

**平成23年度第3次補正予算事業
戦略的基盤技術高度化支援事業**

**「複合材料を用いた超軽量プラスチック中空体を実現する素材研究と
コンポジット成形技術の確立」**

研究開発成果等報告書概要版

平成25年 1月

委託者 中部経済産業局

委託先 公益財団法人名古屋産業科学研究所

目 次

第1章 研究開発の概要	1
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	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	11
2-1 複合材料を用いての素材研究	11
2-1-1 複合材料の選定と配合	11
2-1-2 架橋発泡基材のリサイクル性検証	11
2-1-3 性能評価	12
2-1-4 押出技術の構築	13
2-2 コンポジット成形技術の確立	14
2-2-1 成形技術の確立	14
2-2-2 ハイサイクル化	14
2-3 金型技術開発	15
2-4 後加工技術	15
2-5 信頼性評価	16
最終章 全体総括	17

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) 研究開発の背景・研究目的

自動車部品のプラスチック中空体品はリアスポイラーやバンパー系の外装部品以外は見えないところの製品が大多数だが、一般的には1,300kgの自動車質量でプラスチック使用量は全体の約10%と言われており、その中の約30%（約40kg）分を中空体部品が占めている。部品点数では、少ない自動車で20品番から、多い自動車では50品番を超える中空体製品が点在しており、1ヶ当たり数グラムの差異でも自動車1台の総質量で見た際はかなりの質量になっている。

●川下企業のニーズ

プラスチック中空体部品の大部分はブロー成形法により製造されているが、ブロー成形法の中空体部品は、自動車メーカーが製品データから算出した製品質量に対して実際の質量が重くなる傾向にある。これは現在のブロー成形技術では製品の肉厚偏差が大きく、要求スペックの最低肉厚を確保するためには質量増加がやむを得ない結果であり、軽量化を要求する自動車メーカーにとって頭を抱える問題となっている。

近年では肉厚偏差の問題を解決するため、プラスチック中空体製品の一部で射出成形化が進んでいるが、射出成形では金型・設備費の高コストに加えて強度面、意匠性などの幾つかの問題が点在しているのが現状である。

●研究目的

このように、既存のプラスチック中空体成形技術では、今後、自動車メーカーが要求する軽量化等の製品スペック、コストに対応することは困難であることから、本研究開発においてはブロー成形でも射出成形でもない第三のプラスチック中空体成形技術の確立に取り組んだ。

2) 研究の概要

●現状

プラスチック中空体におけるブロー成形・射出成形の問題点

・ブロー成形

肉厚偏差に起因する成形したプラスチック中空体の質量増加

・射出成形

金型・設備費が高コストである上、強度面や意匠性など幾つかの問題点が存在



●アプローチ方法

- ① 肉厚偏差を抑えるプラスチック中空体成形技術の確立
- ② 極端に薄い肉厚においても、十分に強度が保てる材料の開発



●対策

- ① 金型への素材投入の安定化を図れる制御を取り入れたプレス・接合・冷却工程システムの研究開発
- ② 薄く、軽くそして強度がある複合材料の研究



●手法

- ① (株)エムジーモールドが社内設計したコンポジット成形機の組立・製作。
- ② 熱可塑性樹脂を基軸とした、プラスチック中空体製品の各用途に適合した材料の選定と配合比率の決定。

開発の問題点

- ① コンポジット成形機の性能
- ② 選定した複合材料同士の相性

目標値

プラスチック成形

品において、80%の質量減

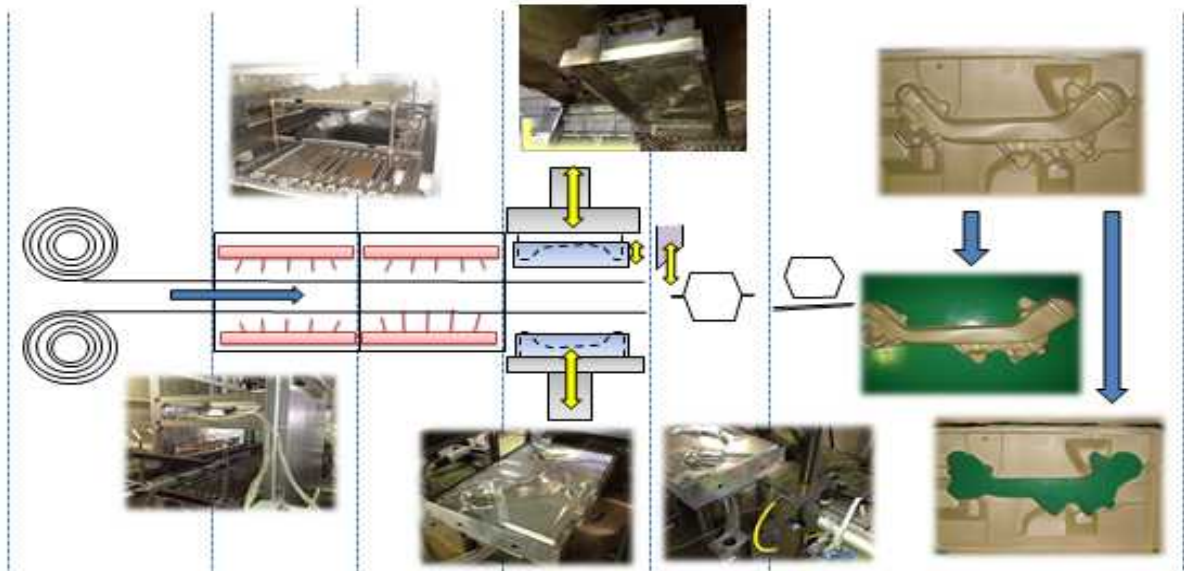
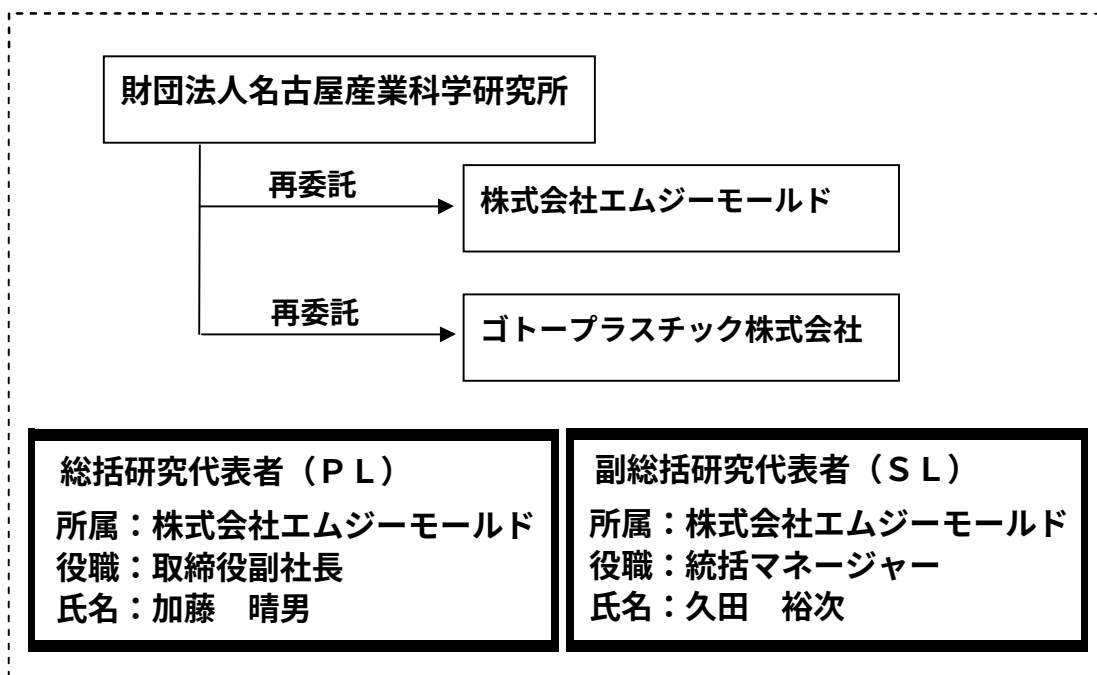


図1 コンポジット成形機及び成形作業の概略

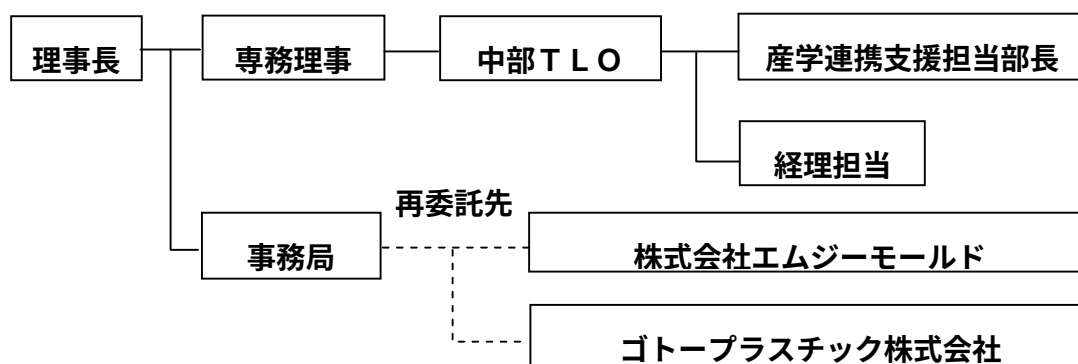
1－2 研究体制

① 研究組織（全体）



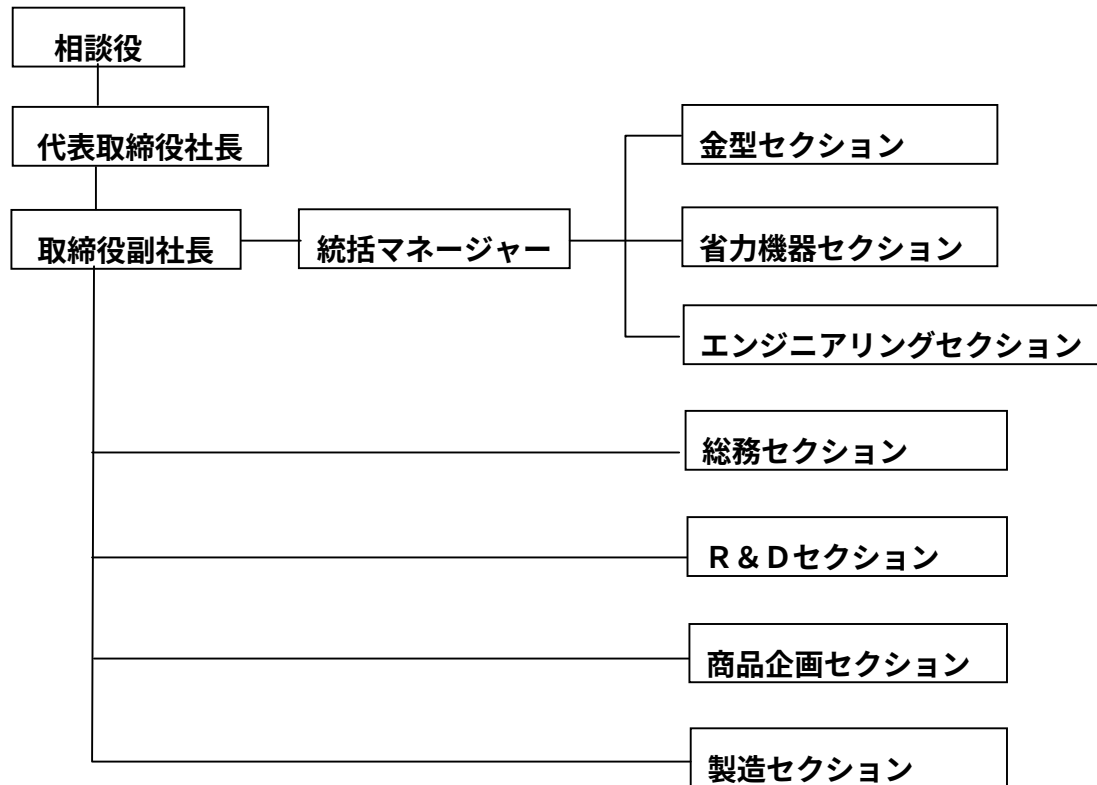
② 事業管理機関

公益財団法人名古屋産業科学研究所

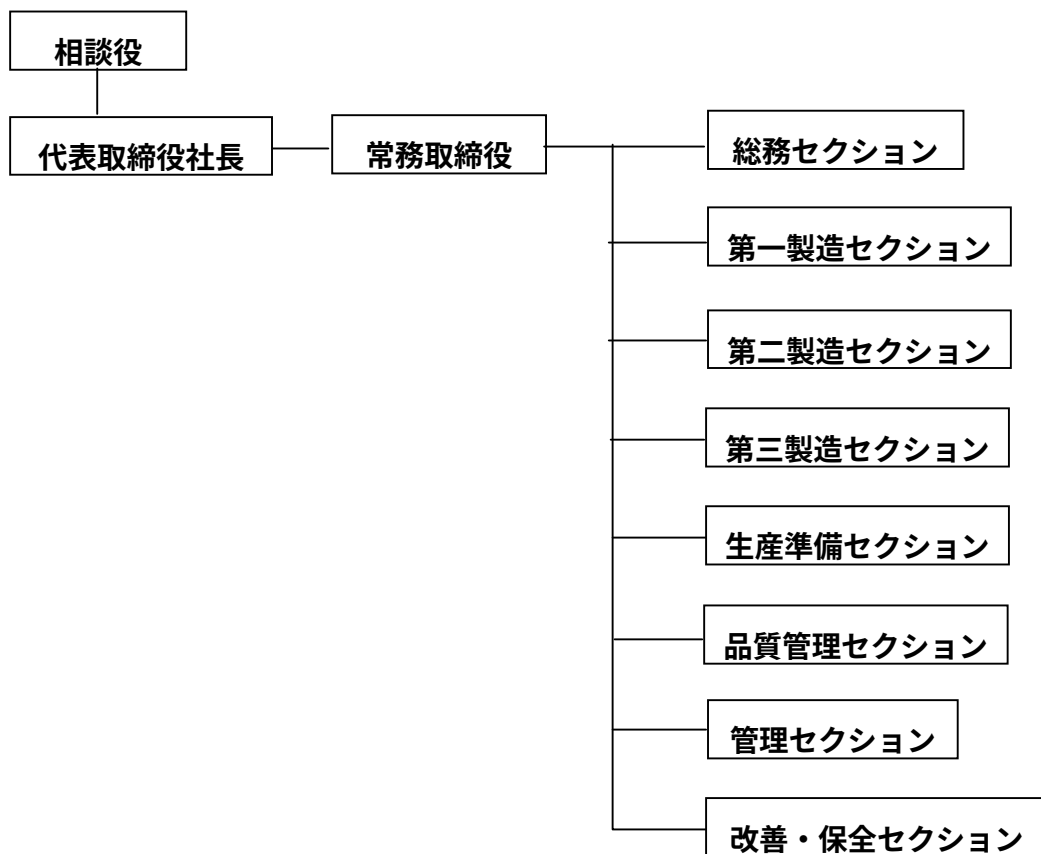


③ 再委託先

株式会社エムジーモールド



ゴトープラスチック株式会社



④ 研究員

株式会社エムジーモールド

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
加藤 晴男	取締役副社長	【1】，【2】， 【3】，【4】
久田 裕次	統括マネージャー	【2】，【3】
鵜飼 淳一	R & Dセクション セクションリーダー	【1】，【2】， 【4】
田村 浩司	R & Dセクション グループリーダー	【2】，【3】
堀 寛美	金型セクション グループリーダー	【3】
許 光	省力機器セクション	【2】

ゴトープラスチック株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
坂田 武士	常務取締役	【2】
澤田 大輔	第三製造セクションリーダー	【2】

⑤ 事業管理機関

公益財団法人名古屋産業科学研究所

氏 名	所属・役職
久野 茂正	中部TLO 産学連携支援担当部長
三浦 眞	中部TLO 事務員
玉置 道子	中部TLO 事務員

1－3 成果概要

【1】複合材料を用いての素材研究

【1－1】複合材料の選定と配合

複合素材にはガラス繊維、炭素繊維、樹脂繊維、天然繊維と多数あるが、本研究開発では炭素繊維及び発泡とソリッドを張り合わせた複合材料を中心にして、一般熱可塑性樹脂（主にPP）を基軸として熱可塑性CFRPとのブレンド材でシート状の基材を製作した。

その中で各材料との比率や混練、成形性（伸び、追従性、冷却性）、ドローダウン性、硬化性を検証するとともに、リサイクル性の検証を進め、各使用用途に適合したベストな材料を選択した。

【1－2】性能評価

用途別、材料別に自動車メーカーからの要求スペックに適合しているか否かの試験を実施し、良否判定結果をフィードバックして、【1－1】におけるベストな材料の選択を行なう場合の基準の1つとした。

【1－3】押出技術の構築

コンパウンド化した材料を試験用の押出機に投入し、巾、厚みを変化させ基材の押出試験を実施した。

押出速度、温度条件、粉碎材との混合比等を変化させつつ、混練状態を確認しながら押出条件、材質などの最適条件を測定した。

導入した押出機は量産用ではなく、小型な試験専用の押出機、具体的にはスクリュウとバレル部が全てモジュール化され、混練具合が確認できるものを選定し、検証を行ないながら条件の絞り込みを進めて製品最低肉厚が0.1mmでも自動車メーカーの要求が満足できる技術の確立を目指した。

【2】コンポジット成形技術の確立

【2－1】成形技術の確立

ブロー成形法の課題であるドローダウンとスウェルを解消する対策として、樹脂の

溶融工程と射出工程を同時に行わず、この2つの工程を分けることにより金型に安定した基材を搬送・提供できるようにした。

具体的には、研究開発段階では、Tダイから押し出された溶融樹脂をシート化し、一旦冷やして安定させた後、シートをアニールして溶融して成形するという工程とした。

このため加熱ロスが増えたが、これは研究開発段階のステップであり、事業化の段階では押出速度とプレス・接合・冷却工程のサイクルを同期させ、押出後その余熱と搬送ラインにおいて軽くヒータリングして温度を安定させ、そのままプレス工程に入る方式を目指す。

もう1点重要なポイントは金型への樹脂（基材）のアプローチである。

基本的に金型は冷却効率を良くするため、設定温度は通常24℃～27℃内で推移しており、加熱されたパリソンは金型に接触した瞬間から硬化が始まる。

このため、先に金型に接触した樹脂と内面からのブロー内圧により後に接触した樹脂では温度差が生じ、先当たりして硬化が始まっている樹脂は伸びが悪くなり、金型と接触していない樹脂ばかりが金型の奥側の部位、一般的なブロー成形用語ではブロー比の高い部位に伸びていき、結果として肉厚偏差が発生する。

今回のコンポジット成形技術ではこの課題を解消するため、金型に同じタイミングで樹脂（基材）を配置するという観点から、効果的な手段を検討した。

具体的には、金型の形状に合わせて、樹脂（基材）を少しでも均一距離に配置できるかが重要であり、ブロー内圧のみによる金型への接触ではなく、金型側からの樹脂（基材）の真空引きを行い、真空引きした直後に瞬間的に型閉めを行い接合工程に入るというシステムを確立した。

そこで、このような動作が可能となる成形機を製作・導入して評価・検証を行い、肉厚偏差を現状成形方法と比較して50%減を目標に研究開発に取り組んだ。

【2－2】ハイスサイクル化

通常のブロー成形のタクト分析の結果、約60％は冷却工程、次に約13％が射出工程、残り約27％は型閉工程や型開工程、取出し工程等となっている。

射出工程については、【2－1】に記載したように工程を分けることで対策を行ったので、ここでは最も詰めるべき冷却時間についての対策を検討した。

冷却時間が長い理由の1つは、肉厚が厚い部位の冷却効率が悪い点にあり、冷却不足のまま脱型してしまうと製品によってはヒケ（外面に生じる窪み）、反りが発生し、後加工での変形も懸念されるためである。

この点を踏まえ、ハイスサイクル化への取組として2方向からアプローチを行った。

1点目は上記「②－1 成形技術の確立」と重なるが、肉厚偏差を軽減することによる冷却時間短縮を確認した。

2点目は搬送・制御技術について、基材搬送と停止位置制御、型締位置/速度、これら全てを連動して制御することでサイクルを1秒でも縮める技術を確認し、現状成形タクトの1/3を目標としたハイスサイクル化を目指し、検証を行った。

【3】金型技術開発

成形工程のハイスサイクル化を行う上で、工程内でのバリ分離化が必須となることから、金型に刃物を配置して型内バリ取りを実施する方式、製品部を固定し周辺部（バリ部）を可動式にすることによる引き剥がしを行う方式の2点について、開発金型の仕様を検討した。

トリミング機構と冷却配管との干渉や製品レイアウト、形状によっても対応の可否が出ると考えられたため、メンテナンス性、安全性、コストを含めたトータルで検証を行ない、100％の工程内バリ分離化できる装置を開発した。

【4】後加工技術

トリミング方法と製品端末の加工方法について、当初は金型内での加工を検討したが、構造が複雑になる点、形状変更が困難になる点、メンテナンス性、安全性、コストを含めたトータルで検証を行ない、後加工にて成形タクト内で100％のバリ分離化と製品の端末カットが可能となる装置や方法を開発した。

【５】信頼性評価

新素材・新工法で生産した製品の信頼性評価を実施した。

信頼性評価項目は製品にもよるが、振動試験、吸音試験・耐熱試験・耐衝撃性・耐寒性・耐薬品試験等について、自動車メーカーの要求事項に準じ公設試験研究機関及び川下製造業者と協同で評価を行なった。

【６】具体的な目標値に対しての研究結果

目標１．プラスチック成形品における目標値８０％の質量減

PP（ポリプロピレン）＋高発泡体の複合基材での研究結果として、一般ブロー成形品（ダクト）と比べて、約７５％の質量減を達成し、一部川下企業から高い評価を得ている。

目標２．１／３のサイクルタイムを実現

今回導入した成形機と金型を使用することによってブロー成形工程と比較し約１／２までサイクルタイムを短縮することができた。

目標３．肉厚偏差５０％軽減

今回導入した成形機と金型を使用することによって、同質量のダクトの肉厚偏差を約３０％軽減することができた。

１－４ 当該研究開発の連絡窓口

株式会社エムジーモールド R＆Dセクションリーダー 鵜飼 淳一

電話：０５２-５０９-３５０２ FAX：０５２-５０９-３７９５

E-Mail ukai@goto-plastic.co.jp

第 2 章 本論

2-1 複合材料を用いての素材研究

2-1-1 複合材料の選定と配合

◆発泡基材とソリッド複合

- ・押出機一式により 4 種類の複合材料シートを作製した。

◆化学発泡による低発泡基材

- ・薬品を用いて樹脂を発泡させて複合基材として用いる試みは、タクトタイムの短縮や複合材料としての成果に繋がる見込みがなく、選定から外した。

◆プレブリグ（熱硬化性樹脂によって被覆された炭素繊維シート）とソリッドの貼り合わせを用いた基材

- ・剛性面で期待する成果を上げられる見込みが立たず、選定から外した。

◆C F（炭素繊維）チョップドファイバーと P P ソリッド

- ・押出機において P P と C F を混練して、C F R P（炭素繊維強化プラスチック）のシートを作製した。

◆既存の混練済み C F R P ペレット

- ・販売されている C F R P ペレットを押出機によりシートに加工して前項の P P + C F と合わせて、⑨ P P 単独シートと比較した。

2-1-2 架橋発泡シートのリサイクル性検証

- ・製造段階において出てくる、不要となった架橋発泡シートのリサイクルについて検討を行なった。

架橋発泡シートは樹脂に戻すことが不可能で、産業廃棄物として処理されているが、成形段階で大量に発生することから、複合材料に混練してリサイクルを試みた。

具体的には、複合材料と混練し易い状態に物理的な処理を加え、シート化した結果、表面に一部粗さが残っている状態になり、外観品質で課題が残った。

又、下記方法にて減容、リサイクル性の検証も行なった。

- ① 架橋発泡シートを過熱蒸気で処理する
- ② 架橋発泡シートを凍結粉碎する

①架橋発泡シートの過熱蒸気処理

過熱水蒸気（100℃の飽和水蒸気の気体に二次的なエネルギーを加えることによって数百度のエネルギーを得た高温蒸気）により架橋 PP フォームを固化させ減容した後に処理する方法について検証を行なった。

炉内温度を～500℃に設定し、複合粉砕材をトレイに敷いて炉内に投入して加熱し、一定時間後に取り出して状態を確認した。

この方法は減容という面では成果は出たが、リサイクルという面では所定の成果は得られず、発泡シート成形で大量に出るバリの処理方法としては不適であると判断した。

②架橋発泡基材を凍結粉砕

目的は通常の粉砕工程よりもより粒子を細かくする為に検討。

現状では検討段階のため、実際の検証は今後の研究の中で実施する計画である。

2-1-3 性能評価

◆発泡基材とソリッド複合

・発泡基材とソリッド複合シートについて自動車メーカーからの必要規格である燃焼性試験を実施した。

●燃焼試験

・一般財団法人化学物質評価研究機構（名古屋事業所）に外注して、FMVSS（米国連邦自動車安全基準）302に従って測定をした。

・測定は5回ずつ行い、規格では1分間に100mm以下と定められており、25倍発泡は58～76mm/分、30倍発泡は49～51mm/分の結果となり、十分規格内であった。

◆PP+CF複合シート

・PPベースのCF混練シートを押出機一式で成形して、各種強度試験を行なった。

●引張試験

・試験機 INSTRON5582 により、MD（シートの流し方向）とTD（直交方向）の引張試験を実施した。

- ・MDにおいては、基準としたPPシートより優れた結果を示したPP+CFシートがあったが、TDではPPシートが優れていた。
- ・降状応力について MD（シートの流し方向）では、CF 無し品と比べてもかなり高水準な結果が出た。一方 TD（直交方向）については効果が出なかった結果となる。
- 引張強さについては、一部かなり高い数値を示した結果となった。
- 伸びについては、残念ながら CF なし品と比べても数値が低く、今後課題を残した。

●屈曲試験

- ・スコット型モミ試験機より、MD（シートの流し方向）とTD（直交方向）の屈曲試験を実施した。
- ・CFの方向性が関係するのか、TDに比べMDの方が屈曲耐久性は高くなる傾向が見られたが、TDで白化部が局所的に折れ曲がりやすくなるため、試料全体で判断すると、CFなし品に比べ、屈曲耐久性は低いと判断された。

●PP/CFシートの計装化パンクチャー試験

- ・本事業において供試資料全体で判断すると、CFなし品と比べ、パンクチャー衝撃性能は低くなる可能性がある。

一定の効果が確認できた試験結果と、そうでない結果があったので、そうなった原因の追求が今後の研究課題となる。

1点目はPPとCFの密着性の問題。今回MAPPを混練したが、それ自体に問題があったのか、主となるPPとの相性が良くなかったのか、添加量の問題なのか。

2点目は、基材化した時の繊維の残り方について、混練の段階で繊維砕いてしまっている懸念もあり、まずは押出機で成形したシートをX線で現状の繊維の残り具合を確認して、混練条件や方法についても引き続き検証していく必要があると思われる。

2-1-4 押出技術の構築

◆CFRPの混練状態の確認

- スクリー内及びTダイ内部の樹脂の混練熔融状態を確認しつつ、温度条件やベース材料との比率、スクリーの回転数などの条件の適正化を行なった。

2-2 コンポジット成形技術の確立

2-2-1 制形技術の確立

◆PP+ガラス長繊維の複合材のコンポジット成形

●加熱条件

・PP+ガラス長繊維の複合材については、加熱条件が非常にシビアで、高温で加熱すると表面の不織布のみが焼けてしまうので、芯材層までしっかり加熱するためには、低温度で徐々に加熱する必要がある。

一定の形状までは出来たが、外観品質については課題を残した。

◆肉厚偏差

ブロー成形品の肉厚偏差 : $1.5\text{mm} - 0.5\text{mm} = 1.0\text{mm}$

開発品の肉厚偏差 : $1.4\text{mm} - 0.7\text{mm} = 0.7\text{mm}$

肉厚偏差は約30%改善されたことが確認できた。

肉厚偏差の結果が改善された理由としては、ブロー成形のように円筒状のパリソンを金型に密着させるのでは無いため、先当たりの順番が異なること、ブロー成形特有のスウェルや、大きなドロダウン現象が起きずに基材自体が安定した状態で金型に密着出来る点が、結果の違いに現れたと推定される。

2-2-2 ハイサイクル化

通常のブロー成形での型締機構は油圧によって開閉されるが、今回はハイサイクル化、ブロー成形比 1/3 という事でサーボ制御にて製作を行なった。

また、基材の加熱及び搬送についても詳細設定・制御が可能となっていることに加えて、ソリッド基材においては肉厚偏差の軽減により全体板厚を下げることができ、また発泡系の基材についても同様な理由により、型内での冷却時間もブロー成形と比べ大きく短縮することが可能となった。

本事業の終了段階では、ブロー成形の成形タクトと比べて 1/2 までハイサイクル化を実現が可能となっている。

2-3 金型技術開発

◆研究開発用金型の製作

本研究開発の成形機で使用する研究開発用金型を設計し、製作した。

2-4 後加工技術

◆トリミングプレス

ツイン式真空ブロー成形機で成形した状態からバリを分離して、製品のみを取り出せるようにトリミングプレスを開発し、製作した。

成形目標タクト20秒以内にバリ部と製品部の分離を行なうことを目標に、トリミングプレスを試用して試験を実施した。

・トリミングプレスの試用試験結果

- ①発泡+ソリッドのような比較的剛性の無い材料は、問題なくトリム可能。
- ②セッティングの問題で、刃型と受け具の干渉があり、刃型側に変形が見られたが、トリムに支障はなかった。しかし、ガイドピンのようなものを作り、ズレが無いようにする必要ある。
- ③タクトは約10sと問題なかった。将来的にはRB（ロボット）によるセット→取り出しも込みで20s以内に収める必要がある。
- ④収縮の問題で刃型+受け具と製品とでは若干大きさが異なっているが、問題無くカットができた。
- ⑤PL（幅約1mm）からズレている部位も見受けられたが、製品側に多少のギザラインが出来た程度で、良品レベルと判断される。

◆シート成形品の捨袋カット

・カットの方法

丸刃を固定して、RBにワークを持たせて、開口部を2箇所クランプして固定する。

- ・複合材料によっては、改善の余地はあるものの、概ね問題なくカットできた。

2－5 信頼性評価

●質量比較

発泡基材とソリッド複合成形品の質量比較では、通常のブロー成形品が140g、25倍発泡との複合成形品が35g、30倍発泡との複合成形品が34gで、目標とした80%減は達成できなかったが、75%減、76%減を達成した。

●接合強度

接合強度については、ブロー成形品に比べて18%程度の強度であるが、100N以上あれば相手物接合の際に避けてしまうことはないと判断され、問題無いレベルの結果が出た。

●耐熱試験

- ・本研究開発のコンポジット成形により、複合基材を用いて、製品ベースでの耐熱試験を行なった。
- ・設定温度80℃の恒温槽に入れる前に、長手方向は300mmに、短手方向は150mmにマーキングし、24時間恒温槽に放置した後、形状の収縮変化を確認した。
- ・発泡基材とソリッド基材との貼り合わせについては、通常のブロー成形品と同等の収縮レベルだった。
- ・開口部の変形についてはソリッド側が撓んできているのは自重の影響と判断される。

●音響特性

複合材料を用いて製作したダクトでは、基準としたブロー製品に比べてダクト出口での音圧が下がっており、ダクトを通すことにより騒音を減じる効果があると判断される。

また、ダクト周辺の騒音については、高周波数帯域では一部変化が出ているが、その他の音域ではほぼ変化が無いことが確認できた。

●断熱・結露特性

複合材料のダクトでは、入口と出口の温度変化が小さく、時間の経過による変化が少ないので、冷暖房のダクトとして適していると判断される。

又、結露対策という点でも、高い評価が得られた。

最終章 全体総括

・複合材料を用いての素材研究

CF 材を使用しての素材研究については、カットされたファイバーを直接押出機に入れ混練したり、又はペレット状態のものを用いて基材を数種類作り、強度試験各種の実施までは到達出来たが、試験結果からもCFRPを使うことによる飛躍的な効果については、事業期間内では達成することができなかった。

材料メーカーからの情報ではPPとCFRPは接合面で大きな課題を持っているということから、接着剤を混ぜるなども行なったが、試験結果からは大きな効果は認められなかった。

混練、PP 材料との相性なのか、また実際に短繊維、長繊維がどの程度基材レベルで残っているのか等を含め、強度アップに至らない原因の追求が今後の課題となった。

但し熱可塑性のCFRPについては、量産性を含み、自動車業界では今後必ず使用する部品が伸びてくる分野と思われるので、引き続き補完研究等により、期待した効果が出なかった原因を探りながら、研究開発に取り組んでいき、自動車メーカーのニーズである軽量・薄肉・高剛性をキーワードに取り組んで行く考えである。

一方、ソリッドと高発泡基材との複合については、大きな成果が得られた。

断熱性能、減音性能、軽量化、耐熱性、接合強度等において、自動車メーカーからの要求事項をクリアできた。後は面剛性の問題が若干残っているが、PP 層を単純に厚くして面剛性をアップさせるのではなく、例えば上記で研究開発に取り組んでいるCFRPとの構成で、薄くて剛性のあるソリッド層＋高発泡体との組み合わせにより、超軽量＋高剛性＋断熱等の機能・性能面も含んだ製品の開発に、引き続き取り組む予定である。

ソリッド基材＋高発泡基材の組み合わせによる開発品は、川下企業から大きな評価をいただき、今後採用され、量産化されることが期待される。

課題として残っている発泡体のリサイクル技術についても、原料メーカー等との協力体制の元、引き続き研究開発取り組み、100%のリサイクルもしくはリユースを目指して取り組む予定である。

・コンポジット成形技術の確立

今回導入したツイン式真空ブロー成形機については、完全なるオリジナル開発機ということで、設備の設計・製作にかなりの時間を費やし、研究開発期間の80%の期間を独自で設計・製作したバッチ式の試作機を使い研究開発に取り組む結果となった。

その結果、試作機で分かった問題点や改善内容を、今回導入したツイン式真空ブロー成形機に織り込むことが出来たため、最後の段階では成形機を稼働させ、成形品をハイサイクルで作る取り組み、作製した成形品の評価も達成できた。

肉厚偏差についても成形機側の真空・圧空条件や、独自のブロー金型技術を織り込み、肉厚偏差を軽減する結果を出すことができ、更なる軽量化やハイサイクル化に寄与することが可能となった。

成形後のトリミングや製品の端末カットを含む、後加工ラインについては、工程内でのトリミングやカットの研究開発にも取り組むことができ、アウトラインでのメド立てが十分可能な状態になった。

今後の研究開発では、今回作った各工程を繋いで一本の線にしていき、成形から加工、粉碎、リサイクルまでの工程を一貫して行ない、ブロー成形工程タクトの1／3を目標としたハイサイクル内での生産体制を可能にするため、引き続き取り組んで行く。