

京都大学	博士（工学）	氏名	松林 錦
論文題目	ホウ素中性子捕捉療法の照射場における線質弁別可能な放射線計測技術の開発		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy:BNCT)の品質保証・品質管理のために必要な、治療の有効性・安全性を評価可能とする新しい放射線計測技術開発に関する研究であり、BNCT 照射場の線質の異なる放射線を弁別して測定する手法について検討を行い、その成果をまとめたものであって、5章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、がんの放射線治療における BNCT の位置づけ、BNCT の概要、加速器を用いた中性子照射システムの現状、BNCT における線量評価手法について解説し、BNCT の照射場の線量評価において γ 線や、生物への影響を考慮した様々なエネルギーを有する中性子線を弁別して測定することの重要性を述べている。また、BNCT の品質保証・品質管理において、実施する評価項目を”治療時”、”治療前及び定期的”の二つに大別し、これまで研究用原子炉で実施されてきた放射線計測手法の課題点を解決する新しい放射線技術開発を本研究の目的として提示している。</p> <p>第2章では、”治療時”の BNCT における全身被ばく線量評価のために、これまでの金属の放射化法に変わる手法として、Eu:LiCaAlF₆(LiCAF)シンチレータとポリエチレン減速材、⁶LiF 遮蔽材を組み合わせた熱、熱外、高速中性子に感度を有するリアルタイム検出器を構築している。それぞれの中性子感度をモンテカルロコード (Particle and Heavy Ion Transport code System:PHITS) による計算結果と中性子照射試験による実測結果から明らかにしている。</p> <p>人型水ファントムを用いた照射試験により検出器の特性試験を行い、考案した測定システムにより、首、胸、腹の水ファントム表面に照射される中性子フラックスをエネルギー領域ごとに測定可能としている。従来の放射化法によるファントム内部の線量と比較した結果、本研究で得られた表面の線量は物理的に妥当であり、内部臓器の高速中性子線量をリアルタイムに測定できることが示されている。本研究で開発した測定システムにより、治療中の患者全身に照射される中性子線量をリアルタイムに評価できる。高速中性子線量を測定するために、ポリエチレン減速材が大きくなってしまいが、さらなる評価位置精度向上のために、熱外、高速中性子検出器を小型化する必要性も示されている。</p> <p>第3章では、”治療前及び定期的”の評価項目として、BNCT 照射場において、BeOセラミックの光刺激ルミネセンス線量計 (Optically stimulated luminescent dosimeter:OSLD) を用いた γ 線線量評価手法を提案している。中性子照射場においては線量計構成部品が中性子と反応を起こし、その結果 γ 線以外にも感度を有するため、中性子応答を明らかにする必要がある。また BNCT 照射場における照射線量での検出器応答を確認する必要があるため、⁶⁰Co γ 線源による校正試験の結果、OSLD の検出器応答が従来用いられてきた熱ルミネセンス線量計 (Thermoluminescent dosimeter:TLD) と同様に γ 線線量に対して良い線形性を示すことを確認している。</p> <p>新たに製作したポリテトラフルオロエチレン製の鞘を用いた BNCT 照射場における照</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	松林 錦
<p>射試験により、OSLD の熱中性子感度を実測で明らかにし、構成部品ごとの感度に対する寄与を PHITS により評価している。従来の TLD よりも熱中性子感度が低く、BNCT 照射場の γ 線線量評価に有用であることを示している。OSLD と本研究で導出した熱中性子補正係数を用いることで、BNCT 照射場の品質保証・品質管理のために、従来の TLD の代替えとして、ファントム内の γ 線線量プロファイル測定が可能であることを示している。また、第 2 章で述べたような患者全身被ばく線量のうち中性子のみならず、γ 線線量評価にも使用可能である。</p> <p>第 4 章では、“治療前及び定期的” の評価項目として、病院での臨床応用を考慮した BNCT 照射場において、空気電離箱と LiCAF シンチレータを用いた γ 線線量評価手法を開発している。電離箱内部が空気であることで生じる窒素と熱中性子との反応による応答を、電離箱に密着させた LiCAF シンチレータで得られる熱中性子トリチウムとの反応率から導出し、これを電離箱の全応答から差し引くことによって γ 線線量を評価可能としている。^{60}Co γ 線源及び BNCT 照射場による照射試験を実施し、LiCAF シンチレータの計数から電離箱の熱中性子応答を導出する換算係数を実測により明らかにしている。</p> <p>また空気電離箱の中性子エネルギー依存性について PHITS を用いて評価し、高エネルギー中性子の混在率によって数%の補正が必要であることを示している。さらに、LiCAF シンチレータの単独照射試験の結果、電離箱に密着することで LiCAF シンチレータの摂動効果が 16%程度あったため、摂動効果を考慮した変換係数を導出している。本研究で開発したシステムにより、加速器を用いた中性子照射システムによる BNCT を実施する病院施設において電離箱を使用したリアルタイム γ 線線量評価を可能としている。</p> <p>第 5 章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy:BNCT)の照射場において治療時、治療前及び定期的に線量を評価するための、線質弁別可能な放射線計測手法に関する検討を行い、その成果をまとめたものである。得られた主な成果は次のとおりである。

1. BNCT 治療時の患者全身位置における中性子線量率はエックス線治療や陽子線治療よりも高いため、既存の中性子線量計を用いることができず、新しい計測手法が望まれていた。本研究においては、リアルタイムに被ばく線量を計測可能とするシステムについて、熱、熱外、高速中性子に固有な感度を有する中性子検出器を構築し、各エネルギー領域に対する検出感度を明らかにした。患者を模擬した人型水ファントムによる照射試験を実施し、各エネルギーの中性子線量をリアルタイムで導出することが可能となり、治療時の安全性評価に有用な測定システムを実現した。

2. 治療前及び定期的な照射場の γ 線線量を計測可能とするシステムについて、BeOセラミックで構成される光刺激ルミネセンス線量計の熱中性子に対する検出感度を実験的に明らかにした。従来用いられてきた熱蛍光ルミネセンス線量計と同等の測定精度で、かつ熱中性子に対する検出感度が低く優れた性能を有していることを見出した。さらに、光刺激ルミネセンス線量計の熱中性子補正係数を導出することで、熱中性子線と γ 線が混在する照射場において γ 線線量を測定可能とした。熱蛍光ルミネセンス線量計はBeO粉末を用いており、毒性の観点から今後入手することが困難であることから、その代替かつ精度の良い γ 線線量測定手法として確立することに成功した。

3. 治療前及び定期的な照射場の γ 線線量を迅速に計測可能とするために、病院で良く用いられる空気電離箱と熱中性子検出器であるLiCAFシンチレータを組み合わせた放射線検出システムを構築した。空気電離箱中の熱中性子と窒素との反応による線量寄与をLiCAFシンチレータのリチウムと熱中性子との反応率から導出し、空気電離箱の全応答から差し引くことで、 γ 線線量をリアルタイムで評価することに成功した。これまでに無い放射線計測手法であり、実臨床への応用が期待できる。

本論文は、BNCTの高強度中性子線及び γ 線が混在する照射場で、それぞれを弁別して測定可能とする新しい放射線計測技術の開発成果をまとめたもので、BNCTの品質保証・品質管理の向上に大きく貢献するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年8月10日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。