

平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「発泡樹脂充填材を用いたサンドイッチ構造品の
軽量・高剛性化技術の開発」

成 果 報 告 書
(概要版)

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 (財)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	
1－2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	
1－3 成果概要	
1－4 当該プロジェクト連絡窓口	
第2章 射出成形機の仕様の検討	7
2－1 研究目的及び目標	
2－2 実験方法	
2－3 研究成果	
第3章 大型・薄肉部品の射出成形性を向上する配合組成の開発	10
3－1 研究目的及び目標	
3－2 実験方法	
3－3 研究成果	
第4章 射出成形用金型等の仕様の検討	11
4－1 研究目的及び目標	
4－2 実験方法	
4－3 研究成果	
第5章 プラスチック発泡樹脂充填材特性に係る測定実験	12
5－1 研究目的及び目標	
5－2 実験方法	
5－3 研究成果	
第6章 プラスチック発泡樹脂充填材を用いた補強構造（サンドイッチ構造） の数値シミュレーションによる最適形状等の検討	13
6－1 研究目的及び目標	
6－2 実験方法	
6－3 研究成果	
第7章 実機試験	14
7－1 研究目的及び目標	
7－2 実験方法	
7－3 研究成果	
第8章 全体総括	15
8－1 成果の総括	
8－2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況	
8－3 今後の事業化に向けた取組み	

第1章 研究開発の概要

本研究開発では、高剛性発泡充填材の薄肉成形技術と、高剛性発泡充填材及び基材プラスチックを複合化した軽量化車体構造を研究し、従来の車体に対し高剛性を維持しつつ軽量化を実現しようとするものである。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

【研究の背景】

環境対策としてCO₂排出量の削減が求められる中で、自動車の燃費向上への要求が高まっている。車体の軽量化は、燃費向上に寄与しCO₂削減につながる有効な手段であるが、一方では法規制やアセスメントの面から衝突安全性能も満足しなければならない。そうした背景の中で自動車は、軽量化と車体剛性向上という背反する課題を解決する必要がある。

自動車用構造部品の軽量化の方法として、強度の高いハイテン材の適用により鋼板の薄肉化を図る方法がある。この方法はこれまでは有力な軽量化方法であったが、鋼板の高強度化が限界に近い上、自動車構造部品の多くは中空構造部品なので板厚の薄肉化も限界に近く、更なる軽量化の余地はほとんど無い。

また、アルミニウム形材や鋼管といった高剛性の素形材を用いて、自動車用構造部品を製造する方法がある。しかしながら、一様断面の素形材を原料に用いるため、作製できる形状が限られ、全ての構造部品に適用できる方法ではない。また、製造コストも高い。

このように中空部品単体で軽量化と高剛性を達成する方法は決定打がないため、中空部分に低密度な発泡体を充填し、複合構造とする方法も検討されている。

複合構造体として鋼板製中空部品に充填する発泡体としては、発泡アルミニウムや中空鋼球を充填する試みがなされている。しかし発泡アルミニウムや中空鋼球の製造コストは高く、また鋼板製中空部品との接合方法に課題があり、実用化には至っていない。

そこで、最近では製造コストが発泡アルミニウム等に比べ格段に低いプラスチック等の発泡樹脂充填材を鋼板製部品の中空部に充填する構造体が検討されるようになってきた。

我々が実用化しているプラスチック発泡樹脂充填材は、未発泡（加熱による発泡硬化反応前）の状態で鋼板製ピラー内に貼り付け施工され、電着塗装工程の熱（150℃×10分程度）で発泡硬化する。プラスチックがピラー内を充填することで局所的な断面変形が抑制されピラー全体の剛性を向上させるとともに衝撃吸収性の向上が可能となる。また、既設の車輛の製造工程を利用するため発泡充填のための特別な工程を必要とせず安価に充填構造が形成可能であるという特徴を有している。

しかしながら、この充填材をバンパーのような大型部品に適用しようとする、大きな中空空間の全体を充填してしまうため、重量が多くなってしまいう課題が生じた。そのため、更なる軽量化方法の開発が必要となってきた。

これらの課題を解決するために、我々が実用化している高強度発泡樹脂充填材の大型・薄肉部品の射出成形性および実用可能な物性を有する配合組成の構築を実施した。

さらに、中空の基材プラスチックを鋼板製中空部品の中央に配し、両者の隙間のみを高強度発泡充填材で充填するサンドイッチ構造を新規に考案した。この構造は、衝撃吸収に寄与しない中

央部を空間として残しながら、鋼板の断面変形を抑制することができ、軽量化と衝撃吸収の両立を図ることができる。

しかしながら、車体剛性を維持しつつ軽量化が可能な基材プラスチックと高強度発泡充填材の複合構造には、高強度発泡樹脂充填材が硬化反応しない温度領域で薄肉成形を行わなければならないという課題がある。

【研究の目的】

そこで、本研究開発では、上記の課題を解決するために、新たに開発した高強度発泡充填材が硬化反応しない温度領域で薄肉成形を行う射出成形条件や金型仕様を開発する。

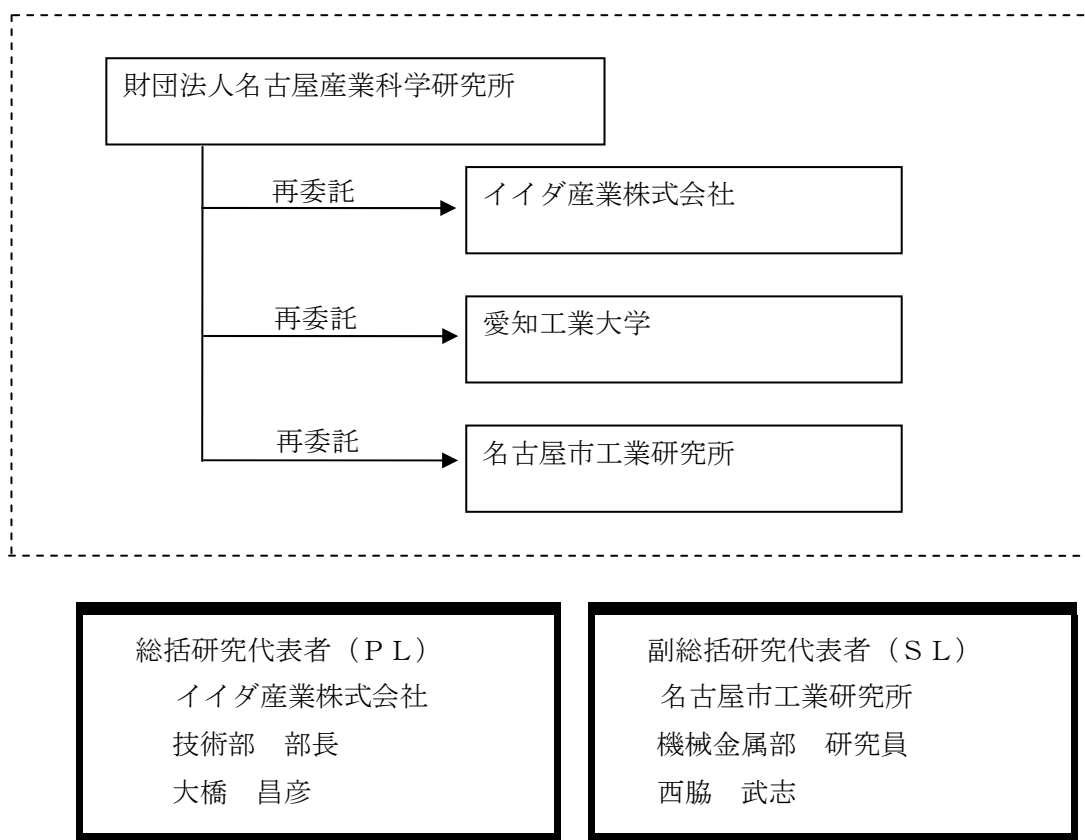
また、数値シミュレーションにより、高強度発泡充填材と基材プラスチックの補強構造最適化（軽量化）を行う。

【研究の目標値】

- 1) 低温（ $T < 120^{\circ}\text{C}$ ）での高強度発泡充填材の射出量増加
現状：120cc → 目標：250cc
- 2) 低温（ $T < 120^{\circ}\text{C}$ ）での高強度発泡充填材の薄肉成形
現状：成形可能厚さ10mm → 目標：3mm
- 3) 大型・薄肉部品の射出成形性および実用可能な物性を有する配合組成の構築
- 4) 数値シミュレーションによる複合発泡充填構造の最適化を図る
 - ・従来構造に対し15%軽量化
 - ・強度は従来品と同等以上

1－2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

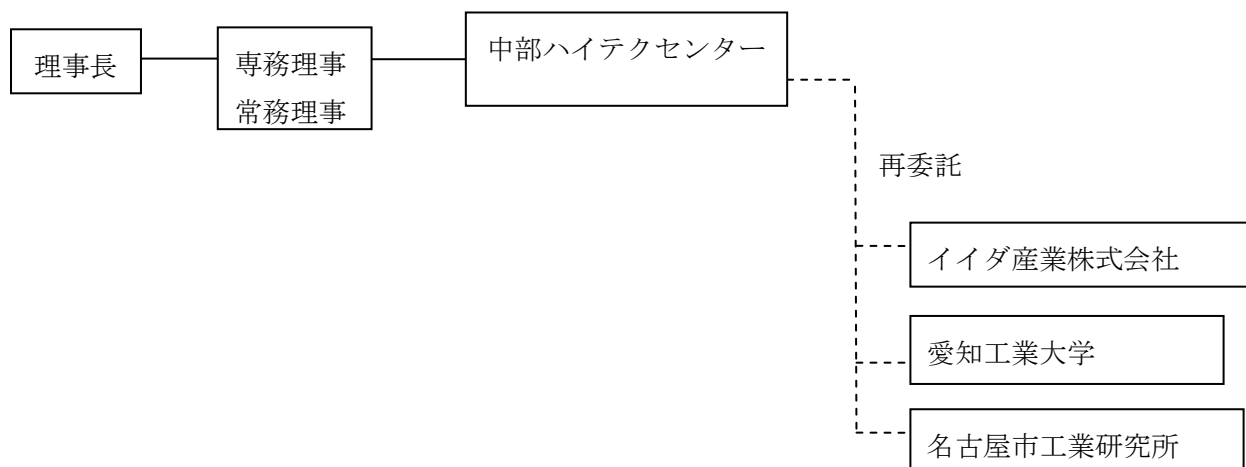
【研究組織（全体）】



【管理体制】

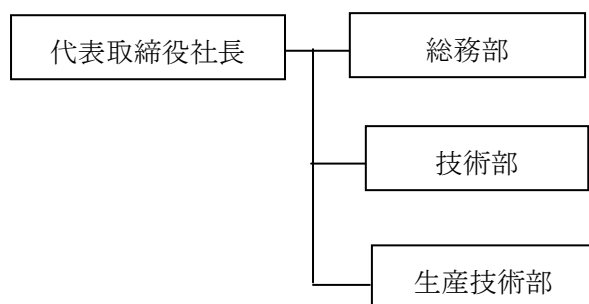
・事業管理者

財団法人名古屋産業科学研究所

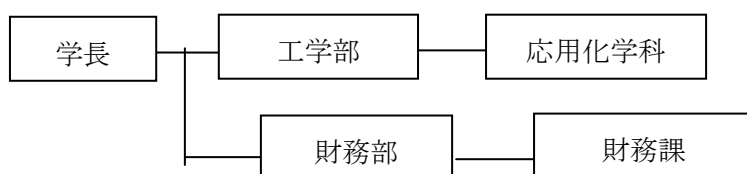


・再委託先

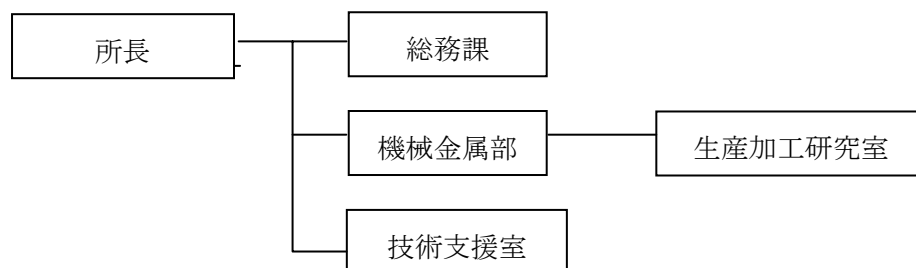
イイダ産業株式会社



愛知工業大学



名古屋市工業研究所



【管理員及び研究員】

・事業管理者

財団法人名古屋産業科学研究所

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
安部 浩二	中部ハイテクセンター 事務局長	④
藤根 道彦	中部ハイテクセンター産学連携支援部長	④
浅田 節子	中部ハイテクセンター	④
蟹江 祥子	中部ハイテクセンター 非常勤職員	④

・再委託先（研究員）

イイダ産業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
大橋 昌彦	技術部・部長	①－２，③
佐藤 暢也	技術部 接着剤開発G・次長	①－２，③
杉本 幸三	技術部 接着剤開発G	①－２，③
臼井 隆人	技術部 接着剤開発G	①－２，③
北澤 一朗	技術部 接着剤開発G	①－２，③
三浦 建一	技術部 設計課・課長	②－１，２，③
友田 彰	技術部 設計課 解析G・係長	②－１，２，③
北村 繁明	技術部 設計課 解析G・リーダー	②－１，２
野村 幸司	技術部 設計課 設計G	②－１，２
井上 博	生産技術部・部長	①－１，３，③
江崎 忠治	生産技術部 生産技術課・リーダー	①－１，３，③

愛知工業大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
山田 英介	工学部 応用化学科・教授	①－２

名古屋市工業研究所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
西脇 武志	機械金属部 生産加工研究室・研究員	②－１，２

【経理担当者及び業務管理者の所属、氏名】

・事業管理者

財団法人名古屋産業科学研究所

（経理担当者） 中部ハイテクセンター 事務局長 安部 浩二

（業務管理者） 中部ハイテクセンター 産学連携支援部長 藤根 道彦

・再委託先

イイダ産業株式会社

（経理担当者） 総務部長 児玉 基晴

（業務管理者） 技術部長 大橋 昌彦

愛知工業大学

（経理担当者） 財務部 財務課長 伊藤 忍

（業務管理者） 工学部 応用化学科 山田 英介

名古屋市工業研究所

（経理担当者） 総務課 事務係長 鈴木 孝司

（業務管理者） 技術支援室 主幹 林 幸裕

1－3 成果概要

大型・薄肉部品の射出成形性および実用可能な物性を有する高強度発泡充填材の配合組成の構築により、低温（ $T < 120^{\circ}\text{C}$ ）での高強度発泡充填材の射出量は、目標値である 250cc 以上の成形が可能となり、さらに、板厚の目標値である 3mm の成形も可能となった。

数値シミュレーションによる複合発泡充填構造の最適化を図ることが出来た。従来構造に対して、 15% の軽量化および強度は従来品と同等以上であることが実証出来た。

本研究開発の目標値は、すべて、達成することが出来た。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

・財団法人 名古屋産業科学研究所

〒460-0008 名古屋市中区栄二丁目 10 番 19 号（名古屋商工会議所ビル）

中部ハイテクセンター 産学連携支援部長 藤根 道彦

TEL: 052-223-6640

FAX: 052-211-6224

E-mail: fujine@nisri.jp

第2章 射出成形機の仕様の検討

2-1 研究目的及び目標

高強度発泡樹脂充填材が硬化反応しない温度領域での大型・薄肉成形を行うための射出成形機の仕様の検討を行う。

低温 ($T < 120^{\circ}\text{C}$) での高強度発泡充填材の射出量を現状の 120cc から 250cc に増加し、および、薄肉成形厚みを現状の 10mm から 3mm に薄くすることを目標とする。

2-2 実験方法

イ) 射出成形機のスクリーンの検討

a. スクリーンデザイン

スクリータイプと樹脂温度との関係を把握し、樹脂との摩擦熱を極力抑えることが可能なスクリーンの最適条件を検証するため、4種類の成形機を使用しトライを実施した。

b. ノズルデザイン

射出時の摩擦による材料の温度上昇を抑えるために有効なノズルデザイン（穴径）を選定し、数種類のノズルを使用し吐出した樹脂温度を計測した。

c. 射出速度

射出速度の違いにより、ノズルから吐出される樹脂温度がどのように変化するかを検証した。

d. 温調仕様

上記 a, b, c. の内容を踏まえて、ヒーターバンド式と油循環方式により、最適仕様を検証した。

ロ) 射出成形機内の材料逆流防止機構の検討

e. 計量

逆流防止リング付きのスクリーでは、材料の硬化反応などによりスクリーが破損してしまうため、逆流防止リングのないタイプのスクリーを使用した一般的なインライン式の成形機 2 機種および、プランジャー式成形機 1 機種にて、安定した計量が可能であるか検証した。

f. 射出圧力

上記 e. と同じ成形機にて、計量のばらつき及び高い射出圧力が掛けられるかを検証した。

2-3 研究成果

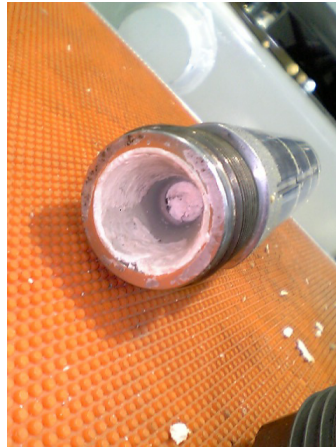
イ) 射出成形機のスクリーンの検討

a. スクリーンデザイン

スクリーのデザインにより、樹脂温度 120°C 未満で安定した温度制御が可能であり、材料を硬化させずに成形可能である事が分った。

温度上昇によりシリンダー内で硬化した材料

同、ノズル内で硬化した材料



b. ノズルデザイン

ノズル径による差は、見られなかった。

c. 射出速度

樹脂の温度は射出速度を上げる事により上昇傾向にあるが、実用外範囲の高速射出においても120℃未満での射出が可能であった。

d. 温調仕様

シリンダー部を直接冷却出来る方式であれば樹脂温度120℃未満で安定した温度制御が可能であり、材料を硬化させずに成形することが検証出来た。

【まとめ】

スクリーデザインなどの選定及び成形条件の設定により、樹脂温度が120℃未満で安定した温度制御が可能であり、材料を硬化させずに成形することが出来た。

ロ) 射出成形機内の材料逆流防止機構の検討

e. 計量

一般的なインライン方式の逆流防止弁がない成形機では、射出時に材料の逆流が発生し、樹脂がホッパー投入口付近まで付着してしまい、スクリーが回転してもホッパーから入ってくる樹脂を送り出せず、計量が出来ない結果となった。

また、プランジャー式射出成形機であれば、材料の逆流による計量の不具合も発生せず、安定した計量が可能であることが分った。

f. 射出圧力

射出はプランジャー方式であれば材料が逆流して不具合が起きることなく高い射出圧力を発生させることが可能であり、安定した連続成形も可能であった。

【射出成形機仕様の決定】

◆基本仕様

- ・スクリーデザイン : 逆流防止弁のない低発熱形状
- ・ノズルデザイン : 低発熱形状
- ・温度調整の仕様 : 直接冷却可能な方式による制御
- ・成形機 : プランジャー方式

◆その他仕様 (低温成形最適性研究用)

- ・より低温で成形するために関連している部位のパーツを、仕様に追加

第3章 大型・薄肉部品の射出成形性を向上する配合組成の開発

3-1 研究目的及び目標

大型・薄肉部品の射出成形性及び実用可能な物性を有する配合組成を構築するにあたり、必要とされる特性値を考慮して、本研究でのプラスチック発泡樹脂充填材の目標値を表1に示す。

表1. 開発品の目標値

評価項目		目標値
射出成形性 (3mm厚さで250ccの成形性)	スクリューからの剥がれ性	○
	金型への流動性	○
	脱型性	○
	材料温度(°C)	120未満
ガラス転移点T _g (°C)		100以上
50°C形状保持性		○
発泡倍率(倍)		2.0以上
せん断強度(MPa)		8.0以上

3-2 実験方法及び結果

〈配合組成の検討〉

大型・薄肉部品の射出成形性（金型への流動性）を良好にするためには、主たる成分として使用しているエポキシ樹脂の射出成形温度（100℃～120℃）での粘度を低下させることが望ましい。その手法として、低分子量のエポキシ樹脂あるいは柔軟な化学構造のエポキシ樹脂を使用するため、夏季における成形品の変形防止に留意しなければならない。そこで本研究では、射出成形性、未硬化物の形状保持性及び硬化物の物性を考慮して、複数のエポキシ樹脂を併用したベース樹脂を用いた。

本研究のプラスチック発泡樹脂充填材の実用的な用途には、垂直部での使用があるため、垂れ性を抑制する必要がある。そのため、強度や発泡倍率を大きく低下させずに、しかも安価な微粉無機充填材及び補強性充填材としてガラス繊維を併用することにより、垂れ性を抑制した配合組成を構築した。

〈射出成形試作及び配合調整〉

本プラスチック発泡樹脂充填材は、加熱発泡・硬化タイプであるため、硬化剤、発泡剤の活性温度未満（120℃未満）で射出成形試作を行う必要がある。そのため、射出成形機で試作を行った結果、実用可能な範疇で射出成形可能であったが、その成形物の物性は、実験室で作製した試料の物性よりも低いことが明らかになった。その原因として、発泡倍率の増大が考えられたため、射出成形に適した初期発泡倍率に調整し、再度射出成形試作を行い、その成形品の物性を確認した。

3-3 研究成果

120℃未満で大型・薄肉部品の射出成形が可能で、且つ物性の目標値を満足する配合組成を確立することができた。

第4章 射出成形用金型等の仕様の検討

4-1 研究目的及び目標

材料発熱の抑制効果及び大型・薄肉部品の樹脂流動性の観点から、既設解析ソフトによる樹脂流動解析を行い、プラスチック発泡樹脂充填材の最適形状と射出成形用金型のランナー、ゲート配置の最適形状を検討することを目的とする。低温（ $T < 120^{\circ}\text{C}$ ）での高強度発泡充填材の射出量を現状の120ccから250ccに増加し、および、薄肉成形厚みを現状の10mmから3mmに薄くすることを目標とする。

4-2 実験方法

・流動解析

材料発熱、樹脂流動性への影響が大きいランナー（配置、径）及び、ゲート（数、形状）について、条件を変えて、樹脂流動解析を簡易形状、及び実車想定形状それぞれ実施した。

・連続生産（脱型性（スプルー抜け））の検討

a. スプルー表面処理による脱型性（スプルー抜け）検討

表面処理を数種類実施した。

b. 脱型性（スプルー抜け）スプルーデザイン検討

数種類のデザインのスプルーにてテストを実施した。

4-3 研究成果

・流動解析

「充填確実性」の解析結果より充填確実性100%となったランナー（配置、径）及び、ゲート（数、形状）を採用した。

流動解析にて充填確実性（金型への流動性）が高く、せん断応力（材料発熱）が低い金型仕様を決定した。

金型への折り込み

流動解析結果から得られた最適仕様（ランナー配置、ランナー径及び、ゲート）を折り込んだ簡易形状、実車想定形状金型を製作した。

・連続生産（脱型性（スプルー抜け））の検討

a. スプルー表面処理による脱型性（スプルー抜け）検討

これまでのテストにより現時点で脱型を改善するスプルー表面処理は、効果の確認できるものは、見つかっていない。

b. 脱型性（スプルー抜け）スプルーデザイン検討内容

数種類のデザインのスプルーにてテストした結果、あるデザインのみ連続脱型性を改善することが出来た。

第5章 プラスチック発泡樹脂充填材特性に係る測定実験

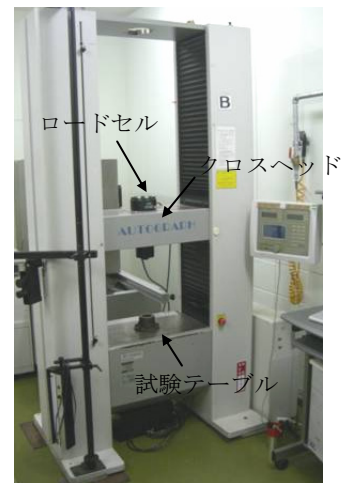
5-1 研究目的及び目標

鋼板で成形された中空部材をプラスチック発泡樹脂充填材（以下、発泡充填材と記載）と基材プラスチックで補強することにより、鋼板を薄板化し軽量化が可能となるため、この補強構造にかかる変形荷重を数値シミュレーションにより計算し最適形状を検討する必要がある。このため、まずは補強構造を構成する各素材の力学特性を測定し、数値シミュレーションに必要なパラメータを取得する。

5-2 実験方法

発泡充填材および、基材プラスチックの力学特性として、弾性率、高ひずみ域を含む応力-歪特性を測定しシミュレーション用のパラメータを決定した。

また試験用材料として、発泡充填材については本研究の開発材（プロトタイプ）を用い、基材プラスチックについてはPA66（GF30w%）を用いた。
上記の各種試験は右に示す精密万能試験機により実施した。



（試験機概要）

5-3 研究成果

数値シミュレーションに必要となる発泡充填材及び基材プラスチックの力学特性パラメータの取得が完了し、補強構造の最適化検討が可能となった。

第 6 章 プラスチック発泡樹脂充填材を用いた補強構造（サンドイッチ構造）の数値シミュレーションによる最適形状等の検討

6－1 研究目的及び目標

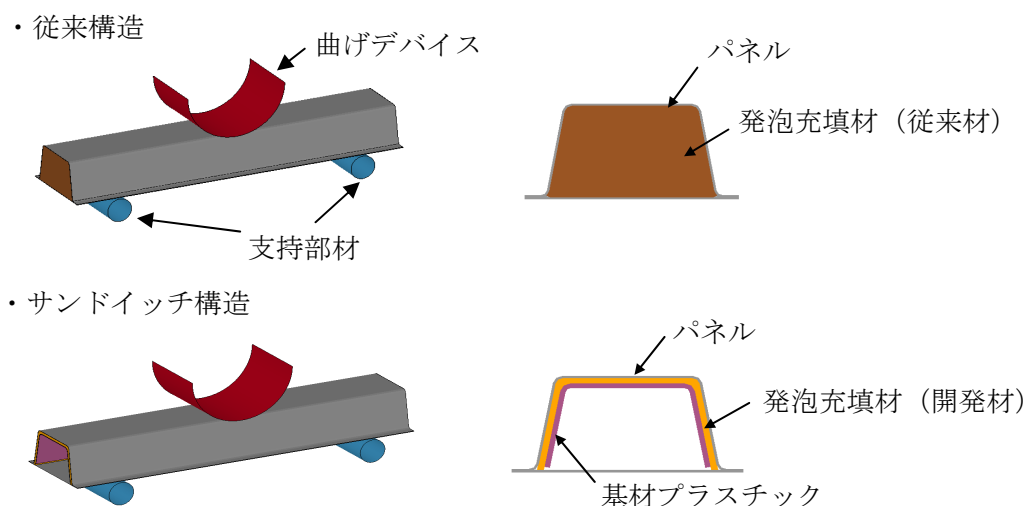
車両部材を想定した一定断面の中空部材を用いて、発泡充填材と基材プラスチックの複合構造の形状最適化を検討することにより、軽量化構造を見出すことが目的である。最適化の目標値は従来構造の重量に対し 15%以上の低減、また従来構造の強度特性以上を保持することである。

本テーマの指標となる従来構造とは、中空部材の内部全てに発泡充填材を適用する構造であり、部材断面の大型化に伴い発泡充填材の重量が増加し、軽量化効果を得る事が困難である。一方、サンドイッチ構造は発泡充填材を薄肉化し、鋼板と基材プラスチックでサンドイッチ状にしているため、大断面の中空部材に対して重量増加を抑え、高い強度保持が期待できる。

6－2 実施内容及び結果

強度特性の評価は 3 点曲げの数値シミュレーションにより実施し、最大反力とエネルギー吸収特性（EA 量）を評価の指標とした。重量低減と強度特性の目標を達成するため、サンドイッチ構造の基材プラスチックについて、リブ配置と板厚の最適化を実施した。

各構造の構成概要、及び全体重量、強度特性の検討結果について以下に示す。



	全体重量 (kg)		最大反力 (kN)		EA 量 (J)	
従来構造	6.425	100%	40.6	100%	2844	100%
サンドイッチ構造 最適化	4.054	63%	44.0	108%	2904	102%

6－3 研究成果

本研究の目標値である「従来構造の重量に対し 15%以上の低減、また従来構造の強度特性以上を保持」に対し、強度特性は同等以上で 37%の重量低減を達成するサンドイッチ構造を見出す事が出来た。

第7章 実機試験

7-1 研究目的及び目標

第2章及び第4章での検証結果を盛り込んだ成形機及び金型にて現在開発中のプラスチック発泡樹脂充填材を用いて、実機での試作を行い、120℃未満の低温域及び射出量250ccの成形が可能か、構造上の性能を維持しつつ、現状、薄肉化の限界と推定される板厚3mmの成形が可能か、を検証した。この検証結果を踏まえ、必要がある場合には、各研究項目の再検討を行う等のフィードバックを行う。

7-2 実験方法

使用設備：本研究用特別仕様成形機

使用金型：【簡易形状】、【実車想定形状】

a. 低温で成形するための設備の構成・条件の検討・設定

まず、低温での成形仕様を検討するために、低温での成形に関係する部位の数種類のパーツを使用し、どのパーツの組み合わせが適しているかを検討し、最適な仕様を設定した。

さらに、スクリー回転数及び射出速度に対する材料温度を計測した。

b. 実金型での成形可否、流動性、樹脂温度、連続生産性の確認

実金型にて成形可否、流動性、樹脂温度、連続生産性の確認を行なった。

7-3 研究成果

a. 低温で成形するための設備の構成・条件の検討・設定

どのパーツの組み合わせが適しているかの最適な仕様を確立出来た。

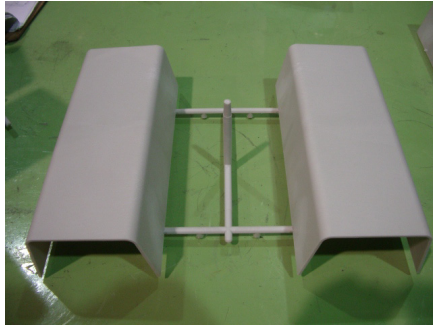
さらに、120℃未満を可能とする最適条件範囲を確立出来た。

b. 実金型での成形可否、流動性、樹脂温度、連続生産性の確認

【簡易形状】及び、【実車想定形状】共に120℃未満の低温で成形及び連続成形が可能であった。

まとめ

第2章での研究結果を盛り込んだ設備にて、第4章での研究結果を盛り込んだ金型【簡易形状】、【実車想定形状】においても、低温成形（ $t < 120^{\circ}\text{C}$ ）、連続生産（金型離型性）が可能であることの検証が出来た。



第8章 全体総括

8-1 成果の総括

「大型・薄肉部品の射出成形課題への対応」については、大型・薄肉部品の射出成形性を向上する配合組成の開発により、従来設備を用いて、導入設備の仕様や条件などを検証した。それらの仕様や条件などを踏まえて、射出成形機および金型を新規導入して、「実機試験」を実施し、仮説検証した。

その結果、「低温（ $T < 120^{\circ}\text{C}$ ）での高強度発泡充填材の射出量増加（250cc）および薄肉成形（3mm）」という目標値を達成することを確認出来た。

さらに、「サンドイッチ構造の最適化に係る課題への対応」については、サンドイッチ構造の最適化を図ることにより、「従来構造の重量に対し、15%低減、従来構造の強度特性と同等以上」という目標値を達成することが出来た。

本研究開発における当初の課題は、すべて、解決することが出来た。

8-2 工業所有権の取得状況及び対外発表等の状況

なし

8-3 今後の事業化に向けた取組み

今後は、「特定ものづくり基盤技術の高度化を図るための特定研究開発等の計画」の残りの期間分については、「補完研究」を実施することにより、当初の予定に従って、自動車産業分野と鉄道産業分野（新市場開拓）の事業化（実用化）を行う所存である。

【事業化（実用化）体制】

○自動車産業分野

現在、本研究開発の川下アドバイザーである自動車メーカーと本開発品の車両適用技術開発を実施しており、本研究開発と平行し実用化検討が進んでいる。イイダ産業は、原材料の購入契約など量産準備を進め、平成24～25年立ち上がり予定の新型車両にて実用化を達成し製造販売を開始する予定である。

上記の自動車メーカーとは新たな開発車両へ本開発品の水平展開を図り、販売代理店の販売網

を活かし、他の自動車メーカーに対しても受注活動を行う。

また、自動車メーカー各社に本開発品を採用していただくため、本開発品の性能実証試験など実用化検討を共同で実施し、平成 25～27 年には、目標として、2～3 車型の採用を目指す。

平成 27 年以降は、自動車メーカー（1～2 社）との実用化検討が終了し、各新型車両に対し製品設計を実施すると共に、更なる販売拡大に向け各販売代理店と協力し受注活動を実施する。

さらに、継続して他自動車メーカーとの実用化検討を共同で実施し、目標として、5～10 車型の採用を目指す。

○鉄道産業分野（新市場開拓）

車両床材製造に対し、本開発品の適用提案を実施すべく車体構造への適用検討を実施する。その後、鉄道車両製造での実車両走行テストに繋げるため、難燃性基準など鉄道車両規格に則った適合性評価を実施し、平成 30 年以降に、目標として、新規市場への参入を目指す。