

RREP-2018-2003

安全研究成果報告

被ばく評価手法の高度化研究

Research on Improvement of Dose Evaluation Methods

舟山 京子 市川 竜平 林田 芳久

Kyoko FUNAYAMA, Ryohei ICHIKAWA, and Yoshihisa HAYASHIDA

シビアアクシデント研究部門

Division of Research for Severe Accident

原子力規制庁

長官官房技術基盤グループ

Regulatory Standard and Research Department,

Secretariat of Nuclear Regulation Authority(S/NRA/R)

平成 30 年 11 月

November 2018

本報告は、原子力規制庁長官官房技術基盤グループが行った安全研究プロジェクトの活動内容・成果をとりまとめたものです。

なお、本報告の内容を規制基準、評価ガイド等として審査や検査に活用する場合には、別途原子力規制委員会の判断が行われることとなります。

本レポートの内容に関するご質問は、下記にお問い合わせください。

原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ シビアアクシデント研究部門

〒106-8450 東京都港区六本木 1-9-9 六本木ファーストビル

電 話：03-5114-2224

ファックス：03-5114-2234

被ばく評価手法の高度化研究

原子力規制庁 長官官房技術基盤グループ

シビアアクシデント研究部門

舟山 京子 市川 竜平 林田 芳久

要 旨

旧原子力安全・保安院は、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」の平成 17 年における性能規定化に伴って、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る規制上の要求事項及び判断基準を検討し、平成 21 年 8 月に旧原子力安全・保安院の内規として制定した。本プロジェクトでは、この内規の基となる評価ガイド案（設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価のガイド案及び空気流入率測定試験ガイド案）を作成するとともに、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案の評価手法に適合する評価コードを作成した。

原子力規制委員会は、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の教訓を反映するために、平成 25 年 7 月に、重大事故等対策を要求した実用発電用原子炉の新規制基準を施行した。本プロジェクトでは、重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価ガイド案を作成するとともに、重大事故時の制御室等居住性に係る被ばく評価ガイド案の評価手法に適合する評価コードを作成した。また、原子炉施設の敷地内外において貯蔵又は輸送されている有毒化学物質から有毒ガスが発生した場合に、制御室、緊急時対策所等の要員に対する有毒ガス防護の妥当性を確認するための手法、判断基準等を検討するとともに、有毒ガス影響評価コードを作成した。

さらに、平成 25 年 12 月に、原子力規制委員会は、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」を施行した。本プロジェクトでは、ガイドの継続的な見直しのための基盤整備として重大事故時の被ばく評価手法を整備し、評価コードを作成した。

Research on Improvement of Dose Evaluation Methods

Kyoko FUNAYAMA, Ryohei ICHIKAWA, and Yoshihisa HAYASHIDA
Division of Research for Severe Accident

Regulatory Standard and Research Department,
Secretariat of Nuclear Regulation Authority(S/NRA/R)

Abstract

In August 2009, the former Nuclear and Industrial Safety Agency enacted an insure rule on the regulatory requirements and criteria for the habitability of the main control room in a design basis accident in accordance with the performance specifications of the "ministerial ordinance of technical standards for nuclear power plants." In this project, we prepared draft evaluation guides (guides for radiation exposure assessment for the habitability of the main control room and air inleak rate measurement test), which formed the basis for the internal rule, and developed an evaluation code conforming to the guidelines.

In order to reflect the lessons learned from the Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, in July 2013, the Nuclear Regulation Authority required measure against the severe accident. In this project, we prepared a draft evaluation guide on habitability of the control room and the technical support center in a severe accident, and developed an evaluation code conforming to the evaluation method in the guide. In addition, evaluation methods and criteria were developed for personnel in the control room, the technical support center and so on during a postulated hazardous chemical release, and an evaluation code was developed.

Furthermore, the Nuclear Regulation Authority enforced the "Operation Guide for the Periodic Assessment of Safety Improvement of Commercial Power Reactors" in December 2013. In this project, we developed a radiation exposure

assessment method and an evaluation code in order to update the guide periodically.

目 次

1. 序論	4
1.1 研究の目的、背景等	4
1.2 研究の全体工程	4
2. 制御室居住性に係る解析評価	3
2.1 制御室居住性のガイド案策定	3
2.2 制御室居住性に係る評価コードの整備	16
3. 重大事故時の被ばく評価手法高度化研究	24
3.1 重大事故時の被ばく評価に係るガイド案の策定	24
3.2 重大事故時の線量評価コードの整備	24
4. 結論	27
4.1 成果の要点	27
4.2 目標（目的）の達成状況	27
4.3 成果の活用等	27
参考文献一覧	29
執筆者	31

表 目 次

表 2.1	1F 事故の教訓及び海外基準との比較	5
表 3.1	GAMPUL の結果に対する本積分計算結果の比（大気安定度 A）	25
表 3.2	GAMPUL の結果に対する本積分計算結果の比（大気安定度 F）	25

目 次

図 2.1	建屋後流での巻き込み影響を受ける場合の考慮すべき方位	4
図 2.2	居住性評価における被ばく経路	11
図 2.3	スクリーニング基準値の比較	12
図 2.4	有毒ガス評価のための計算モデル	13
図 2.5	堰の面積と制御室までの距離の影響	13
図 2.6	有毒ガス防護判断基準値設定の考え方	14
図 2.7	有毒ガス防護判断基準値を設定する場合の考え方の例	15
図 2.8	有毒ガス防護に係る妥当性確認の流れ	16
図 2.9	機能追加した EEDCDQ コードの構成図	17
図 2.10	相対濃度 97%値の比較	19
図 2.11	相対線量 97%値の比較	19
図 2.12	原子炉制御室内外での I-131 濃度の比較	20
図 2.13	SACRHDose コードの概要	20
図 2.14	スカイシャインガンマ線計算モデル	21
図 2.15	評価点高さを変えた場合の実効線量の変化	22
図 2.16	chemtrns コードの概要	23
図 2.17	(a)室外及び(b)室内評価点における chemtrns コードと HABIT の比較	23
図 3.1	内部被ばく線量への核種の寄与割合	26

1. 序論

1. 1 研究の目的、背景等

本プロジェクトでは、(1) 制御室居住性に係る解析評価及び(2) 重大事故時の被ばく評価手法高度化研究を実施した。

なお、本研究は、平成 18 年度から平成 28 年度にかけて実施したものである。

(1) 制御室居住性に係る解析評価

旧原子力安全・保安院（以下「旧保安院」という。）では、平成 16 年 8 月の関西電力株式会社美浜発電所 3 号機の二次系配管破断事故時に蒸気が原子炉制御室に漏入したことから、設計基準事故時の原子炉制御室に係る規制上の要求事項及び判断基準を検討した。また、原子力規制委員会は、平成 23 年 3 月の東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故（以下「1F 事故」という。）後、重大事故時についても制御室・緊急時対策所（以下「緊対所」という。）を対象にした放射線防護及び有毒ガス防護に係る要求事項並びに判断基準を検討した。

このため、本プロジェクトは、制御室・緊対所を対象にした放射性物質及び有毒ガスによる影響の評価手法並びにその判断基準を定めたガイド案を作成することを目的とした。また、制御室・緊対所居住性の放射線防護及び有毒ガス防護に関するガイド類の継続的な見直しのために、制御室・緊対所居住性評価手法及び評価コードを整備することを目的とした。

(2) 重大事故時の被ばく評価手法高度化研究

旧保安院では、原子力発電所における重大事故等対策規制の考え方について検討した。原子力規制委員会でも、平成 25 年 7 月に重大事故等対策を新規に規制対象とし、周辺公衆に対して著しい放射線被ばくのリスクを与えないという観点から、炉心の著しい損傷及び原子炉格納容器（以下「格納容器」という。）の破損（炉心の著しい損傷が発生する前に生じるものに限る）を防止するために線量を評価することとし、新規制基準類を施行した。また、平成 25 年 12 月には、事業者の自主的な安全性向上の取組を促進する観点から、安全性向上のための評価におけるリスク指標の一つとして、敷地境界での実効線量の評価結果の届出を求めることとした。

このため、本プロジェクトは、安全性向上評価の中の重大事故時の実効線量の評価手法を整備することを目的とした。また、重大事故時線量評価の継続的な見直しのために、重大事故時の被ばく評価手法及び評価コードを整備することを目的とした。

1. 2 研究の全体工程

(1) 制御室居住性に係る解析評価

制御室居住性のガイド案策定

平成 18～19 年度に、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案及び空気流入率測定試験ガイド案を作成した。1F 事故の教訓を踏まえ、平成 24～25 年度に、実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド^(参 1)(以下「制御室・緊急時居住性に係る被ばく審査ガイド」という。)案を作成した。

また、平成 25～27 年度には、原子力発電所内保管の有毒化学物質の漏えいによる有毒ガス発生時の原子炉制御室の居住性に係る影響の試算、居住性確保の判断基準に用いる毒性限度の考え方の検討等を行った。さらに、原子炉制御室以外の緊急時制御室、緊急時等についても検討を行い、平成 28 年度に有毒ガス防護に係る影響評価ガイド(以下「有毒ガス防護影響評価ガイド」という。)案を作成した。

制御室居住性に係る評価コードの整備

平成 20 年度には、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について(内規)」^(参 2)(以下「被ばく評価手法(内規)」という。)に基づいた設計基準事故時の被ばく評価コードを作成するとともに、平成 26 年度には、「制御室・緊急時居住性に係る被ばく審査ガイド」に基づいた重大事故時の被ばく評価コードを作成した。

また、平成 27～28 年度には、貯蔵容器内の有毒化学物質の漏えいによる有毒ガス発生事象を対象にして、有毒ガス影響評価コードを作成した。

(2) 重大事故時の被ばく評価手法高度化研究

重大事故時の被ばく評価に係るガイド案の策定

平成 24～25 年度に、重大事故時の原子力発電所敷地境界における実効線量を評価する手法を検討し、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」^(参 3)(以下「安全性向上評価運用ガイド」という。)に取りまとめた。

重大事故時の線量評価コードの整備

平成 26～27 年度に、重大事故時における敷地境界付近の被ばく線量を評価するために、大気中への放出量、大気拡散、地表面沈着量及び被ばく経路(放射性雲中の放射性物質からのガンマ線による外部被ばく(以下「クラウドシャイン」という。)、地表面に沈着した放射性物質からのガンマ線による外部被ばく(以下「グランドシャイン」という。))及び放射性物質の吸入による内部被ばく)ごとの線量を計算する被ばく評価コードを作成した。

平成 28 年度には、作成した評価コードを用いて、重大事故時の被ばく評価の試算を行い、線量に大きな影響を及ぼす被ばく経路、主要な核種等を明らかにした。

2. 制御室居住性に係る解析評価

2.1 制御室居住性のガイド案策定

(1) 設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案の策定

旧保安院は、平成 17 年に改正された発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令（昭和 40 年通商産業省令第 62 号）^(参 4)の施行に当たり、制御室居住性の実態を把握するため、事業者に対して、事故時における原子炉制御室等における運転員の被ばく評価を指示し、平成 18 年 6 月に、事業者からの被ばく評価結果の報告を受けた。全既設炉ともに問題のないことを確認したものの、事故の想定、評価手法等が統一されていなかった。

このため、これまでの手法を全面的に見直し、統一的に使用できる被ばく評価手法を定めた設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案を平成 18～19 年度に検討した^{(参 5)(参 6)(参 7)(参 8)}。

従来の事業者による評価と設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案との主な相違点は、次のとおりである。

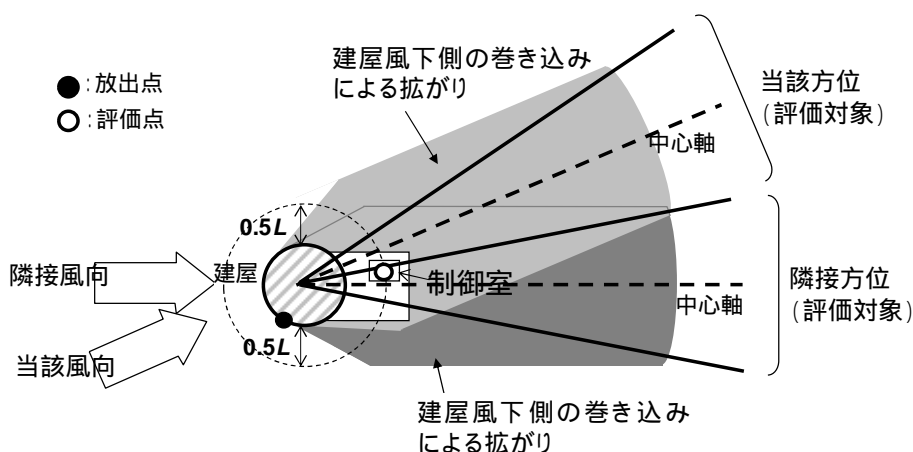
事故の想定は、従来の事業者による評価では、沸騰水型軽水炉（以下「BWR」という。）と加圧水型軽水炉では統一されていなかった。そこで、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案では、炉心から格納容器への放射性物質の放出量が保守的に想定されるよう、立地評価における仮想事故相当に統一した。

大気拡散計算は、従来の事業者による評価では、風下方位とは無関係に敷地境界以遠で発生する最大濃度になるような条件を設定していた。しかし、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案では、風向に影響を受ける放出源近傍の建屋による気流の巻き込みを考慮し、解析条件及び評価方法を規定した。図 2.1 に、建屋後流での巻き込み影響を受ける場合の考慮すべき方位を示す。

- a. 放出源近傍の建屋による気流の巻き込みを保守的に評価するために、巻き込みに寄与する建屋を限定した。
- b. 放射性物質の拡散が建屋後流の巻き込み影響を受ける場合は、複数の方位を評価対象方位として見込み、すべての評価対象方位について風下軸上の最大濃度を用いることとした。
- c. 放出高さを無視し、風速が小さくなることで保守的な評価となることから、気象データは地上のものを用いることとした。
- d. 拡散パラメータの計算に必要な形状係数は、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（以下「気象指針」という。）^(参 9)に記載されている値のうち、被ばく評価上保守的な評価となる最小値を使用することとした。

原子炉制御室内の被ばく評価手法については、従来の事業者による評価では、空気取り入れ率を毎時 1 回と仮定していた。しかし、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案では、別途、空気流入率測定試験ガイド案を作成し、空気流入率測定試験から求めた空気流入率を適用することとした。

実際の敷地内の立地状況を考慮し、入退域の被ばく評価では、評価地点までの距離減衰、遮へい効果等を考慮した。



注：L は、風向に垂直な建屋の投影面の高さ又は投影面の幅のうちの小さい方

図 2.1 建屋後流での巻き込み影響を受ける場合の考慮すべき方位 (参 5)(参 6)(参 7)(参 8)

Fig.2.1 Target evaluation azimuth with building effect

(2) 重大事故時の制御室・緊対所居住性に係る被ばく評価ガイド案の策定

平成 24 年 9 月に原子力規制委員会が発足し、1F 事故の教訓を反映するために、重大事故等対策を要求する新規制基準の検討を開始した。

重大事故時の制御室・緊対所居住性に係る新規制基準を検討するに当たり、1F 事故当時の指針類であった旧「発電用原子炉施設に関する安全設計審査指針」(表 2.1 では「旧安全設計審査指針」と表記)^(参 10)及び「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」(表 2.1 では「省令 62 号」と表記)との関連の整理、1F 事故の教訓の抽出、海外基準 (IAEA (International Atomic Energy Agency; 国際原子力機関)、米国及び欧州)との比較を行った。表 2.1 に、1F 事故の教訓及び海外基準との比較を示す。1F 事故の教訓から、重大事故時においても緊急時対応を継続的に行うことができるように、制御室・緊対所の居住性確保の強化 (制御室・緊対所の専用換気空調系の強化、放射線遮へいの強化、通信・照明等関連設備強化等) が重要である。

表 2.1 1F 事故の教訓及び海外基準との比較^(参11)

Table 2.1 Comparison with the learning of Fukushima-Daiichi accident and the overseas standard

分類	旧安全設計審査指針	国内(福島第一事故の教訓)	IAEA 安全基準	米国	欧州
換気空調系	<p>【旧安全設計審査指針】 指針 43. 制御室の居住性に関する設計上の考慮 制御室は、火災に対する防護設計がなされ、さらに、事故時にも従事者が制御室に接近し、又はとどまり、事故対策操作を行うことが可能なように、遮へい設計がなされ、かつ、火災又は事故によって放出することがあり得る有毒ガス及び気体状放射性物質に対し、換気設計によって適切な防護がなされた設計であること。</p> <p>【省令 62 号】 省令 62 号 第 24 条の 2(原子炉制御室等) 3 原子炉制御室及びこれに連絡する通路等には、一次冷却系統に係る施設の故障、損壊等が生じた場合に原子炉の運転の停止等の措置をとるため、従事者等が支障なく原子炉制御室に入り、かつ、一定期間とどまることができるように、遮へいその他の適切な放射線防護措置及び制御室外の火災等により発生した有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の適切な防護措置を講じなければならない。</p> <p>解釈 10 チャコールフィルターを通らない空気の制御室への流入量については、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について(内規)」(平成 21・07・27 原院第 1 号)に基づき、制御室換気設備の新設及び制御室換気設備再循環モード時における対象範囲境界部での空気の流入に影響を与える改造の際、及び、定期的に測定し確認すること。</p>	<p>【政府 IAEA 報告書】 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書(平成 23 年 6 月) 中央制御室や緊急時対策所の放射線遮へいの強化、現場での専用換気空調系の強化、交流電源によらない通信、照明等の関係設備の強化など、シビアアクシデントが発生した場合であっても事故対応活動を継続的に実施できる事故対応環境を強化する。 →福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の原子力発電所におけるシビアアクシデントへの対応に関する措置の実施状況の確認結果について(平成 23 年 6 月、旧保安院) 中央制御室の作業環境の確保</p> <ul style="list-style-type: none"> 全ての交流電源が喪失した時においても中央制御室の非常用換気空調系設備(再循環系)を運転するために必要な電源(電源車等)が確保されていること 緊急時に中央制御室の非常用換気空調系設備(再循環系)を構成するため、必要な手順が策定され、必要な資機材が手配されていること <p>【H2O プロジェクト最終報告】 中央制御室の換気空調系の維持を確実にするために中央制御室用のガスタービン等の非常用電源設備を配備する。防護服、防護マスク、線量計等については、対応操作が何日間も継続したことから適正な日数分は保管しておくこと。</p>	<p>【IAEA SSR-2/1】 要件 65. 制御室 すべての運転状態において自動あるいは手動でプラントを安全に運転するとともに、プラントを安全な状態に維持し、あるいは運転時に予想される事象と事故の状態が発生した後に、プラントを安全な状態に戻すための対応が取れるように、原子力発電プラントでは制御室を設置しなければならない。</p> <p>6.39. 事故の状態、放射性物質の放出、火災あるいは爆発に起因する高レベル放射線や有毒ガスなどの危険から制御室の職員を守るために、原子力発電プラントでの制御室と外部環境との間のバリア設置を含む適切な措置を講じるとともに、適切な情報を提供しなければならない。</p>	<p>【GDC】 クライテリオン 19 制御室 制御室は、そこから通常状態において原子力発電施設を安全に運転し、かつ、冷却材喪失事故を含む事故条件下で施設を安全な状態に維持するための操作をとり得るように設けられなければならない。</p> <p>【RG1.78】 R.G1.78 有害化学物質想定放出時の原子力発電所制御室居住性の評価</p> <p>【SRP6.4】 SRP6.4 制御室居住性システム 換気系許容基準</p> <ul style="list-style-type: none"> 制御室の隔離ダンパには低漏えいダンパ又は弁を用いる。密閉度について SAR に文書化する。 動的機器の単一故障によりシステムの機能・性能が喪失しない設計特性とすべきである。制御室の非常用フィルタトレインは全て動的機器とみなされる。弁又はダンパの修理基準については本 SRP の付則 A を参照。 <p>iv. 二重外気取入口の非常用区画 制御室の換気空調系の敷設ダクトへの損傷によって、運転員を防護するシステムの能力に深刻な影響を及ぼすことがあるので、敷設ダクトは耐震カテゴリー 1 とし、竜巻ミサイル(飛来物)から防護すべき。</p>	<p>フィンランド 【Fin YVL5.5】 2.3 中央制御室及びマンマシンインターフェース 火災防護、溢水防護、照明、空調、騒音低下、被ばく管理及びアクセス管理の要件は、制御室の設計で考慮されるものとする。</p> <p>ドイツ 【GRS 8/89】 RSK(Reaktorsicherheits-Kommission; 原子炉安全委員会(ドイツ))によるドイツの原子力発電所の安全審査の結果 B.II プラント固有の結果 1. 加圧水型炉 1.1 オプリッヒハイム原子力発電所 - 制御室への供給空気のフィルタリング 制御室付近でのモバイルのフィルタシステムは、運転員のために準備される。RSK は、その概念に関して通知されることを要求する。</p>

分類	旧安全設計審査指針	国内(福島第一事故の教訓)	IAEA 安全基準	米国	欧州
換気空調系 続き)	<p>なお、チャコールフィルターを通らない空気流入量が、評価に用いている想定した空気量を下回っていることを確認すること。</p>	<p>【国会事故調報告書】 中央制御室は事故対応の最前線となるための十分かつ適切な機能性と居住性を備えていなかったため、電源喪失等の過酷事故を前提としてもなお、中央制御室の機能性と居住性を確保できる設計とその運用が必要である。</p> <p>「B.5.b 項」の実施とシビアアクシデント対策の構築 「9-11 対策」として 2002 年 2 月 25 日付の NRC からの命令書の「B.5.b 項」で要求された内部事象に対する対策、外部事象に対する対策、テロ攻撃に対する対策にはシビアアクシデント対策との緊密な共通性が存在している。日本における原子力安全の取り組みにおいても、このような認識に基づくシビアアクシデント対策の構築が将来の不測の事態において役に立つ。</p> <p>6) 中央制御室と同室内電子機器類のためのバックアップ空調設備</p>		<p>* 二重外気取入口: この配置では、2 箇所が大きく離れて配置した取入口を、有毒ガスと放射性ガスの可能性のある発生源の反対側に配置する。この配置によって、極端な無風状態を除いて、少なくとも一つの取入口は確実に汚染されない。全ての種類のプラントに使用でき、汚染のない外気が非常用区画の正圧を保ち、漏えいを最小にする。</p>	

分類	旧安全設計審査指針	国内(福島第一事故の教訓)	IAEA 安全基準	米国	欧州
<p style="text-align: center;">遮 い</p>	<p>〔旧安全設計審査指針〕 指針43. 制御室の居住性に関する設計上の考慮 制御室は、火災に対する防護設計がなされ、さらに、事故時にも従事者が制御室に接近し、又はとどまり、事故対策操作を行うことが可能なように、遮へい設計がなされた設計であること。 (解説) 「従事者が制御室に接近し、又はとどまり」とは、事故発生後、事故対策操作をすべき従事者が制御室に接近できるよう通路が確保されていること、及び従事者が制御室に適切な期間滞在できること、並びに事故対策操作後、従事者が交替のため接近する場合には、放射線レベルの減衰及び時間経過とともに可能となる被ばく防護策が採り得ることをいう。</p> <p>〔省令62号〕 省令62号 第24条の2(原子炉制御室等) 3 原子炉制御室及びこれに連絡する通路等には、一次冷却系統に係る施設の故障、損壊等が生じた場合に原子炉の運転の停止等の措置をとるため、従事者等が支障なく原子炉制御室に入り、かつ、一定期間とどまることができるように、遮へいその他の適切な放射線防護措置及び制御室外の火災等により発生した有毒ガスに対する換気設備の隔離その他の適切な防護措置を講じなければならない。</p> <p>解釈 10 第3項に規定する「遮へいその他の適切な放射線防護措置」とは、一次冷却材喪失等の事故時に、室内にとどまり必要な操作、措置を行う運転員が過度の被ばくを受けないよう施設し、運転員が制御室に入り、</p>	<p>〔政府 IAEA 報告書〕 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書(平成23年6月) 中央制御室や緊急時対策所の放射線遮へいの強化、現場での専用換気空調系の強化、交流電源によらない通信、照明等の関係設備の強化など、シビアアクシデントが発生した場合にあっては事故対応活動を継続的に実施できる事故対応環境を強化する。 →福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の原子力発電所におけるシビアアクシデントへの対応に関する措置の実施状況の確認結果について(平成23年6月、旧保安院) <u>高線量対応防護服等の資機材の確保及び放射線管理のための体制の整備</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 事故発生時の初期段階に必要な高線量対応防護服等の資機材が発電所に備えられていること、及び事業者間の相互融通も含め、資機材を確保する仕組みが構築されていること ・ 緊急時に放射線管理の要員を拡充するための仕組みが構築されていること <p>〔H2O プロジェクト最終報告〕 緊急時における放射線の影響を受けないようにするために、中央制御室の遮蔽効果を向上させる。</p>		<p>〔GDC〕 クライテリア 19 制御室 事故条件下で所員が事故期間中、全身被ばく線量5レムあるいは身体のかかる部分に対してもそれに相当する線量以上の被ばくを受けることなく制御室に接近及び滞在することができるように適切な放射線防護がなされなければならない。 制御室への入域と占有に関して、事故期間中の放射線被ばく、具体的には、§50.2 に定義される総実効線量当量(TEDE)が0.05Sv(5レム)を超えないことを保証するために適当な放射線防護措置が取られなければならない点を除き、この基準の要求条件を満足すること。</p>	

分類	旧安全設計審査指針	国内(福島第一事故の教訓)	IAEA 安全基準	米国	欧州
遮へい(続き)	<p>とどまる間の被ばくを「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示(平成13年3月21日通商産業省告示187号)」の第8条における緊急時作業に係る線量限度100mSv以下にできるものであることをいう。</p> <p>この場合における運転員の被ばく評価は、判断基準の線量限度内であることを確認すること。被ばく評価手法は、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について(内規)」(平成21・07・27 原院第1号)に基づくこと。</p>				
通信・照明等関連設備		<p>【政府 IAEA 報告書】 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書(平成23年6月) 中央制御室や緊急時対策所の放射線遮へいの強化、現場での専用換気空調系の強化、交流電源によらない通信、照明等の関係設備の強化など、シビアアクシデントが発生した場合にあっても事故対応活動を継続的に実施できる事故対応環境を強化する。 →福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の原子力発電所におけるシビアアクシデントへの対応に関する措置の実施状況の確認結果について(平成23年6月、旧保安院)</p> <p><u>緊急時における発電所構内通信手段の確保</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 通常の通信手段(構内 PHS、ページング装置等)による場合、全ての交流電源が喪失した時にも発電所構内の確実な通信手段が確保できるよう、必要な電源(電源車等)が確保されていること、又は代替の通信手段が確保されていること 			

分類	旧安全設計審査指針	国内(福島第一事故の教訓)	IAEA 安全基準	米国	欧州
通信 照明等関連設備(続き)		<p>【H2O プロジェクト最終報告】 (インフラの強化) 運転員や事故復旧班の作業者との緊急時対策室や中央制御室との通信手段が切断され、タイムリーな報告が不可能であった。対応遅れにも繋がることから、情報手段の確保、適切な必要数配備が重要である。</p> <p>【国会事故調報告書】 中央制御機能や照明、通信手段の確保は、過酷事故という緊急事態に対処するための極めて重要なインフラである。したがって、電源系統と同様、その設計段階で多重性、多様性、独立性を持たせるとともに、緊急時を常に意識した運用を行っていくことが必要である。</p>			
その他		<p>【H2O プロジェクト最終報告】 防護服、防護マスク、線量計等については、対応操作が何日間も継続したことから適正な日数分は保管しておくこと。</p>	<p>【IAEA SSR-2/1】 6.40. 制御室の内外を問わず、制御室での継続した運転操作に脅威となるような事象を明確にすることに特別な注意を払わなければならない。また、こうした事象による結果を最小限に抑えるために、設計において、合理的に実施可能な方策を講じなければならない。</p>		

旧安全設計審査指針：原子力安全委員会、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」平成 2 年 8 月 30 日原子力安全委員会決定、平成 13 年 3 月 29 日一部改訂
 省令 62 号：経済産業省、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」昭和 40 年 6 月 15 日通商産業省令第六十二号、最終改正：平成 25 年 6 月 28 日号外経済産業省令・原子力規制委員会規則第 1 号
 政府 IAEA 報告書：原子力災害対策本部、「原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書 - 東京電力福島原子力発電所の事故について - 」平成 22 年 6 月
 国会事故調報告書：東京電力福島原子力発電所事故調査委員会、「国会事故調報告書」平成 22 年 9 月
 H2O プロジェクト最終報告：Team H2O プロジェクト、「福島第一原子力発電所事故から何を学ぶか（最終報告）」平成 21 年 12 月
 IAEA SSR-2/1：IAEA, “IAEA Safety Standards, No. SSR-2/1, Specific Safety Requirements, Safety of Nuclear Power Plants: Design”, 2012 年 1 月
 GDC：NRC (Nuclear Regulatory Commission ; 原子力規制委員会 (米国)), “10CFR appendix A to Part 50 – General Design Criteria for Nuclear Power Plants”, 2007 年 8 月
 RG1.78：NRC, “Regulatory Guide 1.78, Revision 1, Evaluating the habitability of a nuclear power plant control room during a postulated hazardous chemical release”, 2001 年 12 月
 SRP6.4：NRC, “NUREG-0800, Standard Review Plan 6.4 – Revision 3, Control Room Habitability System”, 2007 年 3 月
 Fin YVL5.5：STUK (SÄTEILYTURVAKESKUS ; 放射線・原子力安全センター (フィンランド)), “GUIDE YVL 5.5, Instrumentation systems and components at nuclear facilities”, 2002 年 9 月
 GRS 8/89：GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit mbH ; 原子炉安全協会 (ドイツ)), “Safety codes and guides – translations”, 1988 年 11 月

これらの 1F 事故の教訓を踏まえ、重大事故時の制御室・緊対所の居住性に係る被ばく評価について、新たな標準評価手法を定めた「制御室・緊対所居住性に係る被ばく審査ガイド」案を作成した。当該ガイド案の主な概要は、次のとおりである。

評価対象施設は、原子炉制御室、緊急時制御室及び緊対所の 3 施設とした。

原子炉制御室の事故の想定は、重大事故等対処設備による格納容器破損防止対策が有効に機能しなかった場合に想定する格納容器破損モードのうち、原子炉制御室の運転員の被ばくの観点から結果が最も厳しくなる事故収束に成功した事故シーケンスとした。例えば、「炉心の著しい損傷の後、格納容器圧力逃がし装置等の格納容器破損防止対策が有効に機能した場合」であるとした。緊急時制御室及び緊対所の事故の想定は、1F 事故相当の放出量を伴う事故シーケンスとした。

原子炉制御室の居住性評価では、放射性物質の格納容器内への放出割合、格納容器内での沈着、フィルタ除去、大気中への放出開始時刻、放出継続時間等の解析条件は、事故の想定で選定した事故シーケンスの事故進展解析条件及びソースターム解析結果を基に設定することとした。

緊急時制御室又は緊対所の居住性評価では、放射性物質の大気中への放出割合、放出開始時刻及び放出継続時間等の解析条件は、「拡散シミュレーションの試算結果（総点検版）」^(参 12)を基に設定することとした。

評価対象核種グループは、3 施設とも、「被ばく評価手法（内規）」で想定した希ガス類及びヨウ素類のほかに、セシウム類、テルル類、バリウム類、ルテニウム類、セリウム類及びランタン類の合計 8 核種グループを想定することとした。大気拡散計算については、「被ばく評価手法（内規）」に準拠することとした。ただし、放射性物質の地表面への沈着評価は、地表面への乾性沈着及び降雨による湿性沈着を考慮して地表面沈着濃度を計算することとした。

被ばく経路は、「被ばく評価手法（内規）」における被ばく経路に加えて、グラウンドシャインも評価することとした。図 2.2 に、居住性評価における被ばく経路を示す。

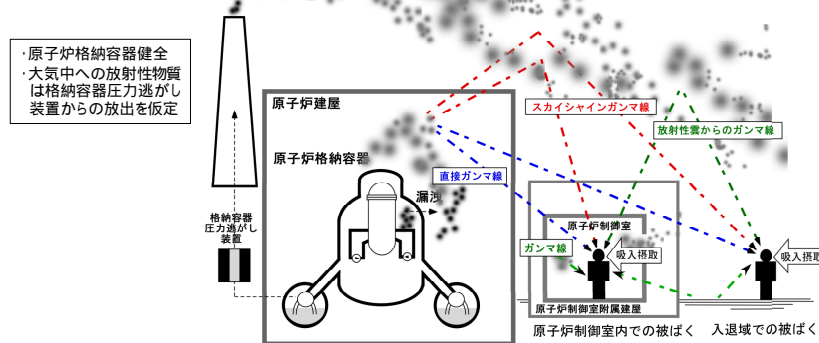
同じ敷地内に複数の原子炉が設置されている場合、全原子炉施設について同時に事故が発生すると想定した。

判断基準は、運転員又は対処要員の実効線量が 7 日間で 100 mSv を超えないこととした。

また、重大事故時の制御室等居住性に係る被ばく審査ガイド案の概要については、第 17 回発電用軽水型原子炉の新規制基準に関する検討チーム会合で報告した^(参 13)。

原子炉制御室居住性評価に係る被ばく経路	
原子炉制御室内での被ばく	原子炉建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく(直接及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく)
	大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による被ばく(クラウドシャインによる外部被ばく、グランドシャインによる外部被ばく)
	外気から原子炉制御室内へ取り込まれた放射性物質による被ばく(吸入摂取による内部被ばく、室内に浮遊している放射性物質による外部被ばく(室内に取り込まれた放射性物質は沈着せずに浮遊しているものとして評価する))
入退域での被ばく	原子炉建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく(直接及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく)
	大気中へ放出された放射性物質による被ばく(クラウドシャインによる外部被ばく、グランドシャインによる外部被ばく、吸入摂取による内部被ばく)

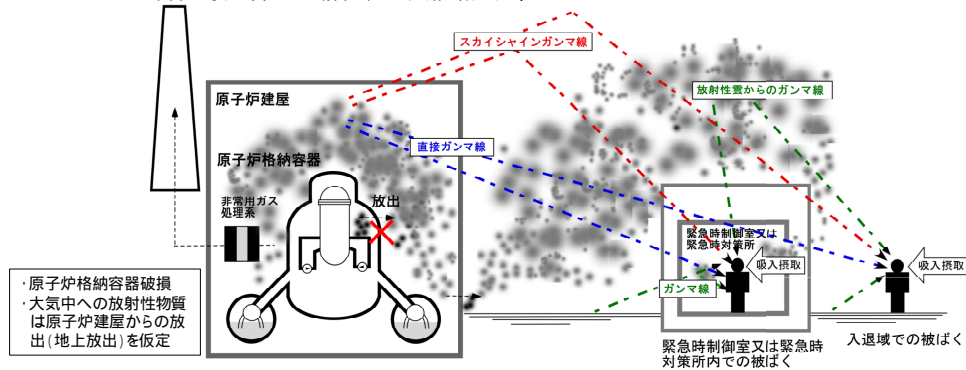
ただし、合理的な理由がある場合は、この経路に限らない。



BWR型原子炉施設の例

緊急時制御室又は緊急時対策所居住性評価に係る被ばく経路	
緊急時制御室又は緊急時対策所内の被ばく	原子炉建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく(直接及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく)
	大気中へ放出された放射性物質のガンマ線による被ばく(クラウドシャインによる外部被ばく、グランドシャインによる外部被ばく)
	外気から緊急時制御室又は緊急時対策所内へ取り込まれた放射性物質による被ばく(吸入摂取による内部被ばく、室内に浮遊している放射性物質による外部被ばく(室内に取り込まれた放射性物質は沈着せずに浮遊しているものとして評価する))
入退域での被ばく	原子炉建屋内の放射性物質からのガンマ線による被ばく(直接及びスカイシャインガンマ線による外部被ばく)
	大気中へ放出された放射性物質による被ばく(クラウドシャインによる外部被ばく、グランドシャインによる外部被ばく、吸入摂取による内部被ばく)

ただし、合理的な理由がある場合は、この経路に限らない。



BWR型原子炉施設の例

図 2.2 居住性評価における被ばく経路(参 1)

Fig.2.2 Exposure pathways for evaluation of control room habitability

(3) 原子炉制御室居住性に係る有毒ガス影響評価ガイド案の策定

平成 25～26 年度には、米国 NRC (Nuclear Regulatory Commission; 原子力規制委員会) の “Regulatory Guide 1.78, Revision 1, Evaluating the habitability of a nuclear power plant control room during a postulated hazardous chemical

release” (参¹⁴) (以下「RG1.78」という。)に規定されている有毒化学物質の発生源(固定源(化学工場等)及び移動源(車両や船等))に対するスクリーニング基準値の導出方法について、本プロジェクトで検討した。

なお、スクリーニング基準値とは、原子炉制御室居住性評価において考慮する必要のない有毒化学物質の発生源を確認するためのものである。

検討したスクリーニング基準値の導出方法は、まず、原子炉制御室内濃度が毒性限界濃度(米国国立労働安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH))が定めた急性の毒性限界濃度であるIDLH値(Immediately Dangerous to Life or Health value)(参¹⁵)となるように、空気流入率及び空気流入時間を考慮し、原子炉制御室外の外気取入口での限界濃度を計算した。次に、外気取入口の限界濃度及び放出源から外気取入口までの距離における相対濃度を用いて、放出源での限界放出量=スクリーニング基準値を計算した。その際、空気流入時間は2分間と仮定し、外気取入口での有毒ガス濃度は、時間に対して一定とし、パフ球中心の最大濃度が継続すると仮定した。

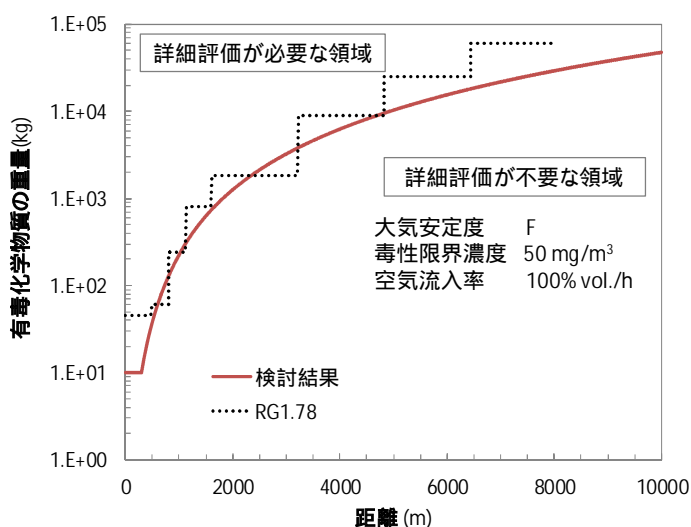


図 2.3 スクリーニング基準値の比較

Fig.2.3 Comparison of screening criteria

図 2.3 に、大気安定度 F、毒性限界濃度 50 mg/m³ 及び空気流入率 100 %

vol./h に対するスクリーニング基準値を示す。同図に示すように、本プロジェクトの検討結果と RG1.78 のスクリーニング基準値とを比較すると、本プロジェクトで検討した導出方法を用いて、RG1.78 のスクリーニング基準値がほぼ再現できることを明らかにした。しかしながら、有毒ガス影響評価ガイド案を検討するに当たり、特に原子力発電所内に保管されている有毒化学物質については、事業者がよく把握していることから、RG1.78 のようなスクリーニング基準を設けずに、発生源の調査結果を基に、特定発生源として選定することを検討した。

平成 27 年度には、原子力発電所内に保管されている有毒化学物質の漏えいにより有毒ガスが発生した場合の原子炉制御室の居住性に係る影響を試算した(図 2.4 参照)。

試算により、堰の大きさ、原子炉制御室までの距離、配置、放出源と原子炉制御室の高低差、気象等の条件によっては、原子炉制御室内の有毒ガス濃度が短時間でIDLH 値を超える可能性があることが明らかになった。特に影響が大きくなると考え

られる場合は次のとおりであり、これら試算結果について原子力規制委員会に報告した(参 16)。

堰が無い場合又は堰の面積が大きい場合 (図 2.5 参照)

有毒化学物質の揮発性が高い場合

地震等によって複数のタンクからの同時漏えいの影響が想定される場合

原子炉制御室との高低差が小さい場合

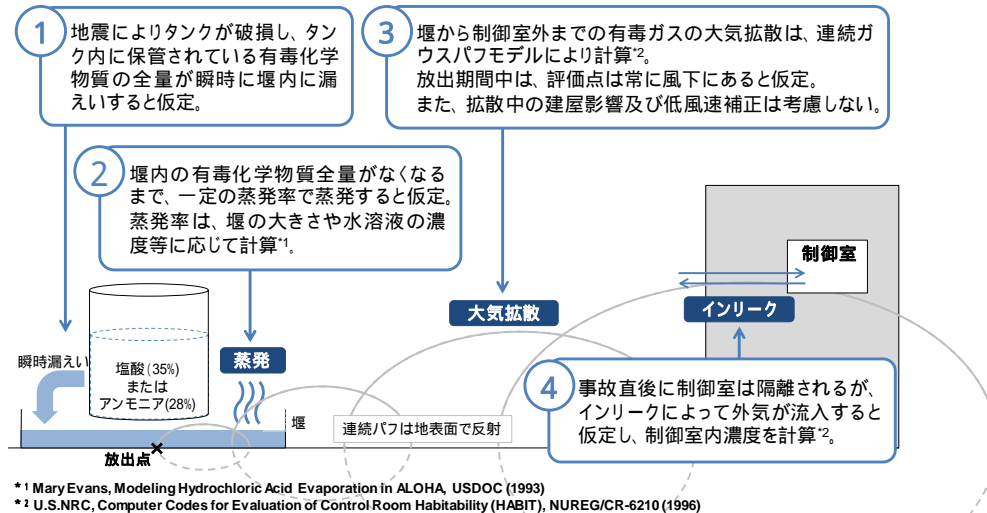


図 2.4 有毒ガス評価のための計算モデル(参 16)

Fig.2.4 Calculation model for toxic gas concentration evaluation in a control room

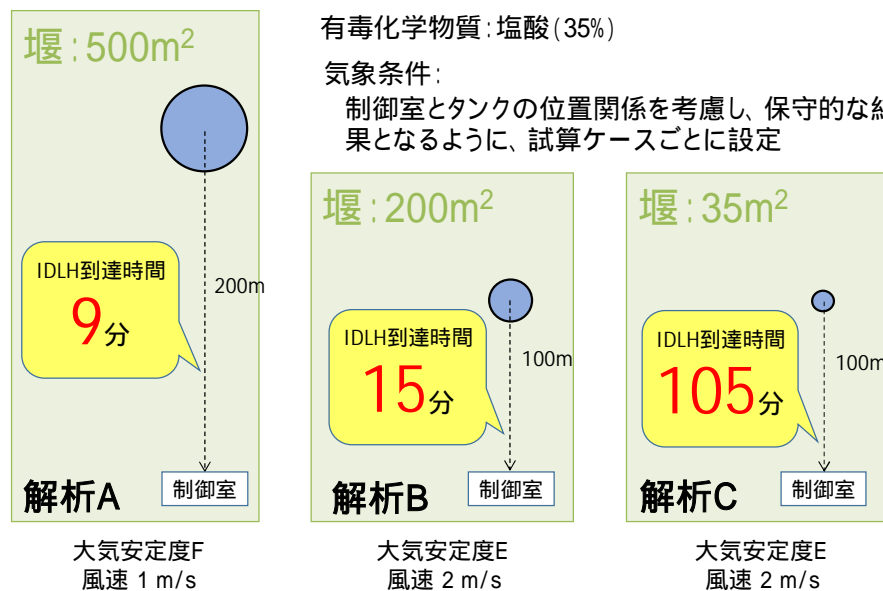


図 2.5 堰の面積と制御室までの距離の影響(参 16)

Fig.2.5 Calculated results due to impact pool area and distance

また、有毒化学物質の毒性限度の設定根拠及び人に対する急性ばく露影響データを調査し有毒ガス防護の判断基準に用いる毒性限度(以下「有毒ガス防護判断基準

値」という。)の考え方を整理した(図 2.6 参照)。この考え方をを用いて、中枢神経に対する影響があるエタノールアミンについて、有毒ガス防護判断基準値を設定した例を図 2.7 に示す。これらの検討結果を、原子炉制御室居住性に係る有毒ガス影響評価ガイド案に反映した。

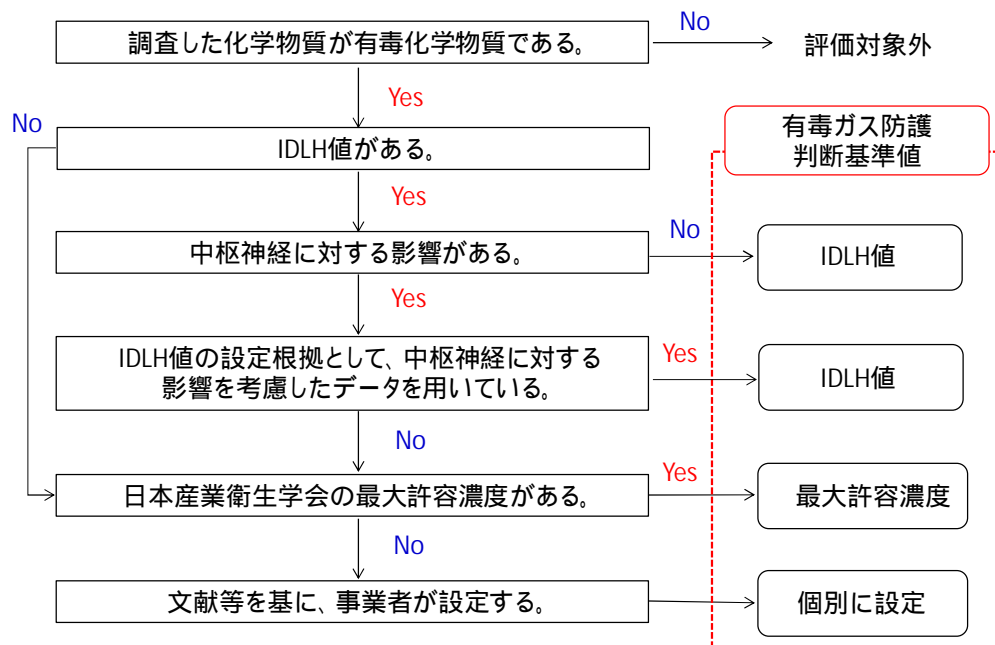


図 2.6 有毒ガス防護判断基準値設定の考え方(参 17)

Fig.2.6 Concept of setting toxic gas protection criteria

敷地外で輸送されている有毒化学物質の種類、輸送手段、輸送量、輸送ルート、事件事例等を調査し敷地外の有毒化学物質の取扱い方法を検討し、原子炉制御室の居住性に係る有毒ガス影響評価に関する検討会(第 1 回;平成 28 年 1 月 6 日、第 2 回;平成 28 年 2 月 23 日、第 3 回;平成 28 年 4 月 8 日)において外部有識者と議論した(参 18)(参 19)(参 20)。その成果は、原子炉制御室居住性に係る有毒ガス影響評価ガイド案に反映した。

さらに、原子炉制御室以外の設備等についても併せて検討を行い、有毒ガス防護に関する規制要求の考え方を研究開発段階発電用原子炉及び再処理施設も含めて検討した。検討結果については、対象施設及び防護対策に対する要求事項をとりまとめ、次のとおり、原子力規制委員会に報告した(参 21)。

原子炉制御室の運転員に加えて、緊急時制御室、緊対所及び重大事故等対処上特に重要な操作を行う地点における運転員、指示要員及び対処要員について有毒ガス防護の対象とした。

予期せぬ有毒ガスの発生を考慮し、すべての実用発電用原子炉施設に対し、最低限の対策として原子炉制御室等に必要人数分の防護具等の配備及びそれらの

継続的な利用の確保を求めるとともに、防護のための手順と体制も定めることを要求した。

		エタノールアミン
国際化学物質安全性カード		蒸気は眼、皮膚及び気道を刺激する。中枢神経系に影響を与えることがある。意識が低下することがある。
IDLH	基準値	30ppm
	致死(LC)データ	1時間のLC ₆₇ 値(モルモット)が233ppm等
	人体のデータ	なし 中枢神経に対する影響を考慮していない。

出典		記載内容		
NIOSH	IDLH	30ppm: 哺乳動物の急性吸入毒性データを基に設定		
日本産業衛生学会	最大許容濃度	なし		
産業中毒便覧		人体に対する影響についての記載無し		
有害性評価書	対象	状況・量	結果	
	作業員 2人 (2か月間隔で事故発生)	エタノールアミンの溢出液にばく露	喉の痛みと頭痛が確認された。	
許容濃度の提案理由	12名の被検者の嗅覚試験の結果	2.6ppm(95%信頼限界2-3.3ppm)	50%が探知しえた濃度(アンモニア臭、かび臭、異物感)。	
		25ppm	明らかに臭いを感じる。それ以下は刺激を感じる。	
化学物質安全性(ハザード)評価シート	2名の労働者	高濃度の蒸気に偶発的にばく露	頭痛、吐き気、脱力、めまい、指先のしびれ、胸の痛み。	



25ppmを有毒ガス防護判断基準値とする。

図 2.7 有毒ガス防護判断基準値を設定する場合の考え方の例^(参 17)

Fig.2.7 Example for setting toxic gas protection criteria

上記検討結果を踏まえ、平成 27 年度に作成した原子炉制御室居住性に係る有毒ガス影響評価ガイド案を改定した有毒ガス防護影響評価ガイド案を新たに作成して、原子力規制委員会において報告した^(参 22)。図 2.8 に、有毒ガス防護に係る妥当性確認の流れを示す。

図 2.8 に示すとおり、まず原子炉制御室、緊急時制御室、緊対所及び重大事故等対処上特に重要な操作を行う地点ごとに、防護措置を考慮せずに行うスクリーニング評価結果から、運転員、初動要員、指示要員及び対策要員の吸気の有毒ガス濃度の評価値が有毒ガス防護判断基準値を超える発生源(以下「対象発生源」という。)が特定されているかを確認する。対象発生源が特定された場合は、防護措置等を考慮して有毒ガス影響評価を行った結果が有毒ガス防護判断基準値を下回ることを確認するとともに、検出設備、警報設備及び空気呼吸具の配備等といった対象発生源への対応の妥当性を確認する。また対象発生源が特定されない場合でも、予期せ

め有毒ガスの発生を考慮し、すべての実用発電用原子炉施設に対し、運転員及び初動要員に対する防護具等の配備等の最低限の対策がなされているか確認する。

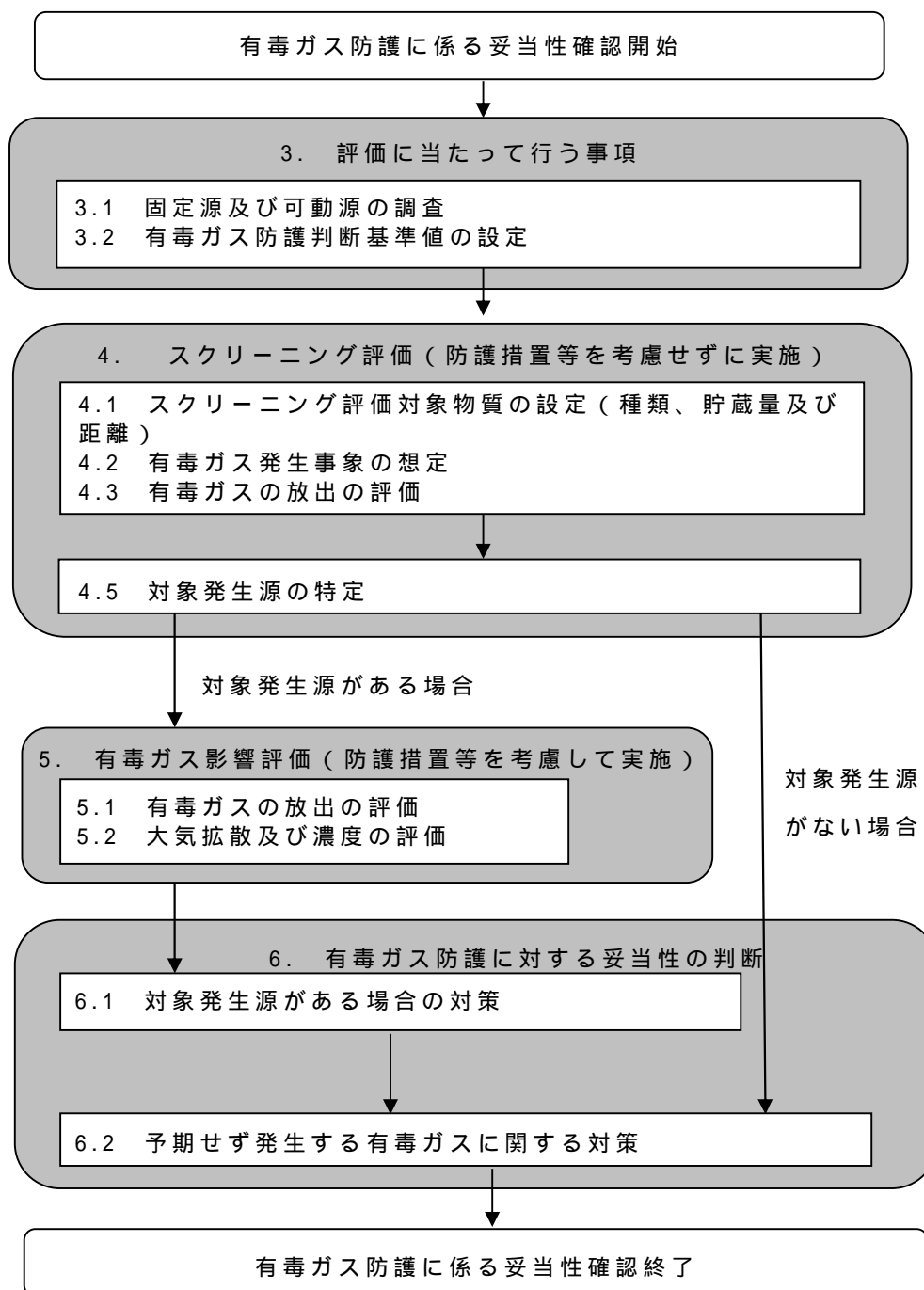


図 2.8 有毒ガス防護に係る妥当性確認の流れ^(参 17)

Fig.2.8 Flow of confirmation of the validity of protection against toxic gas

2.2 制御室居住性に係る評価コードの整備

(1) 設計基準事故時の制御室居住性に係る被ばく評価コードの整備

設計基準事故時の制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案に対応して、設計基準事故時の制御室居住性に係る被ばく評価ができるように、既存の事故時被ばく評価コード EEDCDQ に新たな計算機能を追加した(参 23)。

制御室居住性に係る被ばく評価では、原子炉制御室の近傍に存在する放射性物質の影響が対象となるため、大気拡散における建屋後流での巻き込みの影響が重要となる。このため、既存の EEDCDQ コードに、建屋による気流の巻き込み影響を受ける場合の放出源高さでの濃度の計算機能、建屋による気流の巻き込み影響を受ける場合の長時間放出時の相対濃度の計算機能、複数方位からの寄与を考慮した評価点における相対濃度及び相対線量の計算機能を追加した。また、外気から原子炉制御室内に取り込まれた放射性物質による原子炉制御室内での被ばく評価ができるように、実効線量評価プログラムを作成してモジュール化し、EEDCDQ コードに追加した。これによって、機能追加した EEDCDQ コードでは、運転員が原子炉制御室内に滞在した場合の被ばく評価及び運転員が原子炉制御室から班交替する場合の入退域での被ばく評価を行うことが可能となった。図 2.9 に、機能追加した EEDCDQ コードの構成図を示す。

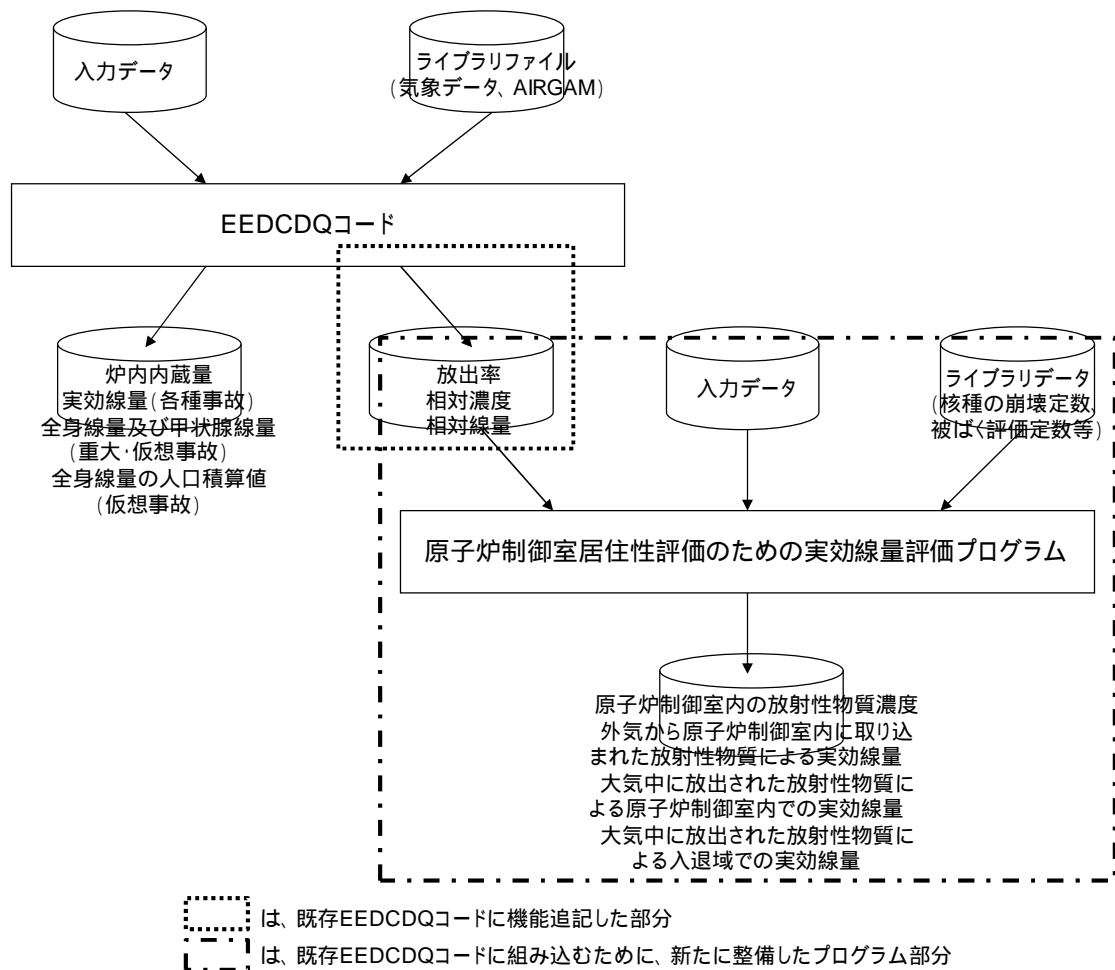


図 2.9 機能追加した EEDCDQ コードの構成図 (参 23)

Fig.2.9 Outline of revised EEDCDQ code

機能追加した EEDCDQ コードを用いて、複数の方位からの寄与を考慮した放射性物質の濃度の計算が可能か、また、外気から中央制御室内に取り込まれた放射性物質の濃度の計算が可能かどうかを検証した。

BWR の原子炉冷却材喪失事故を対象として計算した大気中への放出量を用いて、複数の方位からの寄与を考慮した放射性物質の濃度及び外気から中央制御室内に取り込まれた放射性物質の濃度を計算した。

なお、検証解析に当たり、機能追加した EEDCDQ コードを用いて、原子炉冷却材喪失事故（立地評価における仮想事故）を対象に、既存 EEDCDQ コードを用いた解析結果（炉心内蓄積量、大気中への放出量、相対濃度、相対線量、全身線量及び甲状腺線量）が再現できることを確認した。

複数の方位からの寄与を考慮した放射性物質の濃度の計算

機能追加した EEDCDQ コードを用いて、複数の方位からの寄与を考慮した放射性物質の相対濃度及び相対線量を計算した。任意に選んだ 4 方位について、4 方位分を統計処理（毎時刻の相対濃度及び相対線量を年間について小さい方から累計し、その累積出現頻度が 97%に当たる値を選定）した相対濃度及び相対線量の他に、方位ごとに 1 方位分を統計処理した相対濃度及び相対線量並びに 4 方位分を単純に合算した相対濃度及び相対線量を計算し、比較を行った。

4 方位分を統計処理した計算結果は、1 方位分を統計処理した計算結果よりも考慮する方位が多いため、相対濃度及び相対線量が大きくなると予想できる。また、4 方位分を統計処理する場合、4 方位分に該当する計算結果を小さい方から並べて、97%値に当たる値を選定するため、4 方位分を単純に合算する場合よりも、相対濃度及び相対線量が小さくなると予想できる。

図 2.10 に、相対濃度の結果を、図 2.11 に、相対線量の結果をそれぞれ示す。これらの図から、4 方位分を統計処理した相対濃度及び相対線量は、各方位の計算結果よりも大きく、4 方位分を単純に合算した計算結果よりも小さい傾向があり、予想していた結果が再現できることを確認した。

外気から原子炉制御室に取り込まれた放射性物質の濃度の計算

機能追加した EEDCDQ コードを用いて、原子炉制御室内外のヨウ素の濃度を計算し、その結果を比較・検討した。

図 2.12 に、BWR における原子炉冷却材喪失時の原子炉制御室内外の I-131 濃度を示す。この事象は、放出継続時間が数百時間と非常に長く、長時間にわたり大気中にヨウ素が放出されるため、外気から原子炉制御室内に取り込まれるヨウ素も、原子炉制御室外のヨウ素と同様の傾向を示すことを確認した。

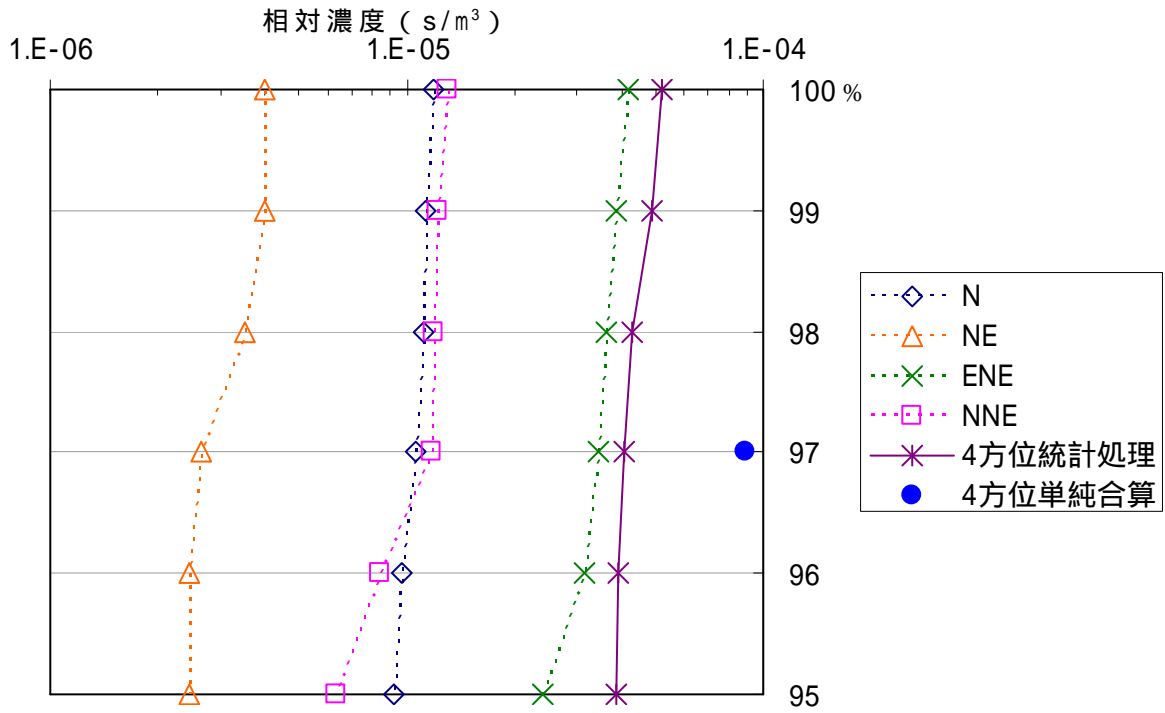


図 2.10 相対濃度 97%値の比較 (参 23)

Fig.2.10 Comparison of relative concentration 97% value

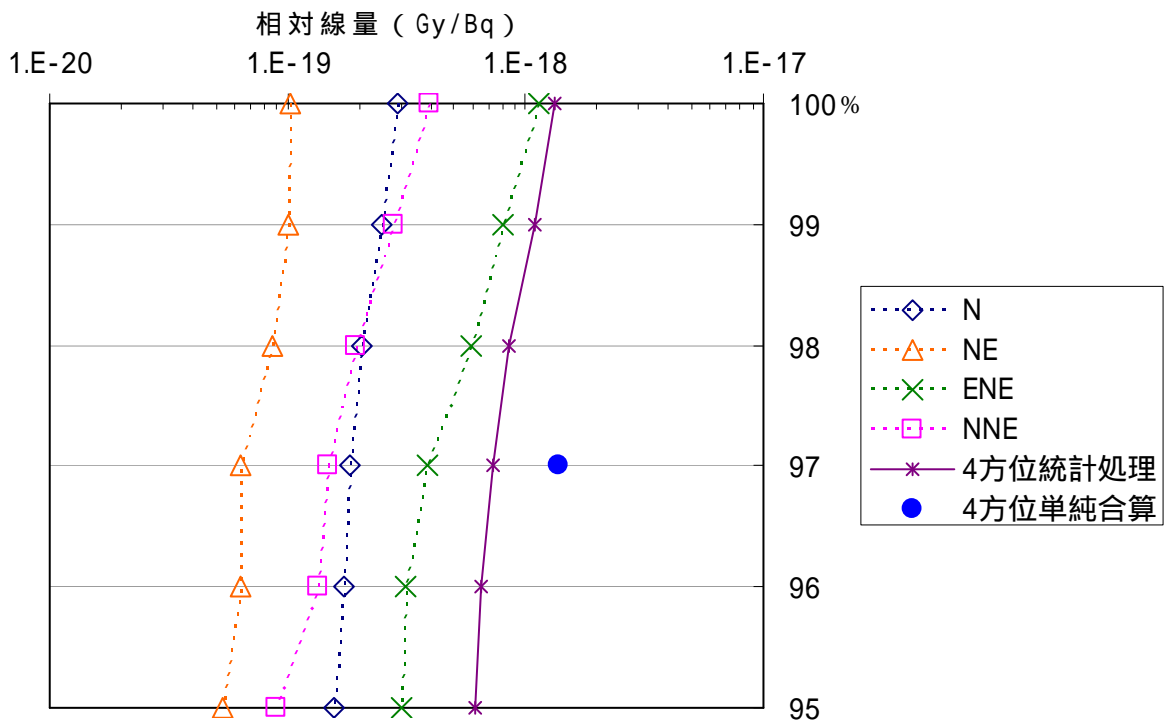


図 2.11 相対線量 97%値の比較 (参 23)

Fig.2.11 Comparison of relative dose 97% value

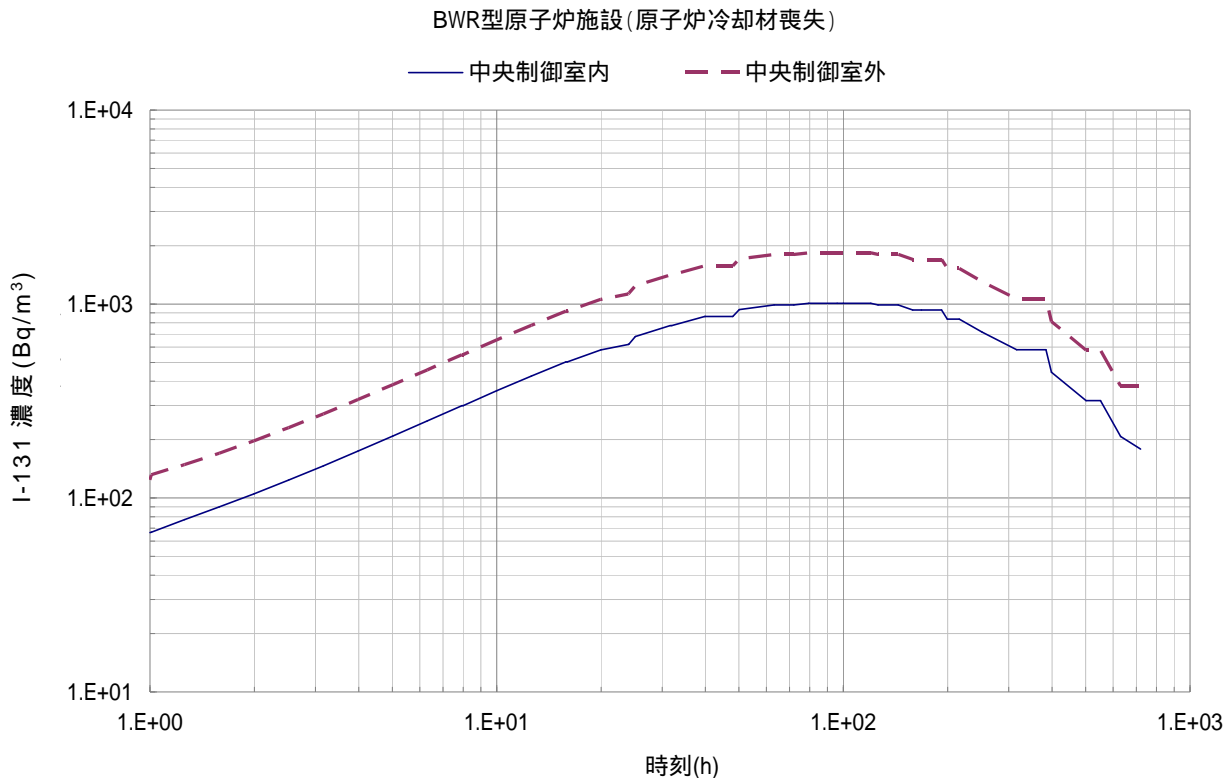


図 2.12 原子炉制御室内外での I-131 濃度の比較 (参 23)

Fig.2.12 Comparison of I-131 concentrations inside and outside a control room

(2) 重大事故時の制御室等居住性に係る被ばく評価コードの整備

「制御室・緊対所居住性に係る被ばく審査ガイド」に基づき、重大事故時に原子炉格納容器内及び大気中へ放出された放射性物質による制御室等での実効線量を計算する評価コード SACRHDose を作成した(図 2.13 参照)。なお、SACRHDose コード作成の一環として、重大事故時に格納容器から大気中に放出される放射性物質を推定するために、格納容器スプレイによる放射性物質除去の効果を検討した。

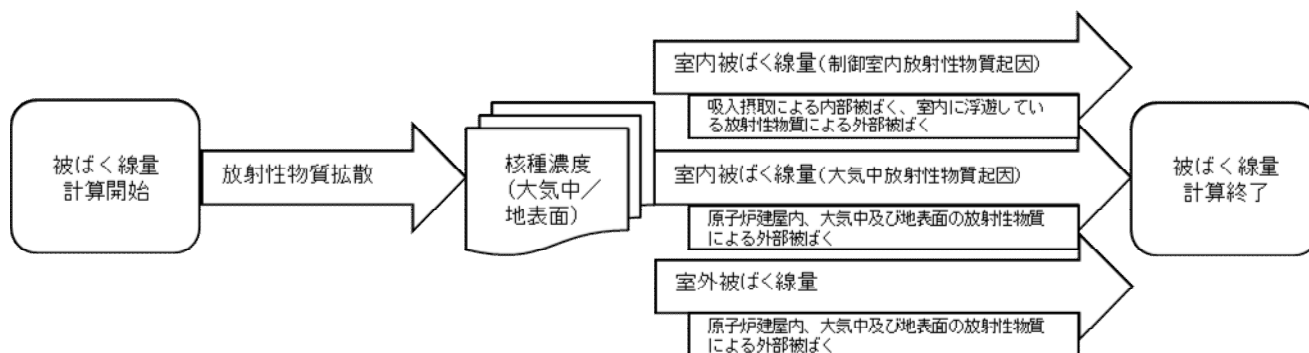


図 2.13 SACRHDose コードの概要

Fig.2.13 Outline of SACRHDose code

また、被ばく経路のうち、大気中に放出された放射性物質のグランドシャイン、並びに、原子炉格納容器内の放射性物質からの直接ガンマ線及びスカイシャインガンマ線による制御室等内と入退域での被ばく線量を評価するために、汎用の3次元遮へい計算プログラム Pre/GAM-D 及び散乱ガンマ線計算プログラム Pre/GAM-S を導入し、地表面の高低差等の設定条件が線量に及ぼす影響を確認した。

図 2.14 に、スカイシャインガンマ線計算モデルの概要を示す。線源は、仮想的な線源強度とし、3分割した格納容器内にそれぞれ点線源として設定した。図 2.15 に、図 2.14 のモデルにより、緊対所高さを変化させた場合の実効線量変化を示した計算結果例を示す。

本計算条件においては、原子炉建屋の上部遮へい面が側面に比べて薄い。そのため、水平方向の距離同一条件において、緊対所位置が高くなり、スカイシャインガンマ線の散乱点に近くなると、実効線量が増加した。

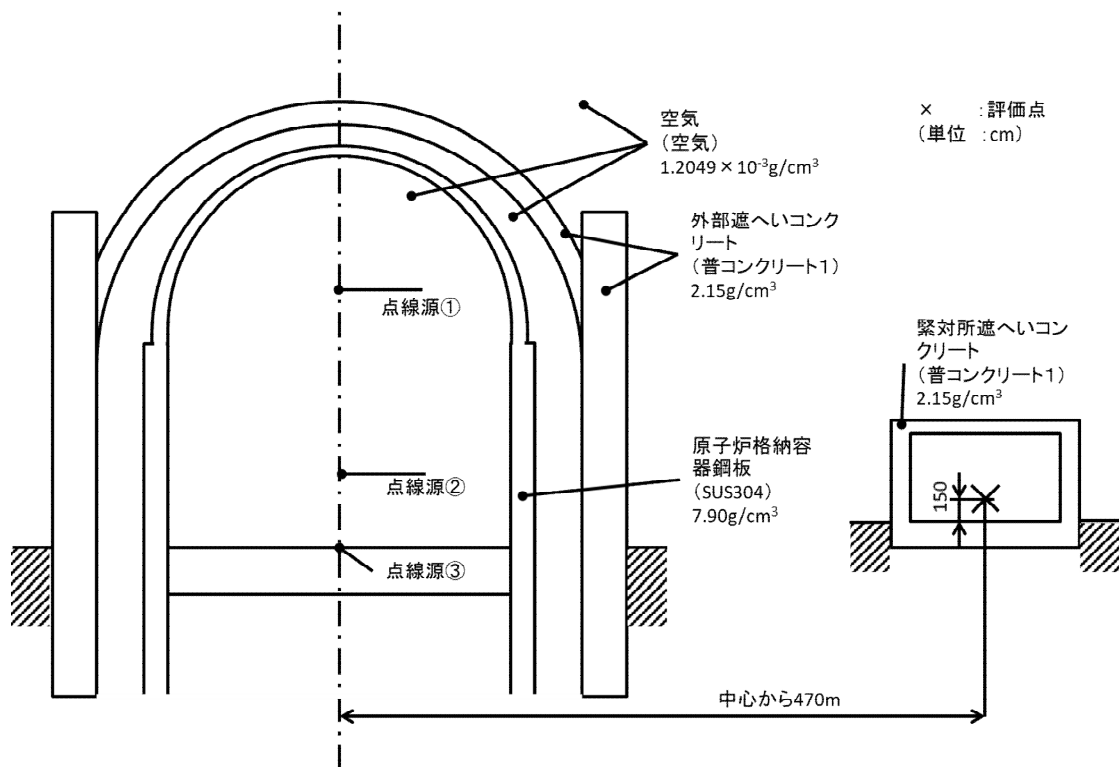


図 2.14 スカイシャインガンマ線計算モデル

Fig.2.14 Calculation model of skyshine gamma ray

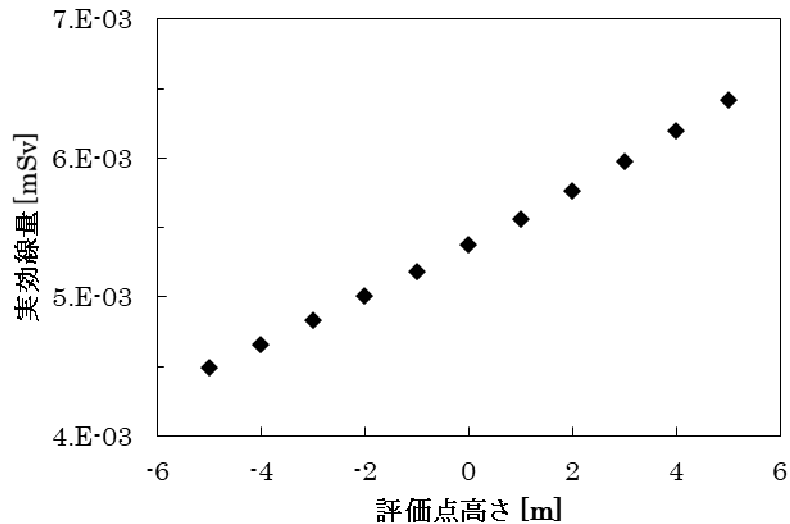


図 2.15 評価点高さを変えた場合の実効線量の変化

Fig.2.15 Effective doses change by evaluation point height

(3) 有毒ガス影響評価コードの整備

貯蔵容器からの漏えい、液溜まりからの蒸発等を含む有毒ガスの放出量に関する評価手法及び大気中における有毒ガスの移流拡散に関する評価手法を整理するとともに、評価手法の違いによる計算結果への影響を分析した。有毒ガス放出挙動の分析結果に基づいて、制御室・緊対所内における有毒ガス濃度を計算するコード chemtrns を作成した。

chemtrns コードの概要を図 2.16 に示す。有毒ガスは、有毒化学物質が貯蔵容器から液体又は気体の状態で放出されることにより発生する。このため、有毒化学物質が液体の状態で放出される場合には、まず液溜まりからの発生量を計算し、発生した有毒ガスについて、大気中で移流拡散し、制御室・緊対所内に流入した場合の濃度を計算する。また、有毒化学物質が気体の状態で放出される場合には、放出された有毒ガスについて、大気中で移流拡散し、制御室・緊対所内に流入した場合の濃度を計算する。大気中の移流拡散については、米国 NRC が整備した有毒ガス影響評価コード^(参 24) (以下「HABIT」という。) に適用実績のあるガウスパフモデルによって計算する。

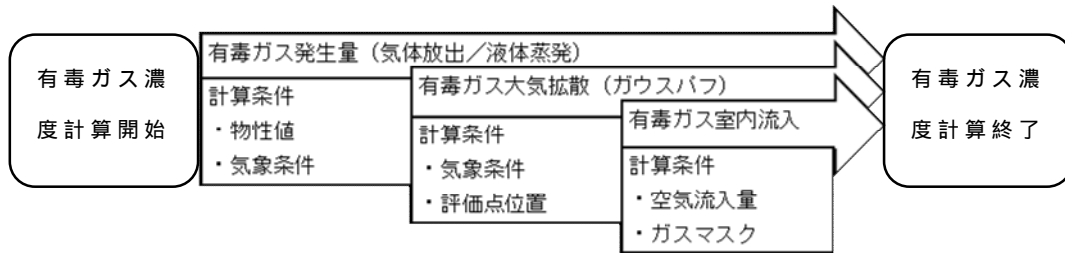


図 2.16 chemtrns コードの概要

Fig.2.16 Outline of chemtrns code

作成した chemtrns コードを用いて、仮想的な条件におけるアンモニア放出時の濃度について計算し、同条件における HABIT の計算結果と比較した。

図 2.17(a)に、液溜まり形成、液溜まりからの蒸発及び大気拡散を考慮した大気中濃度を、図 2.17(b)に、空気流入を考慮した室内濃度の結果をそれぞれ示す。大気中濃度は、HABIT の計算と概ね同様な濃度ピークを示すことを確認した。chemtrns コードによる大気中濃度結果は、採用したモデルの違いにより、液溜まりからのアンモニア蒸発が短時間で終了するため、HABIT よりも瞬間的に高い濃度を示す傾向を確認した。また、chemtrns コードによる室内濃度結果について、アンモニアの室内流入時間が短くなるため、HABIT よりも低い濃度を示す傾向を確認した。

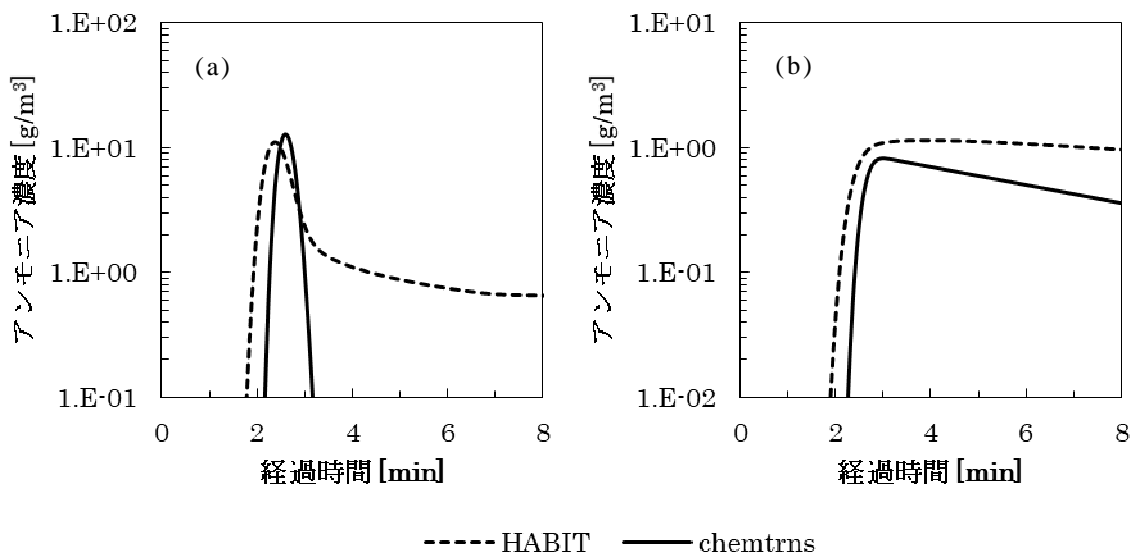


図 2.17 (a)室外及び(b)室内評価点における chemtrns コードと HABIT の比較
Fig.2.17 Comparison of chemtrns and HABIT at inside (a) and outside (b) of a control room

3 . 重大事故時の被ばく評価手法高度化研究

3 . 1 重大事故時の被ばく評価に係るガイド案の策定

「安全性向上評価運用ガイド」に対応する評価手法の検討のために、内部事象及び外部事象を起因とする重大事故時の敷地境界における実効線量の評価手法を対象として、ソースタームの設定、気象シーケンスの選定、大気拡散及び沈着の評価、被ばく線量評価、並びに、不確実さ解析及び感度解析の実施手法を検討した。

3 . 2 重大事故時の線量評価コードの整備

(1) 外部被ばく線量の数値解法の検討及び被ばく評価コードの整備

重大事故時の被ばく評価手法のうち、クラウドシャイン及びグランドシャインによる外部被ばく評価について、線量計算の数値積分法として次の5つの積分法を検討した。

台形公式 (Trapezoidal rule)

シンプソンの公式 (Simpson ' s rule)

ガウス・ルジャンドル求積法 (Legendre-Gauss quadrature)

二重指数関数型数値積分 (Double Exponential formula)

適応型ニュートン・コーツ自動積分法

検討の結果、外部被ばく線量評価モデルに対して、二重指数関数型数値積分 (Double Exponential formula (以下「DE 公式」という。)) が最適であることを確認した。

また、DE 公式を用いた線量計算プログラムを作成するとともに、米連邦指針報告書 12 (FGR12) (参 25) を基に、ICRP90 年勧告 (参 26) 及び 2007 年勧告 (参 27) の組織加重係数に基づく線量換算係数を取りまとめた。

DE 公式を用いた外部被ばく線量計算の検証のために、放射性雲からのガンマ線照射線量率計算コード GAMPUL による計算結果 (参 28) との比較を行った。GAMPUL は、計算結果の相互比較の標準とすることを目的に開発されたものであり、被ばく線量計算及び計算コードの検証によく用いられているものである。大気安定度 A 及び F の場合の比較結果 (GAMPUL の計算結果に対する本積分計算結果の比) を、それぞれ表 3.1 及び表 3.2 に示す。いずれのケースも GAMPUL と良い一致が得られた。なお、表 3.1 の大気安定度 A のケースにおいて、風下距離 1500 m で本積分計算が GAMPUL より大きくなっているのは、本積分計算では、気象指針に従い、1000 m を超える z を 1000 m として扱っているためである。

表 3.1 GAMPUL の結果に対する本積分計算結果の比（大気安定度 A）

Table 3.1 Ratio of the current integration calculation result to the result of GAMPUL (Atmospheric stability: A)

		大気安定度A							
		風下軸に垂直方向の距離(m)							
風下距離(m)		0	50	100	200	300	500	700	1,000
-200		1.04	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01
-100		1.03	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	0.99	0.97
-50		1.03	1.00	1.01	1.04	1.00	1.00	0.98	0.94
0		0.45	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.94	0.90
10		1.02	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.95	0.91
50		1.01	0.99	0.99	0.99	1.00	0.98	0.96	0.93
100		1.01	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	0.98	0.95
200		1.01	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00	0.98
300		1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.01
500		1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05
700		1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02
1000		1.04	1.04	1.04	1.04	1.06	1.10	1.13	1.18
1500		4.09	4.09	4.09	4.09	4.08	4.06	4.04	3.95

表 3.2 GAMPUL の結果に対する本積分計算結果の比（大気安定度 F）

Table 3.2 Ratio of the current integration calculation result to the result of GAMPUL (Atmospheric stability: F)

		大気安定度F							
		風下軸に垂直方向の距離(m)							
風下距離(m)		0	50	100	200	300	500	700	1,000
-200		1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98
-100		1.01	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.95
-50		1.01	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.95	0.92
0		0.45	0.98	0.99	0.98	0.97	0.96	0.93	0.90
10		1.02	0.98	0.98	0.98	0.98	0.96	0.94	0.90
50		1.01	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.95	0.92
100		1.02	0.98	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96	0.93
200		1.02	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.96
300		1.02	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97
500		1.02	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
700		1.02	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	0.95	0.93
1000		1.03	1.01	1.00	1.00	0.99	0.97	0.95	0.92
1500		1.02	1.01	1.01	0.99	1.00	0.97	0.95	0.91

これらの検討結果を踏まえ、重大事故時における敷地境界付近の被ばく線量を評価するために、大気中への放出量、大気拡散及び地表面沈着量、被ばく経路（クラウドシャイン、グランドシャイン及び放射性物質の吸入による内部被ばく）ごとの線量を計算する被ばく評価コード SANDOSE を新たに作成した。

SANDOSE コードの内部被ばく計算及び沈着量の計算については、希ガス、ヨウ素及びセシウムを対象とした手計算結果と一致することを確認した。

(2) 被ばく線量評価に影響する支配要因の検討

SANDOSE コードを用いて、重大事故時の被ばく評価の試算を行い、技術的知見を蓄積した。

重大事故時は、希ガス及びヨウ素の他に、セシウムなど設計基準事故では考慮していない核種が放出される可能性がある。このため、重大事故時の核種の放出を想定した被ばく評価の試算を行い、敷地境界付近における被ばく線量について、被ばく経路（クラウドシャイン、グランドシャイン及び放射性物質の吸入による内部被ばく）ごとの寄与割合及び核種ごとの寄与割合を定量化し、重大事故時の被ばく線量に大きく寄与する核種を明らかにした。また、地表面沈着による被ばくは、放出停止後も継続するため、被ばく時間による被ばく線量の変化及び被ばく経路の寄与割合の変化を評価した。また、降雨の被ばく線量への影響等、被ばく評価条件の変動が被ばく線量に与える影響を明らかにした。

本試算では、主な解析条件として、61核種がそれぞれ炉心に 1×10^{10} Bq 存在し、事故直後に地上放出を開始するとし、放出継続時間は 1 時間、被ばく時間は 24 時間とし、大気中への放出割合は「制御室・緊対所居住性に係る被ばく審査ガイド」で緊対所の被ばく評価の際に想定する値（1F 事故相当の放出量）を仮定した。気象条件は、アメダスで観測された年間の気象データを用いた。被ばく経路ごとの線量への寄与割合が約 80% を占める内部被ばくへの核種別の寄与割合を図 3.1 に示す。

試算の結果、内部被ばく線量への寄与割合が大きい核種は、I-131、Cs-134、Te-127m、Cs-137 及び Te-129m であった。

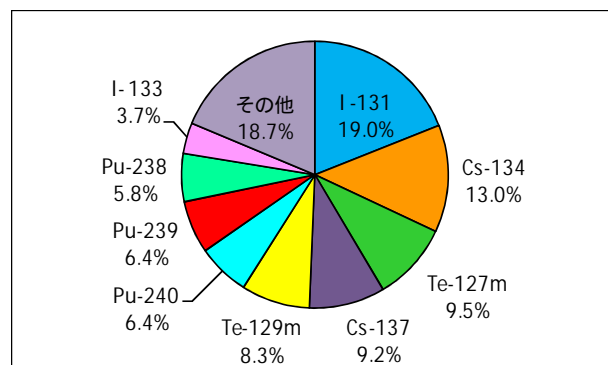


図 3.1 内部被ばく線量への核種の寄与割合

Fig.3.1 Contributions of radionuclides to inhalation doses

4. 結論

4.1 成果の要点

本プロジェクトでは、制御室・緊対所を対象にした放射性物質及び有毒ガスによる影響の評価手法並びにその判断基準を定めたガイド案及び安全性向上評価運用ガイド案の被ばく評価の項を作成した。

また、制御室・緊対所居住性の放射線防護及び有毒ガス防護に関するガイド類並びに重大事故時の線量評価の継続的な見直しのために、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価コード、重大事故時の制御室・緊対所居住性に係る被ばく評価コード、有毒ガス影響評価コード及び重大事故時の線量評価コードを作成した。

4.2 目標（目的）の達成状況

（1）制御室居住性に係る解析評価

計画どおり、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案及び空気流入率測定試験ガイド案、制御室・緊対所居住性に係る被ばく審査ガイド案並びに有毒ガス防護影響評価ガイド案を作成するとともに、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価コード、重大事故時の制御室・緊対所居住性に係る被ばく評価コード及び有毒ガス影響評価コードを作成した。

（2）重大事故時の被ばく評価手法高度化研究

計画どおり、安全性向上評価運用ガイド案の被ばく評価の項を作成するとともに、重大事故時の線量評価コードを作成した。

4.3 成果の活用等

（1）制御室居住性に係る解析評価

平成 18～19 年度に作成した設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価ガイド案及び空気流入率測定試験ガイド案は、平成 21 年 8 月に旧保安院が制定した「被ばく評価手法（内規）」に反映された。平成 24～25 年度に作成した制御室・緊対所居住性に係る被ばく審査ガイド案は、平成 25 年 7 月に施行した「制御室・緊対所居住性に係る被ばく審査ガイド」に反映された。これらのガイド類は、制御室・緊対所の放射線防護に関する既設炉の新規制基準の適合性審査に活用された。有毒ガス防護影響評価ガイド案は、平成 29 年 4 月に施行された「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」^(参 17)に反映された。

今後も、制御室・緊対所居住性の放射線防護に関する新規制基準への適合性審査に活用されるとともに、有毒ガス防護に関する既設炉のバックフィットに活用される予定である。また、設計基準事故時の原子炉制御室居住性に係る被ばく評価コー

ド、重大事故時の制御室・緊対所居住性に係る被ばく評価コード及び有毒ガス影響評価コードは、制御室・緊対所居住性に関するガイド類の継続的な見直しのための基盤整備に活用する予定である。

(2) 重大事故時の被ばく評価手法高度化研究

平成 24～25 年度に検討した原子力発電所敷地境界における実効線量を評価する手法は、平成 25 年 12 月に施行された「安全性向上評価運用ガイド」に反映された。

今後も、「安全性向上評価運用ガイド」は、安全性向上評価における事業者の評価手法等の確認に活用されるとともに、重大事故時の線量評価コードは、「安全性向上評価運用ガイド」の継続的な見直しのための基盤整備に活用する予定である。

参考文献一覧

- (1) 原子力規制委員会、「実用発電用原子炉に係る重大事故時の制御室及び緊急時対策所の居住性に係る被ばく評価に関する審査ガイド」、平成 25 年 6 月
- (2) 原子力安全・保安院、平成 21・07・27 原院第 1 号、「原子力発電所中央制御室の居住性に係る被ばく評価手法について（内規）」、平成 21 年 8 月
- (3) 原子力規制委員会、「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」、平成 25 年 11 月
- (4) 経済産業省、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令」、制定：昭和 40 年 6 月 15 日通商産業省令第 62 号、最終改正：平成 25 年 6 月 28 日号外経済産業省令・原子力規制委員会規則第 1 号
- (5) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会 安全評価ワーキンググループ（中央制御室の居住性）第 1 回、資料 2～9、平成 20 年 7 月 9 日
- (6) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会 安全評価ワーキンググループ（中央制御室の居住性）第 2 回、資料 1、2 及び 3-1～3-4、平成 20 年 7 月 29 日
- (7) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会 安全評価ワーキンググループ（中央制御室の居住性）第 3 回、資料 1、1-1～1-2、2 及び 2-1、平成 20 年 12 月 16 日
- (8) 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 原子炉安全小委員会 安全評価ワーキンググループ（中央制御室の居住性）第 4 回、資料 1～6、平成 21 年 1 月 30 日
- (9) 原子力安全委員会、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」、昭和 57 年 1 月
- (10) 原子力安全委員会、「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」、平成 2 年 8 月
- (11) 独立行政法人原子力安全基盤機構、JNES-RE-2013-0001-Rev.1、「安全研究年報（平成 24 年度）」、平成 25 年 8 月
- (12) 原子力規制庁、「拡散シミュレーションの試算結果（総点検版）」、平成 24 年 12 月
- (13) 第 17 回発電用軽水型原子炉の新規制基準に関する検討チーム会合、資料 4、平成 25 年 3 月 8 日
- (14) USNRC, “Evaluating the habitability of a nuclear power plant control room during a postulated hazardous chemical release,” Regulatory Guide 1.78, Rev.1, December (2001).

- (15) NIOSH, "NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards," September (2007).
- (16) 平成 27 年度第 42 回原子力規制委員会、資料 3 別紙 1 及び 3、平成 27 年 11 月 25 日
- (17) 原子力規制委員会、「有毒ガス防護に係る影響評価ガイド」、平成 29 年 4 月
- (18) 第 1 回原子炉制御室の居住性に係る有毒ガス影響評価に関する検討会、資料 1-2、1-3 及び 1-5、平成 28 年 1 月 6 日
- (19) 第 2 回原子炉制御室の居住性に係る有毒ガス影響評価に関する検討会、資料 2-1、平成 28 年 2 月 23 日
- (20) 第 3 回原子炉制御室の居住性に係る有毒ガス影響評価に関する検討会、資料 3-1 及び 3-2、平成 28 年 4 月 8 日
- (21) 平成 28 年度第 19 回原子力規制委員会、資料 2、平成 28 年 7 月 6 日
- (22) 平成 28 年度第 37 回原子力規制委員会、資料 3 別紙 2-3、平成 28 年 10 月 19 日
- (23) 独立行政法人原子力安全基盤機構、JNES/SAE09-021、「中央制御室居住性に係る被ばく評価手法の整備」、平成 21 年 5 月
- (24) S. A. Stage, "Computer Codes for Evaluation of Control Room Habitability (HABIT)", NUREG/CR-6210, June (1996)
- (25) Keith F. Eckerman and Jeffrey C. Ryman, EPA-402-R-93-081, "Federal Guidance Report No. 12: External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil," September (1993).
- (26) ICRP Publication 60, "1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection" (1991).
- (27) ICRP Publication 103, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection" (2007).
- (28) 林隆、白石忠男、「排気筒から放出される放射性雲からの線照射線量率」、JAERI-M 8793 (1980)

「被ばく評価手法の高度化研究」の執筆者

原子力規制庁 長官官房 技術基盤グループ

シビアアクシデント研究部門

舟山 京子 安全技術管理官（シビアアクシデント担当）

市川 竜平 技術研究調査官

林田 芳久 技術参与