

配信先：大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

2026 年 1 月 13 日

大阪公立大学

科学技術振興機構（JST）

海洋マイクロプラスチック問題の解決に貢献 ～天然由来の光反応性分子で環境にやさしいカプセルを合成～

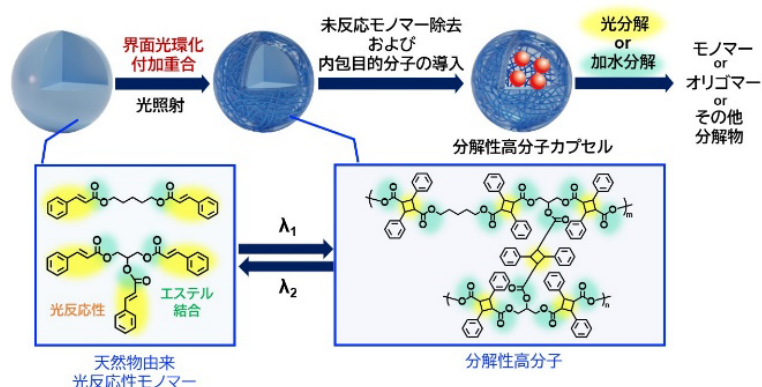
<ポイント>

- ◇天然物由来の桂皮酸やグリセリンなどから誘導した光反応性モノマー※¹ に対して光照射することで、水溶媒において開始剤や触媒を一切使用せずに、分解性高分子カプセルが合成できる重合技術※² を開発。
- ◇色素や香料を安定して内包できる分解性高分子カプセル※³ が簡便に作製でき、光分解または加水分解によりモノマーや自然界に存在する物質への分解が可能。
- ◇合成プロセスの安全性を維持しつつ、合成規模を従来の 100 倍に拡大することで、大規模合成への可能性を示した。

<概要>

高分子カプセルは薬剤や香料などの機能性物質を封入できるため、機能性化粧品や日用品など幅広く利用されています。しかし、従来のカプセルは非分解性高分子が用いられているため、自然環境で分解されにくく、海洋マイクロプラスチック問題の一因として生態系や人の健康への影響が指摘されています。

大阪公立大学大学院工学研究科の北山 雄己哉准教授、山下 美里大学院生（博士前期課程 2 年）、原田 敦史教授らの研究グループは、天然物由来の桂皮酸やグリセリンなどから誘導した光反応性モノマーに対して光照射することで、開始剤や触媒を一切使用せず、水溶媒において分解性高分子が合成できる重合技術（界面光環化付加重合※⁴）を開発しました。その結果、分解性高分子カプセルが簡便に作製でき、光分解または加水分解により、モノマーや自然界に存在する物質へ変換することが可能になりました。この高分子カプセルには、低分子蛍光色素や香料を安定して内包できます。また、合成プロセスの安全性を維持しつつ、合成規模を従来の 100 倍に拡大しました。さらに、数 100 ミリリットルスケールでの合成を実証することで、大規模合成への可能性を示しました。本研究結果は、化粧品や香料など幅広い分野への応用と、従来の高分子カプセルによる環境問題の解決への貢献が期待されます。



分解性高分子カプセルの新規重合法：界面光環化付加重合の反応スキーム

本研究成果は、2026年1月15日に国際学術誌「Chemical Science」にオンライン掲載される予定です。また、2026年1月28日にIssue 4のoutside front coverにも採用される予定です。

人類はこれまで、プラスチックの恩恵を受けて生活を豊かにしてきました。プラスチックが環境問題の一因となっている現代において、環境にやさしいプラスチック微粒子材料を開発する本研究の成果が、人類社会に貢献することを願っています。



北山 雄己哉准教授

<研究の背景>

高分子カプセルは、内部にさまざまな機能性分子を内包できる高分子微粒子であり、香料やサンスクリーン剤（日焼け止め）を封入することで、化粧品や日用品分野で広く利用されています。しかし、これらの高分子カプセルはマイクロメートルサイズの微粒子であるため、環境中に流出しやすく、分解されない場合は蓄積し、海洋マイクロプラスチック問題の一因となることが懸念されています。近年、この問題は世界的な環境課題として認識され、生態系や人間の健康への影響が指摘されています。

従来の高分子カプセルは、モノマー滴界面で付加縮合やラジカル重合などの界面重合技術によって調製されてきました。しかし、これらの方法で得られるメラミン-ホルムアルデヒド樹脂^{※5}やビニルポリマー^{※6}は、自然環境下で分解されにくく、環境負荷が高いという課題がありました。またそもそも、重合反応に際して開始剤や触媒を必要とする場合、それら薬品の環境負荷について考慮する必要がありました。反応が行われる溶媒が有害である場合は、その処理についても問題になる可能性があります。一方、本研究グループは、これまでに光反応性官能基（桂皮酸エステル構造）を側鎖に持つビニルポリマー微粒子に、特定波長の光を照射することで、微粒子界面近傍で限定的に $[2\pi+2\pi]$ 光二量化反応^{※7}が進行する現象（界面光架橋反応）を発見しました。この技術により、未反応ポリマーを除去しつつ、目的分子を内包した高分子カプセルを簡便に作製できることを実証しました。しかし、この方法で得られるカプセルはビニルポリマー由来のため、分解性に乏しいという課題が残っていました。そこで本研究では、環境調和型の分解可能な高分子カプセルを開発するため、光反応を利用した新しい基盤技術の確立に挑戦しました。

<研究の内容>

本研究グループは、シナモンなどの植物に含まれる桂皮酸や、脂質に含まれるグリセリンなどの天然物由来分子をエステル結合で縮合した光反応性モノマーに光照射することで、高分子カプセルを調製できる新技術（界面光環化付加重合）を世界に先駆けて開発しました。この反応中では、光反応性モノマーに導入した桂皮酸エステル部位の $[2\pi+2\pi]$ 光二量化反応を素反応とする光環化付加重合が、モノマー微粒子界面近傍で生じる界面光環化付加重合が生じます。本重合では、開始剤や触媒を一切必要とせず、重合溶媒として環境調和型媒体である水を使用できます。すなわち、原料のすべてを天然物由来分子として高分子カプセルを調製できることになります。さらに、本技術を応用することで、未反応モノマーの除去とともに目的分子を内包して高分子カプセルを得ることができます。

本重合反応で素反応として採用する $[2\pi+2\pi]$ 光二量化反応は可逆反応であり、短波長の光を照射することにより逆反応（ポリマーがモノマーに戻る反応）が生じることが知られてい

ます。その特徴から、界面光環化付加重合によって合成された天然物由来高分子カプセルが、短波長光照射により光分解することが示されました。また、ポリマー中に含まれるエステル結合を加水分解することで、高分子カプセルを分解できることを明らかにしました。 $[2\pi+2\pi]$ 光二量化反応は脱離基の無い反応であり、高分子カプセルのシェル部は密な構造を有するため、モデル分子として内包した蛍光色素は1年以上の間、粒子内部に安定に封入されることを明らかにしました。この性質を利用して、香料成分として知られるリモネンを内包した高分子カプセルを開発し、カプセルを物理的に破砕することで香料を放出できる香料カプセルを開発できました。加えて、桂皮酸に種々の置換基を導入することで、光反応波長および光分解波長を長波長側にシフトできることを明らかにしました。これにより、可視光領域の光も高分子カプセル合成に使用可能となり、プロセス上の安全性が向上します。

さらに、高出力・大面積光源を用いることで、合成スケールを従来の100倍に拡大し、数100ミリリットル(mL)スケールでの合成に成功し、産業化に向けた大規模合成の可能性を示しました。本研究は、海洋マイクロプラスチック問題の解決に資する環境調和型材料の開発に加え、医薬品、化粧品、香料、肥料など幅広い分野への応用が期待される革新的な技術です。

<期待される効果・今後の展開>

本技術は、環境負荷を大幅に低減しながら、機能性分子を内包できる高分子カプセルを簡単に合成できる点で、持続可能な社会の実現に向けた革新的な材料技術です。今後は、異なる天然物由来分子への適用可能性を検証し、微生物や自然環境中での分解性を明らかにする予定です。これにより、医薬品、化粧品、香料、肥料など幅広い分野への応用とともに、環境調和型材料の新しい設計指針を確立することを目指します。

<資金情報>

本研究は、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業 さきがけ(JPMJPR24M3)、日本学術振興会科学研究費助成事業(JP21H02004、JP23K21137、JP24K01559)の支援を受けて実施しました。

<用語解説>

- ※1 光反応性モノマー：光照射により重合反応が可能な高分子の最小単位の分子のこと。本研究で用いる光反応性モノマーの中にはエステル結合を含む。
- ※2 重合技術：モノマーから高分子を得るための方法。
- ※3 高分子カプセル：粒子内部に目的の分子や物質を内包した高分子微粒子の総称。
- ※4 界面光環化付加重合：光反応性分子から構成される微粒子の界面近傍のみで生じる光環化付加反応を素反応とする重合技術のこと。
- ※5 メラミン-ホルムアルデヒド樹脂：メラミンとホルムアルデヒドの付加縮合によって得られる架橋高分子のことで、高分子カプセルの素材に使用されている。
- ※6 ビニルポリマー：ビニルモノマーをラジカル重合することにより得られる高分子のことであり、一般的には高分子主鎖が炭素-炭素結合で形成されているため、分解性に乏しい高分子である。
- ※7 $[2\pi+2\pi]$ 光二量化反応：桂皮酸エステルなどに含まれるアルケンが光照射により二量化反応し、シクロブタン環を形成する光反応の一つ。可逆反応であることが知られている。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Chemical Science

【論文名】 Interfacial photocycloaddition polymerization: a synthetic approach for structurally functionalized degradable polymer particles from naturally derived monomers

【著者】 Yukiya Kitayama, Misato Yamashita, Atsushi Harada

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1039/d5sc07979a>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院工学研究科
准教授 北山 雄己哉（きたやま ゆきや）
TEL : 072-254-9330
E-mail : kitayama@omu.ac.jp

【JST 事業に関する問い合わせ先】

科学技術振興機構 戦略研究推進部
グリーンイノベーショングループ
安藤 裕輔（あんど う ゆうすけ）
TEL : 03-3512-3526
E-mail : presto@jst.go.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課
担当：谷
TEL : 06-6967-1834
E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp

科学技術振興機構 広報課
TEL : 03-5214-8404
E-mail : jstkoho@jst.go.jp