

「サステナブルハイパー
コンポジット技術の開発」
(事後評価) 分科会
資料 5-1

「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」

事業原簿 【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
-----	--

目次

概要

プロジェクト用語集

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO 関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -1

1.2 実施の効果（費用対効果）・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -3

2. 事業の背景・目的・位置付け

2.1 事業の背景・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -5

2.2 事業の目的及び意義・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -8

2.3 事業の位置付け・・・・・・・・・・・・・・・・・・ I -8

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -1

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容及び全体スケジュールと予算・・・・・・・・・・ II -2

2.2 研究開発の実施体制・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -15

2.3 研究開発の運営管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -18

2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性・・・・ II -20

3. 情勢変化への対応・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -22

4. 中間評価結果への対応・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -26

5. 評価に関する事項・・・・・・・・・・・・・・・・・・ II -27

III. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果・・・・・・・・・・・・・・・・・・ III -1-1

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 研究開発項目①「易加工性 CFRTP 中間基材の開発」

①-1「等方性 CFRTP 中間基材」・・・・・・・・・・・・・・・・・・ III -2.1-1

①-2「一方向性 CFRTP 中間基材」・・・・・・・・・・・・・・・・・・ III -2.1-31

2.2 研究開発項目②「易加工性 CFRTP の成形技術の開発」

②-1「CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発」・・・・・・ III -2.2-1

- ②-2 「CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発」 III-2.2-96
- ②-3 「一方向性基材の評価技術構築」 III-2.2-100

- 2.3 研究開発項目③「易加工性 CFRTP の接合技術の開発」 III-2.3-1
 - ③-1 「CFRTP 同士の接合技術の開発」 III-2.3-5
 - ③-2 「CFRTP と異材の接合技術の開発」 III-2.3-19

- 2.4 研究開発項目④「易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発」
 - ④-1 「CFRTP 部材のリサイクル技術の開発」 III-2.4-1
 - ④-2 「CFRTP 部材のリペア技術の開発」 III-2.4-18

IV. 実用化・事業化の見通しについて

- 1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて IV-1

V. 成果資料

- 1. 各種展示会での成果の発表 V-1-1
- 2. 新聞、雑誌記事 V-2-1
- 3. 論文リスト V-3-1
- 4. 口頭発表リスト V-4-1
- 5. 特許リスト V-5-1
- 6. 受賞リスト V-6-1

【添付資料】

- 1. 基本計画
- 2. ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（抜粋版）
- 3. 技術戦略マップ ファイバー分野
- 4. 事前評価書

概要

最終更新日

平成 26 年 3 月 7 日

プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム／ナノテク・部材イノベーションプログラム		
プロジェクト名	サステナブルハイパー コンポジット技術の開発	プロジェクト番号	P08024
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 佐藤隆行（平成 23 年 4 月～平成 25 年 2 月） 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 川上信之（平成 21 年 4 月～平成 23 年 3 月） ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者氏名 山森義之（平成 20 年 6 月～平成 21 年 3 月）		
0. 事業の概要	<p>本事業では、成形性、加工性、リサイクル性が高く、自動車、産業機械等のより広い分野での利用が可能となる熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料を開発する。自動車等の軽量化により移動体における消費エネルギーの大幅削減をはかるとともに、循環型社会の構築および我が国の国際産業競争力の強化を目指す。</p> <p>炭素繊維複合材料の高強度を維持しつつ、優れた成形性、加工性、リサイクル性を達成するためには、基本となる材料からスタートし、その加工技術、さらにはリサイクル技術まで広く研究開発を進める必要がある。そこで本プロジェクトでは、容易に加工できる中間基材の開発、それらの成形技術の開発、各種部材の接合技術の開発、さらにリサイクル技術の 4 つの研究開発項目を重要技術と位置付け、それぞれに取り組むことで技術の実用化を狙う。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>事業の必要性</p> <p>炭素繊維は世界シェアの約 70%を日本企業で独占してきている素材である。先進材料である炭素繊維とプラスチックとを一体化した炭素繊維強化熱硬化性プラスチック（CFRP）はその超軽量性から燃費改善の希望が強い航空機業界で使用率が最も多い材料になった。炭素繊維材料は、アルミ材料に比べて、約 20%の重量軽減が達成できるとされているため、航空機の標準材料として地位を築きつつある。</p> <p>技術の現状をしてみると、材料強度ならびに軽量性に関しては、航空機へ採用されるほど、大きなポテンシャルを持っている。ただし、生産のサイクルタイム等に関しては、航空機の仕様となっており、また、金属のような均質材料でないことが設計の難易度を高くしている。</p> <p>軽量化効果の大きい本材料を金属材料の代替として、乗用車等に適用することができれば、今まで以上に燃費に優れた車の開発につながり、我が国の自動車産業を初めとする各種製造業での確固たる地位が築けるばかりでなく、環境立国日本としての地位もゆるぎないものとなる。</p> <p>金属材料特にスチールの代替えとなるためにも、従来の CFRP（CF/エポキシ）に匹敵する界面接着強度、低い線膨張係数を保持しながら、従来の CFRP の欠点であった高速成形性、易二次加工性、リペア・リサイクル性を備えた革新的な炭素繊維強化熱可塑性プラスチック（CFRTP）を開発すると共に、自動車部材開発に必要な材料特性を明確にすることが必要である。</p> <p>位置付け</p> <p>本事業は技術戦略マップ上で下記のように位置付けられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 部材分野の技術マップ「環境・エネルギー分野」の「産業機器用部材による省エネルギー・CO₂削減用部材（軽量化・高強度化用部材）」 2) 「省エネルギー技術戦略 2007」における「先進交通社会確立技術」のうち「先進自動車の開発」、「安全性を確保した車体の軽量化」 		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>①易加工性 CFRTP 中間基材の開発</p> <p>熱可塑性樹脂との接着性と繊維の分散性や含浸工程通過性を両立する炭素繊維の表面処理技術並びに炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂並びに生産性及び部材への加工性に優れた等方性 CFRTP 中間基材と一方向性 CFRTP 中間基材を開発する。</p> <p>(1) 等方性 CFRTP 中間基材</p> <p>【中間目標】</p> <p>等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 250MPa（比強度（$\sqrt{\sigma/\rho}$）で鋼材の約 5 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 10%以内となる材料を開発する。</p>		

【最終目標】

等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形形状の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 400MPa（比強度（ $\sqrt{\sigma}/\rho$ ）で鋼材の約 6 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 5%以内となる材料を開発する。

(2) 一方向性 CFRTP 中間基材

【中間目標】

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 100MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1400MPa（比強度（ $\sqrt{\sigma}/\rho$ ）で鋼材の約 9 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.0%以上の材料を開発する。

【最終目標】

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 110MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1600MPa（比強度（ $\sqrt{\sigma}/\rho$ ）で鋼材の約 10 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.3%以上の材料を開発する。

②易加工性 CFRTP の成形技術の開発

研究開発項目①で開発される CFRTP 中間基材を用いた高速成形加工技術として、高速スタンピング成形技術と高速内圧成形技術を開発する。

(1) CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発

【中間目標】

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、用途に適合した高速スタンピング成形に必要な要素技術を見極める。

【最終目標】

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、高速スタンピング成形により、それぞれの CFRTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。

(2) CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発

【中間目標】

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード（三次元織物）を用い、用途に適合した高速内圧成形に必要な要素技術を見極める。

【最終目標】

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード（三次元織物）を用い、高速内圧成形により、当該 CFRTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。

③易加工性 CFRTP の接合技術の開発

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対して、各種溶着等による高速接合方法の適合性を検討し、十分な接合強度を有する接合方法を開発する。

【中間目標】

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、参照強度の 75%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する。（ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向 CFRTP 中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す。）

【最終目標】

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、参照強度の 90%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する。（ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向 CFRTP 中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す。）

④易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、リサイクル性（リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数）を向上させる技術を開発するとともに、リペア技術を開発する。また、これらの開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

(1) CFRTP 部材のリサイクル技術の開発

【中間目標】

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 75%以上を保持するリサイクルプロセスに必要な要素技術を見極める。（ここで、参照強度とは、バージン原材料を使用したときの曲げ強度を指す。）

【最終目標】

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 90%以上を保持する技術を開発する。また、この開発技術に関する環境影響評価 (LCA) を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

(2) CFRTTP 部材のリペア技術の開発

【中間目標】

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTTP 中間基材による CFRTTP 部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の 75%以上まで回復するリペア手法の絞り込みとリペアプロセスに必要な要素技術を見極める。

【最終目標】

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTTP 中間基材による CFRTTP 部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の 90%以上まで回復するリペア技術を開発する。また、この開発技術に関する環境影響評価 (LCA) を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

⑤易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

研究開発項目①の研究開発のうち、特に不連続繊維を使うことで複雑形状への適応性を高くした等方性 CFRTTP 中間基材を用い、研究開発項目②で開発される高速成形技術により高強度かつ高精度な CFRTTP 部材の成形技術の開発を行う。さらに、研究開発項目③で開発した高速接合技術により本モジュールを開発する。最後に、研究開発項目④で開発した技術を用いてリサイクル性とリペア性の評価を行う。

【最終目標】

研究開発項目①②③④で開発した技術を用い、不連続繊維を使った等方性 CFRTTP 中間基材を使用した革新的軽量モジュールの成形技術を開発し、その自動車部材等への適用性を検証する。

⑥易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

研究開発項目①の研究開発のうち特に一方向性 CFRTTP 中間基材を用い、研究開発項目②③④で開発される関連技術を用いて閉断面構造のモデル部材を試作することにより、優れた生産性を有するとともに、軽量化効果の高い自動車一次構造材技術であることを実証する。同時に、最終実用化のための技術課題の抽出、課題解決のための方策検討を実施する。

【最終目標】

研究開発項目①②③④で開発した技術を用い、閉断面形状を有する自動車一次構造材のモデル部材を得て、得られたモデル部材の自動車一次構造部材への適用性を検証する。

事業の計画内容

開発予算
(会計・勘定別)

主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	
① 易加工性 CFRTTP 中間基材の開発	→					
② 易加工性 CFRTTP の成形技術の開発	→					
③ 易加工性 CFRTTP の接合技術の開発	→					
④ 易加工性 CFRTTP のリサイクル技術の開発	→					
⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発	→					
⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発	→					
会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
一般会計	0	0	0	0	0	0

に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	特別会計 (需給)	316	1995	600	487	243	3641
	加速予算 (成果普及費を含む)			30		278	308
	総予算額	316	1898	697	487	520	3918
	(委託)	229	1694	634	420	512	3489
	(助成) :助成率1/2	81	164	62	58	15	380
開発体制	経産省担当原課	製造産業局 繊維課					
	プロジェクトリーダー	東京大学大学院工学系研究科 教授 高橋淳 (平成21年9月より) (前任者:東京大学大学院工学系研究科 教授 影山和郎) (サブリーダー:東京大学大学院工学系研究科 准教授 鶴沢潔)					
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	<ul style="list-style-type: none"> ●委託先:東京大学(集中研)、三菱レイヨン(株)、東洋紡(株)、東レ(株)、(株)タカギセイコー ●共同研究先:山形大学、東北大学、静岡大学、富山大学、京都工芸繊維大学 ●助成先:三菱レイヨン(株)、東洋紡(株)、東レ(株)、(株)タカギセイコー 					
情勢変化への対応	プロジェクト進捗状況や技術推進委員会等の結果、自動車メーカーとの個別会合実施等の結果をふまえ、研究成果の適用用途の拡大や変更及び早期の技術実用化をはかるべく、実用、量産レベルの設備を活用した高度な研究開発を加速させ推進している。						
中間評価結果への対応	指摘事項						対処方法
	①コストを意識した材料開発、設備、生産性の向上への取り組みとユーザーニーズの早期確認をすべき。 ②材料の成果は自動車に限らず、広い視野で有用であり、成果を前倒して普及させたい。 ③本プロジェクトでの開発中の基材に関して、性能発現メカニズム解明を活用した研究開発を進めて欲しい。 ④本材料の長所短所を明確にし、適材適所の生産・設計方法の明示。(複合材料の力学的、機能的、経時的特性を判断できる専門家の意見聴取体制の構築が必要) ⑤モノづくりの技術はCFRTPと製造設備に集約されるので設備メーカーの参加も視野に入れた対応が望ましい。						①コストは助成事業での取り組みを実施。自動車メーカーとの個別会合を実施することで、ユーザーニーズの把握を行った。 ②自動車以外の分野にも基材のサンプル提供実施。加工業者底辺拡大の為に加工技術研究会を大田区と実施した。さらに加工設備メーカーとの意見交換会も実施した。 ③CFと熱可塑性樹脂との密着性観点で特性発現メカニズムを解明しつつ、開発を実施した。 ④材料特性についてはデータベースを構築中。専門家に関しては推進委員会の共同実施先の大学やアドバイザーメンバー、NEDO主催の技術推進委員会委員の意見聴取を実施した。 ⑤成形加工設備メーカーや付帯設備メーカー等と協議しながら、助成事業でも検討した。
	事後評価に向けた方針	本プロジェクトにおいて、炭素繊維のコスト低減は目的外項目である。部材加工費の構成要素である成形サイクルの短縮を主眼とし、それが可能な材料とその成形加工技術の構築等が主の事業であることから、本プロジェクトの目的・目標を明確にして進めていく。					
評価に関する事項	事前評価	平成20年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部					
	中間評価	平成22年度 中間評価実施					
	事後評価	平成25年度 事後評価実施					

研究開発項目毎の目標と目標に対する成果						
事業種	研究開発項目		評価項目	目標値		達成度
				中間	最終	
委託事業	①中間基材開発	等方性CFRTP中間基材	曲げ強度	250Mpa	400Mpa	◎
			等方性(変動係数)	10%以下	5%以下	◎
		一方方向性CFRTP中間基材	繊維方向曲げ強度	1400Mpa	1600Mpa	◎
			繊維直角方向曲げ強度	100Mpa	110Mpa	◎
			繊維方向曲げ破断歪	1.0%以上	1.3%以上	◎
	②高速成形技術開発	等方性CFRTP中間基材の高速スタンピング成形技術	成形時間	2分以内	90秒以内(予熱時間含まず)	◎
		一方方向性CFRTP中間基材の高速スタンピング成形技術	成形時間	要素技術見極め	金型占有時間2分以内	◎
		一方方向性CFRTP中間基材の高速内圧成形技術	成形時間	要素技術見極め	7分以内	◎
	③接合技術開発	CFRTPの接合技術	接合強度	参照強度の75%	参照強度の90%以上	◎
	④リサイクル・リペア技術開発	CFRTP部材リサイクル技術	3回リサイクル後曲げ強度	参照強度の75%	参照強度の90%以上	◎
CFRTP部材のリペア技術		リペア後、曲げ強度の参照強度に対する割合	基本特性評価	参照強度の75%以上	◎	
助成事業	⑤等方性中間基材モジュール構造部材の開発	中間基材量産化	連続生産	連続生産技術構築	連続生産実証	◎
		モジュール部品成形	成形状況	型占有時間2分以内の部品成形実証	型占有時間1分以内の部品成形実証	◎
	⑥一方方向性中間基材一次構造部材	中間基材量産化	委託事業目標値	委託事業中間目標値クリア	委託事業最終目標値クリア	◎
		一次構造部材開発	モデル成形	モデル部材設計方針見極め	モデル部材による構造部材軽量化実証	◎
投稿論文		「査読付き」7件、「その他」4件				
特許		「出願済」31件、「登録」0件、「実施」0件（うち国際出願1件）				
その他の外部発表（プレス発表等）		「展示会」6件、「新聞・雑誌等」7件、受賞実績6件（うち JEC Award、自動車部門（2012.6.26））				
III. 研究開発成果について						
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>本プロジェクトでは革新的材料における基盤技術の確立を目的とし、材料の基本的な力学特性や成形速度に関して要求性能を満足する目標設定を行った。取り組みの結果、材料技術と成形技術、および、接合技術、リサイクル技術のいずれの研究開発項目においてもその最終目標を達成することができた。</p> <p>開発した材料は熱硬化性 CFRP と同等の性能が見込めるため、鉄鋼材料はもちろん、アルミニウムやマグネシウムなどの競合材料に比較して、比剛性・比強度を遥かに上回るものである。さらに熱硬化性 CFRP で問題となる生産性についても、量産が視野に入るレベルにある。接合技術、リサイクル技術に関しても、従来技術に比べ生産性、環境性能、経済効果の点において優れる性能が期待できる。以上のことから、本技術は産業用分野における基礎材料として十分に適用可能と考えられる。</p> <p>自動車用構造材としての実用化に関しても、適用する部材によって求められる特性が異なる（モジュール構造部材および一次構造材用閉断面構造部材）ことをあらかじめ見越した形で、それぞれに適切な材料の開発を進めてきた。これまでに、モジュール構造部材に適した等方性 CFRTP、一次構造材に適した一方方向性 CFRTP のそれぞれにおいて、実用化に向けた検討を行ってきた。今後は、具体的なニーズに沿った形での実用化・事業化検討を進めていく。</p>					
	<p>(1) モジュール構造部材</p> <p>モジュール構造部材としては、エンジンモジュールやドアインナーモジュール等という主に面形状への適用を狙うものである。ここでの課題は複雑な形状の加工であり、具体的には必要な強度や剛性、均質性を損なうことのない材料設計技術と成形技術の基本構築を達成することである。大きな荷重がかからないドアインナーパネルやフロントエンドモジュールと言った部材を作成し、性能試験を行い、それを基にして、実用化・事業化を検討開始していく方針である。その後、より高精度が求められるフード、ルーフ、シートバック等に適用を拡大していく。成形部品の複雑化とそれに相反する高精度化の両立を図り、最終的にはフェンダーサポートやダッシュボード等、より複雑でかつ耐熱性も要求される部材に適用範囲を広げていく方針</p>					

	<p>であるが、実際には自動車メーカーとのニーズとシーズ技術のマッチングが一番重要であることから、プロジェクト終了後は自動車メーカーとの連携が必須となる。</p> <p>(2) 一次構造材用閉断面構造部材</p> <p>一次構造部材は、自動車を受ける各種の荷重に対して、骨格である構造体を確実に支えるという安全上の観点から見ても極めて重要な役割を担う形の部材である。モジュール構造部材と比較しても、より高強度・高剛性・高耐久性が求められることから、第一の課題としては適用可能な部材を見極めることである。具体的には、実部材を作製し実証試験を行うことで種々の適用箇所に対し適合性の検証を進めていく。適用部材を見極めた後、本格的に事業化の検討に進む方針である。事業化検討に際しては、まず部材に伝達される荷重が予測可能な箇所から適用を開始する。具体的にはサイドシルやクロスメンバなどを考えている。次に、衝突吸収性という高い信頼性が求められる部材、ピラーやサイドフレームに適用を拡大していき、最後に、重要保安部品や合理的に設計され一体成形が必要な部材へと適用範囲を拡げていく。</p> <p>以上のようにそれぞれの部材毎に順次実用化の検討を進め、2015年頃から適用を開始、2020年頃には自動車構造ボディに普及されるレベルの技術を確立する計画である。適用車種拡大のための汎用化、低コスト化も検討し、さらなる普及拡大に取り組んでいく。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 20 年 3 月 作成
	変更履歴	平成 20 年 6 月 改訂 (プロジェクトリーダー決定による改訂) 平成 20 年 7 月 改訂 (イノベーションプログラム基本計画の制定による改訂) 平成 21 年 9 月 改訂 (PL 交代及び共同実施先追加に伴う改訂) 平成 22 年 7 月 改訂 (共同実施先変更に伴う改訂) 平成 24 年 3 月 改訂 (自動車メーカーニーズに伴う研究開発課題の一部改訂)

プロジェクト用語集

番号	用語（略語）	English	用語の説明
1	アイゾッド衝撃（強さ）	Izod Impact Strength	衝撃に対する強さを表す指標。単位は J/m。ノッチと呼ばれる切り込みを付けた試験片を、片持ちはりで支持し、振り型のハンマーで衝撃曲げ打撃を加えて計測する。1回の打撃によって破壊するのに要したエネルギーを、ノッチに沿って計測した試験片の幅で割って求められる。
2	一次構造部材	Primary Structure Member	自動車の車両構造に関して、地面や衝突物から受ける荷重を直接受けて構造体を維持するための高強度・高剛性・高耐久性部材。
3	一方向性	Unidirectional	層内において強化繊維がすべて互いに平行に並んでいる状態。一方向強化層はプライ（Ply）と呼ばれ、この層の積み重ねは積層板と言われる。
4	異方性	Anisotropy	物質の物理的性質、例えば弾性率や屈折率などが方向によって異なること。結晶、圧延した金属、プラスチックなどに現れる。 ⇔ 等方性
5	エッチング	Etching	化学薬品などの腐食作用を応用した塑形ないし表面加工の技法。使用する素材の必要部分にのみ防食処理を施し、腐食剤によって不要部分を除去することで目的形状のものを得る。
6	エポキシ（樹脂）	Epoxy (Resin)	高分子内に残存させたエポキシ基で架橋ネットワーク化させることで硬化させることが可能な熱硬化性樹脂の総称。架橋ネットワーク化前のプレポリマーと硬化剤を混合して熱硬化処理を行うと製品として完成するが、プレポリマーも製品化した樹脂も両者ともエポキシ樹脂と呼ばれる。
7	遠赤外線ヒーター	Far-Infrared Radiation Heater	セラミック、石英、金属酸化面などの比較的低温（500℃～1000℃）の発熱体から放射される光を利用する加熱装置。光のピーク波長は3～5 μmであり、1～15 μm程度の範囲に分布する。
8	応力集中	Stress Concentration	材料に切欠きや溝がある場合に、外力を与えた時に他の部分よりも応力が大きくなる現象。部材の断面が大きく変形している部分や、部材の断面に孔（あな）、亀裂、切欠きなどが起こり不連続部分が発生している時、その近くに著しく応力（抵抗力）が集中している。
9	開繊性	Fiber Spreading	炭素繊維束やガラス繊維束などの強化繊維束を連続して幅広く、薄く広げた状態にすること。繊維束の厚み方向の繊維本数を少なくすれば（開繊性を高めれば）、繊維束中へのマトリックスの含浸が短時間で均一にできるので、成形工程において生産性の向上や品質の向上に有利にはたらく。
10	界面層	Interfacial Layer	ある均一な液体や固体の相が他の均一な相と接している境界のことを界面と呼ぶ。

			炭素繊維のような強化繊維の場合、樹脂と接している境界の表面層を界面層という。
11	カップリング剤	Coupling Agent	分子内に水になじみやすい部分（親水基）と油になじみやすい部分（親油基・疎水基）を持つ物質。有機材料と無機材料を結合させる機能を有し、複合材料の力学特性や耐水性、接着性の向上に使われる。
12	含浸性	Impregnation Rate	ゴム、合成樹脂を織物、紙などの組織や構造のすき間にしみ込ませた状態の程度を表す指標。
13	官能基	Functional Group	有機化合物に特別の化学性質を与える原子・原子団。例えばアルコールの $-OH$ （ヒドロキシル基）、アルデヒドの $-CHO$ 、カルボン酸の $-COOH$ 、などがある。
14	強化材	Reinforcement	プラスチックなど、軽量であるが弾性率や強度の低い母材（マトリックス材）に対して、強度を向上させることを目的として混入させる材料。強化材とマトリックスを組み合わせたものを複合材料と呼ぶ。強化材にはガラス繊維、炭素繊維、ケブラーなどが用いられる。
15	クロス材	Cross Materials	一方向材を基本として、縦横にファイバーを織り込んだもの。二次元強化基材の1つ。
16	コミングルヤーン	Commingled Yarn	強化繊維と樹脂系マトリックス繊維を組み合わせた混織糸。
17	コンソリデーション	Consolidation	プリプレグやセミプレグを裁断後、積層あるいはプリフォームして、複数の部材を合同体として同時に成形すること。後工程での接合の必要が無いのでコスト削減が可能となる。
18	コンポジット	Composites	2つ以上の異なる素材を一体的に組み合わせた材料のこと。
19	サイクルタイム	Cycle Time	製品を作る場合のかかった時間。最初の工程をスタートし最後の工程までかかった時間のこと。稼働時間のみならず、待ち時間も含まれる。サイクルタイムの短縮によって、品質やコストだけではなく、時間の面で競合との差別化、競争力の強化、及びコスト削減、顧客満足増大までを図ることができる。
20	サイズ剤	Sizing Agent	ある組織や構造に対してインクなど液体の浸透性を抑え、滲みを防ぐ目的で加えられる化学物質。疎水性基と親水性基を持ち、疎水性基を外側に向けて組織に疎水性をもたせる。内添方式と表面方式とがあり、いずれにも天然物と合成物とがある。
21	酸化処理	Oxidative Treatment	炭素繊維などの表面層を改質する処理手法の1つ。エッチング処理。含酸素基を繊維表面に導入することにより樹脂との水素結合を促進し、接着性を高めることができる。
22	サーモグラフ	Thermograph	サーモグラフィ装置。物質から発せられる赤外線を検出して、ものの温度を調べる装置。コンピュータ画面上で温度を色分けして表示することができる。
23	射出成形	Injection Molding	加熱溶解させた材料を金型内に射出注入し、冷却・固化させる事によって、成形品

			を得る方法。複雑な形状の製品を大量に生産するのに適している。工程は大きく分けて、型締め、射出、保圧、冷却、型開き、取り出し、と進み、このサイクルの繰り返しによって、製品を連続的に生産できる。
24	収束剤	Convergence Agent	サイズ剤。炭素繊維の製造工程や、高次加工工程（織物工程、プリプレグ工程、その他の成形工程）での取扱い性を向上させる。
25	親和性	Affinity	繊維強化プラスチックにおいては、分子同士の結合しやすさをいう。例えば、分子構造中に水となじみやすい（親和性の高い）水酸基（OH）を持っているれば、吸湿・吸水に優れる物質となる。
26	スタンピング成形	Stamping Molding	FRTP（繊維強化熱可塑性プラスチック）でつくったシートを型の中に挟み、プレスして形状をつくる成形方法。
27	脱型	De-molding	型から製品を取り出す作業。
28	ダブルベルトプレス	Double Belt Press	押出機等による連続供給と、ベルトプレスによる連続した加熱・冷却によって、樹脂シート等の加工を行う装置。各ゾーンにおけるプレスロールの高さ調節や温度、圧力設定を行うことにより、製品の厚み制御を行うことができる。
29	中間基材（プリプレグ）	Prepreg	連続した強化繊維にマトリックス樹脂を含浸させた半硬化状態の単層材。
30	チョップドテープ	Chopped Tape	一定の長さに切りそろえたプリプレグテープ。短繊維でマット、スプレИАップ法、コンパウンドに使用される。一方向不連続繊維基材。
31	テキスタイル	Textile	織る、編むの織物や布地を意味し、繊維製品全般のこと。
32	テーププレースメント	Tape Placement	樹脂を含浸させたトウプリプレグやプリプレグテープを、異形の型に配向させて（樹脂を成形しながら）積層する技術。
33	等方性	Isotropy	物体の物理的性質が方向によって異なること。気体、普通の液体、非晶質（アモルファス）の固体（ガラスなど）は等方性を示す。⇔ 異方性
34	内圧成形	Inner Pressure Molding	成形型のキャビティ内に中空状の成形素材を配置し、中空素材の内側から内圧を加えて中空素材を成形型に密着させた状態とし、その状態で加熱成形する方法。繊維強化樹脂を用いた中空（閉断面）の部品を製作することができる。
35	ナノアロイ	Nano-Alloy	ポリマーAのマトリックス中にポリマーBをナノオーダーで分散させた分散構造を作る良流動化技術。ポリマー微粒子を独自に開発してマトリックスポリマー中に均一に分散させることにより、加熱化の熔融状態（流動状態）でのマトリックスポリマー分子間の相互作用の低下が起こり、ポリマー分子の運動性向上による流動性の大幅な向上が実現できる。
36	熱可塑性樹脂	Thermoplastic Resin	ガラス転移温度または融点まで加熱することによって軟らかくなり、目的の形に成

			形できる樹脂。一般的に、熱可塑性樹脂は切削・研削等の機械加工がしにくい事が多く、加温し軟化したところで金型に押し込み、冷し固化させて最終製品とする射出成形加工等が広く用いられている。ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ABS樹脂、塩化ビニル樹脂、メタクリル酸メチル樹脂、ナイロン、フッ素樹脂、ポリカーボネート、ポリエステル樹脂など。
37	熱硬化性樹脂	Thermosetting Resin	加熱すると重合を起こして高分子の網目構造を形成し、硬化して元に戻らなくなる樹脂のこと。使用に際しては、流動性を有するレベルの比較的低分子の樹脂を所定の形状に整形し、その後加熱等により反応させて硬化させる。接着剤やパテでA液（基剤）とB液（硬化剤）を混ぜて使うタイプがあるが、これは熱硬化性樹脂のエポキシ樹脂で、混合により重合反応が起こっている。熱硬化性樹脂は硬くて熱や溶剤に強い。フェノール樹脂、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリウレタンなどがある。
38	熱伝導性	Thermal Conductivity	熱伝導において、熱流束密度（単位時間に単位面積を通過する熱エネルギー）を温度勾配で割った物理量。
39	破断ひずみ	Breaking Strain	外力の作用により、材料が破壊（破断）する時のひずみ。破断する時の応力を破断強度または破断応力ともいう。
40	パッチ	Patch	つぎあて。リペア技術において損傷部に追加して貼り合わせる薄板状のCFRTP。
41	比強度	Specific Strength	比重に対する材料の強度。このパラメータが大きいほど、同じ強度の時に、より軽い部品が作れる。
42	比剛性	Specific Stiffness	比重に対する材料の剛性。このパラメータが大きいほど、同じ剛性の時に、より軽い部品が作れる。
43	表面改質	Surface Treatment	表面層の特性を変化させること。炭素繊維は、マトリックス樹脂との接着性を改善するため、その表面を酸化処理する。
44	ファイバーブリッジング	Fiber Bridging	繊維強化プラスチックにおいて、亀裂進展時に未破断繊維が亀裂を橋渡しすることにより、亀裂進展抵抗が増加する現象。
45	ファウンテンフロー	Fountain Flow	樹脂を型内に流し込む時に、金型面との滑りによって流れるのではなく、流れの中心から金型内壁面へ噴出するように流れていくこと。射出成形の流動末端で生じる。
46	賦形性	Formability	プリフォーム配置工程において、成形に用いる型形状に対して、プリフォームを形作ること。熱成形直後における、得られた予備成形体の形状と熱成形に用いた型の形状との一致性の程度を表す。
47	フラグメンテーション（フラグメント）試験	Fragmentation Test	マトリックスに単繊維を埋め込み、繊維方向に平行にマトリックスに引張ひずみを加えることによりせん断強度を推定するテスト方法。繊維は破断し、多数の小片に分断される。
48	プリフォーム	Preform	RTMやC/Cコンポジット等の成形用基材

			で、強化繊維を立体的な形状にしたもの。
49	プリプレグ	Prepreg	連続した強化繊維にマトリックス樹脂を含浸させた半硬化状態の単層材。
50	プレヒート	Pre-Heat	成型型に基材を設置する前にあらかじめプリフォームに余熱を与えておくこと。
51	ブレード	Blade	一方向材を基本として、立体的にファイバーを織り込んだもの。三次元強化基材の1つ。
52	不連続繊維	Discontinuous Fiber	繊維が短く切断されたもの（短繊維）で、マトリックス樹脂内でランダムに配向される。射出成形用繊維強化樹脂でよく用いられる。
53	ボイド (空隙)	Void	樹脂の繊維束への含浸が不十分であった場合に、樹脂内や樹脂-繊維間に空気が入り込んだまま成形されてしまい生じる空間。
54	ホモポリプロピレン	Homo-polypropylene	ポリプロピレン単体のみからなる重合体であり、結晶性は高い。ホモPPでも触媒の選択・プロセスの相違・更には各メーカーの市場性格の差異によりその物性は微妙に異なる。
55	ポリアミド (PA)	Polyamide	主鎖にアミド結合(-NH-CO-)をもつものをポリアミドと呼ぶが、主鎖が脂肪族であるものは、ナイロンとも呼ばれる。耐摩耗性、自己潤滑性に優れ耐衝撃性も大きいという長所があるが、アミド結合のために吸湿性も強いので寸法安定性が悪く、機械的、電気的な物性が変化する。結晶化度による影響も大きいので成形時には注意が必要である。
56	ポリプロピレン (PP)	Polypropylene	エチレンの水素1つがメチル基に変わった構造のプロピレンの重合体。メチル基の立体的な位置の違いによって特性が大きく異なるが、その中でも結晶化度が高く剛性の優れたアイソタクチックPPが一般的に用いられている。
57	マイクロドロップレット試験	Microdroplet Test	繊維強化複合材料において、強化繊維と各種樹脂の界面接着性を評価する試験方法。単繊維に樹脂粒（ドロップレット）を付着させ、ドロップレットを固定させて後に繊維の引き抜きを行い、引き抜かれる際の荷重と、繊維の樹脂粒への埋め込み長さの関係から、界面せん断応力を求めることができる。
58	マトリックス材	Matrix	複合材料において、強化される側の部材を母材（マトリックス）と呼ぶ。繊維強化プラスチックの場合はプラスチック、繊維強化金属の場合は金属、鉄筋コンクリートの場合はコンクリートがそれぞれマトリックスとなる。
59	モジュール構造部材	Module Structure Member	部材をインテグレーションした複合化部材。一体成形できるので、製造コストを安くできる。自動車部品では従来よりインストルメントパネルモジュールなどがあり、短繊維のガラス繊維強化プラスチックの成形部材として適用されている。
60	融着接合	Welding	溶接あるいは高温で加熱して接着させる

			こと。二次加工技術（成形が一次加工）の1つ。熱可塑性の樹脂部材を融点を 超えるまで加熱し、圧力を加えると分子レベルで結合することを利用した接合方法。樹脂部材を加熱する方法として、超音波融着、振動融着、誘導融着、高周波融着、熱融着など、様々な方法がある。
61	熔融粘度	Melt Viscosity	樹脂などが溶けた時に、流動する物体の内部に生じる抵抗。粘度＝粘性ともいう。熔融粘度が低いということは流動性が良いことを意味する。
62	ラマン顕微鏡	Raman Microscope	可視光が分子に当たって散乱する光散乱（＝ラマン散乱）を利用した物質の分析装置。この散乱した光の波長変調を分光器によって調べることによりその組成分析や結晶構造情報を得て、顕微鏡と融合させることで局所的な成分や結晶状態を知ることができる。
63	ラマンスペクトル	Raman Spectrum	ラマン散乱光の波長（色の違い）に対する光強度をグラフ化したもの。スペクトルは複数のピークを持ち、分子に固有の形状を示す。物質の質の評価や不純物の同定を行うことができる。
64	ランダムチョップ基材	Random Chopped Material	チョップドテープ（一定の長さに切り揃えたプリプレグテープ）をランダムに配向した基材。
65	臨界繊維長	Critical Fiber Length	繊維を埋め込んだ樹脂材料において、引張応力を適用した時に繊維が切断され、それ以上切断が起こらない時の繊維の長さ。ある繊維の長さに達すると界面でのせん断を支えることができなくなるため、繊維破断よりも繊維の樹脂内での滑りが先に起きてしまう。
66	連続繊維	Continuous Fiber	すべての繊維が互いに平行に並んでいる一方向層の形態で用いられる長繊維。編んだり、織ったりして用いることができる。また一方向層を様々な方向に積層することで擬似等方性や直交性、異方性のある板をつくることができる。
67	ワイブル分布	Weibull Distribution	物体の破壊強度を統計的に記述するための確率分布。時間に対する劣化現象や寿命を統計的に記述するためにも利用される。ワイブル係数を導入した式で表わされる。
68	CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics	炭素繊維強化プラスチック。炭素繊維で補強したプラスチック成形品（樹脂成形品）の総称。
69	CFRTP	Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック。ポリアミドやポリプロピレンといった熱可塑性樹脂を母材とする炭素繊維強化複合材料。
70	CFRTS	Carbon Fiber Reinforced Thermosetting Plastics	炭素繊維強化熱硬化性プラスチック。エポキシや不飽和ポリエステルといった熱硬化性樹脂を母材とする炭素繊維強化複合材料。
71	GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastics	ガラス繊維強化プラスチック。ガラス繊維で補強したプラスチック成形品（樹脂成形品）の総称。

72	GMT	Glass-Mat reinforced Thermoplastics	熱可塑性樹脂（主にPP）をガラス長繊維マットで強化したプラスチック材料であり、スタンパブルシートとも呼ばれる。通常のガラス短繊維入り熱可塑性樹脂と比べて、長繊維が50%程度も占めているので強度的に優れ、自動車部品などに使われている。
73	LCA	Life Cycle Assessment	製品やサービスに対する、環境影響評価の手法。主に個別の商品の製造、輸送、販売、使用、廃棄、再利用までの各段階における環境負荷を明らかにすることを目的としている。
74	RTM	Resin Transfer Molding	樹脂注入成形法。溶融した熱硬化樹脂を低圧化で金型に封入された強化繊維プリフォームに注入し、加熱硬化させる成形法。
75	SMC	Sheet Molding Compound	強化繊維と樹脂（熱硬化性または熱可塑性）からなるシート状材料を金型の中で積層し圧縮して加熱硬化させる成形法。
76	Vf	Fiber Volume Content	繊維体積含有率。単位は%。

I. 事業の位置付け・必要性について

1. NEDO 関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDO が関与することの意義

近年、産業発展と自動車を中心とする輸送機器の普及が、地球規模の環境破壊、地球温暖化ならびにエネルギー資源の枯渇等様々な問題を招来している。特に、エネルギー資源の約 80%を海外に依存する我が国にとって、これを効率的に利用しエネルギー消費を削減すること、さらに二酸化炭素排出量を低減させることは、国家的政策における重要な課題である。

本プロジェクトが掲げる「サステナブルハイパーコンポジット」とは、持続可能な社会を構築する上で有用な複合材料（コンポジット）を意味する。具体的には、炭素繊維を強化繊維とし、熱可塑性樹脂をマトリックスとする複合材料（炭素繊維強化熱可塑性プラスチック：CFRTP）であり、自動車等の部材の軽量化による省エネルギーとリサイクル等による環境問題の軽減が期待できる材料である。すなわち、炭素繊維の軽量・高強度、熱可塑性樹脂の易加工性・リサイクル性を活用して環境・エネルギー問題に対し、総合的に取り組むプロジェクトである（図 I.1-1）。本プロジェクトの実施効果として期待されるエネルギー消費量削減は国家として取り組む課題であることに加え、応用分野として想定される自動車分野はきわめて公共性が高く、さらに二酸化炭素排出量の低減は国際社会的にも、要請が強いものとなっている。

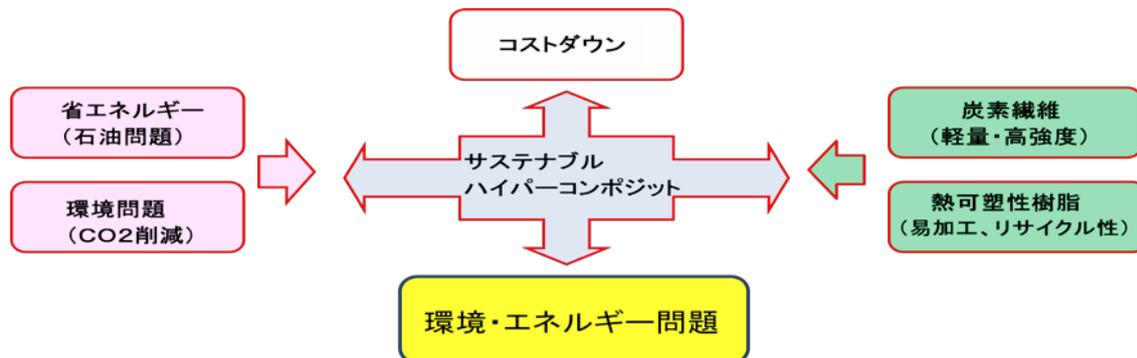


図 I.1-1 サステナブルハイパーコンポジットの概念

サステナブルハイパーコンポジットを構成する重要素材である炭素繊維は、鉄の 1/4 の軽さ、10 倍の強さであり、軽量かつ高強度という特徴を有する。さらに現在、世界シェアの約 50%以上を日本企業が独占しているという非常に競争力のある高機能素材である（図 I.1-2）。炭素繊維とプラスチックとを一体化した先進材料である炭素繊維強化熱硬化性プラスチック（CFRP）は、航空機、宇宙、建築・土木、自動車、鉄道、風力発電等、産業分野の素材としてのみならず、電子機器、スポーツ、レクリエーション等の民生分野向けの素材として広く利用されている我が国の強み技術であり、材料産業等の国際競争力の維持、向上に大きく寄与する素材として位置付けられている。

一方で上述したように、本プロジェクトは総合的な技術開発であることから、種々の要素技術に同時並行的に取り組む必要がある。すなわち、炭素繊維や熱可塑性樹脂のような

川上産業の課題から、川中の成形加工に関するプロセス・装置産業、開発した部材を使用する自動車業界等の川下産業にわたる異業種連携、さらには設計・評価等に関する大学、研究機関等も含めた連携の下で効率的に開発を推進していく必要がある（表 I.1-1）。

なお、本プロジェクトで取り組む熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料は、新規部材として広く普及されるまでには、非常に長い期間と多額の費用を要し、かつ、リスクが極めて大きい研究開発内容であるため、民間企業が独自で取り組むには限界がある。

以上、1) エネルギー消費量削減への寄与、2) 産業競争力強化への寄与の観点から、本プロジェクトは国及び独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という）として強力なイニシアティブを発揮して総合的に推進すべき課題である。また、産学官の連携により効率的に開発を進めていくためにも、国の予算措置によるプロジェクトとして NEDO が技術開発に関与することが必要不可欠であると言える。

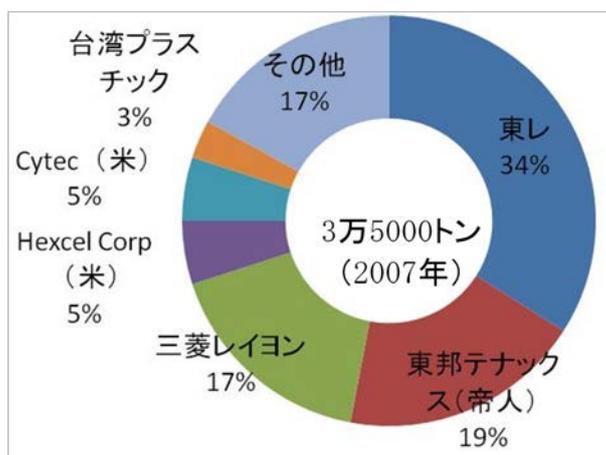


図 I.1-2 PAN 系炭素繊維の世界生産シェア（出典：炭素繊維協会）

表 I.1-1 サステナブルハイパーコンポジットで開発する技術の分担

検討項目		参画機関
炭素繊維	<ul style="list-style-type: none"> 炭素繊維の改質 中間基材・コンポジットの試作 熱可塑性樹脂の選択 供給体制の構築 	炭素繊維メーカー
熱可塑性樹脂	<ul style="list-style-type: none"> 炭素繊維用の樹脂開発 供給体制の構築 	樹脂メーカー
設計・評価	<ul style="list-style-type: none"> 設計手法の確立 評価方法の確立 世界標準の発信 	大学・研究機関
成形加工	<ul style="list-style-type: none"> 高速成形技術 ニーズ重視の開発 コストダウン 	成形メーカー 自動車メーカー

1.2 実施の効果（費用対効果）

本プロジェクトの研究開発費用は、平成20年度～平成24年度の5年間で約38億円である。本プロジェクトで開発するサステナブルハイパーコンポジットは、最も高い効果が期待される分野として自動車用部材への適用を狙っている。本コンポジットの使用により自動車車体が軽量化されることで燃費の向上が期待できることから、大幅なエネルギー削減が見込まれる。サステナブルハイパーコンポジット（炭素繊維強化熱可塑性プラスチック：CFRTP）適用による自動車1台あたりのエネルギー削減量およびCFRTPが適用された自動車の普及台数の観点から、以下のように効果が算出される。

まず、効果算出の計算をするにあたっての前提として以下の条件を設定した。

- ・ CFRTP適用による軽量化効果：30%軽量化（1台あたり1,380 kg→970 kgに軽量化）^{※1}
- ・ 上記軽量化に伴う二酸化炭素削減効果：0.5 t/台・年^{※1}
- ・ 次世代自動車のエネルギー削減量は、現行ガソリン車の約半分^{※2}
- ・ 乗用車の年間国内販売台数は300万台^{※3}
- ・ 自動車へのCFRTP適用は2015年から開始
- ・ CFRTP適用車普及率の伸び率：2015～2020年は年0.5%、2020～2030年は年1.5%^{※4}

※1 「素材産業からの低環境負荷社会への提言」（炭素繊維協会）より“炭素協会モデル”として、自動車のライフサイクルにおける二酸化炭素削減量が示されている。

※2 「低炭素社会に向けた交通システムの評価と中長期戦略」（環境省脱温暖化2050プロジェクト・交通チーム）より、現行次世代自動車の二酸化炭素排出量は、現行ガソリン車の約半分であることが示されている。

※3 「四輪新車販売台数」（日本自動車工業会ホームページ）より、1999年以降の国内新車年間販売台数のうち、普通車と小型四輪車が300万台以上で推移していることより、300万台と設定。

※4 「次世代自動車戦略2010」（経済産業省「次世代自動車戦略研究会」）において、次世代自動車の普及率は、2010年：9.3%、2020年：20%未満（年率：約0.5～1%）2030年：30～40%（年率：約1.5～2.5%）と示されている。最も低い普及率を想定し、2015年から2020年は年0.5%、2020年から2030年は年1.5%と仮定した。

これらの条件を基にして、(1) ガソリン車の年間1台あたりのエネルギー削減量および、(2) 次世代車の年間1台あたりのエネルギー削減量は以下のように算出される。

(1) ガソリン車の年間1台あたりのエネルギー削減量（原油換算）

$$\text{二酸化炭素削減量} 0.5 \text{ t/台・年} \times 0.38 = 0.2 \text{ kL/台・年}$$

(2) 次世代車の年間1台あたりのエネルギー削減量（原油換算）

$$\text{現行ガソリン車の約半分との仮定から、} 0.1 \text{ kL/台・年}$$

CFRTPの適用が、ガソリン車と次世代車とに等しく進むと仮定すると、CFRTP適用車による年1台あたりのエネルギー削減量は上記(1)(2)の合計の平均値として、

$$(0.2 \text{ kL/年・台} + 0.1 \text{ kL/年・台}) \div 2 = 0.15 \text{ kL/年・台}$$

他方、国内自動車販売台数を年間約300万台とし、CFRTP適用が2015年から開始され2020年までは年0.5%、2020年から2030年は年1.5%の割合で増加すると仮定すると、CFRTP適用車の普及台数（ストック量）は、2020年で32万台、2030年で338万台と算出される。

以上より、CFRTP適用車の普及による消費エネルギー削減量（原油換算）は、
 $32\text{万台} \times 0.15\text{ kL/年} \cdot \text{台} = 4.8\text{万 kL/年}$ （2020年）
 $338\text{万台} \times 0.15\text{ kL/年} \cdot \text{台} = 50.7\text{万 kL/年}$ （2030年）
 が、算出される。

以上の通り、本開発によりCFRTPの普及および自動車軽量化による燃費向上が進むことで、本プロジェクトの予算規模に比べても十分に大きな効果が期待される（図 I.1-3）。

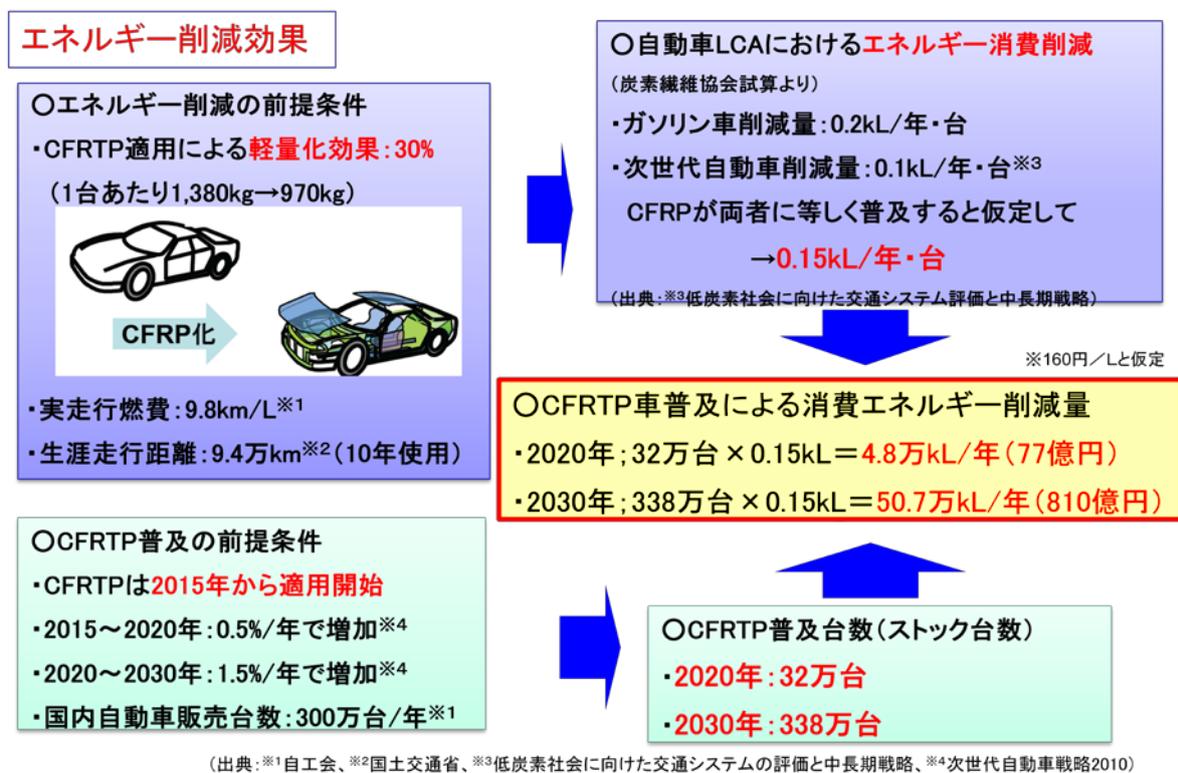


図 I.1-3 CFRTP 適用車普及によるエネルギー削減効果

2. 事業の背景・目的・位置付け

2.1 事業の背景

エネルギー資源の約 80%を海外に依存する我が国にとって、これを効率的に利用すること、即ち「省エネルギー」を図ることは、エネルギー政策上、重要な課題である。全世界の産業・社会におけるエネルギー消費量を分析してみると、OECD 諸国の運輸部門に占める比率が高く、特に自動車などで使われる石油（燃料）消費の割合が高い（図 I.2-1）。さらに、日本国内の各部門における二酸化炭素排出量においても運輸部門は割合が高く、その大部分を占める自動車が日本全体の約 17%を排出している（図 I.2-2、I.2-3）。この状況下、大幅なエネルギー消費の低減および二酸化炭素排出量の削減を図るためには、運輸部門における燃料消費率の向上が必要である。図 I.2-4 には自動車燃費と車両重量との関係を示すが、燃費向上に対しては車両重量の軽量化が大きな効果となっていることがわかる。

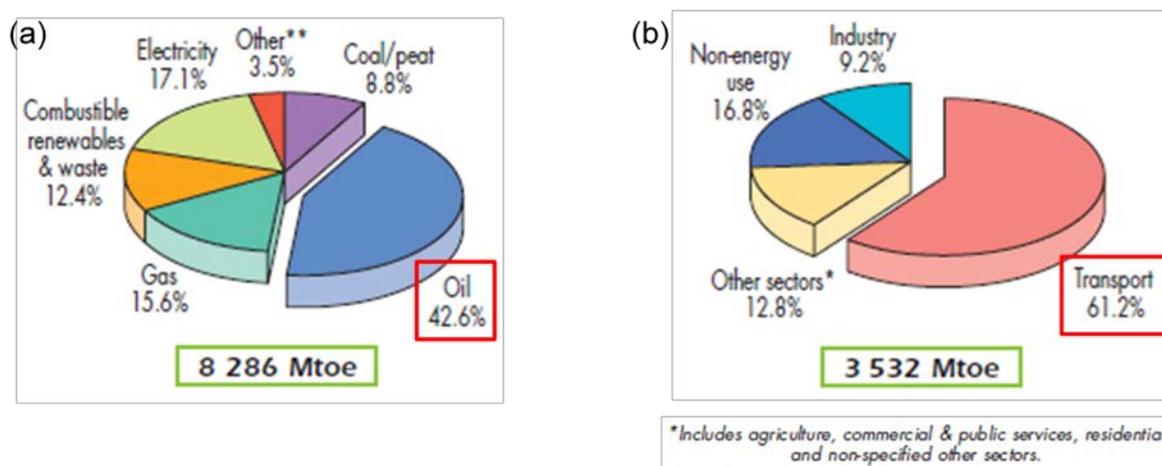
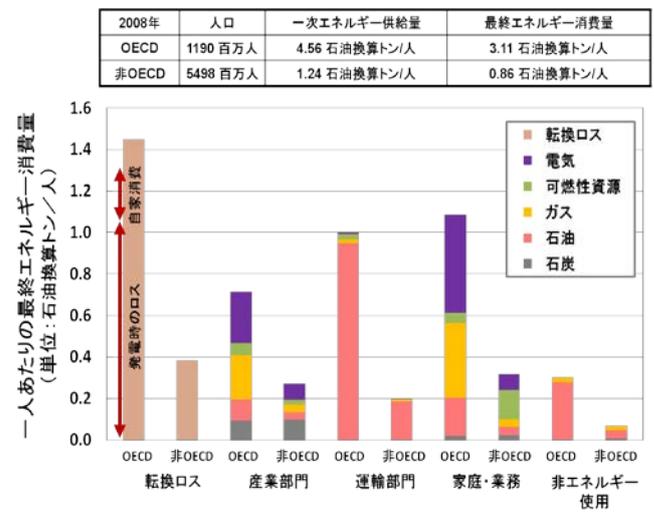


図 I.2-1 (a) 全世界のエネルギー消費、(b) 石油消費における分野別割合
(出典：KEY WORLD ENERGY STATISTICS 2009)

炭素繊維は鉄の 1/4 の軽さ、10 倍の強さであり、軽量、高強度という特徴を有する。炭素繊維とプラスチックとを一体化した先進材料である炭素繊維強化熱硬化性プラスチック (CFRP) はその超軽量性故に、燃費改善の希望が強い航空機業界において実用化が進んでいる。図 I.2-5 には最新の航空機機体を構成する素材の使用割合を示すが、CFRP は機体重量の 50%に適用されている。アルミ材料を用いて構成した機体に比べ、約 20%の燃費改善が達成できるとされており、CFRP は航空機の標準材料として地位を築きつつある。このような高いポテンシャルを持っている一方で、母材に熱硬化性樹脂を使用しているため、加工性に乏しい、大型成形加工設備が必要、生産サイクルタイムが長い、リサイクルが困難等の問題や、金属のような均質材料でなく設計の難易度が高いことから、主な用途が航空機等の高価な用途に限定されているのが現状である。

世界のエネルギー消費構造(運輸は石油中心)



エネルギー効率化に向けた対策

- 産業部門
 - ・材料の脱石油化
 - ・工場の省エネルギー化
 - ・新規設備と旧来設備の融合
- 運輸部門
 - ・エネルギー効率化
 - －動力の効率化
 - －構造体の軽量化
 - ・脱石油燃料の使用
 - －バイオマスエネルギーの利用
 - －水素エネルギーの利用
- 民生部門
 - ・暖房効率の改善
 - ・給湯システムの改善

図 I.2-2 部門別最終エネルギー消費量 (石油換算 t/人)
 (出典: Kye World Energy Statistics 2005 (IEA) 高橋 PL まとめ)

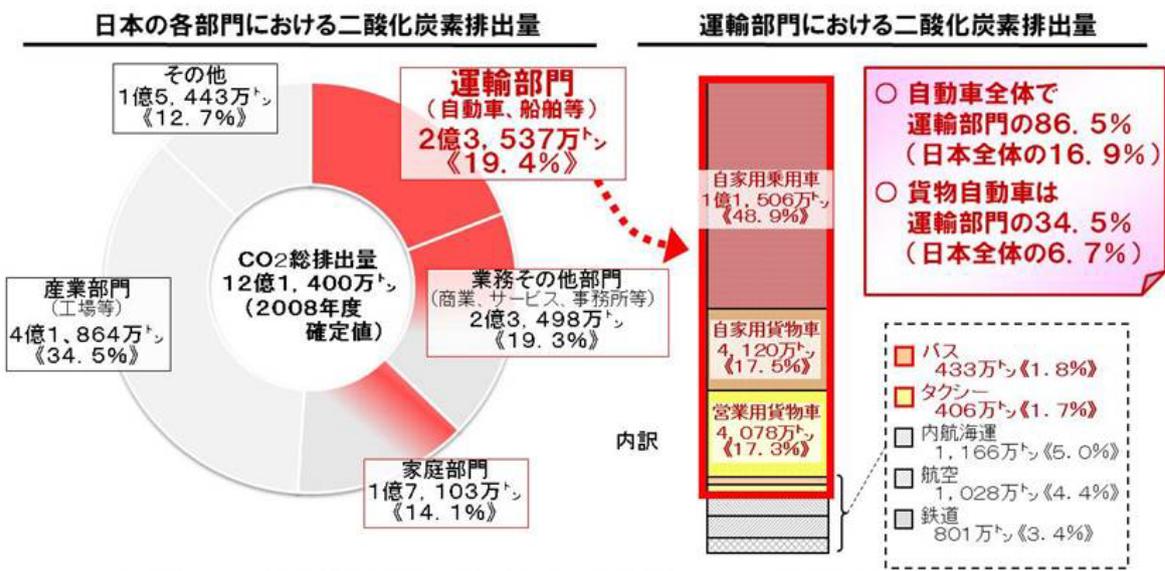


図 I.2-3 運輸部門における二酸化炭素排出量
 (出典: 国土交通省 HP「運輸部門における二酸化炭素排出量」)

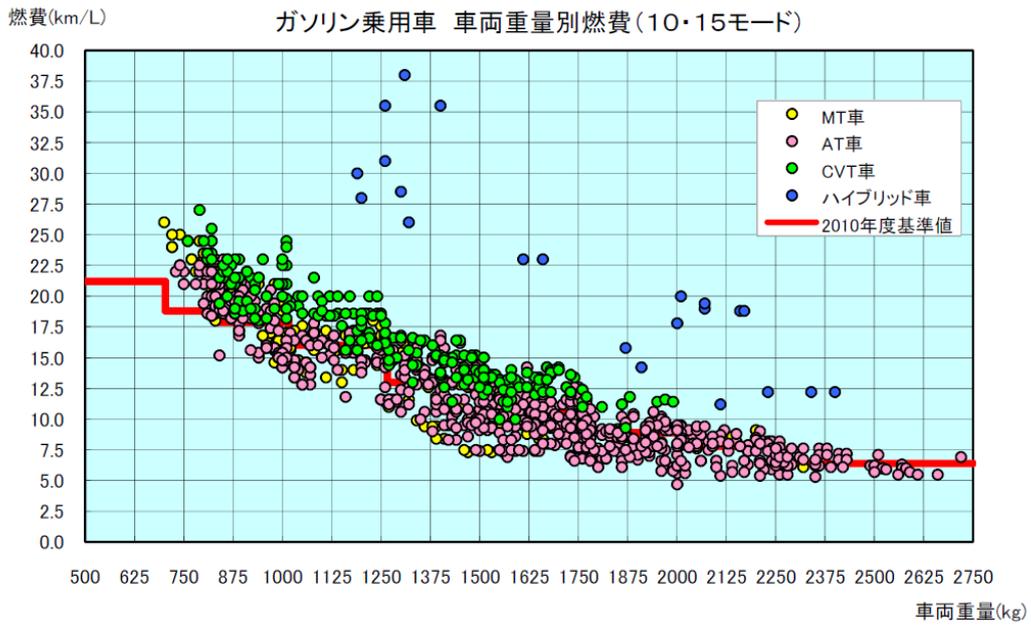


図 I .2-4 自動車燃費と車両重量との関係
(出典：国土交通省「自動車燃費一覧 (H22.3)」)

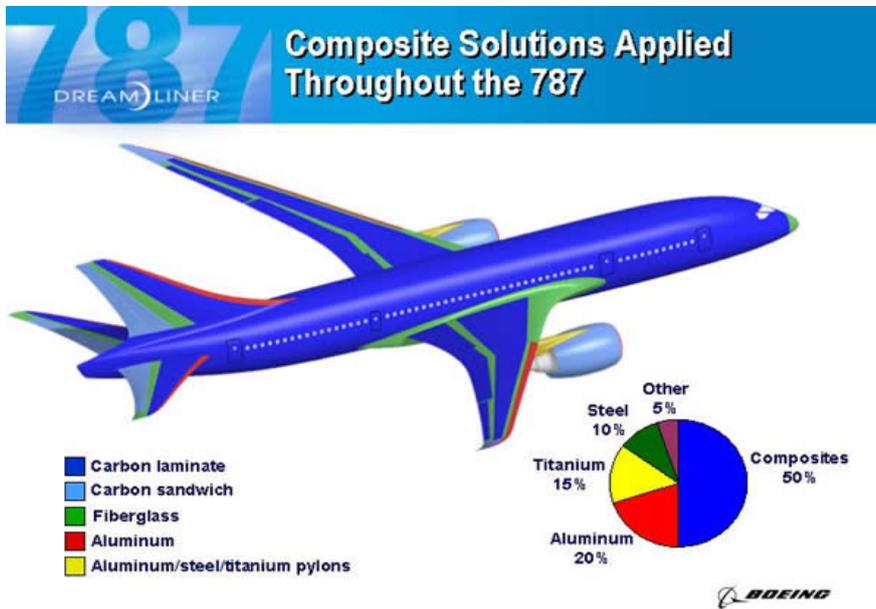


図 I .2-5 最新航空機に使用される素材の割合
(出典：炭素繊維協会 HP)

2.2 事業の目的及び意義

このような背景のもと本プロジェクトでは、革新的な炭素繊維強化熱可塑性プラスチック（CFRTP）を開発し、自動車等の更なる軽量化と燃費向上をはかることで、高度な省エネルギー社会を構築するとともに、日本製造業の国際競争力の更なる向上を図ることを目的とする。具体的には、従来の CFRP に匹敵する界面接着強度及び低い線膨張係数を保持しつつ、CFRP には無い高速成形性、易二次加工性及びリペア・リサイクル性を備えた革新的な炭素繊維強化熱可塑性プラスチック（CFRTP）を開発し、自動車に用いられている金属材料、特にスチールを代替することで、量産乗用車等に広く普及させることを狙う。

このような軽量化効果の大きい先進材料を金属材料の代替として、乗用車等に適用することが可能になれば、今まで以上に燃費に優れた車の開発につながることから、極めて意義は大きい。すなわち、自動車産業を初めとした各種製造業における産業競争力が強化されることは当然のこと、環境立国日本としての地位も揺るぎ無いものとするができる。

2.3 事業の位置付け

本プロジェクトは自動車の軽量化など移動体における消費エネルギーの大幅削減を図るとともに、自動車、産業機械等のより広い分野での利用、さらに循環型社会の構築も推進するものである。このため、更なる省エネルギー技術の開発・導入を進め、我が国におけるエネルギーの安定供給の確保を図ることを目的とした、「エネルギーイノベーションプログラム」の内、「I. 総合エネルギー効率の向上、v. 先進交通社改革率技術」の一環として実施するものである（図 I.2-6）。

また本プロジェクトは、革新的部材開発技術を駆使して、エネルギー・資源・環境等の社会的制約を克服すると同時に、我が国の強みであるナノテク関連産業・部材産業の競争力を強化することを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の内、「IV. エネルギー・資源・環境領域、(i) エネルギー制約の克服」の一環としても実施する（図 I.2-7）。

本プロジェクトの技術戦略マップ上の位置付けとしては、部材分野の技術マップ「環境・エネルギー分野」の「省エネルギー・CO₂削減用部材（軽量化・高強度化用部材）」に重要部材として位置付けられている。またファイバー分野の技術マップ「炭素繊維・複合材料（移動体）分野」に位置付けられている（図 I.2-8）。

さらに「省エネルギー技術戦略 2008」における「先進交通社会確立技術」のうち「車両軽量化」に位置付けられる。Cool Earth-エネルギー革新技術計画においても、「産業部門：革新的材料・製造・加工技術」としても位置付けられている。

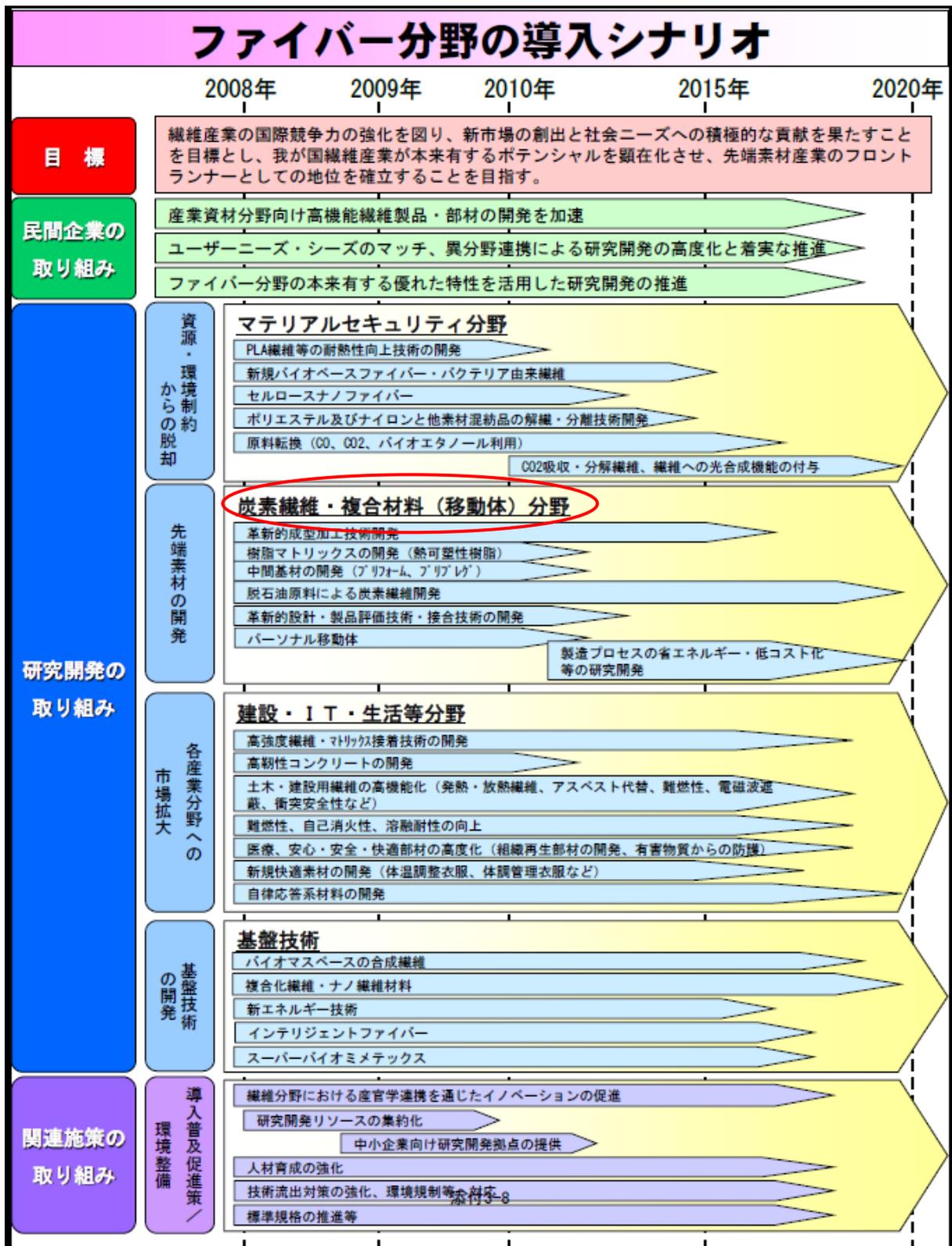


図 I.2-8 技術戦略マップ（ファイバー分野）における本プロジェクトの位置付け

国内外の研究開発動向に関しては図 I.2-9 に示す。また、本プロジェクトの目指す方向を図 I.2-10 に示す。

PAN 系炭素繊維に関しては、1962 年に開発・工業化されてから、米英国を筆頭に数多くの企業が参画したが、1990 年代に入り、世界政治の冷戦に伴い、軍事や航空宇宙産業において先進複合材料の需要停滞に伴い事業撤退が相次いだ結果、最終的には日本の 3 社(東レ、東邦テナックス、帝人) が世界シェアの 70%以上を確保するに至った。航空機産業における CFRP の使用用途拡大に伴い、特にアジア諸国の参入があるが、品質面での問題も多く、実用化に向けた課題は多い。

一方の我が国の CFRP 成形加工技術に関しては、欧米諸国と比較して弱く、遅れを取っている。熱硬化性コンポジット材料の特許類の多くは欧米が保有している他に熱可塑性コンポジット材料も積極的な取り組みがされている状況にある。

また、複合材料の実使用状況に関しては、海外では航空機以外は GFRTP がメインになっており、CFRTP は航空機用途のスーパーエンブレ+CF というケースが多い。

今後は、量産乗用車用途に熱可塑性 CFRTP の活用が期待されているが、品質管理・長期耐久性評価・材料や成形加工データベースの整備等も検討して行く必要がある。

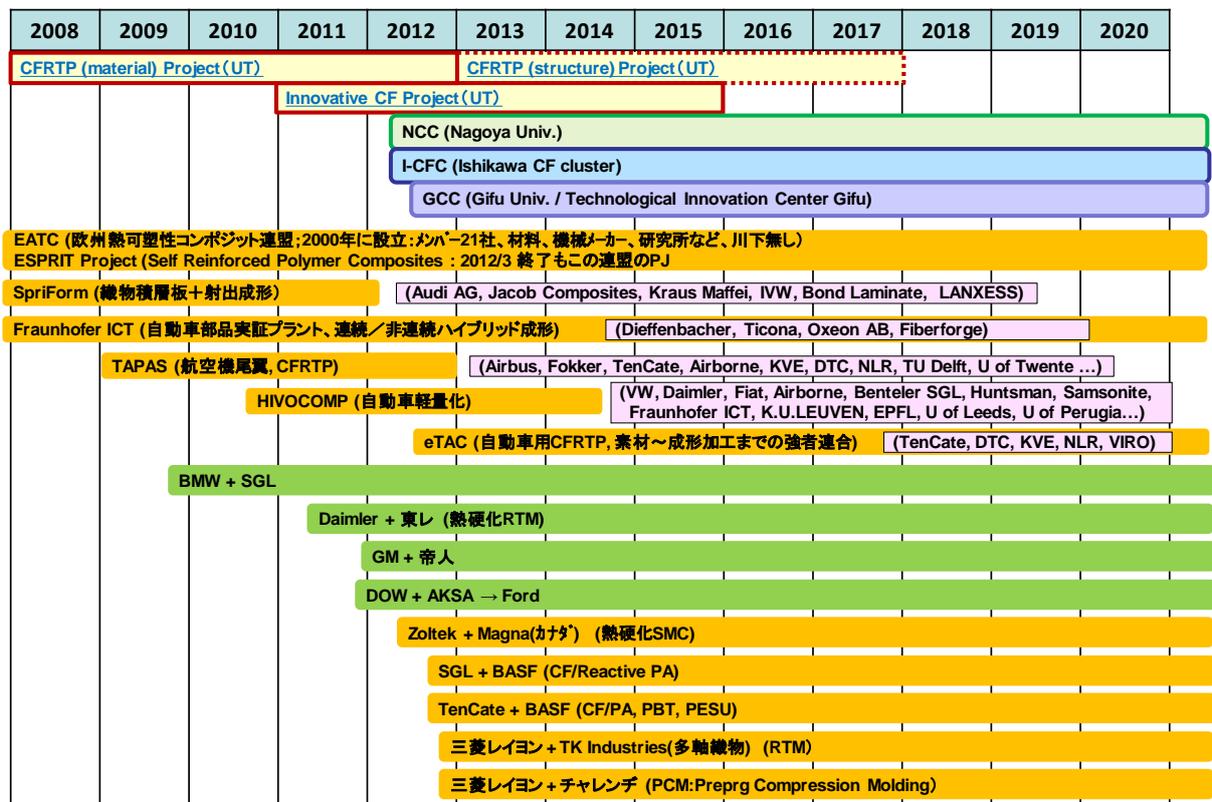


図 I.2-9 国内外の CFRTP・GFRTP 研究開発動向 (世界比較)

(出典:「FRTP の過去、現状と課題」 名古屋大学 NCC 山根先生講演資料)

熱硬化性CFRPが抱える問題(成形速度、歩留まり、リサイクル性)を解決し、汎用自動車への適用を目指す。

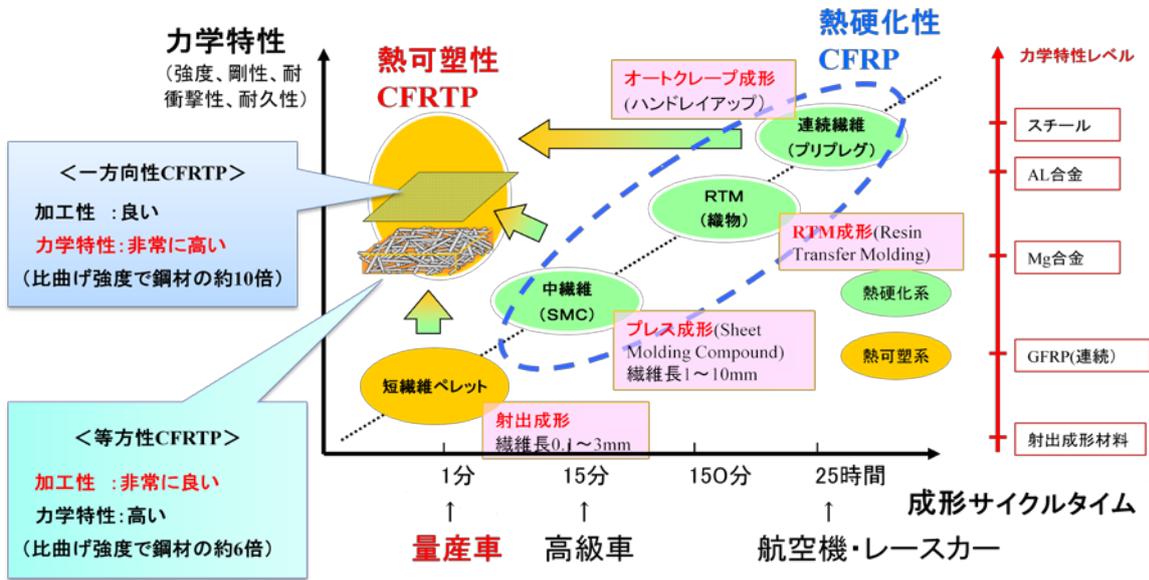


図 I.2-10 CFRP の現状から本プロジェクトの目指す方向

II. 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

本プロジェクトでは、炭素繊維複合材料の易加工・高強度を実現するための基盤技術として短時間で成形が可能な①易加工性中間基材の開発を行う。さらにこの中間基材を用いた②高速成形技術の開発、部材同士の接合部の強度を保持する③接合技術の開発を行うとともに、④リサイクルおよびリペア技術の開発を実施し、自動車車体等の更なる軽量化を可能とする。また、これら①～④の開発で得られた基盤技術を基に、自動車等への実用化を促進するための実用化技術として、⑤易加工性自動車用モジュール構造部材の開発、⑥易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発も並行して実施する。

①～⑥それぞれの研究開発項目に対し、以下の目標を設定している。

【共通基盤技術】

①易加工性 CFRTP 中間基材の開発

熱可塑性樹脂との接着性と繊維の分散性や含浸工程通過性を両立する炭素繊維の表面処理技術並びに炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂並びに生産性及び部材への加工性に優れた等方性 CFRTP 中間基材と一方向性 CFRTP 中間基材を開発する。

②易加工性 CFRTP の成形技術の開発

研究開発項目①で開発される CFRTP 中間基材を用いた高速成形加工技術として、高速スタンピング成形技術と高速内圧成形技術を開発する。

③易加工性 CFRTP の接合技術の開発

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対して、各種融着等による高速接合方法の適合性を検討し、十分な接合強度を有する接合方法を開発する。

④易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、リサイクル性（リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数）を向上させる技術を開発するとともに、リペア技術を開発する。また、これらの開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

【実用化技術】

⑤易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

研究開発項目①の研究開発のうち、特に不連続繊維を使うことで複雑形状への適応性を高くした等方性 CFRTP 中間基材を用い、研究開発項目②で開発される高速成形技術により高強度かつ高精度な CFRTP 部材の成形技術の開発を行う。さらに、研究開発項目③で開発した高速接合技術により本モジュールを開発する。最後に、研究開発項目④で開発した技術を用いてリサイクル性とリペア性の評価を行う。

⑥易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

研究開発項目①の研究開発のうち、特に一方向性 CF RTP 中間基材を用い、研究開発項目②③④で開発される関連技術を用いて閉断面構造のモデル部材を試作することにより、優れた生産性を有するとともに、軽量化効果の高い自動車一次構造材技術であることを実証する。同時に、最終実用化のための技術課題の抽出、課題解決のための方策検討を実施する。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容及び全体スケジュールと予算

2.1.1 事業全体の計画内容

図 II.2-1 に本事業で開発する基盤技術の相関を示す。すなわち、研究開発項目①で開発したそれぞれの中間基材を、研究開発項目②で開発した成形技術により部材とすべく加工し、さらに研究開発項目③で開発した接合技術により自動車用部品として加工する。これら一連の工程中で発生した材料、さらに自動車等の製品として使用した後の材料をリサイクルするための技術を研究開発項目④において開発する。

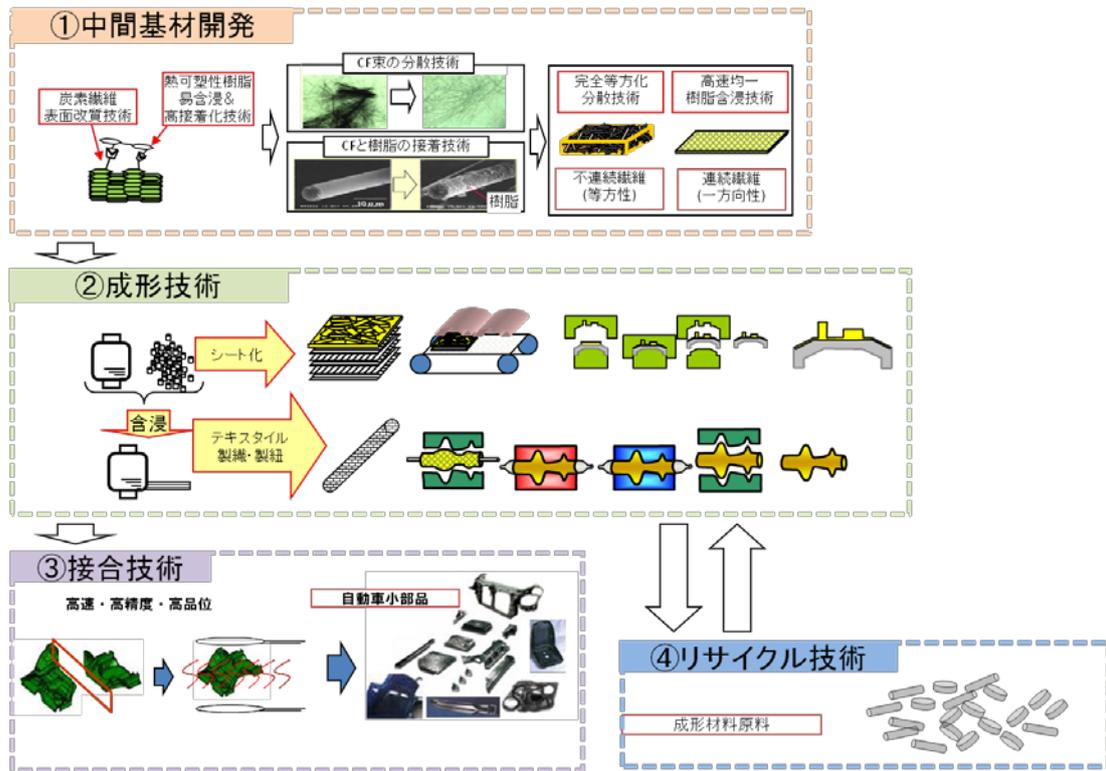
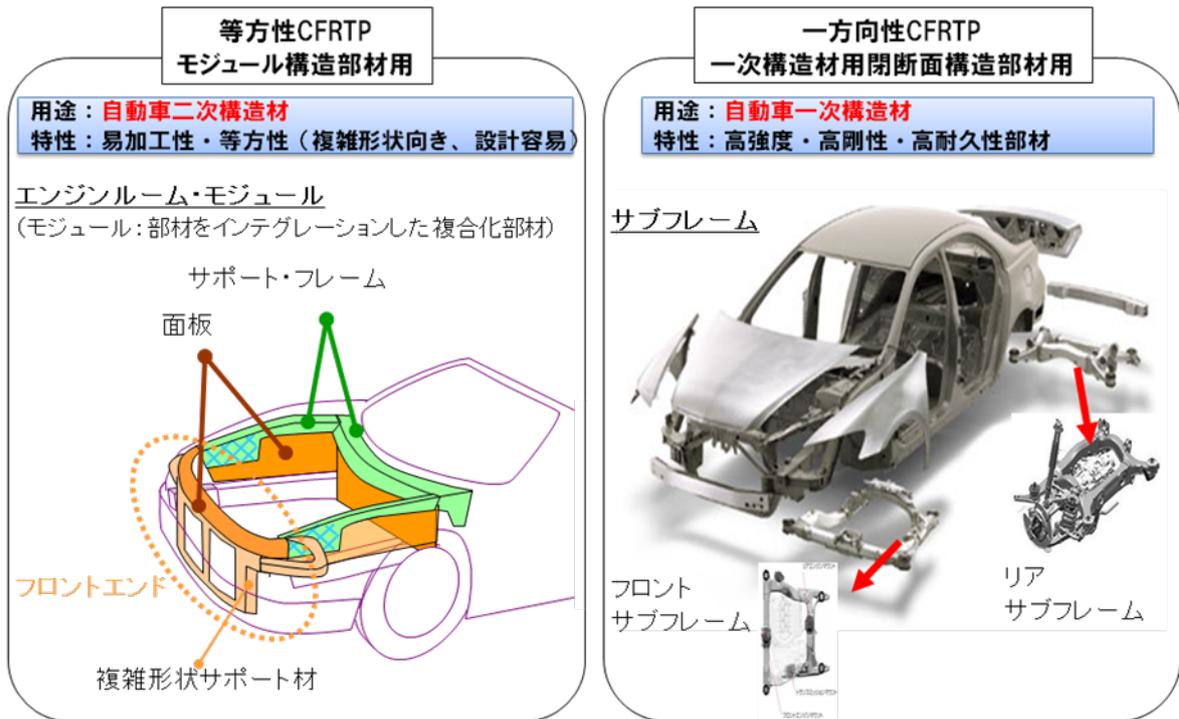


図 II.2-1 本事業で開発する基盤技術の相関関係

これらの基盤技術を利用して、研究開発項目⑤および⑥では実用化技術として自動車用部材の開発を行う（図 II.2-2）。研究開発項目⑤では等方性 CF RTP を用い、自動車用モジュール構造部材の開発を行う。すなわち、加工性に優れ、複雑な形状にも対応可能

な等方性CFRTPを用い自動車二次構造部材(直接自動車の構造を維持するのではない部材)としての用途に向けて展開をはかる。また研究開発項目⑥では一方向性CFRTPを用いて、一次構造材用の閉断面構造部材の開発を行う。ここでは、より高強度、高剛性の特徴を有する一方向性CFRTPを用い、自動車安全性に関わる自動車一次構造部材(地面や衝突物からの荷重を直接受けて自動車の構造を維持するための部材)としての用途展開をはかる。



図Ⅱ.2-2 研究開発項目⑤および⑥で実施する自動車用部材の開発

以上の①～⑥の研究開発項目に対する全体スケジュールおよび予算計画を、それぞれ図Ⅱ.2-3 および図Ⅱ.2-4 に示す。

◆研究開発のスケジュール

研究開発項目	2008年度	2009年度	2010年度 中間評価	2011年度	2012年度	備考
共通基盤技術 ①易加工性CFRTP中間基材の開発 等方性CFRTP中間基材の開発 一方向性CFRTP中間基材の開発	基礎検討	改良検討	基本技術確立	機能向上検討	技術確立	
	処理方法検討・基本技術見極め	基本技術確立	改良検討・基礎評価	技術確立		
	基礎検討	改良検討	基本技術確立	機能向上検討	技術確立	
	基礎検討	基本技術確立	基礎成形方法確立	最適化検討		
②易加工性CFRTPの成形技術の開発 高速スタンピング技術 高速内圧成形技術	基礎検討	改良検討	基本技術確立	機能向上検討	技術確立	
		基礎検討	基本技術確立	基礎成形方法確立	最適化検討	
③易加工性CFRTPの接合技術の開発 CFRTP同士接合技術 CFRTP異材接合技術	基礎検討	改良検討	基本技術確立	機能向上検討	技術確立	
		技術調査	課題抽出・基礎検討	機能向上検討	技術確立	
④易加工性CFRTPのリサイクル技術の開発 部材リサイクル技術 部材リペア技術	基礎検討	改良検討	基本技術確立	機能向上検討	技術確立	
			基礎検討	基本技術確立	機能向上検討	
実用化技術 ⑤易加工性自動車用モジュール構造部材の開発 中間基材製造技術 複雑形状製造技術		基材基本製造技術確立	機能向上検討	外観・生産性改善		①～④の技術と連動して実施。
		基礎検討	成形基本技術確立	具体的部材検討	要素技術確立	
⑥易加工性自動車一次構造部材の開発 中間基材テープ製造技術 一次構造部モデル部材技術	基礎検討	表面処理技術開発	基本製造技術開発	連続生産検討	連続生産技術確立	
			基礎検討	基本技術確立	機能向上検討	

図 II.2-3 研究開発の全体スケジュール

予算総額：3,810百万円

研究開発項目	H20年	H21年	H22年	H23年	H24年	合計
①易加工性CFRTP中間基材の開発	104	826	210	109	258	1,507
②易加工性CFRTP成形加工技術の開発	96	728	207	188	128	1,347
③易加工性CFRTP接合技術の開発	15	119	147	61	59	401
④易加工性CFRTPリサイクル・リペア技術の開発	13	21	40	52	50	176
⑤易加工性自動車用モジュール構造部材の開発	0	124	40	43	7	214
⑥易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発	81	40	21	15	8	165
合計(NEDO管理費込)	316	1,898	696	487	527	3,810

当初予算：643百万円
補正予算：1,347百万円

加速予算30百万円

当初予算：243百万円
加速予算：284百万円

図 II.2-4 研究開発の計画（予算）

2.1.2 研究開発項目毎の内容

以下、個別の研究開発項目毎に詳細を示す。

研究開発項目① 易加工性 CFRTP 中間基材の開発

【研究開発の必要性】

従来の炭素繊維の表面の改質は、エポキシ樹脂を中心とした熱硬化性樹脂を対象に行われているが、熱可塑性樹脂との含浸性・接着性を最大限発揮するような最適化はなされていない。また、熱可塑性樹脂は、炭素繊維との化学的結合を形成する官能基が少なく、界面接着力が弱いことが、複合材料としての物性発現が低いことの主要な原因と考えられており、これらの特性を向上させる炭素繊維の表面処理技術の開発が望まれている。

一方、熱可塑性樹脂は、熔融時の粘度が高く、硬化反応前の熱硬化性樹脂に比べ、強化繊維への含浸性に劣る。このため、複合化時の生産性や製造された複合材料に残るボイド等、実用面での課題を持っており、複合化時の含浸性・接着性と複合材料の力学特性を両立できる熱可塑性樹脂の開発が望まれている。

上記の理由により、従来の炭素繊維強化熱可塑性複合材料（CFRTP）は、複合材料中の繊維含有率を高めることが困難であり、生産性も低く、かつ価格・物性・供給性の面で、同材料の自動車用途への普及を困難にしている。

以上のことから、加工性を含む広い意味での生産性に優れ、かつ繊維含有率が高い高品質の CFRTP の実現のためには、その成形やその後の加工・接合・リサイクルを可能とする中間基材の製造技術を開発することが不可欠である。

【研究開発の具体的内容】

熱可塑性樹脂との接着性と繊維の分散性や含浸工程通過性を両立する炭素繊維の表面処理技術、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂並びに生産性及び部材への加工性に優れた CFRTP 中間基材として以下のものを開発する。

(1) 等方性 CFRTP 中間基材

面内等方性を持つ CFRTP 中間基材を実現することにより金属並みの易加工性等を達成すべく、熱可塑性樹脂との接着性の高い炭素繊維の表面処理技術と同時に、接着性向上のために極性の高くなった炭素繊維をランダムに分散させるための繊維の分散と配向のコントロール技術を、自動車業界で汎用的であるポリプロピレン（PP）系等の汎用熱可塑性樹脂をベースとした樹脂と併せて開発する。

(2) 一方向性 CFRTP 中間基材

炭素繊維の高い強度・弾性率を最大限に活かすための一方向性 CFRTP 中間基材においては、熱可塑性樹脂用に最適化した炭素繊維の表面処理技術の開発と同時に、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂の開発を、ユーザーニーズに幅広く応えるべく、ポリプロピレン（PP）系やポリアミド（PA）系等の汎用熱可塑性樹脂をベースとして行う。繊維直角方向の曲げ試験で炭素繊維とマトリックス樹脂の界面接着を

評価し、中間基材の物性は繊維方向の曲げ試験で評価する。なお、一方向性 CFRTP 中間基材としては、自動車一次構造材を対象とし、生産性に優れ、繊維含有率の高いプリプレグシート（一方向連続繊維基材）及び、それから得られるチョップドテープ（一方向不連続繊維基材）、クロス（二次元織物基材）、ブレード（三次元織物基材）等の製造技術を開発する。

【達成目標】

(1) 等方性 CFRTP 中間基材

中間目標

等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 250 MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 5 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 10% 以内となる材料を開発する。

最終目標

等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 400 MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 6 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 5% 以内となる材料を開発する。

(2) 一方向性 CFRTP 中間基材

中間目標

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 100 MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1400 MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 9 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.0 % 以上の材料を開発する。

最終目標

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 110 MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1600 MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 10 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.3 % 以上の材料を開発する。

【目標設定の根拠】

自動車等に使用される種々の材料について特性比較の一覧を表 II.2-1 に示す。また比強度、比剛性の観点から特性をマッピングしたものを図 II.2-5 に示す。本プロジェクトで設定した上記目標値は、航空機で用いられている CFRP と同等の機械的特性であり、極めて高い目標値を設定している。

表 II.2-1 自動車等に使用される材料の特性一覧

構造用基礎素材の特性	鉄鋼	アルミニウム	マグネシウム	エンブラ	汎用樹脂	熱硬化性CFRP	熱可塑性CFRP	熱可塑性CFRP	GFRP
素材例	390級	6000系 T5	AM60	PA6 標準	PP ホモ標準	CF/EP-UD Vf=63%	CF/PA-UD Vf=60%	CF/PP-iso Vf=40%	GF/UP-iso Vf=47%
① デザインの自由度(成形性の良さ)	△	△	◎	◎ やや高温	◎	○	○ やや高温	○	○
② 成形速度(素材・基材→部材)	○	○	△	◎	◎	× 長時間	○	○	△
③ 二次加工性(部材→製品への容易さ)	○ 溶接	△ 溶接	△	◎ 高温溶着	◎ 溶着	× ボルト	○ 高温溶着	○ 溶着	×
④ 耐食性・長期耐久性(低メンテナンスコスト)	△ 酸化	△ 酸化	× 酸化	○	◎	◎	○	◎	◎
⑤ 部品としての軽量性 弾性率: E(GPa) 強度: σ (MPa) 密度: ρ (g/cm ³) 鉄鋼比 比引張剛性: E/ ρ 比引張強度: σ/ρ 比曲げ剛性: $\sqrt[3]{E/\rho}$ 比曲げ強度: $\sqrt{\sigma/\rho}$	200 400 7.86 1 1 1 1	71 160 2.7 1.0 1.2 2.1 1.8	45 150 1.8 1.0 1.6 2.7 2.7	2.8 118 1.14 0.10 2.0 1.7 3.7	1.7 32 0.91 0.07 0.69 1.8 2.4	135 1670 1.6 3.3 31 4.3 10	139 1600 1.5 3.6 30 4.5 軽量化率 10	31 400 1.27 0.96 6.2 3.3 軽量化率 6.2	11.6 450 1.8 0.25 2.0 1.7 4.6
⑥ 部品としての低コスト性	◎	△	△	○	◎	△	○	○	△
⑦ 機能性	易設計	易設計 軽量	易設計 軽量	絶縁	絶縁	低熱膨張 導電性	低熱膨張 導電性	低熱膨張 導電性	電波透過
⑧ リペア・リサイクル性	○	○	○	○	◎	△	○	◎	△

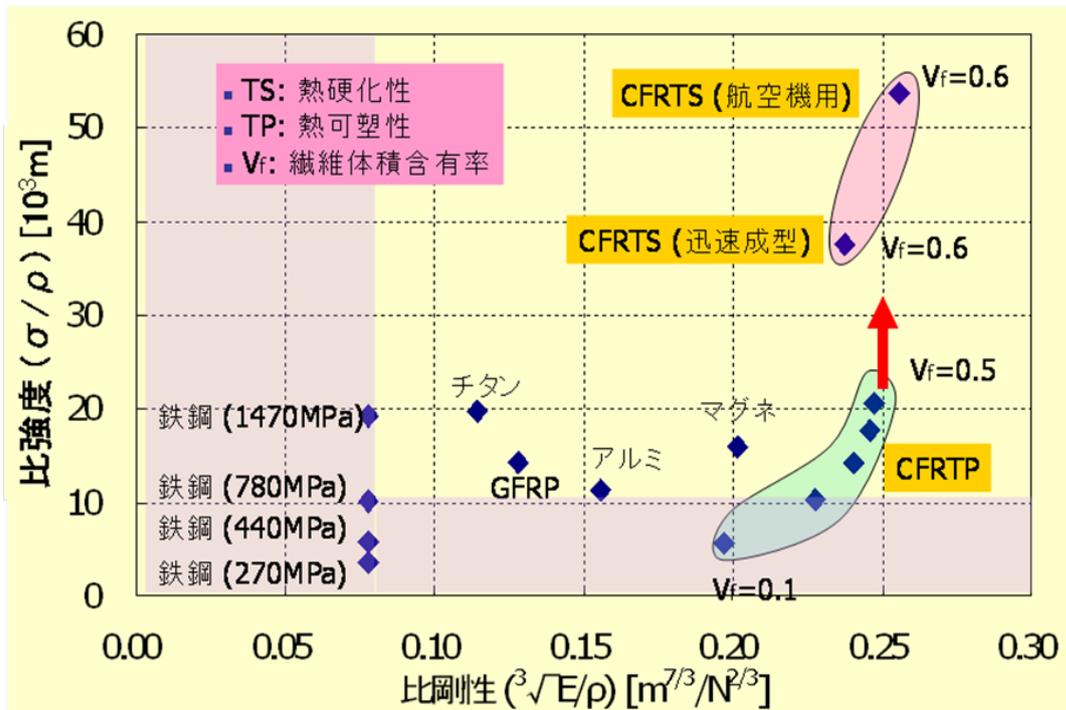


図 II.2-5 自動車等に使用される材料の特性マップ

研究開発項目② 易加工性 CFRTP の成形技術の開発

【研究開発の必要性】

自動車の軽量化を図る上で、炭素繊維強化複合材料の有用性はよく知られているところである。しかしながら、汎用の自動車にまで普及させるには自動車の生産性に適合する部品製造技術の開発が必要である。そのため、大量生産性が可能な熱可塑性複合材料を用いた、自動車構造材の成形技術開発が期待されている。

その 1 つの方向性として、等方性で不連続繊維強化の基材を使用することで、金型占有時間が極めて短く、成形後の材料ばらつきが極めて小さくできるプレス成形技術が開発できれば、複雑形状が多用される二次構造部材に適用できると考えられる。また一方で、自動車の一次構造部材には、強度・剛性に優れた箱型断面構造を有する中空の閉断面構造体を用いることが有用であることから、連続繊維の基材を使用して閉断面構造体の高速成形技術ができれば、比強度・比弾性率が高い炭素繊維を最も有効に活用でき、自動車部材に適用できる技術となり得る。

【研究開発の具体的内容】

研究開発項目①で開発される CFRTP 中間基材を用いた自動車構造材の高速成形加工技術を開発する。具体的には、等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材(チョップドテープ・クロス等)を用いた高速スタンピング成形技術、並びに一方向性 CFRTP 中間基材(ブレード)を用いた高速内圧成形等に関する基盤技術を開発する。

【達成目標】

(1) CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材(チョップドテープ・クロス等)を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、用途に適合した高速スタンピング成形に必要な要素技術を見極める。等方性 CFRTP 中間基材に関しては、型占有時間として 2 分以内の技術を開発する。

最終目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材(チョップドテープ・クロス等)を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、高速スタンピング成形により、それぞれの CFRTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。等方性 CFRTP 中間基材に関しては型占有時間が 90 秒以内、一方向性 CFRTP 中間基材に関しては型占有時間が 2 分以内となる技術を開発する。

(2) CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード(三次元織物)を用い、用途に適合した高速内圧成形に必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード(三次元織

物) を用い、高速内圧成形により、当該 CFRTMP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を開発する。型占有時間として7分以内となる技術を開発する。

【目標設定の根拠】

図 II.2-6 には熱硬化性 CFRP と比較した特性のマッピングを示す。本プロジェクトで設定した上記目標値は、航空機で用いられている CFRP と同等の機械的特性を有しつつ、成形に要する時間を短縮し、大衆車に適用可能な生産サイクルタイムを目標値として設定している。

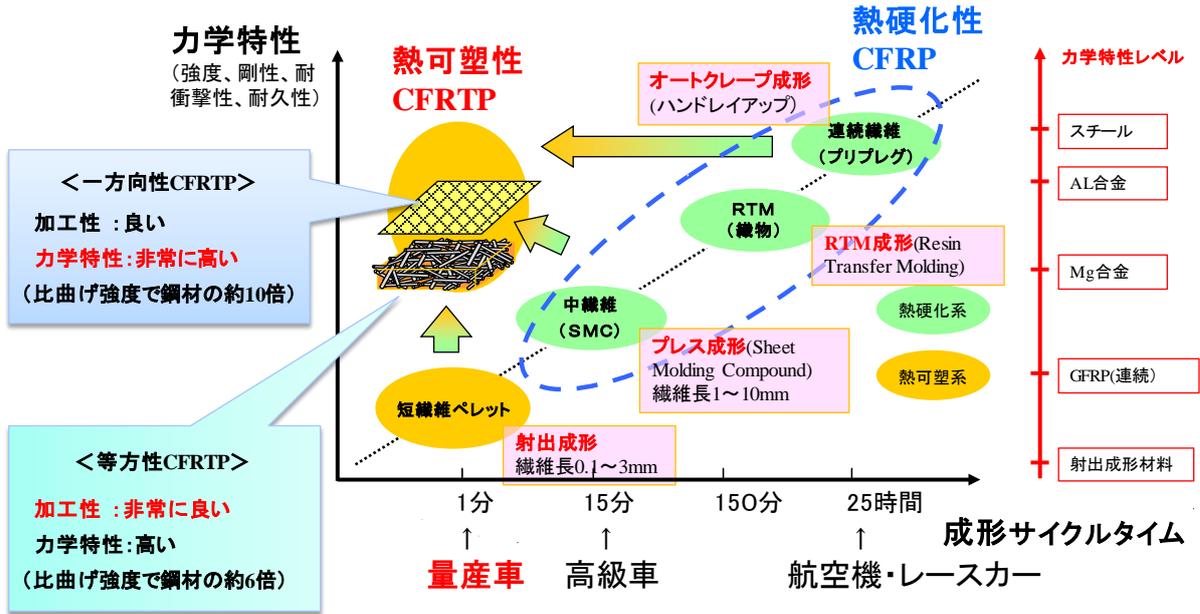


図 II.2-6 熱硬化性 CFRP と開発する CFRTMP との特性比較

研究開発項目③ 易加工性 CFRTMP の接合技術の開発

【研究開発の必要性】

研究開発項目①で開発する CFRTMP 中間基材の汎用構造材料化を達成するためには、研究開発項目②で開発する高速な部材成形技術だけでは不十分である。自動車構造は複雑形状の多部品により構成されており、1分/台レベルの大量生産を要求される構造物である。成形サイクルおよびコストという観点から見た場合、より大型で一体構造とすることが検討されてきたが、大型一体化は大型の製造設備を必要とし、成形サイクルの短縮にも限界がある。複数の部材に分けて品質良く高速で成形し、その部材同士を接合・一体化して車両構造とする方式は、コストと量産性の両立が可能となる(図 II.2-7)。しかしそのためにはスチールにおける溶接技術と並ぶスピード並びに接合強度を有する接合技術の開発が不可欠である。このような観点から従来の CFRP (CF/エポキシ) での接合技術を見ると、構造用接着剤を用いた接着接合、若しくは、ボルトナットを使った機械接合が主流であり、サイクルタイムが長く生産性に課題があった。一方、研究開発項目①②を通して開発される CFRTMP 部材群は、熱可塑性プラスチック

の長所である融着技術等を使った高速な接合技術を適用できる可能性があるが、融着面での接合強度を十分に確保する技術をあわせて開発しなければならない。

【研究開発の具体的内容】

熱可塑性プラスチックには、熱板融着・超音波融着・振動融着・誘電融着などの高速接合方法がある。そこで、研究開発項目①②を通して開発される各種CFRTP部材に対して、各種融着等による高速接合方法の適合性を検討し、十分な接合強度を有する接合方法を開発する。また、自動車構造部材への適用には従来のスチール材との同時使用も視野に入れる必要があるため、CFRTPと異材との接合技術も開発を行うこととした(図II.2-8)。

【達成目標】

中間目標

研究開発項目①②を通して開発される各種CFRTP部材に対し、参照強度の75%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する(ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向性CFRTP中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す)。

最終目標

研究開発項目①②を通して開発される各種CFRTP部材に対し、参照強度の90%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する(ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向性CFRTP中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す)。

【目標設定の根拠】

接合部において、部材強度の本質的低下がないことを根拠として上記目標値を設定した。

研究の背景と目的



図II.2-7 自動車構造の特徴と複合材料の適用



図 II.2-8 接合の研究開発項目

研究開発項目④ 易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発

【研究開発の必要性】

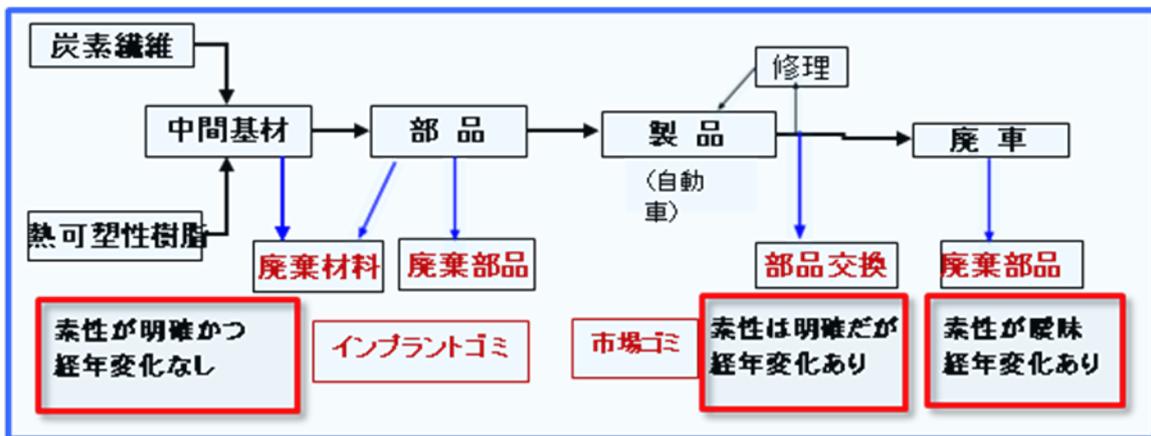
炭素繊維は、高いエネルギーを消費して製造される材料であるため、できるだけ高度なレベルでのリサイクルが望まれている。しかしながら、従来の CFRP (CF/エポキシ) は、リサイクル・リペアが基本的に難しく、ライフサイクルコストが高くなるため、同材料の幅広い普及を妨げている原因の 1 つとなっている (図 II.2-9)。一方、研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材は、マテリアルリサイクルが可能な熱可塑性樹脂と複合化されていることから、高度なリサイクル・リペアを行え、ライフサイクルでの環境負荷やコストを大きく低減できる可能性があり、同材料の普及を加速させる重要な技術となり得る。



図 II.2-9 CFRP の場合の廃棄 CFRP 量

【研究開発の具体的内容】

研究開発項目①②③を通して開発される各種CFRTP部材に対し、破砕・異物除去・粉碎・コンパウンドを経て得られる射出成形部材のリサイクル性（リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数）を向上させる技術を開発する（図II.2-10）。また、等方性CFRTP中間基材によるCFRTP部材に対しては、リペア技術を開発する。さらに、これらの開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。



図II.2-10 インプラントと市場ゴミ

【達成目標】

(1) CFRTP部材のリサイクル技術の開発

中間目標

研究開発項目①②③を通して開発される各種CFRTP部材に対し、3回のリサイクルの後に参照強度の75%以上を保持するリサイクルプロセスに必要な要素技術を見極める（ここで、参照強度とは、バージン原材料を使用したときの曲げ強度を指す）。

最終目標

研究開発項目①②③を通して開発される各種CFRTP部材に対し、3回のリサイクルの後に参照強度の90%以上を保持する技術を開発する。また、この開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

(2) CFRTP部材のリペア技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される等方性CFRTP中間基材によるCFRTP部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の75%以上まで回復するリペア手法の絞り込みとリペアプロセスに必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される等方性CFRTP中間基材によるCFRTP部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の90%以上まで回復するリペア技術を開発する。また、この開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

【目標設定の根拠】

リサイクルされた部材およびリペアされた部材において、部材強度の本質的な低下がないことを根拠として上記目標値を設定した。

研究開発項目⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

【研究開発の必要性】

自動車産業では、生産工程の簡略化のため複数の部材を統合するモジュール化が進められている。フロントモジュール、エンドモジュール、ドアモジュール等の様々な部品をモジュール化することで部材の軽量化、生産負荷の減少、低コスト化が実現している。一方で、モジュール化によって部材形状は非常に複雑になるため、その超軽量設計には非連続繊維を含有する等方性CFRTP中間基材が必要となる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた革新的軽量化モジュールを開発する。

【研究開発の具体的内容】

研究開発項目①の研究開発のうち、特に不連続繊維を使うことで複雑形状への適応性を高くした等方性CFRTP中間基材を用い、研究開発項目②で開発される高速成形技術により高強度かつ高精度なCFRTP部材の成形を行う。さらに、研究開発項目③で開発した高速接合技術により本モジュールを開発する。最後に、研究開発項目④で開発した技術を用いてリサイクル性とリペア性の評価を行う。

【達成目標】

最終目標

研究開発項目①②③④で開発した技術を用い、不連続繊維を使った等方性CFRTP中間基材を使用した革新的軽量化モジュールの成形技術を開発し、その自動車部材等への適用性を検証する。

【目標設定の根拠】

実際に自動車用部材として使用するという目的から、上記目標を設定した。

研究開発項目⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

【研究開発の必要性】

車体の剛性・強度を担う一次構造材は、そこに要求される高い特性から、金属材料からの置き換えが最も困難な部材である。一次構造材の多くは、高い軽量化効果／剛性バランスが必要なことから、中空閉断面形状が多用されている。このような一次構造部材の設計には連続繊維を含有する一方向性CFRTP中間基材を中心とした材料構成が不可欠で、同時に中空構造を取り入れることで自動車一次構造部材に必要な特性を満足させることができる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成

形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた一方向性 CF RTP 中間基材を用いた中間材料によりフロント及びリアサブフレーム等の自動車一次構造材用閉断面構造部材を開発する。

【研究開発の具体的内容】

本研究開発項目では、研究開発項目①の研究開発のうち特に一方向性 CF RTP 中間基材を用い、研究開発項目②③④で開発される関連技術を用いてモデル部材を試作することにより、優れた生産性を有するとともに、軽量化効果の高い自動車一次構造材技術であることを実証する。同時に、最終実用化のための技術課題の抽出、課題解決のための方策検討を実施する。

【達成目標】

最終目標

研究開発項目①②③④で開発した技術を用い、閉断面形状を有する自動車一次構造材のモデル部材を得て、得られたモデル部材の自動車一次構造部材への適用性を検証する。

【目標設定の根拠】

実際に自動車用部材として使用するという目的から、上記目標を設定した。

表 II.2-2 にこれらをまとめた一覧表を示す。

表 II.2-2 研究開発目標と根拠一覧

事業種	研究開発項目		評価項目	目標値		根拠
				中間	最終	
共通基盤技術事業	①易加工性CFRTP中間基材の開発	①-1等方性CFRTP中間基材	曲げ強度	250Mpa	400Mpa	航空機用の熱硬化性CFRPと同等の性能であること
			等方性(変動係数)	10%以下	5%以下	
		①-2一方向性CFRTP中間基材	繊維方向曲げ強度	1400Mpa	1600Mpa	
			繊維直角方向曲げ強度	100Mpa	110Mpa	
	②易加工性CFRTP成形技術の開発	②-1-1等方性CFRTP中間基材の高速スタンピング成形技術	成形時間(型占有時間)	2分以内	90秒以内(予熱時間含まず)	現在の量産車(汎用)のサイクルタイムに匹敵する成形速度
			成形時間(型占有時間)	要素技術見極め	金型占有時間2分以内	
		②-2一方向性CFRTP中間基材の高速内圧成形技術	成形時間(型占有時間)	要素技術見極め	7分以内	
	③易加工性CFRTPの接合術の開発	③-1CFRTP同士の接合技術	接合強度の参照強度に対する割合	75%	90%	接合部に本質的な強度低下の無いこと
		③-2CFRTPと異材の接合技術		課題見極め		
	④易加工性CFRTPのリサイクル技術の開発	④-1CFRTP部材のリサイクル技術	3回リサイクル後曲げ強度の参照強度に対する割合	参照強度の75%	参照強度の90%以上	リサイクル材においても本質的な強度低下の無いこと
④-2CFRTP部材のリペア技術		リペア後、曲げ強度の参照強度に対する割合	基本特性評価	参照強度の75%以上	補修部において本質的な強度低下の無いこと	
実用化技術事業	⑤易加工性自動車用モジュール構造部材の開発	中間基材量産化	連続生産	規定寸法製品連続生産	実際に自動車用部材として使用するという目的から設定	
		モジュール部品成形	成形状況	型占有時間2分以内の部品成形実証		
	⑥易加工性自動車一次構造材用断面構造部材の開発	中間基材量産化	委託事業目標値	委託事業中間目標値クリア	委託事業最終目標値クリア	実際に自動車用部材として使用するという目的から設定
		一次構造部材開発	モデル成形	モデル部材設計方針見極め	モデル部材による構造部材軽量化実証	

2.2 研究開発の実施体制

研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体には NEDO が指名する研究開発責任者(PL:プロジェクトリーダー) 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科 教授 高橋淳を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施している(2008年6月~2009年9月は東京大学 工学部 教授 影山和郎、2009年9月~影山教授が PL 辞退により変更)。PLの役割を図 II.2-11 に示す。

本研究開発において、NEDO が主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した①②③④の事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される研究開発内容に示した⑤⑥の事業は助成(助成率1/2)により実施する。

さらに実施体制の設定にあたっては、確実に高い目標を達成させる観点から、大手炭素繊維メーカーを参画させ、競合間での競争による技術高度化をはかる体制としている。また、限られた予算内で効果を最大化させる観点から、民間各社の高度なノウハウを最大活用するとともに、適材適所(得意分野、開発インフラ)かつ機動的な研究開発体制を構築し、実施している。

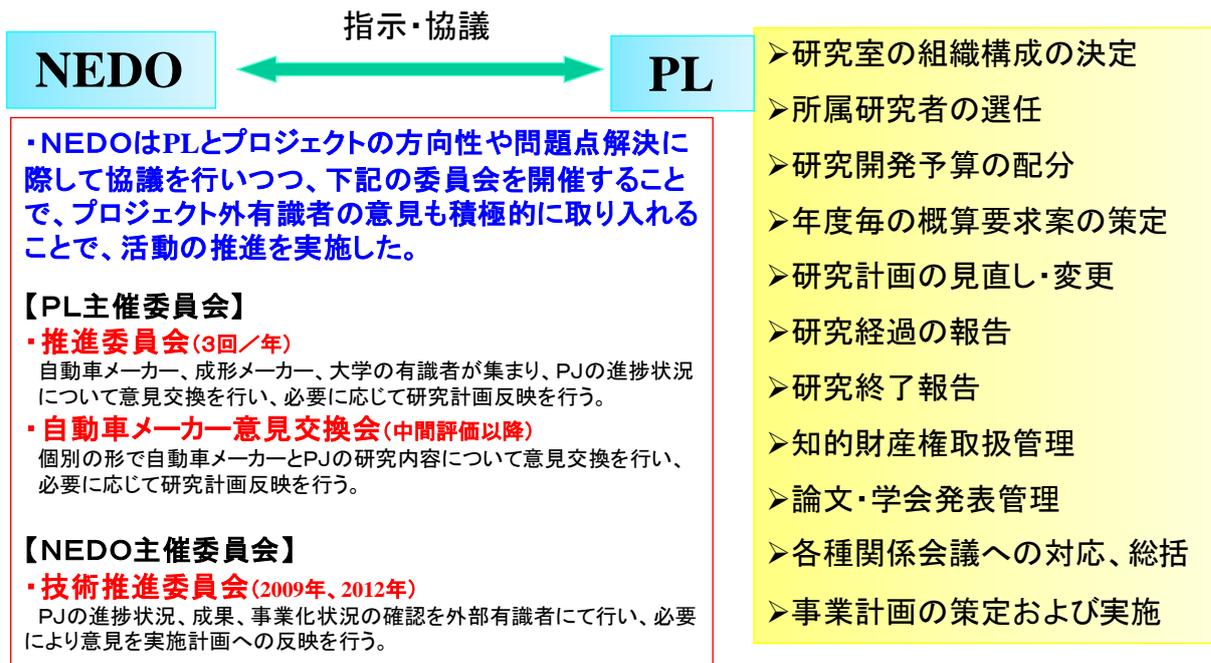


図 II.2-11 PL の役割

本プロジェクトの具体的な実施体制を図 II.2-12 に示す。NEDO は国立大学法人東京大学、三菱レイヨン株式会社、東洋紡株式会社、東レ株式会社、株式会社タカギセイコーとそれぞれ委託契約を締結し、PL と指示・協議のもとプロジェクトを推進する体制を取っている。委託事業では、国立大学法人東京大学内に集中研究所を設置し、共通基盤技術である研究開発項目①～④を実施する。この中で、三菱レイヨン株式会社及び東洋紡株式会社は一方向性基材を、東レ株式会社及び株式会社タカギセイコーは等方性基材を、それぞれ担当する。助成事業では、参画企業がそれぞれ得意とする要素技術およびノウハウ、さらには研究開発インフラ等を勘案し、研究開発項目毎にそれぞれ、⑤に関し東レ株式会社および株式会社タカギセイコーが、⑥に関し三菱レイヨン株式会社および東洋紡株式会社が研究開発を推進する。

さらに、各研究開発項目内における個別の要素技術に関しては、当該要素について特に優れた技術力を有する機関との連携もはかり、機動的かつ効率的に研究開発を推進している。具体的には、東洋紡株式会社は一方向性中間基材及び内圧成形技術に関する実施項目の一部を、国立大学法人京都工芸繊維大学と共同実施した。また東レ株式会社は、等方性中間基材に関する実施項目の一部を国立大学法人山形大学および国立大学法人東北大学と、スタンピング成形技術に関する実施項目の一部を国立大学法人東北大学、国立大学法人富山大学、国立大学法人静岡大学、国立大学法人愛媛大学と共同実施した（図 II.2-13）。

また、自動車メーカー等のユーザー企業をアドバイザーボードとした推進委員会を設けており、実用化ニーズとのマッチングをはかりつつ研究開発を推進する体制をとった。

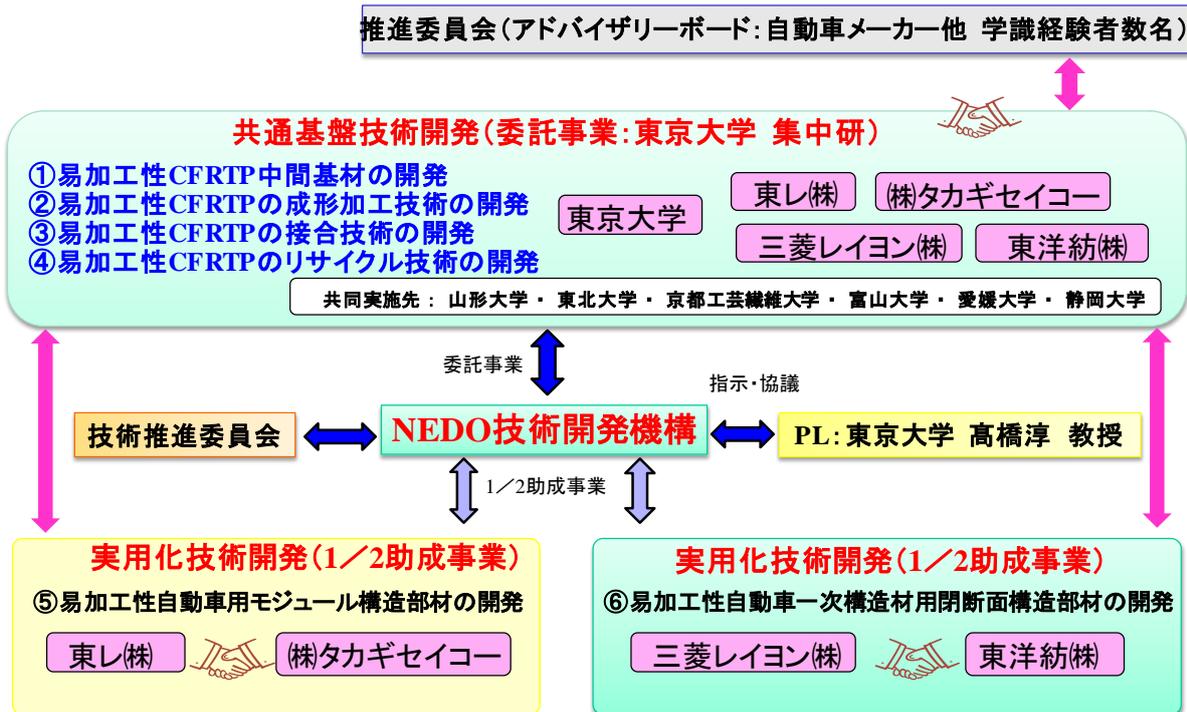


図 II.2-12 研究開発の実施体制



図 II.2-13 各研究開発項目の分担

2.3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に決定権を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、本プロジェクトの目的、及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、東京大学内に集中研究拠点を設置するとともに、各研究機関から研究員が集中研究拠点到集結し、研究開発を実施する。また、スムーズな連携実施のため、実施者間で研究進捗状況、問題点等を検討する「推進委員会」を設置し、そこで取り上げられた問題点、およびその対策を PL と協議のうえ、的確かつ迅速に当該テーマ担当部署にフィードバックして、プロジェクト全体の研究開発を効率的に推進している。「推進委員会」には NEDO も出席し、プロジェクトの進捗について報告を受ける。また、外部委員を入れて研究成果の発表とその後の推進を図る「技術推進委員会」を設けている。

技術推進委員会は平成 21 年度と平成 24 年度の合計 2 回実施し、その概要は以下の通りである。

○委員会名：第 1 回技術推進委員会

○実施日：平成 21 年 10 月 30 日

○評価手法：外部有識者による評価（表 II.2-3）

○評価事務局：NEDO ナノテクノロジー・材料技術開発部

○評価項目・基準：評価項目を以下に示す。

- 1) 研究開発マネジメントについて
- 2) 研究開発成果について
- 3) 実用化の見通しについて

○主な評価コメント

- ・挑戦的な技術課題を設定し、それぞれのレベルを整理した上で優先順位をつけ計画的に取り組んでいる。プロジェクト開始後 1 年半の段階ではあるが、多くの検討項目で中間目標値がクリアされており、全体としては着実に進んでいると評価できる。
- ・補正予算でコンポジット作製の機械類が導入されることになり、プロジェクトの加速がはかられたこと。益々期待される。

表 II.2-3 第 1 回技術推進委員会外部有識者

氏名	所属・部署	役職
飯塚 健治	飯塚テクノシステム有限会社	代表取締役社長
岩下 哲雄	独立行政法人産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門 構造体診断技術研究グループ	主任研究員
香山 高寛	CSKベンチャーキャピタル株式会社	部長
千葉 晃司	日産自動車株式会社 技術開発本部 車体技術開発部 車体技術先行開発グループ	主担
服部 憲治	株式会社本田技術研究所	シニアマネージャー

	四輪開発センター第2技術開発室	上席研究員
林 直義	株式会社本田技術研究所	社友
福田 博	東京理科大学 基礎工学部材料工学科	学部長 教授

○委員会名：第2回技術推進委員会

○実施日：平成24年7月10日

○評価手法：外部有識者による評価（表Ⅱ.2-4）

○評価事務局：NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部

○評価項目・基準：評価項目を以下に示す。

- 1) 研究開発マネジメントについて
- 2) 研究開発成果について
- 3) 実用化の見通しについて

○主な評価コメント

震災の被害等があったが、1回目の委員会と比べて、研究に関しては既に目標達成の部分もあり、全体的にはよく整理され、かなり進んでいると思われる。自動車会社への個別ヒアリングを実施したことが活かされ、複雑な部材の作成方法等の紹介もあり、具体的なアプリケーションに向けての絵姿が見えてきた感がある。一方で、実用化に向けて役立つ基礎データやシミュレーションなどのツールを揃えて欲しいが、後継プロジェクトで実施していくのが良いのか？よく検討して欲しい。単なる結果だけではなく技術の中身についてまとめて、目標に対してどこまで達成しているのかなどを見える形にして欲しいなどのコメントがあった。

表Ⅱ.2-4 第2回技術推進委員会外部有識者

氏 名	所 属 ・ 部 署	役 職
岩下 哲雄	独立行政法人産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門 構造体診断技術研究グループ	主任研究員
千葉 晃司	日産自動車株式会社 要素技術開発本部 車体技術開発部車体技術先行開発グループ	シニアエンジニア
服部 憲治	株式会社本田技術研究所 四輪R&Dセンター第11技術開発室	上席研究員
林 直義	株式会社本田技術研究所	社友
福田 博	東京理科大学 基礎工学部材料工学科	教授

表Ⅱ.2-5 にこれら技術推進委員会での指摘内容及び対応方法について記す。

表 II.2-5 技術推進委員会の指摘・対応方法

第1回技術推進委員会(2009年12月)		
指摘	対応	
1	リサイクル、リペア技術は、プロジェクト全体の成否に大きな影響を与える開発項目であるが、不十分さを感じた。	リサイクル技術に関しては、インプラントでのリサイクルを中心にして、開発した基材を活用して進めていく計画で、リペア技術については、その後着手の計画であった。以降これまでに導入した設備等を活用して検討を進めたことで、中間、最終目標の両方も問題なくクリアした。
2	中間目標値すら達成できそうにないアイテムもあるが、原因の明確化と場合によっては目標値見直しが必要である。	中間目標値は達成した。目標値はPA系樹脂を用いて、エポキシ樹脂系CFRP同等以上を目指すとしたものである。本目標の達成可否を見極めるに先立って、まずは将来の仮想ユーザーである自動車メーカーの要請に応えるべく、PP改質での性能向上の限界を見極めると共に、自動車メーカーとの意見交換を通じて実用化の可能性を検討していたためであり、以降、最終目標値も達成した。
3	助成事業者の中には、委託事業成果待ち的な姿勢が感じられた。	助成事業については、委託事業で開発した成果を基に進めていく計画もあるが、全て計画通りに進化した。一方で、委託と助成両事業間の連携についてはNEDOとしても、適宜実施者訪問を行い進捗状況を把握する形で、効果的な運営推進を行うようにした。
第2回技術推進委員会(2012年8月)		
1	国プロの目標必達は重要ではあるが、数値目標だけを追いかけた辻褄合わせ感があり、柔軟性に欠ける。	目標値達成は実施計画上の必達事項である。PL主催の推進委員会でも同様の指摘があり、目標値達成+αの形の研究開発をNEDOとしても推進している。ユーザーから要望の出されたコンポジットデザイン研究の推進も進めた。
2	個別要素技術は、各々の目標値を達成出来ることが分かったが、製品での軽量化効果などの評価が不十分な為、研究技術の良否が十分に把握できない。	一方性中間基材の検討では、委託事業における目標値（エポキシ並物性を有するCFRTP）達成の検証と、達成した場合の仮説の検証（モデル構造材：ハットチャンネル接合パイプ形状の性能確認）を行った。最終的にはPA系で最終目標を達成でき、対鋼材比50%軽量化の指針を得る事ができた。
3	研究開発されたものは個別技術であり、今後の実用化検討にはまだ多くのハードルが残されている。	それぞれ部材毎に要求される特性は異なるため、材料や成形加工ノウハウも多岐に渡る対応を求められる。エンドユーザーから個別に意見を徴しつつ、実用化に向けた対応を図っているが、それでも課題解決には至っていないことから、後継プロジェクトでも継続的に研究参加する形で、対応を図っていくようにした。

表 II.2-6 各種委員会の開催状況

開催者	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	(2013年度)
NEDO		第1回技術推進委員会 補正予算投入	★中間評価 加速予算投入	加速予算投入	第2回技術推進委員会	★事後評価
PJ実施者 (自主開催)	推進委員会 (3回/年)	推進委員会 (3回/年)	・推進委員会 ・カーメーカー 意見交換会	・推進委員会 ・カーメーカー 意見交換会	推進委員会 (3回/年)	

2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

実用化、事業化につなげる戦略としては、以下の考え方を基にマネジメントを実施した。

- 大手炭素繊維メーカー参画の下、中間基材、成形・加工、設計評価等の研究開発を同時並行的に実施する。
- 材料・部材・プロセスの初期製造だけでなく、リサイクルまで含めた摺り合わせ技術により、製品のライフサイクルを考慮した総合技術として開発する。
- 実用化・事業化時のサプライチェーンを考慮した垂直・水平連携体制で実施する。
- 早期実用化に向け、企業主体の助成事業を併走させる。委託事業の開発成果を適宜フィードバックさせ技術の高度化を促進する。
- ユーザーメーカーへのサンプル供与、メンバーにユーザーメーカーを有する推進委員会等を活用し、ユーザー企業との連携を積極推進し、実用ニーズとのマッチングをはかる。
- 対外発表、展示会等を活用して技術先進性を積極PRし、将来の事業パートナーを

広く発掘する。

- 成形加工メーカーとの技術交流会や開発した材料の加工技術底辺の拡大を考慮した民間企業との加工技術研究会を NEDO としてサポートしていく。

また、実用化、事業化につなげる知財マネジメントとしては、「守り」、「攻め」の両面から以下の考え方を基にマネジメントを実施している。

- 「守り」の観点：基本特許になりうるものについては戦略的に海外出願し、海外の追随を阻止する。
- 「攻め」の観点：既出願の技術については連携が見込める国内メーカーに対し適宜技術開示し、国内技術レベルを向上させ、我が国の国際競争力の向上をはかる。

共通基盤技術分野に関する成果としては、委託先の共同研究者間で出願し、日本版バイ・ドール条項を適用し、原則として NEDO 業務委託契約約款第 31 条を約定することで、委託先の帰属扱いとした。

企業対応としての実用化技術分野に関する成果は、ノウハウや製造方法は各実施者（企業）の考え方を尊重し、事業戦略上秘匿した方が良いと思われる内容については知的財産化しない方針とした。

- 【1】委員会(外部有識者の意見を運営管理に反映)
 - ・PL主催の**推進委員会**は3回/年実施
 - ・NEDO主催の**技術推進委員会**はH21年度とH24年度の2回実施
- 【2】加速予算投入
 - ①H21年;**大型補正予算投入**(東京大学集中研整備工事及び成形加工設備増強実施)
 - ②H22年;**NEDO加速予算投入**(材料強度測定・長期信頼性データ取得設備を導入を実施)
 - ③H23年;**NEDO加速予算投入**(ユーザーニーズからコンポジットデザイン技術構築を開始)
- 【3】ユーザー連携強化
 - ・自動車メーカーとの個別説明会合を実施(H22年度は**3社**、H23年度は**1社**と実施)
- 【4】その他活動
 - ・H23年度には加工業者底辺拡大を狙い、**CFRTP加工技術研究会**を合計3回開催サポートし、H24年度には助成事業の効果推進の為に、**成形加工設備メーカー技術交流会**を実施
 - ・対外発表、展示会等で技術先進性を積極的にPRし、広く**事業化パートナー**を発掘すべく、サンプル供給を行った。

図 II.2-14 NEDO マネジメント実施状況

3. 情勢変化への対応

【補正予算投入による技術実用化の加速】

研究開発成果の早期実用化を加速するため、平成 21 年度に政府補正予算を投入した。実用化課題である「成形時間の大幅短縮とコストパフォーマンスの極限追求」の観点から、種々の設備の導入を行った。具体的には、「成形時間短縮を実用スケールで検証可能な設備」「CFRTP 基材化技術、接合技術に関する量産レベルの検討用設備」、およびこれらを支える「解析、評価設備」を導入した（図 II.3-1）。これら実用、量産レベルの設備を活用し、高度な研究開発を加速し、成果の自動車用部材としての適用用途拡大（軽量化率を当初計画 15%から 30%に再設定）及び早期の実用化（3 年前倒し）をはかる目的である。本補正予算投入以降の重点取り組み課題を表 II.3-1 にまとめた。



図 II.3-1 補正予算投入

表 II.3-1 補正予算投入以降の重点的取り組み課題

研究開発項目		H22年度の研究開発ステージ	今後の重点的取り組み課題
中間 基材	等方性基材	目標とする材料強度を得るための基本技術確立	材料強度特性の 極限を追求し、適用用途を拡大する 。試作サンプル供給、実用性評価を実施する。
	一方向性基材		広範な適用用途 に対し、それぞれ必要な 材料強度特性を見極める 。試作サンプル供給、実用性評価を実施する。
成形 技術	等方性 スタンピング	基本技術確立	広範な用途で想定される複雑形状 に対応した成形技術を開発する。シミュレーション技術を活用した プロセスの最適設計と、連続生産に対応した基本システムを構築 。
	一方向性 スタンピング	基本技術確立	一方向性基材の複雑形状への適用技術を開発する 。各 モデル部材毎に 、最適な基材構成、プリフォーム方法、プレヒート方法を開発する。
	一方向性 内圧成形	H21年度より開始、基本設備導入、技術検討中	高速内圧成形の 基本技術を構築し、複雑形状への適用性を検討する 。
接合	CFRTP同士	実部材を用いた適用検討	選定した 溶着方法の実用化検討 を行う。
	CFRTPと異材	H21年度より開始、基礎検討	接合面電蝕の課題明確化と対策検討を実施する。
リサイ クル	リサイクル	H21年度より開始、基礎検討	リサイクル材による成形品の特性評価、性能見極めを実施し、課題抽出、対策検討を実施する。
	リペア	H21年度より開始、適用技術検討	実用化検討と信頼性評価を実施する。

【加速予算投入による技術実用化の加速】

研究開発成果の早期実用化を加速するため、平成 22 年度に NEDO の加速予算を投入した。自動車メーカーから、開発材料に関して実設計に必要な幅広いデータベースの提供が求められている他、中間評価においてもユーザーニーズの早期確認、成果の前倒し普及、長期信頼性、耐久性評価の前倒し実施等の指摘を受けている。当初の計画では、これらいずれの項目も次年度以降着手予定であったが、今回の加速により前倒しして実施することにした。この加速予算投入により、本プロジェクトで開発された材料の自動車部品としての適用範囲を拡大させることができる（足回りやエンジンルーム内の部品など）。また、多様な成形方法や使用条件下での評価結果を基盤技術検討にフィードバックすることで基盤技術の骨太化と裾野拡大に繋げられた。さらに、データベース構築を加速させることで、次年度以降計画している自動車メーカーへのサンプル供試等の取り組みが加速化された。

表 II.3-2 H22 年度加速予算投入内容一覧表

・材料強度試験装置付帯設備（オーダー：機械購入費）	5 百万円	東京大学
・耐環境性能試験装置付帯設備（市販品：機械製作費）	8 百万円	東京大学
・一方向性材料・部材物性評価試験（分析外注費）	5 百万円	三菱レイヨン（株）
・等方性材料・部材物性評価試験（分析外注費）	8 百万円	東レ（株）
・マトリックス樹脂分析（分析外注費）	4 百万円	東洋紡（株）

さらに、平成 23 年に実施した自動車メーカー意見交換会において、本研究開発は「材料の強度向上」「成形速度の向上」「効率重視の接合技術」等を掲げており、助成事業ではその材料を用いた自動車用実部材を試作し、実用化を検討することを研究課題と説明したが、それも必要な事項ではあるが、材料は強度以外にも部材の要求性能に合致した多様な特性が必要であり、成形技術に関しては、速度以外に、複雑形状への成形性や精度が必要であるという意見を頂戴した。現時点でのプロジェクトの進め方（図 II.3-2）では、一方向的な研究開発スタイルになってしまっている。

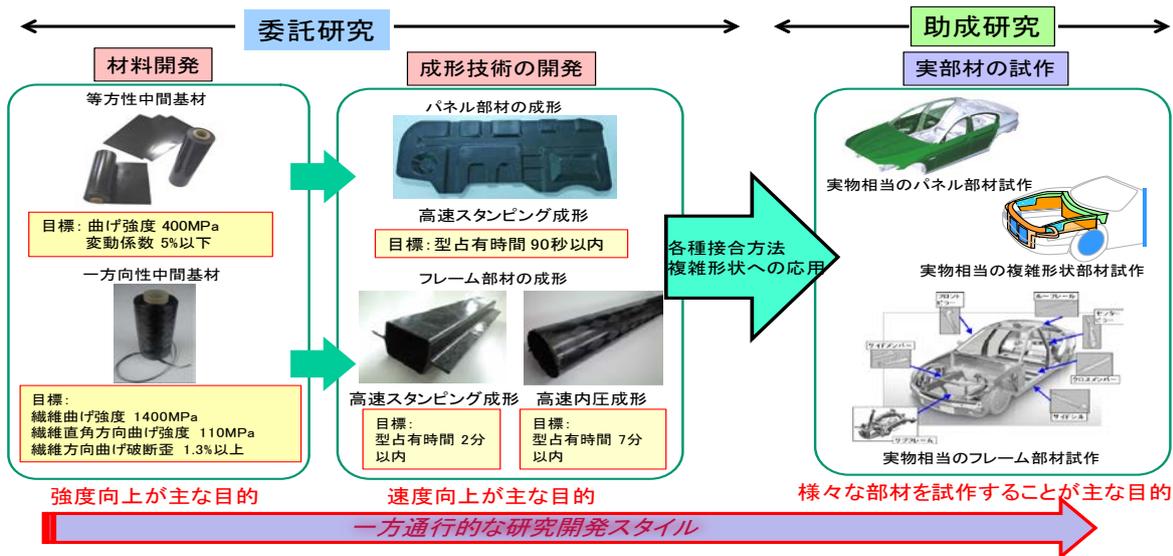


図 II.3-2 本プロジェクトの推進方法

そこで自動車メーカーのニーズに則った形で、開発ステージ毎の連動性を強化し、部材に要求される様々な性能に合致する材料特性・成形条件を材料 DB/成形 DB より抽出できる技術の確立材料開発を行うことで、成形技術開発の連携化が図れることから、シミュレーション技術によって要求に応じたコンジット材の特性や部材性能要求に応じた成形方法・条件を見出す足がかりとして、NEDO 加速予算を投入した（図 II.3-3、II.3-4）。



図 II.3-3 加速予算の基本的な考えかた

＜既存の装置群に加えて、材料DB・成形DBの充実化を図る装置・シミュレーションソフトを導入＞



図Ⅱ.3-4 H23 年度加速予算投入状況一覧

【技術調査、ユーザーニーズ把握】

CFRTP を自動車用途として広く実用化させるためには、炭素繊維の量産化・低コスト化等、川上側課題の解決も必要となってくる。これに関しては、関連するプロジェクトとの綿密な情報交換を継続している。

自動車メーカー等のユーザーニーズ把握についても、さらなる深化が必須と認識しており、現行の推進委員会の一環として、個別説明会を開催したほか、個別にヒアリングを実施した。また、適宜サンプルの積極提供も実施した。

さらに、本プロジェクト実施者としては参画していないが、技術実用化をにらんだ際には、金属自動車部材の機械加工・装置メーカーとの連携も必要との判断から推進委員会のアドバイザリーボードメンバーを拡充する方向を検討した。

4. 中間評価結果への対応

中間評価分科委員会についての概要は以下のとおりである。

- 委員会名 : 第1回中間評価分科会
- 開催時期 : 平成22年8月19日(木) 10:00～
- 開催場所 : 浜松町世界貿易センタービル (WTC コンファレンスセンター Room A)
- 評価手法 : 外部有識者による評価
- 評価事務局 : NEDO 評価部
- 評価項目・基準 : 標準的評価項目・基準
 - 1) 事業の位置付け・必要性
 - 2) 研究開発マネジメント
 - 3) 研究開発成果
 - 4) 実用化・事業の見通し
- 評価委員 : 表Ⅱ.4-1 のとおり
- 評価結果 : 表Ⅱ.4-2 のとおり

表Ⅱ.4-1 H22年度第1回中間評価分科会評価委員(敬称略 五十音順)

	氏名	所属・部署	役職
分科会長	末益 博志	上智大学 理工学部 機能創造理工学科	教授
分科会長代理	山口 泰弘	KYC-JAPAN	代表
委員	青山 信一	株式会社日刊自動車新聞社 編集局	論説委員
	長田 洋	東京工業大学 大学院 イノベーションマネジメント研究科 技術経営専攻	教授
	片平 奈津彦	トヨタ自動車株式会社 車両生技部 車両開発推進室	主査
	剣持 潔	信州大学 繊維学部 機能機械材料工学	特任教授
	佐藤 千明	東京工業大学 精密工学研究科 先端材料部門	准教授

表Ⅱ.4-2 中間評価結果一覧

・事業の位置付け・必要性	3.0
・研究開発マネジメント	2.1
・研究開発成果	2.3
・実用化・事業化の見通し	1.3

プロジェクトにおいて「事業の位置付け・必要性」、「研究開発マネジメント」、「研究開発成果」の項目に関してはほぼ適切であるとの評価を頂いたが、実用化・事業化の見通しに関しては、材料評価面の不足、自動車メーカーの積極的関与の不足、コスト目標対

応力の不足等の指摘があった。

表Ⅱ.4-3 に主な指摘事項と対処方針を記す。

表Ⅱ.4-3 中間評価結果一覧

主な指摘事項		対応
1	コストを意識した材料開発、設備、生産性向上への取り組みとユーザーニーズの早期確認すべき。	コスト関連事項に関しては助成事業にてプロセス管理や工場内リサイクル推進も含めて、コスト意識を持って取り組むように指示を行った。
2	技術の成果は自動車に限らず、広い分野で有用であり、成果を前倒しで普及させることも視野に入れること。	自動車以外の事業分野にも、基材サンプル提供を積極的に行い、用途展開の可能性を探索。実施者の事業戦略範疇だが、PJ終了の現在でも各社自主的に活動を実施中である。NEDOも2012年、2013年と各実施者に対して個別フォローを実施した。
3	モノづくりの技術はCFRTPと製造設備に集約されるので、設備メーカーの参加も視野に入れた対応が望ましい。	委託事業ではPJ外の2社(成形加工設備・付帯設備メーカー)と協議しながら研究開発を推進。助成事業では、成形設備メーカーと機密保持を締結し、連携により成形試作対応を図り、成形温度勾配管理技術等、CFRTP成形条件構築に成果を見出した。

5. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成 22 年度、事後評価を平成 25 年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

1.1 プロジェクトの概要

炭素繊維は世界の生産シェアの 50%以上を日本企業で独占している素材である。先進材料である炭素繊維とプラスチックを一体化した炭素繊維強化熱硬化性プラスチック（CFRP:Carbon Fiber Reinforced plastics）は、その強度および軽量性から、燃費改善の要望が非常に強い航空機業界で使用率が最も多い材料になった。

軽量化効果の大きい本材料を金属材料代替として、航空機よりも台数の多い量産乗用車に適用することが可能になれば、今まで以上の省燃費車の開発につながり、我が国の自動車産業を始めとする各種製造業での確固たる地位が築けるばかりでなく、環境立国日本としての地位もゆるぎないものにすることができる。こうした背景の中、本プロジェクトでは、「高度な省エネルギー社会の実現と、我が国製造業の国際競争力の更なる向上に寄与すること」を念頭に、輸送機器等の車体の更なる軽量化を行うことで、エネルギー消費量削減及びCO₂排出量低減を図ることを目的として、平成20年度から平成24年度までの5年間、量産自動車の軽量化部材として期待される炭素繊維強化熱可塑性プラスチック（CFRTP: Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics）に関する技術開発を行った。

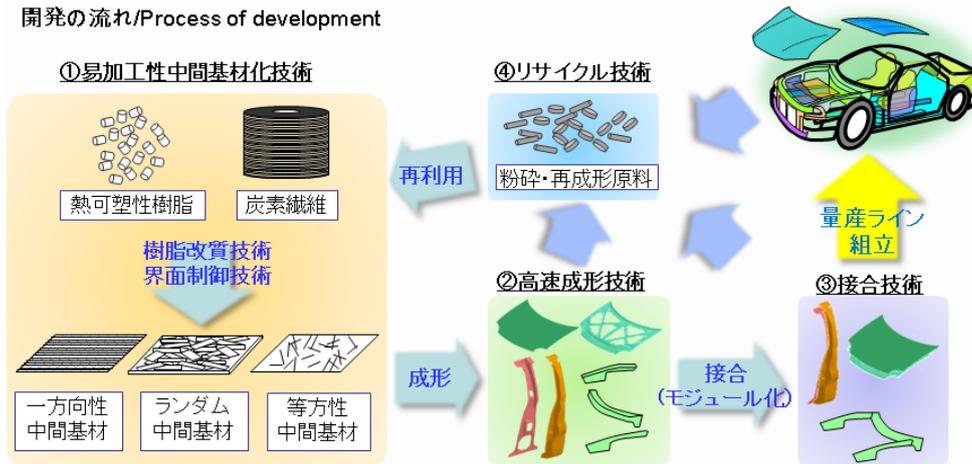
1.2 研究開発の目標

量産自動車を初めとする大量生産される産業用途の更なる軽量化を可能とするための共通基盤技術の確立のために、委託事業において①短時間で成形が可能な易加工性中間基材の開発②この中間基材を用いた高速成形技術の開発③部材同士の接合部の強度を保持する接合技術の開発④リサイクル技術の確立を目指した。さらに、この①～④の共通基盤技術を利用して実用化推進技術確立のために、助成事業において⑤各中間基材の量産製造技術の確立、⑥モジュールモデル部品成形実証を行うことを目標とした。

1.3 研究開発の内容

金属材料、特にスチールの代替材となるためには、従来のCFRP（CF/エポキシ樹脂）に匹敵する界面接着強度及び低い線膨張係数を保持しながら、従来のCFRPの欠点であった成形性やリペア・リサイクル性を改善する必要がある。そのためには、従来の熱硬化性樹脂を用いるのではなく、広く一般に普及している熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維強化熱可塑性プラスチック（CFRTP）を開発するとともに、同材を用いた成形加工技術や二次加工技術を開発し、さらに実際の自動車用部材開発に必要な材料特性を明確にすることが必要不可欠である。

よって、NEDO では産学官の科学的、技術的知見を結集して、本プロジェクトに取り組み、以下の通り実施した。



図Ⅲ.1-1 プロジェクトの技術開発内容

1.4 各研究開発項目の内容

研究開発項目①「易加工性 CFRTM 中間基材の開発」

本プロジェクトでは、等方性 CFRTM 中間基材と一方向性 CFRTM 中間基材の開発を行う。特に、炭素繊維と熱可塑性樹脂の接着性向上および含浸性の向上を中心に検討を行い、成形性と物性を両立する易加工性 CFRTM 中間基材を開発する。

従来の炭素繊維の表面の改質は、エポキシ樹脂を中心とした熱硬化性樹脂を対象に行われており、熱可塑性樹脂との含浸性・接着性を最大限に発揮するような最適化はなされていなかった。そこで、熱可塑性樹脂との接着性と繊維の分散性や含浸工程通過性を両立する炭素繊維の表面処理技術、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂、並びに生産性及び部材への加工性に優れた CFRTM 中間基材を開発する。

(1) 等方性 CFRTM 中間基材

[中間目標]

等方性 CFRTM 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形形状の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 250MPa（比強度（ $\sqrt{\sigma / \rho}$ ）で鋼材の約 5 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 10%以内となる材料を開発する。

[最終目標]

等方性 CFRTM 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形形状の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 400MPa（比強度（ $\sqrt{\sigma / \rho}$ ）で鋼材の約 6 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 5%以内となる材料を開発する。また、曲げ強度以外の各種特性データの取得を進めて材料特性データベースを構築する。

(2) 一方向性 CFRTP 中間基材

[中間目標]

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 100MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1400MPa (比強度 ($\sqrt{\sigma/\rho}$) で鋼材の約 9 倍) 以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.0%以上の材料を開発する。

[最終目標]

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 110MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1600MPa (比強度 ($\sqrt{\sigma/\rho}$) で鋼材の約 10 倍) 以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.3%以上の材料を開発する。また、曲げ強度以外の各種特性データの取得を進めて材料特性データベースを構築する。

研究開発項目②「易加工性 CFRTP の成形技術の開発」

研究開発項目①で開発される CFRTP 中間基材を用いた自動車構造材の高速成形加工技術を開発する。具体的には、等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材 (チョップドテープ・クロス等) を用いた高速スタンピング成形技術、並びに一方向性 CFRTP 中間基材 (ブレード) を用いた高速内圧成形等に関する基盤技術を開発する。

(1) CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発

[中間目標]

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材 (チョップドテープ・クロス等) を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、用途に適合した高速スタンピング成形に必要な要素技術を見極める。

[最終目標]

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材 (チョップドテープ・クロス等) を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、高速スタンピング成形により、それぞれの CFRTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。さらに、部材設計に必要な成形条件を見極め、成形データベースを構築する。

(2) CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発

[中間目標]

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード (三次元織物) を用い、用途に適合した高速内圧成形に必要な要素技術を見極める。

[最終目標]

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード (三次元織物)

を用い、高速内圧成形により、当該 CFRTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。

研究開発項目③「易加工性 CFRTP の接合技術の開発」

研究開発項目①で開発する CFRTP 中間基材の汎用構造材料化を達成するためには、研究開発項目②で開発する高速な部材成形技術だけでは不十分であり、スチールにおける溶接技術と並ぶスピード並びに接合強度を有する接合技術の開発が不可欠である。このような観点から従来の CFRP (CF/エポキシ) での接合技術を見ると、構造用接着剤を用いた接着接合、若しくは、ボルトナットを使った機械接合が主流であり、サイクルタイムが長く生産性に課題があった。一方、研究開発項目①②を通して開発される CFRTP 部材群は、熱可塑性プラスチックの長所である融着技術等を使った高速な接合技術を適用できる可能性があるが、融着面での接合強度を十分に確保する技術をあわせて開発する必要がある。

熱可塑性プラスチックには、熱板融着・超音波融着・振動融着・誘電融着などの高速接合方法がある。そこで、研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対して、各種融着等による高速接合方法の適合性を検討し、十分な接合強度を有する接合方法を開発する。

[中間目標]

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、参照強度の 75%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する（ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す）。

[最終目標]

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、参照強度の 90%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する（ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す）。さらに、様々な接合方法における検証を行い、強度発現に関するデータベースの構築を行う。

研究開発項目④「易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発」

炭素繊維は、高いエネルギーを消費して製造される材料であるため、できるだけ高度なレベルでのリサイクルが望まれている。しかしながら、従来の熱硬化性 CFRP は、リサイクル・リペアが基本的に難しく、ライフサイクルコストが高くなるため、同材料の幅広い普及を妨げている原因の 1 つとなっている。一方、本研究で開発した CFRTP 基材は、マトリックス樹脂がマテリアルリサイクル可能な熱可塑性樹脂であることから、高度なリサイクル・リペアを行え、ライフサイクルでの環境負荷やコストを大きく低減できる可能性があり、同材料普及を加速させる重要な技術となり得る。

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、破碎・異物除去・粉碎・コンパウンドを経て得られる射出成形部材のリサイクル性（リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数）を向上させる技術を開発する。また、等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP

部材に対しては、リペア技術を開発する。さらに、これらの開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

(1) CFRTP 部材のリサイクル技術の開発

[中間目標]

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 75% 以上を保持するリサイクルプロセスに必要な要素技術を見極める。（ここで、参照強度とは、バージン原材料を使用したときの曲げ強度を指す。）

[最終目標]

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 90% 以上を保持するリサイクルプロセスに必要な要素技術を見極める。また、この開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

(2) CFRTP 部材のリペア技術の開発

[中間目標]

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の 75% 以上まで回復するリペア手法の絞り込みとリペアプロセスに必要な要素技術を見極める。

[最終目標]

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の 90% 以上まで回復するために必要な要素技術を見極める。また、この開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

研究開発項目⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

自動車産業では、生産工程簡略化のため複数部材を統合するモジュール化が進められている。様々な部品をモジュール化することで部材の軽量化、生産負荷の減少、低コスト化が実現している。一方で、モジュール化によって部材形状は非常に複雑になるため、その超軽量設計には非連続繊維を含有する等方性 CFRTP 中間基材が必要となる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた革新的軽量化モジュールを開発する。

[最終目標]

不連続繊維を使った等方性 CFRTP 中間基材を使用した革新的軽量化モジュールの成形技術

を開発し、その自動車部材等への適用性を検証する。

研究開発項目⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

車体の剛性・強度を担う一次構造材は、そこに要求される高い特性から、金属材料からの置き換えが最も困難な部材である。一次構造材の多くは、高い軽量化効果／剛性バランスが必要となる。このような一次構造部材の設計には連続繊維を含有する一方向性 CFRTP 中間基材を中心とした材料構成が不可欠であると考えられる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた一方向性 CFRTP 中間基材を用いた中間材料により自動車一次構造材用閉断面構造部材を開発する。

本研究開発項目では、研究開発項目①の研究開発のうち特に一方向性 CFRTP 中間基材を用い、研究開発項目②③④で開発される関連技術を用いてモデル部材を試作することにより、優れた生産性を有するとともに、軽量化効果の高い自動車一次構造材技術であることを実証する。同時に、最終実用化のための技術課題の抽出、課題解決のための方策検討を実施する。

[最終目標]

閉断面形状を有する自動車一次構造材のモデル部材を得て自動車一次構造部材への適用性を検証する。

1.5 各研究開発項目の成果要約

研究開発項目①「易加工性 CFRTP 中間基材の開発」

等方性 CFRTP 中間基材は、熱可塑性樹脂中に非連続の炭素繊維が均一・等方に分散した材料であり、SMC (sheet molding compound) や GMT (Glass-mat reinforced thermoplastics) などの従来のプレス成形用不連続繊維強化複合材料基材と比較して、非常に優れた物性を有している。また、密度が小さいため、比強度・比弾性率が高く、成形品は連続繊維を使用した航空機用 CFRP に匹敵する軽量化効果を達成することができた。

表Ⅲ.1-1 等方性中間基材の特性

	曲げ弾性率 E (GPa)	曲げ強度 σ (MPa)	密度 ρ (g/ml)	比曲げ弾性率 ($3\sqrt{E/\rho}$)	比曲げ強度 ($\sqrt{\sigma/\rho}$)
スチール	200	420	7.8	0.75 (×1)	2.6 (×1)
アルミニウム	71	160	2.7	1.5 (×2.1)	4.7 (×1.8)
マグネシウム	45	370	1.8	2.0 (×2.6)	11 (×4.1)
GMT	7	145	1.2	1.5 (×2.1)	9.7 (×3.7)
連続繊維CFRP (エポキシ)	50	700	1.5	2.5 (×3.3)	18 (×6.7)
等方性CFRTP中間基材 (ポリプロピレン)	14.5	421	1.1	2.2 (×3.0)	18 (×6.7)

一方向性 CFRTP 中間基材としては、独自の炭素繊維表面処理技術及び樹脂改質技術によって、高 Vf (炭素繊維体積含有率) にも関わらず連続炭素繊維に熱可塑性樹脂が高度に含浸し、炭素繊維表面に強固に接着したプリプレグテープを開発した。

表Ⅲ.1-2 一方向性中間基材の特性

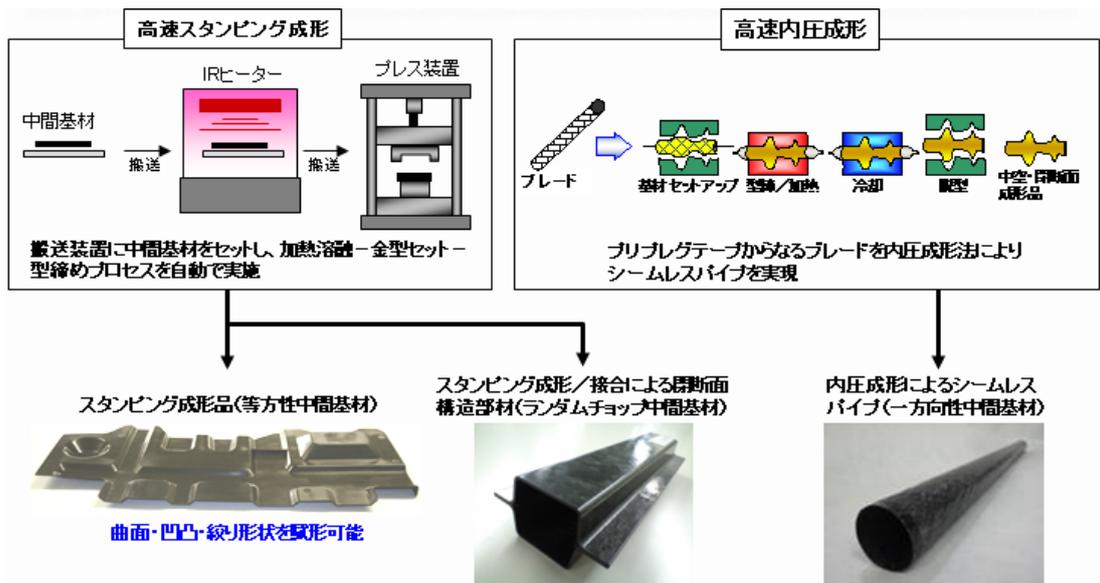
成形基材		PP系開発品	PA系開発品
材料形態		UD-PP	UD-PA
Vf (繊維体積含有率)	%	50	50
0° 曲げ	強度	MPa	950
	弾性率	GPa	100
	歪	%	NB
90° 曲げ	強度	MPa	50
			118



研究開発項目②「易加工性 CFRTP の成形技術の開発」

易加工性 CFRTP の成形技術の開発では、量産自動車への適合可能性を検討するために、成形サイクルの短縮を中心に検討した。

等方性 CFRTP 中間基材を用いた構造体を得るために、金型占有時間が短く、成形後の部品性能のばらつきを小さく出来る高速スタンピング成形技術を開発した。また、一方向性 CFRTP 中間基材を用いた中空閉断面構造体を得るために、閉断面構造体の高速成形技術を開発した。



図Ⅲ.1-2 高速スタンピング成形と高速内圧成形

高速スタンピング成形は、CFRTP 中間基材との組み合わせで、高物性と生産性を両立させた。具体的には CFRTP 中間基材を高速加熱技術、高速プレス成形技術、適宜搬送技術等がトータルの連携化を図りながら成立しており、目標を上回る金型占有時間 1 分間を達成した高速成形技術である。

高速内圧成形は、CFRTP 中間基材、プリフォーム製作技術並びに、内圧成形での低圧成形技術と併せて、成形サイクル（金型占有時間）5 分以下を達成した。

研究開発項目③「易加工性 CFRTP の接合技術の開発」

易加工性 CFRTP の接合技術の開発では、熱可塑性樹脂の特徴である融着を中心に検討を行った。その結果、参照強度 90%以上の接合強度を得た。CFRTP 中間基材を用いた大型・一体成形が不可能な構造部材を得るためには、CFRTP の同種／異種の接合技術の開発が不可欠である。従来の熱硬化 CFRP と比べて、本プロジェクトで得られた CFRTP 中間基材は、樹脂を部分的に熔融して接合させる融着法が可能である。本プロジェクトでは、熱板融着・振動融着・超音波融着等の融着技術の基礎検討を行い、接合が可能であることを確認した。さらに、接合面の破壊メカニズムの検討から、接合部が一体化することによって、熱硬化性 CFRTP のような明確な接合界面は存在せず、繊維同士の絡みによる高靱性化が達成され、接合部の強度が高まることを明らかにした。

研究開発項目④「易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発」

易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発として、粉碎マテリアルリサイクル、プレートマテリアルリサイクルの検討、並びに、リペア技術の開発を行い、参照強度 90%以上保持が可能であることを明らかにした。

本開発材の基材製造から部品成形・二次加工を経て完成車の組み立て、さらには使用から廃棄まで、生産プロセスからライフサイクル全体における廃材や不良品の循環を考慮することで、クローズドリサイクルを達成する可能性を示した。本開発材を適用する部材の要求性能を見極め、ムダのない材料の循環を達成するために必要なリサイクル材の特性を明らかにし、さらにリサイクル性能を高める手法の開発を行った。

研究開発項目⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

等方性中間基材の連続・自動生産検討を進め、連続生産に成功した。また、中間基材のラインナップを広げ、他の樹脂でも連続生産可能な事を実証した。

自動車部品の一部を、本材料の特性を活かして構造設計し、スタンピング成形により、型占有時間 1 分で成形を可能なことを検証し、さらに強度解析および強度実証試験を行い、実用に耐えるスペックである事を確認した。

研究開発項目⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

ポリアミド樹脂と高含浸性、高接着性を発現する表面処理方法の最終的な最適化を行い、最終目標値（繊維方向曲げ強度 1600MPa 以上、繊維方向曲げ弾性率 120GPa 以上、破断ひずみ 1.3%以上、繊維直角方向曲げ強度 110MPa 以上）を達成した。また、ポリプロピレン系やポリアミド系のマトリックス樹脂の種類に応じた炭素繊維表面処理技術の量産化のための準備を完了した。その技術は⑥-2 のモデル部材の開発に活用する一方、ユーザーへのサンプルの提供に対応できるようにした。

モデル部材としては、2008 年当時、自動車一次構造材として多用されていた閉断面構造を取り上げた。その結果、CF/PP のランダム・シートから作製したモデル部材は、440MPa ハ

イテンの同一の外形を有するモデル部材と比較して、本検討を行なった範囲において、ほぼ同等の初期剛性、並びに、耐荷重（強度）を示した。これにより、モデル部材において、50%軽量化の目処を得ることに成功した。

以上のとおり、最終目標を達成しており、達成度を一覧表として纏めると表Ⅲ.1-3 のとおりである。

表Ⅲ.1-3 プロジェクトの開発目標と成果達成度

事業種	研究開発項目		評価項目	目標値		成果
				中間	最終	
共通基盤技術事業	①易加工性CFRTP中間基材の開発	①-1 等方性CFRTP中間基材	曲げ強度	250Mpa	400Mpa	400Mpa以上
			等方性(変動係数)	10%以下	5%以下	5%以下
		①-2 一方向性CFRTP中間基材	繊維方向曲げ強度	1400Mpa	1600Mpa	1600Mpa以上
			繊維直角方向曲げ強度	100Mpa	110Mpa	110Mpa以上
	繊維方向曲げ破断歪		1.0%以上	1.3%以上	1.3%以上	
	②易加工性CFRTP成形技術の開発	②-1-1 等方性CFRTP中間基材の高速スタンピング成形技術	成形時間(型占有時間)	2分以内	90秒以内(予熱時間含まず)	90秒
		②-1-1 一方向性CFRTP中間基材の高速スタンピング成形技術	成形時間(型占有時間)	要素技術見極め	金型占有時間2分以内	2分
		②-2 一方向性CFRTP中間基材の高速内圧成形技術	成形時間(型占有時間)	要素技術見極め	7分以内	7分
	③易加工性CFRTPの接合術の開発	③-1 CFRTP同士の接合技術	接合強度の参照強度に対する割合	75%	90%	90%
		③-2 CFRTPと異材の接合技術		課題見極め		
④易加工性CFRTPのリサイクル技術の開発	④-1 CFRTP部材のリサイクル技術	3回リサイクル後曲げ強度の参照強度に対する割合	参照強度の75%	参照強度の90%以上	90%以上	
	④-2 CFRTP部材のリペア技術	リペア後、曲げ強度の参照強度に対する割合	基本特性評価	参照強度の75%以上	75%以上	
実用化技術事業	⑤易加工性自動車用モジュール構造部材の開発	中間基材量産化	連続生産	規定寸法製品連続生産	規定寸法製品連続生産	○
		モジュール部品成形	成形状況	型占有時間2分以内の部品成形実証	型占有時間1分以内の部品成形実証	○
	⑥易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発	中間基材量産化	委託事業目標値	委託事業中間目標値クリア	委託事業最終目標値クリア	○
		一次構造部材開発	モデル成形	モデル部材設計方針見極め	モデル部材による構造部材軽量化実証	○

1.6 全体成果の総括

高度な省エネルギー社会の実現と、我が国製造業の国際競争力の更なる向上に寄与することを念頭に、自動車等の更なる軽量化を可能とするための共通基盤技術の確立を目的として、平成20年度から平成24年度にかけて、炭素繊維強化熱可塑性樹脂（CFRTP）の自動車構造部材への適用可能性を見極めるために、東京大学、東レ（株）、三菱レイヨン（株）、東洋紡

(株)、(株) タカギセイコーで検討を行ってきた。本プロジェクトでは、これまで材料開発に片寄りがちであった日本の技術開発に鑑み、材料開発のみならず、実用化を見据えた成形加工技術、接合技術、リサイクル技術にも焦点を当てて、「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」に取り組んだ。

その結果、CFRTPの超軽量性を活かして革新的な2種類の間接材を開発し、その中間基材の性能を十分に発揮できる高速成形技術を開発した。また、同種/異種材料との接合技術の開発を行うとともに、性能低下が生じにくいリサイクル技術のプロセスも構築した。これらの技術構築の成果として自動車構造用鋼材と比較して、部材軽量化の可能性を見出した。

また、本プロジェクトの期間中、有識者による技術推進委員会および研究推進委員会において、実用化に当たっては各種環境下での材料物性や成形加工のデータベースの構築、さらに、成形時の流動解析や、部材設計に寄与する構造解析技術の必要性について意見があった。一部構築を図ったが、近い将来、実用化を目指すために必要不可欠な課題も把握でき、さらなる開発の必要性を提案した。

2. 研究開発項目毎の成果

2.1 研究開発項目①「易加工性 CFRTP 中間基材の開発」

①-1 「等方性 CFRTP 中間基材」

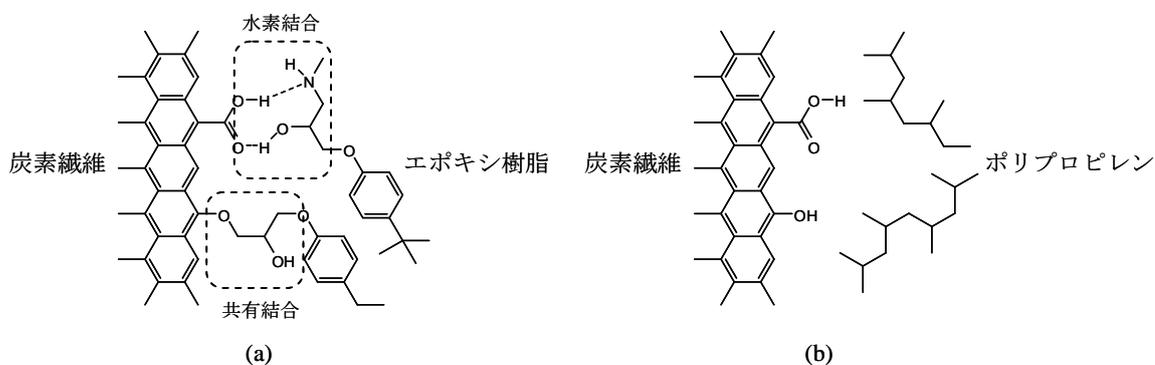
CFRP において、連続繊維材料と不連続繊維材料は、設計、加工および用途が異なる。連続繊維材料は優れた強度利用率を有する反面、複雑形状の成形が困難であり、異方性を有するため積層設計が必要となる。一方不連続材料は複雑形状の賦形に強いが、繊維の強度利用率が低い。また一般に強化繊維が不均質に分布するため、加工品の強度ムラなど、信頼性が問題となるケースもある。

本研究開発項目では、これらの課題を鑑み、連続繊維に匹敵する強度利用率を持ち、均質・等方な性質を有する不連続繊維を用いた CFRTP 中間基材の開発を行う。マトリックス樹脂には、軽量で機械特性のバランスに優れ、耐水性を有するポリプロピレンを用いた。機械特性の最終目標は、平板成形品から任意の面内方向で矩形の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 400MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma}/\rho)$ ）で鋼材の約 6 倍）以上であり、曲げ強度の方向による変動係数が 5%以内（鉄同等）とした。平成 22 年度の間目標としては、試験片の曲げ強度がどの方向でも 250MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma}/\rho)$ ）で鋼材の約 5 倍）以上、曲げ強度の方向による変動係数が 10%以内である。

また、自動車部材は機械特性だけでなく、熱特性や疲労特性も重要となる。これらの検証も進め、材料のデータベースを構築する。

①-1-1 「CFRTP 向けマトリックス樹脂の開発」

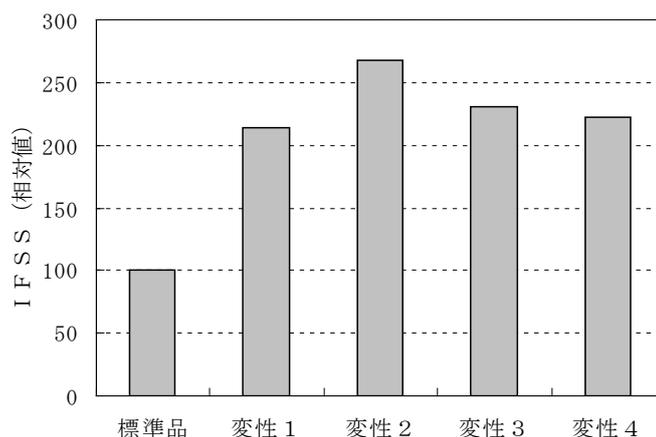
本項目では、マトリックス樹脂となる新規なポリプロピレン樹脂の開発検討を行った。複合材料の破壊は、繊維、樹脂、界面のいずれかで起こる。ポリプロピレンの場合、エポキシ樹脂と異なり炭素繊維表面との共有結合や水素結合がないために、接着性が乏しく、界面での破壊が優先する。界面破壊が支配的である場合、樹脂の高強度化は無意味であり、炭素繊維との接着性向上が重要となる。そこで、研究開発項目①-1-2 と連動し、樹脂の側から界面接着性の向上を検討した。



図①-1-1 炭素繊維とマトリックス樹脂との相互作用

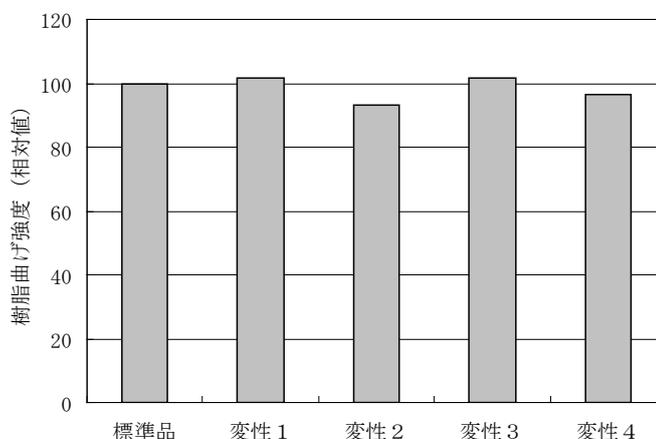
A. 変性ポリプロピレンの作製

炭素繊維との界面接着性を向上させるため、異なる官能基種をグラフトさせた、各種変性ポリプロピレンを作製した。得られた変性ポリプロピレンは、研究開発項目①-1-2で確立されたSFC試験により、界面剪断強度(IFSS)を測定し、接着性の指標とした。通常のポリプロピレン(標準品)と、変性ポリプロピレン(変性1~4)のIFSSに関し、標準品を100とした場合の相対比較を図①-1-2に示す。いずれの変性ポリプロピレンも、標準品の倍以上のIFSSを示し、炭素繊維との接着に優れる事が分かった。



図①-1-2 変性ポリプロピレンのSFC試験

変性は樹脂の結晶構造を変化させる。ポリプロピレンの降伏応力は結晶化度および球晶サイズの影響を受けるため、変性による樹脂強度の低下が懸念された。そこで各種変性樹脂の曲げ強度を評価した(図①-1-3)ところ、いずれの変性ポリプロピレンも、標準品の90%以上の強度を維持していることがわかった。



図①-1-3 変性ポリプロピレンの曲げ強度

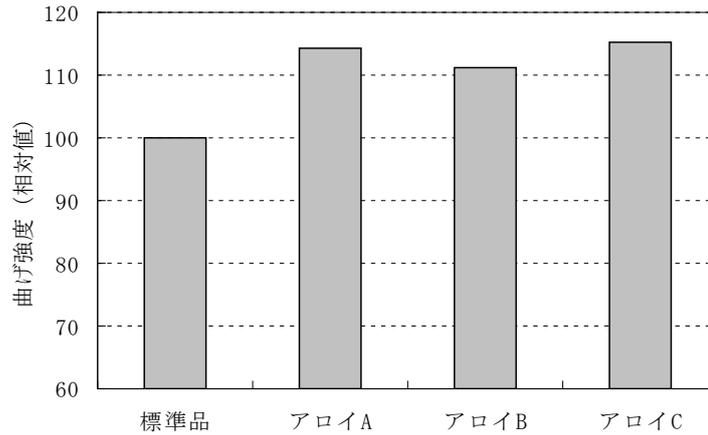
これらの変性ポリプロピレンは、樹脂粉碎混練機ならびに二軸押出機を用いて段階的にスケールアップ検討を行い、100kg オーダーの連続製造が可能であることを確認した。また、研究開発項目①-1-4「中間基材化技術の開発」で使用するために、外注による実機レベルでの試作を行い、幅 800mm の押出フィルムが、連続的に生産できることを確認した（図①-1-4）。



図①-1-4 変性ポリプロピレン樹脂フィルム

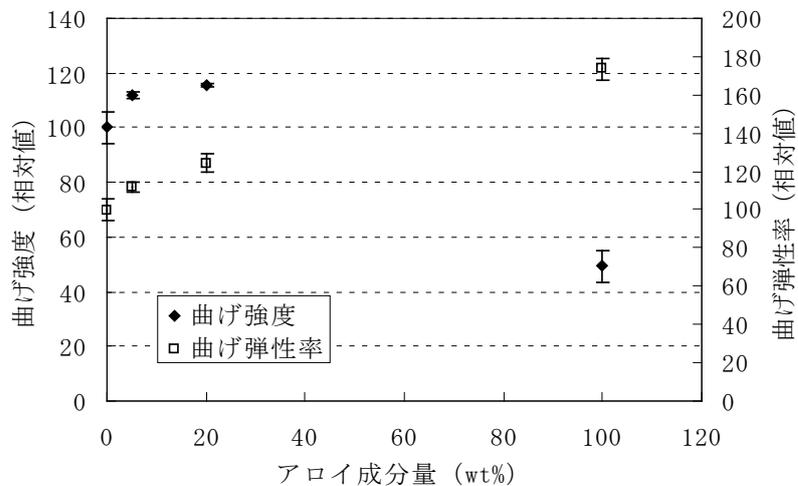
B. ポリマーアロイの作製

IFSS の向上は、これまで破壊の主体となっていた界面の強化を意味する。従って、破壊モードが界面から樹脂破壊にシフトしてくる。この場合には、樹脂の強度向上が必要となる。そこで、ポリマーアロイ技術による樹脂強度の向上を試みた。複数のポリマーアロイを作製した結果、図①-1-5 に示す 3 種のアロイ（アロイ A～C）が、ポリプロピレンの成形加工性を損なわない範囲で、曲げ強度を向上させることがわかった。アロイ A とアロイ C はほぼ同等の強度向上を示したが、供給容易なアロイ A を選択した。



図①-1-5 ポリマーアロイによる曲げ強度の向上

アロイ A の配合量と曲げ特性の関係を、図①-1-6 に示す。曲げ強度では、特定の配合量で、ポリプロピレン単体、もしくはアロイ成分単体よりも向上する特異点を示した。曲げ弾性率は、ほぼ直線的に変動した。

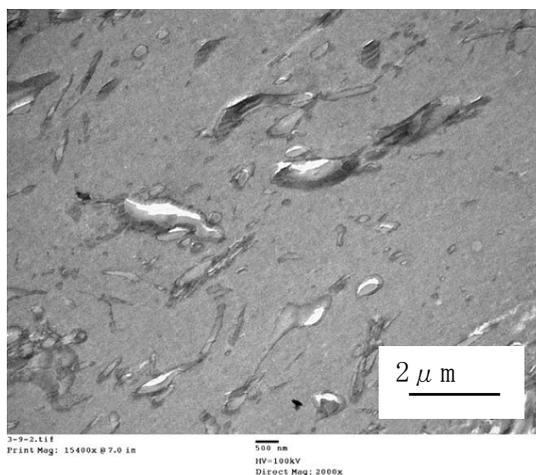


図①-1-6 アロイ成分量と曲げ特性の関係

アロイ含量が 20wt% のときの TEM 画像を図①-1-7 に示す。アロイ成分は最大 $2\mu\text{m}$ 程度の大きさで、海島型に分散していた。アロイ成分は弾性率がポリプロピレンよりも高く、島状に分散することで、ハードフィラーとして働いたと推測される。一方で通常は無機フィラーと異なり、本成分はポリプロピレンよりも融点が低く、加工時には溶融して含浸やフィルム化への影響は小さい。

樹脂としてのポリプロピレンの性質が維持できていることを確認するため、DSC を

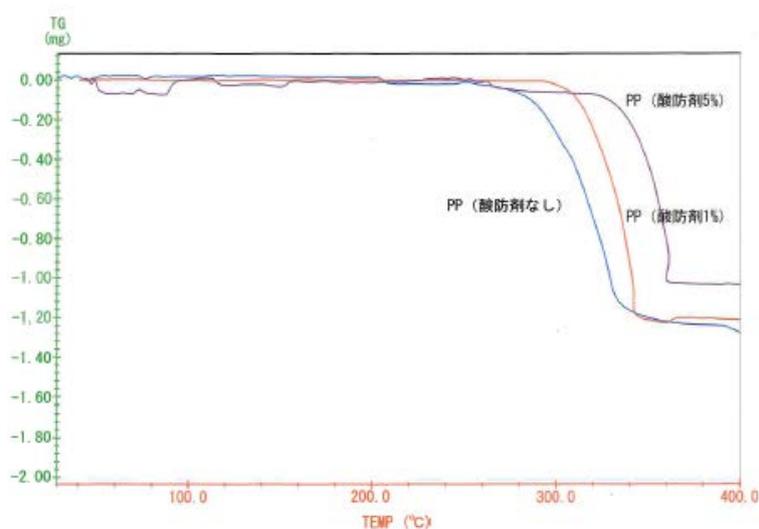
用いて融点を測定した。その結果、標準品、アロイ品ともに 167°Cであることを確認した。また、メルトフローレート (MFR) も、標準品 5.2 に対し、アロイ品は 5.6 であり、無機フィラーで問題となる流動性の変化も回避できた。



図①-1-7 アロイ樹脂の TEM 画像

C. 熱安定性の改善

成形加工時の樹脂劣化は、成形品の機械特性や品位に悪影響を与える。熱安定性向上のため、酸化防止剤の添加を検討した。通常のポリプロピレン成形品にも使用されている、ヒンダードフェノール系とリン系酸化防止剤の混合物により熱安定性が改善することを、TG-DTA による熱重量減少のグラフから確認した (図①-1-8)。酸化防止剤は添加量に依存して耐熱性が向上したが、5%の添加では樹脂が脆くなる傾向が見え始めたため、標準の添加量は 1%とした。



図①-1-8 酸化防止剤添加による熱重量減少への影響

測定に使用した熱分析装置（DSCおよびTG-DTA）を図①-1-9に示す。それぞれポリマーの熱分析では必須の装置であり、樹脂のT_g、融点、熱安定性や結晶化温度などを測定できる。



図①-1-9 熱分析装置

①-1-2 「熱可塑性樹脂用の炭素繊維界面技術の開発」

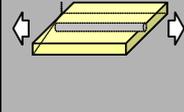
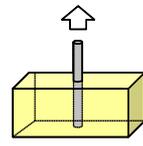
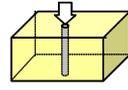
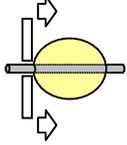
炭素繊維の優れた強度・弾性率を有効利用するには、マトリックス樹脂だけでなく、界面を中心とした領域での応力伝達メカニズムを詳細に分析・解析して、優れた接着性を示すような設計を進める必要がある。それにはまず界面の接着性を定量的に評価する手法が必要となる。接着性の定量評価を立ち上げることで、界面設計の指針がえられ、すぐれた応力伝達特性を有する界面技術が開発可能となる。

A. 界面剪断強度の評価法構築

炭素繊維とマトリックス樹脂の接着強度の評価には規格が存在していないが、界面剪断強度（IFSS）の測定により定量化することができる。IFSSの測定法を、表①-1-1に示す。SFC（Single Fiber Composite）法は、樹脂フィルムに単繊維を埋め込んで引張試験を行い、破断繊維長からIFSSを測定する。炭素繊維は通常樹脂よりも伸度が低いため、引張試験時の樹脂の変形に追随できず、繊維が破断する。繊維と樹脂の接着が強い場合、界面の滑りが少ないため、剪断力を強く受け、より多くの繊維が破断する。SFC法では、この繊維の破断長さからIFSSを見積もる。プッシュアウトおよびプルアウト試験は、樹脂に埋め込まれた単繊維を引き抜くか押し込むかしてIFSSを直接的に測定する方法である。繊維を樹脂ブロックに対し正確に垂直方向に埋め込む必要があること、繊維の引き抜きもしくは押し込み時も角度が生じてはならないことから、試験片の作製と試験実施が難しく、一般にばらつきが大きいとされる。マイクロドロップレット法は、単繊維に樹脂を一滴落として繊維が埋め込まれた液滴を作り、狭いスリットを通して樹脂を引き剥がす事で、IFSSを測定する。試験の手技に多少の熟練が

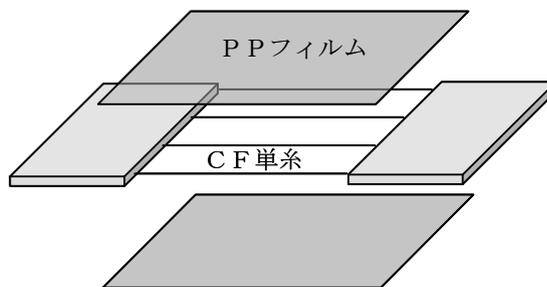
必要であるが、専用の装置も市販されている。

表①-1-1 IFSS の測定方法

	SFC	プルアウト	プッシュアウト	マイクロトップレット
試験モデル				
試験片準備	易	難	難	易
試験手技	易	難	難	やや難

これらの手法は、いずれも熱硬化性樹脂の使用が前提となっている。熱可塑性樹脂に適用するには、評価法の改善が必要であった。表①-1-1 に示す評価法のうち、ばらつきが少なく簡便な手法である SFC について、熱可塑性樹脂への適用を検討した。

試験片の作製にあたっては、試験片に単繊維がしっかり伸びた状態で埋め込まれる必要がある。湾曲していると、試験片のひずみが界面の剪断力に正しく転化されず、ばらつきが大きくなる。図①-1-10 に示すように、複数の CF 単糸を弱い張力をかけた状態で固定し、ポリプロピレンフィルムで挟むことで、単糸の埋め込みに成功した。単糸埋め込み試験片を、図①-1-11 に示す。

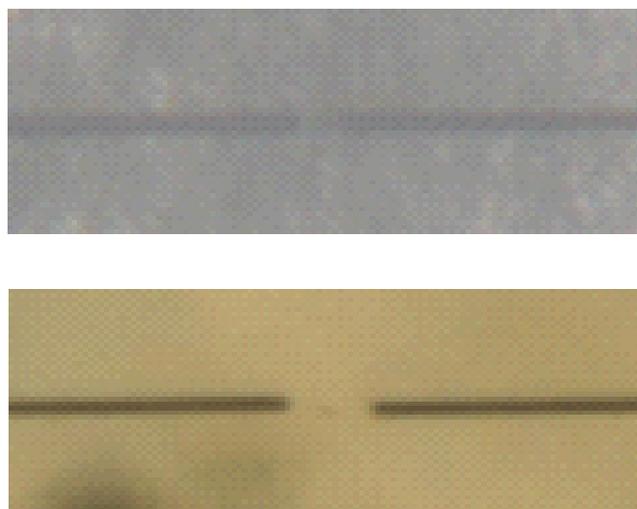


図①-1-10 SFC 試験片の作製



図①-1-11 単糸埋め込み試験片

また、SFC 法では、試験後のサンプルをデジタルマイクロスコープで観察して繊維の破断数から平均破断繊維長を求め、ここから IFSS を算出する。しかし、ポリプロピレンは結晶性樹脂であり、引張ひずみを与えると樹脂が白濁し、内部の繊維が観察しにくくなる（図①-1-12）。そこで、樹脂を溶融しながら観察する手法を確立し、繊維の破断部の視認性を改善した。



図①-1-12 ポリプロピレン樹脂中の繊維の破断部分
(上： 固体状態 下：溶融状態)

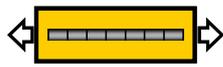
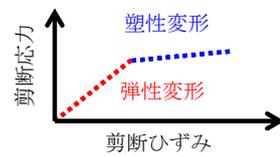
これらの手技により熱可塑性樹脂を用いた SFC 試験法を確立し、炭素繊維とポリプロピレンの IFSS の定量化に成功した。本試験法を、研究開発項目①-1-1 に示した変性ポリプロピレンの接着性評価（図①-1-2）に活用している。

B. 界面剪断強度の理論解析

次に、完全接着した場合の IFSS の理論値を、解析的手法により求めた。本解析により、理想的に接着した場合の IFSS が求められ、目標値の設定が可能となる。

CFRP における単繊維の破断では、Kelly-Tyson モデルが知られている。このモデルでは、単糸強度は長手方向に一定であり、樹脂のひずみに伴い発生する剪断応力は、ひずみ量に関わらず一定である。一方で、実際には単糸強度は長手方向にばらつきを持つ。また、特に熱可塑性樹脂では、剪断応力はひずみ量に伴い変動する（表①-1-2）。そこで、これらの要素を組み込んだモデルで解析を行った。

表①-1-2 SFC 法での繊維破断の解析手法

	繊維破断	樹脂変形
従来モデル (Kelly-Tyson ベース)	 CF強度は一定	 剪断応力 剪断ひずみ
最近のモデル	 CF強度にばらつきを持たせる	 剪断応力 剪断ひずみ 塑性変形 弾性変形

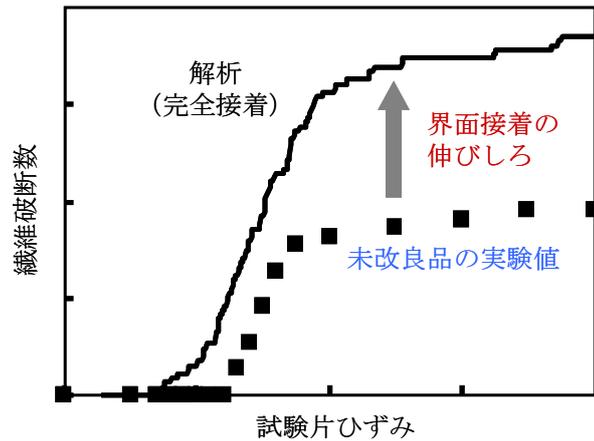
解析結果を図①-1-13 に示す。グラフの横軸は試験片ひずみ、縦軸は試験片中の繊維破断数を表す。IFSS (τ) は、繊維破断数から求められる平均破断繊維長 L_{af} を用い、次式より算出される。式 1.1-1 より、IFSS は繊維破断数に比例することが分かる。

$$L_c = \frac{4}{3} L_{af} \quad (1.1-1)$$

$$\tau = \frac{\sigma_f \cdot d}{2L_c} \quad (1.1-2)$$

(L_c は臨界繊維長、 σ_f は単繊維の引張強度、 d は繊維径を表す)

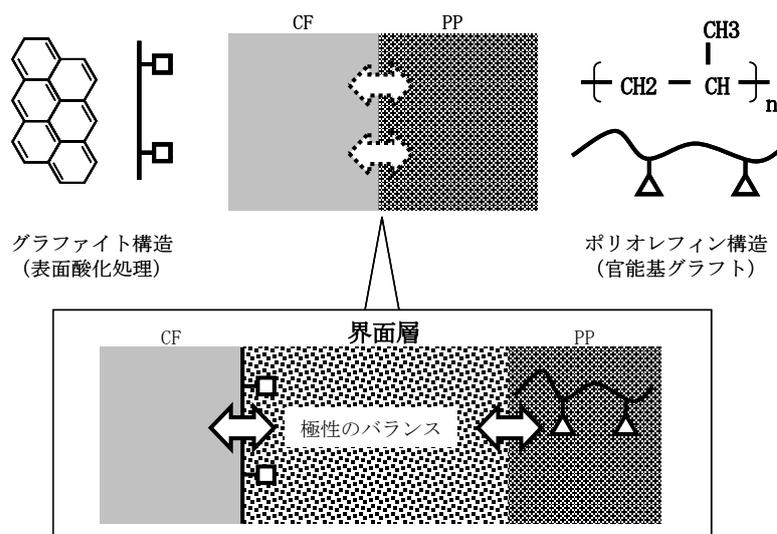
縦軸を繊維破断数としてグラフをプロットすれば、実験で得られる直接的な数値を用い、理論値と容易に比較できる。樹脂および繊維界面に特段の処置を施さない場合、SFC 法での実験値は図①-1-13 の点線で表される挙動となった。グラフがほぼ横ばいになった時点での繊維破断数の理論値と実験値の差が、界面接着の伸びしろを表している。



図①-1-13 試験片ひずみと繊維破断数の関係

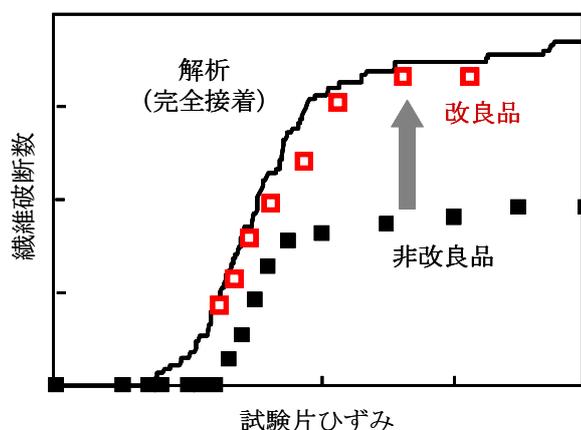
C. 界面層の設計

ポリプロピレンは、樹脂中に共有結合や水素結合可能な官能基を含まないため、炭素繊維との接着性をほとんど示さず、複合材料とした場合にも望む機械特性を発現しない。炭素繊維の表面構造（グラファイト構造）も、同様に極性官能基や反応点を含まない。しかし炭素繊維には表面処理が施されており、カルボン酸や水酸基等の極性官能基が導入されている。同様の視点で官能基をグラフトさせた変性ポリプロピレンを作製し、炭素繊維との接着を改善するアプローチが、研究開発項目①-1-1で述べたものである。ここでは、さらなる特性向上のために、炭素繊維と変性ポリプロピレンとの間に、薄い界面層を形成させるコンセプトを検討した（図①-1-14）。炭素繊維とも変性ポリプロピレンとも、より高い親和性を示す、極性のバランスを考慮した中間層を形成させる考え方である。



図①-1-14 界面接着向上のコンセプト

種々の界面層のスクリーニングを行い、変性ポリプロピレンとの組み合わせを最適化し、IFSS を、理論値に匹敵するレベルに到達させることに成功した (図①-1-15)。



図①-1-15 最適処方による界面接着性の改善

①-1-3 「繊維等方分散技術の開発」

中間基材が等方性を発現するには、機械特性を担う炭素繊維の配置を制御する必要がある。本研究開発項目では、炭素繊維の繊維束を単繊維レベルに開繊し、等方特性を示す配置を実現する。一般に炭素繊維は束状に集束されており、単繊維に開繊させるには高度な技術が要求される。しかし、等方・均質な性質の発現には、本開繊および分散技術が必要となる。東レはモデル実験（ラボ）にて、特定条件下で炭素繊維束が単繊維状に開繊できる可能性を見出している。本研究開発項目では、この開繊技術が、工業化レベルで実現可能かを見極める。

実践的には等方・均質な炭素繊維マットに樹脂を含浸し、中間基材として使用する。実際に等方性が要求されるのは中間基材であるため、研究開発項目①-1-4 から随時フィードバックをかけ、中間基材として等方性が発現する技術を開発する。また、品質管理上、炭素繊維マットの状態での繊維配向を評価する手法が必要となるため、その評価項目を設定する。

A. 炭素繊維束の開繊技術

レギュラートウの炭素繊維は、通常 3,000～24,000 本が結束した繊維束として供給される。炭素繊維束には結束剤が付与されているため、単繊維レベルの分散にあたっては、特殊な炭素繊維の表面処理技術が要求される。

本プロジェクトで開発する炭素繊維マットは、図①-1-16 に示すチョップド炭素繊維から製造する。東レでは、開繊に適する表面処理を施した特殊な炭素繊維を、ラボレベルで開発している。この表面技術を実践的なものにすべく、分散の安定性や、繊維長および目付けのウィンドウ検証、工程通過性などを検証した。これらの検討からのフィードバックを利用して炭素繊維の表面処理技術を深化、最適化し、高开繊性の炭

素繊維を連続的に製造する手法を確立した。本プロジェクトで開発された炭素繊維は、外観、取り扱い性ともに通常の炭素繊維と比較して遜色なく、生産実機への適用も可能である。



図①-1-16 チョップド炭素繊維

開織技術を炭素繊維マットの連続製造に適用するにあたっては、開織状態を評価する手法を確立する必要がある。連続製造装置を用い、開織不良のパターンを抽出した(図①-1-17)。未開織は、炭素繊維が繊維束のまま残る現象である。開織不足は、繊維束の開織が不十分な場合に見られる繊維の塊だが、繊維同士が絡まり合うことによっても発生する。破れ並びにシワは連続製造特有の現象で、厳密には開織不足ではないが、開織不良と類似の繊維の塊が発生する。破れは、マットが蛇行することで端部に張力がかかった場合に見られる。破れにより発生した余剰のマットが重なり合って発生するのが、シワである。

開織状況のチェックは、660mm×500mmの炭素繊維マットをサンプリングして目視で確認し、開織不良パターン毎に1m²あたりの個数に換算して評価した。未開織は、繊維束の幅に応じ、大(>300μm)、中(150~300μm)、小(<150μm)に細分化した。



図①-1-17 開織不良のパターン

(左： 未開織 中： 開織不足 右： 破れ・シワ)

未開織と開織不足のカウント数を、表①-1-3 に示す。これらは、20m の連続製造を行い、製造開始前後で炭素繊維マットをサンプリングし、開織不良をカウントした平均である。連続製造検討開始当時は、1,000 個を越える未開織が観察された。改良により 140 個まで削減され、製造条件の最適化で、14 個にまで減少させることに成功した。一方で、開織不足は減少できなかつた。これは、開織能力の増加により、逆に開織済みの繊維の絡み合いがおきやすくなり、これが開織不足と同じ外観を示したためと考えられる。ただし、開織不足は、樹脂を含浸して中間基材とした場合の力学特性に影響を与える事はなく、実用上の問題はない。

表①-1-3 炭素繊維マットの開織不良数 (1m²あたり)

		初期検討	分散改善後	最終段階
未開織	小	660	82	6
	中	408	55	8
	大	24	3	0
開織不足		161	285	173

B. 炭素繊維束の等方分散技術

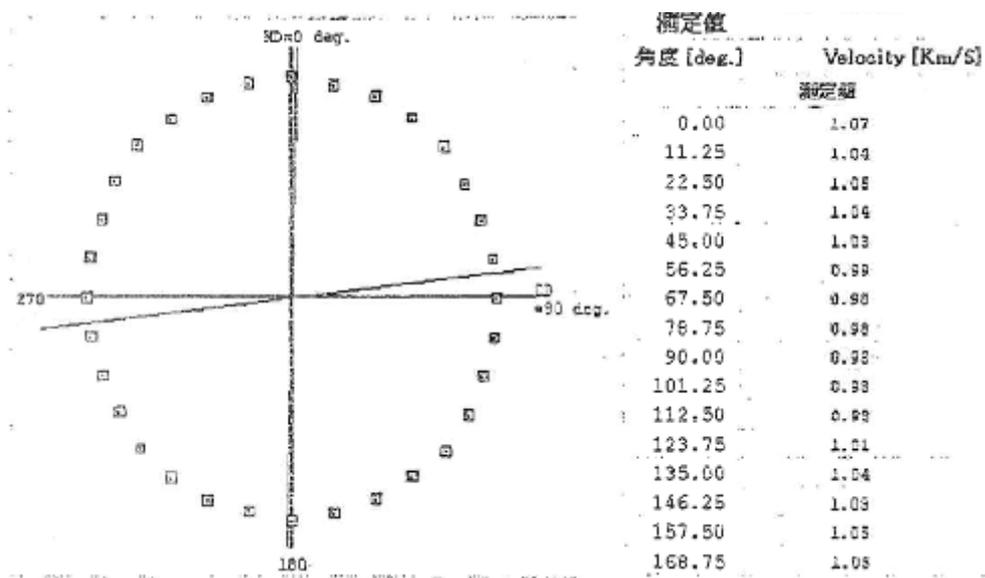
材料が等方性を損なうと、成形品の力学特性のばらつきが大きくなるばかりでなく、反りなどの深刻な影響を与える。量産プロセスを考慮する場合、不良品の発生率を抑える意味でも等方性の確保が必要となる。

開織状態と異なり、等方性は外観からの評価が行いにくいいため、配向を直接解析する方法と、力学特性評価から推定する方法を検討した。

直接解析する手法としては、「中間基材評価装置」(図①-1-18) を用いた配向測定を検討した。本装置は、炭素繊維マットに一定の圧力をかけた状態で、対角線上に音波を発信し、音の伝わり方から配向を計算する。図①-1-19 に、解析結果を示す。Velocity が 1 に近いほど、等方性である事を示す。炭素繊維マットの Velocity の平均値は 1.02 であり、高い等方性を有するといえる。



図①-1-18 中間基材評価装置



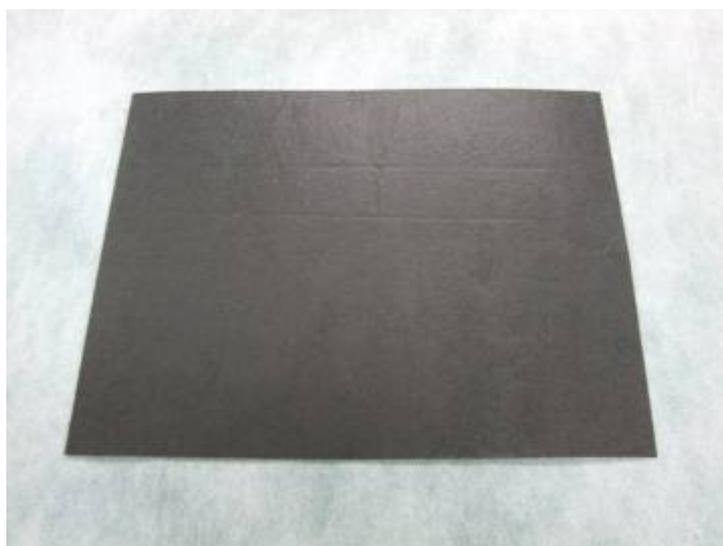
図①-1-19 配向測定の結果

力学特性による等方性の評価は、開織評価に用いた炭素繊維マットのサンプルを用いて実施した。マットを幅方向に5等分（両端・中央とその間）し、連続製造での引き取り方向（0°）および直角方向（90°）でサンプリングし、マット状態での曲げ荷重を測定した。n=10 ずつの評価で、曲げ荷重の0° / 90° 比を取ることで等方性を評価した。開織技術と並行して等方性付与の技術検討も進め、0° / 90° 比は安定して荷

重の誤差 10%以内に収めることに成功した。

なお、炭素繊維マットの均質性は、重量（目付け）測定で評価できる。すなわち、炭素繊維マットからサンプルを切り出し、 1m^2 あたりの重量に換算し、所定の範囲に収まっているかを確認する。目付け限界には、チョップド炭素繊維のフィード性が影響する。チョップド炭素繊維の結束性が高いほど、繊維束同士のほつれなどに伴う絡まりが小さくなり、フィードは行い易い。一方でロービングの取り扱い性や開繊性にはマイナスに働くため、これらの両立が課題となった。繊維の表面処理技術の改良を進め、最終的には目付けばらつきを $\pm 5\%$ 以内に収めることに成功した。

これらの技術により製造した炭素繊維マットを図①-1-20に示す。炭素繊維が単繊維レベルでネットワークを構築するため、マットとしての結束性があり取り扱い性にも優れる。



図①-1-20 炭素繊維マット

①-1-4 「中間基材化技術の開発」

エポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂は、硬化前は低分子量で粘度が低く、炭素繊維シートに比較的容易に含浸できる。一方向に引き揃えられた炭素繊維シートや炭素繊維織物などにエポキシ樹脂を含浸させたプリプレグは、航空機やスポーツ用途で汎用される最も一般的な中間基材である。しかし、熱可塑性樹脂でプリプレグを作製する場合、熔融粘度が高いため含浸が極めて難しくなる。

含浸速度を表す Darcy 則を含浸時間に関して解くと、次式で表される。

$$t_{imp} = \frac{\eta X^2}{2S(P_m + P_c)} \quad (1.1-3)$$

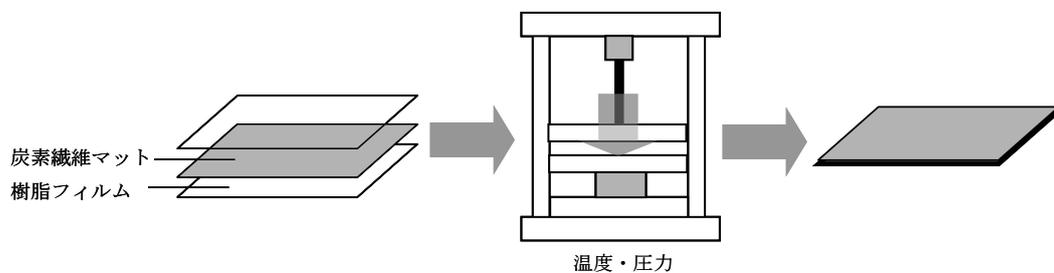
(t_{imp} は含浸に要する時間、 S は材料固有の浸透性に関する定数、 P_m は含浸時に機械的に加える圧力、 P_c はキャピラリー圧力（濡れ性が関与する項）、 η は熔融粘度、 X は

含浸距離を表す)

含浸時間は、溶融粘度 η に比例している事が分かる。ポリプロピレンの溶融粘度は未硬化エポキシ樹脂の 1,000 倍にも達し、熱硬化プリプレグの製造設備で熱可塑プリプレグは製造できない。

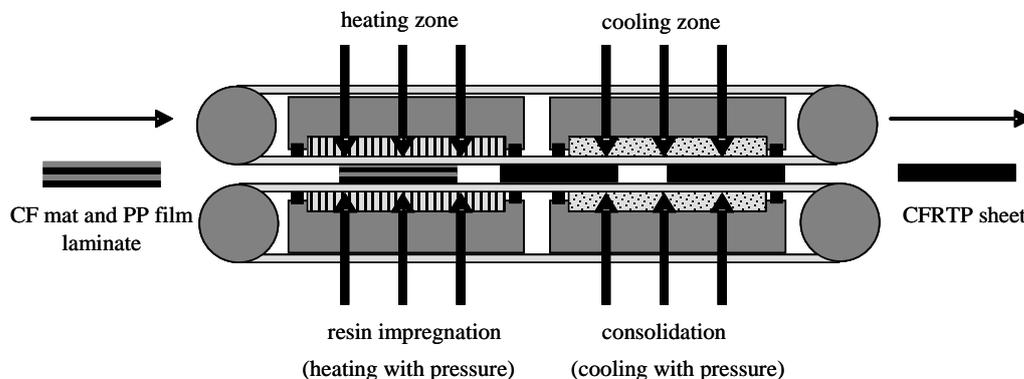
含浸速度を改善するには、(1.1-3) 式の分子を小さくするか、分母を大きくすれば良い。同じ炭素繊維マットを用いる場合、樹脂の粘度を下げるか、含浸圧力を上げることになる。

ラボスケールでの中間基材化は、プレス装置を用いるのが簡便である。すなわち、炭素繊維マットと樹脂フィルムを積層し、プレス装置で高温・高圧を付与して含浸する。プレス機内で含浸が完了するまで保圧すれば高品質の CF RTP シートが作製できる(図①-1-21)。一方で、配置、加熱溶融、含浸、冷却、取り出しをバッチ式に行うため、生産性に限界がある。基材が大型化した場合は、搬送も容易ではない。



図①-1-21 ラボスケールでの基材含浸

そこで、ダブルベルトプレスを用いた連続含浸技術を検討した。ダブルベルトプレスは、図①-1-22 に示すように、上下一対のベルトで、シートを連続的にラミネートする装置である。ベルト内部は加熱ゾーンと冷却ゾーンに分かれており、加熱ゾーンで溶融・含浸を行い、冷却ゾーンで圧力を付与したまま固化する。ベルトは回転しているため、炭素繊維マットおよび樹脂フィルムが連続的に供給され、中間基材の自動生産が可能となる。

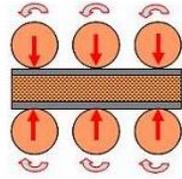
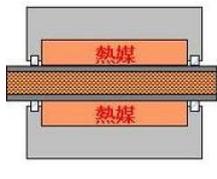
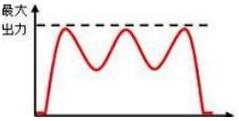


図①-1-22 ダブルベルトプレスの装置イメージ

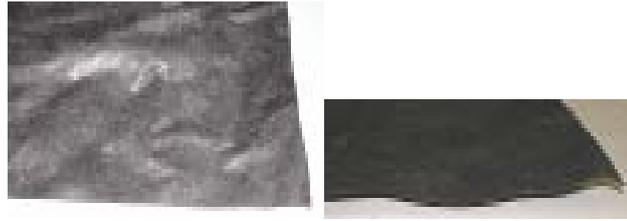
ダブルベルトプレスには、大別して線圧式と液圧式がある（表①-1-4）。線圧式はローラーで圧力を付与する。装置の構成上、ローラー直下の圧力が最も高く、ローラー間の圧力は低くなる。従ってベルト内で圧カムラが発生する。温度はローラー自身を加熱するか、雰囲気温度で制御する。ローラーが材料に圧力を付与でき、面圧換算で 2MPa 程度までの加圧ができる。圧カムラにより含浸の均一性が十分ではない可能性があるが、装置は液圧式と比べて安価である。

液圧式は、オイルで圧力を付与する。液体がベルトを押すため、均一な圧力が付与できる点が、最大の特徴である。温度は熱媒で制御し、圧力は最大 8MPa 程度まで付与できる。総じて高性能であるが、装置が高価となる。

表①-1-4 ダブルベルトプレスの加圧形式

	線圧式	液圧式
ベルト形式		
圧力パターン		
含浸能力 (圧力・温度制御)	△	○
均一含浸	△	○
装置価格	○	△

研究開発項目①-1-1 で開発した樹脂フィルムと、①-1-3 で開発した炭素繊維マットを用い、ダブルベルトプレスによるラミネートを行った。まず、安価な線圧式から検討した。十分に樹脂が含浸した材料が得られたが、図①-1-23 に示すように、基材は多数の凹凸を有し、平滑性が損なわれていた。これは、線圧式の圧カムラに起因すると考えられた。すなわち、ベルト間の圧力が下がった部分で基材にシワがよるか、樹脂の熔融に伴い炭素繊維マットが膨張（スプリングバック）し、うねりを生じたと考えられた。



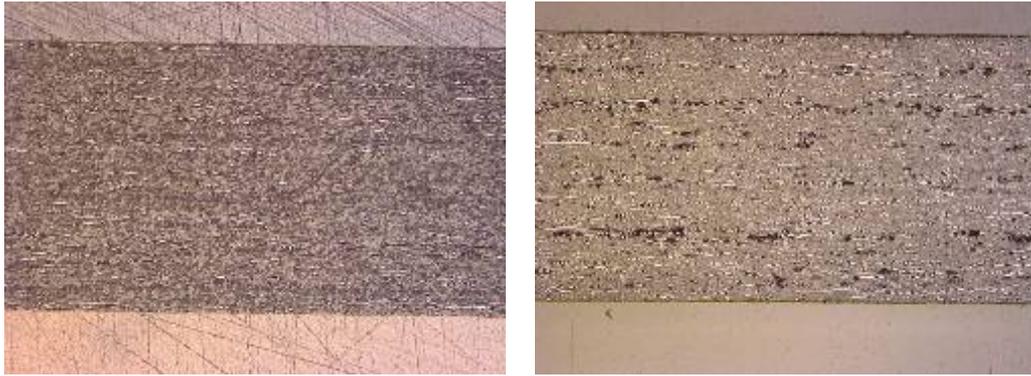
図①-1-23 線圧式のダブルベルトプレスで含浸した基材

そこで、液圧式の装置でテストしたところ、含浸・外観とも良好な材料の製造に成功した(図①-1-24)。基材の断面写真を図①-1-25に示す。基材断面にボイドは観測されず、問題なく含浸していることが分かる。なお、含浸が不十分の場合、図①-1-25右の図に示すように、ボイドが黒い点として観察される。

含浸品位は、基材外観および厚さの測定で評価できる。ボイドが多いと基材の表面に微細な凹凸が見られるようになる。また、基材の厚さが計算よりも大きくなる。これらの評価はいずれも連続製造を行いながら実施できるため、簡易な手法として好ましい。ロットの交換時にサンプリングして断面観察を行えば、より確実である。



図①-1-24 等方性中間基材



図①-1-25 基材断面写真

(左： 基材断面写真 右： ボイドを含む例)

上記予備検討から、等方性中間基材の製造では、均一な加圧を要することがわかった。そこで、液圧式のダブルベルト（「高性能ダブルベルトプレス機」）の導入を決定した。本装置の基本仕様を、表①-1-5 に示す。

表①-1-5 液圧式ダブルベルトプレスの基本仕様

全長	本体サイズ	ベルト幅	加熱温度	面圧	ベルト速度
14.1×12m	5×3m	800mm	～400℃	～8MPa	～15m/min

ダブルベルトプレスの装置構成および本体外観を、図①-1-26 および 27 に示す。プレス機本体は 5×3m 程度であるが、周辺設備を加えると、20m×10m 程度の大型設備である。

図中、プライマリヒーターは、ベルト部の温調のため、オイルを一定温度まで加熱しておき、ベルトの温度調節をスムーズに行う設備である。プライマリヒーターに設定される温度を基準として、セカンダリサーキットを用いてゾーン温調を行う。セカンダリサーキットは加熱、冷却ゾーンの数だけ配管を有し、ゾーン毎の温度を管理する。ベルトの圧力、水平バランス、蛇行などの調整は、プレッシャーミディアムユニットや電気制御盤内の回路で調整されている。オイルフローなどのモニタリングも、これらの装置で管理している。ベルト本体の床面耐荷重は 10t/m² が要求され、生産設備同等規模の設置工事を要した。



図①-1-26 ダブルベルトプレスの鳥瞰図



図①-1-27 ダブルベルトプレス本体

ダブルベルトプレスの設置により、等方性中間基材の集中研での製造が可能となった。そこで、製造可能な基材スペックの検証を行った。

CFRTP の強度は、炭素繊維種や繊維体積含有率 (V_f) に依存する。しかし、 V_f を向上させると、炭素繊維のネットワークが緻密になり、樹脂の含浸性が低下する (式 1.1-3 における S が小さくなる)。ダブルベルトプレス装置側で調整可能な含浸に係るパラメーターは、温度、圧力、生産速度である。温度は、ベルト全体の温度に加え、ベルトの

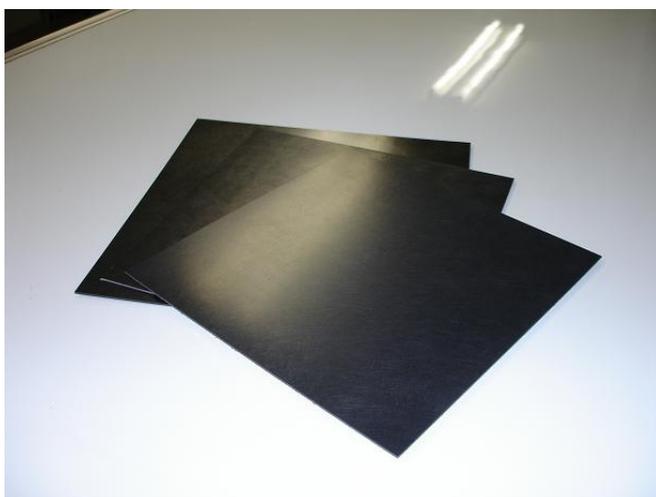
両サイドにあるアウトプレートでの温調も重要である。各種パラメーターを検証し、製造可能な Vf 限界を見極めた結果、Vf=30%までの基材であれば、連続生産できることが分かった。

本装置は 400°Cまで昇温できる。熱可塑性樹脂は温度により溶融・固化する。従って、樹脂の融点および溶融粘度情報があれば、ダブルベルトでの含浸可否を見積もることができる。ポリプロピレンより強度および耐熱性に優れるポリアミド樹脂フィルムを用いて検証したところ、含浸条件の調節は必要であったが、問題なく中間基材を製造することができた。

ダブルベルトプレスはロール to ロールの連続含浸が可能であり、薄肉品であれば、図①-1-28 に示すようなロール形状での供給が可能である。基材が厚くなると剛性を持つため、シート形状での供給となる（図①-1-29）。シート形状の場合、連続生産時に巻き取りできないため、所定の長さに切断して供給する。

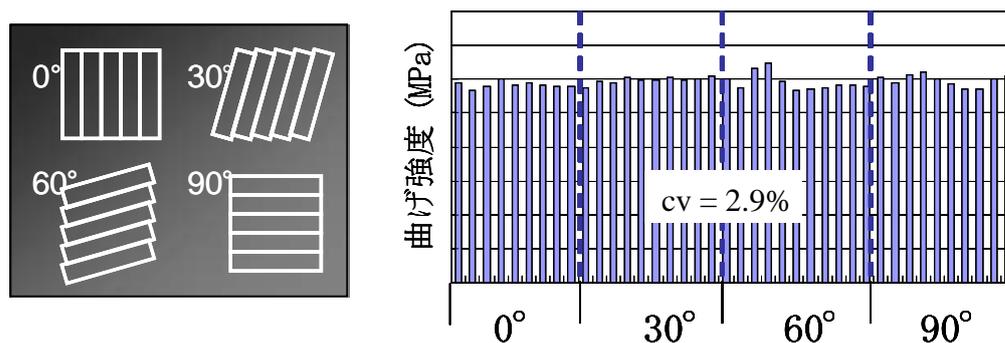


図①-1-28 ロール状の等方性中間基材



図①-1-29 シート状の等方性中間基材

ダブルベルトプレスは、ロールに一定の張力をかけながら含浸を行う。炭素繊維マットとしての等方性は研究開発項目①-1-3で確認しているが、中間基材とした場合の等方性を検証する必要がある。そこで、力学特性評価により等方性を検証した。具体的には、ダブルベルトプレスで製造した中間基材を用いて作製した平板から、0°、30°、60°、90°方向に試験片を5本ずつ切り出した。試験片は2枚の平板から合計40本を作製し、全ての試験片について測定した曲げ強度から、変動係数を算出した(図①-1-30)。その結果、変動係数は2.9%であり、本材料は極めて高い等方性を有することが示された。



図①-1-30 曲げ試験による等方性の検証

以上、研究開発項目①-1-1～4の検討により、優れた等方性を有する基材を、連続的に製造する基盤技術の確立に成功した。

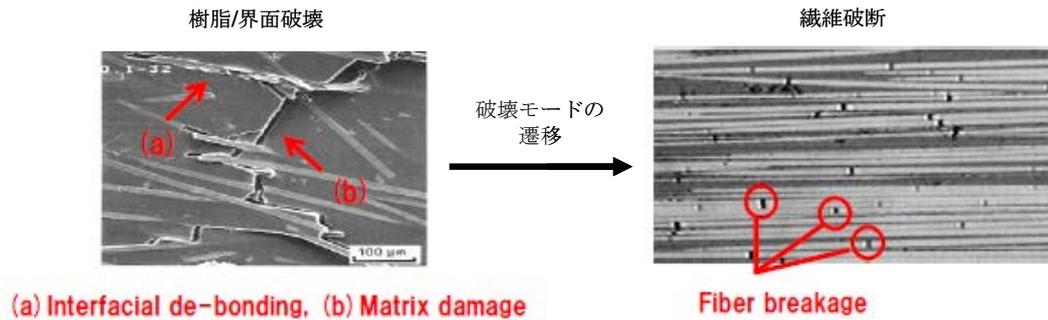
①-1-5 「マイクロ構造解析」

本研究開発項目では、等方性中間基材の破壊現象を実験・観察により明らかにし、これに基づき本材料の強度発現メカニズムを解明する。強度発現メカニズムの解明は、理論解と数値シミュレーション技術とを併用し、定性的かつ定量的に行う。

具体的には、繊維を弾性体、樹脂を弾塑性体ないしは粘塑性体として扱い、特に熱可塑性樹脂特有の材料内部の損傷進展を力学的にモデル化することで、本材料内部の破壊の進行状況を理論・数値解析の両面より考察する。また、これらの解析技術を研究開発項目①-1-1～4にフィードバックし、強度目標を達成する材料を開発する。

A. 強度解析

CFRPは、繊維、樹脂あるいは界面の、最も弱い部分から破壊する。補強材である炭素繊維の破断をより多く伴えば、CFRPの強度は高くなる。射出成形材料など、強化繊維の繊維長が短い材料では、クラックが炭素繊維を迂回するように、樹脂および界面で進展し、破壊につながる。一方で連続繊維では、破壊には必ず繊維破断を伴う(図①-1-31)。従って、短繊維から繊維長を伸ばしていくと、破壊モードが樹脂/界面破壊から繊維破断に変わるはずである。繊維破断モードが支配的となる繊維長を割り出せば、不連続繊維でありながら、連続繊維並みの強度を示す材料の設計が可能となる。



図①-1-31 CFRP の破壊モード

等方性中間基材は、繊維長をある程度自由に制御できるため、繊維長と材料強度に関する詳細な議論が可能である。これに加え、マイクロメカニクスの視点から繊維強化プラスチックの強度特性を議論するため、微視損傷に着目した数値シミュレーションを行なった。

FRP では、材料全体と繊維近傍の詳細を扱うスケールが大きく異なる。計算機の性能上、全ての繊維を含んだ材料全体のモデルで解析することは不可能である。そこで、FRP の特徴的な断面を代表させたユニットセルと呼ばれるモデルを用い、これを規則的に並べることで、多数の繊維を含む繊維強化プラスチックの解析を行うアプローチをとった。等方性中間基材は、単繊維レベルで、均一・等方に炭素繊維が分散する、極めて均質性の高い材料である。この特徴が、ユニットセルモデルの適用を可能とし、不連続繊維強化プラスチックの強度シミュレーションを実現する。従来の SMC や GMT などのプレス材料は強化繊維の長さや分散が不均質であり、材料の中に強い部分と弱い部分が不規則に存在しているため、ユニットセルの構築ができず、微視的な強度解析が不可能であった。等方性中間基材における強度解析の実現は、試行錯誤を減らす合理的な部材設計における、数値化されない強みである。

本解析で使用したユニットセルを図①-1-32 に示す。ユニットセルは一方向繊維強化プラスチックの構成であり、等方性中間基材が示すランダム配向とは異なる。そこで、荷重負担が可能な繊維の割合を配向係数 η_0 として、数値シミュレーションで用いる有効繊維体積含有率 V_f^e を次の式で与えた。

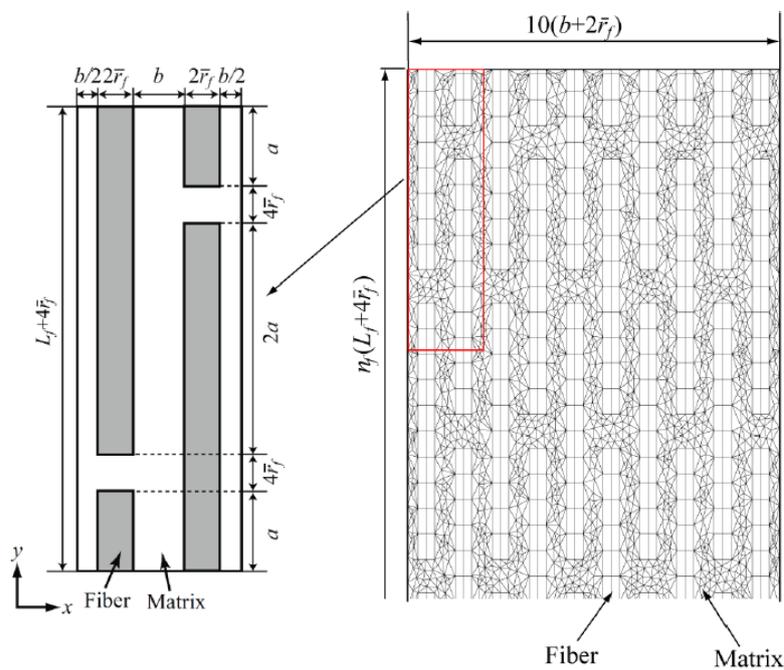
$$V_f^e = \eta_0 \cdot V_f \quad (1.1-4)$$

配向係数は、等方的な配置の場合の値である 0.375 を用いて、等方性中間基材の強度解析を行った。解析は、材料の微視的破壊の様子を追うことが可能で、引張強度の予測だけでなく、破壊モードに関する知見も得られる。図①-1-33 に示すように、初期破壊は繊維端部で発生し、その後繊維破断を伴うか（図左）、樹脂・界面破壊を伴って（図右）降伏する。繊維長が短ければ、端部の数が増え、端部同士がクラックで連結されやすくなるため、樹脂・界面破壊モードが支配的になる。一方で繊維が長ければ、

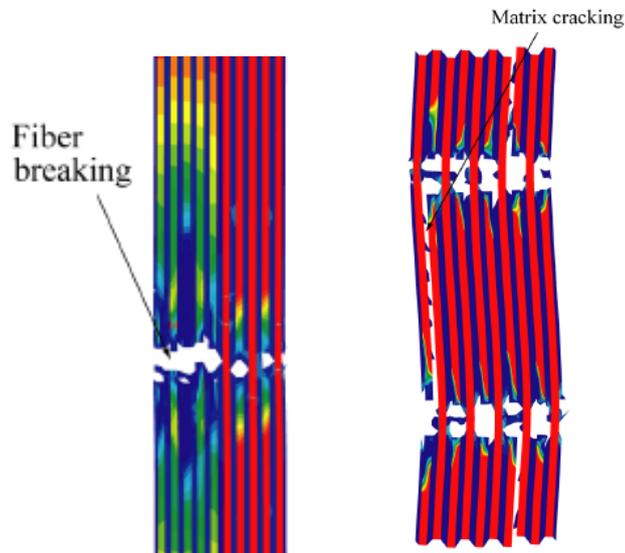
繊維破断を伴った材料破壊が進む。

繊維長と引張強度の関係を、図①-1-34 に示す。図中、■および□は解析値を、▲は実績値を表す。■は破壊モードが繊維破断であったものを、□は樹脂・界面破壊であったものを示す。本解析では、解析と実験値との整合を見るため、実験を並列して行っている。

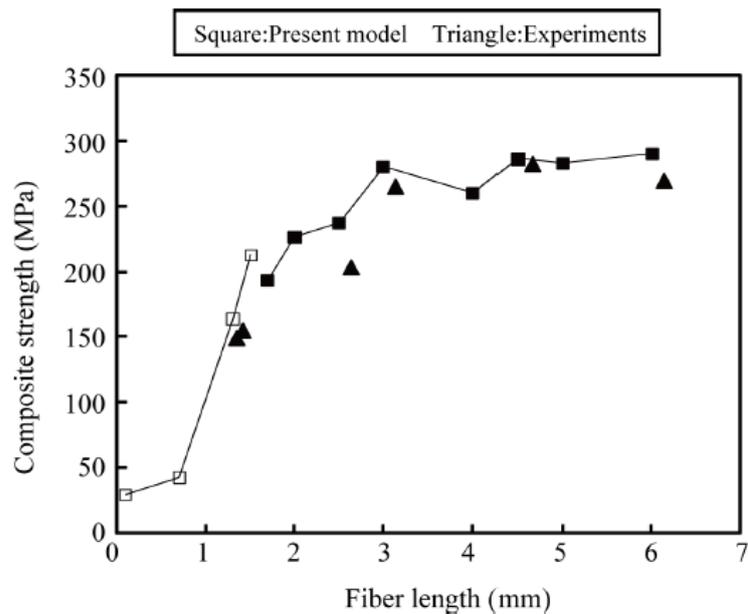
破壊モードは、繊維長 1.5mm 近傍で繊維破断モードにシフトし、引張強度は 3mm 程度で概ね一定値となった。すなわち、成形品中に数 mm オーダーの繊維長を、単繊維レベルで配置できれば、連続繊維に匹敵する強度が得られると考えられる。本解析は実験との相互フィードバックにより、優れた強度利用率を有する等方性中間基材の開発につながっている。



図①-1-32 ユニットセルモデル



図①-1-33 材料破壊の様子
(左： 繊維破断 右： 樹脂破壊)



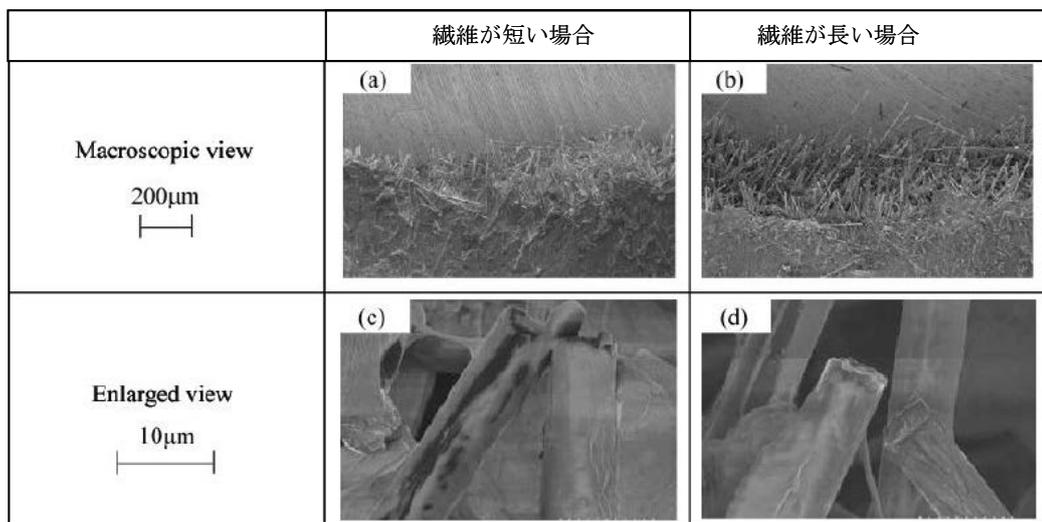
図①-1-34 繊維長と引張強度の関係

なお、図①-1-34 に示す実験値は、研究開発項目①-1-1～4 で開発した変性樹脂、界面技術を適用し、理想的な接着強度に近づけた材料によるものである。解析結果の解釈にあたり、「ひずみアンプ解析装置」の使用により、材料の破壊モードの視覚的観察も進めた。

引張試験後の破断面を、図①-1-35 に示す。破面を見ると、繊維が長い場合、概ね引張方向と垂直な方向に破壊が進行している。また、繊維表面に樹脂が付着しているこ

とが分かる。これは、試験片が破断するまで、繊維・樹脂界面が健全であったことを示唆する。従って、全体破壊は繊維破断ないしは樹脂破壊によって起きたと考えられる。また、破断面から突出している繊維の長さが、引張方向に平行なものと、引張方向から傾いたものとは異なっていた。引張方向に平行な繊維の突出長さは、傾いたものの約1/3であった。このことから、最も積荷能力の高い引張方向の繊維にのみ、繊維破断が生じたと考えられる。

一方、繊維が短い場合は、全体としては引張方向と垂直に壊れるものの、破面が蛇行する傾向が強かった。また、引張方向に平行なものと、傾いたものの突出長さはほぼ同等であった。繊維表面への樹脂の付着は確認できており、このケースでは、樹脂破壊により試験片の破断に至ったと考えられる。



図①-1-35 破断面と基材繊維長の関係

引張強度の理論解析値と実測値を表①-1-6 に示す。等方性中間基材を用いて作製した平板は、理論解析値の9割近い引張強度を示しており、炭素繊維の強度利用率に優れることが分かる。

表①-1-6 引張強度の理論解析値と実測値

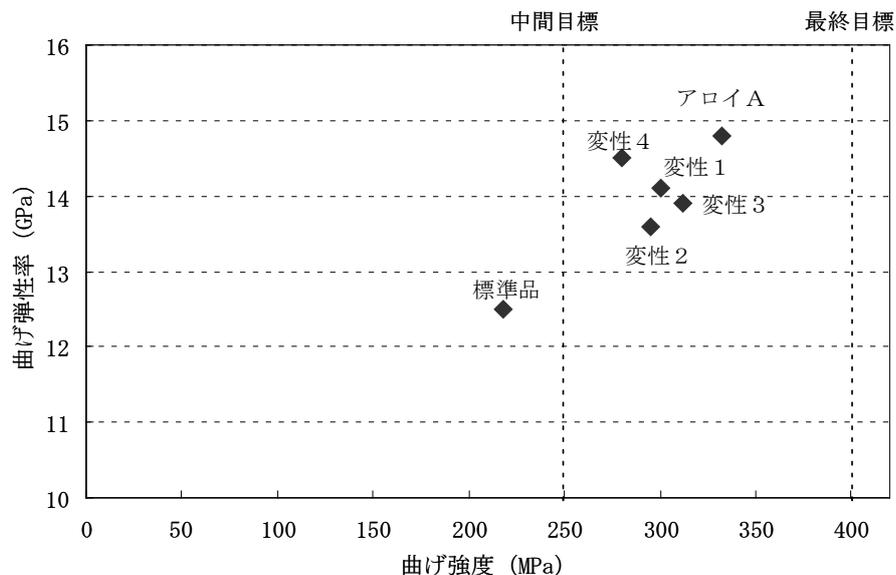
	理論解析	実測値	発現率
引張り弾性率	17.2 GPa	15GPa	87%
引張り強度	288 MPa	256GPa	89%

B. 材料の高強度化

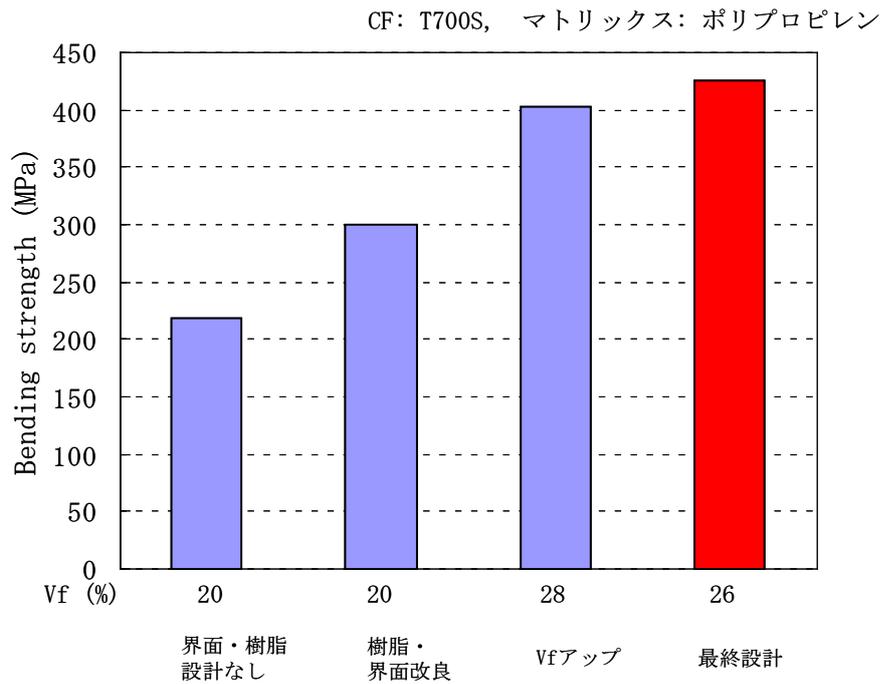
研究開発項目①-1-1～3 に示した材料技術と、本研究開発項目で開発した解析技術を用い、曲げ強度の最終目標（400MPa）を達成する材料の開発を進めた。

研究開発項目①-1-1 で作製した変性樹脂フィルムならびにポリマーアロイ（アロイ A）を用い、界面技術を適用した中間基材を作製し、平板に成形して得た試験片の曲げ強度を、図①-1-36 に示す。本材料の Vf は 20% である。未変性の標準品と比較し、変性樹脂の適用により CFRTP の強度は大幅に向上することが分かった。いずれの変性でも、中間目標である曲げ強度 250MPa をクリアした。樹脂変性による接着性の向上が、コンポジット強度の向上に有効に働いたことを示している。一方で、図①-1-2 に示された界面剪断強度の序列は、CFRTP の曲げ強度には反映されなかった。これは、破壊モードが界面剥離から樹脂破壊に移ったためと考えられる。この場合、これ以上界面を設計しても無意味となる。樹脂を高強度化したアロイでは一定の強度向上が見られた点も、本考察を支持する。さらに、解析と照らし合わせれば、界面、樹脂の改良がほぼ限界に来ていることが理解できる。そこで、材料開発では、Vf を向上させる検討を行った。Vf を上げると、単位体積あたりの炭素繊維の本数が増えるため、その分界面も拡大する。これに伴い、界面破壊が起きやすくなるため、より高い界面接着強度が必要となった。

樹脂、界面の設計と解析からのフィードバックを繰り返し、Vf=26% で、曲げ強度 421MPa を達成し、最終目標をクリアした（図①-1-37）。



図①-1-36 変性樹脂を使用した CFRTP の曲げ特性



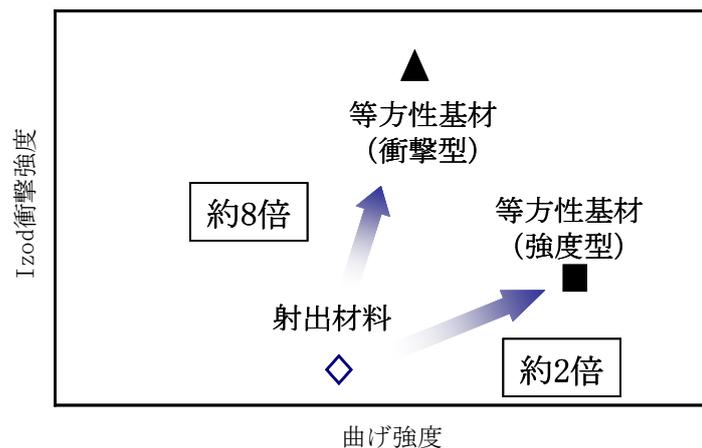
図①-1-37 強度目標への材料最適化

表①-1-7 に、平板形状での他材比較を示す。鉄は弾性率が最も高いが密度も高いため、軽量化効果の指標である比重あたりの弾性率および強度（比曲げ弾性率、比曲げ強度）はCFRTPが優れる。アルミニウム、マグネシウムやGFRPのスタンパブルシート（GMT）と比較しても、明確な優位性がある。また、比曲げ強度および比曲げ弾性率が連続繊維CFRP同等であり、連続繊維並みの軽量化が達成されていることがわかる。

表①-1-7 等方性中間基材の平板成形品の軽量化効果

	曲げ弾性率	曲げ強度	密度	比曲げ弾性率	比曲げ強度
	E (GPa)	σ (MPa)	ρ (g/ml)	$(^3\sqrt{E/\rho})$	$(\sqrt{\sigma/\rho})$
スチール	200	420	7.8	0.75 (×1)	2.6 (×1)
アルミニウム	71	160	2.7	1.5 (×2.1)	4.7 (×1.8)
マグネシウム	45	370	1.8	2.0 (×2.6)	11 (×4.1)
GMT	7	145	1.2	1.5 (×2.1)	9.7 (×3.7)
連続繊維 CFRP (エポキシ・Vf 50%)	50	700	1.5	2.5 (×3.3)	18 (×6.7)
等方性基材平板 (Vf 26%)	18.4	421	1.1	2.4 (×3.2)	17 (×6.6)

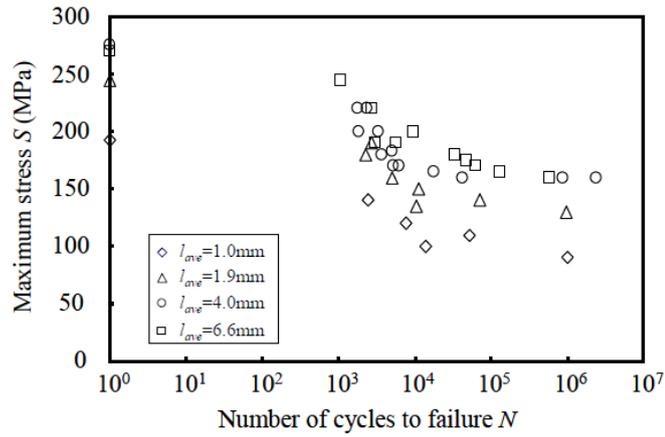
本検討により、等方性中間基材の強度発現メカニズムと、樹脂や界面が与える影響が明らかとなり、材料設計のウィンドウが拡大された。Vf=20%における等方性中間基材の曲げ強度と耐衝撃性に関し、射出材と比較したものを図①-1-38に示す。同じ炭素繊維の含有率で、曲げ強度が射出材対比2倍近くに向上した。これは、繊維の強度利用率が優れていることを示している。また、樹脂・界面の議論の深化により、耐衝撃性を向上させる設計も可能となり、最大で射出材料の約8倍の耐衝撃性を有する材料の開発にも成功した。自動車部材ではエネルギー吸収や延性破壊能力の要求もあり、耐衝撃タイプの活用も期待できる。



図①-1-38 射出材と等方性中間基材の比較

C. 長期耐久性の解析と評価

次に、長期耐久性の指標となる、疲労特性の評価および解析を実施した。繊維長を変化させた試験片を複数作製し、繰り返し最大応力 S と破断繰り返し数 N の関係 ($S-N$ 線図) を精査した。結果を図①-1-39に示す。繊維長の増加に伴い、 $S-N$ 線図における疲労強度は上昇し、平均繊維長 4mm 以上では、ほぼ一定値 (160MPa) となった。これは、疲労特性も長繊維化により向上し、一定繊維長で飽和することを示している。なお、図①-1-39 から、疲労強度が飽和する繊維長は、引張強度で繊維破壊モードにシフトさせるために必要な繊維長よりも、長くなることが分かる。



図①-1-39 等方性材料の疲労特性

疲労強度は、試験片に交互に変動する荷重をかけ、破壊を引き起こすのに必要な繰り返し荷重平均を調べる。 10^6 回程度の負荷回数の試験を1回行うには2週間程度を要する。再現性を含めると、疲労試験は一般的に長期に渡る試験となる。

①-2 「一方向性 CFRTP 中間基材」

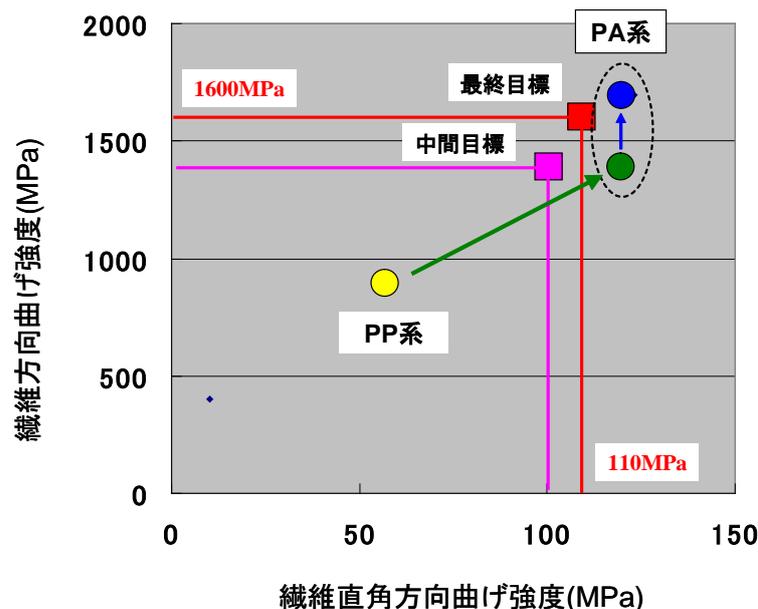
本プロジェクトでは、炭素繊維と熱可塑性樹脂との界面接着性をこれまでにポリプロピレン系やポリアミド系で実現し得なかったレベルに引き上げることを達成した。具体的には、炭素繊維の様々な表面改質を行った。また、熱可塑性樹脂の改良を実施し、工業化を視野にいたした一方向性 CFRTP テープ・シート作製時の含浸性向上技術を開発した。また、炭素繊維と熱可塑性樹脂の界面における接着性の定量化手法を確立し、優れた機械的特性を発揮する CFRTP テープ・シートを開発した。また、当該 CFRTP テープ・シートを用いた CTT 材（一方向不連続繊維基材）、クロス（二次元強化基材）、ブレード（三次元強化基材）等の中間基材の製造技術を開発した。さらには、それらの基材を組み合わせさせたハイブリッド材も開発した。

具体的には平成 22 年度までに、中間目標として、CFRTP プリプレグシートから得られる一方向性強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 100MPa 以上、繊維方向の曲げ弾性率 100GPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1400MPa（比強度（ $\sqrt{\sigma / \rho}$ ）で鋼材の約 9 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.0%以上の材料を開発できた。

さらに最終年度には、最終目標である繊維直角方向の曲げ強度 110MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1600MPa 以上の材料を開発することに成功した。

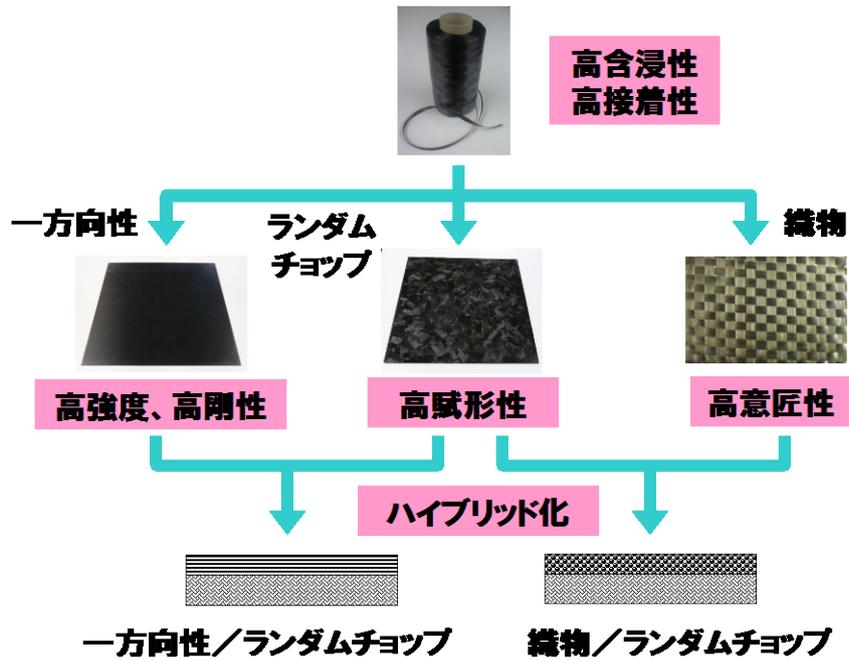
一方向性 CFRTP 中間基材の設計・開発については、炭素繊維の表面処理技術とマトリックス樹脂改質技術および一方向性 CFRTP テープ・シート作製の為の含浸技術を用いた。

図①-2-1 に一方向性 CFRTP の物性達成状況をまとめた。一方向性 CFRTP 中間基材の物性向上検討を行い、UD 材において PP 系で繊維方向曲げ強度最大約 900MPa として、PA 系では最終目標である繊維方向曲げ強度 1600MPa 以上を達成した。この UD 材を原料にした中間基材を図①-2-2 に示す。



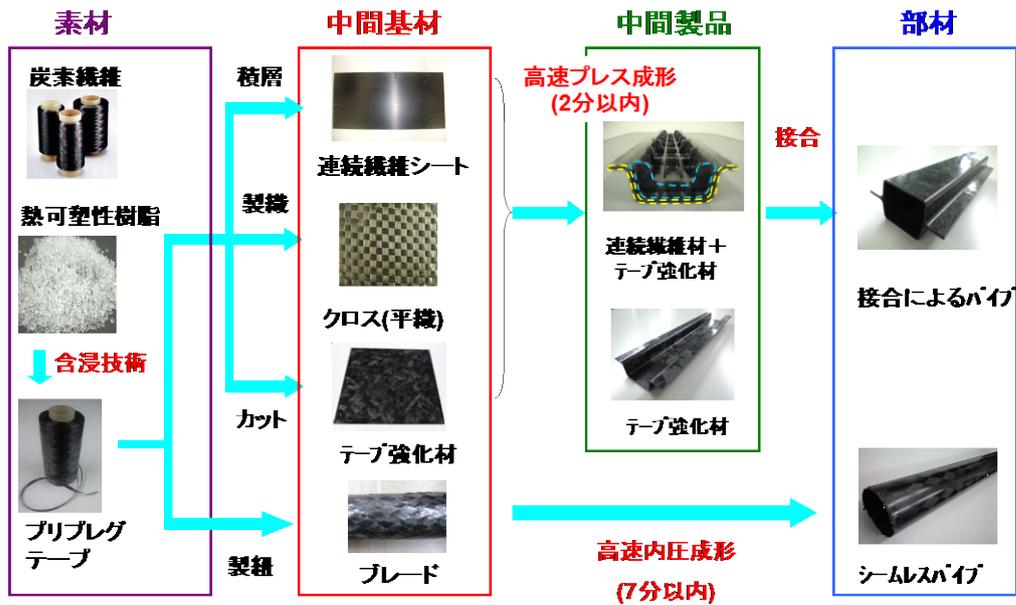
図①-2-1 CFRTP の繊維方向、および繊維直角方向の曲げ強度

熱可塑性プリプレグテープ



図①-2-2 一方向性 CFRTP 中間基材

図①-2-3 に一方向性 CFRTP の材料の流れと研究開発テーマをまとめる。成形技術においては、プレス成形で金型占有時間2分以下、内圧成形法で金型占有時間7分以下の目標に対して、両方とも本プロジェクトで達成した。その達成状況については②-1-2 と②-2 にて説明する。



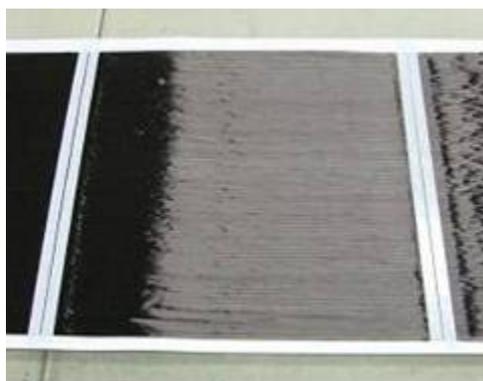
図①-2-3 一方向性 CFRTP の材料の流れと研究開発テーマ

①-2-1 「炭素繊維表面処理技術の開発」

炭素繊維と熱可塑性樹脂の界面接着性としてはフラグメンテーション法、マイクロドロップレット法、プルアウト法などが一般的である。それと並行して、炭素繊維と熱可塑性樹脂の接着性評価方法として UD（一方向性）コンポジットを作製し、そのコンポジットの繊維直角方向（90°）の曲げ試験を実施することでその強度により接着性の評価を実施した。繊維直角方向の曲げ強度は繊維強度に影響されないため、炭素繊維と熱可塑性樹脂の界面接着性を測定する方法としては有効な手法である。

各種の表面改質処理を行った炭素繊維トウを一方向に引き並べて試作した図①-2-4 のようなドライ UD シートと熱可塑性樹脂フィルムを張り合わせてプリプレグを作製した。図①-2-5 に作製した UD コンポジットの断面写真一例を示す。写真には大きなボイドは見られずに十分に熱可塑性樹脂が含浸している UD コンポジットが得られていることが確認できる。

また空気中ではなくバギングされた気密中で昇温されるため、酸素中での熱分解を抑制する効果もある。



図①-2-4 ドライ UD シート

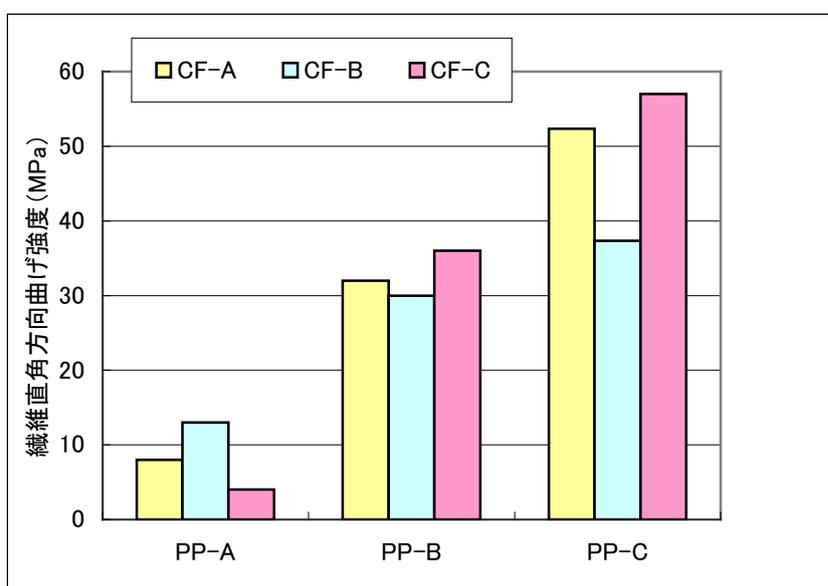


図①-2-5 UD コンポジット断面写真の一例

表①-2-1 および表①-2-2 は使用した炭素繊維サンプルおよびマトリックス樹脂サンプルの一覧を示す。これらのサンプルを使用して UD コンポジットを作製し、繊維直角方向の曲げ試験を行った。また追加として繊維方向の曲げ試験も行い、これらの特性について比較した。

表①-2-1 炭素繊維サンプル		表①-2-2 マトリックス樹脂サンプル		
サンプル名	表面改質	サンプル名	ポリマー	MFR
CF-A	既存グレード	PP-A	未改質ポリプロピレン	45
CF-B	未改質ポリプロピレン用改質	PP-B	酸変性ポリプロピレン #1	110
CF-C	開発した酸変性ポリプロピレン用改質	PP-C	強酸変性ポリプロピレン #2	80

図①-2-6 に作製した UD コンポジットの繊維直角方向の曲げ強度を示す。図①-2-6 を見ると、PP-A（未改質ポリプロピレン）では CF-B（未改質ポリプロピレン用改質炭素繊維）が最も高い繊維直角方向の曲げ強度を示し、一方で PP-B（酸変性ポリプロピレン #1）では全体的に曲げ強度が向上したものの、CF-B よりも CF-A（既存グレード）の方が高い強度を示した。そこで、この結果から酸変性ポリプロピレン用改質炭素繊維として CF-C を開発し、高い曲げ強度が発現する炭素繊維改質技術を得られた。この表面改質の傾向は PP-C（強酸変性ポリプロピレン #2）でも同様の傾向を示しており、高い接着性を有する PP-B および PP-C のような酸変性ポリプロピレンには CF-C の表面改質が有用であることが確認された。

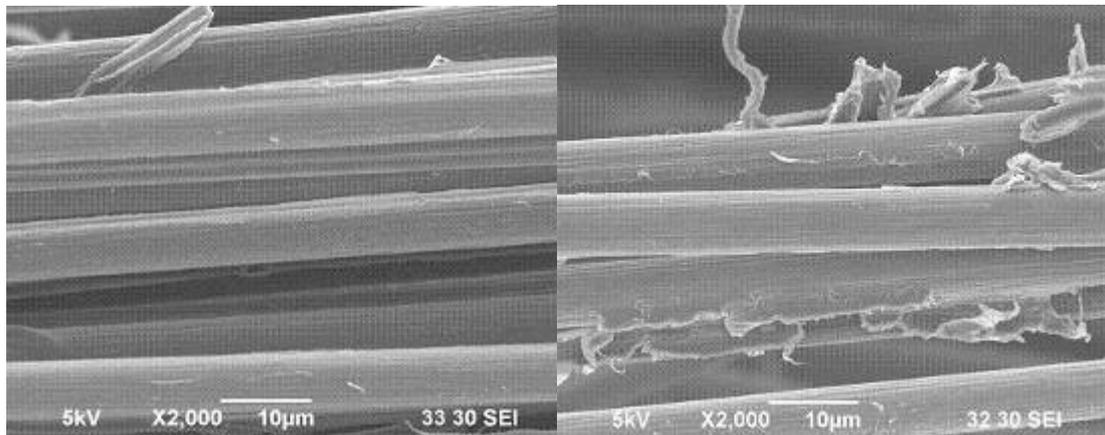


図①-2-6 UD コンポジットの繊維直角方向曲げ強度

また、図①-2-7 (1) ~ (4) のように、繊維直角方向の曲げ試験後の試験片を SEM にて炭素繊維に付着している樹脂形態の観察を行った。図①-2-7 (1) を見ると炭素繊維の表面に熱可塑性樹脂が全く付着していないことがわかる。その組合せに対して図①-2-7

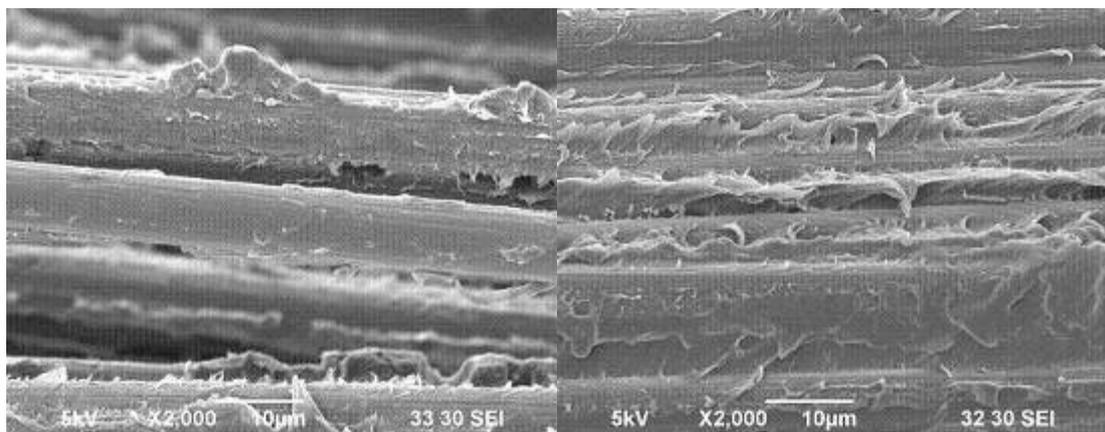
(2) は炭素繊維にポリプロピレン用表面改質を処理したものであるが、炭素繊維の表面または炭素繊維の間に引っ張られて伸びた熱可塑性樹脂を確認することができ、炭素繊維と樹脂の界面に接着性が発現していたことが予想できるものであった。一方で、樹脂の改質を行ったものが図①-2-7 (3) である。炭素繊維上に多くの樹脂が付着していることが確認できたが、炭素繊維はほぼ樹脂で覆われており、曲げ試験の際に炭素繊維の間に破壊するような凝集破壊により破壊が発生したと考えられる。この系に対してさらに樹脂の改質度を向上したものが図①-2-7 (4) である。SEMにて破断面を観察した場合に繊維の一つ一つが確認できないほどお互いに接着しており、複合材料として強度発現のためには十分な界面接着性が得られていると予想できる状態であることが確認できた。

上記の繊維直角方向の曲げ強度と SEM による破断面の樹脂付着状態は傾向として一致しており、界面接着性を評価する一つの方法としてフィルムスタッキング法を確立することができた。



図①-2-7 (1)
CF-A/PP-A

図①-2-7 (2)
CF-B/PP-A



図①-2-7 (3)
CF-A/PP-B

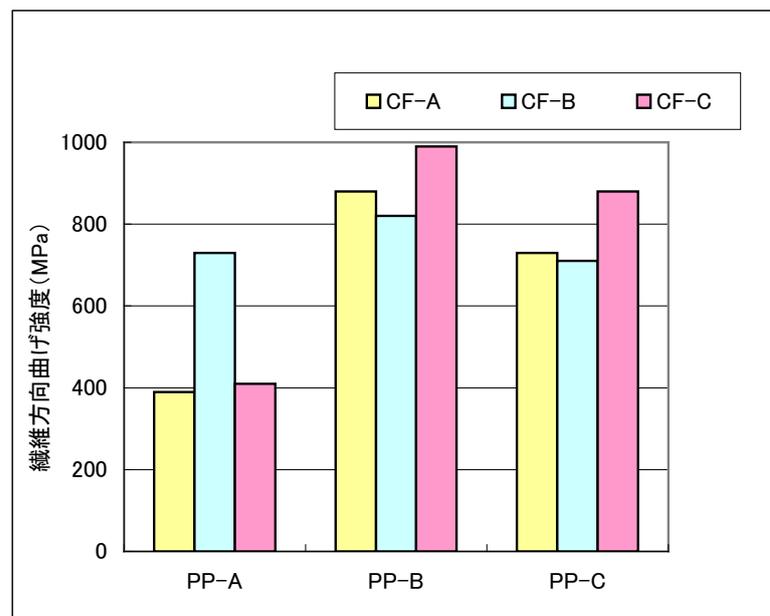
図①-2-7 (4)
CF-A/PP-C

図①-2-8 はフィルムスタッキング法により作製した UD コンポジットの繊維方向の曲げ強度を示すものである。PP-A、PP-B、PP-C の順に樹脂の改質度を上げたものであるが、それに伴い繊維直角方向の曲げ強度は PP-B よりも PP-C の方が全体的に向上しているのに対して、繊維方向の曲げ強度は全体的に PP-C よりも PP-B の方が高いという結果となった。

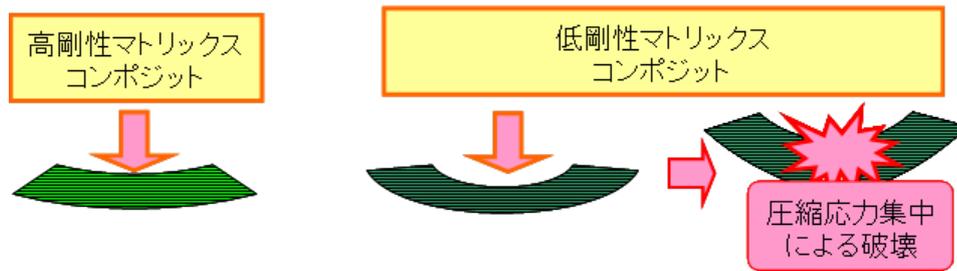
この理由としては、繊維方向の曲げ強度は繊維直角方向の曲げ強度とは異なり、マトリックス樹脂の剛性（曲げ弾性率）の影響が大きいことが挙げられる。図①-2-9 のような模式図のように三点曲げ試験において、破壊が発生するように大きく変形している UD コンポジットの試験片には、三点曲げの圧子直下のコンポジット部分に応力が集中することによりコンポジットが破壊してしまうことが多い。そのためマトリックス樹脂の剛性が高いコンポジットの場合は圧子直下の部分が全体的に変形するのに対して、マトリックス樹脂の剛性が低いコンポジットでは圧子直下の部分が局所的に変形して破壊が発生しやすくなり、結果として比較的低い強度となることが知られている。

図①-2-10 に PP-A、PP-B、PP-C の曲げ弾性率および曲げ強度のプロットしたグラフを示す。これを見ると、PP-C（強酸変性ポリプロピレン #2）が曲げ弾性率という点において、他の二つの樹脂よりも低い値を示していることがわかる。曲げ弾性率が低下した理由は、接着性を向上させるために過剰にマトリックス樹脂を改質したため、樹脂物性が低下したことが考えられる。よって上記のように、PP-C は界面接着性が向上し繊維直角方向の曲げ強度が向上したものの、マトリックス樹脂そのものの物性が低下したため、繊維方向の曲げ強度が低下したと考えられる。

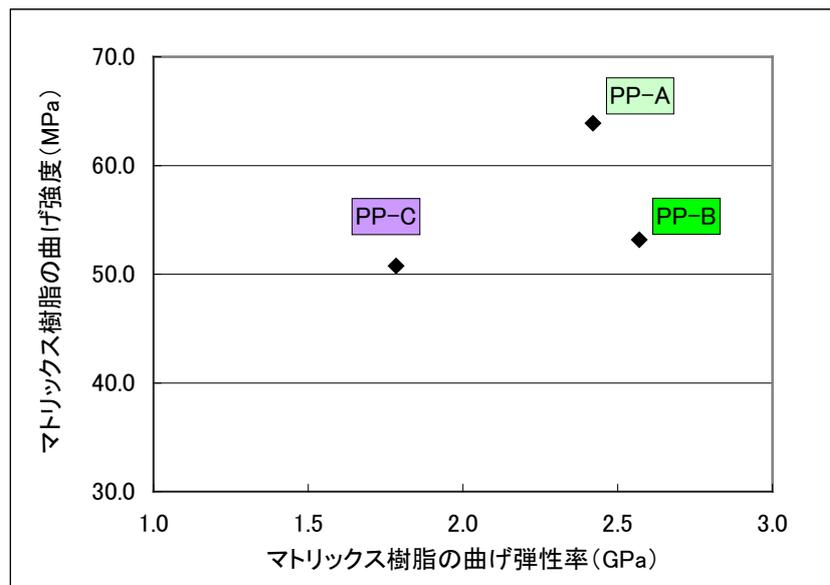
このように複合材料としての高い強度を発現させるために、マトリックス樹脂には繊維との界面接着性を付与させるだけでなく、マトリックス樹脂そのものの力学特性も必要であることが確認できた。



図①-2-8 UD コンポジットの繊維方向曲げ強度



図①-2-9 マトリックス樹脂の剛性による破壊挙動の違い



図①-2-10 マトリックス樹脂の曲げ特性

表①-2-3 に作製した炭素繊維とその表面改質内容、フィルスタッキング法により UD コンポジットの 90° 曲げ強度、プリプレグテープ製造時の開繊性、毛羽の発生などの工程通過性を示した。表①-2-3 と図①-2-11 を比較すると、開繊性に優れた CF-A および CF-B を CTT 材にした場合に、高弾性率・高強度 CTT 材となるという結果が得られた。特に CF-A はフィルムスタッキング法による 90° 曲げ強度が低いにも関わらず CTT 材としては最も高い値を示していた。この理由としては、プリプレグテープや CTT 材の製造の際に含浸性に優れた炭素繊維により炭素繊維間に存在する空気が抜けやすく、低いポイド率の材料が得られるため、相対的に他の表面処理の炭素繊維のものよりも高い特性が得られたと考えることができる。

さらに CF-C は 90° 曲げ強度の結果が示すように、酸変性ポリプロピレンに対して反応性に優れたサイズ剤を付着したものであるが、プリプレグテープ工程の際に反応が開始してしまい、樹脂の含浸が阻害されたものと考えられる。

以上のように高物性な CTT 材を得るためにはプリプレグテープ製造時での炭素繊維の開繊性が高いものほど含浸が促進されるため、開繊性が非常に重要であることがわかった。ただし、開繊性を求めるほどプリプレグテープ製造時に毛羽が発生しやすくなる

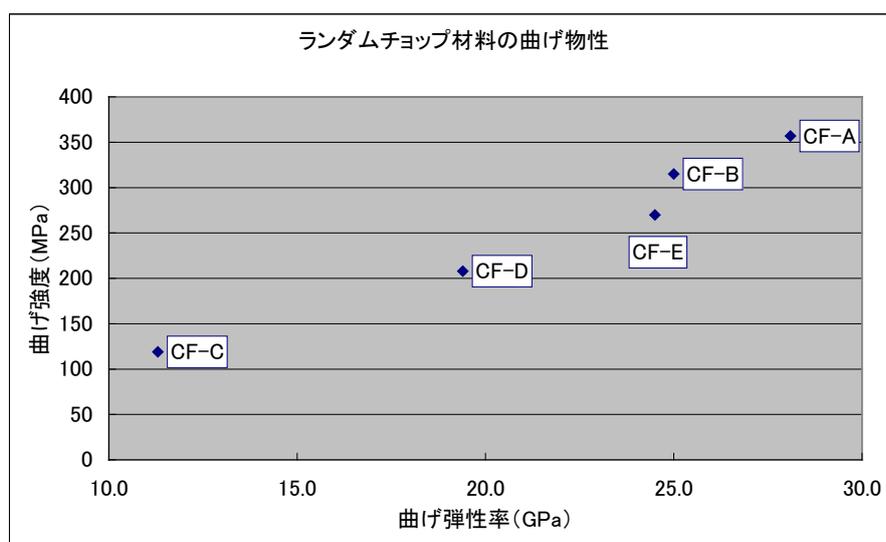
ため、工程通過性に悪影響を及ぼす可能性が高い。工程通過性の劣る炭素繊維はプリプレグテープの生産性を落としてしまうことになる。実際に CF-A および CF-B は少量であればプリプレグテープの試作ができるものの、工業的に連続生産可能なものではなかったため、工程通過性に優れた炭素繊維が求められた。

まず、CF-B に対して同じサイズ剤の付着量を増した CF-D を作製した。表①-2-3 に示すように単純にサイズ剤の付着量を増しただけでは、工程通過性に改善が見られたものの CF-B と同様の開繊性が得られないため、高物性 CTT 材を得ることは出来なかった。

そこで、サイズ剤の付着量を増しても開繊性が低下せずに工程通過性に優れた CF-E を開発した。CF-E の CTT 材は CF-A および CF-B と比較して物性が劣るが、プリプレグテープ製造の開繊工程を改良することにより、CF-A および CF-B と同レベルの機械特性が発現すると考えられる。

表①-2-3 各種サイズ剤により表面処理を行った炭素繊維およびプリプレグテープ製造時の工程通過性

炭素繊維	CF-A	CF-B	CF-C	CF-D	CF-E
サイズ剤	高含浸タイプ	高接着タイプ	高反応タイプ	高接着タイプ (付着量増)	良接着柔軟タイプ
付着量(wt%)	約 1.0%	約 0.5%	約 1.0%	約 1.0%	約 1.0%
90° 曲げ強度 (MPa) (フィルムスタッキング法)	24	36	43	—	32
開繊性	◎	◎	×	△	○
工程通過性	△	△	×	○	◎



図①-2-11 各種表面処理を行った炭素繊維の CTT 材の曲げ物性

①-2-2 「熱可塑性樹脂の開発」

炭素繊維の高い強度・弾性率を有効利用するマトリックス樹脂を開発するために、界面を中心とした領域での応力伝達メカニズムを詳細に分析・解析して、その方向性を捕まえていくことが不可欠と考えて、研究開発項目①-2-5 と連動させて開発を進めた（図①-2-12）。

3. 研究の内容（融合・関連する技術、製品に対する新規性、優位性）

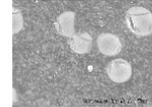
①-2-2 熱可塑性樹脂の開発（東洋紡績）

<CFRTPに求められる熱可塑性樹脂>

要求特性	課題	方策
炭素繊維への含浸性	熔融粘度と物性の両立	分子量・配合剤の適正化など
炭素繊維との接着性	炭素繊維界面親和性付与	極性基の導入など炭素繊維界面に合わせた変性、添加剤処方など
部位に応じた特性	力学特性、耐熱性などの付与	要求特性に合った樹脂設計・添加剤配合・アロイ化技術など

炭素繊維の表面等の特性により、樹脂の要求特性が異なる

用いる炭素繊維に応じた樹脂設計が必要
→エンブラ事業やポリマー事業で培った樹脂設計・配合技術を駆使

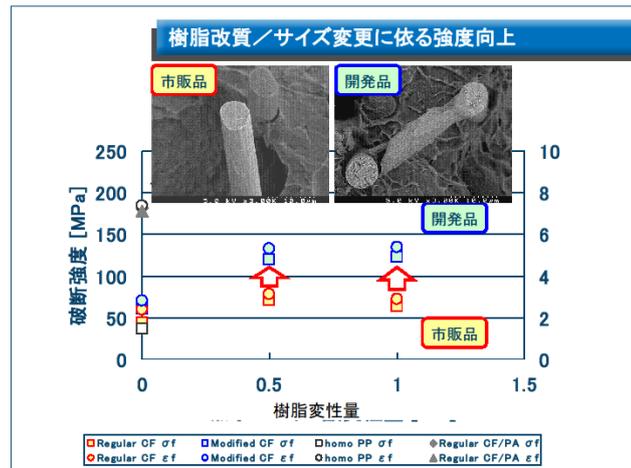


Ny/PP/ガラス繊維
(射出成形用樹脂の例)

図①-2-12 研究開発項目①-2-2「熱可塑性樹脂の開発」アウトライン

具体的には、第1に表面を改質した炭素繊維(研究開発項目①-2-1)との接着性に優れる熱可塑性樹脂設計・開発を実施した。第2には、炭素繊維束へのマトリックス樹脂の含浸性(研究開発項目①-2-3)を考慮した樹脂設計・開発を行った。その結果、JIS K7074に準拠する繊維直角方向曲げ試験で、繊維直角方向の曲げ強度110MPaを達成した。

図①-2-13に樹脂改質とCF表面改質の効果の例を示す。この図から分かるように、樹脂変性と、CF表面処理による接着性改善が成形品の強度/弾性率に与える影響は非常に大きい事が分かった。



図①-2-13 樹脂改質／サイズ変更による強度向上の例（射出成形品）

上記の検討を基にして、助成事業で作成したテープ材を図①-2-14に示すような枠巻機を用いて、一方向材のプリフォームを作製し、その後、図①-2-15に示す原板成形用プレス成形機と、図①-2-16に示すテストピース金型を用いてUD材を成形した。この様にして得られたUD材から、JIS K7074に準拠する短冊形試験片を切り出し、繊維直角方向曲げ試験にて検証試験を行なった。この様にして、助成事業での樹脂改質とテープの試作を行い、UD材の評価を繰り返すことで、樹脂の設計を行い、前記目標値を達成した。



図①-2-14 枠巻機によるプリフォーム作製



図①-2-15 原板成形用プレス成形機



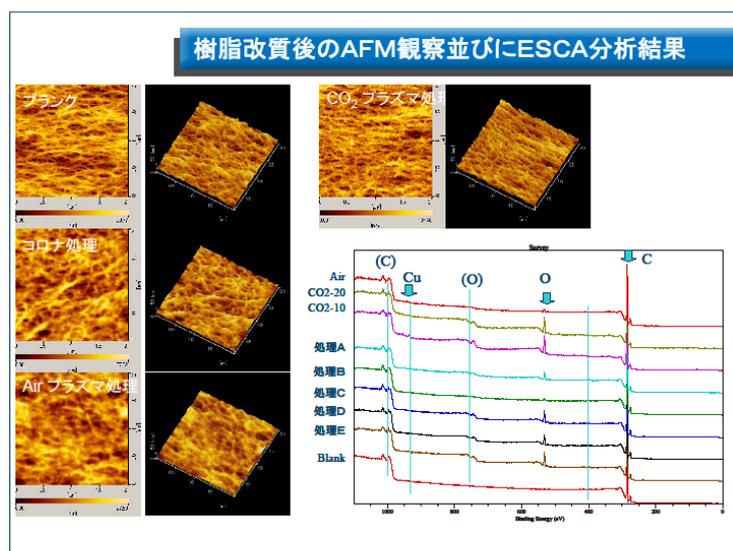
図①-2-16 テストピース作製用金型

樹脂の改質は、化学改質のみならず、プラズマなどでの改質も試みた。改質装置としては、図①-2-17に示すようなプラズマを発生する樹脂改質装置を用いた。



図①-2-17 樹脂改質装置

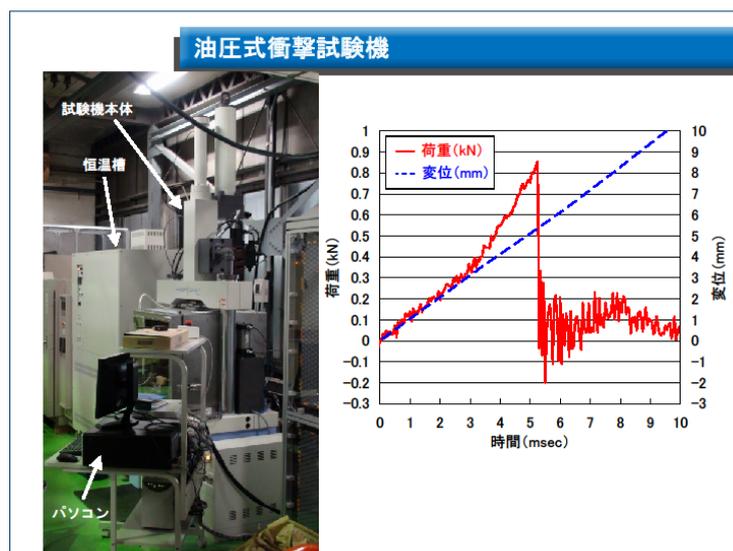
樹脂改質装置を用いて改質したフィルム表面の分析例を図①-2-18に示す。表面処理は、東洋紡株式会社が保有する原子間力顕微鏡（AFM）と X 線光電子分光法装置（ESCA）を用いた。



図①-2-18 プラズマ処理結果の例（AFM、ESCA 分析例）

樹脂改質装置で処理、分析を行ったフィルムは、未処理のフィルムの場合に比べ、CFとのラグメント・テストによる接着性評価の値が多少向上したが、化学改質と比較して著しい向上は認められなかった。

更に、図①-2-19に示すような油圧式衝撃試験機や、図①-2-20に示す破壊現象観察システムを用いて、樹脂の性能の評価を行った。

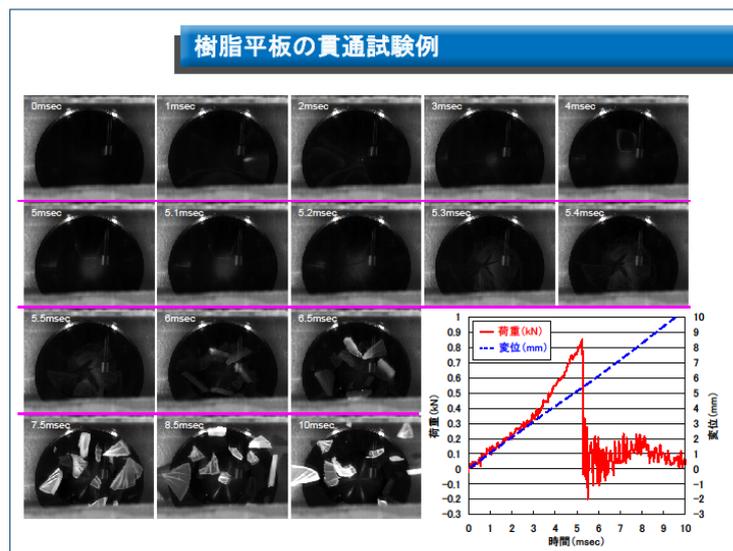


図①-2-19 油圧式衝撃試験機



図①-2-20 CFRTP 破壊現象観察システム

これらの装置を用いて評価した結果の一例を図①-2-21 に示す。接着性・含浸性に優れる PP 樹脂材料の開発を行ったが、樹脂単体では、その破壊は脆性的であることが分かる。



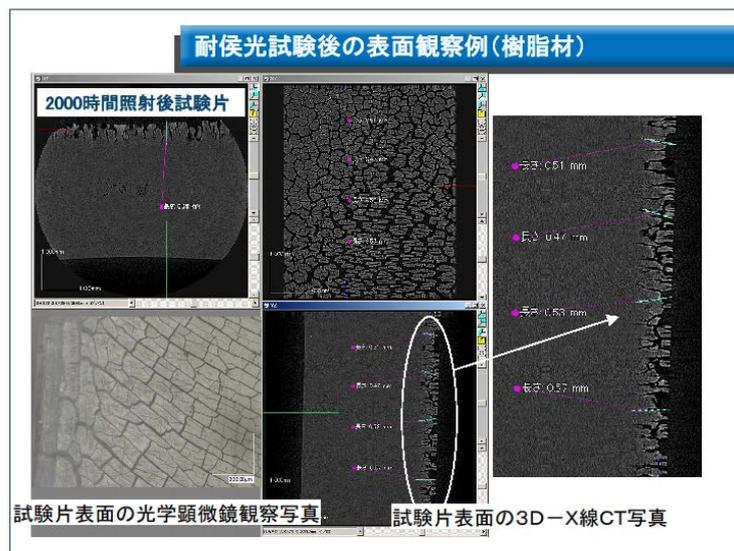
図①-2-21 樹脂平板の貫通試験例

更に、長期耐久性評価としては、図①-2-22 樹脂平板の貫通試験例に示すような耐候光試験機を用いて、耐候光試験の検討を行った。耐候光試験は、狩野ら¹や後藤ら²の研究、並びに、テクニカルペーパー³の情報から、自動車部材用の規格である自動車規格 (JASO) M351-1998⁴に準拠して検討を行った。



図①-2-22 耐候光試験機

図①-2-23 には、中間基材／成形品内部観察装置 (3D-X線CT) を用いて観察を行った結果を示す。2000時間後のサンプルは表面近傍で樹脂劣化による表面亀裂が入っていることが観察された。しかしながら、その劣化は限定的であった。



図①-2-23 耐侯光試験後の PP サンプルの表面観察例

2000 時間までの範囲において、耐侯光試験後の PP サンプルの表面観察などを行い、内部への侵食が限定的であることを確認した上で、以後の検討は、新規に開発した PP にて検討を行った。

①-2-3 「一方向性 CFRTP テープ・シート作製の為の含浸技術の開発」

炭素繊維の高い強度／弾性率を最大限に活かすための一方向性 CFRTP 中間基材を開発するために、含浸技術の開発として、炭素繊維の表面処理技術の開発と、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂の開発から得られた構成素材の性能を最大限に引き出し、また、効率的に加工しうる含浸技術の開発を行った。その結果、表①-2-4 の通り、最終目標を達成した。

表①-2-4 開発した CFRTP の性能 (代表値)

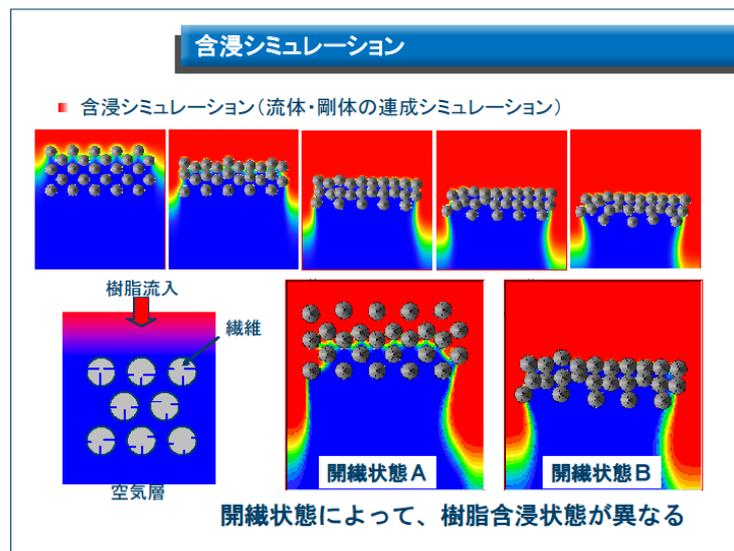
項目	単位	PP 系	PA 系
0°			
曲げ弾性率	GPa	95	122
曲げ強度	MPa	945	1836
曲げ破断ひずみ	%	NB	1.6
90°			
曲げ弾性率	GPa	5.0	6.5
曲げ強度	MPa	50	118
曲げ破断ひずみ	%	NB	2.0

繊維束への樹脂含浸については、例えば、Nygard⁵らが溶融引抜法など各種の方式を提案している。本プロジェクトでは、これらの方法を参考にして、助成事業にて溶融引

抜成形により一方向性CFRTPテープ・シートの作成を行った。

また、熔融引抜成形で、含浸性を向上させるために、繊維束間への樹脂含浸について、シミュレーションを行った。樹脂含浸のシミュレーションは、Darcy 則に基づく繊維束間への樹脂浸透の検討も多くなされているが、今回は、繊維束の開繊に着目してシミュレーションを行った。ここでは、繊維を剛体、樹脂を流体として、剛体-流体の練成解析を行った。

その結果の一例を図①-2-24 に示す。このシミュレーション結果から分かるように、繊維束間への樹脂の含浸は、開繊状態によって異なることが分かる。



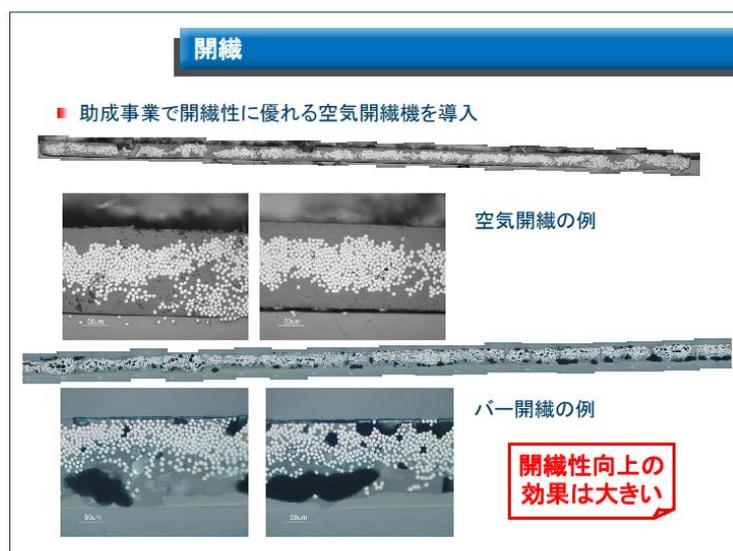
図①-2-24 含浸シミュレーションの例

この含浸シミュレーションの結果を元に、中間基材／成形品内部構造解析装置付帯設備（その2）（接触角計）を用いて、開繊状態を変えて、含浸挙動の観察を行った。その結果の一例を図①-2-25 に示す。



図①-2-25 中間基材／成形品内部構造解析装置付帯設備（その2）

その結果、開繊状態を工夫することによって、含浸性が向上する可能性を見出した。今回は、一般的なバー開繊と空気開繊⁶の検討結果を図①-2-26に示す。



図①-2-26 空気開繊とバー開繊の比較

これらの例を参考にして、助成事業で中間基材の作製を進め、所定の目標を達成したため、モノづくりを優先して、助成事業で樹脂設計、並びに、テープ試作検討を進めた。

①-2-4 「一方向性 CFRTP 中間基材の設計・開発」

上記のように、炭素繊維の高い強度・弾性率を活かした CFRTP プリプレグテープの開発を行った。本プロジェクトでは、一方向性 CFRTP プリプレグテープを用いて、各種中

間基材（プリプレグテープ、チョップドテープ（CTT 材）、クロス、ブレード等）の設計・開発を行った。炭素繊維の方向性（配向）を活用し、直交積層や擬似等方積層した材料を開発し、CFRTP 部材として必要な性能を確保することができた。上記で得られた一方向性 CFRTP テープ・シートを効率的に配置するための設計手法を確立し、設計に基づいた中間基材を作製することができた。そして、部材として、CFRTP 部材の要求性能を満足することが可能となった。

ここでは、将来のユーザー候補の要求性能を満足する物性を有し、更に、多様な成形技術への対応が可能な一方向性 CFRTP 中間基材（プリプレグテープ、チョップドテープ、クロス、ブレード等）の設計・開発を行った（図①-2-27）。

3. 研究の内容（融合・関連する技術、製品に対する新規性、優位性）

①-2-4 一方向性CFRTP中間基材の設計・開発

（東洋紡績、三菱レイヨン、京都工芸繊維大学(再委託)）



図①-2-27 研究開発項目①-2-4「一方向性 CFRTP 中間基材の設計・開発」
アウトライン

開発を行った中間基材は、テキスタイル加工品（織物、ブレード）、カットテープを散布・堆積・シート化したランダム・シート（CTT 材）、並びに、CTT 材表裏またはその一方にテープを積層したハイブリッド中間基材の 4 種類である。

テキスタイル加工品は、高強度／高剛性成形品を狙いとして、CTT 材はスタンピング成形に好適な材料として、更に、ハイブリッド中間基材はコンポジットの利点である異方性を有効利用した材料として開発した。

CTT 材は、成形流動性に優れ、尚且つ、高強度／高弾性率であるが、JIS 準拠の試験片幅 15mm の評価では、強度／弾性率共にばらつきが大きくなる傾向を示した。

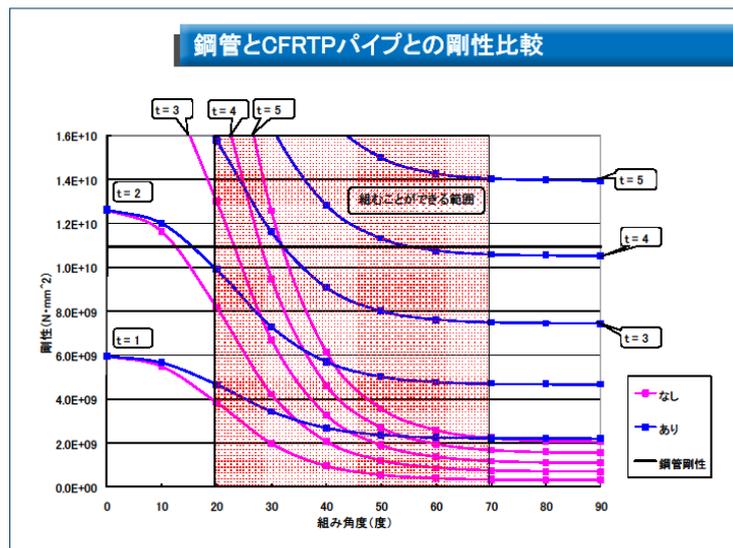
また、テキスタイル加工品の内、織物は、外注加工先 A で製織を行った。今回、検討を行った範囲において、中間基材（テープ）は、一般産業用糸材とほぼ同等の加工速度で製織することが可能であった。また、その組織は、平織、並びに、綾織としたが、いずれの場合も問題なく製織可能であった。テキスタイル加工の例を図①-2-28 に示す。



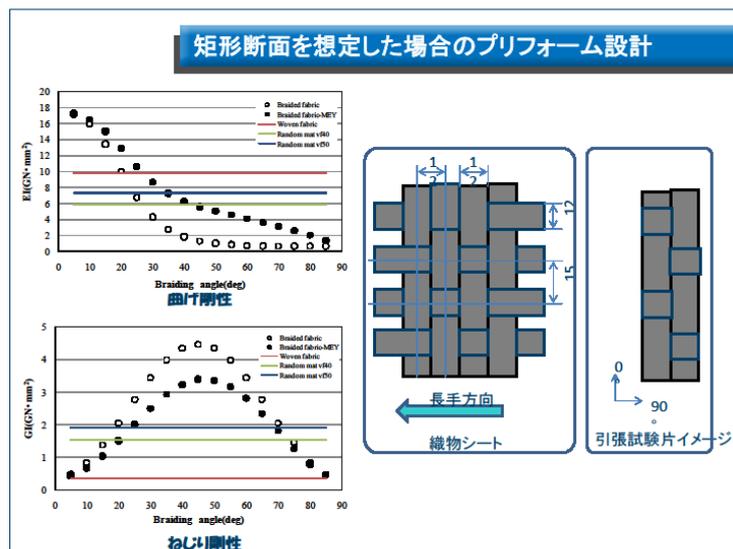
図①-2-28 テキスタイル加工品の例（テープ平織織物）

更に、テキスタイル加工品の内、内圧成形用ブレードは、京都工芸繊維大学と共同で、中空閉断面形状を有する構造の例として角パイプを想定して設計を行った。その結果、設計の最適化により、軽量化の可能性があると判断した（図①-2-29）。製紐性については当初、15mm 幅のテープとしたが、より CF の強度／弾性率を活かすために、外注加工先 B でスリットした 5mm 幅のテープを用いた。

製紐可能なことを確認した上で、製品設計に繋がる組角の理論検討を行なった。その結果、図①-2-30 に示すように、鋼管パイプ相当の剛性を得られる可能性があることが分かった。



図①-2-29 ブレード組角の理論設計



図①-2-30 矩形断面を想定した際のブレード設計の例

助成事業において、中間基材、特に CTT 材の開発を行った。助成事業での検討と併せて、表①-2-5 に示すような物性を有する中間基材を開発した。

表①-2-5 開発品の性能

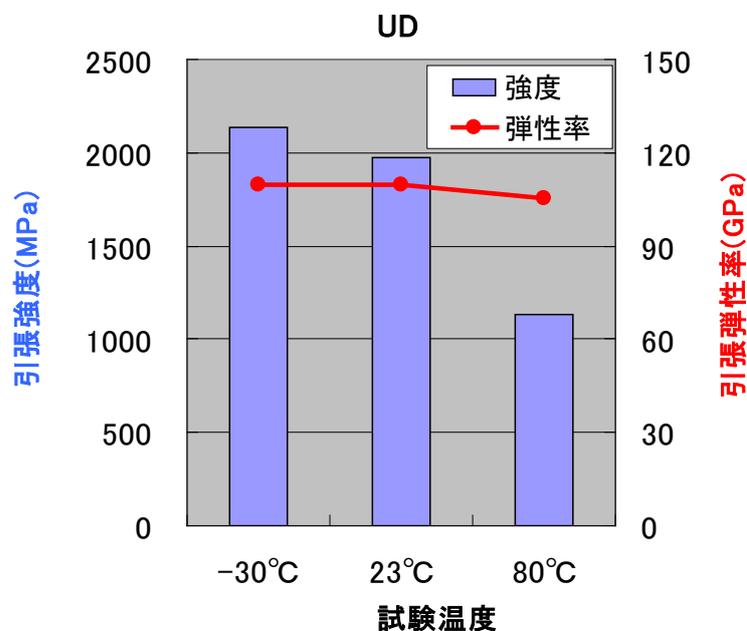
	PP 系	PA 系
UD (0 度) 曲げ強度	980MPa	1700MPa
曲げ弾性率	96GPa	109GPa
UD (90 度) 曲げ強度	58MPa	113MPa
曲げ弾性率	4.7GPa	6.4GPa
CTT 材 曲げ強度	350MPa	490MPa
曲げ弾性率	30GPa	32GPa
Orientation Factor	35%	29%
	31%	29%

以上の結果から、要求性能を満足する物性を有し、更に、多様な成形技術への対応が可能な一方向性 CF RTP 中間基材として、テキスタイル加工品（織物、ブレード）、カットテープを散布・堆積・シート化したランダム・シート（CTT 材）、並びに、CTT 材表

裏またはその一方にテープを積層したハイブリッド中間基材の4種類の設計・開発を行い、その工業生産化への可能性を確認した。

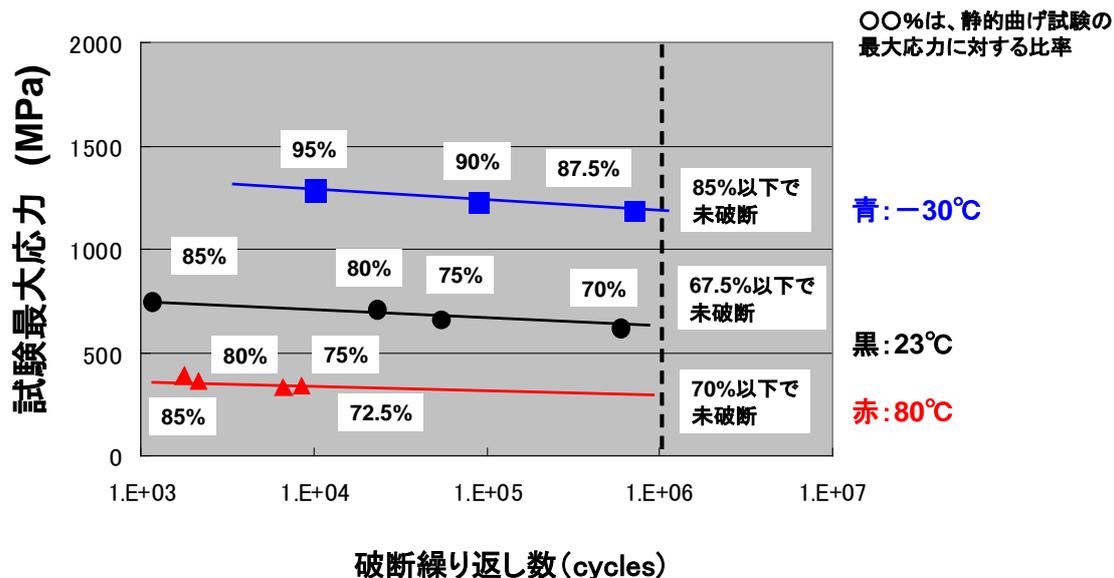
ここで、マトリックスとしてポリプロピレンを使用したCFRTPの物性取得を示す。炭素繊維にポリプロピレンマトリックス用に各種表面改質を行ったものである。その表面改質については略号としてA004とする。一方、ポリプロピレンは炭素繊維との接着性向上のため変性した樹脂であり、その変性樹脂は略号としてG2とする。すなわち、本プロジェクトで検討を行ってきた標準的な材料はA004/G2と標記される。また、そのVfは50%を標準とした。また、CF/PP系材料の種類としては、一方向材(UD材)、およびCTT材の2種類である。

図①-2-31にCF/PP系のUD材の引張物性を示す。ここでも、Vfは50%である。室温での引張強度は約2000MPa、弾性率約110GPaであり、高い強度、弾性率を示した。-30℃では室温と比較して、強度に大きな差はなく、若干、弾性率が向上する傾向があった。一方、試験温度80℃では室温と比較すると、弾性率はやや下がる傾向であったが、強度が急激に低下した。80℃の曲げ強度は、室温の約60%であった。



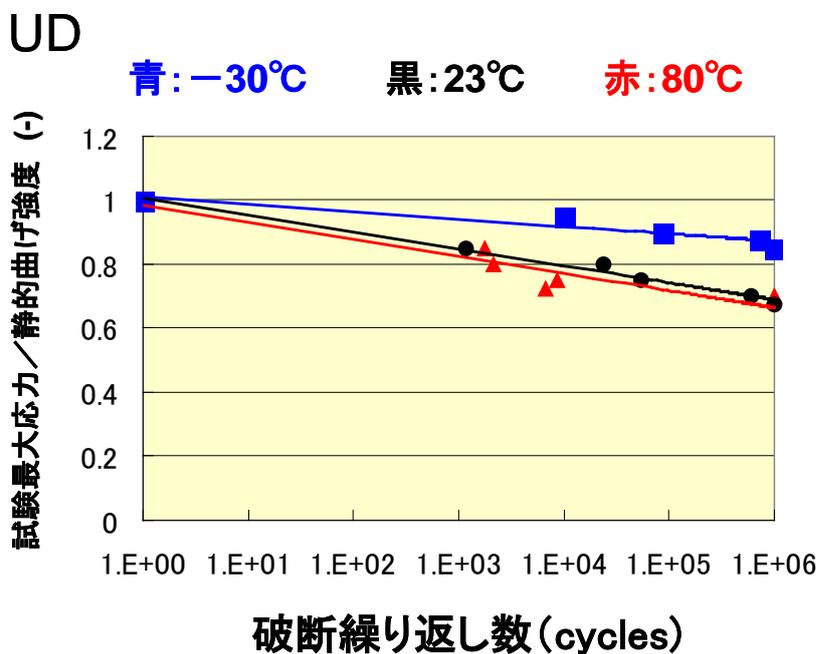
図①-2-31 CF/PP系UD材の引張強度、引張弾性率(試験温度の影響)

UD材の曲げ疲労試験を行った。図①-2-32にグラフ化した結果を示す。疲労強度と静的曲げ強度の比をとると、-30℃で85%、室温で67%、80℃で70%であった。



図①-2-32 PP系UD材の曲げ疲労試験・破断繰返し回数

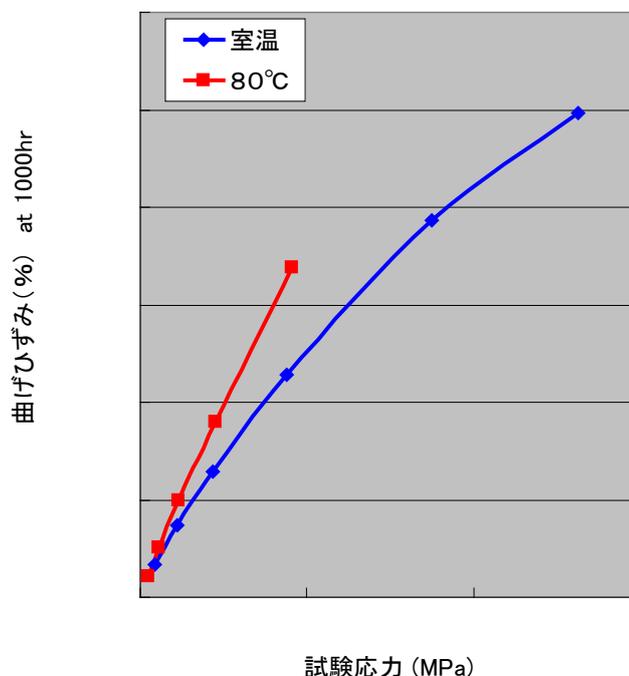
ここで縦軸を、試験最大応力／静的曲げ強度の比をとって、プロットしなおした。図①-2-33 にその結果を示す。特に、-30°Cでは他の温度と比較して、試験最大応力／静的曲げ強度の比が高く、静的曲げ強度 85%でも 10 の 6 乗回の繰返しでも破断しなかった。室温と 80°Cではほぼ同じ傾向を示し、疲労強度と静的強度の比は約 70%であった。



図①-2-33 PP系UD材の曲げ疲労試験

次に、PP系UD材の曲げクリープ試験を行った。図①-2-34 に、PP系UD材の、室温および 80°Cでの曲げクリープをまとめる。ここで横軸は試験応力 (MPa)、縦軸に 1000 時間でのひずみをとった。

青線が室温での結果、赤線が 80℃での試験結果である。初期は、室温と 80℃でひずみに大きな差はないが、ある一定以上の試験力になると 80℃でひずみが大きくなる傾向が観察された。室温では今回の試験応力の範囲では破断することはなかったが、80℃ではある試験応力以上では所定の時間経過後破断した。



図①-2-34 PP系UD材の曲げクリープ試験まとめ(25℃、80℃)

次に、高速面衝撃試験(パンクチャー試験)を行った。高速面衝撃とはストライカーを5m/秒でサンプルに落下させて、その試験力を計測し、吸収エネルギーを算出するものである。ストライカーの先端は球状であり、その直径は12.7mmである。サンプル形状は100mm角であり、治具により固定し、その中心部にストライカーを落下させる。オンラインで変位、試験力が計測される。図①-2-35に試験の様子を、表①-2-6に試験条件を示す。

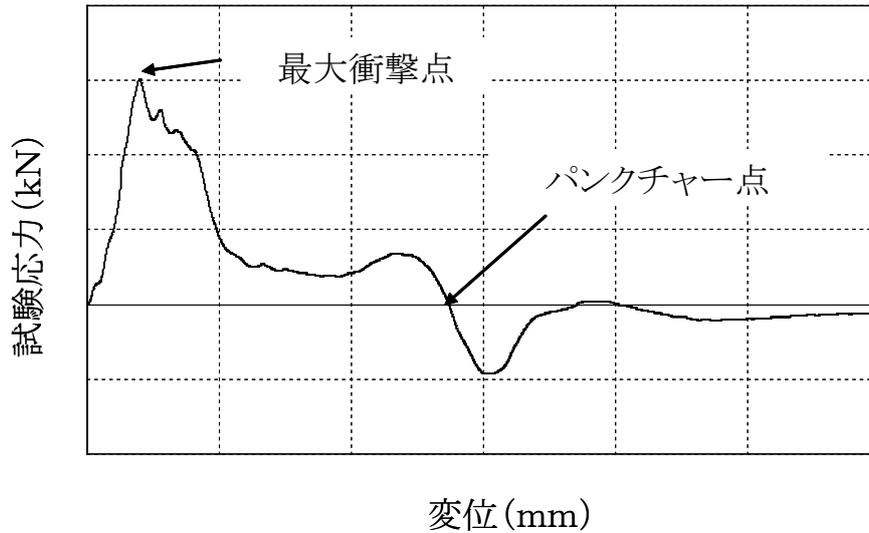


図①-2-35 高速面衝撃試験の様子

表①-2-6 高速面衝撃試験条件

試験機器	高速面衝撃試験	
型式	Hydro Shot HIPS-P10	
ストライカー径	1/2 インチ	直径 12.7mm、先端球形状
受け径	3 インチ	φ 76.2mm

材料として、CF/PP の CTT 材と連続繊維材の 2 種類で行った。連続繊維材は直交積層である。Vf は CTT 材、連続繊維材とも 40% であり、厚みは約 2mm である。用語の説明として、図①-2-36 に最大衝撃点、パンクチャー点を示す。最大衝撃点とは、試験力が最大となった点であり、パンクチャー点とは試験力がゼロになった点である。吸収エネルギーは、最大衝撃点までの吸収エネルギーと、パンクチャー点までの吸収エネルギーの 2 種類を算出する。



図①-2-36 高速面衝撃試験結果例

表①-2-7 に試験条件と試験結果を示す。試験温度は室温である。CTT 材の最大衝撃点までの吸収エネルギーは 6.6J、パンクチャー点までの吸収エネルギーは 23J であった。その比は約 3.5 倍であった。連続繊維材の吸収エネルギーは CTT 材と比較してかなり大きく、最大衝撃点まで 54.9J、パンクチャー点まで 69.3J であった。連続繊維材における最大衝撃点までの吸収エネルギーとパンクチャー点までの吸収エネルギーの比は、約 1.3 倍であった。連続繊維材の場合には、最大衝撃点までの吸収エネルギーが占める割合が多い。

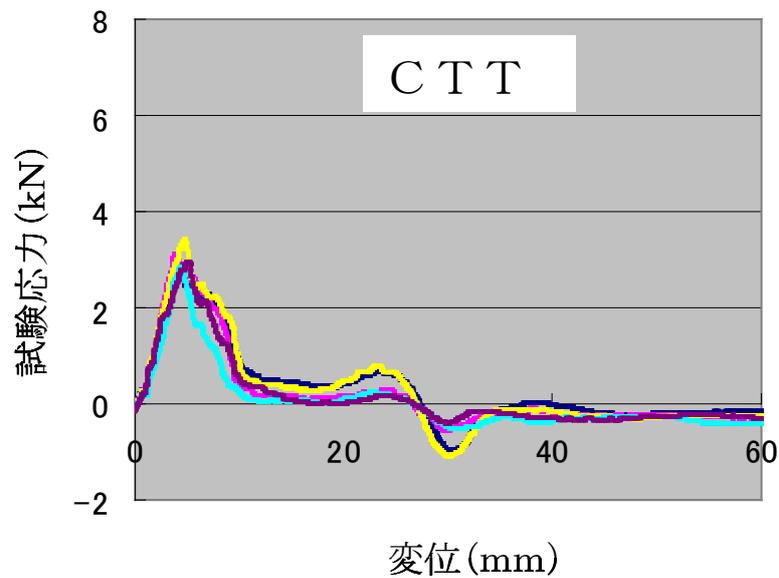
表①-2-7 高速面衝撃試験条件、および結果

基材	最大衝撃点	パンクチャー点
Vf	40	
	吸収エネルギー(J)	吸収エネルギー(J)
ランダム材	6.6	23.0
連続繊維、直交	54.9	69.3
試験速度	5m/sec	
ストライカー直径	12.7mm、先端球形状	
受け径	φ76mm	
サンプル形状	100mm角	
サンプル厚み	2mm	

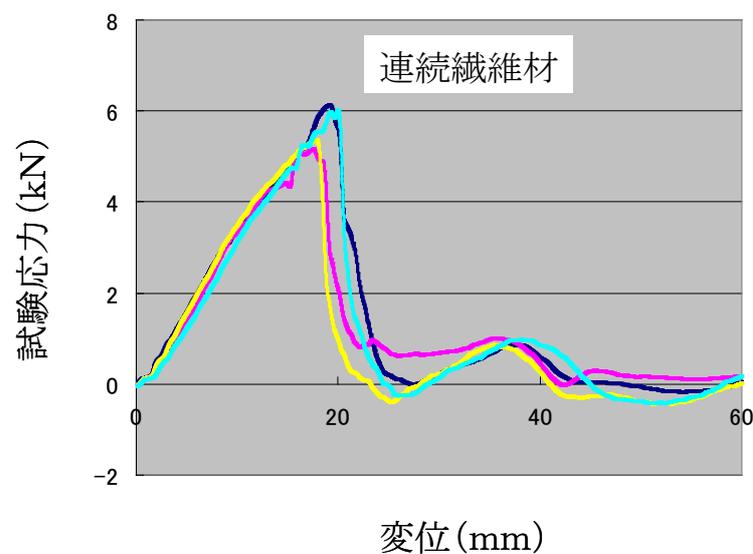
図①-2-37 に CTT 材、図①-2-38 に連続繊維材のそれぞれの変位と試験力の図を示す。CTT 材においては変位 5mm 前後で試験応力が最大となり、変位 27mm 前後でパンクチャー点を迎えることがわかる。n 数 5 において、変位と試験応力は比較的安定しており、ばらつきは比較的小さい結果となった。

連続繊維材においては変位 18mm 前後で試験応力が最大となり、変位 30mm 前後でパンクチャー点を迎える。

これらの図より連続繊維材のほうが吸収エネルギーが大きいことがわかる。



図①-2-37 高速面衝撃試験における変位と試験力 (CTT 材)



図①-2-38 高速面衝撃試験における変位と試験力 (連続繊維材)

また、図①-2-39 に高速面衝撃試験後の CTT 材と連続繊維材の写真を示す。CTT 材においては、表面でストライカーの形状の穴が開いていて裏面はささくれたようになっていた。一方、連続繊維材においては、円形状に凹むような形態であった。CTT 材と連続繊維材において、吸収エネルギーの差異や試験後の形状の差異は、含まれる炭素繊維長に大きく因るものである。

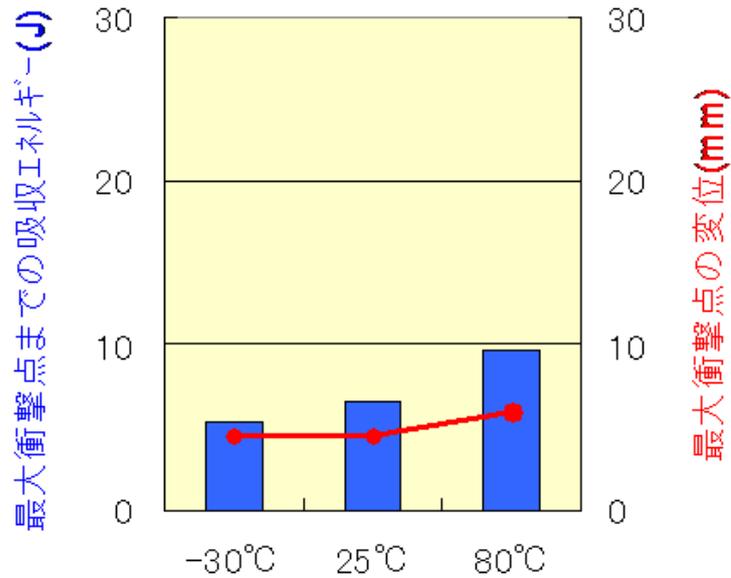
	CTT	連続繊維材(直交)
表		
裏		

図①-2-39 高速面衝撃試験後のサンプル形状

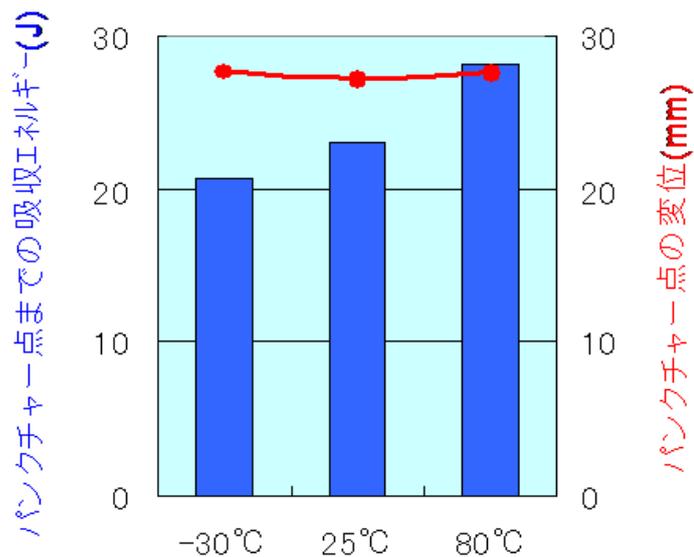
次に、CTT 材の高速面衝撃試験における温度依存性について検証を行った。温度依存性については、試験温度を室温以外で、 -30°C 、 80°C で行った。図①-2-40 に試験温度と最大衝撃点までの吸収エネルギーの関係を示し、図①-2-41 に試験温度とパンクチャー一点までの吸収エネルギーの関係を示した。

温度が高いほど最大衝撃点までの吸収エネルギー、パンクチャー点までの吸収エネルギーとも大きくなる傾向が観察された。温度を高くすることによりマトリックス樹脂であるポリプロピレンが脆性的な破壊から延性的な破壊になったことに起因すると考えられる。

最大衝撃点までの吸収エネルギーとその時の変位は両者とも、温度をあげるにより大きくなる傾向が観察された。一方、パンクチャー点までの特性では、吸収エネルギーは温度を上げるにより大きくなる傾向があったが、その時の変位はほぼ一定で変化は観察されなかった。

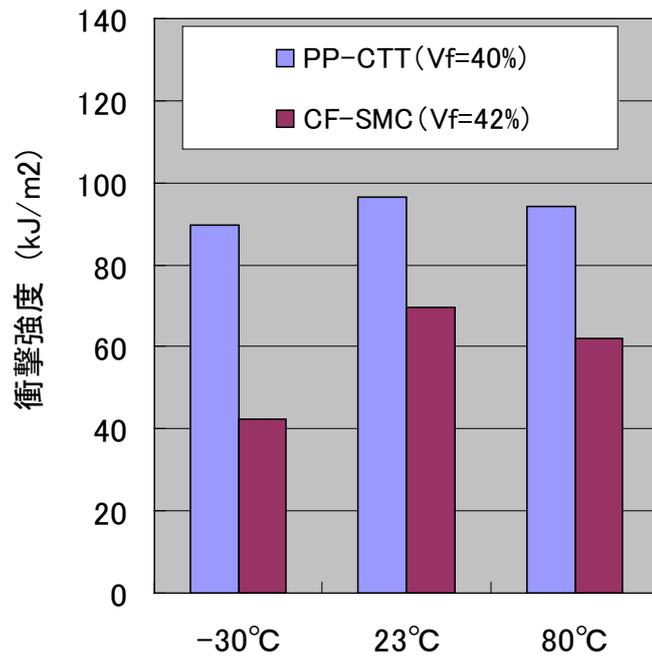


図①-2-40 CTT 材の高速面衝撃試験における最大衝撃点の変位と吸収エネルギー（温度依存性）



図①-2-41 CTT 材の高速面衝撃試験におけるパンクチャー点の変位と吸収エネルギー（温度依存性）

次にシャルピー衝撃試験結果についてまとめる。PP 系 CTT 材、CF-SMC のシャルピー衝撃試験結果を図①-2-42 に示す。PP 系 CTT 材は、CF-SMC と比較して全温度領域で高い衝撃強度を示した。この衝撃試験結果で、CFRTP の優れた特徴が顕著に現れている。



図①-2-42 シャルピー衝撃試験結果

次に、荷重たわみ温度を測定した。CF/PP系CTT材、UD材において、厚み4mmで測定を行った。UD材においては、測定方向は繊維方向(0°方向)と繊維直角方向(90°方向)の両方で測定した。

試験片厚み4mmにおける規定たわみ0.34mmに到達する温度を荷重たわみ温度として、CTT材、およびUD材(0°方向、90°方向)の荷重たわみ温度を表①-2-8に示す。

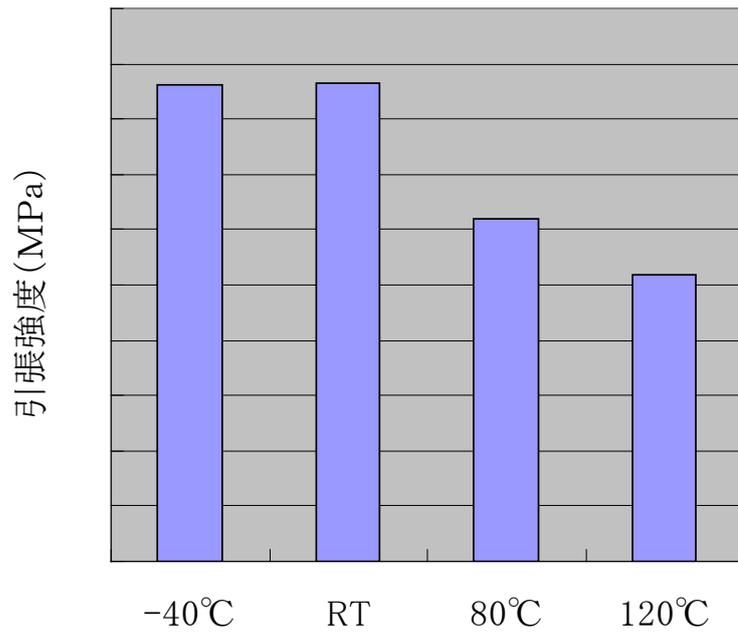
表①-2-8 CF/PP系CTT材、UD材の荷重たわみ温度のまとめ

基材		規定たわみ到達温度
CF/PP系CTT、Vf50		162°
CF/PP系UD、Vf50	0°方向	162°
同上	90°方向	84°

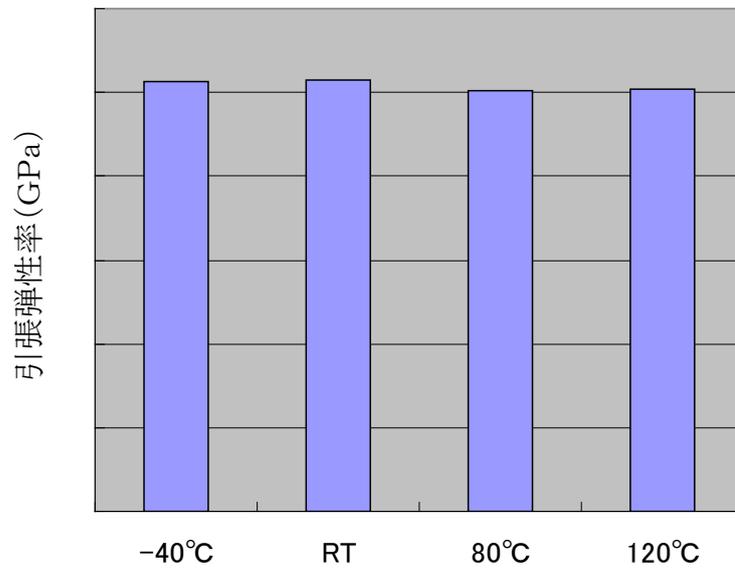
上記までは、CF/PP系のUD材、あるいはCTT材についてまとめてきた。ここからは、本プロジェクトで扱ってきたもうひとつのマトリックス樹脂であるPA系について、そのUD材、あるいはCTT材の物性をまとめる。

PA系に関する標準的な材料は、CFはA004、マトリックスはPA6系の改質品である。Vfは45%を標準としている。

PA系UD材の引張試験結果を示す。試験温度は-40°C~120°Cとした。図①-2-43に引張強度、図①-2-44に引張弾性率のデータを示す。引張強度については試験条件が高温であるほど、下がる傾向が確認された。一方、引張弾性率については、温度の影響は、強度の場合と比較して小さいことが確認された。

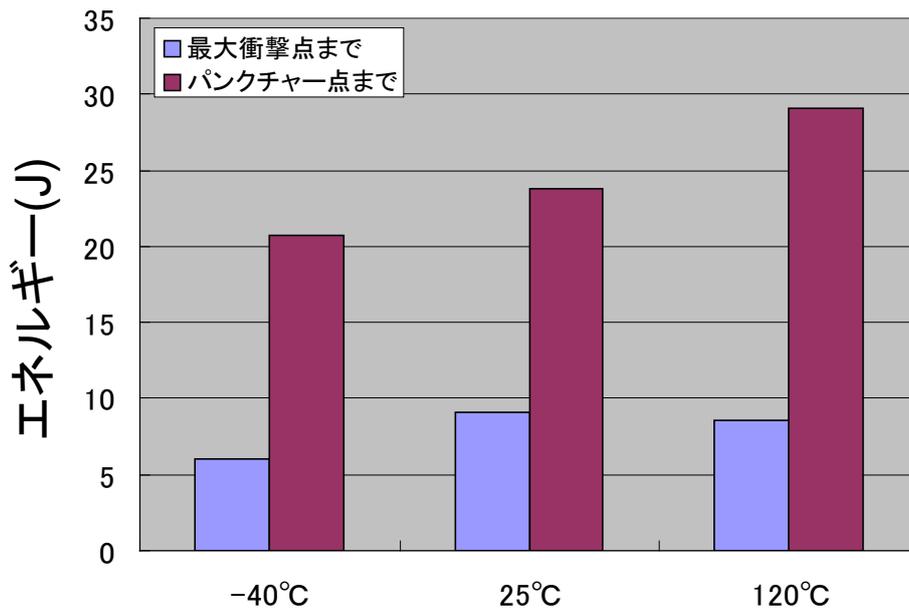


図①-2-43 PA系UD材の引張強度（温度依存性）



図①-2-44 PA系UD材の引張弾性率（温度依存性）

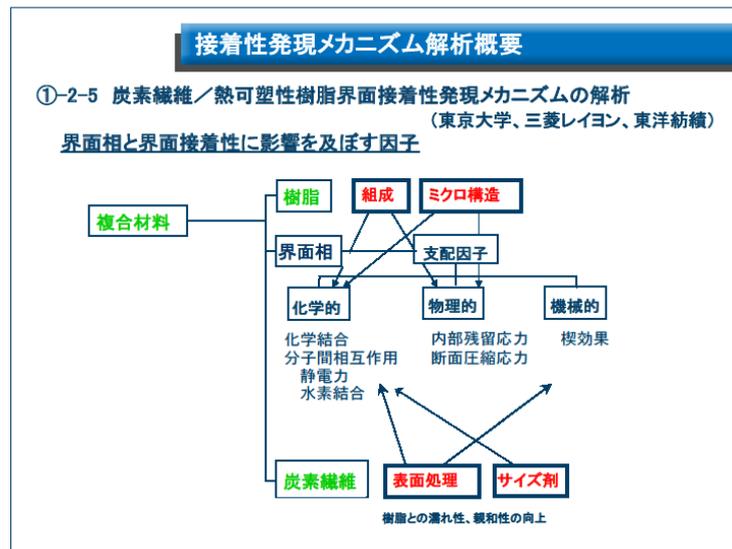
次に、PA系CTT材の高速面衝撃試験を行った。試験温度は-40°C、RT、120°Cとした。試験片厚みは2mmとした。図①-2-45に試験結果を示す。



図①-2-45 PA系CTT材 高速面衝撃試験

①-2-5 「炭素繊維／熱可塑性樹脂界面接着性発現メカニズムの解析」

ここでは、マトリックス樹脂、プリプレグテープ等の特性を解析し、東京大学とともに、界面接着性発現メカニズムの解析を検討した。そのアウトラインを図①-2-46に示す。



図①-2-46 研究開発項目①-2-5 「炭素繊維／熱可塑性樹脂界面接着性発現メカニズムの解析」アウトライン

CF／PPの界面に関する研究は数多くなされているが、例えば、Chang-Mou Wuら⁷は、

シンジオタクチックPPがCF表面で特異な結晶状態を示し、これにより、CFとの接着性が向上することを明らかにしている。CF/PP界面近傍での接着性を明らかにするためには、化学的・物理的・機械的な支配因子のみならず、樹脂の結晶化状態にまで踏み込んだ検討が必要であることが分かった。

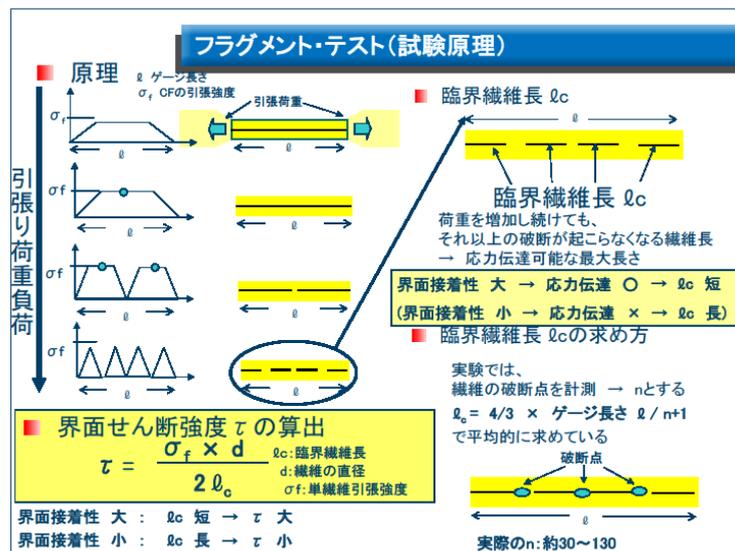
ここでは、まず始めに、接着強度を測定する試験方法の検討を行った。また、P. J. Herreraら⁸やR. J. Grayら⁹は、界面の評価方法を提案している。また、福田ら¹⁰は、界面評価試験方法として下記のような評価法についてまとめを行っている。

これによれば、界面評価技術は、フラグメンテーション試験、プルアウト試験、プッシュアウト試験、マイクロボンド試験などが上げられている。更に、巨視的な評価技術としては、一方向材の90度曲げ試験やILSSなどが上げることができる。

前述の通り、本プロジェクトでは、化学的・物理的・機械的な支配因子のみならず、樹脂の結晶化状態にまで踏み込んだ検討が必要であると考え、繊維近傍での樹脂の結晶状態や、その破壊挙動を観察可能な試験方法が必要である。

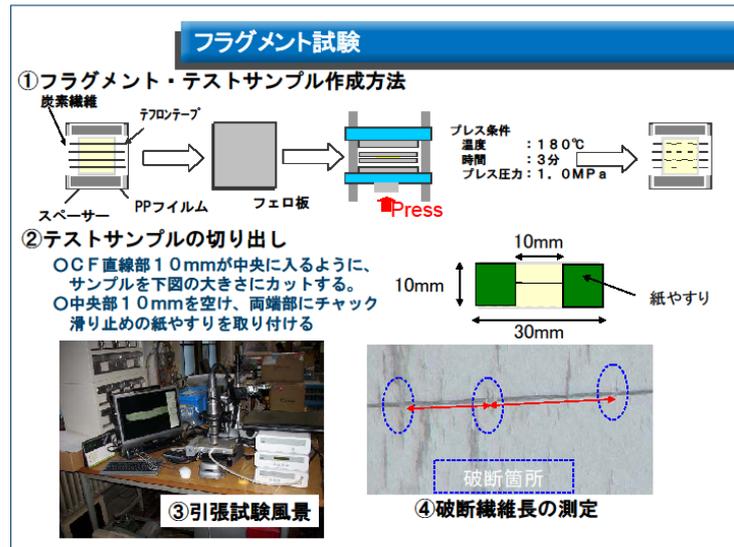
よって、前述の文献を参考として、CF/熱可塑性樹脂界面接着性評価メカニズムの解析を行うために、①フラグメント・テスト法によるCF/PPの界面接着強度の評価、②レーザーラマン顕微鏡による炭素繊維にかかる応力の推定、③高輝度放射光による炭素繊維周辺部での熱可塑性樹脂の結晶状態の観察を行った。

図①-2-47には、フラグメント・テスト法の評価原理を示す。今回、界面剪断強度 τ の算出方法としては、図中に示す式を用いた。



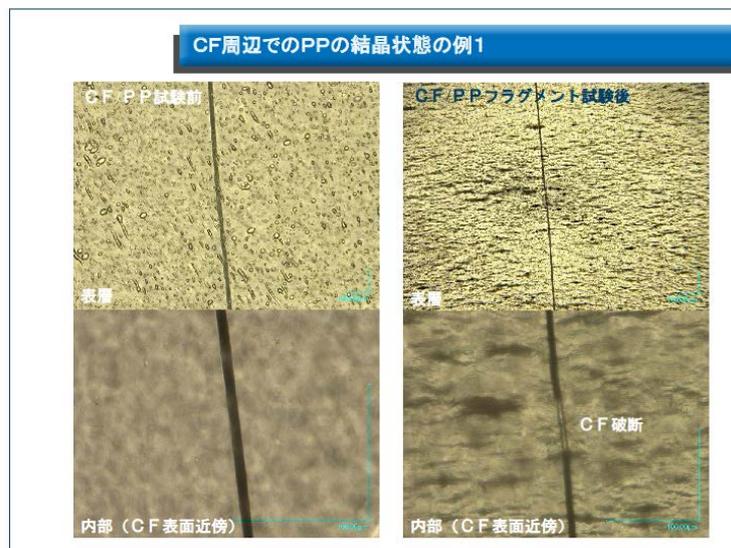
図①-2-47 フラグメント・テスト (試験原理)

図①-2-48には、本プロジェクトで用いたフラグメント・テスト・サンプルの作成方法と、計測システムを示す。また、試験後のPP中に埋設されたCFの破断状態を併せて示す。

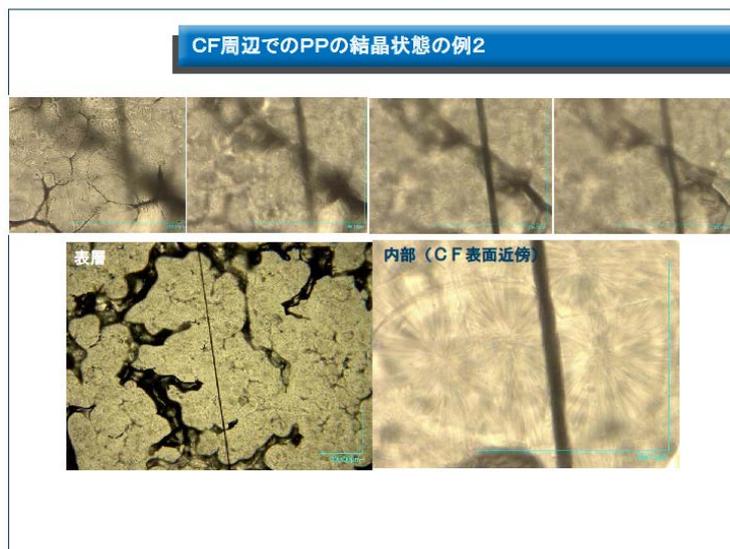


図①-2-48 デジタルマイクロスコープ並びに卓上引張試験機から構成されるフラグメント・テスト装置

図①-2-49、図①-2-50 にはフラグメント・テスト中の CF と PP 観察写真の例を示す。これらの観察結果から分かるように、開発品の PP では、CF 回りに得意な結晶成長は認められなかった。

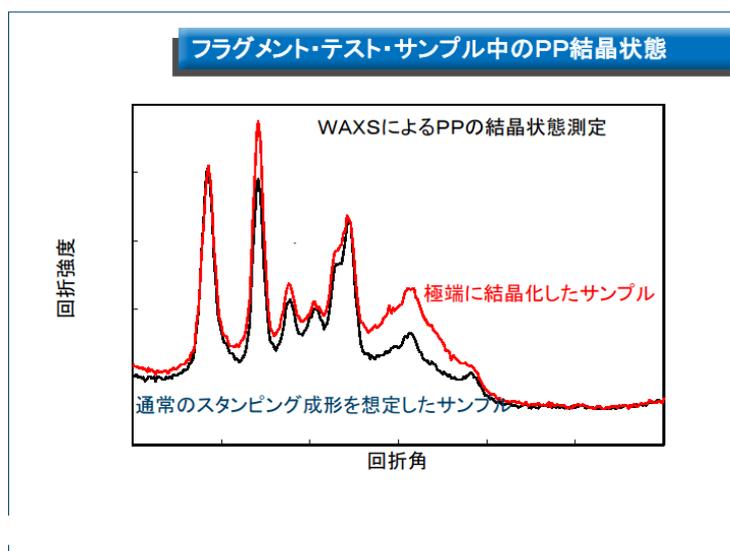


図①-2-49 光学顕微鏡によるフラグメント・テスト・サンプル中の PP の結晶状態



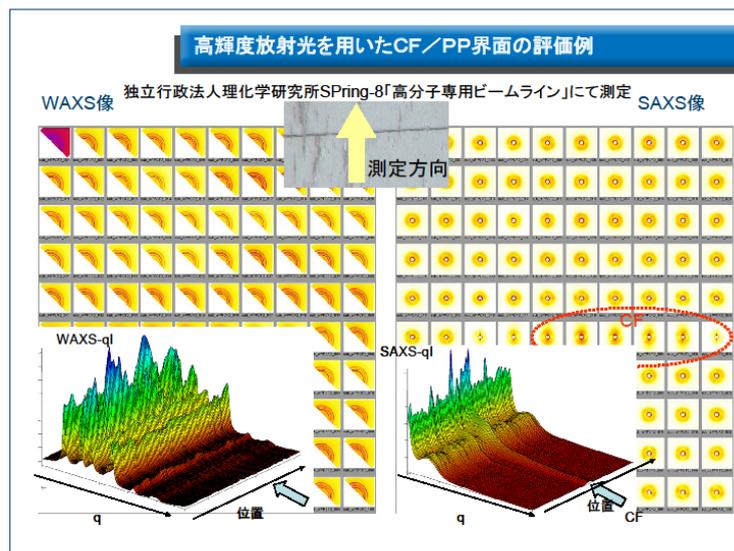
図①-2-50 極端に結晶化を進めた場合の PP の結晶状態

なお、図①-2-51 に、フラグメント・テスト・サンプルにおける PP の結晶状態を WAXS で測定した結果を示す。極端に結晶化させた場合、 γ 晶が観察されるが、通常のスタンピング成形を想定した範囲では、 α 晶のみの構造となっていた。



図①-2-51 フラグメント・テスト・サンプルの WAXS 観察結果の例

図①-2-52 には、独立行政法人理化学研究所 SPring-8「高分子専用ビームライン」にて検討を行ったフラグメント・テスト・サンプルの CF 近傍での WAXS/SAXS 画像の一例を示す。この結果から、CF 近傍で特異な PP の結晶状態は観察されず、本プロジェクトの範囲に於いて、CF が結晶核となり、接着性を向上させることはなかった。



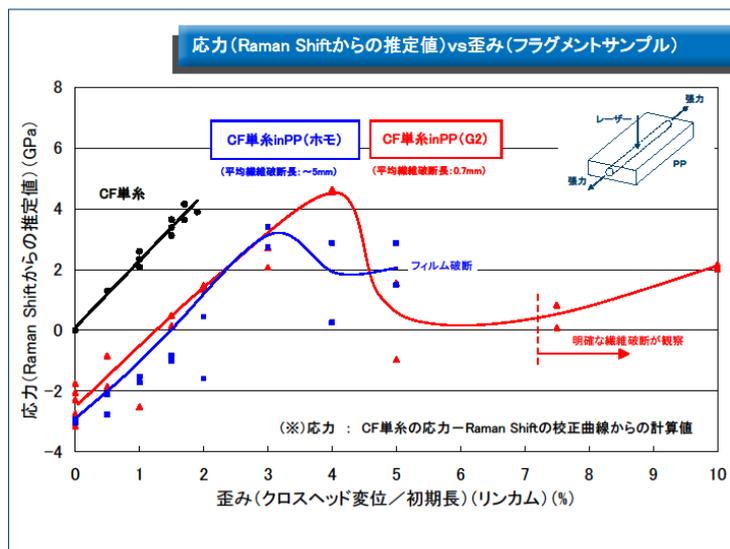
図①-2-52 高輝度放射光を用いた CF/PP 界面の評価例

レーザーラマン分光によるコンポジットの内部応力評価は、例えば、佐藤ら¹¹や、C. Galiotisら¹²が、炭素繊維充填射出成形材の内部応力評価などを検討している。

今回、PP中のCFの応力状態を観察するために、図①-2-53 に示すようなレーザーラマン顕微鏡を導入した。伸張下にあるCFでは、ひずみに応じてラマンシフトが観察されることは良く知られており、本プロジェクトに於いてもCF1本（モノフィラメント）での検討と、PP中でのモノフィラメントの検討を行った。その結果の一例を図①-2-54 に示す。なお、炭素繊維のラマンシフトに関しては、來海ら¹³の検討を参照した。



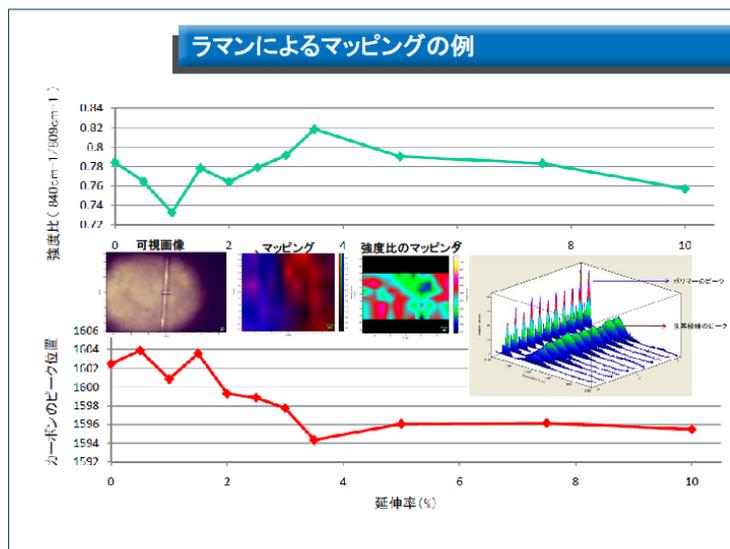
図①-2-53 レーザーラマン顕微鏡、卓上引張試験機、並びにファイバーユニット



図①-2-54 フラグメント・テスト・サンプルを用いた観察の例

図①-2-54 から分かるように、モノフィラメントで観察されたラマンシフトと、PP 中の CF のラマンシフトは初期値が異なっており、PP 中では、PP の成形収縮によって CF に圧縮ひずみが生じていることが分かる。更に、引張試験を行なうと、PP の接着性の違いによって、ラマンシフトのピークが異なることがわかる。このことより、CF と PP の接着性は、CFRTP 中の CF の内部応力に大きな影響を与えることが分かった。

更に、近年では、山田¹⁴らによって、顕微ラマン分光法を用いて、分子配向測定なども試みられている。本プロジェクトに於いても、ラマンのイメージング機能を用いた CF 近傍での分子配向測定を試みた (図①-2-55)。PP の結晶配向による影響は、Benjamin Chu¹⁵の検討や、山田¹⁶の検討に従い、PP の 844cm^{-1} と 813cm^{-1} ラマン強度比のシフトにより検討を行った。PP の引張試験下のラマン強度比のシフトは、CF のラマンシフトに比べて、非常に弱く、イメージングで明確な傾向を掴むことはできなかった。



図①-2-55 10%伸張下でのCFとフィルムのラマンシフト並びにマッピング画像の例

本プロジェクトでは、CF/樹脂界面接着強度の評価方法として、単糸を埋設したフラグメント・テスト法を採用した。フラグメント・テスト法は、他の評価方法と比べて、CF単糸近傍の応力状態の評価が可能で、更に、マトリックス樹脂が透明の場合、その挙動の分析が非常に容易であると言う利点がある事が分かった。

また、フラグメント・テスト・サンプルを用いて、光学（透過／反射／偏光）顕微鏡による観察、WAXSによる結晶構造の評価、更に高輝度放射光による結晶構造の評価、ラマン顕微鏡による配向評価などを通じて、CF周りのPPの結晶構造やこれが接着性に及ぼす影響の検討の可能性を見出した。

¹狩野 佐登視、自動車用外装部品のキレノアークランプ[®]による促進耐候性試験方法 - 暴露と促進試験との相関性調査中間報、自動車技術会学術講演会前刷集、971、pp209-212、1997

²後藤 博、規格会議組織・活動報告(4)「材料部会」、キレノ耐候性、自動車技術、Vol. 47, No. 8, 1993, pp78-80

³JASO 材料部会(キレノ耐候性分科会)、自動車用内装部品のキレノアークランプ[®]による促進耐光性試験方法(分科会活動を通じえられた知見のまとめ、no.TP-93001

⁴JASO 規格、自動車部品—外装部品のキレノアークランプ[®]による促進耐候性試験方法 no.M351-98

⁵ Nygard and Gustafson, Continuous Glass Fiber-Polypropylene Composites Made by Melt Impregnation: Influence of Processing Method, Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2004, 17 (2), p. 167

⁶例えば、PCT/JP2004/010006「繊維束の開繊方法と、その方法に使用する装置」

⁷ Chang-Mou Wu, Ming Chen, Jozsef Karger-Kocsis, Interfacial shear strength and failure modes in sPP/CF and iPP/CF microcomposites by fragmentation, Polymer Volume 42, Issue 1, January 2001, Pages 129-135

⁸ P. J. Herrera-Franco and L. T. Drzal, Comparison of methods for the measurement of fibre/matrix adhesion in composites, Composites, Volume 23, Issue 1, January 1992, Pages 2-27

⁹ R. J. Gray, Experimental techniques for measuring fibre/matrix interfacial bond shear strength, International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume 3, Issue 4, October 1983, Pages 197-202

¹⁰福田 博監修、新版 複合材料・秘術総覧、産業技術サビ[®]センター、pp.613-615、2011

¹¹佐藤紀夫、「レーザーラマン分光は複合材料のマイクロ応力解析の世界を変える」、材料、Vol44, No501, p812-813, 1995

¹² C. Galiotis, D. N. Batchelder, Strain dependences of the first- and second-order Raman spectra of carbon fibres, Journal of Material Science Letters, Vol. 7, No. 454, 1988

¹³來海博央、與語勇一、池田竜也、水野良政、共焦点顕微鏡ラマン分光法を用いた炭素繊維強化複合材料中の残留応力ならびに内部応力マッピング[®]、材料、Vol. 60, No. 8, pp. 756-762, 2011

¹⁴山田 浩二、顕微鏡ラマン分光法-分子配向測定への応用、日本接着学会誌 Vol.47, No.11(2011),pp438-443

¹⁵ Shaofeng Ran, Dufei Fang, Igors Sics, Shigeyuki Toki, Benjamin S. Hsiao, and Benjamin Chu, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS VOLUME 74, NUMBER 6, pp.3087-3092

¹⁶山田浩二、泊清隆、顕微鏡レーザーラマン分光法を用いた樹脂成形品の内部構造解析、科学と工業、Vol.87、No.1(2013)、pp23-29

2.2 研究開発項目②「易加工性 CFRTP の成形技術の開発」

②-1 「CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発」

②-1-1 「等方性 CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発」

エポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂をマトリックス樹脂とした熱硬化性 CFRP は、軽量で機械特性に優れるため、航空機用構造材等に広く用いられている。この熱硬化性 CFRP は自動車用部材にも一部使用されているが、金属材料と比較して成形に手間と時間がかかるために、採用車種、適用部材の広がりには限界があるのが現状である。研究開発項目①-1 で開発する等方性 CFRTP 中間基材は強化繊維として不連続の炭素繊維を用いるため、成形時に金型の形状に沿って炭素繊維を追従させることができる。

本研究開発項目では、研究開発項目①-1 で開発する等方性 CFRTP 中間基材を、金属材料の高速成形で広く実用化されているスタンピング成形技術により成形して、複雑形状で機械特性にも優れた部材を高速で成形加工する技術の開発を目指す。

具体的には、基材の高速加熱技術、スタンピング成形技術、金型への基材のセットから成形品の脱型までの基材の搬送技術、各工程を高速で連携させる技術を含むトータルの高速スタンピング成形技術の確立を目指す。また、成形条件の適性化を効率良く進めるために、中間基材に含まれる樹脂および繊維が成形中にどのように流動するかを予測可能な成形シミュレーション技術を確立する。

中間目標としては、成形時間 2 分以内を達成する高速スタンピング技術、最終目標としては、成形時間 90 秒以下を達成する連続スタンピング成形技術を開発する。

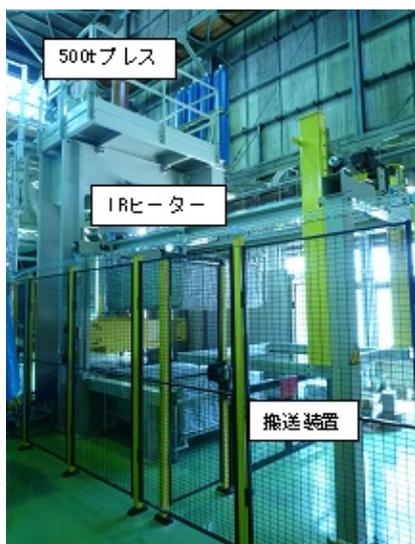
②-1-1-1 「高速加熱技術」

スタンピング成形では基材を金型にセットする前に、基材が金型内でスムーズに変形できるように、基材を熱可塑性樹脂の融点以上の温度に加熱しておく必要がある。したがって、高速でスタンピング成形で部材を製造するプロセスを構築するには、加熱のために基材を高速で加熱する技術が非常に重要である。

本プロジェクトでは、研究開発項目①-1 で開発する等方性 CFRTP 中間基材を高速でスタンピング成形するために基材を短時間に成形可能な温度まで加熱する加熱技術を開発する。具体的には、遠赤外線や熱板等の各種加熱法を比較し、研究開発項目②-1-1-2 で開発する成形プロセス技術と組み合わせて、目標のスタンピング成形性を達成するための基材の加熱方法を確立する。

A. IR ヒータによる加熱

量産を考慮すれば、材料の加熱、搬送、型締めフローは自動化の必要がある。これらを試験研究スケールで再現するため、「プレス成形周辺装置」を導入した（図②-1-1）。本装置は、IR ヒータ、搬送装置と 500t プレスからなる。搬送装置に基材をセットすれば、IR ヒータでの加熱からプレスまでを自動で行うことができる。



概観



500t プレス



搬送装置



IR ヒーター

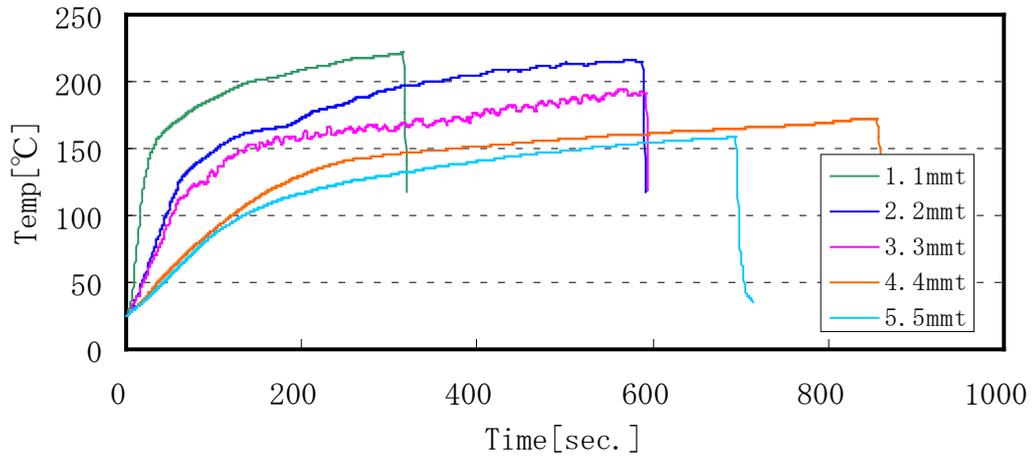
図②-1-1 プレス成形周辺装置

IR ヒータは赤外線を材料表面に照射する。従って材料は表面から温度が上がり、厚さ方向中央の温度上昇が最も遅くなる。Vf=20%の等方性中間基材に熱電対を挿入し、昇温カーブ（加熱時間と基材温度のグラフ）を作成した（図②-1-2）。ヒータの設定温度は 200°C とし、複数の材料厚さにつき検討した。

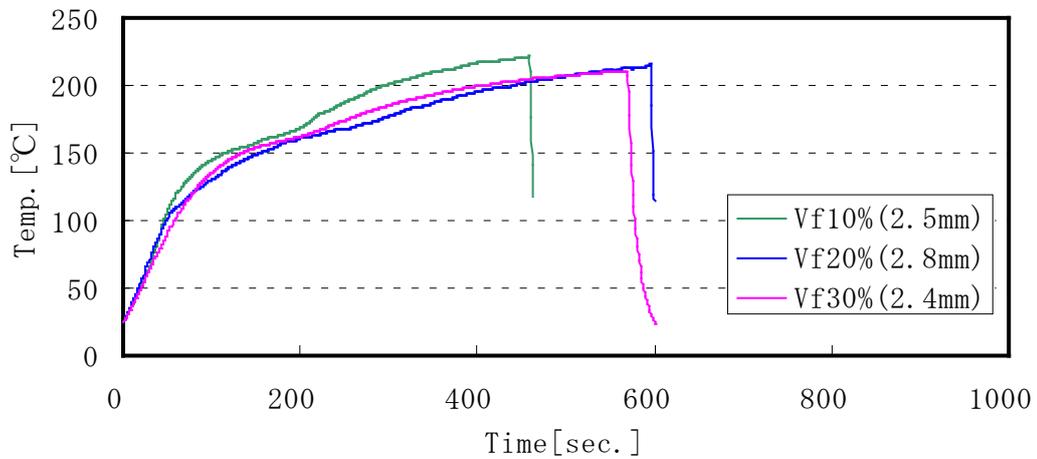
1.1mm の材料では、温度はスムーズに上昇し、160 秒で 200°C に到達した。厚さを増やすと内部への温度の伝播が遅くなり、厚さ 4mm 以上では、ポリプロピレンの融点前後までしか温度が上がらなかった。ヒータ温度を上げると、材料中央の温度上昇と平行して樹脂の分解が始まるため、これを抑えるための精密な温度管理が必要となる。

次に、Vf を変えた場合の昇温カーブを取得した（図②-1-3）。Vf は昇温カーブに影響を与えなかった。Vf の増加により熱伝導性の大きい炭素繊維の割合が増えるため、加熱時間の短縮が見込まれたが、そのような挙動は示さなかった。そこで、繊維種の影響を見るため、ガラス繊維を用いた等方性中間基材をラボスケールで作製し、昇温

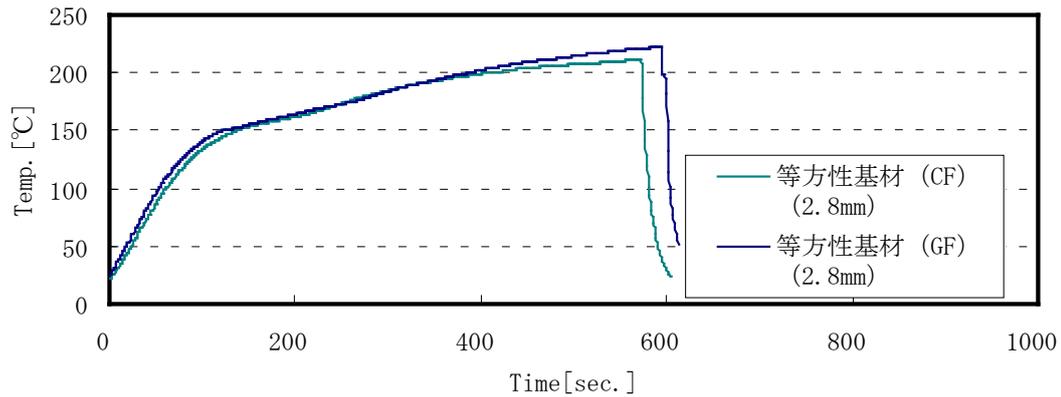
カーブを取得した（図②-1-4）。ガラス繊維と炭素繊維で昇温カーブにほとんど差はなく、この材料形態では、繊維の熱伝導率は昇温カーブに影響を与えないことが分かった。



図②-1-2 等方性中間基材の昇温カーブにおける基材厚さの影響



図②-1-3 等方性中間基材の昇温カーブにおける Vf の影響



図②-1-4 等方性中間基材の昇温カーブにおける繊維種の影響

B. 熱板による加熱

上記の検討から、等方性中間基材の加熱で最も留意すべきは、材料厚さであることが分かった。実際の製造プロセスでは、IR ヒータはベルトコンベア式のものが見込まれる。ベルトコンベア式であれば、ヒータの長さを適切に調節すれば、サイクルタイムには影響を与えない。しかしながら、過剰に長い加熱時間は設備費、設置スペースなどの固定費、ヒータ電力の比例費などに反映する。また、加熱ウィンドウの狭さはロバスト性に影響する可能性もある。

そこで、より高速かつ安定に加熱するため、「プレス成形周辺装置」に改良を加え、熱板式の加熱装置を追加した(図②-1-5)。熱板式では、材料を直接的に加熱するため、より熱伝達が早い。また、空気との接触が低減し、樹脂の分解も抑制される。本装置は、CFRTP での使用のため、独自に設計したものである。

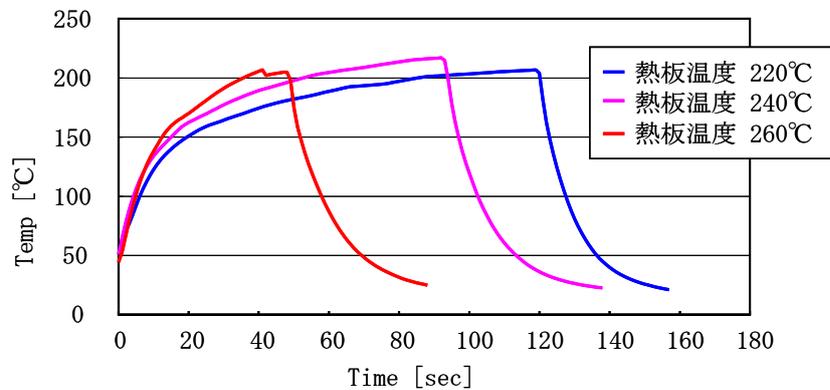


図②-1-5 熱板式加熱装置

(左： 熱板を開いている状態 右： 材料を加熱している状態)

厚さ 3.3mm の等方性中間基材について、熱板式で加熱した結果を図②-1-6 に示す。

樹脂の分解に伴う発煙などの現象なく、IR ヒータよりも高速に加熱できることがわかった。熱板の温度を高めれば、60 秒以内の加熱も可能であった。これは、IR ヒータと比較して 10 倍早い。本技術は、等方性中間基材のみでなく、CFRTP プレス材料に幅広く適用できる可能性があると考えている。



図②-1-6 熱板式の加熱による等方性中間基材の昇温カーブ

②-1-1-2 「成形プロセス技術」

本研究開発項目では、研究開発項目①-1 で開発する中間基材を、研究開発項目②-1-1-1 で開発する高速加熱技術で加熱した後、スタンピング成形により高速で成形するプロセスを開発する。また、基材の金型へのセットから成形品を脱型するまでのトータルの成形プロセスを高速化するために、基材の搬送技術や各工程を連携して制御する技術を開発する。さらに、スタンピング成形時にソリやネジリを生じた成形品を矯正する技術の目処を得る。

A. 要素形状の成形

等方性中間基材は新規な材料であり、成形方法も確立されていない。単純平板形状、要素形状、部材を模した複雑要素形状などの金型を設計・作製し、各種形状の賦形性を検討した。また、賦形時の材料挙動についても検証し、データベースを構築した。

(a) 要素形状（面内）

単純形状成形用金型（図②-1-7）を用い、研究開発項目②-1-1-1 で開発した加熱技術を適用し、自動搬送装置を用いて 500t プレスで成形した。得られる成形品は、角型の平板形状である。

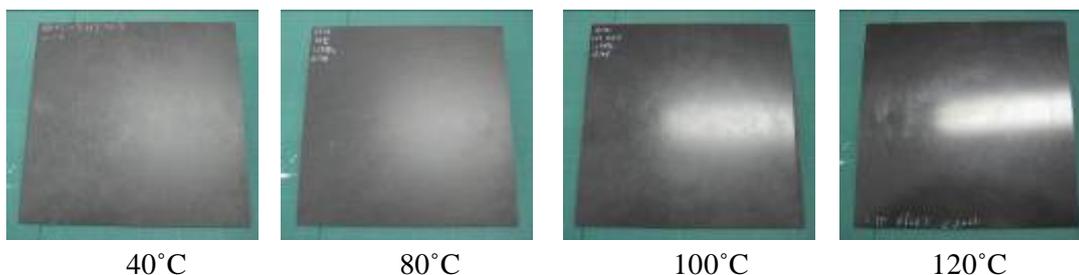


図②-1-7 単純形状成形用金型

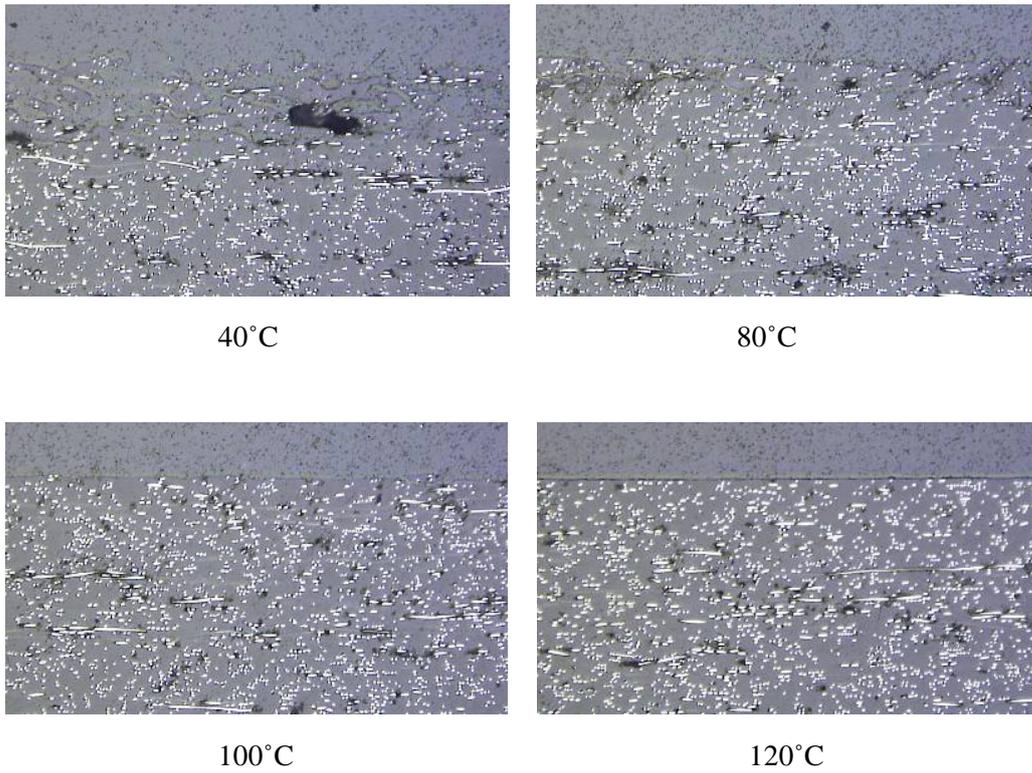
成形プロセスで制御するパラメータは、成形圧力（面圧）、金型温度が主な調整要素となる。面圧は、本形状では 10~20MPa が適切で、GMT と同等であった。

金型温度は成形品の表面外観に影響を与えた（図②-1-8）。40°C では成形品表面のカスレが顕著であり、これは温度を上げる事で解消され、光沢のある外観が得られた。成形品断面の拡大写真を図②-1-9 に示す。白く見える部分が炭素繊維である。金型温度が低い領域では表面が荒れているのが分かる。高温になるにつれ表面が平滑となり、120°C では樹脂の皮膜が形成されている。スタンピング成形は金型で冷却しながら賦形する手法であり、金型と直接接触する基材表面から冷却される。金型温度が低いとプレスで押し切られる前に表面の近傍の固化が進み、表面が荒れたと考えられる。本金型には、平板面の 9 箇所に温度および圧力センサが設置されている。各センサが記録した金型温度および圧力を図②-1-10 に示す。金型温度は、基材との接触で一時的に上昇するが、速やかに低下している。一方で目的の面圧に到達するには 20 秒以上の時間を要しており、加圧が完了する前に表面の樹脂が固化している可能性が高い。

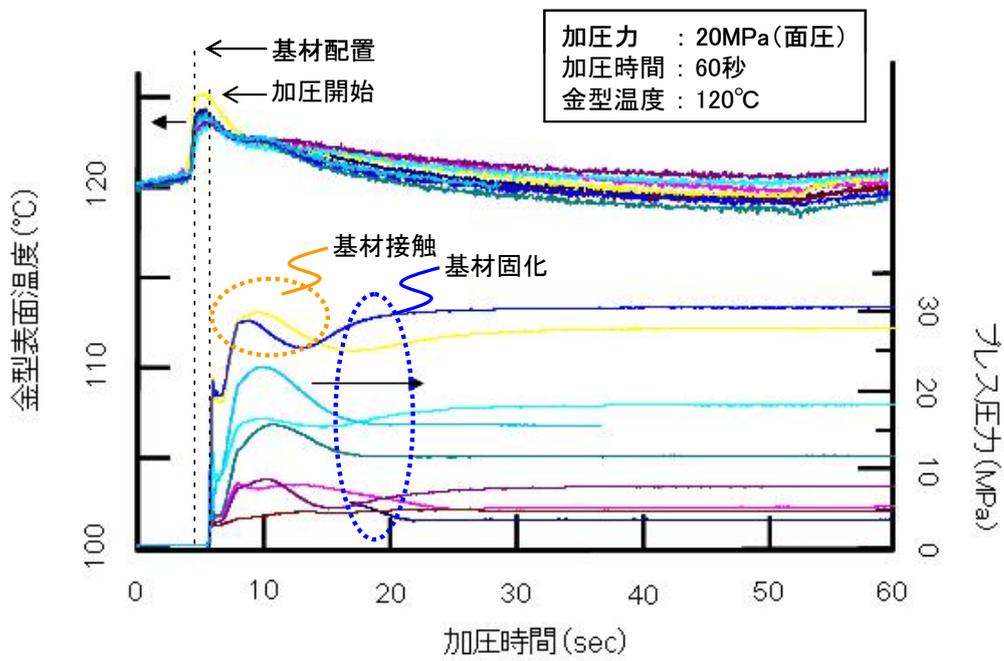
以上の検討から、等方性中間基材の成形では、金型温度は 100°C 以上の設定が望ましいといえる。



図②-1-8 金型温度と成形品外観



図②-1-9 成形品の断面写真



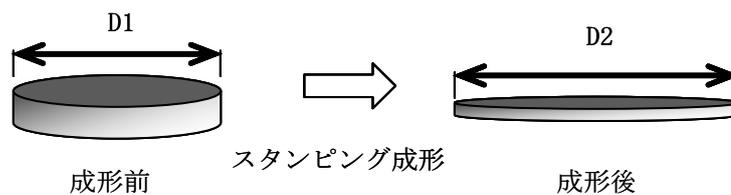
図②-1-10 加圧時間と金型温度およびプレス圧力の関係

次に、等方性中間基材の面内方向の圧延挙動に関し、材料および成形条件が与える影響について、定量的な整理によるデータベース化を試みた。圧延挙動は、成形前後の伸張率から見積もる事を考えた。図②-1-11 に示す円板状のCFRTPシートをスタンピング成形し、成形前後の面積比を伸張率として、次式より算出した。

$$R(\%) = \frac{D2}{D1} \times 100 \quad (2.1-1)$$

(Rは伸張率、D1とD2はスタンピング成形前後のCFRTPシートの直径を表す)

伸張率が大きいほど、圧延性に優れるといえる。CFRTPシートの直径(D1)は任意に設定できるが、本検討では150mmとした。研究開発項目②-1-1-1および前述した金型設定温度の検討結果から、材料の厚さは2.5mmとし、金型温度は120°Cとした。それ以外の材料および成形条件パラメータは、標準条件として表②-1-1に示す値を用いた。



図②-1-11 伸張率の測定

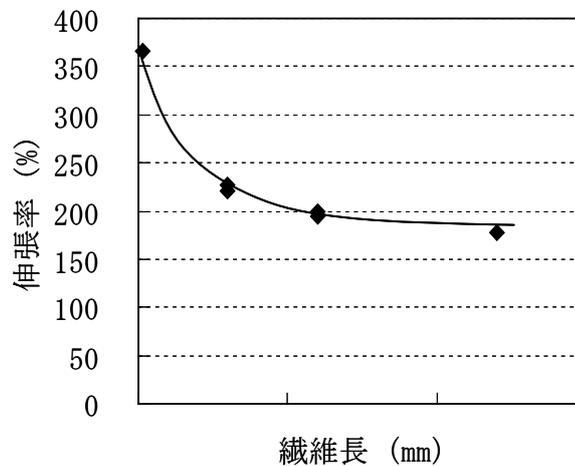
表②-1-1 標準成形条件

等方性中間基材	シート厚さ (mm)	2.5
	シート直径 (mm)	150
	Vf (%)	20
スタンピング成形条件	加熱温度 (基材温度) (°C)	200
	金型温度 (°C)	120
	成形面圧 (MPa)	15
	型締め時間 (min)	1

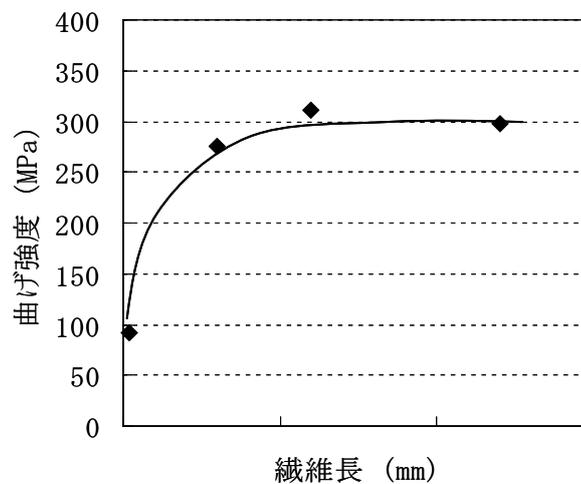
まず、等方性中間基材を構成する、繊維長の影響を調べた。具体的には、異なる繊維長からなる炭素繊維マットを用いて等方性中間基材を作製し、スタンピング成形を行った。材料の作製にあたり、繊維長が極端に短い領域では、炭素繊維マット

の結束性が不足するため、押出混練したコンパウンドをプレスによりシート化したものを用いた。繊維長と伸張率の関係を図②-1-12に示す。繊維長は、伸張量に多大な影響を与えることがわかった。

CFRTP シートの機械特性と加工性の両立を考慮したとき、これらの繊維長における機械特性を合わせて把握する事は重要である。同一の材料を用いて繊維長と曲げ強度の関係をもとめたものを、図②-1-13に示す。曲げ強度と伸張率は、ほぼトレードオフの関係にあることが分かった。強度飽和した領域の繊維長における伸張率(標準条件では 200%前後)が、形状賦形性のポテンシャルと考えられる。一方で、ある程度強度を犠牲にできる材料の場合は、より材料を伸張させることができる。等方性中間基材では繊維長はチョップド炭素繊維のカット長で容易に制御できるため、部材の形状と要求特性に応じて、適宜選択すればよい。

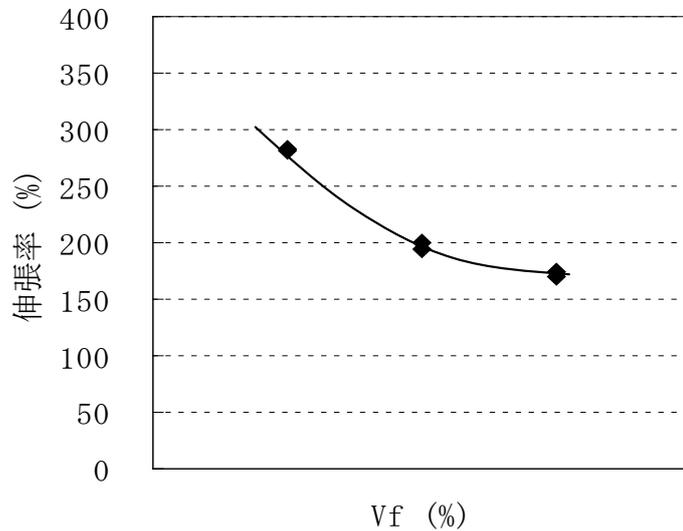


図②-1-12 繊維長と伸張率の関係



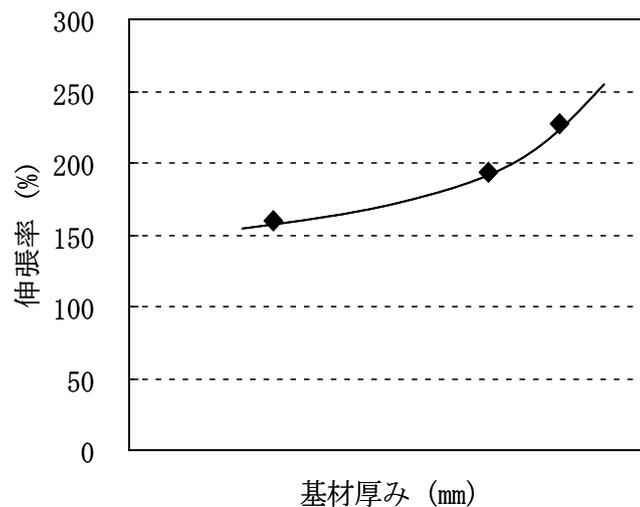
図②-1-13 繊維長と曲げ強度の関係

次に、Vfが伸張率に与える影響を検証した(図②-1-14)。Vfの上昇に伴い伸張率が低下した。すなわち、炭素繊維を多く添加するほど、流動性は低下する。この傾向は、繊維のネットワークの緻密さが変化するためと推測できる。一方で、変動は比例関係ではなく、低いVfの領域では流動性の向上幅はより大きくなった。



図②-1-14 Vfと伸張率の関係

次に、等方性中間基材の厚さが伸張率に与える影響を調べた。本検討では、基材直径を150mmに揃えており、厚さの大きいシートは投入量自体が増えている点に留意する必要がある。シート厚さを増加させることで、伸張率も増加した(図②-1-15)。増加割合は比例的ではなく、より厚いシートでは、より伸張率が大きくなった。スタンピング成形では、金型と接触した部分からシートの冷却固化が始まる。従って、金型と接触していない部分は冷却が遅くなり、より長時間伸張できる。基材厚さが大きくなると、金型と接触している範囲が相対的に小さくなり、より伸張率が大きくなると考えられる。



図②-1-15 基材厚みと伸張率の関係

以上、炭素繊維マットの構成要素である、繊維長、Vf、およびシート厚みが伸張率に与える影響をまとめると、下記の通りとなった。

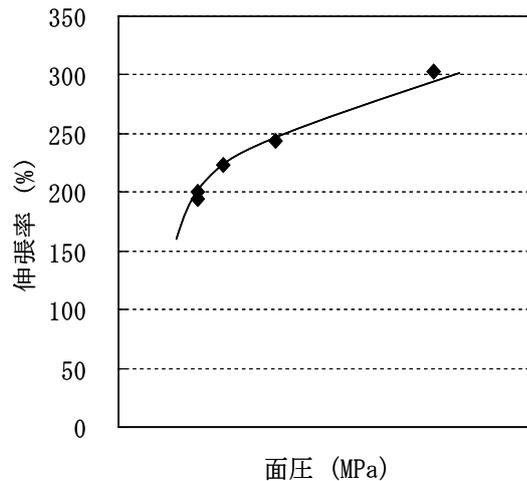
- 伸張率は繊維長の影響を強く受ける。曲げ強度とトレードオフの傾向があり、設計時に留意が必要。
- 低 Vf では良く伸張し、Vf の向上につれて低下する。低下幅は比例的ではなく、低 Vf 領域の伸張率の変化が大きい。
- CFRTP シートを厚くすると、金型との接触面が減るため、より伸張率が向上する。

次に、成形条件が基材伸張に与える影響を調べた。スタンピング成形は冷却と形状賦形が同時に進むため、成形条件の制御が重要である。装置の改造等を伴わず現場で調節できるパラメータとして、成形面圧および金型温度がある。成形面圧は材料を押し潰す力であり、単位面積当たりの荷重である。例えば、直径 150mm の CFRTP シートを 100t でプレスした場合、CFRTP シートの面積は πr^2 より 177cm^2 であるから、面圧は、

$$100,000 \text{ (kg)} \quad / \quad 177 \text{ (cm}^2\text{)} \quad = \quad 566\text{kgf} \quad / \text{cm}^2 \quad = \quad 55.5\text{MPa}$$

となる。すなわち、面圧はプレス荷重を設定する事で容易に制御できる。

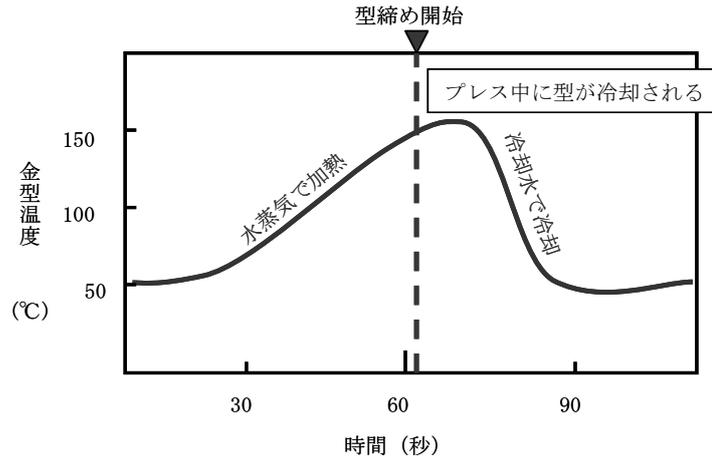
面圧と伸張率の関係を図②-1-16 に示す。変曲点があり、高圧領域で伸張率の向上がやや鈍化するが、飽和傾向は見られなかった。すなわち、高圧を加えればより伸張率も大きくなる。ただし、基材の面積が広くなれば、同じ面圧を付与するために必要となるプレスの t 数が増す。従って、大面積の外板を狙う場合は、面圧による賦形性の改善には限界がある。



図②-1-16 面圧と伸張率の関係

次に、金型温度について検討した。金型温度は、前述のように成形品の品位に影響が大きく、等方性中間基材では 120°C が望ましい。一方で PP の融点より十分低くないと、冷却固化が進まず脱型ができない。従って検討できる範囲は 120~165°C (PP の融点) であり、融点近傍での脱型は非現実的なため、検討可能なウィンドウは狭くなる。まず、金型温度を 150°C として伸張率を評価したが、型締め時間 1 分では冷却が不完全であり脱型できなかつた。

金型温度が成形品外観に影響を及ぼす事は射出成形でも知られており、外観の改善手法として近年ヒート&クール成形が実用化されている。ヒート&クール成形における加熱・冷却法には様々な種類があるが、成形サイクル 1 分に見合うのは、水蒸気を利用した冷却部分を制御する手法である。これは、型締め開始時は金型を水蒸気等で高温に維持し、水等の冷媒を金型に通して型締め中に急速冷却する技術である (図②-1-17)。これをプレス成形に応用すれば、型締め時間 1 分での脱型が可能である。



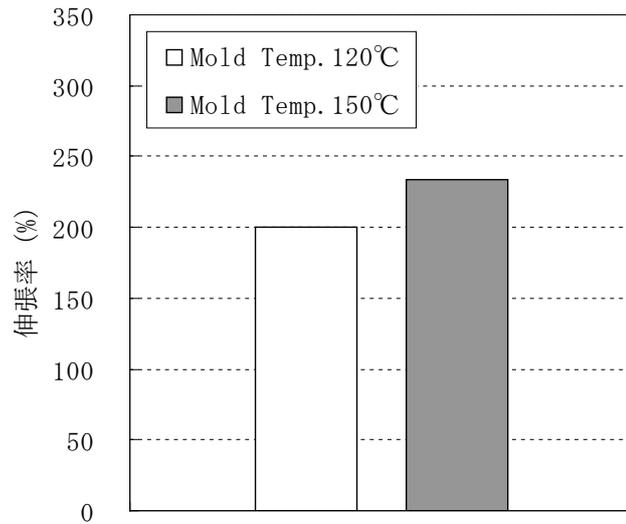
図②-1-17 ヒート&クール成形における時間と金型温度の関係

そこで、「ヒート&クール検討装置」(図②-1-18)を用い、曲げ強度が安定する繊維長において、金型温度を 150°C から冷却させた場合の伸張率を調べたところ(図②-1-19)、17%の向上が見られた。

また、凹凸モデル形状で成形を行ったところ、ヒート&クール成形品では明確な外観の改善が見られた(図②-1-20)。通常の成形品では、表面外観がやや白濁し、微細なシワが観察されたが、ヒート&クール成形品では、これらが消失している。ヒート&クール成形では金型接触部での樹脂の固化を遅らせるため、より表面近傍での形状賦形が進みやすくなったためと推測される。一方で、ヒート&クールは金型を急速加熱・冷却するというプロセスの性質上、消費電力が大きくなる。等方性中間基材の成形品は GMT 等の既存の FRP プレス成形品と比較すると外観に優れる。本技術は、部材の目的に応じて適宜選択すればよい。



図②-1-18 ヒート&クール金型



図②-1-19 ヒート&クール成形の伸張率への影響

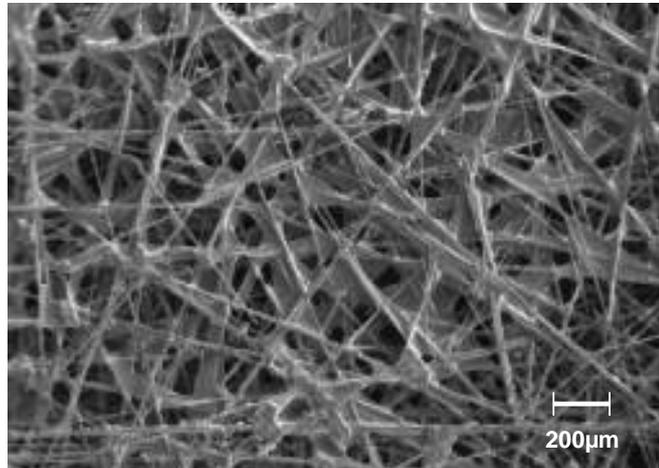


図②-1-20 ヒート&クール成形の外観への影響
(左：通常の成形品 右：ヒート&クール成形品)

以上、材料および成形における各パラメータが基材の伸張率に与える影響を調べた結果、等方性中間基材の伸張率は、繊維長、Vfおよび成形面圧に強い影響を受ける事がわかった。プレス成形において材料を押し広げる力は剪断力と考えられる。この場合、繊維同士の摩擦によるネットワークの拘束が、伸張率に影響を与える可能性がある。

図②-1-21 に、等方性中間基材の炭素繊維部分の、顕微鏡写真を示す。繊維は単繊維レベルで分散しており、各繊維が他の繊維と多数接触して緻密なネットワーク構

造を形成しているのが分かる。プレス成形時は、マットは上からの強い押し付けを受けながら、水平方向に流動しなければならない。この条件下では、繊維同士の接点は水平方向の流動に対して摩擦を生じると推測される。すなわち、繊維の接点数がシートの伸張に影響すると考えられる。



図②-1-21 炭素繊維マットの拡大写真

繊維の接点数は、Kallmes らの論文によれば、次式で表される。

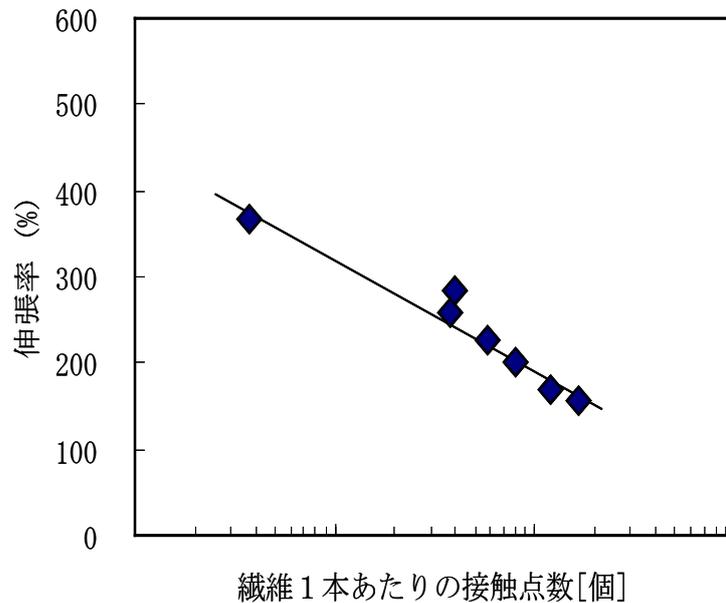
$$\nu/N = \frac{N\lambda^2}{\pi A} = \frac{8\lambda}{\pi^2 D} V_f \quad (2.1-2)$$

(ν はマットの総接点数、 N は繊維本数、 ν/N は繊維 1 本あたりの接点数を表す)

λ は繊維長、 D は繊維直径を表す。 λ/D は繊維のアスペクト比であるから、繊維 1 本あたりの接点数は、アスペクト比と V_f に比例する事が分かる。これまでの実験における CF RTP シートに関し ν/N を計算し、伸張率との関係をプロットしたものが図②-1-22 である。 ν/N の対数を横軸にとった場合、伸張率との間に良好な相関がある事が分かった。すなわち、伸張率は繊維長と V_f の関数としてとらえる事ができ、シートの設計段階で伸張率は概ね推定可能である事がわかった。

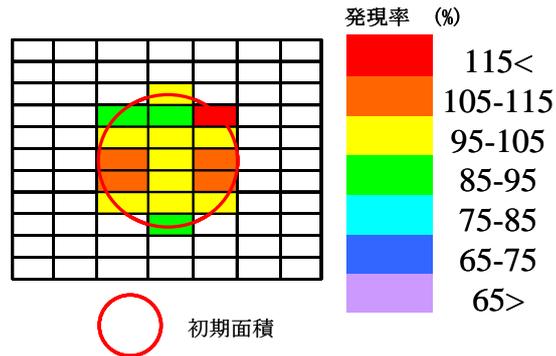
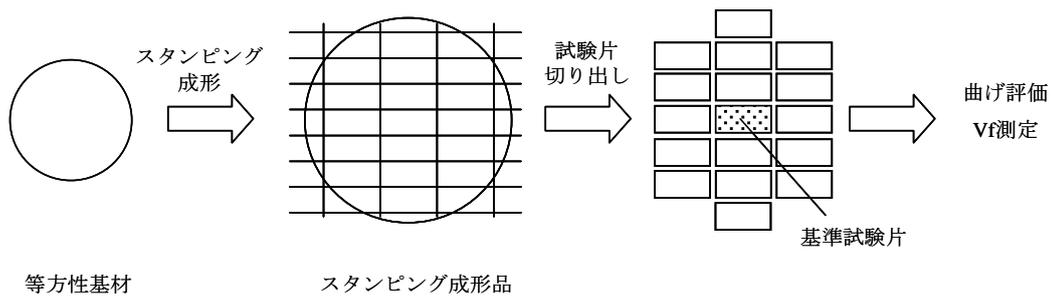
これまでのシート状基材では、プレス成形時の圧延挙動は経験的に取り扱われ、定量的な解析は行われてこなかった。これは、従来のスタンピング成形向け材料である GMT が、繊維長および繊維の分散度合いが不均一であり、解析自体が不可能であった事もあるが、成形検討自体が現場での試行錯誤による傾向が強い事も一因である。均一性の高い等方性中間基材の創出により、材料の流動挙動を定量的に解

積する事が可能となった。



図②-1-22 繊維接点数と伸張率の関係

次に、円板形状において、成形前後の機械特性を評価した。具体的には、スタンピング成形前後の材料から、図②-1-23 に示すように、格子状に試験片を切り出し、曲げ強度を評価した。ただし、強度評価は、絶対値ではなく相対値を用いた。成形品の厚さは、伸張率に依存して変化する。伸張率が高くなった場合、基材厚さが薄くなり、曲げ試験ではたわみ量が大きくなる。たわみ量が大きくなると、曲げ強度の絶対値は、正しく計算されなくなる（JIS や ASTM の基準からも逸脱する）。そこで、円板中央の試験片の曲げ強度を基準とし、各試験片の曲げ強度を、強度発現割合で相対比較した。曲げ強度は繊維配向の影響を受けるため、繊維が流動して曲げ方向に対し 0° に配向すれば、強度発現率は高くなると推測される。一方で 90° 方向ならば強度発現率は低くなる。測定結果は、強度発現率として色別にマッピングし、視認できるようにした。成形品中央の試験片とほぼ同じ曲げ強度を示すものは黄色で表し、それよりも高く出るものは赤色で、低くなるものは緑～青色で表現した。よって、マップに赤や青色が多い場合、成形品は強度ばらつきが大きいことになる。また、樹脂のみが流動したり、繊維がかたまって流動したりした場合は、強度ばらつきが大きくなるだけでなく、Vf のばらつきも発生する。そこで、全ての試験片において同様に Vf の測定も行った。材料には、Vf=20%の等方性中間基材、Vf=20%の短繊維ペレットから作成したシート（短繊維シート）、Vf=21%の GMT を用いた。成形条件は、圧延挙動検討の標準条件であった、面圧 15MPa、金型温度 120°C 、型締め時間 1 分を適用した。

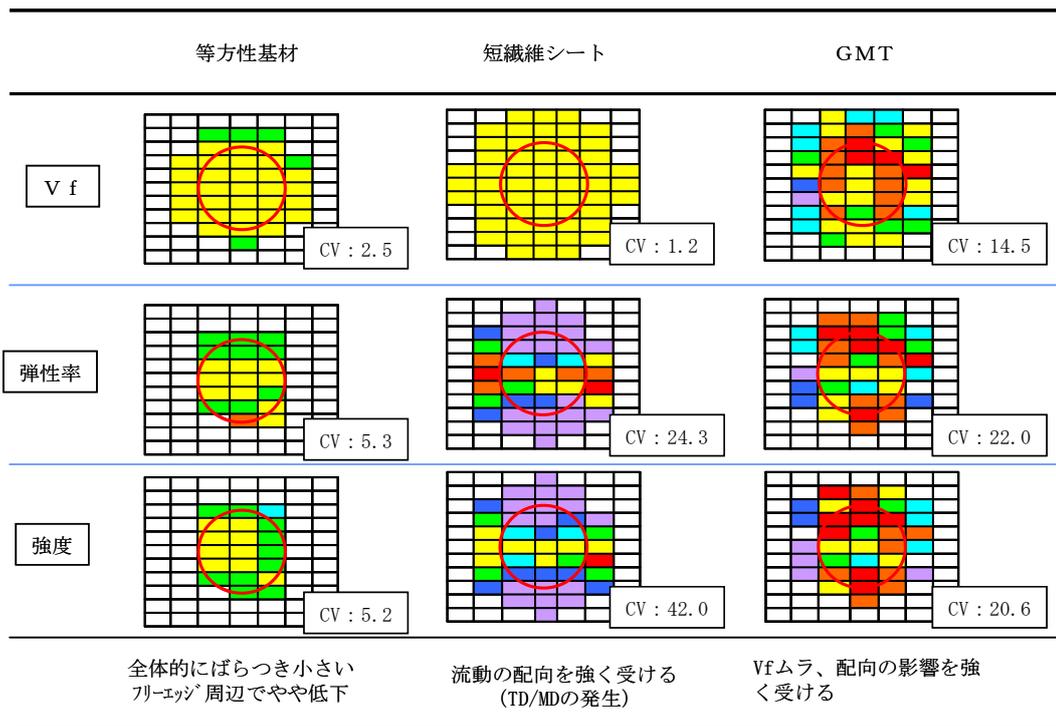


図②-1-23 円板状成形品の強度分布測定

評価結果を図②-1-24 に示す。上段は Vf、中段は弾性率、下段は強度のマッピングである。ばらつきを表す指標として、色別のマッピングに加えて、変動係数 (cv 値) も併記した。等方性中間基材の Vf は概ね均一だが、伸張末端部でやや低くなる傾向が見られた。弾性率および強度もほぼ同様の傾向が見られた。cv 値は 2.5～5.3%と安定しており、均質性は高い。

短繊維シートはよく流動し、Vf の均一性も良好であった。これは、樹脂の流動に合わせて繊維が均一に分散したためである。一方で弾性率および強度には、明確な配向が観察された。円板の上下に当たる扇形の領域で曲げ強度および弾性率が低く、左右では高くなった。これは、射出成形材料で見られるような、繊維配向の影響が大きく出た事を示唆する。この結果は、後述する円板形状の流動解析で得られる剪断力ベクトルの解析結果からも理解できる。試験片は全て同一方向に切り出しているため、円板の左右方向に切り出した試験片では長手方向に繊維が配向 (0° 配向) し、上下方向では長手方向直角に配向 (90° 配向) する。短繊維シートの曲げ特性は、この異方比 (TD/MD 比) の影響を受けていると考えられる。

GMT も、等方性中間基材と比較してよく流動した。一方で Vf、弾性率および強度のばらつきは大きく、変動係数は等方性中間基材の 4 倍程度となった。また、特段の配向も観測されず、規則性のないばらつきと解釈できる。

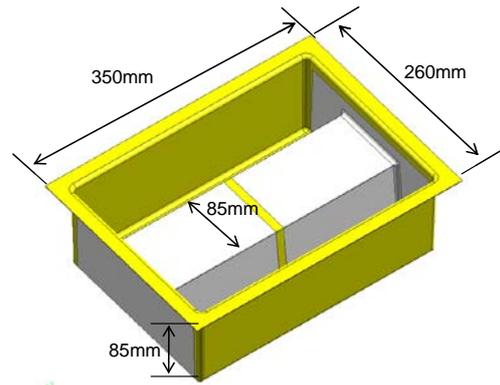


図②-1-24 スタンピング成形後の基材の特性分布

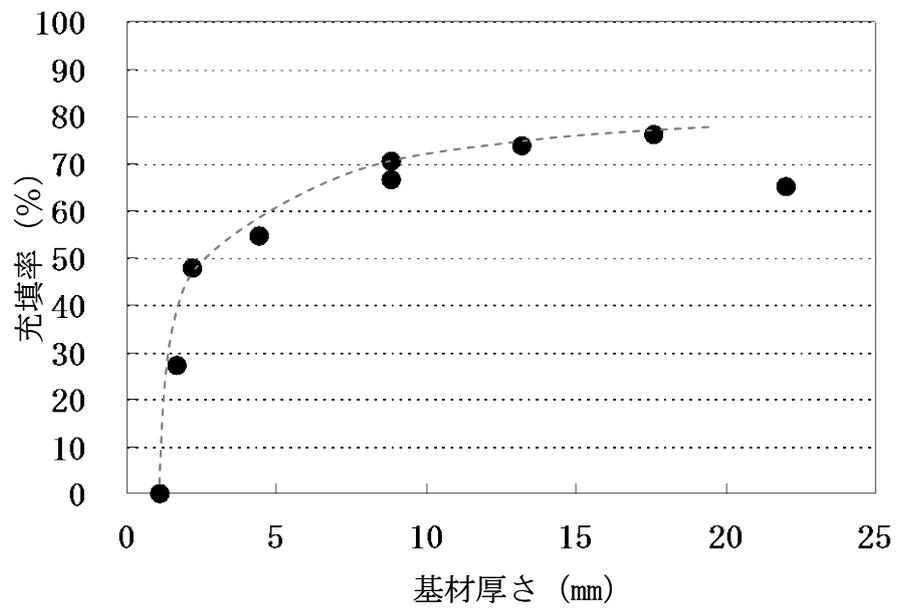
(b) 要素形状（面外）

プレスにおける流動成形において、90° 立ち壁の成形は最も難しい。プレス成形では上下動のみで形状賦形するため、面内方向の流動には速やかに圧力が付与される。一方で、面外方向には、面内方向の充填が完了しないと、圧力が付与されない。90° 立ち壁の賦形性につき、「複雑形状成形用金型（カセット型）」（図②-1-25）にて検討を行った。カセット型は図に示す深さ 85mm の 4 辺立ち壁形状を有し、幅部分の厚さは入れ子で調節できる。

天板部分に等方性中間基材をセットし、面圧を 25MPa に固定して、立ち壁の充填度から面外方向の充填率を算出した（図②-1-26）。基材が薄い場合、金型との接触により材料が速やかに固化し、立ち壁への充填は観測されなかった。立ち壁長辺側の中央部分が最も深くまで充填し、短辺側の充填が最も浅かった（図②-1-27）。後述する研究開発項目②-1-1-3 の流動解析にて、この現象は説明されている。すなわち、天板の重心に最も強い圧力がかかるため、重心から近いフリーエッジでの基材伸張の速度ベクトルが大きくなり、固化までに伸張する基材の量が多くなる。逆に、重心から最も遠い角の部分は充填されにくい。



図②-1-25 複雑形状成形用金型（カセット型）

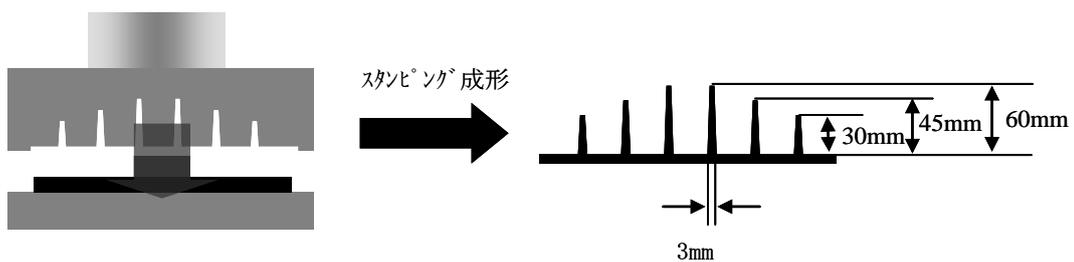


図②-1-26 基材厚さと立ち壁への充填率の関係

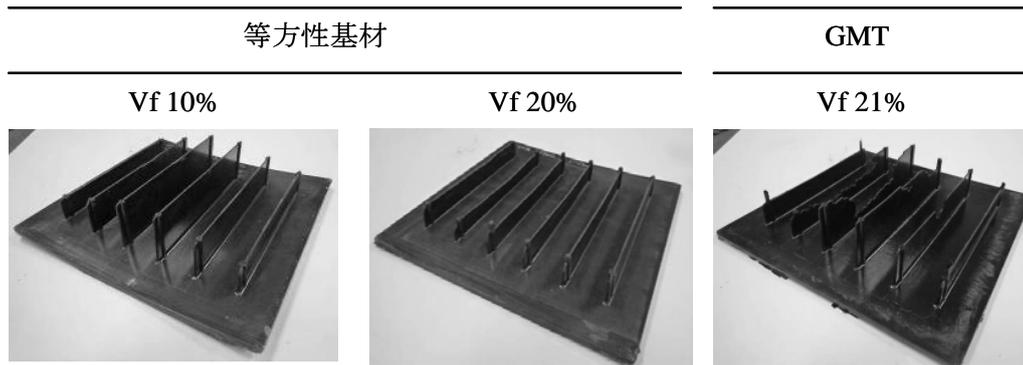


図②-1-27 立ち壁充填の様子（充填率 65%）

また、面外方向への充填については、リブ形状でも検討を行った。図②-1-28 に示すような 30、45、60mm のリブを含む要素形状型を用い、リブの賦形性を検証した。比較対象として、Vf21% の GMT（市販品）についても検証した。金型温度 120°C、面圧 15MPa におけるリブ充填の様子を図②-1-29 に示す。Vf=10% の等方性中間基材では、高さ 60mm のリブの先端まで材料を充填できた。一方で Vf=20% では、高さ 30mm 程度が限界であった。GMT は充填高さが不均一で、Vf=20% の等方性中間基材よりも充填は良好であったが、リブ中央部分を中心に、欠けが多く見られた。また、リブ部の繊維充填不良が目視で確認できた。

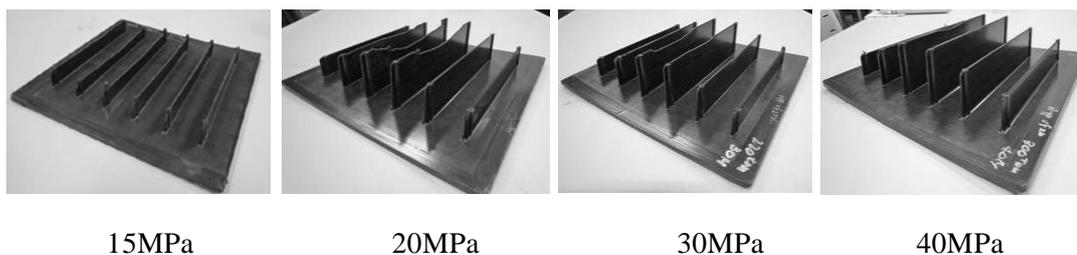


図②-1-28 リブ要素形状型



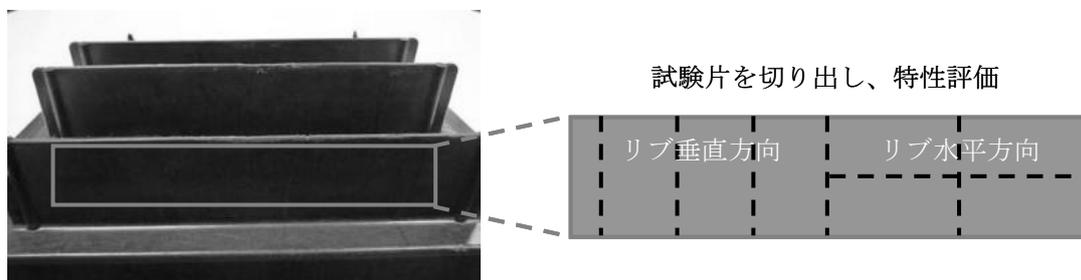
図②-1-29 リブ充填の様子

Vf=20%品が 60mm のリブ充填に必要とする条件を見積もるため、成形圧力を上げて賦形性を調べた。その結果、40MPa で完全充填できることがわかった（図②-1-30）。面内方向の伸張と同様に、面外方向でも Vf の影響が強く出ることを確認した。



図②-1-30 Vf=20%の等方性中間基材における、リブの充填能力

次に 60mm のリブから、高さ方向（リブ垂直方向）および長さ方向（リブ水平方向）の試験片を、図②-1-31 に示す形式で切り出した。基材の伸張方向がリブ垂直方向、伸張方向から直角のものが、リブ水平方向となる。

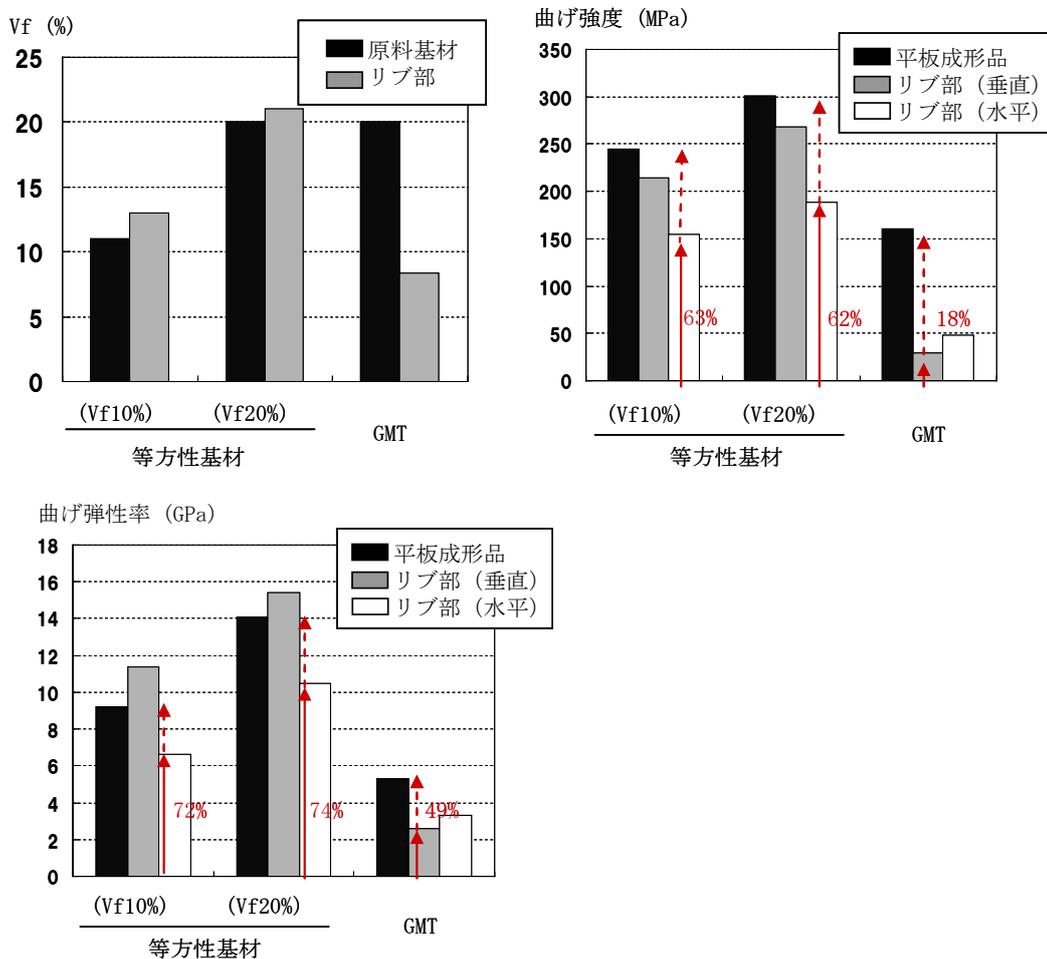


図②-1-31 リブ形状からの試験片の切り出し

リブから切り出した試験片について、Vf の測定および曲げ試験を行った。結果を

図②-1-32 に示す。等方性中間基材を用いた成形品では、 $V_f=10\%$ 、 20% ともに、リブ部の V_f は中間基材の V_f とほぼ同等であり、リブへの繊維の充填は良好であった。一方 GMT では、リブ部の V_f は原料の半分以下となっており、樹脂リッチであった。

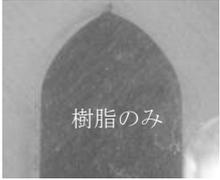
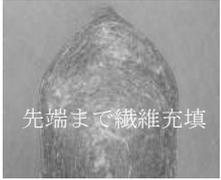
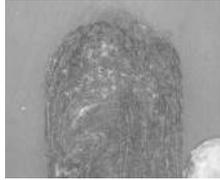
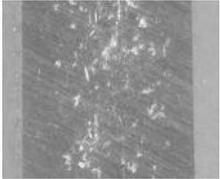
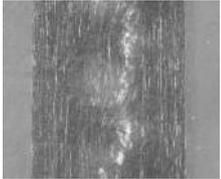
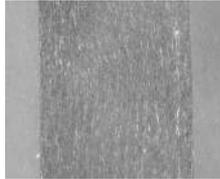
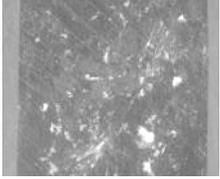
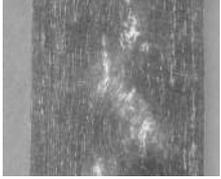
リブ部の曲げ強度および弾性率は、平板と比較して低下した。前述のように、リブのようにプレス平面に対し垂直に存在するキャビティでは、プレスの圧力が伝わらず、加熱軟化時に含んだ気泡を積極的に排出する力が著しく弱くなるため、ボイドを形成しやすくなる。ただし、等方性中間基材では曲げ特性の低下は比較的小さく、最弱部であるリブ部水平方向でも、原料対比 $60\sim 70\%$ 程度を維持した。これらの結果から、等方性中間基材の均質性は、成形後でも他材対比優れていることがわかった。



図②-1-32 リブ部分の V_f および力学特性

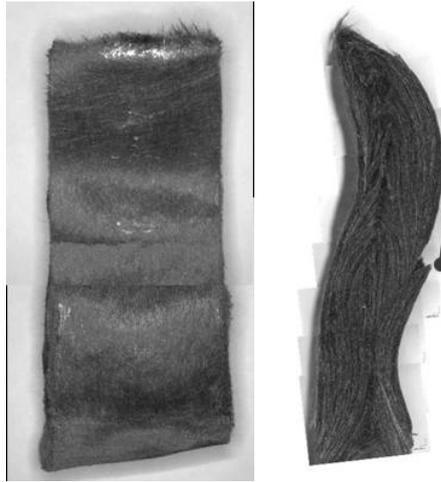
リブ部断面の顕微鏡写真を図②-1-33 に示す。写真中、白く見える部分が繊維である。GMT では、リブの先端はほぼ樹脂のみであり、根元から中間にかけて繊維が散在している事が分かる。すなわち、幅の狭いリブ部には繊維が充填されにくく、樹脂のみが先に流れている。一方で等方性中間基材では、炭素繊維マットがリブ部先

端で折り返している。これは、マットがその形状を維持したまま、両側から絞り込まれるようにしてリブに押し込まれた事を示唆している。

	GMT [Vf20%]	等方性基材 [Vf10%]	等方性基材 [Vf20%]
先端 [60mm]	 樹脂のみ	 先端まで繊維充填	
中間 [30mm]			
根元 [10mm]			

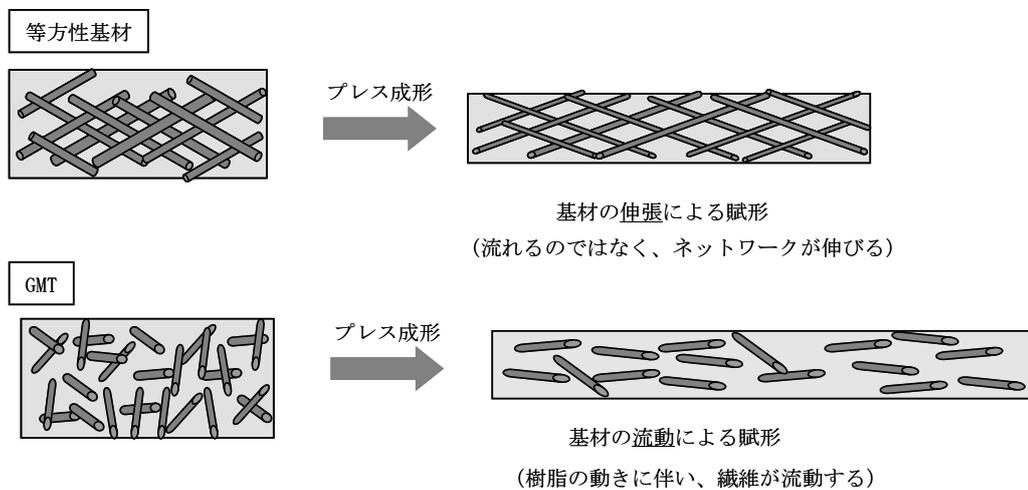
図②-1-33 リブ部分の断面拡大写真

リブ内部の炭素繊維マットの状態をさらに精査するため、Vf=20%のリブ垂直方向の試験片について、電気炉で500°Cに加熱して樹脂を焼き飛ばし、炭素繊維マットの形態を観察した(図②-1-34)。図の左側が長さおよび幅方向、右側が厚み方向を表す。厚み方向のものが、図②-1-33と同じアングルからの写真となる。リブ先端で炭素繊維マットが折り返している様子が、より明瞭に観察される。これらの観察結果から、炭素繊維マットはネットワークを維持したまま、リブ形状に充填したといえる。



図②-1-34 リブ形状内の炭素繊維マットの様子

以上の結果から、等方性中間基材のスタンピング成形時の挙動は、GMT とは大きく異なる事が明らかとなった。すなわち、等方性中間基材では、プレス成形時にも繊維のネットワークは維持され、これが伸張する事で形状が賦形される(図②-1-35)。従って、水平方向、垂直方向いずれにも繊維がよく充填され、成形品が高い均質性を示す。一方 GMT では、樹脂の流動に合わせて繊維が個別に流動するため、流動性には優れるが成形品の均質性に劣ると考えられる。



図②-1-35 等方性中間基材の形状賦形挙動

(c) トリミング同時成形

プレス成形において、歩留まり 100%のプロセスが理想的である。しかし、現実には自動搬送装置での把持部分や、シアエッジ周囲のバリなどがあり、トリムレスのプロセスはきわめて難しい。プレス成形では、トリミングは通常別プロセスで行うが、プレスと同時にトリムができれば、工程短縮につながる。そこで、「複雑形状

成形用金型（プレス-トリミング一体型）」（図②-1-36）により、プレス成形と同時にトリミングを行う機構の開発を試みた。



図②-1-36 複雑形状成形用金型（プレス-トリミング一体型）

カセット型での検討実績から、立ち壁には 2° の勾配をつけ、形状賦形時に一定の圧力がかかる構造とした。トリムは、材料のプレス後にカッター刃を下ろしてシア部で切断する機構とした。同時トリムした成形品を図②-1-37に示す。バリ等は見られず、切断面の品位は良好であった。トリミングは瞬時に行われるため、サイクルタイムへの影響もない。

本検討で同時トリムのコンセプトが有効である事がわかった。ただし、トリムにおいては耐久性が重要なファクターであり、量産時のトリム機構およびトリム刃の耐久性については、精査および改良が必要である。



図②-1-37 プレス／トリム同時成形品

B. 複雑形状の成形

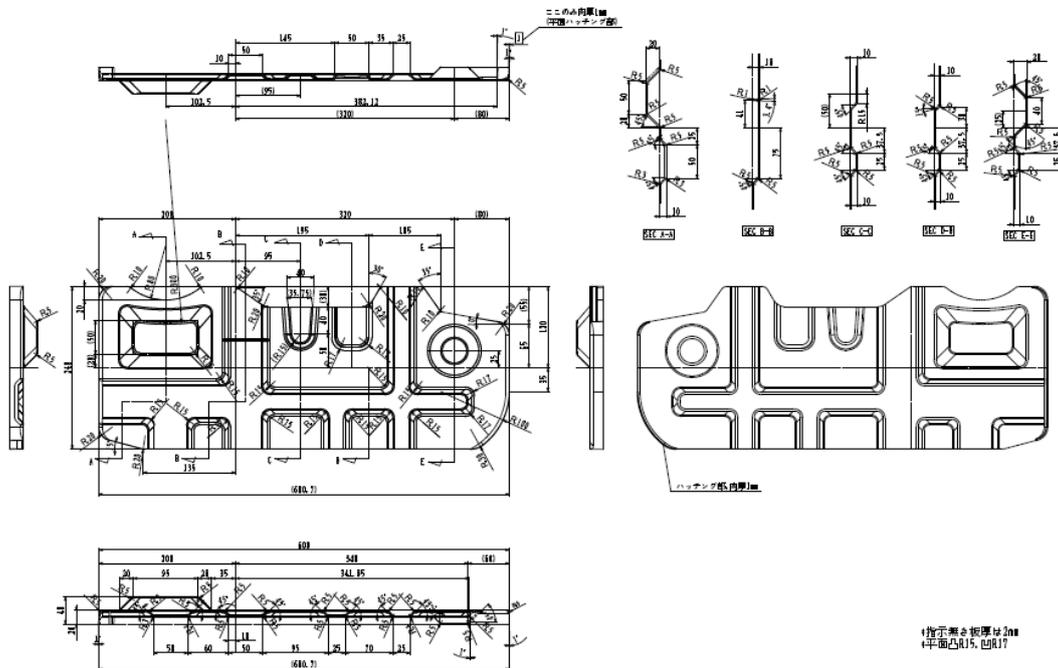
(a) 複雑要素形状

Aの(a)および(b)項で示した単純要素形状への賦形性検討と並行し、要素形状を組

み合わせた複雑要素形状の成形検討を行った。スチールでは成形困難な絞り、凹凸局面形状を複数組み込んだ金型を設計（図②-1-38、39）し、複数の要素を組み合わせた、実部材を模した形状について成形検討を行った。金型温度 120°C、型締め時間 1 分に設定し、プリフォーム形態や面圧を制御して形状賦形検討を実施した。要素形状で得られた知見を活用し、目的とする部材を、型占有時間 90 秒以内（型締め 1 分+基材セットおよび脱型（手作業）で約 15 秒=75 秒）で成形することに成功した。本金型は、改造によりリブ部を追加し、その成形にも成功した（図②-1-40）。

また、形状賦形検討においては、面圧や温度制御に加え、配置から型締めまでにかかる時間（プラテンの降下速度）や、型締め中の圧力バランスなどが重要であることもわかってきた。CFRTP の成形に特化した装置改良の余地は残されており、今回の知見を組み込めばさらなる高速化が可能と考える。これらの装置開発は欧州が進んでいる。熱可塑性 CFRP の市場形成が遅れているのが背景であるが、今後、川中取り込みを推進する場合、本領域の開発を加速する必要がある。

なお、型占有時間は、部材形状に強く依存する。複雑要素形状型では、厚さ 1mm のスチールとの等価剛性となる設計とした。スタンピング成形では、金型表面から材料が冷却されるため、部材の厚さが大きい場合や、大きな偏肉構造を持つ場合は、必然的に型締め時間が長くなる。一方で外観不問であれば金型温度を下げる事も可能で、この場合は型締め時間を短縮できる。部材の要求特性に応じて、最適な形状、材料スペックおよび成形条件を選択する必要がある。





図②-1-39 複雑形状成形用金型



絞り

凹凸曲面

リブ

箱型形状

図②-1-40 複雑要素形状成形品

(b) モデルルーフ形状

最後に、モデルルーフ形状の成形検討を行った。自動車のルーフ構造を模した、立ち壁を有する曲面形状である。プレス装置のプラテンサイズの制約から、1/4スケールに縮小したものを設計した（図②-1-41）。基材伸張の傾向は、カセット型の検討時と同様、プリフォーム重心からの距離が短いところが優先的に伸張した（図

②-1-42 左)。成形条件やプリフォームの制御により、目的とする立ち壁を有する形状賦形を、型占有時間 75 秒で行うことに成功した (図②-1-42 右)。



図②-1-41 自動車用モジュール部材成形検討用金型



図②-1-42 モデルルーフ成形品

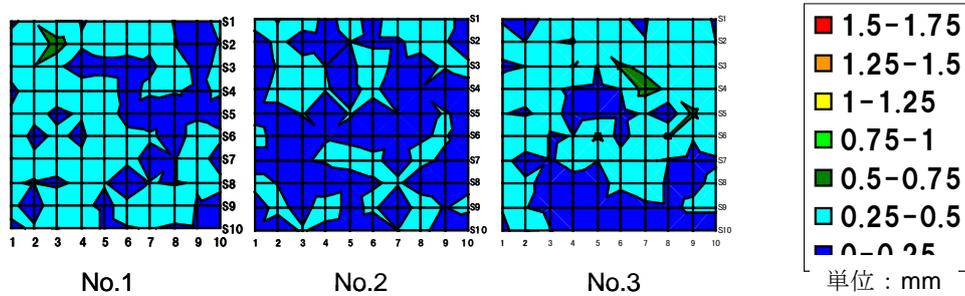
(左： 初期成形品 右： 成形条件を調整したもの)

以上、要素形状、要素形状の複合体ならびにモデル部材形状を用い、等方性中間基材の成形ウィンドウならびに形状賦形時の特徴を明らかとし、スタンピング成形の基盤技術を確立した。

C. 反りの測定と矯正

FRP の成形において反りの制御は不良品の発生率を抑える観点から重要である。等方性中間基材は均一性に優れるため、成形品の反りに関しても優位性があると推測される。まず、平板スタンピング成形品に関し、レーザー変位計にて反りの測定を行った。同一の条件で測定した 3 枚の平板 (30cm 角) について、基材を等間隔に 100 等分し、それぞれの格子の高さを測定した (図②-1-43)。全体のなかで最も低いゼロとし、そこからの差分を色別に分けてマッピングしている (単位 mm)。いずれの成形品も、

最も高低差のある部分でも、0.75mm 未満に収まっており、FRP としては極めて均質性に優れていた。上下の金型温度を意図的に変えて（上型 120℃、下型 60℃）積極的にゆがみを発生させる検討も行ったが、その場合でも変位量は 1mm 未満であった。



図②-1-43 平板の高さ変位量

次に、前記 B の(a)項で検討した複雑要素形状型に関し、「反り矯正ジグ」(図②-1-44)を作製し、矯正前後での変位量を測定した。具体的には、材料重心部分を基準点とし、絞りや凹凸形状部の変位量を測定して、矯正前後で金型寸法との整合性の変化を見た(図②-1-45)。しかしながら、矯正前の寸法精度が安定しており、矯正後も反りの状況変化は見られなかった。等方性中間基材を使用した成形品では、反りの低減についてもメリットがあることがわかった。



図②-1-44 反り矯正ジグ

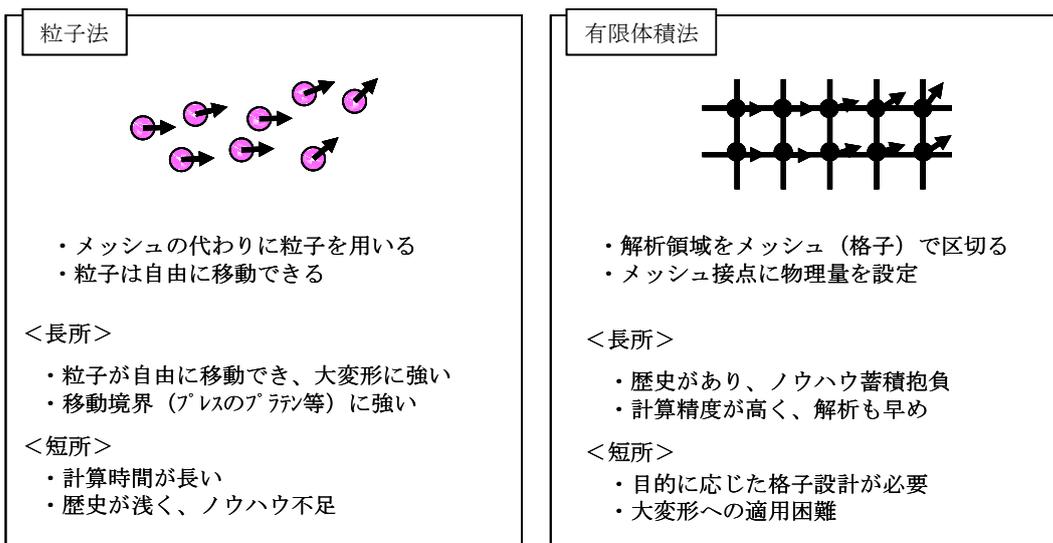


図②-1-45 複雑要素形状品の変位量測定箇所

②-1-1-3 「成形シミュレーション技術」

研究開発項目①-1 で開発する等方性中間基材を用いて、プレス成形のシミュレーションを検討した。本研究開発項目では、成形時の材料の賦形性ならびに賦形時の基材の動きを解析する。また、②-1-1-2 項で得られた成形品の機械特性との整合を検証し、配向を予測する。さらに、実験値からのフィードバックを行い、シミュレーションの基盤技術を確立する。具体的には、連続体の流動挙動を粒子の運動として捕らえて大変形を追跡する「粒子法」と、特定のメッシュに材料を切り分け、メッシュに設定する物理量の変化から形状賦形性を予測する「有限体積法」の2種のアプローチを行った（図②-1-46）。

不連続繊維強化FRPのプレス成形シミュレーションは、既存技術が存在せず、全く新規な取り組みとなる。そこで、各解析手法につき、基盤となる面内方向、面外方向での材料挙動を解析・精査した。



図②-1-46 粒子法と有限体積法

A. 粒子法によるアプローチ

粒子の移動する様子を追跡でき、形状賦形の材料挙動を、より視覚的に追えるメリットがある。一方で最大の課題は計算速度である。図②-1-47に示すように、繊維および樹脂を全て粒子の集合体として表現するため、アスペクト比の大きい材料では、繊維の表現に一定の近似が必要である。また、非定常非圧縮 Navier-Stokes 方程式における中間速度は (2.1-3) 式で表され、式中の粘性項 (右辺第 1 項) の計算は、拡散数による時間刻み幅の制約を受ける。具体的には、 $\Delta t / \text{Re}$ は 0.5 未満である必要がある (式 2.1-4)。

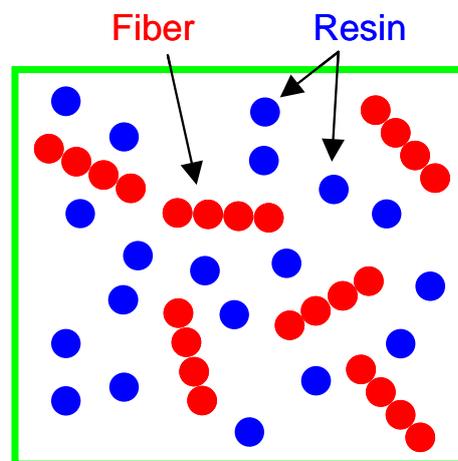
$$\mathbf{u}^* = \left(1 + \frac{\Delta t}{\text{Re}} \nabla^2 \right) \mathbf{u}^k + \Delta t \mathbf{F}^k \quad (2.1-3)$$

$$\frac{\Delta t}{\text{Re}} < 0.5 \quad (2.1-4)$$

ここで、レイノルズ数 Re は次式で表され、粘度に反比例する。

$$\text{Re} = \frac{\rho UL}{\mu} \quad (2.1-5)$$

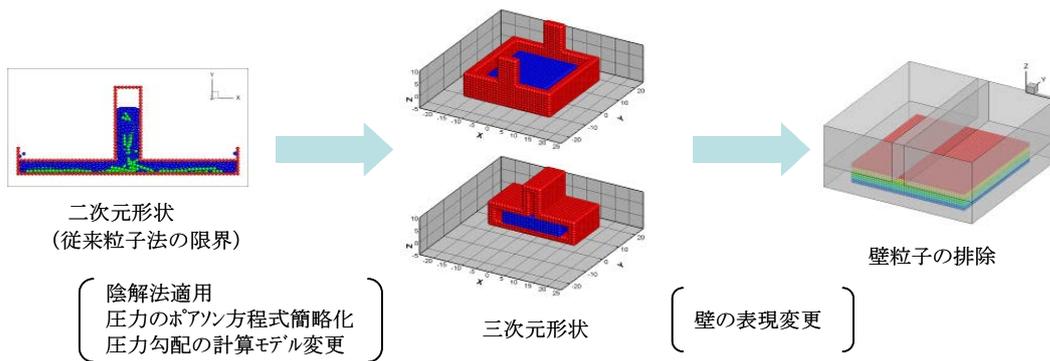
粒子法が通常計算対象とするのは空気や液体の流れである。空気の流れにおけるレイノルズ数 Re は $10^7 \sim 10^8$ 程度である。一方で熔融状態にある FRTP は、熱可塑性樹脂の粘度が高いため 10^{-6} にも達する。これは、式 2.1-4 における分子が著しく小さくなる事を意味し、時間刻み幅の制約が極めて厳しくなる。すなわち、微小時間で切らないと計算が成立せず、莫大な計算コストがかかることになる。



図②-1-47 粒子法における FRP の表現

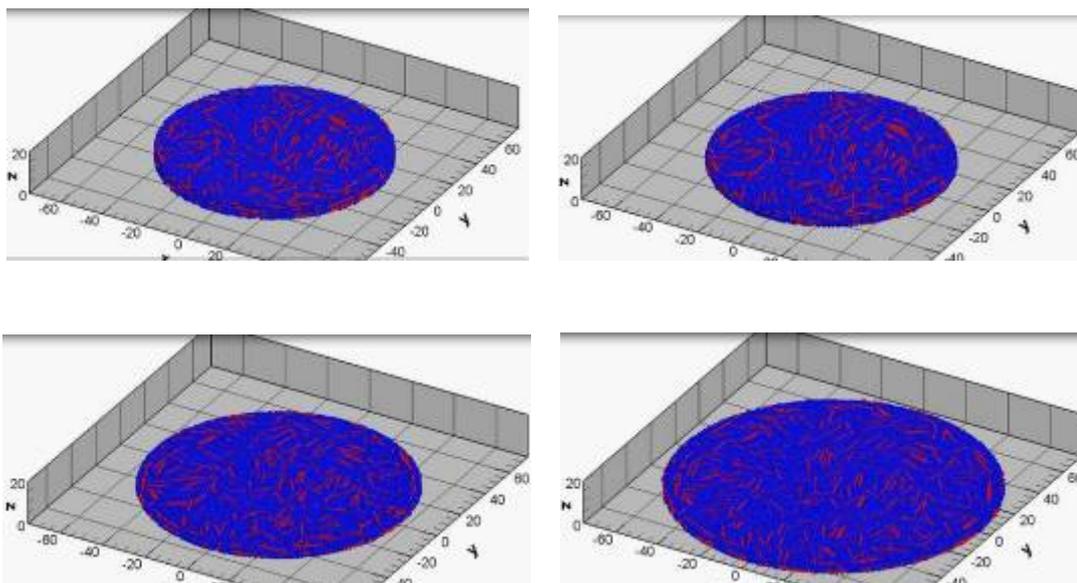
計算コストの短縮において最も単純な方法はハードの処理能力を上げる事だが、投資を伴うアプローチの前に成立性を吟味することが重要である。本材料に適する形でコード作成からの見直しを進め、可能な限りの計算コストの短縮を試みた。

具体的なアプローチとしては、陰解法の適用、圧力のポアソン方程式の簡略化、圧力勾配の計算モデル変更を行った。また、壁粒子を法線ベクトル化により排除した。これらの改良により、計算速度が約 40 倍に向上し、FRP の要素形状における賦形挙動の追跡が可能となった (図②-1-48)。本解析手法を用いて、円板形状およびリブ形状の流動シミュレーションを行った。解析はいずれも $V_f=20\%$ で実施した。

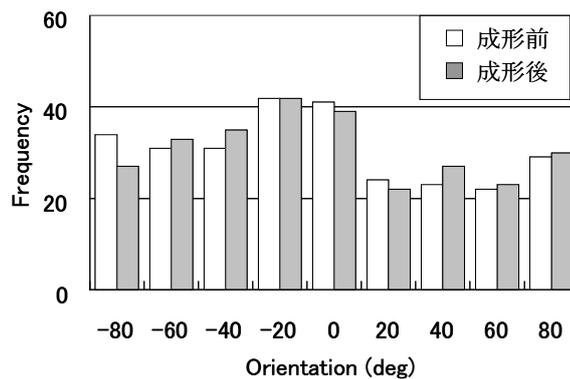
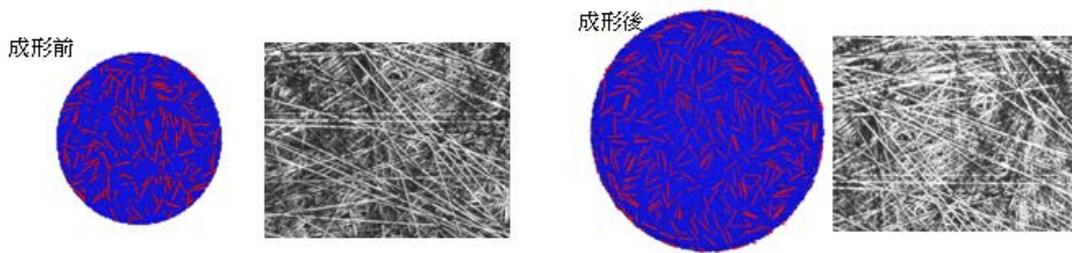


図②-1-48 粒子法における計算手法の改良

円板形状の伸張の様子を図②-1-49 に示す。繊維のランダム配向が維持されたまま面積が拡大していき、円板の面積が拡大した。また、並列して実施した実験で得られた、成形品の拡大写真を図②-1-50 に示す。成形前後でネットワークが維持され、等方性に変化は見られていない。この傾向はシミュレーションで再現できている。

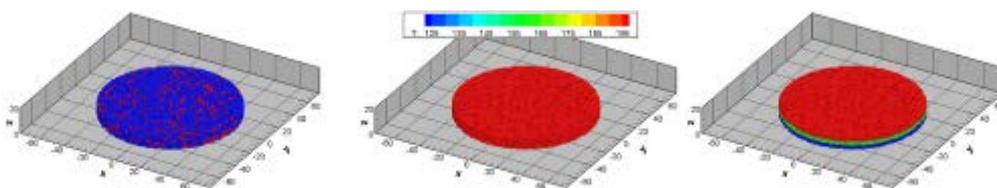


図②-1-49 円板形状の伸張の様子



図②-1-50 円板形状の賦形シミュレーション

本シミュレーションでは、温度変化に伴う固化も解析に組み込んでいる。また、厚さ方向での色分けも可能であり、材料の伸張の様子を視覚的に追う事ができる（図②-1-51）。

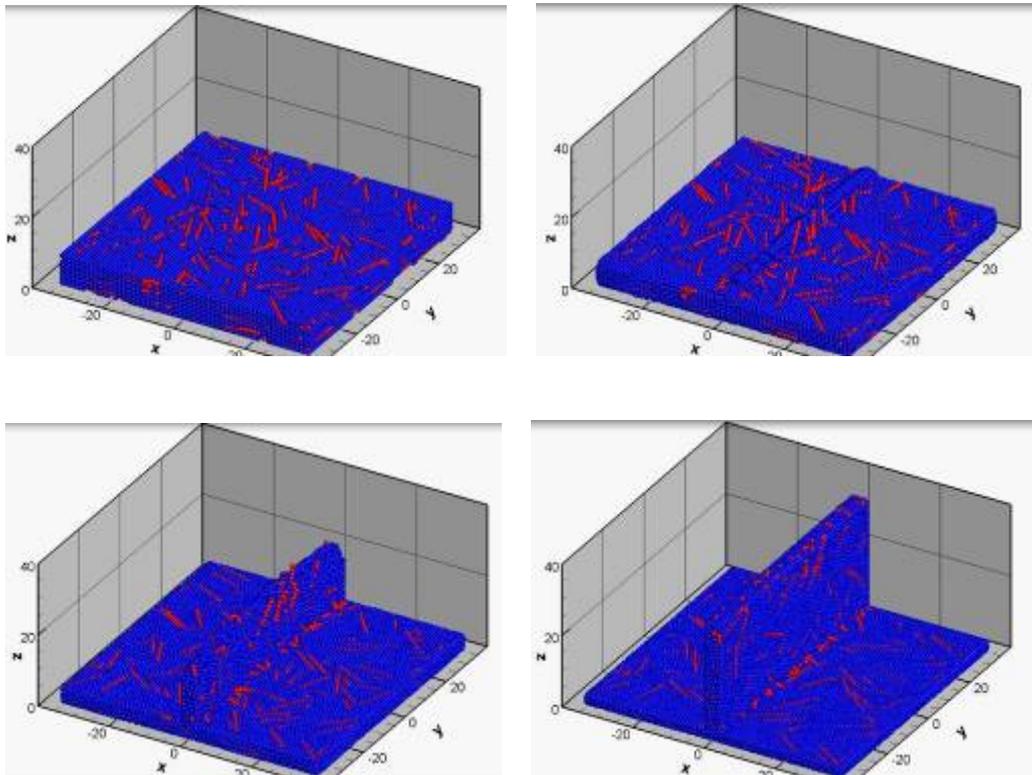


図②-1-51 シミュレーションによる可視化

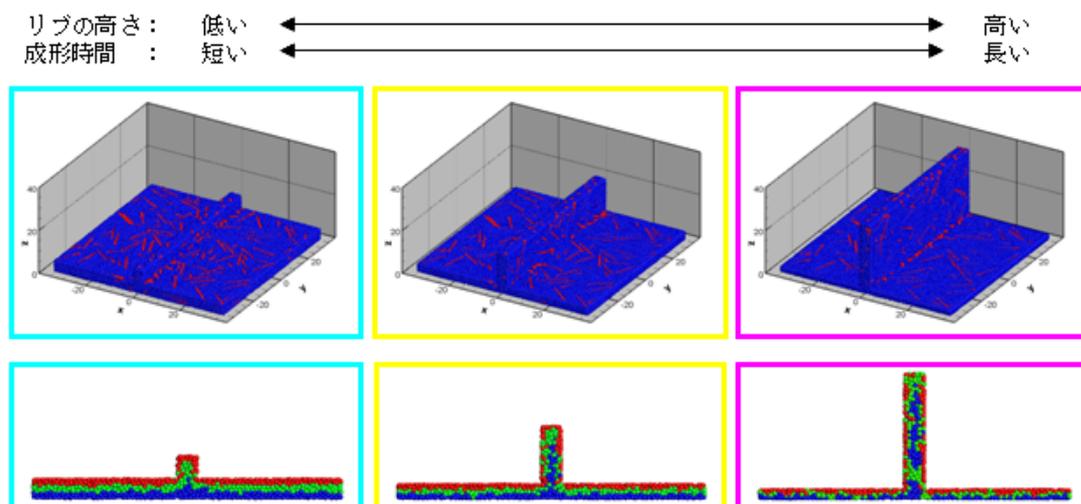
（左： 繊維の可視化 中： 温度の可視化 右： 層の可視化）

面外形状の賦形挙動は、リブ形状のモデルで検証した。リブ形状の伸張の様子を、図②-1-52 に示す。リブの賦形では、両端や中央が先に充填されることはなく、リブ全体が板面と平行に充填される。また、繊維がリブ内部にも充填されていることが分かる。リブの高さを変えた場合の充填の様子を図②-1-53 に示す。図の下側は、高さ方向に色を変え、高さ方向に断面表示したものである。平板の表面が、層を維持したまま

リブに充填されている様子が分かり、これは実験で得られた、炭素繊維マットが折りたたくで充填されている様子（図②-1-33、図②-1-34）を再現した。



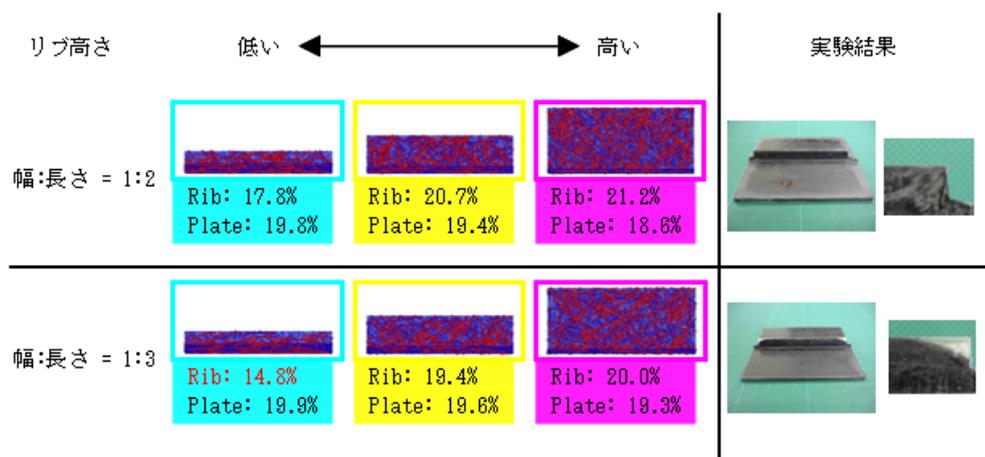
図②-1-52 リブ形状の伸張の様子



図②-1-53 リブの高さの違いによる形状賦形の様子

次に、リブの高さや幅を変えた場合の、繊維充填の様子を追跡した（図②-1-54）。リブが高くなると、リブ部の V_f は平板部よりもわずかに高くなる傾向が示された。

これは、実験結果（図②-1-32）を再現している。また、幅が狭く、高さの低いリブでは、繊維の充填が不十分となる傾向が見られた。幅：長さ比が1：3で高さの低いリブでは、材料のVf=20%に対し、14.8%となり、樹脂リッチとなっている。本解析結果を検証するため、金属ブロックを組み合わせてリブ形状を再現した簡易金型で、幅：長さ比を再現した実験を行った。その結果、幅が狭く、高さの低いリブでは、角の部分への繊維充填不良が見られ、リブ部のVfは15.9%であった。



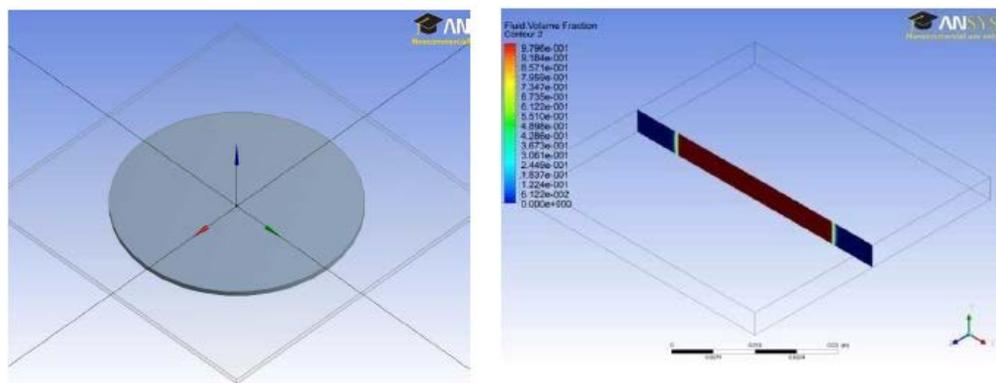
図②-1-54 幅や高さを変えたリブでの繊維充填の様子

以上の検討から、粒子法で要素形状の賦形挙動を追跡できる事が分かった。一方で計算コストの観点から、多くの要素形状を含んだ複雑形状の解析は困難である。部材形状での解析実現には、スーパーコンピュータの活用など、大規模な設備投資が必要となる。また、計算精度の向上には、実験値からのフィードバックを加えた、長期的な解析技術のブラッシュアップが必要となる。

B. 有限体積法によるアプローチ

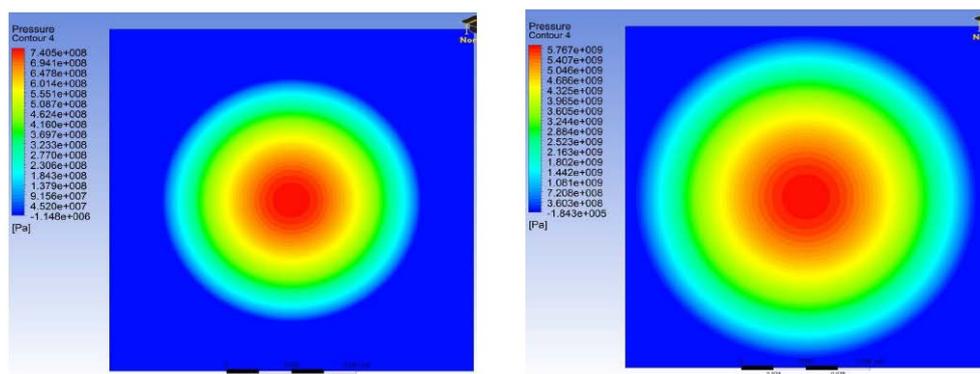
図②-1-35 に示されたように、等方性中間基材は繊維のネットワーク伸張により形状賦形が進み、均一性がよく保持される。従って、繊維の存在を粘性係数の増大と解釈し、高粘度流体単独の流れと解釈することができる。有限体積法では、繊維の混合を粘性係数の調整で近似した。流動の計算は非定常非圧縮 Navier-Stokes 方程式をベースとし、温度変化を考慮するエネルギー方程式を加えた基礎方程式群を使用した。

円板形状の計算モデルを図②-1-55 に示す。空気で充填された直方体内部に円板を設置し、これをプレスしたときの挙動を観察した。右側の図において、赤色部分に材料が充填されており、青色の部分には空気が入っている。



図②-1-55 円板形状の計算モデル

プレス開始時と終了時の圧力分布を、図②-1-56 に示す。色は相対値である。プレス開始時、終了時とも、基材中央の圧力が最も高く、空気と接触する、すなわち自由に移動できるフリーエッジ部分の圧力が低い事が分かる。円板の厚さ方向の圧力分布は、厚さ方向の影響は受けず、一定であった（図②-1-57）。



図②-1-56 円板形状のプレス前後での圧力分布

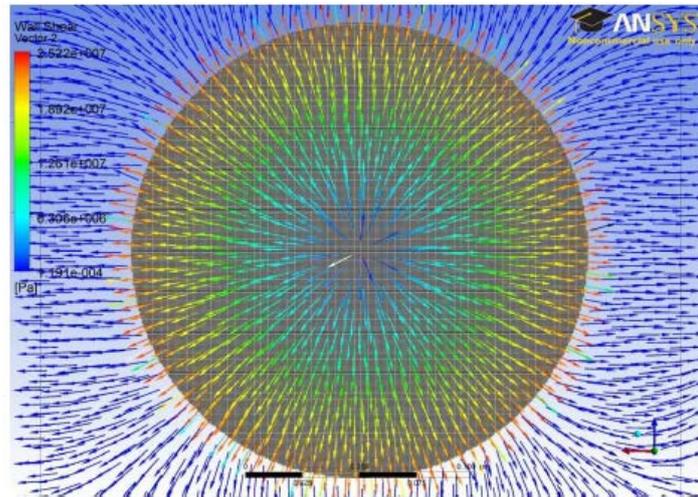


図②-1-57 円板形状のプレス前後での圧力分布断面

プレス開始時の、材料にかかる剪断力ベクトルを、図②-1-58 に示す。矢印の色は剪断力の強さを表す。赤色で剪断力が大きく、青色で低い。フリーエッジ部分に、より高い剪断力が働いているのがわかる。また、ベクトルは円板の中心から放射状に伸びている。この結果は、フリーエッジ近傍での材料伸張が早くなることを示唆する。よって、樹脂の固化を伴いながら形状賦形するスタンピング成形では、成形後の伸張部分に若干の Vf 低下を引き起こす可能性がある。図②-1-24 は、その傾向を表している

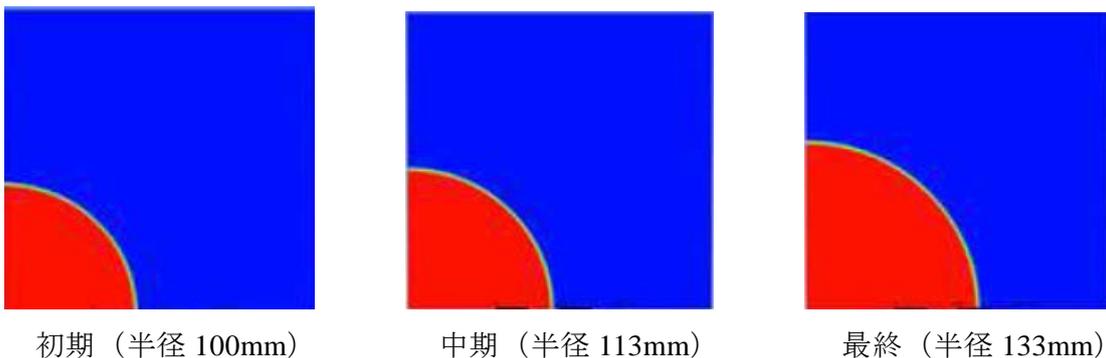
とも解釈できる。

また、中央の圧力が高く、フリーエッジ近傍で剪断力が大きいということは、形状の重心からフリーエッジまでの距離が近いほど、より基材が伸張しやすくなるといえる。カセット型における等方性中間基材の伸張の様子は、この性質を反映したものと考えられる。



図②-1-58 円板形状にかかる剪断力ベクトル

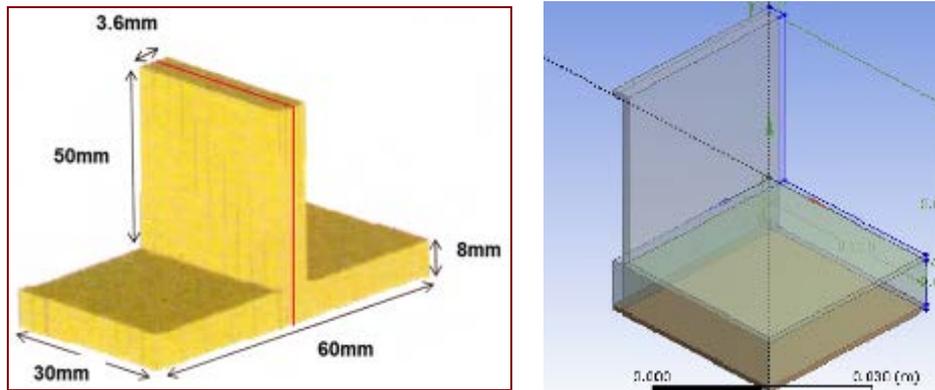
上記のように円板形状は左右、上下対称に伸張するため、解析モデルを1/4とすることができる。プレス成形による圧延の様子を図②-1-59に示す。成形初期から円板形状を維持したまま、拡大している事が分かる。伸張率を計算すると176%であり、実験結果に近い数字となっており、コンセプトの妥当性は示された。ただし、ロバスト性を確保するためには、シミュレーションソフトのさらなる作りこみが必要である。



図②-1-59 円板状基材の伸張の様子

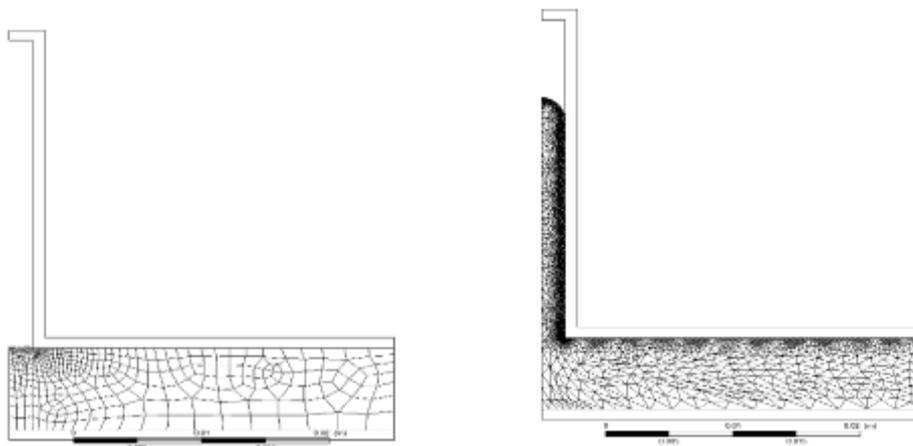
面外形状への賦形は、図②-1-60に示すリブ形状を解析対象とした。成形対象が左右対称となるため、半分の形状で解析を行った。Vf=20%相当の粘度を有する基材につ

いて、面圧を 15MPa とし、金型温度を 120℃として冷却挙動も追跡している。



図②-1-60 面外圧延挙動の解析対象

成形開始および終了時のメッシュの状態を図②-1-61 に示す。メッシュは、変形が大きい部位や屈曲のある部分は細かく設定した。材料の伸張に伴ってメッシュの細分化、変形、リメッシュを行っている。なお、面圧 15MPa ではリブ先端への材料充填前に固化が完了した。



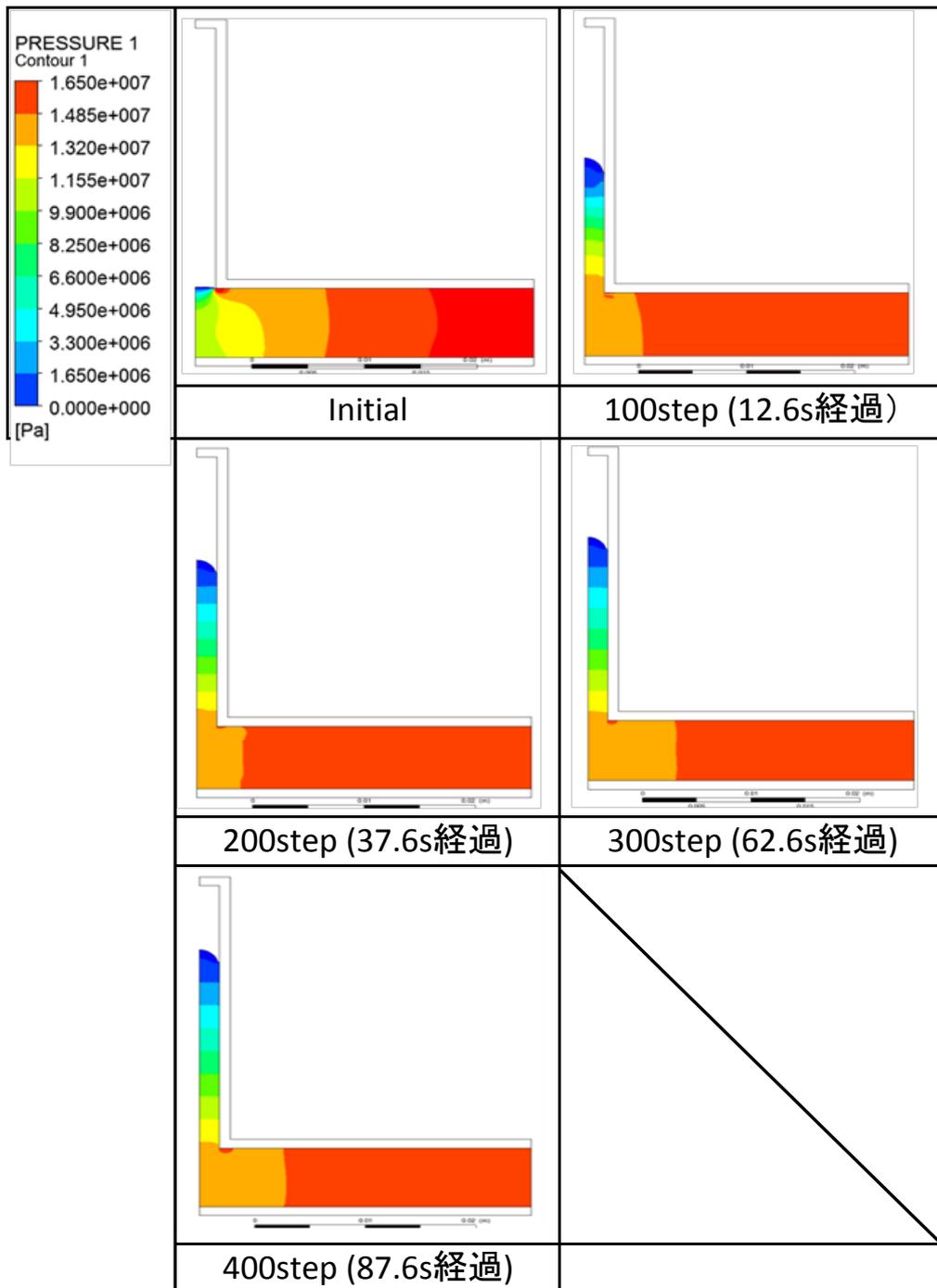
図②-1-61 成形開始時と完了時のメッシュの状態

リブ成形における、圧力分布および温度の経時変化を図②-1-62 および 63 に示す。リブ部の賦形において、先端部に圧力がかからず、根元から押し上げる力で充填が進んでいることが分かる。一方で温度変化を見ると、金型と接触した部分の固化は速やかに進んでいる。その結果、リブの先端まで充填が完了せず、75%程度の充填に留まっている。なお、面圧を 30MPa とすれば、リブ先端まで充填可能であることがわかった。

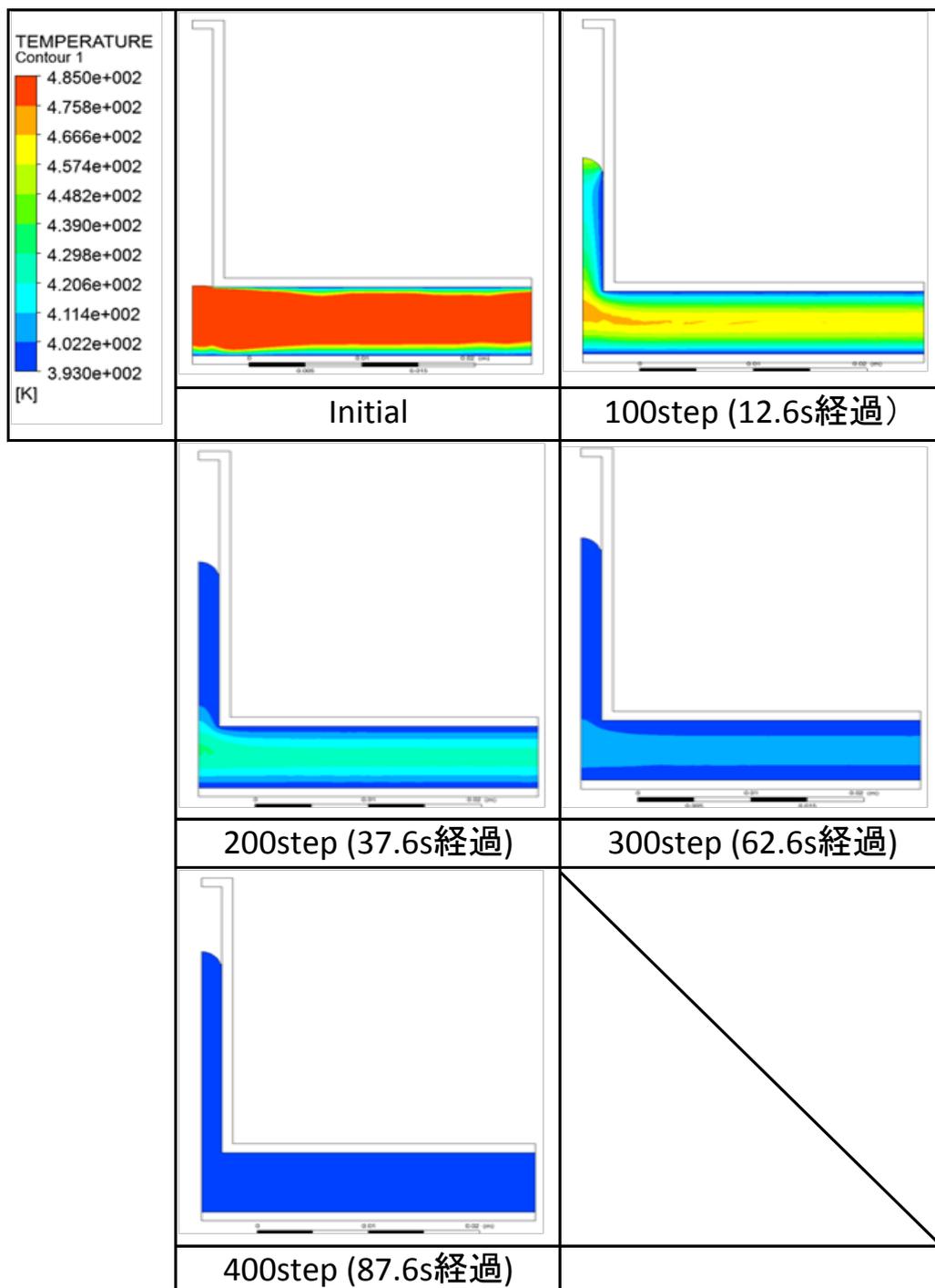
本解析は、粒子法と比較して計算コストが大幅に優れる。今後、計算結果の信頼性

確認と向上、繊維の配向にあたる要素の反映、複雑形状への展開が必要である。

部材形状の流動解析にあたり、最大の課題が計算コストである点は、粒子法と同様である。しかし、メッシュや境界条件の設定で計算コスト改善の余地があり、マクロな形状では有限体積法によるアプローチが優位である。今後、部材形状の全体像は有限体積法で、リブなどの局所形状は粒子法で解くといった、手法の組み合わせ検討が必要である。



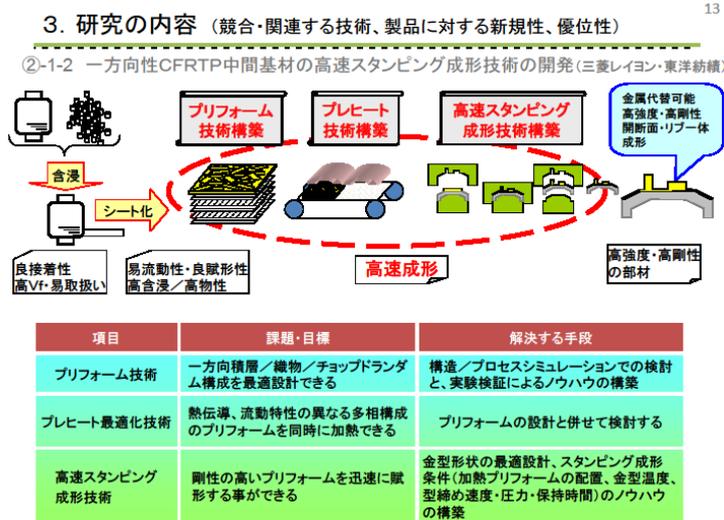
図②-1-62 リブ賦形による圧力の変化



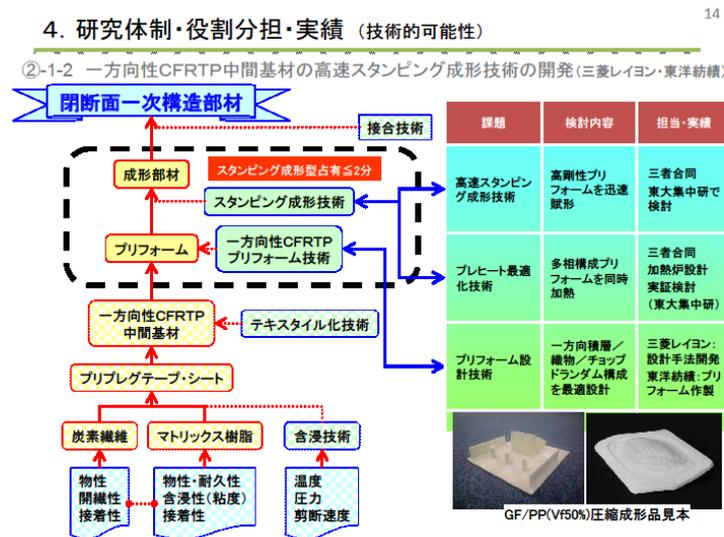
図②-1-63 リブ賦形における温度の変化

②-1-2 「一方向性 CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発」

本プロジェクトでは、高速スタンピング成形技術の開発として、プリフォームの作製と、プレヒート技術の開発、並びに、高速スタンピング成形技術の開発を行った。検討のアウトラインを図②-1-64 に示す。また、検討に当って、その役割分担を図②-1-65 に示す。



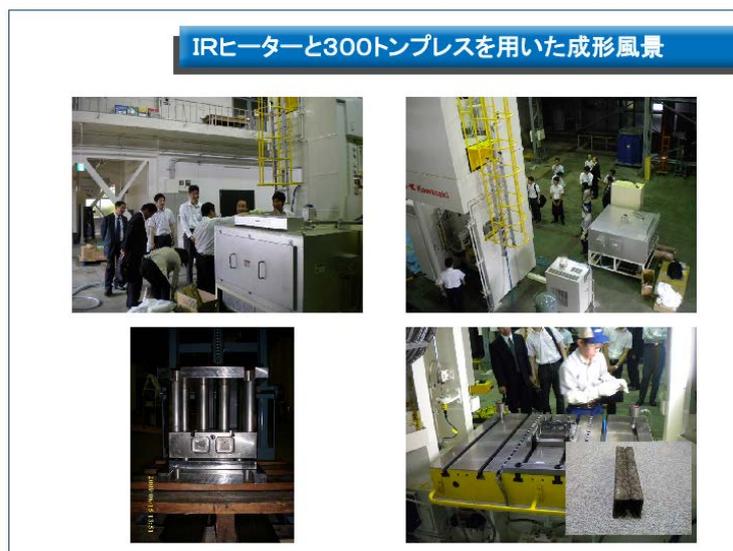
図②-1-64 研究開発項目②-1-2 「一方向性 CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発」 アウトライン



図②-1-65 研究開発項目②-1-2 「一方向性 CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発」 実施事項概要

本プロジェクト開始時、平成 20 年に導入した IR ヒータと 300t プレスを用いたスタンピング成形風景を図②-1-66 に示す。初期の段階では、コア部材作成用金型全長 200mm

程度の成形品の検討を行い、課題の抽出を行った。



図②-1-66 高速スタンピング成形の例

その後、平成 21 年からは、京都工芸繊維大学と共同で、内圧成形用プリフォームの作製などを実施し、高速スタンピング成形技術の構築と、高速内圧成形技術の検討を実施した。

②-1-2-1 「プリフォーム技術の開発」

平成 24 年度までの最終目標である「CFRTP 中間基材でモデル部材を試作し、生産性と軽量化効果に優れた一次構造部材であることの実証」に関する検証を進めていくことを目的として、チョップドテープの樹脂含浸シート、クロス・プリフォーム、並びに、これらを組み合わせる中間基材の賦形性・流動特性などの評価に供するプリフォーム技術の開発を行った。

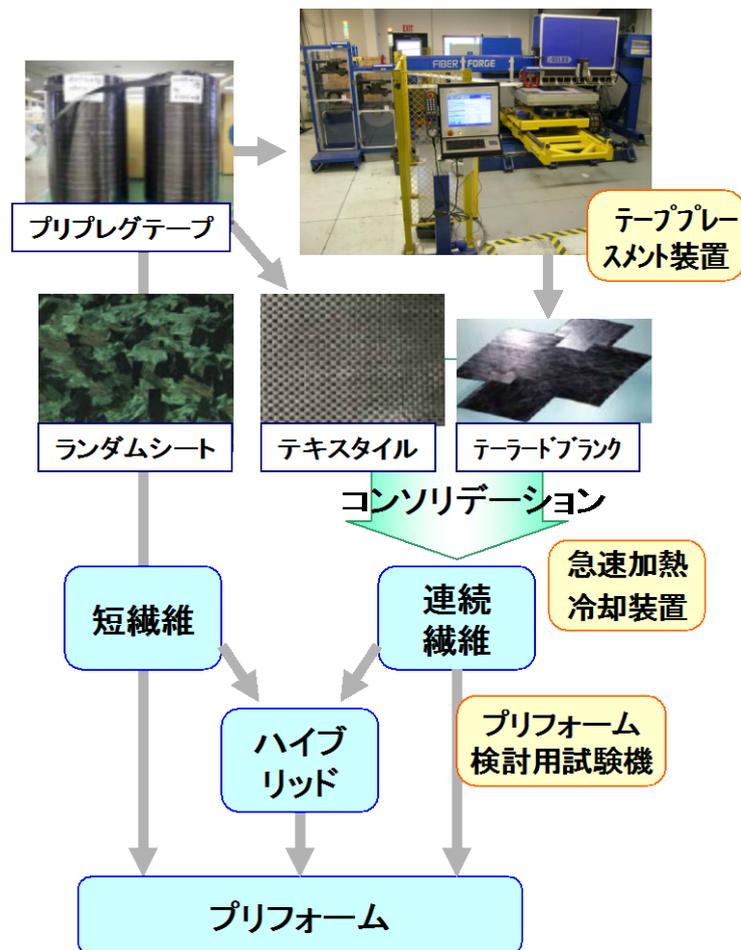
具体的には、テーププレースメント装置、プリフォーム検討用試験機を用いて、設計された繊維配向に一方向性 CFRTP 中間基材を積層し、スタンピング成形用単純形状金型等を用いてこれを実際に成形し、CFRTP 破壊現象観察システムによる解析や機械特性と成形性を評価することで、モデル部材の要素形状のプリフォームの構成の最適化を行い、基本的なプリフォーム技術を確立した。

複雑形状部材のプリフォームについては、構造部材に必要とされる高強度、高剛性と複雑形状を賦形できる高賦形性を両立させるために、テーププレースメント装置を用いて一方向性 CFRTP プリプレグテープを積層したブランクや織物等の連続繊維基材とチョップドテープを分散・積層した不連続繊維基材との高度なハイブリッド化を検討した。

成形品は自動車構造部材としての評価を実施し、得られた結果をプリフォームの基材構成、積層構成の最適化検討にフィードバックした。成形する部材を構成するそれ

それぞれの部分形状に応じた中間基材の組み合わせごとに、これまでに検討したプリフォームとその成形結果および成形した部材の評価結果を解析し、ユーザーがプリフォームの基材構成や積層設計を容易に実施するリファレンスとなりうるデータベースを構築した。

図②-1-67 に、テーププレースメントを用いた一連の CFRTP 中間基材の製造方法を示す。なお、急速加熱冷却設備、プリフォーム検討試験機については、別項目で記載する。



図②-1-67 一方向性 CFRTP のプリフォーム技術

図②-1-68 に導入したテーププレースメント装置の外観図を示す。



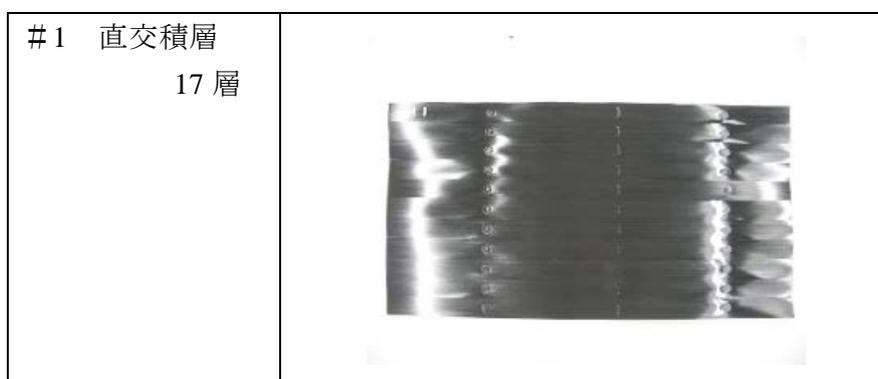
図②-1-68 テーププレースメント装置

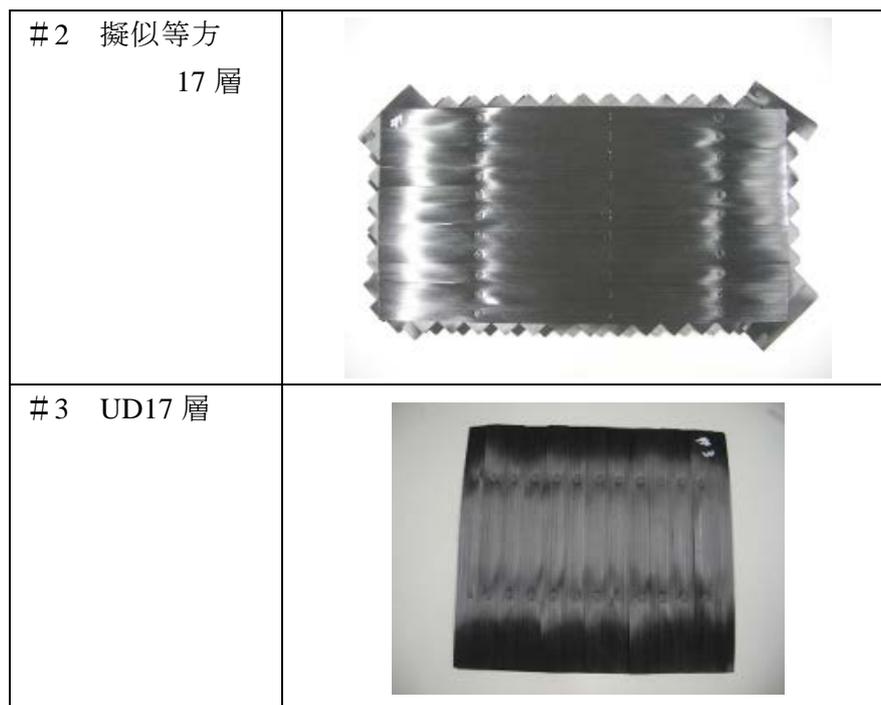
図②-1-69 にプリプレグテープを出発原料にしたテープ積層、コンソリデーションによるシート化（プリフォーム化）を示す。最終的には、このシートを IR ヒータで予熱（プレヒート）した後、金型にチャージして成形することになる。



図②-1-69 プリプレグテープの積層、コンソリデーションによるシート化

本装置を用いて、3種類の積層検討を行った。結果を図②-1-70 に示す。





図②-1-70 テーププレースメントによる積層パターン3種類

それぞれの積層に要する時間を計測したところ、表②-1-2のような結果となった。

表②-1-2 積層パターンとその寸法、重量、積層に要した時間

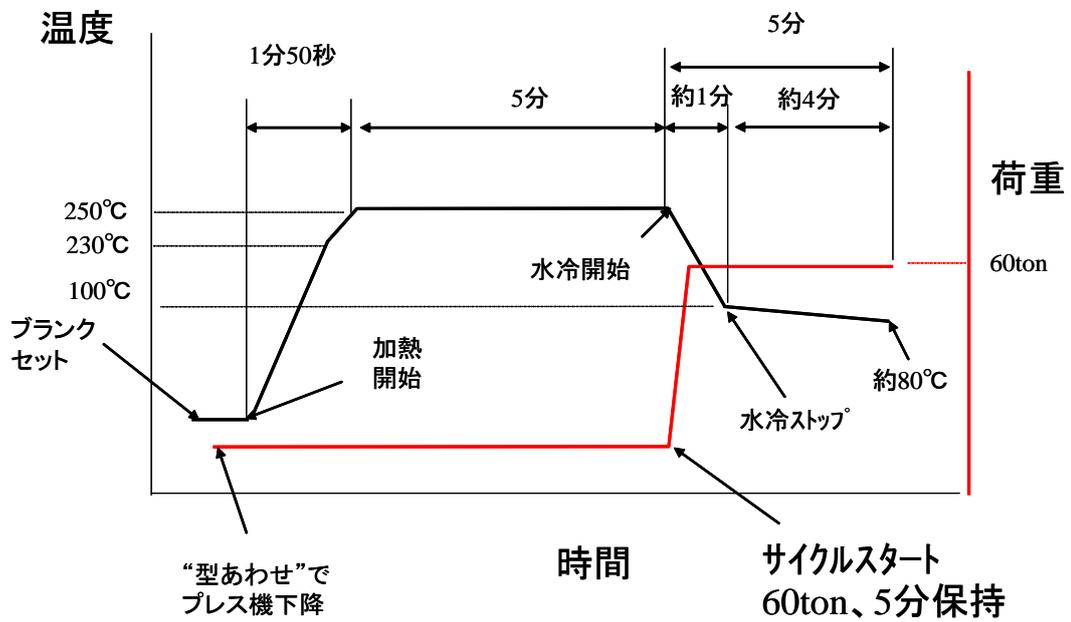
	構成	寸法	ブランク重量	要した時間
#1	直交17層	525cm×275cm	564g	14min 20sec
#2	擬似等方17層	同上	613g	15min
#3	UD17層	30cm角	370g	10min 07sec

これらの積層物を急速加熱冷却設備（詳しくは後述）でコンソリデーションシート化を行った。コンソリデーションの条件を図②-1-71に示す。

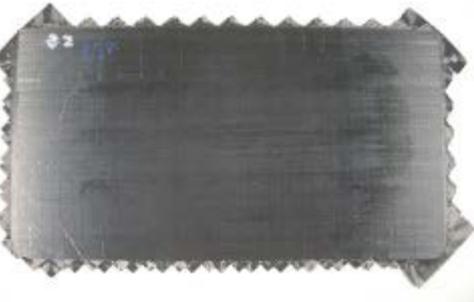
すなわち、積層物（ブランク）をセットして、金型を急速加熱することにより1分50秒で250℃まで昇温した。この金型はプリフォーム検討用試験機として購入、設置したものである。この試験機には高周波加熱のためのコイル、および、冷却用の配管が設置されている。高周波加熱用のコイルや冷却用配管は上記の急速加熱冷却設備と連増している。その後、その温度で5分保持した。昇温中、加熱保持中は上下型をあわせる程度でほとんど圧力はかけていない。その後、60tの荷重をかけるとともに、金型に冷却水を流して金型を冷やし、材料を固化させた。水を流し始めて1分以内には、金型温

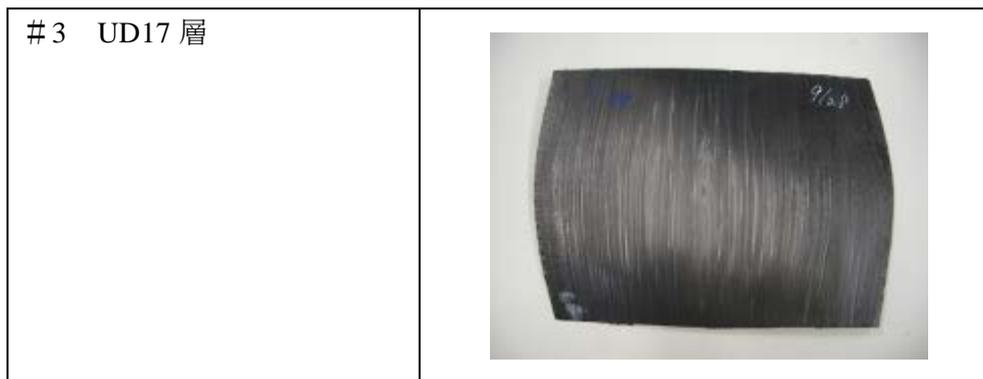
度は 100℃以下になっていた。その後約 4 分間保持して、一連の操作を終了した。図②-1-72 にそれぞれのコンソリデーション後の外観図を示す。

ナイロン6blankのコンソリ条件(温度、荷重)



図②-1-71 急速加熱冷却設備によるコンソリデーションの温度、圧力の
プロフィール

#1 直交積層 17 層	
#2 擬似等方 17 層	



図②-1-72 コンソリデーション後の外観図（直交積層、擬似等方、UD）

上記においては、連続繊維材のみからなるシートを検討してきた。しかしながら、連続繊維材はプレス成形時の賦形性（流動性）に制約があり、リブなどの複雑形状の成形ができない。一方、テープをカット、分散することにより作成されるランダム材は連続繊維材に比べて機械的物性は劣るものの、流動性に優れており、リブなどの複雑形状が成形可能である。

そこで、本装置のテーププレースメントを用いてランダム材ランダム材と一方向性テープからなるハイブリッド材を開発した。図②-1-73 にランダム材とテープ積層からなるハイブリッド材を示す。その製作方法は、ファイバーフォージ社製のテーププレースメント装置において、テーブル上にランダム材を設置しておいて、その上にテープを積層する方法である。その積層工程においては、超音波融着機でランダム材の上にテープをスポット的に固定化することに成功した。このランダム材はこのままプレス成形しても良いし、あるいはプレス成形前に上記の急速加熱冷却設備でプリフォーム化（シート化）した後、プレス成形しても良い。



図②-1-73 テーププレースメント装置で作成した CFRTP ハイブリッド材

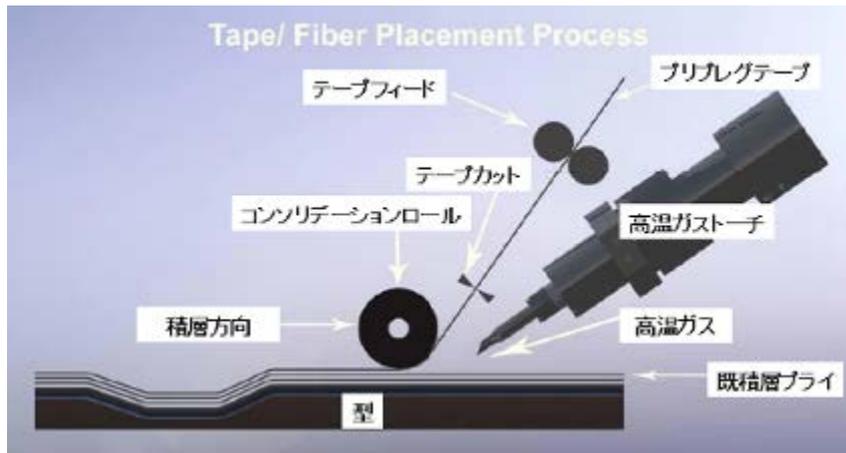
さらに、図②-1-74 に示す立体積層用テーププレースメント装置を導入した。平面積層用テーププレースメント装置と、立体積層用のテーププレースメント装置の大きな違いはそのテープの固定方法である。平面積層においては、テープの固定を超音波融

着機で行い、スポット的に行うことである。前面を固定化する場合には、この工程の後にコンソリデーションの工程が必須となる。一方、立体積層のテーププレースメント装置においては、テープを積層する際に加熱窒素を吹き付け、テープに含まれる熱可塑性樹脂を溶融され、さらにロールで押し当てる構造となっている。すなわち、立体積層用テーププレースメントでは、テープ積層とコンソリデーションが同時に行われる装置である。図②-1-74において、テーブル上に置かれているのがCF/PP系ランダム材である。この上にテープを積層、コンソリデーションを行うことによりハイブリッドシートの作成に成功した。



図②-1-74 立体積層用テーププレースメント装置

図②-1-75 に、立体積層用テーププレースメント装置の詳細図を示す。図中の高温ガストーチ部より加熱窒素が供給される。そのガス温度は使用するテープに含まれる熱可塑性樹脂の種類やテープの積層スピード等に応じて、適宜、最適化される。溶融したテープは先端に設置されたコンソリデーションロールにより押し付けられて固定化される。



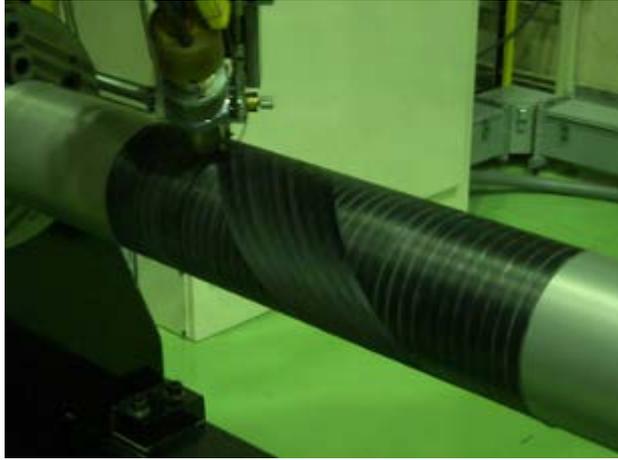
図②-1-75 立体積層用テーププレースメント装置の詳細図

図②-1-76 に、円柱状の治具をセットした状況を示す。



図②-1-76 円柱状治具の設置状況

図②-1-77 に円柱状の治具にテープを積層した状況を示す。



図②-1-77 円柱状治具への積層状況

上記の方法で積層して得られたパイプ状物のサンプルを図②-1-78 に示す。

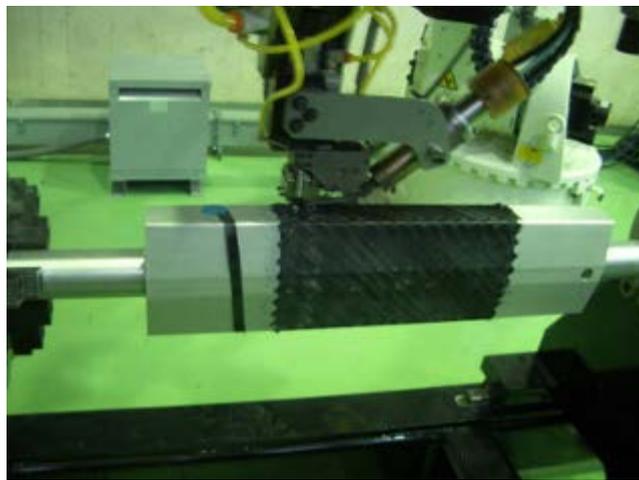


図②-1-78 円柱状積層サンプル

立体積層用テーププレースメント装置では、円柱状だけでなく特殊形状の治具にもテープ積層が可能である。その一例を図②-1-79～81 に示す。



図②-1-79 特殊形状治具



図②-1-80 特殊形状治具への積層状況

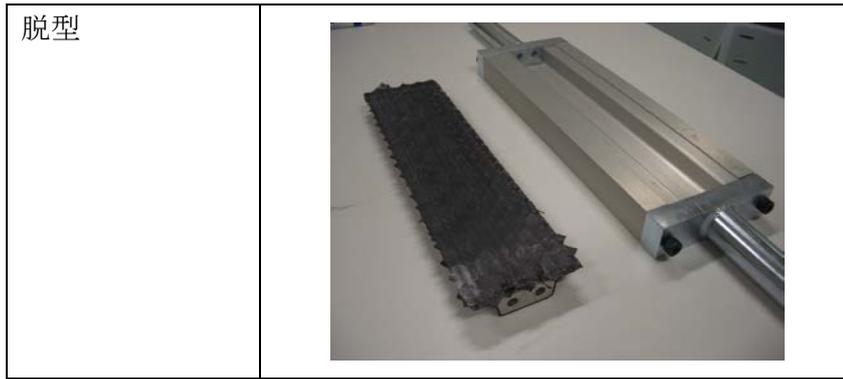


図②-1-81 特殊状積層サンプル

次に、プレス成形とテーププレースメントを組み合わせた複合成形についてその技術を開発した。すなわち、プレス成形で成形した成形品をテーププレースメント装置を用いてテープ補強する成形方法である。図②-1-82 にその一例を示す。

治具にプレス成形で成形したハットチャンネルをセットして、その上に中子をセットした。このハットチャンネルはランダム材からなるものである。その状態で立体積層用テーププレースメント装置に装着してフランジとフランジの間をテープ補強することに成功した。テープ積層の操作を実施後、治具を取り外すことによるハイブリッドハットチャンネルを得ることができた。すなわち、下部がランダム材で、上部（平面部）がテープからなる連続繊維材である。

<p>治具にハットチャンネルをセット</p>	
<p>中子をセットし積層</p>	
<p>積層完了</p>	



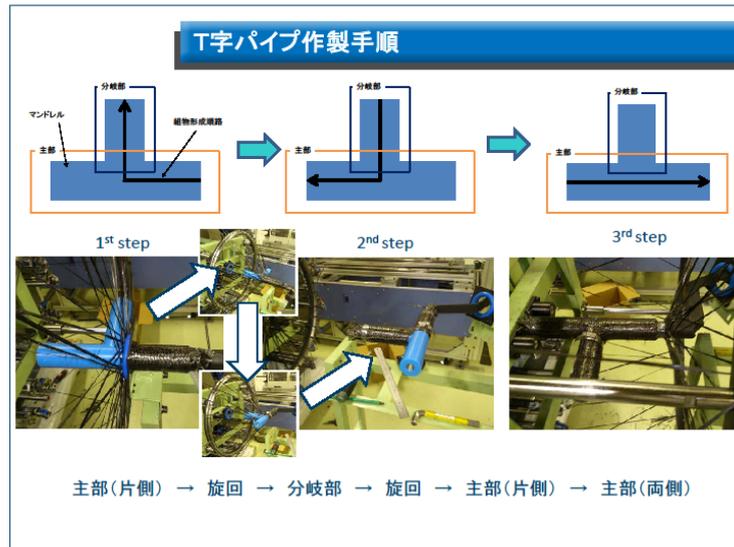
図②-1-82 ハットチャンネルのテープによる補強

自動車一次構造部材は、車体の強度・剛性を直接担う重要な部材であり、用いる材料には、高い信頼性が求められる一方、最適設計のための成形体形状の自由度も求められる。ここでは、一方向性中間基材のプリフォームの構成を比較検討し、機械特性と成形性の関係を明らかにすると共に、その最適化により、一次構造部材に使用可能な成形体を得るためのプリフォーム技術を開発することを目的として、検討を行った。

内圧成形用ブレードのプリフォーム技術については、京都工芸繊維大学が有するブレード（図②-1-83）、並びに、新作の装置（図②-1-84）を用いて検討を行った。その結果、これまでに実績のあるストレートパイプ形状のみならず、T字パイプのような異型断面を有する形状であっても製紐できる目処を得た。

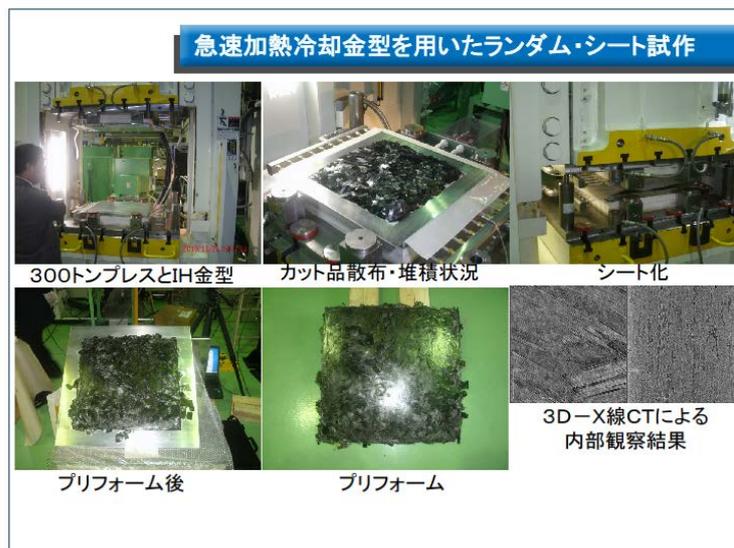


図②-1-83 製紐概要



図②-1-84 T字パイプ用製紐

また、織物とランダム材は、例えば、300t プレスに搭載した急速加熱冷却金型を用いてプリフォーム化してその可能性を確認した（図②-1-85）。



図②-1-85 ランダム材プリフォーム作製

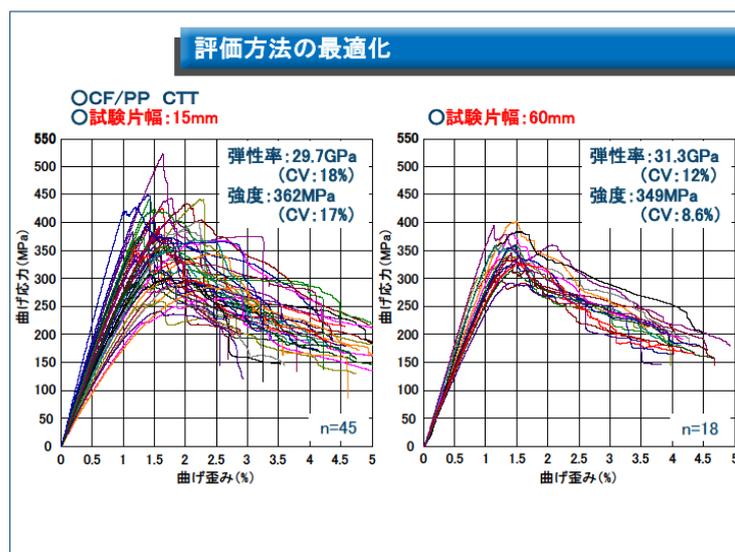
このようにして作製したランダム材は、その性能が成形品の性能に直結する。よって、中間基材としての性能評価を重視して検討を進めた。これを行うために、各種の分析・解析装置を用いて検討を行った。

図②-1-86 に示す物性評価設備は、中間基材の引張／曲げ試験のみならず、成形品の曲げ／圧縮試験に用いた。曲げ試験の結果の例を図②-1-87 に示す。



物性評価設備

図②-1-86 物性評価設備

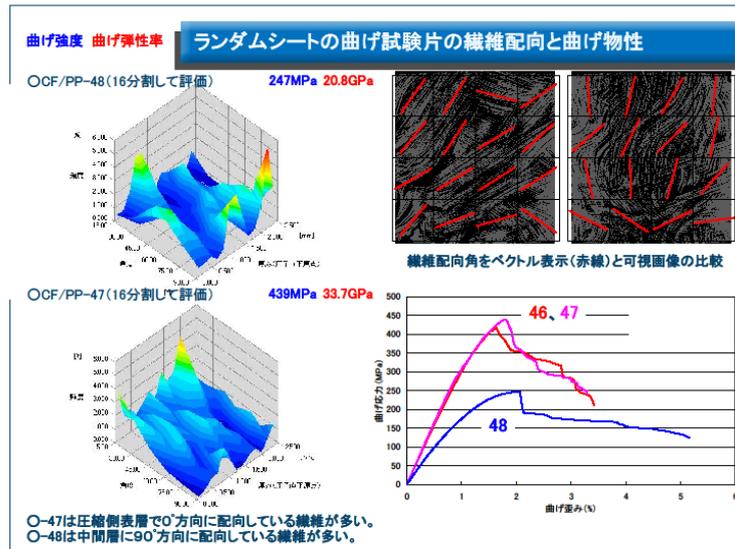


評価方法の最適化

図②-1-87 ランダム材の曲げ試験結果の例

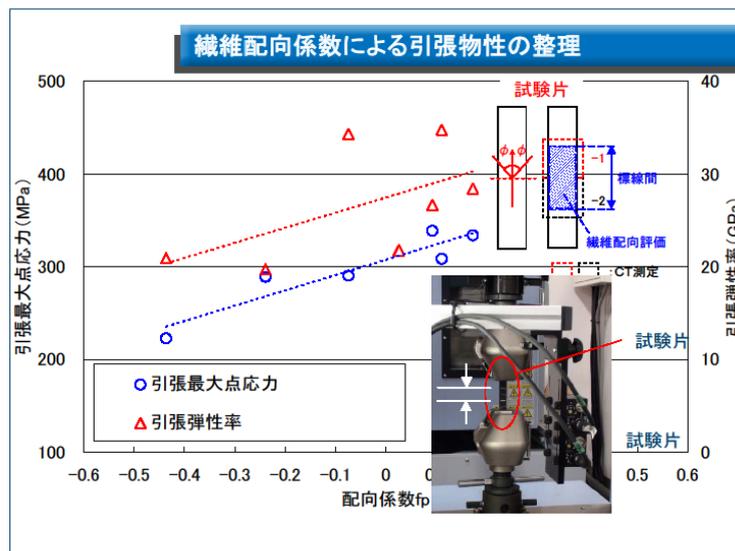
この図から分かるように、ランダム材は、JIS に基づく 15mm 幅の試験片では、ばらつきが大きく、実際の性能を評価することができなかった。このため、試験方法の最適化を行い、幅 60mm の試験片を用いることにより、そのばらつきを半分以下に納める事ができることが分かった。

この評価方法の妥当性を確認するために、CF を使用した市販の SMC を用いて検証を行った。図②-1-88 にその結果を示す。この場合も、変動率が半分程度になっていることが分かる。これらのことから、不連続で尚且つ長い繊維長を有する強化繊維で強化したコンポジットの物性を正しく評価するためには、平均繊維長の変化に伴って、試験片形状を最適化する必要があることが分かった。



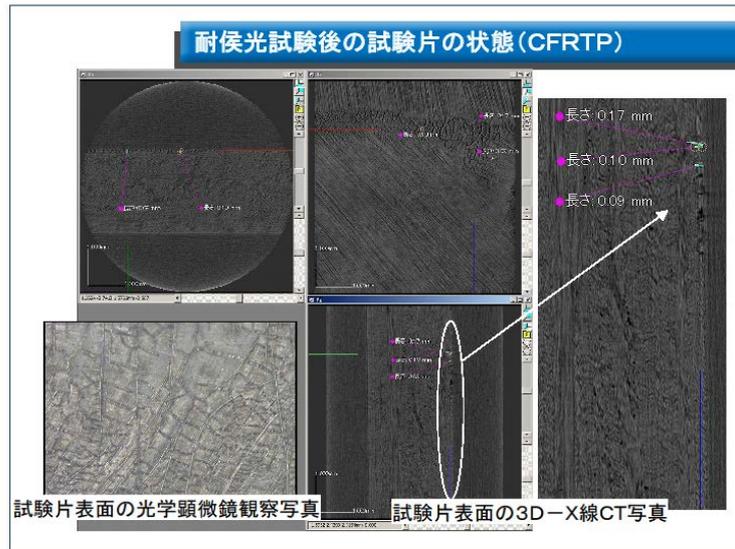
図②-1-90 ランダム材中の繊維配向の観察・解析

更に、この結果と佐野村ら²の検討を参照して、配向係数 (f_p) と引張物性の比較を試みた。その結果、図②-1-91 に示すように、ランダム材の物性のばらつきは、配向係数で整理できる可能性を見出した。

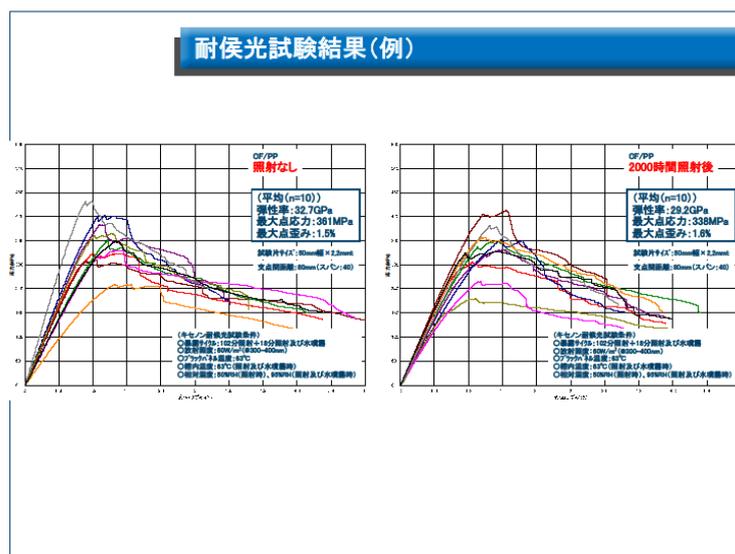


図②-1-91 配向係数と引張特性

平均繊維長を考慮した評価方法を構築できたため、その確認として、耐侯光試験後評価を実施した。CFRTP の劣化を 3D-X 線 CT により観察した結果を図②-1-92 に示す。この結果から分かるように、CFRTP のキセノン照射面で樹脂の劣化による表面クラックが認められるが、これによる物性の低下は認められなかった (図②-1-93)。



図②-1-92 耐侯光試験後の CF/PP 系ランダム材 試験片の観察写真

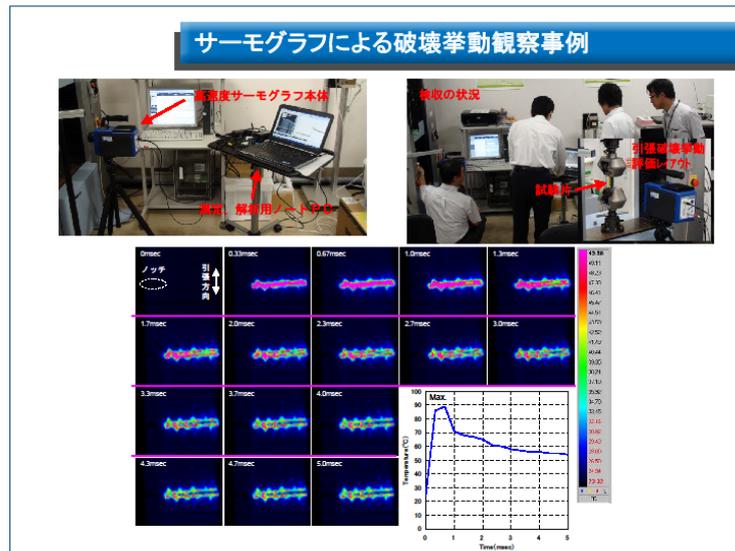


図②-1-93 耐侯光試験後の CF/PP の曲げ試験結果

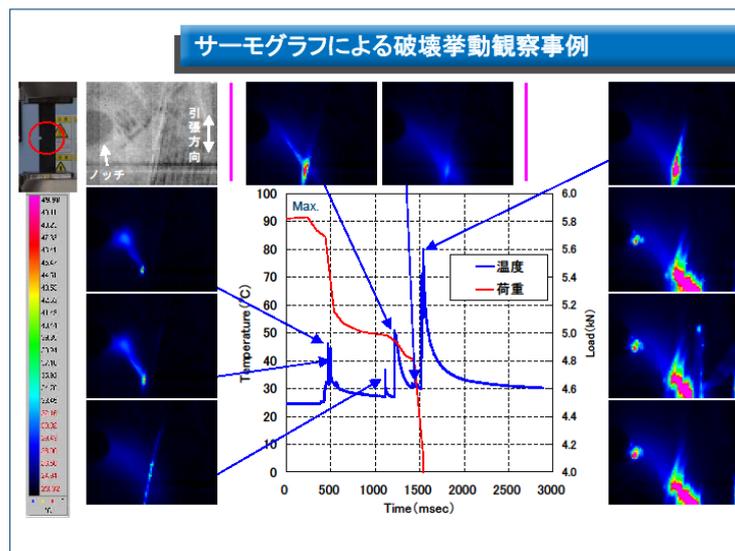
一般的に、FRP の破壊は、それまでに蓄積されたひずみエネルギーが、自由表面の創成と、破片の飛散／破壊音等の運動エネルギー、並びに、熱エネルギーに変換されると言われている。CFRTP は、CFRTS よりも破壊の進展速度が遅いとされており、尚且つ、破壊時に試験片の飛散が小さいため、破壊開始までに蓄積されたひずみエネルギーは、主に、自由表面の創成と熱エネルギーに変換される可能性が高い。このことから、サーモグラフを用いた新規な非破壊検査方法の検討を試みた。図②-1-94 には、高速度サーモグラフによる破壊進展挙動の観察結果の例を示す。破壊現象の観察には、毎秒 3000 コマの撮影が可能な高速度サーモグラフを用いた (図②-1-94)。

図②-1-95 から分かるように、CF/PP の切り欠きつき試験片の引張試験において、最

大荷重付近で、切り欠き底からの破壊の発生、進展により試験片表面温度が上昇していることが分かる。



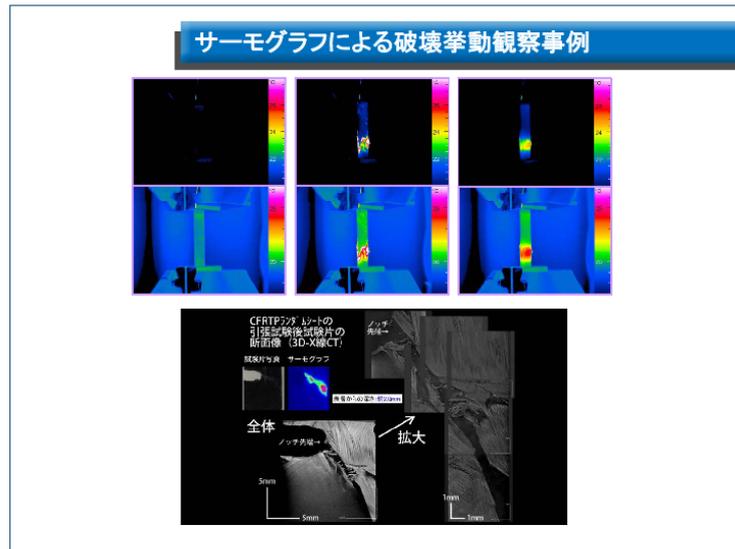
図②-1-94 高速度サーモグラフィ



図②-1-95 高速度サーモグラフィによる破壊進展挙動の観察

更に、図②-1-96 に示す高速度サーモグラフィの観察写真と、3D-X 線 CT の観察結果から、高い温度を示す破壊領域では繊維破断等を伴っていることが分かった。また、初期亀裂の発生時にも温度上昇は観察され、サーモグラフィによる観察は、非破壊検査の一手法となりうる可能性を見出すことができた。

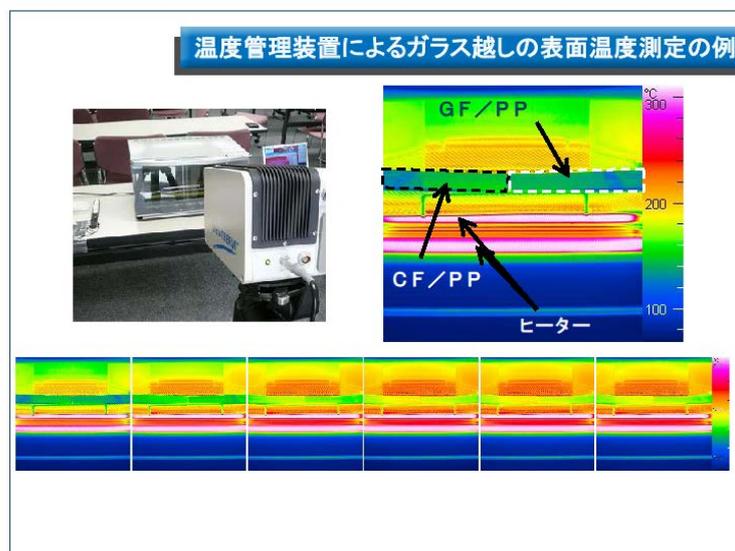
以上より、高強度・高剛性を示すランダム材の開発と、更に、その評価技術、並びにその評価技術の検証を行い、妥当性を確認することができた。



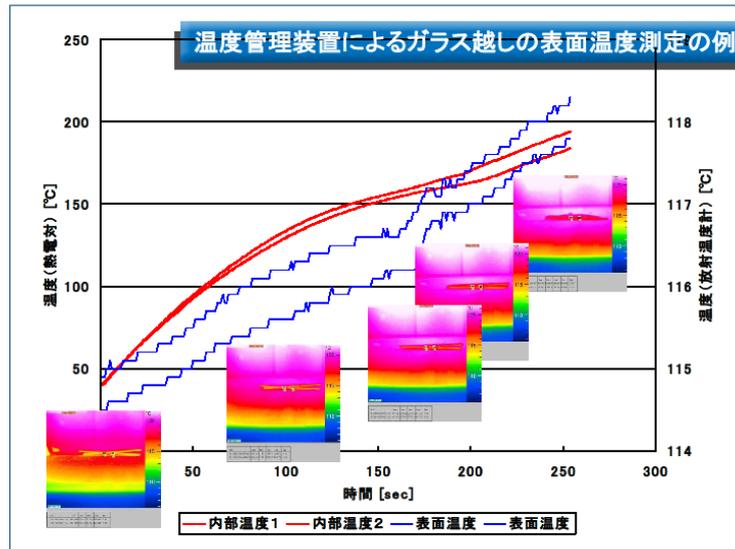
図②-1-96 高速度サーモグラフィと内部構造観察装置による破壊の検証

②-1-2-2 「プレヒート技術の開発」

プレヒート技術の開発として、温度管理装置による IR 加熱中のホットブランクの温度管理を試みた。その結果、ガラス越しであっても、温度管理が可能で、成形条件の最適化に IR 加熱中の温度管理が必要であることが分かった (図②-1-97、図②-1-98)。

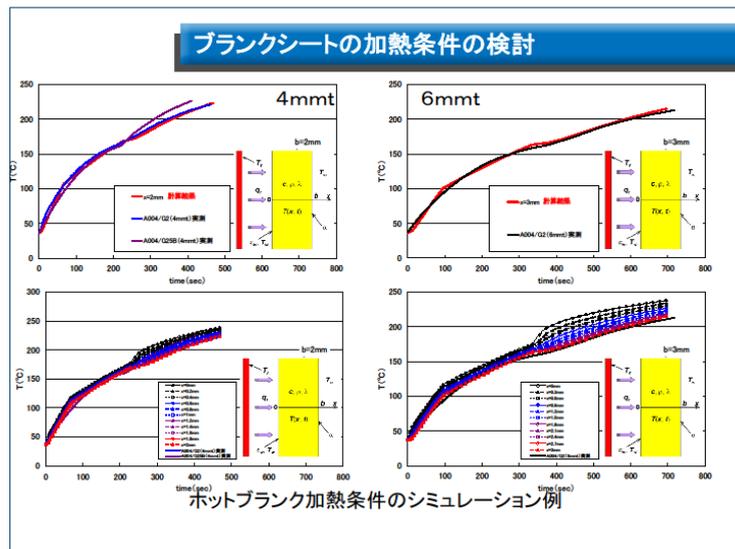


図②-1-97 温度管理装置



図②-1-98 内部温度（熱電対埋設）と表面温度（サーモグラフ）の比較

図②-1-99 には、富村 寿夫ら³の検討を参考にしてIR加熱中のホット・ブランクの昇温シミュレーションを検討した結果を示す。文献では一次元定常熱伝導および非定常熱伝導解析を行っており、これに、更に樹脂の融解（結晶融解）の影響や、スプリングバックの影響などを加味して、シミュレーションを行った。その結果、実験例と良く一致しており、IR加熱中のホットブランクの昇温挙動が予測できる可能性を見出した。



図②-1-99 ホットブランク加熱シミュレーションの例

一方向性 CFRTP 中間基材のプレヒートは、その後のスタンピング成形性と得られる成形体の物性に大きな影響を与えるため、その最適化が重要である。ここでは、プレ

ヒート時の基材の状態と成形性・機械的特性を評価し、目的の成形体を所望の成形時間で得るために必要なプレヒート技術を開発した。

高速スタンピング成形技術に最も適した高速加熱技術を選定するため、汎用性の高い大容量の IR ヒータを購入した。図②-1-100 にその外観図を示す。この IR ヒータ加熱炉は引き出し方式になっている。所定の温度に昇温後、引き出しを引いて材料を入れて押し込む。タイマー設定については、予め材料の昇温プロフィールを取得した上で、所望の温度に到達する時間を求めておく。昇温カーブは材料の種類、厚み、設定温度によって変わるのでそれぞれの条件での昇温プロフィールをとっておいた。



図②-1-100 IR ヒータ外観図

一方向性 CF RTP 中間基材の最適加熱方法を明らかにすることを目的として、導入した IR ヒータを使用し、一方向性 CF RTP プリプレグテープを用いたプリフォームの加熱方法と成形性の関係を把握した。具体的には、IR ヒータの設定条件を変えて、一方向性 CF RTP プリフォーム表面と内部の温度分布の測定を行った。

スタンピング成形において加圧前材料の予熱を制御することは非常に重要である。IR ヒータの設定温度を 3 条件 (230℃、250℃、270℃) に設定し、材料の昇温チャートを測定した。結果を図②-1-101～104 に示す。具体的には、材料内部に穴加工を施し、熱電対を挿入して材料内部の温度を測定した。同時に材料の外にも熱電対を取り付け、IR ヒータの雰囲気温度も測定した。使用した材料は CF/PP 系ランダム材 (Vf50%) の 2mm 厚みのものである。予熱は材料温度が 220℃に到達した直後に IR ヒータ内から取り出した。

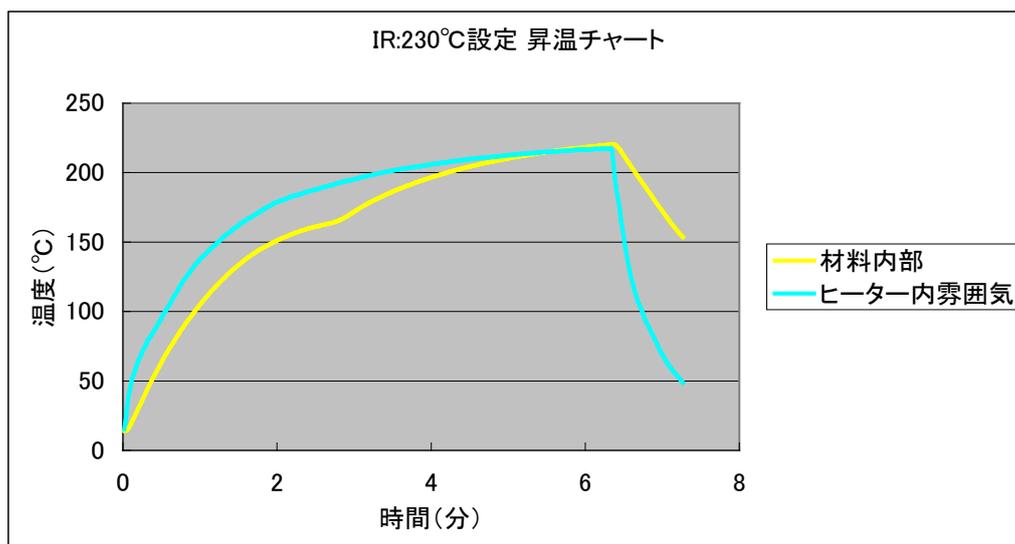
図②-1-101～104 を見ると、IR ヒータに材料を投入した直後に同時に測定したヒータ内の雰囲気温度は立ち上がり早いのにに対して材料内部は昇温速度が遅く、ポリプロピレンの融点である 160～170℃に到達するまで雰囲気温度と 1 分以上の差があることが分かった。設定温度の違いにより、材料内部の温度とヒータ内の雰囲気温度の時間差は多少変動するものの、雰囲気温度を測定するのみでは、材料温度を把握することが

できないことが判明した。

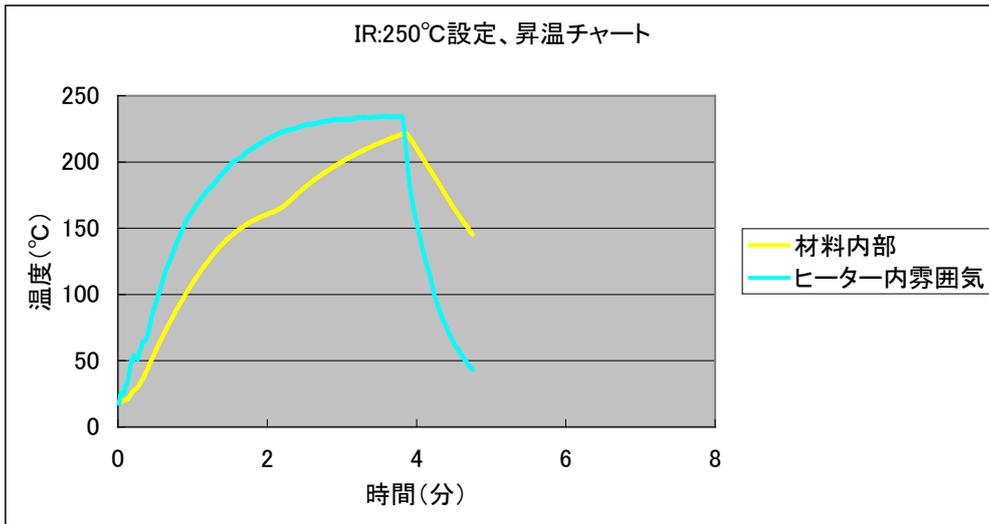
IR ヒータの設定温度を 230℃とすると、材料温度が 220℃になるまでの時間は約 6 分であったが、250℃設定にすることで、到達温度である 220℃まで約 4 分で昇温した。さらに設定温度を 270℃に上げると、さらに短縮し約 3 分で昇温することができた。

設定温度が高いほど昇温時間が短くなるのは当然のことであるが、材料の表面温度が過度に加熱されて熱分解してしまう恐れがある。プレヒート技術としては、内部温度を測定して、昇温速度と過加熱のバランスを考慮しながらヒータの設定温度を見極める必要がある。

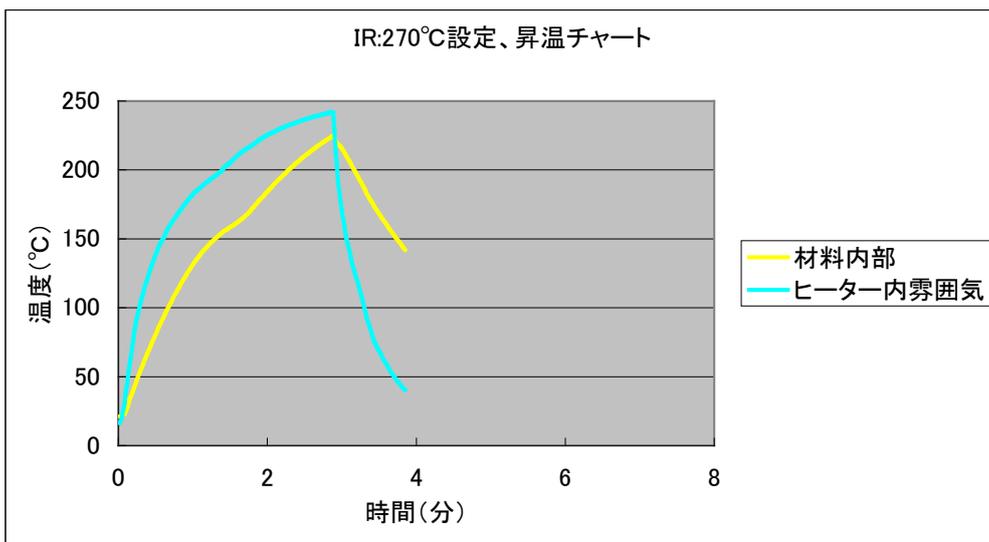
また、材料の内部温度が 220℃に到達してから、ポリプロピレン系複合材料の成形可能な温度である約 180℃まで 30～35 秒で降温しているという結果が得られた。これにより IR ヒータから材料を取り出し、30 秒以内に材料を型内に配置して、スタンピング成形で加圧しなくてはならないことが分かった。材料内部温度を 220℃以上に設定すれば、加圧までの時間を長くすることが可能であるが、材料の熱分解等を考慮すると、高速搬送技術を駆使して材料を配置することが望ましいと考えられる。



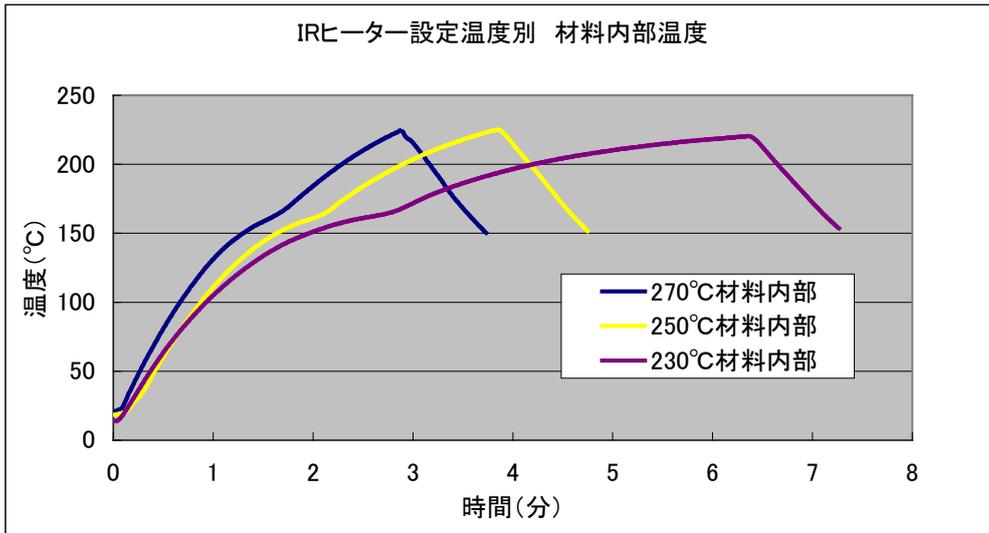
図②-1-101 IR ヒータ設定 230℃での材料内部温度 (PP 系) およびヒータ内の雰囲気温度



図②-1-102 IR ヒータ設定 250°Cでの材料内部温度 (PP系) およびヒータ内の雰囲気温度

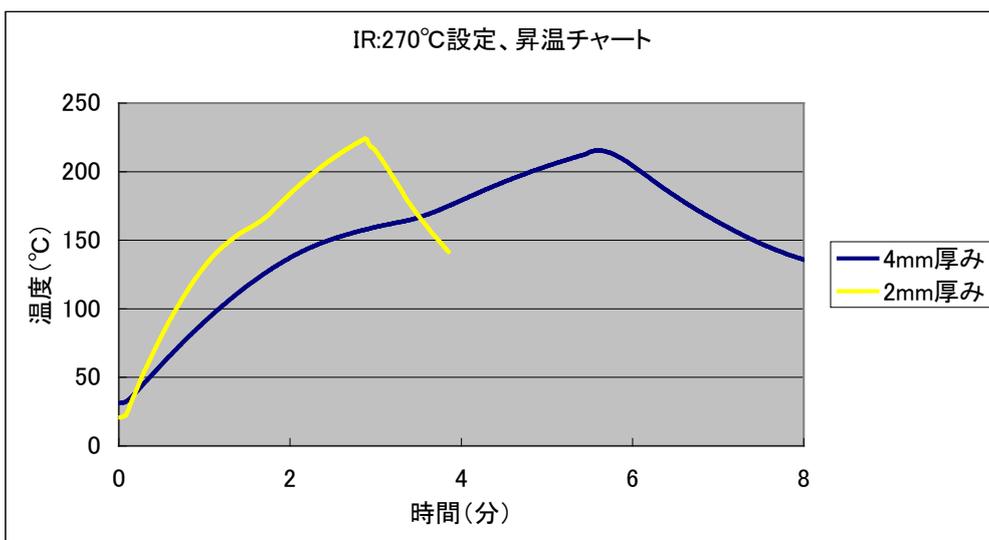


図②-1-103 IR ヒータ設定 270°Cでの材料内部温度 (PP系) およびヒータ内の雰囲気温度



図②-1-104 IR ヒーター設定温度別の材料内部温度 (PP系) 比較

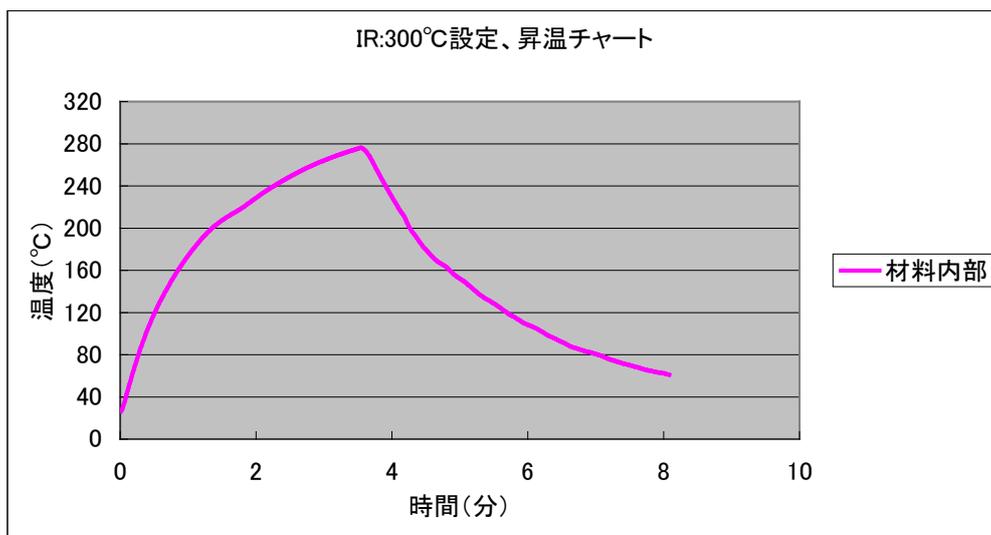
次に予熱される材料の厚みを変え、同じ IR ヒーターの設定温度で材料の内部温度を測定した。結果を図②-1-105に示す。IR ヒーターの設定温度が270°Cの場合に2mm厚みの材料は約3分で220°Cまで到達するのに対して、4mm厚みの材料は220°Cまで到達するのにかかった時間は約5.5分であった。この検討結果から、熱伝導の比較的良好な炭素繊維複合材料であっても材料の厚みの違いにより昇温速度が異なることが分かった。さらに材料が厚くなることにより、材料の中心内部の温度と表面付近の温度差が大きくなることが想定でき、材料表面の樹脂が熱分解する可能性がより高いと考えられる。厚みのある材料を成形する際には、材料内部と表面付近の温度差についても温度管理をする必要がある。



図②-1-105 材料の厚み (2mm、4mm) による材料内部温度 (PP系) 比較

同様の実験をポリアミド系複合材料についても実施した。結果を図②-1-106 に示す。IR ヒータの設定温度を 300℃にして材料内部温度が 280℃に到達するまでの時間は約 3.5 分であった。この昇温時間は IR ヒータの設定温度により変化するものであるが、IR ヒータから材料を取り出した際に、内部温度は 280℃から成形可能な 240℃付近まで約 20 秒で降温する結果となった。

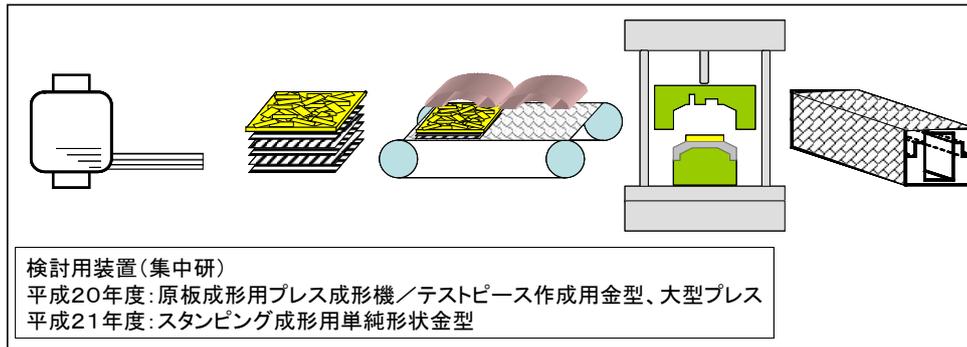
これにより高融点（または高温軟化）樹脂の複合材料の方が IR ヒータ等の予熱領域から材料を取り出す際に、外気により急激に冷却されてしまうため、低融点（または低温軟化）樹脂よりも短時間で搬送する必要があるということが判明した。



図②-1-106 IR ヒータ設定 300℃での材料内部温度（ポリアミド系）

②-1-2-3 「高速スタンピング成形技術の開発」

自動車一次構造部材には、そこに求められる高性能、高信頼性から、強化繊維の強度・剛性利用率が高い連続繊維を用いた繊維強化複合材料が必要である。しかしながら、連続繊維強化複合材料は、成形賦形性に劣るため、自動車部材等の高い生産性を求められる用途には、その改良が必要である。ここでは、金型形状の最適設計、スタンピング成形条件と成形賦形性の関係解析を基に、高速化可能なスタンピング成形技術を開発した。図②-1-107 に、高速スタンピング成形のフロー図を示す。



図②-1-107 高速スタンピング成形のフロー図

導入した 300t プレス機と上記の IR ヒータを組み合わせ、一方向性 CFRTP の高速スタンピング検討を行った。検討初期の段階では、IR ヒータで予熱された一方向性 CFRTP の中間基材を手で取り出し、そのまま金型の上に乗せる方法とした。検討後期においては、後述するように中間基材を自動で IR ヒータに投入後、自動で金型の上にチャージする検討設備（賦形性・流動性改良検討設備）を用いた。

研究開発項目①-2-4 で検討した一方向性 CFRTP 中間基材の設計・開発で得られた一方向性 CFRTP プリプレグテープ、チョップドテープからなる樹脂含浸シート、クロス等を用いて、大型プレス機、IR ヒータ、スタンピング成形用金型により基本的な成形条件の影響を明らかにした。

より具体的にはプリフォームのスタンピング成形時の金型形状への追従性や賦形性に与える影響を検討し、大型プレス成形機計測システムを導入して、スタンピング成形時に起こる成形品の反りやねじれの発生原因として考えられるプレス成形機の動作状態や金型内の成形材料の状態をリアルタイムで詳細に計測、解析することで高速スタンピング成形技術の高精度化を進めた。

更に、ハイブリッド成形検討用金型を導入して、チョップドテープを分散・積層、成形した樹脂含浸シートとの組み合わせによるハイブリッド成形についても、成形圧力と流動性並びに、流動時の炭素繊維配向の有無などを検討し、スタンピング成形の基礎技術の開発を行った。

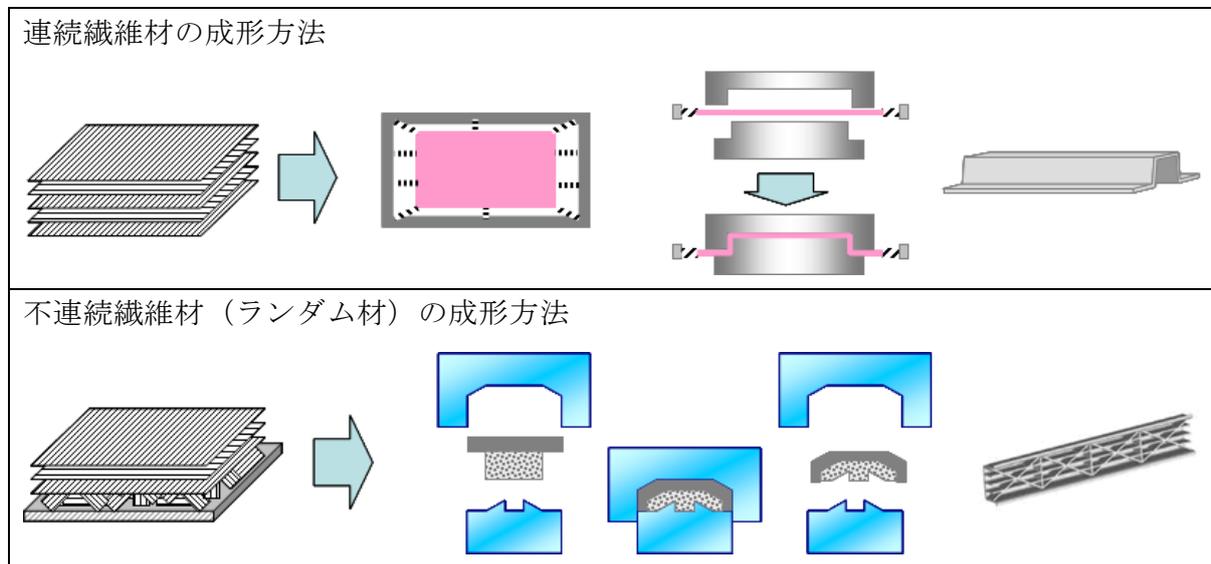
また、プリフォームの金型内でのコンソリデーションを検討するために急速加熱冷却設備を導入し、複雑形状部材のプレス成形の高速化の検討を行った。

平板成形では、一辺が約 400mm の金型を用いた。この金型を用いて CF/PP のランダム材を用いて平板の成形を行った。Vf は 50% である。シート寸法は約 390mm 角であり金型をほぼフルチャージして成形を行った。シート厚みは 2mm、4mm の 2 種類である。

CF/PP 系ランダム材において、炭素繊維の表面改質を変えた 5 種類のランダム材を用いて、平板成形を行った。使用したポリプロピレン樹脂は、G2 という変性 PP である。Vf は約 50% になるようにして試作を行った。炭素繊維の表面改質により平板成形性には大きな差は無かった。プリプレグテープ作成時の炭素繊維の取り扱い性、UD 材やラ

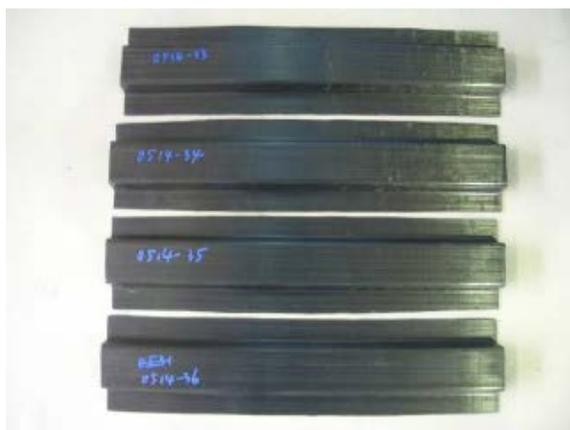
ランダム材の物性発現性を総合的に判断し、本プロジェクトでは PP 系材料においては、炭素繊維 A004／樹脂 G2 を標準材料として検討を行った。

平板以外では、ハットチャンネル成形を行った。図②-1-108 に材料の種類に応じた成形方法をまとめた。



図②-1-108 一方向性 CFRTP の成形方法（連続繊維材、ランダム材、ハイブリッド材）

連続繊維材として、直交積層、擬似等方の成形検討結果を示す。図②-1-109 には直交積層、図②-1-110 には擬似等方積層品のハットチャンネル成形品を示す。



図②-1-109 直交積層の成形品



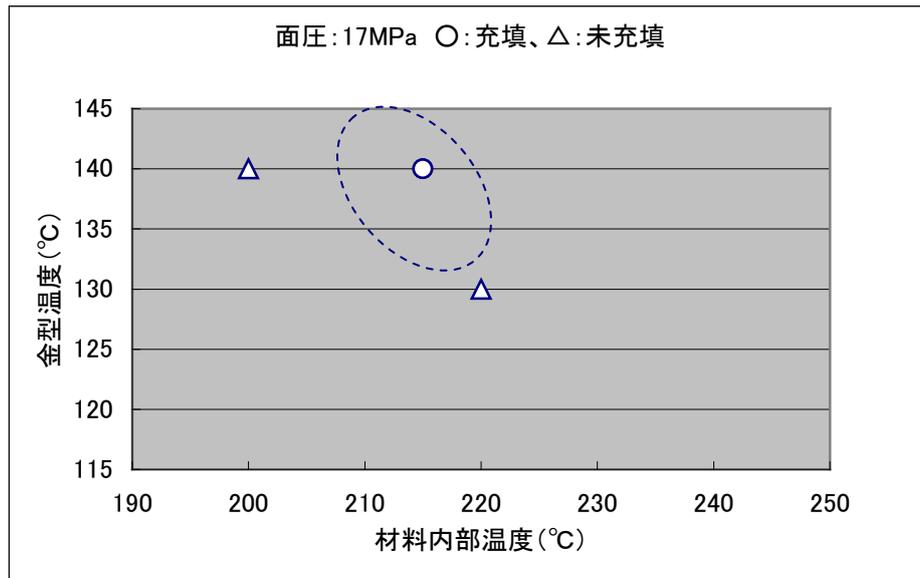
図②-1-110 擬似等方の積層品

ここでは、金型占有時間 2 分以内を目指して、検討を行った。高速スタンピング成形技術のプロセスウィンドウを見極めるため、CF/PP 系ランダム材（Vf50、4mm 厚み）を用い、成形条件を変えてハットチャンネル形状金型を用いて成形を実施した。成形条件としては予熱での材料内部温度、金型温度、成形圧力を変えて検討した。ハットチャンネル成形体の投影面積に対する材料面積（チャージ率）は約 70%となるように材料寸法を設定した。IR ヒータから材料を取り出して金型に材料を配置し、プレスで加圧するまでの時間は約 15 秒であった。

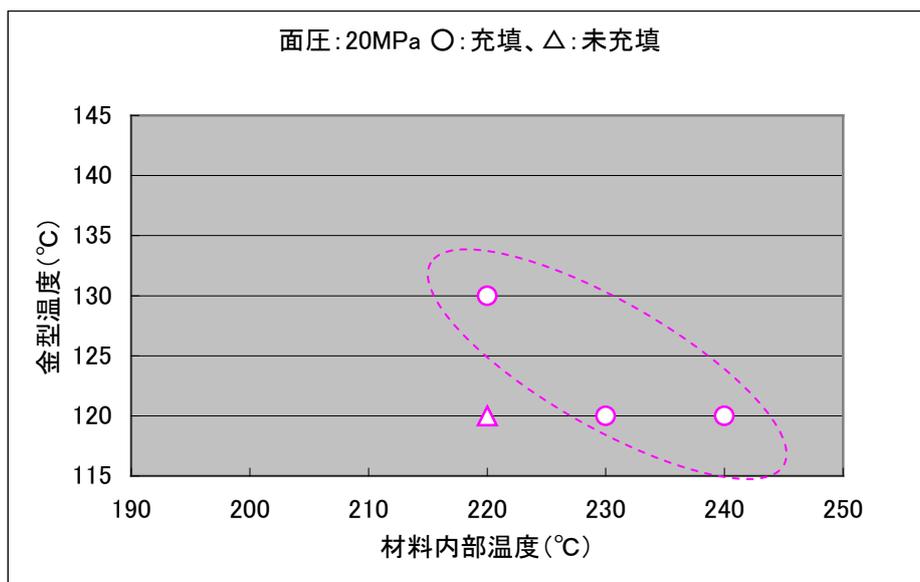
初めに面圧 17MPa 条件でスタンピング成形を実施した。図②-1-111 のように金型温度を 140℃、材料内部温度を 215℃以上にしないと金型の端部まで充填できなかった。

次に図②-1-112 のように面圧 20MPa 条件で成形したところ、成形可能領域を低温側にシフトすることができた。具体的には 17MPa では充填できなかったが、20MPa にすることで型温 130℃でも成形することができた。さらに型温を下げたところ、材料温度を 230～240℃まで上げなければ材料が充填しなかった。材料温度をこれ以上上げると、プレヒートの際に材料が熱分解して煙が発生する可能性が高いので、ポリプロピレン系複合材料では材料温度 230～240℃程度が限界と考えられる。

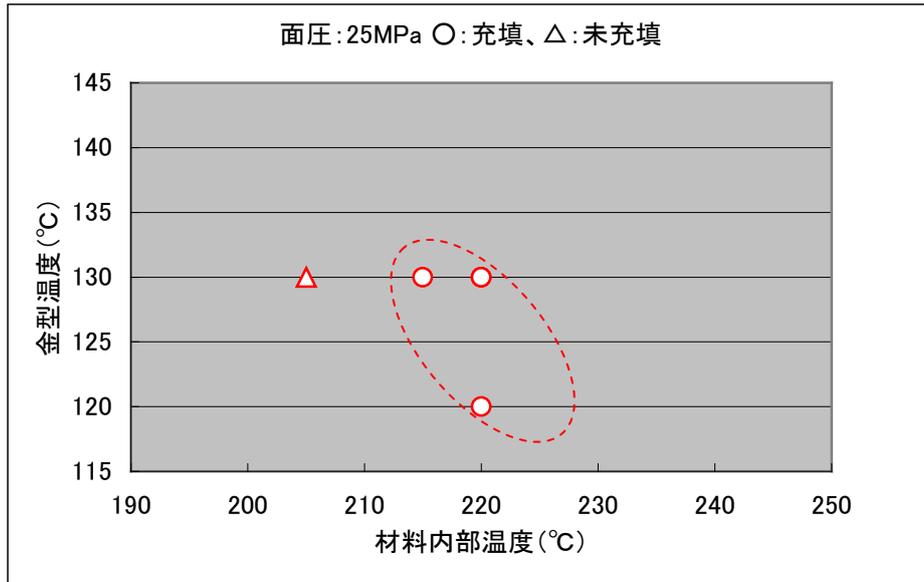
最後に面圧を 25MPa にしてさらに高圧条件にすることにより、金型温度を 120℃にしても材料を充填することができた。同様に材料温度を低くしても充填するようになった（図②-1-113）。しかし、成形圧力を上げれば上げるほど材料が充填しやすくなるのは当然であるが、金型の負担・耐久性およびプレス出力増大による費用増大を考えると、できるだけ低い圧力で成形が可能であることも重要である。スタンピング成形には材料温度および金型温度を制御して、適切な圧力で成形することが必要である。図②-1-114 に高速成形を達成しうるプロセスウィンドウを示す。



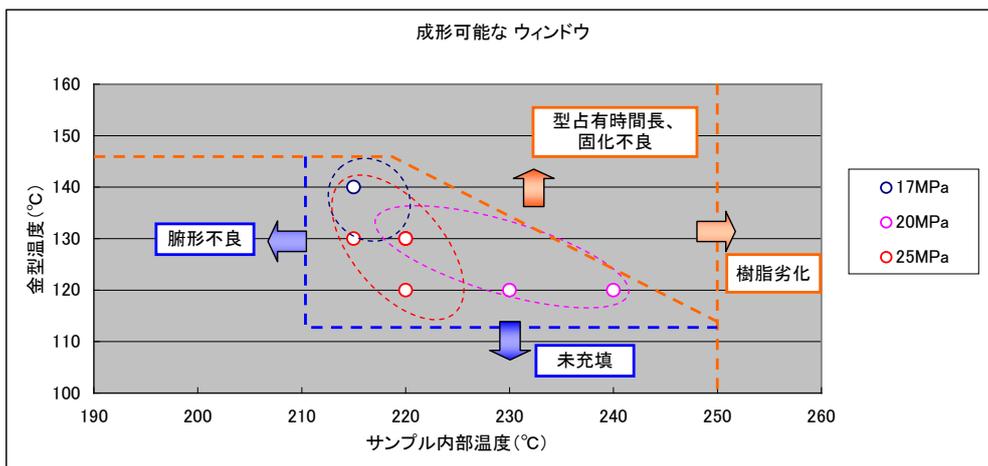
図②-1-111 成形圧力（面圧：17MPa）でのプロセスウィンドウ（PP系）



図②-1-112 成形圧力（面圧：20MPa）でのプロセスウィンドウ（PP系）

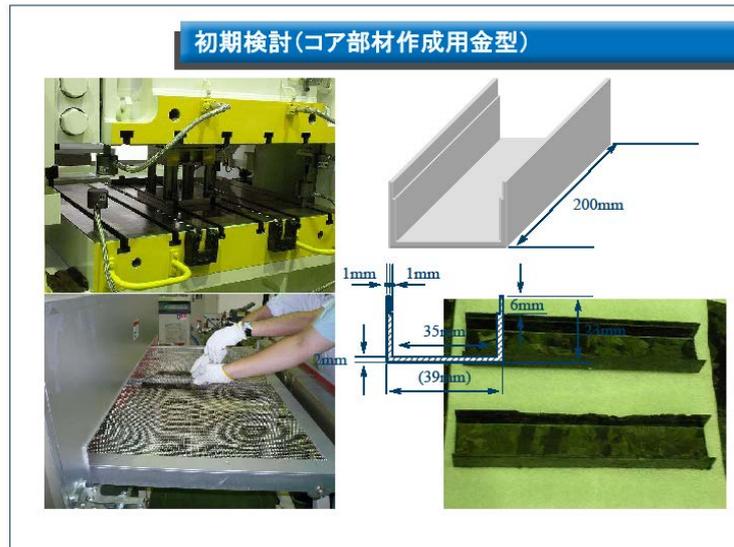


図②-1-113 成形圧力（面圧：25MPa）でのプロセスウィンドウ（PP系）



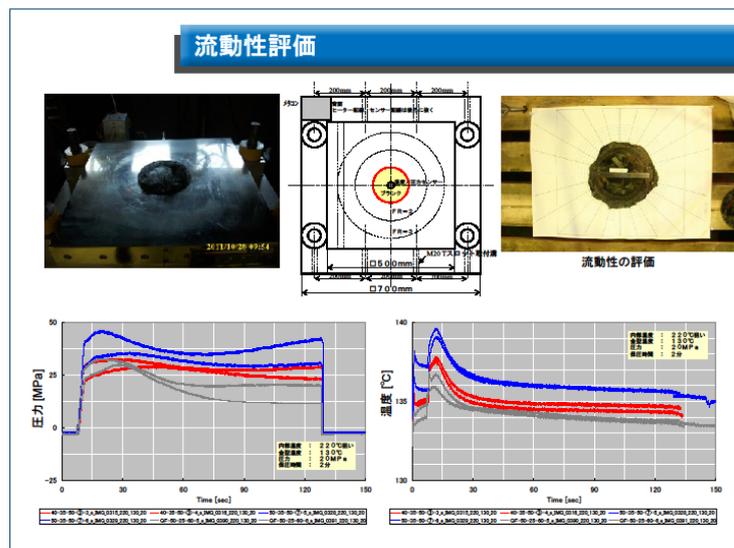
図②-1-114 CF/PP系ランダム材の成形可能ウィンドウ

図②-1-115 には、コア部材成形用金型を用いた初期検討の様子を示す。この際、材料の流動性に及ぼす成形条件の影響などを検討し、課題の抽出を行った。



図②-1-115 コア部材作成用金型

コア部材成形用金型での検討を踏まえて、基礎的な検討として、流動性の評価を行うために、図②-1-116 に示すような流動性評価用金型を用いて、ランダム材の成形性の検討を行った。

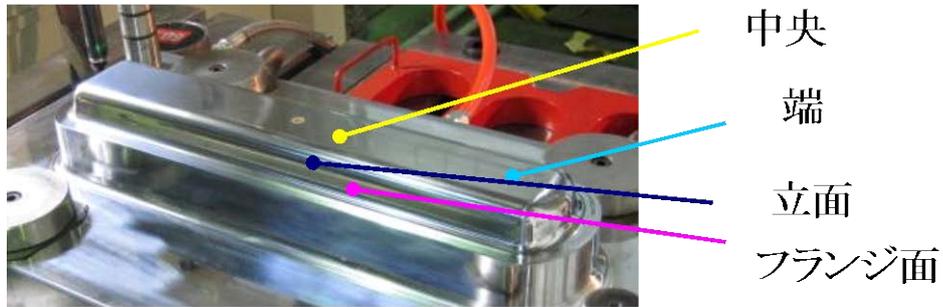


図②-1-116 流動性評価金型と評価結果の一例

図②-1-116 において、青線と赤線は CF/PP 系、グレーは GF/PP 系である。左の図は、圧縮成形時の圧力変動を、右の図は温度プロファイルを示している。CF は、GF よりも圧力変動が小さく（プレスの圧力を流動により分散できず）、温度変化が大きい（冷えるのが早い）ことが分かる。すなわち、CF 強化材は、GF 強化材と比較して、CF と GF の熱伝導率の差から、冷えるのが早く、樹脂の固化が早いいため、成形流動性が低い

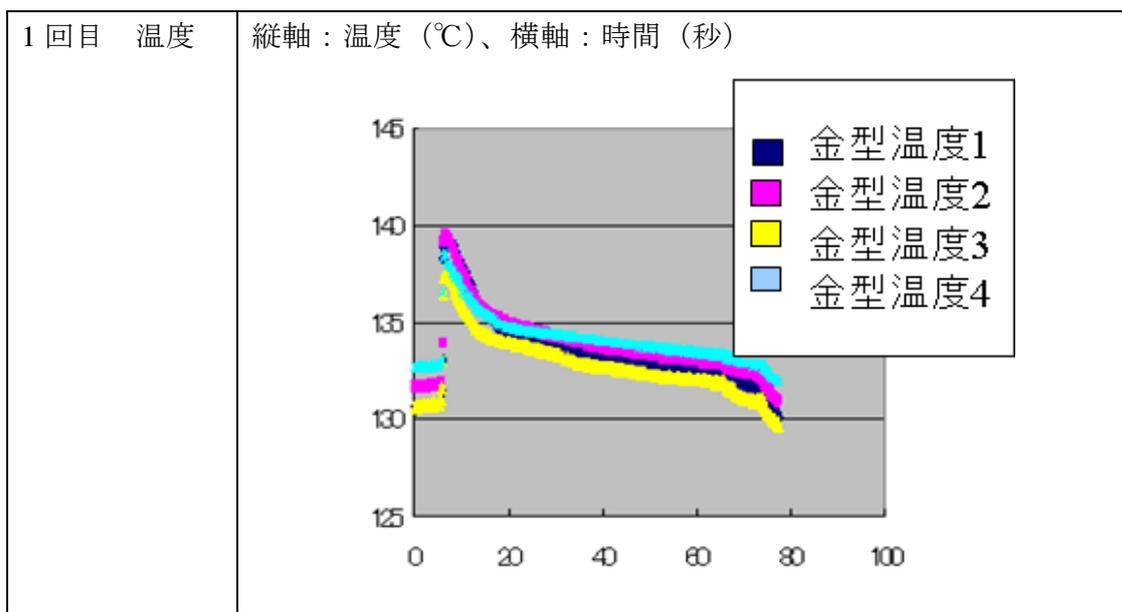
ことが分かる。これらの検討により、材料の流動挙動を確認し、成形条件を決定した。

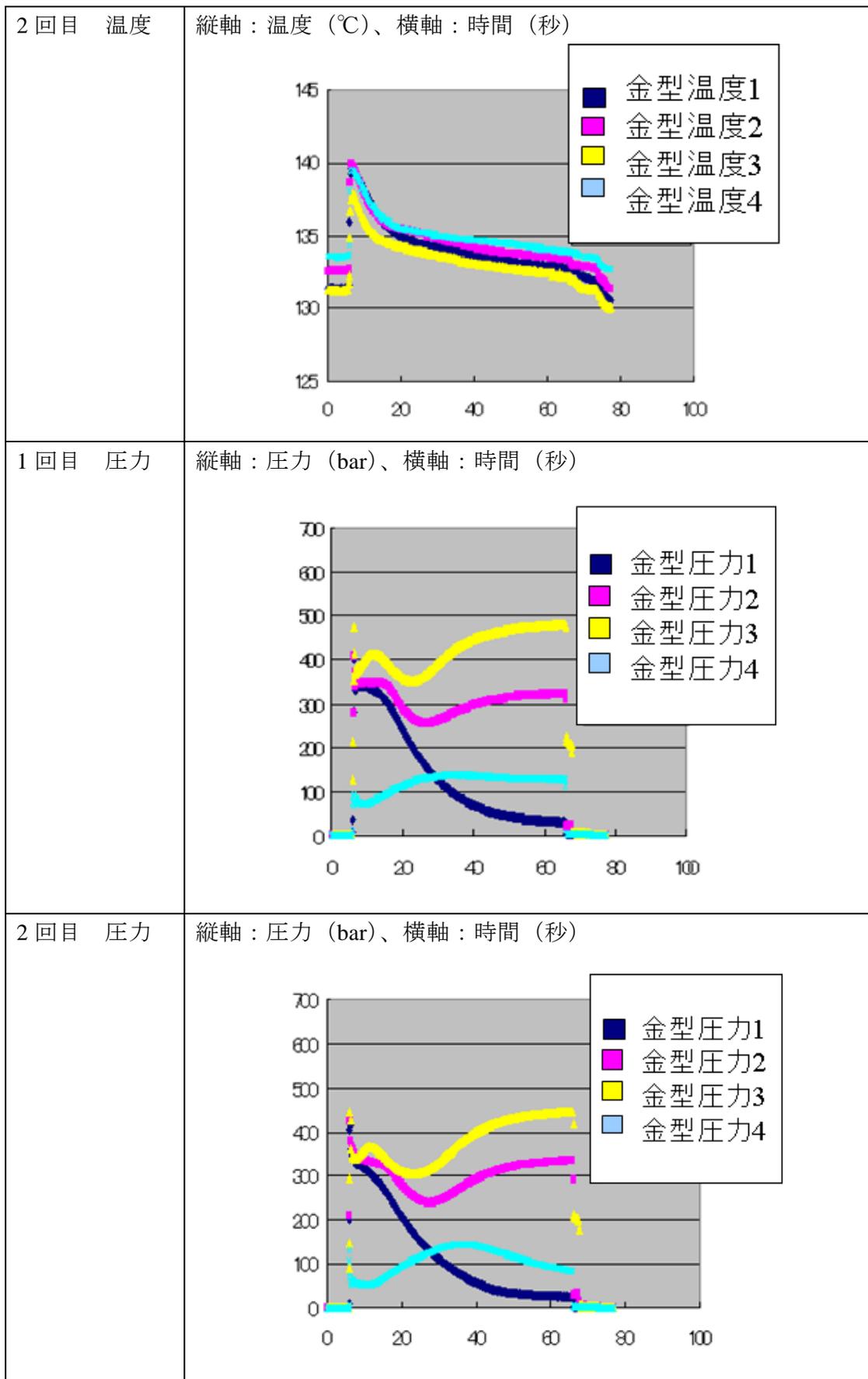
さらに、プレス成形機成形システムを導入し、プレス成形時の温度、圧力等をオンラインで計測する技術を開発した。図②-1-117 に、開発した計測システムにおける金型の温度センサ位置、圧力センサ位置を示す。



図②-1-117 センサ取り付け位置

まず、最初にこの計測システムの正確性を検証するために、同じ材料、同じ条件で 2 回成形を行い、その際に温度、および圧力を計測し、再現性を確かめた。材料として CF/PP 系ランダム材を用い、IR ヒータ設定温度 270°C で 5 分 15 秒加熱とし、金型にチャージした。プレス成形条件として、金型温度は 130°C とし、成形時の加重条件は 80t とした。図②-1-118 に 2 回成形したときの温度、圧力を示す。温度、圧力とも再現性がとれていることを確認した。

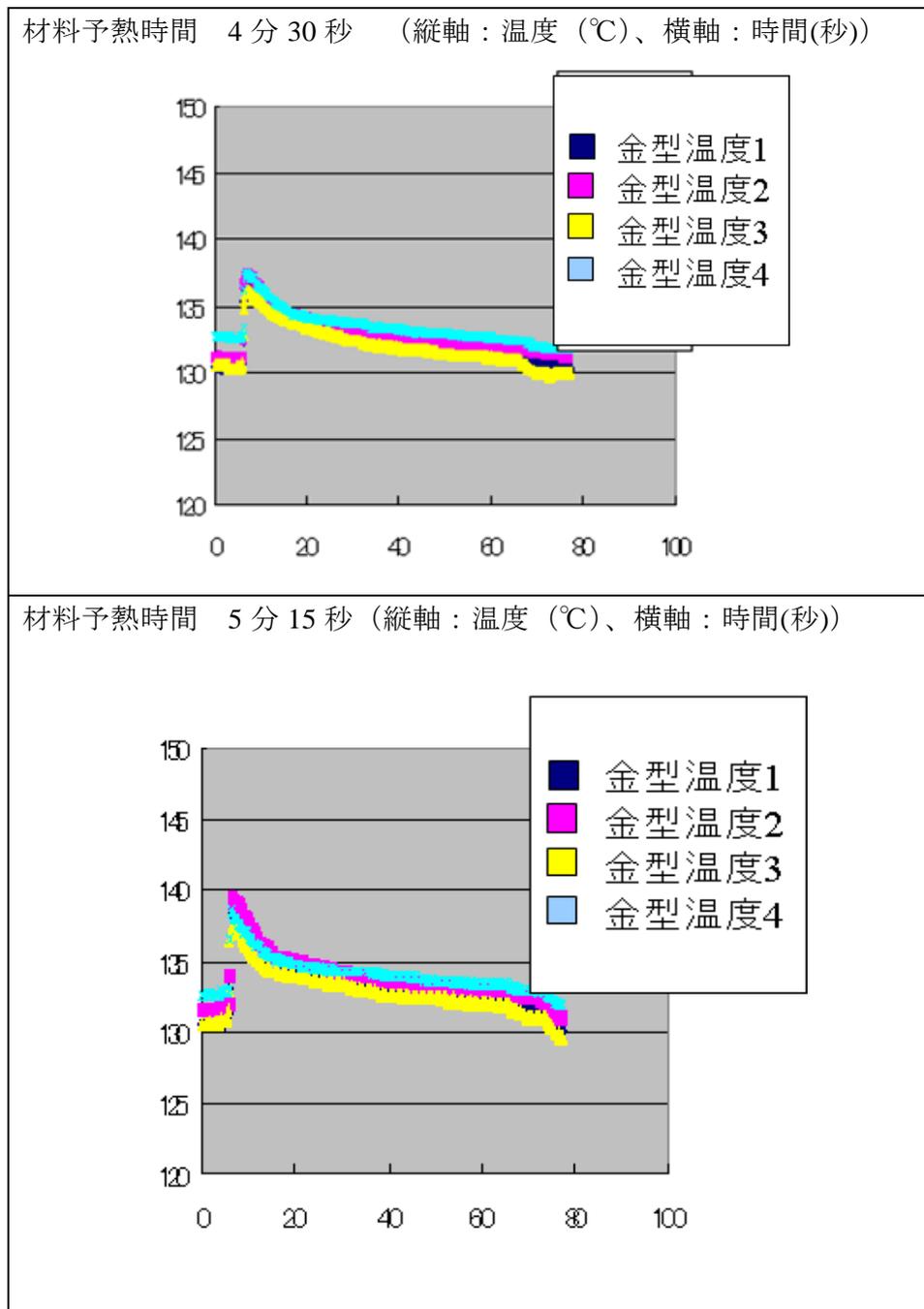


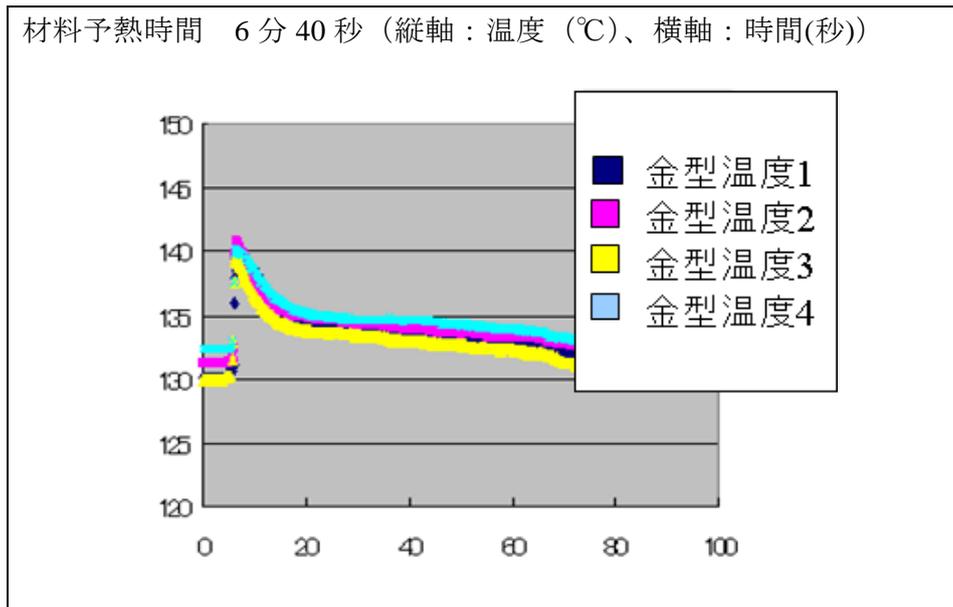


図②-1-118 CF/PP系ランダム材の温度、圧力データの再現性確認

図②-1-119 に、材料として CF/PP 系のランダム材を用いた場合の結果を示す。材料は、IR ヒータ設定温度 270℃で 4 分 30 秒、5 分 15 秒、6 分 40 秒の 3 通りで加熱した後、金型にチャージした。4 分 30 秒加熱、5 分 15 秒加熱、6 分 40 秒加熱で、それぞれ材料温度は約 195℃、約 220℃、約 240℃である。一方、金型温度は 130℃とした。また、成形時の加重条件は 80t とした。

材料予熱時間を長く（材料温度を高く）することで、金型内での材料の流動性は向上し、ピーク温度が上昇する傾向があった。

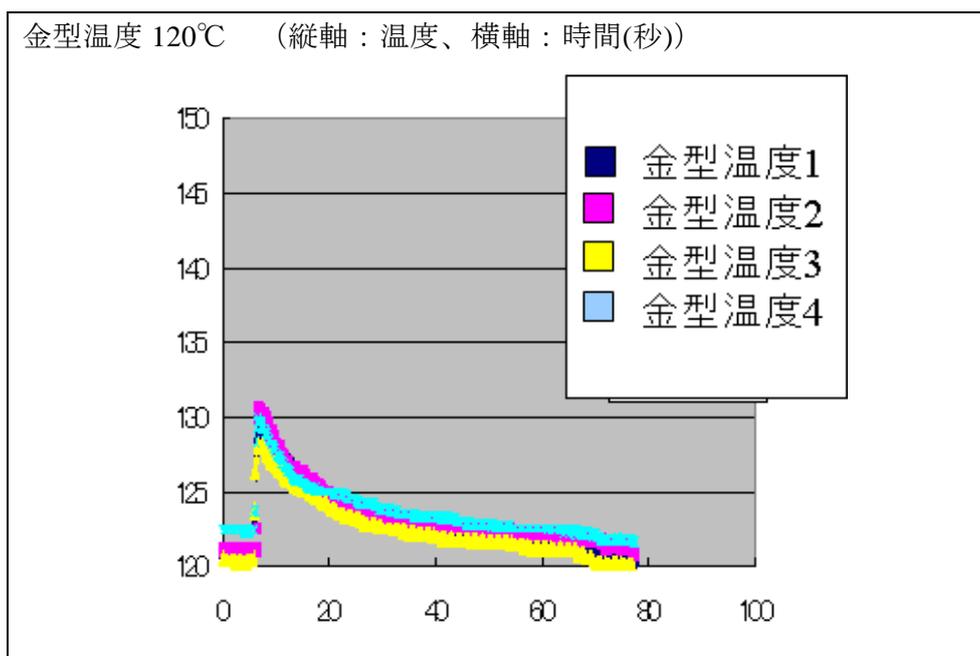


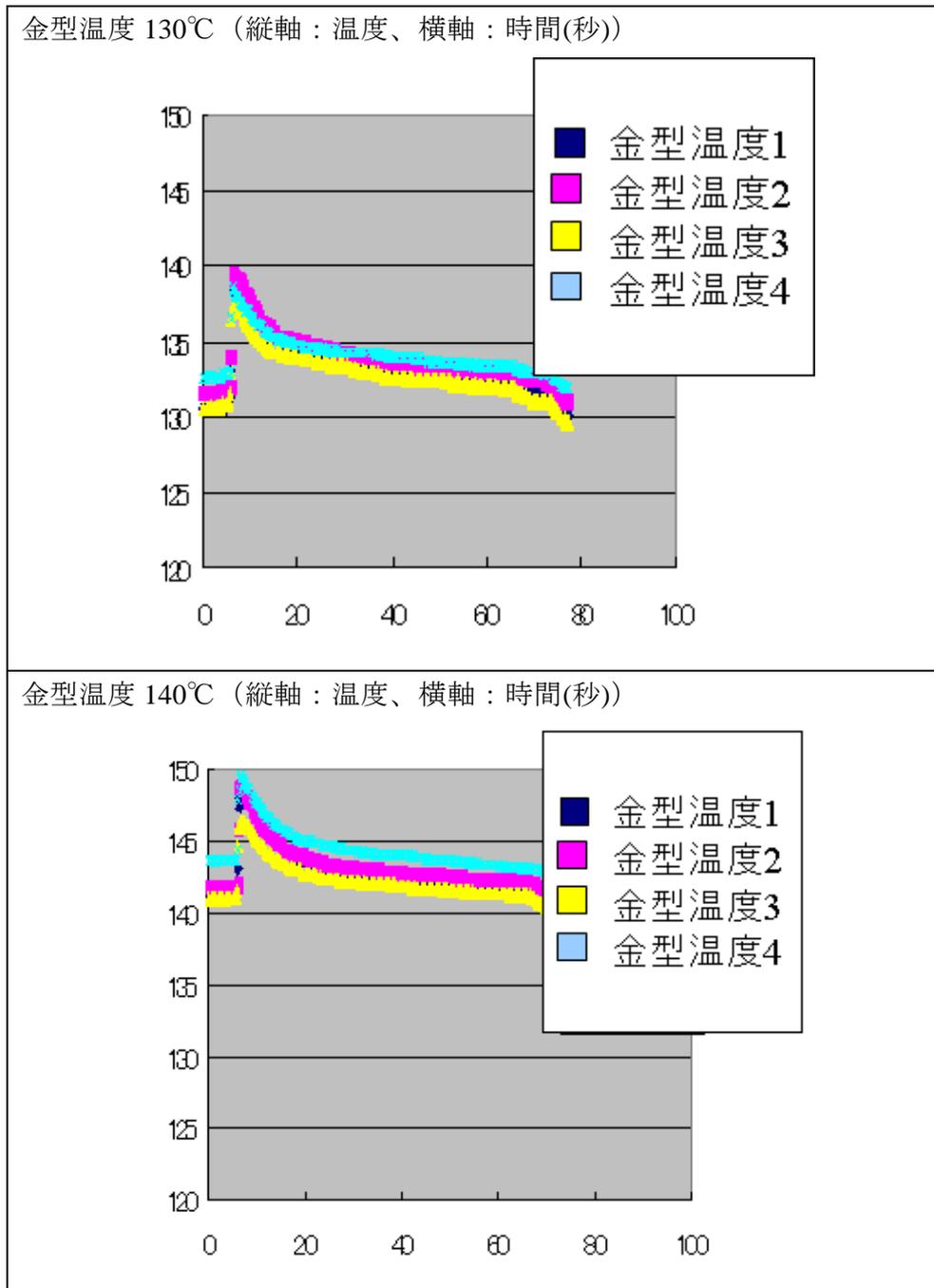


図②-1-119 CF/PP系ランダム材の成形時の温度 (材料予熱時間の影響)

次に、図②-1-120 に、材料として CF/PP 系ランダム材を用い、金型温度を変えた場合の結果を示す。材料は、IR ヒータ設定温度 270°C で 5 分 15 秒加熱した後、金型にチャージした。材料温度は約 220°C である。一方、金型温度は 120°C、130°C、140°C の 3 パターンとした。成形時の加重条件は 80t で同じとした。

金型温度を高くすることで、金型内の最高到達温度は高くなる傾向があった。従って、金型設定温度を高くすることで材料の流動性は向上している。





図②-1-120 CF/PP系ランダム材の成形時の温度（金型温度の影響）

図②-1-121 に、それぞれ 3 条件での成形品の外観を示す。金型設定温度 120℃ではフランジ部がショート（欠肉）しているが、130℃、140℃ではショートすることなく、良好な成形を得ることができた。金型設定温度のアップによる材料の流動性が向上した影響である。



図②-1-121 成形品の外観（図中の温度は金型温度）

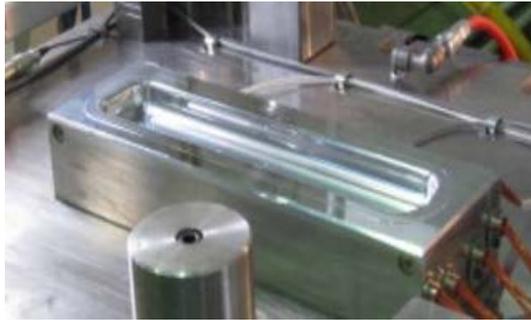
また、一方向性 CF RTP シートの成形方法として、フレームに基材を保持したまま IR ヒータに入れて予熱した後、フレームに保持したまま金型にセットし、プレス成形する成形システムを開発した。その成形の様子を図②-1-122 に示す。材料と PA 系の連続繊維材を用いて検討を行った。



図②-1-122 連続繊維材の成形システム

一方向性 CF RTP 中間基材をフレームに保持したまま成形することにより、外観が良好な成形品を得ることができる。

図②-1-123 に使用した金型の外観図を示す。この金型は連続繊維材用の金型でありシエアエッジのない構造となっている。ここでは、下型を示しており、下型が凹である。上型が凸である。



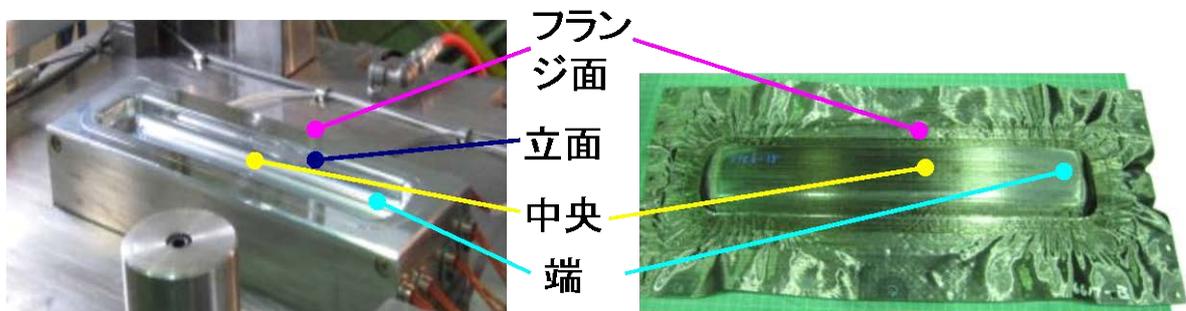
図②-1-123 連続繊維材用の金型外観図

図②-1-124 にこの方法で成形したハットチャンネルの外観を示す。不要な箇所は、ウオータータージェット切断機でトリムすることで、製品を得ることができた。



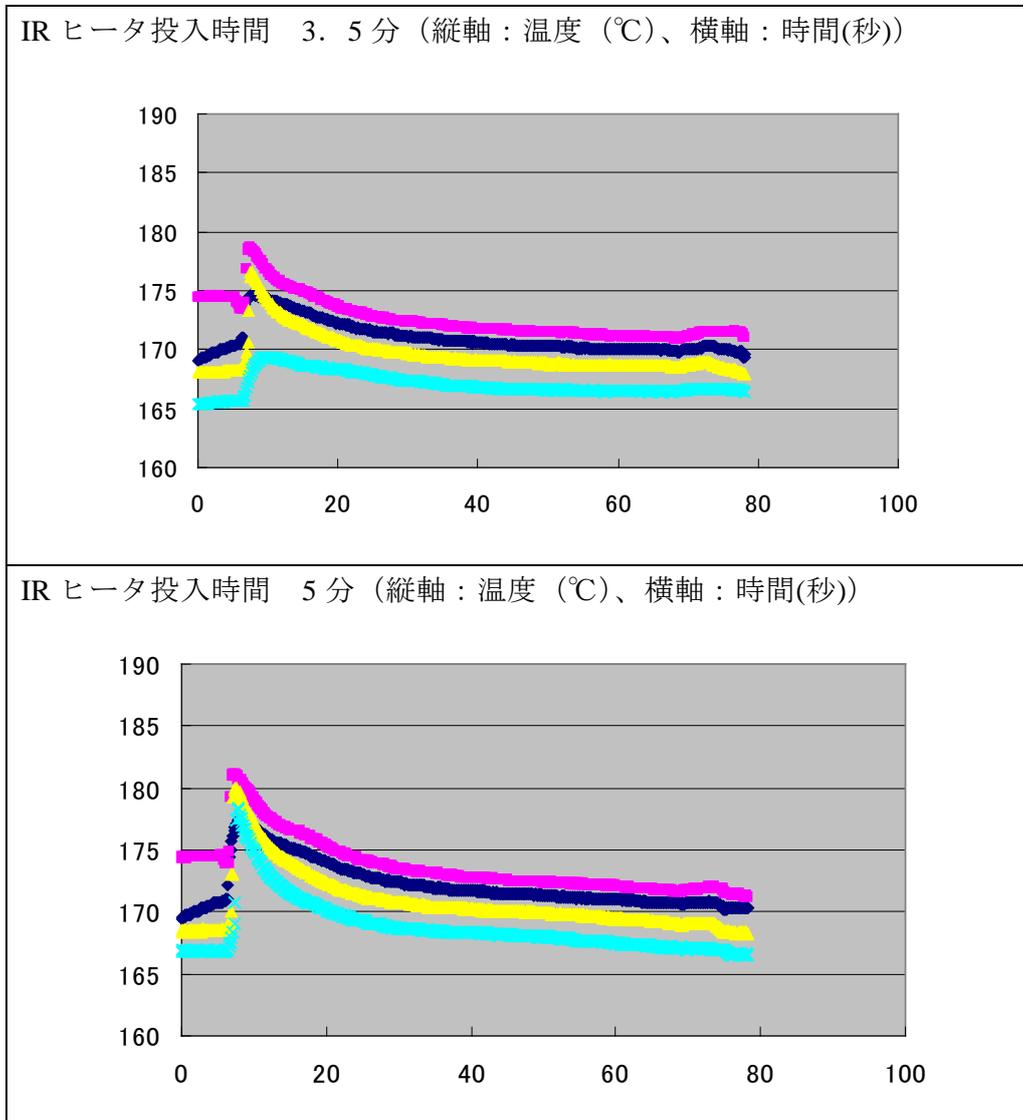
図②-1-124 連続繊維材の成形品

この成形方法において、プレス成形計測システムを用いて、成形中の温度、圧力データを取得した。使用した材料はPA6系の連続繊維材である。図②-1-125に、温度センサ、圧力センサを取り付けた位置を示す。ピンクがフランジ面、濃青が立面、黄色が中央（天面）、薄青が端（天面）である。

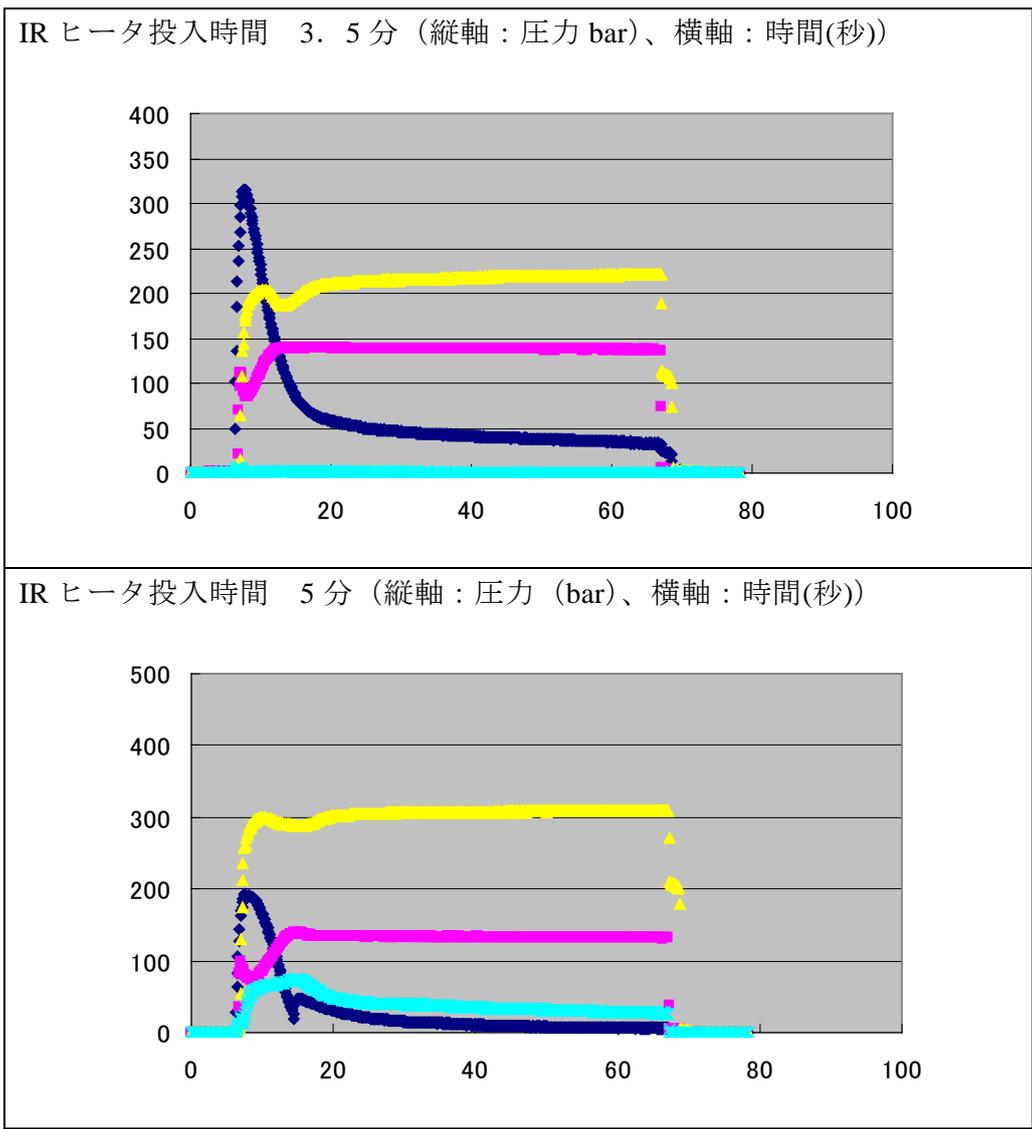


図②-1-125 温度センサ、圧力センサを取り付けた位置

図②-1-126、図②-1-127 に温度、圧力の測定データを示す。PA 系の連続繊維材は、300℃に設定された IR ヒータに 3.5 分、あるいは 5 分入れておいた。3.5 分で材料温度は 270℃、5 分で 290℃である。これを 160℃に制御された金型の上に乗せて、プレス成形を行った。荷重は 60t で同じとした。

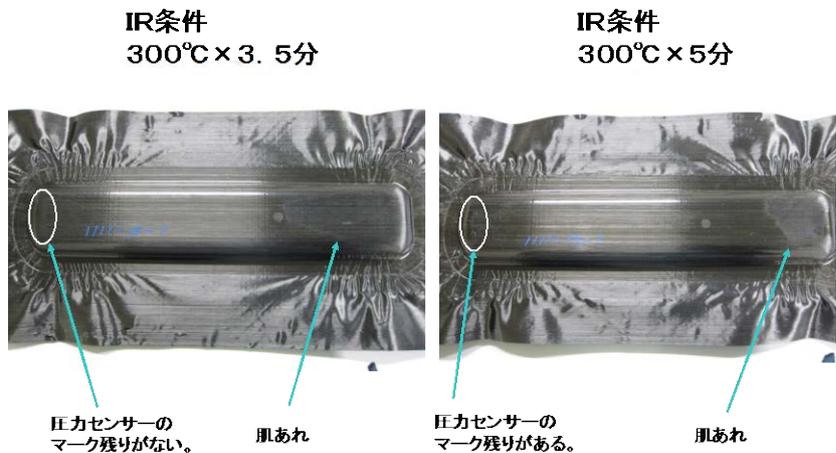


図②-1-126 PA系連続繊維材の成形時の温度 (材料予熱時間の影響)



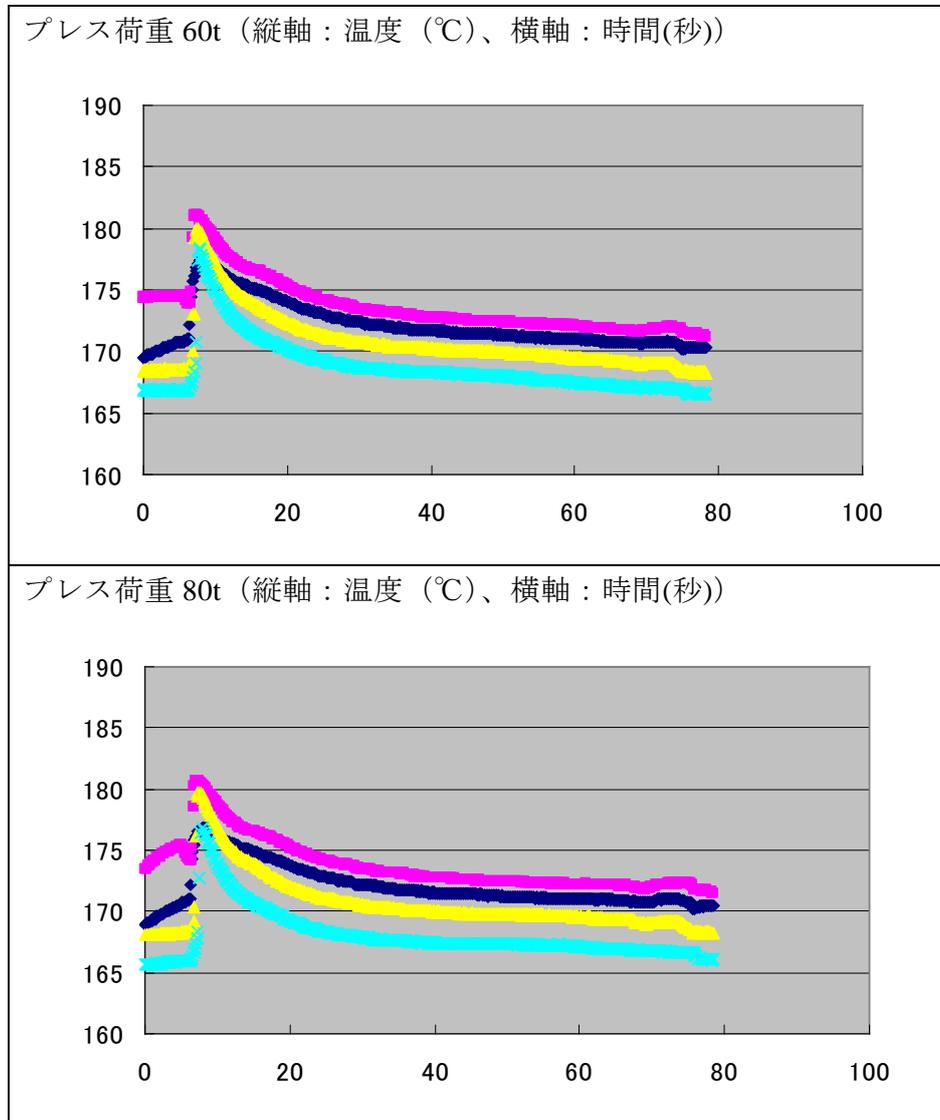
図②-1-127 PA系連続繊維材の成形時の圧力 (材料予熱時間の影響)

図②-1-128 に、それぞれの条件での成形品の外観図を示す。

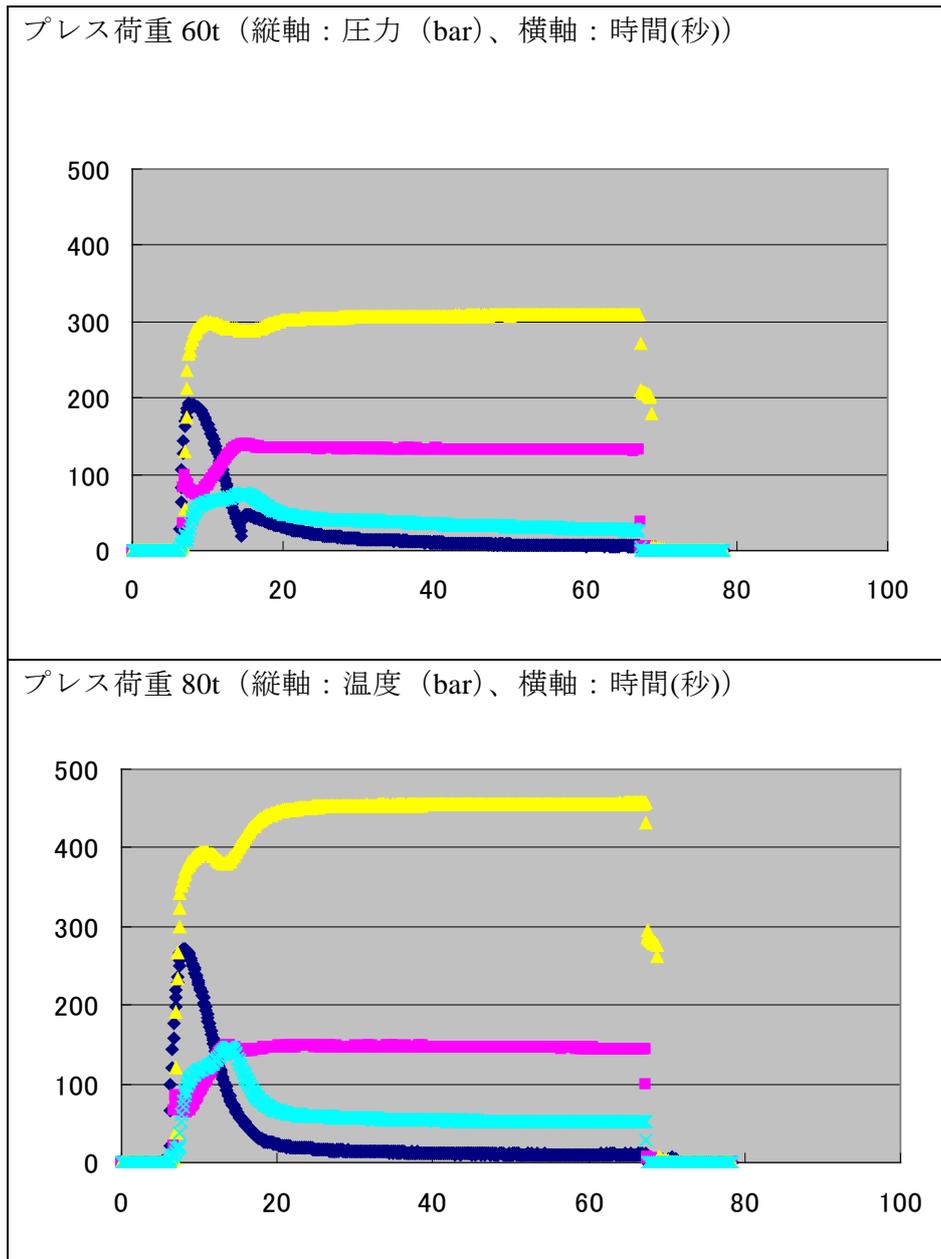


図②-1-128 PA系連続繊維材の成形品外観図

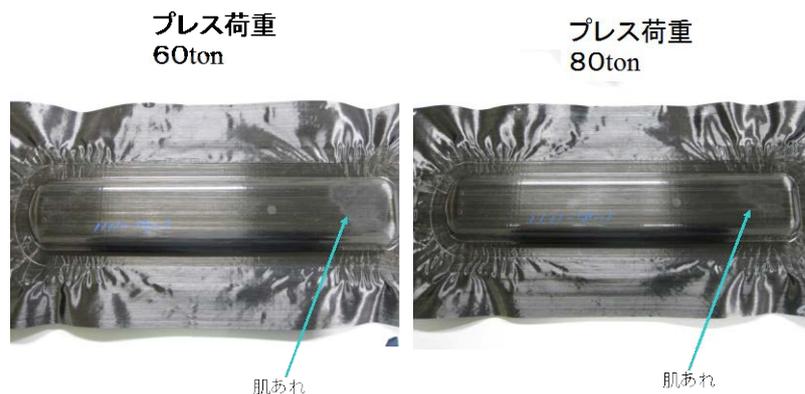
次に、プレス時の圧力の影響を検証した。ここで材料の予熱条件は IR ヒータ設定温度 300℃、加熱時間 5 分と一定とした。また、金型温度も 160℃一定とし、荷重を 60t、80t の 2 通りとした。荷重を 80t にすることにより概して金型内の圧力は上昇し、特に天面中央部 (黄色線) の圧力が顕著に大きくなった。結果を図②-1-129、130 に示す。また、成形品の外観図を図②-1-131 に示す。



図②-1-129 PA 系連続繊維材成形時の金型の温度 (プレス荷重の影響)



図②-1-130 PA系連続繊維材成形時の金型の圧力（プレス荷重の影響）

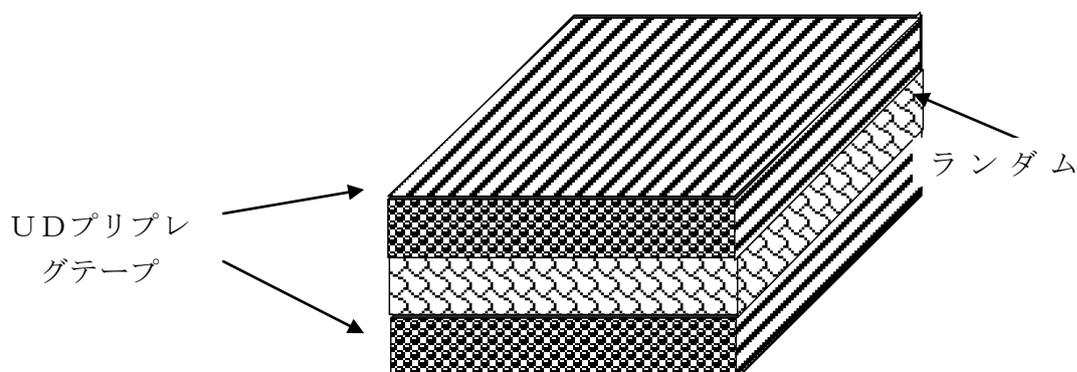


図②-1-131 PA系連続繊維材の成形品外観図

上記のようにランダム材のような不連続繊維材は流動性があるため複雑な形状に成形することは可能であるが、ランダム材のみでは力学特性が不足であるため、単純に鋼材の置き換えは難しいと考えられている。そこで図②-1-132のようにランダム材の両面をUDプリプレグテープにより補強したハイブリッド基材の曲げ物性をUDプリプレグテープの繊維方向(0°方向)および繊維と直角方向(90°方向)の二方向について測定し、物性の推移と共に異方性について確認を行った。さらにUDプリプレグテープの積層枚数を変えて同様の測定を実施した。詳細内容は表②-1-3に示した。

表②-1-3 UDプリプレグテープにより補強したハイブリッド材

サンプル名	ランダム材	UD15%	UD30%	UD40%
UDプリプレグテープ補強	なし	両面に一層補強	両面に二層補強	両面に三層補強
UD層厚み/ハイブリッド層厚み割合	0%	15%	30%	40%

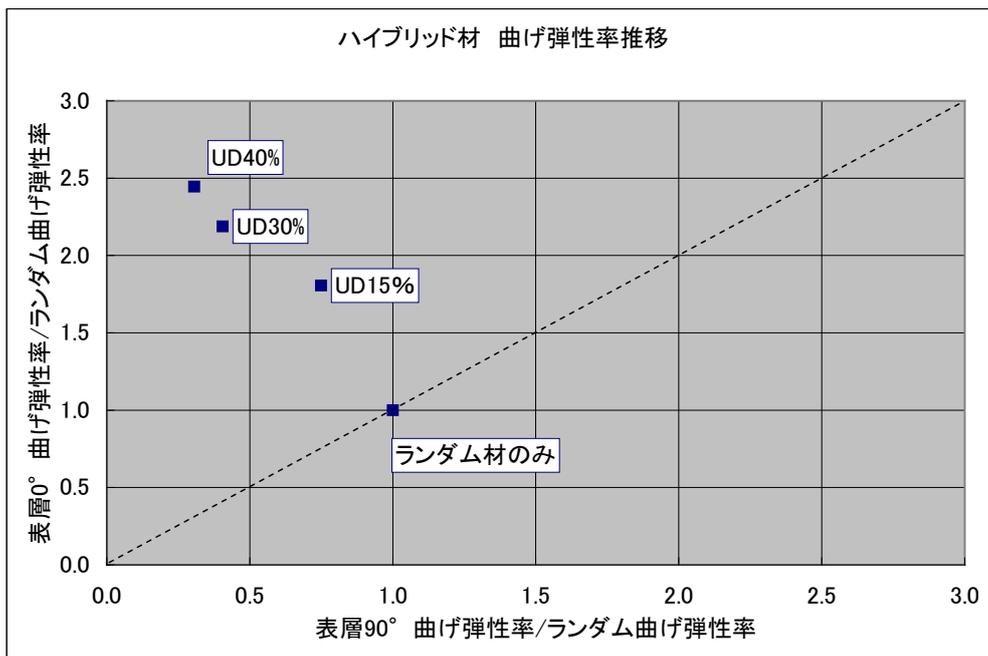


図②-1-132 ランダム材の両表面にUDプリプレグテープを補強したハイブリッド材の概念図

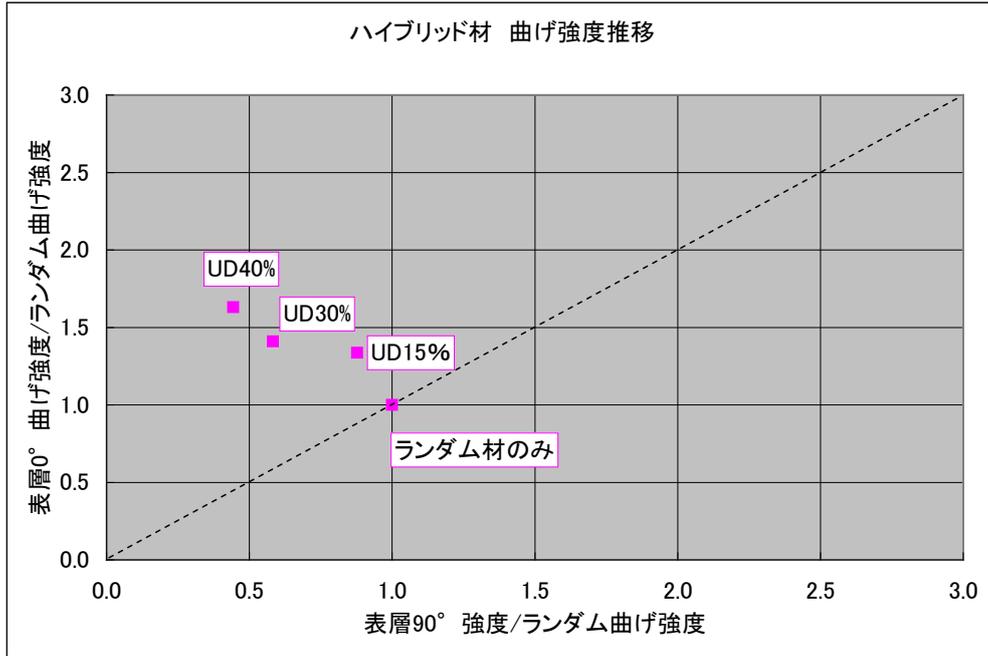
補強した UD プリプレグテープの繊維方向を 0° とした場合、図②-1-133 にハイブリッド材の 0° 曲げ弾性率および 90° 曲げ弾性率を示した。図②-1-133 にはランダム材の曲げ弾性率を 1 とした場合の比率を示している。また、図②-1-133 中の点線は 0° 曲げ弾性率と 90° 曲げ弾性率が同じ値である材料を示しており、点線に近い材料は二次元的に等方性であることを示している。図②-1-133 を見ると、表層に UD プリプレグテープで補強割合が高くなればなるほど、 0° 方向の弾性率が高くなる傾向が見られた。一方で 90° 方向の弾性率は低下する傾向が見られ、ハイブリッド材としては補強割合が高くなるほど異方性が高くなる傾向が確認できた。

次に図②-1-134 にハイブリッド材の 0° 曲げ強度および 90° 曲げ強度を示した。図②-1-134 にはランダム材の曲げ強度を 1 とした場合の比率を示している。曲げ強度も曲げ弾性率と同様に表層に UD プリプレグテープで補強割合が高くなればなるほど、 0° 方向の強度が高くなる傾向が見られ、ハイブリッド材としては異方性が高くなる傾向が確認できた。しかし、その異方性は曲げ弾性率の推移と比較すると、大きくないという傾向が得られた。

図②-1-133 や図②-1-134 により、部材の形状や特性により高い弾性率が必要な部分は積極的に異方性を活用することも視野に入れて設計すべきと思われる。



図②-1-133 ハイブリッド材の 0° および 90° 曲げ弾性率推移 (ランダム材対比)



図②-1-134 ハイブリッド材の0° および90° 曲げ強度推移（ランダム材対比）

本プロジェクトでは、プリフォームの金型内でのコンソリデーションを検討するために急速加熱冷却設備を導入した。本設備を用いて、複雑形状部材のプレス成形の高速化の検討を行った。

図②-1-135 に装置外観図を示す。また、図②-1-136 にプリフォーム金型（下型）の外観図および、温度を測定した場所を示す。



図②-1-135 急速加熱冷却設備外観図

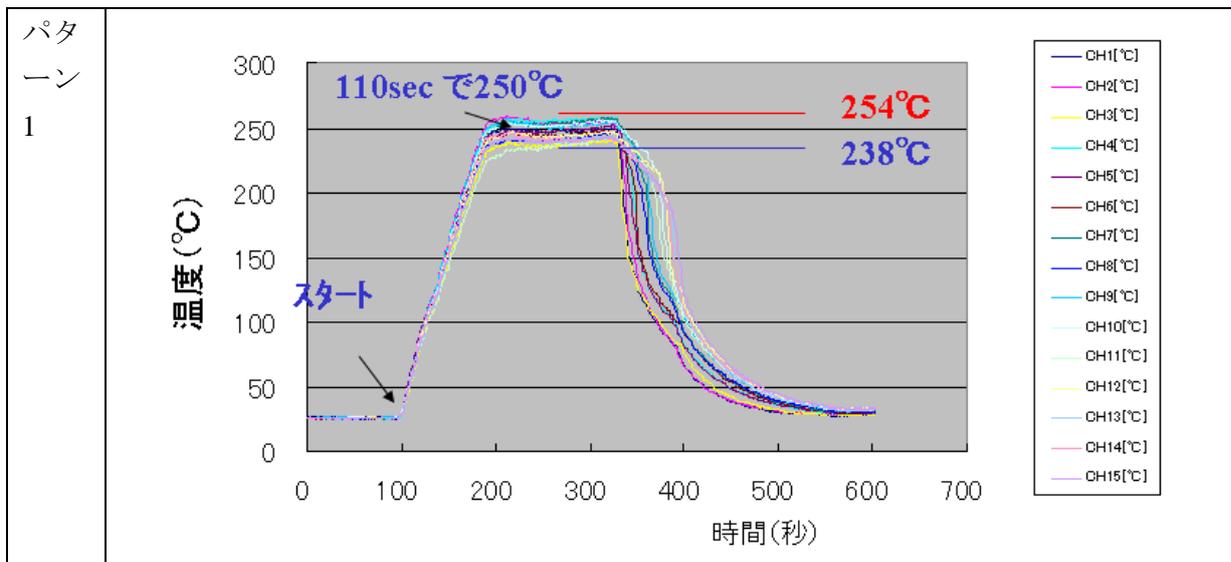


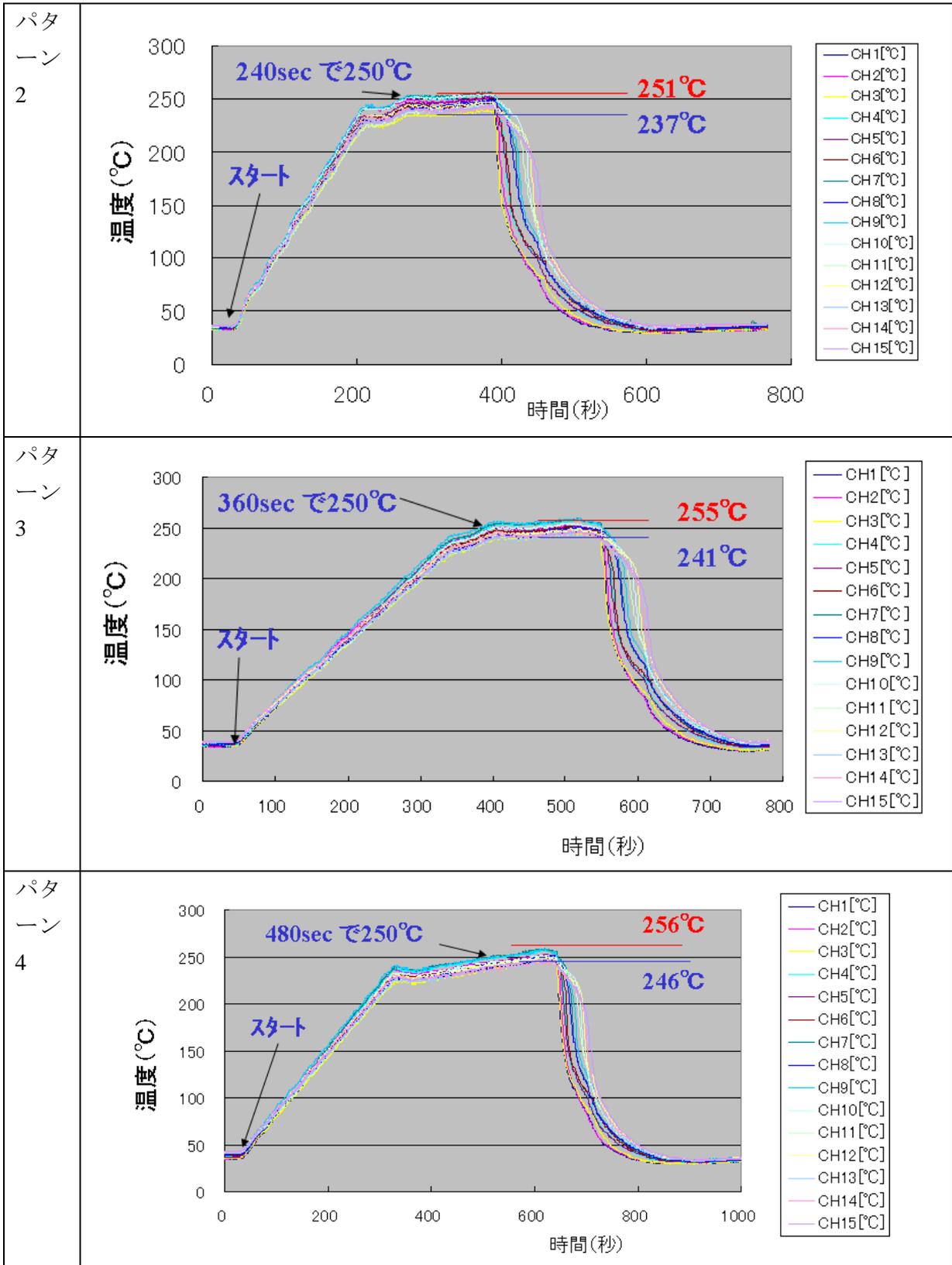
図②-1-136 急速加熱冷却設備用金型外観図

表②-1-4 にはプリフォーム金型の昇温パターンを示す。また、図②-1-137 には急速加熱実験結果を示す。

表②-1-4 昇温プロフィール (到達温度 250°Cの場合)

	室温→230°C	230°C→250°C	250°C保持
昇温パターン1	1分30秒	20秒	2分
昇温パターン2	3分	1分	2分
昇温パターン3	5分	1分	2分
昇温パターン4	5分	3分	2分





図②-1-137 急速加熱実験結果

CF/PA 系の連続繊維材のコンソリデーションについては、既に上記しているのを、

ここでは CF/PP 系の連続繊維材についてまとめる。本急速加熱冷却設備を用いて CF/PP 系連続繊維材の直交積層品のコンソリデーションを行った。条件は表②-1-5 の 3 通りで実施した。特に加熱の到達温度の影響を検証した。条件 1~3 で到達温度を 200℃、220℃、240℃の 3 パターンとした。加熱時は上型と下型をわずかに接する程度に金型を閉め、特に荷重はかけなかった。5 分保持後、高周波による加熱を停止する一方で、金型内の配管に水を流し冷却を開始すると共に、荷重 60t をかけて保持した。金型温度が 100℃になったところで冷却水の供給を停止した。

表②-1-5 CF/PP 系 直交積層品のコンソリデーション条件

	加熱	冷却
条件 1	到達温度：200℃ 保持：5 分 荷重：接圧程度	冷却到達温度：100℃ 保持：5 分 荷重：60t
条件 2	到達温度 220℃ 保持：5 分 荷重：接圧程度	冷却到達温度：100℃ 保持：5 分 荷重：60t
条件 3	到達温度 240℃ 保持：5 分 荷重：接圧程度	冷却到達温度：100℃ 保持：5 分 荷重：60t

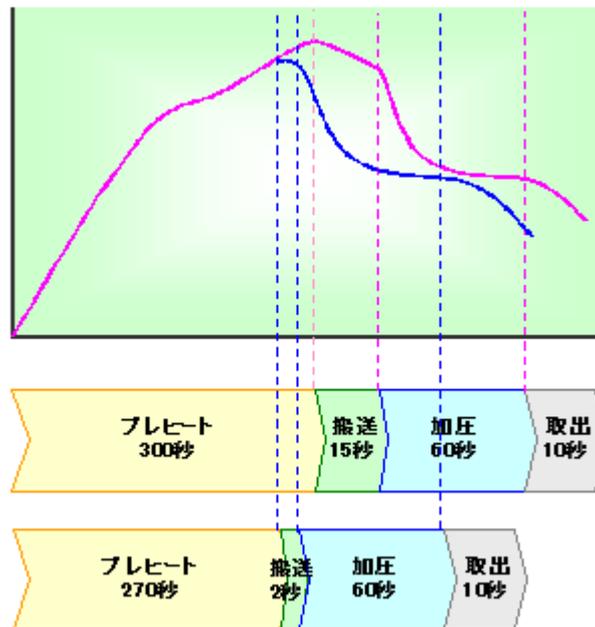
図②-1-138 に、それぞれの条件での直交積層品のコンソリデーションサンプルを示す。条件 1 では材料は変形することなくコンソリデーションが行われたが、条件 2、条件 3 では材料がやや流動して、コンソリデーション後のサンプル寸法は、初期サンプルの寸法よりやや大きくなっていた。このことから、最適なコンソリデーション温度は 200~220℃であることがわかった。本設備を用いれば 1 サイクル 10 分以内でコンソリデーションが可能である。



図②-1-138 CF/PP 系 直交積層品のコンソリデーションサンプル

流動性・賦形性改良検討設備として、一方向性 CFRTP 中間基材を自動で IR ヒータに搬送し、所定時間加熱した後、プレス機に設置された金型の上に自動的にチャージする設備を開発し、導入した。本機器とプレス機を連動することにより、一連の成形システムを自動化することを可能とした。

本システムに従来、手作業で行った場合、加熱されたシートを金型にチャージするのに約 20 秒かかっていたが、10 秒以下のチャージが可能となった。チャージ時間の短縮による材料温度の低下を抑えることが可能となった。図②-1-139 に手作業でチャージする場合と、自動システムでチャージする場合の比較を示す。図②-1-140 に自動システムでチャージする場合の各工程の様子を示す。



図②-1-139 材料予熱から成形品取り出しまでの時間プロフィール

工程	外観
基材セット	

基材チャック	
赤外線加熱炉投入	
金型上部へ移動	
基材落下	



図②-1-140 工程別の状況

基礎検討により、チャージパターン、ホットブランク加熱条件、成形条件の最適化が可能となったため、図②-1-141 に示すようなリブ成形流動性評価用単純形状金型や、図②-1-142 に示すボス成形評価用単純形状金型を用いて成形条件の妥当性を確認した。



図②-1-141 流動性評価結果を致した成形実証例（リブ流動性）

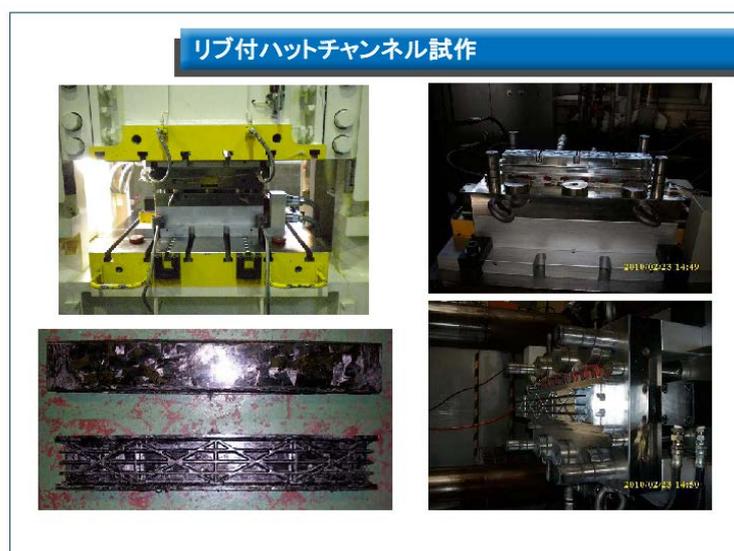
図②-1-142 に示すように、本プロジェクトを行った範囲に於いて、60mm 程度のリブ立てが可能な事を確認できた。



図②-1-142 流動性評価結果を致した成形実証例（ナット・インサート）

図②-1-142 に示すようにインサート成形が可能である事を確認した。なお、ナット・インサートでは、市販の電動工具で+ドライバビットによりトルク 3.0N・m で繰返し締め付けたが、インサートに破壊を生じる事はなかった。

よって、基礎検討での流動性の評価結果、それを応用したリブ高さの検討結果を元に、リブ立てによる剛性向上を目的として、図②-1-143 に示すようなリブ付ハットチャンネル成形用単純形状金型を設計した。



図②-1-143 リブ付ハットチャンネル試作例

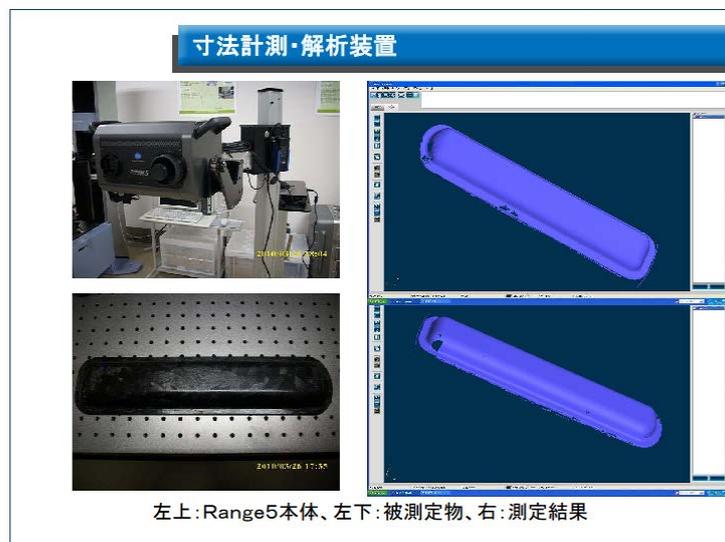
基礎検討並びに応用検討で構築した成形技術の実証を行うために、リブ付きハットチャンネル成形用単純形状金型を用いて、流動性並びに構造構築の可能性を検証した。

図②-1-143 に示すように、高さ 20mm 程度のリブが欠損なく成形が可能で、スカート（両サイドたち面）も欠損なく成形することができた。これらのことより、本プロジェクトで開発したランダム材は、基礎検討を応用展開することで、複雑な形状を有するリブ付きハットチャンネルを成形できる可能性を確認できた。

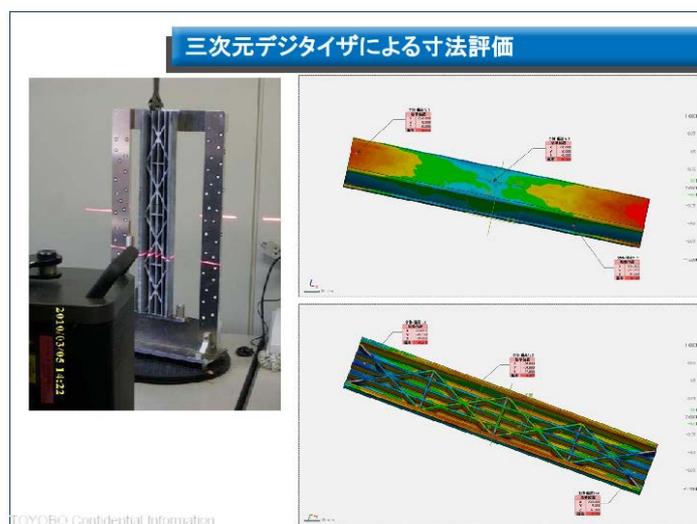
なお、リブ付きハットチャンネルが所定の寸法に成形出来ているかどうかを確認するために、寸法計測・解析装置（三次元デジタイザ）を用いて検査を行なった。

図②-1-144 に示す寸法計測・解析装置は、三次元非接触で形状測定が可能で、下記に示すような曲率が増加するような形状も測定が可能である。

図②-1-145 に三次元デジタイザによるリブ付きハットチャンネルの寸法測定結果を示す。その結果、所定の寸法に成形できていることを確認できた。

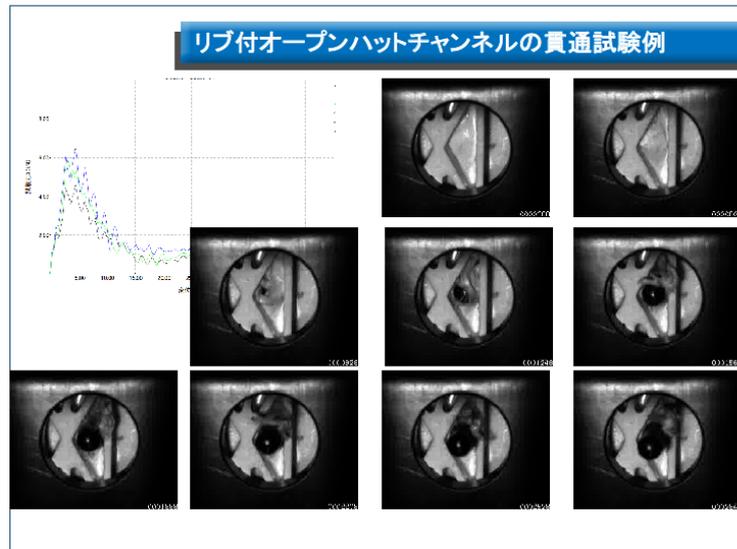


図②-1-144 寸法計測・解析装置



図②-1-145 三次元デジタイザによる寸法測定

更に、油圧式衝撃試験機（衝撃パンクチャー試験機）、並びに、CFRTP 破壊現象観察システムを用いて、貫通試験を行なった。その結果を図②-1-146 に示す。この図から分かるように、貫通時に大きな破損は見られず、繊維強化の効果を確認することができた。

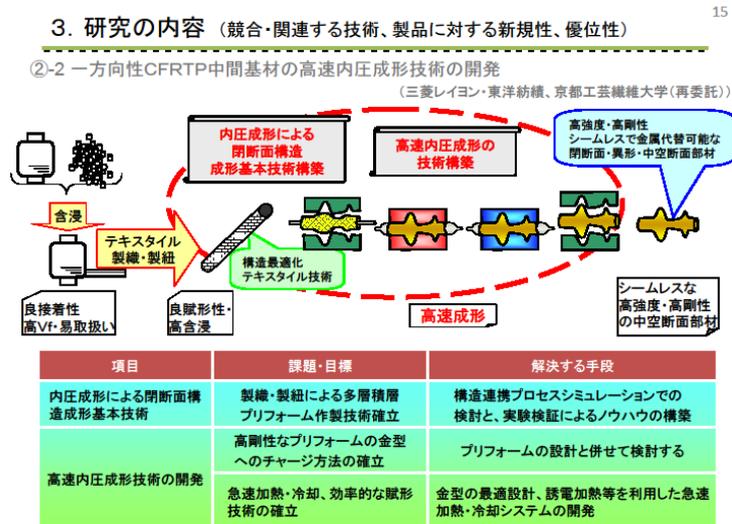


図②-1-146 リブ付ハットチャンネルの貫通試験例

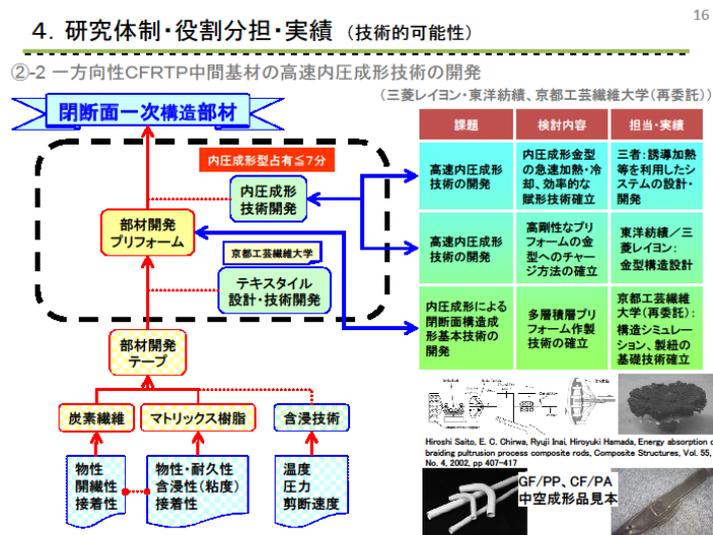
以上、述べたように、ランダム材の成形条件を最適化することでリブを有するような複雑形状も成形が可能で、尚且つ高性能な構造部材を成形できる可能性を有することができることを確認することができた。

②-2 「CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発」

図②-2-1 と図②-2-2 には、CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発のアウトラインと、その実施事項の概要を示す。



図②-2-1 研究開発項目②-2 「CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発」アウトライン



図②-2-2 研究開発項目②-2 「CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発」実施事項概要

②-2-1 「内圧成形による閉断面構造基本成形技術の開発」

シームレスな中空閉断面構造体を成形する方法として、一方向性プリプレグテープから作製するブレード等を中間基材として使用する高速内圧成形技術を開発するために、京都工芸繊維大学を中核として、三菱レイヨン(株)、東洋紡(株)が協力して検

討を進めた。

特に、内圧成形による閉断面構造基本成形技術の開発として、高周波誘電加熱システムを利用した急速加熱冷却装置を京都工芸繊維大学に導入し、内圧成形システムと組み合わせることで、目標時間 5 分以内の成形に目処を得た。図②-2-3、図②-2-4 に高周波誘電加熱システムを用いた内圧成形システムと、ストレートパイプのプリフォームへの成形チューブ挿入状態と、金型への投入の状態を示す。



図②-2-3 内圧成形システム

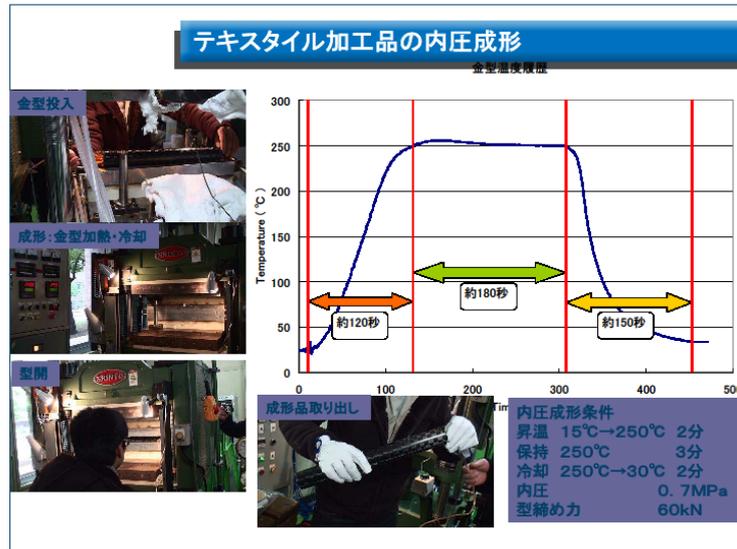


図②-2-4 プリフォーム並びに成形概要

プリフォームについては、前述の通り、京都工芸繊維大学が有するブレードを用いて、成形品が 2mm の厚みを有するように製紐した。

②-2-2 「高速内圧成形技術の開発」

前記プリフォームを急速加熱冷却金型に投入し、下記の条件で成形を行った。その結果、当初は成形温度までの加熱時間を2分、加圧保持時間を3分、冷却・脱型までの時間を2分として、金型占有時間合計7分での成形検討を行った（図②-2-5）。



図②-2-5 ストレートパイプ成形

その後、京都工芸繊維大学において、テープを引き揃えた一方向性基材成形などによる条件検討の結果、更なる金型占有時間短縮の可能性が明らかになった。

最終的には、成形温度までの加熱時間を1分、加圧保持時間を1分、冷却・脱型までの時間を1分として、金型占有時間合計3分での成形可能性を見出すことができた。



図②-2-6 金型占有時間短縮の可能性の探索

これまでの検討結果を受けて、将来的にフレーム構造を実現するためには、ジョイント部分の成形が必要になる。よって、異型断面の検討として、T字パイプを選択し、その製紐・成形の可能性を探索した。

T字パイプの成形にあたっては、組角が複雑で、全体に嵩高となるため、その成形は、成形温度までの加熱時間を1分、加圧保持時間を3分、冷却・脱型までの時間を1分として、金型占有時間合計5分とした(図②-2-6)。

これまでの結果により、上記のように、角/丸断面のストレートパイプのみならず、T字パイプのような異型断面を有する複雑形状品に至るまで、金型占有時間5分以下で成形できる目処が立った。なお、成形品の例として、図②-2-7にはT字パイプを、図②-2-8にはストレートパイプの例を示す。



図②-2-7 成形品の例 (T字パイプ)



図②-2-8 成形品のバリエーション

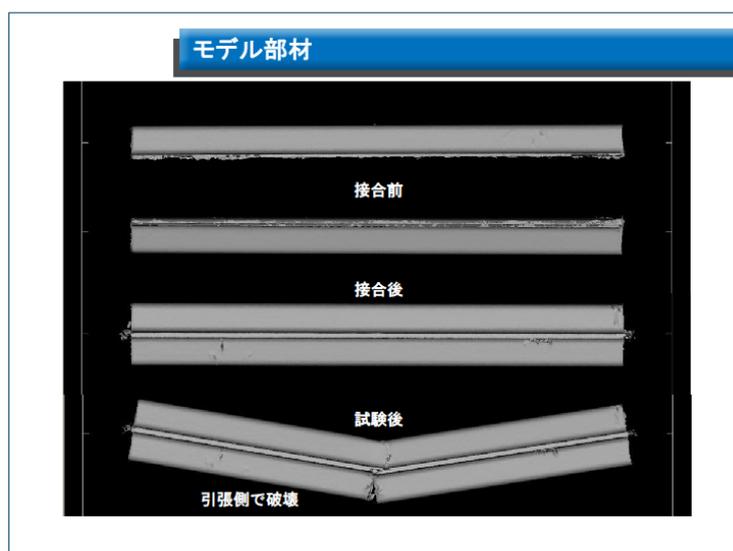
②-3 「一方向性基材の評価技術構築」

これまで述べてきたように、委託事業では、中間基材などの評価技術構築を中心に検討を行ってきた。実施事項以外にも、研究開発項目①「易加工性 CFRTP 中間基材の開発」、②「易加工性 CFRTP の成形技術の開発」、③「易加工性 CFRTP の接合技術の開発」の技術の仕上げとして、モデル部材を選定しその評価技術構築を行った。

さらに、モデル部材の力学特性の評価は、曲げ、軸圧縮、ねじりの境界条件で行った。曲げ試験では、AE やサーモグラフによる非破壊検査手法の検討、速度依存、環境温度依存についての検討も行った。

②-3-1 「モデル部材について」

モデル部材は、自動車の構造部材がフレーム構造を取っている事から、□50mm の角パイプを想定して、図②-3-1 に示すフランジ付パイプ形状とした。



図②-3-1 モデル部材形状

②-3-2 「モデル部材の成形について」

このモデル部材は、下記の手順で成形した。

- 1) 中間基材（ランダム材）から短冊状のホットブランクの切り出し：ホットブランクは、流動性評価の基礎検討の結果を受けて、チャージ率 50%とした
- 2) IR 加熱：同じく基礎検討の結果を受けて、サーモグラフによる表面温度管理と、熱電対を用いた内部温度の測定結果を踏まえて決定した
- 3) 圧縮成形：保圧時間（金型占有時間）2分とした
- 4) フランジ融着：振動融着機を用いて、フランジ面押込み深さ 0.7mm の条件で行った。
- 5) トリミング：フランジのバリなどを AWJC にて切断した（図②-3-2）

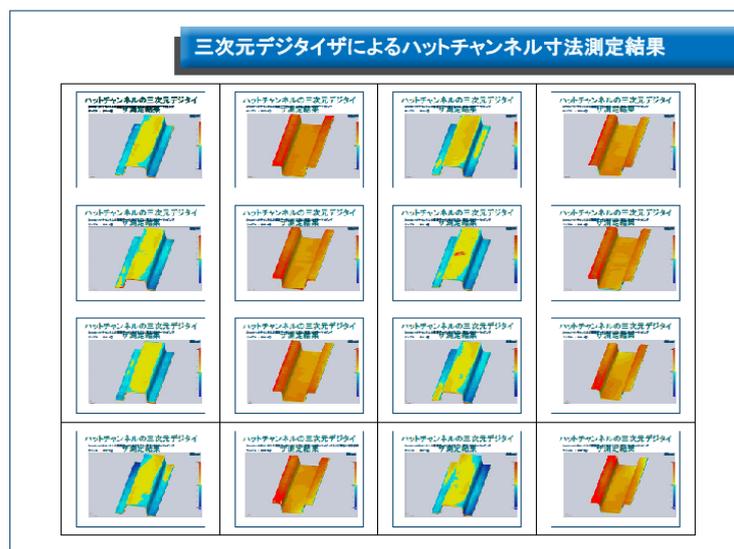


図②-3-2 中間基材／成形品内部構造解析付帯装置

②-3-3「寸法測定」

成形品の寸法は、前述の通り、三次元デジタイザを用いて行った。

図②-3-3 にはハットチャンネルの成形後の形状を図②-3-4 にはハットチャンネルを振動融着したモデル部材の寸法測定結果を示す。いずれの場合も、大きく傾向が異なることはなく、成形品の寸法安定性が良好であることが分かった。



図②-3-3 ハットチャンネルの形状例

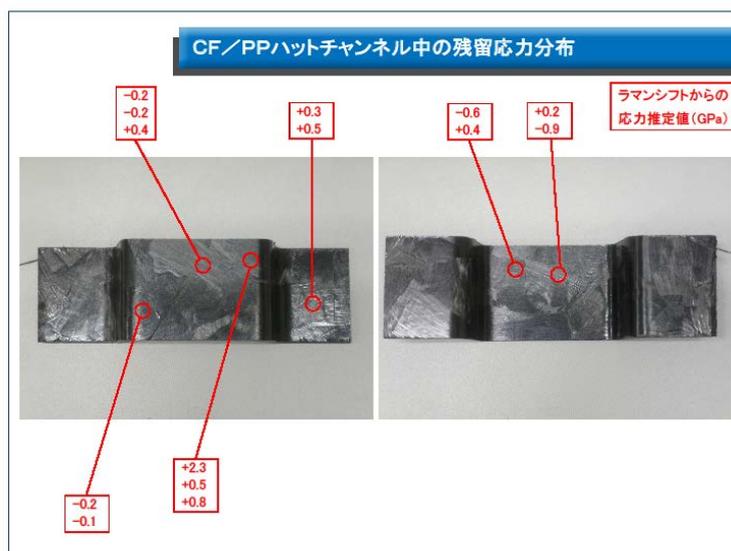


図②-3-4 モデル部材の形状例

②-3-4「残留応力の測定」

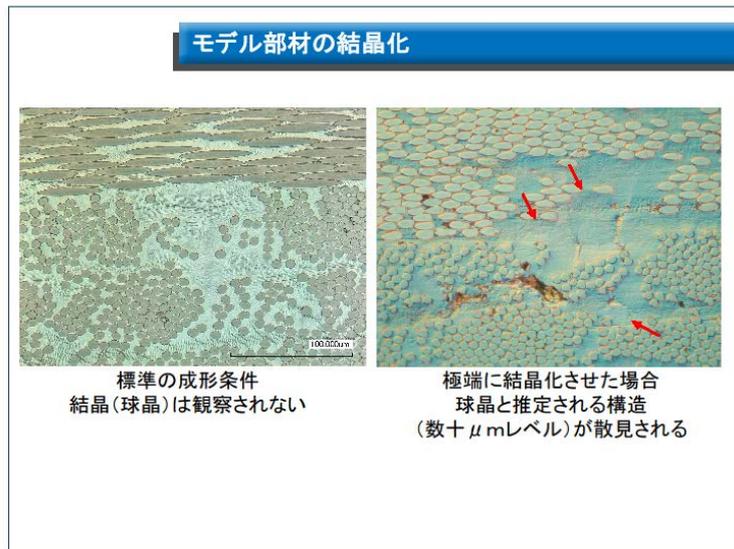
前述のラマン顕微鏡を用いた観察結果を元に、モデル部材中での CF に働く残留応力を測定した結果を図②-3-5 に示す。このように、成形後のモデル部材中では、CF に PP の成形収縮や結晶化収縮によって、CF が曲がったり、圧縮されたりして残留応力が働いていることが分かる。この様な残留応力は、例えば温度上昇や、劣化による PP の弾性率/強度の低下などにより開放される可能性がある。

図②-3-5 には、校正曲線から得られたラマンシフトを用いて、ハットチャンネル形状の内部残留応力を評価した例を示す。このように、成形品中の CF は、PP の成形収縮により、残留応力が発生している事が分かった。



図②-3-5 ラマンを用いた成形品中の残留応力分布測定の例

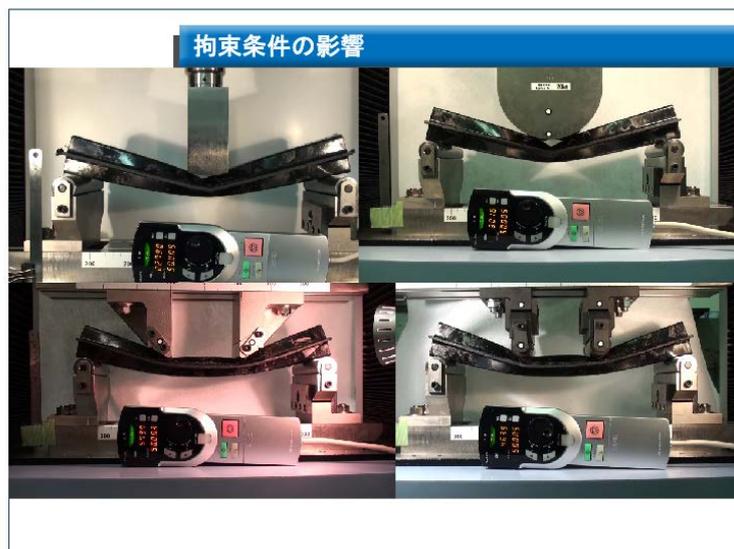
また、ランダム材を成形して得られたモデル部材の結晶化を観察した結果を図②-3-6に示す。今回は切り出した試料を研磨して平滑な断面を作製した後に、アルゴンエッチング処理して熱ダメージを受けていない部分を微分干渉顕微鏡で観察した。この場合も前述のように、例えば、CF 表面を核とするような結晶の成長は観察されなかった。



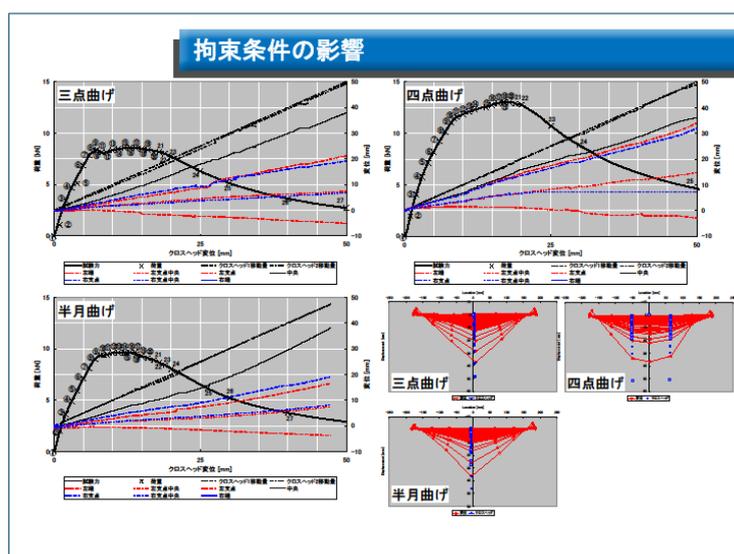
図②-3-6 モデル成形部材中の結晶

②-3-5 「負荷条件」

今回、装置制約（プレス盤面、万能試験機スパン）から、モデル部材は□50mm 相当の矩形断面で、全長は400mmとした。曲げ試験は、スパン350mmとしたため、見かけの l/d は7となり、ショートスパンビームの曲げとなる。このため、検討に先立って、評価方法の検証を行うため、図②-3-7に示すような三点曲げ、並びに、四点曲げを検討した。測定結果を図②-3-8に示す。この図から分かるように、今回の試験を行なった範囲に於いて四点曲げでも純曲げのモードを得る事はできなかった。このため、破壊の起点の同定が容易な三点曲げを標準の試験方法とした。



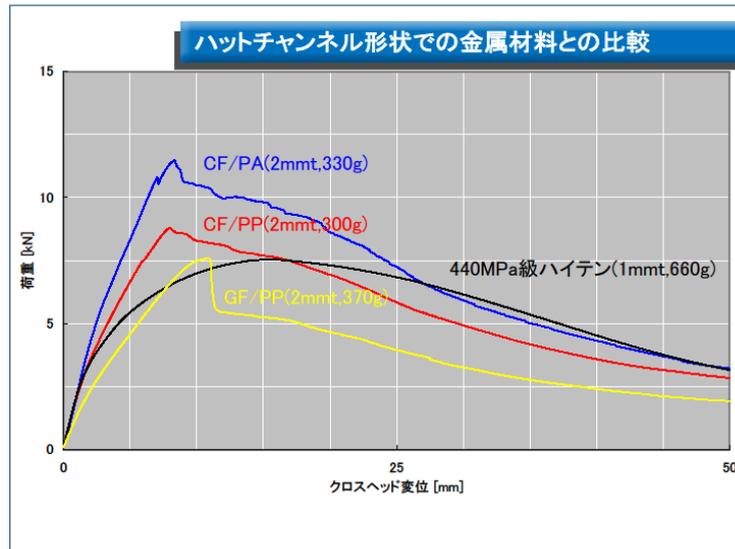
図②-3-7 高速条件の影響：モデル部材曲げ試験用三点曲げ試験治具



図②-3-8 三点・四点曲げ試験結果

②-3-6 「静的試験方法」

図②-3-9 には、モデル部材の三点曲げ試験結果を示す。ここでは、開発した CF/PP 系、CF/PA 系、GF/PP 系、並びに、比較材として 440MPa 級ハイテンの結果を示す。また、図②-3-10 には、CF/PP 系と 440MPa 級ハイテンのモデル部材で、クロスヘッド移動量 50mm まで曲げたときの変形を示す。



図②-3-9 モデル部材の三点曲げ結果



図②-3-10 CF/PP系とハイテンの変形挙動

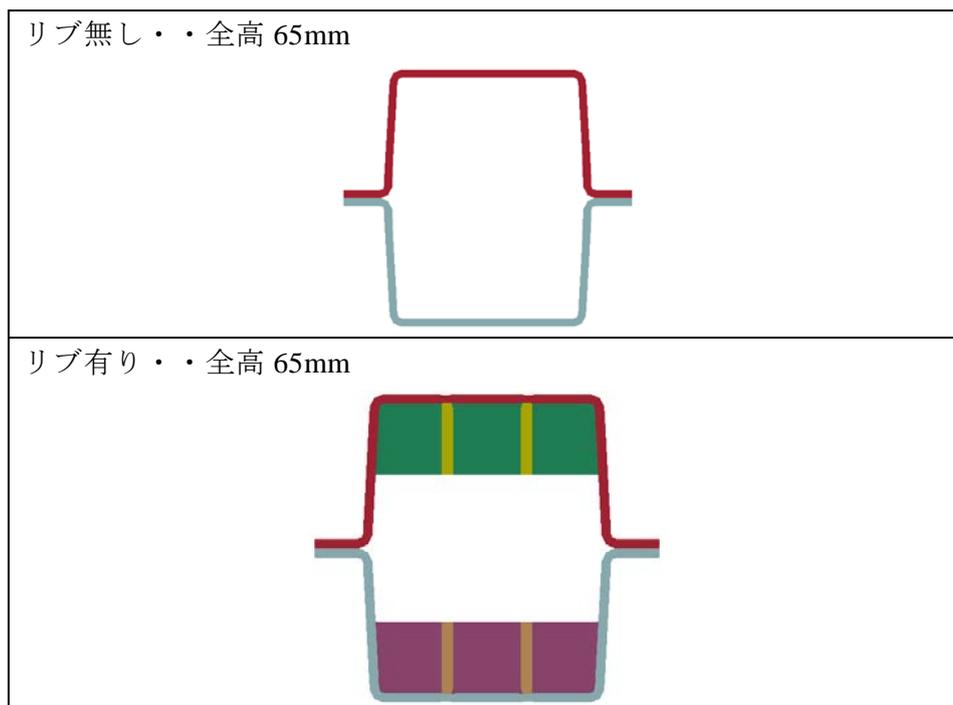
この図から分かるように、CF/PP系、CF/PA系は、440MPa級ハイテンとほぼ同等の初期剛性を有し、最大荷重はこれを凌ぐことが分かった。また、CF/PP系は、クロスヘッド移動量50mmから除荷した際に、変形を回復する挙動を示した。

さらに、以下の4種類の成形検討を実施した。使用材料として、CF/PP系のランダム材(A004/G2、Vf=50%)を用いた。図②-3-11に実際の成形品を示す。

リブ 無し し	<p style="text-align: center;">リブ無し</p> 
リブ 高さ 10mm	<p style="text-align: center;">リブ長 10mm</p> 
リブ 高さ 15mm	<p style="text-align: center;">リブ長 15mm</p> 
テーパーリブ	<p style="text-align: center;">テーパーリブ</p> 

図②-3-11 成形品外観図

さらに、CF/PP系ランダム材を用いて、図②-3-11に示したハットチャンネルよりも高さの高いリブ無しハットチャンネル、リブ有りハットチャンネルの自動成形に成功した。それぞれ成形したハットチャンネル2個ずつを振動融着機で接合を行った。接合後のサンプルを模式的にあらわすと以下のように表現される（図②-3-12）。



図②-3-12 ハットチャンネル接合品模式図

振動融着機の操作方法として溶けシロがある一定の値となる操作方法とした。たとえば材料の融着前の厚みを X (mm)、溶けシロを Y (mm) とすると、融着部の厚みの合計は $2X-Y$ (mm) となる。例えば、融着前のフランジ部の厚みがそれぞれ 2mm、溶けシロ 0.5mm の場合、接合後のフランジ部の厚みは 3.5mm となっている。

図②-3-13 に、接合後のサンプル例（リブ無し、リブ高さ 15mm）を示す。接合の際発生するバリについては、それを除去することなくそのまま、次の曲げ試験に供した。また、図②-3-14 には比較用の電気亜鉛めっき鋼板（厚み 1mm）のスポット溶接のパイプの外観図を示す。ここで鋼板パイプの断面形状は幅 50mm×高さ 50mm であり、その重量は 720g である。

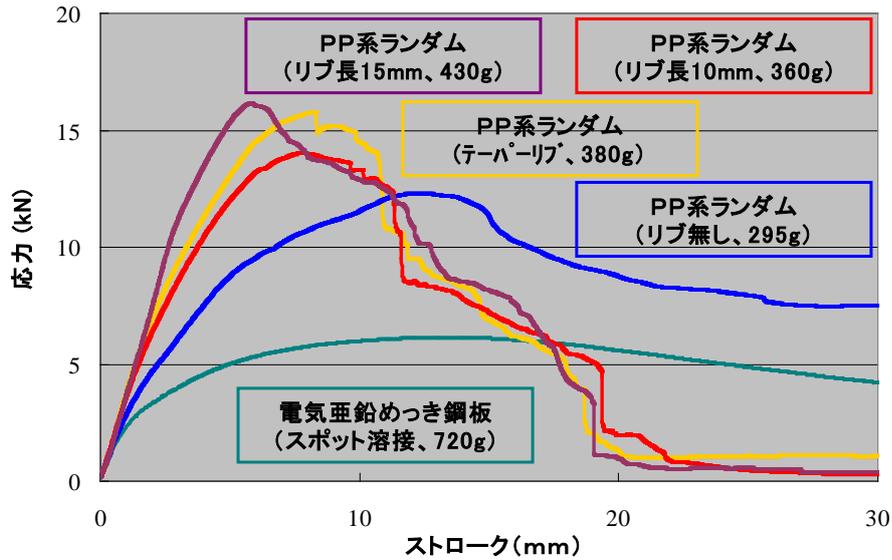
<p>リブ無しハットの接合後のサンプル</p>	
<p>リブ有りハットの接合後のサンプル</p>	

図②-3-13 接合後サンプル外観図



図②-3-14 比較用 電気亜鉛めっき鋼板パイプ

このパイプ状物を曲げ試験機で三点曲げ試験を実施した。試験温度は室温である。試験結果を図②-3-15 に示す。



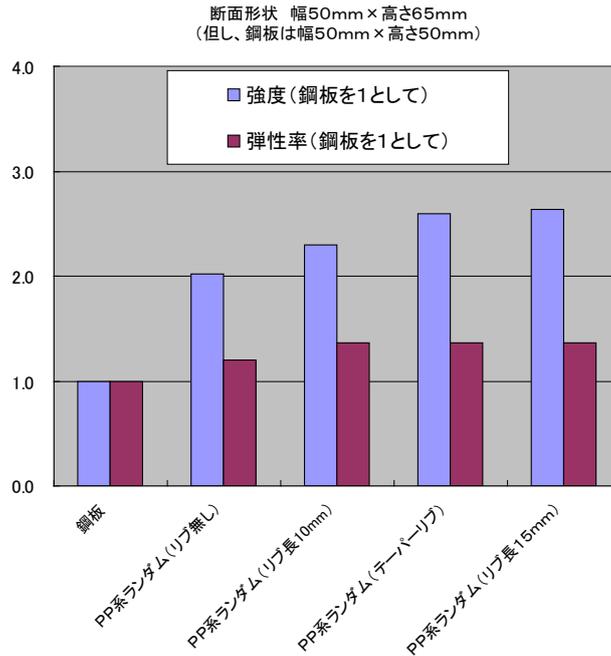
図②-3-15 CF/PP 系材料のハットチャンネルと鋼板パイプとの比較

表②-3-1 に三点曲げ試験結果を数値化した物を示す。重量についてはその絶対値のほか、対鋼材の比も示した。同様に強度についても最大強度の絶対値と、対鋼材の比も示した。また、剛性を示す指標として、試験応力 0~2kN の初期勾配を算出した。その単位は kN/mm である。これを弾性率の代替として使用した。弾性率についても絶対値の他、対鋼材の比も算出した。

表②-3-1 CF/PP 系材料のハットチャンネルと鋼板パイプとの比較

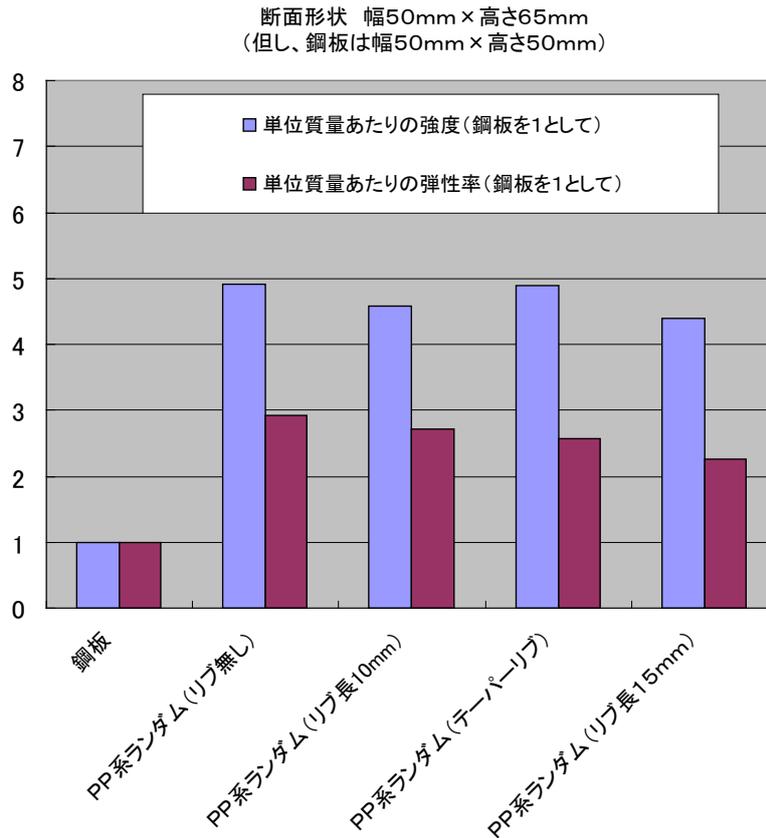
	電気亜鉛めっき鋼板	PP系ランダム	PP系ランダム	PP系ランダム	PP系ランダム
	スポット溶接	リブ無し	リブ長10mm	テーパ-リブ	リブ長15mm
長さ	400mm	400mm	400mm	400mm	400mm
厚み	1mm	2mm	2mm	2mm	2mm
重量	720g	295g	360g	380g	430g
重量(対鋼材)	1	0.41	0.5	0.53	0.6
最大強度(kN)	6.1	12.3	14	15.8	16.1
最大強度(対鋼材スポット溶接)	1.0	2.0	2.3	2.6	2.6
0~2kNの初期勾配(kN/mm)	2.5	3.0	3.4	3.4	3.4
0~2kNの初期勾配(対鋼材スポット溶接)	1.0	1.2	1.4	1.4	1.4

図②-3-16 には、鋼材パイプの強度に対する各種ハットチャンネルの強度の比、および鋼材パイプの弾性率に対する各種ハットチャンネルの弾性率の比を算出した。ここでは重量については考慮していない。4 種類のハットチャンネルのいずれにおいても強度（対鋼材）は2倍以上であり、また、弾性率（対鋼材）は1倍以上であった。リブを設けることで、リブ無しと比較して強度（対鋼材）、弾性率（対鋼材）が向上していることが確認された。



図②-3-16 PP系ランダム材 による各種ハットチャンネルの軽量効果 (1)

次に、重量の影響も考慮して、軽量化効果を検証した。図②-3-17 には、単位質量あたりの強度を算出し、その対鋼材の比を算出した。すなわち、単位質量あたりの強度（鋼材を1にして）は、上表において、最大強度（対鋼材スポット溶接）を重量（対鋼材）で割った値になる。例えば、PP系ランダム材（リブ無し）の単位質量あたりの強度（鋼材を1にして）は、 $2.0 / 0.41$ で算出され、約4.9となる。同様に、単位質量あたりの弾性率（鋼材を1にして）は、上表において、0～2kNの初期勾配（対鋼材スポット溶接）を重量（対鋼材）で割った値になる。例えば、PP系ランダム材（リブ無し）の単位質量あたりの弾性率（鋼材を1にして）は、 $1.2 / 0.41$ で算出され、約2.9となる。重量を考慮した場合、強度の面で軽量化効果があるのはPP系ランダム材（リブ無し）とPP系ランダム材（テーパールリブ）であり、剛性の面で軽量化効果のあるのはPP系ランダム材（リブ無し）であった。

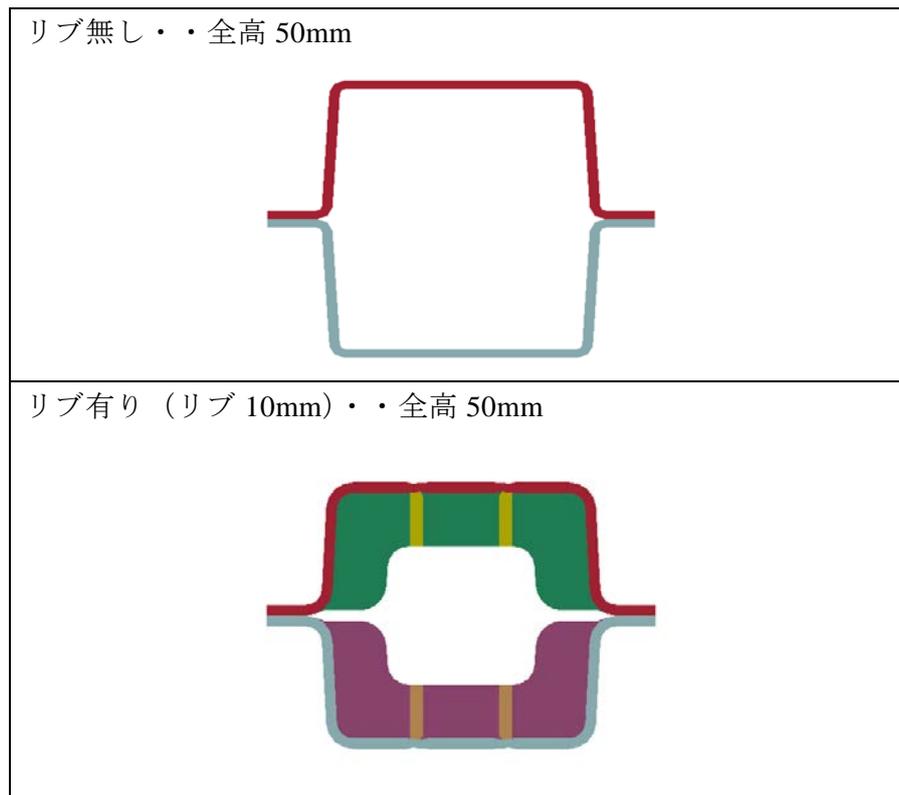


図②-3-17 PP系ランダム材による各種ハットチャンネルの軽量化効果 (2)

ランダム材／連続繊維材の効果を検証するために以下のような検討を行った。種類は3種類であり、いずれも長さ400mm、断面形状50mm×50mmのハットチャンネルである。材料はCF／PP系ランダム材、あるいはそのハイブリッド材である。ハイブリッド材は、リブ有りのハットチャンネルで検討を行った。そのハイブリッド材の構成は、外層（天面部）が0／90／0／90／0からなる連続繊維材であり、それ以外の部分はランダム材からなる。

リブ無しの場合では成形品重量は280gであり、ランダム材においてリブを立てることにより重量は100g重くなり360gである。ハイブリッド材においては、連続繊維材の分だけ重量は増えるが代わりにランダム材の重量を減らし、総重量は360gになるようにした。

それぞれ成形したハットチャンネル2個ずつ振動融着機で接合を行った。接合後のサンプルを模式的にあらわすと以下のように表現される（図②-3-18）。

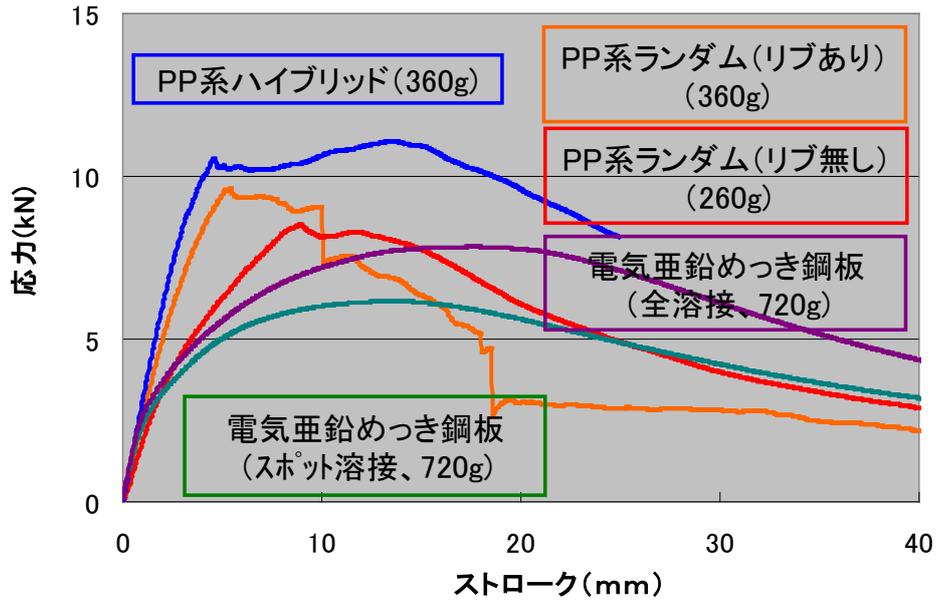


図②-3-18 ハットチャンネル接合品模式図

図②-3-19に長さ400mm、断面形状50mm×50mmのハットチャンネル曲げ試験の結果を示す。材料はCF/PP系ランダム材、あるいはそのハイブリッド材である。赤線はランダム材のみで成形した物であり、リブ無しのハットチャンネルである。その2つを接合して得られるパイプは260gであった。茶色線はランダム材のみで成形したものであり、リブ有りのハットチャンネルである。その2つを接合して得られるパイプは360gであった。青線は内側がランダム材、外層（天面部）が0/90/0/90/0からなる連続繊維材である。その2つを接合して得られるパイプの重量は360gであった。上記のハットチャンネルの厚みは約2mmである。比較として、厚み1mmの電気亜鉛めっき鋼板からなるパイプを用いた。フランジ部の溶接方法として10cm間隔のスポット溶接、および全溶接の2通りとした。

ランダム材においてリブを立てることにより重量は100g重くなるが、初期剛性、強度とも向上することが確認された。その効果はリブによる構造的な効果である。さらに、天面を連続繊維材5プライで補強することにより、さらに剛性、強度とも大きくなることを明かにした。その効果は、連続繊維材特有の高強度、高剛性という材料要因である。

PP系ハイブリッド材は電気亜鉛めっき鋼板（スポット溶接）のパイプの重量の約半分であり、強度は約2倍、初期剛性はほぼ同等であった。また、PP系ハイブリッド材は電気亜鉛めっき鋼板（全溶接）のパイプの重量の約半分であり、強度は約1.5倍、初期剛性はほぼ同等であった。



図②-3-19 CF/PP系材料のハットチャンネルと鋼板パイプとの比較

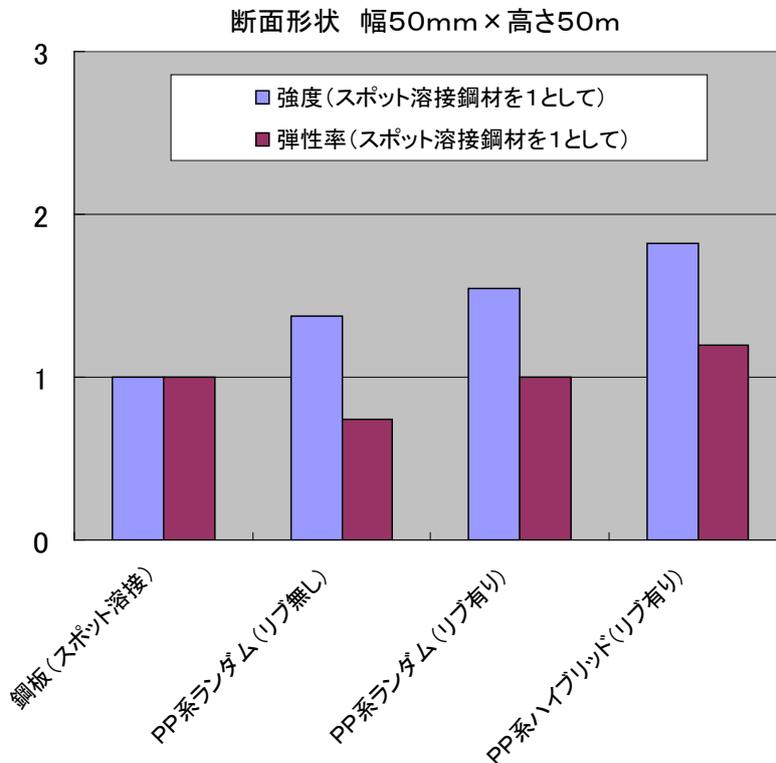
表②-3-2 に三点曲げ試験結果を数値化した物を示す。重量についてはその絶対値のほか、対鋼材の比も示した。同様に強度についても最大強度の絶対値と、対スポット溶接鋼材の比も示した。また、剛性を示す指標として、試験応力 0～2kN の初期勾配を算出した。その単位は kN/mm である。これを弾性率の代替として使用した。弾性率についても絶対値の他、対スポット溶接鋼材の比も算出した。

表②-3-2 CF/PP系材料のハットチャンネルと鋼板パイプとの比較

	電気亜鉛めっき鋼板	電気亜鉛めっき鋼板	PP系ランダム	PP系ランダム	PP系ランダム
	スポット溶接	全溶接	リブ無し	リブ有り	リブ有り、ハイブリッド
長さ	400mm	400mm	400mm	400mm	400mm
厚み	1mm	1mm	2mm	2mm	2mm
重量	720g	720g	260g	360g	360g
重量(対鋼材)	1	1	0.36	0.5	0.5
最大強度(kN)	6.1	7.8	8.4	9.4	11.1
最大強度(対鋼材スポット溶接)	1.0	1.3	1.4	1.5	1.8
0～2kNの初期勾配(kN/mm)	2.5	3.0	1.9	2.5	3.0
0～2kNの初期勾配(対鋼材スポット溶接)	1.00	1.20	0.74	1.00	1.20

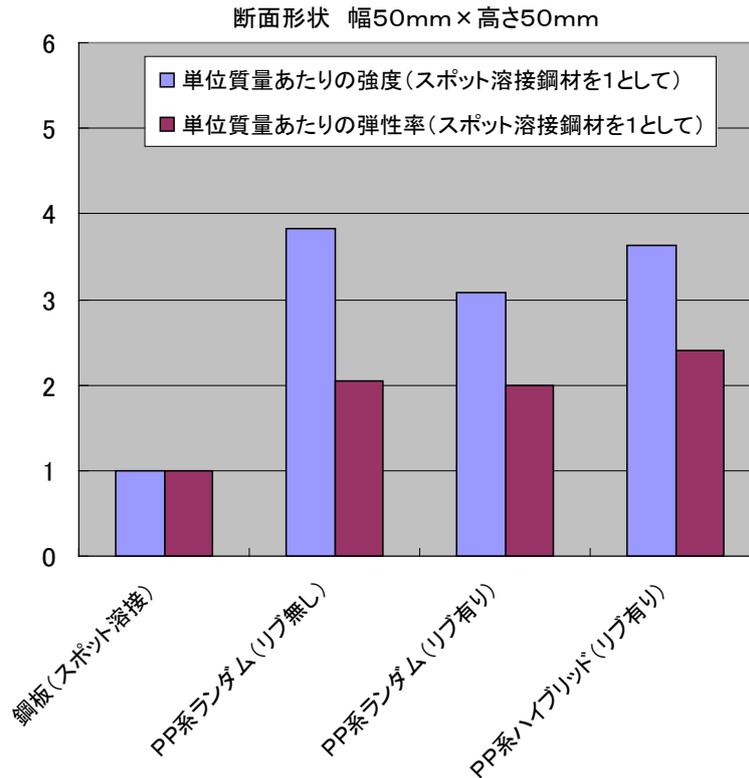
図②-3-20 には、鋼材パイプ（スポット溶接）の強度に対する各種ハットチャンネルの強度の比、および鋼材パイプ（スポット溶接）の弾性率に対する各種ハットチャンネルの弾性率の比を算出した。ここでは重量については考慮していない。3 種類のハットチャンネルのいずれにおいても強度（対スポット溶接鋼材）は1倍以上であった。リブ有

りや基材のハイブリッド化により強度の比が大きくなる傾向があった。また、弾性率（対スポット溶接鋼材）は、リブ無しの場合1倍以下であったが、リブを設けることで弾性率の比が1になり、さらにハイブリッド基材の使用により弾性率の比は1倍以上になった。



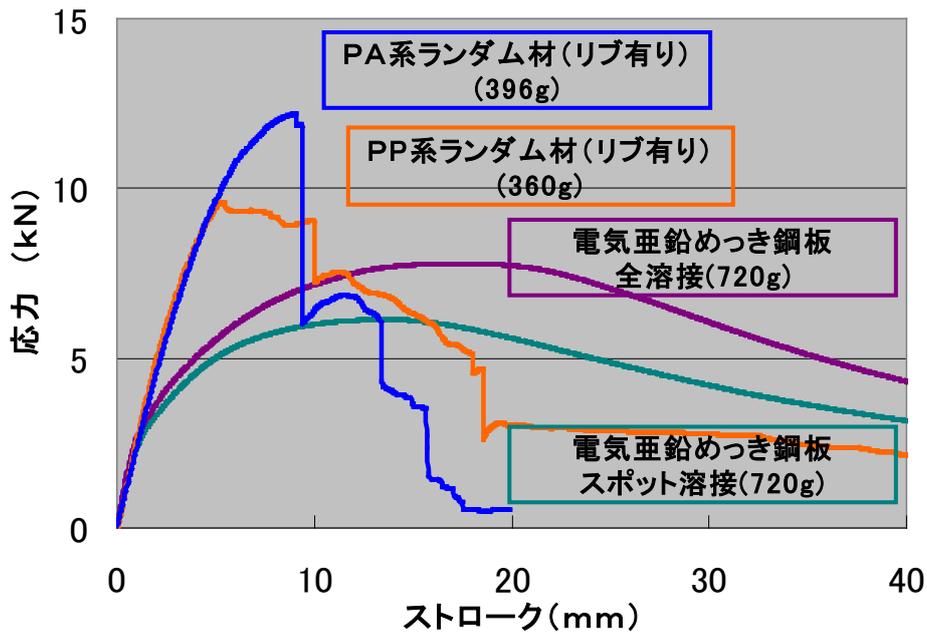
図②-3-20 PP系ランダム材、ハイブリッド材による各種ハットチャンネルの軽量化効果 (1)

次に、重量の影響も考慮して、軽量化効果を検証した。図②-3-21には、単位質量あたりの強度を算出し、その対鋼材（スポット溶接）の比を算出した。すなわち、単位質量あたりの強度（鋼材（スポット溶接）を1にして）は、上表において、最大強度（対鋼材スポット溶接）を重量（対鋼材）で割った値になる。例えば、PP系ランダム材（リブ無し）の単位質量あたりの強度（スポット溶接鋼材を1にして）は、 $1.4 / 0.36$ で算出され、約3.9となる。同様に、単位質量あたりの弾性率（スポット溶接鋼材を1にして）は、上表において、0～2kNの初期勾配（対鋼材スポット溶接）を重量（対鋼材）で割った値になる。例えば、PP系ランダム材（リブ無し）の単位質量あたりの弾性率（スポット溶接鋼材を1にして）は、 $0.74 / 0.36$ で算出され、約2.1となる。重量を考慮した場合、強度の面でもっとも軽量化効果があるのはPA系ランダム材（リブ無し）であり、その次はPP系ハイブリッド材（リブ有り）であった。また、剛性の面でもっとも軽量化効果のあるのはPP系ハイブリッド材（リブ有り）であった。



図②-3-21 PP系ランダム材、ハイブリッド材による各種ハットチャンネルの軽量化効果 (2)

次に、長さ 400mm のハットチャンネルにおいて、PP系ランダム材と PA系ランダム材の比較を行った。結果を図②-3-22、表②-3-3に示す。この比較においてリブありの成形品であり、リブ高さは 10mm である。接合前のハットチャンネル高さは 25mm であり、接合後の高さは 50mm である。比較対象として電気亜鉛めっき鋼板のスポット溶接、全溶接品を取り上げた。PP系ハットチャンネルに比べて、PA系ハットチャンネルでは強度が大きくなることがわかった。初期剛性には大きな差は無かった。PA系のハットチャンネル(リブ有り)は、電気亜鉛めっき鋼板のパイプ(スポット溶接)と比較して、強度 2 倍以上、初期剛性ほぼ同等を示した。



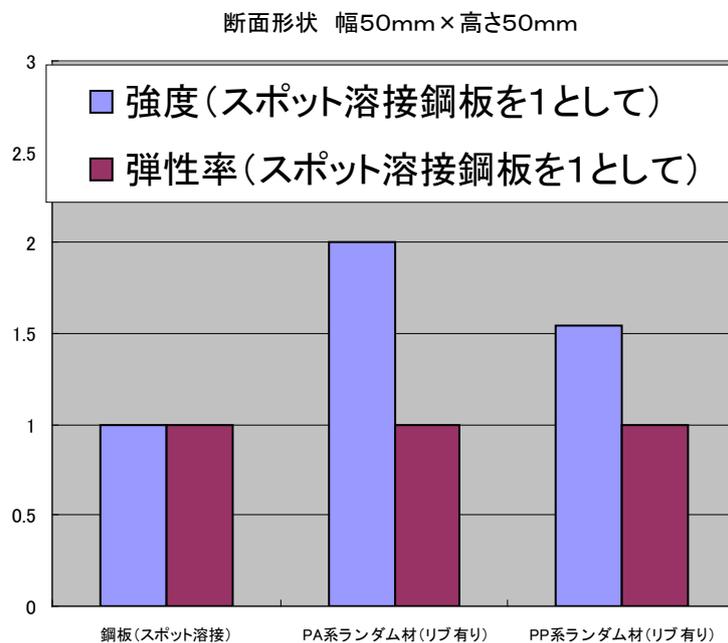
図②-3-22 CF/PP系材料、CF/PA系材料のハットチャンネルと鋼板パイプとの比較

表②-3-3 CF/PP系材料、CF/PA系材料のハットチャンネルと鋼板パイプとの比較

	電気亜鉛めっき鋼板	電気亜鉛めっき鋼板	PA系ランダム	PP系ランダム
	スポット溶接	全溶接	リブ有り	リブ有り
長さ	400mm	400mm	400mm	400mm
厚み	1mm	1mm	2mm	2mm
重量	720g	720g	396g	360g
重量(対鋼材)	1	1	0.55	0.5
最大強度(kN)	6.1	7.8	12.2	9.4
最大強度(対鋼材スポット溶接)	1.0	1.3	2.0	1.5
0~2kNの初期勾配(kN/mm)	2.5	3.0	2.5	2.5
0~2kNの初期勾配(対鋼材スポット溶接)	1.00	1.20	1.00	1.00

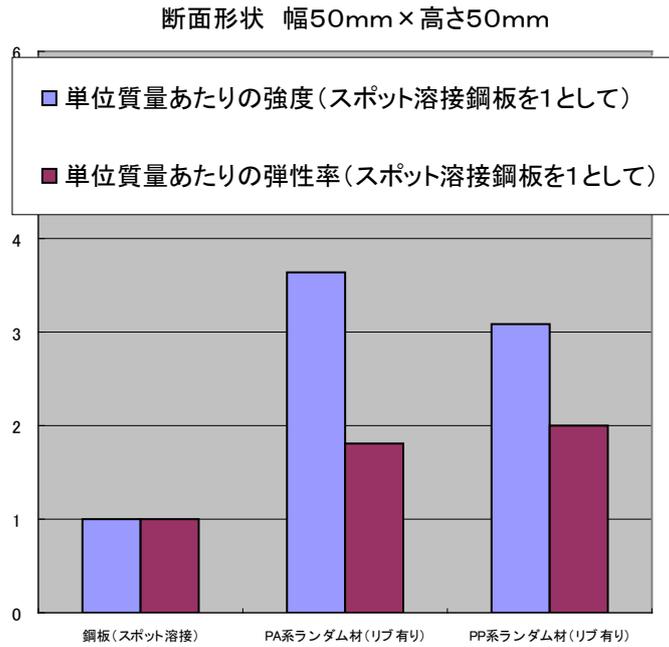
図②-3-23には、鋼材パイプ（スポット溶接）の強度に対するPA系ランダム材（リブ有り）、PP系ランダム材（リブ有り）のハットチャンネルの強度の比、および鋼材パイプ（スポット溶接）の弾性率に対する各種ハットチャンネルの弾性率の比を算出した。ここでは重量については考慮していない。2種類のハットチャンネルのいずれにおいて

も強度（対スポット溶接鋼材）は 1.5 倍以上であった。PA 系ランダム材 のほうが強度の比が大きくなる傾向があった。また、弾性率（対スポット溶接鋼材）は、PA 系ランダム材（リブ有り）、PP 系ランダム材（リブ無し）とも 1 倍以上であった。



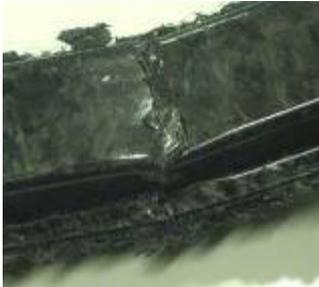
図②-3-23 PP 系ランダム材、PA 系ランダム材によるハットチャンネルの軽量化効果 (1)

次に、重量の影響も考慮して、軽量化効果を検証した。図②-3-24 には、単位質量あたりの強度を算出し、その対鋼材（スポット溶接）の比を算出した。すなわち、単位質量あたりの強度（鋼材（スポット溶接）を 1 にして）は、上表において、最大強度（対鋼材スポット溶接）を重量（対鋼材）で割った値になる。例えば、PA 系ランダム材（リブ有り）の単位質量あたりの強度（スポット溶接鋼材を 1 にして）は $2.0 / 0.55$ で算出され、約 3.6 となる。同様に、単位質量あたりの弾性率（スポット溶接鋼材を 1 にして）は、上表において、0～2kN の初期勾配（対鋼材スポット溶接）を重量（対鋼材）で割った値になる。例えば、PA 系ランダム材（リブ有り）の単位質量あたりの弾性率（スポット溶接鋼材を 1 にして）は、 $1.0 / 0.55$ で算出され、約 1.8 となる。重量を考慮した場合、強度の面で軽量化効果があるのは PA 系ランダム材（リブ有り）であり、剛性の面で軽量化効果のあるのは PP 系ランダム材（リブ有り）であった。



図②-3-24 PP系ランダム材、PA系ランダム材によるハットチャンネルの軽量化効果 (2)

図②-3-25 に、400mm ハットチャンネルの曲げ試験後のサンプルの写真を示す。リブ付きの長さ400mmハットにおいては、PP系、PA系とも裏面の破壊が起こっている。鋼板の曲げ試験においては、天面が圧子の形状に沿ってくぼむような破壊が起こっている。

試験前	試験後
PP系ランダム材 (2mm厚)	
	 

	
<p>PA 系ランダム材 (2mm 厚)</p>	
	
<p>鋼板 (1mm 厚) 全溶接</p>	
	
<p>鋼板 (1mm 厚) スポット溶接</p>	
	

図②-3-25 長さ 400mm のハットチャンネル (有り) の曲げ試験結果
(CF/PP 系ランダム材、CF/PA 系ランダム材)、比較：厚み 1mm の鋼板パイプ

②-3-7 「AE による非破壊検査例」

モデル部材の破壊挙動を明らかにするために、AE による非破壊検査方法の検討を試みた。測定条件を下記に示す。

測定条件

センサ : 周波数帯域 50～200kHz、共振周波数 150kHz

ゲイン : Pre-AMP 40dB、Main-AMP 0dB

しきい値 : 60dB

バンドパス : 10kHz～2MHz

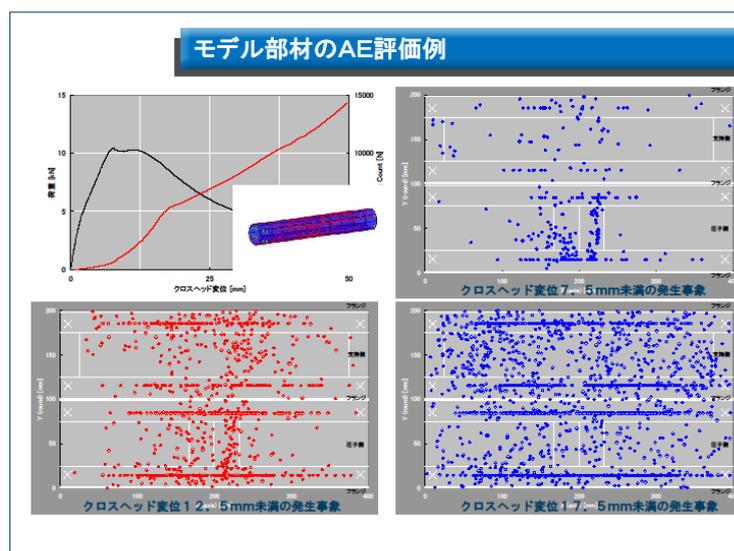
サンプリング : 1MSPS、プレトリガー : 256 μ sec

Ch 数 : 8ch

音速 : 3800m/sec (実測値)

位置評定 : Cylindrical

図②-3-26にAE測定結果を示す。位置座標は、ハットチャンネルを展開して示している。これによると、圧子直下で破壊が始まり、その後、肩部での破壊が広がって行く事が分かった。

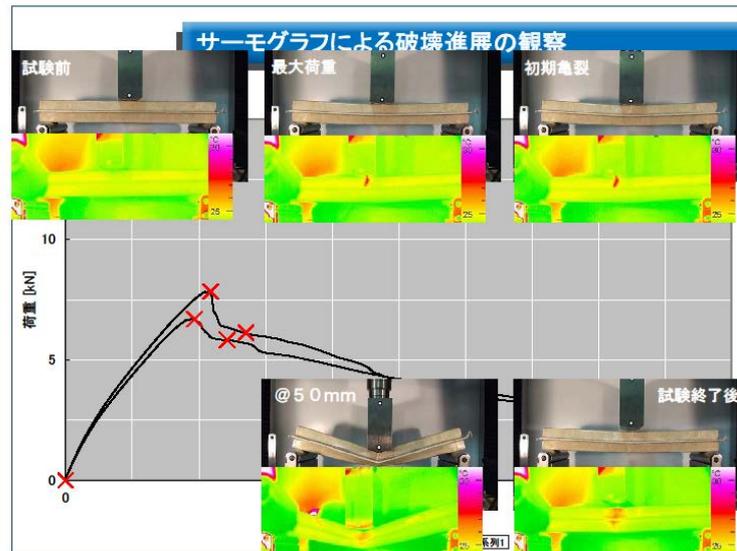


図②-3-26 AEによるモデル部材破壊挙動検討の例

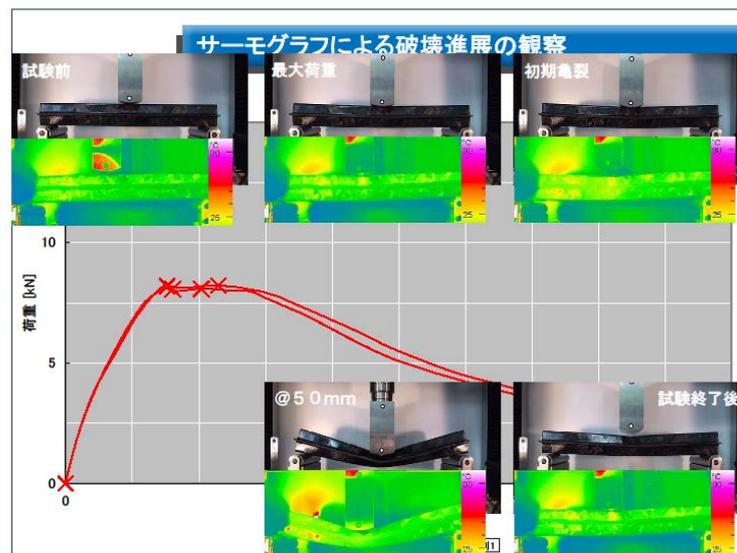
②-3-8 「サーモグラフによる非破壊検査」

前述の通り、サーモグラフによる表面温度の測定により、破壊の進展状況を捕らえる事ができる可能性がある。図②-3-27、図②-3-28には、それぞれ、GF/PP系とCF/PP系のモデル部材の観察結果を示す。特にGF/PP系で顕著であるが、圧子直下の亀裂の進展、並びに、その後の破壊の広がりを捕らえる事ができている。また、前述のAEによる破壊進展の挙動とも、その傾向は一致しており、ここでもサーモグラフによる

観察が非破壊検査の一手法として利用できる可能性を示していると考える。



図②-3-27 GF/PP系の曲げ試験観察



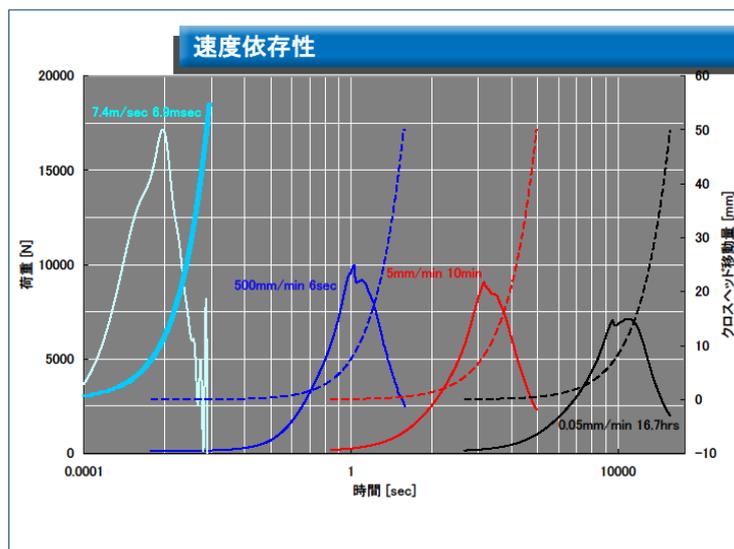
図②-3-28 CF/PP系の曲げ試験観察

また、CF/PP系とGF/PP系を比較して、CF強化材は、GF強化材よりも表面温度の変化率が小さいが、これは、成形検討の際に述べたように、CFとGFの熱伝導率の違いによるものと推測される。亀裂の発生により開放されたひずみエネルギーの熱エネルギーの拡散は、CF強化材の方が早い事が分かる。

②-3-9 「動的試験方法」

動的試験としては、万能試験機を用いた 0.05mm/min、5mm/min、500mm/min に

加えて、落錘衝撃試験機を用いた 7.4m/sec までの範囲で検討を行った。その評価結果を図②-3-29 に示す。



図②-3-29 動的試験結果

この図から分かるように、CF/PP系は速度依存があることが分かった。

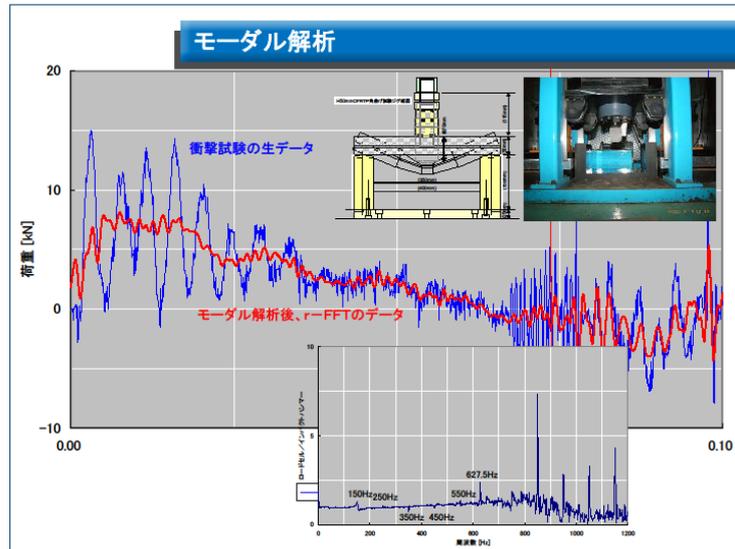
また、比較のために図②-3-30 に市販のビデオカメラまたは高速度ビデオカメラを用いて撮影した変形挙動を示す。この図から分かるように、7.4m/sec では、緩和が遅く、圧子直下のみ局所的な変形となっていることが分かる。



図②-3-30 変形状態

なお、今回、衝撃試験を行なう際に、静的曲げ試験と同様の固定条件で検討するた

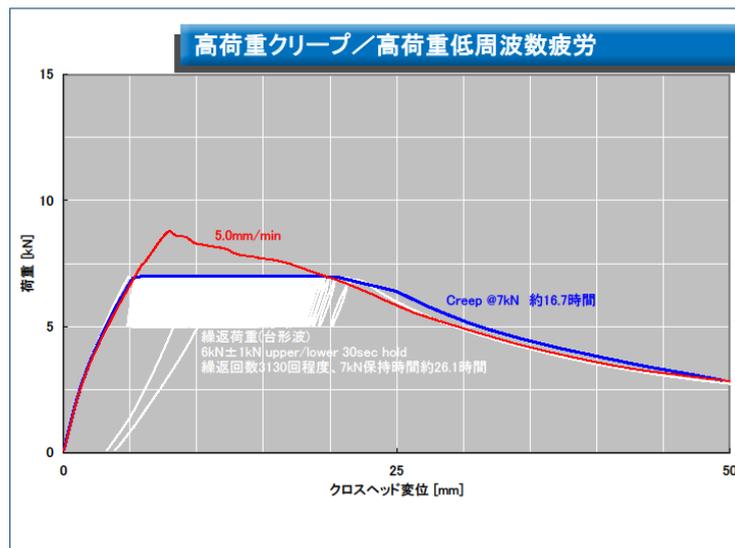
めに治具を新作した。その際、治具、ロードセルなど測定系の固有振動数などが不明であったため、モーダル解析システムを導入して、測定系の固有振動数を求め、衝撃試験時のデータからこれらの固有振動数を差し引くことで原波形を求めた。その結果を図②-3-31に示す。



図②-3-31 モーダル解析結果と荷重曲線

②-3-10 「長期耐久試験」

図②-3-32には、最大荷重の90%程度(亀裂進展直前)でのクリープと、荷重上限90%、下限60%での台形波の疲労試験結果を示す。

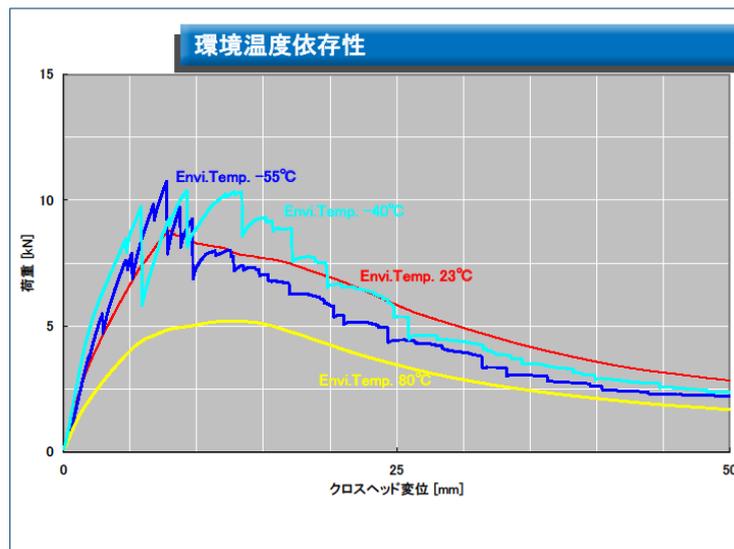


図②-3-32 高荷重クリープ並びに高荷重低周波数疲労

この図からは、クリープ限界、並びに、疲労減は、静的試験できる可能性を示している。また、クリープと疲労を比較すると、クリープ寿命の方が短く、CF/PP系ではクリープが優位であることを示唆していると推定される。

②-3-11 「環境依存性」

図②-3-33 と図②-3-34 には、環境温度依存性の評価結果を示す。温度範囲は一般的に言われている自動車の使用温度域として、-40℃から 80℃までとした。



図②-3-33 CF/PP系モデル部材の環境温度依存性

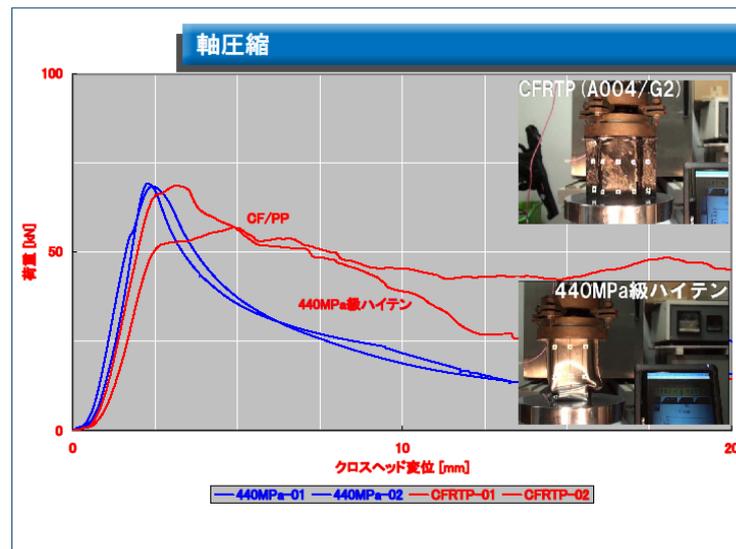


図②-3-34 モデル部材の変形挙動

これらの図から分かるように、CF/PP系では温度依存が顕著であることが分かった。

②-3-12 「軸圧縮試験」

図②-3-35には、軸圧縮試験結果を示す。軸圧縮試験はサンプル長さ 100mm で、1m/min のクロスヘッドスピードで実施した。



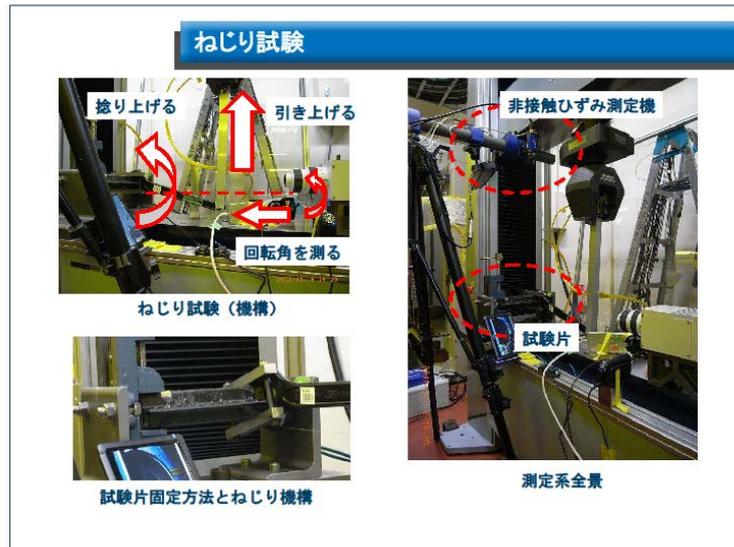
図②-3-35 軸圧縮試験結果

この結果から、CF/PP系のランダム材はばらつきが大きいものの、440MPa級ハイテンより若干、剛性/強度が下がる可能性はあるが、重量半分でその性能を発現できる可能性を見出した。

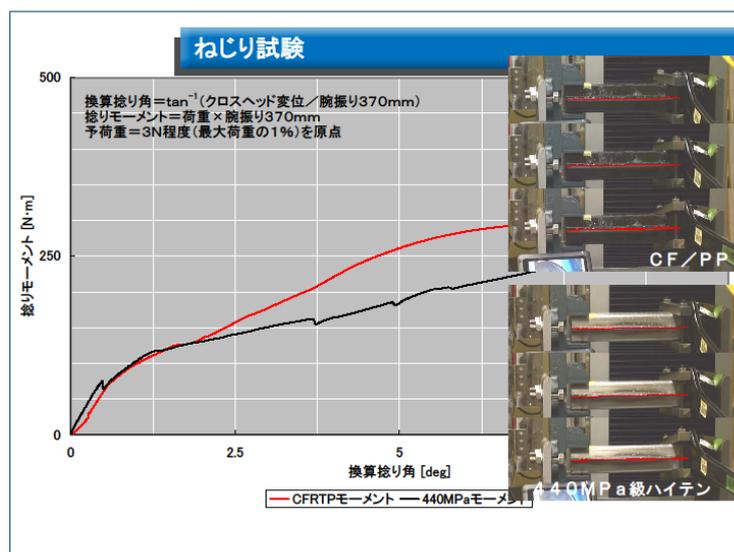
②-3-13 「ねじり試験」

図②-3-36には、万能試験機によるねじり試験の測定系を示す。クロスヘッドに連結された片持ち梁を使って、全長 200mm のモデル部材の片側を完全固定、もう一方に片持ち梁の腕振りでねじり変位を加えることにより試験を行なった。

図②-3-37に、ねじり試験の結果を示す。開発したCF/PP系は、440MPa級ハイテンと比較して、今回の試験の範囲に於いて、同等の初期剛性を示した。



図②-3-36 ねじり試験



図②-3-37 ねじり試験結果

¹中野 亮、塩田 忠弘、関本 亮、滝 克彦、高塩 創、千 容星、X線CTによる繊維配向観察とシュミレーション、成形加工 20(4), 237-241, 2008-04-20

²佐野村 幸夫、川村 宗弘、配向パラメーターによる短繊維強化ポリプロピレン押出材の縦弾性係数と強度の予測、日本機械学会計算力学講演会講演論文集、Vol.16th, Page379-380 (2003.11.22)、並びに

<http://www.tamagawa.ac.jp/GAKUBU/KOUGAKU/MechEng/zaika3/project/paper3-2003.pdf#search='%E9%85%8D%E5%90%91%E4%BF%82%E6%95%B0+fp+%E7%B9%8A%E7%B6%AD%E9%85%8D%E5%90%91%E8%A7%92'>

³富村 寿夫 (九大・先導研)、平澤 茂樹((株)日立・機械研)、羽田 光明((株)日立・日立研)、Excelの表計算機能を利用した数値計算プロセスの可視化—第1報—ふく射加熱をうける1次元平板系の非定常熱伝導問題—、第9回V i zカンファレンス、2003

2.3 研究開発項目③「易加工性 CFRTP の接合技術の開発」

【研究開発の構成と目標】

平成20年度から平成24年度にかけて、炭素繊維強化熱可塑性樹脂コンポジット(CFRTP)の自動車構造部材への適用可能性を見極めるために、東京大学、三菱レイヨン(株)、東レ(株)、東洋紡(株)、(株)タカギセイコーで検討を行ってきた。その結果、CFRTP 同士の接合において材料強度の90%以上を確保する接合技術の確立と、CFRTP と異材との接合を含めた自動車構造への適用を可能にする接合技術の開発を達成した。また、本プロジェクトの期間中、有識者による技術推進委員会、並びに、研究推進委員会のメンバーより、実用化にあたっては、長期保証・耐久性の確認が必要であることを指摘された。これらは今後の課題である。

CFRTP は高温高圧下での成形が必要なため、大型一体成形を目指すよりも、複数の部品に分けて成形し、それらを接合する方が合理的である。そのため、CFRTP では材料強度に匹敵する接合強度を持ち、さらに CFRTP の高い生産性を損なわないハイサイクル・低コストの接合方法が求められる。本プロジェクトの研究開発項目①で開発する CFRTP 部材は、不連続繊維系部材と連続繊維系部材に大別されるが、これらを単独で加工・接合して大きなモジュール構造を組み立てていくこともあれば、不連続繊維系モジュール構造と連続繊維系モジュール構造を組み合わせるより実構造体に近いものを組み立てていくことも想定され、さらに最終的には、金属等の異種材料からなる構造部材や機能部品との接合を経て最終製品となる。つまり、複数の部材を組み合わせる接合技術はモジュール構造の単純形状化・小型化を可能とし、研究開発項目②の易加工性にも多く貢献する重要な技術であると言える。そしてこの接合技術は、単に要求強度を満足すればよいのではなく、目標とされる具体的な自動車部品に対する構造実現性や生産性、コストまでを含めた評価が必要となる。

そこで本プロジェクトの開発項目では、これらの技術ニーズに応えるべく、ひとつは、③-1「CFRTP 同士の接合技術の開発」として、樹脂部材の融着接合技術を用いて、不連続繊維系部材同士の接合技術の開発と、連続繊維系部材同士の接合技術の開発を行う。東京大学は合理的な接合設計のための理論的基盤構築に寄与し、さらには不連続・連続両部材による接合技術に対する研究を行った。

さらに、③-2「CFRTP と異材の接合技術の開発」として、熱硬化性樹脂による GFRP や CFRP と金属材料の各種接合技術、樹脂部材における金属部品のインサート技術や接着技術など、従来技術における接合技術のノウハウに加えて、③-1 の検討結果を踏まえた新たな CFRTP ならではの低環境負荷で合理的な異材との接合技術を検討した。

【研究の背景】

自動車構造は、複雑形状の多部品により構成されており、1分/台レベルの大量生産かつ1~2年程度の短期に開発される構造物である、と言う特徴をもっている。従来の熱硬化性樹脂材料の車両構造への適用は、その成形サイクルおよびコストの制約から、より大型で一体構造とすることが検討されてきた。しかし大型一体化は大型製造設備を必要とし、

成形サイクルの短縮にも限界があるため、量産車に要求される製造サイクルを実現することは困難であった。

一方、本プロジェクトで開発する CF RTP は高速スタンピング成形が可能であるが、高圧プレス装置を用いるため、成形部材の大型化は熱硬化性樹脂材料以上に型治具コストが高価となり、設計試作を含めて開発期間が長期化する。そのため熱可塑性樹脂複合材料では、複数の部材に分けて品質良く高速に成形し、その部材同士を接合・一体化して車両構造とする、いわゆる従来の金属材料における板金加工・溶接方式に近い組み立て方式が、コスト・量産性と複雑自動車構造の両立に有効であると言える(図③-0-1 参照)。

研究の背景と目的



図③-0-1 自動車構造の特徴と複合材料の適用

接合技術は構造物の性能を決める重要な要素でもある。確実に力を伝えられること（強度保証）、簡単に結合できること（生産性）、使用環境に耐えられること（信頼性、メンテナンス性）、さらには簡単に分離できるリサイクル性（解体容易性）を満足することが望まれる。これらの要求技術に対して、本プロジェクトでは熱可塑性樹脂の利点を生かした融着接合技術に着目した。

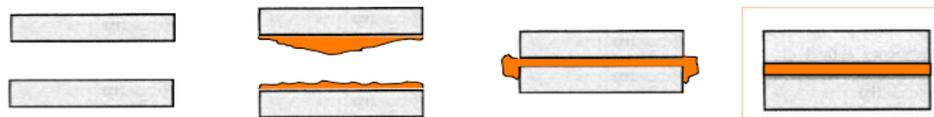
CF RTP の接合には主に融着接合が用いられている。熱可塑性樹脂特有の、加熱すると融融する性質を利用して、お互いを融着させて接合する方法であり、その加工の簡便性からプラスチック材の接合方法としては既に広く用いられている。表③-0-1 に各種 FRP の接合方法の比較を示す。機械接合は、孔径による強度低下や応力集中の問題に加え、穴加工や高価なファスナーが必要で、多くの工程を要する。接着接合も表面処理や接着工程に多くの時間と品質管理が求められる、ポリプロピレン (PP) のようにもともと十分な接着力を得るのが難しい材料も多い。また、いずれの方法も生産性／コストの対応が難しい。融着接合は熱可塑性樹脂に多く適用されている技術であり、他の機械接合や形状接合、接着接合に比べて唯一、高い生産性を持つ接合方法である。

図③-0-2はFRPの接着接合とFRTPの融着接合の接合プロセスの比較である。接着接合では、表面処理によって正しいFRP/接着剤間の界面接合力が得られても接着剤自身の凝集破壊を超える接合力は期待出来ない。一方、融着接合では、接合部を加熱して熔融させ、圧力を加えながら冷却固化させる。このとき接合部では高分子鎖のからみ合いが起り、被着部材自身により接合が行われる。接合後も部材は均質であり、理論的には母材の強度とほぼ同等の接合強度を発現させることが可能である。

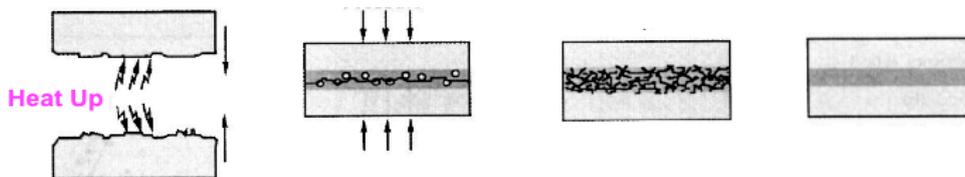
表③-0-1 FRPに使用される接合技術の分類と特徴

	機械接合	接着接合	融着接合
方法	ボルト, リベット	接着剤	加熱・加圧
応力集中	大	小	小
信頼性	高	低	中
加工性	低 (多量の穴加工)	低 (表面処理&硬化)	高 (加熱・加圧のみ)
リサイクル性	良	難	良
課題	孔径による 強度低下	接着剤選定	接合面の 残留歪み

接着材による結合(FRTS)



FRTPの融着接合



図③-0-2 接着接合と融着接合のプロセス比較

以上から、本プロジェクトでは、

- 部材を一体化し自動車構造部材等を生産するための高速接合技術を開発し、
- 十分な接合強度、耐環境性、接合面の健全性等を満足する接合技術を開発し、
- あわせて解析評価技術の進化も狙う。

ことを狙いとし、図③-0-3、表③-0-2の研究開発項目を設定した。

従来の融着接合は熱可塑性樹脂に対して改良/開発されてきた接合技術であり、本プロ

プロジェクトで開発する繊維強化された複合材料には十分な技術・知見が得られていない。そこで、本プロジェクトでは接合評価システムを開発し、接合技術のスクリーニングを経て、自動車構造部材へ適用を進める計画とした。また、自動車構造への部分的な適用や、部材設計に合わせた適用を進める段階では、従来の車両構造材料であるスチール材との接合が要される。さらに、シャーシ部材には金属インサートとのインテグレートも不可欠である。そこで、開発項目③-2として「CFRTPと異材との接合技術」も行うこととした。



図③-0-3 接合の研究開発項目

表③-0-2 接合の研究開発項目

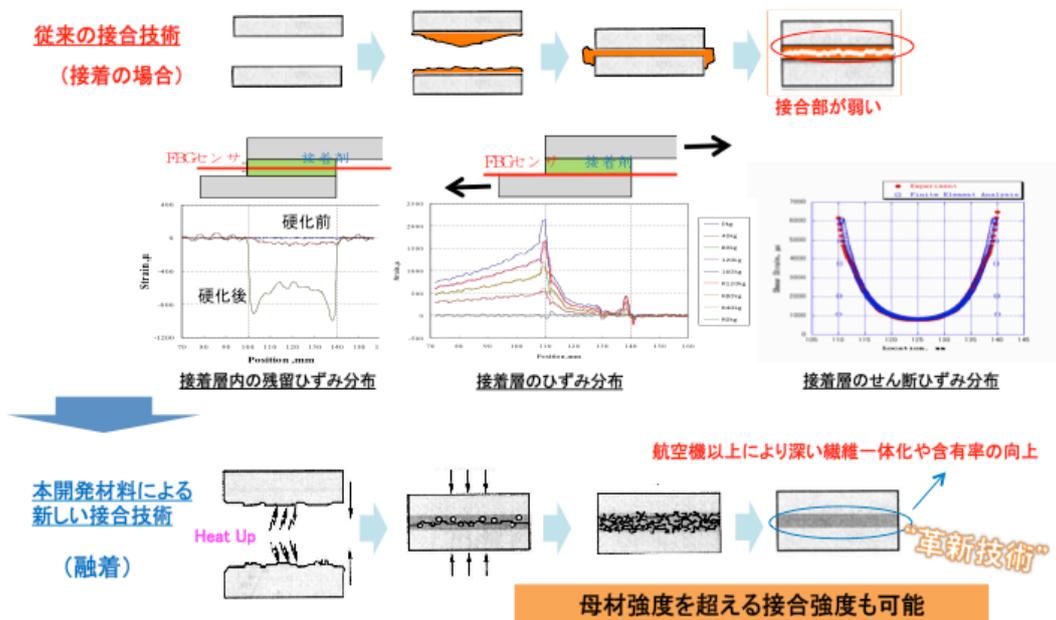
項目	目的	目標
③-1 CFRTP同士の接合技術の開発 (各種接合技術のスクリーニング)	<p>非破壊評価システムの開発:</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合強度(必要時間)定量化手法 プロセスパラメーターの整理 接合メカニズム計測技術 埋め込み光ファイバセンサを用いた特性評価(接合面の健全性) <p>接合技術のスクリーニング:</p> <ul style="list-style-type: none"> 各種接合技術の調査 熱板融着、振動融着、超音波融着、抵抗融着、誘電融着などの、各種融着技術を比較検証 各種融着技術の比較・評価 実用性のスクリーニング(接合強度、耐環境試験) 	<p>(一次目標)</p> <p>接合強度が参照強度の75%以上 (最終目標)</p> <p>接合強度が参照強度の90%以上</p> <p>CFRTP接合技術の確立</p> <p>↓</p> <p>自動車に適用可能な接合技術の開発 (助成事業⑤⑥への進階)</p>
③-2 CFRTPと異材の接合技術の開発 (接手法と接合設計の評価)	<p>③-1で評価した融着技術に加え、CFRTPと各種金属等の異種材料を接合する技術を確立する</p> <ul style="list-style-type: none"> 接合技術のスクリーニング(各種接合強度、耐熱環境を含めた実用性) CFRTP/異材の界面改質技術 	

③-1 「CFRTP 同士の接合技術の開発」

A. 融着接合における基本特性の評価

接合強度評価システムと接合メカニズム計測技術の確立を目的として、単純平板形状の CFRTP 材料を用いて融着接合の基本特性を確認した。

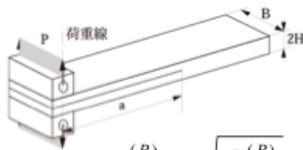
図③-1-1 に示すように、従来の接着接合では母材との界面特性や接着剤の強度が接合強度を決定する。母材と接着剤の弾性率が大きく異なることから、接着部廻りは複雑な応力／ひずみ状態となり、このことが接着接合の設計や保守・品質管理の難しさの一因ともなっている。一方、融着接合では母材そのものが接合部を形成すること、さらに強化繊維の積極的なタンニング（アンカー効果）やブリッジングをはかることから、母材特性を超える接合強度を期待することも可能と考えられる。



図③-1-1 接着接合と融着接合

本プロジェクトでは、当初、一方向性基材の繊維直角方向の引張り強度を参照強度として接合強度の目標を設定した。これは、補強材など接合された部材が面外方向に引張荷重を受けたときに十分な接合強度を有していること、を接合部に求められる強度要件と考えたことによる。

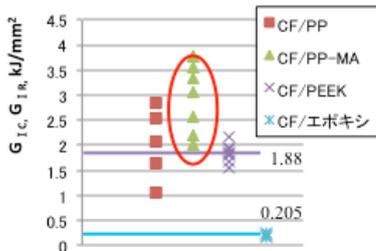
この面外方向の強度の評価方法としては、層間破壊靱性を指針とすることが可能である。図③-1-2 は、先行検討として本プロジェクト開始前の材料（熱硬化性樹脂用 CF）を用いて成形した一方向材の層間破壊靱性を計測した結果である。図の様にまだ十分に繊維・樹脂界面特性が改善されていない先行試験片においても、従来の熱硬化性樹脂 CFRP に比べて十分大きな靱性値を確認することが出来た。これは樹脂の伸度が高いことと、接合時のファイバーブリッジングの効果によるものと考えられ、本プロジェクトで開発された材料の融着接合は十分実用性がある接合強度を示していると言える。



- 中間目標: 参照強度の75%以上の接合強度
 - 最終目標: 参照強度の90%以上の接合強度
- 参照強度: 一方向性CFRTP中間基材の繊維直角方向引張り強度

$$\frac{\sigma_{Tc}^{(B)}}{\sigma_{Tc}^{(L)}} = \sqrt{\frac{G_{Ic}^{(B)}}{G_{Ic}^{(L)}}} \geq 0.9$$

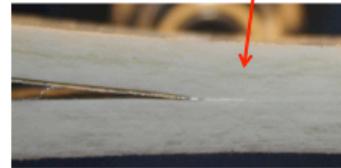
$\sigma_{Tc}^{(L)}$: 一方向積層材の参照強度
 $\sigma_{Tc}^{(B)}$: 接合材の強度
 $G_{Ic}^{(L)}$: 一方向積層材のモードI層間破壊靱性試験
 $G_{Ic}^{(B)}$: 接合材のモードIピーリング試験



先行材料(TS用CF)による一方向材層間破壊靱性値
 DCB試験JIS K 7086-1993



亀裂進展前に破壊が始まる
 → エポキシとは異なる破壊



図③-1-2 一方向材料の層間破壊靱性 (モードI) 評価

次に、接合強度の評価として、剪断継手にて本プロジェクトで開発した材料の接合強度を評価した。

図③-1-3 は検討に用いた継手形状とその成形方法である。シングルラップ継手とスカーフ継手の2形状について、比較評価を行った。本プロジェクトで開発した連続繊維を用いた一方向性材料 (UD-PP2) と不連続繊維を用いた等方性材料 (CMT) について、ホットプレス機により融着した試験片の外観を図③-1-4 に、引張試験による継手部剪断強度の結果を図③-1-5 に示す。図中、比較のため、一方向性材料については開発初期段階の繊維/樹脂界面接着強度の低いPP樹脂を用いた試験片 (UD-PP1) の結果も示す。

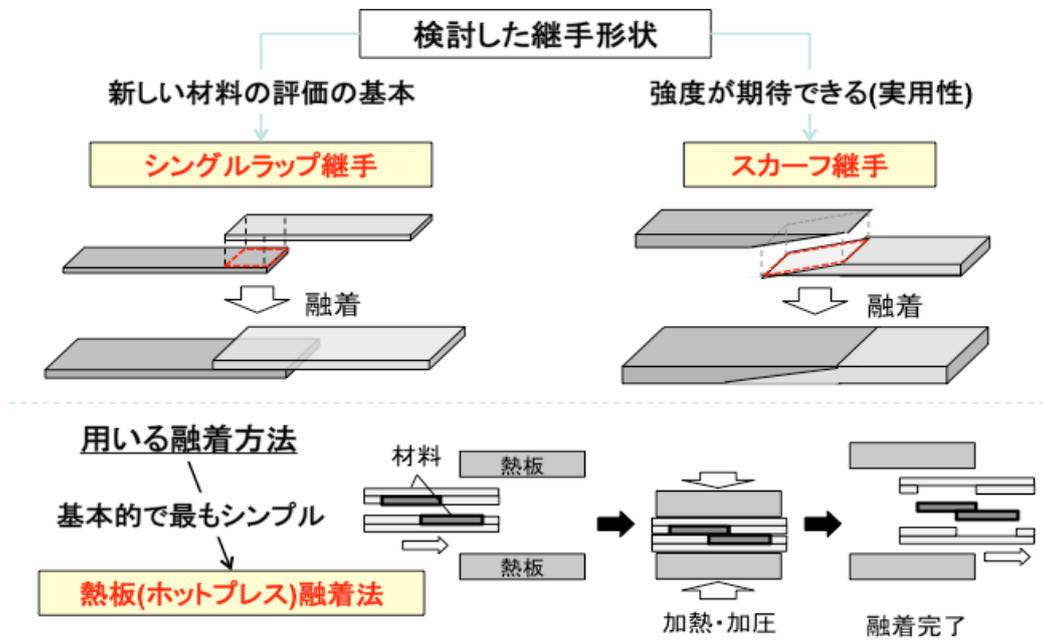
PP1材とPP2材との比較において、融着部の接合強度は破線で示した繊維/樹脂界面接着強度に強く依存しており、図③-1-6に見られるように両者は破断の様子も大きく異なることが確認できる。また、一方向性材料のシングルラップ継手とスカーフ継手の比較において、一般的な接着継手と同様に、スカーフの方が接合面内の応力集中が緩和されることから高い強度を示したが、その強度は繊維/樹脂界面接着強度より大きく、樹脂の剪断強度に近い値を示した。図③-1-7はスカーフ継手の破断面の写真である。図の左側の写真に示したスカーフ部のラップ長が短い (ラップ長 12.5 mm) 継手の方が、破断面の広い部位で樹脂継手の剪断破壊が見られており、高い接合強度を示した。図③-1-8は融着部の断面写真であるが、セーパー接合部は繊維の絡みや埋め込みはなく、樹脂層により接合されていることが分かる。

ランダム材や等方性材料ではシングルラップ継手とスカーフ継手との大きな違いは見られなかった。図③-1-9の等方性材料の破断面の様子から、両者の破断の様子がよく似ていることが確認できる。

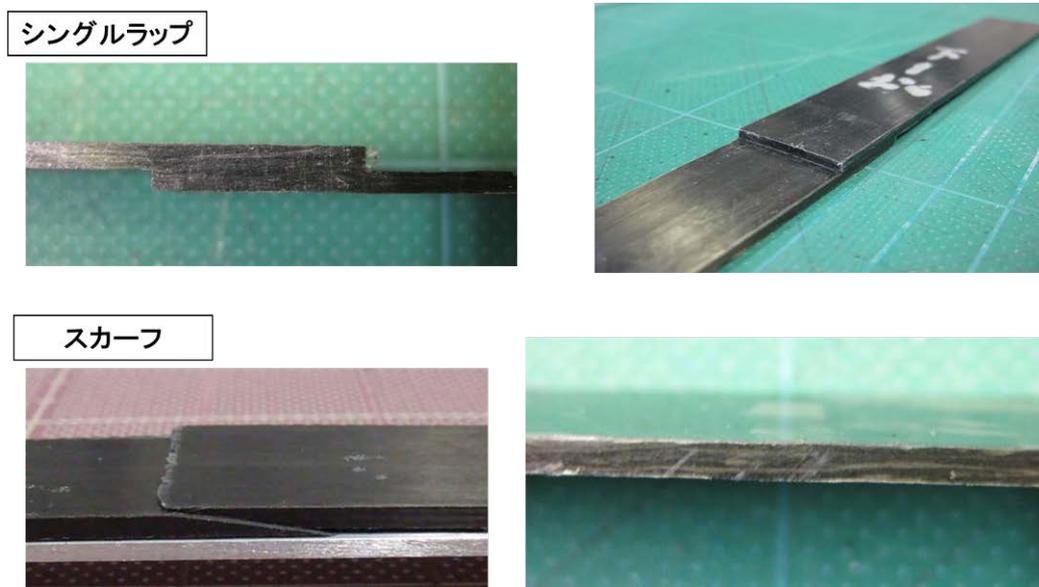
以上のように、繊維と樹脂との接着強度を向上させた本プロジェクト材料では、融着接合にて、積層材の層間剪断強度と同等の継手強度を発現できることが確認出来た。つまり、応力集中を起こさないスカーフ継手を用いることで、積層材の層間剪断強度と板

厚とから、必要なラップ長を確保することで、材料強度を満足する継手強度を得ることが可能である。

また、繊維／樹脂界面の接着強度を樹脂自体の剪断強度に近づけることができれば、さらに継手部の接合強度を増大させることが可能である（図③-1-10）。



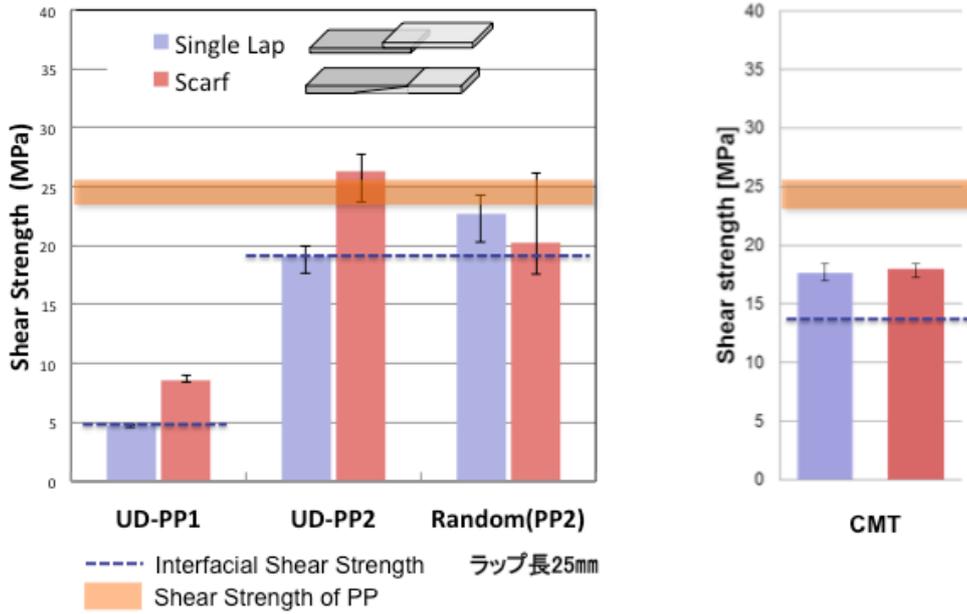
図③-1-3 剪断継手の形状と成形方法



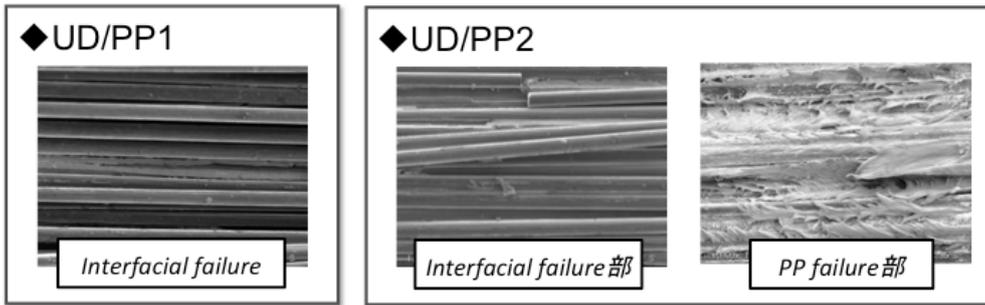
図③-1-4 融着接合部の外観

一方向性材料

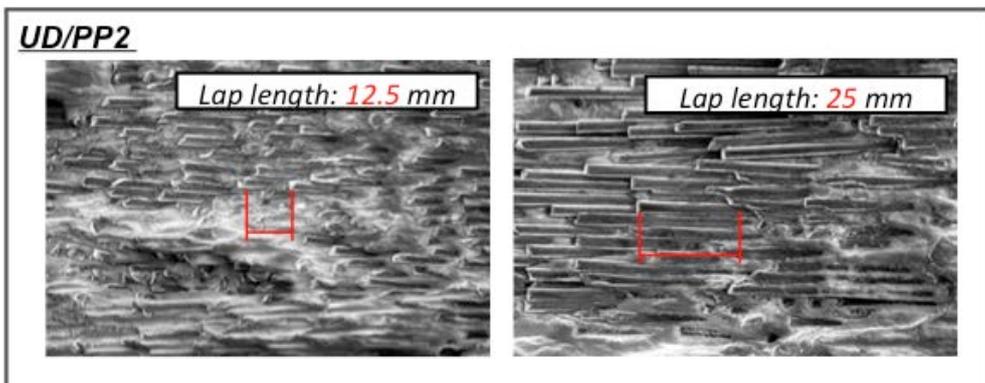
等方性材料



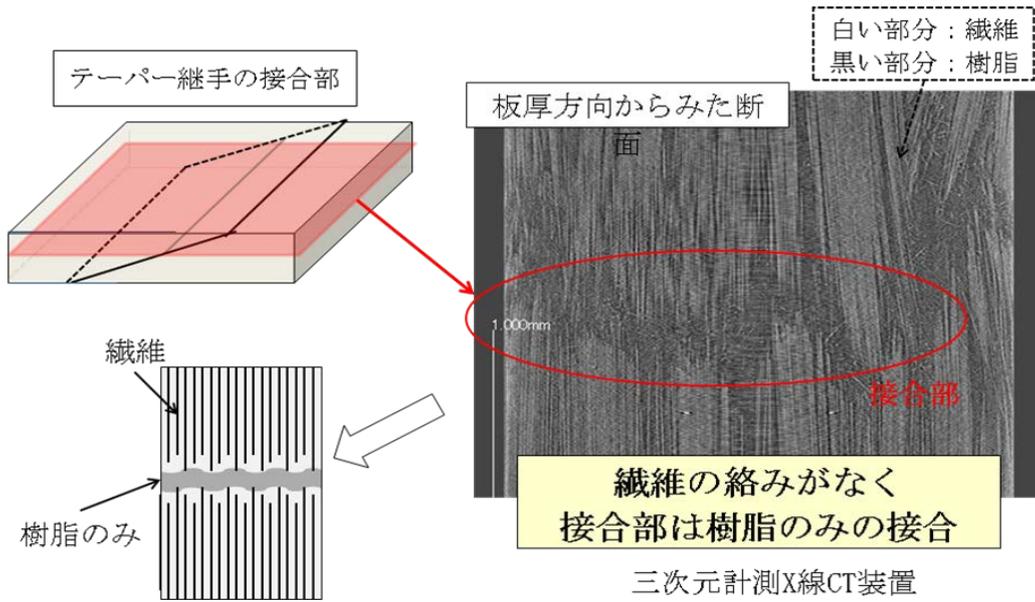
図③-1-5 引張試験による継手部剪断強度



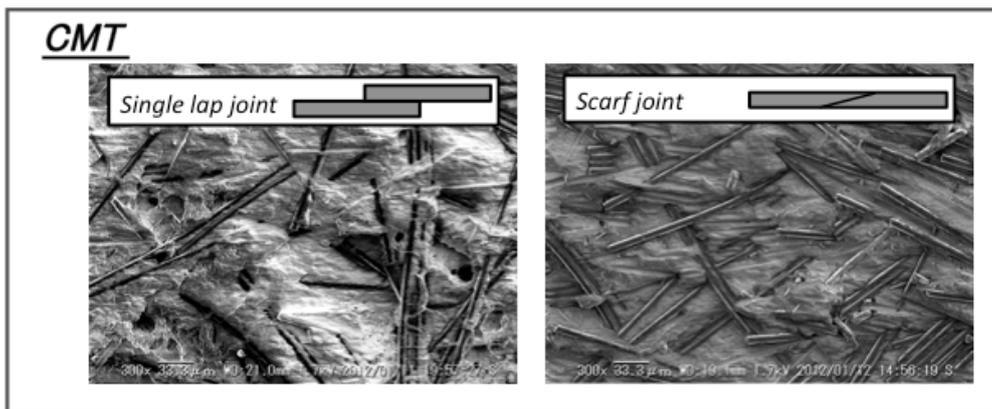
図③-1-6 一方向性材料のシングルラップ継手における継手部の破断面 (SEM 写真)



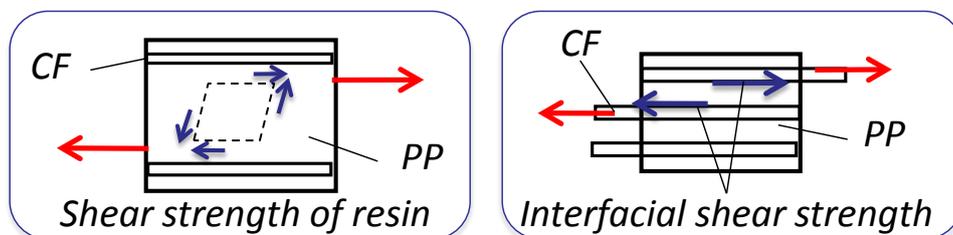
図③-1-7 一方向性材料のスカーフ継手における継手部の破断面 (SEM 写真)



図③-1-8 スカーフ継手融着部の断面写真 (X線CT写真)



図③-1-9 等方性材料の継手部破断面 (SEM写真)



図③-1-10 剪断継手強度の影響因子

B. 融着接合技術のスクリーニング

実部材形状の融着接合を量産車に適用可能な加工サイクルで行うためには、融着装置、融着方法の選択が必要となる。CFRTPの融着接合には様々な方法があり、樹脂を溶かすための熱をどのように発生させるかによって分類される。図③-1-11に示す様に、熱可塑性樹脂材料に用いられている各種融着法が適用可能である。

・熱板融着 (Hot-Tool Welding)

接合部を熱板により加熱溶融させ、お互いを押しつけて融着する。比較的簡便な装置で複雑な形状にも対応出来るため、もっとも多く利用されている。

・振動融着

接合する2つの部材に圧力を加えながら相対振動させ、界面で生じた摩擦熱を利用して樹脂を溶融し接合する方法である。

・超音波融着 (Ultrasonic Welding)

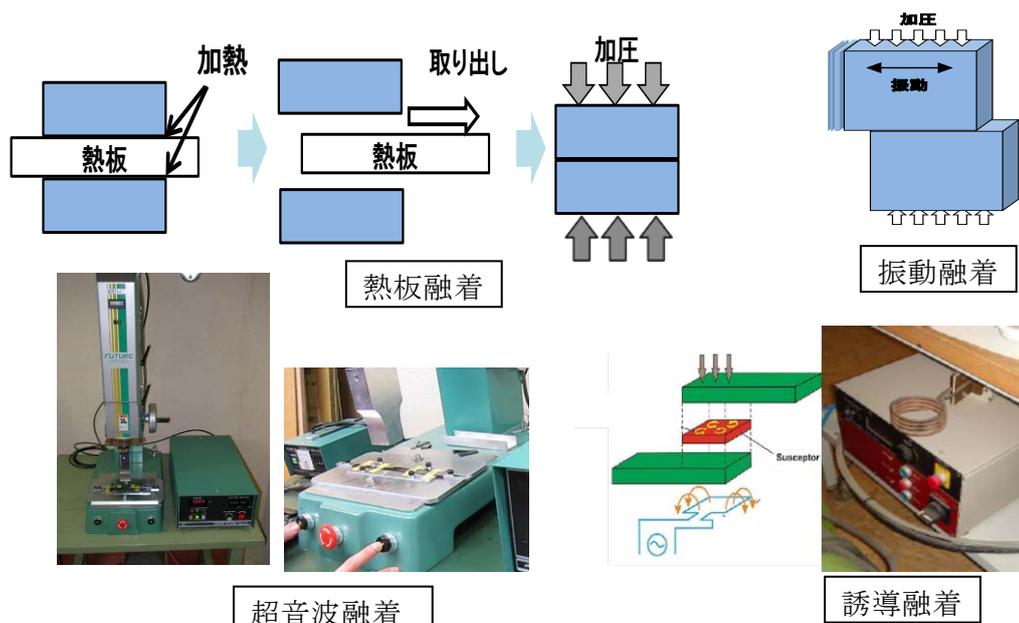
超音波振動と加圧力により接合部界面に摩擦熱を発生させ融着する方法である。振動融着と同じく摩擦熱を利用するが、周波数(15kHz以上)および振幅(100 μ m以下)が大きく異なり、1秒程度の高速接合が可能である。

・抵抗融着 (Resistance Welding)

接合する部材間に金属メッシュ等の発熱体を挟んで、加圧しながら電流を流し発熱体を加熱させ、その熱で樹脂を溶融して接合する方法。発熱体としてはステンレスの導線やメッシュまたはヤエキスパンドメタル、あるいは炭素繊維や導電コーティングされたガラス繊維などの非金属伝導体が使われる。

・誘導融着 (Induction Welding)

誘導融着は、誘導コイルに電流を流して磁場を発生させ、誘電体もしくは融着する部材自体に誘導電流を発生させて加熱し、加圧することで融着する方法である。



図③-1-11 各種融着プロセスと装置

図③-1-12 にラボレベルで比較検討を行った装置の一覧を示す。先行材料による検討結果(図③-1-13、図③-1-14)から等方性材料には熱板融着装置を、一方向性材料には振動融着装置を選定し導入した。またその後、ラップシエア継手以外の継手構造に対する評価検討として、突き合わせ融着試験を行い、適切な溶融条件/加圧条件にて接合を行えば、融着装置間の接合強度には大きな差がない事を確認した(図③-1-15)。

超音波融着機



超音波融着済み CFRTPサンプル

ハンディ超音波融着ウェルダ

高周波誘導加熱融着



コイル

小型高周波発振機

電気抵抗融着 (スポット融着)



金属用溶接機メーカーでの CFRTP融着テスト

図③-1-12 初期検討に使用したラボレベルの融着装置

先行評価試験



熱板融着機



フランジ継手形状(ワーク)



シングルラップ継手(治具)

試験結果(一例)

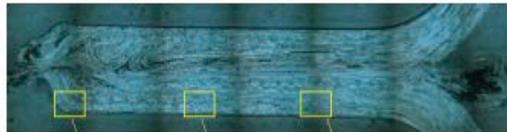
試験結果(一例)	破断強度 (MPa)	伸び (%)	破断箇所	備考
PP	9.9	10.0	母材	
GF/PP	12.4	1.7	融着部	
ABS	16.4	1.7	融着部	
GF/6ナイロン	19.6	—	融着部	5mm/minで引張るもほとんど伸び無く破断
GF/66ナイロン	11.3	—	融着部	5mm/minで引張るもほとんど伸び無く破断
ポリカーボネート	26.4	4.0	母材	

③-1-13 等方性材料の先行試験 (熱板融着)

ハットセクション形状にて検討



加圧160N、
ラップ幅20mm、振幅1.5mm、溶け代0.5mm、
処理時間：30秒程度



接合部断面観察



図③-1-14 一方向材料（ハットセクション形状）の接合試験（振動融着）

突き合わせ融着

試験片：PP CF(vf20%)
50×50 平板に融着用リブ
引っ張り試験用にチャック用リブ設置
融着リブ厚み 3、4、5、15mm



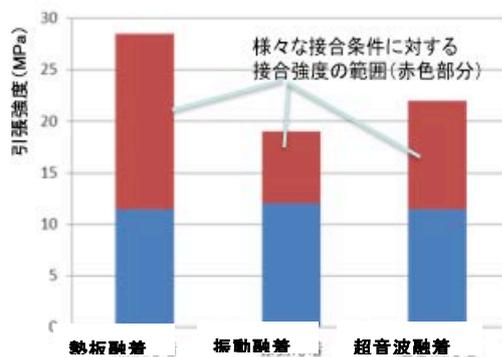
熱板融着機



接合試験片形状



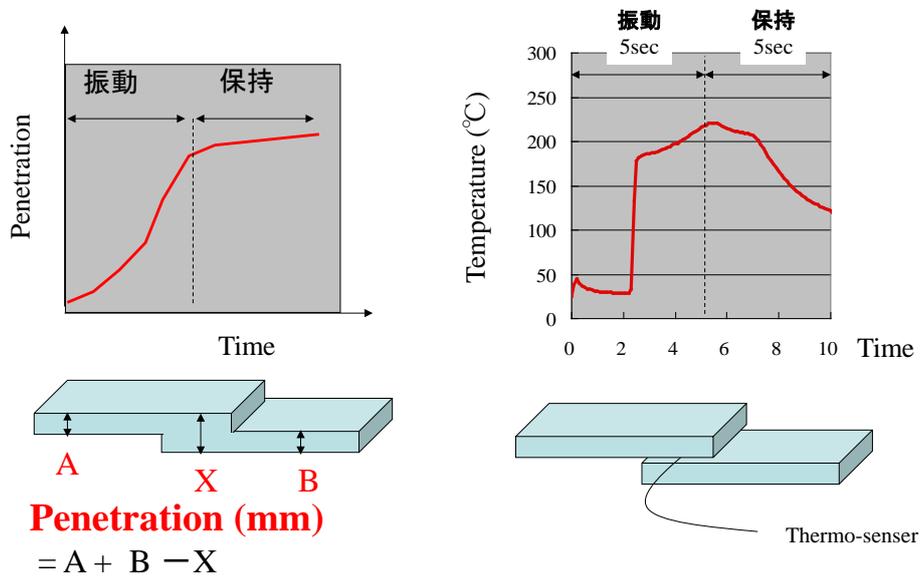
融着後形状



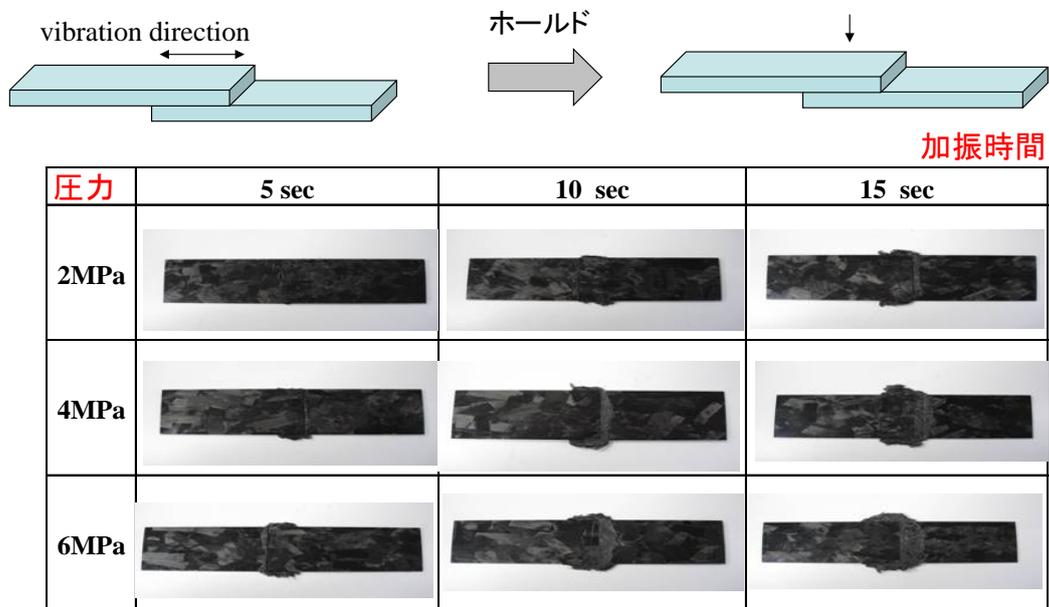
図③-1-15 突き合わせ接合における融着装置と接合強度の関係

図③-1-16、図③-1-17、図③-1-18 に振動融着装置によるシングルラップ継手の融着検討の結果を示す。図はランダム材に対して、加振時間と加圧力を変化させた場合の接合部の溶け込み方と剪断強度とを比較した例を示している。振動融着は試験片同志を互いに押し付けながら振動させ、この振動による摩擦熱で材料の温度が上昇し、図③-1-17

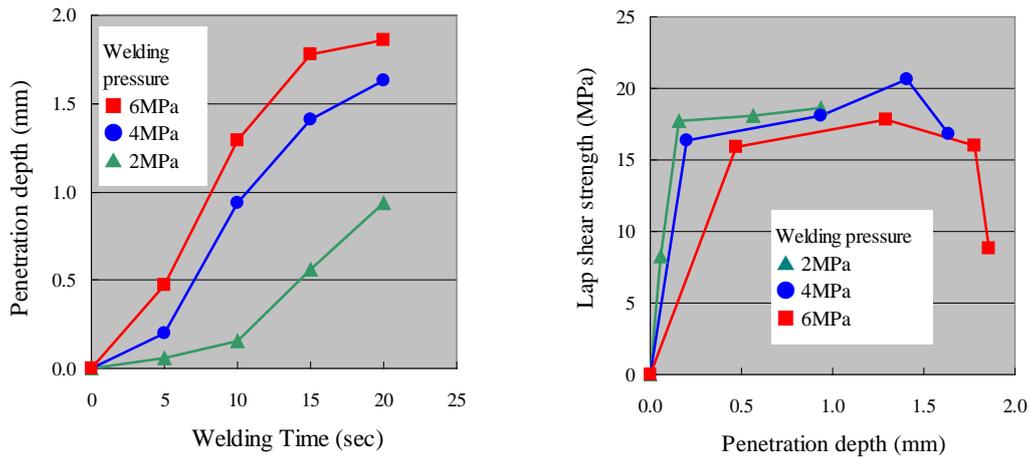
の様に溶け込みが起きる。図③-1-18の例では、加振時間や加圧力ともに接合部の温度が上昇し、より多く溶け込みが発生している。しかし、溶け込みの量が0.5mmより増加しても接合強度は飽和し、大きくは増加しない。振動融着では、わずかな溶け込み量で、十分な接合強度が得られていることが分かる。



図③-1-16 振動融着装置による加振/加圧条件



図③-1-17 振動融着装置による加振時間と加圧力に対する接合の様子 (ランダム材)

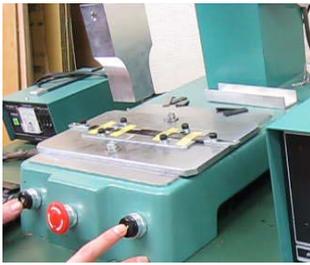


図③-1-18 振動融着装置による加振時間と加圧力に対する接合強度
(ランダム材)

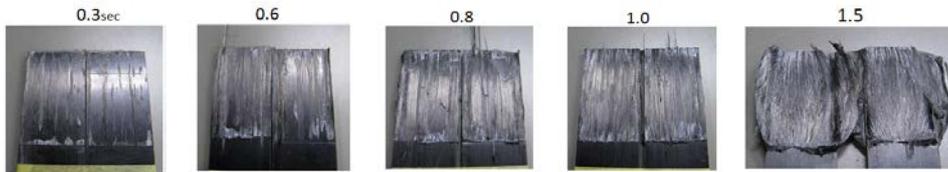
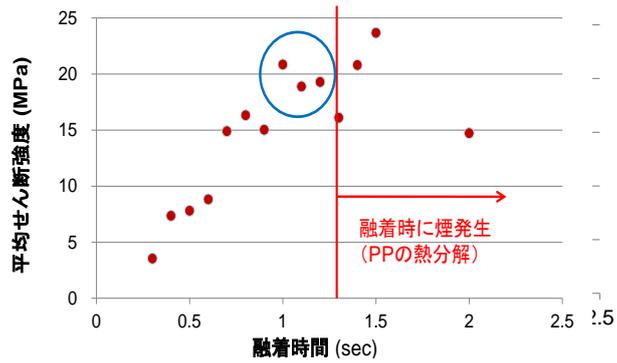
図③-1-19 に超音波融着装置によるシングルラップ継手の融着検討の例を示す。一方向性材料に対して、融着時間を変化させた場合の接合部剪断強度とそれらの破断面を比べている。融着時間とは振動子（ホーン）を介して、加振と加圧を加えている時間であり、ホーンの振動が停止した後、数秒間加圧したまま融着部の冷却を行う。わずか一秒程度の加振時間で十分な接合強度が得られていることが分かる。

図③-1-20 は一方向性材料と等方性材料についての、超音波融着時間に対する破断面の違いを示す。図は同じホーンによる加圧力において、融着時間を 0.5 秒～1.5 秒まで変化させた例であり、同じ融着条件で融着を行っても、材料が異なるとその接合の様子は大きく異なり、当然接合強度も影響を受ける。超音波融着では材料の違い毎（繊維形態、Vf、板厚等）に、各々最適な融着条件を見つけ出す必要があるといえる。

シングルラップ強度

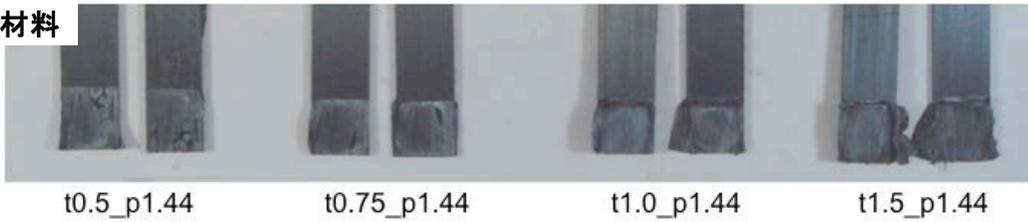


試験片:UD材:
15×100×2 mm
ラップ長:25mm



図③-1-19 超音波融着装置と接合強度

一方向性材料



等方性材料



図③-1-20 一方向性材料と等方性材料の超音波融着時間に対する破断面の比較

表③-1-1 に各種融着方法に対する特徴をまとめる。今回、CF との電蝕が問題となる抵抗融着法や誘導融着法は評価しなかったが、長繊維材料であれば、金属の誘導体を用いない誘導融着は可能である。振動融着は接合部の形状に制約があり、超音波融着は融着条件の設定が難しい、熱板融着は中庸な利点・課題を持っていることが確認できた。

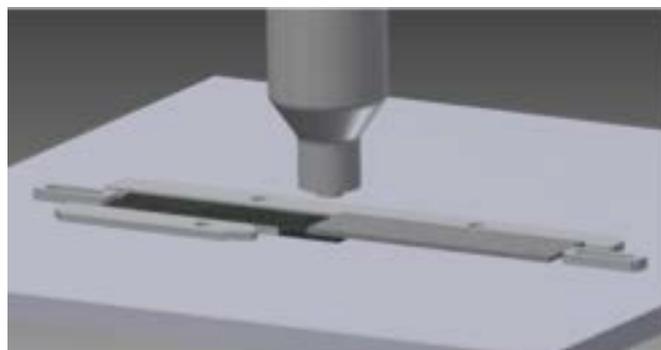
表③-1-1 各種の融着方法の特徴

	熱板融着	振動融着	超音波融着	抵抗融着	誘導融着
接合部の異材	なし	なし	なし	金属線	誘電体(無し)
必要時間(加熱)	1分以下 (10秒程度)	1分以下 (十数秒)	1分以下 (数秒)	1分以下	1分以下
設備の規模(コスト)	大	大	中	小	中/小
接合(加熱)治具	接合部のみ	部品全体	接合部のみ (振動子)	不要	誘電体(不要)
接着強度(条件設定)	良/中	良	難	異材との接着性	良/中
複雑形状への適用可能性	良/中	難	中	良	良
大型形状への適用可能性	中	難	スポット/移動 (連続)による可能性有	中	移動(連続)による可能性有

C. 実用化に向けた融着接合技術

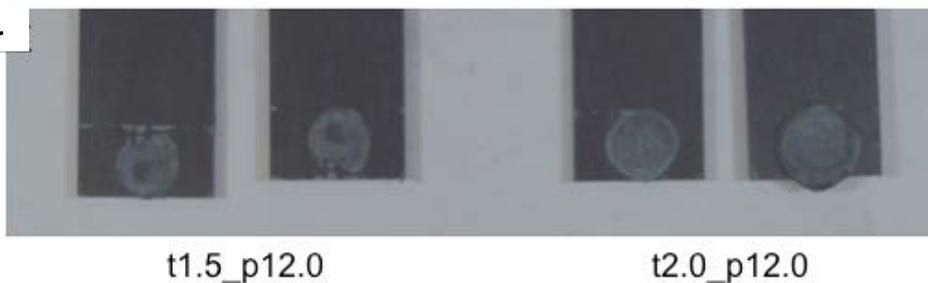
自動車構造への適用・実用化を考えた場合、大型で複雑な接合形状に対応可能なことが条件となる。その観点からは、スポットおよび移動ホーンを用いた超音波融着法が、もっとも適用性・実用性が高いといえる。

図③-1-21 は超音波融着装置のホーン形状を小円形としたもので、スポット溶接のように小さいエリアの融着を行うことができる。図③-1-22 は直径 10mm のホーン形状にて等方性材料同士の融着を行った例で、小さなスポットエリア内で均一な熔融・接合がされているのが確認できる。面状のホーン形状にて融着を行った場合との接合強度を比較したものが、図③-1-23 である。スポット融着の方が強度のばらつきが少ないことが確認できる。

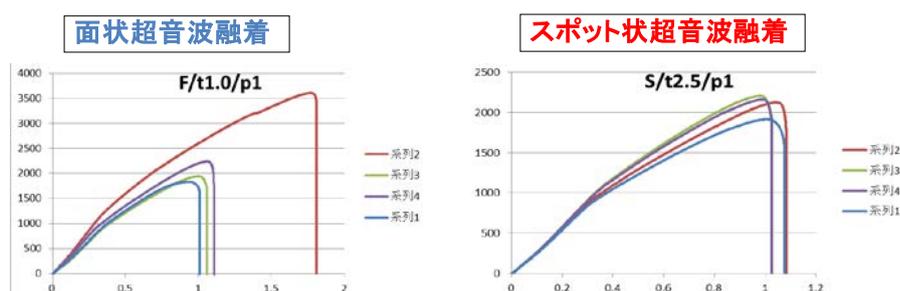


図③-1-21 スポット融着用超音波融着装置のホーン

等方性材料



図③-1-22 スポット超音波融着による剪断継手の破断面写真



図③-1-23 超音波融着におけるホーン形状と剪断強度の比較

超音波融着は融着条件の設定が難しいことが課題であり、融着中に温度や圧力等をモニタリングすることで溶融状態を把握できれば、常に最適な接合条件による融着が可能となる。FBG (fiber Bragg Grating) センサを用いて、超音波融着時のモニタリングを行った例を以下に示す。

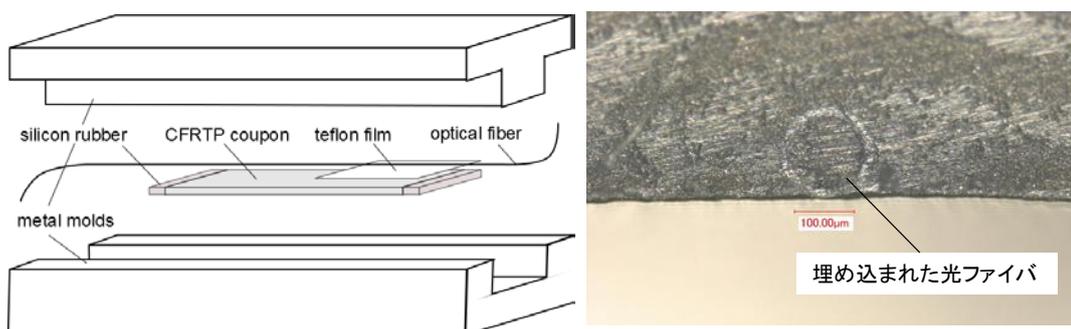
FBG とは光ファイバー内に非破壊的に設置されたセンサ素子であり、ひずみや温度センサとして機能し、OFDR (optical frequency domain reflectometry) と組み合わせることで、FBG 内に生じるひずみ・温度を分布的に計測することができる。また、ひずみゲージと異なり、計測毎の初期化が不要なため、センサのひずみ量を絶対値として計測することができる。本プロジェクトでは CFRTP 材に FBG を埋め込み、埋め込み過程、その後に行った超音波融着過程、および引張試験中の各過程を通したひずみ量の変化をモニタリングした。また、超音波融着継手に引張荷重が負荷されたときの応力・ひずみ分布をシミュレーションにより検証した。

成形された CFRTP 板に光ファイバーセンサを埋め込む過程を図③-1-24 に示す。光ファイバーの一部に埋め込まないようにするために CFRTP と光ファイバーの間にテフロンフィルムを挟み、成形時と同じ加熱・加圧を行った。光ファイバーの埋め込まれた CFRTP の断面を図③-1-24 の左側に示す。光ファイバーがちょうどクーポン表面に埋め込まれている様子がわかる。次に、超音波融着装置を用いてシングルラップ継手を融着した (図③-1-25)。

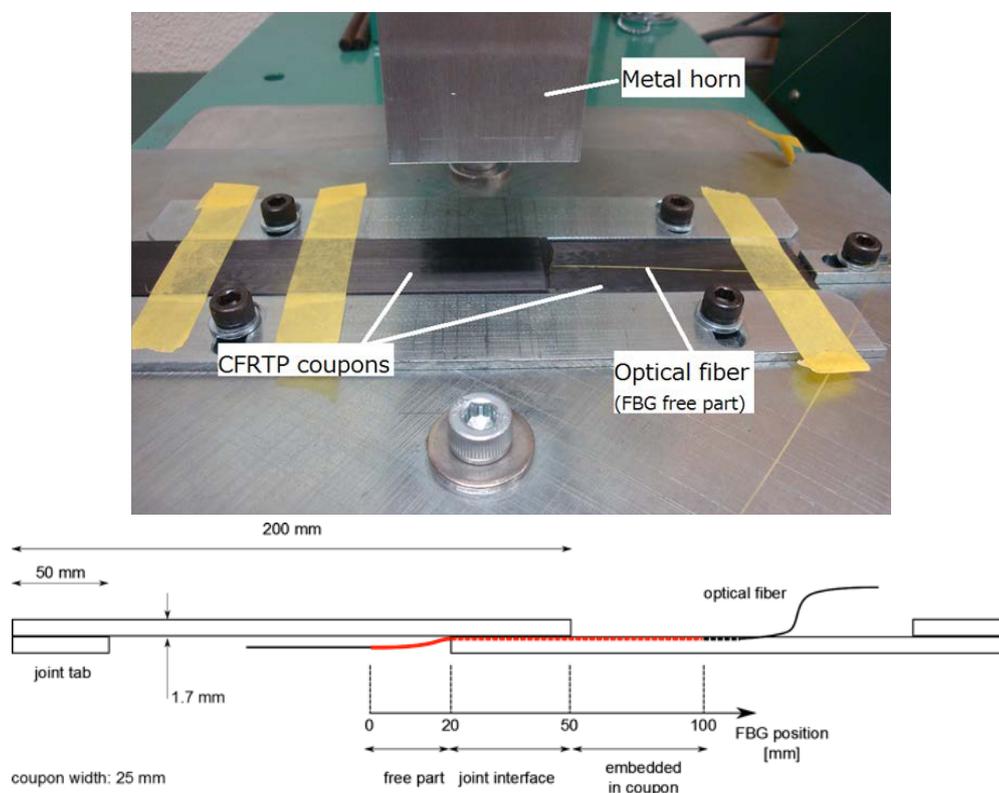
これら各工程後のセンサのひずみ量を図③-1-26 に示す。最初に光ファイバーを CFRTP 表面に埋め込んだ時に発生したセンサ各位置でのひずみが、超音波融着時に再溶融され

た部分だけひずみ除去されているのが確認できる。また、引張試験時の荷重方向ひずみと光ファイバーのひずみ量を FEM 解析と比較した結果を図③-1-27 に示す。荷重が大きくなると CFRTP と光ファイバーとの相対的な滑りなどから、接合部内の光ファイバーのひずみ分布がだれた分布になっているものの、荷重が小さいときは FEM 解析と光ファイバーセンサの計測結果はよく一致している。

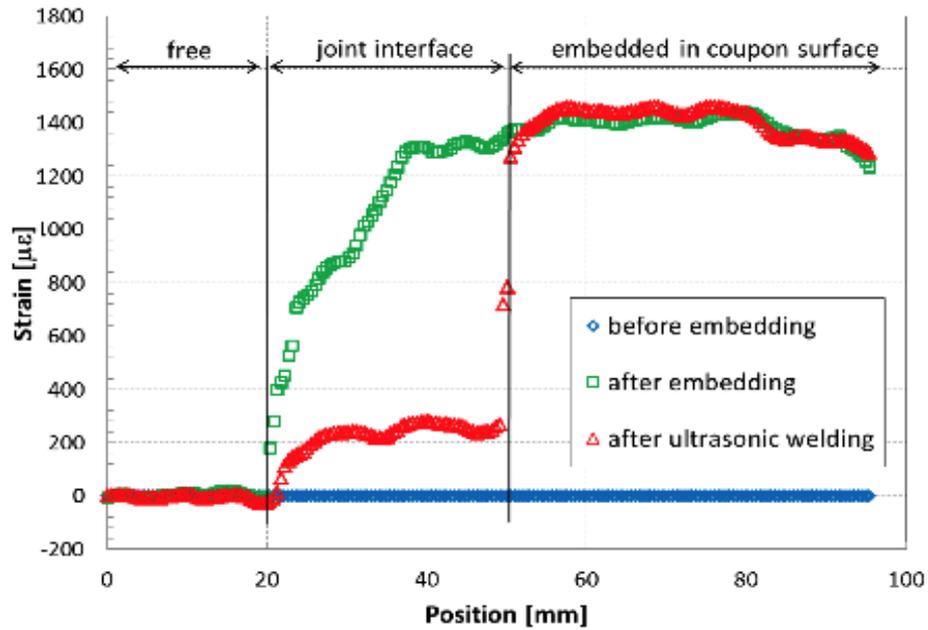
以上のように、今後さらに、融着工程中のリアルタイム計測等により、接合条件の最適化やさらには適応制御化など、融着工程の短縮や品質管理を可能にするモニタリング技術を確立するための貴重な知見を得ることが出来た。



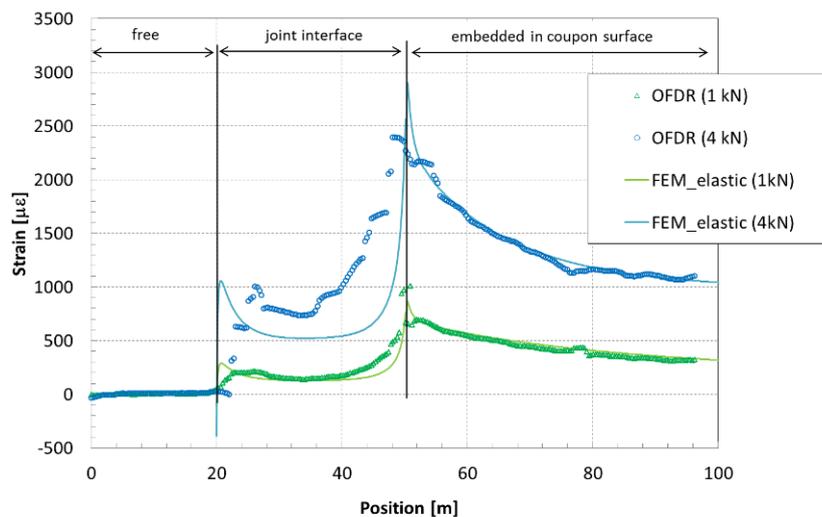
図③-1-24 CFRTP への光ファイバーの埋め込み



図③-1-25 超音波融着によるシングルラップ継手の融着



図③-1-26 FBG 埋め込み前・埋め込み後・超音波融着後のひずみ分布変化



図③-1-27 OFDR 計測による引張方向ひずみ分布比較

③-2 「CFRTP と異材の接合技術の開発」

A. 自動車構造と機械式接合の必要性

自動車構造への FRP の適用の歴史は古く、すでに 1950 年代から外板部材としてガラス繊維強化プラスチック (GFRP) が利用され、FRP の成形性を活かした一体成形によるモノコック構造も一部の車両で実現されている (図③-2-1)。

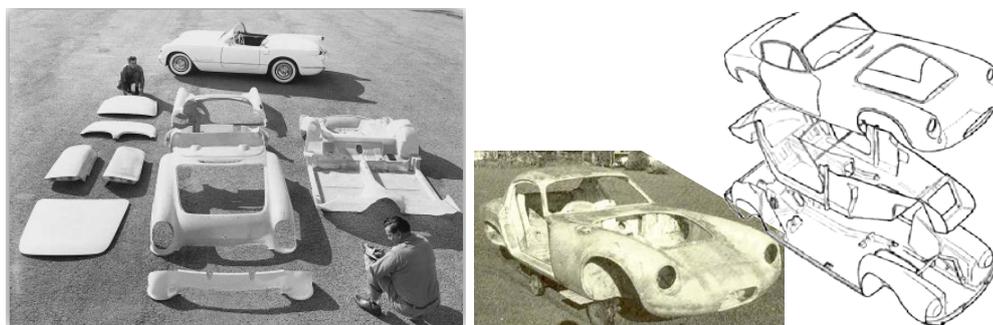
本格的な車両主構造への適用は CF の実用化以降であり、当初は、製造コスト/生産性よりも軽量高剛性/高耐衝撃性能を求めるフォーミュラカーや高級スポーツカー

に適用された。今日では、プリプレグを用いた航空機に準じた製造方法に加えて、生産性の高い RTM/VaRTM 成形技術やブレード材/NCF 材（ノンクリンプファブリック）等のテキスタイル技術が開発され、さらに製造装置の自動化も進み、数万台/年の準量産車にまで、その適用範囲を広げている。

図③-2-2 は今日実用化されている CFRP 車の例である。コクピット廻りにのみ集中的に CFRP を用い、エンジン廻りや複雑なシャーシ類には金属部品を用いることで、高い車両性能の確保と製造コスト/生産性とのバランスを図っている。自動車分野では、組み立て・修理性の観点から、比較的少数のボルト締結により車両全体が構成されており、多点ファスナーによる航空機構造や溶接・接着が主である船舶構造と異なる特徴の一つである。

自動車構造へ部分的・部材別に適用を進める段階では、従来の車両構造材料であるスチール材との接合が必要とされる。さらにはシャーシ部材には金属インサートとのインテグレートも不可欠である。接着接合は表面処理や接着行程に多くの時間と品質管理が求められ、PP のようにもともと十分な接着力を得るのが難しい材料も多い。機械接合は、孔径による強度低下や応力集中の問題に加え、穴加工や高価なファスナーが必要で、多くの工程を要するが、上記の様に組み立ておよび修理性の観点から、異材接合においては必要とされる接合方法であるといえる（図③-2-3）。

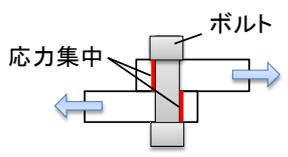
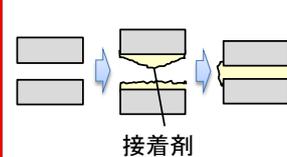
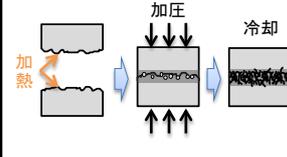
以上から、本プロジェクトでは CFRTP と異材との接合技術として機械式ファスナー継手について検討・開発を行った。



図③-2-1 Chevrolet Corvette (1953) の GFRP パーツ[COMPOSIT Part II]と Lotus Elite (1958) [革命的フル FRP スポーツカーの分析と再評価]



図③-2-2 Porsche Carrera GT (2004) [<http://press.porsche.com/>]と McLaren MP4-12C (2011) の CFRP ボディ [<http://media.mclarenautomotive.com/>]

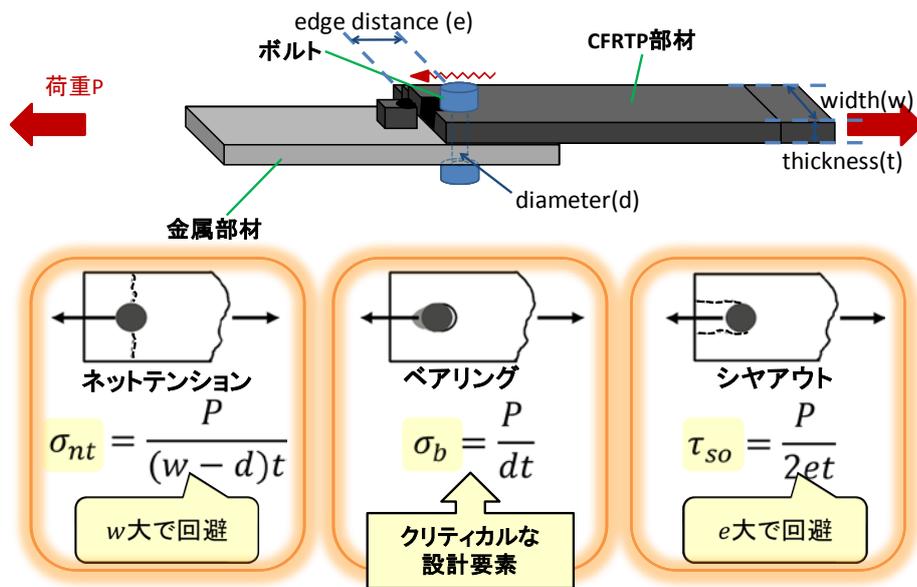
	離散点接合	面接合	
	機械的接合	接着接合	融着接合
方法	 <p>ボルト 応力集中</p>	 <p>接着剤</p>	 <p>加熱 加圧 冷却</p>
	穴あけ加工による接合	表面処理による接合	加熱・冷却による接合
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・異材接合可能 ・分解によるリサイクル可能 ・解体による修理可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・異材接合可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・重量増加なし ・再加熱によるリサイクル性あり
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・応力集中による強度低下 ・重量増加 	<ul style="list-style-type: none"> ・PPとの相性悪い ・リサイクル性・解体性なし 	<ul style="list-style-type: none"> ・適用できる部材の厚さに限界あり ・異材接合不可 ・解体性なし

図③-2-3 CFRTP 材料に対する各種接合方法比較

B. CFRTP の機械式接合

従来から熱硬化性樹脂を用いた CFRP 構造物では、機械式ファスナー継手（以下ボルト結合と呼ぶ）が広く用いられており、設計指針も確立されている。図③-2-4 は CFRP 材料のボルト結合の破壊形態とおおよその設計指針である。CFRP 材料の設計では、通常ネットテンションやシヤアウト破壊を避ける設計（ファスナー配置等）をおこない、ベアリング破壊がクリティカルな設計要素となるため、材料のベアリング強度やその破壊形態が重要な設計データとなる。このベアリング強度は FRP の樹脂特性や繊維・樹脂界面接着特性に大きく依存するため、本プロジェクトにて開発された材料は、従来の CFRP 材料に用いられていた設計指針が流用できないことも考えられる。

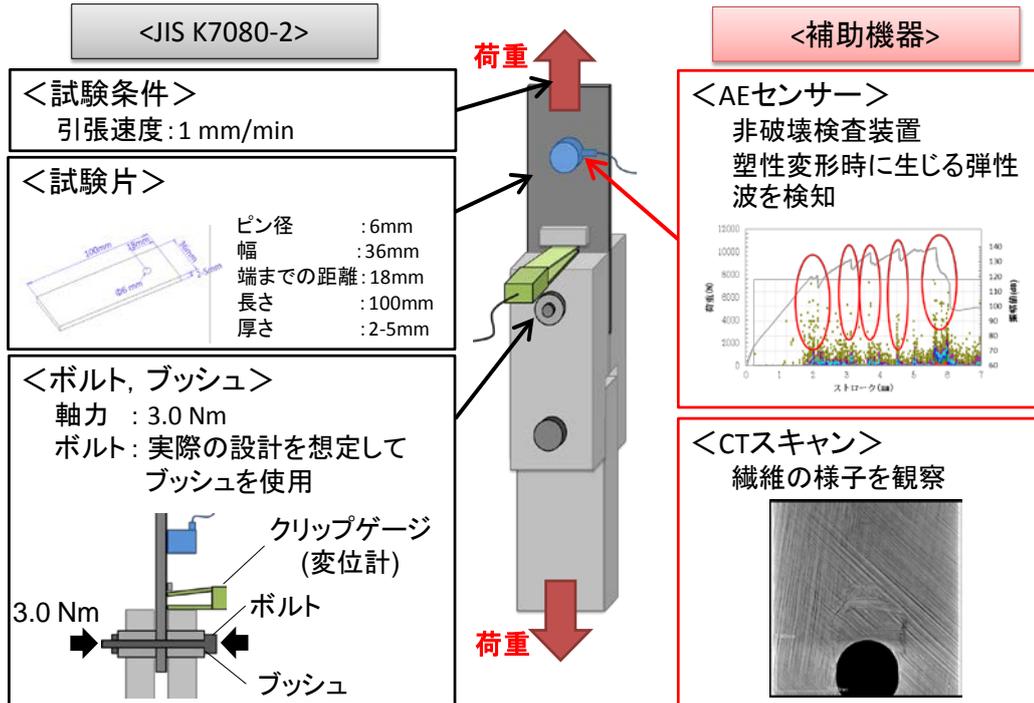
以上から、本項目では、本プロジェクトにて開発された材料についてボルト結合の強度を確認し、さらに従来から広く用いられている CFRP 材料に対する設計指針との差異を確認し、さらに CFRTP 材料用の継手設計指針を得ることを目的とする。



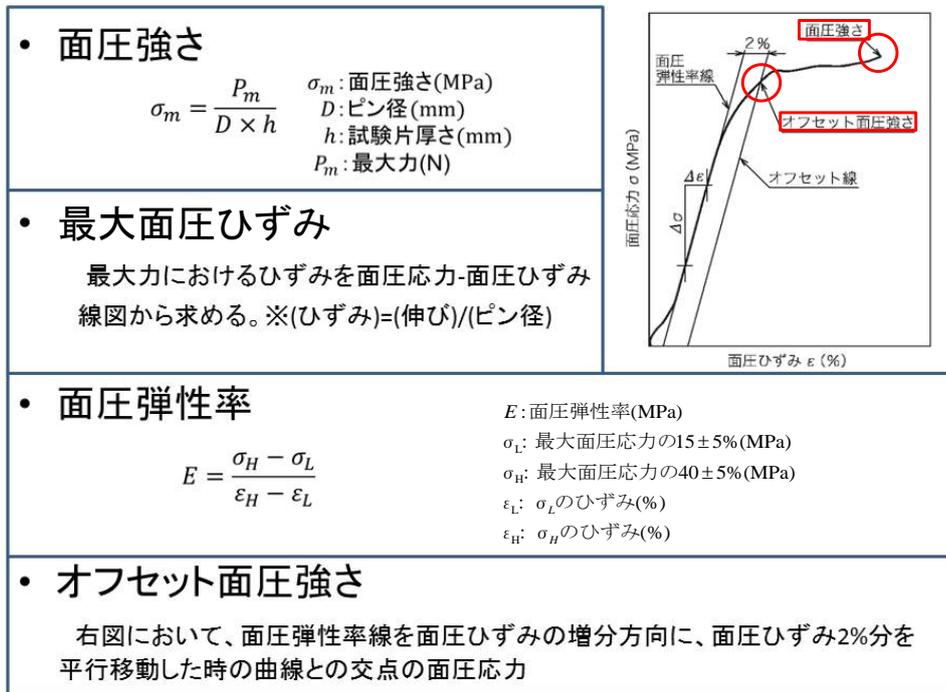
図③-2-4 FRP 材の機械式ファスナーの破壊形態

図③-2-5 にボルト結合強度の試験方法を示す。基本的に、CFRP 材料用の規格である JIS K7080-2 の試験方法に従い、初期破壊をより詳しく見るために右に示す AE センサと 3D-X 線 CT による観察を用いた。AE センサは非破壊検査装置で、塑性変形時に生じる弾性波の検知が可能である。また、3D-X 線 CT による観察により、試験片の繊維の様子を観察した。これらを用いることで、初期破壊付近の様子をより詳しく観察することが出来た。

図③-2-6 にボルト結合強度の評価方法を示す。この試験から得られるひずみ、応力を曲線にして、面圧強さ・最大面圧ひずみ・面圧弾性率・オフセット面圧強さの 4 点について整理し評価した。面圧強さは最大荷重時の応力で、オフセット面圧強さは図に示す通り応力ひずみ線図の弾性限付近の強さである。試験本数は 4 点とし、各基材の平均値を算出した。



図③-2-5 ボルト結合強度の試験方法



図③-2-6 ボルト結合強度の評価方法

図③-2-7は、同じCFとVfのエポキシ樹脂を用いたCFRTS材料によるISO積層材と、CFRTP一方向性材料によるISO積層材とのボルト結合強度試験結果の比較である。オフセット面圧強さおよび面圧強さはCFRTS材料より低い値を示したものの、最大面圧ひずみはCFRTPの方が高い結果となった。これはCFRTP材料の延性によるものだと考えられる。次に、同じCFRTP一方向性材料を用いた、ISO積層材とランダム材の比較を図③-2-8に示す。強度はほぼ等しいものの、AE振幅値の出力はISO積層材でより集中的に出ていることが確認できる。

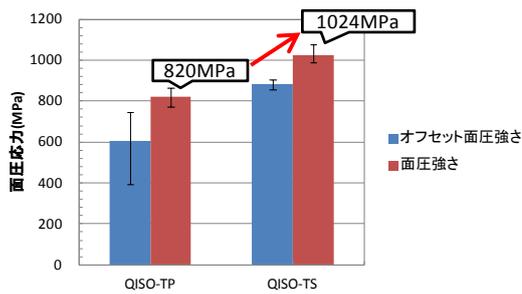
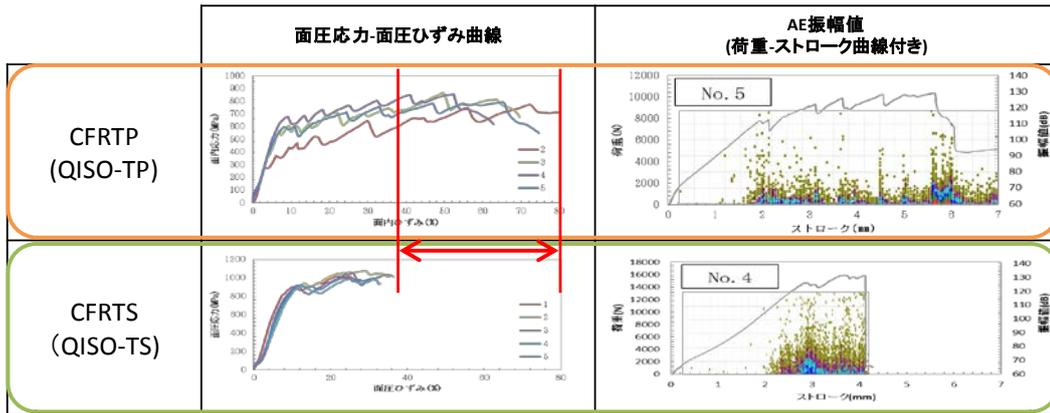
また等方性材料の挙動を示したものが図③-2-9である。こちらはVf20%材であるにもかかわらず高いオフセット面圧強さを示したが、その後延性的な挙動は示さずにネットテンション破壊となった。試験片幅を6dから8dに変更してもやはり破壊のモードは同様であったが、ボルト軸力をJIS規格の3.0Nmから手締め程度の0.1Nmに低下させた場合は、オフセット面圧強さは低下したものの、延性的な破壊挙動を示した(図③-2-10)。

図③-2-11は荷重方向に3穴結合した場合の継手強度を確認した結果である。CFRTP材料の延性効果により、荷重集中ボルト部の破壊が生じた後も、急激な荷重低下を引き起こさずに残りのボルトに荷重再配分が行われ、その結果3本のボルト全体の継手接合強度はCFRP材料よりも高い結果となった。

また、熱可塑性樹脂が溶融する特徴を生かして、熱穴加工によりボルト穴周りの繊維破断無しに穴加工を行った場合、ベアリング強度が向上し、オフセット面圧強さが増すことも確認できた(図③-2-12、図③-2-13)。

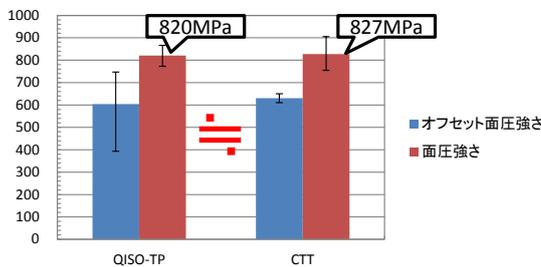
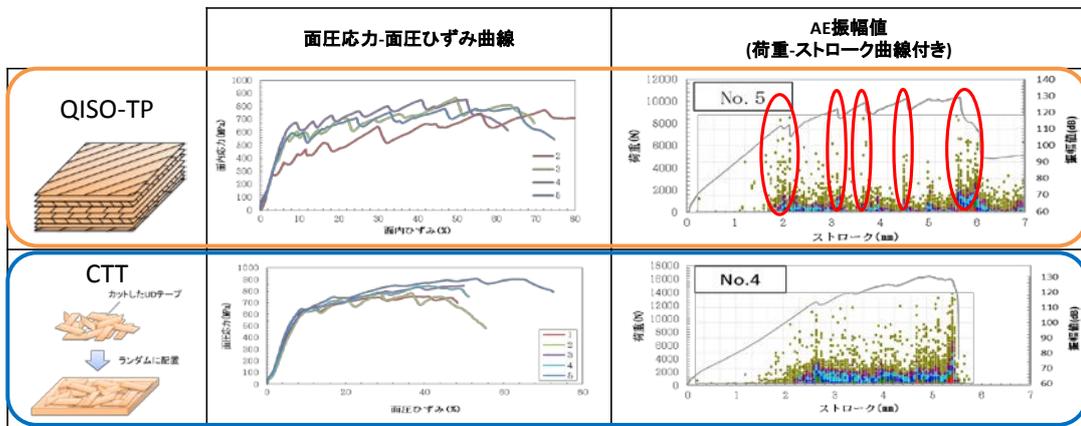
以上、CFRTP材料のボルト結合継手に対する強度や、その強度特性を確認することが出来た。

最後に、図③-2-14にCFRTP材料に対する接合技術のまとめを示す。



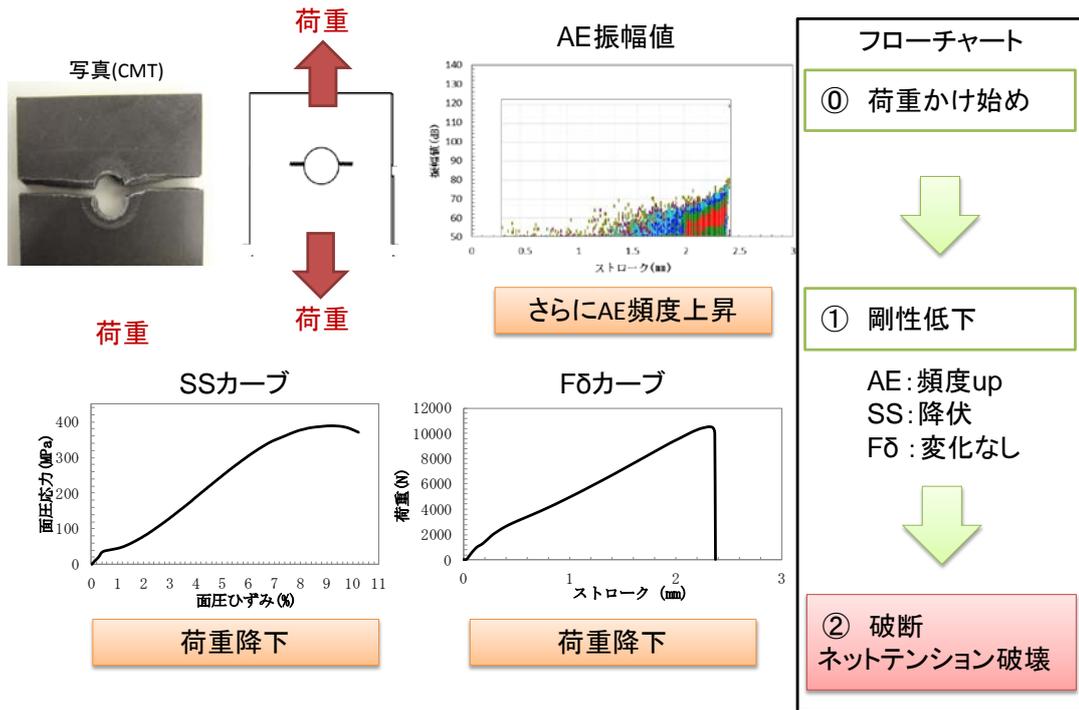
- ①強度
QISO-TS > QISO-TP
- ②最大面圧ひずみ
QISO-TS < QISO-TP

図③-2-7 CFRTS と CFRTP 材料のボルト結合強度の比較

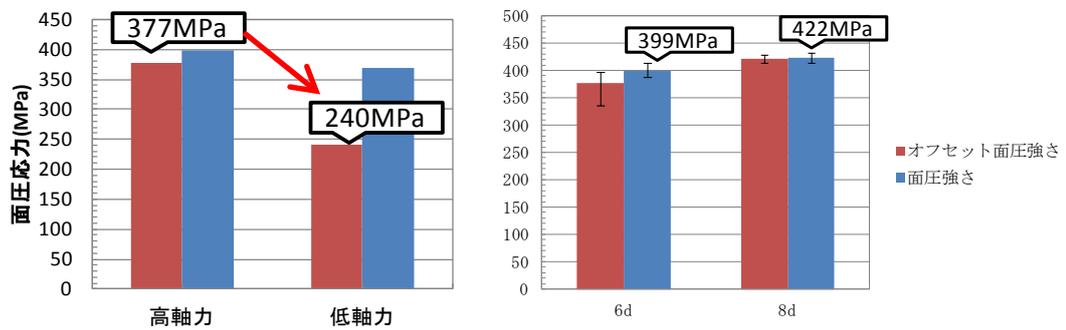


- ①AE振幅値
QISO-TPの方が集中的に出る
⇔荷重の下がり幅が大きい
- ②強度
QISO-TP ≒ CTT

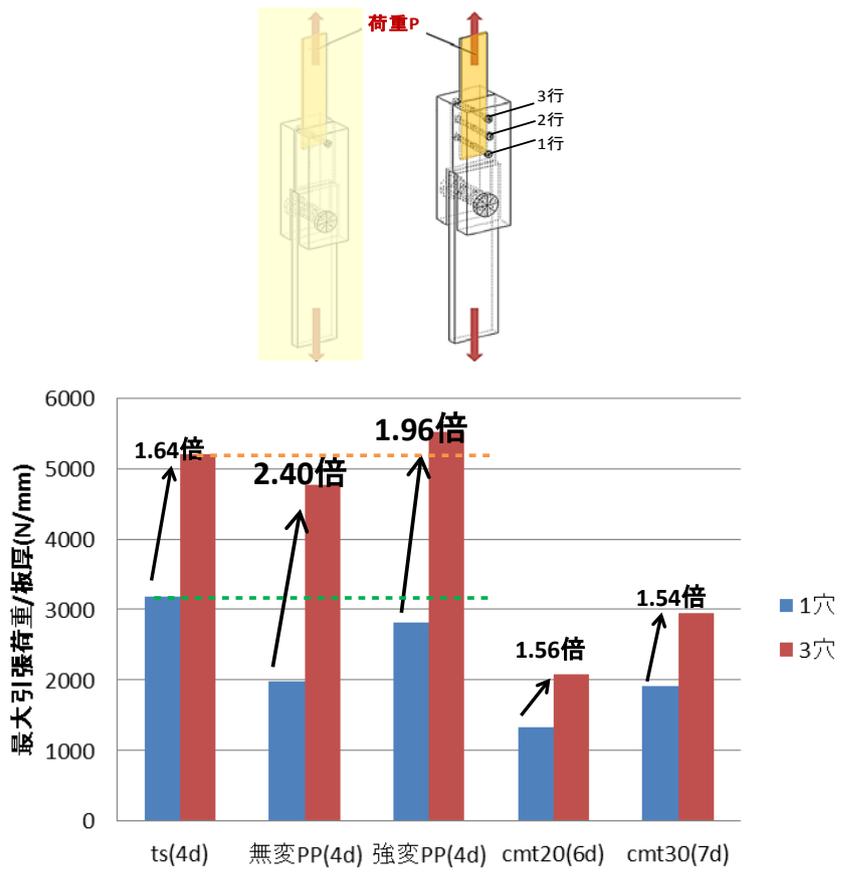
図③-2-8 ISO 積層材とランダム材のボルト結合強度の比較



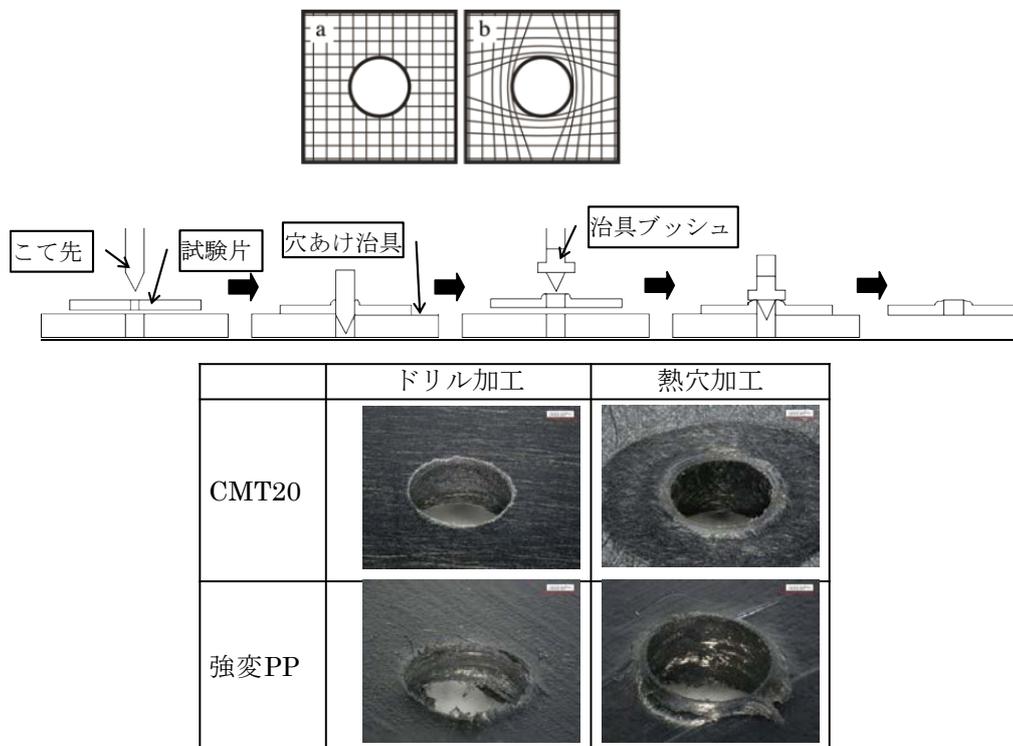
図③-2-9 等方性材料のボルト結合強度試験時の挙動



図③-2-10 等方性材料のボルト軸力と試験片幅に対する強度試験時の挙動

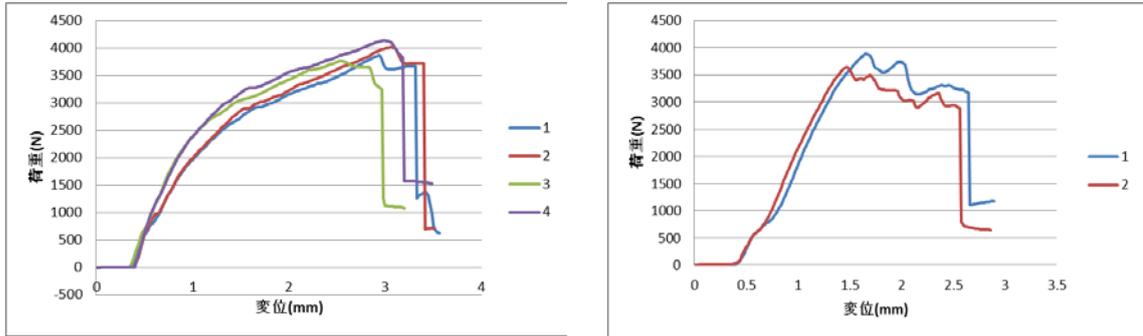


図③-2-11 3穴ボルト結合による継手強度



図③-2-12 等方性材料のボルト軸力と試験片幅に対する強度試験時の挙動

CMT材 機械継手強度(φ6、t2mm)



ドリル加工

熱穴加工

図③-2-13 等方性材料のボルト軸力と試験片幅に対する強度試験時の挙動

CFRTPの特徴 自動車の材料

- ・接合部修理・交換の容易さ
- ・コスト/品質保証
- ・異材接合の多さ

	分散点接合	面接合	
	機械的(ボルト)接合	接着接合	融着接合
方法	<p>ボルト 応力集中</p>	<p>接着剤</p>	<p>加熱 加圧 冷却</p>
	穴あけ加工による接合	表面処理による接合	加熱・冷却による接合
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・異材接合可能 ・分解によるリサイクル可能 ・解体による修理可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・隙間/ギャップ接合可能 ・シール性/弾性接合 ・複雑形状への適用性 ・異材接合への可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ・重量増加なし ・加工時間短い ・再加熱によるリサイクル性あり
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・CFRPより低い強度 ・応力集中による強度低下 ・重量増加 	<ul style="list-style-type: none"> ・加工時間長い ・PPとの相性悪い ・リサイクル性/解体性 	<ul style="list-style-type: none"> ・適用できる部材 ・異材接合不可 ・解体性なし

図③-2-14 CFRTP 材料の接合技術まとめ

2.4 研究開発項目④「易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発」

④-1 「CFRTP 部材のリサイクル技術の開発」

本プロジェクトで開発する CFRTP のマトリックス樹脂は熱可塑性樹脂であるため、リサイクルにより繰り返し利用できる特長をもっている。また、炭素繊維はその製造に使われるエネルギーが非常に高く、使用済みの CFRTP をリサイクルすることによって、環境負荷が大きく改善される材料である。本プロジェクトの CFRTP 中間基材は含有する炭素繊維の繊維長が比較的長く、強化繊維含有量が高いことから、リサイクルによる再利用は有用である。

従来の炭素繊維強化熱硬化性樹脂複合材料のリサイクルにおいては、炭素繊維を回収する際、熱分解等の方法で樹脂を除去する必要があるが、熱可塑性樹脂をマトリックスとする熱可塑性樹脂複合材料では、成形された部品や端材を破砕／プレート化、あるいは、破砕／粉碎／再ペレット化することによって、樹脂を除去せずにリサイクルできる可能性がある。熱分解等によって樹脂を除去する場合は、炭素繊維の表面改質の効果も同時に失われてしまうが、樹脂を除去せずにリサイクルする場合は、そのマトリックス樹脂に適合させた表面処理、サイズ処理をそのまま活用することができ、効率良くリサイクルできると考えられる。

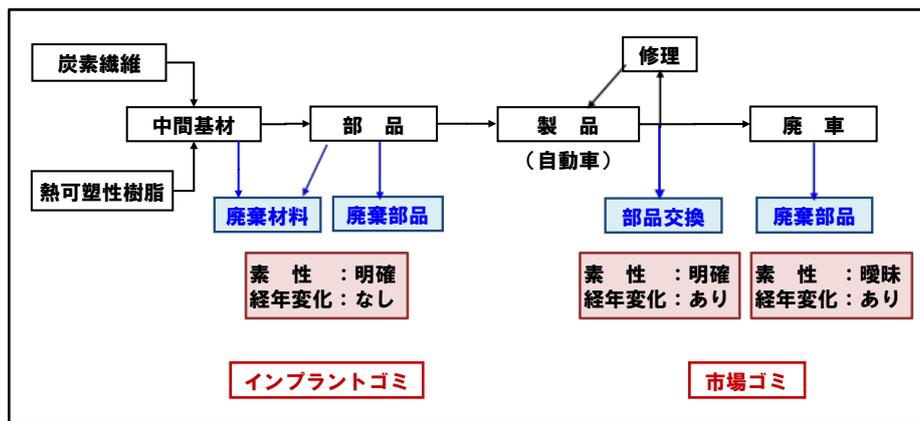
まずここでは、各論に入る前に、リサイクル技術の開発の背景、リサイクル材の分類の考え方について述べる。熱硬化性 CFRP の場合は、図④-1-1 に示すように、工程内で発生する材料ロスが極めて多く、製品段階での CFRP 活用率は 50～70% と考えられる。すなわち、製品が市場に出るまでに、廃棄 CFRP が少なくても 30%、多ければ半分の 50% にまで達する。これらの廃棄 CFRP をリサイクルするためには、マトリックス樹脂を除去する必要がある。



図④-1-1 熱硬化性 CFRP の場合の廃棄 CFRP 量

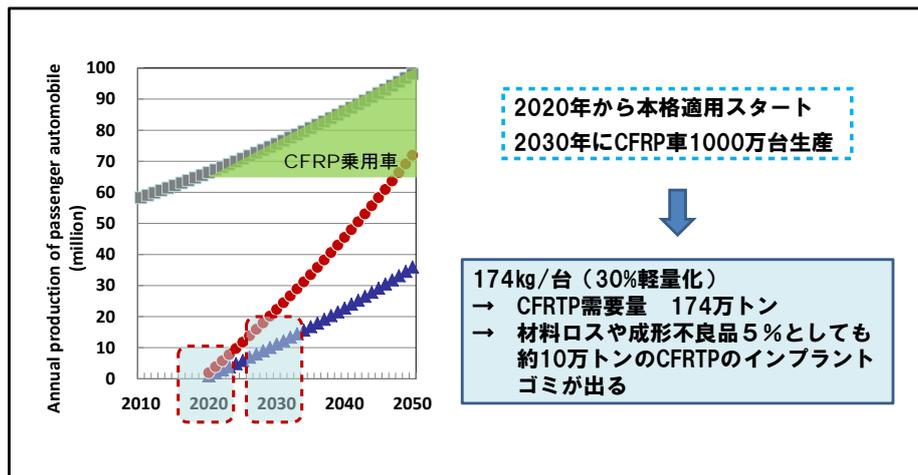
一方、熱可塑性 CFRP (CFRTP) の場合は、成形材料のシェルフライフは制限がなく、本プロジェクトで開発した高速プレス成形（高速スタンピング成形）は、基本的には金型の投影面積より小さい材料を金型にチャージして流動成形する方法であるので、成形材料の原板からチャージする寸法に切り出す（ブランキング）時に発生する端材を除けば、成形不良が出ない限り、材料ロスは熱硬化性 CFRP に比べて極めて少ないと言える。

一般的に樹脂部品の場合、その部品の経年によって樹脂が劣化すると考えられるため、CFRTP の中間基材の製造から、部品メーカーでの部品製造、自動車として完成し、それが走行を始め、廃車に至るまでの全工程において排出される廃棄物を経年変化の有無で分類すると、図④-1-2 のように分類できる。



図④-1-2 インプラントゴミと市場ゴミ

中間基材メーカーや部品メーカーから排出される廃棄物（インプラントゴミ）は、経年変化が無く、組成などの素性も明確であることから、良質なりサイクル材であると言える。従って、市場から回収される廃棄物（市場ゴミ）とは明確に区別するべきである。どの程度の量のインプラントゴミが排出されるかを独自に予測した結果を図④-1-3 に示す。2020年頃から CFRTP が本格的に普及価格帯の自動車に適用されると仮定し、全世界の生産台数の 10% に CFRTP が使用され、乗用車 1 台当たり 30% の軽量化が達成されると仮定すると、1 台当たりの CFRTP 使用量は 174kg となり、その需要量は 174 万 t にも達すると推定される。



図④-1-3 リサイクル・リペア技術の必要性

中間基材メーカーでの端材や部品メーカーでの成形不良品を合わせて 5%と仮定しても、約 10 万 t の良質な CFRTP のインプラントゴミが排出される可能性がある。これらの良質なリサイクル材を元の材料特性に近い品質（目標保持率 90%）に再生できるリサイクル技術の開発が必要である。また、廃棄物の量を減らすリペア技術の開発も望まれる。

用途によって成形材料の形態は使い分けられると考えられるため、本プロジェクトでは、(1) 広く成形技術が普及しており、豊富なインフラが整っている射出成形用の材料としての粉砕リサイクルについて、および、(2) 強化繊維の長さを長く保持でき、構造材料にも適用できる、本プロジェクトで開発したプレス成形機による、いわゆるスタンピング成形用の材料としてのプレートリサイクルについて検討を行った結果について述べる。

④-1-1 「粉砕マテリアルリサイクルによる物性評価」

すでに述べたように、廃棄物はインプラントゴミと市場ゴミに分類して考えるのが合理的であり、まずは、インプラントゴミの粉砕リサイクルについて検討を行った。研究開発項目①②③を通して開発された各種 CFRTP 部材を用いて、破碎・粉砕・コンパウンドを経て得られる射出成形用材料として利用可能なペレットへのリサイクル性（リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数）を向上させる技術を開発した。リサイクルペレットの成形方法としては、広く成形技術が普及しており、豊富なインフラが整っている射出成形が実現性の高い方法であると考えられ、一般の CFRTP 射出成形用のペレットと同等レベルの性能が出せれば、ガラス繊維強化熱可塑性樹脂ペレットの射出成形による自動車部材の代替品として使用できる可能性があり、軽量化効果も期待できる。

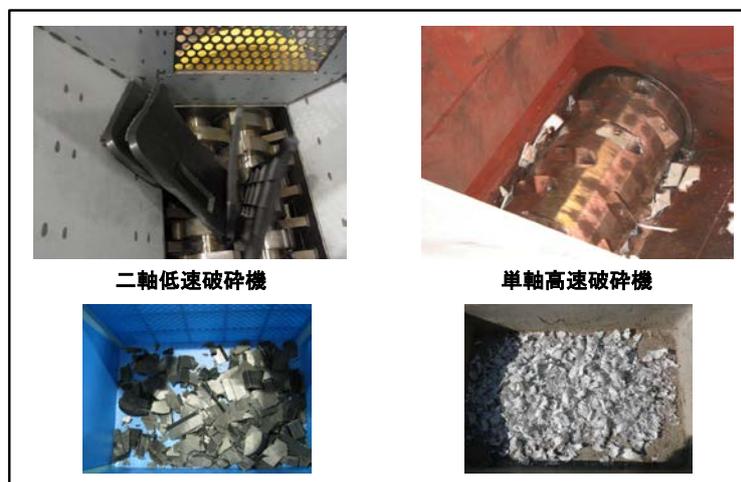
研究開発項目①②③で開発した材料で実際に成形した部材を破碎後、粉砕し、コンパウンドによりペレット化し射出成形を行うことでリサイクルプロセスをシミュレーションし、プロセス終了ごとに強度保持率を評価する。最終目標としては、このリサイクルプロセスを 3 回繰り返した後、バージン原材料から製造した場合の参照強度の 90% 以上の曲げ強度を保持するリサイクル技術を開発する。破碎、粉砕、ペレット化、射出成形の各プロセスを最適化することにより、射出成形品中の炭素繊維長を長く残すことが

できれば、高度なりサイクル技術を開発できる。

大きなサイズの成形品をそのまま粉砕することは出来ないので、まずは、粉砕機に仕掛けることの出来るサイズに成形品を破砕する必要がある。そこで、CFRTP 成形品の破砕および粉砕に適した、破砕機および粉砕機の選定から行った。それぞれの特長を図④-1-4 に示す。熱可塑性樹脂は、摩擦熱で熔融すると、それが切断抵抗になるので、できるだけ発熱させない切断方法が好ましい。以上のような観点から、低速破砕機を選択した。破砕の様子を図④-1-5 に示す。

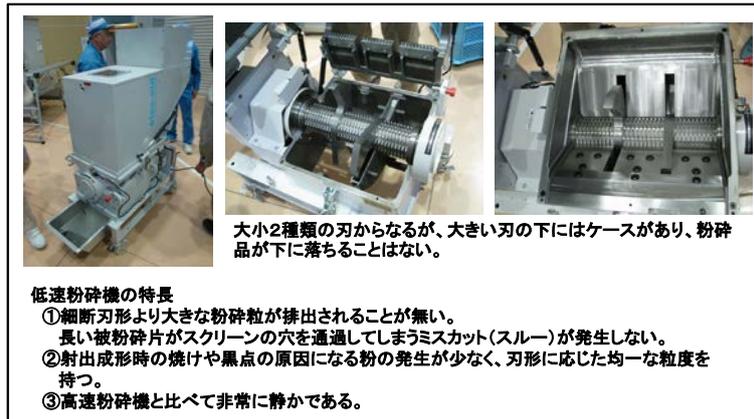
 	 
<p>低速破砕機</p> <p>ブラドラム、ガソリン樹脂タンク、インパネ等、分厚い樹脂製の成形品を破砕するために開発された。 低速かつ、破砕寸法は、刃物のピッチで大凡決まり、メッシュは無く、一過性なので、破砕粉が出にくく、寸法ばらつきも小さい。</p>	<p>高速破砕機</p> <p>スクリーンメッシュで、破砕寸法を決めるが、細長い物でもメッシュは通るので、破砕寸法のバラツキが大きい。メッシュを通るまで、繰り返し破砕されるので、破砕粉が出やすい。</p>

図④-1-4 破砕機の選定

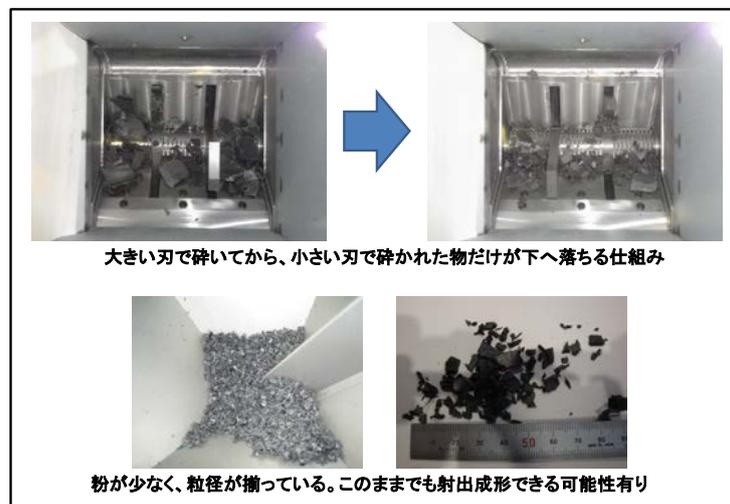


図④-1-5 破砕の様子

同様に、粉砕機も粉砕時の発熱による樹脂の熔融を避けるため、低速粉砕機を採用した。図④-1-6 に採用した粉砕機を、図④-1-7 に粉砕の様子を示す。



図④-1-6 低速粉砕機



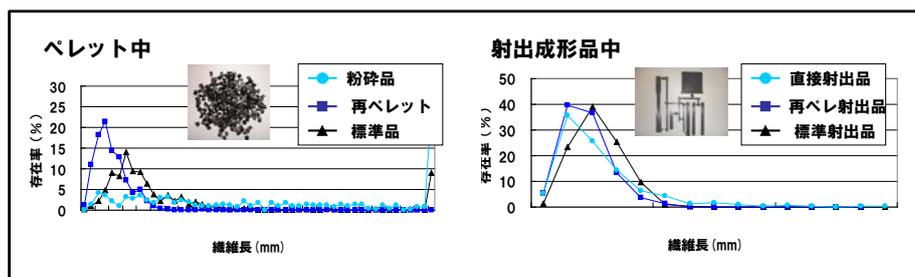
図④-1-7 粉砕の様子

次に、粉砕リサイクルの検討手順を図④-1-8 に示す。成形品は、本プロジェクトで開発した等方性中間基材を、高速スタンピング成形したものである。粉砕機の性能が良く、粉砕品のサイズが揃っていることから、成形品を破砕した後、粉砕し、粉砕品をそのまま射出成形する場合（以下、直接射出品と称する）と、粉砕品を再度、二軸押出機によって再ペレタイズし、そのペレットを射出成形する場合（以下、再ペレ射出品と称する）の2種類の粉砕リサイクル手法を検討した。図④-1-8において、比較のため、同じ炭素繊維とマトリックス樹脂を使用して、通常の二軸押出機によるコンパウンドを実施したペレットを用いた射出成形品を標準品とした。



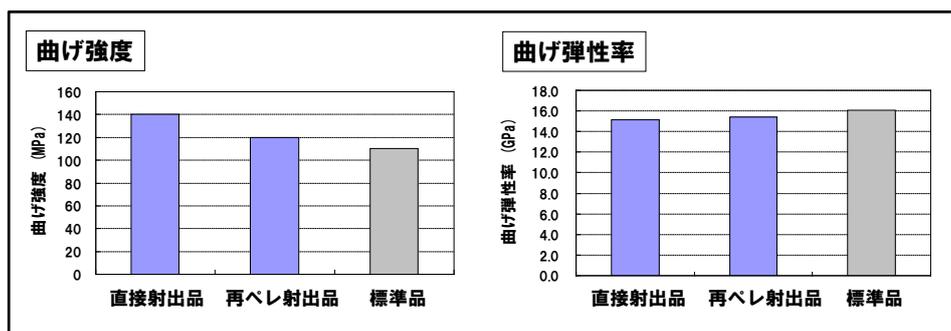
図④-1-8 粉碎リサイクルの検討手順

ペレット中の残存繊維長および、射出成形品中の残存繊維長を測定した結果を図④-1-9に示す。また、これらの平均繊維長を比較したところ、ペレット中の平均繊維長に比べて、射出成形品中の平均繊維長は短くなっていた。さらに、再ペレ射出品の平均繊維長は、再ペレット時の二軸押し出し工程により強化繊維である炭素繊維が折損し、短くなっているのに比べ、直接射出品の平均繊維長は標準品のそれと同等以上の残存繊維長を有していることが判った。

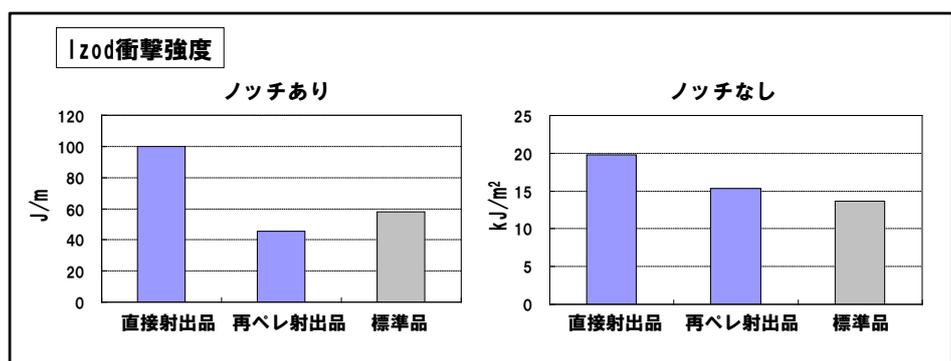


図④-1-9 残存繊維長の比較

直接射出品、再ペレ射出品、標準品の曲げ特性、および、Izod 衝撃強度を測定した結果をそれぞれ、図④-1-10、図④-1-11に示す。

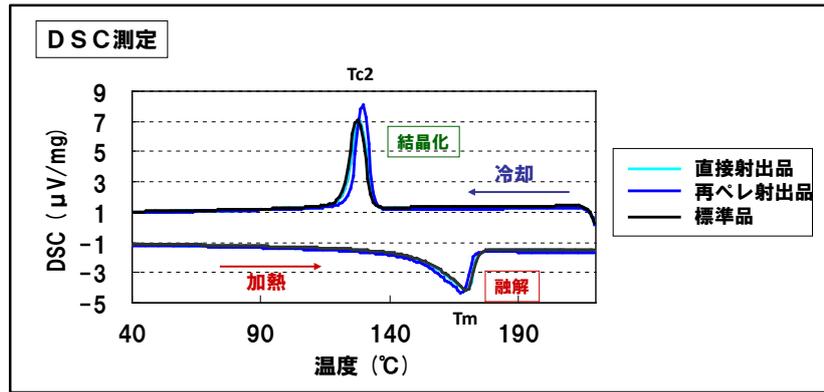


図④-1-10 リサイクル品の曲げ特性



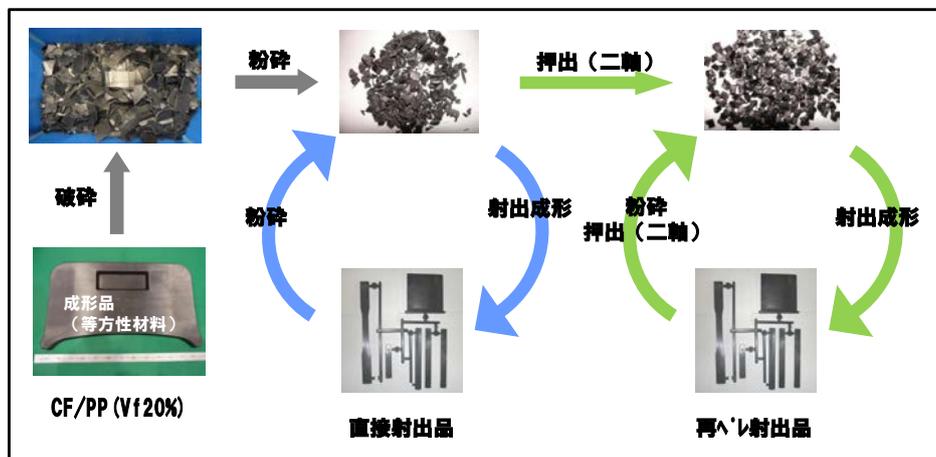
図④-1-11 リサイクル品の耐衝撃性

図④-1-10によれば、直接射出品、再ペレ射出品共に曲げ強度は、標準品に比べて高く、曲げ弾性率に大きな差は見られないことが判る。従って、リサイクル品での曲げ特性の目立った低下は観察されず、標準品と同等の曲げ特性を維持した状態でのリサイクルが出来たと言える。一方、図④-1-11に示すように、耐衝撃性は残存繊維長を強く反映した結果となっている。これらの結果と曲げ強度の結果を合わせ考察すると、マトリックス樹脂／炭素繊維界面の健全性が保たれていると推測することができる。そこで、示差走査熱量計 (DSC) により、直接射出品、再ペレ射出品、標準品について、結晶化温度 (Tc2) および、融点 (Tm) について評価を実施した。図④-1-12に示すように、標準品に比べて、再ペレ射出品で僅かに Tm が低下し、Tc2 が上昇しているが、それぞれのピークはブロードになっておらず、目立ったマトリックス樹脂の劣化は無いと解釈することができる。



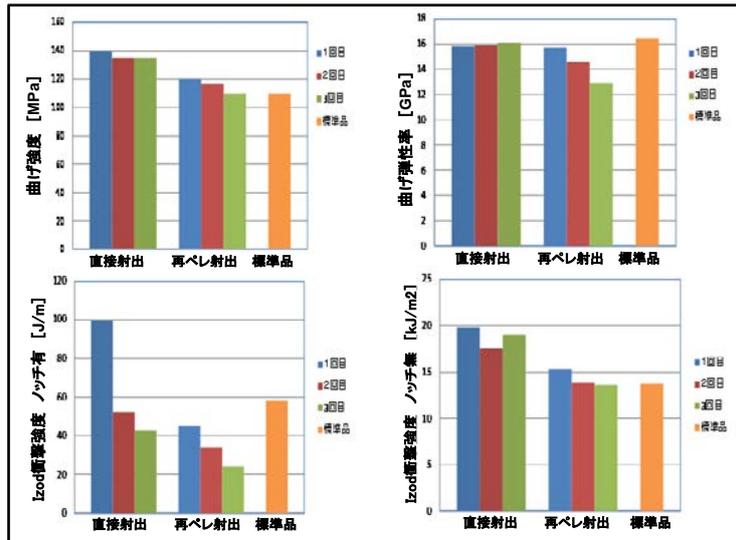
図④-1-12 マトリックス樹脂の健全性の確認

以上、1回の粉砕リサイクルにおいては、大きな物性低下も発生せず、良好なリサイクルが可能であることを示すことができた。そこで、リサイクルにより得られた成形品をさらに破碎、粉砕を繰り返すことによって、どの程度の物性低下が生じるかを明らかにするため、2回目、3回目の繰り返しリサイクルを検討した。図④-1-13に、繰り返し粉砕リサイクルの手順を示す。1回目のリサイクルと同様に、粉砕品から直接射出成形を行うサイクルと、粉砕品を再度、二軸押出機によってペレタイズを行い、再ペレット品を射出成形するサイクルとで、それぞれ、3回繰り返した場合の物性の変化等を調べた。



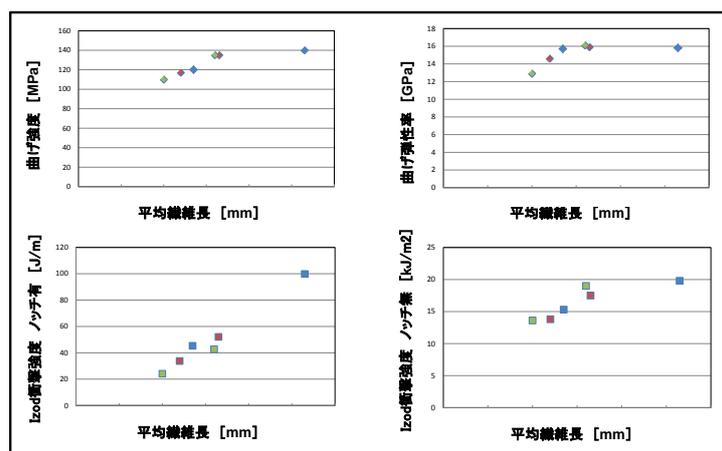
図④-1-13 等方性中間基材の繰り返し粉砕リサイクルの検討手順

図④-1-14に、本プロジェクトで開発した等方性中間基材の繰り返し粉砕リサイクルした場合の力学特性をまとめて示す。青色が1回目、赤色が2回目、緑色が3回目、そしてオレンジ色が標準品である。



図④-1-14 等方性中間基材の繰り返し粉碎リサイクル材の力学特性

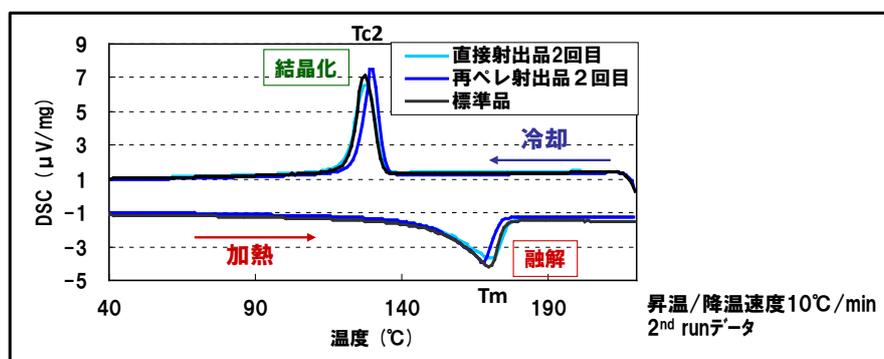
図④-1-14 に示すように、直接射出品の物性は、再ペレ射出品に比較して、高い物性を保持できていることが判る。標準品に比べても、3 回のリサイクルを実施した後も、曲げ強度保持率は 90%以上であり、本プロジェクトでの目標は達成した。再ペレ射出品は、直接射出品と比較して物性の低下度合いが著しく、二軸コンパウンド時の強化繊維の折損が原因であると推測される。そこで、これらの残存繊維長の測定を行い、残存繊維長と力学特性の関係を整理した (図④-1-15)。同図に示すように、曲げ強度、衝撃強度は、概ね残存繊維長に依存することが判る。曲げ弾性率については、残存繊維長の影響が少ないと言えるが、繊維長が非常に短い領域では低下する。残存繊維長と力学特性の関係は、平均繊維長で整理できることが明らかとなった。



図④-1-15 繰り返し粉碎リサイクル材の残存平均繊維長と力学特性の関係

繰り返しリサイクルを行う場合に、もうひとつ懸念されるのが、マトリックス樹脂の

熱劣化である。リサイクル 2 回目のマトリックス樹脂の結晶化温度 (Tc2) および、融点 (Tm) を示差走査熱量計 (DSC) により、直接射出品、再ペレ射出品、標準品について測定を行った。図④-1-16 に示すように、標準品に比べて、再ペレ射出品で僅かに Tm が低下し、Tc2 が僅かに上昇しているが、それぞれのピークはブロードになっておらず、目立ったマトリックス樹脂の劣化は無いと解釈することができる。



図④-1-16 リサイクル 2 回目のマトリックス樹脂の健全性の確認

表④-1-1 に 3 回繰り返し粉碎リサイクルを実施した場合の、マトリックス樹脂の融点および結晶化温度の測定結果を示す。粉碎 3 回目で融点が若干低下、結晶化温度が若干上昇したが、樹脂が劣化するほどの変化ではない。ピーク形状もブロードになっておらず、樹脂の劣化はないと解釈することができる。

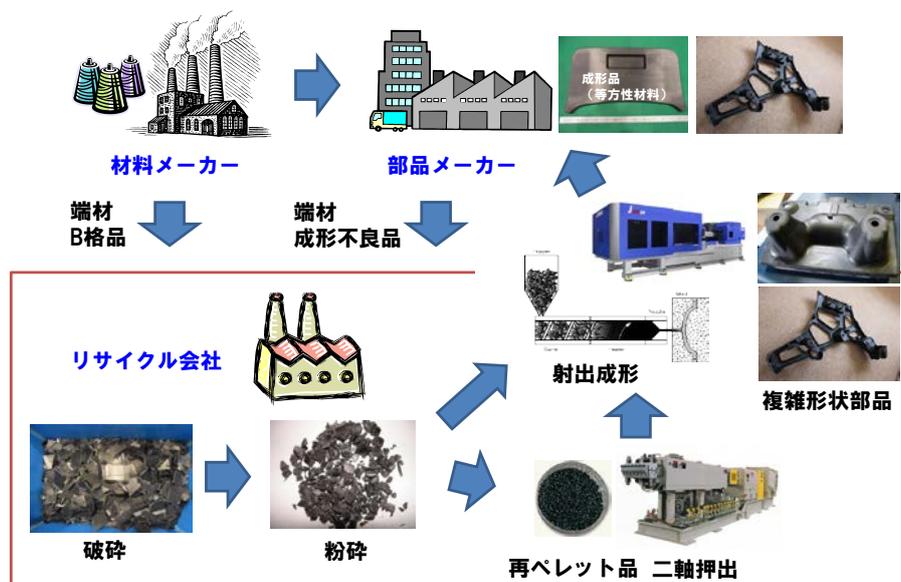
表④-1-1 等方性中間基材の繰り返し粉碎リサイクル材の融点および結晶化温度

	融点 (°C)			結晶化温度 (°C)		
	粉碎1回目	粉碎2回目	粉碎3回目	粉碎1回目	粉碎2回目	粉碎3回目
直接射出品	170	170	168	128	128	130
再ペレ射出品	168	168	167	130	130	131

以上より、インプラントゴミの繰り返し粉碎リサイクルについて検討を行った結果、3 回リサイクルを行っても、曲げ強度はやや低下したものの、軽微であり、標準品に対して曲げ強度が 90%以上あることから、優位性を保っていることが判った。また、残存平均繊維長と力学特性は相関があることも明らかとなった。さらに、DSC の結果から、繰り返し 3 回リサイクルを行った後もマトリックス樹脂の劣化はないことが判った。粉碎機の性能向上により、粉碎品から再ペレタイズを行わず、直接射出成形を行うことにより、強化繊維の残存繊維長を長く維持することが可能となり、リサイクル品の物性を保持できることを明らかにした。

粉碎リサイクルを実現するための業界としてのシステムの概念図を示すと図④-1-17 のようになる。射出成形業界ではすでに、PET ボトルや自動車のエアバッグなどでリサイクルのシステムが確立されており、CFRTP でも同様のシステムで実現できると考えら

れる。



図④-1-17 粉碎リサイクルシステムの概念図

④-1-2 「プレートマテリアルリサイクル手法の検討」

市場での使用後のリサイクル（市場ゴミのリサイクル）ではなく、中間基材メーカーでの端材や部品メーカーでの成形加工段階等で発生する端材や成形不良品は、経年変化が無く、組成の素性が明確な廃棄物（インプラントゴミ）であり、極めて良質なリサイクル材の原料となる可能性が高い。そこで、研究開発項目①②③の各段階で生じる廃棄物を想定した端材をプレス成形用の平板に戻すことによる、プレートマテリアルリサイクル手法の検討を行った。

具体的には、研究開発項目②で開発したスタンピング成形プロセスにおいて、金型から取り出した成形品をトリミングして部材化する際に生じるトリミング屑、あるいは基材の裁断により生じた端尺反、ショートショットに代表される成形不良品を破碎し、研究開発項目②-1 で開発した基材化技術を用いて、再度スタンピング成形可能な板状の成形材料に再生する技術を検討した。プレートマテリアルリサイクルにより得られたリサイクル材を用いて、再度スタンピング成形を行い、部材物性を評価することにより、バージン材による部材からの強度低下を把握する。

最終目標としては、プレートマテリアルリサイクルによって得られたリサイクル材をフレッシュ材と同様の用途に適用するために、フレッシュ材から製造した場合の90%以上の曲げ強度を保持できる、プレートリサイクル技術を開発する。

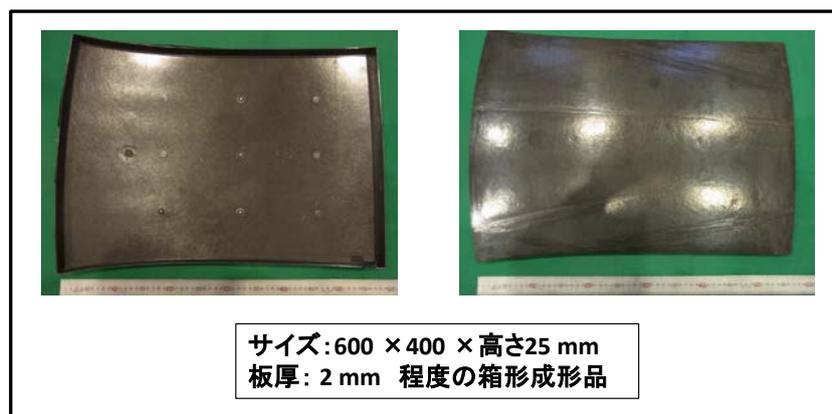
図④-1-18 にプレートリサイクルの検討手順を示す。成形品は粉碎リサイクルで用いたものと同様、本プロジェクトで開発した等方性中間基材を高速スタンピング成形したものである。フレッシュ材での成形工程の成形不良部品（ショートショット等の不良品）を想定している。フレッシュ材製品（成形不良部品）を低速破碎機にて破碎した後、加

熱冷却プレス機を使用して、元のプレート状成形材料にプレートリサイクルした。さらに、そのリサイクルされた成形材料を IR ヒーターにて加熱溶融し、再度スタンピング成形を行うことによってリサイクルが完了する。



図④-1-18 プレートリサイクルの検討手順

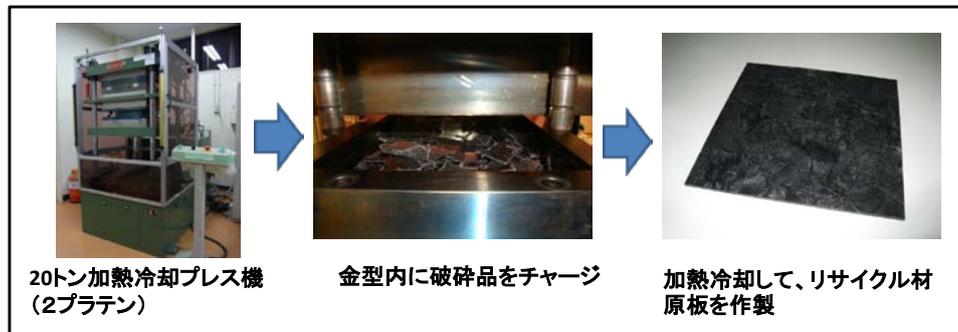
破碎に使用した成形品を図④-1-19 に示す。フレッシュ材製品の破碎には、強化繊維長が短くなること、および高速回転の熱による影響を極力排除するために、低速回転で破砕片が大きくなる破砕機を選定した（図④-1-4）。選定した低速破砕機は、通常の高速度回転する機種に比べて破砕片の飛散や破砕粉の発生を抑えることができる。樹脂製ドラム缶、バンパー、ガソリタンクなどの比較的柔らかく摩擦熱で溶融しやすい樹脂製品を破碎するために開発された特殊な破砕機である。破碎寸法は刃物のピッチで大凡決まり、通常破砕機のようなメッシュは無く、破砕片は一過性なので、寸法ばらつきも小さい。



図④-1-19 破碎に使用した等方性中間基材のスタンピング成形品

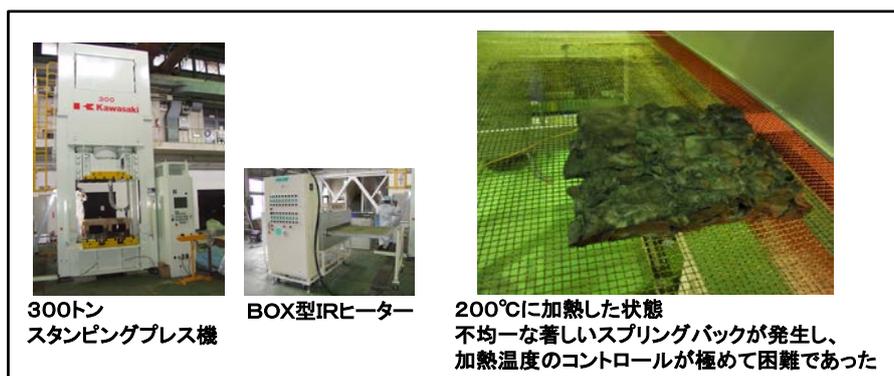
破碎品からのリサイクル材原板の作製手順を図④-1-20 に示す。破碎品を平板金型に所

定量チャージし、加熱冷却プレス機を使用してリサイクル材原板を作製した。本プレス機は加熱プラテンと冷却プラテンを装備しているので、金型のみを加熱・冷却することができ、成形サイクルを短縮できる。破砕品は立体形状であるため、溶融し始めるまでは低圧で保持した。



図④-1-20 破砕品からのリサイクル材原板の成形

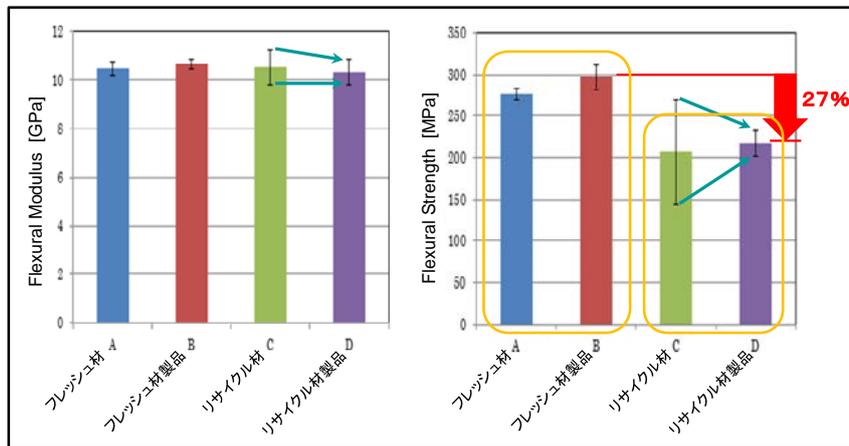
次にリサイクル材原板を使用した製品の作製について述べる。得られたリサイクル材原板からリサイクル材製品を想定した物性測定用の平板を、プレス機を使用して厚み3mmの平板をスタンピング成形した。図④-1-21にスタンピング成形機および、IRヒーターによる加熱溶融時のリサイクル材原板の様子を示す。リサイクル材原板は破砕片の集積体であり、加熱時のスプリングバックも破砕片単位で起こるため、不均一性が高く、材料温度のコントロールが困難であった。



図④-1-21 リサイクル材のスタンピング成形

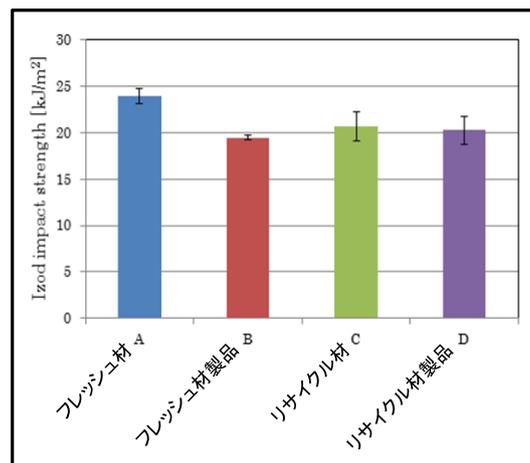
リサイクル工程での各段階での物性変化を把握するために、今回はスタンピング成形を行う前のリサイクル材原板の物性も測定した。JIS K 7074に準拠し、インストロン型万能試験機を用いて三点曲げ試験を行った。その結果を図④-1-22に示す。リサイクル材製品の曲げ強度はフレッシュ材製品の73%にまで低下していることが判る。一方、曲げ

弾性率はフレッシュ材製品、リサイクル材製品を問わず、ほぼ一定の値を示していることが判る。また、スタンピング成形を行うことにより、物性値のばらつきが減少しており、特にリサイクル材製品において顕著である。これは、リサイクル材原板作製時の圧力が低いことに基づく、ボイドや破砕片境界の樹脂リッチ部分の影響によるものと推察される。



図④-1-22 等方性中間基材のプレートリサイクル材の曲げ特性

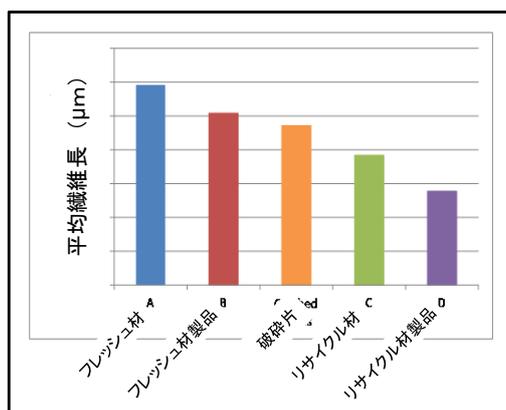
同様に JIS K 7110 に準拠し、計装化アイゾット衝撃試験機を用いてフラットワイズのアイゾット衝撃試験を行った結果を図④-1-23 に示す。アイゾット衝撃値はフレッシュ材の値のみが大きく、その他のフレッシュ材製品、リサイクル材、リサイクル材製品に関しては、ほぼ同じ値であることが判る。



図④-1-23 等方性中間基材のプレートリサイクル材の衝撃特性

射出成形とは異なり、スクリーンで可塑化することのないプレス成形では、通常、強化繊維長は変化しないと考えられる。リサイクル工程の中でも、スタンピング成形

時の IR ヒーターによる酸素雰囲気下での樹脂の融点以上への加熱が、最も過酷な劣化条件と推測していた。しかしながら、スタンピング成形前後での曲げ物性低下がほとんど認められなかったことから、リサイクル工程での樹脂の熱劣化は極めて軽微であると言える。そこで、これまでの現象を解釈するために各工程の残存平均繊維長の測定を行った。使用済みの三点曲げ試験片を燃焼させ、樹脂を除去して炭素繊維を回収し、デジタル光学顕微鏡を用いて測定した。図④-1-24 に平均繊維長の測定結果を示す。



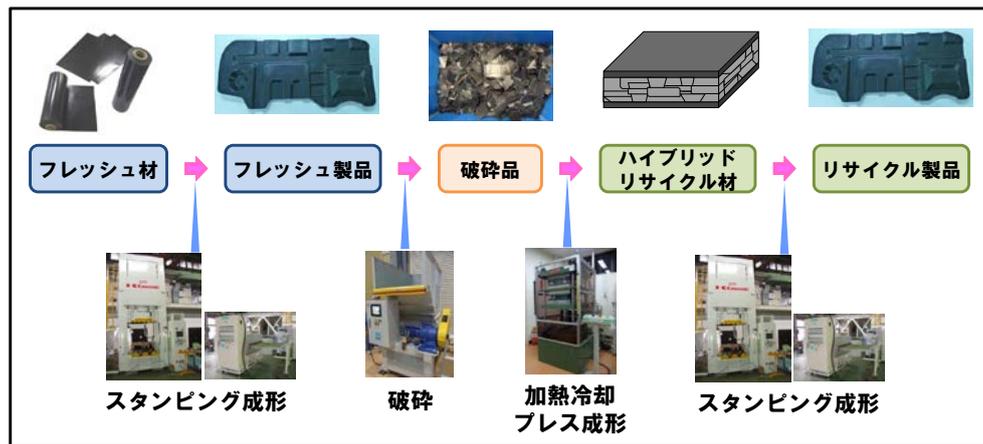
図④-1-24 等方性中間基材のプレートリサイクル材の平均繊維長

図④-1-24 から破砕片中の平均繊維長は、フレッシュ材製品と大きな差異は認められなかった。したがって、今回の材料の平均繊維長に比べて十分大きなサイズの破砕においては、平均繊維長はほとんど低下せず、プレス成形時の圧力が原因で繊維が折損したと考えることができる。

これまでの結果から、リサイクル工程での曲げ強度低下の原因は、プレス成形時の圧力に起因する繊維長低下が要因と考えられる。一方、曲げ弾性率や衝撃強度は、リサイクル材中の平均繊維長が短くなっているにも関わらず、ほとんど影響を受けていない。一般的に落錘衝撃試験による材料貫通時の衝撃吸収エネルギーでは、繊維長が長い材料の方が材料貫通に必要なエネルギーが大きくなり、繊維長が短い材料に比べて吸収エネルギーが大きくなる。しかし今回のようなアイゾット衝撃実験においては、破壊部分が局所的であるため、繊維長との相関性は小さいという結果が得られた。これは以下のように推察することができる。すなわち、界面接着力が小さい場合には“繊維引き抜け”の破壊モードが多く表れ、接着力が大きい場合には“繊維破断”の破壊モードが多く表れる。本プロジェクトで開発した等方性中間基材は、繊維と樹脂の界面接着性が高い材料であるため、衝撃破壊時に“繊維破断”モードが多く生じたと考えられる。アイゾット衝撃試験のように局所的な破壊試験では、“繊維破断”で破壊する材料においては、繊維体積含有率が物性値の支配的な因子となるため、繊維長による影響が軽微であったと推察される。

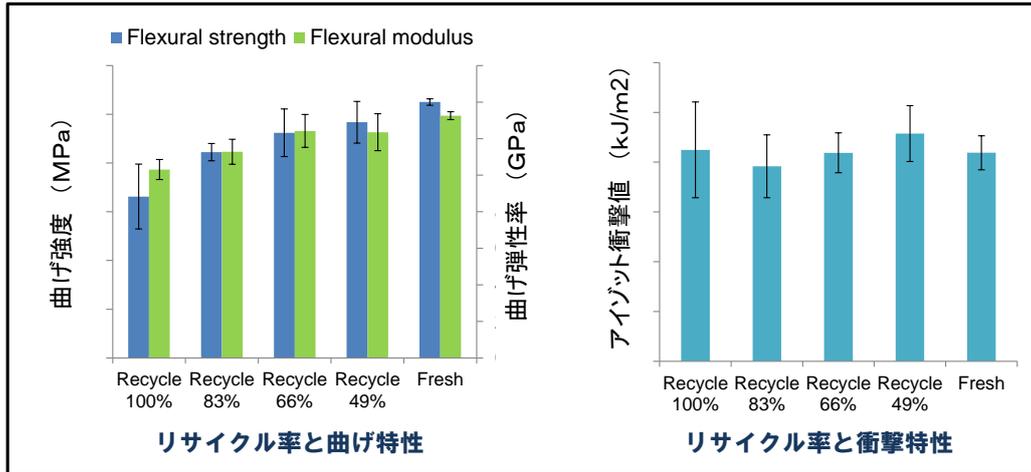
しかしながら、1 回のプレートリサイクルで 100%リサイクル材の曲げ強度は、大幅

に低下してしまっただ。そこで、リサイクル材の表層にフレッシュ材をサンドイッチ状に積層して、リサイクル材をコア部、フレッシュ材を表層部とすることにより、力学特性の大幅な回復を狙うこととした。図④-1-25 に示すように、フレッシュ材製品を破碎した破碎品をコア部に、フレッシュ材を表層部に使用し、リサイクル材の割合を体積比で、0、49、66、83、100%の5種類としたプレート状の成形材料を作製した。リサイクル材0%はフレッシュ材を意味することになる。49%から83%の材料をハイブリッドリサイクル材と称する。



図④-1-25 等方性中間基材のハイブリッドプレートリサイクルの工程

図④-1-26 にリサイクル率と曲げ強度、曲げ弾性率、アイゾット衝撃値の結果を示す。その結果、リサイクル率66%において、曲げ特性がフレッシュ材の約90%にまで回復していることが判る。衝撃特性は、リサイクル率に関係なくほぼ一定の値となっており、やはり強化繊維の含有量に支配されていることが判る。また、フレッシュ材を表層部に積層することにより、物性のばらつきは減少傾向にあることも見て取れる。この理由のひとつとして、IRヒーターによる加熱溶融時のスプリングバック現象から、推測することができる。図④-1-27 に示すように、ハイブリッドリサイクル材のスプリングバック現象は、100%リサイクル材に比べて、不均一なスプリングバック現象は大幅に改善されており、フレッシュ材と同様に均一に加熱溶融できる。



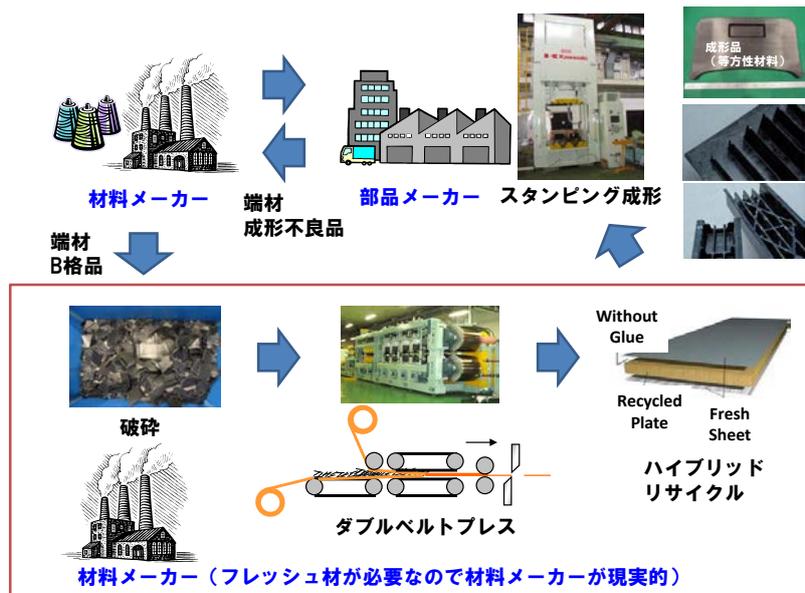
図④-1-26 等方性中間基材のリサイクル率と物性の関係



図④-1-27 ハイブリッドリサイクル材のスプリングバック現象

以上、インプラントゴミのプレートリサイクルについて検討を行った結果、スタンピング成形の高圧力で物性のばらつきは減少し、また、スタンピング成形時の IR ヒーターによる熱劣化は生じていないことが判った。さらに、破砕片サイズが材料の繊維長に比べて十分大きいと、破砕によって繊維長は短くなっておらず、スタンピング成形時の圧力によって、繊維長が短くなっていることが明らかとなった。曲げ強度は繊維長の影響を受けるが、曲げ弾性率や衝撃値は、強化繊維の体積含有率が支配的であり、繊維長の影響は少ないことが判った。これは、本プロジェクトで開発した等方性中間基材の強化繊維とマトリックス樹脂界面の接着強度が高い証拠であると考えられる。

1 回のリサイクルで曲げ強度はフレッシュ材の約 70%程度にまで低下するが、フレッシュ材を表層部に 30%程度使用することにより、フレッシュ材の約 90%にまで物性を回復させることが可能であることを見出した。この原理で、複数回のリサイクルを行っても、ハイブリッドリサイクル技術によって、ほぼフレッシュ材の物性にまで戻すことができる可能性を示すことができた。

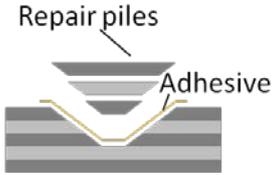
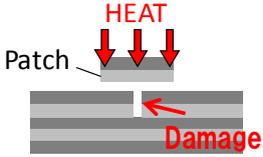


図④-1-28 プレートリサイクルシステムの概念図

プレートリサイクルを実現するための業界としてのシステムの概念図を示すと図④-1-28 のようになる。プレートリサイクルの場合は、ハイブリッドリサイクルを行うためのフレッシュ材が必要となるため、フレッシュ材の材料メーカーでリサイクルを実施することが現実的であると考えられる。インプラントゴミであれば、納入した部品メーカーから回収することは容易であり、このようなリサイクルシステムが確立されることを期待する。

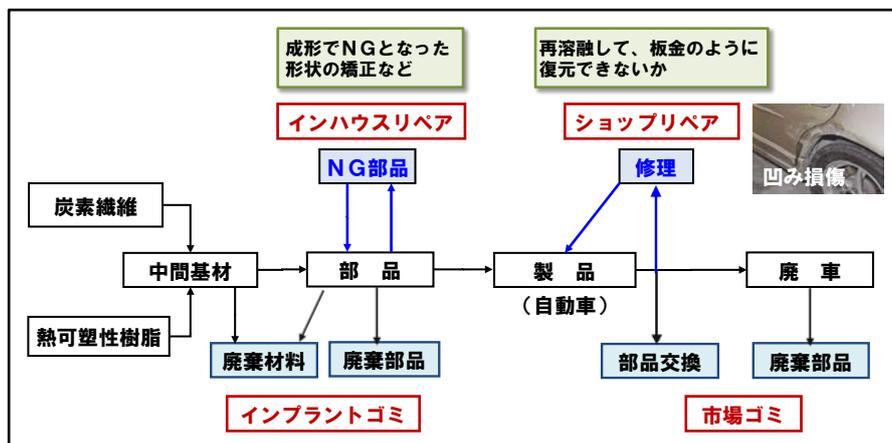
④-2 「CFRTP 部材のリペア技術の開発」

現状の自動車の外板は、バンパーフェイスやフロントフェンダーなどの荷重を分担しない部材は、すでに熱可塑性樹脂の射出成形品が使用されているが、その他の部分はスチールの板金部品である。自動車が軽衝突した場合は、この外板の板金修理によって、へこんだ部分を容易に元の形状に戻すことができる。一方、従来の熱硬化性 CFRP は、加熱しても熔融しないためリペアが基本的に難しく、損傷部を削り落として、補填材を埋め込み、接着し、パテで表面を元の形状に戻しているが、作業そのものが職人技であり、非常に時間が掛かると共にコストも高く、自動車への適用・標準化は困難であると考えられる (図④-2-1)。

Steel (現行のクルマ)	熱硬化性CFRP (航空機など)	熱可塑性CFRP (将来のクルマ)
 <p>①金属ロッドを溶接</p> <p>②スライドハンマーで引き出す</p>	 <p>Repair piles</p> <p>Adhesive</p> <p>スカーフリペア</p> <p>①損傷部を削り落とす ②補填材を埋め込み接着</p>	 <p>HEAT</p> <p>Patch</p> <p>Damage</p> <p>パッチリペア</p> <p>パッチ(補強材)を加熱・加圧のみで一体化できる</p>
強度や安全性などの品質保証はなし(強度は回復しない)	作業性が悪い・高コスト →車への適用・標準化困難	作業性に優れ、かつ、強度や安全性を保证するリペア設計が望まれる

図④-2-1 リペア手法の比較

本プロジェクトで開発した CFRTTP は、マトリックス樹脂が熱可塑性樹脂であるので、損傷部分を再加熱することにより、熔融状態となるので、熱硬化性 CFRP のように接着剤を使用する必要がなく、明確な接着部分の界面が存在せず、母材と同等の物性に修復できる可能性がある。CFRTTP 部材のインハウス（部材の製造工場内）とショップ（自動車修理工場）両方でのリペア手法を確立することは、ライフサイクルでの環境負荷、およびコストを大幅に低減できる可能性を示すものであり、自動車分野に同材料を加速普及させる重要な技術となり得る。

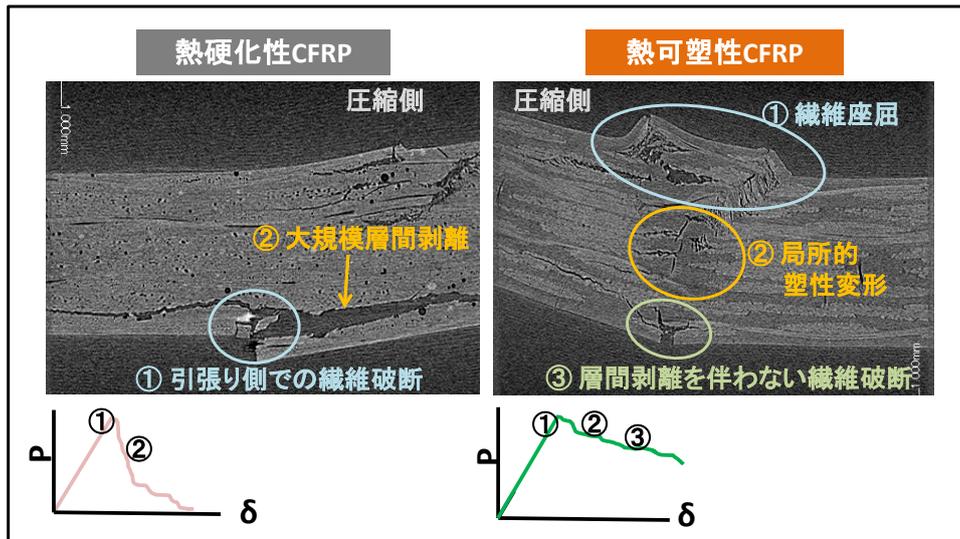


図④-2-2 インハウスリペアとショップリペアの概念図

図④-2-2 にインハウスリペアとショップリペアの概念図を示す。リサイクルの観点から見ると、インハウスリペアはインプラントゴミを減らすリペア、ショップリペアは、市場ゴミを減らすリペアとすることができる。

当初の実施計画では、④-2-1「インハウス（部材の製造工場内）リペア技術の開発」と

④-2-2「ショップ（自動車修理工場）リペア技術の開発」に分けてテーマを掲げていたが、推進委員会での外部有識者やユーザーからの意見を取り入れ、かつ、予算の集中と効率化を図る観点から、強度回復のためのリペアプロセスの要素技術の見極めを行なうに留めることになった。具体的には、損傷前の曲げ強度の90%以上まで物性を回復させるためのリペアの基礎的な要素技術を開発する。そのために、まず、熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPの破壊メカニズムの差異を明確にし、リペア手法を検討することにした。図④-2-3に熱硬化性CFRPと熱可塑性CFRPの破壊様相の違いを示す。

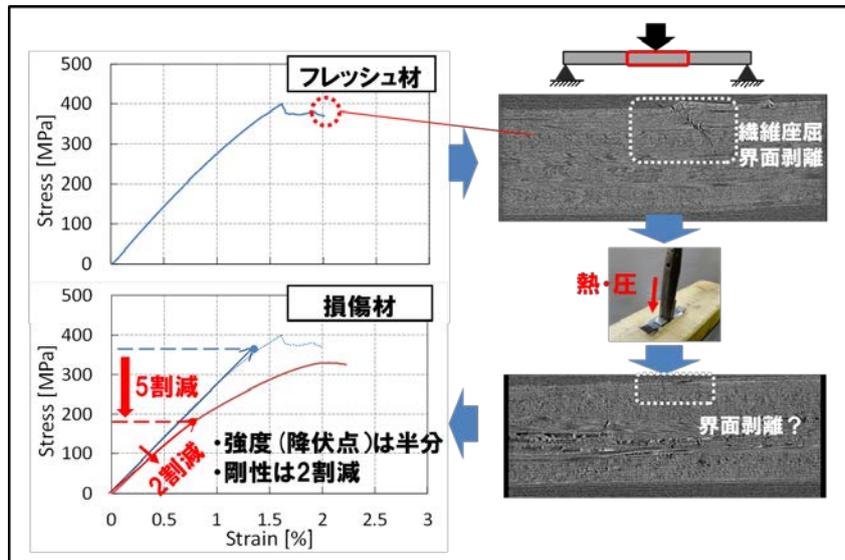


図④-2-3 熱硬化性と熱可塑性の破壊様相の相違

図④-2-3に示すように、熱硬化性CFRPでは、引張り側に強化繊維の破断を伴った大規模な層間剥離が観察されるのに対し、熱可塑性CFRPにおいては、圧縮側の強化繊維の座屈や層間剥離を伴わない繊維破断、小規模な剥離、局所的な塑性変形が支配的であることが判る。損傷の範囲が、熱硬化性CFRPでは広い範囲に破壊が進展しているのに比較して、熱可塑性CFRPでは、損傷範囲が非常に局所的であることが特徴的である。この破壊メカニズムの大きな違いから、熱可塑性CFRPに熱と圧力を加えることにより再成形を行えば、力学特性を回復させることができる可能性があると考えられる。

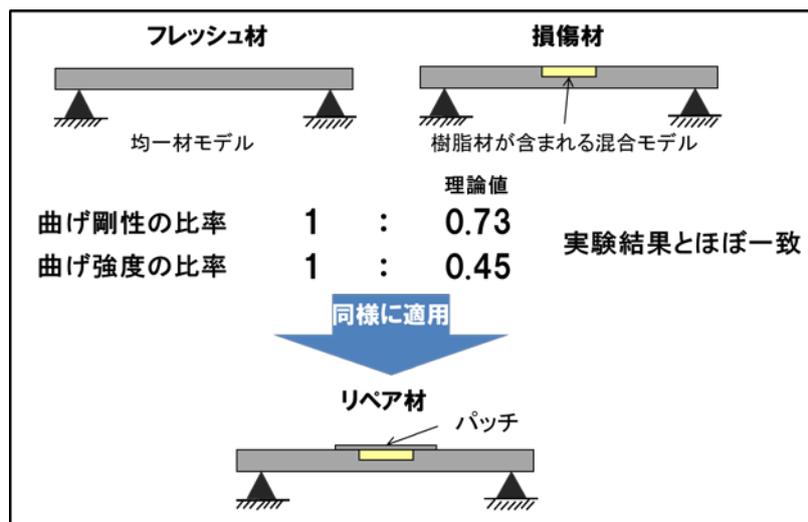
そこでまず、補強目的のパッチ等を使用せずに、損傷部位に単純に熱と圧力を加えた場合に、どの程度物性が回復するかを把握することにした。本プロジェクトで開発した一方方向性基材のランダムタイプの材料を使用し、三点曲げ試験を実施した後、現場での作業を考慮した簡便な治具を用いて、マトリックス樹脂の融点以上の温度に加熱すると同時に、手で押しつける程度の低圧で損傷部をリペアした。リペアしたテストピースを用いて、再び三点曲げ試験を行った。その結果を図④-2-4に示す。熱と圧力を加えるだけでは、強化繊維の座屈状態は改善されるが、破断した部分は、もちろん、元には戻らない。しかし、マトリックス樹脂の亀裂は、再熔融することによって明確な亀裂の界面は無くなり、一体化される。図④-2-4より、曲げ降伏点は損傷前のフレッシュ材に比較して、5割程度減少

しており、曲げ剛性は2割程度減少していることが判る。



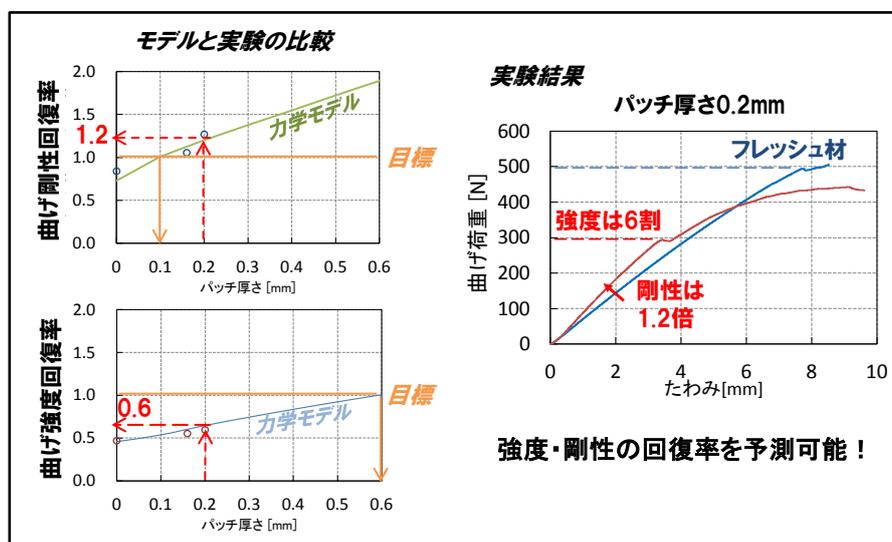
図④-2-4 損傷による力学特性の低下（一方向性基材ランダムタイプ）

この現象をモデル化できれば、リペアによって回復する物性の予測が可能となる。そこで、破断した強化繊維は元には戻らないという現象を取り扱うために、損傷部分は強化繊維が無いものとして取り扱い、樹脂のみが存在するとして、材料力学に基づいて強度、剛性を推測してみると、図④-2-5に示すように、曲げ剛性は理論値で73%、曲げ強度は45%となり、図④-2-4に示した実験結果とほぼ一致することが判った。



図④-2-5 力学特性劣化のモデル化

次に、損傷部にパッチを当てて、力学特性を回復させることを目的にして、パッチを当てたテストピースを作製し、三点曲げ試験を実施した。パッチには本プロジェクトで開発した一方向性中間基材のプリプレグテープ（UD テープ）を使用し、パッチ厚さ 0.2mm の場合の曲げ試験を実施した。同時に前述した力学モデルを使用して、パッチ厚さを 0.1～0.6mm の間で変化させ、曲げ剛性と曲げ強度の理論値を求めた。それらの結果を図④-2-6 にまとめて示す。力学モデルによれば、元の物性値にまで回復させるためには、曲げ剛性の観点からは、パッチ厚さ 0.1mm となり、曲げ強度の観点からは、パッチ厚さが 0.6mm 必要であることが判る。逆に、パッチ厚さが 0.2mm の場合の曲げ剛性回復率は 1.2、曲げ強度回復率は 0.6 となり、実験結果と非常に良い一致をしている。これらの結果から、パッチを当てた場合の曲げ強度、曲げ剛性の回復率を予測可能であるということが出来る。



図④-2-6 リペア材の力学特性回復率

以上の結果、CFRTP はパッチ（補強材）を簡単な治具により加熱・加圧するだけで損傷部と一体化することが可能であり、リペアプロセスの要素技術を示すことができた。また、損傷部にパッチを当てて補修する場合を単純な力学モデルで表現できることが明らかとなり、リペア材の剛性・強度を予測することが可能であり、設計的に必要なパッチの厚さを求めることができることを示した。これらのことから、作業性に優れ、かつ、強度などの力学特性回復率を予測できるリペア手法の要素技術を示すことができ、リペアの品質保証（標準化）に適用できる見通しが得られた。

IV. 実用化・事業化の見通しについて

1. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

前章までで述べたように、本プロジェクトでは革新的材料における基盤技術の確立を目的とし、材料の基本的な力学特性や成形速度に関して要求性能を満足する目標設定を行った。そして、研究開発を推進してきた結果、材料技術と成形技術、および、接合技術、リサイクル技術のいずれの研究開発項目においても、最終目標を達成した。今後は、自動車メーカーやその他のユーザーメーカーとの間で、様々な議論を重ねながら必要な材料および成形加工のデータベースバリエーション展開を図りつつ、実際の構造部材を設計・製作・適用・耐久性等々を色々な角度から検証していくことで実用化・事業化に向けた検討を進めていく方針としている。

1.1 実用可能な自動車構造部材に対する本開発技術の見極め

量産自動車の重量を劇的に軽量化するには、車重の大半を占めるホワイトボディ部材の軽量化が最も有効である。それを材料置換の技術で達成しようとする、現在、自動車の構造体で最も多くの比率を占める鉄鋼材料に対して、置き換える材料の比剛性および比強度を如何に高めていくかが最重要項目であると考えた。

研究開発項目①「易加工性 CF RTP 中間基材の開発」

本研究開発項目の推進によって、本開発材料は、比剛性・比強度において従来の軽量化用金属材料を遥かに上回る性能を実現した。今まで軽量材料として適用範囲の拡大が大きく期待されてきた材料であるアルミニウムやマグネシウムよりも、さらに軽量化への要求事項に応えることができ、環境や社会のニーズにより適合した材料技術として実用化の可能性を高めることに成功したと言える。また、本材料は均質性が高く、不連続材料でありながら解析に適し、机上設計に組み込みやすい材料である。

研究開発項目②「易加工性 CF RTP の成形技術の開発」

本研究開発項目の推進によって、本プロジェクトで開発された成形技術は、現行の自動車生産ラインにおける所要サイクルタイム（金型占有時間）に匹敵する加工速度の実現が具現化された。熱硬化性樹脂を用いた CFRP や本開発材料以外の非常に高価な熱可塑性樹脂を用いた複合材料は、その比剛性・比強度の高さから金属に代わる軽量材料として注目を集め、実用化のための技術開発が進められてきているが、加工速度に関しては時間が掛かり過ぎて現行の自動車量産ラインには遠く及ばない状況にある。本プロジェクトで開発した成形技術は、現行の自動車生産ラインと全く遜色ない高い生産性を発揮でき、従来の軽量化複合材料に関わる生産技術より、はるかに量産ラインに適した技術であると言える。こうした生産技術の構築により、量産自動車に対して、実用化の可能性をより一層高めることに成功した。

研究開発項目③「易加工性 CF RTP の接合技術の開発」

本研究開発項目の推進によって、従来技術では成し得なかった高い接合強度を発揮できる可能性を示すことができた。特に CF RTP 同士の接合に関しては熱板融着、振動融着、超音波融着の 3 種の方法を見出すに至り、超音波融着に関しては高速接合が可能でかつ融着強度も素材強度と遜色ないレベルの強度を見出せた。異種材との接合はファスナー接合の可能性を見出すことに成功した。今後は更に作業性も考慮に入れつつ、部材毎の実用面で有効かつ、要求される接合強度を損なうことがない汎用的な接合技術を確立し、実用化につなげていく必要がある。

研究開発項目④「易加工性 CF RTP のリサイクル技術の開発」

本研究開発項目の推進によって、基本特性の評価やリサイクル手法の基礎検討を行ってきた。その結果、インハウスリサイクル工程において、繰り返し利用に際しての強度確保実現の可能性を見出せることに成功した。さらにリペアに関してはパッチ補修の可能性を見出せた。

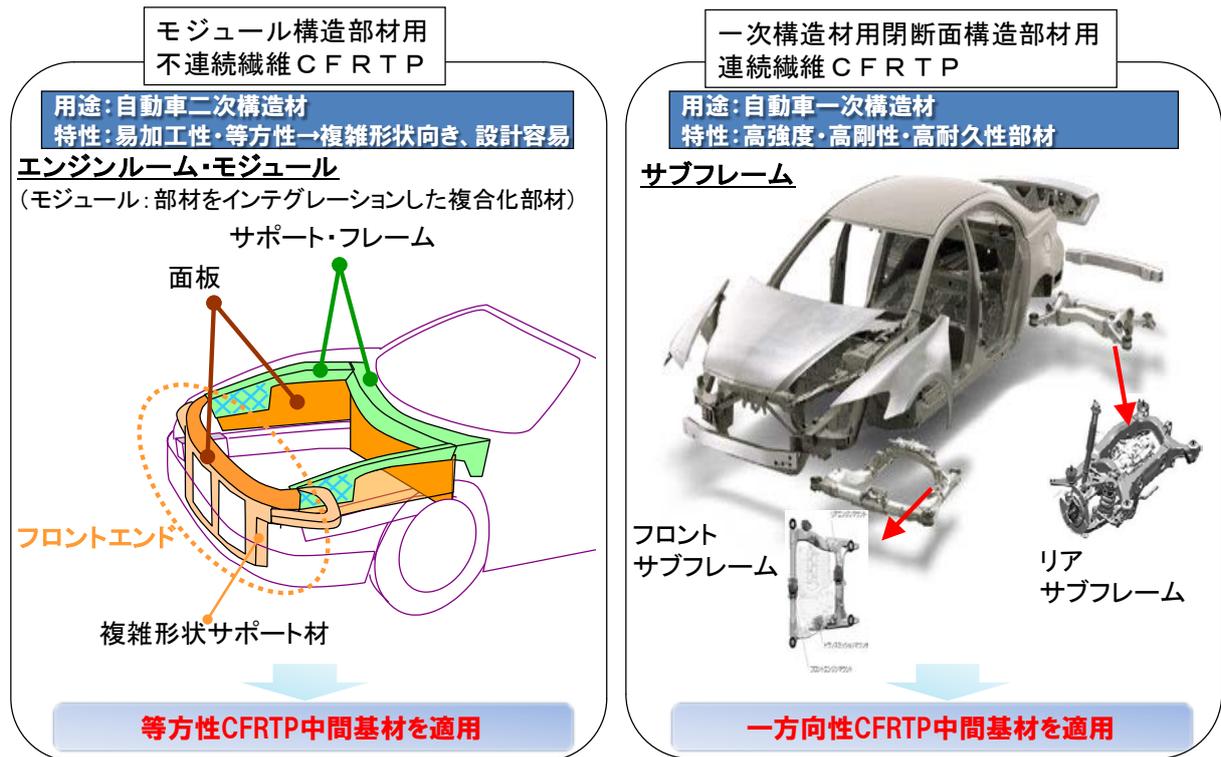
今後は、リサイクル・リペアによる実使用環境での実用性、環境保護性能、開発材料の低コスト化を検討し、実用レベルにおける有効性を示していく。

以上のように、本プロジェクトで開発した材料技術、成形技術、および、それらを発展させた接合技術、リサイクル技術は、自動車の軽量化、生産性、環境性能、経済効果、など様々な視点から網羅的に評価しても、他のいずれの軽量化技術よりも優れた性能を実現できる。実際の自動車用構造部材を設計、製作するとともに、実用レベルにおける適用性検証という課題を解決することで、広く産業界に普及可能であると考えている。

1.2 実用化に向けた課題

本プロジェクトが実用化プロセスにおいて優位な点は、自動車の構造が持つべき性能や果たすべき用途が部材によって様々であることをあらかじめ見越し、より多くの部材に適用できるように 2 種類の材料による開発を進めてきたことである。2 つの材料のうち、一方は複雑形状への成形が可能であり、もう一方は自動車の骨格構造を形成できるほど高い強度、剛性を実現できる。具体的な適用部材については、図 IV-1 に示す通りである。

それぞれ、モジュール構造部材用不連続繊維 CF RTP、一次構造材用閉断面構造部材用連続繊維 CF RTP として開発が進められ、助成事業においてすでに実用化に向けた検討を開始している。ここでは、より実用に近い形状を形成するための成形技術、実性能に適合するための設計技術の構築を目指し、ユーザーへのサンプル提供なども利用しながら課題のフィードバックやパフォーマンスの向上に取り組んでいる（図 IV-2）。これら 2 種類の材料について、それぞれ実用化に向けた課題を以下に示す。



図IV-1 実用化を目指す自動車構造部材の具体例

(1) モジュール構造部材用 不連続繊維 CFRTP

モジュール構造部材は、強度・剛性・耐久性は要求されるが、直接自動車の構造を維持するものではない部材であり、図IV-1の左図に示すようなエンジンモジュールのほか、フード、ルーフ、ドアなどのパネル部材が想定される。これらの用途には、本プロジェクトで開発した等方性CFRTP（不連続繊維CFRTP）の適用が考えられる。一方で、用途に応じて要求特性が異なるため、材料および成形加工技術の最適化が必要となる。また、自動車用途は高い信頼性が要求される。安全性を保証していくには、多くのデータ取得と、その結果を受けた設計、材料ならびに加工法の改善が必要となる（新規材料共通の課題）。特に疲労、クリープ、耐候性などの長期試験は、試験片レベルだけでは安全性を保証できず、長期間の検討となる。

(2) 一次構造材用閉断面構造部材用 連続繊維 CFRTP

一次構造材は、自動車が地面や衝突物から直接荷重を受けて構造体を支える役目を負うため、非常に高い強度・剛性・耐久性・耐衝撃性を確保する必要がある。これらの特性は、自動車に要求される高い信頼性を確保するためのコアとなる部分であるため、モジュール部材よりも数段上回る緻密な設計が要求される。適用部材には図IV-1の右図に示すようなサブフレームなどが想定されており、材料としては、本プロジェクトで開発中の一方向性CFRTP（連続繊維CFRTP）の適用が見込まれている。現時点でも十分性能を満足する強度・剛性を果たす見通しであるが、構造材に適用するには、それぞれの部材に見合った性能をより詳細に分析

し、適宜、材料設計、構造設計に組み込んでいく必要がある。設計において特に重要となるのは、衝突安全性や操縦安定性であり、構造材としての衝撃吸収性や剛性を如何に設計し、検証していくかが今後の課題である。また、走行時の振動や様々に変化する環境に長期に耐えるため、材料としての耐久性や耐環境性を高めることも必要となる。

1.3 課題解決と事業化へのアプローチ

実用化を睨み適用を目指す部材に対し、個々の性能に応じて前項で述べたような課題の見極めを行う必要がある。これに対応するため、実際に部材を成形・加工し、自動車メーカーや部材メーカーに試作品を提供しつつ、ベンチテスト検証や実走行車への搭載を試み、課題の抽出とそれら一つ一つに対応した施策・方針を明らかにしていく。

図IV-2 に示すように、すでに助成事業も活用して実用化検討を実施しており、成形精度の確保や複雑形状への対応、耐熱性やクリープなどの課題解決策をクリアにし、プロジェクト終了後は、部材設計に関わる材料・成形技術を見極め、各部材毎に事業化検討を行う。

以下に、モジュール構造部材と一次構造部材についての実用化・事業化へのアプローチを説明する。

(1) モジュール構造部材用 不連続繊維 CFRTP

自動車用途は高い信頼性が要求され、競合も非常に激しい用途展開の本丸である。二次構造材には、材料、成形および加工技術を成熟させて展開する。具体的には、小型で高い信頼性を要求されない部品、あるいは自動車用途以外の一般作業用途（家電用途など）への展開で実績を積み上げ、技術を成熟させながら取り組む。必要な要素技術が発生した場合、自動車メーカーも参画している経産省未来開拓プロジェクト（革新的新構造材料等技術開発）で、顧客連携をとりながら対応を進める。

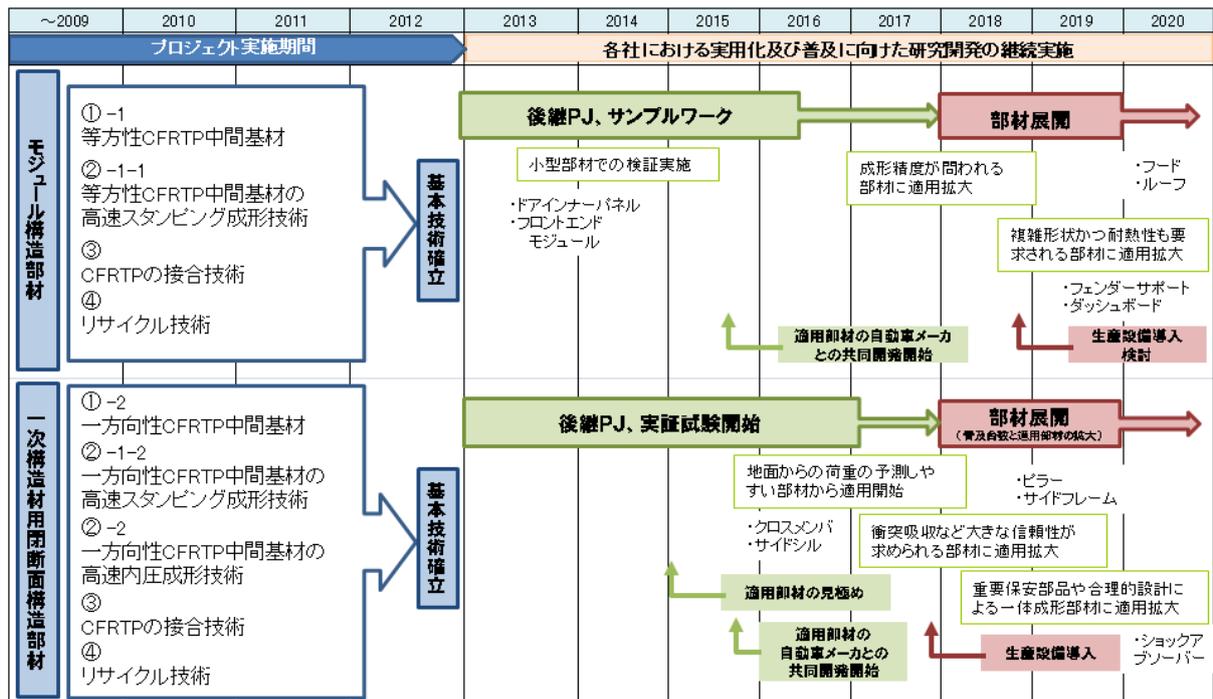
(2) 一次構造材用閉断面構造部材用 連続繊維 CFRTP

最初に適用部材を見極めるために、実際に部材を作製し実証試験を行い、適合性を検討する必要がある。こうして適用部材を見極めた後、事業化検討を実施する。

初期に適用が可能と判断できるのは、比較的地面から伝達される荷重が予測可能な部材である。このような部材であれば、耐久性の検証や耐環境性の検証が、ベンチテストレベルで可能であるため、設計とテスト検証、解析のフィードバックを比較的速やかに推進できる。具体的にはサイドシルやクロスメンバなどが考えられ、特に走行性能や振動特性に関して実用性を見極める。次に、衝突吸収性という高い信頼性が求められる部材、ピラーやサイドフレームに適用を拡大していく。シミュレーションによる衝突解析においても、材料の特性を緻密に分析する必要があり、また実車テストも多く時間と人手がかかるため、より綿密な計画

の遂行が要求される。最後に、重要保安部品や合理的に設計され一体成形が必要な部材へと適用範囲を拡げていき、さらなる軽量化を追究した最適設計技術を確立する（図IV-2 下段）。

このように順次事業化の検討を行い、2018年頃には自動車構造の大半の部材に適用できるほどの技術を確認し、適用車種拡大のための汎用化、低コスト化を検討し、さらなる普及拡大に向けて事業化を展開していく（図IV-2）。



図IV-2 実用化・事業化までのシナリオ

V. 成果資料

1. 各種展示会での成果の発表

大学・法人・企業名	展示会名	展示内容
東京大学、東レ(株) 三菱レイヨン(株)、 東洋紡(株)、 (株)タカギセイコー	第9回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 「nano tech 2010」 2010年2月17日～19日	<ul style="list-style-type: none"> ・等方性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・一方向性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・材質質量比較サンプル品 他
東京大学、東レ(株) 三菱レイヨン(株)、 東洋紡(株)、 (株)タカギセイコー	第2回 国際自動車素材・加工展(IAMP) 2010年3月18日～19日	<ul style="list-style-type: none"> ・等方性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・一方向性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・材質質量比較サンプル品 他
東京大学、東レ(株) 三菱レイヨン(株)、 東洋紡(株)、 (株)タカギセイコー	第10回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 「nano tech 2011」 2011年2月16日～18日	<ul style="list-style-type: none"> ・等方性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・一方向性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・材質質量比較サンプル品 他
東京大学、東レ(株) 三菱レイヨン(株)、 東洋紡(株)、 (株)タカギセイコー	最先端IT・エレクトロニクス総合展 シーテックジャパン2011 2011年10月4日～8日	<ul style="list-style-type: none"> ・等方性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・一方向性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・材質質量比較サンプル品 他
東京大学、東レ(株) 三菱レイヨン(株)、 東洋紡(株)、 (株)タカギセイコー	第11回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 「nano tech 2012」 2012年2月15日～17日	<ul style="list-style-type: none"> ・等方性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・一方向性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・材質質量比較サンプル品 他
東京大学、東レ(株) 三菱レイヨン(株)、 東洋紡(株)、 (株)タカギセイコー	第3回 国際自動車素材・加工展 2012年3月14日～16日	<ul style="list-style-type: none"> ・等方性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・一方向性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・材質質量比較サンプル品 他
東京大学、東レ(株) 三菱レイヨン(株)、 東洋紡(株)、 (株)タカギセイコー	第12回 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議「nano tech 2013」 2013年1月30日～2月1日	<ul style="list-style-type: none"> ・等方性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・一方向性中間基材および同材を用いたコンポジット成形加工品 ・材質質量比較サンプル品 他

2.新聞、雑誌記事

No	所属	タイトル (内容)	掲載紙名	年月日
1	PJメンバー	炭素繊維車の材料開発 短時間で加工可能	日本経済新聞	2010年5月31日
2	東京大学	炭素繊維でクルマは30%も軽くなる EVの弱点「電池の持ち」を大きく改善する可能性	日系 BP オンライン	2010年11月19日
3	PJメンバー	炭素繊維 複雑な形に加工 車体重量最大6割減	日本経済新聞	2011年1月4日
4	PJメンバー	炭素繊維 オールジャパンで巨大市場に挑む 量産車向け新興国の追い上げに 対抗	日本経済新聞 オンライン	2011年1月16日
5	東京大学	省エネと環境保全に優れ、循環型社会に貢献する材料「炭素繊維」	環境・エネルギー 2011年特集号	2011年2月21日
6	PJメンバー	熱可塑性 CFRP の現状と課題	Motor Fan Illustrated VOL.53	2011年3月31日
7	東京大学	近い将来にカーボン鉄と闘える 素材になる	Motor Fan Illustrated VOL.61	2011年10月15日
8	PJメンバー	日の丸技術炭素繊維が急成長へ 自動車向けの技術革新急務	週刊ダイヤモンド	2012年1月28日
9	PJメンバー	早く安くを現実に CFRP でクルマを造る	日経 Automotive Technology 2012.5	2012年5月1日
10	PJメンバー	NEDOCFRP プロジェクトに JEC 技術革新賞	化学工業日報、北 日本新聞、繊維ニ ュース	2012年6月18日
11	NEDO	サステナブルハイパーコンポジット 技術の開発	化学経済 5月号	2013年5月1日
12	NEDO	炭素繊維 量産車に適用へ 熱可塑性樹脂使用の炭素繊維強化 プラ開発 基材加工技術開発	日刊工業新聞、日 刊自動車新聞、化 学工業日報、日本 物流新聞、北国新 聞富山新聞、フジ サンケイビジネス アイ	2013年9月4日

3.論文リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	高橋淳	東京大学	CFRP の LCA と省エネルギー効果	材料, Vol.57,No.8, pp.852-855.	有	2008
2	J. Takahashi, R. Shida, H. Koyama and K. Uzawa	東京大学	Structural Design of CFRP Automobile Bonnet for Pedestrian Safety	Proceedings of the 11th Japanese-European Symposium on Composite Materials, pp.1-4.	有	2008
3	K. Yamaguchi, J. Takahashi, Y. Matsuhisa, M. Yamauchi and K. Sato	東レ(株)、 東京大学	Reducing CO2 emission and saving energy consumption by lightening weight of automobiles and airplanes using CFRP	Proceedings of the 11th Japanese-European Symposium on Composite Materials, pp.1-2.	有	2008
4	鶴沢潔、 高橋淳	東京大学	FRP 構成素材入門ーFRP のリサイクルー	日本複合材料学会誌, Vol.34, No.6, pp.245-250	有	2008
5	高橋淳	東京大学	FRP 構成素材入門ーライフサイクルアセスメントー	日本複合材料学会誌, Vol.34, No.6, pp.251-255	有	2008
6	T. Okabe and M. Nishikawa	東北大学	GLS strength prediction of glass-fiber-reinforced polypropylene	JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, 44, 331-334	有	2009
7	M. Nishikawa, T. Okabe and T. Honda	東北大学	Effect of cross-links on the pullout of carbon nanotubes from amorphous polymer	JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE, 44, 339-341	有	2009
8	橋本雅弘、 岡部朋永、 西川雅章	東レ(株) 東北大学	単糸分散炭素繊維による熱可塑性プレス基材の開発とその力学特性評価	日本複合材料学会誌	有	2011
9	平野啓之、 村松秀隆、 井上隆	東レ(株)	炭素繊維強化ポリプロピレンの繊維長および繊維/樹脂界面制御に関する研究	日本複合材料学会誌	有	2012
10	高橋淳、 鶴沢潔、 松尾剛、 山根正睦	東京大学	新しい炭素繊維強化プラスチックー熱可塑性CFRPの可能性	未来材料, NTS inc., Vol.13, No.1,	有	2012
11	高橋淳	東京大学	次世代CFRPの技術的課題と応用の将来展望	OPTRONICS, Vol.1	有	2012
12	K. Uzawa , J. Takahashi	東京大学	Present and the Future of CFRTP Molding Technology	Proceeding of International Symposium on Laser Processing of CFRP and Composites pp. 1-10	有	2012

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
13	J. Takahashi, K. Uzawa, T. Matsuo and M. Yamane	東京大学	Technological Challenges For Realizing Ultra Lightweight Mass Production Automobile by using CFRTP	Proceedings of ITHEC 2012 pp. 18-19	有	2012
14	高橋淳	東京大学	次世代のCFRPの技術的課題と応用の将来展望	OPTRONICS Vol. 1, pp84-89	有	2013
15	高橋淳、 鵜沢潔、 松尾剛、 山根正睦	東京大学	新しい炭素繊維強化プラスチック—熱可塑性CFRPの可能性	NTC inc., Vol. 13, No. 1, pp. 36-41	有	2013
16	J. Takahashi	東京大学	Development of innovative CFRTP technologies for mass-produced cars	JEC COMPOSITES MAGAZINE, No. 81 pp. 44-45	有	2013
17	平野啓之、 村松秀隆、 井上隆	東レ(株)、 山形大学	炭素繊維強化ポリプロピレンの繊維長および繊維／樹脂界面制御に関する研究	日本複合材料学会誌	有	2013
18	N. Hirano, H. Muramatsu, T. Inoue	東レ(株)、 山形大学	Study of fiber length and fiber-matrix adhesion in carbon-fiber-reinforced polypropylene	Advanced Composite Materials	有	2013

4.口頭発表リスト

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	鵜沢潔、高橋淳	東京大学	複合材料による自動車軽量化技術概論	高分子学会第18回東海ミニシンポジウム(自動車材料の軽量化)	無	2008
2	高橋淳	東京大学	マクロ分析とLCAから導かれるCFRPの用途展開と研究事例	鉄道総研セミナー	無	2008
3	高橋淳	東京大学	自動車軽量化に向けたCFRP開発の方向性	技術情報協会セミナー	無	2008
4	山口晃司、高橋淳、松久要治、山内美穂、佐藤慶子	東レ(株)、東京大学	自動車材料置換に伴う環境負荷低減効果の定量化	自動車技術会2008年秋季大会	無	2008
5	佐藤慶子、志田龍亮、鵜沢潔、高橋淳	東京大学	CFRPを用いた車体軽量化電気コミュータバスの検討	第33回複合材料シンポジウム	無	2008
6	山内美穂、高橋淳	東京大学	自動車の脱化石資源化に向けた複合材料部材の環境負荷分析	第33回複合材料シンポジウム	無	2008
7	金正将、菊田晋介、鵜沢潔、高橋淳	東京大学	電気自動車による交通の脱石油のための軽量CFRPボディの効果	第33回複合材料シンポジウム	無	2008
8	小山洋、志田龍亮、鵜沢潔、大沢勇、森田明保、高橋淳	東京大学	CFRTPによる衝突安全自動車ボディの検討	第33回複合材料シンポジウム	無	2008
9	菅康博、大沢勇、高橋淳	東京大学	CFRTPの界面接着性に関する研究	第33回複合材料シンポジウム	無	2008
10	宇野秀和、大沢勇、高橋淳	東京大学	構造材料のライフサイクル環境負荷低減のための複合材料のハイブリッド化に関する研究	第33回複合材料シンポジウム	無	2008
11	高橋淳	東京大学	炭素繊維強化複合材料の現状と将来	環境管理,(社)産業環境管理協会, Vol.44, No.11, pp.34-41.	無	2008
12	高橋淳	東京大学	CFRP製品のLCAから導かれる今後の技術課題と研究事例	第3回炭素繊維応用技術研究会	無	2008
13	佐藤慶子、志田龍亮、鵜沢潔、高橋淳	東京大学	電気バスによる低環境負荷社会システムの検討	エコデザイン2008講演論文集, No.C21-1	無	2008
14	金正将、菊田晋介、鵜沢潔、高橋淳	東京大学	車体軽量化と車載太陽光発電による電気自動車の電池負担軽減効果	エコデザイン2008講演論文集, No.C21-2	無	2008

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
15	山内美穂、高橋淳	東京大学	LCAに基づく電気自動車用構造材料の検討	エコデザイン 2008 講演論文集, No.C21-3	無	2008
16	岡部友永	東北大学	繊維強化複合材料の損傷、破壊を対象としたマイクロメカニクスに関する研究	日本複合材料学会	有	2008
17	高橋淳	東京大学	自動車の軽量化と樹脂材料の展望 (CFRP 活用の観点から)	Polifile, 大成社, Vol.46, No.539, pp.26-31.	無	2009
18	高橋淳	東京大学	環境、エネルギー問題と CFRP 開発の方向性	日本機械学会北陸信越支部特別講演会「繊維強化プラスチックの最前線と将来動向」	無	2009
19	高橋淳	東京大学	炭素繊維による地球環境への貢献	第 22 回複合材料セミナー	無	2009
20	高橋淳	東京大学	マクロな省エネ目標から導かれる自動車軽量化用 FRP 技術開発の動向	第 1 回国際自動車素材、加工展	無	2009
21	鵜沢潔	東京大学	輸送機器への複合材料、適用例とその成形技術	第 5 回先端複合材セミナー、北陸ものづくり創生協議会	無	2009
22	高橋淳	東京大学	熱可塑性樹脂複合材料の機械工業分野への適用	航空機部材研究会	無	2009
23	高橋淳	東京大学	輸送機器用炭素繊維強化プラスチックの将来展望	三菱ケミカルホールディングズ 技術フォーラム	無	2009
24	J. Takahashi, H. Koyama, R. Shida and K. Uzawa	東京大学	Proposal of CFRTP automobile bonnet for pedestrian safety	17th International Conference on Composite Materials	有	2009
25	K. Uzawa, J. Takahashi, K. Kageyama, H. Uno, T. Okazumi and I. Ohsawa	東京大学	Improvement in the impact energy absorption of recycled CFRP	17th International Conference on Composite Materials	有	2009
26	高橋淳	東京大学	カーボン繊維利用複合材の開発	北陸 3 県繊維産業クラスター交流会	無	2009
27	田丸雅智、中居寛明、桐原貴大、高橋淳	東京大学	プラグインハイブリッドカーの普及と環境負荷低減への車体軽量化の効果	第 34 回複合材料シンポジウム	無	2009
28	鈴木一弥、鵜沢潔、永田啓一、高橋淳	東京大学	構造部材としての FRTP の接合方法に関する研究	第 34 回複合材料シンポジウム	無	2009
29	村上裕馬、森田明保、鵜沢潔、高橋淳	東京大学	CFRTP の耐雷性に関する研究	第 34 回複合材料シンポジウム	無	2009
30	山内美穂、菅康博、大澤勇、鵜沢潔、高橋淳	東京大学	CFRTP の界面接着性の改善に関する研究	第 34 回複合材料シンポジウム	無	2009

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
31	佐藤慶子、田丸雅智、高橋淳、鵜沢潔	東京大学	CFRP を用いた車体軽量化プラグインハイブリッドコミュニティバスの検討	第 34 回複合材料シンポジウム	無	2009
32	金正将、小山洋、鵜沢潔、高橋淳、森田明保	東京大学	歩行者に優しい CFRTP 製自動車ボンネットの構造最適化	第 34 回複合材料シンポジウム	無	2009
33	菊田晋介、鈴木英之、高橋淳、鵜沢潔	東京大学	複合材料製ライザー管の継手構造に関する研究	第 34 回複合材料シンポジウム	無	2009
34	高橋淳	東京大学	Energy Saving Strategy in Transportation by CFRP	the automotive and mass transportation forum in JEC ASIA	無	2009
35	大澤勇、高橋淳、鵜沢潔	東京大学	マイクロ、ドロップレット法による CF/PP 界面せん断強度の評価	54th FRP CON-EX2009 講演会	無	2009
36	高橋淳	東京大学	Energy Saving Strategy in Transportation by CFRP	HIT/UT JOINT FORUM ON ADVANCED COMPOSITE MATERIALS AND NANOTECHNOLOGY	有	2009
37	鵜沢潔	東京大学	Improvement in the impact energy absorption of recycled CFRP	HIT/UT JOINT FORUM ON ADVANCED COMPOSITE MATERIALS AND NANOTECHNOLOGY	有	2009
38	橋本雅弘	東レ(株)	Thermoplastic press sheet with in-plane randomly oriented and dispersed carbon fibers	11th Japan International SAMPE Symposium	有	2009
39	T. Hayashi, A. Sasaki, T. Terasawa and K. Akiyama	三菱レイヨン(株)	Study on interfacial adhesion between carbon fiber and thermoplastic resin and mechanical properties of the composite	11th Japan International SAMPE Symposium	有	2009
40	M. Tamaru, H. Nakai, T. Kirihara, K. Uzawa and J. Takahashi	東京大学	EFFECT OF WEIGHT REDUCTION BY CFRP ON PENETRATION AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES (PHEV)	11th Japan International SAMPE Symposium	有	2009

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
41	T. Kin, H. Koyama, K. Uzawa, J. Takahashi and A. Morita	東京 大学	STRUCTURAL STUDY OF CFRTP AUTOMOBILE BONNET FOR PEDESTRIAN SAFETY	11th Japan International SAMPE Symposium	有	2009
42	Y. Murakami, A. Morita, K. Uzawa and J. Takahashi	東京 大学	RESEARCH ON THUNDER RESISTANCE OF CFRTP	11th Japan International SAMPE Symposium	有	2009
43	M. Yamauchi, Y. Kan, I. Ohsawa, K. Uzawa and J. Takahashi	東京 大学	IMPROVEMENT OF INTERFACIAL SHEAR STRENGTH BETWEEN CARBON FIBER AND POLYPROPYLENE	11th Japan International SAMPE Symposium	有	2009
44	K. Suzuki, K. Uzawa, K. Nagata and J. Takahashi	東京 大学	RESEARCH ON THE JOINTING METHOD OF FRTP FOR STRUCTURAL APPLICATIONS	11th Japan International SAMPE Symposium	有	2009
45	高橋淳	東京 大学	輸送機器用炭素繊維 強化プラスチックの 将来展望	日本機械学会 交通 物流部門 No.09-138 講演会 「環境問題へ の材料からのアプ ローチ」	無	2009
46	高橋淳	東京 大学	電電気自動車に向け た超軽量 CFRP の開 発動向	持続可能社会シミュ レータ調査委員会	無	2009
47	田丸雅智、桐原 貴大、中居寛 明、高橋淳、鶴 沢潔	東京 大学	PHEV の普及と環境 負荷低減への車体軽 量化の効果	第二回システム創成 学学術講演会	無	2009
48	高橋淳	東京 大学	炭素繊維による運輸 部門の省エネルギー 戦略と技術課題	第 23 回複合材料セミ ナー	無	2010
49	高橋淳	東京 大学	次世代自動車の普及 に向けた CFRP の開 発動向	第 2 回国際自動車素 材、加工展	無	2010
50	折戸悠太、鶴沢 潔、村山英晶、 高橋淳、影山和 朗、大澤勇、金 井誠	東京 大学	熱可塑性樹脂複合材 料の溶着接合技術に 関する基礎検討	第 1 回 日本複合材料 合同会議	無	2010
51	J. Takahashi	東京 大学	Energy-Saving Strategy in Transportation by using CFRP	AUTOMOTIVE FORUM in JEC Paris	無	2010
52	K. Uzawa	東京 大学	Recycling strategy of CFRP	RECYCLING & LIFE CYCLE MANAGEMENT FORUM in JEC Paris	無	2010

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
53	T. Matsuo, J. Takahashi, K. Uzawa, I. Ohsawa	東京大学	Development of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastic for Mass Produced Automobile	Fourth International Conference on Science and Technology of Advanced Ceramics	無	2010
54	高橋淳	東京大学	乗用車の軽量化の技術動向	二次電池による社会システムイノベーション 第6回フォーラム	無	2010
55	J. Takahashi	東京大学	Energy Saving Strategy in Transportation by using CFRP	JISTES 2010	無	2010
56	橋本雅弘	東京大学	不連続炭素繊維で強化した熱可塑性プレス基材の研究開発並びにその引張強度特性	日本複合材料学会損傷研究会主催 複合材料に関する講演、討論会	無	2010
57	高橋淳	東京大学	炭素繊維による運輸部門の省エネルギー戦略と技術課題	ベッセマー+200の鉄と社会 シンポジウム	無	2010
58	T. Matsuo, K. Uzawa, Y. Orito, J. Takahashi, H. Murayama, K. Kageyama, I. Ohsawa and M. Kanai	東京大学	Investigation about Shear Strength at Welding Area of the Single-Lap Joint and the Scarf Joint for Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics	American Society for Composites - 25th Annual Technical Conference	有	2010
59	高橋淳	東京大学	熱可塑性 CFRP による量産車の軽量化戦略と技術課題	自動車における炭素繊維応用研究会	無	2010
60	J. Takahashi	東京大学	Energy Saving Strategy based on LCA and Development of CFRTTP for Mass Produced Automobile	MTM Department Seminar	無	2010
61	橋本雅弘	東京大学	不連続炭素繊維で強化した熱可塑性プレス基材の引張強度特性	第35回複合材料シンポジウム	無	2010
62	鈴木一弥、鵜沢潔、永田啓一、高橋淳	東京大学	FRTP の接合特性と繊維-樹脂界面接着性の影響	第35回複合材料シンポジウム	無	2010
63	川島知也、桐原貴大、高橋淳	東京大学	CFRP 適用対象の環境負荷低減に及ぼす軽量化とリサイクルの効果	第35回複合材料シンポジウム	無	2010
64	後藤壮滋、田丸雅智、高橋淳	東京大学	プラグインハイブリッドカーの普及予測に及ぼす車体軽量化の効果	第35回複合材料シンポジウム	無	2010

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
65	田丸雅智、金正将、大澤勇、鵜沢潔、松尾剛、高橋淳	東京大学	CFRTPの補修性に関する検討	第35回複合材料シンポジウム	無	2010
66	村上裕馬、森田明保、鵜沢潔、高橋淳	東京大学	CFRTPの避雷後の構造健全性に関する研究	第35回複合材料シンポジウム	無	2010
67	岡部友永、茂谷尊、西川雅章、橋本雅弘	東京大学	繊維強化プラスチックの破壊モード特性に関するマイクロメカニクス	日本複合材料学会	有	2010
68	J. Takahashi, K. Uzawa and T. Matsuo	東京大学	Development of CFRTP for Mass Produced Automobile	THE 15TH COMPOSITES DURABILITY WORKSHOP	無	2010
69	J. Takahashi	東京大学	炭素繊維複合材料の今後の展望	いしかわ次世代産業創造ファンド助成事業記念講演会	無	2010
70	高橋淳	東京大学	炭素繊維による運輸部門の省エネルギー戦略と技術課題	環境・新エネルギー新製品・新技術開発支援事業講演会	無	2010
71	I. Ohsawa, J. Takahashi and K. Uzawa	東京大学	Measurement of CF/PP Interfacial Shear Strength using Micro-Droplet Test	Proceedings of Asian Workshop on Polymer Processing 2010	有	2010
72	松尾剛、高橋淳、鵜沢潔、村山英晶、鈴木一弥、折戸悠太、出町郁子	東京大学	サステナブル先進複合材料の開発とその応用技術	第3回システム創成学術講演会	無	2010
73	平野啓之	東レ(株)	等方性炭素繊維強化ポリプロピレン材料の開発(口頭発表)	第10回国際ナノテクノロジー総合展、技術会議	無	2010
74	平野啓之、武部佳樹、木原弘樹、橋本雅弘、上坂聡	東レ(株)	不連続繊維を用いた等方性CFRTP中間基材の開発(ポスター)	第10回国際ナノテクノロジー総合展、技術会議	無	2010
75	佐々木章亘	三菱レイヨン(株)	一方向性CFRTP中間基材の開発(口頭発表)	第10回国際ナノテクノロジー総合展、技術会議	無	2010
76	佐々木章亘、辻井彰司、霧山晃平、北村仁志、園田秀利	東洋紡(株)三菱レイヨン(株)	一方向性CFRTP中間基材の開発(ポスター)	第10回国際ナノテクノロジー総合展、技術会議	無	2010
77	鵜沢 潔	東京大学	熱可塑性樹脂複合材料の開発利用技術	第24回複合材料セミナー	無	2010
78	高橋淳	東京大学	炭素繊維複合材料の今後の展望	第3回 複合材(CFRP)加工技術研修	無	2010

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
79	Daichi Wada1, Hideaki Murayama1, Kiyoshi Uzawa1, Kohei Ohara1, Hirotaka Igawa	東京 大学	Optical fiber sensor application for distributed strain measurement in adhesive layer of single-lap bonded joint	SAMPE2011	有	2011
80	大澤勇、金正 将、高橋淳、鶴 沢潔	東京 大学	炭素繊維／ポリプロ ピレン複合材のリペ アー性の可能性	第 22 回プラスチック 成形加工学会年次大 会講演論文集	無	2011
81	高橋淳	東京 大学	熱可塑性CFRPによ る量産車の軽量化戦 略と技術課題	2011 年度第 3 回 CPC 研究会	無	2011
82	J. Takahashi	東京 大学	Strategies and technological challenges for realizing lightweight mass production automobile by using thermoplastic CFRP,	Proceedings of The 12th Japanese-European Symposium on Composite Materials	有	2011
83	T.Matsuo, J. Takahashi, K. Uzawa, T. Goto and X. Zhang	東京 大学	Investigation about light-weight structural design for automobile body using carbon fiber reinforced thermoplastic composites	Proceedings of The 12th Japanese-European Symposium on Composite Materials	有	2011
84	Masahiro Hashimoto , Tomonaga Okabe, Ichiro Taketa, Noriyuki Hirano	東京 大学	Fiber lenght effect on tensile strength of thermoplastic press sheet with dispersed carbon fibers	Proceedings of The 12th Japanese-European Symposium on Composite Materials	有	2011
85	Y. Orito, K. Uzawa, H. Murayama, J. Takahashi, K. Kageyama, T. Matsuo, I. Demachi, I. Ohsawa and M. Kanai	東京 大学	Basic study on joint strength of welding for carbon fiber reinforced thermoplastic	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
86	K. Suzuki, K. Nagata, K. Uzawa, T. Matsuo and J. Takahashi	東京 大学	Research on the jointing method of CFRTP for structural applications	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
87	M. Tamaru, T. Kin, I. Ohsawa, T. Matsuo, J. Takahashi and K. Uzawa	東京 大学	Fundamental research on repair of carbon fiber reinforced thermoplastics	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
88	T. Kawashima, I. Ohsawa, J. Takahashi, K. Uzawa and T. Matsuo	東京大学	Fundamental research on recycling of carbon fiber reinforced thermoplastics	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
89	T. Goto, T. Matsuo, K. Uzawa, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Study on optimal automotive structure made by CFRTP	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
90	T. Kirihara, T. Kawashima, K. Uzawa, T. Matsuo and J. Takahashi	東京大学	Demand and disposal forecast for carbon fibre by bottom-up approach	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
91	T.Matsuo, J.Takahashi, K. Uzawa, T. Asakawa, J. Takahashi and K. Kiriyaama	東京大学	Investigation about dynamic flexural fracture properties of carbon fiber reinforced thermoplastics	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
92	X. Zhang, M. Yamauchi and J. Takahashi	東京大学	Life cycle assessment of CFRP in application of automobile	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
93	K. Uzawa, J. Takahashi, T. Matsuo, Y. Orito, I. Demachi, M. Yamauchi, K. Kageyama, H. Murayama, K. Nagata, T. Asakawa, I. Ohsawa and M. Kanai	東京大学	Investigation about joint strength of welding and shear property of CFRTP	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
94	Y. Murakami, A. Morita, J. Takahashi and K. Uzawa	東京大学	Research on structural integrity of CFRTP after thunder attack	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
95	M. Honma, A. Tsuchiya, N. Hirano, T. Hashimoto	東京大学	Novel carbon-fiber-reinforced stampable thermoplastic sheet with high strength	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
96	A. Tsuchiya, M. Honma, T. Okabe, M. Hashimoto, H. Sasaki, N.Hirano	東京大学	Novel carbon fiber reinforced stampable polypropylene sheet with high interfacial strength	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
97	M. Hashimoto, N. Hirano, M. Honma, T. Okabe, Ichiro Taketa	東京大学	Tensile strength property of thermoplastic press sheet with in-plane randomly oriented and dispersed carbon fibers	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
98	T. Kawasaki, I. Itoh, S. Nishituji, T. Inoue, N. Hirano, M. Hashimoto, M. Homma	東京大学	A new thermoforming CFRP by penetating phenol-modified PP into CF mat	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
99	A.Sasaki, T.Hayashi and K.Akiyama	三菱レイヨン(株)	Vibration welding of long and continuous carbon fiber reinforced polypropylene	Proceedings of 18th International conference on composite materials	有	2011
100	高橋淳	東京大学	次世代複合材料ー省エネ、温暖化対策に貢献する炭素繊維ー	平成23年度第42回繊維学会夏季セミナー	無	2011
101	高橋淳	東京大学	自動車への適用を目指した熱可塑性複合材料について	ぎふ技術革新センター運営協議会 第1回技術セミナー	無	2011
102	J. Takahashi	東京大学	Strategies and technological challenges for realizing lightweight mass production automobile by using thermoplastic CFRP	Innovative Composites Summit on JEC Asia	無	2011
103	矢代茂樹、佐々木英晃、坂井田喜久	東京大学	短繊維強化プラスチックの射出成形中の繊維流動に関する粒子シミュレーション	第36回複合材料シンポジウム	無	2011
104	高橋淳	東京大学	量産車軽量化のためのCFRTP開発～検討項目とその考え方～	S&T技術セミナー、熱可塑性CFRPの成形、開発技術と展望	無	2011
105	平野啓之	東レ	熱可塑性CFRPの製法と成形	S&T技術セミナー、熱可塑性CFRPの成形、開発技術と展望	無	2011
106	鵜澤潔	東京大学	熱可塑性樹脂についてー一般基礎知識、概論ー	熱可塑性樹脂複合材料(FRTP)加工技術研究会	無	2011

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
107	J. Takahashi	東京大学	Strategies and Technological Challenges for Realizing Lightweight Mass Production Automobile by using CFRTP,	Proceedings of JISSE12	有	2011
108	Y. Orito, K. Uzawa, H. Murayama, J. Takahashi, K. Kageyama, T. Matuo, I. DemachiI, I. Ohsawa and M. Kanai	東京大学	Basic Study on Joint Strength of Welding Joint for Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics	Proceedings of JISSE12	有	2011
109	T. Goto, K. Uzawa, I. Ohsawa, K. Nagata, T. Matuo and J. Takahashi	東京大学	Study on Welding Joint Method for CF/PP	Proceedings of JISSE12	有	2011
110	Y. Murakami, A. Morita, I. Ohsawa, T. Matuo, K. Uzawa and J. Takahashi	東京大学	Thunder Resistance of CFRTP for Automotive Body	Proceedings of JISSE12	有	2011
111	K. Goto, K. Uzawa, H. Murayama, K. Kageyama, K. Nagata, T. Matuo and J. Takahashi	東京大学	An Estimation of the Potential of Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics for Car Weight Reduction	Proceedings of JISSE12	有	2011
112	M. Tamaru, T. Kin, I. Ohsawa, T. Matuo, K. Uzawa and J. Takahashi	東京大学	Repair of Carbon Fiber Reinforced Polypropylene for Mass Production Automobile,	Proceedings of JISSE12	有	2011
113	T. Kawashima, T. Kirihara, I. Ohsawa, T. Matsuo, K. Uzawa and J. Takahashi	東京大学	Comparison of Recycling Method of Carbon Fiber Reinforced Polypropylene for Mass Production Automobile	Proceedings of JISSE12	有	2011
114	K. Suzuki, K. Uzawa, K. Nagata, T. Matsuo and J. Takahashi	東京大学	Ultrasonic Welding of CFRTP for Structural Applications	Proceedings of JISSE12	有	2011

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
115	K. Takayama, X. Zhang and J. Takahashi	東京 大学	Improving Direction to Reduce Life Cycle Energy Consumption of CFRP Automobile	Proceedings of JISSE12	有	2011
116	N. Hirano, A. Tsuchiya, T. Okabe, H. Sasaki, M. Hashimoto M. Honma	東京 大学 東レ (株) 三菱 レイ ヨン (株)	New Stampable CFRTP Sheet with Excellent Mechanical Properties	Proceedings of JISSE12	有	2011
117	H. Matsutani	東京 大学	Flow Simulation of Long-fiber Compound using Particle Method	Proceedings of JISSE12	有	2011
118	D. Wada, H. Murayama, J. Takahashi and K. Uzawa	東京 大学	Strain Distribution Monitoring for CFRTP Single-lap Ultrasonic Welding Joint by Optical Fiber Sensor,	Proceedings of JISSE12	有	2011
119	X. Zhang, T. Goto, J. Takahashi, T. Matuo and K. Uzawa	東京 大学	Study on Optimal Automotive BIW Structure Made by CFRP	Proceedings of JISSE12	有	2011
120	T. Kirihara, T. Kawashima, I. Ohsawa, T. Matuo, K. Uzawa and J. Takahashi	東京 大学	Recycling of CFRP for Mass Production Application	Proceedings of JISSE12	有	2011
121	T. Matuo, J. Takahashi, K. Uzawa, M. Tamaru, T. Asakawa and K. Kiriya	東京 大学	Investigation about Strain-Rate Dependence of the Flexural Behavior of Carbon Fiber Reinforced Polypropylene	Proceedings of JISSE12	有	2011
122	A.Sasaki, T.Hayashi and K.Akiyama	三菱 レイ ヨン (株)	Vibration welding of carbon fiber reinforced polypropylene	Proceedings of JISSE12	有	2011
123	平野啓之	東レ (株)	CFRTPの製法と成形	熱可塑性樹脂複合材 料(FRTP)加工技術研 究会	無	2011
124	鶴澤潔	東京 大学	複合材料-成形加工 技術	福井県工業技術コー ス	無	2011
125	井上隆	東京 大学	高流動、高延性PPの 開発と熱可塑性FRP への応用	日本材料学会講習会	無	2011
126	佐々木章亘	三菱 レイ ヨン (株)	CFRTPの二次加工、 接合	熱可塑性樹脂複合材 料(FRTP)加工技術研 究会	無	2011

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
127	高橋淳	東京大学	炭素繊維市場、海外状況を背景とした量産車軽量化のための熱可塑性CFRPの開発動向	サイエンス&テクノロジー社	無	2011
128	高橋淳	東京大学	CFRTPによる量産車軽量化の可能性	Car Testing & Designing Japan 2012,	無	2011
129	高橋淳	東京大学	自動車産業、航空宇宙産業における複合材の活用と今後の展望	国際競争力強化シンポジウム	無	2011
130	高橋淳	東京大学	熱可塑性CFRPによる量産車の軽量化戦略と技術課題	第3回 国際自動車素材、加工展	無	2011
131	鶴澤潔	東京大学	熱可塑性CFRPによる製造サプライチェーンと3Rの実現	第3回 国際自動車素材、加工展	無	2011
132	高橋淳	東京大学	自動車用CFRTPについて	ナノ構造ポリマー研究会10周年記念講演会	無	2011
133	高橋淳	東京大学	量産車用熱可塑性CFRPの開発動向	CFRTP from はままつ	無	2011
134	K. Uzawa and J. Takahashi	東京大学	Present and the future of CFRTP molding technology	OPIC2012 International Symposium on Laser Processing of CFRP and Composites	有	2012
135	鶴澤潔、山根正睦	東京大学	熱可塑性樹脂複合材料 (FRTP) の最前線	情報機構セミナー	無	2012
136	高橋淳	東京大学	炭素繊維の今後の活用可能性	MEX金沢2012	無	2012
137	高橋淳、平野啓之、鶴澤潔	東京大学、東レ	持続可能社会に向けた次世代熱可塑性CFRP入門	サイエンス&テクノロジーセミナー	無	2012
138	Takahiro Hayashi, Akinobu Sasaki, Koichi Akiyama	三菱レイヨン	Flexural behavior of CF/PP hollow beam made by continuous and discontinuous UD tape	ECCM15	有	2012
139	T. Matsuo, J. Takahashi, K. Uzawa and M. Yamane,	東京大学	New design approach for high stiffness and high impact-absorbing structure by carbon fiber reinforced thermoplastic composites	Proceedings of 15th European conference on composite materials	有	2012
140	K. Suzuki, I. Ohsawa, K. Uzawa, K. Nagata, T. Matsuo, M. Yamane and J. Takahashi	東京大学	Joint Efficiency of Ultrasonic Welding of CFRTP for Structural Applications	Proceedings of 15th European conference on composite materials	有	2012

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
141	X. Zhang, J. Takahashi, T. Matsuo and K. Uzawa	東京 大学	Study on optimal CFRTP automotive BIW structure	Proceedings of 15th European conference on composite materials,	有	2012
142	S. Yamashita, I. Ohsawa, M. Yamane, T. Matsuo, K. Uzawa and J. Takahashi	東京 大学	Research on soft skin effect of carbon fiber reinforced thermoplastics,	Proceedings of 15th European conference on composite materials,	有	2012
143	M. Yamane, I. Ohsawa, K. Uzawa, T. Matsuo and J. Takahashi	東京 大学	Possibility of Repeated Recycling of CFRTP for Mass Production Automotive Application,	Proceedings of 15th European conference on composite materials,	有	2012
144	Y. Nomura, K. Uzawa, H. Murayama, K. Kageyama, T. Matsuo, M. Yamane, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京 大学	Basic study on welding joint of carbon fiber reinforced thermoplastic	Proceedings of 15th European conference on composite materials,	有	2012
145	T. Tomioka, K. Uzawa, Y. Nomura, T. Matsuo, M. Yamane, I. Ohsawa, M. Kanai and J. Takahashi	東京 大学	Basic study on mechanically fastened joints of carbon fiber reinforced thermoplastics	Proceedings of 15th European conference on composite materials,	有	2012
146	K. Goto, K. Uzawa, J. Takahashi, K. Kageyama, H. Murayama, T. Matsuo, M. Yamane and I. Ohsawa	東京 大学	Practical design and evaluation of CFRTP body structures for micro EV,	Proceedings of 15th European conference on composite materials,	有	2012
147	D. Wada, H. Murayama, K. Kageyama, J. Takahashi, K. Uzawa and H. Igawa	東京 大学	Strain distribution monitoring of CFRTP single-lap ultrasonic welding joint using embedded optical fiber sensor	Proceedings of 15th European conference on composite materials,	有	2012
148	J. Takahashi	東京 大学	Technological Challenges For Realizing Lightweight Mass Production Automobile by using CFRTP	Academic summit workshop in IWV	有	2012

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
149	J. Takahashi and K. Uzawa,	東京大学	R&D of CFRTP for Realizing Lightweight Mass Production Automobile - So Far and Toward the Next Stage	JISTES 2012	無	2012
150	J. Takahashi	東京大学	Technological Challenges For Realizing Lightweight Mass Production Automobile by using CFRTP	The 2th International Conference on Advanced Polymer Matrix Composites (COMPO2012)	有	2012
151	佐々木章亘	三菱レイヨン(株)	炭素繊維複合材料の開発状況と今後の展開の可能性	岡山次世代自動車セミナー	無	2012
152	平野啓之、村松秀隆、井上隆	東レ(株)	不連続炭素繊維強化ポリプロピレンの耐衝撃性向上に関する研究	複合材料シンポジウム	無	2012
153	後藤壮滋、松尾剛、大澤勇、鶴沢潔、高橋淳	東京大学	湾曲形状のCFRTPにおける破壊モードと強度評価に関する研究	複合材料シンポジウム	無	2012
154	山下慎一郎、大澤勇、森田明保、松尾剛、鶴沢潔、高橋淳	東京大学	CF/PPのソフトスキニング効果に関する研究	複合材料シンポジウム	無	2012
155	佐藤悠、松尾剛、霧山晃平、名合聡、鶴沢潔、高橋淳	東京大学 東洋紡(株)	モンテカルロ法を用いた炭素繊維チョップドテープ強化熱可塑性樹脂複合材料の弾性率評価	複合材料シンポジウム	無	2012
156	松尾剛、高橋淳、鶴沢潔、霧山晃平、名合聡	東京大学 東洋紡(株)	高速度カメラを用いた炭素繊維チョップドテープ強化熱可塑性樹脂複合材料の衝撃曲げ破壊現象に関する考察	複合材料シンポジウム	無	2012
157	J. Takahashi, K. Uzawa, T. Matsuo and M. Yamane	東京大学	Technological Challenges For Realizing Ultra Lightweight Mass Production Automobile by using CFRTP	ITHEC 2012	有	2012
158	高橋淳	東京大学	量産車用熱可塑性CFRPの開発動向	高機能素材活用産業創出フォーラム	無	2012
159	山根正睦	東京大学	海外の熱可塑性コンポジットの開発状況～JEC2012を中心に～	ふくい産業支援センター、海外技術調査報告会	無	2012

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
160	鵜澤潔	東京大学	熱可塑CFRPの開発と自動車構造への適用	第21回構造接着シンポジウム	無	2012
161	高橋淳	東京大学	自動車軽量化に向けたCFRPの活用と技術的課題	繊維強化樹脂講演会,	無	2012
162	平野啓之、井上隆	東レ(株)	フェノールグラフトポリプロピレンを用いたCFRPシートの開発	強化プラスチック	有	2012
163	高橋淳	東京大学	自動車軽量化に向けたCFRPの活用と技術的課題	繊維強化樹脂講演会	無	2013
164	高橋淳	東京大学	サステナブルハイパーコンジット技術の開発	NEDO成果報告会	無	2013
165	高橋淳	東京大学	量産者のCFRPの技術開発とリサイクル	CFRPのリサイクル技術の最前線	無	2013
166	高橋淳	東京大学	量産車用のCFRTPの研究開発	第24回プラスチック成形加工学会年次大会		2013
167	高橋淳	東京大学	熱可塑性CFRPの可能性と名大NCCへの期待	名古屋大学NCCオープニングセレモニー	無	2013
168	高橋淳	東京大学	熱可塑性CFRPの産業応用への新展開	炭素繊維活用フォーラム	無	2013
169	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学 名古屋大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Industrial Application	COMPOSITES WEEK	有	2013
170	高橋淳	東京大学	工学研究の楽しさー環境・エネルギー問題解決のための炭素繊維研究--	香川県立高松高校講演会	無	2013
171	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学 名古屋大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Industrial Application	International Workshop "A New Perspective in Advancement of Composite Materials"	有	2013
172	高橋淳	東京大学	CFRPの新規産業展開と技術開発動向（熱可塑性CFRPを中心として）	最先端材料技術調査研究委員会	無	2013
173	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学 名古屋大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Automotive Application	The 13 th Euro-Japanese Symposium on Composite Materials	有	2013
174	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学 名古屋大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Mass Production Automotive Application	13 th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition (JISSE-13)	無	2013

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
175	高橋淳	東京大学	量産車用熱可塑性CFRPの開発動向	自動車技術会 疲労信頼性部門委員会企画シンポジウム	無	2013
176	平野啓之	東レ(株)	熱可塑性スタンパブルシートの研究開発	複合材料学会賞・受賞講演	無	2013
177	平野啓之	東レ(株)	熱可塑CFRPの製法と成形	NEDOフォーラム	無	2013

5.特許リスト

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	東レ(株)	特願 2009-085469	国内	2009/3/31	出願	プリプレグ、プリ フォームおよび成 形品	本間、土 谷
2	東レ(株)	特願 2009-085470	国内	2009/3/31	出願	一体化成形品	今井、土 谷、本間
3	東レ(株)	特願 2009-085471	国内	2009/3/31	出願	一体化成形品の製 造方法	佐々木、 土谷、本 間
4	東レ(株)	JP2009/0632 40	PCT	2009/7/24	出願	プリプレグ、プリ フォーム、成形品 およびプリプレグ の製造方法	土谷、本 間、佐々 木、村井
5	三菱レ イヨン (株)、 東洋紡 績(株)	特願 2009-254897	国内	2009/11/6	出願	金型及び熱可塑性 樹脂系繊維強化複 合材料成形品の製 造方法	秋山、寺 澤、辻 井、山根
6	東レ(株)	特願 2010-018254	国内	2010/1/29	出願	抄紙基材および繊 維強化成形基材の 製造方法	木原、土 谷、本間
7	東レ(株)	特願 2010-018255	国内	2010/1/29	出願	抄紙基材および繊 維強化成形基材の 製造方法	木原、土 谷、本間
8	東レ(株)	特願 2010-067257	国内	2010/03/2 4	出願	プレス成形方法お よびその成形体	武部、木 原、本間
9	東レ(株)	特願 2010-067258	国内	2010/03/2 4	出願	プレス成形方法お よびその成形体	武部、本 間
10	東レ(株)	特願 2010-069546	国内 (優先 権)	2010/3/25 優先日 2009/3/31	出願	一体化成形品	土谷、今 井、本間
11	東レ(株)	特願 2010-069547	国内 (優先 権)	2010/3/25 優先日 2009/3/31	出願	一体化成形品の製 造方法	土谷、 佐々木、 本間

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
12	三菱レイ ヨン(株)、 東洋紡(株)	特願 2010-277205	国内	2010/12/1 3	出願	繊維熱可塑性樹 脂成形品とその 製造方法	佐々木、 寺澤、林、 名合、北 村、園田
13	東レ(株)	特願 2011-058931	国内	2011/3/17	出願	成形品の製造方法	武部、木 原、平野
14	東レ(株)	特願 2011-060157	国内 (優先 権)	2011/3/18 優先日 2010/3/18	出願	プレス成形方法お よびその成形体	武部、本 間
15	東レ(株)	特願 2011-075287	国内	2011/3/30	出願	一体化成形品およ びその製造方法	橋本、本 間、平野
16	東レ(株)	特願 2011-081605	国内	2011/4/1	出願	成形品の製造方法 および成形品	木原、武 部、平野
17	三菱レイ ヨン(株)	特願 2011-132181	国内	2011/6/14	出願	繊維強化熱可塑性樹 脂成形品とその製造 方法、および複合体 とその製造方法	佐々木、 林、北 村、園田
18	三菱レイ ヨン(株)	特願 2011-150100	国内	2011/7/6	出願	繊維強化熱可塑性 樹脂の接合方法	佐々木、 林、北村、 園田
19	三菱レイ ヨン(株)	特願 2011-181375	国内	2011/8/23	出願	繊維強化熱可塑性 樹脂の接合方法	佐々木、 林
20	三菱レイ ヨン(株)、 東洋紡(株)	特願 2011-206040	国内	2011/9/21	出願	繊維強化熱可塑性樹 脂成形品の製造方 法、該製造方法で使 用される金型、該製 造方法で製造される 成形品	佐々木、 林、北 村、園田
21	東レ(株)	特願 2011-213430	国内	2011/9/28	出願	炭素繊維強化熱可 塑性樹脂シート	平野、井 上
22	東レ(株)	特願 2012-001810	国内	2012/1/10	出願	炭素繊維強化ポリ プロピレンシート およびその成形品	村松、平 野

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
23	三菱レイヨン(株)、東洋紡	特願 2012-019267	国内	2012/1/31	出願	金型、及び熱可塑樹脂系繊維強化複合材料成形品の製造方法	葎原、辻井、名合、秋山、佐々木、林
24	三菱レイヨン(株)、東洋紡	特願 2012-019287	国内	2012/1/31	出願	金型、及び熱可塑樹脂系繊維強化複合材料成形品の製造方法	葎原、辻井、名合、秋山、佐々木、林
25	東レ(株)	特願 2012-023986	国内	2012/2/7	出願	リブ構造を有する成形品の製造方法	佐々木、本間、土谷
26	東レ(株)	特願 2012-142651	国内	2012/6/26	出願	プレス成形用中間基材、プリフォーム、および成形品の製造方法	木原、武部、平野
27	東レ(株)	特願 2012-142652	国内	2012/6/26	出願	プレス成形用中間基材、プリフォーム、および成形品の製造方法	木原、武部、平野
28	東レ(株)	特願 2012-142653	国内	2012/6/26	出願	プレス成形用中間基材、プリフォーム、および成形品の製造方法	木原、武部、平野
29	東レ(株)	特願 2012-159248	国内	2012/7/18	出願	繊維強化樹脂成形体および繊維強化樹脂シート	橋本、佐々木、武田
30	三菱レイヨン、東洋紡	特願 2012-201651	国内	2012/9/13	出願	繊維強化熱可塑性樹脂成形品の製造方法	佐々木、林、北村、園田
31	三菱レイヨン、東洋紡	特願 2012-201652	国内	2012/9/13	出願	プレス成形用熱可塑性樹脂系繊維強化複合材料とその製造方法	佐々木、林、北村、園田

(※Patent Cooperation Treaty : 特許協力条約)

6.受賞リスト

2008年度

- ・ 日本複合材料学会 2008年 林賞
繊維強化複合材料の損傷・破壊を対象としたマイクロメカニクスに関する研究

2010年度

- ・ 日本複合材料学会 2010年 論文賞
繊維強化プラスチックの破壊モード特性に関するマイクロメカニクス

2011年度

- ・ ISSE-12 best paper award
New Stampable CFRTP Sheet with Excellent Mechanical Properties)
- ・ JISSE-12 最優秀論文賞
Study on Optimal Automotive BIW Structure Made by CFRP
- ・ JISSE-12 最優秀ポスター発表賞
Ultrasonic Welding of CFRTP for Structural Applications

2012年度

- ・ JEC Award
Automotive category (2012.6.26)

2013年度

- ・ SAMPE2013 奨学賞
熱可塑性 CFRP の機能性の開拓と新たな評価手法の開発
- ・ 複合材料学会 技術賞
熱可塑性スタンパブルシートの研究開発

(エネルギーイノベーションプログラム・ナノテク・部材イノベーションプログラム)
「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」基本計画

電子・材料・ナノテクノロジー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

エネルギー資源の約 8 割を海外に依存する我が国にとって、これを効率的に利用すること、即ち、「省エネルギー」を図ることは、エネルギー政策上の重要な課題である。このため、更なる省エネルギー技術の開発・導入を進め、我が国におけるエネルギーの安定供給の確保を図ることを目的とした、「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として本プロジェクトを実施する。

また、多様な連携（川上・川下産業の垂直連携、材料創製・加工の水平連携）による研究開発の推進により、当該市場のニーズに応える機能を実現する上で不可欠な高品質・高性能の部品・部材をタイムリーに提供し、又は提案することができる部材の基盤技術を確立することを目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の一環としても本プロジェクトを実施する。

炭素繊維は世界シェアの約 70%を日本企業で独占してきている素材である。先進材料である炭素繊維とプラスチックを一体化した炭素繊維強化熱硬化性プラスチック（CFRP）はその超軽量性から燃費改善の希望が強い航空機業界で使用率が最も多い材料になった。炭素繊維材料は、アルミ材料に比べて、約 20%の重量軽減が達成できるとされているため、航空機の標準材料として地位を築きつつある。

技術の現状を見てみると、材料強度並びに軽量性に関しては、航空機へ採用されるほど、大きなポテンシャルを持っている。ただし、生産のサイクルタイム等に関しては、航空機の仕様となっており、また、金属のような均質材料でないことが設計の難易度を高くしている。軽量化効果の大きい本材料を金属材料の代替として、乗用車等に適用することができれば、今まで以上に燃費に優れた車の開発につながり、自動車産業を初めとする各種製造業での確固たる地位が築けるばかりでなく、環境立国日本としての地位もゆるぎないものとなる。金属材料、特にスチールの代替となるためにも、従来の CFRP（CF/エポキシ）に匹敵する界面接着強度及び低い線膨張係数を保持しながら、従来の CFRP の欠点であった高速成形性、易二次加工性及びリペア・リサイクル性を備えた革新的な炭素繊維強化熱可塑性プラスチック（CFRTP）を開発するとともに、自動車部材開発に必要な材料特性を明確にすることが必要である。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という）は、産学の科学的知見を結集して CFRTP の革新的高強度・高機能化基盤を構築し、これを産業技術へ繋げていくとともに、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認

識の醸成を図る事業方針に基づき、以下のプロジェクトを実施する。

本プロジェクトの技術戦略マップ上の位置付けとしては、部材分野の技術マップ「環境・エネルギー分野」の「産業機器用部材による省エネルギー・CO₂削減用部材（軽量化・高強度化用部材）」に重要部材として位置づけられている。また「省エネルギー技術戦略 2007」における「先進交通社会確立技術」のうち「先進自動車の開発」及び「安全性を確保した車体の軽量化」に位置づけられる。

本プロジェクトは、炭素繊維複合材料の易加工・高強度を実現するための基盤技術として短時間で成形が可能な①易加工性中間基材の開発を行う。さらにこの中間基材を用いた②高速成形技術の開発、部材同士の接合部の強度を保持する③接合技術の開発を行うとともに、④リサイクル技術の開発を実施し、自動車等の更なる軽量化を可能とする。これにより、高度な省エネルギー社会を構築するとともに、日本製造業の国際競争力の更なる向上を図ることを目的とする。

これにより、自動車用部材分野での産業競争力強化に資するのみならず、自動車走行時の燃料に関して15%低減に資する

(2) 研究開発の目標

中間目標（平成 22 年度末）及び最終目標（平成 24 年度末）の詳細な数値目標については別紙の研究開発計画を参照のこと。

【共通基盤技術】

① 易加工性 CF RTP 中間基材の開発

熱可塑性樹脂との接着性と繊維の分散性や含浸工程通過性を両立する炭素繊維の表面処理技術並びに炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂並びに生産性及び部材への加工性に優れた等方性 CF RTP 中間基材と一方向性 CF RTP 中間基材を開発する。

② 易加工性 CF RTP の成形技術の開発

研究開発項目①で開発される CF RTP 中間基材を用いた高速成形加工技術として、高速スタンピング成形技術と高速内圧成形技術を開発する。

③ 易加工性 CF RTP の接合技術の開発

研究開発項目①②を通して開発される各種 CF RTP 部材に対して、各種溶着等による高速接合方法の適合性を検討し、十分な接合強度を有する接合方法を開発する。

④ 易加工性 CF RTP のリサイクル技術の開発

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CF RTP 部材に対し、リサイクル性（リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数）を向上させる技術を開発するとともに、リペア技術を開発する。また、これらの開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

【実用化技術】

⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

研究開発項目①の研究開発のうち、特に不連続繊維を使うことで複雑形状への適応性を高くした等方性 CF RTP 中間基材を用い、研究開発項目②で開発される高速成形技術により高強度かつ高精度な CF RTP 部材の成形技術の開発を行う。さらに、研究開発項目③で開発した高速接合技術により本モジュールを開発する。最後に、研究開発項目④で開発した技術を用いてリサイクル性とリペア性の評価を行う。

⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

研究開発項目①の研究開発のうち特に一方向性 CF RTP 中間基材を用い、研究開発項目②③④で開発される関連技術を用いて閉断面構造のモデル部材を試作することにより、優れた生産性を有するとともに、軽量化効果の高い自動車一次構造材技術であることを実証する。同時に、最終実用化のための技術課題の抽出、課題解決のための方策検討を実施する。

(3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、別紙の研究開発計画に基づき以下の研究開発を実施する。

【共通基盤技術】[委託事業]

- ① 易加工性 CF RTP 中間基材の開発
- ② 易加工性 CF RTP の成形技術の開発
- ③ 易加工性 CF RTP の接合技術の開発
- ④ 易加工性 CF RTP のリサイクル技術の開発

【実用化技術】[助成事業（助成率：1/2）]

- ⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発
- ⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体には NEDO が指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）国立大学法人 東京大学大学院工学系研究科 教授 高橋 淳氏を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実

施する。

本研究開発において、NEDO が主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した①②③④の事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される研究開発内容に示した⑤⑥の事業は助成（助成率 1/2）により実施する。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させるほか、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 20 年度から平成 24 年度までの 5 年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成 22 年度、事後評価を平成 25 年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じてプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発成果については、NEDO、実施者ともサンプル提供等普及に努めるものとする。

② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備又は標準化等との連携を図るため、必要に応じてデータベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 26 条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第 15 条第 1 項第 2 号及び 3 号に基づき実施する。

(4) その他

本研究によって得られたあらゆる知的財産、また本研究の過程又は成果に基づき開発したプログラム、サンプル若しくは装置などの成果物について、本プロジェクト外（国内外）への供試・開示については、事前にプロジェクトリーダーと NEDO に連絡する。

その際に、NEDO が申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成 20 年 3 月、制定。

(2) 平成 20 年 6 月、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）決定に伴い改訂。

(3) 平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

(4) 平成 21 年 9 月、PL 交代及び共同実施先追加に伴い改訂。

(5) 平成 23 年 3 月、知的財産権の帰属に係る「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」の条番号修正に伴い改訂。

(6) 平成 24 年 3 月、研究開発内容の見直しにより改訂。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目① 易加工性 CFRTP 中間基材の開発

1. 研究開発の必要性

従来の炭素繊維の表面の改質は、エポキシ樹脂を中心とした熱硬化性樹脂を対象に行われているが、熱可塑性樹脂との含浸性・接着性を最大限発揮するような最適化はなされていない。また、熱可塑性樹脂は、炭素繊維との化学的結合を形成する官能基が少なく、界面接着力が弱いことが、複合材料としての物性発現が低いことの主要な原因と考えられており、これらの特性を向上させる炭素繊維の表面処理技術の開発が望まれている。

一方、熱可塑性樹脂は、熔融時の粘度が高く、硬化反応前の熱硬化性樹脂に比べ、強化繊維への含浸性に劣る。このため、複合化時の生産性や製造された複合材料に残るボイド等、実用面での課題を持っており、複合化時の含浸性・接着性と複合材料の力学特性を両立できる熱可塑性樹脂の開発が望まれている。

上記の理由により、従来の炭素繊維強化熱可塑性複合材料 (CFRTP) は、複合材料中の繊維含有率を高めることが困難であり、生産性も低く、かつ価格・物性・供給性の面で、同材料の自動車用途への普及を困難にしている。

以上のことから、加工性を含む広い意味での生産性に優れ、かつ繊維含有率が高い高品質の CFRTP の実現のためには、その成形やその後の加工・接合・リサイクルを可能とする中間基材の製造技術を開発することが不可欠である。

2. 研究開発の具体的内容

熱可塑性樹脂との接着性と繊維の分散性や含浸工程通過性を両立する炭素繊維の表面処理技術、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂並びに生産性及び部材への加工性に優れた CFRTP 中間基材として以下のものを開発する。

(1) 等方性 CFRTP 中間基材

面内等方性を持つ CFRTP 中間基材を実現することにより金属並みの易加工性等を達成すべく、熱可塑性樹脂との接着性の高い炭素繊維の表面処理技術と同時に、接着性向上のために極性の高くなった炭素繊維をランダムに分散させるための繊維の分散と配向のコントロール技術を、自動車業界で汎用的であるポリプロピレン (PP) 系等の汎用熱可塑性樹脂をベースとした樹脂と併せて開発する。

(2) 一方向性 CFRTP 中間基材

炭素繊維の高い強度・弾性率を最大限に活かすための一方向性 CFRTP 中間基材においては、熱可塑性樹脂用に最適化した炭素繊維の表面処理技術の開発と同時に、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂の開発を、ユーザーニーズに幅広く応えるべく、ポリプロピレン (PP) 系やポリアミド (PA) 系等の汎用熱可塑性樹脂をベースとして行う。繊維直角方向の曲げ試験で炭素繊維とマトリックス樹脂の界面接着を評価し、中間基材の物性は繊維方向の曲げ試験で評価する。なお、一方向性 CFRTP 中間基材としては、自動車一次構造材を対象とし、生産性に優れ、繊維含有率の高いプリプレグシート (一方向連続繊維基材) 及び、それから得られるチョップドテープ (一方向不連続繊維基材)、クロス (二次元織物基材)、ブレード (三次元織物基材)

等の製造技術を開発する。

3. 達成目標

(1) 等方性 CFRTP 中間基材

中間目標

等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形形状の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 250MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 5 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 10% 以内となる材料を開発する。

最終目標

等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において、任意の面内方向で矩形形状の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 400MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 6 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 5% 以内となる材料を開発する。また、曲げ強度以外の各種特性データの取得を進めて材料の特性データベースを構築する。

(2) 一方向性 CFRTP 中間基材

中間目標

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 100MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1400MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 9 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.0% 以上の材料を開発する。

最終目標

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 110MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1600MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma / \rho})$ で鋼材の約 10 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.3% 以上の材料を開発する。また、曲げ強度以外の各種特性データの取得を進めて材料の特性データベースを構築する。

研究開発項目② 易加工性 CFRTP の成形技術の開発

1. 研究開発の必要性

自動車の軽量化を図る上で、炭素繊維強化複合材料の有用性はよく知られているところである。しかしながら、汎用の自動車にまで普及させるには自動車の生産性に適合する部品製造技術の開発が必要である。そのため、大量生産性が可能な熱可塑性複合材料を用いた、自動車構造材の成形技術開発が期待されている。

その一つの方向性として、等方性で不連続繊維強化の基材を使用することで、金型占有時間が極めて短く、成形後の材料バラツキが極めて小さくできるプレス成形技術が開発できれば、複雑形状が多用される二次構造部材に適用できると考えられる。また一方で、自動車の一次構造部材には、強度・剛性に優れた箱型断面構造を有する中空の閉断面構造体を用いることが有用であることから、連続繊維の基材を使用して閉断面構造体の高速成形技術ができれば、比強度・比弾性率が高い炭素繊維を最も有効に活用でき、自動車部材に適用できる技術となり得る。

2. 研究開発の具体的内容

研究開発項目①で開発される CFRTP 中間基材を用いた自動車構造材の高速成形加工技術を開発する。具体的には、等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用いた高速スタンピング成形技術、並びに一方向性 CFRTP 中間基材（ブレード）を用いた高速内圧成形等に関する基盤技術を開発する。

3. 達成目標

(1) CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、用途に適合した高速スタンピング成形に必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材及び一方向性 CFRTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、高速スタンピング成形により、それぞれの CFRTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。さらに、部材設計に必要な成形条件を見極め、成形データベースを構築する。

(2) CFRTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード（三次元織物）を用い、用途に適合した高速内圧成形に必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される一方向性 CFRTP 中間基材のうちのブレード（三次元織

物) を用い、高速内圧成形により、当該 CFRTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。

研究開発項目③ 易加工性 CFRTP の接合技術の開発

1. 研究開発の必要性

研究開発項目①で開発する CFRTP 中間基材の汎用構造材料化を達成するためには、研究開発項目②で開発する高速な部材成形技術だけでは不十分であり、スチールにおける溶接技術と並ぶスピード並びに接合強度を有する接合技術の開発が不可欠である。このような観点から従来の CFRP (CF/エポキシ) での接合技術を見ると、構造用接着剤を用いた接着接合、若しくは、ボルトナットを使った機械接合が主流であり、サイクルタイムが長く生産性に課題があった。一方、研究開発項目①②を通して開発される CFRTP 部材群は、熱可塑性プラスチックの長所である溶着技術等を使った高速な接合技術を適用できる可能性があるが、溶着面での接合強度を十分に確保する技術をあわせて開発しなければならない。

2. 研究開発の具体的内容

熱可塑性プラスチックには、熱板溶着・超音波溶着・振動溶着・誘電溶着などの高速接合方法がある。そこで、研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対して、各種溶着等による高速接合方法の適合性を検討し、十分な接合強度を有する接合方法を開発する。

3. 達成目標

中間目標

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、参照強度の 75%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する。(ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向 CFRTP 中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す。)

最終目標

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、参照強度の 90%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する。(ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向 CFRTP 中間基材の繊維直角方向の引っ張り強度を指す。)さらに、様々な接合方法における検証を行い、強度発現に関するデータベースの構築を行う。

研究開発項目④ 易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発

1. 研究開発の必要性

炭素繊維は、高いエネルギーを消費して製造される材料であるため、できるだけ高度なレベルでのリサイクルが望まれている。しかしながら、従来の CFRP (CF/エポキシ) は、リサイクル・リペアが基本的に難しく、ライフサイクルコストが高くなるため、同材料の幅広い普及を妨げている原因の一つとなっている。一方、研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材は、マテリアルリサイクルが可能な熱可塑性樹脂と複合化されていることから、高度なリサイクル・リペアを行え、ライフサイクルでの環境負荷やコストを大きく低減できる可能性があり、同材料の普及を加速させる重要な技術となり得る。

2. 研究開発の具体的内容

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、破碎・異物除去・粉碎・コンパウンドを経て得られる射出成形部材のリサイクル性（リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数）を向上させる技術を開発する。また、等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対しては、リペア技術を開発する。さらに、これらの開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

3. 達成目標

(1) CFRTP 部材のリサイクル技術の開発

中間目標

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 75%以上を保持するリサイクルプロセスに必要な要素技術を見極める。（ここで、参照強度とは、バージン原材料を使用したときの曲げ強度を指す。）

最終目標

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 90%以上を保持するリサイクルプロセスに必要な要素技術を見極める。また、この開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

(2) CFRTP 部材のリペア技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の 75%以上まで回復するリペア手法の絞り込みとリペアプロセスに必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の 90%以上まで回復するために必要な要素技術を見極める。また、この開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、

開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

研究開発項目⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

1. 研究開発の必要性

自動車産業では、生産工程の簡略化のため複数の部材を統合するモジュール化が進められている。フロントモジュール、エンドモジュール、ドアモジュール等の様々な部品をモジュール化することで部材の軽量化、生産負荷の減少、低コスト化が実現している。一方で、モジュール化によって部材形状は非常に複雑になるため、その超軽量設計には非連続繊維を含有する等方向性 CF RTP 中間基材が必要となる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた革新的軽量化モジュールを開発する。

2. 研究開発の具体的内容

研究開発項目①の研究開発のうち、特に不連続繊維を使うことで複雑形状への適応性を高くした等方向性 CF RTP 中間基材を用い、研究開発項目②で開発される高速成形技術により高強度かつ高精度な CF RTP 部材の成形を行う。

3. 達成目標

最終目標

不連続繊維を使った等方向性 CF RTP 中間基材を使用した革新的軽量モジュールの成形技術を開発し、その自動車部材等への適用性を検証する。

研究開発項目⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

1. 研究開発の必要性

車体の剛性・強度を担う一次構造材は、そこに要求される高い特性から、金属材料からの置き換えが最も困難な部材である。一次構造材の多くは、高い軽量化効果／剛性バランスが必要なことから、中空閉断面形状が多用されている。このような一次構造部材の設計には連続繊維を含有する一方向性CFRTP中間基材を中心とした材料構成が不可欠で、同時に中空構造を取り入れることで自動車一次構造部材に必要な特性を満足させることができる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた一方向性CFRTP中間基材を用いた中間材料によりフロント及びリアサブフレーム等の自動車一次構造材用閉断面構造部材を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

本研究開発項目では、研究開発項目①の研究開発のうち特に一方向性CFRTP中間基材を用い、研究開発項目②③④で開発される関連技術を用いてモデル部材を試作することにより、優れた生産性を有するとともに、軽量化効果の高い自動車一次構造材技術であることを実証する。同時に、最終実用化のための技術課題の抽出、課題解決のための方策検討を実施する。

3. 達成目標

最終目標

閉断面形状を有する自動車一次構造材のモデル部材を得て自動車一次構造部材への適用性を検証する。

ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（抜粋版）

平成 22 年 4 月 1 日

産業技術環境局

製造産業局

1. 目的

「新成長戦略（基本方針）」（2009 年 12 月閣議決定）に記載されている我が国の強みを活かした「課題解決型国家」の実現に向け、世界をリードする「グリーン・イノベーション」、「ライフ・イノベーション」などを迅速に推進し、課題解決とともに新たな成長の実現を目指す。

具体的には、ナノテク・部材イノベーションプログラムにおいては、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な技術革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服等を可能とすることを目的とする。

2. 政策的位置付け

○新成長戦略（基本方針）（2009 年 12 月閣議決定）

- ・ 「（2）グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」「（3）ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」「（5）科学・技術立国戦略」に対応

○第 3 期科学技術基本計画（2006 年 3 月閣議決定）

- ・ 「ナノテクノロジー・材料分野」は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進 4 分野）の一つに指定、優先的に資源配分することとされている。
- ・ 我が国の材料技術は、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化に至るまでの全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている。

○「イノベーション 25」（2007 年 6 月閣議決定）

- ・ 「ナノテクノロジー・材料分野」は、中長期的に取り組むべき課題として、「1. 生涯健康な社会形成」、「2. 安全・安心な社会形成」、「4. 世界的課題解決に貢献する社会形成」、及び「5. 世界に開かれた社会形成」の分野に位置付けられている。
- ・ 所要の措置を講じていくことが必要である事項として以下の点が指摘されている。
 - ・ 学際領域・融合領域における教育等人材育成、拠点形成
 - ・ 社会受容を促すための積極的な取り組み
 - ・ 知的財産確保のための戦略的な取り組み

3. 達成目標

- ・ 世界に先駆けて、ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。
- ・ 我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保

するとともに部材産業の付加価値の増大を図る。

- ・ ナノテクノロジーや高機能部材の革新を技術先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。
- ・ 希少金属などの資源制約の打破、省エネルギー化を目指した低炭素社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

4. 研究開発内容

[プロジェクト]

IV. エネルギー・資源・環境領域

ナノテクノロジーや革新的部材開発技術を駆使して、エネルギー・資源・環境等の社会的制約を克服すると同時に我が国の強みであるナノテック関連産業・部材産業の競争力を強化する。

(i) エネルギー制約の克服

(1) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRTP）の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2012 年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、高速成形技術、接合技術及びリサイクル技術を開発する。

③研究開発期間

2008 年度～2012 年度

(2) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を持つ壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2011 年度までに、熱貫流率（熱の伝わりやすさ）が $0.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ 10mm 程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、光（可視光）透過率が 65% 以上（Low-E ガラス使用）、ヘイズ率が 1% 以下の超断熱窓材料を実現する。

③研究開発期間

2007 年度～2011 年度

(3) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

高純度、高密度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いた従来よりも格段にパワー（電力）と蓄電量が大きなキャパシタを開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 革新的省エネセラミックス製造技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

小型炉設備で生産可能な小型セラミック中空ユニットを複数組みあわせることで、これまでその製造が難しかった複雑形状かつ大型セラミックス部材を省エネで製作することができる革新的なセラミック部材製造技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2013年度までに、高機能化された小さな精密ブロックを立体的に組み上げ、高効率で接合、一体化をし、複雑形状や大型の部材を製造可能とする革新的なプロセス技術の基盤を確立し、高耐性部材、高温断熱部材及び高比剛性部材の試作を行う。

③研究開発期間

2009年度～2013年度

(5) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融（インフライトメルティング法）し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

③研究開発期間

2008年度～2012年度

(6) 革新的セメント製造プロセス技術開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

クリンカ（セメントの中間製品）焼成温度の低温化等の効果がある物質（鉱化剤）の開発等を行うことにより、焼成温度の低温化や焼成時間の短縮化等、非従来型の革新的なセメント製造プロセスの基盤技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2014年度までに、単位セメント製造重量当たりのエネルギー消費量8%削減を可能とする基盤技術を確立する。

③研究開発機関

2010年度～2014年度

(7) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト（運営費交付金）（再掲）

①概要

革新的な高効率送電技術を確立して高温超電導ケーブルの実用化を促進するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材（DI-BSCCO等）を活用し、首都圏の系統に接続する実証試験及び評価を行う。

なお、本事業は、発電用施設による電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2012年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

③研究開発期間

2007年度～2012年度

(8) 発電プラント用超高純度金属材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

超高純度金属材料を発電設備の蒸気配管等に実用化することを目指し、高純度金属材料の高度化に向けた低コスト・量産化製造技術を開発し、実使用環境における超高純度金属材料の耐久性試験等を行う。

なお、本事業は、発電用施設における電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

②技術目標及び達成時期

2010年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上での低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

③研究開発期間

2005年度～2010年度

(9) 次世代蓄電池材料評価基盤技術開発（運営費交付金）（新規）（再掲）

①概要

新しい蓄電池材料の性能や特性を共通的に評価できる基盤技術を確立する。これにより、各材料メーカーと電池メーカーとの擦り合わせ期間が短縮され、高性能蓄電池・材料開発の効率が抜本的に向上・加速化される。

②技術目標及び達成時期

2014年度までに、蓄電池の新材料について、構成材料間での適合性及び材料－製造工程間の相互影響の解析を踏まえた、共通的な性能特性評価方法（最適な製造工程、充放電様式等）を確立し、それを踏まえ、評価シミュレーション・システム技術の開発を行う。

③研究開発期間

2010年度～2014年度

(10) 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト

①概要

次世代自動車のインバータ（電力制御装置）などに用いるパワー半導体について、Si（シリコン）に比べ、電力損失が1/100以下であるなど、優れた物性を有するSiC（シリコンカーバイド）の実用化を目指す。

②技術目標及び達成時期

高品質・低コストな大口径 SiC ウェハ製造技術及び SiC 高耐圧スイッチングデバイス製造技術を確立する。具体的には、2014年度までに直径 15cm（現状の 1.5 倍。面積では約 2.3 倍）のウェハ製造技術、鉄道等に用いられる 5kV 級の高耐圧スイッチングデバイス製造技術を開発する。

③研究開発期間

2010年度～2014年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（関連施策）

ナノテクノロジーは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献する重要な技術シーズである。そのため、ナノテクノロジーの研究開発と一体となった関連施策を実施することで、その成果を市場に出していくことが重要である。主な関連施策を、以下に示す。

〔技術戦略マップ〕

- ・NEDO 及び経済産業省では、技術戦略マップを策定、毎年改訂し、ナノテクノロジー・部材分野の将来の方向性を見定めながら、合理的かつ効果的な研究開発プロジェクトを推進している。また、技術戦略マップを活用して、多様な連携（川上川下の垂直連携、異業種間の水平連携など）による研究開発を促進、支援し、当該分野の技術革新を促進している。

〔サンプル提供・実用化促進〕

- ・NEDO では、実施する研究開発プロジェクト成果のサンプルを対象として、それらを活用した用途の開発、実用化ないし製品化提案を有する企業とのマッチングを図ることで、プロジェクトの事業化を促進する取組みを実施している(サンプルマッチング事業)。

〔基準・標準化〕

- ・経済産業省では、ナノテクノロジー関連の研究開発成果を社会及び市場等に普及するための環境整備として、ナノテクノロジーの標準化活動（ISO/IEC、JIS）を推進している。

〔広報〕

- ・ナノテクノロジーに関する先端技術及び製品等の世界最大の展示会である「nanotech」が毎年日本で開催されている。

〔社会受容〕

- ・ナノテクノロジーの産業化の推進とともに、ナノ粒子のキャラクタリゼーション技術や人の健康や環境に及ぼす影響等の潜在的な課題に関する知見を蓄積する等のナノテクノロジーの社会受容に対する取組みを推進している。
- ・経済産業省では、2006年度から「ナノ粒子の特性評価手法開発」を開始し、工業ナノ粒子のリスク評価管理手法の確立を目標としたプロジェクトを開始し、2009年10月に「ナノ材料リスク評価書」（中間報告書）を公表した。また、政策的対応として、2009年3月に取りまとめた「ナノマテリアル製造事業者等における安全対策のあり方研究会」報告書に基づき、ナノマテリアルの製造事業者等における自主的な安全対策を促進するための情報収集・開示プログラムを実施している。
- ・OECD では、2006年9月、化学品委員会に工業ナノ材料作業部会（WPMN）が設置され、代表的な14種の工業ナノ材料について、試験計画の合意と試験実施を目的とする「スポンサーシッププログラム」が実施されている。スポンサーシッププログラム対象物質のうち、カーボンナノチューブ（単層、多層）、フラーレンの3物質については日本が中心となって担当し、「ナノ粒子の特性評価手法開発」等の成果で貢献している。

〔人材育成〕

- ・独立行政法人産業技術総合研究所は、「ナノテク製造中核人材の養成プログラム」を実施し、情報家電、燃料電池、ロボット、医療機器、バイオ等の応用分野において、その産業の基盤と創出を支える中堅企業を対象として、「基礎加工技能・技術、特殊な要素技能・技術に習熟し、製造技術の高度化を図る人材」及び「豊富なナノ加工プロセスの知識や先端機器を使いこなすノウハウ等を習熟し、製造現場の技能・技術を統括できる人材」の育成を行っている。
- ・NEDO では、我が国の産業技術の発展のため、先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進するための「場」の形成を促進する取り組みを実施している（NEDO 特別講座）。具体的には、優れた成果を生み出しつつあり、大学が技術の中核となっている研究開発プロジェクトをコアプロジェクトとし、そのプロジェクトリーダーの所属大学に拠点を設置し、関連技術の人材育成、人的交流の拡大、周辺研究の実施を行うもの。ナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクトも複数実施している。

〔関係機関との連携〕

- ・ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち新材料・新構造ナノ電子デバイス、希少金属代替材料開発プロジェクトにおいては、文部科学省との合同会議を設置するなど、連携しつつプロジェクトを推進している。
- ・経済産業省・文部科学省が協力のもと、平成 21 年 6 月より産業技術総合研究所、物質・材料研究機構、筑波大学が中核なり、茨城県つくば市において世界的なナノテク研究拠点を形成するための「つくばイノベーションアリーナ(TIA nano)」構想が推進されている。ナノエレクトロニクス、カーボンナノチューブ、ナノ材料安全評価などの研究領域、ナノデバイス実証・評価ファウンドリーなどのインフラを生かし、主要企業・大学との連携網を広げ、産学官に開かれた融合拠点として、ナノテクの産業化と人材育成を一体的に推進することとしている。

6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

7. 改訂履歴

- (1) 平成 12 年 12 月 28 日付け制定。
- (2) 平成 14 年 2 月 28 日付け制定。材料ナノテクノロジープログラム基本計画（平成 12・12・27 工総第 16 号）は、廃止。
- (3) 平成 15 年 3 月 10 日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成 14・02・25 産局第 8 号）は、廃止。
- (4) 平成 16 年 2 月 3 日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成 15・03・07 産局第 1 号）は、廃止。

- (5) 平成 17 年 3 月 31 日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成 16・02・03 産局第 7 号）は、廃止。
- (6) 平成 18 年 3 月 31 日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成 17・03・25 産局第 4 号）は、廃止。
- (7) 平成 19 年 4 月 2 日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成 18・03・31 産局第 13 号）は、廃止。
- (8) 平成 14 年 2 月 28 日付け制定。
- (9) 平成 15 年 3 月 10 日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成 14・02・25 産局第 9 号）は、廃止。
- (10) 平成 16 年 3 月 7 日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成 15・03・07 産局第 5 号）は、廃止。
- (11) 平成 17 年 3 月 31 日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成 16・03・07 産局第 5 号）は、廃止。
- (12) 平成 18 年 3 月 31 日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成 17・03・25 産局第 3 号）は、廃止。
- (13) 平成 19 年 4 月 2 日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成 18・03・31 産局第 14 号）は、廃止。
- (14) 平成 20 年 4 月 1 日付け、ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成 19・03・20 産局第 1 号）および革新的部材プログラム基本計画（平成 19・03・19 産局第 4 号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (15) 平成 21 年 4 月 1 日付け制定。ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（平成 20・03・24 産局第 1 号）は、廃止。
- (16) 平成 22 年 4 月 1 日付け制定。ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（平成 21・03・27 産局第 2 号）は、廃止。

ファイバー分野

ファイバーは一次元の高分子で、衣料用の繊維素材として古くから人類が最も身近に取り扱ってきた高分子材料の一つであり、より快適に、より美しく、といった消費者の要求に応えるべく、高強度化（軽量化）、高機能化、高感性化（ファッショナブル化）等に係る種々の技術を蓄積してきた分野である。さらに、これらの特徴を活かし、衣料用以外の生活資材、産業資材等にもその用途を展開し、炭素繊維複合材料等の高性能・機能繊維の開発が進められてきたところである。近年は、IT 関連機器の電極材料、キャパシタ、リチウム電池、有害物質除去フィルター、再生医療用材料等、ファイバーの用途は大きく拡大し、これらに必要とされる機能も変化してきている。

このような中、高分子材料の最も基本的な単位であるファイバー本来の持つ特性を極限まで活かすことで、環境・エネルギー制約の克服、安全・安心の確保等の社会的な課題の解決に貢献するとともに、人間生活を豊かにしていくことが可能である。このため、ファイバーに関する技術的課題、要求スペック等をマップ上に整理し時間軸上に展開することで、ファイバー分野のみならず、高分子材料全体の技術の俯瞰や、異業種異分野融合の進展を通じたイノベーションの実現に寄与することを期待し、ファイバー分野の技術戦略マップを策定した。

ファイバー分野の技術戦略マップ

I. 導入シナリオ

(1) ファイバー分野の目標と将来実現する社会像

ファイバー分野における各技術は、原材料開発から製品化まで、多種多様な技術が存在しており、単なる部材開発にとどまらず、最終製品の開発に至るまで様々な開発事例が存在している。また、これらの各技術同士の組み合わせにより、幅広い用途への展開が期待されている。

【参考資料1：本技術戦略マップ上でのハイテクファイバーの定義】

【参考資料2：ファイバー分野における繊維技術の多角的な展開】

【参考資料3：繊維の特殊性を有するファイバー分野の技術体系図】

【参考資料4：繊維から最終製品までの流れ】

したがって、将来有望な繊維に係る技術開発を推進し、新たな市場の創造を図るとともに、社会ニーズへの積極的な貢献を果たすことを目標とする。また、これを通じて、我が国繊維産業の先端素材産業のフロントランナーとしての地位確立を目指す。

(2) 研究開発の取組

繊維技術の研究開発は、繊維が有する優位性（強み）を一層伸ばすことによって、市場ニーズ及び社会ニーズに貢献できる分野へと重点化されるべきである。

繊維技術の生来的な優位性（強み）は、それが生み出す技術の多様性である。製糸から紡績、染色、製織、成形加工など工程ごとに存在する様々な技術は、他の部材との複合化、高機能化、高次加工化を通じて、様々なユーザーのニーズに応えることが可能である。これまでの繊維製品・部材の開発は、従来、各工程における技術向上が主体であったが、より一層のユーザーのニーズに応えていくためには、各工程の技術向上に加え、工程を越えた横断的な技術向上や技術の組み合わせが重要となる。

このためには、異分野との技術融合やユーザーとの連携のもと、メーカーの技術シーズとユーザーの技術ニーズの緻密な摺り合わせにより研究開発成果を高度化し、着実に活用していく体制で研究開発を進めていくことが重要となる。

以上を踏まえ、繊維の研究開発の方向性として、以下の3つの分野とこれらを支える基盤技術を重点分野として位置づけ、研究開発の方向性を示すことで、効率的・効果的な研究開発を推進していく。

（マテリアルセキュリティ分野）

石油系原料から製造される化学繊維は、様々な分野に高付加価値、高機能な繊維製品・部材を提供してきた。近年、世界的な石油系原料の需給逼迫による価格高騰や環境問題への関心が高まる中、繊維の製造原料において、石油代替を推進する市場及び社会ニーズは高く、これに応えることは繊維技術の責務である。このため、原料を確保可能な既存のバイオマス原料などから化学繊維を製造し、環境・リサイクルなど社

会ニーズに対応した繊維材料の技術開発の推進が必要である。

（炭素繊維・複合材料（移動体）分野）

繊維製品の中で特に優れた特性を有する炭素繊維やその複合材料などは、これまで我が国が世界をリードしてきた。特に、炭素繊維と他の素材を組み合わせることで材料特性を向上させる繊維複合化技術によって生まれる材料は、軽量かつ強度に優れるため、自動車や航空機等の移動体分野におけるニーズが大きい。他方で、これらの普及に当たっては、易加工性・リサイクル性等の確保や製造プロセスの省エネルギーなど、より広がりを持った環境適合性も要求されている。このため、材料特性向上とともに循環型社会に対応する環境適合性の確保という両側面を充足する炭素繊維・複合材料の製造（加工）技術開発を進めることが必要である。

（建設・IT・生活等分野）

繊維技術は、素材自体の高機能化や高次加工を複合的に施すことによって、素材に感性や機能を付与することが可能である。このため、生来繊維が主役となる衣料分野やインテリアなどの生活資材分野のみならず、自動車や電機製品、建設等の幅広い産業資材分野にわたる多様で高度なニーズに応えてきた。今後もこれらユーザーのニーズに応えるためには、ユーザーの要求特性に合致した素材開発（製造工程ごとの技術向上）を拡大するとともに、繊維（ファイバー）の本来持つ優れた特性を一層伸長し、例えば、VOC 吸収・分解や有害化学物質からの防護による高付加価値化、体温調節機能を持った快適素材繊維、センサー・情報伝達機能を持ったウェアブルコンピューターとしての自律応答系繊維などを推進するような技術開発などが求められる。

（基盤技術分野）

新市場の創出や社会ニーズへの貢献を果たしていくためには、上記 3 分野の研究開発とともに、これらを支える基盤技術の開発が不可欠である。

“安全で豊かな生活”や“自然と環境に優しい”といったテーマが大きな社会ニーズとなっており、これらに貢献しうる繊維技術の開発が求められている。

“安全で豊かな生活”を具現化するための繊維技術としては、「複合化」や「汎用繊維の高性能・高機能化」の開発など、軽くて強く、フレキシブルな高強度・高靱性な繊維の開発が重要である。また、「ナノ繊維材料（光電変換機能の開発）」、「新機能複合材料」の開発や「インテリジェントファイバー」など高度で優れた働きを持った高機能繊維の開発も重要となる。

“自然と環境に優しい”繊維技術としては、「バイオマスベースの合成繊維」の開発など脱石油を目指した天然由来型繊維技術の開発が重要であるとともに、「スーパーバイオメテックス」による研究開発の推進など、自然から学び、自然を模倣した自然活用型繊維の開発が重要である。更に、資源やエネルギーの有効利用の枠を超えて「新エネルギー技術」により新エネルギーの創生・貯蔵・伝送などの研究開発の推進も重要である。

加えて、中長期的な視点から、ファイバー分野で“革新的な製造技術”として、「構造精密制御技術（ナノフィブリル化技術の開発）」、「エレクトロスピニング技術」、「革新的加工技術」、「革新炭素繊維」の開発が今後重要となる研究開発である。

【参考資料5：基盤技術の融合イノベーション】

(3) 関連施策の取組

繊維技術が新市場の創造や社会ニーズへの貢献を果たしていくためには、技術開発とともに、需要の創出や事業環境の整備などが必要となる。そのため、今後は2007年5月に産業構造審議会繊維産業分科会でとりまとめられた「繊維産業の展望と課題」及び2010年3月に「今後の繊維・ファッション産業のあり方に関する研究会」でとりまとめられた報告書に基づき、技術力の強化や新市場の創出等に関連する施策を推進していくことが必要である。

[導入補助・支援]

・戦略的基盤技術高度化支援事業

我が国経済を牽引していく産業分野の競争力を支える重要基盤技術の高度化等に向けて、中小企業が行う革新的かつハイリスクな研究開発や、生産プロセスイノベーション等を実現する研究開発を支援する。

・地域イノベーション創出研究開発事業

研究開発を起点とした新事業、新産業創出による地域経済の活性化を図るため、地域の中小企業をはじめとする産学官の研究開発リソースを最適に組み合わせた研究体による実用化技術の研究開発を支援する。

・川上・川下ネットワーク構築支援事業

基盤技術を担う中小企業と、燃料電池や情報家電等の重要川下産業間の緊密なコミュニケーションを通じた「川上中小企業が行う技術開発の不確実性の低減」「情報の非対称性の解消」を図るため、川上・川下間のネットワーク構築に向けた取組を支援する。

・中小企業等の研究開発力向上及び実用化推進のための支援事業

先端的・独創的な技術を持ちながらも、実用化に至ることができない中小企業等を支援するため、高度な知見・技術・設備等を有する大学・公的研究機関等との共同研究を促し、その研究開発力の強化と実用化を推進する取組について支援する。

・地域競争力強化事業

地域経済を牽引する成長産業群を創出させるため、地方自治体、地域の産業界、大学等研究機関、支援機関等による広範なネットワークを地域ごとに構築する取組を支援する。具体的には、重点化すべき成長産業分野を選定し、その分野を育てるため先導的事業（ビジネスマッチング、コーディネーターの配置、試行的取組等）やネットワーク強化事業（全国の支援機関や国内外の連携、産業支援人材の育成等）を行う。

・新事業活動促進支援補助金

中小企業者が行う、経営資源又は地域資源を活用した新商品・新サービスの開発等の事業展開の取組（新連携事業、地域資源活用事業、農商工等連携事業）に係る経費の一部を補助する。

〔調達促進〕

・環境負荷低減に資する製品について、「グリーン購入法」の特定調達品目制度を活用することにより、調達を推進し、初期導入を促進する。

〔規制・制度改革〕

・技術流出対策

意図せざる技術流出の防止を図るため、企業における適正な技術管理体制の整備を促進するとともに、安全保障上重要な技術等については、外為法に基づき、適切な管理を行う。

・環境規制等への対応

国内外の環境規制（化審法、欧州 REACH 規制など）に適切に対応する。

〔基準・標準化〕

・繊維製品における消費者の安心・安全や利便性の向上を目指し、社会・市場のニーズや環境の変化等に応じて、品質規格の効果的な運用を図る。

・2008年4月より、我が国と中国が共同幹事国として ISO/TC38（繊維分野）幹事を引き受けたことを一つの契機として、これまで以上に国際標準化活動に積極的に参画し、我が国繊維産業の活性化を促進するとともに、高機能性繊維素材等の市場拡大を目指す。

〔人材育成〕

・産地の技術者・技能者の育成

産地の繊維リソースセンター等を活用しつつ、産地における次世代を担う中核的な人材育成を推進する。

・人が育つ環境の整備

過去の優れたデザインや素材、ファッションに関するデータを体系的に整備し利用できる場（アーカイブ）を整備する。

〔産学官連携〕

・産学官連携を通じたイノベーションの促進

新たな技術開発や特に非衣料分野の市場開拓を目指したいものの、投資余力や知見・情報に乏しく、実行が困難な中小製造事業者等を支援するため、大学等を核とした産学官連携による取組を促進していく。

・繊維産業クラスターの形成

北陸3県（富山県、石川県、福井県）は北陸地域の繊維産業の活性化を目指し、3県連携のスケールメリットを活かした、取組を推進するため「北陸3県繊維産業クラスター」を2009年4月に設立すると同時に、販路開拓、人材育成、研究開発の分野にお

いて北陸3県の自立的発展を目指す。

(4) 改訂のポイント

- 産業構造審議会繊維産業分科会が策定した「繊維産業の展望と課題」及び2010年「今後の繊維・ファッション産業のあり方に関する研究会」報告書に基づき、技術力強化や新市場創出等に関連する施策を記載した。

II. 技術マップ

(1) 技術マップ

繊維の研究開発の方向性として、以下を重点分野として位置づけ、研究開発の方向性を示すことで、効率的・効果的な研究開発を推進していく。

- ① マテリアルセキュリティ分野（原料代替分野）
- ② 炭素繊維・複合材料（移動体）分野（複合材料分野）
- ③ 建設・IT・生活等分野（高機能化、高次加工分野）
- ④ 基盤技術分野

(2) 重要技術の考え方

技術マップにおいて抽出された各技術項目はいずれも不可欠であり、官民の一体的取組みまたは民間の主体的な取組によって積極的な開発が望まれるが、以下の観点から重要技術として評価されるものを重要技術と位置づけ、技術マップ中に色分けして示した。

① 社会的ニーズに応える技術

技術開発を推進する上で、我が国社会に受け入れられる繊維製品・部材や技術であることは極めて重要であり、社会的ニーズに応える技術であることが必要である。

- ・資源（石油代替含む）・エネルギー対応に応える技術
- ・環境・リサイクル対策に応える技術
- ・安心・安全の向上につながる技術
- ・機能性・利便性の向上につながる技術
- ・その他政策的な要請に基づき必要とされる技術

② 技術優位性

今後も我が国繊維産業が新たな高付加価値製品を生み出すためには、限りあるリソースの中で我が国が技術優位性を持った繊維技術や新しい価値を創造できる繊維技術に注力して、推進していくことが求められる。

- ・技術的難易度（リスクの高い技術）
- ・技術自体の先進性、進歩性（将来性の高い技術）
- ・国際的な優位性を持つ技術（国際的な研究レベルの比較）
- ・他の素材と比較した際に、繊維素材の優位性が発揮できる技術
- ・新機能の発現、性能の大幅向上などをもたらす技術

③ 市場インパクト

技術開発による繊維製品・部材が、新市場の創出や拡大につながり、波及効果も見込まれる市場インパクトのある技術であることも必要である。

- ・市場の創出、拡大に繋がる技術
- ・多分野への波及効果が大きい技術（直接開発対象となる製品や部材だけでなく、自動車や IT など他分野への広がりが期待できる技術）
- ・産業界において共通基盤（評価技術を含む）となるコア技術、広く使用されることが期待される技術
- ・コスト競争の際に不可欠となる技術

（3）改訂のポイント

- 炭素繊維・複合材料（移動体）分野（複合材料分野）について、「炭素繊維・複合材料のリサイクル技術等に関する調査検討委員会」にて炭素繊維リサイクル技術を中心に修正を行った。大きな改訂事項としては、部材化共通基盤技術に「標準化」、「リサイクル技術」、「炭素繊維製造省エネ化・生産性向上技術」を設けたことである。また、主な修正事項は、目標値の修正、要素技術や技術課題の追記、技術名称の再検討等である。

Ⅲ. 技術ロードマップ

（1）技術ロードマップ

技術マップで整理した 4 分野ごとに、研究開発課題を達成するために必要となる手段と目標を整理し、2020 年までの技術ロードマップを策定した。

（2）改訂のポイント

- 炭素繊維・複合材料（移動体）分野（複合材料分野）について、「炭素繊維・複合材料のリサイクル技術等に関する調査検討委員会」にて炭素繊維リサイクル技術を中心に修正を行った。大きな改訂事項としては、部材化共通基盤技術に「標準化」、「リサイクル技術」、「炭素繊維製造省エネ化・生産性向上技術」を設けたことである。また、主な修正事項は、目標値の修正、要素技術や技術課題の追記、技術名称の再検討等である。

ファイバー分野の導入シナリオ

2008年

2009年

2010年

2015年

2020年

目標

繊維産業の国際競争力の強化を図り、新市場の創出と社会ニーズへの積極的な貢献を果たすことを目標とし、我が国繊維産業が本来有するポテンシャルを顕在化させ、先端素材産業のフロントランナーとしての地位を確立することを目指す。

民間企業の取り組み

- 産業資材分野向け高機能繊維製品・部材の開発を加速
- ユーザーニーズ・シーズのマッチ、異分野連携による研究開発の高度化と着実な推進
- ファイバー分野の本来有する優れた特性を活用した研究開発の推進

研究開発の取り組み

資源・環境制約からの脱却

マテリアルセキュリティ分野

- PLA繊維等の耐熱性向上技術の開発
- 新規バイオベースファイバー・バクテリア由来繊維
- セルロースナノファイバー
- ポリエステル及びナイロンと他素材混紡品の解繊・分離技術開発
- 原料転換 (CO₂、CO₂、バイオエタノール利用)
- CO₂吸収・分解繊維、繊維への光合成機能の付与

先端素材の開発

炭素繊維・複合材料（移動体）分野

- 革新的成型加工技術開発
- 樹脂マトリックスの開発（熱可塑性樹脂）
- 中間基材の開発（ﾌﾞﾘｯｸ、ﾌﾞﾘｯｸ）
- 脱石油原料による炭素繊維開発
- 革新的設計・製品評価技術・接合技術の開発
- パーソナル移動体
- 製造プロセスの省エネルギー・低コスト化等の研究開発

各産業分野への市場拡大

建設・IT・生活等分野

- 高強度繊維・マトリックス接着技術の開発
- 高韌性コンクリートの開発
- 土木・建設用繊維の高機能化（発熱・放熱繊維、アスベスト代替、難燃性、電磁波遮蔽、衝突安全性など）
- 難燃性、自己消火性、溶融耐性の向上
- 医療、安心・安全・快適部材の高度化（組織再生部材の開発、有害物質からの防護）
- 新規快適素材の開発（体温調整衣服、体調管理衣服など）
- 自律応答系材料の開発

基盤技術の開発

基盤技術

- バイオマスベースの合成繊維
- 複合化繊維・ナノ繊維材料
- 新エネルギー技術
- インテリジェントファイバー
- スーパーバイオミメテックス

関連施策の取り組み

導入普及促進策／環境整備

- 繊維分野における産官学連携を通じたイノベーションの促進
- 研究開発リソースの集約化
- 中小企業向け研究開発拠点の提供
- 人材育成の強化
- 技術流出対策の強化、環境規制等へ対応
- 標準規格の推進等

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果
石油代替 (生物由来繊維)	ポリ乳酸(PLA)繊維	1101	高強度化 伸び・柔軟性向上 耐摩耗性向上 耐熱性向上(Tm200°C以上) 耐候・光性向上 染色性向上(耐熱性)	力学特性、耐熱性、染色性、耐候性向上技術の開発 (L-組成の向上、ステレオコンプレックス繊維・低コストD体製造技術、湿式紡糸法、多官能架橋材、ポリマーアロイ技術、安定化剤の開発)	既存繊維に特性が劣る紡績・紡織での糸切れ 高Tm化(200°C以上) D/L ステレオコンプレックスでも限界 染色時の物性低下	ポリ乳酸(PLA)繊維	非石油系素材への転換 CO2排出削減 省エネルギー
		1102	コストパフォーマンス向上	ポリマーのコストダウン (原料精製エネルギーの削減技術、直接重合合法の開発)	製造コスト	ポリ乳酸(PLA)繊維	非石油系素材への転換 CO2排出削減 省エネルギー
		1103	風合い向上 軽量化 成形加工性向上	機能性(風合い、軽量)向上技術の開発 (極細・中空繊維、異形断面糸の進化)	機能性向上 高価な絹の代替	ポリ乳酸(PLA)繊維	非石油系素材への転換 ポリエステル代替 CO2排出削減
	新規バイオベース ファイバー(繊維)	1104	ポリエステル等汎用繊維と同等の強度・耐熱性を有する新ポリマー 既存繊維とは異なる機能の付与	既存のバイオマス系化学品からのポリマー製造、繊維化技術の開発 (コハク酸、グルタミン酸などからポリマー製造・繊維化技術) 発酵生産時における低エネルギー消費の効率的な精製技術の開発	非可食発酵原料の使用		非石油系素材への転換 CO2排出削減 省エネルギー
	バクテリア由来繊維	1105	生産性向上 生分解性	バクテリア利用の高効率製造技術の開発 (バイオポリエステル、バクテリアセルロースの開発)	合成微生物の発見と馴化	海洋バクテリア ポリエステル・セルロース バイオナノファイバー	スーパー繊維素材 CO2排出削減 省エネルギー
	環境調和性	1106	溶媒を使用しないセルロース紡糸	熱可塑性セルロース繊維の開発	セルロースの熱可塑性	熱可塑性セルロース	
	セルロースナノファイバー	1107	高弾性率素材	セルロースナノファイバーの製造・利用技術の開発	ナノファイバー化	バイオファイバー	新素材
	新原料	1108	原料転換(CO、CO2、バイオエタノール利用)	COとエチレンによる高強度脂肪族ポリケトン繊維の開発 古繊維(綿、麻、レーヨン等の植物繊維)のバイオエタノール化 CO2原料繊維の開発	合成プロセスの確立 綿等のバイオエタノール化に適応する酵素の発見 水分30%を含むエタノールの燃料利用可能とするボイラー技術の開発	脂肪族ポリケトン ポリビニールアルコール	省資源 環境負荷の低減 ゼロエミッションのPR効果 燃料コスト削減 廃棄物焼却コスト削減
	環境影響評価	1109	環境貢献度の定量評価 (CO2、省エネルギー)	新技術、新製品のLCA評価 (総エネルギー使用量、総CO2発生量)			
リサイクル	繊維製品素材分離 技術開発	1201	ポリエステル、ナイロン、綿、ウール、ウレタン素材等のコストパフォーマンス向上・高効率分離技術	各種繊維の分離技術とLCA評価をベースとしたリサイクル技術の開発 (ポリエステル、ナイロン、綿、ウール、ポリウレタン等の分離技術の開発)	ポリエステル、ナイロン、綿、ウール、ポリウレタンの分離		
	小規模・地域分散 プロセスの開発	1202	少ロットでの多種素材混合 繊維製品のリサイクル	少ロット、地域分散型の回収システム、リサイクル技術の構築、リサイクル品の商品化技術の開発、素材分離技術開発	回収費用低減・地域毎の再生市場構築		
	染料・高次加工 処理剤の抽出技術	1203	染料の分離	繊維からの染料抽出技術の開発 (脱色技術、染料成分の分離技術の開発)	リサイクル品の品質向上		リサイクル品の品質向上
		1204	高次加工処理剤の分離	繊維からの高次加工処理剤の分離・抽出技術の開発	各種素材分離処方を阻害 リサイクル品の品質向上		リサイクル品の品質向上
	染料・高次加工 処理剤の易分離	1205	易分離性染料・加工剤 洗浄等による再利用化	易分離性染料の開発 繊維によるメッキ液からの貴金属の回収率向上	リサイクル品の品質向上 低価格化		リサイクル品の品質向上
	ケミカルリサイクル	1206	ナイロン6、ナイロン66繊維 のリサイクル	ナイロン6、ナイロン66繊維のケミカルリサイクル技術の開発	ケミカルリサイクル技術		省資源
		1207	アクリル繊維のリサイクル	アクリル繊維のマテリアル及びケミカルリサイクル技術の開発	商品化技術		省資源
		1208	ポリウレタン繊維のリサイクル	ポリウレタン繊維のケミカルリサイクル技術の開発	ケミカルリサイクル技術		省資源
		1209	ポリ乳酸繊維のリサイクル	ポリ乳酸繊維のケミカルリサイクル技術の開発	ケミカルリサイクル技術		省資源
		1210	回収天然繊維のリサイクル	綿のエタノール発酵酵素、羊毛の有用化学物質転換技術の開発	ケミカルリサイクル技術		省資源
		1211	ポリエステル繊維のリサイクル	PETなどポリエステル繊維のケミカルリサイクル	ケミカルリサイクル技術		省資源

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果
省エネルギー	汎用繊維の高性能化	1301	高弾性率 高耐熱性	ポリマー改質・CNT複合化技術の開発	高性能化技術 ナノテクノロジー	高性能ポリエステル ナイロン ポリプロピレン	省エネルギー 軽量化 長寿命化
	繊維製造エネルギー低減	1302	新製糸技術	新製糸技術の開発(現状の製糸工程のエネルギーを30%削減)	加工プロセスの改良(熱エネルギー伝達効率化など)	既存合繊	製糸工程のエネルギー低減、CO2排出削減
		1303	ポリエステル低温染色性向上	常温(低温)可染ポリエステルの開発	高温染色時の物性低下 染色工程のエネルギー低減	新規合繊 生物由来ポリエステル	染色工程の省エネルギー低減 CO2排出削減
		1304	加工プロセスの改良	糸加工処理技術の開発 (高効率加熱装置、新規染料洗浄技術、超臨界染色など非水系染料挿入技術、インクジェット染色用顔料及び固着技術、染色時の形態安定化技術など)	易染・高堅牢度を満足させる新規ポリマー、新規染料の開発 コストダウン 環境負荷低減	新規合繊 高選択性局所繊維加工技術	製造工程のエネルギー低減 多品種小ロット生産の高効率化
	機能性繊維使用による省エネルギー化	1305	発熱、吸熱、放熱特性向上	新規機能性繊維の開発 (温湿度の変化に応じて構造が変わるテキストイルの開発)	変換熱量の向上	吸熱・発熱繊維	冷暖房エネルギーの低減 CO2排出削減
	超保温繊維 超蓄熱繊維	1306	保温性能、発熱性能、蓄熱機能	空気層の最適配置等による保温性の向上、 発熱機構の適用、蓄熱機能の適用	ナノボイドなど繊維構造設計、蓄熱材料の高機能化 他	ポリエステル、ナイロンなど汎用素材をベースにした繊維	保温性衣料、保温材(断熱材)としての展開 (大幅な省エネルギー) CO2排出削減
環境対策等	繊維製造関連の環境負荷低減	1401	使用可否の判別 コストパフォーマンス向上	生分解性ポリマーの時限コントロール技術	使用中の劣化	環境適合繊維	環境負荷低減
		1402	染料、糊、薬剤の高効率処理技術の開発 (コストパフォーマンス向上、環境負荷低減)	環境負荷の少ない低浴比染色技術、高次加工技術の開発 (超臨界流体利用染色技術、天然系色素の利用後処理、酵素利用プロセスの開発) 新発色システム ドライプロセス染色仕上げ加工技術の開発	染色工程排水処理コストダウン 染料の環境汚染低減 糊等の環境汚染低減 新発色システム設計・素材設計	新規処方 発色繊維	環境負荷低減
		1403	易減量	アルカリを使用しない減量技術の開発	易減量ポリエステル	易減量ポリエステル	環境負荷低減
		1404	環境対応ポリエステル	新規ポリエステル触媒の開発	ポリエステル触媒技術	新規ポリエステル	環境負荷低減
	安全対応	1405	難燃・非溶融合繊	非ハロゲン系防炎剤による不融化繊維(炭化促進技術)の開発 (非ハロゲン系防炎剤、原系改質・後加工技術)	不融化熱可塑性繊維	新規ポリマー	生活の安全性
	繊維を活用した高効率分離技術の開発	1406	高効率・コストパフォーマンス向上	バイオエタノールの分離/新化学・分離プロセスの開発、エチレングリコール/水・分離プロセスの開発、メタノール/エチレングリコール・分離技術の開発	製造・分離プロセスの改良	エタノール透過膜・中空糸膜、ゼオライト膜	エタノール濃縮プロセスの開発 各種有機化合物分離プロセスの開発 CO2排出削減
	ウラン等海水中の有用金属資源回収	1407	ウラン吸着	選択的ウラン吸着材	回収効率向上、吸着率向上・速度向上、耐久性向上	吸着材	未利用資源の回収
	海水淡水化処理装置	1408	生産水質の高度化 生産水コスト低減	前処理用中空糸膜モジュール及び高機能逆浸透膜(平膜、中空糸膜)の開発	中空糸膜処理水質向上 耐酸化性逆浸透膜	高効率中空糸膜逆浸透膜モジュール	水資源の確保
	排水処理装置	1409	排水の再利用(生産水質の高度化、生産水のコスト低減)	高機能繊維、高機能中空糸膜及び逆浸透膜(平膜、中空糸膜)、微生物担体繊維等の開発	有機物の除去(ファウリング防止) 耐酸化性逆浸透膜	イオン交換繊維 活性炭繊維 微生物担体繊維等	環境保全 水資源の確保
	大気処理装置	1410	エアフィルター、バグフィルターの高性能化	高機能フィルターの開発(VOC除去技術、フッ素代替材の開発)	長寿命化 耐熱性向上 有害物質の高効率捕集	高強度・高耐熱性繊維	長寿命化
	電磁波遮蔽繊維構造体	1411	柔軟性を維持しつつ電磁波遮蔽性能を発現	導電成分の繊維内部への配合 導電成分による繊維の被覆	高率粒子配合技術の確立 皮膜形成技術	ポリエステル、ナイロンなどを汎用素材をベースにした繊維	電磁波環境における防護服
	ケミカル防護服	1412	耐薬品性	耐薬品性、ガスバリア性の優れたポリマー設計	新規ポリマー設計、繊維構造体設計	新規ポリマー設計	薬剤使用環境における防護服

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果
	高性能吸着繊維	1413	吸着性能	制御された微細構造を有する新規活性炭繊維の設計と開発	新規活性炭繊維の創出	炭化可能な繊維素材、ブレンド繊維など	VOC吸着材、高性能フィルターなどへの応用
	新規高吸水性繊維	1414	吸水性能、保水性能	高い吸水性を発現するポリマー設計	新規ポリマー設計、繊維構造体設計	新規ポリマー設計、生分解性ポリマーをベースに	水分付与を目的とした繊維構造物の使用(砂漠緑化など)
	CO2吸収・分解繊維	1415	CO2吸収・分解	繊維への光合成機能の付与	生物学との連携による基盤技術の確立	CO2吸収・分解繊維	CO2排出削減

重要技術

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果		
自動車	外板部材	2101	コストパフォーマンス向上	(1)高加工性・環境負荷低減技術	高コスト	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック	大量生産が可能になる 適用性が拡大する		
		2102	高速成形性	(2)表面欠点解消成形技術(クラスA塗装)	成形サイクルが長い				
		2103	軽量性	(3)疲労性、寸法精度、接合性などの評価法	仕上げに手間が掛かる				
		2104	外観(塗装性)	(4)繊維複合のリサイクル技術とシステム	衝撃設計の自由度が少ない				
		2105	設計の自由度 リサイクル	(5)その他 ①均一分散技術 ②深絞り形状成形技術	リサイクルできない				
	駆動装置	ドライブシャフト	2106	軽量性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	高コスト	炭素繊維強化プラスチック	大量生産が可能になる 燃費が向上する	
			2107	剛性	(2)制振化技術(金属以下)	成形サイクルが長い			
			2108	制振性 コストパフォーマンス向上	(3)その他 ①耐熱性向上 ②高強度・高弾性化	振動吸収ができない			
	車体(ボディ)	車体	2109	軽量性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	高コスト	炭素繊維強化複合材	大量生産が可能になる 燃費が向上する	
			2110	高強度、高剛性	(2)高強度炭素繊維	成形サイクルが長い			
			2111	耐衝撃性	(3)低線膨脹化技術	耐衝撃性が低い			
			2112	コストパフォーマンス向上	(4)高速衝突時の破断防止材料技術	寸法精度が低い			
			2113	リサイクル性	(5)繊維複合材のリサイクル技術とシステム (6)その他 ①薄層多軸プリプレグシートとその成形法の開発 ②バリの出ない加工法	リサイクルできない			
		2114		(3)熱可塑樹脂マトリックス ④等方特性の発現 ⑤母材の最適化、繊維と母材の密着、フラー選定、解析等 ⑥炭素繊維含有率が低くて高物性が得られる繊維配向 ⑦EB照射技術 ⑧超臨界流体の特性利用 ⑨高アスペクト比短繊維(紡績系)材開発・適用 ⑩新素材・加工法導入による全体の工法システムの統合	クリーブが大きい	低クリーブ炭素繊維強化熱可塑性プラスチック	高負荷部品への展開が可能 高寿命化		
		パネル	インテリアパネル	2115	軽量性、塗装性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	仕上げに手間が掛かる	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(射出成形品)	大量生産が可能になる 燃費が向上する リサイクルが可能になる
				2116	低価格	(2)高性能ベレット生産技術	リサイクルできない		
				2117	リサイクル性	(3)繊維複合材のリサイクル技術とシステム	コストが高い		
				2118		(4)その他 ①高品位外観性			
	2119			軽量性	(1)炭素繊維入り耐熱性樹脂ベレット	耐熱性が劣る			
	エンジンカバーなど		2120	コストパフォーマンス向上	(2)低コスト炭素繊維	成形サイクルが長い	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(射出アラムド繊維強化プラスチック)	大量生産ができる 燃費が向上する 安全性が向上する	
2121			耐熱性	(3)繊維強化材のリサイクル技術と体制	リサイクルできない				
2122			リサイクル性	(4)その他 ①安全性、吸振(音)性 ②高強度化					
燃料タンク	高圧ガス(CNG、水素)タンク	2123	軽量性	(1)炭素繊維の高強度化	耐衝撃性より高強度系が必要	炭素繊維強化プラスチック	大量生産が可能になる 燃費が向上する		
		2124	高強度	(2)欠陥が発生しない成形技術					
		2125	耐衝撃性	(3)CFRPの耐衝撃性改善					
		2126	コストパフォーマンス向上	(4)低コスト炭素繊維	コストが高い				
その他自動車部品	各種機構部品	2127	軽量性	(1)耐熱性に優れた炭素繊維強化熱可塑性プラスチック	高コスト	炭素繊維強化プラスチック 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(射出成形品)	大量生産が可能になる 燃費が向上する		
		2128	高強度、高剛性、耐摩耗性 耐薬品性 耐熱性	(2)その他 ①摺動磨耗性向上 ②繊維の均一分散配向、熱可塑樹脂の射出成形技術 ③リサイクル技術	耐熱性が不足(使用部位による) サーマルリサイクルの制限 溶解樹脂の制限			炭素繊維強化バイオプラスチック	リサイクルの自由度向上 資源枯渇問題対応

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果
航空機	一次構造材 垂直尾翼、水平尾翼 床桁材 主翼外板 主翼桁材 胴体	2201	軽量性	(1)炭素繊維の強度、弾性率アップ	設計伸度の一層のアップが求められる	炭素繊維強化プラスチック	一層の量的拡大が可能になる 燃費が向上する 検査コストが低減する
		2202	高強度、高剛性	(2)CFRPの靱性改善	成形コストが高い		
		2203	靱性	(3)簡便な非破壊検査技術	欠陥の発見がし難い		
		2204	コストパフォーマンス向上	(4)ダメージ発見の容易なシステム			
		2205		(5)高強度・超軽量プリフォームの製作技術(ドライプリフォーム)			
		2206	ダメージの発見容易性	(6)その他 ①被加工性 ②リサイクル ③非加熱硬化型樹脂			
	二次構造材 昇降舵、方向舵 フェアリング、フラップなど 内装部材	2207	軽量性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	成形コストが高い	炭素繊維強化プラスチック	燃費が向上する メンテナンスコストが低減する
		2208	高剛性	(2)ダメージを示す樹脂システム			
		2209	ダメージの発見容易性	(3)その他 ①修理法の開発			
	翼リーディングエッジ レドーム フロアパネル	2210	軽量性	(1)短時間成形技術(樹脂、成形法)	高コスト	炭素繊維強化プラスチック	一層の量的拡大が可能になる 燃費が向上する
		2211	高剛性 耐衝撃性	(2)CFRPの耐衝撃性改善	耐衝撃性が不十分 ダメージが発見し難い 水滴などによるエロージョン発生		
		2212	耐エロージョン	(3)その他 ①耐エロージョン対策がされた複合材 ②電波透過・電波吸収複合材・耐雷性向上			
	超高速ジェット機 構造部材	2213	軽量性	(1)高耐熱、高靱性樹脂開発	耐熱性が不十分	耐熱性樹脂使い炭素繊維強化プラスチック 耐熱樹脂複合材(ポリアイミド、ビスレイミド等)	新規超音速機の実用化に繋がる
		2214	高強度、高剛性	(2)修理方法開発	超高速巡航時の強度と常温時の靱性が両立しない		
		2215	耐熱性 靱性	(3)その他 ①短時間成形、短時間硬化樹脂			
	エンジン カウリング ノーズコーン ファンブレード	2216	軽量性	(1)流動性の良い耐熱性熱可塑性樹脂	比強度、比弾性率が低い	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック	一層の量的拡大が可能になる
		2217	高強度、高剛性 耐熱性 コストパフォーマンス向上	(2)その他 ①強度利用率の良い炭素繊維および熱可塑性樹脂 ②耐衝撃性、耐エロージョン	高コスト		
	ヘリコプター部材 胴体 ローターブレード	2218	軽量性	(1)高伸度、高強度化	靱性が不十分	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック	一層の量的拡大が可能になる 乗客の安全性が向上する メンテナンスコストの低減に繋がる 安全性の向上に繋がる
		2219	高強度、高弾性率	(2)振動吸収構造材	振動吸収が不十分		
		2220	高サイクル疲労強度 振動吸収性	(3)耐衝撃性改善	衝撃性が劣る		
その他航空(ロケット等) ロケット構造 燃料タンク	2221	軽量性	(1)極低温時の強度、靱性向上	タンクの金属ライナーが必要である	炭素繊維強化プラスチック	ロケット構造の軽量化、低コスト化に繋がる 一層の量的拡大が可能になる	
	2222	高強度、高弾性率	(2)線膨張特性改善	極低温時の靱性、亀裂防止、機密性確保が悪い			
	2223	耐極低温 機密性	(3)信頼性向上				
車輦 鉄道車輦 ボディ 台車	2301	軽量性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	高コスト	炭素繊維強化プラスチック	一層の量的拡大が可能になる 車輦の高速化が可能になる 車体の低コスト化に繋がる	
	2302	高剛性 不燃性 コストパフォーマンス向上	(2)大型品の成形技術	生産性が低い			
	2303		(3)その他 ①生産性向上 ②熱特性の改善 ③CFRPの耐衝撃改善 ④リサイクル技術				
船舶 外板、マスト 船体 ヨット用マスト	2401	軽量性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	高コスト	炭素繊維強化プラスチック	一層の量的拡大が可能になる	
	2402	高強度	(2)CFRPの耐衝撃改善	衝撃性が不十分			
	2403	耐衝撃性	(3)複合材の接合技術	接合技術が確立していない			

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果	
その他	搬送ロボット ロボットアーム	2501	軽量性	(1)高弾性率炭素繊維	剛性が不十分 成形寸法の精度が不十分 高コスト	炭素繊維強化プラスチック	一層の量的拡大が可能になる 搬送サイクルの短縮が可能になる	
		2502	剛性	(2)硬化収縮の少ない樹脂				
		2503	寸法精度	(3)大型物の成形技術 (4)その他				
		2504		①成形性 ②寸法精度・安定性 ③取付方法				
	パーソナル移動体 パーソナルカー 人型ロボット、補助 ロボット 車椅子 義足、義手	2505	省スペース 軽量、機動性、簡易性 意匠性	(1)モノコック構造 (2)携帯容易な軽量素材	設計技術 オンライン計測技 成形技術 接合技術 アモルファス部分の構造解 析手段 界面構造の解析			
		2506	省エネルギー 環境適合 安全、快適					
	上記分類以外	2507		(1)ゴム、基布等との複合化、その他ゴ ム改質材料の開発		タイヤ用高性能廉価ア ラミド繊維		
		2508		(2)フィルムインサート技術				
		2509		(3)塗装フィルム				
		2510		(4)CF製造プロセス開発				
2511		(5)高強度化						
2512	(6)その他 ①耐火性向上、有効な耐震補強材 ②高融点熱可塑性ポリマー							
部材化共 通基盤技 術	(1)設計技術	2601	機能・性能・品質の標準化	(1)設計コンセプト、CAD/CAM/GAE技術 (2)ヘルスマonitoring、Monitoring技 術、非破壊検査	リサイクル材の性能不十分 リサイクル材の性能不安定	炭素繊維 熱硬化性CFRP 熱可塑性CFRP	自動車リサイクル法、リサイ クルEU指令等への対応	
	(2)評価・分析技術	2602						
	(3)接合技術	2603		(3)複合材の接合技術				
	(4)標準化技術	2604		(4)評価技術の規格標準化				
	(5)リサイクル	2605		リサイクル技術 リサイクルシステム				⑤リサイクル技術 ①インプラント端材の有効利用技術 ②リサイクル炭素繊維の分級と規格標 準化 ③不連続繊維からのCFRP自動成形技 術
	(6)炭素繊維製造 省エネ化・生産性向 上技術	2606		炭素繊維の生産性向上技術 炭素繊維の低環境負荷製造 技術 炭素繊維の低コスト製造技術				(6)炭素繊維製造省エネ化・生産性向上 技術 ①従来比10倍程度の生産性 ②従来比1/2以下の環境負荷 ③従来比1/2以下の価格

重要技術 重要技術(追加)

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果	
建設	建築・土木構 造材、資材	3101	軽量化、高強度、耐 久性	高強度繊維の低コスト化 高強度繊維・マトリックス接着技術 超強度棒状繊維束または立体成型繊維 織技術	軽量化、高強度(橋梁:軽 量化、超スパン化)(高層 ビル化)、耐久性、耐震性 施工性の向上	構造部材用炭素繊維、 アラミド繊維、ポリアレー ト繊維、高強度PVA繊維 、ピニロン繊維	軽量化と設計の自由度 向上 易作業性、耐久性、ひび 割れ防止	
		3102	耐震性	高強度シートによる補強、強度向上	在来工法と異なる特殊工 法	炭素繊維織物、斜め織	鉄筋使いのかぶり厚減	
		3103	高靱性	高靱性コンクリートの開発	繊維配合マトリックスの最 適化 コンクリート他との付着性 高強度繊維の低コスト化	構造部材用炭素繊維、 アラミド繊維、ポリアレー ト繊維、高強度PVA繊維	高耐久コンクリート ひび割れ防止	
	内装材(建設/ 自動車含む)	土壌補強材	3104	土壌が草木等で強 化するまでの補強、 防崩壊性、土砂の 流出防止	安全・安心材料、低環境負荷、噴泥防止	時限分解性 強度の向上	資材用繊維の開発、PL A繊維の活用	土壌補強材の時限分解 による環境負荷減少
			3105	難燃性、自己消火 性、溶融耐性の向 上	難燃性、自己消火性、溶融耐性の向上 脱ハロゲン化 火災時の有毒ガス発生低減またはゼロ	環境配慮(非臭素系防炎 剤使用等)	炭素(難燃)繊維、新機 能繊維の後加工による 機能の高度化	難燃性、自己消火性の 向上
			3106	VOC吸収・分解、有 害化学物質からの 防護	後加工による高度機能付与	VOC吸収・分解 CO2吸収・分解	後加工による高機能繊 維	安心・安全 有害物質からの防護 シックハウス対策 難燃性の向上 室内の快適性向上
		内装材(建設/ 自動車含む)	3107	発熱・放熱	衣料用高機能繊維の応用	プラスα機能	現行ポリエステル機能素 材+α機能	省エネルギー
			3108	調光作用	異型断面、複合繊維	調光作用	調光繊維	室内の快適空間
			3109	アスベスト(防音代 替、断熱、安全・安 心)	アスベストの機能を代替するシート等の 開発 グラスファイバーやロックウールの高性 能化 非先鋭性繊維片の開発	繊維片の両端の非鋭利 化加工技術	アスベスト代替材	アスベスト代替 耐久性・信頼性 既存建築の改修に対 する市場拡大 耐火材・断熱材の無害化
			3110	透明性	ガラス代替ファイバーの開発 透明光ファイバーの開発 (エネルギー伝送用)	光透過率、強度、表面平 坦性 屈折率制御、フレキシビ ティー、低コスト生産方式	ガラス繊維複合プラス チック	防錆処理不要 適用性の拡大
			3111	消臭性(VOC対 策)、防汚性、高吸 着性、高吸音性	吸音特性に優れた内装トリム繊維材料の 開発 VOC対応の繊維素材	コスト デザイン性の維持	自動車内装材	
			3112	衝突安全性	柔軟で衝突しても人体に対してダメージ の少ない外装材の開発	高強度、高剛性の保持	自動車外装材	安全性の向上
			3113	電磁波遮蔽	電磁波遮蔽繊維	軽量で遮蔽効果がある織 物製造	電磁/電波遮蔽軽量衣 服 電磁/電波遮蔽断材	人体への有害波長の回 避 航空機内の電波機器使 用による事故の回避
			3201	超低透水性、ガスバ リア性、柔軟性他 超薄基盤電子部品 均一性向上	ナノ繊維製造用複合糸の延伸によるナノ 繊維高強度化と2次元ランダム配向 マトリックス含浸技術	ナノ繊維開織技術による 極細化 ナノ繊維強化用マトリッ クスの開発	透明多機能膜 透明繊維複合シート フラットフレキシブルケ ーブル	電子部品等の高機能 化、高性能化
			3202	リアプロジェクター 式ディスプレイスク リーン結像機能	精密・高速の製織・準備技術 透明光ファイバーの開発	光ファイバー精密製織	細繊維プラスチック光 ファイバー	低コスト大型リアプロ ジェクターの実現
3203	導電性の布帛、織 維構造材	CNTの複合化技術 無機ナノ複合機能化技術	導電性・伝導性向上	CNTの高性能化 無機ナノ複合化繊維	エネルギー削減			
情報家電	FED電子膜	3204	高導電性、易電子 放出性、均一性	CNT配向成長、大面積化、均一性向上 技術	長寿命化、単層CNTに 関しては均一性	スーパーグロスCNT 2層CNT	PDP置き換え	
	高周波素子関 連部材	3205	ミリ波帯域電磁波吸 収、電子機器の誤 作動防止	対高周波機能(反射、吸収等)シート状部 材	ミリ波帯域電磁波吸収、 電子機器の誤動作防止	対高周波機能(反射、吸 収等)シート状部材		
	光ファイバー	3206	解像度改良 伝達性能	極細化、軽量化、耐熱性の向上、増幅性 の付与	使用環境の高温化による 耐熱性の要求	高品質光ファイバー ナノファイバー(海鳥型 複合紡糸) 光ファイバー配線	小規模、光通信網の整 備、用途の拡大	
生活(医 療、安 心・安 全、快 適部材)	組織再生用部 材(生体 適合ナノ布 帛、体内手術 用縫合糸、人 工血管、人工 透析)	3301	細胞増殖性、組織 形成性、細胞培養 特性、生体適合性、 耐滅菌性	時限分解用新規高分子の重合 複合紡糸によるナノ繊維製造 複合糸の編織と開織技術 生体適合性・自由局面創生技術	ナノ繊維の編織技術 新規高分子設計 高強度化 高度複合化 伸縮性不足、強度不足	ナノ繊維による生体適合 ニット材料等 繊維製ステント	新規市場開拓 人工透析器の小型化に よる需要拡大 再生医療の普及	
		3302	高伸縮性、高弾力 性、生分解性を併せ 持つ繊維	繊維の複合化	生体異物反応	PLAなど生分解性ポリ エステルに高伸縮性、高弾 力性を付与した繊維	高伸縮性、高弾力性、 生分解性を併せ持つ繊 維	
		3303	生体適合ニット素 材の開発	伸縮性不足、強度不足	ナノ繊維による生体適合 ニット材料	高伸縮性、高弾力性、生 分解性を併せ持つ繊維		
		3304	分離性能の高度化	極細化、吸着制御、高性能化	血球分離性能	ナノファイバー	小型化	
		3305	PLA繊維等安全性	重合(触媒)法の改良	金属スズの残存	PLA繊維等	安全性の向上 インプラント用途拡大	
		3306	皮膚の病気を直す ための医薬機能	加工法、加工薬剤の開発	皮膚の病気を直すため の医薬機能	医薬機能を付与できる織 維素材	新たな医療行為	
	インプラント	3307	生体吸収性ポリマー の時限分解化など	複合紡糸による段階的分解性付与、分 子量、分子量分布制御等	分解速度の制御	ポリ乳酸繊維等		

大項目	小項目	No.	ファイバーに求められる性能及び機能	研究開発の方向性	課題	繊維製品名 繊維素材名	期待される効果
生活(医療、安心・安全、快適部材)	防護材	3308	有害物質(化学物質・ウイルス・細菌等)からの防護	薬物吸着繊維、高性能フィルター	対化学物質、ウイルス、細菌性能評価 ウイルス選択除去と高ガス透過性の両立	ナノファイバー芯鞘構造系 新型ウイルス感染防止マスク	安全医療 有害物質フリー
		3309	刃物、弾丸、外部衝撃等からの衝撃緩和	高強力繊維 衝撃吸収繊維	高い衝撃吸収性繊維 コストパフォーマンス	高強力布帛 衝撃吸収布帛	防弾、防刃、防護
		3310	難燃性、自己消火性、熔融耐性の向上	難燃性、自己消火性、熔融耐性の向上 脱ハロゲン化 火災時の有毒ガス発生低減またはゼロ	クラス3(260℃以下)の高温環境における耐熱性と快適性の向上	消防服他、防災用衣服	消化活動時の安全性強化
	快適素材	3311	衣服内湿度調整 その他の体温調節 体調管理	凝固、融解熱の利用、水分を吸収し放出する素材の開発 熱線反射クール繊維の開発 柔軟性・耐久性に富む透湿防水繊維の開発 エアコン機能を付与できる繊維素材の開発 体温、血圧等が衣服に記憶され体調管理する衣服の開発	冷却、吸放湿による発汗コントロール (現状、熱容量が少ない) エアコン機能 衣服の材料や着用感が疲労マーカーに及ぼす影響の研究	蓄熱放熱繊維・吸湿発熱繊維 透湿防水繊維 生体適応服 健康補助衣服	温暖化対策 省エネルギー クールビズ、ウォームビズの普及
		3312	着心地、風合い・安心感	生体適合性、好感触素材の開発 色合い変化繊維の開発	生体適合性、好感触素材	ポリエチレンピニルアルコール繊維、水溶性繊維(工程助剤) 後加工 ナノファイバー 人の体形に合わせて形状変化する繊維	ファッションと機能性の複合メリット
		3313	その他(消臭、防汚性、吸水性、撥水性など)	光触媒の繊維付着 新規高吸収・保水性繊維 汚れがつかない繊維の開発	光触媒の付着方法 繊維シートの超吸収性 ポリマー粒子並の吸収性の実現	光触媒による機能付与繊維 高吸収性オムツ	
	自律応答繊維系材料	3314	情報伝達	ウェアラブルコンピュータ センサー機能付与 情報伝達機能の開発 能動繊維化 超軽量で高強度 皮膚にやさしい表面加工	繊維と通電、情報をのせる	ウェアラブルコンピュータ	服から情報を取り出す
		3315	痛みの感知、活動補助、 人体親和性、高強度、軽量、フィット性	介護用ボディースーツ(補助スーツ) 体の痛みを感知し、適切な補助をする スーツの開発 ケガや加齢等による生活行動の障害に対し、動作を支援するアクチュエーターの装着部材の開発	多額な研究開発費・専門性・倫理 人体への影響 肌への親和性、フィット性、導電性	炭素繊維 スマート介護服 パワースーツ 災害救済時の筋力補助スーツ	筋力アシスト
	インテリア・家具	3316	快適性の創造	室内温度調整インテリアファブリックの開発 軽量吸音材の開発 超天然繊維の開発	温度調整繊維の開発 コスト低減技術	スマートファブリック	空間快適性の向上

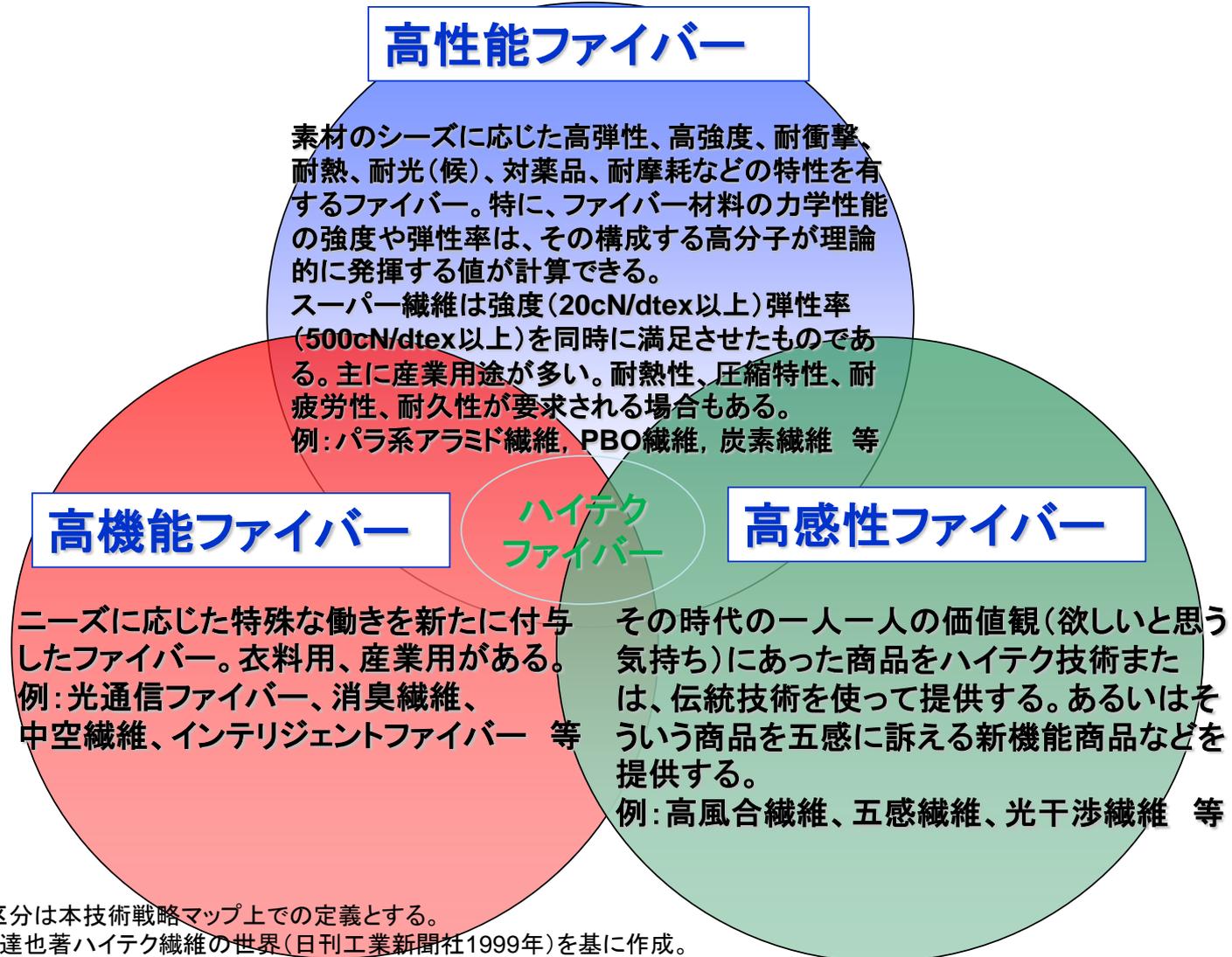
重要技術

大項目	中項目	小項目	No.	研究開発の方向性及び課題	ファイバーに求められる性能及び機能と期待される効	繊維製品名 繊維素材名
安全で豊かな生活を具現化する繊維技術	高強度・高靱性・高耐久性(軽くて強くフレキシブル)	複合化繊維	4101	前駆体繊維とナノ材料の複合 ナノ金属繊維との複合化技術の開発 ポリマー設計・合成(耐久性向上など) ナノ材料混合技術 製糸・焼成技術 中空糸化	高強度、導電性、軽量、耐久性、耐震性 繊維構造制御	ナノ材料複合繊維 軽量コンポジット ナノ金属繊維 高耐久性ポリマー
			4102	連続系化技術 湿式紡糸技術	高い耐衝撃性、圧縮強度(> 100GPa)	カーボンナノチューブ繊維
		汎用繊維の高性能化	4103	超高靱性と強度のバランス(Spider Silk-状繊維) 高強度繊維の低ヤング率化、繊維非晶領域の分子構造制御技術	強靱、高伸張性(よく伸びて強靱な繊維)	柔軟・高強力汎用合成繊維
	高機能化(優れた働き)	ナノ繊維材料	4104	ナノレベルのポリマーアロイ技術を用いた高性能化 ナノアロイ技術の活用、基盤技術の確立 高性能ナノ構造繊維の開発	新規機能発現	新規高性能ハイブリッド繊維
			4105	光電変換機能の開発	電荷分離機能繊維設計技術、高光変換効率化、耐久性向上、長寿命化、低価格化	ソーラセル部材 エネルギーテキスタイル
		新機能複合材料	4106	新規熱可塑性樹脂系複合材料の開発 新規樹脂設計技術の開発 FRP用高融点オレフィン繊維の開発	高強度、リサイクル性、易成形性、軽量化による省エネ、先進移動体への活用	ポリマー-繊維複合部材 オールオレフィン系FRP
		インテリジェントファイバー	4107	解像度改良、伝達性能の向上 使用環境の高温化による耐熱性の要求 家庭内高速光ファイバーネットワークの構築	解像度改良、伝達性能の向上 小規模、光通信網の整備、用途の拡大 極細化、軽量化、耐熱性の向上、増幅性の付与	高品質光ファイバー ナノファイバー(海島型複合紡糸)
			4108	高機能・ソルゲル無機繊維創生技術の開発 靱性のある有機無機ハイブリッド繊維形成	これまでにない多彩な発光色と廉価な発光材料の提供 ナノハイブリッド、高効率な(光)触媒機能、吸着機能など 多色人工発光系の開発 感度向上と水溶性向上	センサー、金属酸化物ナノファイバー、自己集合型ナノファイバー、発光基質、発光酵素
			4109	耐洗濯性などの衣服特質を持つ導電性ファイバー 耐洗濯性、耐折曲特性の向上	新衣料による需要創出	アクチュエータ、 超高機能インテリジェント服
			4110	エレクトロテキスタイル 情報機能を持つファイバーとテキスタイル	デバイス化 エネルギー変換機能 ファブリック化の設計技術	超高機能インテリジェント服
	高感性化(美しく心地よい)	未来型染色加工技術	4111	インク開発、染料固着技術の開発 電子化技術(含ソフトウェア)	未来型染色加工技術、環境対応	オンデマンドデザイン・加工
		個人対応アパレル設計	4112	オンデマンドデザインと感性評価 テキスタイルデータのデータベース化	国産テキスタイルのブランド化	日本ブランド創出 機能性テキスタイル
		快適防塵衣料	4113	ナノ繊維の織・編み技術 ナノ繊維の積層技術 繊維・布帛の機能化技術	制電・導電 防塵 快適防塵衣料	防護服、消防服 クラス10、クラス1以下、対応の快適防塵衣料
		布帛の感性情報処理	4114	感性情報処理(脳科学分野)の高度化	高感性	感性情報処理システム
		空間演出用高感度布帛	4115	電気自動車、情報家電の進歩による居住空間、公共施設空間、移動体空間の設計	空間の演出	コクーン型構造物 未来型空間
自然と環境に優しい繊維技術	天然由来型繊維技術(脱石油)	バイオマスベースの合成繊維	4201	バイオマスからの繊維用基幹物質(モノマー)・ポリマーの製造技術及び繊維化技術の開発 バイオマスリファイナリーによるプラットフォームケミカルの開発と利用 価格に見合う高付加価値用途の開発	バイオベースのポリマー用基幹物質(モノマー) 非石油系素材への転換 新繊維素材の開発 コストダウン可能な新繊維生産システム 高付加価値用途の拡大	バイオベースのポリマー用基幹物質(モノマー) 新規バイオベースファイバー
			4202	天然由来炭素繊維前駆体の開発 ポリマー設計・合成 製糸・焼成技術	天然由来炭素繊維前駆体 非石化素材への転換 カーボンニュートラル	天然由来炭素繊維
		4203	非石油系スーパー繊維部材の開発	強度、耐熱性、成型加工性 石油由来スーパー繊維の代替	超高強度再生繊維	
	バイオベース先進繊維複合材料	4204	バイオマスポリマーと高強度繊維技術の複合化 バイオマス繊維の複合化技術	脱石油資源化、高強度、CO2排出削減、原料の供給安定性の確保	高強度、バイオマスポリマー	
	自然活用型繊維技術(自然に学ぶ)	スーパーバイオミメテックス	4205	バイオ繊維素材を基礎とする超高機能部材の開発 バイオ改変繊維の開発 遺伝子組み換え技術、組織培養技術、育種技術による天然繊維の改質技術の開発	生体親和性超機能繊維、再生医療の需要拡大、新市場開拓、環境負荷低減 高吸水性、高保湿性、生体適合性、安全性、力学強度、防カビ、防臭 高性能化技術 高機能化、高付加価値化	バイオナイロン、クラッド繊維 新規タンパク繊維 新規バイオ変性植物繊維
			4206	超高機能セルロースの開発 強度不足、生体適合性、安全性、成型加工性	セルロース複合繊維	
		4207	生体機能を模倣したナノ構造制御による高機能化 ナノアロイ技術の活用、基盤技術の確立	ナノレベルの構造に起因する高機能繊維、省エネ、新規機能発現	ポリエステル、ナイロン バイオミメテックスファイバー	

大項目	中項目	小項目	No.	研究開発の方向性及び課題	ファイバーに求められる性能及び機能と期待される効	繊維製品名 繊維素材名	
自然と環境に優しい 繊維技術	資源・エネルギー有効利用(リサイクル)	省エネルギー繊維化 技術	4208	新規重合触媒の開発、低温活性触媒の開発 重合時間の短縮、蒸留効率の向上、放熱量低減 イオン液体を用いた湿式紡糸や乾式紡糸による 低温紡糸 溶媒レスシステムの開発	重合時間の短縮、重合エネルギー低減、製 造工程のエネルギー低減	製エネルギー、低コストポリ エステル	
			4209	炭化収率が高い炭素繊維前駆体の開発 ポリマー設計・合成	高炭化収率 高強度・高弾性率、省エネ 製造エネルギー低減	炭素繊維、軽量コンポジット	
		リサイクルしやすい 繊維製品設計	4210	リサイクルしやすい繊維製品設計 リサイクル可能な副素材の開発 繊維強化プラスチックのリサイクル技術の確立	省資源	易リサイクル繊維部材	
		複合材料のリサイク ル	4211	炭素繊維と樹脂の分離技術 複合材料リサイクルの社会的システム確立	易リサイクル性、環境性能、コストパフォー マンス	熱可塑性炭素繊維強化プラ スチック	
	新エネルギー技術	新エネルギー創生	4212	繊維径及び目付制御技術 高表面化技術、一体化技術 ナノファイバーの効率的な生産技術 エンブラ紡糸技術又はエンブラポリマー改質技術 複合材料ブレードの軽量化、高強度化、低コスト 化	新規エネルギー創出部材の開発	ナノファイバーセパレータ ナノファイバー電極材 風力発電用複合材料ブレ ード	
			新エネルギー貯蔵	4213	ナノファイバーを用いた超小型2次電池、キャパ タ、燃料電池、ラジカル電池等電極などの開発	よりコンパクトな電池の実現	
			新エネルギー伝送	4214	家庭内高速光ファイバーネットワークの構築 ナノファイバーの効率的な生産技術 エンブラ紡糸技術又はエンブラポリマー改質技 術	解像度改良、伝達性能の向上 小規模、光通信網の整備、用途の拡大 極細化、軽量化、耐熱性の向上、増幅性の 付与	高品質光ファイバー ナノファイバー(海島型複合 紡糸)
	革新的製造技術(織 維、繊維製品)	構造精密制御技術	4301	超構造精密制御による高性能繊維材料の開発	高性能、高機能、超強力	超構造高強度繊維	
			4302	ナノフィブリル化技術の開発		セルロースシングルナノファ イバー、高性能フィルター、 電子ペーパー	
		エレクトロスピニング 技術	4303	生産性の向上、高強度化技術の開発、低コスト 化、溶媒フリー化 極細化、高配向化	新高性能・高機能	マイクロ・ナノサイズ繊維、 フィルター	
4304			立体成型技術、捕集・収束技術、高配向化		ESPナノヤーン、機能原糸		
二次加工技術(織り、 成形技術)		4305	繊維素材と加工技術のマッチング 最適化条件の探索、軽量化と物性の両立	二次製品高性能・高機能化、軽量化、軽量 化による省エネ	複合材料		
		4306	多軸織物、ブレード(組み物) 高形成速度 工程連続化(樹脂含浸・成形)	先端材料のプリフォーム技術、超高強力・ 複雑形状コンポジット	炭素繊維・アラミド繊維複合 材料		
革新型加工技術		4307	超臨界CO2、低温プラズマ加工、電子線照射など 革新加工技術の繊維加工への応用	未来型繊維加工、幅広い分野への応用 コストパフォーマンス向上	各種繊維・テキスタイル		
		4308	ドライプロセス染色仕上げ加工技術 無水型染色仕上げ技術 低エネルギー染色技術の開発 新発色システム	未来型繊維加工、省エネ、低コスト、低環 境負荷	各種繊維・テキスタイル		
		4309	低環境負荷薬剤の開発 易分解性薬剤、低リスク薬剤の開発	未来型繊維加工、環境対応(低環境負荷 等)	各種繊維・繊維製品		
		4310	無縫製システム (モールド衣服、テープ縫製、融着縫製等) モールド用繊維、接合強度 人体計測から生地特性を加味した縫製工程への 転換技術	未来型縫製、縫製の合理化	衣服		
4311		染色工程における高選択性局所加工技術(加工 部位の高精度制御技術、加工設備のコスト低減)	繊維集合体の表面または厚み方向のナノ レベルの、薬剤付与・改質等による機能性 の創出	各種繊維・テキスタイル			
革新炭素繊維		4312	溶融紡糸炭素繊維前駆体の開発 ポリマー設計・合成 製糸・焼成後術	革新炭素繊維前駆体(溶融性)、製造エネ ルギー低減 低コスト化・市場浸透による省エネルギー 溶剤レス	炭素繊維		
		4313	炭素繊維細繊維化(ポイド形成構造、ポイド形成 方法) 低比重化炭素繊維 製糸・焼成技術 加工技術 高意匠化 接合技術	超高比表面積、表面高機能化、超軽量化 (吸着、反応、電極)	炭素繊維		
革新湿式紡糸技術		4314	高性能・高機能繊維の開発 天然繊維素材の高配向化による高性能化、均一 湿式相分離による均質多孔化 ファイバーのミクロ構造制御	耐溶性性、化学安定性、低コスト、高性能 化 環境適合性、安全性	結晶化度制御繊維		
ナノ構造制御複合紡 糸		4315	ナノ化、配向制御・構造発色ナノファイバーの開発	超高機能性、高強度化	機能性ナノテキスタイル ファッションテキスタイル		
革新評価技術	4316	疲労、耐食性などの信頼性データの構築 ヘルスマニタリング・非破壊検査方法の確立	評価技術の発達による安全性の強化	自己修復性複合材料 革新的評価技術の確立			

重要技術

本技術戦略マップ上でのハイテクファイバーの定義



※上記の区分は本技術戦略マップ上での定義とする。
 出典: 本宮達也著ハイテク繊維の世界(日刊工業新聞社1999年)を基に作成。

ファイバー分野における繊維技術の多角的な展開

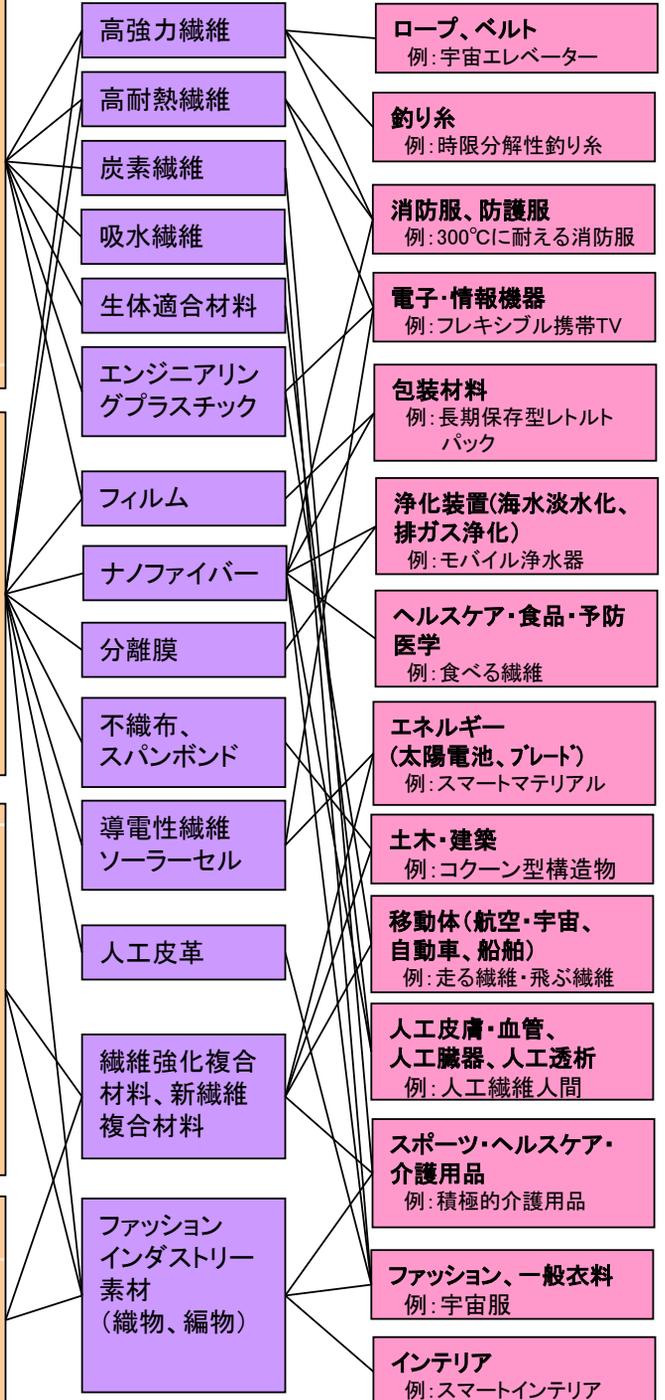
製品化の流れ <技術分野>

<中間部材>

<10年後の最終製品>

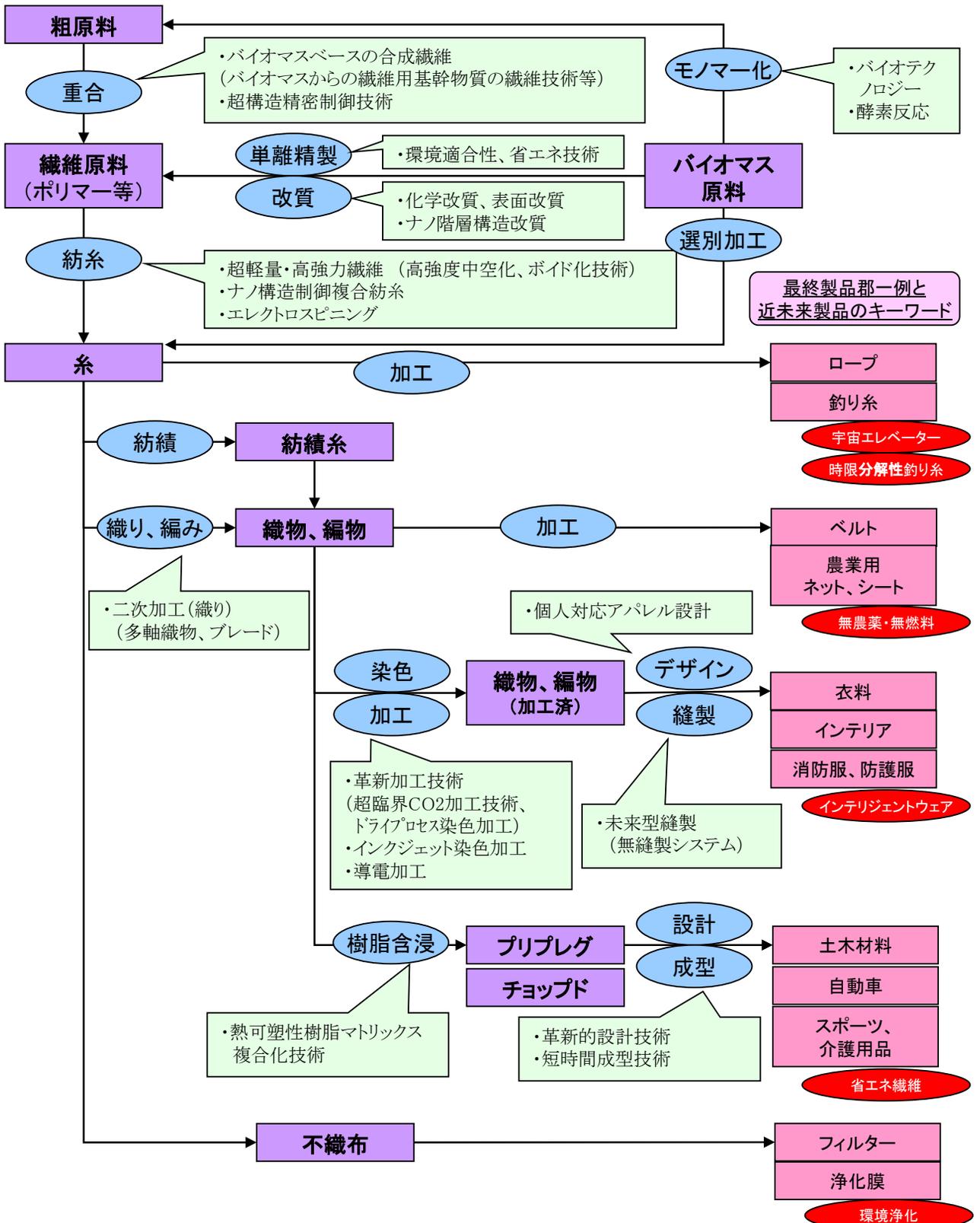


<製品・部材・素材設計の流れ>

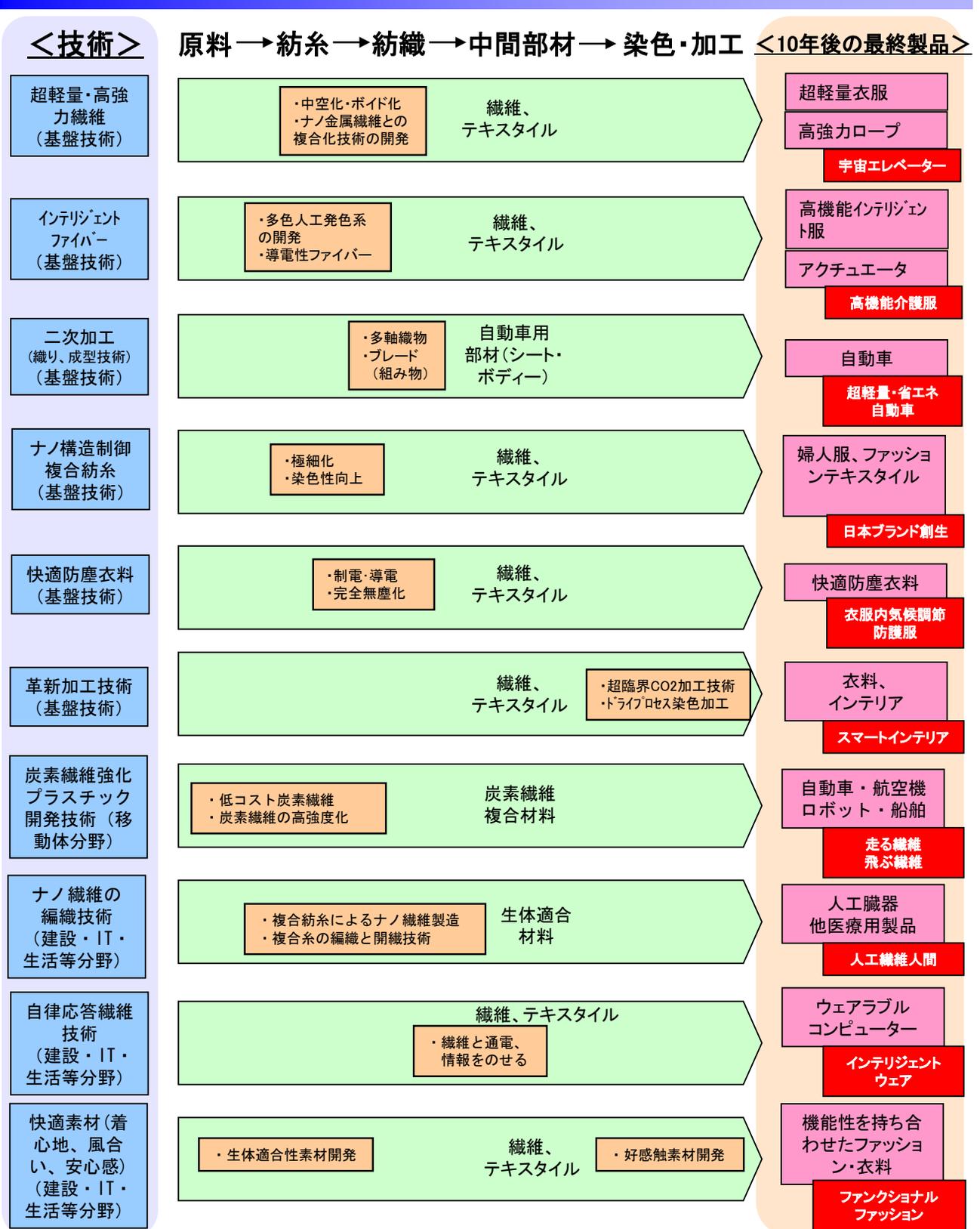


※技術分野で記載した内容は、技術戦略マップの中から重要な技術や特徴的な技術を例示したものです

繊維の特殊性を有するファイバー分野の技術体系図

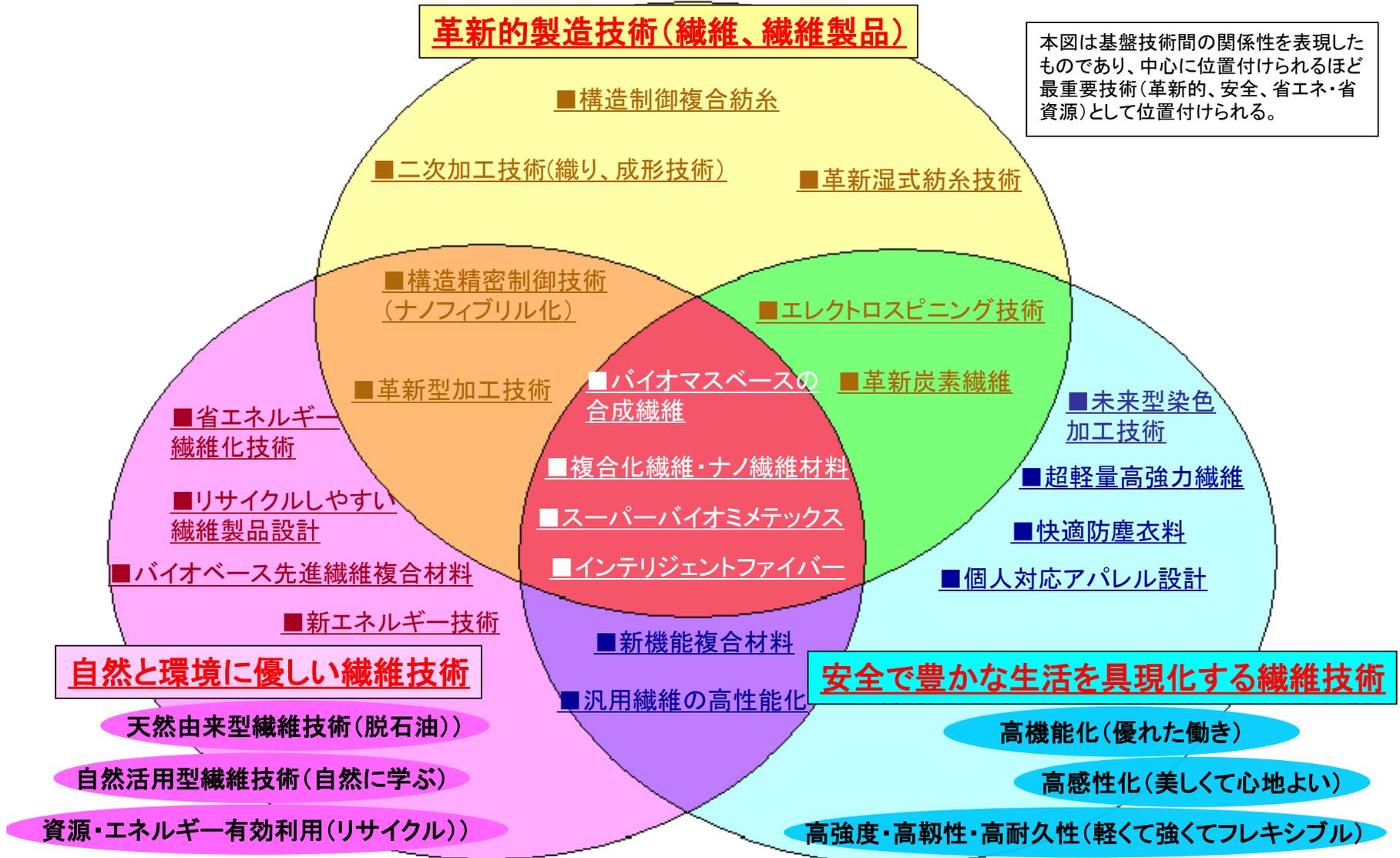


繊維から最終製品までの流れ



基盤技術の融合イノベーション

【参考資料5】



本図は基盤技術間の関係性を表現したものであり、中心に位置付けられるほど最重要技術(革新的、安全、省エネ・省資源)として位置付けられる。

事前評価書

作成日		平成 20 年 1 月 29 日
1. 事業名称 (コード番号)	サステナブルハイパーコンポジット技術の開発 (省エネルギー技術開発プログラム・革新的部材産業創出プログラム)	
2. 推進部署名	ナノテクノロジー・材料技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 概要： 本研究開発は、成形性、加工性、リサイクル性が高く、自動車、産業機械等のより広い分野での利用が可能となる熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料の開発し、自動車の軽量化など移動体における消費エネルギーの大幅削減をはかるとともに、循環型社会の構築を目指すものである。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費 約 20 億円 (3) 事業期間：平成 20 年度～24 年度 (5 年間)</p>	
4. 評価の検討状況		
<p>(1) 事業の位置付け・必要性</p> <p>事業の必要性</p> <p>炭素繊維は世界シェアの約 70%を日本企業で独占してきている素材である。先進材料である炭素繊維とプラスチックを一体化した炭素繊維強化熱硬化性プラスチック (CFRP) はその超軽量性から燃費改善の希望が強い航空機業界で使用率が最も多い材料になった。炭素繊維材料は、アルミ材料に比べて、約 20%の重量軽減が達成できるとされているため、航空機の標準材料として地位を築きつつある。</p> <p>技術の現状を見てみると、材料強度ならびに軽量性に関しては、航空機へ採用されるほど、大きなポテンシャルを持っている。ただし、生産のサイクルタイム等に関しては、航空機の仕様となっており、また、金属のような均質材料でないことが設計の難易度を高くしている。軽量化効果の大きい本材料を金属材料の代替として、乗用車等に適用することができれば、今まで以上に燃費に優れた車の開発につながり、自動車産業を初めとする各種製造業での確固たる地位が築けるばかりでなく、環境立国日本としての地位もゆるぎないものとなる。金属材料特にスチールの代替えとなるためにも、従来の CFRP (CF/エポキシ) に匹敵する界面接着強度、低い線膨張係数を保持しながら、従来の CFRP の欠点であった高速成形性、易二次加工性、リペア・リサイクル性を備えた革新的な炭素繊維強化熱可塑性プラスチック (CFRTP) を開発すると共に、自動車部材開発に必要な材料特性を明確にすることが必要である。</p> <p>位置付け</p> <p>本事業は技術戦略マップ上で下記のように位置付けられる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 部材分野の技術マップ「環境・エネルギー分野」の「産業機器用部材による省エネルギー・CO₂削減用部材 (軽量化・高強度化用部材)」 2) 「省エネルギー技術戦略 2007」における「先進交通社会確立技術」のうち「先進自動車の開発」、「安全性を確保した車体の軽量化」 		

(2) 研究開発目標の妥当性

【共通基盤技術】[委託事業]

研究開発項目① 易加工性 CF RTP 中間基材の開発

従来の炭素繊維の表面の改質は、エポキシ樹脂を中心とした熱硬化性樹脂を対象に行われているが、熱可塑性樹脂との含浸性・接着性を最大限発揮するような最適化はなされていない。また、熱可塑性樹脂は、炭素繊維との化学的結合を形成する官能基が少なく、界面接着力が弱いことが、複合材料としての物性発現が低いことの主要な原因と考えられており、これらの特性を向上させる炭素繊維の表面処理技術の開発が望まれている。一方、熱可塑性樹脂は熔融時の粘度が高く、硬化反応前の熱硬化性樹脂に比べ、強化繊維への含浸性に劣るため、複合化時の生産性、また、製造された複合材料に残るポイド等、実用面での課題を持っており、複合化時の含浸性・接着性と複合材料の力学特性を両立できる熱可塑性樹脂の開発が望まれている。

上記の理由により、従来の炭素繊維強化熱可塑性複合材料 (CF RTP) は、複合材料中の繊維含有率を高めることが困難であり、生産性も低くならざるを得なかった。そのため、価格・物性・供給性の面で、同材料の自動車用途への普及を困難にしている。

以上のことから、加工性を含む広い意味での生産性に優れ、繊維含有率が高い高品質の CF RTP の実現のためには、その成形やその後の加工・接合・リサイクルを可能とする中間基材の製造技術を開発することが不可欠である。

本研究では、熱可塑性樹脂との接着性と繊維の分散性や含浸工程通過性を両立する炭素繊維の表面処理技術、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂、および生産性に優れ、部材への加工性に優れた CF RTP 中間基材として以下を開発する。

1) 等方性 CF RTP 中間基材

面内等方性を持つ CF RTP 中間基材を実現することにより金属並みの易加工性等を達成すべく、熱可塑性樹脂との接着性の高い炭素繊維の表面処理技術と同時に、接着性向上のために極性の高くなった炭素繊維をランダムに分散させるための繊維の分散と配向のコントロール技術を、自動車業界で汎用的であるポリプロピレン (PP) 系等の汎用熱可塑性樹脂をベースとした樹脂と併せて開発する。

2) 一方向性 CF RTP 中間基材

炭素繊維の高い強度・弾性率を最大限に活かすための一方向性 CF RTP 中間基材においては、熱可塑性樹脂用に最適化した炭素繊維の表面処理技術の開発と同時に、炭素繊維への含浸性と物性を両立する熱可塑性樹脂の開発を、ユーザーニーズに幅広く応えるべく、ポリプロピレン (PP) 系やポリアミド (PA) 系等の汎用熱可塑性樹脂をベースとして行う。繊維直角方向の曲げ試験で炭素繊維とマトリックス樹脂の界面接着を評価し、中間基材の物性は繊維方向の曲げ試験で評価する。なお、一方向性 CF RTP 中間基材としては、自動車一次構造材を対象とし、生産性に優れ、繊維含有率の高いプリプレグシート (一方向連続繊維基材) および、それから得られるチョップドテープ (一方向不連続繊維基材)、クロス (二次元織物基材)、ブレード (三次元織物基材) 等の製造技術を開発する。

達成目標

1) 等方性 CF RTP 中間基材

中間目標

等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において任意の面内方向で矩形形状の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 250MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma} / \rho)$ ）で鋼材の約 5 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 10%以内となる材料を開発する。

最終目標

等方性 CFRTP 中間基材（不連続繊維）から得られる平板において任意の面内方向で矩形形状の試験片を切り出した時、試験片の曲げ強度がどの方向でも 400MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma} / \rho)$ ）で鋼材の約 6 倍）以上となり、曲げ強度の方向による変動係数が 5%以内となる材料を開発する。

2) 一方向性 CFRTP 中間基材

中間目標

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 100MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1400MPa（比強度 $(\sqrt{\sigma} / \rho)$ ）で鋼材の約 9 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.0%以上の材料を開発する。

最終目標

CFRTP プリプレグシートから得られる一方向強化材において、繊維直角方向の曲げ強度 110MPa 以上、繊維方向の曲げ強度 1600Mpa（比強度 $(\sqrt{\sigma} / \rho)$ ）で鋼材の約 10 倍）以上、繊維方向曲げ破断ひずみ 1.3%以上の材料を開発する。

研究開発項目② 易加工性 CFRTP の成形技術の開発

自動車の軽量化を図る上で、炭素繊維強化複合材料の有用性はよく知られているところである。しかしながら、汎用の自動車にまで普及させるには自動車の生産性に適合する部品製造技術の開発が必要である。そのため、大量生産性が可能な熱可塑性複合材料を用いた、自動車構造材の成形技術開発が期待されている。

その一つの方向性として、等方性で不連続繊維強化の基材を使用することで、金型占有時間が極めて短く、成形後の材料バラツキが極めて小さくできるプレス成形技術が開発できれば、複雑形状が多用される二次構造部材に適用できると考えられる。また一方で、自動車の一次構造部材には、強度・剛性に優れた箱型断面構造を有する中空の閉断面構造体を用いることが有用であることから、連続繊維の基材を使用して閉断面構造体の高速成形技術ができれば、比強度・比弾性率が高い炭素繊維を最も有効に活用でき、自動車に適用できる技術となり得る。

本研究では研究開発項目①で開発される CFRTP 中間基材を用いた自動車構造材の高速成形加工技術を開発する。具体的には、等方性 CFRTP 中間基材および一方向性 CFRTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用いた高速スタンピング成形技術、ならびに一方向性 CFRTP 中間基材（ブレード）を用いた高速内圧成形等に関する基盤技術を開発する。

達成目標

1) CFRTP 中間基材の高速スタンピング成形技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される等方性 CF RTP 中間基材および一方向性 CF RTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、用途に適した高速スタンピング成形に必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される等方性 CF RTP 中間基材および一方向性 CF RTP 中間基材（チョップドテープ・クロス等）を用い、それぞれを単体で用いる場合と複合して用いる場合について、高速スタンピング成形により、それぞれの CF RTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。

2) CF RTP 中間基材の高速内圧成形技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される一方向性 CF RTP 中間基材のうちのブレード（三次元織物）を用い、用途に適した高速内圧成形に必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される一方向性 CF RTP 中間基材のうちのブレード（三次元織物）を用い、高速内圧成形により、当該 CF RTP 中間基材の力学特性を保持した部材を成形する技術を確立する。

研究開発項目③ 易加工性 CF RTP の接合技術の開発

研究開発項目①で開発する CF RTP 中間基材の汎用構造材料化を達成するためには、研究開発項目②で開発する高速な部材成形技術だけでは不十分であり、スチールにおける溶接技術と並ぶスピードならびに接合強度を有する接合技術の開発が不可欠である。このような観点から従来の CFRP（CF/エポキシ）での接合技術を見ると、構造用接着剤を用いた接着接合、もしくは、ボルトナットを使った機械接合が主流であり、サイクルタイムが長く生産性に課題があった。一方、研究開発項目①②を通して開発される CF RTP 部材群は、熱可塑性プラスチックの長所である溶着技術等を使った高速な接合技術を適用できる可能性があるが、溶着面での接合強度を十分に確保する技術をあわせて開発しなければならない。

本研究では熱可塑性プラスチックには、熱板溶着・超音波溶着・振動溶着・誘電溶着などの高速接合方法がある。そこで、研究開発項目①②を通して開発される各種 CF RTP 部材に対して、各種溶着等による高速接合方法の適合性を検討し、十分な接合強度を有する接合方法を開発する。

達成目標

中間目標

研究開発項目①②を通して開発される各種 CF RTP 部材に対し、参照強度の 75%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する。（ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向 CF RTP 中間基材の繊維垂直方向の引っ張り強度を指す。）

最終目標

研究開発項目①②を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、参照強度の 90%以上の接合強度を発現する接合方法を開発する。(ここで、参照強度とは、研究開発項目①で開発される一方向 CFRTP 中間基材の繊維垂直方向の引っ張り強度を指す。)

研究開発項目④ 易加工性 CFRTP のリサイクル技術の開発

炭素繊維は、高いエネルギーを消費して製造される材料であるため、できるだけ高度なレベルでのリサイクルが望まれている。しかしながら、従来の CFRP (CF/エポキシ) は、リサイクル・リペアが基本的に難しく、ライフサイクルコストが高くなるため、同材料の幅広い普及を妨げている原因の一つとなっている。一方、研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材は、マテリアルリサイクルが可能な熱可塑性樹脂と複合化されていることから、高度なリサイクル・リペアを行え、ライフサイクルでの環境負荷やコストを大きく低減できる可能性があり、同材料の普及を加速させる重要な技術となり得る。

本研究では研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、破碎・異物除去・粉砕・コンパウンドを経て得られる射出成形部材のリサイクル性(リサイクル後の性能保持率、リサイクル可能回数)を向上させる技術を開発すると共に、等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対しては、リペア技術を開発する。また、これらの開発技術に関する環境影響評価(LCA)を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

達成目標

1) CFRTP 部材のリサイクル技術の開発

中間目標

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 75%以上を保持するリサイクルプロセスに必要な要素技術を見極める。(ここで、参照強度とは、バージン原材料を使用したときの曲げ強度を指す。)

最終目標

研究開発項目①②③を通して開発される各種 CFRTP 部材に対し、3 回のリサイクルの後に参照強度の 90%以上を保持する技術を開発する。また、この開発技術に関する環境影響評価(LCA)を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

2) CFRTP 部材のリペア技術の開発

中間目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対し、損傷後にリペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の 75%以上まで回復するリペア手法の絞り込みとリペアプロセスに必要な要素技術を見極める。

最終目標

研究開発項目①で開発される等方性 CFRTP 中間基材による CFRTP 部材に対し、損傷後にリ

ペアを行うことで、損傷前の曲げ強度の90%以上まで回復するリペア技術を開発する。また、この開発技術に関する環境影響評価（LCA）を実施して、開発技術が各種製品に使用された場合のライフサイクルでの環境負荷低減への貢献度を定量化する。

【実用化技術】[助成事業（1/2助成）]

研究開発項目⑤ 易加工性自動車用モジュール構造部材の開発

自動車産業では、生産工程の簡略化のため複数の部材を統合するモジュール化が進められている。フロントモジュール、エンドモジュール、ドアモジュール等の様々な部品をモジュール化することで部材の軽量化、生産負荷の減少、低コスト化が実現している。一方で、モジュール化によって部材形状は非常に複雑になるため、その超軽量設計には非連続繊維を含有する等方向性CFRTP中間基材が必要となる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた革新的軽量化モジュールを開発する。

本研究では、研究開発項目①の研究開発のうち、特に不連続繊維を使うことで複雑形状への適応性を高くした等方向性CFRTP中間基材を用い、研究開発項目②で開発される高速成形技術により高強度かつ高精度なCFRTP部材の成形を行う。さらに、研究開発項目③で開発した高速接合技術により本モジュールを開発する。最後に、研究開発項目④で開発した技術を用いてリサイクル性とリペア性の評価を行う。

達成目標

最終目標

研究開発項目①②③④で開発した技術を用い、不連続繊維を使った等方向性CFRTP中間基材を使用した革新的軽量モジュールの成形技術を開発し、その自動車部材等への適用性を検証する。

研究開発項目⑥ 易加工性自動車一次構造材用閉断面構造部材の開発

車体の剛性・強度を担う一次構造材は、そこに要求される高い特性から、金属材料からの置き換えが最も困難な部材である。一次構造材の多くは、高い軽量化効果／剛性バランスが必要なことから、中空閉断面形状が多用されている。このような一次構造部材の設計には、連続繊維を含有する一方向CFRTP中間基材を中心とした材料構成が不可欠で、同時に中空構造を取り入れることで自動車一次構造部材に必要な特性を満足させることができる。本研究開発項目では、研究開発項目①②③④で開発される材料技術・成形技術・接合技術・リサイクル技術を備えた一方向性CFRTP中間基材を用いた中間材料によりフロント及びリアサブフレーム等の自動車一次構造用閉断面構造部材を開発する。

本研究では、研究開発項目①の研究開発のうち特に一方向性CFRTP中間基材を用い、研究開発項目②③④で開発される関連技術を用いてモデル部材を試作することにより、優れた生産性を有すると共に、軽量化効果の高い自動車一次構造材技術であることを実証する。同時に、最終実用化のための技術課題の抽出、課題解決のための方策検討を実施する。

達成目標

最終目標

研究開発項目①②③④で開発した技術を用い、閉断面形状を有する自動車一次構造のモデル部材を得て、得られたモデル部材の自動車一次構造部材への適用性を検証する。

妥当性

今回の研究開発目標は、従来の CFRP (CF/エポキシ) に匹敵する曲げ強度、従来の CFRP の欠点であった高速成形性、易二次加工性、リペア・リサイクル性を備えた革新的な CFRTP を開発すると共に、易加工性自動車用モジュール構造部材および易加工性自動車一次構造用閉断面部材の開発に必要な材料特性を明確にするという、非常に高い設定であり、金属材料特にスチールを代替えし、自動車等に適用するためにも妥当な目標設定である。

(3) 研究開発マネジメント

公募により事業委託先を決定し最適な研究開発体制を構築する。プロジェクトリーダーを選定し、それを中心として運営する。また技術推進委員会を開催し、事業の進捗状況及び進め方について検討、管理していく。事業開始後 3 年目において中間評価を行い、その評価結果を踏まえ以降の事業の進め方について見直しを行う。

(4) 研究開発成果

本事業により開発される CFRTP を軽量化効果の大きい本材料を金属材料の代替として、乗用車等に適用することができれば、今まで以上に燃費に優れた車の開発につながり、自動車産業を初めとする各種製造業での確固たる地位が築けるばかりでなく、環境立国日本としての地位もゆるぎないものとなる。

本事業の成果により、構造部材の分野に関連して、約 0.4 兆円の経済効果が見込まれる。また、自動車走行時の燃料に関して約 15%の省エネが実現でき、2030 年で 23 万 kl/年（原油換算）のエネルギー消費量および 52 万 t/年の CO₂ 削減効果が期待される。

(5) 実用化・事業化の見通し

本プロジェクトで基礎技術を検証した後、量産化技術の確立を経て、数年内に確実に製品として実用化・事業化できることが期待できる。本事業の成果を適用することによって期待される 2030 年頃の市場規模は、構造部材の分野に関連して、約 0.4 兆円の経済効果が見込まれる。

(6) その他特記事項

なし

5. 総合評価

NEDO の実施する事業として適切であると判断する。