

名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻  
エネルギー量子工学講座

## エネルギー量子計測工学グループ

井口哲夫(教授)、富田英生(准教授)、Volker Sonnenschein(助教)、寺林稜平(特任助教)  
博士後期課程1名、博士前期課程5名、学部4名(2019年度の実績)

---

### 研究分野と研究方針

#### 【概要】

本研究グループは、古典的ではあるが優れた放射線計測原理を活かしつつ、他分野の最先端のセンサー要素技術(レーザー、光ファイバー、微細加工、高次信号・情報処理、等)との融合を積極的に図ることにより、光量子、荷電粒子、中性子、ミューオン等の多種多様な量子ビームから得られる情報を多次元かつ高精度に計測・評価する技術開発研究と、エネルギー、環境、医療・生命、社会安全などに関連する量子ビーム計測応用に向けた先進的なシステム設計開発研究を目指している。

現在、放射線とレーザーを融合した計測技術体系の構築とエネルギー応用への展開に軸足を移しつつ、レーザー共鳴イオン化分光技術の高度化、高感度赤外領域吸収分光を用いた同位体分析技術の開発、多次元放射線計測に基づく非破壊検査技術の高度化、不定形逆問題解法の体系化等に取り組んでいる。

#### 【キーワード】

量子ビーム、レーザー、波長可変、質量分析、同位体分析、吸収分光、キャビティリングダウン分光、共鳴イオン化、光周波数コム、放射線イメージング、コンプトンイメージング、放射性核種、放射性炭素、高速中性子、キャラクタリゼーション、放射化、粒子輸送シミュレーション、画像再構成、逆問題、アンフォルディング

#### 【主な研究と内容】

##### (A)先進波長可変レーザーを用いた極微量放射性核種分光・分析法の開発と応用

波長可変レーザーと飛行時間型質量分析器を組み合わせた装置で、共鳴イオン化現象を利用し、特定の極微量核変換生成同位体のみを超高感度・高選択的に検出・分析する計測技術の開発を行っている。特に、用途に応じた独自仕様の波長可変 **Ti:Sapphire** レーザー光源を設計・試作することで、集束イオンビームによる2次中性原子生成とレーザー共鳴イオン化を組み合わせた同位体マイクロイメージングによる環境中放射性微粒子の動態解明や短寿命放射性核種の原子核構造解明のための高分解能レーザー共鳴イオン化分光に関する種々の共同研究を展開している。

また、数十 cm 長さの光学キャビティの中でレーザー光を超多重反射させることにより数 km 長の光路を実現するキャビティリングダウン吸収分光法に、狭帯域波長可変レーザー光源を使うことで、特定の同位体分子種の濃度を高感度、高選択的、かつ高精度に測定する技術開発を行っている。特に、極微量の放

放射性炭素同位体 ( $^{14}\text{C}$ ) 分析のための中赤外キャビティリングダウン分光システムの開発に成功し、医薬品開発における薬物動態試験や植物の光合成代謝のトレーサー実験などへ応用する共同研究を進めている。

#### (B)先進放射線イメージング技術の開発と応用

シンチレータスタックや常温で使用できる化合物半導体検出器(CdTe 等)の積層型多ピクセル放射線検出器を用いて、360 度に感度を有する全方向コンプトンガンマ線イメージングセンサーの開発を行っている。特に、ガンマ線源から放出される特定のガンマ線のエネルギーと入射方向を移動しながら同時に測定することで、そのガンマ線源の位置同定と線源強度を迅速に(オンラインで)評価する独自のデータ解析法を提案しており、原子力事故等緊急時の迅速環境放射線イメージングや核テロセキュリティ((ダーティーボム探知等)への応用展開を図っている。

また、コンパクトな高速中性子イメージングセンサーとして、理学部との共同研究により、原子核乾板内の水素の高速中性子による反跳陽子飛跡を高速に自動読み取りする画像解析技術を活用するイメージング原理の提案と実証研究を行っている。具体的には、原子核乾板を用いたピンホール型コンパクト高速中性子カメラ を設計・試作し、韓国超伝導トカマク実験装置における核融合中性子イメージングを実証した他、物理的なコリメータを用いない高速中性子弾性散乱イメージング法(高速中性子と原子核乾板内の水素との弾性散乱の力学的関係に基づき、乾板内に記録された反跳陽子飛跡の方向と長さ *i.e.* 付与エネルギーから構成されるコーンの重ね合わせで中性子の入射方向を逆推定する手法)を新規に考案し、医療用サイクロトロンにおける副次的中性子イメージング等への適用性を検討している。

## 2019 年度の研究・教育の概要

#### A)先進波長可変レーザーを用いた極微量放射性核種分光・分析法の開発と応用

キャビティリングダウン分光に基づく放射性炭素同位体分析法の生体試料・代謝物試料への適用を目指し、システムの高感度・高スループット化に関する研究を行った。また、共鳴イオン化に基づく微量放射性物質の分析を念頭に、共鳴イオン化用回折格子型 Ti:Sapphire レーザーの発振タイミング制御、および、多元素迅速分析法の開発を行った。また、半導体レーザー直接励起 Ti:Sapphire レーザーを開発し、高分解能共鳴イオン化分光の研究を実施した。Ti:Sapphire レーザーを用いた新たな研究として、超流動 He 流れ場測定に向けた He<sub>2</sub> エキシマ蛍光イメージングのためのレーザーシステムの開発を行った。

#### (B)先進放射線イメージング技術の開発と応用

全方向ガンマイメージを用いた核種・位置・強度が不明なガンマ線源の迅速な探知のために、検出器移動アルゴリズムの検討を行った。また、全方向コンプトンイメージングに Origin Ensemble 法を適用し、放射性物質探知手法への適用性を評価した。

#### 【本年度の研究成果発表の概要】

	国内会議発表	国際会議発表	国際会議予稿	学術論文
教員	13	12	10	11
学生	11	6	6	1

## 本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

### 【卒業論文】

- ・共鳴イオン化のための回折格子型チタンサファイアレーザーの発振タイミング制御
- ・キャビティリングダウン分光に基づく放射性炭素同位体分析システムの高感度・高スループット化に関する研究
- ・半導体レーザー直接励起チタンサファイアレーザーを用いた高分解能共鳴イオン化分光の研究
- ・全方向ガンマイメージを用いた放射線源探知のための移動アルゴリズムの検討

### 【修士論文】

- ・共鳴イオン化に基づく多元素迅速分析のためのレーザーシステムの開発と応用
- ・Origin Ensemble 法に基づく全方向ガンマイメージングの開発と放射性物質探知手法への適用
- ・超流動 He 流れ場測定に向けた He<sub>2</sub> エキシマ蛍光イメージングのためのレーザーシステムの開発

### 【博士論文】

- ・中赤外キャビティリングダウン分光に基づく生体試料中放射性炭素同位体分析法の開発

## その他・特記事項

- ・10<sup>th</sup> International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology (ISORD-10) 学生優秀発表賞、向篤志、受賞対象「Development of Compton Image Reconstruction on a Projection Sphere Pixelized by HEALPix」、2019年7月18日
- ・第46回(2019年春季)応用物理学会講演奨励賞、寺林稜平、受賞対象「生体・環境トレーサー応用のための中赤外キャビティリングダウン分光に基づく放射性炭素分析システムの開発」、2019年9月18日
- ・応用物理学会放射線分科会第25回放射線賞、井口哲夫、受賞対象「レーザー吸収分光に基づく放射性炭素同位体分析法の開発」、2019年9月20日
- ・日本工学アカデミー Web ページに記事掲載、寺林稜平、「ダイバーシティに関する Good Practice について名古屋大学 天野浩先生にインタビュー」、2020年1月23日
- ・Review of Scientific Instruments 誌に注目論文 Editor's Pick として掲載、Volker Sonnenschein、「An experimental setup for creating and imaging <sup>4</sup>He<sup>\*</sup> excimer cluster tracers in superfluid helium-4 via neutron-<sup>3</sup>He absorption reaction」、2020年3月19日
- ・日本アイソトープ協会 Web ページに記事掲載、富田英生、「最前線のアイソトープ・放射線研究紹介ー私が研究者になるまでー No.9 アイソトープ・放射線の潜在的な有用性を引き出すための研究開発」、2020年3月31日