

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「プレス多層筐体成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者 中 国 経 済 産 業 局
委託先 財団法人鳥取県産業振興機構

< 目 次 >

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制	4
1-3	成果概要	10
1-4	当該研究開発の連絡窓口	11

第2章 本論

2-1	深絞りベースプレートのプレス加工	
2-1-1	本年度研究開発の位置づけ、目的と本年度の目標	12
2-1-2	研究開発の進め方、方法	12
2-1-3	実施結果と研究成果	12
2-1-3-1	プレート1の深絞り加工	12
2-1-3-2	プレート2の深絞り加工	15
2-1-4	今後の課題と取組	16
2-2	プレスによる3ピース貼合せ工法	
2-2-1	本年度研究開発の位置づけ、目的と本年度の目標	17
2-2-2	研究開発の進め方、方法	17
2-2-3	実施結果と研究成果	19
2-2-3-1	温間加工における板材の変形課題の解決	19
2-2-3-2	高機能材の接合部分の耐熱性課題の解決	28
2-2-4	今後の課題と取組	28
2-3	1ピース化後の後加工処理	
2-3-1	本年度研究開発の位置づけ、目的と本年度の目標	29
2-3-2	研究開発の進め方、方法	29
2-3-3	実施結果と研究成果	30
2-3-3-1	プレート穴抜きバリの解決	30
2-3-3-2	貼合せ端面の接着剤漏出の解決	31
2-3-3-3	温間プレスによる熱歪の解決	31
2-3-3-4	生産された筐体製品のリサイクル技術の開発	32
2-3-4	今後の課題と取組	33
2-4	多工程プロセス設計	
2-4-1	本年度研究開発の位置づけ、目的と本年度の目標	34
2-4-2	研究開発の進め方、方法	34
2-4-3	実施結果と研究成果	34
2-4-3-1	3次元工程設計技術による課題の解決	34
2-4-4	今後の課題と取組	35

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

<研究開発の背景・目的>

現状の国内の多くのセットメーカーのモバイルPC・タブレット端末・スマートフォンの筐体製造は、モールド成形・ダイキャストの切削加工等で生産されているが、これらの工法では高強度薄型精密加工の部品生産にコストがかかるために筐体としての競争力のある高強度薄型化・軽量化ができず、市場競争力に課題がある。

今後の市場展開で生き残りのためには、高付加価値PCやモバイル情報端末市場での競争力を得ることが重要となり、高強度薄型軽量筐体を低コストで実現することが一つのキーである。そのために複雑形状の薄型部品の製造をモールド成形・ダイキャストの切削加工ではなく、プレス加工で実現することが求められており、アルミ切削加工を代替する期待が極めて強い。

本研究開発では、従来、切削加工でしか加工できなかった複雑性の高い筐体部品をプレス加工に置き換える。

現在、複雑部品は情報端末メーカーからのニーズが強いものの、切削加工に長時間を要し、加工コストが極めて高い。また、多数の加工機が必要となりそのためには巨額の資本が必要で、国内メーカーは後塵を拝している。

そこで、本研究開発において、切削加工から多層のプレス一体成形工法に置き換えて、筐体部品の生産コストを劇的に下げることが目的とする。ところが、本研究開発には大きな課題がある。一体化前の個別部品加工では高精度プレスが必要、一体化工程では多層材変形、熱歪、接着剤の耐熱性問題、さらに一体化後の多層加工バリ、接着剤流出等の課題があり、これらの問題解決を行う。プレス一体成形工法では異種材料の組み合わせも実現できることから、素材の特徴を生かして部品特性を多様化させ、従来の単一素材部品では実現できなかった低コスト・高品質の「機能性部品」を実現できることで、次世代情報端末機器の実現に貢献することができる。

<研究開発の目標>

本研究開発は、2年間で実施することを予定しており、その技術目標値は次のとおりである。

① 絞り度の点での目標値

取付用ボス部のプレス深絞り成形加工にて5mm以上の立ち上げを持つボス形状を形成すること。

② 強度の点での目標値

強度においてアルミ切削加工筐体を採用することにより薄型で強度とデザイン性を両立して、世界のPC業界の最先端を実現しているアップル・コンピューター/Mac Airをターゲットとする。Mac Airでは切削加工採用により、強度の必要な部分は約2mmと厚く、スペースの必要な部分は0.8mmと薄い一枚もののアルミ筐体を実現しているが、これをプレス多層成形により工法転換することでMac Airと同等かそれ以上とすること。（具体的には耐折強度、押しつぶし強度、落下強度等になると推測されるが、具体的数値は開示されていないため、研究開発の中で現物を測定し比較設定していく。）

③ 耐熱性の点で目標値

環境試験における85℃以上をクリアすること。

④ 精度の点での目標値

筐体部品の精度を平坦度0.2mm以下とすること。

<研究の全体概要>

世界のモバイルPC等の筐体製造で行われている加工法は、従来技術であるモールド成形・ダイキャストの切削加工で行われており低生産性・高コストとなる。そこで、田中製作所独自のアイデアであるプレス多層筐体成形技術を開発し、複雑・薄型・高強度の筐体製造をモールド成形・ダイキャストの切削加工から置換える。高生産性と複合材で低コストと機能性を実現し、筐体概念を革新して国内メーカーの国際競争力を高める。

本研究開発では、金属表面に樹脂被膜を表面加工処理した高機能材料の接合技術を活用し、温間プレスで貼り合わせることにより、多層成形構造を実現する加工法を採る。ここでは、個別部品を現在保有しているプレス加工技術により高精加工し、これら部品を組み合わせで貼り合わせることで、切削加工と同等の複雑性を実現する。

一方、個別部品のプレス加工を行うに際し、特に筐体で必要な取付用ボス等の深絞り加工を行うための難易度の高いボス成形加工技術の開発が必要となる。

また、プレス多層成形技術では、温間プレス加工における変形、接着剤の挙動等の問題も解決しなければならない。

さらに、プレス多層成形後にキーボード穴明けなど、プレス抜き加工を行う場合に、バリ、樹脂接着剤の漏出などの予想される問題解決も必要である。

開発主企業である株式会社田中製作所では、これまでも新プレス加工法開発を進めており、薄型部品の高精度加工技術を保持している。それらのノウハウをベースに今回の課題の解決を行う。

また、異種材料による多層化も可能であり、単一素材では実現できない特有の物理特性を有する「機能性部品」を実現するために、素材の組み合わせ効果の検証や素材特性に合わせた上記の課題を個別に対応していく必要がある。

以下に、素材の組み合わせにより、機能性を実現する例を挙げる。

- | | | |
|------------------------|---|---------------|
| ・ステンレス外板 + アルミ内部層 | ： | 軽量化と強度を両立させる |
| ・断熱シート + アルミ内部層 | ： | 断熱性と軽量性を両立させる |
| ・アルミ外板 + ステンレス外板 | ： | 放熱性と強度強化を実現する |
| ・カラーステンレス鋼板 + カラーアルミ外板 | ： | 塗装工程を必要としない |

各種素材の組み合わせにより、貼付工法、条件、また課題対策手法が異なるために個別に研究開発を行う。

このように従来の技術と一線を隔した新たな独自の技術開発により、高付加価値製品の提供と製品の品質保証を実現するとともに、プレス技術基盤を高度化する。

＜実施内容＞

本研究開発における技術的課題は、金属表面に樹脂被膜を表面加工処理した高機能材料を活用し、プレスで貼り合わせることにより、多層成形構造を実現する方法を採るが、温間プレス加工における変形、接着剤の挙動等の問題が想定される。また、多層部材のベースプレート単品も取付用ボスを形成するために深絞り加工を行う必要があり、高度なプレス加工技術の開発が要求される。さらに、多層化後にキーボード穴明けなど、プレス抜き加工での抜きバリ、接着剤の漏出など、本構造に特有な問題解決も必要である。

本研究開発を実現するためにはこのような技術的課題が存在するため、以下の4つのサブテーマを設定、実施した。

① 深絞りベースプレートのプレス加工

- プレート1の深絞り加工

- プレート2の深絞り加工

② プレスによる3ピース貼合せ工法

- 温間加工における板材の変形課題の解決

- 高機能材の接合部分の耐熱性課題の解決

③ 1ピース化後の後加工処理

- プレート穴抜きバリの解決

- 貼合せ端面の接着剤漏出の解決

- 温間プレスによる熱歪の解決

- 生産された筐体製品のリサイクル技術の開発

④ 多工程プロセス設計

- 3次元工程設計技術による課題の解決

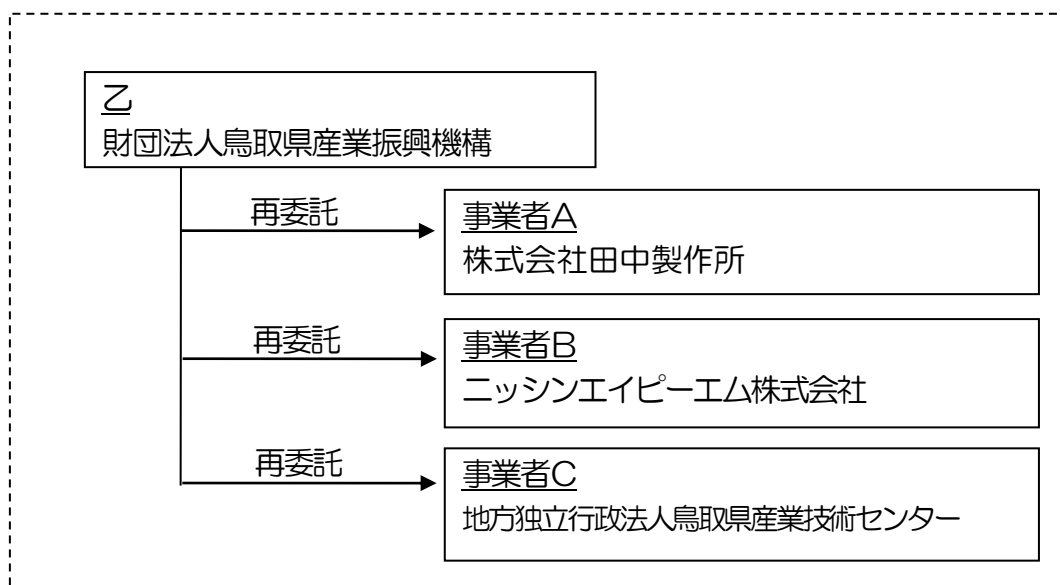
⑤ プロジェクトの管理・運営（担当実施機関：財団法人鳥取県産業振興機構）

本研究開発の円滑な運営と推進、実施内容の課題抽出、検討、推進を図るために、今年度2回の全体会議（プロジェクト推進会議）を開催し、研究開発の進捗状況の確認と研究実施者相互の連絡体制を密にした進捗情報の共有を進めた。また、研究開発成果について、報告書作成の検討及び取りまとめを行う

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）

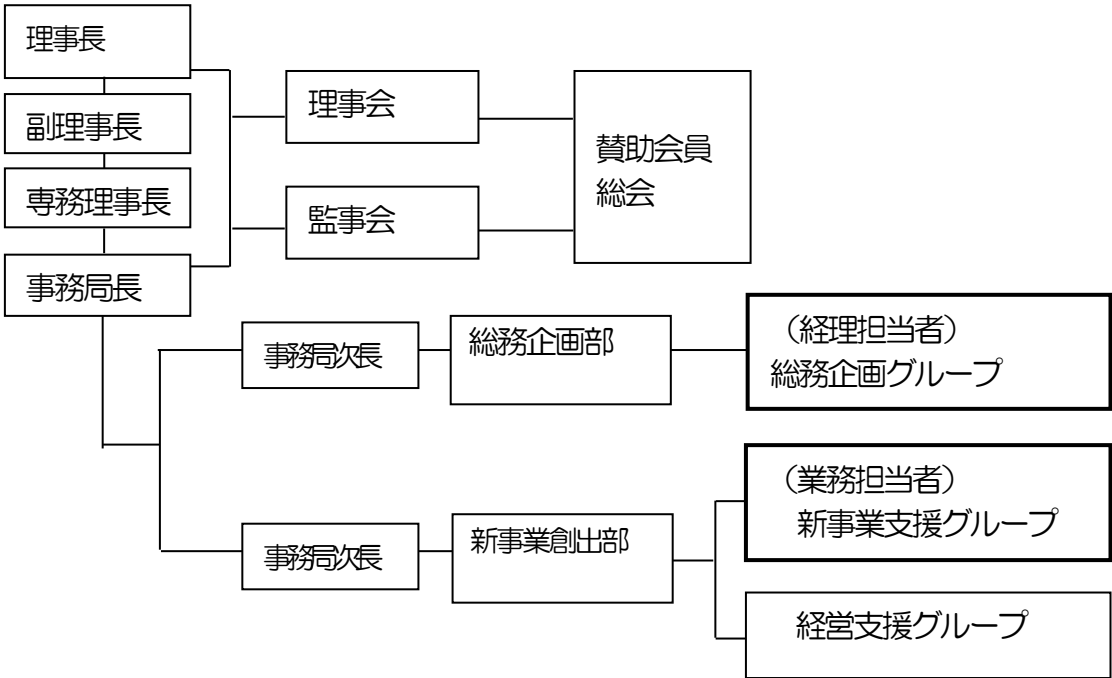


総括研究代表者（PL） 氏 名： 田中 道男 組織名： 株式会社田中製作所 役 職： 専務取締役	副総括研究代表者（SL） 氏 名：西本 弘之 組織名：（地独）鳥取県産業技術センター 役 職：電子・有機素材研究所長
---	---

2) 管理体制

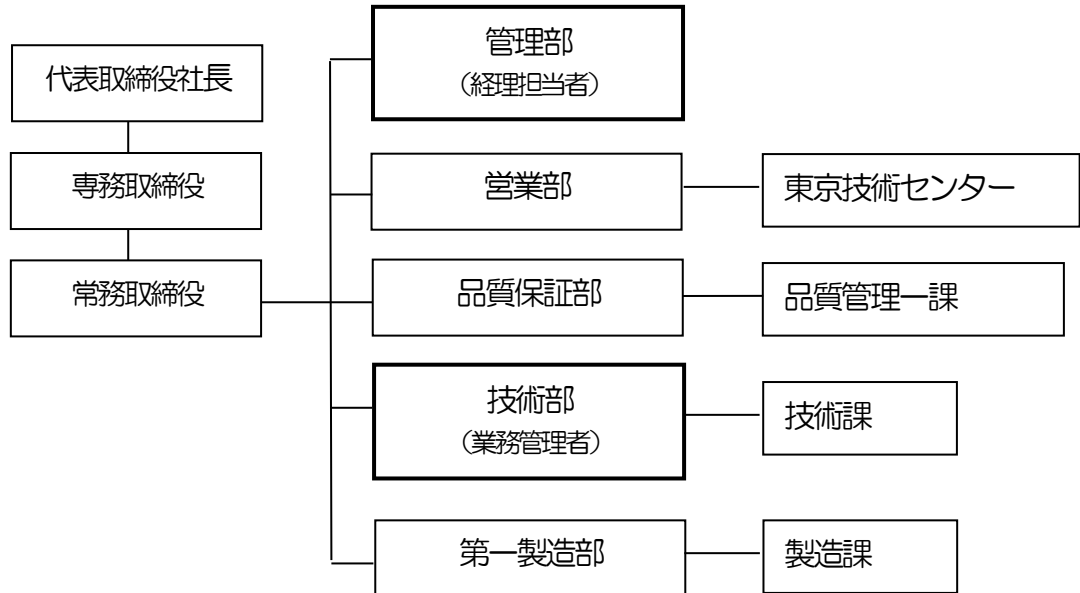
①事業管理機関

[財団法人鳥取県産業振興機構]

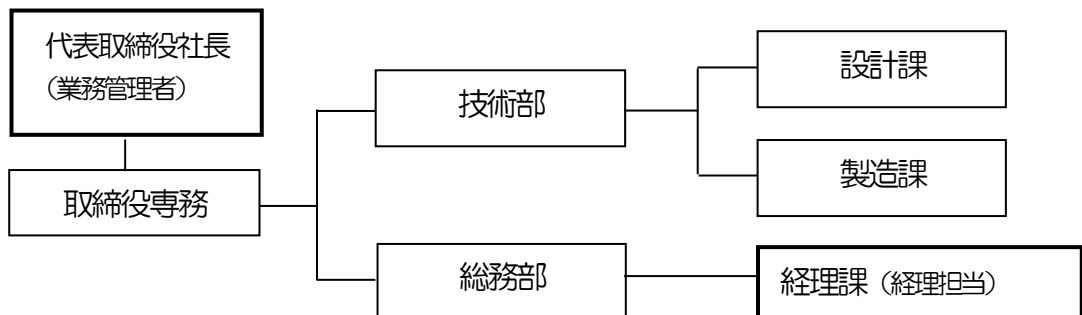


②（再委託先）

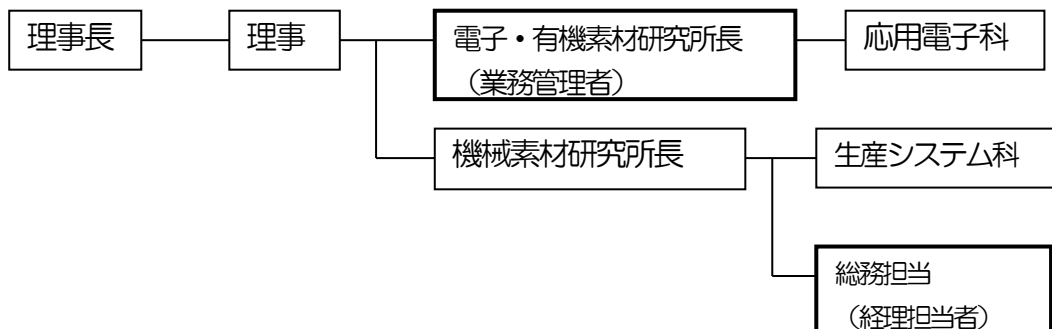
1) 株式会社田中製作所



2) ニッシンエイピーエム株式会社



3) 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 財団法人鳥取県産業振興機構

管理員

氏 名	所属・役職
宮内 武幸	事務局次長
頼田 慎	新事業創出部新事業創出部長
岡島 加奈	新事業創出部新事業支援グループ主事
田中 幸一朗	総務企画部総務企画グループ主事
小坪 一之	新事業創出部新事業支援グループコーディネータ
前田 千恵	新事業創出部新事業支援グループ事務員

【再委託先】

1) 株式会社田中製作所

氏 名	所属・役職
田中 道男	専務取締役
田中 清治	常務取締役技術部長
上山 和彦	技術部次長
岩竹 博之	技術部技術課長（開発G担当）
米村 慎一	技術部技術課開発G研究員
奥村 亮	技術部技術課開発G研究員
大畑 泰之	技術部技術課開発G研究員
石賀 豊	技術部技術課金型G研究員
桐谷 竜二	技術部技術課金型G研究員

竹内 達哉	技術部技術課金型G研究員
森本 敦夫	技術部技術課開発G研究員
小畑 徳生	第一製造部製造課専任課長
森 智志	第一製造部製造課精密G研究員
田中 豊	第一製造部製造課精密G研究員
川原 真吾	第一製造部製造課精密G研究員
影井勇作	第一製造部製造課専任課長
田中 健也	第一製造部製造課精密G研究員
堀場 康平	品質保証部品質管理一課研究員

2) ニッシンエイピーエム株式会社

氏 名	所属・役職
松元 玲仁	代表取締役社長
松元 宏学	取締役専務
松元 博美	取締役技術部長
辻 晴夫	設計課長
堂園 義昭	製造課研究員
西村 栄一	製造課研究員
大橋 敦	製造課研究員
山口 博	製造課研究員
香山 誠博	製造課研究員
崎山 俊一	設計課研究員

3) 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

氏 名	所属・役職
西本 弘之	電子・有機素材研究所長
小谷 章二	電子・有機素材研究所副所長兼応用電子科長
木村 勝典	生産システム科特任研究員
佐藤 崇弘	生産システム科研究員
野嶋 賢吾	生産システム科研究員

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

財団法人鳥取県産業振興機構

(経理担当者) 総務企画部総務企画グループ

田中 幸一朗

(業務管理者) 新事業創出部新事業支援グループ

小坪 一之

(再委託先)

1) 株式会社田中製作所

(経理担当者) 常務取締役管理部長

竹内 保徳

(業務管理者) 常務取締役技術部長

田中 清治

2) ニッシンエイピーエム株式会社

(経理管理者) 総務部総務課

大谷 仁文

(業務管理者) 代表取締役社長

松元 玲仁

3) 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

(経理担当者) 機械素材研究所総務担当主事

遠藤 晴美

(業務管理者) 電子・有機素材研究所長

西本 弘之

1-3 成果概要

研究活動全般について、基礎研究部分は計画どおりに進行しており、実証試験部分もほぼ計画どおり進行し結果を得た。

個々の4つのサブテーマについては、以下のような成果を得た。

<深絞りベースプレートのプレス加工>

株式会社田中製作所・ニッシンエイピーエム株式会社にて行っている深絞りベースプレートのプレス加工の研究は予定通り順調に進むことができた。

具体的には、増肉加工とバーリング加工の試作金型を製作し条件検証を行ない、ボス成形高さ5mm以上を達成した。

また外観意匠面実現のため金型跡を発生させない加工研究を行い、外観レベルにおいて携帯電話部品レベルで品質基準クラス3（田中製作所と国内携帯電話メーカーの外観品質基準）を目標としたが、絞り高さ高い側が材質の伸び限度以上となったため、割れが発生し、今回の研究で使用した、アルセット材では、5.6mmの絞り高さが限界であることがわかった。

従って今回の最終製品形状で8mm高さの角部はスリットを入れた形状で製作した。また、手前の4mm高さの側は、外観目標達成できる形状で仕上げることもできた。

<プレスによる3ピース貼合せ工法>

株式会社田中製作所・ニッシンエイピーエム株式会社・地方独立行政法人鳥取県産業技術センターにて行っているプレスによる3ピース貼合せ工法の研究は予定通り順調に進むことができた。

具体的には、接着剤が塗布してある高機能材料を用い貼り合わせるための試作金型を製作し実証研究を行ない、3ピース貼り合わせプレートでの平面精度が目標の0.2mm以下を達成することができた。

また接着剤が塗布してある高機能材料を用い、3ピースを貼った接合部分の熱による形状変形、接着剤の挙動の検証を行い、耐熱性で85℃以上を達成できた。

<1ピース化後の後加工処理>

株式会社田中製作所・ニッシンエイピーエム株式会社・地方独立行政法人鳥取県産業技術センターにて行っている1ピース化後の後加工処理の研究は、予定通り順調に進むことができた。

具体的には、貼り合わせたプレートの穴抜き金型を製作し、バリ発生の実証研究を行い、バリ高さ30ミクロン以下を達成した。同時に貼り合わせ端面の接着剤漏出の検証も行い、現時点での抜き断面の接着樹脂被膜漏れのないことを確認した。

また生産された筐体製品のリサイクル技術の研究では、同種材のリサイクル分離方法を物理的（加熱剥離）、化学的（薬品剥離）方法で可能性の検証を行い、分離方法を検証も行った。

<多工程プロセス設計>

株式会社田中製作所・地方独立行政法人鳥取県産業技術センターにて行っている多工程プロセス設計の研究は、予定どおり順調に進むことができた。

具体的に、3次元工程設計技術による各工程からアッセンブリ工程・検査までのサイクルタイムをベースとしたラインバランスの設計を行い、全行程を6分で行うことを目標に検証をした。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関法人名：公益財団法人鳥取県産業振興機構 代表者役職・氏名：代表理事理事長 金田 昭 住所：〒689-1112鳥取県鳥取市若葉台南7丁目5番1号
連絡担当者名： 新事業創出部（小坪・岡島） Tel: 0857-52-6704 Fax: 0857-52-6673 E-mail: kkotsubo@toriton.or.jp、kokazima@toriton.or.jp

第2章 本論

2-1 深絞りベースプレートのプレス加工

2-1-1 研究開発の位置づけ、目的と目標

本研究開発が対象としているPC等のモバイル電子機器の筐体では、製品構成上部品用ボスによる筐体勘合が必須である。このボス形成を実現することが、本研究の目的である筐体を実現するキー技術のひとつであることから、この技術開発を実施した。同時にプレスで外観意匠面を確保しつつ形状を成形した。

プレート1の取り付け用ボス成形の最終目標は5mmとした。

プレート2の外観部材となる深絞り加工では、外観意匠面の品質を確保しながら形状を成形していくが、最終目標は外観基準（田中製作所での携帯電話外観基準）クラス2を品質保証目標とした。

2-1-2 研究開発の進め方、方法

深絞りベースプレートの試作金型を製作して、形状成形の問題点を解決していった。

プレート1では、増肉加工工程とバーリング工程のための試作金型を開発し、成形試作のなかで各種のプレス条件を試みた。株式会社田中製作所では、従来、増肉加工をプレスで実現した実績があり、このノウハウ・手法を拡張してニッシンエイピーエム株式会社と共に試作金型を開発した。

プレート2では、外観部品用の試作金型を開発し、課題を解決できるプレス条件を求めた。

プレート2の深絞り加工では、金型のしごき跡を解消させる問題が残っている。そのため、金型しごき跡を発生させないようにするための金型条件、サーボプレスのストローク制御条件、潤滑油の条件を変えることにより、課題の解決を図った。

2-1-3 実施結果と研究成果

2-1-3-1 プレート1の深絞り加工

つぶし加工による増肉加工技術と、深絞り加工の複合により目標高さ5mm以上のボス成形を実現できた。

試作プレス工程は、平成22年度7工程では、5mm高さまで持ち上げると、材料が伸びず割れが発生して実現できなかった。

図1に金型写真を、図2に試作サンプル写真を



図1 ボス成形の試作型（2工程は、組み替え方式を採用 合計10工程）



図2 ボス成形試作サンプル最終形状

次に、3P 貼り合わせする最終製品図を設計した。3次元図として図3、図4に示す。

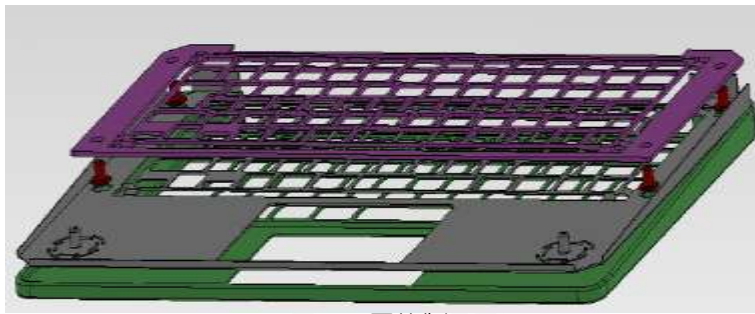


図3 最終製品図

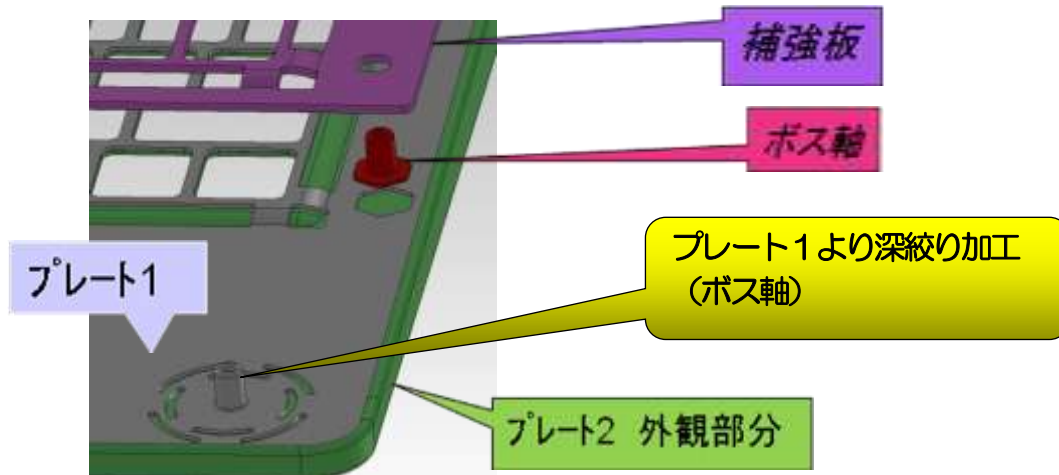


図4 最終製品 構成図

ボス成形の試作を元に、ボス軸の工程を追加したプレート1の工程設計をした。
プレート1は、17工程で製作することになり、工程は下記のとおり。

外形抜→1穴→絞り・曲→2穴→3穴→4穴→5穴→1絞り→2絞り→
3絞り→4絞り→5絞り→6絞り→6穴→7絞り→8絞り→成型

図5はプレート1の最終加工製品と、図6は同品のボス部拡大写真を示す。



図5 プレート1 最終製品



図6ボス部拡大写真
ボス高さ：5.0～5.1mm

2-1-3-2 プレート2の深絞り加工

プレート2は、外観意匠面となるため金型しごき跡をなくすような、コーナー部分の摩擦抵抗を低減するための成形条件で試作した。

図7はプレート2の最終3次元製品図を示す。

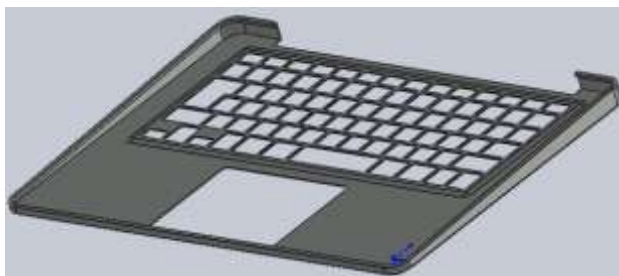


図7 プレート2 最終製品図

今回採用した高機能材では伸びも悪く絞り高9.1mm（製品奥側）では下記のような加工条件を変更して試作したが、材料が破断してしまった。

絞り高さ5.6mm（製品手前側）。図8は、外観意匠面としても、問題ないレベルを達成することができた。

破断対策での変更内容

加工素材の厚さ：アルミ（ $t=0.5$ ）+樹脂被膜シート（ $t=0.055$ ） $=0.555$

絞りコーナー部の金型クリアランスを、0.62→0.75迄広げる。クリアランスを広げると曲げ角度が甘くなるので後工程に影響出ない、5度程度甘い角度迄の調整とした。

材料の滑り込みを良くするため、滑り込みコーナー部をR2→R6変更、金型磨きと、潤滑性の良い油を使用したか、破断を止めることはできなかった。

対応策として、絞りコーナー部に外形併列状にスリットを追加して、最終製品とした。



図8 絞り高さ5.6mm
製品手前側 目標達成

2-1-4 今後の課題と取組

プレート1の深絞り加工では、最終目標絞り高さ5mmを達成することができた。
プレート2の深絞り加工では、今回採用の高機能材では、製品奥側絞り高さ9.1mmができず、対策としてスリット追加しなければ、加工ができなかった。そのため奥側は外観意匠面として採用はできない結果となった。

絞り高さを上げる為、今後は絞り性の良い高機能材を使用することで実現可能となりうる。

図9は絞りテスト試作サンプル。

またプレート2は外観意匠面であるため、外観機構部品として採用されている塗装鋼板を用いて検証実験も行なった。図10に塗装鋼板（SUS）の絞り加工による試作サンプルの写真を示す。塗装鋼板の場合は、外観部品のため塗装はかればNGとなってしまうため、塗装はかれないようにクリアランスや曲げRの改善を行うことで良好な外観を得ることができた。

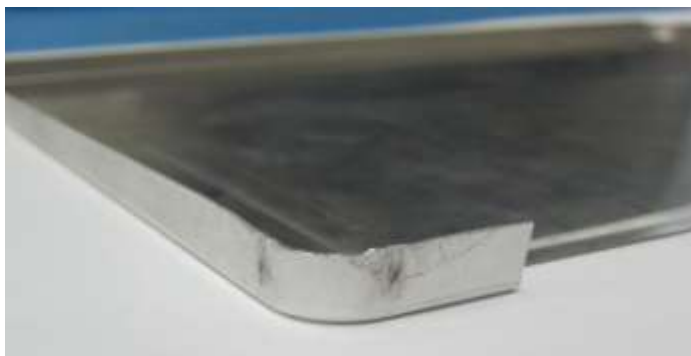


図9 硬度の低いアルミ材での絞り試作サンプル
コーナー部の割れは発生しなかったが、熱圧着シート付きの材料入手ができなかったので、貼り付けはできなかった。



図10 SUS塗装鋼板を使用した 貼り合せ試作サンプル



コーナー部

2-2 プレスによる3ピース貼合せ工法

2-2-1 本年度研究開発の位置づけ、目的と本年度の目標

本研究開発では、金属表面に接着膜を表面加工処理した高機能材料材を活用し、温間プレスで貼り合わせることにより、図1のような3ピース構造を実現する方法を採った。1層、3層を樹脂被膜材とすることにより、温間プレス加工で貼り合せ形成することで3ピース一体構造を実現した。また予想される形状変形、接着被膜の挙動等の問題解決を行った。

温間プレス加工で、金属表面に接着被膜を表面加工した高機能材料を使用し、3ピースの貼り合わせ材を試作し、温間条件設定、接着剤の挙動封じ込めを行うことで、筐体接着強度の確保と、貼り付け平面精度0.2mm以下を最終目標とした。また筐体強度では、切削加工品を作成し、ねじり強度、加圧強度等の試験を行う。最終目標としてはMacAirの切削加工品同様以上の強度とし、接合面の耐熱温度については85℃を最終目標とした。

2-2-2 研究開発の進め方、方法

温間加工における板材の変形課題の解決のため、図1-1に示す本研究開発にて導入した温間成型プレスを用いて、高機能材料で3ピースに貼り合わせるプレス工程のための試作金型を開発した。次に、貼り合わせを終えた中間製品のプレート歪を取る工程を開発。また3ピース貼り合わせのための試作金型を用い、温間プレス加工の温度条件、接着時間を変え接着強度アップと、熱歪みの改善を行った。

高機能材料の接合部分の耐熱性課題の解決のため、3ピース貼り合わせ工法で成形した筐体サンプルの環境試験を行った。サンプルの環境による形状変化、構造強度の観点で試験を行い、課題を明確にした。



温間成型プレス



サーボプレス条件
設定画面



温度制御装置



冷却装置

図1-1 温間成型プレス装置

貼り合わせ金型は、均一に熱が伝わるように、製品の高さに合わせて彫りこみを行い 貼り付けを行った

図1 2は貼り合わせの金型を示す。

図1 3は、最終製品研形状での、貼り合わせイメージ図を示し、図1 4は貼り合わせ条件をテストした試作サンプルを示す



図1 2 貼り合わせ金型

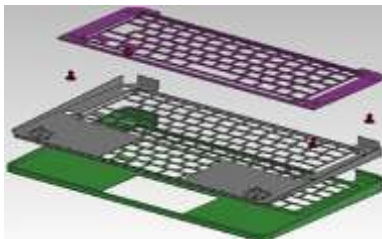


図1 3貼り合わせ
イメージ図



図1 4 最終製品研形状 貼り合わせ試作サンプル

2-2-3 実施結果と研究成果

2-2-3-1 温間加工における板材の変形課題の解決

<熱歪みの影響把握>

ボス成型等を施した板材での貼り合わせを実施する前に、板材での熱影響について検証を行った。温間加工における熱歪みの影響を抑えるために、貼り合わせ材の加熱温度や加熱時間および冷却時間について調べた。その結果、板材については加熱直後にプレス冷却することで、図15に示すように貼り合わせたテスト製品で平面度0.2mm以下を実現でき、熱歪みの影響を十分に抑えることが確認できた。



図15 貼り合わせテスト製品

<筐体変形強度比較用切削加工筐体の製作>

プレス温間加工により作成された3ピース貼り合わせ筐体の製品としての品質レベルを把握するため、切削加工筐体を作成した。

試作には、(地独)鳥取県産業技術センターが所有している機器等を用いて行った。使用した加工機を図16、ソフトを図17に示す。またそれぞれの仕様を表1に示す。



図16 高速マシニングセンター



図17 3次元CAD/CAM

表1 使用した機器等の仕様

高速マシニングセンター	3次元 CAD/CAM
型式:YBM640V verⅢ	対応加工:3 軸マシニングセンター 5 軸マシニングセンター 旋削加工 ワイヤー加工
主軸回転数:Max24,000rpm	
切削送り速度:1~12,000mm/min	
移動量:X 軸 600mm、Y 軸 400mm、Z 軸 350mm	
工具補正:CCD による画像補整 大昭和精機製 Dyna-vision	ポスト :安田工業製 YBM640V 複合旋盤 Multus B300 汎用フライス盤

切削加工のプロセスのイメージを図18に示す。

今年度は、2010 年度に試作したサンプル形状からサイド形状を変更し、より目標モデルである Mac Book Air に近づけた形状とした。筐体の切削加工では、プレス成形する際の筐体データを利用し作成した。2010 年度のモデルとの比較写真を図19に示す。

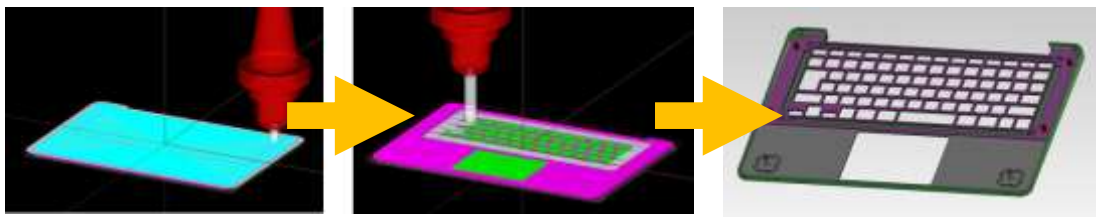


図18 切削加工プロセス

2011モデル



2010モデル



図19 平成22年度モデルとの比較写真（変更点赤丸部分）

<非接触三次元デジタイザーによる貼り合わせ材の平面精度の測定・検証>

温間加工により貼り合わせた筐体の平面精度を把握するため、非接触三次元デジタイザーを用いて形状測定を実施し平面度を求めた。

測定評価のイメージを図20に示す。また、測定した点群データから作成したモデルデータを図21に、試作サンプルにおいて平面度を求めたエリア（赤色で塗りつぶした箇所）を図22に示す。このエリアにおける平面度を検査ソフトにて解析し求めた。平面の状態を把握できるカラーマップを図23に示す。

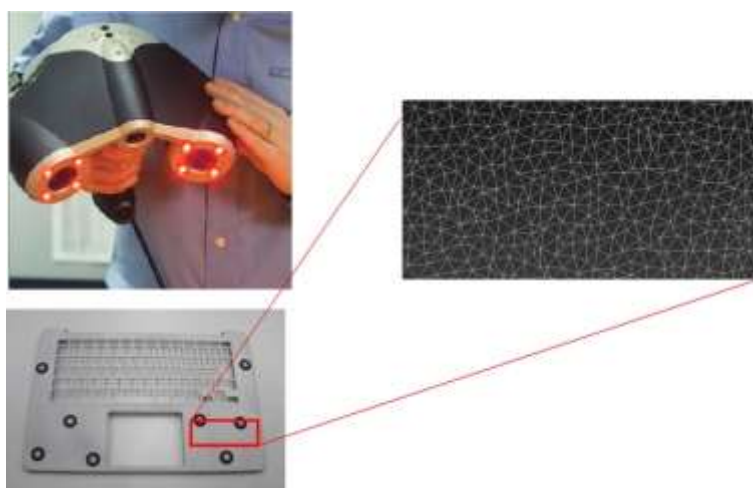


図20 平面度測定評価イメージ



図21 モデルデータ



図22 評価エリア



図23 カラーマップ

この手法を用いて求めた、目標モデル（Mac Book Air）と切削加工モデル及び貼り合わせ筐体の試作サンプルにおける平面度測定結果を図24に示す。

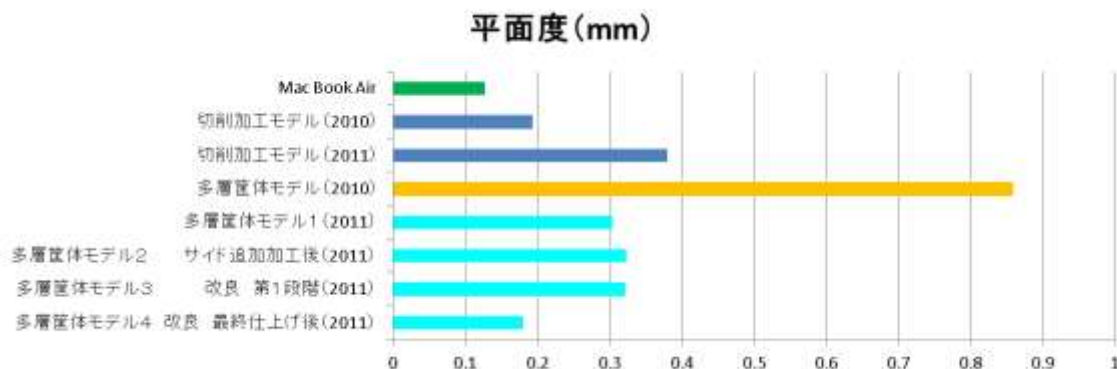


図24 平面度測定結果

貼り合わせ筐体における平面度の目標値は 0.2mm 以下としていた。図24から目標モデルとした Mac Book Air の製品は平面度が非常に良いことが確認できた。当センターで製作した切削加工モデルにおいては、2010 年度モデルは目標値を達成しているが、2011 年度モデルは達成できなかった。これは、2011 年度の切削加工筐体は強度評価用のみの比較サンプルとして位置づけで製作したため、2010 年度に製作した切削加工筐体の加工プログラムより仕上げ加工の工程を一部省略したためである。このことにより切削加工においても、加工プログラムの仕上げ加工プロセスによっては平面度を目標とした値である 0.2mm 以下に抑えることが難しい事が確認できた。

次に貼り合わせ筐体のモデルの結果から、2010 年度試作したモデルでは3ピースを貼り合わせることはできたが、平面度を良好に仕上げることはできていなかったことがわかった。2011 年度のモデルでは、図24に示した通りこれまでの結果から改良を加えて多層筐体モデル1（2011）、多層筐体モデル2 試作し平面度を 0.3mm 程度（図25）のところまで改善することができた。

ここから、サイドの仕上げの外観向上等の処理を施した改良第1段階の多層筐体モデル 3 においても平面度の値が変化しなかったため、最終的に筐体平面の表面を平らにする修正作業を追加した多層筐体モデル 4 において、目標としていた平面度 0.2mm 以下（図26）を達成できたことを確認した。



図25 平面度測定結果（1回目）



図26 平面度測定結果（最終品）

<接着強度の評価>

温間加工により貼り合わせる筐体の最適プレス条件を見出すため、プレス温度およびプレス時間を調整した試験サンプル（板厚 0.5mm のアルミニウム材と板厚 0.5mm の高機能材との貼り合わせ材）を準備し、接着強度試験を行った。試験サンプルのイメージ図と実際の試験サンプルの写真および材料強度試験機に取り付けた状態の写真を図 27 に示す。試験は同一条件で 5 サンプルにて実施した。



図 27 接着強度試験サンプルイメージ、実際の試験サンプルおよび接着強度試験実施状態

当初プレス条件では、温度 120℃から 30℃刻みで 210℃まで 4 温度条件に対して、下死点保持時間を 30、60、90 秒の 3 条件の組み合わせで試験を実施したが、ほとんどの試験条件で、接着できないか、或いは板材が破断するなどの結果となった。そのため、試験サンプルの接着面積を小さくするとともに、プレス条件の見直しも併せて行った。

接着面積を 1/3 にまで小さくしたが、板材が破断してしまうほどの接着力を有していることが確認できた。5 サンプル全てで板材が破断したプレス条件を除き、その他の条件については貼り合わせ部分が剥がれたデータを集計し平均値を求めた。

各温度条件に対してプレス時間ではその他の条件と比べて強度が小さいことが確認できた。

また、プレス温度や時間を上げることで接着強度は上がるが、強度の差は各設定条件でほとんど差が無いこともわかった。

<多層プレス材の曲げ強度試験>

貼り合わせた多層筐体が 1 つの板材として見た場合にどの程度の強度を有しているのかを把握するため、曲げ強度試験を実施した。試験サンプルのイメージ、曲げ強度試験の実施状態を図 28 に示す。

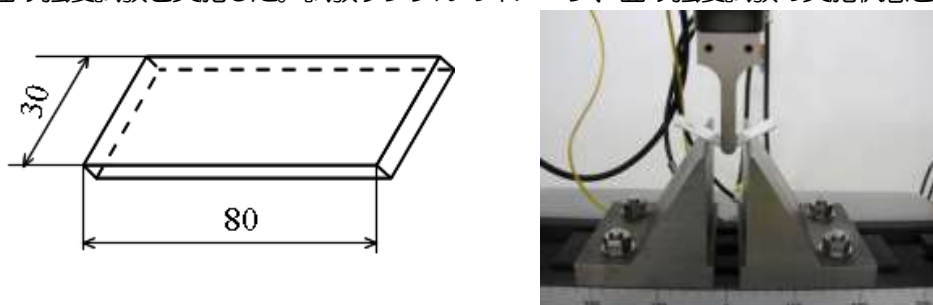


図 28 曲げ試験サンプルイメージおよび曲げ試験実施状態写真

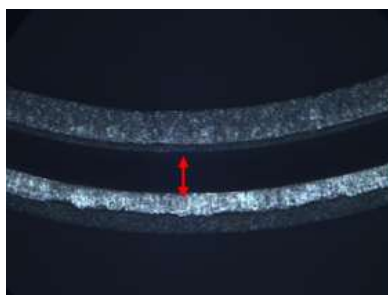
曲げ試験サンプルは、パターンを決めたプレス条件にて作成した。試験は同一条件で5サンプルにて実施し、強度の平均値を求めた。

図には比較として、貼り合わせた曲げ試験サンプルと同じ厚さの板材の強度の結果も示している。その結果、一定のプレス温度設定において、プレス時間 20 秒では曲げ強度が小さかった。しかし、それ以外のプレス条件では全ての条件で、同厚の板材よりも強度が大きい結果となった。AL 材に樹脂被膜の付いた高機能材を接着することで実際の板材よりも強度が上がる事が確認でき、1つの素材として見た場合に品質が向上していることがわかった。

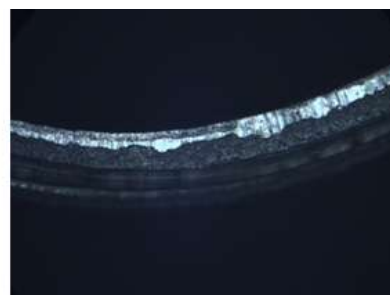
また、曲げ強度試験後の貼り合わせ材の挙動について評価を行った。評価を行った箇所を図29に、拡大観察写真を図30に示す。



図29 観察箇所



パターンA



パターンB

図30 観察箇所の拡大写真

最も変形量の大きい箇所において、プレス時間が20秒の時には、赤い矢印で示しているように接着面が剥がれてしまっている。40秒の時には剥がれることなく上下の板材が密着していることが確認できた。試験中に接着面が剥がれてしまったために強度が低下してしまったと考えられる。

試験後の板材の状態を図31に示す。真ん中が1mmの板材、Aがプレス条件パターンAのサンプル、Bがプレス条件パターンBのサンプルである。曲げ試験により剥がれてしまったサンプルは形状が開いてしまっているが、剥がれなかったサンプルは板材と同様の形状になっており、通常の板材と同様に加工等取り扱うことができることがわかった。



図31 試験後のサンプル状態

<貼り合わせ材と切削加工品との強度比較測定>

貼り合わせ筐体の強度評価として、当センターで製作した同形状の切削加工品との比較測定を実施した。まず、圧縮強度に関する評価として、図32に示すように最も強度が弱い筐体中央部を押し込み一定の変形を与えた時の反発力を測定し強度評価を行った。試験時の写真を図33に示す。

荷重



図32 圧縮強度試験イメージ



図33 圧縮試験時

そして試験条件は以下の通りの内容で実施した。

押し込み速度：1mm/min

押し込み深さ：1.5mm

初荷重：0.5N

圧子径：φ5.3mm

圧縮強度及び外観観察結果から、パターン C およびパターン D のプレス条件が切削加工筐体と同等の圧縮強度を有し、外観も良好であることがわかった。

この結果を受けて 2011 年度に試作したサンプルではパターン D 改良のプレス条件に設定したもののにおいて圧縮試験を実施した。

2011 年度のモデルでは、初期の試作モデルである試作第 1 サンプル及びサイド追加加工後モデルにおいて切削加工モデルと比較し圧縮強度が低かった。また接着状態も不安定で強度のバラツキも大きかった。

しかし、改良したモデルにおいては、切削加工モデルと比較し、同等の圧縮強度を保持していることが確認できた。

<プレス時の筐体温度分布評価法による最適条件の検討>

温間プレス加工における、金型からプレス成形品への熱伝達について解析モデルを作成し、温度分布について検証した。解析したモデルと温度分布の解析結果例を図34および図35に示す。

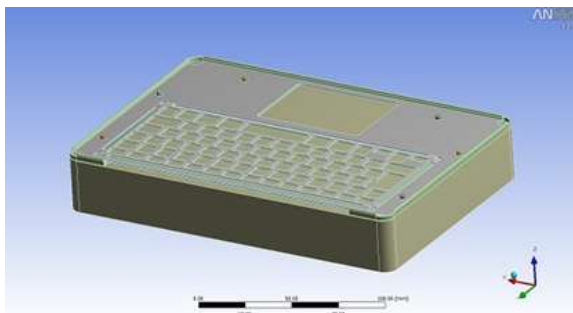


図34 解析モデル



図35 熱分布解析結果例

この結果から、筐体中央部の温度上昇が周辺部に比べて遅れると推定された。また、この中央部は接着面積が狭い箇所があるために、貼り合わせた際に不具合が生じる可能性が高いことがわかった。この筐体では図36に示すように未接着箇所があることを確認しており、温度分布を加味したプレス温度と時間を決める際の、接着の重要性を把握することができた。



図36 未接着箇所写真（赤丸内）

<貼り合わせ材と切削加工品とのねじり曲げによる変形量比較測定>

貼り合わせ筐体を実際に使用する段階で生じるであろうねじり曲げによる影響を調べるため、今年度製作した切削加工筐体と試作サンプルについて変形量比較測定を実施した。ねじり曲げ試験方法のイメージを図37に、実際に試験機に取り付けた状態の写真を図38に示す。

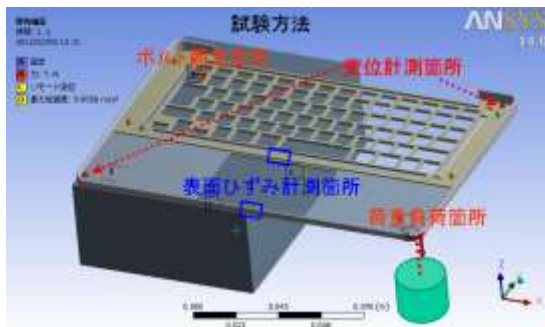


図37 ねじり曲げ試験イメージ



図38試験状態写真

試験は、ベースの台に筐体の約半分が載るようにして図中左上側の1カ所をボルトで固定した。固定点から対角線側に6.86Nの荷重を引っ掛けて筐体を変形させた。固定点及び荷重点と反対側上面の変形量を非接触変位計で測定し、変形が大きいと想定される筐体中央部の2カ所（青枠部）に歪みゲージを貼り付け、測定した。

また、シミュレーションによる変形状態の把握を行った結果を図39に示す。この結果と合わせたねじり曲げ試験結果を図40に示す。

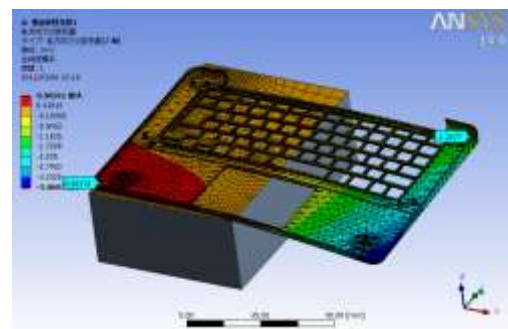


図39ねじり曲げ試験解析結果

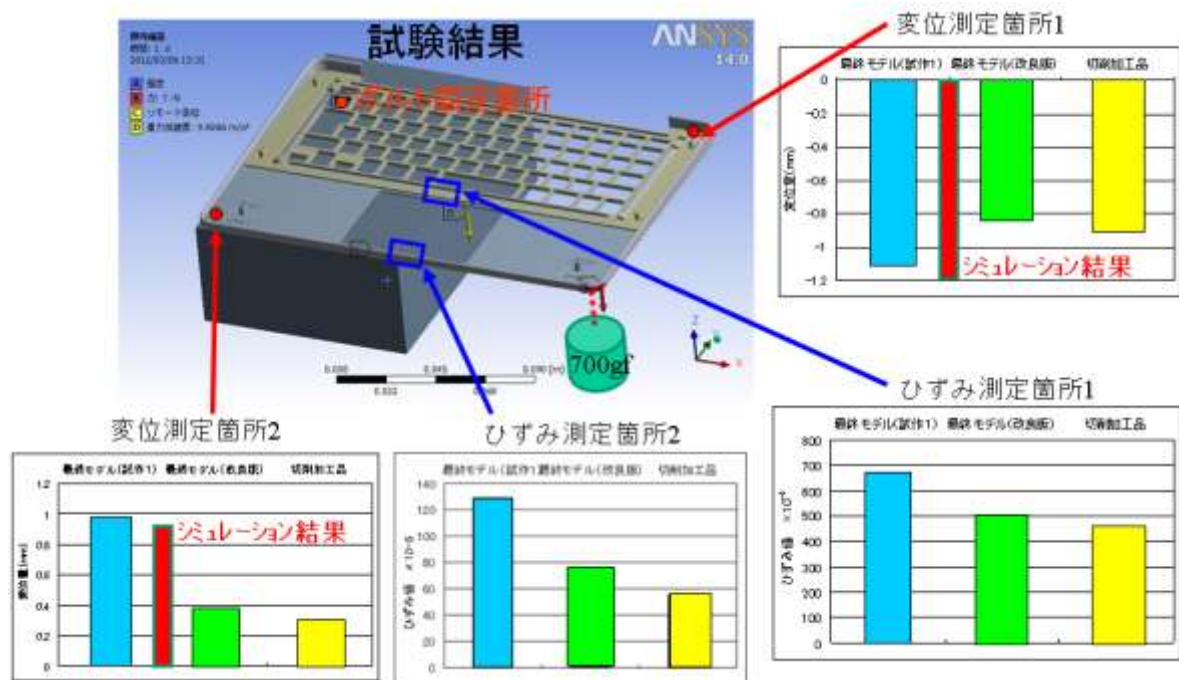


図40 ねじり曲げ試験結果

初期の試作モデルは、切削加工筐体と比較した圧縮強度も値が低かったが、ねじり曲げにおいても変形量大きいことが確認できた。改良モデルにおいては、切削加工筐体と比較して一部歪みが大きな箇所もあるが、各測定箇所での総合的な強度比較としては、同等の強度を有していると判断できる結果であった。

ここで、図39の変位測定箇所のグラフから初期のモデルはシミュレーション結果とは同等の結果を得ていることがわかる。シミュレーションモデルは3ピース貼り合わせのモデルで解析した結果であるが、これと同等の結果であったのは貼り合わせ筐体で使用しているプレートでは特定の樹脂膜を塗布した素材を利用しており、この素材単体の強度が通常のアルミ材よりも高いために、このような結果になったと思われる。このことから通常は強度比較する場合、形状も素材も同じ切削加工品と貼り合わせ材とでは、貼り合わせ材の強度が低くなることが考えられるが、本研究開発で利用した素材の組み合わせでは、強度を確保できる事がわかった。

2-2-3-2 高機能材の接合部分の耐熱性課題の解決

真夏の車の中を想定して、85℃の環境下でも高機能材接着面の形状変化及び強度に問題が発生しないか検証するため、85℃にて2時間保持する環境試験を実施した。

環境試験前の接着面を剥がした状態を図41に、環境試験後の接着面を剥がした状態を図42に示す。図43は同じ条件で、放置した後の完成品である。

結果、85℃で2時間放置しても貼り付け面に変化が無いことを確認した。

樹脂皮膜を分析した結果、熔融温度が165度であることが分かった（分析内容については、2-3-3-4 リサイクル技術の開発にて記述）。



図41 環境試験前 強制剥離サンプル



図42 環境試験後 強制剥離サンプル



図43 85度で2時間放置した後の製品

2-2-4 今後の課題と取り組み

形状精度評価手法や熱分布による接着状態への影響およびシミュレーションを用いた強度比較等行う事ができた。今後は筐体サイズの展開に併せて利用していくことと併せて筐体形状が変化した際の評価手順等の見直しを進める必要があると考える。

2-3 1ピース化後の後加工処理

2-3-1 本年度研究開発の位置づけ、目的と本年度の目標

本研究開発では、多数の孔があるプレートを形成する必要があり、この際に抜き孔のバリ、接着部端面での問題が予想される。これらの課題に対して試作型を作製し、問題解決を行う。また、リサイクルに関しての可能性を検証した。

試作品の樹脂被膜漏れ、バリについての測定検証を行い、最終目標としては樹脂被膜漏れないこと、バリについては30ミクロン以下とした。

また、リサイクルに関しての物理的可能性を力学的、化学的方法について行い、最終目標としては異種材での剥離方法の実現可能性を検証する。

2-3-2 研究開発の進め方、方法

抜き孔の方向・重ね合せ方向の組合せ、また孔サイズに差を設けた試作金型の開発を行い、試作を行った。単方向での抜き孔では、バリ、歪が発生する可能性があり、反対方向からの抜きを組み合わせるなどの金型構成アイデアで試みた。

温間プレスでプレート歪を取り除いた後工程において、冷却処理を行ったうえで、貼合せ端面に漏出した接着剤を落とす工程を開発する。冷却設備を組み込んだ接着剤漏出カットの試作金型を開発し試作する中で、接着剤を切り落とすために冷却凝固させる条件を得る。樹脂漏れなきための条件出しを行うが、今年度は製品レベルでの樹脂漏れをなくする。しかし、金型での量産を前提とした場合のパンチへの樹脂の溶着が最も懸念されるため検証を実施した。また、貼り合わせの穴抜き加工で、クリアランスの違いによって、バリの発生が異なることが予測されるので、クリアランスの異なる試作型の製作で、バリを検証する。

また、温間成形トライの際に金型にかかる温度制御設定を変えて試験を行い、最適条件を見出す。貼り付け端面を冷却凝固させ接着面を切断する、冷却凝固時間は、全体のサイクルタイムに影響を及ぼさない時間で、行うこと。次に上型、下型の温度差を変えての貼り合わせ試作を行い、歪みが発生しない最適条件を探った。

リサイクル技術の開発では、3ピースに貼り合せた試験片について複数の剥離方法の実現可能性を検証することとし、今年度は接着被膜について成分分析で材料を同定し、また熱による接着被膜への影響を把握するために熱影響評価を実施した。

2-3-3 実施結果と研究成果

2-3-3-1 プレート穴抜きバリの解決

プレートの穴抜きバリの解決を図るために、金型のクリアランスによるバリ発生の状態を確認した。クリアランスを広げた状態から徐々に狭めていき、クリアランス0.05mmにてバリの無い良好な穴抜きを実施できることがわかった。クリアランス0.08mmにて穴抜きし、バリの発生を抑えられなかった貼り合わせ材の写真を図44に、クリアランス0.05mmにて穴抜きし、バリの発生を抑えることができた貼り合わせ材の写真を図45に示す。



図44 クリアランス (0.08mm)



図45 クリアランス (0.05mm)

上記の試作テスト型クリアランス条件を元に、今年度試作製品の金型設計に反映した図46に製品、図65に穴抜き部の拡大写真を示す。図47は、穴抜き型を示す。結果として、バリ高さ0.01mm以下を達成できなかった。



図46 今年度製作した製品



拡大写真



図47 1ピース化後 穴抜き型

<プレス後の樹脂漏れ量の評価>

これまでの実験から求めた最終のプレス加工条件により成型した貼り合わせ筐体の接着端面の観察を行い、接着剤の漏れ量について把握した。観察した結果を図48に示す。特に今年度試作を行ったボス一体成形箇所や昨年度の評価で樹脂漏れ出しが多かった箇所について確認した。



図48 接着剤漏れ量観察写真

全ての箇所において良好な接着状態であることが確認できた。

2-3-3-2 貼合せ端面の接着剤漏出の解決

貼り合わせ端面の接着剤漏出の解決のため、プレス成形条件について検討を行い、温間プレスによる加熱時間と、その後の貼り合わせ筐体の冷却時間を同じとすることとした。そのため、温間加工部と冷却加工部を1型に組み込むことでタクトタイムも同じにする事ができるメリットがある。

次にプレス条件による樹脂被膜漏れ量の評価を実施した。接着強度試験を実施したサンプルについて、各条件で貼り合わせ後の接着端面の箇所の観察を行い、接着剤の漏れ量について定量的に把握した。

2-3-3-3 温間プレスによる熱歪みの解決

<多層プレス材の熱歪みの影響>

貼り合わせた多層筐体が熱によりどの程度歪んでいるのかについて測定評価した。結果は上述の「2-2-3-1 <非接触三次元デジタイザーによる貼り合わせ材の平面精度の測定・検証>」で記載している通りで、最終仕上げとした多層筐体モデル4に至るまで、それぞれのプレス加工後におけるモデルの熱歪みの影響を把握した。1ピース化後の後加工処理において、サイド追加加工による形状変化は起こしておらず、成形後の熱歪みによる変形は確認されなかった。

2-3-3-4 生産された筐体製品のリサイクル技術の開発

今回の多層貼り合わせ筐体で接着剤の役割を担う樹脂被膜について、詳細把握するために材料分析を行った。赤外線分光光度計にて分析した結果を図71に示す。

樹脂被膜を分析した波形を上側に、分析装置のデータベースに入っているデータから最も類似する波形を呼び出し下側に表示している。

2つの波形はほとんど同じ波形であり同一の材料であることが確認できた。

プレス成型条件にて温度を上げることにより樹脂被膜への影響がでることを確認できた。

多層貼り合わせ筐体で接着後にプレートを剥がしてリサイクルできる可能性について、図49に示すように応力・薬品・加熱によるアプローチで検討を行った。

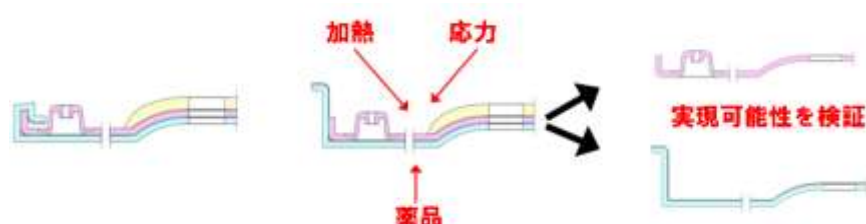


図49 貼り合わせ筐体のリサイクル検討アプローチ方法

まず応力については、昨年度のテストピースによる接着力強度評価試験において、接着面より剥がれるケースは少なく、ほとんどのケースでアルミ材が破断してしまった。このことから、応力によるリサイクルの可能性は無いと判断した。

次に薬品による剥離試験を行った。ここでは、高機能材に使用されている樹脂膜に著しく影響を及ぼす薬品として「キシレン」を選定した。キシレンを浸したピーカーに試験サンプルを十分に浸る状態でセットし、10分間超音波による剥離を試みた後、引張試験を行い強度の低下の程度を確認した。

最後に、熱による剥離試験を行った。ここでも樹脂膜の融点が165℃付近であるため、それ以上の温度域での試験を実施、200℃～500℃まで100℃刻みで10分間電気炉にて保持後取り出し、常温になった時点で引張試験を行い強度の低下の程度を把握した。加熱後電気炉から取り出した試験サンプルの写真を図50に示す。また引張試験結果を図51に示す。

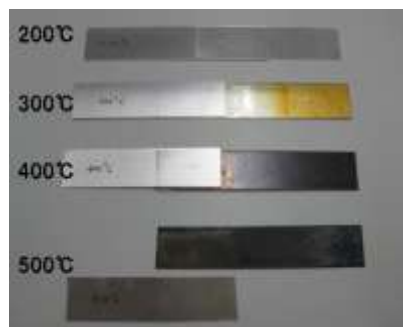


図50 加熱後試験サンプル

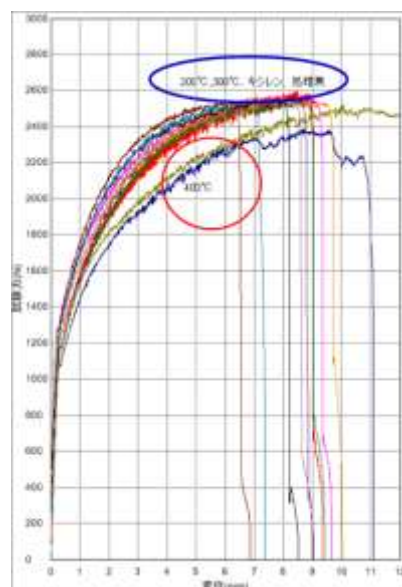


図51 引張試験結果

薬品と加熱によるリサイクルの可能性試験の結果、外観では図5-1のように200℃以外では全て樹脂膜部分に変色し加熱による影響を受けたことが確認できた。引張試験では、薬品により剥離を試みたサンプル、200℃および300℃の加熱により剥離を試みたサンプルともに、無処理のサンプルと同等の引張強度を示していた。またこれらの試験サンプルは接着部分ではなくアルミ材が破断していたことから、リサイクルに利用できる可能性は見いだせなかった。

400℃の加熱をしたサンプルでは接着面で剥離していたが強度としては高い値であり、この温度でもリサイクルに利用できる可能性は低いと思われる。

500℃の加熱をしたサンプルでは電気炉から取り出す際に既に剥離していたことから、接着膜として利用しているポリプロピレンをこの温度域まで加熱し、熱劣化させる方法に唯一剥離できる可能性があることがわかった。

2-3-4 今後の課題と取り組み

1ピース化後の後加工処理においても、形状評価による変形を確認する必要がある。ここでも今後サイズの展開や形状の変化により、後加工処理により受ける影響が異なることも想定し評価手順を確立する必要がある。

また、リサイクルの可能性については今回加熱による剥離可能性を見出すことはできたが、より低コストでの手法や、接着したプレートが異種金属であった場合および樹脂成形品との接着の場合など、有効な手法の検討を進める必要があると考える。

2-4 多工程プロセス設計

2-4-1 本年度研究開発の位置づけ、目的と本年度の目標

単なるプレス工程のみならず、アセンブリ工程も含んだ多工程となるため、生産性を高め、リードタイム最小化となるライン設計を行う。最終目標値として全行程6分（プレートプレス工程2分、温間プレス工程1分、タップ工程1分、アセンブル工程2分）とし実施するが、今年度目標として全行程12分（プレートプレス工程4分、温間プレス工程3分、タップ工程2分、アッセンブル工程3分）とした。

2-4-2 研究開発の進め方、方法

プレス工程→貼り付け加工→冷却加工→Assy品プレス加工（穴抜き・絞り加工）→タップ加工→完成プレス加工時間は、既存品と変わらないので、工程数で決まるが、貼り付けは、保持時間により、全体の完成までの時間が決まるので、最適最小保持時間を検証した。

2-4-3 実施結果と研究成果

2-4-3-1 3次元工程設計技術による課題の解決

今年度の全行程の時間を6分としてリアルタイムシミュレーションを実施した。

その結果、

単品プレート工程：総合計加工時間 310秒（ただし製品は、同時加工できる）

1、プレート1（図78、79）：プレス工程（17工程） 「10秒×17=170秒」

外形抜き→1穴→絞り・曲→2穴→3穴→4穴→5穴→1絞り→2絞り→
3絞り→4絞り→5絞り→6絞り→6穴→7絞り→8絞り→成型

2、プレート2（図80、図81）：プレス工程（7工程） 「10秒×7=70秒」

外形抜き→絞り→曲→1穴→2穴→3穴→4穴

3、補強プレート（図82、図83）：プレス工程（7工程） 「10秒×7=70秒」

外形抜き→1穴→絞り→2穴→3穴→4穴→5穴

次に完成品ができるまでの、タクト時間を検証した

1、 単品プレス加工： 170秒（17工程）

単品部品を同時プレス加工できるので、一番工程の長いプレート1を最大タクトとした

2、 3P貼り合わせ時間：50秒（1工程）

貼り合わせと冷却は同時にできる

3、Assy品のプレス加工：40秒（4工程）

4、そり修正：10秒（1工程）

5、タップ加工：40秒（6ヶ所）

（NCタッパで加工 図82）

6、両面バフ仕上：10秒

合計 : 320 秒 (5 分 20 秒) 目標達成できた

2-4-4 今後の課題と取組

最終目標 6 分を実現できるが、さらなる工程短縮の為に 3 次元リアルタイムシミュレーションソフトウェアを利用して、全工程 5 分以下の生産工程なるように、今後さらなる検討を行う。