

革新炭素繊維基盤技術開発 の概要について

平成26年1月31日

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. プロジェクトの概要
2. 目的・政策的位置付け
3. 目標
4. 成果、目標の達成度
5. 事業化、波及効果
6. 研究開発マネジメント・体制等

1. プロジェクトの概要

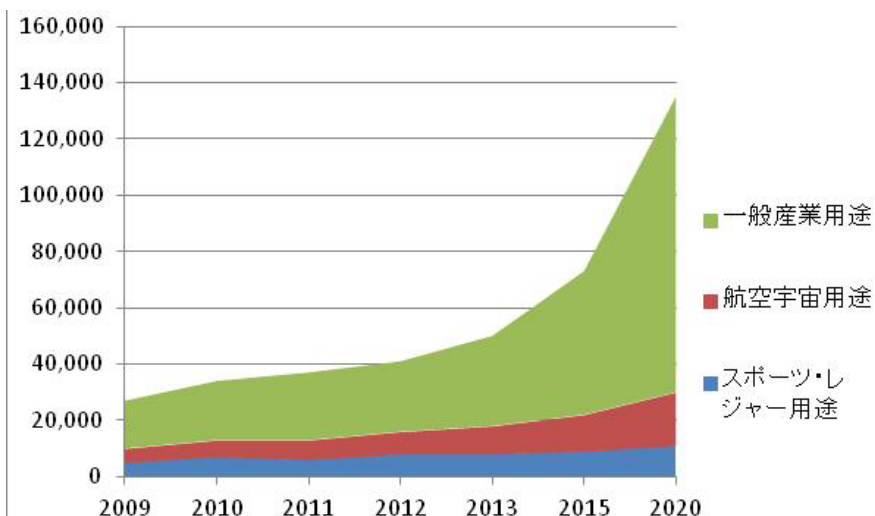
概 要	炭素繊維製造時の消費エネルギー消費量・CO2排出量の半減及び生産性の大幅向上(大量供給)を実現する、新たな炭素繊維製造プロセスに必要な基盤技術を確立する。
実施期間	平成23年度～平成29年度（7年間）
予算総額	19.2億円(委託)(平成23年度～平成25年度) (平成23年度:2.5億円 平成24年度:7.5億円 平成25年度:9.2億円)
実 施 者	国立大学法人 東京大学
統括責任者	影山和郎 東京大学 工学系研究科技術経営戦略学専攻(教授)
プロジェクト リーダー	羽鳥浩章 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 (総括研究主幹)

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

(1) 目的

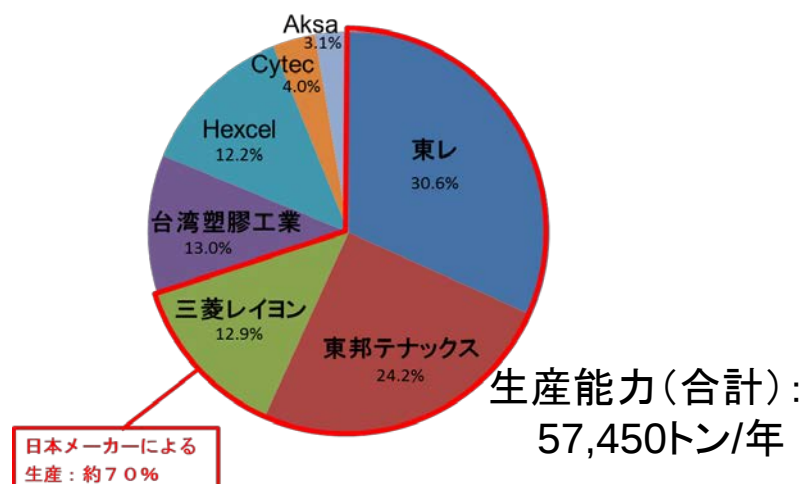
軽量・高強度の特徴を持つ炭素繊維は、自動車等の輸送機器の材料として利用することにより大幅な燃費向上が可能となる等、低炭素社会の実現に貢献できる画期的な素材であり、今後の大幅な需要拡大が期待されている。しかしながら、現在の炭素繊維の製造プロセスでは、消費エネルギー及びCO2排出量が大きく、生産性の向上も困難であることが課題となっている。

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。



用途別全体需要予測

※業界情報に基づき経済産業省作成



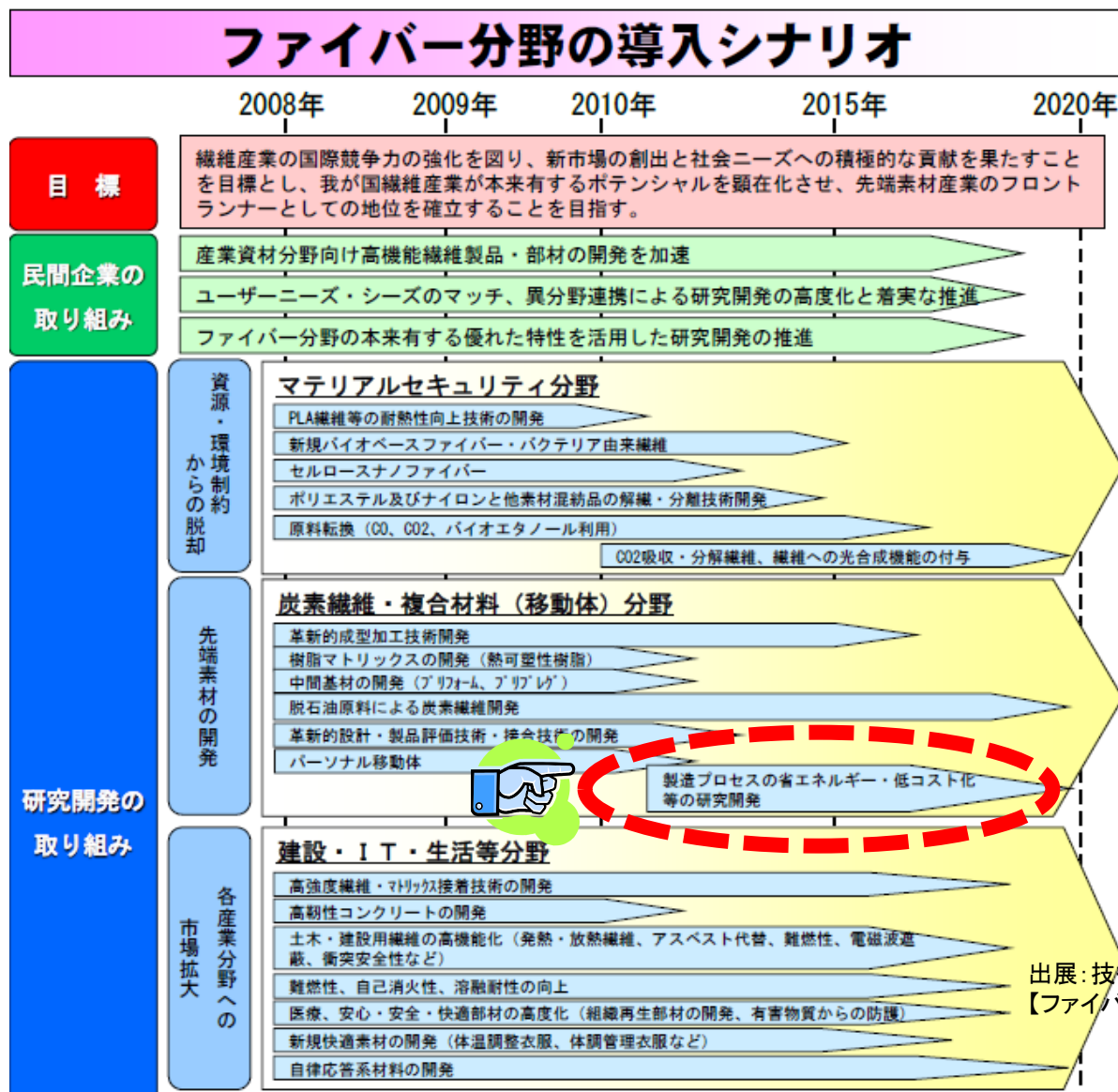
PAN (Polyacrylonitrile) 系炭素繊維 (レギュラートウ)
生産能力 (トン/年)

(出所) 繊維ハンドブック2013 日本化学繊維協会

2. プロジェクトの目的・政策的位置付け

(2) 政策的位置づけ

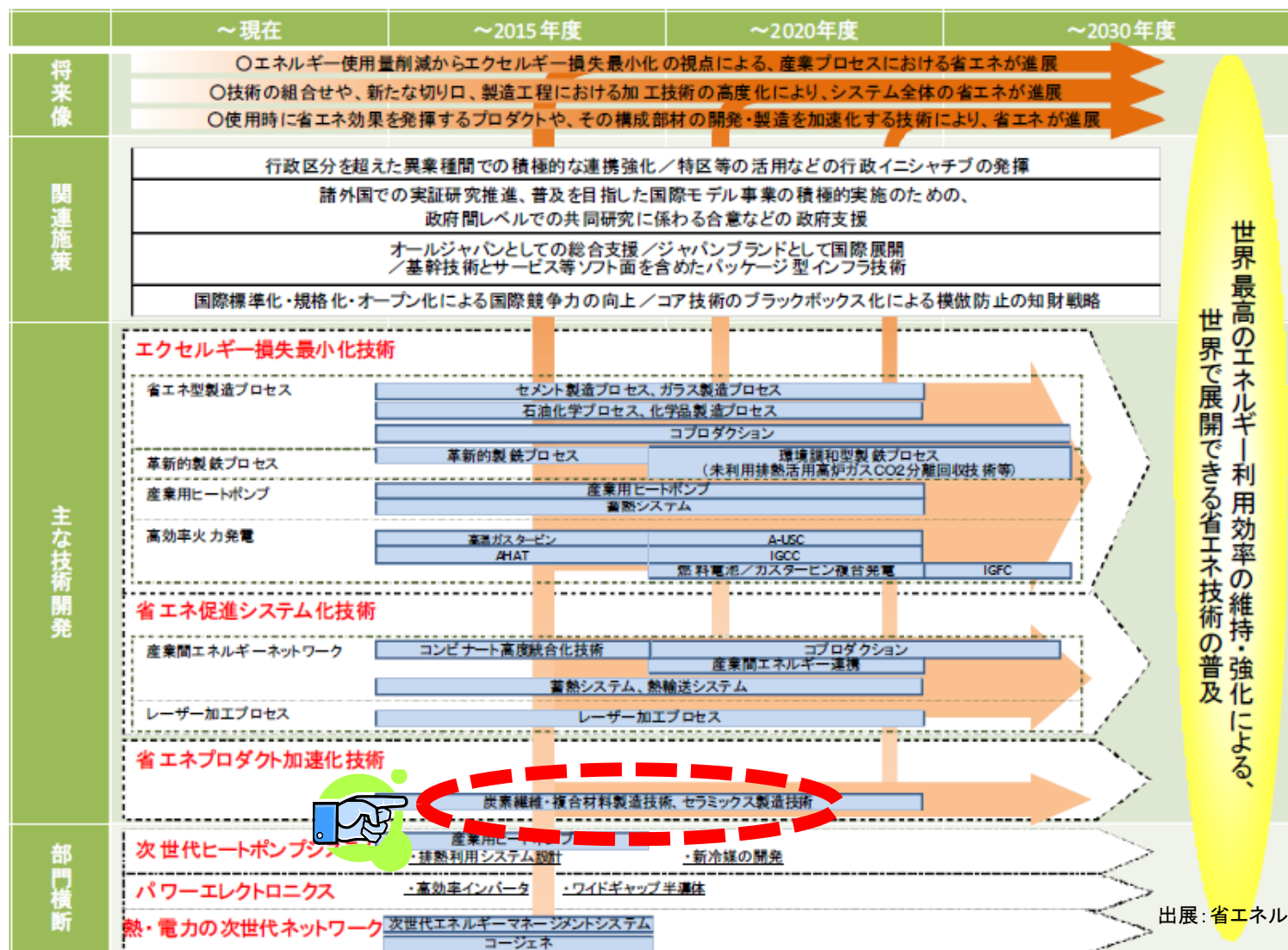
(i) 「技術戦略マップ2010」ナノテクノロジー・部材【ファイバー分野】において、先端素材の開発「製造プロセスの省エネルギー・低コスト化等の研究開発」に該当する。



出展：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

(ii)「省エネルギー技術戦略2011」において、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。

産業部門の導入シナリオ図



省エネプロダクト加速化技術サブシート（炭素繊維・複合材料製造技術）

技術概要

炭素繊維複合材料(CFRP)やそれを構成する機能性材料である炭素繊維は軽くて強いという特性から省エネなどの社会的ニーズに大いに応えることができる基盤技術として位置付けられている。この CFRP は、航空機等で燃費向上のため既に用いられており、今後自動車を始めとする新たな分野での使用拡大が期待されている。

しかしながら、現在の炭素繊維製造方法(進藤方式)は、アクリル繊維を空气中高温で耐炎化(焼成)するもので、製造時における消費エネルギー等が鉄の約 10 倍と高い。また、製造装置の除熱効率の限界から生産性もなかなか高められないのが現実であり、今後の自動車の軽量化等に向けた普及拡大を考えると、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ことが必要である。

そこで、これらの課題を解決し、炭素繊維の製造エネルギーの半減及び生産性の大幅向上を目指す革新的な炭素繊維・複合材料製造に係る基盤技術開発を行う。

技術開発の進め方

2011～2015

- ・「革新炭素繊維基盤技術開発」事業を開始
 - ・上記民間が行っている基盤技術の実用化技術開発の加速化を国が支援
- 2016～

- ・実証研究などを民間主導の開発に移行

2020～

- ・実用化

技術開発動向

民間団体等を通じて、従来の炭素繊維製造プロセスにおける耐炎化工程を不要とする「新規炭素繊維前駆体化合物」の開発及びその実用化技術開発を行う。

なお、炭素繊維が軽量化素材として利用される際には、CFRPの形で普及されるが、現在高価とされているCFRPを一般大衆車へ普及させるためにも、熱可塑性炭素繊維複合材料(CFRTP)に関する技術開発を別途推進しており、ここまで実用化に向けた一定の成果を得ている。

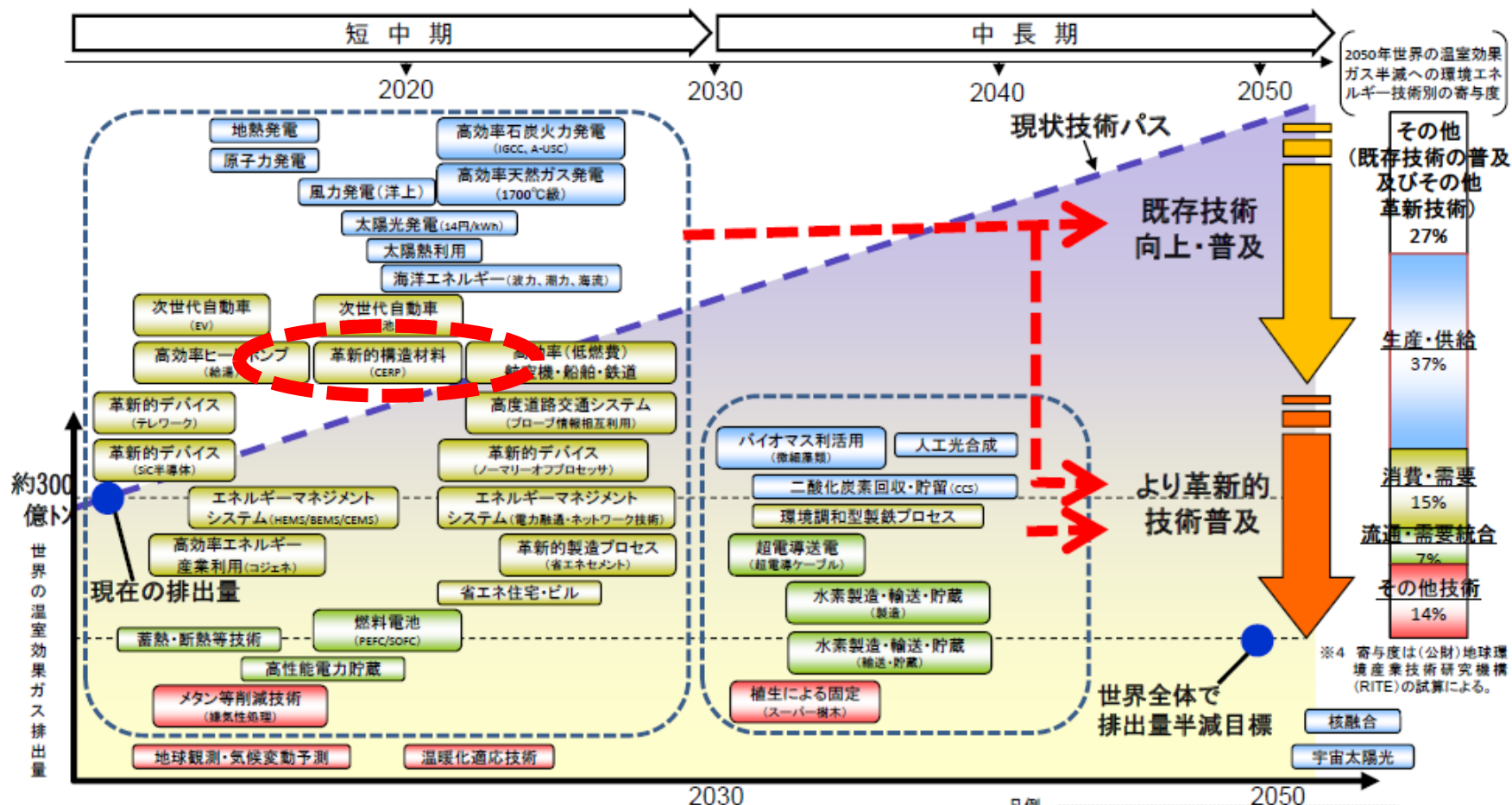
両技術の確立によって、炭素繊維の市場への普及が大幅に推進されると考えられる。

波及効果

エネルギー消費量の高い耐炎化工程を不要とする製造プロセスの確立によって、炭素繊維製造エネルギーの半減及び生産性の大幅向上(約 10 倍の生産量)が可能となり、CFRTP技術の確立と相まって自動車分野への大量供給が可能となり、自動車分野での省エネ化が図られる。

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

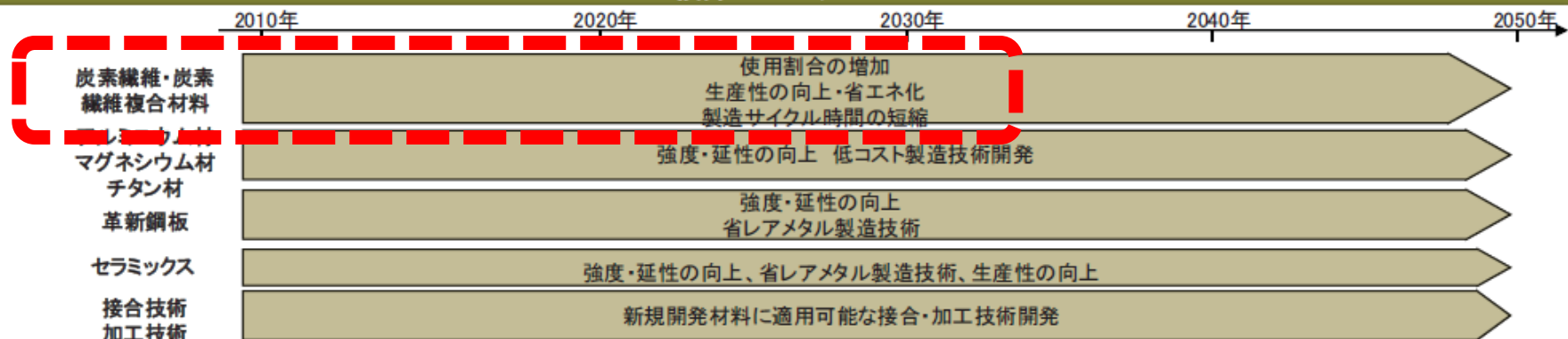
技術の概要

- 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。
- OIEA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抜本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ぶ組織制御によって、材料の強度と延性と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のは、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、高張力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固で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等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。

3. 目標

要素技術	目標・指標	妥当性・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170GPa、破断伸度1.0%とする。	耐炭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も、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	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	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。

4. 成果、目標の達成度

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、単系引張試験において、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以上0.40以下であることとする。	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系引張特性(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きるプラズマ処理技術の開発に成功した。	達成
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

5. 事業化、波及効果

①事業化

H23年度～27年度

H28年度～

本事業による
直接アウトカム

中期のアウトカム・インパクト

革新炭素繊維
技術の開発

①炭素繊維原料の革新技術
(炭素繊維前
駆体)

革新的な炭素
繊維前駆体の
実現

②焼成工程の
技術開発

焼成技術の
実現

多様な形状の炭素繊維製造
(中空繊維や異形断面繊維等)

素材
企業

炭素繊維製造
エネルギー半減、
CO2排出量
半減

低コスト化

生産性向上

新市場創出・獲得

製造時のエネルギー
消費量削減

炭素繊維の
需要拡大

自動車等の
軽量化の実現

輸送時のエネルギー消費
量削減

安全性を確保した
車体の軽量化

産業の競争力強化に貢
献

エネルギー・環境
に貢献

人の生活の豊かさ
に貢献

- 国
- 大学等
- 委託
- インプット(投入資源)
- アクション(実施)
- アウトプット(成果)
- 直接顧客
- アウトカム
- インパクト

5. 事業化、波及効果

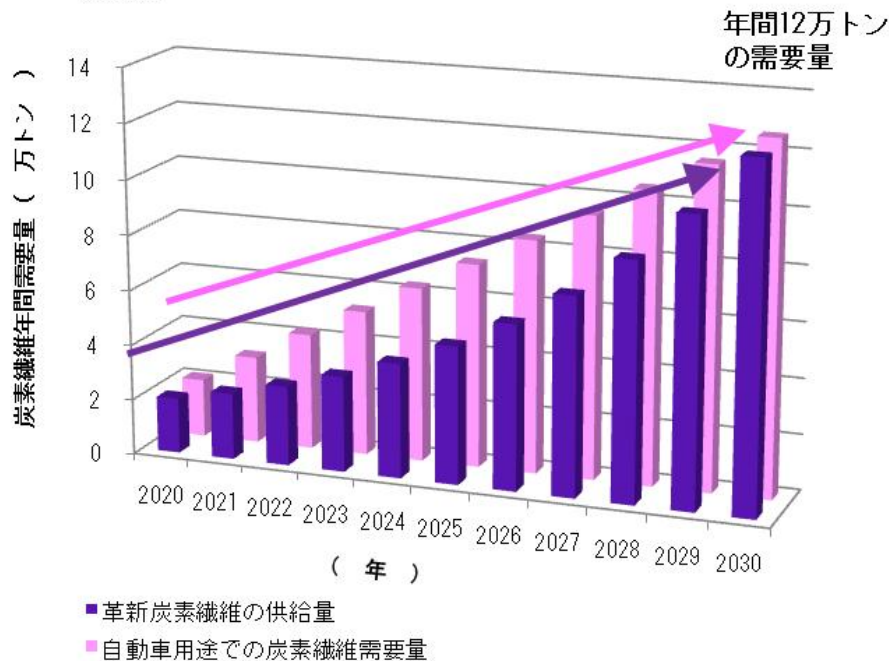
②波及効果

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 (ト/㎡・年)	製造エネルギー (MJ/kg)	CO2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

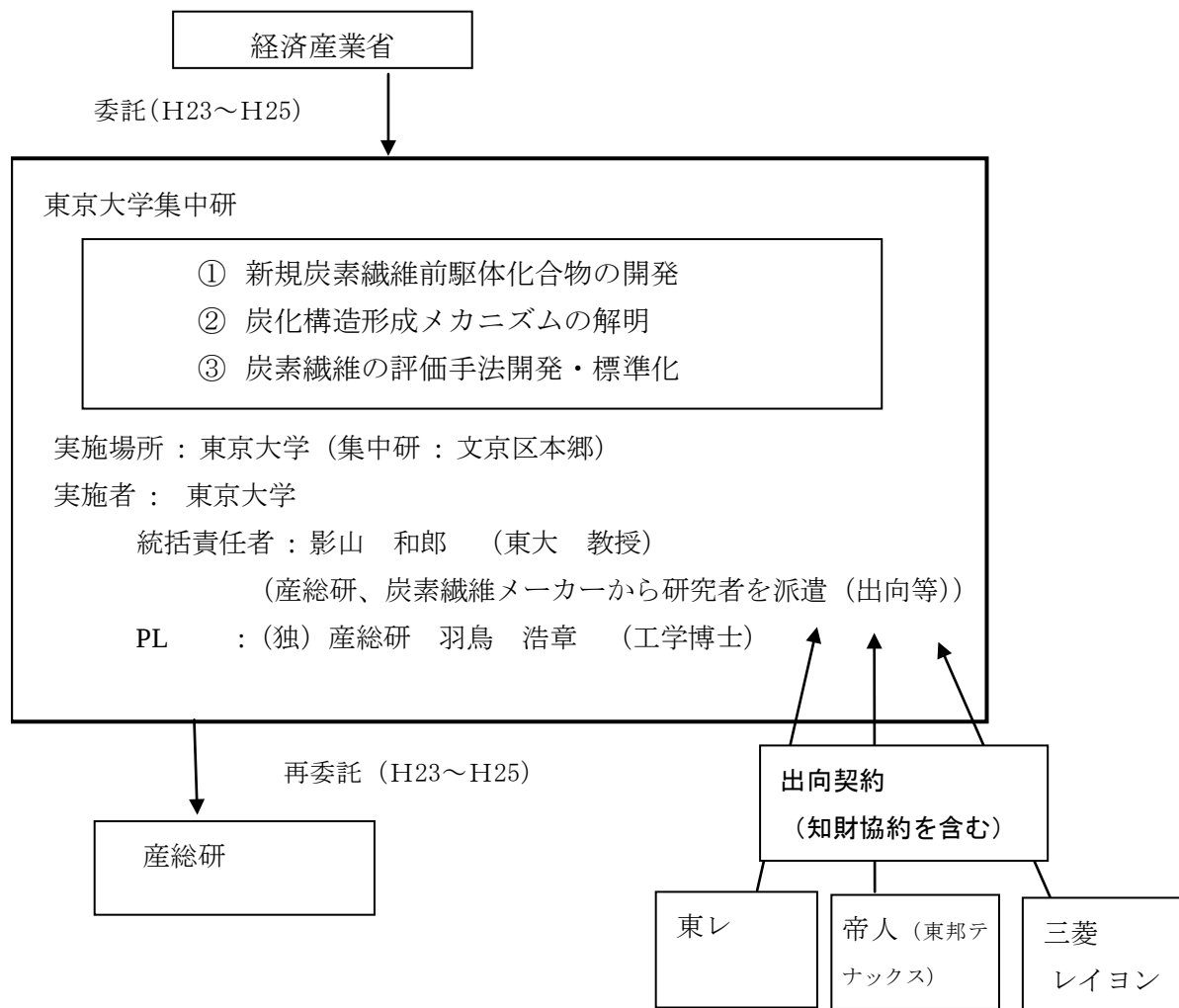
CO2削減量 132万トン/年

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

6. 研究開発マネジメント・体制等

研究開発実施体制図



事業の進捗管理

会議の名称	頻度
推進委員会	6ヶ月に1回
全体会議	月1回
個別チーム研究会	月1回
発明審査委員会	都度実施
知財WG	2か月に一回
参加企業連絡会	3か月に1回