標準委員会セッション１（リスク専門部会）

レベル 3PRA 標準の改定とその意義

Improvement of the Level 3 PRA standard and its significance

*山口彰[1]，*本間俊充[2]，*小倉克規[3]，成宮祥介[4]

[1]東京大学，[2]JAEA，[3]電力中央研究所，[4]関西電力

1. はじめに

標準委員会リスク専門部会では，確率論的リスク評価（Probabilistic Risk Assessment：PRA）の実施基準を策定している。原子力施設の PRA が対象とする領域は，対象施設やその運転状態，想定すべき事象の範囲，評価する指標の範囲等に応じて多岐に渡る。原子力発電所を対象とする場合には，一般的に，運転状態については，出力運転時と停止時を区別して PRA を分類し，想定すべき事象については，事故の発端となる事象の特性に応じて，発電システムの内部で起きるランダムな故障や人的過誤を対象とする内的事象の PRA と地震や火災等を対象とする外的事象の PRA に大別される。またこれを評価する指標の範囲については，炉心損傷事故の発生頻度までを評価するレベル 1PRA，これに加えて格納容器破損に至る事故の発生頻度及びその際の放射性物質の環境への放出の量やタイミング等(ソースターム)までの評価を行うレベル 2PRA，さらに，公衆や環境への影響の発生頻度と大きさまでを評価するレベル 3 PRA に分類される。

原子力発電所の確率論的リスク評価に関する実施基準（レベル 3PRA 編）（以下，「レベル 3PRA 標準」という）は，原子力発電所の出力運転状態及び停止時を対象とし，内的事象及び外的事象のいずれの起因事象にも適用できるレベル 3PRA を実施する際の要件及びそれを満たすための具体的方法を規定しているものであるが，レベル 3PRA 標準：2008 が制定されて以来，5 年以上が経過したことから，改定することとした。その際，レベル 3PRA 標準：2008 以降に公開されている文献や文書，福島第一原子力発電所事故からの知見又は教訓に関連した国内外の動向についても調査し，レベル 3PRA 標準への反映事項について検討するなど，最新知見の取り込みを図るとともに，品質や透明性の確保が適切に行われるよう，要求事項の見直しを検討した。

本セッションでは，レベル 3PRA の意義，今回の改定の概要及びレベル 3PRA の評価概要について紹介する。

2. 環境影響に対するリスク評価の意義

福島第一事故をふまえ，レベル 3PRA の重要性が一段と増した。大規模な放射性物質の放出と敷地外への影響が現実のものとなったこと，原子力発電所周辺自治体が防災計画を求められていること，規制基準の策定と事業者の自主的安全向上への取組みによりシビアアクシデントの影響緩和のための重大事故対処設備や手順書が充実したことから，高い優先度をもってレベル 3PRA を実施すべきである。原子力発電所でのシビアアクシデントマネジメント能力向上を踏まえれば，発電所の管理者がシビアアクシデントの影響評価にまず取組む必要がある。福島第一事故の分析と規制に反映すべき教訓を抽出するために，また自治体の防災計画を実効的で効果的なものとするためには国もリスク評価研究を優先的に取組むべきである。

---

*Akira Yamaguchi [1], Toshimitus Homma [2], Katsunori Ogura [3], Yoshiyuki Narumiya [4]

[1]Univ.of Tokyo, [2]JAEA, [3]CRIEPI, [4]KEPCO

米国では，1995 年にソースターム研究[5]が行われ，最新の研究成果が規制に反映されている。また，2012 年には，最新の設計を反映し，シビアアクシデントに関する研究成果を集大成する研究プロジェクトとして SOARCA[6]の報告書が発行された。さらに現在は，多数基リスクや燃料プールのリスクを含めて最新の知見をふまえたレベル 3PRA プロジェクト[7]を実施中である。これらの研究は，原子力発電所の事故による影響から公衆を防護するため，深層防護の第 5 層に対応する緊急時計画・緊急対応や立地評価に反映するとともに規制のレベルを向上させることも目的としている。

わが国で同様の研究を活性化させることは喫緊かつ継続的に実施するべき課題である。リスク専門部会では，このような背景を踏まえ，レベル 3PRA の標準を定期的に改定するとともに，外的事象起因の PRA や停止時 PRA のためのレベル 3PRA 実施手順の記載を充実させる計画である。あわせて，国内外のレベル 3PRA に係る標準策定や研究活動を実施する組織・団体とも連携し，国際的にも整合する標準とする計画である。

3. レベル３ＰＲＡ標準の改定の概要

3.1 改定時の検討項目

今回の改定にあたっては，以下の四つの項目について検討し，規定又は附属書（参考）に反映した。

① 体裁の更新

最近の PRA 実施基準にならって構成および附属書･解説の内容を見直した。

② 参考文献の更新

引用あるいは，附属書又は解説に記載している参考文献の更新を検討した。

③ 新しい知見の反映検討

a) 福島第一原子力発電所事故からの知見あるいは教訓として，レベル 3PRA 標準に反映するようなものはあるかどうかを検討し，規定化は見送ったが，附属書（参考）に被ばく経路を追加した。また，福島第一原子力発電所事故の教訓を取り込み制定された原子力規制委員会の原子力災害対策指針に基づく，わが国の原子力災害対策の現状を反映した。

b) 海外の PRA 関連基準・規格については，公開文書ではないため反映していない。

- USNRC フルスコープレベル 3PRA 研究プロジェクト（2010 年から継続）
- ANS/ASME-58.25, "Standard for Radiological Accident Offsite Consequence Analysis (Level 3 PRA) to Support Nuclear Installation Applications"

c) レベル 3PRA 標準：2008 は内的事象及び外的事象のいずれの起因事象にも適用可能としていたが，外的事象の評価に際する要求事項が明記されていなかったため，今回の改定で，外的事象によるサイト周辺の被災状況の考慮について，防護対策による線量低減解析及びリスクの定量化における要求事項として明記した。

④ 適用範囲の拡張

レベル 3PRA 標準：2008 は，公衆の健康影響として放射線被ばくによる個人の急性死亡リスクとがん死亡リスクを対象としていたが，加えて経済影響評価も適用範囲に含めることとした。適用範囲拡張後のレベル 3PRA 実施手順を図 1 に示す。

---

[5] Accident Source Terms for Light Water Nuclear Power Plants, NUREG-1465 (1995)

[6] State-of-the Art Reactor Consequence Analysis (SOARCA) Report, NUREG-1935 (2012)

[7] Kevin Coyne, Full-Scope Site Level 3 PRA Project Status, 日米 PRA ラウンドテーブル資料（2014）

適用範囲拡張に係る狙いや経済影響評価に係る評価項目等については，3.3 項に記す。今回の改定においては，国内での経済影響評価事例が無いことから，経済影響評価に係る規定事項は必要最小限に留めており，評価手法については規定化しないこととしたが，附属書（参考）にユーザーが評価にあたり参考とできるよう評価手法を紹介している。

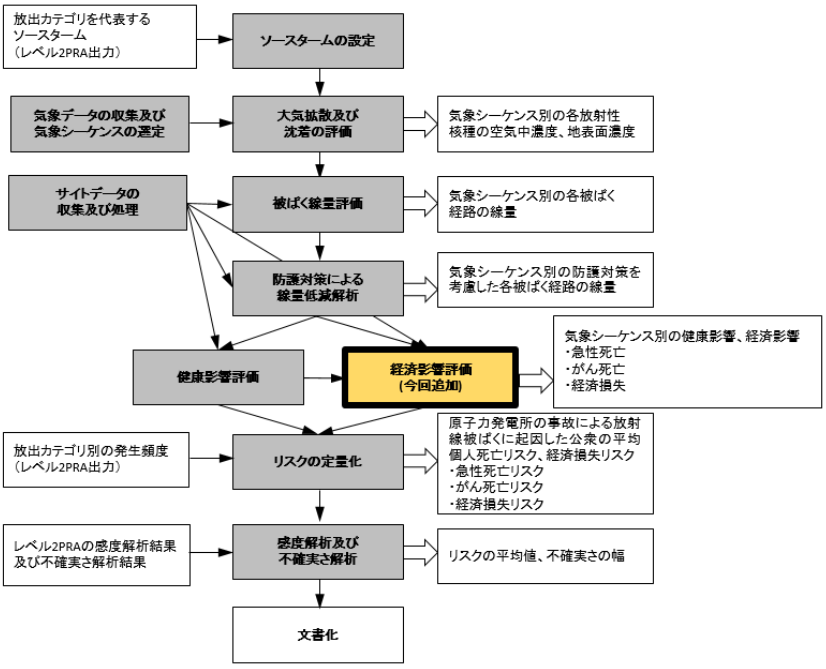


図 1 レベル 3PRA 実施手順

3.2 放射性物質の環境中移行と被ばく評価

レベル 3PRA では，レベル 2PRA で求めた事故シーケンスの発生頻度とソースターム（核種の放出タイミングと放出量等の放出源情報）と気象データ，サイトデータ（人口データ，農畜産データ，防護対策データ）を入力条件として，起こりうる気象条件とその確率を考慮し，放射性物質の環境中移行を計算した上で，考えられる被ばく経路からの線量評価をし，人の健康影響を評価する，又は経済影響を評価する。レベル 3PRA 標準の実施手順は図 1 に示したとおりであり，健康影響評価に係る評価のイメージは図 2 のとおりであり，評価の概要は以下のとおりである。

大気中に放出された放射性物質の移行を評価するにあたっては，大気拡散モデルを設定し，気象指針等を参考に気象データ、拡散パラメータ等を設定して，放射性物質の大気中濃度及び地表沈着濃度を算定する。レベル 3PRA 標準においては，大気拡散モデルとして，濃度分布を正規分布で仮定したガウス型モデルを用いてよいこととした。また，放射性物質の沈着の評価にあたっては，地表面への乾性沈着及び降水による湿性沈着を考慮する。

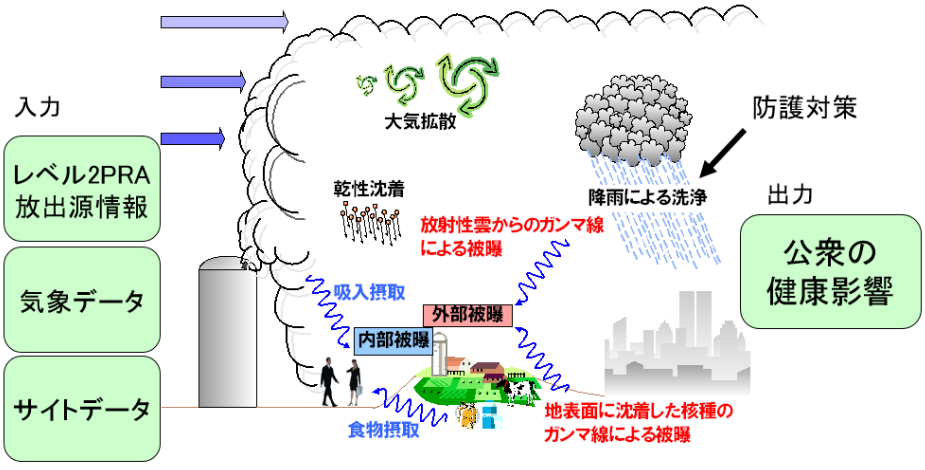


図 2 レベル 3PRA 評価概要

公衆の被ばくを評価するにあたっては，放射性雲からの外部被ばく（クラウドシャイン），地表面沈着物からの外部被ばく（グランドシャイン），吸入及び汚染農畜産物の経口摂取による内部被ばくなど

の被ばく経路を設定し，被ばく経路ごとの線量を求める。また，被ばく線量低減のために避難や安定ヨウ素剤の服用などの短期的な防護対策及び汚染された農畜産物の摂取制限や移転などの長期的な防護対策の効果を解析する。今回の改定においては，原子力規制委員会の原子力災害対策指針に基づく我が国の原子力災害対策の現状を反映している。

これら被ばく線量評価と防護対策の解析を基に，公衆の健康影響として，急性死亡とがん死亡を解析する。急性死亡の確率を求めるにあたっては，シグモイド形の線量依存性を持つハザード関数法を用いて解析する。がん死亡については線形の線量反応モデルを用いて評価する。

リスクの定量化では，公衆の健康影響と事故シーケンスの発生頻度を用いて，公衆の平均死亡リスク（急性死亡リスク及びがん死亡リスク）を求める。また，感度解析及び不確実さ解析を実施し，解析条件やモデルの仮定，パラメータ値が結果に及ぼす影響を把握する。

3.3 経済影響評価

レベル 3PRA 標準：2008 においては，国が示した安全目標への適合性評価等の実施に資するため，適用範囲で原子力発電所の事故のリスクとして，安全目標で示された放射線被ばくによる公衆の個人の急性死亡リスクとがん死亡リスクを対象としていたが，今回の改定では，公衆の健康影響に加えて原子力発電所の事故による経済影響を求めるための要件を規定することとした。

チェルノブイリ事故及び東京電力福島第一原子力発電所事故以来，原子力事故によって重大な経済的影響が生じることは共通の認識となっている。事故による経済影響は，電力選択，事故時の損害賠償，事故対策など，原子力発電に係る様々な局面において不可欠な情報の一つであるが，この標準においては，原子力発電所の更なる安全性向上に資するための対策を実施するにあたり，安全性のみならず経済的な面での定量的な効果を把握した上で対策を決定することは，より合理的な安全性向上の投資に繋がることから，対策にかかる意思決定の判断材料を提供することを目的として，原子力発電所の事故による経済影響評価の要求事項を追加した。また，原子力発電所の更なる安全性向上の対策にかかる意思決定の判断材料を提供する目的で，事業者が経済影響を評価しようとする際には，PRA 以外の手法や専門家判断も合わせて使用することも考えられるが，あくまで PRA により評価できる範囲のみを取り扱うこととしている。

レベル 3PRA 標準で扱う範囲は，炉心損傷，格納容器機能喪失に続いて，環境中に移行した放射性物質により公衆が受ける健康影響及び被ばく線量を低減するために実施される防護対策の費用並びに雇用・所得及び財の損失であり，具体的には以下の項目とした。

(a)健康影響

・放射線被ばくに起因する公衆の急性死亡

・放射線被ばくに起因する公衆のがん死亡

(b)防護対策費用

・避難に係る費用：人々の輸送費用，一時的な宿泊施設と食料確保に係る費用

・移転に係る費用：人々の輸送費用，宿泊施設の確保に係る初期費用・継続費用

・飲食物摂取制限に係る費用：制限期間中の食品の廃棄・処理による逸失利益とその費用，代替食品の費用

・除染に係る費用：実施費用（必要機器の経費，廃棄物の輸送・処理を含む），労働費

・防護対策の関連費用：緊急時計画の実情に合わせて防護対策費用

（例：安定ヨウ素剤予防服用に関する費用，緊急時モニタリング等）

(c)放射性物質に起因する雇用・所得及び財の損失

・防護対策の実施による労働生産低下に伴う逸失利益
・不動産の資産価値や資本減耗に係る財の損失など

もし事業者が経済的な観点からある対策の効果を把握しようとする場合，その対策を導入する前後の経済影響評価結果と対策にかかる費用を比較することで情報が得られる。また，同様に複数考えられる対策の中からどの対策が投資効果がよいかを判断するための材料ともなり，今後レベル 3PRA 標準がより活用されることが期待できる。

3.4 レベル 3PRA 手法の適用例

講演では、SOARCA 等の米国における最近の適用事例についても紹介する。

4. 総合討論

上記を踏まえて，総合討論を行う。

以　　上