

(5) ポスター発表

柔粘性結晶の圧力熱量効果

—新しい固体冷媒への期待—

P43

Colossal Barocaloric Effect of Plastic Crystal –Perspective toward a New Solid Coolant–

川北 至信 yukinobu.kawakita@j-parc.jp

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 J-PARC センター

冷却技術の現在の主流は、気体冷媒の断熱膨張・圧縮を利用した蒸気圧縮方式だが、代替フロンガスといえども地球温暖化に関する環境負荷が大きいという問題がある。中国科学院 Bing Li 教授を中心とする我々の研究グループは、「柔粘性結晶」が比較的低い圧力で、従来の固体冷媒の 10 倍にも及ぶ発熱・吸熱を生じる巨大な「圧力熱量効果」を持つことを確認し、中性子散乱・X線回折・シミュレーションにより原子・分子レベルでそのメカニズムを解明した。

電場や磁場などの外的要因による物質の相転移を引き起こし、エントロピー変化に応じた熱量を吸熱または発熱する現象を熱量効果という。もちろん相転移に伴うエントロピー変化が大きければ大きいほど、熱量材料として優れた特性を有することになる。柔粘性結晶は、分子が格子状に集まってできた結晶で、温度上昇とともに分子内の運動の自由度が解放される吸熱反応(相転移)を示す。最終的には分子そのものが重心位置を格子状に留めたまま、その周りでぐるぐる回転を始める。研究グループは、このとき従来の固体熱量物質の 10 倍にも相当する熱量変化が起きること、また、比較的低い圧力によりこの分子回転を止める逆方向の相転移を起こせることを、ネオペンチルグリコール(NPG)を題材として、示した。図の ab は J-PARC の物質・生命科学実験施設(MLF)に設置された冷中性子ディスクチョッパー分光器アマテラスで測定された中性子準弾性散乱スペクトルである。0.1MPa の圧力では、分子の回転に伴う準弾性散乱が $E = 0$ meV の弾性散乱から続いているが、286MPa の高圧では準弾性散乱が消えて分子回転が止まったことが、直接的な証拠として分かる。またシミュレーションによっても圧力に伴う分子回転の停止が原子のトラジェクトリとして示された(図 cd)。

この柔粘性結晶の巨大な圧力熱量効果は、室温近辺で働いてくれる冷蔵庫やエアコンのような冷凍機の構造を大きく変える可能性を秘めている。蒸気圧縮方式では大きなコンプレッサーが必要であったが、物質を加圧減圧する仕組みだけで冷凍が可能となり、冷凍機の小型化、静音化、高効率化が見込めるからである。物質の低熱伝導や、結晶の分極の効果など、克服しなければならない課題は多いが、原理は簡単なので、新しい冷凍技術にまで発展させられれば、地球温暖化問題に一石投じることができるかもしれない。

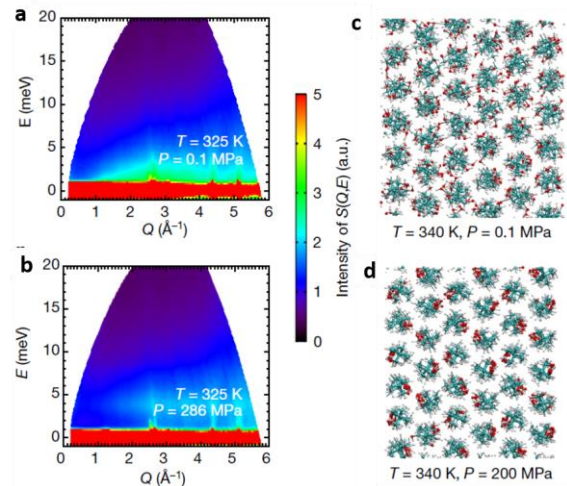


図 ab 温度 325K での NPG の中性子散乱スペクトル(a: 圧力 0.1MPa, b: 圧力 286MPa) 低圧では分子の回転に伴う準弾性散乱がエネルギー 0meV から続いている。cd 温度 340K での NPG の分子運動に関するシミュレーション結果(c: 0.1MPa, d: 200MPa) 分子を構成するすべての原子(CH 緑色, O 赤色)のトラジェクトリを重ねて表示している。高圧では O 原子位置がある方位に固定されており、分子全体の回転が止まっていることが分かる。

【共著者(所属)】

Bing Li(中国科学院金属研), Seiko Ohira-Kawamura(原子力機構), Takeshi Sugahara(大阪大), Hui Wang(カリフォルニア大、中南大), Jingfan Wang(フロリダ州立大), Yanna Chen(物材機構), Saori I. Kawaguchi(SPring-8), Shogo Kawaguchi(SPring-8), Koji Ohara(SPring-8), Kuo Li(北京高圧科学研究中心), Dehong Yu(ANSTO), Richard Mole(ANSTO), Takanori Hattori(原子力機構), Tatsuya Kikuchi(原子力機構), Shin-ichiro Yano(国家同步輻射研究中心), Zhao Zhang(中国科学院金属研、中国科学技術大), Zhe Zhang(中国科学院金属研、中国科学技術大), Weijun Ren(中国科学院金属研), Shangchao Lin(フロリダ州立大、上海交通大), Osami Sakata(物材機構), Kenji Nakajima(原子力機構), Zhidong Zhang(中国科学院金属研)

【参考文献】

[1] Bing Li et al., Nature 567(2019) 506

【関連WEB】

[1] <https://j-parc.jp/c/press-release/2019/03/29000233.html>

[2] http://english.imr.cas.cn/research/researchprogress/201903/t20190327_207259.html