

深海インスパイアード化学が切り拓くナノ乳化の新時代 —MAGIQ 法でエステル油をナノ乳化、化粧品への応用に道—

1. 発表のポイント

- ◆ 深海熱水噴出孔にヒントを得た独自技術で、化粧品素材のナノ乳化に成功
- ◆ 高温高压でも油剤が分解しにくいことを実証、安全性と機能性の両立に前進
- ◆ 次世代サステナブル化粧品の開発に貢献が期待される

2. 概要

深海の極限環境に学んだ新技術が、植物由来界面活性剤を活かしたナノ乳化という新たな選択肢を提示し、化粧品素材の製剤化に革新をもたらします。国立研究開発法人海洋研究開発機構（理事長 大和 裕幸、以下「JAMSTEC」という。）海洋機能利用部門 生命理工学センターの出口 茂センター長は、ポーラ化成工業株式会社（代表取締役社長 片桐 崇行）、国立大学法人京都大学（総長 湊 長博）大学院工学研究科の古賀 毅 教授と共同で、深海熱水噴出孔に着想を得たナノ乳化技術「MAGIQ (Monodisperse nanodroplet generation in quenched hydrothermal solution)」を用いて、化粧品素材の油剤を、直径 50 ナノメートル前後の超微細な油滴として水にナノ乳化することに成功しました。「MAGIQ」技術の汎用性を飛躍的に拡大する成果であり、高機能なサステナブル化粧品の開発・製造などへの応用が期待されます。

本研究の一部は、JST 戦略的創造研究推進事業 CREST「バロポリエステル：圧力による精密分解制御（課題番号：JPMJCR21L4）」の支援により実施されました。

本論文は Elsevier が発行する学術誌「*Journal of Colloid and Interface Science*」に 2025 年 9 月 23 日付（現地時間）でオンライン掲載されました。

タイトル： Deep-Sea-Inspired Bottom-Up Nanoemulsification of Alkyl Esters in Water（深海に着想を得たアルキルエステルのボトムアップナノ乳化）

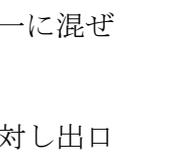
著者： 岡村拓弥^{1,2}、岡村枝里佳²、宗吉裕樹²、増田孝明^{1,2}、仁王厚志²、古賀 毅^{1,3}、出口 茂¹

1. 国立研究開発法人海洋研究開発機構 海洋機能利用部門 生命理工学センター、
2. ポーラ化成工業株式会社 横浜研究所、
3. 京都大学大学院工学研究科

DOI: [10.1016/j.jcis.2025.139043](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2025.139043)（オープンアクセス）

3. 背景

化粧品は主に水性成分、油性成分、界面活性剤から構成されており、これらを均一に混ぜ合わせる乳化技術は、製品の品質や機能性を左右する重要な要素です。

従来の乳化技術は、大きな油滴を物理的に砕く「トップダウン方式」です。これに対し出口センター長らは、深海熱水噴出孔から着想を得て、油分子が自発的に集まってナノサイズの油滴を形成する「ボトムアップ方式」の乳化技術「MAGIQ」を開発しました（1）。

深海熱水噴出孔では、臨界点（臨界温度：374℃、臨界圧力：218気圧）を超える高温・高圧の水が噴き出しており、そのような極限環境では水の性質が大きく変化します。この性質を利用したのが MAGIQ です。まず油と高温・高圧水を完全に混ぜた後、急冷しながら乳化剤を加えることで、油分子がナノサイズの液滴へと自己組織化します。

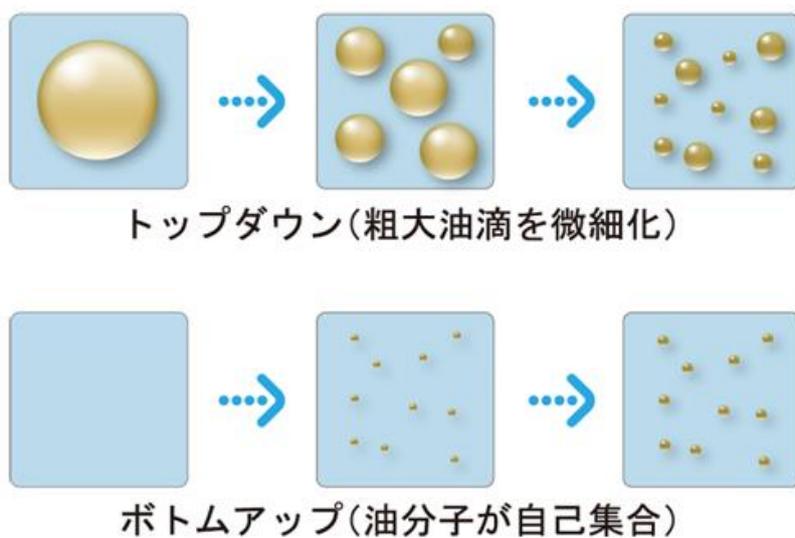


図1. トップダウン（上）とボトムアップ（下）の乳化プロセス。

深海熱水噴出孔では、また、冷たい深海水に溶けていた分子が高温の熱水と接触し、瞬時に超臨界状態となった後、再び冷水にさらされるというダイナミックな温度変化が繰り返されています（図2）。MAGIQ では、この特異な環境を再現した流通型乳化装置（図3）を用い、油が高温に晒される時間を5秒以内に抑えることで、熱分解を防ぎつつナノ乳化を実現しています。

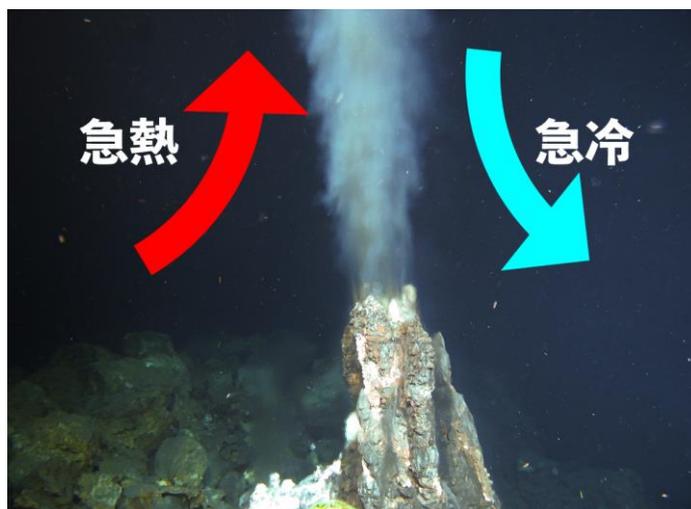


図2. 深海熱水噴出孔に特徴的な動的な高温環境。



図3. 株式会社 AKICO と共同開発した流通型の MAGIQ 乳化装置。高温高圧下で油と水を混合し、急冷することでナノ乳化を実現。深海熱水環境の温度変化を模倣した装置構成が特徴。

これまでの研究で、耐熱性の比較的高い炭化水素は熱分解することなくナノ乳化できることが確認されていました。一方、化粧品や食品などで広く使われるエステル油は、高温・高圧水中での加水分解が懸念されており、MAGIQ には適さないと考えられてきました。

4. 発表内容

そもそも熱に弱いエステル油と水の混合物が、高温・高圧下でどのように振る舞うのかは全くわかっていませんでした。そこで研究チームは分子レベルのコンピュータシミュレーションを用い、エステル油が高温・高圧の水に分子溶解すること（図4）、さらには溶解挙動が油剤の化学構造に依存することを初めて明らかにしました。

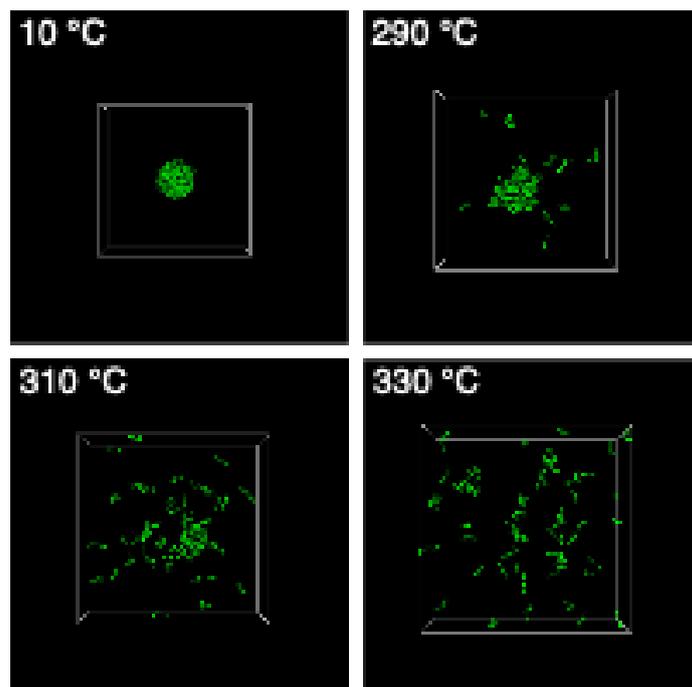


図4. 高温・高圧下でエステル油が水に溶解するシミュレーション。圧力は250気圧。

この知見をもとに、MAGIQを用いたエステル油のナノ乳化を試みたところ、シミュレーションで予測された油剤と水が混ざり合う温度以上で両者を混合したときに、油分子の自発的な自己組織化によって、油剤が直径50ナノメートル以下の超微細油滴として水に分散したナノエマルジョンを生成することに成功しました（図5）。

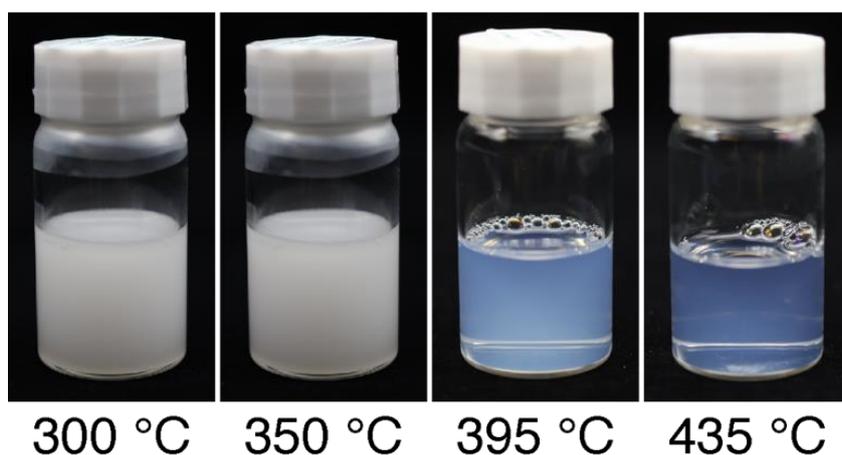


図5. 「MAGIQ」プロセスによるエステル油のナノ乳化。溶解温度（372°C）以上で水と油剤を混合した場合に、ボトムアップの油滴形成が起こり、透明度の高いナノエマルジョンが生成する。

特筆すべきことに、得られたエマルジョン中に含まれる加水分解生成物を定量したところ、予想に反してエステル油がほとんど分解されていない（最大でも 100 ppm 程度）ことがわかりました（図 6）。詳細な解析の結果、

- 1) 油が高温に晒される時間が 10 秒以下と極めて短い
- 2) 臨界点近傍の高温・高圧下での水物性が通常とは大きく異なる

以上の二つの要因により、エステル油の加水分解が高温条件下でも効果的に抑制されることが明らかになりました。

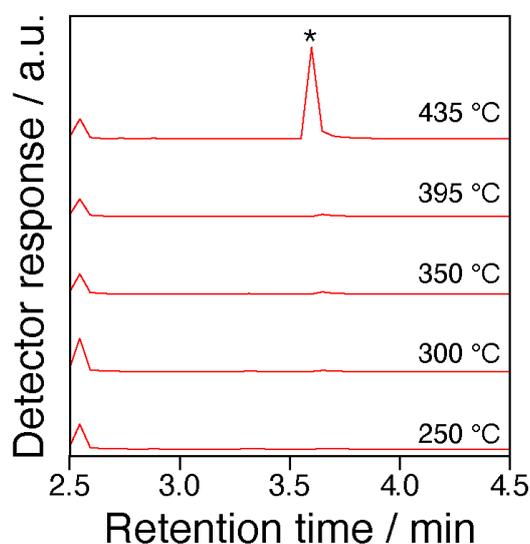


図 6. エステル油の加水分解による有機酸の生成。水とエステル油を 435°Cで混合した場合にのみ、100 ppm 程度の有機酸が検出された。

5. 今後の展望

化粧品業界では、植物由来の原料を活用した環境配慮型製品の需要が急速に高まっています。本研究により、MAGIQ でナノ乳化できる油剤の種類が想定以上に多いことが確認されました。これにより、植物由来の素材の機能性を損なうことなく活かせる、高付加価値かつ環境調和型の化粧品開発が可能になります。

MAGIQ は、深海環境の極限的な物理条件に着想を得た「深海インスパイアード化学 (Deep-Sea-Inspired Chemistry)」に基づくナノ乳化技術です。地球表面の約 70%を占める海洋、特に深海の利活用は、持続可能な社会の構築に向けた新たな科学技術のフロンティアとして注目されています。従来の深海研究は新種生物の発見や生態観察といった自然史的アプローチが中心でしたが、「深海インスパイアード化学」は、深海に見られる物理化学現象や生物の適応戦略に学び、技術革新につながる知見の創出を目指す学際的な研究分野です。これは資源開発ではなく、「知識と技術の創出」を目的とした全く新しいアプローチです。

「深海インスパイアード化学」に基づく技術は、すでに食品分野での事業化実績があります。高温・高圧連続生産プロセスを用いて製造された乳化多糖を含む飲料製品が国内市場で展開されており、この成果は第 50 回井上春成賞、および 2025 年高分子学会三菱ケミカル賞の受賞にもつながりました。こうした事例は、社会実装の成功例として高く評価されています。さらに「深海インスパイアード化学」は、プラスチック資源循環やバイオものづくりといった分野へも応用が進んでおり、持続可能な未来社会を支える次世代の基盤技術としての地位を確立しつつあります。

関連プレスリリース：

1. 「深海インスパイアード化学」のコンセプトを発表
－ カーボンニュートラル実現に向けた新たな深海利用の提案 －
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20230606/
2. 深海の極限環境にヒントを得たナノ乳化装置の販売を開始
－ 「超臨界水」によって透明度の高いナノエマルジョンを簡便に製造 －
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/archive/2016/20160119.pdf
3. 深海の極限環境にヒントを得た乳化技術の実用性研究に着手
－ 環境に優しい水ベースの機能性ナノ材料を共同開発 －
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/archive/2017/20170925.pdf
4. 圧力でオンデマンド分解が可能なプラスチックの研究開発に着手
－ 深海研究を応用したプラスチックのケミカルリサイクル －
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20220510/
5. 深海微生物のセルラーゼに固有の特徴を解明
－ 深海インスパイアード化学による持続可能なバイオものづくりに期待 －
https://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20241121/
6. 出口センター長が第 50 回井上春成賞を受賞
－ 深海の極限環境から着想を得た革新的なプロセスが社会課題の解決に貢献 －
https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20250819/
7. 出口センター長が 2025 年度高分子学会三菱ケミカル賞を受賞
－ 深海インスパイアード化学による高分子科学の革新が高評価 －
https://www.jamstec.go.jp/j/jamstec_news/20250929/