

特集 省エネルギーで生産性の高い 「革新炭素繊維製造プロセス」の産業化を目指して

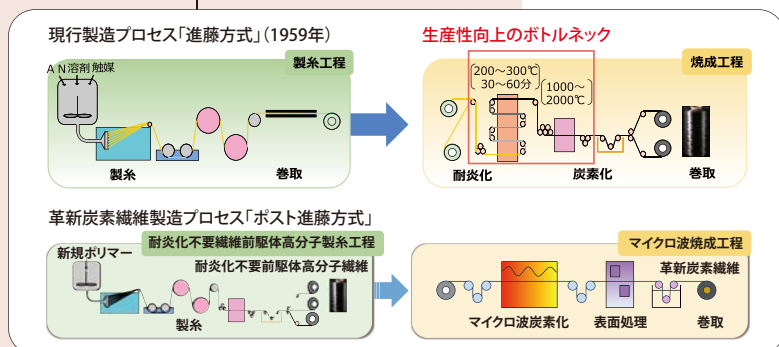


耐炭化不要前駆体繊維
の製糸工程

軽くて強い炭素繊維は、比重が鉄の1/4にもかかわらず、比強度は10倍、比弾性率は7倍です。また疲労しない、錆びない、化学的・熱的に安定しているな

どの特性があることなどから、炭素繊維を用いた複合材料は、航空機などで燃費向上のために適用されています。今後、自動車をはじめとする新たな分野への使用拡大が期待されていますが、製造コストの高さや加工のし難さ、リサイクルなどの課題があります。

マルチマテリアル化技術開発や構造材料の高性能化による輸送機器の抜本的な軽量化を目指すISMAでは、2016年度より「革新炭素繊維基盤技術開発」を研究課題の一つとして掲げ、つくば小野川分室(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、伊予分室(東レ株式会社)、三島分室(帝人株式会社)が共同で、省エネルギーで生産性の高い「革新炭素繊維製造プロセス」の基盤技術の開発に取り組んでいます。



現行製造プロセス(上図)と革新炭素繊維製造プロセス(下図)の比較

特集 省エネルギーで生産性の高い 「革新炭素繊維製造プロセス」の産業化を目指して

「革新炭素繊維基盤技術開発」 研究概要



テーマリーダー
羽鳥 浩章氏
(つくば小野川分室)

炭素繊維は日本が世界市場の約7割を占める国際競争力の非常に強い高付加価値素材であり、軽くて強いという特性から省エネルギーや環境保全等の社会的ニーズに大いに応えることができる繊維素材です。しかし現在の炭素繊維製造方法(進藤方式)は、アクリル繊維を数百度の空气中で耐炭化した後、窒素中高温で焼成して炭素繊維とするものです。そのため、製造時における消費エネルギーや二酸化炭素(CO₂)排出量はいずれも鉄の約10倍と高く、製造コストの高さやライフサイクルアセスメント(LCA)的に不

利であることなどが課題となっています。

自動車の軽量化に向けた今後の炭素繊維の普及拡大を考えると、低コストで製造時のCO₂排出量が少ない、新しい炭素繊維製造技術が求められます。本事業では、現行プロセスよりも生産性を大幅に向上させて量産化につなげるとともに、エネルギー消費量もCO₂排出量も削減可能な革新的な炭素繊維製造プロセスを開発しています。具体的には耐炭化を必要としない新規炭素繊維前駆体化合物の開発とマイクロ波などによる高効率な炭素化プロセス技術の開発を推進しています。

現在、アクリル繊維ポリマーをベースとする溶媒可溶性耐炭ポリマーを得る反応プロセスによってラジトウ(48K)を製造するための基盤技術を確認することを目指し研究開発を進めています。また、マイクロ波炭素化プロセスに関しては、多段化など設備を改良すると共に処理条件を最適化し、従来の炭素化炉方式に優る大規模生産のための製造技術確立を目指しま

す。炭素繊維として、フィラメント径7μmで、引張弾性率240GPa、引張強度4GPaをしのぐ性能を目標値としています。

プロジェクト期間中にこの新しい炭素繊維製造プロセスの基盤技術の確立を目指すとともに、自動車部材としての評価へのサンプル提供もできればと考えています。

新規炭素繊維 前駆体化合物の開発

(つくば小野川分室/伊予分室)

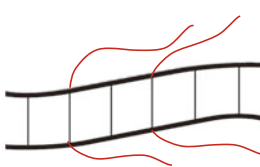


樋口 徹憲氏
(伊予分室)

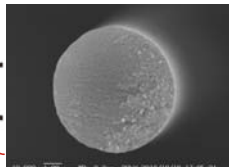
PANを原料として高度な液相反応により生み出された、溶媒可溶性側鎖付ラダー構造をもつ炭素繊維前駆体化合物^{*1}「溶媒可溶性耐炭ポリマー」を、2015年度に世界で初めて開発しました。このポリマーは衣料用に広く使われている安価なPANを原料として、溶解促進剤と酸化剤を添加し、耐炭化反応を液中で行うことで得られます。焼成工程での耐炭化^{*2}を必要とせず、溶媒に溶解することで製糸が可能であることに加えて、市販のPAN系炭素繊維に匹敵す



溶媒可溶性耐炭ポリマー反応装置



側鎖付ラダー構造



新規前駆体繊維から得られた
炭素繊維断面



溶媒可溶性耐炭ポリマー溶液



革新前駆体繊維の製糸工程



革新前駆体繊維の巻取(製糸完)

1分でわかる! 炭素繊維 (PAN系)

炭素繊維 (Carbon fiber:CF) は原料を高温で炭素化して作った繊維です。原料にアクリル繊維を使った炭素繊維はPAN系 (Polyacrylonitrile)、石油、石

炭、コールタールなどを使った炭素繊維はピッチ系と呼ばれます。炭素繊維を用いた複合材料として炭素繊維強化プラスチック (CFRP) などがあります。

PAN系炭素繊維の単繊維 (フィラメント) の太さは5-7 μ mで、多数の単繊維で構成された束をトウまたはストランドと呼びます。トウはフィラメントの本数によって、24,000本 (24K) 以下はレギュラートウまたはスモールトウ、40,000本 (40K) 以上でラージトウと呼ばれます。レギュラートウは航空機や人工衛星の材料などに、ラージトウは、レギュラートウに比べて安価なため、風車や自動車などの材料として主に使用されています。

PAN系炭素繊維の歴史は、1959年に通商産業省工業技術院大阪工業



6K



24K



48K

技術試験所 (現産業技術総合研究所) の進藤昭男博士が発明したことに始まります。1971年には東レが高強度のトレカ®系T300を、1973年には東邦レーヨン (現 帝人) がベスファイト®系 (現 テナックス®系) の製造・販売を開始したことから、強化プラスチックの補強材や複合材料の素材として使われ始めました。1980年代にはロケットや航空機などの大型輸送機器に使用されるようになり、最新鋭旅客機の機体重量の50%はCFRPが占めているなど、炭素繊維は活用されています。なお、1983年には三菱レイヨン (現 三菱ケミカル) がパイロフィル®系の製造・販売を開始しており、日本のPAN系炭素繊維3社が出そろいました。このような歴史的背景から炭素繊維の分野では日本が世界をリードしています。

る優れた機械特性の炭素繊維が得られています。これにより省エネルギーで生産性の高い革新的製造プロセスによる新たな機能を持つ炭素繊維の創出が期待されます。

今後、本テーマではフィラメント径7 μ mで、引張弾性率240GPa、引張強度4GPaをしのぐ性能の炭素繊維を得るため、前駆体ポリマーの合成反応プロセスを確立するとともに、ラージトウ (48K) 製造のための基盤技術を確立することを目指します。

※1 前駆体化合物：化学反応の生成物の反応前の物。ここでは炭素繊維の原料となる化合物を指す。

※2 PAN系繊維が炭素化時に熔融しないように200~350℃の空气中で数時間加熱する処理のこと。

マイクロ波等による炭素化プロセス技術の開発

(つくば小野川分室/三島分室)



圖子 博昭氏
(三島分室)

マイクロ波エネルギーによる大繊維 (ラージトウ) 前駆体繊維の炭素化を可能とするため、炭素繊維構造の形成過程と機械特性との相関解明を進め、炭素化条件の確立を目指しています。マイクロ波炭素化に用いる設備の改良とともに処理条

件の最適化を行い、従来の炭素化方式より優れた大規模生産のための製造技術確立を目指します。

2015年度までにレギュラートウ (12K) において、大気圧下でのマイクロ波エネルギー照射による繊維状物質の連続的炭素化に成功し、工業製品とほぼ同等の性能を世界で初めて達成しました。2017年度までにレギュラートウ (24K) の製造法や炭素繊維の品質を安定化する検討を行いました。2018年度からは基本原理を応用した技術開発として、ラージトウ (48K) の炭素化に挑戦しています。実用化に向けた主な技術課題としては、ラージトウに対応した安定的かつ高生産性で炭素化が可能な加熱プロセス基盤技術の確立と、マイクロ波エネルギー照射によるラージトウにおける工業製品とほぼ同等の性能を発現可能な技術の確立などがあります。

マイクロ波とは周波数が300MHz~3THzで波長が1m~0.1mmの電磁波です。身近なところでは電子レンジに利用されています。この電磁波エネルギーを被加熱物質に照射すると物質を直接加熱することができます。これを炭素繊維の製造に応用す



革新前駆体繊維 (左) と通常のアクリル繊維

項目	2017年度	最終目標
CF径 (μ m)	5	7
CF物性 (GPa)	強度3.8 弾性率238 (伸度 1.6%)	4.0 240 (1.7%)
ラージトウ (48K) の紡糸技術確立	48K凝固性確認のみ	特定伸度以上で安定紡糸可能

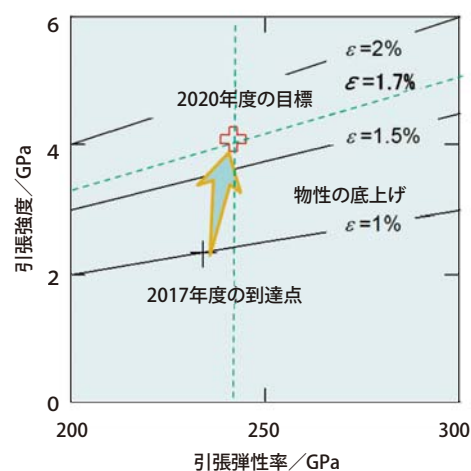
開発繊維の2017年度末までの達成値と最終目標

ると効率良く炭素化反応が進行し、炭素化時間を短縮できる可能性があります。また従来のように炭素化炉を高温に保つ必要がなくなることから環境負荷が小さいプロセスになることが期待されます。

本テーマでは、1) 製造プロセス開発、2) 分析・評価技術開発の2グループが、それぞれの専門性を生かして、分担・連携することで効率良く検討を進めています。1) ではポリアクリロニトリル系の前駆体繊維が炭素化の進行とともに、誘電体(有機繊維)～導電体(無機繊維)に性状が連続的に変化するので、各領域に合ったマイクロ波の照射方法を選択し、工程を領域で分割することで高度な炭素化制御を行っています。2) では炭

素化に伴う炭素繊維構造の形成過程と機械特性との相関解明を進める上で、照射条件やそれによる加熱メカニズムの違い、構造変化の差異等を定量的に精緻に評価する新たな分析手法を開発し、安定炭素化や高性能化の基盤技術の開発に貢献しています。

これまでマイクロ波による直接加熱の特徴でもある短時間での炭素化がラージトウにおいても可能であり、安定な品質の炭素繊維を得ることに成功しています。引張弾性率は目標値である240GPaは達成のめどを得ている一方、引張強度が目標値である4GPaに現状届いておらず、構造の緻密化が課題となっています。炭素化中の延伸比を高精度に制御



開発した炭素繊維の性能と目標

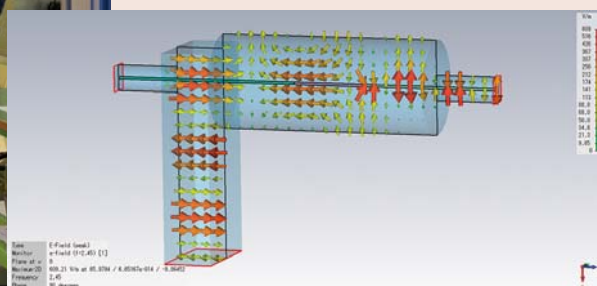
することや取得したプロセスデータの解析と分析技術との連携によって課題解決に臨みます。



マイクロ波炭素化装置



装置内でのマイクロ波照射による繊維加熱の様子



マイクロ波炭素化の電界シミュレーション

ISMAの活動についての報道

● 雑誌

2018年12月号 金属「国プロにおけるCFRPの開発」

2019年 1月号 軽金属「革新的新構造材料等研究開発」プロジェクト(材料)特集号

ISMA REPORT March 2019, No.14

©Innovative Structural Materials Association. 2019 All rights reserved.

発行 新構造材料技術研究組合 (ISMA)

お問い合わせ先 新構造材料技術研究組合 (ISMA) 技術企画部

〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-9-4 蚕糸会館10階

Tel : 03-6213-5655 Fax : 03-6213-5550

制作協力: サイテック・コミュニケーションズ

デザイン: 高田事務所 撮影: 石川典人(表紙ほか)