

平成 29 年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「水素自動車燃料電池スタック セル用ガスケット製造金型の高精度加工の研究」

研究開発成果等報告書

平成 30 年 4 月

担当局 経済産業省 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人にいがた産業創造機構

目 次

総事業期間：平成 27 年 8 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日

取組み内容

【1】エンドミル切削加工における平面加工の面粗さ向上に関する研究

【1-1】適正切削条件に関する研究

【1-2】切削速度と面粗さの関係に関する研究

【2】勾配部・コーナーR部の仕上げ切削加工に関する研究

【2-1】3軸ヘール加工に関する研究

【2-2】5軸同期させたヘール加工に関する研究

【3】広域面の研削加工面粗さ向上に関する研究

【3-1】砥石の選定・開発

【3-2】ろ過装置のフィルターに関する研究

【3-3】超音波振動研削加工に関する研究

【4】寸法精度達成のための適切な温度管理に関する研究

【4-1】適正な温度管理範囲の研究

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

[研究開発の背景]

次世代自動車として注目される燃料電池車(FCV)は、2014年に試作車が売り出され、政府の押し進める2015年＝水素社会元年には、トヨタ自動車のFCV「ミライ」が世界で初めて市販された。水素自動車の心臓部である燃料電池は、単電池であるセルを370枚重ねたスタックと呼ばれる集合体であり、部品数も多く、また今後FCVの普及が進むにつれて膨大な数量が必要となることが予想される。

(株)A-TRADでは、燃料電池スタックに使用するセル用ガスケット金型を製造しているが、金型の要求性能は、成形品の寸法精度と離型性から決められる。この金型の場合、川下企業からは、成形品の寸法精度確保のため金型の寸法精度 $\pm 0.005\text{mm}$ 以内が、離型性確保のため金型の面粗さ $\text{Ra}0.04\sim 0.1\mu\text{m}$ 以内(部位によって異なる)が求められている。

要求精度とそれに対する(株)A-TRADの現状は、表1のようにになっている。

表1 セル用金型部品加工における現状と要求精度

	(株)A-TRADの現状		要求精度	
加工種類	寸法精度	面粗さ	寸法精度	面粗さ
切削加工 (エンドミル)	$\pm 0.01\text{mm}$	$\text{Ra}0.17\mu\text{m}$	$\pm 0.005\text{mm}$	$\text{Ra}0.05\sim 0.1\mu\text{m}$
平面研削加工	$\pm 0.005\text{mm}$	$\text{Ra}0.1\mu\text{m}$	$\pm 0.005\text{mm}$	$\text{Ra}0.04\mu\text{m}$

川下企業からの情報では、現在、金型関連の加工メーカーでこの技術レベルに達しているところはないとのことである。従って、この要求精度を満たしていくことは、(株)A-TRADのみならず同業他社も含め、加工メーカー全体の課題となっていると考えている。

[研究目的及び目標]

[1] エンドミル切削加工における平面加工の面粗さ向上に関する研究

[課題]

現在は従来型のエンドミルとマシニングセンターで、金型材であるプリハードン鋼を平面切削加工している。プリハードン鋼は粘りを伴う材質であるため、工具摩耗が進みやすく、また刃先のチップングが頻発し、そのために工具寿命が短くなり切削面粗さの悪化の原因となっている。

[具体的解決策]

加工材質に合った工具の選定(材質と形状)・切削条件・最適な切削油剤を見出す実験を行い、チップングが発生せず工具摩耗の進行が最小となる切削条件を見出す。

[研究開発の高度化目標] 従来型の切削工具と加工機で、平面切削加工部の要求面粗さを達成する。

[技術的目標値] 現状の平面切削面粗さ $\text{Ra}0.17\mu\text{m} \rightarrow \text{Ra}0.1\mu\text{m}$

[2] 勾配部・コーナーR部の仕上げ切削加工に関する研究

[課題]

現在勾配部・コーナーR部の加工は、小径エンドミルにより平面加工と勾配加工の3軸平面(X・

Y・Z)で加工している。勾配部では側刃のチッピングによる横キズの発生のため離型が悪くなる問題がある。また、コーナーR部では、エンドミルが小径であるため、切削抵抗で工具が倒れ、食い込む問題が発生している。また、コーナーR部は粗さ不良のため磨きの必要があるが、そのために面ダレが発生し、型の形状精度が低下する問題もある。



図7 勾配部とコーナーR部

勾配部→横キズが入り離型が悪くなる

コーナーR部→食い込みの発生

[具体的解決策]

5 軸加工機に超音波振動ヘール加工を取り入れ加工する研究を行う。具体的にはXYZの3軸の他にA軸(ヘールの移動)とC軸(テーブル回転軸)を同期させて勾配加工からコーナーRに至る加工を直線的に行う加工方法を研究する。

またヘール加工では工具への切りくずの付着が問題となるが、工具に超音波を付与することで切りくずの付着を抑える超音波振動加工を導入し克服を目指す。

具体的な研究項目は

- ① 最適工具の検討(バイトの材質、先端ノーズRなどの形状の検討)
- ② 切削条件の検討(切削速度、切込深さ、ピック量。また付与する超音波の周波数・強度など)
- ③ コーナーR部での加工条件の研究(C軸制御と送り速度の関係の研究、CAMへの切削条件落とし込みの研究)

[研究開発の高度化目標] 勾配部・コーナーRの要求面粗さを切削面のまま達成し、磨きレスにより形状精度の保持を実現する。

[技術的目標値] 勾配部・コーナーR部の切削面粗さ $Ra0.17\mu m \rightarrow Ra0.05\mu m$

【3】広域面の研削加工面粗さ向上に関する研究

[課題]

ガasket製造金型の大きさは $\square 400mm$ 程度であり、ある程度の広さの面の面粗さを良好に仕上げる必要がある。予備実験により、現状の研削加工面の面粗さ不良は、①砥石の目づまりによる研削不良、②研削液に混入した微細な砥粒によるスクラッチの発生、が原因であると見当がついている。

[具体的解決策]

最適砥石の選定(材質・粒度・結合剤・組織)・砥石の目づまり対策(超音波振動研削の研究)・研削条件(砥石回転数・切込み量・トラバース回数)・砥石のドレッシング条件の研究(回数・切込み量・送り速度)・研削液中の砥粒の除去方法(フィルターの選定)を研究し、解決を図る。

[研究開発の高度化目標] 目詰まりやスクラッチの発生しない研削条件を見出し、要求面粗さを達成する。

[技術的目標値] 現状の研削面粗さ $Ra0.1\mu m \rightarrow Ra0.04\mu m$

【4】寸法精度達成のための加工環境の温度管理に関する研究

〔課題〕

ガasket製造金型の大きさは□400mm で比較的薄肉であるため、クランプ力による変形を避けるため、マグネットチャックによりクランプするなど、細かい配慮のもと加工しているにも関わらず、寸法誤差が頻発している。これは、加工環境の温度の上下によって鋼の伸縮が発生するためと考えられる。鋼の熱膨張係数は 11.7 であり、これは材料の温度が 1℃上下すると、1m 当たり 11.7 μ m(=0.0117mm)伸縮することに相当し、今回の要求精度を満たすためには無視できない量である。

実際の加工現場では、気温の変動に加え、加工摩擦熱・機械の発熱・作業者自身の体温など多くの熱源がある。また、加工現場を温度管理しても、温度になじませるための時間の特定などの課題がある。

〔具体的解決策〕

精密に温度管理できるブースを設置して、ブース内で、ブース外からの搬入品が室内温度になじむ時間の研究、管理された温度下での切削実験を行うと共に、適正な温度管理範囲の検討を行う。

〔研究開発の高度化目標〕寸法精度 ± 0.005 mm を達成するための適正な温度管理条件を見出す。

〔技術的目標値〕適切な温度管理目標($\bigcirc\bigcirc^{\circ}\text{C}\pm\bigcirc^{\circ}\text{C}$)を見い出す。

1-2 研究体制

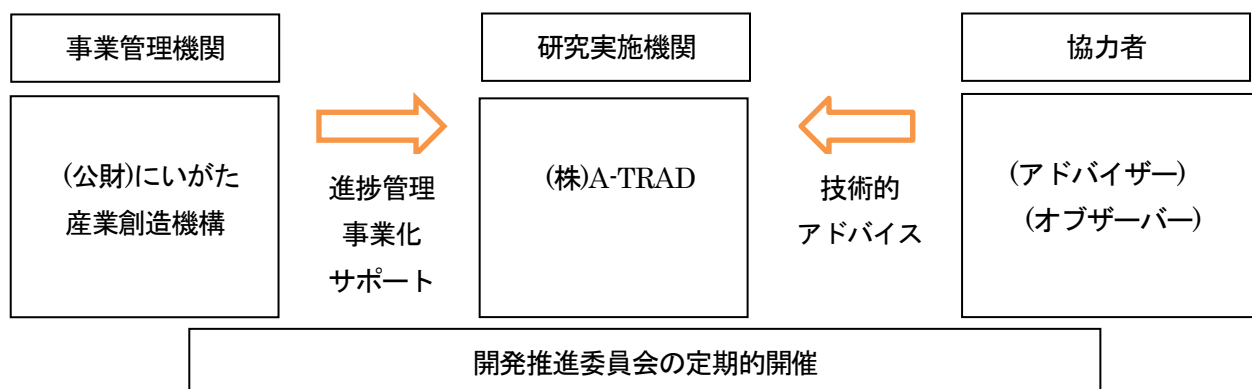
〔本事業の実施体制〕

本事業では、研究開発機関として株式会社 A-TRAD が、高精度加工・鏡面切削・鏡面研削加工全般の研究開発を行い、高精度金型部品加工技術の構築を図る。川下企業からは、株式会社ステップより平田氏にアドバイザーとして加わって頂き、川下ニーズを的確に反映した研究開発を行う体制とした。

また、精密振動加工・振動研削に造詣の深い、長岡技術科学大学磯部准教授には、超音波振動研削と面粗さについてアドバイスを頂く。さらに、地元の公設試験研究機関である新潟県工業技術総合研究所からは、切削加工・研削加工全般についてのアドバイスを頂く。加えて、高精度な切削加工機の製造を得意とする東芝機械株式会社からは、5 軸加工・超音波振動ヘール加工全般についてのアドバイスを受ける。

なお、事業管理機関は、平成 19 年度よりサポインの事業管理を数多く経験する(公財)にいがた産業創造機構があたり、進捗管理から事業化まで万全の態勢でサポートする。

〔研究組織・管理体制〕



研究実施機関 (株)A-TRAD

研究者名

区分	氏名	所属・役職	担当業務(サブテーマ番号)
△	安藤 敏希	代表取締役	全体取り纏め[1-1]～[4-1]
○△	飯田 勝 (PL)	品質管理部 部長	全体取り纏め[1-1]～[4-1]
○△	弦巻 仁 (SL)	工場長	[3-3]、[4-1]
○	渡辺 初	製造部 リーダー	[1-1]、[2-1]、[4-1]
○	横山 賢二	製造部 リーダー	[1-1]、[2-1]、[4-1]
○	渡邊 浩紀	製造部 リーダー	[3-3]、[4-1]

アドバイザー

機関名又は氏名	所在地又は住所	代表者等	具体的な協力内容
株式会社ステップ	〒950-3102 新潟県新潟市北区島見町 3399-11	① 代表者:代表取締役 石田 康 ②担当者:営業部 平田 佳央 ③電話番号:025-257-4681	切削・研削面粗さ他全般への助言
国立大学法人 長岡技術科学大学	〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1	① 代表者:学長 東 信彦 ②担当者:准教授 磯部 浩巳 ③電話番号:0258-47-9862	超音波振動研削への助言
新潟県工業技術総合 研究所	〒950-0915 新潟県新潟市中央区鋳西 1-11-1	① 代表者:所長 坂井 朋之 ②担当者:専門研究員 石川 淳 ③電話番号:025-247-1320	切削・研削加工への助言
東芝機械株式会社	〒410-8510 静岡県沼津市大岡 2068-3	①代表者:取締役社長 飯村 幸生 ②担当者:ナノ加工システム事業部 担当部長 百地 武 ③電話番号:055-926-5132	超音波振動ヘール加工・5軸加工に関する助言

オブザーバー

国立大学法人 長岡技術科学大学 名誉教授	〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1	① 担当者:名誉教授 柳 和久	表面粗さへの助言
新潟工科大学 機械制御システム工 学科	〒954-1195 新潟県柏崎市藤橋 1719	②担当者:准教授 小林 義和	切削研削加工への助言

1-3 成果概要

研究課題	研究目標	研究の成果	できなかった課題
1-1 適正切削条件に関する研究	6 万～10 万回転における切削実験による適正切削条件の確立、面粗さ Ra0.1 μm の達成	・超硬、CBN、ダイヤモンド工具ににおける最適切削条件を見出した。また、10 万回転主軸により CBN 工具、ダイヤモンド焼結体 (PCD)単結晶ダイヤモンド工具による実験で適正な切削条件を見出した。	
1-2 切削速度と面粗さの関係に関する研究	広域面の面粗さ Ra0.1 μm の達成	・目標の面粗さ達成に必要なのピック送り 0.35 mm以内に加工する条件を見出した。	
2-1 3 軸ヘール加工に関する研究	楕円振動ヘール加工を活用して面粗さ Ra0.05 μm を達成し、同時 3 軸加工加工を実現する	・楕円振動ヘール加工において超硬チップ、サーメットチップ、ダイヤモンドチップにより実験を行い、ダイヤモンドチップによる楕円振動を付与した加工で鏡面を得た。	
2-2 ・5 軸同期させたヘール加工に関する研究 ・ツール管理システムの実施	・5 軸同期したヘール加工を実施し、面粗さRa0.05 μm を実現する ・ツール管理システムにより刃先の管理、各種工具のデータベース化を図る。	・5 軸ソフトによるコーナー R、テーパ加工を連続で行い、目標を達成した。 ・ツール管理システムによる工具のデータベース化が図れ、振動分析処理による最適環境下での加工による、面粗さ向上が図れた。	
3-1 砥石の選定・開発	最適砥石の選定・自社製砥石の開発 Ra0.1 μm →Ra0.04 μm 以内	・砥石の開発を行った ASD#800～2000 による実験で Ra0.022 μm を達成した。	

3-2 ろ過装置のフィルターに関する研究	最適フィルターの選定 Ra0.1 μ m $\rightarrow$ Ra0.04 μ m 以内	・SD 砥石による最適フィルターの実験で砥石 #800 $\rightarrow$ フィルターメッシュ #5 ~ 10、砥石 #1200 $\rightarrow$ フィルターメッシュ #2 ~ #8 が妥当との結論を得た。	
3-3 超音波振動研削加工に関する研究	広域面粗さ Ra0.04 μ m 超音波洗浄機による、微細なキズの防止	・実験から面粗さ 7% ~ 17% 改善した。スクラッジの数が全体的に減少した。 ・超音波洗浄による微細な砥粒によるキズ防止脱脂洗浄に効果が有った。	
4-1 適正な温度管理範囲の研究	ブース外からの搬入品がブース内になじむ時間 適正な温度管理(00 $^{\circ}$ C $\pm$ 0 $^{\circ}$ C)を見出す	・ブース内に持ち込んでなじむ時間を実験で導き出した。持ち込み時の温度となじむ時間の見える化が図れた。 ・適正な温度管理を以下に定めた。 5月~9月...23 $^{\circ}$ C 10月~4月...20 $^{\circ}$ C 各($\pm$ 1 $^{\circ}$ C)	

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関

公益財団法人 にいがた産業創造機構

連絡担当者所属役職・氏名:産業創造グループ 産学連携チーム エキスパート 皆川 森夫

Tel:025-246-0068 Fax:025-246-0030 E-mail:m-minagawa@nico.or.jp

研究開発者

事業者名・所属部署名:株式会社 A-TRAD・品質管理部

所属役職:部長 氏名:飯田 勝(e-Rad 研究者番号(8ケタ):90766221)

Tel:025-250-5765 Fax:025-250-5123 E-mail:m-iida@a-trad.co.jp

第2章 本論－(1)

【1】エンドミル切削加工における平面加工の面粗さ向上に関する研究

【1-1】適正切削条件に関する研究

目的：広域面の切削面粗さ $0.1 \mu m$ 以内になる最速・最適切削条件の把握

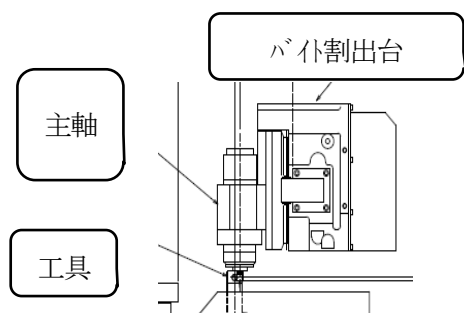
NAK80 材による、切削実験によりデータ蓄積を実施し、諸元の確立を図った。

6 万回転による適正切削条件表を以下に示す

以下の一覧表参照

NAK80材実験結果からの切削条件表(仕上げ工程)							
工具材種	刃物径	刃物種類	有効長	回転数	送り	Z切込量	ピック送り
超硬	$\phi 6 \times R0.3$	ラジラスエンドミル	12	8000	800	0.05	2
"	$\phi 5 \times R0.1$	ラジラスエンドミル	12	8500	800	0.05	1.5
"	$\phi 4R0.5$	ラジラスエンドミル	12	9000	700	0.03	1
"	$\phi 3 \times R0.3$	ラジラスエンドミル	12	10000	700	0.03	0.7
"	$\phi 2 \times R0.2$	ラジラスエンドミル	6	20000	600	0.02	0.3
"	$\phi 1 \times R0.1$	ラジラスエンドミル	3	25000	500	0.01	0.2
"	$\phi 0.6 \times R0.2$	ラジラスエンドミル	2	30000	400	0.01	0.1
CBN	$\phi 2R0.1$	CBNラジラス	5	60000	300	0.01	0.25
CBN	$\phi 1R0.1$	CBNラジラス	2	60000	300	0.01	0.15
ハインダレスCBN	$\phi 1R0.1$	ハインダレスCBNラジラス	3	60000	300	0.01	0.15
"	$\phi 0.5R0.06$	ハインダレスCBNラジラス	2	60000	300	0.01	0.05
超硬	$\phi 3 \times R1.5$	ボールエンドミル	8	14000	600	0.03	0.03
"	$\phi 2 \times R1$	ボールエンドミル	4	14000	500	0.03	0.03
"	$\phi 1 \times R0.5$	ボールエンドミル	2	15000	500	0.02	0.02
"	$\phi 0.6 \times R0.3$	ボールエンドミル	1	20000	400	0.02	0.01
CBN	$\phi 0.6 \times R0.3$	CBNボールエンドミル	1.5	60000	300	0.01	0.01
"	$\phi 1 \times R0.5$	CBNボールエンドミル	2.5	60000	300	0.01	0.01
"	$\phi 1.5 \times R0.75$	CBNボールエンドミル	3.8	60000	300	0.01	0.01
"	$\phi 2 \times R1$	CBNボールエンドミル	5	60000	300	0.01	0.01
ダイヤコート	$\phi 0.6 \times R0.3$	ダイヤコートボール	0.37	60000	200	0.003	0.01
"	$\phi 1 \times R0.5$	ダイヤコートボール	0.56	60000	200	0.005	0.01
"	$\phi 1.5 \times R0.75$	ダイヤコートボール	0.95	60000	200	0.005	0.01
"	$\phi 2 \times R1$	ダイヤコートボール	1.45	60000	200	0.005	0.01
ハインダレスCBN	$\phi 1 \times R0.5$	ハインダレスCBNボール	3	60000	300	0.006	0.01
"	$\phi 0.6 \times R0.4$	ハインダレスCBNボール	1.8	60000	300	0.006	0.01
超硬	$\phi 6$	スクエアエンドミル	18	5000	500	0.05	2.5
"	$\phi 5$	スクエアエンドミル	10	7500	300	0.03	2
"	$\phi 4$	スクエアエンドミル	12	10000	500	0.03	1.5
"	$\phi 3$	スクエアエンドミル	9	15000	630	0.03	1
"	$\phi 2$	スクエアエンドミル	6	20000	200	0.03	0.5
"	$\phi 0.8$	スクエアエンドミル	1	25000	200	0.03	0.2
CBN	$\phi 1$	スクエアエンドミル	6	60000	200	0.01	0.15
"	$\phi 0.5$	スクエアエンドミル	6	60000	200	0.01	0.1
ハインダレスCBN	$\phi 1$	ハインダレスCBNスクエア	3	60000	300	0.01	0.15
"	$\phi 0.5$	ハインダレスCBNスクエア	1.5	60000	300	0.01	0.1
"	$\phi 0.3$	ハインダレスCBNスクエア	0.9	60000	300	0.01	0.05
ダイヤモンド	$\phi 1$	ダイヤモンド	2	60000	300	0.003	0.15
"	$\phi 0.5$	ダイヤモンド	1	60000	300	0.002	0.1
*現有設備の最大回転数60000min ⁻¹ (CBN・ダイヤモンドでは回転不足が考えられる)							

6 万～10 万 回転主軸による、超高速回転・高速送りの切削実験を行い、
最適切削条件を確立した、以下に 10 万回転主軸の概要と切削条件表を示す。



10 万回転主軸による切削実験

面粗さ $Ra0.0072 \mu m$

結果

ダイヤモンドラジアスエンドミルでチャンピオンデータ $Ra0.0072 \mu m$ の鏡面を達成した。

また上記の切削実験をもとに、下記の最適条件表を確立した。

切削条件表 主軸回転数 $100,000 \text{min}^{-1}$

工具	型式	サイズ	切込み量(mm)	ピック送り量(mm)	送り(mm/min)
C B N	SSPB220	SSPB220 R0.2	0.01	0.02	1500
		SSPB220 R0.3	0.02	0.04	1800
		SSPB220 R0.5	0.04	0.08	3000
C B N	S F B 2 0 0	SFB200 R0.2	0.01	0.02	1500
		SFB200 R0.3	0.02	0.02	1600
		SFB200 R0.5	0.01	0.02	1250
PCD	P C D R B	PCDRB R0.2	0.004	0.004	400
		PCDRB R0.3	0.006	0.006	800
		PCDRB R0.5	0.01	0.01	1000
単結晶ダイヤモンド	アキュラジラス	$\phi 1$ ストレート	0.005	0.005	500

【1－2】切削速度と面粗さの関係に関する研究

目的: ①広域面 面粗さの向上。

②加工時間と面粗さに及ぼす影響について実験し、最適切削領域を見出す。

(効率も考慮した条件出し)

実施内容 1: 面粗さ出しの実験



使用工具: $\phi 2$ CBN 及び超硬エンドミル

実験の面粗さ結果: $Ra0.054 \mu m$ (チャンピオンデータ)
 $Ra0.1 \mu m$ 以内を実現

従来面との比較 (中央部光沢面 $Ra0.1 \mu m$ 以内)

実施内容2

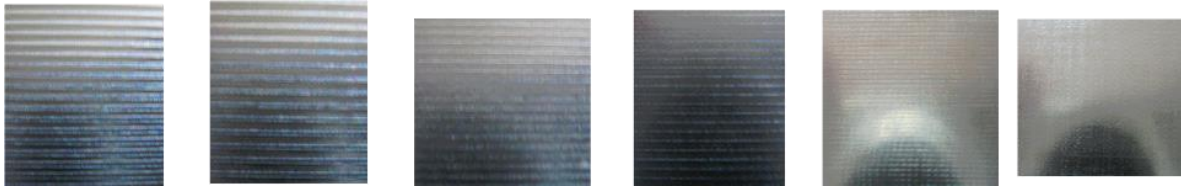
加工時間と面粗さの関係を、ピック送りを変化させることによって、面粗さがどう変化するかを実験から求めた。

2種類の工具を使用し、【1-1】で見い出した最適条件下で実験した。

(以下参照) 写真とグラフ

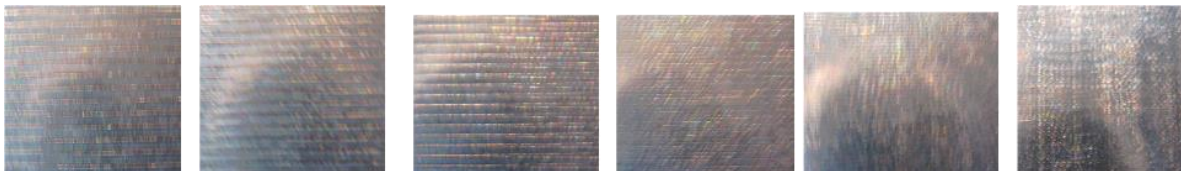
加工時間と面粗さの実験結果

超硬刃物(φ2.0R0.2 付)



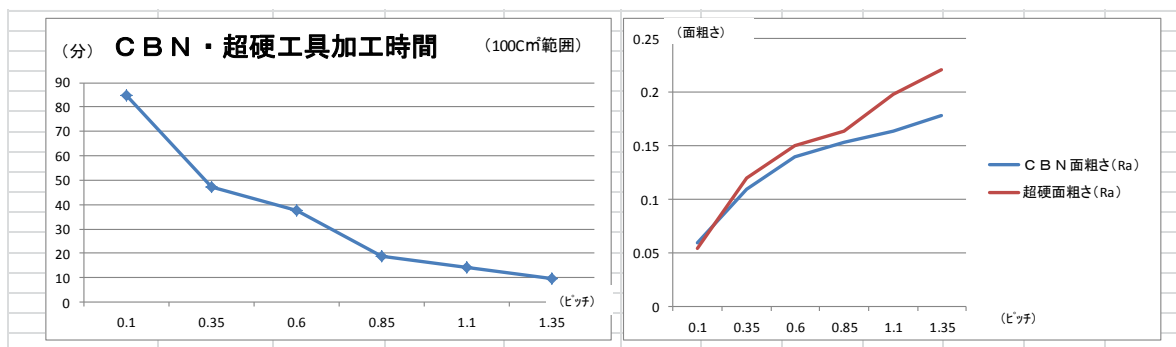
面粗さ: Ra0.221μm 0.198 0.164 0.150 0.120 0.054

(CBN 刃物(φ2.0R0.2 付)



0.178 0.164 0.153 0.140 0.110 0.060

上記の結果をグラフ化した。



結果: 面粗さはピック送りを少なくすることによって良くなるが、加工時間が掛かる。

そこで面粗さ Ra0.1 μm を満足する範囲での加工では、ピック送り 0.35 mm 以内が良好との結果を得た。

【2】勾配部・コーナーR 部の仕上げ切削加工に関する研究

【2-1】3 軸ヘール加工に関する研究

3 軸加工の概要



楕円振動ヘール加工の概要

楕円振動装置を利用した比較実験から以下の結論を得た。

単結晶ダイヤモンド工具における、楕円振動有無の比較

* 機器名: 楕円振動切削装置

* 活用方法

楕円振動ヘール加工に、振動無しによるヘール加工と振動を付与した超硬加工では、2 倍近い工具寿命の向上が得られた、また、ダイヤモンド工具においては、むしれが無くなり、鏡面が得られた。

この事から本技術は、幅広く楕円振動装置による鏡面加工に活用できる。

楕円振動なしと付与した写真を下記に示す。



楕円振動なし

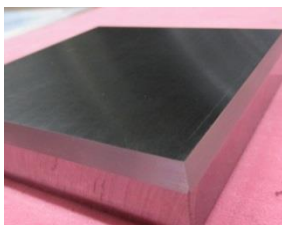


楕円振動付与

・ダイヤモンドチップによる切削で、楕円振動を付与すると左図の様に振動無でむしれた状態から、鏡面になり効果が表れた。

・超硬チップにおける楕円振動ヘール加工は、振動無しに比較して 2 倍の効果が現れた。

ヘールによる 3 軸加工を行った。(下記、テーパ部分・・・5 軸加工の前段取組み)



(テーパ部分の 3 軸加工)



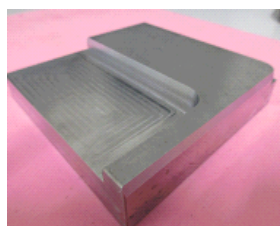
(楕円振動装置を用いた 3 軸加工)

【2-2】5 軸同期させたヘール加工に関する研究

川下企業・長岡技術科学大学・東芝機械(株)の助言の元、はじめに基礎データを蓄積し、そのデータを基に実験を実施した。その後、XYZ軸の他に A 軸(ヘールの移動)と C 軸(テーブル回転軸)を同期させて勾配加工

からコーナRに至る加工を直線的に行う方法を確立した。

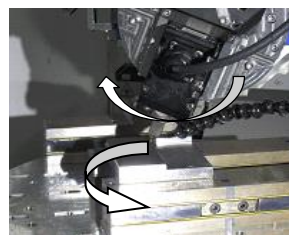
実施に当たっては①5 軸制御 CAD/CAM ソフト(Opt-1)を導入しヘール加工における、曲面制御に対応した。



完成サンプル品
(内・外周テーパ・R 加工)



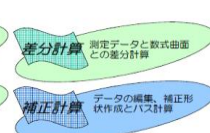
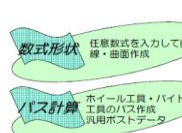
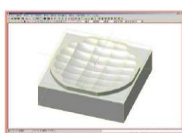
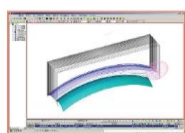
内周勾配 R 加工の例
(サンプル製品)



5 軸加工
(内周 R 部分の加工)

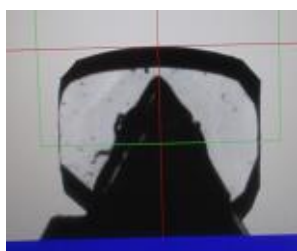
① 精密加工 5 軸 CAD/CAM ソフトの概要と対応

システム Opt-1 を使用し、作図機能、モデリング機能、加工機能を利用し、5 軸データが容易にでき、上記サンプル製品の加工、5 軸ヘール加工及び製品サンプル加工に役立ち、5 軸ヘール加工の目標を達成した。



② ツール管理システム ツールプリセッターの研究

導入したツールプリセッター(TP-300N)によって刃先の確認及び補正量(長さ補正・径補正)をツール毎に設定しデータベース化を図った。尚、ツールセット時における繰り返し精度の実験を行い、ツールセットにおける段取り精度の把握を行った。



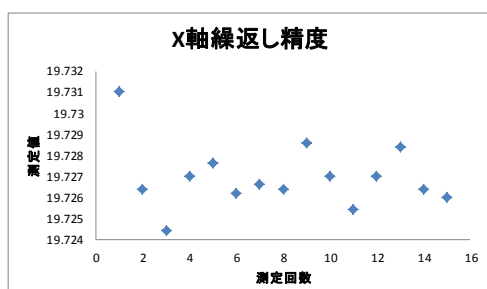
CCD カメラによる刃先管理



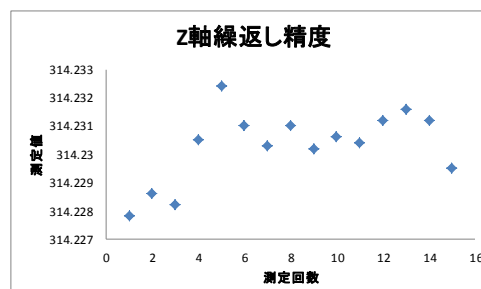
ツールセット



工具毎のデータベース化(PC 保存)



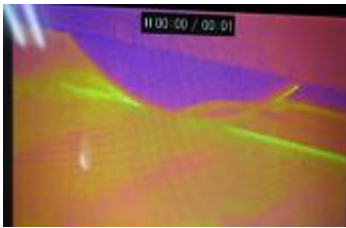
測定値：19.722～19.731 (範囲：±0.005mm)



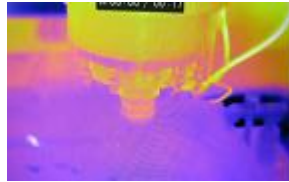
測定値：314.2278～314.2324 (範囲：±0.003mm)

③ 機能形熱画像カメラ

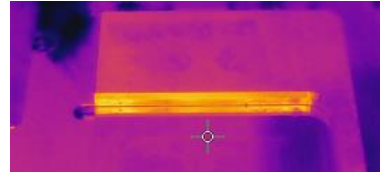
切削工具、ホルダー部分の異常発熱部位を感知でき、異常の早期発見、対策に役立てる事が出来た。
実施した感知写真例を以下に示す。



研削熱の発生



切削スピンドルの発熱



材料の加工熱

④ 振動感知装置

振動分析処理機によって、切削加工における振動、周囲環境における振動を検出し、切削異常の発生、機械・ワーク・治具・刃物の異常感知が行えた。

下記に示すとおり、4チャンネル分析処理機から分析された周波数スペクトル分析(横軸に周波数、縦軸に信号の大きさ)による異常振動の信号感知を行い、切削時の異常抵抗が感知できた。

下記の波形においては、切込深さを 0.01 mmから 0.15 mmまで、0.01 mm単位で変化させた時の振動の大きさを表した測定結果である。

切込量が大きくなると振動波も大きく変化し、刃先の欠損が発生した場合には、異常波を感知し状況を把握できる。



ビビリ発生の原因

また、作業環境における変化として、職場近くのクレーンが移動する際、振動が伝達され、超精密加工時に、振動現象によってビビリが発生したと思われる。

ビビリの現象



ヘール鏡面加工品



拡大20倍(ビビリ発生)



クレーン振動と思われる振動波形

【2-2】①～④を実施する中で、目標の面粗さ: Ra0.05 μ m を達成した。

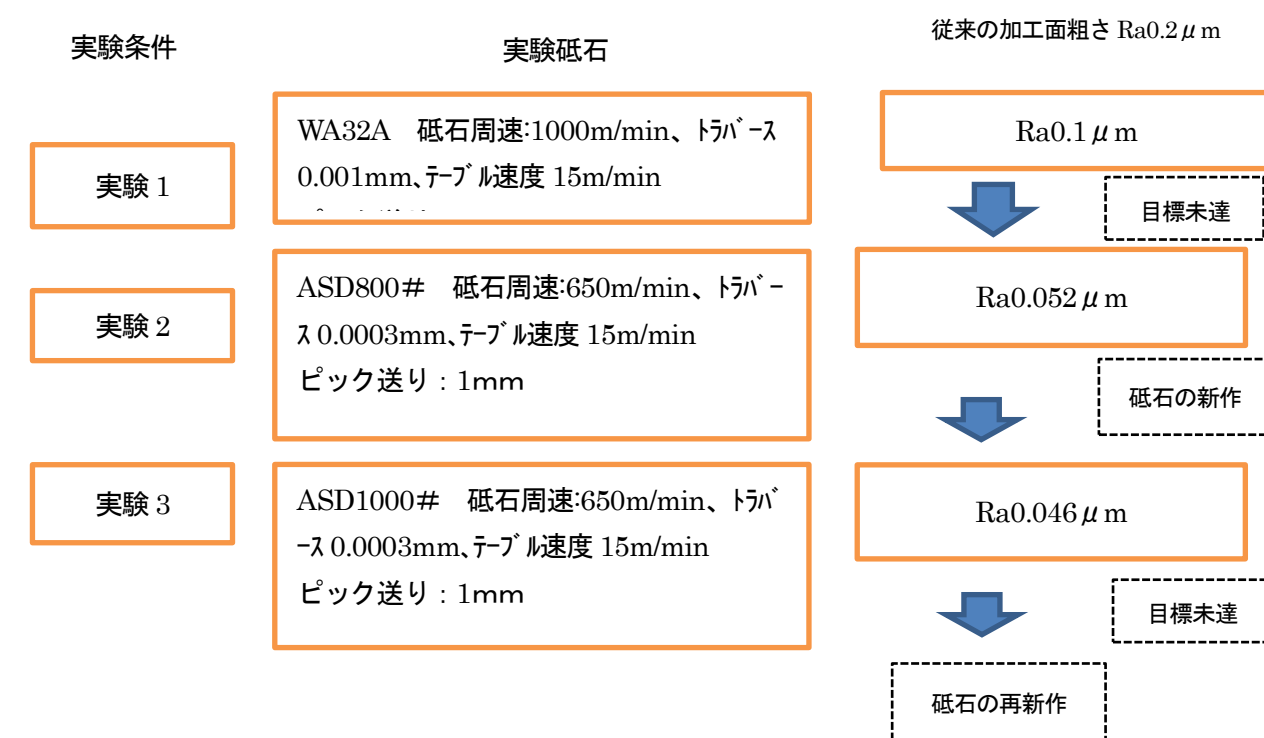
【3】広域面の研削加工面粗さ向上に関する研究

【3-1】砥石の選定・開発

市場調査により、ASD 砥石による加工に効果がありそうだとことから、ASD 砥石の研究・製作に重点を置いた。

目的: 最適砥石の選定及び新たな砥石の製作による面粗さの向上で目標達成を図る。

実施内容: 以下に実験結果を示す。



研削実験



ASD 新規製作の研削砥石

WA32A の砥石では、Ra0.1 μ m 以内に出すことは出来なかったが、ASD1000# では、Ra0.046 μ m まで到達することができた。

砥石のドレッシングを一定にして研削した場合、砥石の粒度が大きく影響すると考えられる。

結果：粗さ目標Ra0.04 μ m→Ra0.046 μ m

更に、ASD1200#及びASD2000#の砥石の開発を行い、実験した。

以下のような結果が得られ、目標を達成した。

目標	初年度成果	ASD1200の研究	ASD2000の研究
Ra0.04 μ m	Ra0.046 μ m	Ra0.025 μ m	Ra0.022 μ m

【3-2】ろ過装置のフィルターに関する研究

目的：砥石の目詰まり防止、スクラッチを防止する最適フィルターを見出し、面粗さ向上を図る。

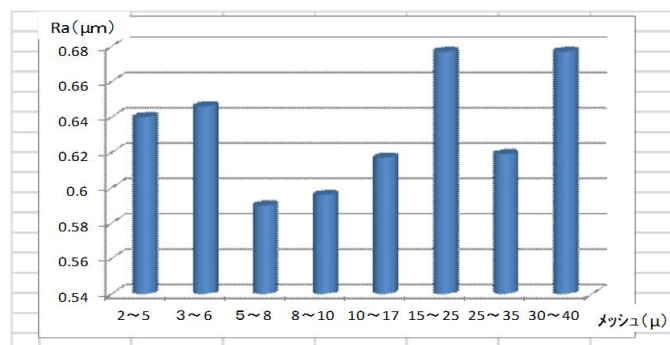
実施した実験内容：8種類のフィルターを準備し、それぞれ一定の条件で研削した場合の面粗さで比較した。

(以下にそのフィルターと研削条件を示す。)

NO	フィルターの型式(メッシュ)
1	PF505-2(2~5 μ m)
2	PF505-3(3~6 μ m)
3	PF505-5(5~8 μ m)
4	PF505-8(8~10 μ m)
5	PF505-10(10~17 μ m)
6	PF505-15(15~25 μ m)
7	PF505-25(25~35 μ m)
8	PF505-30(30~40 μ m)

研削条件：同一条件で実施
 研削液層手前にフィルターを取り付け、
 テーブルを洗浄後フィルター交換。1週間稼働後に実験した。ドレッシング、砥石の回転、送り量を一定にして行った。
 条件
 回転数：500min⁻¹、送り：1500mm/min
 研削量：0.02mm、切込み量：0.002mm
 最終トラバース5回

実験結果

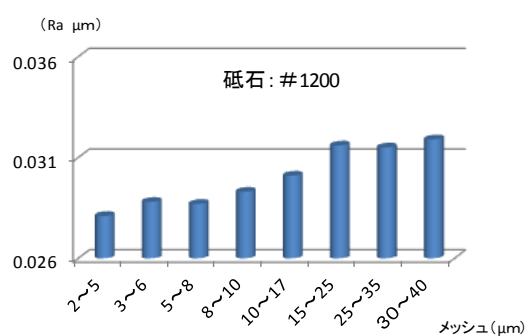


メッシュの違いによる表面粗さの実験結果

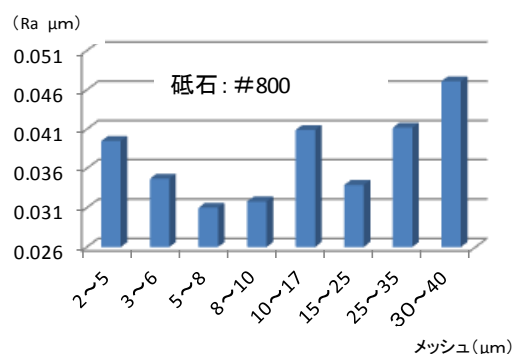
考察：メッシュ5 μ m から17 μ m の範囲のフィルターが妥当と思われる。

更に、鏡面研削砥石(CB800とCB1200を使用)における、最適フィルターの実験を行った。

その結果を下記に示す。



(砥石 CB800 による結果)



(砥石 CB1200 による結果)

実験の結果、#800 の砥石については、メッシュ 5～10 μ m に良好な結果が得られた。

#1200 の砥石については、メッシュ 2～8 μ m に良好な結果が得られた。

[3-3] 超音波振動研削加工に関する研究 (① 超音波重畳研削液装置)



超音波振動装置



振動発生操作盤

* 機器名: 超音波重畳研削液装置

研削液に超音波振動を重畳した研削の実験から、スクラッチの数、面粗さとも有意差検定法によってスクラッチの数が減少傾向にある。また、加工面の面粗さの比較において 7～17% 程度向上した。

	超音波重畳前	超音波重畳後
加工面粗さ(Ra μm)	0.71～1.056	0.66～0.88

仕上げ研削前の WA 砥粒で中仕上げ加工に適用する事から、スクラッチが減少傾向にある事は仕上げコスト減少に繋がる。

* 活用方法

研削盤の研削液に超音波振動を重畳して研削する事によって、砥石の目詰まりを防止しスクラッチの減少、面粗さの向上に役立てた。

[3-3]超音波振動研削加工に関する研究 (②超音波洗浄機)

従来はホワイトガソリンをエアで吹き付けて行っていたが、切粉や砥粒で微細なキズが付く問題があった。



従来の方法



超音波洗浄機による洗浄



* 機器名: 超音波洗浄機

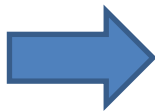
* 活用方法

超音波洗浄により細かい砥粒除去、汚れ、脱脂洗浄に活用する。

(洗浄例)



(洗浄前)



(洗浄後)

効果：油汚れ・細かい砥粒・脱脂洗浄・エアによるキズ防止・穴の奥・ねじ穴の洗浄等細かい部分の洗浄に効果が出た。

【4】寸法精度達成のための適切な温度管理に関する研究

【4-1】適切な温度管理範囲の研究（温調チャンバー）



温調チャンバー



平面研削実験用温調チャンバー

* 機器名：温調チャンバー、平面研削盤用温調チャンバー

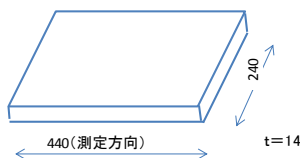
* 活用方法

ブース外からの搬入品が室内温度になじむ時間を研究し、室外温度とブース内温度差を時間の経過で観察し、なじむ時間をグラフ化した。これは寸法精度 $\pm 0.005 \text{ mm}$ を確保するための管理に活用する。

また、適正な温度管理($00^{\circ}\text{C} \pm 0^{\circ}\text{C}$)を見出し最適温度管理に活用する。

実験材料(ガスケット金型部品)をブース外から温調ブース内に持ち込んで、中の温度になじむ時間をリニアゲージにより長さを測定して導き出した。

温度変化による製品精度に与える影響を調べ、高精度加工を実現する。



(実験のワーク)



(測定のリニアゲージ)



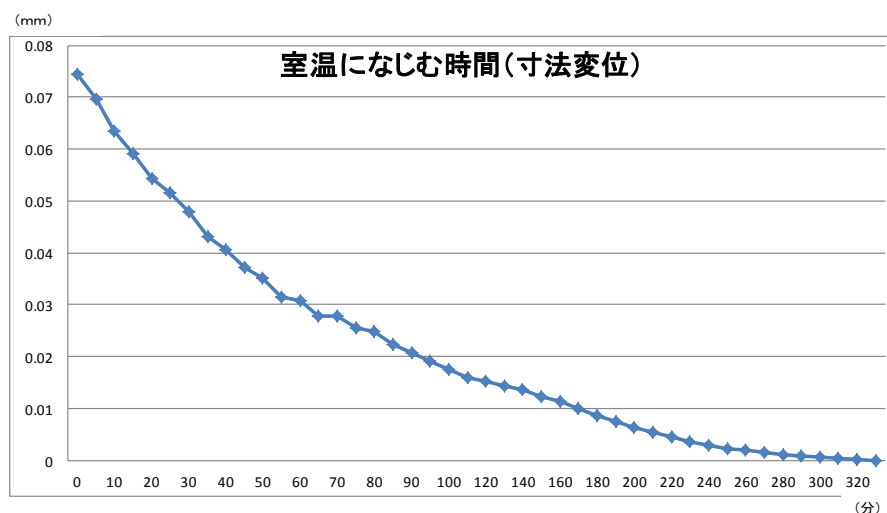
(温度計)

ブース外温度 7.3°C からブース内温度 20°C に持ち込んだワークで実験した。

実験は時間の経過毎に材料の温度を測定しグラフ化した。

時間の経過と共に寸法変位が無くなった時点を温度になじんだと判断した。

ブース内の温度になじむ時間は次のグラフで示す。

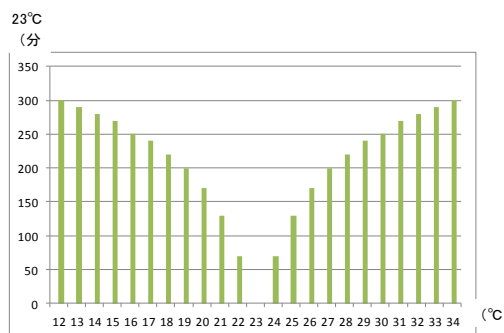


室温になじむ時間のデータ

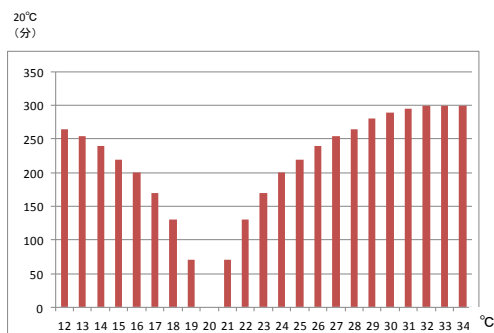
実験の結果、温度差 7.3℃→20℃になじむのに 5 時間要した。

持ち込み時の室内温度と温調ブース内でなじむ時間を算出すると、下記のようになり、一定時間加工ワークをブース温度になじませてから加工することが高精度加工には必要となることがわかった。

以下に温調ブース 23℃と 20℃におけるなじむ時間を概算数値で示す。



室温 23℃設定時のなじむ時間



室温 20℃設定時のなじむ時間

温調ブース内の最適温度設定を作業環境・省エネを考慮して下記とした。

5 月～9 月・・・23℃±1℃

10 月～4 月・・・20℃±1℃

尚、±1℃は長さ440mmの線膨張係数が、製品精度±0.005mmを満足する値の範囲内である事から設定した。

最終章 全体総括

研究開発成果

【1-1】適正切削条件に関する研究

対象となる被削材に対し、準備した工具により切削実験を行い、適正な切削条件の抽出を行った(27 年度実施済)。

10 万回転主軸による実験により、工具の材種毎にピック送り量・切込み量の適正切削条件を見出し、目標を達成した。

目標である Ra0.1 μm を達成し、更にチャンピオンデータ: Ra0.0072 μm を達成した(28 年度実施済)。

【2-1】3 軸ヘール加工に関する研究

楕円振動切削装置による切削試験で超硬チップ、サーメットチップ、ダイヤモンドチップによる切削実験で下記の効果が表れた。下記にチップ材質毎の面粗さを示す。

(切削条件は楕円振動有り無しとは同一条件で実施)

チップ材質	楕円振動切削面粗さ(Ra μm)	振動なし面粗さ(Ra μm)
超硬	0.0577	0.109
サーメット	0.079	0.141
ダイヤモンド	0.00968	0.269

特にダイヤモンドチップにおいては顕著に差が表れ、鏡面が得られた。目標(Ra0.05 μm)を達成した(28 年度実施済)。

【2-2】5 軸同期させたヘール加工に関する研究

5 軸同期させる CAD/CAM ソフト及びツール管理システムにより 5 軸同期ヘール加工を実現し、目標の面粗さ Ra0.05 μm 以内を達成した(29 年度実施済)。

【3-1】砥石の選定開発

ASD800 # ~ ASD2000 # の砥石の開発を行い、実験した。

以下のような結果が得られ、目標を達成した(28 年度実施済)。

目標	H28 年度研究前	ASD1200 の研究	ASD2000 の研究
Ra0.04 μm	Ra0.046 μm	Ra0.025 μm	Ra0.022 μm

【3-2】ろ過装置フィルターに関する研究

研削面の目標面粗さ Ra0.04 μm 以内における最適フィルターの実験では SB800 # で、フィルターメッシュ 5 μm ~ 10 μm が妥当である。その時の面粗さ Ra0.031 μm ~ Ra0.0318 μm と目標を達成している。

また、SB1200 # ではフィルターメッシュ 2 μm ~ 8 μm が妥当であり、その時の面粗さ Ra0.281 μm ~ Ra0.0287 μm と目標を達成している(28 年度実施済)。

【3-3】超音波振動研削、超音波洗浄機による洗浄

研削液に超音波振動を重畳した研削の実験から、スクラッチの数、面粗さとも有意差検定法によってスクラッチの数が減少傾向にある。また、加工面の面粗さの比較において 7 ~ 17 % 程度向上した(28 年度実施済)。

表 超音波重畳前後の加工面粗さの比較

	超音波重畳前	超音波重畳後
加工面粗さ(Ra μ m)	0.71~1.056	0.66~0.88

【4-1】適切な温度管理範囲の研究

温調ブース外からブース内に持ち込んだ材料が、ブース内の温度になじむ時間を実験で把握した。高精度加工にはブース内温度になじませた後に加工する事が要求される。時経変形を考慮し、寸法精度 ± 0.005 mmを達成するための適正な温度管理条件を見出した。

適正な温度管理($00^{\circ}\text{C}\pm 0^{\circ}\text{C}$)として、温調ブース内の最適温度設定を作業環境・省エネを考慮して下記に設定した。

また、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ は長さ440 mmの膨張係数が製品精度 ± 0.005 mmを満足する値の範囲内である事から以下とした。

設定：5月～9月・・・ $23^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$

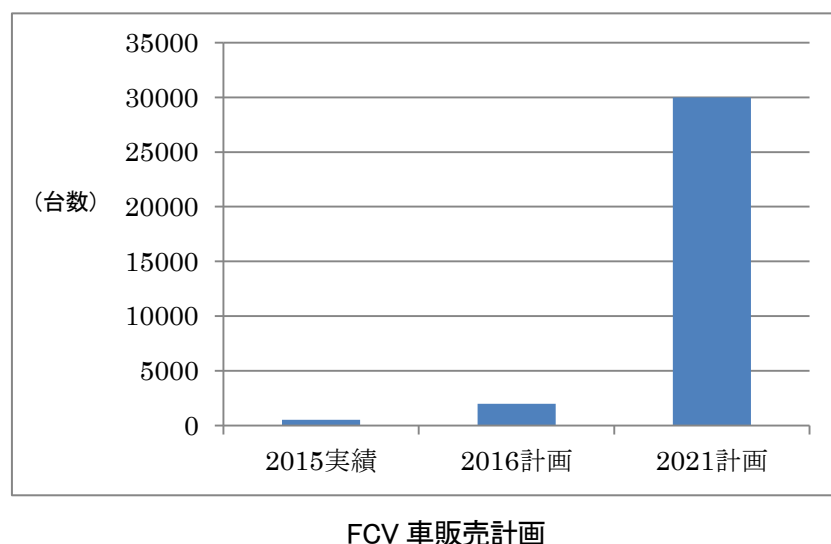
10月～4月・・・ $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ に設定した(28年度実施済)。

効果としては、研削室ブースにおける研削面粗さ(チャンピオンデータ) $\text{Ra}0.012 \mu\text{m}$ を実現した(28年度実施済)。

研究開発後の課題・事業化展開

燃料電池車はトヨタ自動車为先駆けて販売を開始した。2015年530台の実績、2016年には2,000台、2021年には30,000台と2016年比で15倍の計画を立てている。また、Hondaは2016年日本での販売目標200台にとどめ、官公庁や企業向け販売で既に枠は埋まっている。日産は米フォード・モータと独ダイムラーと共同開発を推進中で2017年には市場投入するとの事。益々市場拡大が期待される。

トヨタ自動車(FCV車)販売計画(2015年10月15日 日刊工業新聞提供)



今後、市場規模が見込まれる燃料電池車、それに使用されるガスケット金型も同様な伸びが見込まれる。また、今後は定置用燃料電池や船舶、鉄道等を含む他の輸送分野、水素発電等エネルギー消費分野の多くに対応し得る潜在的な可能性がある。

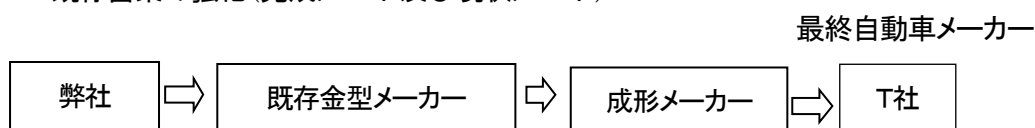
こうした多岐にわたる分野において、水素の利用、活用は抜本的に拡大し省エネルギー、環境負荷低減に大きく貢献できる可能性が有る。その一役を担う燃料電池に期待が高まっている。

現在、該当製品による成形品はトヨタ自動車の燃料電池専用に使われているが、各自動車メーカーも燃料電池は同じ方式の採用を予定していることから、今後、他メーカーの需要も増えるものと思われる。

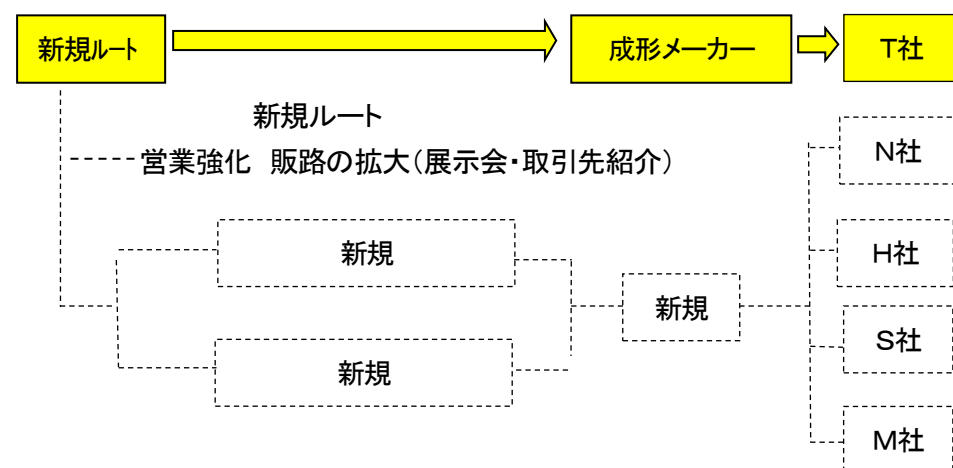
他メーカーへは、展示会への積極的参加による PR 活動、取引先紹介による新規企業訪問を通して、積極的に営業活動を行っていく。

今後予定している事業化販売戦略体制を以下に示す。

既存営業の強化(完成ルート及び現状ルート)



29 年度新規ルート確立



事業化販売戦略体制図

また、上記、新規顧客の獲得に向け、商談会・展示会への積極的な参加を行っていく。

以下にその内容を示す。

項目	内 容	実施日・予定日
1	東北地域の車を考える会、オリエンテーション	H29.9.22
2	関東経済産業局・矢野経済研究所主催 活性化対策キックオフ	H29.10.11
3	中小企業ジェグテック商談会	H29.11.15、11.17
4	古河電工 Gr 商談会	H29.11.24
5	関東経済産業局・日本立地センター主催 燃料電池セミナー	H29.12.15

6	とうほく・北海道新技術新工法展示会出展	H30.2.1～2
7	全国ビジネス商談会	H30.2.26
8	にいがた新技術新工法展示商談会	H30.3.16
9	東経連主催東北地域の車を考える会、講演会出席	H30.3.23
10	株式会社デンソー及び関連企業向け展示商談会	H30.9.19～20

[将来の展望]

弊社における燃料電池関連売上については事業化の目途が立った。今後の需要の予測を踏まえ、生産の増加とそれに伴うコストダウンを過去の例から類推し、平成 30 年～平成 34 年・・・年間 20%増加と見込む。
なお、他分野の売上は概ね現状に留まる見通しである。

設備投資計画

	平成 29 年	平成 30 年	平成 31 年	平成 32 年	平成 33 年
設備投資名	研究実施期間 —————→	刃物成形研削盤 1 台 レーザ工具測定機 1 台	高速マシニング 1 台	マシニング 1 台	5軸ターニングセンター

人員計画

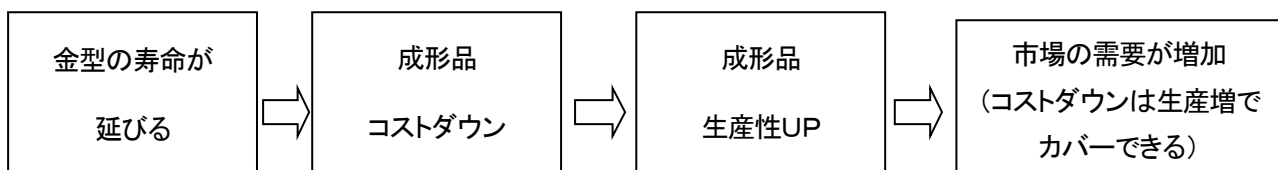
	平成 29 年	平成 30 年	平成 31 年	平成 32 年	平成 33 年
人員(人)	28	29	30	31	32

研究終了後のガスケット作業の売上高(千円)

	平成 30 年	平成 31 年	平成 32 年	平成 33 年	平成 34 年
売上高	162,000	195,000	234,000	281,000	345,000

[概要]: 研究により金型部品の寸法精度・離型精度を向上できたことによって、製品(ガスケット)の信頼性向上、コスト低減に貢献できる。

金型部品は 2020 年製の中型上・下で構成されているが、どちらの部品も高精度加工が可能になり、以下の効果を得る。



[研究開発成果の効果(波及効果)]

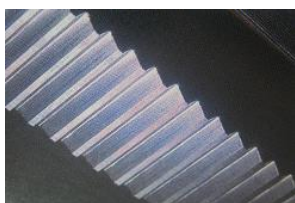
これまでの切削加工・研削加工では要求精度(寸法精度・面粗さ)を保証できなかったが、本研究の成果を適用することで、精度保証が出来るようになる。

水素自動車は今後4年で15倍になる販売計画が立てられているトヨタ自動車による)ことから、燃料電池スタックも比例して増産が見込める。

[新たな事業展開の可能性]

研究成果を活用することによって、車載用レンズ、光学レンズ、導光板、医療・計測関係のミラー鏡面加工に応用が出来ることから、自動車以外の精密工学分野、液晶ディスプレイ、航空機・宇宙分野、医療・分析分野にも進出できる。他にヘッドライトレンズ、LEDランプ、スマートフォン部品、導光板等に使用する鏡面部品に波及効果が期待できる。

以下にそれらの概略図を記載した。



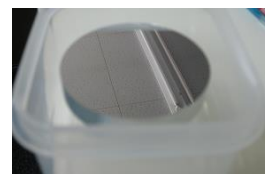
車載用クリアランスランプ



光学用レンズ



液晶ディスプレイ



分析機器用レンズ鏡面