

2025年度 各務記念材料技術研究所共同研究報告書

研究課題名	ナノカーボン複合化による超高強度カーボンナノチューブ紡績系の創製と強度発現メカニズムの解明
重点課題	Ⅱ-A (4Rとプロセス)、Ⅱ-B (4Rと構造)、Ⅱ-C (4Rと物性)、Ⅲ-B (省エネルギーと構造)
新規・継続	新規
研究代表者	ハヤシ ヤスヒコ
氏名	林 靖彦
所属機関・部局・職名	岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域
研究分担者 (氏名・所属機関・部局・職名)	鈴木弘朗・岡山大学・学術研究院環境生命自然科学学域・研究准教授 西川亘・岡山大学・学術研究院環境生命自然科学学域・研究准教授 芝地俊祐・岡山大学・環境生命自然科学研究科・M2 岩谷蓮・岡山大学・環境生命自然科学研究科・M2
研究所側 受入教員名	川田 宏之教授

研究目的

高強度炭素を代替する，超軽量でフレキシブルなカーボンナノチューブ（CNT）紡績系の高強度化手法の開発と，そのメカニズムを解明する．本研究を通して，軽量・高強度化による輸送機器・インフラのエネルギー消費削減，長寿命化によるライフサイクルエネルギー削減，エネルギーデバイス分野での応用によるエネルギー効率向上，に貢献する．

異分野との融合

本研究は，CNT などのナノ材料の合成や CNT 紡績系の作製に取り組む研究者と，破壊力学や微視構造制御の視点から先進複合材料の性能向上や応用分野の開拓を進める研究者が協力することで実現する，異分野融合型の研究である．

実験内容と研究成果

CNT 紡績糸は、優れた引張強度を持つ CNT を束ねた構体であるが、単一の CNT が持つ機械的特性を十分に発揮できていない。そのため、高強度化を実現するための手法の確立と高強度化のメカニズム解明が求められている。CNT 紡績糸の強度が低下する主な原因として、CNT 紡績糸を構成する CNT の物性にばらつきがあることや、欠陥の存在、さらに図 1 に示すように CNT 同士の分子間力が弱いために滑りが生じることが分かっている。これらの問題を解決するため、高品質な CNT の合成に加え、図 2 に示すように CNT 紡績に通電して発生するジュール加熱処理（JA 処理）やナノカーボン材料との複合化による CNT および CNT バンドル間の架橋構造の導入など、さまざまなアプローチを検討してきた。その結果、3000 K 以上の JA 処理によって、紡績糸内に残留する CNT 合成に寄与しなかったアモルファスカーボン（a-C）がグラフェンへと構造変化し、それに伴い引張強度が向上することが確認された。しかし、残留する a-C の量を制御することが難しいという課題が残されている。

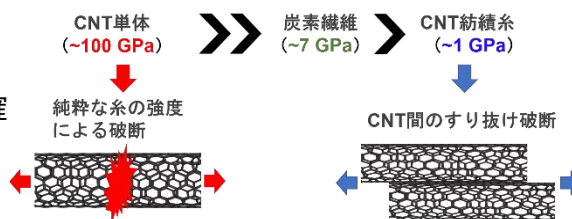


図 1. CNT 紡績糸の高強度化の課題

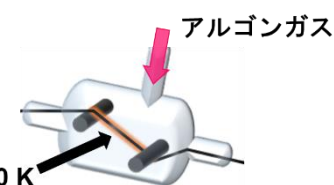


図 2. ジュール加熱処理

本研究では、炭素源として酸化グラフェン（GO）を意図的に導入・複合化し（図 3），3000 K 以上の JA 処理と組み合わせることで、再現性の高い高強度化手法を開発している。さらに、その高強度化メカニズムを解明するため、川田教授と共同で走査電子顕微鏡（SEM）によるその場観察引張試験、透過型電子顕微鏡（TEM）による CNT 紡績糸内部の微細構造評価、ラマン分光法による特性評価を併用して行う。GO を効率よく導入するために微細化処理を施し、微細化した GO 溶液に CNT 紡績糸を浸漬後、真空乾燥を行った。その後、張力をかけながらエタノール浸漬による収縮プロセスを行い（図 2），最終的にアルゴン雰囲気下の石英管内で紡績糸を 3000 K で通電加熱処理を行い、高強度 CNT 紡績糸を作製した。その後、SEM によるその場観察、TEM 観察、ラマン分光評価を行った。

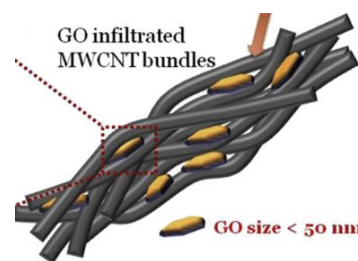


図3. GO と複合化した CNT 紡績糸

本研究では、カーボンナノチューブ（CNT）紡績糸を酸化グラフェン（GO）水溶液に浸漬し、条件を最適化することで、紡績糸内部へ GO を導入・複合化した。さらに、CNT 紡績糸に通電して 3000 K 以上のジュール加熱を行う JA 処理を組み合わせることで、引張強度 6.5 GPa 以上、ヤング率 300 GPa 以上という高い機械特性を達成した。GO を導入することで、CNT 紡績糸内部の空隙が減少し、より緻密な内部構造が形成され、再現性良く高強度化を実現できた。

研究成果の公表状況（論文、国際・国内会議、学会発表、特許等の知財）

・文タイトル：Unravelling the role of inter CNT yarn-yarn interactions in governing the failure behavior in a unidirectional CNT yarn-reinforced plastic composite

著者：Go Yamamoto, Sojun Nakano, Haruki Oyamada, Redha Akbar Ramadhan, Shugo Okamoto, Akihisa Takeuchi, Masayuki Uesugi, Akira Kunitomo, Nozomu Shigemitsu, Takuma Abe, Yoshinobu Shimamura, Haruto Kurono, Sota Goto, Yoku Inoue, Yasuhiko Hayashi, Hiroyuki Kawada

掲載雑誌名：Composites Science and Technology

インパクトファクター：8.3

掲載年月：2025 年 5 月

DOI：https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2025.111137