

## 2023年に注目すべき技術

### (3) メタマテリアル—快適で持続可能な社会に貢献する材料設計技術—

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 小川 玲奈

#### メタマテリアルとは

「電源不要で物体を冷却できるシート」や「加湿や換気的能力を損ねることなく送風音を低減した空調機」など、メタマテリアルが使われた民生品が市場に出始めている。メタマテリアルの技術は、省エネ・高効率化といった課題に解を与え、持続可能な社会に貢献し得る技術としても開発が進む。ここではまず、メタマテリアルの定義と原理について説明する。

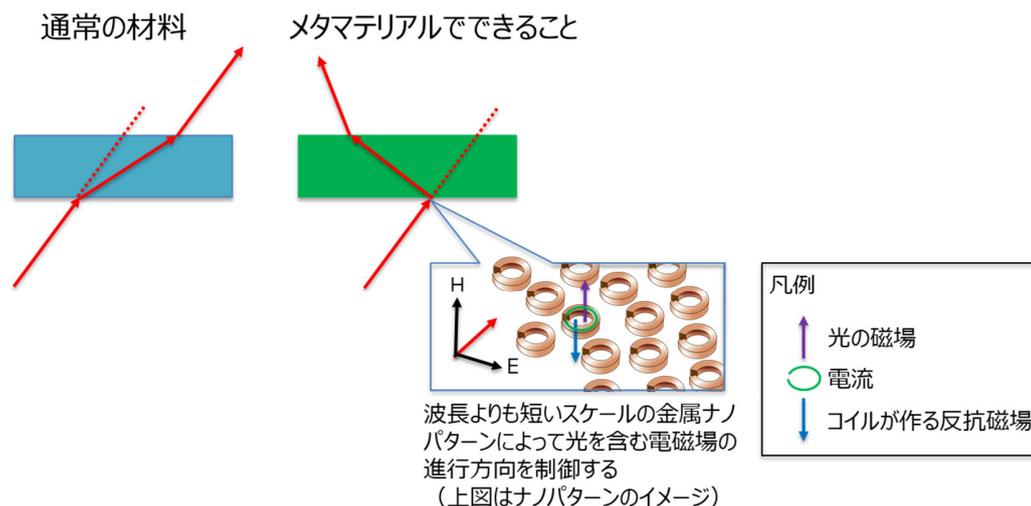
#### (1) メタマテリアルの定義

メタマテリアルは「波長以下の構造体によって、材料が固有に持つ物性とは異なる物性を示す人工物」と定義されている。材料の微細構造を最適に設計し、作りこむことで、熱や光、音などの、波としての振る舞いを、自然界に存在しないような状態に変えることが可能になりつつある。

#### (2) メタマテリアルの原理

メタマテリアルが光の進行方向を変える例を用いて、その原理を説明する（図表1）。

図表1 メタマテリアルの原理（イメージ）



出所：理化学研究所ウェブサイト  
([https://www.riken.jp/medialibrary/riken/pr/press/2006/20060113\\_1/20060113\\_1.pdf](https://www.riken.jp/medialibrary/riken/pr/press/2006/20060113_1/20060113_1.pdf))  
を参考に三井物産戦略研究所作成

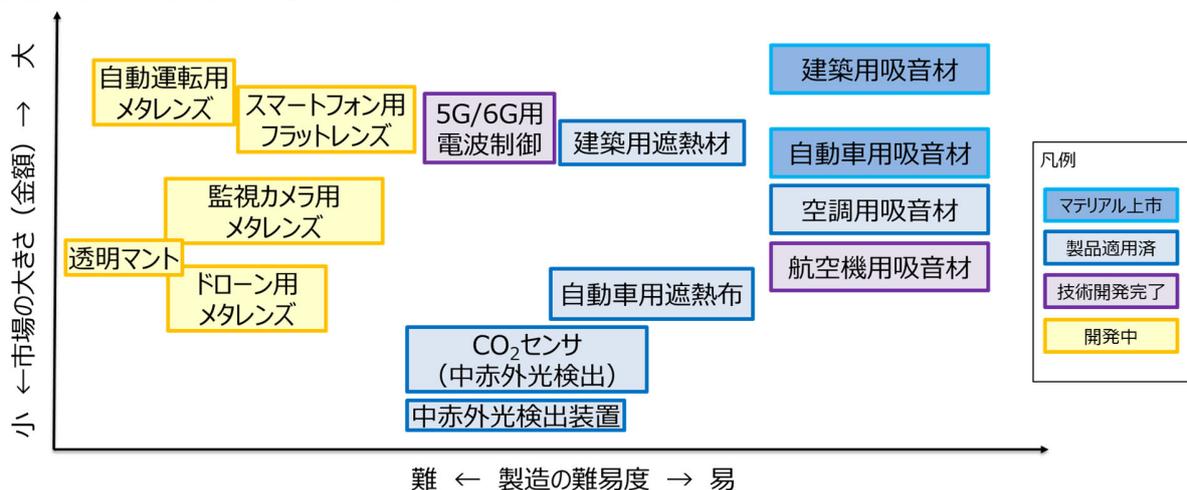
天然に存在する透明な物体の屈折率は必ず正の値であり、物質の外から入った光の曲がる方向は屈折率の値によって決まる。これに対してメタマテリアルでは、物体の表面に、光が通過しようとする際にその光と相互作用して電流が流れ、磁場が発生するような微細構造を形成することによって、天然の物体では実現不可能な、負の屈折率を持っていないと実現できないはずの方向に光を曲げることができる。

可視光や赤外線を含む電磁波の振る舞いはマクスウェル方程式から導かれる波動方程式によって、また、音の振る舞いは音の波動方程式によって表すことができる。メタマテリアルの設計では、これらの方程式を解くことによって、微細構造に求められる形状や物性を決めていく。

## 有望な活用分野

図表2にメタマテリアルの技術マッピングを示す。横軸の製造の難易度は、制御する波の波長によって決まる微細構造の大きさ、微細構造の配置に求められる精度の兼ね合いから推定した。右にある用途ほど量産しやすいことを示している。縦軸は現時点で想定される市場の大きさであり、上にある用途ほど適用された際の市場が大きいことを示す。ここでは既に量産化が進みつつある2つの用途について紹介する。

図表2 メタマテリアルの技術・市場マッピング



出所：各種資料から三井物産戦略研究所作成

### (1) 放射冷却メタマテリアル（遮熱布/遮熱材）

直射日光による温度上昇が問題となる輸送用トラックの車体やデータセンターの建物全体を、放射冷却メタマテリアルを利用した遮熱布や遮熱材で覆うことにより、暑熱環境の改善や冷房にかかるエネルギー消費の削減が期待できる。放射冷却メタマテリアルは、シート表面の材料組成と微細構造を調整することによって、物体から出る赤外線の波長を、空気による吸収なく宇宙に抜けていく波長（大気の窓）である8～13μmに変換するというものである。これによって、シートで覆われた物体は炎天下でも冬の夜間のように放射冷却が進むことから、「日中放射冷却」と呼ばれる。この現象はスタンフォード大学の研究チームによって発見された<sup>1</sup>。

放射冷却メタマテリアルでは赤外線の波長を変換することが主眼となり、赤外線の進行方向を揃える必

<sup>1</sup> <https://patents.google.com/patent/US20140131023A1/en>

要がない。そのため、構造はナノサイズとなるものの、配列性が求められないので大面積の塗布プロセスによる製造が比較的容易である。日産自動車はラディクールジャパンと共同開発を行い、2021年11月に自動車内部の温度上昇を抑えるサンシェードやハーフボディカバー等を純正アクセサリとして上市した<sup>2</sup>（図表3）。

**図表3 放射冷却メタマテリアルを利用したサンシェード（左）とハーフボディカバー（右）**



出所：日産自動車株式会社提供



出所：日産自動車ニュースルーム  
<https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/211102-02-j>  
 (2022年12月13日閲覧)

また、大阪ガスからのスピンアウト企業であるSPACECOOLは、ENEOSホールディングスとの共同プロジェクトで2022年7月から9月までの3カ月間、放射冷却メタマテリアルに関する実証試験を実施した。具体的には、ENEOS堺製油所の屋外に設置された高圧受変電盤設備（内部に空調機能を保有）の屋根と東西南北の外壁に放射冷却メタマテリアルフィルムを施工し、空調電力削減効果があることを立証した。

## (2) 音響メタマテリアル（吸音材）

音響メタマテリアルとは、防音材の表面を微細構造にすることで、広帯域の吸音を可能にする材料である。ダイキン工業は同社の一部空調機に取り付け可能な加湿・換気静音キットの通風防音材として、富士フィルムが開発した音響メタマテリアルを採用している<sup>3</sup>（図表4）。従来の静音化は、高性能な換気ファンを開発することによって実現されてきたが、換気に必要な通風量を増やすとファンから発生する音が増えるというトレードオフは残ってしまうという問題があっ

**図表4 音響メタマテリアル防音材の空調機への取り付け例**



加湿・換気静音キット

「うるさらX」への  
 取り付けイメージ

出所：ダイキン工業株式会社プレスリリース  
<https://www.daikin.co.jp/press/2022/20220118>  
 (2022年12月8日閲覧)

<sup>2</sup> 日産自動車株式会社ニュースルーム  
<https://global.nissannews.com/ja-JP/releases/211102-02-j>

<sup>3</sup> ダイキン工業株式会社プレスリリース  
<https://www.daikin.co.jp/press/2022/20220118>

---

た。そこで設計の着眼点をファンから通風路にまで広げ、音響メタマテリアルを防音材に用いることで、広帯域の吸音と通風量を両立することを可能にした。

このほか、音響メタマテリアルは、道路とタイヤの摩擦によって生じるロードノイズの吸音材としての利用が検討されている。車内騒音の主要因はエンジン音であったが、EV化に伴いロードノイズが指摘されるようになった。ロードノイズは機械音のような単一の波長ではなく、路面の状態によってさまざまな波長の音波からなるため、微細構造の設計は空調向けの吸音材と比較すると難しいと考えられる。しかし、理論的には従来の吸音材よりも軽量で高い吸音性能が実現可能であり、車内の静粛性と車体の軽量化を両立させる技術として期待される。

## 今後の展望

ここでは近年になって急速に研究が進み、近い将来に社会実装が期待される2つの技術を紹介し、さらに素材開発分野で進むAI活用がメタマテリアルの設計に波及する可能性について論じる。

### (1) メタレンズ/フラットレンズ

メタレンズとは、メタマテリアルでできたレンズのことである。スマートフォンや自動車、ドローンなどには凹凸形状の光学レンズが4~5枚搭載されているが、その役割をメタレンズ1枚に置き換えることへの期待が高まっている。レンズをメタレンズにすることで、スマートフォンのカメラ部分のデザインを平坦にできることから、メタレンズはフラットレンズとも呼ばれる。

音波や電波と比較すると波長が短い可視光は、制御するための微細構造の形成や量産化への難易度が高い。これに加えて可視光の波長はおよそ360nm（紫）から830nm（赤）まで幅があるため、波長全域での制御が求められるカメラに使えるフラットレンズの設計も、単一の波長を扱う場合と比べてさらに難しい。しかし、ハーバード大学発のスタートアップMetalenz<sup>4</sup>が、単一の波長の光によって特定の物体までの距離を測定するライダーをスマートフォンなどにも搭載可能なメタマテリアルとして設計することに成功したことから、世界中のスマートフォンメーカーから同技術への注目が高まっており、数年以内での実装が期待される。自動車やドローンでは重量が燃費に直結するため、測距用センサに使われるレンズをメタレンズに変えることでの軽量化への期待も高い。

### (2) 通信分野（5G/6G用電波制御）

通信の分野では、5G以降、高周波数帯域の利用が拡大していくが、高周波の電波は伝播する距離が短く、遮蔽物によって吸収されやすいために、1つの基地局でカバーできる範囲が狭く、また、建物内での利用範囲に限られるといった問題がある。これを解決する手段としてもメタマテリアルが有望視されている。電波の波長は可視光よりもずっと長い、数十マイクロメートルオーダーであることから、メタマテリアルに

---

<sup>4</sup> <https://capasso.seas.harvard.edu/>

---

求められる微細構造のサイズは電子回路の銅配線と同程度である。そのため、5G通信用のメタマテリアルを製造するための基礎技術は既に確立されているといえよう。AGCはNTTドコモと共同で、屋外から屋内に効率的に電波を通す窓ガラスを開発した<sup>5</sup>。また、大日本印刷は5G電波の到達エリアを広げる効果のある電波反射板を開発した<sup>6</sup>。反射板に関しては、設置場所によって、どの方向・角度に反射させるかが異なることから、配置するメタマテリアルの微細構造も変わるため、その量産性を確保するためには、オンデマンド製造システムの構築など、製造側での工夫が必要になると考えられる。5Gも現時点では普及途上であることから、6Gの実用化が想定どおり2030年に始まるかどうかは不透明だが、6Gでは5Gよりもさらに高周波数帯域の活用が検討されており、伝播距離が短くなるとされているため、電波の到達エリアを広げるための技術としてメタマテリアルの重要度は増していくだろう。

### (3) AIによる設計支援

メタマテリアルの設計では波動方程式を解くことが必要となるが、波動方程式は一般に手計算で解くことができない。そのため、計算プログラムを自作したり、解析ソフトを利用したりといった形で計算機を利用した設計、開発が行われてきた。メタマテリアルの実装には、波をどのように利用するかアイデア創出を含む製品設計と、製品に求められる性能に対するメタマテリアルの組成や構造との擦り合わせによる最適化が重要である。最適化はAIが得意とするところであることから、今後さらに研究開発事例が増え、データとして蓄積されていくことで、AIによる設計支援の幅も徐々に広がっていくと予想される。

従来、日本の製造業は、開発・設計で最適化された条件を製造に落とし込んだ上で、さらに洗練させていくことを得意としてきた。日本の製造業がAIによる設計支援を取り入れることで、メタマテリアルの有望分野への適用が加速・洗練されていくことも、期待したい。

---

<sup>5</sup> AGC株式会社プレスリリース

[https://www.agc.com/news/detail/1201960\\_2148.html](https://www.agc.com/news/detail/1201960_2148.html)

<sup>6</sup> 大日本印刷株式会社プレスリリース

[https://www.dnp.co.jp/news/detail/10161328\\_1587.html](https://www.dnp.co.jp/news/detail/10161328_1587.html)

# 「メタマテリアル」に関する知財レポート

三井物産戦略研究所 技術・イノベーション情報部 知的財産室 松浦 由依

本稿では、「2023年に注目すべき技術」で取り上げた「メタマテリアル」について知財の国際動向を調査・分析しレポートする。すべての調査・分析はPatSnap社が提供するグローバル特許検索・分析ツールであるPatSnap Analyticsおよび各種技術情報検索ツールであるPatSnap Discoveryを利用して実施した。各種データの取得日は2022年12月5日である。

## 各図表の見方

### 【図表1】 関連特許の出願動向

縦軸は特許ファミリー件数、横軸は出願年であり、2006年から2022年の年ごとの出願件数推移を示している。特許ファミリーとは、同一の特許出願に由来して各国へ出願された一群の出願グループを指す。たとえば、米国にした特許出願を中国にも出願した場合、これらは2件の特許出願としてカウントせず、1件の特許ファミリーとしてカウントしている。

特許出願は、原則として出願日から1年6月経過後に公開される。そのため2023年1月現在、2021年以降の特許出願の一部は公開されていない。しかし、本レポートの性質上、最新の特許出願状況を参照することが好ましいと考え、2021年以降の特許出願件数については予測値として掲載している。

### 【図表2】 出願人の国 上位ランキング

2003年から2022年までの特許出願につき、どの国の出願人が何件出願しているか、すなわち発明の出所（国）のランキングを示している。バブルの大きさは出願件数に比例する。

### 【図表3】 特許権者 上位ランキング

2003年から2022年までの特許出願につき、現在有効な特許を所有する上位特許権者のランキングを示している。

# メタマテリアル

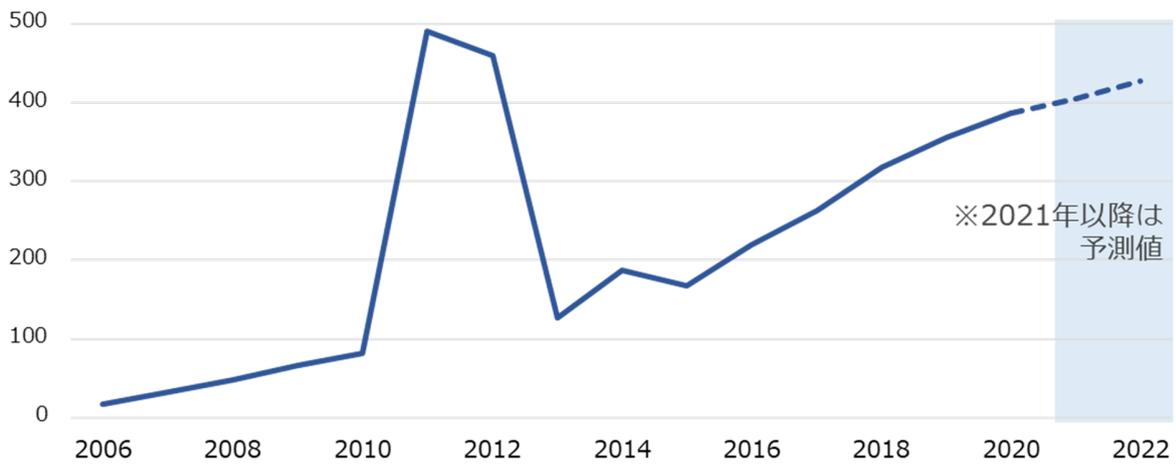
2023/01

【図表1】メタマテリアル関連特許の出願動向

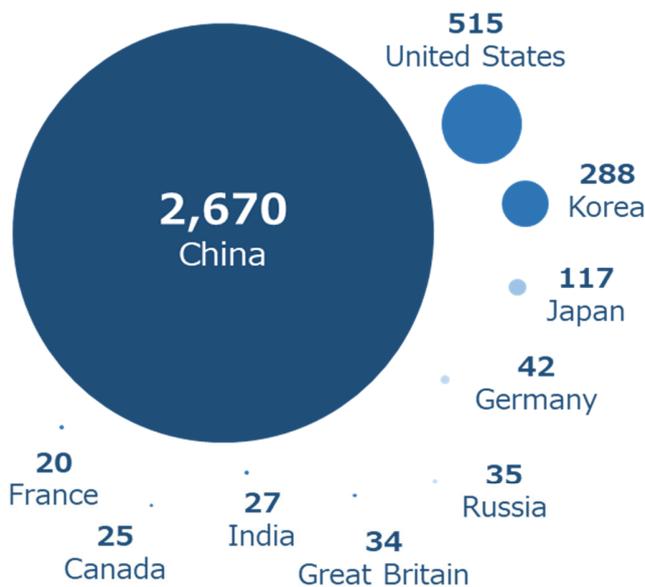
全出願件数 (2003-2022)

**3,875**

特許ファミリー



【図表2】出願人の国 Top 10



【図表3】特許権者 Top 10



学術論文件数  
(2017-2022)

**19,811**

資金調達額  
(2017-2022)

**1,221M (USD)**

---

▶ 「2023年に注目すべき技術」（フルレポート）はこちら

-----  
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、当社及び三井物産グループの統一的な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、当社及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。