

訪問日 2019年5月14日

理化学研究所 創発物性科学研究センター量子効果デバイス研究チーム 鈴木 大地 基礎科学特別研究員

研究題名：カーボンナノチューブ自立膜アレイを使用したウェアラブル検査デバイスの開発

研究室を訪問し(図1)、助成対象研究の独自性や面白さについてお話を伺いました。

### 研究の背景についてお聞かせください

2017年に経産省から、IoT やロボットなどの技術革新による超スマート社会「Society5.0」が提言されましたが、その前提になるのが製品の安心・安全でありそのための高機能検査システムが求められていることがこの研究の大きな背景になります。「テラヘルツ(THz)波」はその周波数が電波と光の中間に位置する電磁波で、

- ・高い透過率と解像度を併せ持っている
- ・医薬品やポリマーと共鳴する(=検出ができる)

という特徴があり、強力な非破壊検査手法としての利用が期待されています。しかしながら、固体半導体素子に基づく既存のTHz計測器は大型・複雑な光学系や高価なフェムト秒レーザー等を必要とするため利用の場所や用途が限られています。これを打破するため「いつでもどこでも何にでも使えて簡単に検査可能なデバイス」を作ろう、というのがこの研究のねらいです。例えば、指先につけて被検体を手でつまむだけで検査できるようなウェアラブルデバイス(図2)です。

### 既存の装置と比較した独自性はどんな点ですか

量子型THz検出器のようにTHz波を光子として検出しようとすると、極低温に維持するための冷却器が必要で大型になってしまいます。本研究では、THz波をカーボンナノチューブ(CNT)膜というTHz波吸収効率が高い炭素材料で吸収し熱に変換して、その熱勾配から起電力を得るという「光熱起電力効果」を利用することで装置の小型化を実現します。また、既存装置は化合物半導体を電子ビーム露光機など使ってナノ加工で作られるため材料費も作製プロセス費も高価になっていますが、私たちはCNT膜を「濾過法」という安価に大量生産できる手法によって低コストの素子作製を目指しています。

この熱型の検出方式は、他の検出方式(電波型、量子型など)に対して全ての特性において優れているというわけではありませんが、

- ・室温で動作できる
- ・THz帯全域の周波数に対して使用ができる
- ・フレキシブルなデバイスができる
- ・耐久性が高い(壊れにくい)

などの特長があり、汎用性が高いデバイスを作製するのに向いています。

## 本研究での技術開発課題について教えてください

これまでの研究では、種々の CNT 物性評価による材料の最適化、伝熱解析によるデバイス熱構造の最適化、指先につけられる検出器の作製、様々な産業資材の非破壊検査の実証を行ってきました（図3）。今回の研究では、ウェアラブル THz カメラ作製のために、マイクロサイズで2次元に配列された CNT 自立膜アレイを作製するための技術開発がねらいです。

THz 波を吸収するための CNT 膜は、吸収した熱で大きな温度勾配を作ることが高い感度に繋がるため、薄く、小さく、熱が逃げない構造として「自立膜」であるのが理想です。しかしながら、従来の技術で自立膜アレイを作製するには、一旦基板にパターン形成してから CNT 膜を転写した後にリソグラフィー等で下面の基板を削るといった非常に複雑なプロセスが必要になり、その結果、CNT 膜の熱電特性の劣化や歩留まりの低下を引き起こしてしまいます。そこで本研究では、従来の自立膜アレイの作製プロセスとは抜本的に異なる新手法で CNT 自立膜アレイを作製する技術の確立に挑みます。

更に、作製した CNT 自立膜アレイをベースとして数百画素のフレキシブル THz カメラを作製します。半導体基板と違い高分子フィルム上に微細な配線を形成するのは技術課題ですが、これによって指先に装着できる THz カメラを実現できます。

## 指先 THz カメラ以外にどのような応用が考えられますか

CNT は THz 波から赤外光・可視光まで広く吸収することができます。そのため、外部光源の周波数を変えたり並べたりすることによって、様々な物質の検出に対応できます。また、THz 波は水やアルコールなどでの吸収が高いため、これらの液体の漏れの検出にも使えます。これは X 線では検査できないことです。

熱起電力を利用していますので光源を用いない利用も可能で、対象物から漏れ出る熱流を検出する様な使い方も可能性があります。

指先につけるデバイスは小型でフレキシブル性を生かした一つの考え方で、ロボットに装着したり、工場の検査ラインなど、様々な機器や場所にできる汎用性を持っています。

## どのようなところに研究の面白さを感じますか

「世の中に無いものをつくる」ことが面白い、というのがモチベーションの根底にありますが、その成果が世の中に役立つというのは更にうれしいことです。この研究のコンセプトも、究極の1個を作るのではなく、「汎用性が高くすぐ使えるデバイスを作る」という想いで取り組んでいます。その結果、より安全な世の中を作るのに寄与できたら良いと考えます。

## 後記

理化学研究所は、日本の研究機関の中でも特に基礎的な領域を中心に取り組んでいる機関だと認識していましたが、鈴木さんの研究は基礎的な知見に基づきながらも実用性を高く意識して取り組まれているものでした。デバイスを構成する材料、作製するプロセス、デバイス構造、それぞれにおいて単に性能が向上するための設計ではなく、実用化する上での障壁とならないための手法の選択や工夫が施されていることに、「いつでもどこでも何にでも」という研究思想が貫かれていると感じました。

この技術は対象物質や設置できる対象・構造に非常に自由度が高く、いろいろな応用の姿を想像して見ずにはられません。お話を聞きながら私たちも「こんな使い方はできますか」と様々な使い方の可能性をお尋ねしましたが、いろんな人がこの技術を知ることによって多種多様な応用アイデアが誘発されるに違いありません。まずは指先カメラで技術基盤が完成し、その後更に多くの応用に発展していくことを期待しています。

(矢崎財団技術参与 池田実)

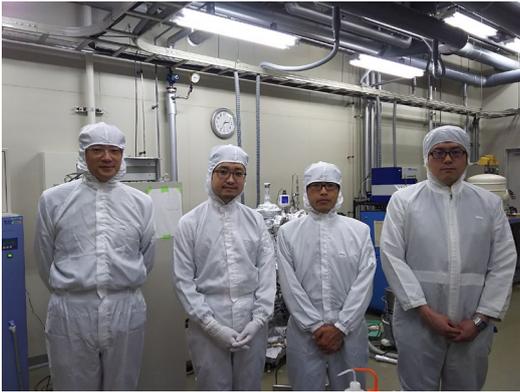


図1 左から二人目が鈴木さん

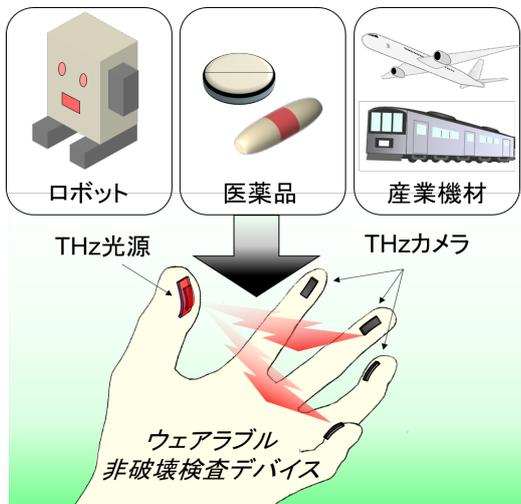


図2 デバイスイメージ

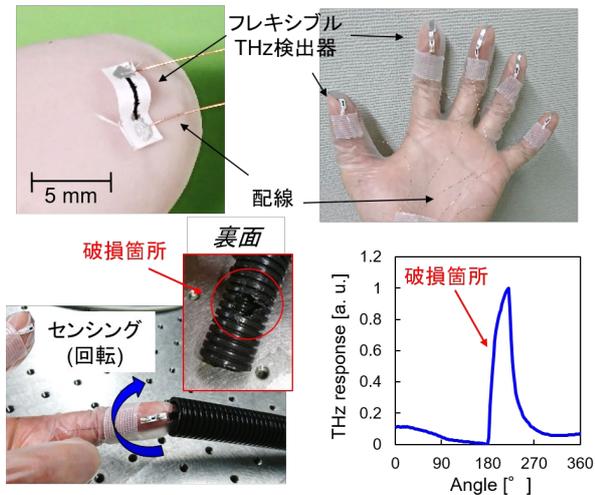


図3 非破壊検査デバイスと応用