

原子カプラント保守支援のための放射線分布・被曝線量評価システム

Evaluation System of Radiation Field and Exposure for Maintenance Support in Nuclear Power Plants

日立製作所 大賀 幸治 Yukiharu OHGA Non-Member
日立製作所 福田 光子 Mitsuko FUKUDA Non-Member

Abstract A system has been developed to improve the efficiency of maintenance work while decreasing the radiation exposure of maintenance personnel in nuclear power plants. The input data for dose rate calculation are automatically generated by using computer-aided design (CAD) data prepared in the plant design phase. The changes for the input data, such as installation of a radiation shield, are easily input on a graphical user interface (GUI). The change of three-dimensional dose rate distribution is calculated rapidly according to the progress of maintenance work by a newly proposed algorithm. The dose rate distribution and the radiation exposure are displayed three-dimensionally by color with plant components and pipings on the GUI. In this way, the system supports the maintenance personnel, and maintenance planning and radiation control jobs.

Keywords: Maintenance Support, Radiation Field, Radiation Exposure, Nuclear Power Plant
E-mail: ohga@erl.hitachi.co.jp

1. 緒言

現在、原子カプラントの放射線環境下での保守作業については、過去の定期検査時の被曝線量実績値などを基に、作業計画を立案している。ICRP90年勧告に基づく法令改正に伴う放射線管理値の低下もあり、被曝線量を低減しながら作業を効率化するには、保守作業中の線量率分布・被曝線量をより正確に把握する必要がある。このため、作業エリア内での保守作業進行に伴う放射線量率分布の変化を高速に推定し、この結果を可視化すると共に、被曝線量を推定して、放射線環境下での保守作業、放射線管理業務を支援するシステムを開発した。

2. システム構成

システムはFig. 1のように、三次元CADデータ、線量率計算結果などを格納するデータ・サーバ、三次元可視化インタフェース用計算機、及び放射線分布計算サーバで構成する[1]。この内、三次元可視化インタフェースは、放射線分布計算用の入力データをCADデータを基に自動生成し、線量率分布・被曝線量についての計算結果を可視化すると共に、配管・機器の線源強度を推定する機能、及び配管・機器の移動・撤去、遮蔽体の設置などの入力データの変更を、GUIを用いて、画面上で確認しな

から入力可能とする機能を持つ。

システムの特徴は、CADデータを利用して放射線分布計算用の入力データを簡便に作成できる点、放射線分布の変化を高速に計算できる点、線量率の測定値から、配管・機器の線源強度を推定できる点、及び放射線分布と被曝線量の推定結果を視認性良く可視化できる点にある。

計算機はネットワークで接続しており、放射線管理者などユーザは、場所を限定することなく、利用することが可能である。

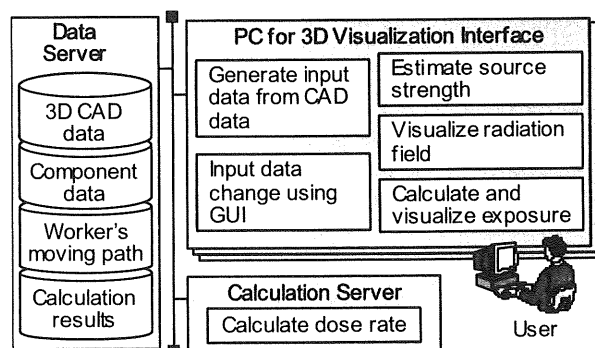


Fig. 1 System composition.

3. システム機能の概要

3.1 線量率分布の高速計算

機器の分解・撤去、遮蔽体の設置など保守作業の進行に伴って、保守エリア内の機器配置が変化

する。これに対応した放射線分布の変化は、従来、 γ 線遮蔽計算に広く使用されているプログラムQAD[2]によって計算可能である。しかし、機器配置などが変更された場合には、体系全体についての再計算が必要であり、保守エリアのような大規模な体系について、詳細に計算しようとするとは非常に多くの時間を要する。そこで、QADをベースに、より高速に計算する方式を提案した。

この方式(Fig. 2)では、前の体系についての計算結果を保存しておき、2回目以降の計算では、前の体系と形状が変化したことにより、線量率が変化する線源・評価点の組を発見し、この部分のみを再計算して、現在の体系についての放射線量率の分布を求める。このように、線量率の変化を計算する際には、体系の一部のみを計算すればよく、計算を大幅に高速化できる。

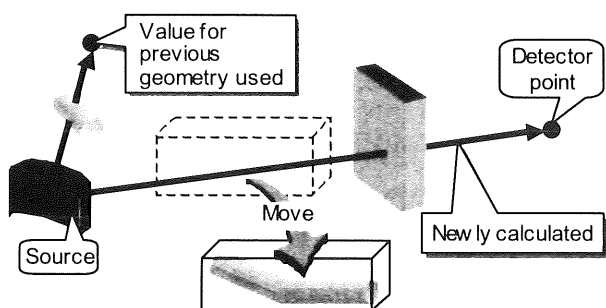


Fig. 2 Rapid calculation method.

高速化については、さらに、同一計算機内の複数cpuでの並列計算を実現した。

3.2 入力データの自動生成

QADの放射線分布計算では、円柱、直方体などの基本形状要素を用いて、線源や遮蔽物の幾何形状を表現する。従って、入力データをCADデータから自動生成するには、定義方法の異なるCADの形状データを、基本形状要素の組合せで再現する必要がある。しかし、形状を忠実に再現するだけでは入力データの形状数が非常に多くなり、計算時間が増大するという問題がある。従来は遮蔽計算の専門家が計算精度とのバランスをとりながら、計算モデルの形状を決定していた。そこで、本システムではこれと同様の方法により入力データを生成するアルゴリズムを開発した。

さらに、入力データ生成の過程で、電線管など、

線源でもなく遮蔽効果も小さい構造物は自動的に省いて、入力データに含めないようにしている。これらにより、入力データの形状数を大幅に低減できる。

また、線源については、例えば、配管の口径・長さなどから、計算精度を落とさず高速計算の可能な線源メッシュを自動的に生成する。

3.3 入力インターフェース

保守作業中には機器や配管が分解され、移動され、また、新たに遮蔽体が増加される。これに対し、配管・機器の分解と移動を、ユーザが三次元表示で確認しながらマウス・キーボードを用いて実施できるGUIを用意した。機器はパーツごと、配管は任意の長さに分解でき、分解した配管・機器は自由に移動できる。遮蔽体については、任意のサイズの遮蔽体を定義・追加するGUIを用意した(Fig. 3)。遮蔽体の配置は、線量率分布や線源との関係を見ながら指定でき、追加後の移動や撤去も容易である。入力後のユーザの要求に従い、形状変更された新たな体系について、システムは再計算の必要な線源・評価点の組の発見、計算のための入力データの生成、分布計算の一連の処理を自動的に実施する。

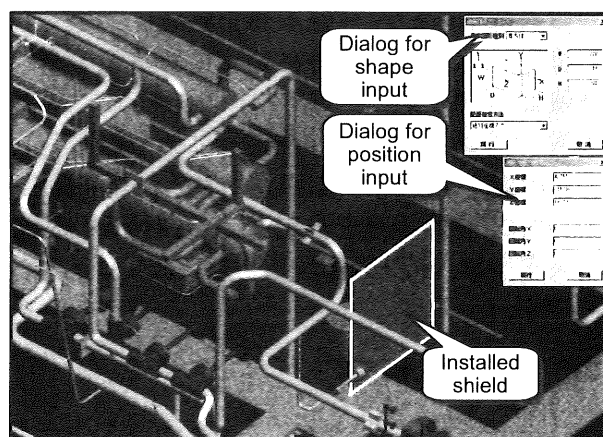


Fig. 3 Input method for radiation shield.

3.4 線源強度の推定

配管・機器の線源強度は、プラントの運転に伴う変化しない。このため、従来は、冷却水の水质データなどを参考にしながら、遮蔽専門家が線源強度を設定していた。線源強度は線量率分布の計算結果に大きく影響するため、計算精度の向上及び強度設定の省力化を目的に、定期検査時な

どに測定される線量率の値から、配管・機器の線源強度を推定する方法を提案した[3]。

線源強度の推定では、測定点の座標とその点での線量率の測定値を与える。この測定値と線量率計算プログラムでの計算値との差の二乗和 J を目的関数として、これを最小化する各部品グループの線源強度を、非線形最適化手法を用いて決定する。これにより、測定値と計算値の差が最小となる線源強度が推定される。

線源強度推定のためには、同等の強度を持つと考えられる部品のグループ化、測定点座標と線量率測定値の入力が必要である。これらの入力及び線源強度推定結果の可視化のためのインタフェースを開発した。これにより、GUI上で確認しながら、強度推定のための入力を簡便に実施できる。また、推定結果については、得られた線源強度を色及び数値で示すと共に、推定強度を使用した場合の線量率計算値と測定値の比較表示も可能とした。

3.5 線量率分布・被曝線量の可視化

線量率分布の計算結果は、構造物と併せて三次元で可視化する。Fig. 4のように指定した線量率の等値面を構造物に重ねて表示するほか、空間全体の分布概要を示すボリューム表示やx、y、z軸に垂直な断面上の分布表示が可能である。いずれも線量率の強度分布を、色で表現すると共に、構造物との関係を把握しやすくするため、半透明で表示する。このように放射線分布を可視化することによって、構造物と線量率分布の関係が容易に、視認性良く確認できる。

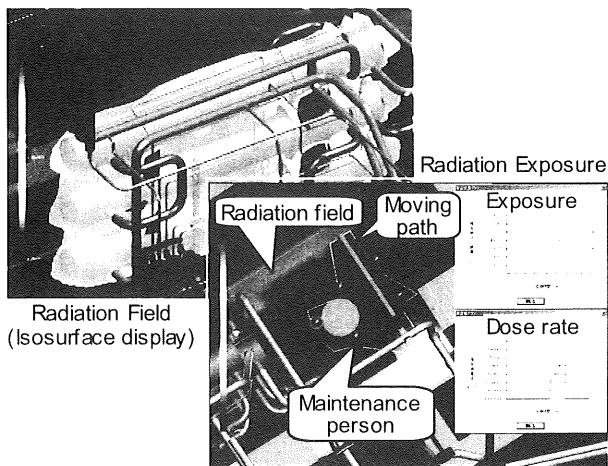


Fig. 4 Visualization of radiation field and exposure.

被曝線量についても、図のように、推定に使用した線量率分布と作業動線・作業時間・被曝線量などを構造物とともに三次元で可視化して確認することができる。

4. 結言

放射線量率分布及び被曝線量を高速に計算して可視化するシステムを開発した。沸騰水型原子力プラントの冷却材浄化系の再生熱交換器室などを対象に評価を実施し、遮蔽体設置、機器移動などの保守作業進行に伴う放射線分布の変化を、高速に計算できることを確認した。

線量率分布計算のための入力データ自動生成機能については、格納容器内や再生熱交換器室のような複雑な体系に対しても、CADデータの利用により入力データが自動生成でき、配管・機器の分解・移動や遮蔽体の設置もGUIで容易に指定できる。また、線源強度の推定については、テスト問題により、推定アルゴリズムの妥当性を確認した。さらに、計算結果の可視化機能については、線量率分布を構造物と共に三次元で可視化することにより、構造物と線量率、さらには被曝線量との関係が視認性良く提示できることを確認した。

開発システムは、保守作業のみならず、原子力プラントの廃炉時解体作業やPET (positron emission tomography) など医療現場での被曝線量の低減のためにも有効であると考えている。

参考文献

- [1] Ohga, Y., Fukuda, M., Shibata, K., Kawakami, T., Matsuzaki, T., "A System for Calculation and Visualization of Radiation Field for Maintenance Support in Nuclear Power Plants," ICRS-10 / RPS 2004 Conferences, May 9-14, Funchal, Portugal (2004).
- [2] (財)高度情報科学技術研究機構、"第14回原子力コード開発・利用ワークショップ QAD-CGGP2R テキスト" (2002).
- [3] 大賀幸治、福田光子、"放射線分布評価システムの線源強度推定機能の開発"、日本原子力学会「2004年秋の大会」予稿集 L8 (2004).

