

革新炭素繊維基盤技術開発評価中間報告書 (案)

平成26年3月
産業構造審議会産業技術環境分科会
研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

はじめに

研究開発の評価は、研究開発活動の効率化・活性化、優れた成果の獲得や社会・経済への還元等を図るとともに、国民に対して説明責任を果たすために、極めて重要な活動であり、このため、経済産業省では、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成24年12月6日、内閣総理大臣決定）等に沿った適切な評価を実施すべく「経済産業省技術評価指針」（平成21年3月31日改正）を定め、これに基づいて研究開発の評価を実施している。

経済産業省において実施している革新炭素繊維基盤技術開発は、我が国の炭素繊維の国際優位性を維持し、かつ、国内における炭素繊維の利用産業の競争力強化を図っていくため、環境負荷が少なく、かつ、生産性が大きく向上する新たな炭素繊維製造プロセスの基盤技術を開発するため、平成23年度より実施しているものである。

今回の評価は、この革新炭素繊維基盤技術開発の中間評価であり、実際の評価に際しては、省外の有識者からなる革新炭素繊維基盤技術開発中間評価検討会（座長：久保 司郎 摂南大学理工学部教授）を開催した。

今般、当該検討会における検討結果が評価報告書の原案として産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（座長：渡部 俊也 東京大学政策ビジョン研究センター教授）に付議され、内容を審議し、了承された。

本書は、これらの評価結果を取りまとめたものである。

平成26年3月

産業構造審議会産業技術環境分科会

研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ

委 員 名 簿

座長	渡部 俊也	東京大学政策ビジョン研究センター教授
	大島 まり	東京大学大学院情報学環教授 東京大学生産技術研究所教授
	太田 健一郎	横浜国立大学工学研究院グリーン水素研究センター長 ・特任教授
	菊池 純一	青山学院大学法学部長・大学院法学研究科長
	小林 直人	早稲田大学研究戦略センター教授
	鈴木 潤	政策研究大学院大学教授
	津川 若子	東京農工大学大学院工学研究院准教授
	森 俊介	東京理科大学理工学研究科長 東京理科大学理工学部経営工学科教授
	吉本 陽子	三菱UFJリサーチ&コンサルティング株式会社 経済・社会政策部主席研究員

(委員長除き、五十音順)

事務局：経済産業省産業技術環境局技術評価室

革新炭素繊維基盤技術開発中間評価検討会
委員名簿

座長 久保 司郎 摂南大学 理工学部機械工学科 教授／大阪大学 名誉教授／
(一社) 日本機械学会 筆頭副会長

大松沢 明宏 日本化学繊維協会 技術グループ 主席部員

永尾 陽典 神奈川工科大学大学院 工学研究科 教授

林 直義 株式会社本田技術研究所 社友
元 (一財) 日本自動車研究所 理事

丸山 正明 技術ジャーナリスト

(敬称略、五十音順)

事務局：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

革新炭素繊維基盤技術開発の評価に係る省内関係者

【中間評価時】

(平成25年度)

製造産業局 繊維課長 片岡 進 (事業担当課長)

産業技術環境局 研究開発課長 渡邊 昇治 (事業担当課長)

産業技術環境局 産業技術政策課 技術評価室長 飯村 亜紀子

【事前評価時】 (事業初年度予算要求時)

製造産業局 繊維課長 富吉 賢一 (事業担当課長)

革新炭素繊維基盤技術開発中間評価

審 議 経 過

○第1回中間評価検討会（平成26年1月31日）

- ・評価の方法等について
- ・プロジェクトの概要について
- ・評価の進め方について

○第2回中間評価検討会（平成26年2月17日）

- ・評価報告書(案)について

○産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ（平成26年3月12日）

- ・評価報告書(案)について

目 次

はじめに

産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ 委員名簿

革新炭素繊維基盤技術開発中間評価検討会 委員名簿

革新炭素繊維基盤技術開発の評価に係る省内関係者

革新炭素繊維基盤技術開発中間評価 審議経過

	ページ
中間評価報告書概要	i
第1章 評価の実施方法	
1. 評価目的	2
2. 評価者	2
3. 評価対象	3
4. 評価方法	3
5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準	3
第2章 プロジェクトの概要	
1. 事業の目的・政策的位置付け	7
2. 研究開発等の目標	1 3
3. 成果、目標の達成度	1 6
4. 事業化、波及効果について	3 1
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等	3 4
第3章 評価	
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	4 1
2. 研究開発等の目標の妥当性	4 4
3. 成果、目標の達成度の妥当性	4 6
4. 事業化、波及効果についての妥当性	4 8
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	5 0
6. 総合評価	5 2
7. 今後の研究開発の方向等に関する提言	5 5
第4章 評点法による評点結果	5 8
参考資料	
参考資料1 経済産業省技術評価指針	
参考資料2 経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準	
参考資料3 革新炭素繊維基盤技術開発事前評価報告書（概要版）	

中間評価報告書概要

中間評価報告書概要

プロジェクト名	革新炭素繊維基盤技術開発			
上位施策名				
事業担当課	製造産業局 繊維課 産業技術環境局 研究開発課			
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 軽量・高強度の特徴を持つ炭素繊維は、自動車等の輸送機器の材料として利用することにより大幅な燃費向上が可能となる等、低炭素社会の実現に貢献できる画期的な素材であり、今後の大幅な需要拡大が期待されている。しかしながら、現在の炭素繊維の製造プロセスでは、消費エネルギー及びCO2 排出量が大きく、生産性の向上も困難であることが課題となっている。 本事業は、我が国の炭素繊維の国際優位性を維持し、かつ、国内における炭素繊維の利用産業の競争力強化を図っていくため、環境負荷が少なく、かつ、生産性が大きく向上する新たな炭素繊維製造プロセスの基盤技術の研究開発を実施する。				
予算額等（委託）			（単位：千円）	
開始年度	終了年度	中間評価時期	事業実施主体	
平成23年度	平成29年度	平成25年度	国立大学法人東京大学	
H23FY 予算額	H24FY 予算額	H25FY 予算額	総予算額 (H23FY-H25FY)	総執行額 (H23FY-H24FY)
249,854	750,000	917,814	1917,668	999,854

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

個別要素技術	目標・指標		成果	達成度
	最終時点	中間時点		
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を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率235GPa、破断伸度1.5%とする。 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。	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	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、工業炉で炭素化した製品と同等の単糸引張特性（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	達成

		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。	いては、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。	
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。	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、試験方法を確立し、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た。	達成
(2) 目標及び計画の変更の有無 無				

＜共通指標＞

論文数	特許等件数 (出願を含む)
26	9

評価概要

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

炭素繊維技術は、環境エネルギー技術の中の重要な課題として取り上げられている革新的構造材料の中でも極めて重要な課題である。また、国際的優位性を持ち世界をリードする日本の炭素繊維産業の競争力を維持・強化するために極めて重要かつ緊急性の高い研究テーマである。本研究開発事業は、難易度の高い基盤技術開発であり官民が一体となって取り組むべき事業である。

本研究開発事業は、新たな繊維製造法に関するプログラムであり、基礎データを蓄積しつつ、それぞれの目的にあった新たな製造法の可能性等を示せる幅広い成果を期待する。また、目標値の達成のみならず、企業単体ではできない新技術に挑戦する過程で得られた知見がその次のプログラムで活かされるよう、可能な範囲で有益となる内容を成果報告とすべきである。

2. 研究開発等の目標の妥当性

要素技術（新規炭素繊維前駆体化合物の開発、炭化構造形成メカニズムの解明）について数値目標が具体的に示されており、中間段階としての目標値と達成水準の設定根拠は概ね妥当である。また、標準化が難しい評価試験方法の開発目標もあり妥当なものである。

次世代炭素繊維として、実現可能性の高い仕様設定を目標値に定め、中間評価時点でかなり達成していると評価できる。さらに次世代の炭素繊維の世界標準を定めるために、各種試験法を提案し、そのISOなどによる世界標準の準備を着々と進めている点はユーザー側から見ても適切であり、高く評価できる。

日本企業が世界の主要な生産・供給プレーヤーになっているPAN系炭素繊維を高機能化・低コスト化する次世代版炭素繊維の開発シーズを大学と主要企業が産学連携によって確立し、その生産を事業化することは、日本の炭素繊維の製造業をさらに活性化し、その炭素繊維を利用するユーザー企業の部材・製品の競争力を高めることになる。

なお、開発成果をいかに維持するか、知的財産などの検討を行うとともに、最終評価時点までに議論を重ねることが必要である。

また、素材と反応を伴う製造工程が大幅に変わるので、有害物質排出の可能性について知見を得るようにはしていただきたい。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

耐炎化工程を要しない新たな前駆体が複数見出され、また目標を上回る引張弾性率および破断伸度が得られる等、全体として中間目標を上回る成果が得られており、最終目標を十分達成できるポジションに到達できているものと評価する。また、異形状断面を有する炭素繊維についても高いポテンシャルがある。特許出願、成果発表件数からも積極的な活動がうかがえる。評価手法の開発については、研究成

果は高く評価できるレベルであると判断する。

なお、これらの技術は既に他国や他機関で研究されているとの想定の下、遅滞なく権利化を進められる体制も考慮しておく必要がある。また、今後、各要素技術の組合せによる複雑化・大型化により、実験確認の煩雑化・長時間化が予想されるので、綿密な開発計画と効率的なチームワークが期待される。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

関連企業から研究員が外向して本開発事業に協力しており、要素技術ごとに企業と連携してプロセス技術の検討を行っている。また、工業スケールでの実用化に結び付けやすい体制が構築できており、事業化ができるものと期待できる。さらに、炭素繊維の需要分野は自動車等の輸送機器に限らず、環境・エネルギー、土木・建築など極めて多岐にわたり、省エネ（低コスト）な炭素繊維製造技術を確立できれば、需要量は膨大であり、極めて大きな波及効果が期待できる。

実用化への道筋の確立、事業終了後の成果の取扱い、重点的に解決すべき問題の絞込み等を通じ、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。また、製造設備の大型化や量産性の実証以上に繊維特性の向上に注力することが、事業化に果たす役割はより大きいと考えられる。さらに、最終年度までに、研究室レベルでの連続した生産工程でのエンジニアリング技術などの検証を十分に詰めると同時に、技術移転候補の企業にセミプラントレベルの実証設備が必要かどうかヒアリングし、その必要度に応じて、終了時点でのアフタープロジェクトを自主的に実施するのか、国が関与するのかの判断ができる意見を集約する必要がある。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

東京大学での集中研方式による責任ある体制の下、日本の炭素繊維メーカーが参加して、次世代版の要素技術群を確立する態勢ができています。また、本開発事業がスムーズに実施され、目標を上回る成果が得られていることから、本開発事業の計画、事業全体のマネジメント、等が適切であったと判断できる。中間の成果から投入された資金に見合う成果が得られており、プロジェクト期間の変更等の変化にも適切に対応している。論文発表等対外活動も活発に行われており適切な研究開発推進がされていると判断できる。

諸外国の追い上げを考えれば、スピード感をもって効率良く前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。また、全体統括者やPLは企業から参画している研究実施者からの声を適宜吸い上げ、体制や実施方法についての改善を図り、効率的なプログラムの推進を期待する。

6. 総合評価

耐炎化工程を要しない新たな前駆体の合成プロセスが複数見出され、また目標を上回る引張弾性率および破断伸度が得られており、従来にはない体制を組みながら、これまでの間で多くの成果を出していることは高く評価できる。また、中間目標を上回る優れた成果が得られている上、最終目標が達成される道筋もつけられており、これからもさらに推進していくべき開発事業である。

本技術開発事業の政策的意義、社会的・経済的意義は極めて重要であり、炭素繊維に係る技術開発競争は海外においても一層加速していることなどから、官民一体となった体制において、本技術開発事業をより積極的に推進すべきである。

さらに、日本企業が、グローバル市場で活躍するための基盤づくりとして、一連の要素技術を順調に

開発しつつある。また、その次世代の炭素繊維の世界標準をとるための準備を進め、その実現を順調に図りつつある。将来の自動車の進化に重要な超軽量化技術の核となる本プロセスの研究が適切に進められ早期に技術見通しが得られたことは評価できる。

なお、実用化までのステップや事業終了後の成果の取扱いを明確にしておくことが望まれる。

また、1次製品である繊維の単なるコスト競争とならないよう、今後、繊維の性能向上に関する研究開発を行う場合にはエンドユーザーを組み込んだ研究体制で始めることが望ましい。

ヨーロッパや米国では、国家プロジェクトとして競合各社が合同でプロジェクトを進める事に極めて優れており、今後の同種プログラムの必要性はより高まると考えられるため、今回の経験を次のプロジェクトに生かしてほしい。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

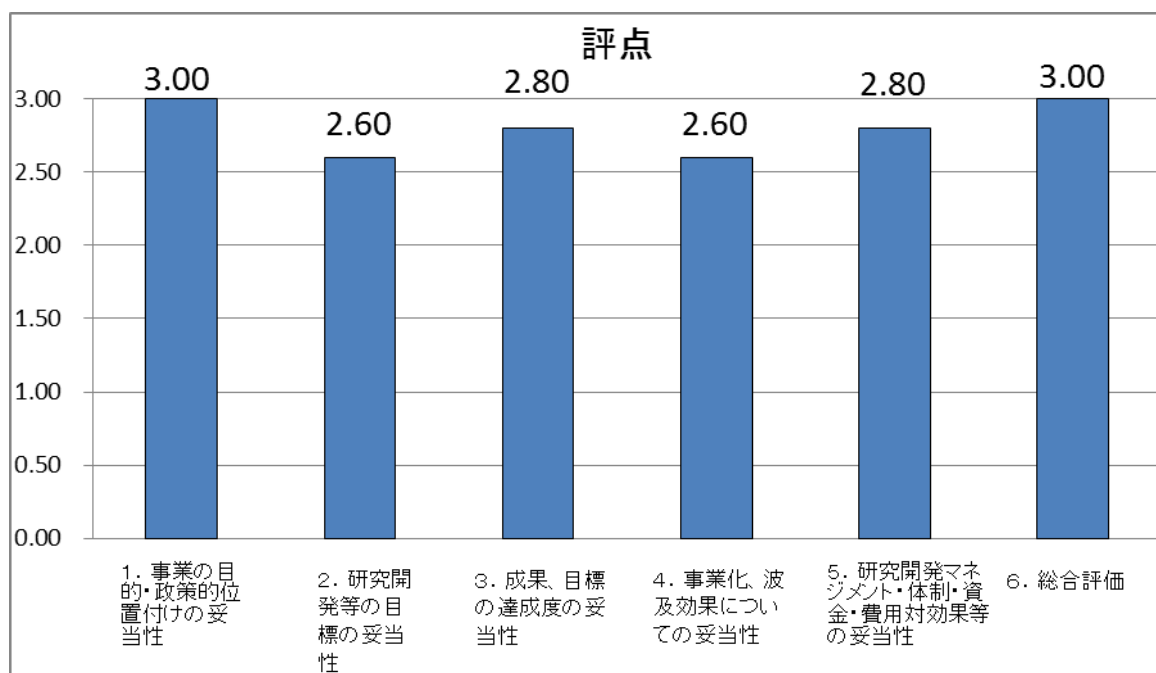
- ・本技術開発のもつポテンシャルは高く、新たな前駆体の合成プロセス、引張弾性率・破断伸度、表面処理技術など、中間目標を上回る優れた成果が得られており、最終目標が達成される道筋も描かれている。また、異形状断面を有する炭素繊維の開発も今後の炭素繊維の利用の拡大に繋がるものである。
- ・本開発事業の実用化を念頭に、常に出口を意識しながら個別課題の優先度を把握し、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。
- ・実用化に向けては、素材製造から製品設計、新素材による自動車製造及び品質、信頼性の確保等の課題もありパイロットラインによる製造技術の蓄積が必要不可欠である。パイロットライン開発研究で本プロセスのポテンシャルを把握し、効率よく幅広い技術や製造ノウハウを蓄積することは、本技術の実用化を加速することのみならず炭素繊維産業の国際競争力を確保してゆくことにも繋がる。今後、パイロットラインによる取組は本技術開発の関係者らによる検討が必要であるが、本技術開発の後期もしくは後継プログラムとして進めることを期待したい。
- ・本プロジェクトから産まれた知的財産のパッケージ化を考えてほしい。また参加している企業の関連特許や参加していない企業・大学の関連特許も含めた把握も必要である。

評点結果

評点法による評点結果

(革新炭素繊維基盤技術開発)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	3.00	3	3	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.60	3	3	2	2	3
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.80	3	3	3	3	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.60	3	3	3	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.80	3	3	3	2	3
6. 総合評価	3.00	3	3	3	3	3



第 1 章 評価の実施方法

第1章 評価の実施方法

本プロジェクト評価は、「経済産業省技術評価指針」(平成21年3月31日改定、以下「評価指針」という。)に基づき、以下のとおり行われた。

1. 評価目的

評価指針においては、評価の基本的考え方として、評価実施する目的として

- (1) より良い政策・施策への反映
- (2) より効率的・効果的な研究開発の実施
- (3) 国民への技術に関する施策・事業等の開示
- (4) 資源の重点的・効率的配分への反映

を定めるとともに、評価の実施にあたっては、

- (1) 透明性の確保
- (2) 中立性の確保
- (3) 継続性の確保
- (4) 実効性の確保

を基本理念としている。

プロジェクト評価とは、評価指針における評価類型の一つとして位置付けられ、プロジェクトそのものについて、同評価指針に基づき、事業の目的・政策的位置付けの妥当性、研究開発等の目標の妥当性、成果、目標の達成度の妥当性、事業化、波及効果についての妥当性、研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性の評価項目について、評価を実施するものである。

その評価結果は、本プロジェクトの実施、運営等の改善や技術開発の効果、効率性の改善、更には予算等の資源配分に反映させることになるものである。

2. 評価者

評価を実施するにあたり、評価指針に定められた「評価を行う場合には、被評価者に直接利害を有しない中立的な者である外部評価者の導入等により、中立性の確保に努めること」との規定に基づき、外部の有識者・専門家で構成する検討会を設置し、評価を行うこととした。

これに基づき、評価検討会を設置し、プロジェクトの目的や研究内容に即

した専門家や経済・社会ニーズについて指摘できる有識者等から評価検討会委員名簿にある5名が選任された。

なお、本評価検討会の事務局については、指針に基づき経済産業省製造産業局繊維課及び産業技術環境局研究開発課が担当した。

3. 評価対象

革新炭素繊維基盤技術開発（実施期間：平成23年度から実施）を評価対象として、研究開発実施者（国立大学法人東京大学）から提出されたプロジェクトの内容・成果等に関する資料及び説明に基づき評価した。

4. 評価方法

第1回評価検討会においては、研究開発実施者からの資料提供、説明及び質疑応答、並びに委員による意見交換が行われた。

第2回評価検討会においては、それらを踏まえて「プロジェクト評価における標準的評価項目・評価基準」、今後の研究開発の方向等に関する提言等及び要素技術について評価を実施し、併せて4段階評点法による評価を行い、評価報告書(案)を審議、確定した。

また、評価の透明性の確保の観点から、知的財産保護、個人情報で支障が生じると認められる場合等を除き、評価検討会を公開として実施した。

5. プロジェクト評価における標準的な評価項目・評価基準

評価検討会においては、経済産業省産業技術環境局技術評価室において平成25年4月に策定した「経済産業省技術評価指針に基づく標準的評価項目・評価基準について」のプロジェクト評価（中間・事後評価）に沿った評価項目・評価基準とした。

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

（1）事業目的は妥当で、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）
- ・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）

（2）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。

2. 研究開発等の目標の妥当性

- (1) 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。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

- (1) 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。
- (2) 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。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

- (1) 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。
- (2) 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。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。
- (5) 変化への対応は妥当か。
- ・社会経済情勢等周辺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。

6. 総合評価

第2章 プロジェクトの概要

第2章 プロジェクトの概要

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。

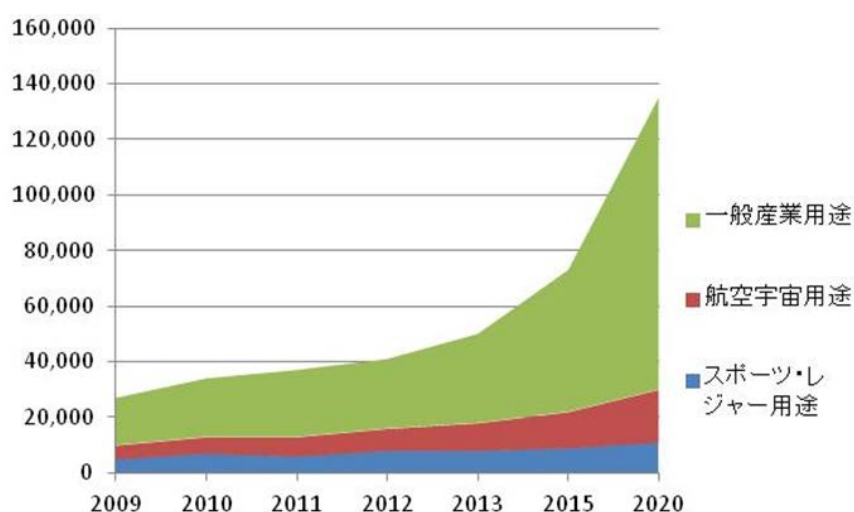


図 1-1 用途別需要予測

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）

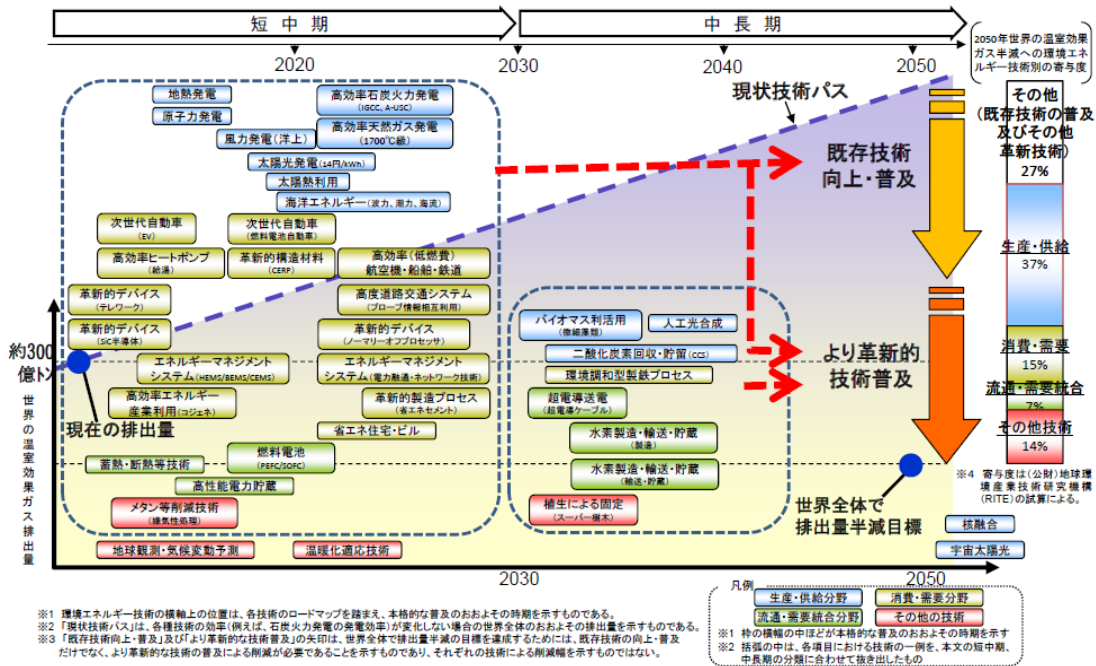
平成19年5月に策定された「繊維産業の展望と課題」（以下「繊維ビジョン」という。）にあるように、我が国の繊維産業は世界に誇る高い技術力を有しており、特に省エネや環境保全などの分野での貢献が期待されている。特に、軽くて強いという特性を有する炭素繊維はこれらの社会的ニーズに大いに応えることができる繊維素材として位置づけている。我が国繊維産業の国際競争力維持・強化や省エネルギー・二酸化炭素排出量削減などエネルギー・環境問題への対応を積極的に図るため、繊維分野における環境関連技術や環境問題に貢献できる素材技術などの研究開発を進めるとともに、繊維製造工程における省資源・省エネルギーを推進することが重要である。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）。

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

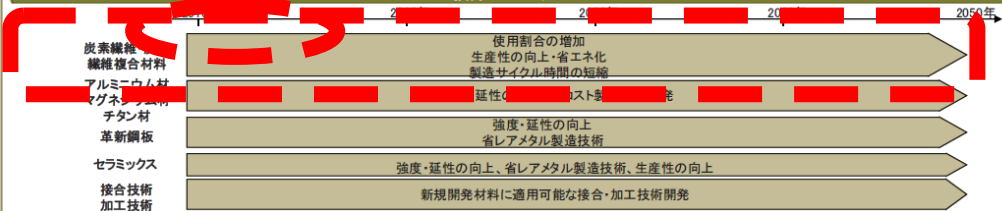
技術の概要

- 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



（※関連技術ロードマップ：14. 航空機・船舶・鉄道（低燃費航空機（低騒音））、16. 航空機・船舶・鉄道（高効率鉄道車両））

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。

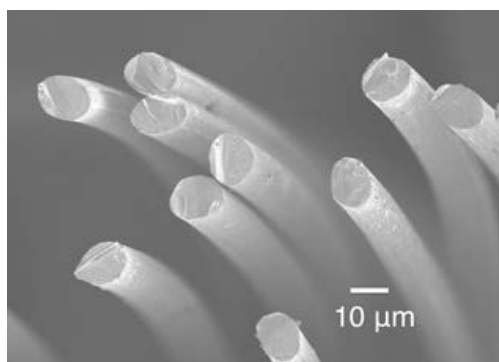


図3-1 前駆体化合物Aから調製された炭素繊維の走査電子顕微鏡写真

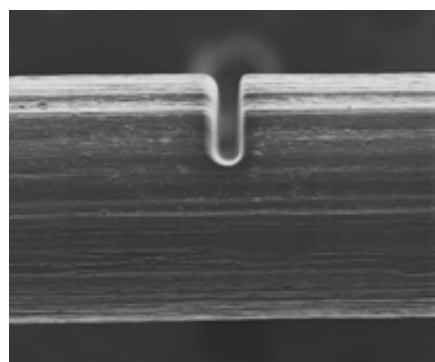


図3-2 到達可能強度を計測するための表面ノッチを導入した新規前駆体からの炭素繊維

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

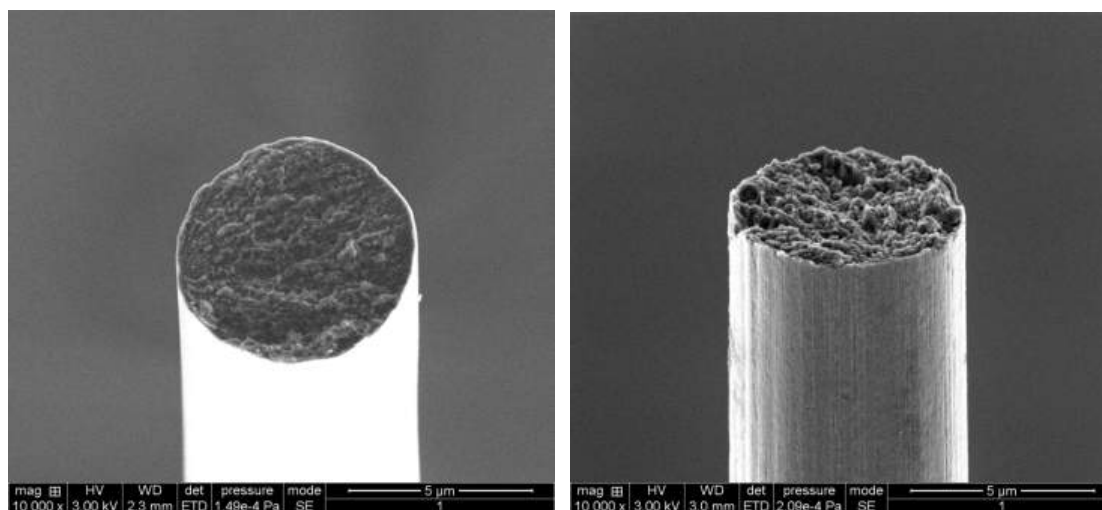


図 3-3 マイクロ波炭素化で得られた炭素繊維の走査型電子顕微鏡写真

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

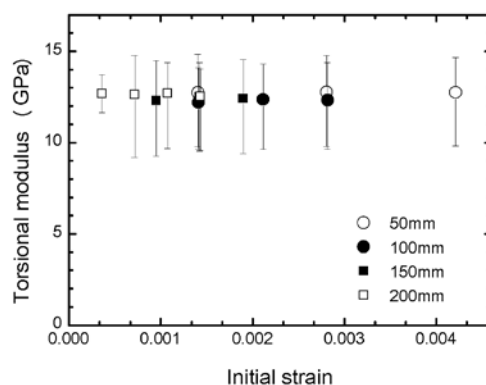


図 3-5 ゲージ長さの異なる単繊維ねじり試験から求められたねじり弾性率の初期歪み依存性

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

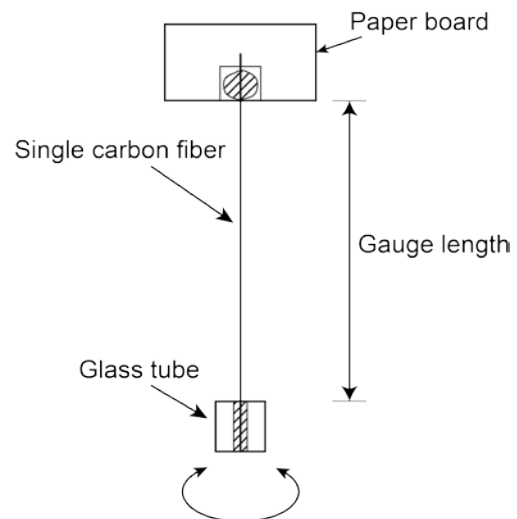


図 3-4 ねじり試験の模式図

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。

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。

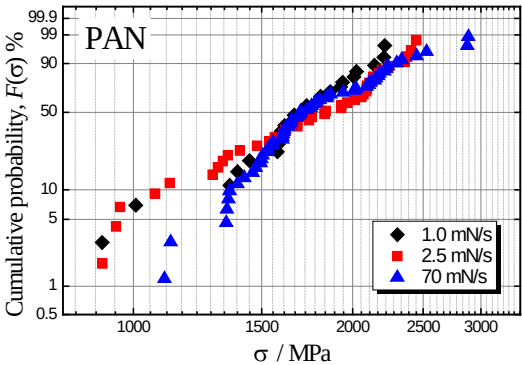


図 3-6 PAN 系繊維の横方向圧壊強さのワイブル分布

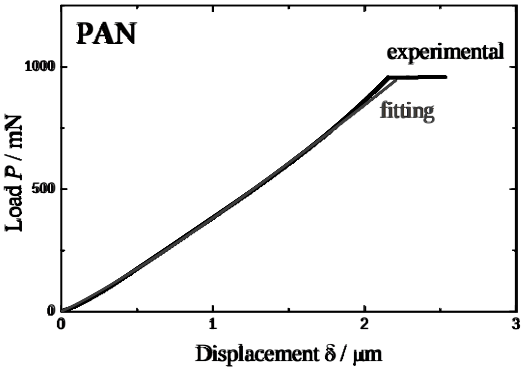


図 3-7 PAN 系繊維の横方向圧縮時の荷重－変位曲線とフィッティング曲線

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 で推挙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。

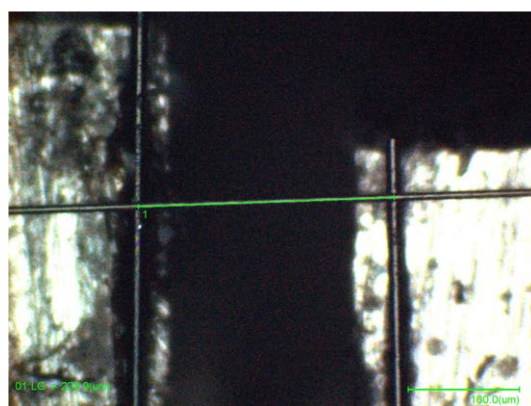


図 3-8 曲げ試験試料台上の PAN 系繊維
(スパン長さ：230 μm)

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。

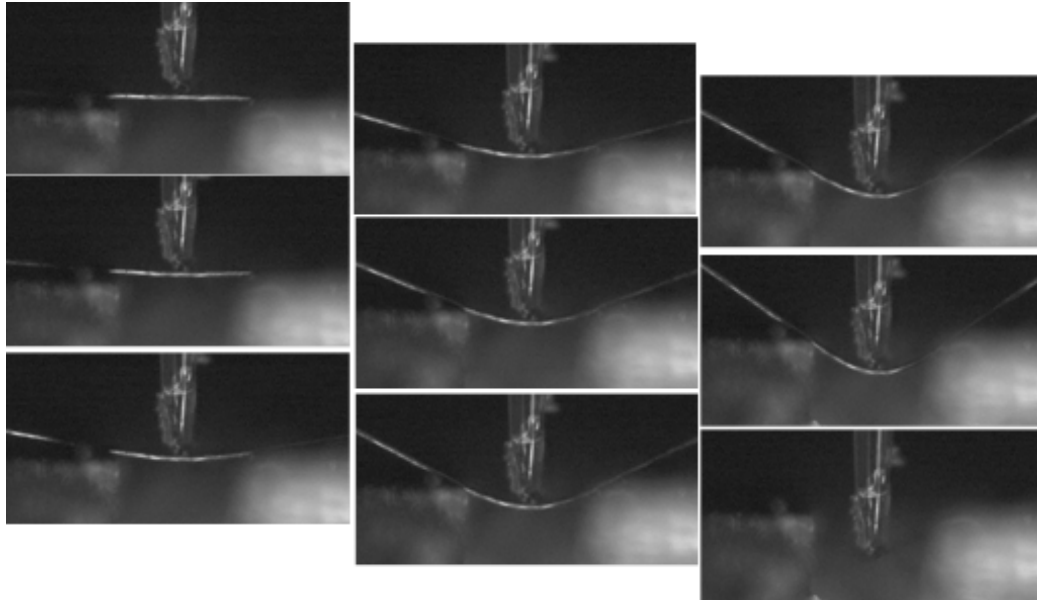


図 3-9 曲げ試験の様子（スパン長さ：230 μm ）

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。

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

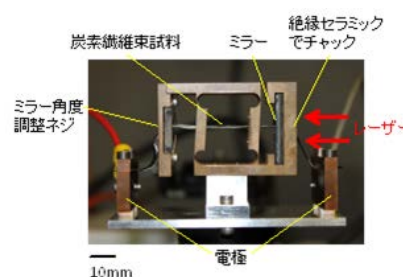


図 3-10 炭素繊維の束に通電加熱できる平行バネ式試料ホルダー

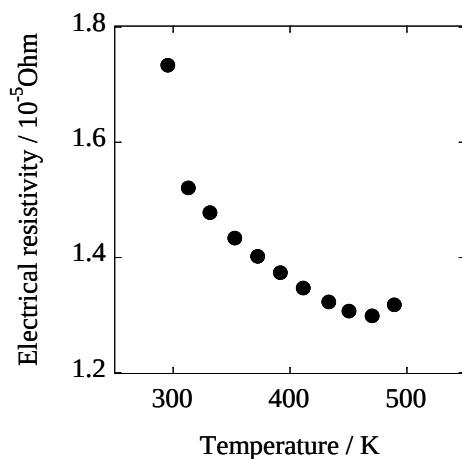


図 3-11 炭素繊維を通電加熱したときの電気抵抗率の温度依存性

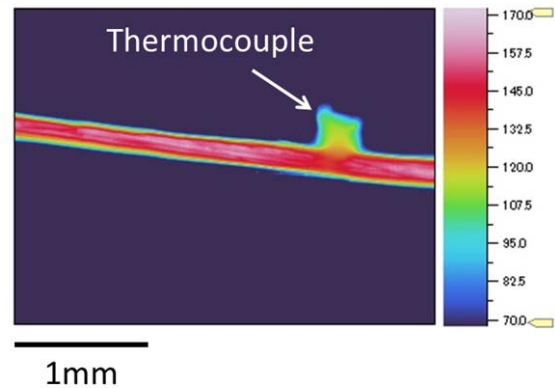


図 3-12 炭素繊維を通電加熱したときの熱画像

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℃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。

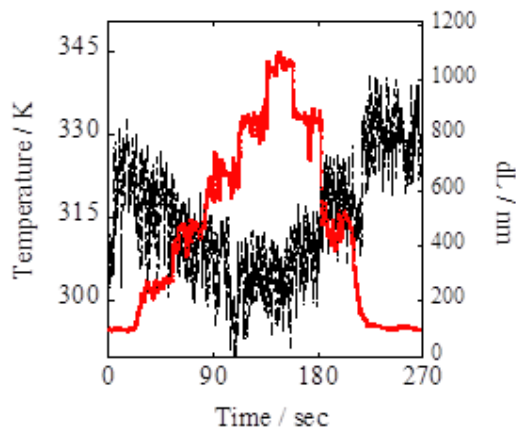


図 3-13 PAN 系炭素繊維を通電加熱したときの温度上昇（赤，左軸）とレーザー干渉計による伸び量（黒，右軸）の計測結果

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）－横方向圧壊試験－」	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）－ねじり試験－」	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）－横方向圧壊試験－」	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。

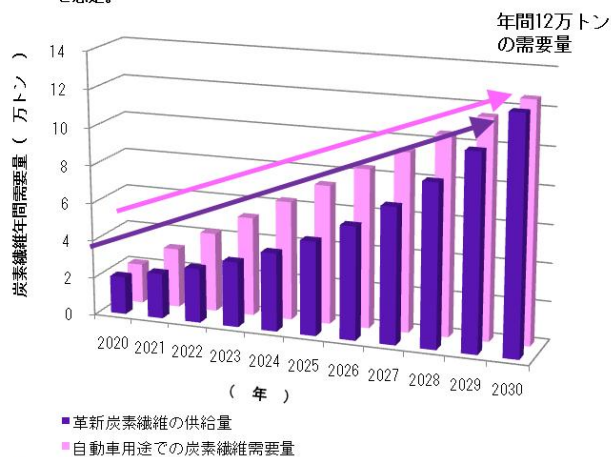
軽量構造材料に対する社会的ニーズとともに、生産性の向上によるコスト削減効果も期待されることから、本技術開発の成果は事業化に直結するものである。また、本提案においては、炭素繊維メーカーが参加し、迅速な事業化への対応に向けてプロセス技術開発も並行して行う実施体制となっており、成果の実用化の見込みは極めて高いものと確信している。

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「進藤方式」	2千	286	22
新規「ポスト進藤方式」	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「進藤方式」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	新規前駆体の開発 ・現行の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特性（引張強度235GPa、破断伸び15%）を有する炭素繊維を製造可能とする新たな製造基盤技術を確立 ・炭化構造形成メカニズム解明による開発成果を用いた、異形状炭素繊維と製造可能な新前駆体の開発		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	最適炭化プロセス確立等 ・炭化構造形成メカニズムの解明 ・マイクロ波等による炭化技術の確立（炭素繊維の特性：引張強度235GPa、破断伸び15%） ・プラズマ等による炭素処理技術の確立（炭素繊維の特性：表面酸素濃度（O/C）0.05～0.40） ・開発した新規前駆体を用いた、異形状炭素繊維製造基盤技術の確立			繊維構造と機械特性との相関検討、解明			新炭素繊維の新機能の開発	
			炭化・表面処理基盤技術開発		炭化技術・表面処理技術の改良、確立			
(c) 炭素繊維の構造・物性評価等	標準化ドラフト作成 ・JIS/ISOに必要データの収集（対象試験：横圧縮試験・曲げ試験・ねじり試験） ・熱膨張率計測の評価手法の確立 ・界面接着特性の評価方法の比較検討		素案作成		規格原案作成、データ収集		試験方法の検討・改良	
			樹脂との界面接着特性評価手法検討		界面接着特性評価手法の改良、とりまとめ			

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

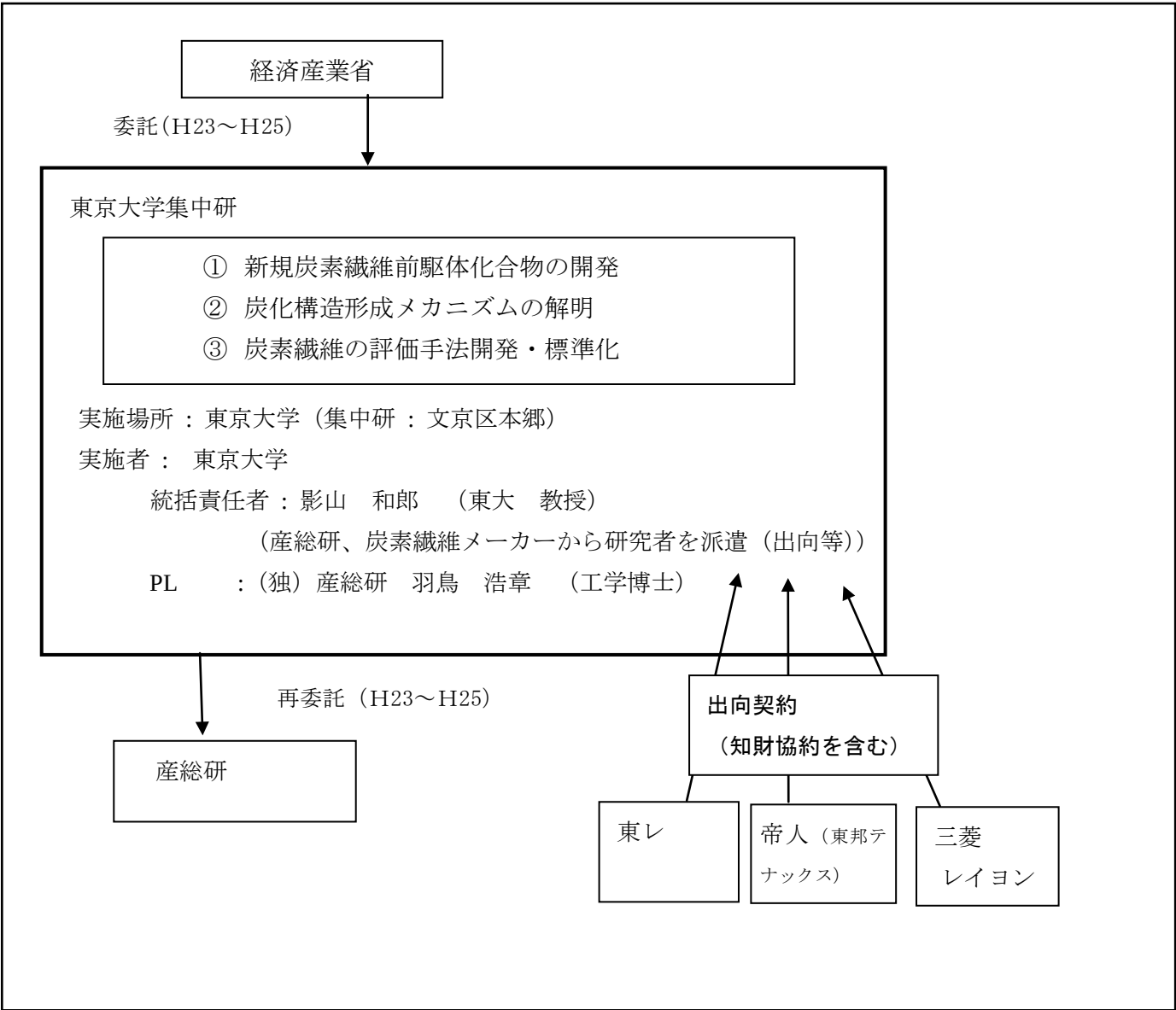


表 5-2 事業の進捗管理

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)
	88 (3)	266 (6)	360 (7)			714 (16)
2) 炭化構造形成メカニズムの解明	30 (3)	150 (3)	191 (8)			371 (14)
3) 炭素繊維の評価手法開発・標準化						
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。

第 3 章 評価

第3章 評価

1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性

炭素繊維技術は、環境エネルギー技術の中の重要な課題として取り上げられている革新的構造材料の中でも極めて重要な課題である。また、国際的優位性を持ち世界をリードする日本の炭素繊維産業の競争力を維持・強化するために極めて重要かつ緊急性の高い研究テーマである。本研究開発事業は、難易度の高い基盤技術開発であり官民が一体となって取り組むべき事業である。

本研究開発事業は、新たな繊維製造法に関するプログラムであり、基礎データを蓄積しつつ、それぞれの目的にあった新たな製造法の可能性等を示せる幅広い成果を期待する。また、目標値の達成のみならず、企業単体ではできない新技術に挑戦する過程で得られた知見がその次のプログラムで活かされるよう、可能な範囲で有益となる内容を成果報告とすべきである。

【肯定的意見】

- ・炭素繊維技術は、環境エネルギー技術の中の重要な課題として取り上げられている革新的構造材料の中でも極めて重要な課題である。本開発事業の目的と方向性は明確であり、本開発事業の達成により、これまでの我が国が培ってきた炭素繊維に関する技術と国際競争力を維持し高めることができる。
- ・我が国の関連技術と国際競争力を高めるには、技術の開発から事業化につなげる萌芽期には国が推進する必要があるものと考えられる。
- ・日本は、炭素繊維の素材技術で世界をリードしているが、欧米に加えて、最近では中国等でも技術開発に重点的に取り組んでおり、急速な追い上げを見せている。日本が優位なポジションを維持し続けるためには、炭素繊維そのものの高性能化や、製造プロセスの効率化等に向けた技術開発が必要である。炭素繊維の技術開発の重要性は、「技術戦略マップ 2010（ファイバー分野）」や「省エネルギー技術戦略 2011」に明確に示されている。技術戦略マップ・導入シナリオの「先端素材の開発／炭素繊維・複合材料分野」では、大きな柱として「製造プロセスの省エネルギー、低コスト化等の研究開発」を位置づけている。本技術開発事業（革新炭素繊維技術開発）は、国際的優位性をもち世界をリードする日本の炭素繊維産業の競争力を維持・強化するために極めて重要かつ海外の追い上げもあって緊急性の高い研究テーマである。その成果は、「石油資源枯渇」、「環境問題への対応」、「安心・安全の向上」に資するものであり、社会的ニーズに合致した技術開発であるといえる。事業の目的や政策的位置付けは極めて重要であり、難度の高い基盤技術開発であることから、官民一体となって取り組むべき技術開発事業である。

- ・炭素繊維の製造エネルギー等を半減するという目的は妥当である。世界を市場とする製品であり遅滞無く進めることが、今後の市場占有率を維持・向上するために最も肝要と考える。
- ・技術的な先進性は充分認められるが、追いつかれ／追い越される事は技術の宿命である。そのためにも、早期に根幹の技術の特許化等で保護する事が重要である。特許化についても研究目標に位置付けており評価できる。
- ・企業の枠を超えて技術開発を行う本事業は、国の指導に拠る以外では実現困難であり、国の事業として適切である。今後は幅広い事業内容を、集中と選択によりメリハリをつけて、技術の確立を加速することが必要と考える。そのためには更なる国の指導力発揮を期待する。一般的に技術の選択は参加企業が複数ある場合は選定が難しく、官の役割の一つであると考え。
- ・廉価・高生産効率の炭素繊維の出現は今後の自動車産業の発展に欠かせない核技術の一つである。又、本技術の波及性・拡大性は高く他の多くの分野で大幅な省エネ/CO₂削減の効果が期待できる本技術の価値は高い、開発を早め国際競争力を維持確保してゆく為にも国の事業として強力推進すべき。
- ・日本企業が製造し販売するPAN系など炭素繊維は、競争力の高い素材としてグローバル市場で優位性を持つと同時に、航空機部材やスポーツ用品などの国内の材料ユーザー企業にとっても、部材・システムなどの差異化を実現するキーマテリアルになっており、材料ユーザー企業の競争力を一層強くすることも狙ったプロジェクトといえる。
- ・また、最近では風車の羽根などや高級自動車の部材などにも炭素繊維は適用されるなど、今後の成長産業の競争力の源泉になる可能性が高いなど、社会的・経済的な意義は高い。
- ・日本の得意とする炭素繊維の国内メーカーに次世代の炭素繊維の技術シーズを開発し技術移転することは、炭素繊維の国内メーカーの事業競争力を高めるために、国がその技術シーズの開発を主導する研究開発プロジェクトの意義は大きいといえる。

【問題点・改善すべき点】

- ・繊維単体での評価とCFRPとしての評価は必ずしも一致しない。このプログラム内でもCFRPとしての評価は行われる計画であるが、その範囲はおのずから制限する事を勧める。
- ・ユーザー側との意見交換や反映が「事前評価」で勧められていたが、この状況が不明。
- ・本プログラムは、新たな繊維製造法に関するプログラムであり、例えば「強度向上」「弾性率向上」「伸び向上」などの、それぞれの目的にあった新たな製造法の可能性

と指針を示せる、幅広い成果を期待する。

- ・製造工程条件により炭素繊維特性の幅広い制御が可能なことと其れに伴い価格が変動するので、他の分野も睨んだ炭素繊維の仕様松・竹・梅などを検討できる基礎データを蓄積・活用できる展開を考えたい。
- ・目標値を達成することは必要であるが、それ以上に、失敗例も含め全てが今後の指針となる貴重な資産である。この観点からこれらの内容を網羅した成果報告（書）とすべきである。
- ・目標を達成した結果のみでは、国の事業成果としては不足である。企業単体ではできない新技術に挑戦する過程で得られた知見が、その次のプログラムで活かされる事を認識すべきである。

2. 研究開発等の目標の妥当性

要素技術（新規炭素繊維前駆体化合物の開発、炭化構造形成メカニズムの解明）について数値目標が具体的に示されており、中間段階としての目標値と達成水準の設定根拠は概ね妥当である。また、標準化が難しい評価試験方法の開発目標もあり妥当なものである。

次世代炭素繊維として、実現可能性の高い仕様設定を目標値に定め、中間評価時点でもかなり達成していると評価できる。さらに次世代の炭素繊維の世界標準を定めるために、各種試験法を提案し、そのISOなどによる世界標準の準備を着々と進めている点はユーザー側から見ても適切であり、高く評価できる。

日本企業が世界の主要な生産・供給プレーヤーになっているPAN系炭素繊維を高機能化・低コスト化する次世代炭素繊維の開発シーズを大学と主要企業が産学連携によって確立し、その生産を事業化することは、日本の炭素繊維の製造業をさらに活性化し、その炭素繊維を利用するユーザー企業の部材・製品の競争力を高めることになる。

なお、開発成果をいかに維持するか、知的財産などの検討を行うとともに、最終評価時点までに議論を重ねることが必要である。

また、素材と反応を伴う製造工程が大幅に変わるので、有害物質排出の可能性について知見を得るようにしていただきたい。

【肯定的意見】

- ・本開発事業の目標の主要なものは、省エネルギーのための、耐炎化を要しない前駆体の合成プロセスを確立することであり、炭素繊維に求められる特性も明確かつ妥当である。
- ・各要素技術について数値目標が具体的に示されており、中間目標として極めて明確かつ適切な目標・指標となっている。設定理由はよく考察されている。
- ・中間段階としての目標値と達成水準の設定根拠は概ね妥当である。次の段階で早期に玉成する技術から、更なる性能向上への研究開発に重点を移す計画は妥当であり、その目標値についても従来材を意識して設定しており、概ね妥当である。
- ・ただし、次なる目標は達成できる見込み値よりも高いところに設定し、チャレンジする事が国の事業としては重要と考える。例えその目標値に未達であった場合でも、その間に得られた知見こそが最も重要な資産である。官民共にこの点を認識し評価すべきである。最終製品のCFRPとしての性能向上が「製造エネルギー」を低減しつつ実現できる目標値を、CFRPの使用目的別に細分化して設定する事を期待する。
- ・そのためには、ユーザーサイドに近い研究開発を行う「国指導プログラム」との連携を密にし、繊維単体の視点のみでなく、ユーザーに近い視点にシフトできる環境と体制の下で、評価項目、規準値および指標を常に見直し続ける事が肝要であり、本プログラムでもそのような位置づけになっていると認識している。

- ・素材(前駆体)及び炭化工程、表面処理工程に対する製品の特性目標が明確である。又、標準化の難しい評価試験法の開発目標もあり、ユーザー側から見ても適切である。
- ・日本企業が世界の主要な生産・供給プレーヤーになっているPANなどの炭素繊維などを高機能化や低コスト化する次世代版炭素繊維の開発シーズを大学と主要企業が産学連携によって確立し、その開発した技術シーズを、日本の炭素繊維メーカーが秘術移転を受けて、その事業化を図ることは日本の産業競争力を一層高める。
- ・現行の炭素繊維を一層競争力の高い新規の炭素繊維にして、その生産を事業化することは、日本国内の炭素繊維の製造業をさらに活性化し、その炭素繊維を利用するユーザー企業の部材・製品の競争力を高めることになる。このため、次世代の炭素繊維として、実現可能性が高い仕様設定を目標値に定め、中間評価時点でかなり達成していると評価できる。さらに、次世代の炭素繊維の世界標準を定めるために、各種試験法を提案し、そのISOなどによる世界標準の準備を着々と進めている点は高く評価できる。

【問題点・改善すべき点】

- ・製造技術に関する知見は数値化し難く、成果としての性能に着目されがちである。そのため、目標設定には苦勞されたと考えるが、製造技術の開発過程で得られた知見や、例えば特許の数なども含めた評価目標の設定について工夫をお願いしたい。
- ・中間評価時点で、特許などの知的財産戦略の大まかな目標があまり提示されていない点が気になる。残りの期間で、今回の開発成果をどう守るのかを熟慮した知的財産戦略の狙いや枠組みを定める必要がある。そして、最終評価時点でその達成度を評価できる指標を定める必要がある。
- ・素材と反応を伴う製造工程が大幅に変わるので、スルーザライフで有害物質排出の可能性について知見を得るようにしたい。
- ・本技術の実用化の鍵となる炭素繊維の価格については、理論コストなど目安になる指標目標を定め位置付けと達成度が把握できるよう進めてください
- ・資料からは、事業目的とプロジェクトの要素技術目標とが直接的に結びつかない。事業目的のエネルギー半減のためには、現状のコスト（エネルギー）分析があり、その構成要素のどの部分を削減、あるいは代替するために、「個別の技術開発プログラム目標」によって事業目的を達成する、とのシナリオを明示する必要がある。公開できる適切な説明資料の作成を要望する。現状の資料では、国の事業としての目標値・指標の設定を説明するには不十分である。

3. 成果、目標の達成度の妥当性

耐炎化工程を要しない新たな前駆体が複数見出され、また目標を上回る引張弾性率および破断伸度が得られる等、全体として中間目標を上回る成果が得られており、最終目標を十分達成できるポジションに到達できているものと評価する。また、異形状断面を有する炭素繊維についても高いポテンシャルがある。特許出願、成果発表件数からも積極的な活動がうかがえる。評価手法の開発については、研究成果は高く評価できるレベルであると判断する。

なお、これらの技術は既に他国や他機関で研究されているとの想定の下、遅滞なく権利化を進められる体制も考慮しておく必要がある。また、今後、各要素技術の組合せによる複雑化・大型化により、実験確認の煩雑化・長時間化が予想されるので、綿密な開発計画と効率的なチームワークが期待される。

【肯定的意見】

- ・省エネルギーに大きく貢献する、耐炎化工程を要しない新たな前駆体が複数見出され、また目標を上回る引張弾性率および破断伸度が得られている。このように、目標を上回る優れた成果が得られている。
- ・異形状断面を有する炭素繊維についても、高いポテンシャルがある。
- ・中間段階で最も重要な要素技術である「前駆体化合物の開発」で、複数の有望な前駆体繊維を見出したことは高く評価できる。「炭化構造形成メカニズム解明」ではマイクロ波による炭化の基盤技術とプラズマを用いた表面処理の基盤技術の開発に成功しており、「評価手法開発」においても、中間目標を達成している。全体として中間目標を上回る成果が得られており、最終目標を十分達成できるポジションに到達できていると評価する。
- ・目標に対する成果はそれぞれ妥当である。新たな前駆体の製造方法と表面処理方法の見通しをこの段階で得たことは評価できる。
- ・2年間で論文発表26件・特許9件は立派であるが、実用新案も含め更なる権利化をすすめてほしい
- ・評価手法についての研究成果は高く評価できるレベルであると判断する。
- ・基本となる各要素技術が実験確認され本プロセスの成立見通しが得られており今後の進展が楽しみです。論文発表、特許出願なども積極的に活動していることが窺える。
- ・全体的に効率良く中間目標を達成している。
- ・開発目標の達成度合いは、基盤となる要素技術群としては中間評価時点では、ほぼ達成しつつある。最終年度までに、炭素繊維のメーカーの経営陣がその達成した要素技術とある程度のエンジニアリング技術に基づいて、次世代版炭素繊維を生産する設備投資をタイミング良く実施する事業投資の経営判断を下す“事業シーズ”にまで、要素技術群（パッケージ）を育成する必要がある。最終年度までに、メーカーの経営陣

が事業投資する意欲を持つ技術成果に仕上げる技術開発ロードマップを描き、それを実行していただきたい。

【問題点・改善すべき点】

- ・本プログラムの主体は、低エネルギーによる繊維製造である。繊維評価手法の確立は必要だが、手法の一般性を保つには、本プログラムの構成組織やメンバーのみでなく、他のメンバーを含めるか、あるいは他のプログラムへの委譲など、評価公正性の観点からも検討されたい
- ・評価手法については、すでに経産省のプログラムとしてCFRPの標準化作業が進んでいる。このプログラムと間接的にでも連携を図ることも検討されたい。特に界面接着特性評価法については今後の重要性は更に大きくなると考えられる。議論を幅広く行ってほしい。
- ・各要素技術の組み合わせによる複雑化、大型化により実験確認が煩雑になり時間が掛かるので後戻りしないよう綿密な開発計画と効率的なチームワークを期待します。
- ・これらの技術はすでに他国や他機関でもすでに研究中との想定で、権利化を遅滞なく進めるべきである。そのために、特許化等の作業を適宜行うとの受身でなく、研究者から積極的に特許事項を吸い上げる機能と役割を果たす、常駐的な組織をこの研究体制に含めておくべきである。
- ・繊維単体の評価は必ずしも最終製品であるCFRPの評価とは一致しない。そこで、繊維表面特性（たとえば接着性など）の評価を行う手法は、熱硬化樹脂系についても比較検討を進めることを希望する。

4. 事業化、波及効果についての妥当性

関連企業から研究員が出向して本開発事業に協力しており、要素技術ごとに企業と連携してプロセス技術の検討を行っている。また、工業スケールでの実用化に結び付けやすい体制が構築できており、事業化ができるものと期待できる。さらに、炭素繊維の需要分野は自動車等の輸送機器に限らず、環境・エネルギー、土木・建築など極めて多岐にわたり、省エネ（低コスト）な炭素繊維製造技術を確立できれば、需要量は膨大であり、極めて大きな波及効果が期待できる。

実用化への道筋の確立、事業終了後の成果の取扱い、重点的に解決すべき問題の絞込み等を通じ、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。また、製造設備の大型化や量産性の実証以上に繊維特性の向上に注力することが、事業化に果たす役割はより大きいと考えられる。さらに、最終年度までに、研究室レベルでの連続した生産工程でのエンジニアリング技術などの検証を十分に詰めると同時に、技術移転候補の企業にセミプラントレベルの実証設備が必要かどうかヒアリングし、その必要度に応じて、終了時点でのアフタープロジェクトを自主的に実施するのか、国が関与するのかの判断ができる意見を集約する必要がある。

【肯定的意見】

- ・関連企業から研究員が出向して本開発事業に協力しており、また要素技術ごとに企業と連携してプロセス技術について検討している。事業化ができるものと期待できる。本開発事業が成功した時の効果は極めて大きい。
- ・本技術開発事業で、新規前駆体から連続して性能目標を達成した炭素繊維製造を実証することができれば事業化への道は大きく開かれることとなる。PAN系炭素繊維メーカー3社が参加しており、工業スケールでの実用化に結び付けやすい体制が構築できている。炭素繊維の需要分野は自動車等の輸送機器に限らず、環境・エネルギー、土木・建築など極めて多岐にわたり、省エネ（低コスト）な炭素繊維製造技術を確立できれば、需要量は膨大であり、極めて大きな波及効果が期待できる。
- ・事業化へ向けてのシナリオは妥当である。事業化への見通しと波及効果も概ね妥当である。ただし、「実用化検討に向けた大型化や量産性の実証」も本プログラムに含まれているが、これをどの範囲まで行うか今後の議論が必要であろう。今の計画ではそれらを2年間で行うようになっているがこの期間では限界がある。「実証」までは求めず、部分構造の試作等を通じて大型化や量産性についての、「問題点の抽出や確立すべき課題の明確化」にとどめる方が、実際のユーザーにはより有益であると考えられる。
- ・現在、自動車の燃費は、大きなセールスポイントとなっており、軽量化による燃費向上も適用が拡大している背景から、提示の需給予測は低位ミニマムレベルで初期需要拡大に対応してゆけることは理解できる。しかし将来的には後述のような新しい自動

車群が主流となると更に需要拡大が見込まれるといった夢を述べる事が出来れば、
評点は C→B(A)のポテンシャルが在ります。

- ・炭素繊維のメーカーの経営陣が、今回の要素技術群（ある程度のエンジニアリング技術を含む）に基づく次世代版を生産する設備をつくる投資をする動機を高めるシナリオ・ストーリーの完成度を、残りの開発期間で高めていただきたい。自動車や風力発電機などのユーザー企業が次世代炭素繊維を渴望しているというユーザーニーズを高めるシナリオ・ストーリーの完成度も高めていただきたい。

【問題点・改善すべき点】

- ・いわゆる実用化への死の谷は浅いものと思われるが、実用化への道筋の確立、重点的に解決すべき問題の絞込みを通じ、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。
- ・実用化までのステップの詳細や、事業終了後の成果の取扱いについて明確にしておくことが望まれる。
- ・エネルギー半減で製造できた繊維でも、ユーザーにとっては資材コスト低減となるのみである。新しい繊維を創成しているともいえる本プログラムでは、強度等を従来材並みとするだけでなく界面特性の向上など、設計・製造現場で求められている強度以外の繊維性能向上も図るべきではないかと考える。これらの特性向上が実現できた場合、コスト低減だけではなく使用範囲・使用量の広がり結びつくため、波及効果は更に大きくなることが見込まれる。従って、製造設備の大型化や量産性の実証も重要であるが、繊維特性の向上に注力することが、事業化に果たす役割はより大きいと考える。今のシナリオでは繊維メーカーの設備導入には有益であるが、肝心のユーザーの購入動機をさらに高めるシナリオとしてはやや弱い。
- ・従来材であっても、電気代や人件費の安い国で製造されれば資材コストは下がり、ユーザーはそちらから購入する事となる。
- ・エネルギー資源の背景から、CNG自動車、電気自動車、燃料電池車又(高齢者向け)コミュニケーションカー等より軽量化ニーズの高い自動車がどんどん出現してくる将来を考慮したラフな需要予測を評価して開発の加速に資したい。
- ・最終年度までに、研究室レベルでの連続した生産工程でのエンジニアリング技術などの検証を十分に詰めていただくと同時に、技術移転候補の企業にセミプラントレベルの実証設備が必要かどうかヒアリングし、その必要度に応じて、終了時点でのアフタープロジェクトを自主的に実施するのか、国が関与するのかの判断ができる意見を集約する必要がある。
- ・実用化の観点からは、むしろ他の「国指導プロジェクト」で実施する方が、一般性を高めるとの認識も必要であろう。

5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性

東京大学での集中研方式による責任ある体制の下、日本の炭素繊維メーカーが参加して、次世代版の要素技術群を確立する態勢ができている。また、本開発事業がスムーズに実施され、目標を上回る成果が得られていることから、本開発事業の計画、事業全体のマネジメント、等が適切であったと判断できる。中間の成果から投入された資金に見合う成果が得られており、プロジェクト期間の変更等の変化にも適切に対応している。論文発表等対外活動も活発に行われており適切な研究開発推進がされていると判断できる。

諸外国の追い上げを考えれば、スピード感をもって効率良く前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。また、全体統括者やPLは企業から参画している研究実施者からの声を適宜吸い上げ、体制や実施方法についての改善を図り、効率的なプログラムの推進を期待する。

【肯定的意見】

- ・日本企業が世界的に競争力を持つ炭素繊維の競争力を一層強くするために、研究開発目標・仕様や事業目標は適切に考えられている。また、東京大学に集中研を設け、日本の炭素繊維メーカーが参加して、次世代版の要素技術群を確立する態勢ができている。また、その世界標準化を図る準備を進めている。
- ・本開発事業がスムーズに実施され、目標を上回る成果が得られていることからわかるように、本開発事業の計画、ならびに担当者は、適切であったと判断できる。投入された資金に見合う成果が得られているものと判断する。
- ・集中研方式による責任ある体制の下、目標を絞り込み、重点化して対応していることは高く評価できる。事業全体のマネジメントも極めて適切に行われている。資金配分は適切、費用対効果も中間の成果から大きく期待できる。プロジェクト期間の変更等の変化にも適切に対応している。
- ・研究開発計画としては順当であり、実施者も主要繊維メーカーが全て参画する画期的な体制と認められる。体制、進捗管理、成果取扱いについての概要説明からは、良く計画されていると判断できる。
- ・本プログラムに関しては、運用体制や競合会社で作ったチームによる課題や対応への提案など、技術面以外の成果について公表することも国プロとしての重要な役割と考える。
- ・費用対効果についての試算は理解できるが、このような計算は最良と最悪の両方の試算が好ましい。少なくとも、企業内の説明ではその両方を準備する事が通常と考える。
- ・資金配分の妥当性については判断基準を持たないが、実施者が過不足は無いとの判定であるならば、このまま計画を進めることが妥当と考える。

- ・今回、かなり短期間に技術見通しを得ている。又、論文発表等対外活動も活発に行われており適切な研究開発推進がされていると判断できる。

【問題点・改善すべき点】

- ・諸外国の追い上げを考えれば、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。
- ・資金配分は、各研究開発項目をもう一段掘り下げて、詳細（主要研究項目毎）に示されることが望まれる。
- ・運用体制や実施状況に対する問題意識を一番有しているのは、参画している研究実施者自身である。全体統括者やPLは、これらの声を適宜吸い上げ、体制や実施方法についての改善を図り、効率的にプログラムを推進する事が重要な役割の一つであろう。特に競合メーカーで構成する開発チームでは、リーダーにとって重要な要素であり、前向きに対処されている事を期待する。
- ・運用・運営については、外部の専門業者（団体）などに評価・提言してもらう事も一案であろう。
- ・プロセスとしての見通しが或る程度詳しく把握出来たら、炭素繊維仕様の松竹梅を考え、落とし所を上手にみきわめて効率の良い研究推進を期待します。
- ・競合メーカーで構成される体制の役割分担や情報の共有化についての詳細は不明である。事前評価でも重要なポイントと指摘されており、今後の範となる体制でもあるところから、得られた情報の共有化についての取り決めや、この開発体制への評価・改善点などはプログラム終了時には報告されるものとして期待する。

6. 総合評価

耐炎化工程を要しない新たな前駆体の合成プロセスが複数見出され、また目標を上回る引張弾性率および破断伸度が得られており、従来にない体制を組みながら、これまで間で多くの成果を出していることは高く評価できる。また、中間目標を上回る優れた成果が得られている上、最終目標が達成される道筋もつけられており、これからもさらに推進していくべき開発事業である。

本技術開発事業の政策的意義、社会的・経済的意義は極めて重要であり、炭素繊維に係る技術開発競争は海外においても一層加速していることなどから、官民一体となった体制において、本技術開発事業をより積極的に推進すべきである。

さらに、日本企業が、グローバル市場で活躍するための基盤づくりとして、一連の要素技術を順調に開発しつつある。また、その次世代の炭素繊維の世界標準をとるための準備を進め、その実現を順調に図りつつある。将来の自動車の進化に重要な超軽量化技術の核となる本プロセスの研究が適切に進められ早期に技術見通しが得られたことは評価できる。

なお、実用化までのステップや事業終了後の成果の取扱いを明確にしておくことが望まれる。

また、1次製品である繊維の単なるコスト競争とならないよう、今後、繊維の性能向上に関する研究開発を行う場合にはエンドユーザーを組み込んだ研究体制で始めることが望ましい。

ヨーロッパや米国では、国家プロジェクトとして競合各社が合同でプロジェクトを進める事に極めて優れており、今後の同種プログラムの必要性はより高まると考えられるため、今回の経験を次のプロジェクトに生かしてほしい。

【肯定的意見】

- ・耐炎化工程を要しない新たな前駆体の合成プロセスが複数見出され、また目標を上回る引張弾性率および破断伸度が得られている。このように、目標を上回る優れた成果が得られている。最終目標が達成される道筋もたっている。
- ・これからもさらに推進していくべき開発事業である。
- ・有望な前駆体繊維を見出し、炭化構造形成メカニズムや評価手法開発においても、当初目標を達成していることなど、後半の技術開発への道筋がしっかりとつけられている点は高く評価できる。本技術開発事業の政策的意義、社会的・経済的意義は極めて重要であるところ、炭素繊維に係る技術開発競争は海外においても一層加速していることなどから、官民一体となった体制において、本技術開発事業をより積極的に推進すべきであると考ええる。
- ・従来にない体制を組みながらも、この短期間で多くの成果を出している事は高く評価できる。各社が既に有していた固有の技術と、新たに開発された技術との選定・分別

や技術共有の範囲設定など、技術以外の運用面で大いに御苦労された事と推察する。また、出向者と原会社との関係や委託業務の分担・範囲などでも多くの課題が生じた事が推察できる。

- ・ 初期に設定した体制とその改善なども、今回のプロジェクトの成果と捉えている。
- ・ 将来の自動車の進化に重要な超軽量化技術の核となる本プロセスの研究が適切に進められ早期に技術見通しが得られたことは評価できる。
- ・ 次世代の炭素繊維を日本企業が生産し販売し、グローバル市場で活躍するための基盤づくりとして、一連の要素技術を順調に開発しつつある。また、その次世代の炭素繊維の世界標準をとるための準備を進め、その実現を順調に図りつつある。

【問題点・改善すべき点】

- ・ 実用化までのステップや事業終了後の成果の取扱いについて明確にしておくことが望まれる。
- ・ 従来材と同等の繊維を低エネルギーで製造する研究開発として、着実に成果を上げつつあることは認められる。一方、設計現場で強く求められている繊維と樹脂との界面特性等の改善についての研究開発が表に出ていない事を危惧する。それらの特性向上については、開繊や表面処理剤等の検討など、主に物理的な手段でエンドユーザーが対応しているのが現状である。さらに、この分野ではヨーロッパ勢が大きく日本を引き離し、日本の繊維を用いたプリプレガーやプリフォーマーが良品を製造し市場を席巻している。このままでは、1次製品である繊維の単なるコスト競争となることを恐れる。これら特性改善が本プロジェクトの範囲外であるならば、この中間評価段階の成果でほぼ成果を出していると判断できるので早急に成果をまとめ、次なるプロジェクトや他プロジェクトで繊維の性能向上に関する研究開発を早急に始めるべきと考える。その場合、特に重要なのはエンドユーザーを研究体制に組み込むことである。
- ・ 今回のプロセスコンセプトは大幅なコスト低減による需要拡大が見込まれる事から広範囲の分野に応用可能となる種々の繊維仕様の製造に活用できる技術蓄積を検討したい。
- ・ 現在、東京大学に集中研をつくり、そこで一連の要素技術を開発しつつあります。ここで発明された特許やノウハウなどの知的財産のパッケージづくりを進めるご説明がなかったように感じています。将来の技術移転を確実にするために、残りの期間で、関連する特許の先行技術調査を実施し、この研究開発プロジェクトから産まれた特許やノウハウなどの知的財産パッケージをどうするのか指針を立て、実行していただきたい。同時に、参加している技術移転候補の企業が元々保有している関連特許の取り扱いの知的財産ルールを定めると同時に、参加していない企業・大学が関連特許を保有していないのかを調査し、当該の知的財産のパッケージの完成度を高める工夫をし

ていただきたい。

- ・ヨーロッパや米国では、国家プロジェクトとして競合各社が合同でプロジェクトを進める事に極めて優れており、この面では日本は遅れている。今後の同種プログラムの必要性はより高まると考えられるため、今回の経験を次のプロジェクトに生かせる形でまとめてほしい。

7. 今後の研究開発の方向等に関する提言

- ・本技術開発のもつポテンシャルは高く、新たな前駆体の合成プロセス、引張弾性率・破断伸度、表面処理技術など、中間目標を上回る優れた成果が得られており、最終目標が達成される道筋も描かれている。また、異形状断面を有する炭素繊維の開発も今後の炭素繊維の利用の拡大に繋がるものである。
- ・本開発事業の実用化を念頭に、常に出口を意識しながら個別課題の優先度を把握し、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。
- ・実用化に向けては、素材製造から製品設計、新素材による自動車製造及び品質、信頼性の確保等の課題もありパイロットラインによる製造技術の蓄積が必要不可欠である。パイロットライン開発研究で本プロセスのポテンシャルを把握し、効率よく幅広い技術や製造ノウハウを蓄積することは、本技術の実用化を加速することのみならず炭素繊維産業の国際競争力を確保してゆくことにも繋がる。今後、パイロットラインによる取組は本技術開発の関係者らによる検討が必要であるが、本技術開発の後期もしくは後継プログラムとして進めることを期待したい。
- ・本プロジェクトから産まれた知的財産のパッケージ化を考えてほしい。また参加している企業の関連特許や参加していない企業・大学の関連特許も含めた把握も必要である。

【各委員の提言】

- ・耐炎化工程を要しない新たな前駆体の合成プロセスが複数見出され、また目標を上回る引張弾性率および破断伸度が得られている。また、表面特性を付与するための処理技術も確立されている。このように、目標を上回る優れた成果が得られている。最終目標が達成される道筋も描かれている。さらに、異形状断面を有する炭素繊維という興味深い成果も得られている。本技術開発のもつポテンシャルは高い。
- ・本開発事業の目的が実用化にあることを念頭に、常に出口を意識しながら個別課題の優先度を把握し、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが望まれる。
- ・前駆体物質の選定は、物性やコスト等の要素に加えて、国際的な化学物質規制の動向やマテリアルセキュリティ（原材料の調達のし易さ等）も含めて、少しでも日本のアドバンテージになるよう、戦略的に行う必要がある。
- ・平成28年度以降に予定されている「異形状炭素繊維の開発」は、本技術開発プロジェクトの中でメドをつけるべき基礎的な確認まででよく、繊維度のバリエーションや高品質化・高性能化の方向で追及していくことが本技術開発事業に求められるところであると考え（一般用の低スペック炭素繊維は近い将来、新興国の参入もあり低コスト競争が予想され、この領域での競合は回避しなければならない）。
- ・目標値の設定について：採取目標値は達成できそうな見通しのある目標値ではなく、その上を目指す目標値を設定する文化に変えることはできないだろうか。

- ・民間の製品はその目標値を達成しなければ商品にできないとの制約がある。これに対し国のプロジェクトは可能性の探究と道筋をつけるためのチャレンジであり、高く設定した目標値に向かって研究する過程で得られた知見こそが有用な成果であると捉えたい。これらの知見・情報こそが発展性のあるデータベースであり、単に性能値が並べてあるデータベースでは活用範囲が限られる。ユーザーの視点では、さまざまな要求性能に対して、オプションとして選べるようになっている事が望ましい。繊維単体のデーターのみでは、CFRP化しての評価がユーザー側には必要となるため、従来の繊維を用いる場合との差異はなく、魅力に乏しい。
- ・研究開発の過程で得られた情報や知見は、次のプロジェクトの方向性をより確実にする資産である。そのためには、当該分野の技術開発を行おうとする会社や機関などへ、これらの大半を所定の制限の下で提供できる制度化が必要である。
- ・失敗を歓迎すべきである。事前の検討を充分に行っても起きてしまった失敗という事象から、多くの有益な知見が得られる。事前の検討で判る事象は新たな知見ではない。これは実際の開発を行った技術者は、全て常識として有していることであり、国にはこの観点からの指導と判断を強くお願いしたい。
- ・CFRPは、自動車的大幅軽量化技術として従来から期待され特に最近時燃費向上要求からニーズが高まってきている。又、其の実用化を阻害してきたCFRPの低生産性、難リサイクル性はサステナブルハイパーコンポジット開発により目途が立っており、炭素繊維の生産性とコスト低減が残された最大の課題である。
- ・今回のプロセスコンセプトは炭素繊維の生産性10倍及び製造エネルギー1/2以下を目指して開発され基本的な技術見通しを得ていることから、愈々CFRPによる自動車的大幅軽量化が期待される段階になったと考えられる。しかし素材製造から製品設計、新素材による自動車製造及び品質、信頼性の確保と多くの関門を超えてゆく必要が有る。この実用化を促進して成果を確保してゆく為には、まったく新規の炭素繊維製造について、パイロットラインによる製造ノウハウの蓄積確立が必要不可欠と考えます。パイロットライン開発研究で本プロセスのポテンシャルを明確に把握し、効率よく幅広く技術確立する事は、本技術の排他性を高め、国際競争力を確保してゆくことにも重要であると共に実用化を加速する事が出来る。本開発の後期もしくは後継プログラムとして進めることを提言したい。
- ・（１）技術移転候補の日本企業に対して、今回の開発成果を受けて、さらにセミプラントレベルの実証設備が必要かどうかヒアリングし、その必要度に応じて、終了時点でのアフタープロジェクトを自主的に実施するのか、国が関与するのかの判断ができる意見を集約する必要があります。（２）特許やノウハウなどの知的財産のパッケージづくりを進める工程表を、残りの期間で描いていただきたいと思います。この研究開発プロジェクトから産まれた特許やノウハウなどの知的財産パッケージをどうするのという戦略指針を立て、実行していただきたいと思います。同時に、参加している技術移転候

補の企業が元々保有している関連特許の取り扱いの知的財産ルールを定めると同時に、参加していない企業・大学が関連特許を保有していないかどうかを十分に調査し、当該の知的財産のパッケージの完成度を高める工夫をしていただきたいと思います。世界標準をとると同時に、知的財産での優位性を確保していただきたいと思います。

第 4 章 評点法による評点結果

第4章 評点法による評点結果

「革新炭素繊維基盤技術開発」に係る評価の実施に併せて、以下に基づき、本評価検討会委員による「評点法による評価」を実施した。その結果は「3. 評点結果」のとおりである。

1. 趣 旨

評点法による評価については、産業技術審議会評価部会の下で平成 11 年度に評価を行った研究開発事業（39 プロジェクト）について「試行」を行い、本格的導入の是非について評価部会において検討を行ってきたところである。その結果、第 9 回評価部会（平成 12 年 5 月 12 日開催）において、評価手法としての評点法について、

(1) 数値での提示は評価結果の全体的傾向の把握に有効である、

(2) 個々のプロジェクト毎に評価者は異なっても相対評価はある程度可能である、との判断がなされ、これを受けて今後のプロジェクト評価において評点法による評価を行っていくことが確認されている。

また、平成 21 年 3 月 31 日に改定された「経済産業省技術評価指針」においても、プロジェクト評価の実施に当たって、評点法の活用による評価の定量化を行うことが規定されている。

これらを踏まえ、プロジェクトの中間・事後評価においては、

(1) 評価結果をできる限りわかりやすく提示すること、

(2) プロジェクト間の相対評価がある程度可能となるようにすること、

を目的として、評価委員全員による評点法による評価を実施することとする。

本評点法は、各評価委員の概括的な判断に基づき点数による評価を行うもので、評価報告書を取りまとめる際の議論の参考に供するとともに、それ自体評価報告書を補足する資料とする。また、評点法は研究開発制度評価にも活用する。

2. 評価方法

- ・ 各項目ごとに4段階（A（優）、B（良）、C（可）、D（不可）〈a, b, c, d も同様〉）で評価する。
- ・ 4段階はそれぞれ、A（a）＝3点、B（b）＝2点、C（c）＝1点、D（d）＝0点に該当する。
- ・ 評価シートの記入に際しては、評価シートの《判定基準》に示された基準を参照し、該当と思われる段階に○を付ける。
- ・ 大項目（A, B, C, D）及び小項目（a, b, c, d）は、それぞれ別に評点を付ける。
- ・ 総合評価は、各項目の評点とは別に、プロジェクト全体に総合点を付ける。

3. 評点結果

評点法による評点結果 (革新炭素繊維基盤技術開発)

	評点	A 委員	B 委員	C 委員	D 委員	E 委員
1. 事業の目的・政策的位置付けの妥当性	3.00	3	3	3	3	3
2. 研究開発等の目標の妥当性	2.60	3	3	2	2	3
3. 成果、目標の達成度の妥当性	2.80	3	3	3	3	2
4. 事業化、波及効果についての妥当性	2.60	3	3	3	2	2
5. 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等の妥当性	2.80	3	3	3	2	3
6. 総合評価	3.00	3	3	3	3	3

