

2020年度 TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」

調査研究報告書(公開版)

【研究題目】 BNCT の高精度線量計測評価システムの開発に向けた調査研究

【整理番号】 TK20-038

【代表機関】 国立大学法人 筑波大学

【調査研究代表者(氏名)】 熊田博明

【TIA 内連携機関：連携機関代表者】 国立研究開発法人産業技術総合研究所 増田明彦

【TIA 外連携機関】 京都大学複合原子力科学研究所

【報告書作成者】 熊田博明 (筑波大学) 【報告書作成年月日】 令和3年3月31日

【連携推進(具体的な連携推進活動内容とその活動の効果等)】

放射線治療の一種であるホウ素中性子捕捉療法(BNCT)は、2020年5月に先行メーカーの治療装置とホウ素薬剤がそれぞれ薬事承認され、6月から保険診療として治療が開始された。しかし、この治療法は中性子を発生する治療装置は薬事承認されたが、装置に付帯する機器等はまた開発途上であり、未だに原子炉時代の手法が用いられている。特に治療に中性子を用いる BNCT は、患者に付与される線量を正確に評価するためには、照射される中性子の高精度な計測が求められる。この研究背景を踏まえ本調査は、BNCT 時の中性子を高精度、かつ、リアルタイムで計測可能な中性子モニターの実用化と国際的な標準化を最終目標に、2019年から候補となる複数の中性子計測機器の評価を開始した。2020年度の活動は、2019年度の活動に引き続き、複数の中性子計測機器の特性評価等を実施した。また、本活動を関連して BNCT の標準化に関する活動も開始しており、BNCT 装置、機器に要求される技術、仕様の取りまとめをしている国際原子力機関(IAEA)の技術報告書:IAEA-TECDOC の作成活動を行った。日本の他の BNCT 研究機関：産総研、京都大学、国立がん研究センター、QST・放医研等と連携し、BNCT 分野の線量計測、評価に関するワーキンググループ：BNCT 国際標準計測 WG(仮称)の活動を継続して実施した。さらにこの活動を基盤として、厚生労働省の「革新的医療機器等国際標準獲得推進事業」の競争的資金も獲得し、BNCT の標準的な中性子計測技術の検討とともに、BNCT に用いる計測機器に対してトレーサビリティを伴う校正手順、環境の構築を進めた。この活動は、2021年度以降も継続して実施し、BNCT の標準的な中性子計測技術の提案を行うとともに、この計測機器を校正する手順、環境を構築する。

《国内外のワーキンググループ活動》

●国内：Zoom 等による Web 会議を複数回開催

主催機関：筑波大学、名古屋大学

●国際：IAEA テクニカルミーティング(7月27~31日)(Web 会議に開催)

《獲得した競争的資金》

●厚生労働省・革新的医療機器等国際標準獲得推進事業(約30,000千円/年×3年)

【調査研究内容（実験等中心に背景・課題と実行された課題解決の内容と結果）】

本調査研究では、BNCT 治療時に適用可能な中性子モニター、 γ 線モニターを検討するとともに、これらのモニターに対してトレーサビリティを伴った校正環境を構築することを最終目標としている。2019 年には、候補となる 4 つの中性子モニターの選定を行った。2020 年度は候補のモニターの中の 1 つである LiCAF を実際の BNCT 施設（筑波大学 iBNCT）に設置して特性計測を行った。また、京都大学複合原子力科学研究所と連携し、BNCT 用計測機器の校正場の検討を行った。検討している中性子計測機器は、将来、国際的に標準化、統一化することが必要である。この取り組みも並行して実施した。

- ① LiCAF シンチレータ検出器：Li-6 と熱中性子との核反応を利用した小型の検出器。筑波大学の BNCT 施設：iBNCT001(東海村)の照射室内に4つの LiCAF 検出器を設置し、同施設で中性子発生実験時の中性子をリアルタイムで計測を行った。従来の中性子計測法は、金などの放射化箔を用いた箔放射化法で計測するが、この方法は事後の測定しかできないこと、照射によって付与された中性子の積算値しか計測できない、という問題がある。これに対して、LiCAF は毎秒単位で中性子計測が可能である。BNCT 場の中性子強度は、ビーム孔周辺で $1 \times 10^8 \sim 10^9$ (n/cm²/s) と非常に大強度であるが、LiCAF はこの強度の中性子を計測できることを確認した。
- ② BNCT 用計測機器の校正場：産総研が現在有している中性子の校正場は、BNCT 治療場に対して強度が低いいため、BNCT 用の計測機器を治療と同等の強度での校正を行うことができない。そこで、筑波大学の BNCT 施設 (iBNCT) と京都大学複合原子力科学研究所の BNCT 施設 (G-BENS) で BNCT 用計測機器の校正場の構築することを目指している。2020 年度は京都大学 G-BENS 内にポリエチレン減速体を整備して、安定した複数のエネルギー・スペクトルの中性子校正場を設計した。設計にはモンテカルロコード：PHITS を用い、発生するエネルギー・スペクトルを評価した。2021 年度以降は、同様の校正場を筑波大学の iBNCT にも設置し、両施設で同等の校正場を構築する。また、産総研と連携し、トレーサビリティ性を担保した校正手順の検討を行う。
- ③ IAEA-TECDOC 改訂版策定：BNCT 分野の標準化に関しては、現在、BNCT 装置、周辺機器の指標としてまとめられている出版物は、IAEA の技術報告書：IAEA-TECDOC-1223 だけである。先行する住友重機の BNCT 治療装置の薬事承認の際にもこの IAEA-TECDOC に記載されている指標が参照された。しかしこの IAEA-TECDOC-1223 は、2001 年に発行されたものであり、内容も原子炉施設を中心とした内容である。そこで IAEA は、この IAEA-TECDOC を現在の加速器ベースの治療装置の状況に合わせた内容に改定することを提案した。この改訂版 TECDOC の内容を検討するための技術会議 (Technical Meeting, Web 開催) が 2020 年 7 月に開催された。この会合に参加し、BNCT 分野の物理工学分野の現状について報告を行った。この時の情報交換を踏まえて、加速器ベースの治療装置を中心とした改訂版 IAEA-TECDOC の策定が 2020 年 11 月から開始された。この TECDOC のうち、物理工学分野 (治療装置、及び、計測機器) の取りまとめを当方で実施するとともに、関連する章の執筆を担当した。

《研究成果の発表》

- IAEA-Technical Meeting (2020 年 7 月、Web)
- UCANS Online 2020 (2020 年 12 月、Web)
- 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会 シンポジウム『ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) 研究の最新動向』「BNCT に関する中性子計測標準の取り組み」(2020 年 9 月、Web)

《獲得した外部資金》

- 厚生労働省・革新的医療機器等国際標準獲得推進事業 (令和 2 年度：27,000 千円)
- 公益財団法人精密測定技術振興財団 2021 年度 (令和 3 年度) 助成 (250 万円)

《投稿中の論文》

- 筆頭投稿者：熊田博明、書籍：IAEA-TECDOC 改訂版、「Prerequisites for neutron beam parameters」章、「Beam design considerations」章、出版：IAEA

- 筆頭投稿者：熊田博明、書籍：Neutron Capture Therapy - Principles and Applications、「Treatment Planning」章、出版：Springer
- 筆頭投稿者：増田明彦、解説記事：「BNCTに関する中性子計測標準の取り組み」、『放射線』応用物理学会放射線分科会

【今後の活動予定】

2021年度は、これまでに整備した複数の中性子検出器を実際のBNCT場である筑波大学の治療施設、及び、京都大学複合原子力科学研究所に設置し、治療レベルの中性子強度での照射実験を実施して治療への実用性、耐久性等の評価を行う。また、両施設にBNCTの中性子強度での校正場の構築を進める。一方、産総研と連携しトレーサビリティを伴う計測機器の校正手順、環境を構築する。現在、産総研が有している中性子の校正場は、強度が低いためBNCT機器を想定した校正ができないため、産総研と京都大学、筑波大学の施設とうまく連動させて校正できる手順と環境を構築する。

また、国際標準化の観点では2021年内に現状のBNCTに合わせたIAEA-TECDOC改訂版を完成し、発刊を目指す。また、IECの放射線治療装置に関するワーキンググループにBNCT分野の国際標準化のワーキングを日本から提案し、中性子計測、漏洩放射線等の規格策定を目指す。

以上