

岡山大学記者クラブ  
文部科学記者会  
科学記者会 御中

令和4年2月17日  
岡山大学  
中国精油株式会社

## バイオベース高分子を殻材とする蓄熱マイクロカプセルの高速生産

### ◆発表のポイント

- ・マイクロ流路<sup>(1)</sup>と呼ばれる細い流路に原料液を送液し、混合するだけで潜熱蓄熱材<sup>(2)</sup>を内包したバイオベース高分子<sup>(3)</sup>マイクロカプセルを高速連続製造する技術を開発しました。
- ・本製造技術で得られた50–100 μm程度のバイオベース高分子マイクロカプセルは、過冷却<sup>(4)</sup>を起こさず、優れた蓄熱性能を示すことが確認されました。
- ・この環境低負荷な蓄熱マイクロカプセルを建築建材や保温容器に導入することによって、未利用熱<sup>(5)</sup>を有効活用でき、省エネルギーに繋がるものと期待します。

岡山大学学術研究院自然科学学域（工）の渡邊貴一研究准教授、小野努教授と同大学院自然科学研究科博士前期課程の坂井優子大学院生は、中国精油株式会社と共同でマイクロ流路を用いたバイオベース高分子を殻材とする蓄熱マイクロカプセルの高速生産技術を開発し、その蓄熱特性を評価しました。本研究成果は1月26日、アメリカ化学会の「*ACS Materials Au*」誌に公開されました。

物質が液体-固体に相変化する際に生じる熱を吸収・放熱する材料を潜熱蓄熱材と言います。これまで、蓄熱材を高分子殻材で包むカプセル化技術は、蓄熱材の周囲環境への漏出を防ぐために多く開発されてきましたが、合成高分子を殻材として有害なホルマリンを用いる場合や、数時間の重合反応を要する手法でした。本研究では、原料液をマイクロ流路に送液するだけの簡便な方法によって、バイオベース高分子を殻材とするホルマリンフリーの蓄熱マイクロカプセルを連続的に製造できるようになりました。今後、本材料を建材や保温容器に導入し、冷暖房の代替とすることによって電力消費を削減でき、省エネルギーに繋がることが期待されます。

### ◆研究者からのひとこと

これまでのパラフィン系蓄熱カプセルの原料や製造工程を見直し、産学共同でバイオベース材料のみでホルマリンも用いず従来と同等性能の蓄熱カプセル調製を実現しました。本手法ではさらにサイズを揃えて製造できることから、より高い付加価値の提供も期待できます。



小野教授

## PRESS RELEASE

### ■発表内容

#### <現状>

日本におけるエネルギー消費は年々増加しています。日常におけるエネルギー消費の多くは、冷房・暖房・給湯などの熱エネルギーに由来するものです。工業でも、製品生産や発電で大量の熱が発生しています。なかでも 150℃以下の熱は、再利用が困難なため、未利用熱として廃棄されています。近年、省エネルギーの観点から、熱を直接蓄えて必要な時間・場所で熱を利用する「蓄熱技術」が注目されています。蓄熱材は、

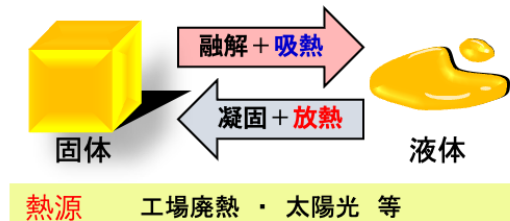


図1. 蓄熱材の相変化による熱の出入り

氷-水の相変化と同様に、高温環境下で周囲から熱を吸収して液体となり、低温環境下では周囲に熱を放出して固体となることで、周囲の温度を一定に保つ働きを持ちます（図1）。これまで様々な蓄熱材が開発されていますが、高い蓄熱密度と繰り返し使用での耐久性、融点の調節性などの観点から、パラフィン<sup>(6)</sup>系蓄熱材に関する研究が多くおこなわれています。特に、蓄熱材を応用する際は、相変化時の蓄熱材の漏出防止や熱伝導の観点から、蓄熱材を高分子殻で覆った材料（蓄熱マイクロカプセル）の使用が望まれています。これまで、その殻材として、高強度な Melamine-Formaldehyde 樹脂やアクリル系樹脂などが検討されてきました。しかし、それらの殻形成には、重合反応が必要なため、調製に長時間を要すること、また未反応モノマーの残留が住環境への適応の際に課題になることなどの問題点がありました。そのため、生体適合性の高い高分子を殻材とする蓄熱マイクロカプセルを簡便に製造する技術が求められています。

#### <研究成果の内容>

本研究では、マイクロ流路を用いた液滴生成技術と液滴から溶媒を迅速に拡散除去する手法（溶媒拡散法）を組み合わせることによって、バイオベースの生体適合性高分子である酢酸セルロース<sup>(7)</sup>を殻材とする大きさの揃った蓄熱マイクロカプセルを高速生産する技術を開発しました（図2）。マイクロカプセルの殻厚や直径は溶液の組成や流速などで調節できることも示しました。このマイクロカプセルに核化剤<sup>(8)</sup>や架橋剤を微量添加すると、過冷却の発生を抑制でき、優れた蓄熱特性を示すことがわかりました（図3）。このマイクロ流路を用いた蓄熱マイクロカプセル製造技術は、本系に限らず、溶媒に可溶性高分子や蓄熱材に適用できるため、様々な組成の蓄熱マイクロカプセルの製造への応用が期待されます。

PRESS RELEASE

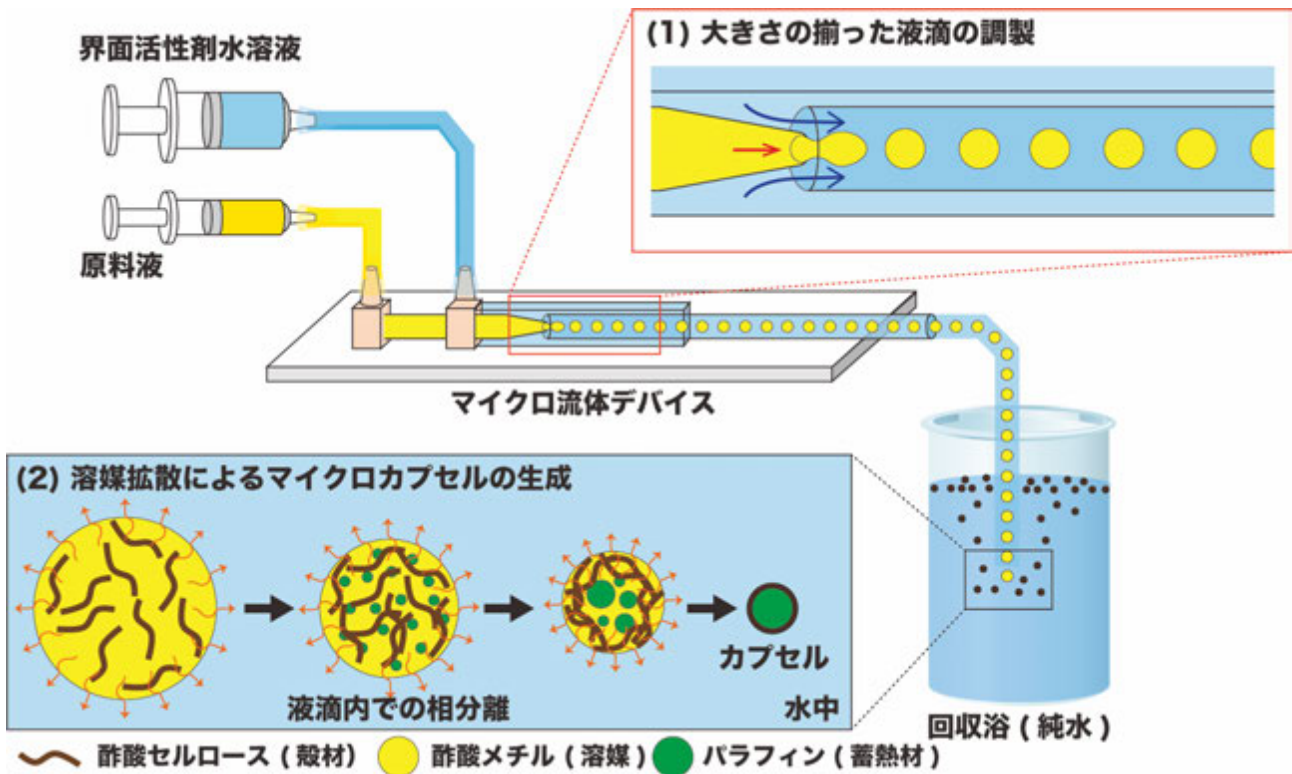


図 2. マイクロ流体を用いたバイオベース高分子を殻材とする蓄熱マイクロカプセルの調製

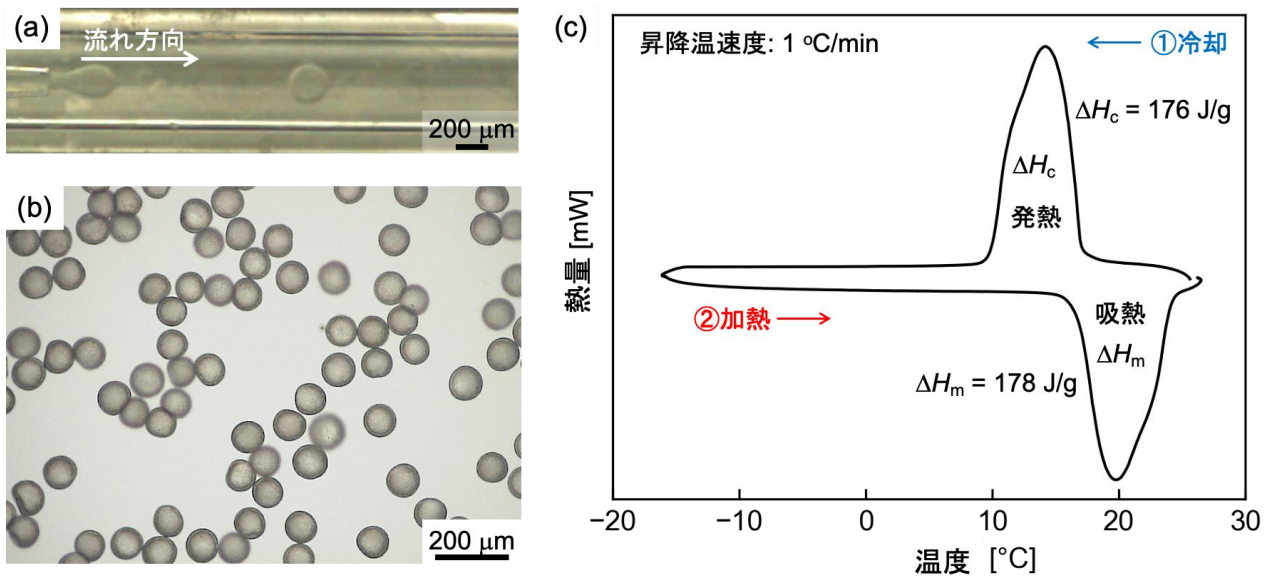


図 3. (a)マイクロ流路を用いた液滴調製時の顕微鏡写真, (b)得られた蓄熱マイクロカプセルの光学顕微鏡写真, (c) 示差走査熱量計を用いた蓄熱マイクロカプセルの蓄熱測定結果(蓄熱材としてヘキサデカンを使用)



## PRESS RELEASE

### <社会的な意義>

「地球温暖化の防止」は、世界中で取り組むべき共通の課題となっています。日本においても、2030年度の温室効果ガス排出量を26%削減（2013年比）するため、産業～家庭まで様々な省エネルギーに関する取り組みが進められています。特に、現在、廃棄されている未利用熱を蓄熱材に蓄熱し、日常生活における必要な時間・場所において、熱エネルギーとして再利用できれば、大幅なエネルギー・温室効果ガス排出量の削減に繋がります。本研究成果は、これまでほとんど報告例のないバイオベース高分子を殻材とする蓄熱マイクロカプセルを簡易製造できるものであり、工業的にもその価値は極めて高いものと考えます。今回の報告では、概念実証のため、モデル蓄熱材として市販の石油資源由来のパラフィンを使用していますが、中国精油株式会社では、既にバイオマス由来のパラフィンも開発しています。これを本技術に適用することで殻材だけでなく、内包物もバイオマス由来の材料で蓄熱マイクロカプセルを調製することも実証済みです。これは、蓄熱技術による低炭素化社会実現に向けて貢献しうる画期的な研究成果であると考えます。今後は、本材料を建材や保温容器などに複合化する手法を開発することで、それらの社会実装が期待されます。

### ■論文情報

論文名：Microfluidic Production of Monodisperse Biopolymer Microcapsules for Latent Heat Storage

掲載紙：ACS Materials Au

著者：Takaichi Watanabe, Yuko Sakai, Naomi Sugimori, Toshinori Ikeda, Masayuki Monzen, and Tsutomu Ono

DOI：10.1021/acsmaterialsau.1c00068

URL：https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsmaterialsau.1c00068

### ■研究資金

本研究は、経済産業省 戦略的基盤技術高度化支援事業 JPJ005698「大幅なCO<sub>2</sub>低減を実現する世界初バイオマス由来の蓄熱材開発」の支援を受けて実施しました。

### ■補足・用語説明

1. マイクロ流路：微細加工技術を利用して作製された、マイクロサイズの微小容器の総称です。近年、化学工学や有機合成、生物工学などへの応用が盛んにおこなわれています。
2. 潜熱蓄熱材：潜熱とは、物質が相変化する（例：液体が固体になる）とき、温度変化を伴わない状態で変化する際に費やされる熱のことです。潜熱蓄熱材は、物質が相変化する際に吸収・放出する熱エネルギーを蓄え、それを必要な時と場所で利用する材料の総称です。一般的な潜熱蓄熱材としては、水やパラフィン、無機塩などが挙げられます。
3. バイオベース高分子：従来の石油原料から合成した高分子と異なり、再生可能なバイオマス資源を原料として合成される高分子（プラスチック）を意味します。たとえば、蚕が作る絹、とうもろ





## PRESS RELEASE

こしから生産可能なポリ乳酸、木材から得られるセルロースやその誘導体である酢酸セルロースなどはバイオベース高分子と呼ばれます。近年では、石油資源の枯渇、地球温暖化、マイクロプラスチック問題などの環境問題から、バイオベース高分子が注目されています。

4. 過冷却：物質の相変化において、本来相変化が起こる温度以下でもその状態が変化しないでいる状態を意味します。たとえば、水は凝固点の 0 °C で氷に相変化しますが、過冷却が起こると 0 °C 以下でも液体状態を維持します。潜熱蓄熱材の応用では、材料が所望の温度で凝固、融解することが求められるため、過冷却が起こらない材料設計が重要となります。

5. 未利用熱：製造業において、使用されずに廃棄される熱の総称です。たとえば、排ガスや排水が持つ熱、高温設備からの放熱、使われずに廃棄される熱などを意味します。特に 150°C 以下の温度域の熱は効率的に回収し難いエネルギーのため、未利用熱の多くはこの温度域の熱となっています。今後、未利用熱をうまく利用していくことが省エネルギーを推進する上で有効な戦略と考えられています。

6. パラフィン：石油原油から蒸留や精製などの工程を経て得られる炭素数が 15~40 程度の炭化水素化合物の混合物のことです。本研究では、モデル蓄熱材としてパラフィンの一種であるヘキサデカンを使用しています。これは炭素数が 16 の飽和炭化水素です。

7. 酢酸セルロース：綿花や木材などの非可食性生物由来のセルロースを原料とし、その一部の水酸基を酢酸で化学修飾することで得られるバイオベース高分子です。セルロースと比較して、溶剤に溶解しやすいことが特徴です。

8. 核化剤：ここではパラフィンの凝固（結晶化）を促進し、過冷却の発生を抑制するための添加物を意味します。

### <お問い合わせ>

岡山大学学術研究院 自然科学学域

教授 小野 努

(電話番号) 086-251-8083

(FAX) 086-251-8083

