

平成29年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「マルチ材料によるEV用電池パッケージの
ハイブリッド型プレス量産技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

令和2年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 一般社団法人日本金属プレス工業協会

目 次

第1章

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

第2章 本論

- 2-1 上蓋プレス成形の課題への対応
- 2-2 CFRP 内箱プレス成形の課題への対応
- 2-3 アルミ外箱プレス成形の課題への対応
- 2-4 金属とCFRP またはGFRP の接着における剥離およびポアの複合部品強度に及ぼす影響の評価
- 2-5 金属とCFRP またはGFRP の製作精度のアセンブリに及ぼす影響の事前評価と公差決定

第3章 全体総括

- 3-1 研究開発成果
- 3-2 研究開発後の課題・事業化展開

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

○研究開発の背景

自動車業界では地球温暖化ガス排出規制の進展に合わせて種々の取組をしており、軽量化は其中で喫緊の課題となっている。現状の軽量化はハイテン、アルミの軽量金属を推進しているが、究極の軽量化材として注目されているのがCFRP（炭素繊維強化プラスチック）である。だが、CFRPは高コスト、

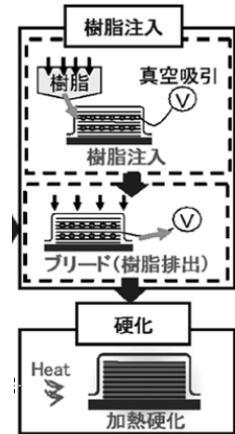
BMW・CFRP 上部モジュール

難加工材のため普及が遅れている。自動車メーカーにとって軽量化ニーズ以上にコストは生命線である。したがって、軽量化と低コストの条件を満たすにはCFRP、GFRP（ガラス繊維強化プラスチック）、アルミなどの軽量素材の組合せに勝機を見出し始めた。省エネを目的として金属をCFRPに代える軽量化は航空機産業で始まり、最新型ボーイング機では50%搭載にまで伸ばした。次のターゲットの自動車でも欧州市場は2021年燃費規制95g/kmの軽量化元年に向けて既に動き出している。CFRP車載化はBMWが2014年に上部ユニット・モジュールをCFRPで製作した量産EV車i3の発売で流れが固まった。



自動車向け低コスト製法としてRTM（Resin Transfer Molding）法が導入された。炭素繊維織物を裁断、積層、賦形してプリフォーム（予備成形体）を製作、プリフォームを成形型内にチャージして型を閉じ、ポリプロピレン等の樹脂を注入してプリフォームに含浸、硬化させた後、型を開いて成形品を取り出す。RTMはKrauss Maffei等ドイツ機械設備メーカーが自動化ライン装置を完成させている。

RTM 法



国産自動車メーカーは、ドイツのCFRPによる軽量化の動きをウォッチしつつもRTMを導入せず、新たな製法を模索した。RTMの導入はドイツ機械メーカーのライン設置かつ、ドイツ自動車メーカーの後塵を拝することだからである。トヨタは三菱ケミカルのSMC（Sheet Molding Compound）法を導入し、今年1月に主力量産車プリウスのバックドアにCFRPを採用した。3月にはレクサスLC500のドアインナー、ラゲッジインナーにもSMCで成形した。トヨタの採用は形状自由度とコストではSMCが使えることを証明し、CFRPの普及が本格化する勢いとなった。ただ、SMCは短繊維（25mm）とビニルエステルを含浸させた不連続繊維を加熱成形するので強度が弱いという欠点がある。バックドアに採用したのも強度を必要としない部材だからである。強度では連続繊維を使うRTMの方が勝っているので、成形法ではRTMが一歩先を行っている。

プリウス・バックドア

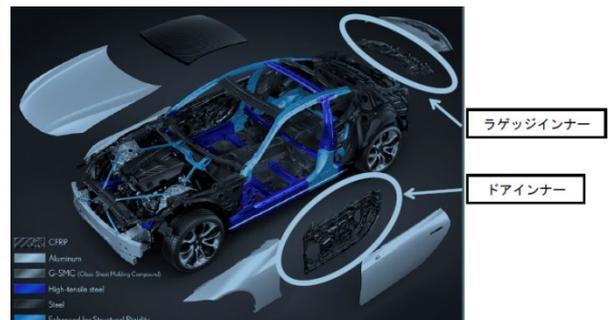


レクサス LC500

量産成形法で一般的なのはプレスと射出成形である。

射出は不連続繊維のペレット（7mmの炭素繊維の含有率30%が限界）なので形状の自由度は増すが強度がSMCより弱いという欠点を有する。連続繊維を使えるのはプレス成形であり、強度を維持できるメリットを有するものの形状自由度の制約、成形時間のかかり過ぎが壁となっている。

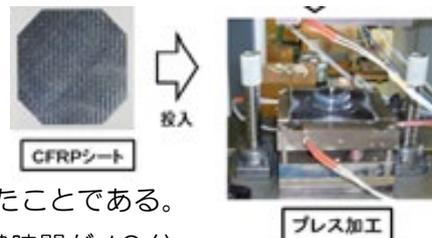
当社は成形時間の短縮は加熱冷却プロセスにおける冷



却時間の改善にあると捉えた。平成 26 年度ものづくり補助金「熱硬化性 CFRP のプレス量産化の技術開発」でそれを実施し、その基盤技術を敷衍して「繊維強化複合材料成形品

プレス加工:金型加熱・冷却

の製造方法及びそれに用いるプレス用金型」(第 5968566 号平成 28 年 7 月)、「繊維強化複合材料成形品の脱型方法」(第 6075675 号平成 29 年 1 月)で特許を取得した。基本概念は CFRP 成形品が形崩れせずに脱型する方式を金型に通水路を作る水流方式ではなく、冷却ガスをワークに直接吹き付ける方式としたことである。水流方式は金型を 130℃から 90℃に冷やすので冷却時間と再加熱時間が 10 分



とかかる。吹き付け方式は CFRP の高放熱性を利用するので数秒でワークは 90℃になり、かつ金型温度は 10℃しか下がらないので冷却と再加熱時間が 1 分以内となる。自動車業界が求めている厚さ 1 mm で成形時間 1 分を達成しているプレス生産では唯一の方式である。プレス量産技術のハイサイクル成形の基盤は出来上がっている。

1 にコスト、2 に品質、3 に軽量化という順序において、軽量化を進めるには金属材料と軽量化材料の複合接着が実効的である。オイルパンが 4 mm 厚のアルミなら、1 mm のアルミに 1 mm の SMC (ガラス繊維または炭素繊維) を接着させて軽量化する。製品スペックによって軽量化材と厚さを選定して品質を確保する。コストミニマムで軽量化を図る工夫が部品メーカーに要請されているなか、マルチマテリアルは現実的な解である。

マルチマテリアルとプレス技術の組合せによる事業化のターゲットは EV 用電池パッケースの開発である。地球環境に優しい自動車として各社が力を入れているのが電気自動車である。世界最大の市場である中国が 2018 年から新エネルギー車の生産台数を義務化する政策が EV 車を推進している。航続距離を伸ばすには電池の大容量化となるが、積載重量増はケースの軽量化を強いる。鋼鉄、アルミ製のケースは CFRP や GFRP の採用によって軽量化が図られる。だがコスト削減のため 100% 代替は不可能で現実的解はアルミやハイテンと CFRP、GFRP とのコンポジットとなる。本年 5 月の自動車業界最大の技術展「人とくるまのテクノロジー展」でサンプル品を展示したところ自動車メーカー担当者が高い関心を示したことに手答えを感じている。

自動車会社が軽量化に突き進んでいけばプレス業界は転換点を迎える。プレス業界は売上の 80% は自動車部品であるから、CFRP の軽量化推進は売上減少につながる死活問題である。金属プレスから樹脂プレスへの技術革新の転換点を乗り切れるか、企業レベルを超えて業界にとって存亡の危機は目前に迫っている。ハイテン、チタンなど金属軽量化材加工では、スプリングバックを防止するため材料を温めてから冷間プレスするホットスタンピング方式を取り入れたが、現在では材料を温めずに冷間プレスで成形できるまでになった。プレス業界は時代のニーズに応じて技術を高度化してきたのも事実である。だが CFRP は樹脂であり、そのプレスとなると未知の分野である。金属はプレス、樹脂は射出と技術境界で割り振られてきた産業構造上、樹脂のプレス成形に関する技術基盤は構築されていない。本サポインをもって技術基盤作りに着手し、業界の共有技術を構築することも狙いとなる。

○ 従来技術と新技術の比較

金属と繊維強化樹脂をプレス成形で 3 次元形状の電池パッケースを製作するという目標達成には、金属のプレス成形技術と CFRP のプレス成形技術の 2 分野において新技術の開発が必要とされる故、ハイブリッド型プレス技術といえる。ドイツで開発された樹脂プレスとは異なり、むしろその改良版あるいはそれを凌駕する中量生産から量産技術を開発すること、強度とコストミニマムを適える異種材のコンポジットを開発すること、の 2 点となる。従来技術と新技術の比較を表にまとめる。

(1) CFRP 成形技術	
従来技術	新技術
<p>CFRP の成形は RTM（樹脂流動成形装置）と SMC（油圧プレス機）</p> <p>RTM: non crimp fiber をカッティングし、金型にチャージし、樹脂を含浸させてプレスでプリフォームし、それを装置に入れ真空にし樹脂を表裏に流し、余分な樹脂を排除した後に加熱し成形し脱型する。</p> <p>SMC: カットした長繊維と樹脂を混ぜた材料を金型にチャージしプレス機で加熱成形する。FRP と同じ工程である。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	<p>CFRP の成形はサーボプレス機</p> <p>CFRP をカッティングし、離形フィルムでサンドイッチにして加熱装置付き金型にチャージし、金型を加熱するとともにストローク制御で段階的に下死点まで加圧し、冷却して脱型する。</p> <div style="text-align: center;">  </div>
(2) プレス成形技術	
<ul style="list-style-type: none"> ・ハイテン材のプレス成形 ・鋼鉄製金型を使用 ・工程は折り曲げ <div style="text-align: center;">  </div>	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミと CFRP のハイブリッド・プレス成形 ・工程は加熱装置付き金型でアルミを折り曲げ、アルミを金型にして接着フィルムと CFRP をおき、金型を加熱して CFRP を接着し冷却脱型する <div style="text-align: center;">  </div>

○ 新技術を実現するために解決すべき研究課題

(三) 精密加工に係る技術に関する事項

1. 精密加工に係る技術において達成すべき高度化目標

(4) 川下分野特有の事項

4) その他の川下分野に関する事項

a.自動車分野に関する事項

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

イ. 軽量化

ウ. 複雑形状化・一体加工化

エ. 燃費向上

軽量材は強度、成形自由度、量産性、成形時間において長所と短所を有し、金属と軽量材はコスト、重量、強度でそれぞれの長所と短所を有している（下表参照）。したがって、上記の研究課題は、繊維強化樹脂の軽量材の単

一採用では解決されず、金属と軽量材のコンポジット、つまりマルチマテリアルという手法がコスト、強度、軽量化の最適組み合わせを選択できるので実効的である。電池パッケージの開発は、軽量材のマルチマテリアルの量産型成形技術開発によって軽量化ニーズ、複雑形状化・一体加工化、燃費向上という自動車メーカーの課題・ニーズに応えることになる。

成形法	材料	強度	成形自由度	量産性	成形時間
	CF クロスプリプレグ	◎	×	◎	○
同	CF UD プリプレグ	○	×	◎	○
同	CF SMC	△	◎	◎	○
同	GF クロスプリプレグ	○	△	◎	○
同	GF SMC	△	◎	◎	○
射出	CF ペレット	×	◎	◎	◎
RTM	CF non crimp fiber	○	△	○	△

表1 CFRP/GFRP 成形法の長所と短所

項目	順序	材料			
		鉄(1)	アルミ(1.7)	GFRP(2.0)	CFRP(2.9)
コスト(1cm ³)	安い順(比率)	鉄(1)	アルミ(1.7)	GFRP(2.0)	CFRP(2.9)
重量(1cm ³)	軽い順(比率)	CFRP(1)	GFRP(1.3)	アルミ(3.3)	鉄(5.5)
強度(1cm ³)	強い順(比率)	CFRP(1)	GFRP(0.24)	鉄(0.11)	アルミ(0.05)

表2 マルチマテリアルのスペック比較

○研究開発の高度化目標及び技術的目標値

(三) 精密加工に係る技術に関する事項

(4) 川下分野特有の事項

4) その他の川下分野に関する事項

a.自動車分野に関する事項

②高度化目標

イ. 複雑三次元形状等を創成する加工技術及び一体加工技術の構築

ウ. 難加工材・新材料加工対応

オ. 複合加工、部品組立及び工程短縮等を可能とする技術の向上

CFRP は軽量、高剛性の物性を生かしてオートクレーブ成形で高付加価値の航空機製品を作っている。軽量、高剛性の物性を生かして自動車軽量化に利用するため CFRP の成形法が開発されてきた。自動車軽量化が流れとなるには、先行している RTM, VaRTM, SMC 法も改良の余地は多々あるし、さらに中型、小型部品に向けた量産化技術の開発が要請されている。

プレスは量産技術であるが技術の蓄積は金属材料であり、CFRP は新規かつ難加工材なので品質に厳しい自動車部品に合格する樹脂プレスの加工法を見つける必要がある。第 1 に、CFRP の高剛性の品質を生かすにはポイドと目崩れをなくすことである。量産技術は生産効率と品質安定がセットになっている。CFRP が難加工材といわれる所以はその素材構成にある。CFRP は加熱、加圧でマトリックス樹脂を炭素繊維に含浸させて成形する。それゆえ CFRP は CF とマトリックス樹脂に層間剥離が生じると強度は劣化する。剥離の原因は加熱、圧着による接合で硬化の前に気泡が外に逃げず樹脂内部に残り、ポイドが生じるた

めである。プレス成形は真空成形でないこと、成形時間が短いことからボイドの発生を防ぐ技術、つまり装置ではなく成形法のノウハウが必要となる。ボイドのサイズ極小化、含有率低減を果たすには発生原因を解析し、因果関係からボイドを抑制する加工技術を創意工夫することである。剥離の計測評価法、接着不良モデル解析など最新のIT手法で部品強度の課題を解決する。

第2に、三次元複雑形状において炭素繊維織柄の目崩れ・拡散がないことである。金属はそれ自体が伸びるので三次元加工し易いが、CFRPは炭素繊維が伸びないので金属並みに加工できない難加工材である。CFRPのマトリックス樹脂は加熱で柔軟に伸び縮みするが、CF（炭素繊維）は線膨張がほぼゼロと伸縮しないので、樹脂に引っ張られて織目（経糸と横糸の）が崩れる。平板形状では目崩れは生じないが三次元複雑形状の賦形をすると角および隅のR部に目崩れが表面化する。連続繊維のCFRPに三次元複雑形状の賦形精度を向上することが用途の拡大となる。金属とCFRPの接合精度は最先端のシミュレーション技術を使い幾何学的見込み形状、公差決定法を確立するので、アナログ技術がデジタル技術で解析、改善される。

ボイドと目崩れを起こさない加工精度の高度化が目標となるが、サーボプレス機および加熱冷却金型の機能から、プレス成形では加熱温度、圧力、ストロークコントロール、下死点保持時間の4要素の組み合わせの最適化が優良品質とハイサイクルタイムの解となる。圧力を一定として温度、加熱時間、ストローク調整の3要素を変数として、品質とサイクルタイムの試験をして最適な組み合わせを探し出す。

製品化の電池パックはマルチ材料である。下箱を外箱アルミと内箱CFRPで一体成形する製品は複合加工は技術の開発となる。成形課題は、第1に材料の接合精度、第2に成形時間である。複雑形状にそってCFRPがボイドなし目崩れなしで接着するためには、柔軟性のあるシリコン金型で緩衝効果を出してプリフォームする。ハイサイクル成形は2つの製品を別々に成形するのではなく一発一体成形で製品化する。金型（加熱装置付き）にアルミとCFRPを入れる→スライドを上げて金型でプレス成形→冷却脱型（冷却ガス冷却と水流冷却）のプロセスは、工程短縮を狙った技術である。

以上本研究開発は、CFRP、マルチ材料、プレス成形の精密加工課題を解決するため、CFRPの軟加工材対応・複雑三次元形状加工、マルチ材料の複合加工技術、プレス成形の一体加工技術・工程短縮技術の高度化目標を設定する。

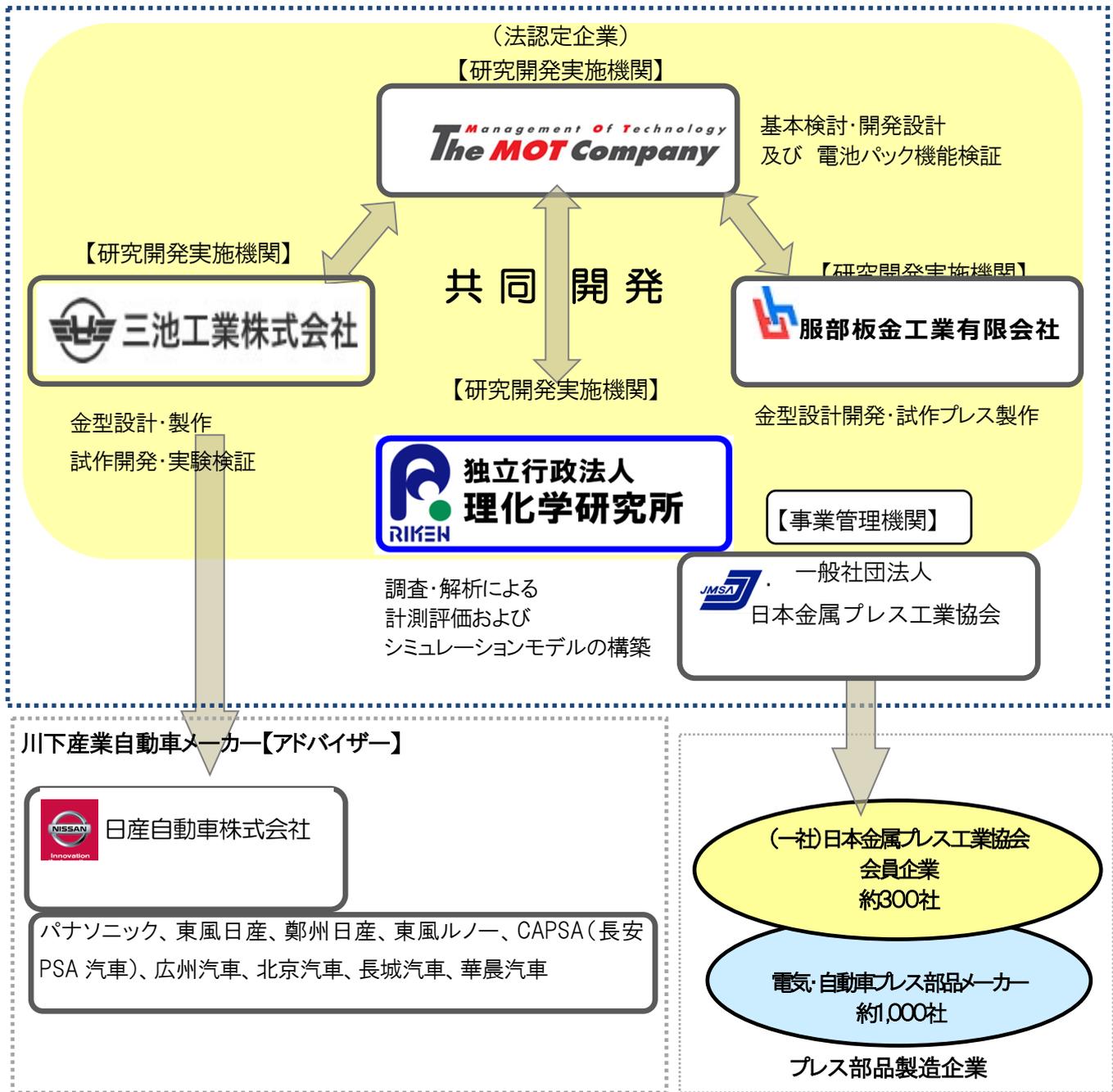
研究開発項目と目標値

研究開発項目	技術的目標値
1. 上蓋プレス成形	
1-1. 上蓋試験片金型の設計・製作	アルミ+CFRP、アルミ+GFRPの試験片を成形する金型の設計・製作
1-2. 上蓋成型用金型の設計・製作	アルミ+CFRP、アルミ+GFRPで上蓋を成形する金型を設計・製作
1-3. 上蓋試験片の試作	アルミ+CFRP、アルミ+GFRPの試験片を強度試験に供する。高い含浸度（エポキシ樹脂がCFクロスの網目に深く流れ込む）と低いボイド残存度（エポキシの含浸に気泡が混じる）を適えること
1-4. 上蓋成形のハイサイクル化	加熱・加圧・ストローク・下死点保持時間の4要素の最適組み合わせにより、賦形から脱型までのサイクル時間を厚さ1mmで5分
2. CFRP内箱プレス成形	

2-1. CFRP 試験片金型の設計・製作	CFRP で成形する試験片の金型を設計・製作
2-2. CFRP 内箱の金型の設計・製作	CFRP で内箱を成型する金型の設計・製作
2-3. CFRP 試験片の試作	CFRP の試験片を強度試験に供する。高い含浸度と低いボイド含有率を満たすこと、四隅 R の部分で織り目の目崩れを防止すること
2-4. CFRP 内箱のプレス成形のハイサイクル化	加熱・加圧・ストローク・下死点保持時間の 4 要素の最適組み合わせにより、賦形から脱型までのサイクル時間を厚さ 1 mm で 5 分
2-5. CFRP 内箱の評価	CFRP 内箱に関する技術評価、製品評価、顧客評価のアドバイスを活かすこと
3. アルミ外箱プレス成形	
3-1. 外箱試験片金型の設計製作	アルミ外箱を作るための試験片金型の設計・製作
3-2. CFRP 試験片とアルミ試験片の一体成形品の強度試験	アルミ試験片、CFRP の試験片、アルミと CFRP 一体試験片を強度試験に供する
3-3. アルミ外箱の成型用金型の設計・製作	アルミ外箱の成型用金型の設計・製作
3-4. アルミ外箱と CFRP 内箱のプレス一体成形の試作	アルミ外箱と CFRP 内箱を順送りで一体成形した製品の公差が±0.1 mm
3-5. アルミ外箱のプレス成形のハイサイクル化	加熱・加圧・ストローク・下死点保持時間の 4 要素の最適組み合わせにより、一体成形までのサイクル時間を厚さ 1 mm で 5 分
3-6. アルミ外箱の評価	アルミ外箱に関する技術評価、製品評価、顧客評価のアドバイスを活かすこと
4. 金属と CFRP または GFRP の接着における剥離およびポアの複合部品強度に及ぼす影響の評価	
4-1. 剥離及びポアの計測評価法の確立	解析度の高い計測評価法を確立する
4-2. 接着不良のモデル化と強度解析による評価	解析度の高いシミュレーションモデルを確立する
5. 金属と CFRP または GFRP の製作精度のアセンブリに及ぼす影響の事前評価と公差決定	
5-1. 柔構造 (FRP) と剛構造 (金属) の変形に伴う乖離の幾何学的推定	幾何学的推定が出来るシュミレータの試作
5-2. 幾何学的推定に基づく見込み形状および公差決定手法の確立	見込み形状および公差決定の手法の構築

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織・管理体制



1-2-2 研究者等氏名

【研究実施機関】 株式会社 The MOT Company

氏名	所属・役職	実施項目（サブテーマ）	備考
済藤 友明	代表取締役 CEO	総括研究代表者	PL
尾本 忠司	技術部・チーフエンジニア	1-1,1-3,1-4, 2-1,2-3,2-4, 2-5, 3-1,3-2,3-4,3-5,3-6	
林 圭介	技術部・チーフエンジニア	1-1,1-3,1-4, 2-1,2-3,2-4, 2-5, 3-1,3-2,3-4,3-5,3-6	

【研究実施機関】 服部板金工業株式会社

氏名	所属・役職	実施項目（サブテーマ）	備考
服部 滋	代表取締役社長	統括研究副代表者	SL
鄭 チョリ	管理部長	1-1,1-3,1-4, 2-1,2-2 3-1, 3-4,3-5	

【研究実施機関】 三池工業株式会社

氏名	所属・役職	実施項目（サブテーマ）	備考
桐原 公宏	取締役 技術部長	1-2,1-4, 2-1,2-2,3-3,3-4,3-5	

【研究実施機関】 国立研究開発法人理化学研究所

氏名	所属・役職	実施項目（サブテーマ）	備考
加瀬 究	光量子工学研究領域 前任研究員	4-1,4-2, 5-1,5-2	

【アドバイザー】 日産自動車株式会社

氏名	所属・役職	実施項目（サブテーマ）	備考
上野 孝之	生産技術研究開発センター 課長	2-5,3- 6	

1-3 成果概要

研究開発項目	当初目標値	実績値
1. 上蓋プレス成形	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミ+CFRP、アルミ+GFRPの試験片を成形する金型の設計製作 ・アルミ+CFRP、アルミ+GFRPで上蓋を成形する金型の設計・製作 ・アルミ+CFRP、アルミ+GFRPの試験片は強度試験に供する。高い含浸度（エポキシ樹脂がCFクロス網目に深く流れ込む）と低いポイド残存度（エポキシの含浸に気泡が混じる）を適えること ・加熱・加圧・ストローク・下死点保持時間の4要素の最適組み合わせにより、賦形から脱型までのサイクル時間を厚さ1mmで5分 	<p>試験片用金型で試験片を作製、含浸度と残存度も満たしたので、強度試験を実施。</p> <p>上蓋用金型でアルミの上蓋を成形し、内側にCFRPを入れてプレスで加熱、加圧し複合接着をする。サイクル時間はt=1mmで5分を達成</p>
2. CFRP 内箱プレス成形	<ul style="list-style-type: none"> ・CFRPで成形する試験片の金型を設計・製作 	<p>試験片金型でCFRPを成形し、含浸度、含有率、目崩れ防止を満</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ・CFRP で内箱を成型する金型の設計・製作 ・CFRP の試験片の強度試験に供する。高い含浸度と低いポイド含有率を満たすこと、四隅 R の部分で織り目の目崩れを防止すること ・加熱・加圧・ストローク・下死点保持時間の 4 要素の最適組み合わせにより賦形から脱型までのサイクル時間を厚さ 1 mm で 5 分 ・CFRP 内箱に関する技術評価、製品評価、顧客評価のアドバイスを活かす 	<p>たしたので、強度試験を実施</p> <p>内箱用金型でアルミの上蓋を成形し、内側に CFRP を入れてプレスで加熱、加圧し成形する。サイクル時間は $t=1\text{ mm}$ で 5 分を達成</p> <p>アドバイザの評価をフィードバック</p>
3. アルミ外箱プレス成形	<ul style="list-style-type: none"> ・アルミ外箱を作るための試験片金型の設計・製作 ・アルミ試験片、CFRP の試験片、アルミと CFRP 一体試験片を強度試験に供する ・アルミ外箱の成形用金型の設計・製作 ・アルミ外箱と CFRP 内箱を順送りで一体成形した製品の公差が $\pm 0.1\text{ mm}$ ・加熱・加圧・ストローク・下死点保持時間の 4 要素の最適組み合わせにより、一体成形までのサイクル時間を厚さ 1 mm で 5 分 ・アルミ外箱に関する技術評価、製品評価、顧客評価のアドバイスを活かすこと 	<p>試験片金型でアルミと CFRP の各単体と複合体を成形し、強度試験を実施</p> <p>アルミ外箱成形用金型の内側に CFRP を入れてプレスで加熱、加圧し成形した製品は粗さ精度 $\pm 0.1\text{ mm}$ 以内を達成</p> <p>アルミと CFRP を金型に積層して入れ、加熱、加圧して一体成形、サイクル時間は $t=1\text{ mm}$ で 5 分を達成</p> <p>アドバイザの評価をフィードバック</p>
4. 接着不良のモデル化と強度解析による評価	<p>解析度の高い計測評価法を確立する</p> <p>解析度の高いシミュレーションモデルを確立する</p>	<p>超音響イメージング装置試作品による 3 次元色素画像処理を達成</p> <p>シミュレーション作成</p>
5. 金属と CFRP または GFRP の製作精度のアセンブリに及ぼす影響の事前評価と公差決定	<p>幾何学的推定が出来るシュミレータの試作</p> <p>幾何学的推定が出来るシュミレータの試作</p>	<p>幾何学的変形シュミレータを試作</p> <p>見込み形状決定法構築</p>

(1) 事業管理機関

一般社団法人日本金属プレス工業協会

茨田 学

電話：03-3433-3730 メール：barada@nikkin.or.jp

(2) 法認定企業

株式会社 The MOT Company CF 事業部

濟藤 友明

電話：03-3757-5255 メール：saito@the-mot-company.com

第2章

2-1 上蓋プレス成形の課題への対応

2-1-1 上蓋試験片金型の設計・製作

アルミ+CFRP, アルミ+GFRPで成形する試験片用金型(JIS K 規格L100×W15×t2 mm)製作。

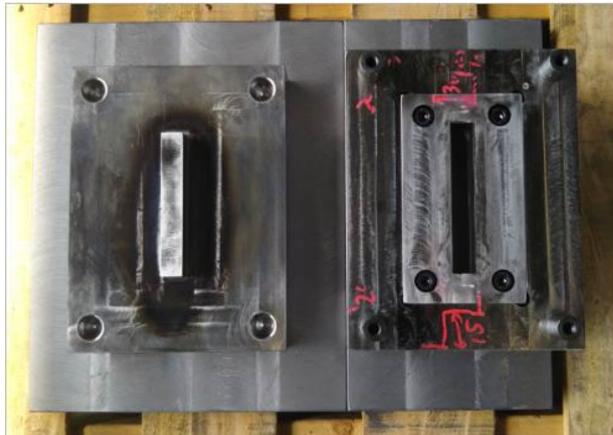


図1 上蓋試験片成形用金型

2-1-2 上蓋成型用金型の設計・製作

日産から提供された図面の寸法を縮小してL1000×W700× t 2mmの金型を製作。



図2 上蓋成型用金型：上下型

2-1-3 上蓋試験片の試作

アルミ+CFRP、アルミ+GFRP の試験片を作製し曲げ強度試験を都立産業技術研究センターにて実施。

アルミ（表）+CFRP（裏）=542MPa、アルミ（裏）+CFRP（表）=513MPa

アルミ（表）+GFRP（裏）=516MPa、アルミ（裏）+GFRP（表）=526MPa、試験機は表に対して圧力を掛ける。



図3 アルミ+CFRP

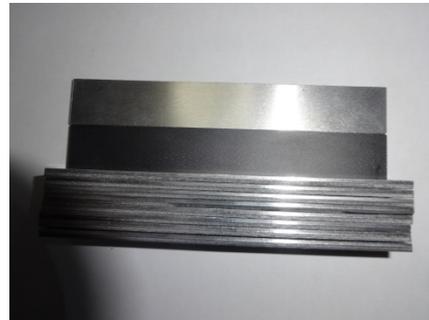


図4 アルミ+GFRP

2-1-4 上蓋成形のハイサイクル化

2-2の金型でアルミの箱をプレス成形し、そのアルミ箱を下金型に入れ、CFRP をアルミ箱の上に置いて、上金型を降ろして型締めする。型締めしてから脱型までのサイクル時間は4分50秒で目標値を達成した。



図5 アルミ+CFRP の上蓋成形品

2-2 CFRP 内箱プレス成形の課題への対応

2-2-1 CFRP 試験片金型の設計・製作

内箱をCFRPで作るための試験片金型（L300×W300×t2 mm）を製作。



図6 CFRP 試験片成形用金型

2-2-2 CFRP 内箱の金型の設計・製作

ニッサンから提供を受けた車種リーフのバッテリーケースの上蓋の設計図面を小型化し、成形可能形状サイズに再設計（実寸の5分の1）した。アルミ箱にCFRP を接着させる成形工程のために、アルミ成形型（順送で3型）とCFRP 成形型（アルミ箱を型内に入れ、その内側にCFRP を入れてプレス成形する）を製作した。



図7アルミ成形金型



図8CFRP 成形金型：パンチ



図9CFRP 金型：ダイ

806ZZ100-440材_トリムカット後(2018-11-19)

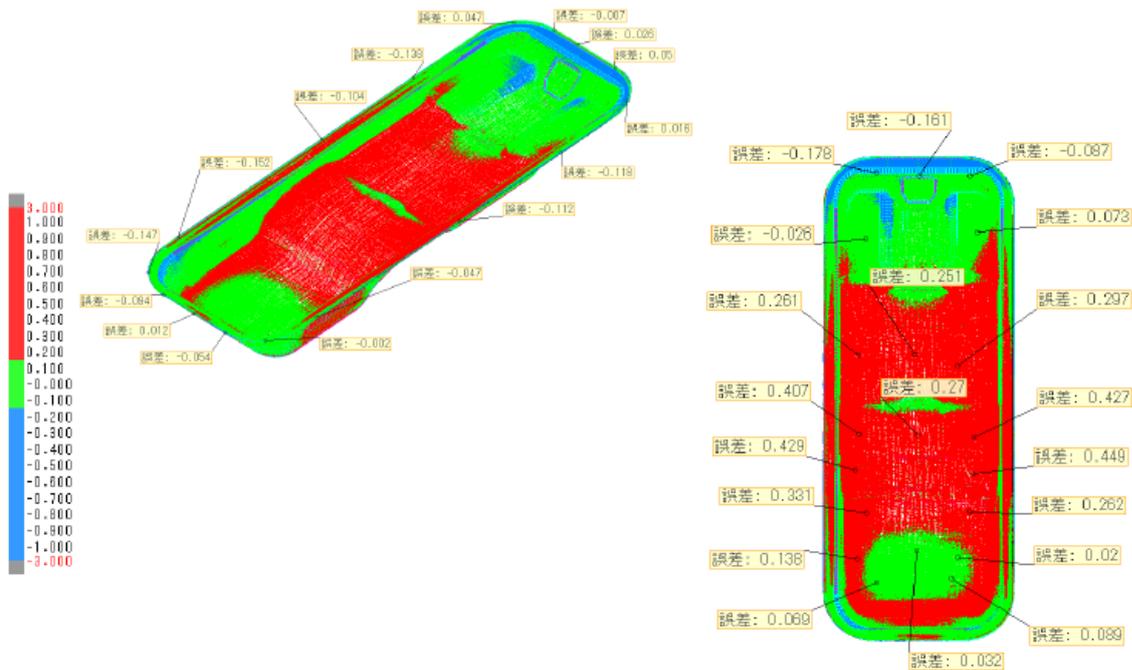


図10金型精度試験：金型で成形したハイテン440 サンプルの寸法と設計寸法との差異を比較した

2-2-3 CFRP 試験片の試作

CFRP プリプレグ 3 種類（3K,12K,UD）、CF-SMC、GFRP とハイテン440との複合体を作成し、曲げ強度試験を実施する。

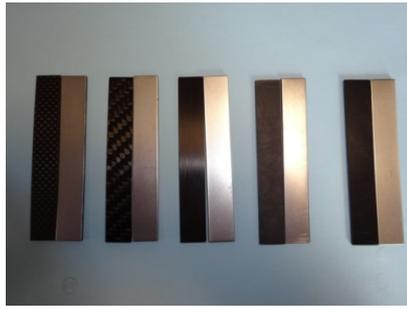


図11 試験片5体：3K,12K,UD,SMC,GFRP

2-2-4 CFRP内箱のプレス成形のハイサイクル化

加熱、加圧、ストローク、下死点保持時間の4つのパラメーターの最適組合せを探究した結果、賦形から脱型までのサイクル時間を厚さ1mmに対して5分の目標値を30秒上回る4分30秒で成形した。

2-2-5 CFRP内箱の評価

試作品をアドバイザーに評価して頂き、歩留まり率、コスト改善、平滑精度などのアドバイスから改善方向が明らかになった。

2-3 アルミ外箱プレス成形の課題への対応

2-3-1 外箱試験片金型の設計・製作

アルミ外箱を作るための試験片金型の製作は2-2-1で代用できるので実施済とした。

2-3-2 CFRP試験片とアルミ試験片の一体成形品の強度試験

アルミ+3K=516MPa,アルミ+12K=488MPa,アルミ+UD=652MPa、アルミ2枚=361MPaのデータを得た。CFの複合体がアルミより強度があることが判明した。UDが最強なのは、経糸だけの試験片を90°で押さえる試験方法が有利に働いている。



図12 試験片：アルミと3K、12K、UD

2-3-3 アルミ外箱の成型用金型の設計・製作

2-2-2で製作したアルミ成形金型を代用した。

2-3-4 アルミ外箱とCFRP内箱のプレス一体成形の試作

アルミ外箱とCFRP内箱のプレス一体成形の試作は白濁、皺、目崩れなく接合できた。

CFRPの表面粗さ（表面平滑度）測定の公差は±0.1mm以内であった。

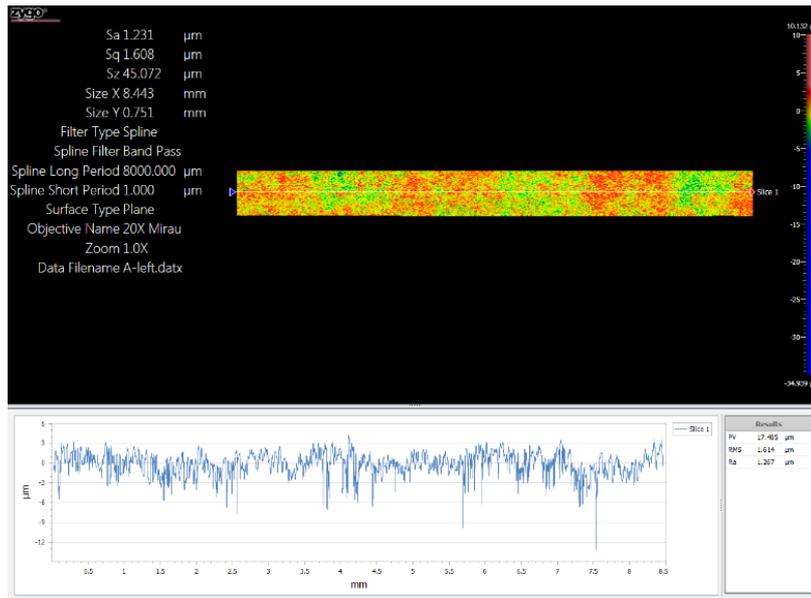


図13粗さ測定：白色干渉計

2-3-5アルミ外箱のハイサイクル化

一体形成までのサイクル時間を厚さ1mmで5分を達成。

厚さ2mmの電池パッケージを9分15秒のサイクルタイムで成形した。

スライドの下死点までの降下時間15秒+下死点保持時間2分+冷却時間7分=9分15秒、加熱：180℃、加圧：1300KN、ストローク降下時間：0.01mmの速度で降下、下死点保持時間：120秒



図14アルミ外箱とCFRP内箱のプレス一体成形

図15バッテリーケース：アルミとCFRPの一体成形品

2-3-6アルミ外箱の評価

①アドバイザーと同等の同業者から次の4点の評価を受けた。

「人とクルマのテクノロジー展」（横浜、名古屋展示会）においてトヨタ、ニッサン、ホンダ及び自動車部品会社からのコメントは好評であった。

ドイツFraunhofer研究機構・ICT研究所の技術者はプリフォームレスのPCM法の品質に合格点を付与した。

米国TESLAの技術者は品質、加工コストは魅力的としたが、絞りの深さが150mm欲しいとコメントした。

中国企業、中国での展示会の評価は、プレス成形とは思えない高い品質に達していると同様に評価した。

②パナソニック、日産のアドバイザーからは品質では合格点を頂いた。要望事項は深絞りの寸法を150mmまで伸ばすこと、複雑形状のレベルを上げること、異種材との接合が簡易にできることなどのであった。

2-4 金属とCFRPまたはGFRPの接着における剥離およびポアの複合部品強度に及ぼす影響の評価

2-4-1

超音響イメージング計測と解析比較を行い、深いところが測れる色収差に強い（多波長対応）超音響イメージング装置の主要部分（鏡筒）の試作が製作した。鏡筒自動走査システムを試作し、サンプルとして金属メッシュ、複合材を使い実験をおこない、3次元色素画像処理を得た。これから超音響イメージングが剥離およびポアの計測評価において有効性があることを証左できた。

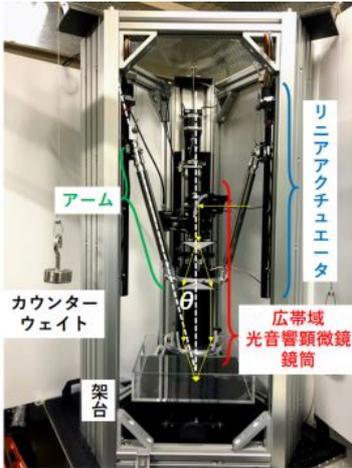


図16 超音響顕微鏡試作機

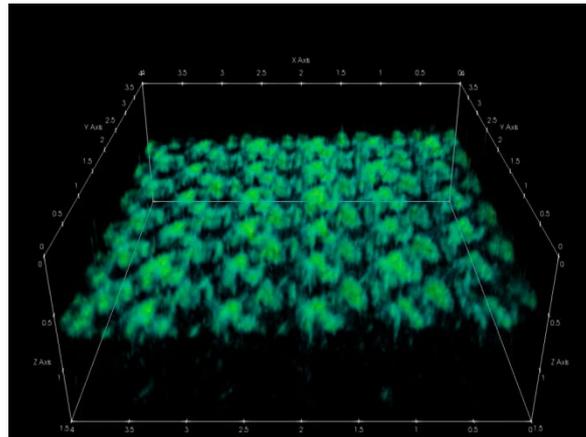


図17 3次元画像処理：金属メッシュ

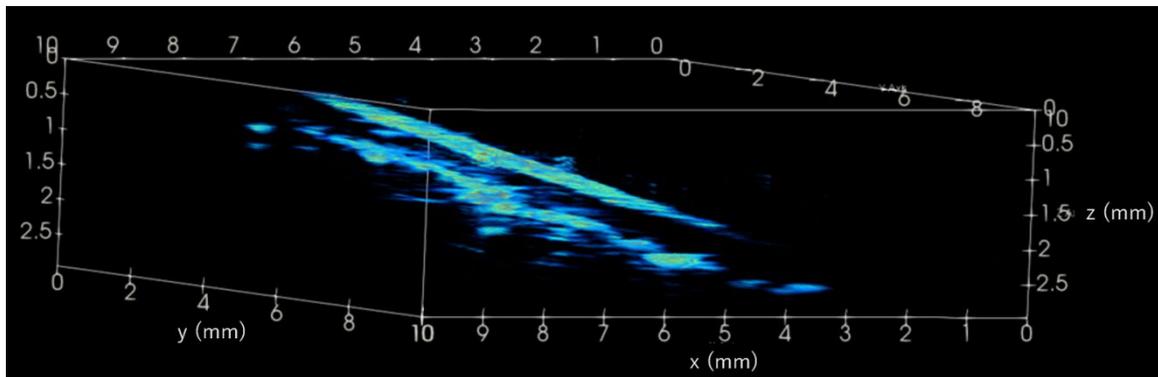


図18 3次元画像処理：複合材

2-4-2

強度解析のシュミレーション試作を行い、強度と軽量化を考慮した形状モデリング手法の提案と有効性を確認した。

2-5 金属とCFRPまたはGFRPの製作精度のアセンブリに及ぼす影響の事前評価と公差決定

2-5-1

柔構造（GFRP）と剛構造（金属）の変形に伴う乖離の幾何学的推定において、幾何学的変形シュミレーション試作をおこない、2-4-2の成果から形状最適化手法を提案し有効性を確認した。

2-5-2

幾何学的推定に基づく見込み形状および公差決定手法の確立において、見込み形状決定法構築を行い、2-5-1の結果を受け、各応力に対応する部分のみの金属部品の厚みを増強（それ以外は薄肉化）することの有効性を確認した。

金属とCFRPまたはGFRPの製作精度のアセンブリに及ぼす影響の事前評価と公差決定手法(短辺圧縮)

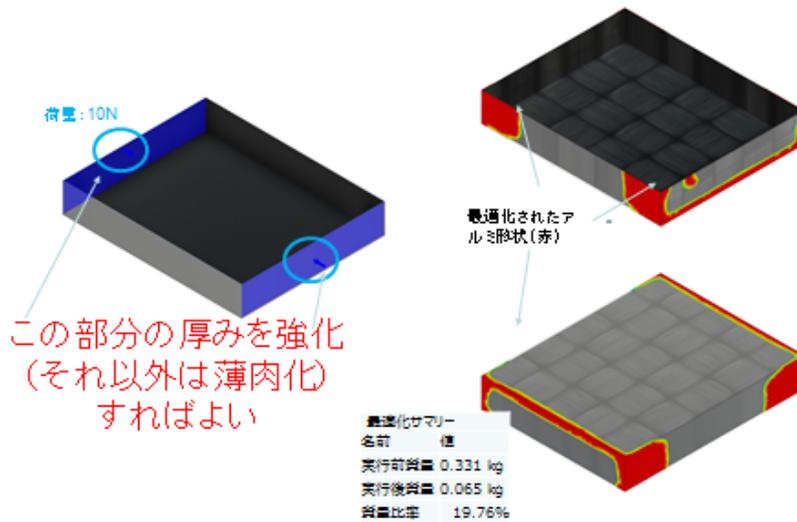


図19公差決定手法

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

○複合材の曲げ強度試験データ

JIS規格試験片 (L100×w15×t2mm)、実施場所：都立産業技術開発センター

試験片	MPa	試験片	MPa
アルミ	388	ハイテン440	694
CFRP 3Ktwill	792	ハイテン+CFRP 3K	601
GFRP 縞子織	762	ハイテン+CFRP 12K	594
CFRP(表)+GFRP(裏)	728	ハイテン+CFRP UD	959
GFRP(表)+CFRP(裏)	756	ハイテン+CFRP SMC	386
CFRP(表)+アルミ(裏)	513	ハイテン+GFRP	745
アルミ(表)+CFRP(裏)	542		
GFRP(表)+アルミ(裏)	526		
アルミ(表)+GFRP(裏)	516		

(1) アルミ単体、ハイテン単体は厚さ2mm、他は厚さ1mmを接着して2mm

(2) CFRP(表)+GFRP(裏)、GFRP(表)+CFRP(裏)で表面に試験機を降ろす手続き

(3) ハイテンは (表)

考察：金属と CFRP、GFRP の複合材の強度試験からは、明確なデータが得られたというより、複合材はいろんな視点からデータを取らないと最適な組み合わせか断定できないことである。

繊維強化樹脂は繊維の織り方によって強度が変わるので、原系の比較を基準にはできない。今回の試験片は繊維強化樹脂のマトリックス樹脂のエポキシで接着している。複合材は接着剤の使い方で強度が変わることは念頭に入れる必要がある。

データからはハイテンと UD (一方向性) が高強度であると出ているが、これは繊維に対して垂直方向での試験であるからである。クロスは縦と横だから UD よりも繊維束が少ないという事情がある。

〇プレス成形複合体試作品の試験データ

粗さ測定：CFRP 表面平滑精度 実施場所：都立産業研究開発センター

バッテリーケース	試験内容・結果
アルミ (外) +CFRP (内)、各 t = 1 mm	CFRP の表面粗さ = 50 μm 以内

〇ハイブリッド型プレス技術の開発

アルミの上に CFRP を積層してスライドを降ろして、同時に金型を 130℃まで加熱し、下死点で拘束して硬化したら 90℃まで冷却して脱型する。

金型は一金型でアルミと CFRP を一体一発成形する画期的な製法である。理由は 2 つある。

第 1 に、アルミの絞り形状は 3~5 型を必要とし順送で成形する。

第 2 に、連続繊維の絞り形状はプレスで preform(予備成形)をしてから、再度プレスで本成形するのが、ハイサイクルといわれる Prepreg Compression Moulding である。

これに対して、当社の製法は、Preform-less Prepreg Compression Moulding と言われるように、プリフォームの工程を省き、かつ金属と CFRP の異種材積層体のプレス成形である。

CFRP 成形の世界的研究機関のドイツ・Fraunhofer は、当社の製法を自動車向け量産技術と高く評価した (日経産業新聞 2020 年 2 月 20 日掲載)。金属と CFRP 複合材のプレス成形 (材料入れ~成形~脱型) 時間は、t=1 mmにつき 5 分以内の目標値を達成している。

Preform-less Prepreg Compression Moulding の成形過程は、金型を 90℃に加熱し、材料を金型にチャージし、スライドの圧力を 1300KN まで上げると同時に金型の温度を 130℃まで加温し、スライドを下死点まで降ろし、そこで 2 分間拘束した後、ヒーターのスイッチを切り、冷却ガスを吹き付けかつ金型に付いている水管に水を通して冷却し、ワークが 90℃になったら圧力を下げスライドを上げ、脱型する。

標記の説明では、成形過程は一般的な PCM とさして変わりがないように見える。実は、金型の構造及びスライドの降下速度、スライドの降下に合わせた加温・降温のタイミングがプリフォームレスを齎すのであるが、これはノウハウなので割愛する。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

○ 研究開発後の課題

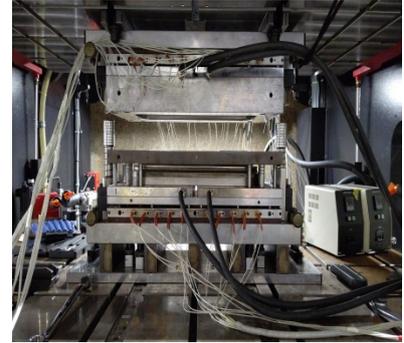
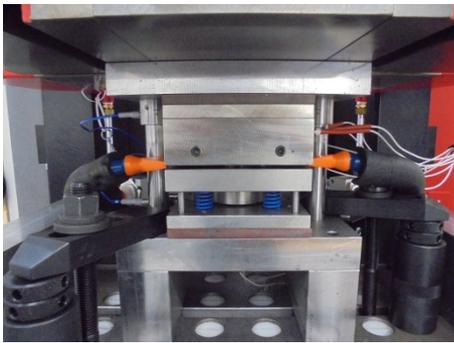
(1) ハイサイクル化

①硬化時間の早速度化

1. 三菱ケミカルのタフキュアのように硬化促進剤を入れた材料を使用する
2. 熔融温度、硬化温度が固定しているので、この時間を詰めるには、熔融したあとすぐに硬化にもっていくことである。現在の0.01 mmのスライド降下速度、金型温度 130°C、加圧1300 KN、下死点保持時間 120 秒の見直しをする。

②冷却・脱型時間の早速度化

1. 冷却エア吹き付けの能力向上（ジェットクラー、クーリングデバイス）
2. 冷水管方式の併用



(2) 生産ラインの自動化

プレス機とロボドリル 2 次加工の自動化は、プレス機で成形したワークをロボットでピックアップしロボドリル庫内に置き切削後ピックアップし棚におく、という工程を構築する。これに自動積層機をつなげればライン自動化は完成する。プレス機とロボドリル 2 次加工の自動化は、プレス機で成形したワークをロボットでピックアップしロボドリル庫内に置き切削後ピックアップし棚におく、という工程を構築する。これに自動積層機をつなげればライン自動化は完成する。



(3) アルミ外箱とCFRP内箱の一発一体成形の絞り加工

金型にアルミ板、その上にCFRPプリプレグを置き、プレスで同時一発成形をする。

CFRP成形でプリフォームなしのプレス成形は世界初の成功事例であるが、最終目標はアルミ及びハイテンとCFRPのコンポジットの一発一体プレス成形で 150mm以上の絞り加工であり、マルチマテリアルミックスに適応した独自の技術開発を世界初で成し遂げる。

○ 事業化展開

CFRPのコンポジットのニーズは、自動車、航空機にあるとの狙いで、国内最大の自動車技術展である「人とくるまテクノロジー展」横浜及び名古屋会場に過去3年出展し、自動車メーカー、自動車部品メーカー、バッテリーメーカーの多数の訪問を受けて、情報交換をした。航空機では世界最大の航空機内装品国際展示会である「ハンブルク Aircraft Interiors Exhibition」に過去2回出展した。航空機産業でも脱オートクレーブ技術が合言葉となっており、プレス技術製品に注目が集まっている。オートバイの国際展示会であるミラノ「EICMA」に出展し、バイク市場のCFRPの積極的採用を知ると共に、当社のブースを訪れた業者は一様に技術の高さを評価し、商談へと進んでいる。

金属とCFRPのコンポジットのプレス成形品を製作するスタンスは間違っていない。一番の課題はCFRPのコスト高である。したがってマルチ材料でコストと強度を最適にする組み合わせはこれから評価される。電池パッケージについては、自動車メーカーはいろんな要素を取り入れようと考えており、それが決まるまで新デザインにはいかない。加工コストが量産コストになっているので、プレス技術は電池パッケージ以外の部品で採用される可能性は高い。

PL企業はCFRPコンポジットのプレス成形の研究開発に継続的に取り組む。引き合いは年々多くなっており、事業化の可能性は高い。自動車、航空機に加えてオートバイ部品へも展開する。金属+CFRPに加えて、セルロース繊維+CFRPの成形にも日本製紙と共同開発をしている。Diffenbacherとは樹脂プレスの改良で共同研究を開始している。Fraunhofer ICTはMOTのpreformless Prepreg Compression Moldingの技術力を評価したことから共同開発を締結し、CFRPコンポジット成形の研究開発をMOTと情報共有する。CFRP成形の本場ドイツの研究機構との連携は技術高度化に弾みがつく。

製品化は川下事業者にサンプル品を示して当社の技術力を認知してもらうことで、相手のニーズを聞きステップアップしていく。例えば、テスラの場合は、絞りの深さ150mmができるかとか、1,000°Cで15分間ケースが燃えない耐熱温度であること、といったニーズが発せられる。これらを実現するには専門外の技術開発が伴うのでハードルが高い。その一方で、バッテリーケース以外にこの成形技術を使えるパーツ分野も複数存在し、現段階では大手オートバイメーカーから設計図をもらい試作品の共同開発をしている。

量産体制の整備は、生産ラインの自動化である。それを目的としてロボドリル、ロボットを購入した。プレス成形品は成形後ロボットでピックアップされて、ロボドリルの庫内に置かれ、切削加工（トリミング、穴加工など）後ピックアップされて棚に置かれる。ここまでは今回の設備投資で整備されている。これからロボドリル、ロボットの操作の学習をする必要がある。

2020年サポイン事業終了後、事業化に着手するが、的確な市場情報、ニーズ情報を入手する。中国の自動車メーカー、電池メーカーの動向についてタイムリーに受信している。EV自動車の市場規模は2016年47万台だが、2017年76万台、2036年には1,125万台、20年後には自動車の40%がEVになると予想され、年間4,000万台となる。車載用リチウムイオン電池市場は2017年1兆8,571億円で2030年には10兆3,172億円、そのうちEV用は5兆9,000億円になると予想されている。車載用電子市場の爆発的成長とそれに伴うバッテリーケースの軽量化が進むのは間違いなく、量産技術を獲得したところが市場を制する。