



2025年3月25日
大阪公立大学

金属有機構造体を用いてアルコールセンサーを開発 ～色の変化で濃度を瞬時にスマホで検出！～

<概要>

アルコールの一種であるエタノールは、発酵食品やアルコール飲料、医薬品、燃料などさまざまな分野で使用されています。特に、食品や飲料ではエタノールの他に水も多く含まれるため、エタノール濃度の正確な検出が製品の衛生管理や品質維持に極めて重要です。

大阪公立大学大学院工学研究科の土岐 雄人大学院生（博士前期課程1年）、岡田 健司准教授、深津 亜里紗助教、高橋 雅英教授、九州大学の共同研究グループは、研究グループが開発してきた基板上に金属有機構造体（MOF）薄膜を形成する技術を応用し、MOFの一種であるCu-MOF-74の結晶形状を制御して作製した透明度の高い薄膜を用いて、色の変化からアルコール濃度を計測できるセンサーを開発しました（図1）。MOFに無数に存在するナノメートルサイズの小さな穴がエタノールを素早く吸着^{*1}するため、エタノール濃度が薄い場合（10%）でも検出可能です。本研究で作製した薄膜は測定可能なエタノール濃度範囲に制限はなく、スマートフォンで容易に濃度を分析できます。市販のアルコール飲料の分析も可能であり、他にも工業排ガスやアルコール呼気チェックなど幅広い場面での活用も期待されます。

本研究成果は、2025年2月22日に国際学術誌「Small Science」のオンライン速報版に掲載されました。

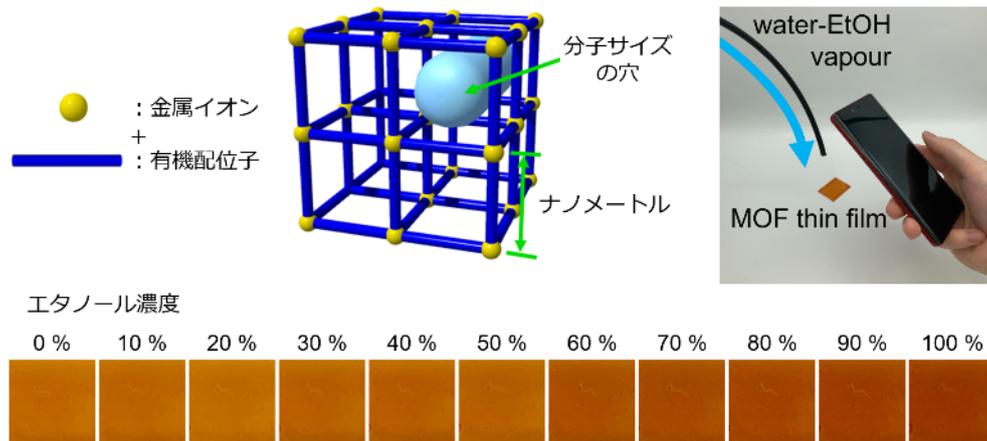


図1 MOFの模式図（左上）と、MOF薄膜によるガス分析技術（右）

幅広い分野で応用が期待されるMOFを用いた研究に携わることができ、新たな性質の発見や機能性創出を達成できたことを光栄に思います。お酒や消毒液などに含まれるアルコールの分析をはじめ、さまざまなガス分析技術の発展に貢献できることを期待しています。



土岐 雄人大学院生

<研究の背景>

エタノールは衛生、食品、燃料など、広い分野で最も利用される物質の一つです。多くの場合水と共存しているため、エタノール濃度の測定は非常に重要で、半導体ベースのエタノールガスセンサー等が開発・販売されてきました。しかし、エタノール濃度の測定には専門的な電子回路や外部電力が必要なため、より簡単に測定するには、水溶液の pH を測る試験紙のように、エタノール濃度に対応した色の変化を示す新規材料の開発が望まれています。

近年、高機能性の多孔質材料^{*2}として注目を集めている金属有機構造体 (Metal organic frameworks, MOF あるいは Porous coordination polymer, PCP、以下 MOF) は、金属イオンと有機配位子が規則的に結合することで結晶内に分子を吸着できる穴 (マイクロ細孔) を有しています。構成する金属イオンと有機分子の組み合わせにより、水素の貯蔵特性や二酸化炭素の吸着性などの特性を設計でき、エタノールなどの特定の分子を吸着することで色が変化するクロミズム^{*3} 特性を示すものもあります。この特性をエタノールガスセンサーへ応用した研究もありますが、測定可能な濃度範囲に制限があり、汎用性が低いことが課題でした。一般的に MOF は特定のガスの吸着が得意なものの、似た性質をもつガスを区別しながら濃度に対応して吸着することは難しく、さらに色が変わる性質を持つものとなると報告数は極めて少なくなります。加えて MOF は一般的に粉末状なため、光散乱や耐久性が課題となり、ガスセンサーなどの実用デバイスへの利用は困難でした。エタノール濃度に応じて色が変わる MOF を発見し、さらに従来の粉末形態ではなく均一な薄膜状に作製することができれば、環境調査や食品・飲料製品の管理など幅広い業界に向けた、エネルギーコストの小さい新たなガスセンサーとしての可能性が広がります。

<研究の内容>

Cu-MOF-74 と呼ばれる MOF は、マイクロ細孔内に銅イオンの配位サイトを持つため、エタノールガスセンサー材料への応用が期待されていますが、ガスセンサーとしての機能性は十分検証されていませんでした。また、従来粉末状でしか合成されておらず、結晶の形状も制御されていませんでした。

本研究グループではこれまで、金属水酸化物を原料として用いて MOF をエピタキシャル成長^{*4} することで、MOF 結晶が大面積で配列した薄膜を世界に先駆けて実現していました。本手法を応用することで、Cu-MOF-74 の薄膜を最短 15 分で作製 (室温での合成も可能) ことができ、合成条件を調整することにより結晶形状の制御に成功した高品質な薄膜を実現しました (図 2a 右)。

このような高品質な薄膜の作製により、Cu-MOF-74 が水、メタノール、エタノール、2-プロパノールなどのガス種に応じて、色が変化するクロミズム特性を示すこと

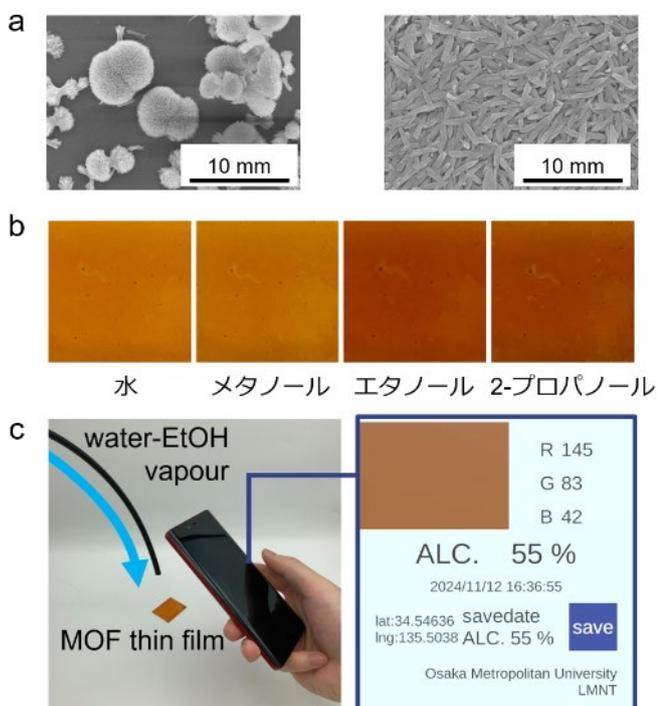


図 2 a. 結晶が不均一な膜 (左) と均一な膜 (右)、b. ガス種に応じた MOF 薄膜の色変化、c. スマートフォンによるエタノール濃度の分析

を初めて発見しました (図 2b)。また、この膜はエタノールと水の混合溶液／蒸気に対して、低濃度から高濃度の全アルコール濃度範囲でクロミズム特性を示すため、エタノール濃度を検出するためのスマートフォンアプリケーションを開発し、エタノール濃度の迅速かつ簡便な評価が可能であることを示しました (図 2c)。

<期待される効果・今後の展開>

本研究により、エタノール濃度に応じて色が変わる性質を新たに発見し、さらに結晶形状を制御して均一な薄膜を作製することにも成功しました。エタノール濃度の分析には専門的な装置を必要とせず、スマートフォンで誰でも簡単に分析可能です。市販のアルコール飲料の分析も行いうることができるため、今後はアルコール飲料の他にも環境モニタリング、プロセス制御、医療などのさまざまな場面での利用が期待されます。

<資金情報>

本研究の一部は、科学技術振興機構 (JST) 創発的研究支援事業 (JST FOREST) (JPMJFR235Q)、JSPS 科研費 基盤研究 (A) (JP20H00401)、学術変革領域研究 (A) 超セラミックス (JP22H05142、JP22H05144、JP22H05146) からの支援を受けて行われました。

<用語解説>

- ※1 吸着…ある物質 (吸着質) が別の物質 (吸着剤) の表面に付着する現象で、物質間の分子間力や化学結合によって起こる。
- ※2 多孔質材料…内部に多数の微細な孔 (細孔) を持つ材料の総称。
- ※3 クロミズム…外部からの刺激によって物質の色が変わる現象の総称。
- ※4 エピタキシャル成長…薄膜結晶成長技術のひとつで、基板となる結晶の上に結晶成長を行い、下地の基板の結晶面にそろえて配列する成長の様式。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 Small Science

【論文名】 Solvato/Vapochromism-Based Alcohol Sensing through Metal–Organic Framework Thin Films with Coordinatively Unsaturated Metal Sites

【著者】 Yuto Toki, Kenji Okada*, Arisa Fukatsu, Yuta Tsuji, Masahide Takahashi*

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1002/smssc.202400634>

<研究紹介動画>

【衝撃】アルコール度数が色でわかる！？ (大阪公立大学大学院工学研究科 マテリアル工学分野 ナノテク基盤材料研究グループ YouTube)

<https://www.youtube.com/shorts/nI5MHdgnC88>



【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 岡田 健司 (おかだ けんじ)
TEL : 072-254-9748
E-mail : k_okada@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

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