

新たな光機能や光物性の発現・利活用を基軸とする  
次世代フォトニクスの中盤技術  
平成 29 年度採択研究代表者

H29 年度  
実績報告書

福田 大治

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
計量標準総合センター 研究グループ長

単一光子スペクトル計測によるイメージング技術開発と  
細胞機能ビジュアライザの創成

## § 1. 研究実施体制

### (1)「福田」グループ

- ① 研究代表者:福田 大治 (産業技術総合研究所計量標準総合センター、研究グループ長)
- ② 研究項目
  - ・ 単一光子スペクトル測定装置による生物蛍光発光スペクトルの測定
  - ・ 超広帯域かつ高波長分解能を持つ超伝導光検出素子(光 TES)の開発
  - ・ 光 TES の集積化技術の開発

### (2)「野村」グループ

- ① 主たる共同研究者:野村 暢彦 (筑波大学生命環境系、教授)
- ② 研究項目
  - ・ 単一光子分光スペクトル測定装置を蛍光検出器とした生物対応共焦点顕微鏡の制作
  - ・ 単一光子分光スペクトル測定法を利用した高精度細胞識別アルゴリズムの構築

### (3)「山森」グループ

- ① 主たる共同研究者:山森 弘毅 (産業技術総合研究所エレクトロニクス・製造領域、研究グループ長)
- ② 研究項目
  - ・ 低雑音・広帯域超伝導多素子信号読出し技術の開発

## § 2. 研究実施の概要

単一光子スペクトル計測によるイメージング技術を実現させるため、研究初年度である平成 29 年度は以下の研究を実施しました。

福田グループが担当する「単一光子スペクト計測技術開発」では、超伝導転移端センサ( TES ) による光子検出技術の開発を進めました。具体的には、可視域から近赤外領域の波長域で高い光吸収特性をもつ光吸収構造のシミュレーションによる設計と試作及びその検出効率を単一光子レベルの微弱光で評価できる測定系の開発に取り組みました。その結果、波長 400 nm から 3 オクターブに至る波長領域で光を効率的に吸収させる構造を見出すことに成功しました。単一光子検出器の検出効率の評価技術は、不確かさも含めてその信頼性の担保が重要ですが、レーザパワーに関する国家標準とのトレーサビリティの確立や国際同等性を確保に向けた国際比較への参画等の検討も行っています。また、光 TES の超伝導特性や信号応答特性を評価するために、TES の複素インピーダンス測定と理論モデルとの比較による TES 動作パラメータ抽出技術の開発にも取り組みました。これにより、波長分解能や計数率特性、検出効率など、光子検出に関連した理論的な予測が可能となります。今後の TES の多素子化開発に向けては、これらの光子検出の超伝導物理・検出器性能の評価技術は、素子動作の最適化や効率的な制御を行うための重要な設計指針を与えるツールとしての役割が期待できます。さらに、光 TES を共焦点顕微鏡に搭載した新しい顕微鏡の設計や試作に取り組み、単一光子スペクトル計測技術に基づく蛍光標識細胞のイメージ像取得に向けたシステムの構築を行いました。

野村グループが担当する「生機能情報抽出・分析技術の開発」では、福田グループとも共同して、単一光子分光スペクトル測定装置による生きた微生物の観察に向けた新しい顕微鏡の設計、及び、照明波長や強度など測定環境条件の基礎的パラメータの明確化に取り組みました。また、単一光子分光測定スペクトル測定装置から得られたデータから、細胞の自家蛍光プロファイルを再構築する解析アルゴリズムの検討を行いました。さらに、顕微鏡撮影を自動化するための顕微鏡電動ステージとデータ解析を行うための解析用ワークステーションを購入し、アルゴリズム解析を効率よく実施するための環境を整備しました。

山森グループが担当する「低雑音・広帯域超伝導多素子信号読出し技術の開発」では、マイクロ波超伝導量子干渉素子(MW-SQUID)による光 TES の多重読出し技術の構築に取り組みました。具体的には、MW-SQUID による多重化手法を光 TES に適用した場合、信号立ち上がり時間やサンプリング時間が、エネルギー分解能に対してどのような依存性を持つかを定量的に明らかにしました。また、読出し回路の雑音を低減させるために、TES が接続される入力コイルと SQUID 間の結合係数の最適化に関する検討を行いました。さらに、数十以上のピクセル数の規模での多重読出しを行う際には、超伝導共振器の均一性が問題となりますが、これを解決するために共振器 Q 値のマイクロ波入力電力依存性評価や作成プロセスの条件の検討を行いました。これらの成果を元に、新たな MW-SQUID 素子を設計・試作しました。このチップのノイズ特性や共振器周波数の定量的な解析が進めば、時間分解能高く単一光子分光スペクトルイメージング観察できる技術の実証につながる重要な成果が得られると期待しています。