

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ガラスエポキシ基板成形の高効率・低コスト化に資する
革新的な打抜き加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年10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	3
1. 1. 3 研究目標	3
1. 2 研究体制	4
1. 3 成果概要	5
1. 3. 1 ガラスエポキシ基板用打抜き金型の高度化技術の開発	5
1. 3. 2 打抜き加工技術の開発	6
1. 3. 3 試作対象素材の選定	6
1. 3. 4 試作品の評価及び検証	7
1. 4 当該プロジェクト連絡窓口	7

第2章 本論

2. 1 ガラスエポキシ基板用打抜き金型の高度化技術の開発	8
2. 1. 1 抜き加工部高圧押さえ可変式機構の開発	8
2. 1. 2 局部加熱金型の開発	8
2. 1. 3 高精度の交換式ユニット精密金型開発	9
2. 1. 4 打抜き速度試験用金型の開発	9
2. 2 打抜き加工技術の開発	10
2. 2. 1 抜き加工条件の検証	10
2. 2. 2 実験結果	12
2. 2. 3 データベース化	18
2. 3 試作対象素材の選定	19
2. 4 試作品の評価及び検証	20

第3章 まとめ

3. 1 研究開発成果	24
3. 2 研究開発後の課題・事業化展開	24
3. 2. 1 課題	24
3. 2. 2 事業化展開	24

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) 高度化指針で定める川下の課題及びニーズ

従来技術によるガラスエポキシ基板の製造工程毎の加工品の写真を図1.1.1-1に示す。

(ワークサンプル及び工程画像提供：住友ベークライト(株)より)

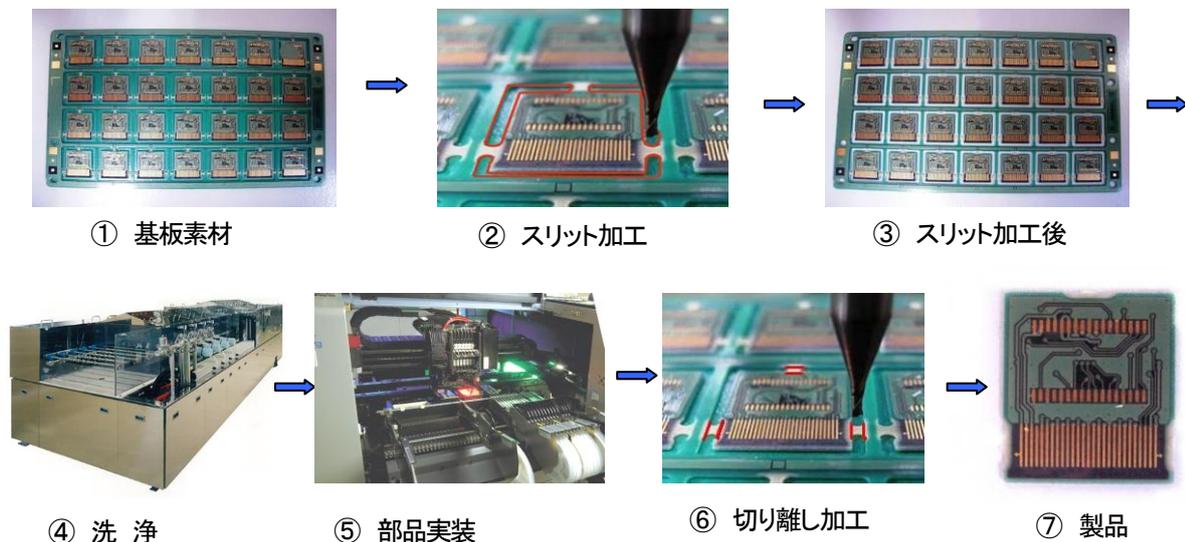


図1.1.1-1 ガラスエポキシ基板の製造過程の説明写真

ガラスエポキシ基板は絶縁、機械強度、長寿命に優れているために高精度基板に用いられている。しかし、ガラス繊維が入っているために打抜き加工が難しく、引出端子部のように高精度を要求される部分にはルーターによる切削加工がおこなわれている。ルーター加工は切削であることから、

- ・工程数が多い(バリ取り、洗浄等の後処理工程が必要) ・加工時間が長い
- ・切粉が発生 ・基板の薄板化に伴いクランプが難しい

等の課題がある。中国などの中進国とのコスト競争力に対応するには、加工効率の良い打抜き加工の実現が強く求められている。

ガラスエポキシ基板の打抜き加工では、白化現象、亀裂、および、抜きカス発生等の技術課題が多数あるが、未だ解決されておらず、これらの課題を解消するため、本研究開発では、ガラスエポキシ樹脂等、難加工材の打抜き加工を可能とする「難加工材成形の金型技術開発」を実施する。

本研究開発により、

- ①ガラスエポキシ基板等難加工材の高精度打抜き加工を可能とする。
- ②従来、スリット及び切り離しの2工程の切削加工で長時間を要していたが、新技術によりこれら2工程を打抜き加工とし、大幅に加工時間の短縮を図る。
- ③ガラス繊維を含んだ切粉の大量発生を無くし、人体への悪影響及び環境問題を改善する。

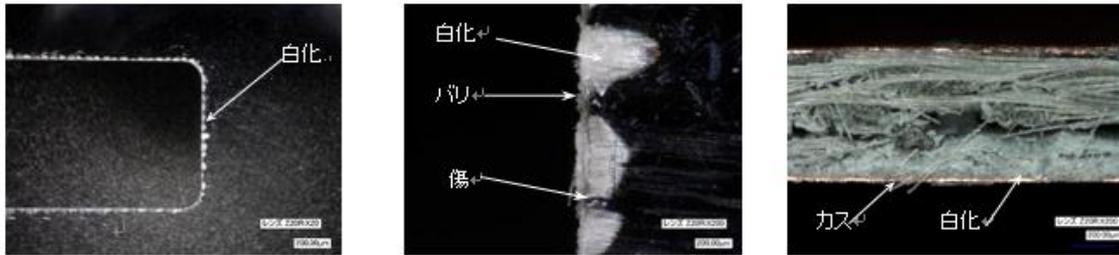
2) 研究開発の背景

電子回路基板業界においては、ガラスエポキシ基板の形状成形加工としては精度や品質に関係の無い部分では金型による打抜き加工をしている。しかし、白化現象やバリ、傷、せん断面のカス等による不具合(図1.1.1-2)が発生する。そのため、引出端子部分などせん断精度が要求される部分においてはルーターによる切削加工しか対応ができず、生産効率が悪くコスト高となっている。

また、ガラスエポキシ基板の厚みは製品の小型化、軽量化、薄型化のニーズから益々薄くなる傾向にある。

そのため基板のハンドリングは、従来の加工段取りのように四隅を押さえた程度では、基板の中央部に浮き上がりが発生し加工不良を招き、その対策として捨て板等で押さえる段取りが新たに必要とな

り、さらなるコスト高の要因ともなっている。



① 白化現象図 ② 白化部表面拡大図 ③ 白化部断面拡大図

図1.1.1-2 従来技術における抜き加工時の課題

a) 電子回路基板の市場規模

ガラスエポキシ基板が使われているビルドアップ製法による国内生産高推移を図1.1.1-3に示す。2010年では約5,000億円の生産高と予想されている。(JPCA社団法人日本電子回路工業会統計による)国内及び海外日系企業の電子回路基板の生産高推移を図1.1.1-4に示す通り、国内生産の伸び率より海外生産の伸び率が高くなっている。これは、基板の形状成形加工が切削加工に頼らざるを得ず、コスト高となっている事も大きな要因である。

本開発のねらいとする切削加工から打抜き加工への変更は、低コストの電子基板を電子機器メーカーに提供し、海外生産への移行を食い止める技術として有効と考えている。

*【ビルドアップ製法】 基板を折り曲げずに数枚のプレートを積層して製造する手法。基板の薄型化が進みダウンサイジング効果が高いのが特徴。携帯電話やデジタルカメラ、カーナビなど現在市販される電子機器のほとんどに採用されている。

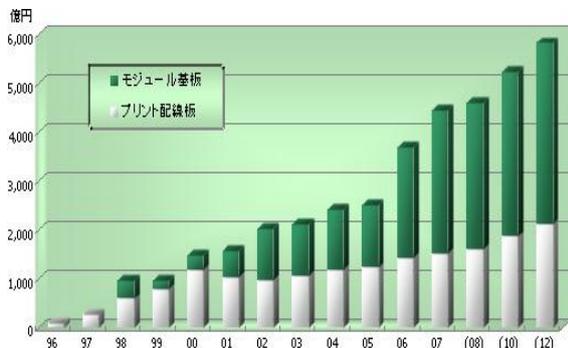


図1.1.1-3 ビルドアップ製法の国内生産高推移

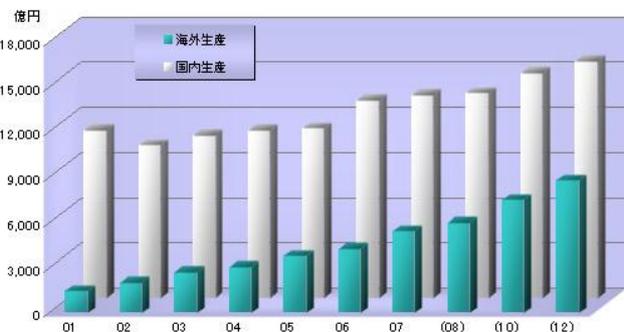


図1.1.1-4 電子回路基板国産・海外の生産高推移

b) 難加工材加工に係る研究開発の動向

ガラスエポキシ基板の小型化・軽量化・高性能化の要求に対し、加工技術の開発が進んでいないのが現状である。そこで本開発は金型の高度化(高圧押え、加熱加工含め)を行い、ガラスエポキシ抜きとの相性を研究することにより、現在主力であるルーター加工を凌駕する生産性、製品安定性を実現する。図1.1.1-5に難加工材の加工技術動向を示す。

今後ますます高硬度化と薄肉化傾向が強くなり、加工技術もより高精度化する事が分かる。

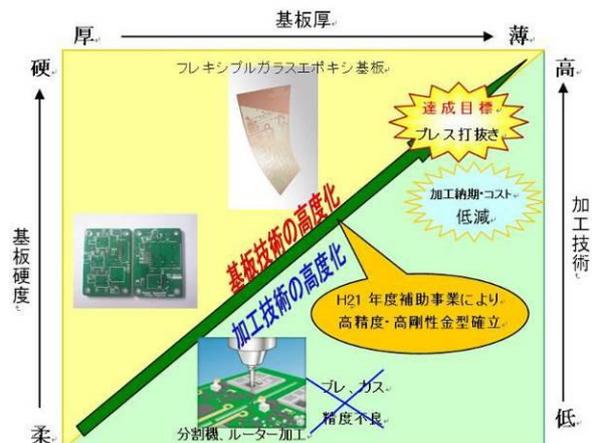


図1.1.1-5 難加工材の加工技術動向

1. 1. 2 研究目的

ガラスエポキシ基板の形状加工は、従来技術の金型による打抜き加工では変形や亀裂、微細なバリや打抜きカス等の異物発生の不具合があり、切断面の精度が要求される端子などの部分には適用できない。このためルーターによる切削加工が行われておりコスト高となり、海外生産にシフトする大きな要因となっている。そこで、本研究開発では、打抜き金型の高度化と打抜き加工技術の開発により、ガラスエポキシ基板成形の高効率化(生産効率向上10倍以上)と低コスト化(コスト低減70%以上)を目的とする。

1. 1. 3 研究目標

1) 当該特定ものづくり基盤技術において達成しようとする高度化目標

特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち以下の項目に対応する。

(二) 金型に係る技術に関する事項

1 金型に係る技術において達成すべき高度化目標

(2) 情報家電に関する項目

② 高度化目標 イ. 難加工材に対応した金型及び成形技術の向上

(5) その他

② 高度化目標 イ. 難加工材に対応した金型及び成形技術の向上

研究の目標として、金型の高度化技術の開発と抜き加工部高圧押さえ可変式機構の製作により適正押さえ圧力の条件採取、局部加熱金型製作による適正加熱条件の採取を行い、さらに、高精度の交換式ユニット精密金型を製作し、対象素材における打抜き加工せん断面精度バリ無(20 μ m以下)、及び金型の高寿命化を達成させる。

2) 技術的目標値

【1】ガラスエポキシ基板用 打抜き金型の高度化技術の開発

【1-1】抜き加工部高圧押さえ可変式機構の開発

・適正押さえ圧力の条件採取 ・適正押さえ形状決定

【1-2】局部加熱金型の開発

・刃先加熱温度制御

【1-3】高精度の交換式ユニット精密金型開発

・主要各 부품の平坦度・平面度・平行度・直角度、及び、クリアランスの高精度化

【2】打抜き加工技術の開発

下記条件の組合せによる最適加工条件の決定

・抜き速度の検証による適正抜き速度決定
・クリアランスの検証による適正クリアランス決定
・押さえ圧力の検証による適正押さえ圧力決定
・加熱温度の検証による適正温度決定

【3】試作対象素材の選定

製作した金型で評価・検証・分析を行うガラスエポキシ基板素材は、市場ニーズの調査を行い、川下企業と協議して選定する。

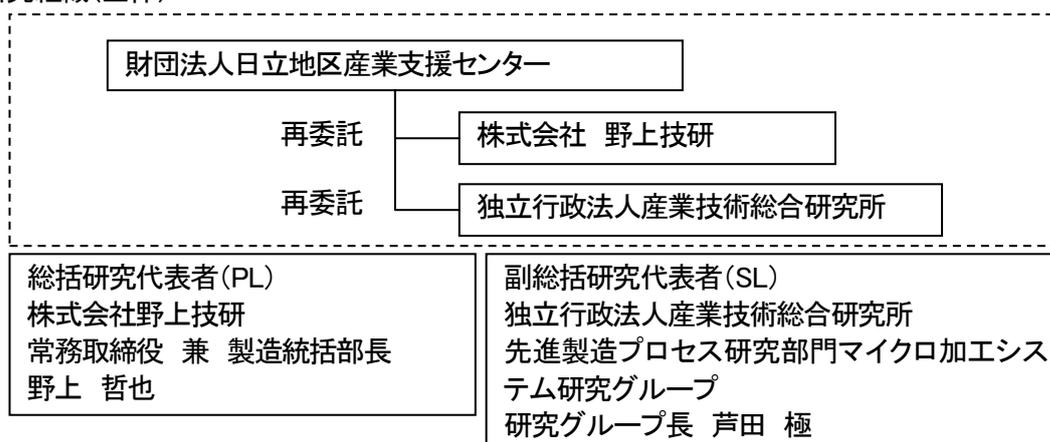
【4】試作品の評価及び検証

高度化された金型を使用し、クリアランス、押さえ圧力、抜き速度、加熱温度等の抜き加工条件の試行を行い、下記項目による検証を行う。

・走査型電子顕微鏡(SEM)及び光学式顕微鏡(マイクロスコープ)による高倍率観察
・光学式顕微鏡(マイクロスコープ)における断面観察部の3D撮影を行い、ガラスクロス部(縦断面、横断面)、エポキシ部の凹凸量(目標値20 μ m以下)を確認する。
・走査型電子顕微鏡(SEM)によりコンタミ量を数値化する。

1.2 研究体制

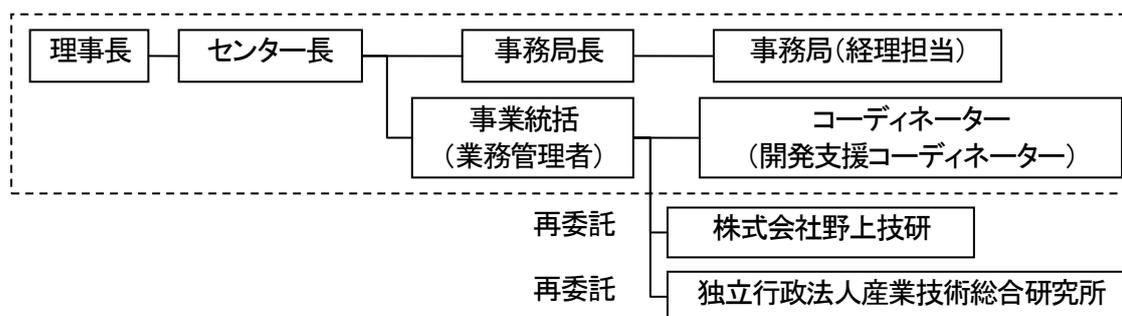
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

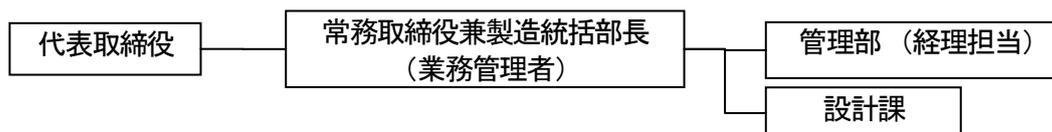
a) 事業管理機関

財団法人日立地区産業支援センター

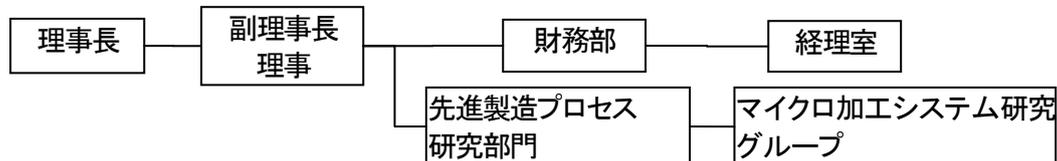


b) 再委託先

株式会社野上技研



独立行政法人産業技術総合研究所



3) 管理員及び研究員

a) 管理員[事業管理機関]

財団法人日立地区産業支援センター

氏名	所属・役職	備考
小山 修	事業統括	
小池 博	開発支援コーディネーター	

b) 研究員[再委託先]

株式会社野上技研

氏名	所属・役職	備考
野上 良太	代表取締役	
野上 哲也	常務取締役 兼 製造統括部長	PL
諸田 勝宏	設計課・主任	
鈴木 英幸	設計課	
野阪 大	設計課	
福田 司	設計課	
杉村 信一	技術指導員	

独立行政法人産業技術総合研究所

氏名	所属・役職	備考
芦田 極	先進製造プロセス研究部門マイクロ加工システム研究グループ・研究グループ長	SL

4) 協力者(アドバイザー)

氏名	所属・役職	備考
伊藤 真一郎	住友ベークライト株式会社 専務執行役員	
加藤 正明	住友ベークライト株式会社 光電気複合インターポーザ事業開発推進部 副技師長	
西野 創一郎	茨城大学大学院 理工学研究科 講師	
小石川 勝男	茨城県工業技術センター 技術融合部門 主任研究員	

1. 3 成果概要

1. 3. 1 ガラスエポキシ基板用打抜き金型の高度化技術の開発

1) 抜き加工部高圧押え可変式機構の開発 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

a) 計画内容

高圧押え機構では、サーボ駆動や油圧駆動を検討し、精密に制御可能な押え機構の開発を行う。検討する。押さえ条件は、次の通り。

- (1) 押え板なしの通常の打抜き加工。
- (2) 押え板(平面)により、強い圧力で押さえて破断の発生を遅らせて打抜き加工。
- (3) 押さえ板に打抜き形状輪郭に沿ってV字(凸)突起を設けることにより、材料の拘束力を高め、切り刃の圧縮力を高めた状態で抜き加工。
- (4) ノックアウト機構による、拘束力を高めた打抜き加工。

b) 成果概要

高圧押え機構は、押え板の圧力制御、精密な送り動作制御を可能にし、また、荷重センサ(ロードセル)を設けて荷重・速度等のデータを記録・管理しやすくした荷重制御機構を開発した。

また、上記計画の押え条件に対応する為、素材押え部品を入れ子構造として形状変更可能とした。ノックアウト機構は打抜いた製品の回収までも考慮し開発した。

2) 局部加熱金型の開発 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

a) 計画内容

薄厚素材をターゲットとして、せん断刃物のみを加熱する新しい加熱手法を用いた金型構造を開発する。

b) 成果概要

局部加熱金型は、パンチを内部から直接加熱する直接加熱金型と外部から間接的に加熱する間接加熱金型の2種類を開発した。

また、加熱した状態での打抜きクリアランス精度を保つ為、基礎実験により熱膨張率を考慮して金型寸法を決定した。

3) 高精度の交換式ユニット精密金型開発(実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

a) 計画内容

基本構造となる金型本体と製品毎に変わる形状部(パンチ・ストリッパー・ダイ)を交換式ユニットとする高精度の交換式ユニット精密金型の実現に向け、主要各部品の平坦・平面度、平行・直角度の高精度化と高剛性化を検討し、開発する。

b) 成果概要

高精度の交換式ユニット精密金型の実現のため、主要各部品の仕上り精度として、平坦・平面度、平行・直角度の高精度化を達成した。

本開発では、金型が組み込まれた状態での各設定クリアランスを維持し、プレス機上での脱着繰り返し位置決め精度確保を可能とした。この精密金型の開発により、新商品開発時における金型の製作納期短縮と金型メンテナンスを含めたコスト低減が期待できる。

1. 3. 2 打抜き加工技術の開発 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

1) 計画内容

「打抜き速度試験用金型」及び1. 3. 1の高度化技術の開発によって製作した「高度化された金型」を使用し、抜き速度、クリアランス、押さえ圧力、加熱温度等の様々な抜き加工条件の検証を行い、データの作成と収集によるデータベース化を図る。

2) 成果概要

「打抜き速度試験用金型」及び「高度化された金型」を使用し、抜き速度、クリアランス、押さえ圧力、加熱温度等の抜き加工条件の検証を行い、データベース化を図った。

その多くのデータを用いて検証を行った結果、表 1.3.2-1 に示す最適加工条件を得ることが出来た。

本開発における高度化された金型を用いた打ち抜き加工において、抜き速度、押さえ力の可変、ノックアウトの有無、がプログラムにて変更可能。また高精度交換式ユニットを用いて、クリアランス、抜き形状の変更が機上にて可能なため、迅速な加工条件の変更が可能となった。それにより短期間で多くのデータを得ることが出来た。

また、加工速度による加工断面の影響のみを検証目的とした、打抜き速度試験用金型における加工断面の結果を走査型電子顕微鏡(SEM)及び光学式顕微鏡(マイクロスコープ)により観察を行なったところ、高速条件の方が比較的良好な加工断面を得られた。

1. 3. 3 試作対象素材の選定 (実施:(株)野上技研)

1) 計画内容

製作した金型で評価・検証・分析を行うガラスエポキシ基板素材は、市場ニーズの調査を行い、川下企業と協議し選定する。

2) 成果概要

製作した金型で評価・検証・分析を行うガラスエポキシ基板素材は、JPCA Show2011(国際電子回路産業展)でのヒアリング及び川下企業である住友ベークライト株式会社様との協議結果により、一般的に広く使用されているガラスエポキシ基板(FR-4)を使用することにした。

素材板厚については、製品の薄型化、小型・軽量化に対応して多層(複合)基板で多用されているt0.3mm及びt0.1mmとした。

1. 3. 4 試作品の評価及び検証 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

1) 計画内容

前項1. 3. 1～1. 3. 3の研究開発による試作加工品のせん断面変形や亀裂、微細なバリや打抜きカス等の異物発生状況を評価し、製造コストも考慮し検証する。

2) 成果概要

抜き加工を行なった試作品の評価としては、一般的な抜き金型加工品、ルーター加工品、との比較を行った。評価は、加工断面の高倍率観察による比較、凹凸量の数値化による比較、コンタミ量の比較によって行なった。

検証結果において一般的な抜き金型加工品と比較すると全ての評価において格段に良好な結果が得られた。ルーター加工品との比較では、高倍率観察による凹凸量では劣っていたものの、市場からの要求事項で一番重要なコンタミ量では同等以上の数値を得ることができた。また、目標としていた白化の低減を達成し、亀裂の発生はなく、バリ20 μ m以下についても達成できた。

打抜き加工ではルーター加工と比較して約10倍加工時間を短縮できる。

10,000ショット加工後の金型の状態及び加工製品の状態評価も行なった結果、問題なく十分な耐久性が確認できた。

上記における加工断面の状態評価を通じ、ルーター加工における製造コストと比較して、加工時間短縮、洗浄工程の低減、金型のメンテナンス頻度を考慮して、コスト的に十分に対応できる可能性がある。

1. 4 当該プロジェクト連絡窓口

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:事業統括 小山 修

連絡先 TEL. 0294-25-6121

FAX. 0294-25-6125

中核研究機関

〒319-2144

茨城県常陸大宮市泉1136-3

株式会社野上技研 担当:常務取締役 野上 哲也

連絡先 TEL. 0295-53-2188

FAX. 0295-53-1228

第2章 本論

2. 1 ガラスエポキシ基板用打抜き金型の高度化技術の開発

2. 1. 1 抜き加工部高圧押え可変式機構の開発 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

ガラス繊維にエポキシ樹脂を充填してあるガラスエポキシ基板の抜き加工では、わずかな応力でガラスとエポキシ樹脂の剥離が起こり、破断の前後に亀裂や白化が発生する。このため、打抜き時に打抜き形状の周辺を強い圧力により押さえて破断の発生を防止することで亀裂や白化を防ぐことが可能である。

1) 高圧押え可変式機構

押え圧力を荷重センサ(ロードセル)でリアルタイムに計測し、押え板の圧力制御、精密な送り動作制御を可能にした荷重制御サーボ駆動機構を採用し、開発した。

2) 押さえ面形状

本開発では、素材の押さえ面の形状を様々な打抜き条件に対応可能とする為、入子構造とし、一体型より容易に形状変更可能な構造とした。押さえ形状は、平及びV字(凸)形状を検討した。

3) ノックアウト機構(押え抜き機構)

本開発では、打抜き時の素材圧縮力・拘束力を高める為に、下部から圧力を加えて引張り応力を遅らせる事が可能なノックアウト機構を採用した。

図 2.1.1-1、表 2.1.1-1 に高圧押え機構の外観と仕様を示す。

表 2.1.1-1 高圧押さえ機構の仕様

No	項目	仕様
1	外形寸法	1162.5mm × 1125mm × 2160.5mm(H)
2	搭載金型サイズ	500mm × 400mm × 300mm(H)
3	プレス圧	最大 20 kN
4	プレスストローク	200mm
5	位置決め精度	±0.1mm



図 2.1.1-1 高圧押え機構外観

2. 1. 2 局部加熱金型の開発 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

本開発では、熱膨張や作業性を考慮し、せん断刃物のみ(局部的)を加熱し、刃物からの伝導熱を活用して打抜き加工を行う。すなわち、薄厚素材をターゲットとしたせん断刃物のみ加熱する新しい加熱手法を用いた金型構造を開発した。

局部加熱金型は、パンチを内部から直接加熱する直接加熱金型と外部から間接的に加熱する間接加熱金型の2種類を開発した。

また、金型製作に当たっては、目標クリアランスを確保する為に加熱時の熱膨張量実測結果と素材の線膨張係数を考慮して寸法を決定した。

図 2.1.2-1、2 に局部過熱金型の外観を示す

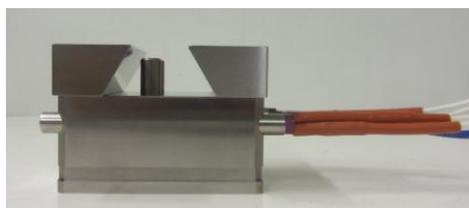


図 2.1.2-1 局部加熱金型(直接加熱方式)

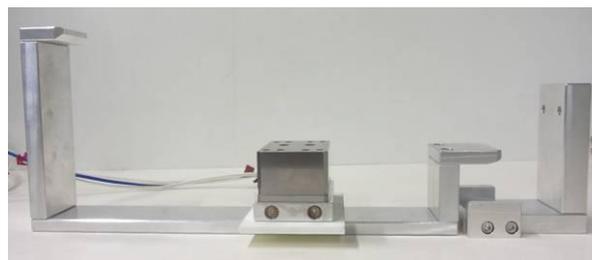


図 2.1.2-2 局部過熱金型(間接加熱方式)

2. 1. 3 高精度の交換式ユニット精密金型開発(実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

昨今の新製品サイクルの短縮及び製品製造コスト低減の要求に対応するために、本開発では基本構造となる金型本体と製品毎に変わる形状部を交換式ユニット(パンチ・ストリッパ・ダイ)とする高精度の交換式ユニット精密金型の開発を行った。

製作にはこの度導入したプロファイル研削盤及び三次元測定機の使用により、主要部品の仕上り寸法高精度化を実現できた。

また、高圧押え機構に装着された金型本体に、外段取りで高精度に組み立てた状態を維持したまま、パンチ・ストリッパ・ダイからなる交換式ユニットを固定する事で、繰り返し精度の高度化を達成できた。

表 2.1.3-1、図 2.1.3-1、2 に開発した金型の仕様、外観を示す。

表 2.1.3-1 交換式ユニット精密金型の仕様

No	項目	仕様
1	金型本体サイズ	500mm × 400mm × 300mm(H)
2	交換式ユニット金型サイズ	140mm × 100mm × 240.5mm(H)
5	その他	交換式ユニット(ダイ・パンチ・ストリッパ)化



図 2.1.3-1 金型本体外観



図 2.1.3-2 交換式ユニット金型外観

2. 1. 4 打抜き速度試験用金型の開発(実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

ガラスエポキシ基板の打抜き加工における打抜き速度と成形品質の相関を確認するための試験用金型を開発した。

完成後、(独)産業技術総合研究所の小型打抜き装置に組み合わせて使用する。

高速で打抜きにおけるパンチ加速域と減速域を考慮して、打抜きの前後に大きなストロークを設定した。

図 2.1.4-1 に打抜き速度試験用金型の外観を示す。



図 2.1.4-1 打抜き速度試験用金型外観

2. 2 打抜き加工技術の開発 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

2. 2. 1 抜き加工条件の検証

1) 評価方法

a) 高倍率撮影にて目視評価 (走査型電子顕微鏡(SEM))

性質の異なる材料が重なるガラスエポキシ基盤を打ち抜くと、縦・横に走るガラス繊維が抜き条件によりさまざまに破壊され変形が起きる。また、断面の亀裂やバリ、コンタミなども発生する。このような現象を詳細に観察するため、走査型電子顕微鏡を導入した。

一例を図 2.2.1-1 に示す

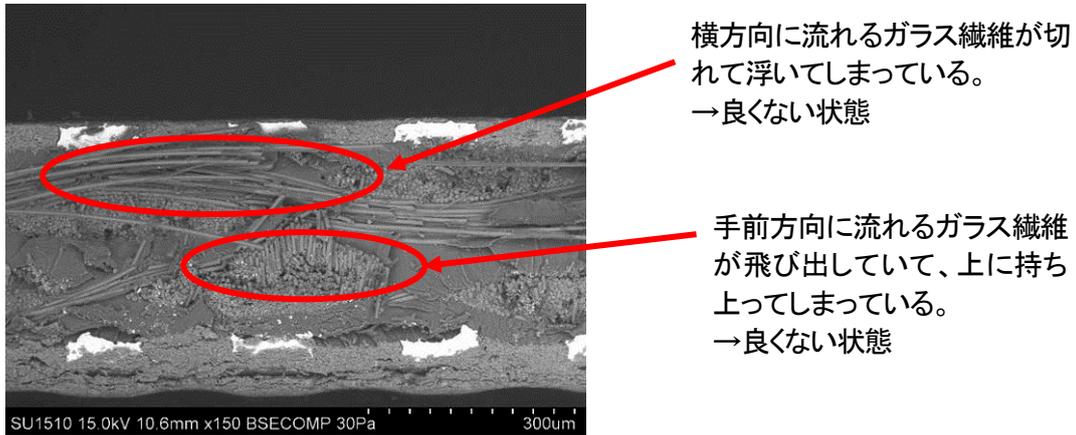


図 2.2.1-1 高倍率観察の評価ポイント

b) 断面の凹凸測定評価 (光学式顕微鏡(マイクロスコープ))

光学式顕微鏡(マイクロスコープ)で断面の3D撮影を行うことでガラスクロス部(縦断面、横断面)、エポキシ部の凹凸量(目標値 $20\mu\text{m}$ 以下)を確認する。(図 2.2.1-2、図 2.2.1-3)

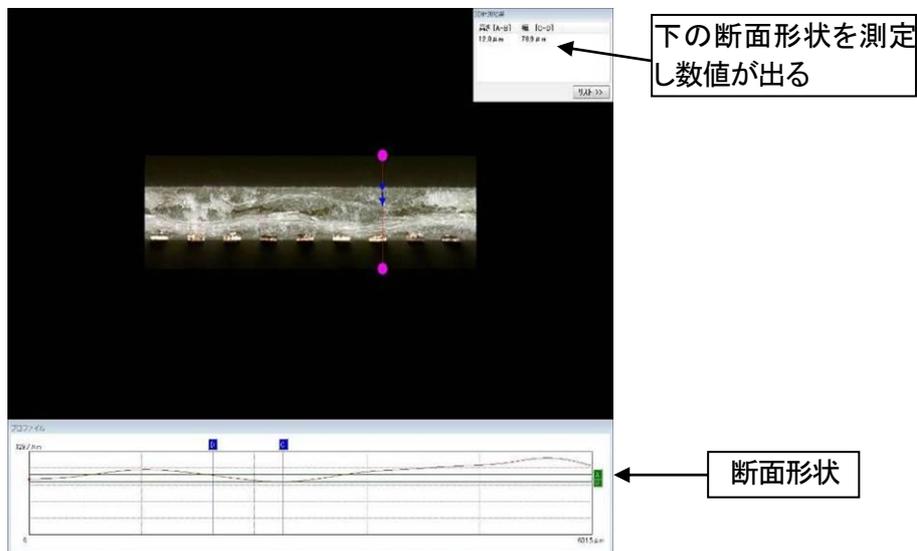


図 2.2.1-2 凹凸測定

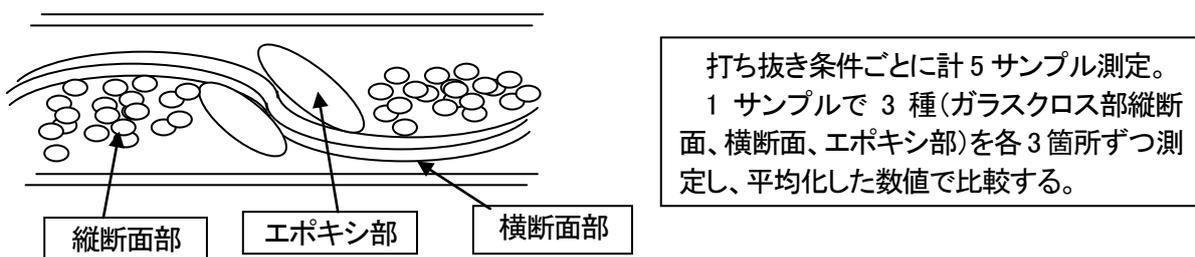


図 2.2.1-3 凹凸測定部

2) 検証手順

抜き条件の検証は下記の通り、一次条件として【金型仕様条件: クリアランス、押え形状(平・凸)、ノックアウト機構(無・有)、刃先角度(無・有)】、二次条件として【打抜き条件: 押え力、打ち抜き速度、多段抜き、加熱抜き】に分けて実施した。

検証の手順は次のとおり。

- a) クリアランス→b) 押え形状→c) ノックアウト機構→d) 押え力→e) 打ち抜き速度→
- f) 多段抜き→g) 刃先角度→h) 加熱抜き

各金型使用条件、打抜き条件に付いて、その具体的内容を以下に説明する。

a) クリアランス

まず初めにクリアランスによる打ち抜き断面の比較を行った。クリアランスの設定は、パンチ刃先寸法の異なるパンチを3種類準備した。

打ち抜きは刃先のエッジ性で決まるため、弊社コア技術である精密研削加工技術で仕上げた高精度刃物・刃先条件のノウハウを本研究でも取り入れた。エッジ比較画像を図 2.2.1-4 に示す。

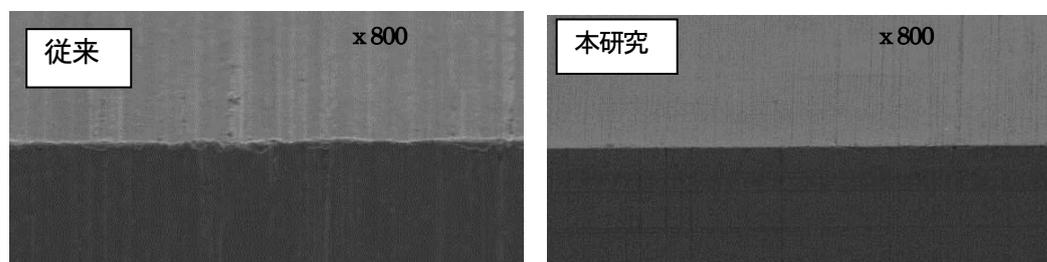


図 2.2.1-4 エッジ比較画像(当社比)

b) 押え形状

押え形状はストリップの面が平らなもの(平形状)と、面に突起をつけ、打ち抜き形状の輪郭を押えるもの(V字(凸)形状)の2種類で押え力をかけて打ち抜き実験を行い、比較した。

c) ノックアウト機構

ノックアウト機構による有効性の検証を行った。

ノックアウト機構が無い場合は、打ち抜く際に材料が傾くため材料に対しパンチを直角に打ち抜くことができず、変形による破壊や打ち抜き寸法変化・断面への影響、カス(コンタミ)の発生が懸念される。

d) 押え力

材料を押えると打ち抜く際に側圧が発生して材料が破壊される場合がある。その検証を行った。

e) 打ち抜き速度

打ち抜き速度の仕上げ状態への影響を検証した。

f) 多段抜き

サーボプレスの特性を活用してパンチの動作を細かく制御し、抜き断面の形状に与える影響を検討した。設定は「①階段状にパンチが下がっていく動き」と「②上下運動を繰り返しながらパンチが下がっていく動き」の2種類とした。

g) 刃先角度

刃先に角度をつけることで打ち抜き力を低減することができるので、その有効性の検証を行った。

h) 加熱抜き

熱を加えることで素材を軟化させ、ガラスクロスの割れ軽減を試みた。

2.2.2 実験結果

1) 現状の把握

打抜き条件の検証に先立ち、先ず、現状レベルの把握を行った。

図 2.2.2-1、2 に示すように、一般的な金型で打ち抜いた断面は、ルーターでの加工断面に比べガラス繊維の破壊やエポキシ樹脂の剥がれが多く起きている。本開発では、上記の問題を軽減させて、ルーター加工の代替技術として抜き加工を導入することである。

今回確認した供試品の加工条件は表 2.2.2 -1 に示す通りである。

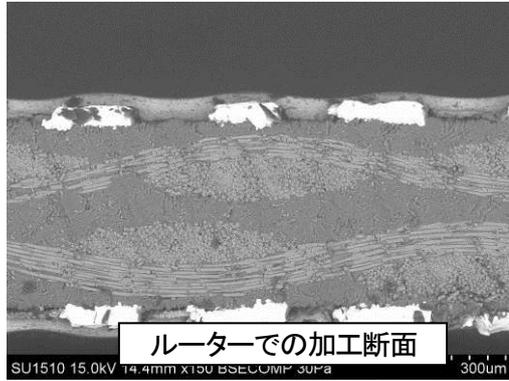


図 2.2.2-1 ルーター加工断面

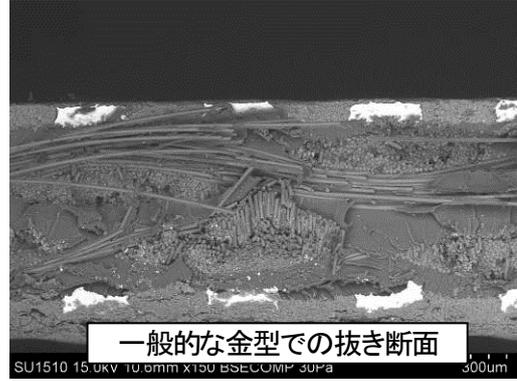


図 2.2.2-2 一般金型での打ち抜き断面

表 2.2.2-1 供試品の加工条件

ルーター品加工条件		打抜き品加工条件	
加工速度	5mm/sec	クリアランス	0.02mm
回転数	10,000 rpm	押え力	1000N
ツール径	3mm	打抜き方法	抜き落とし

2) 打抜き条件検証結果

a) クリアランス検証

表 2.2.2-2、図 2.2.2-3 に示すように、断面比較結果、クリアランスが小さいほどガラス繊維の破壊、断面の凹凸量、エポキシ樹脂の崩れが少なく、良好である。

表 2.2.2-2 クリアランスによる断面の凹凸量比較

クリアランス	凹凸量(μm)
小	5.7
中	6.1
大	9.1

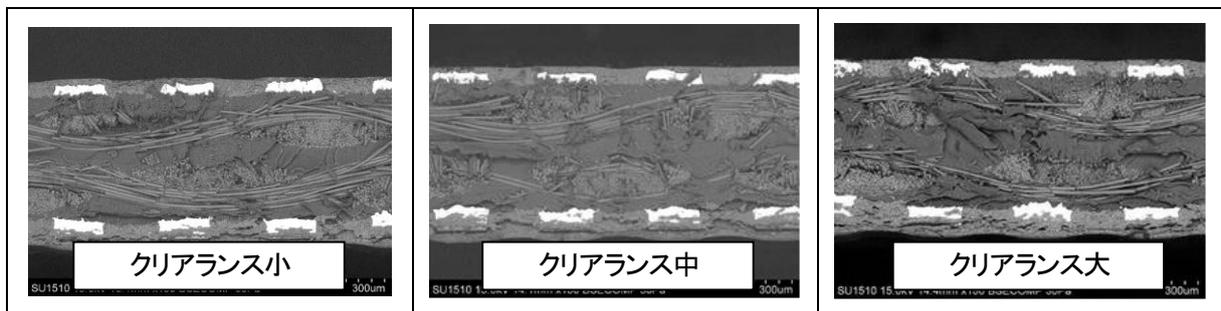


図 2.2.2-3 クリアランスによる断面比較

b) 押え形状検証

ストリップの押え形状の選択を行った。押え形状は図 2.2.2-4 に示す下記2種類である。

- ・ストリップの面が平らなもの(平形状)
- ・ストリップの面に突起をつけ、打ち抜き形状の輪郭を押えるもの(V字(凸)形状)

形状の影響を調査した結果、押え力の影響が明確に現れたのはV字(凸)形状であった。平形状では押え力の変化に対する差が現れなかった。圧力測定シートを使用して圧力分布を調べたところ、V字(凸)形状では図 2.2.2-5 に示すように圧力が均等であることが確認できた。本開発での検証実験ではV字(凸)形状の押え形状が適していると判断し、詳細検討は図 2.2.2-4、6 に示すV字(凸)形状に絞って行うことにした。

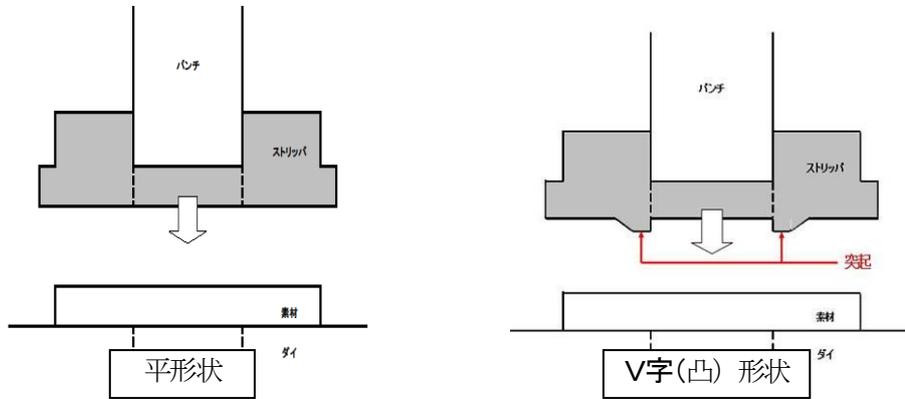


図 2.2.2-4 ストリップ形状



図 2.2.2-5 圧力測定シートでの圧力分布検証

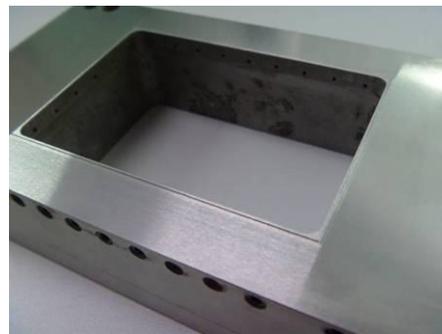


図 2.2.2-6 ストリップV字(凸)形状

c) ノックアウト機構検証

図 2.2.2-7、表 2.2.2-3 に比較結果を示す。ノックアウト無しでは材料の撓みによりガラス繊維が大きく崩れて破壊されている。それに対してノックアウト有では断面のガラス繊維の破壊、エポキシ樹脂の崩れ、凹凸量が少なく、ノックアウトの有効性が検証できた。

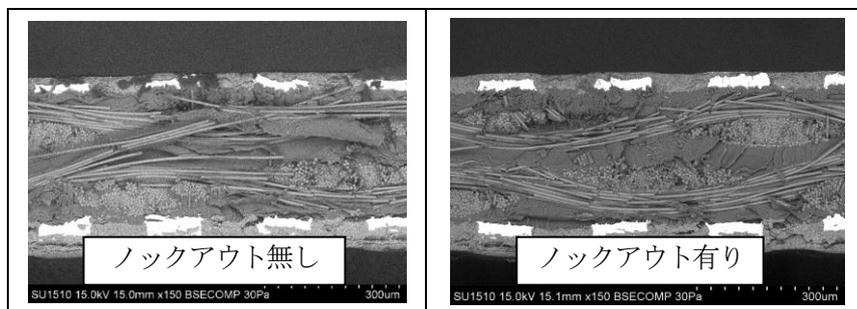


図 2.2.2-7 ノックアウト比較結果

表 2.2.2-3 ノックアウト比較断面の凹凸量

条件	凹凸量(μm)
ノックアウト無し	14.5
ノックアウト有り	5.7

d) 押えの検証

ストリッパ押えの有無に対する検証を行った結果、打ち抜き断面比較で、押えなしはガラス繊維の飛び出しが観察され、押えの有効性が確認できた。

図 2.2.2-8 に比較結果を示す。

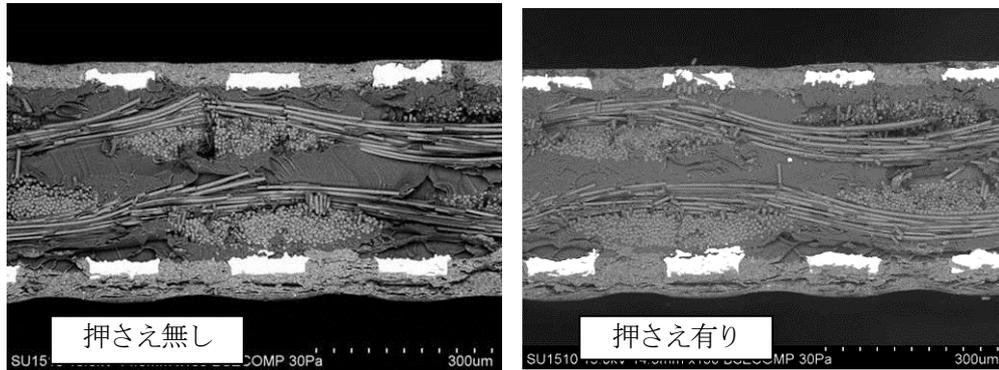


図 2.2.2-8 押えの比較結果 1

e) 打ち抜き速度検証

打ち抜き速度に対する比較試験を行った結果、図 2.2.2-9 に示す様に、低速度での打抜きが、極低速度及び中速度に比較してガラス繊維などの破壊も少なく、良好であった。

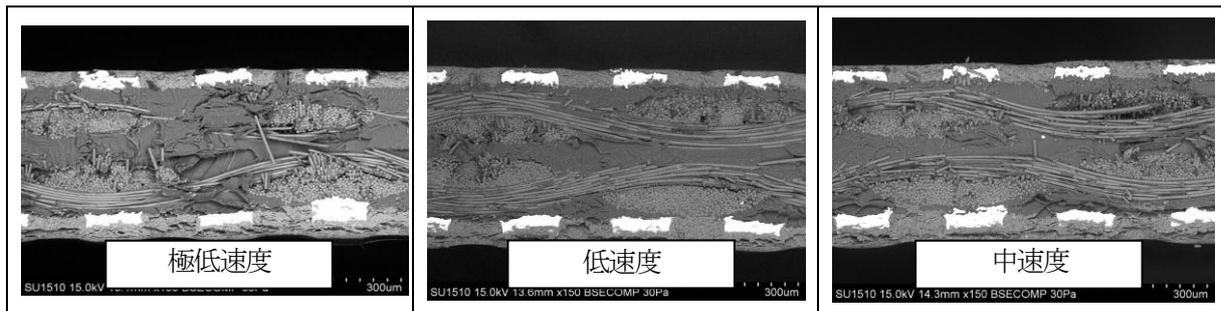


図 2.2.2-9 打ち抜き速度比較結果

f) 多段抜き検証

プログラムにより次の2種類の動作を作成し、多段抜きの比較検証を行った。

- ①一定量ずつ降りていく動作
- ②上下を繰り返しながら降りていく動作

検証結果を図 2.2.2-10、表 2.2.2-4 に示す。

多段抜きでの打ち抜き結果を比較すると、一定量ずつ降りる動作ではガラス繊維の崩れが少ない。一方、打ち抜き速度比較の最適条件に比べると、破壊されている繊維の量が多い。以上の結果より、多段抜きの有効性は少ないと判断した。

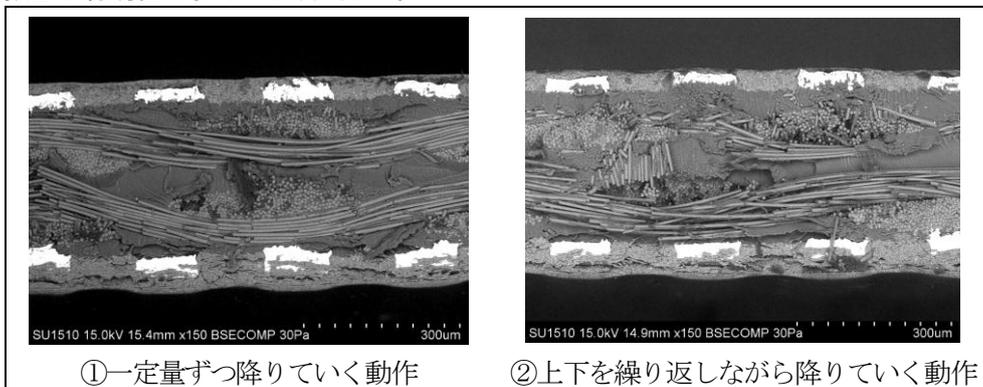


図 2.2.2-10 多段抜き比較

表 2.2.2-4 多段抜き比較断面の凹凸量

条件	凹凸量(μm)
動作プログラム①	8.7
動作プログラム②	6.5

g) 刃先角度検証

刃先角度による検証を行った結果を図 2.2.2-11、表 2.2.2-5 に示す。

刃先角度なし(最適条件)と、刃先角度ありで打ち抜いた断面を比較すると、凹凸量は角度ありの場合が大きい。角度をつけた場合はノックアウトを使用することが構造的に不可能なためである。この結果より、刃先角度の有効性はないことがわかった。

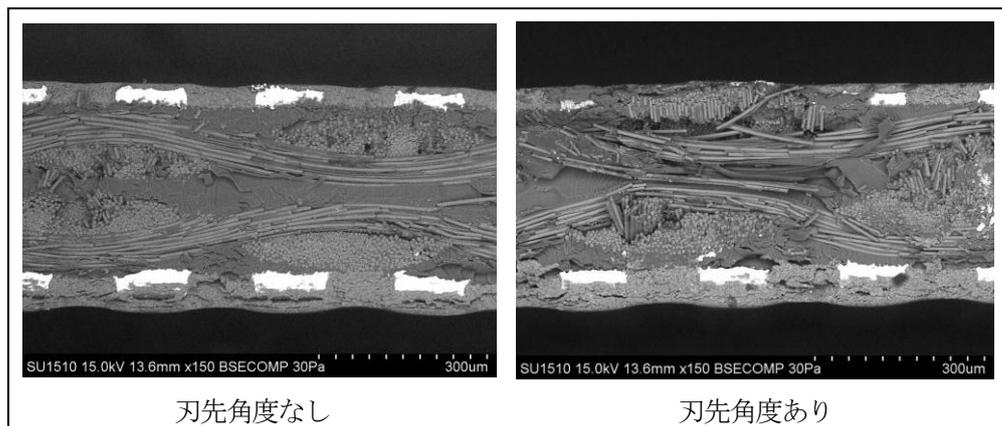


図 2.2.2-11 刃先角度比較結果

表 2.2.2-5 刃先角度比較断面の凹凸量

条件	凹凸量(μm)
刃先角度なし	6.6
刃先角度あり	10.2

h) 加熱検証

パンチの加熱に対する検証結果、図 2.2.2-12、表 2.2.2-6 に示す様に、パンチ加熱温度の高い方で凹凸量が大きく、ガラス繊維とエポキシ樹脂間の剥離が発生している。

これは加熱することによりエポキシ樹脂が軟化し、ガラス繊維との硬度差が大きくなったことに起因すると考える。以上の結果より、加熱による打ち抜き加工の有効性は無いと判断した。

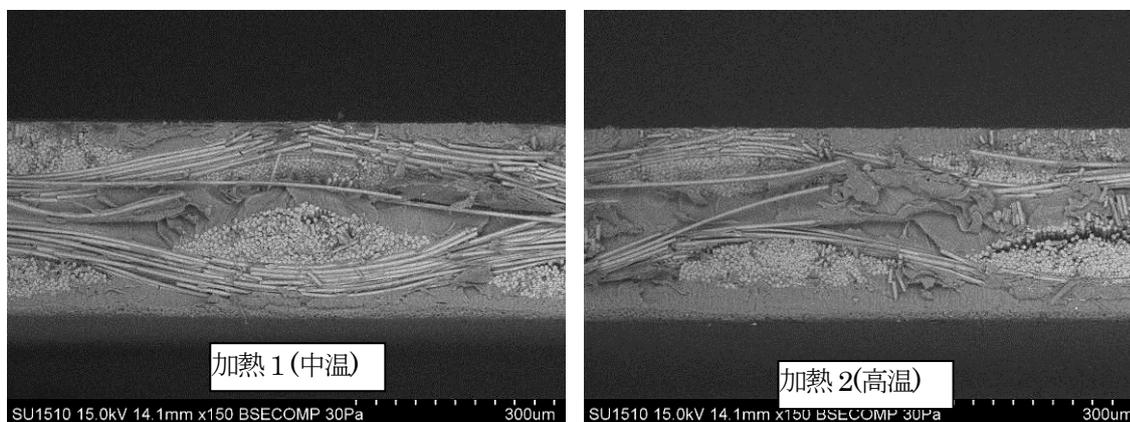


図 2.2.2-12 加熱比較結果

表 2.2.2-6 加熱比較断面の凹凸量

条件	凹凸量(μm)
加熱1(中温)	7.0
加熱2(高温)	11.0

3) 高速抜き速度試験検証

一般に、材料の変形速度が内部を伝播する塑性波速度より速くなると変形が脆性的になる。

この効果によって、打抜き加工における切断においても適切な条件を設定することで切断面の品質を向上できる。そこで、高速抜き試験に特化した金型を設計開発し、高速対応のマイクロプレス機を用いて、高度化技術金型よりも高速な条件での抜き加工実験を行い、打抜き荷重およびパンチ速度を測定し、切断面を評価した。

a) マイクロプレス機に搭載する速度試験用金型

マイクロプレス機は、「マイクロファクトリ」のコンセプトに基づいて開発された超小型の電動サーボプレス機である。搭載する金型も、ダイセット底面の寸法で3cm×3cmと超小型であり、その軽量性を活かして、毎分1000ストロークの高速プレス加工を実現している。本試験評価では、抜き速度を最大にするための専用金型を設計製作し、マイクロプレス機に搭載した。

図 2.2.2-13 は試験システムのブロック図である。駆動用のモータは、定格100W(定格トルク0.318 N・m)のACサーボモータで、歯付ベルとボールねじ(リード2mmおよび4mm)を介してスライドが上下に駆動される。スライド位置は、リニアポテンシオメータで、またプレス荷重はロードセルで測定し、デジタルレコーダで記録する。

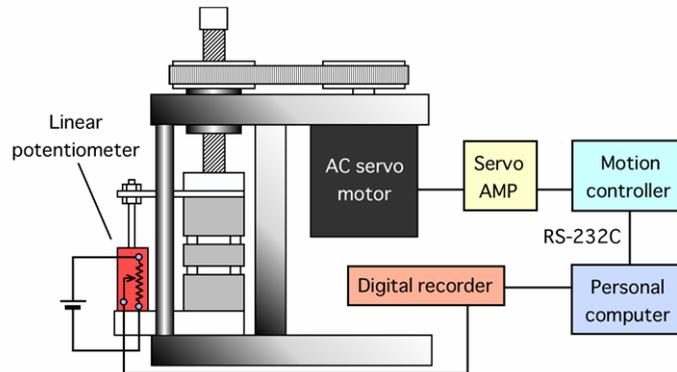


図 2.2.2-13 マイクロプレス機による試験計測システム

サーボモータで慣性質量のある負荷を駆動する場合、瞬間的に指令速度で運転することはできないので、加速区間と、減速区間を設ける必要がある。そこで、今回製作した速度試験用金型では、打抜きの前後に大きなストロークを持たせた設計を採用した。(図 2.1.4-1 参照)

b) 切断面の観察および評価による打ち抜き速度の検証

走査型電子顕微鏡で切断面を観察した結果を図 2.2.2-14、15に示す。ここでは、速度条件を軸に着目し、材料厚さ0.1mmおよび0.3mmの2種に対して、それぞれ低速(20mm/s)、中速(100mm/s)、高速(165mm/s)と比較した。全て刃先角の無いパンチで打抜いた結果である。これらの写真から、繊維を切断する方向において、高速条件の方が巻き込みが少なく、良好な切断面が得られている。また、樹脂部分についても、高速条件の方で荒れが少なく、滑らかな切断面が得られている。今回の観察では、抜き加工の後の洗浄を行っておらず、洗浄を行うことで、これらの細かく分断された繊維やコンタミを除去できる可能性もある。

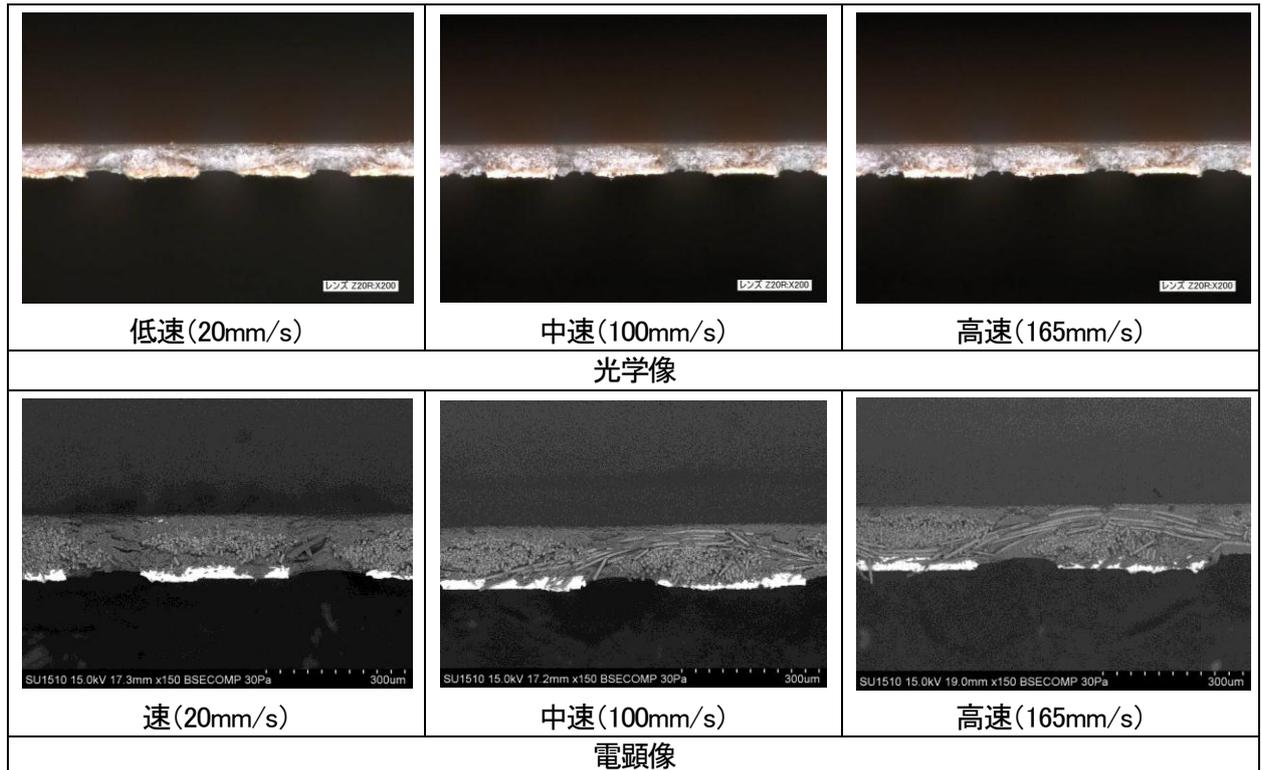


図 2.2.2-14 切断面の観察像(材料厚さ 0.1mm、単層基板、銅箔あり)

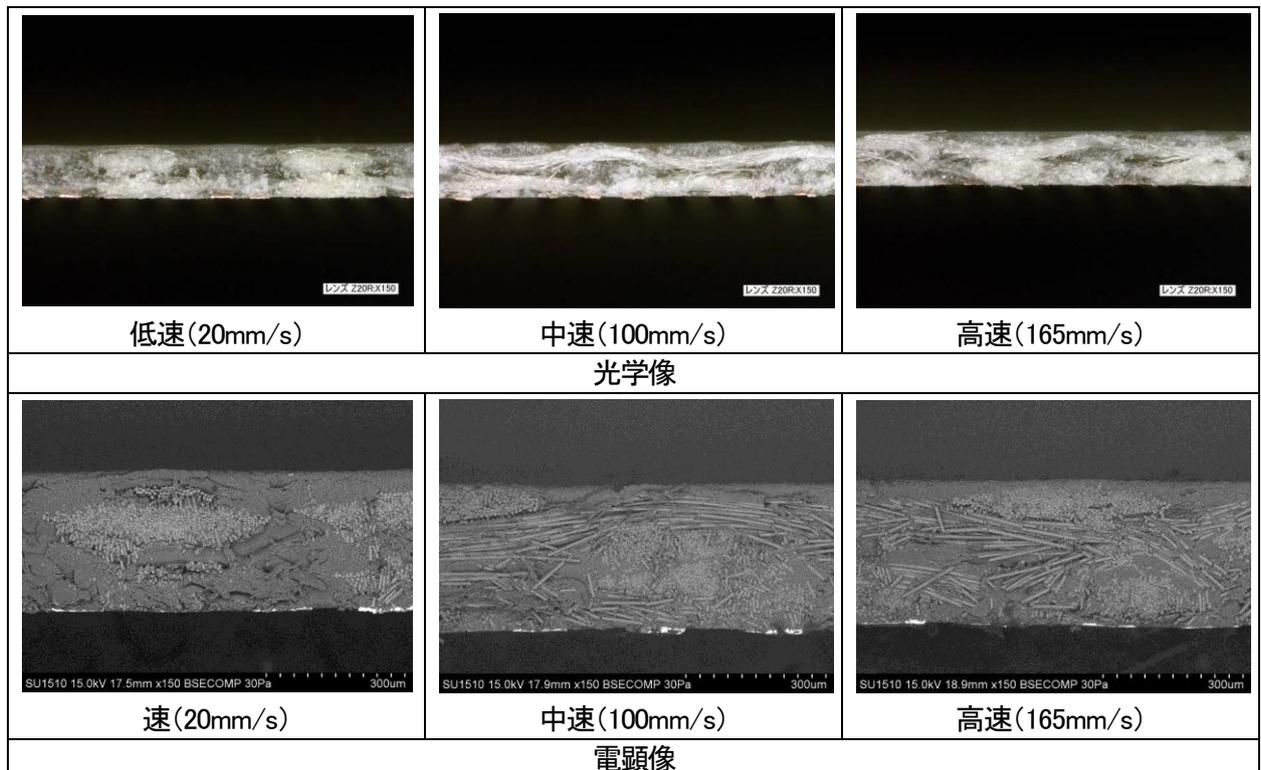


図 2.2.2-15 切断面の観察像(材料厚さ 0.3mm、2層基板、銅箔あり)

2. 2. 3 データベース化

実験を行う際に日時・各打ち抜き条件などを記入した実験記録表(図 2.2.3-1)を作成した。

それを元に打ち抜きサンプル及び断面画像(光学式顕微鏡・走査型電子顕微鏡)とのマッチングを取ったデータ表を作成、保管する。このデータベースによって、今後、市場開拓する際に最適な打ち抜き条件を即時に判断をすることが可能となる。

H22年度戦略的基盤技術高度化支援事業「ガラスエポキシ基板成形の高効率・低コスト化」に資する革新的な打ち抜き加工技術の開発

平成23年 月 日
株式会社 野上技研

承認	検査

評価試験結果記録票

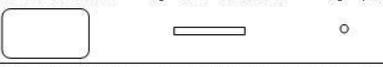
試験日	平成23年 月 日 時 分			
環境条件	室温: °C	湿度: %		
打ち抜き形状	① 75mm × 50mm ② 3mm × 30mm ③ φ2 			
打ち抜き素材	①t=0.1 ②t=0.3(台湾) ③t=0.3(住へ白) ④t=0.4(レジスト)			
型条件	パンチ材質	① ASP23 ② RSF20 ③ SKH51(加熱用)		
	ダイ材質	① ASP23 ② RSF20		
	クリアランス	① 2μm ② 5μm ③ 8μm		
	シャープ角			
打ち抜き条件	押さえ力	N		
	ノックアウト	①なし ②45~80kg ③90~150kg ④150~300kg		
	打ち抜き速度	mm/sec		
	パンチの突っ込み量	mm		
	加熱	パンチ: °C	ダイ: °C	素材: °C
	モーション(動作)	① 基本 ② パンチ・押え同時 ③ 多段抜き ④ 打ち抜き		
評価 (キーエンス)	バリ(パンチ方向から)	μm(20μm以下目標)		
	断面の凹凸(3D)			
ファイル名(共通)				
コメント				

図 2.2.3-1 実験記録表

2.3 試作対象素材の選定（実施:(株)野上技研）

製作した金型で評価・検証・分析を行うガラスエポキシ基板素材は、JPCA Show2011（国際電子回路産業展）でのヒアリング及び川下企業である住友ベークライト株式会社様との協議した結果により、一般的に広く使用されているガラスエポキシ基板材である住友ベークライト標準（汎用）FR-4 素材〔品番：ELC-4765〕を使用することとした。FR-4 は車載用途をはじめ民生家電、AV機器、パソコン等広範囲の市場において、片面板両面板の他多層板用素材として、多く使用されている。素材板厚については基盤の薄型化、小型化、軽量及び多層（複合）基板で使用されているT0.3mm 及びT0.1mm とした。評価に使用したガラスエポキシ基板を表2.3-1に、FR-4 の主な物理的性質を表2.3-2に示す。

表2.3-1 評価に使用したガラスエポキシ基板（FR-4）

No	メーカー	品名	厚さ(mm)	仕様	備考
1	株式会社キョウデン (住友ベークライト製素材)	製作品	総厚 0.4 (素材 0.3)	2層基板 レジスト有り	野上技研 実験用素材
2	住友ベークライト	ELC-4765 (標準品)	0.3	銅箔なし レジスト無し	野上技研 実験用素材
3	サンハヤト株式会社	ICB-063 (市販品)	0.1	片面パターン	産総研 実験用素材
4	株式会社 インフロー	製作品	0.3	片面パターン レジスト無し	産総研 実験用素材

* FR-4: ANSI/NEMA 規格 (FR: Flame Retardant、耐炎性という意味)

表2.3-2 ガラスエポキシ基板（FR-4）の主な物理的特性

項目	単位	数値
熱膨張係数(CTE)	ppm/°C	14
ガラス転移温度/Tg	°C	150
引きはがし強さ	kN/m	1.4
曲げ強さ	Mpa	540
吸水率	%	0.1

2. 4 試作品の評価及び検証 (実施:(株)野上技研、(独)産業技術総合研究所)

これまでの検証結果で得られた最適条件による打ち抜き品の評価及び検証を行った。

1) 断面の評価及び検証

まず、「一般的な金型」・「打ち抜き最適条件」・「ルーター加工」のそれぞれの断面を高倍率比較・断面凹凸量の比較結果を図 2.4-1、表 2.4-1 に示す。

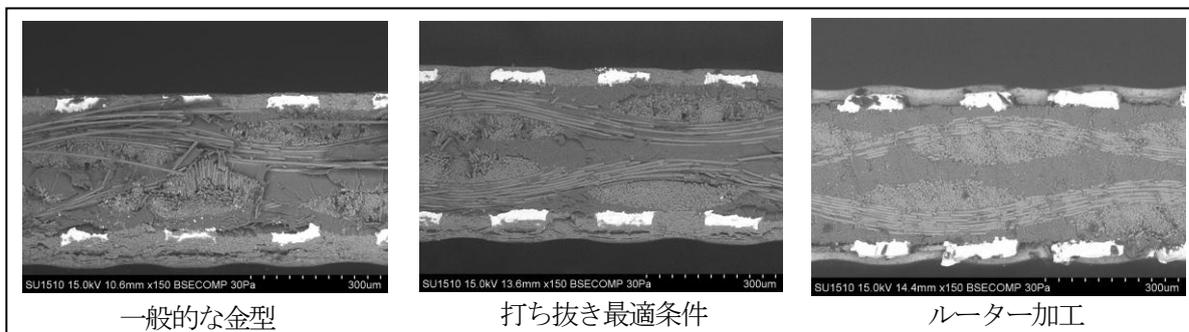


図 2.4-1 3条件の断面比較

表 2.4-1 3条件の凹凸量

条件	凹凸量 (μm)
一般金型での打ち抜き	44.0
打ち抜き最適条件	6.6
ルーター加工断面	2.4

三条件の断面を高倍率画像で比較すると、打ち抜き最適条件での打ち抜き断面はルーター加工には劣るが、一般的な金型での断面と比較すると、ガラス繊維・エポキシ樹脂共に明らかな改善が見られる。打ち抜き最適条件での凹凸量はルーター加工には劣るが、一般的な金型と比較すると約 6 倍の改善が見られ、当初の目標であった「凹凸量 $20\mu\text{m}$ 以下」を達成できた。

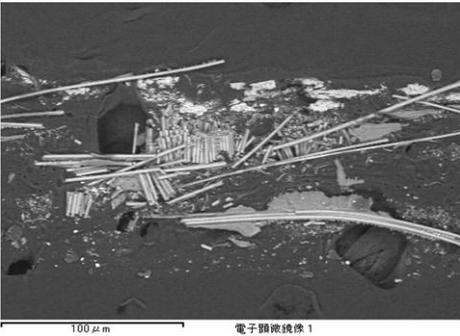
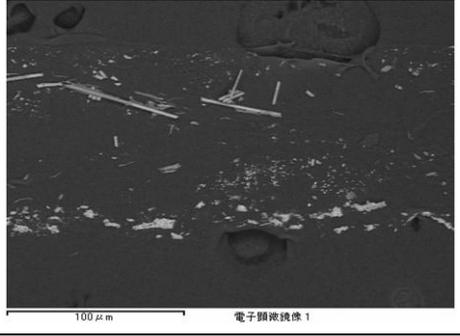
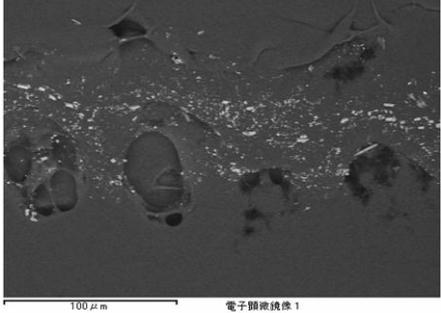
次にコンタミ量の比較を行った。実装現場では運搬中に欠落するコンタミが問題となっている。そこで今回の打ち抜き最適条件で発生したコンタミ量を一般的な金型およびルーター加工と比較した。抜き直後の断面を導電性テープに押し付け、テープに付着したコンタミ量を成分分析してケイ素(ガラスの主成分)の割合を比較した(表 2.4-2)。また洗浄による断面の比較も行った(図 2.4-2)。

洗浄前と洗浄後の断面を比較することにより、目視でコンタミ量の変化を確認できる。

ルーター加工では、ガラスエポキシ基板を切削加工で削るためコンタミが多く発生する。そのため洗浄を行っているが、この工程がコスト増に繋がっている。対して打ち抜き加工はコンタミの発生が少ないため、洗浄工程の廃止または低減が期待される。洗浄前後のコンタミ量を比較することで洗浄工程の必要性を確認する。洗浄は超音波洗浄機を使用した。

コンタミ量を比較すると、打ち抜き最適条件ではルーター加工とほぼ同等のコンタミ量であり、一般的な金型に比べコンタミ量を約 1/6 に低減できた。打ち抜き最適条件でのコンタミにはガラス繊維が付着しているなどの問題点もあるが、ルーター加工とコンタミ量がほぼ同等になったことは本開発の大きな成果である。洗浄前後を比較すると、コンタミが洗浄によって除去されていることがわかる。このことより打ち抜き最適条件でも洗浄工程は必要だが、工程数を低減できる可能性があり、コスト減に繋がる。

表 2.4-2 コンタミの割合比較

条件	テープ上の画像	ケイ素の割合
一般的な金型		1.13%
打ち抜き最適条件		0.19%
ルーター加工		0.22%

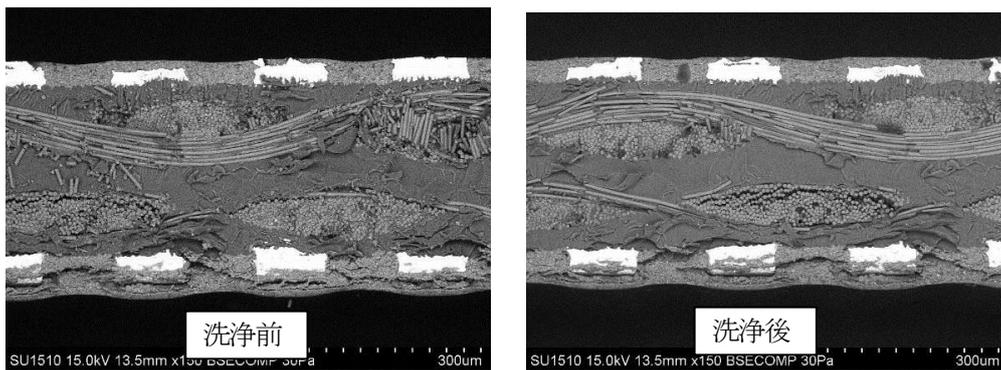


図 2.4-2 洗浄比較

2) 白化の評価及び検証

板厚 0.3mm リード無しガラスエポキシ板(住友ベークライト ELC-4765)を使用し、打ち抜き時に発生する白化と亀裂の検証を行った。条件は下記にて行い、光学式顕微鏡(マイクロスコープ)にて白化の度合いを比較した。結果を示す。(図 2.4-3)

1. 一般的な金型
2. 今回製作した高度かされた金型を用いての最適と思われる条件
3. 2.の条件で押さえ力を無し(0N)

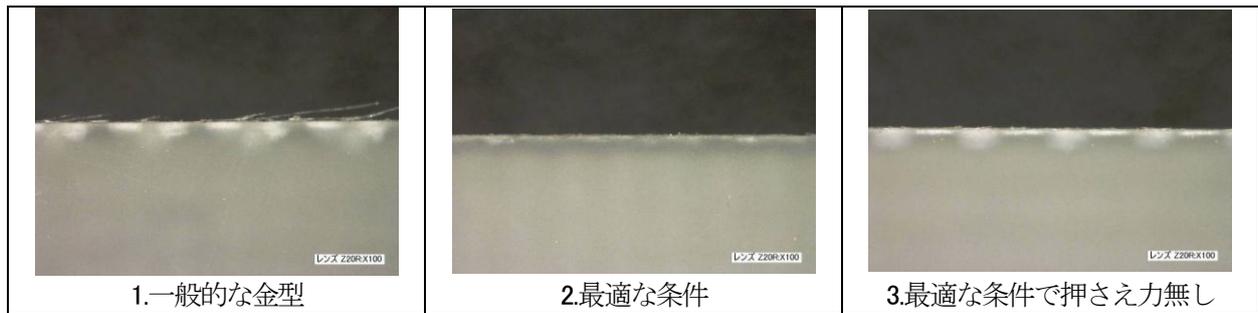


図 2.4-3 白化比較

一般的な金型と最適な条件で打ち抜いたものを比較すると、最適な条件の方で白化が少ない。また、最適な条件でも押さえを無くすと白化が大きい。白化を低減させるには、高精度金型でのクリアランスと押さえが重要である。最適な条件で打ち抜いたサンプルと、一般的な金型で抜いたサンプルの断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した(図 2.4-4、5)。



図 2.4-4 白化度合い比較 1

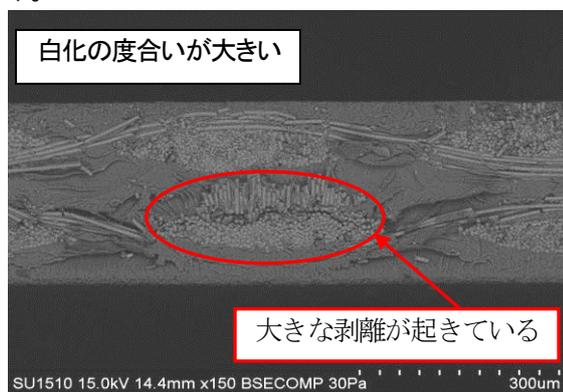


図 2.4-5 白化度合い比較 2

2つの画像を見比べると、白化の度合いが大きい物は、ガラス繊維とエポキシ部間に大きな剥離が見られる事が分かる。この剥離が原因となり、外部から目視すると白く濁って見えてしまうことから、この検証により白化は異種材間の剥離によって起こっている事がわかる。

なお、変形及び亀裂現象に関しては、本実験・検証では発生しておらず、問題なかった。

3)加工時間の検証

加工時間の検証として、一般的なルーター加工条件での加工時間と、今回の検証に使用した打ち抜き加工での加工時間の比較を纏めた結果を表 2.4-3 に示す。

本結果から、加工時間は打ち抜き加工によりルーター加工の約 1/10 に改善できる見通しを得た。

表 2.4-3 加工法による比較表

	ルーター加工	打ち抜き加工
対象形状	加工寸法 75 x 50 (コーナーR3) (加工長:244mm)	
加工時間	約 48秒	約 4秒/1 サイクル

4)金型寿命の評価及び検証

刃の寿命テスト(1万ショット)を行った。

図 2.4-6、7に初回及び1万ショット後の抜き素材断面と切刃比較画像を示す。

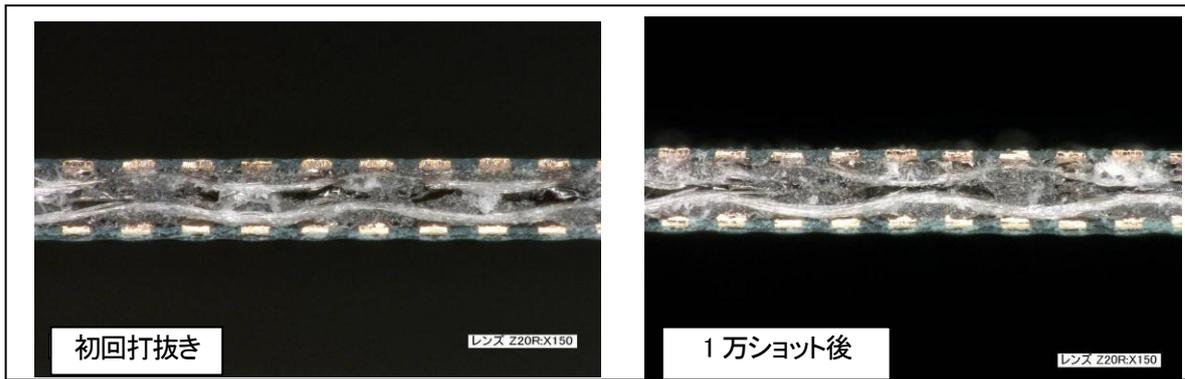


図 2.4-6 金型寿命検証結果

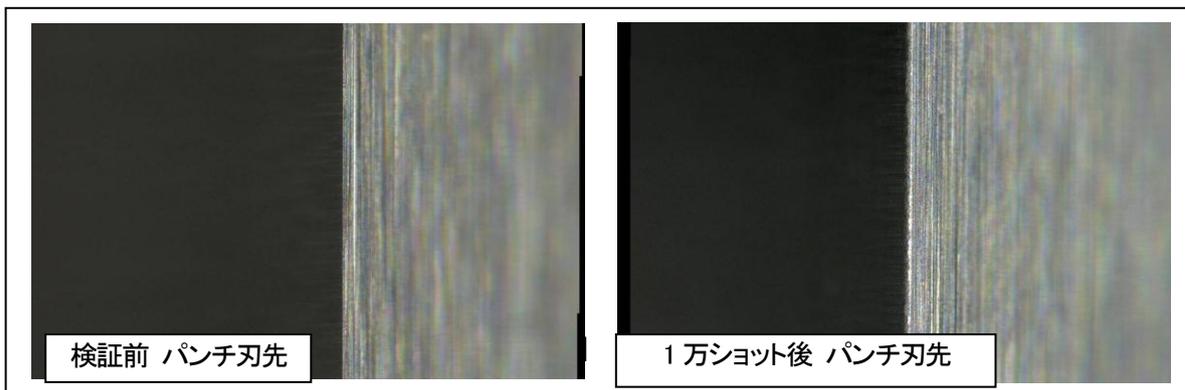


図 2.4-7 金型寿命検証 刃先の状態

1万ショット後の打抜き加工断面を確認した結果、初回打ち抜きと同等の断面状態であった。
 また、パンチ刃先のエッジ状態は1万ショット後には初期摩耗は見られたものの、打抜き品質には問題無いレベルであった。この検証により、高度化金型における製品精度維持や耐久性が量産を想定したメンテナンス頻度等のコスト面から見ても有効であることが分かった。

第3章 まとめ

3.1 研究開発成果

- 1) ガラスエポキシ基板用打抜き金型の高度化技術開発のため、次の機構の開発を行った。
 - ①抜き加工部高圧押え可変式機構の開発
 - ②局部加熱金型の開発
 - ③高精度の交換式ユニット精密金型開発
- 2) 打抜き加工技術の開発として、ガラスエポキシ基板打抜き加工の基礎的な加工条件を確立することができた。

3.2 研究開発後の課題・事業化展開

3.2.1 課題

1)市場製品のニーズの明確化と対応

基板の外形加工に求められる要求事項は業界的に明確な評価方法や基準が示されておらず、製品自体や加工部毎に定められている。また現在市場において抜き加工では満足できる品質を得ることができないために、ルーター加工が主流である。

ルーター加工で得られる加工品質までは求められない製品や箇所については、この研究事業で開発した高度化された金型及び装置、そして積み上げられた加工条件を生かすことにより、基板外形加工における生産効率を10倍まで上げられる可能性があるため、今後のマーケティング活動及び、試作対応の積み上げにより、事業化に繋げる。

2)加工技術の継続研究

研究事業で開発した高度化された金型及び装置により可能となった、抜き加工時の条件設定とデータベース化された情報を基に更なる研究を進め、市場ニーズに対応できる範囲を拡張していく。

3)市場に対しトータルコスト面からの提案

研究事業で開発した高度化された金型及び装置において、量産時に想定されるメンテナンス頻度や製品の状態を刃先の摩耗及び製品観察による検証を10,000ショットまで行なった結果、初期品質を保てることが確認できた。

このため、ルーター加工と比較して、大幅なコストダウンが見込めることが分かった。

但し、顧客により品質、加工仕様など、様々な要求事項が予想されるため、試作受託の積み上げにより、金型寿命の検証含めトータル的な提案により具体的なコスト低減を対応していく。

3.2.2 事業化展開

1)情報家電用ガラスエポキシ基板の打抜き加工の受託

携帯電話、パソコン、メモリーカード等に用いられている電子回路基板の最終打ち抜き加工をターゲットとして、住友ベークライト様の素材(半導体パッケージ基盤用素材)において、市場製品要求レベルをクリアーできる抜き加工技術を確立し、個片抜き加工の受託を図る。

2)ディスプレイ用ガラスエポキシ板の打ち抜き金型の販売

情報端末、携帯電話、液晶テレビ、をはじめとした、ガラスエポキシ製ディスプレイパネル用打抜き金型をターゲットとして、住友ベークライト様のフィルムシート素材において、品質要求レベルをクリアーできる高度化した金型技術を確立し、受注を図る。

3)事業化計画及び体制

今後の具体的な事業化計画及びその体制を図3.2.2-1、2に示す。

事業計画	2011	2012	2013	2014	2015
追加研究	→	→			
設備投資(金型製作)					→
サンプルの製作		→			
売込開始					→
打抜き受託加工					→
売上高(千円)	0	1,000	8,000	21,000	72,000
加工数量(個)	0	125,000	1,000,000	3,000,000	12,000,000
主な売込先 販路開拓		住友ベークライト(株) 基盤加工・実装メーカー 展示会 6月JPCA ショー	1月 展示会出展 プリント配線板EXPO	1月 展示会出展 プリント配線板EXPO 6月 展示会出展 JPCAショー	展示会出展 台湾又は中国

事業計画	2011	2012	2013	2014	2015
追加研究	→	→			
設備投資(打抜き装置製作)					→
売込開始					→
金型装置の販売					→
売上高(千円)	0	0	17,500	90,000	336,000
販売数量(台)	0	0	10	60	240
主な売込先 販路開拓		住友ベークライト(株) 4月 展示会出展 高機能フィルム技術展 (国際 ディスプレイ展)	旭化成(株) 4月 展示会出展 高機能フィルム技術展 (国際 ディスプレイ展)	富士フィルム(株) コニカミノルタ(株) 4月 展示会出展 高機能フィルム技術展 (国際 ディスプレイ展)	海外展示会出展 台湾又は中国

図3.2.2-1 事業化計画

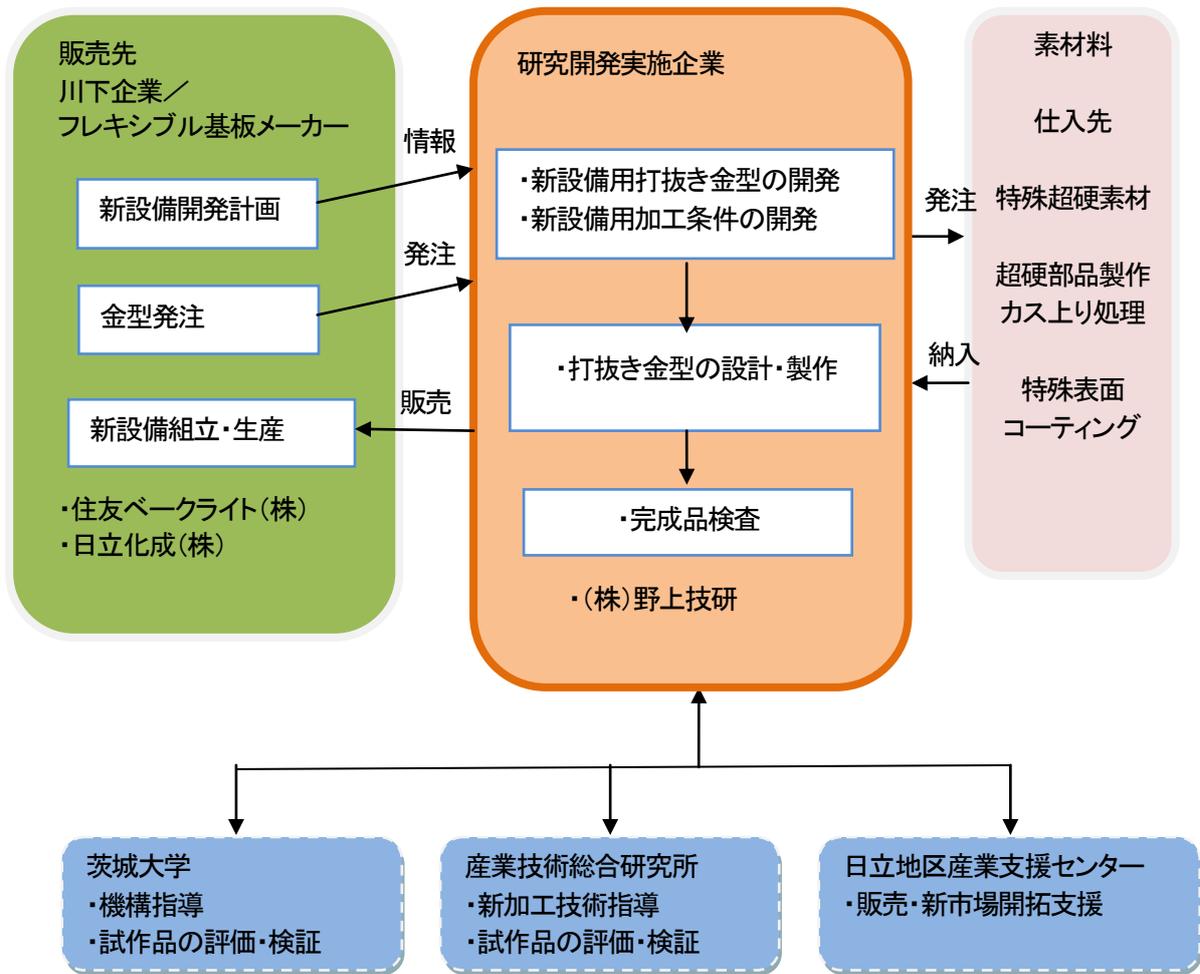


図3.2.2-2 事業化の体制図