

概要(要約)

- 受賞者と理由 2025年のノーベル化学賞は、北川 進(日本)／**Richard Robson**(豪州)／**Omar M. Yaghi**(米国)の3氏に授与。受賞理由は、金属有機構造体(**MOF: Metal-Organic Frameworks**)という、新しい「分子建築」を切り拓いた功績です。MOFは金属イオン(結節点)と有機分子(梁)を組み合わせた多孔質の結晶で、内部に大きな空洞と通り道を持ち、分子の出入り・吸着・貯蔵・分離・触媒に広く使えます。砂漠の空気から水を採る、PFASを水から除去する、CO₂を捕集する、水素を貯蔵する等で応用が進んでいます。
([NobelPrize.org](#))
- 歴史的な貢献の分担 Robsonは1980年代末に「規則的で広い空間を持つ結晶」を先駆的に示し、MOFの出発点を開きました。北川は1997年に開放チャネルを持つ安定**MOF**を示し、さらに1998年には柔らかく“呼吸”する**MOF**という独自性を明確化。Yaghiは1995年に“MOF”という名称を定着させ、1999年に古典的材料**MOF-5**を発表、2002-03年には合理設計で性質を作り分ける道を示しました。([NobelPrize.org](#))
- 代表的な実用・実証例 **MOF-303**: 砂漠の夜に空気中の水蒸気を吸着し、朝に太陽熱で飲料水を放出／**MIL-101**: 巨大空隙をもち水素・CO₂貯蔵や汚染水の分解触媒に利用／**UiO-67**: PFASの吸着／**ZIF-8**: 排水からレアアース回収の実験例／**CALF-20**: 高性能CO₂吸収(工場実証中)／**NU-1501**: 常圧での水素の吸蔵・放出を最適化。半導体製造で用いる有毒ガスの安全な取り扱い、化学兵器にもなり得る有害ガス分解など、産業用途も現れています。
([NobelPrize.org](#))
- 意義 MOFは「化学のための新しい部屋(新空間)」を提供しました。同じ骨組み思想で、求める分子に合わせて“部屋の形・大きさ・性格”を設計できるため、**AI**も活用した材料設計の広がりが期待されています。数グラムでサッカー場並みの内部表面積を持つ例もあり、ガス貯蔵や分離で既存材料を凌駕します。([NobelPrize.org](#))

初心者向けのやさしい解説

- **MOFって何？** たとえば、金属の柱と有機分子の梁で組んだ「分子マンション」。中には大小さまざまな“部屋”と“廊下”があり、分子が入り出できます。水分子用のワンルーム、CO₂専用の保管庫、薬を届ける専用通路...と部屋の設計を自由に変えられるのがMOFの強みです。ノーベル財団は、水分子のための広い**“スタジオ・アパートメント”**になぞらえて説明しています。([NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org))
- **どう作るの？** **金属イオン(ノード)と有機分子(リンカー)**を“はめ込む”と、規則正しい網目の結晶が自発的に出来上がります。設計図どおりにノードとリンカーを選ぶと、部屋の大きさや入口の形をコントロールでき、特定の分子だけを選んで捕まえたり、放したりできます。([NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org))
- **どこがすごい？(3つ)**
 1. 表面積が桁違い: たった数グラムでサッカー場級の内部表面。だからガスを大量に吸着・貯蔵できます。([NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org))
 2. 柔らかく“呼吸”も: 石のように硬いゼオライトと違い、MOFは柔らかく可変で、入った分子に合わせて形がわずかに変わり、また元に戻る(呼吸する)ものもあります。([NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org))
 3. 目的別に作り分け: 材料の“レゴ化”が進み、合理設計(将来的にはAI設計)で水回収・CO₂回収・有害物質除去・水素貯蔵・触媒反応など用途別の最適解を狙えます。([NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org))
- **どんな使い道が実際に？** 夜に空気中の水蒸気を吸って朝に水を出す給水MOF(MOF-303)、排ガスからCO₂だけを捕まえるMOF(CALF-20)、飲料水からPFASを吸着するMOF(UiO-67)、水素を安全に貯めて出すMOF(NU-1501)など、すでに試験・実証が進んでいます。半導体製造で扱う有毒ガスの封じ込めや有害ガスの分解でも使われ始めています。([NobelPrize.org](https://www.nobelprize.org))

- どうやってここまで来た？(超短い物語) 1970年代、Robsonが木球と棒の分子模型から着想を得て、多孔質の結晶を発表(1989)。北川が開放チャネル型を安定化(1997)し、柔らかいMOFの発想を示す(1998)。Yaghiが“MOF”を命名(1995)、**MOF-5**(1999)で広い空間と高い安定性を実証、2002–03年に合理設計で性質を作り分ける道を示し、世界中で何万種類ものMOFが設計される時代に。(NobelPrize.org)

受賞の意義と私の所見

- 所見: 今回の受賞は極めて妥当で、むしろ「やっと来た」と感じます。MOFは基礎化学の新しい設計哲学(分子建築)を提示しつつ、脱炭素(CO₂回収・水素貯蔵)／水資源(大気からの水回収)／半導体や環境浄化など、社会課題に直結する応用の“幹”を育てました。ノーベルの遺言にある「人類への最大の貢献」という基準に、研究から産業への橋渡しという点でも合致していると思います。(NobelPrize.org)
- 今後の焦点: 鍵は大規模量産・耐久性・コスト。ここでAIを用いた **MOF** の合理設計(ノード／リンカー選択、空間と入口の最適化)が効いてきます。**用途別の“部屋づくり”**をソフトウェア化できれば、素材探索から量産設計までのサイクルが一気に短くなるでしょう。(NobelPrize.org)

出典(**Popular information / Popular science background**) 本解説はノーベル財団の「Popular information」および「Popular science background(PDF)」に基づいています。図示された具体例(MOF-303, MIL-101, UiO-67, ZIF-8, CALF-20, NU-1501)や産業応用の事例はPDF「Figure 7」等に記載があります。(NobelPrize.org)

まえださん、

中学生にも分かる版(ノーベル化学賞2025)

今年のノーベル化学賞は、**北川 進(日本)／Richard Robson(豪州)／Omar M. Yaghi(米国)**の3名に授与されました。受賞理由は、**金属有機構造体(MOF: Metal–Organic Frameworks)**という“分子の建築”を切りひらいたことです。**MOF**は金属のコナー(結節点)と有機分子の棒(リンカー)

を規則正しくつないだ多孔質(穴だらけ)**の結晶で、中に“部屋”と“廊下”がたくさんあります。ここを分子が入り出ることができるため、空気中の水分を集める／水の汚染物質(PFASなど)を除く／二酸化炭素(CO₂)を捕まえる／水素をためるなど、多くの用途に役立つのです。(NobelPrize.org)

どういう仕組み？

- 設計のコツ: 金属イオンを“柱の角”、有機分子を“梁(はり)”に見立て、同じパターンを三次元に繰り返すと、広い空洞(部屋)と通路(細孔・チャンネル)をもつ結晶ができます。入れたい分子の大きさや性質に合わせて部屋の広さや入口の形を選べるのがポイントです。(NobelPrize.org)
- 表面がとても多い: 壁が細かく折りたたまれているため、“中の表面”が非常に大きい(材料1gで数千 m²に達する例も)ので、ガスをたくさん吸い付けたり、反応を助けたりできます。(ウィキペディア)

何に役立つ？

- 空気から水をとる: 夜の冷えた空気の水蒸気を吸い、昼に太陽の熱で飲み水として放出。乾燥地の給水に希望が生まれます。
- CO₂を捕まえる: 発電所や工場の排ガスからCO₂だけを選んで吸着し、地球温暖化対策に貢献。
- PFASなどの汚染物質を除去: 飲料水から有害な微量成分を取り除く研究が進行。
- 水素や有毒ガスを安全に扱う: ためる／放すをコントロールでき、エネルギーや安全対策にも応用可能。(NobelPrize.org)

3人は何をしたの？

- **Robson**: 1980年代末、大きな空洞を持つ結晶のつくり方を実験で切り開き、道を作りました(当初は壊れやすかった)。
- **北川**: 1990年代、開いた通路をもつ安定なMOFを実証し、さらに***呼吸する(柔らかい)MOF***という新しい振る舞いを提案・実証して、使える材料に近づけました。
- **Yaghi**: MOFという名称を広め、MOF-5など安定な代表例や***“家族”のように性質を作り分ける設計を示して、世界中で何万種類**というMOF設計が進む基盤を作りました。(NobelPrize.org)

用語ミニ辞典(簡潔＋英語つき)

- **MOF(エムオーエフ)／Metal-Organic Framework** 金属イオン(結節点)と有機分子(リンカー)を規則的につないだ穴だらけの結晶。**分子が入り出する“部屋”**を設計でき、吸着・分離・貯蔵・触媒などに使える“分子の建築”。(NobelPrize.org)

- ゼオライト(**Zeolite**) アルミノケイ酸塩からなる天然・合成の多孔質鉱物。堅くて熱に強く、触媒や吸着材、水の軟化剤として工業的に広く使用。均一な小さな穴(分子ふるい)で分子を選別できる。**MOF**に比べ骨組みが無機で剛直。([Encyclopedia Britannica](#))
 - 吸着(**Adsorption**) 固体の表面に、気体や液体中の分子がくっつく現象。スポンジが水を“吸う”のは吸収(**absorption**)で“中に入る”イメージだが、吸着は表面に並ぶイメージ。活性炭の毒素除去などが典型例。([Encyclopedia Britannica](#))
 - 拡散(**Diffusion**) 濃いところから薄いところへ、分子が自然に広がる動き。香水の匂いが部屋中に広がるのが身近な例。MOFの“部屋と廊下”の中でも、拡散の速さが使い勝手を左右します。([Encyclopedia Britannica](#))
 - 表面積(**Surface area**) / 比表面積(**Specific surface area, SSA**) 表面積は“表面の広さ”。比表面積は**1g**あたり(または**1m³**あたり)の表面の広さで、単位は**m²/g**など。大きいほど吸着や触媒に有利。測定には**BET**法などを用いる。**MOF**は数千 **m²/g**級のものもある。([nanopartikel.info](#))
-

私の所見(短評)

極めて妥当な受賞だと考えます。MOFは「分子のための新しい空間(部屋)を設計する」という発想で、素材の設計思想そのものを拡張しました。**CO₂**回収・水資源・有害物質除去・水素社会など、現実の課題に“材料側から”切り込めるため、実装力の高い化学として今後も中心的な役割を担うでしょう。([NobelPrize.org](#))

出典:ノーベル財団の「*Popular information*」および「*Popular science background(PDF)*」、ならびに基礎用語はブリタニカ等の標準的な参考資料を参照しました。([NobelPrize.org](#))

- [Reuters](#)
- [apnews.com](#)
- [ft.com](#)

ノーベル化学賞が決まりました。この受賞内容を解説お願ひします。

[The 2025 chemistry laureates](https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/press-release/) The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Chemistry 2025 to [Susumu Kitagawa](#), [Richard Robson](#) and [Omar M. Yaghi](#) “for the development of metal-organic frameworks.” The laureates developed a new type of molecular architecture. The constructions they created – metal-organic frameworks – contain large cavities in which molecules can flow in and out. Researchers have used them to harvest water from desert air, extract pollutants from water, capture carbon dioxide and store hydrogen. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/press-release/>

まえださん、2025年ノーベル化学賞は「メタル有機構造体(MOF: Metal-Organic Frameworks)」の開発に対して、北川進(Susumu Kitagawa)氏、リチャード・ロブソン(Richard Robson)氏、オマール・M・ヤギー(Omar M. Yaghi)氏の3名に授与されました。¹

受賞テーマの概要

メタル有機構造体(MOF)は、金属イオンまたはクラスターと有機分子(リンカー)が骨格を形成する、非常に多孔質な結晶性材料です。その特徴は、分子が「スポンジ」のように多くの空間(孔)を持つことで、さまざまな分子を吸着・蓄積・分離する能力に優れています。²³

MOFの社会的・産業的応用

MOFの応用範囲は多岐に渡り、次のような用途が注目されています。

- 極限環境下での水の収集(砂漠の空気から水分を収集)
- ガス(特に二酸化炭素、メタン、水素など)の選択的な吸着・蓄積
- 環境浄化(有害ガスや水中の汚染物質の除去)
- 水素の貯蔵や燃料電池への活用
- 医薬品のドラッグデリバリー

¹<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

²https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-organic_framework

³<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

- 触媒、センサー、電子材料への応用

特に、MOFは非常に広い比表面積と構造設計の柔軟性により、資源・エネルギー・環境分野での持続可能な技術の基盤材料として期待されてきました。⁴⁵⁶⁷

科学的インパクトと日本文化への意義

北川進氏は京都大学でMOF研究を牽引しており、日本発の基礎材料科学が世界の脱炭素や持続可能な発展に貢献していることは、大きな社会的意義を持ちます。MOFはまさに「分子の建築学」と呼べる分野で、分子レベルで空間をデザインする文化的知恵の結晶ともいえます。⁸⁹

まとめ

今回の受賞は、空間制御された分子材料の設計と応用が、21世紀の持続可能な社会課題解決に極めて重要であることを強く示しています。日本の材料科学・化学のプレゼンスを示す受賞となりました。¹⁰¹¹¹²¹³

[^1_10][^1_11][^1_12][^1_13][^1_14][^1_16][^1_17][^1_18][^1_2][^1_20][^1_3][^1_5][^1_6][^1_8
]

*

**

⁴<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9320690/>

⁵<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

⁶<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

⁷<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

⁸<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOSG304J70Q5A930C2000000/>

⁹<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

¹⁰<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

¹¹<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

¹²<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOSG304J70Q5A930C2000000/>

¹³https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-organic_framework

Explain practical uses of metal-organic frameworks in daily life

Metal-organic frameworks (MOFs) have begun to enter daily life through several innovative uses, thanks to their非常に高い多孔性と構造のカスタマイズ性です。¹⁴¹⁵¹⁶

毎日の生活での主な実用例

- 空気から水を採取 乾燥地帯でMOFを使い、空気中の微量な水分を効率よく集めて飲料水にする装置が実用化されつつあります。¹⁷¹⁸
- 二酸化炭素の捕集と削減、屋内や産業現場で発生する二酸化炭素を吸着・除去するフィルター素材、空気清浄機や工場プラントの排ガス浄化などに応用が進められています。¹⁹²⁰
- 水素やメタンなどガスの安全な貯蔵 燃料電池車では高圧タンクに代わる安全な水素貯蔵材料として注目されています。²¹²²
- 水処理と浄化 家庭から出る排水や産業排水の中の有害物質(重金属や有機物)を効率よく回収・除去する浄化剤として使われています。²³²⁴
- 医薬・健康分野 MOFは医薬成分を高効率で運ぶドラッグデリバリー材料としても開発され、薬の体内放出制御に用いられています。²⁵
- 電池や蓄電デバイス、リチウムイオン電池やスーパーキャパシタの電極材料として、電気エネルギーの高効率貯蔵と放電に貢献しています。²⁶

その他の応用の可能性

- 選択的な化学センサーや空気品質モニター

¹⁴<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

¹⁵https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-organic_framework

¹⁶<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

¹⁷<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

¹⁸https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-organic_framework

¹⁹<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

²⁰<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

²¹https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-organic_framework

²²<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

²³<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

²⁴<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

²⁵<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

²⁶<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

- 触媒・電池用材料
- 高度な食品パッケージ用吸着材(鮮度保持)

MOFは今後も環境保全、エネルギー効率、健康増進など、私たちの生活を支える新たな技術の基盤となることが期待されています。²⁷²⁸²⁹ [^2_3][^2_4][^2_6][^2_7][^2_8]

**

Describe how metal-organic frameworks help reduce carbon emissions

Metal-organic frameworks (MOFs) are powerful materials for carbon emissions reduction because they can efficiently capture, store, and convert carbon dioxide (CO₂) due to their高い多孔性と選択的吸着性が特徴です。³⁰³¹³²³³

主な仕組みと応用

- 排ガスや大気からの直接CO₂吸着 MOFは孔(穴)が非常に多く、表面積も非常に大きいため、発電所、工場などの排ガスや大気中からCO₂のみを選択的に吸着・捕集できます。³⁴³⁵³⁶

²⁷<https://shop.nanografi.com/blog/what-are-the-applications-of-metal-organic-frameworks/>

²⁸https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-organic_framework

²⁹<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

³⁰<https://www.idtechex.com/en/research-article/5-key-areas-metal-organic-frameworks-can-help-decarbonize/31111>

³¹<https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2023/10/p-23-327>

³²<https://granttree.co.uk/blog/innovative/mofs-key-climate-change/>

³³<https://blog.novomof.com/blog/how-mofs-save-the-climate-from-carbon-dioxide-and-other-greenhouse-gases>

³⁴<https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2023/10/p-23-327>

³⁵<https://blog.novomof.com/blog/how-mofs-save-the-climate-from-carbon-dioxide-and-other-greenhouse-gases>

³⁶<https://www.idtechex.com/en/research-article/5-key-areas-metal-organic-frameworks-can-help-decarbonize/31111>

- 低エネルギーで再生可能な吸着剤 従来のアミン吸収法などと比べ、MOFは低温や低エネルギーでCO₂の吸脱着が可能。これによりコストやエネルギー消費も削減できます。³⁷³⁸
- CO₂から付加価値を生む 捕獲したCO₂は、MOF触媒などによってメタンやメタノールなど燃料に変換したり、プラスチックの原料など新たな資源に利用できます。³⁹⁴⁰
- 産業の脱炭素化を加速 鉄鋼・セメント・化学プラントの排出源での「カーボンキャプチャー」や、分離膜による工業用原料ガスの省エネ分離にも役立ちます。⁴¹⁴²

未来への展開

- 高度なHVAC(空調)システムや空気清浄、水採取に応用
- 柔軟な設計・モジュール生産により、さまざまな産業現場や都市空間でも利用が進んでいます。⁴³⁴⁴

MOFは、その機能性とエネルギー効率の高さから、今まさに世界のカーボンニュートラル社会を目指す要となる最新技術です。⁴⁵⁴⁶⁴⁷⁴⁸ [^3_1][^3_3][^3_4]

*

**

³⁷<https://granttree.co.uk/blog/innovative/mofs-key-climate-change/>

³⁸<https://blog.novomof.com/blog/how-mofs-save-the-climate-from-carbon-dioxide-and-other-greenhouse-gases>

³⁹<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.chemmater.4c01137>

⁴⁰<https://blog.novomof.com/blog/how-mofs-save-the-climate-from-carbon-dioxide-and-other-greenhouse-gases>

⁴¹<https://www.idtechex.com/en/research-article/5-key-areas-metal-organic-frameworks-can-help-decarbonize/31111>

⁴²<https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2023/10/p-23-327>

⁴³<https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2023/10/p-23-327>

⁴⁴<https://www.idtechex.com/en/research-article/5-key-areas-metal-organic-frameworks-can-help-decarbonize/31111>

⁴⁵<https://blog.novomof.com/blog/how-mofs-save-the-climate-from-carbon-dioxide-and-other-greenhouse-gases>

⁴⁶<https://granttree.co.uk/blog/innovative/mofs-key-climate-change/>

⁴⁷<https://www.idtechex.com/en/research-article/5-key-areas-metal-organic-frameworks-can-help-decarbonize/31111>

⁴⁸<https://www.basf.com/global/en/media/news-releases/2023/10/p-23-327>

What are the key challenges in developing metal-organic frameworks

Metal-organic frameworks (MOFs) development faces several key scientific and practical challenges related to 材料の安定性、合成方法の効率化、大量生産・コスト、応用の再現性と長期信頼性です。⁴⁹⁵⁰⁵¹⁵²⁵³

技術的・科学的課題

- 化学的・熱的安定性 特に大型孔MOFは、構造が脱溶媒化(乾燥処理)で崩壊しやすく、長期的な安定性確保が難しい場合があります。⁵⁴⁵⁵
- 効率的かつ環境負荷の少ない合成法 従来は大量の有機溶媒を必要とする方法が一般的で、環境負荷やコストの高さが課題となっています。機械化学合成やイオン熱合成など新技術も開発中ですが、量産とクオリティ維持が難しいです。⁵⁶⁵⁷
- 同一品質のMOFを安定して作る難しさ 欠損や構造のばらつきが出やすく、異なるロットで異なる性能になることもあり、産業応用のためには再現性・均一性の高い製造工程が重要です。⁵⁸⁵⁹⁶⁰
- 応用現場での耐久性・信頼性 排ガス捕集や電池材料など実用現場では高温・強酸/強塩基や湿気など過酷な条件下で使われるため、分解・性能劣化などの耐久性評価が不可欠です。⁶¹⁶²⁶³

⁴⁹<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscentsci.7b00197>

⁵⁰<https://kansai-u.repo.nii.ac.jp/record/2000864/files/KU-0020-20240202-01.pdf>

⁵¹<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202307478>

⁵²<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10785605/>

⁵³<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

⁵⁴<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202307478>

⁵⁵<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10785605/>

⁵⁶<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10785605/>

⁵⁷<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

⁵⁸<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscentsci.7b00197>

⁵⁹<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202307478>

⁶⁰<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10785605/>

⁶¹<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

⁶²<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.chemmater.3c00741>

⁶³<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202307478>

- 大規模な商業生産・コスト競争力のある新機能性材料として注目される一方で、産業レベルでの大量生産には材料コスト・スケールアップ・工程効率の最適化が必要です。⁶⁴⁶⁵

今後の展望

- 構造欠陥を逆に活用する「欠陥エンジニアリング」などで高性能化
- 有機化学・材料科学・工学など異分野連携による新しい開発手法
- 組成・構造の設計自由度を活かした新用途拡大と、持続可能性確保

こうした課題の克服が、次世代のMOF応用発展と材料化学そのものの進化に直結します。まえたさん、2025年ノーベル化学賞は「メタル有機構造体(MOF)」の開発に対して授与されました。このMOFは金属イオンと有機分子を組み合わせで作られた多孔性の結晶性物質で、分子が出入りできる「空間の建築物」と言われています。⁶⁶⁶⁷⁶⁸⁶⁹⁷⁰⁷¹

メタル有機構造体(MOF)の解説

MOFは非常に細かい穴をもつため、様々な分子(例えば水分やガス)がスポンジのように吸着・蓄積できます。MOFの発明は、材料科学に革命をもたらし、従来は不可能だった精密な分子の捕集・分離、貯蔵技術を可能にしました。⁷²⁷³

実際の応用

- 乾燥した空気から水分を効率的に集めて飲料水を生成する
- 工場や発電所の排ガスから二酸化炭素(CO₂)を効率よく回収し、脱炭素社会を促進
- 水素ガスなどエネルギーキャリアの効率的な貯蔵
- 水や空気中の有害物質・汚染物質の除去

⁶⁴<https://kansai-u.repo.nii.ac.jp/record/2000864/files/KU-0020-20240202-01.pdf>

⁶⁵<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202307478>

⁶⁶<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

⁶⁷<https://kansai-u.repo.nii.ac.jp/record/2000864/files/KU-0020-20240202-01.pdf>

⁶⁸<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.202307478>

⁶⁹<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10785605/>

⁷⁰<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

⁷¹<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acscentsci.7b00197>

⁷²https://en.wikipedia.org/wiki/Metal-organic_framework

⁷³<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

これらは、持続可能な社会や脱炭素、資源循環、新しい医薬やセンサーなど多岐にわたる産業と環境分野に波及しています。⁷⁴⁷⁵

日本人研究者の貢献

北川進氏は、京都大学を拠点にMOFの基礎から応用を牽引し、日本発の材料科学が世界にインパクトを与えている点は非常に意義深いです。⁷⁶⁷⁷

MOFは「分子の建築学」とも呼ばれ、700年の能楽のように、空間と素材の織り成す日本的な美意識にも通じるものがあります。日本の科学と文化の知恵が、地球規模の課題解決に貢献した点が今回の受賞の最大の意義です。⁷⁸⁷⁹⁸⁰ [^4_11][^4_12][^4_13]

*
**

Summarize previous Nobel Prizes related to molecular architectures

Nobel Prizes related to "molecular architecture" have honored groundbreaking discoveries in the precise design, visualization, and construction of molecules, laying the foundations for today's materials scienceと生命科学に多大な貢献をしています。⁸¹⁸²⁸³

代表的な受賞とその内容

- 1987年:「選択的な分子認識構造体」の開発

⁷⁴<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

⁷⁵<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

⁷⁶<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOSG304J70Q5A930C2000000/>

⁷⁷<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

⁷⁸<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/summary/>

⁷⁹<https://www.nature.com/articles/s41545-024-00408-4>

⁸⁰<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOSG304J70Q5A930C2000000/>

⁸¹https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

⁸²https://proteopedia.org/wiki/index.php/Nobel_Prizes_for_3D_Molecular_Structure

⁸³<https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-chemistry/>

- Donald J. Cram, Jean-Marie Lehn, Charles J. Pedersen 分子が互いに鍵と鍵穴のように選択的に組み合わせる「ホスト-ゲスト化学(超分子化学)」を切り開きました。これは分子の空間構造設計＝分子アーキテクチャの概念に直結します。⁸⁴
- 2003年:「タンパク質・イオンチャネルの構造」
 - Peter Agre, Roderick MacKinnon 水チャネル(アクアポリン)やイオンチャネルの分子構造を解明し、生命現象における分子建築の機能が示されました。⁸⁵
- 2010年:「クロスカップリングによる有機合成」
 - Richard F. Heck, 根岸英一, 鈴木章 パラジウム触媒により、様々な分子骨格を自在に構築できる手法(クロスカップリング反応)開発に貢献。⁸⁶
- 2016年:「分子マシンの設計・合成」
 - Jean-Pierre Sauvage, Sir Fraser Stoddart, Bernard L. Feringa 分子レベルで機械的な動きを制御する「分子マシン(分子アーキテクチャの極致)」を現実化しました。⁸⁷⁸⁸
- 2023年:「量子ドットの発見と合成」
 - Mounji G. Bawendi, Louis E. Brus, Alexey Ekimov 半導体ナノ結晶(量子ドット)の設計と応用。この極小な分子・材料構造体も分子アーキテクチャの重要な分野です。⁸⁹⁹⁰

傾向と意義

- 分子認識・自己組織化・精密構造設計など「分子の空間的設計」が、医薬・材料・生命科学に新たな価値を生み出しています。⁹¹⁹²
- 近年はMOFや分子マシン、日本では根岸・鈴木両氏のクロスカップリングなど、構造の自由な設計と機能発現が重視されています。⁹³⁹⁴

⁸⁴https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

⁸⁵https://proteopedia.org/wiki/index.php/Nobel_Prizes_for_3D_Molecular_Structure

⁸⁶https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

⁸⁷<https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-chemistry/>

⁸⁸https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

⁸⁹<https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-chemistry/>

⁹⁰https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

⁹¹https://proteopedia.org/wiki/index.php/Nobel_Prizes_for_3D_Molecular_Structure

⁹²https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

⁹³<https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-chemistry/>

⁹⁴https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

こうした積み重ねが2025年のMOF受賞をはじめとした「分子建築学」の進化に繋がっているのです。

⁹⁵96⁹⁷ [⁵₁₀][⁵₄][⁵₅][⁵₆][⁵₇][⁵₈][⁵₉]

*

**

Compare metal-organic frameworks with traditional porous materials

Metal-organic frameworks (MOFs) offer distinct structural and functional advantages over traditional porous materials such asゼオライト、活性炭、シリカゲルなどに比べて、より多様で精密な設計が可能です。⁹⁸99¹⁰⁰101

比較ポイントと主な違い

項目	MOF	従来型多孔体(ゼオライト、活性炭等)
構造設計自由度	金属イオンと有機分子リンカーを自在に選択でき、目的に合わせて多様な構造・機能の設計が可能 ¹⁰² 103	無機結合主体で設計自由度は限られる(骨格や孔径など種類が限定的) ¹⁰⁴

⁹⁵https://proteopedia.org/wiki/index.php/Nobel_Prizes_for_3D_Molecular_Structure

⁹⁶https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Nobel_laureates_in_Chemistry

⁹⁷<https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-chemistry/>

⁹⁸<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

⁹⁹<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34280313/>

¹⁰⁰<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹⁰¹<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

¹⁰²<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹⁰³<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹⁰⁴<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

項目	MOF	従来型多孔体(ゼオライト、活性炭等)
比表面積	数千～1万m ² /gの極めて大きい表面積獲得が可能 ¹⁰⁵	500～1000m ² /g程度が多い ¹⁰⁶
孔径・構造の可変性	ミクロ孔～メソ孔まで広範囲(0.3nm～10nm以上)にわたり任意制御可 ¹⁰⁷¹⁰⁸	狭く一定(ゼオライトは主にミクロ孔のみ)、可変域は限定 ¹⁰⁹
機能部位	有機分子リンカーにより官能基や反応性部位の付加が自在 ¹¹⁰¹¹¹	主に無機骨格のみ、化学修飾は困難 ¹¹²¹¹³
適用分野	ガス吸着分離、エネルギー材料、触媒、センサー、ドラッグデリバリー等新規用途へ拡大 ¹¹⁴ ¹¹⁵	溶液・ガス吸着、触媒など伝統分野に限られる ¹¹⁶
結晶性	高度な結晶性を持ち、構造解析や制御が容易 ¹¹⁷	アモルファスや部分結晶性の場合が多い ¹¹⁸

¹⁰⁵<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹⁰⁶<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹⁰⁷<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹⁰⁸<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹⁰⁹<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹¹⁰<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹¹¹<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

¹¹²<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹¹³<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

¹¹⁴<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹¹⁵<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

¹¹⁶<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹¹⁷<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹¹⁸<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

項目	MOF	従来型多孔体(ゼオライト、活性炭等)
熱・化学的安定性	一部のMOFは弱い ^が 、耐久性向上技術も進展 ¹¹⁹¹²⁰	全体的に安定(ゼオライトは高温・強酸でも安定) ¹²¹¹²²
大量生産性・コスト	量産化とコスト低減が課題 ¹²³ 124	既存設備・手法で大量生産可能、安価 ¹²⁵

まとめ

MOFは「設計自由度・機能性」で従来型材料を圧倒する一方で、「耐久性・量産性・コスト面」でなお課題が残ります。ただし、分子レベルの設計により未来の新素材・新機能の可能性を開く材料として注目されています。¹²⁶¹²⁷¹²⁸¹²⁹ [^6_5][^6_6][^6_7][^6_8]

*
**

¹¹⁹<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹²⁰<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

¹²¹<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹²²<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹²³<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹²⁴<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹²⁵<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>

¹²⁶<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34280313/>

¹²⁷<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05310>

¹²⁸<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/gch2.202300244>

¹²⁹<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136970211830885X>