

革新炭素繊維基盤技術開発

評価用資料

平成26年1月31日

経済産業省
製造産業局繊維課
産業技術環境局研究開発課
国立大学法人 東京大学

目 次

1. 事業の目的・政策的位置付け.....	1
1－1 事業の目的.....	1
1－2 政策的位置付け.....	3
1－3 国の関与の必要性.....	6
2. 研究開発目標.....	7
2－1 研究開発目標.....	7
3. 成果、目標の達成度.....	10
3－1 成果.....	10
3－1－1 技術開発成果.....	10
3－1－2 特許出願状況等.....	20
3－2 目標の達成度.....	23
4. 事業化、波及効果.....	25
4－1 事業化の見通し.....	25
4－2 波及効果.....	27
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等.....	28
5－1 研究開発計画.....	28
5－2 研究開発実施者の実施体制・運営.....	29
5－3 資金配分.....	32
5－4 費用対効果.....	33
5－5 変化への対応.....	33

1. 事業の目的・政策的位置付け

1-1 事業目的

【標準的評価項目】

○事業目的は妥当か。

- ・ 事業の科学的・技術的意義(新規性・先進性・独創性・革新性・先導性等)
- ・ 社会的・経済的意義(実用性等)

炭素繊維は、軽くて強いという優れた特性から、自動車等の運輸車両の軽量化を図ることができるということで省エネルギーや二酸化炭素排出削減に大きく貢献できる素材として期待されている。これまで炭素繊維の世界市場は日本企業が約7割を占めるという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ともに、中国では政府主導により炭素繊維製造技術の開発に注力しており、既に汎用炭素繊維レベルまでの生産能力はあると言われている。今後、中国における汎用炭素繊維の生産能力の飛躍的な拡大も否定できない状況である。(2006年の中国におけるPAN系炭素繊維メーカーは約12社、生産能力は約1,310トン/年とするデータもある。)

これまで経済産業省では、炭素繊維関連の研究開発としては平成20年から5カ年計画で「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」を実施した。本事業では、自動車などの運輸部門等で消費されるエネルギーの大幅低減を図るため、自動車の車体の大幅軽量化と燃費の大幅改善を可能とし、加工の迅速性やリサイクル性等を向上させる熱可塑性樹脂を用いた新たな炭素繊維複合材料(サステナブルハイパーコンポジット)の開発を行った。本事業により、熱硬化炭素繊維複合材料の課題である易加工性やリサイクル性を解決できる炭素繊維複合材料の創出が可能となった。

一方で、現在の炭素繊維製造法(進藤方式)は、アクリル繊維を空気中高温で耐炎化(焼成)するため、製造エネルギー及び二酸化炭素排出量はいずれも鉄の約10倍と非常に高く、除熱効率の装置限界から生産性もなかなか高められないのが現状である。先端素材である炭素繊維が幅広い用途に普及していくためには、従来の製造方法のままでは製造エネルギー、二酸化炭素排出量及び生産性の観点から限界であると言える。2030年には、約500万台の新車に炭素繊維が使われると推定すると自動車用途として約50万トン/年の大量な炭素繊維需要が見込まれているが、現行方法での生産能力では対応が困難な状況であり、近い将来見込まれる炭素繊維の大量需要に速やかに対応するためには生産性向上等が喫緊の課題となっている。

こうした状況を踏まえ、我が国の炭素繊維に係る国際競争力の維持・強化を

図るためには、これまで炭素繊維メーカーが培ってきた技術力を応用した高品質な炭素繊維生産による差別化だけでなく、中国などの新興国の追い上げが想定される汎用分野でも圧倒的な競争力を確保することが重要である。また、近い将来見込まれる炭素繊維の大量需要に的確に対応していくためには、生産技術の革新が必要不可欠であり、新興国の追い上げがまだ本格化していない現時点において、時を逸することなく産官学の英知を結集させてポスト進藤方式の革新的製造技術を確立することが必要である。

本技術開発のアウトプットからアウトカムへの展開としては、現行の炭素繊維製造における原料（炭素繊維前駆体）、製糸、焼成の技術について、抜本的な見直しを行うことにより、製造エネルギー及びCO2排出量を半減させるとともに生産性も飛躍的に向上させる技術を確立し、自動車等への炭素繊維の普及拡大はもとより新市場の創出・獲得の実現を目指す。アウトカムとしては、我が国の炭素繊維及び関連産業の国際競争力の強化、低炭素社会への実現及び安全性等を確保した自動車などの普及による生活の豊かさへの貢献が挙げられる。

なお、本技術開発の実施に当たっては、欧米に遅れをとっている製品評価技術等の応用技術や標準化も同時に進めるとともに、本技術開発による研究開発成果の取り扱いへの配慮も必要である。

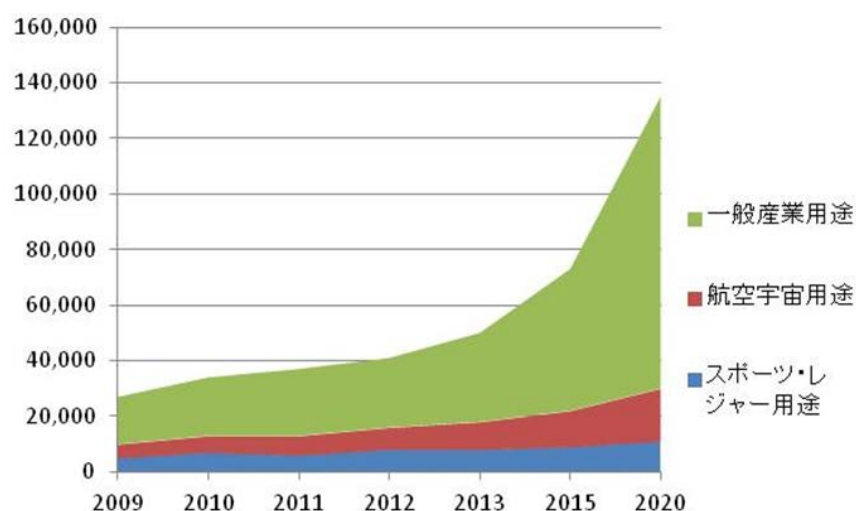


図 1-1 用途別需要予測

1-2 政策的位置付け

【標準的評価項目】

○政策的位置付けは明確か。

・事業の政策的意義（上位の施策との関連付け等）

平成19年5月に策定された「繊維産業の展望と課題」（以下「繊維ビジョン」という。）にあるように、我が国の繊維産業は世界に誇る高い技術力を有しており、特に省エネや環境保全などの分野での貢献が期待されている。特に、軽くて強いという特性を有する炭素繊維はこれらの社会的ニーズに大いに応えることができる繊維素材として位置づけている。我が国繊維産業の国際競争力維持・強化や省エネルギー・二酸化炭素排出量削減などエネルギー・環境問題への対応を積極的に図るため、繊維分野における環境関連技術や環境問題に貢献できる素材技術などの研究開発を進めるとともに、繊維製造工程における省資源・省エネルギーを推進することが重要である。更に、研究開発を実施する上では、将来の国際競争力強化に不可欠な基礎・基盤的な研究における優先課題に対し、産学官連携の体制を強化しつつ、重点的に研究開発投資を行い、政府はこれを資金面等を含めて支援することが必要である。

炭素繊維は「産業構造ビジョン2010」の「戦略5分野」の中の「先端分野」の一つとして位置付けられており、積極的に支援していくべき戦略分野でもある（図1-2）。繊維ビジョンでも記載されているが、経済産業省の「ファイバー分野の技術戦略マップ」は「マテリアルセキュリティ分野」、「建設・IT・生活等分野」、「炭素繊維・複合材（移動体）分野」、「基盤技術分野」の4つの分野から成り、炭素繊維については重要分野であることから独立して「分野」として位置づけられている。更に、技術マップの導入シナリオにおいて、「先端素材の開発」としてこの「炭素繊維・複合材料（移動体）分野」があり、その中の大きな柱に「製造プロセスの省エネルギー、低コスト化等の研究開発」が位置づけられている。また、炭素繊維・複合材料製造技術は、省エネルギー技術戦略2011においても、産業部門の重要技術「省エネプロダクト加速化技術-炭素繊維・複合材料製造技術」に該当する（図1-3）。

一方、自動車に代表される輸送機器の燃費向上に向けて、車両の軽量化は重要な技術課題の一つであることから、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、炭素繊維複合材料（CFRP）や革新鋼板等、輸送機器の主要な構造材料の軽量化に向けて、未来開拓プロジェクト「革新的構造材料等技術開発」が平成25年度からスタートした。本技術開発は、環境エネルギー技術革新計画（平成25年9月 内閣府：総合科学技術会議）の中でも、環境エネルギー技術として世界に貢献する重要技術の一つとして位置づけられている（図1-4）。

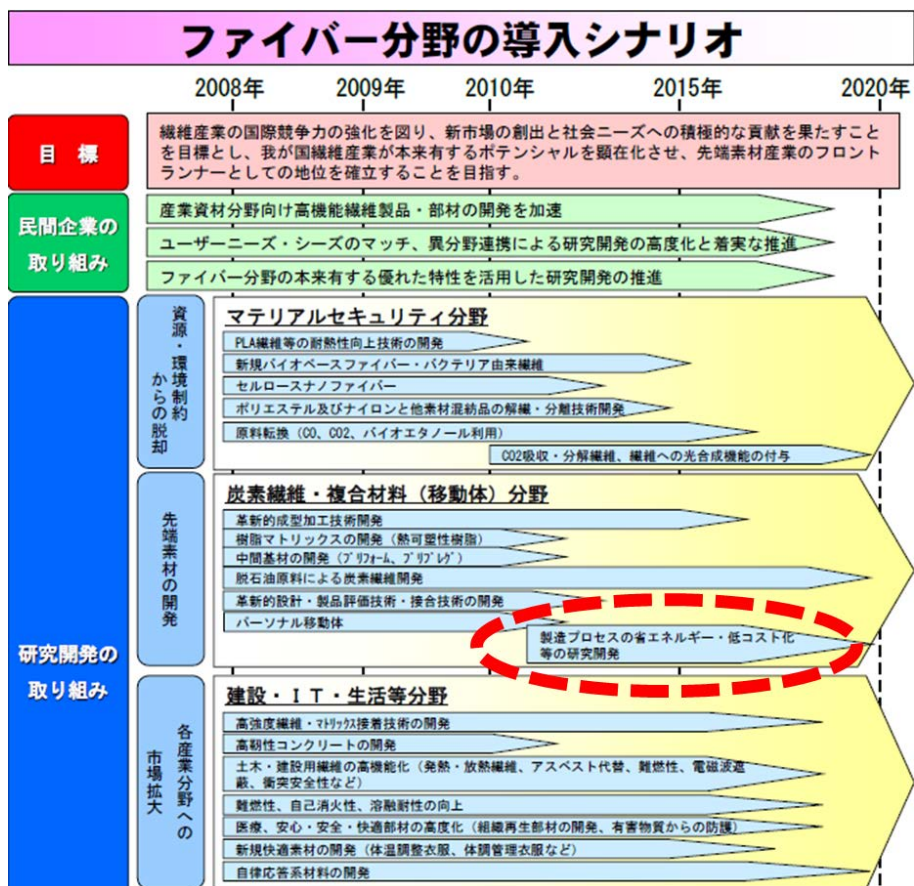


図 1-2 技術戦略マップ 2010 ナノテクノロジー・部材【ファイバー分野】ファイバー分野の導入シナリオ

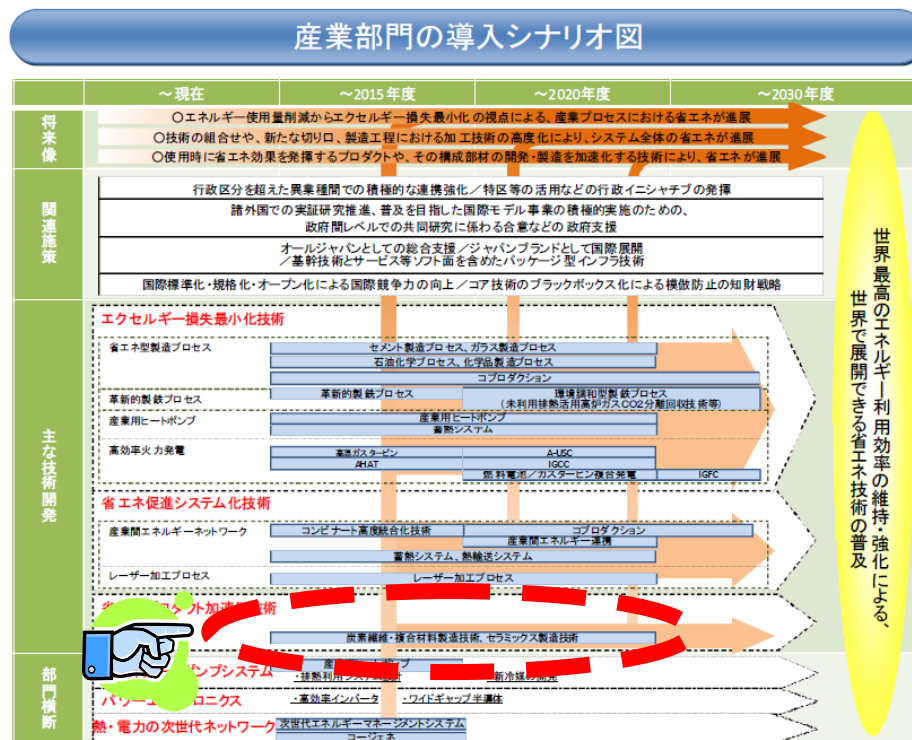
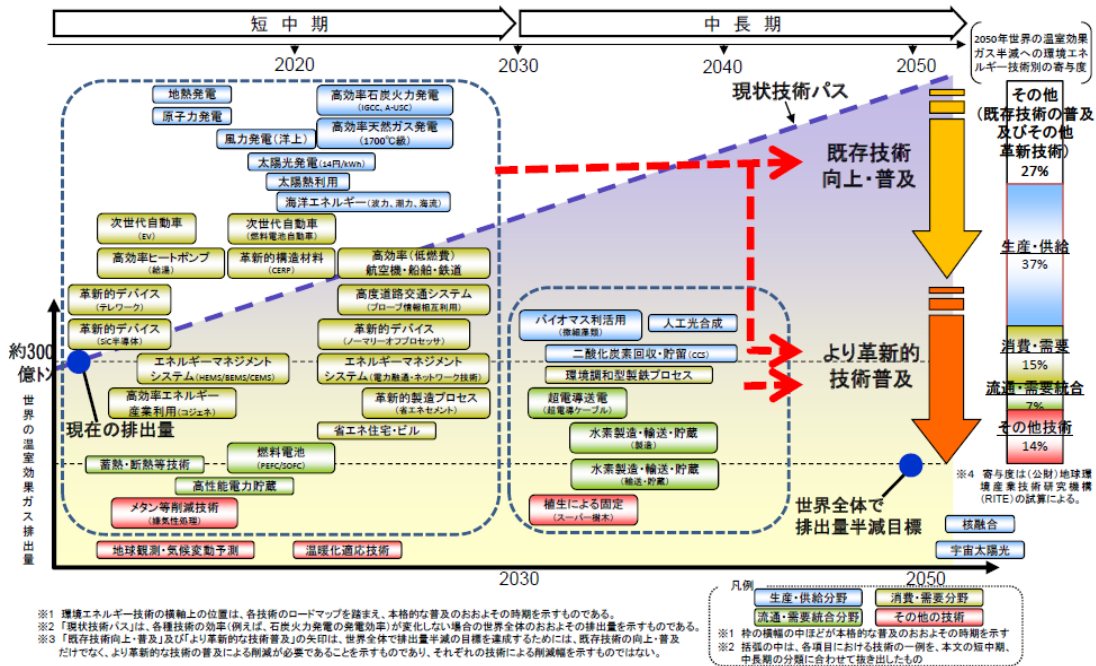


図 1-3 産業部門の導入シナリオ（出典：省エネルギー技術戦略 2011）

我が国の環境エネルギー技術の世界への貢献

我が国は、優れた環境エネルギー技術を、短中期、中長期と切れ目なく開発を進め、世界に普及することにより、2050年までに世界全体で温室効果ガスを半減する目標達成に貢献する。既存技術の向上・普及だけでは限界があることから、中長期的により革新的な技術開発を推進する必要がある。



21. 革新的構造材料

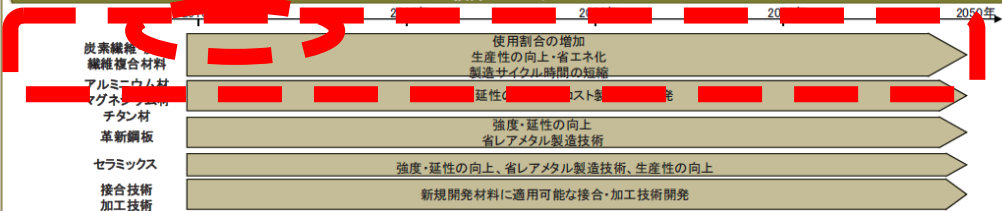
技術の概要

- 自動車に代表される輸送機器の燃費向上に向けて、車両の軽量化は重要な技術課題の一つ。アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、炭素繊維複合材料（CFRP）や革新鋼板等、輸送機器の主要な構造材料の軽量化に向けて、高強度化や高延性化に係る技術開発が必要。また、これらの材料を適材適所に使うマルチマテリアル化を促進するための異種材料接合技術の開発も必要。
- 革新鋼板やマグネシウム材の開発では、強度と延性の向上に有効な希少金属を多用する製造方法からの脱却が求められている。
- CFRPは炭素繊維と樹脂を複合化した材料で熱硬化性及び熱可塑性がある。
- IEAのEnergy Technology Perspectives 2012では、車両の燃費向上技術の開発・普及により、2050年に世界全体で約47億トンのCO₂排出削減ポテンシャルを試算。

我が国の技術開発の動向・課題

- 我が国では「革新的新構造材料等技術開発」事業や「元素戦略プロジェクト」等において、構造材料の研究開発が行われている。
- 「革新的新構造材料等技術開発」事業では、自動車を中心とした輸送機器の技術的な軽量化を目標に、強度、加工性、耐食性等の複数の機能と、コスト競争力を同時に向上させたアルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、炭素繊維、熱可塑性CFRP、革新鋼板等の開発や、接合技術等の開発を一体的に実施。
- 「元素戦略プロジェクト」では、希少元素を使用せずに、原子スケールからマイクロメートルに及び組織制御によって、材料の強度と延性を向上させる技術開発を実施。
- 各材料の高強度・高延性化などの多機能化と同時に、これらの機能を損なうことのない接合技術や成形加工技術等の開発が課題。

技術ロードマップ



国際動向

- 普及の現状**
- CFRPの中でも熱硬化性のもは、航空機の構造材等として使用されており、従来の航空機に比べて20%も燃費を改善する等、省エネやCO₂の削減に大きな貢献を果たしている。また、熱可塑性のものについても今後、量産車における導入が進んでいくとみられている。
 - 自動車のシートやセンターピラーには、高強度鋼板の活用が始まっている。今後さらに強度と延性に優れた革新鋼板を開発することで、更に適用が広がることが期待される。
- 技術開発の動向**
- 米国はエネルギー省の車両技術プログラム複数年開発計画（2011-2015）の一環で現在の部材と比べてより強く低密度な新素材の開発を推進しており、「乗用車軽量化

- 研究」の中では、ガソリン車の重量を2020年までに20%、2050年までに50%削減、電気自動車の重量を2020年までに26%、2050年までに64%削減するとしている。
- EUは第7次研究枠組計画（FP7）の中で、炭素繊維の製造効率の向上や成形の生産性の改善に係る技術開発に対し資金援助を行っている。また、「スーパーライトカー・プロジェクト」と呼ばれる共同研究計画の中では、将来的に中型車の車体重量を30%削減することを掲げ、欧州の自動車メーカーや研究機関の技術者・研究者が一体となり、様々な新材料の研究開発を行っている。
- 我が国の国際競争力**
- 炭素繊維は国内メーカーが世界市場で圧倒的シェアを有している。
 - 革新鋼板についても日本企業は高い技術力を有しているが、今後は低コスト化や更なる高強度・高延性化に向けた競争が一段と加速すると見られる。

図 1-4 未来開拓研究プロジェクト「革新的構造材料等技術開発」（出典：環境エネルギー技術革新計画、平成25年9月 内閣府 総合科学技術会議）

1-3 国の関与の必要性

【標準的評価項目】

○国の事業として妥当であるか、国の関与が必要とされる事業か。

- ・国民や社会のニーズに合っているか。
- ・官民の役割分担は適切か。

「革新炭素繊維製造技術の開発」は、炭素繊維に係る製造エネルギー、二酸化炭素排出量の低減（環境面）及び生産性向上（生産面）の両立を目標とし、他国の追随を押さえて将来にわたり、我が国の炭素繊維の国際競争力維持・強化のためには欠くことができない技術開発であり、「繊維産業（炭素繊維）に係る技術の施策」の一つとして国が実施することの妥当性は極めて高い。

また、本技術開発は、炭素繊維の原料、焼成方法などの製造プロセスを従来方法から抜本的に変える画期的な内容であることから、非常に難易度が高く、民間企業が先行投資して実施するには非常に大きなリスクを伴うため、ビジネス的側面からのインセンティブが働かないものである。産学官が一体となり英知を結集させオールジャパン体制で取り組まなければ開発の成功率は高まらず、また他国の追随をかわすためのスピード観を持って行うことも他国との競争において優位に立つために重要である。

このように、本技術開発はリスクが高く不確実性の高い領域のものであり、国際競争力の維持・強化、省エネルギーや二酸化炭素排出量低減を推進する観点から、国が特に積極的に関与し、支援することが必要である。

2. 研究開発目標

2-1 研究開発目標

【標準的評価項目】

○研究開発等の目標は適切かつ妥当か。

- ・ 目的達成のために具体的かつ明確な研究開発等の目標及び目標水準を設定しているか。特に、中間評価の場合、中間評価時点で、達成すべき水準(基準値)が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

本プロジェクトの目標設定について、表 2-1 に示す。

表 2-1. 個別要素技術の目標

要素技術	目標・指標 (事後評価時点)	目標・指標 (中間評価時点)	設定理由・根拠等
新規炭素繊維前駆体化合物の開発	新たな炭素繊維前駆体（候補物質）の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体（候補物質）を開発する。目標とする炭素繊維の特性は、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。また、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。	新たな炭素繊維前駆体（候補物質）の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体（候補物質）を開発する。目標とする炭素繊維の特性は、引張弾性率 170GPa、破断伸度 1.0%とする。	耐炎化工程を必要としない新規前駆体を用いて、現行の汎用 PAN 系炭素繊維と同等以上の特性（引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%）をもつ最終製品を得る研究開発の過程として、PAN 系炭素繊維の開発初期の性能値を中間目標として設定した。新規前駆体化合物については、この中間目標値を達成することができれば、紡糸条件、焼成条件の改良により、現行の PAN 系炭素繊維

			維と同等の性能を有する炭素繊維を得ることが可能である。
炭化構造形成メカニズムの解明	上記「新規炭素繊維前駆体化合物の開発」の成果とあわせて、新たな炭素繊維の製造技術を開発する。目標とする炭素繊維の特性は、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。また、異形状炭素繊維の製造技術を確認する。	①新規炭素繊維前駆体による炭化構造形成メカニズムを解明する。 ②新規炭素繊維前駆体から、炭素繊維の製造が可能となるマイクロ波等による炭化の基盤技術を確認する。目標とする炭素繊維の特性は、引張弾性率 170GPa、破断伸度 1.0%とする。 ③現行炭素繊維製造方法により得られる汎用炭素繊維と同等の表面特性を有する炭素繊維の製造が可能となるプラズマ等による炭素繊維の表面処理の基盤技術を確認する。目標とする表面特性は、X線光電子分光法により測定される炭素繊維の表面酸素濃度 O/C が 0.05 以上 0.40 以下であることとする。	①新規炭素化技術の開発においては、焼成工程の最適化を効率的に進めるため、炭素化過程での物性変化等の炭化構造形成メカニズム解析が必須となる。 ②上記前駆体開発と同様に、PAN 系炭素繊維の開発初期の性能値を中間目標として設定した。この中間目標値を達成することができれば、焼成条件の改良により、現行の PAN 系炭素繊維と同等の性能を有する炭素繊維を得ることができる。 ③樹脂界面接着性を決める主要因は酸素を含む表面官能基の量であることから、現行の PAN 系炭素繊維製品で適正とされる表面酸素濃度を目標値として設定した。

炭素繊維の評価手法開発、標準化	圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験方法の規格原案を作成し、JIS/ISO 化に必要なデータを収集する。また、単繊維の熱膨張率計測試験について、試験装置を開発し、評価手法を確立するとともに、熱可塑性樹脂との界面接着特性試験について、複数の評価手法について比較検討を行い、その結果をテスト報告（TR）としてとりまとめる。さらに、新規炭素繊維前駆体から製造される炭素繊維を適用した複合材料の設計やライフサイクルアセスメント（LCA）に活用するためのデータを収集する。熱可塑性樹脂と異形状炭素繊維の界面特性を検証し、その特性発現メカニズムを解明することにより、標準的な力学的試験法を確立する。	単繊維炭素繊維の横方向圧壊試験、曲げ試験、ねじり試験方法の素案を作成する。また、単繊維による熱膨張率計測試験装置を試作する。さらに、熱可塑性樹脂との界面接着特性を評価する複数の手法について比較検討を行う。	現在、炭素繊維の材料力学的特性等の評価手法は、引張試験、密度測定試験、直径計測試験が ISO および JIS に標準化されている。一方、炭素繊維が熱可塑性樹脂をマトリックスとする不連続繊維強化複合材料などの補強材として幅広い用途に使用されていくためには、圧縮、ねじり、曲げといった力学特性、熱膨張率、樹脂界面接着性を一定基準の下、評価することが求められ、また評価技術やデータベース等を確立する必要がある。
------------------------	---	---	---

3. 成果、目標の達成度

3-1 成果

3-1-1 技術開発成果

【標準的評価項目】

○成果は妥当か。

- ・得られた成果は何か。
- ・設定された目標以外に得られた成果はあるか。
- ・共通指標である、論文の発表、特許の出願、国際標準の形成、プロトタイプの作製等があったか。

(1) 新規炭素繊維前駆体化合物の開発

耐炭化工程を不要とする新たな炭素繊維前駆体高分子化合物の探索、設計、合成を行った結果、塩基性の含窒素官能基により溶媒に可溶な芳香族系高分子である新規前駆体化合物 A、ならびに溶解剤が酸化ポリマー鎖に振り袖状に結合した柔軟構造をもつ新規前駆体化合物 B について、中間目標に匹敵、あるいはそれを超える特性を示す新規炭素繊維が得られた。新規前駆体 A, B とともに、今後の製造工程の改良により、最終目標値を超える性能を発現するポテンシャルを有するとともに、異形状繊維など、従来の進藤法プロセスでは実現できない特徴的な構造・力学特性をもつ繊維の創出が可能であることが明らかになった。

①新規前駆体化合物 A

前駆体化合物 A から得られた炭素繊維について、JIS R 7606 に従って測定した単糸引張試験 (N=10) の結果を表 3-1 に示す。平均の引張弾性率が 200GPa、破断伸度が 0.9%の炭素繊維が得られる前駆体繊維製造プロセスを見出した。炭素化条件によっては、引張弾性率が 250GPa に達するものや、破断伸度が 1.1%を超える繊維も得られている。現状、紡糸工程における単糸接着の問題が見受けられ、最終目標に向けて強度ならびに破断伸度を向上させるには紡糸工程の改善が必要である。

図 3-2 に示すような表面ノッチを繊維に導入して単繊維引張試験をすることによって、破断の原因となる欠陥の影響をなくした場合の到達可能強度が推定できる。繊維表面の欠陥といった繊維破断の原因となる要素を減らし、市販の PAN 系炭素繊維と同等のレベルまで紡糸工程ならびに炭素化工程の改善を図ることができれば、強度ならびに破断伸度がおよそ 2 倍程度まで向上する可能性があることがこの方法により示された。今後、紡糸

工程と炭素化工程の改善により最終目標を十分超えうる炭素繊維が得られるものと考えられる。

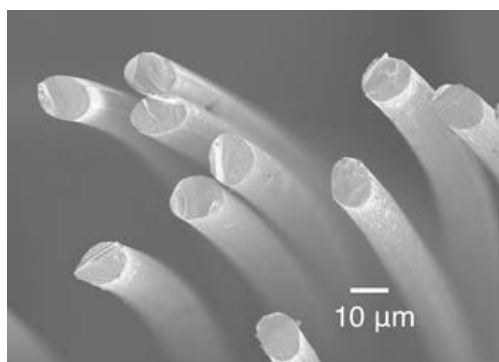


図3-1 前駆体化合物Aから調製された炭素繊維の走査電子顕微鏡写真

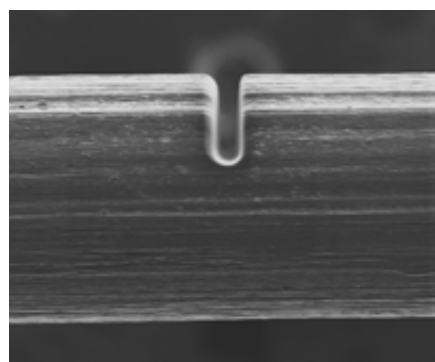


図3-2 到達可能強度を計測するための表面ノッチを導入した新規前駆体からの炭素繊維

表 3-1 前駆体 A からの炭素繊維の物性値

	引張弾性率(GPa)	引張強度(GPa)	破断伸度(%)
前駆体 A	200	1.8	0.9
中間目標	170	(1.7)	1.0
最終目標	235	(3.5)	1.5

() : 引張強度 目標値は引張弾性率と破断伸度から計算している。

②新規前駆体化合物 B

前駆体化合物 B から得られた炭素繊維の物性は下表の通り中間目標値をクリアした。

表 3-2 前駆体 B からの炭素繊維の物性値

	引張弾性率(GPa)	引張強度(GPa)	破断伸度(%)
前駆体 B	180	2.1	1.1
中間目標	170	(1.7)	1.0
最終目標	235	(3.5)	1.5

() : 引張強度 目標値は引張弾性率と破断伸度から計算している。

（２）炭化構造形成メカニズムの解明

新規焼成技術の開発は、マイクロ波を用いる新規炭素化技術の開発とプラズマを用いる新規表面処理技術の開発から成る。

マイクロ波を用いる新規炭素化技術の開発においては、炭素化工程の最適化を効率的に進めるため、PAN 系前駆体を用いた耐炎繊維の炭素化過程における誘電率変化等から、マイクロ波に好適な炭化構造形成のメカニズムを解析した結果、一定条件下で耐炎繊維が誘電体から導電体に連続的に変化する中で、ある領域において閾値が存在し、耐炎繊維をマイクロ波に対する高吸収性繊維に転換することができることを明らかにした。本結果を基に、マイクロ波炭素化工程を最適な形へと改良し、高吸収性繊維をマイクロ波で炭素化した結果、最終目標である工業炉（進藤プロセス）で炭素化した PAN 系炭素繊維と同等の特性を示す炭素繊維が得られた。本技術は、（１）が開発の新規炭素繊維前駆体に対しても、その誘電特性等から有効であることは容易に連想でき、新規炭素繊維前駆体を用いた場合でも最終目標値を達成できるポテンシャルを有する。

プラズマを用いる新規表面処理技術の開発においては、プラズマ処理の形態の探索、処理条件等の検討を行った結果、極めて短時間で、目標とする表面特性を達成できるプラズマ処理技術の開発に成功した。

① マイクロ波炭素化技術の開発

マイクロ波炭素化によって得られた炭素繊維について、JIS R 7606 に準拠し測定した単糸引張試験の結果を表 3-3 に示す。平均の引張強度が 3.3GPa、引張弾性率が 197GPa、破断伸度が 1.7%であり、工業炉で炭素化した製品（進藤プロセス）とほぼ同等の単糸引張特性を示す炭素繊維の製造に成功した。マイクロ波炭素化によって得られた炭素繊維の単糸写真を図 3-3 に示す。真円に近い断面形状を保持していることや繊維表面に大きな傷などが見られないことから、マイクロ波による炭素化反応は安定的に進行したことがわかる。

今後は、（１）が開発の新規炭素繊維前駆体の焼成に向けた条件適性化、安定化技術の確立を行い、新規炭素繊維前駆体を用いたマイクロ波炭素化実験によって最終目標物性を有する炭素繊維の製造を目指す。

表 3-3 マイクロ波炭素化で得られた炭素繊維の単糸引張特性

	平均強度 (GPa) N=100	平均弾性率 (GPa) N=10	破断伸度 (%)
マイクロ波炭素化	3.3	197	1.7
進藤プロセス	3.1	200	1.6
中間目標	(1.7)	170	1.0
最終目標	(3.5)	235	1.5

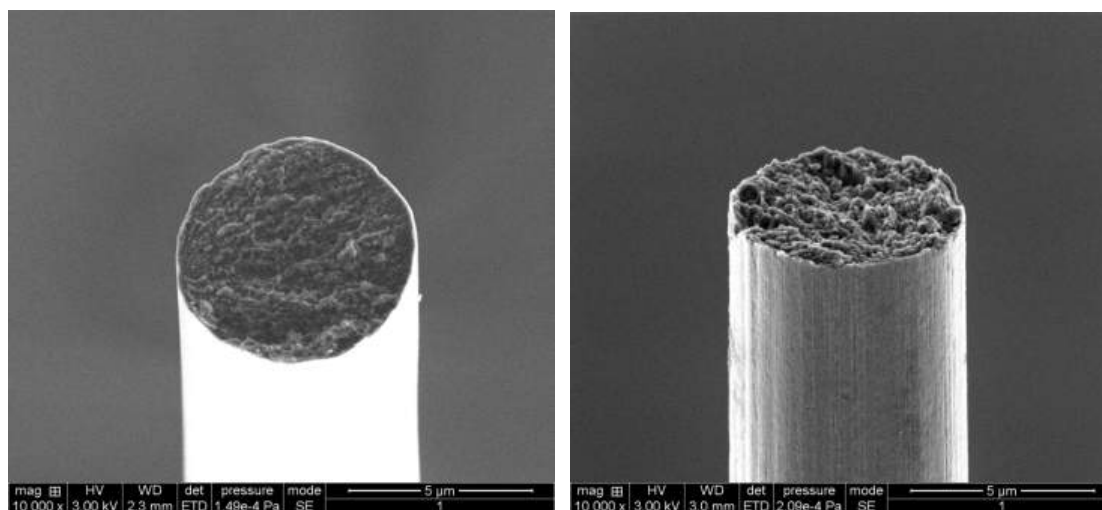


図 3-3 マイクロ波炭素化で得られた炭素繊維の走査型電子顕微鏡写真

② プラズマ表面処理技術の開発

プラズマを用いて表面処理した炭素繊維の、X 線光電子分光法により測定された表面酸素濃度値 (O/C) の結果を表 3-4 に示す。プラズマ表面処理によって、極めて短時間で、最終目標である表面酸素濃度範囲内の表面特性を有する炭素繊維が得られた。また、表面酸素濃度値は、処理時間の制御によって、低い値 (0.07) から高い値 (0.23) までコントロールができ、複合材料のマトリックス樹脂に応じた表面の適性化も容易に行えることを見出した。

今後は、連続プロセス技術の確立を行い、表面処理の均一性を評価する。一方で、表面官能基種の特定や定量から、最適な処理ガス種の探索やプラズマ表面処理のメカニズムを探究する。

表 3-4 プラズマ表面処理された炭素繊維の表面特性

	表面酸素濃度値 (O/C)
プラズマ表面処理	0.07 - 0.23
最終目標	0.05 - 0.40

(3) 炭素繊維の評価手法開発、標準化

自動車部品用途の複合材料としては成型性とコスト面から不連続繊維によって強化された熱可塑性プラスチックが用いられることが期待されている。NEDO プロジェクト「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」では、それら複合材料の調製、接合、修理、そしてリサイクル技術が検討されてきた。このような複合材料は、いったん中間基材を調製してからプレス成形等にて複雑な形状の部材を製作している。このような複合材料の設計においては、炭素繊維の引張特性だけでなく、様々な方向の材料力学的特性が重要となる。例えば、複合材料中の不連続繊維の破断のモデリングにおいては、単繊維（モノフィラメント）による強度分布の解析結果が用いられ、特性のばらつきを統計的に評価する必要がある。

これまでにモノフィラメントの横方向圧壊試験やねじり試験によって解析される圧壊強さ、横方向の圧縮弾性率およびねじり弾性率の試験条件の影響について詳細に調査し、試験手法の標準化に向けてのデータを蓄積した。【研究成果発表論文 1, 2】

試験手法の確立のために本研究では、直径およそ $7\mu\text{m}$ の市販の PAN 系炭素繊維を用いた。引張特性試験は、JIS R7606「炭素繊維-単繊維の引張特性の試験方法」に準拠した。各々の試験単繊維の直径は、JIS R7607「炭素繊維-単繊維の直径及び断面積の試験方法」の D 法：直径をレーザー回折によって測定する方法を活用した。試験数 n は、50 本とした。

引張特性試験の結果を表 3-5 に示す。繊維直径計測の平均値は、 $7.5\mu\text{m}$ であり、変動係数が 5.3%であった。ただし、繊維断面は真円ではなく、少々扁平した楕円形状であった。

表 3-5 PAN 系繊維の引張特性試験結果

引張強度	ワイブル係数	引張弾性率
4.1 GPa	5.5	208 GPa
(変動率 21%)		(変動率 9.7%)

① 単繊維ねじり試験

単繊維でのねじり試験は、図 3-4 に示すように、接着剤で台紙に張り付けた一本の試料繊維の先にガラス管を接着剤で固定した試験片を用いて行った。ガラス管を吊り下げ、台紙を固定し、ガラス管に初期回転を与えてから自由回転させ、回転が停止した時間を計測し、周期を測定した。ねじり弾性率は(1)式に従って求めた。

$$G = \frac{128\pi \cdot I \cdot L}{d^4 \cdot T^2} \quad (1)$$

ここに G :ねじり弾性率

I :ガラス管の慣性モーメント

L :ゲージ長さ

d :繊維の直径

T :ねじり振動の周期

である。

異なったゲージ長さ、異なった初期回転数で PAN 系繊維を試験して得られたねじり弾性率の測定結果を初期歪み量で整理したものを図 3-5 に示す。最大、最小を示したエラーバーは大きくなっているが、8本の試験片の個々の得られた弾性率は条件によらずあまりばらつかないため、平均値は初期歪の大きさに関わらず、ほぼ一定の平均値を示している。

今回行った条件では、初期歪の影響は見られず、試験を行いやすいゲージ長さ、初期回転を採用してすれば良い。その他、試験結果に影響を及ぼすと予想

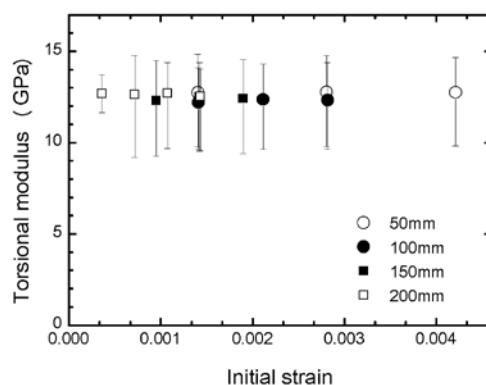


図 3-5 ゲージ長さの異なる単繊維ねじり試験から求められたねじり弾性率の初期歪み依存性

プロット：平均値、

エラーバー：各試験の最大値と最小値

試験本数：各条件 8 本

② 単繊維圧壊試験

単繊維の横方向圧壊試験は、JIS R1639-5「ファインセラミックス—か（顆）粒の測定方法— 第5部：単一か粒圧壊強さ」に準拠して行った。試験は、超微小硬度計を利用し、一辺が50 μm の正方形のダイヤモンド製フラット圧子を用

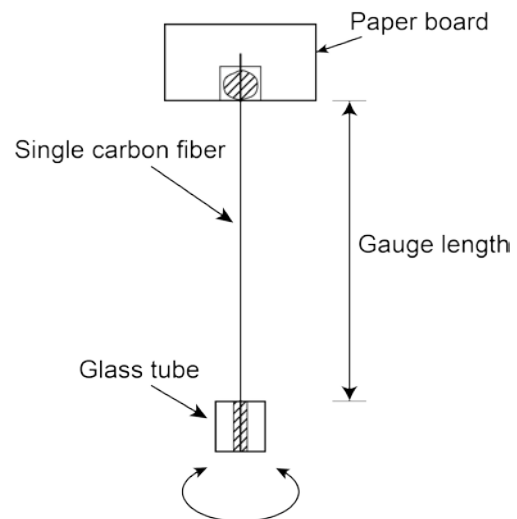


図 3-4 ねじり試験の模式図

される因子について検討を行った。

ねじり弾性率の平均値は、13.7 GPaであり、変動率は12.5%であった。このねじり弾性率のばらつきは、モノフィラメント内の直径の変動に起因すると考えている。今後は、解析に代入する繊維直径に関する考察、例えば、繊維断面の楕円形状が算出結果に及ぼす影響を検討し、形状因子による補正の必要性を考える。

いた。

圧子を降下させ繊維に負荷が生じてからの試験力と変位の関係を記録し、急激に変位の変化を生じた点を圧壊点として、(2) 式から圧壊強さを求めた。

$$\sigma = \frac{2P}{\pi d L} \quad (2)$$

ここに、 σ ：圧壊強さ

P ：荷重

d ：繊維の直径

L ：圧子の一辺の長さ

図 3-6 には、異なる速度によって試験した PAN 系繊維の圧壊強さのワイブルプロットを、PAN 系繊維の横方向圧縮時の荷重－変位曲線の一例を図 3-7 に示す。繊維状サンプルの圧縮による弾性変形の荷重－変位曲線は、Hertz の接触理論から圧子を剛体近似して導かれた式でフィッティングして、横方向の圧縮弾性率を求めた。

表 3-6 に試験速度 1.0 mN/s による圧壊試験による結果を要約した。PAN 系繊維の圧壊強さの平均値は、1.7 GPa 程度であり、試験速度の影響がほとんどなかった。ワイブル係数 m は、7～8 で、引張強度の値 ($m=5.5$) よりわずかに大きい値を示すことがわかった。圧壊強さの分布は、今回の試験機で設定できる範疇では、試験速度の影響を受けないと考えている。

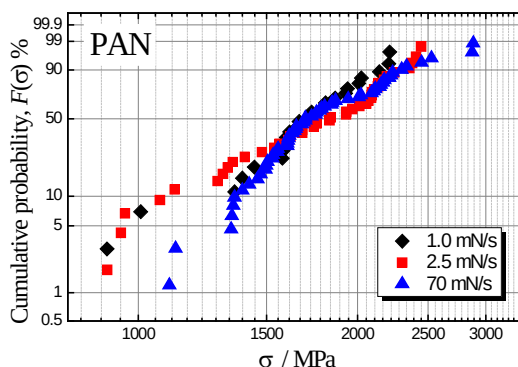


図 3-6 PAN 系繊維の横方向圧壊強さのワイブル分布

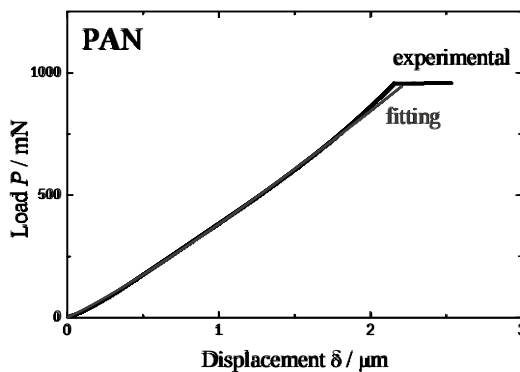


図 3-7 PAN 系繊維の横方向圧縮時の荷重－変位曲線とフィッティング曲線

表 3-6 PAN 系繊維の圧壊試験 (1.0mN/s) の結果

圧壊強さ	ワイブル分布	圧縮弾性率
1.7 GPa	8.3	15.9 GPa
(変動率 14%)		(変動率 16%)

炭素繊維の圧壊は、脆性的な挙動であり、圧壊強さを求める式に JIS R1639-5 で推奨されている赤澤らの式（(2) 式）を用いたが、種々の炭素繊維の破壊挙動や断面内の応力分布の解析を鑑みて、試験規格とするには今後さらに検討する余地があると思われる。他方、繊維の横方向の圧縮弾性率は、ねじり弾性率と同様に、繊維の引張弾性率と比較して一桁も小さい 16 GPa であった。

試験装置の自動制御の感度を考慮すると、精度良く試験を実行するには試験速度が遅いほうが有効であるが、1 回の試験に時間を要する。そこで、10 mN/s 以下の試験速度がふさわしいと考えている。

③ 単繊維曲げ試験

ステンレス製の支持台に 2 本のシリコンカーバイド繊維を接着させモノフィラメントの三点曲げ試験のスパンとした（図 3-8）。先端をとがらせたパイレックスガラスの先端にシリコンカーバイド繊維を接着させた治具を圧子として曲げ試験を実施した。図 3-9 にスパン長さ 230 μm での PAN 系繊維の曲げ試験の様子を観察した連続写真を示す。変位が 90 μm に到達したとき繊維が破断した。

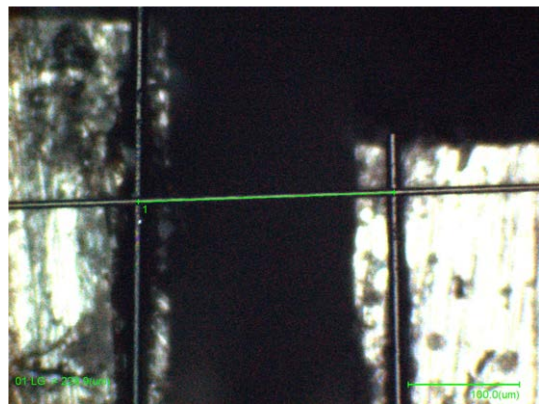
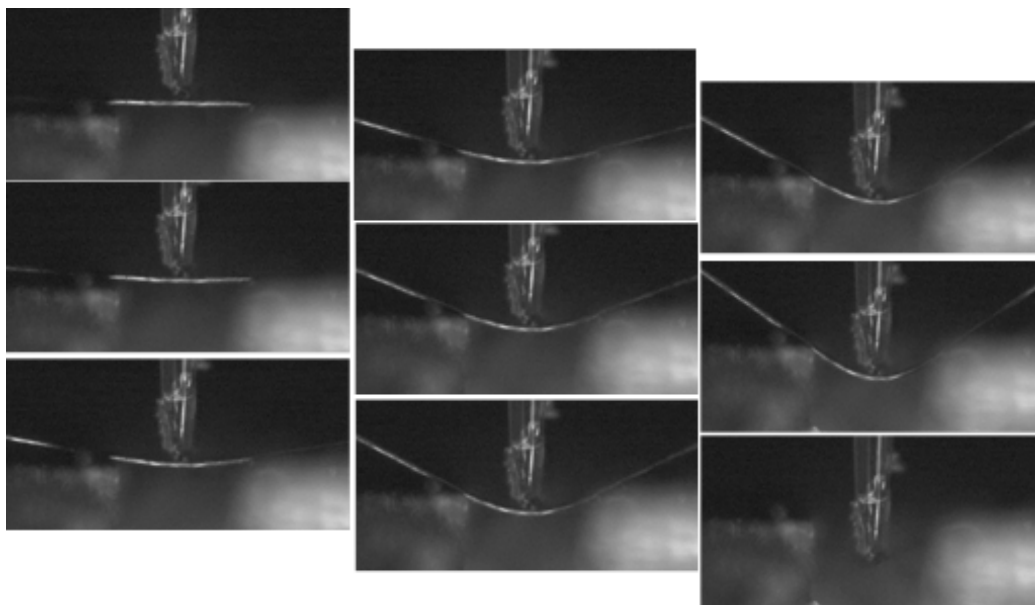


図 3-8 曲げ試験試料台上の PAN 系繊維
（スパン長さ：230 μm ）

本事業では、新たに電動ステージを開発し、曲げ変位を制御しながら試験を行っている。しかしながら、過去にモノフィラメントの曲げ試験を行った頃より、今回の PAN 系繊維の強度が増しているために、圧子として使用しているパイレックスガラス先端のシリコンカーバイド繊維が数回の試験で脱離することが判明した。圧子の製作を再検討することになった。

スパン長さ 250 μm では、曲げ強さ 5.3 GPa、曲げ弾性率 130 GPa という値が得られた。曲げ試験から算出される曲げの強さと曲げ弾性率は、試料台のスパンの長さに依存する結果が得られた。このスパン長さの依存性が、炭素繊維の前駆体の種類に影響することから、試験規格を決定するためにより多くのデータを蓄積したいと考えている。



④ 熱膨張率測定装置の開発

炭素繊維の熱膨張率の測定において、比較的短い炭素繊維試験片で熱膨張を精密に計測できる装置の試作を行った。図3-10に炭素繊維の束に通電加熱できる平行バネ式試料ホルダーの側面図を示す。このセルを用いて通電加熱による熱膨張率の測定を試みた。通電抵抗加熱による試験では、試料の温度を計測する必要がある。熱電対を炭素繊維にセラミック接着剤を用いて接着させて、通電したところ抵抗による加熱が可能なことを確かめた。さらに、2端子法ソースメータを使用して、加熱と同時に電気抵抗を計測し、その抵抗値の温度依存性を調べたところ、図3-11に示すように、電気抵抗率は、温度上昇とともに小さくなるが、およそ200°C (473 K) において極小値を示し、それ以上では抵抗が温度上昇とともに高くなることがわかった。

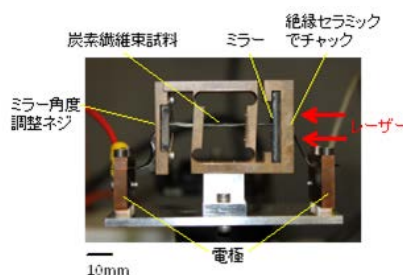


図 3-10 炭素繊維の束に通電加熱できる平行バネ式試料ホルダー

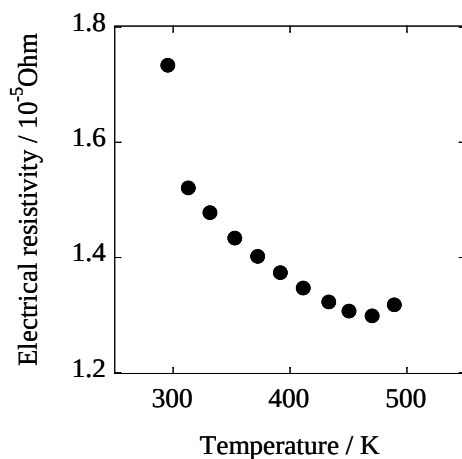


図 3-11 炭素繊維を通電加熱したときの電気抵抗率の温度依存性

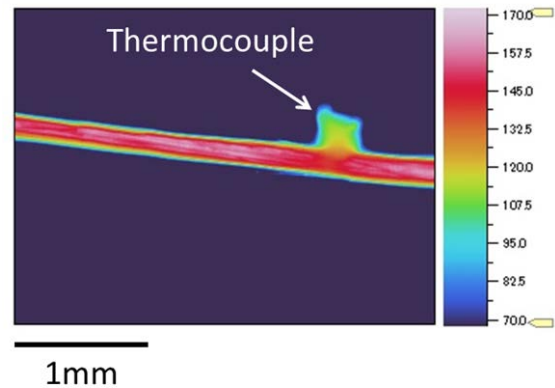


図 3-12 炭素繊維を通電加熱したときの熱画像

熱膨張率を測定するためには、非接触法による温度計測が望ましいので、炭素繊維を加熱した際のサーモグラフによる放射率の温度依存性を調べたところこちらは、温度に対して独立で、放射率 (emissivity) $\varepsilon=0.9$ という結果を得た。図3-12には、PAN系繊維の束を通電加熱したときの熱画像を示す。繊維束の中で筋状に低温度を示す箇所が観察されるが、温度差は 10°C 以内であり、放射温度計を使って通電加熱時の温度計測が可能であることを確かめた。

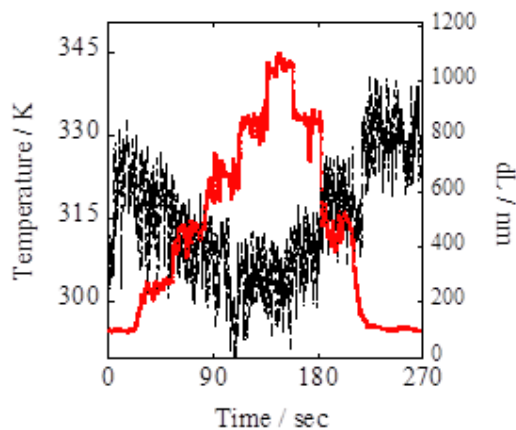


図 3-13 PAN 系炭素繊維を通電加熱したときの温度上昇（赤，左軸）とレーザー干渉計による伸び量（黒，右軸）の計測結果

この平行バネ式セルの炭素繊維束を通電加熱したときの熱膨張による伸びを、レーザー干渉計という精密に計測するシステムの計測結果を図3-13に示す。ノイズが多いものの温度上昇とともに負の熱膨張（熱収縮）が観察された。しかしながら、この平行バネ式セルによる熱膨張率の計測は、平行バネのミラー部分が固定できず振動を拾うため、干渉信号のノイズが多いという欠点があった。そこで、現在は、ミラーを安定させるために、台車方式による計測システムの試作を行っている。

【研究成果発表論文 1, 2】

- 1: 藤田 和宏, 小島 実希子, 岩下 哲雄, 材料試験技術, 58[3] (2013) 143
- 2: 岩下 哲雄, 諸星 圭祐, 藤田 和宏, 材料試験技術, 57[4], (2012) 134

3-1-2 特許出願状況等

平成 23 年 7 月から平成 25 年 12 月までの特許出願件数、論文発表件数、学会発表件数、特許等件数は表 3-7 の通りである。また、発表リストを表 3-8 に示す。

表 3-7. 特許・論文等件数

要素技術	論文・発表件数	論文の被引用度数	特許等件数(出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス供与数	取得ライセンス料	国際標準への寄与
新規炭素繊維前駆体化合物の開発	8		5				
炭化構造形成メカニズムの解明			4				
炭素繊維の評価手法開発、標準化	18						
計	26		9				

表 3-8 論文、投稿、発表、特許リスト

	題目・メディア等	時期
論文	材料試験技術, 「炭素繊維の単繊維による評価試験(その1)ー横方向圧壊試験ー」	H24. 4
	材料試験技術, 「炭素繊維の単繊維による特性評価試験(その2)ーねじり試験ー」	H25. 7
発表	「炭素繊維の第 33 回日本熱物性シンポジウム, 熱膨張係数測定法の開発」	H24. 10
	第 253 回 材料試験技術シンポジウム, 「炭素繊維の単繊維による評価試験(その1)ー横方向圧壊試験ー」	H24. 10
	第 39 回炭素材料学会年会「溶媒可溶性芳香族高分子を出発物質とする炭素繊維の製造」	H24. 11
	第 39 回炭素材料学会年会「溶媒可溶性芳香族高分子を出発物質とする炭素繊維の構造評価」	H24. 11
	産総研 中部センター 本格研究ワークショップ, 「炭素繊維の圧壊強さと圧縮弾性率」	H24. 12
	名古屋工業技術協会, ものづくりの高度化に役立つ先端計測技術研究会, 「炭素繊維の単繊維による特性評価試験」	H24. 12

	産業技術連携推進会議 中国地域部会, 炭素繊維複合材料研究会, 「不連続繊維強化プラスチックの開発に向けての炭素繊維の特性評価試験」	H25. 2
	第 4 回日本複合材料合同会議 (JCCM-4), 「炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その 1) - 熱膨張係数測定 -」	H25. 3
	第 4 回日本複合材料合同会議 (JCCM-4), 「炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その 2) - ねじり試験 -」	H25. 3
	第 4 回日本複合材料合同会議 (JCCM-4), 「炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その 3) - 横方向圧壊試験 -」	H25. 3
	第 4 回日本複合材料合同会議 (JCCM-4), 「炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その 4) - 横方向圧縮特性解析 -」	H25. 3
	日本鉄鋼協会, 高温物性値フォーラム平成 25 年度第 1 回研究会, 「炭素繊維の電気抵抗率と放射率」	H25. 6
	平成 25 年度繊維学会年次大会「溶媒可溶性芳香族高分子繊維の炭素化挙動および得られる炭素繊維の力学物性」	H25. 6
	第 256 回材料試験技術シンポジウム, 「炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その 2) - ねじり試験 -」	H25. 7
	The Annual World Conference on Carbon, Carbon2013 「CARBONIZATION BEHAVIOR OF FIBERS FROM SOLVENT-SOLUBLE AROMATIC POLYMERS」	H25. 7
	第 44 回繊維学会夏季セミナー「新規前駆体高分子を原料とする炭素繊維の製造」	H25. 8
	産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門第 10 回シンポジウム, 「炭素繊維強化熱可塑性プラスチック用炭素繊維の評価試験」	H25. 9
	日本鉄鋼協会第 166 回秋季講演大会, 「Temperature dependence of emissivity and electrical resistivity of carbon fiber」	H25. 9
	産業技術総合研究所オープンラボ 2013, 「炭素繊維モノフィラメントによる評価試験」, (産総研オープンラボ 2013)	H25. 10
	日本学術振興会 第 117 委員会, 「炭素繊維の横方向圧縮特性」	H25. 11
	日本学術振興会産学協力研究員会 炭素材料第 117 委員会第 308 回委員会「芳香族高分子を前駆体とする炭素繊維の製造」	H25. 11
	第 40 回 炭素材料学会年会, 「炭素繊維の横方向圧縮特性の評価手法の開発」	H25. 12
	第 40 回炭素材料学会年会「溶媒可溶性芳香族高分子繊維前駆体炭素繊維の構造と引張特性」	H25. 12
	エネルギー技術シンポジウム 2013「人とエネルギーの未来を支える軽量構造材料ー革新炭素繊維ー」	H25. 12

特許	H24 年度 1 件 出願済 H25 年度 3 件 出願済 審査中 1 件 (その他 H25 年度中に 出願予定のもの 4 件)	
----	--	--

3-2 目標の達成度

【標準的評価項目】

○目標の達成度は妥当か。

- ・設定された目標の達成度(指標により測定し、中間及び事後評価時点の達成すべき水準(基準値)との比較)はどうか。

表 3-9. 目標に対する成果・達成度の一覧表

要素技術	目標・指標	成果	達成度
新規炭素繊維前駆体化合物の開発	新たな炭素繊維前駆体(候補物質)の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体(候補物質)を開発する。目標とする炭素繊維の特性は、引張弾性率 170 GPa、破断伸度 1.0%とする。	前駆体候補物質の絞り込みの結果、単糸引張試験において、平均引張弾性率が 180GPa、平均破断伸度 1.1%の炭素繊維が得られるなど、有望な前駆体繊維を見出した。	達成
炭化構造形成メカニズムの解明	①新規炭素繊維前駆体による炭化構造形成メカニズムを解明する。 ②新規炭素繊維前駆体から炭素繊維の製造が可能となるマイクロ波等による炭化の基盤技術を確立する。目標とする炭素繊維の特性は、引張弾性率 170GPa、破断伸度 1.0%とする。 ③現行炭素繊維製造方法により得られる汎用炭素繊維と同等の表面特性を有する炭素繊維の製造が可能となるプラズマ等による炭素繊維の表面処理の基盤技術を確立する。目標とする表面特性は、X 線光電子分光法により測定される炭素繊維の表面酸素濃度 O/C が 0.05 以	PAN 系前駆体を用いた耐炭化系を使用したマイクロ波炭素化実験において、単糸引張特性(平均引張弾性率 197GPa、破断伸度 1.7%)を示す炭素繊維の製造に成功した。加えて、同焼成工程の安定化に必要な技術の検討を行い、シミュレーションによるマイクロ波炭素化過程の解析手法の開発や、同炭素化過程における誘電率等の物性変化の把握を経て、本技術の問題点を抽出し、解決策を見出した。 表面処理技術については、極めて短時間で目標とする表面特性を達成で	達成

	上 0.40 以下であることとする。	きるプラズマ処理技術の開発に成功した。	
炭素繊維の評価手法開発、標準化	単繊維炭素繊維の横方向圧壊試験、曲げ試験、ねじり試験方法の素案を作成する。また、単繊維による熱膨張率計測試験装置を試作する。さらに、熱可塑性樹脂との界面接着特性を評価する複数の手法について比較検討を行う。	横方向圧壊試験、曲げ試験およびねじり試験方法については、試験方法を確認し、年度末までに試験規格素案の作成を完了する予定である。熱膨張率計測装置は、試作を完了し、より簡便な計測装置の作製に向けて改良を行っている。熱可塑性樹脂との界面接着性については、3 種類の手法について比較検討を実施している。	達成

4. 事業化、波及効果について

4-1 事業化の見通し

【標準的評価項目】

○事業化については妥当か。

- ・事業化の見通し(事業化に向けてのシナリオ、事業化に関する問題点及び解決方策の明確化等)は立っているか。

本技術開発が成功した場合の産業的なインパクトについて検討した結果を図4-1に示した。その結果、自動車用途等の需要増年率20%と仮定すると、2030年までには安定して供給できる体制が整う。また、2030年時には炭素繊維生産時に132万トンのCO2削減、原油換算量で46万KL/年削減という大きな効果が見込まれる。さらに、これらの活用により軽量化した自動車等によって低炭素社会への実現に貢献できることになる。

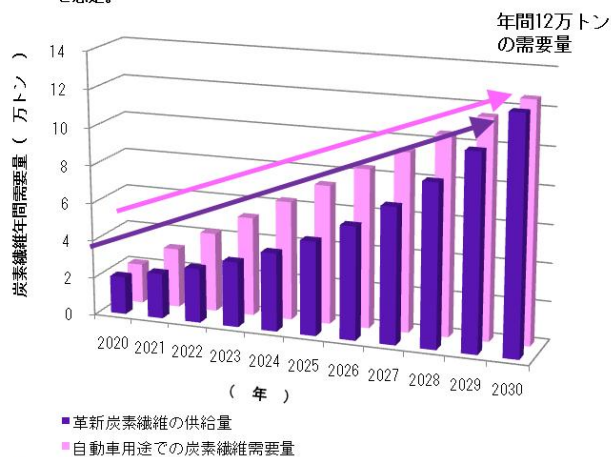
軽量構造材料に対する社会的ニーズとともに、生産性の向上によるコスト削減効果も期待されることから、本技術開発の成果は事業化に直結するものである。また、本提案においては、炭素繊維メーカーが参加し、迅速な事業化への対応に向けてプロセス技術開発も並行して行う実施体制となっており、成果の実用化の見込みは極めて高いものと確信している。

2030年における自動車分野での炭素繊維需要量と供給量

自動車分野での需要に追いつくためには、炭素繊維供給量を年率20%で生産増加させる必要がある。

※自動車分野での需要量

国内年間生産台数700万台（普通車+小型車 参考：JAMA統計）に対して、年率0.5~1.5%でCFRP適用車が普及（参考：次世代自動車戦略2010）した場合、及び1台あたり0.1トンの炭素繊維の使用（参考：炭素繊維協会モデル）を想定。



	生産性 (t/炉・年)	製造1tあたり (MJ/kg)	CO ₂ 排出量 (kg/kg)
現状「通産方式」	2千	286	22
新規「ポスト通産方式」	2万以上	140以下	11以下
削減率(%)	—	50	50

【2030年】
年間需要量12万トンの炭素繊維を「通産方式」で生産した場合との比較
削減効果

CO₂削減量 132万トン/年

原油換算量 46万KL/年

革新的製造技術の確立により、CO₂排出量・製造エネルギーは半減する

図 4-1 革新炭素繊維が与える産業的なインパクト

4－2 波及効果

【標準的評価項目】

○波及効果は妥当か。

- ・ 成果に基づいた波及効果を生じたか、期待できるか。
- ・ 当初想定していなかった波及効果を生じたか、期待できるか。

炭素繊維は、道路や建築物の補強材料などとしても使用されはじめている。本技術開発により、自動車等の移動体用の構造材料として炭素繊維が大量導入されれば、必然的にその価格も低下し、それによって、これまでコスト面で導入が見送られていた補強材料としての市場への拡大が期待される。

電気自動車の軽量化のために CFRP が使用されはじめているが、本技術開発により、炭素繊維のコストが低下するとともに、製造時におけるエネルギー消費量を低下させることができれば、トータルでの省エネルギー効果が増し、燃料電池車や電気自動車等の他の低環境負荷自動車の普及にも貢献することが期待される。水素、天然ガス等の燃料タンクや風力発電ブレードなど、エネルギー分野での利用拡大によって、炭素繊維の市場拡大は様々な省エネルギー効果を生み出すものと期待される

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

5-1 研究開発計画

【標準的評価項目】

○研究開発計画は適切かつ妥当か。

- ・事業の目標を達成するために本計画は適切であったか(想定された課題への対応の妥当性)
- ・採択スケジュール等は妥当であったか。
- ・選別過程は適切であったか。
- ・採択された実施者は妥当であったか。

本開発は、平成 23 年 7 月から経済産業省から委託事業として実施しており、炭素繊維の製造エネルギーと CO2 排出量の半減および生産性の大幅向上（約 10 倍の生産量）を両立させた革新炭素繊維製造プロセスに係る技術開発を目的としている。

実施のための全体スケジュールを表 5-1 に示す。当初から H23～H27 年度の 5 年間で基盤技術の開発を達成する基礎研究段階に位置付けられ、その後、実用化のため企業と連携して開発をすすめる計画としている。

H23 年度から H25 年度までは、基本的技術についての検証と中間目標の達成を推進した。H26 年度から H27 年度までは開発最終段階であり、新規前駆体の合成方法の最適化、および炭化技術の改良や確立に向けて開発を進める予定である。

表 5-1. 研究開発計画

事業の目標	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度
革新炭素繊維基盤技術開発							
(a) 新規炭素繊維前駆体化合物の開発		候補前駆体の絞り込み・合成方法検討		新規前駆体改良・合成方法最適化		異形状炭素繊維の開発	
(b) 炭化構造形成メカニズムの解明		炭化・表面処理基盤技術開発	繊維構造と機械特性との相関検討、解明	炭化技術・表面処理技術の改良、確立		新炭素繊維の新機能の開発	
(c) 炭素繊維の構造・物性評価等		素案作成	規格原案作成、データ収集	試験方法の検討・改良			

5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

【標準的評価項目】

○研究開発実施者の実施体制・運営は適切かつ妥当か。

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか、いたか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか、いたか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な、実施者間の連携／競争が十分に行われる体制となっているか、いたか。
- ・成果の利用主体に対して、成果を普及し関与を求める取組を積極的に実施しているか、いたか。

本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、東京大学が経済産業省からの委託を受け、東京大学・低炭素工学イノベーション拠点において実施している。また、再委託先として産総研が参加している。実施体制図を図 5-1 に示す。

本事業は、企業から出向した研究員が東京大学において、研究統括者（東京大学・影山和郎）、プロジェクトリーダー（産総研・羽鳥浩章）のもと、集中研方式により、7年間（H23～H29 年度）の予定で技術開発を進めている。参加企業としては、東レ(株)、帝人(株)（東邦テナックス(株)）、三菱レイヨン(株)の炭素繊維メーカー3社（世界の70%以上の生産量を占める）が参加している。

表 5-2 に、事業の進捗管理を行うための組織、会議等を示す。研究開発の技術進捗の管理については、外部からの専門家および研究員が参加して経済産業省、再委託先企業等を交え、東工大安田栄一名誉教授を委員長として、推進委員会を年2回開催し、委託事業実施での問題や課題を調整し、適切かつ妥当な運営を進めている。また、参画研究員全員が集まる全体会議ならびに3つの要素技術テーマ毎の個別会議を月1回ずつ開催することによって、より詳細な研究進捗管理を実施している。

本事業の特色としては、成果の利用主体に対して、東大・産総研と企業3社において成果の取り扱いについて協定を結び、技術の実用化に向けて開発技術を普及する取り組みを積極的に実施している点が挙げられる。

図 5－1．研究開発実施体制図

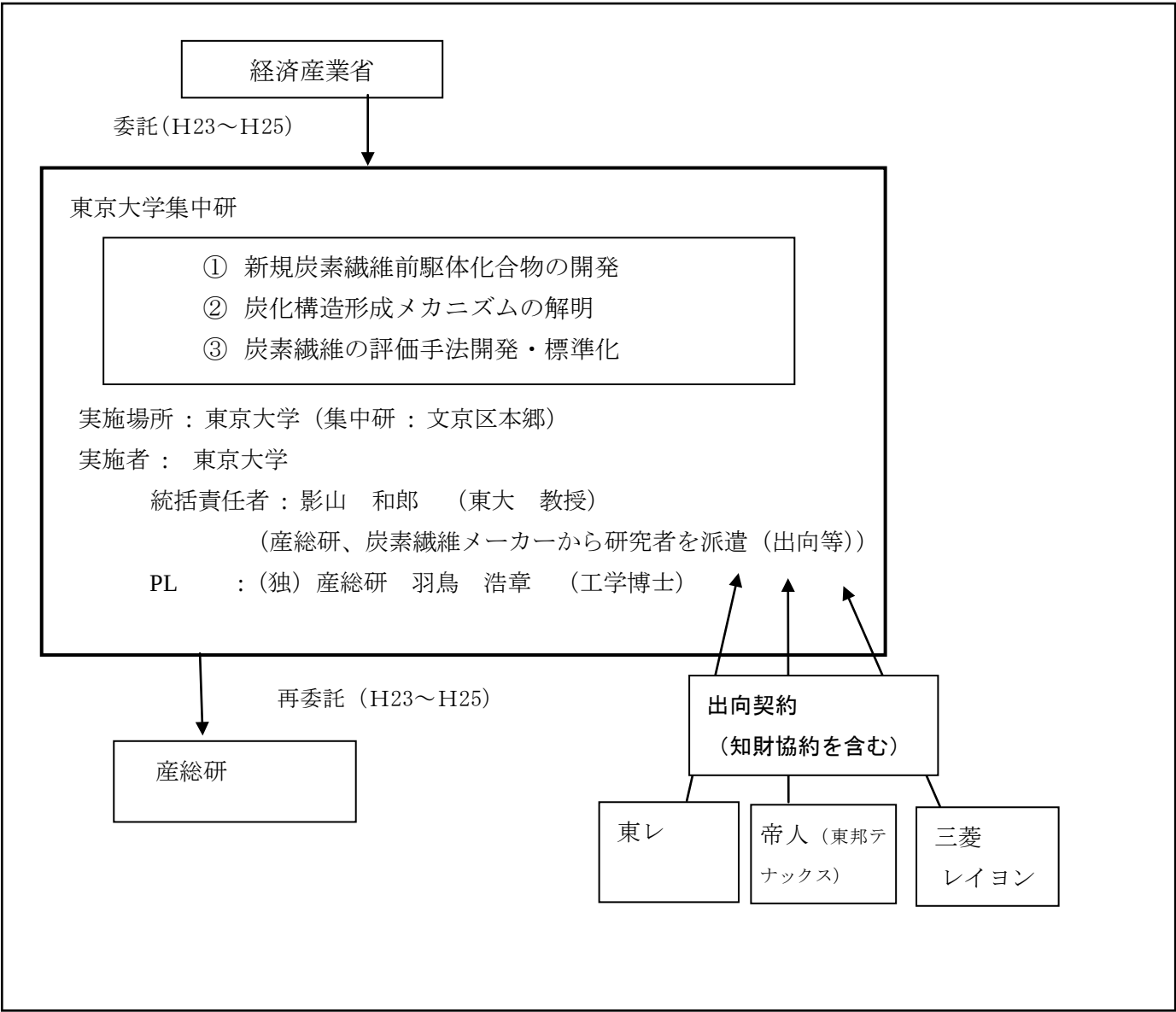


表 5-2 事業の進捗管理

会議の名称	主旨	頻度	出席対象者
推進委員会	研究の進め方、進捗を確認して、情報を共有すること	6 ヶ月に 1 回	経済産業省関係者、出向研究員、産総研研究員、企業、大学関係者等
全体会議	推進委員会での討議での結果を踏まえて、研究の方向性を検討し月次修正しての進捗管理	月 1 回	出向研究員、産総研研究員、大学研究員
個別チーム研究会	3 テーマ毎にチームを形成し、その研究会ごとに、研究の進捗を確認し、個別で発生する課題の検討、対策の指示および進捗管理を実施	月 1 回	出向研究員、大学研究員
発明審査委員会	発明案件の審議、持分等を決定、および特許化（出願）の方針を検討。	都度実施	出向研究員、企業知財部、企業研究員
知財 WG	プロジェクト全体の知財協定、成果の使用、特許化方針に関する取り決めに協議	2 か月に一回	参加企業知財部、産総研知財、プロジェクト知財担当
参加企業連絡会	プロジェクトに参加している企業 3 社が開発全体に係る方針を協議	3 か月に 1 回	参加企業代表者

5-3 資金配分

○資金配分は妥当か。

- ・ 資金の過不足はなかったか。
- ・ 資金の内部配分は妥当か。

本技術開発は、当初、平成23年度から平成27年度までの5年間の委託事業である。平成23年度から平成25年度までの技術開発資金配分表を表5-3に示す。資金配分については各個別要素技術開発を遂行するのに必要な資金をそれぞれ配分している。平成23、24年度の研究開発の実施において、予算の過不足はない。

表 5-3 テーマ毎の予算の配分実績

単位：百万円

() 内は人数

研究開発項目	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度	計
1) 新規炭素繊維前駆体化合物の開発	131 (5)	334 (7)	367 (8)			832 (20)
2) 炭化構造形成メカニズムの解明	88 (3)	266 (6)	360 (7)			714 (16)
3) 炭素繊維の評価手法開発・標準化	30 (3)	150 (3)	191 (8)			371 (14)
合 計	249 (11)	750 (16)	918 (23)			1,917 (50)

5-4 費用対効果

【標準的評価項目】

○費用対効果等は妥当か。

- ・投入された資源量に見合った効果が生じたか、期待できるか。
- ・必要な効果がより少ない資源量で得られるものが他にないか。

本技術開発に投入される費用は、7年間でおよそ50億円を予定している。一方、炭素繊維の2012年度世界生産量はおよそ4万トンであり、年間2000億円の売上高（複合材料として）をもつ。本技術開発の成功により炭素繊維の生産性が10倍に向上し、世界の自動車用途等での炭素繊維の市場が2030年までに年間50万トンとなった際には、25,000億円（2000億円×50万t／4万t）の市場が形成されると期待される。本技術により、現在の日本メーカーの市場占有率が維持され、その費用対効果は極めて高い。

5-5 変化への対応

【標準的評価項目】

○変化への対応は妥当か。

- ・社会経済情勢等周囲の状況変化に柔軟に対応しているか（新たな課題への対応の妥当性）。
- ・代替手段との比較を適切に行ったか。

当初5年間のプロジェクトとして発足したが、本研究開発の川下の技術開発プロジェクトである革新的新構造材料技術開発の発足に伴い、7年間のプロジェクトに変更された。新たなプロジェクトと連携しながらも、一方で、喫緊の課題である炭素繊維の生産性向上という課題に答えるべく、当初から5年間の研究計画は堅持し、革新炭素繊維の実用化に向けた取り組みを減速することなく進めている。