

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「セラミックスシート（チップ抵抗器基板）への微小ピッチ，
極微細孔の精密打ち抜き金型の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 岐阜県産業経済振興センター

目次

第1章	研究開発の概要	1
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	1
1-3	成果概要	2
1-4	当該プロジェクト連絡窓口	3
第2章	本論	4
2-1	セラミックスグリーンシートにおける材料特性 ^{*5} の研究	4
2-1-1	研究の目的及び目標	4
2-1-2	実験内容	4
2-1-3	研究成果	4
2-1-4	今後の方針	4
2-2	CAE解析を利用した連結多数穴加工による材料流動の研究	5
2-2-1	研究の目的及び目標	5
2-2-2	実施内容	5
2-2-3	研究成果	7
2-2-4	今後の方針	7
2-3	CAE解析結果に基づいた順送金型の設計	8
2-3-1	研究の目的及び目標	8
2-3-2	実施内容	8
2-3-3	研究成果	8
2-3-4	今後の方針	8
2-4	金型精密構造の究明	8
2-4-1	研究の目的及び目標	8
2-4-2	実施内容	8
2-4-3	研究成果	9
2-4-4	今後の方針	9
2-5	金型構成部品の形彫り放電加工における最適微細加工条件の究明	9
2-5-1	研究の目的及び目標	9
2-5-2	加工条件、研究の評価方法	10
2-5-3	実験結果	12
2-5-4	まとめ	12
2-5-5	今後の方針	13
2-6	金型構成部品のワイヤーカット放電加工における最適微細加工条件の究明	13
2-6-1	研究の目的及び目標	13
2-6-2	加工条件、研究の評価方法	13

2-6-3	実験結果	15
2-6-4	まとめ	15
2-6-5	今後の方針	16
2-7	金型構成部品の刃立て工具の研磨加工における最適微細加工技術の究明	16
2-7-1	研究の目的及び目標	16
2-7-2	実施内容	16
2-7-3	研究成果	16
2-7-4	今後の方針	17
第3章	全体総括	17
3-1	成果概要	17
3-2	今後の展望と課題	17
3-3	付録	18

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) 研究開発の背景

携帯電話、デジタルカメラ等を主としたモバイル機器及びノートパソコン等においては、小型・薄型・省エネ化が近年ますます加速されてきたことにもない、これらの電子機器に欠かせないチップ抵抗器用基板の小型化、高精度化が望まれている。

2) 研究開発の目的

従来の製品比で面積：1/3、穴面積：1/4、連結穴数：3倍等々といったダウンサイジングニーズに応えるべくIT機器には欠かせないチップ抵抗器用基板の量産工法として、微小ピッチ、極微細孔の精密打ち抜き金型の研究開発を推進する。

3) 研究開発の目標

チップ抵抗器用基板への要求事項を解決するため、セラミックグリーンシート*1に連結角穴サイズ 0.36mm×0.23mm、連結穴間ピッチ 0.6mm、1シートあたりの連結穴数 3,894個（1シートの大きさは 59mm×72mm）の微小ピッチで無数に連結された微細孔をV溝と角穴間のズレ量*2をすべてのV溝と連結穴について0.03mm以下の精度で打ち抜く金型を開発する。

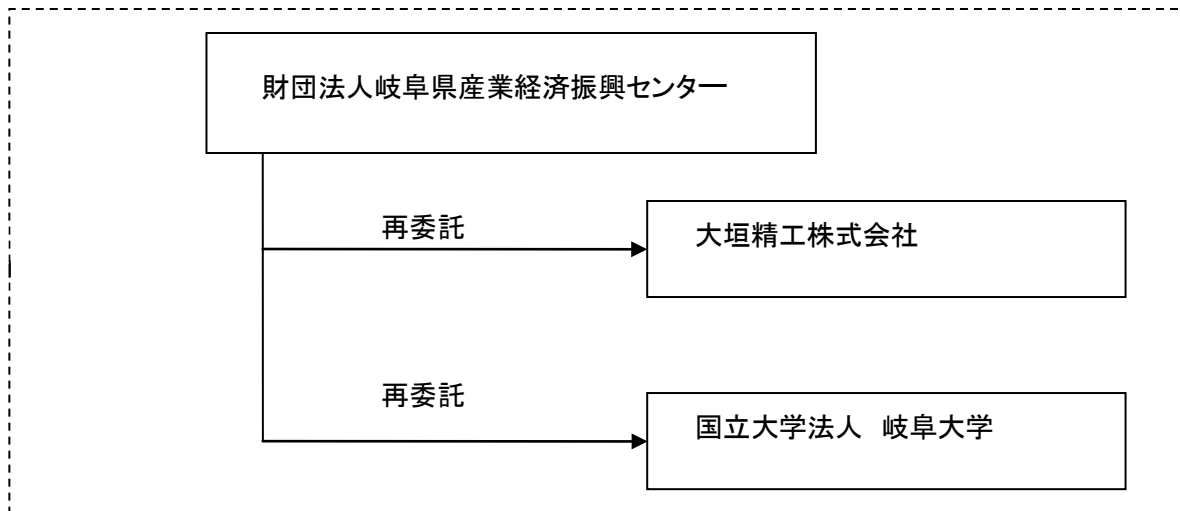
*1セラミックグリーンシート：ペースト状にしたセラミックス粉を0.4~0.6mm厚に圧延したものであり、焼結工程を通過していないため非常に脆弱で、俗に言う“生ハツ橋”を連想させる状態のもの。

*2V溝と角穴間のズレ量：個々の製品に分割するためにセラミックシート上に設けられたV溝センターと連結された微細な多数個の穴とのセンタズレを示すものであり、チップ抵抗器の実装構造上非常に重要な寸法。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

1) 研究組織及び管理体制

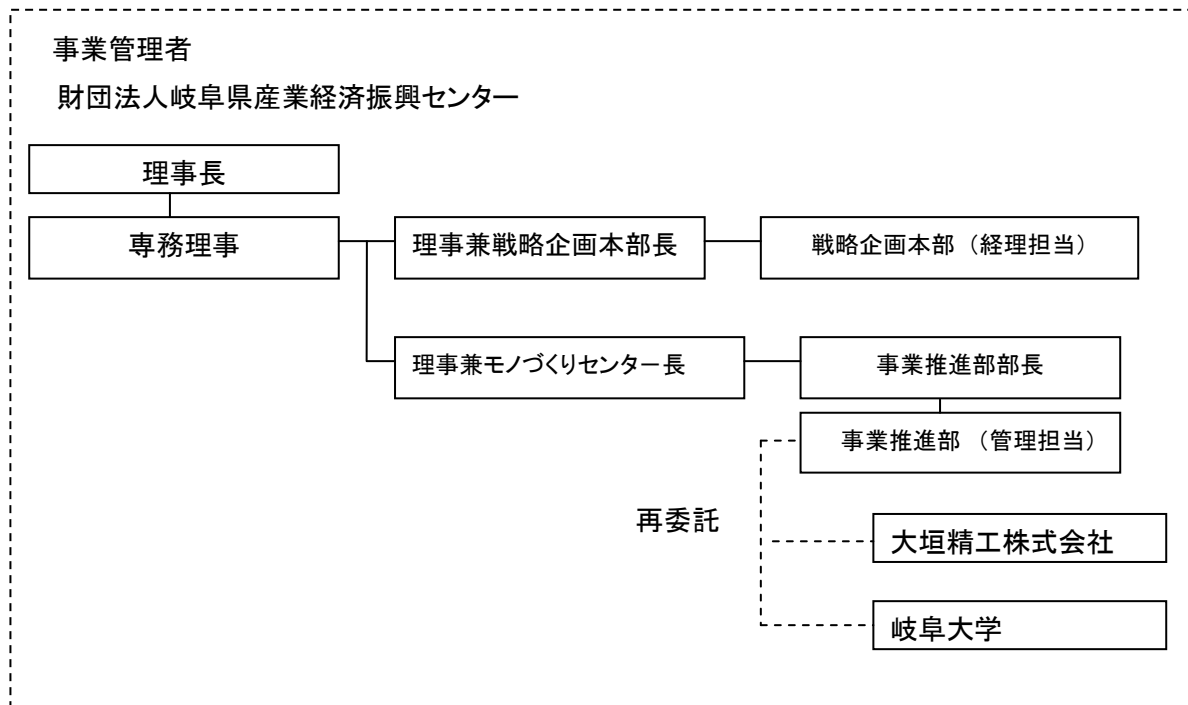
研究組織



総括研究代表者(PL)
大垣精工株式会社
常務取締役 松尾 幸雄

副総括研究代表者(SL)
岐阜大学
教授 王 志剛

管理体制



1-3 成果概要

総括：

本年度は、CAE解析の基礎的なデータの収集とそれに基づいた実験用金型（実用化の1/10スケール）の設計・製作、金型精密構造の究明、型彫り放電加工における最適微細加工条件の究明及びワイヤーカット放電加工における最適微細加工条件の究明を実施し実用化に向けて大きな成果が得られた。

1-3-1： セラミックスシートパンチングのCAE解析

通常の金属と違い脆弱なセラミックスグリーンシートを簡易な実験と簡易なCAE解析をおこなうことにより材料特性の導出に成功した。

前述で得られた材料特性を元に微小ピッチ、連結多数穴の加工を実現するための基礎的なCAE解析を実施し、実験用金型において材料流動を抑制したセラミックスグリーンシートの成形技術を確立した。

1-3-2： 順送金型^{*3}の設計

前項のCAE解析で得られたデータを元に実用化の1/10スケールにあたる1シートあたり384個（1シートの大きさは24mm×26mm）の連結穴及びスリット溝の加工をする金型の設計をおこなった。

^{*3}順送金型： 材料の一部に途中工程の製品を付けた状態で送りながら、順に加工をする金型。
参考文献） 吉田弘美： よくわかる金型のできるまで

1-3-3： 金型精密構造の究明

実験用金型を使って、型一面上に連結された多数本（384本）のパンチ強度及び組み込み時の高精度を維持した締結構造等の研究及びプレスによる試し打ちを実施し、連結穴数384個の実験用金型でのサンプル品の成形に成功した。

1-3-4： 金型構成部品の放電加工における最適微細加工条件の究明

金型の主構成部品であるパンチ/ダイ等の製造に不可欠な形彫り放電加工機あるいはワイヤーカット放電加工機においては高価な加工用電極、ワイヤー線の消耗量を抑制しつつ、連結多数穴のピッチ、角穴の形状を高精度でおこなう最適な加工条件を究明し、実用化に向けて大きな成果が得られた。

1-3-5： 金型構成部品の刃立て工具の研磨加工における最適微細加工技術の究明

超精密密度成形研削機の導入により刃角度25度について顕微鏡等で確認できる範囲では、チップング（刃こぼれ）のない研磨加工に成功した。

今後は、SEM^{*4}等も使用し刃角度20度等の鋭角な刃角度の加工に挑戦し最適微細加工技術の研究を推進する。

^{*4}SEM： 超微細なものまで可視化する電子顕微鏡。

1-3-6： プロジェクトの管理・運営

研究開発の運営を2回の研究開発委員会等の活動を通して、財団法人岐阜県産業経済振興センターの管理のもと、国立大学法人岐阜大学及び大垣精工株式会社が連携して推進したことにより、当初の予定どおりのスケジュールで研究成果をあげることができた。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

管理団体：財団法人 岐阜県産業経済振興センター

担当、役職：繁田 栄司、事業推進部 参事

住所：岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

電話：058-277-1093

FAX：058-273-5961

第2章 本論

2-1 セラミックスグリーンシートにおける材料特性^{*5}の研究

2-1-1 研究の目的及び目標

脆弱なセラミックスグリーンシートのプレス成形においては、材料流動による孔、外形、溝等々の変形が顕著に現れる。こうした材料流動を最小限に抑制すべくセラミックスシート生材に連結された微細孔を微小ピッチで打ち抜きする際の変形干渉をCAE解析によって予測する。

CAE解析においては材料特性がわかっていることが必要であるところ、通常の金属と違うセラミックスシート生材においてはその材料特性は未だわかっていない。そのため、セラミックスシート生材における材料特性の研究を推進し、CAE解析と実験結果との誤差を10%以内とする。
^{*5}材料特性： 材料が応力をうけたときにどの程度の変形をするのかをあらわすもの。CAE解析においては特に重要なファクター。

2-1-2 実験内容

材料特性を調べるために開発テーマと同じサイズの穴抜きパンチと同じピッチの幅に切断したセラミックスシート生材の試験片に穴抜き加工をおこなう実験装置を作成し、穴抜き加工前と穴抜き加工後の形状の変化をマイクロ스코ブにて観察する。

2-1-3 研究成果

実験の結果、穴抜き加工パンチが材料内に0.1mm進行したときに穴抜き加工による材料の破断が完了し、塑性変形によるセラミックスシートの変形量が決定することがわかった。

本実験においては対象となる試験片の断面が高さ0.46mm、幅1.1mmと微小なため材料流動のすべての変形を測定するのは困難である。したがって、試験片をマイクロ스코ブにて観察可能な断面の幅を穴抜き加工パンチが材料内に進んだ距離毎に試験片の幅の変化量を観察し測定した。さらに、穴抜き加工後の試験片の材料流動による長さの変化をマイクロ스코ブにて観察し測定した。

実験結果は、幅の変化量が平均0.0340mm、長さの変化量が平均0.0236mmであった。CAE解析により、もっとも実験結果に近い材料特性データを使用して計算した結果は、幅の変化量が0.0315mm、長さの変化量が0.0249mmであった。

実験結果とCAE解析結果の誤差は、幅の変化量において約7%、長さの変化量においては約6%であった。この誤差であれば当初の目標を達成できており、かつ、連結された微細孔を微小ピッチで打ち抜きする際の変形干渉をCAE解析によって予測することができる。

参考文献) 後藤学： 塑性学

2-1-4 今後の方針

材料特性にもちいる数式のさらなる研究とCAE解析ソフトおよびハードウェアの性能向上により、実験結果とCAE解析結果との誤差5%以内を目標に今後の研究課題とする。

2-2 CAE解析を利用した連結多数穴加工による材料流動の研究

2-2-1 研究の目的及び目標

セラミックスシート生材に多数の連結された微細孔を微小ピッチで打ち抜きする際の変形干渉を前章において得られた材料特性データをもとにCAE解析によって予測し、材料流動を最小限に抑制する。

チップ抵抗器基盤の実装構造上、左右の対称度が非常に重要であるため、本研究開発においては、V溝と穴間のズレ量を0.03mm以内とすることを目標とした。

2-2-2 実施内容

現在のCAE解析の能力では、このように多数の微細な成形を計算することが困難であると推測した。そのため、一部の成形をその位置と連結穴数を変化させてセラミックスシートの変形の様子を観察した。

(1) 連結穴数3個についてのCAE解析

<概要>

下図のように連結された3個の穴を同時に加工したときにXスリットがどれくらい変化するかを穴抜きをする場所（加工位置）を変えてCAE解析をおこなった。

<結果>

CAE解析の結果、連結穴数3個の加工によるXスリットの最大変化量は0.011~0.022mmであった。

<考察>

CAE解析結果から、連結穴数3個の加工位置よりXスリットと平行する方向に隣接穴までの距離にあたる約1.1mm付近までXスリットの変化が顕著に観察できた。

このことから、連結穴数3個をひとつのユニットとした場合にXスリットと平行する方向に2ユニット分までのモデルによりCAE解析することで、より多数の穴抜き加工の変形を予測できると判断した。

(2) 連結穴数6個についてのCAE解析

<概要>

前項の結果をもとに連結穴数3個の2ユニット分にあたる連結穴数6個の穴を同時に加工したときにXスリットがどれくらい変化するかを穴抜きをする場所（加工位置）を変えてCAE解析をおこなった。

<結果>

CAE解析の結果、連結穴数6個の加工によるXスリットの最大変化量は0.020~0.029mmであった。

<考察>

連結穴数3個の加工がXスリットと平行方向に2ユニット並んだ場合にXスリットの最大変化量が連結穴数3個のユニット毎に加工したものの総和に近いことから、Xスリットと平行方向の隣接した連結多数穴への変形干渉は重ね合わせの定理が成り立つと判断した。

(3) 連結穴数12個についてのCAE解析

<概要>

Xスリットと垂直方向の隣接した連結多数穴への変形干渉がどのようになるのか、および連結多数穴に挟まれたXスリットの変化がどのようになるのかを観察する目的で連結穴数12個の穴を同時に加工したときにXスリットがどれくらい変化するかを穴抜きをする場所(加工位置)を変えてCAE解析をおこなった。

<結果>

CAE解析の結果、連結穴数12個の加工によるXスリットの最大変化量は0.030~0.032mm、連結多数穴に挟まれたXスリットの最大変化量は0.002~0.005mmであった。

<考察>

Xスリットと垂直方向の隣接した連結多数穴への変形干渉においては連結穴数3個のユニット毎に加工したものの総和とは一致しないことがわかった。

連結多数穴に挟まれたXスリットの変形が加工されている部位付近ではなく、ある程度は離れた部分に顕著に変形が観察された。

Xスリットの最大変化量(V溝と穴間のズレ量)が目標値0.03mmを超えていることから、第2工程において穴抜き加工からおこなう方法では目標を達成できないことがわかった。

(4) 外周部を拘束した場合のCAE解析

<概要>

Xスリットの変形を抑制する目的でセラミックスシートの外周部を拘束する加工方法を提案し、外形抜き加工後に穴抜きをする加工方法によってXスリットがどれくらい変化するかを穴抜きをする場所(加工位置)を変えてCAE解析を外形抜き加工については製品形状の外周部を拘束する方法に単純化しておこなった。

<結果>

CAE解析の結果、外形抜き加工後に穴抜きをする加工方法によるXスリットの最大変化量は0.015~0.021mm、連結多数穴に挟まれたXスリットの最大変化量は0.001mm以下であった。

<考察>

セラミックスシートの外周部を拘束して穴抜きをする加工方法であれば、Xスリットの最大変化量(V溝と穴間のズレ量)の目標値0.03mm以下を達成できるという解析結果を得ることができた。しかしながら、連結穴数384個を連結穴数12個に単純化をしていること、および、CAE解析の誤差を考慮すると実際の加工において目標値を達成できるとはいえない。

連結多数穴に挟まれたXスリットの最大変化量が0.001mm以下であったことから、Xスリットに垂直する方向への変形干渉は極めて小さいことがわかった。

(5) 外周部を拘束し、かつ、先に Y スリットを加工した場合の CAE 解析

<概要>

X スリットに垂直する方向への変形干渉が極めて小さいことから、変形干渉を抑制する目的で、外周部を拘束し、かつ、先に Y スリットを加工して連結穴抜きをする加工方法を提案し、この加工方法によって X スリットがどれくらい変化するかを穴抜きをする場所（加工位置）を変えて CAE 解析を Y スリット加工についてはセラミックスシートを Y スリット入りの形状に単純化しておこなった。

<結果>

CAE 解析の結果、外周部を拘束し、かつ、先に Y スリットを加工した場合の X スリットの最大変化量は 0.015mm~0.017mm、連結多数穴に挟まれた X スリットの最大変化量は 0.001mm 以下であった。

<考察>

セラミックスシートの外周部を拘束し、かつ、先に Y スリットを加工して穴抜きをする加工方法であれば、X スリットの最大変化量（V 溝と穴間のズレ量）を目標値 0.03mm のおよそ 57% にまで抑制できるという解析結果を得ることができた。

この加工方法であれば、連結穴数 384 個を連結穴数 12 個に単純化をしていること、および、CAE 解析の誤差を考慮しても実際の加工において目標値を達成できると確信した。

2-2-3 研究成果

多数の連結された微細孔を微小ピッチで打ち抜きする際の変形干渉を予測する手段として、現在の CAE 解析技術では連結微細多数穴加工をすべて再現することが困難であるが、連結微細多数穴加工の一部の加工を再現することにより変形干渉を予測する方法を確立することができた。

セラミックスシートの外周部を拘束し、かつ、先に Y スリットを加工して穴抜きをする加工方法であれば、CAE 解析結果から材料流動を目標値 0.03mm のおよそ 57% に抑制できるという予測をたてることができた。

連結微細多数穴加工を実現するための金型構造設計の支援ツールの確立にむけて大きく前進することができた。

2-2-4 今後の方針

① X スリットと垂直方向の隣接した連結多数穴への変形干渉において重ね合わせの定理が適用できない。その要因が V 溝の影響であるのかを解明する。

② 新しい加工方法を模索することで、X スリットの変形量をさらに減少させる。

③ 今回、実験用金型の連結穴数 384 個を最大で連結穴数 12 個に簡略化した。CAE 解析技術を総合的に向上させることで、連結穴数 384 個にできるだけ近い個数での CAE 解析を実行する。

④ 実験用金型による実証実験により、CAE 解析結果との誤差を明確にして、問題点を修正することで CAE 解析の精度の向上をはかる。

①~④ に記述したことを目標に今後の研究課題とする。

2-3 CAE解析結果に基づいた順送金型の設計

2-3-1 研究の目的及び目標

CAE 解析結果をもとに順送金型（実用化の 1/10 の穴数にあたる研究用金型）の設計を実施する。

2-3-2 実施内容

実用化の 1/10 の穴数にあたる実験用金型の設計を実施した。

2-3-3 研究成果

今年度において、CAE 解析に基づいた実験用金型の設計に成功した。

2-3-4 今後の方針

今後は、実証実験を実施することで、1 シートあたり連結穴数 384 個（1 シートの大きさは 24mm×26mm）の実験用金型においてセラミックスグリーンシートの超精密成形を可能とする金型設計技術を確立すべく研究を推進する。

2-4 金型精密構造の究明

2-4-1 研究の目的及び目標

順送金型（実用化の 1/10 の穴数にあたる実験用金型）の金型部品の製作及び組み込みを実施する。

第 2 工程において、外形抜き、Y スリット成形及び連結多数穴抜きをおこなうため、きわめて複雑な構造の金型になる。複雑な構造においても組み込み後の金型が高い精度を維持できる締結構造等を究明し、1 シートあたり連結穴数 384 個（1 シートの大きさは 24mm×26mm）の実験用金型においてセラミックスグリーンシートの超精密成形を可能とする金型の完成を目標とする。

2-4-2 実施内容

(1) 金型部品の形状測定

<概要>

極微細又は微小な形状を有する金型部品が高精度で加工されていることを確認するため、通常の測定工具（マイクロメータ等）を用いて金型部品の測定及び通常の測定工具では測定困難な金型部品について“ミットヨ製 CNC 画像測定機”を用いて形状測定をおこなった。

<結果>

実験用金型に使用するすべての金型において、設計において要求する寸法公差の範囲で加工できていることを確認した。

(2) 金型部品の組み込み

高精度に加工した金型部品をもちいて、複数の金型部品を組み込みした場合においても組み込み時の金型が高精度を維持できるような締結構造等を究明すべく実験用金型の組み込みを実施した。

2-4-3 研究成果

CNC 画像測定機の導入により、多数の極微細孔の精密打ち抜きを可能とするための複雑かつ超微細で微小な金型部品の加工精度及び組み込み時の金型のパンチ・ダイが高精度に配置されていることの確認方法を確立した。

実験用金型の製作及び組み込みに成功したことで、最終目標である1シートあたり連結穴数約4000個の試作金型（1シートの大きさ59mm×72mm）の製作及び組み込みの実現にむけて超微細な部品の高精度を維持した仕上げ技術が大きく向上した。

プレスによる試し打ちを実施し、実験用金型でのサンプル品の成形に成功した。

2-4-4 今後の方針

実験用金型の実証実験を実施することで複雑な構造においても組み込み時の金型が高い精度を維持できる締結構造等を究明し、試作金型の完成にむけた研究を推進する。

2-5 金型構成部品の形彫り放電加工における最適微細加工条件の究明

2-5-1 研究の目的及び目標

＜研究の目的＞

金型の主構成部品であるパンチ/ダイ等の製造に不可欠な放電加工機においては加工用電極の極細、微細化が避けられない。

高価な超微細小電極を使用し、一定の精度を保った微細孔を多数加工する必要があることから、超微細小電極の消費量が少なく、電気特性に優れた金型材料及び最適な加工条件等の研究を行う。

＜研究の目標＞

形彫り放電加工において高価な超微細小電極の消費を抑制し、加工あたりの電極消費量を示す電極消費率*⁶の低減を目標とする。

具体的な目標値は（表 2-5-1）に示す。

表 2-5-1 目標値

電極消費率
現在（平均値）350%
今回（目標値）250%以下

*⁶電極消費率：電極消費率とは、加工あたりの電極消費の度合いで、下記の式であらわす。

$$\text{電極消費率} = \frac{\text{電極消費長さ}}{\text{被加工物の孔あけ深さ}} \times 100 (\%)$$

2-5-2 加工条件、研究の評価方法

(1) 実施内容

高速細穴放電加工機で直径 0.20mm以下の微細孔を一定の精度を保った状態で、多数の穴を加工しなければならない。このような難加工を実施するため、最初に電極の選定を行った。

従来から使用している電極製造メーカー4社の中で電極選定の重要項目A及びBを満足出来る、株式会社ソディックハイテック サプライ品事業部製「高速細穴加工機用キックパイプ（段付きパイプ電極）キックパイプBNΦ0.17x250L」を使用する電極に選定した。

加工条件について、Sodick 社が指定している一般的な加工条件を次の表に示す。

標準加工条件表（抜粋）

銅—超硬合金 速度重視				参考		
電極径 mm	加工液圧 MPa	パルス ON	パルス OFF	板厚 mm	消耗率 %	穴径 mm
0.15	4	1003	0006	2	240	0.17
0.2	4	1003	0005	5	295	0.24
銅—超硬合金 低消耗				参考		
電極径 mm	加工液圧 MPa	パルス ON	パルス OFF	板厚 mm	消耗率 %	穴径 mm
0.2	4	1003	0006	5	240	0.23

Sodick 社の標準加工条件表に示された加工条件を参考に実験に用いるパラメータを決定した。加工条件が18種類及び材料の材質が4種類の計72種類の実験を実施し、電極消耗量、加工時間等を測定、実験結果を次に示す3項目について評価した。

- ① 加工速度 (mm/min) と極間電圧 (V) との関係
- ② 電極消耗長さ (mm) と極間電圧 (V) との関係
- ③ 電極消耗率 (%) と加工時間 (min) との関係

<加工条件 {パラメータ} >

- ・パルス巾^{*7} : 1 μ sec ~ 3 μ sec の3種類
- ・極間電圧 : 50V、60V、70Vの3種類
- ・加工液圧 : 3MP a、5MP aの2種類

*7パルス巾： パルス巾とは形彫り放電加工における設定条件。使用した「1001」、「1002」、「1003」の設定について簡易的な説明を表 2-5-2A に示す。

表 2-5-2A パルス中の説明

パルス巾 設定条件	パルス ON [sec]	パルス OFF [sec]
1001	0.001	0.005
1002	0.002	0.010
1003	0.003	0.006

(2) 使用した電極

(株)ソディックハイテック サプライ品事業部製

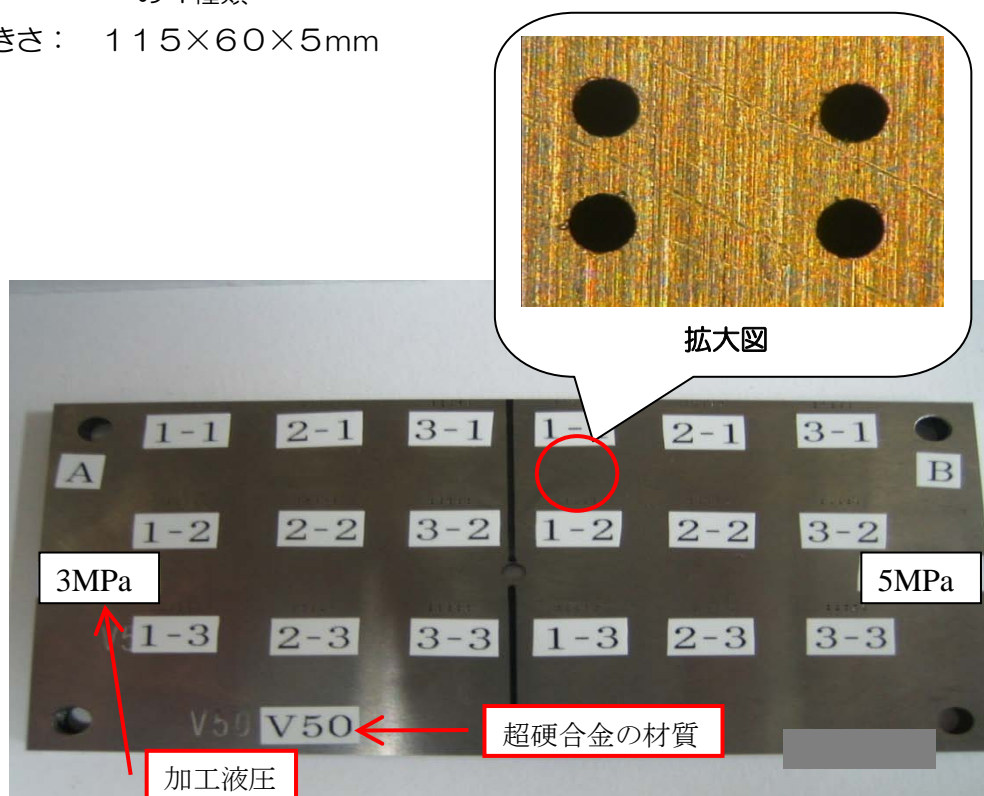
(名称) 高速細穴加工機用キックパイプ 「段付きパイプ電極」

(3) 試験片

超硬合金について、次に示す次の4種類の材質の試験片を使用した。

材質 : V-20 (相当品)、V-30 (相当品)
 V-40 (相当品)、V-50 (相当品)
 の4種類

素材の大きさ: 115×60×5mm



形彫り放電加工後の試験片 (V50)

2-5-3 実験結果

① 加工速度 (mm/min) と極間電圧 (V) との関係

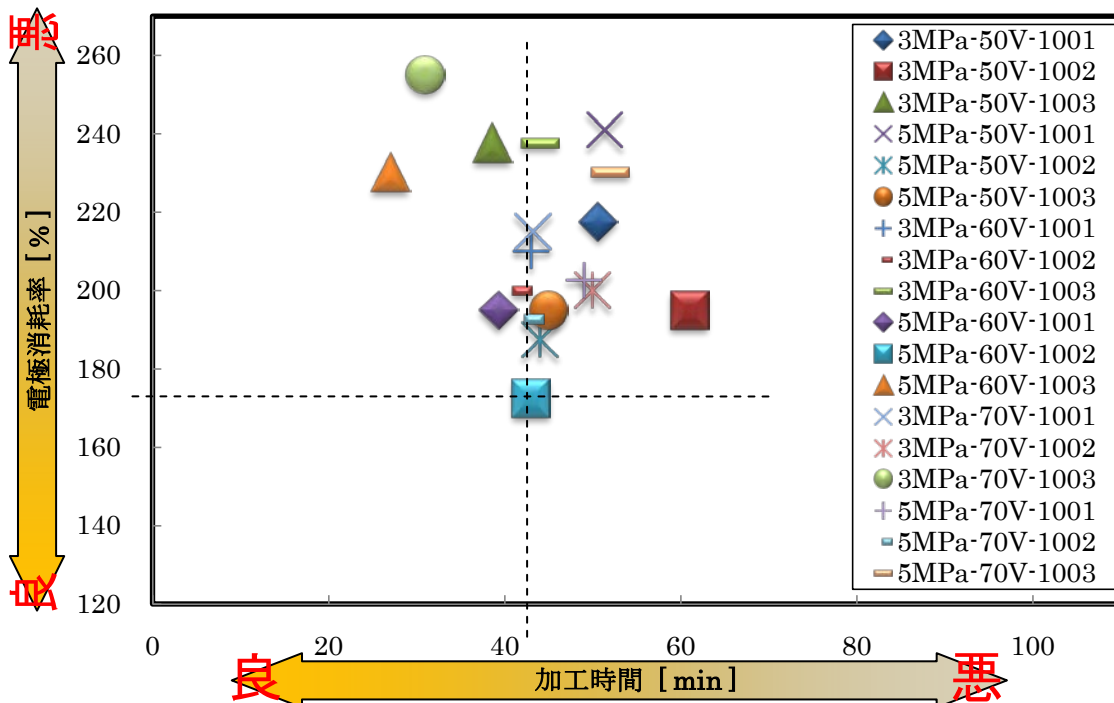
加工液の液圧が2通り及びパルス巾が3通りの計6通りの加工条件について実験をおこなった。

② 電極消耗長さ (mm) と極間電圧 (V) との関係

加工液の液圧が2通り及びパルス巾が3通りの計6通りの加工条件について実験をおこなった。

③ 電極消耗率 (%) と加工時間 (min) との関係

加工液の液圧が2通り、極間電圧が3通り及びパルス巾が3通りの計18通りの加工条件について実験をおこなった。縦軸に電極消耗率を横軸に加工時間をプロットしたグラフを下図に示した。



材質：V-40 電極消耗率-加工時間図

2-5-4 まとめ

実験の結果、数値ではあらわせない不具合が発生する材質があった。不具合の内容は過放電によって加工の必要がない部分にまで放電跡ができてしまう（図 2-5-4 参照）もので、「材質 V-20」にのみ不具合発生が確認された。したがって、「材質 V-20」はこの加工には適さない材料であることがわかった。

電極消耗率が少なく、加工時間が短いものほど良い加工条件になることから、「材質 V-40、加工条件 5MPa-60V-1002」がこの中では最適な加工条件となる。この条件における電極消耗率は 174%であり、目標値 250%を達成することができた。

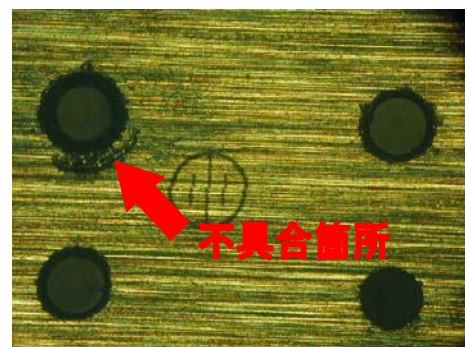


図 2-5-4 加工部拡大図

形彫り放電加工機に適した電気特性に優れた金型材料(超硬素材)及び最適な加工条件について、

不安定な放電加工状態時の諸条件は無視出来ない。約 4000 個に及び全ての微細孔に対して、安定した加工状態を維持することは、NC 工作機械の加工能力を最大限に引き出し、電極消耗量を少なくし、なおかつ放電の安定加工（穴径が過大にならない、アークさせないこと等）が絶対条件である。これらの観点を総合的に判断し、形彫り放電加工機に適した電気特性に優れた金型材料及び最適な加工条件を決定した。決定事項を表 2-5-5 に示す。

加工条件	パルス巾	2 μ sec
	極間電圧	60V
	加工液の液圧	5MP a
金型材料	材質（超硬）	V-40（相当品）

2-5-5 今後の方針

今回の研究成果により最適な金型材料及び加工条件が決定されたのだが、多数個の微細孔を実際に加工した場合に長時間におよぶことから電圧や液圧の変化が想定され、その変化が及ぼす加工への影響が懸念されることから、今後も更なる条件での研究を推進する。

2-6 金型構成部品のワイヤーカット放電加工における最適微細加工条件の究明

2-6-1 研究の目的及び目標

金型の主構成部品であるパンチ/ダイ等の製造に不可欠なワイヤーカット加工機においては加工用ワイヤーの極細化が避けられない。

さらに高価な極細ワイヤー線を使用し、一定の精度を保った微細孔を多数穴加工しなければならないことから極細ワイヤー線の消費量を抑制出来る、ワイヤーカット放電加工機に適した最適な加工条件等の研究を行う。

具体的な目標値は、表 2-6-1 に示す。

表 2-6-1 目標値

評価項目	目標値
加工速度	0.5mm/sec
合計加工時間	最短時間をめざす
加工精度	± 0.002 mm

2-6-2 加工条件、研究の評価方法

(1) 実施内容

前節の形彫り放電加工機において加工した直径 0.2mm 以下の極微細孔を使用してワイヤーカット放電加工機によって、0.38×0.25mm の角穴の加工を様々な加工条件で実験を実施した。

加工時間、寸法精度及び表面粗さを測定、実験結果を次に示す 3 項目について評価した。

- ①カット回数*⁸（回）と加工時間（min）との関係
- ②カット回数（回）と仕上り寸法精度（ μm ）との関係
- ③カット回数（回）と表面粗さとの関係
- ④電圧（V）と加工時間（min）との関係

*⁸カット回数： ワイヤークット放電においては、輪郭形状を何度かに分けてなめるように少しずつ所望の形状に加工することで、表面粗さの向上を図る。その際に同じ輪郭をワイヤ電極が移動する回数をカット回数と呼ぶ。

(2) 使用したワイヤ電極線

(有)サンメンテナンス 工機製

(名称) 「ワイヤ電極線」 WIRE HBZ-U(N) 10 P3RT

(3) 試験片

前節の形彫り放電加工機において加工した試験片を使用した。

超硬合金について、次に示す次の4種類の材質の試験片を使用した。

材質 : V-20 (相当品)、V-30 (相当品)
 V-40 (相当品)、V-50 (相当品)
 の4種類

素材の大きさ： 115×60×5mm

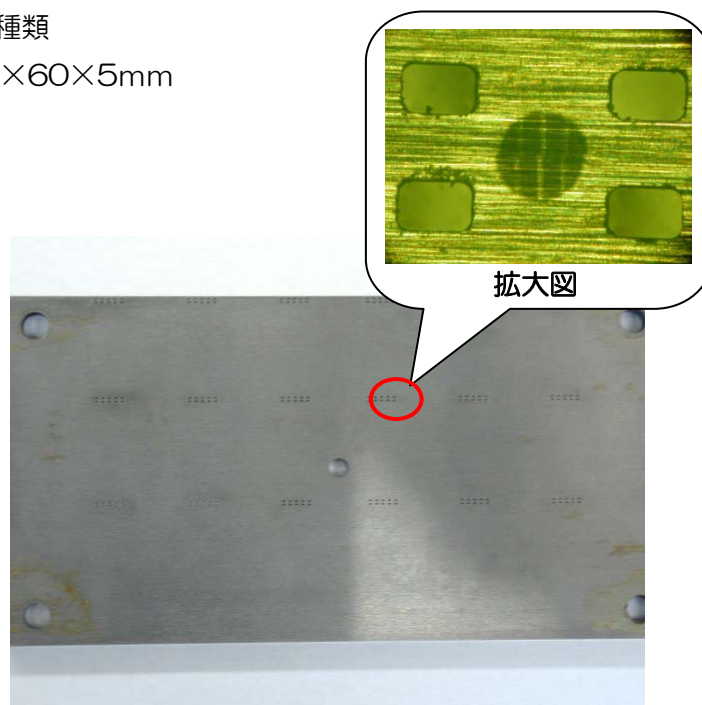


図 2-6-2 ワイヤ放電加工後の試験片

2-6-3 実験結果

① カット回数（回）と加工時間（min）との関係

カット回数と加工時間との関係は、カット回数にほぼ比例して加工時間が増加し、どの超硬素材においてもあまり変化はみられなかった。

② カット回数（回）と仕上り寸法精度（ μm ）との関係

仕上り寸法はすべての材質及びカット回数において良好で目標値 $\pm 0.002\text{mm}$ を満足できる結果が得られた。

③ カット回数（回）と表面粗さとの関係

表面粗さは、カット回数が多いほどよい結果が得られた。カット回数7回で十分な表面粗さが得られ、カット回数7回以上は回数の増加に比較して、それほど表面粗さの改善はみられなかった。

表面粗さの測定結果について、縦軸に十点平均粗さ R_z を横軸にカット回数をプロットしたものを図 2-6-3A に、縦軸に算術平均粗さ R_a を横軸にカット回数をプロットしたものを図 2-6-3B に示す。

参考文献) 大西清： JIS にもとづく標準製図法

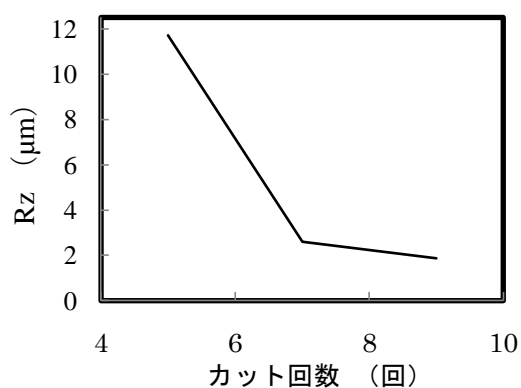


図 2-6-3A Rz-カット回数図

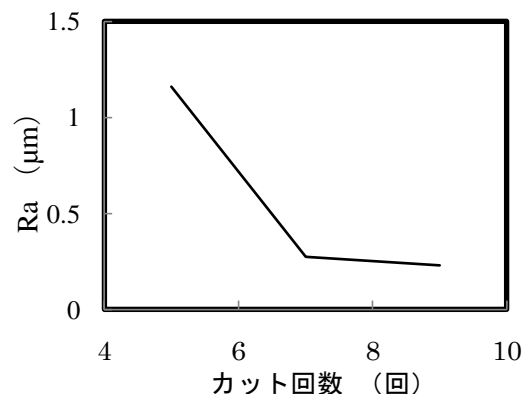


図 2-6-3B Ra-カット回数図

④ 電圧（V）と加工時間（min）との関係

最適カット回数において、電圧を変化させて実験を実施し加工時間の違いを観察した。

2-6-4 まとめ

実験の結果、材質に関係なくカット回数にほぼ比例して加工時間が増加し、加工精度はカット回数が多いほど加工精度がわずかだがよくなることがわかった。

精密な構造の金型には良好な表面粗さのもとめられる。微細な加工部分を加工後に表面粗さの改善をおこなうことは困難であることから、微細孔の加工においては良好な表面粗さを実現するワイヤーカット放電加工が要求される。

ワイヤーカット放電加工においては、カット回数が多いほど表面粗さがよくなるのだが、カット回数7回以上で表面粗さの改善はあまりみられなかったことから、加工時間等の経済的観点から最適カット回数を7回と決定した。

最適カット回数7回において電圧と加工時間との関係を観察したところ、電圧が低いほど加工時間が短いことがわかった。

2-6-5 今後の方針

さらに低い電圧での加工と電圧の変化による表面粗さの変化について検討の余地があり、今後も更なる条件での研究を推進する。

2-7 金型構成部品の刃立て工具の研磨加工における最適微細加工技術の究明

2-7-1 研究の目的及び目標

＜研究の目的＞

チップ抵抗器の最終工程で個々の製品へ分割するためのプレス成形で加工するスリット溝は、チップ抵抗器の小型化に伴い刃角度が小さくなる。

近年、このスリット山の刃角度は川下ユーザーからの要望により、30° から 25° さらに 20° と次第に小さくなってきている。

当然、スリットの山の刃角度が小さくなるとチップング*⁹（刃こぼれ）が発生する可能性が高くなる。そこで、このチップングの発生を抑制する為の最適加工条件を研究する。

＜研究の目標＞

30° から 25° さらに 20° と次第に小さくなってきている刃角度においてチップングの無い研削加工を目指す。

*⁹チップング：スリットの山の部分に、深さ 0.01mm 以上のかけが 1ヶ所でもある状態をチップングと呼ぶ。

2-7-2 実施内容

(1) 研削加工用砥石の選定

放電加工、ワイヤーカット加工同様、川下ユーザーはチップ抵抗基板の歩留まりを上げたい為、従来の製品と同じ外形寸法を要求してくる。微細孔の数が増えれば、微細孔間ピッチが狭くなり、必然的にスリット山の刃角度は小さくなり、スリット山の数も増える。

このような難加工を実施するため、従来の研削加工の経験及びアドバイザーでもある砥石メーカーと最初に砥石の選定をおこなった。

(2) 試験片

超硬素材 V-20（相当品）、V-30（相当品）、
V-40（相当品）、V-50（相当品）

素材の大きさ 115x60x5mm

2-7-3 研究成果

今回、超高精度 CNC 成形研削盤を導入したことにより、実験用金型においては、従来の刃角度 30° から 25° のスリット山の研削加工を実施した。目視ではあるが、チップングは見当たらなかった。

2-7-4 今後の方針

刃角度 20 度等さらに鋭角なスリット山の加工に挑戦し、SEM 等を使用することにより微視的な見地から最適な加工条件の研究を推進する。

第3章 全体総括

3-1 成果概要

●通常の金属と違い脆弱なセラミックスグリーンシートの材料特性の導出に成功し、得られた材料特性を元に微小ピッチ、連結多数穴の加工を実現するための基礎的なCAE解析を実施し、実験用金型において基礎的なCAE解析に成功したことにより、連結微細多数穴加工を実現するための金型構造設計の支援ツールの確立にむけて大きく前進することができた。

●CAE 解析で得られたデータを元に実用化の 1/10 スケールにあたる1シートあたり 384 個（1シートの大きさは 24mm×26mm）の連結穴及びスリット溝の加工をする実験用金型の設計、製作及びプレスによる試し打ちを実施し、実験用金型でのサンプル品の成形に成功した。

●形彫り放電加工機あるいはワイヤーカット放電加工機において、加工用電極、ワイヤー線の消耗量を抑制しつつ、連結多数穴のピッチ及び角穴の形状を高精度でおこなう最適な加工条件を究明。電極消耗率 174%を達成したことから、実用化に向けて大きな成果が得られた。

●刃角度 25 度について顕微鏡等で確認できる範囲でのチップング（刃こぼれ）のない研磨加工に成功した。

3-2 今後の展望と課題

「事業化・製品化の見通し」

実験用金型による実証実験及びCAE解析技術の向上により、実験用金型においてセラミックスグリーンシートの材料流動を抑制した成形技術の確立を目指し、実用化に向けた試作金型の完成に向けた研究を推進し、試作金型による実用化の検証を実施することにより、川下製造業者が要求する超小型のチップ抵抗器の実現と事業化をめざす。

今後の研究開発によって薄膜軟材の超精密微細成形を可能とする工法を確立し、フィルム、ゴムシート等の薄膜軟材を素材とする他メーカー（医薬品、フィルムメーカー、電気電子メーカー等）への販路拡大を推進する。

「研究開発後の課題」

実験用金型での実証実験がまだ不十分であること、実験とCAE解析との差異の検証がなされていないこと及びこれらを実施することで結果によっては新たな研究課題が発生する可能性も考えられることが今後の課題として残されている。

これらは、今後の研究開発によって解決することを目指す。成果の早期実現と研究開発の円滑な遂行のための支援策について、参加各機関及びアドバイザーと連携しつつ現在具体策を模索中である。

3-3 付録

専門用語の解説

*¹セラミックグリーンシート：ペースト状にしたセラミック粉を0.4～0.6mm厚に圧延したものであり、焼結工程を通過していないため非常に脆弱で、俗に言う“生ハツ橋”を連想させる状態のもの。

*²V溝と角穴間のズレ量：個々の製品に分割するためにセラミックシート上に設けられたV溝センターと連結された微細な多数個の穴とのセンタズレを示すものであり、チップ抵抗器の実装構造上非常に重要な寸法。

*³順送金型：材料の一部に途中工程の製品を付けた状態で送りながら、順に加工をする金型。

*⁴SEM：超微細なものまで可視化する電子顕微鏡。

*⁵材料特性：材料が応力をうけたときにどの程度の変形をするのかをあらわすもの。CAE解析においては特に重要なファクター。

*⁶電極消耗率：電極消耗率とは、加工あたりの電極消耗の度合いで、下記の式であらわす。

$$\text{電極消耗率} = \frac{\text{電極消耗長さ}}{\text{被加工物の孔あけ深さ}} \times 100 (\%)$$

*⁷パルス巾：パルス巾とは形彫り放電加工における設定条件。使用した「1001」、「1002」、「1003」の設定について簡易的な説明を表2-5-2に示す。

表 2-5-2 パルス巾の説明

パルス巾 設定条件	パルス ON [sec]	パルス OFF [sec]
1001	0.001	0.005
1002	0.002	0.010
1003	0.003	0.006

*⁸カット回数：ワイヤーカット放電においては、輪郭形状を何度かに分けてなめるように少しずつ所望の形状に加工することで、表面粗さの向上を図る。その際に同じ輪郭をワイヤー電極が移動する回数をカット回数と呼ぶ。

*⁹チッピング：スリットの山の部分に、深さ0.01mm以上のかけが1ヶ所でもある状態をチッピングと呼ぶ。

参考文献

- 1) 吉田弘美：よくわかる金型のできるまで
- 2) 後藤学：塑性学
- 3) 大西清：JISにもとづく標準製図法