平成23年度　戦略的基盤技術高度化支援事業

「耐衝撃性の高い軽量繊維強化コンポジットの製造技術の開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成24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

１－２　研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

１－３　当該ﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ連絡窓口

第2章　サブテーマ①　ポリアリレート液晶繊維の表面改質 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8

第3章　サブテーマ②　メガブレードによる複合材の改善 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11

第4章　サブテーマ③　エポキシビニルエステルの高速硬化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14

第5章　サブテーマ④　超軽量三次元サンドイッチコアの開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17

第6章　サブテーマ⑤　PTIRコミングル技術の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21

第7章　サブテーマ⑥　サンドイッチ構造複合部品の高速成形 ・・・・・・・・・・・・・・・・・23

第8章　サブテーマ⑦　事業化戦略 ・・・・・・・・・・・・・・・・・25

第9章　総論（3年間） ・・・・・・・・・・・・・・・・・27

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・研究の目的

有限資源である化石燃料の使用抑制と、地球温暖化の原因とされる排気ガスの排出抑制を実現するには、車両の軽量化が不可欠である。また、燃料電池自動車や充電型の電気自動車でも、走行距離を延ばすために車両の軽量化が不可欠である。部材の比重が小さくても剛性も低いと、より多くの量の部材が必要になり軽量化に限界がある。また、耐衝撃性の低い部材では安全性に問題がある。さらに自動車は、過酷な環境下で長期使用されるので、長期耐久性が必要である。そこで、航空宇宙産業で実用化されている炭素繊維強化複合材料が車両の軽量化用として注目され、欧州を始めとした高級車に一部採用されている。複合材料を用いると、重量は約6割軽減され、燃費が約4割強改善できるとされているが、軽量で高剛性の航空機構造用複合材料は高価で、衝撃により容易に破損し、飛び石や落石では容易に貫通する恐れがある。このために高い剛性を維持しつつ、衝撃エネルギーを吸収し、飛来物の貫通を抑制し破断部分がむき出しとならない、高い安全性を有する低価格で軽量の部材の開発が求められている。

（2）研究開発の目標

織り染め技術の高度化により、構造部材等に用いられる複合材用繊維、耐衝撃繊維、耐熱繊維等の高強度・高弾性率化、耐熱加工技術等の開発を行う。具体的には、ポリアリレート液晶繊維の織り染め加工技術による表面改質により高強度化を実施し、構造用に用いられる繊維強化複合材の耐衝撃性向上と安全生向上に寄与させる。高強度化に伴い、これまでに研究開発されているアラミド繊維複合材と比べて、同一衝撃エネルギー吸収に必要な高張力繊維の目付量を30%低減し、部材コストを30%低減する事を目標とする。

プラスチック成形加工技術の高度化では、VARTM と赤外線迅速加熱の組み合わせ技術を開発し、高価な炭素繊維複合部品・軽量コアのインサート成形品の表層部分の薄肉化に伴う軽量化と低価格化、最表層の薄膜ポリアリレート液晶繊維複合材層によるプラスチック部品の衝撃吸収構造の向上に関する同時複合形成技術での衝突安全に付与し、高価な炭素繊維の目付量を通常のプリプレグ法と比べ 50%目付低減し、オートクレーブ法や通常の RTM 法と比べ成形に伴う樹脂の硬化時間を 99%短縮し、プリプレグ法で作られた通常の複合材と比べ衝撃吸収力を 3 倍以上向上する事を目標とする。

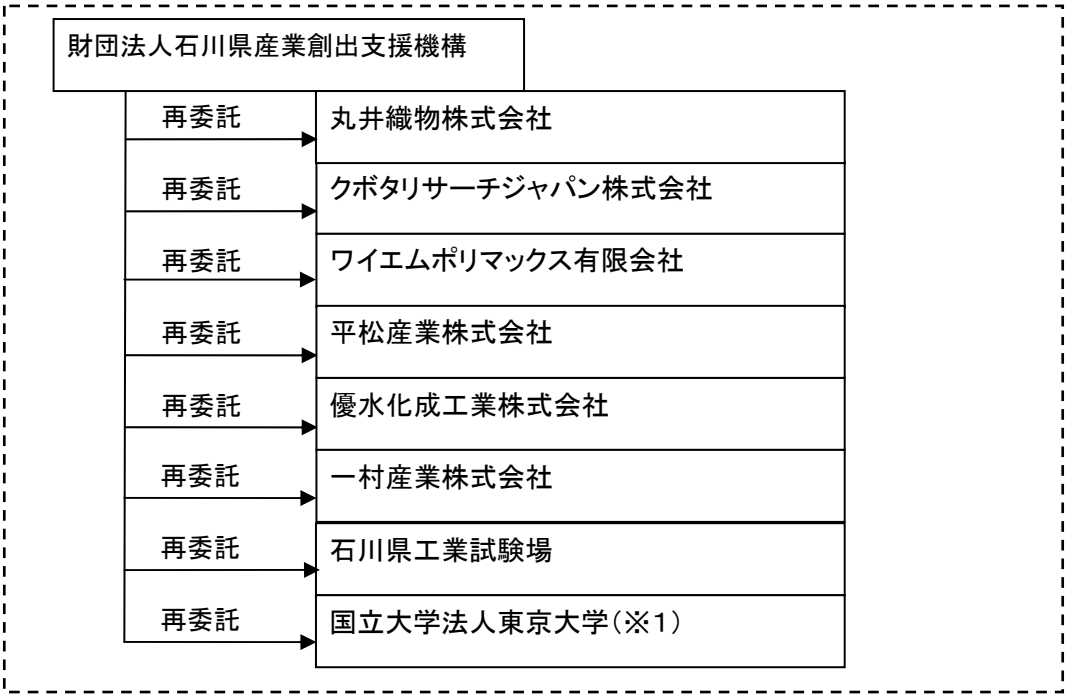
さらに、強化繊維に用いられている生布による三次元形状、特に自動車における鋭角で複雑な形状に対する追従性（賦形性）の改善無くして上記の達成が難しい事から、耐衝撃繊維等の高強度化加工技術の一環として組紐技術を高度化し、プラスチック部品の衝撃吸収構造を内部から向上させ、かつ深絞系上部における賦形に伴う加工時間を 80%以上短縮する事を目指す。

１－２　研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

A）研究組織・管理体制

（1）研究組織及び管理体制

1）研究組織（全体）

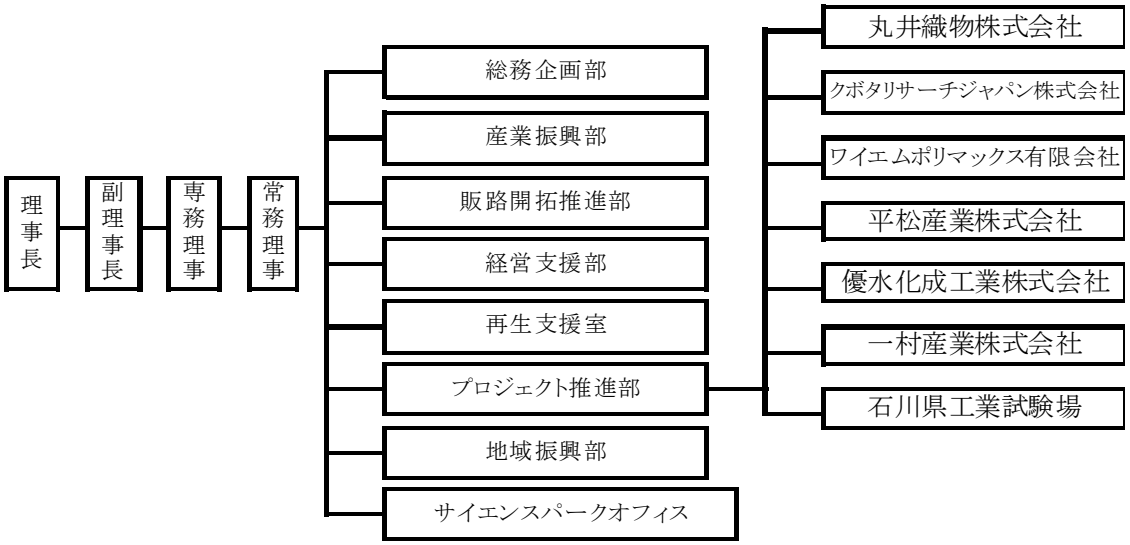


※1　東京大学は平成21、22年度にかけて基礎研究において再委託しており、平成23年度は基礎研究終了のためアドバイザーとして当研究に参加した。

総括研究代表者	副総括研究代表者
所属　丸井織物株式会社 役職　代表取締役社長 氏名　宮本　徹	所属　クボタリサーチジャパン株式会社 役職　代表取締役社長 氏名　加藤　駿

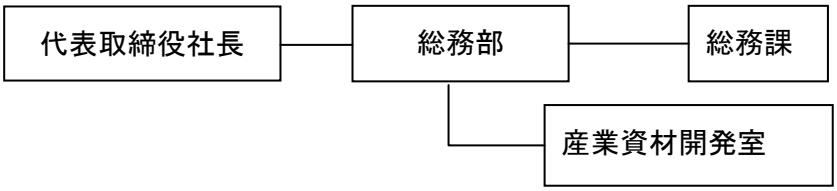
2）管理体制

①事業管理者　財団法人石川県産業創出支援機構

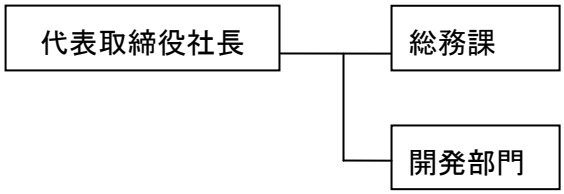


②（再委託先）

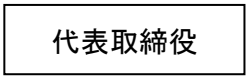
丸井織物株式会社



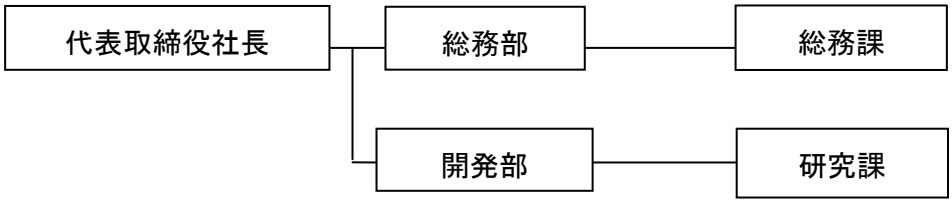
クボタリサーチジャパン株式会社



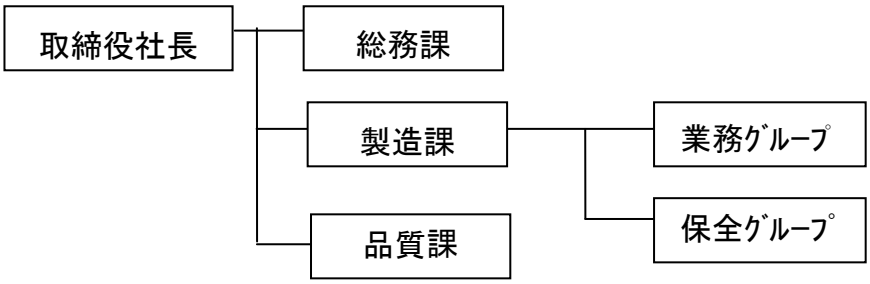
ワイエムポリマックス有限会社



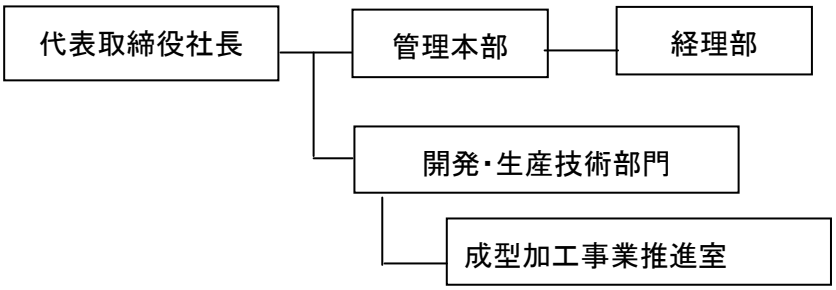
平松産業株式会社



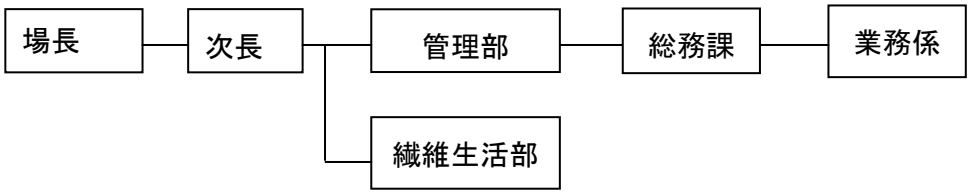
優水化成工業株式会社



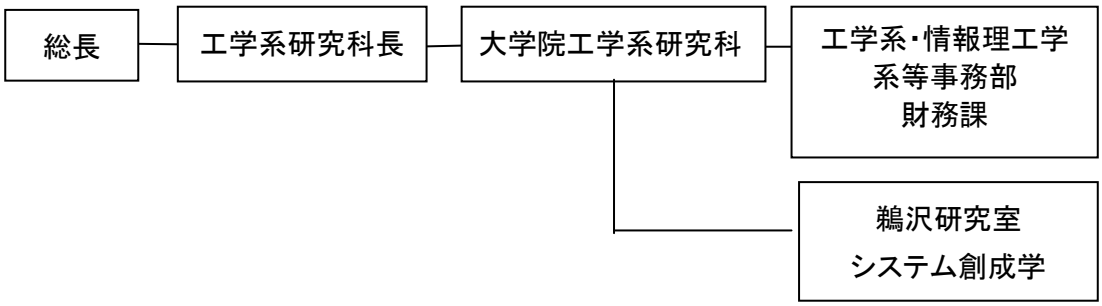
一村産業株式会社



石川県工業試験場



国立大学法人東京大学（※1）



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人石川県産業創出支援機構

管理員

氏　名	所属・役職
西 村　聡	プロジェクト推進部長
中村　陽一	プロジェクト推進部技術開発支援課主査
中尾　一也	総務企画部総務企画課長

【再委託先】

研究員

丸井織物株式会社

氏　名	所属・役職
宮本　　徹	代表取締役社長
永井　章裕	産業資材開発室室長
金山　拓夫	産業資材開発室

クボタリサーチジャパン株式会社

氏　名	所属・役職
加藤　駿	代表取締役社長

ワイエムポリマックス有限会社

氏　名	所属・役職
田中　能成	代表取締役

平松産業株式会社

氏　名	所属・役職
竹田　忠彦	代表取締役社長
惣川　武勇	開発部　技術顧問
北野　高広	研究課長
石田　応輔	研究課

優水化成工業株式会社

氏　名	所属・役職
曽原　隆夫	工場長
柏崎　雅彦	品質課長
山本　博	製造課保全担当

一村産業株式会社

氏　名	所属・役職
松村　峰彰	開発・生産技術部門　副部門長

石川県工業試験場

氏　名	所属・役職
笠森　正人	繊維生活部長
吉村　治	繊維生活部主任研究員
沢野井康成	繊維生活部主任研究員
守田　啓輔	繊維生活部専門研究員
神谷　淳	繊維生活部専門研究員
奥村　航	繊維生活部主任技師

国立大学法人東京大学（※1）

氏　名	所属・役職
鵜沢　潔	大学院　工学系研究科　システム創成学専攻 特任准教授

（3）　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　西村　聡

（再委託先）

丸井織物株式会社

（経理担当者）　総務部長　宮本　好雄

（業務管理者）　産業資材開発室長　永井　章裕

クボタリサーチジャパン株式会社

（経理担当者）	総務課	加藤　美喜子
（業務管理者）	代表取締役社長	加藤　駿

ワイエムポリマックス有限会社

（経理担当者）	代表取締役	田中　能成
（業務管理者）	代表取締役	田中　能成

平松産業株式会社

（経理担当者）	総務部副部長	竹内　明
（業務管理者）	技術顧問	惣川　武勇

優水化成工業株式会社

（経理担当者）	総務課長	笹島　外茂昭
（業務管理者）	製造課長	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）	開発・生産技術部門長	平塚　元紀

石川県工業試験場

（経理担当者）	管理部総務課業務係長	梶　清孝
（業務管理者）	繊維生活部長	笠森　正人

国立大学法人 東京大学（※1）

（経理担当者）	工学系情報理工学系等事務部財務ｸﾞﾙｰﾌﾟ長	羽賀　敬
（業務管理者）	東京大学大学院工学系研究科長	保立　和夫

１－３　当該プロジェクト連絡窓口

財団法人石川県産業創出支援機構プロジェクト推進部

石川県金沢市鞍月 2 丁目 20 番地

第2章　サブテーマ①　ポリアリレート液晶繊維の表面改質

目標

ポリアリレート液晶繊維に対し、織り染め技術を用いて表面処理を行い、複合化された後のポリアリレート液晶繊維の耐剪断性を 2 倍化することを目指す研究を行う。

開発概要（結果）

1. ポリアリレート液晶繊維の精練

目的：サイジング剤の接着性向上を図るため、ポリアリレート液晶繊維の仕上げ油剤を精練技術で脱脂する。

方法：①浴中処理　80℃×20 分　（アルカリ、非イオン活性剤）

②熱処理　所定温度×3 分

結果：

表 2-1-1 ポリアリレート液晶繊維の精練及び熱処理結果

		油剤付着量%（残油率）
生機		1.479 (100%)
精練	ソーダ灰＋非イオン活性剤	0.085 (5.77%)
	ｿｰﾀﾞ灰＋非ｲｵﾝ活性剤＋溶剤乳化型活性剤	0.100 (6.73%)
	NaOH＋非イオン活性剤	0.040 (2.72%)
熱処理	350℃	0.094 (6.38%)

表 2-1-1 に示すように、アルカリ浴中処理で油剤除去率 97%を達成した。

2. サイジング塗工

目的：脱脂したポリアリレート液晶繊維にサイジング塗工処理を行い、耐剪断性の向上を図る。

方法：サイジング樹脂塗工　Dip-Nip-Dry-Cure

ポリアリレート液晶繊維の各処理品について VARTM 成形により積層平板（3 層）を作成。

作成した平板を用いてデュポン式衝撃試験を行い、耐剪断性を評価した。

結果：

①精練及び乾燥時の張力による耐剪断性への影響

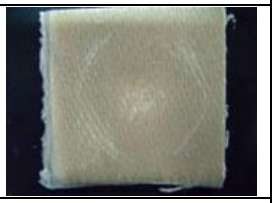
実機精練	張力ﾌﾘｰ精練
	
耐剪断性×	耐剪断性〇

図 2-1-1 張力あり/なしでの精練品のデュポン式衝撃試験結果

図 2-1-1 に加工中に張力のかかる実機精練品と張力フリーで加工したラボ精練品のデュポン式衝撃試験結果を示す。衝撃痕の面積が広いほど層間剥離が大きく、耐剪断性が低くなっている。

張力のかかる実機精練では織物密度が低下するとともに耐剪断性が低かった。張力により糸が緊張し緩みがなくなることで衝撃を緩和できず耐剪断性が低下したと考えられる。つまり、織物の糸の緩み具合が最も耐剪断性へ影響を与えている。

②サイジング樹脂塗工による耐剪断性の向上

サイジング塗工時の残留不純物除去のための熱処理条件について TGA 分析の結果、アイオノマーで 200℃、PVB で 150℃（加熱時間 3～5 分）という条件を得た。これに基づき熱処理を行った。

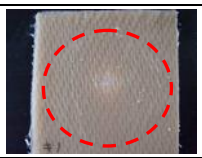
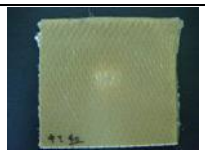
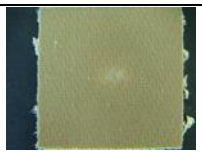
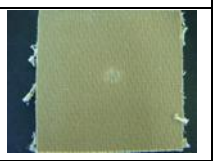
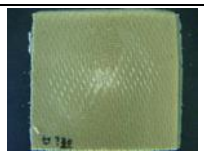
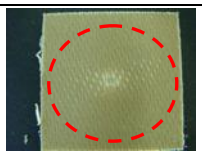
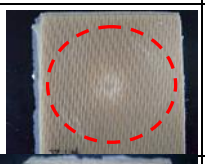
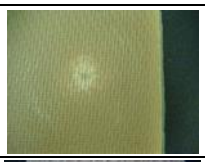
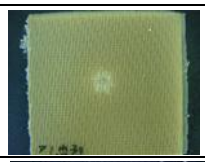
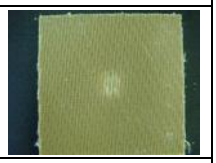
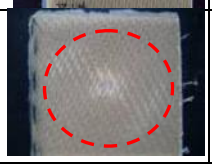
	H=50cm (4.90J)	H=40cm (3.92J)	H=30cm (2.94J)	H=20cm (1.96J)
生機				
精練品				
ｱｲｵﾉﾏｰ 1%塗工後高温処理品				
PVB1%塗工後高温処理品				

図 2-1-2 落錘高さ（衝撃エネルギー）を変更したときのデュポン式衝撃試験結果

図 2-1-2 に示すように、衝撃痕が点状となるときの最大の衝撃エネルギー（赤丸）を比較すると、アイオノマー及び PVB1%塗工後高温処理品それぞれの耐剪断性は精練品に対して 2.5 倍となっている。しかし、上記の樹脂塗工品は風合が硬く賦形性に課題がある。

③サイジング油剤塗工による耐剪断性の向上

精練品	ｴｰﾃﾙ油 0.5%塗工品
耐剪断性 ×	耐剪断性〇

図 2-1-3 油剤塗工品のデュポン式衝撃試験結果

図 2-1-3 に示すように、エーテル系油剤 0.5%塗工によって賦形性を損なうことなく耐剪断性を向上できた。

④コミングル品へのサイジング塗工

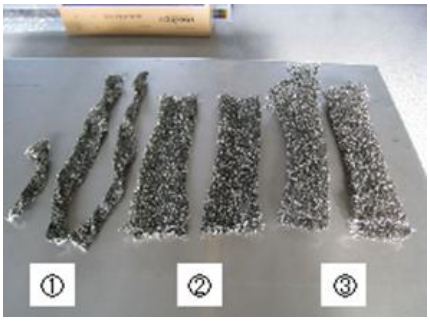


図 2-1-4 ①精練 ②セット ③アイオノマー樹脂塗工

図 2-1-4 に示すように、ナイロン/ポリアリレート液晶繊維の 2 軸コミングル糸ブレードに対し、繊維重量比 3%未満でサイジング塗工できることを確認した。

3. ポリアリレート液晶繊維織布への熱可塑性フィルムのラミネート加工

目的:熱可塑性フィルムのラミネート加工により、相溶性のない熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂とを接着する。

方法:ホットプレスでアイオノマーフィルムをラミネート加工後、高温処理で空孔化した。
表層の 1 層のみラミネート加工品として VARTM 成形により積層平板(3 層)を作成。
作成した平板を用いてデュポン式衝撃試験を行い、耐剪断性を評価した。

結果:

フィルム膜厚 20μm をラミネート後、230℃以上で高温処理する条件での加工により良好な賦形性を得た。

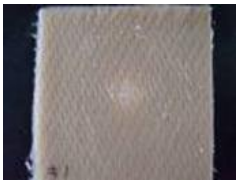
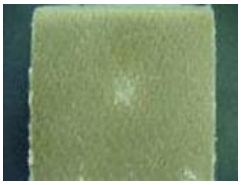
	生機	精練品	ｱｲｵﾉﾏｰ 0.1%塗工後 高温処理
フィルムラミネート なし			
フィルムラミネート あり			

図 2-1-5 熱可塑性フィルムラミネート品のデュポン式衝撃試験結果

図 2-1-5 に示すように、デュポン式衝撃試験の結果からはフィルムラミネートによる耐剪断性への目立った効果は見られなかった。

4. まとめ

アイオノマー及び PVB1%塗工後の高温処理により精練品に対して 2.5 倍の耐剪断性を得たが、賦形性に難があった。糸に緩みを持たせた精練品で、糸が緊張状態で加工された精練品より耐剪断性が 2.5 倍となった。また、エーテル系油剤の 0.1～0.5%程度の低量塗工で賦形性を損ねることなく耐剪断性を向上できた。

第3章　サブテーマ②　メガブレードによる複合材の改善

目標

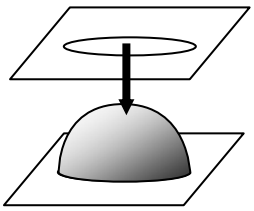
ブレード（組紐技術）の活用で、平織り比で 200%以上の深絞り率を目指し、賦形に伴う加工時間を 80%以上短縮する研究を行う。

開発概要（結果）

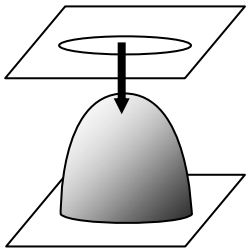
1．深絞り率 200%の研究

1-（1）深絞りの定義

半球：直径 8cm
深絞り率：100%



楕円半球：垂直径 8/水平径 4=2
深絞り率：200%



1-（2）海外ブレードの分析、評価

海外で賦形性が良いと評価されているメガブレードを購入調査し、設計分析を行った。合わせて賦形性の評価を行った。今回購入した海外品メガブレードでは満足出来る賦形性評価は得られなかった。

メガブレード概略仕様

		CB01	CB02	CB03	CB04	VB01
糸種		炭素繊維	炭素繊維	炭素繊維	炭素繊維	ポリアリレート液晶繊維
繊度	組糸	12K(7920T)	12K(7920T)	6K(3960T)	12K(7920T)	13200T
	中央糸	―	―	12K(7920T)	24K(15840T)	26400T
布帛種		丸打ブレード	丸打ブレード	丸打ブレード	丸打ブレード	丸打ブレード
軸数		2 軸	2 軸	3 軸	3 軸	3 軸
軸交差角		±30°	±30°	0°,±60°	0°,±60°	0°,±60°
目付		609g/m^2	569g/m^2	404g/m^2	535g/m^2	865g/m^2

メガブレード賦形性評価結果

	糸種	組織	賦形性評価			
			シワ	目開	突起	**適否**
CB01	炭素繊維	2 軸メガブレード	○	×	×	×
CB02	炭素繊維	2 軸メガブレード	○	○	×	△
CB03	炭素繊維	3 軸メガブレード	○	×	×	×
CB04	炭素繊維	3 軸メガブレード	○	○	×	△
VB01	ポリアリレート液晶繊維	3 軸メガブレード	○	×	×	×

1-(3)織物試作、評価

1-(2)の分析、賦形性評価結果を研究し、賦形性の良い布帛検討を行い、ポリアリレート液晶繊維ブレード、炭素繊維ブレード、ポリアリレート液晶繊維ツイル織物、炭素繊維ツイル織物のいずれにおいても深絞り率 200%が達成できた。

賦形性半球評価結果

糸種	組織	賦形性評価			
		シワ	目開	突起	**適否**
ポリアリレート液晶繊維	平織	×	○	○	△
ポリアリレート液晶繊維	ツイル	○	○	○	○
ポリアリレート液晶繊維	サテン	○	○	○	○
ポリアリレート液晶繊維	両面サテン	○	○	○	○
ポリアリレート液晶繊維	経緯 2 重織	○	○	○	○

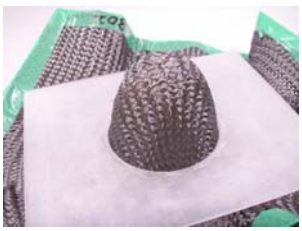
賦形性楕円評価結果

糸種	組織	賦形性評価			
		シワ	目開	突起	**適否**
ポリアリレート液晶繊維	経緯 2 重織	×	○	○	△
ポリアリレート液晶繊維	ツイル	△	○	○	△
ポリアリレート液晶繊維	サテン	○	○	○	○
ポリアリレート液晶繊維	両面サテン	△	○	○	△
ポリアリレート液晶繊維	2 軸ブレード	○	○	○	○

ポリアリレート液晶繊維
ブレード

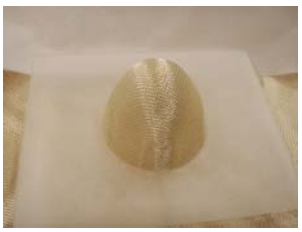
深絞り率 200%評価:○

炭素繊維
ブレード



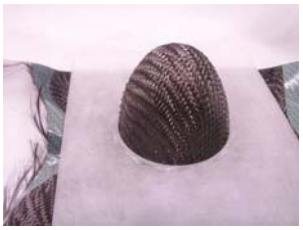
深絞り率 200%評価:○

ポリアリレート液晶繊維
織物



深絞り率 200%評価:○

炭素繊維
織物



深絞り率 200%評価:○

1-(4)結果

賦形性の良い布帛の条件

・繊度は、細い糸のほうが太い糸よりも賦形性が良い

・糸の形状は、丸い糸の方が扁平な糸よりも突起が立ち難く賦形性が良い

・組織は、ツイルやサテン等の方が平織より賦形性が良い

2. 賦形に伴う加工時間の短縮の研究

2-(1)加工時間短縮の積層の条件

ポリアリレート液晶繊維ブレードと炭素繊維ツイル織物を、下記の四層構造で半球形状にて賦形に伴う加工時間を評価した。

一層目:ポリアリレート液晶繊維ブレード

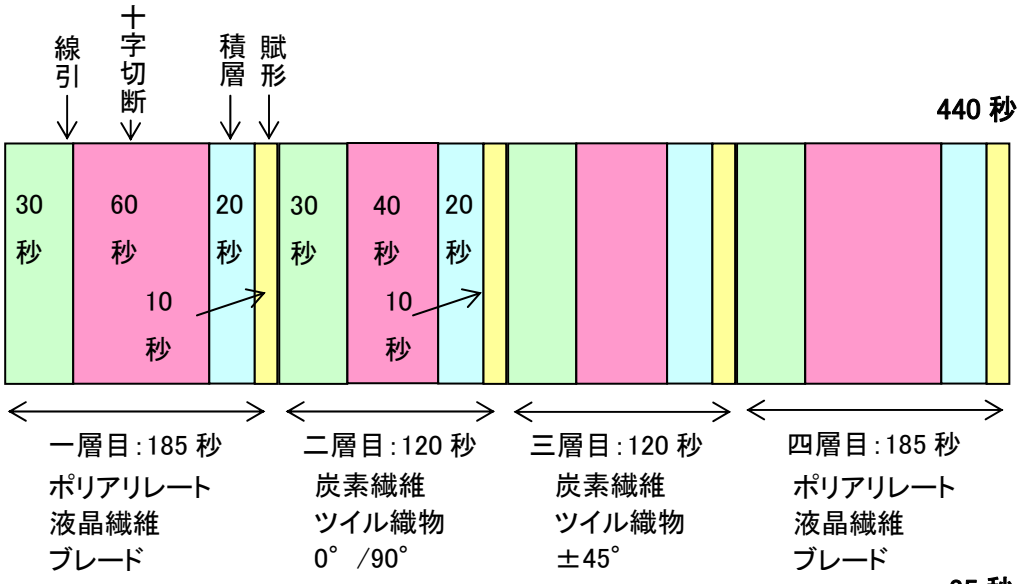
二層目:炭素繊維ツイル織物　0°/90°

三層目:炭素繊維ツイル織物　±45°

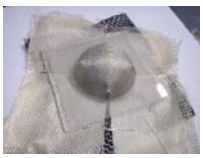
四層目:ポリアリレート液晶繊維ブレード

2-(2)積層方法

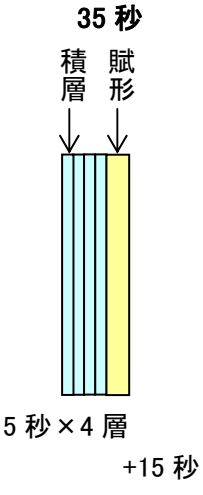
2-(2)-①従来の方法



十字切断



積層賦形



2-(2)-②本件の方法

一層目:ポリアリレート液晶繊維ブレード

二層目:炭素繊維ツイル織物　0°/90°

三層目:炭素繊維ツイル織物　±45°

四層目:ポリアリレート液晶繊維ブレード

の四層を重ね、まとめて賦形させる方法を行っている。

2-(3)結果

今回の方法にて従来方法に対し 90%以上の賦形に伴う加工時間の短縮ができ、目標が達成できた。これらの結果より、製品に合わせて最適な積層構成を得る指針が得られた。

第4章　サブテーマ③　エポキシビニルエステルの高速硬化

目標

赤外線放射加熱による高度化で、熱伝導加熱に対し 6 倍速以上の加熱速度と、エポキシの硬化時間 5 分未満を目指す研究を行う。

開発概要（結果）

1. マトリックス樹脂や硬化剤などの選定

マトリックス樹脂としてはエポキシ樹脂や不飽和ポリエステル樹脂が多く使われているが本研究は自動車用部品を念頭に置いているため、剛性とともに靭性をもち難燃性の付与も容易なエポキシビニルエステル樹脂を使用することとした。

高温での加熱を行うため、硬化速度のほかに発泡のしやすさや硬化剤の調合の難易度などを考慮し、硬化材等の選定を行った。

結果：2種類の樹脂と1種類の硬化剤を選定した。

2. 樹脂の硬化速度と硬化パターンの予測と近赤外線照射プログラムの作成

DSC（示差走査熱量測定機）による硬化予測と伝導加熱による硬化の温度と時間の実測データより硬化のパターンを予測し近赤外線による照射プログラムを作成した。

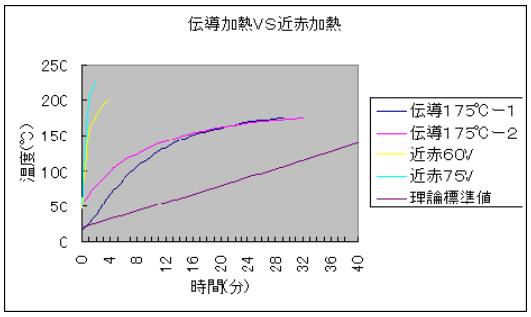


図 3-1　伝導加熱と近赤外線加熱の温度比較

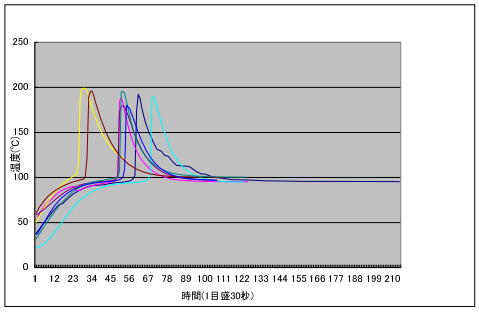


図 3-2　熱風炉での樹脂加熱のパターン

これらのデータ（図 3-1、図 3-2）をもとにして数通りの近赤外線照射プログラムを作成した。これと VARTM により作製した複合材の試料と、常温硬化により作製した試料との物性を比較した。

結果：電磁波の振動による近赤外線照射（図 3-3、4）は伝導加熱に比べて温度上昇の速度が 6 倍以上速いことが確認された。

図 3-3　近赤外線照射装置

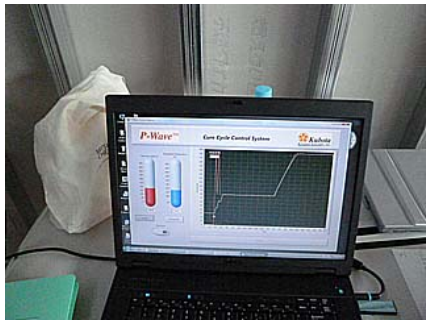


図 3-4　同コントローラー

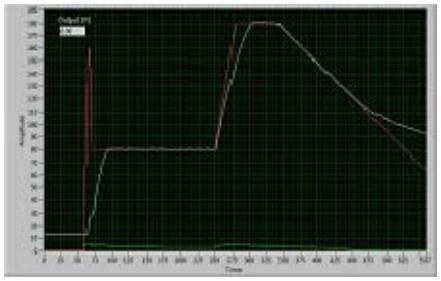


図 3-5　照射プログラムの一例

結果：DSC データから導き出される硬化予測時間と図 3-2 のような伝導熱による実測データから近赤外線照射装置の照射プログラムを数種類作成した。（図 3-5）

3. 最適の硬化プログラムでの複合材試料の作成

VARTM 製法で作製した複合材試料と、常温硬化で作製した試料との物性を比較した。

図 3-6　作製した複合材試料

結果：照射時間 4 分 40 秒と目標である 5 分未満を達成した。

4. サブテーマ④で作製された軽量コア材を最内層にポリアリレート液晶繊維を最外層に配置した炭素繊維複合材の一体成形の複合材を作製した。

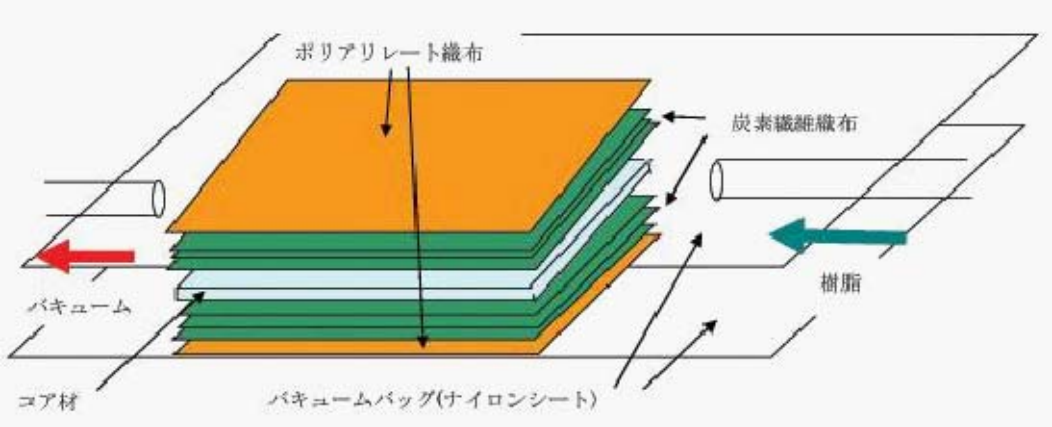


図 3-7　VARTM によるコア材一体型複合材の仕立て

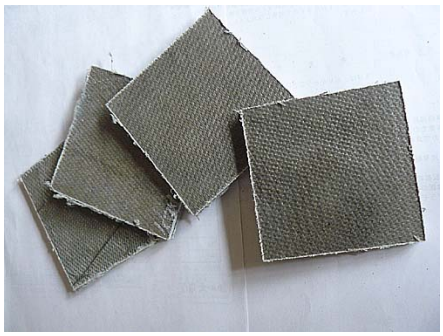


図 3－8 コア材と強化繊維を VARTM で成形

図 3－9 同一体成形の断面

結果：本手法によるコア材と強化繊維の一体成形は良好であった。

まとめ

加熱方法としては近赤外線の照射による高速高温硬化により、加熱時間 5 分以内を目標とするため、まず、通常の伝導加熱との昇温速度の差についてテストを行い伝導加熱に比して 30 倍以上の昇温速度を得、十分な加熱が行えることがわかった。

引張、圧縮強度については同一樹脂で常温硬化と近赤外線照射の間に優位差はないと思われる。近赤外線照射間の比較ではネオポール 8150 の方が引張、圧縮強度において高い値を示した。

サブテーマ④で作製された軽量コア材を最内層にポリアリレート液晶繊維を最外層に配置した炭素繊維複合材の一体成形の複合材を作製できた。近赤外線照射および VARTM によりコア材と強化繊維の一体成形を検証した。

第5章　サブテーマ④　超軽量三次元サンドイッチコアの開発

目標

構造用超軽量コア材の開発で、複合材の比重を30%以上、炭素繊維の使用量を50%以上低減する研究を行う。(コアの嵩比重の目標 0.3 未満)

開発概要(結果)

エポキシビニルエステル樹脂に中空ガラスビーズと感熱発泡剤を調合し、比重 0.2 以下の超軽量三次元コアの開発を目標に取り組んだ。

金型は 120 ㎜角で厚み 10 ㎜のSUS製簡易金型を製作し、これを用いて調合比率や加熱条件を変えながら試作を行った。その結果、図 5-4-1 から図 5-4-4 のような発泡不良や硬化不良･気泡発生･変形･収縮等が生じた。

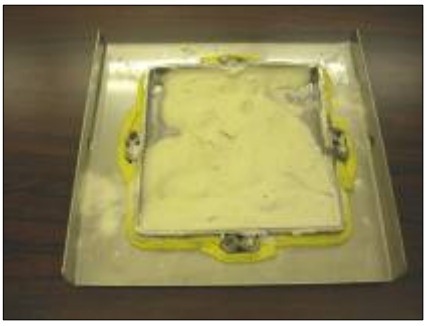


図 5-4-1　発泡不良

図 5-4-2　硬化不良

図 5-4-3　気泡発生

図 5-4-4　変形

研究課程において、樹脂を「エポキシアクリレート 8250H」から昭和高分子の「S510 改」、最終的には粘度や加熱条件に適した「ネオポール 8150」に変えた。感熱発泡剤も松本マイクロスフィエアの F-36D やエクスパンセルの DUX40 で試作検討した結果、松本マイクロスフィエアの F-36D を選定するとともに真空加熱等も併用した。その結果、事前発泡した感熱発泡剤を調合することで比重の小さなコアに発生する気泡を解消できることが分かった。これと盛り上がり樹脂を圧縮加熱成形することで、図 5-4-5 にあるサイズが 100 ㎜角厚み 5 ㎜の比重 0.197 のコアが完成した。しかし、比重が 0.2 程度のコアは脆く欠け易い事から量産を考えると、不良率のアップや過剰梱包が懸念されるため、目標比重を 0.3 に変更した。

次に図 5-4-6 の箱型形状金型を製作し三次元コアの試作に取り組んだ。比重が 0.5 の調合樹脂は図 5-4-7 のように液状だが、比重 0.3 になると図 5-4-8 のように粗固形状態となり調合樹脂の充填方法の検

討が必要となった。

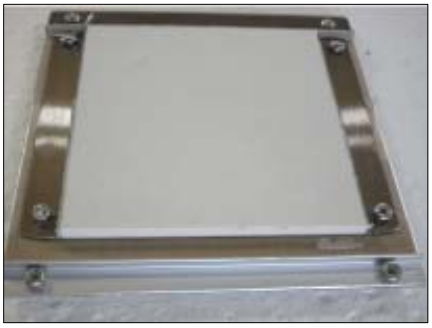


図 5-4-5 比重 0.197 平板コア

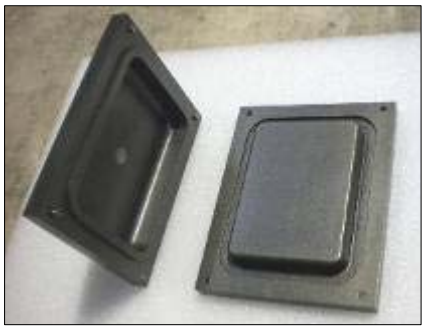


図 5-4-6 箱型形状金型

図 5-4-7 比重 0.5 調合樹脂

図 5-4-8 比重 0.3 調合樹脂

図 5-4-9 の加圧エアー充填や遠心力充填等繰り返しテストをした結果、平板コアの成形で行った圧縮充填が最良と考え、図 5-4-10 のように雌側金型に調合樹脂を装填後雄側金型で挟み込み図 5-4-11 ようにプレス機で圧縮し、図 5-4-12 の比重 0.3 の箱型三次元コアを完成させた。

図 5-4-9 加圧エアー充填

図 5-4-10 雌側金型に調合樹脂装填

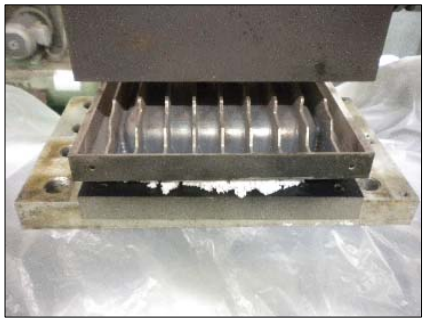


図 5-4-11 雄側を被せプレス

図 5-4-12 比重 0.3 箱型形状コア

次に図 5-4-13 の鉄製車両部材をもとに図 5-4-14 の軽量コア用車両部材金型を製作した。これまでの成果を取り入れ、金型の雌側は深みを持たせ調合樹脂を装填後雄側で圧縮出来る構造とし、加熱成形による熱伝導を考慮し金型全体をアルミ製の薄肉仕上げで、プレスによる強度を持たせるため外側に補強リムを取り付けた構造で製作した。

図 5-4-13 鉄製車両部材

図 5-4-14 コア試作雄型･雌型金型

車両部材金型コアを試作するに当たり、これまでヘラを使った樹脂の調合作業では効率が悪く大容量の樹脂を調合する設備が必要となった。硬化剤を添加した少量の樹脂に大量の粉体を調合出来る設備が既製品では見あたらないため、攪拌羽根を試作し調合テストを行ったが製作について作業の長時間と高コストとなったため、図 5-4-15 に示す樹脂調合機を独自に製作した。これにより調合時の感熱発泡剤やガラスビーズの飛散による健康被害も改善され、30ℓまでの大容量の調合が短時間で可能となり低コスト化が可能となった。また、金型に調合樹脂装填後のプレス設備が必要となり、図 5-4-16 の調合樹脂充填プレス機を大型金型用に製作した。金型サイズで 500 ㎜×800 ㎜程度のプレス充填が可能となった。平成２３年度に購入した図 5-4-17 の加熱機に、図 5-4-18 のように金型をプレス充填機にセットしたまま加熱成形する製法で、表 5-4-1 の調合比率で図 5-4-19 の比重 0.291 の車両部材コアを完成出来た。

図 5-4-15 樹脂調合機

図 5-4-16 樹脂充填プレス機

図 5-4-17 加熱機

図 5-4-18 加熱機による加熱成形

図 5-4-19 比重 0.291 車両部材コア

表 5-4-1 車両部材コア配合例(No.581)

ビニルエステル樹脂	100
中空ガラスビーズ	11
感熱発泡剤	21
硬化剤(樹脂比)	4

まとめ

比重 0.3 の箱型三次元形状コアの完成で、比重 0.3 の調合樹脂が三次元形状に於いても製作したプレス充填機で樹脂充填出来る事を実証した。また、製作した樹脂調合機により大量の樹脂調合を短時間で、且つ粉体飛散による安全衛生面も改善する事が出来た。研究期間中に購入した加熱機とプレス充填機の組み合わせを行い、これまでの研究成果を持って目標比重 0.3 以下の三次元形状の車両部材コアが完成した。このコアを用いてサンドイッチ複合材に完成させた結果、従来の鋼製サンプルに対し厚くなったが軽量化が図られた。

第6章サブテーマ⑤ PTIR コミングル技術の開発

目標

PTIR強化繊維にコミングルした生布の開発で、プリフォーム成形に係る作業時間を50%削減する研究を行う。

開発概要(結果)

当初、ナイロン12で行ったが、伸度が400%と大きく、コミングル不可能であり、公定水分率1%強のナイロン610 で試作を行った。ナイロン610にPTIRを混練し、原綿を試作、この原綿を紡績、紡績糸を作り、ポリアリレート液晶繊維とトライスピナーでコミングルを行い、このコミングル糸でブレードを作成した。このブレードを用い、多層積層仮止め加工を実施。近赤外線照射し、溶着による仮止め効果を確認した。また、ホットナイフを用いた研究を行い、プリフォーム用に裁断した時の繊維のほつれ、繊維の蛇行と積層された繊維の角度ズレ防止の研究を行い、賦型し難いコーナーも繊維の蛇行積層された繊維の角度ズレもないことを確認した。

更に従来のプリフォーム作業 (裁断→型に賦型→切り込み作業→プリフォーム成形)では
ほつれ、繊維の蛇行積層された繊維の角度ズレの修復作業を行い1枚作成に約30分の時間を要しているが、PTIR強化繊維をコミングルしたブレードは10分となり、20分(66%)の作業時間の削減となった。炭素繊維とのコミングルにおいても同様に近赤外線照射でナイロンが溶け、同様の結果となった。

賦形性の良い織り組織を研究し、コミングル糸で織物を開発。近赤外線照射での近赤外線照射を行った。ブレードと同様にナイロンが溶け、裁断時の繊維のほつれ、蛇行が無く、積層時の繊維の角度ズレも無かった。賦形性(深絞り率)も200%となった。

図6-1 2枚積層、3枚積層のいずれも仮止めの効果を確認
コミングル糸ブレードを用い、多層積層仮止め加工を実施。溶着による仮止め効果を確認した。

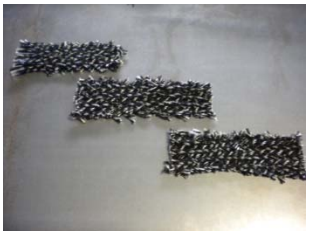


図6-2 ホットナイフでカット

図6-3 近赤外線照射

図6-4 仮止め加工結果

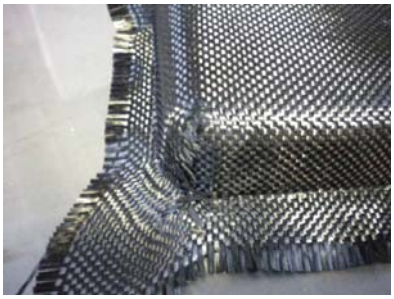


図 6-5　従来のプリフォーム成型

（ほつれ、コーナーに繊維の蛇行積層された繊維の角度ズレが発生。）

作業時間：約 30 分／枚

図 6-6　PTIR™ 添加強化繊維をコミングルしたブレードによるプリフォーム成形

（賦型し難いコーナーも繊維の蛇行積層された繊維の角度ズレもない。）

作業時間：約 10 分／枚

ナイロン紡績糸と炭素繊維 3Kをコミングル

図 6-7　炭素繊維とナイロン

図 6-8　コミングル糸で挿入ラッセルを試編

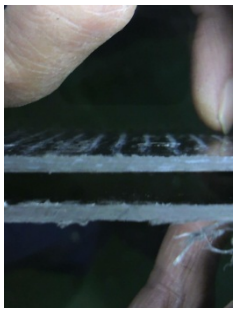


図 6-9　ラッセルを近赤をコミングル外線照射

ナイロンが溶け、裁断時の繊維のほつれ、蛇行無し。積層時の繊維の角度ズレも無し。

CF コミングル織物　2／2　ツイル及びポリアリレート液晶繊維コミングル織物　2／2　ツイル　の結果

図 6-10 織物

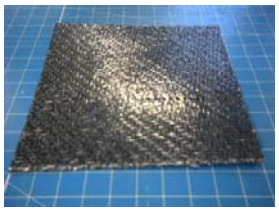


図 6-11　近赤外線照射によりNyが溶融、ほつれ無し

図 6-12　賦形性　深絞り率 200%

図 6-4　賦形性　深絞り率 200%

まとめ

国内での生産性を考慮した賦形性に優れた織物を開発し、結果経糸と緯糸の動きを平組織に比べ、作業時間を大幅に短縮することができた。2/2 ツイル組織による賦形性は第 3 章サブテーマ②の賦形性評価と同様に深絞り率 200%となった。製織性の改善は今後の課題である。

第7章　サブテーマ⑥　サンドイッチ構造複合部品の高速成形

目標

ポリアリレート液晶繊維強化サンドイッチ構造炭素繊維複合材の高速複合硬化技術の構築で、従来技術の複合材の重量比 50%未満、耐衝撃性 300%以上、価格 70%未満を目指す研究。

開発概要（結果）

通常の織物を使用した成形品は繊維そのものが曲面や凹凸面に追従しないため、シワや切り込みが必要となり強度のムラが発生する。そこで賦形性のよい織物で連続した長繊維で積層し、VARTM にて樹脂を注入し、繊維含有率の高い成形品を製作した。炭素繊維、ポリアリレート液晶繊維の織物を軽量コア材にサンドイッチし、軽くて耐衝撃性の高い成形品を近赤外線照射装置を使い高速硬化させる研究を実施した。

1．平成 21 年度　平板コア材両面に同時に樹脂を注入する方法を考察した。

一般的な成形は生産型（ツール、モールド）を用い形状精度を確保するが型費が高価である。また、コア材にスリット、貫通穴加工をせずコア材をそのまま型（心材型）として流用する成形方法を採用した。そこで VARTM 基材をコア材両面に配置して袋状のフイルムで全面を真空状態にして樹脂を注入し、平板形状のサンドイッチ複合材を製作した。

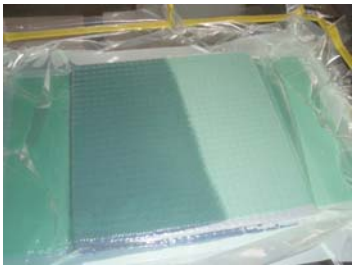


図 7-1　表面

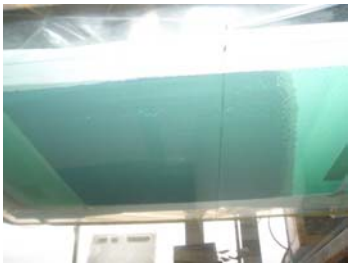


図 7-2　裏面

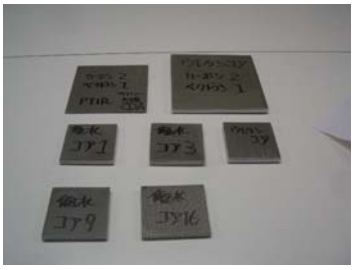


図 7-3　成形品（平板）

2．平成 22 年度　3 次元形状（箱形状）のコア材に対して繊維の賦形性及び樹脂注入状態を確認した。

四隅のコーナー部は織物形状が窮屈になったが連続した繊維で賦形することができた。しかし VARTM 基材の賦形に時間がかかり効率が悪い。3 次元コア材の両面に織物や基材をどのように固定するかが研究課題となった。また、表面と裏面とで樹脂注入速度にズレが生じた。複雑な3次元形状では問題となる。

図 7-4　繊維賦形

図 7-5　成形品表面

図 7-6　成形品裏面

3. 平成 23 年度　3 次元コア材の形状（車両部材コア）が決まり、これを用いて成形方法の確立をおこなった。繊維の賦形は良好であったが VARTM 基材の賦形に問題が発生した。基材が形状に追従せず接着剤を使用しての賦形作業となった。樹脂注入では樹脂の多い所と少ない所が発生し、均一な成形が行えず、曲面に合わせて表面裏面ごとに基材パターンを変更することでムラのない成形品を製作することが出来た。

図 7-7　表面

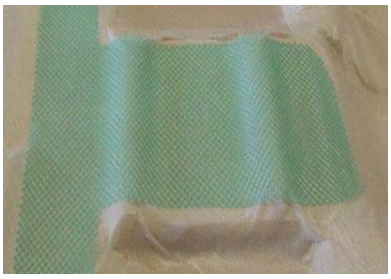


図 7-8　裏面

図 7-9　最終成形品

まとめ

サブテーマ④で作製した車両部材コアを使ってポリアリレート液晶繊維強化サンドイッチ構造複合材を製作した。厚みは鉄製サンプルより大きくなったが、比重が 0.5 となり、従来技術で作製した複合材の比重 1.6 に比べ 50%以上軽くなった。

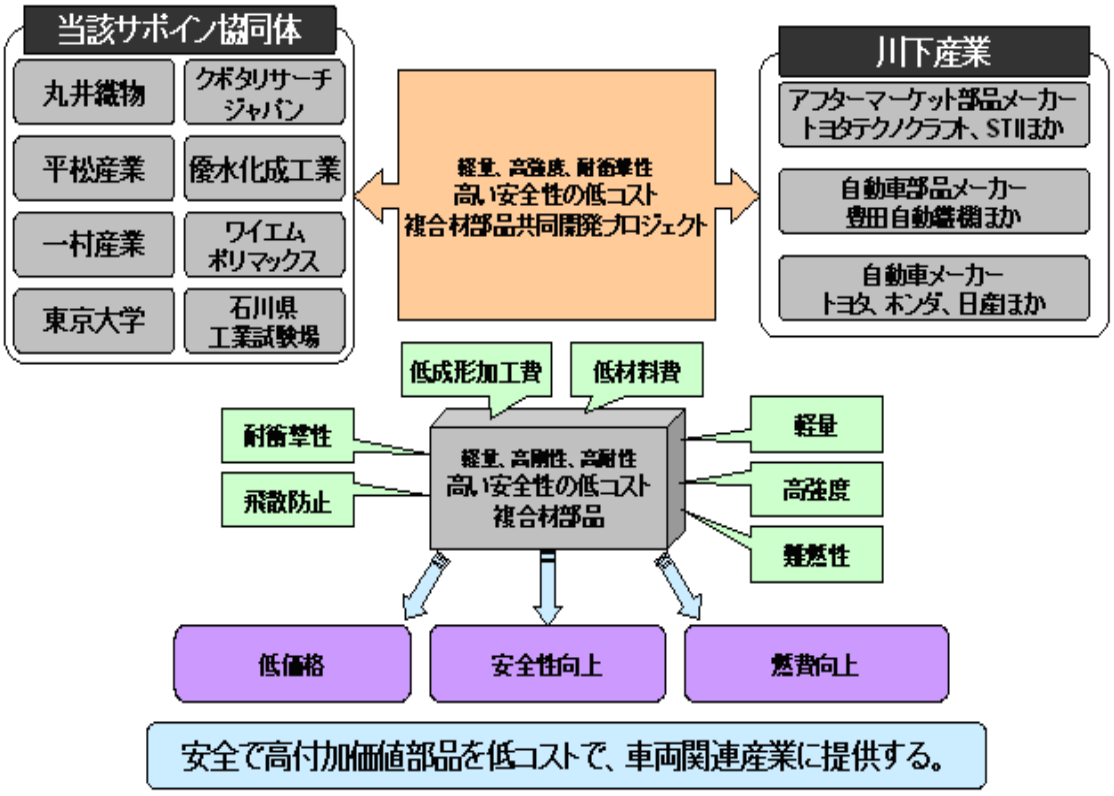
耐衝撃性は炭素繊維単体のものより 3 倍の耐衝撃性があった。価格においては、オートクレープ成形機のような高額な設備や高価なプレプリグ材料を使わないので安価な生産方式であると考える。また、近赤外線照射装置による高速硬化は熱硬化性樹脂の弱点を克服し、生産サイクルアップに大きく貢献する。しかし、コア材製作や繊維、VARTM 基材の賦形作業、成形セットアップ工程は作業者の技能に依るところがあり、近赤外線照射による高速硬化で成形時間は大幅に短縮するが、作業工数の低減に課題を残した。現状では高度な個人技能（職人性）が必要となるため、すべての賦形基材のプリフォーム化や生産型を利用した成形方法を取り入れ、作業の標準化・簡素化が課題である。

第8章サブテーマ⑦　事業化戦略

当面の当該複合材のターゲットマーケットを自動車及び車両架装メーカーとそれらの部品加工メーカーに絞り込みビジネスを展開する。

連携体で開発した耐衝撃性の高い軽量繊維強化コンポジットを車両部品の主メンバーに応用、更に自動車のボンネット展開を図る。順次、フェンダー、屋根、トランク、電池容器、タンク、窓枠、単車用フレーム等応用部位を広げる。

また、平成 24 年 3 月 27 日～29 日パリで開催される世界最大のコンポジットショー　JEC2011 に出展し、世界に広く顧客を求めた。



.車両部材

Multifunctional　Hybrid　Auto　Composite　Panel

Core：発泡 Vinylester（Blue）

中層：6KCarbon　Cloth（BlacK）

外層：1000dtex　Polyarylate　Cloth（Green）

図 8-1　断面構造

表 8-1　鉄板との比較

	比重	重量 (Kg)	大きさ (cm)	厚み (mm)	曲げ強度 (MPa)
鉄板 1.6mm（現行）	7.8	2.7	46.5x46.5	1.6	450
Multifunctional Hybrid Auto Composite Panel	0.5	1.1	46.5x46.5	10.0	66

図 8-2 車両部材（試作品）

第9章　総論（3年間）

3 年間の本件取り組みより、自動車部材開発製品はほぼ完成できた。また、各サブテーマの活動結果も概ね達成できた。以下にサブテーマの内容を報告する。

サブテーマ①　ポリアリレート液晶繊維の仕上げ油剤についてアルカリ浴中精練処理を行うことで油剤除去率 97%を達成した。脱脂したポリアリレート液晶繊維基材表面へのサイジング塗工についての検討結果は、以下の通りである。アイオノマー及び PVB1%塗工後の高温処理により精練品に対して 2.5 倍の耐剪断性を得たが、賦形性に難があった。糸に緩みを持たせた精練品では、糸が緊張状態で加工された精練品よりも耐剪断性が 2.5 倍となった。また、エーテル系油剤の 0.1～0.5%程度の低量塗工にて、賦形性を損ねることなく耐剪断性を向上できた。さらに、2 軸コミングル糸ブレードに対して、アイオノマー及び PVB の 3%未満微量塗工を達成した。

サイジングされたポリアリレート液晶繊維に対するガス発生抑制のための高温処理条件として、アイオノマーで 200℃、PVB で 150℃（加熱時間 3～5 分）という結果を得た。

さらに、ポリアリレート織布表面に対する熱可塑性フィルムのラミネート条件を賦形性から適正化するとともに、ラミネートが耐剪断性向上へ与える影響はほとんどないことを確認した。

サブテーマ②　深絞り率向上の検討に対し、海外で賦形性が良いと評価されている炭素繊維メガブレードとポリアリレート液晶繊維メガブレードを購入し、賦形性と試作の評価を繰り返し、海外メガブレードを超える賦形性の良い炭素繊維ブレードとポリアリレート液晶繊維ブレードを得た。しかし、錘数の多い特殊な組機でないと幅の広いブレードは製作できず、幅の狭いブレードでは実用に難がある。本研究では炭素繊維製織用の専用のレピア織機を考案、導入することにより、織物設計技術と製織技術をそれぞれ検討し、ブレードと同等の深絞り率 200%の賦形性に優れた炭素繊維織物を開発した。賦形性が良い幅広の織物を開発したことで、積層、賦形時のシワのばし作業がほとんど無くなり、作業が著しく容易になった。併せて、賦形に伴う加工時間も従来の方法に比べ 90%以上の作業時間短縮が実現され、目標が達成できた。この研究で得られた炭素繊維ブレード、炭素繊維織物の積層成形を行い、衝撃性試験(落錘型衝撃試験)より、それらの基礎データと
耐衝撃性に関する知見を得た。

サブテーマ③　ビニルエステル樹脂 2 種類を加熱硬化による VARTM 成形用の樹脂として、その性能を主に硬化速度と発泡のリスクの観点から評価した。発泡についてのリスクは多少認められたものの、硬化速度は 5 分以内の加熱時間で十分可能となった。硬化剤の添加と加熱によりどのような温度変化をするか計測を行い、DSC（示差走査熱量測定機）による硬化予測とあわせて、近赤外線照射装置の照射プログラム（キュアサイクルプログラム）を作成し、そのプログラムにより VARTM 成形を行い加熱時間の短縮を図った。PTIR™マスターバッチを添加した場合の温度伝達の状況と、それを添加しないものとの比較の結果、表裏の温度変化はほとんど無く、裏面においても非常に短時間で温度の上昇が確認され、PTIR™の有用性が認められた。また、発泡コアと炭素繊維と熱可塑性樹脂を含浸したポリアリレート液晶繊維の VARTM による一体成形を行い、良好な成形結果を得た。

サブテーマ④　樹脂剤及びその調合条件や充填方法等を検討し、比重 0.2～0.6 の平板・小型箱形形状のコア作製に関するデータを得ることができた。これらのデータより比重 0.3 の調合樹脂が大型の三次元形状においても、製作したプレス充填機で樹脂充填出来る事を実証した。また、製作した樹脂調合機により、大量の樹脂調合の短時間化を図るとともに粉体飛散による安全衛生面も改善する事が出来た。今年度購入の加熱機とプレス充填機の組み合わせを行い、これまでの研究成果を基にして商用サンプルの車

両部材コアを試作し、三次元超軽量コア製作を完成させた。

サブテーマ⑤ PTIR™強化繊維にコミングルした生布の開発で、プリフォーム成形に係る作業時間を50%削減を行うにあたり、当初、ナイロン 12 で行ったが、紡糸不可能であり、公定水分率 1%強のナイロン 610 で試作を行った。まず、ナイロン 610 に PTIR™を混練し原綿を試作した。次に、この原綿より紡績糸を作り、紡績糸とポリアリレート液晶繊維をトライスピナーによりコミングルしたコミングル糸でブレードを作製した。このブレードを用い、多層積層仮止め加工を実施した。近赤外線照射により、ナイロン溶着による仮止め効果を確認した。また、ホットナイフを用いてのプリフォーム作製における織物の裁断時の繊維のほつれ、繊維の蛇行と、積層された繊維の角度ズレ防止の検討を行い、賦形し難いコーナーでの織物の蛇行積層時においても繊維の角度ズレがないことを確認した。さらに従来のプリフォーム作業（裁断→型に賦型→切り込み作業→プリフォーム成形）ではほつれ、織物が蛇行積層された繊維の角度ズレの修復作業に従来は1枚に約 30 分の時間を要しているが、PTIR™強化繊維をコミングルしたブレードでは 66%の作業時間の削減となった。炭素繊維とのコミングルにおいても同様に近赤外線照射でナイロンが溶け、同じ結果となった。賦形性の良い織り組織を検討し、コミングル糸による織物を開発した。近赤外線照射により、ブレードと同様にナイロンが溶け、裁断時の繊維のほつれや蛇行が無く、積層時の繊維の角度ズレも無かった。

サブテーマ⑥ サブテーマ④で作製した車両部材コアを使ってポリアリレート液晶繊維強化サンドイッチ構造複合材にしたものは、厚みは鉄製サンプルより大きくなったが、比重が 0.5 となり、従来技術で作製した複合材の比重 1.6 にくらべ 50%以上軽くなった。

耐衝撃性は炭素繊維単体のものより 3 倍の耐衝撃性があった。価格においてはオートクレープ成形機のような巨大な設備や、高額なプレプリグ材料を使わないので安価な生産方式であると考える。また、近赤外線照射装置による高速硬化は熱硬化性樹脂の弱点を克服し生産サイクルアップに大きく貢献する。しかし、コア材製作や繊維、VARTM 基材の賦形作業、成形セットアップ工程は作業者の技能に依るところが多々あり、近赤外線照射による高速硬化で成形時間は大幅に短縮するものの、そこに至るまでの作業工数の低減に課題を残した。現状では高度な個人技能（職人性）が必要となる。すべての賦形基材のプリフォーム化や生産型を利用した成形方法を取り入れ作業の標準化、簡素化を目指さなければならない。

サブテーマ⑦ 平成 22 年より意見を聞いている車両製造メーカーより部材の案件を紹介頂き、作製している。1月に提案し、評価を依頼した。

今後、連携体で開発した耐衝撃性の高い軽量繊維強化コンポジットを車両部材に応用を検討、さらに自動車のボンネットへの展開をはじめ、順次、フェンダー、屋根、トランク、電池容器、タンク、窓枠、単車用フレーム等と応用部位を広げる予定である。

また、平成 24 年 3 月 27 日～29 日パリで開催される世界最大のコンポジットショーである JEC2012 に出展し、世界に広く顧客を求めた。

補完研究では丸井織物を中心とした体制を維持し、クボタリサーチジャパン、一村産業、平松産業、優水化成工業、ワイエムポリマックス、石川県工業試験場が協力して取り組んでいき、これまでの耐衝撃性、軽量化への研究に加え、市場投入に向けてコスト低減、加工時間の短縮など生産の効率化に向けた研究にも取り組んでいく。