

熱したフライパンに水滴を垂らすと、水滴が蒸発せずに長時間動き回る現象が見られ、この現象はライデンフロスト効果として知られている [1]。ライデンフロスト効果は、液滴を垂らす固体表面がその液滴の沸点より十分に高温の場合に発生し、液滴下部の瞬間的蒸発により発生した蒸気膜によって液滴への熱の伝導が妨げられる現象である。この効果を受ける液滴は蒸気膜によって浮遊しているため、表面との摩擦が極端に小さくなり、容易に動き回る。ライデンフロスト効果は熱伝導を阻害するため、冷却過程における速度や温度に悪影響を及ぼす。そのため、ライデンフロスト効果の発生を防ぐ表面加工 [2] や混合液によるライデンフロスト効果の抑制が研究されているが、そのほとんどはマクロスケールにおけるものであり、ナノスケールにおいては理論研究のみが行われてきた。本研究では、多層 CNT あるいはカーボンナノ四面体/リボン構造 [3] の表面に金粒子を担持し、加熱による金粒子の挙動を TEM 内でその場観察した。加熱は、単純加熱とジュール加熱の二つの方法で行った。

単純加熱による挙動観察において、加熱温度:1000°C・昇温速度:1000°C/s の条件で金粒子が移動した。しかし、加熱温度:1000°C・昇温速度:10°C/s の条件では金粒子の運動は見られなかった。そこで二つの加熱条件において、金粒子の時間経過ごとの直径をグラフにプロットし、粒子の寿命を比較した。その結果、昇温速度:10°C/s の条件に比べて昇温速度:1000°C/s の条件の粒子が長寿命であることが明らかとなった。急激な温度上昇によって金粒子が活発に動き、長寿命化したことから、金粒子にライデンフロスト効果が発生したと結論付けた [4]。

ジュール加熱による挙動観察においても、多層 CNT とカーボンナノ四面体/リボン構造に担持された金粒子が移動した。担体によって印加する電圧は異なるが、どちらの担体においても接触の改善による担体温度の急上昇から金粒子が移動し始めた。また、金粒子が粒径を維持したまま移動したことから、ジュール加熱においてもライデンフロスト効果が発生したと結論付けた。

ジュール加熱による挙動観察では、金粒子による多層 CNT とカーボンナノ四面体/リボン構造の損傷の形成が見られた。多層 CNT では金粒子によって傷つけられた周辺で CNT が破断し、カーボンナノ四面体/リボン構造ではリボン部の一部を金粒子が切り離した。さらに、カーボンナノ四面体/リボン構造の表面において金粒子が傷つけた箇所を修復する様子が見られた。

損傷と修復は自由エネルギーの減少によって引き起こされるため、ライデンフロスト効果を伴わなくとも発生すると考える。しかし本実験において、損傷と修復はライデンフロスト効果が発生した金粒子にのみで表れた。このことから、ライデンフロスト効果が損傷と修復を促進したと推測する。金粒子は粒径が小さくなると触媒活性を示すため、ライデンフロスト効果によって発生した金の蒸気が損傷と修復を促進した可能性がある [5]。

本研究では、金を担持した多層 CNT およびカーボンナノ四面体/リボン構造への加熱によって、ナノスケールにおけるライデンフロスト効果を示す実験データを得ることができた。ナノスケールにおけるライデンフロスト効果の発生は、金属種の選択と実験条件に強く影響を受ける。このことが、ナノスケールにおけるライデンフロスト効果の発見を困難にしていたと推測する。また、ライデンフロスト効果の発生する金粒子が炭素系ナノ構造表面で損傷・修復といった機能を発揮することが明らかとなった。本研究結果は、ナノスケールにおけるライデンフロスト効果の理解を深めるとともに、幅広い分野での応用が期待される。

文献

- 1) J. G. Leidenfrost, *Int. J. Heat. Mass. Transf.* **9**, 1153-1166 (1966)
- 2) M. Jiang, Y. Wang, *et al.*, *Nature* **601**, 568-572 (2022)
- 3) T. Hasegawa and H. Kohno, *Phys. Chem. Chem. Phys* **17**, 3009-3013 (2015)
- 4) S. Ohba and H. Kohno, *J. Phys. Soc. Jpn.* **91**, 123601 (2022)
- 5) S. Ohba and H. Kohno, submitted