

格納容器内線量率分布評価ツールの開発

原子力発電所における被ばく低減のために

Development of Evaluation Tool for Radiation Dose Rate in Primary Containment Vessel For Reducing Radiation Exposure to Workers at Nuclear Power Plant

(電力技術研究所 発電G 原子力T)

放射線被ばくを低減するためには、作業場所の放射線環境を把握することが重要である。そこで、原子炉格納容器内の原子炉水中の放射性物質の挙動および放射線のシミュレーションにより線量率分布を予測評価するツールを開発した。

(Nuclear Power Team, Power Generation Group, Electric Power Research and Development Center)

It is important to understand the radiation field of work areas for reducing radiation exposure to workers. We have developed an evaluation tool for the radiation dose rate in primary containment vessel.

1 はじめに

原子力発電所の定期点検中における放射線被ばくの多くは、高線量率となる格納容器内での作業で生じている。被ばくを低減するための対策として、放射線の発生源を減らすことや発生源の周りに遮へいを設置することが有効である。ただし、対策の実施にはコストや時間、対策の実施に付随する被ばくが生じることから、作業の計画段階において、作業場所の放射線環境に応じた適切な対策を検討しておく必要がある。

格納容器内の線量率分布はプラント運転中と定検時では全く異なるため、作業の計画段階で測定することはできない。また、運転サイクルを通じて変化していくため、前回実績をそのまま用いることには不確かさを伴う。

そこで、格納容器内の線量率分布を計算により予測評価するツールを開発した。さらに、開発したツールの有効性を高めるため、格納容器内部の線量率分布を直感的に把握できるように表示機能に改善を加えた。

2 評価ツールの概要

評価ツールは、原子炉水中の放射性物質の移行挙動をシミュレーションして放射線源を計算する水化学コードと、多数の放射線源と構造物・遮へい材から線量率分布を計算する線量率コードで構成される。

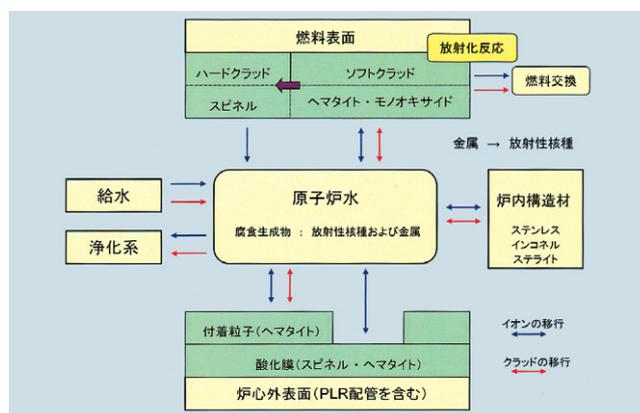
(1) 水化学コード

放射線源の形成に関係する主な反応は次のとおり。

- ① 構造物の接水面からの腐食生成物の放出
- ② 燃料被覆管の接水面における腐食生成物の放射化
- ③ 浄化システムによる水中の放射性物質の除去
- ④ 配管内面への水中の放射性物質の付着蓄積

これらの過程は原子炉水を媒介として相互に依存しており(第1図)、④で形成される放射線源は経時変化していく。水化学コードは、上記反応に関する国内外の知見を取捨選択した計算モデルとなっている。計算モデルに含まれる数百に及ぶパラメータは、浜岡3、4、5号機の

予測評価ができるように、各号機の水質データで最適化している。

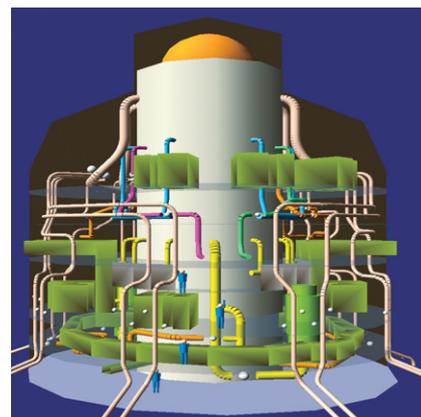


第1図 原子炉水を媒介とする放射性物質の移行

(2) 線量率コード

格納容器内の放射線環境は、放射線源である配管と放射線を減衰させる遮へい材や構造物で形成される。線量率コードは、格納容器内をメッシュ分割した評価点について、個々の放射線源から放出される放射線を個々の構造物等による減衰を考慮して積算する計算モデルとなっている。

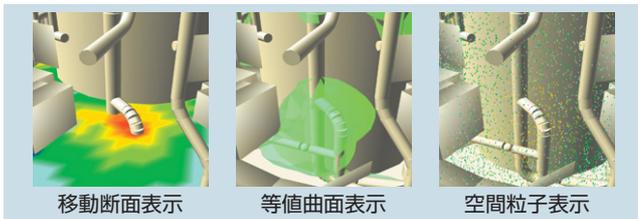
配管内面の放射性物質は一様でないため、水化学コードの結果に、過去の線量率データを整理して設定した全ての配管位置に対する換算係数で補正している。遮へい材・構造物のデータは、建設および改良工事等の設計図書・仕様書をもとに作成している(第2図)。構造物量は小さなものまで含めれば膨大になるため、放射線環境に大きな影響を及ぼさないとと思われるものは省略している。



第2図 格納容器内の構造物データの3次元表示

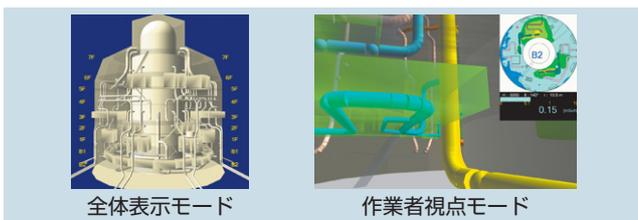
(3) 線量率分布の表示機能

作業場所の放射線環境についての記録・評価には、通常サーベイメータの測定点での線量率や平面配置図に線量率を色で示した平面分布図が用いられる。評価ツールでは、これらに加え3種類の3次元表示方法を用意した(第3図)。移動断面表示は、従来の平面分布図とそれに直交する3つの断面分布図をスライドさせて任意の場所の線量率を表示する方法である。等値曲面表示は、同一線量率になる点を結んだ曲面を線量率の値で切替えて表示する方法である。空間粒子表示は、評価点の線量率を粒子の色で表す方法であり、粒子を固定せずに微小領域内で振動させて視覚的な違和感をなくすようにしている。



第3図 線量率分布の3次元表示方法

これらの3次元表示方法の特徴を活かして、全体表示と作業員視点の2つの表示モードを用意した(第4図)。全体表示モードでは、格納容器の上下左右の移動・回転や拡大縮小が可能で、任意の場所の線量率分布を確認できる。作業員視点モードでは、格納容器内に立った視点で構造物と重ねて線量率分布を確認できる。画面右上の現在位置・向きや線量率メータを見ながら内部を歩き回することで、作業場所の放射線環境を直感的に把握しやすくしている。



第4図 線量率分布の表示モード

操作方法は当初キーボードとマウスで行う仕様にしてきたが、利便性と話題性の向上をねらって、ゲーム用の無線コントローラと3次元立体視表示(いわゆる3D)を導入した。特にコントローラは効果的で、操作性が飛躍的に向上しているとともに、自由な発想でアイデアを生みきっかけになり、ナビゲーション画面や操作の記録再生機能などの便利な機能を有したツールに仕上がっている。

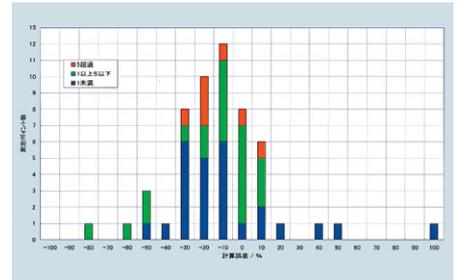
3 評価ツールの適用性

(1) 評価精度の確認

評価精度を浜岡3号機第15回定検停止時で確認した。第5図は、前回定検停止時で最適化したパラメータと運

転中の水質データから、格納容器内の54の測定点での線量率の計算値の測定値に対する評価誤差のヒストグラムである。水化学コードの配管線量率の計算値が1割小さかったため、評価ツールの誤差も-10%を中心に分布している。赤色の高線量率の測定点を含め測定点の8割が±30%以内となっており、当初の目標(±50%)を上回る良好な結果となった。

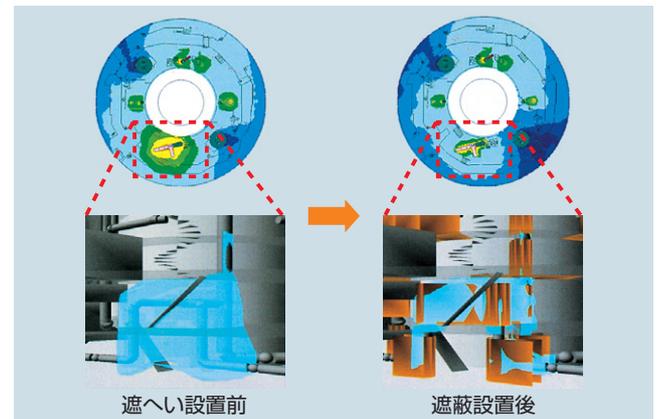
水化学コード・線量率コードともに、現象の理論式を実機データで補完する半経験的なもので、評価精度はパラメータの適切さに依存する。使用実績を積み重ね、より適切なものにしていくことで、評価精度の向上が期待できる。



第5図 評価誤差のヒストグラム

(2) 適用例

評価ツールの適用例として、浜岡3号機の高線量率配管への遮へい設置による線量率低減効果の評価結果を第6図に示す。右下の図は高線量配管の周辺部で、橙色が遮へい材(鉛毛マット、鉄板)、水色が1.0mSv/hの等値曲面である。高線量率配管の周辺部における線量率が、遮へいの設置により1.0mSv/h以下まで低減できることが分かる。



第6図 遮へい設置効果の評価結果
(上:平面分布図、下:等値曲面表示)

4 おわりに

原子力発電所の管理で蓄積された知見やデータを活用して役に立つものを作りたいという想いで本ツールの開発に着手した。新しい知見や現場ニーズに柔軟に対応でき、長く使えるものになるよう自社開発にこだわった。これで開発完了とするのではなく、よりよいものを目指して今後も改善を続けていきたい。



執筆者 / 稲垣博光