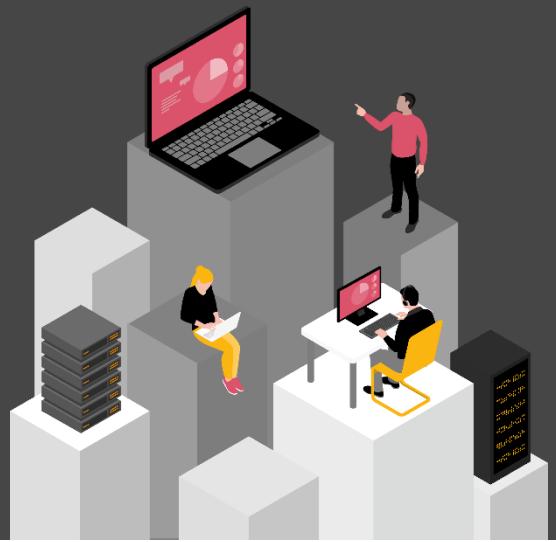


Emerging Technology Insights

Tech Translated: Metamaterials
メタマテリアル

2024 年 12 月

PwC コンサルティング合同会社
PwC Intelligence マネージャー 柳川 素子
Technology Laboratory シニアマネージャー 近藤 芳朗



Tech Translated: Metamaterials メタマテリアル

s+b a PwC publication

メタマテリアルとは何か？

メタマテリアルとは、自然界に存在する物質には通常見られない特性を持つ合成物質で、金属、プラスチック、固体または液体の有機物といったありふれた化合物から作られる。メタマテリアルを作るためには、電磁波、音波やその他の波動に応じた新しいナノスケールの 3D 構造の構築が求められる。

メタマテリアルの汎用性と応答性には、さまざまな応用分野の可能性が広がる。4D プリンティングでは特に有用になる（ただし必須ではない）。

どのようなビジネス上の問題に対処できるか？

「メタマテリアルは、物理学と化学における根本的な限界のいくつかを突破でき、幅広い分野で破壊的イノベーションの可能性を切り開く」と PwC 米国法人 グローバル AI・イノベーションテクノロジーリーダーの Scott Likens は言う。メタマテリアルを使用することで、センサ、光コンピューティング、リソグラフィー、ワイヤレス充電、防音・断熱、カモフラージュ、防衛・航空宇宙設計、通信などの分野で画期的な改良ができる。

理論上の例としては、ハッブル宇宙望遠鏡の性能をスマートフォンサイズのカメラに搭載する「スーパーレンズ」、ガンマナイフⁱの副作用なしに腫瘍を破壊できる超音波スキャナー、特定の放送周波数のみを拾えるほどに高感度なアンテナなどが挙げられる。

どのように価値を創造するか？

「メタマテリアルは、既存の材料の特性を新しい形で再現することができる。例えば、スケールを著しく小さくしたり、エネルギー効率を高めたりすることが可能だ。もしくは全く新しい機能で既存の材料を上回ることもできる。そして、メタマテリアルは基本的にさまざまな種類の波動に反応するだけなので、潜在的なユースケースがたくさんある」と Likens は述べている。

ⁱ Mayo Clinic, 2024/12/23 アクセス: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/brain-stereotactic-radiosurgery/about/pac-20384679>

メタマテリアルの変化を引き起こす刺激には、地震波などがある。例えばメタマテリアルで建物を覆うと、地震の際に柔軟に動いて保護できる。開発中の他の応用例には、静止した衛星放送受信アンテナを必要としない衛星アップリンク通信、人間が持ち運べるほど小型のレーダーシステム、紙のように薄い音響減衰パネル、シームレスな拡張現実(AR)ヘッドセットレンズ、自重の 10 万倍以上の重さに耐えられる空気より軽い化合物などがある。

一部の専門家は、メタマテリアルが 2030 年までに数十億米ドル規模の産業に成長する可能性があると予測しているⁱⁱ。一方で現在、最も多額の投資は米国と中国の防衛部門に由来するものである。具体的には、極超音速ミサイル、戦車や飛行機用の「透明マントⁱⁱⁱ」、新しい種類の安全な通信^{iv}開発に関するものだ。

「この分野は、研究開発ラボの枠を飛び出すような投資を切実に必要としている。こうした実験的概念実証(PoC)からの実用化に投資する意思のあるプレイヤーには、大きな可能性が広がっている」と Likens は指摘する。

誰が注意を払うべきか？

メタマテリアルがもたらす革新の可能性は非常に大きい。そのため、航空宇宙・防衛、エンジニアリング・建設／産業機械、ヘルスケア、情報通信、消費者市場などの業界の CTO、CSO、CIO、CRO、チーフエンジニア／研究開発責任者などのリーダー層は最新の開発動向に注目し、実証済みのメタマテリアルが現れた場合には、試行を検討すべきだ。

企業はどのように準備すればよいか？

「メタマテリアルが既存の製品やサプライチェーンにどのような場面で影響を及ぼすかを特定し、機会とリスクを見極めることは非常に有用だ。実用化が期待される分野における開発についても同様である」と Likens は指摘する。防衛部門からの投資が集中しているため、これらの取り組みへの助成金を確保できるだけでなく、より広範な商業応用が期待できる未開拓の分野にも進出できる可能性がある。「あなたの会社がメタマテリアルを直接開発することに価値を見出さなくても、既存または新規の協業パートナーを探すとよいだろう。そうすれば、これらの技術が成熟した際に有利な立場に立つことができるはずだ」と Likens はアドバイスしている。

ⁱⁱ IMARC, 2024/12/23 アクセス: <https://www.imarcgroup.com/metamaterials-market>

ⁱⁱⁱ ASIA TIMES, “The curious case of China’s quest for ‘invisibility cloak’”, 2021/7/30: <https://asiatimes.com/2021/07/the-curious-case-of-chinas-quest-for-invisibility-cloak/>

^{iv} U.S. NAVALINSTITUTE, “Win the Race for Invisibility”, 2019/10: <https://www.usni.org/magazines/proceedings/2019/october/win-race-invisibility>

日本版解説

■ 日本におけるメタマテリアル開発の現状

前段で翻訳した「Tech Translated: Metamaterials」本文に記載があるように、メタマテリアルの開発は現状では米国と中国が中心で、特に防衛分野での技術開発が行われている。その他欧州(ドイツ、英国など)は基礎研究で高い実績があり、アジアでは韓国でも通信やエレクトロニクス分野での応用が進んでいる。

メタマテリアルは多種多様だが、主なものを図表 1 にまとめた。

図表 1 メタマテリアルの主な種類

種別	概要
電磁メタマテリアル	光やマイクロ波などの電磁波を制御し、自然界には存在しない形での屈折、遮断などを可能とする
音響メタマテリアル	音波や振動を制御し、音の吸収、屈折、遮断、一方向のみの伝播などを調整する
光学メタマテリアル	光の波長の位相や偏光、電子との相互作用などにより光学現象を制御する
熱メタマテリアル	熱の伝導や放射を制御し、エネルギーの遮断や一方向への伝導、放熱などを行う
力学メタマテリアル	弾性や剛性を持ち、エネルギーの吸収なども起こしつつ力や変形を制御する

出所 各種公開情報を基に作成

日本においても、大学や企業、研究機関を中心にメタマテリアルの研究開発が行われている。日本における先進的な取り組みとして、東北大学に設立された国内初となる専門研究組織が挙げられる。この「メタマテリアル研究革新拠点(Meta-RIC)¹」では、国際的な研究者や開発意欲を持つ民間企業が参加するコンソーシアムの形成を目指し、次世代通信技術の 6G をはじめ幅広い分野を対象に研究開発が行われている。産業技術総合研究所や理化学研究所などの組織でも研究が進められている。図表 1 で取り上げたさまざまな種類のメタマテリアル技術を応用した産業展開が期待される分野と、日本における取り組み例を図表 2 に記載した。

図表 2 メタマテリアルの代表的な産業別展開領域の概要と日本における取り組み例

情報通信

メタマテリアルにより特定の周波数帯域の電波を反射するなどの技術で、次世代通信技術 5G/6G の通信環境を改善し、通信エリア拡大、信号強度の向上、通信速度の強化を目指す

- ・産業技術総合研究所: 自然にはない特性を持つ反射板を 2021 年に世界で初めて開発。反射板をビルなどの壁や窓に設置して 5G/6G の電磁波を特定方向に高効率で反射させ、障害物を迂回して基地局と端末を中継し、通信エリアを拡大²
- ・積水化学: 外観を損ねない透明フレキシブル形式の、通信環境改善用途の電波反射フィルムを開発³
- ・NTT ドコモ: 5G/6G で利用する透明 RIS(Reconfigurable Intelligence Surface) の開発を進める⁴

医療・バイオテクノロジー

超音波を集中させて腫瘍を破壊する治療法、X 線などの有害な放射線を使用せずに体内を見ることができる新しいイメージングデバイスの開発、特定の分子や物質を高感度で検出するバイオセンサを使用した病原体検出などメタマテリアルを用いた診断・治療技術の革新

- ・村田製作所: 超音波の透過性を高めるメタマテリアルを開発。例えば脳検査において超音波が頭蓋骨を透過して検査できるなど、従来の CT スキャンや MRI に比べて被爆の心配がない手法を開発⁵

自動車

メタマテリアルによる遮音・静音機能や熱効率の向上による、車両性能の高度化、快適性の改善、生産プロセスにおけるエネルギー効率化

- ・日産自動車：従来の遮音材と比較して軽量だが同等の性能を持ち、低周波数のロードノイズにも対応する音響メタマテリアルを開発。電動車の静肅性向上や高級車への搭載などに利用⁶
- ・日産自動車：車内温度上昇を防ぐ放射冷却メタマテリアルを開発し、車両塗装に利用⁷
- ・ホンダ：SPACECOOL 社と共同で太陽光を反射して熱を逃すメタマテリアルシートを開発。工場の外壁や屋根に施工して熱効率を向上させる⁸

製造業・電機・デバイス

音響マテリアルやセンサ、イメージング技術にメタマテリアルを活用することによる、新しいデバイスや製品の開発、既存製品の機能向上

- ・富士フイルム：開発した音響メタマテリアル（風は通すが音を通さない）を、ダイキン工業が空調機の静音キットに採用⁹
- ・キヤノン：独自にカスタマイズした音響メタマテリアルを搭載したマスク型の装着型減音デバイスを開発¹⁰

エネルギー産業

太陽光を広い範囲で高効率に吸収できる材料による太陽電池や、高熱変換デバイス、放射冷却メタマテリアルによる冷房エネルギーの削減、蓄電、風力タービンの性能向上など、カーボンニュートラルに向けた再生可能エネルギーの効率向上

- ・新潟大学：発電プラントや製鉄所における膨大な排熱を回収可能なメタマテリアルを使った熱光起電力発電を研究。光エネルギーを宇宙へ放熱する放射冷却デバイスへの応用研究も実施¹¹

建設・不動産

エネルギー効率が高い建築材料、地震対策、騒音制御などにメタマテリアルを活用

- ・東京大学・クラボウ：セメント系材料におけるメタマテリアル技術の確立を目指し、建設用 3D プリンティング技術の研究開発を実施¹²

出所 各種公開情報を基に作成

このほかにも、環境・水処理産業におけるメタマテリアルを使った新しい形式の浄水システムや空気中の汚染物質の効率的除去、次世代半導体プロセスの改善、非破壊検査技術の向上、AR/VR での活用、宇宙産業やロボティクスにおける応用など、幅広い用途が想定される。これらの領域でも今後、日本のプレイヤーによる研究開発や事業化の事例が増加していくと考えられる。

■ メタマテリアル開発において注目すべき観点

メタマテリアルは非常に広い産業分野で、これまでになかった先進的な用途を可能にする実証のフェーズに入っている。企業が自社の技術や既存事業を起点に発展的に未来を見据える際は、「どのような素材や仕組みがあればそれが実現するのか」、「それを可能とするメタマテリアルの開発が検討できるか」、「開発を進めた際に、自社内にどのように技術やノウハウを蓄積しながら、産業全体に波及するような連携にもつなげることができるか」、といった観点で考えると、ビジネスの幅が広がるだろう。

知財戦略の重要性:求められる「オープンクローズ戦略」

これまでにない新しい用途を展開可能なメタマテリアルに関しては、まず、技術競争において優位性を確立するための知財戦略が重要になる。産業全体での技術革新の加速を目指す際には、物質の特性や設計、シミュレーションに関するデータを共有するオープンデータベースの整備、産学官連携によるオープンイノベーションプログラムなどが有用になると考えられる。

また、特定の応用分野での研究開発が実現した場合には、物質構造などに関する特許を取得して保護する、技術を秘匿化して外部への流出を防止するといったコア技術の囲い込みが重要なポイントになる。メタマテリアルは構造物であり、そのものを分解して調べることで模倣可能なため、知財での保護は必須である。一方で、メタマテリアル作成のプロセスを秘匿化し、ノウハウ化することも可能だ。産業内で連携して共有可能なデータや情報と、自社に閉じた形で保有する技術やノウハウのバランスをとる「オープンクローズ戦略」を適切に検討・設計し、体制を整えて実行できるかがカギになると考えられる。

実用化を目指したプレイヤー連携がカギ

メタマテリアルの実用化を目指す際には、翻訳版にもあるように、自社で直接開発するという選択肢だけでなく、適切な協業パートナーを見つけて技術の成熟に備えるという方法が非常に有用である。メタマテリアルの技術進化の先にある新しいビジネスにおいて協業する際には、参加するプレイヤーに互いにメリットが生じる形を目指し、開発段階から良い関係性を構築することが重要になると考えられる。

既存企業との連携においては、産業界と研究機関が連携して用途や製品などを共同開発する取り組みや、需要がある領域を見定めたうえで産業的な利用の可能性を広げるために市場ニーズを調査し、開発に生かすことも必要になるだろう。メタマテリアルに関して日本が諸外国に先行し得る技術開発など、重点的に取り組むべき領域を見据えた際には、公的な研究開発費の補助や税制優遇措置などの政策支援が奏功すると考えられる。

メタマテリアルの多様な機能が開発されても、何に使えるかが不明瞭なままだと社会実装が進まず、宝の持ち腐れになってしまう。すでに技術的な研究開発を進めており設計や製造工程の知見を持つ大学や研究機関と、サービスやアプリケーションの領域で経験を蓄積している企業が協業することで、従来の一歩先を行く製品や活用領域が見つかる可能性が高い。

メタマテリアル領域での組み合わせ、すり合わせの戦略が競争優位につながる

日本のモノづくり産業がかつてのような国際競争力を再獲得するという観点では、メタマテリアル開発はカギとなる有用な方法の一つである。メタマテリアル領域においては、さまざまな業種や産学官をまたいで専門性を組み合わせる、細かいニーズを捉えながらすり合わせを行い最適な性能を引き出す、といった形で、日本のモノづくりが従前から持つ潜在力を十分に生かすことができると想定されるためだ。日本のプレイヤーの品質管理力、製品やプロセスの改良手法、精密機器や電子部品の製造技術といった産業基盤を活かしつつ、メタマテリアル領域のキラーアプリケーションを見つけることを目指し、世界に先駆ける形で積極的に実証を進めることができるのでないだろうか。

メタマテリアルは応用分野が非常に幅広いため、多種多様な企業が参入を検討でき、連携する際の座組のパターンも無数にあるはずだ。以上のような点を踏まえつつ、関連する事業者が連携してエコシステムを形成しながら、日本発の競争力のあるメタマテリアル技術の開発と市場展開が行われることが期待される。

¹ 東北大学, “メタマテリアル研究革新拠点(Meta-RIC)”, 2024/12/23 アクセス: <https://web.tohoku.ac.jp/kanamori/0meta-ric/index.html>

² 産業技術総合研究所, “自然にはない反射特性を示す 140 GHz 帯メタサーフェス反射板を開発”, 2021/11/26: https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2021/pr20211126/pr20211126.html

³ 積水化学, “外観を損ねない、透明なフィルムを貼るだけで通信環境が改善”, 2024/12/23 アクセス: <https://www.sekisui.co.jp/electronics/ja/application/film.html>

⁴ NTT ドコモ, 「5G evolution & 6G に向けた透明 RIS 技術の研究」, 『NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル Vol.29 No.2』, 2021/7: https://www.nttdocomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol29_2/vol29_2_004jp.pdf

⁵ 村田製作所, “医療・自動車など超音波センサの利用シーンを拡大する「超音波透過メタマテリアル」, 2023/12/8: <https://article.murata.com/ja-jp/article/expanding-the-use-of-ultrasonic-sensors>

⁶ 日産自動車, “軽量な遮音材料(音響メタマテリアル)”, 2024/12/23 アクセス: https://www.nissan-global.com/JP/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/META_MATERIAL/

⁷ 日産自動車, “自己放射冷却塗装(熱のメタマテリアル)”, 2024/12/23 アクセス: https://www.nissan-global.com/JP/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/COOL_PAINT/

⁸ 本田技研工業, “「メタマテリアル」と「Honda DREAMO」の取り組みを進める埼玉製作所(完成車工場)”, 2023/1/30: <https://global.honda.jp/environment/hoteyes/hoteyes242.html>

⁹ 富士フイルム, “富士フイルムとダイキンが空調機の新たな静音化技術を実用化”, 2022/1/18: <https://www.fujifilm.com/jp/ja/news/list/7454>

¹⁰ キヤノン, “装着型減音デバイス”, 2024/12/23 アクセス: <https://personal.canon.jp/product/business-tool/privacytalk/features>

¹¹ 新潟大学, “メタマテリアルによる自由自在な光エネルギー制御”, 2024/12/23 アクセス: <https://www.eng.niigata-u.ac.jp/~rad/research.html>

¹² 東京大学, “クラボウと東京大学が 3D プリンティング技術に関する共同研究を推進～産学連携によりメタマテリアル技術の確立を目指す～”, 2024/12/23 アクセス: <https://www.t.u-tokyo.ac.jp/press/pr2022-07-13-001>

本コンテンツの翻訳版部分は、pwc.com に掲載された strategy+business マガジンの記事 [Tech Translated: Metamaterials](#) の英語テキストを PwC Consulting LLC が翻訳したものです。翻訳には正確を期しておりますが、英語版と解釈の相違がある場合は、英語版に依拠してください。

strategy+business に掲載された記事の転載は、必ずしも PwC ネットワークのメンバー フームの見解を反映するものではありません。出版物、製品、またはサービスのレビュー言及は、購入の承認または推奨を意味するものではありません。Strategy+business は、PwC ネットワークの特定のメンバー フームによって発行されています。

柳川 素子 | Motoko Yanagawa

マネージャー

PwC Intelligence

近藤 芳朗 | Yoshiro Kondo

シニアマネージャー

Technology Laboratory

PwC コンサルティング合同会社

〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-2-1 Otemachi One タワー Tel:03-6257-0700

©2024 PwC Consulting LLC. All rights reserved. PwC refers to the PwC network member firms and/or their specified subsidiaries in Japan, and may sometimes refer to the PwC network. Each of such firms and subsidiaries is a separate legal entity. Please see [www.pwc.com/structure](#) for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.