

# カーボンナノチューブと高分子の革新複合化技術開発と応用

東海国立大学機構 名古屋大学 助教  
入澤 寿平

## 1. テーマ設定の背景

カーボンナノチューブ (CNT) は、その特異的な力学物性から高分子複合材料の強化材としての利用が期待されてきた。2000 年以降、4 万件を超える論文が発表されていることから、大きなニーズがあることも明確である。既存技術として、固相高速剪断二軸混練やCNTを予め分散させた溶剤に高分子を溶解させて立つ溶媒させる方法などが提案されているが、一方で、広く実用化できる品質まで良分散させるには至らず、本来期待された需要予測を下回っている。そこで、本技術は高分子への革新的な複合化技術を開発し、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) や繊維材料として広く実用化するための技術を開発することを目標とした。

## 2. 素形材分野との関連性

過去に達成できなかった分散状態までCNTを高分子に良分散させる技術を確立した。CFRPや繊維材料に賦形可能であり、それら材料の高機能化に貢献する技術である。繊維材料に関しては、テニスストリングの試作も進められ、今後は実用化の検討も進んでおり、まさに、素形材分野への貢献は大きい。

## 3. 研究開発の成果

研究開発の成果は、CNTを高分子に良分散させる新複合化プロセスを確立し、得られた革新高分子複合材料に用途が求める物性を実現させた点である。材料形態として繊維材料やCFRPへの応用検討を進めた。

## 3. 1 CNT良分散繊維材料の開発

筆者は、過去よりCNTを添加させた繊維材料開発に取り組んできた中で、引張弾性率を最大で2倍向上させ、耐摩耗性を30%低減させた繊維を作成してきた一方で、CNTの強い凝集力によって二軸混練だけでは分散性の改善に至らず強度の低下が課題であった<sup>1)</sup>。そこで、解砕処理を施したCNTを用いることで、この課題を解決した。解砕処理とは、湿式でCNTを細菅に通過させ生じるジェット流速によって凝集体を解す処理である。一度、凍結乾燥をし、固相で汎用的な二軸混練を行うだけでも、わずか0.5wt%の添加量で物性の大幅な増大に成功した (図1)<sup>2)</sup>。

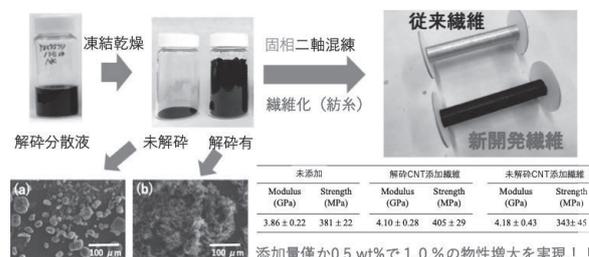


図1 解砕CNTを利用した繊維材料開発

## 3. 2 CNT良分散CFRPの開発

ラクタム構造を有する溶媒にCNTが良分散することに注目した。現場重合法では低粘度状態でεカプロラクタムを炭素繊維束中に高含浸させ、型内でポリアミド6へと重合させることで、熱可塑性樹脂母材CFRP (CFRTP) で課題であった含浸性を克服する手法である (図2)。申請者はさらにCNTがεカプロラクタムに良分散することに注目し、CNT良分散CFRTPの開発に成功した。CNTの特性によって、力学物性の増大効果が得られ (図3)<sup>3)</sup>、さらに耐熱性や耐衝撃特性の改善効果を得ることに成功した。

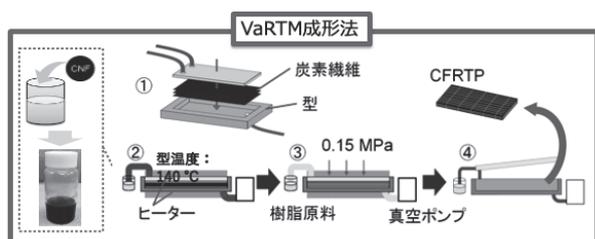


図2 CNT良分散原料を用いた現場重合CFRP

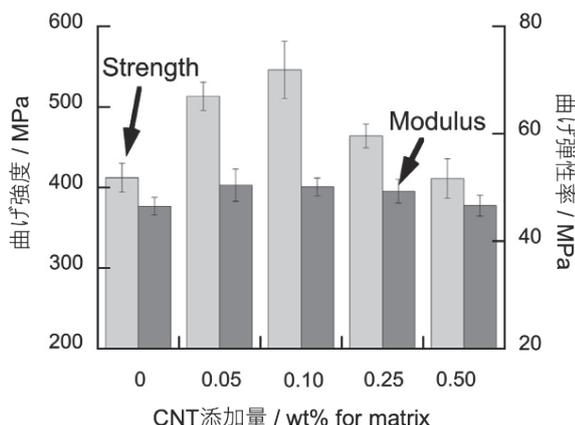


図3 CNT良分散現場重合CFRPの力学物性

#### 4. 訴求点

CNT高分子複合材料の開発は2000年代に入り急速に進められ、様々な論文や知財が開示された。しかし、CNTの需要拡大の牽引要素であるはずの複合材料用途は伸び悩み、市場の停滞が報告されている。

その一方で、筆者が提案したCNTを高分子中に良分散させる高分子複合化技術と、CFRTP中にCNTを良分散させる手法は独創性高いアイデアである。CNTの分散性の観点から、高分解能X線CT像等の観察結果としても、他技術と比較して優位性高い技術開発が立証されている。

両技術ともに実用化に資する材料開発が達成されている。特に、解砕CNTと高分子の二軸混練、紡糸を経た繊維開発においては、知財の権利化まで完了し（特許6997982号）、この技術においては、テニスガットでの実用化を想定した試作までに至った（図4）。筆者は、2022年4月に名大発ベンチャーに認定された（株）fff fortississimo (<https://fff-fortississimo.com>) を起業しており、開発した技術を活用した新商品も上市させるべく、開発を継続している。また、CNTによって

高機能化されたCFRTPに関しては、自動車、ドローン業界に対して、軽量化のみならず電磁波シールド性や伝導性などのCFRTPの高性能化の観点に優位性がある。SDGsやゼロエミッションがクローズアップされる中で、波及効果として省エネ化とCO<sub>2</sub>排出量の削減に大きく貢献するだけでなく、ドローン業界という新産業分野の発展にも貢献する技術が開発されたと考えている。以上の通り、本研究成果は、実用化によって人類の生活に変化を与えるのみでなく、社会にも大きなインパクトを与えるものである。



図4 開発したCNT添加テニスガット

#### 参考文献

- 1) 入澤寿平, 高村達郎, 園聡, 金子純一, 塩谷正俊, フィラー添加ポリアミド6繊維の耐摩耗性及び力学物性, 繊維学会誌, 67, 109-118 (2011)
- 2) T. Irisawa, D. Shimamoto, I. Takeshige, G. Doi, Y. Tanabe, Y. Hotta, The effects of pulverization treatment for the mechanical properties of polyamide 6, Materials Science & Engineering B, 254, 114514 (2020)
- 3) T. Irisawa, M. Shibata, T. Yamamoto, Y. Tanabe, Effects of carbon nanofibers on carbon fiber reinforced thermoplastics made with in situ polymerizable polyamide 6, Composites Part A, 138, 106051 (2020)