

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

「長寿命・微細PCD(コバルト焼結ダイヤモンド)金型部品の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年12月

委託者 近畿経済産業局

委託先 一般財団法人大阪科学技術センター

— 目 次 —

第1章 研究開発の概要	1
1.1 研究開発の背景・研究目的および目標	1
1.2 研究体制	2
1.3 成果概要	6
1.3.1 熱劣化レス PCD 接合技術の開発	7
1.3.2 熱分解カーボン式放電加工技術の開発	7
1.3.3 紫外光励起 PCD 研削技術の開発	8
1.3.4 PCD 金型部品の試作と供試	8
1.4 当該委託研究の連絡窓口	8
第2章 熱劣化レス PCD 接合技術の開発	9
2.1 目的	9
2.2 熱劣化レス PCD 接合装置	9
2.3 PCD 接合実験	10
2.4 PCD 試料の観察と解析	10
2.5 まとめ	13
第3章 熱分解カーボン式放電加工技術の開発	14
3.1 目的	14
3.2 大阪府立産業技術総合研究所における放電加工実験	14
3.3 実験結果と考察	15
3.4 株式会社新日本テックにおける両極性放電加工実験	16
3.5 実験結果と考察	16
3.6 まとめ	19
第4章 紫外光励起 PCD 研削技術の開発	20
4.1 目的	20
4.2 熊本大学における研削実験	20
4.3 実験結果と考察	20
4.4 株式会社新日本テックにおける研削実験	22
4.5 実験結果と考察	23
4.6 まとめ	24

第5章 PCD 金型部品の試作と供試	25
5.1 目的	25
5.2 PCD 金型部品の試作	25
5.3 株式会社寺方工作所におけるプレス試験と製品評価	26
5.4 まとめ	27
第6章 総括	28

第1章 研究開発の概要

1.1 研究開発の背景・研究目的および目標

情報家電の主要製品である薄型テレビや携帯電話には、高精度・微細プレス金型により加工されるコネクタ、キャパシタ(コンデンサ)、スイッチ等の電子部品が多数使用されている。金型部品に対しては、さらに高い精度と長寿命化によるメンテナンスフリー化の要求が強い。新しい金型部品材料であるPCD(コバルト焼結ダイヤモンド)はその要求に応える材料として有望視されているが、未だ製造技術が確立しておらず、実用化に到っていない。

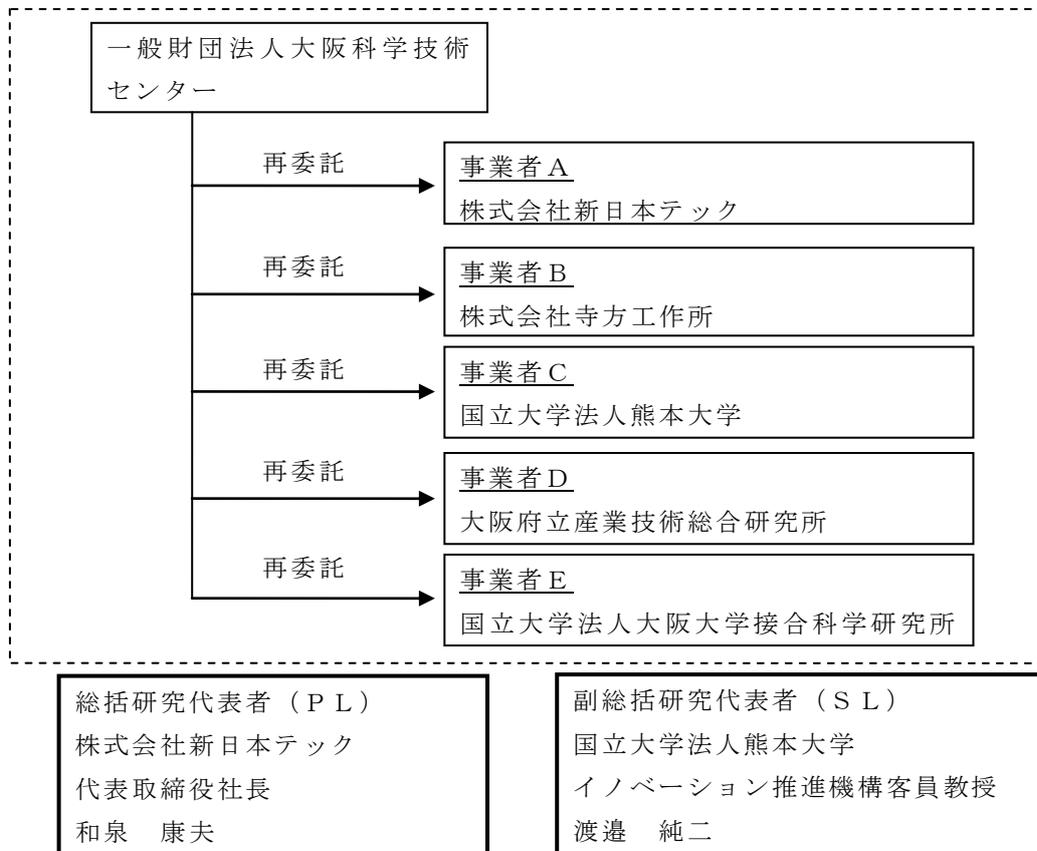
そこで、接合技術、放電加工技術、研削技術に関して従来の課題を克服する専用製造装置を製作し、革新的なPCD金型部品の高精度加工技術を開発する。これにより、長寿命・微細な金型部品の安定供給を可能とし、我国の金型競争力の高度化を実現する。本金型の用途としては、電子部品に加えて時計などの精密機器分野への横展開も図る。開発の目標を表1.1に示す。

表 1.1 開発の目標

項目		目標
全体技術	金型部品の高精度・長寿命化	・高精度化:公差 $\pm 1\mu\text{m}$ 、最小ピッチ $200\mu\text{m}$ ・長寿命化:超合金の5倍以上
個別技術	【1】熱劣化レスPCD接合技術	・PCDのグラファイト化率ほぼゼロの専用設備
	【2】熱分解カーボン式放電加工技術	・放電加工後の表面粗さを従来技術に対して $<1/2$ ($Ra\ 1.5\mu\text{m} \rightarrow Ra\ 0.5\mu\text{m}$) ・放電加工速度を従来技術に対して2倍以上
	【3】紫外光励起PCD研削技術	・研削加工後の表面粗さ(Ra) $< 50\text{ nm}$ ・金型のエッジ欠け $< 1\ \mu\text{m}$
	【4】PCD金型部品の試作と供試	・電子部品:パナソニックエレクトロニクスデバイスへの供試 ・精密機器:盛岡セイコー工業への供試

1.2 研究体制

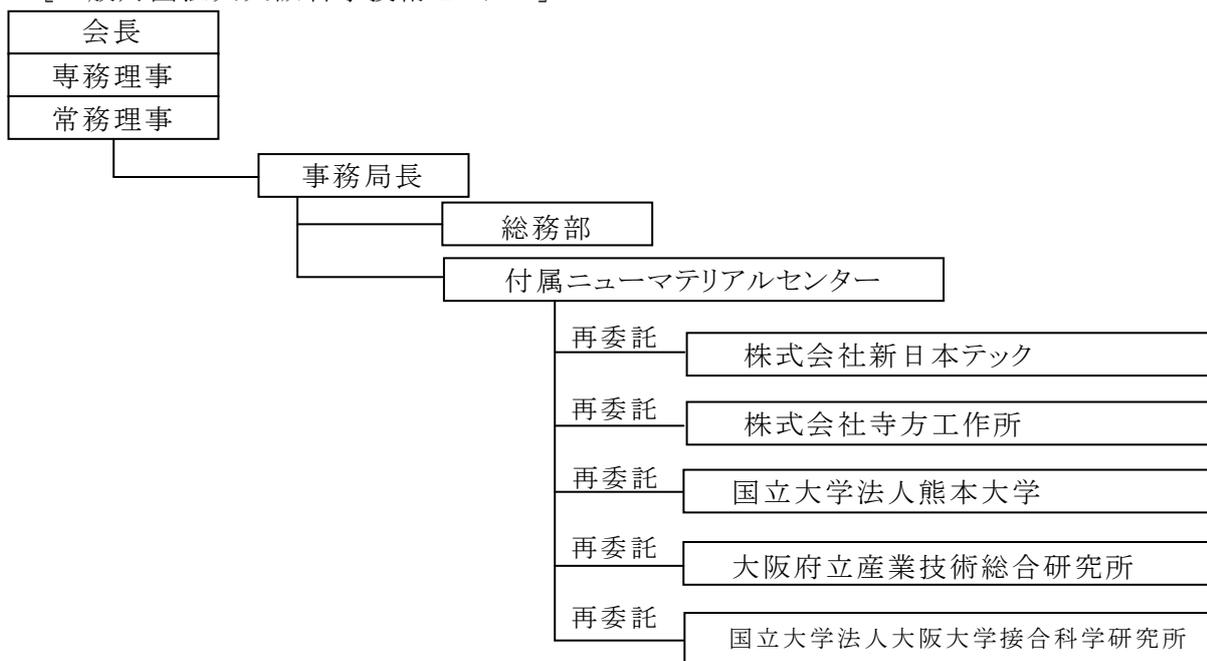
1.2.1 研究組織



1.2.2 管理体制

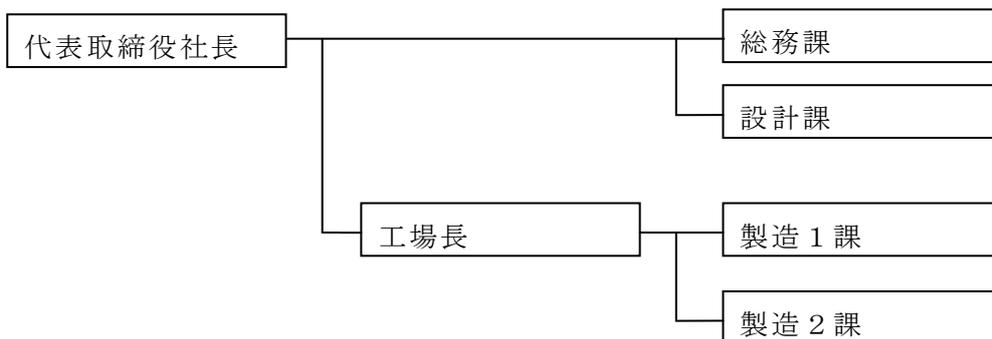
1.2.2.1 事業管理機関

[一般財団法人大阪科学技術センター]



1.2.3 再委託先

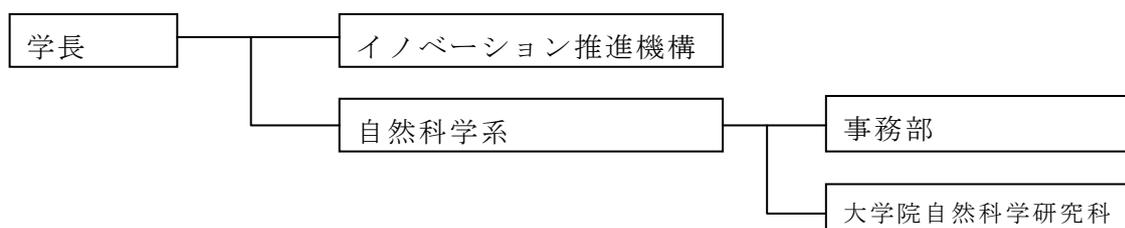
[株式会社新日本テック]



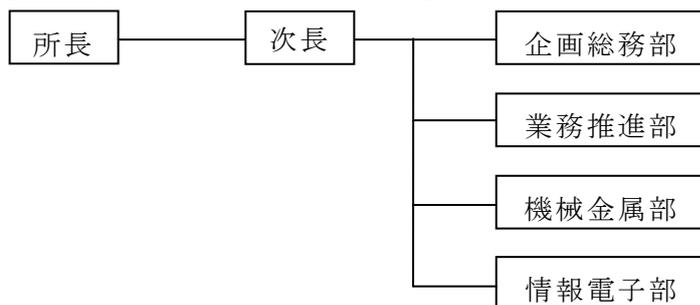
[株式会社寺方工作所]



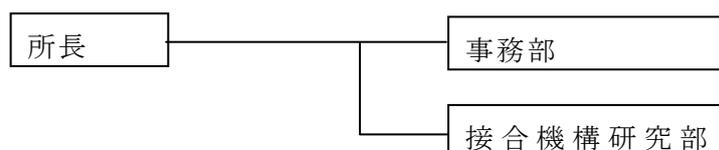
[国立大学法人熊本大学]



[大阪府立産業技術総合研究所]



[国立大学法人大阪大学接合科学研究所]



1.2.4 管理員及び研究員

1.2.4.1 【事業管理機関】 一般財団法人大阪科学技術センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
金子 輝雄	付属ニューマテリアルセンター総括マネージャー	【5】
井出 正裕	付属ニューマテリアルセンター 調査役	【5】

研究員(なし)

1.2.4.2 【再委託先】 ※研究員のみ

株式会社新日本テック

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
和泉 康夫	代表取締役社長	【1】【2】【3】【4】
筒井 長	設計課	【1】【2】【3】【4】
古寺 眞治	製造1課 課長	【1】【2】【3】
草刈 寿雄	製造1課	【3】
伊内 達彦	製造2課放電係 係長	【2】
古林 宏朗	製造2課放電係	【2】
高柳 一生	製造2課放電係	【2】

株式会社寺方工作所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
寺方 泰夫	代表取締役社長	【4】
山田 良一	生産技術課 課長	【4】
山田 博昭	金型製造課 課長	【4】
溝上 善久	生産技術課生産技術係 係長	【4】
石原 聖治	生産技術課生産技術員	【4】

国立大学法人 熊本大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
渡邊 純二	熊本大学イノベーション推進機構 客員教授	【3】
峠 睦	熊本大学大学院自然科学研究科 教授	【3】

大阪府立産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
南 久	機械金属部 主任研究員	【2】
渡邊 幸司	機械金属部 研究員	【2】
石島 悌	情報電子部 主任研究員	【2】
平松 初珠	情報電子部 研究員	【2】

国立大学法人 大阪大学接合科学研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
柴柳 俊哉	接合機構研究部門 准教授	【1】
西川 宏	接合機構研究部門 准教授	【1】

1.2.4.3 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理機関】

〔一般財団法人大阪科学技術センター〕

(経理担当者) 総務部 参事 木村 和代
 (業務管理者) 付属ニューマテリアルセンター総括マネージャー 金子 輝雄

【再委託先】

〔株式会社新日本テック〕

(経理担当者) 常務取締役(総務課担当) 畔柳 和宏
 (業務管理者) 代表取締役社長 和泉 康夫

〔株式会社寺方工作所〕

(経理担当者) 総務課 総務係長 石見 幸子
 (業務管理者) 代表取締役社長 寺方 泰夫

〔国立大学法人 熊本大学〕

(経理担当者) 自然科学系事務ユニット 研究支援担当スタッフ 坂本 和昭
 リーダー
 (業務管理者) 大学院自然科学研究科長 西山 忠男

〔大阪府立産業技術総合研究所〕

(経理担当者) 企画総務部 総務グループ 会計担当主査 江川 定子
 (業務管理者) 業務推進部 研究調整課 木下 俊行

〔国立大学法人 大阪大学接合科学研究所〕

(経理担当者) 事務部 会計係長

東堤 忠勝

(業務管理者) 所長(教授)

中田 一博

1.2.5 研究開発推進委員会メンバー

	氏名	所属、役職
委員長	和泉 康夫	株式会社新日本テック 代表取締役社長
副委員長	渡邊 純二	国立大学法人熊本大学 イノベーション推進機構 客員教授
委員	寺方 泰夫	株式会社寺方工作所 代表取締役社長
委員	峠 睦	国立大学法人熊本大学 大学院自然科学研究科 教授
委員	南 久	大阪府立産業技術総合研究所 機械金属部 主任研究員
委員	柴柳 俊哉	国立大学法人大阪大学 接合科学研究所 准教授 (現:国立大学法人富山大学 教授)
委員	西川 宏	国立大学法人大阪大学 接合科学研究所 准教授
委員	筒井 長	株式会社新日本テック 設計課
アドバイザー	中野 真治	パナソニック株式会社デバイス生産技術統括センター Gマネージャー
アドバイザー	作美 三千彦	盛岡セイコー工業株式会社 型技術部 次長
アドバイザー	戸田 直大	住友電気工業株式会社 ダイヤ技術開発部 主席
アドバイザー	井上 貴博	日本サーマルエンジニアリング株式会社 技術課 課長
アドバイザー	野田 浩男	野田技術士グループ事務所 所長
アドバイザー	三原 孝夫	一般社団法人 ネオマテリアル創成研究会 専務理事(事務局長)
オブザーバー	遠藤 浩規	経済産業省近畿経済産業局 製造産業課 企画係長
オブザーバー	渡邊 幸司	大阪府立産業技術総合研究所 機械金属部 研究員
事務局	金子 輝雄	一般財団法人大阪科学技術センター 総括マネージャー
事務局	井出 正裕	一般財団法人大阪科学技術センター 調査役

1.3 成果概要

PCD(コバルト焼結ダイヤモンド)は、高い精度と長寿命化によるメンテナンスフリー化の要望に応える新しい金型部品材料として注目されている。本研究開発では平成22年度から平成23年度第3次補正予算の期間において研究開発をおこない、以下に示す三つの革新的技術を開発の柱として検討を進めた。

- 1) 熱劣化レス PCD 接合技術
- 2) 熱分解カーボン式放電加工技術
- 3) 紫外光励起 PCD 研削加工技術

1.3.1 熱劣化レス PCD 接合技術の開発

PCD は素材が高価なことから一般には薄板形状で供給され、金型の土台となる超硬合金と接合する必要がある。接合時の熱で PCD にグラファイト化が生じると、PCD の特性が大幅に劣化するため、その防止が重要となる。従来の PCD 接合は、手動で熟練技術者が行っているため、PCD の劣化温度領域での接合となり易く、グラファイト層が数 μm 以上に達するケースが多かった。また、専用設備がないため、再現性も悪く、金型の寿命も短く（超硬合金の 3 倍程度）バラツキも大きかった。そこで、熱劣化レス（グラファイト化レス）の専用接合装置と接合技術を開発し、熱劣化（グラファイト化）が無いこと、剥離やエッジの欠け・粒子脱落が無いこと、並びに所定の接合強度が確保されていることを目標とした。

その結果、熱劣化レス PCD 接合装置を用いた接合によって接合部が接合温度に達しても PCD の温度を劣化が起こらない温度に確保することが実証できたが、実際に接合した試料を解析するとややダイヤモンドのグラファイト化が進行していたため、接合時の温度制御をより精密に制御する必要があることが分かった。接合試料の外観に関しては、剥離やエッジの欠けも観察されず、断面の観察でもほとんどの箇所がボイドが観察されることはなく、十分に接合されていることがわかった。

1.3.2 熱分解カーボン式放電加工技術の開発

PCD を接合した金型部品の粗形状加工において、硬度が高いため一般に放電加工が用いられるが、従来技術ではダイヤモンド粒子を直接加工するのではなく、バインダー金属（コバルトなど）を除去してダイヤモンド粒子を脱落させて加工するため、加工後の表面粗さが Ra で $1\ \mu\text{m}$ 以上と粗く、しかも、加工条件の最適化が図られていないため、加工速度が遅く生産性が悪い。また、電極に銅タングステン合金を用いるため研削精度が悪く、微細形状電極を高精度に製作することは困難である。そこで、従来技術に対して加工後の表面粗さが $1/2$ 以下で、加工速度が 2 倍以上の熱分解カーボン式放電加工技術の開発を目指すこととする。

その結果、超硬合金を工具電極として用いた PCD の微細形彫り放電加工技術の開発を目的として、高精度・高能率加工を実現する放電加工条件について検討した結果、以下のことがわかった。

- 1) 極性を定期的に反転させる両極性加工は、加工面の平坦化、および放電加工速度の向上に有効である。
- 2) 両極性加工を粗加工に適用することにより、電極の消耗を均一化することができる。
- 3) 両極性加工を適用することで、電極の使用本数を低減でき、電極製作、交換、位置決め等に要する時間を考慮すると、加工時間を半分以下に短縮（加工速度を 2 倍以上に向上）することができる。

1.3.3 紫外光励起 PCD 研削技術の開発

PCD の仕上げ表面研削に関しては、ダイヤモンド砥石を用いる従来技術では、加工精度が悪く、研削面粗さは 100 nm 以上で、しかもエッジ部分に 5 μ m 以上の欠けを生じるなど、健全な PCD 金型部品を製造することが出来なかった。そこで、国立大学法人熊本大学で考案された紫外光励起を利用した新 PCD 研削技術を用いた専用研削装置を開発して、研削加工後の表面粗さ Ra50 nm 以下、金型のエッジ欠け 1 μ m 以下を達成することを目標とした。

その結果、紫外励起 PCD 研削盤を用いた研削加工実験によってエッジ欠け 5 μ m、表面粗さ Ra8nm を達成し、従来の平面研削盤による研削加工に対して、表面粗さが飛躍的に向上することが実証できた。エッジ欠けに関しては目標である 1 μ m 以下には到達していないが、紫外励起 PCD 研削盤は加工条件を詳細に設定することができる為、今後更なる加工条件の探索を行っていくことで到達することが出来ると確信している。

1.3.4 PCD 金型部品の試作と供試

上述の三つの開発要素技術を用いて、PCD 金型を試作し、得られたサンプルは、主要な客先に供試し、実ラインでの性能評価を行う。最終目標を満足することが確認出来た後は、目的である長寿命・微細 PCD 金型部品の安定供給体制を確立し、事業展開を図る。

その結果、PCD 金型部品の試作によって、加工方法の開発や精度の向上により、必要な形状の金型が製作できれば、従来の SKD11 やハイス鋼、さらに超硬合金製金型よりも品質が良い製品が製作できることが明らかになった。

1.4 当該委託研究の連絡窓口

〒550-0004 大阪市西区靱本町1丁目8番4号

一般財団法人センター 附属ニューマテリアルセンター

TEL: 06-6443-5326、FAX: 06-6443-5310

金子輝雄 (t.kaneko@ostec.or.jp)、井出正裕 (m.ide@ostec.or.jp)

第2章 熱劣化レス PCD 接合技術の開発

(国立大学法人大阪大学接合科学研究所、株式会社新日本テック)

2.1 目的

PCD は素材が高価なことから一般には薄板形状で供給され、金型の土台となる超合金と接合する必要がある。接合時の熱でPCDにグラファイト化が生じると、PCDの特性が大幅に劣化するため、その防止が重要となる。従来の PCD 接合は、手動で熟練技術者が行っているため、PCD の劣化温度領域での接合となり易く、グラファイト層が数 μm 以上に達するケースが多かった。また、専用設備がないため、再現性も悪く、金型の寿命も短く（超合金の3倍程度）バラツキも大きかった。そこで、熱劣化レス（グラファイト化レス）の専用接合装置と接合技術を開発し、熱劣化（グラファイト化）が無いこと、剥離やエッジの欠け・粒子脱落が無いこと、並びに所定の接合強度が確保されていることを目標とした。

2.2 熱劣化レス PCD 接合装置

本研究で目的とする接合に際して、接合界面近傍はろう材が十分に部材表面に濡れ広がる温度に達していながら、その界面から数 mm 離れた PCD 部では劣化が起こらない温度に保たれるような接合装置を製作した。接合装置を図 2.1 に示す。



図 2.1 熱劣化レス PCD 接合装置

2.3 PCD の接合実験

接合試料は超硬母材の上にロウ材を介して PCD をのせ、熱劣化レス PCD 接合装置によって接合を行い作成した。

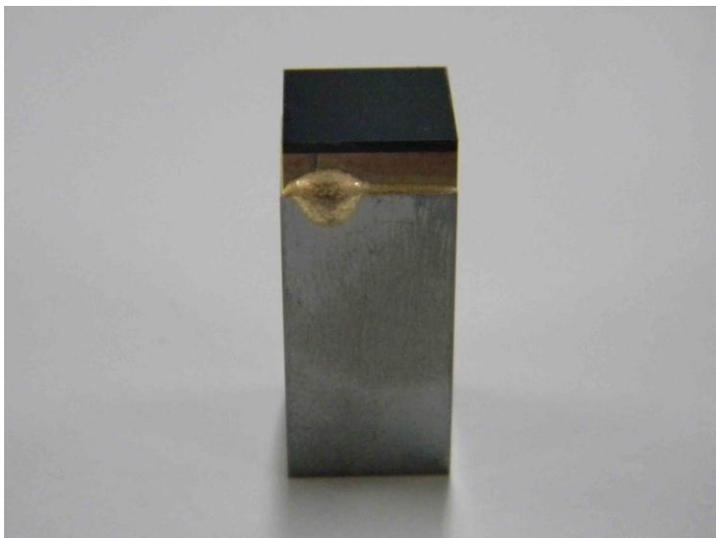


図 2.2 接合した PCD 試料

接合した PCD 試料を図 2.2 に示す。熱劣化レス PCD 接合装置によって、PCD 部では劣化の起こらない温度に保ちつつ、接合界面では接合に十分な温度になっていることを確認し、本装置の目的としている理想的な温度制御で接合が出来た。

2.4 PCD 試料の観察と解析

接合した PCD 試料を切断して接合部断面各所の SEM 観察を行った。断面全体を観察したところ、図 2.3 に示すようにほとんどの箇所ではボイドが観察されることはなく、十分に接合されていることがわかった。また、接合した PCD 試料の外観を観察したが、PCD の剥離やエッジの欠けや粒子の脱落は起こっていなかった。

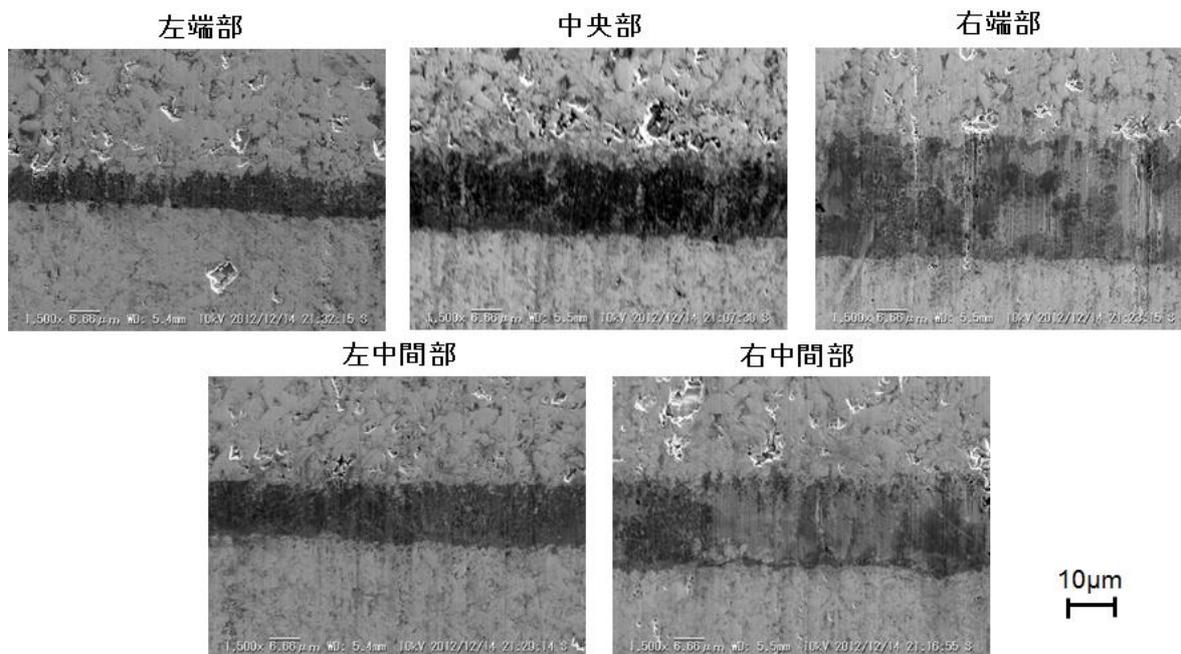
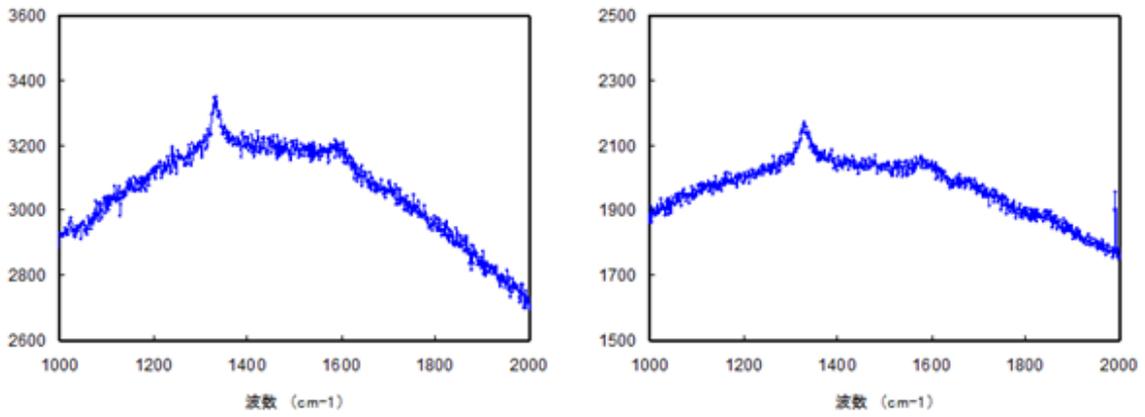


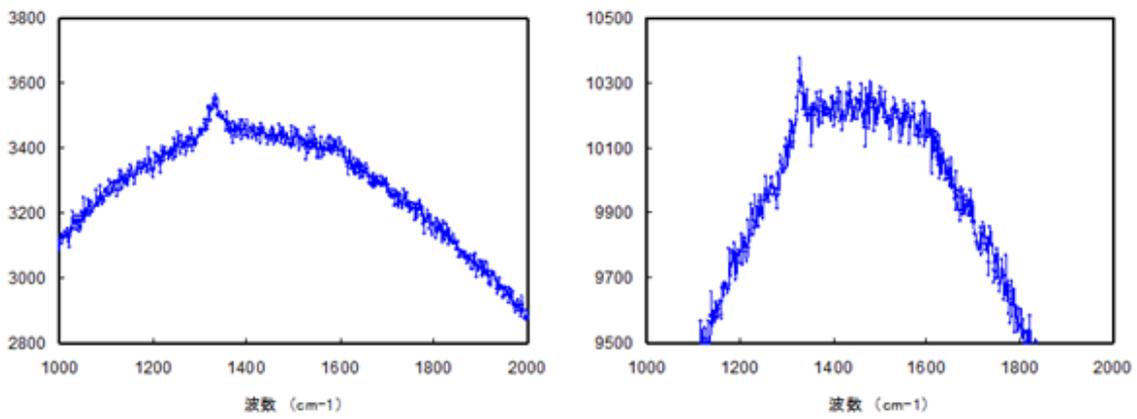
図 2.3 接合部各部の SEM 写真

次に、接合後の PCD ダイヤ部の熱劣化の状態を確認するために、顕微ラマン分光光度計（日本分光（株）製 NRS-3300）によるダイヤモンドの状態分析をおこなった。測定試料は、ロウ付前とロウ付後の PCD の端面として、分析位置は、「上面に近い部分（先端部）」、「超硬合金との境界に近い部分（境界部）」、および「その中間部分（中央部）」の 3 ヶ所とした。図 2.4 に測定結果を示す。これらの結果から、ダイヤモンドを示すピーク（ 1333cm^{-1} ）以外に、 1580cm^{-1} 付近にピークが検出されており、これらはグラファイト化されたものを示すと考えられる。このグラファイト化を示すようなピークは、ロウ付前の PCD 端面からもみられるが、ロウ付後の PCD 断面の方が強いことから、ややグラファイト化が進行したものと思われる。したがって、接合時のグラファイト化の進行を抑制するためには、接合時の精密な温度制御が重要であることがわかった。

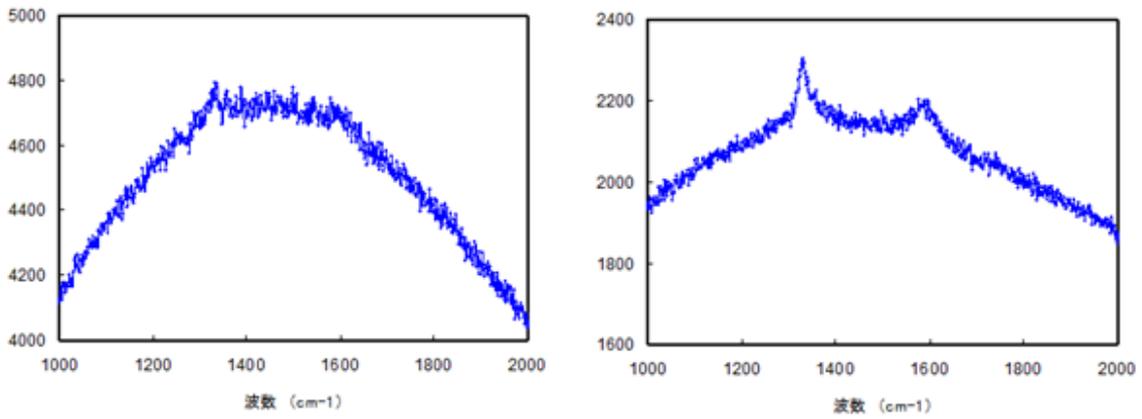
また接合部の接合強度を評価するために、接合サンプルを $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ サイズに小片化し、接合部に対するせん断試験をおこなった。その結果、本研究で用いたせん断試験機の 50kgf センサでは、接合部を破壊することはできず、接合部が十分な接合強度を有していることが確認できた。



(a)先端部



(b)中央部



(c)境界部

図 2.4 顕微ラマン分光光度計による解析
左：ロウ付前 右：ロウ付後

2.5 まとめ

熱劣化レス PCD 接合装置を用いた接合によって接合部が接合温度に達しても PCD の温度を劣化が起こらない温度に確保することが実証できたが、実際に接合した試料を解析するとややダイヤモンドのグラファイト化が進行していたため、接合時の温度制御をより精密に制御する必要があることが分かった。接合試料の外観に関しては、剥離やエッジの欠けも観察されず、断面の観察でもほとんどの箇所ではボイドが観察されることはなく、十分に接合されていることがわかった。

第3章 熱分解カーボン式放電加工技術の開発

(大阪府立産業技術総合研究所、株式会社新日本テック)

3.1 目的

PCD を接合した金型部品の粗形状加工において、硬度が高いため一般に放電加工が用いられるが、従来技術ではダイヤモンド粒子を直接加工するのではなく、バインダー金属（コバルトなど）を除去してダイヤモンド粒子を脱落させて加工するため、加工後の表面粗さが Ra で $1\ \mu\text{m}$ 以上と粗く、しかも、加工条件の最適化が図られていないため、加工速度が遅く生産性が悪い。また、電極に銅タングステン合金を用いるため研削精度が悪く、微細形状電極を高精度に製作することは困難である。そこで、従来技術に対して加工後の表面粗さが $1/2$ 以下で、加工速度が 2 倍以上の熱分解カーボン式放電加工技術の開発を目指すこととする。

3.2 大阪府立産業技術総合研究所における放電加工実験

図 3.1 は、実験装置の外観を示す。φ3 mm の円筒状電極（超硬合金）を形彫り放電加工機の主軸に取り付け、電極の底面で設定した加工深さ（0.3mm）になるまで PCD を放電加工した。加工後の試料の加工面粗さや断面形状は、表面粗さ計（株式会社ミットヨ製 フォームレーサ CS-5000）で測定した。

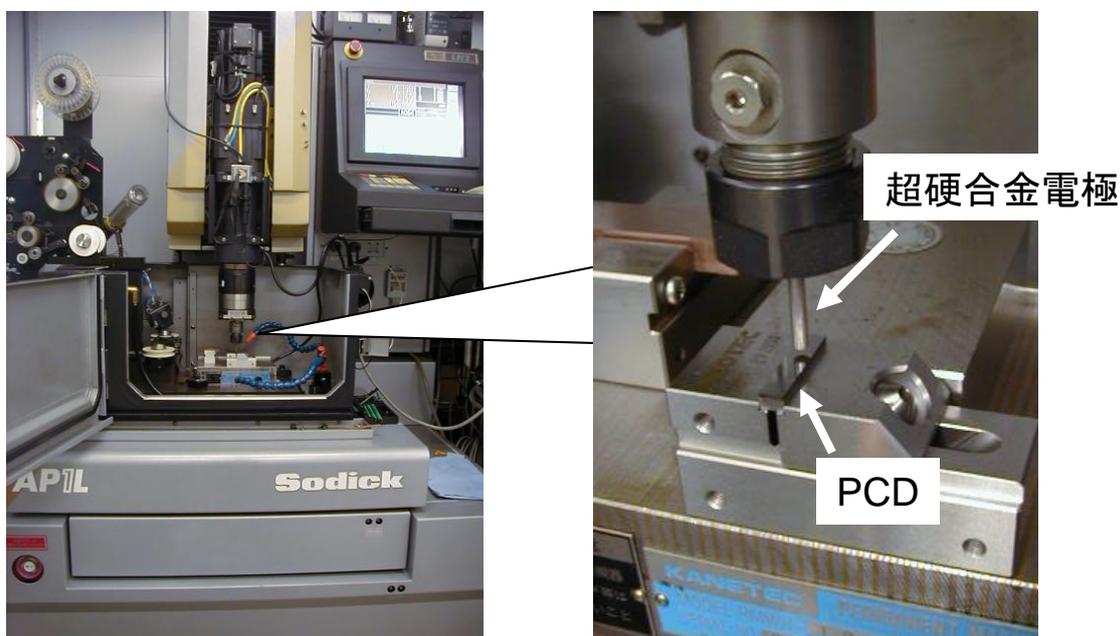


図 3.1 実験装置の外観

3.3 実験結果と考察

図 3.2 は、粗加工条件で PCD を加工した場合の加工面の断面形状を示す。電極極性を PCD(+)として加工した場合、加工面の中央部が周辺部に比べて大きく盛り上がる形状（凸形状）を示す。このことから、工具電極の消耗は、周辺部に比べて中央部が大きいと考えられる。これに対して、PCD(-)で加工した場合、加工面の中央部は周辺部に比べて深く加工されており、工具電極の消耗は、中央部に比べて周辺部の方が大きいと考えられる。このように、電極の中央部と周辺部での消耗速度の違いが、電極極性によって逆の傾向を示すことから、電極の極性を適当なタイミングで切り替えながら加工すれば（両極性加工）、電極消耗を均一化し、平坦な加工面が得られると考えられる。そこで、粗加工条件で両極性加工を行い、その効果を確認するとともに、両極性加工条件（それぞれの極性で加工する時間の比率や切り替える周期）について、その最適化を試みた結果、図 3.3 の最適な断面形状を得ることができた。

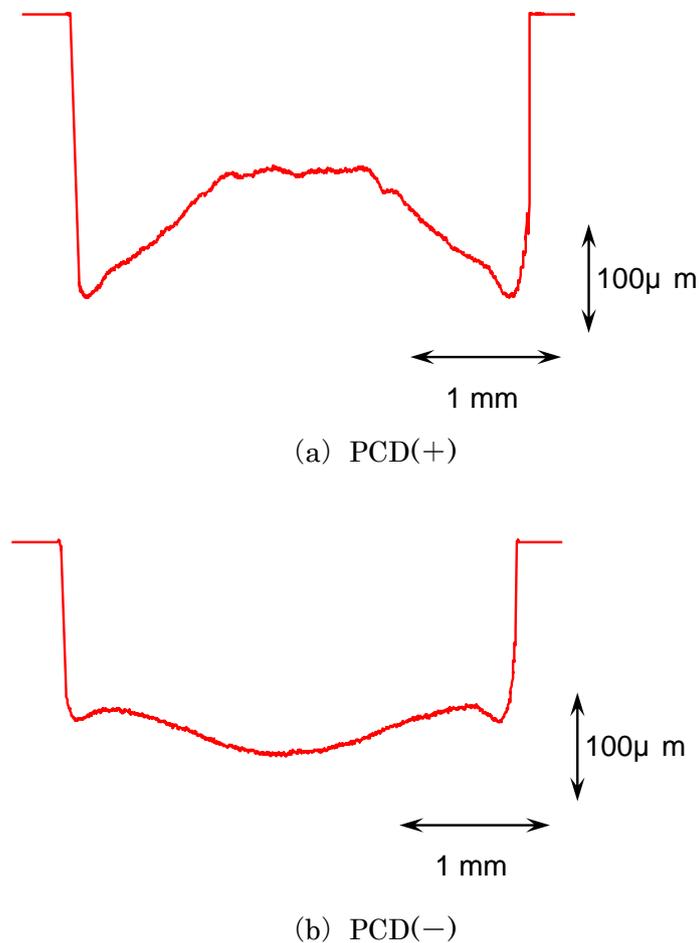


図 3.2 PCD 加工面の断面形状

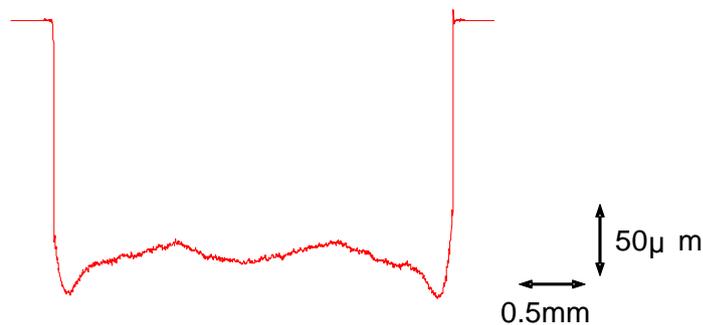


図 3.3 両極性加工した PCD 面の断面形状

3.4 株式会社新日本テックにおける両極性放電加工実験

電極極性を定期的に切り替える両極性加工を行うことにより、加工面を平坦化できることがわかった。そこで、株式会社新日本テックの放電加工機を用いて両極性加工の有効性について確認実験を行った。

3.5 実験結果と考察

粗加工に両極性加工を適用した場合、電極消耗を均一化できるため、電極の使用本数を低減し、加工時間の短縮が図れると考えられる。そこで、両極性加工を適用した場合と従来の PCD(+)の単極性加工との比較実験を行った。

粗加工条件 1、2、および中仕上げ加工条件でそれぞれ 2 本（合計 6 本）を使用して、PCD に対して粗加工から中仕上げ加工までを行った。この時、粗加工 1、2 について両極性加工を適用し、中仕上げ加工では、PCD(+)の単極性加工とした。

図 3.4 は、粗加工 1 の 1 回目、粗加工 2 の 2 回目で使用した電極の断面形状を示す。従来の単極性加工では、電極中央部が大きく消耗するのに対して、両極性加工では比較的均一に消耗している。

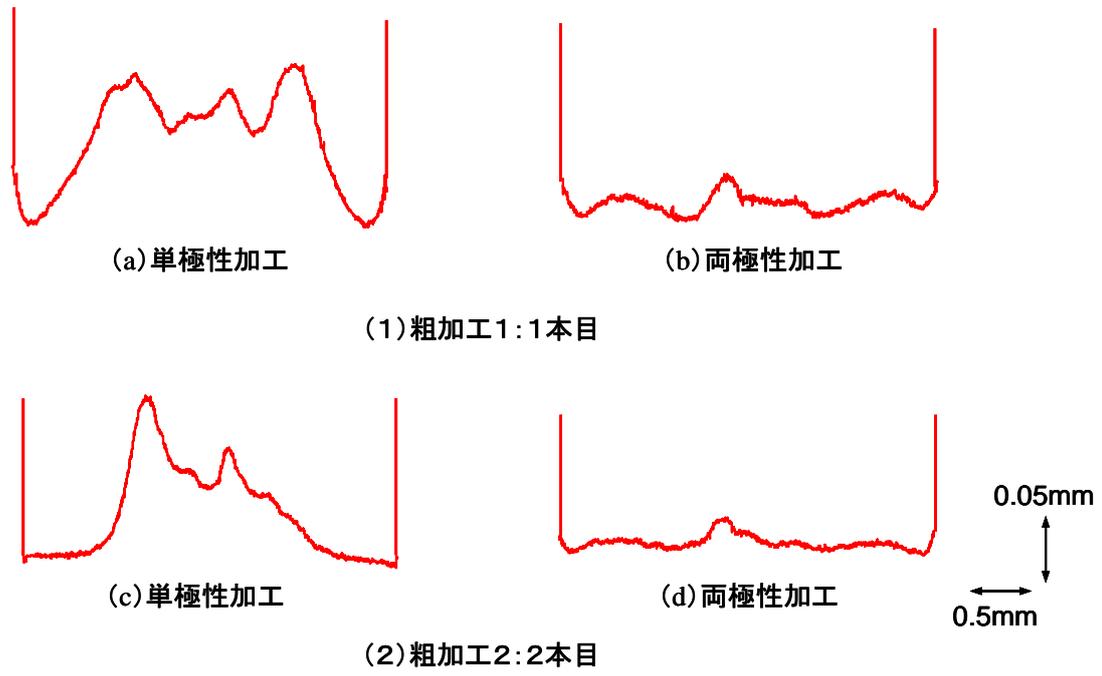
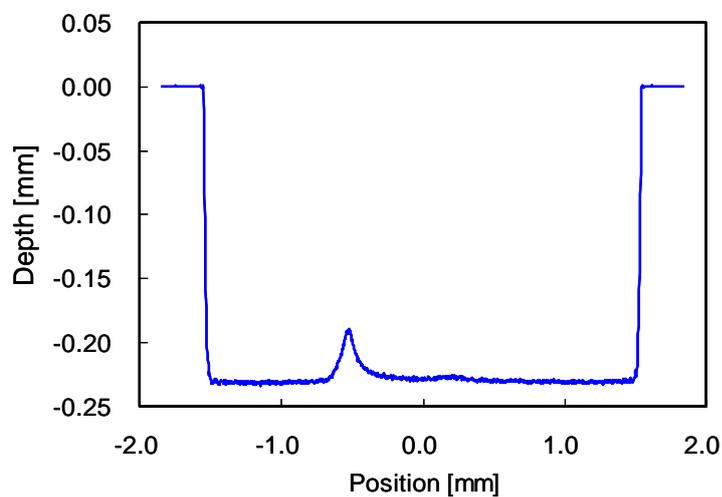
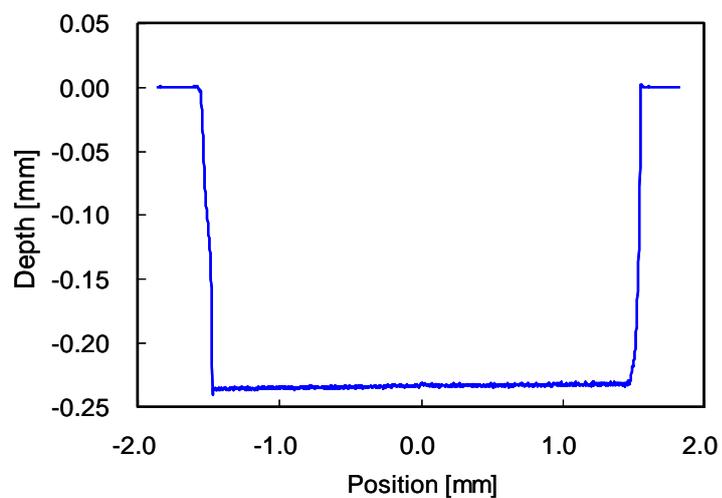


図 3.4 両極性加工と単極性加工（粗

また、図 3.5 は、中仕上げ加工後の PCD 加工面の断面形状を比較した結果である。従来の単極性加工では、粗加工時の加工面中央部の凸形状は、中仕上げ加工後も完全には平坦化されていない。一方、両極性加工を適用した場合、平坦な加工面が得られている。



(a) 単極性加工



(b) 両極性加工

図 3.5 中仕上げ加工後における両極性加工と単極性加工の比較 (PCD 加工断面)

図 3.6 は、従来の PCD(+)の単極性加工で電極 6 本を使用した場合と両極性加工を適用し、電極 2 本で加工した場合の加工時間を比較した結果である。電極の製作や交換、位置決め等に要する時間（電極 1 本あたり約 20 分）を考慮すると、両極性加工を適用することで、加工時間を半分以下に短縮し、当初の加工速度に関する目標値（加工速度を 2 倍以上に向上する）を達成することができた。

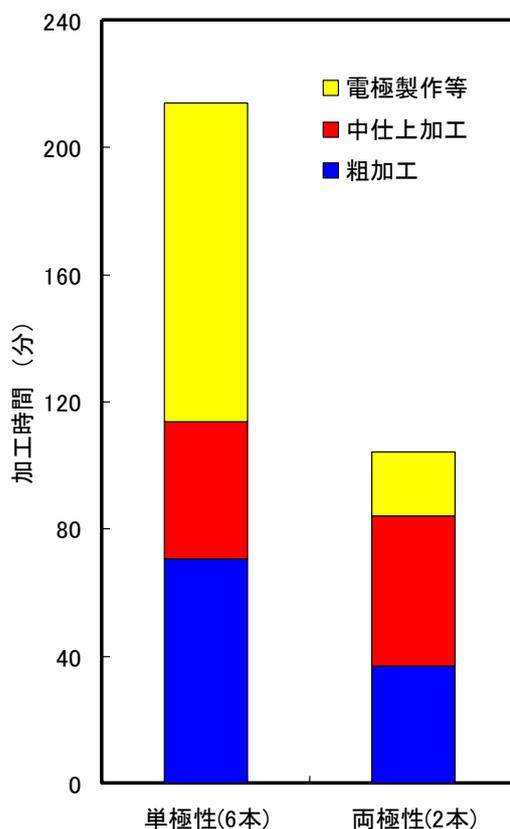


図 3.6 加工時間の比較

3.6 まとめ

超硬合金を工具電極として用いた PCD の微細形彫り放電加工技術の開発を目的として、高精度・高能率加工を実現する放電加工条件について検討した結果、以下のことがわかった。

- 1) 極性を定期的に反転させる両極性加工は、加工面の平坦化、および放電加工速度の向上に有効である。
- 2) 両極性加工を粗加工に適用することにより、電極の消耗を均一化することができる。
- 3) 両極性加工を適用することで、電極の使用本数を低減でき、電極製作、交換、位置決め等に要する時間を考慮すると、加工時間を半分以下に短縮（加工速度を 2 倍以上に向上）することができる。

第4章 紫外光励起 PCD 研削技術の開発

(国立大学法人熊本大学、株式会社新日本テック)

4.1 目的

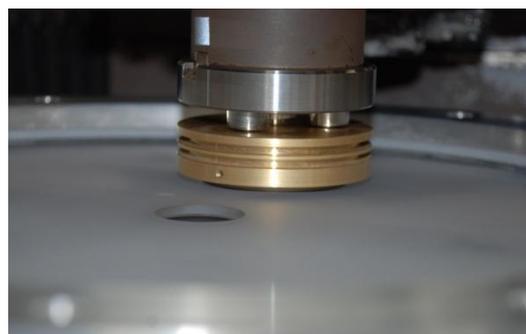
PCD の仕上げ表面研削に関しては、ダイヤモンド砥石を用いる従来技術では、加工精度が悪く、研削面粗さは 100 nm 以上で、しかもエッジ部分に 5 μm 以上の欠けを生じるなど、健全な PCD 金型部品を製造することが出来なかった。そこで、国立大学法人熊本大学で考案された紫外光励起を利用した新 PCD 研削技術を用いた専用研削装置を開発して、研削加工後の表面粗さ Ra50 nm 以下、金型のエッジ欠け 1 μm 以下を達成することを目標とした。

4.2 熊本大学における研削実験

実験装置には図 4.1 の縦型研磨装置を使用した。PCD を紫外光照射の有無で研磨を行い、研磨面を観察した。なお、観察には光学顕微鏡、AFM を使用した。



(a) 加工装置の全景



(b) 加工部の拡大写真

図 4.1 縦型研磨装置の写真

4.3 実験結果と考察

光学顕微鏡写真を図 4.2 に示す。50 倍の写真より、紫外光無しでの研磨では加工痕が認められる(赤囲み部)。それに対して、紫外光を照射しながら研磨を行うと、加工痕のない非常に良好な表面が得られる。また、研磨面の詳細な観察を 500 倍および 1000 倍で行うと、(b)の 500 倍の写真では大きな表面性状の違いは認められなかったが、(c)の 1000 倍の写真では紫外光無しの研磨では大きな気孔(くぼみ)が多数認められた。これに対して、紫外光支援加工では小さなくぼみは多数見受けられるものの、それぞれの気孔が小さく、また浅くなっている。これらのことより、紫外光支援加工により PCD の表面の気孔の発生が抑制され、表面性状が向上することがわかった。

微小領域における表面性状を観察するため、AFMにより $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ の範囲で観察した。AFM画像の一例を図4.3に示す。紫外光無しでは大きな気孔が中央付近に認められるのに対し、紫外光支援加工においては小さな気孔しか認められない。測定箇所が同じでないため、気孔が縮小したとは一概には判定できないが、紫外光支援加工により気孔自体の大きさや深さは小さく浅くなったことが確認できる。

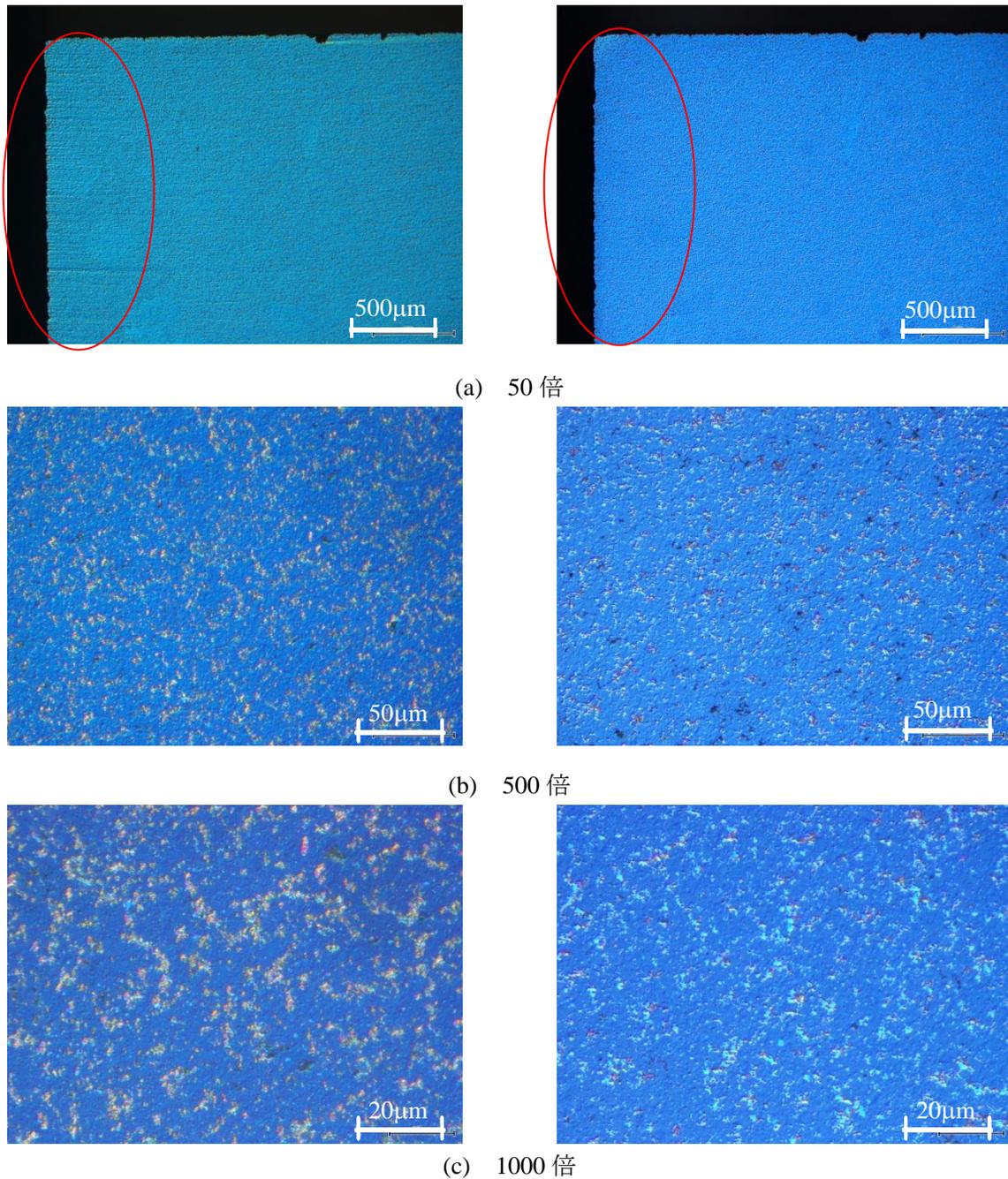


図4.2 PCDの光学顕微鏡写真（左：紫外光無し、右：紫外光有り）

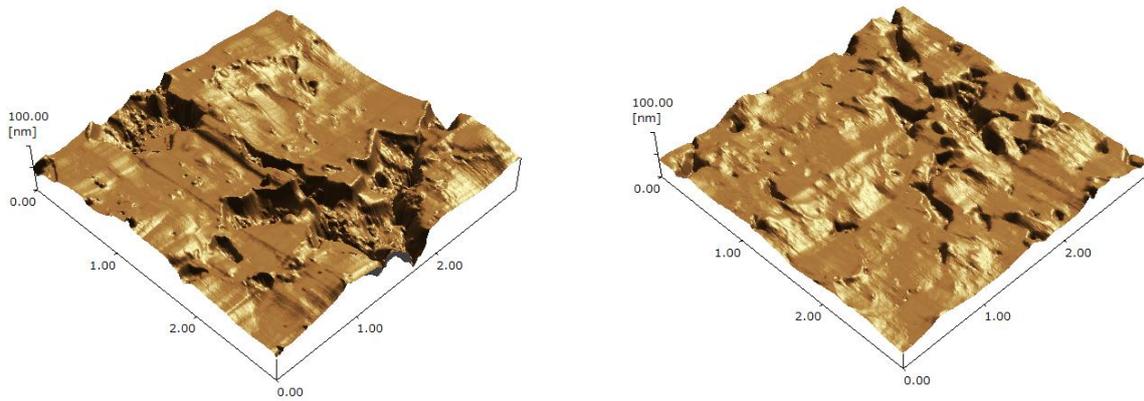


図 4.3 PCD の AFM 画像（左：紫外光無し、右：紫外光有り）

4.4 株式会社新日本テックにおける研削実験

熊本大学の研磨実験で得られた結果を基に、図 4.4 及び図 4.5 の紫外光励起 PCD 研削盤を製作し、株式会社新日本テックへ導入。本装置を用いて PCD を紫外光照射の有無で研削実験を行った。なお、観察には光学顕微鏡を使用した。



図 4.4 紫外光励起 PCD 研削盤

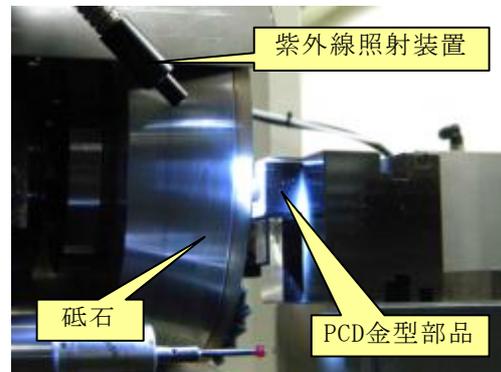


図 4.5 加工の様子

4.5 実験結果と考察

研削加工後の PCD 面を光学顕微鏡で観察した写真を図 4.6 に示す。PCD 加工面は均一に研削されており、表面粗さは Ra8nm と目標の 50nm 以下を十分満足する結果となった。



図 4.6 紫外光励起 PCD 研削盤

次に、エッジ欠けの有無を観察した。結果を図 4.7 に示す。5 μm を超える欠けは確認されなかった。

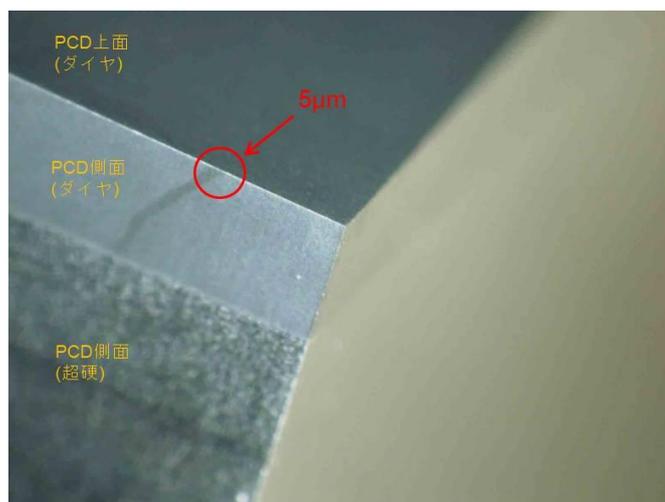


図 4.7 エッジ欠け有無の観察

4.6 まとめ

紫外励起PCD研削盤を用いた研削加工実験によってエッジ欠け $5\mu\text{m}$ 、表面粗さRa8nmを達成し、従来の平面研削盤による研削加工に対して、表面粗さが飛躍的に向上することが実証できた。エッジ欠けに関しては目標である $1\mu\text{m}$ 以下には到達していないが、紫外励起PCD研削盤は加工条件を詳細に設定することができる為、今後更なる加工条件の探索を行っていくことで到達することが出来ると確信している。

第5章 PCD 金型部品の試作と供試

(株式会社寺方工作所、株式会社新日本テック)

5.1 目的

上述の三つの開発要素技術を用いて、PCD 金型を試作し、得られたサンプルは、主要な客先に供試し、実ラインでの性能評価を行う。最終目標を満足することが確認出来た後は、目的である長寿命・微細 PCD 金型部品の安定供給体制を確立し、事業展開を図る。

5.2 PCD 金型部品の試作

株式会社新日本テックにおいて、図 5.1 に示す PCD 金型部品の製作し、株式会社寺方工作所へ供試した。



図 5.1 PCD 金型部品

5.3 株式会社寺方工作所におけるプレス試験と製品評価

プレス試験は従来生産している超硬金型に新たに製作した PCD 金型部品を組み替えて、株式会社寺方工作所の所有するプレス機械（図 5.2）を使用して試験をおこなった。



図 5.2 プレス機械

図 5.3 は 28000 ストロークまで加工した時の製品の面粗度を示したものである。従来金型の超硬+コーティング部品、PCD 部品ともに面粗度の変化はあまりないが、PCD 金型の方が良い値で推移していることが分かる。

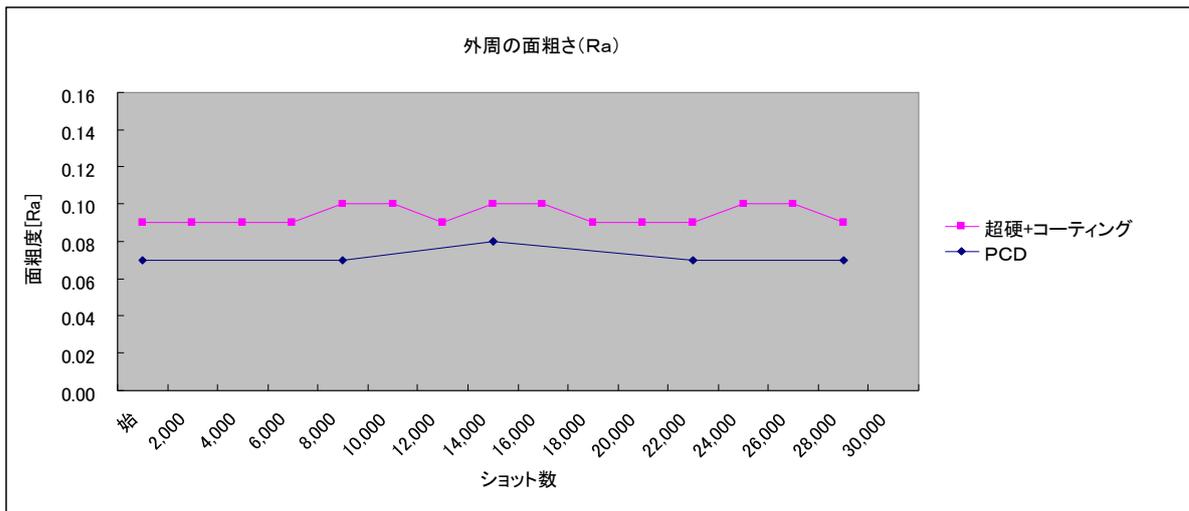


図 5.3 金型ショット数と面粗度の変化

5.4 まとめ

PCD 金型部品の試作によって、加工方法の開発や精度の向上により、必要な形状の金型が製作できれば、従来の SKD11 やハイス鋼、更に超合金製金型よりも品質が良い製品が製作できることが明らかになった。

第6章 総括

PCD(コバルト焼結ダイヤモンド)は、高い精度と長寿命化によるメンテナンスフリー化の要望に応える新しい金型部品材料として注目されている。本研究開発では PCD の実用化を目的として、平成 22 年度から平成 23 年度第 3 次補正予算の研究開発期間において研究開発を行い、以下に示す 3 つの革新的技術を開発の柱とした種々の研究成果を得た。

- 1) 熱劣化レス PCD 接合技術
- 2) 熱分解カーボン式放電加工技術
- 3) 紫外光励起 PCD 研削加工技術

平成 22 年度から平成 23 年度第 3 次補正予算に係る研究開発の主な成果は次の通りである。

(1) 熱劣化レス PCD 接合技術の開発

熱劣化レス PCD 接合装置を用いた接合によって接合部が接合温度に達しても PCD の温度を劣化が起こらない温度に確保することが実証できたが、実際に接合した試料を解析するとややダイヤモンドのグラファイト化が進行していたため、接合時の温度制御をより精密に制御する必要があることが分かった。接合試料の外観に関しては、剥離やエッジの欠けも観察されず、断面の観察でもほとんどの箇所ボイドが観察されることはなく、十分に接合されていることがわかった。

(2) 熱分解カーボン式放電加工技術の開発

超硬合金を工具電極として用いた PCD の微細形彫り放電加工技術の開発を目的として、高精度・高能率加工を実現する放電加工条件について検討した結果、以下のことがわかった。

- 1) 極性を定期的に反転させる両極性加工は、加工面の平坦化、および放電加工速度の向上に有効である。
- 2) 両極性加工を粗加工に適用することにより、電極の消耗を均一化することができる。
- 3) 両極性加工を適用することで、電極の使用本数を低減でき、電極製作、交換、位置決め等に要する時間を考慮すると、加工時間を半分以下に短縮(加工速度を 2 倍以上に向上)することができる。

(3) 紫外光励起 PCD 研削加工技術の開発

紫外励起 PCD 研削盤を用いた研削加工実験によってエッジ欠け $5\mu\text{m}$ 、表面粗さ $\text{Ra}8\text{nm}$ を達成し、従来の平面研削盤による研削加工に対して、表面粗さが飛躍的に向上することが実証できた。エッジ欠けに関しては目標である $1\mu\text{m}$ 以下には到達していないが、紫外励起 PCD 研削盤は加工条件を詳細に設定することができるため、今後更なる加工条件の探索を行っていくことで到達できると確信した。

上述の三つの開発要素技術を用いて PCD 金型を試作し、PCD 金型が有効であるかどうかの確認試験を行った結果、加工方法の開発や精度の向上により、必要な形状の金型が製作できれば、従来の SKD11 やハイス鋼、さらに超硬合金製金型よりも品質が良い製品が製作できることが明らかになった。