

平成25年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「高硬度材料の超精密切削加工技術の開発」
—研削レスの実現—

研究開発成果等報告書概要版

平成26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・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 当該プロジェクト連絡窓口	
第2章 高強度・高切削性工具の開発	8
2-1 研究目的及び目標	
2-2 実施方法	
2-3 研究成果	
第3章 高剛性精密切削機の開発	14
3-1 研究目的及び目標	
3-2 実施方法	
3-3 研究成果	
第4章 切削条件の確立及び評価	15
4-1 研究目的及び目標	
4-2 実施方法	
4-3 研究成果	
第5章 全体総括	17
5-1 成果の総括	
5-2 今後の事業化に向けた取組み	

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・目的及び目標

(1) 背景・目的及び目標

半導体製造装置や工作機械に使われるサーボモーターは、位置決め高度化の要望から高速化・高精度化が求められている。構成部品にも高い精度、硬度が要求され、部品は一般に精度が確保できる研削加工で仕上げられる。しかし研削は、

- ① □ドレス（砥石目立て）の再現性が不十分なためミクロンレベルの寸法精度が安定しない
- ② 1回の切込み量が小さく、加工時間が長い（切削の10倍以上）
- ③ - 1 加工時間が長く消費電力が大きい
- 2 研削粉は分別不可能なため産業廃棄物（環境負荷大）

などの問題点があった。

これに対し本研究では

- ・ 高硬度材の切削に耐える三次元形状刃先をナノパルスレーザーで成形する。
- ・ 超防振保持と微動位置決め用の刃物台を搭載した超精密切削機を開発する。

という2つの要素技術を確立する。

その上で開発技術を精密サーボモーターの軸受部品に適応し、切削で研削以上の精度を達成し、世界最小触れ精度の精密サーボモーターの実現を目指す。

サーボモーターの部品で基礎技術を確立したのち、工作機械向け精密減速機の部品、自動車噴射部品にも適用し、実用化することを目指す。

これらの研究、事業化活動により、コスト（＝全加工時間）の1/2化とグリーン工程（電力費低減と産業廃棄物ゼロ）の実現を目指す。

具体的な開発目標を表1-1に対象製品を表1-2に示す。

表1-1 開発目標値

特性	項目	目標値
精度	寸法精度	±0.5 μm 以下
	形状精度	0.5 μm 以下（真円度、直角度）
	面粗度	Ra 0.05 μm 以下
生産性	仕上加工時間	1 / 10 以下
環境	電力低減	（開発後調査）
	産業廃棄物	ゼロ

表 1 - 2 対象製品

製品名	精密サーボモーター	精密減速機	燃料噴射系部品 (インジェクター)
製品			
産業分野	電機機器 (半導体、ロボット)	工作機械	自動車
高度化目標	位置決め高度化 高精度・超精密加工 高硬度材加工対応	位置決め高度化 高精度・超精密加工 高硬度材加工対応	燃費向上
目標精度	直角度 0.5 μm	真円度 0.5 μm	寸法精度 ±0.5 μm
材質	ステンレス焼入鋼	浸炭鋼、軸受鋼	ステンレス焼入鋼

(2) 研究概要・実施内容

高硬度材の超精密切削加工を実現するため下記の項目について研究を実施する。

- 《切削工具》 ①高性能チップの設計 【1-1】
 ②高性能チップの製作 【1-2】
 ③開発チップの評価 【1-3】
- 《機械》 ④高剛性精密切削加工機の開発 【2-1】
- 《実用化》 ⑤切削条件の確立 【3-1】
 ⑥精度評価 【3-2】
 ⑦生産性評価 【3-3】
 ⑧製品評価 【3-4】

①□高性能チップの設計 【1-1】

- ・ 刃具の欠けを防止するため刃先にネガ角を設定し、これにより切削性が低下する分を傾斜角で補完できることが、23年度の研究でわかった。
- ・ 24年度はネガ角／傾斜角2つの角度について3つの各材料（ステンレス焼入鋼、浸炭鋼、軸受鋼）において最適な角度を特定した。
- ・ 25年度はこの特定した角度の刃物を製作し、各部品（精密サーボモーター、精密減速機、自動車用噴射部品）に適用する。

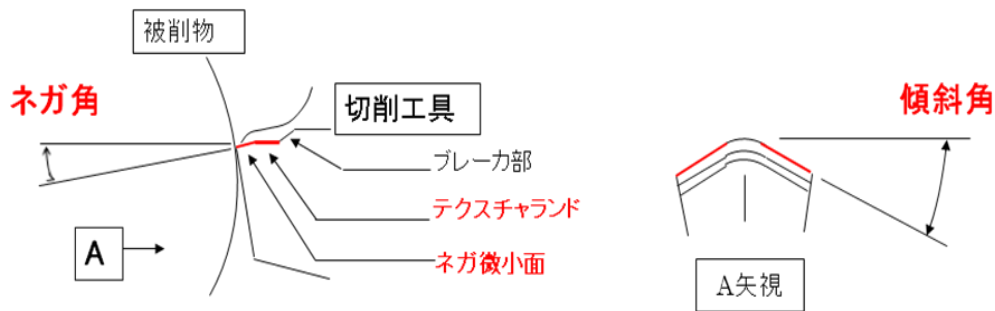


図1-1 基本刃先形状

②高性能チップの製作【1-2】

①で設計した刃先形状のチップを製作した。平成23年度は研削加工で、平成24年度はナノパルスレーザー加工機で成形した。

25年度はレーザー加工の精度向上と、逃げ面への加工を試みる（24年度はすくい面に加工）。これにより理想の加工方法、条件でCBN工具を成形し、工具品質を高め、切削性改善を試みる。

③開発チップの評価【1-3】

製作したチップの耐久性と切削性を評価した。24年度までに実施したテストピースによる切削テストにおいて、3種類の材料に対する最適な刃先形状と加工条件を特定した。25年度は、24年度に十分実施できなかったレーザー加工工具の性能確認を実施するとともに、新たに導入した装置（工具位置検出装置、真空チャック、超微動工具位置調整台、恒温チャンバー）の精度に対する効果を確認する。

④高剛性精密切削機の開発【2-1】

23年度に高剛性超精密切削加工機及び高剛性工具台を導入し、テストピースの加工により目標に対して実用レベルであることを確認した。

24年度は23年度の研究で必要性が明らかになった潤滑性を確保するためのミスト供給装置を導入した。加工テストにおいて切削抵抗低減、面粗度向上の効果を確認した。また切削の生産性を研削と比較するため砥石軸を導入した。

25年度は24年度の研究で明らかになった問題に対し、工具位置検出装置、真空チャック、超微動工具位置調整台、恒温チャンバーを導入し、製品加工時の精度の安定を図る。

⑤切削条件の確立【3-1】

開発した切削工具を精密サーボモーター部品、精密減速機部品、自動車用噴射部品に適用し適正な条件を見出す。評価は面粗度及び部品精度（寸法、真円度、直角度）で行う。

⑥精度評価【3-2】

加工した部品について寸法・形状精度、面粗度を測定し、切削条件の最適化を図り、目標値に対する達成度を確認する。

⑦生産性評価【3-3】

従来法（研削）と比較し、工程削減、加工時間短縮の効果を把握する。

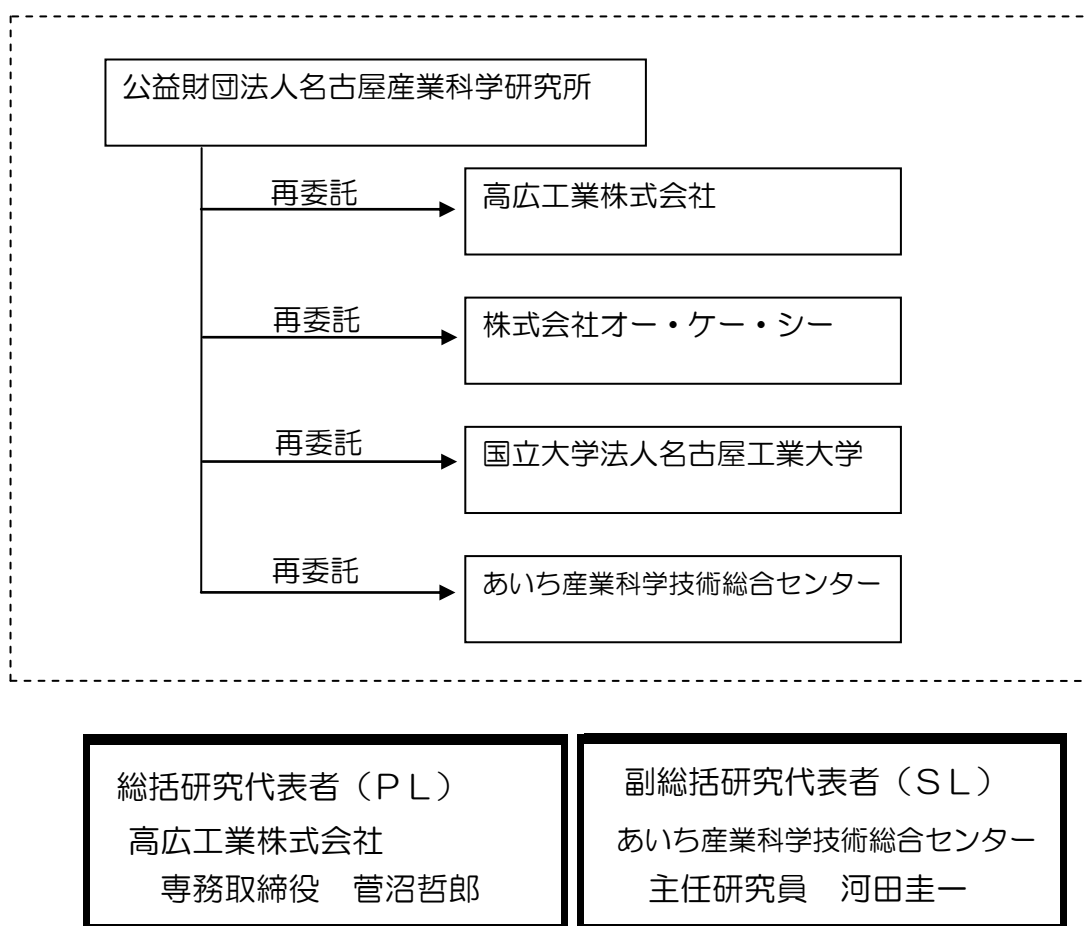
⑧製品評価【3-4】

- ・精密サーボモーターについては、組立て後ユニットとしての性能を評価する。浮上量、剛性、回転振れ精度を測定する。
- ・ローラーギヤ機構の精度を確認するため、新工法で加工した部品でユニットを組立て、入出力軸の回転比精度(割出精度)を測定する(目標:±10秒)。
- ・燃料噴射関連部品については納入先で精度評価後、コスト面も検討する。

⑨プロジェクトの管理・運営【4】

実施計画に基づく進捗確認、開発委員会の開催、事業化に向けた検討等プロジェクトの管理・運営を行う。

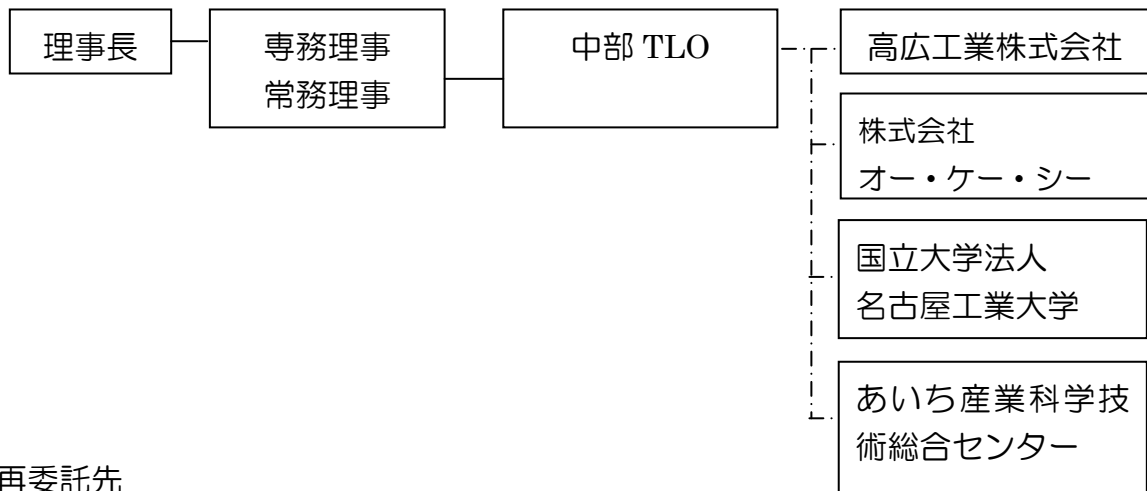
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）



2) 管理体制

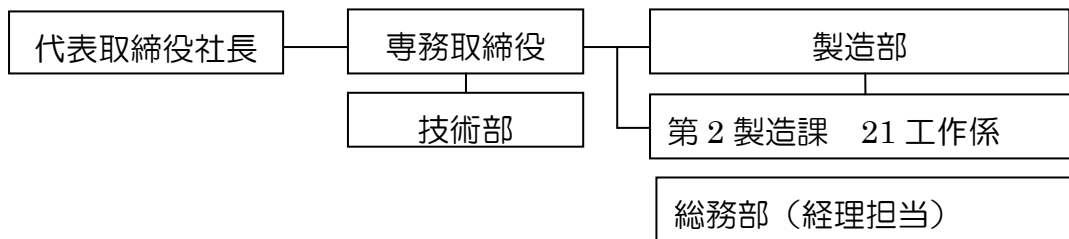
① 事業管理機関

公益財団法人名古屋産業科学研究所

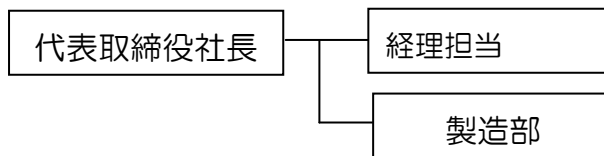


② 再委託先

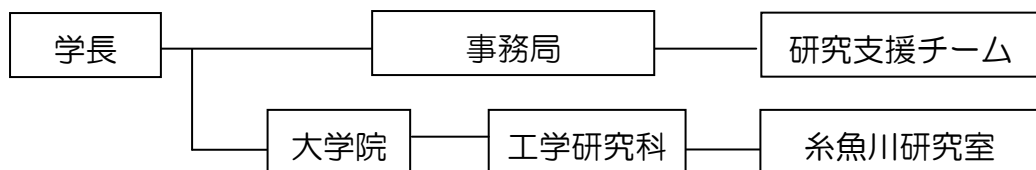
高広工業株式会社



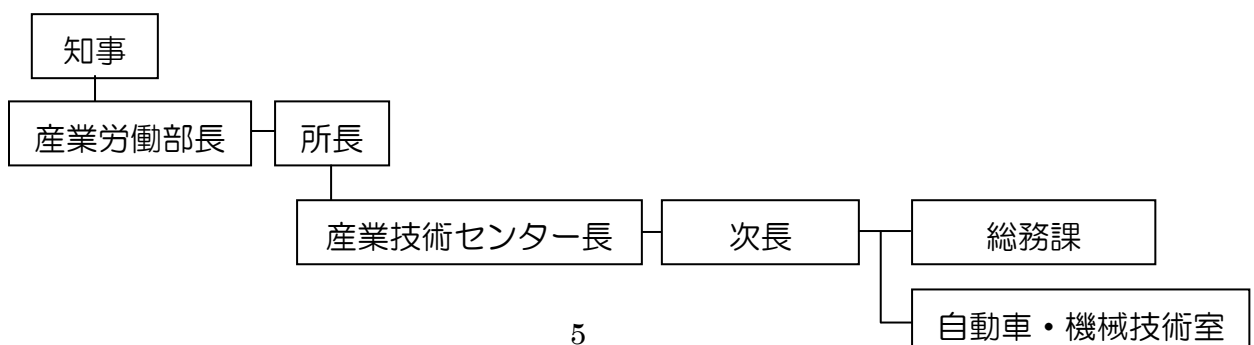
株式会社オー・ケー・シー



国立大学法人名古屋工業大学



あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人名古屋産業科学研究所 管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
藤根 道彦	中部TLO 産学連携支援部門 担当部長	【4】
浅田 節子	中部ハイテクセンター	【4】
森加 なつ美	中部ハイテクセンター 産学連携支援部門	【4】
蟹江 祥子	中部TLO 産学連携支援部門	【4】
堀部 達子	中部TLO 産学連携支援部門	【4】

【再委託先】 研究員

高広工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
菅沼哲郎	専務取締役	【1-1】【1-3】 【3-1】
今川恒男	技術部部长	【2-1】
松本寛和	製造部第2製造課21工作係	【1-3】【3-1】
大島博	製造部第3製造課32工作係	【3-4】

株式会社オー・ケー・シー

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
大河内昌彦	代表取締役社長	【1-2】
鈴木文浩	製造部	【1-2】

国立大学法人名古屋工業大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
糸魚川文広	大学院工学研究科 准教授	【1-1】【1-3】
馬淵雄丞	大学院	【1-1】【1-2】 【1-3】

あいち産業科学技術総合センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
河田圭一	産業技術センター 自動車・機械技術室 主任研究員	【1-1】【1-3】 【3-1】
石川和昌	産業技術センター 自動車・機械技術室 主任	【1-1】【3-1】
児玉英也	産業技術センター 自動車・機械技術室 技師	【1-2】【3-1】
島津達哉	産業技術センター 自動車・機械技術室 技師	【1-2】【3-1】

1-3 成果概要

表1-3に成果概要を示す。

表1-3 成果概要 (数字は $\mu\text{m}=0.001\text{mm}$)

課題	項目	目的	目標	方法	結果	評価
高強度・高切削性工具の開発	チップ設計	切れ味と強度の両立	欠けずに面粗度 Ra0.05 を達成する刃先形状	3次元CADでネガ角/傾斜角を設定し、すくい面の法線ベクトルを算出。	左記の方法で角度を規定。加工プログラムに反映。切削評価において Ra0.05 を達成。	○
	チップ製作	設計形状の加工	↑	研削成形 レーザー成形	研削、レーザーともに加工可能。特にレーザー加工の刃先は高品位で稜線丸み $1\mu\text{m}$ を達成。	○
	チップ評価	製作チップの性能評価	↑	テストピースを切削 ①面粗度 ②切屑 ③高速カメラ	SUS、SCM、SUJすべてで目標 Ra0.05 を達成。	○
高剛性精密切削機の開発	機械本体	位置決め高精度化	$0.1\mu\text{m}$	全軸リニア、油静圧、主軸空気軸受構造採用	位置決め精度 0.02 以下、回転振れ精度 0.02 以下を確認。	○
	工具台	防振(高剛性)	刃先欠けないこと	ローギヤ方式 精密ねじ方式	両方式とも欠けは発生せず。	○
	周辺設備	超精密切削に必要な環境整備	$0.5\mu\text{m}$ を保証する切削環境	ミスト供給装置 工具位置検出 真空チャック 恒温チャンバ 砥石軸	左記装置の導入により $0.5\mu\text{m}$ 以下を保証する環境を整備。	○
切削条件の確立及び評価	精密サーボモーター	軸受	真円度 0.5 直角度 2.0	開発技術適用 条件精査	真円度 0.39 , 直角度 1.34 , Ra 0.049	○
		軸	真円度 0.5 直角度 0.5	↑	真円度 0.14 , 直角度 0.44 , Ra 0.068	○
	精密減速機	回転部品	真円度 0.5 Ra 0.2	↑	真円度 0.14 , Ra 0.053	○
	燃料噴射部品	バルブボディ	面粗度 Ra 0.035	↑	Ra 0.032 (持続時間短い)	△

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

①事業管理機関

公益財団法人名古屋産業科学研究所（最寄駅：名古屋市営地下鉄名古屋大学駅）
産学連携支援部門 部長 藤根道彦
〒460-0008 愛知県名古屋市千種区不老町名古屋大学内 VBL 棟 4階
TEL 052-783-3580 FAX 052-788-6012
E-mail: fujine@nisri.jp

②研究実施場所（下線部は主たる研究実施場所）

高広工業株式会社（最寄駅：JR 東海東海道本線笠寺駅）

専務取締役 菅沼哲郎

〒457-0078 愛知県名古屋市南区塩屋町6番地1号

TEL 052-811-3116 FAX 052-821-1929

E-mail: suganuma_t@takahiro.co.jp

株式会社オー・ケー・シー

代表取締役 大河内昌彦

454-0847 愛知県名古屋市中川区細米町二丁目72番地

TEL 052-354-6078 FAX 052-354-6195

E-mail: info@okc-corporation.jp

国立大学法人 名古屋工業大学

准教授 糸魚川文広

466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

TEL 052-735-5356 FAX 052-735-5356

E-mail: itoigawa@nitech.ac.jp

あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター

主任研究員 河田圭一

448-0013 愛知県刈谷市恩田町1-157-1

TEL 0566-24-1841 FAX 0566-22-8033

E-mail アドレス keiichi_kawata@pref.aichi.lg.jp

第2章 高強度・高切削性工具の開発

2-1 研究目的及び目標

高強度（欠けない）と高切削性（切れ味がよい）を兼備する刃先形状を開発する。

【目標】 欠けずに面粗度 Ra0.05 以下を達成する刃先形状の開発

2-2 実施方法

表 2-1 実験方法

項目	目的	目標	方法
高性能チップの設計	切れ味と強度の両立	欠けずに面粗度 Ra0.05 を達成する刃先形状	①3次元CADでネガ角/傾斜角を設定し、すくい面の法線ベクトルを算出。 ②加工機の数値に変換。
高性能チップの製作	研削加工	欠けずに設計形状が加工できること	c BNチップの加工 ① プログラム作成 ② 使用砥石選定、加工条件精査
	レーザー加工	レーザー加工機開発 シャープエッジ刃先(稜線 R1 μm 以下)	① 仕様検討→決定 ② レーザー加工機開発・製作 ③ チップ加工
製作チップの評価	製作チップの性能評価	欠けずに面粗度 Ra0.05 を達成	TP を切削：SUS420J2、SCM415、SUJ2 使用機械：ジェイテクト AHN15(特殊仕様) 使用チップ：c BNチップ (住友電工製) 加工条件：S1000, F10、切込 5 が基本 評価：面粗度、切屑、高速度カメラ

2-3 研究成果

(1) 高性能チップの設計

① 3次元CADによる設計

ネガ角/傾斜角を10度ごとに定めて、すくい面の法線ベクトルを求めた(表2-2)。

表 2-2 すくい面の法線ベクトル

ネガ角/傾斜角	x成分	y成分	Z成分
10度/10度	-0.171	0.174	0.970
20度/20度	-0.321	0.342	0.883
30度/30度	-0.433	0.500	0.750

②形状の座標化(加工プログラムの基本数値)

- ① 検討したすくい面を加工するために、チップの一辺とすくい面がなす角 α とチップを真横から見たとき水平線とすくい面がなす角 β を求めた(図2-1)。

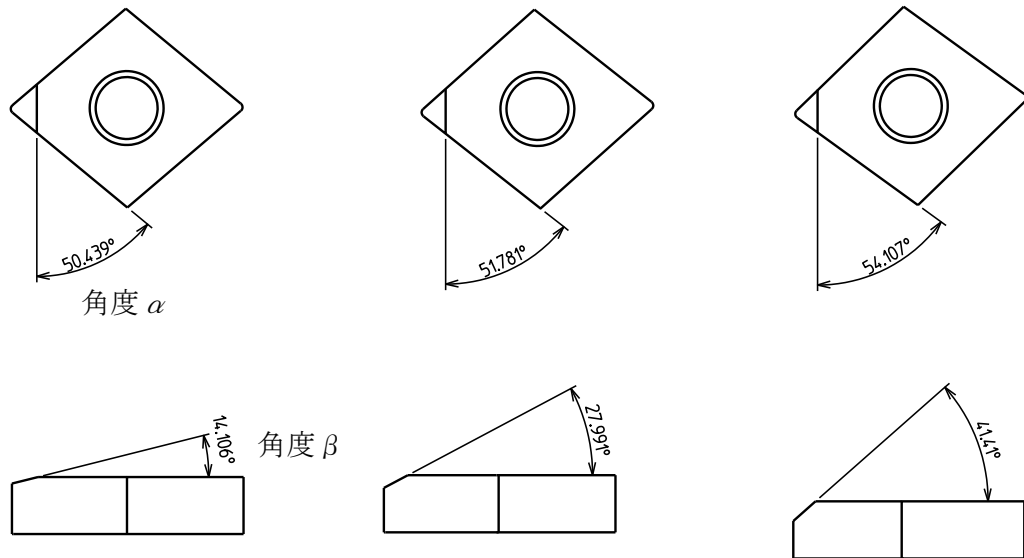


図2-1 チップ形状の座標化(加工用)

(2) 高性能チップの製作

① 研削加工

前項で算出した数値を用いて加工プログラムを作成し、cBN 工具を加工した。加工後のチップを図 2-2 に示す。欠けることなく研削加工できた。

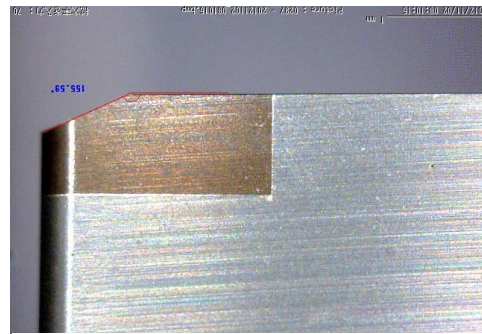


図2-2 研削加工後のcBNチップ

② レーザー加工

名古屋工業大学、あいち産業技術センター、高広工業及びレーザーメーカーで開発機の仕様を検討し、表 2-3 のように決定した。

表 2-3 ナノパルスレーザー加工機の仕様

No.	項目	仕様	製造会社・備考
1	ナノ秒レーザー発振器	波長 1064、532、355nm パルス幅 8 ns	Xiton 社製 (ドイツ)
3	レーザー加工用伝送光学系	波長 400-1100nm、 ビーム径 5mm 用光学系	アッテネータ、ダンパ 含む
3	レーザー加工用ステージ	XYZ 軸 + θ 軸 100×100×4.5mm	NewPort 社製 (アメリカ)
4	光学テーブル	テーブルサイズ 1200×1800×203mm	

上記の仕様に従って開発・製作したナノパルスレーザー加工機を図 2-3 に、開発レーザーで加工した cBN チップの組織写真を図 2-4 に示す。SEM 画像で稜線に沿っ

た刃先 R (丸み) が観察できるが、1 μm 以下のレベルで鋭利に仕上がっている。この刃先であれば高い切削性が期待できる。



図2-3 ナノパルスレーザー加工機 概観

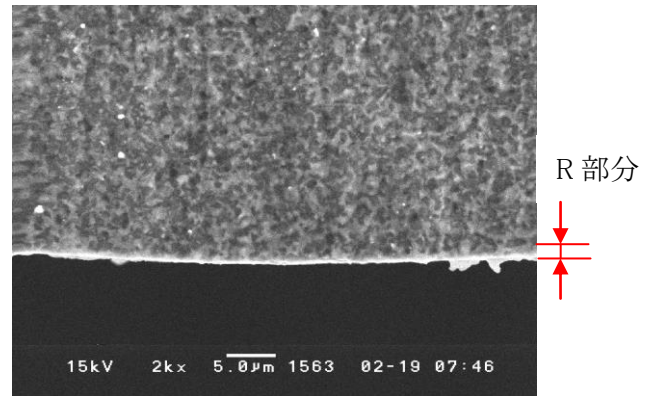


図2-4 レーザー加工したすくい面

(3) 開発チップの評価 (適正角度特定テスト)

それぞれの材料に適したネガ角/傾斜角を特定するため、角度について多水準テストを実施した。方法としては、ネガ角だけをもった刃先を鉛直軸中心に回転する方法を取った。これにより傾斜成分が生じる。その時のネガ角/傾斜角は図2-5の計算式から表2-4のように算出できる。この角度設定で各材料に対して適正な角度の特定を試みた。

法線ベクトル ϕ_0

回転後 法線ベクトル ϕ_1

回転後 法線ベクトル ϕ_1 の送り方向 傾斜成分

ネガ角を持つチップを Z軸中心に回転すると 傾斜成分が発生する

<算出式>

ネガ角を α_0 とすると

$$\phi_0 = \begin{pmatrix} -\sin\alpha_0 \\ 0 \\ \cos\alpha_0 \end{pmatrix}$$

$$\phi_1 = R^\theta \cdot \phi_0$$

$$R^\theta = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\phi_1 = \begin{pmatrix} \cos\theta \cdot \sin\alpha_0 \\ -\sin\theta \cdot \sin\alpha_0 \\ \cos\alpha_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{pmatrix}$$

実際のネガ角 $\alpha_1 = 90^\circ - \tan^{-1}(z_1/x_1)$

実際の傾斜角 $\beta_1 = 90^\circ - \tan^{-1}(z_1/y_1)$

(4 段テストピース)

図2-5 ネガすくい面の鉛直軸回転による傾斜角の発生

表 2-4 鉛直軸 (B 軸) 回転角度と実際のネガ角/傾斜角

ネガ角 \ B 軸回転角		-10 度	0 度	20 度	40 度
		10 度	9.85	10	9.41
	実際の傾斜角	-1.75	0	3.45	6.47
20 度	実際のネガ角	19.72	20	18.88	15.58
	実際の傾斜角	-3.61	0	7.1	13.17
30 度	実際のネガ角	29.62	30	29.48	23.86
	実際の傾斜角	-5.72	0	12.17	20.36

① 面粗度

先述の方法で全 12 水準テストを 3 種類の材料 (SUS420J2、SCM415、SUJ2) で試みた。その結果、傾斜角負の領域で面粗度が大幅に改善されることが分かった (図 2-6)。そこでさらに水準を細分化してテストを行った。その結果を図 2-7 に示す。面粗度が向上する領域がさらに特定され、ネガ角/傾斜角の最適値は、SUS、SCM で 10 度/-5~-10 度、SUJ2 では 15 度/-15 度であることがわかった。

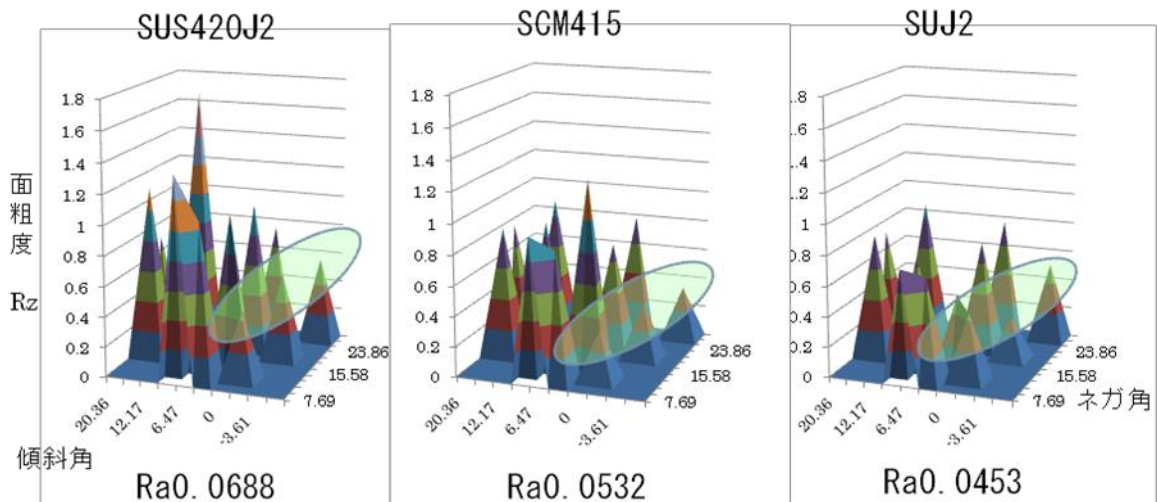


図2-6 ネガ角・傾斜角と面粗度

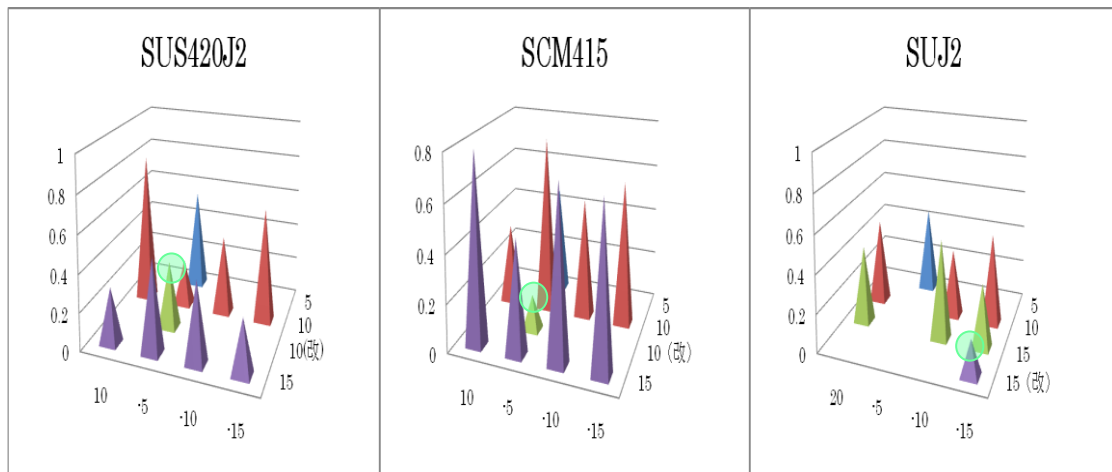


図2-7 適正角度特定テスト面粗度の結果

② 切屑状態

傾斜角が負の領域になるに従って切屑が細く、長くなることがわかった。傾斜角負で切屑排出が安定していることがわかる。

③ 切屑挙動

SUS420J2、SCM415は、切屑は予想したほど長く伸びなかったが、排出方向は一定（作業側）となった。この傾向は3種類すべての材料に見られ、傾斜角負で切屑排出が安定することが確認できた。

表2-5 切屑の挙動

	傾斜角	SUS420J2	SCM415	SUJ2
切屑排出方向	正	×	×	△
	負	○	○	○

×:全く一定でない △:あまり一定でない ○:ほぼ一定

第3章 高剛性精密切削機の開発

3-1 研究目的及び目標

高硬度材の超精密切削を安定的に実現するため以下の装置を開発、導入した。

【目標】 下記装置の開発・導入による面粗度 Ra0.05、寸法精度、形状精度 $0.5\mu\text{m}$ の達成。

- (1) 高剛性超精密切削加工機
- (2) 高剛性微動工具台
- (3) ミスト供給装置
- (4) 工具位置検出装置
- (5) 真空チャック・真空装置
- (6) 超微動工具調整台
- (7) 恒温チャンバー
- (8) 砥石軸



図3-1 高剛性超精密切削加工機



図3-2 高剛性微動工具台

3-2 実施方法

- (1) 高剛性超精密切削加工機（油圧回路絞り超仕上げ、組込み、精度測定）
- (2) 高剛性微動工具台（設計・製作）
- (3) ミスト供給装置（仕様検討、製作、導入）
- (4) 工具位置検出装置の導入（仕様検討、製作、導入、改造）
- (5) 真空チャック・真空装置の導入（仕様検討、製作、導入、改造）
- (6) 超微動工具調整台の導入（仕様検討、製作、導入、改造）
- (7) 恒温パッケージの導入（仕様検討、仕様検討、製作、導入、改良）
- (8) 砥石軸の導入（仕様検討、製作、導入）

3-3 研究成果

- (1) 高剛性超精密切削加工機

図3-1に導入した高剛性超精密切削加工機を示す。油静圧機構とリニアモーター駆動により10ナノ ($0.01\mu\text{m}$) 以下の繰返し位置決め精度を実現した。また油圧経路

の絞り（オリフィス）の品質向上には当社の仕上技術を適用した。

(2) 高剛性微動工具台

図3-2（前ページ）に高広工業で設計、製作した高剛性微動工具台を示す。この装置により振動のない±10μmの位置決めが可能になった。

(3) ミスト供給装置

刃先の摩耗低減と切削抵抗低減を目的としてミスト供給装置を導入した。メーカーと仕様を検討し、決定した。ミスト潤滑により切削抵抗が半減した。

(4) 工具位置検出装置の導入

この装置により目視の時発生していた刃先芯高ギャップを最小化（20μm→1μm）することができた。

(5) 真空チャック・真空装置

スクロールチャックから真空チャックに変更することで真円度は2.5μmから0.45μmに改善され目標値を達成した。

(6) 超微動工具調整台

コンパクトな刃物台を使用することで加工の自由度が広がり、精密サーボモーター軸の端面の表裏がワンチャック加工できるようになった。本調整台はミクロン単位で芯高を調節可能で、工具位置検出装置と併せて刃先位置決め精度が飛躍的に向上した。

(7) 恒温チャンバー

恒温チャンバーの設置によって温度一定（22度±0.5度）の環境で切削できるようになった。寸法精度は0.1μmを保証できるようになりテスト効率が飛躍的に向上した。

(8) 砥石軸

砥石軸で精密サーボモーターの部品を研削加工し、開発技術（切削）と加工時間の比較をした。その結果、加工時間は切削加工の5倍以上であった（表3-1）。特に端面の研削加工は熱を持つことで精度が安定せず時間を要した。開発技術のさらなる条件追及、取り代の最適化により現状の切削時間半減は可能と見ており、研削に対し工数1/10化は実現可能と予想する。

表3-1 切削と研削の加工時間比較

加工部品		切削 H		研削 H	
軸	外径	0.8	1.4	2	7.5
	端面	0.6		5.5	
軸受	内径	1.5	2.5	6	14
	端面	1		8	

第4章 切削条件の確立及び評価

4-1 研究目的及び目標

第2章で述べた開発技術と第3章で開発、導入した設備を用いて実際の製品に適した切削条件を見出す。目標は下表に示す値とする。

表 4-1 各製品における部品要求精度 (単位: μm)

製品	部品	要求項目	目標精度
精密サーボ モーター	軸受	真円度	0.5
		直角度	2.0
		面粗度	Ra0.08
	軸	真円度	0.5
		直角度	0.5
		面粗度	Ra0.08
精密減速機	アウターレース	真円度	0.5
		面粗度	Ra0.2
燃料噴射部品	バルブボディ	真円度	0.2
		面粗度	Ra0.035

4-2 実施方法

「高強度・高切削性工具の開発」で明らかにした刃先形状、切削条件を基に各製品に適した加工条件を見出す。各製品に適した固定方法で切削し、条件を精査した。

4-3 研究成果

表 4-2~4 に精密サーボモーター、精密減速機、燃料噴射部品に開発技術を適用した結果を示す。精密サーボモーターは軸受、軸ともにほぼ満足のいく精度を達成し、現在組立を完了し、性能評価中である (補完研究で確認予定)。精密減速機も同様に目標値を達成したので今後減速機に組付け性能評価をする。噴射部品は面粗度は確保できたが量産時の刃先耐久性に懸念があり、今後ユーザーと協議しながら進める。

表 4-2 精密サーボ軸受 テスト結果 (総括)

	項目	目標	結果	評価
軸受	面粗度 Ra 内径	0.8	0.103	△
	面粗度 Ra 端面	0.8	0.049	○
	真円度 μm	0.5	0.39	○
	直角度 μm	2	1.34	○
軸	面粗度 Ra 外径	0.8	0.068	○
	面粗度 Ra 端面	0.8	0.140	△
	真円度 μm	0.5	0.14	◎
	直角度 μm	0.5	0.44	○

表 4-3 精密減速機 アウターレースのテスト結果 (総括)

項目	目標	結果	評価
面粗度 Ra 内径	0.2	0.052	◎
真円度 μm	0.5	0.25	○

表 4-4 燃料噴射部品 バルブボディのテスト結果 (総括)

項目	目標	結果	評価
面粗度 Ra 内径	0.035	0.032	○

第5章 全体総括

5-1 成果の総括

(1) 高強度・高切削性工具の開発

- 平成 23、24 年度の 2 年間の研究で強度と切削性を兼ね備える刃先形状を開発した。ステンレス焼入鋼、浸炭鋼、軸受鋼という 3 種類の代表的な高硬度鉄鋼材を対象に開発を進め、表 5-1 に示す最適形状を特定した。

表 5-1 各材料の適正ネガ角/傾斜角

材料	ネガ角	傾斜角
SUS420J2 (ステンレス焼入鋼)	10 度	-5~-10 度
SCM415 (浸炭鋼)	10 度	-5~-10 度
SUJ (軸受鋼)	15 度	-15 度

- 24 年度の研究でナノパルスレーザー加工機を開発、導入した。このレーザー加工機を用いて cBN 工具を成形したところ、稜線 R (丸み) は 1 μm 以下のシャープエッジとなり、表面欠陥もほとんどない高品質の刃先を成形することができた。
- このレーザー加工チップを用いて上記 3 種類の材料 (テストピース) で加工したところいずれも優れた切削性を発揮し、面粗度は目標値を達成した (Ra0.05 以下)。レーザー加工 (アブレーション) という、新規で効果的な切削工具加工法を開発できた。

(2) 高剛性精密切削機の開発

本テーマにおいて開発、導入した機械とその目的、結果を表 5-2 に示す。すべての機械装置が精密切削に必要な設備であり、これらの設備が揃うことで初めて高硬度材の超精密切削が可能となった。

表 5-2 開発・導入した機械装置

No.	機械・装置	目的	結果
1	高剛性超精密切削加工機	高硬度材の超精密切削	位置決め再現性は 10nm
2	高剛性微動工具台	刃先の欠け防止	振動による欠け発生無
3	ミスト供給装置	刃先の欠け防止、摩耗低減	摩耗・切削抵抗半減
4	工具位置検出装置	刃先位置の高精度セット	1 μm の位置精度達成
5	真空チャック・真空装置	変形量の少ない保持方法	変形量 (真円度) 1/5 に
6	超微動工具調整台	刃先位置の高精度セット 加工の自由度拡大	1 μm の位置精度達成
7	恒温チャンバー	寸法精度の安定	22 度 ± 0.5 度を達成 寸法変化 0.1 μm 以下
8	砥石軸	生産性比較	切削が 3 倍以上の生産性であることを確認

(3) 切削条件の確立及び評価

- ・精密サーボモーターの部品（軸受、軸）に開発技術を適用し、いくつかの試行錯誤を重ねこれらの部品に最適な切削条件を見出した。寸法精度、形状精度、面粗度ともにほぼ満足できる精度に仕上げることができた。これらの部品を用いて製品を組立て、現在性能検査中である（剛性、浮上量は規格合格、回転振れ精度を測定予定）。
- ・精密減速機の回転部品（アウターレース）の内径に開発技術を適用し、最適な条件を見出した。面粗度、真円度は目標を達成した。今後さらに工程安定化を目指すとともに、製作部品を用いて精密減速機を組立て、製品性能（割出精度）を評価する。
- ・自動車向け燃料噴射部品についてテストピースを用いて加工を実施した。その結果面粗度は十分使用範囲であることが分かった。ただし工程の安定性（刃先状態の維持）が未知数であり、来年度以降の課題としたい。

表 5-3 製品適用の結果（まとめ）

	項目	目標	結果	評価
精密サーボ 軸受	面粗度 Ra 内径	0.8	0.103	△
	面粗度 Ra 端面	0.8	0.049	○
	真円度 μm	0.5	0.39	○
	直角度 μm	2	1.34	○
精密サーボ 軸	面粗度 Ra 外径	0.8	0.068	○
	面粗度 Ra 端面	0.8	0.140	△
	真円度 μm	0.5	0.14	◎
	直角度 μm	0.5	0.44	○
精密減速機 アウターレース	面粗度 Ra 内径	0.2	0.052	◎
	真円度 μm	0.5	0.25	○
燃料噴射部品 バルブボディ BL	面粗度 Ra 内径	0.035	0.032	○

5-2 事業化に向けた取組み

(1) 精密サーボモーター部品への適用

新明和工業株式会社で開発が進められている新規サーボモーター（SUS420J2 使用）はハードディスクの検査装置に使用されるモーターであり、現在アメリカのドーバー社と新明和工業の競争となっている。性能面でドーバーの方が若干リードしているが、本技術を製品に適用することで性能とコストの改善を狙っている。当初の目的は軸受のみに適用することであったが、レーザチップの切れ味が予想以上に良いことから軸の加工（従来は研削）にも適用した。結果は研削より寸法精度、形状精度が安定することがわかった。この部品を用いて当社で組立て、基本性能（剛性、浮上量）を測定し、規格値を満足することを確認した。今後新明和工業で回転振れ精度を調査する。工程としてさらなる寸法安定化と加工時間短縮を目指し、より生産性の高い加工方法とする。

(2) 精密減速機（ローラーギヤ式）

以前より当社で実施してきたローラーギヤ式精密減速機の精度評価と耐久テスト（第一次）が平成 25 年の夏に完了した。耐久テスト前後の割出精度はともに±12.5 秒で精度劣化はなかった。そこで昨年 10 月より主要部品であるカム・タレット（単体部品）の販売を始めた。この製品は 2013 年 10 月名古屋で開催されたメカトロテック 2013 に出展し、多くのユーザーの興味を集めた。ただ部品販売では今一つインパクトがなく、やはりユニットで販売しないと顧客の購入意欲には応えられない。よって商品のユニット化を急ぐ。現在オプション機能であるブレーキの性能改善の目処が立ち、最終試作中である。本事業の開発技術をタレットに取付けられているローラー（アウターレース）に展開する予定である。

展示会やメーカー訪問による調査から、工作機械業界ではバックラッシュのない減速機に対するニーズは高く、調査・訪問した会社の内 4 社ですでに採用され、その他の会社でも採用が検討されている（表 5-4）。ただしコスト（ウォーム方式の 1.5~2 倍）がネックであり、大きな広がりを見せていない。構成する主要部品（カム、タレット、ローラー）が研削部品でありコスト高になるためである。

本技術をこれらの部品に適用し研削を切削に置き換えられれば大幅なコストダウンが達成され、工作機メーカーに採用される可能性が高まる。当社のメイン事業であることから、この分野での事業化には最大限の力を注いで行く。

表 5-4 工作機械業界でのバックラッシュ減速機の動向

会社	現状、動向	今後の進め方
A 社	<ul style="list-style-type: none"> ・ RG 方式を積極的に採用 ・ 2012 年 11 月 JIMTOF に参考出展 ・ 2013 年 10 月メカトロテックに出展 ・ 耐久テストを共同実施し 250 万サイクルで問題ないことを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ブレーキ保持能力の向上 ・ ブレーキ耐久性の評価 ・ 開発技術の適用
B 社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 5 軸マシニングに引合いあり （コスト競争、実績で見送り） ・ カムタレット単体のラインナップ化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 継続的に PR し、次回の商機を待つ。
C 社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複合加工機 B 軸で高広製 R T の採用を検討中。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 4 月初品納入予定。
D 社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 複合機で全面採用。 ・ 専門業者を採用だが内製化の動き？ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 部品加工ですでに取引があるので ラインナップ化と実績を積み、 参入予定。

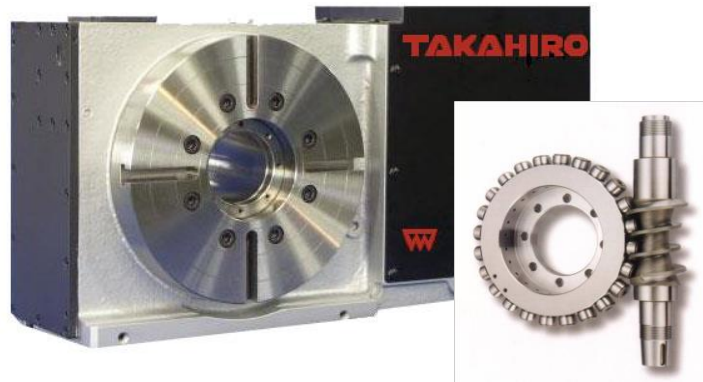


図5-1 開発した精密減速機 試作品
(マシニングセンター用NC円テーブル)

(3) 自動車燃料噴射部品

自動車の燃料噴射部品では噴射を安定的に行うために、高い面粗度、形状精度（真円度 $0.1\sim 0.5\mu\text{m}$ ）が必要である。本事業で開発した技術を適用したところ面粗度では目標を達成することができた。しかしこの状態（特に刃先の）を量産の中で安定維持することは非常に難しく、ラインで実用化するには違う角度からのアプローチ（例えば研削で中引き→切削で精密仕上、として刃先のダメージを最小にする）が必要となろう。形状的に切削工具が入らない部分もあり、今後の展開はユーザーと相談しながら決定したい。