

研究室紹介

名古屋工業大学 大学院工学研究科 プロセス設計研究グループ

1. はじめに

私たちの身の回りには食品、医薬品、化粧品、電池、触媒など多くの製品は、粉から作られています。素材、形状、大きさがさまざまな粉が、粉体、液体、固体などさまざまな形で機能を発揮しています。粉を作り、その挙動や構造を理解し、高性能材料として活用する学問が粉体工学です。一見、均一に見える粉でも、その中の粒子は一粒一粒が異なります。サイズや形状だけでなく、表面や内部の微細構造まで含めると、粒子の多様性は極めて大きいといえます。粉の構造や挙動を理解するための評価手法は数多くありますが、多様性ゆえに重要な情報がデータに埋もれてしまうことがあります。私たちは、粉の「多様性（バラツキ）」を読み解き、材料設計へ活かす研究を進めています（図1）。

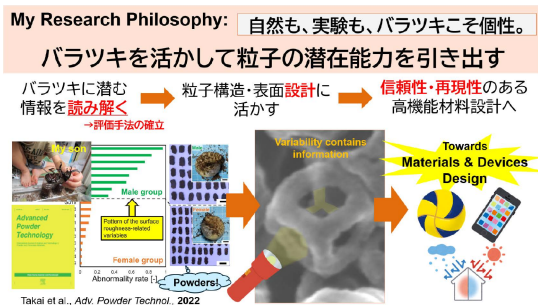


図1 粉のバラツキを活かした材料設計へ

2. 研究テーマ

私たちが作っている粉のひとつに、ナノサイズの中空粒子があります。非晶質のシリカ（ SiO_2 ）でできたシェルに囲まれた中空構造を持っているユニークな粒子です（図2）。この構造に起因し、軽量、高比表面積だけでなく、断熱性、電気絶縁性、光散乱性など多様な特性を示します¹⁾。この中空粒子をポリマーに練り込み複合フィルムを作ると、高い可視光透過性を示すと同時に、空気と同等の高い断熱性を示します。このような超断熱性発現には、ナノサイズの空間の存在

ナノサイズの孔がひらく未来の素材

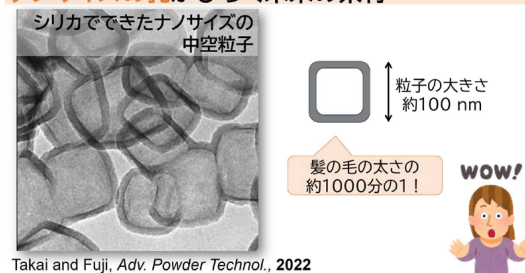


図2 ナノサイズの中空粒子概観

以外に、シェルの微構造が鍵になります²⁾。そして、断熱性に特化した粒子の特徴を活かすには、粒子表面とポリマーとの親和性制御が重要になります。ポリマー中で粒子が凝集してしまえば、せっかく制御された物性が活かされなくなってしまうからです。粒子の特性を活かすには、粒子単体の構造だけでなく、表面や集合構造を含めた多階層構造の理解と制御が重要です。

さらに、中空粒子を用いることの特徴は、シェルの外壁および内壁の二つの表面が存在することです。これらの二つの表面を個別に働かせることが可能であれば、粒子が持つ機能を最大限活かすことができると考えられます。

例えば、二面を個別に機能化する一例として、 VO_2 担持中空粒子を検討しています。 VO_2 は電源不要のスマートウィンドウに応用できる有用な材料です。中空粒子に担持させることで、さらに断熱性・透明性を具備することが可能と考えます。その場合、内壁表面は酸化されやすい VO_2 を安定に担持することが必要です。この VO_2 担持中空粒子³⁾は、先述のようにポリマーに練り込み複合フィルムとします。そこで、外壁表面は、ポリマーとの親和性が良い物性を持つことが必要です。このように、中空粒子が持つ内壁・外壁表面を個別に働かせるためには、個別に評価する方法が必要になります。

粒子表面の評価手法はさまざまありますが、私たちは、中空粒子の二面を個別評価可能な手法の開発に取

り組みました。用いたのは時間領域核磁気共鳴 (TD-NMR) です⁴⁾。TD-NMR で得られた分散液の緩和曲線には、粒子表面に拘束された溶媒分子と粒子表面から離れた自由溶媒分子の運動性が平均値として現れます。TD-NMR の大きな特徴として、20 秒程度の短時間で測定が可能であること、粒子表面の小さな違いに敏感であることが挙げられます。特に後者の特徴は、素材が同じであっても、製造方法や保管履歴の違いなどを敏感に反映します。これらは粒子表面水酸基の種類や密度に起因していると言えます。もちろん水酸基の種類を区別することはできませんが、汎用手法と組み合わせることで、製造現場において、その場で、バラツキの多い粒子の表面品質管理に用いることができると考えます。詳細は論文⁵⁾に譲りますが、中空粒子の内壁に拘束された溶媒分子の運動性と外壁に拘束された溶媒分子の運動性を非破壊で分離分析することが可能であることがわかりました。これを基盤として、中空粒子が持つポテンシャルを最大限活かす評価手法に発展させていきたいと思っています。

一方で、私たちは粉体評価データから有益な情報を抽出するデータ解析にも取り組んでいます。ここまで、多様な表面を持つ粒子のバラツキを読み解く評価手法について述べてきました。これらの評価データから意味のある情報を抽出する機械学習の取り組みを紹介します。対象はセラミックス粒子に限りません。粉体が持つ多様性を理解するため、天然由来の粉体をモデルとした解析も進めています。機械学習はさまざま提案されていますが、粉の設計をする上で、どのような手法が良いかを知りたいと思い、品質工学で用いられるマハラノビス-タグチ法を使って、バラツキの多い天然の粉体 (カブトムシ幼虫糞) をモデルとして構造と機能 (雌雄) の分離分析に取り組みました。詳細は論文⁶⁾に譲りますが、雌雄分離に寄与する特徴量 (表面粗さ) を、原因分析によって抽出することができ、この特徴量を用いることで、糞の形状のみで雌雄を 100% 分類することができました。この手法により、生体というバラツキの大きな粉体から、雌雄分類に寄与する特徴量を抽出することができました。

上述したように粉はバラツキの多い材料です。したがって評価が難しいという難点があります。しかし、評価手法の中に、重要な情報が含まれていれば、それを読み解き、必要な情報を導き出すことが可能になると考えます。粉はバラついている。でも、バラついているからこそ、良い機能が出るのかもしれない。粉のバラツキを個性と捉え、粉のポテンシャルを最大限活かす研究を続けていきたいと思っています。

3. さいごに

2025 年 4 月に立ち上がったばかりの私の研究室 (図 3) で、大切にしているのは感性と対話です。PC 上のデータだけでなく、実際に粉を見て触り、自分の考えを発信し、相手の意見を受け止める姿勢を重視しています。

粉体工学は材料を社会実装する上で欠かせない基盤技術です。粉は決して言うことを聞いてくれる材料ではありませんが、その中には新しい発見の種が隠れています。これからも粉と向き合い、その多様性を理解し活かすことで、セラミックス分野に新たな価値を提案していきたいと思っています。



図 3 2026 年度研究室メンバー集合写真

謝 辞 研究を進めるにあたってマジレカ・ジャパン株式会社池田純子博士 (TD-NMR)、名古屋大学山下誠司助教 (機械学習) にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- 1) C. Takai and M. Fuji, *Adv. Powder Technol.*, 31[2], 804 (2020).
- 2) C. Takai, H. Watanabe, T. Asai and M. Fuji, *Colloid Surf.*, 404, 101 (2012).
- 3) C. Takai-Yamashita, M. Ando, H. R. Khosroshahi and M. Fuji, *Colloid Surf.*, 566, 134 (2019).
- 4) D. Fairhurst, T. Cosgrove and S. W. Prescott, *Magn. Reson. Chem.*, 54, 521 (2016).
- 5) C. Takai-Yamashita, J. Ikeda, S. Yamashita, I. Ohno, P. K. Kimani, A. Kato, M. Ishihara, Y. Ohya, T. Cosgrove and D. Fairhurst, *Adv. Powder Technol.*, 37, 105288 (2026).
- 6) C. Takai-Yamashita, S. Yamashita, Y. Mabuchi, A. Teramae, T. Matsuyama, Y. Taguchi, T. Mushika, Y. Wada, S. F. Novasari, J. Ikeda and Y. Ohya, *Adv. Powder Technol.*, 33, 103552 (2022).

筆 者 紹 介



高井 千加 (たかい ちか)

2007 年名古屋工業大学大学院博士後期課程修了。博士 (工学)。民間企業、同大学博士研究員、岐阜大学工学部助教 (2022 年)、准教授 (2023 年) を経て、2025 年より現職。クロスアポイントメントにより東北大学多元物質科学研究所教授。

[連絡先] 〒507-0071 岐阜県多治見市旭ヶ丘 10-6-29 名古屋工業大学
E-mail : takai.chika@nitech.ac.jp