

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「車両用部材の多品種中小ロット生産に対応した
連続炭素繊維強化熱可塑性樹脂シートの開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成26年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人石川県産業創出支援機構

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) 研究開発の背景	1
(2) 研究開発の目的	3
(3) 研究開発の目標	4
1-2 研究体制	5
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	
(1) 研究組織及び管理体制	5
(2) 管理員及び研究員	7
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	8
1-3 成果概要	9
1-4 当該研究開発の連絡窓口	10
第2章 本論	11
1. 構造部材用スタンパブルシートの開発	11
1-1 炭素繊維織物の織組織の検討	11
1-2 炭素繊維織物の前処理の検討	11
1-3 押出ラミネート法による炭素繊維織物への熱可塑性樹脂含浸性向上	12
1-4 スタンパブルシートの成形条件についての検討	12
1-5 構造部材用スタンパブルシートとしての評価	13
2. 低圧プレス成形による成形技術の確立	15
2-1 スタンパブルシートを用いた低圧プレス成形技術の確立	15
2-2 車両部材としての評価	15
第3章 全体総括	17
3-1 研究開発成果	17
3-2 事業化展開	18

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

1997 年京都議定書に示されたように、CO₂ 排出削減目標を達成し、地球温暖化の抑制を図ることが国際的な緊急の課題となっている。特に、自動車を初めとする輸送分野においては、車両の軽量化は燃費向上の観点から CO₂ 排出削減に資するところが大きいと考えられている。そこで、表 1 の様に鉄より軽量かつ高強度であり、ライフサイクルアセスメントの観点からも鉄より優れている炭素繊維複合材料を車両部材へ適応する試みが近年注目されている。例えば、図 1 の様に NEDO (PL: 東大「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」) において自動車を鉄から熱可塑性 CFRP に置き換えた場合のエネルギー削減量を算出しており、その有効性が示されている。

表 1 材質の比較

材質	曲げ強度 (MPa)	比重
鉄 (鋳鉄を含む)	300~600	7.8
アルミ	200	2.7
炭素繊維複合材料	<u>目標: 500</u>	<u>1.4~1.6</u>

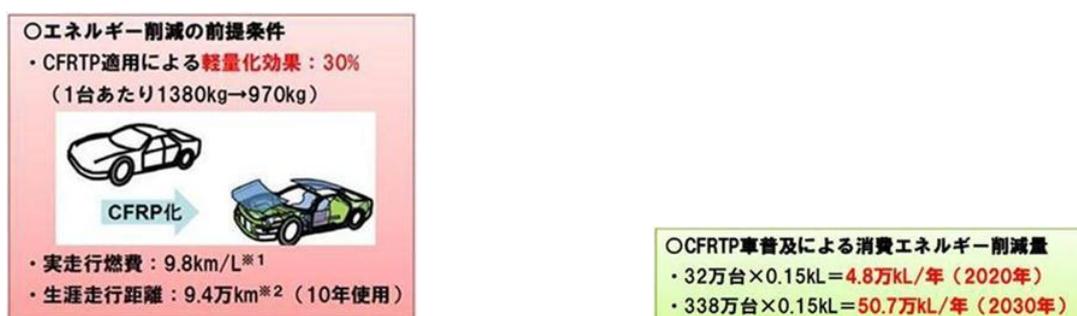


図 1 NEDO 「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」 公開資料

炭素繊維複合材料は樹脂を炭素繊維で強化した材料であり、樹脂に熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂を用いたものがある。宇宙・航空機分野では既に熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料が実用化されている。しかしながら、表 2 に示すように熱硬化性樹脂は成形時間が長く、大量生産には適さない。さらに、表 3 に示すように、樹脂としての値段が熱可塑性樹脂より高い上、副資材や保管にコストがかかる、リサイクル性が悪い等の理由から、輸送車両等の汎用製品に適応するには本質的に多くの課題を持っている。そこで、熱硬化

性樹脂に代わり、熱可塑性樹脂の炭素繊維複合材料を用い、量産化、低コスト化、易リサイクル化することで汎用的に炭素繊維複合材料を適用させていくことが次世代輸送車両に必要と考えられている。しかし、現状は鉄代替としての生産・加工技術、高強度化、低コスト化が確立されているとは言い難く、また、輸送車両に炭素繊維複合材料を適用するのは極一部に留まり、工業化されているとは言えない。

表2 熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂の成形の比較

樹脂	熱硬化性樹脂	熱可塑性樹脂
成形時間	50～60分	1～2分
成型方法	プリプレグを型に積層・賦形し加熱硬化	スタンパブルシートを加熱し金型でプレス成形

表3 熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂のコスト比較

樹脂	1kg 当たりのコスト (円)
熱硬化性樹脂 (エポキシ樹脂)	1200～1500
熱可塑性樹脂 (PA 樹脂)	600～800

この様な背景に対し、NEDO (PL:東大 「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」) では炭素繊維 (長繊維) とポリプロピレンを使用して自動車への炭素繊維複合材料の適用を目指しており、帝人では、熱可塑性樹脂の炭素繊維複合材料で 1 分以内の立体形状成形が可能と公表している。また、海外では Lanxess (Bond Laminates)、TENCATE 他、数社が熱可塑性樹脂の炭素繊維複合材料をフランスで開催された世界最大の炭素繊維複合材料展 JEC に出展している。

しかしながら、NEDO、帝人の研究開発は不連続炭素繊維を用いたものであり、海外数社にしても連続炭素繊維複合材料においてはこれらの技術確立がなされていない。原理的には連続繊維を使用した方が炭素繊維の高い強度を最大限に活かせるため高強度化を図れるとともに、美しい炭素繊維の織目を強調した部材の開発も可能である。従って、今後は連続炭素繊維スタンパブルシートの開発、事業化を目指すことがこれからの世界市場を抑えることに繋がると考えられる。

(2) 研究開発の目的

上述の研究開発の背景に対し、本研究では連続炭素繊維織物と熱可塑性樹脂の組み合わせによる炭素繊維複合材料を開発ターゲットとし、鉄代替材料として高強度、低コストの生産技術を確立すると共に、次世代輸送車両への適用を目指し、多品種生産への対応技術を検討し、事業展開を図ることを目的とする。

特に、現行のスタンパブルシートは高価であるため、本事業では低コスト化の為に以下のアプローチを行なう。

- ① スタンパブルシートの連続成形
- ② 安価な炭素繊維の利用
- ③ 多品種小ロット生産への対応

「スタンパブルシートの連続成形」とは、ロールプレス法によってスタンパブルシートを製造するといった連続成形技術である。「安価な炭素繊維の利用」とは、1kgあたりの価格の安い太い炭素繊維（ラージトウ）を用いることである。「多品種小ロット生産の対応」とは、多様な部品をプレス成形で製造する際、金型を作製するための納期・金型コストがかかることが課題であるため、切削加工の容易なアルミや亜鉛合金を用いて短納期・コスト低減を図ることである。また、アルミや亜鉛合金はリサイクルしやすい為、材料コストを抑えられるという利点がある。

次に輸送車両部材として熱可塑性炭素繊維複合材料の適用を考える際は、力学的性質の許容範囲、軽量化、コストのバランスをとることが必要となってくる。本研究では鉄代替を目的としており、表1に示すように、曲げ強度 500 MPa を力学的性質の目標と設定した。これにより、厚み設計を変更することなく鉄と同等の曲げ強度を保持でき、約 1/5 の軽量化が図れる。

一方、車両部品は多品種である為、短納期・低コストを図る場合は切削加工の容易なアルミや亜鉛合金を金型として用いることが考えられる。しかしながら、表4のように従来型に比べアルミや亜鉛合金は硬度や引張り強さが概ね 1/2 以下であり、磨耗や変形し易くこれまでの高圧プレスでは対応できない。したがって、従来のプレス圧の 1/2 以下である 5 MPa 以下の低圧プレス成形技術を確立し、アルミや亜鉛合金金型のプレス成形に適應させる。

表4 金型の特性

	従来型	アルミ型	亜鉛合金型
硬度(HB)	183	62	100
引張り強さ(MPa)	650	186	255

また、実際に車両部材への適用を考えた時、現状の世界における炭素繊維供給量では全ての自動車に連続炭素繊維スタンパブルシートを適用することができない。そこで、我々は①軽量化を図ることで効果が著しい重量車両であり、②現状の炭素繊維供給量に見合う、以上の理由から当面、中小量生産車両にターゲットを絞って連続炭素繊維スタンパブルシートを適用させることが現状では現実的かつ効果的と判断した。これらの事業成果及び知見をさらに発展させることで次世代型自動車へ適用させていく。

(3) 研究開発の目標

上記目標を達成するための研究開発項目（サブテーマ）と技術的目標値は、以下の通りである。

【1. 構造部材用スタンパブルシートの開発】

【1-1】構造部材用スタンパブルシートの作製

ロールプレス機により連続的にスタンパブルシートを作製する。このスタンパブルシートを用い、曲げ強度 500 MPa 以上、強度のばらつき±10%以内、ボイド率 5%以下の成形品を作製する。これにより、鉄と同程度の物性値を実現し、ラージトウの炭素繊維を用いることでコストを低減する。

【1-2】構造部材用スタンパブルシートの評価

曲げ、引張、圧縮等の強度試験、 V_f 、ボイド率測定等を実施し、曲げ強度 500 MPa 以上、強度のばらつき±10%以内、ボイド率 5%以下であることを確認する。

【2. 低圧プレス成形による成形技術の確立】

【2-1】スタンパブルシートを用いた低圧プレス成形技術の確立

炭素繊維織物の織組織と樹脂物性を検討し立体形状への追従性を向上させることにより、低圧プレス成形技術を確立する。これにより、車両部品に対してアルミや亜鉛合金金型等が用いられるプレス圧 5 MPa 以下を達成し、従来のプレス圧を 1/2 程度にする。

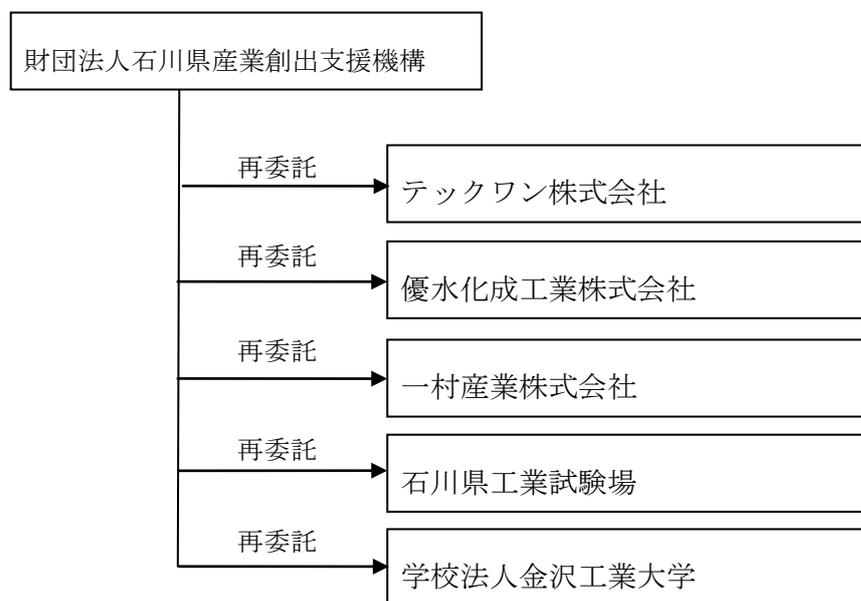
【2-2】次世代型車両部材としての評価

上述の技術を用いて車両部材を試作し川下ユーザーに提供することで、次世代型車両部材としての曲げ強度やボイド率などについて品質評価を行うとともに、それに基づいた改良を行う。

1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

（1）研究組織及び管理体制

1) 研究組織（全体）



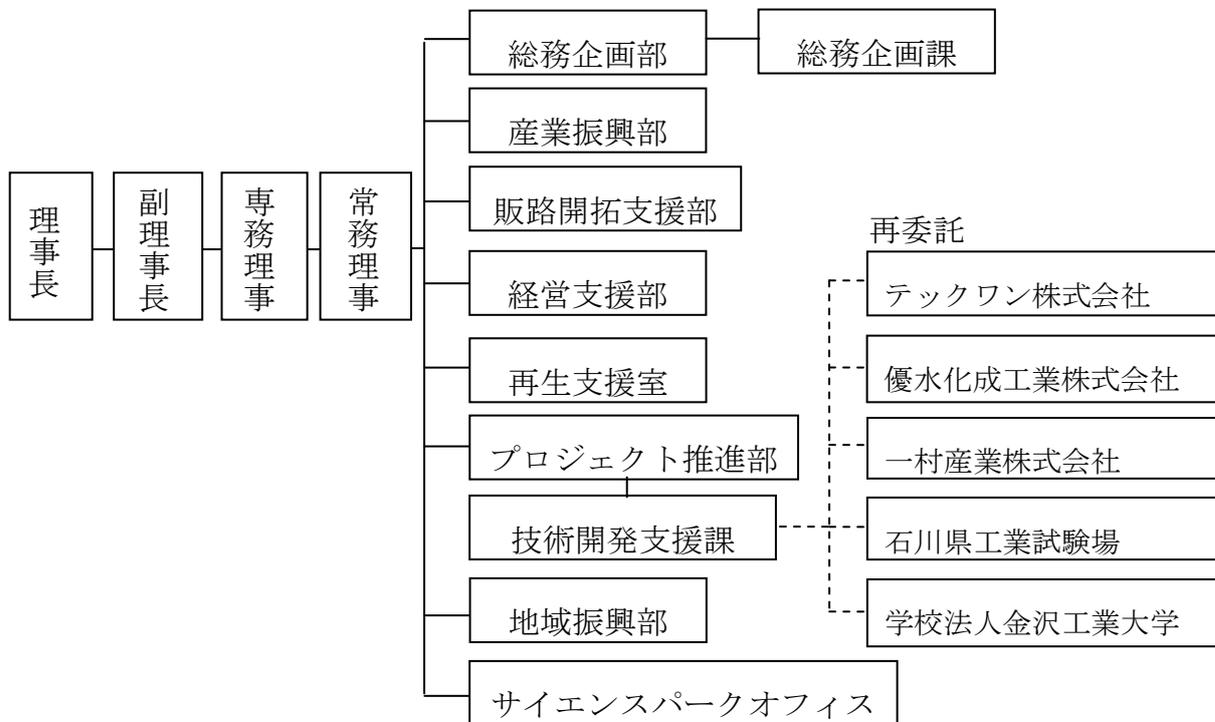
総括研究代表者（P L）	
所属	テックワン株式会社
役職	代表取締役社長
氏名	竹田 忠彦

副総括研究代表者（S L）	
所属	一村産業株式会社
役職	産業資材部門 理事
氏名	松村 峰彰

2) 管理体制

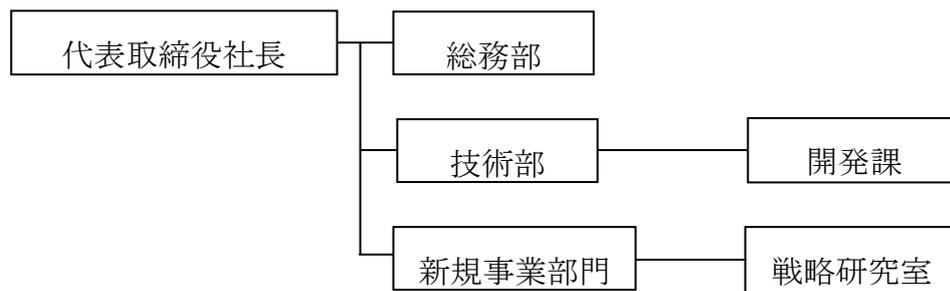
①事業管理機関

財団法人石川県産業創出支援機構

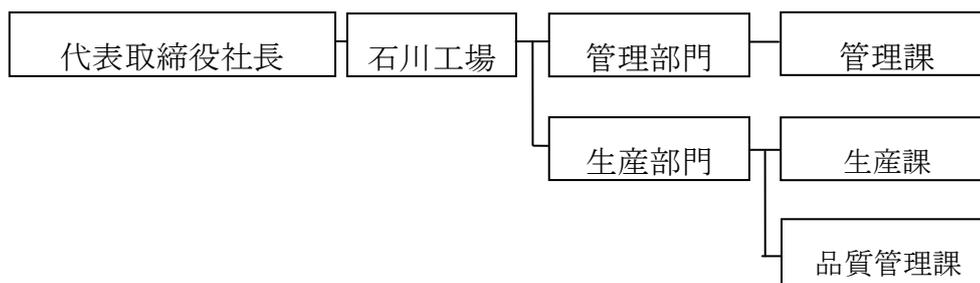


②再委託先

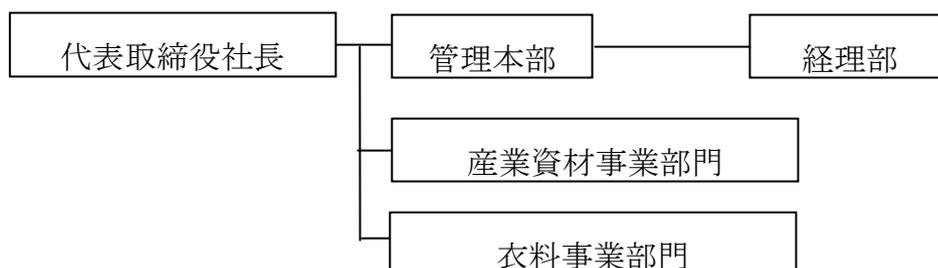
テックワン株式会社



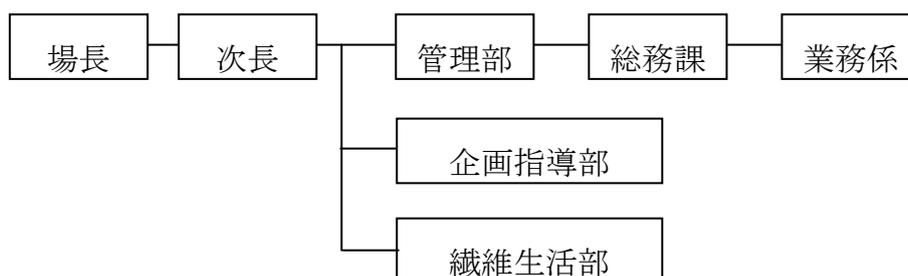
優水化成工業株式会社



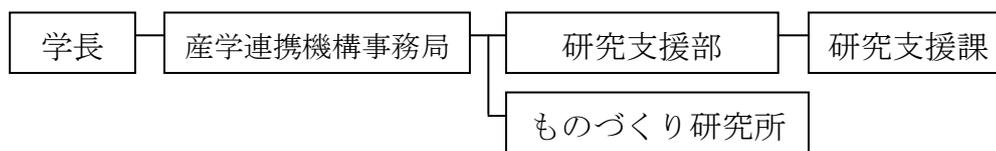
一村産業株式会社



石川県工業試験場



学校法人金沢工業大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 財団法人石川県産業創出支援機構

管理員

氏名	所属・役職	実施内容
井田 政晴	プロジェクト推進部長	④
中尾 一也	総務企画部総務企画課長	④
宮川 泰生	プロジェクト推進部技術開発支援課	④

【再委託先】

研究員

テックワン株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
竹田 忠彦	代表取締役社長	①、②、③
惣川 武勇	新規事業部門付技術顧問	①、②、③

浦田 明子	開発課	①、②、③
-------	-----	-------

優水化成工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
曾原 隆夫	工場長	①、②、③
柏崎 雅彦	工場次長 兼品質管理課長	①、②、③
山本 博	生産課 保全リーダー	②、③

一村産業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
松村 峰彰	産業資材事業部門 理事	①、②、③
蓬澤 博信	産業資材事業部門産業資材開発グループ 主席部員	①、②、③
坂野 猛	衣料事業部門衣料開発グループ 主任部員	①、②、③
三木 康弘	産業資材事業部門産業資材開発グループ 主任部員補	①、②、③

石川県工業試験場

氏名	所属・役職	実施内容
中野 幸一	企画指導部部長	①、②
多加 充彦	企画指導部主任研究員	①、②
木水 貢	企画指導部研究主幹	①、②
奥村 航	企画指導部研究員	①、②
長谷部 裕之	繊維生活部技師	①、②

学校法人金沢工業大学

氏名	所属・役職	実施内容
斉藤 博嗣	ものづくり研究所 講師	①、②
石田 応輔	ものづくり研究所 研究員	①、②

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

財団法人石川県産業創出支援機構

(経理担当者) 総務企画部総務企画課長 中尾 一也

(業務管理者) プロジェクト推進部長 井田 政晴

(再委託先)

テックワン株式会社

(経理担当者)	総務部長	竹内 明
(業務管理者)	新規事業部門付技術顧問	惣川 武勇

優水化成工業株式会社

(経理担当者)	工場長	曾原 隆夫
(業務管理者)	生産課長	定免 登

一村産業株式会社

(経理担当者)	経理部長	瀧川 耕司
(業務管理者)	産業資材事業部門 理事	松村 峰彰

石川県工業試験場

(経理担当者)	管理部業務係主任主事	廣田 健太
(業務管理者)	企画指導部部長	中野 幸一

学校法人金沢工業大学

(経理担当者)	産学連携機構事務局	
	研究支援部研究支援課長	南 宏之
(業務管理者)	ものづくり研究所講師	斉藤 博嗣

1-3 成果概要

平成 25 年度をもって本研究開発事業の 3 年間が終了するが、(3) **研究開発の目標**で掲げた目標値は全てクリアすると共に、多くの作業工程を改善して連続炭素繊維強化熱可塑性樹脂シート（スタンパブルシート）の連続生産に成功した。また、スタンパブルシートから車両部材の試作、および、車両部材としての評価を行なった。その結果、物性値等は現行の車両部材同等以上であることを確認したが、表面平滑性で課題があることが分かった。

事業化に向けては、出口に位置する成形及びユーザーとタイアップして、易成形性、表面品位、トリミング等の更なるレベルアップが必要である。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人石川県産業創出支援機構

役職・氏名 プロジェクト推進部長 井田 政晴

電話 076-267-6291 FAX076-268-1322

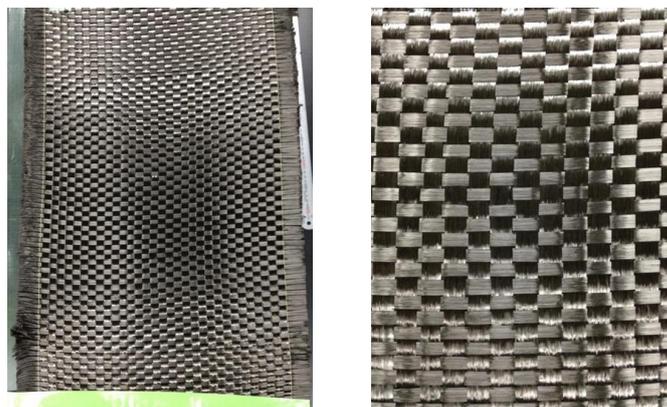
E-mail:m-ida@isico.or.jp

第2章 本論

【1. 構造部材用スタンパブルシートの開発】

【1-1】 炭素繊維織物の織組織の検討

1kg 当りの価格の安いラージトウでの製織を検討した。ラージトウで製織できることを確認した。図2にラージトウで製織した平試織品の表面写真を示す。



ラージトウ平試織品

拡大

図2 ラージトウ平試織品の表面写真

【1-2】 炭素繊維織物の前処理の検討

炭素繊維織物の前処理について検討した。図3に未処理、加熱によるサイジング剤除去、PA エマルジョン処理をした炭素繊維織物を基材として試作したスタンパブルシートの曲げ物性及びボイド率を示す。PA エマルジョン処理よりもサイジング剤除去したものは効果が大きく、曲げ強度が最大、ボイド率が最小となった。

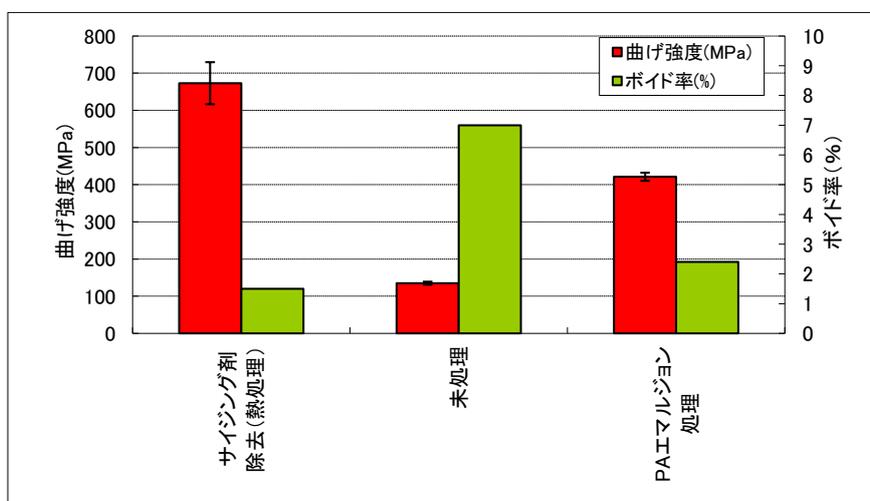
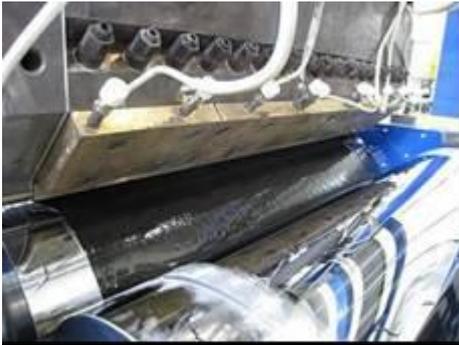


図3 スタンパブルシートの曲げ物性とボイド率

【1-3】 押出ラミネート法による炭素繊維織物への熱可塑性樹脂含浸性向上

炭素繊維織物に樹脂を含浸する方法の一つとして、押出ラミネートによる基材の試作を行った。図4に押出ラミネートによる試作状況を示す。この手法はフィルム成形で使用されるTダイの直下に炭素繊維織物を繰り出すことで、炭素繊維織物と熱可塑性樹脂フィルムを貼り合わせる手法である。試作条件を検討し、連続かつ安定的に試作する技術を確立した。



炭素繊維織物に樹脂をラミネートしている様子



厚み計測の様子

図4 フィルム成形押出機による押出ラミネートの様子

【1-4】 スタンパブルシートの成形条件についての検討

炭素繊維織物の前処理、および、押出ラミネートで試作した基材を用い、スタンパブルシートを連続的に成形する手法の確立を行なった。図5にスタンパブルシートが連続的に作製されている様子を示す。成形時の加熱条件、プレス条件等を最適化することで、スタンパブルシートを連続かつ安定的に作製する技術を確立した。

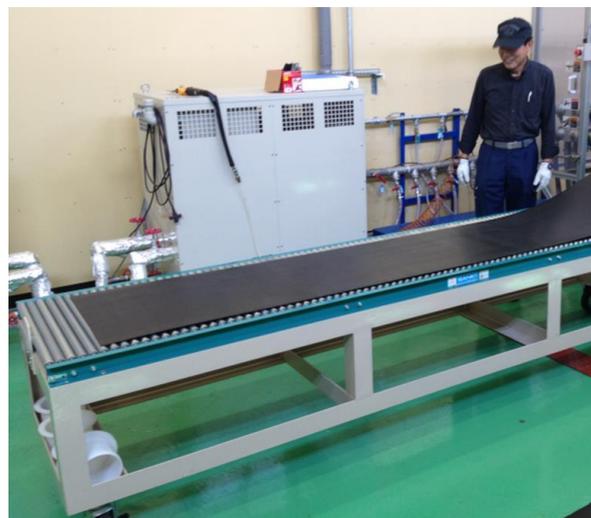
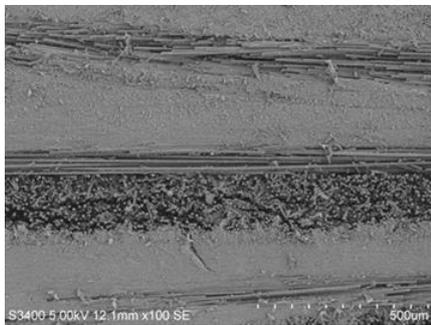


図5 スタンパブルシート作製の様子

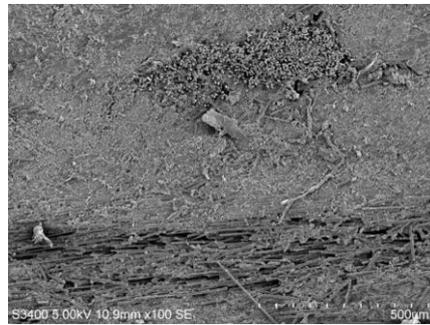
【1-5】 構造部材用スタンパブルシートとしての評価

作製したスタンパブルシート及びプレス成形品について、曲げ強度・弾性率、ポイド率、電子顕微鏡観察の評価をおこなった。

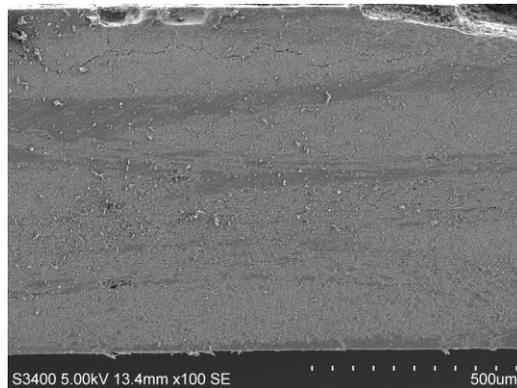
レギュラートウとラージトウの炭素繊維織物を基材としたスタンパブルシート、及び、2回成形した時のスタンパブルシートの断面 SEM 写真を図 6 に示す。レギュラートウ、ラージトウ共に 1回成形したのみのスタンパブルシートは炭素繊維束に樹脂があまり含浸していないのに対し、2回成形したスタンパブルシートは炭素繊維束に含浸していることが分かる。2回成形したスタンパブルシートは、当初の目標である曲げ強度 500MPa 以上、ポイド率 5% 以下を達成した。



レギュラートウ



ラージトウ



レギュラートウ 2回成形品

図 6 スタンパブルシートの断面 SEM 写真

また、1回成形のスタンパブルシートを低圧（5MPa）でプレス成形し、その成形品の評価をおこなった。レギュラートウとラージトウの炭素繊維織物を基材としたスタンパブルシートを低圧プレスした成形品の断面 SEM 写真を図 7 に示す。図 6 と比較すると、低圧プレス成形品は炭素繊維束の内部まで樹脂が含浸しており、樹脂と炭素繊維が一体化し

ていることが分かる。図 8 に低圧プレス成形品の曲げ強度及び曲げ弾性率を示す。いずれも当初の目標曲げ強度 500MPa を超える結果となった。また、強度のばらつきも目標の 10%以下を達成した。表 7 に成形品の V_f 及びボイド率を示す。いずれの成形品においてボイド率は 5%以下であった。以上より、含浸性の低い 1 回ロールプレス成形で作製したスタンパブルシートでも、低圧プレスすることによって、当初の目標を達成できることを確認した。

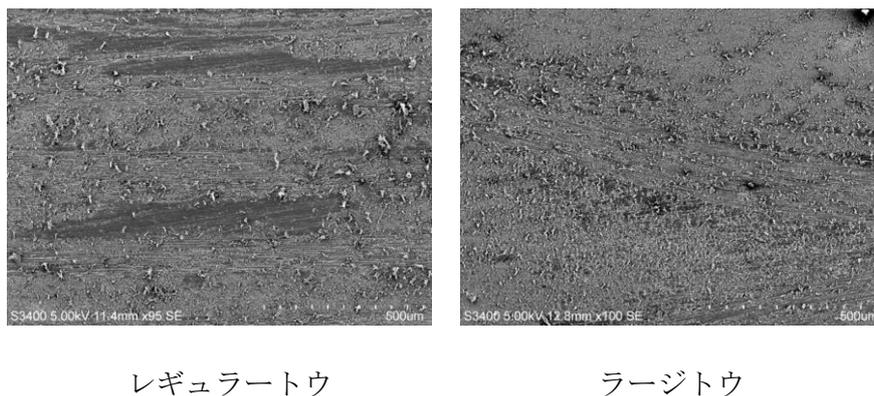


図 7 低圧プレス成形品の断面 SEM 写真

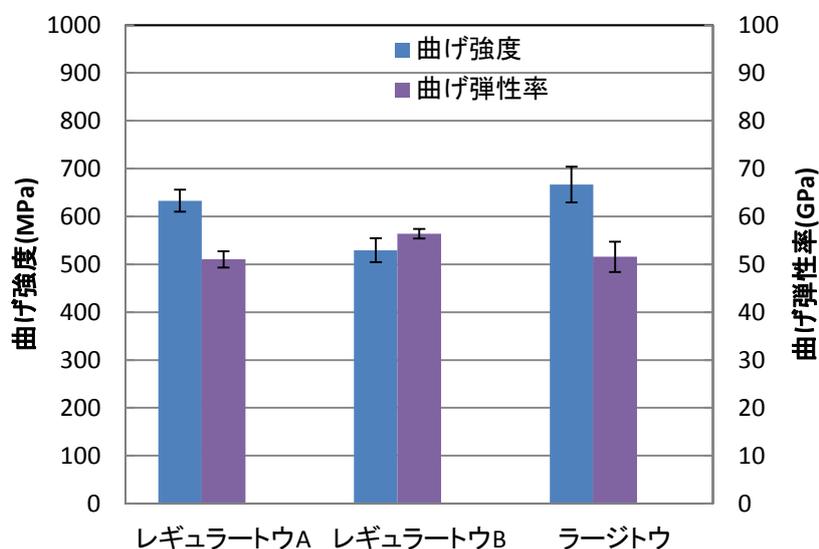


図 8 低圧プレス成形品の曲げ強度

表 7 低圧プレス成形品の V_f 及びボイド率

	V_f (%)	ボイド率(%)
レギュラートウA	50.2	0.9
レギュラートウB	56.4	0.5
ラージトウ	56.4	0.3

【2. 低圧プレス成形による成形技術の確立】

【2-1】 スタンパブルシートを用いた低圧プレス成形技術の確立

ロールプレスで成形したスタンパブルシートを用い、車両部品のプレス成形の検討を行った。

今回プレス成形を検討した車両部品の写真を図 9 に示す。試作した車両部品成形品の写真を図 10 に示す。プレス条件の最適化により炭素繊維織物の目ズレの少ない車両部品を試作できた。



図 9 車両部品の写真



図 10 スタンパブルシートから成形した車両部品成形品

【2-2】 車両部材としての評価

現行の車両部品と成形品との重量と曲げ強度を測定し、比較を行った。その結果、現行品の車両部品と比較して約 70%の軽量化が図れることを確認すると共に、曲げ強度は現行品と同等以上となることがわかった。

一方、外板部材の品質評価の為、高精度触針式表面粗さ計により表面平滑性を評価した。

図 11 に試作した車両部品の表面粗さ測定結果を示す。

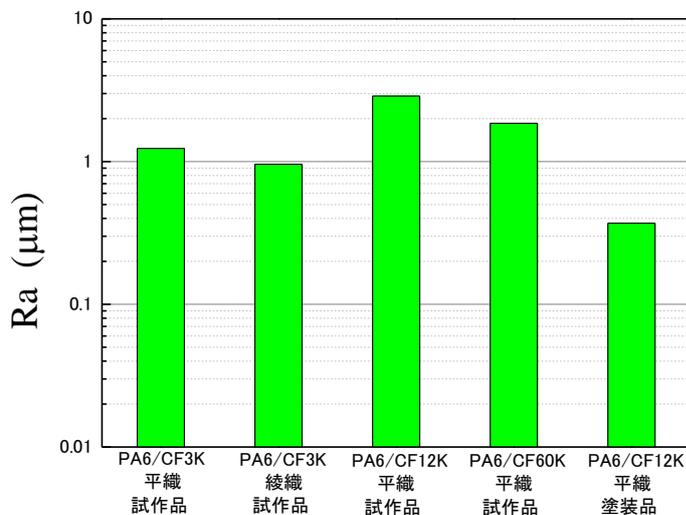


図 11 車両部品試作品の表面粗さ測定結果

この結果、試作品は炭素繊維の太さや織組織に関わらず、試作品の表面が現行品と比較して粗いということが分かった。また、塗装品では、 $Ra=0.38\mu\text{m}$ 程度であり、塗装により表面粗さが大きく改善されたが、目安となる $Ra=0.1\mu\text{m}$ 以下には到達せず、更なる表面品位のレベルアップが課題となった。

第3章 全体統括

3-1 研究開発成果

【1. 構造部材用スタンパブルシートの開発】

【1-1】 炭素繊維織物の織組織の検討

1kg 当りの価格の安いラージトウでの製織を検討した。レギュラートウで製織できることを確認した後、ラージトウに対応するようにサンプル織機を改良し、実際にラージトウで製織できることを確認した。

さらに、フィルムスタッキング式で積層板を作製した時の、レギュラートウ、ラージトウにすることによる炭素繊維束への樹脂の含浸性と物性への影響について評価した。その結果、曲げ強度、ボイド率ともに目標の物性値を達成することを確認した。

【1-2】 炭素繊維織物の前処理の検討

炭素繊維束への樹脂の含浸性を向上させるため、炭素繊維織物の PA 樹脂エマルジョン処理とサイジング剤除去の 2 種類の方法を検討した。その結果、サイジング剤除去の方が樹脂の含浸性及び曲げ強度の向上に大きな効果が確認できた。

【1-3】 押出ラミネート法による炭素繊維織物への熱可塑性樹脂含浸性向上

まず、フィルムスタッキング式で作製した成形板と押出ラミネートによるプリプレグから作製した成形板を比較して、押出ラミネート法が樹脂の含浸性と曲げ強度の向上に有効であることが分かった。

温度や樹脂圧等の加工条件の最適化を行い、押出ラミネートを安定して行えるようになった。

【1-4】 スタンパブルシートの成形条件についての検討

サイジング剤処理および押出ラミネートした基材についてロールプレス成形を行い、連続的にスタンパブルシートを製造する手法について検討した。ロールプレス成形条件の検討を行なうことで、表面の外観が良好なスタンパブルシートの連続成形が可能であることを確認した。

【1-5】 構造部材用スタンパブルシートとしての評価

スタンパブルシート、及びスタンパブルシートからの低圧プレス成形品について、曲げ試験、 V_f 、ボイド率、SEM により評価を行った。

その結果、スタンパブルシート自体はボイド率が高く曲げ強度が低いものの、スタンパブルシートからの低圧プレスした成形品については、曲げ強度、曲げ強度のばらつき、

ボイド率の目標値を達成した。

【2. 低圧プレス成形による成形技術の確立】

【2-1】 スタンパブルシートを用いた低圧プレス成形技術の確立

車両部品用の金型を導入し、低圧プレス成形の検討を行った。プレス条件を最適化することにより、繊維の目ズレ、樹脂焼け、発泡による白化等の少ない表面の外観が良好である車両部品の低圧プレスが可能となった。

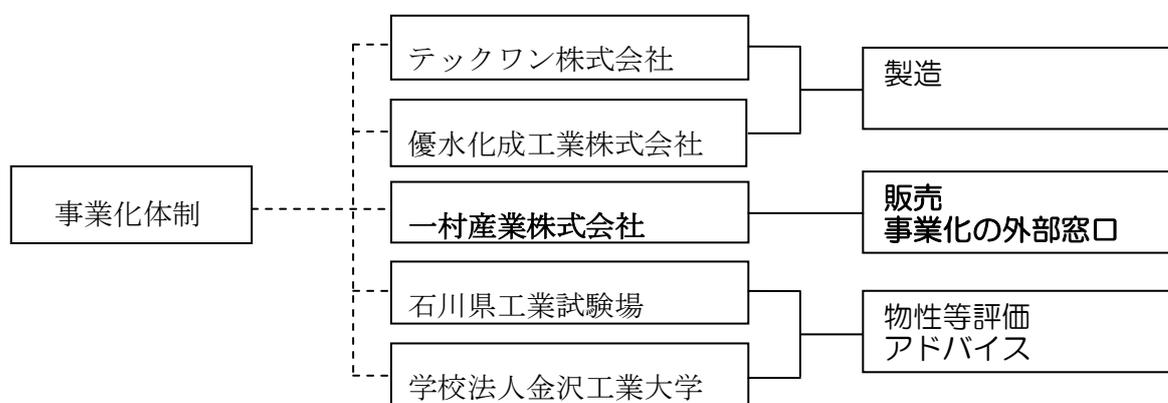
【2-2】 車両部品としての評価

現行の車両部品と成形品との重量と曲げ強度を測定し、比較を行った。その結果、現行品の車両部材と比較して約 70%の軽量化が図れることを確認すると共に、曲げ強度は現行品と同等以上となることがわかった。

外板部材の主要品質である表面平滑性の評価として表面粗さの測定を行った。その結果、曲表面粗さでは現行品がより粗い結果となった。さらに塗装まで行くと大きく改善されたが、さらなる改善が必要であることが分かった。

3-2 事業化展開

【1 事業化体制図】



【2 CF-SS (Carbon Fiber Stampable Seat) の供試について】

本事業の成果として、車両部材を熱可塑性CFRP化するだけでなく、中間基材のスタンパブルシート (CF-SS と略す) も販売戦略の中に組み込むことができるようになった。本事業の成果である加熱積層型ロールプレス成形で連続的に製造したCF-SSを車両用途、産業機械用途等に5企業へ供試を開始した。

また、これに先行して、サブリーダーである一村産業は、従来方法であるフィルムスタッキング法により作製した CF-SS のサンプル供試を行っている。従来方法のフィルムスタッキング法より、本事業で行った加熱積層型ロールプレス成形法で作製した CF-SS の方がコスト的に安くすることができる為、今後は、これらの企業・機関にも本事業で連続的に製造した CF-SS を供試していく予定である。すでに 4 企業・1 機関には、本事業で連続的に製造した CF-SS を供試しており、従来方法であるフィルムスタッキング法の CF-SS との比較検討を行なってもらっている。

また、車両、産機など 16 企業・機関へサンプルを供試している。

この様に、サンプルを供試することで、販路開拓に向けた取り組みを行っている。また、供試している CF-SS の用途も多岐にわたっていることから、本事業の成果である安価な CF-SS を上市することは、我が国における熱可塑性 CFRP の開発に資するものと考えている。また、この供試の中でも特筆すべき事項を下記に列記する。

【2-1 サポイン連携】

車輛部品関係 2 社はサポイン事業を実施しており、本事業の成果をこれらのサポインへ波及・フィードバックすることで、お互いにさらなる技術向上が望める。

【2-2 日本プラスチック工業連盟での標準化】

JIS、ISO の規格制定の為に CF-SS の供試を依頼された。デファクトスタンダードにつながる大事な評価。

【3 コストについて】

コストについて、各工程での省略が必要ではあるが、1. ラージトウによるコストダウンと 2. 連続成形法による CF-SS のコストダウンが大きく寄与する。現状ではどちらも課題を多く抱えているが、今後の研究・開発で解決可能な課題と考える。