

平成23年度第3次補正予算 戦略的基盤技術高度化支援事業

「高アスペクト比を持つ超硬合金製絞り金型に対する
研削加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年2月

委託者 九州経済産業局

委託先 財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

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
1-1-1	研究開発の背景	・・・ 1
1-1-2	研究目的及び目標	・・・ 5
1-2	研究体制	・・・ 7
1-3	成果概要	・・・ 11
1-3-1	研究項目「1. PCD 製研削工具（粗加工・仕上げ加工用）の開発」	・・・ 11
1-3-2	研究項目「2. 超硬合金に対する絞り形状加工技術の確立」	・・・ 11
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	・・・ 11
	参考文献・引用文献	・・・ 11
第 2 章	金型の加工法と焼結ダイヤモンド製研削工具	・・・ 12
2-1	事業目的	・・・ 12
2-2	金型の加工法と工具形状	・・・ 12
2-2-1	内径粗加工	・・・ 12
2-2-2	内径仕上げ加工	・・・ 13
2-2-3	上部テーパ穴の加工	・・・ 14
2-3	焼結ダイヤモンド製研削工具	・・・ 14
2-3-1	内径粗加工用工具	・・・ 14
2-3-2	砥石作用面に対する湿式ラッピングと研削加工面の粗さ	・・・ 17
2-3-3	内径仕上げ加工用工具と入り口テーパ加工用工具	・・・ 19
2-4	絞り金型の加工結果	・・・ 20
2-4-1	内径粗加工	・・・ 20
2-4-2	内径仕上げ加工	・・・ 20
2-4-3	入り口テーパ加工	・・・ 21
2-5	まとめ	・・・ 22
	参考文献	・・・ 22
第 3 章	PCD 製研削工具の開発および超硬合金に対する 絞り形状加工技術の確立	・・・ 24
3-1	研究目標	・・・ 24
3-2	PCD 製研削工具の開発	・・・ 24
3-3	金型の加工手順	・・・ 27
3-4	超硬合金に対する絞り形状加工技術の確立	・・・ 28
3-4-1	加工装置と加工方法	・・・ 28
3-4-2	内径粗加工	・・・ 28
3-4-3	内径仕上げ加工	・・・ 29
3-4-4	上部入口テーパ穴加工（粗・仕上げ加工）	・・・ 30
3-5	金型の加工時間	・・・ 31
3-6	工具の耐久性評価	・・・ 31
3-7	金型の耐久性評価	・・・ 31
3-8	まとめ	・・・ 31
	参考文献・引用文献	・・・ 31
第 4 章	全体総括	・・・ 32
4-1	複数年の研究開発成果	・・・ 32
4-2	研究開発後の課題・事業化展開	・・・ 33
	参考文献・引用文献	・・・ 33

第 1 章 研究開発の概要

株式会社ワークス	代表取締役		三重野 計滋
	製造技術 G	マネージャー	日並 輝秀
	新製品開発 G	副ライン長	本田 伸浩
	新製品開発 G	研究員	金子 大祐
	製造 G	副ライン長	福田 一幾
	製造 G	主任	伊藤 慎吾
	製造 G	主任	森本 利和
福岡工業大学	工学研究院	教授	仙波 卓弥
		助教	天本 祥文

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

北部九州は、日産自動車（株）九州工場、トヨタ自動車九州（株）、ダイハツ九州（株）及び日産車体（株）九州工場が立地し、生産能力は 154 万台に達している。基幹部品においても、トヨタ自動車九州のエンジン工場やハイブリッド部品工場、ダイハツ九州のエンジン工場などが立地し、世界有数の自動車生産拠点として着実に産業集積が進捗してきた。

これに加えて、2010 年代前半にはダイハツ九州、2010 年代半ばにはトヨタ自動車九州の車両開発拠点が設置される予定であり、頭脳拠点化が進展してきた。このため、地場中小企業は、川下企業と一体となって、高付加価値製品等を開発することが重要となってきており、これらの開発によって、地域の技術力を高め、自動車関連産業の集積・拠点化をさらに推進していく。そこで、川下企業と一体となって、研究開発を推進する必要がある。

また、自動車産業全体でみると、自動車の電装化が進む現在、自動車の電子部品搭載数は普通車で 70～80 個、高級車では 100 個を超えている。これら電子部品を結ぶ電気配線の数も同様に増加してきており、普通車で 600 回路、高級車では 2,000 回路にもなる⁽¹⁾。電気配線の両端にはコネクタが装着され、その回路毎にオス・メスのコネクタピンが必要となる。したがって、普通車では 1,200 本、高級車では 4,000 本以上のコネクタピンが現時点で既に用いられているが、昨今では自動車の安全で快適な運転を実現するため、車載電子機器の高性能化が進んでいる。これに比例して、コネクタの使用量も増加している。さらに、図 1-1 に示しているように、電気自動車の市場が大幅に伸びることが予想され自動車の電装化に拍車をかけることが見込まれる。

これだけ大量のコネクタを使用している自動車ではあるが、大手自動車メーカー T 社では、平成 21 年 12 月に全部品メーカーへ調達コストの 3 割削減の方針を指示している。したがって、低価格化を実現するためには、コネクタピンの製造に使用される超硬合金製絞り用金型を低価格で製造できる金型製造技術を開発することが必要に迫られている。

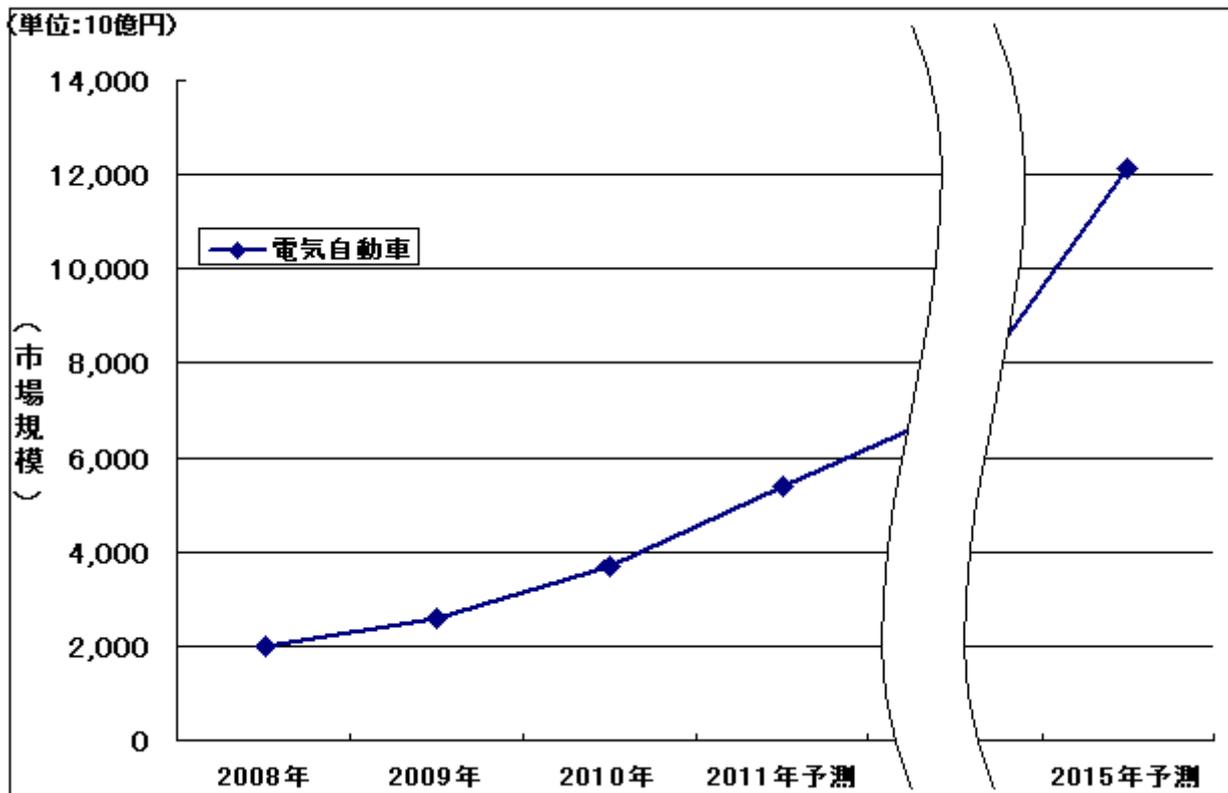


図 1-1 世界の電気自動車（ハイブリッド車含）市場規模推移予測⁽²⁾

このコネクタピン生産には、硬度が 1,000Hv 以上の超合金製・絞り金型を用いる。コネクタピンの材質や、絞り形状の大きさにもよるが、通常、1~1.5 万ショット程度の生産が限界である。1~1.5 万ショットを超えると、絞り形状を施したメス型やオス型が偏摩耗し、必要な製品寸法を保つことが困難になる。

コネクタピン生産用の絞り金型は、通常、図 1-2 が示すとおり、電気エネルギーを利用した放電加工の後、熟練作業による磨き加工を行うことによって作られている。放電加工時の陰極材料には、通常、銅 - タングステン合金や銀 - タングステン合金が用いられている。これらの電極材料は、切削加工を行うことによって容易に成形できるが、放電加工時に電極が簡単に消耗する。したがって、放電加工を行い精度の高い加工を行うためには加工時に電極を再成形する、若しくは同形状の電極に交換する必要がある。また、平滑な加工面を作るためには放電エネルギーを徐々に減らす必要もある。したがって、放電加工を行い、メス型を成形するためには、最低でも 4 工程の放電加工を要している。

また、放電加工後のメス型表面には 50~100 μm の放電痕が生じる。この放電痕を除去するために内径の直径が 2 mm 以下、深さが 4 mm 以上もあるような高アスペクト比を持つメス型に対して磨き加工を行うわけであるが、放電痕を除去するために長時間磨き加工を行うと形状精度が劣化するという問題点を抱えている。また、磨き加工を行っても、放電痕を完全に除去することは難しい。この、放電痕を完全に除去できていないことが原因で、図 1-3 に示すようなメス型に偏摩耗が発生し、絞り製品はその被加工材や形状にもよるが、1~1.5 万ショット程度の短い寿命となっており、昨今では、さらに高い生産性、

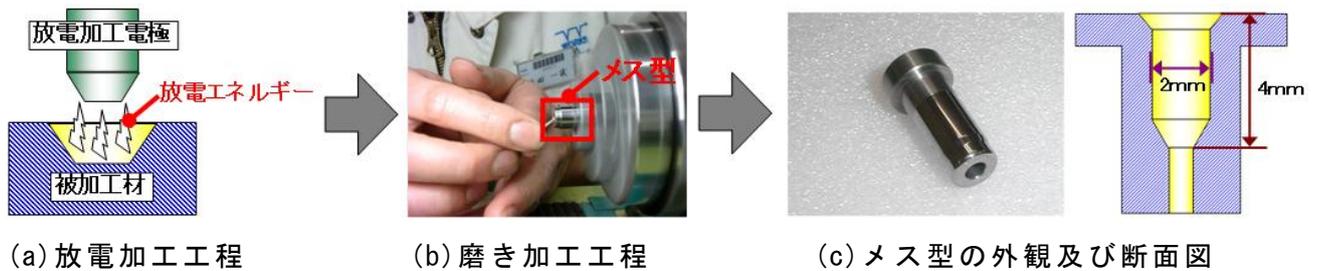


図 1-2 絞り金型用メス型の製作手順

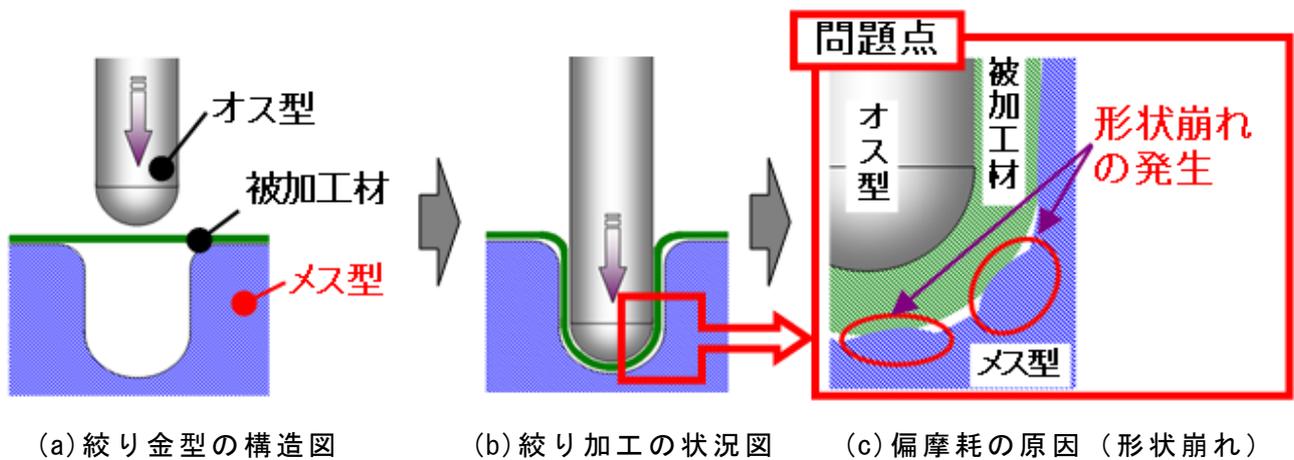


図 1-3 絞り金型の構造及び摩耗箇所

耐摩耗性が求められている。

メス型、オス型の寿命に悪影響を及ぼす偏摩耗を防止するためには、金型の形状精度を上げる必要がある。形状精度を上げる方法として、ナノメートルの制御分解能を持っている工作機械で研削加工を行うことが有効であると考えられる。しかし、コネクタピン生産に用いられるような内径が 2mm 以下、深さが 4mm 以上もあるような高アスペクト比を持つ絞り用金型のメス型に対して研削加工を行うことができるマイクロ研削加工用工具は市販されていない。

従来、高精度な研削加工を行うための工具として、ダイヤモンド砥粒を樹脂で固めたレジンボンドホイールが用いられている。ナノメートルレベルの加工精度が求められる超硬合金製ガラスレンズ金型のレンズ形状加工には、このレジンボンドホイールが頻繁に用いられている。しかしながら、レジンボンドホイールは容易に摩耗するといった問題点を抱えている。ただし、レンズ金型のレンズ形状部は 1/2 以下のアスペクト比であり、仕上げ加工代が 1~5 μ m 程度であるため、ホイールに対し、形状修正を頻繁に行えば金型を成形することができる。

これまで福岡工業大学と弊社では、産学連携により、レンズ型形状のような、アスペクト比が 1/2 以下の形状を焼結ダイヤモンド (Polycrystalline Diamond: PCD) を工具素材と

して用いる研削工具の研究を行ってきた。これは、「平成 19 年度福岡県ナノテク産業化促進事業（福岡県）」及び「平成 19 年度福岡県産学官等連携研究開発委託事業（福岡県）」における研究開発事業によりシーズ技術を確立し、「平成 21 年度ものづくり中小企業製品開発等支援補助金（全国中小企業団体中央会）」により、実用化を目指した技術である。具体的には超硬合金に対してマイクロ研削加工を行い、直径が 0.1mm、深さが 0.05mm 程度、ならびに粗さが 10nm Rz 以下のレンズ型を作ることができる工具技術の開発を行った。

絞り金型の形状加工において、福岡工業大学や弊社以外の研究開発機関では、金型素材の硬度向上の研究や磨き加工技術の高度化、放電加工技術の高度化及び絞りプレス方法の研究が行われているが、従来のメス型の加工方法と大きく相違のないものが多く、金型寿命を飛躍的に延ばすものではない。これらの研究の目的としては、金型そのもの若しくは、最終製品の低価格化を目指したものである。

1-1-2 研究目的及び目標

φ2mm以下でアスペクト比が2倍以上（深さが4mm以上）の高アスペクト比を持つコネクタピン生産用の超合金製絞り金型のメス型に対し、磨き仕上げ加工ではなく、研削仕上げ成形を施すことにより、5μm以下の形状精度、0.2μmRz以下の面粗さを実現し、従来のメス型寿命と比べ、偏摩耗をほとんど生じさせず、また、放電痕が未発生の絞り金型用メス型の実現を図る。

本研究プロジェクトについては、絞り金型の品質の安定化、長寿命化、最終製品の低価格化の市場ニーズに基づいている。本研究プロジェクトの実現に向けて、福岡工業大学との産学連携により、粗加工、仕上げ加工用工具の形状、成形方法の研究、並びにPCD製研削工具を使用した加工条件の確立を実施することで、表1-1のような効果が期待できる。

表 1-1 従来技術と新技術の比較による効果

	従来技術（放電加工）	新技術（PCD製研削工具）
全加工時間	300分	60分（1/5）以下
仕上げ工程技術	磨き加工	研削加工
使用する工作機械	放電加工機	超精密旋盤
形状精度	10～30μm	5μm以下
加工難易度	熟練作業者が手仕上げを行っている	NCのプログラミングで行うため容易
超合金製金型の寿命	1～1.5万ショット	5～7万（5倍）ショット以上

本委託業務における平成 22～24 年の研究項目（テーマ）とその技術的目標値の関連を表 1-2 に示す。なお、平成 22～24 年の研究項目はこれまでの研究成果・ニーズ調査を踏まえ、技術的目標値の設定を行った。

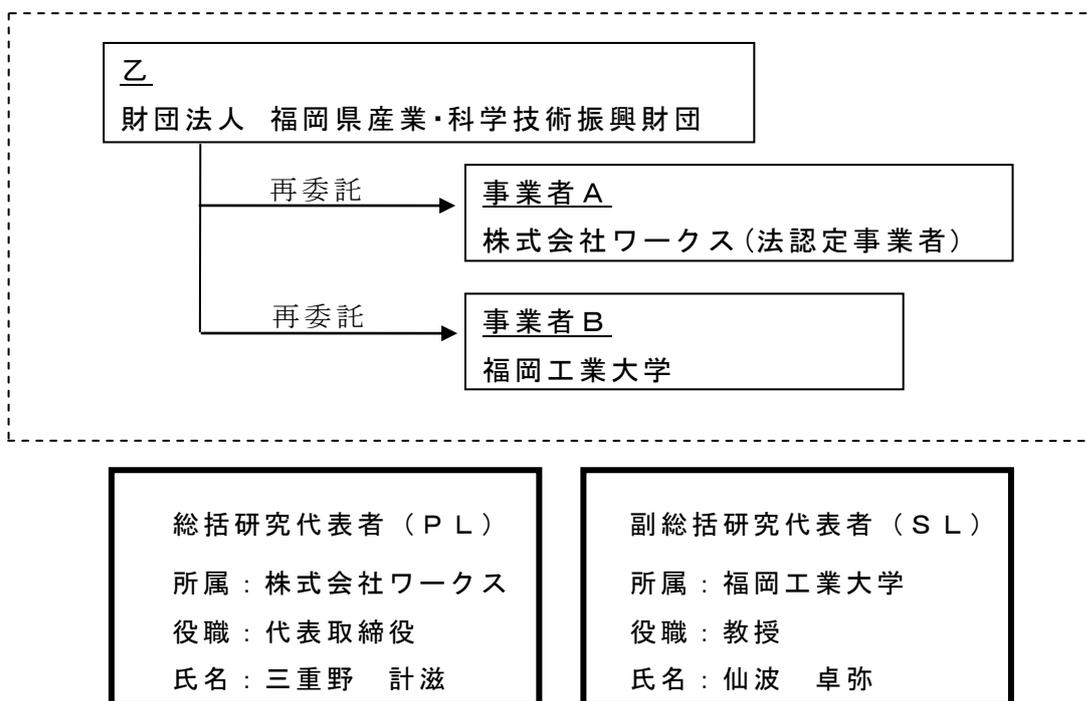
表 1-2 本研究開発の研究項目と技術的目標値（平成 22～24 年）

研究項目（テーマ）	技術的目標値
1. PCD 製研削工具（粗加工・仕上げ加工用）の開発	PCD 製工具表面の砥石作用面粗さを 10nmRz 以下の粗さとする。
	PCD 製工具の耐久性目標値は、加工出来る穴の数として 10 穴以上とする。
2. 超硬合金に対する絞り形状加工技術の確立	<p>「1.PCD 製研削工具（粗加工・仕上げ加工用）の開発」にて開発した PCD 製研削工具を使用し、粗加工、仕上げ加工の最適研削加工技術の確立を行う。</p> <p>加工後の形状精度目標値を 5μm 以下、面粗さ目標値を 0.2μmRz 以下とする。</p> <p>超硬合金製深絞りメス金型の粗加工から仕上げ加工までの全工程における加工時間を 60 分以内とする。</p>
	金型寿命を従来の 1～1.5 万ショットから 5 倍以上の 7.5 万ショットを目標値とする。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

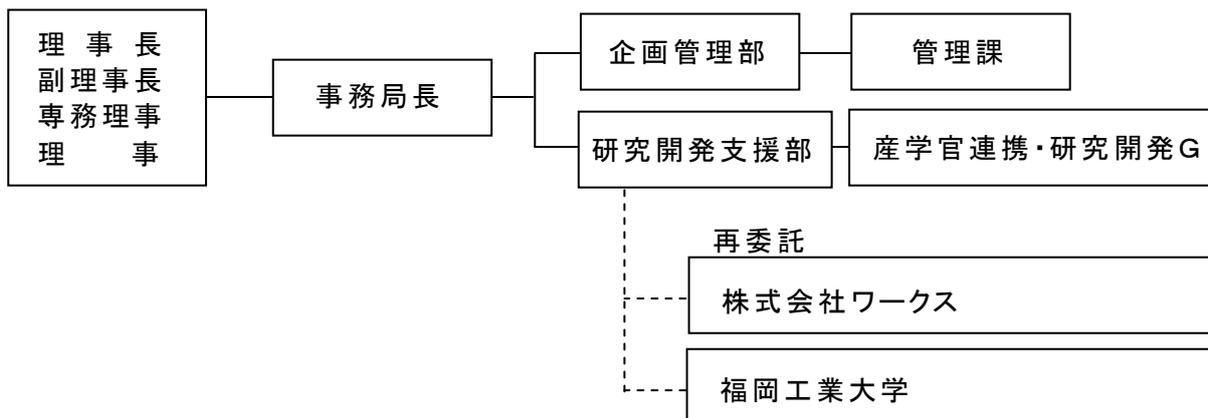
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

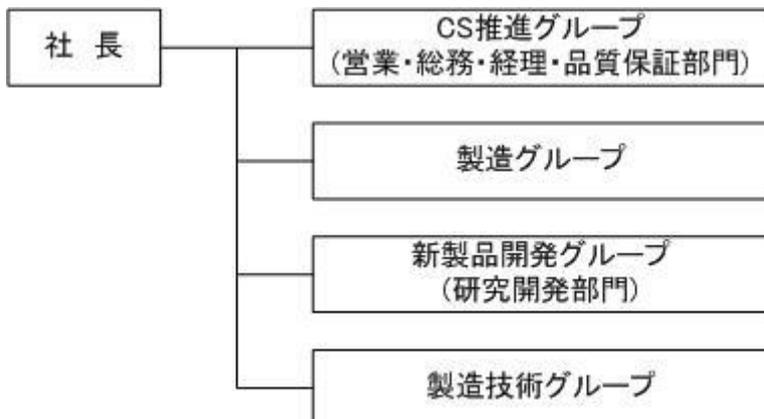
① 事業管理者

[財団法人福岡県産業・科学技術振興財団]



②（再委託先）

[株式会社ワークス]



[福岡工業大学]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

①管理員

氏名	所属・役職	備考
中村 裕章	研究開発支援部 部長	
中村 憲和	研究開発支援部 主幹	
小金丸 正明	研究開発支援部 専門研究員	
石川 正洋	研究開発支援部 事務主査	
江田 智子	研究開発支援部 サブマネージャー	
川口 留美	研究開発支援部 サブマネージャー	
小村 和彦	企画管理部 管理課長	
平田 学	企画管理部 事務主査	
舩添 史和	企画管理部 主任主事	

【再委託先】※研究員のみ

株式会社ワークス

氏名	所属・役職	備考
日並 輝秀	製造技術G マネージャー	
本田 伸浩	新製品開発G 副ライン長	
福田 一幾	製造G 副ライン長	
金子 大祐	新製品開発G 研究員	
伊藤 慎吾	製造G 主任	
森本 利和	製造G 主任	

福岡工業大学

氏名	所属・役職	備考
仙波 卓弥	工学部 教授	SL
天本 祥文	工学部 助教	

(3) 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 福岡県産業・科学技術振興財団

(経理担当者)企画管理部 管理課長 小村 和彦

(業務管理者)研究開発支援部 部長 中村 裕章

(再委託先)

株式会社ワークス

(経理担当者) 製造技術グループ・マネージャー・日並 輝秀

(業務管理者) 代表取締役・三重野 計滋

福岡工業大学

(経理担当者) 福岡工業大学経理課・課長・川口 敏弘

(業務管理者) 福岡工業大学総合研究機構・機構長・松尾 一壽

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

推進委員会委員

(外部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
村上 洋	北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科 准教授	アドバイザー
堀 健一	ミツミ電機株式会社 要素部品事業本部 精密金型課 精密金型厚木G 副主幹	アドバイザー
森 章司	ダイジェット工業株式会社 耐摩技術部 部長	アドバイザー
益永 聖三郎	株式会社中島田鉄工所 技術部 金型設計課 課長	アドバイザー

(内部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
三重野 計滋	株式会社ワークス 代表取締役	PL
仙波 卓弥	福岡工業大学 工学部 知能機械工学科 教授	SL
天本 祥文	福岡工業大学 工学部 知能機械工学科 助教	
日並 輝秀	株式会社ワークス 製造技術G マネージャー	
本田 伸浩	株式会社ワークス 新製品開発G 副ライン長	
中村 裕章	財団法人福岡県産業・科学技術振興財団 研究開発支援部 部長	
椛島 武文	財団法人福岡県産業・科学技術振興財団 産学コーディネータ	

(注)・研究員(労務費を委託対象にする)には、委と備考欄に記載すること。

1-3 成果概要

1-3-1 研究項目「1. PCD製研削工具(粗加工・仕上げ加工用)の開発」

PCDを用いて研削加工が可能な工具の直径が2mm以下のPCD製粗加工用工具及び仕上げ加工用工具の開発を実施した。

各研究項目の成果の概要を以下に示す。

1) 研究項目1-1 粗加工用工具の開発

平成22～24年に試作を行った粗加工用工具の形状をベースにして、より粗加工に適した工具先端形状を決定し、粗加工用工具の作製を行った。

また、作製した工具の耐久性評価を行い、10穴の連続加工を達成した。

2) 研究項目1-2 仕上げ加工用工具の開発

平成22～24年に試作を行った仕上げ加工用工具の形状をベースに、より仕上げ加工に適した工具先端形状を決定し、仕上げ加工用工具の作製を行った。

放電成形後のPCD表面には凹凸を含む脆化層が残留する。この凹凸や脆化層を除去し、砥石作用面を平滑に成形するための平坦化ツルーイング(形直し)技術を福岡工業大学にて開発した。また、平滑化された砥石作用面にダイヤモンド砥粒を分離して露出するためのドレッシング(目直し)技術を開発した。これらの技術を用いてPCD製研削工具の砥石作用面の粗さを10nmRz以下の粗さに成形した。

また、作製した工具の耐久性評価を行い、10穴の連続加工を達成した。

1-3-2 研究項目「2. 超硬合金に対する絞り形状加工技術の確立」

研究項目「1-1 粗加工用工具の開発」「1-2 仕上げ加工用工具の開発」で作製したPCD製研削工具を使用し、粗加工、仕上げ加工の最適研削加工技術の確立を行った。

結果として形状精度 $5\mu\text{m}$ 以下、面粗さ $0.2\mu\text{mRz}$ 以下の目標達成および超硬合金製深絞りメス金型の加工時間目標60分以内を実現した。

超硬合金製絞り金型の寿命評価については、評価方法および評価基準について検討中のため、本報告書執筆現時点では評価できていない。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団 研究開発支援部

TEL: 092-725-2781 FAX: 092-725-2786

参考文献・引用文献

- (1) 福野礼一郎, クルマはかくして作られる(2001発行), 二玄社
- (2) ㈱富士経済資料, 電動自動車関連市場の全貌(2011発行)

第2章 金型の加工法と焼結ダイヤモンド製研削工具

福岡工業大学 工学部 教授 仙波 卓弥
助教 天本 祥文

2-1 事業目的

平成 22～平成 24 年の 3 年間、本事業を分担実施した福岡工業大学では、放電加工を行い直径が 0.7 mm の案内穴が予備成形された硬さが 1450 Hv の超合金製絞り金型に対して研削加工を行い、壁面の粗さを 0.2 μm Rz に成形できる焼結ダイヤモンド(Polycrystalline diamond: PCD)製研削工具と研削加工技術の開発を行った。図 2-1 に示しているのは本事業で試作した絞り金型の寸法と走査型電子顕微鏡(Scanning electron microscope: SEM)で観察した金型壁面の状態であり、

- ・ 金型壁面の粗さが 0.2 μm 、
- ・ 金型の加工時間が 1 時間以下、

といった事業目標を満たす研削加工技術を開発することを試みた。

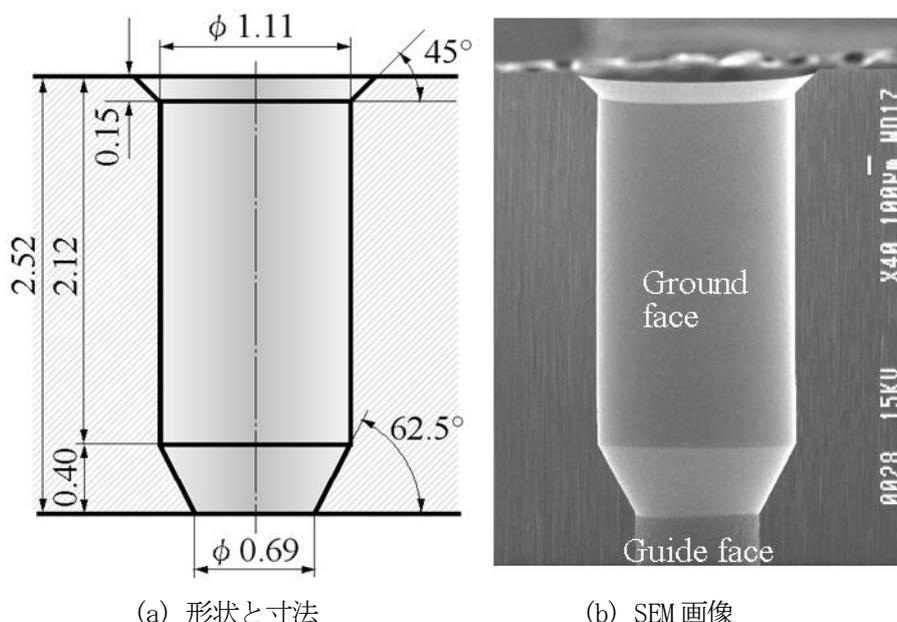


図 2-1 本事業で試作した絞り金型の形状・寸法と SEM 画像

2-2 金型の加工法と工具形状

2-2-1 内径粗加工

図 2-2 に示しているのは、放電加工を行い予備成形された内径が 0.7 mm の案内穴の直径を 1.08 mm に繰り広げることができる、内径粗加工法と粗加工に使用した PCD 製研削工具の寸法である。案内穴の中心と PCD 製研削工具の回転中心を一致させた後、絞り金型と PCD 製研削工具とを反転させ、PCD 製研削工具を Z 軸の負の方向に直進運動させ案内穴を繰り広げることにした。ここで、PCD 製研削工具を Z

軸の負の方向に直進運動させると、半径方向切込みが 0.19 mm と大きく PCD 製研削工具にかかる負荷が大きくなるのが原因で、PCD 製研削工具先端の傾斜部が大きく摩耗してしまった。そこで、PCD 製研削工具の運動には Z 軸の負の方向に Δz 前進させた後 $\Delta z/2$ 後退させるといった直進運動を繰り返して行う、ドリルサイクルを用いることにした。

2-2-2 内径仕上げ加工

図 2-3 に示しているのは、内径の仕上げ加工法と仕上げ加工に使用した PCD 製研削工具の寸法である。平成 23 年度には、粗成形した穴の中心軸に対して PCD 製研削工具の回転中心を X 軸の方向に Δx 偏芯させた後、PCD 製研削工具を Z 軸の負の方向に直進運動させ内径の仕上げ加工を行った。その結果、PCD 製研削工具の砥石作用面に目詰まりが生じてしまった。そこで、平成 24 年度には PCD 製研削工具の傾斜角部が図 2-3 に矢印で示した位置に達した後に金型の傾斜角に沿って PCD 製研削工具を並進運動

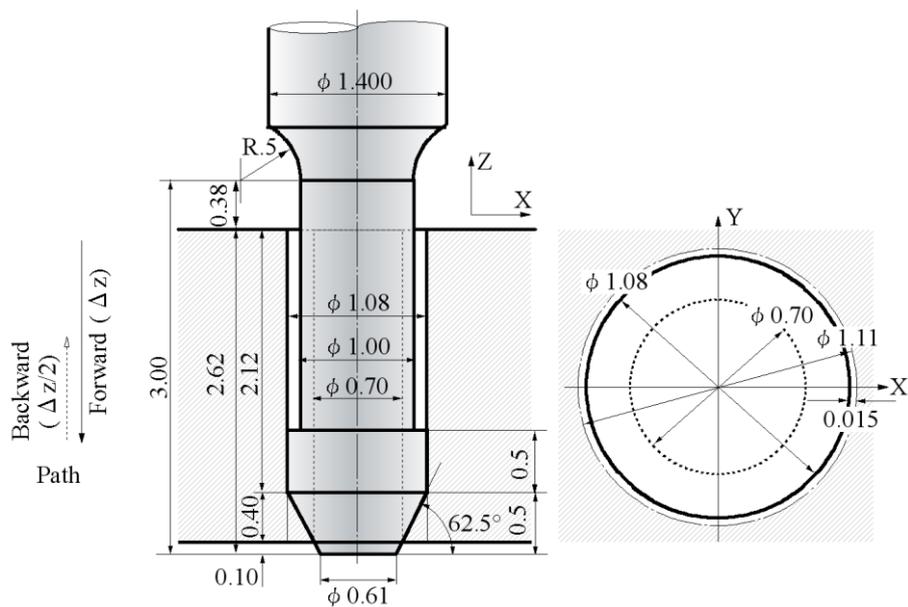


図 2-2 内径粗加工法と粗加工に使用した PCD 製研削工具の寸法

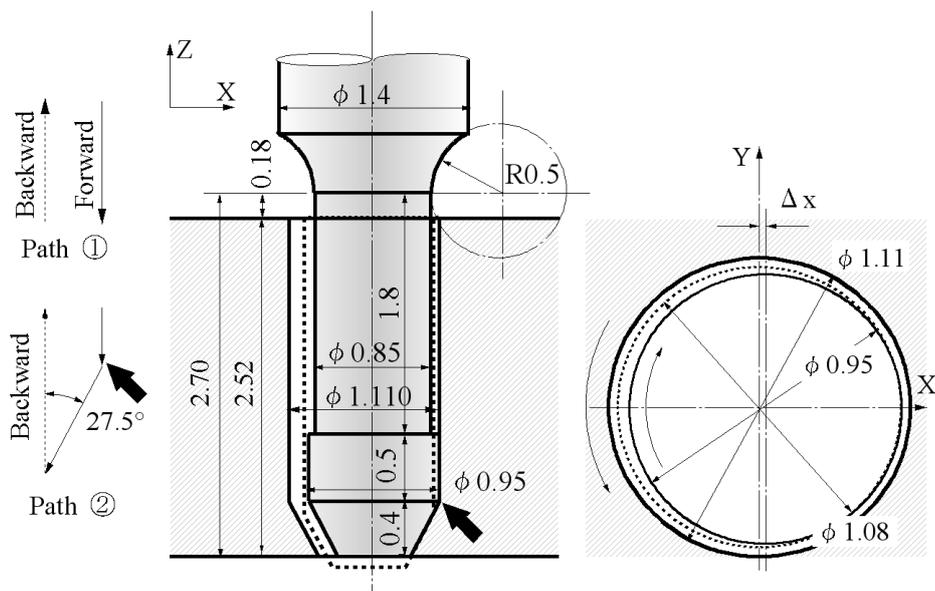


図 2-3 内径仕上げ加工法と仕上げ粗加工に使用した PCD 製研削工具の寸法

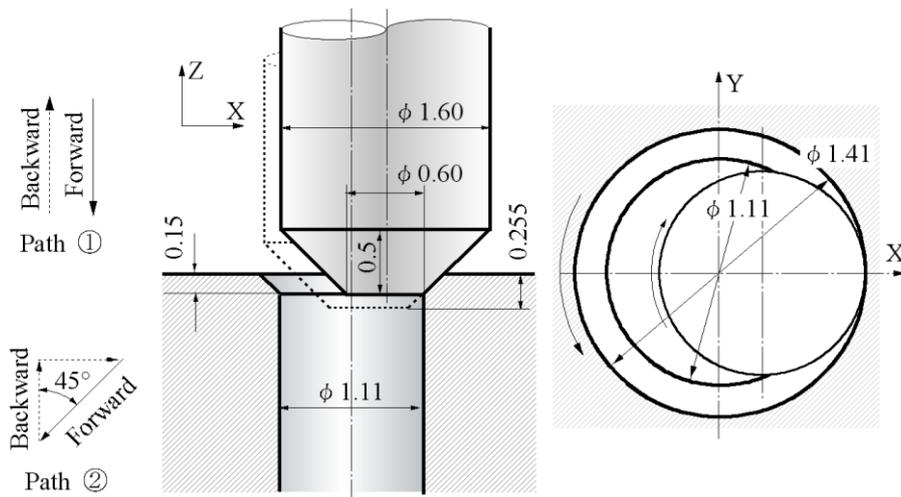


図 2-4 金型上部テーパ穴の加工方法とテーパ穴加工に使用した PCD 製研削工具の寸法

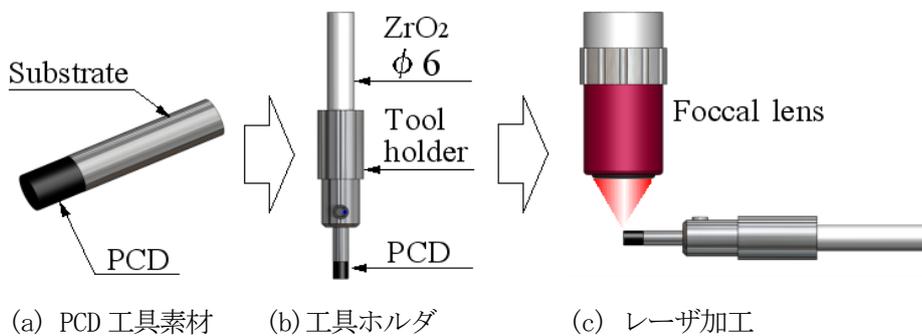


図 2-5 レーザを使った PCD 製研削工具の成形手順

させ、砥石作用面に生じる目詰まりを防止した。

2-2-3 上部テーパ穴の加工

図 2-4 に示しているのは、金型上部テーパ穴の加工法とテーパ加工に使用した PCD 製研削工具の寸法である。内径の仕上げ加工法と同様に、粗成形した穴の中心軸に対して PCD 製研削工具の回転中心を X 軸の方向に偏芯させた後、PCD 製研削工具を Z 軸の負の方向に直進運動させテーパ部の成形を行うと、PCD 製研削工具の砥石作用面に目詰まりが生じてしまった。そこで、平成 24 年度には PCD 製研削工具を X-Z 平面内で 45 度傾斜した軌跡に沿って直進運動させ、砥石作用面に生じる目詰まりを防止した。

2-3 焼結ダイヤモンド製研削工具

2-3-1 内径粗加工用工具

図 2-5 に示しているのは、レーザを使った PCD 製研削工具の成形手順である。素材メーカーから購入した直径が 2 mm で長さが 20 mm の PCD ブランクは、S45C 製の工具ホルダに止めネジで固定した。工具ホルダの他端に直径が 6 mm で長さが 30 mm のジルコニア製丸棒を圧入し、これを工具成形装置の主軸に装着して PCD 製ブランクに対するレーザ加工を行った。

図 2-6 に示しているのは、PCD 製研削工具の成形に使用したレーザ加工装置の外観と模式図である⁽¹⁾。制御分解能が 10 nm の立形マシニングセンタのコラムにレーザを集光するための光学系⁽²⁾、4 軸自公転ステージ⁽³⁾の主軸に PCD 製工具素材を装着した。立形マシニングセンタの直進・円弧運動と、4 軸自公転ステージの自転・公転運動を併用して PCD 製研削工具を試作した。レーザには波長が 1060 nm、周波数が最大 80 KHz、出力が最大 8W のパルスファイバーレーザ⁽⁴⁾を使用した。

図 2-7 に示しているのは、内径の粗加工に使用する 4 枚刃の PCD 製研削工具をレーザ成形する際に使用したレーザ光の走査軌跡である。まず初めに、自転運動している PCD 製研削工具の輪郭に沿ってレーザ光を走査させ工具の外径を成形した。次に、CAD/CAM を用いて幾何計算した軌跡に沿ってレーザ光を走査させ刃付けを行った。レーザ成形の後、PCD 製研削工具に対して電解加工を行い、加工面に残る脆弱層を除去した⁽⁵⁾。

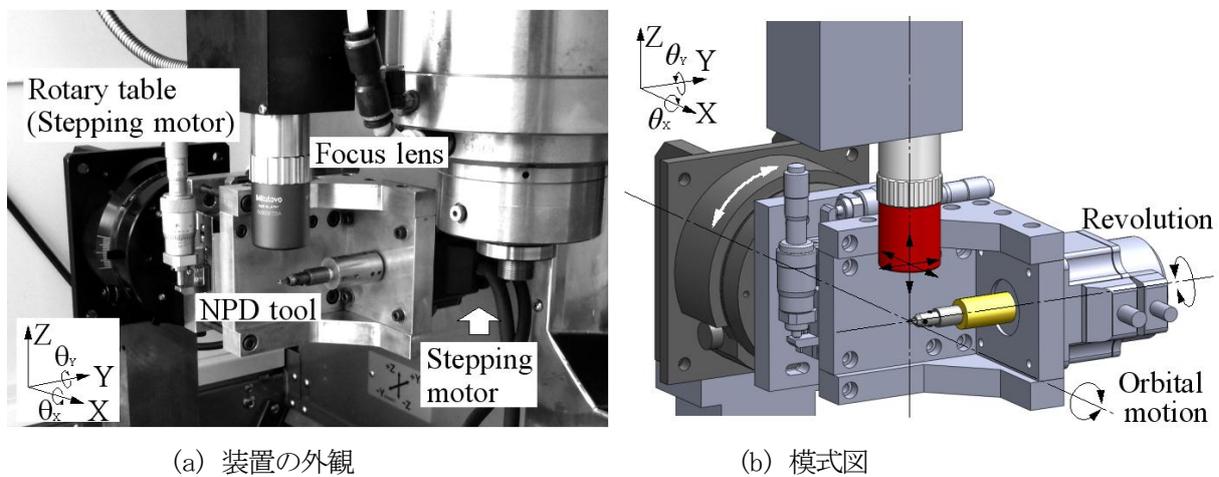


図 2-6 PCD 製研削工具の成形に使用したレーザ加工装置の外観と模式図

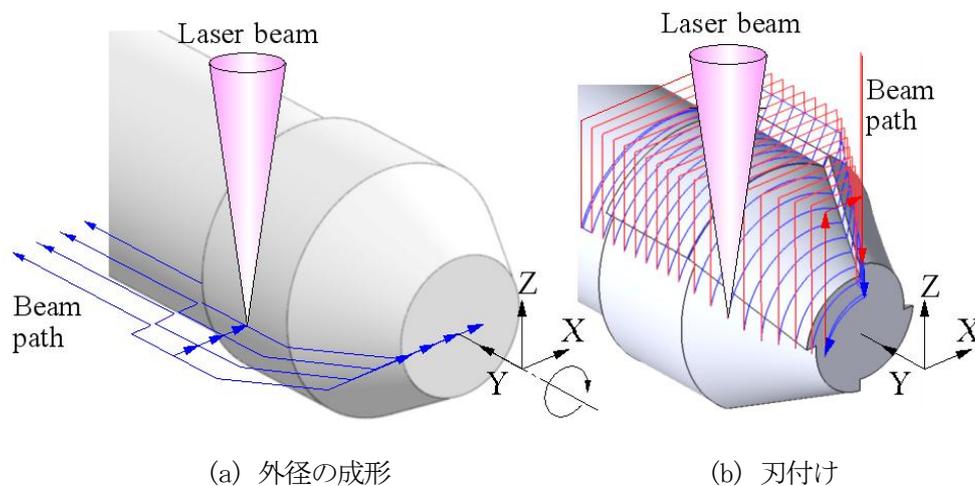


図 2-7 PCD 製研削工具の成形に使用したレーザの走査軌跡

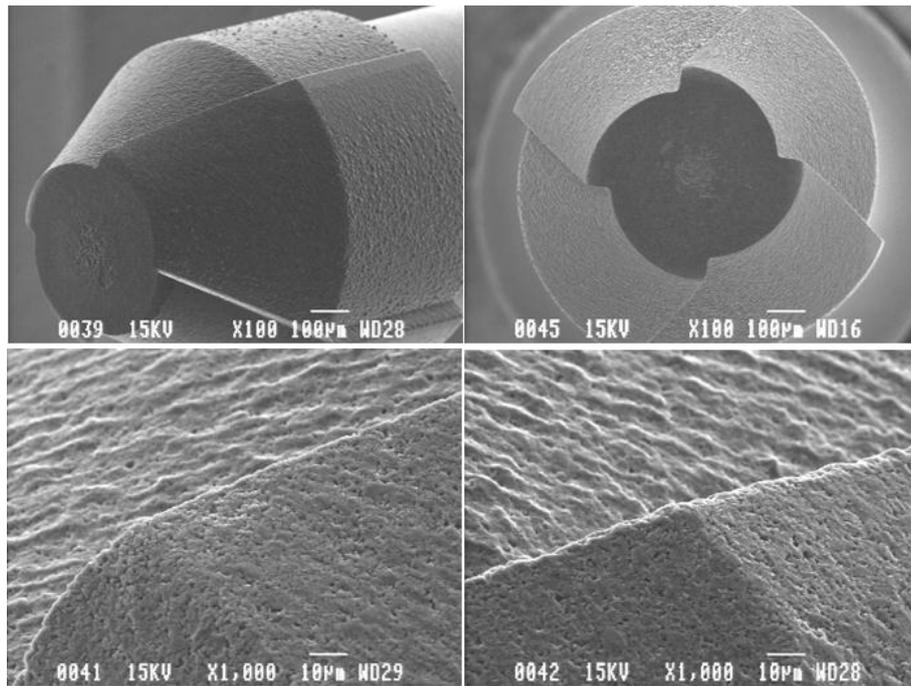
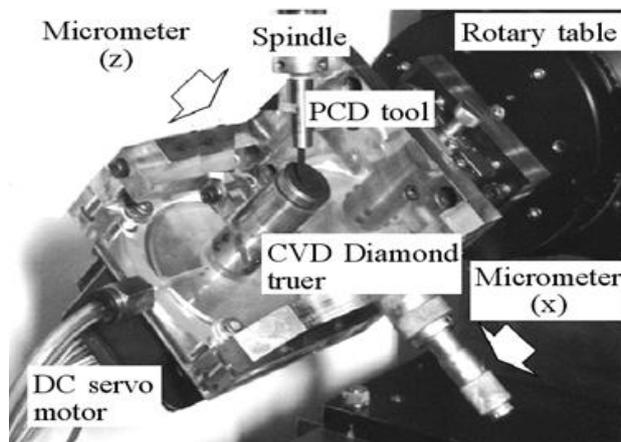
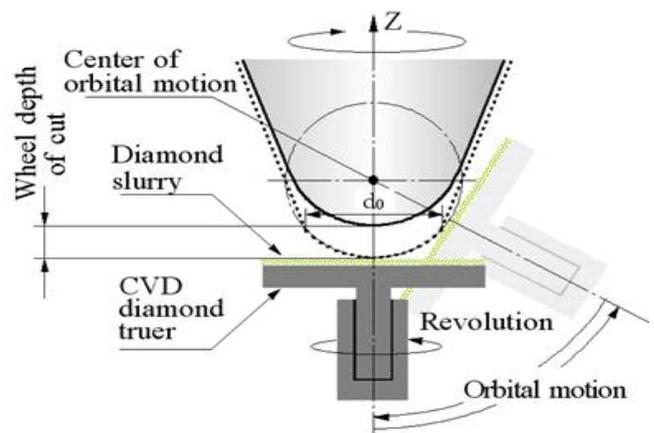


図 2-8 内径粗加工に試作した 4 枚ねじれ刃 PCD 製研削工具の外観



(a) 実験装置の外観



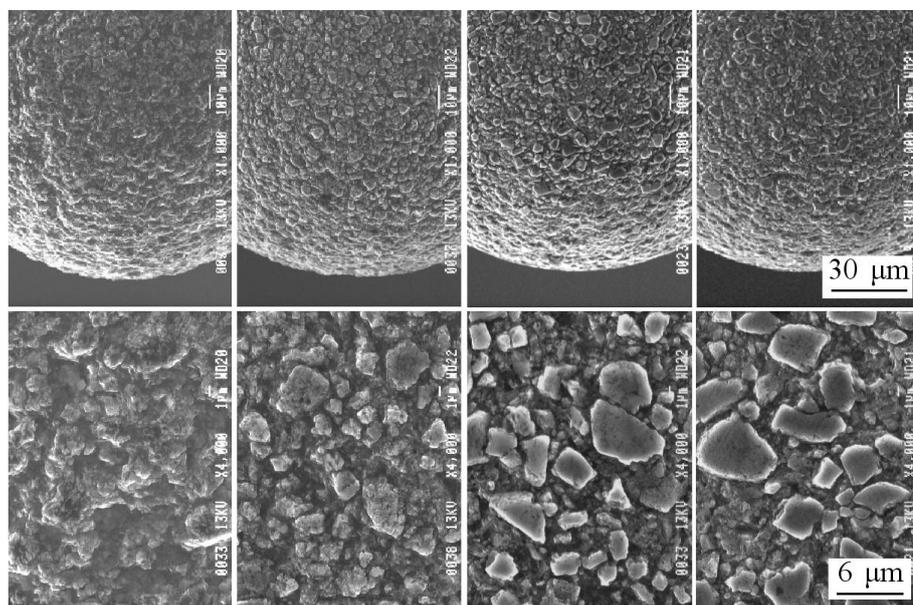
(b) 湿式ラッピングの要領

図 2-9 PCD 製研削工具の湿式ラッピングに使用した実験装置の外観と要領

図 2-8 に示しているのは、内径粗加工用に試作した 4 枚ねじれ刃・PCD 製研削工具の外観である。平成 23 年度成果報告書⁶⁾に記述したように、内径粗加工用として 4 枚直刃工具や 6 枚直刃工具を試作したが、これらの直刃工具を用いて内径の粗加工を行うと穴の入り口に欠けが発生した。これに対して、4 枚ねじれ刃工具を用いた場合には欠けを防止できた。そこで、PCD 製工具素材に対してレーザ加工と電解加工を行い、図 2-8 に示したように試作した工具を内径の粗加工に使用した。

2-3-2 砥石作用面に対する湿式ラッピングと研削加工面の粗さ

図 2-9 に示しているのは、PCD 製研削工具の湿式ラッピングに使用した実験装置の外観とラッピングの要領である。PCD 製研削工具は立形マシニングセンタの主軸に装着した。PCD 製研削工具を湿式ラッ



(a) #1000 (b) #3000 (c) 0-1 (d) 0-1/2

図 2-10 湿式ラッピングの後、電解加工を行い砥粒を分離させた後に観察した PCD 製研削工具の砥石作用面

プするためのラップ定盤には化学気相合成法 (Chemical vapor deposition; CVD) で作られた CVD ダイヤモンド製の円板を使用した。この CVD ダイヤモンド製の円板は芯ブレ防止治具を介して DC サーボモータ、DC サーボモータは XY ステージを介してロータリテーブルに取付けられている。既存の立形マシニングセンタを用いて超硬合金に対する研削加工を行うため、PCD 製の研削工具に対して湿式ラッピングを行い、工具の先端半径が 0.1 mm の研削工具を試作した⁽⁵⁾。

図 2-10 に示しているのは、メッシュサイズが #1000 と #3000、呼び径が 0-1 と 0-1/2 のダイヤモンドスラリを用いて湿式ラッピングを行った後、電解加工を行いダイヤモンド砥粒を分離させた後に観察した砥石作用面の状態である。呼び径が 0-1 や 0-1/5 のダイヤモンドスラリを用いて湿式ラップした砥石作用面の状態は、砥粒平坦化ツルーイングを行った砥石作用面の状態とほぼ同じである⁽⁶⁾。これに対し、メッシュサイズが #1000 や #3000 のダイヤモンドスラリを用いて湿式ラッピングを行うとダイヤモンド砥粒が破碎し、鋭利な切れ刃を砥石作用面に創成することができた。

図 2-10 のように成形した PCD 製研削工具を用いて硬さが 2600 Hv の超硬合金に対して研削加工を行った場合に得られた、湿式ラッピングに使用したダイヤモンドスラリの粒径と原子間力顕微鏡 (Atomic force microscope: AFM) を用いて測定した研削加工面の粗さとの関係を図 2-11 に示す。研削加工条件は表 2-1 に示すとおりであり、立形マシニングセンタの YZ 平面内で 45 度傾斜させた $\square 0.5$ mm の領域に対して研削加工を行った。

表 2-1 硬さが 2600 Hv の超硬合金
に対する研削の条件

Path	Scanning
Tool	PCD, primary grain size of 4~5 μm
Rev. speed of tool	35,000 rpm
Workpiece	Cemented carbide, 2600 Hv
Feed rate	0.29 μm/rev
Cross feed	1 μm
Depth of cut	0.2 μm × 10
Total depth of cut	2 μm
Machining scope	□0.5 mm
Grinding fluid	Water solution type

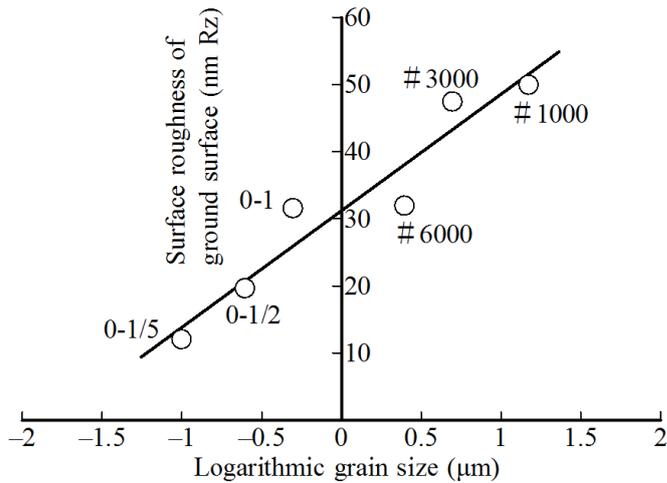


図 2-11 湿式ラッピングに使用したダイヤモンドスラリの粒径と研削加工面の粗さ

工具の送り速度を 0.29 μm/rev に設定した場合、図 2-10(a)に示したように成形した工具を用い場合にも 50 nm Rz 前後の粗さが得られた。この結果は、図 2-3 や図 2-4 に示した「path②」に沿って PCD 製研削工具を直進運動させ内径の仕上げ加工を行うと、図 2-10(a)に示したように砥石作用面を粗く成形した場合にも、粗さが 50 nm Rz 前後の研削加工面が得られることを意味する。

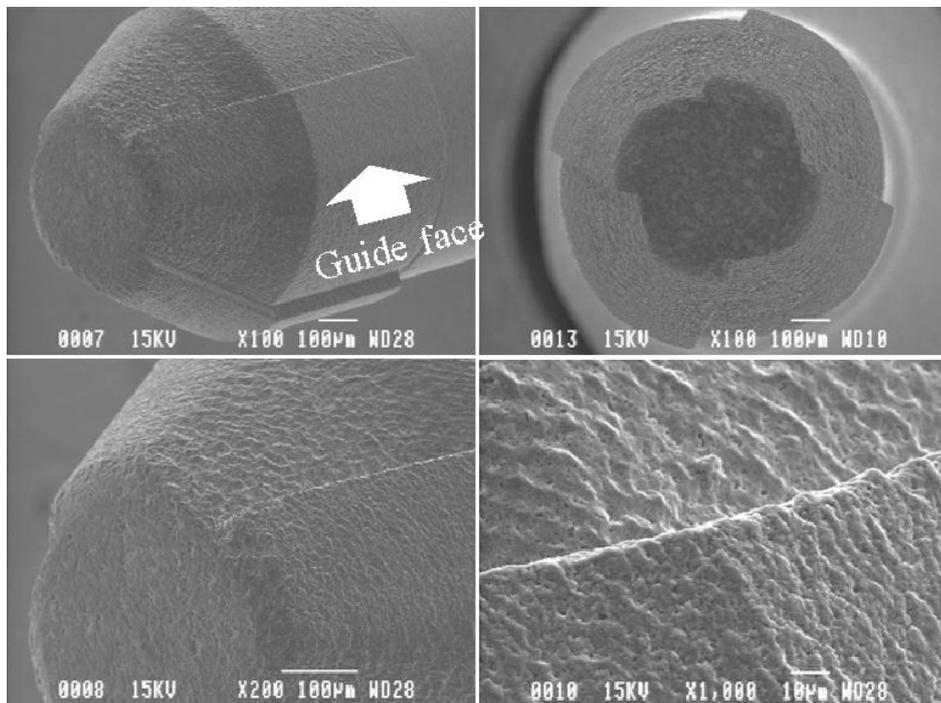


図 2-12 工具外周面に対する湿式ラッピング，レーザ刃付け，ならびに電解加工を行い試作した内径仕上げ加工用工具の外観

2-3-3 内径仕上げ加工用工具と入りローテパ加工用工具

図 2-11 のように得られた基礎実験の結果を踏まえ、レーザ加工を行い図 2-7(a)のように成形した工具の外周に対して湿式ラッピングを行った後、湿式ラッピングを行った工具に対してレーザ加工と電解加工を行い、内径仕上げ加工用の工具と入りローテパ加工用の PCD 製研削工具を試作した。湿式ラッピングにはメッシュサイズが#1000 のダイヤモンドスラリを使用した。

図 2-12 に示しているのは内径仕上げ加工用、図 2-13 に示しているのは入りローテパ加工用に試作した PCD 製研削工具の外観である。PCD 製研削工具の砥石作用面に目詰まりが生じるのを防ぐため、工具

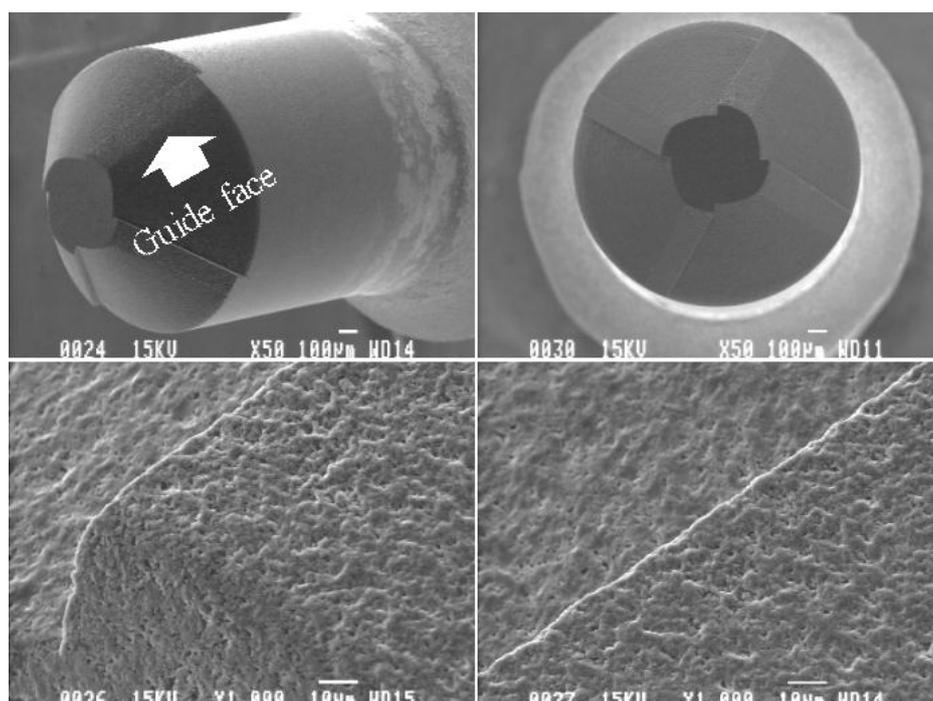


図 2-13 工具外周面に対する湿式ラッピング，レーザ刃付け，ならびに電解加工を行い試作した入りローテパ加工用工具の外観

表 2-2 PCD 製研削工具を用いた超合金製絞り金型に対する研削加工条件

	Straight holl (roughing)	Straight holl (finishing)	Inclined wall
Work material	Cemented carbide, ϕ 10 mm, 1450 Hv		
Tool	Grinding tool made of PCD		
Tool revolution speed	3000 rpm		
Work revolution speed	100 rpm		
Feed rate of tool	2 mm/min (0.67 μ m/rev)	1 mm/min (0.33 μ m/rev)	1 mm/min (0.33 μ m/rev)
Radial depth of cut	—	1 μ m \times 19 times	10 \rightarrow 5 \rightarrow 1 μ m
Machining time	6 min	70 min	12 min
Total machining time	Total 88 min		
Grinding fluid	Water solution type (\times 50)		

の形状は4枚直刃とした。この場合、切れ刃が摩滅して穴の形状精度が劣化するのを防ぐため、内径仕上げ加工用の PCD 製研削工具には幅が 0.4 mm の案内面、入りロテーパ加工用の PCD 製研削工具には幅が 0.2 mm のマージンを付けることにした。

2-4 絞り金型の加工結果

2-4-1 内径粗加工

図 2-8 に示したように試作した内径荒加工用の PCD 製研削工具を使用し、放電加工を行い予備成形された内径が 0.7 mm の下穴をストレート部の穴径が 1.08 mm になるように粗加工した。加工条件は表 2-2 に示すとおりである。内径粗加工時には、図 2-2 に示した工具の前進量 Δz を 2 μm に設定した。図 2-14 に示しているのは、加工後に絞り金型に対して研削加工を行い半割に成形して観察した穴壁面のようすと、レーザ走査顕微鏡(Laser scanning microscope: LSM)を用いて測定した穴壁面の粗さである。粗加工のつもりで加工を行ったが、ストレート部に関しては要求精度に近い 0.26 μm Rz といいた平滑な加工面を作ることができた。

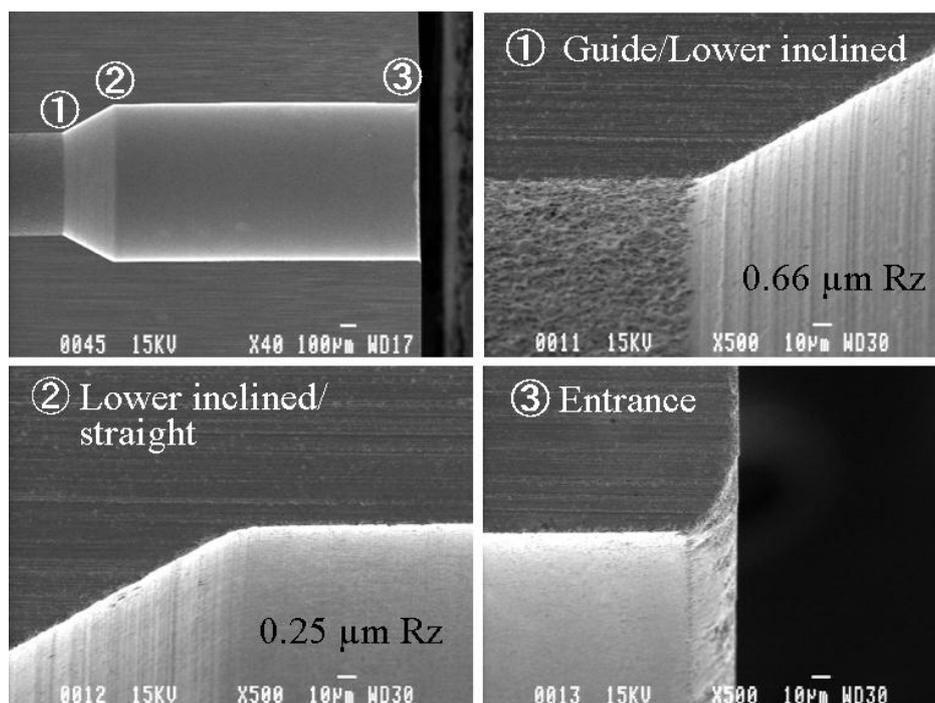


図 2-14 図 2-8 に示した PCD 製研削工具を使用し内径粗加工を行った場合に得られた穴壁面の状態とコーナ部

2-4-2 内径仕上げ加工

図 2-12 に示した仕上げ加工用の PCD 製研削工具を使用し、図 2-14 のように粗成形した下穴に対して仕上げ成形した結果を図 2-15 に示している。図 2-15②で示した穴のストレート部と傾斜部との境は極めて鋭利に成形されており、放電加工の後に磨き加工を行うといった従来の加工方法では出すことがで

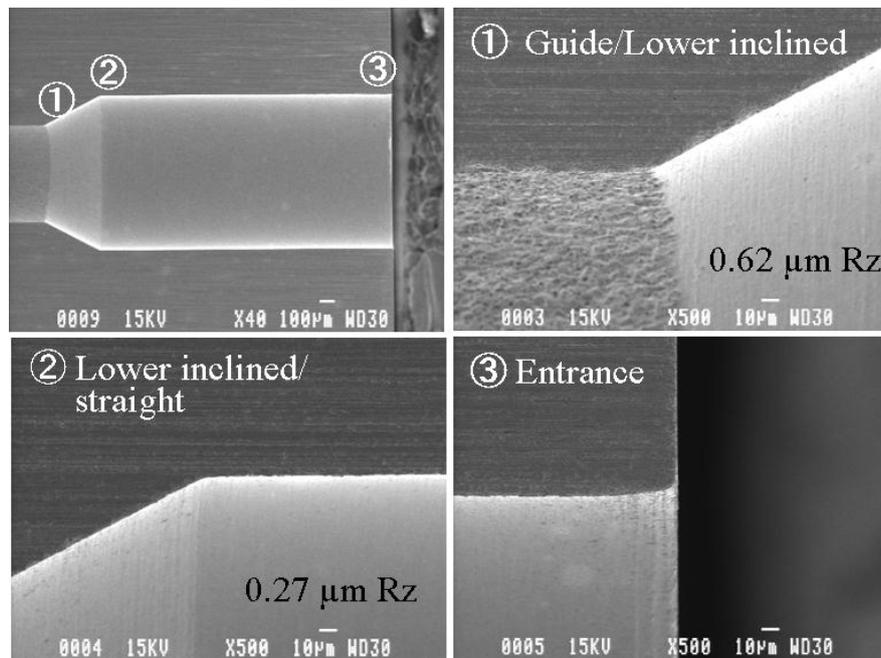


図 2-15 図 2-12 に示した PCD 製研削工具を使用し内径仕上げ加工を行った場合に得られた穴壁面の状態とコーナ部

きない鋭利さではないかと思われる。また、研削加工後に砥石作用面に目詰まりが生じたようすは全く観察されなかった。ただし、ストレート部はともかく傾斜部の壁面粗さは $0.62 \mu\text{m Rz}$ であり、平成 23 年度第 3 次補正予算成果報告書⁽⁷⁾に記述したように、砥石作用面が研削加工時に粗れたことが原因で要求精度である $0.2 \mu\text{m Rz}$ を満たすことができなかった。

2-4-3 入りロテーバ加工

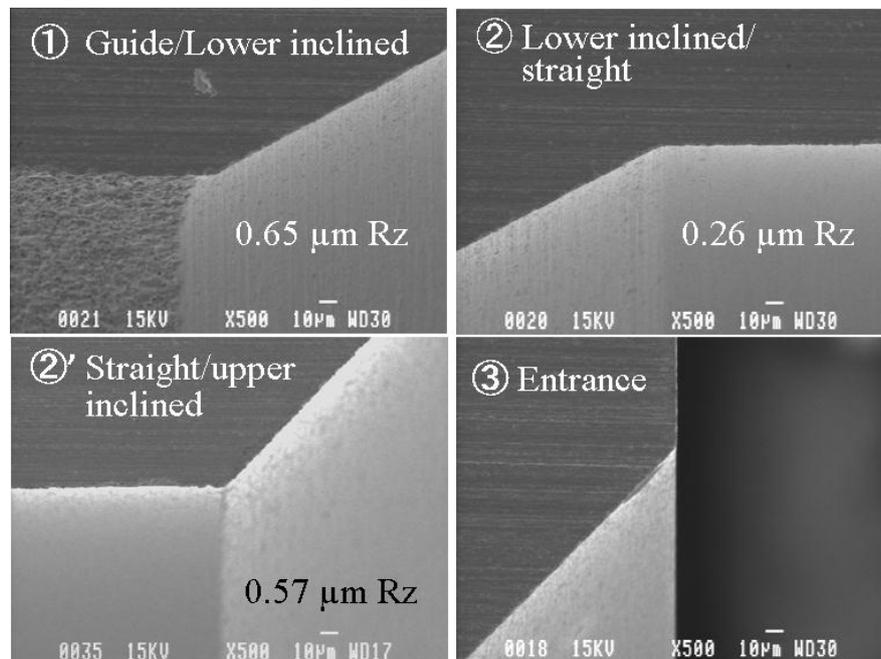


図 2-16 図 2-13 に示した PCD 製研削工具を使用し穴入りロテーバ加工を行った場合に得られた穴壁面の状態とコーナ部

図 2-16 に示しているのは表 2-2 に示した条件で内径粗加工、内径仕上げ加工、ならびに入りロテーパの加工を行った後に観察した金型エッジ部分の SEM 画像である。先に図 2-15 で説明したように、穴入り口と下部傾斜部に関しては仕上げ加工に使用した PCD 製研削工具のマージン部粗さが粗すぎたこととマージン部が摩耗して砥石作用面が粗くなったことが原因で、金型壁面の粗さを $0.2 \mu\text{m Rz}$ 以下の値に成形することができなかった。また、表 2-2 に示したように絞り金型の加工に要した時間は 88 分であり、事業目的である 60 分を切ることはできなかった。ただし、下部傾斜部とストレート部のエッジ、ストレート部と穴入り口傾斜部のエッジ、ならびに穴入り口傾斜部と金型端面のエッジに関しては、これらを極めて鋭利に成形することができた。

2-5 まとめ

平成 22～平成 24 年の 3 年間、本事業を分担実施した福岡工業大学では放電加工を行い直径が 0.7 mm の案内穴が予備成形された硬さが 1450 Hv の超硬合金製絞り金型に対して研削加工を行い、

- ・ 金型壁面の粗さが $0.2 \mu\text{m}$ 、
- ・ 金型の加工時間が 1 時間以下、

といった事業目標を満たす PCD 製研削工具と研削加工技術の開発を行った。本事業で得られた研究の成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 現時点では、PCD 製研削工具の砥石作用面が研削加工中に摩耗してあれたことが原因で、金型壁面に関する粗さの達成目標が $0.2 \mu\text{m Rz}$ であったのに対し、 $0.6 \mu\text{m Rz}$ にしか達していない。これは、粒径が大きな砥粒を用いて PCD 製研削工具に対して湿式ラッピングを行ったことが原因であり、本事業の終了時までには目標値を満たす PCD 製研削工具を試作する。
- (2) 金型の加工時間に要する達成目標が 1 時間以内であったのに対し、現時点で 88 分を要しており達成目標をクリアできていない。これは、砥石作用面に詰まりが生じることを恐れ、内径仕上げ加工時の半径方向切込みを $1 \mu\text{m}$ に設定したことが原因であり、これを $2 \mu\text{m}$ に増すことは可能である。この場合、加工時間は 88 分から 53 分に短縮されることになり、ぎりぎりではあるが事業目標を達成できる。

参考文献

- (1) 天本祥文、吉田 昌史、仙波卓弥、角谷均、ナノ多結晶ダイヤモンド製ノーズ R バイトに対するレーザ成形技術、日本機械学会論文集 C 編、78-794(2012)、 pp. 3583-3593.
- (2) 山口哲郎、仙波卓弥、集束レーザ光を用いた高速微細加工技術の開発、日本機械学会論文集 C 編、73-732(2007-8)、 pp. 220-226.
- (3) 合屋尚子、孫万福、天本祥文、仙波卓弥、極微粒ダイヤモンド電鑄工具に対する砥粒平坦化ツルーイングのメカニズム、日本機械学会論文集 C 編、77-782 (2011-10)、 pp. 3904-3915.
- (4) Yoshifumi Amamoto, Tomoya Kawakami, Yoshiki ITOH, Takuya SEMBA, Microgrinding Tool Made of Polycrystalline Diamond Fabricated Using Pulsed Fiber Laser, Proceedings of the 3rd

International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology
2B-12 (2009-11), p. 68.

- (5) 伊東好樹、合屋尚子、原田武志、仙波卓弥、焼結ダイヤモンド製マイクロ研削工具に対する砥粒平坦化ツルーイングとドレッシング技術、日本機械学会論文集C編、76-771、(2010-11)、pp. 3134-3142.
- (6) 三重野計滋、日並輝秀、野田健一、仙波卓弥、天本祥文、高アスペクト比を持つ超硬合金製絞り金型に対する研削加工技術の開発、平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業 成果報告書、(2012)、 pp. 26-42.
- (7) 三重野計滋、日並輝秀、本田伸浩、金子大祐、福田一幾、伊藤慎吾、森本利和、仙波卓弥、天本祥文、高アスペクト比を持つ超硬合金製絞り金型に対する研削加工技術の開発、平成 23 年度第 3 次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業 成果報告書、(2013)、 pp. 12-38

第3章 PCD 製研削工具の開発および超硬合金に対する

絞り形状加工技術の確立

株式会社ワークス	代表取締役		三重野 計滋
	製造技術 G	マネージャー	日並 輝秀
	新製品開発 G	副ライン長	本田 伸浩
	新製品開発 G	研究員	金子 大祐
	製造 G	副ライン長	福田 一幾
	製造 G	主任	伊藤 慎吾
	製造 G	主任	森本 利和

3-1 研究目標

この章では、研究項目「1. PCD 製研削工具の開発」と「2. 超硬合金に対する絞り形状加工技術の確立」について平成 22～平成 24 年までの 3 年間、株式会社ワークスが行った内容を報告する。図 3-1 に示すのは、深絞り用メス金型の外観と穴の寸法である。金型の材質は超硬合金製で硬さは 1,450Hv である。穴の構造は上部入口テーパ穴部が、テーパ角 45 度で深さが 0.15mm、ストレート穴部が、直径 1.11mm で長さが 2.12mm、下部テーパ穴部が、テーパ角 62.5 度で深さが 0.4mm の 3 部分で構成されている⁽¹⁾。ワイヤ放電加工による予備成形した直径 $\phi 0.7\text{mm}$ の貫通穴に対して研削加工を行い、穴寸法を図 3-1 に示した値に成形し、形状精度 $\pm 5\mu\text{m}$ 以下、面粗さ $0.2\mu\text{mRz}$ 以下、粗加工から仕上げ加工までの全工程における加工時間を 60 分以内とすることを研究目標とした。

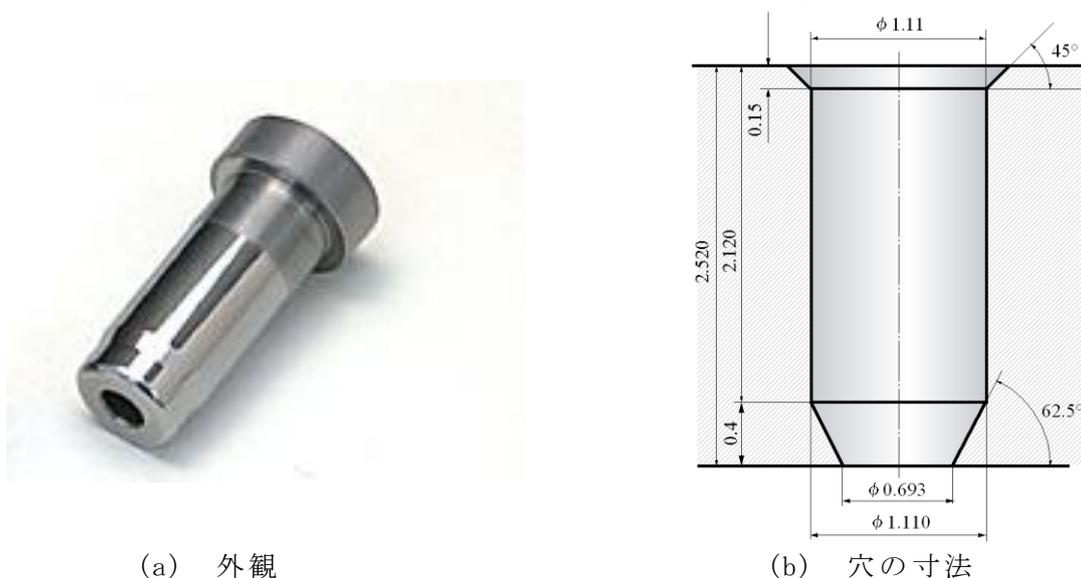


図 3-1 超硬合金製深絞り用メス金型の外観と穴の寸法

3-2 PCD 製研削工具の開発

PCD(焼結ダイヤモンド)は、PCD 中のダイヤモンドが高い熱伝導性を持ち、バインダであ

るコバルトが高い電気伝導性を担っているため、放電加工の電極に使用しても工具磨耗がほとんど生じないという特徴を持つ⁽¹⁾。この特性を利用し、放電電極および研削加工の両方の機能を持つ PCD 製粗加工工具を開発するために PCD 製研削工具の無消耗放電加工実験検証を行った。図 3-2 に放電加工実験イメージ、図 3-3 に放電加工実験結果を示す。

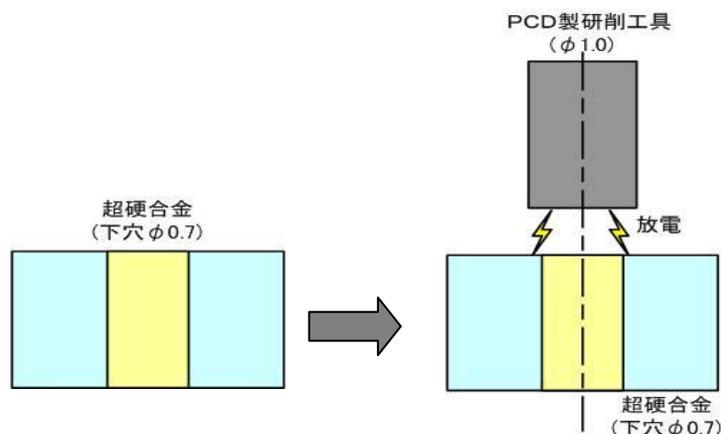


図 3-2 PCD 製研削工具の無消耗放電加工実験イメージ

実験	① 高速加工 電極摩耗大	② 電極無消耗 加工時間長	③ 電極無消耗 加工時間長	④ 電極無消耗 加工時間長	⑤ 電極無消耗 加工時間長
放電加工後の 電極					
加工後の 被加工材 (×100)					
設定電流	IP=18A	IP=3A	IP=3A	IP=9A	IP=9A
パルス条件	2/6μs	5/5μs	20/20μs	20/20μs	5/5μs
加工時間	13分 ○	2時間50分 ×	3時間39分 ×	57分 ×	1時間9分 ×
電極摩耗	×	○	○	△	○

図 3-3 PCD 製研削工具の無消耗放電加工実験結果
(主電源電圧 90V、サーボ基準電圧 60V)

実験結果より PCD 製研削工具による電極無消耗放電加工は検証できたが、超硬合金製深絞り用メス金型の目標加工時間(仕上げ加工含む)60分に対して、粗加工のみで69分の加工時間を要するため目標を達成することができないことも判明した。そのため粗加工は、下穴(φ0.7mm)のみ放電加工で行い、その下穴を研削加工で繰り広げる手法に切り替えた。この研削加工による繰り広げは㈱ワークスで行った放電加工と平行して福岡工業大学で行った

ものである。この加工技術の移転を目的として㈱ワークスでも粗・仕上げ加工用研削工具の成形および実験を行った。図3-4にPCD製研削工具の成形方法を示す。

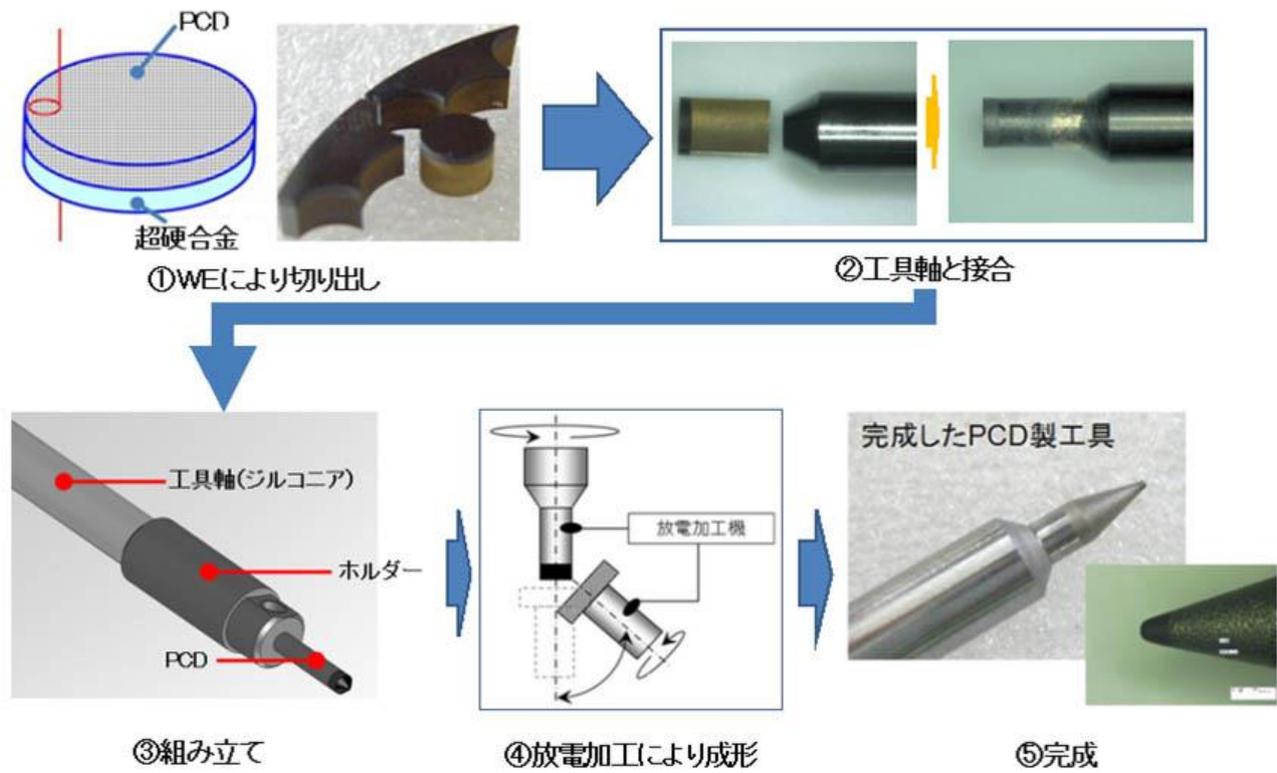


図 3-4 PCD 製研削工具の成形方法

- ① ワイヤークット放電加工機によりPCD 材料を切り出す。
- ② PCDと工具軸とを接合装置(平成24年導入)にてロウ付けにより接合する。
- ③ 工具軸(ジルコニア製)とPCD 材料を工具ホルダーに装着する。
- ④ 粗加工装置(平成24年導入)にて粗成形後、マシニングセンター(平成22年導入)を使用し、放電加工により成形する。

この方法により実際に作製した粗加工用工具、仕上げ加工用工具、上部テーパ穴加工用工具を図3-5に示す。



(a) 粗加工用工具

(b) 仕上げ加工用工具

(c) 上部テーパ穴加工用工具

図 3-5 PCD 製研削工具

3-3 金型の加工手順

金型の加工工程イメージを図 3-6 に示す。直径 $\phi 10.0\text{mm}$ 、長さ 20mm の超硬合金の中心に直径 $\phi 0.7\text{mm}$ の貫通穴を放電加工により予備成形した。貫通穴の加工に要した時間は約 3 分である。

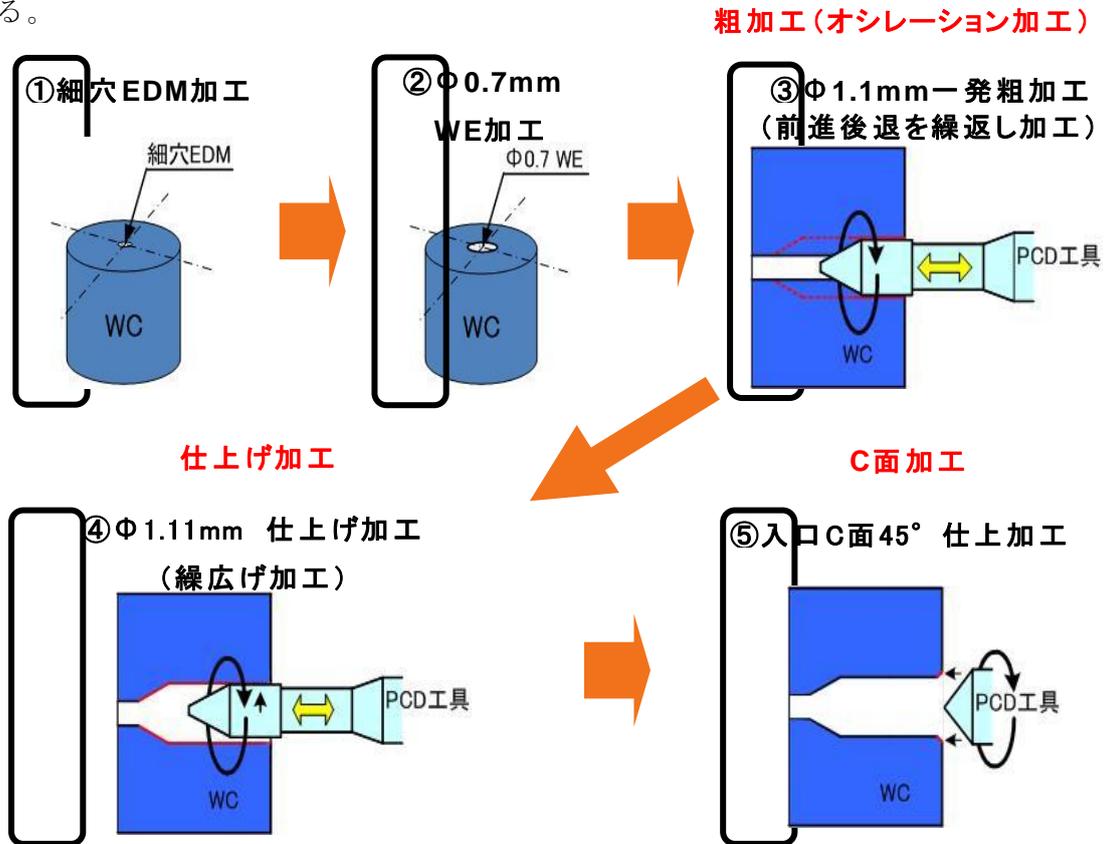


図 3-6 金型の加工工程イメージ図

粗加工では図 3-5(a)に示す直径 $\phi 1.1\text{mm}$ の工具を使用し、ストレート部の穴径を $\phi 0.7\text{mm}$ から $\phi 1.10\text{mm}$ にまで広げることを目標にした。予備成形した直径 $\phi 0.7\text{mm}$ の穴中心と PCD 製研削工具の工具軸中心を一致させてオシレーション加工(前進後退を繰り返しながら切り込みを行う加工方法)を行い、穴径を広げることを計画した。

仕上げ加工では図 3-5(b)に示す直径 $\phi 0.95\text{mm}$ 、工具先端角 62.5 度の工具を使用し、穴径を $\phi 1.10\text{mm}$ から $\phi 1.11\text{mm}$ に広げるために繰り上げ加工(粗成形した穴の中心軸と PCD 製研削工具の工具軸中心を偏心させて穴の半径方向に切り込みを加えた後に工具軌跡を内径形状に沿わせる加工方法)を行い、穴径を広げることを計画した。

上部入口テーパ穴加工では図 3-5(c)に示す直径 $\phi 2.3\text{mm}$ 、工具先端角 45 度の工具を使用し、テーパ角が 45 度で深さが 0.15mm の上部テーパ穴を成形することを計画した。

3-4 超硬合金に対する絞り形状加工技術の確立

3-4-1 加工装置と加工方法

図 3-7 に示すのは、超硬合金製深絞りメス金型の加工に使用した装置の外観である。加工装置は、通常の生産に使用している超精密 CNC 旋盤を使用した。PCD 製研削工具は、PCD 製研削工具専用取付治具を介して超精密 CNC 旋盤の砥石スピンドルに装着した。放電加工によって直径 $\phi 0.7\text{mm}$ の貫通穴を予備成形した直径が $\phi 10\text{mm}$ で長さが 20mm の超硬合金は 3 本爪チャックを介して超精密 CNC 旋盤の主軸に装着した。加工条件を表 3-1 に示す。

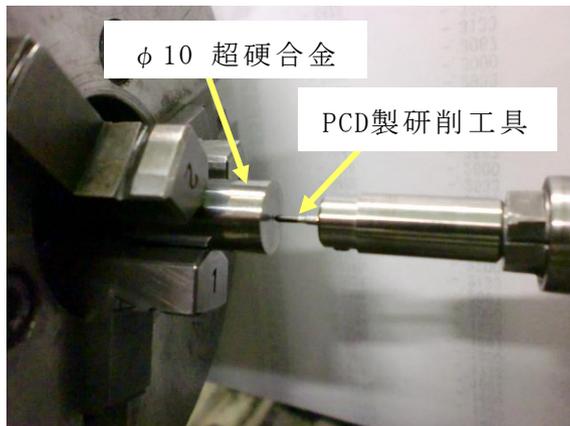


図 3-7 超硬合金製深絞りメス金型の加工に使用した装置の外観

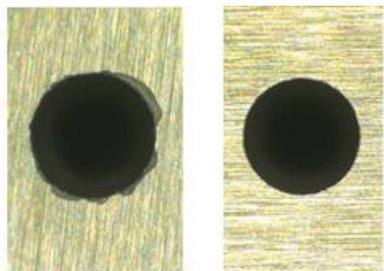
表 3-1 加工条件

	内径 粗加工	内径 仕上げ加工	上部入口テーパ穴 粗加工	上部入口テーパ穴 仕上げ加工
工作物	超硬合金 $\phi 10\text{mm} \times 20\text{mm}$, 1450Hv, $\phi 0.7\text{mm}$ の貫通穴付き			
工具	PCD 製研削工具			
研削工具の回転数	50,000rpm			
超硬合金製金型の回転数	150rpm			
研削工具の送り速度	0.5~2mm/min			
オシレーション加工 前進量	20 μm	形状加工 5 μm 切込み	10 μm	形状加工 5 μm 切込み
オシレーション加工 後退量	10 μm		5 μm	
研削液	水溶性			

3-4-2 内径粗加工

図 3-5(a) に示した PCD 製粗加工用工具 (4 枚刃) を使用し、内径 $\phi 0.7\text{mm}$ から $\phi 1.10\text{mm}$ に広げるための粗加工を行った。図 3-8 に示しているのは送り速度を変化させて粗加工を行った場合に得られた穴入口部の様子である。送り速度を $2\text{mm}/\text{min}$ に設定した場合、穴の入口に欠けが生じた。入口の欠けを防ぐために送り速度を $1\text{mm}/\text{min}$ に設定して再度粗加工を行った。結果としては穴の入口の欠けは生じなかった。できるだけ加工時間を短縮するた

めに送り速度を 1.5mm/min に設定して加工を行った。結果としては入口の欠けは生じなかった。図 3-9 に示しているのは、加工後の金型内面の様子である。オシレーション加工による切り込みのため、その送りピッチで金型内面に模様を観察されるが、次の仕上げ加工にてそれらの模様は消せるため特に問題はない。図 3-10 に示しているのは加工後に観察した PCD 製粗加工工具の様子である。穴を 1 個加工した後の工具の状態である。超硬合金の中に含まれているコバルトが、工具の逃げ面側に付着している様子が確認できる。ただし PCD の工具切れ刃が磨耗している様子は観察されなかった。



(a) 2mm/min (b) 1.5mm/min

図 3-8 加工後の穴の入口

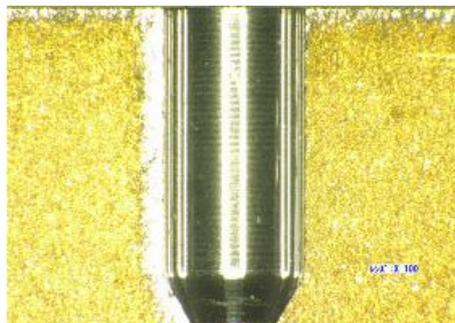


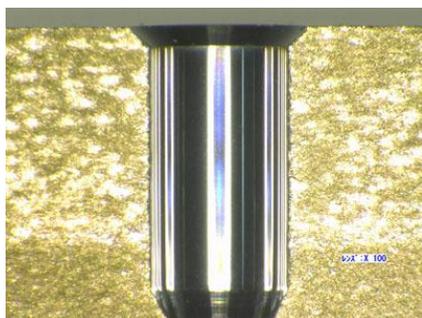
図 3-9 粗加工後金型内面



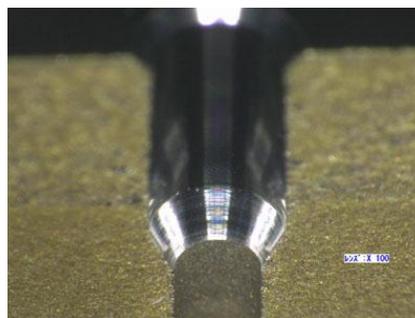
図 3-10 加工後の工具

3-4-3 内径仕上げ加工

図 3-5 (b) に示した PCD 製仕上げ加工用工具 (4 枚刃) を使用し、内径 $\phi 1.10\text{mm}$ から $\phi 1.11\text{mm}$ に広げるための仕上げ加工を行った。送り速度を 1.5mm/min に設定して加工を行い、工具を金型内面形状に沿わせながら前進させ先端テーパ部まで到達後、同一軌跡で後退させることにより金型内面の面粗さ目標 $0.2\mu\text{mRz}$ 以内を確保することができた。図 3-11 に仕上げ加工後の金型内面の様子を、図 3-12 に金型内面の面粗さ測定データを示す。

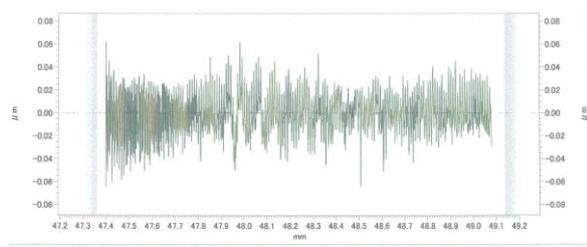


(a) 内径ストレート部

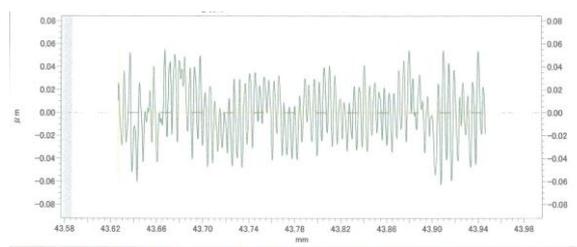


(b) 内径先端テーパ部

図 3-11 仕上げ加工後の金型内面



(a) 内面ストレート部面粗さ ($0.1118\mu\text{mRz}$)



(b) 内面先端テーパ部面粗さ ($0.1168\mu\text{mRz}$)

図 3-12 金型内面の面粗さ測定データ

仕上げ加工後の PCD 製仕上げ加工工具のようすを図 3-13 に示す。穴を 1 個加工した後の工具の状態である。工具表面への付着物もなく PCD の工具切れ刃が磨耗しているようすは観察されなかった。



図 3-13 加工後の仕上げ加工工具

3-4-4 上部入口テーパ穴加工(粗・仕上げ加工)

図 3-5(c)に示した PCD 製入口テーパ穴粗・仕上げ加工工具(4 枚刃)を使用し、テーパ角が 45 度で深さが 0.15mm の上部入口テーパ穴粗・仕上げ加工を行った。送り速度を粗・仕上げ加工とも 1.5mm/min に設定して加工を行った。粗加工についてはオシレーション加工による前進 $10\mu\text{m}$ 、後退 $5\mu\text{m}$ の切り込み条件にて加工を行った。仕上げ加工については図 3-14 に示す工具軌跡にて $5\mu\text{m}$ 切込みの条件で形状加工を行った結果、表面粗さは $0.4227\mu\text{mRz}$ で目標の表面粗さ $0.2\mu\text{mRz}$ 以下をクリアできなかった。この原因として工具先端の表面粗さが充分でなかったことが原因であった。しかしながら工具軌跡のプログラムを改良した結果、表面粗さは $0.0944\mu\text{mRz}$ となり、目標の表面粗さ $0.2\mu\text{mRz}$ 以下をクリアすることができた。また金型の形状測定結果を図 3-15 に示す。目標形状精度 $\pm 5\mu\text{m}$ 以内をすべてクリアすることができた。

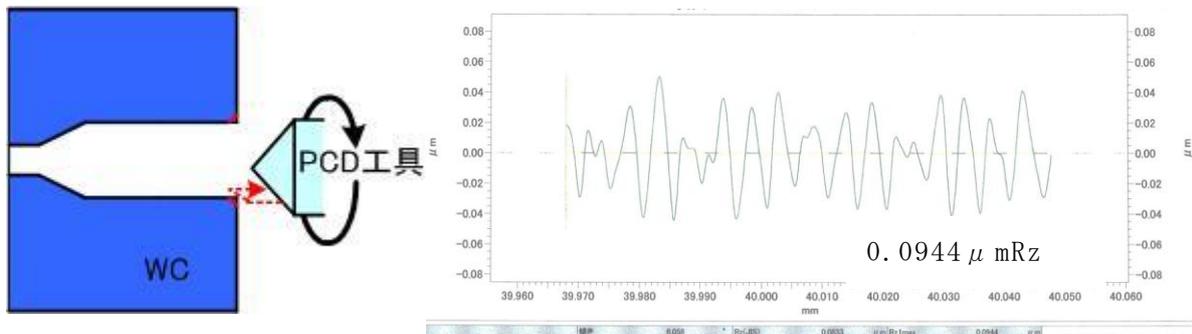


図 3-14 仕上げ加工における PCD 製工具の軌跡イメージ図および表面粗さデータ



図 3-15 超合金製絞りメス金型の形状測定データ

3-5 金型の加工時間

直径が $\phi 0.7\text{mm}$ の貫通穴が予備成形された超硬合金製金型に対して研削加工を行い、金型に要求されている形状精度が $5\mu\text{m}$ 以下、面粗さが $0.2\mu\text{mRz}$ 以下であるのに対し、形状精度・表面粗さとも目標を達成できた。また、深絞りメス金型の加工に要した時間は表3-2に示すとおりであり、これも研究目標を達成できたと考えている。

表3-2 超硬合金製・絞りメス金型の加工に要した時間

加工箇所	所要時間(分)
放電加工下穴加工($\phi 0.7\text{mm}$)	3
内径粗加工($\phi 0.7\text{mm}\rightarrow\phi 1.1\text{mm}$)	8
内径仕上げ加工($\phi 1.10\text{mm}\rightarrow\phi 1.11\text{mm}$)	17
金型上部テーパ穴粗加工	3
金型上部テーパ穴仕上げ加工	16
合計	47
目標加工時間	60

3-6 工具の耐久性評価

PCD工具の耐久性評価のため、絞りメス金型の10穴連続加工テストを行った。工具については、内径粗加工工具、内径仕上げ加工工具、入口テーパ穴粗・仕上げ加工共用工具を使用した。評価結果については、内径粗加工工具、内径仕上げ加工工具、入口テーパ穴粗・仕上げ加工共用工具ともすべての工具で10穴連続加工を達成した。10穴加工後の工具は、大きな欠損なし。仕上げ工具、入口テーパ穴粗・仕上げ共用工具はほとんど変化は見られなかった。研究目標は達成できたと考えている。

3-7 金型の耐久性評価

絞りメス金型の耐久性評価について現時点では評価できていない。金型の耐久性評価方法や評価基準についてユーザーからの情報収集を行っており、今後評価を行う。

3-8 まとめ

形状精度目標 $5\mu\text{m}$ 以下、面粗さ目標 $0.2\mu\text{mRz}$ 以下、金型の加工時間目標60分以内についてほぼすべての目標値を達成できたと考えている。とくに開発した工具の形状については、切れ刃部分の形状がとても重要であることがわかった。また、工具寿命評価についても開発したすべての工具において10穴以上の加工評価を完了することができ、十分な性能であることが検証できた。

参考文献・引用文献

(1) 三重野計滋、日並輝秀、本田伸浩、野田健一、仙波卓弥、天本祥文、高アスペクト比を持つ超硬合金製絞り金型に対する研削加工技術の開発、平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業 成果報告書、(2012)、pp. 12-42

第4章 全体総括

株式会社ワークス	代表取締役		三重野 計滋
	製造技術G	マネージャー	日並 輝秀
	新製品開発G	副ライン長	本田 伸浩
	新製品開発G	研究員	金子 大祐
	製造G	副ライン長	福田 一幾
	製造G	主任	伊藤 慎吾
	製造G	主任	森本 利和
福岡工業大学	工学研究院	教授	仙波 卓弥
		助教	天本 祥文

4-1 複数年の研究開発成果

平成 22～平成 24 年の 3 年間、本事業を分担実施した株式会社ワークスおよび福岡工業大学の研究開発成果を以下にまとめる。

株式会社ワークスでは放電加工用電極および研削加工の両方の機能をもつ PCD 製粗加工用工具、PCD 製仕上げ加工用工具と研削加工技術の開発を行った。本事業で得られた研究の成果を以下に示す。

1) 放電加工用電極および研削加工の両方の機能をもつ PCD 製粗加工用工具の開発

放電加工用電極としての PCD 製粗加工用工具について放電加工実験にて評価を行い、無消耗電極としての評価を得た。しかしながら放電加工実験結果より、粗加工時間が 69 分を必要としたため事業目標である金型の加工時間 60 分以下を達成できないことが判明した⁽¹⁾。よって研削加工のみに対応する PCD 製粗加工用工具を作製し、工具寿命評価として目標である 10 穴の連続加工テストを行い、事業目標を達成した。

2) PCD 製仕上げ加工用工具の開発

仕上げ加工用工具について金型形状精度 5 μm 以下、金型内面粗さ 0.2 μmRz 以下の目標を達成できる PCD 製仕上げ加工用工具を作製し、工具寿命評価として目標である 10 穴の連続加工テストを行い、事業目標を達成した。

3) 超硬合金製絞り金型の研削加工技術の確立

事業目標の金型形状精度 5 μm 以下、金型内面粗さ 0.2 μmRz 以下、金型の加工時間 60 分以下を満たす研削加工技術を確立し、事業目標を達成した。ただし金型寿命評価については、現時点で評価ができていないため、今後引き続き評価を行う。

福岡工業大学では放電加工を行い直径が 0.7 mm の案内穴が予備成形された硬さが 1,450 Hv の超硬合金製絞り金型に対して研削加工を行い、

- ・ 金型内面の粗さ 0.2 μmRz 以下

- ・ 金型の加工時間 60 分以下

といった事業目標を満たす PCD 製研削工具と研削加工技術の開発を行った。本事業で得られた研究の成果を以下に示す。

1) 現時点では、PCD 製研削工具の砥石作用面が研削加工中に摩耗してあれたことが原因で、金型壁面に関する粗さの達成目標が $0.2 \mu\text{mRz}$ であったのに対し、 $0.6 \mu\text{mRz}$ にしか達していない。これは、粒径が大きな砥粒を用いて PCD 製研削工具に対して湿式ラッピングを行ったことが原因であり、本事業の終了時まで目標値を満たす PCD 製研削工具を試作する。

2) 金型の加工時間に要する達成目標が 60 分以下であったのに対し、現時点で 88 分を要しており達成目標をクリアできていない。これは、砥石作用面に詰まりが生じることを恐れ、内径仕上げ加工時の半径方向切込みを $1 \mu\text{m}$ に設定したことが原因であり、これを $2 \mu\text{m}$ に増すことは可能である。この場合、加工時間は 88 分から 53 分に短縮されることになり、ぎりぎりではあるが事業目標を達成できる⁽²⁾。

4-2 研究開発後の課題・事業化展開

本事業の研究開発成果より事業目標はほぼ達成することができたが、PCD 製研削工具で総研削仕上げを行った金型寿命の評価については、これからの評価となり今後の課題として残る。従来の金型寿命と比較して約 5 倍が見込めるが、その結果として金型製品寿命が延びることは、ユーザー側にとってみれば非常に大きなメリットとなるものの金型を作るメーカー側にとっては金型の寿命が延びた分、受注が減ることにも繋がりがねない。そのため今後の事業化展開においては、本研究開発成果を社内へ横展開を進める。そして大幅に生産性が向上した分を従来放電加工と手磨きでしか実現できなかった絞り金型や曲げ金型等への受注拡大を行うため、弊社ホームページや業界関係誌などに積極的に PR 活動を行い営業展開を進める。また絞り金型や曲げ金型以外の分野、たとえば超硬合金への微細形状加工を必要とする特殊先端形状パンチや光学部品用の金型等への展開も積極的に進める。

参考文献・引用文献

- (1) 三重野計滋、日並輝秀、野田健一、本田伸浩、仙波卓弥、天本祥文、高アスペクト比を持つ超硬合金製絞り金型に対する研削加工技術の開発、平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業 成果報告書、(2012)、 pp. 12-25
- (2) 三重野計滋、日並輝秀、本田伸浩、金子大祐、福田一幾、伊藤慎吾、森本利和、仙波卓弥、天本祥文、高アスペクト比を持つ超硬合金製絞り金型に対する研削加工技術の開発、平成 23 年度第 3 次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業 研究開発成果等報告書、(2013)、 p. 22

平成23年度第3次補正予算 戦略的基盤技術高度化支援事業
高アスペクト比を持つ超硬合金製絞り金型に対する
研削加工技術の開発

研究開発成果等報告書

平成25年2月

委託者 九州経済産業局
〒812-8546 福岡市博多区博多駅東2-11-1

委託先 財団法人 福岡県産業・科学技術振興財団
〒810-0001 福岡市中央区天神1-1-1アクロス福岡西オフィス9F
TEL 092-725-2781 FAX 092-725-2786

古紙リサイクル適性ランク：Aランク