



Title	Development of a Real-time Gamma-ray Energy Spectrum and Dose Rate Monitor for Radiation Therapy Facilities
Author(s)	Voulgaris, Nikolaos
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/101478
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (VOULGARIS NIKOLAOS)	
論文題名	Development of a Real-time Gamma-ray Energy Spectrum and Dose Rate Monitor for Radiation Therapy Facilities (放射線治療施設のためのリアルタイムガンマ線エネルギースペクトル・線量モニタの開発)
論文内容の要旨	
<p>本論文は、放射線治療施設において使用可能なガンマ線エネルギースペクトル・線量同時計測モニタの開発について成果を取りまとめたものである。近年、放射線の医療用途の増加に伴い、医療放射線の複雑さや医療従事者の被ばくリスクが高まっている。放射線モニタリングに関する訓練や遮へい法などのソリューションは存在していたが、使用される機器については、精度や携帯性の点で欠点を持つ場合があった。したがって、携帯性が高く、簡単に使用でき、医療従事者に被ばく情報や放射線場に関する正確な情報をその場で提供できるデバイスがあれば、医療効果が第一優先になりがちな医療従事者の不要な被曝を避けることができるうこととなり、放射線防護に非常に有用である。本論文で述べられているプロトタイプのモニタは、ガンマ線のエネルギースペクトルを計測される波高分布からその場で連続的に展開（デコンボリューション）できる。またその結果から、線量率をリアルタイムで表示することが可能である。このモニタは、CsI(Tl)シンチレータ、マルチピクセルフォトンカウンタ（MPPC）、増幅器、デジタルパルスプロセッサ（DP5）で構成されている。本論文は2つの主要な部分からなっている。</p> <p>第1部では、放射線測定の理論的背景や放射線検出器の基本的な情報を、さまざまな放射線治療の背景を提供しつつ議論した。具体的には以下の章からなっている：</p> <p>第1章では、医療分野での放射線モニタリングの必要性を説明し、本研究の背景と動機をまとめた。</p> <p>第2章では、放射線と物質との相互作用、放射線検出器とモニタの基本、そして関連した応用について述べた。特に、放射線スペクトル展開、シンチレーション検出理論、デジタルパルス処理、線量率推定など、プロトタイプモニタの機構に重要な理論的側面に重点を置いた。</p> <p>第3章では、放射線治療中や治療後のモニタリングに関するガイドライン、プロトコル、計測条件、そしてさまざまな課題についてまとめ、最後に中性子捕捉療法（BNCT）について述べた。</p> <p>第4章では、プロトタイプモニタの有用性を検証し、実際の放射線治療の場での応用可能性を明らかにする研究目的について詳述した。</p> <p>第2部では、プロトタイプガンマ線モニタの開発手順について述べ、関連する論文の調査結果について詳述した。具体的には以下の章からなっている：</p> <p>第5章では、プロトタイプモニタの設計方法について、使用された方法論、主要な構成要素について、開発の初期から現在に至るまでその具体的な内容を詳述した。特に、応答関数の作成手法やリアルタイム操作の原理について詳しく述べた。中でも、$k-\alpha$法と呼ばれる本研究で新しく提案した逐次ベイズ推定法について詳しく述べた。また、当初の研究では、リアルタイム測定をリサンプリングにより実現していたが、真のリアルタイムスペクトル計測法と線量率推定法の検証についても詳しく述べた。具体的な設計については、モニタの主要な材料について詳細に述べた後、計測方法について説明した。携帯性がプロトタイプモニタの応用に重要であるため、最適設計研究を実施し、結果として$2.6 \times 2.6 \times 1.3 \text{ cm}^3$のデザインが採用された。設計されたモニタは現在、EMFジャパン株式会社で実用化が進められている。</p> <p>第6章では、当初は研究室環境において標準ガンマ線源を用い実験的検証を行ってきたが、高エネルギーのガンマ線におけるプロトタイプモニタの応用について探った。まず、3 MeVまでの応用に焦点を当て、その後、BNCTのような中性子とガンマ線の混合場における応用可能性を探った。この場合、ガンマ線の最大エネルギーは10 MeV程度に上昇するため、モニタの応答関数を10 MeVまでのガンマ線を測定できるように拡張し、広範囲のエネルギーを持つ中性子と高エネルギーガンマ線の混合放射線場における計測可能性について論じた。</p> <p>最後に7章では、この研究で使用された方法、各セクションの結果、および調査中に直面した様々な課題について述べた。必要な今後の改良点やさらなる研究のための提案についても議論した。携帯型の形式で正確なリアルタイム線量およびエネルギースペクトルの測定を提供したことで、このモニタは医療放射線環境における放射線安全性の向上に大いに貢献する可能性を持つと結論付けた。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (VOULGARIS NIKOLAOS)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者		
主査	教 授	村田 純
副査	教 授	佐藤 文信
副査	准教授	秋山 康子

論文審査の結果の要旨

本論文は、放射線治療施設において使用可能なガンマ線エネルギースペクトル・線量同時計測モニタの開発についてその研究成果を取りまとめたものであり、序論と3つの章からなる第1部と、2つの章と総括からなる第2部により構成されている。その内容を要約すると以下の通りである。

第1部では、放射線測定の理論的背景や放射線検出器の基本的な情報を、さまざまな放射線治療の背景を提供しつつ議論した。具体的には以下の章から構成されている。

第1章では、序論として医療分野での放射線モニタリングの必要性を説明し本研究の背景をまとめている。

第2章では、放射線と物質との相互作用、放射線検出器とモニタの基本、そして関連した応用について述べている。特に、放射線スペクトル展開、シンチレーション検出理論、デジタルパルス処理、線量率推定など、プロトタイプモニタの機構に重要な理論的側面に重点を置いている。

第3章では、放射線治療中や治療後のモニタリングに関するガイドライン、プロトコル、計測条件、そしてさまざまな課題についてまとめ、最後に中性子捕捉療法 (BNCT) について述べている。

第4章では、プロトタイプモニタの有用性を検証し、実際の放射線治療の場での応用可能性を明らかにする研究目的について詳述している。

第2部では、プロトタイプガンマ線モニタの開発手順について述べ、関連する論文の調査結果について詳述している。具体的には以下の章から構成されている。

第5章では、プロトタイプモニタの設計方法について、使用された方法論、主要な構成要素について、その具体的な内容を詳述している。特に、応答関数の作成手法やリアルタイム操作の原理については詳しく説明している。中でも、 $k-\alpha$ 法と呼ばれる本研究で新しく提案した逐次ベイズ推定法について詳しく解説している。また、当初の研究では、リアルタイム測定をリサンプリングにより実現していたが、真のリアルタイムスペクトル計測法と線量率推定法の検証についても詳しく述べている。具体的な設計については、モニタの主要な材料について詳細に述べた後、計測方法について説明している。携帯性がプロトタイプモニタの応用に重要であるため、最適設計研究を実施し、結果として $2.6 \times 2.6 \times 1.3 \text{ cm}^3$ のデザインが採用されている。設計されたモニタは現在、EMFジャパン株式会社で実用化が進められている。

第6章では、当初は研究室環境において標準ガンマ線源を用い実験的検証を行ってきたが、高エネルギーのガンマ線におけるプロトタイプモニタの応用について探っている。まず、3 MeVまでの応用に焦点を当て、その後、BNCTのような中性子とガンマ線の混合場における応用可能性を探っている。この場合、ガンマ線の最大エネルギーは10MeV程度に上昇するため、モニタの応答関数を10 MeVまでのガンマ線をカバーできるように拡張し、広範囲のエネルギーを持つ中性子と高エネルギーガンマ線の混合放射線場における計測可能性について論じている。

最後に7章では総括として、この研究で使用された方法、各セクションの結果、および調査中に直面した様々な課題について述べている。必要な今後の改良点やさらなる研究のための提案についても議論している。

以上のように、本論文は、医療現場における放射線業務従事者の被ばく量を低減することを目指し、その意識を常に保持し向上させる小型で軽量なガンマ線モニタの開発を行っている。携帯型で正確なリアルタイム線量およびエネルギースペクトルの測定を実現したことで、このモニタは医療放射線環境における放射線安全性の向上に大いに貢献する可能性を持つと結論付けている。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。