

ナノ構造体を用いた新規材料の開発

工学研究院機械知能工学研究系 教授 児玉 高志



令和5年3月1日付で機械知能工学研究系に着任いたしました児玉高志と申します。マルチスケール熱伝導研究室を新たに立ち上げまして、学生さんと一緒に教育、および研究活動に邁進しております。この度は貴重な誌面をお借りして自己紹介、および研究紹介を行う機会をいただきまして誠にありがとうございます。

自己紹介

私は茨城県の私立清真学園高等学校を卒業した後、1997年より東京工業大学生命理工学部において修士、その後、同大学院に進学し、修士、博士(工学)の学位を大谷博之

准教授の指導の下で取得いたしました。学生時代の専門は生物物理学で、主に生体高分子の1分子測定を光学顕微鏡や走査型プローブ顕微鏡を用いて行っておりまして。同卒業研究を通じて、顕微鏡測定や化学修飾技術、たんぱく質などの生体材料の取り扱いについての理解が深まり、この学生時代の研究は現在においても研究テーマの立案などに強く影響しております。

そして同大学を修了した後、2006年4月より、日本学術振興会の特別研究員制度の支援を受けまして、アメリカのスタンフォード大学機械工学専攻のケン・グッドソン教授のグループに博士研究員として留学をいたしました。この留学を契機として生物学から現在の専門分野である熱エネルギー工学へ転向致しまして、主にマイクロ加工デバイスをを用いたナノスケール熱伝導測定を技術的な強みとして、幅広い形態の実験試料

を対象として新規熱機能性材料の研究開発に従事してきました。特別研究員終了後もグッドソン先生に継続して雇用していただきまして、リサーチアシリエントとして2015年いっぱいまで計10年間、アメリカで研究活動を行ってまいりました。

そして帰国後の2016年4月より東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻におきまして、主に企業との産学連携研究を担当する社会連携講座の特任准教授として働く機会を頂きました。本学着任前の2023年2月まで約7年間、主にAGCや古河電工との共同研究を行うかたわら、講義や演習、大学院生の卒業研究指導に従事してまいりました。

研究紹介

私の専門である熱エネルギー工学は現在、高密度集積素子の冷却問題をはじめ、石油資源の枯渇や原子力発電の安全性への懸念から囑望される代替エネルギー問題といった多くの次世代科学の命題に対して非常に重要な役割を担っている学問領域です。そして産業界は現在、大きな技術革新を基礎研究に求めているとい

えます。私はそのような熱工学分野の中で、特に固体材料の熱伝導制御や新規材料開発に取り組んでいます。図1のように、温度差から直接電力を取り出す熱電変換素子ばかりでなく、銅を上回る優れた高熱伝導材料や市販材料よりもさらに熱伝導率の低い新規真空断熱材や透明断熱材など、環境エネルギー問題に関連性の高い研究テーマが熱工学には数多く存在しています。そのような中で私は、ナノレベルで優れた物性を示す

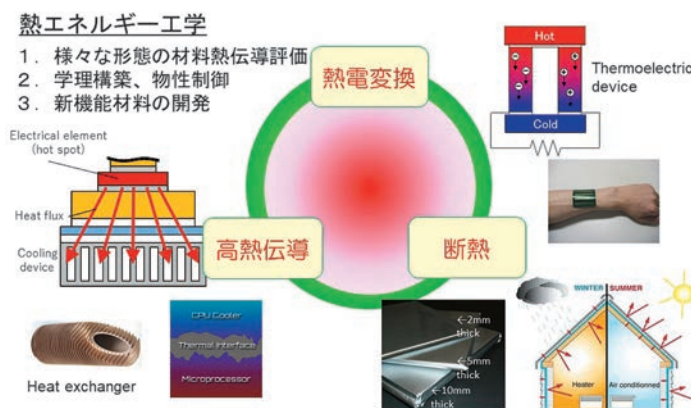


図1 熱エネルギー工学の模式図

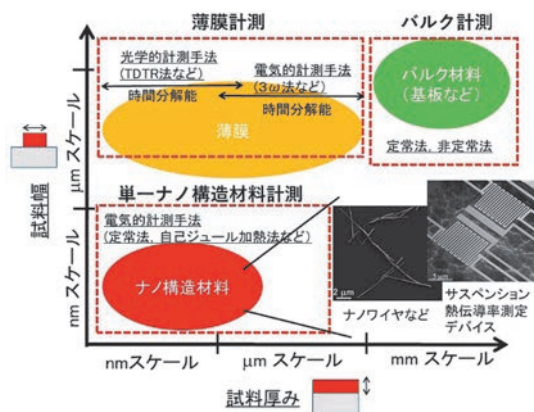


図2 独自のマルチスケール熱伝導率評価法

ナノ構造材料の特性をうまく利用して、次世代熱機能性材料の開発に取り組んでいます。

近年のナノテクノロジーと総称される一連の化学合成技術や微細加工技術の発展により、多様なナノ構造体を高品質で製作することが可能となり、またそれらがバルク材料とは異なる優れた物性を有していることが理論的に予測されています。そのため新規材料の創製においてはナノレベルでの構造制御が主流となりつつあり、さまざまな研究結果が意欲的に報告されています。しかし、このようなナノ構造体を熱デバイスに

応用するためには、大きく2つの課題が存在すると私は考えています。

1つ目の課題は、バルク構造体にスケールアップした際に生じる熱物性の変化です。私はこれまでに重点的に研究しているカーボンナノチューブ (Carbon nanotube, CNT) を例とすると、CNTはチューブ1本のレベルでは銅を上回る高い電気・熱伝導率を示すことが理論的・実験的に明らかになっていますが、一方で、産業応用するためにはバルク構造化 (薄膜や線材) が不可欠です。CNTをマクロスケールの材料形態にした場合、材料伝導率が著しく低下することが報告されており、この「性能劣化」のメカニズムを解明することが工学応用において重要なポイントとなっています。

そして2つ目の課題として、次世代熱機能性材料として高い注目を集めている単一ナノ構造体や二次元材料など、ナノレベルの熱伝導率評価の技術的障壁の高さが挙げられます。図2は試料形態に応じて使われる熱伝導率の測定手法をまとめた表になります。試料がバルク構造体の場合には、一部の例外を除いて定常法な

どの手法によって熱伝導率を比較的に容易に評価することができ、薄膜の場合には、3オメガ法や時間領域サーモリフレクタンス法など、熱の拡散深度を制御して測定感度を高める手法によって伝統的に測定が行われています。しかしナノ構造体1本や二次元材料などの熱伝導率に関しては、環境への熱散逸を抑制させるために部分的に宙に浮いた測定デバイスを

微細加工プロセスによって準備しなければならぬなど専門性が高く、簡便な測定手法が確立されていません。そのため、ナノ構造体の熱物性に関する実験結果が圧倒的に不足しているのが現状であり、このような基礎研究の遅れがナノ材料を用いた熱デバイス設計や効率的な研究開発の妨げになっているといえます。

私は「マルチスケール熱伝導測定技術」として、ナノからマクロスケールまで幅広い形態の材料の熱伝導測定を専門としており、これまでの代表的な研究成果として、2017年にNature Materials誌に掲載されたCNTの分子内包効果の発見が挙げられます (図3参照)。材料を微視的な観点から階層評価によって伝

導機構を解明し、さまざまな環境エネルギーにとつて有用な材料開発に取り組んでいます。

おわりに

本学に着任してまだ日が浅いですが、九州工大の学生は真面目で手動かす作業に秀でた学生が多い印象を受けており、今後の教育、および研究活動を本学で行えることに大きな喜びを感じております。今後ともご指導、ご鞭撻のほど、よろしくお願いたします。

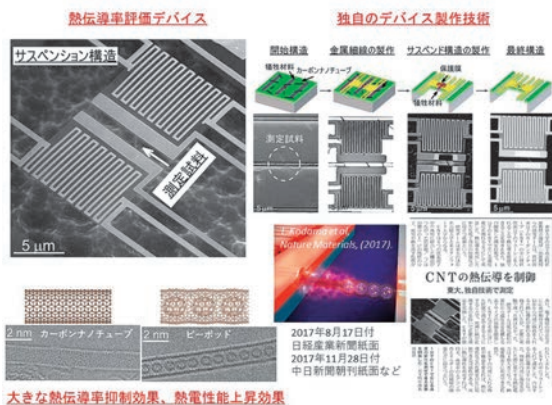


図3 CNTの熱伝導性の分子内包効果の発見