

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「三次元マイクロ構造加工用金型およびプレス技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 関東経済産業局
委託先 財団法人日立地区産業支援センター

目次

第1章 研究開発の概要	
1.1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1.1.1 研究開発の背景	1
1.1.2 研究目的	2
1.1.3 研究目標	2
1.2 研究体制	4
1.2.1 研究組織及び管理体制	4
1.3 成果概要	6
1.3.1 3DM 加工用プレス金型の開発	6
1.3.2 3DM 加工用金属材料の選定	6
1.3.3 3DM 加工品へのPR 電気銀めっき技術の確立	7
1.3.4 3DM 加工品の試作と評価	7
1.4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	
2.1 3DM 加工用プレス金型の開発	9
2.1.1 金型材料の選定	9
2.1.2 精密微細加工法の開発	13
2.2 3DM 加工用金属材料の選定	24
2.2.1 加工用金属材料の断面ミクロ組織観察結果	24
2.3 3DM 加工品へのPR 電気銀めっき技術の確立	24
2.3.1 軽加工面への電気銀めっきの結果	24
2.3.2 強加工面への電気めっきの結果	26
2.4 3DM 加工品の試作と評価	27
2.4.1 接着強度およびガスリーク性評価	27
2.4.2 高輝度LED ランプ用パッケージの試作	31
第3章 まとめ	
3.1 研究成果	34
3.2 課題	34

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

1.1.1 研究開発の背景

1) 情報家電に関する事項

現在情報家電業界においては、携帯機器、特に小型 PC、携帯電話、デジタルカメラ、ビデオカメラなどの小型軽量化のために、半導体パッケージの小型高密度化が急速に進んでいる。また最近では、メモリーやロジック、高周波トランジスタなどの半導体パッケージのほか、MEMS や、これらを集積収納した小型高機能ハイブリットモジュールも開発されている。このような状況のなかで、最近これら高機能デバイスを正常に機能させ、また外部環境から保護する半導体パッケージやモジュールの信頼性低下の問題が急浮上している。それは、半導体パッケージを小型化した場合、半導体デバイスや MEMS を封止する樹脂と基板との接着面積が少なくなり、耐湿性や耐熱性の低下を招くためである。現在も基板として多く用いられているのは金属製（主に銅合金）のプレス加工リードフレームであるが、これらには通常、ワイヤボンディングのための金や銀の貴金属めっきが施される。貴金属は樹脂との密着性が弱い欠点があることから、封止樹脂との接着部にはめっきを施さない工夫（部分めっき）がなされている。しかしながら小型半導体パッケージでは、部分めっきのみ出しやめっき寸法変動によって、封止樹脂との接着性の低下が避けられない問題が発生している。また貴金属めっきがなされていない部分であっても、接着面積の低下による信頼性の低下が免れない状況となっている。

また最近では、環境問題から、ハイパワーLED の一般照明用途への実用化研究開発が加速している。このハイパワーLED では高輝度化のためにリードフレームの全面に反射率の高い銀めっきが施される。この場合には、封止樹脂との界面も銀めっきとなり信頼性の低下がより大きな問題となっている。

2) 自動車に関する事項

現在自動車業界においては、国策としての CO2 削減を目指したエコ社会の実現から、電気自動車（EV）やハイブリッド自動車（HEV）の普及を加速させている。これら EV や HEV には小型軽量高出力のリチウムイオン二次電池モジュールが用いられる。これは、EV、HEV 自動車の軽量化と長距離走行を可能にするためである。このことによって HEV ではエンジンのガソリン使用量を削減でき、より環境対応性能の高い自動車としてエコ社会の実現に貢献できる。また EV においても家庭用電源からの高速充電（プラグイン）が可能な、高性能リチウムイオン電池の開発競争が全世界規模で行われている。この小型軽量高出力のリチウムイオン電池には、アルミニウムのプレス深絞り加工による電池ケースが用いられる。この電池ケースは、ケース本体（負極側）とケースキャップ（正極端子）とからなっている。このケース本体とケースキャップとは電気絶縁性の接着剤によって接着されている。リチウムイオン電池は高出力化に伴い発熱量も増大し冷却が問題となっている。発熱により電池ケースに高い内部圧力が加わり、接着強度の高い接着剤の選定が課題となっている。また電気自動車のリチウムイオン電池は常時、走行振動に耐えなければならないが、電池寿命は現在 10 年間の耐久性を保証しなければならない。このことから、自動車用のリチウムイオン電池は、機密性の高い電池ケースの開発が課題となっている。

1.1.2 研究目的

三次元マイクロ構造加工精密微細金型（3DM）と高速プレス加工技術によって、金属表面へ精密な三次元マイクロ構造加工を施す革新的技術を開発する。この技術完成により金属界面と樹脂材料との接着強度が高まり、LED や高周波トランジスタなどの半導体パッケージの一層の小型化が可能になる。また高出力のリチウムイオン電池においては、電池ケースと絶縁材料の接着強度が向上し、電池の高い安全性を確保できる。

1.1.3 研究目標

本計画は、情報家電および自動車に関する複雑三次元加工部品を対象としている。

2) 情報家電に関する事項

- ・川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）
 - ア. 精密化、微細化
 - イ. 軽量化・小型化・静音化・高放熱化

1) 自動車に関する事項

- ・川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）
 - オ. 軽量化

以下に研究の高度化目標とその目標値を記述する。

1) 高度化目標

3DM 加工用プレス金型の開発には、パンチ形状の設計、パンチ材料の選定、精密微細溝加工方法、順送プレス金型への組み込み設計、および3DM 加工金型製作について行う。精密微細溝形成の機械加工による限界の見極めをまず行い金型設計に着手する。加工限界の見極めは、切削加工、エンドミル法などについて行う。加工を検討する溝形状を図1に示す。

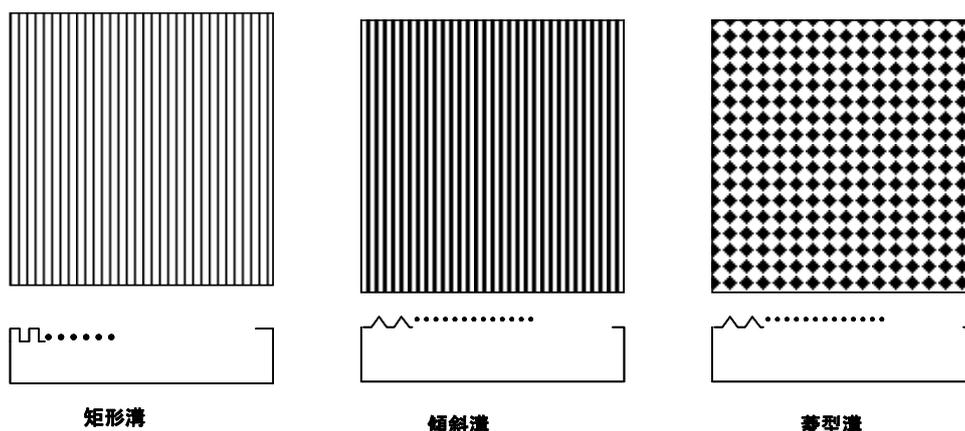


図1 加工溝の形状

パンチの材料には、超微粒子超硬、および平均粒子径 $10\ \mu\text{m}$ の超超微粒子超硬を検討する。精密微細溝加工は、例えば最小設定単位 10nm の精密非球面微細加工装置を用いて行う。この装置を用いると、最小溝幅 $3\ \mu\text{m}$ 、深さ $3\ \mu\text{m}$ 、溝ピッチ $10\ \mu\text{m}$ 程度までの精密微細加工を行うことができる。

またエンドミル加工の場合、平面に対して二次曲線の溝加工が可能である。エンドミルツールにはダイヤモンドを用いる。ツールの選定によって精密非球面微細加工装置に近い最小溝幅、深さ、溝ピッチが得られる。超硬材料への精密微細溝加工は焼き入れ前に行う。切削加工における切削痕が残らない切削工具の選定もあわせて行う。

2) 研究開発項目と目標値

【1】3DM加工用プレス金型の開発

精密微細加工溝幅；MIN.10 μ mを目標とする。

【2】3DM加工用金属材料の選定

精密微細加工溝幅；MIN.10 μ mの得られる銅合金およびアルミニウム材料の選定

【3】3DM加工品へのPR(正逆極性反転)電気銀めっき技術の確立

3DM加工転写溝幅変動； $\pm 10\%$ 以下を目標とする。

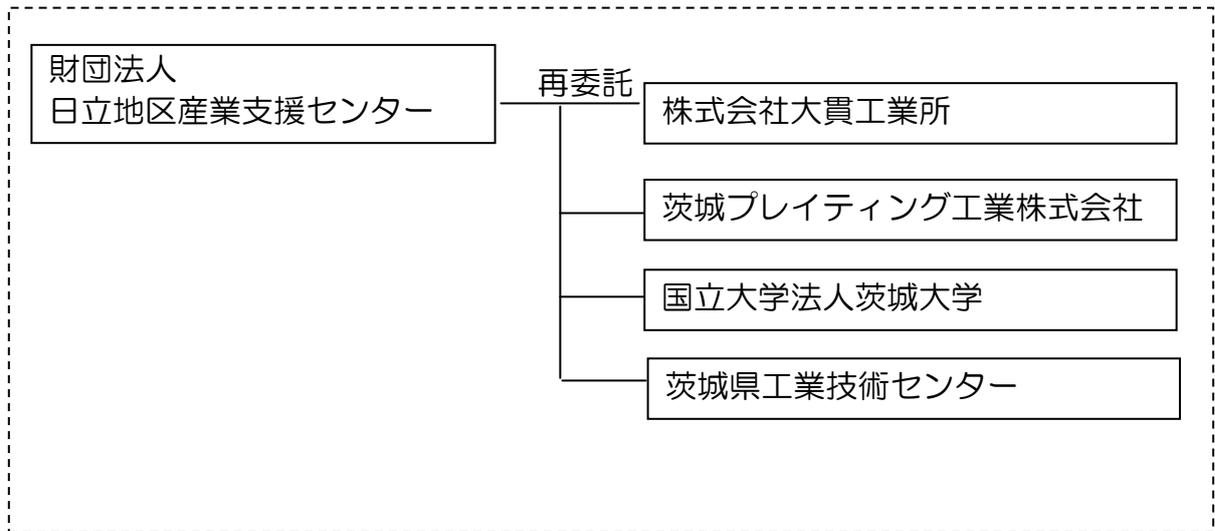
【4】3DM加工品の試作と評価

リードフレームおよびリチウムイオン電池の具体的な顧客納入製品についての試作および信頼性評価を行う。

1.2 研究体制

1.2.1 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



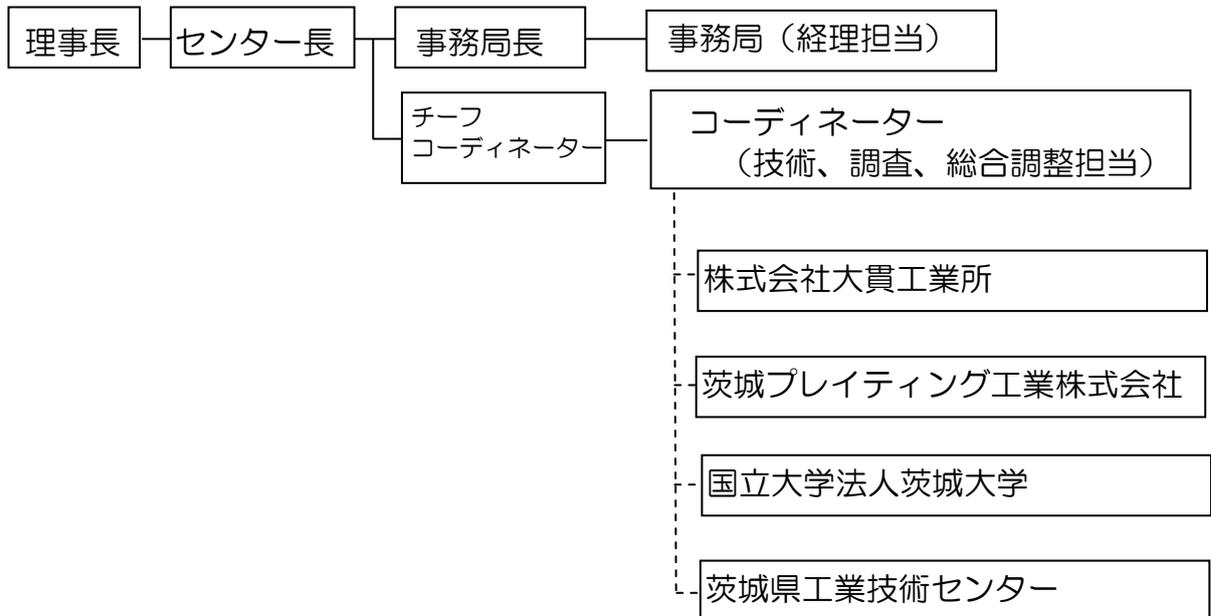
総括研究代表者（PL）
株式会社大貫工業所
代表取締役社長 大貫 啓人

副総括研究代表者（SL）
株式会社大貫工業所
技術顧問 御田 護

2) 管理体制

a) 事業管理者

[財団法人日立地区産業支援センター]



3) 管理員及び研究員

a) 管理員

【事業管理者】 財団法人日立地区産業支援センター

氏名	所属・役職	備考
原 孝介	チーフコーディネーター	
中山 桂司	コーディネーター	

b) 研究員 【再委託先】

株式会社大貫工業所

氏名	所属・役職	備考
大貫 啓人	代表取締役社長	PL
下山田 正彦	専務取締役 営業・管理部 部長	
大貫 英仁	常務取締役 設計部長	
林田 勉	製造部 部長	
勝村 龍夫	品質保証課 課長	
照沼 忍	金型製造課 課長	
和田 正勝	設計部員	
後藤 幸子	設計部員	
上嶋 宏樹	設計部員	
御田 護	技術顧問	
		SL

茨城プレイング工業株式会社

氏名	所属・役職	備考
大澤 健一	取締役 工場長	
石川 強志	製造部 技術課 課長	

国立大学法人茨城大学

氏名	所属・役職	備考
西野 創一郎	大学院理工学研究科 講師	

茨城県工業技術センター

氏名	所属・役職	備考
小松崎 和久	先端材料部門 主任	

4) 協力者(アドバイザー)

氏名	所属・役職	備考
深津 克明	日立オートモティブシステムズ(株) PT&電子統括本部電子設計本部 センサ設計部 チーフディレクター	
中嶋 勝也	茨城県商工労働部 産業産業政策課 産学連携室 室長	
濱中 豊	(社)日本金属プレス工業協会 専務理事	

1.3 成果概要

H21年度の計画内容と成果概要を各々のテーマ毎に以下に示す。

1.3.1 3DM加工用プレス金型の開発(実施：(大貫工業所、茨城大学、茨城県工業技術センター)

1) 金型材料の選定

a) 計画内容

精密微細溝加工の溝形状は、リードフレーム用銅合金やアルミニウムなどの金属材料への転写性、離型性の観点から傾斜溝（最適角度はCAEで解析）として、各種超硬材料（超微粒子、超超微粒子など）の切削溝加工性を検証し、精密微細加工溝幅；MIN.10 μ mを形成可能な金型材料を選定する。

b) 成果概要

精密微細加工用の金型パンチ材料として、SKD11、ダイス鋼、窒素添加粉末ダイス鋼の3種類を選定し、マシニングセンターによる溝幅10 μ mの加工を行い評価した。

2) 精密微細加工法の開発

a) 計画内容

3Dプレス加工用の金型部品の精密微細溝加工を、形彫放電加工機および現保有のエンドミル加工機で試作を行なう。超硬への加工は、焼入れ前および焼き入れ後の両方を検討する。切削加工においては、CBN（立方晶系窒化ホウ素/Cubic Boron Nitride）ツールについて主に検討する。また溝形状の測定には三次元測定機を用いる。

b) 成果概要

SKD11、ダイス鋼、窒素添加粉末ダイス鋼の3種類の精密微細加工法の検討を行った。加工法には、エンドミルのほかに、新たに大貫工業所で購入した安田工業(株)のマシニングセンターを用い、微細溝加工を行った。微細溝加工はダイおよびパンチの先端と側面の両方に加工し、SKD11、ダイス鋼、窒素添加粉末ダイス鋼の3種類の加工性を検証した。

1.3.2 3DM加工用金属材料の選定(大貫工業所、茨城大学、茨城県工業技術センター)

1) 計画内容

精密微細加工溝幅；MIN.10 μ mの転写精度が可能な銅合金およびアルミニウム材料の選定を行う。3D加工部の観察をSEM（走査型電子顕微鏡）で行う。今年度は、試験的な単発式の手動小型プレスを用いて、転写性の初期評価を行う。加工した金属材料（銅合金、アルミニウム）の表面をSEMおよび断面研磨法により観察し、金型部品材料の差を検証する。断面研磨観察は茨城大学工学部西野研究室に、金属マイクロ組織観察は茨城県工業技術センターに依頼する。最終的に1.3.1、1.3.2の成果に基づき、マイクロ構造加工プレス金型を製作し、金属表面への3DM加工性を評価する。

2) 成果概要

銅合金として、自動車の各種センサー用リードフレーム材として現在多用されている真鍮材料を用いた転写性の初期評価を行った。その結果、金型パンチの微細加工部を正確に材料に再現させるには、パンチの押し込み深さが重要であることがわかった。またCAE解析の結果から、金型パンチの微細加工部の材料への転写には、材料の物性およびパンチ形状、ストリッパ形状などが大きく影響することが予測された。

1.3.3 3DM 加工品への PR 電気銀めっき技術の確立(大貫工業所、茨城プレイング工業)

1) 計画内容

3DM 加工転写溝幅変動率±10%以下を目標とした、電気銀めっき液組成の最適化、パルス、PR 電気めっき条件を確立する。

2) 成果概要

金型パンチにより真鍮材料に加工された微細加工表面への精密電気めっき技術開発の可能性検証を行った。電気錫めっき、電気ニッケルめっき、電気銀めっきによる実験の結果、PR 電源の活用によって、微細加工面を再現可能なめっき条件の選定が可能であることが分かった。

1.3.4 3DM 加工品の試作と評価(大貫工業所、茨城大学、茨城県工業技術センター)

1) 計画内容

リードフレームおよびリチウムイオン電池の具体的な製品形体の試作品を製作し、信頼性評価を行う。この為に、製品形体試作用の樹脂成形金型を製作し、射出成形機を用いて製品形体の試作を行う。信頼性評価は、樹脂と金属の密着性（引張り強度特性）および空気、ヘリウム等のガス透過特性により行う。

2) 成果概要

3DM 加工を行った真鍮などの銅合金リードフレームを試作し、樹脂成形を行い接着強度試験およびガスリーク試験を行った。またアルミニウムリフレクタおよび銀めっきリードフレームを試作し、これらのカシメ接合により一体化した LED 用パッケージ部材を完成させた。さらにリードフレームとリフレクタ界面の樹脂成形を行い、高輝度 LED 用パッケージを試作した。

1.4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理者

〒316-0032

茨城県日立市西成沢町2丁目20番1号

財団法人日立地区産業支援センター 担当 コーディネーター 中山 桂司

連絡先 TEL. 0294-25-6121

FAX. 0294-25-6125

中核研究機関

〒316-0025

茨城県日立市森山町5丁目10番8号

株式会社大貫工業所 担当 代表取締役社長 大貫 啓人

連絡先 TEL. 0294-53-3821

FAX. 0294-53-6839

第2章 本論

2.1 3DM加工用プレス金型の開発(大貫工業所、茨城大学、茨城県工業技術センター)

2.1.1 金型材料の選定

1) 3DM加工用金型材料の要求特性

3DM加工用プレス金型材料としては、ミクロンオーダーの仕上がり寸法が問われることから、切削加工性のほかに、材料のマイクロ組織が重要と考えられる。また金型の転写製の観点からは靱性も重要である。金型材料の選定に当たってDRを行った結果を下表に示す。

表 2.1.1-1 3DM加工に必要な金型材料の要求特性

要求特性	具体的性能	備考
1. 切削加工性	サブミクロンの仕上がり加工精度が可能な材料	高速回転マシニング、形彫放電加工機、エンドミルなどによる微細加工性に優れること。
2. 結晶組織	結晶粒度 $10\mu\text{m}$ >	
3. 硬さ	HRC50 <	
4. 靱性	圧縮降伏応力 $2,000\text{N}/\text{mm}^2$ <	
5. コーティング性	コーティング下地処理との密着性	DLC, TiCN など
6. 再生可能	コーティング再生性	再生により繰り返し使用が可能なこと

また表 2.1.1-1 に示した要求特性に対する候補材料としては下記の材料が挙げられる。

表 2.1.1-2 3DM加工候補材料

候補材料	圧縮降伏応力 ($\text{N}\cdot\text{mm}^2$)	硬さ (HRC)	シャルピー衝撃 値 (吸収エネルギー/ J)	コーティング 加工性 (皮膜 耐久性)
1. SKD11	2,300	60	5	中
2. ダイス鋼	2,350	60	55	良
3. 窒素添加粉末 ダイス鋼	2,500	60	18	良
4. 粉末ダイス鋼	2,230	60	40	良
5. 粉末ハイス	2,820	63	22	良

本研究開発では、SKD11、ダイス鋼、窒素添加粉末ダイス鋼の3種について、パンチを製作して比較検証を行った。

2) 3DM加工試験金型の設計

a) 金型の設計基準の設定

下表に3DM加工用試験金型の設計基準を示す。設計基準値は、樹脂との接着性向上およびガスリーク試験におけるバリア性能向上を目的として設定

した値である。

表 2.1.1-3 3DM加工の設計基準

項目	基準値	備考
微細加工溝幅	10 μm	機械加工

b) CAEによる応力、歪解析

CAEを用いた、精密微細加工の応力解析シミュレーションを試みた。CAEには先端力学シミュレーション研究所/プレス成形シミュレーションソフトウェアASU/P-formのCAEソフトを用いた。この結果、 μm レベルの微細寸法のプレス加工の解析の場合、解析計算ソフトのエラーが発生し、本ソフトでは解析が不可能なことが分かった。このため、解析が可能な、下記拡大相似形モデルを作成してパンチ材質、構造の最適化解析を行った。

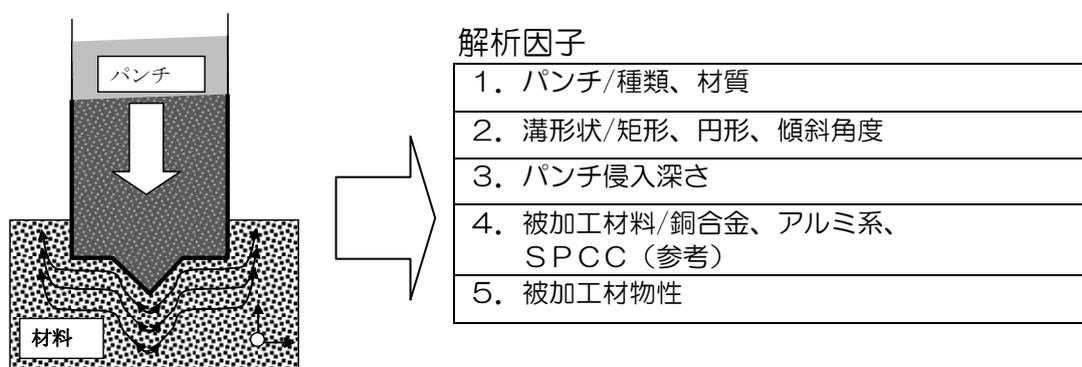


図 2.1.1-1 3DM加工CAE解析拡大モデルと解析因子

解析モデルとしては、下図に示すパンチ底面形状とし、また材料はSPCCとして解析を行った。SPCCは自動車用センサー端子部材には使用されていないが、構造部材として多用されている。

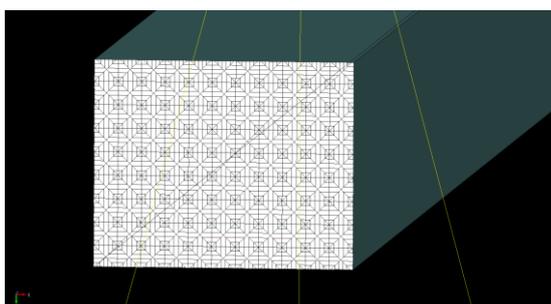


図 2.1.1-2 3DM加工CAE解析用パンチ構造
(突起形状；0.8×1.0mm、突起高さ；0.008mm、突起の数；8×10)

以上の条件におけるCAE解析の結果を以下に示す。下図はパンチをSPCC材料表面に押し込んだ状態での表面の歪分布である。

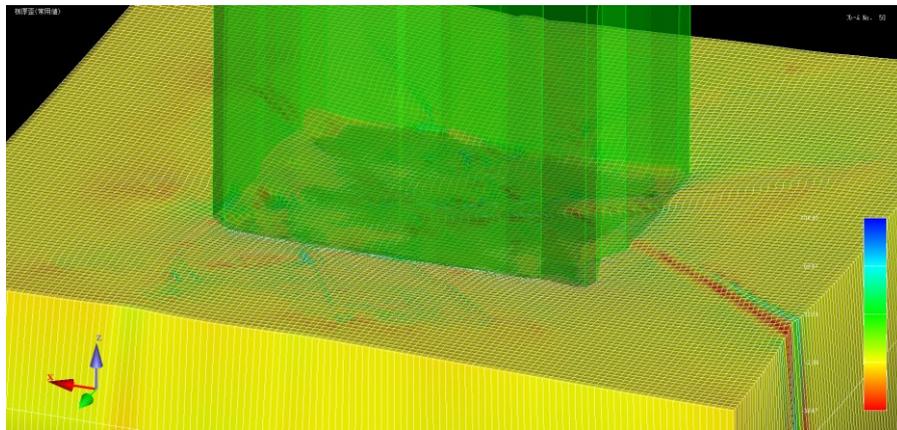


図 2.1.1-3 3DM加工CAE解析結果（パンチ・材料界面の歪分布）

下図には材料表面のみの歪分布を示す。

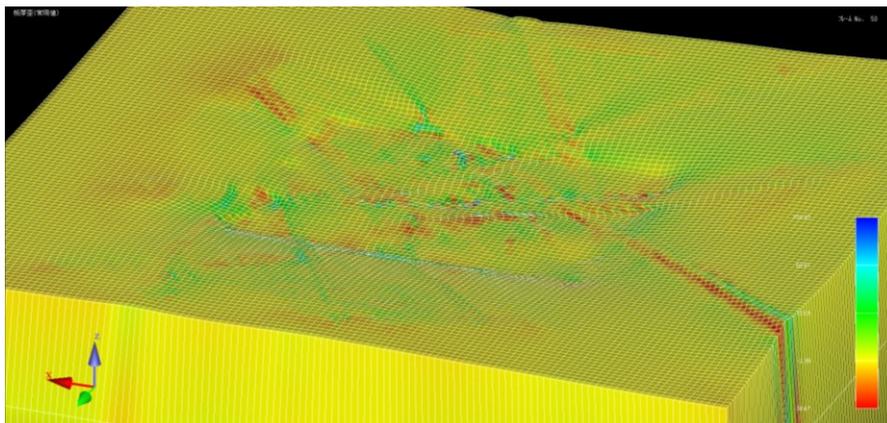


図 2.1.1-4 3DM加工CAE解析結果（材料表面の歪分布）

下図は同じく材料表面の相当応力分布を示す。

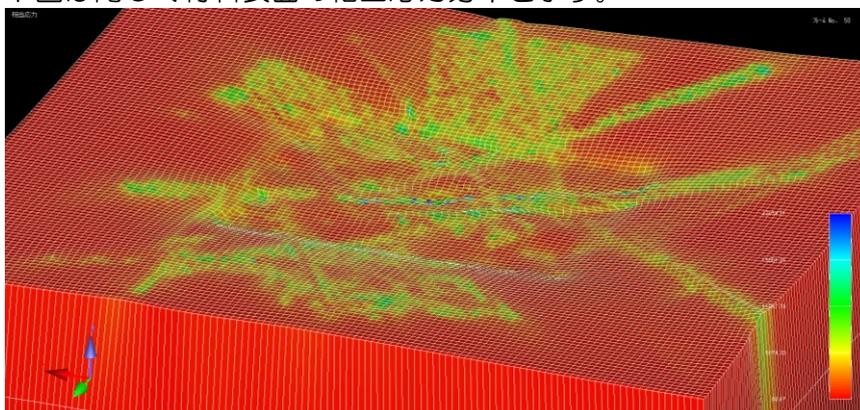


図 2.1.1-5 3DM加工CAE解析結果（材料表面の相当応力分布）

解析結果、パンチの押し込みにより材料には大きな撓み変形が発生していることが明らかになった。すなわち図に見るように、パンチ底面以外のパンチ外側の領域に拡張した大きな歪変形が生じていることが分かる。このため、パンチ荷重はパンチ底面にのみ集中するのではなく、パンチ外周に吸収され転写圧力が低下する。このことから、金属表面への微細構造の転写形成には、パンチ押し込み量、加工材料の機械的特性、金型の構造などが大きく関係すると考えられる。

c) 金型設計

①初回試作用金型設計

初回試作金型の設計に当たっては、下記情報を調査し、加工可能な三次元微細加工形状を決定した。

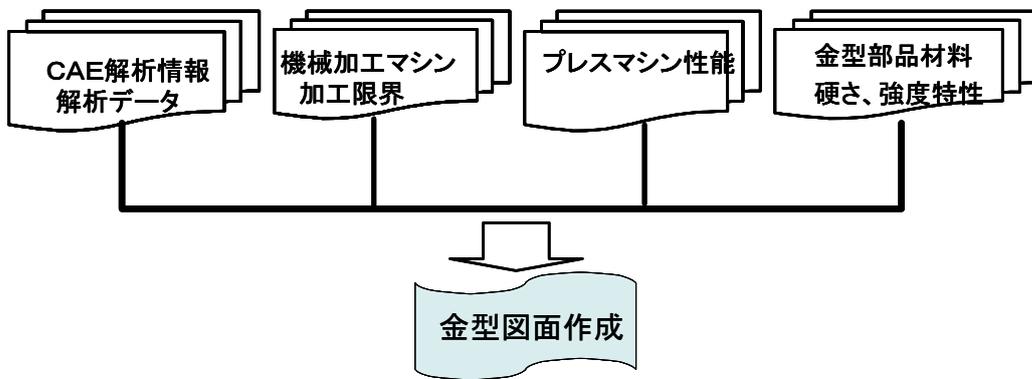


図 2.1.1-6 3DM加工金型の設計フローチャート

この結果、マシニングセンターによる連続した球面垂直の直交溝加工において、ラップする溝の稜線が鋭角となることを利用すれば、目標とする $10\mu\text{m}$ の溝幅を材料面に転写形成することが可能と考えられた。この3DM加工のパンチおよび被加工材料の断面を下図に示す。

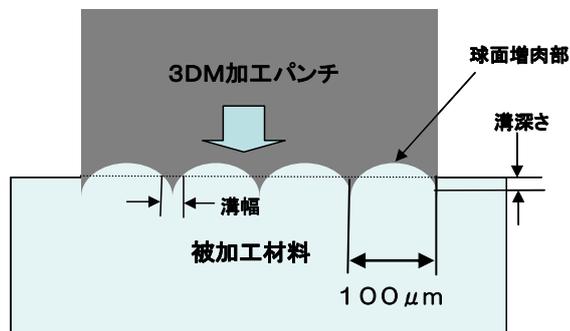


図 2.1.1-7 3DM加工パンチおよび被加工材料の断面

3DM加工パンチの降下侵入により、被加工材料の表面に鋭角溝が形成されると同時に、球面形状の増肉部が形成される。また溝の深さおよび幅

はプレスマシンの下死点（ストップエンド）精度で決まることになる。この基本構造を元に、溝ピッチ100 μ mの金型を設計した。

2.1.2 精密微細加工法の開発

1) 精密微細加工用金型の製作

安田製マシニングセンターを用いて下記の条件で3DM加工パンチの加工を行った。

表 2.1.2-1 3DM加工パンチの加工条件（マシニングセンター）

加工条件	内容	備考
1. 加工機	マシニングセンター	安田工業(株)製
2. パンチ材料	SKD11	
3. マシニング回転速度	20,000RPM	
4. ツール送り速度	100mm/min	
5. ツール送りピッチ	0.091mm	

また精密微細加工パンチの加工にはマシニングセンターの他に本計画で導入した形彫放電加工機を用いた。また加工寸法測定には、本計画で導入した三次元測定機を用いた。マシニングセンターと形彫放電加工機および三次元測定機を下図に示す。

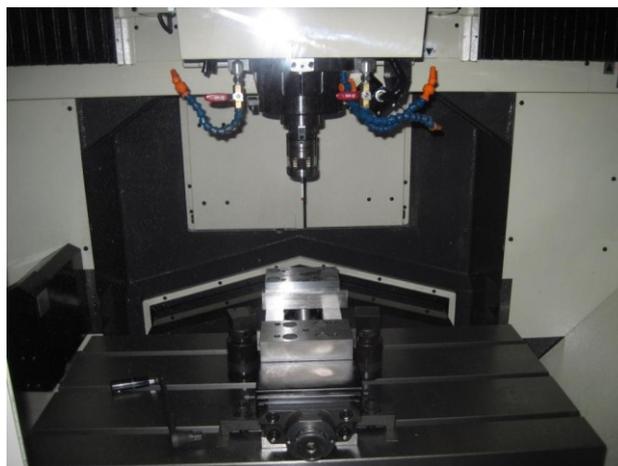
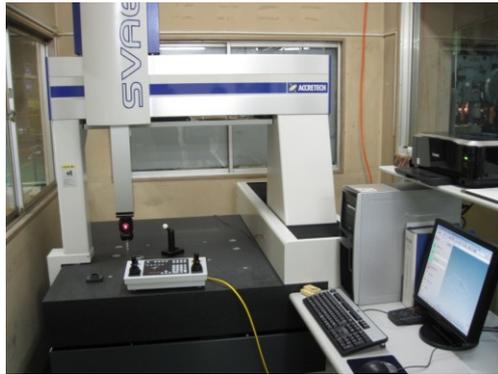


図 2.1.2-1 マシニングセンター



仕様
 メーカー名；(株)ソディック
 型式；AG35L
 テーブル寸法；600×400mm
 XYZ軸ストローク；350/250/250
 最大懸垂質量；50Kg
 最大加工質量；550Kg
 最大加工電流；40A (200/220V)
 50/60Hz
 最小指令単位；0.1 μ m
 最小駆動単位；0.1 μ m
 駆動軸数；最大4軸

図 2.1.2-2 リニアモーター駆動高速形彫放電加工機



仕様
 メーカー名；東京精密(株)
 型式；CNC 三次元座標測定機
 XYZAX/SVA600A
 外形寸法；1,415W×1,440L×2,455H
 測定範囲；650X、500Y、450Z
 最小表示；0.01 μm

図 2.1.2-3 CNC 三次元座標測定機

製作した精密微細加工用金型（マイクロ構造加工金型）および加工品（真鍮材）を下図に示す。

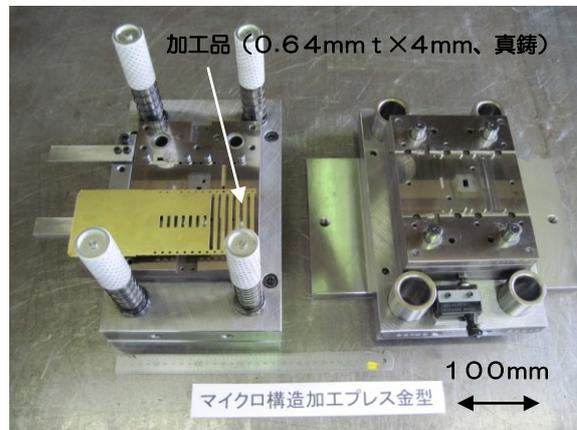
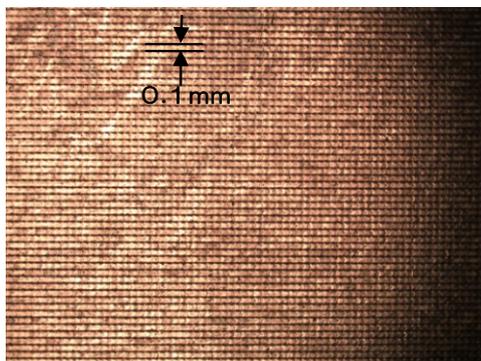
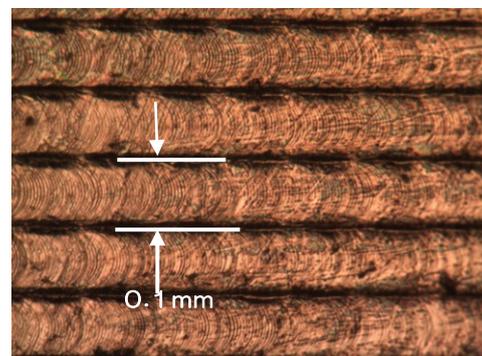


図 2.1.2-4 3DM加工用金型と加工品の外観

3DM加工用金型のパンチおよびダイの加工表面を光学顕微鏡で観察した結果を下図に示す。

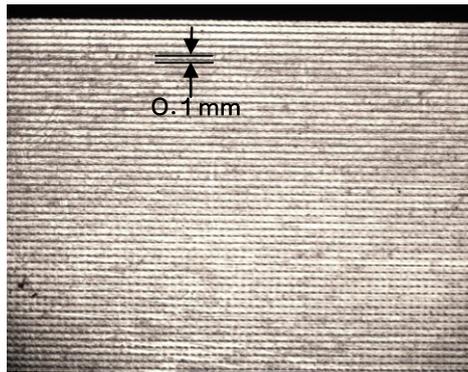


a) $\times 10$

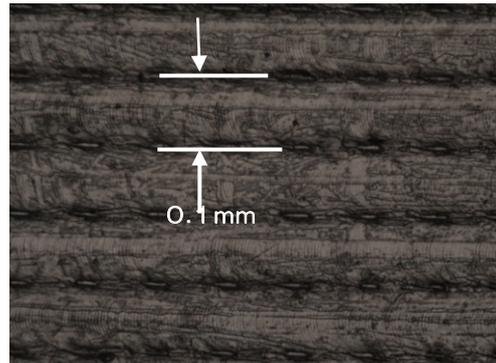


b) $\times 100$

図 2.1.2-5 3DM加工用金型のパンチ表面（光学顕微鏡像）



a) ×10



b) ×100

図 2.1.2-6 3DM加工用金型のダイ表面（光学顕微鏡像）

2) 精密微細加工金型によるプレス加工実験結果

a) 加工材料

プレス加工実験用被加工材料には下表の材料を候補とした。EFTEC3は古河電工（株）の高熱伝導性銅合金であり、高放熱性の要求されるLED用リードフレームには最適な材料である。アルミニウムは反射率が高いためLEDランプ用リフレクタに用いられている。また真鍮材料は、樹脂成形自動車センサー部品の端子に多く使用されている。これらの3種類の材料を用いた精密微細加工実験の計画を立案したが、このうち、今年度は、試験的に真鍮などの銅合金を被加工材料とした加工実験を行った。

表 2.1.2-2 3DM加工用被加工材料（候補材料）

材料名 (応用製品)	伸び (%)	引張り強度 (Mpa)	線膨張係数 (ppm)	成分 (mass%)
銅合金、EFTEC3 古河電工 (LED用リードフレーム)	25<	216-294	17.3	Sn0.1-0.2/Cu
純アルミニウム (A1050-O材) (LED用リフレクタ)	45-48	90-98	23.5	Al99.0<
真鍮(自動車センサー用端子部品) C2080R 1/2H	35<	275	-	Cu64-68/Zn

b) 金型構造と加工条件

①金型構造

微細加工金型の断面構造を下図に示す。金型は通常の順送プレス金型同様上型をストリッパ、パンチ、下型をダイで構成した。パンチ側面は図示していないが、加工側面の観察結果で後述するように、側面にも微細溝加工を行った。パンチとストリッパは別に構成されており、ストリッパ面とパンチ先端の間隔（パンチ押し込み深さ/d mm）を任意の深さに設定できるようにした。

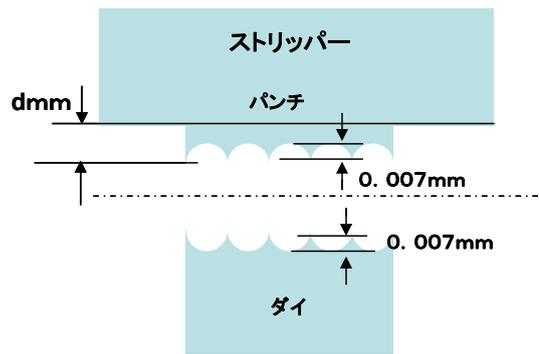


図 2.1.2-7 精密微細加工金型の構造（断面）

②加工条件

微細加工用金型による溝加工条件を下表に示す。加工には通常の順送プレス加工用高速プレスを用いた。材料へのパンチの押し込み深さはストリッパを基準として、7、50 μm の2条件で行った。

表 2.1.2-3 微細加工条件（真鍮材料）

項目	条件	備考
1. プレス	高速クランクプレス	
2. プレス速度	100 s p m	
3. パンチ押し込み深さ	7、50 μm	ストリッパ基準深さ

c) 加工表面の観察結果

①軽加工条件（パンチ押し込み量/7 μm ）

i) 光学顕微鏡観察結果

下図に軽加工条件（パンチ押し込み量/7 μm ）において、真鍮（0.64 mm t）を用いた場合の加工表面（光学顕微鏡像）を示す。左が加工部、右は非加工部を示している。目標とした溝幅10 μm に対して15 μm の溝幅となった。また溝ピッチは0.093 mmとなった。溝幅および溝深さはプレスの下死点で制御することが可能である。観察結果、加工部表面には材料の圧延痕が多く残っており、図 2.1.1-3 に示す、3DM加工パンチ（凹型パンチ形状）の場合には、パンチの圧縮応力による材料表面の形状加工までは難しい結果となった。被加工材料の表面の平滑化などの表面改質の効果を得るには、今後凸型形状のパンチが必要と考えられた。

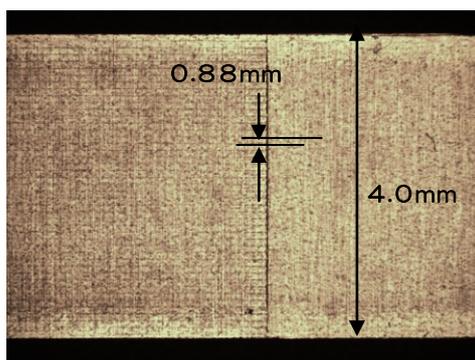


図 2.1.2-8 軽加工条件における精密微細加工表面/パンチ加工面
(0.64mm t 真鍮材料)

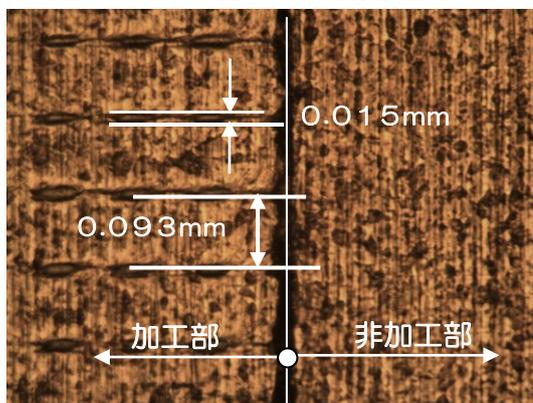


図 2.1.2-9 軽加工条件における精密微細加工表面/パンチ加工面
(0.64mm t 真鍮材料)

また下図に精密微細加工金型により加工した真鍮フレームの側面を示す。

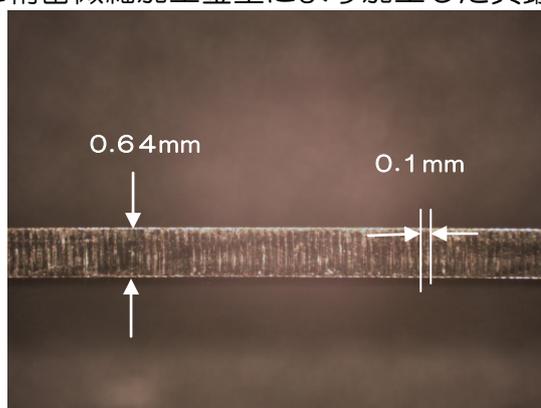


図 2.1.2-10 軽加工条件における精密微細加工側面
(0.64mm t 真鍮材料)

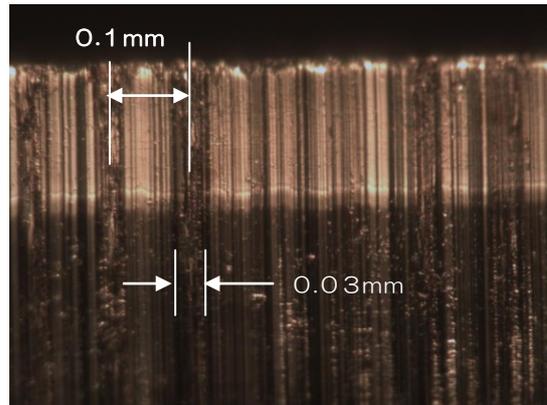


図 2.1.2-11 軽加工条件における精密微細加工面（パンチ加工側面）
（0.64mm t 真鍮材料）

0.64mmの材料厚さの真鍮の側面に形成した溝のピッチは、0.1mmであり、これは金型およびダイの溝形状寸法に近似である。これは抜き加工パンチおよびダイの加工限界である。

ii) SEM観察結果

パンチによる加工表面をSEMで観察した結果を下図に示す。



図 2.1.2-12 軽加工条件における精密微細加工面/パンチ加工面
（0.64mm t 真鍮材料）

加工面には材料の圧延痕が残っている。したがって、加工前材料の研磨加工を行うなど面仕上げを行うか、またはプレス荷重を増すなど強加工を行う必要がある。

iii) 表面粗さ測定結果

レーザ顕微鏡によりパンチ加工を行った面の表面粗さの測定を行った結果を下図に示す。

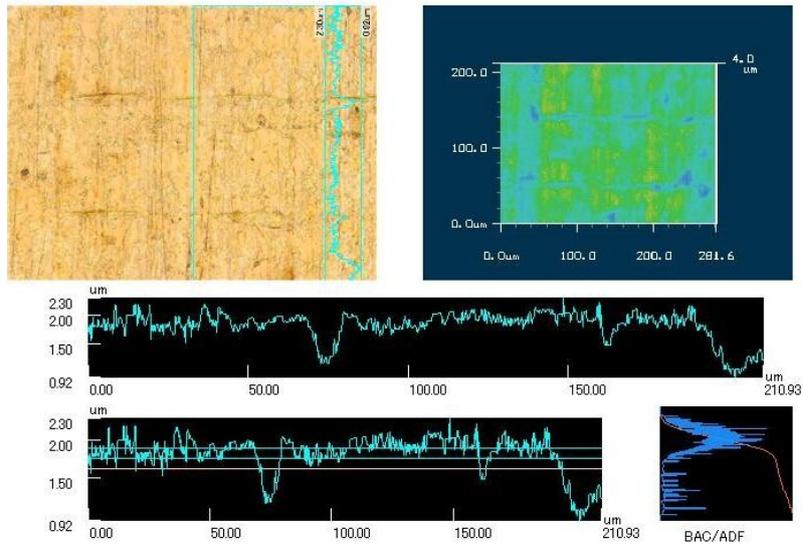


図 2.1.2-13 レーザ顕微鏡による表面粗さ測定結果
 軽加工条件における精密微細加工面/パンチ加工面
 (0.64mm t 真鍮材料)

また裏面ダイ側の加工面を下図に示す。

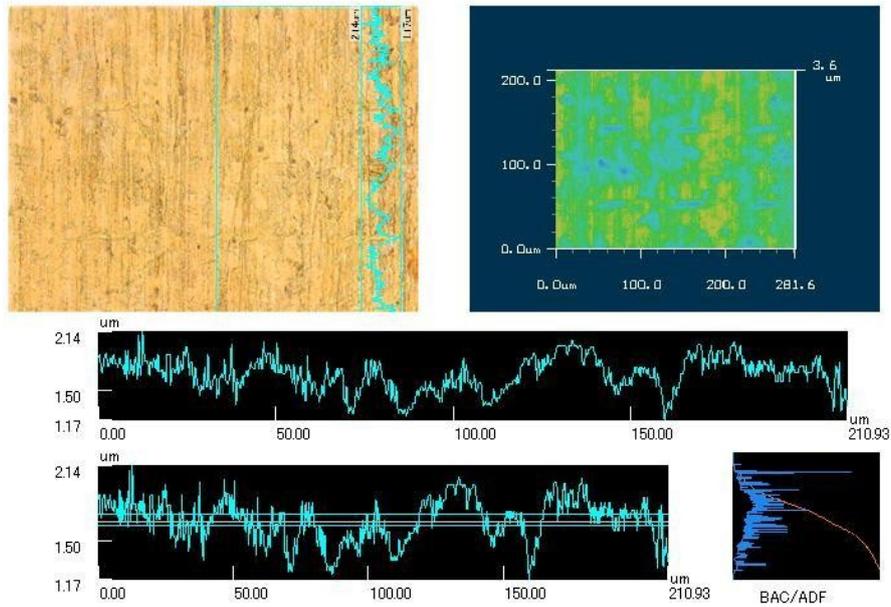
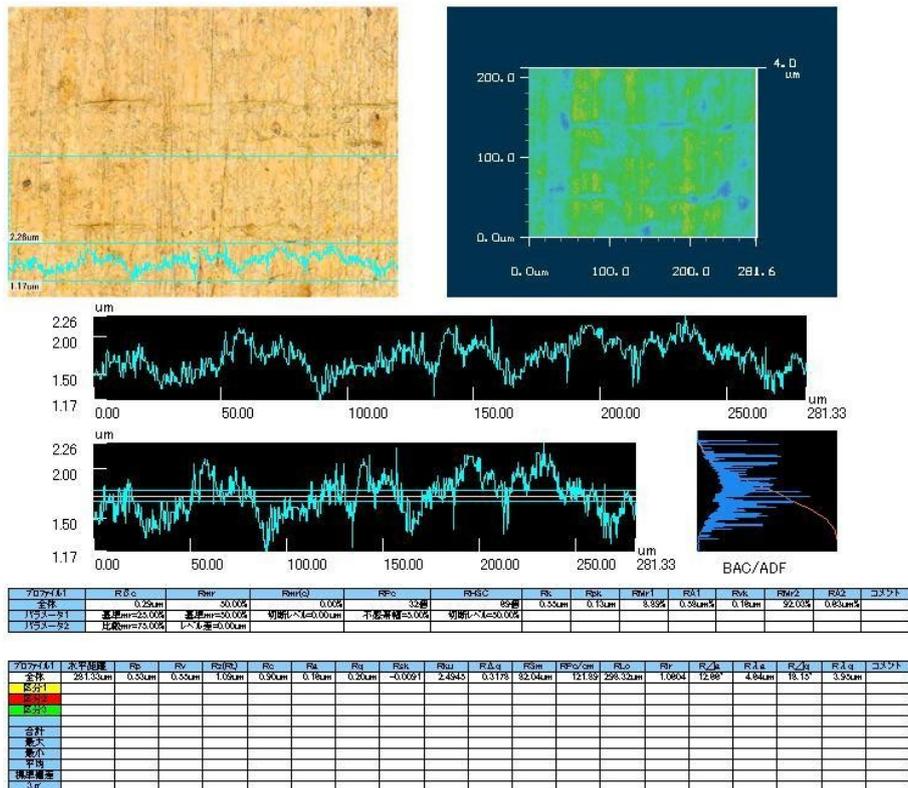


図 2.1.2-14 レーザ顕微鏡による表面粗さ測定結果
 軽加工条件における精密微細加工面/ダイ加工面
 (0.64mm t 真鍮材料)

パンチ加工面には、1 μm 程度の深さの溝加工部が見えるが、ダイ側の加工部には、溝加工部が確認できない。また材料圧延面と直角方向（溝近傍部）の表面粗さ測定結果を下図に示す。



プロファイル
 ライン種別：水平線
 平均：無し
 補正処理：光量スムージング無し、DCL/BCL無し、高さスムージング無し、傾き補正無し
 JIS B0601:2001(ISO 4287:1997)
 カットオフ：粗さ λs無し、λc無し

図 2.1.2-15 レーザ顕微鏡による表面粗さ測定結果（溝近傍部）
 軽加工条件における精密微細加工面/パンチ加工面
 (0.64mm t 真鍮材料)

真鍮材料には、圧延面と直角方向に平均粗さで0.3 μm程度の粗さが存在する。これは通常の圧延加工品の平均的な粗さである。

②強加工条件（パンチ押し込み量50 μm）

パンチ押し込み量が50 μmの強加工条件での真鍮加工面の光学顕微鏡による観察結果を下図に示す。パンチ側の加工外観は軽加工条件と比較して大きな差が見られない。

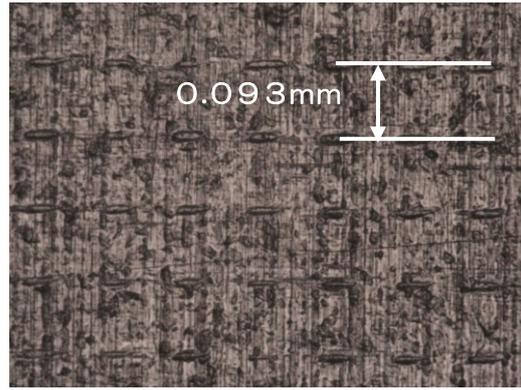


図 2.1.2-16 強加工条件における精密微細加工面/パンチ加工面
(0.64mm t 真鍮材料)

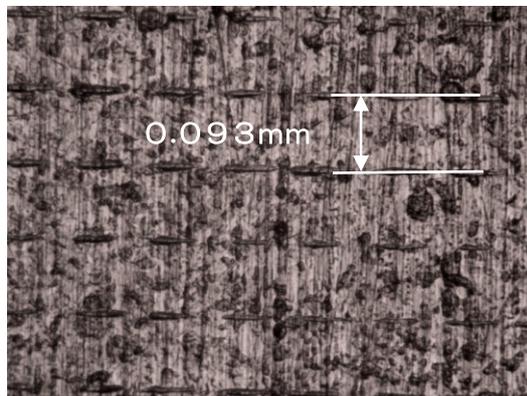


図 2.1.2-17 強加工条件における精密微細加工面/ダイ加工面
(0.64mm t 真鍮材料)

しかしながら強加工条件では、ダイ側もパンチ側と同程度に加工されている。側面は下図に示すように、加工部と非加工部の差が明確であるが、加工部には下側（ダイ側）にダレが見られる。

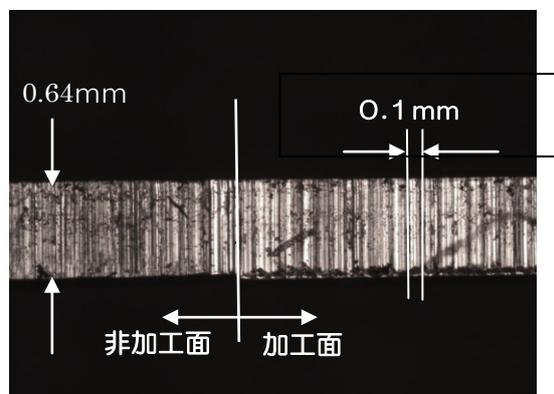


図 2.1.2-18 強加工条件における精密微細加工面/パンチ加工側面)
0.64mm t 真鍮材料

2.2 3DM加工用金属材料の選定(大貫工業所、茨城大学、茨城県工業技術センター)

半導体パッケージ用リードフレームなどの金属材料には、2.1.2.の2)精密微細加工金型によるプレス加工実験結果で記述したようにおもに高導電率の銅合金が、またLEDのリフレクタにはアルミニウム材料が用いられる。3DM加工は微細加工金型パンチ構造体の加工面を正確に金属材料に転写できることが重要である。これには被加工材料である金属の硬さのほか、結晶組織が大きく関係すると思われる。

2.2.1 加工用金属材料の断面マイクロ組織観察結果

2.1.2の2)で精密微細加工を行ったサンプル(真鍮)の断面マイクロ組織観察を行った。結果を下図に示す。

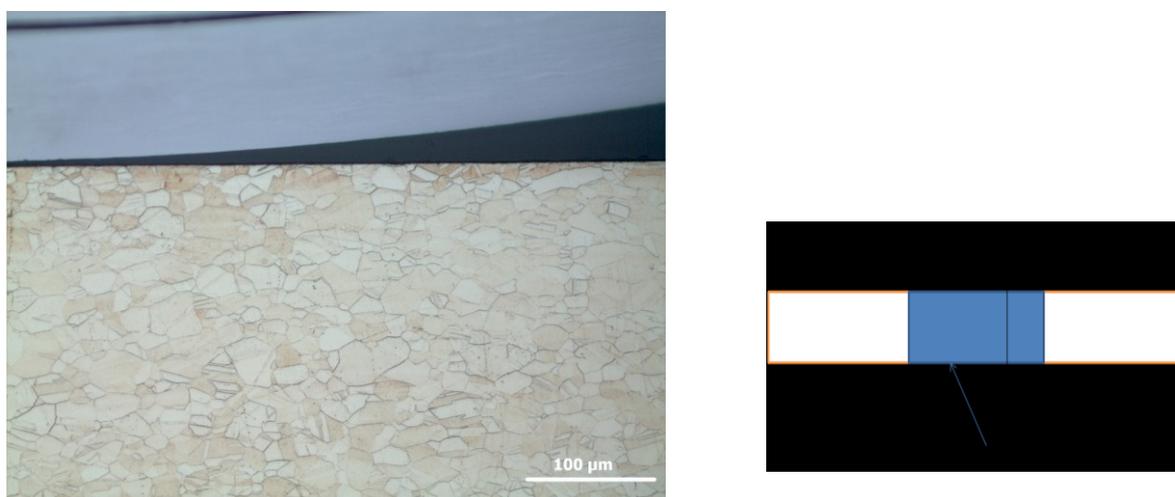


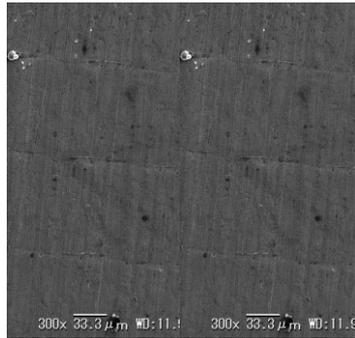
図 2.2.1-1 真鍮材料の断面マイクロ組織観察結果

断面は平均結晶粒径 $30\mu\text{m}$ 程度のマイクロ組織となっている。3DM加工サイズはこの粒子径より一桁小さな加工になるので、材料の加工前のマイクロ組織が重要である。今後半導体パッケージ用、特にLED用の銅合金材料に関して最適な材料組織を見出す必要がある。

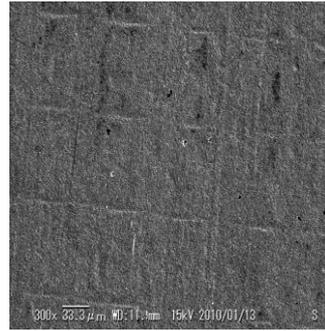
2.3 3DM加工品へのPR電気銀めっき技術の確立(大貫工業所、茨城プレイング工業)

2.3.1 軽加工面への電気錫めっきの結果

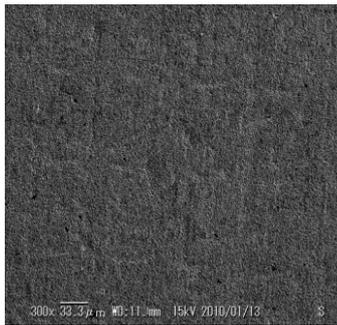
下図に軽加工面への電気錫めっき(SEM写真)の結果を示す。DC直流条件においても軽加工面が損なわれることなく再現されている。PR条件では逆電流密度を高くすると表面が平滑になる傾向が見られる。



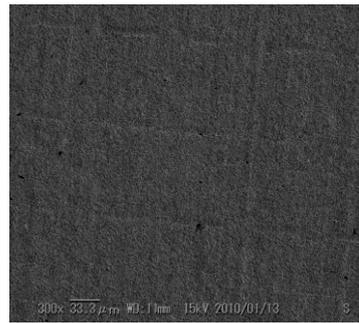
①



②



③



④

図 2.3.1-1 電気錫めっき処理後のSEM像 (0.64mm t 真鍮材料)

①ブランク；めっきなし ②Snめっき 1.0A/dm² (DC) ×4分間

③Snめっき 正側1.0A/dm² 10ms 逆側2.5A/dm² 0.5ms ×5分間

④Snめっき 正側 1.0A/dm² 10ms 逆側 5.0A/dm² 0.5ms ×7分間

2.3.2 強加工面への電気めっきの結果

下図に強加工面への電気めっき面のSEM写真を示す。

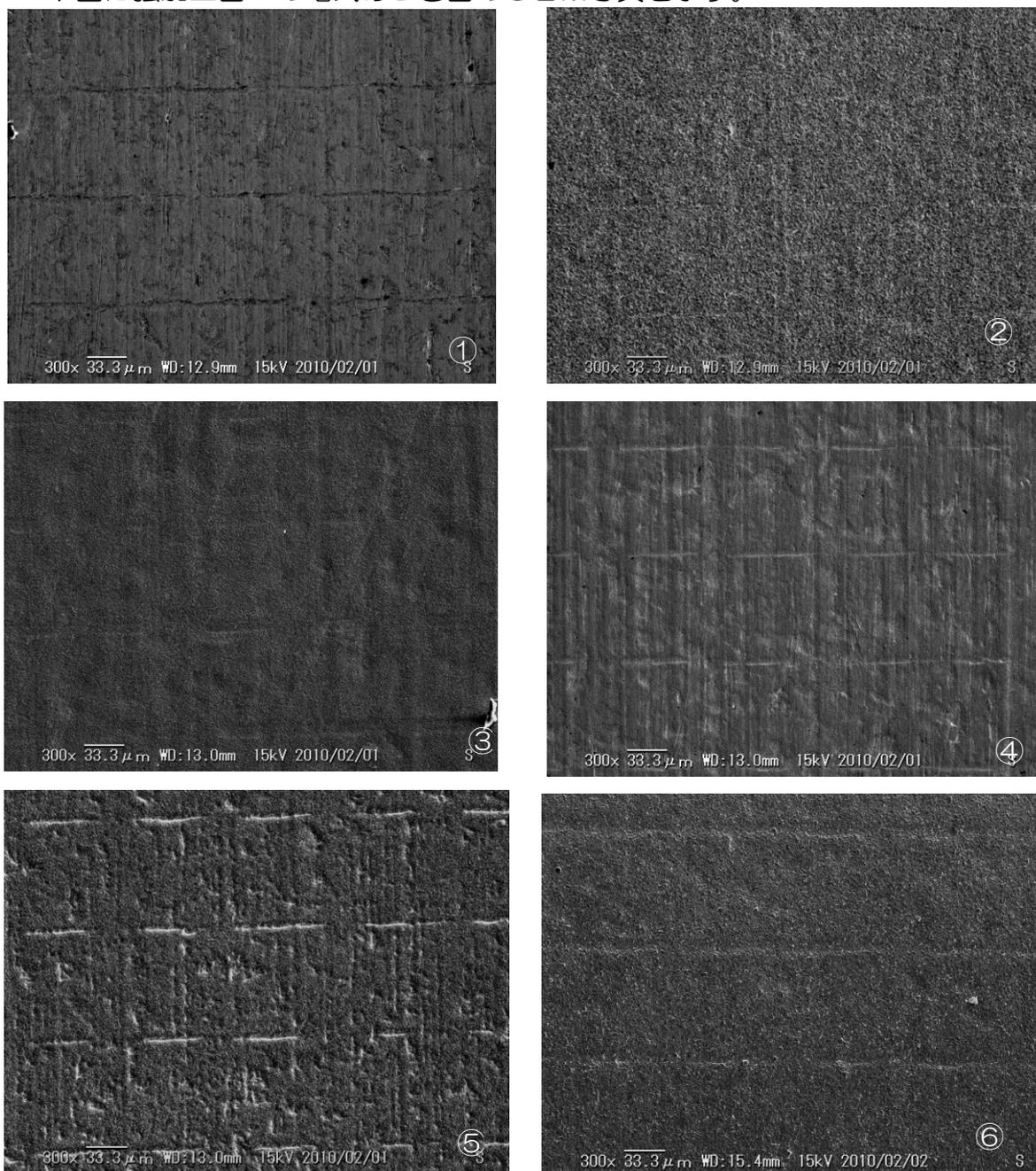


図 2.3.2-1 電気めっき処理後のSEM像 (0.64mm t 真鍮材料)

- ①ブランク
- ②Snめっき $2.0A/dm^2$ (DC)
- ③Ni+Agめっき 各 $2.0A/dm^2$ (DC)
- ④Niめっき 正側 $2.0A/dm^2$ 10ms 逆側 $5.0A/dm^2$ 0.5ms
- ⑤Ni+Agめっき 各正側 $2.0A/dm^2$ 10ms 逆側 $5.0A/dm^2$ 0.5ms
- ⑥Snめっき 正側 $2.0A/dm^2$ 10ms 逆側 $5.0A/dm^2$ 0.5ms

図に示すように、通常の直流電流によるDC電気めっきにおいては、プレス金型により形成した微細加工形状(①)を再現できていない。すなわち、形成した凹凸が電気めっきによって埋まってしまっているのが分かる(図の②、③)。これに対して、PR電源によるニッケルめっきでは、プレス金型によって形成された凹凸微細形状が残っており(④)、さらにその上に銀めっきをPR電源で処理した場合も、微細加工形状が残っている。また電気錫めっきの場合もDC電源と比較して、形状再現性が良いことが分かる(②と⑥の比較)。

以上の結果から、プレス金型による機械的な微細加工を行った表面への電気めっきにおいて、下地の加工形状を再現しためっき表面を得るには、PRめっき法が有効であることが検証された。

2.4 3DM加工品の試作と評価(大貴工業所、茨城大学、茨城県工業技術センター)

2.4.1 接着強度およびガスリーク性評価

1) 接着強度およびガスリーク試験用試験片の作成

3DM加工の効果を確認するために、接着強度およびガスリーク試験用試験片を作成した。リードフレームおよび樹脂モールドの形状を下図に示す。成形樹脂にはナイロン、PBT、PPSの3種を評価した。

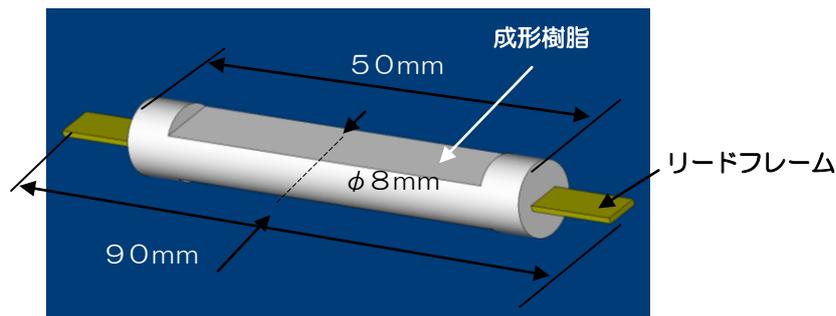


図 2.4.1-1 接着強度試験およびガスリーク試験片の形状

リードフレームの材料は真鍮とし、厚さ；0.64mmの材料を用いた。この材料の中央部表裏両面および側面に10mmの長さ範囲に3DM加工を行った。すなわち、中央1.0mmの微細加工部には、表裏および側面に微細加工が行われている。

リードフレームの形状を下図に示す。

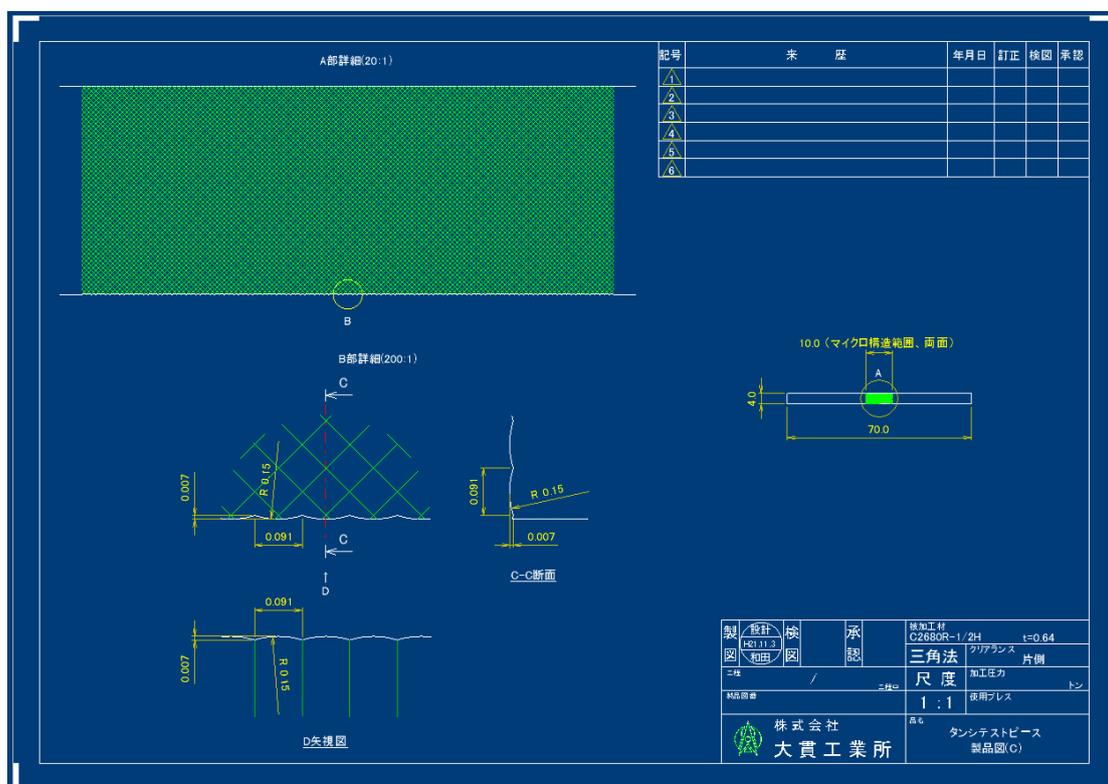


図 2.4.1-2 接着強度およびガスリーク試験用リードフレーム
(材質；真鍮、厚さ；0.64mm、中央部10mm3DM加工範囲
(表裏および側面))

樹脂成形した試験片の外観を下図に示す。



図 2.4.1-3 接着強度試験およびガスリーク試験片の概観

試験片の樹脂成形加工には今期導入した成形機を用いた。樹脂成形機を下図に示す。



装置仕様
外形寸法；1240W×3896L×2384H
射出ストローク；128mm
スクリー直径；32mm
最大射出速度；150mm/s
最大射出圧力；215.6MPa
総電気容量；11KVA

図 2.4.1-4 樹脂成形機（東洋機械金属(株)製、全電動縦型成形機
型式；ET-80/HR2, E75)

試験片の樹脂モールドに用いた成形金型を下図に示す。

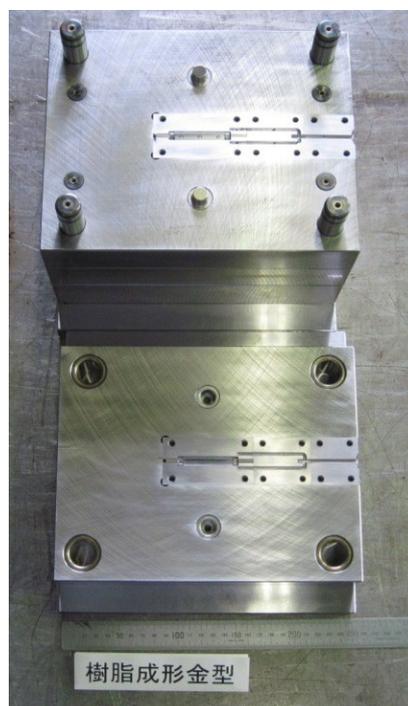


図2.4.1-5 試験片作成用樹脂成形金型（W250×D250×H240）

2) 接着強度測定評価試験結果

今年度は、めっきなし微細加工端子の予備的な引っ張り強度測定を行った。次年度からは、錫めっき、銀めっきサンプルおよびその他銅合金、アルミニウム端子の測定を順次おこなう。成形樹脂には PPS,PBT,PA66ナイロンの3種類を用いた。

接着強度試験には(株)島津製作所 (AG-1000B) を用いた。引っ張り試験方法を下図に示す。

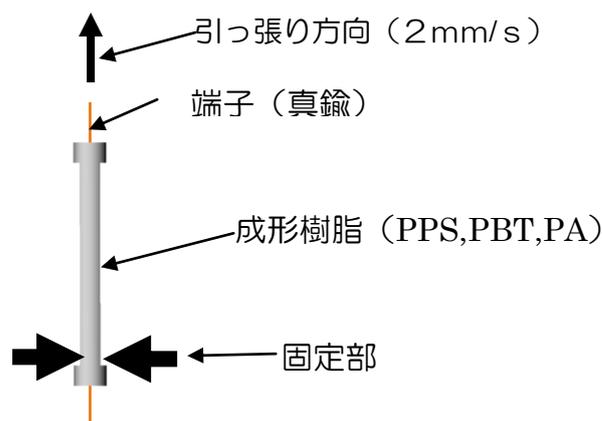


図 2.4.1-6 引っ張り試験方法
(株)島津製作所 AG-1000B 使用)

試験結果を下表に示す。端子試験片には、前述の軽加工条件の微細加工端子を用いた。下表に示すように、PPS,PA66ともに加工なしの端子の引っ張り強度の方が高い結果となった。PBT は僅かに加工端子の方が高い結果が得られた。ただし測定サンプル数が少なく解析までには至っていない。実際には6個以上のサンプルによる測定を行って、微細加工の効果を検証する必要がある。また断面観察などを行い、微細加工部への樹脂の流動などを調査して考察する必要がある。次年度からは、これらの調査解析も含めて開発を進める。

表 2.4.1-1 引っ張り試験結果

樹脂名		マイクロ加工	引っ張り強度(N)
PPS1140A1	No.1	有り	614
	No.2	有り	507
	No.3	有り	529
	No.4	無し	694
PBT7407	No.5	有り	605
	No.6	無し	580
PA66ナイロン	No.7	有り	280
	No.8	無し	427

3) ガスリーク性評価試験結果

ガスリーク試験に用いる装置を下図に示す。試験装置は大貫工業所において組み立てた。この装置は、コンプレッサーからの空気圧チューブ（0.1 MPa）をガスリーク試験サンプルの片方に接続し、もう片方からリークするエアバブルをメスシリンダーにより計量する方式である。今年度は装置の製作を行い実際の端子を用いてリークエア量を計測し、この方法で測定が可能であることを確認した。次年度からは、引っ張り試験同様、成形樹脂の種類、微細加工条件、錫めっき、銀めっきサンプルによるガスリーク性の比較を行い、3DM加工の有効性の検証を行う。



図 2.4.1-7 ガスリーク試験装置

2.4.2 高輝度 LED ランプ用パッケージの試作

3DM 技術を応用した高輝度 LED ランプ用パッケージの試作を行った。

1) 高輝度 LED ランプ用パッケージの基本構造

試作を行った高輝度 LED ランプ用パッケージの基本構造を下図に示す。

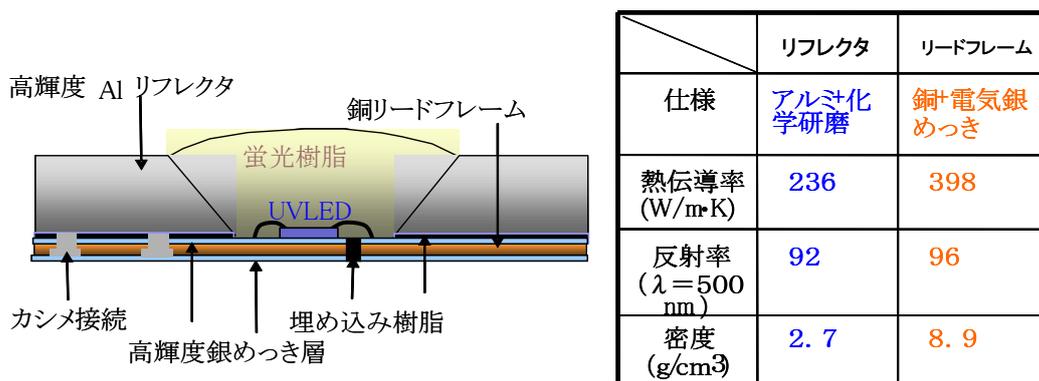


図 2.4.2-1 高輝度 LED ランプ用パッケージの基本構造

今回試作した高輝度 LED ランプ用パッケージの基本構造は、リフレクタには A1050-O 材からなる純アルミニウムを用い、また LED チップを搭載するリードフレームには高熱伝導、高電気伝導銅合金（アロイ194）を用いた。リフレクタは圧造成形用板鍛造プレスマシン（㈱アマダコーポレーション製の PDL400（ナックルリンクプレスマシン））を用いて順送プレス工法によって試作した。このリフレクタはプレス後の化学研磨を行うことによって、92%（ $\lambda=500\text{nm}$ ）の高反射率が得られる。またリードフレームには、96%（ $\lambda=500\text{nm}$ ）の得られる高反射率の電気銀めっきを行っている。銀めっき仕様は下地電気ニッケルめっき（厚さ1~3 μm 、硫酸ニッケルめっき液；WATT浴）、電気銀めっき（シアン化銀めっき液、厚さ3~6 μm ）とした。

またリフレクタと反射板の埋め込み用成形樹脂には、LCP（液晶ポリマー）である、ポリプラスチック社のベクトラ C400 を用いた。この樹脂はポリプラスチック社によって、高輝度 LED 専用に関与された樹脂であり、高反射率ファイバー50%を含んでいる。この樹脂の物性を下表に示す。

表 2.4.2-1 パッケージ試作に用いた成形樹脂の物性

項目	特性
密度	1.96
引張り強さ (Mpa)	110
破断伸び (%)	0.9
曲げ弾性率 (Mpa)	13,500
熱伝導率 (W/m・K)	0.75
メーカー	ポリプラスチック社

2) 高輝度 LED ランプ用パッケージの試作結果

試作した5.0mm口高輝度 LED ランプ用パッケージ構造を下図に示す。

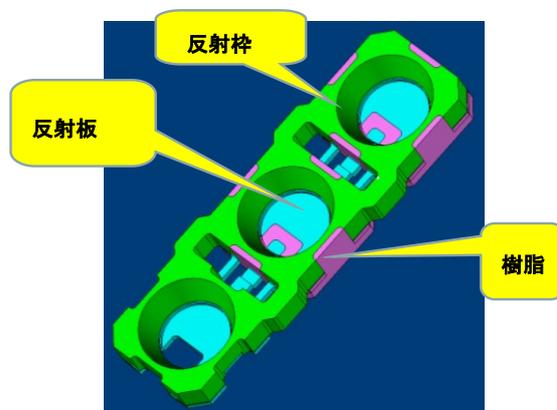
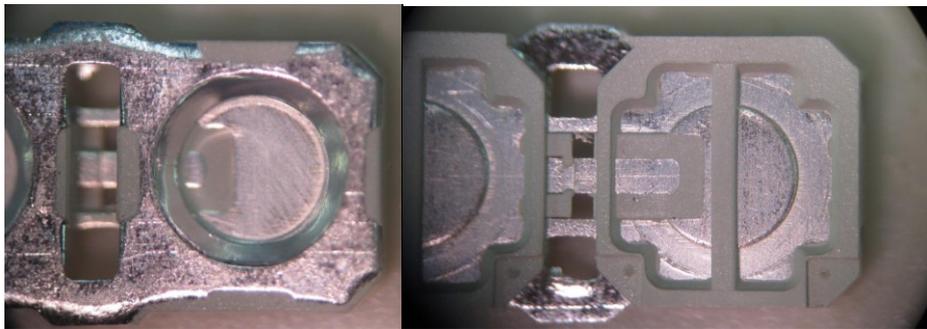


図 2.4.2-2 試作高輝度 LED ランプ用パッケージの構造
(リフレクタ外形寸法；1.2mm t × 5mm□)

また、試作LED用パッケージの外観を下図に示す。



表面（A1リフレクタ側）

裏面（樹脂側）

図 2.4.2-3 試作高輝度LEDランプ用パッケージの外観
(リフレクタ外形寸法；1.2mm t × 5mm □)

本パッケージの寸法図を下図に示す。

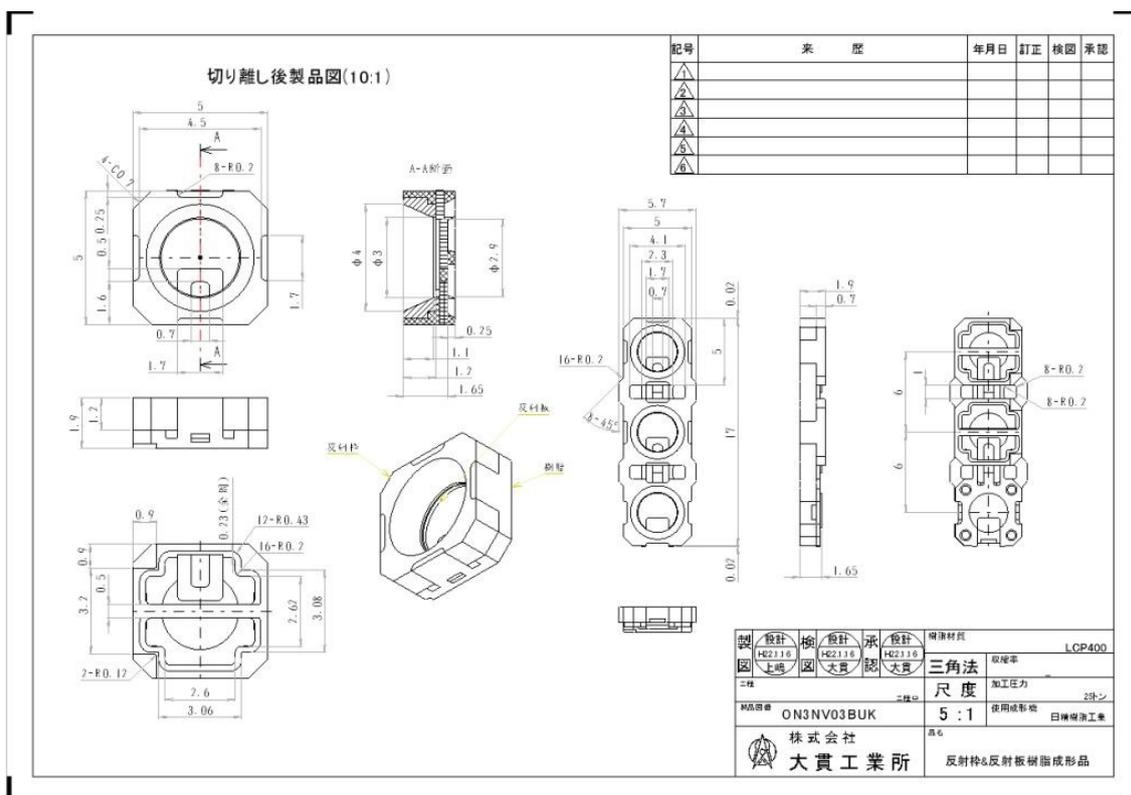


図 2.4.2-4 試作高輝度LEDランプ用パッケージの寸法図
(リフレクタ外形寸法；1.2mm t × 5mm □)

3) 試作パッケージの特徴

試作したパッケージは、高輝度 LED ランプメーカーの要請により共同で開発したものであり、下表に示す特徴がある。

表 2.4.2-2 試作パッケージの特徴

特徴	内容
1. 高放熱性	前方後方（リフレクタ、基板の両側）2方向からの放熱構造。1W以上のハイパワーLEDの搭載が可能
2. 高反射率	波長450nmにおける全反射率90%以上
3. 高耐久性	アルミリフレクタ採用により、反射率の経年低下が少ない。
4. LED ランプ組み立て工程の簡略化	リフレクタ、基板の一体構造であるため、LED ランプメーカーの組み立て工程を簡略化できる。
5. 高信頼性	3DM加工を施しており、温度サイクルなどの高い信頼性を有する。
6. 安価	セラミックパッケージと比較して安価に製造できる。

第3章 まとめ

3.1 研究成果

- 金型パンチ材料として、SKD11、ダイス鋼、窒素添加粉末ダイス鋼の3種類を選定し、マシニングセンターによる溝幅10 μ mの試作加工を行い評価した結果、マシニングセンターによる精密微細溝が加工可能との見通しを得た。
- 銅合金として、自動車の各種センサー用リードフレーム材として現在多用されている、真鍮材料を用いた転写性の初期評価を行った。CAE解析によりパンチの押し込み深さが影響することが予想され、押し込み深さ7 μ m、50 μ mでの実験、評価を行い、押し込み深さの影響を検証した。
- 電気錫めっき、電気ニッケルめっき、電気銀めっきによる実験の結果、プレス金型による機械的な微細加工を行った表面への電気めっきにおいて、下地の加工形状を再現しためっき表面を得るには、PR電源めっき法が有効であることが検証された。

3.2 課題

- 高耐久性金型材料の選定、最適な表面コーティング材料選定および加工条件の選定。
- EBSP法による銀めっき膜の結晶組織観察により、密着性と銀めっき結晶組織の関係を解明する。
- 高信頼性LEDパッケージおよびリチウムイオン電池用キャップの実用化、量産向け技術の開発。