



応用物理学会春季学術講演会 注目講演プレスリリース

2023年 3月 13日

誘電体メタサーフェスが拓く高感度・多次元イメージング

Dielectric Metasurfaces for High-sensitivity, Multidimensional Imaging

誘電体メタサーフェスを実現する 人の目を越えたイメージセンシング

NTT先端集積デバイス研究所

宮田 将司

【発表概要】

- ・ 誘電体メタサーフェスによって、現行技術の約3倍の受光量の高感度イメージセンサを実現。
- ・ 誘電体メタサーフェスを応用した特殊な光学技術メタレンズと、AIによる最先端画像処理技術を融合することで、ハイパースペクトル画像を取得できるイメージング技術を開発。
- ・ 同技術は既存のスマートフォンやコンパクトデジタルカメラに実装可能であり、ハイパースペクトル画像による、高度なイメージセンシングを民主化することができる。

NTT先端集積デバイス研究所の宮田将司らの研究グループは、「メタレンズ」という、ナノ構造を応用した特殊な光学技術、AIによる最先端画像処理技術を融合することで、ハイパースペクトル画像を取得できるイメージング技術を開発した。同技術は、既存のスマートフォンやコンパクトデジタルカメラのレンズを置き換えるだけで動作する点も特徴である。ハイパースペクトル画像は、人間の目では把握することが難しい物体の性質を識別することができ、農林水産業やヘルスケア、スマートマニュファクチャリングなどの産業において、新たな可能性を切り拓く技術になると期待されている。講演では、同イメージング技術を含む、メタレンズの背景となる誘電体メタサーフェスとそのイメージング応用について発表する。

【詳細】

世界は人間には見えない光で満ちている

「イメージング」という言葉から一般的に想起されるのは、人間の目に見えるもの、すなわち可視光によるイメージだ。しかし、この世界は人の目が捉えられるイメージだけでは理解できないものが多い。たとえばX線による身体の内部観察、さらには赤外線分光による結晶構造の解析など、可視光以外の光によるイメージングは、医療や科学の進歩には欠かせないものだ。そうした私たち人間には見えない光を捉えるイメージングセンサは、スマートフォンから自動運転、ウェアラブルデバイスに至るまで、さまざまなテクノロジーへの応用可能性がある。私たちの社会は、奇しくも私たちには見えない光を捉える技術によって進歩しているとも言えるのだ。

「現在のスマートフォンのカメラをはじめ、一般的なカメラは、人間に合わせてつくられています。搭載されているイメージセンサも、人間の目に合わせて最適化されているので、人間が見ることができないものは見ることはできません。それを根本的に変えていきたいというのが私たちの研究のモチベーションです」とNTT先端集積デバイス研究所の宮田将司氏は話す。

宮田氏らの研究グループは、「メタレンズ」と呼ばれる、特殊な人工表面構造を応用した光学技術を開発してきた。メタレンズは従来のレンズと異なり、1枚のレンズで多彩な色情報を制御・分離でき、イメージセンサへ搭載すれば受光量が最大化できる（従来センサに比べて、2.83倍の受光量増加）。そして同研究グループは、このメタレンズをAIによる最先端画像処理と融合することで、ハイパースペクトル画像（※）を取得できる技術を開発した。さらにその技術を、既存のスマートフォンやコンパクトデジタルカメラに搭載可能なものにしたのである。

誘電体メタサーフェスが実現する、高感度イメージセンサ

メタレンズのベースとなるものが「誘電体メタサーフェス」と呼ばれる技術だ。誘電体メタサーフェスとは、一般的には、光の波長よりも小さく、特殊な光学特性を持つ誘電体ナノ構造体を材料の表面に作製し、人工的な表面材料として扱う概念を指す。宮田氏は誘電体メタサーフェスがもつ光学技術としてのポテンシャルに着目し、NTT研究所で研究を率いてきた。

誘電体メタサーフェスはナノ構造体からなる人工表面構造であり、光強度、位相、偏光、分散を制御することができる。その表面パターンを変えるだけで、イメージセンサに多様な機能を持たせることができるという。その応用は、イメージセンサの小型化や機能拡張、顔認証システムなどと幅広い。この誘電体メタサーフェスを、レンズに応用したものがメタレンズと呼ばれる。既存の光学系デバイスに実装できるというシンプルさも特徴だ。

宮田氏らの研究グループは、誘電体メタサーフェスを用いてイメージセンサの高感度化を行った。イメージセンサが高感度化することには産業応用のメリットがある。イメージセンサが高感度化

すると、たとえば夜間の高速撮像による物体認識などが可能になる。これは自動運転技術などの精度を向上させることができる。

既存の技術では、高解像度化と高感度化は常にトレードオフの関係にある。たとえば空間解像度をあげようとするれば、イメージセンサの画素サイズを微細化するということになる。しかし、微細化を行うと1画素の集光量は減少し、感度が低下してしまう。高感度化のためには、1画素あたりの受光量を抜本的に増加させる技術革新が必要だった。そこで宮田氏らの研究グループが開発したものが、誘電体メタサーフェスを用いて色分類をする技術だった。

「既存のイメージセンサは3つの受光素子で赤緑青の光の3原色の情報を取得しています。このとき、それぞれの素子の前には不要な色を吸収させて必要な色だけを透過するカラーフィルタが配置されているため、イメージセンサの受光量は入射光量の3分の1程度になります。そこで誘電体メタサーフェスを用いた色分離レンズによって、光を色別に分離することで、カラーフィルタを使わない色情報の取得方法を確立しました」（宮田）

同研究グループは、窒化ケイ素の薄膜をエッチングし、誘電体メタサーフェスを作製。入射光を分割する小さな支柱により形成される微細構造は、光を、赤、緑、青の光に対応するピクセルに振り分けることができる（図1）。実験実証では、2.83倍の受光量を確認している。

誘電体メタサーフェスは、既存の半導体プロセスでつくることができるため、将来的な大量生産においては、既存の技術を流用することで事足りる。また、産業用高屈折率樹脂（NTT-AT製）とナノインプリントによって、まるでスタンプのように直接パターンニングができる技術も開発されている。

「人の目を超える目」を民主化する

同研究グループは、誘電体メタサーフェスを情報科学、センサ技術、バイオミメティクス（生物模倣）と組み合わせることで、実環境の多様な情報を取得することを目指している。その中でも傑出した研究が、メタレンズとAIによる情報処理を組み合わせ、「普通のカメラ」で、ハイパースペクトル画像・動画を取得する技術の開発だ。

デジタルカメラのレンズをメタレンズに置き換えたデバイスで撮影をすると、メタレンズによって、物体の形状および波長情報が圧縮された画像として撮像することができる。この圧縮画像をニューラルネットワークによるAIアルゴリズムによって画像処理することで、ハイパースペクトル画像として再構成するというものだ（図2）。

「この技術の大きな特長は、通常デジタルカメラで画像特性を犠牲にすることなく、ハイパースペクトル画像を実現できることです。NTT研究所が独自に開発したニューラルネットワークを用いて、少ない情報から多くの情報を戻す処理を実現しています」（宮田）

現在の研究成果では、可視光から近赤外光におよぶ45波長のハイパースペクトル画像が得られており、動画（HD解像度・フレームレート30fps）の場合も同様だ。同デバイスは、既存のスマートフォンやコンパクトデジタルカメラに搭載することができるため、まさに「人の目を超える目」を民主化することができる技術である。

先行研究から、写真から血管の分布を把握したり、食べ物や農作物などへの応用も検討できるという。「将来的にはスマートフォンで写真を撮影するだけで健康状態を知ることができる」といった応用も視野に入れて検討しています。農場で撮影するだけで、そのトマトが美味しいかどうかを知ることできるでしょう」（宮田）

【注釈】

※ **ハイパースペクトル画像** 一般的なデジタルカメラよりも多くの波長による色情報に分光し、撮像された画像（群）のこと。ハイパースペクトル画像は、一般的には、ひとつの画像ではない。それぞれの波長による色情報に基づく、複数の画像で表現されるため、数十以上の画像の群となる。

【図】

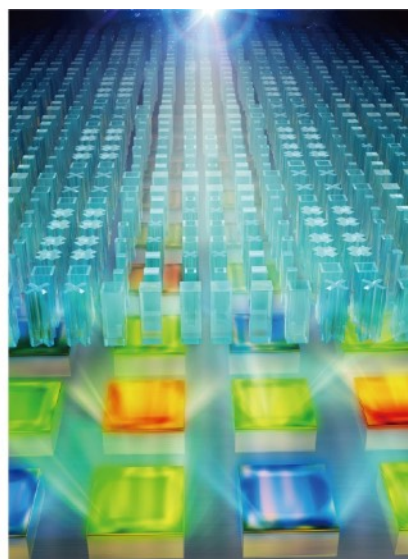
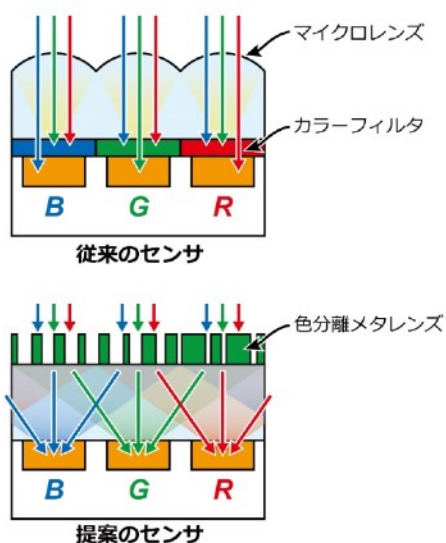


図1 誘電体メタサーフェスによる色分類

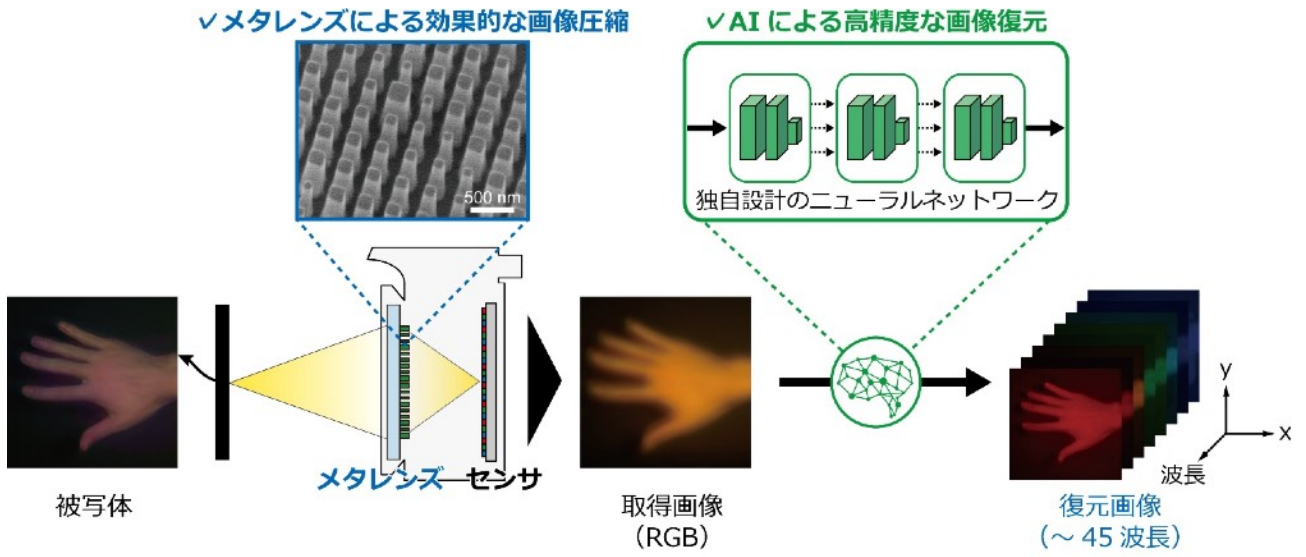


図2 本技術によるハイパースペクトル画像の再構成