

平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「 ϕ 0.1 mm PCD（多結晶ダイヤモンド）小径ドリル製造ができる
回転電極放電加工機の開発」

研究開発成果等報告書

平成28年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人群馬県産業支援機構

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-2 研究体制

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

2-1 研究開発の概要

2-2 研究開発の背景及び当該分野における研究開発動向

2-3 研究開発の高度化目標及び技術的目標値

2-4 新技術を実現するために解決すべき研究課題

2-5 研究開発の具体的な内容

2-6 連続加工および単発加工試験からの考察

第3章 全体総括

第1章 研究開発の内容

耐久性に優れるPCDを刃先に使い、高切削性と長寿命化を図ったφ0.1mmPCD小径ドリルを任意形状に一段取りで製作するための専用工作機械を開発し、機上電極成形の回転ディスクに放電加工を採用し、ドリルに負荷をかけずに切刃をシャープエッジに加工する製造方法を確立する。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

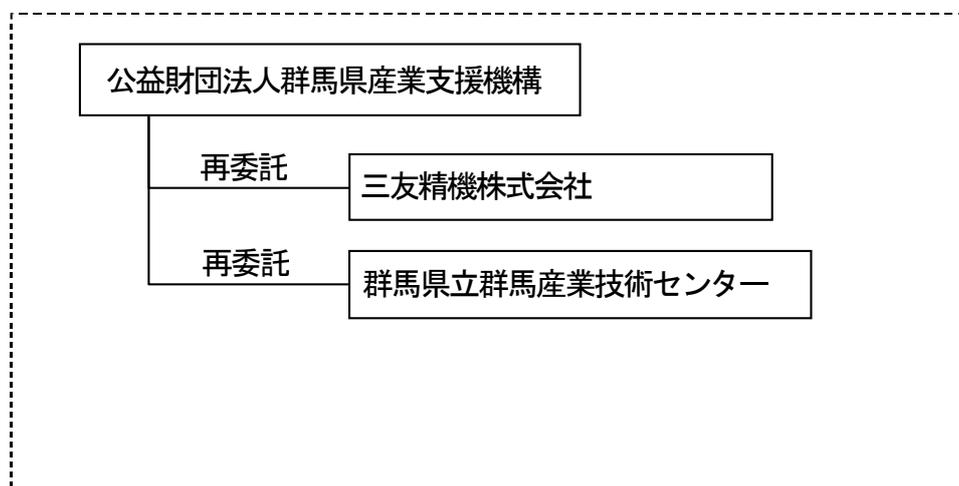
本研究開発の目的は、φ0.1mm多結晶ダイヤモンド（以下「PCD」という）小径ドリル製造ができる回転電極放電加工機を開発することである。従来の工具研削機では、加工対象であるドリルと砥石を接触させながら加工するため負荷がかかり、加工中にドリルが破損する恐れがあった。また砥石は加工力が大きいいため、小径ドリル製作では曲がり（偏心）が起こることがわかった。

本研究開発では、耐久性が優れるPCDを刃先に使い、高切削性と長寿命化を図ったφ0.1mmPCD小径ドリルを任意形状に一段取りで製作できることを目的とする。そのため、加工機には機上電極成形の回転ディスクによる放電加工を採用し、ドリルに負荷をかけずに鋭利な刃先やシンニング加工を行える製造方法を確立する。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

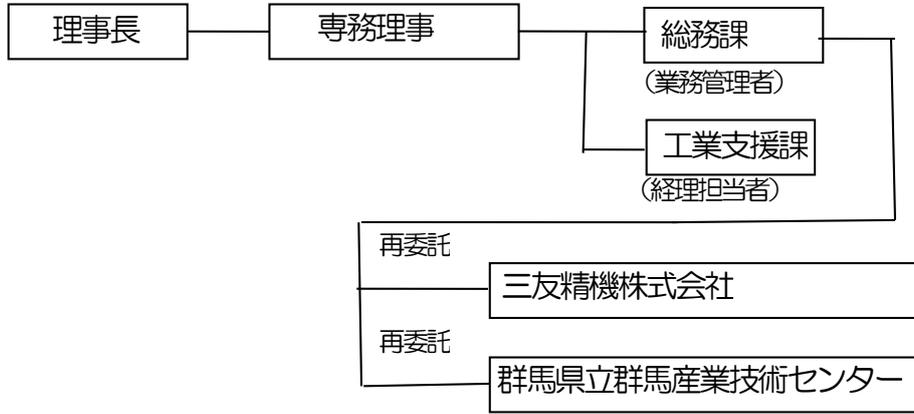
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

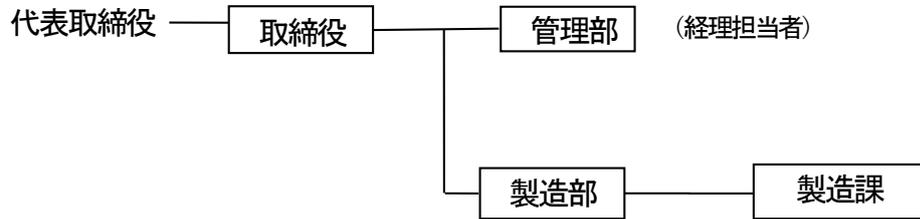
① 事業管理機関

「公益財団法人群馬県産業支援機構」



② 再委託先

「三友精機株式会社」



「群馬県立群馬産業技術センター」



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人群馬県産業支援機構
管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
藤村 聡	総務課 課長	⑤

【再委託先】

研究員

三友精機株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
宮崎 喜一	代表取締役	③-1、③-2、④
宮崎 貴弘	取締役	③-1、③-2、④
浅川 光洋	製造部長	③-1、③-2、④
清水 茂	製造部長	③-1、③-2、④
市川 秀章	製造部 製造課長	③-1、③-2、④
田島 均	製造部 製造技術担当	③-1、③-2、④

群馬県立群馬産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
世取山 重剛	東毛産業技術センター 電磁・光計測係 独立研究員	③-1、③-2、④
宋 東烈	東毛産業技術センター 研究調整 官	③-1、③-2、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)

公益財団法人群馬県産業支援機構

(経理担当者) 工業振興課

富山 勝敏

(業務管理者) 総務課 課長

藤村 聡

(再委託先)

三友精機株式会社

(経理担当者) 管理部 取締役

宮崎 阿喜子

(業務管理者) 代表取締役

宮崎 喜一

群馬県立群馬産業技術センター

(経理担当者) 総務係 森枝 寛枝
 (業務管理者) 企画管理係長 清水 浩二

(4) 他からの指導・協力者
 研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
宮崎 喜一	三友精機株式会社 代表取締役	P L
宮崎 貴弘	三友精機株式会社 取締役	
世取山重剛	群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター電磁・光計測係独立研究員	S L
宋 東烈	群馬県立群馬産業技術センター 東毛産業技術センター 研究調整官	
尾崎 勇	オザキコンサルタント	アドバイザー
谷塚 史朗	株式会社タンガロイ 生産本部 名古屋工場 生産技術課 主務	アドバイザー
内田 研一	東芝ホクト電子株式会社 部品製造課 課長	アドバイザー
飯塚 智久	富岡飯塚電気株式会社 代表取締役	アドバイザー

1-3 成果概要

1. 加工機の機構設計と複雑な動作に対応する制御システム

1-1 加工機の機構設計

従来の工具研削機は、制御軸数5軸+1軸インデックスであるが、今回の開発では制御軸数6軸+1軸インデックスの機械装置で開発を行った。

1-2 制御システムの確立

工作機械は概ね大手メーカーCNC（コンピュータ数値制御）を用いているが、今回の開発ではサーボモータ・パソコン制御のソフトウェアで開発を行った。

2. 機上電極成形の回転電極加工による小径ドリルの成形技術

2-1 ドリル刃先の先端角加工

機械装置内に電極成形用バイトを使用してカーボン電極の側面に刃先の先端角を設定して、ワーク回転させながら先端角の製作を行った。

2-2 ドリルのねじれ角、逃げ角、溝加工

小径ドリルになっても放電加工で製作が行える電極成形の製作を行った。

3. 刃先のシャープエッジ、シンニングに加工する放電加工条件の最適化

3-1 刃先のシャープエッジ

研削加工なしで刃先の鋭利性を確保するための放電電源の開発を行った。

3-2 シンニング加工時の偏心

放電加工は、非接触なので負荷がかからずシンニングを行えるソフトウェアの開発を行った。

4. 連続加工試験による工具刃先の摩耗評価

加工中の振動信号の総体的な性質変化から工具の初期摩耗状態を検出し、摩耗状態と工具寿命を測定する機器の製作を行った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人群馬県産業支援機構

工業支援課企業振興室 室長 藤村 聡

TEL : 027-255-6601 FAX : 027-255-6161

E-MAIL : nwmn2@g-inf.or.jp

第2章 本論

2-1 研究開発の概要

耐久性に優れるPCDを刃先に使い、高切削性と長寿命化を図ったφ0.1mm PCD小径ドリルを任意形状に一段取りで製作するための専用工作機械を開発し、機上電極成形の回転ディスクに放電加工を採用しドリルに負荷をかけずに切刃をシャープエッジに加工する製造方法を確立する。



図2-1 PCDドリル製造販売とニーズがある小径ドリル

従来技術の研削加工ではドリルと砥石が接触しながら加工するため負荷がかかり加工中に破損の恐れがある。また、砥石は加工力が大きいいため小径ドリル製作で曲がり（偏心）が起こる。

放電加工の特徴は

- ・加工物と電極が非接触のため負荷がかからず加工中に破損の恐れがない。
- ・負荷がかからないため製作工具の精度向上が可能となる。
- ・多軸制御、機上電極成形機能などを搭載。

本研究ではこれらの機能を搭載した放電加工を行う小径ドリルの製造装置を開発する。

従来技術	新技術
<p>図2-2 ドリルの研削加工</p> <p>現状の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・研削加工は、ドリルと砥石が接触しながら加工するため負荷がかかり加工中に破損のおそれがある。 ・砥石は加工力が大きいため小径ドリル製作では曲がり(偏心)が起こる。 ・小径ドリルは一般的にシンニング加工がされていない。 	<p>図2-3 ドリルの放電加工</p> <p>新技術の特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> ・放電加工は、ドリルと電極が非接触のため負荷がかからず加工中に破損のおそれがない。 ・負荷がかからないため製作工具の精度向上が可能となる。 ・多軸制御、機上電極成形機能、シンニング加工が行えるので、1段取りでPCD小径ドリルが製作可能となる。

PCD 工具製造に使用される複合機（研削＋放電）は、 $\phi 3.0$ mmまでしか製作できず高価である。新技術を搭載した機械装置は価格を抑え、市場に安価な PCD 小径ドリルの提供を行う。（表 1）

工具の種類	非鉄金属への耐久性	単価 (円)	価格差 (耐久性込み)
超硬工具	1	1,500	2.5
市販 PCD 工具 (工具径 3.0 mm)	30 倍	80,000	2.6
開発装置での PCD 工具 (工具径 0.1 mm)	50 倍	30,000	1

表 1 従来工具と開発装置での PCD 工具の対比

2-2 研究開発の背景及び当該分野における研究開発動向

(14) 切削加工に係る技術に関する事項

1 切削加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(2) 電機機器に関する事項

① 川下製造業者の抱える課題及びニーズ

イ 性能・寸法の再現性向上

プリント基板が使用され電子部品の高性能かつ低コスト化、小型化の流れはとどまることなく、プリント基板穴あけ用ドリルは年々小径化し、 $\phi 0.3$ mm以下の割合は 72% (2008 年) で中でも $\phi 0.15$ mmや 0.1 mmが主流になり、ドリル素材への要求特性も年々厳しくなり難易度が高くなっている。プリント基板の穴あけ加工は、0.2~1.6 mm厚のプリント基板を 3 枚重ねて一般的に 1 本の工具で 10000 個の穴加工を行う。

(図 2-4)

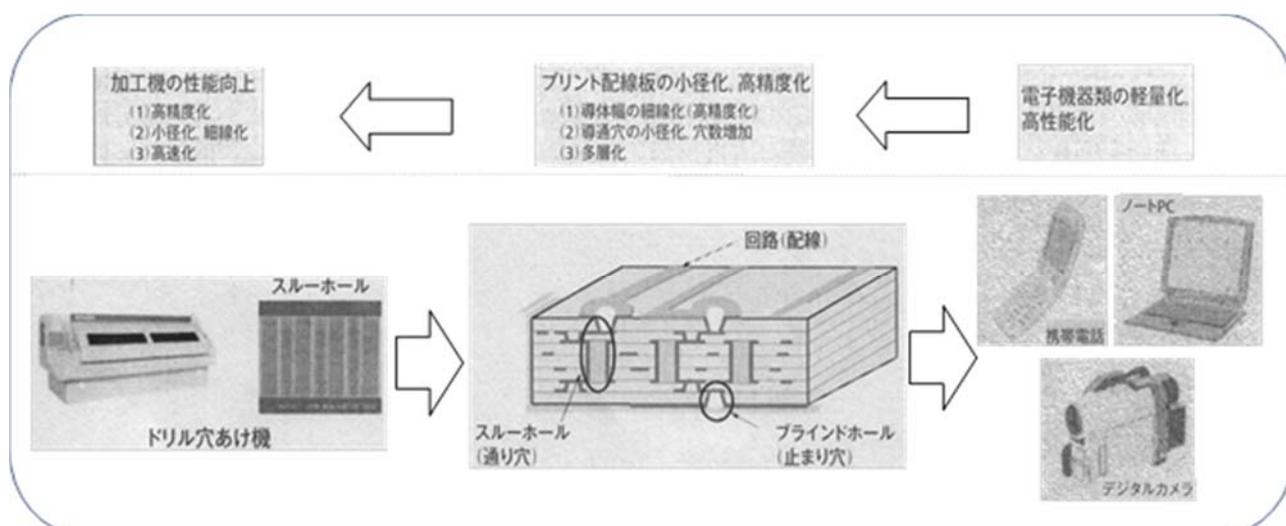


図 2-4 プリント基板製造における穴加工例

これらの加工法では切れ味がすぐに低下してしまい、位置精度が悪くなり、さらに切り屑が詰まってしまい無理に穴加工するとドリルが折れてしまう。そのため複合材のプリント基板の穴あけを高精度に加工できるドリルが必要であるが今のところそのドリルを製作す

る機械装置は存在しない。そこで強靱性のPCDを刃先とする小径ドリルを製造できる機械装置を完成させ穴加工の精度と寸法の再現性向上を図る。

エ 長寿命化

昨今の切削加工分野における要求は、微細加工のような高精度化と、刃工具の長寿命による生産性向上である。PCDは、チップングやクラックしにくい構造で磨耗度が少ないのでハイス鋼や超硬合金、CBNやダイヤモンドコーティングされた汎用工具素材などに比較して大幅に工具寿命が期待できる。工具メーカーの資料によると超硬工具よりPCD工具は10~50倍以上の長寿命化が可能であり、穴加工を高品質に保つことができ工具の破損による交換、調整などの作業が減少するため、予備工具の減少や加工時間を減少につながる。工具寿命が延びることにより、品質の安定、労働コストの削減など総合的なPCDの利点により工場全体の生産量やコスト削減に大きな影響を与える。

2-3 研究開発の高度化目標及び技術的目標値

高度化目標

ア. 非金属（ガラス、樹脂等）加工対応

ガラス繊維を重ねた基板やアルミナ基板、焼成セラミック基板など複合材を素材とするプリント基板は多数であり、スルホール役割は電子部品の高度化や小径化により年々難易度になっている。そこで本研究開発では、「PCD工具の小径化」「長寿命化」「品質の安定」「低コスト化」を実現するため回転電極放電加工機を開発し諸問題の解決に貢献することを目標とする。

2-4 新技術を実現するために解決すべき研究課題

[1. 加工機の機構設計と複雑な動作に対応する制御システム]

1段取りで $\phi 0.1$ mm PCDドリルを完成させるための制御方式、制御軸数、同時加工制御軸数などの機構設計とその複雑な動作に対応した制御システムを製作する。

[2. 機上電極成形の回転電極加工による小径ドリルの成形技術]

小径ドリルの切れ味を左右する先端角、ねじれ角、逃げ角、溝加工についてワークに対する回転放電電極の当て方や放電加工の条件等、成形方法を確立する。

[3. 刃先をシャープエッジに加工する放電加工条件の最適化]

バイトや太物PCD工具では放電加工後、研削加工を行って刃先の鋭利性を保っていたが、PCD小径工具では研削加工では破損してしまうのでドリルの負荷が小さい放電加工で刃先をシャープエッジやシンニング加工できるように放電加工条件の最適化する。

[4. 連続加工試験による工具刃先の摩耗評価]

$\phi 0.1$ mm PCDドリルを使用して複合材のプリント基板を連続加工試験し、従来工具との加工性能や工具刃先としての寿命差を比較検討する。また、加工中の振動信号を用いる方法で工具刃先の摩耗状態、工具寿命を定量的に評価する手法を確立する。

2-5 研究開発の具体的内容

1. 加工機の機構設計と複雑な動作に対応する制御システム

1-1 加工機の機構設計

従来の工具研削機は、制御軸数 5 軸+1 軸インデックスであるが、今回の開発では制御軸数 6 軸+1 軸インデックスの機械装置で開発を行った。



図 回転電極放電加工機

図は回転電極放電加工機である。制御軸数は 6 軸+1 軸インデックスで構成されている。A 軸は現在値が原点で 90° 回転し、B 軸は現在値が原点で $-90^\circ \sim 90^\circ$ の 180° の旋回をし、C 軸は 360° 回転を行う。電極スピンドルは CW または CCW の回転を行いながら電極成形や放電加工を行う。今回の機械装置では D 軸を新たに設け、電極に向かって放電加工を行うので工具が小径になっても負荷がかからず工具製作が行えることが確認できた。

1-2 制御システムの確立

工作機械は概ね大手メーカー CNC（コンピュータ数値制御）を用いているが、今回の開発ではサーボモータ・パソコン制御のソフトウェアで開発を行った。



図 パソコン制御システム

評価として、目標達成度は 100% であり、ドリル製作で必要とされる 9 工程の制御

システムの構築が行えた。

2. 机上電極成形の回転電極加工による小径ドリルの成形技術

2-1 ドリル刃先の先端角加工

機械装置内に電極成形用バイトを使用してカーボン電極の側面に刃先の先端角を設定して、ワーク回転させながら先端角の製作を行った。

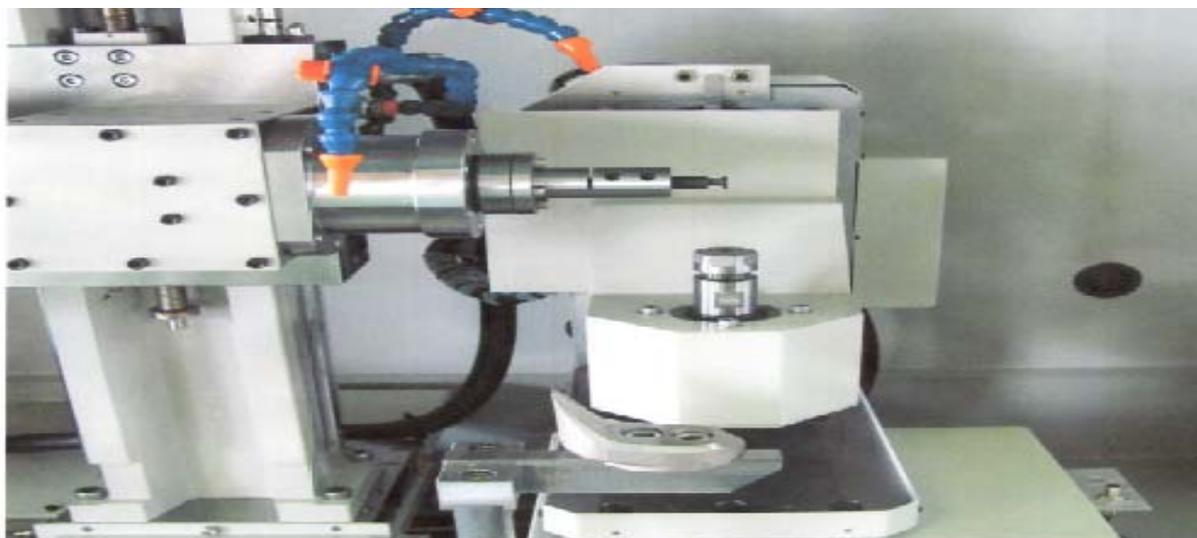


図 電極成形用バイトとで成形した電極



図 先端角加工の様子



図 加工後の先端角

2-2 ドリルのねじれ角、逃げ角、溝加工

小径ドリルになっても放電加工で製作が行える電極成形の製作を行った。



図 溝加工の様子



図 加工後の溝

機上電極成形の回転電極加工による小径ドリルの成形技術のドリル刃先の先端角加工
ドリルのねじれ角、逃げ角、溝加工とも目標とする研究開発を行うことができた。

3. 刃先のシャープエッジ、シンニングに加工する放電加工条件の最適化

3-1 刃先のシャープエッジ

研削加工なしで刃先の鋭利性を確保するための放電電源の開発を行った。

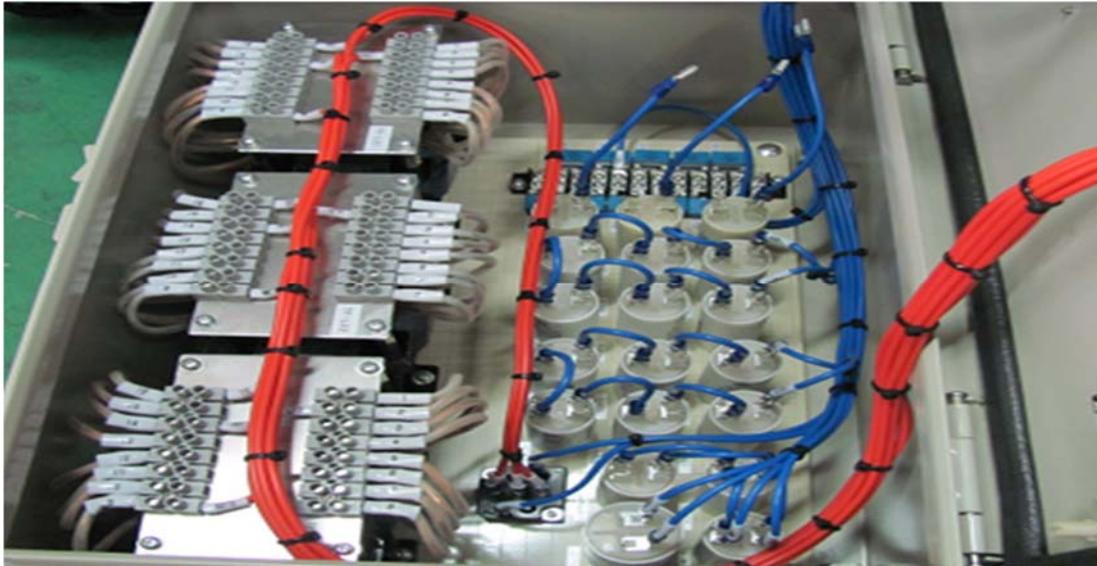


図 放電電源



図 放電電圧と放電モードとの面粗度の比較

放電モード High、Medium は放電モードが強いため、今回の製作では使用をしなかった。放電モード SUPERFINE、電圧 40V での加工した時のワークが一番面粗度が良かった。

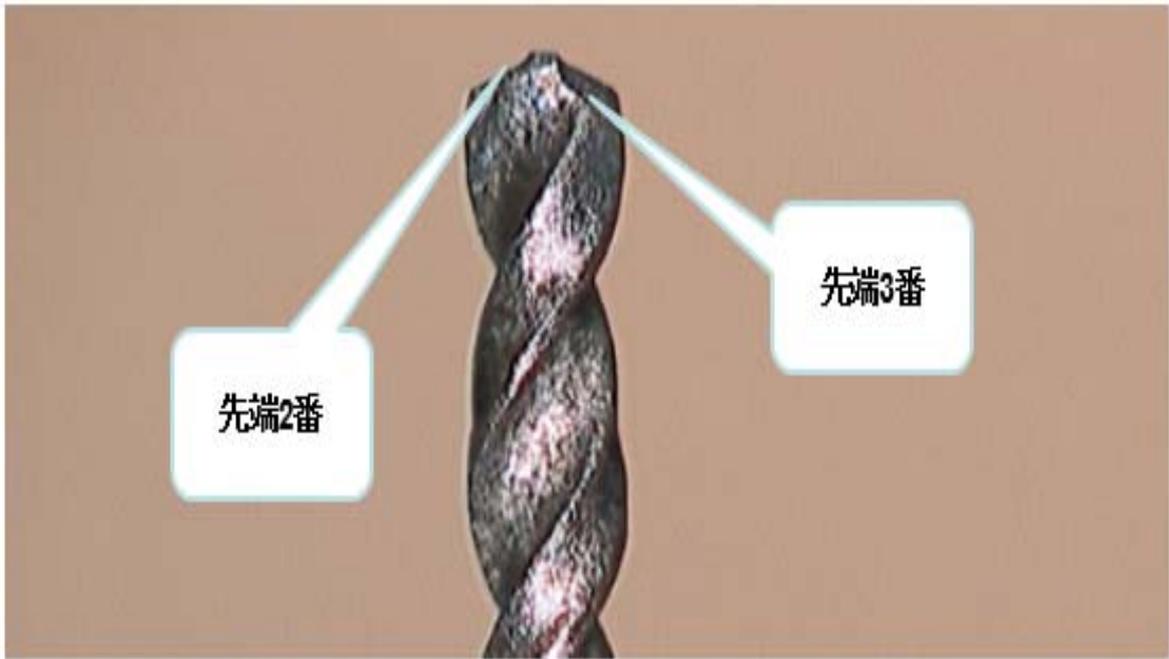


図 ドリル刃先の先端角 2 番、3 番（逃げ角）

先端角 2 番、3 番（逃げ角）は、スパイラルに切れ刃が下降していく切削時に被削材との接触を避けるために設けられる逃げ面角度である。二つの逃げ面で形成される。逃げ角を大きくした方が切削時の摩擦抵抗を軽減できるが、くさび角が小さくなり鋭利になるが切れ刃の強度が弱く、切れ刃に対する負荷が大きくなるとチッピング（欠け）の原因になる。

（上図は、先端 2 番 10° 、先端 3 番 30° ）

3-2 シンニング加工時の偏心

放電加工は、非接触なので負荷がかからずシンニングを行えるソフトウェアの開発を行った。

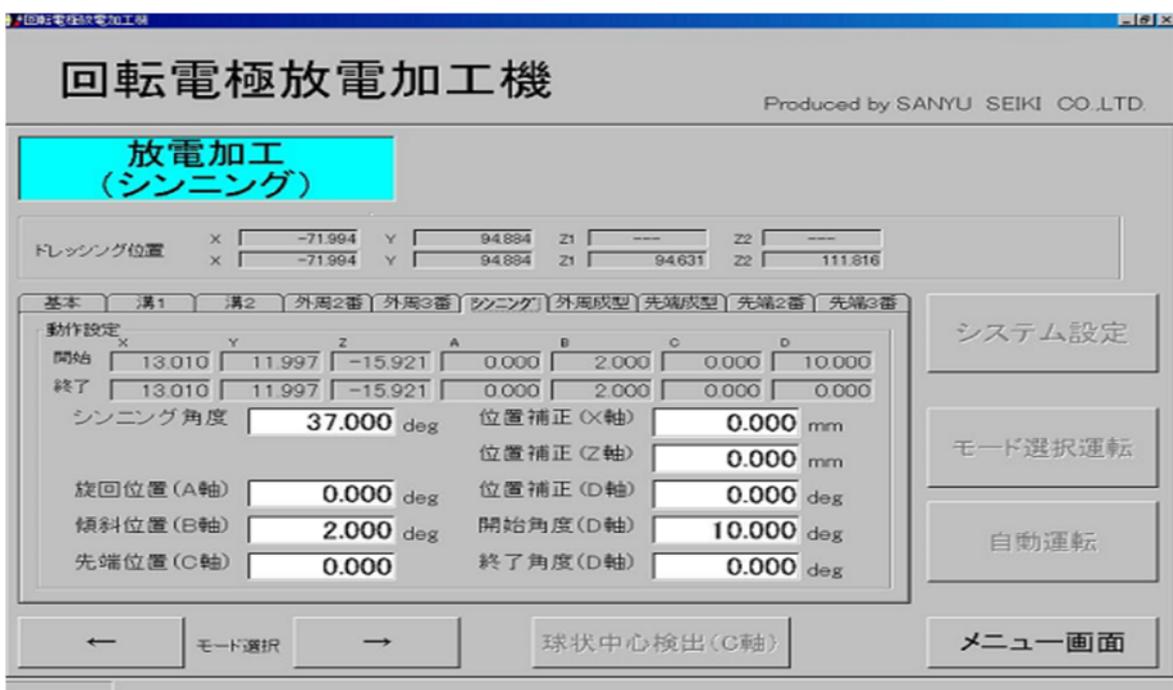


図 シンニング操作設定画面



図φ0.5 mmPCD ドリルシンニングあり



図 φ0.5 mmPCD ドリルシンニングなし

シンニングの効果は以下である。

- ・求心性が向上する。→ 穴が曲がりにくい
- ・切り屑のハケがよくなる。→ ドリルが折れにくい、切削性の向上
- ・工具の寿命が延びる。→ 加工ワークの品質安定

4. 連続加工試験による工具刃先の摩耗評価

PCD ドリルと従来工具を対象として、複合材料のプリント基板を用いた連続ドリル加工を行い、加工中の振動信号を捕えて工具摩耗、工具寿命を定量的な評価を行った。

加工中の振動信号を総体的な性質変化から工具の初期摩耗状態を検出し、摩耗状態、工具寿命を調べた。



図 連続加工試験

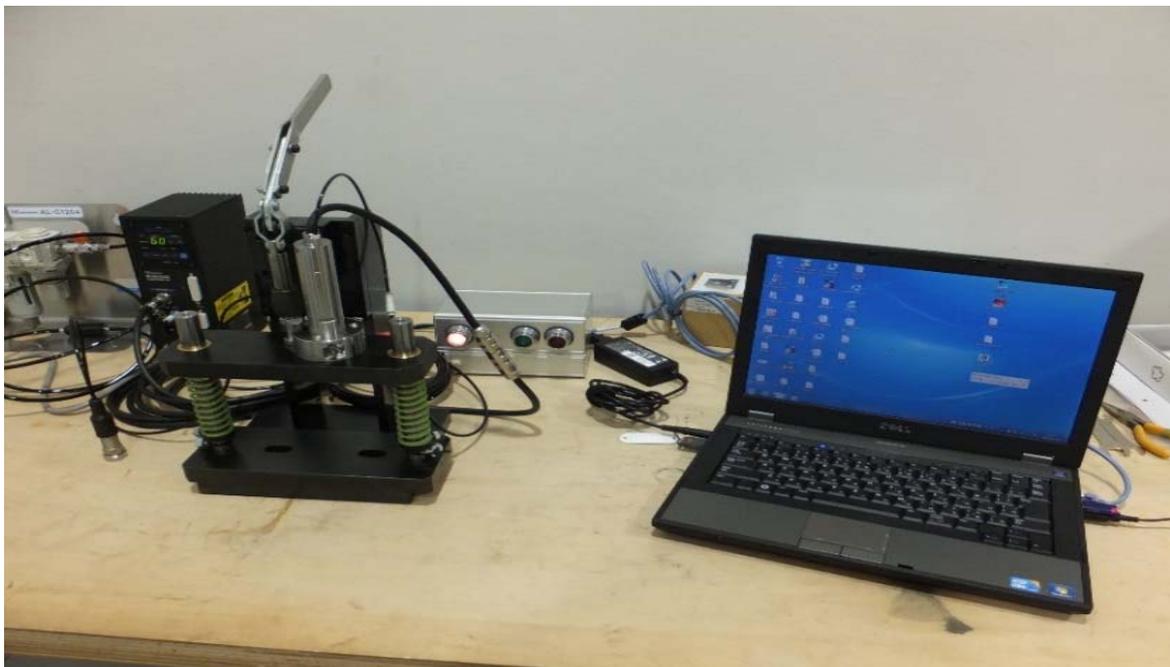


図 単発加工試験

プリント基板を連続および単発で加工試験し、従来工具と加工性能や工具刃先としての寿命差を比較検討した。また加工中の振動信号の解析によって工具刃先の摩耗状態、工具寿命の評価手法を検討した。



図 小型マシニング機 (ミマキエンジニアリング製)

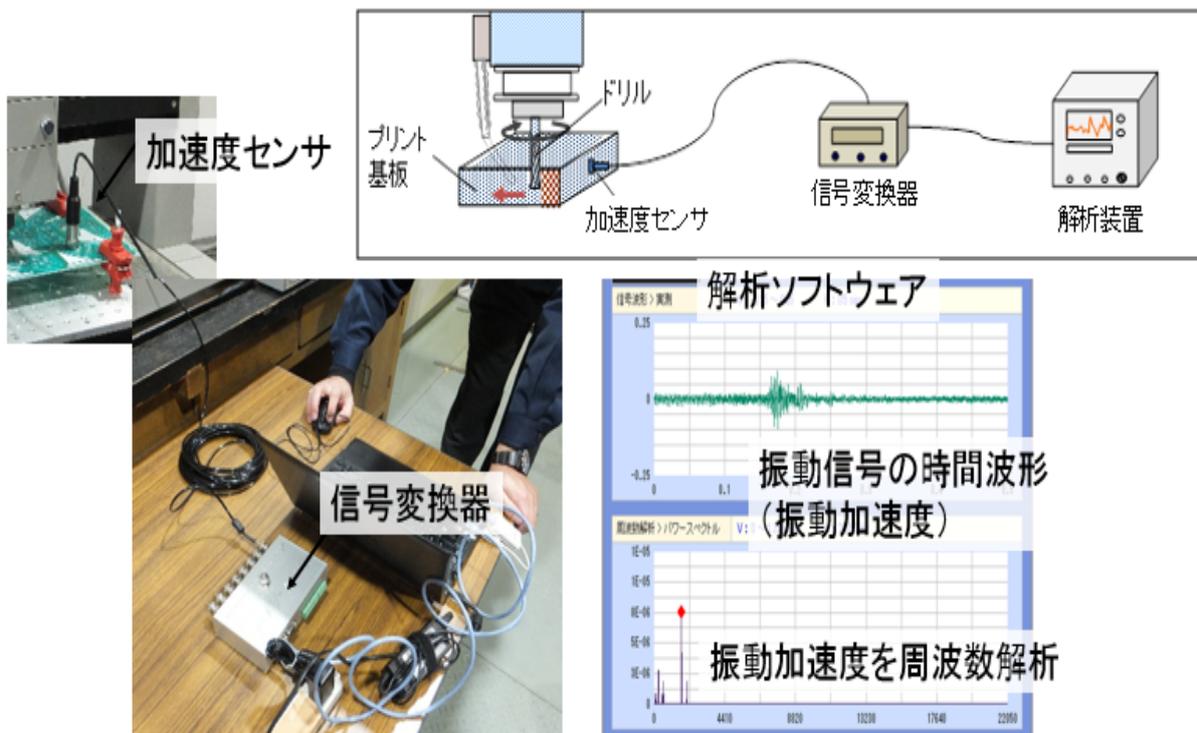
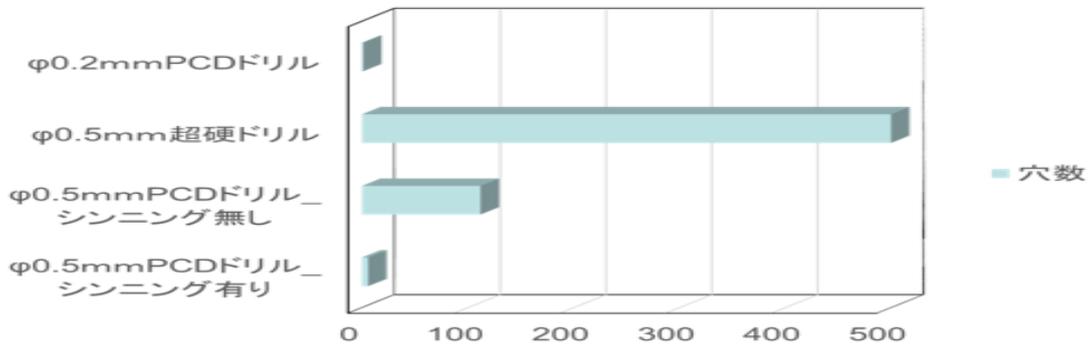


図 振動信号を取得する実験に使用した装置一式

連続加工試験の結果



公設研究機関でのテスト加工は上図であった。この結果についての考察は以下である。

- ・試験に用いた機械装置の特性においてスピンドルの回転数や送り速度などPCDドリルに適した方法で行うことができなかった。
- ・プリント基板で使われているドリル形状と製作したドリル形状が異なっていた。
- ・PCDと超硬部の接合部分からの破損という盲点が確認できた。

以上の点について今後の研究課題として公設研究機関やアドバイザー企業とともに開発検証などを行っていく。

今回の研究開発で製作した回転電極放電加工機では目標としていたφ0.1mm PCDドリル形状の製作ができ、最小刃径としてφ0.081mmのPCDドリル形状もできた。

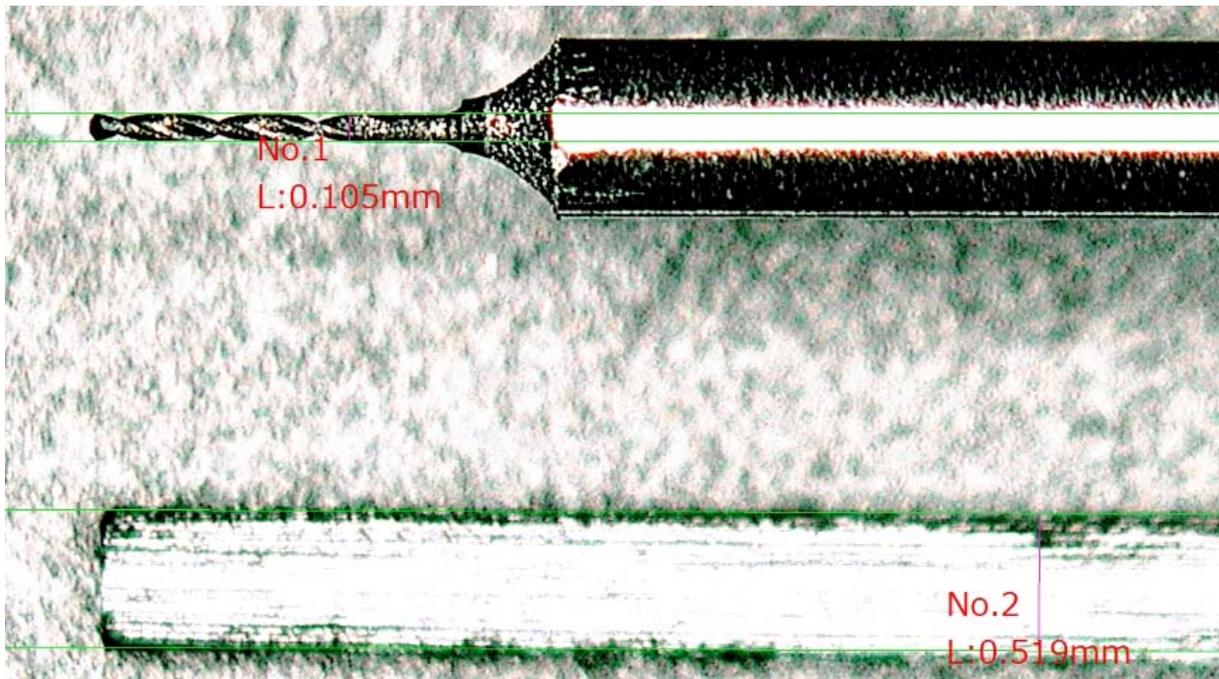


図 φ0.105 mm PCD ドリルとシャーペンの芯との比較

第3章 全体総括

本研究開発の目的である、回転電極放電加工機の開発とPCD小径ドリル形状の製作という大きな目的は達成できた。ただし製品化に向けての回転電極放電加工機、PCD小径ドリルとも課題が残されている。大きな課題として、目的であるプリント基板穴あけ加工テストがある。この点については、切削工具に対する認識不足や高速回転スピンドルを用いてのテスト加工が出来なかったことが一因である。主に試作開発をしたPCDドリルの形状は、先端角 120° ねじれ角 30° であったが、プリント基板用のドリル形状は、先端角 140° ねじれ角 40° 以上であり、形状の違いにより切り屑のはけ具合が悪く簡単に試作開発したPCDドリルは折れてしまった。また今回のドリル径になると穴あけ加工するのに 100000rpm 回転以上のスピンドル回転が必要であった。これらの課題を解決するために今後も公設研究機関、アドバイザー企業の協力のもと速やかに製品化に向け作業を行いたい。また今回の開発テーマに関心を示す大学や工具メーカーもありこちらの方にも共同での開発を進めていきたいと考えている。

最後に今回の研究開発において様々な方々にご協力頂いたことに心から感謝し、全体の総括と致します。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。