

中空ナノ粒子の“内側”を可視化する新手法を開発 — 簡単・高速な測定で材料開発への応用に期待 — 名古屋工業大学とマジェリカ・ジャパン株式会社による共同研究成果

【発表のポイント】

- 時間領域核磁気共鳴 (TD-NMR) (*1) を使い、中空粒子の「内側」と「外側」を分離して評価することに成功
- 粒子の中に閉じ込められた液体の動きを捉えることが可能に
- 内側と外側それぞれの特性を活かした材料設計につながる成果
- 壊さず・短時間で測定できるため、製造現場での品質チェックなどへの応用が期待される

【概要】

名古屋工業大学生命・応用化学類の高井千加教授と、マジェリカ・ジャパン株式会社の研究グループは、時間領域核磁気共鳴 (Time-Domain Nuclear Magnetic Resonance: TD-NMR) を用いて、中空シリカナノ粒子の「外側表面」と「内側表面」を分けて評価する新しい分析手法を開発しました。

中空シリカナノ粒子は、薬剤送達、断熱材料、化粧品、触媒担体など幅広い分野で注目されています。これらの粒子は外側と内側で異なる役割を担うことができる一方、従来の分析法では両者を区別して評価することが困難でした。

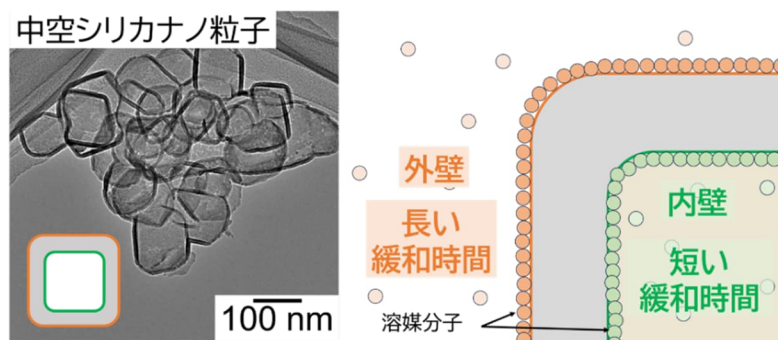
本研究では、TD-NMR を利用して粒子内部に閉じ込められた液体分子の運動状態を解析することで、外側表面と内側空間由来の信号を分離して評価することに成功しました。さらに、粒子濃度や内部空洞サイズとの関係を定量的に整理し、中空構造内部の表面特性を非破壊かつ短時間で調べられることを示しました。

本成果により、中空粒子の内部空間を活かした高機能材料設計や、製造工程における迅速な品質管理技術への応用が期待されます。

本研究は、名古屋工業大学とマジェリカ・ジャパン株式会社を中心に、名古屋大学、ブリストル大学 (University of Bristol、英国)、コロイド・コンサルタンツ社 (Colloid Consultants Ltd.、米国) との共同研究として実施されました。

本研究成果は、2026年5月6日に国際学術誌「*Advanced Powder Technology*」にオンライン掲載されました。

中空粒子の内壁と外壁表面の分離分析が可能に！



【研究の背景】

中空粒子は内部に空洞を持つことから、空洞を持たない中実粒子とは異なる断熱性、絶縁性、光散乱性など様々な機能を持ちます。そしてこれらの機能は空洞のサイズが小さくなるほど顕著に現れます。例えば中空シリカナノ粒子をポリマーフィルムに練り込んだ複合フィルムの熱伝導率は、空気と同等の断熱性を発現します。加えてこの複合フィルムは可視光に対し高い透過性を持ち、窓ガラスに貼りつけても視認性を妨げません。

中空粒子が持つ最大の特徴は、外壁表面と内壁表面という異なる二つの表面特性を持つことです。これらを個別に働かせることによって粒子が持つポテンシャルを最大限生かすことが可能になると考えられます。例えば、粒子の内壁にサーモクロミック特性（*2）を持つVO₂（二酸化バナジウム、温度に応じて赤外線透過性が変化する材料）を担持させた中空粒子をポリマーフィルムに分散させれば、上述の透明断熱性に加えて、電源不要のスマートウィンドウとして働くことが期待されます。このとき、中空粒子の内壁はVO₂が生成しやすい表面物性を持つことが必要で、外壁はポリマーフィルムに対し親和性のある表面であることが必要です。つまり、中空粒子が持つポテンシャルを最大限生かすためには、外壁・内壁表面の性質を分離して評価できる手法が必要になります。

しかし、それぞれの表面特性を個別に調べる方法はこれまで報告されていませんでした。赤外分光光度計や核磁気共鳴法などを用い、表面に由来する官能基の情報を得ることはできますが、両面の特徴として分離することは困難でした。また、従来の分析装置は大型で測定時間が長く、日常的な品質管理や製造現場への適用には課題がありました。研究グループはこれまで、TD-NMRを用いてナノ粒子表面のわずかな違いや分散状態を短時間で評価できる技術を開発してきました。今回、その技術をさらに発展させ、中空粒子内部の外壁・内壁分離分析に応用しました。

【研究の内容・成果】

研究グループは、中空シリカナノ粒子分散液に対してTD-NMR測定を行い、液体分子の緩和挙動を詳細に解析しました。その結果、粒子外側に存在する液体と、粒子内部空間に閉じ込められた液体とでは、分子運動の自由度が異なるため、異なる緩和特性を示すことを見いだしました。さらに、粒子濃度や内部空洞サイズを変化させることで、内側由来と外側由来の信号を分離し、それぞれを定量的に評価できる枠組みを構築しました。

本手法には以下の特徴があります。

- 試料を壊さずに測定可能
- 前処理不要
- 数十秒程度の短時間測定
- 内部空間に閉じ込められた液体の状態解析が可能

これにより、中空粒子内部の利用効率や表面設計の最適化に向けた新しい評価法となることが期待されます。

【社会的な意義と今後の展望】

中空ナノ粒子は、薬剤カプセル、断熱材、吸着材、化粧品材料、電池材料など、多様な産業分野で利用が進んでいます。今回の成果により、粒子内部空間を含めた界面設計が可能となり、より高性能な機能性材料の開発につながることが期待されます。

また、本手法は非破壊かつ迅速に測定できるため、研究開発用途だけでなく、製造ラインにおける品質管理や工程管理への応用も期待されます。特に、内部空間への物質封入状態や分散状態を短時間

で確認できる可能性があり、工業的な実用価値が高いと考えられます。

今後は、中空粒子の微構造の違いが表面物性に与える影響について調べ、本手法のさらなる改良を目指します。

【用語解説】

(※1) 時間領域核磁気共鳴 (TD-NMR)

核磁気共鳴 (NMR) により、励起された核スピンの時間と共にエネルギーを失っていく様子 (緩和) から試料中の分子運動性を数値化する手法。試料を壊さず、短時間で測定できる特徴を持つ。ゲル状物質などの弾性体の固さや不均一性の評価に用いられることが多い。また、液体中の粒子表面や分散状態の評価も可能である。

(※2) サーモクロミック特性

温度変化に応じて色や光学特性が変化する性質。代表例である二酸化バナジウム (VO_2) は、ある温度を境に赤外線透過・遮断特性が変化するため、温度に応じて熱の流入を自動的に調整するスマートウィンドウ材料として注目されている。

【論文情報】

論文名: Exploring inner surface of hollow silica nanoparticles by the time-domain nuclear magnetic resonance (TD-NMR)

著者名: Chika Takai-Yamashita, Junko Ikeda, Seiji Yamashita, Ikuya Ohno, Paul Kinyanjui Kimani, Ariga Kato, Masahiro Ishihara, Yutaka Ohya, Terence Cosgrove, David Fairhurst

掲載雑誌名: *Advanced Powder Technology*

公表日: 2026年5月6日

DOI: 10.1016/j.appt.2026.105288

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092188312600124X>

【研究支援】

本研究は以下の助成により実施されました:

- ・日本板硝子材料工学助成会
- ・第2回(2026年度)株式会社TYK 牛込進研究助成金
- ・公益財団法人 泉科学技術振興財団 2025年度研究助成
- ・公益財団法人 コーサーコスメトロジー 令和5年度研究助成

本研究では、アントンパール・ジャパン株式会社にて粒子径分布測定および吸着評価に関してご協力いただきました。また、白石カルシウム株式会社より炭酸カルシウム試料をご提供いただきました。

【本件への問い合わせ先】

<研究に関すること>

名古屋工業大学 生命・応用化学類

教授 高井 千加

TEL: 0572-27-6811

E-mail: takai.chika@ni-tech.ac.jp

<広報に関すること>

名古屋工業大学 企画広報課

TEL: 052-735-5647

E-mail: pr@adm.nitech.ac.jp