

【産業競争力懇談会 2022年度 プロジェクト 最終報告】

【浮体式原子力発電】

～付 録～

2023年2月9日

産業競争力懇談会 **COCN**

【目 次】

付録 1	運用海域の選定	1
付録 2	浮体式原子力発電所の安全設備	14
付録 3	揺動関係	32
付録 4	建造場所・技術、保守場所	43
付録 5	長期運用を考慮した浮体構造物等の設計・保守	69
付録 6	核セキュリティ	74
付録 7	本プロジェクトの情報発信	89
付録 8	必要な法整備の検討	91
付録 9	運用体制	147
付録 10	むつの経験共有・現地調査	164

付録 1 運用海域の選定

1. はじめに

浮体式原子力発電の運用海域は、海域の気象・海象（風速・風向・波高・海流等）等を考慮し、選定される。そのため、運用海域の選定において考慮が必要な項目を抽出するとともに、日本近海における項目のデータ有無確認を実施した。また、外部ハザード（発電所外部で起きるハザード）に対する評価方法を調査した。

2. 検討方法

検討方法を図 1 に示す。はじめに、運用海域の選定において考慮が必要な項目を抽出し、その項目のデータ有無を確認した（図の①、②）。最後に、外部ハザードに対する評価方法を調査した（図の③）。

運用海域の選定においては、ハザード（原子力発電所の安全性に脅威を与える可能性のある事象）が大きい海域を避ける必要がある。表 1 に示すように、内部ハザード（発電所内部で起きるハザード）と外部ハザードが挙げられるが、運用海域の選定においては外部ハザードに注意を払う必要がある。そのため、外部ハザード（自然・人為ハザード）を網羅的に抽出し、日本周辺海域における考慮の必要性を確認した。運用海域の選定においては、ハザード以外の面も考慮して選定されるため、経済面（例：近隣の陸上送電設備の有無）等の他の観点からも抽出した。

次に、抽出した運用海域の選定において考慮が必要な項目のデータ有無を確認した。なお、データ有無の調査範囲を絞るため、海洋の 4 つの領域（領海、接続水域、排他的経済水域、公海）の内、領海を対象とし、具体的には以下の 3 つの条件に合致する海域を対象とした。なお、2 つ目の条件に挙げている大型船禁止区域を領海内とすることを含めるか否かについては今後の検討課題である。

- ・ プラントの 30km 圏内に陸地（無人島等の人が居住していない陸地を除く）を含まず、かつプラントを領海内に設置できること。
- ・ プラントを中心に 15km 圏内（MIT は核セキュリティ対策として、15km 圏内を大型船禁止区域とすることを提案）が領海であること。
- ・ 水深が 100m 以上であること（電気出力 110 万 kW の浮体式原子力発電の喫水が約 70m であることから、プラント設置には 100m 以上の水深が必要と考えたため）。

最後に、上記で検討した外部ハザードに対する評価方法を調査した。

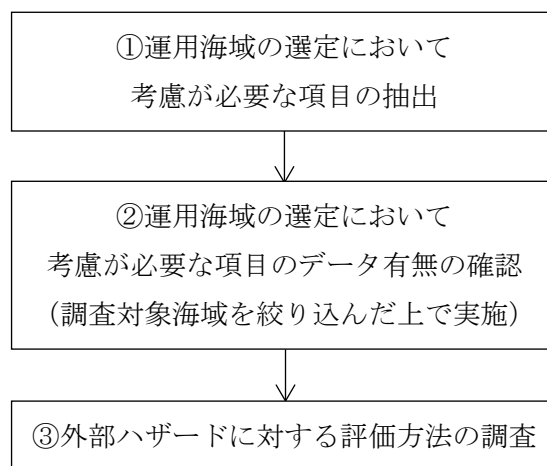


図 1 検討方法

表 1 事象・ハザードの分類

内的事象	外的事象		
	内部ハザード	外部ハザード	
		自然ハザード	人為ハザード
<ul style="list-style-type: none"> ・ 外部電源喪失 ・ 機器のランダム故障 ・ … 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内部溢水 ・ 内部火災 ・ … 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震 ・ 津波 ・ 強風 ・ 火山噴火 ・ … 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力施設周辺施設での爆発 ・ 航空機落下 ・ …

3. 検討結果

3.1. 運用海域の選定において考慮が必要な項目の抽出

「外部ハザード」と「外部ハザード以外」に分けて運用海域の選定において考慮が必要な項目を抽出した。以下に抽出結果を示す。

3.1.1. 外部ハザードの抽出

外部ハザード関係の項目を網羅的に抽出するため、以下の 2 つに挙げられている外部ハザードに対し、浮体式原子力発電における考慮の要否を判定した。日本周辺海域では発生しない外部ハザードは考慮の必要がないと判断している。

- ・ 日本資料編纂会「日本の自然災害」、日外アソシエーツ「日本災害史事典 1868-2009」等から作成された日本原子力学会標準「外部ハザードに対するリスク評価方法の選定に関する実施基準：2014」（以下、「原子力学会標準」と呼ぶ）の外部ハザードリストに挙げられている外部ハザード
- ・ 国土交通省「浮体式洋上風力発電施設技術基準」、「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」、日本海事協会「浮体式洋上風力発電設備に関するガイドライン」及び洋上風力発電施設検討委員会「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」（以下、4 つの洋上風力関係の資料を「洋上風力発電関係ガイドライン等」と呼ぶ）において考慮することが求められている外部ハザード

原子力学会標準で挙げられている外部ハザードに対する浮体式原子力発電における考慮の要否の判定結果を表 2 に示す。洋上風力発電関係ガイドライン等で挙げられている外部ハザードに対する浮体式原子力発電における考慮の要否の判定結果を表 3 に示す。これらに挙げられていないハザードとして、「地滑りによる津波」が挙げられ、浮体式原子力発電所においても考慮が必要である。

表 2 外部ハザードに対する浮体式原子力発電における考慮の要否の判定結果
(原子力学会標準)

外部ハザード		浮体式原子力発電における 考慮の要否*
大分類	小分類	
地震	地震（海震）	○
	地盤沈下	○
	地盤隆起	○
	地割れ	○
	液状化	○
	地滑り	○
	土石流	×
	地震による洪水	×

外部ハザード		浮体式原子力発電における 考慮の要否*
大分類	小分類	
	地震による火災	○
津波	地震災害による津波	○
	火山災害による津波	○
	隕石による津波	○
風水害（潮位変化）	静振	× (入渠時には考慮が発生)
	高潮	○
	波浪・高波	○
	異常潮位	○
	満潮	○
	海流異変	○
	低潮位	○
風水害（強風）	暴風（台風）	○
	竜巻	○
	暴風による火災	○
	暴風による砂嵐	×
風水害（気圧変化）	高圧	○
	低圧	○
	急激な圧力変化	○
豪雨	豪雨による洪水	×
	豪雨による鉄砲水	×
	豪雨による地滑り	×
	豪雨による土石流	×
雷	落雷（電流）	○
	落雷による火災	○
風水害 (温度変化)	高温	○
	低温	○
	高海水温	○
	低海水温	○
	氷晶	○
	氷壁	×
	氷結	○
	早魃（かんばつ）	×
霜、白霜	○	

外部ハザード		浮体式原子力発電における 考慮の要否*
大分類	小分類	
	霧	○
	降雹（こうひょう）	○
火山	火山弾	○
	火砕流（軽石の漂流を含む）	○
	溶岩流	×
	土石流	×
	火砕サージ	○
	爆風	○
	洪水	×
	降灰	○
	火災（森林火災）	×
	火山ガス対流	○
	熱湯	×
	山体崩壊	×
	雪害	積雪
豪雨による雪崩		×
融雪による雪崩		×
融雪による洪水		×
融雪による地滑り		×
海上災害	船舶事故による油流出	○
	船舶による化学物質放出	○
	船舶の爆発	○
	船舶の衝突	○
航空災害	航空機落下	○
鉄道災害	鉄道事故による爆発	×
	鉄道事故による化学物質放出	×
	鉄道の事故	×
道路災害	交通事故による爆発	×
	交通事故による化学物質放出	×
	車の衝突	×
危険物等災害	工場事故による爆発	×
	工場事故による化学物質放	×

外部ハザード		浮体式原子力発電における 考慮の要否*
大分類	小分類	
	出	
	鉱山事故による爆発	×
	鉱山事故による化学物質放出	×
	土木・建築現場の事故による爆発	×
	土木・建築現場の事故による化学物質放出	×
	軍事基地の事故による爆発	×
森林火災災害	森林、原野及び牧野における火災	×
大規模火事災害	市街地の火災	×
その他	動物	○
	海生物（貝、クラゲ等）	○
	海藻	○
	海塩粒子による絶縁破壊	○
	腐食	○
	隕石	○
	隕石による衝撃波	○
	隕石による火災	○
	海岸浸食	×
	水面下の浸食	○
	カルスト	×
	海氷による川の閉塞	×
	湖若しくは川の水位降下	×
	太陽フレアによる磁気嵐	○
	人工衛星の落下	○
	河川の流路変更	×
	治水構造物の破損による洪水及び波	×
電磁的障害	○	

※○：浮体式原子力発電において考慮が必要なハザード

×：浮体式原子力発電において考慮の必要がないハザード

表 3 外部ハザードに対する浮体式原子力発電における考慮の要否の判定結果
(洋上風力発電関係ガイドライン等)

外部ハザード	浮体式原子力発電における 考慮の要否※
地震（海震）	○
地盤沈下（係留アンカーへの影響）	○
海底の液状化（係留アンカーへの影響）	○
海流・潮流等による海底地盤の洗掘 （係留アンカーへの影響）	○
津波	○
波（波浪等）	○
異常潮位（係留索の張力等への影響）	○
海流 （潮汐・高潮・大気圧の変化などによって生 じる水中流、風によって生じる海面付近流）	○
風（台風、暴風、突風等）	○
雷	○
海氷（氷結）	○
積雪	○
海生物の付着	○
船舶衝突	○
腐食	○

※○：浮体式原子力発電において考慮が必要なハザード

×：浮体式原子力発電において考慮の必要がないハザード

3.1.2. 外部ハザード以外の抽出

国土交通省「海洋開発ビジネス概論（改訂第 2 版）」、再エネ海域利用法第 9 条に基づく協議会の議論内容を参考に、運用海域の選定において考慮が必要な項目を挙げた。

- ・ 運用海域周辺の主要航路、沈船、海底障害物、指定・検疫錨地
- ・ 運用海域の風速（年平均、月平均）
- ・ 運用海域の波高、周期（年平均、月平均）
- ・ 運用海域の水深
- ・ 運用海域における漁業権の設定
- ・ 運用海域特有の海産物
- ・ 運用海域の海域保全（自然公園、自然環境保全地域、文化財（史跡、名勝、天然記念物））
- ・ 周辺地域への電波障害
- ・ 運用海域周辺で実施されている他事業等（CCS、海底ケーブル、ガス田、風力、防衛（自衛隊、米軍）、海上保安部、気象レーダー（気象庁））
- ・ 近隣陸上送電設備
- ・ 設置海域近傍地域の受容性

3.2. 運用海域の選定において考慮が必要な項目のデータ有無の確認

3.2.1. 調査対象海域の調査

「2.検討方法」に記載の3つの条件（①30km 圏内に陸地がなく領海であること、②15km 圏内
が領海であること、③水深が 100m 以上であること）に合致する調査対象海域の調査は、海上保
安庁が整備する「海しる（海洋状況表示システム）」を用いて実施した。海しるは、様々な海洋情
報を集約し、地図上に表示することができる情報サービスであり、地形・地質、海象・気象、航路
等の様々な情報を確認することができる。

調査の結果、3つの条件を全て満たす海域が 8 箇所あることを確認した。4 箇所が日本海側、2
箇所が太平洋側、2 箇所が東シナ海であった。その他に、いずれかの条件を満たさなかった海域が
7 箇所あった。2 箇所が日本海側、5 箇所が太平洋側であった。この内、3 箇所は、「プラントの
30km 圏内に陸地（無人島等の人が居住していない陸地を除く）を含まず、かつプラントを領海内
に設置できること」に適合しなかった。3 箇所は、「プラントを中心に 15km 圏内が領海であるこ
と」に適合しなかった。1 箇所は、「水深が 100m 以上であること」に適合しなかった。なお、上
記に示す箇所数のカウントについては、ある程度の範囲の海域において条件の適合する場所が複
数ある場合でも、1 箇所とカウントしていることに注意する必要がある。

3.2.2. 対象海域における運用海域の選定において考慮が必要な項目のデータ有無の確認

データ有無の確認では、具体的に必要なデータを挙げ、確認する必要がある。今回の検討では、
考慮が必要な項目の内、運用海域の波高・周期、風速、竜巻、水深、海域火山、海底活断層等の 6
点を調査した。その結果を以下に示す。今後、その他の項目についても確認が必要であるが、国
土交通省「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」において、データベースを一覧
して整理しているため、これを確認することで効率的に進めることができると考えられる。

■ 運用海域の波高・周期（年平均、月平均）

- 必要なデータは、波高（有義波高等）、周期であり、以下で対象海域におけるデータを確認
できる。
 - ・ 海上保安庁の海しる¹
 - ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の NeoWins²
 - ・ 独立行政法人港湾空港技術研究所の全国港湾海洋波浪年報（対象海域内の測定データで
はないが、近傍のデータがある）³
 - ✓ なお、本データは、海しる、NeoWins のように運用海域の波高・周期（年平均、月平
均）を直接把握できるデータではないため、波高・周期（年平均、月平均）を別途評
価する際の参考情報の位置付けである。
 - ・ 一般財団法人電力中央研究所の長期波浪推算データベース CRIEPI-OWCM⁴

¹ <https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html>

² https://appwde1.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/top.html

³ <https://www.pari.go.jp/unit/kaisy/nwphas/annuareport/>

⁴ 木原直人, 田村英寿, 坪野考樹, 吉井匠, 平口博丸. (2020). 洋上風力発電事業地点選定に資する日本周辺の長期

- ✓ 1958～2011 年までの日本周辺海域の波浪を 0.05 度解像度で再現解析して 1 時間間隔で解析結果をデータベース化したものであり、年平均や月平均の波浪情報が得られる。
- ・ 独立行政法人海上技術安全研究所、一般財団法人日本気象協会等でも公開・販売されている。

■ 竜巻

- 以下で竜巻に関するデータを確認することができる。ただし、原子力規制委員会「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド」に示されるように、海上竜巻は被害の痕跡が残りにくいいため、実際の発生数より、少ない可能性がある。
- ・ 気象庁の突風データベース⁵

■ 運用海域の風速（年平均、月平均、台風時等）

- 必要なデータは、風速、風向であるが、風速については以下で確認できる。
 - ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の NeoWins（上空 60～140m の年平均風速）
 - ・ 海上保安庁の海しる（上空 100m の年平均風速）
 - ・ 気象庁の過去の台風データ（過去の台風の風速）⁶
 - ・ 一般財団法人電力中央研究所の領域版気象予測・解析システム NuWFAS-RCM を用いた高解像度・長期気象・気候データベースである CRIEPI-RCM-Era2（年平均、月平均）
 - ✓ このデータベースは、竜巻の発生のしやすさを示す指標も算出でき、原子力発電所の新規制基準対応にも活用されている。
- なお、国土交通省「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」では、以下の趣旨の記載があり、運用海域の選定の初期段階では前者を選択することが考えられる。
 - ・ 風条件はサイトにおける長期実測値から設定することが望まれるが、そのような観測データは一般に存在せず、初期検討や参考値として近傍地の気象官署データに基づく推定、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構が策定した風況マップに基づく推定を用いる。より精度の高い評価には気象データベースに基づく推定や台風シミュレーションによる基本風速の設定を用いるべきである。

■ 運用海域の水深

- 以下で水深データを確認することができる。
 - ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構の NeoWins（200m まで）
 - ・ 海上保安庁の海しる（200m まで）

波浪推算データベース. 土木学会論文集 B3 (海洋開発), 76(2), I_67-I_72.

⁵ <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/tornado/index.html>

⁶ <https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html>

- ・ 日本海洋データセンターの 500m メッシュ水深データ⁷
- ・ General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO)⁸
- ・ 東北沖海底地形データセット⁹

■ 海域火山

➤ 以下で海域火山のデータを確認することができる。

- ・ 海上保安庁の海域火山データベース¹⁰

■ 海底活断層等

➤ 以下で海底活断層や、過去の被害地震の震源、被害津波の波源に関するデータを確認することができる。なお、活断層分布について、一方の文献に記載されているが、別の文献にはデータが記載されていない場合もあるため、注意が必要である。

- ・ 活断層研究会編の「新編日本の活断層」¹¹
- ・ 海洋調査技術の論文「日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史」¹²
- ・ 海域における断層情報総合評価プロジェクトの成果¹³
- ・ 東京大学出版会の「日本被害地震総覧」¹⁴、「日本被害津波総覧」¹⁵

3.3. 外部ハザードに対する評価方法の調査

国土交通省「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」では、浮体式洋上風力発電施設のうち、支持構造物である附帯施設及びタワーを対象に、以下に示すような項目に対する評価方法を記載している。その他に、海震に関連する評価として、中村ら¹⁶が海中における水中音響波形計算による海水層による増幅・減幅の影響評価結果を発表している。

- ・ 海氷（海氷荷重の評価方法）
- ・ 海洋付着生物（海洋付着生物による荷重増加の評価方法）
- ・ 地震（浮体への影響評価法）
- ・ 津波（浮体への影響評価法）
- ・ 船舶の衝突（1年あたりの浮体構造全損の確率、衝突解析）
- ・ 積雪（積雪荷重の評価法）

⁷ https://jdoss1.jodc.go.jp/vpage/depth500_file_i.html

⁸ <https://www.gebco.net/>

⁹ <https://www.zisin.jp/publications/pdf/newsletter/NL23-2.pdf>

¹⁰ <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/GIJUTSUKOKUSAI/kaiikiDB/list-2.htm#tohoku>

¹¹ 新編日本の活断層（活断層研究会編，東京大学出版会，1991）

¹² 徳山英一、本座栄一、木村政昭、倉本真一、芦 寿一郎、岡村行信、荒戸裕之、伊藤康人、徐垣、日野亮太、野原壯、阿部寛信、坂井真一、向山建二郎「日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史」，海洋調査技術，13，1，2001

¹³ https://www.iishin.go.jp/database/project_report/kaiiki/

¹⁴ 宇佐美龍夫、石井寿、今村隆正、武村雅之、松浦律子「日本被害地震総覧」、東京大学出版会、2013

¹⁵ 渡辺偉夫「日本被害津波総覧」、東京大学出版会、1998

¹⁶ 中村武史、竹中博士「水平成層構造での海面～海中における水中音響波形計算－海水層による増幅・減幅の影響評価」（日本地震学会 2021 年度秋季大会）

なお、外部ハザードに対する評価方法とは異なるが、外部ハザードに起因して発生する揺動、漂流に関する評価方法についても記載されている。

- ・ 揺動（渦励起動揺（Vortex Induced Motion）評価法）
- ・ 漂流（浮体施設の漂流挙動の推定方法、浮体施設の連鎖衝突の確率評価法、）

4. まとめ

本検討では、運用海域の選定において考慮が必要な項目を抽出し、その項目の有無を確認した。また、外部ハザードに対する評価方法を調査した。以下にその結果の概要と今後の検討課題を示す。

■ 結果の概要

- 運用海域の選定において考慮が必要な項目の抽出
 - ・ 外部ハザードに関係する項目として、58 個が挙げられた。
 - ・ 外部ハザード以外の項目として、水深、漁業権、近隣陸上送電設備等が挙げられた。
- 運用海域の選定において考慮が必要な項目の抽出のデータ有無の確認
 - ・ 調査対象海域を絞り込んだ上で、その海域における波浪・高波、風速、竜巻、水深、海域火山、海底活断層等に関するデータの有無を確認した結果、データが有ることを確認した。
- 外部ハザードに対する評価方法の調査
 - ・ 浮体式洋上風力発電のガイドラインで紹介されている外部ハザードに対する評価方法を確認した。

■ 今後の検討課題

- 運用海域の選定において考慮が必要な項目の抽出
 - ・ 特になし。
- 運用海域の選定において考慮が必要な項目の抽出のデータ有無の確認
 - ・ 波浪・高波、風速、竜巻、水深、海域火山、海底活断層等以外の項目について、データ有無を確認すること。
- 外部ハザードに対する評価方法の調査
 - ・ 今回の調査は、一部の外部ハザードに限られるため、その他の外部ハザードに対する評価方法を調査すること。加えて、陸上の原子力発電所で使用されている原子力規制委員会の規制基準・審査ガイド¹⁷との相違点（例えば、基準津波の考え方）を整理しておくことも必要である。

以 上

¹⁷ 原子力発電所の火山影響評価ガイド、原子力発電所の竜巻影響評価ガイド、基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド及び基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド等が挙げられる。

付録 2 浮体式原子力発電所の安全設備

付録 2-1 プラント全体への要求事項

プラント全体への要求事項		浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
設計の境界条件	定格出力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 60 万 kWe 級 ・ 将来は更なる増出力を考慮した設計思想とする (～110 万 kWe) ・ 復水器の海水取水位置をできる限り深い位置にして復水冷却水の温度を下げる事により、発電効率増加を検討する ただし、深海での生態系に影響を与えないように配慮した設計とする	135 万 kWe
	建設期間	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR より短い事 	～40 か月 (基礎工事開始から燃料装荷まで)
運転性	運転安定性やスクラム頻度等	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等 (単一故障を仮定し、常用系の単一誤動作や運転員の単一誤操作などによる原子炉スクラムや安全設備の作動を回避) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 単一故障を仮定し、常用系の単一誤動作や運転員の単一誤操作などによる原子炉スクラムや安全設備の作動を回避
	負荷追従性	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等 ・ 陸との送電線が浮体揺動等の事象により一瞬切れた場合でも、送電線が復旧すればすぐに定格出力となるよう、アイランドモード運転 (自立運転モード) を可能とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 負荷追従運転可能な設計 (周波数追従運転 AFC、日負荷追従、高速起動など)
	設備利用率	(90%以上)	～70%
保守性	定期検査日数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 洋上で 30 日定検を達成、気候 (台風) の影響を受けない工程 ・ 数年に一度ドックで長期定期検査 (可能であれば、洋上で検査) 	～45 日

プラント全体への要求事項		浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
		<ul style="list-style-type: none"> ・ドック定検時の周辺人民の避難計画を不要とする (要否検討含む) ・ピーク人工数は ABWR 以下 	
	プラント設計 寿命	60 年～80 年以上 <ul style="list-style-type: none"> ・海水による材料劣化の影響を緩和 (腐食など) ・揺動による疲労評価を疲労限度 (疲労限) 以下とする 	40 年 (+運転延長)
	従事者の線量 当量	<ul style="list-style-type: none"> ・ABWR と同等以下 ・陸上プラントと比較して作業エリアが狭隘であり適切な遮蔽を設置する 	～1 人 Sv/炉・年
	オンラインメ ンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> ・定検日数の短縮及び作業の平準化を目的とした運転時のメンテナンス (オンラインメンテナンス) を可能とする設計 	初期設計においてはオンラインメ ンテナンスを考慮せず
	ヒューマンエ ラー防止と結 果の緩和	<ul style="list-style-type: none"> ・ABWR と同様 ・AI による自動運転、異常診断、事故対応支援を可能とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・エラーが発生しにくい設計 ・エラー発生に対し影響が少なく 収束が容易な設計
安全設備	グレースピリ オド (事故時 の運転員操作 について)	<ul style="list-style-type: none"> ・事故収束までは特別な運転員の操作が不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・事故後 10～15 分動的冷却系運 転員操作不要

プラント全体への要求事項	浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	<p>シビアアクシ デント対策 (特に炉心溶 融)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 事故後 7 日間以上の長期間、原子炉冷却、格納容器冷却、熔融炉心冷却が可能 (非凝縮性ガス蓄積による冷却喪失対策含む) (例) <ul style="list-style-type: none"> - 一次系圧力バウンダリが健全 : ICS で無期限除熱 - 一次系圧力バウンダリが破損 : GDCCS/PCCS で無期限除熱 - PCCS/ICS における非凝縮性ガスの蓄積 : 無期限処理・排出 ・ 電源等の動力源が喪失したとしても熔融炉心や放射性物質が外部流出せずに事故収束できる設計とする (可搬式 SA 設備不要) ・ 万が一の熔融炉心が海へ漏れ出しについて検討を行う 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 福島第一原子力発電所の事故を受け追加設備で対応
	<p>原子炉停止機 能喪失対策</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等以上 	<p>ATWS 緩和設備 (代替制御棒挿入機能) を設置</p>
	<p>確率論的リス ク評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心損傷頻度 (CDF) : ABWR 以下 ・ 格納容器機能喪失頻度 (CFF) : ABWR 以下 <p>※上記は内部事象 (システム内で起こる事象が原因となるもの) のみ</p>	<p>【ABWR】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心損傷頻度 (CDF) 10⁻⁷/炉・年 ・ 格納容器機能喪失頻度 (CFF) 0.2%/炉・年 程度 <p><i>"The ABWR General Description GE Hitachi Table 10-1 ABWR Internal Events CDF"</i></p> <p>【IAEA(INSAG-12)】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心損傷頻度 (CDF) 10⁻⁴/炉・年 ・ 格納容器機能喪失頻度 (CFF) 10⁻⁵/炉・年 程度

プラント全体への要求事項	浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
ストレステスト	浮体式特有の事象に応じたストレステストを実行する (例: 浮体の傾きに制限値があれば、その制限値に達するのか、等)	対応済
動的/静的システムの組み合わせ	<ul style="list-style-type: none"> ・事故後長短期、共に動的機器だけではなく、静的機器のみでも対処可能 	設計上、動的システムで対処
安全系の区分分離設計	<ul style="list-style-type: none"> ・単一故障基準 (共通要因故障を含む) の適用に加え、オンラインメンテナンスも考慮した設計 (例) →4 区分 (動的) : HPCF, RCIC, RHR, ADS, DG, GTG を下記 4 区分分離で設置 <ul style="list-style-type: none"> 区分 1) HPCF, RHR, ADS, GTG 区分 2) HPCF, RHR, ADS, DG 区分 3) RCIC, RHR, ADS, GTG 区分 4) RCIC, RHR, ADS, DG →2 区分 (静的) : ICS, PCCS, GDCS, FCVS を下記 2 区分分離で設置 <ul style="list-style-type: none"> 区分 a) ICS, PCCS, GDCS, FCVS 区分 b) ICS, PCCS, GDCS, FCVS ※IVR, コアキャッチャーは各 1 台 ・ポンプなどの動的機器は設置数に加えて、設置場所の位置的分散、設置場所の分離の徹底等、設置場所の多重性を持たせること ・設置室の水密封対策 	3 区分設計 (単一故障基準を適用し、50%×3 区分設計)

プラント全体への要求事項		浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
炉心燃料	燃料サイクル に対する柔軟 性	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等 ・ 海上であることを踏まえ 18 か月運転 (さらには 21 か月、あるいはそれ以上) も可能とする 	13 か月運転 高燃焼度化及び Pu 利用に関して 対応可能
	出力密度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 50kW/l 程度 ・ 安全裕度確保のため低出力密度も検討 	~50kW/l
	燃料交換	燃料交換の迅速化、揺動条件下においても燃料交換可能そして燃料損傷防止、定検短縮を可能とする	燃料交換の迅速化、定検短縮に寄 与可能
バックエンド等	使用済燃料貯 蔵 (新燃料貯 蔵)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体内に使用済燃料プールを設置する なお、テロ対策上、極力下層階に設置するが、レイアウト上の制限から上層階に設置する場合は必要に応じてテロ対策を講じる ・ キャスクによる燃料の浮体外搬出が可能となるまでの間、使用済燃料が冷却保管可能となる使用済燃料プール容量を確保する (保管期間の例として 5 年分 (湿式キャスク) ~20 年分 (乾式キャスク) の場合) ・ 揺動時の液面揺動によるプール水の溢水を防護する ・ レイアウト上の制限から、貯蔵容量が十分確保できない場合は、浮体外に貯蔵する使用済燃料貯蔵船 (冷却装置具備) などを検討 (例) 燃料サイクルからの貯蔵年数要求に対応した貯蔵量を浮体内に確保できない場合は、浮体外の貯蔵設備として、使用済燃料貯蔵船 (冷却装置具備) または陸上への使用済燃料貯蔵施設を検討する ・ 新燃料も数定検分 (約 3~5 年分) の取替燃料の確保を前提とした貯蔵容量を確保する ・ 電源喪失時の自然力による使用済燃料の冷却機能を有する 	建屋内外に使用済燃料プールを設 置し、燃料サイクルからの貯蔵年 数要求に対応した貯蔵量を確保

プラント全体への要求事項		浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
		<ul style="list-style-type: none"> ・沈没対策を設計に含めること 	
	放射性廃棄物発生量	<ul style="list-style-type: none"> ・ABWR と同等以下 	—
建屋・配置	建屋の合理化・設計要求	<ul style="list-style-type: none"> ・システムや設備の合理化により浮体サイズを縮小 ・内部溢水やテロ対策の観点から浮体構造物に二重船殻構造を採用する ・外側の船殻破損に対して浸水しない構造とする ・テロ対策の観点から上部甲板と舷側を対テロ装甲とする ・内部溢水対策として主復水器の循環水配管が破断し、かつ循環水ポンプが継続運転した場合、船体の浸水量を最小限に留める設計とする ・浮体沈没時に放射性物質の海洋流出を最小限とする構造にする ・浮体沈没に対して引き上げ可能な水深（100～500m程度）に設置、浮体本体に引き上げ用リグ等を具備し引き上げ可能とする ・事故時においても近隣住民の避難が不要な設計（ベントやPCV破損の場合など） ・災害時の災害地への電源供給利用についても検討する ・喫水部を可能な限り削減した設計とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・強化された内部溢水、内部火災等への対策（新規制基準）

プラント全体への要求事項		浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	外的事象に対する考慮	<ul style="list-style-type: none"> ・揺動、傾きに対して堅牢な構造とする ・竜巻や津波等による甲板上部への浸水に対して完全防水項構造とする、もしくは7日間の対浸水性を付与する ・クラゲや塩害などによる対策を考慮 ・航空機衝突などを考慮 ・数十キロ遠方からの魚雷等のスタンドオフ攻撃を考慮※設計基礎脅威 (DBT: Design Basis Threat)に限らない ・海上テロ (船体衝突) を考慮 ※DBTに限らない ・機器の固有周期を揺動の周期から外す設計とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・強化された地震、津波への対策 (新規制基準) ・強化された火山、竜巻、外部火災等の自然災害への対策 (新規制基準) ・可搬型を含めた安全設備の位置的分散 (新規制基準) ・緊急時対応のマニュアル整備及び訓練実施 (新規制基準) ・設計基礎脅威(DBT)に対するテロ対策 ・意図的な航空機衝突等へのテロ対策 (新規制基準) ・特定重大事故等対処施設の設置 (新規制基準) ・給水機能等の分散 ・マニュアル整備及び訓練実施
	陸上設備等の活用	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体を製造可能な大きさに留めるために、一定量を超える廃棄物処理・貯蔵設備、淡水補給タンク、燃料取り出し後、約5年分～約20年分の貯蔵量を超える使用済燃料プール、定期検査資機材、取り換え点検品等は輸送船で陸上設備に輸送する(沈没時の放射能流出リスク低減にも寄与) 	—

プラント全体への要求事項		浮体式原子力への要求事項	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
		<ul style="list-style-type: none"> 定期検査作業員居住スペース(約 300 人)は浮体構造物内に確保し、状況に応じて、輸送船またはヘリにより陸上に移動できるようにする 	
	特定重大事故等対処施設	<ul style="list-style-type: none"> テロ対策などを当初設計で盛り込むことで不要とする 	原子炉建屋から離隔して設置
運転員の退避計画	避難路配置	浮体原子力設備に運転員が常時いる場合は、避難及びレスキューのための通路を一時避難場所まで、浮体が危険な状態になる前までに到達できるように配置することが必要	—
	一次避難場所の配置及び避難手段	<ul style="list-style-type: none"> 一時避難場所は、プラント設備で想定される事故に影響されない安全性を確保する 耐火・耐爆・放射性物質等についても考慮する 	—
	退避時のプラント設備全停止シーケンス	運転員が完全に退避する状況となった場合のためプラントを全停止する ESD (Emergency Shut Down)のシーケンスを考慮する	—

付録 2-2 安全設備の事故対応能力

評価すべき項目・事象		浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
内の事象	原子炉冷却材喪失事故 (LOCA)	<ul style="list-style-type: none"> ABWR と同等以上 (ABWR の 50%×3 区分設計を強化し 100%×4 区分設計を採用) 	<ul style="list-style-type: none"> 最高被覆管温度 (PCT)600℃程度 RCIC を除く ECCS 1 台で炉心冠水維持・長期炉心冷却可能 単一故障を考慮しても RHR により長期の崩壊熱除去可能
	ECCS の信頼性 【DBA,DEC,SA】 ※電源喪失含む	<ul style="list-style-type: none"> DBA 対応：動的安全系機器の 4 区分分離 (3+1 オンラインメンテナンス(OLM)) の設計思想を採用 →4 区分分離採用 (100%容量/区分) による浮体内レイアウトの評価が必要 DEC/SA 対応：静的安全系の 2 区分分離 (100%容量/区分) の設計思想を採用 →一次系圧力バウンダリが破損していない場合は、非常用復水器(ICS)により半永久的に炉心冷却が可能 <p>炉心溶融した場合においても、静的格納容器冷却系(PCCS)で格納容器過圧・過温破損せずに、健全性を損なわない崩壊熱除去能力を確保</p>	<ul style="list-style-type: none"> 単一故障+外部電源喪失時にも機能維持のため 3 区分分離設計を採用 各区分に対して 1 台ずつ DG を備える
	グレースピリオド	<ul style="list-style-type: none"> 事故後 7 日間は特別な運転員の操作が不要 周辺の海水や自然循環を利用して半永久的に長期炉心・格納容器健全性確保を達成 	<ul style="list-style-type: none"> 事故後 10～15 分動的冷却系操作不要

評価すべき項目・事象		浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	格納容器のサイジング	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等以上 ・ 浮体内レイアウトの評価が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ LOCA 時ピーク圧力・温度 < 最高使用圧力・温度 ・ 上記の 15% マージンを確保
	過渡時要求	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等以上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ RCIC により L1.5 回避 ・ RCIC 不動作時に HPCF 起動
	FP 放出 (公衆ひばく)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等以上、沖合 30km に設置しているため影響は少ないと考えられる ・ フィルタベントシステムの運用を含めて評価が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ TID-14844 準拠 <i>“Calculation of distance factors for power and test reactor sites”</i>
	全交流電源喪失 (SBO)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 4 区分分離による電源確保と多様性 (DG/GTG) ・ RCIC に加え、静的冷却系により長期冷却を可能とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源融通 ・ 非常用 DG (3 台) と代替交流電源 (AAC) の組み合わせ ・ RCIC (DC+水源) で 8 時間冷却可能・格納容器健全性確保
	原子炉停止機能喪失 (ATWS)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 代替再循環ポンプトリップ (RPT) 及び代替制御棒挿入 (ARI) ・ ほう酸水注入系 (SLC) 自動起動
	格納容器加圧・加熱	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等 ・ 静的冷却系により破損シーケンスに対し格納容器健全性確保、PCV ベントは要検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ AM による代替注水設備、24 時間格納容器健全性確保 ・ PCV ベント
	水素・水蒸気爆発	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ PCV 内は、不活性化及び FCS により燃焼防止 ・ 建屋内は PAR により燃焼防止

評価すべき項目・事象	浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
		<ul style="list-style-type: none"> ・大量水素発生時には PCV スプレイにより非凝縮性ガスを再配分
溶融炉心とコンクリートの相互作用 (MCCI)	<ul style="list-style-type: none"> ・コアキャッチャー設置 ・静的冷却系による注水機能・下部 DW 冠水 (・IVR) 	<ul style="list-style-type: none"> ・下部 D/W への注水機能設置
格納容器直接加熱	<ul style="list-style-type: none"> ・ABWR と同等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ADS の信頼度向上による RPV 過圧破損防止 ・格納容器直接加熱時の発生圧力を PCV 耐圧内に設計
溶融炉心と冷却材相互作用	<ul style="list-style-type: none"> ・静的冷却系による注水機能・下部 DW 冠水 (・IVR) 	<ul style="list-style-type: none"> ・D/W 下部への先行水張による FCI 荷重の低減
外的事象		
航空機衝突	<ul style="list-style-type: none"> ・ABWR と同等以上、甲板の厚みを陸上同等の設計とする (二重格納容器の採用含む) ・原子炉圧力容器や中央操作室などを浮体深部に設置し、航空機衝突の影響が最小限になるようなレイアウトとする ・二重船殻構造を採用し外側の船殻破損に対して浸水しない構造とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・特重施設の設置 ・RCCV 厚さと R/B 壁により、RPV・炉心は航空機衝突に対して十分な強度を確保する
津波	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体構造であるため影響が少ないと考えられる ・浮体喫水域を含め揺動や甲板などへの浸水影響評価が必要 ・喫水線より上は完全水密構造によりハザードを回避する ・津波による揺動により係留索が切れないように設計する 	<ul style="list-style-type: none"> ・防潮堤の設置、水密構造の採用

評価すべき項目・事象		浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	地震 (起因の長期停電)	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体構造であるため ABWR のような動的機器と電源で耐える配慮が不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用 DG (3 台) と代替交流電源 (AAC) の組み合わせで、7 日間は燃料供給無しに対応可能
	嵐・竜巻・台風・落雷・温度変化 (低温・温暖化)・積雪 (風水害)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等以上、浮体が水面下にあるため影響が少ないと考えられる ・ 飛来源となる設備が少ないため影響が少ないと考えられる ・ 甲板には最小限の構造物設置となるように設置する ・ 竜巻や津波等による甲板上部への浸水に対して完全防水構造とする、もしくは 7 日間の対浸水性を付与する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風による飛来物を含む設備強度を評価・増強
	火山噴火	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等、海底火山の扱いを検討する必要がある (海震・噴火・流動) ・ 火山からの隔離、換気系 (特に非常系 DG, HVH 用空調等) への火山灰や水沫吸込影響が少ないように設計する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 火山灰による影響を評価
	座礁・沈没	<ul style="list-style-type: none"> ・ 移動時 (寄港時) 津波等で座礁時の影響 (炉心の冷却等) 検討 ・ 係留索切断時の浮体移動量検討、係留索 (本数・強度) に裕度を持たせる ・ 座礁後の復旧対応を要検討 ・ 沈没に対して引き上げ可能な水深 (100~500m 程度) に設置、浮体本体に引き上げ用リグを具備し引き上げ可能とする 	—
	その他 (海生物・塩害・気候変動)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同様 ・ 静的冷却系への塩害を考慮した設計とする ・ クラゲによる対策を考慮 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 取水口における海生物等への対応

評価すべき項目・事象		浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合気候変動による海水温上昇による常用系・非常用系の冷却能力要検討 	
	テロ (船舶衝突・油流出含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体周囲海域の監視強化 (数 km) により対処 ・ 電磁パルス攻撃は船殻構造であり影響が少ないと考えられる ・ 数十キロ離れた位置から発射される魚雷による攻撃を考慮 ・ 二重船殻構造で外側の船殻破損に対して浸水しない構造とする ・ テロ対策の観点から上部甲板と舷側を対テロ装甲とする ・ マニュアル整備や訓練計画を策定する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定重大事故等対処施設の設置 ・ 給水機能等の分散 ・ マニュアル整備及び訓練実施

付録 2-3 安全性の評価等における検討事項

評価すべき項目・事象		浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)																	
内の事象	炉心損傷頻度 (CDF)	・ ABWR 以下	~ 10^{-7} (炉年) "The ABWR General Description GE Hitachi Table 10-1 ABWR Internal Events CDF"																	
	格納容器機能喪失頻度 (CFF)	・ ABWR 以下	~0.2% (炉年) "The ABWR General Description GE Hitachi Table 10-1 ABWR Internal Events CDF"																	
	炉心損傷頻度の内訳 (ドミナントシーケンス)	・ ABWR 以下	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Event</th> <th>Frequency</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SBO</td> <td>1.1×10^{-7}</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td>Transients</td> <td>4.5×10^{-8}</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>LOCA</td> <td>6.9×10^{-9}</td> <td><1</td> </tr> <tr> <td>ATWS</td> <td>2.7×10^{-10}</td> <td><1</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td>1.6×10^{-7}</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> "The ABWR General Description GE Hitachi Table 10-1 ABWR Internal Events CDF"	Event	Frequency	%	SBO	1.1×10^{-7}	71	Transients	4.5×10^{-8}	29	LOCA	6.9×10^{-9}	<1	ATWS	2.7×10^{-10}	<1	Total	1.6×10^{-7}
Event	Frequency	%																		
SBO	1.1×10^{-7}	71																		
Transients	4.5×10^{-8}	29																		
LOCA	6.9×10^{-9}	<1																		
ATWS	2.7×10^{-10}	<1																		
Total	1.6×10^{-7}																			
外的事象	航空機衝突	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等以上、甲板の厚みを陸上同等の設計とする (二重格納容器の採用含む) ・ 原子炉圧力容器や中央操作室などを浮体深部に設置し、航空機衝突の影響が最小限になるようなレイアウトとする ・ 二重船殻構造を採用し外側の船殻破損に対して浸水しない構造とする ・ テロ対策の観点から上部甲板と舷側を対テロ装甲とする 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特重施設の設置 ・ RCCV 厚さと R/B 壁により、RPV・炉心は航空機衝突に対して十分な強度を確保する 																	
	津波	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体構造であるため影響が少ないと考えられる ・ 浮体喫水線付近を含めて揺動や甲板などへの浸水影響の評価が必要 ・ 喫水線より上は完全水密構造によりハザードを回避する ・ 津波による揺動により係留索が切れないように設計する 	防潮堤及び水密構造採用で対応																	

評価すべき項目・事象	浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	<ul style="list-style-type: none"> ・陸からの引き波に伴って海上を漂流するがれきに対する取水の安全性を確保する 	
地震 (起因の長期停電)	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体であり、陸上と比べ地震の影響が相対的に小さいと考えられる ・浮体であり、ABWR のような動的機器と電源で耐える配慮が不要 ・地震減となる海底から海水へ伝搬する海震を起因とする浮体揺動・応答 (海水面・海水層) 及び安全設備への影響評価が必要 ・海震により浮体に付加する加速度は 1G 程度 (MIT レポート等)、陸上プラントは 2G 以上の耐震性を有しており、同様の構造とする ・陸上プラントが受ける地震動は、通常、水平動成分が卓越する地震動であるが、海面では上下動成分が卓越する <p>このため、陸上との卓越成分の違いにも留意しながら、(原子力船「むつ」がそうであったように) 水平動だけでなく強い上下動に耐えられる設計とする</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海底地すべりや断層変位などによるケーブル損傷対策が必要 <p>設置海域にて事前の海底地形調査、海底活断層調査に基づき、ケーブルの外装強化や、(高コストやシステムの複雑性に直結するが) ケーブルルート of 冗長構成を含めた設計とする</p>	非常用 DG (3 台) と代替交流電源 (AAC) の組み合わせで、7 日間は燃料供給無しに対応可能
嵐・竜巻・台風・落雷・温度変化 (低温・温暖化)・積雪 (風水害)	<ul style="list-style-type: none"> ・ABWR と同等以上、浮体の大半が水面下にあるため影響が少ないと考えられる ・飛来源となる設備が少ないため影響が少ないと考えられる ・甲板には最小限の構造物設置となるように設置する 	風による飛来物を含む設備強度を評価・増強

評価すべき項目・事象	浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 竜巻や高波等による甲板上部への波・水しぶきの被水に対して完全防水項構造とする、もしくは7日間の対浸水性を付与する ・ 高波による衝撃的な波荷重に対する浮体の健全性を確保する ・ 甲板に開口部が密集するため、竜巻による風荷重や圧力差の影響が顕著にみられる可能性がある <p>設計に際しては、一度の竜巻の直撃でも冷却系や EDG が全てダウンしない冗長性を確保する</p>	
火山噴火	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等、海底火山の扱いを検討する必要がある (海震・噴火・流動) ・ 火山からの離隔、換気系 (特に DG, 非常系空調等) への火山灰や水沫吸込影響が少ないように設計 ・ 火山噴火の浮体・海底送電設備への直撃の対策を講じた設計とする (海域火山・火山島・海岸に近接する火山の近傍) <p>[事象] マグマ水蒸気爆発によるベースサージ、火口から弾道飛来する火山弾、火砕流、山体崩壊・海底地すべり、山体崩壊等に伴う津波</p> <p>[影響] 浮体の損壊、職員の大けが・やけど、並びに山体崩壊・海底地すべり等による海底送電設備の切断</p> <p>[対策] 浮体：火山近傍の立地を避ける事により回避、送電設備：火山など急峻な山地の沿岸を避けて立地する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 火山から遠方まで移流・拡散する事象の浮体・曳航船舶への影響を緩和できる設計とする (日本近海全域) <p>[事象] 大気中の降下火山灰、海中に落下した降灰粒子や河川から流入</p>	火山灰による影響を評価

評価すべき項目・事象	浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	<p>した火山泥流が海水に懸濁、海面を浮遊する漂流軽石</p> <p>[影響] 原子炉設備と、曳航する船舶の両者が影響を被る事に留意する 吸気・換気空調設備（非常用発電設備、浮体の制御室等、船舶エンジン）、取水設備（原子炉冷却設備・非常用発電設備、船舶エンジン）、レーダー（船舶）</p> <p>[対策] 降灰予報等を参照し、曳航作業の時間猶予を確保、浮体、曳航船舶とも、吸気設備・取水設備の粒子分離対策を強化</p>	
座礁・沈没	<ul style="list-style-type: none"> ・移動時（寄港時）津波等で座礁時の影響（炉心冷却等）検討 ・係留索切断時の浮体移動量検討、係留索（本数・強度）に裕度確保 ・係留アンカー抜けによる浮体移動時のケーブル損傷を避けるために、係留周辺の地盤評価が必要 <p>係留索切断防止対策として、設置海域における事前の海底地盤の調査を通して、長期係留可能な安定した海底地盤条件を選定する</p> <ul style="list-style-type: none"> ・座礁後の復旧が可能な設計とする ・浮体沈没に対して引き上げ可能な水深（100～500m程度）に設置、浮体本体に引き上げ用リグ等を具備し引き上げ可能とする 	—
その他 (海生物・塩害・気候変動)	<ul style="list-style-type: none"> ・ABWRと同様 ・静的冷却系への塩害を考慮した設計とする ・クラゲ等による取水口閉塞への対策を考慮 ・沖合気候変動による海水温上昇による常用系・非常用系冷却能力検討 	取水口における海生物等への対応

評価すべき項目・事象		浮体式原子力	(参考) 比較対象炉 (ABWR)
	テロ (船舶衝突・油流出 含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体周囲海域の監視強化 (数 km) により対処 ・電磁パルス攻撃は船殻構造であり影響が少ないと考えられる ・数十キロ離れた位置から発射される魚雷による攻撃を考慮 ・二重船殻構造を採用し外側の船殻破損に対して浸水しない構造とする ・テロ対策の観点から上部甲板と舷側を対テロ装甲とする ・マニュアル整備や訓練計画を策定する 	<ul style="list-style-type: none"> ・特定重大事故等対処施設の設置 ・給水機能等の分散 ・マニュアル整備及び訓練実施

付録 3 揺動関係

付録 3-1 プラント全体への要求事項に対する揺動の影響

プラント全体への 要求事項		浮体式原子力への要求事項	揺動・傾 斜の影響 考慮要否 ○：大 －：小	考慮・評価すべき事項
設計の境 界条件	定格出力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 60 万 kWe 級 ・ 将来は更なる増出力を考慮した設計思想とする（～110 万 kWe） ・ 復水器の海水取水位置をできる限り深い位置にして復水冷却水の温度を下げる事により、発電効率増加を検討する ただし、深海での生態系への影響を与えないように配慮した設計とする 	○	揺動・傾斜時に炉出力抑制が必要になる可能性あり
	建設期間	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR より短い事 	－	陸上の建設が主であると考えられるため影響小
運転性	運転安定性 やスクラム 頻度等	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等（単一故障を仮定し、常用系の単一誤動作や運転員の単一誤操作などによる原子炉スクラムや安全設備の作動を回避） 	○	揺動や傾斜の影響に関する情報がなく、実験や解析により炉心特性を評価する必要がある
	負荷追従性	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等 ・ 陸との送電線が浮体揺動等の事象により一瞬切れた場合でも、送電線が復旧すればすぐに定格出力となるよう、アイランドモード運転を可能とする 	○	実験や解析により炉心特性を評価する必要がある
	設備利用率	(90%以上)	○	原子炉出力及び定期検査期間への影響評価が必要

プラント全体への 要求事項		浮体式原子力への要求事項	揺動・傾 斜の影響 考慮要否 ○：大 －：小	考慮・評価すべき事項
保守性	定検日数	<ul style="list-style-type: none"> ・洋上で 30 日定検を達成、気候（台風）の影響を受けない工程 ・数年に一度ドックで長期定期検査 ・ドック定検時の周辺人民避難計画を不要とする（要否検討含む） ・ピーク人工数は ABWR 以下 	○	傾斜揺動時の定検作業への影響評価が必要
	プラント設計寿命	60 年～80 年以上 <ul style="list-style-type: none"> ・海水による材料劣化の影響を緩和（腐食など） ・揺動による疲労評価を疲労限度（疲労限）以下とする 	○	揺動による疲労等による評価が必要になる可能性がある
	従事者の線量当量	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR 同等以下 ・陸上プラントと比較して狭隘であり適切な遮蔽を設置する 	－	影響は少ないと考えられる
	オンラインメンテナンス	<ul style="list-style-type: none"> ・定検日数の短縮及び作業の平準化を目的としたオンラインメンテナンスを可能とする設計 	○	安全系の設計と合わせてメンテナンス性の検討が必要になる可能性あり
	ヒューマンエラー防止と結果緩和	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同様 ・ AI による自動運転、異常診断、事故対応支援を可能とする 	○	傾斜時の運転員操作対応についての考慮が必要
安全設備	グレースピリオド	<ul style="list-style-type: none"> ・事故収束までは特別な運転員の操作が不要 	○	浮体独自の安全系（静的安全系ほか）について影響評価が必要
	シビアアクシデント対策	<ul style="list-style-type: none"> ・事故後 7 日間以上の長期間、原子炉冷却、格納容器冷却、熔融炉心冷却が可能（非凝縮性ガス蓄積による冷却喪失対策含む） （例） ・一次系圧力バウンダリが健全：ICS で無期限除熱 	○	浮体独自の安全系（静的安全系ほか）について影響評価が必要

プラント全体への 要求事項	浮体式原子力への要求事項	揺動・傾 斜の影響 考慮要否 ○：大 －：小	考慮・評価すべき事項
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一次系圧力バウンダリが破損：GDCS/PCCS で無期限除熱 ・ PCCS/ICS における非凝縮性ガスの蓄積：無期限処理・排出 ・ 電源等の動力源が喪失したとしても溶融炉心や放射性物質が外部流出せずに事故収束できる設計とする（可搬式 SA 設備不要） ・ 万が一の溶融炉心が海へ漏れ出しについて検討を行う 		
原子炉停止 機能喪失対 策	<ul style="list-style-type: none"> ・ ABWR と同等以上 	○	浮体独自の安全系（静的安全系ほ か）について影響評価が必要
確率論的リ スク評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 炉心損傷頻度（CDF）：ABWR 以下 ・ 格納容器機能喪失頻度（CFF）：ABWR 以下 ※上記は内部事象のみ	○	浮体独自の安全系（静的安全系ほ か）について影響評価が必要
ストレステ スト	浮体式特有の事象に応じたストレステストを実行する（例：浮体の 傾きに制限値があれば、その制限値に達するの、等）	○	浮体独自の安全系（静的安全系ほ か）について影響評価が必要
動的/静的シ ステムの組 み合わせ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事故後長短期、共に動的機器だけではなく、静的機器のみでも対 処可能 	○	浮体独自の安全系（静的安全系ほ か）について影響評価が必要、費用 についても要検討
安全系の区 分分離設計	<ul style="list-style-type: none"> ・ 単一故障基準（共通要因故障を含む）の適用に加え、オンライン メンテナンスも考慮した設計 （例） →4 区分（動的）：HPCF, RCIC, RHR, ADS, DG, GTG を下記 4 区分分離で設置	○	浮体独自の安全系（静的安全系ほ か）について影響評価が必要、費用 についても要検討

プラント全体への 要求事項		浮体式原子力への要求事項	揺動・傾 斜の影響 考慮要否 ○：大 －：小	考慮・評価すべき事項
		区分 1) HPCF, RHR, ADS, GTG 区分 2) HPCF, RHR, ADS, DG 区分 3) RCIC, RHR, ADS, GTG 区分 4) RCIC, RHR, ADS, DG → 2 区分（静的）：ICS, PCCS, GDCS, FCVS を下記 2 区分分離で 設置 区分 a) ICS, PCCS, GDCS, FCVS 区分 b) ICS, PCCS, GDCS, FCVS ※IVR, コアキャッチャーは各 1 台 ・ポンプなどの動的機器は設置数に加えて、設置場所の位置的分散、設置場所の分離の徹底等、設置場所の多重性を持たせること		
炉心燃料	燃料サイクルに対する柔軟性	・ ABWR と同等 ・ 海上であることを踏まえ 18 か月運転（さらには 21 か月、あるいはそれ以上）も可能とする	○	海上において長期運転サイクルの導入可否について検討が必要
	出力密度	・ 50kW/l 程度 ・ 安全裕度確保のため低出力密度も検討	○	実験や解析により炉心特性を評価する必要がある
	燃料交換	燃料交換の迅速化、揺動条件下においても燃料損傷防止、定検短縮に寄与可能	○	実験や解析により炉心特性を評価する必要がある
バックエンド等	使用済燃料貯蔵（新燃料貯蔵）	・ 浮体内に使用済燃料プールを設置する なお、テロ対策上、極力下層階に設置するが、レイアウト上の制限から上層階に設置する場合は必要に応じてテロ対策を講じる	○	スロッシング等による影響を評価する必要がある

プラント全体への 要求事項		浮体式原子力への要求事項	揺動・傾 斜の影響 考慮要否 ○：大 －：小	考慮・評価すべき事項
		<ul style="list-style-type: none"> ・キャスクによる燃料の浮体外搬出が可能となるまでの間、使用済燃料が冷却保管可能となる使用済燃料プール容量を確保する（保管期間の例として5年分（湿式キャスク）～20年分（乾式キャスク）の場合） ・揺動時の液面揺動によるプール水の溢水を防護する ・レイアウト上の制限から、貯蔵容量が十分確保できない場合は、浮体外に貯蔵する使用済燃料貯蔵船（冷却装置具備）などを検討 （例）燃料サイクルからの貯蔵年数要求に対応した貯蔵量を浮体内に確保できない場合は、浮体外の貯蔵設備として、使用済燃料貯蔵船（冷却装置具備）または陸上への使用済燃料貯蔵施設を検討する ・新燃料も数定検分（約3～5年分）の取替燃料の確保を前提とした貯蔵容量を確保する ・電源喪失時の自然力による使用済燃料の冷却機能を有する ・沈没対策を設計に含めること 		
	放射性廃棄物発生量	・ABWR と同等以下	－	影響は少ないと考えられる
建屋・配置	建屋の合理化・設計要求	<ul style="list-style-type: none"> ・システムや設備の合理化により浮体サイズを縮小 ・内部溢水やテロ対策の観点から浮体構造物に二重船殻構造を採用する 外側の船殻破損に対して浸水しない構造とする 	○	揺動抑制方策（係留索・揺動抑制装置）や浮体特有の安全系について費用増加の可能性あり

プラント全体への 要求事項	浮体式原子力への要求事項	揺動・傾 斜の影響 考慮要否 ○：大 －：小	考慮・評価すべき事項
	<ul style="list-style-type: none"> ・テロ対策の観点から上部甲板と舷側を対テロ装甲とする ・内部溢水対策として主復水器の循環水配管が破断し、かつ、循環水ポンプが継続運転した場合、船体の浸水量を最小限に留める設計とする ・浮体沈没時に放射性物質の海洋流出を最小限とする構造にする ・浮体沈没に対して引き上げ可能な水深（200～500m程度）に設置、浮体本体にリグ等を具備し引き上げ可能とする ・事故時においても近隣住民の避難が不要な設計（ベントやPCV 破損の場合など） ・災害時の電源供給利用についても可能とする ・喫水部を可能な限り削減した設計とする 		
外的事象に 対する考慮	<ul style="list-style-type: none"> ・揺動、傾きに対して堅牢な構造とする ・竜巻や津波等による甲板上部への浸水に対して完全防水項構造とする、もしくは7日間の対浸水性を付与する ・クラゲや塩害などによる対策を考慮 ・航空機衝突などを考慮 ・数十キロ遠方からの魚雷等のスタンドオフ攻撃を考慮※設計基礎脅威（DBT: Design Basis Threat）に限らない ・海上テロ（船体衝突）を考慮※DBTに限らない ・機器の固有周期を揺動の周期から外す設計とする 	○	揺動抑制方策や浮体特有の安全系について費用増加の可能性あり

プラント全体への 要求事項		浮体式原子力への要求事項	揺動・傾 斜の影響 考慮要否 ○：大 －：小	考慮・評価すべき事項
	陸上設備等 の活用	<ul style="list-style-type: none"> ・浮体を製造可能な大きさに留めるために、一定量を超える廃棄物処理・貯蔵設備、淡水補給タンク、燃料取り出し後、約 5 年分～約 20 年分の貯蔵量を超える使用済燃料プール、定期検査資機材、取り換え点検品等は輸送船で陸上設備に輸送する(沈没時の放射能流出リスク低減にも寄与) ・定期検査作業員居住スペース(約 300 人)は浮体構造物内に確保し、状況に応じて、輸送船またはヘリにより陸上に移動できるようにする 	－	陸上のため影響は少ないと考える
	特定重大事故 等対処施設	<ul style="list-style-type: none"> ・テロ対策などを当初設計で盛り込むことで不要とする 	－	不要であり影響は少ないと考える
運転員の 退避計画	避難路配置	浮体原子力設備に運転員が常時いる場合は、避難及びレスキューのための通路を一時避難場所まで、浮体が危険な状態になる前までに到達できるように配置することが必要	○	RC ゾーンやテロ対策の考え方とぶつかる可能性がある 傾斜・揺動時に運転員が柔軟に避難できるか検討が必要
	一次避難場 所の配置及 び避難手段	<ul style="list-style-type: none"> ・一時避難場所は、プラント設備で想定される事故に影響されない安全性を確保する ・耐火・耐爆・放射性物質等についても考慮する 	○	傾斜・揺動時に運転員が柔軟に避難できるか検討が必要
	退避時のプ ラント設備 全停止シー ケンス	運転員が完全に退避する状況となった場合のためプラントを全停止する ESD (Emergency Shut Down)のシーケンスを考慮する	○	傾斜・揺動時に運転員が柔軟に避難できるか検討が必要

付録 3-2 主要設備に対する揺動の影響

対象となる主なシステム		揺動・傾斜により 大きな影響を受ける 可能性のある事象	プラント停止 が必要な設備 ◎：停止必要 ×：停止不要	プラント停止後も 機能維持が必要な 設備 ◎：機能維持必要 ×：機能維持不要	プラント停止及び停止後機 能維持の必要性の考え方	対応策や今後の課題
原子炉系	原子炉炉心・炉 内構造物	・炉心動特性 ・炉内構造物健全性	◎	×	・熱的裕度の大幅な減少 ※2021年度 COCN 試解 析では縦揺 0.8G で通常運 転時に±3%程度の炉心流 量変動と評価	・通常運転や過渡状態の炉心 評価 ・実験・解析の計画 ・出力密度低減や最大線出力密 度制限等の裕度増加
	原子炉再循環系	・機械振動 ・流量変動	◎	×	・炉心流量に影響を及ぼ す可能性があるため	・機器の振動評価及び制振検討
	制御棒駆動機構	・機械振動 ・挿入機能	◎	×	・制御棒挿入に支障が生 じる可能性があるため	・機器の振動評価及び制振検討
	主蒸気系	・機械振動（弁）	×	×	—	・影響は少ない
	給水系	・影響は少ないと考 える	×	×	—	・影響は少ない
	使用済燃料プー ル	・液面揺動 （スロッシング）	×	◎	・溢水により使用済燃料 の冷却機能が喪失	・溢水量の評価及び溢水防止方 策の検討 ・浮体最深部に設置して影響を 下げる等
	圧力抑制室	・液面揺動 （スロッシング）	×	◎	・スロッシングにより ECCS 吸込口が曝露	・揺動による水面高さの評価

対象となる主なシステム		揺動・傾斜により大きな影響を受ける可能性のある事象	プラント停止が必要な設備 ◎：停止必要 ×：停止不要	プラント停止後も機能維持が必要な設備 ◎：機能維持必要 ×：機能維持不要	プラント停止及び停止後機能維持の必要性の考え方	対応策や今後の課題
静的安全系	ICS	・液面揺動（スロッシング） ・取水不十分（海水利用） ・熱交換チューブ内非凝縮性ガス滞留	◎	◎	・溢水により静的崩壊熱除去機能の維持が困難	・システム解析、配置設計 ・溢水量の評価（実験・解析） ・非凝縮性ガスが滞留しない構造とする
	PCCS	・液面揺動（スロッシング） ・取水不十分（海水利用） ・熱交換チューブ内非凝縮性ガス滞留	◎	◎	・溢水により静的崩壊熱除去機能の維持が困難	・システム解析、配置設計 ・溢水量の評価（実験・解析） ・非凝縮性ガスが滞留しない構造とする
	GDCS	・液面揺動（スロッシング）	◎	◎	・溢水により静的崩壊熱除去機能の維持が困難	・システム解析、配置設計 ・溢水量の評価（実験・解析）
動的安全系	ECCS系（原子炉注水系）	・機械振動 ・注水タンクスロッシング	×	◎	・ポンプ故障により動的崩壊熱除去機能の維持が困難	・システム解析、配置設計 ・事故時の動的機能維持評価
	非常用ガス処理系	・機械振動	×	◎	・ファンやトレインの破損により負圧維持・放射性物質の除去が困難	・システム解析、配置設計 ・事故時の動的機能維持評価

対象となる主なシステム		揺動・傾斜により大きな影響を受ける可能性のある事象	プラント停止が必要な設備 ◎：停止必要 ×：停止不要	プラント停止後も機能維持が必要な設備 ◎：機能維持必要 ×：機能維持不要	プラント停止及び停止後機能維持の必要性の考え方	対応策や今後の課題
	計測系 ・炉心水位計・ 格納容器雰囲気 モニタ	・傾斜によるセンサー 一誤計測・劣化 ・機械振動	×	◎	・揺動によるセンサー不 動作 ・傾斜によるセンサー検 出性能劣化	・計測器の傾斜振動評価及び制 振検討
	可燃性ガス濃度 制御系	・静的触媒式水素再 結合装置(PAR)の性 能低下	×	◎	・傾斜時に PAR が機能せ ず水素除去が困難になる	・傾斜時の PAR 性能評価
	ほう酸水注入系	・機械振動 ・注水タンクスロッ シング	×	◎	・ポンプもしくはほう酸 水タンクが破損しほう酸 水を注入できなくなる	・システム解析、配置設計 ・溢水量の評価（実験・解析）
	非常用ディーゼ ル発電機	・機械振動 ・軽油タンクスロッ シング	×	◎	・D/G が振動により機能 せず交流電源を供給不能 ・軽油タンクが破損する 可能性がある	・機器の振動評価及び制振検討 ・軽油タンクのスロッシング評 価
タービン (BOP) 系	主蒸気タービン 主発電機	・タービン振動 ・取水不十分	◎	×	・タービン破損防止	・機器の振動評価及び制振検討
	主復水器	・復水器内液面揺動	◎	×	・真空度低下	・復水器機能維持の評価
	給復水系	・機械振動	◎	×	・振動値が基準値を超過 する	・機器の振動評価及び制振検討

対象となる主なシステム		揺動・傾斜により大きな影響を受ける可能性のある事象	プラント停止が必要な設備 ◎：停止必要 ×：停止不要	プラント停止後も機能維持が必要な設備 ◎：機能維持必要 ×：機能維持不要	プラント停止及び停止後機能維持の必要性の考え方	対応策や今後の課題
	循環水系	・取水口露出	◎	×	・取水が困難になる	・取水口を浮体深部に設置することで対応
	直流系（バッテリー）	・小さいと考える	×	◎	・直流電源の確保が必要	・機器の振動評価及び制振検討
	交流系・送電線（変圧器・開閉器含む）	・外部電源との取り合い破損 ・送電ケーブルの余裕代を超えて切断	◎	◎	・海底ケーブル自身及び取り合い部が破損する ※浮体式風力の実績値を参考にする	・機器の振動評価及び制振検討
上記以外の設備	換気空調系・ユーティリティ	・機械振動 ・長物（配管・ダクト）の破損	◎	◎	・非常系機器のローカル空調が稼働困難になる	・機器の振動評価及び制振検討
	係留・揺動/傾斜抑制装置	・揺動等による抑制装置の機能喪失 ・係留索の余裕代を超えて切断	◎	◎	・係留索やスクリーなどが破損を生じる恐れがある	・機器の振動評価及び制振検討

付録 4 建造場所・技術、保守場所

1. はじめに

浮体式原子力発電が陸上の原子力発電の異なる点の一つとして、造船所で建造し、設置海域に輸送することが挙げられるため、浮体式原子力発電の建造方法とその技術について整理しておく必要がある。また、2021年度に検討した通り、供用開始後の保守作業は基本的に洋上で実施する方針であるが、大規模補修等により入渠が必要となる可能性もあることから、保守場所（入渠する場所）を事前に確保しておく必要がある。本検討では、国内で建造可能と考えられる場所、建造技術（方法）、保守場所に求められる条件を検討した。

2. 検討方法

検討方法を図 2 に示す。初めに、図の中央に示す通り、国内造船所のドックのサイズやクレーンに関する情報を入手し、本検討の参考情報を収集した（図の①）。この結果を基に、以下について検討した。

■ 建造場所・技術に関する検討

- 国内で建造可能と考えられる場所及び建造技術（方法）を検討した（図の建-①）。
 - ・ MIT で設計された浮体式原子力発電のサイズを対象に国内ドックでの建造の可能性を検討した。
 - ・ その他の視点として、ドックの仕様は、今後実施する設計における要求事項を決める一つの因子であるため、ドックの仕様の観点から設計における要求事項を取り纏めた。
 - ・ 建造技術（方法）に関する検討では、艀装工事を除いた大部分を実施する方法（電気出力 30 万 kW の場合に考えられる一つの方法）と途中からフローティングドック上で実施する方法（電気出力 100 万 kW の場合に考えられる方法）の 2 つのケースを検討した。
- これらの検討を受け、建造場所・技術に関する今後の検討課題を整理した（図の建-②）。

■ 保守場所に関する検討

- 入渠が必要となる保守作業を抽出した（図の保-①）。
- 保守作業の抽出結果を踏まえ、保守場所に求められる条件を検討した（図の保-②）。
- 最後に、保守場所に関する今後の検討課題を整理した（図の保-③）。

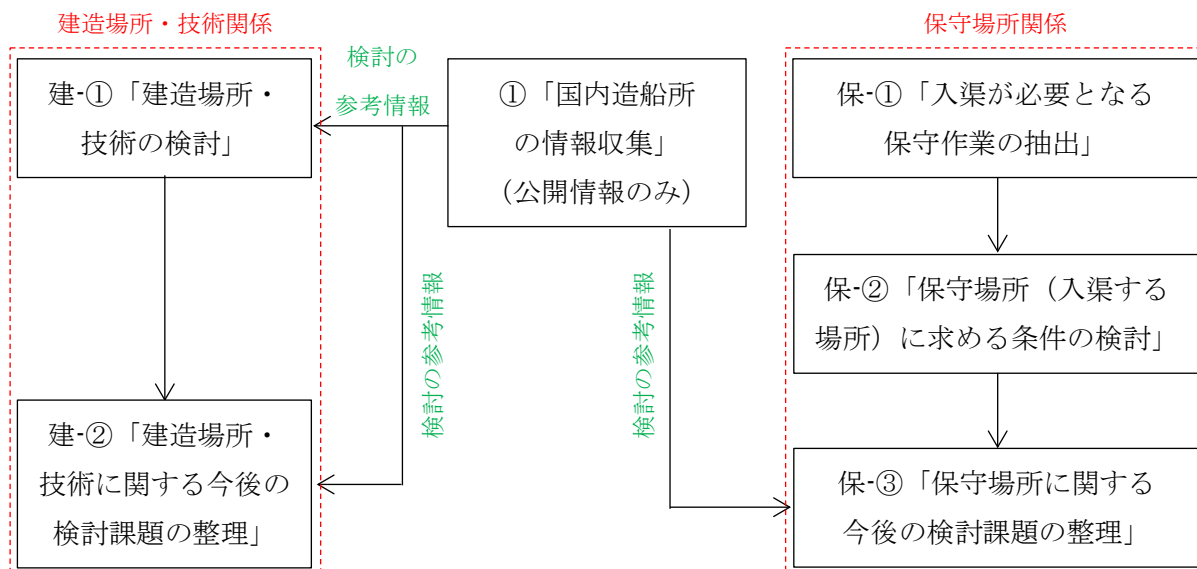


図 2 検討方法

3. 検討結果

3.1. 国内造船所の情報収集

国内での建造を考えているため、公開資料の範囲で国内の造船所の情報を収集した。収集する情報として、建造可否や建造方法の検討において重要な項目と考えられるドックのサイズ(全長、幅、深さ)、ドックに設置されたクレーンの仕様、ドック内地面の耐荷重を選定した。その他に、設置海域への輸送の観点から、ドック周辺海域の水深や橋桁の高さも必要となるが、今回の検討では、より重要なドックのサイズ等の情報収集を優先した。なお、表 4 に示す浮体式原子力発電のサイズ(スカート直径)から、ドック幅 75m 以上の造船所を調査対象とした。

調査結果を表 5 に示す。14 箇所のドック(一箇所は海洋ドック)が挙げられ、修繕ドックを除いた場合でも、10 箇所が挙げられた。浮体式原子力発電の建造において重要な項目の一つと考えられるドック幅に関しては、最大 100m のドックがあることが確認された。なお、項目の一つとしたドック内地面の耐荷重については、情報がなかったため、確認できた範囲の情報を表の備考欄に記載している。

表 4 MIT で設計された浮体式原子力発電所の情報¹⁸

項目	電気出力	
	30 万 kW	100 万 kW
ハル直径 (m)	45	75
スカート直径 (m)	75	106
高さ (m)	73	108
乾燥重量 (ton)	24,600	90,000
排水量 (ton)	~115,500	~376,400
運用時の喫水 (m)	48.5	68.5

¹⁸ Jacob M. Jurewicz “Design and Construction of an Offshore Floating Nuclear Power Plant” (2015)

表 5 国内造船所に関する情報¹⁹

No.	事業者	造船所	施設	全長(m)	幅(m)	深さ(m)	クレーン	備考
1	A 社	A-1	建造ドック	610	80	11.7	門型、高さ約 90m、吊り荷重 1330ton	—
2		A-2	建造ドック	420	89	—	門型、高さ約 90m、吊り荷重 800ton (3 基)	—
3			修繕ドック					
4	B 社	B-1	建造ドック	620	85	14.0	・ 門型、高さ約 81m、吊り荷重 1200ton ・ 門型、高さ約 1m、吊り荷重 700ton	—
5			建造ドック	420				
6		B-2	修繕ドック	508	80	13.5	—	—
7		B-3	建造ドック	500	75	—	—	—
8			修繕ドック	500	75			
9	C 社	C-1	建造ドック	420	75	—	—	—
10	D 社	D-1	建造ドック	990	100	—	・ 門型、高さ約 95.5m、吊り荷重 1200ton ・ 門型、高さ約 1m、吊り荷重 600ton (2 基)	—
11			修繕ドック	400	100			
12	E 社	E-1	建造ドック	535	80	—	—	—
13	F 社	F-1	建造ドック	560	80	—	—	—

¹⁹ THE SHIP BUILDERS ASSOCIATION OF JAPAN (日本造船工業会) 他 9 件

No.	事業者	造船所	施設	全長(m)	幅(m)	深さ(m)	クレーン	備考
14	G 社	G-1	海洋ドック	220	150	17.0 (喫水 8m 程度まで)	<u>岸壁</u> ・ 650ton クローラークレーン ・ 350ton クローラークレーン <u>大型構造物組立ヤード</u> ・ 650ton クローラークレーン	乾燥重量 41,000ton まで施工実績有り

3.2. 建造場所・技術関係

3.2.1. 建造場所・技術の検討

建造場所・技術に関する検討として、国内で建造可能と考えられる場所、建造技術（方法）について検討した。

3.2.1.1. 国内で建造可能と考えられる場所

国内での建造可否に関係する項目として、ドックのサイズ（水平方向の長さ、深さ）、クレーンの仕様（高さ、吊り荷重）、ドック内地面の耐荷重、ドック周辺海域の水深や橋桁の高さが挙げられる。そのため、表 4 に示す MIT で設計された浮体式原子力発電のサイズの国内ドックでの建造の可能性を検討した。

■ ドックのサイズ（水平方向の長さ）

- ・ ドックの水平方向の長さは、浮体式原子力発電のサイズを制限する項目の一つである。
- ・ 図 3 に示すように、高所作業車等の建造に必要な作業機器の設置スペースを確保する必要があるため、これを考慮して建造可否を検討した。
- ・ 電気出力 30 万 kW の建造に必要なドックの水平方向の長さは、作業機器の設置スペースとして浮体構造物の両脇に 5m 必要と仮定した場合（今後、具体的に必要な設置スペースの確認が必要）、85m 以上の長さが必要である。その場合、修繕ドックを除くと 5 箇所で開催可能と考えられる（表 5 の No.2,4,5,10,14）。
- ・ 電気出力 100 万 kW の場合には、現状の寸法では、表 5 の No.14（海洋ドック）のみで建造可能であるが、設計段階でスカートの形状を工夫することでより多くの場所で建造可能になると考えられる。

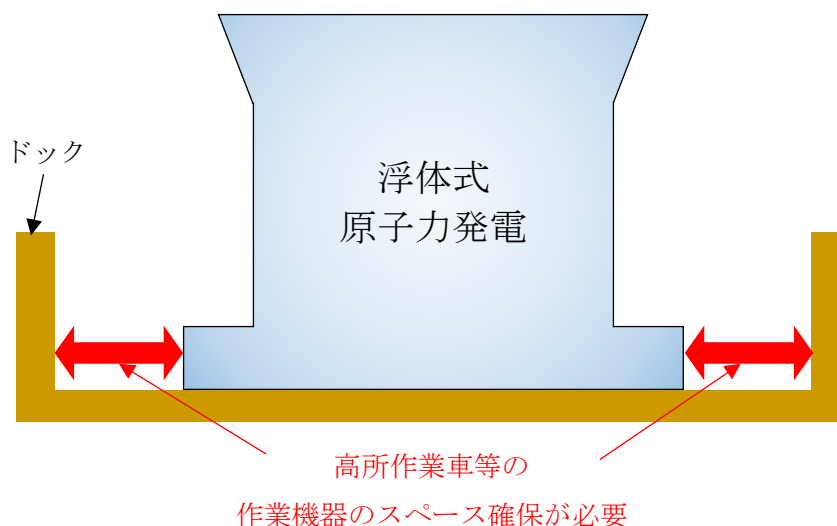


図 3 建造時の作業機器設置スペース

■ ドックのサイズ（深さ）

- ・ 建造において、ドック内での建造期間を可能な限り短くし、競争力を高めている。そのため、浮体式原子力発電の建造においても、建造がある程度進み、浮くことができる状態になるとドック近傍の岸壁やフローティングドック上で建造することが考えられる（具体的な移行のタイミングは費用面の観点から検討が必要である）。なお、ドック近傍の海域で建造する場合には、フローティングクレーンが必要となるが、数千 ton の吊能力を持つものが多数存在するため、これを使用することが考えられる。
- ・ その他の建造方法として、艀装工事を除いた大部分をドック内で実施することも考えられる（どの方法を採用するかは、費用面の観点等から決定される）。この方法の場合、下記に示すドック内地面の耐荷重に加え、ドックの深さが建造可否の判断因子の一つとなる。具体的には、ドック内を水で満たしてドックから搬出するため、その際に浮くことができるか確認が必要である。
- ・ 喫水 7m（ドック内の喫水は 6～7m 程度）の場合に電気出力 30 万 kW と 100 万 kW の浮体式原子力発電が浮くことができるかを確認した結果を表 6 に示す。電気出力 30 万 kW の場合には、ドック内での建造（艀装工事は岸壁で実施）も可能と考えられる。一方、電気出力 100 万 kW の場合には、途中からドック近傍の岸壁やフローティングドック上で建造することが必要となると考えられる。

表 6 喫水 7m の場合の浮体式原子力発電所の浮体状況確認結果

項目	電気出力 30 万 kW		電気出力 100 万 kW	
	スカート無視	スカート考慮※	スカート無視	スカート考慮※
押しのけた水の重さ (ton)	11,100	30,832	30,832	61,588
乾燥重量 (ton)	24,600		90,000	
判定	浮かない	浮く	浮かない	浮かない

※スカート高さ 8m で計算した結果。

■ クレーンの仕様（高さ、吊り荷重）

- ・ 今回の調査では、全てのドックのクレーン高さは確認できなかったが、確認できた範囲では、90m 前後の高さがあることを確認した。
- ・ 電気出力 30 万 kW の浮体式原子力発電の高さは 73m のため、国内造船所での対応は可能と考えられる。
- ・ 電気出力 100 万 kW の浮体式原子力発電の高さは 108m のため、ドックのクレーンより高いが、この高さに達する前にドック近傍の岸壁等での建造に移行するため、大きな問題はないと考えられる。
- ・ 造船所のクレーンは、前述のように、建造物の高さを制限するとともに、定格荷重の制限からドック内で実施する組上げ作業時の重量物の吊上げを制限する。

- ・ 電気出力 110 万 kW の原子炉圧力容器の重量は 750ton²⁰のため、表 5 の調査結果から、多くのドックで吊上げることができると考えられる。
- ・ クレーンの定格荷重を超える場合には、クローラクレーンの設置スペース有無を個別に確認する必要があるが、超大型のクローラクレーンをレンタルすることで吊上げが可能と考えられる。

■ ドック内地面の耐荷重

- ・ 浮体式原子力発電の単位面積当たりの荷重（乾燥重量÷スカート部を除く底面積で算出）は、電気出力 30 万 kW で 15.5ton/m²、電気出力 100 万 kW で 20.4ton/m²である。
- ・ ドック内地面の耐荷重は公開されていないため、明確なことは言えないが、道路法で規制される車両の総重量制限値が 20ton(単位面積当たりではないことに注意)であることや、海外の造船所ではモノコラム型浮体構造物の建造実績があることを考慮すると、建造できる可能性があると考えられる。

■ ドック周辺海域の水深、橋桁の高さ

➤ 建造の観点

- ・ 建造をドック近傍の岸壁で建造する場合には、水深が可否を決める因子となる。表 5 に示す全てのドック周辺の岸壁の水深までは調査できていないが、国土地理院の地理院地図で確認できた国内ドック岸壁の水深が 15m 程度であったため、喫水 10m 程度の状態で建造するとした場合、表 7 に示すように電気出力 30 万 kW の場合は浮くが、電気出力 100 万 kW の場合は浮かないことがわかる。
- ・ そのため、電気出力 30 万 kW では岸壁での建造が可能であるが、電気出力 100 万 kW の場合には沖合の深い海域に設置したフローティングドック上での建造が必要になると考えられる（確認できた範囲ではドックから 1km 程度離れた海域では 20m 以上の水深となる）。
- ・ ドック近傍の岸壁での建造時には、水深が 10m 程度の箇所では表 8 に示す Dry Draft の状態に近い状態となるため、表中の復原性に関する情報から、横メタセンタ高さ GM（復原力の大きさを表す指標）の値がマイナスではなく（M が G よりも上方にある）、ある程度の復原性を持つ（安定する）ことがわかる。この状態での建造可否の詳細を今後確認する必要がある。否の場合には、より深い海域におけるフローティングドック上での建造が考えられる。

²⁰ 東京電力ホールディングス株式会社ホームページ (https://www.tepco.co.jp/niigata_hq/kk-np/profile/outline/index-j.html)

表 7 喫水 10m の場合の浮体式原子力発電所の浮体状況確認結果

項目	電気出力 30 万 kW		電気出力 100 万 kW	
	スカート無視	スカート考慮※	スカート無視	スカート考慮※
押しのけた水の重さ (ton)	15,857	38,408	44,046	79,195
乾燥重量 (ton)	24,600		90,000	
判定	浮かない	浮く	浮かない	浮かない
浮くために必要な 最低水位 (m)	約 16	—	約 21	約 13

スカート高さ 8m で計算した結果。

表 8 Operation Draft と Dry Draft 状態における GM 等の情報²¹

	電気出力 30 万 kW	電気出力 100 万 kW
Operation Draft (OD)	48.5m	68m
Center of Gravity G (OD)	16.05m	30.42m
Center of Buoyancy B (OD)	18.59m	29.22m
Metacenter M (OD)	20.38m	33.46m
Metacentric Height GM (OD)	4.33m	3.03m
Dry Draft (DD)	5.42m	9.93m
Center of Gravity G (DD)	37.59m	46.18m
Center of Buoyancy B (DD)	2.71m	4.97m
Metacenter M (DD)	67.54m	75.70m
Metacentric Height GM (DD)	29.95m	29.52m

➤ 輸送作業の観点

- ・ ドック周辺海域の水深、橋桁の高さは、ドックから設置海域までの輸送作業を制限する。
- ・ 全てのドック周辺の海域の水深、橋桁の高さを調査できていないが、国土地理院の地理院地図で確認できた国内ドック岸壁の水深が 15m 程度であった。そのため、喫水 10m 程度の状態で輸送することになると考えられる（さらに沖合に移動した場合には喫水を深くすることが考えられる）。この場合、前述の通り、GM がマイナスではなく、ある程度の復原性（安定性）を持つため、今後、この状態での輸送可否について詳細に確認する必要がある。
- ・ 代表的な橋の高さを調査し、関門橋は 61m、明石海峡大橋、南・北備讃瀬戸大橋、来島海峡第二・第三大橋は 65m であることを確認した。電気出力 100 万 kW の高さは 108m のため、通過は困難と考えられるため、輸送距離が長くなるが、橋を通過しないルート

²¹ Jacob M. Jurewicz “Design and Construction of an Offshore Floating Nuclear Power Plant” (2015)

を選択する必要がある。

表 9 に検討結果の纏めを示す。

電気出力 30 万 kW の建造方法として以下の 3 つの方法が考えられ、複数のドックで建造可能と考えられる。

- ① 艀装工事を除いた大部分をドック内で実施する方法
- ② 建造途中から（建造がある程度進み、浮くことができる状態から）、ドック近傍の岸壁で建造する方法
- ③ 建造途中から（建造がある程度進み、浮くことができる状態から）、フローティングドック上で建造する方法

電気出力 100 万 kW の場合には、上記の②又は③の方法を採用することが考えられる。そのため、ドック内での作業はクレーンの高さ等の観点から可能な範囲で実施することとなり、ドックの特徴に応じてカスタマイズされるため、複数のドックで建造可能と考えられる。ただし、ドック内でスカート部の組立を実施するため、ドックのサイズの制限からスカートの形状を工夫（スカート部の直径を短くする）する必要がある。

表 9 検討結果のまとめ

項目	電気出力 30 万 kW	電気出力 100 万 kW
ドックのサイズ (水平方向の長さ)	・ 国内ドック 5 箇所（修繕ドック除く）で建造可能と考えられる。	・ 現状の寸法では、1 箇所では建造可能であるが、スカート形状を工夫することでより多くの場所で建造可能になると考えられる。
ドックのサイズ (深さ)	・ 艀装工事を除いた大部分をドック内で実施することも可能と考えられる。 ・ ただし、ドックを早期に空けるため、途中からドック近傍の岸壁等で建造する方法を採用することも考えられるが、この方法でも対応可能と考えられる。	・ 途中からドック近傍の岸壁やフローティングドック上で建造することが必要となると考えられる。 ・ ただし、項目「ドック周辺海域の水深、橋桁の高さ（建造）」に示すように、ドック近傍の岸壁の水深が 10m 程度の場合、沖合のより深い海域に設置したフローティングドック上での建造が必要になると考えられる。
クレーンの仕様 (高さ、吊り荷重)	・ 浮体式原子力発電の高さは 73m のため、国内造船所での対応は可能と考えられる。 ・ 電気出力 110 万 kW の原子炉圧力容器の重量は 750ton のため、多くのドックで吊上げることが出来ると考えられ	・ ドックのクレーンの高さより高いが、この高さに達する前にドック近傍の岸壁等での建造に移行するため、大きな問題はないと考えられる。

項目	電気出力 30 万 kW	電気出力 100 万 kW
	<p>る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クレーンの定格荷重を超える場合には、クローラークレーンの設置スペース有無を個別に確認する必要があるが、超大型のクローラークレーンをレンタルすることで吊上げが可能と考えられる。 	
ドック内地面の耐荷重	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体式原子力発電の単位面積当たりの荷重（乾燥重量÷スカート部を除く底面積で算出）は、電気出力 30 万 kW で 15.5ton/m²、電気出力 100 万 kW で 20.4ton/m² である。 ・ 耐荷重は公開されていないため、明確なことは言えないが、道路法で規制される車両の総重量制限値が 20ton（単位面積あたりではないことに注意）であることや、海外の造船所ではモノコラム型浮体構造物の建造実績があることを考慮すると、建造できる可能性があると考えられる。 	
ドック周辺海域の水深、橋桁の高さ（建造）	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドック近傍の岸壁で建造する場合の喫水は 10m 程度確保できるため、岸壁での建造は可能と考えられる。 ・ 喫水 10m の場合、GM がマイナスでないため、ある程度の復原性を持つ（安定）が、この状態での建造可否の詳細を今後確認する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドック近傍の岸壁の水深が 10m 程度の場合、沖合のより深い海域に設置したフローティングドック上での建造が必要になると考えられる。
ドック周辺海域の水深、橋桁の高さ（輸送）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水深の関係から、一時的に喫水 10m 程度の状態で輸送することになると考えられる。 ・ 上述の通り、ある程度の復原性を持つ（安定）が、この状態での輸送可否の詳細を今後確認する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同左 ・ 橋桁の高さに比べて高いため、通過は困難と考えられる。そのため、輸送距離が長くなるが、橋を通過しないルートを選択する必要がある。

その他の視点の検討として、今後実施する設計における要求事項を決める一つの因子として、ドックの仕様が挙げられるため、ドックの仕様の観点から設計における要求事項を取り纏めた。なお、ドックによりサイズは異なるため、浮体式原子力発電のスカート直径と高さを変化させ、それぞれのサイズで対応可能と考えられるドック数を示す形で整理した。浮体式原子力発電のスカート直径と高さ以外に浮体式原子力発電の底面積当たりの荷重も設計における要求事項を決める一つの因子であるが、ドック内地面の耐荷重の情報はないため、今回の検討では対象外とした。

スカート直径に関する検討では、浮体式原子力発電の建造においては高所作業車等の作業機器のスペース確保として両脇 5m が必要と仮定した。また、浮体式原子力発電の高さに関する検討では、クレーン高さから 10m 引いた高さまで建造できると仮定した。その結果を表 10、表 11 に示す。

表 10 スカート直径の変化による対応可能なドック数

スカート直径(m)	必要ドック幅(m)	対応可能なドック数*	
		修繕ドック含む	修繕ドック除く
65～	75～	14	10
70～	80～	11	8
79～	89～	7	5
90～	100～	2	2
140～	150～	1	1

※浮体式原子力発電の建造においては高所作業車等の作業機器のスペースとして両脇 5m が必要と仮定した場合の数。

表 11 浮体式原子力発電の高さの変化による対応可能なドック数

高さ(m)	必要なクレーン の高さ(m)	対応可能なドック数*		
		修繕ドック含む	修繕ドック除く	不明
71～	81～	7	2	7
80～	90～	5	2	
85.5～	95.5～	1	1	

※クレーン高さから 10m 引いた高さまで建造できると仮定した場合の数。実際には、ドック脇にクローラークレーンを設置することでより高い浮体式原子力発電を建造できると考えられる。

3.2.1.2. 建造技術（方法）

次に、建造方法を検討した。

前述の通り、電気出力 30 万 kW の建造方法として、「艀装工事を除いた大部分をドック内で実施する方法」、「建造がある程度進み、浮くことができる状態になるとドック近傍の岸壁やフローティングドック上で建造する方法」が挙げられる。

電気出力 100 万 kW の場合には、ドック近傍の岸壁の水深によるが、喫水 10m 程度しか確保できない水深の場合には、より深い海域におけるフローティングドック上での建造が考えられる。

そこで、「艀装工事を除いた大部分をドック内で実施する方法（電気出力 30 万 kW の場合に考えられる一つの方法）」と「途中からフローティングドック上で実施する方法（電気出力 100 万 kW の場合に考えられる方法）」を検討した。

■ 艀装工事を除いた大部分をドック内で実施する方法（図 4）

- ・ 初めに、鋼板、型鋼を部品に切断する（図の①）。
- ・ その部材を組合せて小組、中組、大組ブロックの順に製作する（図の②～③）。
- ・ ブロック表面に付着した不純物を除去するためにブラスト作業を実施し、塗装を実施する（図の④～⑤）。
- ・ ブロックに艀装品（大型品のみ）を取付け、大型ブロックを組み合わせ、建造場所内のクレーンで吊上げることができる重量の総組ブロックを製作する（図の⑥～⑦）。
- ・ ここからはドック内での作業となり、スカートやハル底部を組上げた後に原子炉格納容器を据付け、格納容器内に原子炉圧力容器を据付ける（図の⑧～⑨）。原子炉格納容器は、ある程度の大型ブロックでドックまで輸送し、溶接することが考えられる。原子炉格納容器内部に設置する原子炉圧力容器については、電気出力 110 万 kW の場合でも重量が 750ton のため、多くのドック内のクレーンで吊上げることができると考えられる。その他の内部機器についても、改良型沸騰水型軽水炉（ABWR）と同様にモジュールとして据付けることが考えられる。
- ・ 原子炉格納容器周りの総組ブロックを組上げる（図の⑩）。
- ・ 次に、復水器、タービンペデスタルの据付けを行い、その周りの総組ブロックを組上げる（図の⑪～⑫）。
- ・ 最後に、進水、試運転の内、引渡しが行われる（図の⑬）。

■ 途中からフローティングドック上で実施する方法（図 5）

- ・ 初めに、鋼板、型鋼を部品に切断する（図の①）。
- ・ その部材を組合せて小組、中組、大組ブロックの順に製作する（図の②～③）。
- ・ その後、ブロック表面に付着した不純物を除去するためにブラスト作業を実施し、塗装を実施する（図の④～⑤）。
- ・ 大型の艀装品が取付けられた大型ブロックを組み合わせ、建造場所内のクレーンで吊上げることができる重量の総組ブロックを製作する（図の⑥）。

- ・ ここからはドック内での作業となり、スカートやハル底部を組上げた後に原子炉格納容器を据付け、格納容器内に原子炉圧力容器を据付ける（図の⑦～⑧）。
- ・ 原子炉格納容器周りの総組ブロックを組上げる（図の⑨）。
 - ✓ 陸上の改良型沸騰水型軽水炉（ABWR）の原子炉建屋重量とタービン・コントロール・廃棄物処理建屋の合計重量（内部の機器等の重量を含む）はおおむね同じであることから、浮体式原子力発電所下部の原子炉エリアの重量は、電気出力 100 万 kW の乾燥重量 90,000ton の半分である 45,000ton 程度と考えられ、ドック内からの搬出は可能と考えられる（深さ 7m の水を張った状態に浮くことができるため）。
 - ✓ さらに、陸上のタービン建屋の重量（ABWR）が 27,000ton 程度であることから、ドック内でタービン設備の据付もできると考えられる（原子炉部分が 45,000ton、タービン部分が 27,000ton のため、合計 72,000ton であり、喫水 7m の場合の押しのけた水の重さ 61,588ton より小さい）。
 - ✓ 一方、復原性（転覆防止）の観点からは喫水を深くした状態で建造したいため、タービン設備の設置段階から、より喫水を深くできるドック近傍の海域に移動し、建造を進めることが考えられる。
- ・ ドックから近傍の海域に移動する（図の⑩）。
- ・ フローティングドック上で復水器、タービンペデスタルの据付けを行い、その周りの総組ブロックを組上げる（図の⑪）
- ・ 試運転の内、引渡しが行われる（図の⑫）

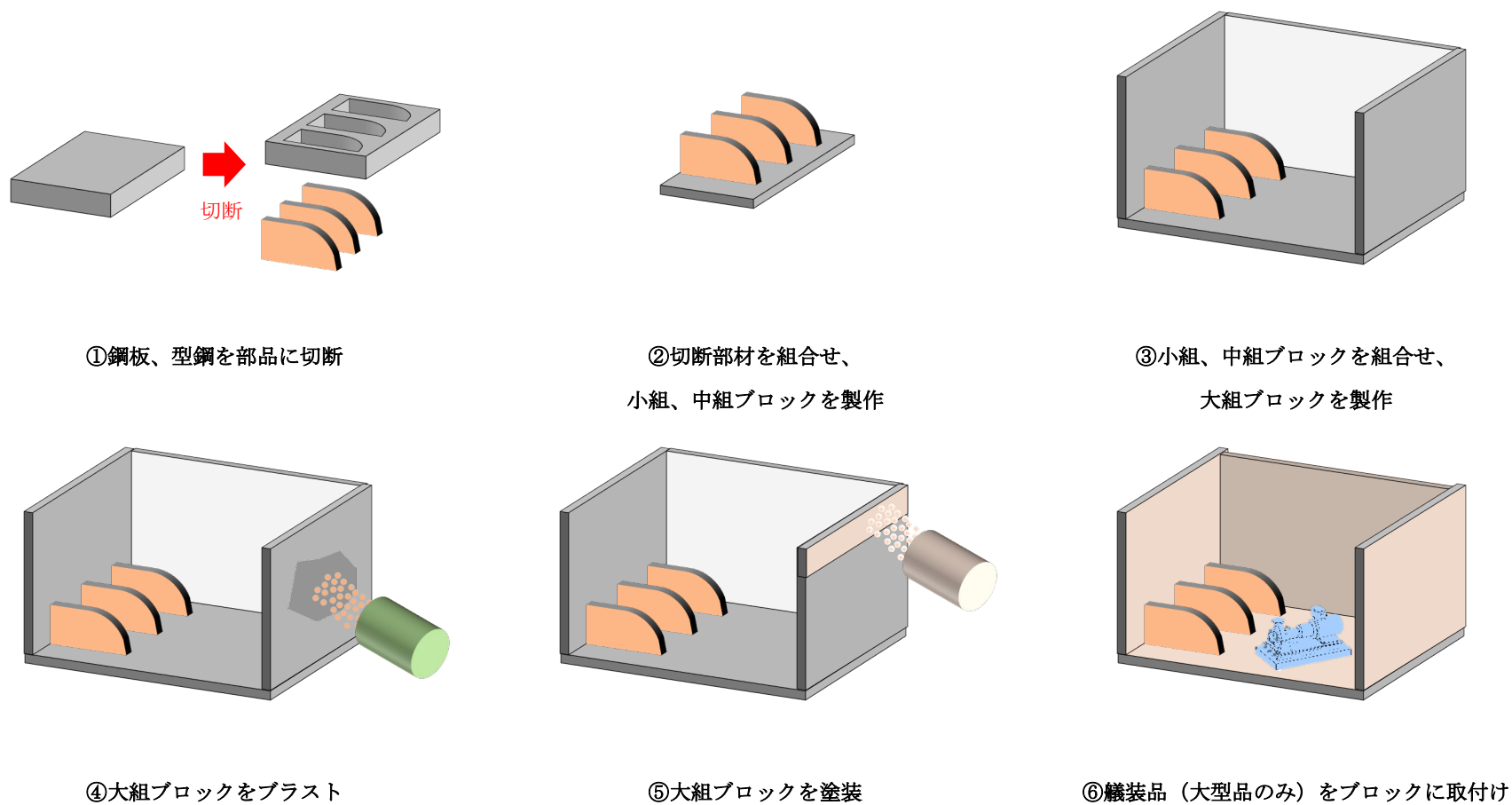
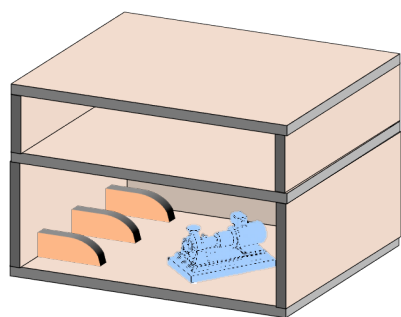
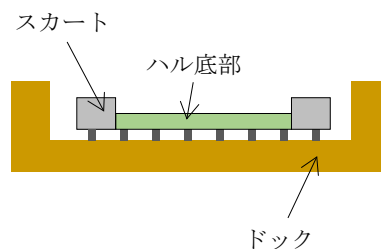


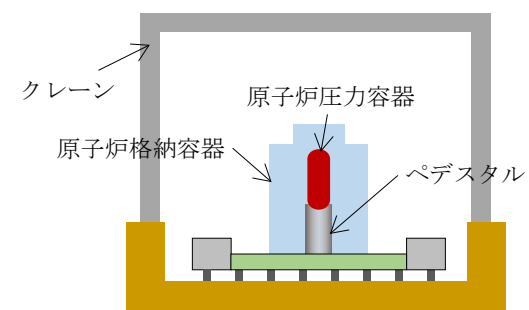
図 4 ドック内で建造を完結する場合の建造方法（1 / 3）



⑦大組ブロックを組合せ、
総組ブロックを製作



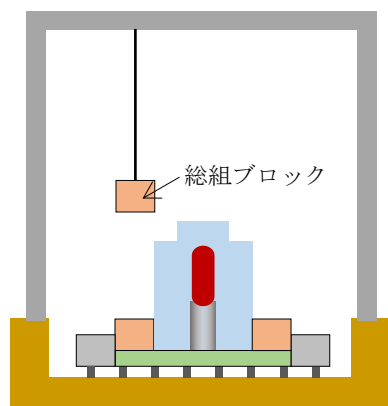
⑧総組ブロック（スカート・ハル底部）を
ドック内に運搬し、組上げ



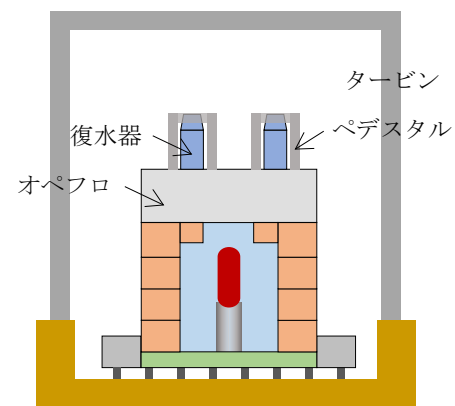
⑨原子炉格納容器（PCV）の据付、
PCV 内に原子炉圧力容器（RPV）を据付

- ・ PCV は、ある程度の大型ブロックでドックまで輸送し、溶接する。
- ・ RPV（電気出力 110 万 kW）重量は 750ton のため、多くのドック内クレーンで吊上げ可能

図 4 ドック内で建造を完結する場合の建造方法（2 / 3）

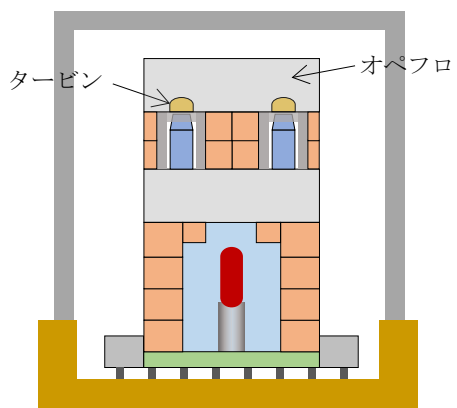


⑩総組ブロック（PCV 周り）をドック内に運搬し、組上げ

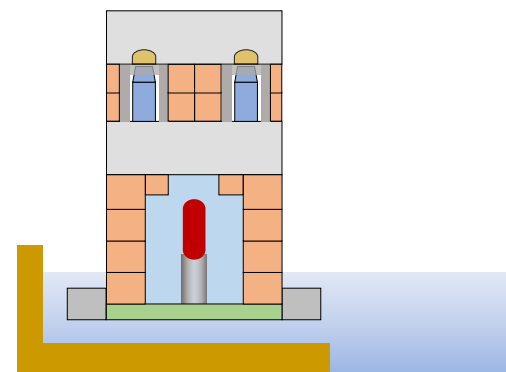


⑪復水器、タービンペDESTALの据付

・ 復水器は ABWR 建設時と同様に分割して搬入する



⑫総組ブロック（タービン回り）をドック内に運搬し、組上げ



⑬進水・試運転、引渡し

・ 進水後、試運転を実施する。その結果を反映し、引渡す。

図 4 ドック内で建造を完結する場合の建造方法（3 / 3）

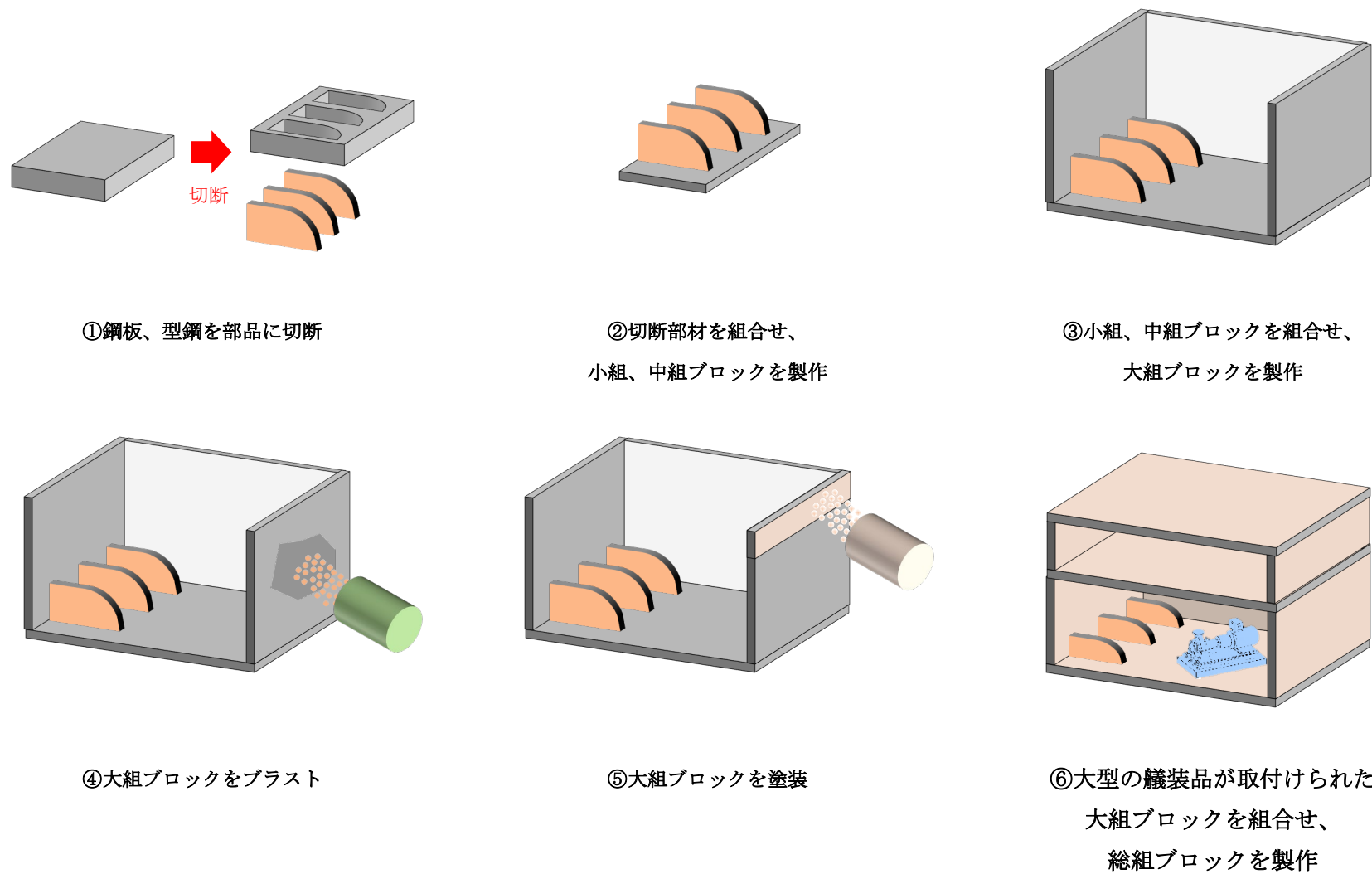
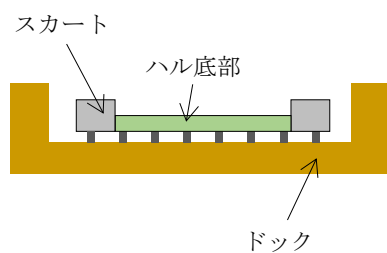
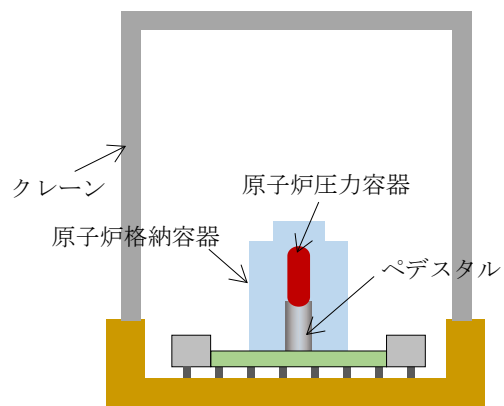


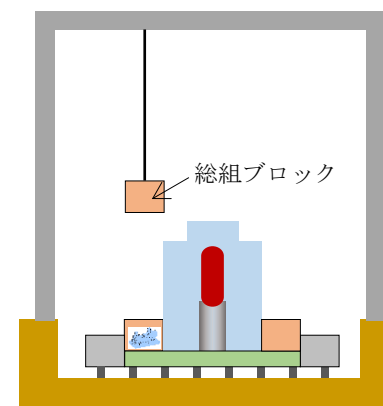
図 5 途中からドック近傍の海域で実施する場合の建造方法 (1 / 3)



⑦総組ブロック（スカート・ハル底部）を
ドック内に運搬し、組上げ



⑧原子炉格納容器（PCV）の据付、
PCV 内に原子炉圧力容器（RPV）を据付



⑨総組ブロック（PCV 周り）をドック内に
運搬し、組上げ

図 5 途中からドック近傍の海域で実施する場合の建造方法（2 / 3）

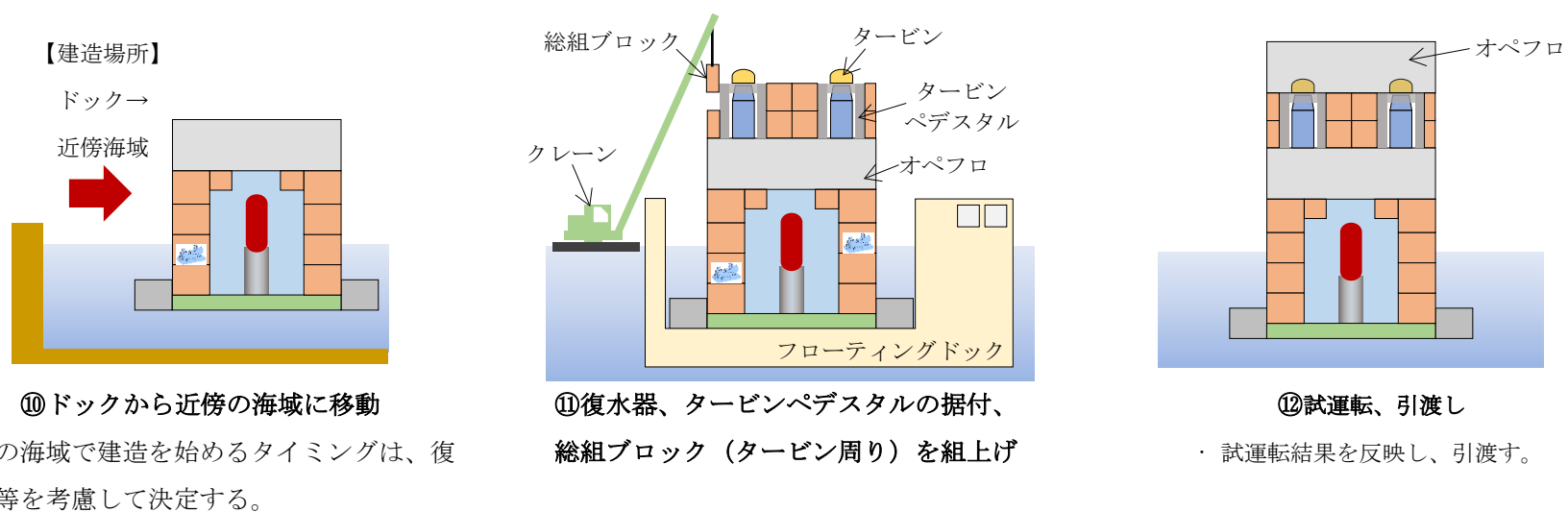


図 5 途中からドック近傍の海域で実施する場合の建造方法（3 / 3）

3.2.2. 建造場所・技術に関する今後の検討課題の整理

今回の検討では、国内で建造可能と考えられる場所、建造技術（方法）について検討した。これらの検討結果から考えられる今後の検討課題を表 12 に示す。例えば、No.1 と 2 を明らかにすることで、浮体式原子力発電の建造方法（ドック内で建造を完結することができるか）をより具体化することができる。

表 12 建造場所・技術に関する課題（今後、検討すべきこと）

No.	項目	課題の内容
1	設計情報	・ 浮体式原子力発電所の設計を進め、荷重等を明確にすること。
2	国内造船所に関する情報	・ 国内造船所に関する情報を拡充すること（表 5 に示すドック内地面の耐荷重に加え、ドック周辺海域の水深、橋桁の高さの情報を拡充）。
3	建造方法	・ 建造方法のさらなる具体化。例えば、PCV、ペDESTAL、タービンペDESTALの据付方法が挙げられる。 ・ フローティングドック上での建造を選択する場合には、必要なフローティングクレーンの仕様を整理し、存在する台数を確認する必要がある。
4	輸送ルート	・ ドックから設置海域までの輸送ルートの検討。

3.3. 保守場所関係

3.3.1. 入渠が必要となる保守作業の抽出

入渠が必要となる保守作業については、2021 年度に検討しており、以下に示す 2 つの保守作業で入渠が必要になると考えられると整理している。なお、浮体式原子力発電所の特徴である、洋上に設置することによる地震の影響低減の低減を活かすためには、入渠時には核燃料を所外に移動させた状態である必要がある。

- ・ 船体塗装（海水中で施工できる塗料や 100 年使用できる塗料が開発されているため、洋上で実施できる可能性はあるが、適用性の確認が必要）
- ・ 入渠が必要なほどの大規模補修作業（例：外的要因（嵐等の自然現象や船舶衝突等の人為事象等）によって浮体構造物が大きく損傷）

その他の作業として、燃料輸送キャスクの搬出も考えられるが、揺動が小さいため、洋上で搬出作業を実施することが可能と考えられ、今後、検討が必要と纏めている。その他の作業（例：タービン分解・復旧時のダイアフラムとロータの接触）についても同様のことが言える。

3.3.2. 保守場所（入渠する場所）に求める条件の検討

今回の検討では、船体塗装等の上記で挙げた作業をドックで実施することを前提に検討した。必要保守場所に求められる条件は、「入渠場所」に求める条件に加え、「設置海域から入渠場所までの輸送ルート」に求める条件もあるため、2 つに分けて検討した。その結果を表 13 に示す。

■ 設置海域から入渠場所までの輸送ルート

- ・ 「設置海域から入渠場所までの輸送段階の水域」に求める条件として、「輸送ルートの水深」、「輸送ルート上の橋桁の高さ」、「輸送距離」、「主要航路」、「避航場所」が挙げられる。
- ・ 水深と橋桁の高さについては、輸送ルート上の高さ方向を制限するものである。
- ・ 輸送距離については、発電所の稼働率の観点から挙げられるもので、この条件を満たさないことで保守ができなくなるものではない。

■ 入渠場所

- ・ 「入渠場所」に関する条件として、「ドックの幅、全長、深さ」、「クレーンの仕様」、「地面の耐荷重」、「放射線モニタリング体制」、「入渠場所の立地地域からの受容性」が挙げられ、浮体式原子力発電所の入渠に必要な寸法の観点からの制約に加え、吊上げ作業時の観点、原子力特有の観点からの条件が挙げられた。

表 13 保守場所に求められる条件

No.	項目	保守場所に求められる条件	具体的な条件
1	設置海域から入渠場所 までの輸送ルート	輸送ルートの水深	・ 水深が、輸送時の喫水※より深いこと ※重量物運搬船の場合には、その船の喫水
2		輸送ルート上の橋桁の高さ	・ 橋桁の高さが、輸送時の乾舷※より高いこと ※重量物運搬船の場合には、輸送時の最大高さ
3		輸送距離	・ 可能な限り、距離が短いこと
4		主要航路	・ 可能な限り、主要航路が近くにないこと
5		避航場所	・ 浮体曳航時に台風等に遭遇した場合に避航できる場所があること
6	入渠場所	ドックの幅	・ メンテナンスに必要な作業機器の設置スペースを考慮し、浮体式原子力発電所が入渠できるサイズ以上であること
7		ドックの全長	・ 同上
8		ドックの深さ	・ 浮体式原子力発電所が浮くことができる喫水を確保できること
9		クレーンの仕様（吊上げ荷重、高さ）	・ 想定される重量物を吊上げることができること
10		ドック内地面の耐荷重	・ 浮体式原子力発電所の底面積当たりの荷重が地面の耐荷重より小さいこと
11		放射線モニタリング体制	・ 体制が構築されていること
12		入渠場所の立地地域からの受容性	・ 入渠することに同意が得られていること

3.3.4. 保守場所に関する今後の検討課題の整理

今回の検討では、保守場所に求められる条件を抽出するとともに、保守場所が決定していない現状で挙げられる具体的な条件を検討した。今後の検討課題として、表 13 に示す具体的な条件を保守場所毎により精緻化することが挙げられる。そのためには、設計情報、国内造船所に関する情報を拡充する必要がある。なお、建造場所・技術の検討で示したように、喫水が浅い状態で入渠する必要があるため、バラスト水を抜く等により船体の重量を軽くする必要があるが、一次系の水等の法令の基準値を超える放射性物質を含む水は放出できないため、他の船に貯蔵することやドック近傍にタンクを設置する等の対策が必要になる可能性がある。また、表 8 に示す情報から、GM（復原力の大きさを表す指標）の値がマイナスではなく、ある程度の復原性を持つ（安定する）ことがわかるが、この状態での入渠可否の詳細を今後確認する必要がある。

4. まとめ

本検討では、国内で建造可能と考えられる場所、建造技術（方法）、保守場所に求められる条件を検討した。以下に検討結果概要と今後の検討課題を示す。

■ 検討結果概要

➤ 国内で建造可能と考えられる場所

- ・ 国内での建造場所に関する検討では、国内ドックの情報収集結果をもとに、「ドックのサイズ（水平方向の長さ、深さ）」、「クレーン」、「ドック内地面の耐荷重」、「ドック周辺海域の水深や橋桁の高さ」の観点から建造の可能性を検討した。その結果、出力の大きい場合には工夫が必要ではあるが、現時点では建造が困難と考えられる項目は挙げられなかった。

➤ 建造技術（方法）

- ・ 建造技術（方法）に関する検討では、ドック内で建造を完結するケースと途中からドック近傍の海域で実施するケースを検討した。その結果、今後、詳細な検討が必要ではあるが、現時点では建造が困難と考えられる項目は挙げられなかった。

➤ 保守場所

- ・ 保守場所に求められる条件に関する検討では、「設置海域から入渠場所までの輸送ルート」、「入渠場所」に対して求める条件を検討し、各条件の具体化を図った。

■ 今後の検討課題

➤ 3つの検討内容共通の検討課題

- ・ 3つの検討内容について、より具体的な検討を進めるためには、設計の進捗、国内造船所に関する情報の更なる収集が必要である。

➤ 国内で建造可能と考えられる場所

- ・ ドック深さ等を把握し、候補となるドック毎に考えられる建造方法を具体化する必要がある。
- ・ 輸送ルートを確認し、輸送ルート上の制限（ドック周辺海域の水深、橋桁の高さによる制限）を確認することで建造可能な場所をより詳細に確認する必要がある。

➤ 建造技術（方法）

- ・ より具体的な建造方法を検討する必要がある。

➤ 保守場所

- ・ 表 13 に示す具体的な条件について、保守場所毎に精緻化する必要がある。

以 上

付録 5 長期運用を考慮した浮体構造物等の設計・保守

1. はじめに

2021 年度に検討した長期運用を考慮した浮体構造物等（原子力発電設備を除き、係留や DPS (Dynamic Positioning System) を含む) の設計・保守について、一部の検討を残していたため、2022 年度に実施した。

2. 検討方法

検討方法を図 6 に示す。3 つのステップで検討している。

「①部位抽出」では、浮体構造物の長期運用を考慮した場合に課題になると考えられる部位を抽出した（長期運用を考慮した場合に注意すべき事象として、経年劣化事象が挙げられる。主に、経年劣化事象がみられる部位を課題になると考えられる部位として抽出した）。2 つの方法で抽出することとし、1 つ目の方法は、モノコラム型浮体構造物関連の文献を調査し、その結果から課題になると考えられる部位を検討する方法である。2 つ目の方法は、近年 FPSO 等では寿命延長の検討が数多く実施されており、この知見を収集し、課題になると考えられる部位を抽出する方法である。

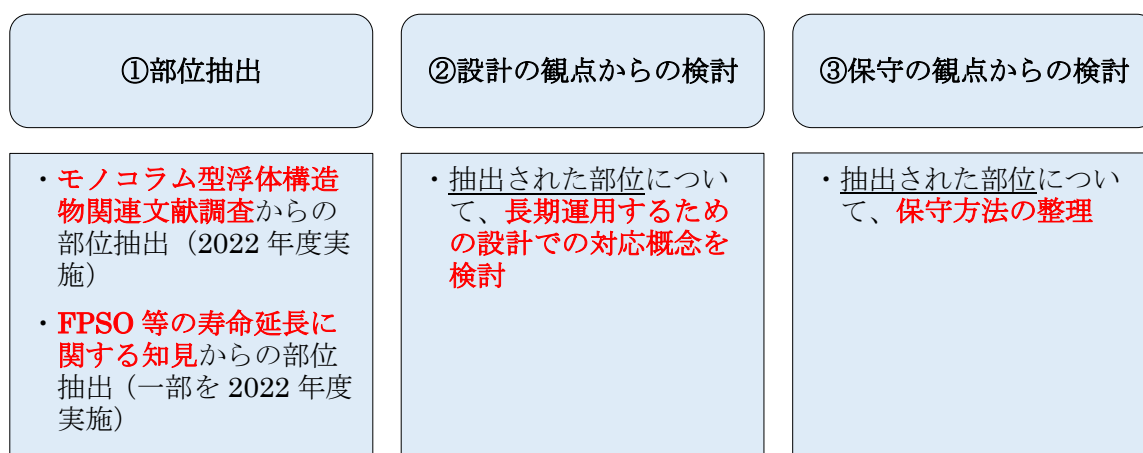
「②設計の観点からの検討」では、①で抽出された部位について、長期運用を考慮した場合の設計時の対応（概念）を検討した。

「③保守の観点からの検討」では、①で抽出された部位について、保守方法を整理した。なお、検討においては、以下を検討の前提条件と設定し、実施している。

- ・ 供用期間は 40 年とする。
- ・ 浮体構造物の形状はモノコラム型とする。
- ・ 位置保持技術については、係留と DPS の両方を検討対象とする。

2022 年度は、①の 1 つ目の方法と 2 つ目の方法の一部（米国のアメリカ船級協会 (ABS) が発行した浮体式生産設備の寿命延長に関するガイド²²の確認) を実施し、これらの結果から、2021 年度に実施した「長期運用を考慮した場合に課題になると考えられる部位」に追加すべき部位がないかを確認した。その結果、追加すべき部位を確認したため、追加された部位について、②と③について検討を実施した。

²² ABS, “Guide for Life Extension of Floating Production Installations 2021”, 2021.

図 6 検討方法²³

3. 検討結果

3.1. 部位抽出

3.1.1. 2021年度の調査で抽出した部位

2021年度の調査で抽出した部位とその部位で想定される経年劣化事象を表 14 に示す。経年劣化事象は、文献で挙げられていた事象に加え、プロジェクト内で議論して追加した事象もある。

表 14 2021年度の調査で抽出した部位と想定される経年劣化事象²⁴

部位	想定される経年劣化事象
ハル [※]	・ 疲労、腐食
ハル（スプラッシュゾーン）	・ 腐食
配管・容器（バラストタンク等）	・ 腐食、ボルトの緩み、ガスケットの損傷、小さいフィッティングでは回転機器からの振動による疲労、閉塞による系統の流量低下
弁（バラストタンクの弁等）	・ 腐食や海洋生物付着等によるシール性の低下
係留索（シャックル等の係留システム全体）	・ 腐食、摩耗、亀裂（疲労と推定）
その他（具体的な部位までは明示されていない）	・ 塩化物応力腐食割れ

※疲労については、特に、縦方向スチフナと横方向ウェブ/フロア/バルクヘッド（隔壁）の接続部、ウェブ/フロアに接続する Shell, Bottom, Inner Bottom or Bulkhead Plating、他に解析で特定された箇所、係留システムとハル構造とのインターフェイスデッキ上の設備モジュールとハル構造とのインターフェイスが注意箇所に挙げられていた。

²³ COCN 浮体式原子力発電プロジェクト 2021 年度最終報告書

²⁴ COCN 浮体式原子力発電プロジェクト 2021 年度最終報告書

3.1.2. モノコラム型浮体構造物関連文献調査からの部位抽出

モノコラム型浮体構造物関連文献の一覧を表 15 に示す。これらの文献を確認した結果、追加した部位を表 15 に示す。2021 年度に抽出した部位からバラストポンプ、消火ポンプ等の海水系のポンプが追加された。

表 15 モノコラム型浮体構造物関連文献一覧²⁵

No.	文献名	概要
1	正信他「モノコラムハル型 FPSO システムに係る安全性評価」（海上技術安全研究所報告第 11 巻第 4 号（平成 23 年度）基調論文）	・ モノコラム型 FPSO に関する国際共同研究プロジェクトの概要紹介と同プロジェクトにおいて海上技術安全研究所が担当したモノコラムハル型 FPSO システムの安全性評価を紹介。
2	M. Sun et al., “Conceptual Design of Single Column Drilling Unit for Arctic Climate and Harsh Environment”, ISSN 1098-6189.	・ 北極圏における石油掘削のため、海氷を考慮した設計について紹介。
3	Jan V. Aarons et al., “Demonstrating the Feasibility of Steel Catenary Risers from a Cylindrical FPSO in Harsh Deepwater Locations”, OTC 20762, 2010.	・ 過酷な環境（北大西洋）におけるモノコラム型 FPSO とスチールカテナリーライザーの設計について紹介。
4	P. M. Aas et al., “Design predictions and measurements during installation of suction anchors with and without water-flow system to help installation through layered soil profiles”, OTC 20294, 2009.	・ 北海に設置されたモノコラム型 FPSO のサクションアンカーの設置について紹介されている。
5	Yue Lei., “Global Strength Analysis of a Monocolumn FPSO”, ISSN1098-6189, 2018.	・ モノコラム型 FPSO の有限要素解析によるハル全体の強度解析結果を紹介。
6	A. C. Saad., “Motion Behaviour of the Mono-Column FPSO Sevan Piranema in Brazilian Waters”, OTC 20139, 2009.	・ ブラジル沖に設置されたモノコラム型 FPSO の運動挙動（解析結果との比較を含む）、係留の挙動について紹介。

²⁵ COCN 浮体式原子力発電プロジェクト 2021 年度最終報告書

No.	文献名	概要
7	Tord B. Thorsen, “Operational Experience with a Cylindrical Floater Design Demonstrating the Feasibility of Safe Permanent FPSO_FSO Mooring in Areas With Tropical Cyclones”, OTC 24214, 2013.	・ 北海に設置されたモノコラム型浮体構造物の実際の挙動等について紹介。
8	J. Vidic-Perunovic et al., “Steel Catenary Riser Design for Cylindrical FPSO Application in Ultra-Deep GoM”, OTC-25406-MS, 2014.	・ スチールカテナリーライザーとセバン型円筒船体を使用した FPSO コンセプトに関する研究について紹介。
9	Lars Odeskaug, “The Cylindrical Hull Concept for FLNG Application”, OTC-25703-MS, 2015.	・ モノコラム型 FLNG の設計について紹介。
10	A. Smedai., “The SSP-300 An Alternative to the Oil Industry”, SPE 97377, 2005.	・ Sevan 社のモノコラム型浮体構造物 SSP-300 の設計について紹介。
11	J. Vidic-Perunovic et al., “Ultra-Deepwater Production System Model Test Study of Cylindrical FPSO in GoM Hurricane Conditions”, OTC-27844-MS, 2017.	・ Sevan 社がスチールカテナリーライザーを備えて設計されたモノコラム型 FPSO (恒久的に係留) に基づく生産コンセプトの検証について紹介。

3.1.3. FPSO 等の寿命延長に関する知見からの部位抽出

ABS が発行したガイド”Guide for Life Extension of Floating Production Installations 2021”を確認し、部位の追加要否を確認した。

本ガイドは、全ての Hull-form の既存の浮体式生産設備 (Ship-type installation, column stabilized installation 等) を対象としており、移動式オフショア設備 (mobile offshore unit) には適用されない。Life Extension (以下、寿命延長という) のプロセスは、3 つのフェーズ (Investigation phase, Determination phase, Implementation phase) に分けられており、はじめのフェーズでは、Baseline information (以下、ベースライン情報という) を収集し、その結果に基づき、Baseline survey (以下、ベースライン調査) が実施され、その後のフェーズでは、これらの結果に基づき、寿命延長評価のレビューや検査計画の更新等を実施する。そのため、今回は、ガイド全体の中で部位抽出に関連があるベースライン情報とベースライン調査に関する章 (Section 3 と 4) で挙げられている部位を抽出すべき部位とし、確認した。その結果、以下の 3 点が挙げられ、2021 年度に抽出した部位から追加すべき部位はなかった。

- ・ ハル

- ・ 係留システム（係留索以外のアンカー等も含む）
- ・ 全てのタンク（浮体式原子力発電の場合にはバラストタンクが該当すると考えられる）

なお、ベースライン情報の収集においては、「重要な場所や疲労寿命の短い場所を特定すること」と記載されており、このように具体的な部位が挙げられていないため、浮体式原子力発電の詳細が決定していない現段階では抽出できない部位もあると考えられ、設計の進捗に伴い、部位の追加要否を確認する必要がある。なお、**Outfitting**（艀装）として、歩道、グレーチング、手摺等が挙げられているが、浮体構造物上の設備のため、今回の対象部位にはしていない。

3.2. 設計・保守の観点からの検討

今回の調査で抽出した部位（バラストポンプ、消火ポンプ等の海水系のポンプ）について、設計の観点での対応としては、想定される供用期間で想定されるサイクル数で疲労限度（疲労限）以下となるように設計すること、腐食代を考慮することが考えられる。また、保守の観点での対応としては、定期的に点検を実施すること、場合によっては交換することが考えられる。

4. 今後の課題

今回の調査は、寿命延長に関連する知見等の文献調査結果から検討したものであり、今後実施する本格的な設計において、より詳細な部位の抽出が必要である。その際には、浮体構造物等に対する要求仕様を纏めること、洋上での検査方法が確立されているのかを調査すること、係留索のように交換が必要になると想定される場合にはその方法やこれを想定した配置検討を実施し、長期運用が可能とする必要がある。

以 上

付録 6 核セキュリティ

1. はじめに

原子力の平和利用において重要なキーワードとして、3S が挙げられる。3S とは、原子力安全 (Nuclear Safety)、保障措置 (Safeguards)、核セキュリティ (Nuclear Security) の 3 つの英語の頭文字をとった言葉である。ここでは、3S の一つである核セキュリティに焦点をあてた検討の結果を示す。

浮体式原子力発電の核セキュリティに関する検討は、過去に MIT で実施されており、また、国内でも検討されている²⁶。また、2021 年度にも本プロジェクト内で核セキュリティに関連する内容を検討しており、「MIT で実施された研究内容の調査」と「その研究で挙げられているテロ対策と日本の陸上の原子力発電所で実施されている代表的なテロ対策（公開情報のみ）の比較」を実施している。2022 年度は、より詳細な検討として、浮体式原子力発電所の核セキュリティ対策（脅威となるテロ行為への対抗策）の具体化を行った。

2. 検討方法

浮体式原子力発電所に対して脅威となるテロ行為への対抗策を検討するため、図 7 に示す 3 つのステップにより、浮体式原子力発電所（係留索を含む）を対象として検討を進めた。また、本検討では、テロ組織による脅威を対象とし、Beyond-DBT と考えられる²⁷国家レベルの脅威については検討の対象外とした（スタンドオフ攻撃（具体的には飛翔体ミサイルや魚雷）については、設計基礎脅威 (DBT) だけではなく Beyond-DBT も含めて検討した)。加えて、内部脅威とサイバー攻撃は陸上の原子力施設と同じ対策が考えられるため、外部からの脅威を検討の対象とした。

具体的な脅威となるテロ行為への対抗策を検討するため、はじめに、浮体式原子力発電に対するテロ行為の目的を定義した（図の①）。次に、その脅威となるテロ行為を検討した（図の②）。ここではテロ行為の目的を大きく分類し、その目的毎に脅威となるテロ行為を検討した。その上で、それらの対抗策を検討した（図の③）。この検討においては、対抗策への要求事項を検討した上で具体的な対抗策を検討している。

²⁶ J.Conway et al (MIT), " Security and the Offshore Nuclear Plant (ONP) Security Simulation Testing and Analysis of the Multi-Layer Security System". 原 (2022)「浮体式洋上原子力発電 (OFNP) の 3S 特性と実現可能性：(1)核セキュリティの概要」第 43 回日本核物質管理学会年次大会、等

²⁷ 福井康人 (2022)「武力紛争時における原子力施設での日本の国内対応」第 43 回日本核物質管理学会年次大会

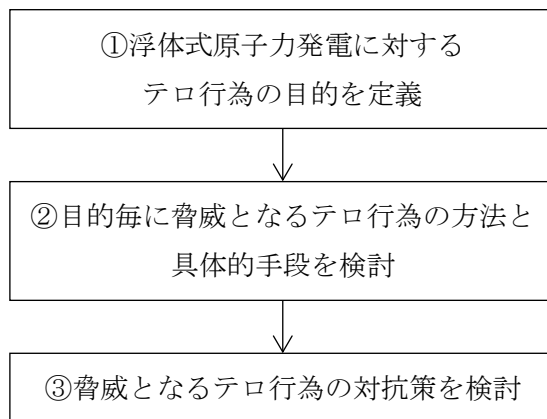


図 7 検討手順

3. 検討結果

3.1. テロ行為の目的の定義

国際原子力機関（IAEA）は、想定する核テロリズムとして、「原子爆弾や核ミサイルなど核兵器そのものを盗む」、「高濃縮ウランやプルトニウムなど核物質等を盗取し、核爆発装置を製造」、「盗んだ放射性物質を発散させる装置（ダーティ・ボム）の製造」、「原子力施設や放射性物質の輸送船などに対する妨害破壊行為」の4つを挙げられている²⁸。これを踏まえると、浮体式原子力発電所に対するテロ行為の目的として、「（ダーティ・ボム製造等のために）核燃料等の盗取」と「原子力施設に対する妨害破壊行為」の2つが挙げられ、この目的を対象に検討を進めた。

3.2. 脅威となるテロ行為の方法と具体的手段

3.2.1. テロ活動の分類

2つの目的に対するテロ行為の方法は、大きく分けると図8に示すように、「浮体式原子力発電所内の枢要設備に対する妨害破壊行為」に対する2つと「浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取行為」に対する1つの計3つの方法が挙げられる。

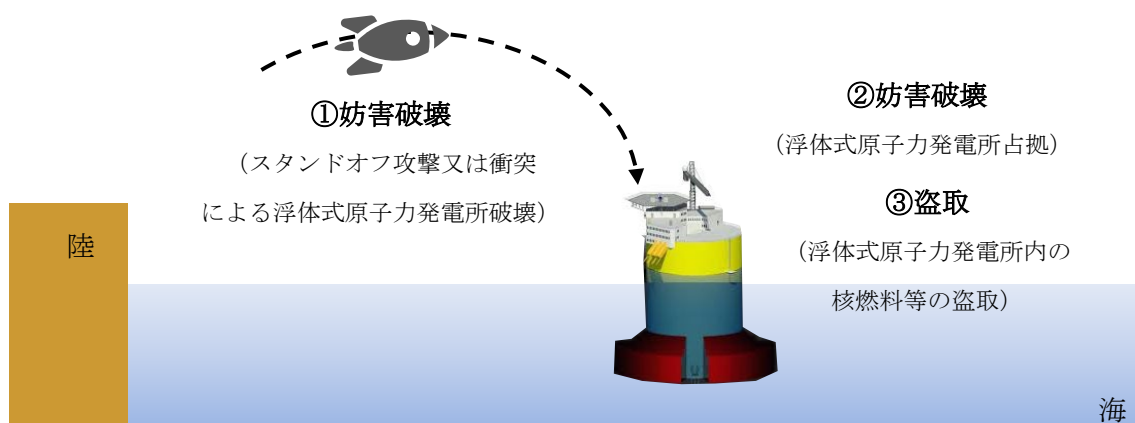


図 8 目的別テロ行為の方法

²⁸ <https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/pr/wakaru/topics/vol153/index.html>

3.2.2. 脅威となるテロ行為の具体的手段の検討

前項で挙げた 3 つのテロ行為の方法について、考えられる具体的手段を検討した。その結果を以下に示す。

- ① 妨害破壊（スタンドオフ攻撃又は衝突による浮体式原子力発電所破壊）の具体的手段
- ・ 陸上や海上からのスタンドオフ攻撃又は船舶等の衝突による浮体式原子力発電所の破壊については、浮体構造物等の枢要設備を破壊し、放射性物質の拡散を狙う方法を想定する。
 - ・ そのための具体的手段としては、図 9 に示すように飛翔体の着弾、船舶の衝突、飛行物体の衝突、魚雷の着弾、爆発物の設置が考えられる。なお、近傍から飛翔体を発射する場合、事前に不審船や人等の侵入として検知できるため、飛翔体の着弾については、「陸等の遠距離からの発射」と「浮体式原子力発電所近傍の船舶からの発射」に分けている。
 - ・ 飛翔体の具体的手段としては、地对空発射ミサイルが挙げられる。
 - ・ 船舶の具体的手段としては、旅客船、小型ボート、水上バイク等の人が乗船する船舶に加え、無人運用（遠隔操作）が可能な船舶も挙げられる。
 - ・ 飛行物体の具体的手段としては、航空機、飛行船、ヘリコプター、無人飛行機（攻撃型ドローン）、気球が挙げられる。
 - ・ 爆発物設置の具体的手段としては、船舶や水泳により接近し、浮体式原子力発電所に設置することが挙げられる。

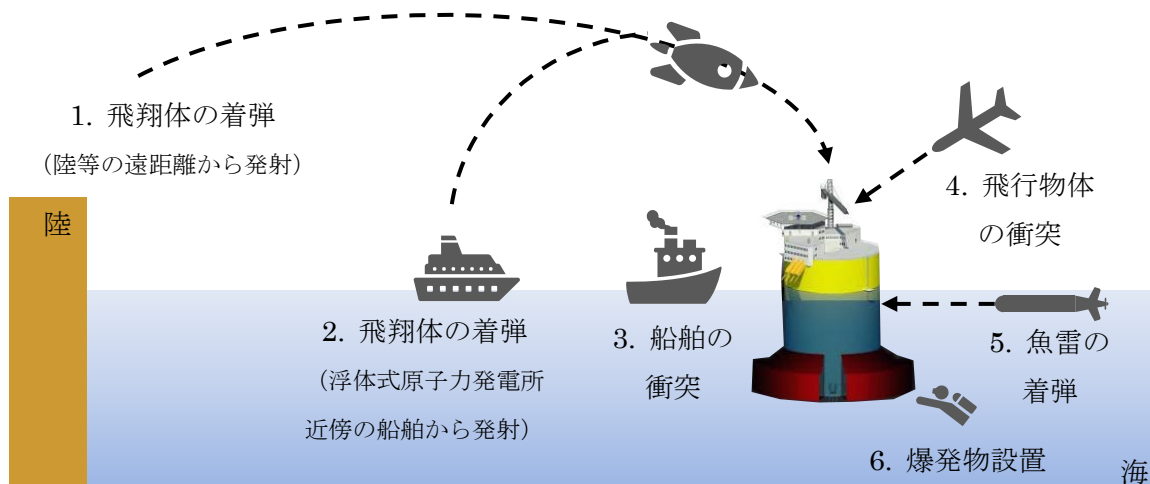


図 9 スタンドオフ攻撃又は衝突による浮体式原子力発電所破壊の具体的手段

② 妨害破壊（浮体式原子力発電所占拠）の具体的手段

- ・ 浮体式原子力発電所の占拠として、侵入禁止エリア（中央制御室等の枢要設備に加え、浮体構造物の上甲板等）を占拠し、運営の妨害を狙う方法を想定する。
- ・ そのための具体的手段としては、図 10 に示すように空からの侵入による占拠と海からの侵入による占拠が考えられる。なお、空からの侵入については、夜間のパラシュートによる侵入等の検知しにくい方法とそれ以外の方法（ヘリ等による侵入）に分けている。海からの侵入についても、同様に手段の違いで分けている。
- ・ 空からの侵入の具体的手段としては、航空機、飛行船、ヘリコプター、気球、無人飛行機（攻撃型ドローン）による侵入が挙げられる。
- ・ 海からの侵入の具体的手段としては、船舶（旅客船、小型ボート、水上バイク等の人が乗船できるもの）、水泳による侵入が挙げられる。

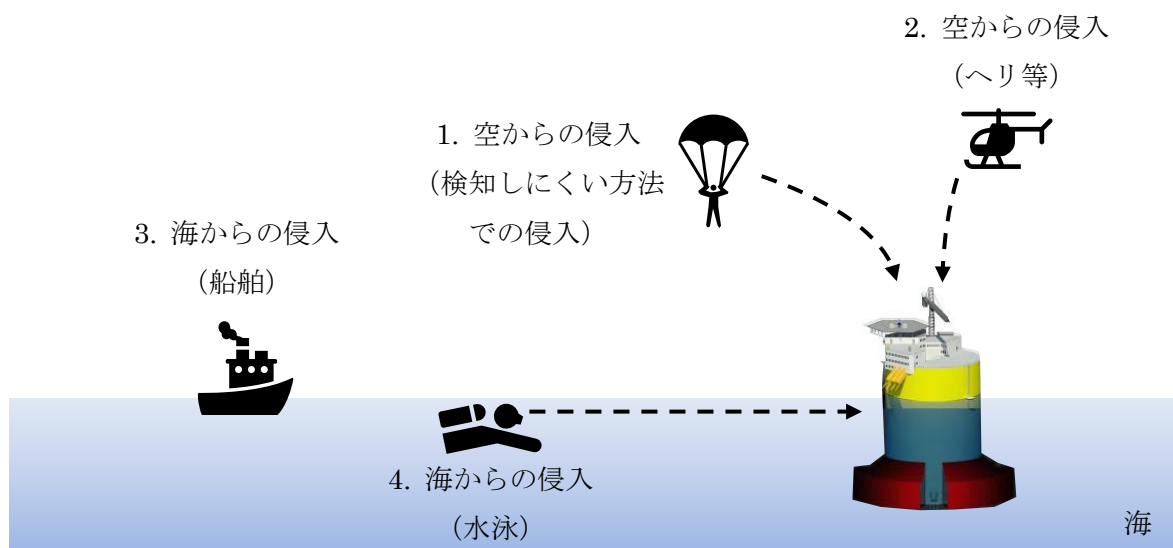


図 10 浮体式原子力発電所占拠の具体的手段

③ 盗取（浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取）の具体的手段

- ・ 浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取として、浮体式原子力発電所内に侵入して所内の核燃料等を盗取し、ダーティ・ボムの製造に使用する方法を想定する。
- ・ そのための具体的手段としては、図 11 に示すように空や海から浮体式原子力発電所内に侵入して行う盗取と浮体式原子力発電所を曳航して盗取することが挙げられる。

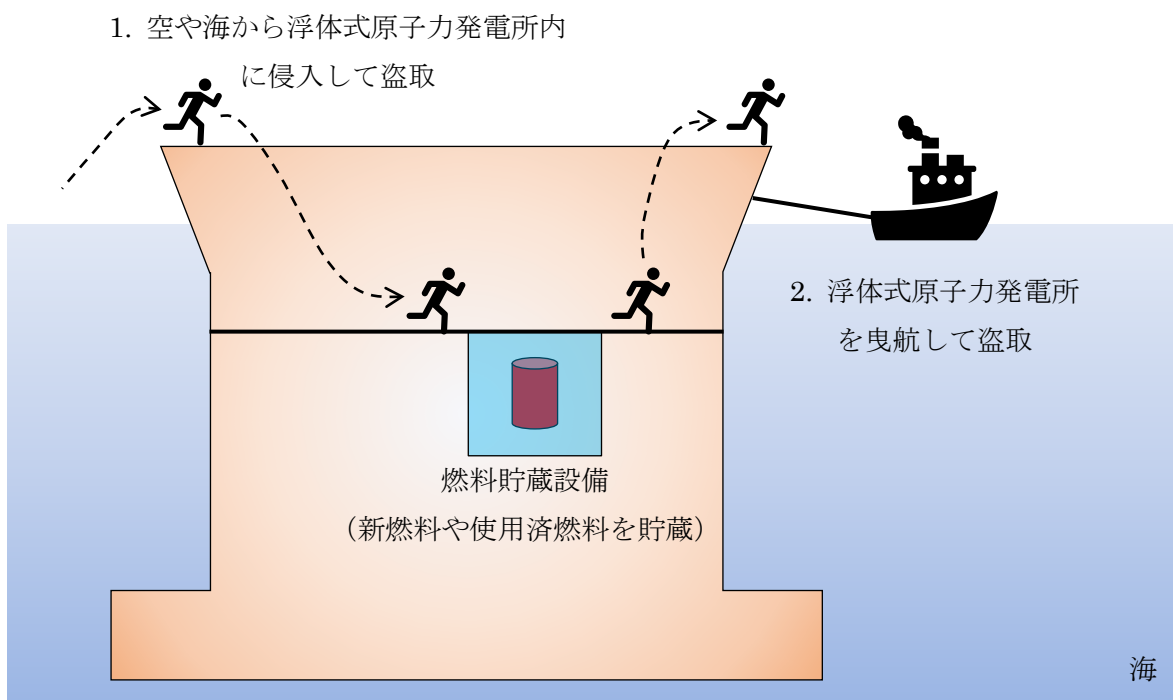


図 11 浮体式原子力発電所内の核燃料等盗取の具体的手段

3.3. 脅威となるテロ行為への対抗策

3.3.1. 対抗策への要求事項

テロ行為への対抗策を検討するにあたり、前項で挙げた 3 つのテロ行為の方法毎に対抗策に求められる機能を挙げ、その機能に対する要求事項を以下のとおり検討した。

① 妨害破壊（スタンドオフ攻撃又は衝突による浮体式原子力発電所破壊）の対抗策に求められる機能と要求事項

前項で挙げたテロ行為（飛翔体の着弾、船舶の衝突、飛行物体の衝突、魚雷の着弾、爆発物の設置）への対抗策に求められる機能として、「脅威となるテロ行為の実行の検知」、「脅威となるテロ行為からの回避」及び「脅威となるテロ行為からの防護」が挙げられる。各機能の具体的な要求事項を以下に示す。なお、一部の要求事項は、現実的な観点から一部の脅威となるテロ行為に対するものであり、以下ではそれを明示している。

- ▶ 脅威となるテロ行為の実行の検知（図 9 の「1. 飛翔体の着弾（陸等の遠距離から発射）」と「5. 魚雷の着弾」以外に対する要求事項²⁹⁾
 - ・ 脅威となるテロ行為の実行を検知すること
 - ・ 検知後、止める等 3 機能³⁰⁾を持つ機器を起動できること
 - ・ 治安機関に通報ができること
- ▶ 脅威となるテロ行為からの回避
 - ・ 電磁波による飛翔体妨害（オプション）
 - ・ 厳密な位置が特定されないこと
- ▶ 脅威となるテロ行為からの防護
 - ・ 浮体構造物が脅威となるテロ行為に耐えられる構造であること
 - ・ 小さな魚雷で破壊され、放射性物質の過剰放出が発生しないこと（図 9 の「5. 魚雷の着弾」に対する要求事項）
 - ・ 従業員の安全確保、原子炉の監視等をできる場所があること

② 妨害破壊（浮体式原子力発電所占拠）の対抗策に求められる機能と要求事項

前項で挙げたテロ行為（空からの侵入、海からの侵入）への対抗策に求められる機能として、「侵入の防止」、「侵入の検知」、「侵入への警告」、「侵入行為の遅延」及び「侵入者からの防護」が挙げられる。各機能の具体的な要求事項を以下に示す。なお、一部の要求事項は、現実的な観点から一部の脅威となるテロ行為に対するものであり、以下ではそれを明示している。

- ▶ 侵入の防止（図 10 の脅威となるテロ行為「3. 海からの侵入（船舶）」、「4. 海からの侵入（水泳）」に対する要求事項）

²⁹⁾ 図 9 の「①飛翔体の着弾（陸等の遠距離から発射）」と「⑤魚雷の着弾」の脅威となるテロ行為については、時間的余裕から検知が難しいと考えられるため、要求事項には設定していない。

³⁰⁾ 止める、冷やす、閉じ込める

- ・ 侵入禁止エリアに侵入できない防護ができること
 - 侵入の検知
 - ・ 侵入禁止エリアへの侵入を検知できること
 - ・ 検知後、止める等 3 機能を持つ機器を起動できること
 - ・ 治安機関に通報ができること
 - 侵入への警告
 - ・ 侵入禁止エリアに侵入していることを警告できること
 - 侵入行為の遅延
 - ・ 浮体式原子力発電所への移乗を妨害できること（船舶の場合には横付けできないようにすることが挙げられる。船舶・水泳共通のものとして、梯子収納等が挙げられる）
 - 侵入者からの防護
 - ・ 従業員の安全確保、原子炉の監視等をできる場所があること
- ③ 盗取（浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取）の対抗策に求められる機能と要求事項
- 前項で挙げたテロ行為（空や海から浮体式原子力発電所内に侵入して盗取、浮体式原子力発電所を曳航して盗取）への対抗策に求められる機能として、「侵入の防止」、「侵入の検知」、「侵入への警告」、「侵入行為の遅延」、「侵入者からの防護」及び「盗取行為の阻止」が挙げられる。各機能の具体的な要求事項を以下に示す。
- 侵入の防止
 - ・ 侵入禁止エリアに侵入できない防護があること（海からの侵入に対する要求事項）
 - 侵入の検知
 - ・ 侵入禁止エリアへの侵入を検知できること
 - ・ 検知後、止める等 3 機能を持つ機器を起動できること
 - ・ 治安機関に通報ができること
 - 侵入への警告
 - ・ 侵入禁止エリアに侵入していることを警告できること
 - 侵入行為の遅延
 - ・ 浮体式原子力発電所への移乗を妨害できること（船舶の場合には横付けできないようにすることが挙げられる。船舶・水泳共通のものとして、梯子収納等）
 - 侵入者からの防護
 - ・ 従業員の安全確保、原子炉の監視等をできる場所があること
 - 盗取行為の阻止（浮体式原子力発電所内に侵入して盗取する場合（図 12 の左側））
 - ・ 核燃料や RI の瀬取作業（別船舶へ移す作業）を妨害できること（クレーンの電源停止等）
 - 盗取行為の阻止（浮体式原子力発電所を曳航して盗取する場合（図 12 の左側））
 - ・ 曳航の速度を低速に抑えることができること（福島県沖の福島洋上風力コンソーシアムで設置したサブステーション（排水量：12,966 ton※）を曳航した際の速度は約 3

ノットであったため³¹、極めて低速での曳航になると考えられる)

※浮体式原子力発電所（30 万 kW）の排水量は 72,000ton

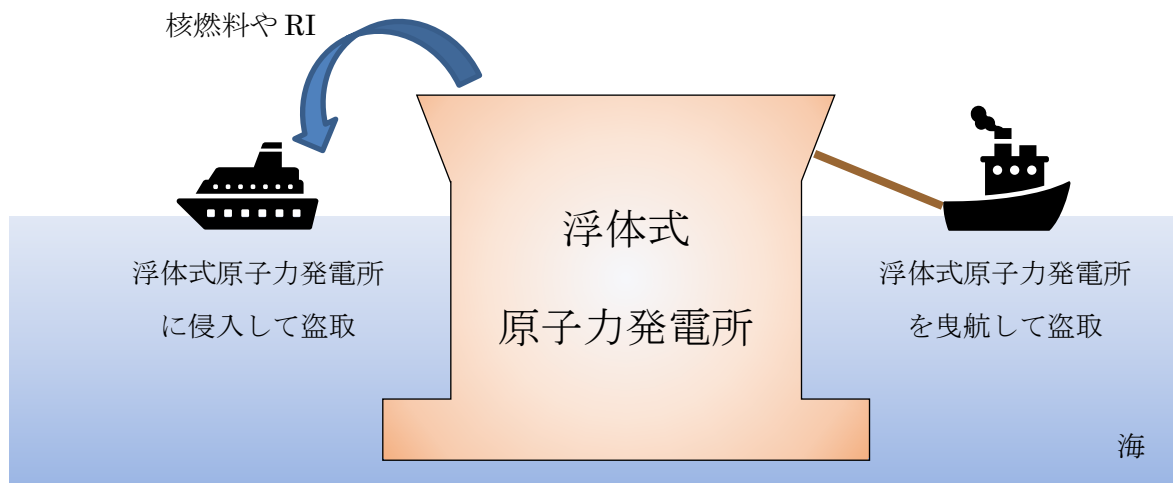


図 12 想定される盗取行為

³¹ https://www.umeshunkyo.or.jp/ronbun/h27_port_abstracts/3.pdf, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/new/information/220824a/report_2020.pdf

3.3.2. 具体的な対抗策

脅威となるテロ行為の方法「①妨害破壊（スタンドオフ攻撃又は衝突による浮体式原子力発電所破壊）」の脅威となるテロ行為に対する具体的な対抗策を検討した。以下に、具体的な対抗策について前項で述べた機能毎に示す。

▶ 脅威となるテロ行為の実行の検知

- ・ 脅威となるテロ行為の実行を検知すること
 - ✓ 空域、海上、海中からの脅威に対して検知が必要である。
 - ✓ これらの脅威となるテロ行為に対する検知として、例えば、株式会社東陽テクニカが販売するモナコ MARSS 社製陸海空統合セキュリティシステム「NiDAR」では、スイマー、小型潜水艦、ダイバー輸送ビークル、武装した高速艇、武装したドローンの検知ならびに識別、対処が可能である（図 13）。このシステムは、AIS、ADS-B、レーダー、ソナー等のセンサーを用いた探知をしたうえで、制限エリアに侵入したターゲットに向けて自動的に EO/IR カメラを向ける機能を有しており、探知ターゲットの識別をオペレーターに促す。また、本システムにはセンサー以外の機器も連動させることが可能なため、識別後にシームレスかつ迅速に対処システム発動の意思決定が可能である。対処システムの例として、海外では船舶に対しては非殺傷攻撃 (LRAD; 大音響発生装置)、ドローンに対してはソフトキル (GPS ジャマー等) やハードキル (迎撃ドローン、キャノン、ミサイル等)、ダイバーに対しては警告 (水中スピーカー) と非殺傷攻撃 (エアガン) で対応する構想で運用されており、実戦で非対称脅威への対策として実用的に使用されている。このシステムは、海外で既に採用されているとの報道もあった。
 - ✓ その他にも多数の製品が様々な会社から販売されており、これらの適用が考えられる。

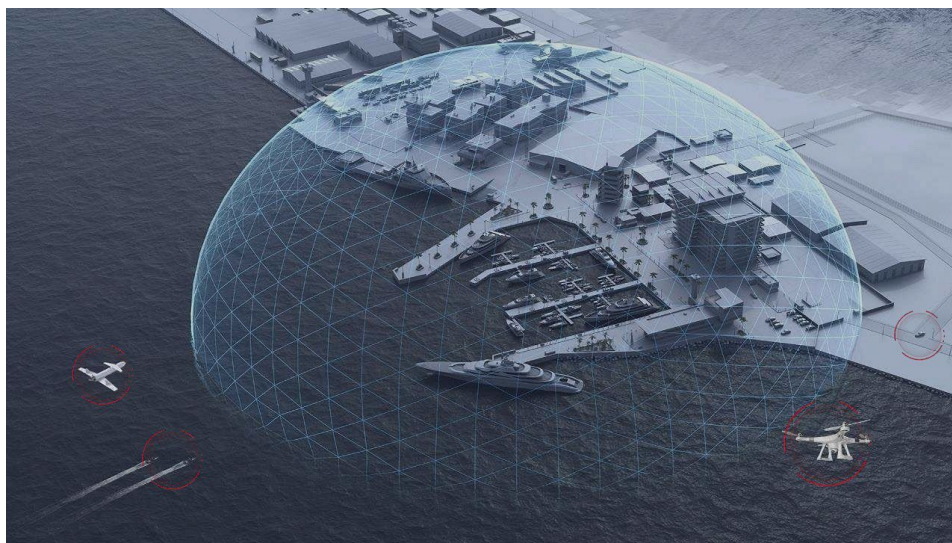


図 13 陸海空統合セキュリティシステム「NiDAR」の監視イメージ³²

³² 株式会社東陽テクニカ提供

- ・ 検知後、止める等 3 機能を持つ機器を起動できること
 - ✓ 陸上の原子力発電所と同じ対策を実施する。

- ・ 治安機関に通報ができること
 - ✓ 武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律（国民保護法）等に基づく通報ができるように³³、また、実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則第 91 条で要求される下記の防護措置に満足するよう、通報手段を整備する。
 - －見張人から詰所へ迅速かつ確実な連絡と通信傍受対策
 - －連絡設備の設置と迅速かつ確実な連絡と通信傍受対策
 - －詰所から関係機関への迅速かつ確実な二重以上の連絡と通信傍受対策

- ▶ 脅威となるテロ行為からの回避
 - ・ 電磁波等による飛翔体妨害（オプション）
 - ✓ ドローン捕獲ネット、ドローン侵入防止電波装置等の設置が考えられる。
 - ✓ 魚雷の一部の種類に対しては、魚雷の進行方向を音により変更させることができる装置の設置が考えられる。

 - ・ 厳密な位置が特定されないこと
 - ✓ 係留されており、ランダムに動いているため、未来（例：翌日）の厳密な位置を予測することは非現実的である。
 - ✓ 自動船位保持装置（DPS）の構成部品として設置されているスラストを活用して浮体式原子力発電所を移動させる（意図的な船舶衝突等の速度の遅い攻撃に対する対抗策）。

- ▶ 脅威となるテロ行為からの防護
 - ・ 浮体構造物が脅威となるテロ行為に耐えられる構造であること
 - ✓ ダブルハル構造とする。また、上部甲板、舷側（船体の側面）を対テロ装甲とする（図 14）。

³³ 国民保護法では、原子力防災管理者（原子力事業所においてその事業の実施を統括管理する者）は、内閣総理大臣、原子力規制委員会、所在都道府県知事・市町村長、関係周辺都道府県知事に通報することを規定。

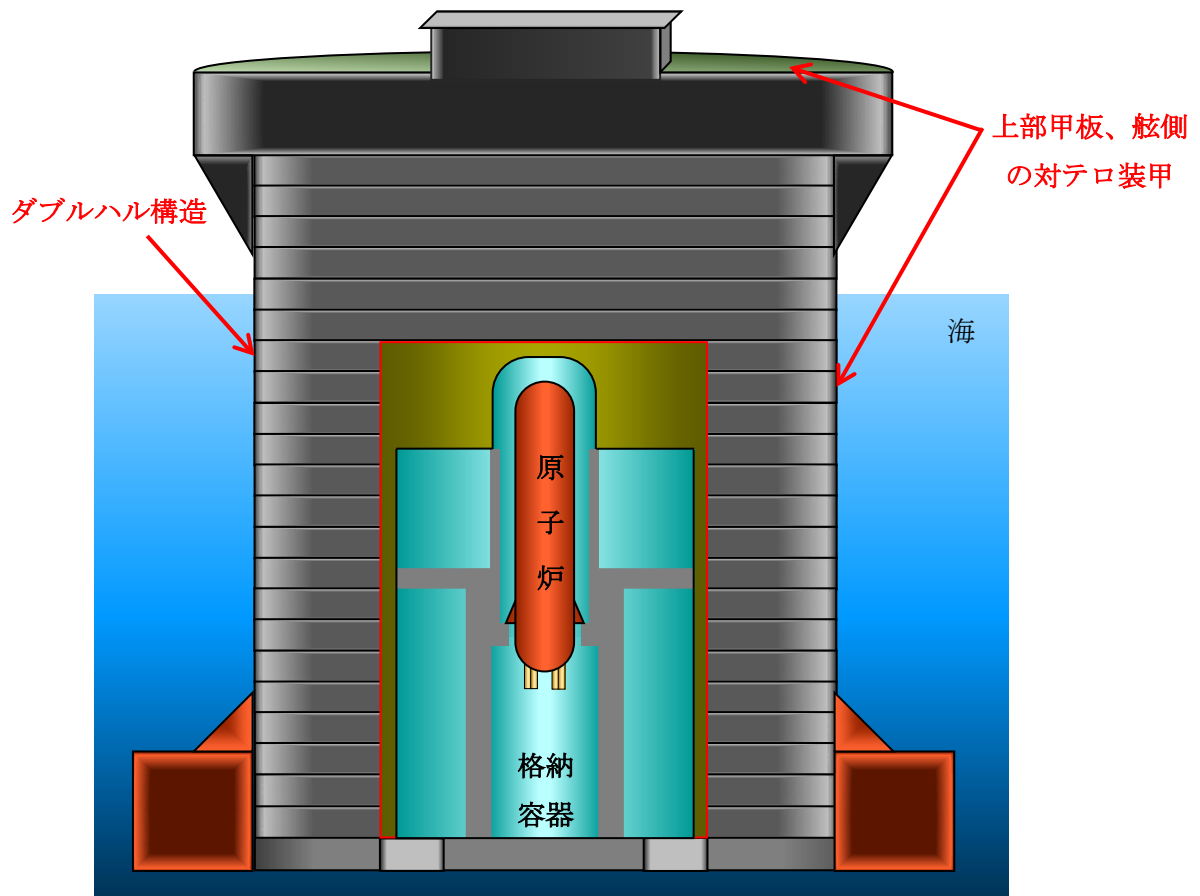


図 14 浮体構造物の構造

- ・ 小さな魚雷で破壊されないこと
- ✓ 浮体構造物への直撃を回避できるよう、魚雷防御網（水雷防御網）等の防御層を設ける（図 15）。
- ✓ その他に、図 14 に示す対策が考えられる。

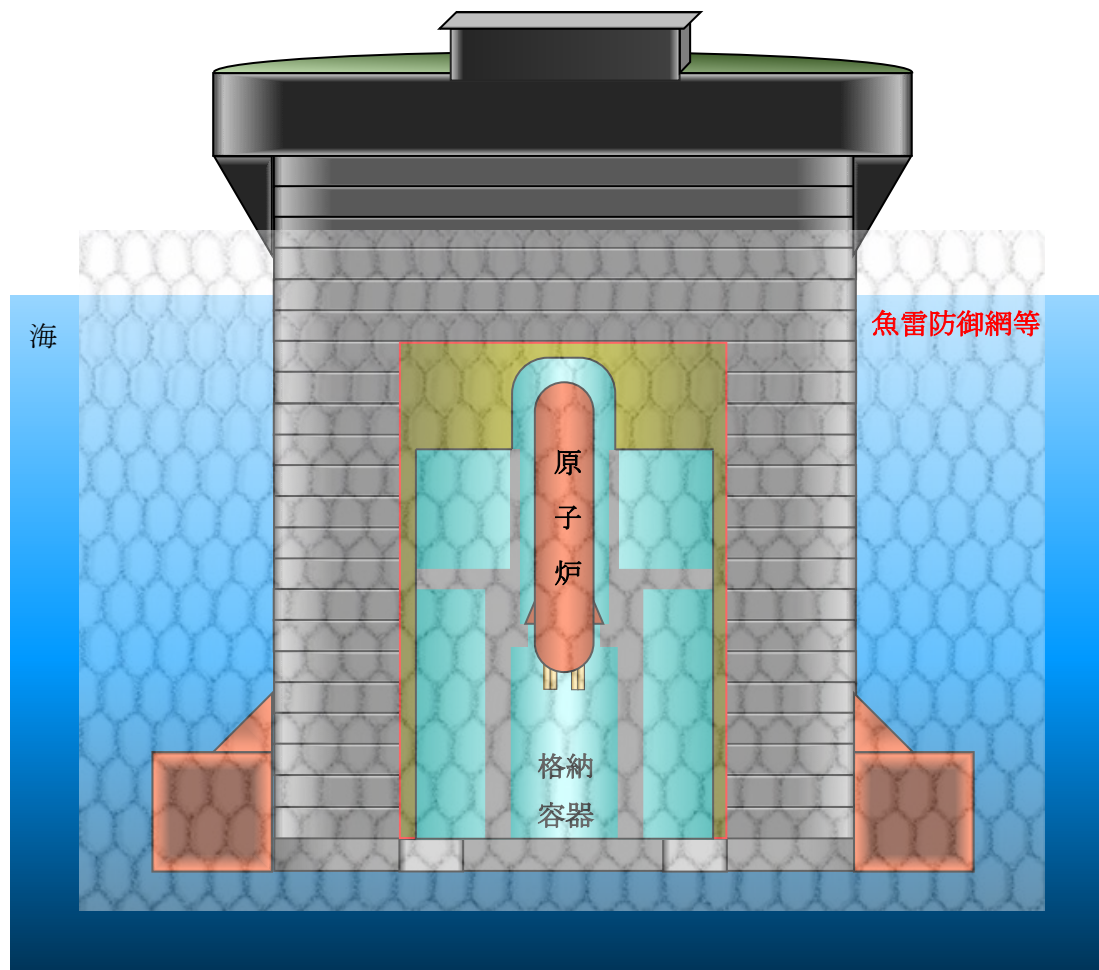


図 15 魚雷防御網のイメージ図

- ・ 従業員の安全確保、原子炉の監視等ができる場所があること
- ✓ 中央制御室（第二中央制御室を含む）、緊急時対策所の設置場所は、可能な限り浮体式原子力発電所の中央部分に分散した配置として設置することで脅威からの耐性を高める（図 16）。また、中央制御室が使用出来なくなる状況でも原子炉停止、冷却の継続ができるように配置する。

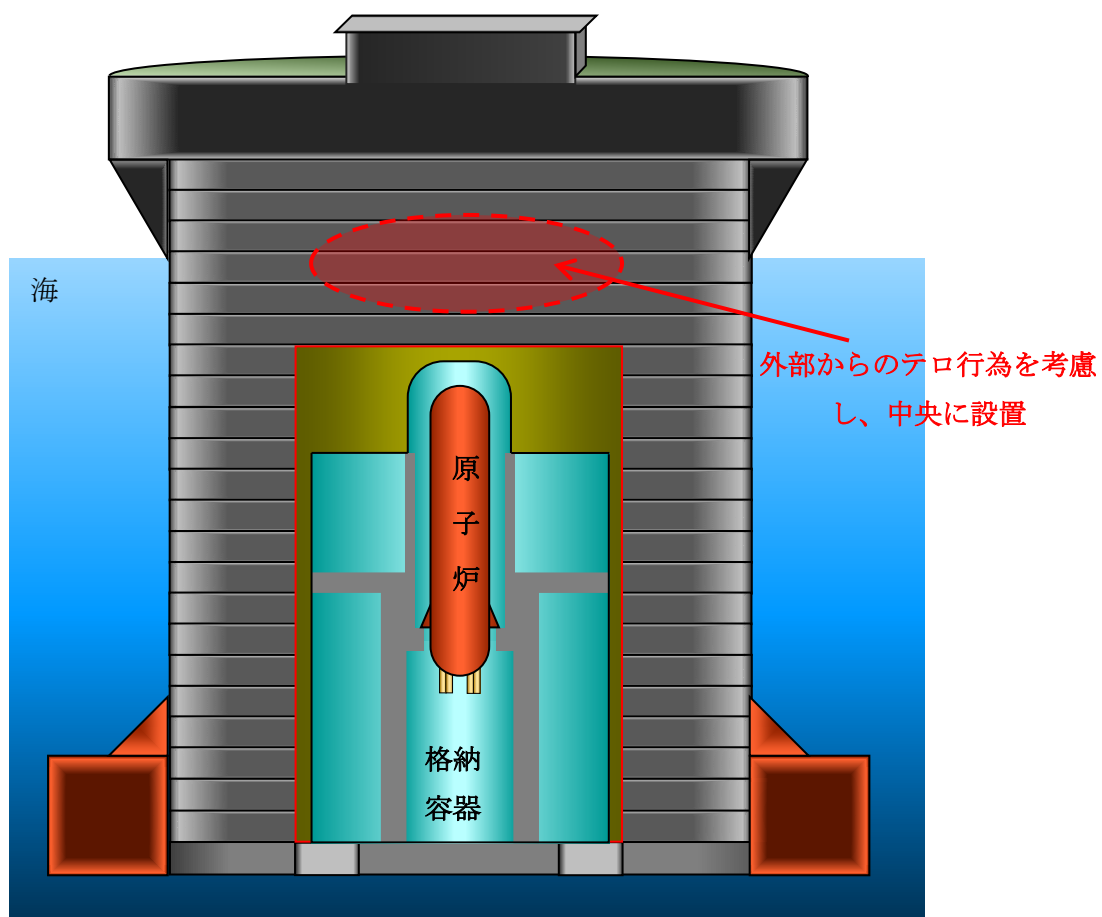


図 16 中央制御室等の設置場所

4. まとめ

浮体式原子力発電所の核セキュリティ対策（脅威となるテロ行為への対抗策）の具体化を行った。

今回の検討では、テロ行為の方法「①妨害破壊（スタンドオフ攻撃又は衝突による浮体式原子力発電所破壊）」については、対抗策に求められる機能を挙げ、それに対する要求事項を設定した上で具体的な対抗策を検討した。一方、テロ行為の方法の「②妨害破壊（浮体式原子力発電所占拠）」、「③盗取（浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取）」については、対抗策に求められる機能と要求事項までの検討であり、今後、具体的な対抗策の検討が必要である。また、今回は、物理的脅威に対する対策について検討を行ったが、将来的にはサイバー攻撃等の今回の検討しなかった内容についても検討する必要がある。

以 上

付録 7 本プロジェクトの情報発信

以下に、2022 年度に実施した本プロジェクトに関する情報発信の実績を示す。

No.	日付	情報発信の内容
1	2022/3/17	日本原子力学会 2022 年春の大会において、東京工業大学博士課程の原が、「浮体式洋上原子力発電所の核拡散抵抗性評価手法の開発と評価」と題して、浮体式原子力発電の核不拡散性について発表した。
2	2022/6/20	日本原子力学会 若手連絡会 第 27 回勉強会において、東京電力 HD の中野と東京工業大学博士課程の原が、浮体式原子力発電の検討状況を発表した。
3	2022/7/31	東京電力 HD の姉川が西日本新聞から取材を受け、新聞に記事が掲載された。
4	2022/8/12、 2022/8/16	東京電力 HD の姉川が電気新聞から取材を受け、新聞に記事が掲載された。
5	2022/9/8	日本原子力学会 2022 年秋の大会 熱流動部会企画セッションにおいて、早稲田大学の古谷教授、電中研の宇井、エネ総研の木野、東京電力 HD の佐々が、国内における浮体式原子力発電の検討状況について発表した。
6	2022/10/24	第 5 回総合資源エネルギー調査会、電力・ガス事業分科会、原子力小委員会、革新炉ワーキンググループにおいて、浮体式原子力発電について紹介された。
7	2022/10/27	日本マリンエンジニア学会 第 92 回マリンエンジニアリング学術講演会において、東京海洋大学の賞雅名誉教授、井原助教らが、浮体式原子力発電の開発現状と浮体構造物の揺動低減対策について発表した。
8	2022/11	電気評論社の雑誌（電気評論 2022 年 11 月・12 月・1 月号）において、東京電力 HD の山本が、浮体式原子力発電に関する記事を執筆した。
9	2022/11	日本ガスタービン学会の学会誌（2022 年 11 月号）において、電中研の宇井が、浮体式原子力発電に関する記事を執筆した。
10	2022/11/10	東京電力 HD の姉川が熊本日新聞から取材を受け、記事が掲載された。
11	2022/11/21	日本核物質管理学会 第 43 回年次大会において、東京工業大学博士課程の原が、「浮体式洋上原子力発電所(OFNP)

No.	日付	情報発信の内容
	～11/22	の 3S 特性と実現可能性：(1) 核セキュリティの概要」と題して、浮体式原子力発電の核セキュリティについて発表した。(若手・学生セッションにて優秀発表賞を受賞)
12	2022/11/25	第 18 回むつ海洋・環境科学シンポジウムにおいて、JAEA の楠が、COCN での浮体式原子力発電の検討内容について発表した。
13	2022/12/1	国際青年原子力会議 (IYNC2022) において、東京電力 HD の上坂が、「Study of floating nuclear power generation for a next generation reactor development」と題して、浮体式原子力発電の検討状況を発表した。
14	2023/1/11	International Symposium on Zero-Carbon Energy Systems (IZES) において、東京工業大学博士課程の原が、「Proliferation Resistance Analysis of Offshore Floating Nuclear Power Plant」と題して、浮体式原子力発電の核不拡散性について発表した。

以 上

付録 8 必要な法整備の検討

1. はじめに

浮体式洋上風力発電の導入に向けて法令の整備が進められたのと同様に、浮体式原子力発電所の導入にあたっては法令の整備が必要である。そのため、浮体式原子力発電所の実現に必要な法整備を検討した。

2. 検討方法

検討方法を図 17 に示す。浮体式原子力発電所に適用される法律を検討するための参考情報を収集し、この情報を基に、浮体式原子力発電所に適用される法律を検討し、実現に必要な法整備を検討している。

はじめに、浮体式原子力発電所に対する法整備の現状を整理した（図の①）。

また、浮体式原子力発電所と同様に洋上に位置する浮体式洋上風力発電に適用される法令（法令は一部）を調査し、加えて、原子力船「むつ」と石油掘削リグの適用法令を調査した（図の②）。具体的には、e-Gov ポータル³⁴に登録されている法律 2036 件（2022/7/19 時点）の条文を確認し、適用される法律を抽出している。

- ・ 浮体式洋上風力発電に関する調査では、海洋関係の法令を幅広く確認するため、洋上風力発電に特化していない法令（例：特定の海域に工作物を設置する場合には許可が必要なことを規定している法律）も調査対象としているが、一般的な法令³⁵は対象外としている。浮体式洋上風力発電の適用法令は、様々な図書³⁶で整理されているため、これら図書を確認し、抽出結果に漏れが無いことを確認している。
- ・ 原子力船「むつ」に関する調査では、適用される法令の内、原子力船に特化した規定がある法令を調査対象とした（つまり、港湾法、水先法、水難救難法等は調査対象外）。核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（原子炉等規制法）を代表されるように当時（むつは 1969 年に進水）と現在では規制内容が異なるため、本調査では、当時の関連文献³⁷を確認し、抽出結果に漏れが無いことを確認している。なお、廃止された法律は調査対象外とし、代替される現行法がある場合にはそれを確認している（例：船舶積量測度法の内容は現在、船舶のトン数の測度に関する法律で規定）。
- ・ 石油掘削リグに関する調査では、適用される法律の内、石油掘削リグに特化した規定がある

³⁴ e-Gov ポータルホームページ (<https://www.e-gov.go.jp/>)

³⁵ 建築基準法、建築業法、道路法、道路交通法、労働安全衛生法、国土形成計画法、電気工事士法、高圧ガス保安法、船舶法、船員法、船舶職員及び小型船舶操縦者法、船員災害防止活動の促進に関する法律、廃棄物の処理及び清掃に関する法律が該当する。なお、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、公有水面埋立法については、関係する作業や施設等はないとの前提で、これらの法令は対象外とした。

³⁶ 福島洋上風力コンソーシアム「浮体式洋上風力発電導入マニュアル」他 10 文献（本付録の最終項に記載）

³⁷ 安藤「原子力船「むつ」の技術と歴史」、日本原子力船研究協会「原子力船就航に関する諸問題」、日本原子力船研究協会「設計部会 設計基準分科会 第 2 回中間報告書 I」

法令を調査対象とした（つまり、船員法等は調査対象外）。本調査では、関連文献³⁸の調査及び国内法の確認し、抽出結果に漏れが無いことを確認している。

さらに、陸上の原子力発電所に適用される法律を整理した（図の③）。e-Gov ポータルに登録されている法律 2036 件（2022/7/19 時点）の内、陸上の原子力発電所に適用される法律を抽出している。なお、適用される法律の内、一般的な会社や工場等にも適用される法律は、抽出の対象外とした（例：消費税法、個人情報保護法、消防法）。抽出後、立地計画時、設計・建設工事時、運転・保守時、廃止措置時に加え、災害時の 5 項目に分けて整理した。以下に示す 2 点は整理の対象外としている。

- ・ 原子力発電所の立地場所に依らずないフロントエンドとバックエンド関係の法律は整理の対象外とした。
- ・ 原子力委員会設置法等の原子力発電所の設計・工事等に直接的には関与しない法律は整理の対象外とした。

これらの結果を参考情報として浮体式原子力発電所への適用が考えられる法律を検討した（図の④）。

最後に、適用が考えられる法律の条文を確認し、実現に必要な法整備の内容を検討した（図の⑤）。

検討において、発電所の位置とその周囲の立入り禁止エリアは領海内であることを前提に検討している（洋上風力同様に領海から設置をはじめ、規模の拡大に伴い、接続水域や排他的経済水域への設置する展開が考えられ、今回は初期段階の領海設置を対象としたため）。なお、排他的経済水域における事業の実施については、内閣府の検討会³⁹において検討されており、排他的経済水域での設置を検討する場合には、検討会での議論内容が参考になる。

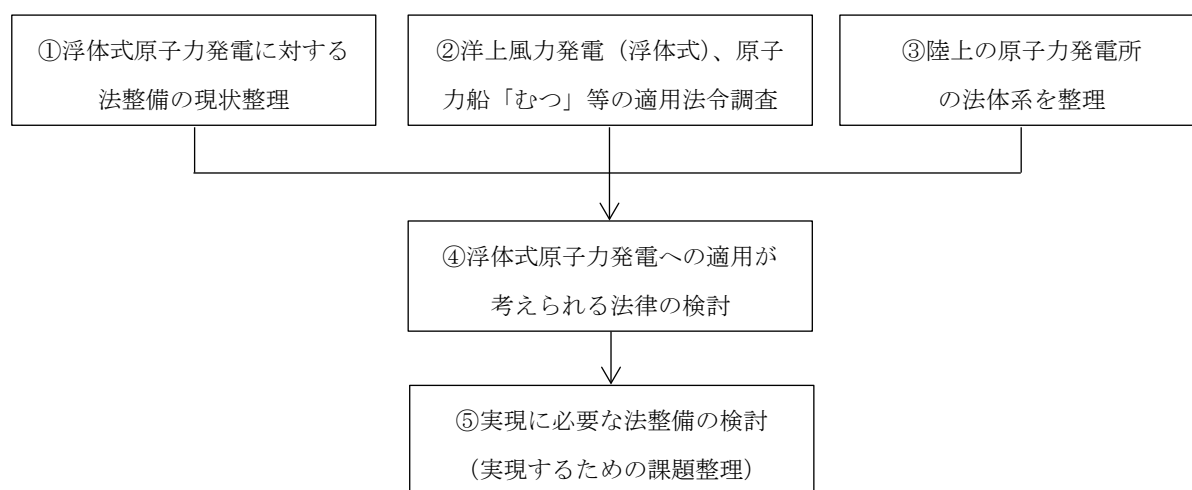


図 17 検討方法

³⁸ 国土交通省他「海洋開発ビジネス概論（改訂第 2 版）」(<https://www.mlit.go.jp/common/001235501.pdf>)

³⁹ 内閣府「排他的経済水域（EEZ）における洋上風力発電の実施に係る国際法上の諸課題に関する検討会」(https://www8.cao.go.jp/ocean/policies/energy/yojo_kentoukai.html)

3. 検討結果

3.1. 浮体式原子力発電所に対する法整備の現状整理

洋上に設置する原子炉のために整備された規則等として、表 16 に示す 4 点が挙げられるが、浮体式原子力発電所とは適用範囲が異なり、浮体式原子力発電所の原子炉に対する法整備が必要なことを確認した。その他にも、船員法で電離放射線による障害防止に関する規制が設けられていることに代表されるように、既存の法令を適用できることもあるが、今回検討している浮体式原子力発電所をターゲットとした法整備は実施されていない。

表 16 洋上に設置する原子炉に関する規則等の調査結果

名称	概要	適用範囲
船舶に設置する原子炉（研究開発段階にあるものを除く。）の設置、運転等に関する規則	・ 設置許可申請書の記載内容、工事計画認可等について規定されている	・ 船舶に設置する試験研究用等原子炉（研究開発段階にあるものを除く。）及び外国原子力船に設置された試験研究用等原子炉
船舶に設置する軽水減速加圧軽水冷却型原子炉であつて研究開発段階にあるものの運転計画に関する規則	・ 原子炉の運転計画の届出について規定されている	・ 船舶に設置する軽水減速加圧軽水冷却型原子炉及び研究開発段階にある試験研究用等原子炉
原子力船特殊船規則	・ 原子力船の船体、操舵設備等、非常推進動力源装置について規定されている	・ 推進機関に軽水減速軽水冷却型原子炉を使用する船舶
原子力船運航指針及びその適用に関する判断のめやすについて	・ 原子力船運航の指針（港内／外における停泊場所の条件、港内／沿岸航行における条件）について規定されている	・ 指針内に適用範囲は記載されていないが、原子力船「むつ」を対象としたものであることを考慮すると、原子力船特殊船規則と同じ適用範囲であると考えられる

3.2. 洋上風力発電（浮体式）、原子力船「むつ」等の適用法令調査

浮体式洋上風力発電、原子力船「むつ」、石油掘削リグに適用される法令（主は法律であり、命令は必要に応じて記載している）を調査した結果を以下に示す。

■ 浮体式洋上風力発電

適用される法律として、表 17 に示す 29 件が挙げられた。大別すると、設備関係が 5 件、区域内の占用・作業等関係が 19 件、解体・撤去関係が 3 件、航行安全関係が 5 件、その他が 5 件に分けられた（複数の項目に該当する法律があるため、件数の合計が 29 件にならないことに注意）。以下に項目毎に適用される法律を示す。

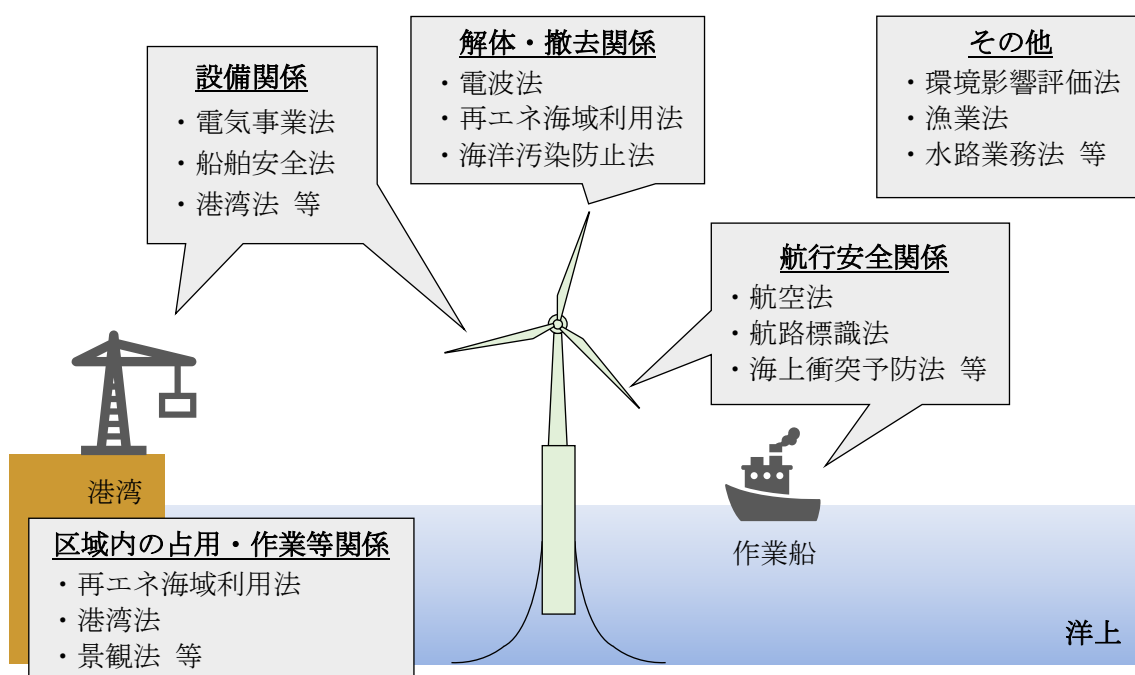


図 18 浮体式洋上風力発電に適用される法律（調査結果概要）

➤ 設備関係：5 件

- ・ 設備関係の法律として、港湾法、電波法、電気事業法、船舶安全法、海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律（再エネ海域利用法）が挙げられる（図 19）。
- ・ 港湾法では、港湾区域にある岸壁等は技術基準に適合するように維持することを規定している。また、水域占用時にも当該施設を維持することを規定している。
- ・ 電波法では、無線局開設時に免許の申請が必要なことを規定している。
- ・ 電気事業法では、発電・電気設備について規制している。
- ・ 船舶安全法では、浮体設備について規制している。
- ・ 再エネ海域利用法では、認定公募占用計画に基づき浮体式洋上風力発電を維持管理すること等を規定している。

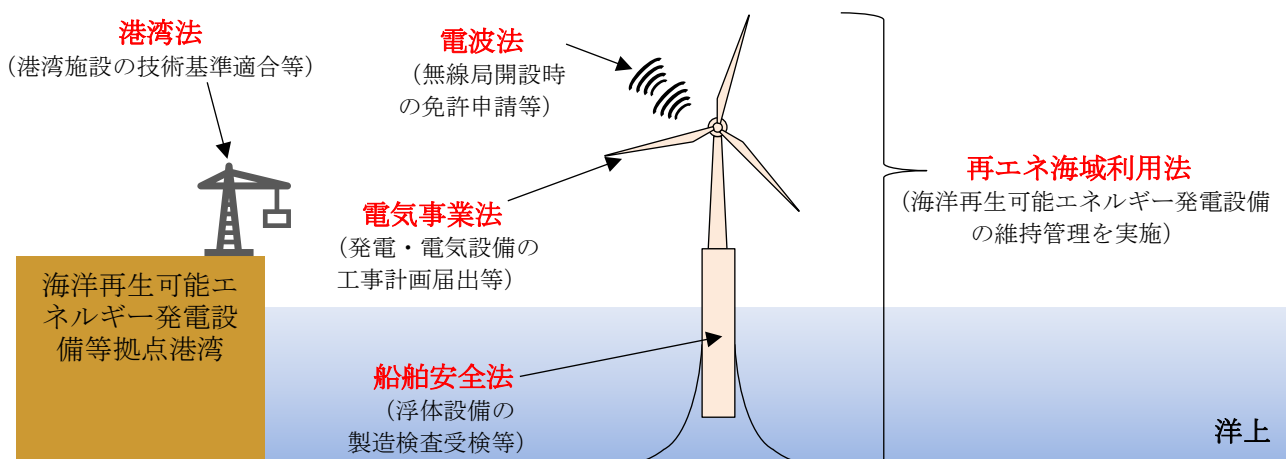


図 19 浮体式洋上風力発電に適用される法律（設備関係）

➤ 区域内の占用・作業等関係：19 件

- ・ 港湾・海岸に関する法律 11 件（図 20、図 21）、環境に関する法律 8 件（図 22）が挙げられる。
- ・ 再エネ海域利用法では、海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域の占用には許可が必要なことを規定している。なお、本法で占用に関する規定を設けているのでは、国有財産法に基づく一般海域の占用期間が風力発電の供用期間に比べて大幅に短いため、別途設けられたものである。
- ・ 固有財産法では、一般海域（海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域を除く）における調査や工作物設置による占用には許可が必要なことを規定している。
- ・ 水路業務法では、港湾の修築等を実施する者は、通報が必要なことを規定している。
- ・ 港則法では、特定港内等での工事や作業には許可が必要なことを規定している。
- ・ 港湾法では、港湾区域での占用等には許可が必要なことを規定している。
- ・ 海岸法では、海岸保全区域等の中で占用する場合には許可が必要なことを規定している。
- ・ 漁港漁場整備法では、漁港区域内の水域等で工作物設置等をする場合には許可が必要なことを規定している。
- ・ 排他的経済水域及び大陸棚の保全及び利用の促進のための低潮線の保全及び拠点施設の整備等に関する法律（低潮線保全法）では、特定離島港湾区域における水域占用等には許可が必要なことを規定している。
- ・ 海上交通安全法では、東京湾等における工事等には許可等が必要なことを規定している。
- ・ 国土利用計画法では、規制区域内の土地所有権移転時等の際に許可が必要なことを規定している。
- ・ 電波法では、伝搬障害防止区域内での建設は施設高さにより届出が必要となることを規定している。
- ・ 絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律（野生動植物保存法）、鳥獣の

保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律（鳥獣保護法）、自然環境保全法、自然公園法、海洋水産資源開発促進法、水産資源保護法、文化財保護法及び景観法では、特定のエリア内での工作物設置等には許可等の手続きが必要なことを規定している。

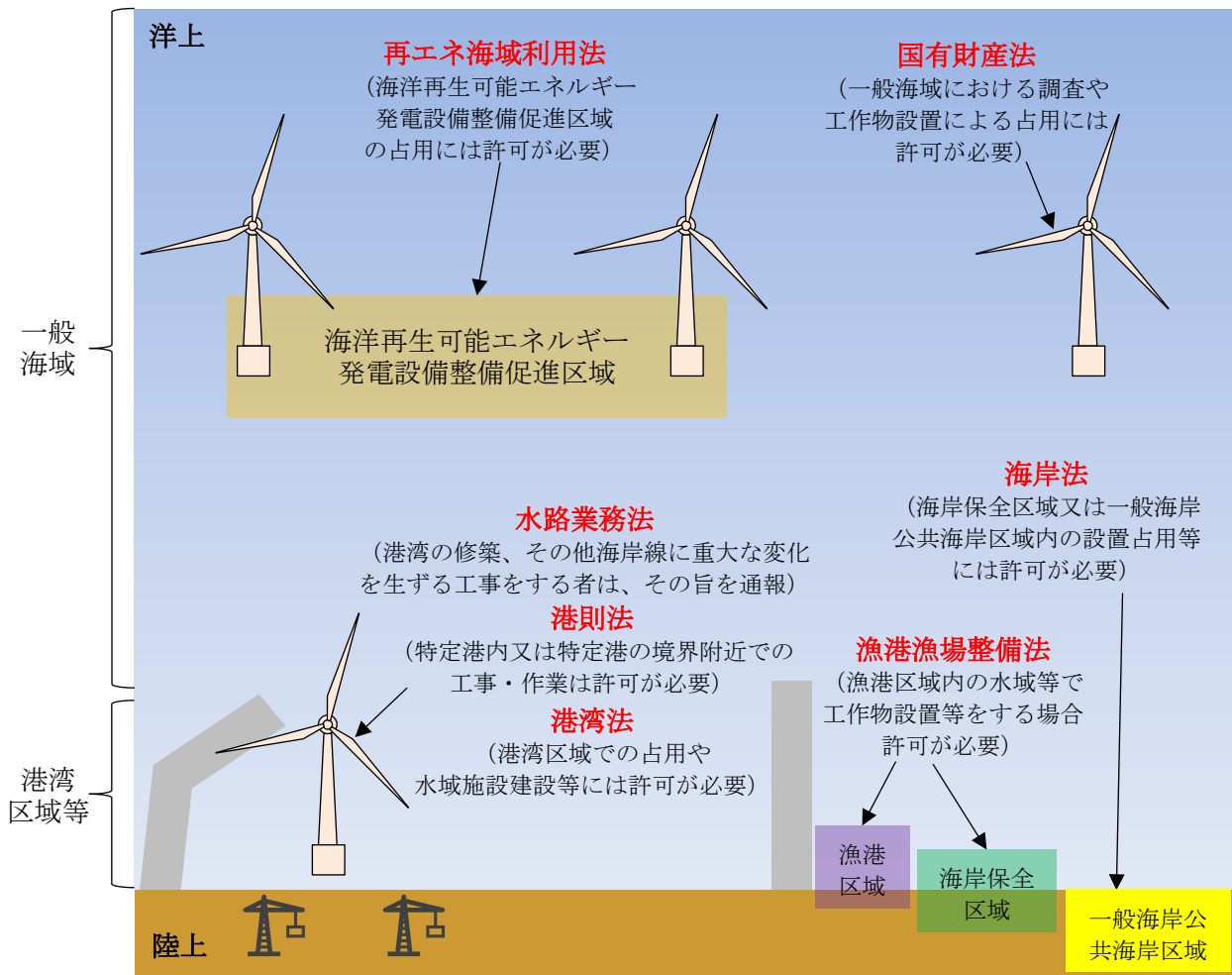


図 20 浮体式洋上風力発電に適用される法律（港湾・海岸に関する法律）①

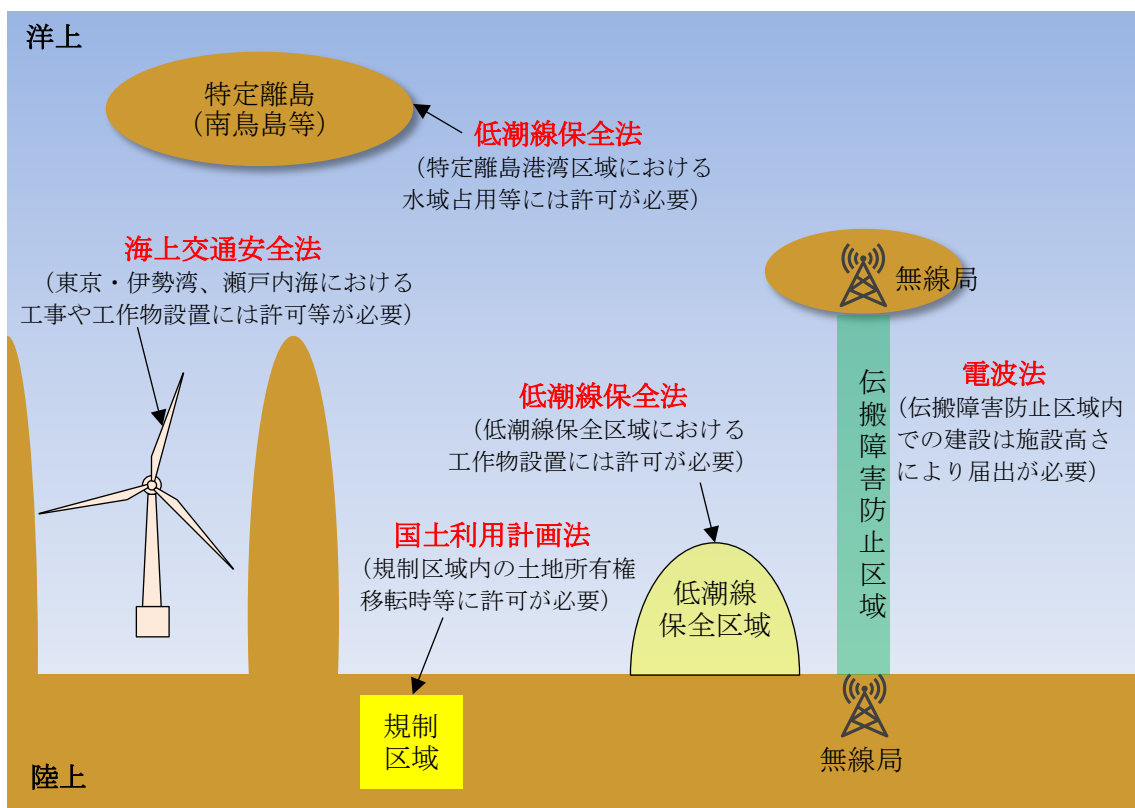


図 21 浮体式洋上風力発電に適用される法律 (港湾・海岸に関する法律) ②

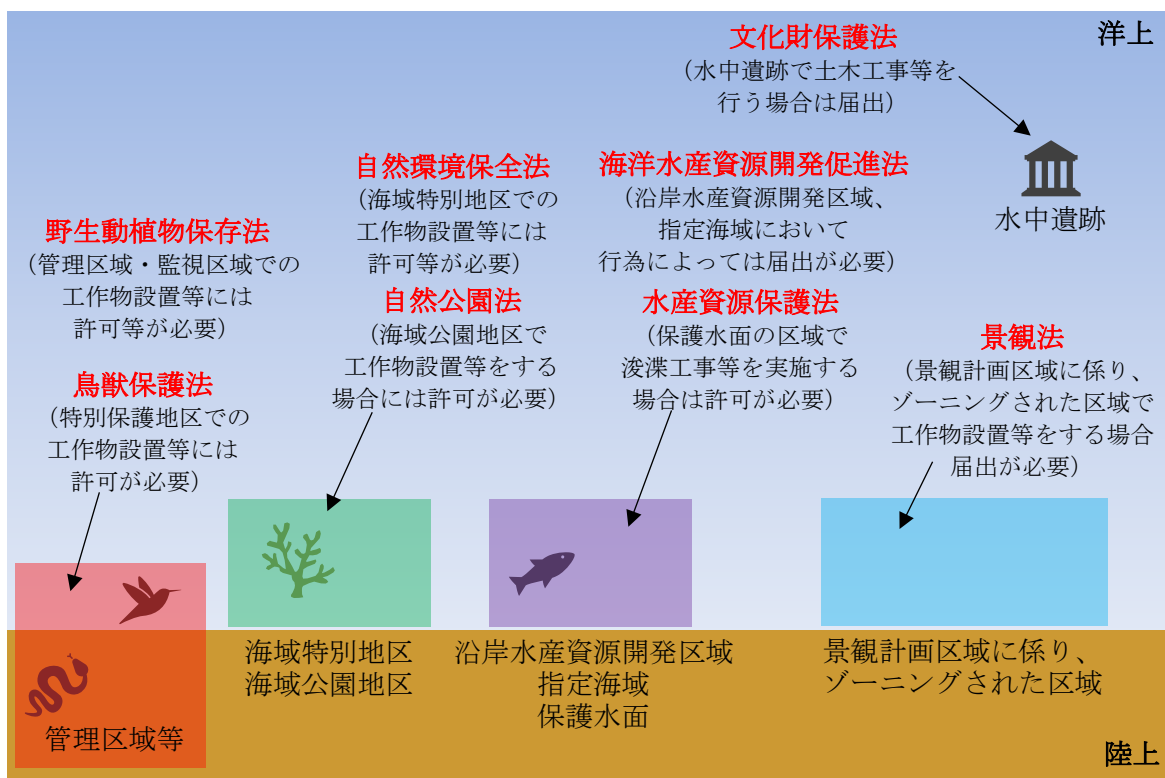


図 22 浮体式原子力発電所に適用される法律 (環境に関する法律)

➤ 解体・撤去関係：3 件

- ・ 解体・撤去関係の法律として、電波法、再エネ海域利用法、海洋汚染防止法が挙げられる（図 23）。
- ・ 電波法では、無線局廃止を総務大臣に届出を規定している。
- ・ 再エネ海域利用法では、公募占有計画において海洋再生可能エネルギー発電設備の撤去方法を記載し、提出することを規定している。
- ・ 海洋汚染防止法では、海洋施設を海洋に捨ててはならないと規定している。ただし、環境大臣が許可する場合には可能とするとされている。

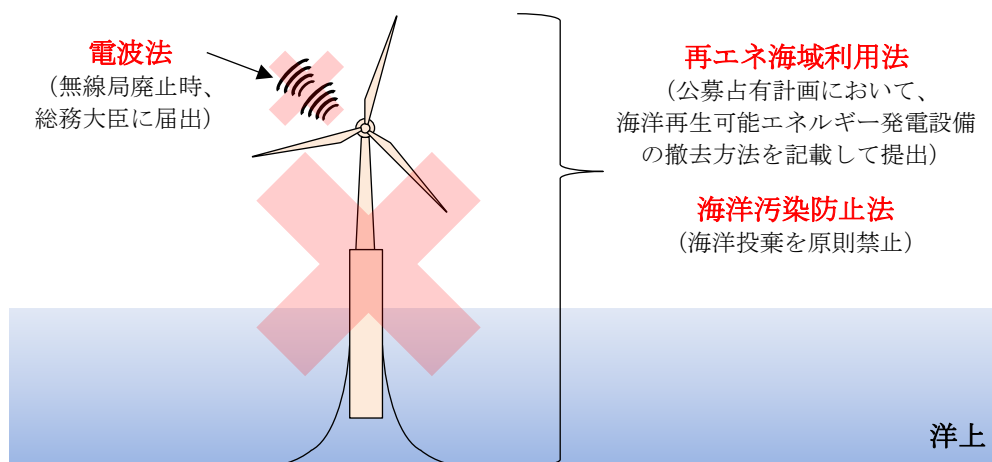


図 23 浮体式洋上風力発電に適用される法律（解体・撤去関係）

➤ 航行安全関係：5 件

- ・ 航行安全関係の法律として、海上衝突予防法、海上交通安全法、港則法、航空法、航路標識法が挙げられる（図 24）。
- ・ 海上衝突予防法では、保守作業に向かう船舶等に対し、航行に関するルールを規定している。
- ・ 海上交通安全法では、東京湾等 3 海域における航行ルール等を規定している。
- ・ 港則法では、港内における航行ルール等を規定している。
- ・ 航空法では、航空障害灯の設置届出等について規定している。
- ・ 航路標識法では、施設等の設置許可等について規定している。

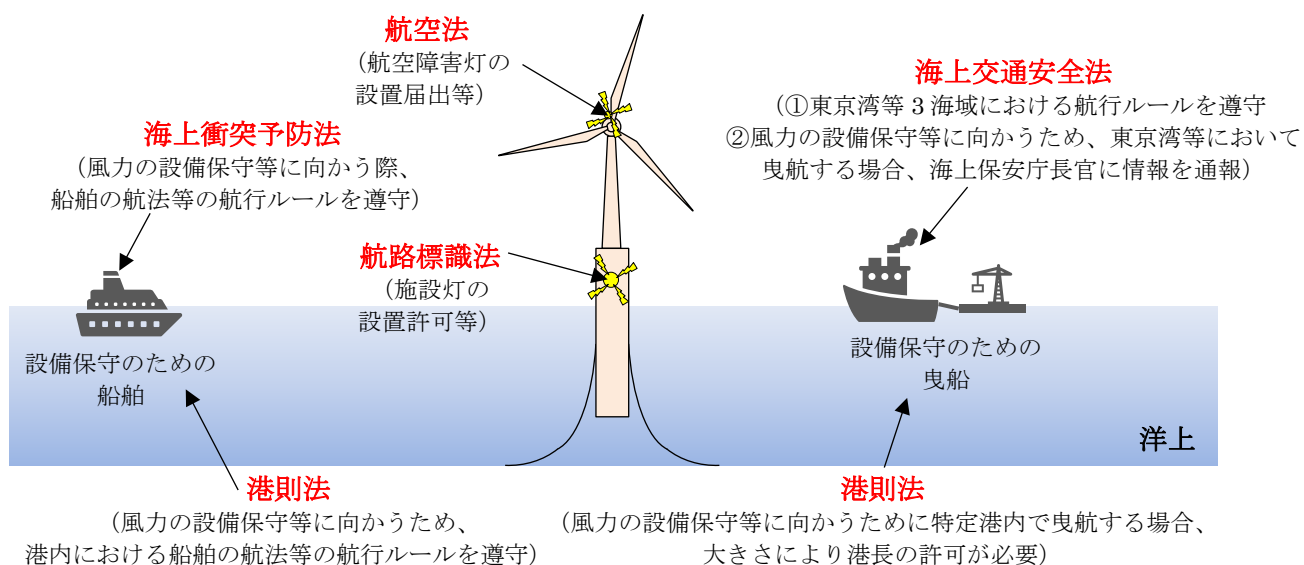


図 24 浮体式洋上風力発電に適用される法律（航行安全関係）

➤ その他：5 件

- ・ 上記までに挙げられた法律の他に、環境影響評価法、漁業法、水路業務法、振動規制法、騒音規制法が挙げられる（図 25）。

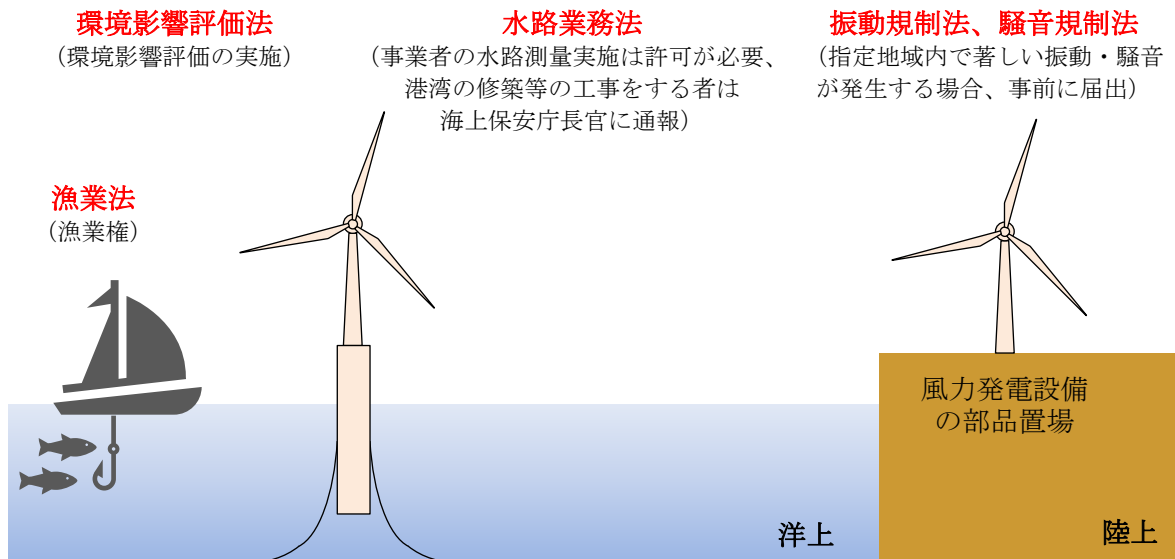


図 25 浮体式洋上風力発電に適用される法律（その他）

表 17 浮体式洋上風力発電に適用される法律

法律名	概要
電気事業法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 風力発電設備は技術基準に適合するように維持する（第 39 条） ・ 保安規程を定めること、工事計画や使用前検査等について規定（第 42,47,49 条等）
船舶安全法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶製造着手時に船体等に関する製造検査を受検し、供用後は定期検査等を受検（第 5,6 条） ・ 工作物の曳航作業にて船舶検査証書を持たない浮体を臨時に航行させ、試運転させる場合には、臨時航行検査に合格し、臨時航行許可証の受有が必要（第 9 条）
再エネ海域利用法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 経済産業大臣と国土交通大臣は、自然的条件が適当である等の条件に合致する場合、海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域を指定（第 8 条） ・ 促進区域内海域の占用する者は国土交通大臣の許可を得る必要がある（第 10 条） ・ 公募占有計画において海洋再生可能エネルギー発電設備の撤去方法を記載し、提出することを規定（第 14 条） ・ 海洋再生可能エネルギー発電設備の技術基準に適合するように維持管理を実施（第 19 条、省令第 5 条、告示）
港湾法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海洋再生可能エネルギー発電設備等拠点港湾の指定（第 2 条の 4） ・ 港湾区域内で水域の占用等には港湾管理者の許可が必要であり、占用する施設は基準に適合するように維持する（第 37 条、第 37 条の 5） ・ 港湾区域の岸壁等は技術基準に適合するように維持する（第 37 条の 3、第 56 条の 2 の 2）
電波法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無線局を開設する場合、免許の申請が必要（第 4,6 条） ・ 無線局を廃止する場合、総務大臣への届出が必要（第 22 条） ・ 伝搬障害防止区域内に建設する場合、施設の高さにより総務大臣に届出が必要（第 102 条）

法律名	概要
港則法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定港内において、曳航を行う時で全長が 200m を超える場合には、港長の許可が必要。200m 未満でも必要な港もある（第 19 条、省令第 9 条） ・ 特定港内又は特定港の境界付近で工事又は作業をする場合、港長の許可が必要（第 31 条）
水路業務法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海上保安庁以外の者が、その費用の全部又は一部を国又は地方公共団体が負担し、又は補助する水路測量を実施する場合には、海上保安庁長官の許可が必要（第 6 条） ・ 港湾の修築、その他海岸線に重大な変化を生ずる工事をする者は、その旨を海上保安庁長官に通報する（第 19 条）
国有財産法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般海域（海洋再生可能エネルギー発電設備整備促進区域を除く）において調査する際には、都道府県条例に基づく占有許可が必要。また、工作物を設けて占有する場合にも同様の許可が必要（第 9,18 条）
漁港漁場整備法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 漁港区域内の水域や公共空地において、工作物の建設や土地の一部占有をする場合には、漁港管理者の許可が必要（第 39 条）
海岸法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海岸保全区域（公共海岸の土地に限る）又は一般公共海岸区域（水面を除く）内において、海岸保全施設以外の施設又は工作物を設けて当該区域を占有する等を実施する場合、海岸管理者の許可が必要（第 7,8 条、37 条の 4,5）
海上交通安全法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶等の物件を引き／押して航行する船舶が航路を航行する場合、船長は情報を海上保安庁長官に通報（第 22 条） ・ 船舶交通が多い東京湾、伊勢湾、瀬戸内海の三海域において、工事や工作物の設置を行う場合には海上保安庁長官の許可又は届出が必要（第 40,41 条）
国土利用計画法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 規制区域内の土地の所有権移転等をする場合、知事の許可が必要（第 14 条） ・ 建設地が一定基準を満たす土地に関する所有権、地上権、貸借権の移転又は設定の契約（予約を含む）をする場合には知事への届出が必要（第 23 条）
排他的経済水域及び大陸棚の保全及び利用の促進	<ul style="list-style-type: none"> ・ 低潮線保全区域内において、海底の掘削又は切土、土砂の採取、施設又は工作物の新設又

法律名	概要
<p>のための低潮線の保全及び拠点施設の整備等に関する法律</p>	<p>は改築等を行う場合、国土交通大臣の許可が必要（第 5 条）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 特定離島港湾区域において、水域占用、土砂の採取等を行う場合、国土交通大臣の許可が必要（第 9 条）
<p>絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 管理地区、監視地区の区域内において、工作物の新築、改築、増築や水面の埋め立て等の行為を行うときには、環境大臣の許可又は届出が必要（第 37,39 条）
<p>鳥獣の保護及び管理並びに狩猟の適正化に関する法律</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鳥獣保護区特別保護地区内において、建築物その他工作物の新築及び増改築、水面の埋め立て又は干拓等を行う場合は、国指定鳥獣保護区にあつては環境大臣の、都道府県鳥獣保護区にあつては都道府県知事の許可が必要（第 29 条）
<p>自然環境保全法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海域特別地区内における工作物設置等には、環境大臣の許可が必要（第 27 条）
<p>自然公園法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海域公園地区内において、工作物の新築等をしようとする者は、国立公園にあつては環境大臣の、国定公園にあつては都道府県知事の許可が必要（第 22 条）
<p>海洋水産資源開発促進法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沿岸水産資源開発区域において海底の形質の変更等の行為をしようとする者は、知事に届出、場合によっては知事から勧告が可能（第 9 条） ・ 指定海域において海底の掘削等をしようとする者は、知事又は農林水産大臣に届出、場合によっては知事から勧告が可能（第 12 条）
<p>水産資源保護法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保護水面の区域内において、埋立て若しくは浚渫の工事等をしようとする者は、当該保護水面を管理する都道府県知事又は農林水産大臣の許可が必要（第 18,22 条）
<p>文化財保護法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水中遺跡で土木工事等を実施する場合、事前に都道府県教育委員会等に届出。また、水中遺跡の保護のために必要な時は教育委員会等の指示を受け、水中遺跡の記録保存調査等の必要な事項を講じる（第 93 条） ・ 建設時に水中遺跡が判明した場合、現状を変更することなく都道府県教育委員会等に届出（第 96 条） ・ その他に、天然記念物等に関し現状を変更する場合には文化庁長官の許可が必要（第 125 条）

法律名	概要
	条)
景観法	・ 景観計画区域内において、工作物の建設等をする場合、事前に景観行政団体の長に届出が必要（第 8,16 条）
海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律	・ 海上調査における船舶からの廃棄物の排出禁止（第 10 条） ・ 海洋投棄を原則禁止しているため、原則として撤去が必要（第 43 条）
海上衝突予防法	・ 作業において船舶を使用する場合、航法等の航海ルールを規定（全般） ・ 海底送電線敷設時に使用する操縦性能制限船に関する規定もある（第 10 条等）
航空法	・ 風車のブレード先端が水面から 60m 以上の場合、原則として航空障害灯と昼間障害標識を設置し、遅延なく地方航空局長に届出。また、これらを維持しなければならない（第 51 条,51 条の 2）
航路標識法	・ 灯光、音響又は電波を手段とする航路標識を設置する場合は海上保安庁長官の許可が必要。灯光、音響又は電波以外を手段とする航路標識を設置する場合は、届出が必要（第 3,13 条）
環境影響評価法	・ 環境影響評価の実施が必要（全般）
漁業法	・ 海域を利用する漁業者等と意見を交換し、漁業者等の理解を得る必要がある（第 69,93 条等）
振動規制法	・ 指定地域内で著しい振動を発生する作業であり、特設建設作業を実施する場合、作業開始日の 7 日前までに、市町村長への届出が必要（第 14 条）
騒音規制法	・ 指定地域内で著しい騒音を発生する作業であり、特設建設作業を実施する場合、作業開始日の 7 日前までに、市町村長への届出が必要（第 14 条）

■ 原子力船「むつ」

- 原子力船「むつ」に適用された法律を表 18 に示す。
- 主な法律は、原子炉等規制法と船舶安全法である。
 - ・ 船内原子炉施設は原子炉等規制法に基づき設置許可を取得している。
 - ・ ただし、建造における上記施設の所掌官庁は運輸省であり、臨時船舶建造調整法による建造許可、船舶安全法に基づき製造検査・定期検査を受検している。
 - ・ 船舶安全法に基づく第 1 回定期検査中に「むつ」の放射線漏れが発生し、その後の原子力基本法改正により、船内原子力施設の所掌が科技庁に変更となり、原子炉等規制法に基づく使用前検査として検査を扱うことになった。
 - ・ 遮へい改修後、使用前検査を実施し、船舶安全法に基づく船舶検査証を受領している。
- 原子力船の労働安全衛生に関連し、船員法の省令として船員電離放射線障害防止規則が、また、船員職業安定法では乗組み派遣船員に対しても適用することが規定している。
- 国際航海船舶及び国際港湾施設の保安の確保等に関する法律では、国際航海日本船舶の所有者が定める船舶保安規程について、原子力船の場合は国土交通大臣に提出すること等について規定している。
- 特定港内にいる原子力船の災害を防止する必要がある場合、港長は原子力船に対して行為を指示できることを規定している。
- 原子力船による原子力損害賠償は、原子力損害の賠償に関する法律等で規定している。

表 18 原子力船「むつ」に適用された法律

法律名	概要
原子炉等規制法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力船「むつ」は、試験研究用等原子炉として規制された ・ 原子力船の設置許可等を規制（第 4 章第 1 節） ✓ 例：原子力船を国内港に入港させようとする時に NRA に届出る（第 36 条の 2） ・ 原子力船の外において核燃料物質又はそれに汚染された物を廃棄・運搬する場合、保安のために必要な措置を実施（第 58,59 条） ・ 原子力船内で用いた資材等に含まれる放射性物質について放射能濃度が放射線障害の防止のための措置を必要としない場合は NRA の確認を受ける（第 61 条の 2） ・ 関連省令として、「船舶に設置する原子炉（研究開発段階にあるものを除く。）の設置、運転等に関する規則」と「船舶に設置する軽水減速加圧軽水冷却型原子炉であつて研究開発段階にあるものの運転計画に関する規則」が挙げられる
船舶安全法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶設備の施設義務に関する規定に関し、省令として原子力船特殊規則が定められている。この省令では、船体の区画や防火構造等を規定（第 2 条） ・ 造船事業者は製造検査を受検、船舶所有者は船舶検査（定期検査等）を受検することを規定（第 5,6 条） ・ 操作手引書、安全説明書を作成し、承認を得る（省令 51 条） ・ 関係省令として、「原子力船特殊規則」が挙げられる
臨時船舶建造調整法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 近海区域等において 12 人以上の旅客を運搬することができる構造を有する船舶等で総トン数 2500 トン以上又は長さ 90 メートル以上の鋼製の船舶は、建造（改造）着手前に許可を得る必要がある（第 81 条）
船員法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船舶における安全と衛生に関する規定について、省令として船員電離放射線障害防止規則が定められており、管理区域の標識を明示すること、緊急作業時の線量限度等を規定（第 81 条）

法律名	概要
船員職業安定法	<ul style="list-style-type: none"> 乗組み派遣船員が乗り込む船舶に対しても船員法の安全・衛生や就業規則揭示の規定を適用し、乗組み派遣船員には船員電離放射線障害防止規則で規定する健康診断に関する規定も適用すること等を規定（第 89,90 条）
国際航海船舶及び国際港湾施設の保安の確保等に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> 国際航海日本船舶の所有者は、船舶保安統括者と船舶保安管理者の選任を届出の必要があり、原子力船については国土交通大臣に提出（第 7,8 条、省令第 8 条） 国際航海日本船舶の所有者は、船舶保安規程を定め、原子力船については国土交通大臣に提出（第 11 条、省令第 17,18 条） 国際航海する原子力船の場合、定期検査等を受ける者は船舶保安検査申請書を国土交通大臣に提出（省令第 23 条）
港則法	<ul style="list-style-type: none"> 港長は原子炉による災害を防止するため必要があるとき等に特定港内等にある原子力船に対して航路や停泊等を指示し、航法を指示すること等ができる（第 40 条）
原子力損害の賠償に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉の運転等により生じた原子力損害については、「船舶の所有者等の責任の制限に関する法律」を適用しない（第 4 条） 原子力船が外国の水域に立ち入らせる場合の損害賠償措置を規定（第 7 条の 2）
原子力損害賠償保証契約に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> 原子力損害賠償補償契約の対象として、原子力船の外国水域への立入りにより生じた原子力損害を対象としているが、補償契約の期間は船が本邦の水域を離れる時から本邦の水域に戻る時までの期間内の期間とする（第 5 条）
原子力損害の補完的な補償に関する条約の実施に伴う原子力損害賠償資金の補助等に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> 特定の事由（排他的経済水域において条約締約国の国籍を有する船舶に生じた損害等）に関する原子力損害賠償資金の補助について規定（第 3 条）

■ 石油掘削リグ

- 石油掘削リグに適用される法律を表 19 に示す。なお、以降では、法律で使用されている用語にあわせて、着床式の石油掘削リグは「海洋掘採施設」、浮体式の石油掘削リグは「掘削バージ」と記載する。
- 国内では、海洋の石油・天然ガス関連施設に特化した特別な法令がなく、鉱山保安法を中心とした法規がそのまま適用されている⁴⁰。
 - ・ 鉱山保安法では、海洋掘採施設、掘削バージに対する工事計画届出や技術基準を規定している。
 - ・ 海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律では、海洋汚染防止のために廃棄物等の排出を禁止すること、海洋掘採施設、掘削バージ等の設置を届出ること等を規定している。
 - ・ 水質汚濁防止法では水質汚濁に関連して通報措置等を規定しているが、海洋掘採施設や掘削バージでは、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律に基づき対応することを規定している。
 - ・ 鉱業法では、鉱業権等について規定している。
 - ・ 野生動植物保存法、自然環境保全法、水産資源開発促進法では、定められた区域での掘採作業を規制している。なお、上記 3 法律以外でも海域の占用に関する規制が存在するが、浮体式洋上風力発電の調査で調査済みのため記載を省略する。
 - ・ 海洋構築物等に係る安全水域の設定等に関する法律では、排他的経済水域等に位置する場合の安全水域の設定、入域禁止措置を規定している。

参考

- ・ 海洋建築物安全性評価指針では、新築及び転用船舶の係留型の海洋構築物及びその係留装置、栈橋等の構造計画、防災計画及び維持管理について規定している。

⁴⁰ 国土交通省、日本財団「海洋開発ビジネス概論（改訂第 2 版）」(https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_tk7_000024.html)

表 19 石油掘削リグに適用された法律

法律名	概要
鉱山保安法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉱山労働者に対する危害を防止するとともに鉱害を防止し、鉱物資源の合理的開発を図ることを目的とした法律である（第 1 条） ・ 海洋施設における鉱業廃棄物の処理について、海洋投入処分時には船舶に移載した上で行うこと等を規制（第 8 条、省令第 24 条） ・ 石油鉱山における海洋掘採施設、掘削バージ、海洋設置パイプラインについては、工事計画を届出る（第 13 条、省令第 31 条） ・ 掘削バージ、海洋掘採施設での災害時のルールを規定（第 41 条、省令第 46 条） ・ 省令「鉱業上使用する工作物等の技術基準を定める省令」では、掘削バージ、海洋掘採施設、海洋に設置されるパイプライン（施設の構造、係留等）の技術基準を規定（第 11,12 条）
海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海底の鉱物資源の掘採をする船舶の油等の排出基準は他船舶と異なる（第 4 条、政令第 1 条の 9） ・ 海洋施設からの油、有害液体物質、廃棄物の排出を禁止すること、海洋掘採施設、掘削バージ等の設置を届出ること等について規定（第 4 章）
水質汚濁防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 海底及びその下における鉱物資源の探査及び掘採に伴い発生する廃水等の有害液体物質等がある海洋掘採施設、掘削バージ等の施設で発生した事故時の措置は本法によらず、海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律に基づき対応（通報等）する（第 23 条）
鉱業法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鉱業権未取得による石油・天然ガス掘採の禁止（第 7 条） ・ 本法で定められている経済産業大臣の権限について、鉱区等に係る区域の所在地を管轄する経済産業局長に権限を委任することとしているが、領海等の海域にある特定区域については対象外としている（省令第 61 条） ・ その他に、鉱業権の設定や登録、租鉱権について規定されているが、洋上での鉱業に対す

法律名	概要
	る特別な規定はない
野生動植物保存法	・ 管理地区、監視地区内において実施する一部の鉱物採掘行為については届出不要（第 37,39 条、省令第 25,30 条）
自然環境保全法	・ 沖合海底自然環境保全地域の内、沖合海底特別地区内では、試掘は許可されるが、掘削は禁止（第 35 条の 4,5、省令第 31 条の 5）
水産資源開発促進法	・ 沿岸水産資源開発区域において海底の形質の変更等の行為をしようとする者は、知事に届出をすることとしているが、鉱業法により認可を受けた施業案の実施に係る鉱物の掘採では届出不要（第 9 条、政令第 3 条）
海洋構築物等に係る安全水域の設定等に関する法律	・ 排他的経済水域、大陸棚において天然資源の探査等の特定行為に係る工作物及び大陸棚の掘削に従事する船舶の安全を確保するため、海洋法に関する国際連合条約に定めるところにより、安全水域を設定し、入域を禁止している（第 3,4,5 条）

3.3. 陸上の原子力発電所の法体系を整理

陸上の原子力発電所に適用される法律として、41 件が抽出された。表 20 に抽出結果の概要を示す。この 41 件について、e-Gov ポータルで示される 50 分類の法分類別内訳としては、工業に該当する法律が 14 件、災害対策が 4 件、環境保全が 3 件、国税、労働、海運、警察、土地それぞれが 2 件、財務通則、国有財産、国家公務員、外国為替・貿易、陸運、防衛、消防、外事、航空、建築・住宅それぞれが 1 件であった。

表 20 陸上の原子力発電所に適用される法律の抽出結果

No.	法分類※	法律名	陸上の原子力発電所への適用内容
1	工業	原子力基本法	・ 原子炉の管理や放射線による障害の防止等について規定
2		核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律	・ 原子炉の設置、運転等に関する規制等について規定
3		電気事業法	・ 発電用原子炉は、電気工作物に該当し、工事計画の認可、使用前検査、保安規程の届出について規定
4		工場立地法	・ 一定規模以上の工場や事業場の新設しようとする者は、都道府県知事又は市長に所定の事項を届け出ること等を規定
5		土地収用法	・ 第3条第17項において、土地収用や使用が可能な事業として、原子力発電所が対象となる
6		原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法	・ 内閣総理大臣は原子力発電施設等立地地域を指定すること、都道府県知事は上記地域の指定があった際には振興計画の案を作成し、内閣総理大臣に提出すること等を規定
7		発電用施設周辺地域整備法	・ 都道府県知事は、発電用施設の設置が予定されている地点が属する市町村や隣接する市町村の区域について、公共用施設整備計画を作成すること等を規定
8		放射性同位元素等の規制に関する法律	・ 放射性同位元素の取り扱い等について規定
9		放射線障害防止の技術的基準に関する法律	・ 放射線障害防止の技術的基準の策定上の基本方針、放射線審議会の設置等について規定
10		原子力発電における使用済燃料の再処理等の実施に関する法律	・ 特定実用発電用原子炉設置者は、使用済燃料の再処理等業務に必要な費用に充てるため、各年度、使用済燃料再処理機構に拠出金を納付すること等を規定
11		原子力損害の賠償に関する法律	・ 原子力災害を与えた時、原子力事業者がその損害を賠償する責任があ

No.	法分類*	法律名	陸上の原子力発電所への適用内容
			ること等を規定
12		原子力損害賠償補償契約に関する法律	・ 政府は、原子力事業者の原子力損害の賠償の責任が発生した場合に、責任保険契約、他の賠償措置により、うめることができない原子力損害を原子力事業者が賠償することにより生ずる損失を政府が補償することを約し、原子力事業者が補償料を納付することを約する契約を締結することができることを規定
13		原子力損害の補完的な補償に関する条約の実施に伴う原子力損害賠償資金の補助等に関する法律	・ 国による原子力損害賠償資金の補助、毎年原子力事業者から一般負担金を徴収すること等を規定
14		原子力損害賠償・廃炉等支援機構法	・ 第 41 条において、原子力事業者の要賠償額が賠償措置額を超えると見込まれる場合、賠償の迅速かつ適切な実施等のため、NDF に資金援助を申し込むことができることを規定
15	環境保全	環境影響評価法	・ 原子力発電所は環境影響評価の対象となる
16		大気汚染防止法	・ 第 22 条 3 項において、環境大臣が放射性物質による大気の汚染の状況を常時監視することを規定
17		水質汚濁防止法	・ 第 15 条 3 項において、環境大臣が放射性物質による公共用水域及び地下水の水質の汚濁の状況を常時監視することを規定
18	国税	電源開発促進税法	・ 原子力発電施設の設置の促進及び運転の円滑化を図る等のための財政上の措置に加え、利用の促進及び安全の確保、電気の供給の円滑化を図る等のための措置に要する費用に充てるため、一般送配電事業者等の販売電気に電源開発促進税を課することについて規定されている
19		租税特別措置法	・ 第 57 条の 4 項において、原子力発電施設解体準備金の積み立てについて規定されており、その他にも原子力発電所関連についての規定が

No.	法分類※	法律名	陸上の原子力発電所への適用内容
			ある
20	財務通則	特別会計に関する法律	・ 同法第 6 節エネルギー対策特別会計において、原子力安全規制対策等の経理を明確にすることを目的に勘定区分等を規定されている
21	国有財産	国有財産法	・ 国有財産のうち普通財産は、原子力災害対策特別措置法で定める緊急事態応急対策の実施の用に供する時に地方公共団体等は無償貸付け可能と規定している
22	国家公務員	国家公務員法	・ 人事院規則一〇一五（職員の放射線障害の防止）において、国家公務員の実効線量等を規定
23	労働	労働安全衛生法	・ 省令（電離放射線障害防止規則）において、電離放射線防止の安全基準を規定
24		作業環境測定法	・ 第 3 条において、放射性物質取扱作業室において作業環境測定を実施する際、作業環境測定士に実施させる必要があること等を規定
25	外国為替・貿易	外国為替及び外国貿易法	・ 第 25 条において、原子炉等に係る技術の輸出については許可が必要と規定されている（外国為替令） ・ 第 48 条において、原子炉等の輸出については許可が必要と規定されている（輸出貿易管理令） ・ 第 52 条において、原子炉等の輸入については許可が必要と規定されている（輸入貿易管理令、輸入公表）
26	海運	船舶安全法	・ 本法省令（危険物船運送及び貯蔵規則）において、危険物として放射性物質を挙げ、その輸送（L 型輸送物等）について規定されている
27		港則法	・ 第 20 条において、放射性物質等を積載した船舶は、特定港に入港しようとするときは、港の境界外で港長の指揮を受けることを規定 ・ その他に、第 21 条、第 22 条において、放射性物質等を積載した船舶

No.	法分類*	法律名	陸上の原子力発電所への適用内容
			の扱いや放射性物質等の積込等について規定
28	陸運	道路運送車両法	・ 放射性物質を輸送する車の保安基準を規定、具体的には省令「道路運送車両の保安基準」第 47 条で消化器を備えることが定められている
29	防衛	自衛隊法	・ 第 83 条の 3 において、原子力災害派遣について規定（第 94 条の 3 にも原子力関連の規定有）
30	災害対策	災害対策基本法	・ 防災基本計画や地域防災計画の作成等について規定
31		原子力災害対策特別措置法	・ 原子力災害対策について規定
32		津波対策の推進に関する法律	・ 第 12 条において、原子力発電所を津波から防護することに努める必要があると規定
33		大規模地震対策特別措置法	・ 第 7 条第 1 項において、発電所の地震防災応急計画作成することを規定
34	消防	消防組織法	・ 第 4 条において、消防庁の事務として、原子力災害対策特別措置法に基づく地方公共団体の事務に関する国と地方公共団体及び地方公共団体相互間の連絡について規定 ・ 第 44 条 5 項において、地震防災対策強化地域に係る著しい地震災害等の大規模災害や毒性物質の発散等の特殊な災害に対処するために特別の必要があると認められる時（その一つとして、政令において放射性物質や放射線の異常な水準の放出や発散、放出のおそれのある事故時）には、緊急消防救援隊の出動のため必要な措置をとることを指示できると規定
35	警察	警備業法	・ 警備員等の検定等に関する規則第 1 条等において、原子力関連（核燃料物質等の輸送、発電用原子炉施設における警備員等の検討）について規定されている

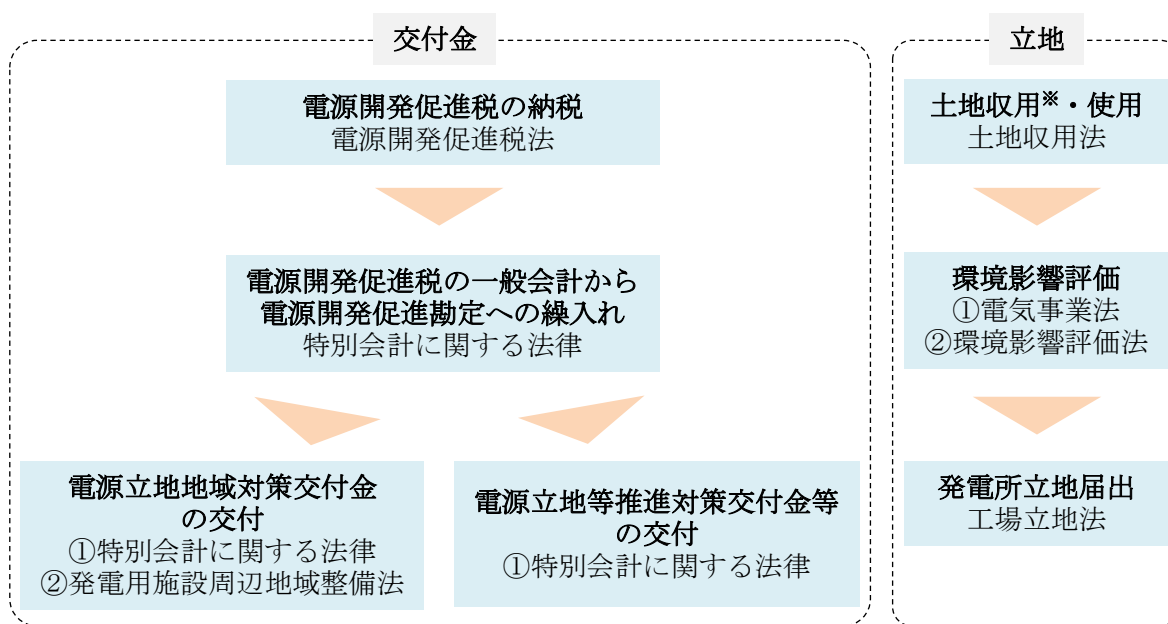
No.	法分類※	法律名	陸上の原子力発電所への適用内容
36		重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律	・ 原子力発電所の周辺地域上空における小型無人機等の飛行を禁止している
37	外事	武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律	・ 第 10 条において、放射性物質等による汚染の拡大を防止するための措置の実施を規定
38	土地	重要施設周辺及び国境離島等における土地等の利用状況の調査及び利用の規制等に関する法律	・ 原子力発電所を重要施設に指定予定（今後、土地等利用状況審議会にて指定予定）
39		公有水面埋立法	・ 沿岸海域などの公共用水域の埋立について規定
40	航空	航空法	・ 原子力施設上空の航空安全確保に関する規制措置に関連し、通達（昭和 44 年 7 月 5 日付け空航第 263 号）として、①施設付近の上空の飛行は、できる限り避けさせること、②施設付近の上空に係る航空法第 81 条ただし書き（最低安全高度以下の高度での飛行）の許可は行わないことが周知されている（第 80,81 条関連）
41	建築・住宅	建築基準法	・ 原子力発電所の耐震設計において引用されている

※ e-Gov ポータルで示される 50 分類。

次に、抽出された陸上の原子力発電所に適用される法律について、立地計画時、設計・建設工事時、運転・保守時、廃止措置時に加え、災害時の 5 項目に分けて整理した結果を以下に示す（原子力発電における使用済燃料の再処理等の実施に関する法律等の一部の法律については以下では記載を省略）。

■ 立地計画時

- ・ 整理結果の概要を図 26 に示す。
- ・ 交付金関連として、電源三法⁴¹が適用される。
- ・ 立地関係として、土地収用法、環境影響評価法、電気事業法、工場立地法が適用される。



※ 必要に応じて実施する可能性があるもの

図 26 整理結果概要（立地計画時）

⁴¹ 電源三法とは、電源開発促進税法、特別会計に関する法律、発電用施設周辺地域整備法を指す。

表 21 立地計画時に適用される法律

法律名	概要
電源開発促進税法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源開発促進税の納税義務者は一般送配電事業者等（第 3 条） ・ 課税標準、税率を規定（第 5,6 条）
特別会計に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源開発促進税は一般会計から電源開発促進勘定に繰り入れる（第 91 条） ・ 電源開発促進勘定の歳出の一つは、電源立地地域対策交付金（第 88 条） ・ 電源立地等推進対策交付金等の交付を規定（第 85 条第 4 項）
発電用施設周辺地域整備法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設置計画が確実な場合には地点を指定（第 3 条） ・ 知事は公共用施設整備計画を作成し、国や地方はこれを実施（第 4,5 条） ・ 知事は利便性向上等事業計画を策定（第 10 条） ・ 国は、これら計画の実施に要する費用として電源立地地域対策交付金等を交付（第 7,10 条）
土地収用法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発電の用に供するために土地が必要な場合、利用上適正かつ合理的である場合には土地を収用し、又は使用することが可能（第 2 条）
環境影響評価法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配慮書作成、環境影響評価実施、報告書作成等の実施（条文全般） ・ 原子力発電所に係る環境影響評価のあり方については、今後、原子力発電所の新增設・リプレースも想定した法令に改正された段階で検討される予定であり、現時点においては未検討とされている⁴²
電気事業法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力発電の環境影響評価では、電気事業法の規定も適用（第 46 条の 2） 一例えば、方法書の届出先として、経済産業大臣を追加することを規定（第 46 条の 5）
工場立地法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 経済産業大臣は発電所立地に関する調査を実施（第 2 条） ・ 経済産業大臣は発電所立地に関する準則等の公表する（第 4 条） ・ 発電所を立地しようとするものは、設置場所等を記載した資料を市町村長に届出る（第 6 条）

⁴² 平成 28 年度第 3 回札幌市環境影響評価審議会資料 2-3（2016 年 9 月 23 日）

■ 設計・建設工事時

➤ 交付金関係

- ・ 関係する法律として、電源三法に加え、原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法が適用される。
- ・ 立地計画時と同様に電源立地地域対策交付金等が交付される。
- ・ 原子力発電施設等立地地域の指定により、国は、振興計画（知事作成、総理決定）に基づく事業実施の費用を負担・補助する。なお、地点の指定は、設置されることが確実な時から可能とされている。

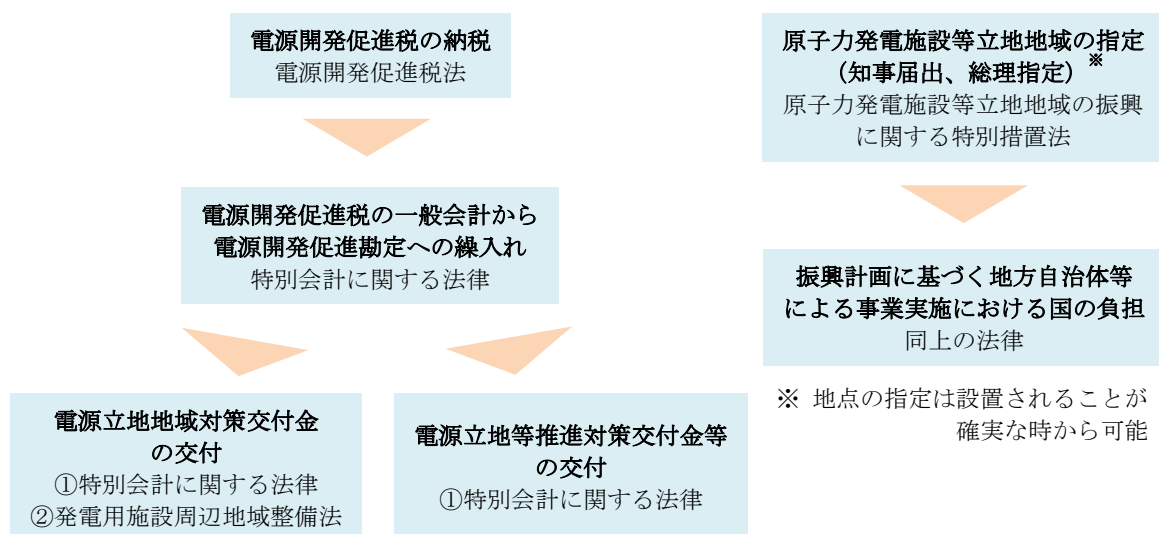


図 27 整理結果概要（交付金関係）

➤ 原子炉等規制法関係

- ・ 原子力基本法、原子炉等規制法、電気事業法、建築基準法、公有水面埋立法、津波対策の推進に関する法律が関係する法律が適用される。

表 22 設計・建設工事時に適用される法律

法律名	概要
電源開発促進税法	・ 電源開発促進税の納税義務者は一般送配電事業者等（第 3 条）
特別会計に関する法律	・ 電源開発促進税は一般会計から電源開発促進勘定に繰り入れる（第 91 条） ・ 電源開発促進勘定の歳出の一つは、電源立地地域対策交付金（第 88 条） ・ 電源立地等推進対策交付金等の交付を規定（第 85 条第 4 項）
発電用施設周辺地域整備法	・ 公共用施設整備計画等の実施に要する費用として、電源立地地域対策交付金等を交付（第 7、10 条）
原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法	・ 知事が申出、総理大臣が原子力発電施設等立地地域を指定する（第 2 条） ・ 振興計画に基づく一部事業の経費に対して国は一部を負担（第 7 条）
原子力基本法	・ 原子炉を建設しようとする者は、別で定める法律に従う（第 14 条）
原子炉等規制法	・ 発電用原子炉を設置しようとする者は、原子炉の型式や工事計画等を記載した申請書を提出し、設置の許可を得る必要がある。許可の基準として、技術的能力等が適合していること等が挙げられる（第 43 条の 3 の 5,6） ・ 施設の設置をしようとする者は、工事着手前に設計・工事計画について認可を受ける又は届出る（第 43 条の 3 の 9,10） ・ 発電用原子炉設置者は、設置する施設について使用前事業者検査を実施し、設計・工事の計画に従って実施され、技術基準に適合していることを確認する。また、使用前に原子力規制検査により適合していることについて NRA から確認を受ける必要がある（第 43 条の 3 の 11） ・ 発電用原子炉設置者は、運転計画を作成し、NRA に届出る（第 43 条の 3 の 17） ・ 発電用原子炉設置者は、保安規定を定め、工事着手前に認可を受ける（第 43 条の 3 の 24） ・ 発電用原子炉設置者は、核物質防護規定を定め、特定核燃料物質の取扱い開始前に認可を受ける（第 43 条の 3 の 27） ・ 運転開始時に廃止措置実施方針を作成し、公表（第 43 条の 3 の 33） ・ 使用前事業者検査の実施状況等について、原子力規制検査を受ける（第 61 条の 2 の 2）
電気事業法	・ 発電用原子炉設置者は、保安規程を定め、施設使用開始前に主務大臣に届出る（第 42 条）

法律名	概要
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉等規制法に基づく設計・工事計画の認可・届出や使用前事業者検査の確認を受けた設備は、電気事業法に基づく工事計画認可・届出や使用前検査の確認に適合しているとみなす。それ以外は電気事業法第 47～49 条に適合する必要がある（第 112 条の 3） ・ 原子力発電施設には、使用前安全管理検査、溶接事業者検査に関する条文は適用しない（第 112 条の 3）
建築基準法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力発電所の耐震設計において引用されている
公有水面埋立法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力発電所の建設時に海岸を埋立が多く行われており、実施にあたっては本法に基づく免許を取得する必要がある
津波対策の推進に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力発電所を津波から防護することに努める必要があることを規定（第 12 条）

■ 運転・保守時

➤ 交付金関係

- ・ 関係する法律として、設計・建設工事時と同様に、電源三法と原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法が適用される。
- ・ 設計・建設工事時と概ね同じであるが、厳密には、電源立地地域対策交付金の交付金枠が異なる。

➤ 原子炉等規制法関係

- ・ 原子力基本法、原子炉等規制法、電気事業法が適用される。

➤ 放射線障害防止関係

- ・ 原子炉等規制法、放射性同位元素等の規制に関する法律、放射線障害防止の技術的基準に関する法律、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、労働安全衛生法、国家公務員法、作業環境測定法が適用される。

原子炉等規制法

- －管理区域への立ち入り制限等を規定

大気汚染防止法

- －大気中の汚染状況を常時監視

水質汚濁防止法

- －水質汚濁の状況を常時監視

放射性同位元素等の規制に関する法律

- －放射性同位元素の使用には、技術基準への適合が必要なこと等を規定

労働安全衛生法

- －放射線による健康被害防止に必要な措置を実施（放射線業務従事者の被ばく限度等）
- －放射線業務の作業場では作業環境測定を実施

国家公務員法

- －国家公務員の実効線量限度等を規定

放射線障害防止の技術的基準に関する法律

- －放射線審議会の設置等を規定

作業環境測定法

- －作業環境測定は作業環境測定士が実施

図 28 整理結果概要（放射線障害防止関係）

➤ 輸送関係

- ・ 原子力基本法において、核燃料物質の輸送をしようとする者は、別の法律で定める規制に従わなければならないことを規定している。
 - ✓ 輸送時に適用される法律は、輸送手段により異なる。船舶については船舶安全法と港則法が、航空機については航空法が、その他については原子炉等規制法等が適用される。
- ・ 輸送時の損害賠償は、原子力損害の賠償に関する法律が適用される。

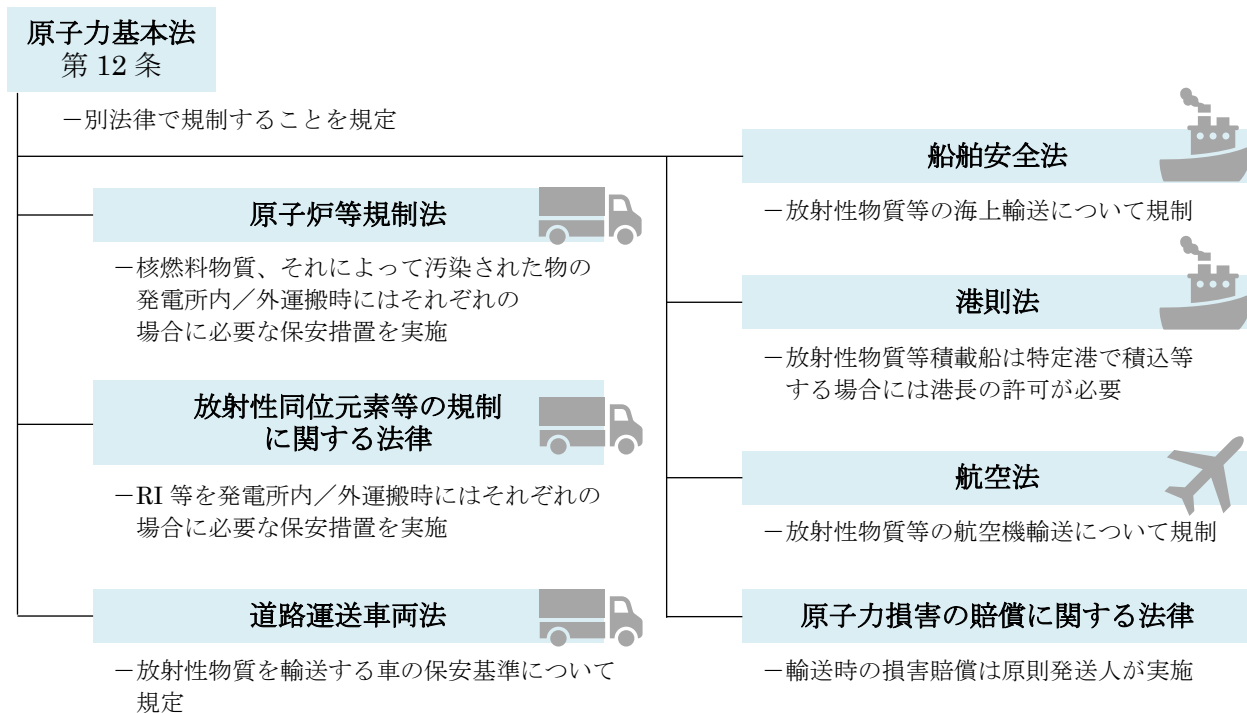


図 29 整理結果概要（輸送関係）

➤ 核セキュリティ関係

- ・ 図 30 に示す 10 件の法律が適用され、原子炉等規制法では、核物質防護規定の策定等を規定している。国民保護法では、武力攻撃への対処を規定している。

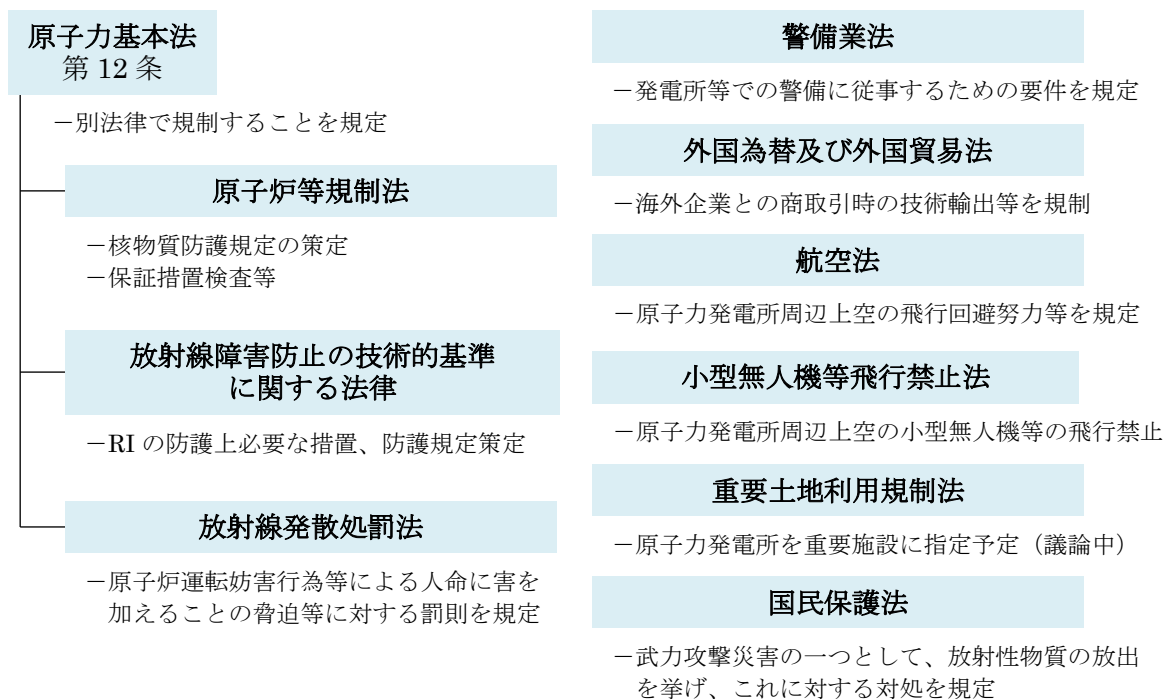


図 30 整理結果概要（核セキュリティ関係）

表 23 運転・保守時に適用される法律

法律名	概要
電源開発促進税法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源開発促進税の納税義務者は一般送配電事業者等（第 3 条）
特別会計に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源開発促進税は一般会計から電源開発促進勘定に繰り入れる（第 91 条） ・ 電源開発促進勘定の歳出の一つは、電源立地地域対策交付金（第 88 条） ・ 電源立地等推進対策交付金等の交付（第 85 条第 4 項）
発電用施設周辺地域整備法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公共用施設整備計画等の実施に要する費用として、電源立地地域対策交付金（原子力発電施設等周辺地域交付金相当部分等の交付金枠）を交付（第 7 条）
原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 知事が申出、総理大臣が原子力発電施設等立地地域の指定（第 2 条） ・ 振興計画に基づく一部事業の経費に対して国が一部負担（第 7 条）
原子力基本法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力利用の大方針を規定
原子炉等規制法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉設置許可の内容について変更しようとする時には許可を得る又は届出る必要がある（第 43 条の 3 の 8） ・ 変更の工事をしようとする場合、工事着手前に認可をうける又は届出る（第 43 条の 3 の 9,10） ・ 発電用原子炉設置者は、新たに設置する施設について使用前事業者検査を実施し、設計・工事の計画に従って実施され、技術基準に適合していることを確認する。また、使用前に原子力規制検査により適合していることについて NRA から確認を受ける必要がある（第 43 条の 3 の 11） ・ 発電用原子炉設置者は、施設を技術基準に適合するように維持する（第 43 条の 3 の 14） ・ 定期的に定期事業者検査を実施する（第 43 条の 3 の 16） ・ 発電用原子炉設置者は、運転計画を作成し、NRA に届出る（第 43 条の 3 の 17） ・ 発電用原子炉設置者は、保全や運転等について、保安のために必要な措置を実施（第 43 条の 3 の 22） ・ 管理区域への立ち入り制限等を規定（第 43 条の 3 の 22） ・ 核燃料物質、これによって汚染された物の発電所内運搬は保安のために必要な措置を実施（第 43 条の 3 の 22） ・ 事業者は核物質防護規定を定める（第 43 条の 3 の 22,27,28） ・ 保安規定を変更する場合、認可を受ける（第 43 条の 3 の 24）

法律名	概要
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 核物質防護規定を変更する場合、認可を受ける（第 43 条の 3 の 27） ・ 定期事業者検査終了後 6 か月以内に安全性向上評価結果を届出る（第 43 条の 3 の 29） ・ 1 回、20 年を超えない範囲で運転期間延長が可能で、NRA から認可を受ける（第 43 条の 3 の 32） ・ 核燃料物質、これによって汚染された物を発電所外において運搬する場合（船舶・航空機除く）に技術上の基準に従って保安のために必要な措置を実施（第 59 条） ・ 発電所から運搬される際、運搬時に責任を有する者等を決定（第 59 条の 2） ・ 定期事業者検査の実施状況等について、原子力規制検査を受ける（第 61 条の 2 の 2） ・ 国際規制物資使用時の許可・届出、保証措置検査等（第 61 条の 3 他）
電気事業法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力発電工作物に係る電気設備に関する技術基準に適合するように維持する（第 39 条） ・ 発電用原子炉設置者は、保安規程を変更した時、主務大臣に届出る（第 42 条） ・ 原子炉等規制法に基づく変更の設計・工事計画の認可・届出や使用前事業者検査の確認を受けた設備は、電気事業法に基づく変更の工事計画認可・届出や使用前検査の確認に適合しているとみなす。それ以外は電気事業法第 47～49 条に適合する必要がある（第 112 条の 3） ・ 原子力発電施設には、定期検査、定期安全管理検査に関する条文は適用しない（第 112 条の 3）
放射性同位元素等の規制に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 放射性同位元素使用には技術基準への適合が必要なこと等を規定（第 6 条） ・ 放射性同位元素の許可届出使用者等は、放射性同位元素・放射性汚染物を発電所内運搬する場合、技術上の基準に従って放射線障害防止のために必要な措置を実施（第 17 条） ・ 放射性同位元素の許可届出使用者等は、放射性同位元素・放射性汚染物を発電所外に運搬する場合、技術上の基準に従って放射線障害防止のために必要な措置を実施（第 18 条） ・ 特定放射性同位元素の許可届出使用者は、施設等の防護上の必要な措置実施、防護規定作成（第 25 条の 3～5）
放射線障害防止の技術的基準に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ NRA に設置された放射線審議会は放射線障害防止の技術基準について、意見を述べる（第 5 条）
大気汚染防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境大臣は放射性物質による大気の汚染の状況を常時監視（第 22 条）

法律名	概要
水質汚濁防止法	・ 環境大臣は放射性物質による公共用水域及び地下水の水質汚濁の状況を常時監視（第 15 条）
労働安全衛生法	<ul style="list-style-type: none"> 放射線による健康被害を防止するために必要な措置を実施する（第 22 条） ✓ 詳細は電離放射線障害防止規則で規定（放射線業務従事者の被ばく限度等） 発電所で放射線業務を行う作業場では作業環境測定を実施（第 65 条） 放射線業務に常時従事する者で管理区域入域者は半年以内に定期的に健康診断を受診（第 66 条）
国家公務員法	・ 国家公務員の実効線量限度等について規定（人事院規則「職員の放射線障害の防止」）
作業環境測定法	・ 発電所で放射線業務を行う作業場で作業環境測定は、作業環境測定士が実施（第 3 条）
道路運送車両法	・ 放射性物質を輸送する車の保安基準を規定、具体的には省令「道路運送車両の保安基準」第 47 条で消化器を備えることが定められている（第 3 章）
船舶安全法	・ 放射性物質等の海上輸送について規制（第 28 条）
港則法	・ 放射性物質等を積載した船舶は、特定港で積込等する場合には港長の許可が必要（第 22 条）
航空法	<ul style="list-style-type: none"> 原子力施設周辺上空の飛行回避努力等を規定（第 80,81 条） 放射性物質、これによって汚染された物を航空機輸送するための条件を規定（第 86 条）
原子力損害の賠償に関する法律	・ 運搬時は原則発送者が損害賠償の責を持つ（第 3 条）
放射線を発散させて人の生命等に危険を生じさせる行為等の処罰に関する法律	・ 原子炉運転妨害行為等により人命等に害を加えることを脅迫し、権利を行使しないことを要求した者への罰則を規定（第 8 条）
警備業法	・ 警備業者は、発電所施設警備や核燃料物質等危険物運搬警備業務に従事できる資格を有する警備員に従事させる必要がある（第 18 条）
外国為替及び外国貿易法	・ 核物質防護の観点から原子炉等の輸出には許可が必要（第 67 条）
重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛	・ 原子力発電所周辺上空での小型無人機等の飛行を禁止し、安全確保のための措置を実施（第 8,10,11 条）

法律名	概要
<p>行の禁止に関する法律</p>	
<p>重要施設周辺及び国境離島等における土地等の利用状況の調査及び利用の規制等に関する法律</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力発電所を重要施設に指定予定（2022/7/25 開催の第 1 回土地等利用状況審議会において、原子力発電所を重要施設とする方針が了承された段階であり、2022/7/31 時点では注視区域の指定は行われていない。）
<p>武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 武力攻撃災害の一つとして放射性物質の放出を挙げ、これに対処する措置について規定 ・ 国は武力攻撃に対する国民保護の措置を実施（第 10 条）

■ 廃止措置時

➤ 交付金関係

- ・ 関係する法律として、設計・建設工事時と同様に、電源三法と原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法が適用される。
- ・ 設計・建設工事時と概ね同じであるが、厳密には、電源立地地域対策交付金の交付金枠が異なる。
- ・ また、使用済燃料貯蔵施設がある場合、継続して原子力発電施設等立地地域となる。

➤ 原子炉等規制法関係

- ・ 関係する法律として、原子炉等規制法と電気事業法が適用される。

➤ 放射線障害防止関係、輸送関係、核セキュリティ関係

- ・ 運転・保守時と同じ法律が適用される。

表 24 廃止措置時に適用される法律

(放射線障害防止関係、輸送関係、核セキュリティ関係除く)

法律名	概要 (太字: 廃止措置時特有箇所)
電源開発促進税法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源開発促進税の納税義務者は一般送配電事業者等 (第 3 条)
特別会計に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電源開発促進税は一般会計から電源開発促進勘定に繰り入れる (第 91 条) ・ 電源開発促進勘定の歳出の一つは、電源立地地域対策交付金 (第 88 条) ・ 電源立地等推進対策交付金等の交付 (第 85 条第 4 項)
発電用施設周辺地域整備法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 公共用施設整備計画等の実施に要する費用として、電源立地地域対策交付金 (原子力発電施設等立地地域長期発展対策交付金相当部分: 使用済燃料貯蔵量に応じて金額が変わる) を交付 (第 7 条) ・ 電源立地等推進対策交付金 (原子力発電施設等立地地域基盤整備支援事業交付金) を交付 (第 7 条)
原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 知事が申出、総理大臣が原子力発電施設等立地地域の指定 (第 2 条) ・ ✓ 使用済燃料貯蔵施設がある場合、継続して地点となる ・ 振興計画に基づく一部事業の経費に対して国が一部負担 (第 7 条)
原子炉等規制法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃止措置を講じる時には廃止措置計画の認可を受け、廃止措置終了時には NRA の確認を受ける (第 43 条の 3 の 34) ・ 廃止措置計画認可の日までに廃止措置に関する事項を記載し

法律名	概要（太字：廃止措置時特有箇所）
	<p>た保安規定の認可を受ける（第 43 条の 3 の 24）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 廃止措置計画認可を受けた場合、性能維持施設は引き続き技術上の基準に適合するように維持する（第 43 条の 3 の 14） ・ 性能維持施設に対し、定期事業者検査を実施する（第 43 条の 3 の 16） ・ 事業者が実施する保安のために必要な措置として、性能維持施設に係る施設管理方針を策定し、施設管理目標、これを達成するための施設管理実施計画を策定し、施設管理を実施（第 43 条の 3 の 22） ・ クリアランス制度を適用する場合、NRA の確認を受けることができる（第 61 条の 2） ・ 定期事業者検査の実施状況等について、原子力規制検査を受ける（第 61 条の 2 の 2）
電気事業法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保安規程を変更した時、主務大臣に届出る（第 42 条） ・ 原子力発電施設には、定期検査、定期安全管理検査に関する条文は適用しない（第 112 条の 3）

■ 災害時

➢ 放射線障害防止

- ・ 原子力基本法、放射性同位元素等の規制に関する規制、放射線障害防止の技術的基準に関する法律、原子炉等規制法、原子力災害対策特別措置法、環境基本法、大気汚染防止法、水質汚濁防止法、労働安全衛生法、国家公務員法及び作業環境測定法が適用される。
- ・ 災害時特有のものとして、図 31 に赤色の矢印で示すものが挙げられ、例えば、労働安全衛生法では、緊急作業時の被ばく限度に関する規定が挙げられる。

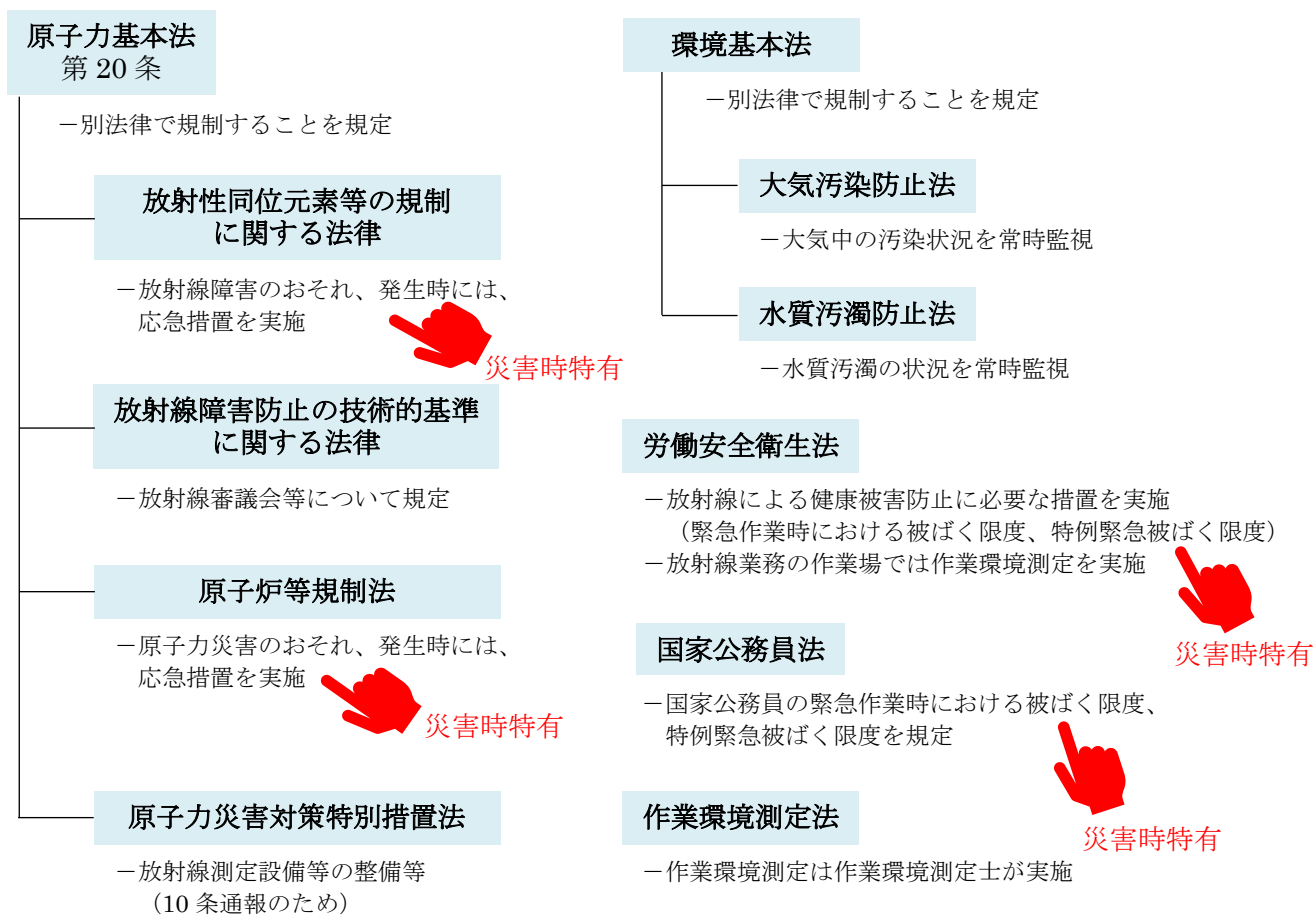


図 31 整理結果概要(放射線障害防止)

➤ 損害賠償

- ・ 原子力損害の賠償に関する法律、原子力損害賠償補償契約に関する法律（原賠法）、原子力損害の補完的な補償に関する条約の実施に伴う原子力損害賠償資金の補助等に関する法律、原子力損害賠償・廃炉等支援機構法（NDF 法）が適用される。

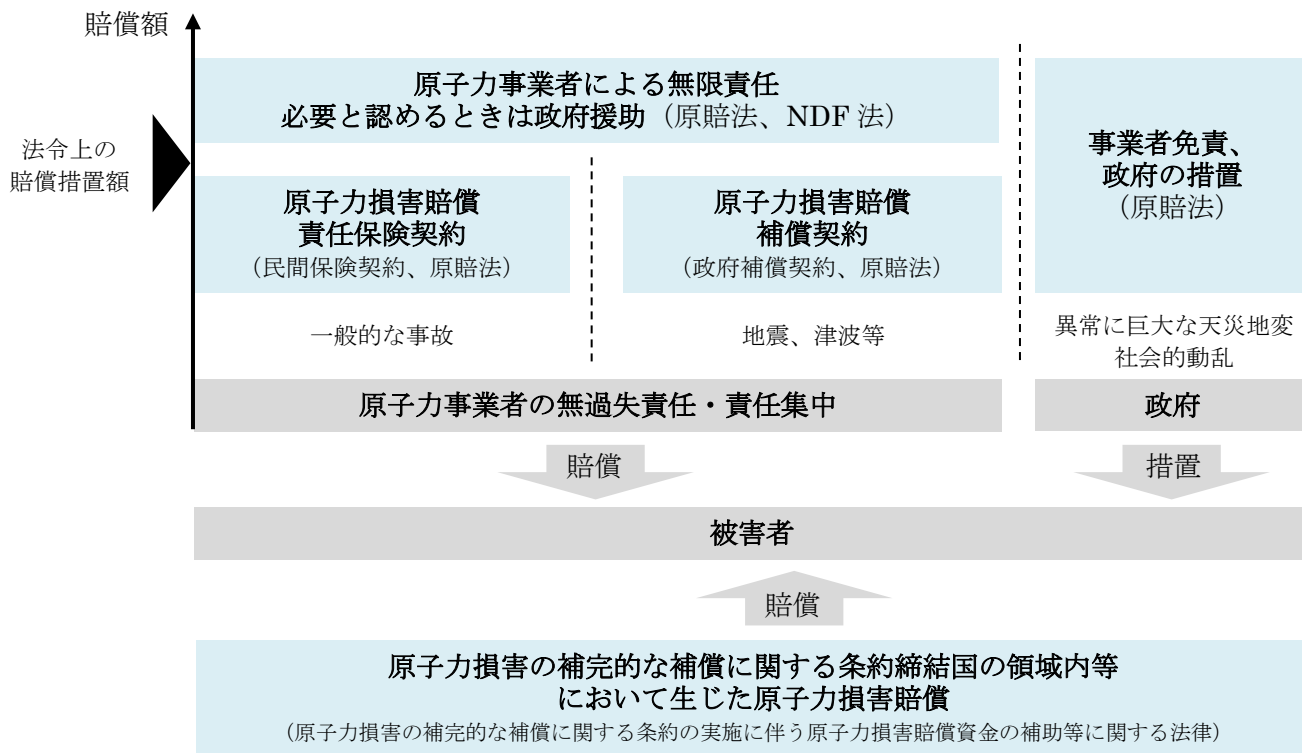


図 32 整理結果概要（損害賠償）⁴³

➤ 災害対応・平時

- ・ 原子力基本法、原子炉等規制法、災害対策基本法、原子力災害対策特別措置法、大規模地震対策特別措置法、消防団員等公務災害補償等責任共済等に関する法律（公務災害補償法）が適用される。
- ・ 災害対策基本法、原子力災害対策特別措置法では、国・地方・事業者がそれぞれ防災計画を作成し、原子力防災訓練を実施することを規定している。
- ・ 大規模地震対策特別措置法では、図 33 の左側に示す地震防災基本計画の作成等について規定している（本法が適用される地域の場合に限る）。

⁴³ <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/songai/sirvo01/sirvo1-6.pdf> を参考に作成。

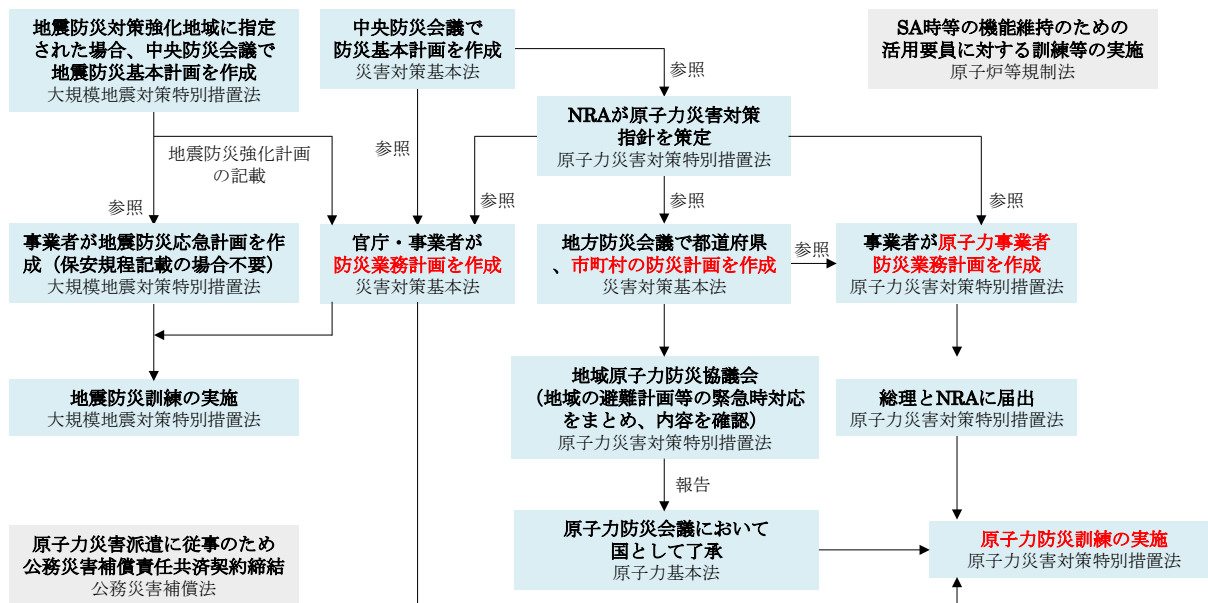


図 33 整理結果概要（災害対応・平時）

➤ 災害対応・緊急時

- ・ 原子力災害対策特別措置法、国有財産法、自衛隊法、消防組織法が適用される。
- ・ 原子力災害対策特別措置法の主な規定内容を図 34 に示す（災害対策基本法の規定の図示は省略）。

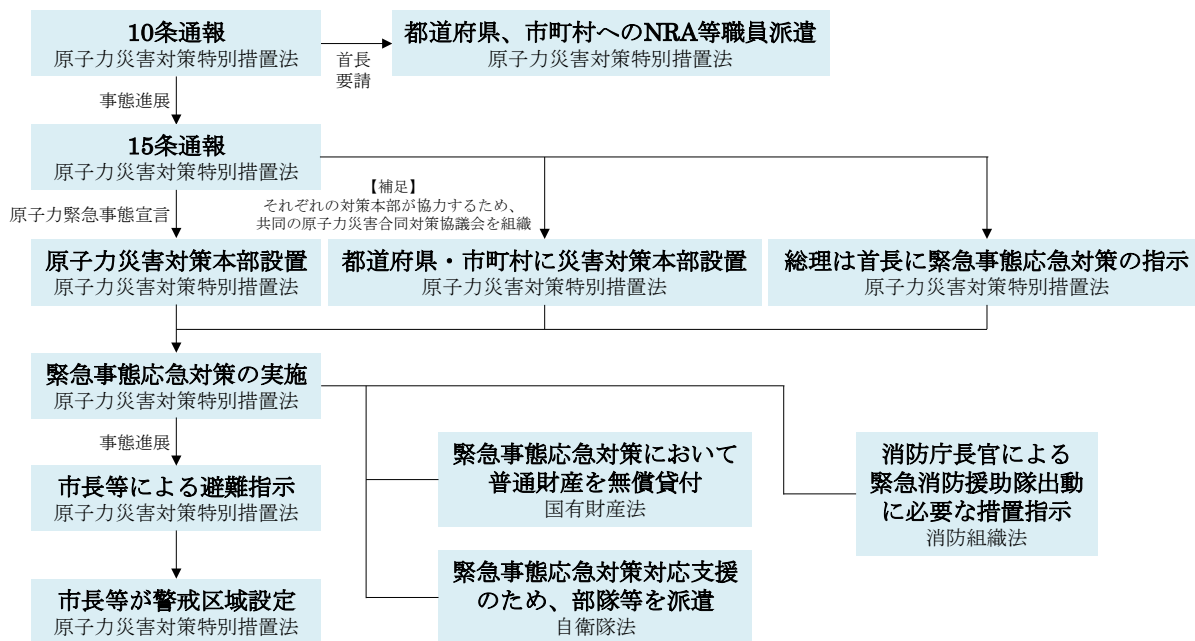


図 34 整理結果概要（災害対応・緊急時）

表 25 災害時に適用される法律

法律名	概要
原子力損害の賠償に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力事業者の無過失責任・責任集中・無限責任、ただし、損害が異常に巨大な天災地変又は社会的動乱によって生じたものである時は事業者免責とする（第 3 条） ・ 原子力事業者は原子力損害賠償責任保険契約と原子力損害賠償補償契約の締結／供託（第 6 条） ・ 原子力損害賠償責任保険契約は一定の事由による原子力損害を対象（第 8 条） ・ 損害賠償額が損害措置額を超えた場合には必要に応じて原子力事業者に必要な援助を実施（第 16 条） ・ 事業者免責時には、被災者の救助等のために政府は必要な措置を実施（第 17 条）
原子力損害賠償補償契約に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力損害賠償補償契約の対象は、地震等による原子力災害等（第 3 条）
原子力損害の補完的な補償に関する条約の実施に伴う原子力損害賠償資金の補助等に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特定の事由（原子力損害の補完的な補償に関する条約締結国の領域内において生じた原子力損害等）に関する原子力損害賠償資金の補助（第 3 条）
原子力損害賠償・廃炉等支援機構法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力事業者の要賠償額が賠償措置額を超えると見込まれる場合、賠償の迅速かつ適切な実施等のため、NDF に資金援助を申し込むことができる（第 41 条）
原子力基本法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力防災会議の設置（第 3 条の 3） ・ 放射線障害防止のため、放射性物質等への規制は別法律で定めることを規定（第 20 条）
原子炉等規制法	<ul style="list-style-type: none"> ・ SA 時に必要な機能を維持するために活動する要員に対する定期的な訓練等の実施（第 43 条の 3 の 22） ・ 10 条通報のために必要な放射線測定設備等を設置・維持する（第 64 条）
放射性同位元素等の規制に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ 放射性同位元素の許可届出使用者等は、放射性同位元素等に関し、放射線障害発生のおそれ又は放射線障害事故等が生じた場合に応急の措置を実施する（第 33 条）
放射線障害防止の技術的基準に関する法律	<ul style="list-style-type: none"> ・ NRA に設置された放射線審議会は放射線障害防止の技術基準について、意見を述べる（第 5 条）

法律名	概要
災害対策基本法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 中央防災会議で防災基本計画を作成し、都道府県・市町村の地方防災会議で地域防災計画を作成（第 11～22 条） ・ 災害発生時に知事・市町村長は都道府県／市町村災害対策本部を設置（第 23 条） ・ 特定災害対策本部、非常災害対策本部、緊急災害対策本部の設置（原災法において、原子力緊急事態宣言中には適用しないことを規定）（第 23 条の 3～第 28 条の 6）
原子力災害対策特別措置法	<ul style="list-style-type: none"> ・ NRA は原子力災害対策指針、事業者は原子力事業者防災業務計画策定（第 6 条の 2） ・ 全非常用交流母線からの給電停止が 30 分以上継続等の場合、原子力防災管理者は総理大臣等に通報（第 10 条） ・ 10 条通報後、さらに事態が深刻化した場合（非常用炉心冷却装置注水不能等）、総理大臣は原子力緊急事態宣言し、知事等に対し緊急事態応急対策に関する事項を指示、原子力災害対策本部を設置（第 15 条） ・ 原子力事業者は災害発生のおそれ又は災害発生した場合、発生時に応急の措置を実施する（第 25 条）
大規模地震対策特別措置法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 事業者は地震防災応急計画作成、但し保安規程に記載がある場合は不要（第 7,8 条） ・ 計画に基づく地震防災応急対策の実施（第 21 条）
消防組織法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消防庁長官は、放射性物質の異常放出時等に、災害発生都道府県以外の知事等に対し、緊急消防援助隊の出動に必要な措置をとることを指示できる（第 44 条）
自衛隊法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急事態応急対策対応支援のため、部隊等を派遣できる（第 83 条の 3）
国有財産法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急事態応急対策において、普通財産を地方公共団体に無償貸付できる（第 22 条）
大気汚染防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境大臣は放射性物質による大気の汚染の状況を常時監視（第 22 条）
水質汚濁防止法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境大臣は放射性物質による公共用水域及び地下水の水質汚濁の状況を常時監視（第 15 条）
労働安全衛生法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 放射線による健康被害を防止するために必要な措置を実施する（第 22 条） ✓ 詳細は電離放射線障害防止規則で規定（緊急作業時における被ばく限度、特例緊急被ばく限度等） ・ 発電所で放射線業務を行う作業場では作業環境測定を実施（第 65 条） ・ 放射線業務に常時従事する労働者で管理区域に入るものは 6 か月以内に定期的に健康診断を実施（第 66 条）
国家公務員法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国家公務員の緊急作業時の被ばく限度、特例緊急被ばく限度等を規定（規則「職員の放射線障害の防止」）
作業環境測定法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発電所で放射線業務を行う作業場で作業環境測定を実施する時は、作業環境測定士が実施（第 3 条）

3.4. 浮体式原子力発電所への適用が考えられる法律の検討

浮体式原子力発電所に適用される法律が明確になっていない箇所もあるため、本検討では適用される法律を仮定し、検討した。具体的には、浮体式原子力発電所の設備を「原子炉等規制法の原子力関係の法律だけで規制する場合」と「原子力関係と船舶安全法等の海事関係の法律で規制する場合」が考えられる。至近の類似事例である浮体式洋上風力発電の設備は、電気事業法と船舶安全法等の海事関係で規制されていることから、浮体式原子力発電所でも同様に原子炉等規制法と船舶安全法等で規制されると仮定することとした。

この仮定を基に浮体式原子力発電所への適用が考えられる法律を検討した結果、表 26、表 27 に示す 49 件の法律が挙げられた（浮体式洋上風力発電の調査結果において、電波法で無線局開設時に免許申請が必要なことが規制されていることが示されているが、本検討では、高圧ガス保安法等と同様に一般産業施設でも同じ規制内容が適用される法律であることから対象外としている）。その内、表中にグレーハッチングで示す法律 14 件は、相対的に浮体式原子力発電所との関係性が薄いと判断した。例えば、表 26 の No.25 の原子力発電における使用済燃料の再処理等の実施に関する法律は、浮体式原子力発電所で発生した使用済燃料の再処理に関する法律であり、浮体式原子力発電所の運営に直接的な関係があるわけではないため、関係性が薄いと判断している。

表 26 浮体式原子力発電所に適用されると考えられる法律（原子力関係）

No.	法律名	概要と理由
基本方針		
1	原子力基本法	・ 原子力の平和利用について規定しており、原子力利用する浮体式原子力発電は、本法に関係がある
原子力の使用		
2	原子炉等規制法	・ 発電用原子炉の設置、運転等について規制し、浮体式原子力発電の設置、運転等についても規制されると考えられる。
3	電気事業法	・ 保安規程を定めること等を規定しており、浮体式原子力発電の保安規程を定めることを規制されると考えられる。
4	放射性同位元素等の規制に関する法律	・ 放射性同位元素の使用等について規制しており、浮体式原子力発電での使用について規制されると考えられる。
立地振興		
5	電源開発促進税法	・ 原子力発電施設等の設置促進を図るための税金について規定しており、原子力発電施設である浮体式原子力発電に関連する。
6	特別会計に関する法律	・ 電源立地等推進対策交付金等の交付を規定しており、原子力発電施設である浮体式原子力発電に関連する。
7	発電用施設周辺地域整備法	・ 電源立地地域対策交付金の交付を規定しており、原子力発電施設である浮体式原子力発電に関連する。
8	原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法	・ 原子力発電施設等立地地域の指定、振興計画に基づく経費について国が一部負担することを規定しており、原子力発電施設である浮体式原子力発電に関連する。
環境の保全（原子力関係）		
9	水質汚濁防止法	・ 放射性物質による公共用水域の水質汚濁の状況を都道府県知事が常時監視することが規定されており、浮体式原子力発電の新たな設置を考慮し、水質汚濁の状況を常時監視する

No.	法律名	概要と理由
		必要がある。
10	大気汚染防止法	・ 放射性物質による大気汚染の状況を都道府県知事が常時監視することが規定されており、浮体式原子力発電の新たな設置を考慮し、大気汚染の状況を常時監視する必要がある。
11	作業環境測定法	・ 作業環境測定の実施が規定されており、浮体式原子力発電内での作業環境測定についても適用されると考えられる。
12	環境影響評価法	・ 環境影響評価の対象事業として、原子力発電が対象となっている。
災害対応		
13	災害対策基本法	・ 防災基本計画、地域防災計画の作成等が規定されており、浮体式原子力発電が所在する海域を所轄する都道府県においては地域防災計画の作成が必要となると考えられる。
14	原子力災害対策特別措置法	・ 原子力災害対策指針や原子力事業者防災業務計画の作成等が規定されており、浮体式原子力発電にも適用されると考えられる。
15	大規模地震対策特別措置法	・ 地震防災基本計画や地震防災応急計画の作成が規定されており、浮体式原子力発電にも適用されると考えられる。
核セキュリティ（原子炉等規制法、RI法は既に記載済みのため、省略）		
16	航空法	・ 原子力施設周辺上空の飛行回避努力を規定しており、浮体式原子力発電にも適用される。
17	重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律	・ 原子力発電所周辺上空での小型無人機等の飛行を禁止しており、浮体式原子力発電にも適用される。
18	武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律	・ 武力攻撃による放射性物質放出に対する処置等を規定しており、浮体式原子力発電にも適用される。
損害賠償		
19	原子力損害の賠償に関する法律	・ 原子力災害を与えた時、原子力事業者が損害を賠償する責任があること等を規定しており、浮体式原子力発電にも適用される。

No.	法律名	概要と理由
20	原子力損害賠償補償契約に関する法律	・ 原子力損害賠償補償契約について規定しており、浮体式原子力発電にも適用される。
21	原子力損害の補完的な補償に関する条約の実施に伴う原子力損害賠償資金の補助等に関する法律	・ 原子力損害の補完的な補償に関する条約の国内法であり、浮体式原子力発電にも適用される。
22	原子力損害賠償・廃炉等支援機構法	・ 原子力事業者の要賠償額が賠償措置額を超えると見込まれる場合、NDF に資金援助を申し込むことができることを規定されており、浮体式原子力発電に関する賠償においても適用される。
その他		
23	租税特別措置法	・ 原子力発電施設解体準備金の積み立てについて規定されており、浮体式原子力発電にも適用される。
24	国家公務員法	・ 国家公務員の実効線量等について規定されており、浮体式原子力発電にも適用される。
25	原子力発電における使用済燃料の再処理等の実施に関する法律	・ 各年度に使用済燃料再処理機構に拠出金を納付すること等を規定されており、浮体式原子力発電にも適用される。
26	外国為替及び外国貿易法	・ 原子力関連技術の輸出入について規定されており、浮体式原子力発電に関する技術の輸出入についても適用される。
27	道路運送車両法	・ 放射性物質を輸送する車の保安基準を規定されており、浮体式原子力発電の使用済燃料等の輸送において、車を使用する場合には適用される。
28	警備業法	・ 原子力関連施設の警備員の検定等について規定されており、浮体式原子力発電の警備員の検定等にも適用される。
29	津波対策の推進に関する法律	・ 原子力発電所の津波対策に努めることが規定されており、浮体式原子力発電に対しても適用される。
30	消防組織法	・ 放射性物質の異常放出時等に消防庁長官が緊急消防援助隊の出動に必要な措置を指示できることが規定されており、浮体式原子力発電に対しても適用される。

No.	法律名	概要と理由
31	自衛隊法	・ 緊急事態応急対策対応支援のため、部隊等を派遣できることが規定されており、浮体式原子力発電への支援に関連した部隊等の派遣も本法に基づいて実施されることが考えられる。
32	国有財産法	・ 緊急事態応急対策において、普通財産を地方公共団体に無償貸付ができることが規定されており、浮体式原子力発電への対策においても適用されることが考えられる。

グレーハッチング：相対的に浮体式原子力発電との関係性が薄い法律を示す。

表 27 浮体式原子力発電所に適用されると考えられる法律（海事関係）

No.	法律名	概要と理由
基本方針		
1	海洋基本法	・ 海洋開発や利用等の基本理念等について規定しており、海洋利用する浮体式原子力発電は、本法に関係がある。
船舶の安全		
2	船舶安全法	・ 船体等の船舶所要施設の施設基準等を規定しており、浮体式原子力発電の浮体構造物等に適用されると考えられる。
立地振興		
3	船舶法	・ 日本船舶としての国籍要件・船籍港等を規定しており、DPS を有することから船舶法の対象となる可能性がある。
4	船舶のトン数測度に関する法律	・ トン数測度、国際トン数証書交付に関する必要事項を規定しており、浮体式原子力発電のトン数測度等では準ずる必要がある。
船員		
5	船員法	・ 船員の労働条件等を規定しており、浮体式原子力発電内の船員に対して適用されると考えられる。
6	船舶職員及び小型船舶操縦者法	・ 船舶職員として船舶に乗り組ませるべき者の資格を規定しており、浮体式原子力発電の船舶職員に対しても適用されると考えられる。
7	船員災害防止活動の促進に関する法律	・ 安全衛生管理体制の整備等について規定しており、浮体式原子力発電の体制に対しても適用されると考えられる。
海上交通安全		
8	海上衝突予防法	・ 操縦性能制限船（ケーブル船、引き船・引かれ船）の灯火、形象物の表示を規定しており、浮体式原子力発電のメンテナンスに向かう船舶等に対しても適用される。
9	海上交通安全法	・ 東京湾・伊勢湾・瀬戸内海での航法や曳航時の通報等を規定しており、浮体式原子力発電

No.	法律名	概要と理由
		の建造後の移動等の際に当該海域を航行する場合、適用される。
10	港則法	・ 放射性物質を搭載した船舶について、特定港での入港や作業等について禁止や港長の許可を得る必要があることを規定しており、浮体式原子力発電が特定港に入港する場合には適用される。
11	航路標識法	・ 航路標識の設置等を規定しており、浮体式原子力発電にも施設灯の設置が必要となることから、本法が適用される。
船舶のリサイクル		
12	船舶の再資源化解体の適正な実施に関する法律	・ 特別船舶の再資源化解体事業者の許可制、解体計画の承認等について規定しており、浮体式原子力発電の解体計画の承認等が必要になると考えられる。
環境の保全（海洋関係）		
13	海洋汚染等及び海上災害の防止に関する法律	・ 海洋投棄を原則とすること等を規制しており、浮体式原子力発電についても廃棄物の投棄等について規制される。 ・ なお、放射性物質関連については適用除外とされている。
その他		
14	国有財産法	・ 一般海域の占用には都道府県知事の許可が必要であり、浮体式原子力発電の設置に伴う占用についても同法に基づき都道府県知事の許可が必要となる。
15	船員職業安定法	・ 船員職業紹介等について規定されており、浮体式原子力発電に乗り込む船員にも関係がある。
16	海難審判法	・ 海難審判について規定されており、浮体式原子力発電に関連する海難審判にも関係がある。
17	水先法	・ 水先人の資格等について規定されており、浮体式原子力発電に水先人が乗り込む場合も考えられる。

グレーハッチング：相対的に浮体式原子力発電との関係性が薄い法律を示す。

3.5. 実現に必要な法整備の検討（実現するための課題整理）

浮体式原子力発電所に適用される法律の一部について、浮体式原子力発電所を当てはめた時の改正要否を確認する観点から、課題の有無（改正要否）を確認した。具体的には、原子炉等規制法の全条文と船舶安全法の一部条文を確認した。その結果、原子炉等規制法については、現状の原子炉システムを導入する設計であるため、改正の必要がないことを確認した。また、船舶安全法の一部条文（第1条～第10条の3）についても、浮体式原子力発電所のシステムを導入することによる改正の必要がない（ただし、本法に関する告示（船舶安全法施行規則第一条第四項の特殊な構造又は設備を有する船舶を定める告示）で定められている特殊船に浮体式原子力発電所を追加すること等が必要である）ことを確認した（表 28）。

プロジェクトメンバーの知見から、改正要否以外（他の法律との整合性等）の観点も含めた法令上の課題として、下記に示す5点を挙げた。

- ・ 今回の検討では、浮体式洋上風力発電と同様に原子力関係と船舶安全法等の海事関係の法律で規制することを仮定しているが、浮体式原子力発電所の適用法を明確にすることが必要である。仮に、今回の検討と同様の体系とする場合には、船舶安全法において、浮体式原子力発電所を浮体式洋上風力発電と同様にその構造等の特殊性から「特殊船」に位置付ける必要があると考えられる。
- ・ 「船員法」第7条（指揮命令権）では、「船長の職務及び権限として、船内にある者に対して自己の職務を行うのに必要な命令をすることができる。」とされている。一方、「原子力規制等に関する規則」第4条（原子力規制検査を行う職員の権限）では、「発電所に滞在する原子力規制検査を行う職員に発電所内への立入りや書類や機器の検査等を行うことができる」とされている。そのため、船長と原子力規制検査を行う職員の権限が相反する状況となっている。
ただし、「船員法」における「船員」とは、日本船舶又は日本船舶以外の国土交通省令で定める船舶に乗り込む船長及び海員並びに予備船員のことであり、運用する浮体式原子力発電所が日本船舶又は日本船舶以外の国土交通省令で定める船舶にあたるか否かにより権限相反の有無が生じる。
- ・ 洋上風力発電のように法整備された場合を除き、浮体式原子力発電所の運用にあたっては、一般海域を占有する必要がある。一般海域の占有は、「国有財産法」に基づき、許可を得る（本法に基づき、大部分の都道府県で条例が整備されており、都道府県知事が許可する）必要があるが⁴⁴、対象として浮体式原子力発電所が想定されておらず、仮に条例に基づく許可を想定しても判断基準の整備が必要と考えられる。原子炉等規制法に代表されるように多くの法令との調整が必要となることが考えられ、国有財産としての一般海域の占有を認めるには、国としての統ルールを整備することも一案と考えられる。また、占有期間は浮体式原子力発電所の運転期間に比べて短い（都道府県により異なるが、3～5年程度であり、浮体式原子力発電所の運転期間40年以上と比べると短い）ことが課題として挙げられる。

⁴⁴ 国有財産法の許可が必要であるものの国レベルで一般海域の管理に特化した法制度はない。自治体の条例（例：一般海域の利用に関する条例）が定められている。

また、浮体式原子力発電所の場合には、核セキュリティの観点から、周辺海域を含めて侵入を禁止することも考えられるが（MIT では、大型船の侵入を禁止するエリア等を周辺海域に設定することを提案）、占用によりこの禁止する行為を実施できるか、法解釈の確認が必要である（海洋法に関する国際連合条約では無害通航を認めていることから、侵入を禁止する措置は難しいと考えられる）。難しい場合には、侵入禁止の代替手段を準備する必要があり、例えば、船体衝突に対しては浮体式原子力発電所の船体構造を耐衝突構造とすることが挙げられる。

- ・ シップリサイクル条約の国内担保法である「船舶の再資源化解体の適正な実施に関する法律」では、解体前に浮体式原子力発電所の解体計画について承認を得ることを規定しているが、「原子炉等規制法」では、廃止措置前（＝解体前）に廃止措置計画認可を受けることを規定している。そのため、二重規制とならないよう、取り合いを明確にすること等が必要である。
- ・ 「航路標識法」では、海上構築物への航路標識（施設灯）の設置を要求している。例えば、風力発電施設や石油掘削施設にも固有の航路標識（施設灯）が規定されている⁴⁵。そのため、同様に、浮体式原子力発電所固有の航路標識（施設灯）について整備する必要がある。

表 28 船舶安全法の改正の要否の確認結果

条	見出し	規制内容	改正の要否*
船舶ノ施設			
第1条	日本船舶航行供用の要件	・ 船舶の堪航性と人命の安全を保持するのに必要な施設を施すことで人命及び財産の安全を確保することとすることを規定	否
第2条	船舶の所要施設	・ 船舶は、船体や機関等について、省令の定めるところにより施設することを規定	否
第3条	満載喫水線の標示	・ 満載喫水線は省令の定めるところにより、標示することを規定	否 (対象船舶に該当しない)
第4条	無線電信又は無線電話施設の強制	・ 省令の定めるところにより、航行水域に応じ、電波法による無線電信・電話で陸上との間において相互に無線通信に使用できるものを施設することを規定	否
第5条	定期検査・中間検査・臨時検査・臨時航行検査・特別検査	・ 第2,3,4条に係る事項について検査（定期検査、中間検査、臨時検査、臨時航行検査、特別検査）を受けることを規定	否
第6条	製造検査等	・ 第2,3,4条に係る事項について検査（製造検査、予備	否

⁴⁵ 海上保安庁「航路標識の設置及び管理に関するガイドライン（令和3年1月1日改訂）」(https://www.kaiho.mlit.go.jp/ope/ope/apply/20210101_guideline.pdf)

条	見出し	規制内容	改正の要否*
		検査) を受けることを規定	
第 6 条の 2	製造事業場の認定等	・ 認定された事業場で製造工事・改造修理工事が行われている場合、第 2 条の事項に関する第 5,6 条の検査（特別検査除く）が省略できることを規定	否
第 6 条の 3	事業整備場の認定等	・ 第 2 条の事項について、船舶整備の規程を定め、事業者が認定を受けた場合に、その事業者が船舶を整備し、整備が規程に適合することを確認した時には、30 日以内の定期検査・中間検査は省略できることを規定	否
第 6 条の 4	検査の遠隔化	・ 船舶検査に関する遠隔支援業務について規定（事業所の認定等）	否
第 6 条の 5	型式認証及び検定等	・ 第 2 条の事項について、型式認証を受けた製造者が、当該船舶を製造し、検定に合格した場合には、検定後の最初に実施する第 5,6 条の検査（特別検査除く）を省略できること等を規定	否
第 6 条の 6	小型船舶の検査省略	・ 登録検査確認機関が小型船舶が省令に定める検査を行い、適合していることを確認した場合には、30 日以内に行う中間検査を省略できることを規定	否 (対象船舶に該当しない)
第 7 条	検査執行官庁	・ 船舶の検査を執行する官庁について規定	否
第 7 条の 2	小型船舶の検査	・ 小型船舶の検査事務は、小型船舶検査機構が行うことを規定	否 (対象船舶に該当しない)
第 8 条	船級協会の検査及び船級登録の効果	・ 日本の船級協会の検査を受け、船級登録をした非旅客船は、船級を有する間は第 2 条の事項と第 3,4 条に関する管海官庁の検査（特別検査除く）に合格としたと見做すことを規定	否
第 9 条	証書等の効力	・ 定期検査に合格した船舶は航行区域等を定めた船舶検査証書が管海官庁から交付されることを規定	否
第 10 条	船舶検査証書の有効期間	・ 船舶検査証書の有効期間、その延長等について規定	否
第 10 条の 2	船舶検査手帳	・ 船舶検査手帳の交付について規定	否
第 10 条の 3	委任規定	・ 船舶検査証書等の掲示等について規定	否

※ 要：改正の必要がある、否：改正の必要は無い

4. まとめ

本検討では、浮体式原子力発電所の実現に必要な法整備について検討した。はじめに、浮体式原子力発電所に対する法整備の現状を整理するとともに、浮体式洋上風力発電、原子力船「むつ」、石油掘削リグの適用法令の調査と陸上の原子力発電所の法体系を整理した。この結果を基に、浮体式原子力発電所への適用が考えられる法律を検討し、一部の法律について改正要否を確認するとともに、改正要否以外の観点も含め、法令上の課題を検討した。以下にその結果の概要と今後の検討課題を示す。

■ 結果の概要

- ▶ 浮体式洋上風力発電等の適用法令の調査（図 17 の①～③に該当する内容）
 - ・ 浮体式原子力発電所に対する法整備の現状を整理した。
 - ・ また、浮体式洋上風力発電、原子力船「むつ」、石油掘削リグの適用法令を調査した。
 - ・ 陸上の原子力発電所に適用される法律を整理した。

- ▶ 浮体式原子力発電所への適用が考えられる法律の検討（図 17 の④に該当する内容）
 - ・ 浮体式原子力発電所への適用が考えられる法律として、原子炉等規制法、船舶安全法、船員法等が適用されるとした。

- ▶ 実現に必要な法整備の検討（図 17 の⑤に該当する内容）
 - ・ 浮体式原子力発電所を当てはめた時の改正要否を確認する観点から、原子炉等規制法の全条文と船舶安全法の一部条文を確認した結果、改正の必要がないことを確認した。
 - ・ プロジェクトメンバーの知見から、改正要否以外（他の法律との整合性等）の観点も含めた法令上の課題として、以下の 5 点が挙げられた。
 - ✓ 浮体式原子力発電所の適用法を明確にすること（考えられる体系①原子炉等規制法等の原子力関係の法律のみで規制、考えられる体系②原子力関係の法律と船舶安全法等の海事関係の法律を組み合わせる規制）。
 - ✓ 船員法における船長の権限と原子炉等規制法における原子力規制検査を行う職員の権限が相反する状況になっていること。
 - ✓ 浮体式原子力発電所の設置を考慮した一般海域の占有に関するルールを整備すること。
 - ✓ シップリサイクル条約に基づく解体計画の承認と原子炉等規制法に基づく廃止措置計画認可の位置付けの明確にすること。
 - ✓ 航路標識法に要求されている航路標識（施設灯）について、浮体式原子力発電所固有の航路標識を検討すること。

■ 今後の検討課題

- 浮体式洋上風力発電等の適用法令の調査（図 17 の①～③に該当する内容）
 - ・ 特になし。

- 浮体式原子力発電所への適用が考えられる法律の検討（図 17 の④に該当する内容）
 - ・ 特になし。

- 実現に必要な法整備の検討（図 17 の⑤に該当する内容）
 - ・ 今回の検討では、改正要否の観点から、一部の法律を確認したのみであるため、その他の法律についても確認する必要がある。
 - ・ 今回は既存法の中から適用される法律を抽出して改正要否を確認しているが、今後、図 35 に示す様に法整備すべき事項を検討し、既存法で整備済なのか、既存法の改正や新規制定が必要なのかを確認する必要がある。

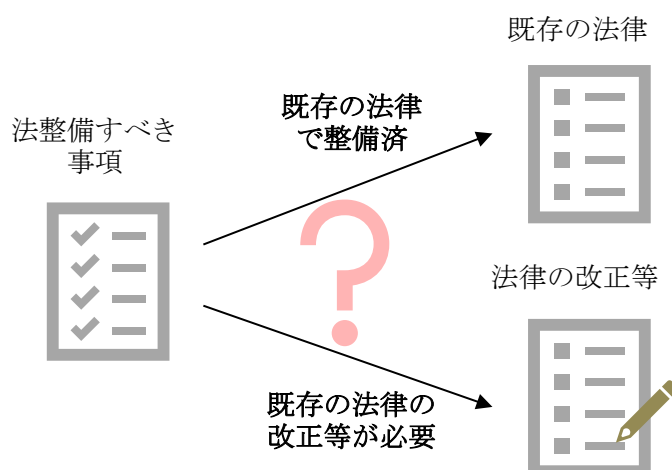


図 35 今後実施が必要な検討方法

以 上

脚注 36 の補足

- ① 福島洋上風力コンソーシアム「浮体式洋上風力発電導入マニュアル」
- ② 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会「洋上風力産業ビジョン(第1次)概要」
- ③ 泉水「洋上風力発電の現状と課題ーインフラ整備等を中心とした状況ー」
- ④ 洋上風力発電施設検討委員会「洋上風力発電設備に関する技術基準の統一的解説」
- ⑤ 洋上風力発電施設検討委員会「洋上風力発電設備の維持管理に関する統一的解説（令和2年3月版）」
- ⑥ 洋上風力発電施設検討委員会「洋上風力発電設備の施工に関する審査の指針（令和2年3月版）」
- ⑦ 日本海事協会「洋上風車に対する法規制への対応及び浮体式洋上風力発電施設に関するガイドライン」
- ⑧ NEDO「洋上風力法令9 着床式洋上風力発電導入ガイドブック（最終版）」
- ⑨ NEDO「着床式洋上風力発電の環境影響評価手法に関する基礎資料（最終版）」
- ⑩ 資源エネルギー庁「一般海域における利用調整に関するガイド」
- ⑪ NEDO「浮体式洋上風力発電技術ガイドブック」

付録 9 運用体制

1. はじめに

浮体式原子力発電所は、洋上に浮かぶ特性から陸上の原子力発電所に比べてスペースが限られるため、洋上に配置する乗員数などについて、運用面での工夫が必要となる。このため、浮体式原子力発電所における、組織、業務内容、おおよその必要乗員数を検討した。

2. 検討方法

検討方法を図 36 に示す。はじめに、浮体式原子力発電所の運用方法の検討の参考情報を収集するため、陸上の原子力発電所と海洋構造物関係における運用方法を調査した（図の①、②）。具体的には、東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所、原子力船「むつ」及び海外の浮体式海洋石油・ガス生産貯蔵積出設備（FPSO）の組織、業務内容、人数を調査した。次に、浮体式原子力発電所における業務内容を検討し、おおよその必要要員数について検討した（図の③、④）。

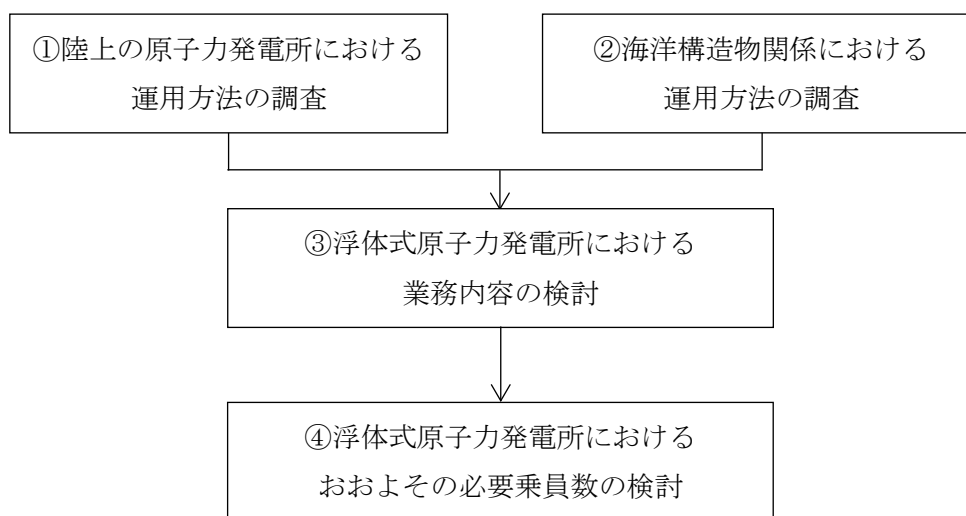


図 36 検討方法

検討の前提条件として、以下を設定し、検討している。そのため、実運用を考慮すると 1 発電所に複数基（例えば、ツインユニット化）、出力の大きさ、補助・保管設備等の陸上配置、保全業務の陸上部隊の活用等が考えられるため、浮体式原子力発電所の産業競争力（例えば、コスト面など）はより高まるものと考えられる。

- ・ **プラントの配置**：30km 沖合（領海内）に 1 基設置されているとする。
- ・ **保全活動**：通常運転時に待機可能な設備はオンラインメンテナンス（運転中保守）による保守を原則とする。
- ・ **入渠**：大規模な保守作業や船体の補修等の必要な場合を除き、入渠しないこととする。

- ・ **設備の配置**：浮体式原子力発電所に関する設備は、図 37 に示すように洋上と陸上に配置されているとする。陸上の施設（ヘリポート、人員輸送等に使用する船の母港、オフサイトセンター、予備品倉庫、陸上本部、開閉所、修繕ドック）と海底ケーブル（送電線）については、検討の対象外とし、浮体式原子力発電所内のみを検討の対象とする。

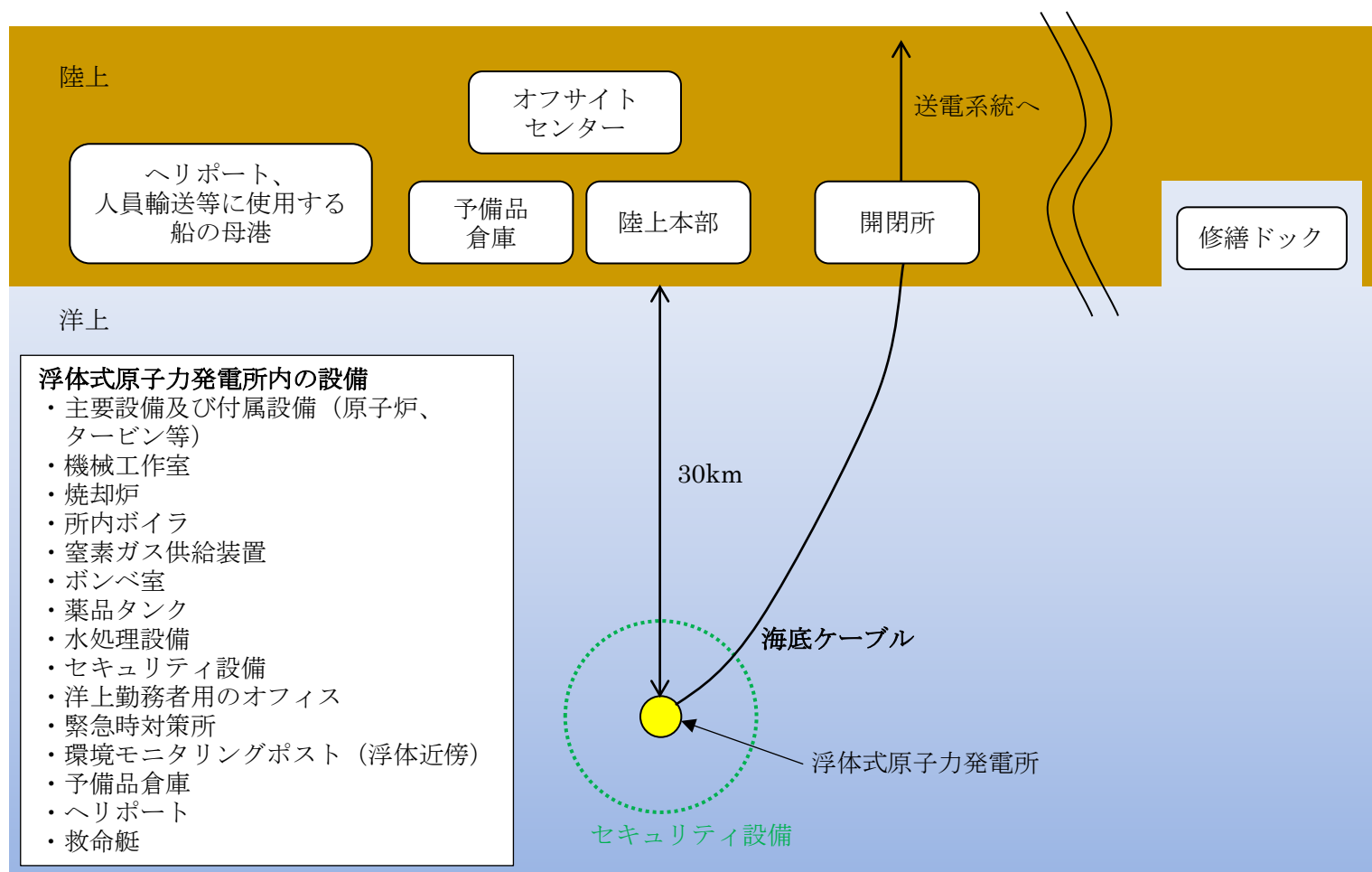


図 37 浮体式原子力発電所に関する設備の配置

3. 検討結果

3.1. 陸上の原子力発電所における運用方法の調査

東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所の組織、業務内容、勤務者数を調査した。柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機第 10 回保全サイクルにおける保全実施体制（組織、業務内容、人数、所掌）を表 29 に示す。なお、現在の体制とは一部異なる箇所がある。また、7 号機に関する保全実施体制のため、発電所の一部の組織（1～4 号機を所掌する部署、総務、広報、調達、企画関係の部署）は表中に記載していない。柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機第 10 回保全サイクルに関連する東京電力ホールディングス株式会社の社員数は 608 名である。なお、各業務内容に紐付いた協力企業の社員が発電所内で勤務している。業務内容を大きく分けると、安全統括、防災安全（防災・核物質防護）、放射線安全、運転管理、保全に分けられる。表中には記載していないが、各部を総括するものとして副所長等が配置されている。

一般的に、発電所内の人数は、運転中に比べて定期検査中の方が多く、米国のようにオンラインメンテナンスを採用した場合には、運転中と定期検査中の人数がある程度平準化されることが考えられるが、公開情報の調査をした限りでは実績人数は確認できなかった。

表 29 柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機第 10 回保全サイクルにおける保全実施体制⁴⁶

組織		業務内容	人数	所掌	
柏崎刈羽原子力発電所 ・ 原子炉主任技術者 ・ 電気主任技術者 ・ タービン・ボイラー主任技術者	安全統括部	安全総括 G	定期検査、定期安全管理審査の総括に関する業務	7	1～7 号機
		品質保証 G	品質保証体系の総括に関する業務	9	〃
		改善推進 G	不適合情報、運転経験情報等の分析・評価・活用に関する業務	11	〃
		原子炉安全 G	原子力安全の総括に関する業務	11	〃
		技術計画 G	原子力技術の総括に関する業務	13	〃
	防災安全部	防災安全 G	緊急時の措置の総括及び初期消火活動のための体制の整備に関する業務	12	〃
		防護管理 G	周辺監視区域及び保全区域の管理に関する業務	46	〃
	放射線安全部	放射線安全 G	放射線管理及び環境放射能測定に関する業務	24	〃
		放射線管理 G	放射線管理の支援・指導・助言及び管理区域の維持・管理に関する業務	24	〃
		化学管理 G	化学管理及び放射性気体・液体廃棄物の管理に関する業務	16	〃
		環境 G	放射性固体廃棄物の管理に関する業務	10	〃
	第二運転管理部	当直	原子炉施設の運転に関する業務及び燃料取扱いに関する業務	130	5～7 号機
		作業管理 G	原子炉施設の運転に関する業務のうち保守作業の管理に関する業務	18	〃
		発電 G	原子炉施設の運用管理に関する業務	16	〃

⁴⁶ 東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機保全計画（第 10 回保全サイクル）より作成

組織		業務内容	人数	所掌	
		運転評価 G	原子炉施設の運転に係る業務の支援・評価に関する業務	13	〃
		燃料 G	燃料の管理に関する業務	11	〃
	第一保全部	保全総括 G	原子炉施設の保守の総括に関する業務	18	1～7号機
		高経年化評価 G	原子炉内部構造物及び原子炉再循環系に係る保守管理並びに原子炉施設の高経年化に関する技術評価の総括に関する業務	10	〃
		土木（第一） G	原子炉施設のうち土木設備に係る保守管理に関する業務	10	〃
		土木（第二） G	原子炉施設のうち土木設備に係る保守管理に関する業務	10	〃
		建築（第一） G	原子炉施設のうち建築設備に係る保守管理に関する業務	15	〃
		建築（第二） G	原子炉施設のうち建築設備に係る保守管理に関する業務	7	〃
		保全総括 G	原子炉施設の保守の総括に関する業務	12	〃
	第二保全部	タービン G	原子炉施設のうちタービン設備に係る保守管理に関する業務	20	5～7号機
		原子炉 G	原子炉施設のうち原子炉設備に係る保守管理に関する業務	28	〃
		電気機器 G	原子炉施設のうち電気設備に係る保守管理に関する業務	25	〃
		計測制御 G	原子炉施設のうち計測制御設備に係る保守管理	27	〃

組織		業務内容	人数	所掌
		に関する業務		
	システムエンジニア G	保全革新業務の推進及び各設備点検結果の評価並びに系統信頼性に関する技術検討に関する業務	9	1～7号機
	環境施設 G	廃棄物処理設備の保守の総括、保守管理に関する業務	20	〃
	環境施設プロジェクト G	廃棄物処理設備の改良工事に関する業務	11	〃
	電気通信 G	電子通信設備の運用・保守管理に関する業務	10	〃
	直営作業 G	原子炉施設の直営作業の総括に関する業務	5	〃
合計		—	608	—

3.2. 海洋構造物関係における運用方法の調査

原子力船「むつ」、海外の FPSO の組織、業務内容、人数について調査した結果を以下に示す。

■ 原子力船「むつ」

- ・ 原子力船「むつ」の実験航海体制は、実験総括リーダーを頂点に、実験支援チームと実験実施チームに分かれていた。「むつ」に乗船していたのは、実験実施チームであった。
- ・ 乗組員として 58 名、その他、測定チーム員・メーカー派遣員・規制当局運転管理専門官など実験員他として 22 名が乗船していた。なお、乗組員の内訳は、甲板部として船長以下 15 名、機関部として機関長以下 26 名（原子炉主任技術者、保健物理関係者を含む）、無線部として通信長以下 2 名、事務部として事務長以下 14 名、医務部として船医 1 名であった。原子力動力プラントの運転は、当直長 1 名、当直員 1 名、補機員・機関員 2 名の計 4 名による 3 直 6 交代の当直体制をとって行った（1 日を 3 直+日勤直で対応しており、当直体制としては 4 時間毎に 6 交代としていた（イメージ：1 直→2 直→3 直→1 直→2 直→3 直））。主に制御室に配した当直長のもの、当直員は原子炉プラント、補機員・機関員は蒸気タービン推進プラント及び給配電設備の運転操作や監視に当たった。
- ・ 機関部の内訳を表 30 に示す。陸上の原子力発電所と同様の業務内容であった。

表 30 機関部の内訳

機関長	機関部統理	
主席一等機関士	原子動力機関統括	
次席一等機関士	原子炉主任技術者	
三席一等機関士	放射線管理・化学分析統括（保健物理主任）	
四席一等機関士	タービン推進機関統括	
主席二等機関士	当直長	原子炉系担当
次席二等機関士	〃	原子炉系電気計装担当
三席二等機関士	〃	原子炉系電気計装担当
四席二等機関士	〃	原子炉系担当
五席二等機関士	放射線管理担当	
六席二等機関士	化学分析担当	
七席二等機関士	当直員（原子炉系操作）	強電・二次系電気計装担当
八席二等機関士	〃	原子炉系担当
九席二等機関士	〃	原子炉系電気計装担当
三等機関士	〃	原子動力機関全般補佐
操機長・次長 ・操機員・機関員	計 11 名	
合計	26 名	

■ FPSO

- ・ FPSO の一般的な船内組織と業務内容を表 31 に示す。乗組員は、FPSO の規模により異なるが、ブラジルの大型の FPSO では、200 人以上の乗組員となっている。なお、DPS を有する場合には、専任の操作要員が確保されている。浮体式原子力発電所においても、保守点検グループの一部（生産グループ関係以外）、マリングループ、ケータリンググループ、その他が所掌する業務内容が必要と考えられる（陸上の原子力発電所においても、ケータリンググループとその他の業務内容に相当する業務を実施する要員が配置されている）。
- ・ 勤務時間については、事業者の考えや国の規則により異なるが、2 交代制を採用していることが多い（3 交代制を採用している場合もあるが、2 交代制に比べて必要要員数が増える）。夜間業務は、原油ガス生産状況と機器の運転状態の監視であり、数人で実施することが多い。乗組員は数週間毎に交代しており、日本では、船員法第 72 条（船員法施行規則第 48 条の 2～第 48 条の 4）において、付与すべき休日（例：海底資源探査船の場合、10 週間について 33 日以上（連続で））が規制されている。交代はヘリコプターで実施するのが一般的であり、全乗組員が同時に交代することはない。交代時の引継ぎは、時間の関係から、対面で実施せず、書類にて実施する。
- ・ 船内サービス要員の割合は、約 15%である⁴⁷。

表 31 FPSO の基本的な船内組織

船内組織	業務内容
OIM (Offshore Installation Manager)	下記の組織を指揮管理する（船の船長に相当する職務）。
生産グループ	原油ガス生産プラントの運転、制御システムの調整、発電機及びガスコンプレッサの運転、生産原油ガスの分析等
保守点検グループ	消耗品交換、定期点検、機器・配管等の修理・交換、保守点検システムの維持管理等
マリングループ	クレーンを含む甲板機器の運転、タンク管理、無線通信、ヘリコプター航行管理、艀装品・船体構造の点検と補修・塗装、原油の払い出し、安全関連機器の点検・整備・定期訓練等
ケータリンググループ	食事、清掃等
その他	操業によりパラメディック（医療補助員）、HSE（衛生・安全・環境）オフィサーなどが常時乗船することもある。

⁴⁷ 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構「海洋工学ハンドブック（第 7 版）」に記載されている数字から計算した値である。

3.3. 浮体式原子力発電所における業務内容の検討

陸上の原子力発電所と海洋構造物関係における運用方法の調査結果から、浮体式原子力発電所の業務内容を検討した。検討結果を表 32 に示す。表中の太字は、陸上の原子力発電所では挙げられていない業務内容であることを示す。

基本的に、陸上の原子力発電所の業務内容は浮体式原子力発電所においても必要な業務であるため、陸上の原子力発電所の業務内容を勤務場所（洋上と陸上）で振り分けた。なお、陸上の原子力発電所における業務内容の一つである「原子炉施設のうち土木設備に係る保守管理に関する業務」については、土木設備がないため、対象外としている（発電所によってはペDESTALやタービンペDESTALを土木関係の部署が担当している場合もあると考えられる。また、今回の検討対象外であるが、陸上設備に関する業務において、人員が必要となる）。

次に、海洋構造物関係における業務内容の調査結果から、浮体式原子力発電所においても、保守点検グループの一部（生産グループ関係以外）、マリングループ、ケータリンググループ、その他（医療補助員等）が必要になると考えられるため、浮体構造物・係留の保守管理、DPS の運転、保守管理及びヘリコプター・船舶・救命艇の航行管理を浮体式原子力発電所の業務内容として挙げている。なお、ヘリコプター・船舶・救命艇の航行管理については、陸上においても必要と考えられるため、設けている。また、船内サービス（食事、清掃等）、医療の要員も必要なため、これらも業務内容として挙げている。

表 32 浮体式原子力発電所の勤務場所と業務内容

勤務場所	業務内容	
洋上	全体総括	下記業務の総括（発電所長、副所長、部長等）、原子炉主任技術者、電気主任技術者、ボイラー・タービン主任技術者
	運転	原子炉施設の運転 ^{*1} （運転業務に加え、これに関する保守作業管理）
		廃棄物処理施設の運転（運転業務に加え、これに関する保守作業管理）
		原子炉施設、廃棄物処理施設の運用管理
		原子炉施設、廃棄物処理施設の運転に係る業務の支援・評価
		DPS の運転
	保守	原子炉施設の保守の総括（予算管理関係除く）
		原子炉施設のうち原子炉設備（炉内構造物含む）に係る保守管理
		原子炉施設のうちタービン設備に係る保守管理
		原子炉施設のうち電気設備に係る保守管理
		原子炉施設のうち計測制御設備に係る保守管理
		原子炉施設のうち建築設備に係る保守管理
		廃棄物処理設備の保守の総括、保守管理

勤務場所	業務内容	
		電子通信設備の運用・保守管理
		保全革新業務の推進及び各設備点検結果の評価並びに系統信頼性に関する技術検討
		浮体構造物、係留の保守管理
		DPS の保守管理
	防災	緊急時の措置の総括及び初期消火活動のための体制の整備
	防護	周辺監視区域及び保全区域の管理（監視を含む）
	放射線管理	放射線管理及び環境放射能測定
		放射線管理の支援・指導・助言及び管理区域の維持・管理
		化学管理及び放射性気体・液体廃棄物の管理
		放射性固体廃棄物の管理
	訓練	浮体式原子力発電所の業務に関する訓練
	交通	ヘリコプター、船舶、救命艇航行管理
	サービス	船内サービス（食事、清掃等）※2
医療	医師※2	
陸上	総括	定期検査、定期安全管理審査の総括
		品質保証体系の総括
		原子力安全の総括
		原子力技術の総括
		原子炉施設、廃棄物処理施設、浮体構造物、係留、DPS の保守の総括（予算管理関係）
		原子炉施設の高経年化に関する技術評価の総括
	情報分析他	不適合情報、運転経験情報等の分析・評価・活用
	企画他	総務、広報、調達、企画関係
	訓練	浮体式原子力発電所の業務に関する訓練（机上、シミュレータ等）
	交通	ヘリコプター、船舶、救命艇航行管理

※1 核燃料取扱いを含む

※2 表 29 では挙げられていないが、陸上の原子力発電所においても同様の業務があるため、太字にしていない。

3.4. 浮体式原子力発電所における運用方法の検討

表 32 に示す浮体式原子力発電所の勤務場所と業務内容について検討した結果から、運用に必要なおおよその必要乗員数を検討した。なお、ここでの検討は浮体式原子力発電所に乗船する人数（乗員数）であり、陸上の関連施設で勤務する人数と日勤者の交代要員数は考慮していない（日勤者の勤務方法には様々な方法が考えられ、毎日自宅から出勤する場合、発電所内に数日間滞在しその後の数日間は自宅に戻る場合（この場合にはグループ内の一部メンバーが順に自宅に戻る方法が考えられる）等が考えられる。今回の検討では、前者で検討しているが、後者で検討した場合でも、陸上待機者が増加するが、乗員数は変わらないと考えられる。また、前述の通り、通常時の運用に必要な人数であり、緊急時の人数については検討の対象外としている。加えて、官庁関係者（原子力規制庁他）もカウントしていない。検討結果を表 33 に示す。検討の結果、合計 329 名が必要と評価された。

全体統括に関する人員として、部署数から、発電所長、原子炉主任技術者、部長等 10 名が必要とした。なお、電気主任技術者 1 名とボイラー・タービン主任技術者 1 名は下記に示す他の業務と兼務することが多いため、乗員数にカウントしていない。

運転に関する人員として、柏崎刈羽原子力発電所の体制を参考に必要な人数を算出した結果、合計 101 名が必要と評価された。

保守・放射線管理に関する人員として、柏崎刈羽原子力発電所で当該業務に従事する東京電力ホールディングス株式会社社員の割合と簡易的に求めたオンラインメンテナンス時の作業員数から合計 120 名が必要と評価された。

防災に関する人員として、柏崎刈羽原子力発電所の体制を参考に必要な人数を算出した結果、4 名が必要と評価された。

防護に関する人員として、MIT で検討された核セキュリティ関係の文献に記載されていた値を引用し、40 名が必要とした。

交通に関する人員として、10 名が必要と仮定した。

サービスに関する人員については、原子力船「むつ」、海外の FPSO における船内サービス要員の割合が 15%程度であったことから、上記業務に従事する人員の 15%が必要として評価した結果、42 名が必要と評価された。

医療に関する人員として、2 名（1 名は予備）が必要と仮定した。

表 33 浮体式原子力発電に乗船するおおよその乗員数の検討結果（オンラインメンテナンスを採用した場合）

業務内容		勤務形態	乗員数	乗員数の根拠
全体総括	下記業務の総括（発電所長、副所長、部長等）、原子炉主任技術者、電気主任技術者、ボイラー・タービン主任技術者	日勤	10	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発電所長 1 名、副所長 1 名、部長 7 名（運転（原子炉施設）、運転（DPS 関係）、保守、防災、防護、放射線管理、その他（交通、サービス、医療）、原子炉主任技術者 1 名、電気主任技術者 1 名、ボイラー・タービン主任技術者 1 名が必要とした。なお、電気主任技術者とボイラー・タービン主任技術者は下記に示す他の業務と兼務することが多いため、乗員数にカウントしていない。
運転	原子炉施設の運転（運転業務に加え、これに関する保守作業管理）	運転：24 時間 保守作業管理：日勤	101	<p>【運転】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 12 名／班、2 交代制で 4 班体制（5 班で構成し、1 班は陸上勤務又は休暇） ・ 12 名／班の根拠：柏崎刈羽原子力発電所の体制⁴⁸を参考に、当直長 1 名、当直副長 1 名、当直主任 2 名（1 名は緊急時現場対応操作に専念できる要員）、当直副主任 1 名、主機操作員 1 名、補機操作員 4 名、現場支援担当 1 名、シフトテクニカルアドバイザー 1 名とした。 <p>【保守作業管理】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 柏崎刈羽原子力発電所の体制⁴⁹を参考に、当直長 1 名、当直副長 1 名、当直主任 1 名、当直副主任 1 名、主機操作員 1 名、補機操作員 2 名とした。

⁴⁸ 柏崎刈羽原子力発電所の透明性を確保する地域の会第 165 回「原子炉運転員の教育・訓練について」

⁴⁹ 柏崎刈羽原子力発電所の透明性を確保する地域の会第 165 回「原子炉運転員の教育・訓練について」

業務内容		勤務形態	乗員数	乗員数の根拠
	廃棄物処理施設の運転（運転業務に加え、これに関する保守作業管理）	〃		<ul style="list-style-type: none"> ・ 5名／班、2交代制で4班体制（5班で構成し、1班は陸上勤務又は休暇） ・ 5名／班の根拠：これまでの柏崎刈羽原子力発電所の運用実績から5名とした。
	原子炉施設、廃棄物処理施設の運用管理	日勤		
	原子炉施設、廃棄物処理施設の運転に係る業務の支援・評価	〃		
	DPSの運転	24時間		
保守	原子炉施設の保守の総括（予算管理関係除く）	日勤	120	<ul style="list-style-type: none"> ・ 保守と放射線管理業務に従事する乗員数は、「簡易的に求めたオンラインメンテナンス時の発電所内作業員数」と「柏崎刈羽原子力発電所における保守・放射線管理業務に従事する東京電力ホールディングス株式会社社員の割合」から算出した。詳細は以下の通り。 ✓ オンラインメンテナンス時の発電所内作業員数は、オンラインメンテナンスを実施していない原子力発電所（1プラント、管理区域作業）の定検中と運転中のおおよその人工数（約55,000人・日、約25,000人・日）とそれぞれの日数（合計約490日）から※、オンラインメンテナンスにより定検中と運転中の人数が平準化されたと仮定して算出した（約160人／日）。 ✓ 非管理区域作業の人工として、管理区域作業の人工の半
	原子炉施設のうち原子炉設備（炉内構造物含む）に係る保守管理	〃		
	原子炉施設のうちタービン設備に係る保守管理	〃		
	原子炉施設のうち電気設備に係る保守管理	〃		
	原子炉施設のうち計測制御設備に係る保守管理	〃		
	原子炉施設のうち建築設備に係る保守管理	〃		
	廃棄物処理設備の保守の総括、保守管理	〃		

業務内容		勤務形態	乗員数	乗員数の根拠
	電子通信設備の運用・保守管理	〃		<p>分とした場合、あわせて約 240 人/日となる（管理区域：160 人/日+80 人/日）。</p> <p>✓ この内、保守と放射線管理に従事する割合は 50%とし（柏崎刈羽原子力発電所における保守・放射線管理業務に従事する東京電力ホールディングス株式会社社員の割合が約 50%）、保守・放射線管理業務に従事する乗員数を算出した。</p> <p>✓ その結果、浮体式原子力発電所の保守と放射線管理業務に従事する乗員数は 120 人/日と評価された。</p> <p>※これら数値は推定したものであり、あくまで一つの目安値であり、実際と異なる場合もある。また、プラント毎に異なるものと考えられる。</p>
	保全革新業務の推進及び各設備点検結果の評価並びに系統信頼性に関する技術検討	〃		
	浮体構造物、係留の保守管理	〃		
	DPS の保守管理	〃		
放射線管理	放射線管理及び環境放射能測定	日勤		<p>✓ これら数値は推定したものであり、あくまで一つの目安値であり、実際と異なる場合もある。また、プラント毎に異なるものと考えられる。</p>
	放射線管理の支援・指導・助言及び管理区域の維持・管理	〃		
	化学管理及び放射性気体・液体廃棄物の管理	〃		
	放射性固体廃棄物の管理	〃		
防災	緊急時の措置の総括及び初期消火活動のための体制の整備	日勤	4	・ 柏崎刈羽原子力発電所における当該業務の人員 12 名（7 基分の要員）の 1/3 の人数が必要とした。
防護	周辺監視区域及び保全区域の管理	24 時間	40	・ MIT 文献 ⁵⁰ に記載の値を引用した。
交通	ヘリコプター・船舶の航行管理	日勤	10	<p>・ 10 名が必要と仮定した。</p> <p>✓ ヘリコプターに関しては、着陸時の警戒員と誘導員が必要と考えられる（勤務状況によっては兼務可能と推定）。</p> <p>✓ 船舶に関しては、離着岸時の作業に従事する要員が必要である。</p>
サービス	船内サービス（食事、清掃等）	〃	42	・ 以下に示す原子力船「むつ」と海外 FPSO の船内サービス要

⁵⁰ V. Kindfuller et al., “Overview of Security Plan for Offshore Floating Nuclear Plant”, ICONE24-61029, 2016.

業務内容		勤務形態	乗員数	乗員数の根拠
				<p>員の割合から、上記業務の乗員数の 15%が必要とした。</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 原子力船「むつ」における船内サービス要員の割合は、約 17.5% (14/80)。 ✓ 海外 FPSO での船内サービス要員の割合は、約 15%。
医療	医師	〃	2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 船員法では、最大搭載人員 100 人以上等の条件を満たす場合には船医の乗船させることが規定されている。 ・ 予備を含め 2 名と仮定した。
合計	—	—	329	—

4. まとめ

浮体式原子力発電所における組織、業務内容、おおよその必要乗員数を検討した結果の概要と今後の検討課題は以下の通り。

■ 検討結果の概要

- ・ 浮体式原子力発電に乗船して実施する業務内容として、全体総括、運転、保守、防災、防護、放射線管理、訓練、交通、サービス、医療関係が挙げられ、これらの通常業務の実施に要するおおよその必要乗員数は、329名であった。なお、この人数には、日勤者の勤務方法によっては必要となる日勤者の交代要員に加え、官庁関係者（原子力規制庁他）はカウントしていない。

■ 今後の検討課題

- ・ 今回検討した必要要員数はおおよそのものであり、今後設計の進捗に伴い、より精緻な評価が可能になるため、今回の評価をブラッシュアップする必要がある（例えば、運転業務に従事する者は定期的に訓練に参加するが、この個々の訓練が陸上の施設で実施すべきものなのか、浮体式原子力発電所内で実施すべきものなのかを検討することでより精度の高い人数を算出することができる。また、船内サービスの人数も人工で算出したものであり、兼務を考慮し、乗員数に換算すると少なくなる可能性が考えられる）。特に、保守・放射線管理業務に従事する乗員数は、オンラインメンテナンスを考慮したものであるが、他の業務と比較すると簡易的に求めたものであるため、より詳細な検討が必要である（ただし、大きくは変わらないと考えられる）。なお、実運用を考慮すると1発電所への複数基設置（例えば、2～3基）、出力の増加、補助・保管設備等の陸上配置、保全業務への陸上部隊の活用等が考えられること、また、ヘリコプターの運航管理等の業務はその他の業務と兼務して実施することが想定され、今回評価した乗員数はある程度の保守性が考えられることから、浮体式原子力発電所の産業競争力はより高まるものと考えられる。
- ・ 今回の検討は、浮体式原子力発電に乗船する通常時の運用も必要なおおよその乗員数であるため、緊急時に必要な乗員数や陸上の支援要員数の検討が必要である。

以 上

付録 10 むつの経験共有・現地調査

1. はじめに

日本において、過去に洋上の原子炉として、原子力船「むつ」が実現されている。「むつ」で得た知見は、浮体式原子力発電所の検討において有効と考えられるため、今後の設計や機器配置の検討などに役立てることを目的として、本プロジェクト内で「むつ」の経験共有と「むつ」の資料館であるむつ科学技術館の現地調査を実施した。以下にその結果を示す。

2. 原子力船の検討の歴史

世界における原子力船の検討は、表 34 に示すように、古くから実施されている。以下に年代毎の出来事を示す。

■ 1950 年代

- ・ 米国の GE 社が 59.7MW の BWR を搭載した原子力油送船の試設計を発表している。
- ・ 米国のウェスティングハウス社が 70MW の PWR を搭載した原子力油送船の試設計を発表している。
- ・ 国内では原子力船調査会及び日本原子力船研究協会が設立され、原子力船について検討されていた。1955 年に運輸大臣の諮問機関である造船技術審議会が、原子力船について取り上げ、海運・造船界を一本化した組織を構築し、原子力の船舶推進への利用について公開的に調査や検討を開始すべきと決議した結果に基づき、原子力船調査会が発足した。本調査会では、PWR（出力の異なる 2 種類）、BWR、ガス冷却型原子炉の試設計結果を発表している。その後、原子力船の研究は、机上だけでなく、実験研究に移行すべきとの声があり、そのための研究組織が必要との認識に至り、1958 年に日本原子力船研究協会が設立された。日本原子力船開発事業団の設立による解散までの 5 年間において様々な検討が行われ、合計 46 編の報告書に纏められている（これら報告書は国会図書館等に多数所蔵されている）。これらの成果は原子力船「むつ」の実現に活用された。原子力船「むつ」の設備等の情報については、後述する。

■ 1960 年代

- ・ 米国において、原子力貨客船サヴァンナが竣工した。
- ・ ロシアにおいて、原子力砕氷船レーニンが竣工した。
- ・ ドイツにおいて、原子力鉱石運搬船オットハーンが竣工した。

■ 1970 年代

- ・ 原子力船「むつ」が初臨界を達成した。
- ・ 米国において、Offshore Power System (OPS) 社と Public Service Electric & Gas (PSE&G)

社が浮体式原子力発電所を計画していた。PSE&G 社は発電所の冷却水を河川水に頼っている内陸立地では限界があると考え、その解決方法として、1970 年頃に浮体式原子力発電所の検討を開始している。1972 年にウェスティングハウス社と造船メーカーが浮体式原子力発電専門の合弁会社である OPS 社を設立し、1972 年に浮体式原子力発電所（アトランティック 1・2 号機）の購入契約が締結されている。発電所のイメージ図を図 38 に示す。電気出力 115 万 kW の PWR2 基がプラットフォーム上に設置されており、陸上附帯施設として、入渠施設、予備品倉庫、事務所等を設けることが考えられていた。OPS 社は建造するための専用工場をフロリダ州に設置することとし、1973 年に工場の建設を開始していた。このように実現に向けた活動が進められており、1972 年には OPS 社が USAEC（米国原子力委員会）に予備設計報告書を提出しており、USAEC は「設計基準の一つとして沈没事故を扱うこと」、「沈没した場合にも LOCA 等が発生しないように設計すること」等をコメントしている。1973 年には OPS 社は USAEC に建造許可を申請、1974 年に PSE&G 社は USAEC に設置許可を申請している。1975 年に OPS 社は建造許可を取得しているが、1978 年に PSE&G 社は契約を解約することを決定している。解約の理由は、電力需要成長予測の落ち込み、コスト増加、環境影響への抗議等が理由とみられる。なお、OPS 社は、アトランティック 1・2 号機以外に 6 基を受注していたが、これらも解約されており、実現には至らなかった。

■ 1980 年代

- ・ 日本原子力研究所がニュークリア・フローティング・アイランドとして、構想を原子力委員会に報告している。
- ・ 電力中央研究所において、浮揚式原子力発電所が検討されていた。1974 年に調査研究を開始し、1981 年から 3 年間は、電力会社と協働して成立性の検討が実施された。1984 年以降、図 39 に示す内容について研究が行われていた。地震時の浮体動揺特性評価や概略設計が検討されており、前者に関する検討では、短周期の水平地震動に対して著しい免震性を有し、浮体上の建屋・機器に作用する地震荷重は無視し得るほどに低減されること、長周期の水平地震動により水面波と連成した浮体の動揺が生じるため、係留装置の設計等に考慮が必要と纏めている。後者の概略設計では、プラント配置、建造工法等に関する検討結果を纏めている。

■ 2010～2020 年代

- ・ 表 34 に示すように、世界各国で開発が進められている。

表 34 原子力船開発の歴史

年代	出来事
1950	<ul style="list-style-type: none"> ・ 米国の GE 社が 59.7MW の BWR を搭載した原子力油送船の試設計を公表 ・ 米国のウェスティングハウス社が 70MW の PWR を搭載した原子力油送船の試設計を公表 ・ 日本では、原子力船調査会及び日本原子力船研究協会が設立され、原子力船について検討
1960	<ul style="list-style-type: none"> ・ 米国で原子力貨客船サヴァンナが竣工 ・ ロシアで原子力砕氷船レーニンが竣工 ・ ドイツで原子力鉱石運搬船オットハーンが竣工
1970	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子力船「むつ」で初臨界が達成 ・ 米国 OPS 社がプラットフォーム搭載原子力発電所を検討
1980	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本原子力研究所がニュークリア・フローティング・アイランドとして、構想を原子力委員会に報告 ・ 電力中央研究所において、浮揚式原子力発電所を検討
2010	<ul style="list-style-type: none"> ・ 韓国、中国において、PWR の浮体式原子力発電所を開発 (BANDAI-60、ACP100S、ACPR50S) ・ カナダの Prodigy Clean Energy 社が PWR の浮体式原子力発電所を開発 ・ インドネシアの ThorCon 社が熔融塩炉の浮体式原子力発電所を開発 ・ デンマークの Seaborg 社が熔融塩炉の浮体式原子力発電所を開発
2020	<ul style="list-style-type: none"> ・ ロシアのアカデミック・ロモノソフが発電開始 ・ 三菱重工業が船舶搭載用小型軽水炉を開発⁵¹ ・ 英国の CorePower 社が熔融塩炉の浮体式原子力発電所を開発

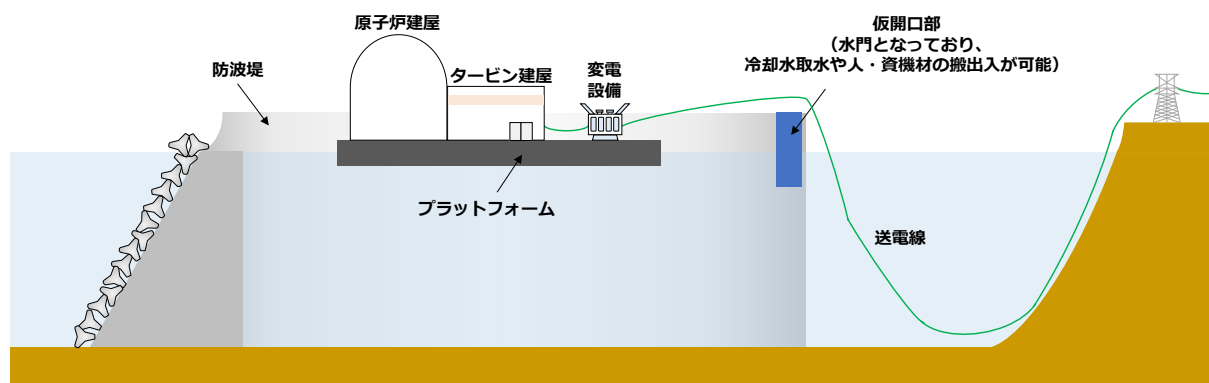


図 38 OPS 社の浮体式原子力発電所のイメージ図

⁵¹ 三菱重工業株式会社、「三菱革新炉開発の取組み」、経済産業省原子力小委員会第 1 回革新炉 WG、2022 年 4 月

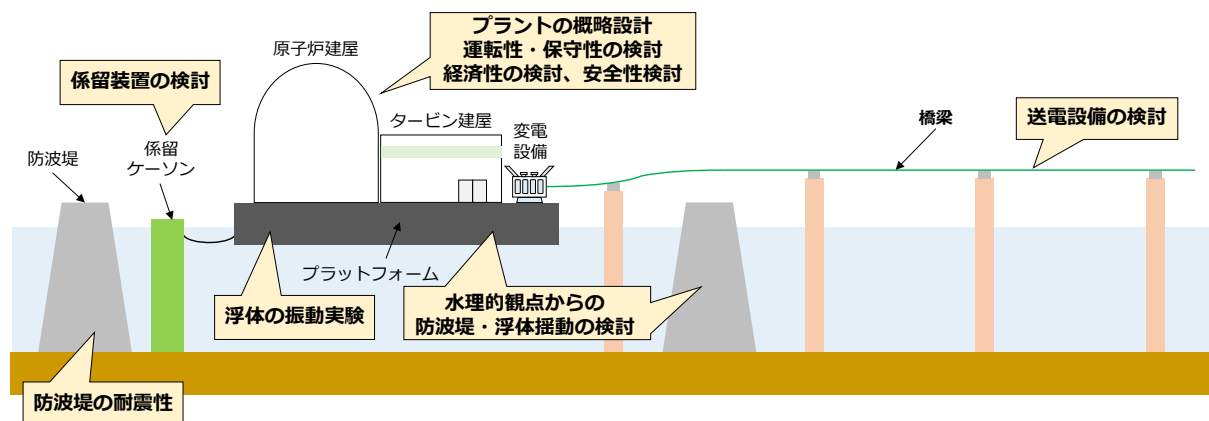


図 39 電力中央研究所で検討された浮揚式原子力発電所のイメージ図と
1984 年以降に実施された主な研究内容⁵²

⁵² 榊山他「浮揚式原子力発電所の揺動特性とプラント成立性評価」，電力中央研究所報告を参考に作成

3. 原子力船「むつ」の概要と安全設計

「むつ」は、原子力第1船開発基本計画に基づき、建造・運転された。1967年に設置許可を受け、1974年に出力上昇試験のために出港したが、その後、放射線漏れが発生した。この対応のため、1989年の起動前機能試験開始までの期間において、遮へい改修等が実施された。1990年には海上試運転、1991年に使用前検査等の合格、1991～1992年に実験航海が実施され、1992年に解役となった。実験航海は、4回にわたって実施され、第1次実験航海では実験航海基準データの取得（原子炉出力一定、針路一定の航海）を主目的に、第2次実験航海では操船影響実験の実施を主目的に、第3次実験航海では高温海域実験実施を主目的に、第4次実験航海では荒海域実験実施を主目的に実施された。第4次実験航海では約1週間におよぶ荒海航海を実施しており、波高6m以上での実験を行った。出力上昇試験、海上試運転及び実験航海をあわせた原子動力航進距離は約82,000km（地球2周以上）であり、原子炉運転時間は100%出力換算で約94日であった。

「むつ」の要目を表35に示す。炉型はPWRを選択し、熱出力は約3.6万kWであった。建造は国内で実施され、1970年に母港である大湊定係港に回航され、蒸気発生器、原子炉容器が搭載され、燃料要素32体と中性子源4体が原子炉容器内に装荷されている。1983年の船体点検では、浮上状態で実施できる「岸壁工事」と上架しなければできない「渠中工事（船底、プロペラ、舵、船底弁等の点検整備）」を実施するとともに、船舶検査証書取得に必要な検査を実施していた。

表 35 原子力船「むつ」の要目⁵³

事項	要目
用途	原子動力実験船
航行区域	遠洋区域
全長、幅、深さ	130.46 m、19.00 m、13.20 m
総トン数	8,242 トン
主機械 型式・数・出力	蒸気タービン・1基・10,000馬力
原子炉 型式・数・熱出力	加圧軽水冷却炉・1基・約3.6万kW
燃料	二酸化ウラン

「むつ」の原子炉は、通常の航行状態で発生する揺動、傾斜、振動を考慮することはもちろんのこと、衝突、座礁、浸水、沈没、転覆などの海難事故に対しても安全確保のための対策が必要であった。原子炉は、船体の中で振動や揺動の影響が最も少なく、また、衝突や座礁の影響を最も受けにくい場所に設置する必要があるとあり、過去の海難事故の事例調査を行った結果、船体中央部よりやや後方の位置に設置することとなった。以下に特徴的な安全設計の概要を示す。

⁵³ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構青森研究開発センターホームページより作成

■ 衝突防護、座礁防護

- ・ 強化された甲板構造により耐衝突構造となっている（図 40）。
- ・ 設計条件として T2 タンカー（約 2.4 万トン／16 ノット）等の衝突を設定している。
- ・ 舵面積約 130%、低速力時舵角 45 度（一般船舶は 35 度程度）を備え、優れた操船性能を有している。
- ・ 座礁対策として、二重底構造としている。この構造は原子炉格納容器支持構造としての役割を持っており、設計にあたっては、まず支持構造としての諸寸法を決定し、これが耐座礁として十分な強度を有していることを確認している。
- ・ 耐座礁構造のボイドスペース（格子状の構造となっており、その空間）は、入渠の際に、渠底方向の遮へいのため、必要な場合に漲水できるように考慮していた。

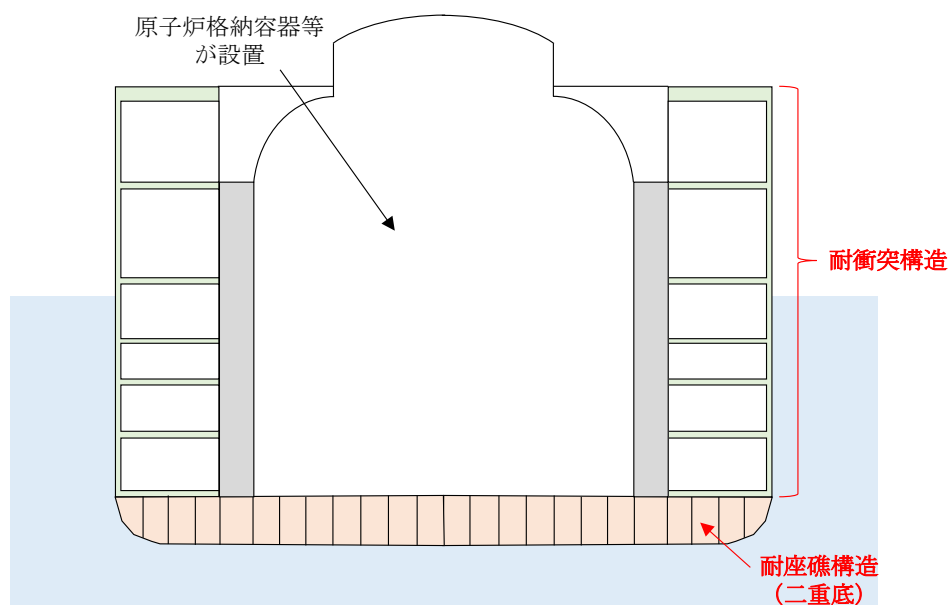


図 40 耐衝突構造・耐座礁構造

■ 浸水防護

- ・ 二区画可浸構造としていた。これは原子力船特殊規則においても要求されているものである。9 枚の水密隔壁によって 10 区画に分割され、隣接 2 区画に浸水しても十分な浮力と復原性を有する。

■ 転覆

- ・ スクラム機構にはスプリングが使用されており、船体が 180 度傾斜しても安全に制御棒を挿入できるようになっていた。

■ 沈没

- ・ 格納容器に圧力平衡弁を設置していた（図 41）。弁は水圧 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ でラプチャーボルトが破断して開放される。建造後、原子炉室への海水流入操作を上看板で行えるように改良が施されている。
- ・ 沈没時における一次冷却水の置換（水から海水）による臨界の恐れを考慮し、一般的な PWR と異なり、固体制御棒のみを使用して炉出力を制御するシステムとしていた。

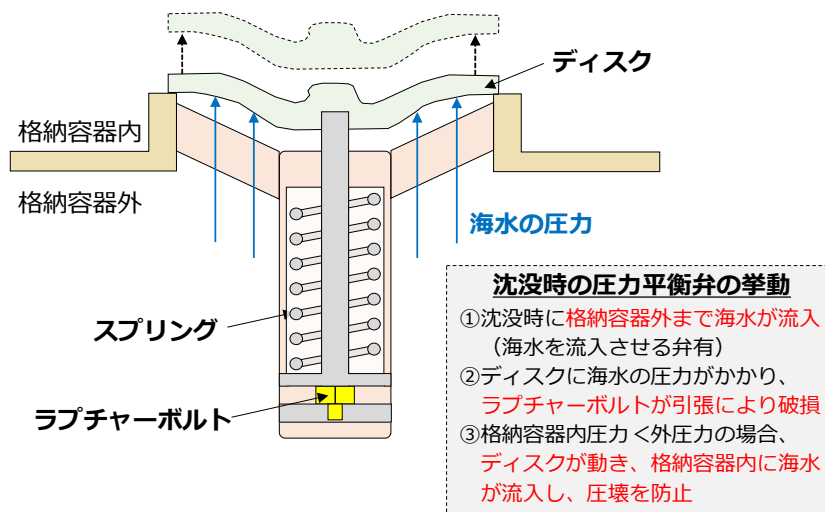


図 41 圧力平衡弁の構造

■ 強度に関する条件

- ・ 原子炉施設の各機器は、下記条件に耐え得るように設計されていた。
 - ✓ 船体運動に対する加速度
 - 上下方向加速度： $1 \pm 0.82g$ （4～15cpm）
 - 左右方向加速度： $0.65g$ （4～15cpm）
 - 振動加速度： $0.20g$ （4～15cpm）
 - ✓ 衝撃加速度
 - 各方向に対して $1.0g$ （静荷重）
 - ✓ 振動加速度
 - 各方向に対して $0.1g$ （100～1200cpm）

■ 原子炉の安全確保のための諸装置の作動条件

- ・ 横揺：60 度（3～9cpm）
- ・ 横定傾斜：60 度
- ・ 縦揺：20 度（4～15cpm）
- ・ 横定傾斜：20 度
- ・ 上下方向加速度： $1 \pm 1.0g$
- ・ その他の各方向の加速度： $1.0g$

- ・ 上記の各条件は各々単独に働くこととされていた。
- 機器の性能に関する条件
- ・ 100%出力の場合：各機器は下記条件の範囲まで全出力運転可能とする。
 - ✓ 横揺：30度（3～9cpm）
 - ✓ 横定傾斜：10度
 - ✓ 縦揺：10度（4～15cpm）
 - ✓ トリム：5度
 - ✓ 上下方向加速度： $1 \pm 0.60g$ （4～15cpm）
 - ✓ 上記の各条件は各々単独に働くこととされていた。
 - ・ 50%出力の場合：各機器は下記条件の範囲まで50%出力運転可能とする。
 - ✓ 横揺：45度（3～9cpm）
 - ✓ 横定傾斜：15度
 - ✓ 縦揺：15度（4～15cpm）
 - ✓ トリム：10度
 - ✓ 上下方向加速度： $1 \pm 0.60g$ （4～15cpm）
 - ✓ 上記の各条件は各々単独に働くこととされていた。
- 負荷特性に関する条件
- ・ 下記の負荷特性を満足するようにされていた。
 - ✓ 出力上昇
基底負荷（18%出力）より常用負荷（90%）出力まで、30秒間で一様増加
 - ✓ 急速出力減少
全負荷より基底負荷まで1秒間で減少
 - ✓ 前後進切替
全負荷から基底負荷へ5秒間で一様に減少し、50秒間基底負荷出力を維持し、ここからさらに80%出力へ30秒間で一様に増加
 - ✓ 後前進切替
80%出力から基底負荷へ5秒間で一様に減少し、50秒間基底負荷出力を維持し、ここからさらに全負荷へ30秒間で一様に増加
- 自然現象に対する設計上の考慮
- ・ 係留中に予想される風（台風）、積雪等の自然現象によっても安全性が損なわれない構造及び配置とされていた。
 - ✓ 風（台風）
船上補助建屋（燃料取出し時に原子炉室の真上に設置される建屋）の構造強度解析は、設計最大風速を40m/秒で実施する。

- ✓ 積雪
船上補助建屋の構造強度解析は、最深積雪量 170cm で実施する。
- ✓ 凍結
凍結により機能が損なわれる恐れのある部分については、気温 -22.1°C を考慮し、必要に応じて凍結防止等の対策を実施する。
- ✓ 津波
岸壁の天端は十分な高さを有していることから、津波により船及び岸壁に設置されている原子炉施設の安全性が損なわれることはない。
- ✓ 雷
アースになる船体まで雷電流のための電路を確保することにより、雷害防止対策を実施する。

■ 船体条件に対する設計上の考慮

- ・ 横揺傾斜角度
 - ✓ 船上補助施設（船上クレーン、船上補助建屋、原子炉ハッチシャッター等）の構造強度設計は横定傾斜角度 10 度（設計最大風速 40m/秒で最大横傾斜角度は約 8 度）で実施する。
- ・ 船体運動による付加加速度
 - ✓ 船上補助施設の構造強度設計は、船体運動による付加加速度に関して、船に常設されている原子炉施設に対する設計条件と同等の値を用いて実施する。

4. 原子力船「むつ」の技術上の実績

「むつ」の技術上の実績として、以下で運転経験と解役について述べる。

4.1. 運転経験

「むつ」の人員は、付録 8 で詳細に記載されているが、乗組員 58 名と実験員他 22 名であった。乗組員は、養成訓練を受けており、この訓練における基本的な考え方は以下の通りである。

- ・ 乗船員は、官庁と海運会社からの派遣船員と日本原子力研究所船員で構成され、船舶の運航技術、保安全管理等については相当の技術を有しているという前提に立ち、原子炉機器の運転管理と放射線防護を含む安全管理に係る技術習得を行う。
- ・ そのために、外部機関における原子力及び放射線に関する専門的知識の習得、原子力発電所での運転等の研修を行う。
- ・ また、機関部職員は、「むつ」乗員訓練用シミュレータによる原子炉運転操作の訓練を反復して行う。

「むつ」は、放射線漏れ後の遮へい改修等を実施し、その後の出力上昇試験の再開に当たって、原子炉施設等の健全性の確保について万全を期すため、原子炉蓋開放点検、船体点検及び起動前機能試験を計画的に行うとともに、定期的な保守運転、日常の維持管理等によって確認、維持を努めていた。出力上昇試験（岸壁試験、洋上試験準備運転、第 1 次～第 4 次航海）では、計画外スクラム 2 回を含め、機器等の動作について表 36 に示す不具合が発生したが、これらは概ねプラントの初期的な故障等であり、原子炉の安全性や基本設計に影響を及ぼすものはなかった。なお、実験航海（第 1 次～第 4 次航海）では、スクラムを含め不具合は認められなかった。

表 36 出力上昇試験における不具合一覧⁵⁴

No.	不具合項目（発生時期）	概略内容
1	仮設試験装置による制御棒の自動落下（岸壁試験）	仮設クラッチ電流遮断装置の電源接続不良により、制御棒が急挿入された。仮設設備の再点検を行った。
2	制御棒引抜きインターロック作動（岸壁試験）	核計装のプリアンプ部のケーブルの接触抵抗増大によりノイズが混入した。アースを取り付けた。
3	制御棒グループ操作レバーの不調（岸壁試験）	操作レバーの接点接触抵抗増大、レバー取付けビスの緩みにより、レバー操作に制御棒が追従しなかった。予備品に交換するとともに他の同種の接触型スイッチについて点検した。
4	主給水制御系吐出圧力制御器の不調（岸壁試験）	制御器の制御動作に伴い、制御用空気圧力の変動により、制御系がハンチングした。空気圧力が変動し難いように、吐出圧力制御器の部品の一部の形式を変更した。
5	瞬時電圧低下に係る一次冷却水流量低によるスクラム（洋上試験準備運転／炉出力 6%）	解列されている主発電機が ACB の投入動作なしに非同期投入され、母線電圧が瞬時低下し、一次冷却水ポンプの主電磁接触器が開となり、「一次冷却水流量低」によってスクラムした。その原因を究明するのに約 1 ヶ月を要し、ACB の投入動作なし投入されないよう投入回路の改造を行った。
6	蒸気流量計の指示不調（1 次航海）	No1 蒸気流量計の検出配管にドレンが溜り、指示に誤差が生じた。ドレンが溜り難いよう保温を強化した。
7	No2 補助発電機トリップ（1 次航海）	蒸気源切り替え操作中、No2 補助発電機に No2 主発電機の負荷を移行する際のガバナー操作ミスによりトリップした。
8	操舵機用電動機トリップ（1 次航海）	操舵機用電動機の電源スイッチ（ナイフスイッチ）の押し込み不足により、電源断となり、電動機がトリップした。電源

⁵⁴ 日本原子力研究所、「原子力船開発の歴史」、平成 7 年 12 月 10 日発行

No.	不具合項目（発生時期）	概略内容
		スイッチを最終位置まで押し込むとともにスイッチの外れ防止用金具を取り付けた。
9	一次冷却水温度高によるスクラム (1次航海/炉出力 70%)	1点ずつ操作すべきスイッチを2点同時に操作したため誤信号が発生しスクラムした。原子炉運転中は原則として操作しないようスイッチにカバーを取り付けた。翌日には原子炉を再起動した。
10	制御棒位置信号回路の不調 (1次航海)	ポテンシオメータの巻線抵抗上のグリスの影響等により制御棒位置指示回路にノイズが発生した。炉出力 70%での試験を一部残し帰港した。帰港後、ポテンシオメータは信頼性の高いシンクロ直流コンバータに変更した。
11	制御位置指示回路シンクロ直流コンバータ指示不調 (2次航海)	シンクロ直流コンバータの IC の不調により、CR-1 の位置指示回路にノイズが発生した。予備品と交換するとともに、他のシンクロ直流コンバータについて点検を実施した。
12	蒸気流量計の指示不調 (3次航海)	No1 蒸気流量計の検出配管内にドレンが溜り、指示に誤差が生じた。3次航海後、ドレンが溜まっても許容できる誤差範囲となるよう検出配管の形状を変更するとともに、圧力検出孔の口径を拡大する等の改造を行い、当初計画より一航海（第4次航海）を余分に実施した。

4.2. 解役（燃料取り出し）

実験航海終了後、「むつ」は使用済燃料を取出し、原子炉室を船体から一括撤去し、海洋科学技術センターへ船体を引渡し、別用途に使用された。原子炉室は、青森県むつ市のむつ科学技術館に展示・保管されている。

解役は、原子炉設備の取出し、燃料の取出し、使用済燃料輸送容器の船外搬出・輸送・乾式貯蔵の順に実施されており、これら作業は全て関根浜港の岸壁に係留した状態で実施されている。「むつ」と異なり、ドイツの原子力鉱石運搬船オットハーンは、船内の核燃料を直接取り出すことができる陸上施設の建設について、許可されていなかったため、船内設備として、燃料一時貯蔵水槽、35トンデッキクレーン、燃料交換キャスク、回転蓋が装備されていた。

5. 原子力船「むつ」の運転経験からの指摘・提言

「むつ」の運転経験については、1994年に原子力船「むつ」運転経験検討会により「原子力船「むつ」運転経験検討結果 (JAERI-memo 06-182)」として纏められている。この検討の目的は、運転経験からさらに改善点などの指摘、提言を行い、次世代の設計や建造に資することであった。指摘・提言として、総論 6 点、一次系 16 点、二次系 16 点、計測・制御系 17 点、格納容器等 7 点、電気系 4 点、廃棄物処理系 12 点、放射線監視系 8 点、水・ガス管理系 11 点、その他 8 点が挙げられている。その一部を以下で紹介する。

■ 入渠地・方法の事前検討

- ・ 船舶として、少なくとも年に1回の入渠が義務づけられているが、建造計画段階で入渠地、入渠方法等を十分に検討する必要がある。

■ LAN システム導入による陸上支援

- ・ 自由航行可能な環境を確立し、安全性の担保とトラブル時の応急措置に対応するためにも、LAN システムの導入を図り、船内の各種のデータを陸上支援要員がリアルタイムで受け、船内の状況を把握し陸上から支援し得る体制の確立が望まれる。

■ 機器の揺動・振動・塩害対策

- ・ 陸上の原子力発電で使用されており、実績を積み重ねている機器の採用であっても、重要な機器は船舶特有の揺動振動対策（例として核計装）及び海水による塩害対策を十分に検討する必要がある。

■ 使用済燃料の船内保管

- ・ 「むつ」の燃料取り出し作業は、燃料を十分冷却した後に実施していた。停泊時の燃料交換作業を早め、膨大な燃料移送装置を省略するためにも、船内で崩壊熱の除去を実施するのが望ましい。この使用済燃料の船内保管に関しては、種々のシステムの追加及び事故解析の必要性等デメリットも生じる。

■ 入渠時の崩壊熱除去

- ・ 「むつ」は、入渠時の崩壊熱除去に関し、冷却水採取についての多重性を有していなかった。外部からの冷却水と同時に、船内の水タンク（クーリングコイル付き）の水を応急用に使用できるようにしておく等の多重性の確保が必要である。

■ 検査・保守性を考慮した設計

- ・ 「むつ」の機器設計及び配置は、供用期間中検査及び保守性が必ずしも考慮されていない。検査機器の開発も含め設計での考慮が必要であるし、特に一次冷却系統の機器・配管には点検・保守等の作業時の被ばく対策を考慮した設計が望まれる。

■ 燃料交換設備の恒久化

- ・ 「むつ」の使用済燃料の取り出しは、解役の際の 1 回だけになり、取り出し作業に関する設備（例えば燃料交換水槽への水張り、水抜き設備）は、解体に使用する設備として仮設的なものとして対応したが、供用期間中の燃料交換設備として位置付ける場合には、当然、原子炉設備として恒久的な設備とする必要がある。

■ 予備機の運用

- ・ 「むつ」においては、原子炉運転中では予備機の健全性が担保されないと、運転継続が不可能であった。長期航海での予備機の計画的整備を実施するためにも、原子炉運転が可能な予備機の配置及び運転管理基準の検討が必要である。また、船舶安全法の予備機の考え方と、原子力におけるそれとの整合を図る必要がある。

■ 核物質防護上の検討

- ・ 「むつ」においては、核物質防護の観点から船体構造物等の設計はなされていない。設計時に核物質防護の観点からの検討が必要である。

6. むつ科学技術館の視察

青森県むつ市のむつ科学技術館を視察した。むつ科学技術館では、原子炉室等が展示されている。ここでは、具体的な展示物の紹介は省略するが、視察時の議論内容の一部を以下に示す。

■ 全般

- ・ 「むつ」の経験から、洋上における原子炉が陸上における原子炉と異なる点を挙げると、支援を受け難く、故障があった場合には洋上で修理を自前で行わなければならないことである。予備品をどの程度積むかは各担当で判断していた。
- ・ 将来、洋上における原子力発電を造る場合の改善点・要検討点として、機器の高経年化評価、炉心が小さいことによる燃焼分布のばらつき評価、格納容器の狭さによるメンテナンス性の改善等が挙げられる。
- ・ 原子力船「むつ」と浮体式原発は構造上、根本的に異なるものの今回の「むつの経験共有・現地調査」においては、沈没時の格納容器圧壊防止のため圧力平衡弁が設置されていることをはじめとして、構造強度・安全確保上の諸装置・各機器の性能・自然現象に関する設計条件など、浮体式原発を検討する上で非常に参考となる情報が得られた。また、「運転経験からの指摘・提言」では、今後の設計にあたって注意すべき重要な観点が記載されており、大変役立つ情報であった。

■ 設計

- ・ 燃料被覆管の材料として、ジルカロイではなくステンレス鋼を採用した理由は、「むつ」では衝突回避等のために急速前進・後退・旋回が必要となる（基底出力 18%から 90%まで 30 秒程度で出力を上げることもある）ため、燃料被覆管への負荷を考慮し、より機械的強度があり信頼性が高いステンレス鋼を採用していた。
- ・ 水位計は、差圧計のものを使用していた。
- ・ 蒸気発生器側（縦型）は、揺動対策として、水位変動の影響を大きく受ける部分の径を広げ、水位変動の影響を小さくしていた。また、配置上の工夫点として、蒸気発生器を船体の中心に置くことにより揺れへの影響を小さくすることが挙げられる。
- ・ 洋上にモニタリングポストは設置していなかった。
- ・ 設計・建造は、船体及び原子炉格納容器が石川島播磨重工業（IHI）、原子炉及び蒸気発生器等一次系が三菱重工業（MHI）であったことから、IHI 東京第 2 工場から大湊定係港に回航し、その岸壁にて大変苦労しながら原子炉格納容器内に機器を設置した。（特に長尺の蒸気発生器は傾斜させながら組み入れた）この点は契約上の問題だけかもしれないが、船体と原子炉設備の設計取り合いにおいてより高い安全性や合理性を求めるなら、同一の企業による設計・建造が望ましいと感じた（これが放射線漏洩事故の遠因になったかかどうかは不明）。

■ 運用

- ・ 試験航海中の当直員の人数は 4 名であった。メーカーから 2 名の技術者が参加していた。
- ・ 揺動があることで苦勞した点として、揺動による見かけの水位が変わることが挙げられる。これへの対応としては、例えば、抽出水量の調整により加圧器水位を保つ等が挙げられる。燃料交換に関しては、岸壁での係留時に実施したが、揺動対策として、揺動に関する基準を設けていた。ただし、実際には揺動による影響は少なかった。
- ・ 試験航海で得られた運転面の主な知見として、出力変動に対する追従性、船体揺動に対する安定性が良好であることが挙げられる。実験船としての問題はほぼ無かったと言える。
- ・ 特に、第 4 次実験航海（冬場 30 日）の荒海域実験において、30 度近い横揺れを経験しており、原子炉安定性が十分立証できている。（その結果、乗組実験部員が船酔いで全滅し、その対応として、その後は何もせず穏やかな海面を目指しまっすぐ南下したことで、実験海域は相当な荒天であったと思われる）
- ・ 試験航海で得られたメンテナンス面の主な課題として、長期の利用に関する知見が十分に得られなかったことが挙げられる。

以 上

一般社団法人 産業競争力懇談会（COCN）

〒100-0011 東京都千代田区内幸町2-2-1

日本プレスセンタービル 6階

Tel : 03-5510-6931 Fax : 03-5510-6932

E-mail : jimukyoku@cocn.jp

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 山口雅彦