

国立研究開発法人理化学研究所 光量子工学研究センター
フoton操作機能研究チーム チームリーダー

開拓研究本部 田中マテリアル研究室 主任研究員

た な か た く お
田中 拓男 先生

今回の Interview は、理化学研究所を訪ね、田中拓男先生にメタマテリアルなどのご研究についてお話を伺いました。

略 歴	1996年 3月	大阪大学大学院 工学研究科応用物理学専攻 博士後期課程修了 博士(工学)
	1996年 4月 - 2003年 3月	大阪大学大学院 基礎工学研究科 助手
	2003年 4月 - 2005年 3月	大阪大学大学院 工学研究科 特任助教授 併任
	2003年 4月 - 2005年 3月	理化学研究所 ナノフォトニクス研究室 研究員
	2005年 4月 - 2008年 3月	理化学研究所 河田ナノフォトニクス研究室 先任研究員
	2008年 4月 - 2017年 3月	理化学研究所 田中メタマテリアル研究室 准主任研究員
	2010年 4月 - 2019年 3月	北海道大学 電子科学研究所理研-北大連携研究室 客員教授
	2010年 4月 - 現在	埼玉大学 大学院理工学研究科 連携教授
	2012年 4月 - 2023年 3月	学習院大学 理学部物理学科 講師
	2014年 4月 - 現在	理化学研究所 光量子工学研究領域 フォトン操作機能研究チーム チームリーダー
	2017年 4月 - 現在	理化学研究所 田中メタマテリアル研究室 主任研究員
	2017年 9月 - 現在	台湾 国立清華大学 客員教授
	2019年 3月 - 現在	徳島大学 ポストLEDフォロニクス研究所 特別招聘教授
	2019年 4月 - 現在	フィリピン大学ディリマン校 客員教授
	2023年 4月 - 現在	学習院大学 理学部物理学科 客員教授



ん。もう1つの課題は、光の波長より短いものは見ることができないことです。私はこれらの課題のうち前者を克服するための研究チームに在籍していました。ちなみに研究していた技術は今日では、共焦点顕微鏡や二光子顕微鏡のように立体的なサンプルを直接可視化できる顕微鏡として市販されています。博士課程では顕微鏡で小さなものを見るだけでなく別の用途に使えないかと考え、光ディスクの研究を始めました。CD、DVD、Blu-rayなどの光ディスクは、直径12 cmのディスク上に並んだ小さな凹凸をレーザー光で検出して情報を読み出しますが、そのピックアップ光学系は光学顕微鏡とほぼ同じです。光ディスクの長所の1つはメディアに直接接触せずに情報を読み出せることであり、そのおかげでCDでは家の外へ持ち出して動きながら音楽を聴くことが可能になりました。一方、光学顕微鏡と同様にピックアップは3次元が見えないので、情報は1層しか記録できません。CDの厚さは約1 mmですが、その中の情報の記録層は約1 μmの1層のみと薄く、CDの厚さの僅か0.1%だけで、残りの99.9%はそれを支える板なので非常に勿体ない構造になっています。そこで私は三次元の顕微鏡をCDに持ち込めば多層に情報を記録することが可能になるのではと考え、光メディア・光記録に研究をシフトし、多層記録できる光メモリーに関する研究で学位を取得しました。その後、阪大の助手となり、光メモリーの研究をしていた最中、色素と金のイオンとの相互作用で立体的に情報を記録できるメディアを作りました。阪大の頃を思い出すと、恩師の河田聡先生(現:大阪大学 名誉教授、理化学研究所 名誉研究員)には大変お世話になりました。研究の道に進むきっかけは河田先生による影響が大きかったかなと思います。

自在に光を制御できる全く新しい光機能性材料とフォトニクスにおける新しいサイエンスの創出を目指しております。また、フォトン操作機能研究チームでは、メタマテリアルというサブ波長スケールの極微細構造と光波との相互作用やそこから生み出される光学現象や光機能を研究し、フォトンを思いのままに創成・操作する技術として深化させています。そして、その新しい光科学技術を用いて、ナノスケールの極微細の構造を有する立体構造物を自由に作りだす光加工技術や、分子を1つずつ検出・同定できる超高感度な光センシング技術などの実現へと展開しています。図1はその一例で、(a)はサブ波長サイズのアルミニウム構造からなる光吸収体で作った理化学研究所のロゴの電子顕微鏡写真です。光の波長と比較して遙かに小さくて薄い構造にも関わらず、そのサイズや形で決まる特定の波長の光を選択的にほぼ完全に吸収します。この構造に白色光を照射して観察したのが(b)で、高い精度で原因の色を再現できています。構造のサイズを変化させれば、(c)のように可視光全体をカバーする様々な色を発色させることもできます。

▶ ご研究を始められたきっかけと、現在に至る経緯についてご紹介ください。

学生時代は、大阪大学で光学顕微鏡の研究をしていました。光学顕微鏡の課題は2点あり、その1つは三次元構造を見ることができないことでした。植物の細胞や葉の気孔を見ようとしても、三次元の物体を二次元にスライスする必要があります。立体的な厚みのあるものは見えませ

“自在に光を制御できる全く新しい光機能性材料とフォトニクスにおける新しいサイエンスの創出を目指しております。”

▶ 先生の現在のご研究についてご紹介ください。

現在、理化学研究所の2つのグループに所属しており、1つは光量子工学研究センターのフォトン操作機能研究チーム、もう1つは田中メタマテリアル研究室です。どちらのグループでも“メタマテリアル”をメインテーマにした研究をしています。メタマテリアルは2000年頃から欧米を中心に研究が活発化してきた分野で、当時はマイクロ波の領域で産声を上げました。私がメタマテリアルの研究を始めたのは2003年から2004年頃で、当時は光の領域のメタマテリアルの研究は存在しておらず、まだ若い研究分野であると言えます。

メタマテリアルについて広く認知されている定義はありませんが、一言で定義するならば「人工的に導入した波長より細かな構造体によって物質の特性を制御し、単なる複合体の限界を超える特殊な性質を付与した疑似物質」となります。これまで物質の電磁気学的な特性は、物質固有のものであり、物質が決まれば自動的に決まってしまうものとされてきました。メタマテリアル研究室では、この物質固有と考えられてきた誘電率や透磁率といった光学特性をナノ構造体を用いることで人工的に制御し、

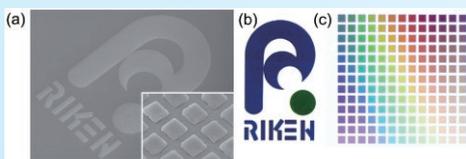


図1: サブ波長アルミニウム構造によるメタマテリアル光吸収体を用いた「色」

頃です。光を専門分野にしていた私は、メタマテリアルを光の領域に持ち込みたいと思い、研究を開始しました。理論的な解析を進めることで、マイクロ波だけでなく光の領域でもメタマテリアルが作れることを示しました。そして、当時マイクロ波の領域では銅の利用が主流でしたが、光の領域では電気抵抗が極めて低い金や銀の方が適していることを理論的に証明しました。その後、極微小の構造を立体的に作り出すことに苦労しながらも、光メモリーの研究で使っていた好きな場所の金属イオンを金属に還元するという技術をメタマテリアルに融合させた研究をしました。それ以降、ありとあらゆる方法を使ったメタマテリアルの研究に取り組み、将来的には自己組織的に大量生産することを見据えて、パラレルに研究を進めています。

昨今、「この研究は何に役立つのか？」と問われることが多くなりました。私は理研に移ってから、もっぱら基礎研究をメインにしていますが、メタマテリアルが活気づいた2000年から約四半世紀が経過しました。そろそろメタマテリアルが使い物になることを私どもの力で示さねばなりません。そのためアプリケーションも考慮しつつ、研究を加速させています。

▶ ご研究の今後の展望についてお聞かせください。

学問分野にはトレンドや波があります。今でいうとAIや量子の分野です。こういったトレンドを無視する訳にはいきませんが、ただ流されるだけでも良くはありませんので、トレンドをキャッチしながら将来に役立つ技術を育てたいと考えています。理研の中で私どもの研究室は工学（エンジニアリング）にカテゴリーされておりますので、やはり何かの役立つこと、使えることが第一になります。メタマテリアルの技術を何らかの役立つ技術に仕上げることが目標です。

現在は、科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（CREST）に採択された「メタマテリアル吸収体を用いた背景光フリー超高感度赤外分光デバイス」という研究テーマに2019年から取り組み、本年度で最終年度を迎えます。金属ナノ共振器で構成されるメタマテリアル吸収体を用いて、赤外分光法における余計な背景光を抑制して信号光のみを検出することで、その測定感度を飛躍的に向上させ、その技術を利用した超高感度分子検出デバイスの開発を目指しています。

メタマテリアルの研究は世界中で進んでおり、私どもは国立台湾大学や成功大学、オーストラリア国立大学の研究者らとグループを組み、焦点距離を制御できるメタレンズなどの共同開発もしています。将来的には超小型のデジタルカメラや光学顕微鏡、光学センサーなど、小型で高性能な光学機器の創出に貢献できると期待しています。海外では、石油の掘削プラントを津波から守る水面波メタマテリアル



ICPエッチング装置RIE-400iPと田中先生

や、地震から建物を守る地震波メタマテリアルなど、光メタマテリアル以外の分野においても研究が進んでおり、従来の物質では予想もつかなかった面白い応用が考案されています。

“学生でも良い成果やデータを出してくれるので、使い勝手はかなり良い装置であると感じています。”

▶ 弊社の装置をご使用いただいておりますが、ご感想をお聞かせください。

理研の中では共用設備としてサムコさんの複数の装置を使わせていただいておりますが、私の研究室ではICP-RIE装置（RIE-400iP）、RIE装置（FA-1）を使用させていただいております。特にICP-RIE装置はメタマテリアルを作るためには欠かせないエッチング装置で、10 nm、20 nmといったナノスケールの高精度な加工ができる装置として活躍しています。先ほど申し上げた海外の大学との共同研究では、窒化ガリウム（GaN）のエッチングにも使用しており、大変重宝しています。また、クリーンルームに装置を設置する際は、限られたスペースに装置を納めていただき、助かりました。学生でも良い成果やデータを出してくれるので、使い勝手はかなり良い装置であると感じています。

▶ 日頃のご研究において、心掛けておられることをお聞かせください。

研究主宰者（PI:Principal investigator）になってからは、“安全維持”を第一に心掛けています。当たり前のことかもしれませんが、自分の研究室で事故が起きて誰かが怪我をするようなことは絶対に無ないように日頃から気を付けています。私が学生の頃は、装置は全て手作業で操作して、オーバーホールも自分でやることで、装置の構造や役割を理解できていたのですが、今の装置はほとんどが全自動化しているため、ある意味でブラックボックスになっています。今の若い人達はそれを恐いことと感じないようで、私はとても心配に感じてしまいます。

あとは“日頃の研究をいかに楽しむか”ということですね。この業界では研究を楽しまないと思ってしまうと、日々の業務に邁進しています。

▶ 座右の銘をお教えてください。

“好きこそものの上手なれ”という、ことわざをご存知でしょうか。誰でも好きな物事に対して熱中するため上達が早いという意味のことわざですが、研究は自分の好きなことや興味のあることが大前提にあるべきと考えています。日々の実験は大半が上手くいかないことばかりで、失敗してもまた次に頑張ろうという気持ちが湧いてくるには、本当に研究が好きかどうか、自分が面白いと感じるかどうかが大切になってきます。若い研究者や学生の皆さんも、自分が好きと思えるような研究を存分にやってもらいたいですね。

▶ 休日はどうにお過ごしでしょうか？

自宅が自転車車で数分の距離にあるため、実は休日でも職場に出ていることが多かったです。テレワークが苦手なため、コロナ禍でも何かと理由を付けては強引に職場で仕事をしまして、建物の中に私1人しかいない時もありました（笑）

趣味は映画鑑賞、音楽鑑賞です。ジャンルにこだわらずに何でも見たり聴いたりしますね。あえて挙げるならばSF映画は好んで見るというところでしょうか。あとは職場の真向かいにある和光市の体育館のジムに通うことが多いです。様々な運動プログラムが用意されているのが楽しくて、週3回程度は行っています。職場とは全く異なるコミュニティの知り合いができて、斬新なアイデアが貰えることもあります。ジム中心の生活になり過ぎていたのではと妻からの評判はあまり良くないのですが（笑）ベストセラーにもなった書籍「運動脳」でも、運動によってストレス耐性ができたり、脳細胞が増えたり、記憶力が向上するといった効用があると言及されています。

▶ 最後にサムコに対して、一言お願いします。

繰り返しになりますが、私どもがメタマテリアルの研究をやる上で、サムコさんの最先端のエッチング装置は欠かせないものです。メタマテリアルという言葉は新しくても、そのアイデア自体は100年前、200年前の研究者たちも考えはしていたはずですが、当時はその加工技術や解析・設計技術がありませんでした。しかし、周辺技術の発達により、今ようやく実現できるような時代になってきました。その一方でメイドインジャパンの最先端装置が国内の機関にはなく、海外のライバルの手に渡っていることも危惧しています。サムコさんには日本の装置メーカーとして、今後も日本の最先端の研究開発を支えてもらえるような装置を次々と開発し続けてもらいたいです。

お忙しいところ貴重なお時間をいただき、ありがとうございました。

“サムコさんには日本の装置メーカーとして、今後も日本の最先端の研究開発を支えてもらえるような装置を次々と開発し続けてもらいたいです。”