	91	117.6	134.1	199.8	195	88.1
合計	1369	1757	1712	2648	2551	1769

[表6-1] 各種工具による導光板輝度測定結果（単位：cd/m<sup>2</sup>）

発光効率は、25 分割した各セグメントの輝度の合計で評価する事とした。最終目的である SiC 工具は、最終研磨ができておらず、溝面粗度が悪く良い結果とはならなかった。

溝形状を決定するために、60° と 90° の超硬合金による三角チップを試作し、比較した。比較としたレーザ加工溝に対し、90° 三角溝にて約 1.5 倍の輝度が得られた。

今後、SiC チップによる 90° 三角チップの試作を進め、継続評価を行う。

## 第7章 切削工具の開発

### 7-1 樹脂導光板加工に適した切削工具の設計製作

#### 7-1-1 研究目的

効率的に面発光させるために溝面を鏡面仕上げとし、同時に切削抵抗による発熱で表面を変質させたり、工具寿命が低下するのを防ぐため鋭利な刃先を持つ工具を開発しなければならない。本計画では、アクリル樹脂などの導光板材料の切削用SiC単結晶工具の設計、製造を行う。

#### 7-1-2 研究目標

前年度に開発した切断研削治具の改良型を開発し量産化に向けての工具製造時間短縮を目指す。また、被削材に対する工具の最適進入角度を分析し切削抵抗及び切りくず排出性を改善する。

更に、樹脂導光板の入光部分の切削加工用超硬エンドミルの切れ刃エッジの鋭利化の研究をする。

随時、試作工具のエッジ精度、形状の検査評価を実施する。形状の検査評価にあたっては顕微鏡の画像に連結アプリケーションを使用して統合し正確な評価をする。

#### 7-1-3 実験方法と結果

##### ① 最適結晶方位の解析研究

初年度に見出したSiC単結晶の最強方位の $\beta$ 面と化学反応性の小さいSi面を其々の工具面に設定でき且つ、 $60^\circ$   $45^\circ$   $30^\circ$   $15^\circ$  等の指定角度に切断できる切断治具を設計し製作した。

構造的には前年度に製作した切断治具の先端の固定部分を可動式に改造した。

[写真7-1]に新しく改造した切断治具を示す



[写真7-1]

SiC単結晶を回転円盤に直接固定し角度を設定し切断機で切断する。本治具により導光板の溝形状に合わせた角度にSiC単結晶を正確に切断できる。従来は四角形にしか切断できないため超硬チップにロー付した後、SiCを溝角度に荒修正する研削加工に時間が掛かったが、本治具の開発により荒修正工程を省略できSiCチップの製作時間を短縮できた。

さらに、超硬チップボディにSiC単結晶を搭載するための、切欠き加工用治具を設計製作した。[写真7-2]に新しく開発した、切欠き加工用治具を示す。



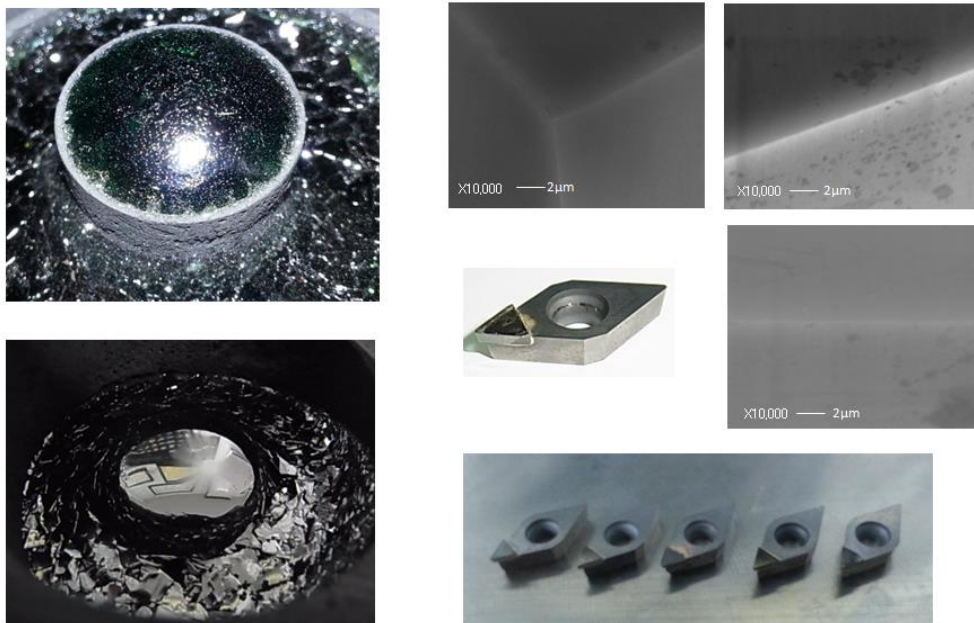
[写真7-2]

各治具はチップ角  $15^\circ$  (W $30^\circ$  ),  $30^\circ$  (W $60^\circ$  ),  $45^\circ$  (W $90^\circ$  )用で 8 個のチップを搭載できる。従来超硬チップを 1 枚ずつ市販のバイトホルダに取り付けて研削加工していたものを本治具により 8 枚同時に研削できるようにした。

上記 2 点の新規治具を開発したことで SiC チップの量産化に向けての工具製造時間の短縮が可能になった。

② SiC 単結晶の刃先精度と刃先形状の検査実験

[写真7-3]に新規結晶と刃先の鋭利化の写真を示す。



[写真 7-3]

新規に成長させた SiC 結晶は、純度を高めるため中心の直径 20mm 部分を単結晶としその周りを多結晶に成長させた物である。右上の SiC チップは超硬チップにロー付後、CNC 研削盤での形状研削工程を経て、CMP 加工を行った物でそのエッジ部を 10000 倍に拡大した写真を 3 枚、表示した。CMP 加工には 1 面 16 時間を要し、全部で 3 面加工した。この状態の刃先丸みは約 20 ナノメートルであり、ダイヤモンド単結晶の刃先丸みの  $1/2$  以下となっている。

## 7-2 試加工による工具形状・精度の確定及び加工方法・条件の確立

### 7-2-1 研究目的

樹脂材料の分子量や組成の違いによる切削性の相違、被加工形状等にも考慮し、SiC単結晶工具による最適切削条件の研究を行う。

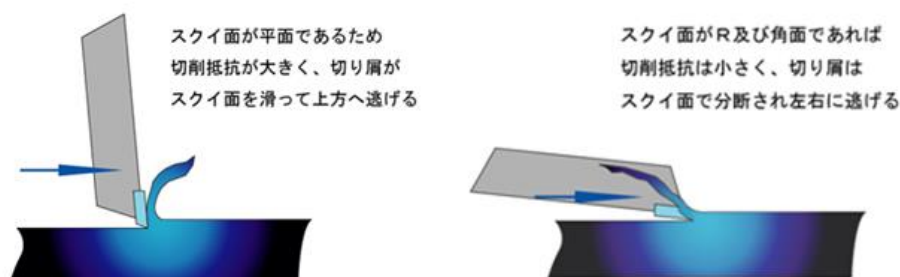
### 7-2-2 研究目標

7-1で実用化するSiC単結晶工具でアクリル樹脂の切削試験を引き続き行い、切削現象の調査及び切削面の面粗度測定を行い、最適切削条件を見出す。また個別ユーザ対応工具も試作し所定の材種による試験切削を行う。また、これらの試験結果を解析し、最適工具形状を開発する。

これまでの開発でSiC単結晶工具は、樹脂加工用工具としての潜在力が高いことが解ってきた。開発工具の用途拡大を考慮し、今後高機能を求められる分野(航空機、医療)での使用が増加すると思われるエンジニアリングプラスチック(CFRP、PPSU等)への適用も考慮し、様々な材料で切削試験を行うこととする。

### 7-2-3 実験方法と結果

[図7-1]左のような従来切削方向においてスクイ面は平面状であるため被削材に対し切削抵抗が大きくなるが、[図7-1]右のような方向で切削することでスクイ面が被削材に対し傾斜あるいは曲面となり切削抵抗が減少すると考えた。



[図7-1]

[写真7-4]は切削中の様子である。切削屑排出性の向上という目的に対しては、カールされた切削屑が出ており、良いものと考えられる。

本実験での切削面の面粗度の評価を行った。SiC製チップに加え比較用として、超合金チップについても加工評価を行った。加工は、約50メートル行い、「最初付近、中間付近、最後付近」の3か所を評価した。

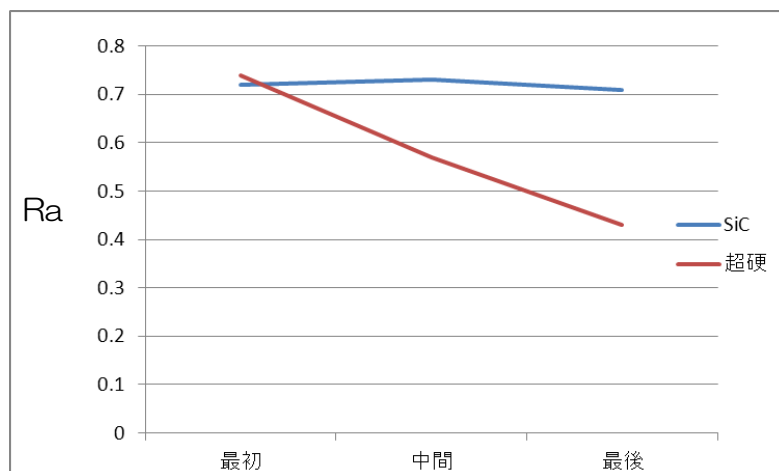


[写真7-4]



[図 7-2] に SiC チップと超硬チップ切削によるアクリル表面あらさ推移を表示する。

今回の評価で使用した SiC チップはCMP未加工のものであるためどちらもエッジの鋭さとしては、数ミクロン程度であり、鏡面加工は期待できなかったが、面粗度  $1\mu\text{m}$  以下 (Ra) は、安定して加工出来た。両者を比較して、面白い結果が得られた。SiC チップは、全加工範囲 (50m) において面粗度の変化がほとんど見られないが、超硬チップは、徐々に良くなっていた。

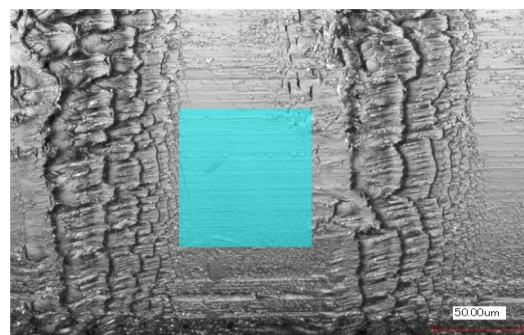
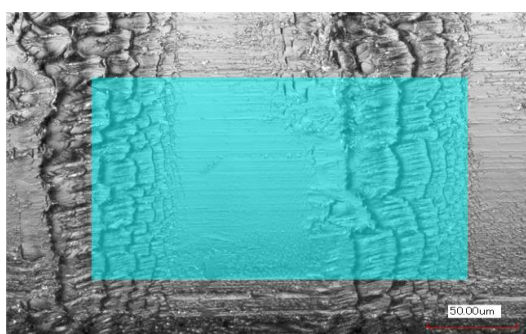


[図 7-2]

この結果は、超硬の刃先が変化している事を表している。

SiC ではほとんど変化が見られず、SiC の方が超硬に比較し、格段の刃先強度を有し、少なくともアクリル加工においては、刃先寿命、精度共に優れた結果を残す物と考えられる。

従来切削方向で先端R形状のSiCチップにより、切削テストを行った。[図 7-3]に面粗度測定結果を示す。



	Ra	Ry	Rz
区分1	1.30um	38.58um	23.09um

	Ra	Ry	Rz
区分1	0.62um	5.37um	1.92um

SiCチップ溝表面と面粗度

[図 7-3]

切削状態の良い部分

切削状態は、ビビリ断続切削と言える。切れているところとビビっているところが周期的に表れている。写真からも明らかなように、切削とビビリが周期的に起きている。切れているところでは  $Rz\ 1.9\mu\text{m}$  と比較的良好な結果が出ている。

今後チップの取付部剛性、スクイ角等の条件を見直し、ビビリを抑制すれば、目標としている、面粗度  $Rz\ 0.8\mu\text{m}$  も可能と考えられる。

### 7-3 研究成果

- 各指定角度に切断できる切断治具を開発した。  
本治具により導光板の溝形状に合わせた角度に SiC 単結晶を正確に切断でき、従来超硬チップにロー付した後、SiC を溝角度に荒修正する研削加工に時間が掛かったが本治具の開発により荒修正工程を省略でき SiC チップの製作時間を短縮できた。
- 超硬チップボディに SiC 単結晶を搭載するための、切欠き加工用治具を開発した。本治具により8枚同時に研削できるようになった。

(上記2点の新規治具を開発したことで SiC チップの量産化に向けての工具製造時間の短縮が可能になった。)

- 新形状 SiC チップを開発した。切削時の切削抵抗が改善され、切削屑排出性が向上した。
- 超硬スクエアエンドミルの最終形状を考案、試作した。  
導光板端面入光部の加工を目的に、スクウェアエンドミルの開発を行ない、刃先丸み約  $0.5\mu\text{m}$  以下を実現した。
- SiC 単結晶の切削面を CMP において、刃先丸みを約 20 ナノメートルの鋭利化に成功した。
- 試作超硬  $90^\circ$  チップ (刃先丸み  $0.5\sim 2.0\mu\text{m}$ ) にて切削試験の結果、加工された溝が、これまでで最高の発光効率 (レーザー加工溝の 1.5 倍) となった。
- SiC チップにて、 $Rz 1.9\mu\text{m}$  の面粗度を達成し、条件の見直しにより  $Rz 0.8\mu\text{m}$  を達成する見通しを確立した。

## 最終章 全体総括

### 1 開発成果

本事業「樹脂製導光板に三次元形状の微細溝を精密加工するために、被加工面形状の機上計測機能を具備した多軸制御工作機の開発」では、透明樹脂表面を $\mu\text{m}$ まで測定可能で、容易に手に入る測定器と、一般的な、超精密といわれるようなものでない、機構で、ローコストな多軸制御工作機を開発した。本機は初年度に設計製作し試運転、試験加工、改良を継続実施している。この開発には、機上計測処理、 piezostack 搭載工具ホルダ、振動抑制動作制御、加工プログラム作成支援ソフト、SiC 単結晶刃物を含むもので全体で加工システムを構成するものであると同時に各開発要素ごとにいろいろな応用ができるものとなった。機上計測については、表面のマッピングデータを作成し面補正加工を実現、工具ホルダについては応答速度 $200\text{Hz}$ を達成、振動抑制については制御ゲイン、加減速調整機能を開発実装、加工支援ソフトではCAMシステムの作成 SiC 単結晶刃物については、CMPで刃先丸み $20\text{nm}$ を達成している。また工具ホルダテストベンチとして、樹脂加工を対象とした旋削加工機を初年度に設計製作した。これにより小径樹脂円板による試験加工、刃物テストを並行して実施することができ効率よく開発を進めることができた。また4軸補間制御による自由曲面も旋削可能であることから、レンズ加工も応用の一つとして取り込み、それに対応したミーリングユニット、空気静圧軸受を開発した。ミーリングユニットは要求仕様 $2500\text{rpm}$ を達成、空気静圧軸受を搭載した主軸は非同期回転振れ $0.2\mu\text{m}$ 以下となった。これら全体で、導光板加工、レンズ加工を進める見通しが強固となり、各要素である、制御装置、静圧空気軸受、ミーリングユニットも単独での展開が可能となった。

### 2 今後の課題と事業化展開

#### 2-1 課題

- (1) piezostack 工具ホルダの耐久性の向上
- (2) レンズ加工用刃物開発による面粗度の向上
- (3) 導光板加工速度の向上
- (4) CAMシステムの性能向上
- (5) 鏡面切削用 SiC 単結晶工具の開発

#### 2-2 事業化検討

- (1) 導光板製品サンプルの製作、展示会への出展
- (2) 多軸工作機制御装置の他機種への展開検討
- (3) レンズサンプル加工
- (4) ミーリングユニット、空気静圧軸受の他機種への展開検討