

ノーベル化学賞 MOF（金属有機構造体）から読む産業の転換点

—新材料を事業につなぐための現実解—



MITSUI & CO.
GLOBAL STRATEGIC
STUDIES INSTITUTE

三井物産戦略研究所
技術・イノベーション情報部インダストリーイノベーション室
佐藤佳寿子

Summary

- MOF（金属有機構造体）は2025年にノーベル化学賞を受賞した先端材料であり、分離・精製の高度化やエネルギー効率向上を実現し得る技術として、ガス分離・水回収などで実証が進む一方、用途ごとに事業化の難易度が大きく異なる。
- MOFの事業化には、規制対応型市場など性能の確実性が価値となる領域を起点に、装置・サービス一体型の事業モデルが現実的な解となる。
- こうした視点はMOFに限らず新材料全般に共通しており、市場選定・提供形態・実装体制を一体で設計し、用途選定と事業設計を分離せずに検討することが、持続的な事業化の鍵となる。

1. MOFとは

1-1. MOFが注目される背景

化学、エネルギー、素材、水処理など多くの産業に共通する基盤工程として分離・精製がある。分離・精製工程は、製造プロセス全体に占めるエネルギー消費の割合が大きく、石油・化学分野におけるエネルギー消費の45%を占めると試算されている¹。そのため脱炭素や環境規制の強化を背景に、従来よりも高い分離性能や長期運転や条件変動下において設計どおりの性能を発揮できる確実性が求められる場面が増えている。さらに、近年はCO₂や有害物質といった特定分子のみを選択的に分離・回収する必要性が高まっており、分離材料そのものの性能がプロセス全体の効率や実現可能性を左右するケースが増えている。

このような要求に対し、分子レベルで構造や機能を設計できるMOF（金属有機構造体）は、分離・精製技術の高度化に資する材料として注目されている。MOFは、対象とする分子を選択的に分離する機能を付与できる可能性を有しており、特定条件下において従来の手法では対応が難しかった課題への適用が期待されている。

¹ [Technical report: Energy Efficient Separation Systems | IETS](#)

1-2. どのような構造か

特定の分子を分離・回収する性能は、分離材料内部に形成される細孔の構造と、細孔内の化学的な性質によって決まる。従来、分離材料としてゼオライトや活性炭といった多孔材料が広く用いられてきた。これらは、あらかじめ決まった細孔構造を用いており、実績やコスト面で優位性を持つ一方、分離対象に応じて構造や機能を柔軟に変えることは難しい。

これに対しMOFは、金属種と有機配位子を組み合わせて構築される結晶性多孔体であり、分離対象に合わせて細孔構造や内部の化学的性質を設計できる点が、既存材料との本質的な違いである（図表1、2）。MOFの数は定義によって異なるが、結晶構造データベースでは、すでに10万件以上の構造が報告されている²。

このような設計自由度により、分子サイズの違いだけでなく、極性や官能基の違いといった化学的特性に基づく分離が可能となる³。そのため、CO₂回収、有害物質の除去、水分子の捕集など、分離対象が明確で高い選択性が求められる用途において、MOFは付加価値を発揮しやすい材料である。

図表1：MOFと既存材料（ゼオライト、活性炭）の比較

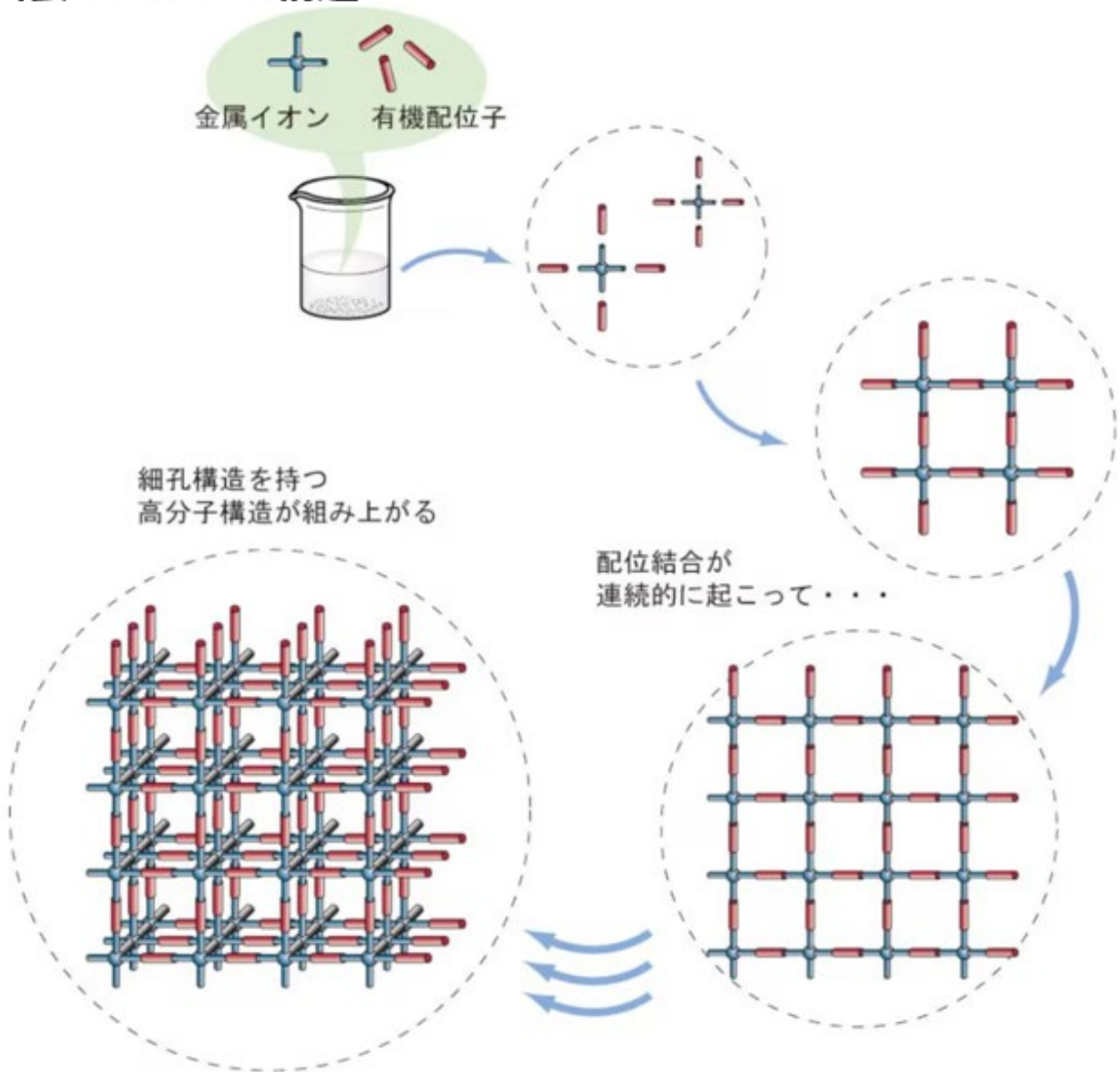
	MOF（金属有機構造体）	ゼオライト	活性炭
材料の基本構造	金属＋有機配位子からなる結晶性多孔体	無機結晶（アルミノケイ酸塩）	炭素からなる非晶質多孔体
構造の規則性	高い（設計可能）	高い（規則的）	低い（ランダム）
細孔サイズ	設計により調整可能	均一（材料ごとに固定）	分布が広い
化学的性質	分子レベルで設計可	無機骨格・極性制御は限定的	主に疎水性
設計自由度	非常に高い	中（種類選択）	低い
強み	高選択性・分子設計性	高い安定性・工業実績	安価・大量供給・実績
弱み	耐久性・コスト・装置化	設計柔軟性が低い	選択性が低い

出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

² [Metal-Organic Frameworks \(MOFs\) in the CSD : CCDC Home](#)

³ 極性や官能基の違いに基づく選択的分離とは、分子ごとの「性質の違い」を利用して分ける方法である。MOFでは、分離する分子の大きさが近くても、その性質の違いによって特定の物質だけを選んで吸着・分離することができる。

図表2：MOFの構造



出所：<https://www.sigmaaldrich.com/JP/ja/technical-documents/technical-article/materials-science-and-engineering/batteries-supercapacitors-and-fuel-cells/zknk-mofs?msocid=078ae95c5a126cf40567fc575b746ded> (最終閲覧日2026年4月16日)

2. MOFはどの分野で実用化されているのか

2-1. 実用化の現状

MOFは多くの分野で研究や実証が進められている一方、商用化に至った例は限定的である(図表3)。ガス分離・吸着やCO₂回収、大気からの水回収などでは、パイロット試験や実証段階の取り組みが複数確認されているが、用途ごとに技術成熟度や事業化の進捗には大きな差がある。特に大量処理や長期耐久性、コスト、材料の量産性、成形・装置化といった産業化要件が、実装上の主な課題となっている。一方で、既存材料との差別化が明確で、性能の優位性が価値として評価されやすい用途では、MOFを活用した具体

的な適用検討が進みつつある。今後の事業展開を考える上では分野ごとの実装状況や課題を整理することが重要である。

図表3：事業会社一覧

企業名	主用途	事業内容
(加) Svante	CO ₂ 回収	MOFフィルター（CALF-20）を用いた回転式吸着装置で排ガスCO ₂ を回収。産業パイロット実証を実施。
(英) Nuada	CO ₂ 回収	MOFによるCO ₂ 分離装置バイオマス施設で実証。
(英) Immaterial	CO ₂ 回収／水回収／HVAC	モリシックMOF材料を開発。欧州でパイロット試験完了。（日）UBEが出資。
(スウ) novoMOF	CO ₂ 回収／水回収／ガス分離	MOFを用途別に開発。デモ段階。
(ルウエ) MOFapps	CO ₂ 回収／水回収・除湿	MOFを用途別に設計し、アプリケーションサービスとして提供。
(日) Atomis	ガス物流／DAC関連	MOF充填型高圧ガス容器を用い、ガス輸送・貯蔵の高効率化を実証。
(米) Framergy	オイル、ガス分離	オイル、ガス分離向けMOF材料を提供。
(米) AirJoule Technologies	水回収	MOFを用いた大気水回収装置をトレーラー型で実証。
(米) NuMat	半導体ドーパントガス化学防護	半導体用ガス製造装置向けにMOFを実装。防護・安全用途、有害化学物質吸着剤としてMOFを利用。
(独) BASF	MOF材料供給	MOFを商業規模で量産。

出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

2-2. ガス分離・吸着

ガス分離・吸着分野は、MOFの応用先として比較的先行して検討が進んでいる領域である。排ガス中のCO₂回収や天然ガス精製などでは、分離対象となるガス種や温度・圧力の条件が明確であり、MOFの選択性能を定量的に評価しやすい。このため、既存の吸着・分離プロセスへの代替材、あるいは補完材としての導入可能性が検討されてきた。

例えば、CO₂回収用途で（加）Svanteは特許取得済みのフィルターを開発しており、北米を中心に複数のプロジェクトを実施中である⁴。（英）Nuadaは欧州にてパイロットプラントを稼働させ、排ガスやバイオマス由来ガスを対象とした検証が行われている⁵。また、ノーベル化学賞を受賞した北川進教授の研究を基盤として設立された（日）Atomisはガス物流やDAC関連用途を想定し、パイロット設備から商用化を

⁴ [Svante Celebrates 18 Years of Carbon Management Innovation with Historic Milestones in 2025](#)

⁵ [Projects and Scaling - Nuada](#)

見据えた段階に移行しつつある⁶。

ガス分離用途では、高い分離性能の安定性および経済性維持が、実装可否を左右する重要な判断軸となっている。

2-3. 水関連分野

水関連分野では、MOFの高い吸着特性を生かした用途として、大気中から水分子を回収する技術が注目されている。特に、低湿度環境下でも水を吸着できる点において、乾燥地域や災害時など、既存の水インフラに依存しない分散型の水回収技術として研究・実証が進められている。

(米) AirJoule Technologiesが水回収においてシステム連携型の実証を進めており、装置の販売開始時期を公表している。また、(英) Immaterialは水回収や建物内の温湿度調整を含む複数分野で欧州を中心にパイロット試験を完了し、商用化に向けた検討を進めている。これらの事例は、水回収分野においてもMOFを用いた装置レベルでの検証が一定程度進んでいることを示している。しかし、回収水量当たりのコストや装置構成の複雑さ、吸着材の耐久性といった点から、大規模な水インフラ用途への展開は限定的である。現状では、用途や設置環境に応じた小規模・分散型の活用が中心であり、水回収においてもMOFの特性が最も生きる適用領域を見極めた導入が求められている。

3. 今後の活用が期待される分野

3-1. 新たな活用分野

MOFの事業展開可能性は用途によって一様ではなく、材料性能の確実性が価値として評価されるかが重要な分岐点となる。価格競争が前提となる場合、既存材料の置き換えは難しい。しかし、要求性能を満たすことが事業成立の条件となる規制対応型市場では、MOFの高い選択性や除去性能が競争優位につながる。この観点から最も有望ものが、PFASをはじめとする有害化学物質の除去が挙げられる。飲料水中のPFASでは極めて厳格な基準値が設定されつつあり、材料コストよりも除去性能や確実性が重視される環境が形成されている^{7, 8}。分子構造に応じた選択的吸着が可能なMOFは、こうした規制対応が必須となる場合において優位性を発揮し得る。

さらに、MOFの応用は規制対応用途に限らない。電池材料、ガスセンサー、触媒などにおいても研究・検討が進んでいる(図表4)。例えば性能差がシステム全体の機能や信頼性に直結する用途や、高付加価値・小規模でも成立する用途では、事業展開の可能性がある。現時点では規制対応市場が最も事業化に近

⁶ [Business | Atomis Inc.](#)

⁷ [New EU rules limit PFAS in drinking water come into effect - Environment](#)

⁸ [「水質基準に関する省令の一部を改正する省令」及び「水道法施行規則の一部を改正する省令」の公布等について | 報道発表資料 | 環境省](#)

いと考えられるが、同様の評価軸を満たす分野へ段階的に展開していく構図がMOFの特徴といえる。

図表 4 : 企業から報告されているMOF関連論文上位トピック

トピック	分野	論文数
エネルギー変換用電気触媒	再生可能エネルギー・持続可能性・環境	1335
急速充放電用途スーパーキャパシタ材料と製造技術	電子・光学・磁性材料	887
高度光触媒技術	再生可能エネルギー・持続可能性・環境	778
電池材料の性能向上・材料開発	再生可能エネルギー・持続可能性・環境	573
ナノ構造制御を用いたa高性能触媒材料技術	材料化学	495
CO2還元技術および触媒材料	材料化学	406
ガスセンシング用ナノ材料およびセンサー技術	電気・電子工学	388
次世代電池システム・技術の研究開発	電気・電子工学	262

注：OpenAlexのMOF関連論文における累積論文数上位テーマを抽出。

出所：OpenAlexデータから三井物産戦略研究所作成

3-2. 事業化の現実解

規制対応型市場などでMOFの性能価値が評価される可能性は高いが、事業化においては、材料単体を汎用品として販売するモデルは成立しにくい。分野ごとに要求される性能（耐久性、価格等）が大きく異なり、単一仕様の材料では使用条件を満たせないためである。特にガス分離や水処理用途では、成形・充填方法、長期連続運転における性能劣化が主要なボトルネックとなる。現実的な事業モデルは、MOFを吸着材・分離材として装置やモジュールに組み込み、運用・保守・交換まで含めて提供する形である。すなわち材料単体の性能を売るのではなく、所定条件下で期待される分離性能を安定的に発揮できることを価値として提供するモデルである。例外的に材料売りが成立し得るのは、使用条件が限定され、交換頻度が高く、性能差がそのままコストや規制対応の優位性に直結する用途に限られる。MOFは汎用素材として広く展開する材料ではなく、用途設計とシステム統合を前提として初めて価値が顕在化する点に、事業化上の特徴がある。

4. 新材料の事業化における考え方

本レポートで取り上げたMOFの事例は、新材料の事業化に共通する構造的な課題を端的に示している。産業用途では耐久性、加工性、供給安定性、コスト、規格適合など複数の要件を同時に満たす必要があり、いずれかが欠ける場合、実証段階から先に進めないケースが多い。特に高性能な材料ほど、使用条件や周辺プロセスへの要求が厳しくなり、材料開発と実装要件の間にギャップが生じやすい。

新材料の事業化の鍵は、①市場選定、②提供形態、③実装体制を一体で設計する視点にある。①市場選定では、性能差が価格以外の価値として認識される領域（規制対応、品質保証、エネルギー効率改善など）を優先すべきである。②提供形態では、材料単体の販売にかかわらず、装置・運用・更新まで含めた形で機能として提供できるかが事業成立性を左右する。③実装体制は、材料開発者単独での実装には限界があるため、成形、モジュール化、エンジニアリング、運用保守を担うプレーヤーとの役割分担を前提に、実証から商用化までの道筋を設計する必要がある（図表5）。

用途選定と事業設計を分離せずに検討することが、新材料を実証段階から持続的事业へとつなげるための前提条件となる。

図表5：新材料事業化の検討項目

項目	検討が必要な点
① 市場選定	<ul style="list-style-type: none"> 性能差が価値として評価される市場か 用途・条件ごとの実用化難易度の見極め 既存材料では代替困難な課題か
② 提供形態	<ul style="list-style-type: none"> 材料単体販売に固執しない 機能として価値提供できるか 周辺プロセスとの整合性
③ 実装体制	<ul style="list-style-type: none"> 材料開発者単独で完結しない前提 成形・モジュール化・エンジニアリング、運用・保守との連携 実証から商用化までの道筋設計

出所：三井物産戦略研究所作成

当レポートに掲載されているあらゆる内容は無断転載・複製を禁じます。当レポートは信頼できると思われる情報ソースから入手した情報・データに基づき作成していますが、当社はその正確性、完全性、信頼性等を保証するものではありません。当レポートは執筆者の見解に基づき作成されたものであり、当社および三井物産グループの統一した見解を示すものではありません。また、当レポートのご利用により、直接的あるいは間接的な不利益・損害が発生したとしても、当社および三井物産グループは一切責任を負いません。レポートに掲載された内容は予告なしに変更することがあります。