

論文の内容の要旨

論文題目 原子力発電所の被ばく線量低減を進めるための最適化に関する研究

氏 名 近 江 正

第1章では、序章—被ばく線量低減活動の現状と今後の線量見通し—を述べている。本章では、日本の原子力発電所の集団線量の推移を検証した。我が国の原子力発電所の集団線量は、1978年度を最大として1991年度まで、原子炉基数の増加にも係わらず低下をしてきた。これは、初期のプラントにおける改良工事が減少するとともに、作業現場の放射線レベルの低減、及び作業の合理化に資する自動化設備の導入等、積極的な線量低減対策を推進した成果である。1991年度以降は、原子炉基数の増加に伴うものと大規模な改良工事等の影響での変動が複合してやや増加している。

ミクロな分析として、わが国の原子力発電所の1基当たりの線量は、主要国の1基当たりの線量の推移と比較してやや高いレベルで推移しており、被ばく低減が進んでいない。

続いて被ばくの要因について分析した。線量が発生するタイミングとしては運転中の線量と定期検査時など停止時の線量がある。わが国では停止時の線量がPWR、BWR共に集団線量の約90%を占めている。停止時には燃料交換のほか定期的な機器の保守作業、設備改造工事などが実施される。設備に係る多くの作業・工事を原子炉停止時の低放射線環境下に集中させることにより被ばく低減を図っている。また、原子炉運転中には分解等の保守作業ができない安全系の機器の保守作業も実施している。

また、今後の集団線量の見通しを示した。我が国の軽水炉の1基あたり線量は、各プラントで耐震裕度向上工事等が実施されていることから一時的な上昇を経て対策終了後に以前の水準に戻った後、運転期間長期化の導入により減少し、かつ新設プラントの増設の重畳効果により将来的に1人・Sv/基を下回る水準になるものと推定した。

第2章では、被ばく線量低減を進めるための研究の必要性を述べている。本章では、本論文で検討対象としている原子力発電所の集団線量を個人線量のレベルで分析し、研究の対象とする線量の領域を確認した。わが国の原子力発電所において2009年度に線量を受けた作業員の線量区分別を示し、わが国の原子力発電所で作業に伴って受けた線量の平均値は、約1.1mSv/年となり、自然放射線レベル(2.4mSv/年)の半分以下であることを確認した。累積分布についても分析し、約87%の作業員が自然放射線と同等レベルの年間2.5mSv以下と十分に低いレベルであった。しかしながら、放射線防護の基本理念であるALARA(As Low As Reasonably Achievable)の精神に基づき、線

量低減活動は弛まず継続すべき活動であるとした。

第3章では、被ばく線量低減活動の実態とその分類を述べている。本章では、被ばく低減方策の現状分析として、原子力発電所においてどのような線量低減対策が実施されているか整理した。線源除去のための水化学対策として水質管理を実施している。具体的には、冷却材に含まれる鉄除去、冷却材中のクラッドを効率的に回収するイオン交換樹脂フィルターおよび中空糸膜フィルターが採用されていることを紹介している。このほかの対策として、低コバルト材を用いた配管材料の選定、化学除染による配管内面のクラッド除去、しゃへい対策、自動化、遠隔化設備の導入等のハード対策の事例を整理した。更に、作業者の力量に関連するものとして線量低減教育、モックアップ訓練、同種作業経験者の誘致などのソフト対策についても目的別に整理した。

第4章では、被ばく線量低減活動の要因分析を述べている。本章では、国内および米国の事例を用いて被ばく低減方策を要因別に分類した。要因は大きく2種類に分類でき、一つは設備改造のような放射線防護上のハード要因である、もう一方は、作業者の力量や教育に関連する放射線防護上のソフト要因である。

前者を更に詳細に分類すると、自動化・遠隔化、作業環境の放射線レベル低減方策、作業時間短縮、放射線防護対策の向上、作業区域の広さ確保、工事の分割実施、作業員配置適性化等に分類できる。各要因について対策の程度についても区分し、大規模対策から小規模対策、対策なしまで分類した。各ランク別の線量低減量の平均値を算出することにより、要因別に対策の効果がどのような効果を有するか分析し、標準的な関数型に分類することができた。標準的な関数型は、凸型増加型、凹型増加型、線形増加型およびこれらの減少型の6種類の単一属性関数型である。ソフト要因についても、同様に対策別に効果を分析し、前述の関数型に分類することができた。

ハード要因、ソフト要因の各々について関数型の分類に続き、対策の効果の程度について線量低減量をパラメータに重み付けをし、モデル化する際の荷重係数として用いることとした。

第5章では、放射線防護指数の導入と被ばく線量低減への応用を述べている。本章では、線量低減方策の検討段階において必要な、放射線防護上のハード要因、ソフト要因、単一属性効用関数、効用の荷重係数、作業員区分を用いたモデル化を構築した。

線量低減効果を客観的に定量化するために新たに放射線防護指数を導入した。放射線防護指数を求める式は、各要因別に「放射線防護上のハードまたはソフト要因」、「各要因別の荷重係数」、「要因が影響する作業員区分」を乗じて総和を求めることにより算出される。

次に放射線防護指数の適用性について検証した。設備設置状況など公開情報に基づいてプラント毎に算出された放射線防護指数と各プラントの実際の定検時の集団線量の平均値について、BWR、PWR別に分析した。分析の結果、両者の相関係数はBWRの場合-0.94、PWRの場合は-0.91となり何れも放射線防護指数と平均線量の相関係数は強い負の相関関係を示し、本モデルの実プラントへの適用性が十分であることを示した。

放射線防護指数を用いて被ばく線量低減方策計画段階における検討の事例として、手法が全く異なる二つの対策の効果を比較することにより、被ばく低減の効果の程度を検証した。

放射線防護指数を用いることにより、従来は比較検討が困難であったハード対策と教育や作業経験などのソフト対策の各々の効果の程度が数値化され比較可能となり、何れの対策がより効果的かという客観的な判断が可能となった。

シミュレーション例では、BWR プラントを想定し、本モデルの特徴のひとつである放射線防護上の要因の中から2種類のハード的な対策と、ソフト的な対策、1種類を採用した場合の効果を放射線防護指数により検証した。この例では、改善前の放射線防護指数(22.24)がハード対策2種類により向上(22.67(+1.43))、ソフト対策1種類の場合の向上(24.55(+2.31))を比較すると、ソフト対策が被ばく低減効果上、有利であることが示された。従来困難であったハード対策とソフト対策の効用を比較することが可能となった。

原子力発電所の事故対応時の放射線被ばく線量低減方策の検討に際しても、本手法の適用の可否に触れたが、方策毎のパラメータ設定の経験が少ない点に課題があり、工夫が必要である。

第6章は結論である。本論文で提案した放射線防護指数と各プラントの実際の集団線量の比較において、BWR、PWR 共に強い相関関係があることが確認できた。放射線防護指数を用いることにより、これまで困難であった各プラントの集団線量の違いの原因を客観的に説明することが可能となった。放射線防護指数のモデル化に当たっては、設備導入のようなハード対策に加えて、従来、定量化が困難であった教育訓練、モックアップ訓練の効果などソフト的な要因も取り込んでいる点が新しく、革新的な要素である。

放射線防護指数を利用することにより原子力発電所の被ばく低減を進めるための放射線防護計画立案段階において、複数の方策による放射線防護指数の変化をシミュレーション例で検討し、最適な方策を客観的に提示することが可能であることを示すことができた。

本論文で提案した放射線防護指数が運転時の原子力発電所の集団線量低減を進め、最適化を図る上で有効であるとしてまとめた。