

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの
超精密研削・研磨技術とオンマシン計測技術の開発」

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 公益財団法人三重県産業支援センター

目 次

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
- 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 当該研究開発の連絡窓口

第2章 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリル研磨装置の開発

- 2-1 超精密研磨装置の現状とその問題点
- 2-2 6軸制御研磨装置の設計
- 2-3 6軸制御研磨装置の製作
- 2-4 開発した6軸制御研磨装置の精度検証

第3章 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研磨技術の開発

- 3-1 開発の概要
- 3-2 単結晶ダイヤモンドの基礎的研磨特性の検証
- 3-3 単結晶ダイヤモンドドリルの試作実験

第4章 マイクロドリルの非接触機上測定装置の開発

- 4-1 はじめに
- 4-2 提案の非接触・機上測定技術の原理
- 4-3 非接触・機上測定技術の開発
- 4-4 検証実験

第5章 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの試作と評価

- 5-1 はじめに
- 5-2 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの穴あけ実験の方法
- 5-3 ダイヤモンド製マイクロドリル(2枚刃)による穴あけ実験の結果
- 5-4 ダイヤモンド製マイクロドリル(4枚刃)による穴あけ実験の結果

第6章 全体総括

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】

これまで、プリント基板やシャドーマスクなど微小な穴あけのニーズが増大し、主に超硬合金製のマイクロドリルの精密研削・研磨が可能となり、多数の穴あけが行われるようになった。しかし、超硬合金製のドリルでは摩耗が大きく寿命が十分でなかった。また、高速で穴あけを行うとドリルの損傷や破損が起こりやすいため、穴あけ加工の能率には限界があった。またレーザを用いた方法もあるが、アスペクト比の大きな深穴に対しては真直度が劣るなどの問題がある。

日本製の超精密加工装置のアジア諸国への進出により、比較的容易にダイヤモンド砥石を用いた研削加工により高精度なマイクロ工具を加工することが可能となり始め、超硬合金製ドリルの分野における日本の優位は失われつつある。マイクロ工具自体の販売金額はさほど大きくないものの様々な先端的な分野（デジタル情報家電、自動車、航空機、エネルギー、光学部品）の性能を左右する基幹的な部品（キーパーツ）であり、その製造技術の優位性を保つことは業界全体の方向性を決定する重要なカギであるといえる。こうした状況下のアジア諸国に対して価格性能比で優位に立つには、単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの開発を実現し新たなブレークスルーが必要である。

【従来工具の問題点】

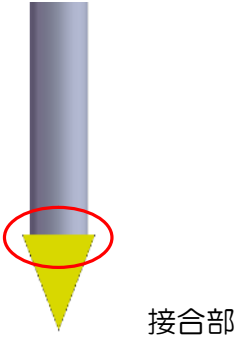
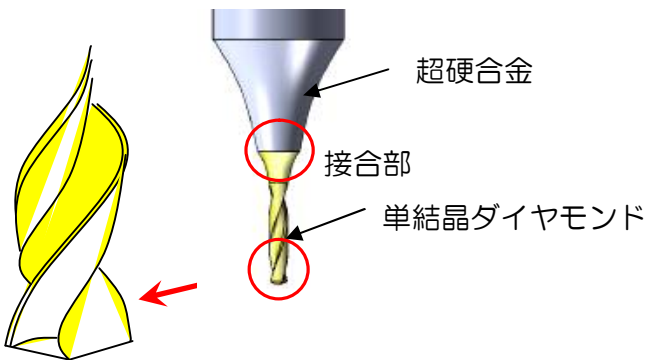
これに対して、提案者らは以下に示すようなダイヤモンド製の工具を開発している。ダイヤモンド工具には刃先に多結晶ダイヤモンドを用いたものや超硬材へダイヤモンド粒子を電着したもの、コーティングでダイヤモンドの薄膜を形成したものがある。しかし、粒子の欠落や耐摩耗性が低く工具寿命が短く、多結晶であるために刃先をシャープエッジに形成できないなどの問題点を有している。また、単結晶ダイヤモンド加工技術を用いた工具の開発を行い、微細加工の技術は完成したが、単結晶ダイヤモンドを先端に用いた工具であっても、単結晶ダイヤモンドの任意の加工が充分でなく、刃先先端の切れ込み速度不足となり、また必要径と同径の結晶を軸に接合しているために微細工具径になると軸との接合面積が十分でなく、強度が非常に弱くなるという致命的欠陥があった。さらに、工具精度面においても、従来は軸への接合時に振れを取る方法を実施していることから、工具の精度および切り込みが十分ではなかった。

- ① ドリル径に比例して接合面積が小さくなるため、微細工具になるほど接合強度が弱く、刃先の温度が高くなると接合部が外れる。
- ② スパイラル溝が無いため、切りくずの排出性が低く、高い切り込み速度を得ることが出来ない。
- ③ 刃先とシャンク部が別工程で製作されるため、シャンクと刃先の中心位置精度が高精度では無く、振れが生じるためにマイクロドリルでは使用が難しい。

【開発品の特徴】

- ① ドリル径に接合面積が影響を受けないため、微細工具になっても接合強度が強く、刃先温度の上昇があっても接合部から外れることがない。

- ② スパイラル溝があるため、切りくずの排出性が高く、高い切り込み速度を得ることが出来る。
- ③ 刃先とシャンク部が同時加工で製作できる事に加え、オンマシン計測により振れ精度を測定しながら刃部を作り込む事が可能なので振れを極小に抑える事ができ、マイクロドリルとして使用できる。

<従来工具>	<開発工具>
 接合部	 超硬合金 接合部 単結晶ダイヤモンド
①ドリル径と接合面積が比例するので微細工具では接合強度が低い ②スパイラル溝が無いいため、切りくずの排出が悪く高切り込み速度が得られない ③シャンクと刃先の度が悪く、振れが生じるため破損しやすい	①ドリル径と接合面積は比例しないので微細工具でも、高い接合強度を確保できる ②スパイラル溝が切りくずの排出を良好にし、高切り込み加工が可能になる ③刃先とシャンク部の同時加工が可能な事と、オンマシン計測で振れを検証しながら刃先の作り込みが出来るので工具の振れが低減でき破損しにくくなる

【研究開発の背景および当該分野における研究開発動向】

「高度化指針」に定める課題及びニーズを示す。

(十三)切削加工に係る技術に関する事項

(5)その他の産業に関する事項

①川下製造業者の抱える課題および要請(ニーズ)

ア. 金型への切削加工技術の応用拡大

次世代の高硬度金型材料に用いられる超硬合金やセラミックスを精密に直彫りする加工技術が求められている。

イ. 半導体製造装置等の大型部品の高精度化

半導体製造工程で使用する、プローブカードやシャドーマスクなどは多数の穴加工が施されている。これらは高温下で安定した働きを求められることから、高硬度材が用いられることが多くこれらの加工を高精度に長寿命で加工する工具が求められている。

・上記を踏まえた高度化目標

ア. 高硬度材への加工対応

超硬合金やセラミックス等の高硬度材に対しての微細穴加工は、焼成前加工で実施されているが、これらを工具で焼成後加工できる精密な機械加工技術を開発し、新素材への新たな加工法を提唱する。

イ. 高精度化

超硬合金やセラミックス等への加工は、現在は刃先に多結晶ダイヤモンドを使用したもの、または超硬合金にダイヤモンド粒子を電着したものや薄膜をコーティングした工具で加工しているが、工具寿命において多結晶ダイヤモンドや電着では粒子の欠落が生じる事や、コーティングでは被膜可能な層が薄いため、耐摩耗性が低いといった課題を抱えている。加えて、多結晶では粒子の大きさに刃先が影響を受けるため、シャープエッジの成形が出来ず超微細加工においては十分な市場要求に応えられていない。これらの問題を高精度と長寿命が実現できる単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルを開発することで解決する。

【研究開発の高度化目標および技術的目標値】

高精度、長寿命が実現できる単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルを開発するため、以下のような技術目標を設定して研究開発を行なった結果、いずれも 100%達成することが出来た。

1. 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリル研磨装置の開発

- ・X 軸／ストローク:450mm、分解能:1nm、位置決め精度:10nm/10mm
- ・Y 軸／ストローク:200mm、分解能:10nm、位置決め精度:100nm/10mm
- ・Z 軸／ストローク:200mm、分解能:1nm、位置決め精度:10nm/10mm
- ・A 軸／ストローク:-95 度～+5 度、分解能:1 /100000 度、位置決め精度:1/1000 度
- ・B 軸／ストローク:-120 度～+70 度、分解能:1 /100000 度、位置決め精度:1/10000 度
- ・C 軸／ストローク:360 度、分解能:1 /100000 度、位置決め精度:1/10000 度

2. 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研磨技術の開発

- ・スカイフ盤の最適な表面粗さを導出
- ・スカイフ盤の精度 表面粗さ:0.1 μ mRa 以下、振れ:1 μ m 以下

3. マイクロドリルの非接触機上測定装置の開発

- ・ブルーレーザプローブ走査測定装置の一部であるレーザ光学ユニットの開発
- ・レーザ波長:青色(波長:475nm)
- ・スポット径:1 μ m 未満
- ・研磨装置の駆動系と連携し急斜面の測定が可能
- ・非接触によるレーザプローブの測定精度 測定精度:10nm
- ・国際基準の粗さ標準片と高い相関性を持つ表面粗さ測定を実現
- ・輪郭標準片測定において 80° 以上の傾斜面の測定が可能とした(0.3 μ mRa)
- ・加工機上でのダイヤモンド R バイトの輪郭測定にて数十 nm レベルの形状誤差の測定を実現

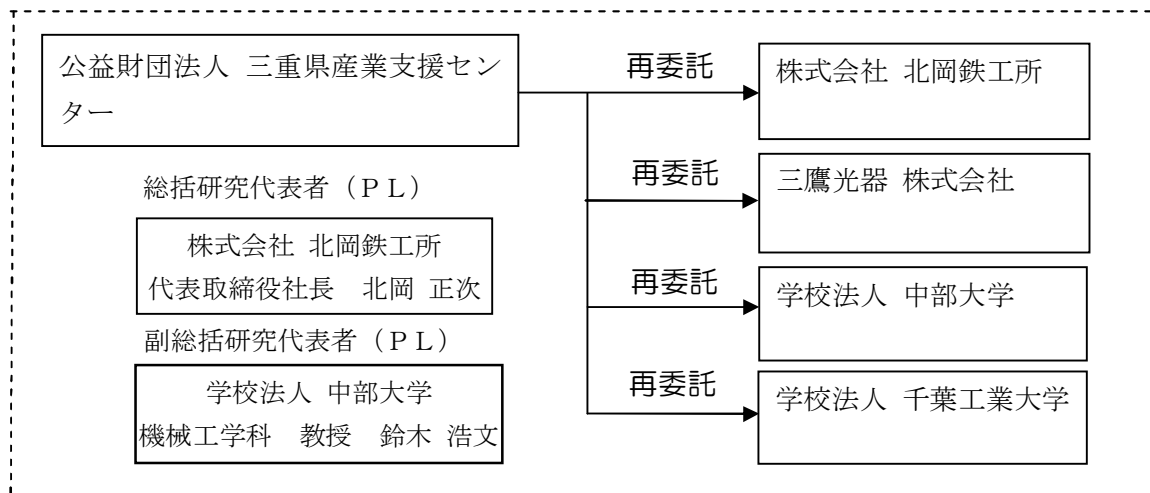
4. 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの試作と評価

- ・単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの精度
寸法精度:±2 μ m、振れ:2 μ m 以下、最少目標工具径: ϕ 0.05mm 以下、
超硬合金材に穴加工:1,000 穴以上

1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

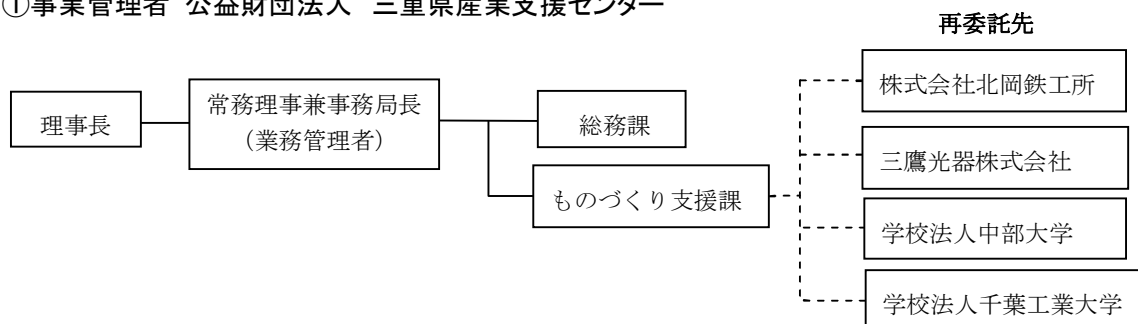
(1) 研究組織および管理体制

1) 研究組織(全体)



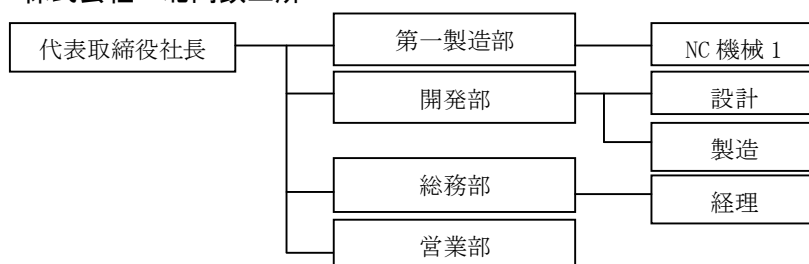
2) 管理体制

①事業管理者 公益財団法人 三重県産業支援センター



②(再委託先)

株式会社 北岡鉄工所



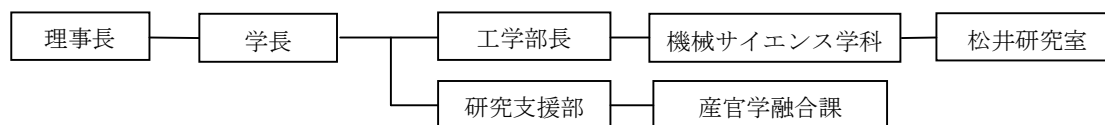
三鷹光器 株式会社



学校法人 中部大学



学校法人 千葉工業大学



(2) 管理員および研究員

【事業管理者】 公益財団法人 三重県産業支援センター管理員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
小野 美治	常務理事兼事務局長	⑤
吉川 浩一	総務課(財務担当)主任心得	⑤
村上 和美	ものづくり支援課課長	⑤
水野 正生	ものづくり支援課課長補佐	⑤
小林 利幸	ものづくり支援課主幹	⑤
菊田 繁樹	ものづくり支援課主任技師	⑤
山本 勇治	ものづくり支援課コーディネーター	⑤
鈴木 俊一	ものづくり支援課コーディネーター	⑤

【再委託先】※研究員のみ

株式会社 北岡鉄工所

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
北岡 正次	代表取締役社長	①, ②, ③, ④
上窪 久雄	開発部 主任	①, ②, ③, ④
杉山 克哉	開発部 主任	①, ②, ③, ④
廣崎 正和	第一製造部 主任	②, ③, ④
井上 剛	開発部	①, ②, ③, ④
田中 恵	開発部	①
瀧本 理起	営業部 主任	①, ②, ③, ④
馬場 淳二	総務部	① ②, ③, ④

三鷹光器 株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
三浦 勝弘	第一製造部 部長	③
広瀬 一	第一製造部 電気制御課 主任	③
鈴木 工	第一製造部	②
塚本 貴雄	第一製造部 技術開発課	③
山崎 登志夫	本社営業本部 部長補佐	③

学校法人 中部大学

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
竹内 芳美	工学部機械工学科 教授	②, ③, ④
鈴木 浩文	工学部機械工学科 教授	①, ②, ③, ④
町田 一道	工学部機械工学科 客員教授	①, ②, ③, ④
岡田 睦	工学部機械工学科 研究員	① ②, ③, ④

学校法人 千葉工業大学

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
松井 伸介	工学部 機械サイエンス学科 准教授	④

(3)経理担当者および業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人 三重県産業支援センター

(経理担当者)	総務課(財務担当)主任心得	吉川 浩一
(業務管理者)	常務理事兼事務局長	小野 美治

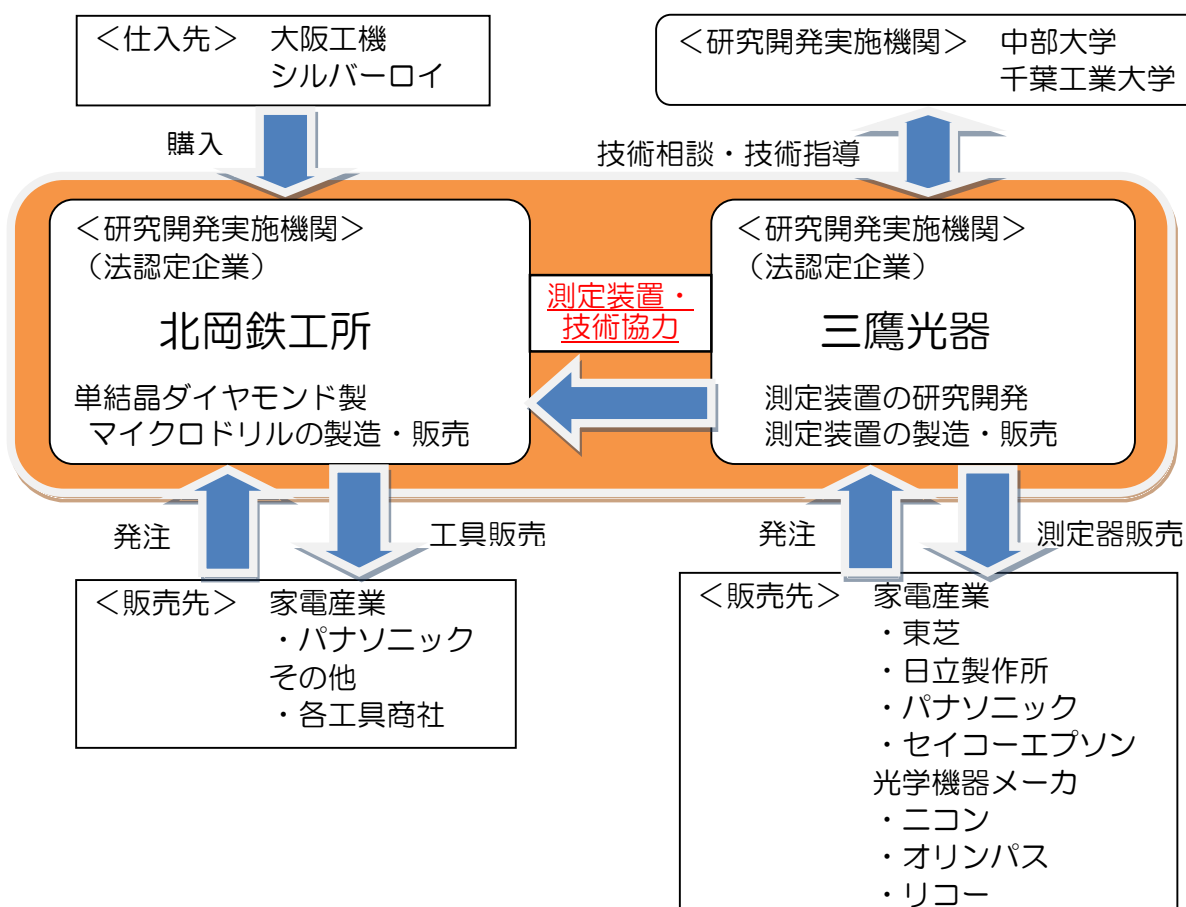
(再委託先)

株式会社 北岡鉄工所	(経理担当者)	総務部 経理	山岡 こずえ
	(業務管理者)	代表取締役 社長	北岡 正次
三鷹光器 株式会社	(経理担当者)	監査役	中村 ヒサ子
	(業務管理者)	第一製造部 部長	三浦 勝弘
学校法人 中部大学	(経理担当者)	財務部財務課 課長	岡畑 満孝
	(業務管理者)	研究支援センター 課長	墨 勝典
学校法人 千葉工業大学	(経理担当者)	研究支援部 産官学融合課 課長	中村 宏昭
	(業務管理者)	工学部 機械サイエンス学科 准教授	松井 伸介

(4)アドバイザー

機関名又は氏名	所在地又は住所	①代表者役職・氏名 ②連絡先担当者 ③電話番号
パナソニック株式会社	〒571-8501 大阪府門真市松葉町2番7号	① 代表取締役社長・津賀一宏 ② 片岡 秀直 ③06-6905-4852
東芝機械株式会社	〒410-8510 静岡県沼津市大岡 2068-3	① 代表取締役・飯村幸生 ② 角 寛 ③055-926-5141
協伸産業株式会社	〒411-0917 静岡県駿東郡 清水町徳倉 1340-9	① 代表取締役・武田 弘 ② 武田 弘 ③055-931-4767
日精テクノロジー株式会社	〒650-0047 兵庫県神戸市 中央区港島南町 3-2-8	① 代表取締役・辻花牟志 ② 白藤 芳則 ③078-306-5967

事業化の体制図



1-3 成果概要

一般のプリント基板に加え、航空機や自動車用の CFRP 素材、SiC ウエハチャック、半導体プローブ、燃料電池、バイオ機器用超硬製微細金型等では、高能率・高精度微小穴開けの要求が高まっているが、従来の CO₂ レーザや超硬製ドリルでは加工時の真直度、ドリルの摩耗、破損等の問題があった。そこで、単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研削・研磨技術、微細形状の非接触オンマシン測定技術の開発を実施し、単結晶マイクロドリルの試作評価実験を行うことにより実用化を図り、次のような成果を得ることができた。

(1) 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリル研磨装置の開発

砥石主軸の開発・製作を行い、機上計測付6軸制御超精密研磨装置を完成させた。完成した研磨装置において単結晶ダイヤモンドに研磨を施し、装置の使用および運動性能を確認した。

- ① 軸受方式: 多孔質空気静圧軸受、②モータ: ビルトイン誘導モータ、③回転数: 500~2000 min⁻¹ ④回転精度: 0.1 μm 以下、⑤直線、円弧、および球形状の輪郭精度は 1 μm 以下を達成した。

(2) 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研磨技術の開発

社内既存設備による予備実験により単結晶ダイヤモンドに鋭な刃先成形条件を導き出す事が出来た。A軸に取付けた研磨砥石で自由方向(下向き)での単結晶ダイヤモンドドリルの研磨方法の確立と、φ0.05 mmの単結晶ダイヤモンドドリルの研磨と、φ1.0 mmのドリルの加工技術を確認した。

(3) マイクロドリルの非接触機上測定装置の開発

単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの研磨精度を検証するため、機上で形状を測定可能な非接触式計測プローブの開発するため以下を達成した。

①6軸制御超精密研磨装置上で製作した単結晶ダイヤモンドドリルのレーザ測定装置の動作、精度の確認を行い目標の半透明体の測定、鋭利な刃先の局所測定、急斜面の形状測定を可能とした。②レーザ測定装置の動作確認、精度検証を行い研磨装置機上における非接触測定と機外の超高精度測定機との測定精度比較を行った。③6軸制御超精密研磨装置で製作した単結晶ダイヤモンドドリルのレーザ測定を行い装置の測定精度の検証を行った。

(4) 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの試作と評価

高精度、長寿命が実現できる単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルを開発するため以下を達成した。

① 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルを開発し、試作品である単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの形状評価を行った。②穴あけ超硬基板の穴を計測し、工具径の摩耗の変化、穴の裏面のエッジのかけについて評価を行い、Φ0.05 mmの最小工具径、超硬合金へのΦ1.0 mmドリルによる1000穴以上の穴加工を達成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

[illegible]

連絡先 ㊦514-0004

三重県津市栄町1丁目891 三重県合同ビル5階

Tel: 059-228-3171 Fax: 059-228-3800

E-mail: sapoin@miesc.or.jp

第2章 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリル研磨装置の開発

2-1 超精密研磨装置の開発の概要

現状装置と開発装置の要素比較を表 2.1 に示す。従来の工具研磨装置で、制御が4～6軸が主流であるが、本研究で必要とする任意な形状と鋭利な刃先を求めるに、複数軸で位置決めを行い研磨時は1軸か2軸のみの移動とする必要がある。この条件を満たすためには、図 2.1 に示すように6軸制御を開発した。

特にX軸、Z軸、B 軸は刃先の微調整上、重要な役割を果たすためにナノ制御が必要である。単結晶ダイヤモンドは非常に硬度が高い上に欠け易い性質を持っており、刃先に砥石が当たるか当たらないかの状態を保ち、微小な研磨を実施しなければならないためである。そこで図 2.1、2.2 に示すように Y 軸で砥石の高さを決め砥石の端面側を使用し研磨した。B 軸で先端角を決定し、Z 軸で砥石を微小に製造工具側に寄せ研磨する。逃げ角はA軸を傾斜させる。C軸を180度回転して反対側の刃部分の研磨を行う構造である。

工具測定装置に関しても、ナノレベルでの測定が必要なことから製造工具側と同等の高精度を要する。また、「成形⇄測定」を繰り返すことから、製造中の動作、測定のタイミングなどを検討項目に含め、装置の配置も検討する必要がある。これらの要素を盛り込んだ機上測定付6軸制御超精密研磨装置の設計・開発を行った。

表 2.1 現状装置と開発装置の要素比較

要素		従来装置	開発装置
制御軸数		4～6 軸	6 軸
最小設定単位	直線移動	0.1 μm	10 nm
	旋回移動	0.001deg	0.00001deg
装置製造元		国内、海外	国内
対象加工材		PCD、超硬	PCD、超硬、単結晶ダイヤモンド

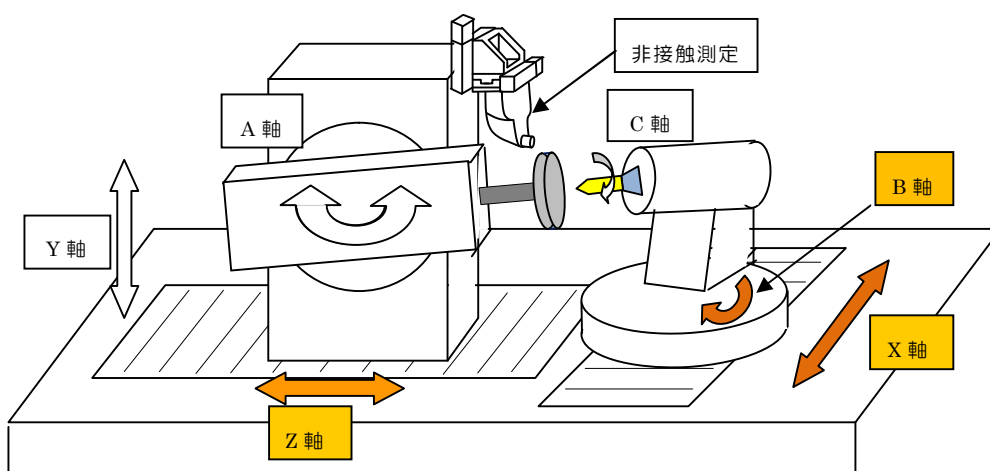


図 2.1 6軸制御ドリル研磨装置

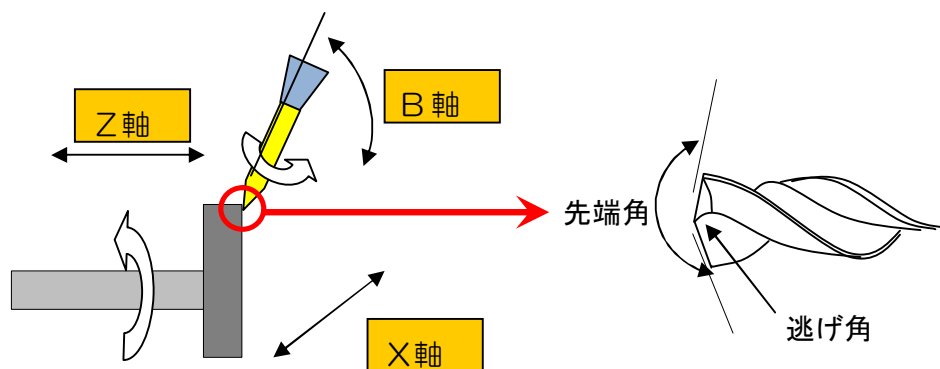


図 2.2 ダイヤモンド工具先端の研磨法

2-2 6軸制御研磨装置の設計

単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルで高硬度脆性材を高効率に加工しようとするには、複合的先端角・逃げ角を持ち極めて鋭利な刃先を作る必要がある。複合形状と鋭利な刃先を成形するためには、多軸でナノレベルでの制御が出来る装置が必要である。また、複合形状を成形するためには、複数軸を要しそれぞれの軸がナノレベルの加工に対応するべく、高精度な移動や繰り返し精度も必要となる。さらに、機械全体や成形に使用する各軸の剛性も保たれる必要があり、これらを総合的に満たした研磨装置の設計が必要となる。工具製造上、「成形⇄測定」という流れは常に発生するものであり、成形と測定を切り離して実施することは、工具開発・製造を遅らせる大きな要因となるため機上での測定は必須である。

多数軸を高剛性に制御可能な装置を考え開発を進めた。6軸制御超精密研磨装置の仕様と、測定装置の仕様を配慮し、学校法人中部大学の開発指導を受けながら東芝機械株式会社および三鷹光器株式会社と検討・設計を始め、3ヶ年度で製造、組立を完成させた。

2-3 6軸制御研磨装置の製作

平成23年度に、6軸の内、4軸(X、Z、B、C軸)を完成させた。平成24年度には、Z軸上にY軸を組立、Y軸にA軸を組み付けた。さらに研磨機上に測定器を組み付けた。平成25年度は、A軸上に砥石主軸を組み付けた。

2-4 開発した6軸制御研磨装置の精度検証

直線運動は移動側に反射鏡、固定側に干渉計を定置してレーザ測長器で測定し、回転運動は回転軸に36面鏡を取付け、固定側に定置したオートコリメータにより測定し、砥石主軸は静電容量型非接触変位計により測定した。測定評価の結果下記に示すように目標の100%が達成できた。

- ①X軸／ストローク:450mm、分解能:1nm、位置決め精度:10nm/10mm (10回繰返)
- ②Y軸／ストローク:200mm、分解能:10nm、位置決め精度:9nm/10mm (10回繰返)
- ③Z軸／ストローク:200mm、分解能:1nm、位置決め精度:9nm/10mm (10回繰返)
- ④A軸／ストローク:-5~+95度、分解能:1/100000度、位置決め精度:0.008/1000度
(10度割出, 3回繰返し) (0.30秒)

- ⑤B 軸／ストローク:-120 度～+70 度、分解能:1 /100000 度、位置決め精度:0.7/10000 度
(10 度割出、3回繰返し) (0. 25 秒)
- ⑥C 軸／ストローク:360 度、分解能:1 /100000 度、位置決め精度:1/10000 度(0. 35 秒)
(10 度割出、3回繰返し)
- ⑦砥石主軸／回転精度:ラジアル方向 0.05 μm 、アキシャル方向 0.05 μm

第3章 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研磨技術の開発

3-1 開発の概要

単結晶ダイヤモンドは結晶面や結晶方位により、硬度に大きな差異があり比較的研磨可能な面と研磨加工が極めて困難な面がある。このようなことから、単結晶ダイヤモンドの研磨加工に関しては研磨可能な面を基本として、結晶方位を考えて研磨する高い熟練技術が必要とされることが多く、この特性が単結晶ダイヤモンドの汎用性を狭めコスト高になる要因にもなっている。

本開発装置では、スカ이프法を基に従来は水平回転でのみ使用していた鑄鉄盤を任意の角度に位置決めし、同時多軸制御による供擦りを行う事で微細で複雑な形状の単結晶ダイヤモンドの研磨加工を目指し、開発装置による最適なスカ이프法の確立のため、鑄鉄盤の表面状態・回転速度・ダイヤモンド微粒のサイズ、スラリー粘度の主要4項目に注目し超精密研磨技術を開発した。

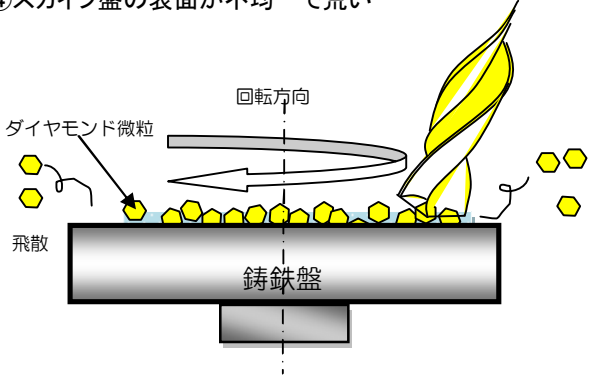
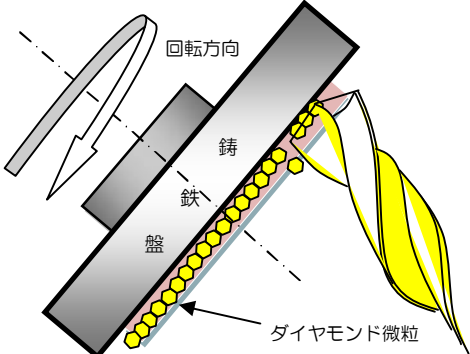
従来	新技術
①鑄鉄盤は水平回転の一方方向からの研磨 ②ダイヤモンド微粒が不均一に保持 ③ダイヤモンド微粒の保持力が弱いため飛散しやすい ④スカ이프盤の表面が不均一で荒い 	①鑄鉄盤は任意の角度で多方向からの研磨が可能 ②ダイヤモンド微粒が均一に保持されている ③ダイヤモンド微粒の保持力が強いいため飛散しにくい ④スカ이프盤の表面が均一で細かい 

図 3.1 従来との比較

3-2 単結晶ダイヤモンドの基礎的研磨特性の検証

(A) 研磨実験方法

図 3.2 に実験に用いた研磨定盤を示す。アルミ製のホルダーに両面テープにより直径 25 mm の銅製、鉄製、ニッケル製の円板を設置した。また図 3.3 に加工に用いた研磨装置を示す。研磨盤は直径 7mm の小径公転を行う。公転回転数は約 1100min^{-1} で、研磨の相対しゅう動速度は一般の研磨技術の摺動速度と同レベルの約 22m/min とした。本装置では、研磨盤は多数のボールベアリングを介し筐体上をスラスト運動し公転はモータ・歯車機構により発生させられる。試料は研磨面にたいし公転運動のみをするため、ある時間において試料全面において同一の相対速度ベクトルでしゅう動し均一な加工が行える。そしてこのベクトルの方向は公転により全方向に一様に変化する。

ダイヤモンドの研磨資料には、デビアス製の単結晶ダイヤモンドを用いた。大きさは $2\text{mm} \times 2\text{mm} \times 1\text{mm}$ で研磨対象面は(100)面である。ダイヤモンドの単結晶は一般に研磨面、そしてその面内でも方向によって研磨の容易さが大きく異なると言われている。図 3.4 は研磨が容易な(100)面を示しているが、その縦横方向に対して 90 度異なる対角方向では研磨の容易さが非常に異なる。

研磨が容易な縦横方向に対して対角方向では(111)面に匹敵するほど研磨が難しい。しかし本実験で用いる装置では、その機構上研磨面に対し全方向から一様に加工することになる。

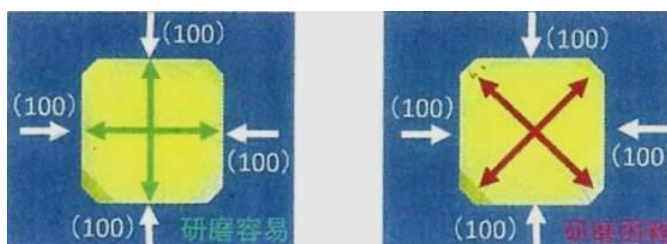
加工荷重は、190 kPa および 470 kPa で比較的大きな加工圧力となっている。加圧はおもりの負荷により行った。研磨液としては、ダイヤモンド砥粒を用い、その平均粒径は 1、5、9 μm である。この砥粒を純水に分散させ 20 wt.%および 5 wt.% のスラリーを作り研磨液とした。



図 3.2 研磨定盤(直径は 25 mm)



図 3.3 検討に用いた装置



(a) 研磨容易方向

(b) 研磨困難方向

図 3.4 単結晶ダイヤモンド(100)面に対する研磨

(B) 研磨実験結果

(1) 各種金属定盤材料の違いによる加工特性の違い

鏡面のダイヤモンド面を研磨液の粒径を 9 $\rightarrow$ 5 $\rightarrow$ 1 μm と降順に変化させた時の研磨量の変化を図 3.5 に示す。加工圧を 196 kPa、砥粒液濃度を 20 wt.%とし 30 分間研磨した。粒径 9 μm では鉄板を用いると加工量が 25 μm となり他の Ni 板、銅板を用いた場合の 7 μm に比べて著しく大きい。一方 5 μm の平均粒径の場合は、銅と鉄板で加工量が 2 μm と小さいが、Ni では 5.5 μm とそれほど減少していない。1 μm の砥粒では 3 種の材料いずれの場合も 0.2 μm と小さい値を示している。特に 9 μm の砥粒では、鉄で他の材料に対し 3~4 倍という大きな加工速度が得られる。これは金属板のダイヤモンド砥粒の保持、あるいは保持された砥粒切れ刃のダイヤモンド試料への有効性の違いによると思われる。加工後金属板は黒色を示し、金属等で擦過しても変化せずダイヤモンドがカーボンブラックに変化したと考えられる。ダイヤモンドに一般に親和性の良い鉄が何等かの化学的な関与により加工速度が高くなったと考えられる。

この時の研磨面の変化を図 3.6 に示す。いずれも割れ・スクラッチの無い鏡面であった。9 μm の粒径では研磨面は全面破碎モードの面になっている。9 μm の粒径では脆性モードの加工が行われた。各面に対し 5 μm 、1 μm の粒径を用いても、粗面の状況はあまり大きく変化しなかった。一般的に、粒径が小さく特にガラス等の加工を行うと鏡面の加工ができる 1 μm の粒径でも、鉄、銅、ニッケルの研磨板ともに脆性破壊の粗面しか得られなかった。

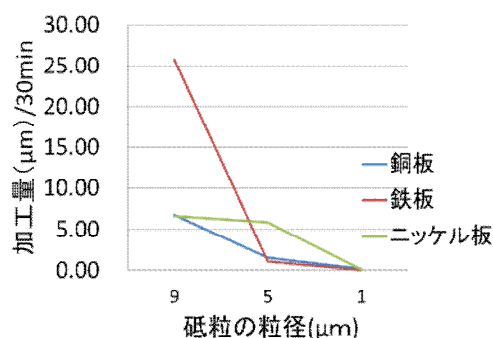


図 3.5 研磨速度の変化(砥粒粒径:降順)

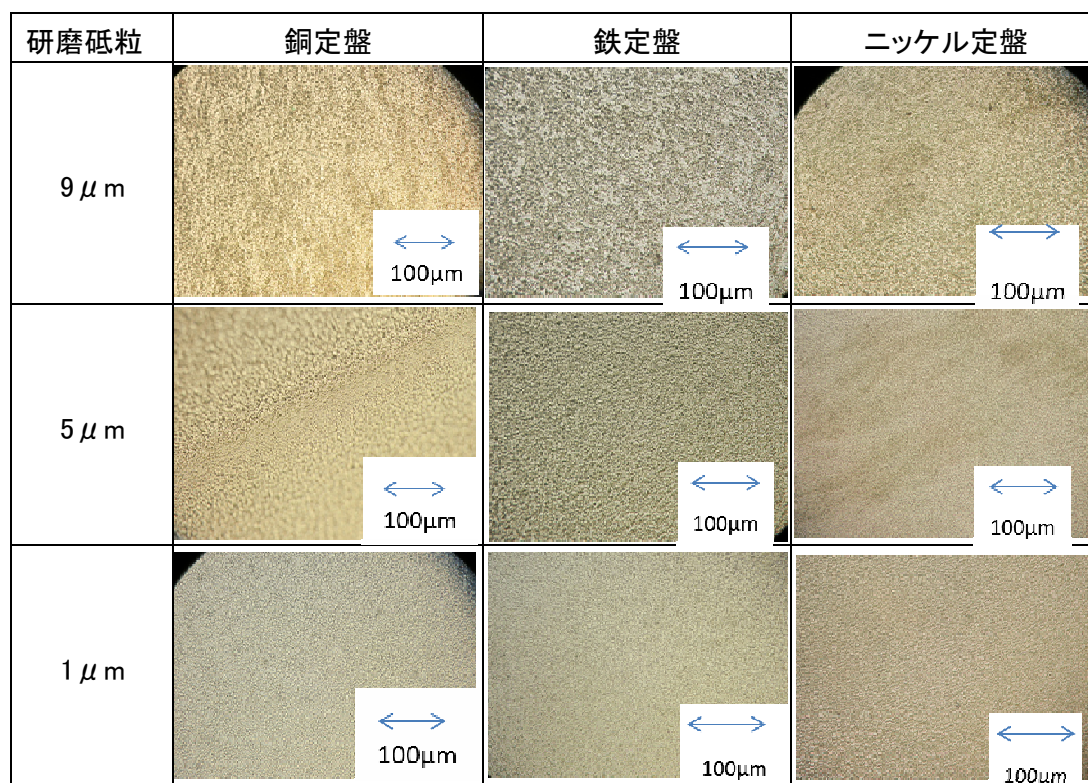


図 3.6 銅、鉄、ニッケル定盤を用いた加工における研磨面の変化

(2) 砥粒径の変化のさせ方による加工特性の違い

1 μm 径の小さな砥粒の研磨効果の確認のため、銅板とニッケル板について鏡面のダイヤモンド面 (100) 面に対して、粒径を 9 μm → 5 μm → 1 μm と降順に変化させた場合と 1 μm → 5 μm → 9 μm と昇順に変化させた場合の比較を行った。ここでは、加工圧として 490 kPa、砥粒濃度 5 wt.%, 加工時間は 1 時間である。図 3.7 は、図 3.6 の実験と同様に粒径の大きさを降順に加工を行った際の加工速度の変化を示す。この実験でも以前と同様に銅板による加工では 5 μm 、1 μm のダイヤモンド研磨液による加工では加工量が非常に小さくなっている。一方、図 3.8 は以前とは異なりダイヤモンド鏡面に対し砥粒粒径を 1 μm から昇順で加工を行った結果を示す。この場合は特に銅板において 1 μm の砥粒で降順のほぼ 2 倍の 1.8 μm 程度の加工量を示している。また、5 μm では 3 μm に達しておりこれらの変化はほぼ粒径に比例している。これは研磨において一般的に言われている傾向と合致している。一方ニッケルでは昇順でも降順でもほぼ同じ加工量を示していることもわかる。

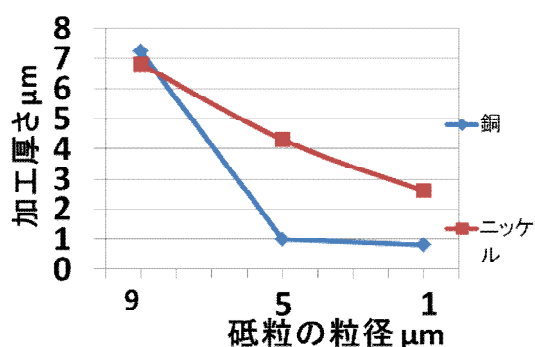


図 3.7 ダイヤモンドの研磨量の変化(降順)

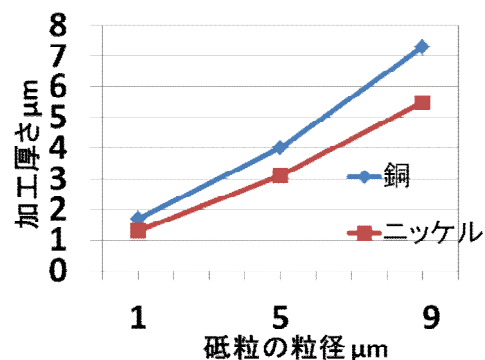


図 3.8 ダイヤモンドの研磨量の変化(昇順)

図 3.8 は図 3.6 の実験における加工面の变化の様子を示す。初期に鏡面のダイヤモンド面を $9\mu\text{m}$ の粒径で研磨すると図 3.5 と同様に破碎から構成される粗面になる。この面が $5\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ の研磨でも同様であり、加工速度の傾向と同様に鉄、銅、ニッケルの定盤を比較した以前の実験と一致する。一方、図 3.8 はダイヤモンド粒径を昇順に変化させた時の加工面の变化を示す。 $1\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ の砥粒径では銅板、ニッケル板共に非常にきれいな鏡面を示し、 $9\mu\text{m}$ ではいずれの材料でも破碎からなる粗面となった。この粒径に関する昇順と降順での違いは、鉄板、銅板では、一度 $9\mu\text{m}$ の粒径のダイヤモンド砥粒で破碎面が形成されるとダイヤモンド表面は加工しにくい(たとえば劈開)面によって形成されるようになり、続く粒径が小さいため切り込みが小さく加工力が低い砥粒による加工しにくくなる。一方、 $1\mu\text{m}$ という微細砥粒から昇順で加工すると、常に鏡面に対する加工になるため $1.5\mu\text{m}$ という微細砥粒に対しても加工が行われ本来の加工速度が得られと考えられる。この図より加工が延性モードから脆性モードに変化するのは $5\mu\text{m}$ と $9\mu\text{m}$ の間と考えられる。

3-3 単結晶ダイヤモンドドリルの試作実験

平成 25 年度は、A 軸に予備実験で得られた面粗さ $0.1\mu\text{mRa}$ 以下、振れ $1\mu\text{m}$ 以下で仕上げたスカイフ研磨砥石を超精密スピンドルに取付け、①自由方向(下向き)での単結晶ダイヤモンドドリルの研磨方法の確立、② $\phi 0.05\text{ mm}$ の単結晶ダイヤモンドドリルの研磨、③ $\phi 1.0\text{ mm}$ のドリルで 1,000 穴の長寿命刃先の研磨を目標とした。

① 自由方向での単結晶ダイヤモンドドリルの研磨方法の確立

平成 23、24 年度の予備実験で得られた単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの研磨条件は、ダイヤモンドパウダーの粒度 $0.25\mu\text{m}$ 以下、スカイフ盤 500 回転を導き出した。この条件での研磨であれば、砥粒の飛散も無く自由方向でスカイフ盤を旋回させることが実証できた。

② $\phi 0.05\text{ mm}$ の単結晶ダイヤモンドドリルの試作実験

完成した研磨装置で、 $\phi 0.05\text{ mm}$ の単結晶ダイヤモンドドリルを試作した。研磨条件として、回転数 500 min^{-1} ダイヤモンドパウダーの粒径は $0.25\mu\text{m}$ とした。試作したドリルの SEM 写真を図 3.10 に示す。図 3.11 に刃先の研磨状態を示す。電子顕微鏡写真のため銅コーティングを施している。

目標とする $\phi 0.05\text{ mm}$ 単結晶ダイヤモンドドリルの研磨を達成した。

③ $\phi 1.0\text{ mm}$ の単結晶ダイヤモンドドリルの試作実験

超硬合金に 1,000 穴加工が出来る長寿命刃を達成するため $\phi 1.0\text{ mm}$ のドリルを試作した。

単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの刃数や刃先形状を変化させ、試行錯誤を繰り返し長寿命ドリルの開発研究を行った。その結果、4枚刃ツイストドリルを開発し超硬合金に 1000 穴加工を実施した。図 3.12 に2枚2段刃を示し図 3.13 に4枚刃を示す。

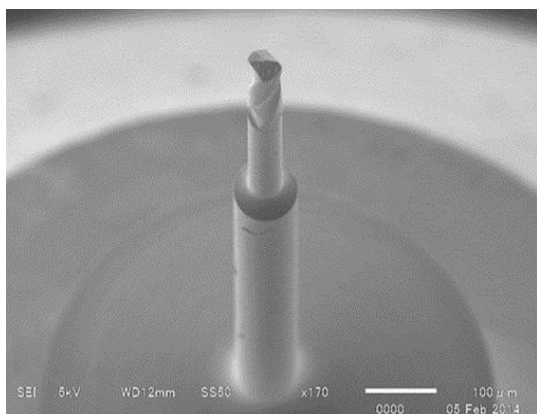


図 3.10 $\phi 0.051$ mmドリル(刃長 0.25 mm、有効長 0.5 mm)

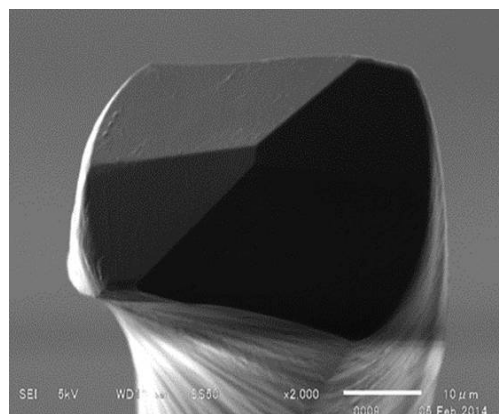


図 3.11 $\phi 0.05$ 刃先の拡大図



図 3.12 $\phi 1.0$ mm2枚2段刃



図 3.13 $\phi 1.0$ mm4枚刃

第4章 マイクロドリルの非接触機上測定装置の開発

4-1 はじめに

ダイヤモンドマイクロドリルの研磨精度を検証するため、非接触で形状を測定可能な計測プローブの開発を行う。プローブは研磨装置上にて加工された形状を測定し形状の評価を行った。マイクロドリルが設計通りに加工されているかどうかを検証することは重要で、現状では主に接触式の形状測定装置でその性能は不十分である。例えば、先端が最小のダイヤモンド触針でも先端径は高々 $1\sim 4\mu\text{m}$ 程度であり、図 4.1 に示すように先端角度は $10\sim 40$ 度程度となりアスペクト比の高い形状の測定は困難である。

また、従来の接触式形状測定装置では以下の問題点がある。①接触式のため微細工具を破損させる危険性がある。②プローブの真球度により測定値に影響がでる。③鋭利なダイヤモンドドリルとの接触によりプローブに傷がつく。④測定できない死角が多い。こうした状況を考慮すると、図 4.2 に示すような光学式のプローブを用いた測定手法が極めて有効と考えられる。レーザを用いた測定手法の場合は、スポット径を $1\mu\text{m}$ 以下とすることも可能であり、かつ先端角度は必ずしも側面壁の角度に制約されないため、垂直に近い形状でも測定できる可能性がある。そこで本研究プロジェクトでは、微細な工具を機上かつ非接触方式で測定する技術の開発を目指した。このようなレーザプローブ走査式の測定ヘッドを開発の超精密研磨装置に搭載し、研磨後のマイクロドリルの形状を機上で計測し、補正研磨加工を行い研磨精度と能率を向上させた。

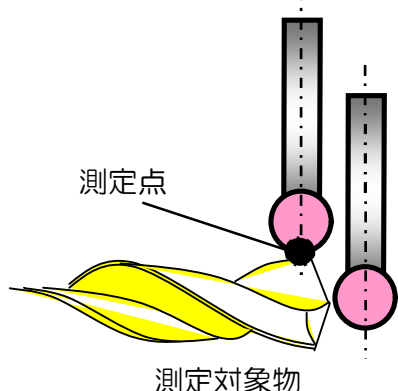


図 4.1 従来の接触式形状測定

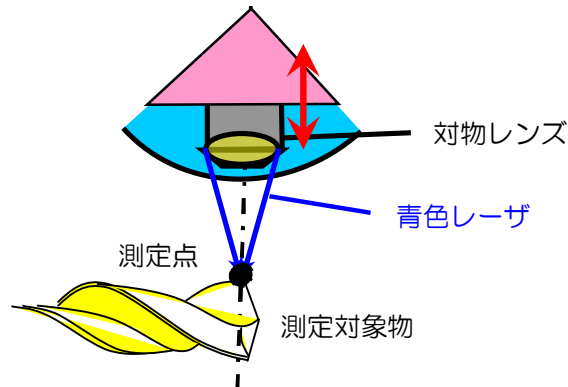


図 4.2 提案の接触式形状測定

4-2 提案の非接触・機上測定技術の原理

本研究課題では、レーザ光を用いたオートフォーカス方式を利用した非接触形状測定装置の開発を行うこととした。これは、図 4.3 に示すように対物レンズを通してレーザ光を物体に照射し、その反射光あるいは散乱光を再度対物レンズで捕集し、オートフォーカスセンサーにて検出することでオートフォーカスを実現し、その際の対物レンズの変位を Z 軸ステージに取り付けられたリニアスケールにより検出するものである。これにより、極めて微細なスポット径で超高精度な形状測定を実現することが可能となる。フレネルレンズなどの光学素子の測定を行うことも考慮し、分解の 1nm レーザスポット径約 $1\mu\text{m}$ 程度とした。さらに、加工途中での計測が可能となるように超精密加工装置や研磨装置への取り付けを考慮しコンパクトな形状とした。測定範囲は 10mm である。

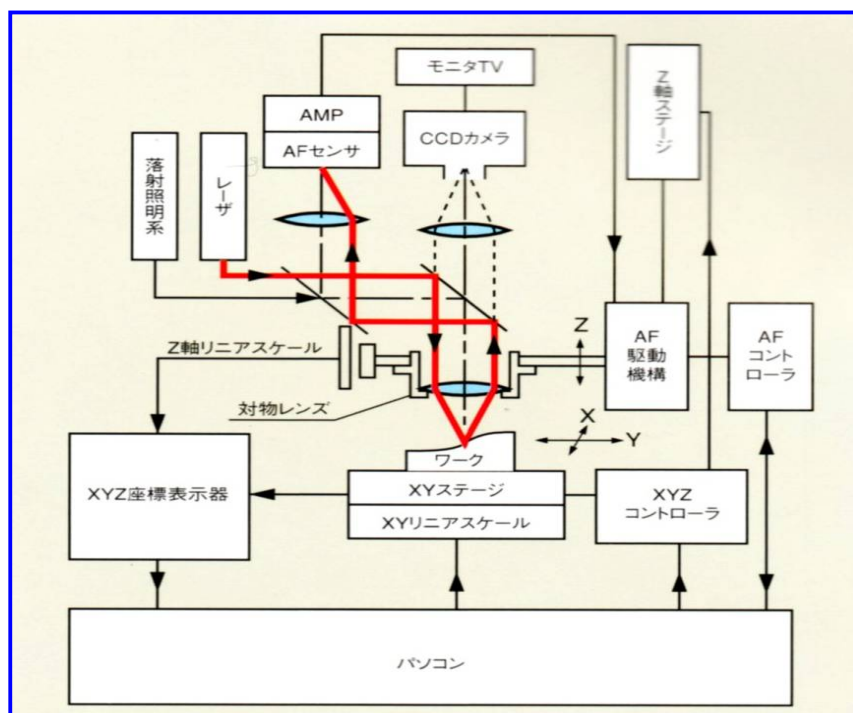


図 4.3 非接触オートフォーカス式測定システムの原理

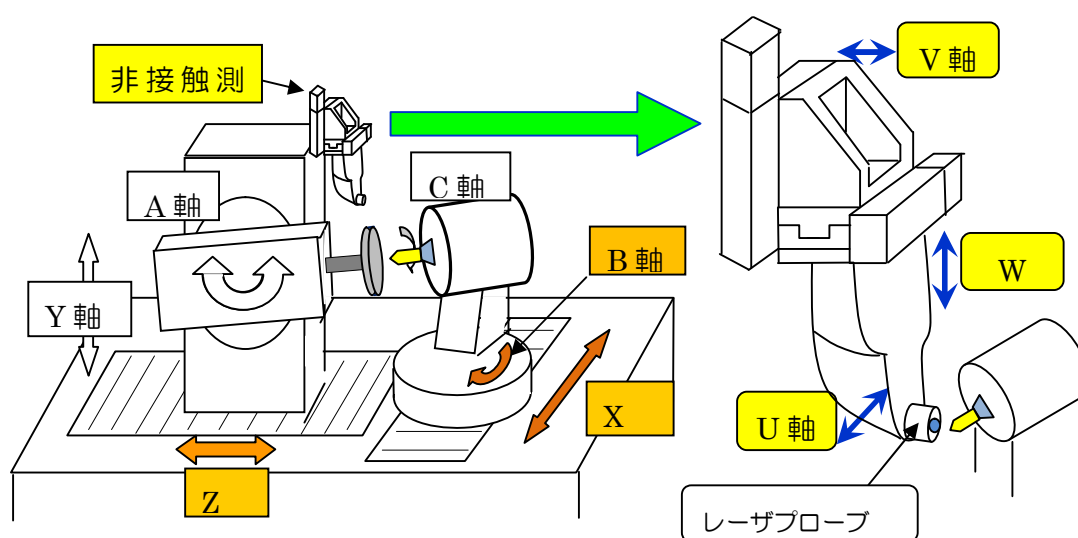


図 4.4 機上測定器の構成

単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルをレーザで形状測定するためには次の問題がある。①ダイヤモンドが半透明体のため反射率の高い波長の選定が必要。②刃先が研磨によって鋭利になるためレーザスポット径が小さくしなければならない。③急斜面の形状測定が必要。そこで以下のように開発を進めた。新システムに伴う測定精度が 10nm の自動測定用の CAM システムを開発した。

測定軸は図 4.4 に示すように非接触測定器側に U、V、W の3軸を別とした。これは、測定結果を得るためのプログラムを既存のものを利用できるようにするためである。このため製造工具の価格も抑えることができた。最終的に以下要件を満たす機上測定装置の設計・製造を実施した。①非接触で 10nm の測定精度を有する。②研磨機上に納まり小型で過度な重量を有さない(研磨装置の精度へ影響を与えないもの)。③測定結果を研磨装置へフィードバックできる。

微細形状を有するドリルの形状を評価するため、非接触の測定プローブを開発し精密加工装置上あるいは測定装置上にて微細形状を測定可能なシステムを構築する。そのため、本プロジェクトでは表 4.1、表 4.2 を目標とした。

表 4.1 ブルーレーザプローブ走査計測装置の設計・製作

項目	従来	新技術
レーザ波長	赤色(波長:635nm)	青色(波長:475nm)
レーザスポット径	1 μm	0.72 μm
測定分解能	10nm	1nm
急斜面の形状測定	困難	可能

表 4.2 テーブルの仕様

軸	ストローク	分解能	位置決め精度
①U 軸:ブルーレーザプローブの直線移動	10 mm	100nm	10nm/10 mm
②V 軸:ブルーレーザプローブの直線移動	10 mm	100nm	10nm/10 mm
③W 軸:ブルーレーザプローブの直線移動	10 mm	100nm	10nm/10 mm

本年平成 25 度は以下を目標とした。マイクロドリルの非接触機上測定装置の開発の最終目標は、非接触によるレーザプローブの測定精度で 10nmP-V を達成することである。

4-3 非接触・機上測定技術の開発

(A) 測定装置の試作

北岡鉄工所本社工場に移設された装置を再度組込み動作確認及び精度検査を行った。

(B) 基準球を用いて X 軸と Z(AF) 軸との直交度調整を実施

球の頂点から $\pm 30^\circ$ の断面測定を行い、そのデータの円フィッティングで得られた残余データが中心から $\pm 20^\circ$ 以内で $\pm 0.1 \mu\text{m}$ 以下になるように調整を行った。その校正結果を図 4.5 に示す。

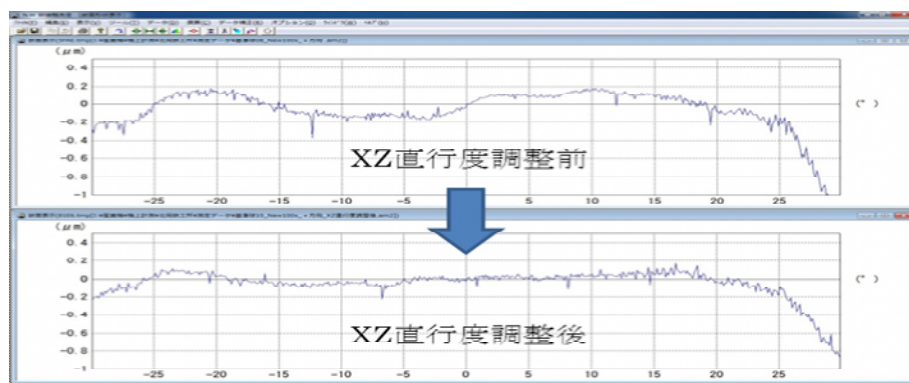


図 4.5 調整前後での基準級フィッティング結果の違い

(C) スキャン測定機能の開発

測定速度を向上して測定時間の短縮および外部環境の変化(温度、振動など)の影響を受けにくくするため、図 4.6 に示すように計測時にステージを止めずにデータ取得するため、AF センサの信号を高さに変換しリニアスケールデータに加算する差分補正機能を追加した。測定ワーク表面で変換に必要な補正係数を取得する補正テーブル作成機能も追加した。

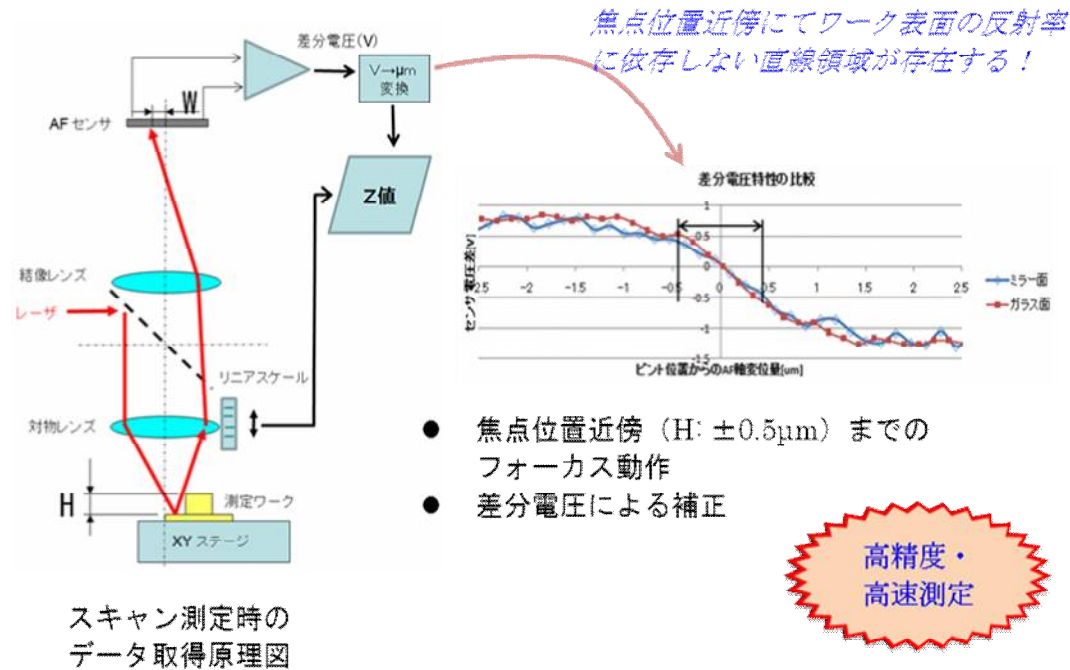


図 4.6 走査測定の原理図

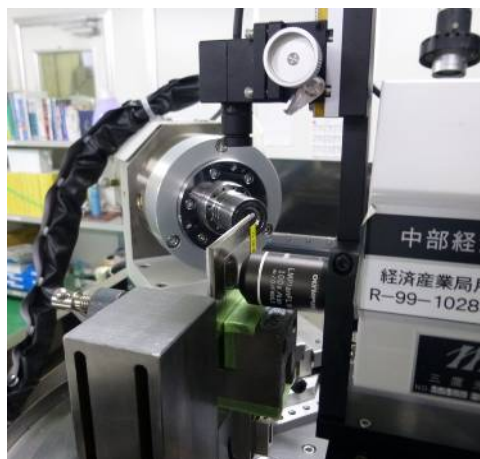


図 4.7 $Ra=0.5\ \mu\text{m}$ の粗さ標準片測定

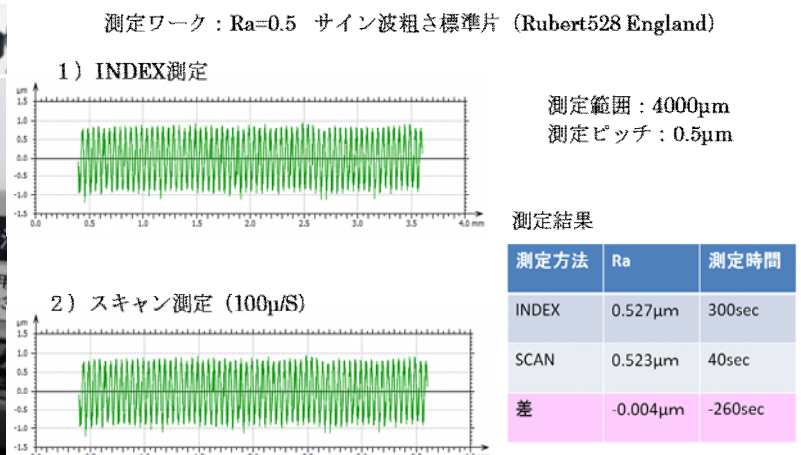


図 4.8 表面粗さ標準片による INDEX 測定結果

4-4 検証実験

(1) 表面粗さ試験片による校正

アプリケーションおよびファームウェア(共にソフトウェア)を開発し、研磨装置に組込んで表面粗さ標準片の測定を実施した(図 4.7)。その結果、図 4.8 に示すように表面粗さ標準片測定に於いて INDEX(従来)測定の 7.5 倍の高速測定が可能となった。

(2) $\phi 5\text{mm}$ ガラス基準球による校正

図 4.9 に示すように $\phi 5\text{mm}$ ガラス基準球を測定し INDEX 測定の 8.3 倍速で測定できることを確認した。また透明なワークであってもスキャン測定で測定角度も水平角度 28° 程まで追従して

高精度測定できることが確認できた(図 4.10)。

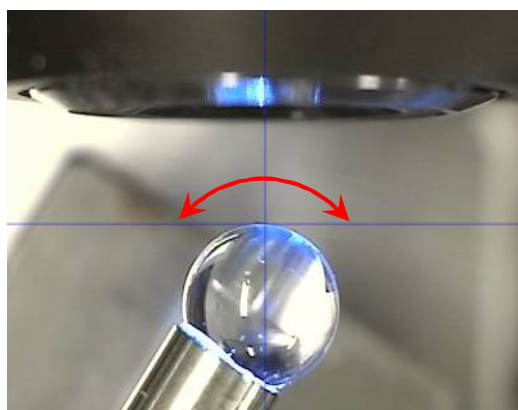


図 4.9 基準球測定の様子

SCAN速度=100 μ m/s 測定範囲: 2400 μ m 測定ピッチ: 2 μ m

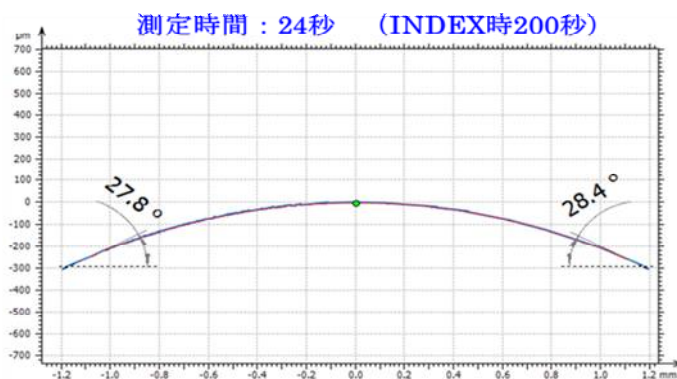


図 4.10 スキャン測定での測定結果

(3) ダイヤモンドドリルの先端形状の測定実験

本研究プロジェクトで開発した研磨装置で試作加工された単結晶ダイヤモンド製ドリルの先端(半透明色で鋭敏な刃先の局所)の形状を図 4.11 に示すように測定した。ドリル先端の画像を図 4.12 に示す。頂点から左右 149 μ m までの断面形状の測定結果を図 4.13 に示す。単結晶ダイヤモンドドリルを測定し、半透明なワークであっても水平傾斜角度が 20° 以上と急斜面の高精度測定ができることを確認できた。

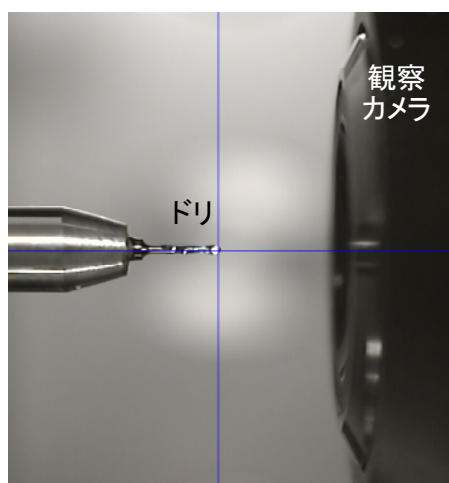


図 4.11 単結晶ダイヤモンドドリル
($\phi 0.3$ mm, 2枚刃)の測定の様子

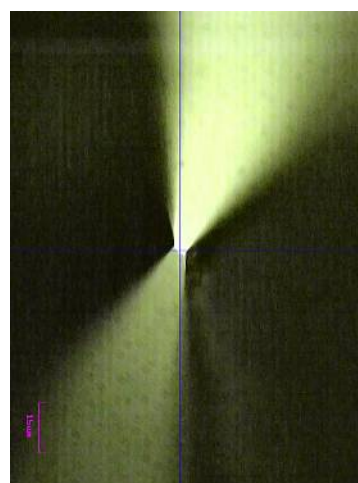


図 4.12 刃先先端部の画像
(対物レンズ:100X)

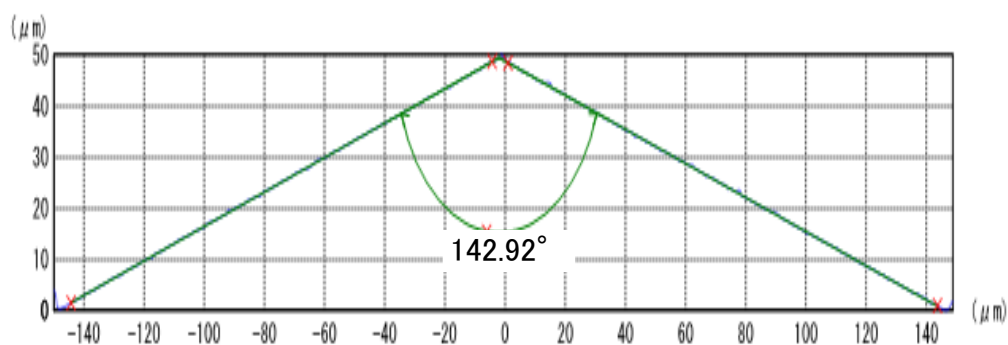


図 4.13 単結晶ダイヤモンドドリルの刃先形状の測定結果

第5章 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの試作と評価

5-1 はじめに

本提案の単結晶ダイヤモンドは硬度が地球上で最も高く均質な単結晶材料である。この材料でドリルが加工できるならば、超硬や SiC、カーボンファイバ FRP 等も効率良く、高精度に穴あけ加工が出来るものと期待できる。

新工具における従来との違いを解決する手法は、軸径以上の接合面積を軸径以上にするため超硬部と単結晶ダイヤモンドを接合後超硬部と単結晶ダイヤモンド部と一緒に加工する。さらに先端部を工具に必要な径へと加工し、刃長分工具に必要な径で加工する。これにより刃先径より接合部分は大きくなり接合面積が軸径以上に出来る。切りくず排出に関しては、切りくず排出のためのスパイラル溝を単結晶ダイヤモンド部へ施し、一般的なドリル形状と同様の形状を単結晶ダイヤモンド上に図 5.1 に示すように成形する。振れ精度に関しては、刃先研磨（先端角、バランス、逃げ角、外径）を完成するまで、機上より外すことなく研磨加工することで軸基準における工具自体のフレ精度を最小に抑える（表 5.1）。

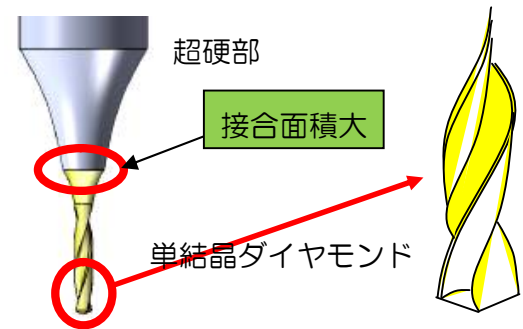


図 5.1 開発した単結晶ダイヤモンド製ドリル

表 5.1 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの試作

項目	加工効果	従来	新工具
接合面積	工具寿命の向上と加工速度が上げられる	ドリル径に比例して小さくなる	ドリル径が小さくなくても接合面積は影響を受けない
切りくず排出性	工具寿命の向上と加工速度が上げられる	悪い	良好
振れ精度	加工精度が向上する	5 μ m 程度	2 μ m 以内

ドリルの形状としては一般的なドリル形状を参考とする。先端角は120度（一般的な角度は118度～135度）、ねじれ角は20度（一般的には0度～30度）とし逃げ角は10～15度程度のものを試作品として製作する。これらを満たし、左右の刃のバランスを保ち工具の重要な寸法である外径振れ精度（フレ 1 とフレ 2 の差分の 2 倍）を高精度仕上げる作業を、測定⇄成形を繰り返し実施し完成させる。

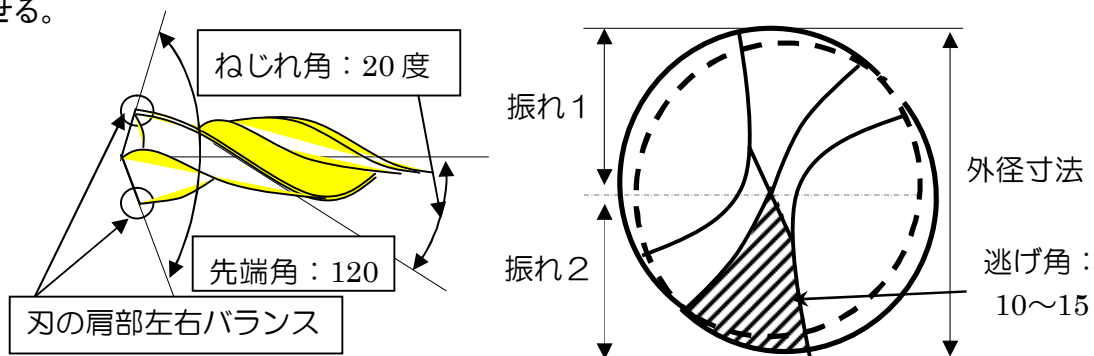


図 5.2 目標のドリル形状



図 5.3 同時5軸超精密加工装置

表 5.2 穴あけ加工実験の全般の条件

工基板	超硬 G6
厚さ	1mm
穴径	φ 1.0mm 貫通
穴あけ加工試験機	東芝機械 UVM-450C
主軸種類	空気静圧軸受
主軸回転数	28,000 min ⁻¹
案内面	転がり案内
駆動方式	リニアモータ駆動
位置決分解能	10nm
加工時間	
もみつけ加工	12 秒/穴
ドリル穴加工	2 分 50 秒/穴

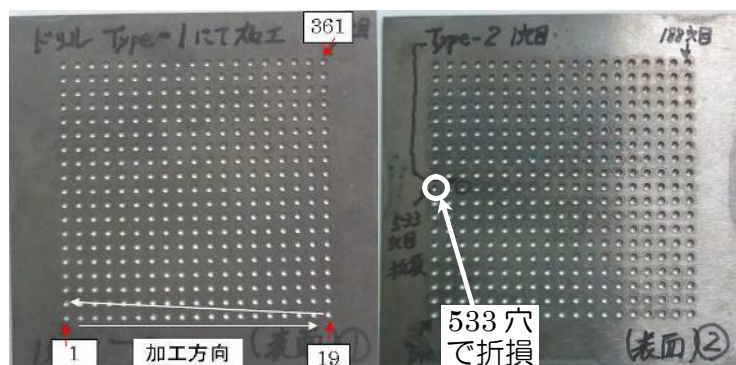


図 5.4 2枚刃ドリルによって穴あけされた超硬基板

表 5.3 超硬基板の穴あけ加工条件

ドリル材質	単結晶ダイヤモンド
外径	φ 1.0mm
刃数	2 枚
回転数	28000min ⁻¹
送り速度	4.8～6.0mm/min
切込	4～6 μm
クーラント	水溶性(30 倍希釈)
穴数	532 穴

5-2 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの穴あけ実験の方法

単結晶ダイヤモンドドリルの試作実験(3-3節)で試作した単結晶ダイヤモンド製マイクロドリル(図 3.12、図 3.13)を用いて加工特性や工具の変化を評価するために、超硬基板に穴あけ実験を行い加工後のドリル形状、表面粗さ、穴の形状と寸法の変化などについて評価した。試作品である単結晶ダイヤモンドマイクロドリルの精度、寿命を検証するため、図 5.3 に示す東芝機械株式会社製 UVM-450C に内製治具にて手動クランプし穴開け実験を実施した。穴あけ加工条件を表 5.2 に示す。加工基板には超硬合金 G6(□51.2×51.2×厚さ 1mm)を用いた。

5-3 ダイヤモンド製マイクロドリル(2枚刃)による穴開け実験の結果

試作品である2枚刃の単結晶ダイヤモンドマイクロドリル(図 5.5)の精度寿命を検証した。図 5.4 に穴あけした超硬基板の写真を、表 5.2 に加工条件を示す。加工実験の結果、533 穴目で折損してしまい本年度の目標の超硬合金に 1000 穴を達成することができなかった。

試作した2枚刃のダイヤモンドドリルの性能を評価するため超硬に開けた穴の寸法を測定した。穴あけしたワークの各行の先端穴を 19 穴ごとに測定した。前年度の先端角が 145° のドリルで開けた穴に比べて、裏面の欠けが改善されていることがわかる。表、裏の穴径を測定した結果を図

5.5 に示す。表穴径について穴あけ回数が多くなるほど穴径が大きくなっているのは、測定誤差によるものだと考えられる。裏面において穴あけ回数が多くなるほどドリルの摩耗により、30 μm 程穴径が小さくなっており目標の 1000 穴に到達する前に 532 穴で折損してしまった。

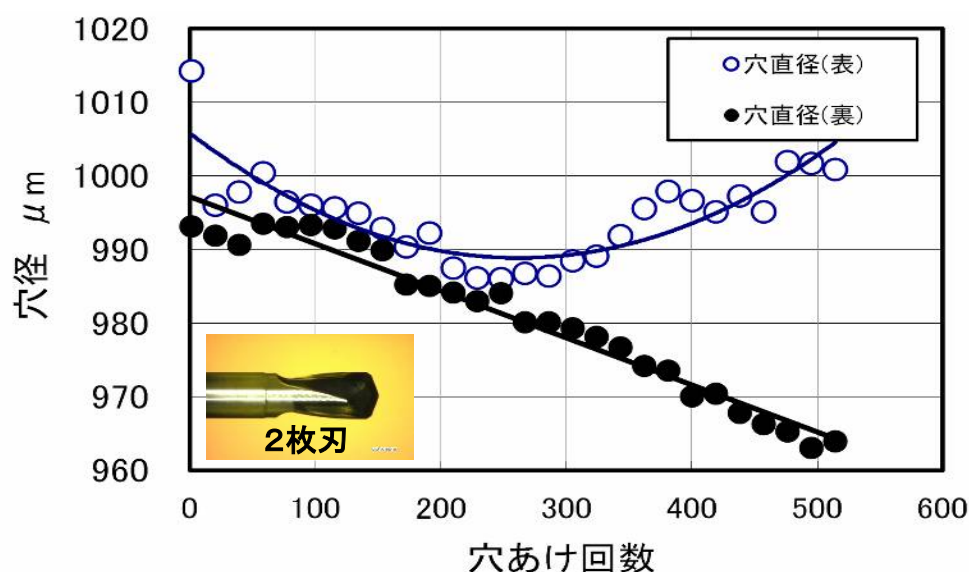


図 5.5 2枚刃ドリルによりあけられた穴径の変化

5-4 ダイヤモンド製マイクロドリル(4枚刃)による穴開け実験の結果

2枚刃のドリルでは 532 穴で折れてしまったので、1000 穴加工を実現するため刃を2倍にした4枚刃のドリルを試作し穴あけ実験を行った。図 5.6 に穴あけした超硬基板の写真を示す。加工条件は2枚刃と同様である。加工実験の結果 1242 穴以上加工することができ、耐久性において本年度目標値である超硬合金に 1000 穴以上を達成した。4枚刃にすることにより寿命が延びたことから、刃数が多い方が有効であることがわかった。

試作した4枚刃のダイヤモンドドリルにより開けられた穴の顕微鏡写真を図 5.7 に示す。2枚刃で開けた穴に比べて、裏面の欠けが改善されていることがわかる。表、裏の穴径を測定した結果を図 5.8 に示す。初期段階の裏穴径が著しく減少しているのはドリル磨耗によるものと考えられる。超硬板④以降は、穴加工深さを 0.1mm 深くしたことにより安定した結果が得られた。穴あけ回数が多くなるほど小さくなっているが表穴では 10 μm 程度であり、 $\phi 1\text{mm}$ に対して 1%と良好な結果が得られた。裏穴については加工深さを深くすることにより改善できると考えられる。

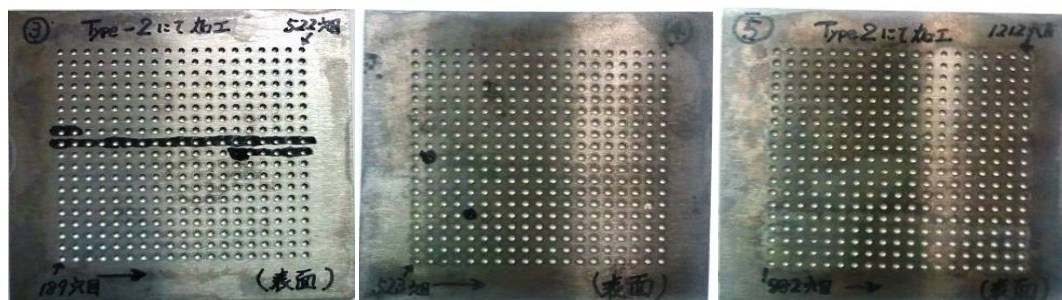


図 5.6 4枚刃ドリルによって穴あけされた超硬基板

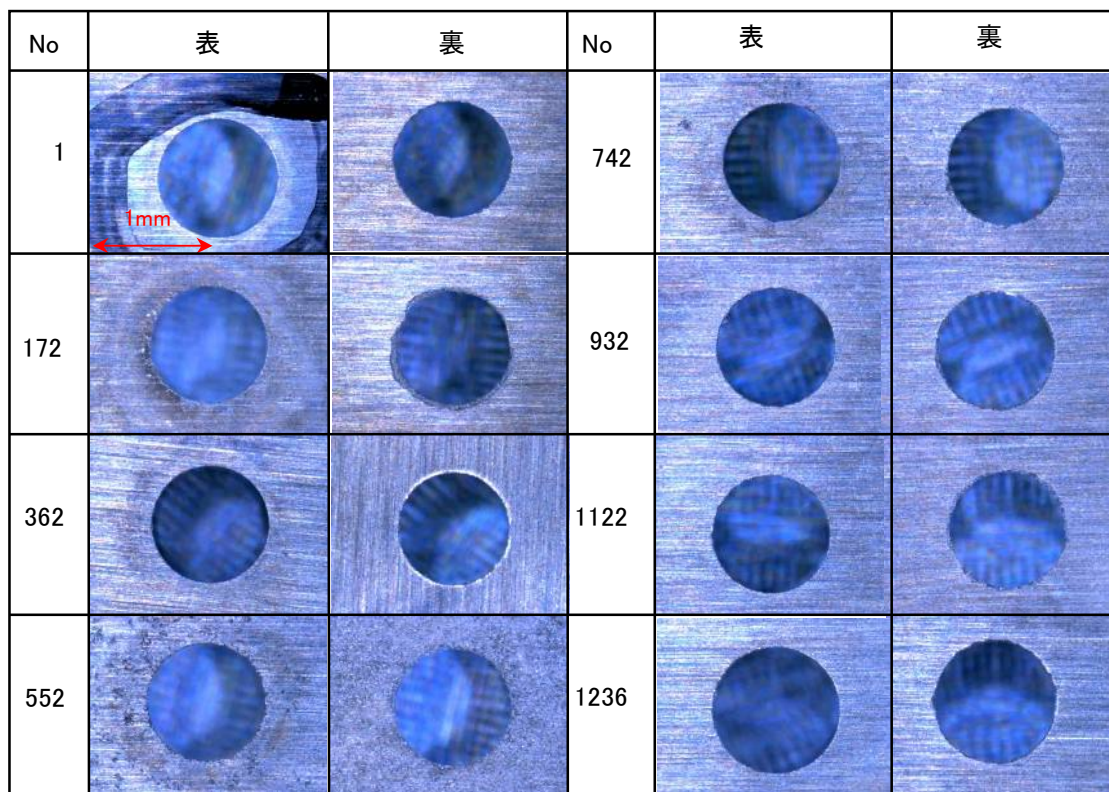


図 5.7 4枚刃ドリル穴の顕微鏡写真

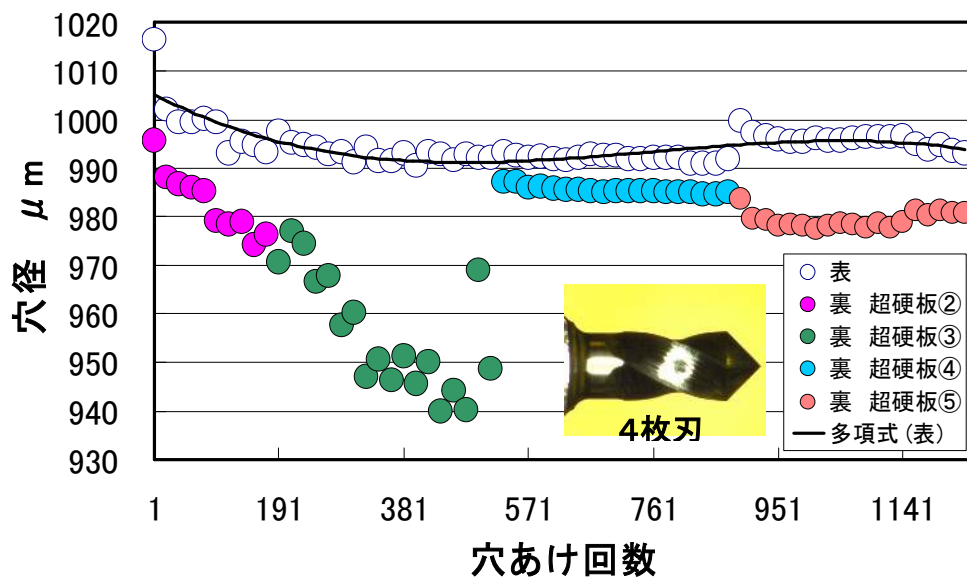
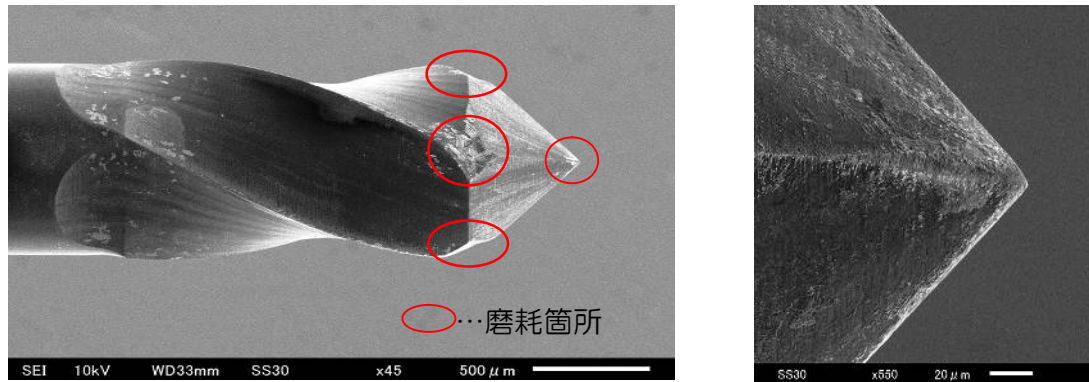


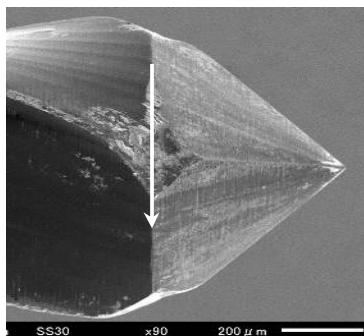
図 5.8 4枚刃ドリルによりあけられた穴径の変化

4枚刃単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの耐久性を評価するため 1242 加工後の形状を評価した。4枚刃の SEM 写真および断面形状の測定結果を図 5.9 に、磨耗部の断面形状測定結果を図 5.10 に示す。磨耗量は約 $24\mu\text{m}$ であった。1,000 穴以上の穴が精密に穴あけられ表 5.4 に示すように目標値を十分に達成した。

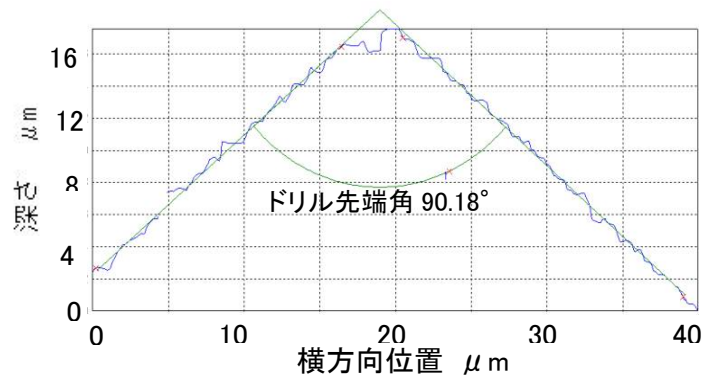


(a)ドリル全体

(b)先端部



(c)磨耗箇所測定位置



(d)断面形状の測定結果

図 5.9 4枚刃ドリルの穴あけ後の SEM 写真

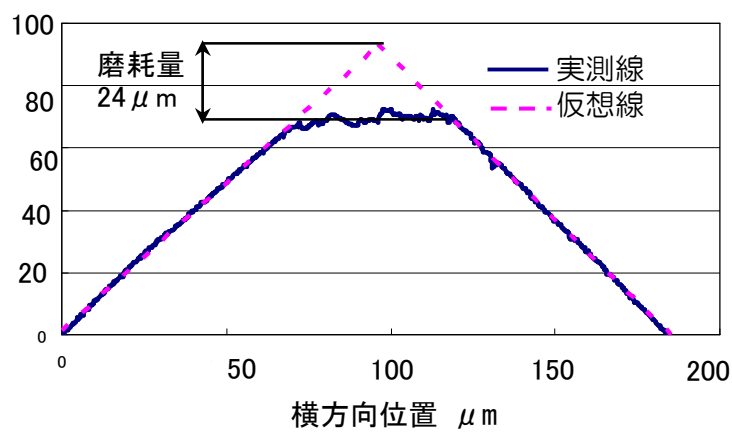


図 5.10 磨耗箇所の断面形状の変化

表 5.4 本研究開発の実施項目と達成状況

項目	目標値	達成値
寸法精度	$\pm 2 \mu\text{m}$	$\pm 2 \mu\text{m}$
振れ	$2 \mu\text{m}$ 以下	$0.2 \mu\text{m}$ 以下
最少工具径	$\phi 0.1\text{mm}$	$\phi 0.05\text{mm}$
耐久性	超硬合金材に 1000 穴加工	超硬合金材に 1250 穴加工

第6章 全体総括

各サブテーマとも所定の成果を上げることができ、以下に列挙するように提案書で記載した技術目標値を100%達成した。

1. 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリル研磨装置の開発

【株式会社北岡鉄工所】機上計測付6軸制御超精密研磨装置の最終組立・製作・調整を行い、X軸・Y軸・Z軸・A軸・B軸・C軸を有する超精密テーブルの製造実施し精度目標を達成した。

【学校法人中部大学】機上計測付6軸制御超精密研磨装置の超精密テーブルの終組立・製作・調整の指導を行った。

2. 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの超精密研磨技術の開発

【株式会社北岡鉄工所】・実験装置－現有のスカイフ盤を使用・研磨盤－鋳鉄製円盤(FC200)・砥粒－ダイヤモンドパウダー(0～0.5 μm)を使用してダイヤモンドの研磨を行い、単結晶ダイヤモンドの超精密研削・研磨条件の最適化を実施した。

【学校法人千葉工業大学】ダイヤモンドパウダー(0～0.5 μm)を使用してダイヤモンドの研磨を行い単結晶ダイヤモンドの超精密研削・研磨条件の最適化を実施した。

【学校法人中部大学】研磨されたダイヤモンド表面状態の計測を今後実施した。

3. マイクロドリルの非接触機上測定装置の開発

【三鷹光器株式会社】ブルーレーザプローブ測定装置の製造・調整し仕様を満たしている事を検証した。

【学校法人中部大学】ブルーレーザプローブ測定装置の性能評価を行い目標仕様を達成した。

【株式会社北岡鉄工所】ブルーレーザプローブ測定装置の6軸制御超精密研磨装置への取付けを行い工具を用いた精度確認を行った。

4. 単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの試作と評価

【株式会社北岡鉄工所】単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルを開発し以下の目標値を達成した。
・最小ドリル径: $\Phi 0.05\text{ mm}$ ・耐久性: 超硬合金に $\Phi 1.0\text{ mm}$ ドリルで1236穴の加工を行い目標値1000個以上。

【学校法人中部大学・千葉工業大学】試作品である単結晶ダイヤモンド製マイクロドリルの形状評価と、超硬合金基板の加工穴計測、工具径摩耗変化、穴の裏面のエッジの欠けについて評価を行った。

平成23～平成25年度の研究により目標値以上の成果をあげることができた。今現在は本プロジェクトで設定した形状を中心に検討しているが、今後は各業界にマッチした工具形状の開発と加工技術の研究開発を行う。工具については半導体関連メーカー、自動車メーカー、電機メーカー、レンズメーカー、金型メーカーとのコンタクトをより一層拡大し、試作テストを受けながら各業界にマッチした工具形状の開発と加工技術の研究開発を行うとともに、展示会に積極的に出展、また客先を廻りPRを推進する。各分野から様々な単結晶ダイヤモンド工具の要望があり、株式会社北岡鉄工所で工具の試作を行い、学校法人中部大学の加工設備と計測設備を利用しながらテスト加工を実施し、アドバイザーの協伸産業株式会社の営業活動と協調しながら顧客拡大を進める。また、計測装置については複雑な工具形状や金型の計測器の販売を進めるため、工具と同様にテスト測定、展示会出展を進めていく。