

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|---|
| 題目(和文) | 2S by designを取り入れた浮体式洋上原子力発電所の堅牢性の強化 |
| Title(English) | |
| 著者(和文) | 原大輔 |
| Author(English) | Daisuke Hara |
| 出典(和文) | 学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12909号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:相樂 洋,小原 徹,林崎 規託,池上 雅子,木倉 宏成 |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12909号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文) | 博士論文 |
| Category(English) | Doctoral Thesis |
| 種別(和文) | 審査の要旨 |
| Type(English) | Exam Summary |

論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号 | 甲第 | 号 | 学位申請者氏名 | 原 大輔 | |
|-------------|-------|-------|---------|-------|-----|
| 論文審査 審査員 | | 氏名 | 職名 | 氏名 | 職名 |
| | 主査 | 相樂 洋 | 教授 | 木倉 宏成 | 准教授 |
| | 審査員 | 小原 徹 | 教授 | | |
| | | 林崎 規託 | 教授 | | |
| | 池上 雅子 | 教授 | | | |

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「2S by design を取り入れた浮体式洋上原子力発電所の堅牢性の強化」と題し 5 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、日本のエネルギー社会を取り巻く現状と世界で進められている浮体式洋上原子力発電所 (OFNP) の研究開発を概観し、社会実装によるエネルギー社会への貢献が期待できる一方で、洋上特有の核セキュリティ・核不拡散 (2S) 上の課題を指摘し、OFNP の 2S 上の脅威に対する応答性を定量評価可能な手法を開発すること、及び原子力システム設計の初期段階から 2S の観点を統合し効率的かつ効果的に強化する 2S by design を取り入れることにより、OFNP の堅牢性強化の可能性を明らかにし堅牢な OFNP 概念を提示することを目的とし、本研究の位置づけ、意義を述べている。

第 2 章「核不拡散性評価」では、非核兵器保有国による OFNP の核拡散リスクを定量化し、洋上特有の輸送や保管を含む核燃料管理や、取り扱う核燃料タイプによるリスク低減効果を明らかにしている。第四世代原子力システムの核拡散抵抗性及び核物質防護 (GIF/PRRP) 評価手法に基づき、燃料輸送及び移送に伴う核拡散リスク、混合酸化物 (MOX) 燃料や 5%超 20%未満低濃縮ウラン (HALEU) 燃料といった高燃焼度燃料の特性を解析可能な評価指標を新たに開発している。核拡散リスク低減のために、燃料管理方法として MOX 新燃料を 10 年から 15 年程度の頻度で一括輸送及び検閲することが最も有効であることを明らかにし、高燃焼度化、運転サイクル期間の延長、及び乾式キャスクの使用等による一括輸送も有効であることを示している。これらにより、陸上の原子力発電所 (NPP) と比較し、検知確率、核分裂性物質タイプ、拡散機会の点で核拡散抵抗性が高いと述べている。最後に、核物質転用の経路解析を行い、Safeguards by design による堅牢な OFNP の保障措置システム設計を提示している。

第 3 章「核セキュリティ性評価」では、洋上特有の核セキュリティ上の新たな脅威に対する応答性を定量評価可能な手法を開発し、Security by design による堅牢な OFNP の核物質防護システム設計を提示している。新たな脅威として、水中遠隔攻撃手段の魚雷を新たに想定し船殻への構造健全性解析を行っている。また、船舶移乗による核物質の盗取や妨害破壊行為に対する核セキュリティ性を、警備要員が致死性武器と先制攻撃権を持たない国家を想定し定量的に評価している。結果として、水中において発出される超高速ジェットを減速し OFNP 外殻の健全性を担保する水の侵入深さは最低 4 m 必要であり、不確かさを考慮した上で OFNP 周囲から 5 m 離れた場所へ水中ネット等を設置する手段が有効であることを明らかにしている。枢要区域として、使用済燃料プール室、及び補機冷却の取水口や代替中央制御室を設定し防護措置を取ることが有効であることを明らかにしている。OFNP 特有の縦長構造 (高さ 100 m 超) により、防護区域へのアクセスには多様な垂直移動が必要であるが、乗降手段による経路を限定しやすく経路管理により防護しやすい特性を明らかにしている。また、洋上特有の監視の容易さを利用し、OFNP の半径 1 km に渡る広範囲を周辺監視区域として新たに設定することで、早期検知に対する信頼性が向上し阻止確率を向上できることを明らかにしている。これらの設計により、陸上の NPP と比較して OFNP の合理的な堅牢性強化は可能であると述べている。さらに治安部隊について、OFNP 内での常駐または巡視艇による近隣待機といった即応体制の構築が必要であることを指摘している。

第 4 章「堅牢な OFNP のための 2S by design 総合評価」では、これまでの結果を統合し、2S by design を取り入れ原子力安全を含めた 3S シナジー効果を効率的かつ効果的に最大化するよう設計された、堅牢な OFNP 概念を提示している。安全上の重要機器を水面下に配置させた縦長構造や洋上特有の監視の容易さ、高燃焼度化、運転サイクル延長及び枢要区域化により堅牢性の強化並びに合理化が可能であると述べている。開発した 2S by Design 評価手法は OFNP に限らず多様な炉型と設置方式に対し適用可能であること、及び高燃焼度化、運転サイクル延長及び枢要区域化は NPP の陸上・水上設置場所を問わずに有効性が高いと述べている。さらに、原子力プラントのみならず船舶安全性も含めた想定を上回る事象 (Beyond DBT) に対して、日本を想定した OFNP の影響緩和設計と洋上防衛について考察し、沈没対策を施した設計、及び特定重大事故等対処施設の合理化、洋上防衛における法令及び実績に基づいた実効性と課題を述べている。

第 5 章「結論」では、各章によって得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに本論文は、洋上特有の 2S 上の新たな脅威に対する多様な炉型の応答性を定量評価可能な手法を開発し、2S by design を取り入れることにより OFNP の堅牢性を効率的かつ効果的に強化可能であることを明らかにしており、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分価値あるものと認められる。