

シビアアクシデント時の発電所内線量評価手法の改良

Improvement of Dose Evaluation Method for Employees at Severe Accident

恩田 隆司 (Takashi Onda)* 吉田 至孝 (Yoshitaka Yoshida)*
 工藤 清一 (Seiichi Kudo)† 西村 和哉 (Kazuya Nishimura)‡

要約 シビアアクシデント時に原子力発電所構内で緊急的な現場作業を行う従業員の被ばく線量は、使用するアクセスルート（接近経路）によって違いが生じると考えられる。そこで本研究では、アクセスルートの選択によって、どのように被ばく線量に影響するか検討するため、加圧水型軽水炉のシビアアクシデントを対象に、シビアアクシデント時の原子力発電所構内での現場作業による従業員の被ばく線量を評価する手法の改良および評価システムの拡張を行った。その結果、以下のような改善が達成された。(1) 構内全域で被ばく線量評価可能、(2) 線源数の絞り込み等による計算の効率化、(3) 建屋内最上階でのスカイシャイン線計算導入等による機能向上。改良したシステムを利用して、シビアアクシデント時の従業員の被ばく線量を2種類のアクセスルートに沿って評価した結果、以下の知見を得た。(1) アクセスルートの選択により従業員の被ばく線量に違いが現れるが、本システムを使うことにより被ばく線量の違いを定量的に与えることができる。(2) 従業員の被ばく線量を低くするために、アクセスルートを適切に選択することが有効である。

キーワード シビアアクシデント、緊急現場作業、アクセスルート、加圧水型軽水炉、被ばく線量、アクシデントマネジメント

Abstract It is expected that the selection of access routes for employees who engage in emergency work at a severe accident in a nuclear power plant makes a difference in their radiation dose values. In order to examine how much difference arises in the dose by the selection of the access routes, in the case of a severe accident in a pressurized water reactor plant, we improved the method to obtain the dose for employees and expanded the analyzing system. By the expansion of the system and the improvement of the method, we have realized the followings: (1) in the whole plant area, the dose evaluation is possible, (2) the efficiency of calculation is increased by the reduction of the number of radiation sources, etc, and (3) the function is improved by introduction of the sky shine calculation into the highest floor, etc. The improved system clarifies the followings: (1) the doses change by selected access routes, and this system can give the difference in the doses quantitatively, and (2) in order to suppress the dose, it is effective to choose the most adequate access route for the employees.

Keywords severe accident, emergency work, access route, pressurized water reactor, dose, accident management

1. まえがき

原子力発電所の災害を想定した時、発電所の緊急時組織は、災害の発生したプラントに対する事故収束および影響緩和措置を行う⁽¹⁾とともに、関係機関等へ事象発生状況、必要な措置および今後の予測に関する通報連絡を行う⁽²⁾責務を負っている。緊急時組織は、これらの活動を行う際に発災プラントから放出される放射性物質の放射能による影響を把握しておかなければならない。周辺環境への影響評価は、

近年3次元拡散計算コードが整備され、プラント計装系から気象条件や放出量に関連するデータを自動的に収集することにより予測することが可能となってきた⁽³⁾。一方、発電所内部で活動する従業員の被ばくという観点からは、被災者の救助活動、アクシデントマネジメントの実施、故障機器の復旧作業、従業員避難誘導等を適切に行うために発電所構内の放射線量率分布を把握しておく必要がある。炉心から放出された放射性物質が気体状または液体状となって格納容器内部に拡散し、設備設計上やむを得な

* (株)原子力安全システム研究所 技術システム研究所

† 三菱重工業(株)

‡ コンピュータソフト開発(株)

い漏洩や偶発的な漏洩，あるいはアクシデントマネジメントの実施により周辺構造物に強い線源点を出現させるため，放射線量率は，個々の事象と経過時間，その間に実施されたアクシデントマネジメントに大きく依存して変化する．例えば，アクシデントマネジメントとして，格納容器内の冷却水を一度周辺建屋内に移送し冷却器で十分冷却した後で再度格納容器内へ注水する操作である再循環運転を行った場合，冷却水中に含まれる多量の放射性物質の放射能により周辺建屋内の当該配管ルート，弁，冷却器，ポンプは汚染され放射線源となる．緊急時組織が活動を行う際に，発電所構内の放射線量率を把握しておく必要があるが，アクシデントマネジメントの実施が計画されている場所や復旧作業が想定される安全系機器の設置場所には放射線監視装置が設置されていない場合が多く，事象の進展により変化する放射線量率を把握することが困難となることが予想される．

これまでに，実際に測定活動を行うことが困難なシビアアクシデント状況下において，事象進展を踏まえた放射性物質の拡散状況を解析で求め，推定した放射線源から発電所構内の放射線量率を評価する手法を開発し，手法の妥当性を確認するための線量評価システムのプロトタイプ（以後プロトタイプシステムと呼ぶ）を作製して手法の有用性評価を行った⁽⁴⁾⁽⁵⁾．その結果，シビアアクシデント時における高線量区域の認知および作業等に伴う従業員の総被ばく線量の推定に有益な情報を提供できる見通しを得た⁽⁴⁾⁽⁵⁾．

そこで本研究では，シビアアクシデント時における故障機器の復旧作業や被災者の救助活動など現場移動時の被ばく線量を抑えるために，複数のアクセスルートについて被ばく線量を推定し，アクセスルートを適切に選定するため，これまでに開発したプロトタイプシステムの拡張および評価手法の一部改良を実施した．実施内容は，(1) 構内全体で評価するための建屋遮へいモデルの拡張，(2) 建屋遮へいモデルの拡張による計算量増加に対応するための計算の効率化，(3) 建屋内でのスカイシャイン線の考慮など計算精度の向上，である．改良したシステムを利用して，2つのアクセスルートの被ばく線量を推定し，被ばくの面からアクセスルートの選定が可能であることを確認した．

2. 線量評価可能箇所の拡張

2.1 建屋遮へいモデル拡張

プロトタイプシステムでは，標準的な加圧水型の原子力発電所を対象にして，主要構造物外壁と格納容器外線源点のコンクリート遮へいを考慮し，特定の作業を想定したアクセスルートのみ限定してCAD（Computer-Aided Design）で建屋をモデル化していた．また，想定アクセスルート上のみ線量評価区画を設定していた．様々なアクセスルートでの被ばく線量を推定するためには，従業員が通常立ち入ることができる箇所全域で線量評価を可能とする必要があるため，建屋遮へいモデルの拡張，線量評価区画の設定を行うこととした．

プロトタイプシステムで構築した建屋遮へいモデルに，各建屋の床，天井，外壁，主要な内部コンクリート遮へい壁を追加した．床厚さは各建屋各階毎の最小値を採用した．外壁厚さは，四面それぞれの外壁で下階から上階までの壁厚さの内最小値を採用した．機器室出入り口等の開口部は無視し，複雑な形状の迷路は最も外側の壁だけを考慮することとした．図1に拡張後の建屋遮へいモデルの全体外観図を示す．

建屋遮へいモデルの拡張後に，各建屋内の機器室，通路単位で評価区画を追加設定した．但し，シビアアクシデント時には高線量率のため立ち入ることが不可能と考えられる格納容器内とアニュラス内，および通常立ち入らない廃樹脂タンク室，ガス貯蔵タンク室には評価区画を設定しなかった．

場所によっては，同一区画内でも区画代表点と四隅で線量率値に2桁以上の差⁽⁴⁾が発生し評価誤差が生じる．このような区画を解消するために区画設定を調整した．現場作業による総被ばく線量推定結果に及ぼす影響が大きいのは，線量率が高い区画であることから，各評価区画を約1m四方の20個から30個程度の小区画に細分し，小区画での線量率を本システムで計算した．小区画の線量率値の内最高値が1mSv/h以上になる高線量率区画を選定して区画設定を調整した．この値は災害応急対策活動による線量限度が50mSv，緊急作業による線量限度が100mSv⁽⁶⁾⁽⁷⁾とされており，作業が長時間に及ぶことも想定して設定した．最高線量率値と区画代表点での線量率値が1桁以内，区画代表点での線量率値と最低線量率値が1桁以内まで許容するものとして，最高線量率値

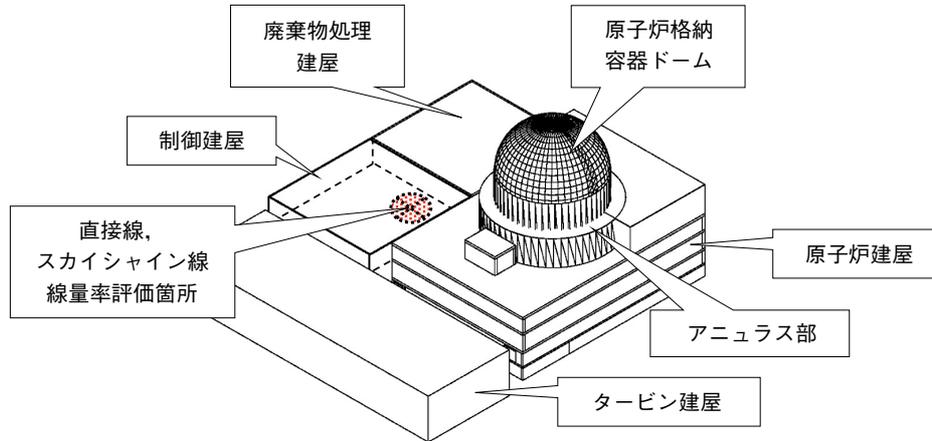


図1 建屋遮へいモデル全体図（外観図）

と最低線量率値が2桁以内となるように区画設定を調整した。調整の結果、最終的に屋内の評価区画数は231区画とした。

2.2 線源となる安全系機器の系列別

安全系機器付近で線量評価を行う場合、再循環冷却を行っているかどうか、再循環冷却を行っている場合にはどの機器が使用されているかが重要である。即ち、安全系機器が再循環冷却に使用されれば非常に強い線源となるため、使用機器によって被ばく線量結果が大きく左右されるからである。

実際のプラントの安全系機器としては、高圧注入系統、格納容器スプレイ系統、低圧注入系統があり、それぞれA系、B系に二重化されている。MAAP4⁽⁸⁻¹⁰⁾による事象進展解析では再循環冷却に使用する系統の種類と台数を指定するだけであり、系列の違いは考慮していない。しかしながら線量率計算では、台数が1台の場合、例えば、格納容器スプレイ再循環をA系だけで実施する場合とB系だけで実施する場合では、図2に示すような評価点では、線量率計算結果は大きく異なることとなる。

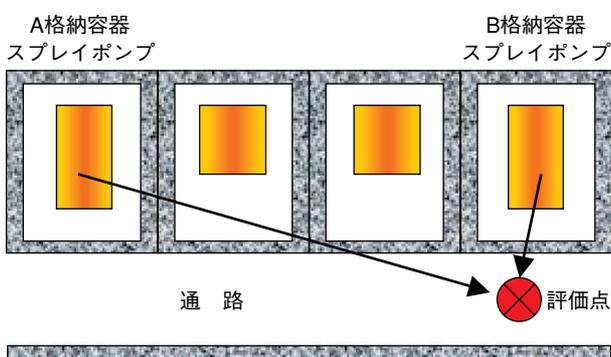


図2 使用機器の系列の区別が必要となる場合

そこで、再循環冷却を行うケースを想定し、ポンプ、冷却器、配管の各機器を実際のプラント同様にA、B二系列に区分し、ユーザーの設定（再循環冷却に使用／不使用）に対応して、線源とする／しないを決定するようにした。シビアアクシデント時の再循環冷却に使用することで線源となるポンプ、冷却器、配管109個を考慮することとした。

3. 計算の効率化

システムの拡張によって、建屋内にある評価点の線量率に寄与する線源が100個以上存在することとなった。このため、直接線線量率を求める遮へい計算に多大な時間が掛かることが予想された。システムの目的上、計算に多大な時間を要することはできず、計算の効率化を図ることとし、(1) 遮へい計算の対象とする線源数の絞り込み、(2) 遮へい計算体系の簡略化、(3) 領域分割の効率化、について検討した。

3.1 線源数の絞り込み

建屋内の評価点に複数の線源からの寄与がある場合、それぞれの寄与を簡略的に評価し、寄与が大きく異なる場合には、寄与の大きな線源だけを選択して遮へい計算を行うことができる。寄与は平均自由行程 (mfp) 単位の距離（以後mfp数という）を使って評価する。全ての線源に対して線源代表点と評価点の間のmfp数をサーベイし、遮へい計算を行う線源とするか否かを判定することとした。

散乱成分を含む観測量は、点減衰核法⁽¹¹⁾により次式のように計算できる。

$$R(r) = f(E)B(E, r)S \frac{\exp(-\mu(E)r)}{4\pi r^2} \quad (1)$$

ここで、 $f(E)$ は線源ガンマ線エネルギー E における観測量 $R(r)$ に対する換算係数、 $B(E, r)$ はエネルギー E および透過距離 r でのガンマ線ビルドアップ係数、 S は線源強度、 $\mu(E)$ は初期線源エネルギー E での線減衰係数、 $\exp(-\mu(E)r)$ はエネルギー E のガンマ線が一度も散乱することなく距離 r だけ進行する確率を表す物質中での減衰因子であり、 $(4\pi r^2)^{-1}$ は点線源に対する幾何学的因子である。

平均自由行程は物質の種類とエネルギーに依存しており、特に1 MeV以下のエネルギー範囲において平均自由行程は急激に短くなる。また、評価点における線量率は、 mfp 数の他に線源強度、スペクトルに影響される。このため、ある評価点に寄与すると予想される線源の絞り込みを次式に従い実施することとした。

$$TCON = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{18} CON_{i,j} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{18} S_j(E_i) \frac{\exp(-mfp_i)}{4\pi r_j^2} \quad (2)$$

ここで、 $CON_{i,j}$ は線源 j から発生するエネルギー群 i のガンマ線の評価点線量率に対する寄与、 N は評価点に寄与する全線源数、 mfp_i はエネルギー群 i のガンマ線が透過する線源と評価点の間に存在する全媒質の mfp 数の総和、 $S_j(E_i)$ は線源 j のエネルギー群 i の線源強度 (0.1MeV以上)、 r_j は線源 j の代表点から評価点までの全透過長である。

まず、 $CON_{i,j}$ についてエネルギー群 i での総和 ($\sum_i CON_{i,j}$) を計算し、この総和値の大きなエネルギー群から順に累積値を計算する。次に累積値が設定した割合 (95%) 以上になる線源の範囲、すなわち次式を満足する線源数 n を決定し、線源数を絞り込む。

$$\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{18} CON_{i,j}}{TCON} \geq 0.95 \quad (3)$$

3.2 遮へい計算体系の簡略化

直接線遮へい計算は、プロトタイプシステム同様に、CADソフトにより評価点と線源代表点との座標を取り出し、透過距離を計算してQADコード⁽¹²⁾によって実施する。しかしながら、拡張により複雑かつ大型となった建屋遮へいモデルをそのまま取り扱うのは計算時間の観点から適切ではない。そこで、線源、評価点、遮へい体の体系を簡略化して計算する

こととした。まず格納容器を除いた全ての線源を円筒形状で模擬し、代表点の座標を設定しておく。これは、格納容器以外で線源となるのは配管、冷却器、ポンプであるためである。次にCADソフトと建屋遮へいモデルで透過距離 r 、透過距離を xy , yz , zx 平面のいずれかに投影した距離、各遮へい体の透過長 t_i 、 t_i の総和 t_{all} 、最初の遮へい壁までの距離 r_{air0} を計算する。これらの数値を満たしながら、体積線源代表点と評価点が xz 平面上の $x \geq 0$, $z \geq 0$ になるように座標変換を行い、厚さ t_{all} の無限平板遮へいを yz 平面に平行に置いて等価簡略体系を構築する。この簡略体系に対してQADコードで遮へい計算を実施することとした。図3に例を示す。各遮へい壁の透過長が t_1 , t_2 , t_3 で、線源と最初の遮へい壁までの距離が r_{air0} であれば、各透過長の総和 $t_{all} = t_1 + t_2 + t_3$ の透過長となる無限平板を r_{air0} の地点に構築する。

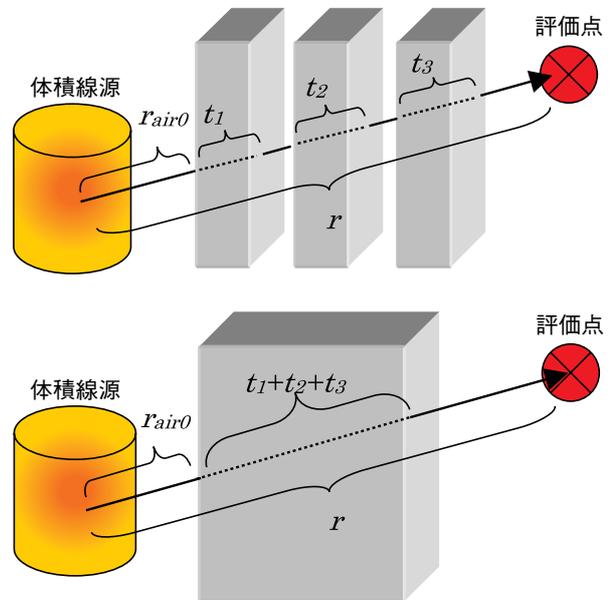


図3 等価簡略体系構築概念
(上：詳細体系，下：簡略体系)

3.3 領域分割の効率化

直接線を計算するQADコードおよびスカイシャイン線を計算するG33コード⁽¹²⁾は線源領域、散乱領域の分割数によってほぼ計算時間が決定される。精度を上げるために分割数を多くしても、ある程度の分割数以上では精度は飽和し計算時間が増加するため、精度と計算時間を考慮して分割を行う必要がある。一般的に各領域の内、精度に影響する部分を細かく分割すれば十分である。

プロトタイプシステムには、格納容器をはじめ大容量の線源を効率的に計算するためガウス積分法⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾を導入したQADコードを採用していたが、建屋遮へいモデルをそのまま利用して計算を行っており、線源の全方位に評価点が存在するため全方位に対応できるように線源領域分割を行っていた。ガウス積分に基づく領域分割では、全ての座標軸方向で-1から1の間の分点を変数変換して領域分割を行うため、分割する領域の各座標軸方向における分割範囲の両端部分が細かく、中間部分が粗く分割される。そのため、全方位に対応するためには中間部分も十分細かくする必要があり分割数を多くしていた。

そこで、3.3節で述べたように等価簡略体系を構築し常にzx平面内に評価点を置くようにしたことから細かく分割する部分を特定できるようになったこと、およびこれまでの半分の-1から0、もしくは0から1の間の分点だけを変数変換できるようにすることで、精度に影響する部分だけを細かくする、即ち評価点に近い部分を細かく⁽¹¹⁾、遠い部分を粗く分割するようにQADコードの改良を図った。

図4に線源領域の分割の例を示す。ここでは、評価点と配管等の線源が建屋内の同じ階にある場合を考える。等価簡略体系では、体積線源が原点に、評価点がx軸上に、無限平板遮へいがある間に設定される。線源領域の分割は、高さ方向は中間部分が細かく上下部分が粗く分割される。半径方向は、中心部分が粗く外周部分が細かく分割される。偏角方向は、評価点に近い部分が細かく遠い部分が粗く分割される。

QADコード同様ガウス積分法を導入したG33コードについても改良を行った。G33コードでは散乱領域の半径方向と偏角方向の分割を効率化した。仰角方向については従来のガウス積分法とし、半径方向は線源に近い部分を細かく、偏角方向は評価点に近い部分を細かく分割するようにした。これらの部分は散乱領域のうちでも散乱する確率が高い部分と評価点に近い部分であり、線量率計算への影響が大きいためである。

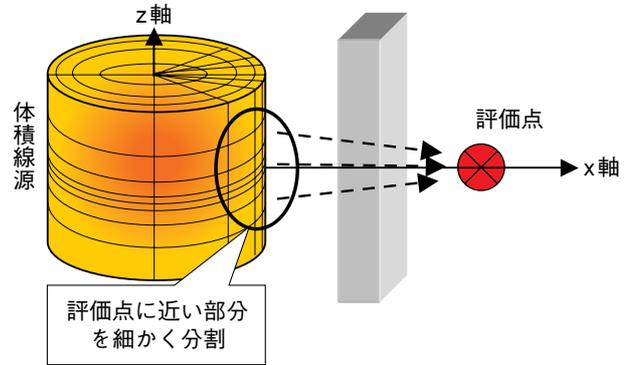


図4 直接線線源領域分割の例

4. その他の改良内容

4.1 QAD, G33コード新法令対応

ICRP1990年勧告⁽¹⁶⁾の取り入れ等による放射線障害防止法関係法令の改正により、遮へい計算で評価すべき線量が実効線量となった。これに伴いQAD, G33両コードが日本原子力研究所で改良され、QAD-CGGP2R, G33-GP2Rとなった⁽¹²⁾⁽¹³⁾。これらの新しいコードに3.3節のガウス積分機能を付加してシステムに導入した。

4.2 建屋内スカイシャイン線考慮

建屋内最上階では、天井を透過してくるスカイシャイン線の影響が大きいと考えられる。そこで建屋内最上階でスカイシャイン線を考慮できるように改良し、建屋最上階にある区画内での直接線とスカイシャイン線の線量率を計算した。評価箇所を図1に示す。事故進展シナリオは小破断冷却材喪失の後、安全注入と格納容器スプレイ再循環の切替に失敗し、炉心損傷後再循環系が回復するケースである。炉心が損傷した後、事故発生から4時間経過した時点で計算したところ、直接線とスカイシャイン線の線量率は、表1に示す結果となった。格納容器内の最も低い場所に位置する原子炉キャビティからは透過距離が50m以上と長く、多くのコンクリート遮へいや床を透過するため寄与は小さい。ループ部およびドーム中心からは格納容器内の遮へい壁、格納容器外壁、建屋内の他の遮へい壁を透過するため寄与は小さい。一方、評価点は格納容器ドーム周辺部とほぼ同じ高さであり、円筒部、半球部およびアニュラス部は評価箇所よりも高い場所に位置し、透過する遮へい体は格納容器外壁もしくはアニュラス遮へい壁、建屋

天井であり，他の線源と比較して遮へいが少ないためこれからの寄与は大きい．遮へい厚さは，格納容器ドームの天井と評価区画の天井のみと薄くなっているため，スカイシャイン線は直接線と比較して無視できない値になったと考えられる．

表1 建屋最上階での直接線とスカイシャイン線の比較

	線源	実効線量率 [mSv/h]	合計 [mSv/h]
直接線	原子炉キャビティ部	2.35E-25	3.79E-02
	1次冷却材ループ部	1.59E-12	
	格納容器ドーム中心部	1.13E-12	
	格納容器ドーム周辺部	1.14E-04	
	格納容器ドーム円筒部	1.65E-03	
	格納容器ドーム半球部	9.78E-04	
	格納容器下部回廊部	9.29E-10	
スカイシャイン線	アニュラス部	3.52E-02	1.93E-03
	格納容器ドーム円筒部	4.86E-04	
	格納容器ドーム半球部	1.44E-03	

4.3 屋外線量評価区画拡張

プロトタイプシステムでは，屋外についても限定された箇所だけで線量率の計算を行っていた．負傷者搬送など屋外での活動を想定し，評価区画の拡張を行った．構内の配置を元に100m四方に細分し，その中の道路，ヘリポートなど従業員が容易に通過・滞在できる箇所に評価区画を設定した．トンネル内道路においては，ガンマ線は山に遮へいされると考えられるため評価の対象から外した．立ち入ることのない山中には評価区画を設定しなかった．

また，プロトタイプシステムでは，評価地点の高低や山の遮へいを考慮していなかったため，新たにこれらを考慮できるように改良した．評価地点高さは各評価区画内に存在する道路の平均高さを設定した．山が存在するために，評価区画から格納容器およびアニュラスを直視できない区画では直接線は遮へいされるとして，スカイシャイン線線量率だけを計算することとした．また，これまでは線量率の計算だけが可能であったが，建屋内と同様に，線量率と滞在時間から被ばく線量計算を可能とした．屋外線量評価箇所・滞在時間入力画面を図5に示す．この画面で線量評価を行う道路の指定と滞在時間の入力を行う．水色の線で縁取られた道路が評価対象の

道路であり，100m四方で引いた黒色のメッシュで評価する場所を区切っている．

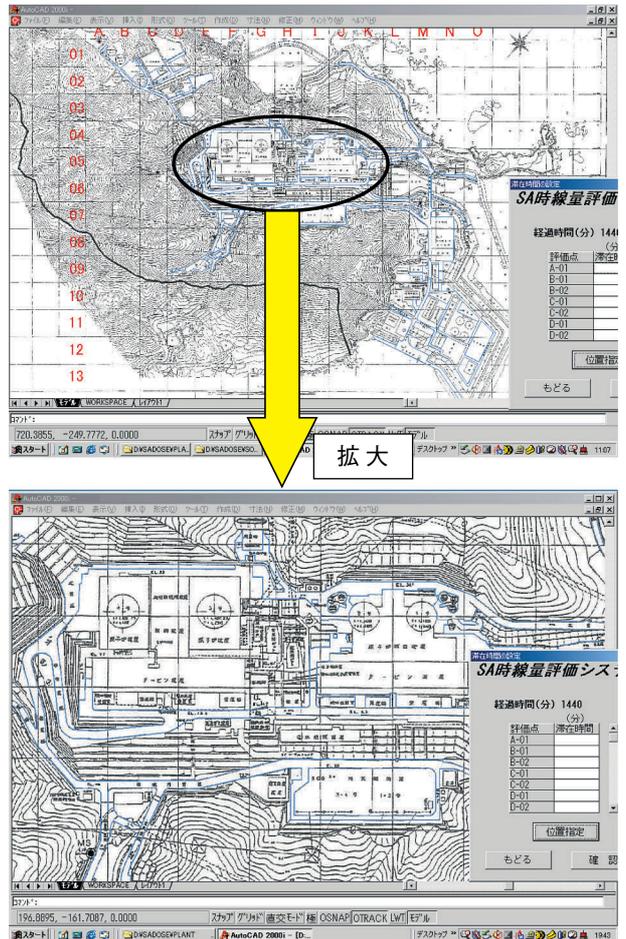


図5 屋外線量評価箇所・滞在時間入力画面 (上：全体図，下：拡大図)

5. 結果と考察

5.1 線量率マップ

改良したシステムを使用して，建屋内線量率マップを作成した例を図6に示す．各評価区画での線量率をレベルに応じて青から赤まで色分けして表示させた．赤色となっている区画は安全補機室であり，線量率を計算した時間では再循環冷却が行われていたため高線量率となっている．付近の評価区画でも線量率が高くなっていることが分かる．モデルプラント建屋が6階層の構造となっているため6画面を切り替えて表現することとした．プロトタイプシステムでは建屋内の一部のみであったが，建屋内の全てで線量率マップの作成を可能とした．

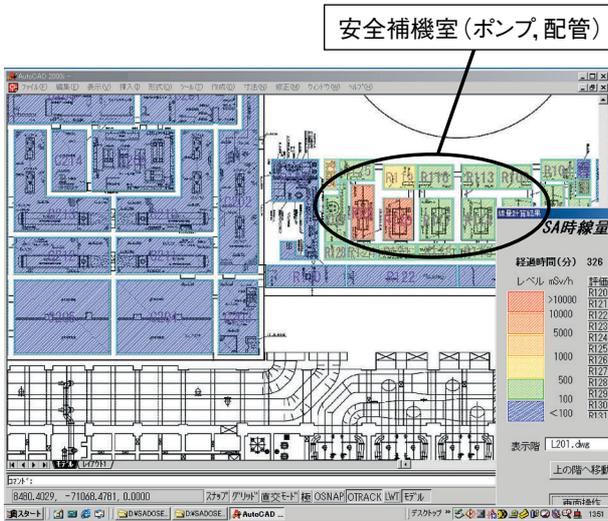


図6 建屋内線量率マップの例 (1階)

屋外線量率マップを作成した例を図7に示す。各道路での線量率のレベルに応じて青から赤まで色分けして表示させた。事故プラント付近の道路が赤色で示され線量率レベルが高くなるのが分かる。また、図7に丸で囲んだマップ右下のエリアでは、山による遮へいのため線量率が低くなることが確認できた。

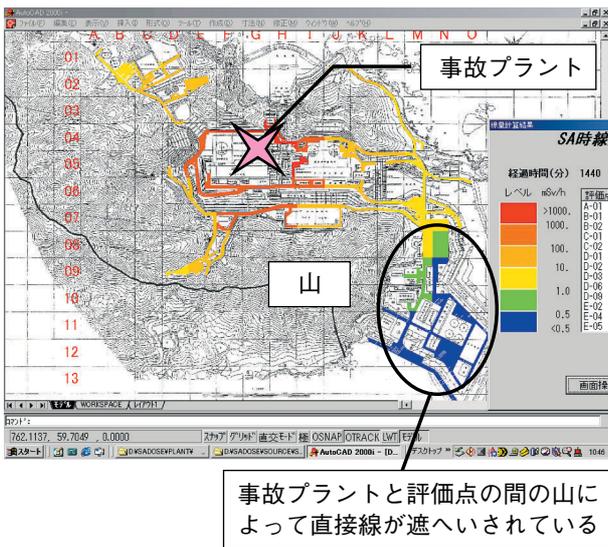


図7 屋外線量率マップの例

5.2 現場作業による被ばく線量評価とアクセスルートを選定

シビアアクシデント時においては、安全系機器の多重故障により現場での復旧作業の実施やアクシデントマネジメント機器の現場操作が想定される。こ

のうち従業員が待機場所からある場所での復旧作業状況確認を行ってまた待機場所に戻ってくるまでの総被ばく線量の推定を行った。評価対象の事象進展シナリオは小破断冷却材喪失時に安全注入系統と格納容器スプレイ系統の再循環切替に失敗し、炉心損傷後再循環系が回復するケースを選定した。表2に主要事象の発生時刻を示す。

表2 主要事象の発生時間

発生時間	主要事象
0秒	事象発生
2分29秒	原子炉自動停止
2分45秒	高圧注入系作動
1時間44分12秒	格納容器スプレイ作動
2時間55分36秒	再循環切替失敗
3時間34分20秒	燃料被覆管破損
3時間40分39秒	炉心溶融開始
5時間 7分14秒	再循環系回復

解析結果に基づき、従業員が管理区域立入地点からA余熱除去冷却器室までを往復する間の被ばく線量を推定した。従業員は行き帰りとも同一通路を通過するものとし、往復の移動に10分、作業状況確認に10分の計20分かかるものとして、各評価区画に滞在(通過)時間を設定した(以後ルート1と呼ぶ)。図8に緑色でルート1を示す。被ばく線量推定の結果、再循環系回復後に現場に立ち入る場合は総被ばく線量が増加することがわかった。推定結果を図9に示す。

ルート1では、再循環系を使用した後A格納容器スプレイ冷却器室付近の通路が高線量率になることが分かったため、図8に示す赤色のルート(以後ルート2と呼ぶ)でA余熱除去冷却器室まで往復した場合の被ばく線量を推定した。往復の移動に18分、作業状況確認に10分の計28分かかるものとした。結果を図9に示す。再循環系回復前では、格納容器付近を通過する時間が長いので、ルート2の方が被ばく線量が高い。再循環系回復後では、移動距離、移動時間が増加しても高線量率区画を避けることで被ばく線量を低減することができる。この結果から、本システムを使うことで、アクセスルートにより従業員の被ばく線量に違いが現れることが確認され、その違いを定量的に与えることができた。そして、従業員の被ばく線量を低減するために、アクセスルートを適切に選択することが有効であることがわかった。

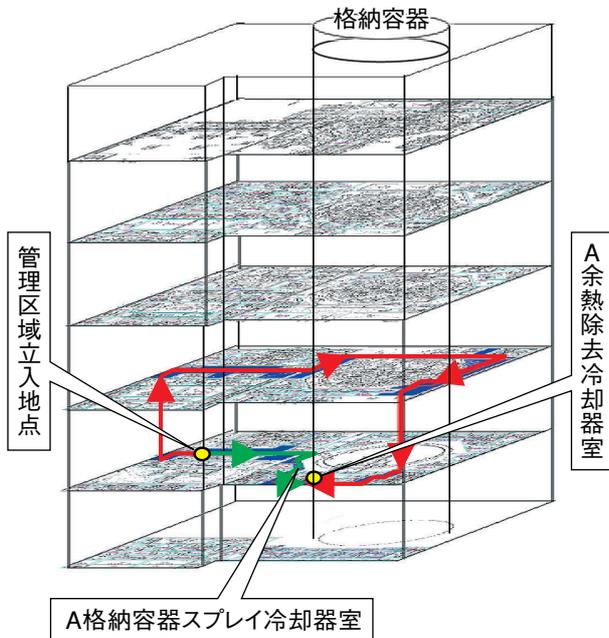


図8 設定した従業員アクセスルート
(緑：ルート1，赤：ルート2)

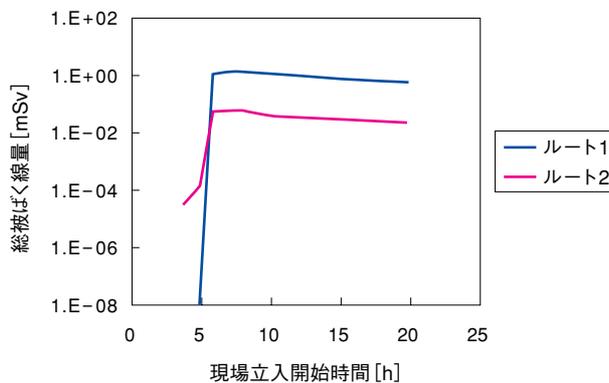


図9 現場往復による総被ばく線量推定結果

6. まとめ

本研究では、シビアアクシデント時の発電所内線量評価手法の改良を行い、以下の成果を上げることができた。

- (1) プロトタイプシステムを拡張し、発電所構内全域で放射線量率の評価が可能であることを示した。
- (2) 領域分割の効率化、建屋内スカイシャイン線計算の導入、および屋外での線量評価を実現した。
- (3) 本システムを使うことで、現場へのアクセスルートにより被ばく線量に違いが出ることを定量的に示すことが可能となり、作業現場へのアクセスルートを適切に選択することで被

ばく線量を低減することが可能となった。

以上により、本手法はシビアアクシデント時における発電所従業員の被ばく線量を評価する手法として有用であり、改良したシステムを使うことで従業員の被ばく線量を適切に評価できると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたりガウス積分に関して助言を頂きました。日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター原子炉安全工学部燃料安全研究室日高昭秀副主任研究員に感謝の意を表します。

文献

- (1) 原子力災害対策特別措置法，第3条。
- (2) 原子力災害対策特別措置法，第10条，第1項。
- (3) 文部科学省原子力安全課ホームページ，“SPEEDI”，<http://www.bousai.ne.jp/>。
- (4) 吉田至孝，入江隆，郡山民男，工藤清一，西村和哉，“シビアアクシデント時の発電所内被ばく線量評価手法の検討”，INSS JOURNAL, Vol.8, p.174-185 (2001)。
- (5) 吉田至孝，入江隆，郡山民男，工藤清一，西村和哉，“シビアアクシデント時従業員被ばく線量評価手法の検討”，日本原子力学会和文論文誌，Vol.1, p.85-95 (2002)。
- (6) 経済産業省告示，第187号，第8条。
- (7) 内閣総理大臣官房原子力安全室，“原子力施設等の防災対策について”，改訂10版，原子力安全委員会安全審査指針集，大成出版社，(2000)。
- (8) M.T.Leonard, S.G.Ashbaugh, R.K.Cole, K.D.Bergeron, K.Nagashima, “A Direct Comparison of MERCOR 1.8.3 and MAAP4 Results for Several PWR & BWR Accident Sequences”, SAND-96-2053-C, U.S.Dep. of Energy, (1996)。
- (9) R.J.Hammersley, L.J.Godin-jacqmin, D.Lever, J.Li, R.Sher, “Aerosol Deposition in Reactor Containments; A Comparison of Nauahygro and MAAP4”, *Trans. American Nucl.Soc.*69, p.524 (1993)。
- (10) Y.M.Song, “A Review of MAAP4 Code Structure and Core T/H Model”, KAERI-TR-1003-98, Korea Atomic Energy Research

- Institute, (1998).
- (11) 坂本幸夫, 石川智之, 山口勝義, 実務講座パソコンを用いたQAD遮蔽計算コードによる遮蔽計算実習, 資料No.0111876, 日本原子力情報センター, (2001).
 - (12) Y.Sakamoto, S.Tanaka, “QAD-CGGP2 AND G33-GP2 : REVISED VERSIONS OF QAD-CGGP AND G33-GP”, JAERI-M 90-110, Japan Atomic Energy Research Institute, (1990).
 - (13) 坂本幸夫, “新法令に対応した点減衰核法コードQAD-CGGP2R及び一回散乱法コードG33-GP2R”, 日本原子力学会放射線工学部会 第9回夏期セミナー (「夏の研究会2002」) 遮へい用計算コード講習会配付資料, 日本原子力学会放射線工学部会, (2002).
 - (14) 数理科学事典編集委員会, 現代数理科学事典, 大阪書籍, 大阪, 886 (1992).
 - (15) F.B.Hildebrand, *Introduction to Numerical Analysis Second Edition*, Dover Publications, Inc., New York, p.390-392 (1987).
 - (16) International Commission on Radiological Protection, “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection : ICRP Publication 60”, Ann. ICRP21 (1-3) (1991)