

カイラル型カーボンナノチューブに期待される熱駆動アインシュタイン・ドハース効果

[1] 要旨

磁性体に磁場を印加すると物体が回転する。この現象はアルベルト・アインシュタインが生涯で唯一行った実験としても知られており、アインシュタイン・ドハース効果と呼ばれている。磁場の代わりに温度差を印加することでも物体は回転するが、この「熱駆動アインシュタイン・ドハース効果」の明確な観測は未だ行われていない。最近、カイラル構造を有するカーボンナノチューブ（カイラル型 CNT）が、有力な候補物質であることが理論的に提案された。

[2] 本文

物質に熱を印加するとさまざまな物理現象が現れる。温度差によって電圧が生じる熱電効果はその代表例である。このような熱制御に基づく技術は、エネルギーの効率的利用や IoT 機器への電源供給などに関する現代社会の課題解決とも密接に関わっている。

熱によって発現する機能は物質の構造に強く依存する。原子がらせん状に配列したキラル物質では、その構造に由来して格子振動に回転運動を伴う「カイラルフォノン」と呼ばれる特異な励起が生じる。このような物質に熱を印加すると、カイラルフォノンが持つ角運動量が角運動量保存則に従って物体全体の回転として現れる。この現象は「熱駆動アインシュタイン・ドハース効果」と呼ばれ、熱制御による新たな機能発現として近年注目されている。

従来のアインシュタイン・ドハース効果は、磁場によって磁性体の磁化すなわち角運動量に変化し、その結果として物体が回転する現象であり、物質中における角運動量保存則を直接的に示す重要な実験として知られている。一方で、その熱的対応物である熱駆動アインシュタイン・ドハース効果は、これまで明確な実験的観測には至っていない。その主な要因として、観測に十分適したカイラル物質の提案がなされてこなかったことが挙げられる。

最近、東京理科大学理学部のメンバーは産業技術総合研究所のメンバーと協力し、カイラル構造を有するカイラル型 CNT が有望な候補物質であることを提案した。カイラル型 CNT は、従来の無機キラル結晶と同様にカイラルフォノンを保持するだけでなく、熱駆動アインシュタイン・ドハース効果の観測に適した特性を有することが理論的に明らかにされた（図 1）。本成果は 2026 年 3 月号の JPSJ に掲載された。

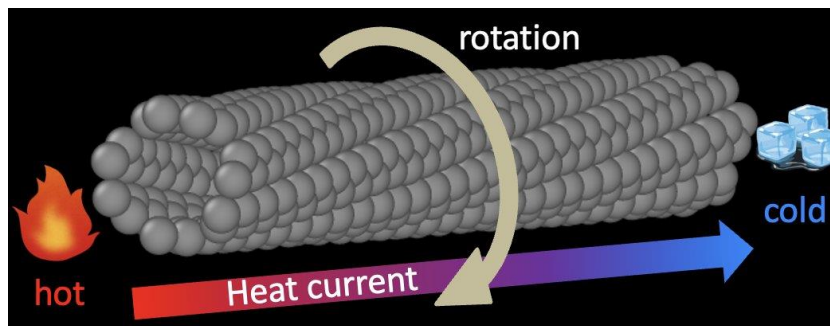


図 1. カイラル型 CNT における熱駆動アインシュタイン・ドハース効果の概念図。

カイラル物質の結晶構造には、らせんの巻き方向に対応した「利き手」（右手系・左手系）が存在する。カイラル型 CNT においても同様に、右手系および左手系が存在する（図 2）。熱駆動アイン

シュタイン・ドハース効果では、この利き手に応じて回転方向が決まり、例えば右手系では右回転、左手系では左回転が生じる。一般に無機結晶では、利き手の制御が極めて困難であることが知られている。一方で、近年のカーボンナノチューブ研究ではカイラル分離技術が大きく進展しており、右手系と左手系のカイラル型 CNT を選別することが可能となっている。さらに、CNT では長さや直径といった形状制御技術も確立されている。これらの技術的進展により、今後、カイラル型 CNT を用いた熱駆動アインシュタイン・ドハース効果の実験的観測が強く期待される。

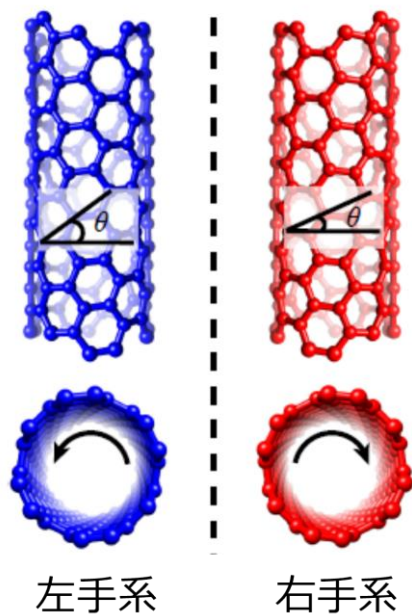


図 2. カイラル型 CNT の右手系と左手系の構造。図中の θ はカイラル角（左手系が $\theta = 36.6^\circ$ ，右手系が $\theta = 23.4^\circ$ ）を表す。

原論文（2026年2月24日公開済）

Thermal Einstein–de Haas Effect Induced by Chiral Phonons in Carbon Nanotubes

R. Akimoto, H. Matsuura, and T. Yamamoto, *J. Phys. Soc. Jpn.* **95**, 033801 (2026).

<情報提供：山本貴博（東京理科大学）
松浦弘泰（産業技術総合研究所）>