

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(教授)、山崎淳(助教)
博士後期課程 0 名、博士前期課程 7 名、学部 4 名 (2023 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。本研究室では中性子をもちいたがん治療法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、がん細胞への照射効果実験、将来の BNCT 治療用照射場として核融合中性子の利用研究などから、この課題解決への貢献を目指している。

また、各種放射線検出器の開発を通して、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、核融合中性子利用、シンチレータ、比例計数管、TLD、OSL、光ファイバー、加速器、産業利用、ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT)、

【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や(2)中性子減速材構造の設計を実施している。

(B) BNCT 照射場の中性子・ガンマ線計測

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開発し、BNCT 加速器中性子源における中性子場の計測やモニタリングシステムを開発している。また、BNCT 中性子場は、中性子以外にもガンマ線が含まれる。従来は粉末の酸化

ベリリウムを用いた TLD が用いられてきたが、ベリリウムに毒性があることから現在は使用が停止されている。そこで酸化ベリリウムのセラミックを用いて OSL でのガンマ線計測を確立するための研究を進めている。また、BNCT における QA/QC を目的に BNCT 照射場を三次元で評価するためのゲル線量計に関する基礎的な研究を行っている。

(C) 獣医学 BNCT 実現に向けての検討

近年、伴侶動物の寿命が延びたことにより犬や猫ががん罹患する症例が増加している。一般的には外科手術が多く、外科手術が難しい場合の放射線治療としてはX線による治療が行われる。しかしながら、外科手術が難しい症例はX線に対する耐性が高いことが知られており、獣医学分野でもBNCTが注目されている。そこで当グループでは獣医学におけるBNCTの適用を示すため、難治性がんの一種である犬の悪性黒色腫に対するBNCT治療効果の検討を行っている。また将来、獣医BNCTが可能になった際の中性子照射場の設計や伴侶動物に対する等価線量限度や被ばく評価指標を決定するための研究を行っている。

(D) 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 または PHITS による計算を行い、測定結果との比較、評価を行っている。

(E) 核融合中性子源開発への貢献

現在、QST 六ヶ所研究所において核融合炉材料照射試験のための高強度中性子源 (IFMIF または A-FNS) の開発が進められている。これらの中性子源開発は文部科学省が進める核融合原型炉開発アクションプランにも含まれており、アクションプランには A-FNS は核融合炉材料の開発だけでなく社会にも貢献すべきとある。そこで当グループでは、これまで行ってきた BNCT 加速器中性子源の経験を活かし、A-FNS が BNCT に利用できるかどうか PHITS によるモンテカルロ計算による設計および検証実験を実施している。

(F) 高ガンマ線線量率場での中性子計測

使用済み核燃料貯蔵施設、核燃料再処理施設、さらには福島第一原子力発電所の廃炉作業現場などでは、臨界管理が重要である。臨界管理には中性子検出器が用いられるが、これらの環境では、ガンマ線の線量が極めて高く、かつ中性子フラックスが低いいため、中性子検出器には低ガンマ線感度かつ高中性子検出効率が求められる。そこで本研究では、そのような性能を有する ^{10}B 比例計数管の開発を行う。

2023 年度の研究・教育の概要

【BNCT 用加速器型中性子源に関する研究】

当研究室では、ホウ素中性子捕捉療法 Boron Neutron Capture Therapy: BNCT のための加速器型中性子源の開発を行っている。特に中性子を生成するリチウムターゲットの耐久性は加速器システムの安全に加え、多くの患者を安全に治療するために重要な評価要素である。そこで、本研究では作製したリチウムターゲットについて複数の元素分析法を用いて、Li 中の Cu 分布について多角的な考察をおこなった。さらに除熱性能評価やターゲットの品質評価のための手法として、アクティブサーモグラフィ法を検討した。

【BNCT の獣医学への適応に関する研究】

近年、伴侶動物の寿命が延びたことにより犬や猫ががん罹患する症例が増加している。また、One Health、すなわち人間と動物、生態系の健康を一体として捉える考え方から、動物の治療効果はヒトの臨床試験に繋がる可能性があるとして、獣医学における BNCT が期待されている。そのため、当研究室では岐阜大学動物病院との共同研究において犬の悪性黒色腫(メラノーマ)に対する BNCT 効果について検討した。また、BNCT が獣医学分野において適応可能となった場合、新たに動物治療用装置を開発し製造するのは時間やコストの点から最善とは言えない。そのため、現在人間の治療用として開発している装置を動物治療に適用するためのビーム径やコリメータに関する検討を行った。

【加速器型中性子源における BNCT 用中性子ビーム整形装置の設計とビーム特性の評価】

核融合原型炉設計・建設のため、核融合炉材料の核融合中性子照射データを取得することを目的として先端核融合中性子源(Advanced-fusion-neutron-source, A-FNS)の設計が量子科学技術研究開発機構六ヶ所研究所で行われている。A-FNS で得られる高強度の中性子は、核融合材料照射実験のみならず、産業・医療への利用も期待されている。医療応用の一つとしてホウ素中性子補足療法(Boron neutron capture therapy: BNCT)への利用が検討されている。BNCT は、がんの放射線治療の一つであり、熱外中性子を患部に照射し、ホウ素の $^{10}\text{B}(n, \alpha)$ 反応を誘発することで治療を行う。A-FNS では D-Li 反応により中性子を生成するが、この核反応で生成する中性子は治療に必要な熱外中性子よりもエネルギーが高いため、中性子の減速が重要になってくる。そのため治療に適した中性子ビームを形成する中性子減速体系(Beam Shaping Assembly: BSA)を構築する必要がある。BNCT に用いる中性子ビーム特性としては熱外中性子の強度に加え、治療時の余計な被ばくを低減するという観点から高速中性子、熱中性子、 γ 線の混入を減らすこと、ビームの直進性(C/F)を高めることが求められ、IAEA による基準値が設定されている。本研究では粒子・重イオン輸送計算コード PHITS を用いたモンテカルロシミュレーションにより A-FNS において BNCT の IAEA 基準を満足する BSA の設計を行うことで、A-FNS における BNCT の実現可能性について検討を行った。

【高ガンマ線線量率場で動作可能な高検出効率中性子計数管の開発】

本研究では、高ガンマ線線量率場において動作可能な $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 反応を利用した中性子検出器(B10 比例計数管)の開発を行っている。高 γ 線線量率場において問題となる γ 線の影響を軽減する為、多層構造の遮蔽体についてのシミュレーションを行い、平行して B10 検出器の応答特性についてもシミュレーションにより調査を行った。B10 検出器に用いるホウ素薄膜は堆積法により作製し、その中性子に対する応答を実験的に評価するとともに、多芯型のプロトタイプも作製し性能評価を行った。

【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	2	0	1	3
学生	10	0	0	0

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】

- ・先端核融合中性子源(A-FNS)の BNCT 応用にむけた BSA 設計に関する研究
- ・伴侶動物を治療対象とした BNCT による臓器への影響評価に関する研究
- ・高ガンマ線線量率場において動作可能な 10B 検出器の開発
- ・PVA-KI ゲル線量計を用いた BNCT 場の線量評価に向けた基礎的検討

【修士論文】

- ・BNCT 用中性子源 Li 封入ターゲット製作条件の最適化
- ・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 適応対象拡大に向けた in vitro でのホウ素取り込み量と生存率の評価

その他・特記事項