

平成 21 年度経済産業省委託調査

平成 21 年度中小企業支援調査
炭素繊維・複合材料のリサイクル技術等に関する調査
報 告 書

平成 22 年 3 月

目次

はじめに	- 1 -
本調査の目的・概要.....	- 1 -
委員会について.....	- 2 -
I. 炭素繊維等に係る各種動向調査.....	I-1
1. 炭素繊維等に係る政策、製造状況・用途状況、研究開発動向.....	I-1
1.1. 炭素繊維・複合材料に係る政策動向	I-1
1.1.1. 欧州における炭素繊維・複合材料戦略	I-1
1.1.2. 欧州における炭素繊維・複合材料関連プロジェクトの目的・予算額.....	I-2
1.1.3. 欧州における炭素繊維・複合材料の廃棄に係る規制動向	I-5
1.1.4. 中国における炭素繊維・複合材料戦略	I-8
1.1.5. 中国における炭素繊維・複合材料の廃棄に係る規制動向	I-15
1.2. 炭素繊維・複合材料の製造状況・用途状況	I-16
1.2.1. 欧米における製造状況・用途状況の整理.....	I-16
1.2.2. 中国における炭素繊維を巡る動向	I-22
1.2.3. 中国における炭素繊維の生産能力および需要.....	I-23
1.2.4. 中国・台湾における炭素繊維製造企業	I-26
1.2.5. 日本における炭素繊維製造企業	I-28
1.3. 炭素繊維・複合材料の研究開発動向	I-30
1.3.1. 欧米における炭素繊維・複合材料の研究開発動向.....	I-30
1.3.2. 中国における炭素繊維・複合材料の研究開発動向.....	I-41
2. 炭素繊維・複合材料リサイクルに係る動向.....	I-43
2.1. 炭素繊維・複合材料廃材の発生状況、形態の見通し	I-43
2.1.1. 段階別の発生状況	I-43
2.1.2. 今後の見通し	I-45
2.2. 炭素繊維・複合材料リサイクルに関する技術開発動向.....	I-47
2.2.1. 米国	I-47
2.2.2. 英国	I-49
2.2.3. ドイツ.....	I-52
2.2.4. イタリア	I-53
2.2.5. 日本	I-54
2.3. 炭素繊維・複合材料廃材の回収スキーム・用途開発状況	I-59
2.3.1. リサイクル炭素繊維の用途の検討状況	I-59
2.3.2. 回収スキームの検討状況	I-61
2.4. 炭素繊維・複合材料リサイクル事業に関するコンソーシアムの概要.....	I-63
3. 今後の課題と提言	I-65

II. 「ファイバー分野」の技術戦略マップにおける炭素繊維・複合材料（移動体）分野のローリングの検討	II-1
参考資料 1 中国・台湾の炭素繊維製造企業	参-1
参考資料 2 中国における炭素繊維・複合材料研究プロジェクト	参-17
参考資料 3 中国における炭素繊維・複合材料研究機関	参-28
参考資料 4 ファイバー分野 炭素繊維・複合材料（移動体）分野 技術マップ 2010..	参-35
参考資料 5 ファイバー分野 炭素繊維・複合材料（移動体）分野 技術ロードマップ 2010	参-38

はじめに

本調査の目的・概要

炭素繊維は軽量かつ高強度という特性から、スポーツ用品や自動車、航空機などの産業用途として広く使用されている。今後、大幅な需要拡大が見込まれ、それにもとない炭素繊維・複合材料¹（以下、「炭素繊維等」という。）の生産時や加工時から廃棄される廃材²や市場ゴミとしての CFRP³も増大するが、現在、炭素繊維等のリサイクルは繊維と樹脂との分離技術等に高い技術が要求されること等からリサイクル技術が確立されておらず、埋め立て処理されているのが現状である。従って、炭素繊維の更なる需要拡大及び環境負荷低減を図るためには、リサイクル技術の確立及びリサイクル炭素繊維の用途開発は必要不可欠な課題である。

また、炭素繊維の生産について、我が国は世界市場の約 7 割を占めており、生産技術やリサイクル技術において世界をリードしている。しかしながら、近年炭素繊維等の需要拡大を受けて、諸外国で炭素繊維等の生産技術やリサイクル技術に注目し、研究開発等が進められているため、我が国において、海外の政策動向や研究開発動向等について実態を把握することは、我が国が引き続き高い競争力を維持するためにも非常に重要である。

加えて、2007 年（平成 19 年）に策定された技術戦略マップ「ファイバー分野」における「炭素繊維・複合材料（移動体）分野」の技術戦略マップについて、日々進歩する技術に対応すべく内容のローリングを行い、将来有望な炭素繊維・複合材料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、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。

本調査では、以下の（ ）及び（ ）の調査・検討を行い、ここにその結果を取りまとめた。また、調査方針や調査方法については、有識者によって構成された検討委員会における議論を踏まえて決定した。

（ ）炭素繊維等に係る動向調査

諸外国（欧米・アジア）において、炭素繊維等に係る主に以下の項目を中心に調査を行った。

炭素繊維等に係る政策動向、生産規模等の製造状況、現在及び将来的な用途状況・技術開発動向・サプライチェーン等

炭素繊維・複合材料廃材の発生状況及び将来予測

炭素繊維・複合材料リサイクルに係る技術開発動向、事業（用途）展開等

¹ 炭素繊維・複合材料・・・炭素繊維、プリプレグ、中間基材、最終製品など段階に抛らず炭素繊維に関する製品全般を指す。また、ガラス繊維複合材料などの他の強化材を用いた複合材料なども言葉の意味に含める。

² 炭素繊維・複合材料廃材・・・本報告書では、最終製品として活用されなかった成形段階の端材や市場での利用を経て回収された CFRP 製品・部品を総称して炭素繊維・複合材料廃材と呼ぶことにする。また、再資源化できずに、埋め立てか熱回収にまわるものは「（炭素繊維・複合材料）廃棄物」と呼んで区別する。

³ CFRP・・・炭素繊維強化プラスチック（硬化済）を明示的に表す際に用いる。

上記に加え、炭素繊維・複合材料製造技術や、リサイクル材の性能向上技術・用途開発、上記海外動向調査との比較のための国内状況等、周辺情報の整理も行った。

()「ファイバー分野」の技術戦略マップにおける炭素繊維・複合材料(移動体)分野のローリングの検討

ファイバー分野の技術戦略マップの一分野である「炭素繊維・複合材料(移動体)」のローリングについて、将来有望な重要技術を抽出し、新規テーマの策定、重点テーマの検討、技術情報のリバイス等、どのような見直し方が適切であるか、検討委員会の委員からの意見および()の調査結果に基づいて検討を行った。

委員会について

大学、研究機関、炭素繊維製造企業、炭素繊維ユーザー企業等の有識者からなる検討委員会を設置した。本検討委員会は3回開催され、調査・検討内容に関する審議・決定や調査結果をとりまとめる方向性について議論いただいた。委員名簿は以下の通り。

< 委員 >

東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 特任准教授	鵜沢 潔
トヨタ自動車株式会社 車両材料技術部 有機材料室 主幹	影山 裕史
炭素繊維協会 リサイクル委員	山藤 家嗣
日立化成工業株式会社 筑波総合研究所 リサイクル技術グループ	柴田 勝司
東京大学大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授	高橋 淳 (座長)
川崎重工業株式会社 航空宇宙カンパニー 技術本部研究部材料技術課 上級専門職	中山 良博
樹脂ライニング工業会会長	野間口 兼政
KYC-Japan 代表	山口 泰弘
東洋紡績株式会社 コーポレート研究所 プロジェクトF	葭原 法

< オブザーバー >

財団法人素形材センター 次世代材料技術本部 航空機材料技術部長	伊牟田 守
東レ株式会社 複合材料研究所 所長	北野 彰彦
東邦テナックス株式会社 炭素繊維・複合材料事業本部技術生産部門技術企画部長	松木 寿嗣
東レ株式会社 ACM 技術部 主幹 地球環境事業戦略推進室 主幹	松久 要治
東洋紡績株式会社 総合研究所 コーポレート研究所 プロジェクトF リーダー	森脇 敦史
三菱樹脂株式会社 炭素繊維事業部 炭素繊維・成形品技術グループ	葭谷 明彦

< 経済産業省 >

経済産業省 製造産業局繊維課 繊維企画官	太田 秀幸
経済産業省 製造産業局繊維課 課長補佐	横田 英樹
経済産業省 製造産業局繊維課 化合繊維技術係長	落合 美奈子
経済産業省 製造産業局繊維課 化合繊維技術係	鈴木 淳也
経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発専門職	依田 智

< NEDO >

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 ナノテクノロジー・材料技術開発部 主任研究員	山森 義之
独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 ナノテクノロジー・材料技術開発部 主査	川上 信之

< 福岡県 >

福岡県環境部循環型社会推進課 課長	滝下 英敏
福岡県環境部循環型社会推進課 参事	鶴 弘之

福岡県環境部循環型社会推進課 主任技師	中川 道明
福岡県リサイクル総合研究センター 企画情報課長	堀家 克巳
福岡県リサイクル総合研究センター 企画情報課副長	川原 賢二
福岡県リサイクル総合研究センター 企画情報課 企画主査	服部 和孝

< 事務局 >

株式会社 三菱総合研究所 環境・エネルギー研究本部 主席研究員	萩原 一仁
株式会社 三菱総合研究所 環境・エネルギー研究本部 研究員	中塚 史紀
株式会社 三菱総合研究所 科学・安全政策研究本部 研究員	辻 早希子
株式会社 三菱総合研究所 環境・エネルギー研究本部 研究助手	志田 龍亮

I. 炭素繊維等に係る各種動向調査

1. 炭素繊維等に係る政策、製造状況・用途状況、研究開発動向

1.1. 炭素繊維・複合材料に係る政策動向

1.1.1. 欧州における炭素繊維・複合材料戦略

英国ビジネス・イノベーション・技能省(BIS; Department for Business, Innovation and Skills) では 2009 年 11 月に英国の複合材料戦略をまとめたものとして、「THE UK COMPOSITES STRATEGY」を発表している。

同資料において、複合材料は将来の英国の製造業の繁栄における重要な要素であると位置づけられており、航空機産業から小規模事業まで広範囲にその利用が拡大していくと見込んでいる。英国は既に、航空機および高性能自動車において複合材料に関する専門知識/技術を開発しているが、現状では特定部門に偏りすぎており、他セクター製品の製造への技術移転を制限している。その中で政府の役割としては、各種企業との協力のもと、複合材料の発展のために商業機会を増やし技術・経済的な条件を整えることとしている。

具体的には航空機の翼、自動車部品、風力タービン翼のような付加価値の高い製品への適用を足がかりに他のセクターにも展開していくことなどを指している。また、その発展に伴い、製造業だけでなく、これらの企業を支援するサプライチェーン全体が利益を享受することも視野に入れている。現状では各企業が属するのは「複合材料産業」ではなく「航空機産業」等だが、あらゆるセクターが協力しあい、相互に利益を享受することで新たに「複合材料産業」を作り出すことがこの戦略の目標でもある。

特に海洋風力発電は英国において期待が大きく、Low Carbon Industrial Strategy (低炭素産業戦略) で政府は海洋風力発電開発支援に 1 億 2 千万ポンドの予算を割り当てている。2020 年までに海洋風力発電容量 20GW の施設を展開する計画で、ここに、より大きく、高強度で耐性のある複合材料タービン翼に対する潜在需要が存在するとしている。

炭素繊維に関する記述では、ヨーロッパにおける競争の激化に言及しており、競合相手としてはドイツ、フランス、スペイン等が挙げられている。

ドイツでは、各地域で今後 5 年間にわたり 2 つの複合材料グループを発展させるために資金を割り当てている。1 つはハンブルグ近郊の CFK-Valley Stade で、CFRP 製造工程のオートメーション化にも重点的に取り組むとともに複合材料のエンジニアの育成にも力を入れている。2 つは炭素繊維複合材料の技術に特化する Augsburg センターである。

フランスでは新旧の複合材料の産業クラスターがあり、特に Nantes におけるクラスターでは Airbus と EADS の支援を受けて複合材料の研究開発を行っている。その他、Aquitaine の航空宇宙センターなど、Moselle 地方には新しい団体も設立され始めている。

スペインは、航空宇宙産業に焦点を当てており、主に 4 箇所の拠点を置いている。最も大きいのは 17,000 人の従業員を擁するマドリード近郊の拠点である。また、スペインは風力エネルギーでも世界をリードしており、2009 年には風力タービンメーカーの Gamesa はスペインの機械メーカー MTorres と、風力タービン翼に関する複合材料構想に取り組むべく共同の研究開発プロジェクトを発表している。

1.1.2. 欧州における炭素繊維・複合材料関連プロジェクトの目的・予算額

英国ではノッティンガム大学を中心に各種複合材料関連のプロジェクトが実施されている。ノッティンガム大学では、工学部の高分子材料学科 (Polymer Composite) において炭素繊維を含めた複合材料の基礎研究並びに応用研究を実施している。適用分野としては、自動車・宇宙航空・風力などが挙げられ、新規製造方法、物性評価、リサイクルなどをテーマとしながら各種分析・評価を行っている。表 1 にその一例を示す。それぞれのプロジェクトの詳細については研究開発動向において後述する。

表 1 ノッティンガム大学における主要な複合材料関連プロジェクト一覧

プロジェクト名	概要	期間	予算元	研究助成金 (プロジェクト総額)
PLATFORM GRANT Processing and performance of textile composites	モデリング時の共通プラットフォームの構築。	2005/5 ～ 2009/4	工学物理科学研究 会議 (EPSRC)	£ 445,000
UV curing of textile composites (CURE-TEX)	建設、自動車、海運(船)の 分野に適用可能な、厚みの ある複合材の迅速な硬化 方法の確立	2005/1 ～ 2007/12	貿易産業省:技術プ ログラム (DTI Technology Programme)	£ 150,000
High Value Composite Materials from Recycled Carbon Fibre(HIRECAR)	自動車サプライチェーン上 の組織を集め、高品位・低 コストのリサイクル炭素繊 維を製造	2005/7 ～ 2008/9	貿易産業省:技術プ ログラム (DTI Technology Programme)	£ 333,000
Fatigue, damping and Impact properties of textile composites	複合材の疲労特性、減衰 特性(damping property)、 衝撃特性を明らかにする	2006/1 ～ 2009/4	工学物理科学研究 会議 (EPSRC)	£ 168,000
Fibre reinforced healthcare	医療に分野における複合材 の適用を目指し、人工骨の 生成、骨折固定装置、骨充 填剤などの研究を行う	2006/10 ～ 2009/9	工学物理科学研究 会議 (EPSRC)	£ 477,000
Analysis and modeling of advanced preform processing(AMAPP)	LCM プロセスにおける先進 的な繊維製品の挙動とパフ ォーマンス性の基礎研究を 行う	2007/4 ～ 2010/9	工学物理科学研究 会議 (EPSRC)	£ 495,000
Warping compensation in composite laminate manufacture(WILMA)	解析ソフトウェアである TexGen を用いて残留応力 のモデリングを行う。非対称 の成形法の開発。	2007/4 ～ 2010/5	貿易産業省:技術プ ログラム (DTI Technology Programme)	£ 242,000
Carbon Fibre Recycling-Materials and Product Development	詳細非公開	2007/5 ～ 2007/12	Boeing	£ 260,000
Affordable innovative rapid production of off-shore wind energy rotor-blades(AIRPOWE R)	風車のデザインと製造にお ける問題解決を図る	2007/1 ～ 2010/1	貿易産業省:技術プ ログラム (DTI Technology Programme)	£ 302,000

欧米の材料関連の研究組織は多数存在し、炭素繊維・複合材料関連プロジェクトに限って予算を把握し、横並びで比較することは困難である。よって表 2 に各国の科学技術予算と材料関連における主要な研究機関・投資機関の概況を示した。

米国での材料基礎研究は、米国エネルギー省、基礎エネルギー科学局の材料科学部門である DoE-BES(Department of Energy - Basic Energy Sciences, Materials Science)、全米科学財団の数学物理科学局の材料科学部門 NSF-MPS(National Science Foundation-Mathematical and Physical Sciences, Materials Research)などから資金供与されている。

一方、米国商務省には、国立標準規格技術研究所 NIST(National Institute of Standards and Technology)があり、その中の材料科学工学研究部門などで、セラミックスやポリマーなどの物質・材料研究が行われている。DoE-BES は 2009 年度要求予算で 1126 百万ドル、NSF-MPS は 2009 年度で 283 百万ドル、NIST は 2005 年度要求予算で 63 百万ドルの予算を、材料研究に対し投入している。また、これらの研究機関以外にも NASA の機関や海軍・空軍の材料研究機関など、多岐にわたる。

ドイツでの公的研究機関における物質・材料研究は、主にマックスプランク学術振興協会(MPG)の研究所、フラウンホーファー応用研究促進協会(FhG)の研究所、ヘルムホルツドイツ研究センター(HGF)に属するカールスルーエ研究所(2009 年に Karlsruhe 大と合併して、現在は Karlsruhe Institute of Technology となっている)などで実施されている。

マックスプランク学術振興協会では、金属・鉄鋼・コロイド・生体材料・ナノ材料・ポリマーなどの研究が行われ、フラウンホーファー応用研究促進協会においても、ナノ材料や材料および構造部材等の研究が実施されている。ヘルムホルツドイツ研究センターなどは連邦教育研究省に所属し、物質・材料の研究試験所である BAM 連邦材料研究所は連邦経済技術省に属している。カールスルーエ研究所は、ナノテクノロジーや物質構造などについて研究開発を行っている。BAM 連邦材料研究所では物質・材料研究、試験、事故調査を専らの業務としている。

英国にも上記 2 カ国と同様に研究機関は数多く存在し、例えば英国政府が関与する研究機関としては National Physical Laboratory、National Engineering Laboratory、National Weights and Measures Laboratory、LGC Ltd(以前は政府の化学研究機関であった)などが挙げられる。

英国において研究開発に関する投資を行っている主な組織としては、EPSRC(Engineering and Physical Sciences Research Council)が挙げられる。EPSRC は研究会議(Research Council)の一つであり、BIS(The Department for Business, Innovation and Skills)に管轄される。工学などに対して年間 850 百万ポンド以上の資金を投入しており、複合材関連のプロジェクトには 50 百万ポンド以上の投資を行っている。また、材料関連に資金供給を行う組織としては TSB(The Technology Strategy Board)も挙げられる。TSB も BIS に管轄され、材料関係に限らず年間 200 百万ポンド以上の予算がついており、事業展開の可能性を持つ技術・工学に対して資金援助を行っている。

また、欧州連合における研究開発の例としては、フレームワーク計画 (Framework Programme:FP)がある。現在は 2007 年から 2013 年を対象期間とした FP7 が実行中である。なお、FP6 における「ナノ・材料・生産」の年間予算は 286 百万ユーロであったのに対し、FP7 では「ナノ科学・ ナノテクノロジー、材料、新しい生産技術」に対して年間 500 百万ユーロと材料関連予算は大幅に増加している。

表 2 各国の科学技術予算と材料関連における主要な研究機関・投資機関の例⁴

	GERD ⁵ [million US\$] 2006	材料関連における主要な研究機関・投資機関の例		
		機関・組織名	機関・組織予算 [million US\$]	材料に関する概要・組織概要
米国	343,748	OakRidge	1060	物質合成、プロセッシング、材料特性の研究など
		Ames	34 (2010 年)	材料の実用化に向けた研究など
		Argonne	630	ナノスケールにおける、バイオや電子デバイスの研究など
		Brookhaven	531 (2008 年)	化学知と物理知を融合させた、新規材料の研究開発など
		Lawrence Berkeley	600 (2008 年)	ポリマーやソフトマターの研究、さらに金属やセラミックスの物性研究など
ドイツ	75,700	MPG	2160 (2009 年)	ポリマー・セラミックスなどに対し、極限状態(高温など)の物質挙動の研究など
		FhG	1690 (2007 年)	軽量化物質やポリマー合成に関する研究など
		Karlsruhe	412 (2005 年)	ナノ物質の研究や原子力発電のための物質研究など
		BAM	170 (2008 年)	材料物性に関する研究・新規物質の材料試験など
英国	32,484	EPSRC	1190	工学・物理学などに対する研究開発投資など
		TSB	280 以上	ビジネス発展につながる工学への研究開発投資など

出所) 国際連合世界統計年鑑 Vol.52 2007 および各種資料より三菱総合研究所作成

⁴ 為替レートは 1€=1.3\$, 1£=1.4\$で換算している。

⁵ Gross domestic Expenditure on Research and Development の略であり、研究開発に関する国内支出の総額を表している。この中には政府からの投資、企業からの投資、大学研究に関する投資など、研究開発におけるすべての資金が含まれる。なお、資金源のうち政府が占める割合は、米国は約 30%、英国は約 32%、ドイツは約 28%である。

1.1.3. 欧州における炭素繊維・複合材料の廃棄に係る規制動向

< EU 指令 >

廃棄物に関する EU 指令は、基本原則、個別品目対応、廃棄物処理方法・設備に関する規制に大別できる。それぞれに関する EU 指令の一例を表 3 に示す。2008 年 11 月には The New Waste Framework Directive (2008/98/EC) が採用され、廃棄物の埋め立て制限、リサイクルの促進、環境影響の軽減等を目的に、生産者責任の範囲が拡大されており、規制強化が進んでいる。

炭素繊維・複合材料においても、埋め立てが制限される方向にあり、2011 年末には EU 指令によって法的に全面禁止される運びである⁶。今後は炭素繊維・複合材料関連の需要の続伸と共に、これまで使用されてきた航空機の廃棄 (End of life product) の増加が見込まれるが、上記の法規制により埋め立て処分が禁じられているため、処理費用の高い焼却処分が課せられることになる。ドイツの炭素繊維・複合材料リサイクル事業者である CFK Valley Stade Recycling では、こういった背景から、欧州の炭素繊維・複合材料に関するリサイクルに対する機運が高まっていると分析している。

表 3 廃棄物関連の EU 指令⁷

分類	EU 指令の例
基本原則	廃棄物枠組み指令 (91/156/EEC) 有害廃棄物：理事会指令 (94/31/EC) 有害廃棄物に関する枠組み指令 (91/689/EEC)
個別品目対応 (包装廃棄物、使用済み自動車等)	廃油の処分に関する理事会指令 (87/101/EEC) 包装廃棄物に関する理事会指令 (94/62/EC) 使用済み電池及び蓄電池理事会指令 (93/85/EEC) 使用済み自動車に関する理事会指令 (2000/53/EC (ELV)) 廃電気・電子機器に関する理事会指令 (2002/96/EC(WEEE)) 電気電子機器有害物質の使用制限指令 (2002/95/EC(RoHS))
廃棄物の処理方法、設備の規制	廃棄物の焼却に関する欧州議会及び理事会指令 (2000/76/EEC) 廃棄物の埋立に関する理事会指令 (99/31/EEC)

< REACH >

EU では、新しい化学物質規制として REACH (化学品の登録、評価、認可及び制限に関する規則) が 2007 年 6 月に施行され、翌年 6 月には EU 化学品庁 (ECHA) が設置され、本格的な運用が開始されている。

⁶ CFK Valley Stade Recycling 発表資料より。

⁷ http://www.meti.go.jp/policy/recycle/main/data/research/h16fy/model16-1_5.pdf

炭素繊維・複合材料に関しては「調剤」か「成形品」かによって対応が異なる。「調剤」の定義は、2以上の物質からなる混合物または溶液となっているが、「調剤」と判定された場合にはEU域外の企業がEU域内に輸出する場合に、輸入者による登録または唯一の代理人を指名しての登録が必要である。「成形品」と判定された場合には登録が不要である。

炭素繊維協会では2008年に発行された「EUの新規化学物質規制(REACH)への対応」内において、以下の区分に該当するものは「成形品」とであるとしているが、一義的に定められるものではなく、個々のケースにおいて判断が必要であるとしている。

表 4 REACH 規制において成形品と判断される炭素繊維・複合材料製品⁸

分類	解釈
アクリル繊維（プリカーサー ⁹ ）、耐炎化繊維、炭素繊維	これらは人造繊維であり、成形品に区分される
ショートカットファイバー	チョップドファイバー ¹⁰ とミルドファイバー ¹¹ があるが、いずれも繊維としての形状を保っており、その形状（長さ、径など）が化学組成よりも機能発揮のために重要であることから、成形品に区分される
プリプレグ ¹²	プリプレグはシート状、テープ状、繊維状などの形状をもって炭素繊維と樹脂とが一体化したものであり、カットや積層、ワインディング等により所望の成形品の形状を形作ることができる。従って形状や表面状態・デザインが、化学組成よりも機能発揮のためにより重要であることから、成形品に区分される。
その他炭素繊維製品	炭素繊維および炭素繊維製品からなる織物、ブレード、不織布、カーボンペーパーあるいはこれらからなる断熱材などの加工品についても成形品に区分される。また上記炭素繊維や炭素繊維製品を基材としたCFRP製品についても同様に成形品に区分される

出所）JCMA、EUの新規化学物質規制（REACH）への対応（第3版）

⁸ EUの新規化学物質規制(REACH)への対応 炭素繊維および炭素繊維製品に関するガイドライン（第3版）<http://www.carbonfiber.gr.jp/reach/guideline.pdf>

⁹ プリカーサー・・・炭素繊維の原料繊維。PAN系においてはポリアクリルニトリル繊維を意味し、ピッチ系においてはコールタールまたは石油重質分を原料として得られる繊維を意味している。

¹⁰ チョップドファイバー（チョップド）・・・一定の長さに切り揃えた短繊維。マット、スプレィアップ法やコンパウンドに使用される。

¹¹ ミルドファイバー（ミルド）・・・ハンマー・ミルなどで粉碎された繊維（通常1mm以下の極短繊維をいう）。

¹² プリプレグ・・・炭素繊維に樹脂を含浸させたシート状のもの。半硬化状態であり、これらを積層して加熱・加圧して硬化を行う。

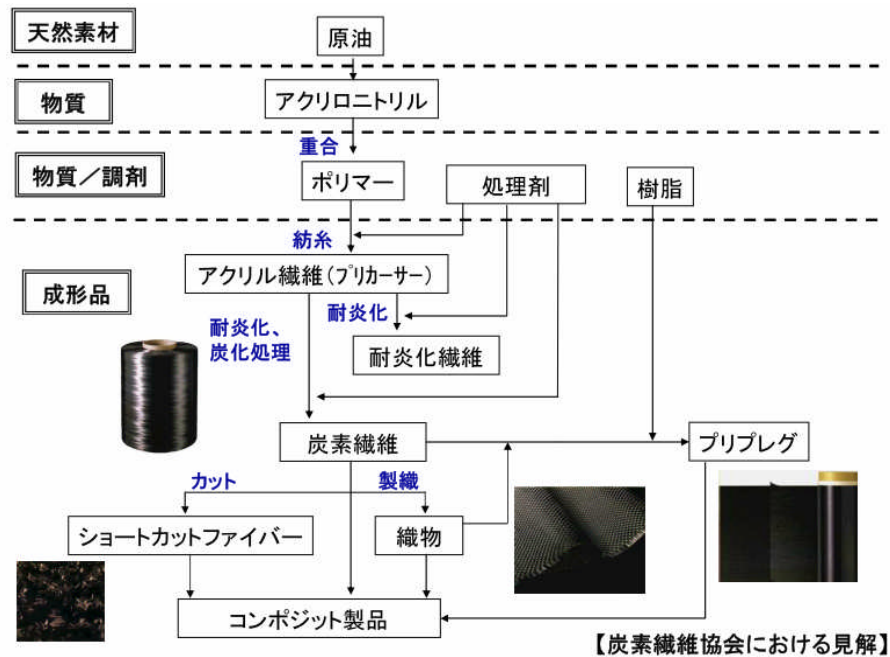


図 1 炭素繊維および炭素繊維製品 対象物質区分 (PAN 系の例)
出所) JCMA、EU の新規化学物質規制 (REACH) への対応 (第 3 版)

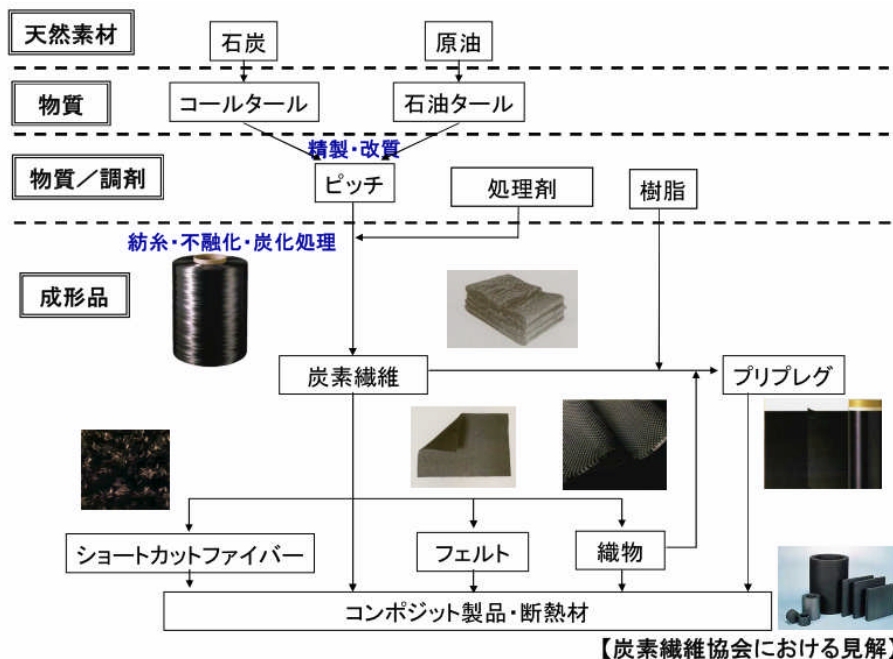


図 2 炭素繊維および炭素繊維製品 対象物質区分 (ピッチ系の例)
出所) JCMA、EU の新規化学物質規制 (REACH) への対応 (第 3 版)

1.1.4. 中国における炭素繊維・複合材料戦略

中国における炭素繊維に関わる主要な政策としては、

- (1) 国民経済・社会発展第11次5ヵ年計画綱要
- (2) ハイテク産業発展「第11次5ヵ年」計画
- (3) 化学繊維工業「第11次5ヵ年」発展指導意見
- (4) 国家ハイテク技術研究発展計画
- (5) 国家重点基礎研究発展計画

の五つがある。

「国民経済・社会発展第11次5ヵ年計画綱要」とは、中国政府が2006年から2010までの第11次5ヵ年期間中における国民生活や経済発展など国全体の発展方針を示したものである。目標や発展の方向性を明確にしているものの、具体的に実現していく方法や政策等については記述されていない。綱要の方針に基づき、各省庁がそれぞれ第11次5ヵ年計画を策定し、実行していくことになる。

ハイテク産業発展「第11次5ヵ年」計画、化学繊維工業「第11次5ヵ年」発展指導意見は、その大枠の方針に基づき、国家发展改革委員会が発表したものである。しかし、この計画レベルでは、まだその分野または産業における大枠の方針であるため、目標や発展分野を示しているものの、具体的なプロジェクトまで言及していない。国家ハイテク技術研究発展計画、国家重点基礎研究発展計画では、各分野の大枠の方針に基づき、具体的な実行方法が示されているとともに、具体的なプロジェクトが記載されている。

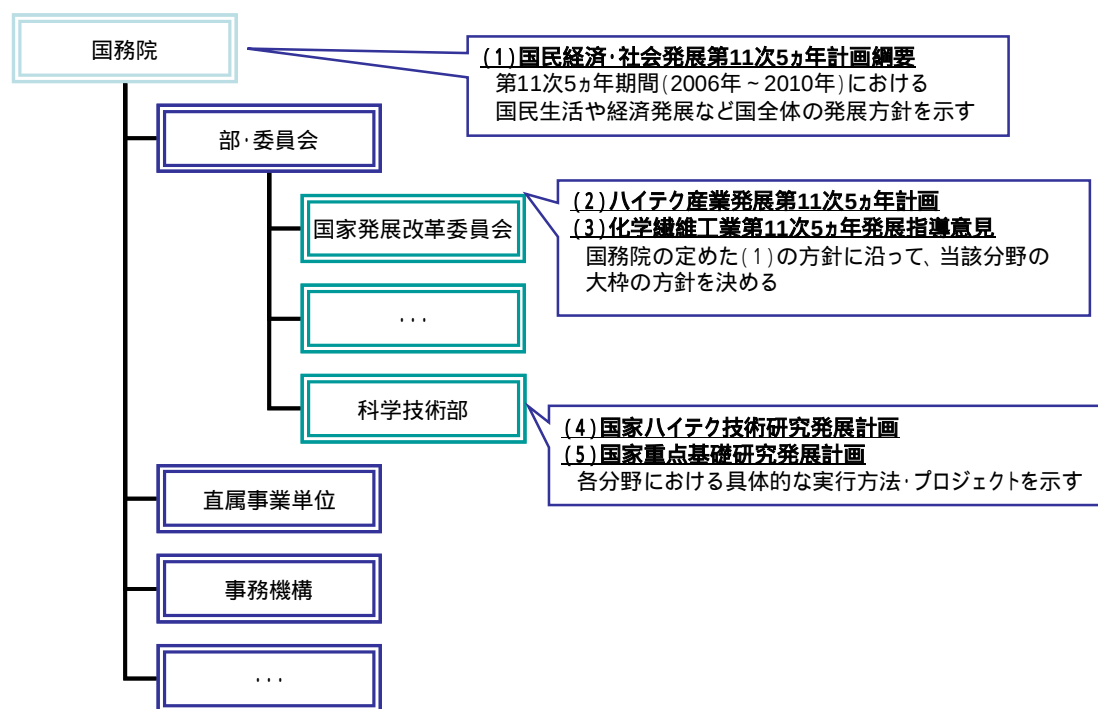


図3 炭素繊維に係る各政策の関係性

出所) 各種資料より三菱総合研究所作成

(1) 国民経済・社会発展第 11 次 5 カ年計画綱要

第 11 次 5 カ年計画（原文：中華人民共和國国民經濟和社会發展第十一個五年規劃綱要）¹³は、2006 年 3 月に全国人民代表大会で承認された。全体を通して「科学的發展觀の普及」を重視した内容となっており、農業改革、産業の発展、環境問題への対応などを主な課題としている。計画は次の 14 編から構成されている。

- 第 1 編 指導原則及び發展目標
- 第 2 編 社会主義新農村の建設
- 第 3 編 工業構造の最適化・アップグレードの推進
- 第 4 編 サービス業の加速的發展
- 第 5 編 地域間の調和の取れた發展の促進
- 第 6 編 資源節約型、環境友好型社会の建設
- 第 7 編 科教興国及び人材強国戰略の実施
- 第 8 編 体制改革の深化
- 第 9 編 互惠的 Win-Win の開放戰略の実施
- 第 10 編 社会主義的調和の取れた社会の建設の推進
- 第 11 編 社会主義民主政治建設の強化
- 第 12 編 社会主義文化建設の強化
- 第 13 編 国防及び軍隊建設の強化
- 第 14 編 健全な計画実施メカニズムの建設

以上の 14 編のうち、第 3 編では「工業構造の最適化・アップグレードの推進」と題し、ハイテク産業に関連する事項が記されている。以下にその内容を示す。

第 3 編の工業構造の最適化・アップグレードの推進：

新型工業化の道を歩むという要求に沿って、市場主義を中心に維持、企業を主体として、自主イノベーション能力を上げることを中心に、今まで發揮してきた労働集約型産業の競争優位を継続させ、製品構造、企業組織構造と産業配置を最適化・調整し、全体の技術レベルと総合競争力を向上させ、大きいから強い工業へと促進する。

ハイテク産業發展の加速：

主な内容：産業集約、規模發展および国際協力拡大の要求に沿って、ハイテク産業の自主研究開発による成果の産業化を推進等。

第 4 節の新材料産業の發展：

情報、生物、航空宇宙、重大設備、新エネルギーなどの産業發展の需要に基づき、特殊機能材料、高性能構造材料、ナノテク材料、複合材料、環境保護省エネ材料などの産業群を重点的に發展させ、新材料イノベーション体系を構築・完全なものとする。

¹³ 中華人民共和國国民經濟和社会發展第十一個五年規劃綱要より。

上述のように、ハイテク産業において新材料分野を重視した政策が取られていることが分かる。また、ハイテク産業の重大専門プロジェクトには、「情報、生物、航空宇宙などの業界ですぐに必要とされている各高性能新型材料の産業化モデルプロジェクト」が記されている。

(2) ハイテク産業発展「第 11 次 5 ヶ年」計画

ハイテク産業発展「第 11 次 5 ヶ年」計画(原文:高技術産業発展“十一五”规划¹⁴)は、国家発展改革委員会により 2007 年 4 月 28 日に制定された。

この計画では、「第 11 次 5 ヶ年」期間中(2006~2010 年)「自主イノベーション、応用に尽力、産業集中、規模拡大による発展、国際協力」という原則に則りハイテク産業の発展を堅持するとしており、新材料産業を産業発展の重点分野の一つとして位置付け、特殊機能材料や高性能材料、ナノ材料、複合材料、環境保護・省エネ材料等の産業を重点的に発展させ、新材料の革新システムを構築・改善する考えが明らかにされている。計画の構成は次のとおり。

現状と形勢

指導思想、発展原則と発展目標

産業発展の重点

区域発展の重点

研究開発プロジェクトの重点

計画を達成するための措置

「第 11 次 5 ヶ年」期間中における、主な発展目標は次のとおり。

自主発展能力

ハイテク産業の自主発展能力を強化し、国家競争力と国家安全における核心技術とし、国内ハイテク企業の発明特許件数を倍に増やし、自主発展のハイテク製造業の企業数を 50%以上、ハイテク製品の輸出における知的財産権と自主ブランドの割合(輸出額)を 15%前後までに引き上げる努力をする。

産業構造

ハイテク産業構造をさらに最適化し、重点分野における技術階層と製品レベルを大幅に上昇させる、年間売上 100 億元超の大型ハイテク企業を育てる、ハイテク産業を育成しやすい重点区域を設定する、主要中心都市におけるイノベーション能力を形成する、産業チェーンを集中させる。

国際化水準

ハイテク産業の国際化を新たに進展させ、2010 年のハイテク産業製品輸出総額を 8,000 億元、対外貿易における 30%超を占める見込みである。ハイテク製品輸出の主幹企業を育

¹⁴ 高技術産業発展“十一五”规划より。

成し、国際市場シェア、外資利用水準を引き上げ、大型ハイテク企業の多国籍間経営能力を強化する。

産業規模

ハイテク産業の規模は常に拡大しており、2010 年ハイテク産業増加値が GDP に占める割合は 10% 前後まで向上、ハイテク製造業の売上は 9 兆元に到達、ハイテクサービス業の売上は 2.2 兆元に到達する見込みである。

計画では、重点的に発展させる産業として、(一) 電子情報産業、(二) 生物産業、(三) 航空宇宙産業、(四) 新材料産業、(五) ハイテクサービス業、(六) 新エネルギー産業、(七) 海洋産業、(八) ハイテク技術による伝統産業の改造の八分野をあげている。

このうち、新材料産業については次のように述べている。

(四) 新材料産業

新材料は、産業イノベーション発展促進の重要な物質的基礎である。情報、生物、航空宇宙、重大設備、新エネルギーなどの産業発展による新材料へのニーズが高まることにより、特殊機能材料、高性能構造材料、ナノ材料、複合材料、環境保護省エネ材料などの産業群を重点的に発展させ、新材料のイノベーション体系を構築し、最適化にする。

航空宇宙材料の研究製造の加速について、航空宇宙製品の軽量化、高性能、安全性の要求により、軽くて質の強い金属材料、高温合金材料、高性能炭素繊維および複合材料、機能セラミック材料、先進樹脂基複合材料、機能コート材料など航空宇宙産業の急速な発展においてキーとなる材料を重点的に研究製造し、産業化を推進、規模生産力を形成する。

「第 11 次 5 ヶ年」期間中におけるハイテク産業の発展目標と発展の重点に関し、九大ハイテク産業専門プロジェクトを実施するとしている。そのうち、新材料産業専門プロジェクトにおいて炭素繊維について次のような記載がある。

(九) 新材料産業専門プロジェクト

国民経済の重点産業発展ニーズを満たすことを目標とし、新材料イノベーション体系を構築・完全にし、新材料産業基地を建設する。

航空宇宙と現代交通専用のチタン合金、アルミ合金、炭素繊維、高温合金などの高性能材料およびその製造設備技術、産業化生産を実現する。

(3) 国家ハイテク技術研究発展計画

国家ハイテク技術研究発展計画(原文: 国家高技術研究発展計画“863 計画”、以下、863 計画¹⁵⁾)は、「国家中長期科学技術発展計画綱要」に立脚し、「第 11 次 5 ヶ年」期間中の国家科学技術計画に定められている主体計画¹⁶⁾の一つであり、ハイテク産業技術の開発を目的とした応用技術研究開発プログラムである。1986 年 3 月、鄧小平国家主席によりこの

¹⁵⁾ 国家高技術研究発展計画“863 計画”より。

¹⁶⁾ 863 計画は第 11 次 5 ヶ年計画期間中に策定された、国家科学技術計画の一部である。

計画の実施が決定されたことから、863 計画と呼ばれている。

863 計画では、21 世紀の初めにハイテク分野で世界に追いつくという目標を定め、選定分野において自国の原始イノベーション能力と集積イノベーション能力を一層強化し、重点ハイテク産業における核心的な競争力を大幅に向上させるための国家のハイテク研究開発体系を形成している。

15 年間で 863 計画により国内外 2,000 余りの特許を獲得し、累計で生産高 560 億元余りを新たに創造した。延べ 4 万人余りの科学研 究員、200 余りの科学研究院と 100 余りの大学が 863 計画の実施に携わった。

「第 11 次 5 ヶ年」計画期間において、863 計画では、情報技術、生物および医薬技術、新材料技術、先進製造技術、先進エネルギー技術、資源環境技術、海洋技術、現代農業技術、現代交通技術、地球観測と航行誘導技術の 10 分野に及んでいる。

863 計画における課題数は 1,220、うち材料分野は 13.9%であった。また、予算執行額は 55.92 億元であった¹⁷。

「863 計画新材料技術分野 “国産炭素繊維の電力業界における応用技術開発” 重点プロジェクト課題申請指南」には、国産の炭素繊維複合材料の開発と風力発電に利用する複合材料の開発研究に関する二つの課題について、その研究支援が定められている。それぞれ以下の内容が対象となっている。

課題一：国産炭素繊維複合材料導線および鉄塔技術

研究目標

国産炭素繊維導線および鉄塔（高圧送電専用鉄塔または携帯電話の基地局用鉄塔）に関する重要技術を開発し、国産炭素繊維複合強化導線と鉄塔の安定、ロット生産を実現する。

主要研究内容

国産炭素繊維と玄武岩の繊維混合複合芯の最適化、高性能複合押出成形技術、複合芯導線を連続して滑車に通せる接続金具および保護装置、500kV 以上の高圧線での複合芯導線の応用、複合材料の電力鉄塔における構造最適化設計と応用の推進

課題二：国産炭素繊維複合材料大型ブレード技術

研究目標

2MW 以上大型風力発電ユニットの炭素複合材料ブレードの設計・製造を完成させ、ブレードの品質は国際同類製品の水準に達し、国産炭素繊維ブレードを風力発電で実際に運行試験する。

主要研究内容

炭素繊維複合材料の大型ブレード専用材料体系の最適化、炭素繊維複合材料の大型ブレードでの構造設計、炭素繊維複合材料の大型ブレード成形技術、炭素繊維複合材料の大型ブレードへの応用技術

¹⁷ 数値は国家科技計画年度報告 2009 より。

(4) 国家重点基礎研究發展計画

国家重点基礎研究發展計画（原文：国家重点基礎研究發展計画“973計画”、以下、973計画¹⁸）は、「国家中長期科学技術發展計画綱要」に立脚し、「第11次5ヵ年」期間中の国家科学技術計画において定められている主体計画の一つであり、将来の發展に役立つ基礎研究の強化を目的としている。当時の朱鎔基総理が1997年3月に実施を決定したことから、973計画と呼ばれる。

973計画は基礎研究を推進することにより、国家經濟と社会發展において生じる科学問題を深い次元と広い領域で解決し、中国の自主イノベーション能力と重大問題の解決能力をより向上させ、国家の發展に科学的な支援を提供することを目的としている。

「第11次5ヵ年」計画期間における973計画は、農業、エネルギー、情報、資源環境、人口と健康、材料、複合分野、重要科学先端分野、重大科学研究の8分野と、たんぱく質、量子コントロール、ナノテクノロジー、發育および生殖の4つの重大科学研究計画を実施し、中国の經濟社会發展における重大な科学問題で大きなイノベーション成果をあげるとしている。

2008年国家科学技術計画の執行プロジェクト（項目）数は11,060項、そのうち973計画におけるプロジェクト数は79、そのうち材料分野は7項目である。また、予算執行額は19億元であった¹⁹。

科学技術部は、973計画、国家重大科学研究計画の2010年における重要支援方向として、上述した分野に関する研究支援項目を定めている。材料分野とナノテクノロジー分野については次のように示されている。

材料分野の炭素繊維に関しては次のとおりである。

高性能炭素繊維および炭素複合材料：

高性能炭素繊維およびカーボン/カーボン複合材料は、國民經濟と国防安全分野において重大なニーズがあり、炭素繊維の製造過程における安定性、品質の均一性を研究し、低コストでの高性能なロット製品生産の理論、方法と技術を發展させて、炭素繊維の機能および機能停止メカニズムを研究する。

C/C複合材料の急速に沈殿する原理と技術を發展させ、ミクロ組織と界面構造のコントロールおよび変性を実現し、高温下での繊維の機能について研究し、高温下での繊維を保護する技術を發展させることで、高性能のC/C複合材料の低コスト製造を実現する。

ナノテクノロジーの研究項目は次のとおりである。

- ・ ナノ材料の基礎科学問題
- ・ ナノ炭素材料およびマクロ材料の生産と応用
- ・ 新型ナノテクノロジーの調合技術と表記方法
- ・ ナノテクノロジー基準および標準物質
- ・ カーボンナノ素子と電気回路および新型ナノセンサー素子
- ・ ナノ材料の生物効果・反応と検査測定技術
- ・ エネルギー利用効率向上と省エネのためのナノ材料および技術

¹⁸ 国家重点基礎研究發展計画“973計画”より。

¹⁹ 数値は国家科技計画年度報告2009より。

- ・ 低コスト、高効率の浄水ナノ材料と技術

(5) 化学繊維工業「第 11 次 5 ヶ年」発展指導意見

化学繊維工業「第 11 次 5 ヶ年」発展指導意見²⁰（原文：化繊工業“十一五”発展指導意見、以下、指導意見）は、2007 年 3 月に国家発展改革委員会（2007）595 号文書を通じて通知され、ハイクテク繊維および材料を強力に発展させることを今後の重点課題としている。

指導意見では、中国の化学繊維工業の「第 10 次 5 ヶ年」計画期間中の成果と発展に係る問題を総括し、国内外の環境変化と業界の発展趨勢について深く分析を行った上で、「第 11 次 5 ヶ年」期間において化学繊維工業界の発展を「数量型」から「技術効果・利益」へと戦略転換するという指導思想を確立するとともに、ハイクテク繊維、生物繊維および差別化繊維の技術の方向を示し、化学繊維工業界の発展の目標と重点を明確にした。

この中で、炭素繊維産業に関する発展政策は次のように示されている。

ハイクテク繊維の強力な発展については、市場のニーズに合わせ、特に高性能繊維および材料を中心とした自主知的財産権を持つハイクテク繊維を研究開発し、オリジナル技術の研究開発を加速させ、様々な方法で技術発展を推進させていく。「第 11 次 5 ヶ年計画」期間では、高性能炭素繊維、アラミド繊維、PPS、HMWPE などハイクテク繊維分野において産業化生産の技術を進展させることに努力する。

「第 11 次 5 ヶ年計画」期間におけるハイクテク繊維の重点課題として、炭素繊維については、以下の記述がある。

炭素繊維について、原糸、予備酸化繊維、炭素繊維、プリプレグおよび複合材料などの産業チェーンの一体化研究開発を進め、千トン級の産業化突破を実現する。そのうち、T300 レベルを主とする炭素繊維産業チェーンは年間 3,000 トン規模の産業化、T700 レベルなど高性能炭素繊維の産業チェーンは試験研究開発をベースに、500 トン規模の産業化を実現する。

この他、「製品構造調整の加速」と「産業地域配置最適化」という節で、炭素繊維について以下の記述がある。

²⁰ 中国政府が発表する政策には、強制的、推奨的、指導的の三種類がある。指導意見とは、強制力が弱い指導的に該当する。

製品構造調整の加速	アクリル業界： 四、PAN 系炭素繊維原系技術の産業化に関する研究開発を強化し、中国のハイテク繊維の発展を推進する
産業地域配置の最適化	東部地区は発達した紡績工業体系を持ち、中国の主要化繊生産基地である。「第 11 次 5 ヶ年」期間中、東部沿海地区つまり中国の紡績集中地および化繊主要生産地区は、継続してその技術、人材、市場優勢を発揮し、率先して化繊産業を大きく強く、国際競争力のある、科学工業貿易が結合した大企業集団を構築しなければならない。 二、アラミド、炭素繊維、HMWPE、Lyocell、PLA など高性能繊維および生物繊維を積極的に発展させ、ハイテク繊維の生産と応用の一体化開発力を強化し、業界産業の段階的拡大を推進する。

1.1.5. 中国における炭素繊維・複合材料の廃棄に係る規制動向

中国においては、「中華人民共和国固形廃棄物環境汚染防止法」(原文：中華人民共和国固体廃棄物汚染環境防治法)が施行されているが、炭素繊維或いは複合材料の廃棄(埋立処分)に関する特別な規制は、現段階では設けられていない。

1.2. 炭素繊維・複合材料の製造状況・用途状況

1.2.1. 欧米における製造状況・用途状況の整理

PAN 系炭素繊維は世界生産の 7 割が日本国内の 3 社、ピッチ系炭素繊維は 9 割が国内 4 社で占められており、炭素繊維の生産側は日本企業による寡占状態に近い。しかしながら、近年になり航空機を中心とした需要の牽引を受け、欧米の炭素繊維メーカー各社も炭素繊維製造プラントの増設を発表しており、上流側への関心も高くなっている。また、これまで統合・合併を繰り返してきた炭素繊維業界において、トルコや中国などで炭素繊維メーカーが立ち上がるなどの新しい動きが見られている。

以下、欧米を中心とした諸外国の主要な炭素繊維メーカーの概況を示す。

< Cytec Industries, Inc. (米国) >

Cytec Industries, Inc は、Engineered Materials、Building Block Chemicals (ビルディングブロックケミカル)、Surface Specialties、Performance Chemicals という 4 つの事業部門で事業活動を行っている。Engineered Materials 部門では PAN ならびにピッチ由来の炭素繊維、炭素-炭素材料、複合材、接着剤、封止剤、特殊熱可塑性プラスチックなどの販売を行っている。主な適用分野は航空宇宙、産業、自動車のコーティング(塗装)、接着剤、プラスチック、化学中間物、インク、鉱業等である。

1993 年の設立以来、世界 18 カ国で事業所を運営している。同社は 2005 年、UCB SA の Surface Specialties 事業を 18 億ドルで取得し、コーティング事業を大きく拡張した。2008 年には 36 億ドルの売り上げを達成している。

近年の動きとしては 2008 年にサウスカロライナ州グリーンビルの事業所の炭素繊維生産能力を増強するために 2 億～2.5 億ドルの投資を行う計画を発表した。この増強計画には PAN プリカーサーおよび繊維の炭素化能力の向上も含まれ、2009 年末までに拡張工事を完了させ、2010 年第 1 四半期より生産ラインにのせる予定となっている。また、同事業所設備での生産開始後は、全生産量の 65%以上を Cytec Engineered Materials に供給し、残りを航空宇宙グレードの高性能材料メーカーに販売することになっている。

< Hexcel Corp. (米国) >

Hexcel Corp.は 1946 年設立に設立され、炭素繊維の製造と共に、プリプレグ、ハニカム、サンドイッチパネル、フィルム接着剤、および複合材の構造物や部品の供給を行っている。Hexcel の製品は、航空宇宙・防衛産業、エレクトロニクス、商業、工業、エンターテインメントなど様々な業界で利用されている。同社は、Airbus と Boeing 向け炭素繊維など先端材料の主要プロバイダーでもあり、この 2 社との取引は同社の商用航空宇宙複合材ビジネスの 60%を占めている。また、Hexcel は structural fabrics の世界最大のメーカーであり、ガラス繊維材料のベンダーでもある。近年では買収等を通じて大規模な事業拡大を行っており、2008 年度には 13 億ドルの収益をあげている。

最近の動きとしては、同社は 2008 年に Airbus の広胴型長距離航空機 A350 XWB 機の主要な一次構造用炭素繊維複合材の提供に関し、Airbus と契約を締結している。この取り決めにより Hexcel は 2025 年までの契約満了時までに 40 ～ 50 億ドルという収益をあげることが予想される。Hexcel は中間弾性率炭素繊維「HexTow」を用いて開発した強化エポキシプリプレグ「HexPly」を提供し、内装や二次構造用の複合材製品として布地、プリプレグ、樹脂、ハニカム、接着剤、HexMC 成形部品等も手がけることになる。Hexcel は米国、英国、ドイツ、スペイン、フランスの施設で同製品の供給を行う。

また、風力発電分野においても 2008 年に新型プリプレグ HexPly® M19 を開発し、風力タービン翼への適用を進めている。HexPly® M19 は、その旧型で実証された取扱特性および機械的特性を持ち、ルートエンド、スパー、シェルの製造に適している。

同社は、HexPly® M19 によって、従来の風力エネルギーグレードのプリプレグと比較すると時間効率が向上（約 20%）、また、成形コストの減少も同時に達成したとしている。また、耐久性が向上し寿命が約 30% 長く、ジウロンを含まないために環境適合性も高いため EU の規則にも準拠すると発表している。製品の形態は炭素繊維およびガラス強化材である。

< Zoltek Companies, Inc. (米国) >

1988 年より炭素繊維事業を開始し、Panex®というブランド名にて連続繊維、チョップド、ミルド、織物、プリプレグなど様々な形態で炭素繊維を供給している。また、機能繊維として Pyron®というブランド名の耐熱性に優れた繊維の販売を行っており、航空機ブレーキや不燃性が求められる部位等に使用されている。

同社は、炭素繊維の風力発電ブレードへの適用に積極的であり、デンマークの Wind Systems A.S. と近接な関係を築いている。また、自動車分野においてはドイツの BMW や米国のゼネラルモーターズなどに炭素繊維を供給しており、その他にも、オイル・ガス掘削設備などの土木分野にも用途展開を進めている。図 4 は Zoltek 社による炭素繊維の今後の市場予測である。

近年では 2007 年には同社は北米炭素繊維事業促進のためにメキシコのグアダハラに位置するプラントを買収している。買収したプラントは、同社のプリカーサー生産量の増加と共に、低コスト化、高速化も期待されている。同プラントは当初、Crysel のアクリル繊維を生産していたが 2006 年から稼動しておらず、Zoltek が炭素繊維生産用に改築し、完了時点で購入した。一連の改築にかかった費用は約 1 億ドルと見積もられている。

2008 年末までに運転開始、年間 2 万トンの初期生産能力が予定されている。年間生産量は 2011 年までに 6 万トンにまで引き上げられ、2000 万ポンドの炭素繊維が出荷されることになっている。

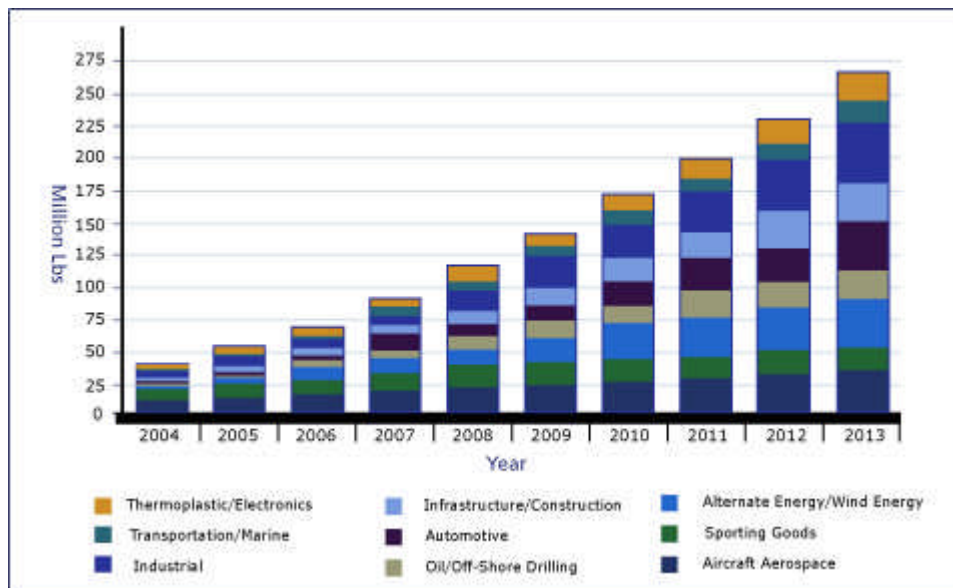


図 4 Zoltek 社による今後の炭素繊維市場規模の拡大予測

出所) 同社ホームページより

<http://www.zoltek.com/carbonfiber/future.php>

< SGL Carbon (ドイツ) >

SGL Carbon Group は炭素製品の手主プロバイダーであり、Carbon Fibers & Composites (CFC)、Performance Products、Graphite Materials & Systems の3部門で事業を行っている。

このうち、CFC は広範囲におよぶ炭素繊維および複合材製品を扱う最も主要な部門である。同社の製品カタログには、炭素繊維、膨張黒鉛、特殊グラファイト製品、複合材部品、炭素/黒鉛電極、ブレーキディスク、処理技術などが掲載されている。炭素繊維 SIGRAFIL® C、酸化繊維 PANOX®、一部炭化された繊維である SIGRAFIL® T が SGL の主要な炭素繊維ブランドである。SGL は、米国、カナダ、インド、中国、ヨーロッパの38の製造拠点を運営し、世界100カ国以上で商品化している。

SGL は、2007年に4億2300万ドルをかけて炭素繊維の設備容量を3倍にする計画を発表した。同社はこの拡張プロジェクトで2012年までに年間約12,000トンまでの容量増加を図る。プロジェクトには、マイティンゲン(ドイツ)、エバンストン(米国)の2箇所のGreenfield炭素繊維生産設備の立ち上げ(それぞれの年間生産容量は4,000トン)が含まれる。また、インバネス(英国)の設備の容量も年間2500トンから4000トンまで引き上げられる。

図5はSGL Carbon社の今後の炭素繊維の需要予測であるが、同社では今後は一般産業用途での拡大を見込んでいる。一般産業用途の中でも特に風力発電、自動車分野、土木・採掘、圧力容器などの期待が大きい。

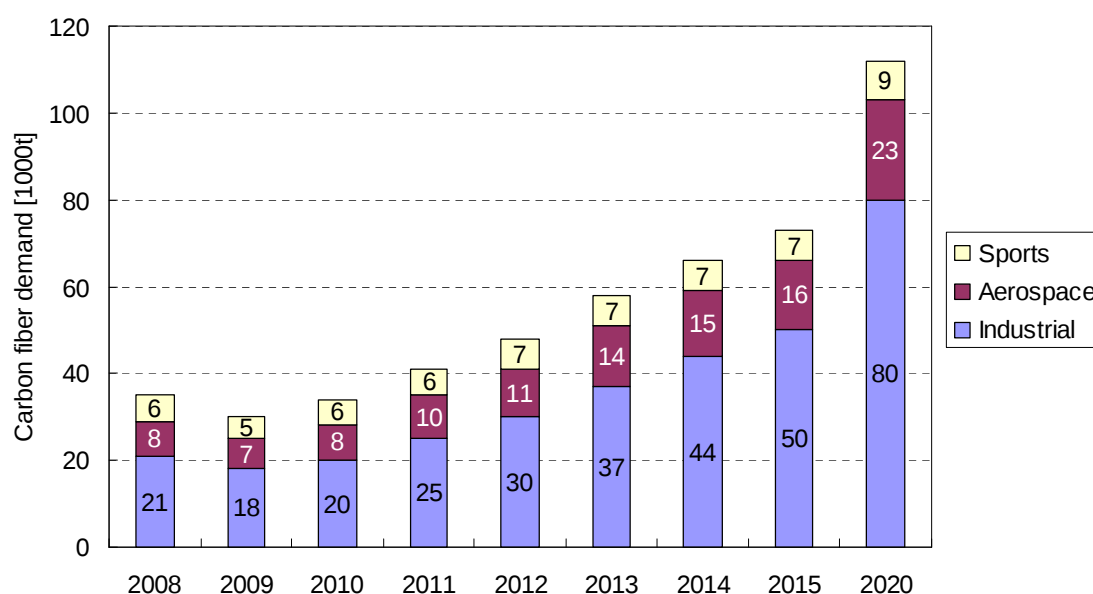


図 5 SGL Carbon 社による今後の炭素繊維市場規模の拡大予測

出所) 同社発表資料より三菱総合研究所編集・作成

<AKSA(トルコ)>

AKSA はトルコのイスタンブールに本社を持つ、アクリル繊維の製造会社であったが、2008 年より炭素繊維の製造を開始している。同社によると 2008 年は年間 34 トンの製造に留めているが、2009 年にはトルコ北部の Yalova を中心に年間 1500 トンの生産を行うと発表している。また、炭素繊維プロジェクト用の投資額は 8500 万ドルである。

製品の販売形態としては繊維だけでなく、プリプレグ、織物、成形品まで手がけており、RTM、フィラメントワインディング、連続式引抜成形、コンパウンディングなどの各種成形技術も保有している。主な用途としては、LNG などの圧力容器に加え、風車ブレード、海運、電車、自動車などの輸送機器への適用を見込んでいる。

<Reliance Industries Ltd (インド)>

同社は、インドの財閥企業の一つでありエネルギー・材料分野を中心に事業を展開しており、年間 280 億円以上の売上を持っている。同社は 2008 年に Gujarat の Vadodara 設備で炭素繊維を生産する計画を発表した。この決定はこれまで炭素繊維を輸入に依存してきたインドの状況に影響を与えるものと見られている。生産に当たっては、国有の National Aerospace Laboratories (NAL)が開発した製造技術を活用する予定であり、生産規模は年間 4000t 程度と発表されている。

<Atomenergoprom（ロシア）>

同社はロシア連邦政府が 100 パーセントの株式を保有する持株会社であり、原子力発電に関する企業体である。2008 年に炭素繊維事業を管理するための新ユニット Khimpromengineering を設立した。この決定は、同社の原子力部門資産の強化・再編戦略の一部で、これにより原子力事業の効率が向上すると発表している。

Khimpromengineering は、Chelyabinsk に位置する Carbon and Composite Materials Plant と Saratov の Balakovo が本拠地の Argon LLC という子会社を通じて営業活動を行う。2020 年までには炭素繊維生産量は年間 3000 トンになることが予想されている。

表 5 欧州の炭素繊維メーカーの概況

		HEXCEL	CYTEC	ZOLTEK	SGL carbon	AKSA
概要	本社	米国	米国	米国	ドイツ	トルコ
	売上高	1,325million US\$ (2008)	3,639million US\$ (2008)	139million US\$ (2009)	1,611million € (2008) 親会社との連結	1,191million US\$ (2008) 親会社との連結
	概要	炭素繊維、複合材料、樹脂製品などを手がける。プリプレグの生産が多い。	総合化学メーカー。炭素繊維は PAN 系、ピッチ系ともに取り扱う。	炭素繊維および機能性繊維メーカー。	プリカーサー、炭素繊維、織物まで幅広く手がける	トルコ籍、世界最大のアクリル繊維会社
供給	製造拠点	アラバマ州、スペインのマドリッド近辺等	サウスカロライナに PAN 系炭素繊維の製造拠点	テキサス、ハンガリー、メキシコ	ドイツ 4 都市、スコットランド、米国等	Yalova(トルコ北部)が中心
	生産能力	5,000t/年 (2009)	2,000t/年程度 (2004)	10,050t/年 (2007)	4,000t/年程度 (2008)	1,500t/年
	投資額	2007~2009 の設備容量拡大プロジェクトで 180 million US\$を投資	200-250 million US\$を投資し、2011 年までに生産能力を 1.5 倍にする見通し	-	3 億ユーロを投入し今後増設を行う予定	炭素繊維プロジェクト用に 85million US\$を投資
需要	用途開発	-	-	航空機二次構造部材 風車ブレード、オイル・ガス掘削設備、自動車など	風車ブレード、自動車部材、携帯デバイスへの短繊維への利用、土木利用等	LNG など圧力容器、風車ブレード、運輸(海運、電車、自動車)
	市場予測	-	航空機需要の牽引に支えられ、堅調に増加すると予測	2013 年に 12 万トン程度を見込んでいる	2013 年で 5.8 万トン程度を見込んでいる	-
注目事例		スペイン初の炭素繊維関連施設 中国にプリプレグ製造設備建設を計画中	上述の設備拡大計画をプレスリリースにて発表	メキシコプラントを 2007 年に買収し、2008 年にテスト運転開始	2012 年までに現状の設備容量を 3 倍の 12,000tまで増設する見通し	2009 年中盤から炭素繊維の製造開始を予定。R&D 費用は Tubitak-Teydeb が一部負担

1.2.2. 中国における炭素繊維を巡る動向²¹

中国では1960年代からPAN系炭素繊維の研究をスタートしている。当時、炭素繊維は重要な軍需製品として海外から中国への技術支援が禁じられていたため、中国におけるPAN系炭素繊維の研究は自主研究開発によっていた。

1976年、中国科学院山西石炭化学研究所ではPAN系炭素繊維の試験生産ラインを導入し、I型(T200レベル)炭素繊維を生産した。第6次5ヵ年計画²²の期間から、II型(T300レベル)炭素繊維の実験生産を始め、T300レベルの製品を研究開発し、産業化を手掛けている。吉林石化公司是「硝酸一步法」(硝酸を使って、一工程で生産する方法)でプリカーサーを生産する方法で、T300レベルに近い炭素繊維を開発した。しかし、この方法は環境への汚染が多いため、現在は使われていない。現状では、生産規模が小さい、製品の質が不安定、製品のラインアップが少ない、種類が単一、高性能製品が存在しない、生産設備が古いことなどが、中国の炭素繊維産業の発展の制約となっている。

ここ数年、中国における炭素繊維への需要量が日々増加しており、その多くは輸入に頼っている。2004年全国の炭素繊維の使用量4,000トンに対し、国内の生産量はわずか十数トンであった。現在、中国国内におけるPAN系炭素繊維の生産能力は小さく、2007年の国産供給量は約200トンにとどまっている。さらに、2009年の国内需要量は7,500トンと言われ、国産炭素繊維の供給はますます不足していることから、国内市場の需要を満たせず炭素繊維の9割以上が輸入に頼っている。先進国による中国への炭素繊維技術や製品の一部輸出解禁によって、民間向けの炭素繊維の輸入ルートができたが、高性能炭素繊維の対中国輸出はまだ制限されている。

こうした炭素繊維への需要が増える中で、PAN系炭素繊維は国内新型材料業界の研究開発の焦点となっている。中国企業だけで十数社が炭素繊維の生産ライン導入を決め、着々と進めているようである。しかし、一社あたりの導入予定の年間生産量は数十トンから数百トンレベルが多く、T300レベル炭素繊維が中心である。国内で最も生産能力が高い企業は大連興科炭素繊維有限公司であり、建設済みの年間360トンの炭素繊維生産ラインの技術改造を行い、年間約800トンが生産可能となっている。

また、先進国に比べて国産炭素繊維の強度が低く、東レ社のT300レベルに相当する。製品の品質も不安定であり、強度や弾性率、密度等のCV値は海外製品と比べて差があり、縦糸切れは海外製品の数倍も多く発生する。さらに、製品品目が少ないものの、価格は海外製品の1.5～3倍となっている。

²¹ 張有定「炭素繊維の産業現状及発展」(2009年)、肖穎(大連興科炭素繊維有限公司総経理)「第十四回中国国際複合材料工業技術展示会インタビュー」(2008年)、大連興科炭素繊維有限公司(表35)ホームページを参照。

²² 第6次5ヵ年計画は、1981年～1985年に実施された実施計画であり、第5次5ヵ年計画で示された「調整・改革・整頓・向上」方針の継続、経済貿易の発展、外資の利用、人口増加の抑制などが重点課題として示されている。

1.2.3. 中国における炭素繊維の生産能力および需要

吉林石化公司研究院²³によると、2006 年の中国における主要 PAN 系炭素繊維メーカーは約 12 社、生産能力は約 1,310 トン/年である。しかし設備の稼働率が低いいため、実際の生産量はわずか 40 トン/年（1K～12K）となっている。また、大連興科炭素繊維有限公司の情報によると、2007 年の国産炭素繊維の供給量は約 200 トンであった。

中国国内の炭素繊維の消費量は、2000 年には約 1,200 トンであったが、2002 年には 2,000 トン、2005 年には 5,400 トンを超えている。中国ガラス繊維情報網²⁴では、中国の炭素繊維需要は毎年 9～11%で増加していくと予測している。

一方、『2010 年～2014 年中国炭素繊維産業運行動態と戦略投資前景報告』によると、2010 年の中国国内市場における炭素繊維の消費量を 8,600 トン、2013 年には 16,000 トンを超えると予測している。さらに、中国の需要は年々 10%超の成長を続け、2013 年には 40%超の成長が見込まれている。



図 6 中国炭素繊維の需要量および成長率予測（2009-2013 年）

出所）北京金安明邦国際商務調査顧問有限公司²⁵『2010 年～2014 年中国炭素繊維産業運行動態と戦略投資前景報告』（2009 年 12 月）

²³ 中国石油吉林石化公司（表 33）の研究機関。

²⁴ 中国ガラス繊維情報網（中国のガラス繊維業界の情報公開ホームページ）より。
URL: <http://www.ccfxx.com:8082/>

²⁵ 中国国家统计局、中国科学技术情報学会が承認・監督している顧問機関。

表 6 世界の炭素繊維生産能力予測（単位：トン）

項目	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
レギュラートウ	発表生産能力	42,950	49,850	56,200	59,200	59,200	60,700
	実際生産能力	27,958	36,390	42,150	44,400	44,475	45,525
ラージトウ	発表生産能力	20,500	23,750	25,750	25,750	31,750	32,250
	実際生産能力	18,860	21,850	20,850	23,690	29,210	10,130
発表総生産能力 ²⁶		63,450	73,600	81,950	84,950	90,950	93,450
実際の総生産能力 ²⁷		46,818	58,240	63,000	68,090	73,685	-

出所）北京金安明邦国際商務調査顧問有限公司『2010 年～2014 年中国炭素繊維産業
運行動態と戦略投資前景報告』（2009 年 12 月）

炭素繊維は、新型高性能繊維として、高強度、耐熱性、耐腐食性、耐摩擦性などの特徴を有していることから、その応用範囲は航空宇宙、機械、建材、交通建材、医療分野などに広がっており、中国の国民経済における重要な戦略的地位を占めている。近年の生産技術の進歩と応用範囲の拡大により、炭素繊維の需要はますます増大している。『2010 年～2014 年中国炭素繊維産業運行動態と戦略投資前景報告』では、市場の成長性別に具体的な応用分野として以下をあげている。

表 7 国内炭素繊維の主要応用分野

市場の成長性	応用分野
成熟市場	- 国防、航空、宇宙：飛行機、ロケット、ミサイル、衛星、レーダーなど - スポーツ・レジャー：ゴルフクラブ、釣具、テニスラケット、バトミントンラケット、自転車、ヨットなど
新興市場	圧力容器、建築補強、風力発電ブレード、摩擦材料、海上オイルリグ
開発潜在市場	自動車部品、医療機械など

出所）北京金安明邦国際商務調査顧問有限公司『2010 年～2014 年中国炭素繊維産業
運行動態と戦略投資前景報告』（2009 年 12 月）

²⁶ 生産各社が発表した導入予定の生産能力。

²⁷ 生産各社の実際の生産能力。

また、国家漁具質量監督検測センター²⁸では、世界と中国の炭素繊維の応用分野の需要の現状と今後について予測をしている。その結果を表 8 と表 9 に示す。

表 8 世界の炭素繊維応用分野における需要の現状と今後（単位：トン）

年度	航空宇宙	スポーツ・レジャー	工業	合計
2004	2,741	5,081	12,858	20,680
2005	3,215	5,101	13,604	21,920
2006	3,775	5,135	15,280	24,190
2007	4,170	5,097	17,003	26,270
2008	4,741	5,107	17,892	27,740
2009	5,201	5,104	19,205	29,510
2010	5,389	5,118	21,408	31,915

出所）国家漁具質量監督検測センター（2008 年 12 月）

注：2008 年度上半期までのデータは実績値。それ以降は推計値。

表 9 中国の炭素繊維応用分野における需要の現状と今後（単位：トン）

年度	航空宇宙	スポーツ・レジャー	工業	合計
2003	60	3,000	200	3,260
2004	90	3,600	340	4,030
2005	120	3,800	500	4,420
2010	250	4,000	1,900	6,150

出所）国家漁具質量監督検測センター（2008 年 12 月）

注：2008 年度上半期までのデータは実績値。それ以降は推計値。

国家漁具質量監督検測センターによると、航空宇宙分野での炭素繊維に対する需要が増加していることにより、近年、炭素繊維の価格は大幅に上昇しているという。また上表から分かるように、中国の工業分野での炭素繊維の需要は上昇しており、今後とも、炭素繊維の需要を引き上げる要素の一つとなると考えられる。

²⁸ 国家漁具質量監督検測センター（1991 年原国家質量技術監督局の批准により成立され、国家の授権により、第三者的な公正地位にある国家級の専門検査機関。主に、釣具やレジャー用品および建築における製品の安全性について品質を検査する。）

URL:<http://www.gjyj.cn/zhici.asp>

1.2.4. 中国・台湾における炭素繊維製造企業

中国では、炭素繊維への需要が急速に増えていることから、国内生産だけでは需要を賄えない状況にある。このような状況の中、多くの企業が炭素繊維市場に参入してきている。図 7 に中国における炭素繊維の生産拠点・研究機関、表 26 に中国国内で炭素繊維を製造している主な企業の一覧を示す。なお、各企業の概要、拠点、生産技術、生産能力の推移、今後の増産計画、出荷先に関する情報などの詳細については参考資料 1 において示している。

表 10 中国・台湾の炭素繊維製造企業

番号	企業名	技術提携	設備導入
1	中国石化上海石油化工股份有限公司	公開情報なし	公開情報なし
2	吉林炭谷炭繊維有限公司	長春大学	公開情報なし
3	山西恒天紡績新繊維科技有限公司	大連興科炭素繊維有限公司	公開情報なし
4	中複神鷹炭素繊維有限責任公司	東華大学	公開情報なし
5	吉林市吉研高科技繊維有限公司	吉林石化公司研究院	公開情報なし
6	上海炭素有限公司（旧上海炭素工場）	公開情報なし	公開情報なし
7	中国石油吉林石化公司	自社研究院	公開情報なし
8	中国恒天集团有限公司	グループ会社	公開情報なし
9	大連興科炭素繊維有限公司	山西恒天紡績新繊維科技有限公司	公開情報なし
10	中鋼集団吉林炭素股份有限公司（吉林中鋼炭素工場）	公開情報なし	公開情報なし
11	蘭州中凱工貿有限責任公司	公開情報なし	公開情報なし
12	威海拓展繊維有限公司	山東大学、ロシア国家グラファイト材料研究所	公開情報なし
13	揚州惠通化工技術有限公司	公開情報なし	公開情報なし
14	上海同矽炭纖維布有限公司	上海同済大学、上海建築科学研究院	公開情報なし
15	台湾プラスチック	-	Hitco 社（米国）炭素繊維生産ライン



図 7 中国・台湾における炭素繊維の生産拠点・研究機関

出所) 各種資料より三菱総合研究所作成

1.2.5. 日本における炭素繊維製造企業

< PAN 系 >

PAN 系炭素繊維の主な製造企業は、東レ、東邦テナックス、三菱レイヨンの 3 社であり、この 3 社とその関連企業で世界の PAN 系炭素繊維世界市場シェアの 7 割以上を占める。PAN 系炭素繊維は強度面でピッチ系より高く、ピッチ系も含めた炭素繊維全体のうち 9 割程度が PAN 系炭素繊維だと推定されている。

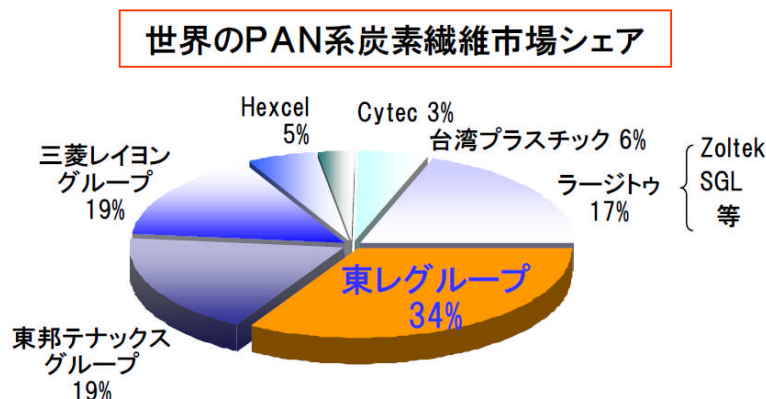


図 8 PAN 系炭素繊維の市場シェア 2008 年推定値

出所) 東レの環境配慮型製品について 2009 年 9 月

PAN 系炭素繊維の生産能力は日本の企業およびその関連会社が世界全体の 7 割以上を占めている。2008 年度後半からの景気後退により新設備の稼働を延期している企業もあるが、中長期的には需要が伸びるとの予測の元に、各社設備増強を実施している。

表 11 PAN 系炭素繊維の生産能力
(2010 年 3 月時点の公開情報一部予定も含む)

グループ	生産拠点	生産能力[ton/年]
東レ	日本 (愛媛工場)	8,300
	フランス (SOFICAR)	5,200
	アメリカ (CFA)	5,400
東邦テナックス	日本	6,400
	ドイツ	5,100
	アメリカ	2,000
三菱レイヨン	日本	8,100
	アメリカ	2,000
	欧州	750

出所) 各種公表資料から三菱総合研究所作成

<ピッチ系>

ピッチ系炭素繊維の主な製造企業は、三菱樹脂、日本グラファイトファイバー、大阪ガスケミカル、クレハの国内 4 社と米国のサイテックがあるが、国内 4 社で世界生産量の 9 割を占めている。

ピッチ系炭素繊維はコールタールピッチや石油ピッチを出発原料としており、紡糸に供するピッチの結晶状態により、等方性（難黒鉛化性）と異方性（易黒鉛化性、メソフェーズ）とに分類される。等方性ピッチ系短繊維は、繊維軸に沿った炭素の配向構造が弱く黒鉛結晶の発達も少ないため、弾性率、強度、熱伝導率が低い、軽量、耐薬品性、耐熱性、摺動性などの特性から産業分野で使用されている。

一方、異方性ピッチ系炭素繊維はメソフェーズピッチ系炭素繊維とも呼ばれ、焼成時の温度によっては、900GPa を超える高い引張弾性率を有するグレードがある。そのような高弾性率タイプは加工性にも優れており、軽量・高剛性という特長から産業分野やスポーツ・レジャー分野で広く利用されている。また、金属と同等以上の熱伝導率をもつことから、宇宙・航空分野においても需要が高い。

ピッチ系炭素繊維の設備容量は日本の企業が 9 割を占めており、近年のロボットハンド分野や金属ロール代替分野および半導体製造装置などが牽引し、各社設備容量を増大させている。

表 12 ピッチ系炭素繊維の生産能力

メーカー	生産能力[ton/年]	原料ピッチ	繊維種別
三菱樹脂	1000	メソフェーズ	HP・連続繊維
日本グラファイト ファイバー	120 → 180	メソフェーズ/等方性	HP・連続繊維
クレハ	1100 → 1450	等方性	GP・短繊維
大阪ガスケミカル	300 → 600	等方性	GP・短繊維
Cytec（米国）	230	メソフェーズ	HP・連続繊維

出所) 深川敏弘(三菱樹脂), ピッチ系炭素繊維の現状と将来,
第 21 回複合材料セミナー発表資料, 2008 年 2 月²⁹

²⁹ 三菱樹脂ホームページより参照可能。 http://www.yes-mpi.com/tanso/shohin_info.html

1.3. 炭素繊維・複合材料の研究開発動向

1.3.1. 欧米における炭素繊維・複合材料の研究開発動向

下記に、欧州における主要な炭素繊維・複合材料関連プロジェクトの概要を示す。

(1) 英国：HIRECAR プロジェクト

HIRECAR とは High value composite materials from REcycled CARbon fibre の略であり、自動車サプライチェーン上の組織を集め、高品位・低コストのリサイクル炭素繊維製造を目的としたプロジェクトである。リサイクル時の炭素繊維の繊維長は短く、BMC (Bulk Moulding Compound) や SMC (Sheet Moulding Compound) により、自動車のボディパネルや構造部材等への使用が想定されており、最終的には自動車の 50%以上をそのようなリサイクル炭素繊維で構成することを目指している。

1997 年以来ノッティンガム大学では、バージン材の引張弾性率の 90%と引張強度の 75%を保持する流動層プロセスを用いたリサイクル法の研究を進めている。同大学によると、年間数百トン規模のプラントにおいて、短繊維(チョップド)でのリサイクルは 1kg 当たり約 1 ポンド程度の費用と見込まれており、リサイクルされた短繊維は十分な長さを有しているため、BMC 成形の際には低コストで高品位な強化材となり得るとしている。

金属製の自動車はシェル構造で構成されており、耐荷重性を向上させるために小プレス成形や鋳造によって作られた部品が数多く接合されているが、そのような部品が全体のコストや重量を大きくしている。そのような背景に注目し、HIRECAR プロジェクトでは以下の技術開発を掲げ、リサイクル炭素繊維の積極的な利用により、パーツ製造時のコストを低減させ、リサイクルしやすい自動車を形成していくことを目指している。

- 既存の SMC 成形技術を活かし、部分的に 3D 構造をした平板構造部品の形成
- 鋳造アルミニウムよりも優れた構造特性を有する大きな 3D 構造部品の形成
- 新規製造方法を用いた小さな 3D 部品の形成

なお、HIRECAR プロジェクトはイギリスの旧英国貿易産業省(Department of Trade and Industry : DTI)により資金提供を受けており、Advanced composite materials and structures technology programme の一環のプロジェクトである。フォード自動車、東邦テナックス、Advanced Composites Group, Technical Fibre Products の 4 社が参加している。

(2) 英国：AFRECAR プロジェクト

AFRECAR (Affordable REcycled CARbon fibres)は、英国ノッティンガム大学を主導とした、リサイクル炭素繊維の自動車分野への応用に関するプロジェクトである。ノッティンガム大学がそれまでに行っていた炭素繊維・複合材料リサイクルに関する研究が出発

点となっており、HIRECAR の派生プロジェクトにあたる。

同プロジェクトでは炭素繊維・複合材料リサイクルに関する課題として、(1) リサイクル炭素繊維の機械特性の向上、(2) リサイクルプロセスの改善、の 2 点を挙げている。これらの課題に対して、以下に示すようなアプローチで、宇宙航空業用と自動車業用の高品位なリサイクル炭素繊維の開発を行っている。

- リサイクル炭素繊維を用いた、従来よりも繊維含有量の多く、低コスト・高強度の複合材成形・開発。
- 超臨界流体プロセス(supercritical fluid processing)を用いて、高品位のリサイクル炭素繊維回収。および接着時等に用いられるポリマー樹脂の回収。
- 大規模・高効率な炭素繊維・複合材料リサイクル技術の確立。

なお、同プロジェクトは英国技術戦略委員会(Technology Strategy Board)より£900,000 の予算がついており、Boeing、Ford Motor Company、複合材成形メーカーの Advanced Composites Group、繊維加工会社の Technical Fibre Products、炭素繊維製造側の東邦テナックス、炭素繊維・複合材料リサイクルを先導している Milled Carbon が参加している。

(3) 英国：ノッティンガム大学におけるその他の取り組み

英国ノッティンガム大学ではその他にも様々な複合材料の関連プロジェクトを行っている。下にその例を示す。

● PLATFORM GRANT³⁰

- モデリング時の共通プラットフォームの構築を目的としている。
- 物理的な挙動の理解のために、既存モデリングの拡張により、破壊進展等のシミュレーションが可能になり、ダメージ機構と環境特性が明らかになる。
- 共通プラットフォームを用いることで複合材の互換性のある幾何学的な定義が可能になり、シミュレーション技術を向上させる。

● UV curing of textile composites(CURE-TEX)³¹

- 建設、自動車、海運(船)の分野に適用可能な厚い複合材の迅速な硬化方法の確立。
- UV を利用した硬化方法は迅速に、安く、省エネで複合材を硬化させることができる方法として注目されていたが、厚い物質への適用は不向きであった。同プロジェクトでは光ファイバーを複合材に織り込むことで UV を用いた迅速・均質な硬化を可能にした。
- 光ファイバーは UV を分散させるものとして、繊維強化材として、将来的には物質内部のひずみを計測するものとして機能することになり、CURE-TEX チームはイギリス国内で年間 7500 万ポンドの市場を獲得することができる技術だと推

³⁰ <http://gow.epsrc.ac.uk/ViewGrant.aspx?GrantRef=GR/T18578/01>

³¹ <http://www.berr.gov.uk/files/file34996.pdf>

定している。

- *Fatigue, damping and Impact properties of textile composites*³²
 - イギリスとアメリカの 6 大学が協力し、複合材の疲労特性、減衰特性、衝撃特性等の研究を行う。熱硬化 2D プレード(炭素とガラスのハイブリッド繊維とエポキシ樹脂)、熱可塑 2D プレード(炭素とアラミドのハイブリッド繊維と含浸前の PA/TPU)、熱可塑 3D 含浸前テープを対象として実験を行い、それぞれ大学で得られた結果同士を比較する。
 - ダメージを受けた複合材の損傷開始点と疲労特性を研究し、また、ダメージを受けた物質とダメージを受けていない物質の減衰特性を明らかにすることにより成形時に必要となる各種パラメータの最適化を目標とする。

- *Fibre reinforced healthcare*³³
 - 医療分野における複合材の適用を目指し、人工骨の生成、骨折固定装置、骨充填剤などの研究を行う。
 - 生体適合性を有するポリカプロラクタムなど脂肪族ポリエステルを対象とし、これまで培ってきたポリマーの技術を用いて効率的な重合反応を生じさせる。
 - 繊維強化材(専らリン酸塩の glass fibre)をポリマーの中に注入することによって剛性を増加させ、骨を人工骨で置き換えるなどの研究を行う。

- *Analysis and modeling of advanced preform processing(AMAPP)*³⁴
 - LCM プロセスにおける先進的な繊維製品の挙動とパフォーマンス性の基礎研究を行う。
 - 3D での成形を行うことにより、2D の時よりも高いパフォーマンス性を有する材料の開発が可能になる。
 - 繊維構造のモデリング、繊維の機械的特性、プリフォームの含浸性等についてモデリングを行い、実験で確認する。

- *Affordable innovative rapid production of off-shore wind energy rotor-blades(AIRPOWER)*³⁵
 - 風車のデザインと製造において、コスト効率性が良く、自動化された大規模ローターブレードの高温蒸着法の確立を目的としている。
 - 低コストで高剛性を有する革新的な材料の開発、および硬化プロセスと風力発電稼働中における歪み観測の方法の確立を目指す。

³² <http://gow.epsrc.ac.uk/ViewGrant.aspx?GrantRef=EP/C538137/1>

³³ http://www.nottingham.ac.uk/~eazwww/composite/biomedical_apps.htm

³⁴ <http://www.nottingham.ac.uk/~eazdkm/index.html>

³⁵ <http://www.windturbinecomposites.co.uk/>

(4) 英国：NCC

英国政府は 1600 万ポンド出資し、National Composite Centre(国立複合材料センター) を立ち上げることが 2009 年 11 月に発表された。同施設は各地域の National Composites Network のセンターとの協力のもと運営され、新しい複合材料アプリケーションの開発、複合材料の低コストでの製造、品質の向上、生産性の向上等を図る。

同施設は英国南西部、GKN Aerospace の Bristol の Filton 施設と、Isle of Wight の Cowes 施設の両方に近い場所に建設される。6000 平方メートル/64,600 平方フィートの規模となり、ワークショップスペース、オープンプランオフィス、ミーティングルーム、研修施設などが敷設される。複合材料の設計と迅速な製造に関する世界クラスの革新を実現し、広範囲におよぶ産業開発を可能にする独立系オープンアクセスセンターとなることを目指している。本格的な稼動は 2011 年 4 月に予定されている。表 13 に NCC 設立時のメンバーを示す。なお、これらは 2005 年に設立した英国の National Composites Network の設立メンバーと同様である。

表 13 英国 NCC への参加組織一覧

組織名	組織概要
GKN Aerospace	英国に本拠地を持つ航空宇宙セクターへの複合材料サプライヤー。
Vestas Wind Systems As	デンマークに本社。風力発電施設の設計、製造等を行う。
Airbus	フランス、民間航空機の製造
Rolls-Royce	英国、航空機エンジンおよび高級自動車メーカー
South West RDA	英国南西部における地域振興団体。
Bristol University	英国ブリストル大学

(5) ドイツ：CFK Valley Stade

CFK Valley Stade は、CFRP の開発・応用・普及を目的に形成された分野横断的な組織である。ドイツ企業を中心とした 73 の組織の協賛により設立されており、Technology, Services, Convention, Campus, Recycling, Science の 6 つの下部組織を通して、人材育成から製品のリサイクルまでを幅広く手がけている。(図 9 参照) CFK Valley Stade の取り組みの詳細については第 3 章にて後述する。



図 9 CFK Valley Stade の対象範囲

出所) CFK Valley Stade Recycling 発表資料より抜粋

表 14 CFK Valley Stade の参加組織の例

業種	組織名
航空機メーカー	・ Airbus (仏)
自動車メーカー	・ Volkswagen (独)
炭素繊維メーカー	・ Hexcel (米)
部材・部品メーカー	・ SAERTEX (独) ・ KARL MAYER (独) ・ etc
リサイクル事業者	・ CFK Valley Stade Recycling (独)
大学/研究機関	・ Fraunhofer (独) ・ Composite Technology Center (独) ・ FASERINSTITUT (独)

(6) ドイツ：CTC

CTC (The Composite Technology Center GmbH) は、Airbus ドイツ法人の子会社であり、CFK Valley Stade ネットワークにおける開発拠点一つである。航空機、船舶、乗用車、商用車などを対象とした複合材の成形・製造技術の研究開発を行っている。

近年では、RTM(Resin Transfer Molding)や VARI(Vacuum Assisted Resin Inflation)などの成形技術に加えて、積層の自動化に注力している。図 10 は CTC の保有する自動積層機械の外観である。CAD ソフトによってプレプログラミングを行い、三次元での積層および切り出しを可能としている。



図 10 CTC の保有する自動積層機械の外観

出所) CTC ホームページより抜粋

(7) フランス：PAMELA

Airbus 社では今後 20 年間に年間で 200 機近い航空機が退役すると考えており、退役後の航空機のリサイクルを目的とした PAMELA (Process for Advanced Management of End of life Aircraft) プロジェクトを設立している。欧州委員会の LIFE Environment Programs (L'Instrument Financier de l'Environnement) によって資金援助が行われており、プロジェクトの予算総額は 240 万ユーロである。

同プロジェクトでは、航空機の重量比で 85% から 95% をリサイクルもしくはリユースすることを目標としているが、炭素繊維・複合材料リサイクルでは退役済み航空機のパーツを熱分解することで、複合材から樹脂と繊維を分離する方法が検討されている。下に PAMELA プロジェクトにおけるリサイクル・廃棄プロセスを示す。

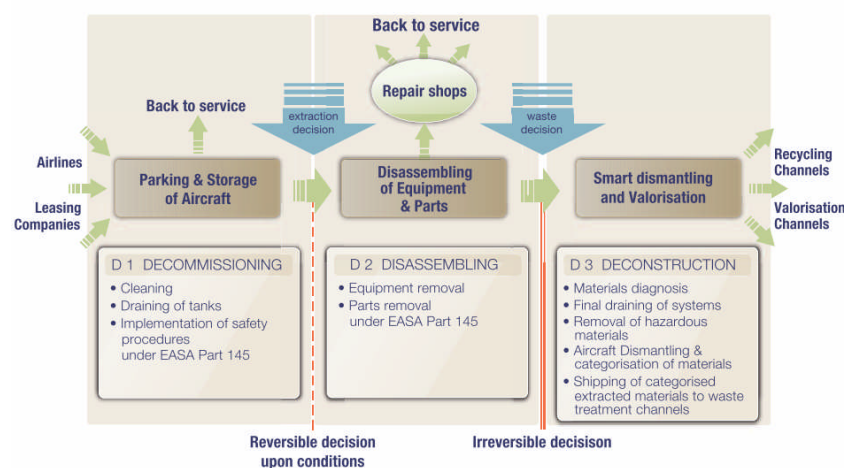


図 11 PAMELA プロジェクトにおけるリサイクル・廃棄プロセス

出所) Airbus 発表資料より抜粋

(8) オランダ：TAPAS プログラム

TAPAS プログラムとは、オランダの航空業に關与する企業・大学・組織が集合して始めた熱可塑複合材に關するプログラムである。2005 年の Memorandum of Understanding を発端としており、2009 年に新しく 6 つの組織を加えて TAPAS となった。総額で 1300 万ユーロを超える予算のプログラムであり、オランダ政府の經濟省(Dutch Ministry of Economic Affairs)より予算の半額に当たる 660 万ユーロの資金援助を得ている。

TAPAS プログラムの目的は、航空機ボディー次部材への使用を目的とした新世代熱可塑複合材の研究開発を行う事である。現在では航空機の内装、フロアパーツ、羽の部品にしか使用されていない熱可塑複合材をマテリアル、プロセッシング、接合の技術を活かして将来的には航空機の胴体やウイングに適用していくことを目標としている。Netherlands Agency for Aerospace Programmes (NIVR)やオランダ經濟省 (Ministry of Economic Affairs) が尽力してオランダ産業界を結び付け 2009 年に TAPAS となり、トエンテ大や

デルフト工科大が参加したことでさらに革新的な材料の開発が可能となった。このプログラムで発達した技術を将来的には海運やオイル・ガス、自動車分野へ利用していくことも考えている。

以下に参加組織の一覧を示す。

表 15 TAPAS プログラムへの参加組織一覧

組織名	組織概要
Airbus	フランス、民間航空機の製造。
TenCate	オランダに本社を持つ高機能繊維メーカー。
Stork Fokker	オランダの代表的な航空機用複合材料成形メーカー。
Airborne Composites	航空、機械部品等の複合材料を設計・製造。オランダのハーグとスペインのジローナに拠点。
KVE Composites Group	オランダの複合材料メーカー。医療機器、軍事機器の部品を製造。
Dutch Thermoplastic Components	オランダの熱可塑性樹脂メーカー。
Technobis	オランダのエンジニアリング会社。精密機械の OEM 製造をする。
トエンテ大学	オランダ、1961 年に創立。理工系に強み。
デルフト工科大学	オランダにおける最大の工科大学。1842 年設立。
NLR	オランダ、民間航空機の製造を手がける。

(9) 米国：ORNL

米国のオークリッジ国立研究所（ORNL：Oak Ridge National Laboratory）は、テネシー州に位置する国立研究所であり、米国エネルギー省の下でテネシー大学とバテル記念研究所が運営を行っている。同研究所では低コスト炭素繊維の開発と商業化に関する研究に注力している。

商用グレードの炭素繊維の製造コストの内訳は、前駆体コストが 50%、処理コストが 50% であるため、技術開発はこれらに前駆体と処理の両方に対する取り組みが必要となる。現在調査中の代替となり得る低コストの前駆体には、ポリアクリロニトリル（PAN）繊維とリグニンベースの素材の繊維が含まれる。ORNL では目下、PAN 繊維、紙・パルプ、エタノール燃料の製造者と協力して代替となる前駆体の技術を開発している。また、ORNL は、処理時間とエネルギー需要を削減するため、マイクロ波とプラズマ処理をベースにした新型の変換処理と事後処理の方法を開発している。

商用化に関することでは、炭素繊維の製造コストの大幅な低減により、軽量かつ高強度の炭素繊維を自動車や風力発電へ応用に取り組んでいる。特に、自動車軽量化による燃費向上を実現させるアプリケーションに重点を置いている。自動車の燃料効率の向上させる方法のひとつに車両の重量を減らす方法があるが、車両に非毒性でもある炭素強化複合

材を採用することで大幅な重量削減が実現できる。その他、エネルギー関連のアプリケーションには以下が含まれる。

- ・ 風力エネルギー
- ・ 海底油田・ガス開発
- ・ 民間航空機
- ・ 公共インフラ

また近年では、米国エネルギー省 (DOE) の援助のもと、ORNL およびそのパートナー企業は、Automotive Composites Consortium (自動車複合材料コンソーシアム) と協力して、商用グレードの炭素繊維を 1 ポンド当たり \$5 ~ \$7 で製造できる技術開発を行っている。

(10) 米国：AFRA

AFRA (Aircraft Fleet Association) はボーイング社を中心に設立された、航空機材料のリサイクルを目的としたグループである。米国を始めとして、英国、フランス、イタリアの航空機パーツメーカー、素材メーカーと協調し、40 以上のメンバーで構成されている。

炭素繊維・複合材料のリサイクルではインプラントでの廃材に加え、退役した航空機(市場ゴミの位置づけ)も対象としたリサイクルに取り組んでおり、英国 Nottingham 大学、および後述する Adherent Technologies の保有する熱分解を中心とした技術を検討している。また、リサイクル炭素繊維の自動積層機械の開発なども行っている。

(11) 米国：NCC

米国においても、英国と同名の国立複合材料センター (NCC: National Composite Center) があり、設立は 1966 年と英国よりも歴史が古い。同組織は University of Dayton Research Institute、Dayton Development Coalition、EMTEC、Air Force Research Laboratory、State Ohio Department of Development の協力により、主流となる商業市場を開放し豊富な資源を新たなビジネス機会に活用するための非営利 (非課税) の研究開発機関として設立されたものである。

元 Defense Electronics Supply Center (DESC) の跡地に新設した Kettering Business Park 内にビルを取得。General Motors/Delphi Chassis Division が圧縮成形機 2 台、引き抜き成形機 1 台、一連の複合材試験・仕上げ装置を寄贈している。NCC では複合材やその処理技術、各種分野で経験を積んだ技術エキスパートたちによるチームが集結し、コンサルティングを含む顧客へのサービスを提供している。

2002 年に Boeing Phantom Works より 450 万ドル相当の自動繊維配置機 (Robotic fiber placement machine) が寄贈され、2003 年には Bob Taft 州知事が自動車・輸送機関向け高強度熱可塑性複合材部品の開発用に Wright Capital Project Fund から 100 万ドルを NCC に寄付。また、同知事は、NCC の大規模予備成形システムおよび樹脂成形機設置のために Wright Capital Project Fund から 200 万ドルの助成金を NCC に提供。これにより NCC

は Rapid Fiber Preforming というプロセスを確立、複雑で巨大な複合材製品をコスト効率良く生産することができるようになる。

米国 NCC で取り組んでいるプロジェクトは、自動車関連、航空宇宙関連、インフラ関連、商用関連などがある。特に自動車関連では燃料電池技術の研究開発を戦略的に支援している。自動車業界では、オバマ政権になってから CAFE standard (企業平均燃費: Corporate Average Fuel Economy) への注目が高まっていることから複合材料製品に対する需要が高まっており、また有害性大気汚染物質排出の制限に関する MACT standard への対応をすべくクロードモールド成形が注目されている。以下に米国 NCC におけるプロジェクト例を示す。また、保有技術と後援企業についても記す。

< 自動車関連 >

- Composite Pick Up Truck Beds : 2000 年、United States Consortium for Automotive Research (USCAR)の一部門である Automotive Composites Consortium (ACC)の Focal Project II として、複合材料の予備成形モールドからピックアップボックスを製造・100 個単位で ACC に納品。その後 Big Three でテストされ、現在では ProTec の商標で GM の Chevrolet で利用されている。
- Liteflex® : 2001 年、鋼鉄製のリーフスプリング (重ね板バネ) に代わる複合材料によるスプリング (コンポジットスプリング) を開発。Liteflex LLC 社により欧米で展開している。中・大型トラック、宇宙航空、医療分野へと拡大予定。
- Litecast® : 製造業者が複合材料と金属とを完全に付着させる技術。元来、自動車の軽量化のために開発された技術だが、最近では中・大型トラック用に各種サイズのサスペンションリンクを製造し、車両の軽量化に貢献している。
- 乗用車の車体構造 : ACC からの資金援助により、SRIM プレスによるプロジェクト Focal Project III を立ち上げた。4 ドアセダンの前・後ろドアの間のサポート部分は非常にストレスがかかっているが、ここに炭素繊維を利用することを検討。

< 航空機関連 >

- Programmable Powder Preform Process for Aerospace (P4A) : 空軍との契約により、航空機部品の大規模なコスト削減の目的として、繊維プリフォーム処理、Programmable Powder Preform Process for Aerospace (P4A)の開発を行っている。
- C-17 部品 : Boeing 製造の C-17 輸送機の部品に P4A で製造した部品を使用。今後 2 年間で全部品に P4A を適用させる予定。
- Indiana 21 Aircraft ブレーキ : 商用航空機や軍用ジェットのパワートラックからノーズコーン、ディスクブレーキ等の新しい素材として高性能 C/C 炭素複合材料の使用を検討。従来これらの部品は非常にコストが高く市場への展開も限界があった。NCC は Purdue University と Honeywell Aircraft Landing Systems と協同で軽量・耐熱の複合材を低コストで生産するロボットシステムを開発した。今後エンジン部品から生物医学装置まで幅広いアプリケーションで展開を予定。

< NCC の技術 >

- Rapid Fiber Preform (高速繊維成形) ロボットによる全自動成形
- Thermoplastic Composites (熱可塑性複合材)
- Precision Filament Winding (高精度フィラメントワインディング法)
- Litecast™ (金属を複合材に直接ダイキャストする技術)
- SRIM (Structural Reaction Injection Molding) (構造的反応射出成形)
- Closed Molding (クローズドモールド成形)
- Design & Optimization (設計と最適化)
- Nano-Technology (ナノテクノロジー)

表 16 米国 NCC の後援企業

組織名	組織概要
ASHLAND	特殊化学製品 (薬品) の世界的プロバイダー
Boeing Company	米国の航空機メーカー。世界 1 位
daytaOhio	オハイオ州 Wright 州立大学内の非営利の視覚化研究所
Dayton Development Coalition	オハイオ州デイトン市の発展のために官民共同で設立した団体
first financial bank	オハイオ州、インディアナ州、ケンタッキー州北部で展開する銀行
Honeywell	航空宇宙/軍需産業、制御システム、特殊素材、輸送システムの製造販売/技術・サービス提供を行う世界的企業
Kurz-Kasch	オハイオ州に本拠地を持つ電磁部品および複合材部品の大手メーカー
Manufacturing-Works	米国の国立標準技術研究所 (NIST:National Institute of Standards and Technology)と共同で立ち上げた Manufacturing Extension Partnership (製造業拡張パートナーシップ)
Quickstep Technologies	オーストラリアの先端複合材料企業 Quickstep Holdings Ltd.の米国子会社。先端複合材料メーカーにエンジニアリング、製造、プラントに関するソリューションを提供

(12) 米国：Freedom CAR プロジェクト

Freedom CAR は米国政府と米国ビッグスリー (Ford、GM、DaimlerChrysler) との 2010 年までの官民のパートナーシップであり、燃料電池車等のリスクの高い技術開発を行うものである。

炭素繊維の開発は車体軽量化技術としての期待が高く、アルミニウム、高張力鋼などと共に材料分野でのロードマップに組み込まれている。DOE は、材料の研究に年間 800 万ドルを費やしているが、投資額の大部分は産業パートナー各社による寄付金である。同プロジェクトではコモディティグレードの炭素繊維を自動車で適用することで、各種部品の整理統合ができ、組み立てが楽になり、車両およびシャーシ部が軽量化するだけでなく安全性も格段に高められるとしている。

1.3.2. 中国における炭素繊維・複合材料の研究開発動向

中国では「第 6 次 5 カ年計画」期間中から計画的に複合材料分野の研究に着手し始め、主に国防、航空、宇宙の 3 分野に集中していた。この 20 年、様々な国家レベルのプロジェクトの支援を受けて、ある程度の研究成果が得られたものの、製品の性能、品質、規格、価格及び生産量などの面においては、市場での要求に応えることができていないのが現状である。こうした状況の中で、複合材料の設計及び研究は海外による輸出制限の影響を受け、長い間に国内におけるよい研究体制が構築されていなかった。現在、中国においては、T300 レベルの炭素繊維が産業化され、安定的な生産が実現している。T700 レベル（強度が 4.9GPa 以上）に関するコア技術の研究は一定の成果を挙げ、T800 レベルに向け研究を進めているところである。

中国科学院先進材料領域戦略研究チーム³⁶は、中国における先進材料の研究の将来について、2050 年までの目標及びロードマップを示している。高性能炭素繊維のようなスーパー構造強化材料、大サイズ・高純度の原子グラファイト、高い強度・強靱性・耐酸化性を持つ超高温構造材料（炭素/炭素複合材料）を研究の中心テーマとしている。

2020 年までの高性能炭素繊維は、主に大型飛行機、宇宙船、風力発電機用ブレード等の民間分野に応用される。発展目標は、T1000 をはじめとする高性能炭素繊維の研究開発による量産能力の保障、産業化技術能力を形成することである。研究水準については、日本を代表とする先進国のレベルに近づくこと、原料重合技術、高速紡糸技術、プリカーサーの酸化・炭素化技術などのコア技術をクリアすることを目標としている。大サイズ・高純度の同性質を持つ原子グラファイトの 2020 年までの発展目標は、直径 1m 以上の原子グラファイトを研究開発し、不純物 100ppm 以下、等方性度 1.05 以下を実現させ、高温ガス冷却炉の反射体と炉心の底部の使用要求を満たすことである。コア技術の原料変性調合技術、二次コークス技術、高温焙焼技術と化学浄化技術をクリアすることも目標としている。長時間耐高温・酸化損傷防止できる炭素/炭素複合材料の発展目標は、2020 年までに、高速飛行機、次世代ハイエネルギー燃料の固形ロケットエンジン等の発展に応じて、耐熱・高温構造要求を満たす高性能酸化による損傷がゼロに近い高温複合材料の研究開発としている。高性能熱分解炭素とエメリーの本体の科学気相沈澱及び網状構造形成のプロセスのコントロール技術、衝撃に強く耐高温の酸化炭素/炭素、炭素/エメリーの複合材料の構造設計及び先進的な生産技術、高温酸化防止塗料の設計及び製造技術等のコア技術をクリアするとしている。

2030 年までの高性能炭素繊維の発展目標は、炭素繊維の表面処理及びのり剤・塗装体系を構築・最適化し、異なる材料（樹脂、金属、陶器等）への応用が可能な炭素繊維複合材料の技術要求を満たすことである。コア技術は炭素繊維表面処理技術、表面のり剤の調合技術、表面塗装体系及び調合技術としている。大サイズ・高純度の同性質を持つ細粒状レベルの原子グラファイトは、精密陶器の焼結や単結晶シリコンと多結晶シリコンの精錬、電気スパーク加工、金属の連続鋳造、高温耐腐蝕容器等の分野に応用する予定で、直径 2m

³⁶ 中国科学院先進材料領域戦略研究チーム、2008 年『中国至 2050 年先進材料科技発展路線図』より。

以上の同性質を持つ細粒状レベルの原子グラファイトを研究開発する。超細粒状原料の調合技術、浄水圧加圧成形技術、高温焙焼技術をコア技術として研究開発を進める。

2050 年までの重点発展方向は、高い強度・導熱性を持つ炭素/炭素複合材料であり、主に核融合原子炉のプラズマ材料、ハイパワー電子機器の熱管理材料等の分野に応用し、曲がり強度が 100MPa 以上、熱伝導率が 250W/mK 以上の高い導熱性と強度を持つ炭素/炭素複合材料を研究開発し、核融合原子炉の高熱伝導部品に使用することと、導熱性が 1,500W/mK 以上の超高導熱性の炭素複合材料を発展させ、ハイパワー電子機器の熱管理に使用することを発展目標としている。高導熱中間アスファルトの炭素繊維の調合技術、PAN 系炭素繊維と中間アスファルトの炭素繊維との混合技術、高温黒鉛化とカタリシス黒鉛化技術をコア技術とする。

なお、炭素繊維、炭素繊維複合材料に関する研究開発を実施している研究機関・大学におけるプロジェクト概要、目的、予算、期間等の詳細情報については参考資料 2 に示す。炭素繊維、炭素繊維複合材料に関する研究開発を実施している研究機関・大学については参考資料 3 に示す。

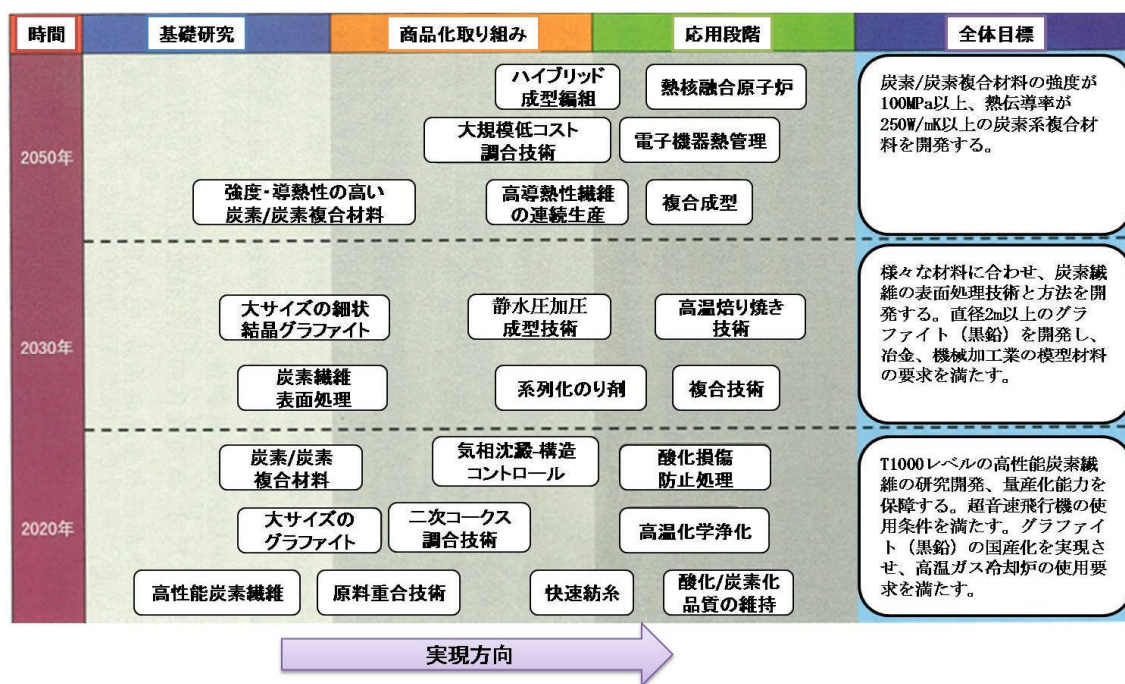


図 12 2050 年までの炭素材料研究ロードマップ

出所)『中国至 2050 年先進材料科技发展路線図』(2009 年 6 月)に基づき作成

2. 炭素繊維・複合材料リサイクルに係る動向

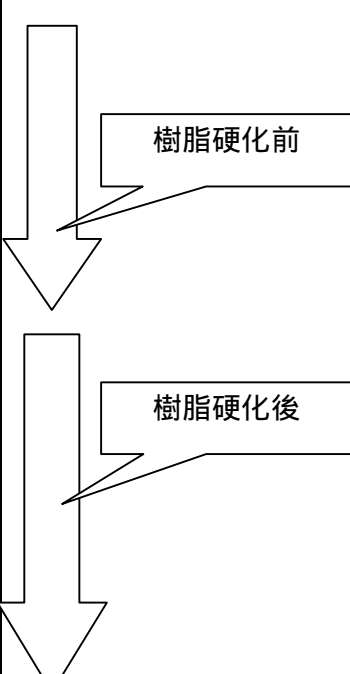
2.1. 炭素繊維・複合材料廃材の発生状況、形態の見通し

2.1.1. 段階別の発生状況

現在発生している炭素繊維・複合材料の廃材は熱硬化性 CFRP がほぼ全てを占めており、そのマトリックスにはエポキシ樹脂が用いられているものがほとんどである。しかしながら、炭素繊維・複合材料廃材の形態は製造段階において異なる。炭素繊維製造時にはドライファイバーでの廃材が主であるが、その後織物製造、プリプレグ、複合材料成形と製造工程が下流になるほど、製品の形状が複雑になり多様な形態の廃材が発生する。表 17 にその一例を示す。

表 17 炭素繊維・複合材料廃材の段階別の形態

段階	形態
炭素繊維製造	- 規格外の製品(Off-spec) - 切れ端 (Short spool)
織物製造	- 規格外の製品 - 織物の切れ端 (Selvedge) - ロールの余り (Short rolls)
プリプレグ製造	- 規格外の製品 - 経年劣化したプリプレグ - ロールの余り
複合材料成形	- 規格外の製品 - 織物の余り、切れ端 - プリプレグの余り、切れ端 - 経年劣化したプリプレグ - 織物、プリプレグのロールの余り - 硬化後の切り出し
市場投入後	耐用年数が過ぎた最終製品 (市場ゴミ)



出所) Firebird Advanced Materials 作成資料をもとに三菱総合研究所加筆・修正

< 米国 >

米国では現在、毎年 400 万ポンド (約 1800 t) の CFRP の廃材が発生していると推測されている³⁷。米国の炭素繊維・複合材料リサイクル事業者である、Firebird Advanced Materials の発表資料では、炭素繊維・複合材料の廃材の形態別の割合は図 13 のように示されている。プリプレグの織物の廃材が半数以上を占めるが、これは成形時のパターンカッティングにより発生するものがほとんどである。また、同組織では表 18 のようにリサイクルにおける混入物 (コンタミ) も形態別に異なることを指摘している。

また、ボーイング社では炭素繊維・複合材料の段階別の廃棄処理として次のような整理

³⁷ 米国 Adherent Technologies 発表資料より。

を行っている³⁸。

- ✧ 炭素繊維（規格外） → 廉価販売
- ✧ 織物、ブレード（規格外） → 廉価販売
- ✧ 織物、ブレード（切れ端） → チョップド、ミルドでの販売、埋め立て
- ✧ プリプレグ → 廉価販売、埋め立て
- ✧ エッジトリム、スラッジ（部材メーカー） → 埋め立て
- ✧ 試作品、スクラップ → 埋め立て、破壊
- ✧ 最終製品 → 空陸両用(road-able)のパーツとして一部再利用、埋め立て

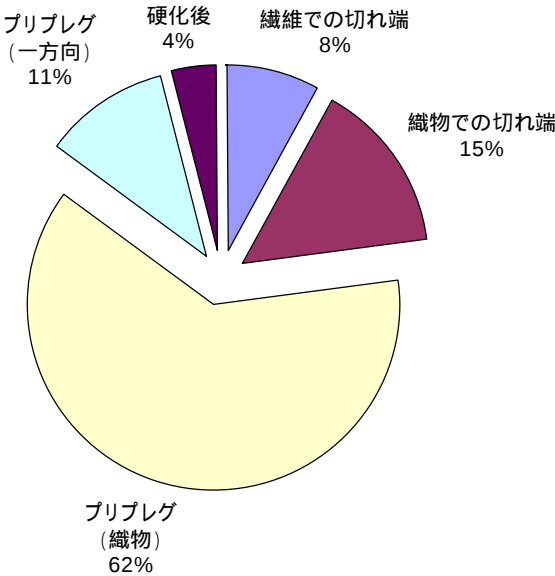


図 13 炭素繊維・複合材料の廃材の形態の割合
出所) Firebird Advanced Materials 発表資料より三菱総合研究所作成

表 18 炭素繊維・複合材料の形態別の混入物の種類

形態	主な混入物
プリプレグ	・ 紙、テープ ・ ガラス繊維
複合材料（単品）	・ アルミニウム ・ 銅
複合材料（組立後）	・ 灰、鉄くず ・ アルミニウム、チタンなどの軽金属

出所) Firebird Advanced Materials 発表資料より三菱総合研究所作成

³⁸ ボーイング社発表資料より。

< 欧州 >

欧州の炭素繊維・複合材料リサイクル事業者である CFK Valley Stade Recycling によると、現在、欧州では年間 500t 程度の CFRP の廃材が発生しており、その中の 10～30%は製造段階での廃棄である³⁹。廃材の主な形態としては、炭素繊維織物の端材、プリプレグの端材、硬化後の複合材料、市場ゴミなどを列挙している。

欧州における炭素繊維・複合材料の主要な製造地域を図 14 に示す。

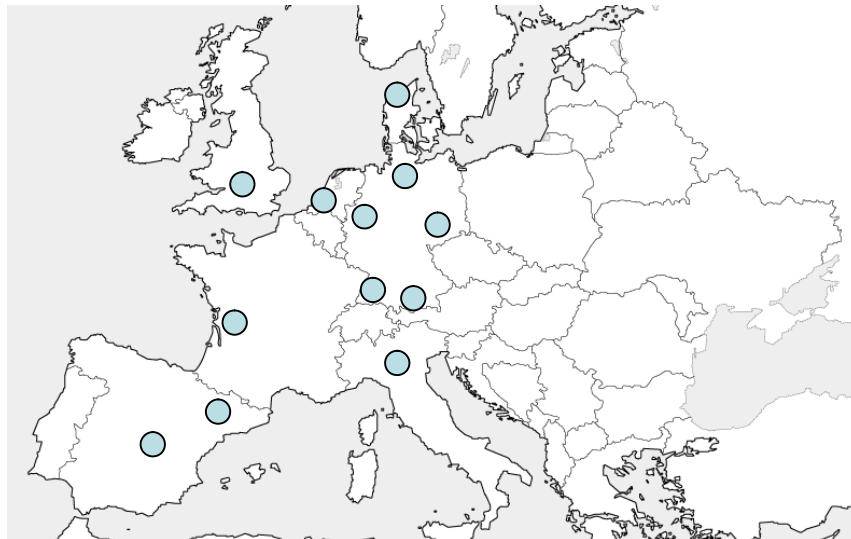


図 14 欧州における炭素繊維・複合材料の主な製造拠点

出所) CFK Valley Stade Recycling 発表資料をもとに三菱総合研究所作成

< 日本 >

航空機メーカーへのヒアリングによると、そのメーカーの保有する航空宇宙関連工場からは約 10～20 トン/年の CFRP 廃材が発生している。その多くはプリプレグの端材であり、かつては処理費用をかけて処分していたが、現在では全て有償販売が行われている。今後、ボーイング 787 等の大量に CFRP を使用する航空機の開発/量産が計画されており、将来的には 50～100 トン/年の CFRP 廃材が発生する可能性がある。

その他、CFRP の廃材処理については、廃棄業者への委託、埋め立て、コークス炉での焼却処分等によって行われている。

2.1.2. 今後の見通し

今後は炭素繊維の需要増加に伴い製造段階における廃材の増加に加えて、耐用年数を過ぎた航空機を中心とした「市場ゴミ」についても増加が見込まれている。前述のように欧州では炭素繊維・複合材料についても 2011 年末には EU 指令によって埋め立て処分が禁止される運びであることから、リサイクルの原料となる炭素繊維・複合材料の量は増加すると考えられる。

エアバスの大型旅客機 (A380) やボーイングの旅客機 (787 Dreamliner) では、より

³⁹ CFK Valley Stade Recycling 発表資料・インタビューより。

広汎に CFRP が採用されており、例えばボーイング 787 で構造重量の半分が複合材料で構成されている(図 15 および図 16)。特にボーイング社では 2016 年までに機体の 90～95% をリサイクル可能な材料で構成するという目標を掲げており、航空機由来の「廃材」が増える一方、航空機による「リサイクル炭素繊維」のニーズも高まるものと見込まれている。

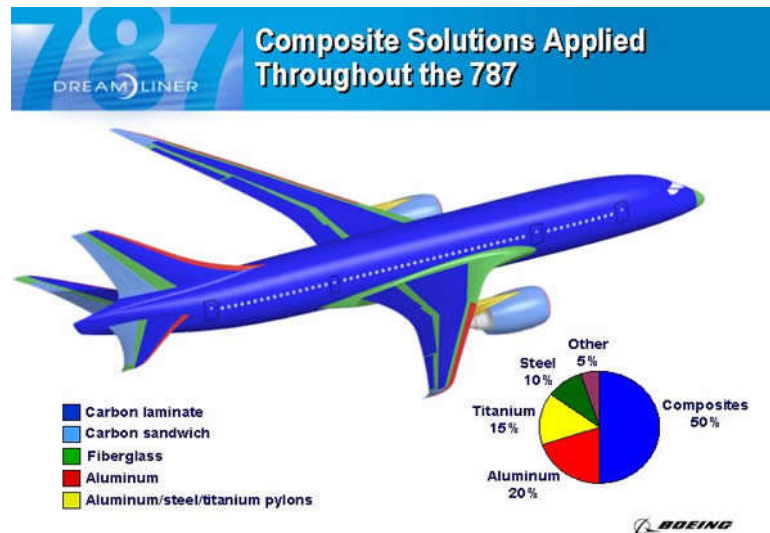


図 15 ボーイング 787 Dreamliner における CFRP の適用箇所
出所) 炭素繊維協会 HP より転載

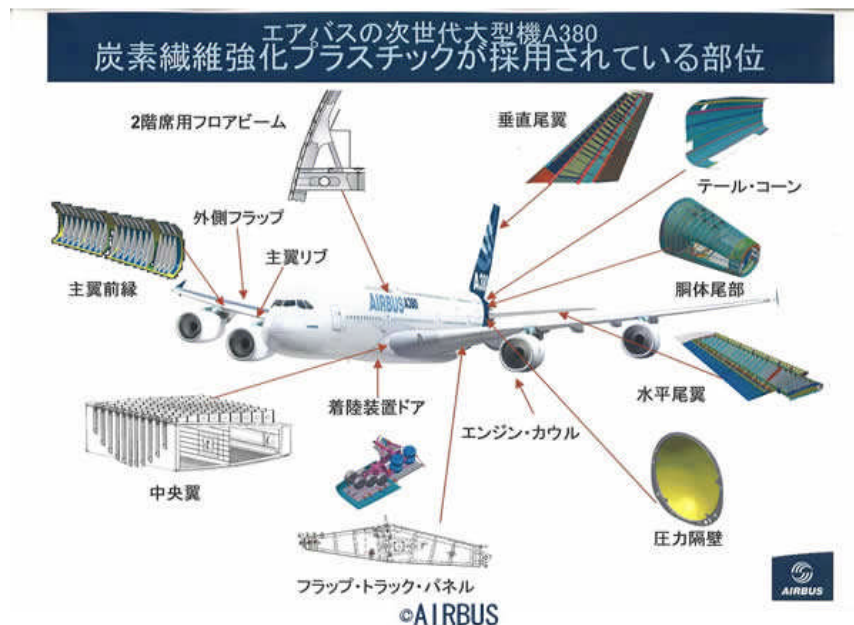


図 16 エアバス A380 における CFRP の適用箇所
出所) 炭素繊維協会 HP より転載

2.2. 炭素繊維・複合材料リサイクルに関する技術開発動向

図 17 に現状における CFRP 廃材のリサイクル方法の概要を示す。炭素繊維・複合材料廃材のリサイクルの中でも、処理を施し再度複合材料として用いるマテリアルリサイクルや、樹脂を分離して化学物質や燃料として利用するケミカルリサイクル、熱として回収をおこなうサーマルリサイクル（サーマルリカバリー）など手法によって最終的な回収物が異なる。本節では特に分離技術に注目した整理を行う。

有識者および委員会での検討内容を受け、米国・欧州（ドイツ・英国・イタリア）・日本を対象に企業毎に詳細を示す。

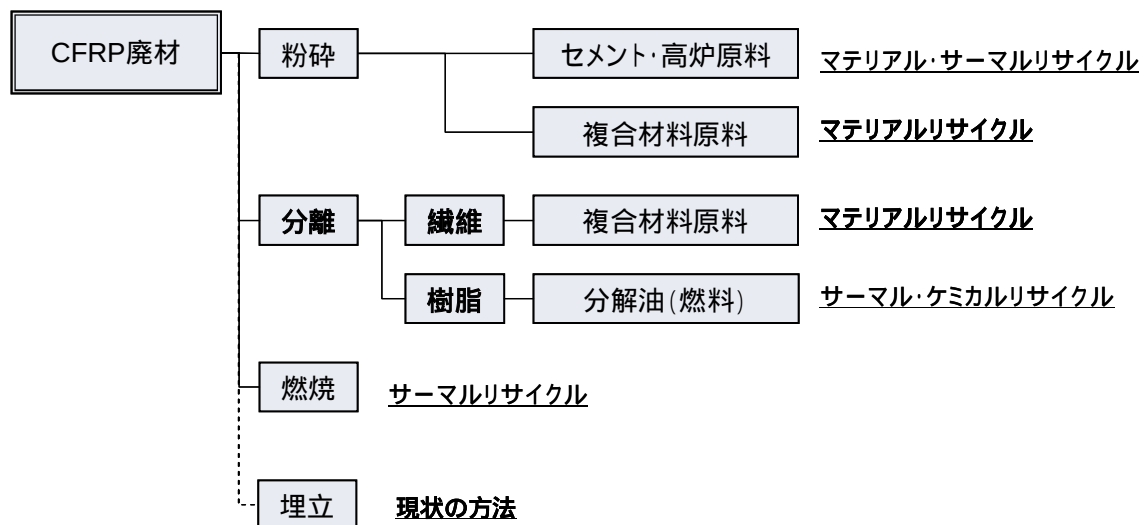


図 17 CFRP 廃材のリサイクル方法の概要
出所）炭素繊維協会発表資料より三菱総合研究所改変（一部語句等修正）

2.2.1. 米国

< Adherent Technologies, Inc >

同社は 1992 年に設立され、国防高等研究計画局(DARPA)や、米国エネルギー省(DOE)、ボーイング社などの資金援助のもと、複合材料を中心としたリサイクル技術の開発を行っている。同社では米国で唯一の CFRP パイロットプラントであることを宣伝し、将来には米国アルバカーキに 1000t/年の設備を保有すると発表している。

同社の保有する炭素繊維・複合材料のリサイクル技術は、真空熱分解(Vacuum pyrolysis, Dry process)、低温流体処理(Low temperature liquid process)、高温流体処理(High temperature liquid process)の 3 つに大きく分類され、廃材の状態や形状に合わせて技術を使い分け、場合によっては組み合わせている。同社分類による各技術の特徴を表 19 に示す。

上記の技術を用いた取り組み例としては、航空機のスタビライザー（市場ゴミ）、ボーイング 787 の廃材などが紹介されており、真空熱分解と低温流体処理による複合手法によ

り樹脂や混入物の除去に成功している。

表 19 Adherent Technologies による保有技術の特徴

技術	メリット	デメリット
真空熱分解	・ 技術が既に確立されており、スケールアップが容易 ・ 化学物質を用いないため、環境親和性が高い ・ 熱可塑性樹脂の混入物を容易に分離可能	・ 熱による残留物が付着
低温流体処理	・ 市場に流通可能な程度の物性を確保できる ・ 扱いやすい温度、通常の設備で対応可能な圧力 ・ パイロットスケールで実証済	・ 全ての複合材料に適用できるわけではない ・ 混入物の除去が不十分
高温流体処理	・ ほぼ全ての複合材料で適用可能 ・ 処理に用いる流体の取扱いが容易	・ ANSI(米国規格協会・米国標準協会)で定められた条件を超える ・ 特殊な設備が必要

出所) Adherent Technologies 発表資料より三菱総合研究所作成



図 18 Adherent Technologies の保有設備

(左：熱分解反応炉：処理能力 50 lbs/hr、右：低温流体反応炉)

出所) 同社 HP より転載

< Firebird Advanced Materials >

2005 年に設立した、ノースカロライナ州にある炭素繊維・複合材料リサイクル事業者。米国空軍およびアメリカ国立科学財団のファンドを受けており、技術面では後述する North Carolina State University と提携を行い、マイクロ波を利用した CFRP のリサイクル設備を保有している。

事業面での取り組みにおいては回収スキームについて詳細な検討を行っており、リサイクル時の回収・選別に係るコストが、全体のプロセスにおけるボトルネックとなっていることを指摘している。詳細については次節にて示す。

< North Carolina State University >

同大学では、Boeing, Recycled Carbon Fibre, Adherent Technologies ANEA/Karborek, Firebird Advanced Materials らと協調して炭素繊維のリサイクルに取り組んでいる。リサイクルされた炭素繊維の成形プロセス部分を担当していると考えられ、VaRTM, BMC, Injection Moulding の 3 種類の成形方法で複数の原系を用い、それぞれの機械特性評価を行っている。

2.2.2. 英国

< Nottingham University >

前章にて示したように、ノッティンガム大学は複合材料関連プロジェクトに数多く参画しており、炭素繊維・複合材料のリサイクルにも精力的に取り組んでいる。具体的なプロジェクトとしては前述の AFRECAR や HIRECAR などが挙げられる。

現在行っているリサイクル関連のプロジェクトにおける、リサイクル対象物は、主に硬化後の炭素繊維・複合材料(プリプレグ、複合材料成形時の廃材、市場ゴミなど)である。リサイクル技術は熱処理が主であり、流動層処理 (Fluidised bed process)、熱分解 (Pyrolysis)、熱流体処理 (Thermal fluid process) による検討を行っている。

表 20 に各技術の概要、特徴等を示す。ノッティンガム大学の発表資料によると、上記の三種類の方法を用いて回収したリサイクル炭素繊維は、弾性率はバージン材とほぼ同等である。

また、同大学ではリサイクル後の成形についても研究を行っている。一般に炭素繊維複合材料の弾性率は V_f (体積含有率) に比例するが、高 V_f を目的とした高い成形圧は、繊維長の減少を招き却って力学特性の低下することが指摘されている。そのため、同大学では繊維のアラインメント (方向制御) によって低い成形圧力で、高い V_f を確保し、力学特性に優れたリサイクル材を成形する方法に注目している。現在では湿式ドラムを利用した方向制御についての研究を進めている。図 19 にノッティンガム大学における炭素繊維・複合材料のリサイクルプロセスの整理と、繊維方向制御の位置づけを示す。

表 20 ノッティンガム大学の炭素繊維・複合材料のリサイクル技術

技術	技術概要	特徴	回収物
熱分解	炉に CFRP 破砕物を入れ、マイクロ波による加熱を行う	加熱後の酸化物の除去、および繊維長の制御が、リサイクル材の品質向上において重要	- 炭素繊維 - エネルギー回収 - 樹脂

流動層処理	流動層で複合材料から炭素繊維を分離し回収する	- 炭素繊維と共に、副生物の燃焼ガスが利用可能 - 混入物の除去に対して有効	- 炭素繊維 - エネルギー回収
熱流体処理	- 触媒反応を利用して、樹脂および混入物を分離 - 超臨界流体（プロパノール）を利用	- 表面劣化が小さく、グレードの高い繊維が回収可能 - 副生物で生まれる樹脂が利用可能	- 炭素繊維 - 樹脂

出所）ノッティンガム大学発表資料より三菱総合研究所作成

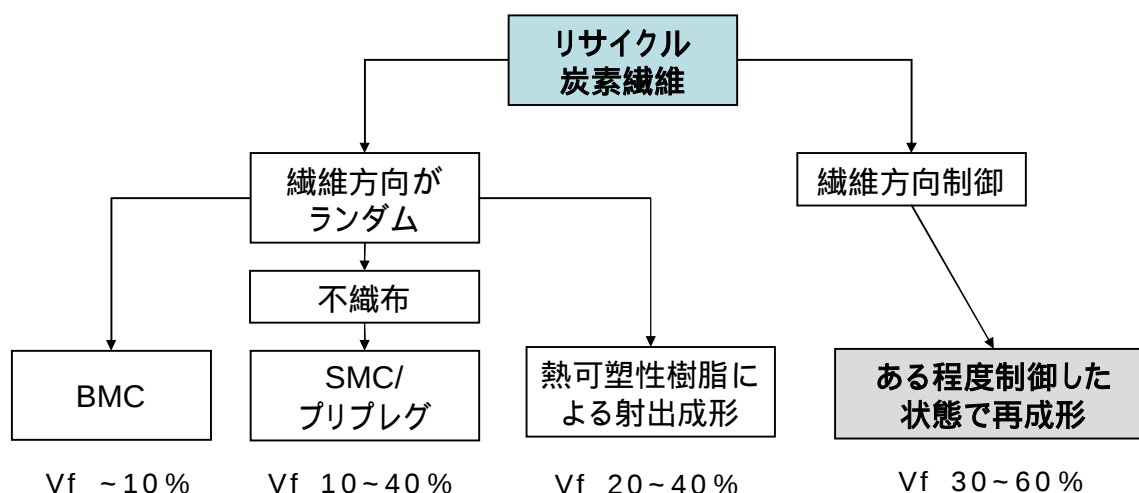


図 19 ノッティンガム大学による繊維方向制御技術の位置づけ

出所）ノッティンガム大学発表資料より三菱総合研究所作成

< Imperial College London >

同大学では、廃材（Boeing）→熱分解（Recycled Carbon Fibre）→マット化（Technical Fibre Products：製紙技術）→圧縮成形（Imperial College）という協調体制でリサイクル炭素繊維の物性評価を行っている。

具体的にはエポキシ樹脂による再硬化によって、ランダム、Vf30%のリサイクル材を作成し、微細構造の確認、LT 方向での物性差、圧縮・引張における破壊モード、クラックの進展による靱性の計測などを実施している。

前述のノッティンガム大学や、同じく英国の Warwick University、スウェーデンの SICOMP (Swedish Institute of Composite) などの学術機関と炭素繊維・複合材料リサイクルに関しての協調を行っている。

< Recycled Carbon Fibre >

英国 Milled Carbon グループの一つであり、炭素繊維・複合材料リサイクル事業を行っている。英国 West Midlands に 1,200 トン/年の処理能力を持つパイロットプラントを保有している。リサイクル手法は熱分解であり、最終的にはミルド、もしくはチョップドに加工する。

リサイクル炭素繊維の機械特性に対する要求は大きく、バージン材と比較して 90%以上の力学特性、活性な表面を有する、高い接着性・電気特性などを目標として掲げている。

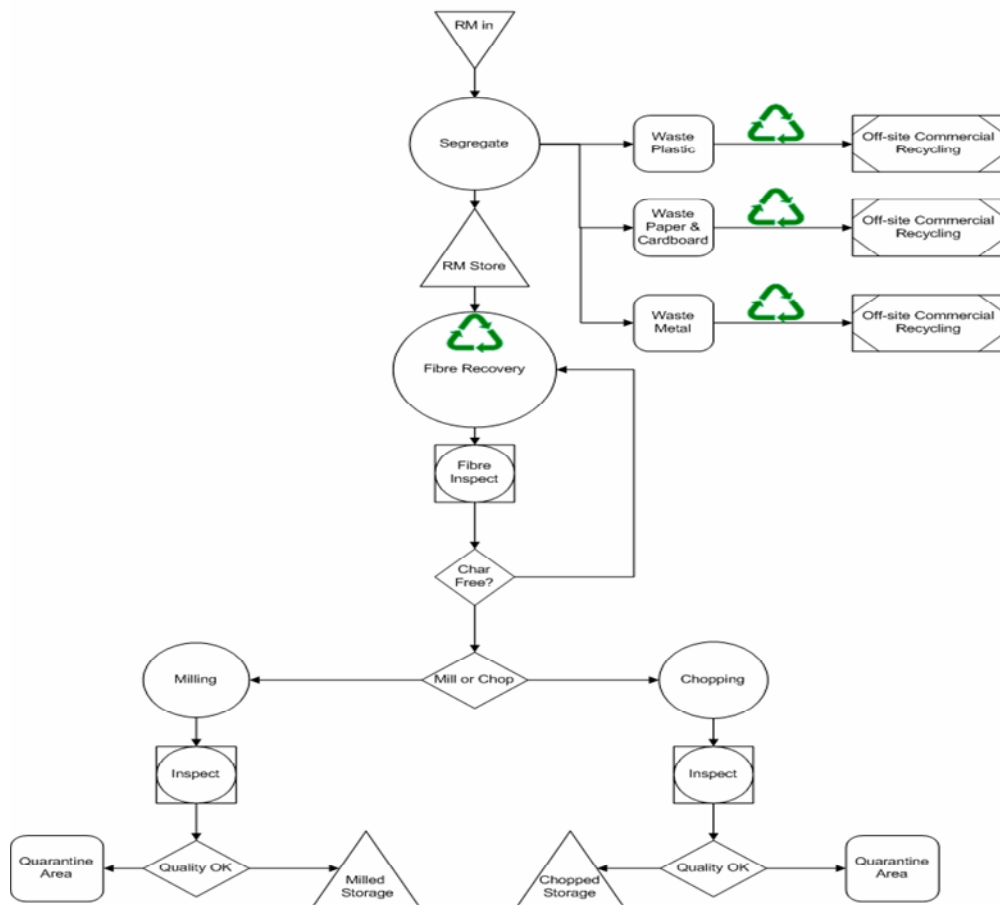


図 20 Recycled Carbon Fibre におけるリサイクルの作業フロー図

出所) Recycled Carbon Fibre, “Converting Composite Waste Into High Quality Reusable Carbon Fibre”, JEC Paris

2.2.3. ドイツ

< Fraunhofer ICT >

1959年に設立したドイツの研究機関であり、高分子工学分野において炭素繊維・複合材料の研究も行っている。射出成形、押出成形、マイクロ波およびプラズマによる硬化、LFT（長繊維強化熱可塑性樹脂）などの技術を保有している。

炭素繊維・複合材料の適用先として自動車を主に想定しているため、マトリックスは熱硬化性ではなく、より汎用的な熱可塑性樹脂を用いていることに特徴がある。KITE hyLITE（ハイブリッド軽構造技術）と呼ばれるドイツ国内機関を中心としたコンソーシアムを形成し、炭素繊維による車体軽量化、構造設計の見直しによる安全性の向上、新規技術の早期適用を目標としている。なお、コンソーシアムには Fraunhofer ICT、Universität Karlsruhe, KIT-CART などの学術機関に加え、SGL Carbon や Audi, BMW などが協賛している。

炭素繊維・複合材料リサイクルに関する技術としては、熱可塑性樹脂を用いた RTM（Resin Transfer Molding）成形、LFT や RTM などの成形プロセスから発生した廃材の再利用、が挙げられる。

については、樹脂の重合反応と含浸を同時に行う”In-situ”での製造を行っており、これにより成形時間の短縮が図れるものとしている。については、LFT や RTM などによる成形の際に出る廃材（particle）を集め、ポリプロピレンと共に押出機に入れた後に、ガラス繊維のロービングでさらに押出、その後圧縮成形を行うことで、製品化するという技術である。

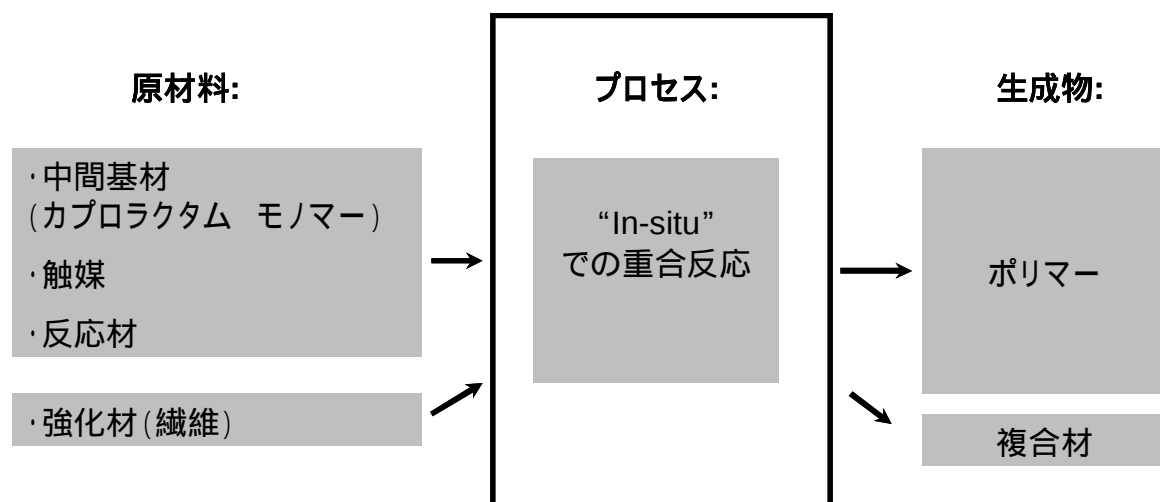


図 21 フラウンホーファーにおける SMC 設備

出所) Fraunhofer ICT 発表資料より三菱総合研究所作成



図 22 フラウンホーファーにおける SMC 設備

出所) KITE hyLITE ホームページより抜粋

< FASERINSTITUT >

ドイツのブレーメンに位置する研究所であり、主に航空機分野への適用を視野に入れ、炭素繊維・複合材料、天然繊維に関する研究を行っている。

CFRP の機械特性評価は、圧縮試験、引張試験、水分吸収試験などに加え、航空機での使用を想定し、- 70 から 150 までを対象とした温度特性試験も行っている。また、DMA 等を用いて耐熱性、結晶化率、粘度などの試験も行っている。航空機の部材は場所によっては 66 層も重ねて積層するため、層間剥離や破損についての関心も高い。

天然繊維の応用についても積極的であり、セルロースファイバーを用いた複合材料は内装部分(ベッド下の梁)への応用が考えられている。成形技術の研究では熱可塑繊維(PPS)との Co-woven を行い、成形プロセスの簡略化を目指している。オートメーション化に向けた研究としては画像解析や非破壊検査の自動化などに取り組んでいる。

リサイクル技術としては、ドライファイバーの端材をインプラントで回収すること想定した仕組みが研究されている。クロス材の切れ端を微細な震動によってほつれさせ、重力を利用して 30mm 程度の炭素繊維を大まかな方向付けを行うという仕組みだが、まだ研究段階である。

2.2.4. イタリア

< KARBOREK Recycled Carbon Fibres >

2008 年 7 月にボーイング社、イタリア航空機部材メーカー Alenia Aeronautica 社の共同出資により設立し、航空機の炭素繊維・複合材料のリサイクルを行うことを目的としたジョイントベンチャーである。ENEA(イタリアエネルギー開発委員会)および英国 Milled Carbon も設立に携わっており、処理能力は 1000 トン/年程度と考えられている。リサイクル原料はリサイクルプラントの近くにある Alenia Aeronautica の工場から供給される。



図 23 Karborek 処理プラント

出所) KARBOREK 社 ホームページより抜粋

2.2.5. 日本

我が国においては様々な手法で炭素繊維複合材料における繊維とマトリクスの分離技術が検討されている。まず、それらの技術について国内の状況をまとめる。

さらに、炭素繊維協会の協力のもと、福岡県大牟田市には炭素繊維リサイクル実証プラントが建設され、炭素繊維リサイクルの実証実験が行われており、NEDO ではリサイクル性が相対的に高い熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料に関する研究が行われているので、それについてもここで紹介する。

(1) 日本における炭素繊維複合材料分離技術

炭素繊維複合材料の分離技術として海外では熱分解法の検討が活発に行われているが、国内では熱分解法他、常圧溶解法、超臨界流体法、亜臨界流体法等の技術開発が行われている。代表的な樹脂分離技術、実施機関、特徴をまとめたものを表 21 に示す。

表 21 主な炭素繊維複合材料分離技術

	常圧溶解法	熱分解法	超臨界流体法	亜臨界流体法
機関	日立化成工業	炭素繊維協会	静岡大学	熊本大学
樹脂の種類	エステル系	熱分解性毒性のない樹脂全て	エステル系	エステル系
回収物	CF (長繊維) , 樹脂分解物	CF (ミルド)	CF, 硬化前熱硬化樹脂	CF, 樹脂分解物
温度	100-200 度	500-700 度	250-350 度	300-400 度
圧力	常圧	常圧	5-10MPa	1-4MPa
その他条件	触媒: アルカリ金属塩触媒、溶媒: ベンジルアルコール	なし	溶媒: メタノール	触媒: アルカリ金属塩触媒、溶媒: ベンジルアルコール

前処理	なし	粉碎	粉碎	なし
規模	12 トン/年	1000 トン/年	ラボスケール	ラボスケール

出所) 日立化成工業 柴田委員が作成したものを基に作成

< 常圧溶解法 >

日立化成工業は、2002-2005 年に経済産業省の実用化開発補助金を受け、また 2005-2006 年には経済産業省地域新規産業創造技術開発補助事業として熱硬化性樹脂複合材料のリサイクル技術開発に取り組んでいる。

開発された熱硬化性樹脂複合材料のリサイクル技術は、アルコール系溶媒と触媒を用いて、使用済みの複合材を 100-200 、常圧の条件下でエステル交換反応により分解することで溶解し、樹脂、繊維、その他(金属等)の成分に分離するものである。常圧、低温の反応であること、低コストであること、および複合材の前処理を必要としないことが特徴として挙げられる。

この方法では、繊維の種類(ガラス繊維、PAN 系・ピッチ系等の炭素繊維)とは無関係に、樹脂との分離が可能である。複合材料の成形方法によっては、溶解反応の温度、圧力、溶媒、触媒等の条件を検討する必要があるが、基本的な溶媒と触媒としては、食品添加物としても利用が認められているベンジルアルコールとリン酸三カリウムが用いられる。溶解後、繊維は除去されて洗浄され、溶媒に溶解している樹脂成分は蒸留によって溶媒と分離される。樹脂成分は回収して重油等の燃料として再利用され、溶媒は繰り返し溶解反応に使用されている。炭素繊維複合材料の場合、溶解して分離された炭素繊維は、乾式法または湿式法により不織布として加工する技術も開発されており、ユーザーに提供される。

日立化成工業では、常圧溶解法を用いて、これまでに鉄道車両用 GFRP からの回収ガラス繊維を使用した鉄道車両用窓キセの製品化を行った実績がある。作成した窓キセは 30% のガラス繊維の複合材で、使用したガラス繊維の 50% が再生品である。その他、ヘルメット(GFRP)、テニス用・バドミントン用ラケット(CFRP)、ゴルフシャフト(CFRP)、漁船(GFRP)、プリント配線板、モールドコイル(金属、樹脂、シリカ複合材)などの複合材料について、常圧溶解法による分解に成功している。

常圧溶解法に用いられる溶媒と触媒は、食品添加物として使用が認められている化合物であり、繰り返し利用も可能であるため、安全、低コストである。さらに、常圧反応であるため大規模な設備を要しない、低温反応で熱効率も良いためエネルギーコストが少なく済むというメリットがある。GFRP の場合、100 トン/月の規模で複合材を処理すれば、経済的に見合う技術であるとの試算が行われている。

< 熱分解法 >

炭素繊維協会では、熱分解法による炭素繊維複合材料のリサイクルが検討されている。

2006-2008 年度には、経済産業省の補助事業エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発「炭素繊維製造エネルギー低減(炭素繊維リサイクル技術の実証研究開発)を(社)化

学繊維技術改善研究委員会及び日本コークス工業(株)が炭素繊維協会の協力のもと実施し、パイロットプラントで炭素繊維・複合材料リサイクルの実証実験が行われた。

< 超臨界流体法 >

静岡大学の岡島助教は、2007 年度より NEDO 技術開発機構の産業技術研究助成事業の一環として、超臨界メタノールを用いた熱硬化性樹脂の分解技術の開発を行っている⁴⁰。樹脂の架橋点を選択的に分解してメタノールに可溶化させることで分離する方法で、触媒を用いない、回収された分解樹脂を樹脂として再利用することが可能、付着物のない炭素繊維が回収できることが特徴である。回収された樹脂分解物は、メタノールを除去して再成形した後、硬化剤を加えて熱硬化性樹脂として再利用できることが確認されている。今後は、ベンチプラントによる実証実験が計画されている。

< 亜臨界流体法 >

熊本大学の桑原助教らは、亜臨界流体を用いた炭素繊維複合材料処理技術について検討を行っている。複合材料処理技術の効率化を目指し、ベンジルアルコールを溶媒、リン酸三カリウムを触媒として 350 度で処理すると、短時間で樹脂の分解が可能になる⁴¹。

⁴⁰

<http://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/press/CA/nedopressplace.2008-11-26.1174332432/nedopress.2009-02-23.5630056298/>

⁴¹ ケミカル・エンジニアリング、Vol.53、No.7 (2008)より。

(2) 日本における炭素繊維・複合材料リサイクルに関するプロジェクト

日本においてこれまで検討されてきた炭素繊維・複合材料リサイクルに関するプロジェクトを以下に示す。

<炭素繊維リサイクル技術の実証研究開発（(社)化学繊維技術改善研究委員会、日本コークス工業（協力 炭素繊維協会））>

経済産業省の補助事業エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発「炭素繊維製造エネルギー低減」プロジェクトを(社)化学繊維技術改善研究委員会及び日本コークス工業(株)が炭素繊維協会の協力のもと実施し、2006 年度から 3 年間リサイクル炭素繊維の生産に関する検討を行った。2008 年度には福岡県大牟田市の大牟田エコタウンに規模 700 トン/年の炭素繊維・複合材料リサイクル実証プラントを建設し、実証実験を行い、リサイクル炭素繊維を生産できる事を確認した。炭素繊維・複合材料のリサイクルシステムの事業化に向けた取り組みや、リサイクル製品の品質評価等を行っている。



図 24 炭素繊維・複合材料リサイクル実証プラント（福岡県大牟田市）

<炭素繊維リサイクル推進事業（福岡県）>

福岡県では「炭素繊維リサイクル事業化推進会議」として、リサイクル炭素繊維の用途開発、リサイクルシステムの構築に向けた検討・情報交換を行う産学官による連絡会議を設置している。炭素繊維協会の大牟田炭素繊維・複合材料リサイクルプラントにて、リサイクル炭素繊維（ミルド・短繊維）の用途展開を中心に検討が進められている。

<自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発（NEDO）>

NEDO では平成 15～19 年度に「自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発」を行い、従来の金属製ボディに対して重量を 50%軽量化にすることなどを目標に、超ハイサイクル一体成形技術の開発、異種材料との接合技術の開発、安全設計技術の開発、リサイクル技術の開発などを実施した。成果の一つとして、東レ・日産は CFRP の加工時間短縮することに成功している。

<サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（NEDO）>

NEDO では平成 20 年度から「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」が実施され、東京大学、東レ、三菱レイヨン、東洋紡績、タカギセイコーらが参加している。自動車軽量化のための CFRP 適用や産業機械等への用途展開を見据え、リサイクル性の高い熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRTP）の開発として、中間基材の開発、成形加工技術、接合技術、リサイクル技術などに取り組んでいる。また、研究開発課題として、以下の 4 点が挙げられており、リサイクル・リペア・LCA 等にも注目している。

1. 易加工性 CFRTP(等方性、一方向性)中間基材の開発
2. 易加工性 CFRTP 成形技術
3. 易加工性 CFRTP の接合技術
4. 易加工性 CFRTP のリサイクル、リペア、環境影響評価（LCA）

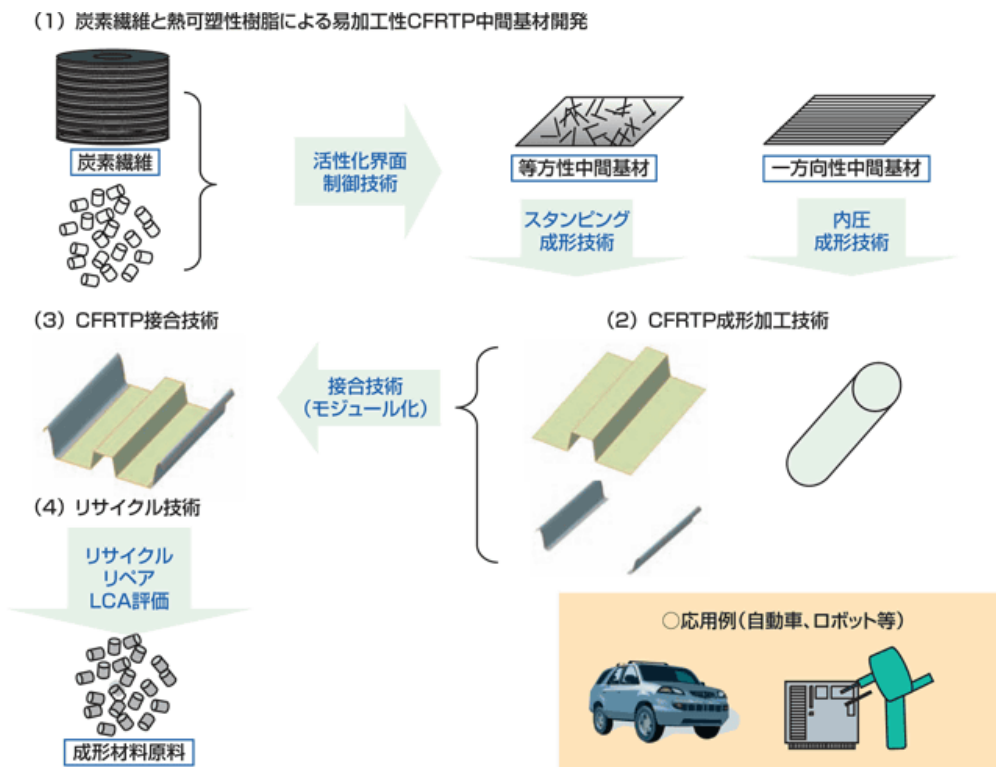


図 25 サステナブルハイパーコンポジット技術の開発イメージ図

出所)「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」事業概要 NEDO

2.3. 炭素繊維・複合材料廃材の回収スキーム・用途開発状況

2.3.1. リサイクル炭素繊維の用途の検討状況

諸外国における炭素繊維・複合材料のリサイクルは熱分解が主流であり、現状ではほぼ全ての機関において、リサイクル後はチョップドもしくはミルドといった短繊維での利用を想定している。ドイツのフラウンホーファー研究所は熱可塑性樹脂による長繊維での複合材料成形に取り組んでいるが、現状の回収スキームとしては細くなったインプラントでの廃材の再利用が中心である。

表 22 に各組織が発表・提案しているリサイクル炭素繊維の用途例を示す。同じ短繊維の利用であっても、米国ではボーイング社のイニシアチブのもと航空機産業内でのクローズドループが検討されている一方、欧州の各組織はリサイクル炭素繊維の他産業への展開を重視している。

表 22 各組織のリサイクル炭素繊維用途の検討状況

国名	組織	用途開発例
英国	Recycled Carbon Fibre	・ セメント ・ 導電性高分子 ・ 電磁シールド ・ 燃料電池 ・ 工業用シールド ・ 医療機器 ・ 道路表面舗装 ・ ゴム強化材
英国	Sheffield University Warwick University	・ 自動車用部材 ・ 通信機器、医療機器 ・ 燃料電池のガス拡散基材
ドイツ	Fraunhofer	・ 各種自動車用部材 (熱可塑性樹脂の利用)
ドイツ	CFK Valley Stade Recycle	・ 航空機内装部材 ・ 医療機器部材 ・ 航空コンテナ ・ 運送・物流での利用 ・ 鉄道での利用 ・ 船舶での利用 ・ 自動車用部材
米国	Boeing	・ 航空機の内装部材（アームセット、収納部、シート部分など） ・ ベアリングや補強部材などの二次部材 ・ （将来的には）航空機分野以外での利用

出所）各社資料より三菱総合研究所作成



図 26 ボーイング社におけるリサイクル炭素繊維の適用箇所の例
出所) ボーイング社 HP より三菱総合研究所作成



図 27 航空機のクローズドループの例
出所) ボーイング社資料「Aircraft & Composite Recycling」より抜粋

2.3.2. 回収スキームの検討状況

< Firebird Advanced Materials による回収スキーム例 >

回収スキームの検討状況としては、米国 Firebird Advanced Materials が詳細なモデルを検討している。製造時に出るプリプレグが CFRP 廃材の 60%以上を占めているが、プリプレグは半硬化状であり、他の廃材との接着等もあるため、選別や分級などの処理が難しいことを指摘している。よって、選別にかかる人件費がリサイクルプロセスの高コスト化を招いており、自動化の必要性があるとしている。また、廃材のサイズ調整も移送コストに影響するため、前段階での処理が求められ、その際には機械特性の劣化にも留意する必要があるとしている。表 23 に Firebird Advanced Materials 社による選別例を示す。

また、同社では商業化にはリサイクル事業者とエンドユーザー（廃材発生元）の協力が不可欠であり、エンドユーザーが廃材の選別、近隣のリサイクル事業者が前処理し移送、別のリサイクル事業者が最終的なリサイクル製品を作るプロセスが理想としている。

表 23 各組織の用途開発例

分類		項目
樹脂	熱硬化性	ビニルエステル、ポリエチレン、エポキシ、フェノール, etc
	熱可塑性	PPS、PEEK、ポリアミド, etc
炭素繊維	繊維種類	IM7、AS4、T-700, etc
	フィラメント数	3K、6K、12K、24K, etc
	形態	織物、一方向、ランダム, etc

出所）Firebird Advanced Materials 発表資料より三菱総合研究所作成

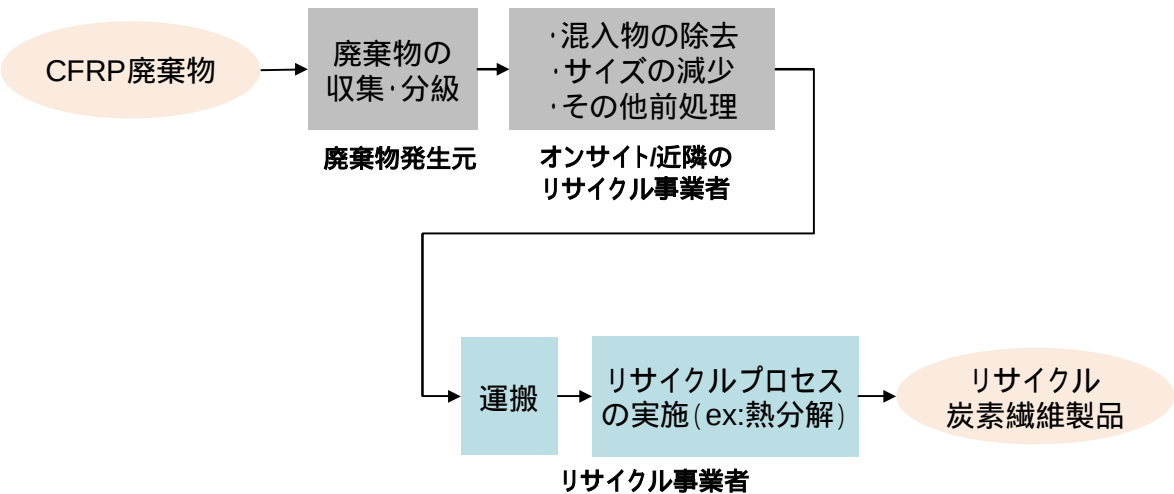


図 28 廃材発生からリサイクルまでの事業者協調モデル

出所）Firebird Advanced Materials 発表資料より三菱総合研究所作成

<CFK Valley Stade Recycling における回収スキーム・用途展開>

前述のように、CFK Valley Stade は CFRP の開発・応用・普及を目的に形成された分野横断的な組織であるが炭素繊維・複合材料のリサイクルはその中の CFK Valley Stade Recycling が行っている。同組織は KARL MAYER グループから 500 万ユーロ、EU から 1700 万ユーロの資金提供を受け、技術面ではダウケミカルからのサポートを受けながら運営している。なお、リサイクル手法は、熱分解から樹脂や混入物を分離し、ミルド、チョップドで再利用する方法を採用している。

回収スキームの詳細については明らかにされていないが、廃材の処理・運搬等に関しては KARL MAYER グループからの協力のもと実施している。同社によると、回収システムは「廃材発生元へのピックアップサービス」「シンプルで柔軟な物流システム」「効率的な収集と運搬」「長期間の保存」「環境への親和性」などの要件が必要としている。また、今後は廃材発生元のエンドユーザー側の前処理に対する期待が大きいとしている。

同社マネージャーへのインタビューによると、今後は 2000 トン/年の炭素繊維廃材が発生することになるため、低コストなリサイクル技術が確立すれば、現状のミルド、チョップドとも十分競争力を持つものと考えている。また、技術的には長繊維での回収も可能であり、リサイクル材の適用範囲には可能性があるとの見方をしている。

現状のミルド、チョップドの市場は小さく（2008 年時点で 900t 程度⁴²）難しい市場という見方があるが、ニーズ自体は確実にあると考えている。CFK Valley Stade Recycling ではそのような潜在顧客に対するアプローチを行っており、価格面・機能面での折り合いがつけば市場の受け入れは難しくないとのコメントをしている。

同社では現在、BMW、Volkswagen、Audi、Mercedes-Benz などのドイツ国内の完成車メーカー等へのアプローチを行い、用途展開等を図っている。

⁴² Ben Rasmussen, BMR Associates, US の予想による。

2.4. 炭素繊維・複合材料リサイクル事業に関するコンソーシアムの概要

諸外国では、炭素繊維・複合材料リサイクルにあたって、分野横断的にコンソーシアムを組み、川上から川下まで様々なプレイヤーが参画していることが一つの特徴である。

米国の場合は、ボーイング社が主体となってリサイクル事業に取り組んでおり、自社のファンドでリサイクル技術の開発を進めている。熱分解からのミルド、チョップドへの加工を主体とし各地にプラントを設立している。

欧州の場合は、EU 指令などの法令対応をドライビングフォースとして英国、ドイツを中心にリサイクルに関するコンソーシアムが形成されている。主な廃材の発生源は航空機であることは米国と同じであるが、コンソーシアムには自動車メーカーなどの他産業が介入しており、用途展開の部分が米国に比べ広いところに特徴がある。

表 24 炭素繊維・複合材料リサイクル事業に関するコンソーシアム⁴³

		AFRA	AFRECAR	CFK Valley
主要プレイヤー		The Boeing Company (米)	Nottingham University (英)	—
概要		炭素繊維複合材料に限らず、航空機材料のリサイクルを目的に設立。AFRECARプロジェクトとも協調。	英国ノッティンガム大学を主導とした、リサイクル炭素繊維の自動車分野への応用に関するプロジェクト。	CFRPの開発・応用・普及を目的に形成された分野横断的な組織。ドイツ企業を中心とした73の組織の協賛により設立
保有技術		・Adherent Technologiesの熱分解、流体処理、Nottingham大学の熱分解などによって繊維を分離 ・自動積層機械など回収後の利用技術も検討中	・熱分解、熱流体処理、超臨界流体などを検討。 ・回収後はSMCおよびBMCにて再成形 ・繊維のアラインメントにも注目	・熱処理を中心としたリサイクル技術を検討 ・自動積層などの製造技術にも注力
参加組織	航空機メーカー	・The Boeing Company (米)	・The Boeing Company (米)	・Airbus (仏)
	自動車メーカー		・Ford (米)	・Volkswagen (独)
	炭素繊維メーカー		・Toho Tenax (日)	・Hexcel (米)
	部材・部品メーカー	・Evergreen Air Center, (米) ・Europe Aviation (仏) ・Rolls-Royce (英) ・WINGNet (英) ・etc	・Technical Fibre Products (英) ・Advanced Composite Group (英)	・SAERTEX (独) ・KARL MAYER (独) ・etc
	リサイクル事業者	・Adherent Technologies (米) ・Recycled Carbon Fibre, Ltd (英) ・Firebird Advanced Materials (米) ・Bartin Recycling Group (仏) ・Karborek (伊)	・Milled Carbon (英)	・CFK Valley Stade Recycling (独)
	大学/研究機関	・North Carolina State University (米) ・Nottingham University (英)	・Nottingham University (英)	・Fraunhofer (独) ・Composite Technology Center (独) ・FASERINSTITUT (独)
	政府機関		・Technology Strategy Board (英)	

出所) 各種資料より三菱総合研究所作成

⁴³ 英国の Recycled Carbon Fibre, Ltd は、同社ホームページに「Milled Carbon グループである」と記載されているが、Milled Carbon のホームページにアクセスすると自動的に Recycled Carbon Fibre に遷移するなど、上記 2 社は同じ組織である可能性が高い。表 24 ではコンソーシアムの説明におけるパートナー企業・組織の一覧にある表記に基づき作成した。

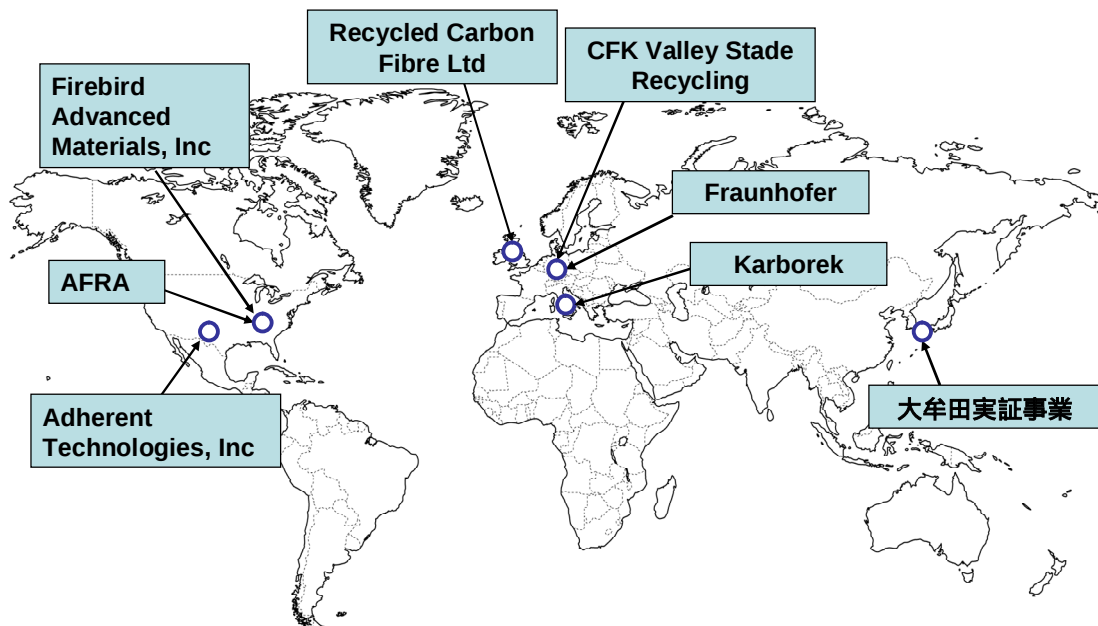


図 29 炭素繊維・複合材料リサイクル事業の実施機関

出所) 各種資料より三菱総合研究所作成

3. 今後の課題と提言

まず、本調査を通して、炭素繊維・複合材料のリサイクル技術が急速に向上してきていることが明らかとなった。しかしながら、一般的には未だに複合材料はリサイクルが困難であるというイメージを持たれており、その理由としては、これまでに多く利用されていた複合材料といえばガラス繊維強化プラスチック（GFRP）であり、繊維を取り出したとしてもコスト的に見合わないため、リサイクルが十分に行われない状況にあり、難リサイクル材料に分類されて久しかったことがあげられよう。その点、炭素繊維は近年の技術進展により製造コストが低減されてきたとはいえ、ガラス繊維と比較すると数十倍の価値を持つことから、炭素繊維・複合材料はリサイクルのインセンティブが相対的に高いことが大きな相違点である。

ただし現状は、確かに、炭素繊維・複合材料の樹脂と繊維を分離する技術が近年幅広く検討され、さらにリサイクル炭素繊維を用いた複合材料の成形法の検討も開始されているが、リサイクル原料としての炭素繊維廃材の発生量が少なくかつ不安定であるため、具体的な用途開発の観点からは開発途上である。すなわち、技術的な向上は目覚ましいが、例えばペットボトルのようなリサイクルシステムとしての社会設計は今後の重要課題として残されている。

このような中、廃棄物に関する EU 指令に見られるように今後の埋め立てが制限されるなどの状況の急速な変化もあり、例えば車体軽量化による CO₂ 削減の観点からは超軽量高強度な炭素繊維複合材料がいかに魅力的であっても、そのリサイクル技術が確立されなければ自動車メーカーとしても大規模な適用ができないという状況となりつつある。しかしながら一方で、ボーイング 787 およびエアバス A380 に CFRP が大量採用されたことにより将来的に炭素繊維廃材が安定的に市場に出回る可能性が高くなり、さらに、例えば年間 1,000 万台の乗用車において、車体重量の 10% の部材に CFRP が適用された場合には、年間 100 万トンの炭素繊維廃材が市場に供給されることになる⁴⁴など、リサイクル原料の安定確保も想定できる状況となってきた。また、CFRP の成形加工時の炭素繊維廃材は、素性が明らかで比較的再利用がしやすいとは言え、耐用期間後の市場ゴミと同規模の量が生産時に発生するため、これらの有効利用方法の早期確立が望まれるようになってきている。

以上のような背景から、欧米を中心に前章までに取り上げたような、炭素繊維メーカーから部材・部品メーカー、航空機メーカーや自動車メーカーなどのユーザー企業も参加するようなコンソーシアムを組んで炭素繊維・複合材料のリサイクル技術の検討が活性化してきている。

以下では、本調査を通して得られた知見をもとに現状の炭素繊維・複合材料における重要課題を考察し、炭素繊維の更なる需要拡大及び環境負荷低減につながるリサイクルに関わる技術や仕組み等について提言を行う。

⁴⁴ 乗用車の車体重量を 1 トンとして計算。

(1) 諸外国との競争の激化の中での差別化技術開発の方向性

これまで炭素繊維の世界市場は日本企業による寡占状態であったが、近年では航空機を中心とした需要の牽引を受け、欧米の既存の炭素繊維メーカー各社が炭素繊維製造プラントの増設を発表すると共に、トルコや中国などの新興国を中心に炭素繊維メーカーが立ち上がるなどの新しい動きが見られている。

米国や欧州では、今後 CFRP の主要なアプリケーションである航空機や風力発電ブレードの製造が躍進すると見込まれており、中国やインドなども今後は経済発展と共に炭素繊維の需要が伸びるものと予測されている。これらエンドユーザーの国々が炭素繊維の上流側に進出・拡大することは、炭素繊維を「国単位での内製化」を進めることに近い。これはこれまで生産側で優位性を保ってきた日本の炭素繊維メーカーにとって一つの脅威であり、今後は国際的な競争の激化が見込まれる。

そのような中で、我が国の国際的な優位性を保つためには、既定路線である技術力を活かした高品質な炭素繊維生産による差別化だけではなく、コモディティ分野でも圧倒的な競争力確保のための生産技術の革新が不可欠であろう。例えば、量産車製造ラインでの年間 20 万台規模の乗用車軽量化のためには年間約 2 万トン⁴⁵の炭素繊維が必要となるが、現在生産されている炭素繊維のほとんどは進藤方式による PAN 系炭素繊維であり、1 ラインの生産量が約 0.2 万トンという制約があり、量産車への適用は非現実的であって、その約 10 倍の生産能力を持つ炭素繊維の生産技術の開発が不可欠とされており、プリカーサーと焼成技術の抜本的な見直しが必要となる。このような技術革新は進藤方式による PAN 系炭素繊維の発明以来約 40 年間、その技術を守り、発展させてきた我が国が最も成功の可能性が高く、実現が期待されていると考えられる。

なお、年間 20 万台規模の量産車生産のためには CFRP を現在よりも 1～2 桁高速に成形加工する必要があるが、各国で熱可塑性樹脂を用いた CFRP 成形技術の開発研究が開始されているが、リサイクル性まで考慮したものは 3.2.5.項で紹介した我が国のプロジェクトのみである。具体的には、当該プロジェクトではポリプロピレンによる CFRP の開発を行っているが、これは長年の炭素繊維の製造を通してその表面処理技術に卓越した我が国ではじめて可能であった⁴⁶ものであり、我が国の強みをさらなる産業競争力につなげることができる優れた取り組みと評価できる。なお、このプロジェクトでは連続な炭素繊維と不連続な炭素繊維による高性能スタンパブルシートが開発されているが、このうちの不連続繊維関連技術はそのままリサイクル炭素繊維を高性能部材に再成形する技術に転用できると考えられ、極めて興味深い。

さらに炭素繊維関連のバリューチェーン全体での競争力向上を考えた場合、上述のプロジェクトで開発されるような成形加工技術を実際の市場に速やかに波及させ、かつさらに継続的にユーザーのニーズに適合させて技術を向上させ続けるためにも、CFRP 部材やリ

⁴⁵ 炭素繊維協会による乗用車 LCA モデル (<http://www.carbonfiber.gr.jp/lcamodel.pdf>) では、乗用車 1 台 (平均約 1.4 トン) あたり約 0.1 トンの炭素繊維 (CFRP としては約 0.2 トン) を使用することで、スチール部材を約 0.6 トン削減し、30%の軽量化が図れると試算されている。

⁴⁶ 例えば欧州では比較的炭素繊維との接着性の良い PEEK や PPS といった熱可塑性樹脂による CFRP が研究開発されているが、これらの樹脂はリサイクルの観点から問題があるだけでなく、現段階では価格的に量産車に採用されるのは困難と考えられる。

サイクル CFRP 部材の高い品質とその再現性を保証する自動成形装置の開発が不可欠である。これまで、熱硬化性樹脂による複合材料の成形は職人芸的な要素が多かったが、今後の大量需要が見込まれる熱可塑性樹脂による複合材料の成形では、我が国がまだ優位性を保っている生産装置技術、ロボット技術との積極的な連携が不可欠であり、差別化技術としての大きな発展が期待される。

(2) 炭素繊維・複合材料リサイクルの日本型モデル(仕組み)の確立

炭素繊維・複合材料のリサイクルへのモチベーションは欧米で若干の相違があり、欧州では EU 指令を中心とした法令対応から炭素繊維・複合材料のリサイクルの機運が高まっているが、米国ではボーイング社の自主目標から、関連各社を中心にリサイクルに取り組んでいる。一方で、共通点として、両者の炭素繊維・複合材料の廃材は、市場ゴミ、インプラントでの廃材ともに航空機を発生元として捉えているため、日本とは状況が異なる。地域の特性によってリサイクルのあるべき姿は変わりうるため、欧米の回収スキームを日本にそのまま当てはめることには留意が必要である。

リサイクル炭素繊維の用途開発は日米欧の共通の課題であるが、クローズドループで航空機への再適用を目指す米国と、他産業への展開に積極的な欧州とは好対照である。日本での展開を考える場合には後者のモデルが参考になるかと思われるが、その際には炭素繊維の主要なエンドユーザーの違い等を考慮した日本型のリサイクルモデルを検討する必要がある。例えば、航空機・自動車・風車などの炭素繊維・複合材料の大口ユーザーを巻き込み、ユーザー視点でのニーズを反映すると共に、現状では炭素繊維・複合材料産業と関わりが薄い家電・スポーツ・建築業などの多様なプレイヤーを巻き込むことによって、日本の持つ高い技術力を活かした独自性を持つコンソーシアムを形成することなどが、足かりになるものと考えられる。

(3) 炭素繊維・複合材料のリサイクルに係る標準化

炭素繊維は、一つの製品の中に異なるグレードが使われるだけでなく、PAN 系、ピッチ系の炭素繊維が同時に使われることもあり、回収後の選別が難しいという現状がある。米国のリサイクル事業者(Firebird Advanced Materials)においても、リサイクルにおける一番のコストは廃材の分離・選別作業であり、事業者間の協調によりそれらを効率よく行うことが事業化における一つのキーであると指摘しており、標準化がリサイクルに果たす役割は大きいと考えられる。

今後、リサイクル炭素繊維の商品として流通を目指すにあたっては、強化材、樹脂などの「リサイクル以前」の材料規格やトレーサビリティの重要性が高まると共に、リサイクル後においても特性によるクラス分けを行い、クラス毎の用途展開を進めていくことが必要になると考えられる。

(4) 炭素繊維・複合材料分野における技術戦略の拡充

炭素繊維・複合材料分野の技術戦略マップについては、出口分野ごとの重要技術の整理・抽出であり、これ自体は専門性が高く精度の良い問題意識を収集する一つの手法であり、その継続的見直しは重要である。しかし一方で、特に今回の調査を通して強く感じ

られたのは風車、自動車等のこれまでに無い大口需要の顕在化であり、それらへの対応(技術開発、増産投資)は極めて大きなビジネスチャンスであると同時に大きなリスクを伴うことから、今後は更に必要な技術開発への投資と同時に用途の多様化に向けたガイドライン策定が必要となるであろう。具体的には、まず世界と国内の炭素繊維・複合材料の需要の幅と供給すべき時期、場所、グレード、量、成形・3R等の開発すべき関連技術の対応を明らかにして、適切なコンソーシアムの形成やファンド集めのための理論武装をすることが必要である。

また、サプライチェーン、バリューチェーンの観点からは、我が国特有の業種連携の穴として、特に、上述の通り複合材料関連技術のオートメーション化の視点の弱さが再確認された。すなわち、国家プロジェクト等で開発された要素技術を産業競争力に育てるまでの戦略も含めたものを策定すべきであろう。

最後に、世界各国、特に中国の新素材への研究開発投資等の力の入れようを鑑みるに、競争力で追い抜かれるなど取り返しがつかなくなる前に我が国においても人材育成の戦略についても策定する必要があると考えられる。具体的には、合成化学、材料構造設計、機械装置設計等、複数分野に精通したスーパーエンジニアの育成が重要と考えられ、例えば上記(1)であげたような技術開発をする仕組みの中で組み込むべきであろう。

我が国は炭素繊維の世界シェアの7割程度を占めており、今後将来的にも現状もしくは一定程度以上のシェアを維持していくためには、リサイクルまで含めた炭素繊維・複合材料のサプライチェーン全体での技術を国内で蓄積していくことが望ましい。既にリサイクル技術そのものについては確立されつつある状況にあり、今後はリサイクル原料の安定供給やリサイクル材の用途開発など、炭素繊維・複合材料を社会全体でどのようにまわしていくか、という仕組み作りに重点を置くべき時期に来ている。そのためにも、炭素繊維・複合材料に関わる上流から下流までの企業、研究機関等の産学官が連携して上記(1)～(4)に示した取り組みを積極的に推進していくことが望まれる。

II. 「ファイバー分野」の技術戦略マップにおける炭素繊維・複合材料（移動体）分野のローリングの検討

2007 年（平成 19 年）に策定された「ファイバー分野」の技術戦略マップにおける「炭素繊維・複合材料（移動体）分野」について、日々進歩する技術に対応するために内容のローリングを行った。

改訂の方針としては、『炭素繊維に係る各種動向調査』の調査結果、及び委員会における検討により、技術の進展を確認し、技術マップ及び技術ロードマップに反映させた。この際、炭素繊維・複合材料のリサイクル技術に限定するのではなく、炭素繊維・複合材料分野全体についてローリングを行った。技術マップ及び技術ロードマップにおける具体的な修正箇所を表 25 に示す。また、改訂した技術マップ及び技術ロードマップはそれぞれ参考資料 4、参考資料 5 に付す。

大きな改訂事項としては、技術マップ及び技術ロードマップの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、技術マップ及び技術ロードマップにおける目標値の修正、要素技術や技術課題の追記、技術名称の再検討等である。

ローリングの経緯としては、今後、我が国における炭素繊維・複合材料のリサイクルを推進するために、試験・評価法を含めた標準化技術が重要であり、国として取り組むべき重要課題であるとの議論が行われた。そこで、標準化に関する技術項目を技術マップの部材化共通基盤技術の No2604 に重要技術として追記し、中長期的に取り組むべき課題として技術ロードマップを作成した。

また、リサイクル技術における今後の重要課題としては、炭素繊維の分級、規格標準化、リサイクル炭素繊維の利用技術・用途の開発が挙げられた。さらに、端材などの不連続繊維を CFRP に自動成形する技術等、リサイクルのための装置を含めた技術開発が必要であるとの議論も行われた。これらの結果を踏まえ、リサイクル技術に関する技術項目を技術マップの部材化共通基盤技術の No2605 に重要技術として追記し、中長期的に取り組むべき課題として技術ロードマップを作成した。

炭素繊維・複合材料の製造における現在の最も重要な課題は、炭素繊維の生産性向上、低環境負荷製造・低コスト製造技術である。これらを達成するためには、既存の製造方法では限界があることから、新たなプリカーサー及び新たな焼成方法の開発が必要との指摘があった。そこで、炭素繊維製造省エネ化・生産性向上技術に関する技術項目を重要技術として技術マップの部材化共通基盤技術に No2606 として記載し、技術ロードマップを作成した。

表 25 技術マップ及び技術ロードマップ修正事項

技術マップ No	技術ロードマップ No	修正内容
2105、2114	2101、2102、2105、 2106、2109、2114、 2115、2127、2207、 2210、2215、2301、 2303、2401、2504	・「成型」と「成形」が混在しているので全体を確認して「成形」に修正
2101、2111、2115、 2119、2126、2216、 2218	2126	・熱可塑性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
	2108	・CFRP の機能性向上の目標値を 50GPa に修正 ・目標 130 以上、強度 4000MPa 以上、弾性率 40GPa 以上というのが、いずれも目標としてはそれ程高くないとの指摘を受け、目標値を修正または削除
2114		・熱可塑性樹脂マトリックスの課題としてクリープが大きいことが挙げられ、低クリープ熱可塑性炭素繊維強化プラスチックにより高負荷部品への展開、高寿命化が期待されることを追記 ・新素材・加工法導入による全体に対する工法、システムの統合と安全・安心の保証についての項目を追加 ・(6)その他の技術項目の番号(、 、 、 …… 、 、 、 、 ……)
2119	2119	・炭素素繊維 炭素繊維
2123		・耐衝撃性が劣るという表現には違和感があるとの指摘を受け、「耐衝撃性」に修正
2126(新規)		・燃料タンクに広く普及するためには、炭素繊維の低コスト化も重要であることから、コストパフォーマンスについて追記
2127		・リサイクル技術に炭素繊維強化バイオプラスチックに関する記述を追加
2128	2128	・熱可塑性射出成型技術 熱可塑性樹脂の射出成型技術
2202	2202	・垂直翼 垂直尾翼、水平翼 水平尾翼
	2206	・CFRP の機能性向上に革新穴あけトリム加工法を追記、(高機能性 CFRP の) 成形技術開発 革新成形技術開発に修正、UV 照射用樹脂の開発を追記

2206、2208	2206、2208	・「ダメージの易発見性」と「ダメージの発見容易性」は後者に表現を統一
2209	2209	・内層部材 内装部材
2211	2211	・ラドム レドーム
2212	2212	・ に耐雷性向上を追記、ロードマップの 目標にニッケル並みの耐エロージョン性を追記、 の目標を 2221 に移動。また、「恩で似て」は「温度にて」の間違いであるため修正
	2114	・ の「フフィラー」 「フィラー」
2219	2218	・ ボディ 胴体
	2221	・ 目標として液体水素の温度にて割れなし、液漏れなし。アルミ合金並み強度、靱性を追記
2506	2506	・ パーソナルカー、人型ロボット、補助ロボット、車椅子、義足、義手を出口項目に記載
2601～2603	2601～2603	・ 部材化共通技術 部材化共通基盤技術
2604(新規)	2604(新規)	・ 部材化共通基盤技術に(4)標準化技術を追記
2605(新規)	2605(新規)	・ 部材化共通基盤技術に(5)リサイクルを追加し、研究開発の方向性として、「インプラント端材の有効利用」、「リサイクル炭素繊維の分級」、「リサイクル炭素繊維を含む不連続繊維を高性能CFRPとする成形・加工方法の開発とその自動成形技術の開発」を追記
2606(新規)	2606(新規)	・ 炭素繊維製造にかかる省エネ化・生産性向上についての項目を追加し、研究開発の方向性として「従来比 10 倍程度の生産性」、「従来比 1/2 以下の環境負荷」、「従来比 1/2 以下の価格」を追記

上記の他に、今後、技術戦略マップの改訂が行われる際に参考とすべき事項として、以下のコメントがあげられた。

< 技術マップの体裁に関する指摘 >

- ・ 「機能」→「課題」→「効果」という横の項目の並びを揃えるべきである
- ・ ファイバーについての記述と複合材料についての記述が混在している

< 炭素繊維関連の要素技術・開発課題候補 >

- ・ 炭素繊維の低コスト・低環境負荷製造方法の開発
- ・ 炭素繊維の量産方法の開発（量産のためには、進藤方式では限界があるため、新たなプリカーサーおよび新たな焼成方法を開発する必要がある）

- ・ 高性能 CFRTP を成形しやすい炭素繊維（太径、異形断面、など）の開発（太径で高強度を出すためには、進藤方式では限界があるので、新たなプリカーサーおよび新たな焼成方法を開発する必要がある）
- ・ 圧縮強度の高い炭素繊維（太径、異形断面、など）の開発
- ・ 植物由来プリカーサーからの高性能炭素繊維製造方法の開発
- ・ CO₂ から有機物を製造し更に炭素繊維を製造する技術の開発（CO₂ 固定化）

< 成形・加工関連の要素技術・開発課題候補 >

- ・ 低コスト成形・加工方法の開発とその自動化装置の開発
- ・ 省スペース成形・加工方法の開発とその自動化装置の開発
- ・ 迅速成形・加工方法の開発とその自動化装置の開発
- ・ 炭素繊維の性能を十分に活用できる異方性設計技術と一体成形方法の開発
- ・ 高性能を維持できる接合方法の開発

< 3R 関連の要素技術・開発課題候補 >

- ・ 成形時の歩留まり材の有効利用方法の開発（効果：低コスト化）
市場ゴミの再資源化方法の開発（リサイクル炭素繊維の分級方法と規格標準化、RFID タグ等を用いた品質管理システムの構築）
- ・ リサイクル炭素繊維を含む不連続繊維を高性能 CFRP とする成形・加工方法の開発とその自動化装置の開発
- ・ 現場で適用可能な修理方法の開発（効果：メンテナンスコスト低減、稼働率向上）

< CFRP としての性能関連の要素技術・開発課題候補 >

- ・ 耐衝撃吸収性向上
- ・ 耐雷性向上
- ・ CFRTP の耐クリープ性向上
- ・ 長期耐久性の加速評価方法の開発
- ・ 低コストなリアルタイムヘルスマニタリングシステムの開発
- ・ 低熱膨張、高熱伝導、等を活用した機能性開発
- ・ 耐熱性（～300 ）に優れた汎用 CFRP 用マトリックス樹脂、及び CFRP の開発

< その他 >

- ・ 炭素繊維の今後の展開として、風力発電（風車ブレード）、海底油田（深海用ライザー等）などエネルギー分野が期待される。その際、コストパフォーマンス、リサイクル、成形技術などが課題として考えられる。
- ・ 安全性や信頼性の観点も重要である。

参考資料 1 中国・台湾の炭素繊維製造企業

表 26 調査対象企業リスト

番号	企業名	技術提携	設備導入
1	中国石化上海石油化工股份有限公司	公開情報なし	公開情報なし
2	吉林炭谷炭繊維有限公司	長春大学	公開情報なし
3	山西恒天紡績新繊維科技有限公司	大連興科炭素繊維有限公司	公開情報なし
4	中複神鷹炭素繊維有限責任公司	東華大学	公開情報なし
5	吉林市吉研高科技繊維有限公司	吉林石化公司研究院	公開情報なし
6	上海炭素有限公司（旧上海炭素工場）	公開情報なし	公開情報なし
7	中国石油吉林石化公司	自社研究院	公開情報なし
8	中国恒天集团有限公司	グループ会社	公開情報なし
9	大連興科炭素繊維有限公司	山西恒天紡績新繊維科技有限公司	公開情報なし
10	中鋼集団吉林炭素股份有限公司（吉林中鋼炭素工場）	公開情報なし	公開情報なし
11	蘭州中凱工貿有限責任公司	公開情報なし	公開情報なし
12	威海拓展繊維有限公司	山東大学、ロシア国家グラファイト材料研究所	公開情報なし
13	揚州惠通化工技術有限公司	公開情報なし	公開情報なし
14	上海同矽炭纖維布有限公司	上海同済大学、上海建築科学研究院	公開情報なし
15	台湾プラスチック	-	Hitco 社（米国）炭素繊維生産ライン

表 27 中国石化上海石油化工股份有限公司

番号	1				
企業名	中国石油化工上海石油化工股份有限公司（SPC）				
住所	〒200540 中国上海市金山区金一路 48 号				
電話番号	+86-21-57943143				
FAX 番号	+86-21-57940050				
URL	http://www.spc.com.cn				
企業概要	設立年	1993 年 6 月			
	資本関係	中国石油化工股份有限公司（Sinopec）の子公司である。			
		資本構成	株式数	種類	比率
		中国石油化工股份有限公司	40 億株	上海 A 株	55.56%
		社会法人株	1.5 億株	上海 A 株	2.08%
		人民元流通株	7.2 億株	上海 A 株	10%
	香港上場株	3.3 億株	香港 H 株	32.36%	
	設立経緯	1972 年に上海石油化工総工場が設立され、1993 年に国有企業の改革によって誕生した。			
	資本金	72 億元			
工場面積	940 万 m ²				
従業員数	17,000 人以上				
拠点	上海市				
生産技術	・ 自主開発技術、液相法で PAN 系プリカーサーを生産する。PAN 系炭素繊維は、酸化+低温炭素化+高温炭素化の生産技術。				
生産品	・ アクリル短繊維、アクリルウール繊維、テリレン短繊維、テリレン工業長繊維などの合成繊維製品。 ・ ポリプロピレン/ポリエチレン複合短繊維のパラメータ： 規格：1.67dtex×40(51)mm と 2.22dtex×40(51)mm の 2 種類 断裂強度≥2.5CN/dtex、断裂伸び率：70%～170%				
生産能力の推移	・ 炭素繊維プリカーサー（3,000 トン/年、建設中）PAN 系炭素繊維（1,500 トン/年、建設中）年間予定操業時間（8,000h） ⁴⁷				
今後の増産計画	・ 公開情報なし				
出荷先	・ 航空、宇宙、石油化学工業、医療機械、自動車、機械製造、建築、スポーツ・レジャー等の分野				

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

⁴⁷ 2009 年 12 月 30 日に環境影響評価 (EIA) が公表されたばかりであるため、まだ炭素繊維の生産には着手していない。操業開始時期の情報も公開されていない。

表 28 吉林炭谷炭纖維有限公司

番号	2	
企業名	吉林炭谷炭纖維有限公司	
住所	〒132115 吉林省吉林市吉林經濟技術開發区九站街 516 地段	
電話番号	+86-432-3503657	
FAX 番号	+86-432-3058451	
URL	http://www.jlhxjt.com	
企業概要	設立年	2008 年 12 月
	資本関係	吉林奇峰化学纖維股份有限公司の完全子会社。 吉林奇峰化学纖維股份有限公司は吉林化学纖維集団有限責任公司の持株子会社。
	設立経緯	公開情報なし
	資本金	1 億元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	公開情報なし
拠点	吉林市	
生産技術	自主開発技術、液相法で原料を重合し、ジメチルアセトアミドを溶剤に湿法でプリカーサーを生産する。2007 年 10 月、国家知識産権局に特許を申請し、2008 年 4 月、吉林省科学技術庁から認可を受けた。	
生産品	主に、1K、3K、6K、12K、24K、48K 等の PAN 系炭素纖維プリカーサー及び関連製品。	
生産能力の推移	- 年間 150 トンの実験生産ラインで生産中（T300 レベル） - 年間 5000 トンプリカーサーの生産拡大計画の 期（1500 トン/年）が 2009 年 7 月から試運転	
今後の増産計画	年間 5000 トンプリカーサーの生産拡大計画の 期（3500 トン/年）が 2010 年 6 月に完成予定	
出荷先	航空、宇宙、新型紡織機、石油化学工業、医療機械、自動車、機械製造、建築、スポーツ・レジャー等の分野	

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 29 山西恒天紡績新纖維科技有限公司

番号	3	
企業名	山西恒天紡績新纖維科技有限公司	
住所	〒030600 山西省晋中市榆次区榆次工業園区張超南段	
電話番号	+86-354-3966555	
FAX 番号	+86-354-3966550	
URL	http:// www.htxw.com	
企業概要	設立年	2003 年 3 月
	資本関係	公開情報なし
	設立経緯	理事長の桑建中氏は原中国紡績工業部の直轄企業である経緯紡績機械工場研究所の出身で、2000 年に退職し、2003 年「山西恒天紡績新纖維科技有限公司」を設立。
	資本金	2000 万元
	工場面積	約 4 万 m ²
	従業員数	約 60 人
拠点	山西省晋中市	
生産技術	「スルホキシド一步法」(スルホキシドを使って、一工程で生産する方法、中国名：亜砒一步法)で新型纖維を生産している。	
生産品	- 牛乳蛋白纖維、羊毛蛋白纖維、アクリル系炭素纖維原系 - 製品の具体的規格、強度、弾性係数などの情報はなし	
生産能力の推移	- 年間生産量は約 500 トン (短纖維) 2009 年 3 月、1200 トンの T300 炭素纖維プリカーサーの生産ラインが本格的に稼働。	
今後の増産計画	公開情報なし	
出荷先	- 炭素纖維プリカーサーの初の製品を中鋼吉炭神舟纖維有限公司に供給する。 - 研究・開発した T700 テスト生産ラインの技術はプリカーサーの生産に導入され、3K 炭素プリカーサーがすでに、宇宙、軍用分野において、大量に使用されている。	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 30 中複神鷹炭素繊維有限責任公司

番号	4	
企業名	中複神鷹炭素繊維有限責任公司	
住所	〒222069 江蘇省連雲港市經濟開發区大浦工業区	
電話番号	+86-518-86070008	
FAX 番号	+86-518-86070007	
URL	http://www.zfsycf.com/	
企業概要	設立年	2007 年
	資本関係	中国複合材料集团有限公司 (45%) 連雲港鷹遊紡機有限公司 + 江蘇奥神集团有限公司 (55%)
	設立経緯	公開情報なし
	資本金	1 億 3,636 万元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	公開情報なし
拠点	江蘇省連雲港市	
生産技術	・ 主要設備はすべて自社開発	
生産品	・ 1K、3K、6K、12K の PAN 系プリカーサー、炭素繊維生産ラインを持つ。 ・ 製品の具体的規準、強度、弾性率に関する情報はなし	
生産能力の推移	・ 2006 年 9 月 500 トン/年プリカーサー生産ライン導入 ・ 2007 年 9 月 200 トン/年炭素化生産ライン導入 ・ 2007 年 11 月「万トン生産計画」 期 100 トン/年炭素化生産ライン運転 ・ 2008 年 1 月「万トン生産計画」 期 100 トン/年炭素化生産ライン運転	
今後の増産計画	・ 公開情報なし ・ 2009 年、中国東華大学とともに、T700 レベル以上の炭素繊維の研究センターや実験室を設立。	
出荷先	・ 航空、宇宙、自動車、風力発電機のブレード、太陽電池、天然ガスポンプ、医療機械、建築、スポーツ・レジャー等の分野	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 31 吉林市吉研高科技纖維有限公司

番号	5	
企業名	吉林市吉研高科技纖維有限公司	
住所	〒132115 吉林市吉林経済技術開発区 1 号街	
電話番号	+86-432-65114222	
FAX 番号	+86-432-65114000	
URL	http://www.jltxw.cn/index.html	
企業概要	設立年	2002 年
	資本関係	公開情報なし
	設立経緯	公開情報なし
	資本金	2,000 万元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	公開情報なし
拠点	吉林市	
生産技術	・ 主要設備はすべて自社開発	
生産品	- PAN 系炭素繊維とビスコース系炭素繊維を主力製品とし、主に、各種の 1K、3K、6K、12K の炭素繊維を生産、炭素繊維布（CF Cloth）、ミルド、炭素繊維製縄などの関連製品も製造可能である。 - 炭素量 93%以上、強度 3Gpa 以上、伸び率 1.5%以上、弾性率 210～240Gpa	
生産能力の推移	- 現在、年間 15 トンの PAN 系炭素繊維生産ラインと年間 16 トンのビスコース系炭素繊維生産ラインを持つ。 2008 年、新たに年間 160 トンの PAN 系炭素繊維生産ラインを導入。	
今後の増産計画	・ 年間 1000 トンの PAN 系炭素繊維生産ラインを計画中	
出荷先	・ 販売先は主に上海、北京、広東省、黒龍江省、遼寧省、吉林省のゴルフ用品、バトミントンラケット、テニスラケットのメーカー	

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 32 上海炭素有限公司

番号	6	
企業名	上海炭素有限公司（旧上海炭素工場）	
住所	〒200241 上海市閔行区龍呉路 4221 号	
電話番号	+86-21-64340445	
FAX 番号	+86-21-64345407	
URL	http://www.021ts.com	
企業概要	設立年	2004 年 4 月
	資本関係	吉林炭素集団有限公司の子公司
	設立経緯	上海炭素工場は 1958 年 6 月に設立され、設立当初は上海軽工業局に属していたが、その後、冶金局、上海宝钢集团公司の傘下に移り、現在、吉林炭素集団有限公司の子会社となった。
	資本金	公開情報なし
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	約 400 人
拠点	上海市	
生産技術	・ PAN 系プリカーサーを酸化してから、高温炭素化で炭素繊維を生産する技術。	
生產品	・ 炭素繊維の具体的規準、強度、弾性率に関する情報はなし	
生産能力の推移	・ 公開情報なし	
今後の増産計画	・ 公開情報なし	
出荷先	・ 航空、宇宙、紡織、石油化学工業、医療機械、建築、スポーツ・レジャー等の分野	

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 33 中国石油吉林石化公司

番号	7	
企業名	中国石油吉林石化公司（炭素繊維工場）	
住所	〒132021 吉林省吉林市龍潭大街九号	
電話番号	+86-432-3976997	
FAX 番号	+86-432-390361	
URL	http://www.cnpc.com.cn/CNPC/cyqy/gfgs/lhgs/jlshfgs.htm	
企業概要	設立年	2009 年 6 月
	資本関係	中国石油吉林石化公司の子会社
	設立経緯	2008 年 3 月、吉林石化公司の百トン級炭素繊維プロジェクトが正式に決定され、6 月に着工した。2009 年 6 月、プロジェクトが竣工し、中国石油吉林石化公司の炭素繊維工場が設立。
	資本金	公開情報なし
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	公開情報なし
拠点	吉林市	
生産技術	・ 自主研究開発したポリアクリルニトリル系炭素繊維製品の性能は国際先端レベルに達していると同社ではコメントしている。 ・ スルホキシド及び連続湿式法絹糸紡績技術を採用したプリカーサー生産能力 10 トン/年の装置を導入。 ・ 炭素繊維製品の密度のばらつきが大きい、灰分の含有量が多い、ミクロ構造寸法の差などの問題に対応するため、重合技術及び炭化技術の最適化を行った。バッチ重合、アルカリ性凝固成形及び表面処理技術を採用し、高性能の炭素繊維製品を開発した。製品の主要性能は T300 レベルに相当すると同社ではコメントしている。	
生產品	・ 先端炭素繊維製品（製品の主要性能は T300 レベルに相当）	
生産能力の推移	・ 2009 年 5 月、百トン級炭素繊維生産装置が全面的に稼働、産業化を実現。 ・ 2009 年の炭素繊維の生産量は約 148 トンの見込み。	
今後の増産計画	・ 百トン級炭素繊維装置の生産能力拡大の改造。既存の百トン級装置を拡大し、最終的に 300～500 トンの生産能力へ。 ・ 関連製品の技術開発、補助薬剤及び主要設備の研究開発、千トン級炭素繊維装置の建設を展開する。 ・ 炭素繊維テスト装置及び百トン級炭素装置の技術により、千トン級炭素繊維生産技術を確立し、2012 年までに千トン級炭素繊維装置を備える計画。	
出荷先	・ 宇宙、航空、新型紡績機械、石油化工、医薬機械、自動車、機械製造、建築業、スポーツ・レジャー、電気通信、電気加熱などの分野。	

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 34 中国恒天集团有限公司

番号	8	
企業名	中国恒天集团有限公司	
住所	〒10020 北京市朝陽区建国路 99 号中服大廈	
電話番号	+86-10-65838033	
FAX 番号	+86-10-65813211	
URL	http://www.chtgc.com	
企業概要	設立年	1998 年 9 月
	資本関係	中国国務院国有資産管理委員会傘下の国有独資大手企業グループ。
	設立経緯	旧国家紡績工業部傘下の中国紡績機械(集団)有限公司、中国紡績工業对外経済技術合作公司、中国紡績機械と技術輸出入有限公司、中国化学纖維総公司、中国絹織総公司などの企業を合併し設立された。
	資本金	約 26 億元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	6 万人以上
拠点	北京市、瀋陽市	
生産技術	・ 自社開発技術	
生産品	・ 公開情報なし	
生産能力の推移	・ 公開情報なし	
今後の増産計画	- 中国恒天集团有限公司傘下の中恒(瀋陽)炭素纖維材料股份有限公司は 5 年をかけて、瀋陽の康平経済開発区に国内最大の高性能炭素纖維及び複合材料工業パークの設立を計画している。 - 期目に、年間 1,500 トンの PAN 系炭素纖維プリカーサー、500 トンの炭素系生産ライン及び 360 万 m²のトウプリプレグの生産ラインを建設する予定で、建設期間は 14 ヶ月としている。 - 計画が完成すれば、年間生産規模は、PAN 系炭素纖維プリカーサーが 12,500 トン、PAN 系炭素纖維が 5,000 トン、炭素纖維トウプリプレグが 360 m²となる。年間売上は 50 億元で、年間利益 15 億元、新規従業者 3,000 人を増員する予定。	
出荷先	宇宙、航空、新型紡績機械、石油化工、医薬機械、自動車、機械製造、建築業、スポーツ・レジャー、電気通信、電気加熱などのハイテク技術分野。	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 35 大連興科炭素纖維有限公司

番号	9	
企業名	大連興科炭素纖維有限公司	
住所	〒116100 大連市金州区金東路 668 号	
電話番号	+86-411-87820931、+86-411-87821701	
FAX 番号	+86-411-87820931	
URL	http://www.dlxk.com/	
企業概要	設立年	2001 年
	資本関係	有限責任公司
	設立経緯	情報なし
	資本金	3,000 万元
	工場面積	13,280 m ²
	従業員数	約 200 人
拠点	大連市	
生産技術	・ 自社技術の研究開発を行っており、数多くの発明及び実用新型特許を持ち、国家知識産権局から 9 件の発明権及び実用新型特許権が授与された。	
生產品	・ 製品は国家 863 計画の材料専門家チームの認定を受け、SGS 環境保護認証を取得。1K、3K、6K、12K から 320K までの炭素繊維糸、酸素処理前糸、炭素繊維布、防火保温材料、発熱糸、電熱糸などの各種炭素繊維製品を製造可能である。その他、ユーザーのニーズに応じて、特殊炭素繊維製品の提供も可能である。 ・ 強度 3.3GPa、弾性率 200～260GPa、伸び率 1.34～1.40%。	
生産能力の推移	・ 設計生産能力は年間 360 トン、技術改造により、年間 600～800 トンの生産が可能となった。	
今後の増産計画	・ 2008 年 10 月、大連宏基科技産業有限公司と共同出資で、大連市花園口経済区に「大連国瑞炭素材料有限公司」を設立。二期プロジェクトは年間 200 トンの炭素繊維生産ライン 2 本と年間 1,000 トンの炭素繊維生産ライン 1 本を建設する予定で、投資総額は約 4.4 億元。	
出荷先	・ 宇宙、航空、新型紡績機械、石油化工、医薬機械、自動車、機械製造、建築業、スポーツ・レジャー、電気通信、電気加熱などのハイテク技術分野。	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 36 中鋼集団吉林炭素股份有限公司（吉林中鋼炭素工場）

番号	10	
企業名	中鋼集団吉林炭素股份有限公司（吉林中鋼炭素工場）	
住所	〒132002 吉林省吉林市和平街 9 号	
電話番号	+86-432-2749988、+86-432-2749977	
FAX 番号	+86-432-2749999	
URL	http://www.jlts.cn	
企業概要	設立年	2006 年
	資本関係	中鋼集団公司の子会社
	設立経緯	1952 年に国有企業の二〇一工場が設立され、1972 年、吉林炭素工場へ社名変更。1988 年、吉林炭素集団有限責任公司へ社名変更。1999 年、深圳証券取引所上場。2006 年、中鋼集団吉林炭素股份有限公司へ社名変更。
	資本金	52,854 万元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	約 4,700 人
拠点	吉林市	
生産技術	・ 自主研究・開発	
生產品	・ 炭素纖維布	
生産能力の推移	・ 公開情報なし	
今後の増産計画	・ 約 8 億元を投じ、吉林省吉林市九站經濟技術開發区で年間 2,000 トンの炭素纖維生産プロジェクトを展開している。計画土地面積が 18 万 m²。 期の生産規模は年間 500 トン、 期の生産規模は年間 1,500 トンである。 ・ 2009 年 6 月、 期工事が着工。	
出荷先	・ 宇宙、航空、交通、機械、建設材料、スポーツ・レジャー、医療などの分野。 ・ 炭素纖維製品は飛行機ブレーキの主要材料として使われているほか、神州シリーズの宇宙ロケットなどの主な材料である。	

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 37 蘭州中凱工貿有限責任公司

番号	11	
企業名	蘭州中凱工貿有限責任公司	
住所	〒730060 甘肅省蘭州市西固区化工街 89 号	
電話番号	+86-931-7989653、+86-931-7313626	
FAX 番号	+86-931-7301889	
URL	http://www.lzzhongkai.com	
企業概要	設立年	1998 年
	資本関係	公開情報なし
	設立経緯	旧蘭州化学工業公司化学肥料工場から独立
	資本金	公開情報なし
	工場面積	142,900m ²
	従業員数	約 700 人
拠点	蘭州市	
生産技術	公開情報なし	
生産品	・ ポリアクリルニトリル系炭素繊維 ・ 規格：6K と 12K ・ 強度 3.3GPa 以上、弾性率 200～260GPa ・ 断裂伸び率 1.5%以上、炭素量 95%以上	
生産能力の推移	・ 年間 100 トンの PAN 系炭素繊維を生産できる。年間売上高は 1 億元以上。	
今後の増産計画	・ 公開情報なし	
出荷先	・ 国防、宇宙、航空、建設材料、自動車、機械電子、化工、医療、スポーツ・レジャーなどの分野。	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 38 威海拓展纖維有限公司

番号	12	
企業名	威海拓展纖維有限公司	
住所	〒264202 山東省威海市ハイテク開発区天津路 128 号	
電話番号	+86-631-5627130	
FAX 番号	+86-631-5627212	
URL	http://www.whtuozhan.cn/index.asp	
企業概要	設立年	2002 年 4 月
	資本関係	公開情報なし
	設立経緯	公開情報なし
	資本金	100 万元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	約 500 人
拠点	山東省威海市	
生産技術	・ 担当した「CCF-1 型 (T300 レベル) 炭素プリカーサーの百トン生産ライン建設及びコア技術・設備の研究」プロジェクトは、中国 863 計画の専門家チーム及び山東省の専門家チームの認可を受け、1,000 万元の国家無償補助及び 2 億元の銀行融資を受けた。 ・ CCF-1 型 PAN 系炭素繊維プリカーサーの安定化技術及び連続生産のコア技術が国家関連部門の認定を受けた。 ・ すでに大規模生産の条件を備え、5 つの自主イノベーション技術を国防特許として申請中である。	
生產品	・ PAN 系高性能の特殊繊維 ・ 炭素量 93%以上、強度 3.53GPa 以上、強度の変動率 6%以下 ・ 弾性率 230GPa、変動率 3%以下 ・ 断裂伸び率 1.5%以上、断裂伸び率の変動率 5%以下	
生産能力の推移	・ 公開情報なし	
今後の増産計画	・ 2009 年 8 月 27 日から「炭素繊維生産及びプロジェクト化国家プロジェクト実験室」の建設を担当している。 ・ 主要製品は PAN 系高性能特殊繊維、PAN 系特殊繊維織物、PAN 系特殊繊維トウブリプレグなどである。）	
出荷先	・ スポーツ・レジャー分野、軍用用品分野及び風力発電機のブレードの製造。	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 39 揚州惠通化工技術有限公司

番号	13	
企業名	揚州惠通化工技術有限公司	
住所	〒225009 江蘇省揚州市開發区鴻大路 18 号	
電話番号	+86-514-87855099、+86-514-87853049	
FAX 番号	+86-514-87888074、+86-514-87892654	
URL	http://www.htpoly.com	
企業概要	設立年	1993 年
	資本関係	公開情報なし
	設立経緯	公開情報なし
	資本金	5,000 万元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	約 120 人
拠点	江蘇省揚州市	
生産技術	ジメチルスルホキシドを溶剤として、一工程の湿法紡糸技術で丸型繊維を調合する。	
生産品	公開情報なし	
生産能力の推移	- プリカーサー生産能力は年間 100 トン - 炭素繊維の生産ラインを建設中	
今後の増産計画	2009 年 10 月、40 万トンのポリエステル重合の生産ラインを発注。	
出荷先	宇宙、航空、新型紡績機械、石油化工、医薬機械、自動車、機械製造、建築業、スポーツ・レジャー、電気通信、電気加熱などのハイテク技術分野。	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 40 上海同矽炭纖維布有限公司

番号	14	
企業名	上海同矽炭纖維布有限公司	
住所	〒201315 上海康橋開発区康橋東路 1221 号	
電話番号	+86-21-58133697、+86-21-58133671	
FAX 番号	+86-21-58133672	
URL	http://www.ttcfc.com	
企業概要	設立年	2000 年
	資本関係	自己資本
	設立経緯	公開情報なし
	資本金	94.5 万元
	工場面積	公開情報なし
	従業員数	公開情報なし
拠点	上海市	
生産技術	・ 輸入した高強度の炭素繊維糸を原料として、自社技術で炭素繊維布を製造している。	
生產品	・ 「同矽」ブランドの単向炭素繊維布 ・ 製品規格：200 g/m²、300 g/m²、450 g/m²の 3 種類 ・ 強度 3.55Gpa、弾性率 220Gpa ・ 厚さ 0.12～0.17mm、幅 100～300mm	
生産能力の推移	・ 公開情報なし	
今後の増産計画	・ 公開情報なし	
出荷先	・ 上海の易初蓮花オフィスビル、上海浦江レストラン、上海中遠化工有限公司、中藍晨光化工研究所、温州駅ホーム、浙江舟山にある一部の埠頭、瀋陽沙河大橋などの 1,000 件以上のプロジェクトに出荷。	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 41 台湾プラスチック

番号	15	
企業名	台湾プラスチック	
住所	台北市敦化北路 201 号	
電話番号	+886-2-27122211	
FAX 番号	+886-2-27175287	
URL	http://www.fpc.com.tw/	
企業概要	設立年	1954 年
	資本関係	情報なし
	設立経緯	情報なし
	資本金	612 億新台幣ドル
	工場面積	情報なし
	従業員数	7 万人以上
拠点	高雄市、台北市、宜蘭県、三峡鎮、嘉義県、雲林県	
生産技術	・ 自社技術、PAN 系プリカーサーは DMF 法を採用。	
生産品	・ PVC 粉、VCM、塩酸、ポリエチレン等の製品を製造し、加工品では高密度のポリエチレン関連のごみ袋、レジ袋等を生産。その他、炭素繊維製品も生産。政府の高付加価値製品及び精密化学工業を発展する方針に沿って、特殊化学品やアクリル酸などを生産。 ・ 中国の寧波経済技術開発区では、2005 年に 30 万トン/年の PVC 生産ライン、2006 年に 23 万トン/年のアクリル酸生産ライン、2008 年に 45 万トン/年のポリプロピレン生産ラインを導入。	
生産能力の推移	・ 1980 年代にアメリカの Hitco 社から 100 トン/年炭素繊維生産ラインを導入 ・ 1995 年炭素繊維生産能力 200 トン/年 ・ 1997 年炭素繊維生産能力 750 トン/年 ・ 1999 年炭素繊維生産能力 1,750 トン/年 ・ 内高雄工場は 750 トン/年	
今後の増産計画	・ 年間炭素繊維生産能力は 4,750 トン/年へ	
出荷先	・ 航空、自動車、スポーツ・レジャー等の分野	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

参考資料 2 中国における炭素繊維・複合材料研究プロジェクト

中国における主な研究プロジェクトリストを表 42 に示す。

表 42 炭素繊維に関する研究プロジェクトリスト (1)

番号	プロジェクト (課題) 名称	出所	担当機関	責任者	期間	備考
1	高速 CVI プロセスの特徴及び炭素原子の排列メカニズム (原文 : 快速 CVI 過程特徴及炭原子排列機理)	973 計画	中南大学	黄启忠 黄伯雲	公開情報 なし	-
2	液相、固相炭素化及び高压によるメカニズム (原文 : 液、固相炭化及高压作用機理)	973 計画	中国航天科技集团 43 研究所 (西安航天複合材料研究所)	程文	公開情報 なし	個表参照
3	C/C 複合材料処理プロセスにおける組織構造の変化メカニズム (原文 : C/C 複合材料処理過程組織結構演变機制)	973 計画	湖南大学	陳金華	公開情報 なし	-
4	炭繊維表面の構造変化とプレハブ構造の設計 (原文 : 炭纖維表面結構演变和預制結構設計)	973 計画	中南大学	肖鵬	公開情報 なし	-
5	C/C 複合材料の界面構造の特性及び表面特徴 (原文 : C/C 複合材料界面結構特性及其表征)	973 計画	中国科学院金属研究所	賀連龍	公開情報 なし	-
6	特殊状況下の C/C 複合材料の摩擦・摩損メカニズム (原文 : 特殊工况下 C/C 複合材料摩擦摩損機理)	973 計画	中南大学	易茂中	公開情報 なし	-
7	C/C 複合材料熱伝導メカニズム及び設計 (原文 : C/C 複合材料導熱機制及設計)	973 計画	航天材料及工艺研究所	胡子君	公開情報 なし	個表参照
8	物理、化学的作用における、C/C 複合材料の動態失効の特徴及び防止メカニズム (原文 : 物理、化学場作用下 C/C 複合材料動態失効特征及防護機理)	973 計画	西北工業大学	成来飛	公開情報 なし	-
9	アクリロニトリルの繊維化重合物の合成コントロール可能化及び構造性能の最適化 (原文 : 丙烯腈成纖聚合物的可控合成与結構性能優化)	973 計画	中国科学院長春 応用化学研究所	李悦生	公開情報 なし	個表参照

表 43 炭素繊維に関する研究プロジェクトリスト(2)

番号	プロジェクト(課題)名称	出所	担当機関	責任者	期間	備考
10	複雑な外部における PAN 系高濃度溶液の変化/凝固拡散/結晶構造と方向性の研究(原文: 複雑外場下 PAN 濃溶液流変-凝固拡散-結晶与取向結構的研究)	973 計画	北京化工大学	徐樑華	2006.7.1-2009.6.1	個表参照
11	繊維の欠陥のコントロールを中心とした新たな成形方法及びメカニズムに関する研究(原文: 以纖維缺陷控制為核心的新型成形方法及機理研究)	973 計画	東華大学	潘鼎	2007.1.1-2011.12.1	個表参照
12	PAN 系繊維における有機-無機転化プロセス及び性能との内部関連(原文: PAN 纖維有機-無機轉化過程及其与性能的内在關聯)	973 計画	中国科学院山西 石炭化学研究所	楊永崗	2006.9.1-2011.9.1	個表参照
13	繊維のミクロ的物理と化学構造のプリカーサー及び炭素繊維性能への影響の規則(原文: 纖維微觀物理和化学結構对原系和炭纖維性能的影响規律)	973 計画	中国科学院化学 研究所	徐堅	公開情報 なし	-
14	繊維表面構造形態のコントロール及び関連性に関する研究(原文: 纖維表面結構形態控制及其相關性研究)	973 計画	ハルビン工業大 学	王栄国		個表参照
15	先駆体転化と化学的な液相気化沈澱が融合した C/SiC 複合材料の低コスト調合技術研究(原文: 先駆体轉化結合化学液相氣化沉澱 C/SiC 複合材料低成本制備技術研究)	863 計画	中国人民解放軍 国防科学技術大 学	胡海峰	公開情報 なし	-
16	新型 C/C-SiC 摩擦材料の低コスト調合技術研究(原文: 新型 C/C-SiC 摩擦材料低成本制備技術的研究)	863 計画	中南大学	肖 鵬	公開情報 なし	-
17	高強度、高導熱の自然増強型炭/炭複合材料の調合(原文: 高強度、高導熱自増強炭/炭複合材料的制備)	863 計画	中国科学院山西 石炭化学研究所	郭全貴	公開情報 なし	-
18	炭/炭複合材料と金属の複合過渡連接(原文: 炭/炭複合材料与金属的複合過渡連接)	863 計画	中南大学	張福勤	公開情報 なし	-

表 44 炭素繊維に関する研究プロジェクトリスト (3)

番号	プロジェクト (課題) 名称	出所	担当機関	責任者	期間	備考
19	環境保護用の耐高温、耐腐蝕ポリフェニレンスルファイドの複合専用樹脂調合及び繊維成形に関するコア技術 (原文 : 環境保護用耐高温、耐腐蝕聚苯硫醚複合専用樹脂制備及繊維成形關鍵技術)	863 計画	東華大学	朱美芳	2007.1.1-2009.12.1	-
20	立体機械の織物を基礎とするマイクロアンテナの構造設計と性能研究 (原文 : 三維機織物為基礎的微帶天線結構設計和性能研究)	863 計画	東華大学	邱夷平	2007.12.1-2010.11.1	-
21	蛋白-多糖類の複合ナノ繊維を組織修復に用いる研究 (原文 : 蛋白-多糖類複合納米纖維用于組織修復的研究)	863 計画	東華大学	莫秀梅	2008.4.1-2010.12.1	-
22	複合紡糸法が調合する花弁状重合体光ファイバーの新技术に関する研究 (原文 : 複合紡糸法制備瓣狀聚合物光纖的新技术研究)	863 計画	東華大学	滕翠青	2008.4.1-2010.12.1	-
23	芳香族液晶重合体の分子修飾及び高性能繊維の研究 (原文 : 芳雜環液晶聚合物的分子修飾及其高性能纖維的研究)	国家自然科学基金	東華大学	江建明	2007.1.1-2009.12.1	-
24	高性能 PAN 繊維のプリカーサーと重合体構造形成及びコントロール可能の予備酸化メカニズムに関する議論 (原文 : 高性能聚丙烯腈炭纖維優質原系与聚合物結構形成及其可控預氧化機理的探討)	国家自然科学基金	東華大学	余木火	2008.5.1-2008.12.1	-
25	SiBNI セラミック繊維 の前駆体の重合体の分子設計と合成 (原文 : SiBNI 陶瓷纖維前驅体聚合物的分子設計及合成)	国家自然科学基金	東華大学	韓克清	2008.1.1-2010.12.1	-
26	高弾性炭素繊維低損傷一工程予備含浸技術 (原文 : 高模量炭纖維低損傷一步預浸纏繞技術)	国防プロジェクト	南京航空航天大学材料科学与技術学院	李勇	2002	-

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 45 液相、固相炭素化及び高压によるメカニズム

番号	2
プロジェクト名	液相、固相炭素化及び高压によるメカニズム (原文：液、固相炭化及高压作用機理)
実施機関	中国航天科技集団 43 研究所 (西安航天複合材料研究所) 中南大学
責任者	程文 (西安航天複合材料研究所)
概要	973 計画の「高性能炭/炭複合材料の基礎研究」の課題の一つ。 主な研究内容： 1.炭素有機先駆体の変性研究 2.先駆体による C/C 複合材料構造と性能への影響 3.焼け損傷防止類物質の添加による炭素化プロセスへのメカニズム 4.高压炭素化によるミクロ構造と密度増加へのメカニズム 5.複合密度増加による高性能 C/C 複合材料への影響
目的	炭素化プロセスにおける、炭素構造の変化規律及び影響要素を究明する
予算	134 万元 (3 年分)
期間	公開情報なし
その他	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 46 C/C 複合材料熱伝導メカニズム及び設計

番号	7
プロジェクト名	C/C 複合材料熱伝導メカニズム及び設計 (原文 : C/C 複合材料導熱機制及設計)
実施機関	航天材料及工艺研究所 天津大学 中南大学
責任者	胡子君 (航天材料及工艺研究所)
概要	973 計画の「高性能炭/炭複合材料の基礎研究」の課題の一つ。 主な研究内容 : 1. C/C 材料の室温及び温度上昇における、導熱係数が黒鉛化度、すきま、界面による変化の規律を研究し、導熱性能の予知と評価システムを構築する。 2. 一本の繊維及び周辺基礎体が、繊維の軸方向及び放射方向に沿った熱伝導のミクロメカニズムを議論し、モデルを構築する。 3. 外部温度場と応力場の共同作用の下で、元素を添加する際のメカニズムを研究し、C/C 材料の導熱、隔熱をコントロールする方法を探る。
目的	C/C 複合材料の導熱性能の予測を実現し、導熱ミクロメカニズムのモデルを構築する。
予算	150 万元 (3 年分)
期間	公開情報なし
その他	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 47 アクリロニトリルの繊維化重合物の合成コントロール可能化及び
構造性能の最適化

番号	9
プロジェクト名	アクリロニトリルの繊維化重合物の合成コントロール可能化及び構造性能の最適化 (原文：丙烯腈成纖聚合物的可控合成与結構性能優化)
実施機関	中国科学院長春応用科学研究所 シンセン大学 中国科学院化学研究所
責任者	李悦生(中国科学院長春応用科学研究所)
概要	973 計画の「高性能 PAN 系炭素繊維基礎科学問題」の課題の一つ。 高性能炭素繊維の最適化におけるグラファイトの構造形成の必要に応じ、合成チェーン構造の平均化・高分子量分布の適正化・調整可能な立体構造規格・良好な紡糸性とコントロール可能な予備酸化が可能なアクリロニトリルを設計する。分子レベルにおいて、アクリロニトリルのチェーン構造と性能の最適化は、高性能 PAN 系炭素繊維の重要な科学問題であり、当面解決すべき問題点は、 1.重合体の構造と使用量による紡糸性能、引張性能、予備酸化コントロール性能、炭素繊維構造と性能への影響。 2.チェーン構造の平均化による紡糸性能、引張性能、予備酸化コントロール性能、炭素繊維構造と性能への影響。 3.分子量とその分布による紡糸性能、引張性能、予備酸化コントロール性能、炭素繊維構造と性能への影響。 4.立体構造の規格による紡糸性能、引張性能、予備酸化コントロール性能、炭素繊維構造と性能への影響。
目的	合成チェーン構造の平均化・高分子量分布の適正化・調整可能な立体構造規格・良好な紡糸性とコントロール・予備酸化が可能なアクリロニトリルを開発することによって、高性能炭素繊維のプリカーサーを製造。
予算	231 万元(3 年分)
期間	2006 年から
その他	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 48 複雑な外部における PAN 系高濃度溶液の変化/凝固拡散/結晶構造と方向性の研究

番号	10
プロジェクト名	複雑な外部における PAN 系高濃度溶液の変化/凝固拡散/結晶構造と方向性の研究 (原文：複雑外場下 PAN 濃溶液流変-凝固拡散-結晶与取向結構的研究)
実施機関	北京化工大学 中国科学院化学研究所 東華大学
責任者	徐樑華 (北京化工大学)
概要	973 計画の「高性能 PAN 系炭素繊維基礎科学問題」の課題の一つ。 研究内容： 1.PAN の構造特徴及び形成の原因 2.PAN 系繊維の準結晶による性能への影響 3.PAN の序列/状態構造のコントロール 4.末端処理プロセスにおける PAN 系繊維の序列/状態と方向性の変化規則
目的	PAN 系プリカーサーの結晶と方向性の特徴及び生産プロセスに関する研究を通じて、新型技術による高い品質のプリカーサーを生産する。
予算	244 万元 (3 年分)
期間	2006 年 7 月 ~ 2009 年 6 月
その他	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 49 繊維の欠陥のコントロールを中心とした新たな成形方法及び
メカニズムに関する研究

番号	11
プロジェクト名	繊維の欠陥のコントロールを中心とした新たな成形方法及びメカニズムに関する研究 (原文：以纖維缺陷控制為核心的新型成形方法及機理研究)
実施機関	東華大学 北京化工大学 中国科学院山西石炭化学研究所 中国科学院化学研究所
責任者	潘鼎（東華大学）
概要	973 計画の「高性能 PAN 系炭素繊維基礎科学問題」の課題の一つ。 研究内容： 炭素繊維と紡糸成形方法との関係、新型成形方法（「ゲル化」紡糸法） 「ゲル化」プロセスにおける PAN の接着及び「ゲル化」プロセスに おける理論問題の議論。
目的	現在の中国炭素繊維工業化生産のプロセスの中、重合反応のコントロールと繊維成形プロセスにおいては多くの問題が存在することから、それらを解決するため、中国の炭素繊維の生産技術レベルと製品の質をあげる。
予算	230 万元（3 年分）
期間	2007/01/01 ~ 2011/12/01
その他	

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 50 PAN 系繊維における有機 - 無機転化プロセス及び性能との内部関連

番号	12
プロジェクト名	PAN 系繊維における有機 - 無機転化プロセス及び性能との内部関連 (原文: PAN 繊維有機-無機転化過程及其与性能的内在关联)
実施機関	中国科学院山西石炭化学研究所 東華大学 中国科学院化学研究所 北京化工大学 山東大学
責任者	楊永崗 (中国科学院山西石炭化学研究所)
概要	973 計画の「高性能 PAN 系炭素繊維基礎科学問題」の課題の一つ。 研究内容： 高性能炭素繊維の調合を安定化させるプロセスコントロール方法、経験公式の導入による定量表記を提起する。動態的に乾燥 PAN 系プリカーサーの吹きかけにより、安定化及び炭素化プロセスにおける構造変化と性能変化を研究し、系統的な酸化・炭素化の反応メカニズムを提起する。特に、TG-MS 技術を通じて、小さい分子から溢れるものの規律を系統的に研究し、新たな酸化・炭素化メカニズムの解釈を提起する。
目的	PAN 系炭素繊維における有機 - 無機の転換プロセスは高性能炭素繊維を調合する重要な技術であるため、そのプロセスと炭素繊維性能との関連性について研究を行っている。
予算	287 万元 (3 年分)
期間	2006/09/01 ~ 2011/09/01
その他	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 51 繊維表面構造形態のコントロール及び関連性に関する研究

番号	14
プロジェクト名	繊維表面構造形態のコントロール及び関連性に関する研究 (原文：繊維表面結構形態控制及其相關性研究)
実施機関	ハルビン工業大学 中国科学院金属研究所 中国科学院化学研究所 中国人民解放军国防科学技术大学 北京航空材料研究院
責任者	王栄国 (ハルビン工業大学)
概要	973 計画の「高性能 PAN 系炭素繊維基礎科学問題」の課題の一つ。 研究内容： PAN 系繊維における有機-無機転化プロセスにおける、繊維表面の構造形態とコントロール、欠陥の形成及び性能への影響。
目的	高性能 PAN 系炭素繊維基礎科学問題の PAN 系繊維における有機 - 無機転化プロセス及び性能との内部関連へのサポート研究
予算	252 万元 (3 年分)
期間	公開情報なし
その他	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 52 高弾性炭素繊維低損傷一工程プリプレグ巻き付け技術

番号	26
プロジェクト名	高弾性炭素繊維低損傷一工程プリプレグ巻き付け技術 (原文：高模量炭繊維低損傷一歩預浸纏繞技術) (英文：One-step Preimpregnated and Wound Technology of High Modulus Carbon Fiber with Low Damage)
実施機関	南京航空航天大学材料科学と技術学院
責任者	李勇、肖軍、邱偉娟、朱飛
概要	高弾性率の炭素繊維を絡み付くときに、炭素繊維が傷つくため、その損傷を低減するために開発された新たな技術である。ローラーなしのにかわ含浸システムと繊維が、にかわ含浸後の加熱装置を通じて、トウプリプレグ調合と巻き付けにおける繊維への損傷を軽減する。さらに、トウプリプレグのにかわ量の正確なコントロール、連続でにかわ含浸及び巻き付けが可能となり、巻き付けの効率もあげられる。
目的	公開情報なし
予算	公開情報なし
期間	2002 年
その他	

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

参考資料 3 中国における炭素繊維・複合材料研究機関

炭素繊維、炭素繊維複合材料に関する研究開発を実施している研究機関・大学のリストを表 53 に、各研究機関の概要を表 54 から表 59 に示す。

表 53 研究機関リスト

番号	研究機関名称	備考
1	炭素繊維製備技術国家工程実験室（中国科学院山西石炭化学研究所）	個表参照
2	ハルビン工業大学航天学院複合材料と構造研究所	個表参照
3	天津大学複合材料研究所	個表参照
4	中国航天科技集団 43 研究所（西安航天複合材料研究所）	個表参照
5	北京航空材料研究所先進複合材料国防科技重点実験室	個表参照
6	南京航空航天大学材料科学と技術学院	個表参照

表 54 炭素繊維製備技術国家工程実験室

番号	1		
研究機関名	炭素繊維製備技術国家工程実験室		
URL	http://english.sxicc.cas.cn/st/rdds/200906/t20090602_19688.html		
分類	国家レベル研究機関（研究、教育、開発）		
拠点	中国浙江省寧波市中国科学院寧波材料技術と工程研究所内		
電話番号	+86-574-86685182 （複合材料事業部）	FAX	+86-574-86685186 （複合材料事業部）
Email	polymer@nimte.ac.cn （複合材料事業部）	年間研究費	公開情報なし
設立	2009 年 11 月	プロジェクト建設期	3 年
研究機関概要 実績、体制	理事長：中国科学院山西石炭化学研究所 理事：中国科学院寧波材料技術と工程研究所、中国科学院上海有機化学研究所、中国科学院化学研究所、中国科学院長春応化所、中国科学院高技術研究と發展局、中国科学院計画財務局、中国航空工業集团公司航天工藝と材料研究所、中国航空工業集团公司北京航空材料研究院、維科ホールディング有限公司、中簡科技發展有限公司		
研究方向及び ミッション	研究方向： T300 レベル、研究済み、企業と提携して量産化 T700 レベル、コア技術研究済み、中簡科技發展有限公司と提携して年間 50 トンの生産へ ミッション： 航空、宇宙、エネルギー、交通等の分野の重大な戦略ミッションとプロジェクトにおける炭素繊維等の複合材料への需要が高まっている現状をふまえ、炭素繊維を製造する設備の工程化技術プラットフォームを構築し、工程化技術を研究し、コア設備を開発する。自主的な特許を持つ炭素繊維製造工程と関連材料を開発し、技術と応用評価システムを構築する。 目標： 3 年をかけて、供給を可能にし、研究を加速し事業を完成させ、業界をリードする。		
その他			

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 55 ハルビン工業大学航天学院複合材料と構造研究所

番号	2		
研究機関名	ハルビン工業大学航天学院複合材料と構造研究所		
URL	http://sa.hit.edu.cn/Article-1-556.html		
分類	大学研究機関（研究、教育、開発）		
拠点	中国黒龍江省ハルビン工業大学内		
電話番号	+86-451-86412513	FAX	-
Email	-	年間研究費	公開情報なし
設立	1989 年	プロジェクト建設期	公開情報なし
研究機関概要 実績、体制	国防、航空、宇宙を中心とした研究機関、国家 211 プロジェクト、985 プロジェクトを重点的に建設する学科。2001 年、中国人民解放軍総装備部により、「特殊環境複合材料技術-国家重点科学技術実験室」が設立された。国防、航空、宇宙分野における炭素繊維材料の技術開発を進めている。 実績： 2005 年、国産高性能炭素繊維複合材料の高速飛行機への応用（委託機関：中国科学技術省、中国人民解放軍総装備部）2008 年、炭素繊維製飛行機用エアチューブ構造部部品開発（委託企業：西安飛行機工業集団） その他国家安全重大基礎研究、国家 863 重大プロジェクト、国防 973 重大プロジェクト、国家高技術産業化モデルプロジェクト等約 100 件の研究課題を担当。 体制： 教授：19 名、副教授：20 名（所長：赫晓东教授、副所長：王荣国教授）		
研究方向及び ミッション	ミッション： 特殊環境複合材料性能分析、構造、材料、工芸、製造の一体化設計及び評価、インテリジェント材料と構造、機能材料製造設備、大型複合材料構造の研究、開発、製造。		
その他	連携先： アメリカ：Anter 社 ロシア：固体物理研究所、サンクトペテルブルク光学研究所 ウクライナ：CEKONT 社 シンガポール：NANOFILM 社		

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 56 天津大学複合材料研究所

番号	3		
研究機関名	天津大学複合材料研究所		
URL	http://www.ricmtju.com.cn/index.php		
分類	大学研究機関（研究、教育、開発）		
拠点	中国天津市天津大学内		
電話番号	-	FAX	-
Email	ccbc@tju.edu.cn	年間研究費	公開情報なし
設立	1990 年以前	プロジェクト建設期	公開情報なし
研究機関概要 実績、体制	設立以来、複合材料の基礎理論及び実際の応用について研究を行ってきた。すでに国家と天津市の 20 以上の科学研究プロジェクトを実施し、現在も国家・市・民間企業の依頼を受け、研究を進めている。 特許： 炭素繊維増強複合材料表面の金属化方法、特許番号：CN101255585、2008-09-03 炭素繊維表面連続複合電気金めっきとナノ粒装置、特許番号：CN101250735、2008-08-27 炭素繊維材の製造方法、特許番号：CN1895768、2007-01-07 発表論文リスト： http://www.ricmtju.com.cn/lunwen.php 体制： 教授：2 名、副教授：2 名		
研究方向及び ミッション	研究方向： 医学用バイオ複合材料、特殊機能複合材料、工程複合材料、ナノグリーンエネルギー材料、表面工程材料、計算材料等。		
その他	開発商品： 炭素繊維導電材、垂直膜引き機、医学用チタニウム材表面着色材、VARTM 技術及び設備、気動式材料曲がり度合試験機。		

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 57 中国航天科技集団 43 研究所

番号	4		
研究機関名	中国航天科技集団 43 研究所（西安航天複合材料研究所）		
URL	http://www.ht43.com.cn		
分類	企業研究機関（研究、開発、生産、教育）		
拠点	西安市航天科技工業園内		
電話番号	+86-29-83601606	FAX	+86-29-83311891
Email	43suo@ht43.com.cn	年間研究費	2,000 万元以上
設立	1970 年 5 月	プロジェクト建設期	公開情報なし
研究機関概要 実績、体制	複合材料及び技術の研究開発、生産を一体化した総合研究所であり、中国のロケット用エンジンの複合材、噴射口や大型複合材料、ミサイル発射台の指定生産企業でもある。中国政府による修士学位授与資格を与えられている。中国 863 計画、973 計画にも参加している。 資産総額約 3 億元、工業建築物の面積 4 万 m² 以上。 全従業員 1,100 人、内プロジェクトリーダー 30 人で、博士、修士が 80 人余り。		
方向性及び ミッション	研究方向： 大型構造の複合材料の設計と成形技術 高性能 C/C 複合材料応用技術 生産製品： 軍需用品（防弾チョッキ等、飛行機用ブレーキ）がメインで、民間用に転換		
その他			

出所）各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 58 北京航空材料研究所先進複合材料国防科技重点実験室

番号	5		
研究機関名	北京航空材料研究所先進複合材料国防科技重点実験室		
URL	http://www.biam.ac.cn/kyly/zdsys-fh.htm		
分類	国家重点実験室		
拠点	北京市中関村高新技术園區発展区内		
電話番号	+86-01-62496020	FAX	-
Email	-	年間研究費	公開情報なし
設立	1994 年 8 月	プロジェクト建設期	公開情報なし
研究機関概要 実績、体制	先進複合材料国防科技重点実験室は中国材料分野におけるオープン式、多学科学を有する複合材料研究発展センターである。先進的な複合材料の基礎研究をはじめ、技術の発展や人材の教育も行っている。 現在、紡績/液体成形複合技術システム、複合材料のテスト、模擬、工芸コントロールシステム、非熱圧固化成形システム、樹脂系複合材料の先進成形と加工システム、金属系と陶器系複合材料調合技術システムの 5 つのシステムを有する。これまで、約 50 件の特許を申請し、500 余りの論文を発表した。従業員のうち 3 分の 2 の方は博士号、修士号を有する。		
方向性及び ミッション	研究分野： 先進的樹脂系複合材料 先進的金属系と陶器系複合材料 複合材料のテスト及び模擬		
その他			

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

表 59 南京航空航天大学材料科学与工程学院

番号	6		
研究機関名	南京航空航天大学材料科学与工程学院 (RICM)		
URL	http://msc.nuaa.edu.cn		
分類	大学研究機関 (研究、教育、開発)		
拠点			
電話番号	025-52112626	FAX	025-52112626
Email	msc01@nuaa.edu.cn	年間研究費	公開情報なし
設立	公開情報なし	プロジェクト建設期	公開情報なし
研究機関概要 実績、体制	材料化学と工程学科、応用化学学科、原子力学と工程学科の 3 つの学科を設置し、江蘇省複合材料工程センターと江蘇省熱処理及表面改性工程研究センター、テストと分析センターを有する。さらに、複合材料研究所、ナノ材料研究所、プラズマ表面工程研究所、文物保護材料研究所、環境保護技術研究所、塗料と塗装技術研究所の 6 つの研究所を設置している。 中国 863 計画、自然科学基金等のプロジェクトに関わったことがある。 成果： 自動車用高強度、高弾性率ナノ、ガラス繊維等専用材料の調合技術 ナノ抗菌複合材料 熱可塑性材料用環境保護型の無機ナノ複合燃焼防止剤の調合技術 天然繊維、再生プラスチック系複合材料製造技術		
方向性及び ミッション	重合体系複合材料、原材料及び其工艺技术の研究 重合体系複合材料の摩擦軽減技術の研究 熱固形重合体系 RTM 成形工艺 熱可塑性重合体材料工艺		
その他			

出所) 各種情報に基づき三菱総合研究所作成

参考資料4 ファイバー分野 炭素繊維・複合材料（移動体）分野 技術マップ 2010

ファイバー分野技術マップ(4 / 10)

(炭素繊維・複合材料(移動体)分野(1 / 3))

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
	フード トランクリッド	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		適用性が拡大する
	スポイラー	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	熱可塑性アラムド強化プラスチック	リサイクルが可能になる
	屋根	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	熱可塑性ビニロンプラスチック	燃費が向上する(省エネルギー)
	ドアパネル トラック架装	2105	設計の自由度 リサイクル	(5)その他 均一分散技術 深絞り形状成形技術	リサイクルできない		
	駆動装置	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
	ドライブシャフト	2107	剛性	(2)制振化技術(金属以下)	成形サイクルが長い		燃費が向上する
		2108	制振性 コストパフォーマンス向上	(3)その他 耐熱性向上 高強度・高弾性化	振動吸収ができない		
	車体(ボディ)	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
	車体	2110	高強度、高剛性	(2)高強度炭素繊維	成形サイクルが長い		燃費が向上する
	車体回り部材	2111	耐衝撃性	(3)低線膨張化技術	耐衝撃性が低い	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック	リサイクルが可能になる
		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		防錆処理が不要になる
		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	リサイクルできない		安全性が向上
		2114		(6)その他 薄層多軸プリプレグシートとその成形法の開発 パリの出ない加工法 熱可塑樹脂マトリックス 等方特性の発現 母材の最適化、繊維と母材の密着、 フィラー選定、解析、等 炭素繊維含有率が低くて高物性が 得られる繊維配向 EB照射技術 超臨界流体の特性利用 高アスペクト比短繊維(紡績糸)材開発・適用 新素材・加工法導入による全体の工 法システムの統合	クリープが大きい	低クリープ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	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
	インテリアパネル	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		燃費が向上する
		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		リサイクルが可能になる
		2118		(4)その他 高品位外観性			
	エンジンカバーなど	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	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
		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		燃費が向上する
		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		安全性が向上する
		2122	リサイクル性	(4)その他 安全性、吸振(音)性 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
		2124	高強度	(2)欠陥が発生しない成形技術			燃費が向上する
		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	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	大量生産が可能になる
	各種機構部品		高強度、高剛性、耐摩耗性	(2)その他	耐熱性が不足(使用部位による)	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(射出成形品)	燃費が向上する
		2128	耐薬品性 耐熱性	摺動磨耗性向上 繊維の均一分散配向、熱可塑樹脂の射出成形技術 リサイクル技術	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	№	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	ダメージの発見容易性	(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		(6)その他 被加工性 リサイクル 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 修理法の開発			
	翼リーディングエ 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	耐衝撃性	(2)CFRPの耐衝撃性改善	耐衝撃性が不十分		
		2212	耐エロージョン	(3)その他 耐エロージョン対策がされた複合材 電波透過・電波吸収複合材・耐雷性 向上	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	炭素繊維強化プラス チック	新規超音速機の実用化に繋 がる
	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 イミド、ビスマレイミド 等)	一層の量的拡大が可能になる
		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 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	(2)その他 強度利用率の良い炭素繊維および 熱可塑性樹脂 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 ボディー 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	(2)大型品の成形技術	生産性が低い		
		2303	不燃性 コストパフォーマンス向上	(3)その他 生産性向上 熱特性の改善 CFRPの耐衝撃改善 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	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	成形寸法の精度が不十分		
		2503	寸法精度	(3)大型物の成形技術 (4)その他 成形性 寸法精度・安定性	高コスト		
		2504		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				
		2507		(1)ゴム、基布等との複合化、その他ゴ ム改質材料の開発 (2)フィルムインサート技術		タイヤ用高性能廉価ア ラミド繊維	
		2508					
		2509		(3)塗装フィルム			
		2510		(4)CF製造プロセス開発			
	上記分類以外	2511		(5)高強度化			
		2512		(6)その他 耐火性向上、有効な耐震補強材 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/CAE技術 (2)ヘルスモニタリング、モニタリング技 術、非破壊検査		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 インプラント端材の有効利用技術 リサイクル炭素繊維の分級と規格標 準化 不連続繊維からのCFRP自動成形技 術	リサイクル材の性能不十分 リサイクル材の性能不安定		
	(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 従来比10倍程度の生産性 従来比1/2以下の環境負荷 従来比1/2以下の価格	ブリカーサー及び焼成技術 の革新が必要	炭素繊維	CO2排出量削減及び潜在需 要に対応可能となる

重要技術 重要技術(追加)

参考資料5 ファイバー分野 炭素繊維・複合材料（移動体）分野 技術ロードマップ 2010

ファイバー分野の技術ロードマップ(5 / 15)

〔炭素繊維・複合材料(移動体)分野(1 / 6)〕

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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
自動車	外板部材 フード トランクリッド スポイラー 屋根 ドアパネル トラック架装	2101	高速成形性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	革新的炭素繊維の開発(低コスト炭素繊維)														
			軽量性		樹脂マトリックスの開発(可塑性樹脂) 目標: - 40 ~ 80 (低線膨張率)														
			外観(塗装性)		中間基材の開発(プリフォーム、プリプレグ)														
			リサイクル		革新的成形技術開発(低コスト、短時間)														
		2102	設計の自由度	(2)表面欠点解消成形技術(クラスA塗装)	表面処理技術(表面欠点解消成形技術、高品位外観)														
		2103	コストパフォーマンス向上	(3)疲労性、寸法精度、接合性などの評価法	製品評価技術開発(疲労特性、寸法精度、接合性など)														
		2104		(4)繊維複合のリサイクル技術とシステム	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)														
	駆動装置 ドライブシャフト	2105	(5)その他	均一分散技術	繊維・樹脂界面性能向上 (均一分散)														
					高性能CFRP成形技術開発 (深絞り形状成形技術)														
		2106	軽量性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	革新的炭素繊維の開発(低コスト炭素繊維)														
			剛性		樹脂マトリックスの開発(可塑性樹脂)														
			制振性		中間基材の開発(プリフォーム、プリプレグ)														
			コストパフォーマンス向上		革新的成形技術開発(低コスト、短時間)														
	車体(ボディ) 車体 車体回り部材	2107		(2)制振化技術(金属以下)	CFRPの機能性・信頼性の向上(振動吸収構造材(金属以下))														
				(3)その他															
			耐熱性向上		CFRPの機能性・信頼性向上(耐熱性向上)														
		2108		高強度・高弾性化	革新的炭素繊維の開発(強度、弾性率アップ)														
					CFRPの機能性向上(高強度・高弾性率化) 目標: 弾性率50GPa														
	車体(ボディ) 車体 車体回り部材	2109	軽量性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	革新的炭素繊維の開発														
			高強度、高剛性		樹脂マトリックスの開発(可塑性樹脂)														
			耐衝撃性		中間基材の開発(プリフォーム、プリプレグ)														
			リサイクル性		革新的成形技術開発(低コスト、短時間)														

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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022		
自動車	車体(ボディ) 車体 車体回り部材	2110		(2)高強度炭素繊維	革新的炭素繊維の開発(強度アップ) 目標: 強度8000MPa																
		2111		(3)低線膨張化技術	CFRPの機能性向上(低線膨張化) 目標: アルミ並み																
		2112		(4)高速衝突時の破断防止材料技術		繊維・樹脂界面性能の向上・制御技術 (耐衝撃性及び靱性の改善) 目標: 破断伸び>10%, SMC並み															
		2113		(5)繊維複合材のリサイクル技術とシステム	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)																
		2114		(6)その他																	
				薄層多軸プリプレグシートとその成形法の開発	中間基材開発 (薄層多軸プリプレグシート)																
				バリの出ない加工法	革新的成形技術(バリの出ない加工法)																
				熱可塑樹脂マトリックス	樹脂マトリックスの開発(可塑性樹脂)																
				等方特性の発現	CFRPの機能性向上(等方特性)																
				母材の最適化、繊維と母材の密着、フィラー選定、解析 等	繊維・樹脂界面特性の向上・制御技術 (界面特性、フィラー)																
				炭素繊維含有率が低くて高物性が得られる繊維配向	CFRPの機能性向上(高強度化)																
					革新的設計技術(繊維配向)																
				EB照射技術	高機能性成形技術(EB照射技術)																
				超臨界流体の特性利用	リサイクル技術(超臨界流体の特性利用)																
		高アスペクト比短繊維(紡績系)材開発・適用		工業材料用繊維の紡績技術開発																	
	パネル インテリアパネル	2115	軽量性、塗装性 低価格 リサイクル性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	革新的炭素繊維の開発(低コスト炭素繊維)																
					革新的成形技術(低コスト、短時間)の開発																
		2116		(2)高性能ベレット生産技術	中間基材の開発(高性能ベレット)																
		2117		(3)繊維複合材のリサイクル技術とシステム	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)																
	2118	(4)その他 高品位外観性	表面処理技術 (高品位外観性技術)																		

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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
自動車	エンジンカバーなど	2119	軽量性	(1)炭素繊維入り耐熱性樹脂ベレット	マトリックス樹脂開発(流動性の良い耐熱性樹脂)														
		2120		(2)低コスト炭素繊維	革新的炭素繊維の開発(低コスト炭素繊維)														
		2121	コストパフォーマンス向上	(3)繊維強化材のリサイクル技術と体制	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)														
		2122	耐熱性 リサイクル性	(4)その他 安全性、吸振(音)性 高強度化	CFRPの機能性・信頼性向上(安全性向上) CFRPの機能性・信頼性向上(振動吸収構造材) CFRPの機能性向上(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	革新的炭素繊維の開発(高強度化)														
		2124	高強度	(2)欠陥が発生しない成形技術	高機能性CFRPの成形技術開発(欠陥の発生しない成形技術)														
		2125	耐衝撃性	(3)CFRPの耐衝撃性改善	繊維・樹脂界面特性の向上・制御技術(耐衝撃性の改善)														
	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	マトリックス樹脂開発(耐熱性熱可塑性CFRP)														
		2128	高強度、高剛性	(2)その他	CFRPの機能性・信頼性向上(振動磨耗性・耐エロージョン向上)														
			耐摩耗性	摺動磨耗性向上	繊維・樹脂界面性能向上(均一分散技術の開発)														
			耐薬品性	繊維の均一分散配向、熱可塑性樹脂の射出成形技術	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)														
			耐熱性	リサイクル技術															
航空機	一次構造材 垂直尾翼、水平尾翼	2201	軽量性	(1)炭素繊維の強度、弾性率アップ	革新的炭素繊維の開発(強度、弾性率アップ) 目標:20%up														
		2202	高強度、高剛性	(2)CFRPの靱性改善	繊維・樹脂界面性能の向上(耐衝撃性及び靱性の改善)														
	床桁材	2203	靱性	(3)簡便な非破壊検査技術	製品評価・メンテナンス技術(簡便な非破壊検査)														
	主翼外板	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	製品評価・メンテナンス技術の開発(ダメージを示す樹脂・システム)														
	主翼桁材	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)	ドライプリフォーム技術の向上														
	胴体	2206	ダメージの易発見性	(6)その他 被加工性	CFRPの機能性向上(被加工性改善・革新穴あけトリム加工法)														
				リサイクル	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)														
				非加熱硬化型樹脂	高機能性CFRPの革新成形技術開発(EB・UV照射用樹脂開発)														

大項目	小項目	№	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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
航空機	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	革新的炭素繊維の開発(低コスト炭素繊維)														
			高剛性		革新的成形技術開発(低コスト、短時間)														
		2208	ダメージの易発見性	(2)ダメージを示す樹脂システム	製品評価・メンテナンス技術(ダメージを示す樹脂システム)														
					製品評価・メンテナンス技術開発(修理方法)														
	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)	短時間成形・短時間硬化樹脂の開発(含低収縮)														
			高剛性		繊維・樹脂界面性能の向上(耐衝撃性及び靱性の改善) 目標:層間せん断強度ILSS=10kg/mm2以上 CAI(1500N/b/in)=30kg/mm2														
		2212	耐衝撃性	(3)その他 耐エロージョン対策のされた複合材	CFRPの機能性・信頼性向上(振動摩耗性・耐エロージョン) 目標:ニッケル並みの耐エロージョン性														
			耐エロージョン		CFRPの機能性・信頼性向上(電波透過・電波吸収特性・耐雷性)														
	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	マトリックス樹脂開発(耐熱性樹脂)														
			高強度、高剛性		繊維・樹脂界面性能の向上(耐衝撃性及び靱性の改善)														
		2215	耐熱性	(3)その他 短時間成形、短時間硬化樹脂	製品評価・メンテナンス技術開発(修理方法)														
			靱性		短時間成形・短時間硬化樹脂の開発														
	エンジン カウリング ノーズコーン ファンブレード プロペラ	2216	軽量性	(1)流動性の良い耐熱性熱可塑樹脂	マトリックス樹脂開発(流動性の良い耐熱性樹脂) 目標:含浸温度で1ボイズ														
			高強度、高剛性																
		2217	耐熱性	強度利用率の良い炭素繊維および熱可塑樹脂	マトリックス樹脂開発(強度利用率の良い熱可塑性樹脂)														
			コストパフォーマンス向上		繊維・樹脂界面性能の向上(耐衝撃性、耐エロージョン性)														
航空機	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	革新的炭素繊維の開発(強度、弾性率アップ)														
			高強度、高弾性率		CFRPの機能性・信頼性の向上(複合材の高強度・高弾性率化)														
		2219	高サイクル疲労強度	(2)振動吸収構造材	CFRPの機能性・信頼性の向上(振動吸収構造材(金属以下))														
			振動吸収性		繊維・樹脂界面性能の向上(耐衝撃性及び靱性の改善)														
	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	CFRPの機能性・信頼性の向上(極低温時の強度・靱性、目標:液体水素の温度にて割れなし、液漏れなし、アルミ合金並み強度、靱性)														
		2222	高強度、高弾性率	(2)線膨張特性改善	CFRPの機能性・信頼性向上(低線膨張率化)														
		2223	耐極低温	(3)信頼性向上	CFRPの機能性・信頼性向上(信頼性)														

大項目	小項目	№	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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022			
車 輦	鉄道車輛 ボディー 台車	2301	軽量性 高剛性 不燃性 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	革新的炭素繊維の開発(低コスト炭素繊維)																	
					樹脂マトリックスの開発(可塑性樹脂)																	
					中間基材の開発(プリフォーム、プリプレグ)																	
					革新的成形技術開発(低コスト、短時間)																	
		2302		(2)大型品の成形技術	高性能CFRP成形技術開発(大型品)																	
				(3)その他																		
		2303		生産性向上	革新的成形技術開発(低コスト、短時間)																	
				熱特性の改善	CFRPの機能性・信頼性向上(耐火性)																	
CFRPの耐衝撃改善	繊維・樹脂界面性能の向上(耐衝撃性及び靱性の改善)																					
	リサイクル技術	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)																				
船 舶	外板、マスト 船体 ヨット用マスト	2401	軽量性 高強度 耐衝撃性	(1)高加工性・環境負荷低減技術	革新的炭素繊維の開発(低コスト炭素繊維)																	
					樹脂マトリックスの開発(熱可塑性樹脂)																	
					中間基材の開発(プリフォーム、プリプレグ)																	
					革新的成形技術開発(低コスト、短時間)																	
		2402		(2)CFRPの耐衝撃改善	繊維・樹脂界面性能の向上(耐衝撃性及び靱性の改善)																	
		2403		(3)複合材の接合技術	接合・接着及び表面処理技術(複合材の接合)技術																	
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	革新的炭素繊維の開発(強度、弾性率アップ)																	
		2502	剛性	(2)硬化収縮の少ない樹脂	CFRPの機能性・信頼性向上(低硬化収縮)																	
		2503	寸法精度	(3)大型物の成形技術	高性能CFRP成形技術開発(大型品)																	
		2504		(4)その他																		
				成形性	CFRPの機能性・信頼性向上(成形性)																	
				寸法精度・安定性	高性能CFRP成形技術開発(寸法精度・安定性向上)																	
				取付方法	接合・接着及び表面処理技術(複合材と金属の接合)																	
	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	(1)モノコック構造	コンボジット及び接合技術																	
			軽量、機動性、簡易性 意匠性	(2)携帯容易な軽量素材																		
		省エネルギー			超軽量高強度化技術																	
		2506	環境適合																			
			安全、快適																			

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	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	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	高機接合・接着及び表面処理技術 (ゴム、基布等との複合化)														
		2508		(2)フィルムインサート技術	接合・接着及び表面処理技術(フィルムインサート技術)														
		2509		(3)塗装フィルム	接合・接着及び表面処理技術(塗装フィルム技術)														
		2510		(4)CF製造プロセス開発	革新的炭素繊維の開発(新規CF製造プロセス)														
		2511		(5)高強度化	CFRP機能性・信頼性向上(CFRPの高強度化)														
		2512		(6)その他															
			耐火性向上、有効な耐震補強材	CFRPの機能性機能性・信頼性向上(耐火性、耐震性)															
	高融点熱可塑性ポリマー		マトリックス樹脂開発(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	効率的な構造設計、強度及び剛性の利用率向上、衝撃設計	(1)設計コンセプト、CAD/CAM/CAE技術	革新的設計技術 (材料モデリング)														
	(2)評価・分析技術	2602	部材の常時モニタリング 効率的な非破壊検査	(2)ヘルスマニタリング・モニタリング技術、 非破壊検査	製品評価・メンテナンス技術の開発 (ヘルスマニタリング、非破壊検査の実装)														
	(3)接合技術	2603	複合材の接合技術	(3)複合材の接合技術	接合・接着及び表面処理技術(複合材の接合)技術														
	(4)標準化技術	2604	機能・性能・品質の標準化	(4)評価技術の規格標準化	炭素繊維機能・性能・品質の標準化														
	(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 インプラント端材の有効利用技術 リサイクル炭素繊維の分級と規格標準化	リサイクル技術(繊維複合材のリサイクル技術と社会システムの確立)														
				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	炭素繊維の量産化技術 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	炭素繊維製造省エネ化・生産性向上技術(従来比10倍程度の生産性、従来比1/2以下の環境負荷、従来比1/2以下の価格)															
			従来比10倍程度の生産性 従来比1/2以下の環境負荷 従来比1/2以下の価格																

重要技術

重要技術(追加)