

2023年1月24日

報道機関 各位

東北大学流体科学研究所

**ゴム伸縮時の弾性熱量効果を利用した
冷却機構の高効率化に成功**
フロンを代替する環境にやさしい空調の実現に期待

【発表のポイント】

- ・天然ゴムなどに代表される弾性体が持つ「弾性熱量効果*1」を利用した冷却機構の性能を定量的に評価しました。
- ・ゴムの弾性熱量効果による冷却機構は、フロン*2を用いたこれまでの冷却機構が持つ成績係数に劣らない値を有していることを明らかにしました。
- ・提案した冷却機構は出力向上が期待でき、冷房・冷却機器としての社会実装が期待できます。

【概要】

地球環境を考えなければならない今日、フロン冷媒などに代表される地球温暖化係数の高い温室効果ガスや二酸化炭素を用いた冷却を代替する冷却機構の実現が強く望まれています。このような背景の中、磁性体や弾性体といったカロリック材料*3と呼ばれる物質に注目が集まっており、それらを利用した新たな冷却機構の開発が活発に行われています。

東北大学流体科学研究所の Giulia Lombardi 研究員（日本学術振興会外国人特別研究員）、フランス国立応用科学院リヨン校 (INSA Lyon) の Gael Sebald 教授、Jacques Jay 教授、Laurent Lebrun 教授、Gildas Coativy 研究員および流体科学研究所の小宮敦樹教授らの研究グループは、天然ゴムなどの弾性体伸縮時の発熱・吸熱現象（弾性熱量効果）に着目し、この現象を用いて高温領域と低温領域を作り出すことにより、冷却機構の高効率化に成功しました。また、性能の向上についても検討を行い、弾性体の配置を最適化し、その熱量効果を有効に利用することで、成績係数 (COP) *4 が 6 以上となることを明らかにしました。フロンを利用した冷却機構の代替としての新たな冷却機構の実現が期待されます。

本研究成果は、2023年1月6日に国際的な学術出版大手の応用熱工学専門誌「Applied Thermal Engineering」にオンライン掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

冷房や冷蔵におけるエネルギー消費はこの30年で3倍にも膨れ上がり、全電力消費の20%を占めるまでになってきています。その需要は増すばかりで、更なるエネルギー消費が見込まれることは想像に難くありません。現在の冷房や冷蔵の技術は、主として冷媒の相変化を利用した冷凍サイクルが主となっており、運転には多くの電力を必要としており、また環境への影響が指摘されています。そのため現在、フロン冷媒などに代表される地球温暖化係数の高い温室効果ガスや二酸化炭素を用いた冷却を代替する冷却機構の実現が強く望まれています。このような背景の中、磁性体や弾性体といったカロリー材料と呼ばれる物質に注目が集まっており、それらを利用した新たな冷却機構の開発が活発に行われています。これらの方法は既存の冷却機構と異なり冷媒を用いないことから、環境にやさしい技術として注目を浴びています。しかしながら、出力が小さく実用化が難しいという点が問題でした。そこで本研究グループでは、天然ゴムなどの弾性体が持つ弾性熱量効果を利用した冷却システムの実現に向けて、熱輸送の観点から高効率で低温領域を取得できる条件について検討し、その実証実験に取り組みました。

研究の内容・成果

本研究グループによるこれまでの研究において、弾性熱量効果を利用した冷却機構は原理的には実現が可能であることが明らかとなっていました[1]。弾性体の伸縮による発熱・吸熱時に流体を接触させることで生じた熱の授受を行い、流体は高温側および低温側の2つの熱交換器にてその熱を移動させます。流体は常に2つの熱交換器と弾性体の間を往復しており、この繰り返しの動きにより、弾性体の伸延時の発熱を流体を介して高温側に移動させ、また低温側の熱を収縮時の弾性体に移動させることで「温度差」を作り出します(図1)。しかしながら、温度差を作り出すことができても、その効率については深い議論がなされておらず、本冷却機構のどの要素が冷却性能に最も影響を及ぼすかについては未解明でした。そこで本研究では、弾性体の形状や流体の移動量、弾性体伸縮と流体移動の関係等が性能にどのように影響を及ぼすかについて詳細検討し、最適条件を求めました。その結果、弾性体の伸縮周期と往復移動する流体の体積が冷却性能および出力に最も影響を与えることが明らかになりました。これにより運転状況設定時に、複数ある設定条件からどの要素を注視すべきかの指針が示されました。

また、冷却機構の実用的な応用に向けて、図2に示す2種の実験装置を用いて性能の向上についても検討を行いました。図に示されるように弾性体の配置を並列とし、熱を輸送する流体を共有化することで、実用化に値する出力を達成しました。それぞれ出力は図3(論文 Fig8)に示すように Device #1 では1.2W(230W/kg)、Device #2 では1.5W(140W/kg)となり、成績係数(COP)もそれぞれ6以上および5程度を達成しています。本研究で明らかにした最適化条件および実用的な応用に向けた出

力等の知見は、天然ゴムをはじめとする弾性体を新たな冷却機構の素材として利用できることを示しており、近い将来においてフロン利用の冷却機構の代替としての冷却機構の実現と、その社会実装が期待されます。

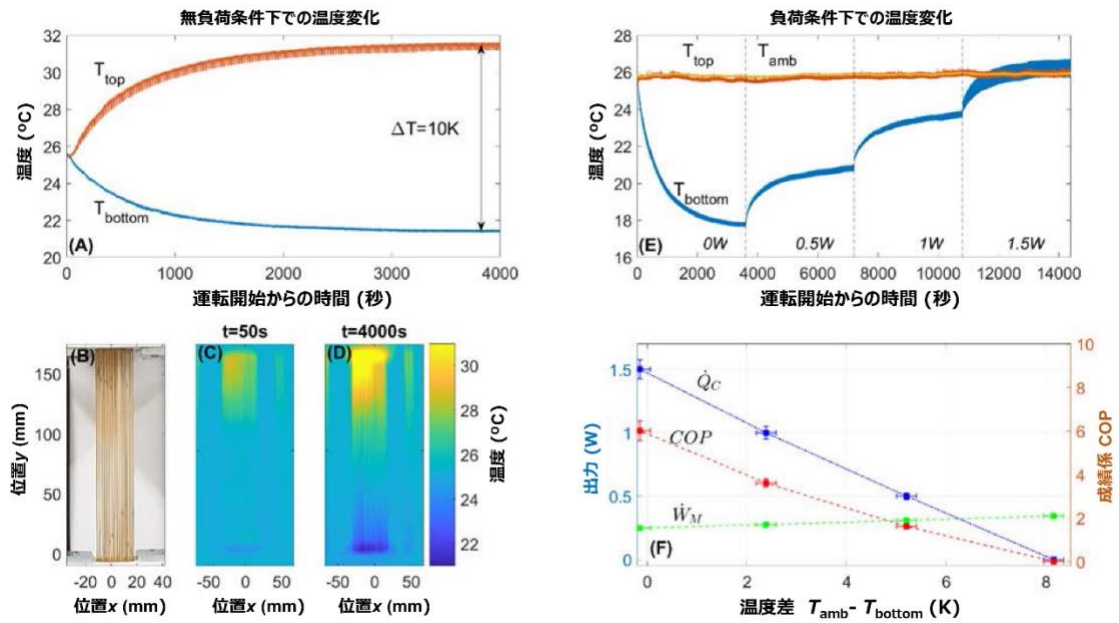


図 1: 弾性熱量効果によるゴムの冷却性能 (A)流体を介して熱移動させた際の高温側と低温側の温度 (B)ゴム伸縮実験装置の写真 (C)伸縮開始後 50 秒後のゴム表面の温度分布 (D)伸縮開始後 4000 秒後のゴム表面の温度分布 (E)低温側に熱量を加えることで弾性熱量効果の性能を評価 (F)冷却性能, 機械損失および成績係数と温度差の関係

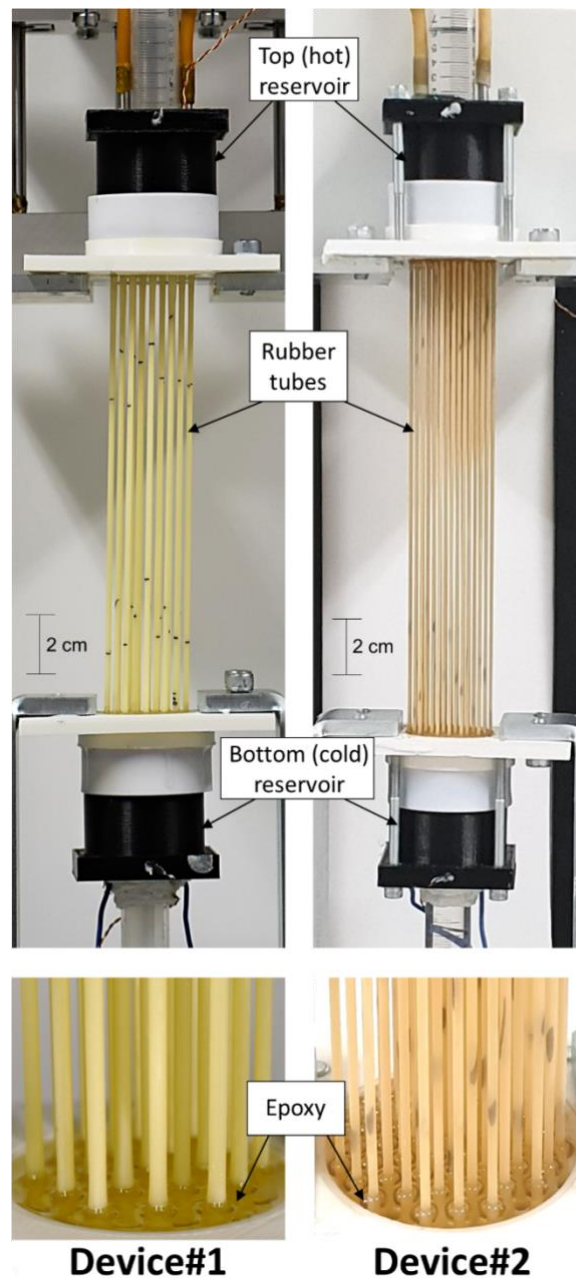


図 2: 性能評価実験に用いた弾性体並列設置の試験体 2 種 (Device #1) 外径 4.76mm の天然ゴムチューブ 19 本を並列配置 (Device #2) 外径 3.18mm の天然ゴムチューブ 55 本を並列配置

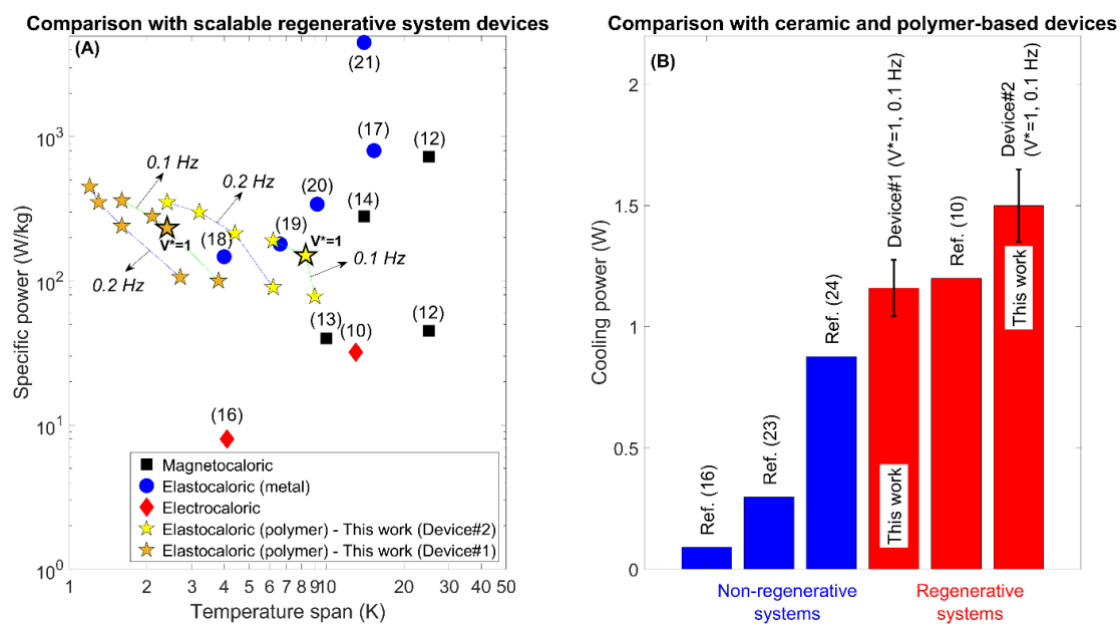


図 3: 他のカロリック材料との性能比較 (A)作り出された温度差と出力(性能)の関係 (B)セラミックおよびポリマーの熱量効果を用いた冷却機器の最大冷却能力比較

今後の展開

本研究を通して、我々の生活において至るところに存在するゴムなどの弾性体が、冷却機構を実現し得るに足る材料であることを証明しました。原理のみではなく高出力も期待でき、今後は社会実装に向けて更なる高効率化が課題となります。研究グループでは今後、本研究を通して明らかにしたエネルギー変換技術とその効率をさらに深掘りし、社会生活の中で局所的に必要とされている冷房・冷却機器への応用を目指すとともに、フロンによる冷却機構からの代替も期待しております。熱は「地産地消」であり、生じたその時その場所で利用するのが最も効率的です。この考えに基づき、弾性熱量効果で得られる熱量を冷却機構の実現だけにとどまらず、環境発電技術と融合させた発電も期待されます。

【用語解説】

*1 弾性熱量効果

弾性体の形状が急激に変形する際に、変形前後のエントロピーの差に相当する発熱や吸熱が起こる効果。

*2 フロン

フルオロカーボン(フッ素と炭素の化合物)の総称。エアコン、冷蔵・冷凍庫の冷媒や、建物の断熱材、スプレーの噴射剤などに活用されてきた。しかしオゾン層の破壊と地球温暖化など地球環境への影響が明らかになった。日本の法律では、オゾン層破壊

に大きく影響する CFC(クロロフルオロカーボン)や HCFC(ハイドロクロロフルオロカーボン)を「特定フロン」とし、破壊しない HFC(ハイドロフルオロカーボン)を「代替フロン」として、HFC などへの転換を進めてきた。しかし HFC は二酸化炭素をはるかに上回る温室効果がある。地球温暖化の防止のためフロンの排出を抑制するとともに、ノンフロンや温室効果の低い物質にしていくことが重要となっている。

*3 カロリック材料

磁場や電場、圧力場や応力場といった周囲の場の環境が変わる際に、断熱条件下で大きな温度変化を生じる物質の総称。

*4 成績係数(COP)

エアコンやヒートポンプなどの効率を表す指標で、機器の消費電力に対する得られる熱量で定義される係数。

【掲載論文】

タイトル: High-performance polymer-based regenerative elastocaloric cooler
著者名: Gael Sebald*, Giulia Lombardi*, Gildas Coativy, Jacques Jay, Laurent Lebrun, Atsuki Komiya
掲載雑誌: Applied Thermal Engineering
DOI 番号: 10.1016/j.applthermaleng.2023.120016

【付記】

本研究の一部は、Agence Nationale pour la Recherche (ANR, France) ANR-17-CE05-0016 および科学研究費補助金 基盤研究(C)(JP19K04230)の支援の下、日仏の以下の研究機関が参画して行われました。

ELyTMaX (CNRS, Univ. Lyon, INSA Lyon, Centrale Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Tohoku University), CETHIL, MATEIS (CNRS, INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1), LGEF (INSA Lyon), LTEN (CNRS, Univ. Nantes) および 東北大学流体科学研究所。

ElyT ウェブサイト: <https://www.elyt-lab.com/en>

【参考文献】

[1] Gael Sebald, Atsuki Komiya, Jacques Jay, Gildas Coativy and Laurent Lebrun

Regenerative cooling using elastocaloric rubber: Analytical model and experiments

Journal of Applied Physics, Vol.127 (2020-03), 094903.

DOI: 10.1063/1.5132361

【問い合わせ先】

<研究に関して>

東北大学流体科学研究所

教授 小宮 敦樹 (こみや あつき)

Tel: 022-217-5876

E-mail: komiya@tohoku.ac.jp

CNRS, INSA Lyon

教授 Sebald Gael (英語対応)

E-mail: gael.sebald@insa-lyon.fr

<報道に関して>

東北大学流体科学研究所 広報戦略室

Tel: 022-217-5873

E-mail: ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp