

補助事業番号 2022M-274

補助事業名 2022年度 国内新設原子力発電所の安全要件と

その成立可能性に関する研究 補助事業

補助事業者名 長岡技術科学大学 大学院工学研究科 システム安全工学専攻

システム安全工学研究室 教授 山形 浩史

1 研究の概要

原子力発電所の周辺住民にとっての最重要関心事項は「事故の場合、避難できる」であり、「避難が不要な原発」と明示することで不安が解消した。これらを踏まえ、避難が不要な原子力発電所の新設を目指すべきである。避難を不要とすることができる許容被ばく線量は、短期的観点では事故発生7日間で実効線量100mSv(全ての核種)、長期的観点では事故発生1年間で実効線量20mSv(エアロゾルなど沈着する核種)とすることが適切である。これを達成するためには、炉心損傷防止対策は、多様性、独立性、位置的分散などにより高い信頼性を確保することを提案した。それでもなお、炉心溶融(シビアアクシデント)を想定し、格納容器破損(避難を必要とする放射性物資の放出)防止対策は単純かつ頑健な防護層とすることを提案した。これらは、基本的に技術的に実現可能であり、現にメーカーなどで開発が進んでいる。さらに、大型航空機衝突の想定を現実的にすることで大幅な建設合理化が可能なが分かった。

2 研究の目的と背景

第6次エネルギー基本計画(2021年10月22日、閣議決定)において、原子力発電所の再稼働を進める、新型原子炉の研究開発を進めるとしているものの、再稼働の進捗ははかばかしくない。これまでのように、新型原子炉の研究開発という技術シーズ志向を続けても国民の理解は得られない。国民が求める安全に対して、研究開発で解決策を提供すれば社会的受容性は大きいと高まることが期待できる。

本研究では、(1)周辺住民にとっての安全の定義、(2)避難不要となる許容被ばく線量の決定、(3)許容被ばく線量を達成する安全要件の導出、(4)安全要件を満たす防護措置の技術的成立性、(5)大型航空機テロに対する頑健性の検討を目的としている。

3 研究内容

(<http://safety-management.na.coocan.jp/jka.html>)

(1) 周辺住民にとっての安全の定義

原子力発電所の周辺住民が多様かつ自由に質問している女川原発と島根原発に関する住民説明会の逐語議事録の質問部分のみについて、テキストマイニングにより名詞の出現頻度分析、名詞のスコア分析、共起ネットワーク分析を実施

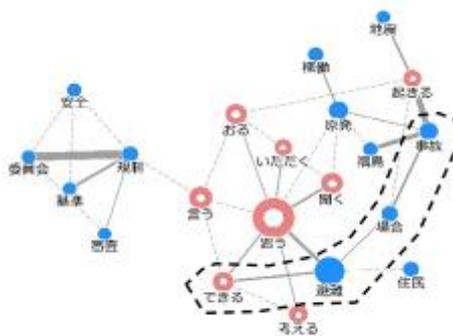


図1 共起ネットワーク

し、住民の重要関心事項を抽出した。周辺住民の重要関心事項は、共起ネットワーク分析の結果(図1)、「事故の場合、避難できる」、「安全の基準と審査は規制委員会」であった。名詞の出現頻度の一位が「避難」、スコアの一位が「避難計画」であることから、最重要関心事項は「事故の場合、避難できる」であった。

立地市町村及び隣接市町村において、「原子力発電所の事故の際に、どの程度の避難なら許せますか」という質問に対して、回答者の約4分の1は「避難は絶対に許せない」としているが、約4分の3は1日程度から数か月程度と幅はあるものの、その程度の「避難なら仕方がない」としている。この傾向に立地市町村と隣接市町村では差が見られない(図2)。

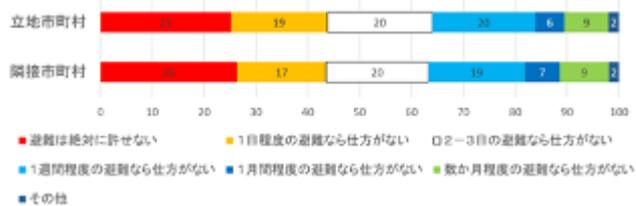


図2 原子力発電所事故の際の避難に対する許容度（地域別）

周辺住民の約4分の1が「避難は絶対に許せない」としている意識を考慮するとともに、新設原発は既設より安全性を向上させるために深層防護を強化することが望まれ、現に国内外の原子炉メーカーが避難不要な原発の設計を進めていることから、避難が不要な原子力発電所の新設を目指すべきである。

(2) 避難不要となる許容被ばく線量の決定

避難を不要とすることができる許容被ばく線量を短期的及び長期的観点から検討した。

短期的観点では、「原子力災害事前対策の策定において参照すべき線量のめやすについて(2018年10月17日、原子力規制委員会)」において、事前対策めやす線量(原子力災害発生初期(1週間以内)の緊急時を対象に、原子力災害事前対策の策定において参照すべき線量のめやす)を 実効線量 100mSvとしていることから、事故発生7日間で実効線量100mSv(全ての核種)とすることが適切であると結論した。

長期的観点では、「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故における緊急防護措置の解除に関する考え方について(平成23年8月4日、原子力安全委員会)」において、「当該区域において住民が受ける被ばく線量が、解除日以降年間 20 mSv 以下となることが確実であり、年間 1~20 mSv の範囲で長期的には参考レベルとして年間 1 mSv を目指して、合理的に達成可能な限り低減する努力がなされること」としていることから、事故発生1年間で実効線量20mSv(エアロゾルなど沈着する核種)とすることが適切であると結論した。

(3) 許容被ばく線量を達成する安全要件の導出

国内では革新炉と言われるものの開発が進んでいるが、既設炉を対象にした新規基準の延長で考えられているため複雑かつバランスを欠いた設計となっている。例えば、炉心損傷防止対策において、SA(シビアアクシデント)対応設備という考え方は新規性基準の背景を誤解しているように思われる。

炉心損傷防止対策は、多様性、独立性、位置的分散、二重故障基準により高い信頼性を確

保することが適切である。それでもなお、炉心溶融(シビアアクシデント)を想定し、格納容器破損(避難を必要とする放射性物資の放出)防止対策は単純かつ頑健な防護層とすることが適切である。新規制基準の背景にある安全確保の考え方に基づいて整理した新たな安全要件を作ることで、単純で信頼性と頑健性を備えた設計とすることが期待できる。なお、これらはプラントの性能目標にすぎない。原発の安全性が向上したとしても、5層からなる深層防護の厳格な遵守、前段否定の原則に従い、避難計画及び訓練の必要性及び重要性に変わりはない。

(4)安全要件を満たす防護措置の技術的成立

国内外での新型炉の計画を調査した。主なところでは、米国NUSCALE社のSMR、日立GEニュークリア・エナジーのBWRX-300(図3)、三菱重工のSRZ-1200(図4)である。いずれの炉型においても、避難の可能性の最初化を目指している。また、安全区分を明確に分離している。

本研究で目指している安全要件と、これらの設計は大きな差はないようにも見受けられる

米国では炉心損傷頻度が低く、事故時の放射性物質放出量が少ない場合はEPZを敷地境界まで縮小可能な見込み

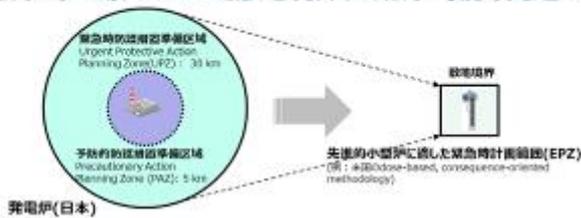
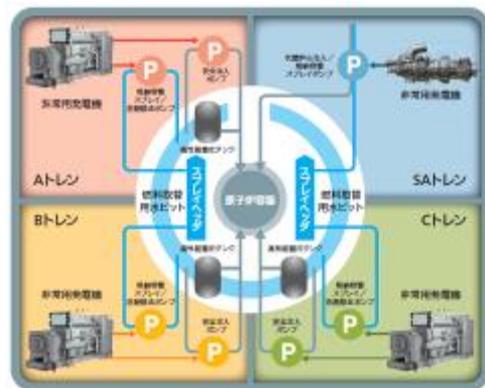


図3 BWRX-300の避難計画区域の最適化



3トレン+SAトレン+テロ対策による多重性・多様性・独立性の強化

図4 SRZ-1200の安全区分

(5)大型航空機テロに対する頑健性

放射性物質の放出は、事故によるものだけではなく、テロにより引き起こされることもある。大型航空機テロに対する頑健性を確保できる原子炉建屋構造の最適化について計算シミュレーションにより検討した。

大型航空機衝突から建屋内部を防護するには厚さ2-3mの鉄筋コンクリートが必要である。原子炉の格納容器を防護する側壁については、これまでも厚さ1m程度の耐震壁が何層も構築されていることから、既存技術の延長で対応可能である。しかしながら、格納容器を防護する建屋の天井部分(数十m平方の広い空間を覆い、端部のみで支える)を厚さ2-3mの鉄筋コンクリートで覆うことは上部が非常に重い構造となり地震を考慮しなければならない日本では耐震性の成立が困難である。たとえ可能でも莫大な費用が必要となる。耐震性及び経済性の成立する範囲で、大型航空機衝突から格納容器を防護する建屋の天井部分を構築する新技術がなければ、日本において新型炉を建設することは困難である。

これまで、大型航空機衝突の評価は垂直衝突で行われてきた。しかしながら、大型航空機は、通常の着陸時には約 3° の降下角で速度を落としながら(約 70m/s)、滑走路に着陸する。大型航空機は、降下角を大きくすれば、制御を失い失速する。標的となる天井部分は数十 m^2 であり、飛行の制御を失った場合は標的に衝突させることは難しく、制御を保つためには大きな降下角は取れない。よって、仮に大型航空機を天井部分に衝突させることができたとしても、数度の降下角での斜め衝突となる。

Ls-DYNAを用いた計算シミュレーションにより、衝突角度の増加に伴って裏面剝離限界板厚が増加するというおおよその傾向が見られた(図6)。これにより、従来は垂直に衝突するとして設計していたコンクリートの板厚は、航空機の現実的な衝突角度(約 3°)により設計することにより大幅に薄くすることができることが分かった。

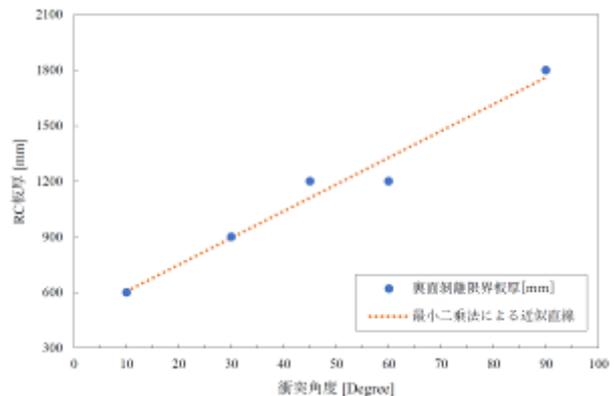


図6 裏面剝離限界板厚と衝突角度の関係

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究がさらに進展すれば、原子力発電所について、公に、国民が求める安全、周辺住民視点の安全を議論し、定義した上で、それに向かって政府、大学、研究機関、メーカーが研究を進める体制が構築されることが期待できる。

安全を巡っては、設計者・専門家は彼らの視点と専門的知識から安全を定義していたが、周辺住民視点の安全が定義され、また、その定義を満足する原子力発電所が開発されれば、設計者・専門家と周辺住民とのコミュニケーションが円滑になり、技術の社会的受容性が大いに高まることが期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究の実施責任者は、原子力開発において安全性などの信頼が形成されていく過程を、ベイズ定理を用いて説明する理論的枠組みを構築し、定量的分析を試み、適切な信頼形成のために何が必要なのかを明らかにしてきた。また、経済産業省及び原子力規制庁において、原子力安全規制、廃棄物規制、環境規制、国際原子力機関において、途上国への安全協力など豊富な実務経験を有する。東京電力福島第一原子力発電所事故の分析責任者であり、新しい規制基準の作成を主導した。新しい規制基準に適合しているかの審査を行う審査チーム長であった。

このような原子力安全と社会との関わりを研究し、かつ実務としての経験を活かし、新設原子力発電所の安全要件について研究に取り組んだ。今後はさらに具体的設計について研究を進める予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

(1) 学術論文

山形 浩史; 国内原子力発電所の再稼働及び新設に対する意識調査—地域間での意識差及び住民意識を考慮した新設原子力発電所の性能目標の考察—, エネルギー・資源学会論文誌, 45(2), 76–84(2024).

Hiroshi Yamagata; Public opinion on nuclear power plants in Japan, the United Kingdom, and the United States of America: A prescription for peculiar Japan, Energy Policy, 185, 113939(2024)

山形浩史; 国内原子力発電所の再稼働及び新設に対する意識調査 —重要関心事項の抽出及びその解決による態度変化—, エネルギー・資源学会論文誌, 44(1), 55–62(2023).

(2) 学会発表

山形 浩史; 日本、英国及び米国における 原子力発電所に対する世論調査, 日本原子力学会春の年会, 2024年3月26日.

山形 浩史; 国内新設原子力発電所の安全要件とその成立可能性に関する研究 その2: 国内新設原子力発電所の安全要件の提案, 日本原子力学会春の年会, 2023年3月14日.

(3) 特許出願

特願2023-134189 衝撃緩和部材および建屋

7 補助事業に係る成果物

印刷物としては、なし。上記学術論文及び学会発表資料は研究室ホームページにて公開。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 長岡技術科学大学 大学院工学研究科

(ナガオカギジュツカガクダイガク ダイガクインコウガクケンキュウカ)

住 所: 〒940-2188

新潟県長岡市上富岡町1603-1

担 当 者: 教授 山形 浩史(ヤマガタ ヒロシ)

担 当 部 署: システム安全工学研究室(システムアンゼンコウガクケンキュウシツ)

E - m a i l: yamagata@vos.nagaokaut.ac.jp

U R L: <http://safety-management.na.coocan.jp/>