

## 審査の結果の要旨

氏名 嶋田和真

本論文は、個人線量計を用いた外部被曝線量評価の不確実性を評価する手法を開発し、個人線量計の個数及び線量計自体の改良によりその不確実性の低減を行い、合理的な外部被曝線量評価及び管理手法を提案することを目的とした論文である。ここでの新しい手法を用いる事により、緊急時作業時には従来法では個人線量計の値が全身の線量を安全側に評価できないこと、又、高エネルギー中性子場において従来法で達成できなかった、合理的な評価法を達成した。

第一章では、外部被曝線量評価の現状と課題に付いて述べた。放射線防護の歴史を辿り線量限度の考え方の変遷をまとめた。現在の放射線防護の枠組みを提供している国際放射線防護委員会(ICRP)の 2007 年勧告を基に、外部被曝線量評価の基本を整理した。次に、個人線量計を用いた外部被曝線量評価の課題として、1cm 線量当量が実効線量を安全側に評価しない状況を整理した。特に大きな不確実性を伴う状況として二つの例を挙げた。まず、福島第一原子力発電所事故などにおける緊急時作業時の課題を抽出した。続いて、大型加速器施設などの高エネルギー中性子場における課題を抽出した。高エネルギー中性子場においては、使用する中性子個人線量計には課題があり、改良が必要である事を示した。

第二章では、放射線の入射方向の不確実性を評価するために、個人線量計の値から実効線量に相当する全身線量を評価する手法を解説した。そして、個人線量計の値から全身線量推定確率分布を導出し、実効線量で定められる線量限度をどの程度の割合で超えるかの議論を行った。具体的には原子力発電所における緊急時被曝に対して数値計算を実施した。662keV のガンマ線に被曝し、線量計の値が 100mSv を示した場合、全身線量は確率分布の最大値として 250mSv に達する可能性があることを示した。さらに、被曝する放射線のエネルギーを単色から連続スペクトルに拡張するプログラムを開発し、実測されたエネルギースペクトルに対して計算を行った。また、不確実性低減手法の評価として、放射線入射方向の情報を追加した場合及び線量計個数を増加させた場合の計算を行い、不確実性が大幅に低減される事を示した。

第三章では、確率分布を用いた外部被曝線量管理手法を提案し、代表的な放射線作業場及び作業状況ごとに本手法を適応しその有効性を示した。代表的な放射線作業場としては、原子力発電所、核燃料関連施設、大型加速器施設を考慮した。そして、計画被曝状況及び緊急時被曝状況においてそれぞれ作業場における線量計限度値（警報設定値）を算出した。原子力発電所での緊急時被曝状況において、 $^{137}\text{Cs}$  を主線源と仮定した計算から、線量限度値が実効線量 250mSv に対して、信頼区間片側 95% タイル値を採用した場合は、線量計限度値は約 130mSv に設定する必要がある事を示した。核燃料関連施設で想定される臨界事故の対策を

考慮すれば、中性子個人線量計は二カ所に装着する事が精度確保の上で有効で、これにより作業時間の確保が可能になる事を示した。大型加速器施設における計画時作業に対応する為に、遮蔽体外の中性子スペクトルを用いて、線量計限度値を算出した。実効線量年 50mSv に対して信頼区間片側 95%タイル値を採用すると線量計限度値は約 25mSv に設定する必要がある事を示した。

第四章では、固体飛跡検出器を用いた中性子個人線量計の高度化として、二酸化炭素吸蔵効果による増感効果に注目した。二酸化炭素吸蔵効果による増感効果を定量化する為の実験を実施し、エネルギーレスポンス計算に必要な条件を実験値から導出し、モンテカルロシミュレーションコードを用いて中性子エネルギーレスポンスを計算した。そして、この計算結果の妥当性を確認するために、単色中性子による照射実験を行った。本実験条件による二酸化炭素吸蔵効果による増感効果は約 250%であることを定量的に示した。

第五章では、10MeV 以上の高エネルギー中性子に対応するために、従来型の積算型中性子個人線量計の課題を検討した。そして、人体に装着する事を考慮してラジエーターの厚さに着目し、モンテカルロシミュレーションコードを用いて高エネルギー中性子に対する応答を計算した。計算値の妥当性を評価する為に、14.8MeV の単色中性子場及び数 10MeV 準単色中性子場において照射実験を行った。さらに、実際の作業場における幅広い中性子スペクトルに対応する為に、多層ラジエーターを考案し、モンテカルロシミュレーションコードを用いて、そのエネルギーレスポンスを計算した。厚さ 5mm で従来型よりもラジエーター効果が数 10MeV の領域では一桁高く、数 MeV の領域ではほぼ同等であることを示した。さらに、中性子エネルギーレスポンスの変動を押さえる為に、改良型多層ラジエーターを開発し、エネルギーレスポンスの変動を従来型よりも約半分に低減させた。これらにより、高エネルギー中性子に対する線量評価の不確実性低減を示した。

第六章は結論である。本論文で提案した放射線の入射方向を考慮した合理的な被曝管理及び固体飛跡検出器を用いた中性子個人線量計の高度化を用いることにより、従来法では合理的、安全側に評価する事が困難であった緊急時作業及び高エネルギー中性子場において極めて有効であると結論付けている。

本論文で得られた知見により、福島第一原子力発電所事故の収束のために働く作業員の被曝管理及び、建設が進んでいる大型加速器施設の作業員の被曝管理に有効で、放射線防護及び工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位申請論文として合格と認められる。