

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)、渡辺賢一(准教授)、吉橋幸子(准教授)、山崎淳(助教)
博士後期課程2名、博士前期課程9名、学部7名(内後期配属1名)(2020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た。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、 $\text{Eu}:\text{LiCaAlF}_6$ (以下、 $\text{Eu}:\text{LiCAF}$)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・医療事故に繋がりがかねないということを含め、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。

2020 年度の研究・教育の概要

【BNCT 加速器中性子源】

BNCT 用ダイナミトロン加速器の陽子ビーム電流の出力を向上させることを目標にビーム輸送モデルを、またターゲット上での熱負荷を低減させるためビームスキヤニングシステムを構築し、2019 年度において最大 2mA であった出力電流を最大 8mA まで向上させ、リチウムターゲットに照射することに成功した。

BNCT 用加速器中性子源を用いた細胞・動物試験を実施するため、中性子照射場における熱中性子分布を計測し、シミュレーション結果と比較し、 1×10^8 n/cm²/s の熱中性子束が得られることを確認した。また、動物試験に向けて生理食塩水を用いた体内放射化量を計測と計算から求めた結果、Na と Cl は BSS レベル以下であることを確認した。

【後方散乱 X 線を用いた非破壊検査用イメージング装置】

エッジレス型ユニット検出器の製作を行い先行研究の検出器と比べると感度が 5 倍、検査速度が 15 倍に上昇した。また、両側配置イメージングによって空洞計測時に生じる虚像の影響を低減することが実証された。

【臭化タリウム検出器】

信号波形処理に関する基礎検討を行った結果、陽極信号から求めたフィッティング関数を用いて信号波高値を補正する事によりエネルギー分解能が向上することを明らかにした。

【LHD 重水素実験において生成される誘導放射能の評価】

重水素実験で発生する D-D 中性子によって LHD の 8-O ポートに設置した金属試料を放射化させ誘導放射能を測定した結果、反応断面積にしきい値のある高速中性子の捕獲反応については DCHAIN により精度よく予測可能である事が確認された。

【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	3	1	1	5
学生	16	1	1	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】

- ・BNCT 用加速器中性子源における細胞・動物試験のための中性子照射場に関する研究
- ・BNCT 用 Li ターゲットの元素分析のための LIBS システムの検討
- ・BNCT 用ダイナミトロン加速器のビーム輸送モデル構築に関する研究
- ・臭化タリウム検出器の信号波形処理に関する基礎検討

・LHD 重水素実験において生成される誘導放射能の評価

【修士論文】

- ・BNCT 場でのガンマ線線量測定に向けた BeO の光刺激ルミネッセンス現象の詳細検討と特性評価
- ・後方散乱 X 線を用いた非破壊検査用イメージング装置の性能向上に関する検討

その他・特記事項

・