

名古屋大学工学研究科 総合エネルギー工学専攻
エネルギーシステム工学講座

原子核計測工学グループ

瓜谷章(教授)、吉橋幸子(准教授)、山崎淳(助教)
博士後期課程4名、博士前期課程9名、学部7名(2021年度の実績)

研究分野と研究方針

【概要】

放射線計測、放射線利用を通して人々の健康と、安全、安心、豊かな暮らしに貢献すべく、研究を進めている。

我が国の課題の一つは、死因が第一位となっているがん、特に難治性がんの治療法の確立である。ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)のための加速器中性子源の開発や、重粒子線治療における体内のリアルタイム線量モニターの開発を通して、この課題解決への貢献を目指している。

各種放射線検出器の開発や、X線後方散乱イメージング、パルス中性子の利用法の開発などを通して、放射線の工業利用や、橋梁などのインフラの検査手法の確立に貢献し、もって人々の安全、安心、豊かな暮らしに貢献すべく研究を進めている。

【キーワード】

放射線、レーザー、中性子、放射線計測、中性子スペクトロメータ、核融合中性子計測、シンチレータ、比例計数管、TLD、OSL、光ファイバー、臭化タリウム半導体検出器、ブラッグエッジ解析、中性子イメージング、後方散乱X線イメージング、加速器、産業利用、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)、重粒子線治療

【主な研究と内容】

(A) BNCT 加速器中性子源

ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy: BNCT)は中性子を用いた放射線治療であるが、従来、その中性子源として原子炉が用いられてきた。BNCTの発展には、原子炉に比べ管理が容易な加速器中性子源が求められており、既にいくつかの施設が稼働し始めている。当グループでは、静電加速器を用いた中性子源の開発とBNCTの基礎研究として、(1)中性子を得るためのリチウムターゲットの開発、(2)中性子計測、(3)細胞試験、を実施している。

(B) 新規中性子シンチレータ・中性子検出器

これまで中性子検出器として標準的に用いられてきた ^3He 検出器は、その原料となる ^3He ガスの供給量不足により価格が高騰し、入手も困難となってきている。そこで、これに代わる中性子用シンチレータベースの新しい中性子検出器の開発を進めている。特に、Eu:LiCaAlF₆(以下、Eu:LiCAF)という比較的新しい中性子用シンチレータを小片化し、透明樹脂に分散させた透明樹脂型(Transparent Rubber Sheet Type:

TRUST) Eu:LiCAF は柔軟性を持ち、種々の検出器形状に対応可能な新しい中性子検出器材料となっている。これを用い、新型ボナーボール中性子スペクトロメータ、小型大立体角中性子回折装置用検出器といった新しい中性子検出器の開発を進めている。

(C) エネルギー分解中性子イメージング法

J-PARC 等の大強度加速器中性子源施設では、パルス中性子源を用いた飛行時間分析法により中性子のエネルギー情報を用いた各種分析が可能となっている。飛行時間法に基づくエネルギー分解中性子イメージングでは、中性子ブラッグエッジ解析法と組み合わせることで、材料中のひずみ、配向といった結晶組織情報の二次元的な分布を、一度の測定で評価可能である。これらの解析法の更なる性能向上を目指している。

(D) 臭化タリウム半導体検出器

臭化タリウム半導体検出器は、高純度 Ge 半導体検出器に代わる室温動作可能、高効率かつ高エネルギー分解能のガンマ線検出器として期待を集めている。これまで臭化タリウム半導体検出器の開発を積極的に進めてきた東北大の人見准教授らと共同で、臭化タリウム半導体検出器の大型化、実用化に向けた検討を進めている。

(E) 放射線治療中の患者体内の線量計測に向けた小型線量計

放射線治療の照射法に関する技術の発展は近年目覚ましく、高精細な線量分布を形成することが可能となっている。このことは、ちょっとした照射位置のずれが大きな誤照射・医療事故に繋がらねないということを意味し、治療中の患者の体内での線量測定が望まれ始めている。線量計を体内に挿入することは、患者の負担増につながるため、光ファイバベースの超小型線量計の開発を進めている。

(F) 後方散乱 X 線イメージング

橋梁、トンネルといった社会インフラの老朽化に伴い、これらの効率的な保守管理技術の発展が求められている。X 線を用いた非破壊検査は、これらの検査技術の候補の一つではあるが、通常の透過撮像法では、被写体を X 線源と検出器で挟み込む必要があり、大型構造物の検査には不向きである。そこで、片側からの検査が可能な、後方散乱 X 線イメージング技術の開発に取り組んでいる。

(G) 核融合中性子工学

核融合科学研究所の大型ヘリカル装置 (Large Helical Device: LHD) では、2018 年に重水素プラズマ実験の 2nd キャンペーンが実施された。DD 反応によって発生する中性子は核融合反応の直接的な証拠となることから、中性子総発生量の計測は核融合出力を評価することに繋がる。また、核融合反応によって発生する 2.45MeV の中性子は、周辺の構造材料と核反応をおこし、LHD 本体のみならず、コンクリート壁や周辺機器を放射化させる。そのため、将来の核融合炉の廃止措置や核融合炉における作業環境の向上のため放射化量の評価は重要である。そこで当グループでは、放射化法を用いた中性子総発生量の評価、スペクトル計測を行い、構造材料の放射化量の評価を行っている。また、LHD をモデル化し中性子輸送モンテカルロシミュレーションコード MCNP による計算を行い、測定結果との比較、評価を行っている。

2021 年度の研究・教育の概要

【光ファイバ型線量計の製作方法の検討と臨床応用に向けた性能評価】

放射線治療では副作用軽減のため、局所的な照射を行っており、その照射法は日々発展を遂げ、近年では非常に複雑な照射が行われるようになってきている。そのような複雑な照射に対し、より精度・確度の高い線量評価手法の確立に向け我々のグループでは、患部のより近くでリアルタイム測定を行うことのできる体内に挿入可能な小型線量計の開発を行っている。

この小型線量計として、シンチレータ粉末を先端に配した光ファイバ型線量計の作製を検討している。光ファイバ型線量計の開発に関する検討として、本研究では線量計作製品質向上の検討、および線量計の臨床応用に向けた性能評価に関して検討を行った。

【熱解析を用いた BNCT 用 Li 封入型ターゲットの熱負荷低減に関する検討】

当研究室では BNCT 用 Li ターゲットの実用化に向けた研究を行っている。Li ターゲットの実用化においては Li の融点が約 180 ° C と低く大電流陽子ビームの熱負荷により溶融してしまうことや、 ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ 反応によって発生する ${}^7\text{Be}$ が放射性核種であること、Li の化学的反応性が高く水や空気と容易に反応し Li 化合物を生成してしまうなどの問題があるため、これらの問題に対処可能なターゲットとして Li 封入型ターゲットを開発している。本研究では、Li 封入型ターゲットへの大電流の陽子ビーム照射における Cu 基板の除熱性能や Li と Ti 箔の健全性について、有限要素法を用いた熱解析から評価した。

【BeO セラミックスの OSL ならびに TL 現象を用いた BNCT 場でのガンマ線線量測定に関する研究】

本研究では、BeO セラミックスの OSL ならびに TL 現象を用いた名古屋大学の加速器型中性子源におけるガンマ線線量の測定手法の確立を目的とした。具体的には Co-60 線源・X 線源・NUANS 中性子源・KUR 中性子源を用いて OSL と TL の測定を行い、実測に対する比較のため PHITS を用いたシミュレーション計算を行った。これらの検討の結果、BeO セラミックスは S2(OSL)・P3(TL) を用いることで中性子場でのガンマ線線量推定の実現可能性が示された。

【ブラッグエッジ解析における機械学習の適用の検討及び鉄材試料の結晶構造解析】

中性子透過実験ではマシンタイムの制限があり、解析に十分な統計を取得することができない場合も多く、そのような条件では安定した解析が行えない。そこで低い統計でも誰もが安定して解析できる手法の確立と解析速度の向上を目的に、機械学習法を用いた日本刀の結晶組織構造解析を行った。日本刀の結晶構造解析の結果から中性子透過法におけるシングルエッジ解析に結晶相の分布をみるという点において、本研究で使用した機械学習の導入が可能であることが確認された。また解析時間を大幅に減らすことが出来ること、初期値を決定するなど不確かな操作をなくすことが出来ることを示すことが可能となった。

【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	10	12	21	1
学生	15	10	10	5

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】

- ・LIBS システム高度化のための高感度分光器の製作
- ・免疫蛍光染色を用いたホウ素中性子捕捉反応 (BNCR) 解明に向けた基礎的検討
- ・BNCT の血液がん治療適用を目的とした放射線照射における細胞生存率の評価

【修士論文】

- ・光ファイバ型線量計の製作方法の検討と臨床応用に向けた性能評価
- ・熱解析を用いた BNCT 用 Li 封入型ターゲットの熱負荷低減に関する検討
- ・BeO セラミックスの OSL ならびに TL 現象を用いた BNCT 場でのガンマ線線量測定に関する研究
- ・ブラッグエッジ解析における機械学習の適用の検討及び鉄材試料の結晶構造解析

その他・特記事項

・