

論文の内容の要旨

論文題目 シビアアクシデントマネジメントと原子力防災の統合的
リスク評価の研究 Study on Integrated Risk Analysis
of Severe Accident Management and Emergency
Preparedness and Response

氏 名 廣川 直機

福島第一原子力発電所の事故以降、国内の原子力発電所では深層防護の第4レベルにあたるシビアアクシデント（SA）の発生防止と影響緩和が拡充されてきている。また、第5レベルにあたる緊急時対応についてもハード、ソフト両面での整備が進められてきているものの、第4レベルと第5レベルを統合的に扱ったリスク対策の検討はこれまで十分になされていない。特に、第4レベルの対策設備の一つである格納容器ベントはSA時に格納容器圧力を緩和させる目的で実施されるが、実施に伴い発電所外へ核分裂生成物を放出することになるため、格納容器ベント実施時における公衆の被ばくリスク低減のためには、第5レベルの緊急時対応との連携が不可欠である。したがって、本研究では、格納容器ベント実施時に着目して第4レベルと第5レベルの統合的に扱ったリスク評価を行う。

既存のリスク分析手法としてはレベル3確率論的リスク評価があり、原子力発電所から放出されるソースターム及び原子力防災を組み合わせ、公衆リスクがどの程度であるか評価可能である。ただし、その評価結果は所与の評価条件に対するシミュレーションの結果であるため、なぜその不適切な運用に至ったか、他にも不適切な運用がないかといったリスク要因を抽出するといった分析には必ずしも適していない。このようなリスク要因の抽出手法としては、従来は故障モード影響解析やハザード操作性解析などが

用いられてきた。これら分析の前提として「事故はシステム構成要素の故障に起因する」と仮定しており、個々の要素の信頼性に着目している。

一方で、格納容器ベント実施時においては、原子力発電所内の組織体制やプラント設備、原子力防災に関わる組織体制や住民など幅広い関係性を扱う必要がある。このような目的に適う分析手法として、STAMP/STPA が提案されている。STAMP/STPA は、設備、人、組織、環境などの幅広い関係性から、システム全体でのハザード要因を分析する手法として、近年、航空機、医療器具、自動車といった幅広い分野のリスク分析に適用されてきている。本研究では、格納容器ベント実施時の幅広い関係性を分析できる STAMP/STPA とベントの意思決定を定量化できるファジィ推論を組み合わせ、第 4 レベルと第 5 レベルの両方を取り扱うことのできるリスク分析手法を確立することを目的とする。また、そのための方策として、1) 第 4 レベル及び第 5 レベルの組織-人-設備の関係性を考慮した重要なハザードシナリオの抽出、2) 重要なハザードシナリオの一つである格納容器ベントの実施の判断基準についての検討、3) 格納容器ベント開始時刻を変更した場合の公衆リスク評価、を挙げる。

STAMP/STPA を用いた格納容器ベント実施時におけるリスク要因の抽出では、深層防護の第 4 レベル及び第 5 レベルに関わる原子力緊急時対応の体制、SA 時の原子力発電所内の体制、原子炉施設の設備を評価対象システムに含め、それらの関係性をコントロールストラクチャとして表現した。このコントロールストラクチャを用いて、非安全なコントロールアクション、ハザード誘発要因及びハザードシナリオを抽出した。これらハザードシナリオに対して、関連するハザード（所外影響の大きさ）を考慮して、重要度分類を実施し、「避難指示の遅れ」及び「格納容器ベント実施判断の遅れ」が重要なシナリオであることが確認された。STAMP/STPA を用いたリスク分析では、非安全なコントロールアクションの客観的かつ合理的な抽出方法を検討するとともに、STAMP/STPA から抽出されたハザードシナリオに対してボトムアップで論理的に導出できていることを確認した。

公衆リスク低減策の検討として、STAMP/STPA の分析結果で重要度の高い「格納容器ベント実施判断」及び「避難遅れ」に着目した。公衆リスク低減に有効な格納容器ベント実施の判断基準及び防護措置について、ファジィ推論を用いて評価・検討した。また、検討に当たっては、福島第一原子力発電所事故での知見を反映した米国 SA 研究である SOARCA での事故シナリオを用いた。格納容器ベント実施の判断基準として、現状の判断基準であるケース 1（格納容器圧力）に加えて、ケース 2（ケース 1+避難遅れ考慮）及びケース 3（ケース 2+避難完了考慮）を考慮し、それぞれのケースで格納容器ベント実施の適合度を評価した。格納容器ベント開始タイミングを変えた場合の公衆リスクとの比較の結果、ケース 3 の格納容器ベント実施の判断基準が、他のケースと比べて公衆リスク低減に有効であることが確認された。さらには、この公衆リスク評価を活用して、EPZ 内の住民で避難遅れが発生した場合に屋内退避の有効性についても検討し、住民の

50%以上が避難完了していない時点でプルームが通過するような状況では屋内退避が有効であることが確認された。

本研究では、STAMP/STPA 及びファジィ推論といったフレキシビリティの高い手法を用いることにより、これまで検討が十分とは言えない深層防護の第4レベルと第5レベルのマネジメントを統合的に扱ったリスク評価手法の構築した点について、新規性を有するものと考えられる。また、深層防護での第5レベルの実効性確認として防災訓練が実施されているが、今回提案した評価手法を用いることで、大きなコストを掛けずに防災計画の有効性確認及び更なるリスク低減策の検討が可能となることが確認できた。このようなリスク分析が、事業者と地方自治体の関係者の連携の上で実施され、リスク要因に対して適切な対策（手順書の改善など）が講じられることにより、原子力緊急時対応を含めた全体の更なるリスク低減に寄与できるものと考えられる。