

ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出
2018年度採択研究代表者

2019年度 実績報告書

中村 雅一

奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科
教授

分子接合によるナノカーボン系材料の広範囲熱伝導率制御

§ 1. 研究成果の概要

カーボンナノチューブ(CNT)などのナノカーボン複合材料では、ナノカーボンユニット間の接合界面が熱輸送を律速する。本研究では、そこに有機あるいはハイブリッド分子による接合を形成し、分子接合部におけるナノスケール熱輸送を理解し制御することによって、フレキシブルなナノカーボン複合材料の熱伝導率を、断熱材相当からダイヤモンド相当に至る極めて広範囲にわたって選択可能とすることを目指している。2019年度は、主に以下の項目について研究を実施した。

・分子接合部熱輸送機構の理解と制御(共通基盤)

本研究を進めるに当たって細いワイヤ状試料の熱伝導率を正確に計ることが重要であるが、市販装置でこれを計れるものはない。そこで、CREST 領域内の複数グループの専門家が協力して、合計 5 種類の研究的測定手法を用いて同じ試料の熱伝導率を測ることで、正確に計るための条件や、どの方法が最も適しているかを明らかにした。

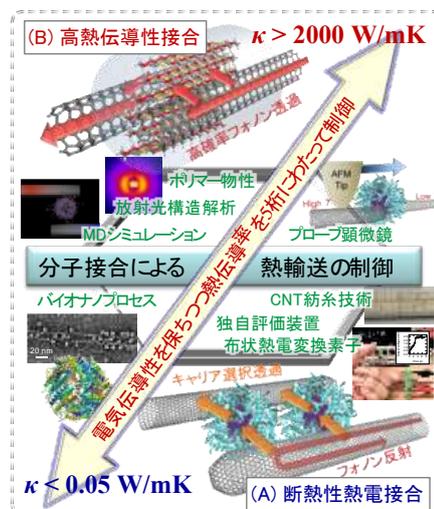
また、分子のスケールで温度分布を測定するための全く新しい装置の開発にも着手した。

・CNT 系断熱性熱電接合の高性能化(図下段)

これまでに、球殻状タンパク質に特定のペプチドアプタマーを付与したものによって、凝集体中の CNT/CNT 接合部に分子接合を形成することで、熱伝導が効果的に抑制されることが確認されている。しかし、CNT の製法や処理法によって吸着量が大きく異なるなどの課題があった。そこで、合成法が異なる複数の CNT 原料それぞれについて、それを薄膜や糸にするための溶液作製法の種類を変えた多数種の CNT 膜を作製し、様々な分析から得られる「化学的指紋情報」によって CNT を特徴付けた。この課程で、例えばラマン分光によって得られ、CNT 研究において欠陥量の指標として広く用いられている D/G 比は指標として適しておらず、別のラマン散乱ピークを用いた 2D/G 比が適していることなどが判明した。また、一部の CNT 膜について、ファージディスプレイ法を用いて親和性の高いアプタマー候補が見いだされ、これまでに考えられていた CNT 吸着アプタマーとは異なる特徴を持つものが高い吸着性を示すことが明らかになってきた。今後、どのようなアミノ酸配列が CNT のどのような化学的構造に親和性を持つのかを明らかにしてゆく。

・CNT 系高熱伝導性接合の高性能化(図上段)

共通基盤技術としてワイヤ状試料の熱伝導率測定における誤差発生要因を明らかにしてゆく課程で、これまでに測定されていた CNT/ポリマー複合材料紡績糸の熱伝導率はオーバーエスティメイトされているらしいことが明らかになってきた。また、紡績糸の研究からも、紡糸時に CNT の配向をより高めることが困難であることが分かってきた。それに対し、糸と同様の方法および目的で使うことができる新たな高熱伝導性フレキシブル材料の作製法として、基板上にリボン状薄膜を形成する際に CNT を流体力学的に配向させる方法が見いだされ、それによって高配向 CNT 複合材料リボンが作製できるようになった。現段階で紡績糸の 2 倍以上の熱拡散率が得られており、これを追求することで十分に熱伝導率の高いフレキシブル材料を実現させることを目指す。



【代表的な原著論文】

1. Manish Pandey, Ryo Abe, Naofumi Okamoto, Yuki Sekimoto, Kotaro Nishioka, Yasuo Okajima, and Masakazu Nakamura, “Fabrication of ribbon-like films of orientation-controlled carbon nanotube/polymer composite using a robotic dispenser”, Appl. Phys. Express, vol. 13, No. 6, 065503 (5 pages), 2020

§ 2. 研究実施体制

(1) 中村グループ

- ① 研究代表者: 中村 雅一 (奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授)
- ② 研究項目
 1. CNT 系断熱性熱電接合の高性能化
 - 1.1) CNT/C-Dps 凝集体／紡績糸の作製と熱電／熱輸送特性評価
 3. 断熱性熱電接合の応用開拓
 - 3.1) 低熱伝導率と熱電性能を両立させた高断熱性熱電素子の開発 (中村 G)
 4. 高熱伝導性接合の高性能化
 - 4.1) 熱輸送増強ポリマーの探索と作製法最適化による高熱伝導率化
 - 4.2) 接合部の構造解析と CNT フォノンへの影響評価
 6. 分子接合部熱輸送機構の理解と制御
 - 6.0) ワイヤ状試料の精密熱伝導率測定技術の確立 (計画変更により新設)
 - 6.1) 熱輸送現象の分子スケール計測
 - 6.2) 接合部の熱輸送シミュレーション

(2) 山下グループ

- ① 主たる共同研究者: 山下 一郎 (大阪大学大学院工学研究科 特任教授)
- ② 研究項目
 1. CNT 系断熱性熱電接合の高性能化
 - 1.2) C-Dps の高性能化とアプタマー選択指針となるインデックス作成
 - 1.3) アプタマー提示球殻状タンパク質の CNT 吸着メカニズム解明
 - 1.4) 球殻状タンパク質内部での無機材料ナノ粒子合成
 2. 断熱性熱電接合の各種ナノカーボンへの水平展開
 - 2.2) 各種ナノカーボン材料用アプタマーの新規創製