

【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】

2023年2月9日

産業競争力懇談会 **COCN**

【エクゼクティブサマリ】

1. 浮体式原発の特徴と利点

カーボンニュートラル社会を実現するためには、我が国の CO2 排出量の 4 割を占める発電部門の全てをゼロエミッション電源に転換することが必須の条件である。現状の発電電力量の約 8 割は化石燃料に依存しており、これらを 2050 年までにゼロエミッション電源に転換することは、高度成長期を上回るペースでの新たな電源建設となる。更に運輸や種々の産業がエネルギー源の電化によってカーボンニュートラルを目指すことを考慮すると、必要な電源は更に増加する。そのため、太陽光、風力発電などの再生可能エネルギーを大幅に増加させる一方で、原子力発電の活用も不可避となる。

一方で、原子力発電を活用するためには、福島第一原子力発電所事故の原因を踏まえた安全性の大幅な向上が絶対条件である。そのため、COCN では 2020 年から、津波や電源喪失時の安全性を向上させる技術として浮体式原子力発電（Offshore Floating Nuclear Power、マサチューセッツ工科大学 Michael Golay 教授らが提唱）に注目し、成立の可能性を検討してきた。

浮体式原子力発電の仕組みは、海洋掘削リグとして建造実績のある円筒型浮体構造物に原子力発電設備を搭載するもので、これを沖合 30km 以遠の洋上に浮かせ、海底ケーブルで既存の送電網に接続し電力を需要地に送電する（図 1、2）。原子力発電、浮体構造物、海底ケーブルの技術は確立されているため、今後の開発・設計に長期間を要しない。浮体構造物は二重船殻構造で外部からの衝撃で損傷が生じた場合でも、容易に浸水しない構造とする。大型の浮体構造物であることと重心が下方にあるため、波浪による動揺は抑えられる。

沖合の海上に設置する利点は、津波の影響を大幅に緩和できることと周囲の海水と自然対流で熱交換することで動力を要せず長期間の冷却継続が可能になることである。原子炉設備は海水への除熱が自然循環力を用いて容易にできるように海面高さより下方に設定されている。

更に 30km 以遠の沖合に設置することで、「緊急防護措置を準備する区域（UPZ）」に居住者がおらず、万一の事故の際の周辺住民の方達への影響や避難の負担を軽減できる。

これらの安全性上の特徴に加え、検討中に注目した利点について整理したものを下表に示す。

- ① 水深が深い洋上に位置するため、津波の影響を小さくすることができ、また、陸上と比較して地震（洋上では海震）による影響を小さくすることができる。更に、海域の使用により、設置地域の選択が広がる。
- ② 周囲にある大量の海水を動力なしに永続的に原子炉からの崩壊熱冷却に利用できる。
- ③ 陸地から離れた沖合に位置するため、事故時の住民避難負担を軽減することができる。
- ④ 工業地帯で製造することで建造効率が上がり、建設期間の短縮が図れる。
- ⑤ 運転開始後に新たに発見される環境リスク（活断層、火山等）に対しても、移動というリスク回避手段が取れる。
- ⑥ 津波や地震リスクが高い東南アジア地域などにも安全な電力手段が提供できる。
- ⑦ 海外への原発輸出の際の課題である現地工事がなく、国内製造後曳航し設置できる。
- ⑧ 我が国の原発製造技術と造船技術の融合が、産業競争力の強みとなる。

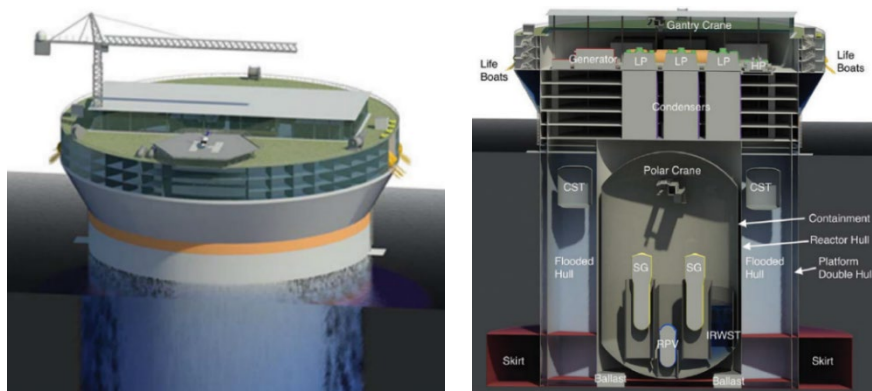


図 1 浮体式原子力発電の構造¹

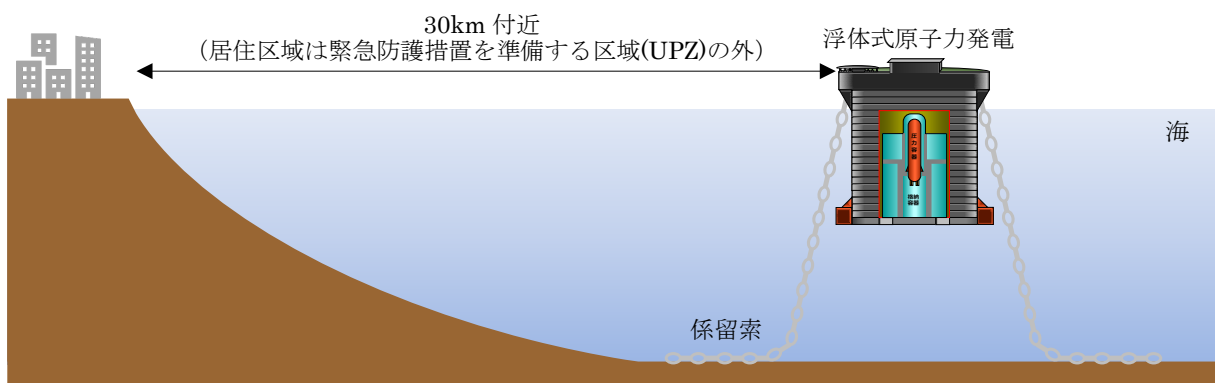


図 2 浮体式原子力発電の設置イメージ

なお、本プロジェクトは、既存の沸騰水型原子炉（BWR）と加圧水型原子炉（PWR）を前提として進めたが、今後新たに開発される炉型であっても水系冷炉に対しては安全性を向上させる効果が大きいと考えられる。

2. 検討の視点と範囲

2020 年度は、MIT が提唱する浮体式原発の基本構造を理解し、以下のことを確認した。

- ・ 海上に設置することの課題抽出を行ない、成立性を決定的に阻害する要因がない。
- ・ 過酷事故に至る主要因である「除熱の失敗」を、周囲の海水で永続的に除熱できることは、安全性向上効果が顕著である。
- ・ 津波リスクは大幅に低減できるが、海震（海を伝搬する地震動）の影響評価は必要。
- ・ BWR を搭載した場合でも、揺動の影響が成立性を阻害しない見通し。

2021 年度は、建造スケジュールやコスト、安全設備、保守、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえた安全性向上、国際協調、過去の知見など、以下を確認した。

- ・ 初号機の建造期間は、法整備や許認可等も含めて 14.5 年程度。

¹ J. Buongiorno et al., “The Offshore Floating Nuclear Plant (OFNP) Concept,” Nucl.Tech., vol.194, pp.1-14 2016.

- ・ 建造費は、陸上の原子力発電所と同等。
- ・ 石油掘削リグの知見等から、保守作業のほとんどは洋上で実施が可能であるが、一部、浮体の再塗装や大型補修等のためにドックを確保することは必要。
- ・ 浮体構造物の位置保持方式は、洋上風力発電でも候補のカテナリー係留が有力。
- ・ 揺動時の核燃料からの除熱量の変化は許容範囲にあること。(BWRを確認)
- ・ 福島第一原子力発電所事故の教訓に基づく安全対策の可能性を確認。(BWRを確認)
- ・ 運転中の許容値以下の放射性物質の放出は、陸上炉と同様に海洋投棄に当たらないこと。
(ロンドン条約・議定書を確認)
- ・ 世界的に洋上での原発利用の関心が高まりつつあること。(IAEA、OECD-NEAから確認)
- ・ 過去に検討された船用炉や人工島原子力発電の知見の収集。

2022年度の検討は、安全設備、揺動、建設場所、保守場所、運用海域、長期運用時の影響、核セキュリティ、運用体制、必要な法整備を実施した他、原子力船「むつ」の知見調査、国際連携活動、社会的受容性の議論、対外情報発信を行なった。

- ・ 安全設備：過酷事故時の要求事項、動的安全系と静的安全系の区分や容量の規定、沈没時への備えなどの要求事項の整理を行なった。
- ・ 揺動：原子炉や安全設備に加え、使用済燃料プールやタービン、送電線、係留設備への影響もあると予想。具体的な対処方法については、今後揺動の大きさを確定した際の課題とした(MITが実施した浮体式原子力発電所の揺動の大きさに関する解析結果や円筒型の石油掘削リグの運用実績からは台風通過等の荒波の時以外の揺動はほとんどないと想定される)。
- ・ 建設場所：国内の大型船建造ドックを調査し、現状の制約の中で建造する際に、深い喫水が課題になることを明確にした。
- ・ 保守場所：搬入時と保守作業を行う上での留意点を抽出した。
- ・ 運用海域：領海内で陸地から30kmの離隔が取れて場所の検索と選定時に考慮すべき波浪などの外的影響を整理した。
- ・ 運転体制：陸上炉の体制を参考にオンラインメンテナンスを考慮し300人規模の乗船者数になるとの見通しを得た。
- ・ 長期使用時の課題：材料の疲労や腐食が問題となる可能性がある部位を抽出し、交換を容易に実行できる様にするなどの対策を検討した。
- ・ 核セキュリティ：脅威となるテロ行為を整理し、それらに対する対応策として、浮体構造の外殻を強化するなどを検討した。
- ・ 法整備：現行の原子炉等規制法と船舶安全法に準拠適用することができるが、船舶の定義(特殊船)や船長の権限の明確化、国有財産法において海域の占有について明確にしておくことが課題と整理した。

- ・ 社会的受容性：安全性への懸念や便益についてはステークホルダーによって変わりうるの
で、「浮体式原子力発電が所在する海域に接する市町村の住民」をステークホルダーと定義
した。具体的な調査はプロジェクトの最終報告に間に合わせられなかった。
- ・ 情報発信：浮体式原発についての社会的な認知を広げるために、日本原子力学会等での発
表、新聞取材対応、講演会などで、技術や利点の紹介を行なった。
- ・ 国際連携：検討の起点となった MIT 教授陣との情報共有に加え、海外で本プロジェクトに
関心を持つ組織との意見交換を実施した。国際原子力開発株式会社（JINED）と東南アジ
アでの浮体式原発の導入の可能性について意見交換した。
- ・ 「むつ」の知見調査：「むつ」の資料館であるむつ科学技術館をメンバーが訪問し、現地調
査、意見交換を行なった。
- ・ その他：経済産業省補助事業である NEXIP イニシアチブ「社会的要請に応える革新的な原
子力技術開発支援事業」の予算を電力中央研究所が得て、揺動の影響を中心に検討を深め
ている。

3. 産業競争力強化のための提言および施策

2020年の初頭に COCN から要請を受け、将来の原子力利用を可能とするために大幅な安全性向上が期待できる浮体式原発を三年に亘って検討してきた。電力や原子炉メーカーに加え、造船関係企業の参画も得て、原子炉システムと浮体構造物の組み合わせという新たなコンセプトについて検討を深めることができた。更に日本原子力研究開発機構（JAEA）を初めとする研究機関や大学の協力を得られたことで、浮体式原発の実現可能性について一定の見通しを持つことができた。

本プロジェクトの最終盤の 2022 年 12 月に、GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議において「新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に取り組む」との政府方針が示された。政府の新たな方針に間に合うタイミングで本プロジェクトの検討が進んだことを幸運に思うと同時に、今後浮体式原子力発電が GX 実現の一翼を担うことを強く期待する。

一方で、現状は電力、メーカー共に既存炉の再稼働、運転期間延長などに注力せざるを得ない状況にあり、直ちに本プロジェクトに大きなリソースを割くことが難しい状況にある。仮に再稼働などが一段落するまで待機することになると、その間に原子力発電の設計、建設の経験を有する人材の減少が続いてしまうことも大きな問題である。

浮体式原子力発電が実際に建造されるまでには、基本設計、詳細設計、許認可、建造という過程を経て、十年前後の期間を要すると予想されるが、浮体式原子力発電が既存の軽水炉を搭載する場合は原子炉系の大規模なエンジニアリングが必要ないことから、基本設計の段階では、2～30人程度の陣容で進めることが可能と考える。

以上の背景を踏まえて、本プロジェクト終了後に速やかに基本設計段階に移行するため、以下の提言を行う。

【産業界への提言】

- 浮体式原子力発電の基本設計（要求事項、原子炉系仕様、浮体構造、性能評価）を推進するスタートアップ組織（以下、新組織）を構築する。
 - ・ 新組織は、電力・メーカーのOBの再雇用と大学院修士課程の学生のJOB型インターンシップを人的リソースの中核とし、電力、メーカーから少数の出向者を加えた構成。
 - ・ 新組織は浮体式原子力発電の基本設計活動への投資を募り、人件費や設計委託費の原資とする。
 - ・ 浮体構造設計については、新組織が造船設計会社に委託し検討を進める。
 - ・ 基本設計の期間は三年を目処とし、得られた成果は詳細設計を担う組織に引き継ぐ。
- 電力は、電力中央研究所に対し新組織との協力・連携を推奨する。
- 原子炉メーカーは、搭載する既存炉の設計情報を新組織が検討に使用することを認める。

【大学への提言】

- 学生の新組織への参画を推奨し、学生を介して新組織と協力・連携する。

【経済産業省への提言】

- 新組織が行う基本設計への資金援助を行う。
- エネルギー総合工学研究所に対し新組織との協力・連携を推奨する。
- OECD-NEA、IAEAなど国際機関との協力体制の強化を図る。

【文部科学省への提言】

- 新組織が行う技術伝承活動の人件費への資金援助を行う。
- JAEAに対し新組織との協力・連携を推奨する。

【国土交通省への提言】

- 浮体式原子力発電の浮体構造や海洋利用に関連する法令の整備をする。
- 環境影響評価方法を整備する。
- IMOなど国際機関との協力体制の強化を図る。

【原子力規制庁への提言】

- 浮体式原子力発電の安全性審査ガイドを作成する。
- 立地点の影響を受けない浮体式原発の型式認定の制度の適用を検討する。

【目 次】

【プロジェクトメンバー】	2
1. 本プロジェクトの背景・目的	6
1.1. 本プロジェクトの背景	6
1.2. 本プロジェクトの目的	9
2. 本プロジェクトの進め方	10
3. 技術的側面からの検討	12
3.1. 運用海域の選定	12
3.2. 浮体式原子力発電所の安全設備	13
3.3. 揺動関係	14
3.4. 建造場所・技術、保守場所	15
3.5. 長期運用を考慮した浮体構造物等の設計・保守	16
3.6. 核セキュリティ	16
4. 社会的側面からの検討	18
4.1. 社会的受容性	18
4.2. 本プロジェクトの情報発信	20
5. 制度・運用面からの検討	21
5.1. 必要な法整備の検討	21
5.2. 運用体制	23
6. 国際連携に向けた活動・知見収集	24
6.1. 国際連携の枠組み作りに向けた活動	24
6.2. むつの経験共有・現地調査	24
7. 産業競争力強化のための提言および施策	25

【プロジェクトメンバー】

リーダー	姉川 尚史	(東京電力ホールディングス株式会社)
メンバー	松原 儀尚	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	中西 大介	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	高橋 宗孝	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	青木 保高	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	後藤 圭太	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	佐藤 隆司	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	安達 弘幸	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	長島 慶典	(東芝エネルギーシステムズ株式会社)
	松村 和彦	(日立GEニュークリア・エナジー株式会社)
	Antonin Povolny	(日立GEニュークリア・エナジー株式会社)
	安田 賢一	(日立GEニュークリア・エナジー株式会社)
	上遠野 健一	(日立GEニュークリア・エナジー株式会社)
	清水 雄亮	(日立GEニュークリア・エナジー株式会社)
	久保 直紀	(日立GEニュークリア・エナジー株式会社)
	寺村 芳明	(日立GEニュークリア・エナジー株式会社)
	有田 誠二	(三菱重工業株式会社)
	塚本 泰史	(三菱造船株式会社)
	久々津 諒平	(三菱造船株式会社)
	小池 大介	(株式会社 IHI)
	鈴木 清照	(株式会社三菱総合研究所)
	川合 康太	(株式会社三菱総合研究所)
	森山 善範	(鹿島建設株式会社)
	門馬 隆弘	(鹿島建設株式会社)
	小林 伸司	(清水建設株式会社)
	吉田 郁夫	(清水建設株式会社)
	黒澤 到	(清水建設株式会社)
	甲斐 修二	(清水建設株式会社)
	藤田 昭	(日揮株式会社)
	森本 泰臣	(日揮グローバル株式会社)
	目黒 伸充	(日揮グローバル株式会社)
	岸本 直彦	(日揮グローバル株式会社)
	安食 和英	(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)
	楠 剛	(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)

川西 智弘	(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)
山本 智彦	(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)
福田 航大	(国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)
徳永 佳久	(原燃輸送株式会社)
中島 進	(原燃輸送株式会社)
藤岡 諒	(原燃輸送株式会社)
山口 洵	(原燃輸送株式会社)
山崎 正俊	(株式会社スタズビック・ジャパン)
森下 務	(株式会社三井 E&S ホールディングス)
南 清和	(東京海洋大学)
賞雅 寛而	(東京海洋大学)
井原 智則	(東京海洋大学)
師岡 慎一	(早稲田大学 名誉教授)
古谷 正裕	(早稲田大学)
小原 徹	(東京工業大学)
木倉 宏成	(東京工業大学)
相楽 洋	(東京工業大学)
高橋 秀治	(東京工業大学)
原 大輔	(東京工業大学)
櫻原 達也	(イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校)
岡本 孝司	(東京大学)
村上 健太	(東京大学)
山形 浩史	(長岡技術科学大学)
齊藤 泰司	(京都大学)
伊藤 啓	(京都大学)
伊藤 大介	(京都大学)
大平 直也	(京都大学)
遠藤 知弘	(名古屋大学)
池野 正明	(一般財団法人電力中央研究所)
宇井 淳	(一般財団法人電力中央研究所)
池谷 知彦	(一般財団法人電力中央研究所)
三浦 弘道	(一般財団法人電力中央研究所)
中村 武史	(一般財団法人電力中央研究所)
鶴留 千晶	(一般財団法人電力中央研究所)
藤原 広太	(一般財団法人電力中央研究所)
村部 良和	(日本原子力発電株式会社)
谷川 明広	(日本原子力発電株式会社)

佐藤 拓	(関西電力株式会社)
菅原 淳	(関西電力株式会社)
田口 鋼志	(関西電力株式会社)
一川 倫宏	(関西電力株式会社)
遠藤 博史	(関西電力株式会社)
長谷川 寛	(関西電力株式会社)
梅田 敏郎	(中部電力株式会社)
原 哲也	(中部電力株式会社)
上岡 幹優	(中部電力株式会社)
及川 智之	(元フランス電力日本駐在事務所)
伊藤 大輔	(一般財団法人発電設備技術検査協会)
古塚 伸一	(一般社団法人日本原子力産業協会)
手塚 健一	(一般財団法人エネルギー総合工学研究所)
木野 千晶	(一般財団法人エネルギー総合工学研究所)
佐脇 俊之	(NEC Corporation (日本電気株式会社))
林 真照	(三菱電機株式会社)
山下 裕宣	(一般社団法人日本保全学会)
金子 誠司	(株式会社テプコシステムズ)
末廣 祥一	(株式会社テプコシステムズ)
佐藤 親宏	(株式会社テプコシステムズ)
五十嵐 信二	(株式会社東京エネシス)
平尾 克己	(東京パワーテクノロジー株式会社)
設楽 親	(KK6 安全対策共同事業株式会社)
石井 武生	(東京電力ホールディングス株式会社)
後藤 章	(東京電力ホールディングス株式会社)
上村 孝史	(東京電力ホールディングス株式会社)
上坂 昌生	(東京電力ホールディングス株式会社)
大森 修一	(東京電力ホールディングス株式会社)
山田 五雪	(東京電力ホールディングス株式会社)
小暮 将之	(東京電力ホールディングス株式会社)
徳大路 悠太	(東京電力ホールディングス株式会社)
神戸 勇汰	(東京電力ホールディングス株式会社)
川端 洋佑	(東京電力ホールディングス株式会社)
大嶋 輝	(東京電力ホールディングス株式会社)
光山 童夢	(東京電力ホールディングス株式会社)
金澤 脩平	(東京電力ホールディングス株式会社)
藤原 卓真	(東京電力ホールディングス株式会社)

田口 涼太	(東京電力ホールディングス株式会社)
猪俣 朋樹	(東京電力ホールディングス株式会社)
鈴木 智広	(東京電力ホールディングス株式会社)
三宅 響	(東京電力ホールディングス株式会社)
佐々 大輔	(東京電力ホールディングス株式会社)
中野 宏之	(東京電力ホールディングス株式会社)

COCN

森山 善範	(COCN 担当実行委員)
山口 雅彦	(COCN 理事・事務局長)
五日市 敦	(COCN 副事務局長)
武田 安司	(COCN 副事務局長)
土肥 英幸	(COCN 副事務局長)
岩田 一	(COCN 企画小委員)
大久保 進之介	(COCN 企画小委員)
金枝上 敦史	(COCN 企画小委員)
菊地 達朗	(COCN 企画小委員)
佐藤 桂樹	(COCN 企画小委員)
中山 慶祐	(COCN 企画小委員)

【本 文】

1. 本プロジェクトの背景・目的

1.1. 本プロジェクトの背景

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、電力部門では、2050年の必要年間発電電力量が2020年と同等となると仮定した場合、年間発電電力量7637億kWh分の電源の脱炭素電源への置き換えや二酸化炭素回収・貯留（CCS）等のその他の対策が必要である（図1参照）。これらの大部分を脱炭素電源に置き換える場合には、高度経済成長期（1955～1973年）の前後を含む33年間（1952～1985年）の増加量（5407億kWh）以上であり、この時期の電源開発の規模は非常に大規模なものであった。例えば、1961年に218万kW、1963年に518万kW、1965年に295万kWと200万kWを超える規模の発電所が運転を開始していた（着工規模の観点では、1956年度に330万kW、1960と1961年度には毎年500万kWを超える電源開発に着手していた）²。なお、エネルギーの脱炭素化に伴い、電化の推進や省エネルギーも必要である。

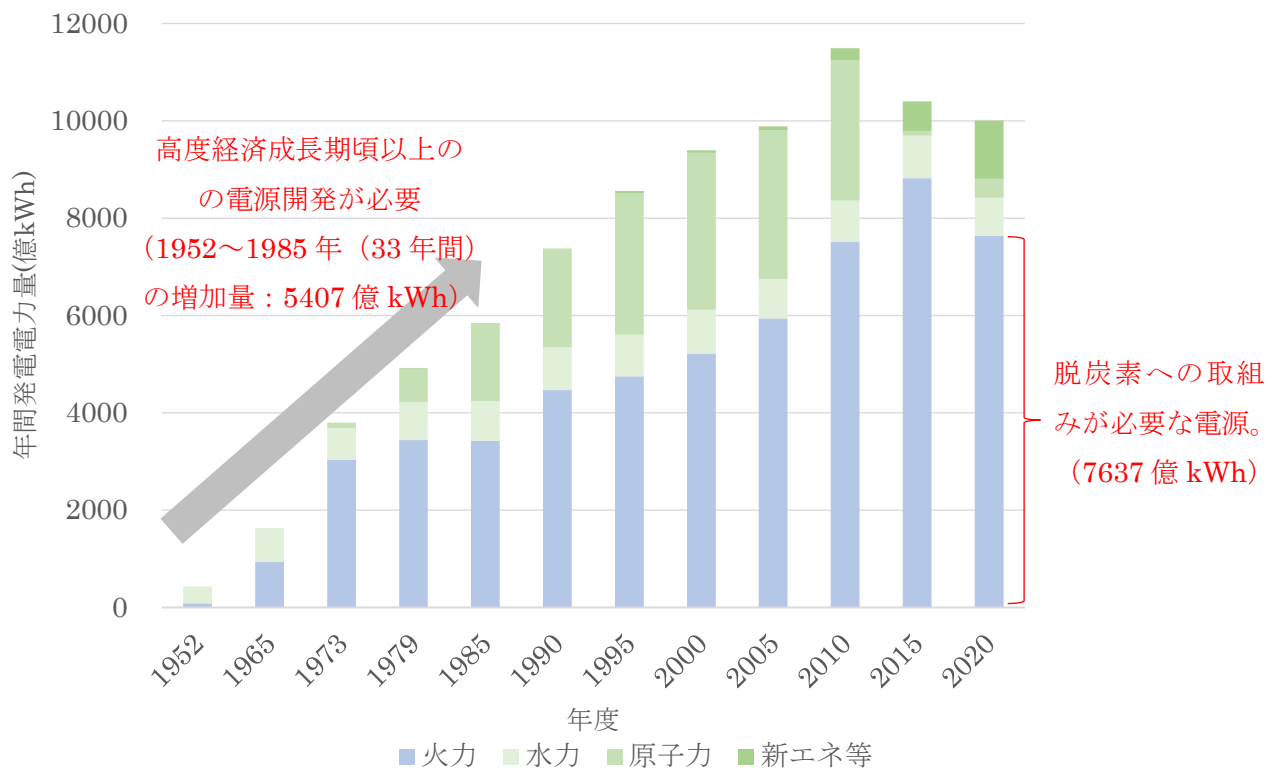


図1 日本における年間発電電力量³

このように、大規模な脱炭素電源の開発が必要な状況であり、原子力発電の活用を図っていくことが非常に重要であるが、東京電力福島第一原子力発電所事故（1F事故）による周辺地域の避

² 小竹即一（編集・発行人）「電力百年史 後篇」303、307ページ

³ 経済産業省「平成22年度電源開発の概要2010」、「総合エネルギー統計（時系列表）」より作成。

難人数（図 2）からもわかるように、1F 事故のような事故が発生した場合には周辺住民へ大きな影響を及ぼす。そのため、今後の原子力発電には、安全性が高いことに加え、事故時の影響を緩和できることが求められる。これら要求に合致する原子力発電の一つとして、本プロジェクトで検討する浮体式原子力発電が挙げられ、2020 年度から産業競争力懇談会（COCON）において検討を進めている。これまでの海洋の原子力設備（原子力船等）では炉型として加圧水型原子炉（PWR）が選択されているが、格納容器が小型である等の利点を有する沸騰水型原子炉（BWR）にも着目し、両炉型を候補に検討を進めており、BWR 特有の検討事項も設定している。



図 2 東日本大震災・東京電力福島第一原子力発電所事故による避難人数（2011/3/25 8 時時点）⁴

本プロジェクトで検討している浮体式原子力発電は、原子力船むつ、ロシアのアカデミック・ロモノソフのような船型とは異なり、マサチューセッツ工科大学（MIT）の Michael Golay 教授らが提案⁵している石油掘削リグで建造実績のある円筒形状（モノコラム型）の浮体構造物に原子力発電設備を設置するものである。

浮体式原子力発電の炉型は加圧水型原子炉や沸騰水型原子炉等が考えられる。構造は図 3 に示すように海面より下に原子炉が、その上にタービンが配置される構造であり、この配置により、原子炉冷却の最終手段として電源を使用しない重力などによる冷却水（周囲の海水）注水が可能

⁴ 福島県災害対策本部「平成 23 年度東北地方太平洋沖地震による被害状況即報（第 64 報）」より作成

⁵ J. Buongiorno et al., “The Offshore Floating Nuclear Plant (OFNP) Concept”, Nucl. Tech., vol.194, pp.1-14, 2016.

となる。浮体構造物の形状をモノコラム型とする理由として、上記の重力などによる冷却水注水に加え、浮体構造物の揺動を低減する仕組み（喫水が深いこと、下部にスカートを設置することで重心が下がること）になっていることが挙げられる。

なお、浮体式原子力発電の設置箇所は、「緊急防護措置を準備する区域（UPZ）」⁶の外に居住区域が位置するよう、沖合 30km 付近の洋上とすることを考えている。

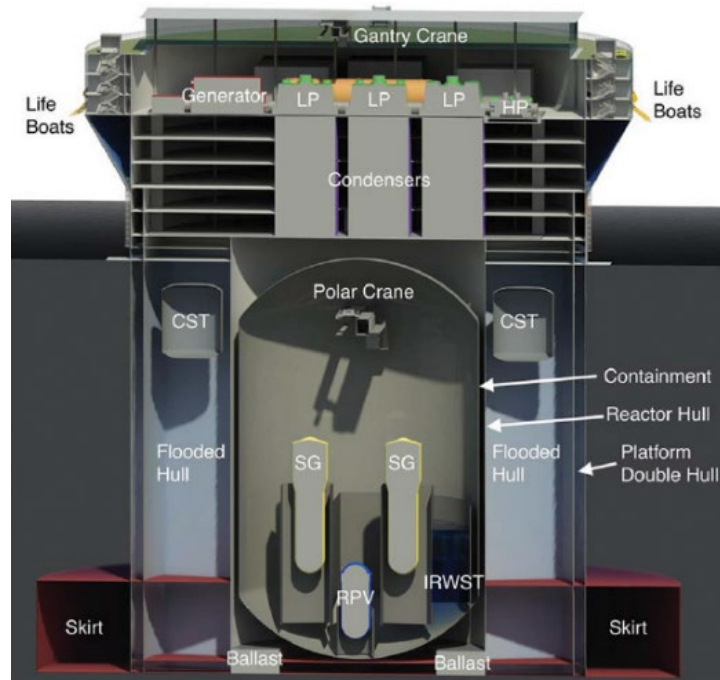


図 3 MIT の Golay 教授らが提案する浮体式原子力発電の構造図⁷

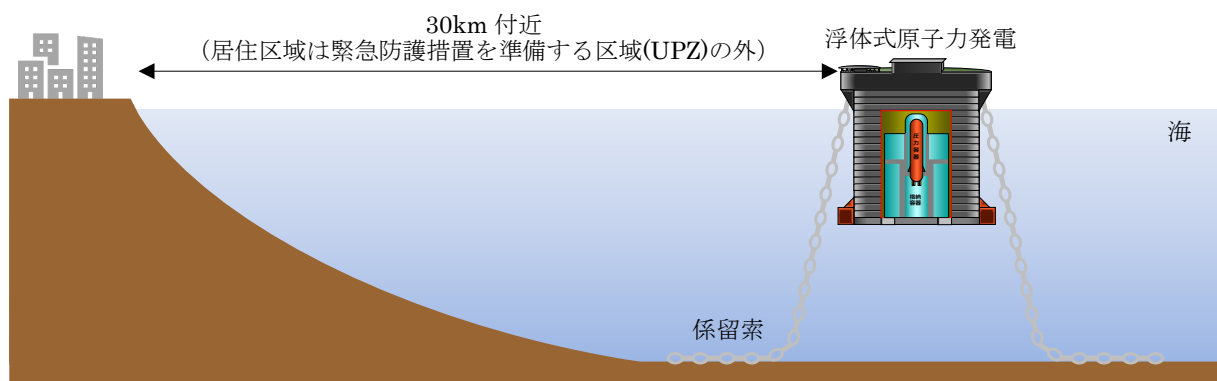


図 4 浮体式原子力発電のイメージ図

⁶ 国の防災基本計画第 12 編原子力災害対策編では、実用発電用原子炉施設からおおむね半径 30km 圏内の原子力災害対策指針に基づく「緊急防護措置を準備する区域（UPZ）」内の地方公共団体において広域避難計画を策定することとしている。

⁷ J. Buongiorno et al., “The Offshore Floating Nuclear Plant (OFNP) Concept,” Nucl.Tech., vol.194, pp.1-14 2016.

浮体式原子力発電の特徴は以下の通り。

- ・ 既存技術の融合であるため、実現可能性が高い。
- ・ 水深が深い洋上に位置するため、津波の影響を小さくすることができる。また、陸上と比較して地震（海震）による影響を小さくすることができる（詳細評価中）。
- ・ 周囲にある大量の海水を動力なしに炉心からの崩壊熱除去に利用できる。
- ・ 陸地から離れた沖合に位置するため、事故時の住民負担を軽減することができる。
- ・ 集中した製造拠点で製造することで、建造効率が向上する。
- ・ 運転開始後の「活断層の発見」による想定外の廃炉リスクを回避できる。
- ・ 従来の炉型に限らない高温ガス炉や専燃炉等の「様々な原子炉タイプ」も搭載・運用できる可能性がある。
- ・ 立地地域を陸上だけではなく、洋上にも拡大し、原子力平和利用の可能性を向上できる。
- ・ 浮体式原子力発電所は、長期間を要する廃炉作業等に関係なく建造や設置ができるため、電力の速やかな安定供給に寄与できる。

1.2. 本プロジェクトの目的

我が国への導入実現を目指し、浮体式原子力発電の長所および課題を抽出検討するとともに、より安全な原子力発電の実現に向けた施策を検討することを目的とする。

2. 本プロジェクトの進め方

本プロジェクトでは、浮体式原子力発電に関する検討事項を設定し進めた。2022年度の検討事項として、表1に示す12件を設定している（7件は2022年度に新たに設定した検討事項）。これら検討の一部については、経済産業省補助事業であるNEXIPイニシアチブ「社会的要請に応える革新的な原子力技術開発支援事業」とも連携をして進めている。

技術的側面からの検討として、以下に示す6件の検討事項を設けた。第3章にこれらの検討状況を纏めている。

1. 立地計画の段階において、浮体式原子力発電の設置海域を選定する必要がある。そのため、今後の設置海域選定において考慮が必要となる項目を検討し、日本近海のデータを確認するとともに、選定において重要な項目になると考えられる外部事象について、その評価方法を整理する。（表のNo.1）
2. 浮体式原子力発電の安全性に関する特徴として、周囲に大量に存在する海水を活用した原子炉の冷却機能の強化が挙げられる。本検討では、ポンプ等の動力に依存しない自然力を使用した冷却機能の充実に加え、海水を活用した冷却機能を持つ設備を検討する。（表のNo.2）
3. 2020年度からCOCNで検討している揺動による原子炉への影響（揺動が核燃料の除熱能力に与える影響）等の揺動関係の内容を検討する。（表のNo.3）
4. 浮体式原子力発電の建造場所として考えられるドックに求められる条件や建造方法について検討する。加えて、浮体式原子力発電の保守は基本的に洋上での実施を考えているが、場合によっては造船所やフローティングドックでの実施も必要になると考えられる。本検討ではこれら場所の必要条件（例：近海の水深等）についても検討する。（表のNo.4）
5. 浮体式石油・ガス生産貯蔵積出設備（FPSO）等の設計寿命である約30年と比較すると、原子力発電の運用期間は長いため、浮体構造物の設計や保守の観点から長期運用への対応を検討する。（表のNo.5）
6. 陸上の原子力発電と同様に浮体式原子力発電にも核セキュリティ対策が求められるため、浮体式原子力発電の核セキュリティ対策について検討する。（表1のNo.6）

社会的側面からの検討として、以下に示す2件の検討事項を設けた。第4章にこれらの検討状況を纏めている。

7. 原子力発電に限らずどの事業でも社会から受容されることが必要不可欠なため、浮体式原子力発電では居住地から離すことにより住民避難の緊急性を軽減し、地震時、津波時の安全性も高まるが、そのような活動の受容性への影響を検討する。（表のNo.7）
8. 浮体式原子力発電の実現には情報発信等による一般の方の関心を高めることが必要である。また、情報発信による、様々な視点からのご意見を頂けるため、様々な場で情報発信する。（表のNo.8）

制度・運用面からの検討として、以下に示す 2 件の検討事項を設けた。第 5 章にこれらの検討状況を纏めている。

9. 実現には現状の法令の改正が必要なため、浮体式原子力発電に必要な法整備を検討する。
(表の No.9)
10. 発電所が洋上に位置する場合の発電所の運用体制を検討する。(表の No.10)

国際連携に向けた活動や知見収集に関連し、以下に示す 3 件の検討事項を設けた。第 6 章にこれらの検討状況を纏めている。

11. 国際連携の枠組み作りに向け、海外の原子力発電関係者との対話活動を実施する。(表の No.11)
12. 原子力船「むつ」の経験を共有すると共に、むつ科学技術館に展示されている「むつ」の設備を現地で確認することで浮体式原子力発電の検討に活用する。(表の No.12)

表 1 検討事項一覧

No.	報告書記載箇所	検討事項 (太字: 2022 年度新規件名)
1	第 3 章	運用海域の選定
2		浮体式原子力発電所の安全設備
3		揺動関係
4		建造場所・技術、保守場所
5		長期運用を考慮した浮体構造物等の設計・保守
6		核セキュリティ
7	第 4 章	社会的受容性
8		本プロジェクトの情報発信
9	第 5 章	必要な法整備の検討
10		運用体制
11	第 6 章	国際連携の枠組み作りに向けた活動
12		むつの経験共有・現地調査

3. 技術的側面からの検討

3.1. 運用海域の選定

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。なお、本内容の詳細は、付録1に纏められている。

運用海域の選定において考慮が必要な項目については、外部ハザードに関する項目として、波浪・高波、暴風（台風）、竜巻等が挙げられた。外部ハザード以外の項目として、運用海域周辺の主要航路、運用海域の海域保全（自然公園等）、近隣の陸上送電設備等が挙げられた。

日本近海における項目のデータ有無の確認は、調査対象海域を絞りこみ、実施した。調査対象海域は、以下に示す3つの条件を満たす海域とし、8箇所存在することを確認した。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。

- ・ 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）。

今回の検討では、考慮が必要な項目の内、波高・周期、風速、竜巻、水深、海域火山、海底活断層の6点を調査し、データが存在することを確認した。今後、これら以外のデータ有無を確認する必要がある。

外部ハザードに対する評価方法の調査では、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。今回の調査では、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に加えて、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規則・審査ガイドとの相違点（例えば、基準津波の考え方等）を整理しておくことも必要である。

3.2. 浮体式原子力発電所の安全設備

浮体式原子力の安全設備に関する将来の基本設計に向けて、プラント全体に対する要求事項の洗い出しを行い、浮体式の安全系設備を中心とした具体的要求事項を検討した（表 2 プラント全体への要求事項）。加えて、既存炉との比較を通して浮体式原子力の基本設計に向けた安全設備に要求される能力と安全性の評価項目を、“表 3 事故時の安全設備対応能力”、及び“表 4 安全性の評価等における検討事項”に整理した。

表 2 プラント全体への要求事項（一部抜粋：詳細は付録 2-1 参照）

プラント全体への要求事項の一例		浮体式原子力における要求事項
安全設備	シビアアクシデント(SA)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、溶融炉心冷却が可能（非凝縮性ガス蓄積による冷却喪失対策含む） ・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。 ・万が一の溶融炉心が海へ漏れ出しについて検討を行う。

表 3 安全設備の事故対応能力（一部抜粋：詳細は付録 2-2 参照）

評価すべき項目の一例		安全設備の事故対応能力
内的事象	非常用炉心冷却系(ECCS)の信頼性向上	<p>■設計基準事故(DBA)：4つの独立した動的安全系（電気を使用した安全システム）の4区分分離（100%容量/区分）、加えて原子炉運転時の保守（オンラインメンテナンス(OLM)）を可能にした設計</p> <p>■設計拡張状態(DEC)/シビアアクシデント(SA)対応：2つの独立した静的安全系（電気を使用しないで自然力を用いた安全系）（2区分分離（100%容量/区分））の設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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。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

表 4 安全性の評価等における検討事項（一部抜粋：詳細は付録 2-3 参照）

評価すべき項目の一例		安全性評価等の検討事項
外的事象	津波	<ul style="list-style-type: none"> ・喫水線より上は完全水密構造によりハザードを回避 ・津波及び通常時の揺動により係留索及び送電線が切れない設計 ・海上を漂流する瓦礫に対する取水の安全性及び衝突回避を検討
	沈没	<ul style="list-style-type: none"> ・沈没に対して引き上げ可能な水深に設置、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。

3.3. 揺動関係

浮体式原子力プラント全体において、前記「3.2 安全設備の検討」と同様に、浮体式原子力への要求事項において揺動の影響を受ける項目を抽出・検討した（表 5）。また、2021 年度までに検討していた炉心以外の設備にも検討範囲を拡大し、揺動および傾斜がプラント設備並びにプラント運転操作に与える影響およびその対応策等について検討した（表 6）。なお、保守作業における揺動影響に関する検討は、2021 年度に実施している。

表 5 プラント全体への要求事項に対する揺動の影響（一部抜粋：詳細は付録 3-1 参照）

プラント全体への 要求事項の一例		揺動・傾斜の影 響の考慮要否	考慮・評価すべき事項
設計の境界条件	定格出力	必要	揺動・傾斜時に炉出力抑制や取水確保 の検討が必要になる可能性あり
安全設備	シビアアクシデ ント対策	必要	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

表 6 主要設備に対する揺動の影響（一部抜粋：詳細は付録 3-2 参照）

代表的な システムの一例	懸念事項	プラント停止及び 停止後機能維持の 必要性の考え方	対応策および今後の課題
原子炉炉心	炉心動特性 等	熱的裕度の減少 等	・通常運転や過渡状態の炉心評価 ・出力密度低減や最大線出力密度 制限等の裕度増加
原子炉系 ・使用済燃料プール	水面揺動	溢水による使用済 燃料冷却機能喪失	・溢水量及び溢水防止方策の検討 ・浮体最深部に設置し影響を緩和
タービン系 ・タービン ・取水設備	・機械振動 ・取水不十分	タービン破損防止	・回転体への影響 ・取水機能維持評価
計測系 ・炉心水位計 ・格納容器モニター	・センサー故 障・誤計測 ・機械振動	・センサー検出性 能劣化及び故障	・計測器の傾斜振動評価及び制振 検討
交流系・送電線（海 底ケーブル含む）	・取合部振動 ・送電ケーブ ルの余裕超過	・海底ケーブル及 び取合部が破損	・機器の振動評価及び制振検討
係留・揺動抑制装置	係留索の余裕 代を超過	・係留索切断やス クリューの破損	・機器の振動評価及び制振検討

3.4. 建造場所・技術、保守場所

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（船がドックに入ること）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、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、保守場所に関する検討として、保守場所に求められる条件について検討した。なお、本内容の詳細は、付録4に纏められている。

■ 国内で建造可能と考えられる場所

- ・ 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。
- ・ 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、既存の複数のドックで建造可能と考えられる。
 - ① 艀装工事（発電設備等を船体に取付ける工事）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、ドック近傍の岸壁の水深によるが、上記の②又は③の方法を採用する必要があると考えられる。その場合、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、ドックのクレーンの高さに応じてドック内で実施する作業高さを決め、それ以上の高さの作業は岸壁等で実施するため、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する（スカート部の直径を短くする）必要がある。

■ 建造技術（方法）

- ・ 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（電気出力 30 万 kW の場合に考えられる一つの方法）と建造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。

■ 保守場所に求められる条件

- ・ 保守場所に求められる条件として、「設置海域から入渠場所までの輸送ルート」に関するものが 5 点（ルート上の水深、橋桁の高さ、輸送距離、主要航路、避航場所）、「入渠場所」

に関するものが7点（ドックの幅、全長、深さ、クレーンの仕様、ドック内地面の耐荷重、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）であった。

- ・ 今後、これら12点の条件について、保守場所毎に具体化する必要がある。そのためには、設計情報及び国内造船所に関する情報の拡充が必要である。

3.5. 長期運用を考慮した浮体構造物等の設計・保守

本検討は、2021年度から実施しており、一部の検討を2022年度に実施することとしていた。なお、本内容の詳細は、付録5に纏められている。

本検討では、以下を実施する方針としており、2022年度は、部位の抽出に関する検討として、2021年度に未実施であった一部文献の確認を実施し、その結果、追加された部位について、設計・保守の観点から長期運用に向けて考えられる対策を検討した。

- ・ 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。
- ・ 抽出された部位について、設計・保守の観点から長期運用に向けて考えられる対策を検討した。

検討の結果、「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、経年劣化事象としては疲労と腐食が挙げられた。これに対する設計・保守の観点からの対策として、設計の観点での対策としては、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。保守の観点での対策としては、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。

今後の課題として、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。

3.6. 核セキュリティ

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、国内でも実施⁸されている。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。なお、本内容の詳細は、付録6に纏められている。

検討は、テロ行為の目的を定義した上で、脅威となるテロ行為を検討し、その対抗策を検討し

⁸ 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

た。

■ テロ行為の目的

- ・ 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つが挙げられた。

■ 目的毎の脅威となるテロ行為の方法と具体的手段

- ・ 目的毎の脅威となるテロ行為は、大きく分けると、妨害破壊を目的とした2つの方法（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、浮体式原子力発電所占拠）と盗取を目的とした1つの方法（浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取）が挙げられる。
- ・ 妨害破壊を目的としたテロ行為（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）の脅威となる具体的手段としては、飛翔体の着弾、船舶の衝突、ドローンを含む飛行物体の衝突、魚雷の着弾、爆発物の設置が挙げられた。
- ・ 妨害破壊を目的としたテロ行為（浮体式原子力発電所占拠）の脅威となる具体的な手段としては、空からの侵入（航空機、飛行船、ヘリコプター等）と海からの侵入（旅客船、小型ボート、水上バイク、潜水艦等）が挙げられた。
- ・ 盗取を目的としたテロ行為（浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取）の脅威となる具体的な手段としては、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自体の曳航が挙げられた。

■ 脅威となるテロ行為への対抗策

- ・ 妨害破壊を目的としたテロ行為（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）の具体的な手段に対する対抗策を機能で整理すると、①脅威となるテロ行為の実行の検知、②脅威となるテロ行為からの回避、③脅威となるテロ行為からの防護が挙げられた。
- ・ 例えば、①の機能に関する要求事項として、脅威となるテロ行為の実行を検知すること、治安機関に通報できること等が挙げられ、この要求事項に対応する具体的な対抗策として、既製の検知システムの活用が考えられる。
- ・ ③の機能に関する要求事項として、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等が挙げられ、ダブルハル構造とすることや上部甲板、舷側（船体の側面）を対テロ装甲とすることが考えられる。
- ・ 上記以外のテロ行為2点（浮体式原子力発電所占拠、浮体式原子力発電所内の核燃料等の盗取）に対する対抗策については、今後検討が必要である。

4. 社会的側面からの検討

4.1. 社会的受容性

社会的受容性は浮体式原子力発電所の実現に向けて重要な点の一つであるため、本プロジェクトにおいて、社会的受容性について検討した。なお、社会的受容性に関する重要な要素として、高い安全性に加え、事故発生時の周辺住民の負担軽減策があることが挙げられる。また、これらをより高いレベルにするため、継続的に検討し、改善していくことも重要な要素と考えられる。

本検討では、陸上の原子力発電所と浮体式原子力発電所の特徴の違いが社会的受容性にどのように影響（受容性の向上又は低下）を与えるのかを分析することとした。受容性の向上とは、ステークホルダーの関心事の内、ステークホルダーにとっての利点である。一方、受容性の低下とは、ステークホルダーにとっての懸念事項である。受容性の獲得のためには、利点については説明性を高める方法を検討する必要がある。一方、懸念事項については懸念事項に対する解決方を検討すると共に、説明方法の改善を検討する必要がある。この検討にあたり、今回は、ステークホルダーを特定することとした。

ステークホルダーの特定は、ISO26000:2010 Guidance on social responsibility（社会的責任に関する手引き）で推奨されている下記に示す 8 つの検討ポイントを用いたリスティングにより実施された。なお、今回はある程度の大枠で挙げており、細分化までは実施していない。

- ① 組織は誰に対して法的義務があるのか
- ② 組織の決定と活動により、プラス又はマイナスの影響を受ける可能性があるのは誰か
- ③ 組織の決定と活動に懸念を表明する可能性があるのは誰か
- ④ 過去において同様の課題に取り組む必要があったとき、関わりがあったのは誰か
- ⑤ 特定の影響に対処する場合、その組織を援助できるのは誰か
- ⑥ 組織が社会的責任を果たす能力に影響を与えられるのは誰か
- ⑦ エンゲージメントから除外された場合、不利になるのは誰か
- ⑧ バリューチェーンの中で影響を受けるものは誰か

なお、特定においては次の前提条件を設けている。

- ・ 一般的にステークホルダーには、ステークホルダーに影響を与えるメディア等の間接的なステークホルダーも含まれるが、より重要な「直接的なステークホルダー（近隣住民等）」を対象とする。
- ・ 本資料での近隣住民の定義は、一般的な陸上の原子力発電と異なり、「浮体式原子力発電が所在する海域に接する市町村の住民」とする。

特定作業の結果、表 7 に示す 16 種類のステークホルダーが挙げられた。なお、近隣住民の中には議会議員が含まれることに代表されるように、一人の人間が複数の種類に当てはまることもある。

今回はステークホルダーの特定まで実施したが、今後、これらのステークホルダー毎に関心事

を確認し、利点については、説明性を高める方法を検討する必要がある。一方、懸念事項については、懸念事項に対する解決方策を検討すると共に、説明方法の改善を検討する必要がある。利点に関連した検討として、浮体式原子力発電を発電以外の用途（例えば、災害時の非常電源）にも活用する新しい価値の提供も一案である。

表 7 特定されたステークホルダー

大分類	ステークホルダー
行政・立法・司法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 政府 ・ 地方自治体 ・ 議会議員
国民	<ul style="list-style-type: none"> ・ 近隣住民 ・ 近隣住民以外の国民
周辺空間利用者	<ul style="list-style-type: none"> ・ 洋上利用者 ・ 空域利用者
企業・団体	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体式原子力発電事業を運営する企業以外の原子力関連企業・団体 ・ 近隣地域の企業・団体（上記の原子力関連企業・団体を除く） ・ 近隣地域以外の企業・団体（上記の原子力関連企業・団体を除く）
顧客	<ul style="list-style-type: none"> ・ 顧客
投資家等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 債権者 ・ 株主
浮体式原子力発電事業を運営する企業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浮体式原子力発電事業を運営する企業の経営者・社員
国際	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国際機関 ・ 海外（住民等）

4.2. 本プロジェクトの情報発信

原子力発電のような大型プロジェクトの実現には様々な関係者と一緒に進めることが必要であり、情報発信が重要となってくる。また、情報発信により、多様な視点からご意見を頂くことができるため、今後の検討の参考にすることができる。以上のことから、本プロジェクトについて情報を発信していくこととした。これまでに、付録 7 に示すように 14 件、情報発信を行っている。これらの情報発信の中で頂いた意見として、以下が挙げられる。

- ・ 使用済燃料プール等の開口部がある貯蔵槽のスロッシング対策はどのように考えているのか。
 - 「蓋ができる場合には蓋をするが、できない場合には、スロッシングがあることを前提にした設計が必要と考えている。例えば、堰を高くすることや形状を工夫することを考えている（2021 年度の報告書に記載）」と回答している。
 - ・ 沈没の際の対策としてどのようなものがあるのか。
 - 「沈没することで原子炉格納容器に外側から圧力（水圧）がかかるが、原子炉格納容器の圧壊を防止するため圧力平衡弁※を設置することを考えている。」と回答している
- 現在、国際会議での発表や雑誌への掲載等に向けた準備を進めており、今後も様々な場を活用して情報を発信していく。

※圧力平衡弁の詳細は、付録 10 を参照のこと。

5. 制度・運用面からの検討

5.1. 必要な法整備の検討

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。なお、本内容の詳細は、付録 8 に纏められている。

本事項は、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（実現するための課題整理）について検討している。以下に、浮体式原子力発電所に適用される法律と実現に必要な法整備（実現するための課題整理）に関する検討結果概要を示す。

■ 浮体式原子力発電所に適用される法律

- ・ 適用される法律として、船舶安全法等の海事関係の法律で規制されるかが明確になっていないため、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）等の原子力関係の法律と船舶安全法等の海事関係の法律で規制されると仮定して検討を進めた。
- ・ その結果、適用が考えられる法律として 49 件が挙げられた。なお、この件数の中には、電波法や高圧ガス保安法のように一般産業施設と同じ規制内容が適用される法律は含まれない。

■ 実現に必要な法整備（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、改正要否を確認する観点から、課題の有無を確認した。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、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、改正の要否以外（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必要がある。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るため、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⁹、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、国としての統一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）ことが課題として挙げられる。

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）、占有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る、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と規定している。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¹⁰。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。

⁹ 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。

¹⁰ 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)

5.2. 運用体制

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。検討においては、以下の前提条件を設定し、検討を進めている。そのため、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はより高まるものと考えられる。なお、本内容の詳細は、付録9に纏められている。

- ・ 30km 沖合に1基設置されているとすること。
- ・ 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（運転中保全）による保守を原則とすること。
- ・ 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。
- ・ 陸上に位置すると仮定する施設（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。

■ 組織、業務内容

- ・ 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た。
- ・ 基本的には、陸上の原子力発電所と同じ業務内容であるが、陸上与異なる点として、土木設備に関する業務がないこと、自動船位保持装置（DPS）の運転・保守管理、浮体構造物や係留の保守管理、ヘリコプター、船舶、救命艇の航行管理が追加されることが挙げられる。

■ おおよその必要乗員数

- ・ 上記に記載した業務内容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）。
- ・ また、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に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。

6. 国際連携に向けた活動・知見収集

6.1. 国際連携の枠組み作りに向けた活動

2021年度に引き続き、国際連携の枠組み作りに向けた活動を実施している。浮体式原子力発電の提案者であるMITのMichael Golay教授らと2021年度の検討内容等を共有するとともに、欧米の規制当局の元委員長や西欧原子力規制者会議（WENRA）の委員経験者に、浮体式原子炉のコンセプト、原子力安全に関わる特徴を説明しWENRAのSafety Objectiveの考えに適合しているなどの意見を頂いた。また、海外の主要な原子力事業者や類似した浮体式原子力発電を検討する企業との意見交換等も実施している。国際原子力開発株式会社（JINED）と東南アジアでの浮体式原発の導入の可能性について意見交換した。以上の活動は、今後も引き続き実施していく。

なお、2023年3月にデンマークのSeaborg社¹¹本社で開催される第4回Expert Group on Small and Modular Reactor (EGSMR)において、COCNで検討してきた浮体式原子力発電所について発表し、また、海外で浮体式原子力発電所を開発する企業と意見交換することを予定している。

2023年1月にはOECD-NEAのシンポジウムが予定されていたが、ロシアのウクライナ侵攻で中止となっている。

6.2. むつの経験共有・現地調査

原子力船「むつ」は、日本において実現された洋上の原子炉である。「むつ」の運用等における知見は浮体式原子力発電所の検討においても有効であることから、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を現地調査した。なお、本内容の詳細は、付録9に纏められている。

「むつ」の運転経験からは、核セキュリティの観点からの検討が必要であることが改めて確認された。現在の核セキュリティ上の要求事項は年々増大する傾向にあるが、当時の実際の船体には対策が盛り込まれていなかった。そのため、浮体式原子力発電所では、設計段階から安全の観点に加え、核セキュリティの観点からも検討を進める必要がある。

¹¹ 浮体式原子力発電所（熔融塩炉）を開発するデンマークの企業

7. 産業競争力強化のための提言および施策

2020年の初頭に COCN から要請を受け、将来の原子力利用を可能とするために大幅な安全性向上が期待できる浮体式原子力発電を三年に亘って検討してきた。電力や原子炉メーカーに加え、造船関係企業の参画も得て、原子炉システムと浮体構造物の組み合わせという新たなコンセプトについて検討を深めることができた。更に JAEA を初めとする研究機関や大学の協力を得られたことができたことで、浮体式原子力発電の実現可能性について一定の見通しを持つことができた。

本プロジェクトの最終盤の 2022 年 12 月に、GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議において「新たな安全メカニズムを組み込んだ次世代革新炉の開発・建設に取り組む」との政府方針が示された。政府の新たな方針に間に合うタイミングで本プロジェクトの検討が進んだことを幸運に思うと同時に、今後浮体式原子力発電が GX 実現の一翼を担うことを強く期待する。

一方で、現状は電力、メーカー共に既存炉の再稼働、運転期間延長などに注力せざるを得ない状況にあり、直ちに本プロジェクトに大きなリソースを割くことが難しい状況にある。仮に再稼働などが一段落するまで待機することになると、その間に原子力発電の設計、建設の経験を有する人材の減少が続いてしまうことも大きな問題である。

浮体式原子力発電が実際に建造されるまでには、基本設計、詳細設計、許認可、建造という過程を経て、十年前後の期間を要すると予想されるが、浮体式原発が既存の軽水炉を搭載する場合は原子炉系の大規模なエンジニアリングが必要ないことから、基本設計の段階では、20～30 人程度の陣容で進めることが可能と考える。

以上の背景を踏まえて、本プロジェクト終了後に速やかに基本設計段階に移行するため、以下の提言を行う。

【産業界への提言】

- ▶ 浮体式原子力発電の基本設計（要求事項、原子炉系仕様、浮体構造、性能評価）を推進するスタートアップ組織（以下、新組織）を構築する。
 - ・ 新組織は、電力・メーカーの OB の再雇用と大学院修士課程の学生の JOB 型インターンシップを人的リソースの中核とし、電力、メーカーから少数の出向者を加えた構成。
 - ・ 新組織は浮体式原子力発電の基本設計活動への投資を募り、人件費や設計委託費の原資とする。
 - ・ 浮体構造設計については、新組織が造船設計会社に委託し検討を進める。
 - ・ 基本設計の期間は三年を目処とし、得られた成果は詳細設計を担う組織に引き継ぐ。
- ▶ 電力は、電力中央研究所に対し新組織との協力・連携を推奨する。
- ▶ 原子炉メーカーは、搭載する既存炉の設計情報を新組織が検討に使用することを認める。

【大学への提言】

- ▶ 学生の新組織への参画を推奨し、学生を介して新組織と協力・連携する。

【経済産業省への提言】

- 新組織が行う基本設計への資金援助を行う。
- エネルギー総合工学研究所に対し新組織との協力・連携を推奨する。
- OECD-NEA、IAEA など国際機関との協力体制の強化を図る。

【文部科学省への提言】

- 新組織が行う技術伝承活動の人的費への資金援助を行う。
- JAEA に対し新組織との協力・連携を推奨する。

【国土交通省への提言】

- 浮体式原子力発電の浮体構造や海洋利用に関連する法令の整備をする。
- 環境影響評価方法を整備する。
- IMO など国際機関との協力体制の強化を図る。

【原子力規制庁への提言】

- 浮体式原子力発電の安全性審査ガイドを作成する。
- 立地点の影響を受けない浮体式原発の型式認定の制度の適用を検討する。

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