

平成２５年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「チップマウンター用金属部品を低コストに加工するプレス複合化技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成２６年３月

委 託 者 関 東 経 済 産 業 局
委託先 公益財団法人 千葉県産業振興センター

目 次

第 1 章	研究開発の概要	
1 - 1	研究開発の目的	 1
1 - 2	研究体制	 1
1 - 3	成果概要	 6
1 - 4	当該研究開発の窓口	 7
第 2 章	本論	
2	精密加工技術の開発	
2 - 1	概要	 8
2 - 2	薄肉曲面板鍛造技術の開発	 8
2 - 3	細溝加工技術の開発	 9
3	プレス機械技術の開発	
3 - 1	計測制御ソフト開発	10
4	電解液ジェット加工技術の高度化	
4 - 1	概要	11
4 - 2	電解液ジェット加工の原理と加工装置	11
4 - 3	曲面状フィルムジェット	12
4 - 4	フィルムジェットを用いたバリ取り加工	12
4 - 5	まとめ	14
5	研削工程複合化技術の開発	
5 - 1	目的	15
5 - 2	砥石の製作方法	15
5 - 3	研削実験方法	15
5 - 4	研削実験結果	16
5 - 5	砥石表面の分析	18
5 - 6	まとめと今後の課題	19
6	複合化プレス工程の開発	
6 - 1	複合化金型の開発	19
6 - 2	複合化プレス工程による部品試作	19
7	プロジェクトの管理・運営	20
最終章		
	全体総括	21

第 1 章

1 研究開発の概要

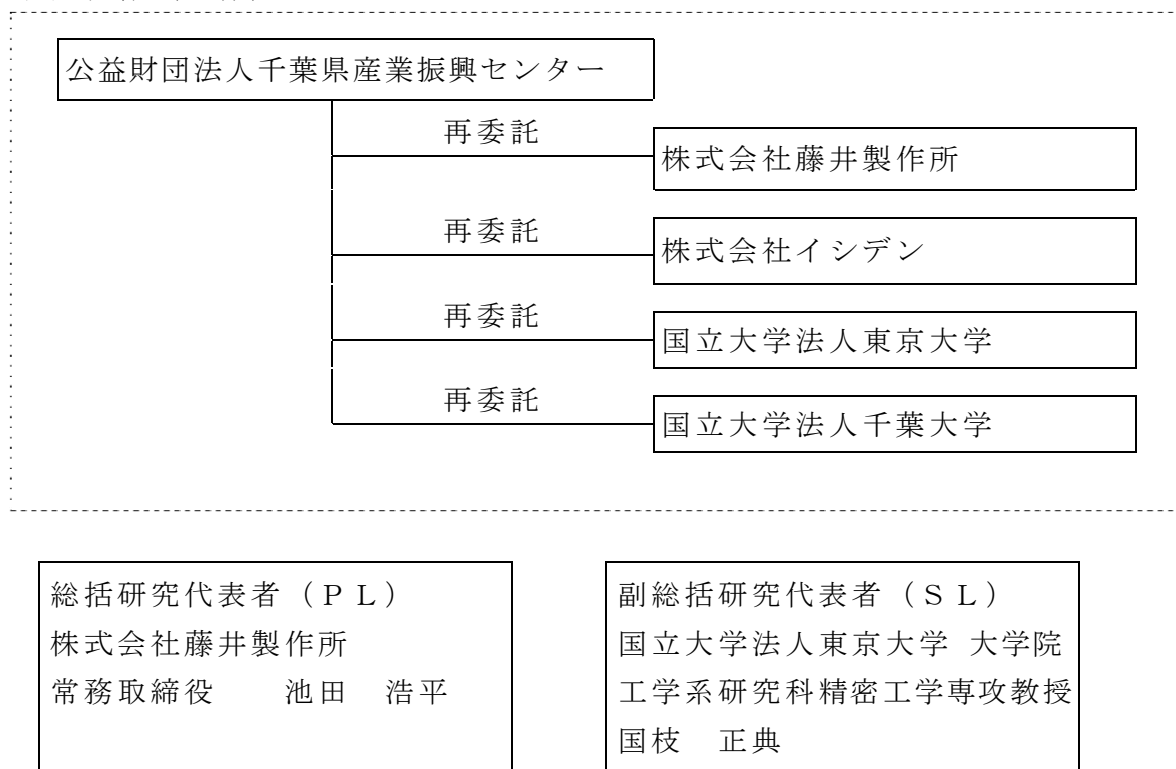
1-1 研究開発の目的

半導体製造装置であるチップマウンターの高速化に重要な金属部品であるアップパーカバーは、薄肉形状部と微細溝を有するために、プレス・切削・ワイヤ放電加工等を含めた 20 工程を経て造られ、低コスト化・短納期化に対応できていない。

本研究開発では、アップパーカバーの加工において、微細板鍛造・精密細穴加工技術を開発するとともに、平坦度・平滑度を向上できる電気加工・研削加工技術を開発し、プレスと複合化することによって工程短縮と大幅なコスト削減を可能とする画期的な高度化技術を確立する。さらに、開発した技術を様々な複雑微細加工機械部品に応用し、新たな分野への展開を目指す。

1-2 研究体制

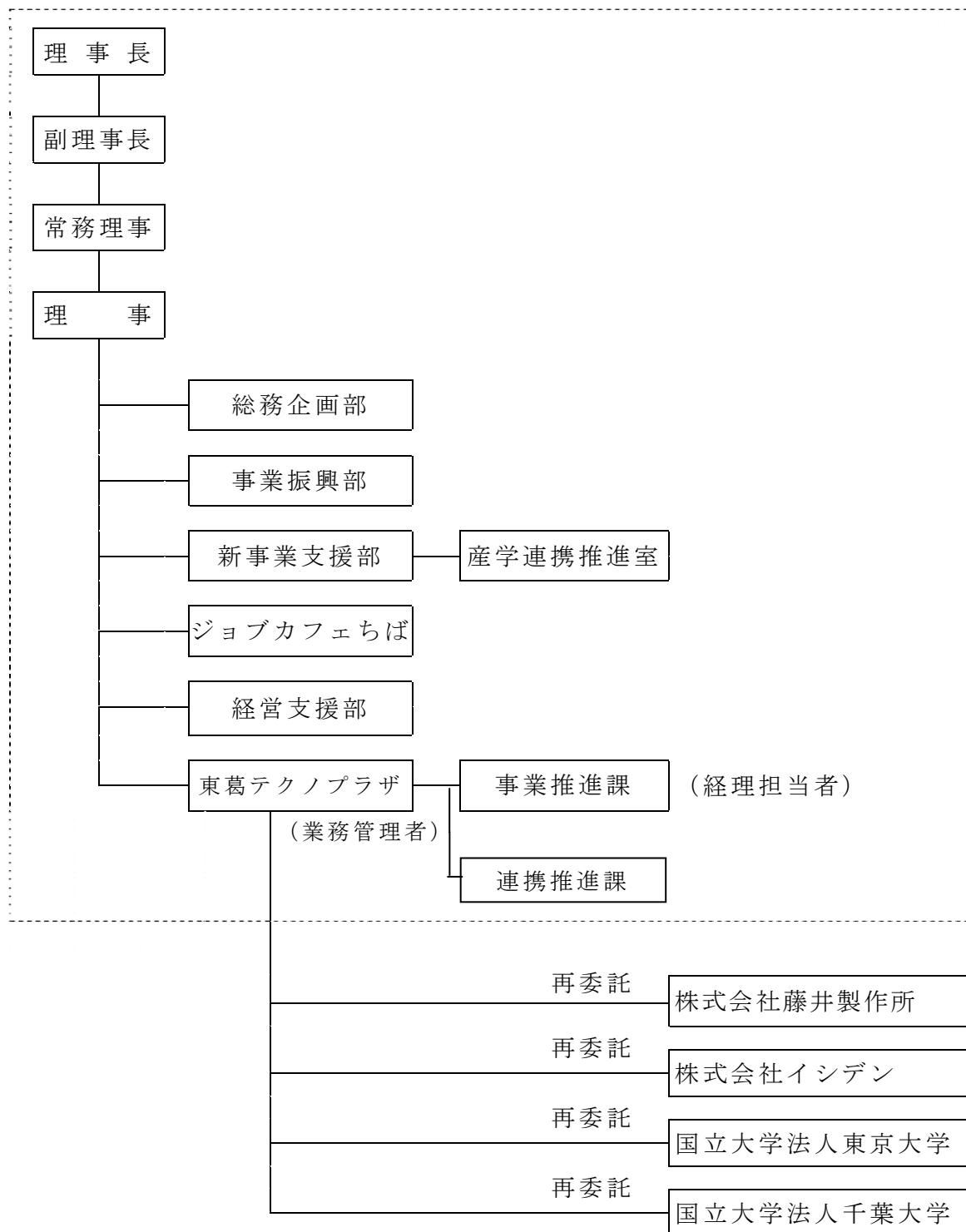
ア 研究組織（全体）



イ 管理体制

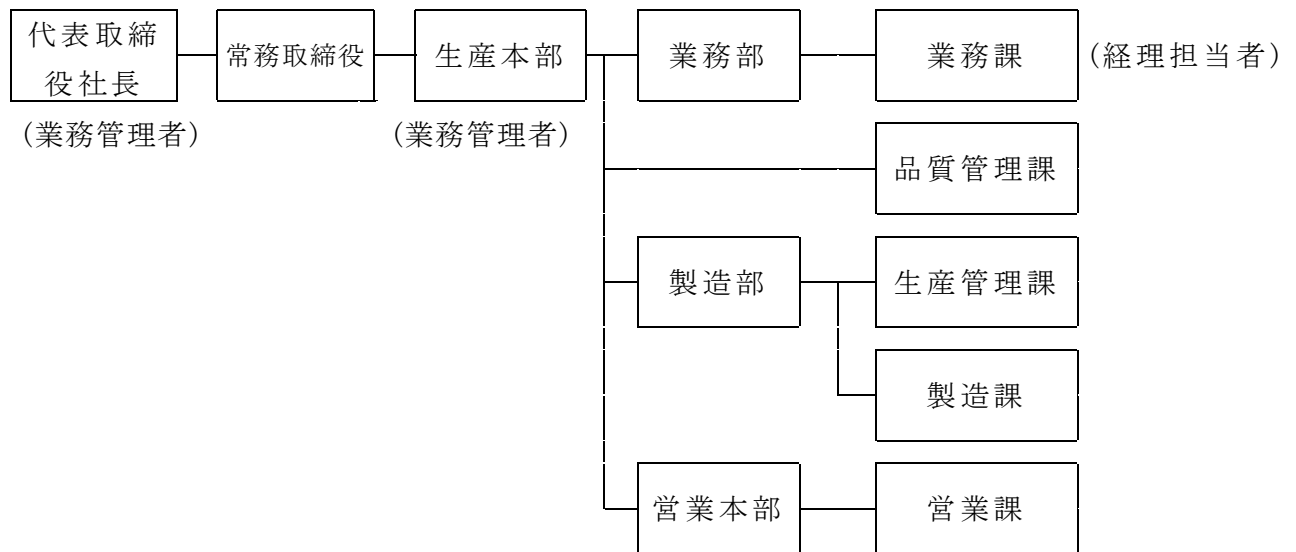
(ア) 事業管理機関

[公益財団法人千葉県産業振興センター]

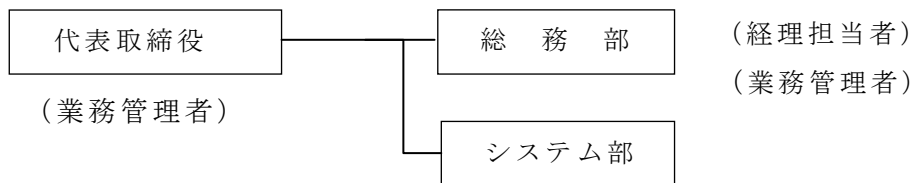


(イ) 再委託先

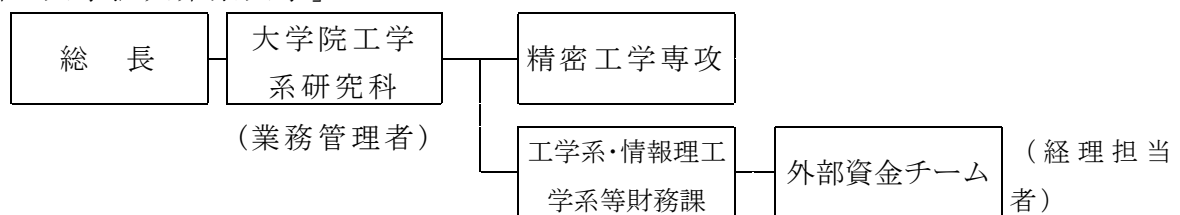
[株式会社藤井製作所]



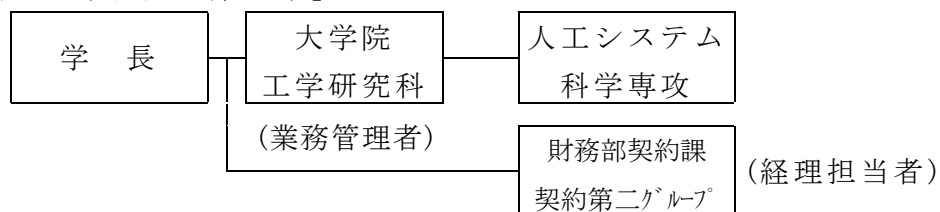
[株式会社イシデン]



[国立大学法人東京大学]



[国立大学法人千葉大学]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人千葉県産業振興センター

① 管理員

氏名	所属・役職	実施内容
石井 輝昭	新事業支援部 産学連携推進室 研究開発コーディネーター (東葛テクノプラザ兼務)	7 プロジェクトの全体管理
下田 亮	東葛テクノプラザ連携推進課 副主査	
谷口 貞夫	東葛テクノプラザ事業推進課 主幹	
島村 照美	東葛テクノプラザ連携推進課 国委託事業コーディネーター	

【再委託先】

(研究員)

株式会社藤井製作所

氏名	所属・役職	実施内容
池田 浩平	常務取締役	2、3、4、5及び6
仲川 鉄平	品質管理課 主任	
池嶋 晃	製造部製造課	

株式会社インデン

氏名	所属・役職	実施内容
石塚 雅和	代表取締役	2、3及び6
福原 友紀	システム部	

国立大学法人東京大学

氏名	所属・役職	実施内容
国枝 正典	大学院工学系研究科 精密工学専攻 教授	4
齋 治男	大学院工学系研究科 精密工学専攻 技術専門職員	

国立大学法人千葉大学

氏名	所属・役職	実施内容
中本 剛	大学院工学研究科人工システム科学 専攻 教授	5

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人千葉県産業振興センター

(経理担当者) 東葛テクノプラザ事業推進課主幹 谷口 貞夫
 (業務管理者) 東葛テクノプラザ 所長 山田 伸
 (再委託先)

株式会社藤井製作所

(経理担当者) 営業部業務係 上鶴 智代
 (業務管理者) 代表取締役社長 藤井 秀美
 (業務管理者) 常務取締役 池田 浩平

株式会社イシデン

(経理担当者) 総務部 石塚 和子
 (業務管理者) 代表取締役 石塚 雅和
 (業務管理者) 総務部 石塚 和子

国立大学法人東京大学

(経理担当者) 大学院工学系研究科工学系・情報理工学系等
 財務課 外部資金チーム 藤岡 直子
 (業務管理者) 大学院工学系研究科長 北森 武彦
 (業務管理者) 大学院工学系研究科精密工学専攻
 技術専門職員 齋 治男

国立大学法人千葉大学

(経理担当者) 財務部契約課契約第二グループ 土屋 俊和
 (業務管理者) 大学院工学研究科長 北村 彰英

(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
池田 浩平	株式会社藤井製作所 常務取締役	PL
国枝 正典	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科精密工学専攻教授	SL
齋 治男	国立大学法人東京大学 大学院工学系研究科精密工学専攻技術専門職員	
中本 剛	国立大学法人千葉大学 大学院工学研究科人工システム科学専攻教授	
藤井 秀美	株式会社藤井製作所 代表取締役社長	
川野 保弘	株式会社藤井製作所 営業部次長	
石塚 雅和	株式会社イシデン 代表取締役	
利重 勇二	JUKI 株式会社 技術企画部 主席技師	アドバイザー
三塚 弘也	鬼怒川ゴム工業株式会社調達部調達企画グループ グループ長	アドバイザー
小松 勇	小松技術士事務所	アドバイザー
中小路尚匡	技術アドバイザー	アドバイザー

1 - 3 成果概要

課題	開発目標	成果概要
1 精密加工技術の開発	微細加工技術を組み込んだプレス順送金型の開発を行う。最終目標値である細溝幅 0.1mm (+0.05) を実現する金型の開発を行い、必要技術の抽出と加工技術を確立する。	余肉の逃げによるソリや変形を抑えるためのシミュレーションを行ない、メカニズムを把握。シミュレーション結果を金型設計に組み込み順送金型を製作し、開発した金型を用いて試作実験を重ね必要技術を抽出できた。 また、開発した順送金型を使用し、バリ高さ 0.01mm を達成、目標細溝幅 0.1mm (+0.05) 寸法精度の目標達成もできた。
2 プレス機械技術の開発	現在 13 工程のクランクプレス工程について、工程数を短縮化及び歩留りの向上化を図る。また、加圧停止条件の最適化開発について、金型に対する荷重負荷低減実験を行い、形状転写精度を確保しつつ、金型負荷を低減させる最適条件把握を行う。	13 工程掛かっていた工程数を 2 工程に短縮することができた。 金型負荷を低減させるプレス順送金型の開発を実施し、必要技術のデーターを蓄積できた。 サーボプレス機からデータを把握するためのプレス制御ソフトを開発。データを把握し、歩留まり向上の条件設定ができた。
3 電解液ジェット加工技術の高度化	「電解液ジェット加工技術」を応用して、微細曲線溝加工を行い、後工程の手作業バリ取り研磨をなくす技術を開発する。	研究結果をもとに、特許出願番号：2012-266062 を出願することができた。 電解液ジェット加工技術の高度化によりノズル形状を改良し技術を確認。斜入射バリ取り方法を確立できた。
4 総型研削砥石の開発	薄肉曲面板鍛造技術の開発で行った曲面部の微細バリ除去と面粗度確保の為、「総型研削砥石作成技術」を活用し、研削部の個々の形状に合わせたオーダーメイド砥石の製造技術を確立する。	砥石の焼結層厚さを研究し砥石の寿命について改善できた。 切込み量の補正、重畳加工、水の滴下や研削砥石の形状を補正などによって加工後の工作物表面粗さを改善できた。

5 複合化プレス 工程による部品 試作	複合化金型の開発について、寸法安定精度と金型の長寿命化を実現するための研究開発を行う。また、複合化プレス工程による部品試作について、必要技術のデータを蓄積してプレス制御ソフトの高度化を図るとともに、歩留り率向上へ向けた技術を開発する。	研削加工と電解液ジェット加工を複合化したプレス工程の加工技術とプレス制御ソフトの高度化については、各装置との加工タクトの差からオフライン化した。
---------------------------	---	--

1－4 当該研究開発の窓口

池田 浩平 株式会社 藤井製作所 常務取締役

TEL：04－7143－7136 FAX：04－7143－7139

石井 輝昭 公益財団法人 千葉県産業振興センター

産学連携推進室 研究開発コーディネーター

TEL：047－426－9200 FAX：047－426－9044

第2章 本論

2 精密加工技術の開発

2-1 概要

市場動向と川下企業需要変動による仕様変更から、当初申請時 R 付き 20 工程仕様から今後主要となる R なし 19 工程に研究開発を行い、13 工程になっている精密加工加工技術を研究開発し 2 工程化を目指す。

2-2 薄肉曲面板鍛造技術の開発

(概要)

アッパーカバーの薄肉曲面は現在切削加工で行っているが、切削反力固定の為の治具を固定する段取りなどに時間を要し、コスト高となる。板鍛造技術の高度化の為に専用金型の設計・製作を行い、プレス機械技術を活用して、要素技術を実験し、素材板厚 1.5 mm から最小板厚 0.4 mm を有する薄肉曲面の形成をプレスで行う為の必要技術を開発する。

また、計測制御ソフト開発技術を活用し、その寸法精度をプレス機にフィードバックさせ、歩留まりの向上を図る為に必要な要素技術の研究開発する。

(検証内容)

余肉の逃げによる加工部のソリ、変形を抑えるための対策実験を重ね、開発したプレス順送金型で薄肉曲面形成をプレスで行う為の必要技術と加工技術を確立する目的で検証を実施した。

プレスでの薄肉曲面成形は、事前に逃げを設ける試作実験を実施。開発した順送金型に組み込み実験を行ったが、余肉の逃げによる加工部のソリや変形が解消しないため、順送金型の更なる高度化を目指し、継続して研究開発を行う事とした。

余肉の逃げによるソリや変形を抑えるためのシミュレーションを行ない、メカニズムを把握し、シミュレーション結果を金型設計に組み込み順送金型を製作し、開発した金型を用いて試作実験を重ね必要技術を抽出した。

開発した順送金型を図 2-2-1 に、試作を重ね加工データを抽出しているモニター画面を図 2-2-2 に示す。



図 2-2-1

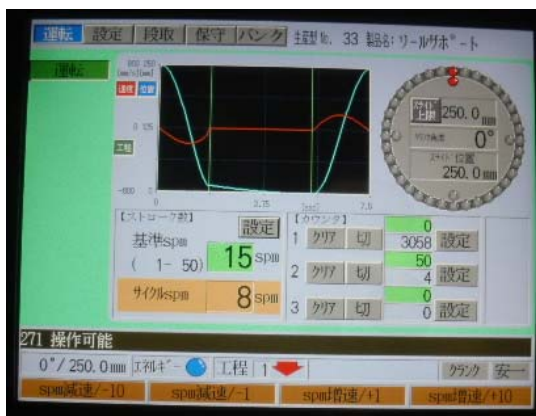


図 2-2-2

（検証結果）

- ・順送金型コイニング加工で、板厚 1.5 mm から 0.3 mm コイニングしたところでシャッター穴部上方に 0.15 mm、先端部が -0.79 mm の変形が出た。
- ・コイニング加工後の最少板厚部（0.4 mm）の硬度が HV 439 あり、加工硬化している。順送金型によるコイニング加工実施状況を図 2-2-3 に示す。

検証の結果から、塑性加工によるコイニングでは変形が大きく、製品寸法内に入れることが出来なかった。また加工硬化のため、コイニング部のスリット加工はパンチ破損が起きてしまう。

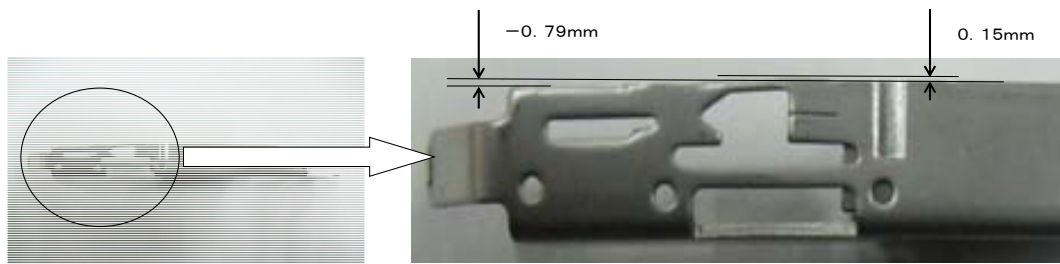


図 2-2-3

2-3 細溝加工技術の開発

（概要）

アッパーカバーの薄肉曲面部の溝幅は、場所により変化する微細異形溝加工 0.1 mm (+0.05) を行う為、打ち抜き部に高い圧縮応力を発生させるように高い板押え剛性と板押え力を与えた金型を開発し、更に微細異形溝加工パンチの面粗さを極めて小さく鏡面化し、耐摩耗性の高いコーティングを行い、良く磨いて抜き側面の面粗さを向上させる。

細溝幅 0.1 mm (+0.05) の微細異形溝を打抜く為に必要な精度 0.002 ~ 0.003 mm 程度を保持する高剛性・高精度のガイドポストを組込んだ金型を開発する。

（検証内容）

最終目標である薄肉曲面部に最小細溝幅 0.1 mm (+0.05) をプレスにて形成するため、これまでに板押さえ力を高める為に、金型内部のスプリングの強度を上げ、最小溝幅寸法を確保する為のせん断変形を抑える要素実験を行い、鏡面化パンチの耐久性と抜き部のバリ高さを検証した。また、細溝部のバリ高さについても検証した。

加工時のバリ高さの達成のための金型改良を行い、対策実験を重ね細溝順送加工技術を取り入れた順送金型を開発した。

（検証結果）

寸法のバラツキが 10 μ m であり、公差 0.05 mm (50 μ m) 以内に収まった。

（実施状況）

① バリ高さ細溝 300 個加工後のバリ高さを測定

細溝加工部と実測値を図表 2-3-1 に示す。

図表 2 - 3 - 1



加工数	30個	31個	32個	100個	200個	300個
バリ高さ (μm)	3.178	1.002	3.438	3.638	4.001	5.003

結果、目標としていた $10\mu\text{m}$ 以内におさまった。

(まとめ)

順送金型を開発し、試作実験を行った結果バリ高さの目標 0.01mm を達成し、目標細溝幅 0.1mm ($+0.05$) の加工精度は確保できた。

3 プレス機械技術の開発

3-1 計測制御ソフト開発

2台のサーボプレス機から図 3-1-1 のとおり計測制御ソフトへ接続し、数万件のデータ収集を行い、蓄積することにより複合化プレス工程での最適化条件の検証ができた。

この検証結果により、多品種小ロット対応に可能な位置精度、速度設定、停止時間等を短時間にて検索可能となった。

サーボプレスと制御装置データ収集状況を図 3-1-1 に示す。

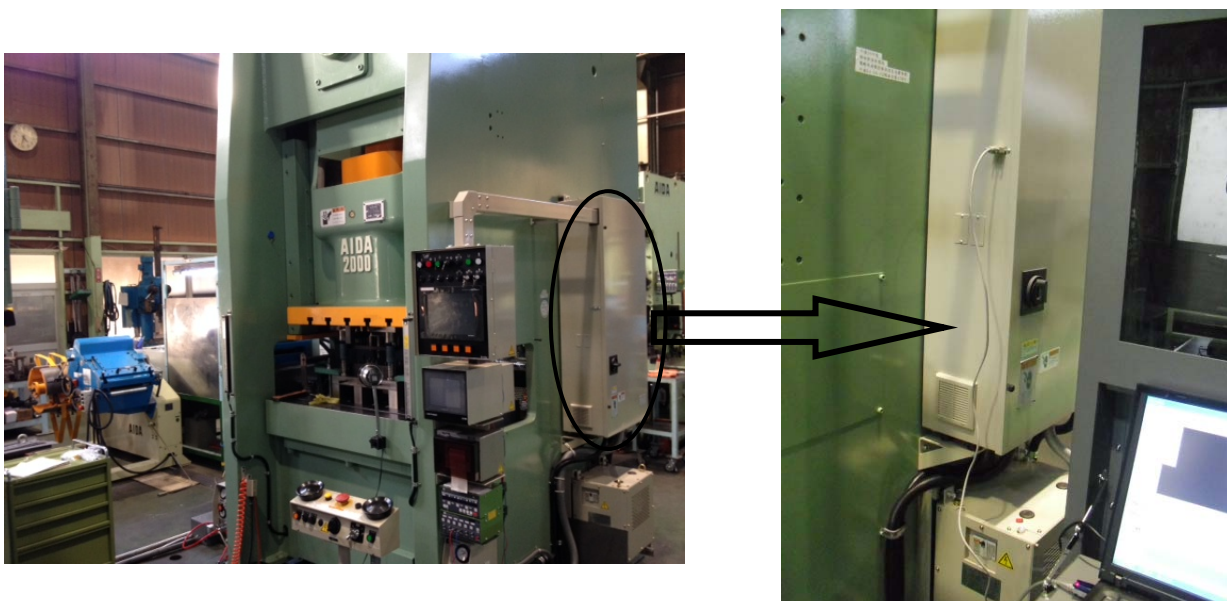


図 3 - 1 - 1

4 電解液ジェットを用いたバリ取り加工

4-1 概要

チップマウンタスリット部を打抜き加工後、打抜き加工によって生じたバリを除去すると同時に、エッジに所定の半径のRを加工するために電解液ジェット加工を応用した。

4-2 電解液ジェット加工の原理と加工装置

電解液ジェット加工¹⁾は図4-2-1に示すように、ノズルから電解液を噴出し、ノズルと工作物の間に電圧を印加することで、電解液の噴流直下のみを選択的に加工する方法である。電解加工は化学反応である電解作用を加工原理とするため、導電体であれば工作物の硬度によらず加工可能であり、また加工変質層や残留応力、バリ、クラックなどが発生しない加工法である。

図4-2-2は開発したバリ取り加工装

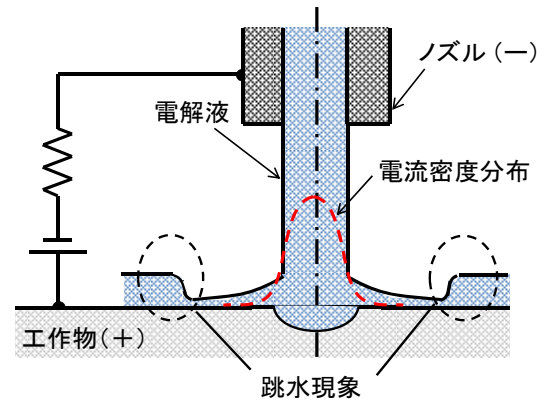


図 4-2-1 電解液ジェット加工の原理

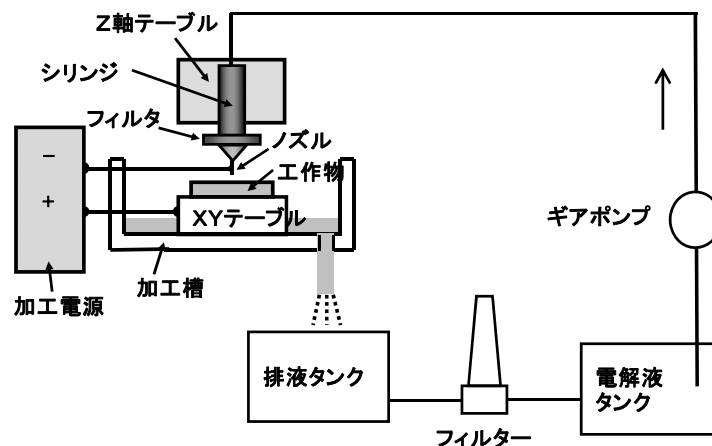


図 4-2-2 電解液ジェット加工装置

置の概略図である。電解液タンク中の電解液はギアポンプの回転数に比例した流量でノズルから工作物へ噴射される。電解液は溶出した工作物の酸化物を沈殿させた後にろ過して再利用する。微細なノズルは詰まりやすいので、ノズルの直前にもフィルタを入れてある。加工パターンに応じてXYテーブルをNC制御し、同期して加工電流のオンオフや大きさを制御する。ファラデーの法則に従い、加工電流とジェットの走査速度で加工深さが決まる。従って、ノズルと工作物間のギャップ制御が不要であり、数ミクロンの小さな切込みもZ軸の制御なしで行える。よって、加工中のZ軸の同時制御は必要ない。

4-3 曲面状フィルムジェット

チップマウンタースリット形状が直線状ではなく、曲線である場合も、ノズルを走査することなくエッジのバリ取りが行えるように、曲率を持ったスリットノズルを開発した。図4-3-1に示すように、曲率を持った金属製の凸型部品と凹型部品の間に、スペーサを挟み込むことで製作した。スペーサの板厚がスリット幅となり、スペーサの板厚を変えることで、フィルムジェットの厚みを変えることができる。また、凸部とスペーサの間に、金属薄板の板状給電電極をスリットノズル出口から3mmはみ出させて設置している。こうすることで、スリットノズル下端が工作物上に溜まった電解液と短絡することを防ぐことができる。従って、これまでのスリットノズルより極間距離を狭めることができる。本加工法により平板上に曲線状の溝加工を行った結果を図4-3-2に示す。本実験では、曲率半径5mm、スリット幅80 μ m、スリット長さ(円弧長)6mmのスリットノズルを使用した。噴流圧0.3MPa、加工電流1A、加工時間4s、電解液は硝酸ナトリウム水溶液(20wt%)であった。

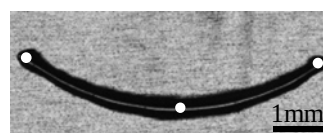
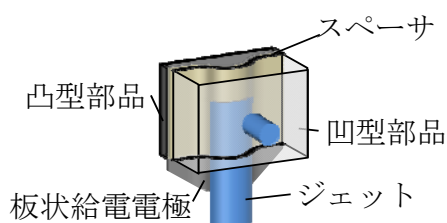


図4-3-1 曲率を持ったスリットノズル 図4-3-2 曲率を持った溝の加工例

4-4 フィルムジェットを用いたバリ取り加工

フィルム状の電解液ジェットを用いてバリ取り加工を行うには図5の2種類の方法が考えられる。図4-4-1(a)はスリット幅以下のジェット厚を持ったフィルムジェットをスリットに平行に位置決めし、スリット側面に対する寄せ量を変化させてバリ取りを行うとともに、側面の仕上げ加工を行う方法である。この方法では、ジェ

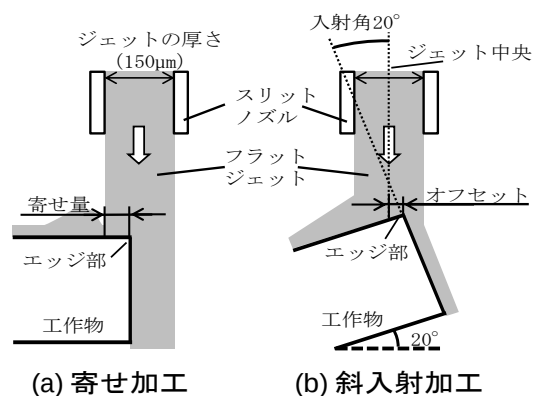


図4-4-1 電解液ジェットを用いたバリ取り加工

ットの溝側面に対する位置決めが正確でなければ、コーナ半径にばらつきが生じる。また、ジェットのほとんどはスリットの空間を通過するので、工作物の上面を表面に沿って流れる流量はごくわずかであり、加工速度が小さい。そこで、図4-4-1(b)に示すように、フィルムジェットのジェット面をスリットのエッジに平行に、ジェットを工作物面の法線方向から傾けて入射させる方法を考案した。この方法によれば、フィルムジェットの厚さの範囲内にエッジが位置していれば、加工結果に大きな違いは生じない。従って、ジェットの工作物に対する位置決め精度が加工結果のばらつきに及ぼす影響が小さい。また、電

解液が工作物に衝突した後の流れは、工作物上面とスリット側面に滑らかに分岐する。従って、工作物上面、スリット側面とも流れの滞留がなく、膜厚の薄い流れ場が得られる。よって、電流密度はエッジ部に集中し、バリが存在すれば除去でき、所定のコーナ半径に効率よく仕上げる事が可能である。さらに、スリットの幅が 0.1mm と小さくても、ジェットの高さは 0.1mm である必要はない。たとえ、スリット幅より大きくても図 4-4-1 (b) のような流れ場が得られ、エッジ部に限定したバリ取りが可能となる。

図 4-4-2 に加工電流を変化させた場合の加工結果を示す。用いたフィルムジェットのノズル寸法は、 $7\text{mm} \times 0.15\text{mm}$ である。入射角は 20° であり、加工時間は 1s であった。加工電流が大きいほどエッジ半径は大きく加工されており、かつ仕上げ面粗さは良好であることが分かる。加工中の加工電圧値は $30 \sim 50\text{V}$ であった。

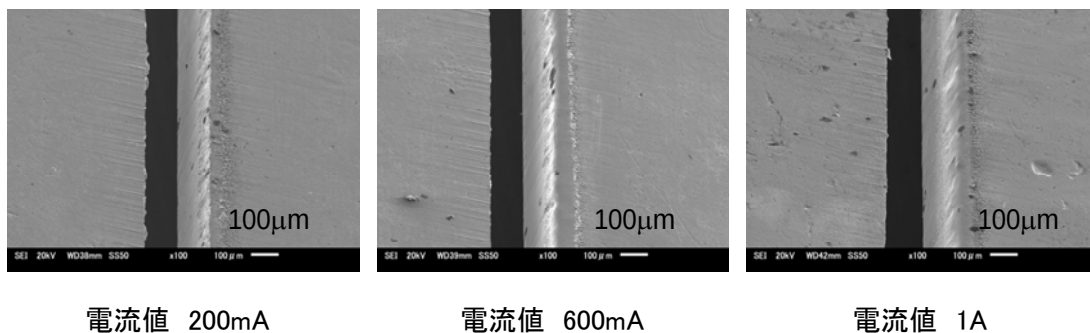


図 4-4-2 斜入射加工における加工電流の影響（入射角 30° 、加工時間 1s 、オフセット 0 ）

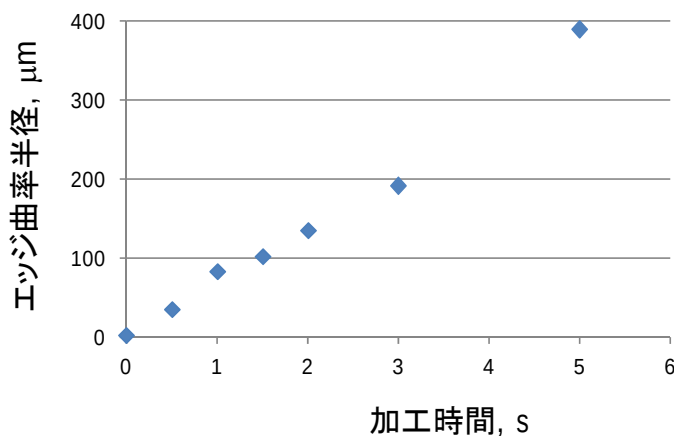


図 4-4-3 加工時間とエッジ半径との関係
（入射角 20° 、加工電流 1.5A 、オフセット 0 ）

また、図 4-4-3 に加工電流を 1.5A とし、加工時間を変化させた場合のエッジ半径の変化を示す。加工時間 1秒 程度で、目標範囲のエッジ半径となった。

次に、フラットジェット中心位置を加工前のエッジ部から $30\mu\text{m}$ おきにオフセット（図 5 (b) 参照）し、相対位置が形状に及ぼす影響を観察した。加工電流値は 1.5A 、加工時間は 1.0秒 で加工を行った。オフセットとエッジ部の曲率半径の関係を図 4-4-4 に示す。オフセットが少なくなるにつれてエッジ部の曲率半径が大きくなり、工作物エッジ

部にジェット中央が一致するオフセット $0\mu\text{m}$ 近傍で、曲率半径はほぼ一定となった。従って、本手法を用いることで、ジェットの工作物に対する位置決め精度が加工結果のばらつきに及ぼす影響が小さいことがわかった。

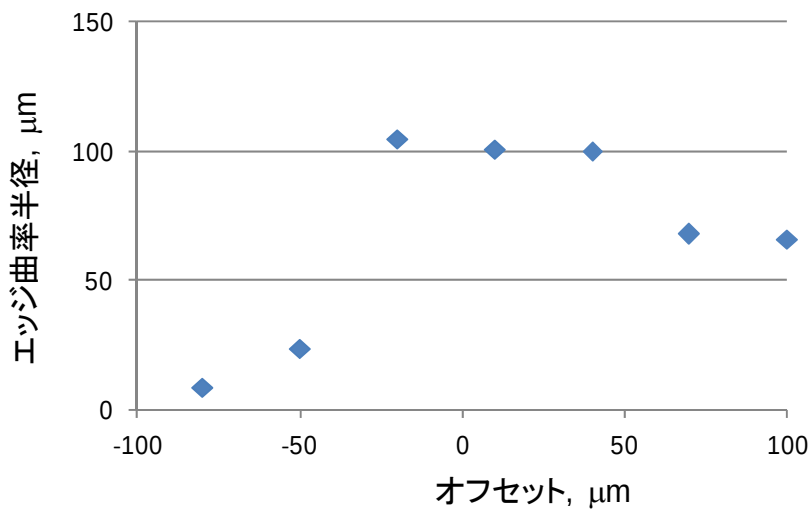


図 4-4-4 オフセットとエッジ部曲率半径の関係

4-5 まとめ

打抜き加工で形成したスリットのエッジを電解液ジェット加工で仕上げ加工することを試みた。ジェットを走査することなくエッジのバリ取り加工を可能にするため、スリット状のノズルを開発した。曲線状のスリット形状を用いることにより、曲面状のフィルムジェットが得られる。よって、チップマウンターのスリット形状が曲線状であってもバリ取り加工が行える。その際、フィルムジェットを工作物面に垂直に噴射し、寄せ量を調節してエッジ半径を変化させる方法と、斜入射して加工電流や加工時間でエッジ半径を制御する方法を検討した。その結果、斜入射バリ取り法が加工速度、位置決めの容易さなどの観点から優れていることが分かった。

参考文献

- (1) 国枝正典、電解液ジェット加工の原理と応用、電気加工学会誌、45, 110, 144-147 (2011).

5 研削工程複合化技術の開発

5-1 目的

本工程では、曲面部の微細バリ取り除去と面精度確保のため、千葉大学工学研究科人工システム科学専攻機械系コース中本研究室で開発した総型研削砥石を活用して、工作物の加工形状に合わせた砥石の製造技術を確認する。この砥石はチタン上にホウ素を塗布してレーザービームを走査することによってホウ化チタン (TiB_2) を合成する。この合成されたホウ化チタンを砥石として使用する。

5-2 砥石の製作方法

本方法では、チタン表面上にホウ化チタンを合成して、これを砥石として使用する。図表 5-2-1 (a) に、ホウ化チタンを合成する前のチタンの写真を示す。ホウ素粉末をエタノールに懸濁し、スラリー状となった混合物をチタンの円筒部表面に塗布する。この表面を YAG レーザービームで走査して、チタンとホウ素を反応させてホウ化チタンを合成する。図表 5-2-1 (b) に焼成後、酸化物を取り除いた砥石の写真を示す。図表 5-2-2 に、焼成後の砥石表面の X 線回折の結果を示す。ホウ化チタンが合成されていることがわかる。

(図表 5-2-1) 焼成前後の砥石

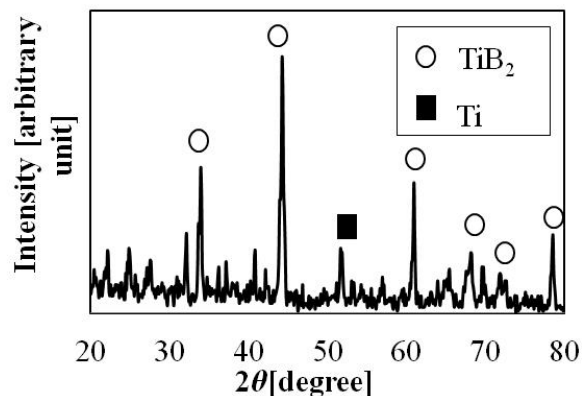
(図表 5-2-2) 焼成後の砥石の X 線回折結果



(a) 焼成前のチタン



(b) 焼成後の砥石



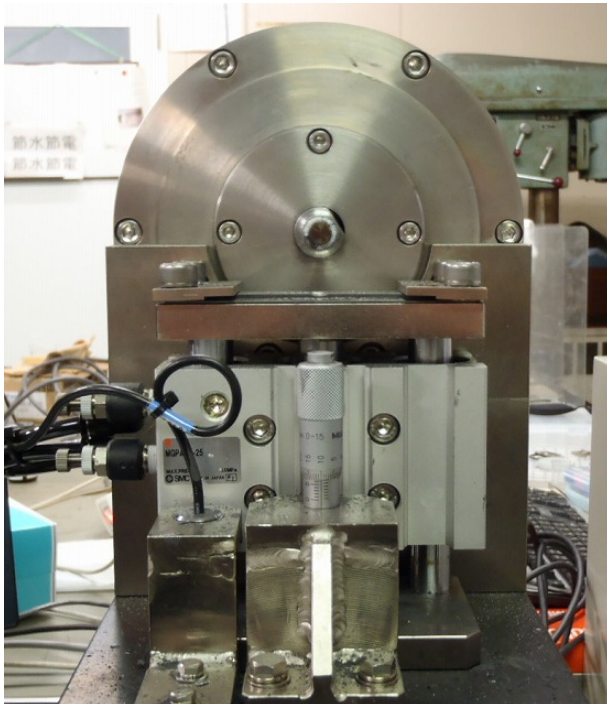
5-3 研削実験方法

図表 5-3-1 に製作した研削加工機の写真を示す。研削加工機のモーター主軸に砥石を取り付けて回転させる。加工対象となる工作物は、図表 5-3-2 (a) の写真に示す SUS304 の板を使用した。工作物設置ステージに SUS304 の板を取り付けて、空気圧で上昇させる。砥石円筒面と工作物の板表面が接触すると加工が開始され、設定した切込み量の値だけステージが上昇して砥石円筒面の形状が工作物に転写される。

加工後の工作物の写真を図表 5-3-2 (b) に示す。写真のように、SUS304 の板表面を上から見ると、矩形の溝が形成される。図表 5-3-2 (c) の概略図に示すように、この溝を上から見た寸法と深さを測定した。研削実験条件を図表 5-3-3

に示す。

(図表 5 - 3 - 1) 研削加工機



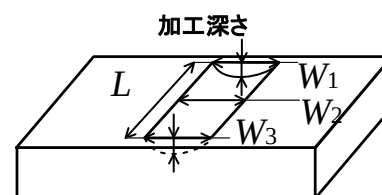
(図表 5 - 3 - 2) 工作物 (SUS304)



(a)加工前の写真



(b)加工後の写真



(c)加工後の概略

(図表 5 - 3 - 3) 研削実験条件

主軸回転数（rpm）	6000	加工時間（sec）		5
ステージ上昇圧力（MPa）	0.10	工作物	材質	SUS304
設定切込み量（mm）	0.1		寸法（mm）	74×13×1.5

5 - 4 研削実験結果

図表 5 - 4 - 1 に加工回数と砥石焼結層厚さを示す。同一の砥石で加工した工作物の枚数が研削回数である。本砥石では、レーザービーム走査で溝が形成され、その上に焼結層ができる。図表 5 - 4 - 2 (a)のように、元のチタンよりも焼結層の直径が大きい場合は初期焼結層厚さを正の値とした。図表 5 - 4 - 2 (b)のように、焼結層が溝深さに達しない場合がある。この場合は、便宜上、初期焼結層厚さを負の値として記述することとした。研削回数が増加するにつれて、砥石の直径は減少する。元のチタンの直径と比べて、砥石直径が小さくなった場合も、各研削回数における焼結層厚さを負の値として記述した。焼結層厚さが負の場合でも、溝の底部にホウ化チタンが存在していれば研削加工を施すことができる。現時点では、初期焼結層厚さが 0.11mm のときに、800 回の研削を施すことが可能であった。砥石表面のホウ化チタンが多く合成され、酸化物の合成量が少なくなる条件についてはさらに検討する必要がある。

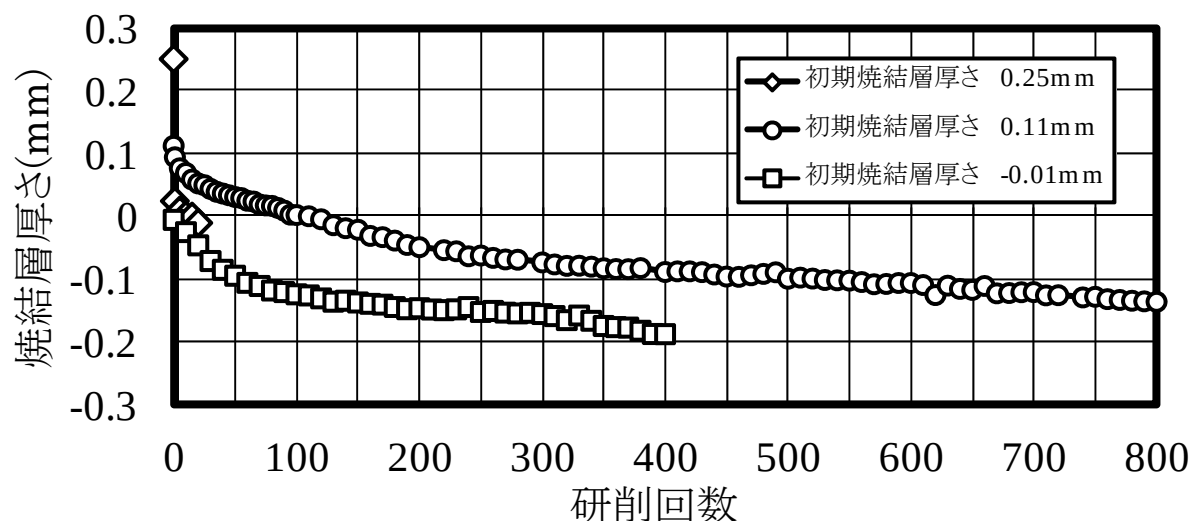
図表 5 - 4 - 3 に加工後の工作物の写真を示す。加工回数が増加するにつれて加工形状は矩形ではなくなり、焼きつきが見られ、表面粗さも悪化してしまう。この

原因として、工作物に対して砥石が十分に切込まれていなかったこと、工作物の面内に砥石を動かしていないこと、研削温度が高くなってしまったことなどが挙げられる。

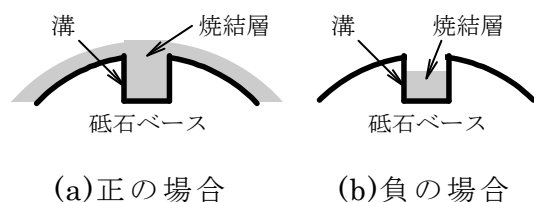
そこで、加工された工作物に実際に施された加工深さが設定値に比べて不足していた場合は、次の工作物に対して余分に切込んだ。逆に、設定値に比べて加工深さが大きかった場合は、次の工作物の切込み量を減らした。このような切込み量の補正を 10 回の加工ごとに行った。そのときの工作物表面粗さを図表 5－4－3 に示す。研削回数が増すと、補正の効果が現れてくる。

次に、砥石と工作物の間の相対的な移動を疑似的に実現するために、工作物板を一度、加工した後にもう一度ステージを上昇させて加工した。これを本報告では重畳研削と記した。さらに、研削焼けを防ぐために、加工中に水を滴下させた。このときの工作物の写真を図表 5－4－4 に示す。この加工では、10 回ごとの切込み量の補正もあわせて行っている。加工形状が矩形に近くなり、研削焼けも減少している。今後は、研削方向と垂直方向への砥石を移動や工作物を押しつけるときのステージの上昇方法を変更するなど、砥石と工作物の相対的な移動によって工作物の加工形状や表面粗さ改善できないか検討してみたい。

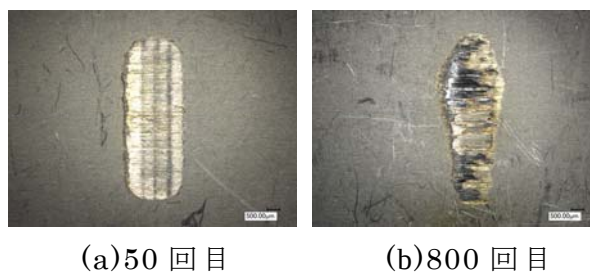
(図表 5-4-1) 砥石層厚さと研削回数



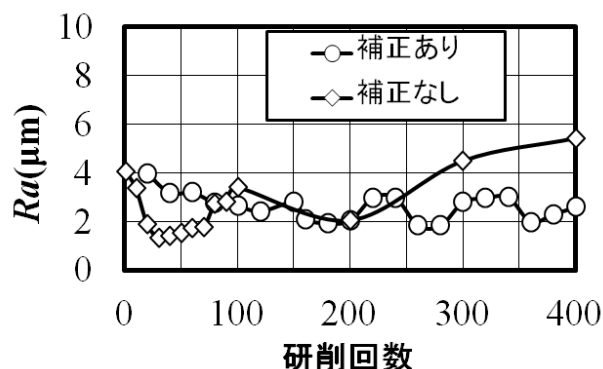
(図表 5-4-2) 焼結層厚さの正負



(図表 5-4-3) 乾式研削後の工作物の写真



(図表 5-4-3) 切込み補正による表面粗さ



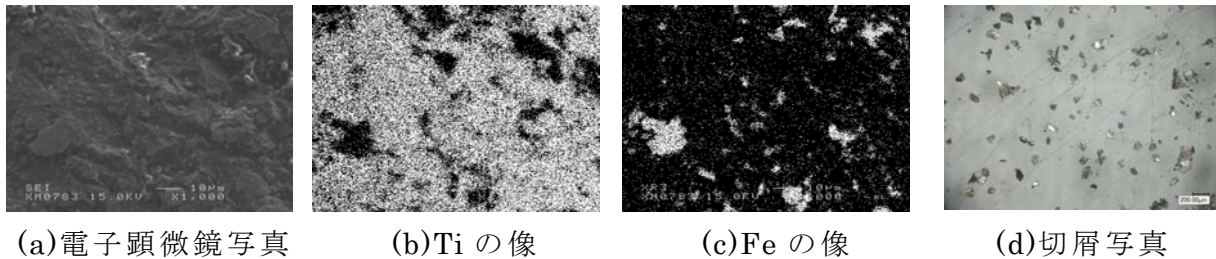
(図表 5-4-4) 切込み補正、重畳研削、水滴下による工作物 (50 回目)



5-5 砥石表面の分析

図表 5-5-1 (a)に研削後の砥石の電子顕微鏡写真を示す。(b)はチタン、(c)は鉄についての砥石表面の電子微量分析結果である。この結果から、砥石表面に工作物の SUS304 が付着していることがわかる。(d)は切屑の写真であるが、切削型の切屑ではない。通常の砥石は砥粒が存在し、砥粒切刃によって研削加工が営まれている。本砥石は砥粒に相当する部分がなく、砥石表面にホウ化チタンの焼結層が形成され、このホウ化チタン層によって加工中に工作物をむしり取っていることになる。切削型の切

(図表 5 - 5 - 1) 研削後の砥石表面の電子顕微鏡写真と電子微量分析の結果および切屑写真



屑が得られるような砥石になれば、工作物表面粗さもさらに向上することが期待できる。そのために、あらかじめ表面を粗くしたチタン表面にホウ化チタンを焼成して、粗い砥石表面を砥粒に相当させることができないか検討したい。さらに、焼成の際のレーザービーム走査経路を変更して、研削中の切屑を排除するための溝を形成することができないかも検討したい。

5 - 6 まとめと今後の課題

- (1) 本砥石で 800 回の研削加工を施したが、加工後の工作物の形状、表面粗さ、研削焼けなど、解決しなければならない事項も生じた。
- (2) 加工中の切込み量の補正、重畳研削、水の滴下によってある程度は改善できた。
- (3) 今後は、チタン表面を粗くした後でのホウ化チタンの焼成や焼成の際のレーザービーム走査経路の変更により、研削加工のときの切屑生成と切屑除去の改善を検討したい。
- (4) さらに、研削加工中の砥石と工作物の押し付け方や研削方向と垂直な方向への相対的な移動によっても加工後の工作物の形状や表面粗さを改善することができると検討したい。

6 複合化プレス工程の開発

6 - 1 複合化金型の開発

薄肉曲面板鍛造用順送金型開発、細溝加工用順送金型開発を行い、試作実験を重ね寸法安定精度と金型の長寿命化を実現する為の研究開発を行った。

6 - 2 複合化プレス工程による部品試作

部品精度を満足する工程能力の調査を行い、更に抽出した必要技術のデータを蓄積してプレス制御ソフトの高度化を図るとともに、加工寸法精度をプレス機にフィードバックし歩留り率向上に向けた技術を開発する。

6－1及び6－2の検証結果と実施状況を以下のとおり示す。



①アンコイルとレベラー装置

コイル材からの送り状況



②板鍛造順送金型

11工程の順送金型加工状況



順送金型による加工状況



③サーボプレス制御操作パネル

品番入力ですぐに
データを出し

位置、速度、停止時
間を簡単に呼出し

仕様データを蓄積・管理化した
サーボプレス操作盤
(多品種小ロット対応をするために
仕様データを管理し簡単な操作
で呼出しを可能とした)

7 プロジェクトの管理

(1) 技術開発進捗状況の把握と周知

- ア 事業管理者を交えての定期的開発推進会議(4回の計画に対し4回実施)を開き研究機関、アドバイザーとも相互に率直な意見を述べ合い意志が決定されている。
- イ 各研究機関の進捗状況の把握については、上記会議の他技術等の打合せを行い、又情報等は電子メールにてメンバーに周知する体制とし、進捗状況を確認及び情報の共有化を図っている。
- ウ プロジェクトリーダー及びサブリーダーは研究開発の内容について十分な意思疎通を図りながら早期での事業化に向けた課題を探究するなどプロジェクト機関に対し積極的に関与し有効に機能した。

(2) 経理・事務関係の管理

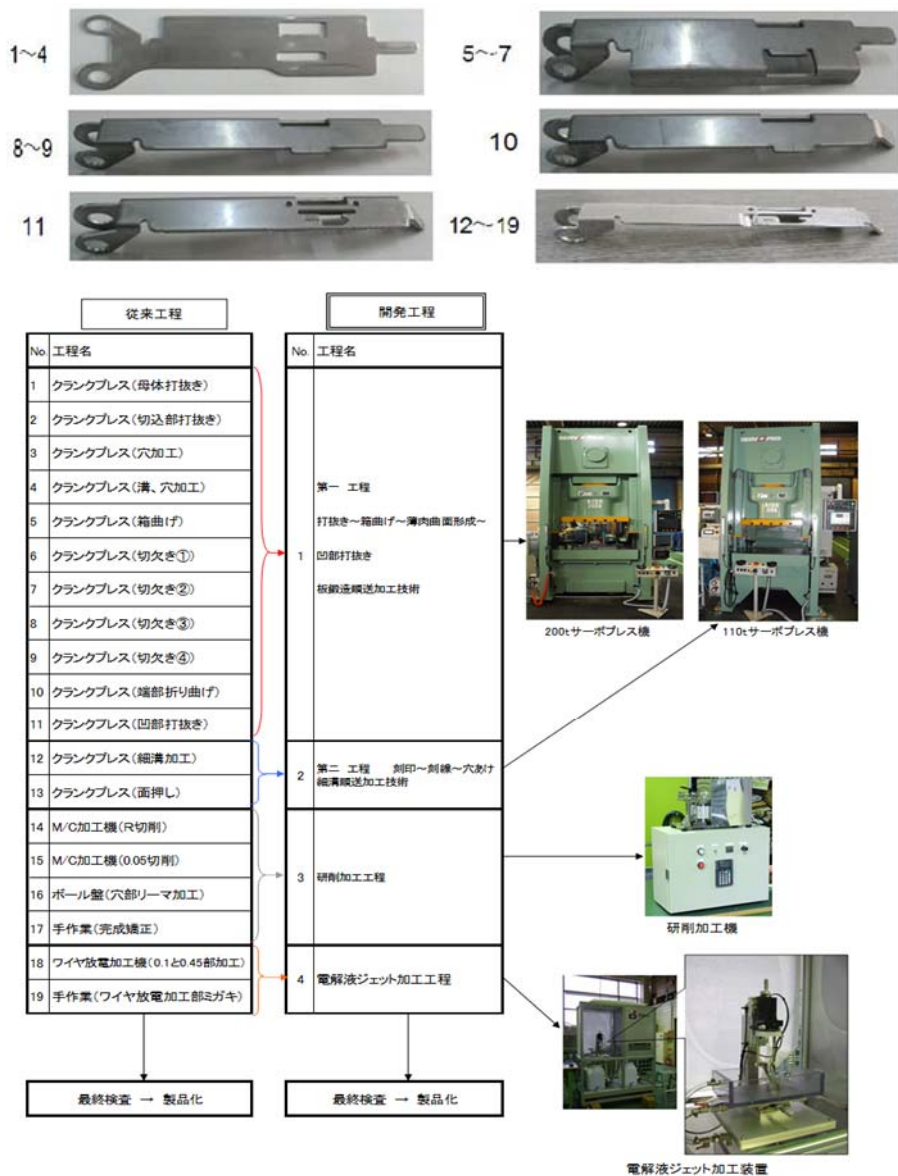
関東経済産業局製造産業局のアドバイスを受けながら、管理法人及び再委託先の経理・事務の管理を随時行い、特に大きな問題なく終了できた。

最終章 全体総括

この３年間で得られた開発工程の対比をまとめる。

従来の工程フローと今回開発した工程フローを以下のとおり示す。

工程フロー



- ① 従来の加工精度を向上させ更に従来の１９工程を４工程に短縮し、コスト削減率２０％の実現化。
- ② 順送金型の高度化による短納期の実現化
(現状２４時間→１０時間)
- ③ 蓄積技術データ確立による多品種小ロット生産が対応可能となる。

このほか、東京大学から「電解液ジェット加工装置及び電解液ジェット加工方法」について特許出願（出願番号 2012-266062）を行った。

今回の研究開発によって、形状転写や細溝加工や電解液ジェット加工、総型研削加工に必要な様々な技術的知見を得ることができた。また、量産化に向けた複合ライン工程の検討により、多品種少量製品の対応に向けた課題等も明確になった。

精密プレス加工と電気加工・研削加工技術の利点を複合化させることにより、多品種少量生産に向けたコスト競争力のある事業化を展開していける確信を得た。

本研究事業であるアップカバーについては、ライン複合化システムにより工程短縮による低コスト化、短納期化、高精度化により川下産業への営業活動を継続させ受注拡大を図る。

ライン複合化システムの確立により、精密プレス加工製品は他業種にも多く採用されており、ライン複合化システムによる加工方法を提案することにより、国内生産の課題である多品種少量生産部品の自動車業界やエネルギー分野、医療分野への営業展開により事業拡大を目指す。