

**2025年3月12日(水)**

企画セッション | 部会・連絡会セッション：核データ部会[「シグマ」調査専門委員会共催]

**2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場 A会場(Zoomルーム1)**  
**[1A\_PL] 三体核力研究と核データ応用への期待**

座長:深堀 智生(JAEA)

[1A\_PL01]

**三体核力**

原子核物理の新しい物質観

\*関口 仁子<sup>1</sup> (1. 東京科学大)

[1A\_PL02]

**密度汎関数理論を用いた核子多体系の記述**\*中務 孝<sup>1</sup> (1. 筑波大)

[1A\_PL03]

**核子多体系の原子核構造・反応計算の確立**\*肥山 詠美子<sup>1</sup> (1. 東北大)

[1A\_PL04]

**三体核力の医学応用への期待**\*小川 美香子<sup>1</sup> (1. 北大)

企画セッション | 委員会セッション：標準委員会

**2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場 B会場(Zoomルーム2)**  
**[1B\_PL] 規格基準類策定に係わる課題と今後の展望**

座長:山本 章夫(名大)

[1B\_PL01]

**標準委員会活動の現状**\*毎熊 成公<sup>1</sup> (1. 九州電力)

[1B\_PL02]

**標準委員会活動の課題**\*山本 章夫<sup>1</sup> (1. 名大)

[1B\_PL03]

**総合討論 (ステークホルダからの意見を踏まえて)**富田 邦裕<sup>1</sup>、神谷 考司<sup>2</sup>、阿部 弘亨<sup>3</sup>、笠原 直人<sup>3</sup>、毎熊 成公<sup>4</sup> (1. 電事連、2. 規制庁、3. 東大、4. 九州電力)

企画セッション | 委員会セッション：倫理委員会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 Ⅲ C会場(Zoomルーム3)

**[1C\_PL] 倫理的な安全行動を支える心とは何か？—安全文化の基盤ともなる心構えとその掘りどころを探る—**

座長:中村 秀夫(JAEA)

[1C\_PL01]

日常の倫理的行動とハザード対処に通底するものは？

\*鳥居塚 崇<sup>1</sup> (1. 日大)

[1C\_PL02]

総合討論

講演者および参加者

企画セッション | 委員会セッション：理事会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 Ⅲ D会場(Zoomルーム4)

**[1D\_PL] 海外における原子力の情勢と我が国の方向**

座長:越塚 誠一(東大)

[1D\_PL01]

大型軽水炉に関する海外の情勢

\*新井 史朗<sup>1</sup> (1. 原産協会)

[1D\_PL02]

SMRをとりまく海外情勢

\*木藤 和明<sup>1</sup> (1. 日立GE)

[1D\_PL03]

幅広い視点から考える日本の原子力・核燃料サイクルの価値とリスク：欧州グリーンディールに学ぶ

\*渡辺 凜<sup>1</sup> (1. キヤノングローバル戦略研)

[1D\_PL04]

総合討論

講演者全員、大井川 宏之<sup>1</sup> (1. JAEA)

企画セッション | 部会・連絡会セッション：原子力発電部会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 F会場(Zoomルーム6)

**[1F\_PL] 持続可能な未来に向けての原子力の社会受容性と技術革新の状況**

座長:北田 孝典(阪大)

[1F\_PL01]

近年の原子力発電をめぐる世論の動向

\*藤田 智博<sup>1</sup> (1. INSS)

[1F\_PL02]

女川原子力発電所の再稼働に向けた安全性向上の取り組み

\*諸井 睦<sup>1</sup> (1. 東北電力)

[1F\_PL03]

GX実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

a) 革新軽水炉SRZ-1200の開発状況

\*西尾 浩紀<sup>1</sup> (1. MHI)

[1F\_PL04]

GX実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

b) Highly Innovative ABWR及びBWRX-300の導入に向けた取り組み

\*近藤 貴夫<sup>1</sup> (1. 日立GE)

[1F\_PL05]

GX実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

c) 革新軽水炉iBRの主要な特徴

\*青木 保高<sup>1</sup> (1. 東芝ESS)

企画セッション | 部会・連絡会セッション：材料部会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 G会場(Zoomルーム7)

**[1G\_PL] 金属積層造形技術の現状とエネルギー機器材料応用への可能性**

座長:岡 弘(北大)

[1G\_PL01]

金属積層造形研究開発の現状

\*千葉 晶彦<sup>1</sup> (1. 東北大)

[1G\_PL02]

金属積層造形による耐熱合金の開発

\*渡邊 誠<sup>1</sup> (1. 物材機構)

[1G\_PL03]

金属積層造形の構造部材への適用に向けた取組

\*藤谷 泰之<sup>1</sup> (1. MHI)

[1G\_PL04]

総合討論

講演者全員

企画セッション | 委員会セッション：福島特別プロジェクト[保健物理・環境科学部会、放射線工学部会共催]

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場(Zoomルーム8)

**[1H\_PL] 福島復興を支える廃炉・環境放射線計測の現場からの報告**

座長:飯本 武志(東大)

[1H\_PL01]

福島環境放射線計測の最新技術とその活用

地域住民の安全確保のための取組

\*佐々木 美雪<sup>1</sup> (1. JAEA)

[1H\_PL02]

福島第一原子力発電所での放射線計測技術の進展

廃炉現場の安全確保のための取組

\*寺阪 祐太<sup>1</sup> (1. JAEA)

[1H\_PL03]

総合討論

企画セッション | 部会・連絡会セッション：核融合工学部会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場(Zoomルーム9)

**[1I\_PL] JT-60SAと炉工学研究のつながり**

座長:長坂 琢也(核融合研)

[1I\_PL01]

JT-60SAの運転状況と研究計画

\*芝間 祐介<sup>1</sup> (1. QST)

[1I\_PL02]

JT-60SAの構造・装置内環境条件

\*林 孝夫<sup>1</sup> (1. QST)

[1I\_PL03]

JT-60SAと原型炉研究開発のつながり

\*宇藤 裕康<sup>1</sup> (1. QST)

[1I\_PL04]

プラズマ実験装置におけるプラズマ対向壁工学研究

\*増崎 貴<sup>1</sup> (1. 核融合研)

[1I\_PL05]

総合討論

講演者全員

企画セッション | 部会・連絡会セッション：核データ部会[「シグマ」調査専門委員会共催]

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 A会場(Zoomルーム1)

## [1A\_PL] 三体核力研究と核データ応用への期待

座長: 深堀 智生(JAEA)

[1A\_PL01]

三体核力

原子核物理の新しい物質観

\*関口 仁子<sup>1</sup> (1. 東京科学大)

[1A\_PL02]

密度汎関数理論を用いた核子多体系の記述

\*中務 孝<sup>1</sup> (1. 筑波大)

[1A\_PL03]

核子多体系の原子核構造・反応計算の確立

\*肥山 詠美子<sup>1</sup> (1. 東北大)

[1A\_PL04]

三体核力の医学応用への期待

\*小川 美香子<sup>1</sup> (1. 北大)

## 核データ部会セッション[「シグマ」調査専門委員会共催]

## 三体核力研究と核データ応用への期待

## Study of Three-body Nuclear Force and its Expectations for Nuclear Data Production

## (1) 三体核力 ～原子核物理の新しい物質観～

## (1) Three-body Nuclear Force ～A New Vision of Matter in Nuclear Physics～

関口 仁子

東京科学大学

物質のもととなる原子の中心には原子核が存在し、強い力である核力が働く。核力の成り立ちを理解し、核力から出発して原子核という量子多体系を理解する、これは原子核物理学の長年の重要課題となっている。この課題への挑戦がここ 20 年で大きく展開され、「三体核力」と呼ばれる核力が原子核の様々な現象を理解するためには不可欠である、という新しい視点が生まれた。三体核力とは、三つの核子が同時に作用することで引き起こされる核力の事を言う。

三体核力の存在そのものは長らく予想されていたが、実験的な検証が難しく、なかなか研究が進まなかった。我々は、三体核力の効果を探索し、その性質を調べるため、重陽子と陽子との散乱（重陽子-陽子散乱）実験を理化学研究所の加速器施設で行ってきた。三つの核子からなるこの散乱系では、実験値と厳密理論計算との比較から、直接定量的に三体核力の大きさ、運動量依存性、スピン量子数依存性といった諸性質を引き出すことができる。これまでに微分断面積の高精度測定によって三体核力の明らかな証拠を見つけ、重陽子-陽子散乱が三体核力研究に有効なプローブである事を示した。

我々の一連の実験をきっかけに、核力は二体核力だけではなく三体核力をも含めた理論の記述が進みつつある。さらに、核力をインプットとして原子核の様々な性質を記述する研究も進み、例えば原子核の結合エネルギーや、中性子星などに見られる高密度の核物質などにおいて三体核力は欠かすことの出来ない重要な力である事が指摘されている。

その様な中「三体核力を精緻に決定し、極めて精度の高い核力をインプットとする原子核の精密計算が実現すれば、それは原子核の物性（半減期、質量、励起エネルギー、半径、変形など）や核反応に対し、予言力の高いシミュレーションツールとなるのでないか」というねらいのもと、我々は ERATO 関口三体核力プロジェクトを開始した。

本講演では、我々が切り拓いてきた三体核力の実験的研究とその背景、また本プロジェクトを核データへつなげたいという思いも含め、今後の展望について言及したい。

**謝辞** 本研究は JST/ERATO（課題番号 JPMJER2304）の助成を受けたものである。

## 核データ部会セッション[「シグマ」調査専門委員会共催]

## 三体核力研究と核データ応用への期待

## Study of Three-body Nuclear Force and its Expectations for Nuclear Data Production

## (2) 密度汎関数理論を用いた核子多体系の記述

## (2) Description of Nucleon Many-body Systems using Density Functional Theory

中務 孝

筑波大学 計算科学研究センター

## 1. 緒言

密度汎関数理論は、原子・分子や固体などの多電子系の第一原理計算として有名であるが、原子核物理においては、Brueckner Hartree-Fock (BHF) theory に対して局所密度近似と密度行列展開を実行し導出される Density-Dependent Hartree-Fock (DDHF) theory として知られる理論と同一視されている。BHF では、原子核の最も基本的な性質である飽和性を定量的に再現することが困難であり (cf, Coester band)、三体力の必要性に絡めて様々な議論がなされてきた[1]。一方 DDHF では、密度行列展開から導出されるエネルギー密度に対して、飽和性を再現するように密度依存性を調整することで、原子核の定量的な記述が可能となり、DDHF と実質的に同等な現象論的エネルギー密度汎関数である Skyrme エネルギー密度汎関数計算、密度依存 Gogny 相互作用を用いた計算、相対論的平均場理論から発展した共変型エネルギー密度汎関数計算が幅広く用いられている。現在、これらはどれも原子核密度汎関数理論として知られている。

## 2. エネルギー密度汎関数による原子核の記述

## 2-1. 基底状態

原子核基底状態の性質については、実験的には質量や荷電半径、反応断面積などの測定が行われる。これらの物理量に対して、密度汎関数理論は定量的な記述を与え、例えば質量に関しては平均誤差で 3 MeV を切るエネルギー汎関数も開発されている。荷電密度分布などに対しても実験データの再現性は高い。開殻配位の原子核を含めた計算を実施するためには、エネルギー密度汎関数として通常密度の  $\rho_n$ 、 $\rho_p$  に加えて対密度  $\kappa_n$ 、 $\kappa_p$  を加えた密度汎関数を用意する必要があり、また変形を取り入れて自己無撞着に決定する必要がある。これらを有限核に対して実行できるオープンソースウェアが複数存在する。一方で、うまくいかない点も分かっている。例えば質量に関しては、陽子・中性子数が魔法数に対応する開殻配位の原子核の質量を再現させると、開殻配位の核種の質量を過大評価してしまうことが知られている。また、現在の汎関数は核力とのリンクが切れてしまっているため、核力から核構造を理解するという観点では不満足な点が残されている。

## 2-2. 励起状態

励起状態の記述には、主に二つの方法が採用される。一つは、配位混合を考慮することで基底状態に対して相関エネルギーを導入するとともに、励起状態を計算する方法である。生成座標法 (GCM) などが良く知られている。この方法は量子力学的な手法で分かりやすい一方、エネルギー密度汎関数のコンセプトとの整合性に問題がある。また、密度依存性からくる数値的な不安定性も大きな問題である。

もう一つの手法は時間依存密度汎関数理論に基づく手法である。基底状態の周りでの線形応答を考慮することで、励起状態の情報を得ることができる。魔法数周辺の球形の原子核に対する計算が系統的に実施され、最近では変形核を含めた開殻配位の核種に対する計算も行われるようになってきた。これに対しては、有限振幅法[2,3]と呼ばれる方法が現在世界的に広く使われ、系統的な計算も行われている。巨大共鳴状態の実験データを高精度で再現することが知られている。低エネルギー状態に対しては、集団ハミルトニアンからのアプローチする手法が取られている[3]。

核反応に対しても時間依存密度汎関数計算が広く行われている。平均的な振る舞いをうまく説明することが知られる一方で、レアイベントの記述はできない。また、量子力学的なトンネル効果をフルに取り入れた記述ができないため、自発的核分裂などの計算を直接行うことができない。これに対して、時間依存密度汎関数理論に基づき、低エネルギー核反応の模型ハミルトニアンを微視的に導出するアプローチが取られている[4]。また、直接反応に対しては、上記の線形応答計算から遷移密度を計算し、反応模型に導入する形で計算が行われている[5]。

### 2-3. 核反応

核反応に対しても時間依存密度汎関数計算が広く行われている。この手法は古くは1970年代から用いられ重イオン反応の平均的な振る舞いをうまく説明することが知られる一方、レアイベントの記述はできないとされてきた。また、量子力学的なトンネル効果をフルに取り入れた記述ができないため、自発的核分裂の時間発展を直接追うことができない。虚時間発展法[1]といった手法が提唱されているが、現実的な計算例はまだ存在しない。これに対して我々は、時間依存密度汎関数理論に基づき、低エネルギー核反応の模型ハミルトニアンを微視的に導出するアプローチが取ることで一定の成功を収めた[4,5]。また、直接反応に対しては、定量的に必ずしも成功しているとは言い難いが、上記の線形応答計算から遷移密度を計算し、反応模型に導入する形で計算が行われている[6]。

### 3. 結語

本講演では、原子核密度汎関数理論の最近の発展を簡単にレビューし、上記の内容に関する原子核構造・反応に対するアプローチ、計算結果を紹介する。成功した点に加えて、うまくいかない点や問題点についても議論したい。また、時間が許せば中性子星物質を対象にした研究についても紹介する。

**謝辞** 本研究はJST/ERATO（課題番号JPMJER2304）の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] J. Negele, Rev. Mod. Phys. 54, 913 (1982).
- [2] T. Nakatsukasa, T. Inakura, and K. Yabana, Phys. Rev. C 76, 024318 (2007).
- [3] T. Nakatsukasa, K. Matsuyanagi, M. Matsuo and K. Yabana, Rev. Mod. Phys. 88, 045004 (2016).
- [4] K. Wen and T. Nakatsukasa, Phys. Rev. C 94, 054618 (2016); *ibid* 96, 014610 (2017); *ibid*. 105, 034603 (2022).
- [5] K. Washiyama, N. Hinohara, and T. Nakatsukasa, Phys. Rev. C 103, 014306 (2021).
- [6] Y. Chazono, K. Yoshida, K. Yoshida, and K. Ogata, Phys. Rev. C 103, 024609 (2021).

## 核データ部会セッション[「シグマ」調査専門委員会共催]

## 三体核力研究と核データ応用への期待

## Study of Three-body Nuclear Force and its Expectations for Nuclear Data Production

## (3) 核子多体系の原子核構造・反応計算の確立

## (3) Establishment of Nuclear Structure and Reaction Calculations for Nucleon Many-body Systems

肥山 詠美子

東北大学

## 1. 緒言

物理学の興味のある課題の中には、少数粒子系（3体以上）のシュレディンガー方程式を「精密に」解くことに帰着する課題が多い。「精密に」解くことによって、新しい知見を得たり、新しい予言や発見に至ることがしばしばある。従って、少数粒子系のシュレディンガー方程式を、精密に解くことができる、容易に解くことができる、適用範囲が広い、大学院修士レベルでも容易に習得できるような計算法が存在すれば、心強い。しかし、そのような計算の開発は難しい。

原子分子の世界では、電子と原子核で構成されるが、ここでは、電子の質量が原子核よりも非常に軽いこと、相互作用であるクーロン力が比較的弱いだけ、よい近似が存在し、原子核物理分野よりも比較的、容易に解くことができる。一方、原子核物理の分野では、陽子や中性子で構成される核子の質量は同じ、相互作用は核力であり、強い相互作用であるために、近似法をできるだけ排除した計算法が必要である。

## 2. 無限小変位ガウス・ローブ関数展開法の提唱とその応用

そこで、「無限小変位ガウス・ローブ関数展開法」をいう3体、4体系のシュレディンガー方程式を厳密に計算する計算法を提唱した[1]。一般的に、少数系における

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{\varepsilon^l} \sum_{k=1}^{k_{\max}} C_{lm,k} e^{-\nu(\mathbf{r} - \varepsilon \mathbf{D}_{lm,k})^2}$$

シュレディンガー方程式を解くために、未知関数をできるだけ完全系に近い基底関数で展開し、ハミルトニアン

の行列要素を計算することで、一般化固有値問題に帰着させ、エネルギー固有値と波動関数を求める。この際、重要なことは展開する基底関数が「信頼できる」ものであることである。そこで、講演者は、次のような基底関数を提唱した。この基底関数を「無限小変位ガウス・ローブ基底関数」と呼ぶ。この基底関数によって、すべての粒子間の相関を取り入れることができる、波動関数の遠方の漸近形をよく記述できる。行列要素の計算が容易にできるだけ、解析的に実施することができる、という利点が生まれた。この基底関数の提唱のおかげで、4体問題だけでなく、5体問題以上の精密計算が可能になりつつある。実際、この計算法が厳密に数値解を与えるかを証明するために、世界中の少数多体系を計算する7つの研究グループと共に、 ${}^4\text{He}$  という4体問題について複雑な現実的核子間相互作用を使用して、その4体問題計算をし、その答えを比較するというベンチマークテストを実施した。その計算結果は、数10keVの精度で一致した[2]。

## 3. まとめ

本講演では、この計算法とその適用例として、4He原子系の3体～5体問題の計算について、説明し、本計算法が如何に有力な方法であるかを示したい。

**謝辞** 本研究はJST/ERATO（課題番号JPMJER2304）の助成を受けたものである。

## 参考文献

[1] E.Hiyama, Y. Kino, and M. Kamimura, Prog. Part. Nucl. Phys. 51, 233 (2003).

[2] H. Kamada et al., Phys. Rev. C64, 044001 (2001).

---

Emiko Hiyama

Tohoku Univ.

## 核データ部会セッション

## 三体核力研究と核データ応用への期待

## Study of Three-body Nuclear Force and its Expectations for Nuclear Data Production

## (4) 三体核力の医学応用への期待

## (4) Expectations for Medical Applications of Three-Body Nuclear Force

小川 美香子

北海道大学 大学院薬学研究院

## 1. はじめに

放射性同位元素 (RI) を導入した化合物による病気の診断・治療を、それぞれ核医学診断・核医学治療と呼ぶ。たとえば、がん細胞に取り込まれる化合物に放射標識を施した薬剤をヒトに投与することで、がんの診断や治療が可能となる。この際、目的に応じた崩壊形式の RI を選択することが重要である。放射線のエネルギーや核種の半減期にも注意を払う必要がある。また、病気の進行を待つことが出来ない場合が多く、必要時に薬剤を入手できることが求められるため、安定供給が可能な RI である必要がある。一方、核医学に用いる薬剤の投与量 (物質質量) は非常に少ないため、元素の種類には大きな制限はない。

現在、種々の診断用、治療用 RI が核医学に利用されているが、製造方法まで含め医療応用に適した「完全な」性質を持っている RI はそれほど多くなく、より良い性質を持つ RI があればさらに望ましい。

## 2. RI の医学利用について

## 2-1. 核医学診断

診断には生体透過性の高いエネルギーの $\gamma$ 線・X線を放出する RI が利用される。消滅 X線を放出するポジトロン放出核種も含まれる。ポジトロン放出核種は PET に、その他はガンマカメラや SPECT での画像化に用いられる。診断用の RI の半減期は、被ばくを低減するため長すぎないことが重要である。一方、短すぎても薬剤が体の中を回る時間が確保できないため適さない。RI を結合する分子の体内動態に併せた半減期を選択することも必要である。一般に、数分から数日の半減期を持つ RI が利用されている。例えば、ガンマカメラ・SPECT での画像化に利用されている Tc-99m は、Mo-99 からジェネレータにより病院内で製造することができるため、薬剤の入手が容易であり汎用されている。一方、Mo-99 は原子炉で製造されており、本邦では輸入に頼っているため状況によっては入手が不能となるなど、「完全」とは言えない。

## 2-2. 核医学治療

治療では、細胞を殺傷する力がある、ある程度以上のエネルギーを持った粒子線を放出する RI が用いられる。従来より $\beta$ 線放出核種が主に用いられているが、近年、 $\alpha$ 線放出核種にも注目が集まっている。治療用 RI の半減期は、十分な治療効果を発揮するためある程度以上必要であるが、長すぎると非特異的に集積した薬剤による正常組織への被ばく量が多くなり、副作用につながる。そのため、一般に数日程度の半減期を持つ核種が利用される。例えば、近年注目されている $\alpha$ 線放出核種である At-211 は、その製造に原子炉を必要とせず、安定核種である Bi-209 から加速器で製造することが可能である。子孫核種による非特異的な被ばくも無い。ただし、半減期が 7.2 時間でありやや短い。

## 3. まとめ

実際に臨床で使える薬剤とするには、RI の物理的な性質に加え、標識合成の容易性も重要である。金属 RI ではキレート反応により比較的容易に標識することができるが、ハロゲン原子等では共有結合を作るための化学が必要である。三体核力研究により、簡易に利用可能な新しい核データが創出されれば、物理・化学的性質を含め「完全」な RI が供給される未来が来ると期待する。

謝辞 本研究は JST/ERATO (課題番号 JPMJER2304) の助成を受けたものである。

Mikako Ogawa

Hokkaido Univ.

企画セッション | 委員会セッション：標準委員会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 B会場(Zoomルーム2)

## [1B\_PL] 規格基準類策定に係わる課題と今後の展望

座長:山本 章夫(名大)

[1B\_PL01]

標準委員会活動の現状

\*每熊 成公<sup>1</sup> (1. 九州電力)

---

[1B\_PL02]

標準委員会活動の課題

\*山本 章夫<sup>1</sup> (1. 名大)

---

[1B\_PL03]

総合討論（ステークホルダからの意見を踏まえて）

富田 邦裕<sup>1</sup>、神谷 考司<sup>2</sup>、阿部 弘亨<sup>3</sup>、笠原 直人<sup>3</sup>、每熊 成公<sup>4</sup> (1. 電事連、2. 規制庁、3. 東大、4. 九州電力)

---

## 標準委員会セッション

## 規格基準類策定に係る課題と今後の展望

## Challenges and Future Prospects for the Development of Codes and Standards

## (1) 標準委員会活動の現状

## (1) Current Status of Standards Committee Activities

\*毎熊 成公<sup>1</sup><sup>1</sup>九州電力

## 1. 標準委員会の活動目的

近年原子力発電所の再稼働や廃止措置が進んできていること、新しい検査制度の本格開始、及び CAP やリスク情報活用等による事業者の継続的安全性向上の取り組みが進み実績を積みつつあること等、標準委員会（以下、「委員会」という）の活動を取り巻く環境も変遷してきていることに加え、国際状況の変化や、原子力規制委員会による標準の技術評価、ATENA ガイドラインの整備等、外部との関係においても新たな環境の変化が進んでいる。

このような状況を踏まえ、委員会の活動が原子力施設及びその運用に関して原子力安全が達成されていくこと、及び福島第一原子力発電所の円滑な廃炉に貢献できるように、委員会として目指す姿を改めて検討し、標準委員会運営規約（1101-01）第 2 条に定められた委員会の任務を的確に遂行するための活動の基本方針を昨年 9 月に改定した。

その中で委員会の新たな活動の目的の見直しを行い、「基準・指針（以下、「標準」という。）を最新の技術的知見を踏まえて制定・改定、普及し活用を促すことによって、原子力施設の安全性・信頼性を高い水準の技術に基づき効果的かつ効率的に確保すること」とした。

上記目的に則り、委員会は原子力施設の安全性向上に資するため、関連する学協会等関係機関（国（推進、規制）、産業界（電力、メーカ）、学会（学術団体、大学、研究機関））と連携を図り、最新の知見を取り込み、公平、公正、公開の原則の下に、原子力施設の計画段階から、設計、製作、建設、運転そして廃止措置に関わるライフサイクルに応じた標準の整備を行うこと、さらに標準の広範な普及と定着を促進する活動を行っている。

## 2. 制定する標準の性格と目指す標準の姿

委員会は標準が以下の性格を備えるように行動することとしている。

- ・ 公平性：特定の個人・企業・業界の利益に偏らないものである
- ・ 公正性：標準内容に関する広範囲の知見・意見の収集・検討を踏まえたものである
- ・ 公開性（透明性）：明確かつ公開された審議・制定過程に基づくものである
- ・ 専門性：専門家の結集による高い技術水準の維持に寄与するものである
- ・ 迅速性：新技術を迅速かつ弾力的に取り込んでいるものである
- ・ 合理性：安全確保を前提とした合理的設計・運用を可能にするものである
- ・ 発展性：民間の技術力向上へのインセンティブをあたえるものである
- ・ 国際性：海外の標準との交流、調整を通じて、海外でも引用され、統一規格化に資するものであると同時に非関税障壁にならないものである

---

\*Narimasa Maikuma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kyushu Electric Power Co., Inc.

規模の大小や機能に関わらず原子力施設の安全性や信頼性は社会に大きな影響を与えることから、委員会で制定する標準は、原子力発電所はもとより原子燃料サイクル施設及び研究開発活動に係る施設全般を対象とし、これらの原子力施設の計画段階から、設計、製作、建設、運転そして廃止措置に関わるライフサイクル全体にかかる一連の活動に対して体系的に整備することを目指している。

また、標準には安全性・信頼性の確保に関する基本理念を提示するものに始まり、遵守すべき最低限の要求を規定するもの、さらに、関係者の具体的行動目標や参考手引きに類するものまで様々なものがある。これらの標準を原子力安全の目的を頂点とする統一的な安全哲学に基づいた階層構造を念頭に、他学協会規格との関連を考慮して整備し、分野横断の課題を解決することを目指している。

### 3.傘下の組織

2024年12月5日現在の標準委員会の組織図を図1に示す。以下では、傘下の組織について概要を説明する。

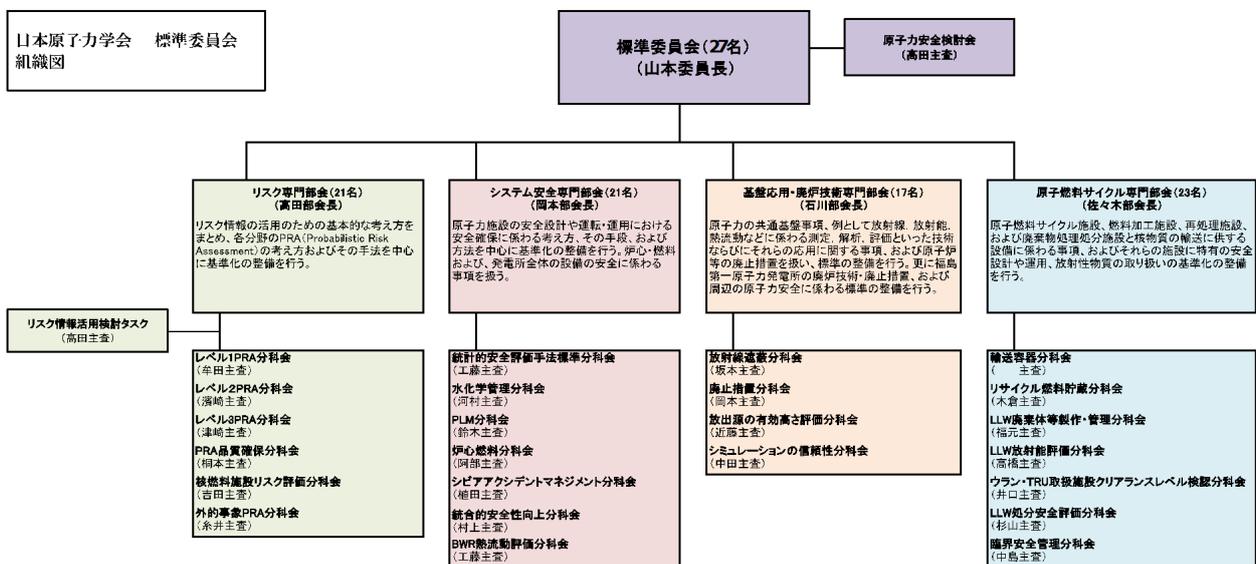


図1 標準委員会組織図(2024年12月5日現在)

#### 3.1 原子力安全検討会

標準委員会として制改定すべき標準の戦略策定に必要な調査及び検討を行うこと、特に標準委員会として制改定すべき標準の方向性及び見通しを継続して発信することを目的としている。この検討においては、国内関係機関、国内学協会及び世界の状況を広く見つつ、俯瞰的・包絡的な議論を重視している。得られた成果は、技術レポートとして知見を共有するだけにとどまらず、標準委員会4専門部会及び他学協会の規格において具体化されることを想定している。原子力安全検討会のミッションとしては、次の事項が上げられる。

- ・国内外の標準・基準・規格に係る最新の動向を調査し標準委員会で共有する
- ・原子力学会の技術部会及び国内関係機関（電気事業者、メーカー等）と標準整備にかかる意見交換を実施する
- ・「原子力安全にかかる基本的考え方」の整備と発信を行い、標準を含む学協会規格の整備の基礎とする
- ・標準活用に資する教育プログラムの整備と発信を行う

### 3.2 専門部会

指定された技術の専門分野の標準制定に関わる以下の役割を担っている。

- 1) 標準制定に関わる任務
  - (1) 標準の策定方針案を策定する。
  - (2) 委員会にて策定された基本方針及び策定方針に従い、標準の制定、改定、廃止の原案の策定に責任を持つ。
  - (3) 原案策定のための諸活動の運営及び監督を行う。
  - (4) 海外、及び国内の当該分野における標準との整合性を検討する。
- 2) 対外に関わる任務
  - (1) 委員会からの要請により、委員会に関係する標準の技術的な内容を、関係官庁等の組織に対して説明する役割を持つ。
  - (2) 一般公衆に対して制定した標準の技術的内容を説明する。
- 3) 組織に関わる任務
  - (1) 標準の制定、改定、廃止の原案策定のため、分科会又は相当する組織を設置、改組、廃止する。
  - (2) 分科会等の提案の人事、組織案及びそれに関する規約の提案及び必要と判断された事項について審議を行い、その採否を判断し、承認する。また必要により、分科会への指導、助言を行う。
  - (3) 専門部会の運営を円滑に行うために幹事会、及び必要に応じてタスクグループを設置することができる。
- 4) その他

上記のほか、専門部会が必要と判断した事項について審議する。

また、活動を計画的に行うため、5か年計画を作成し、毎年更新している。標準委員会の取り組みを社会に広く知っていただく観点から、この5か年計画を標準委員会のホームページ上に掲示している[2]。以下、各専門部会の活動概要を示す。

#### 3.2.1 リスク専門部会

リスク情報活用のための考え方、各原子力施設におけるPRA（Probabilistic Risk Assessment）の手法及びそれから得られるリスク情報を各分野において活用するための具体的方法を中心に標準の整備を行う。

#### 3.2.2 システム安全専門部会

原子力施設の安全設計、運転・運用における安全確保に関わる考え方、その手段及び方法を中心に標準の整備を行う。炉心・燃料及び発電所全体の設備の安全に関わる事項を扱う。

#### 3.2.3 基盤応用・廃炉技術専門部会

原子力の共通基盤事項、例として放射線・放射能、熱流動などに関わる測定、解析、評価といった技術並びにそれらの応用に関する事項を扱い、標準の整備を行う。また運用後の原子炉等の廃止措置、更に、福島第一原子力発電所の廃炉技術、廃止措置及び周辺の原子力安全に関わる標準の整備を行う。

#### 3.2.4 原子燃料サイクル専門部会

原子燃料サイクル施設、燃料加工施設、使用済燃料貯蔵施設、再処理施設、及び廃棄物処理処分施設と核物質の輸送に供する設備などに関わる事項及びそれらの施設に特有の安全設計、運用、放射性物質の取り扱いの標準の整備を行う。

#### 4.至近に発行した標準・技術レポート

委員会の第1回会合が開かれたのは、1999年11月1日であり、25年以上にわたって活動を続けている。また、至近（2021年～2024年）において制定・発行した標準・技術レポートは以下の通り。

- ・リスク評価・リスク情報活用関連 7
- ・高経年化対策関連 6
- ・廃止措置関連 3
- ・放射性廃棄物関連 5
- ・その他 10

#### 5.標準の活用

標準の主な活用方法としては、以下の通りである。

##### 1) リスク評価・リスク情報活用関連標準

- ・原子力発電所の安全性向上評価に活用している。その評価において最新の状態を反映したPRAを実施し、その結果から更なる安全性向上対策の抽出を行っている。
- ・原子力発電所において、リスクモニタによるPRAを行い、定期検査期間中のCDF変動に関する情報の周知やリスク上重要な機器に対して注意喚起表示を行うなど、リスク情報を活用している。
- ・原子力規制検査において検査指摘事項の定量的な重要度評価にPRAを活用するが、事業者のPRAモデルの適正確認にPRA標準を参照して行っている。
- ・オンラインメンテナンスの計画を進めるにあたり、電中研のガイドラインを参考にしているが、このガイドラインはIRIDM標準を参照した機械学会のガイダンスを参照している。

##### 2) 高経年化対策関連標準

- ・NRAの「長期施設管理計画の記載要領」でも引用されているため、長期施設管理計画策定にあたり、機器の使用条件に応じた評価対象部位の選定、経年劣化事象の特定及び劣化評価に活用している。

##### 3) 廃止措置関連標準

- ・廃止措置計画申請書の作成、作業計画の立案等の際の参考資料として活用している。

##### 4) 放射性廃棄物関連標準

- ・放射性廃棄物の処理・処分に関しては、規制によるガイドライン等の整備には期間を要するため、標準を技術評価し活用することとしている。

#### 6.まとめ

標準委員会の基本方針と現在の活動についてとりまとめた。企画セッションでは、広い方々から標準委員会の取り組みについて様々な忌憚なきご意見をいただけることを期待している。

---

#### 参考文献

- [1]「標準委員会の活動にかかる基本方針」日本原子力学会標準委員会 2024年9月10日
- [2]「標準策定5か年計画（2024年度版）」日本原子力学会標準委員会

## 標準委員会セッション

## 規格基準類策定に係わる課題と今後の展望

## Challenges and Future Prospects for the Development of Codes and Standards

## (2) 標準委員会活動の課題

## (2) Challenges of Standards Committee Activities

\*山本 章夫<sup>1</sup><sup>1</sup>名古屋大学

## 1. 標準委員会を取り巻く環境

標準委員会の活動目的は、「標準委員会の活動の目的は、基準・指針を最新の技術的知見を踏まえて制定・改定、普及し活用を促すことによって、原子力施設の安全性・信頼性を高い水準の技術に基づき効果的かつ効率的に確保することである。」である。原子力安全の確保のために良い規格基準類が必要であることは論を待たないが、私自身は prescriptive な規格基準類のみで原子力安全が十分確保されるとは考えていない。福島第一原子力発電所事故からの学びとして、「安全確保に必要な直接情報に加え、その背後にある概念や考え方を自らのものにする」「概念や考え方は、安全性向上の羅針盤として重要」というものがあると考えており、これが標準委員会の名称に規格や基準でなく「標準」が用いられている理由であると認識している。つまり、標準委員会としては prescriptive な規格基準のみならず、基本的な概念や考え方も含めて標準を策定していくことが重要だと考えている。

標準委員会の活動は 1999 年の 11 月にスタートしているため、すでに四半世紀が経過している。また、2011 年の福島第一原子力発電所事故により、標準委員会の発足当時と現在の状況は全く異なっていると言って良い。ここ数年の環境の変化として、新検査制度の本格開始、規制庁のガイドラインの整備進展、ATENA ガイドラインの整備の開始、カーボンニュートラルやエネルギー安全保障の観点からの原子力の捉え方の変化、IAEA 標準類の整備進展、BWR を含む再稼働の進展、革新軽水炉に関連する議論の進展、リスク情報活用への取り組みなどがある。大きな流れとしては、「リスクインフォームド・パフォーマンスベース」で原子力安全を確保する方向となっているといえる。

標準委員会は、多くの方の活動に支えられている大規模な組織である。それなりに慣性も大きい。しかしながら、環境の変化を的確に捉え、変えるべきところは変える、変えるべきでないところは変えない、ということが重要であろう。

## 2. 論点と課題

2021 年 11 月に行われた日本原子力学会秋の大会の標準委員会企画セッションにおいて、課題と検討事項を議論した。その際の課題を以下に再掲する。

- ・ 標準委員会で作成する標準は誰のためのものか
- ・ 標準に対するニーズは、ステークホルダー間で整合しているか
- ・ 現場の運営に役立つ「仕様規定的」「ガイドライン的」な標準策定を行うべきか
- ・ 規制にエンドースされる標準を策定すべきか
- ・ 規制委員会の現行規制に準拠した標準を策定すべきか
- ・ 策定している標準とその議論の過程は、標準委員会が目標としている性格を満足しているか
- ・ 策定している標準は、標準委員会が目指している姿と合致しているか

---

\*Akio Yamamoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nagoya Univ.

- ・標準委員会が目標としている位置づけの標準が策定できているか
- ・原子力関連学協会による規格策定活動の方向性は適切か。規格の位置づけや活動のあり方、規格策定の優先順位、安全研究ロードマップなど
- ・事業者(ATENA)が策定するガイドラインとの関係

議論が進展した項目もあるし、議論が進んでいない項目もある。例えば、ATENA ガイドラインとの関係については、電気協会の原子力規格委員会シンポジウムなどにおいても議論がなされ、一定の整理がなされた状態である。一方、エンドースのあり方を含めた議論は現在も進行中である。

さて、基本的に標準類の数は増加傾向にあり、また、最新知見取り込みのため、定期的な改訂などのメンテナンスも必要である。一方、ご多分に漏れず、標準委員会も少子高齢化の影響を受け、標準活動に関わる人材の減少に直面している。つまり、明らかに持続可能性がない状況に直面しつつあると言って良い。そのため、標準のメンテナンスの効率化、品質やデュープロセスを劣化させない形での審議や資料作成の効率化などが求められていると考える。

標準委員会の活動にかかる基本方針には、標準のあるべき姿として、以下の項目が示されている。

- ・公平性：特定の個人・企業・業界の利益に偏らないものである
- ・公正性：標準内容に関する広範囲の知見・意見の収集・検討を踏まえたものである
- ・公開性（透明性）：明確かつ公開された審議・制定過程に基づくものである
- ・専門性：専門家の結集による高い技術水準の維持に寄与するものである
- ・迅速性：新技術を迅速かつ弾力的に取り込んでいるものである
- ・合理性：安全確保を前提とした合理的設計・運用を可能にするものである
- ・発展性：民間の技術力向上へのインセンティブをあたえるものである
- ・国際性：海外の標準との交流、調整を通じて、海外でも引用され、統一規格化に資するものであると同時に非関税障壁にならないものである

現在の標準委員会で作成している標準類は、あるべき姿に則っているであろうか。公平性・公正性・公開性・専門性といった観点については、これまでに確立された実践などにより、概ね実現できているのではないかと感じている。一方、迅速性・合理性については、最新知見の迅速な取り込み、あるいは現場の適用という観点でまだ改善の余地があると思われる。特に現場適用については、標準委員会のみで閉じた形ではなく、規制との兼ね合いがあるため、難しい問題ではある。しかしながら、新検査制度では、いわゆるエンドースがなされていない規格基準類を活用しやすい仕組みとなっているため、学協会内で議論を閉じるのではなく、規制も含めて様々なステークホルダーとフラットに意見交換し、効率的な規格基準類の活用について議論していくことが必要であろう。

### 3. まとめ

標準委員会活動の課題について取りまとめた。総合討論では、上記の論点をもとに、ステークホルダーからご意見をいただき、今後の方向性について議論したい。

企画セッション | 委員会セッション：標準委員会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 B会場(Zoomルーム2)

**[1B\_PL] 規格基準類策定に係わる課題と今後の展望**

座長:山本 章夫(名大)

**[1B\_PL03] 総合討論（ステークホルダからの意見を踏まえて）**

富田 邦裕<sup>1</sup>、神谷 考司<sup>2</sup>、阿部 弘亨<sup>3</sup>、笠原 直人<sup>3</sup>、毎熊 成公<sup>4</sup> (1. 電事連、2. 規制庁、3. 東大、4. 九州電力)

原子力を取り巻く環境が急速に変化する中、約25年前にスタートした標準委員会も変化していく必要があります。そのため、標準委員会の基本方針に照らして現在の活動をレビューし、基本方針の見直しも含めて今後の活動を改善するための議論を行います。

講演では、まず標準委員会の現在の活動、規格の策定状況や活用状況をレビューし、その後、標準委員会の活動に係る課題を可視化します。総合討論では、標準委員会のステークホルダーにパネリストとして登壇いただき、第三者から見た課題あるいは今後の方向性に関して包括的な議論を行います。

企画セッション | 委員会セッション：倫理委員会

📅 2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 📍 C会場(Zoomルーム3)

**[1C\_PL] 倫理的な安全行動を支える心とは何か？—安全文化の基盤ともなる心構えとその掘りどころを探る—**

座長:中村 秀夫(JAEA)

[1C\_PL01]

日常の倫理的行動とハザード対処に通底するものとは？

\*鳥居塚 崇<sup>1</sup> (1. 日大)

[1C\_PL02]

総合討論

講演者および参加者

## 倫理委員会セッション

倫理的な安全行動を支える心とは何か？—安全文化の基盤ともなる心構えとその拠りどころを探る—

What is the Mind that supports Ethical Safety Actions ?

- Exploring the Mind Readiness that may form the Foundation of Safety Culture -

**日常の倫理的行動とハザード対処に通底するものとは？**

Underlying Commonality Between Everyday Ethical Behavior and Hazard Response

\*鳥居塚 崇<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本大学

**1. レジリエントな行動**

原子力分野では、必要な事項は基本的にほぼすべてが手順書に記載されており、手順書を遵守していれば大きなトラブルに発展することはないという考えに支配されていたが、東日本大震災時に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故を契機に、事態が手順書を超える場合や破局的な事態が想定される場合には柔軟で弾力的な対処も必要であろうという、レジリエンス・エンジニアリングの考え方が普及してきた。

柔軟で弾力的（レジリエント）な行動は、そのような状況下でなにをすべきか明確な目標を持つとともに、事態の変化を的確に予測し、その変化を的確に捉え、それに対処する能力によって支えられる。いざというときには臨機応変に対処することが重要と言われることもあるが、前述のように、目標を明確に持ち、然るべき能力を備えた場合にのみ可能となる。

**2. ハザード対処と日常の行動とに通底するもの**

ここでカギとなるのが、明確な目標を持つということと、状況を認識し対処する能力が備わっていることであるが、これらは特別な能力というわけではなく、意識してそれらを行なっているかが重要となる。そしてこれらは、緊急時の臨機応変な対応だけでなく通常業務においても重要な役割を果たすことが多い。手順書に従って行われる通常の業務は作業員による差異があまり見られないはずであるが、実際には、スムーズに作業を行うことができる作業員とそうでない作業員がいることは周知の事実であろう。その作業に関する慣れや技量の問題もあるが、先述したような「作業に対する意識」が大きく影響を与えていることは言うまでもない。例えば、現場にて汚れが生じそうなどには予めウェスを準備しておいたり、右利きの作業員が計測を行う際には左側に位置してともにメータを読み取るなどの行為がそれに相当する。また現場のみならず管理業務においても、許可や届出、あるいは資材調達などで予め問題が生じそうな場面が想定された際には解決策をいくつか準備しておくといったことが相当する。

以上のように、柔軟で弾力的な行動の成否は、作業の目標を認識したり状況を認識し適切に対処することができる、といった「作業に対する意識」と「それに基づく対処」に依存していると言える。そのように考えると、レジリエントな行動は緊急時の臨機応変な対応のためだけに許されるわけではなく、実は、手順書に支配されている通常業務においても必要なものであることがわかる。また、私たち人間は、人間を取り巻くさまざまな要因が常に一定ではないことも認識しており、その揺らぎに合わせて対処する能力も持ち合わせている。例えば、冬場の寒いときには始動に時間がかかりそうな機器を扱う際には少し早めに準備を始めたたり、長尺物を運搬する際に相方が年配者や細身だったら自分が重そうな方を持つというように、揺らぎ＝状況に合わせて適切に対処している。このような捉え方をすると、作業の目標を認識したり、状況を認識し適切に対処する、といった「作業に対する意識」と「それに基づく対処」が、緊急時の対応や通常業務に通底するものであると考えられる。

### 3. 「ハザード対処と日常の行動とに通底するもの」を支えるもの

#### 3-1. 心理的安全性

「作業に対する意識」や「それに基づく対処」は常に発揮できるかという点、必ずしもそうとは限らない。例えば、新幹線走行中に異音や臭気が認められたにもかかわらず輸送司令の判断で運行を継続し、その後、他の輸送司令の指示によって新幹線を停止させ確認したところ、台座に脱線につながるような大きな亀裂が発見された事例（2017年12月のぞみ34号）では、車掌等の乗務員が異常を感じ司令に報告しながら、司令が停止の判断をしなかったことが問題であろう。通常とは異なる事態であることは判っていたにもかかわらず、恐らくさまざまな要因によって対処（停止の判断）ができなかったものと推察できる。例えば運行停止させることでのダイヤ（そして乗客）への影響、停止確認した結果とくに問題が生じていなかった場合の自身に降りかかる責任などを考慮し、適切な判断を行うことができなかつたと考えることもできる。つまり、安心して停止を判断することが困難だったのではないか。このように、心理的安全性（組織などで自分の考えや意見を安心して発言できる状態）が確保されていない状態では、判断（対処）に歪みが生じることは否めない。あるいは、当該司令の主眼はダイヤの乱れを生じさせないスムーズな運航に置かれ、安全が霞んで見えたのかもしれない。この場合はすなわち、作業の目標を正しく認識していなかったことになる。またあるいは、新幹線を支える技術を考慮すると、異音が発生していたとしても致命的なものであるはずがないという安全性バイアスが働いていたのかもしれない。いずれにしても、当該司令は、心理的安全性を含め安全を優先に考えようとする雰囲気の下にあったとは言い難い。このように、組織的にコンプライアンスに問題がある場合、作業に対して正しい意識を向けたり、適切に対処したりすることは難しくなる。

#### 3-2. トップマネジメントのコンプライアンス

近年、トップマネジメントのコンプライアンスに関わる問題が、組織全体を揺るがす大きな問題に発展するような事例も見られるようになってきた。ある大学の例では、経営層のトップがさまざまな不正を行っていただけでなく経営に関して異論を唱える人々を冷遇してきたが、それらが公表されると、国からの補助金は打切られ、受験生数も激減した。ある自動車販売会社でも、経営層のトップが不正を行っていただけでなく、社員を強制的に社に従わせたり、雑草を撲滅させるために植栽に除草剤を撒くことで地域の自然に影響を生じさせたりした結果、当該会社は継続が困難となった。さらにあるマスコミ会社では、経営層のトップがコンプライアンスに問題がある事項を隠蔽してきたことが明らかとなり多くの番組にスポンサーを得ることができない状態に陥ったが、それまでは多くの社員がその社風に従わざるを得ないような雰囲気だったという。これらの事例に共通することは、トップマネジメントにおいてコンプライアンス上の問題を生じさせていることと、そしてその組織に所属する人々がそれに対して異論を唱えにくい状態だったことである。すなわちそれらの人々の目指すところは、本来なにをすべきかに基づいて定められた目標ではなく組織に従うことこそが目標となり、その結果、作業に対して正しい（本来の）意識を向けることは困難となり、それに基づく適切な対処も困難となる。

以上より、心理的安全性が確保されているかどうかや、トップマネジメントのコンプライアンスが「作業に対する意識」と「それに基づく対処」に大きく影響しているといえる。

#### 3-3. メンタルヘルスとワークエンゲージメント

組織から個人に眼を向けると、人々のメンタルヘルスの問題も「作業に対する意識」や「それに基づく対処」に関わっている。建設業労働災害防止協会が行ってきた取り組みにおいて、メンタルヘルスはヒヤリハット発生に影響を与えていることを見出した。またメンタルヘルスは、レジリエントな行動の基となる、状況を認識し適切に対処する力にも影響を与えていることを見出している。さらに仮設工業会では、業務上において良い取り組みであることを示す「グッドジョブ」と状況を認識し適切に対処する力、およびメンタルヘルスと関係に着目して調査を進めており、一部ではその仮説を支持する結果が得られているという。

また、前述の建設業労働災害防止協会や仮設工業会ではメンタルヘルスだけでなくワークエンゲージメントについても言及しており、ワークエンゲージメントとメンタルヘルスにも相関性があることを明らかにし、

その結果、ワークエンゲージメントがヒヤリハット発生や、状況を認識し適切に対処する力の大きさに影響を与えていることも明らかとしている。

このように、メンタルヘルスやワークエンゲージメントもまた、「通常の業務とハザード対処に通底するもの」に影響を与えていると考えられる。

#### 4. 日常における行動を考える

通常の行動と言っても、業務における行動と日常における行動とは大きく異なる。業務は行動指針や手順書など行動の枠になるものが存在するのに対し、日常ではそのようなものは存在しない。しかしあらゆる行動において、自身が置かれている状況を認識し、それに基づいて行動する必要がある点は、業務であろうと日常であろうと共通する。

##### 4-1. 人間と他の要因を相対的に捉える

先述したように、このことはさらに、日常の行動と緊急時の臨機応変な対応等のようなハザード対処とで通底するものでもある。しかし、この成否は個々人で異なるように感じる。すなわち、自身が置かれている状況を認識できる人もいればできない人もおり、それによってその状況に対する対処が異なるということである。これは俗語的に言えば、空気が読めるか読めないかに相当し、空気が読める人は自身が置かれている状況を認識できる人（レジリエンとな人）に相当し、読めない人は状況を認識することが不得手な人に相当する。

人間はさまざまなものに囲まれて生活しており、私たちの周囲には、私たちの行動を形成するさまざまな要因が存在している。自分自身を常に一人称として捉えるか、私たちを囲むさまざまな要因との相対関係で捉えるかが、状況認識の得手不得手に関わってくる。人間と、人間を取り巻くさまざまな要因をシステムと捉え、そのシステムの中で人間と他の要因とを相対的に捉えることで、周囲に対して人間（自分自身）はどのような状況にあるかを認識することが可能となる。そしてこれは、最近の人間工学（Human Factors and Ergonomics）の考え方でもある。

##### 4-2. 価値観の多様化の影響

今回のテーマである「日常の倫理的行動」を考える際に大きな問題となるのは、倫理的行動とはなにかを定義することであろう。以前の日本では、倫理的行動とはなにか、やっといういいこといけないこと、常識的あるいは良識的なことそうでないこと等が、多くの人々の間で暗黙のうちに共有されていたように感じる。それだけでなく生活面でも、ほぼ全ての若者はスキーの経験があるであろうし、野球といえば巨人をイメージする人が多かったように感じる。ポジティブに捉えれば、社会を構成する人々はみんな同じ方向を向いており、多くの「暗黙の諒解」があった。ネガティブに捉えれば、多様性はほとんど認められず、「みんなと一緒に」が美德とされていた。しかし、ミレニアル世代に続き z 世代が社会の多くを占めるようになってからは、多様性が一般的なものとなり、個性が美德とされるようになってきた。それに伴い、考え方や価値観の多様化も進み、常識や良識、あるいは倫理的なことの捉え方が個人の価値観に依存されるようになってきた。加えて、近年、さまざまな領域で外国人労働者が増加しているように、日本国内に住む外国人数も増加している。このような文化的背景が異なる外国人の増加も、価値観の多様化を助長している。

価値観の多様化は行動の目標の多様化につながり、状況を認識する基準の多様化につながり、どこまで対処するかといった対処の閾値の多様化にもつながる。したがって、このような価値観の多様化は「日常の倫理的行動とハザード対処に通底するもの」の存在自体に影響を及ぼす恐れがある。

##### 4-3. 日常業務における多様化への対応

多様な価値観を尊重する海外では、さまざまな認識を共有するために文書化が進められてきた。すなわち、文書に記載されていることはすべきことであり、記載されていないものはそうではないという考え方である。日本もこのような方向に向かうと思われる一方、作業手順書は既にこの役割を果たすものになっている。先

述したように、手順書には記載されていないが、作業の目標を認識しつつ、その状況を認識し対処するような、いわば「作業に対する意識」が高い行動をとる作業者も多い一方で、例えば汚れるまでウェスを準備しなかったり、許可や届出などで問題が生じて初めて解決策を考えるような「作業に対する意識」が低い行動をとる作業者も少なくない。このような作業者には、効率性や安全性など、作業の目標を予め示すことで作業に対する意識も高まり、レジリエントな対応も可能になるのではないかとと思われる。

#### 4-4. 日常の倫理的行動を支えるもの

サッカーやラグビー等における日本代表が関係する国際試合では、試合終了後に、スタジアムで観戦した日本チームのサポーター有志が試合後にスタジアム内のゴミを拾い、片付けるのが通例となっている。このような行為は立つ鳥跡を濁さずという引き際の美学に加え、スタジアムの管理者が気持ちよくメンテナンスできるようにというおもてなしの心によるものであると言われている。価値観が多様化する昨今においても、引き際の美学やおもてなしの心といった、多くの人々に共通する価値観も未だ多く残っており、それらが倫理的な行動を支えていると思われる。またそのような価値観が人々の行動の目標となり、その目標に向けて意識が高まることで、自発的にそのような行動をとるのではないかとと思われる。なお、自発的な行動は、手順書等に定められた行動ではないことから、レジリエントな行動として捉えることもできる。

震災からの復興も同様、みんなで幸せになりたいという多くの人々に共通する価値観が復興に対する強い目標となり、その意識が高まることで、自発的に共に助け合いながら前進しているのではないかと考える。

すなわち、価値観が多様化する昨今でもなお、多くの人々に共通する価値観が存在し、その価値観が行動の目標になることで人々の意識が高められ、その結果として自発的な行動が誘発されると考えられる。

#### 5. まとめ

柔軟で弾力的（レジリエント）な行動の成否は、作業の目標を認識したり状況を認識し適切に対処する、といった「作業に対する意識」と「それに基づく対処」に依存していると言えることから、レジリエントな行動は緊急時のリスク対処のためだけのものではなく、手順書に支配されている通常業務においても必要なものである。したがって、通常業務とハザード対処には、作業の目標を認識したり、状況を認識し適切に対処する、といった「作業に対する意識」と「それに基づく対処」が通底すると考えらる。

そしてそれらを支えるものとして、心理的安全性やトップマネジメントのコンプライアンス、メンタルヘルスやワークエンゲージメントなどが挙げられる。また、とくに状況を認識し適切に対処する力については、通常業務だけでなく、日常の倫理的行動とハザード対処にも通底すると考えられ、そしてその力を高めるには、人間と人間を取り巻く諸要因との関係を相対的に捉える必要があると考えられる。

「日常の倫理的行動とハザード対処に通底するもの」の存在自体に影響を及ぼす恐れがあるものとして、昨今の、価値観の多様化が挙げられる。その多様化に対応するために、欧米のようにさまざまなものを文書化する必要があるが、その文書の行間を読めるかどうか「日常の倫理的行動とハザード対処に通底するもの」でもある。行間を読むことが困難な作業者には、例えば効率性や安全性など作業の目標を予め示すことが、作業に対する意識の向上につながり、レジリエントな対応にもつながると考えられる。

一方、多様化する中でも多くの人々に共通するコアとなる価値観もあり、それが日常の倫理的行動を支えていると考えられる。そしてそのような価値観が人々の行動の目標となり、その目標に向けて意識が高まることで、自発的な行動（すなわちレジリエントな行動）が誘発されるのではないかと考える。

---

\*Takashi TORIIZUKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nihon University

企画セッション | 委員会セッション：倫理委員会

📅 2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 📍 C会場(Zoomルーム3)

**[1C\_PL] 倫理的な安全行動を支える心とは何か？—安全文化の基盤ともなる心構えとその掘りどころを探る—**

座長:中村 秀夫(JAEA)

**[1C\_PL02] 総合討論**

講演者および参加者

原子力には人への便益と大きなリスクが共存するため、その安全を図る行動は、技術倫理や組織（安全）文化を通じた原子力関係者の基本的目標である。日常の倫理的な安全行動や災害時の対応をも支える心の背後要因は、社会に共通する常識や良識にも依存するところ、多様性が尊重される現在、価値観も多様化して一筋縄ではいかなくなってきた。そこで、そもそも安全の確保・向上にはどのような考え方や心の持ち方が必要か、またそれらを備え醸成する最良の方法とは何か...常に志を携え倫理的行動をもって業務に向かわせる行動の源を掘り下げ、リスクに日々向き合う実務者の安全文化の基盤ともなる心構えとその掘り所を、会場との総合討論を含め探る。

企画セッション | 委員会セッション：理事会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場(Zoomルーム4)

**[1D\_PL] 海外における原子力の情勢と我が国の方向**

座長:越塚 誠一(東大)

[1D\_PL01]

大型軽水炉に関する海外の情勢

\*新井 史朗<sup>1</sup> (1. 原産協会)

[1D\_PL02]

SMRをとりまく海外情勢

\*木藤 和明<sup>1</sup> (1. 日立GE)

[1D\_PL03]

幅広い視点から考える日本の原子力・核燃料サイクルの価値とリスク：欧州グリーンディールに学ぶ

\*渡辺 凜<sup>1</sup> (1. キヤノングローバル戦略研)

[1D\_PL04]

総合討論

講演者全員、大井川 宏之<sup>1</sup> (1. JAEA)

海外における原子力の情勢と我が国の方向  
World Trends of Nuclear Energy and Future Direction of Japan

(1) 大型軽水炉に関する海外の情勢

(1) World trend in large light water reactors

\*新井 史朗<sup>1</sup>

<sup>1</sup>一社)日本原子力産業協会

1. はじめに

世界全体の運転中の原子力発電設備は、433基、4億1244万kW(412.44GW) (2024年1月時点、当協会集計)であり、1基当たり平均で約1GW=100万kWとなる。原子力発電黎明期の出力の小さな原子炉はほとんど閉鎖されており、現在の発電炉は大型炉、その中でも大部分が大型軽水炉である。エネルギー安全保障・安定供給と脱炭素の両立を可能とする原子力への評価は、世界的に高まっており、IAEAやIEAは、2050年に(高ケースの場合)9.5~10億kW(現在の設備容量の約2.4倍)になると予測している。ここでは、海外における原子力利用・導入の現状を、大型炉とSMRの区別を意識しつつ紹介する。尚、特に断りが無い限り数値は2024年1月1日時点(電力量割合は2023年分)とした。

2. 原子力既導入国&原子炉国産可能国(9カ国中、インド、日本を除き7カ国を紹介)

2-1. 米国

- ・運転中94基、建設中0基、閉鎖35基、電力量割合18.6%。
- ・2024年8月時点で運転中94基中86基が60年運転認可済み、1基申請済み。更に8基が80年運転認可済み。
- ・政策方針：原子力発電設備容量を、現在の約1億kWから、2050年までに約3倍に。  
手段：既設炉は、運転期間延長、出力増強、設備利用率向上、閉鎖原子炉の再稼働。  
新規建設は、大型炉やSMR、マイクロ原子炉等、いろいろなサイズ・型の原子炉。  
国の支援：州政府、連邦政府による既設炉、新規建設、先進炉開発への支援。  
プラント輸出：大型炉、SMR、共に売り込み中。
- ・関連事項：近い将来の政策方針は下記。  
2035年までに3,500万kWの新規設備容量を稼働または着工し、原子力導入を活性化。  
2040年までに導入ペースを年1,500万kWに加速、拡大し、国内外のプロジェクト展開を支援。

2-2. フランス

- ・運転中56基、建設中1基、計画中2基、閉鎖14基、電力量割合64.8%。
- ・政策方針：2030年に、現行の原子力発電量279TWhを360~400TWhまで拡大。  
2050年までに40GW以上の原子力発電設備容量を確保。  
手段：1) 既設炉運転延長(90万kW級の閉鎖撤回し全て50年超運転)  
2) EPR2を6基建設(2027年に初号機着工、2035年までに稼働)、さらに8基建設を検討  
3) SMRプロジェクト(Nuward,17万kW2モジュール)への強力な支援  
国の支援：EDFを100%国有化。原子力新設手続き簡素化等を法制化。原子力由来電力の卸価格を、既設炉運転改修及び新規建設を考慮して設定。  
プラント輸出：大型炉(EPR)が、中国2基、フィンランド1基、運転中。英国で2基建設中、2基計画中。大型炉が主だが、SMR(Nuward)も商材。

2-3. 英国

- ・運転中9基(AGR8基、PWR1基)、建設中2基、計画中2基、閉鎖35基、電力量割合12.5%。
- ・政策方針：2050年までに原子力発電設備容量を最大24GW(2022年時点の約3倍)、発電量割合を

最大 25%に拡大。2030 年～2044 年まで 5 年毎に 3～7GW を供給する投資決定。

手段：既存炉の運転期間延長、大型炉の建設とともに、国内での SMR 導入にも取り組む。グレート・ブリティッシュ・ニュークリア（GBN）を設立、新たな原子力プロジェクトの実施を推進。

国の支援：建設中のヒンクリーポイントCに差額決済型固定価格買取制度（FIT-CfD）の適用、計画中のサイズウェルCに規制資産ベース（RAB）モデルの適用、により新規建設事業者に対し、資金調達・投資回収を支援。

プラント輸出：大型炉のベンダー不在。ロールスロイス SMR を売り込み中。

- ・関連事項：AMR 研究開発・実証プログラムでは、高温ガス炉に注目、2030 年代初頭までの建設を目指す。

#### 2-4. カナダ

- ・運転中 19 基(全て CANDU 炉)、建設中 0 基、計画中 1 基(BWRX-300)、閉鎖 5 基、電力量割合 13.7%。
- ・政策方針：ネットゼロを目指す中で電力需要の大幅増を想定。その需要を満たすエネルギー源として原子力を利用し続ける。資源、経験、知識がある。

手段：既設炉を大規模改修し運転期間延長。また、州ごとに大型炉や SMR の建設計画。

オンタリオ州（人口最大州）：州営オンタリオ電力が SMR「BWRX-300」4 基の建設を計画（初号機は 2028 年末）。ブルース原子力発電所で大型炉(最大 480 万 kW分)建設の準備作業開始。

サスカチュワン州：州営サスクパワー社が、2030 年代半ばまでの BWRX-300 建設を計画。

ニューブランズウィック州：2035 年までにポイントルプロー原子力発電所内で合計 60 万 kW の SMR を建設。

国内の遠隔地域や工業地帯で SMR の関心は高まっている。

国の支援：連邦政府による税控除、資金援助の他、連邦政府、州政府、電気事業者、カナダ原子力研究所（CNL）、カナダ原子力安全委員会（CNSC）、SMR 開発者などがそれぞれの立場から積極的に活動。

プラント輸出：かつて CANDU を 6 カ国に輸出するも、現在は、SMR を含めプラントの輸出を目指す動きは無い。SMR 実装を通じた低炭素化や国際的なリーダーシップ獲得に取り組む。

- ・関連事項：電力企業（ブルースパワー社、オンタリオ電力）は、世界に先駆けて原子力発電を対象とするグリーンボンドを発行。

#### 2-5. 韓国

- ・運転中 25 基、建設中 3 基、計画中 2 基、閉鎖 2 基、電力量割合 31.5%。
- ・政策方針：脱原子力政策から原子力推進政策に転換。エネルギーミックスの再構築、2030 年の原子力シェア 30%以上の確保（2021 年時点シェア 26.5%）、SMR 開発の促進。2030 年までにプラント 10 基の輸出。

手段：既設炉の運転期間延長、新ハヌル 3、4 号機建設計画の復活、2038 年までに大型炉 3 基、SMR 1 基を建設。

国の支援：全原子力発電所を所有・運転、建設 EPC も行う韓国水力原子力会社（KHNP）は、半官半民の韓国電力公社（KEPCO）の 100%子会社。官民合同のワンチーム「SMR アライアンス」を設置し、韓国製 SMR「i-SMR」を開発中。

プラント輸出：UAE へ大型炉（APR1400）4 基輸出の実績に続くべく、積極的に売り込み中。SMR も商材に。

- ・関連事項：2024 年 7 月チェコ・ドコバニ増設計画で、少なくとも 2 基の建設に関し優先交渉権を獲得。UAE 以来、15 年ぶり。

#### 2-6. 中国

- ・運転中 55 基、建設中 27 基、計画中 24 基、閉鎖 2 基、電力量割合 4.9%。
- ・政策方針：2060 年 CN 実現を達成する手段の一つ。2025 年までに原子力発電設備容量を 7,000 万 kW（2024 年 1 月時点で 5700 万 kW）。

手段：米国、フランスの協力と国内開発によって PWR 技術の国産化を図り、海外展開にも注力。大型軽水炉の建設を継続。加えて、高速炉、高温ガス炉、SMR 等の開発も推進中。

国の支援：原子力発電事業者（4 社）、原子炉メーカー（5 社）は全て国有企業。

プラント輸出：大型炉をパキスタンに 2 基（華龍 1 号）輸出の実績に加え、中東やアジア、南米においても協力覚書の締結等。

- ・関連事項：大型炉でも発電以外の熱供給、蒸気生産、海水淡水化等に利用。

## 2-7. ロシア

- ・運転中 34 基、建設中 7 基、計画中 13 基、閉鎖 8 基、電力量割合 18.4%。

- ・政策方針：2060 年までに CN。2045 年までに原子力発電比率を 25%に高め、従来発電に用いていた国内の化石燃料資源を輸出に回す。

手段：既設炉の運転期間延長、VVER の改良版の建設継続。高速炉の実用化。

国の支援：国営企業のロスアトム 1 社が、民生・軍事両方の原子力利用を担当。

プラント輸出：最近でも VVER を、旧ソ連圏以外の中国、イラン、インドやエジプト、トルコ、バングラデシュへ輸出し、他国を圧倒。建設コストの融資や投資、建設 (Build)・所有 (Own)・運転 (Operate) を担う BOO 方式での契約も行っており、初期投資費用の確保が大きな課題となっている輸出先国に対する強み。

- ・関連事項：運転中のうち 2 基は、SMR かつ世界初の浮体式原子力発電所であるアカデミック・ロモノソフ。高速炉も Na 冷却高速炉の原型炉 1 基、実証炉 1 基の計 2 基が稼働。建設中の原子炉のうち 1 基は、鉛冷却高速炉のパイロット実証炉。

## 2-8. 小括

原子力発電を既に導入し、自国で原子炉を生産する能力を持つ国は、概ね、国の規模（人口、経済）が大きく、保有する原子炉基数も多い。

- ・まずは、既設炉の運転期間延長、稼働率向上、出力増強、廃止措置プラントの再稼働など、既設炉を最大限活用。
- ・将来的には新規建設が必要だが、「大型炉が主」又は「大型炉、SMR の優先度をつけずそれぞれの特徴を踏まえて判断」。プラント輸出の観点から SMR も商材にできるかが重要。
- ・自由市場では、何らかの公的な支援、事業予見性確保の制度が設けられている。
- ・中国、ロシアの建設中/計画中基数は他を圧倒。

## 3. 原子力既導入で将来も利用する国&原子炉国産不可能国（18 カ国中 7 カ国を紹介）

### 3-1. スウェーデン

- ・運転中 6 基、建設中 0 基、計画中 0 基、閉鎖 6 基、電力量割合 28.6%。

- ・政策方針：非化石燃料による電力を競争力のある価格で安定的に確保し、社会の電化に伴い必要となる総発電量を 25 年以内に倍増。

手段：既設炉の運転期間延長。遅くとも 2035 年までに大型炉 2 基分に相当する原子力発電設備を完成させ、2045 年までに大型炉で最大 10 基分を建設。

- ・関連事項：バッテンフォール社はリングハルス発電所の西側に建設を計画する SMR につき、供給候補社としてロールスロイス SMR 社と GE 日立・ニュクリアエナジー(GEH)社の 2 社に絞り込む。

### 3-2. フィンランド

- ・運転中 5 基、建設中 0 基、計画中 0 基、閉鎖 0 基、電力量割合 42.0%。

- ・政策方針：気候変動対策やロシアへのエネルギー依存度低減を目的として、原子力発電も活用。

手段：既設炉の運転期間延長、出力増強。大型炉の新規建設（オルキルオト 3 号機、ハンシヒキビ 1 号機など）。SMR の熱利用（地域熱供給）にも期待。

- ・関連事項：マンカラモデル（予算超過リスクと投資利益をプロジェクトカンパニーから株主に移転する）により、電気事業運営。

### 3-3. チェコ

- ・運転中 6 基、建設中 0 基、計画中 0 基、閉鎖 0 基、電力量割合 40.0%。
- ・政策方針：2033 年までに電力や熱生産における石炭利用を全廃、再生可能エネルギーとともに、原子力発電を拡大する方針。2040 年には、原子力発電量比率を現在の約 40%から 68%にまで引き上げる方針。

手段：大型炉と SMR の新規建設。まずはドコバニ発電所 5、6 号機増設（2038 年運開予定）、テメリン発電所 3、4 号機増設。KHNP に優先交渉権。また、石炭火力を SMR に順次リプレースし、地域暖房を含めて SMR 活用する方針。SMR 建設の優先サプライヤーに、7 社の中から入札により英ロールスロイス SMR 社を選定。

国の支援：国営のチェコ電力（CEZ：約 70%株式を政府所有）が全原子力発電所を運営。

#### 3-4. ブルガリア

- ・運転中 2 基、建設中 0 基、計画中 2 基、閉鎖 4 基、電力量割合 40.4%。
- ・政策方針：大型炉（AP1000）増設として、コズロドイ 7 号機 2033 年完成、8 号機 2035~36 年完成。ロシア燃料依存脱却の為、5 号機用燃料を WE 社と 6 号機用燃料をフラマトム社と契約。SMR 導入に向けて、米ニュースケールパワー社と協力覚書。

#### 3-5. ハンガリー

- ・運転中 4 基、建設中 0 基、計画中 2 基、閉鎖 0 基、電力量割合 48.8%。
- ・政策方針：エネルギー安全保障と気候変動対策の為、原子力利用継続。中東欧諸国の多くがロシアの原子力から離脱する傾向の中で、ハンガリーはロシアとの関係を維持。

手段：既設炉（VVER4 基）の出力増強（済）と運転期間延長。パクシュ II プロジェクト（パクシュ 5,6 号機：VVER1200x2 基）の推進。2032 年に送電開始予定。

国の支援：パクシュ II プロジェクトにロスアトムが融資。

#### 3-6. スロバキア

- ・運転中 4 基、建設中 2 基、計画中 0 基、閉鎖 3 基、電力量割合 61.8%。
- ・政策方針：ボフニチェ原子力発電所に最大 120 万 kW の原子炉を増設する計画を承認。ベンダーは入札で決定され、ロスアトムは入札に参加できない。AP1000 とその SMR 版 AP300、EPR と SMR「Nuward」建設可能性も探る。

#### 3-7. ルーマニア

- ・運転中 2 基（CANDU）、建設中 2 基（CANDU）、計画中 0 基、閉鎖 0 基、電力量割合 18.9%。
- ・政策方針：運転中プラントの運転期間延長。建設中 2 基の続行（2030 年、31 年までの運開予定）。ドイチェシュテイの旧・石炭火力発電所サイトに米ニュースケールパワー社の「VOYGR-6」（出力 46.2 万 kW）の建設を計画、2029 年完成予定。

国の支援：資金調達支援を含めた国家措置。カナダ政府からの輸出融資。

米国、日本、韓国、UAE の官民パートナーが SMR 導入の資金支援。

#### 3-8. 小括

原子力発電を既に導入・将来も利用し、原子炉の国産化に拘らない国は、概ね、国の規模（人口、経済）が小さく、保有する原子炉基数も少ない。ただし、発電電力量の全体に占める割合は大きいので、既設炉の重要性は相対的に大きいと言える。

- ・まずは、既設炉の運転期間延長、稼働率向上、出力増強など、既設炉を最大限活用。
- ・将来的には新規建設が必要で「大型炉、SMR の優先度をつけずそれぞれの特徴を踏まえて判断」。
- ・自由市場では、何らかの公的な支援、事業予見性確保の制度、場合によっては他国からの資金支援が必要。
- ・燃料、プラントに関して、脱ロシアの動きが顕著。

#### 4. 原子力未導入で将来利用する国（17 カ国）

大型炉は、大きな電力需要増に対応でき、既存技術を用いてこれまでの運転実績を有する反面、1 基当たりの建設資金が大きくなり、集中電源として大容量の送電システムが必要になる。SMR は、1 基当たりの出力は小

さくなるものの、電力需要増に対する漸増対応、小さな規模（人口、経済）の国、送電系統が弱く分散独立電源が必要な国（多島嶼国、広い国土）、石炭火力の代替電源、海水淡水化・産業利用・地域暖房等の熱利用、などへの適用が想定され、中長期的な導入を考える国には、SMR が確かな選択肢になりうるであろう。現状では下記の通り。

- ・大型炉のみ導入：3 ヶ国（トルコ 4 基、エジプト 4 基、バングラデシュ 2 基、全て VVER）：既に建設中であり、SMR 設計成熟前に導入決定。将来的に SMR 利用可能性は有り。
- ・（大型炉+SMR）導入：7 ヶ国（ポーランド、サウジアラビア、インドネシア、フィリピン、ナイジェリア、ガーナ、カザフスタン）：大型炉、SMR の特徴を踏まえ、自国状況から両方導入を選択。
- ・SMR のみ導入：7 ヶ国（ウズベキスタン、リトアニア、モロッコ、ケニア、エストニア、ヨルダン、マレーシア）：国の規模（人口、経済）から SMR のみ。

## 5. 総括

原子力発電を既に導入済みで将来も利用継続する、又は、今後導入予定の海外各国は、自国の状況（資源の有無、経済規模・電力需要、技術力向上・産業振興、友好国との関係など）を見極めつつ、将来の原子力発電規模の見通しを立て、大型炉と SMR の特徴を踏まえて、原子力の最大限活用を企図している。近年、西側諸国で竣工した大型軽水炉ボーグル 3,4 号（AP1000）、オルキルト 3 号（EPR）などは、大幅な工程遅延と予算超過に見舞われた。

我が国としても、こうした海外の動向や教訓を踏まえ、建設経験が喪失しないうちに、早期に、新規建設を具体化すべきである。

---

\*Arai Shiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Japan Atomic Industrial Forum, Inc.

海外における原子力の情勢と我が国の方向  
World Trends of Nuclear Energy and Future Direction of Japan

(2) SMR をとりまく海外情勢

(2) World Trend Surrounding SMRs

\*木藤 和明<sup>1</sup>

<sup>1</sup>日立 GE ニュークリア・エナジー(株)

1. はじめに

近年、脱炭素社会の実現に向けて 150 以上の国・地域が 2050 年などの年限付きでカーボンニュートラル (CN) の実現を表明し、世界各国はエネルギーセキュリティを確保しながら、温室効果ガスの排出削減を進める取り組みを進めている。このような状況の中、2023 年の COP28 (国連気候変動枠組み条約第 28 回締約国会議) の期間中には、2050 年までに 2020 年比で世界全体の原子力発電設備容量を 3 倍にする野心的な目標に向けた協力方針が発表され、現在までに日本を含む 31 カ国が合意するなど、原子力発電は CN 達成に重要なエネルギー源の一つとして広く認知されている。

原子力発電設備容量を大幅に増加するには原子炉の新設が不可欠であり、欧米、中国、インド、ロシアなどで、原子炉の新設に向けた動きがある[1]。これらの新設計画の中には、従来型の大型軽水炉の他、段階的に導入でき、初期投資 (投資リスク) が小さいなどの利点から、小型モジュール炉 (SMR) の導入と開発も含まれている。また近年では、データセンター向けの安定電源の確保のため、建設期間が短さや、立地選定の柔軟性の観点でも SMR が評価されている[2]。これらのニーズを受け、SMR の開発も世界中で活発に行われており、IAEA の SMR Catalogue 2024 では開発中の SMR として 69 炉型が掲載されている[3]。米国の先進的原子炉実証プログラム (ARDP) [4]、英国の未来原子力実現基金 (FNEF) [5]など、SMR 開発に対する国の支援も行われている。

本報告では、SMR を、軽水炉 (SMR (軽水炉)) と非軽水炉 (SMR (非軽水炉)、高速炉、高温ガス炉など) に分類し、炉型毎に世界の情勢を記載する。なお、SMR の定義は IAEA の記載に則り、原則、電気出力 300MW 以下の炉型とした[6]。

2. 炉型毎の世界の情勢

2-1. SMR (軽水炉)

上述のように多くの SMR が開発されているが、技術成熟度の観点で、実用化と導入は SMR (軽水炉) が先行すると考えられる。SMR (軽水炉) への期待は、従来から原子力発電所を運用している国だけでなく、原子力の新興国からも多く挙がっている。従来から原子力発電所を運用している国では、中国において電気出力 125MW の PWR である ACP100 の実証炉が 2026 年の運開を目指して 2021 年から建設を開始している [7]他、カナダのオンタリオ州の州営電力会社 Ontario Power Generation (OPG) 社が早ければ 2029 年の運開を目指し、電気出力 300MW の BWR である BWRX-300 を想定したサイトの準備工事[8]と建設許可申請[9]を開始している。BWRX-300 はカナダのサスカチュワン州、米国、欧州でも許認可推進や建設に向けた動きがある。その他にも、NuScale 社の VOYGR が米国規制局 (NRC) から SMR 初の設計認証を取得し、欧米、アジア、アフリカなどへの展開を計画しており[10]、チェコ共和国が英国の RR (Rolls Royce) SMR (UK SMR とよばれる) を選定するなど[11]、SMR (軽水炉) 導入の計画が見られる。一方の原子力新興国については、IAEA の SMR Catalogue 2024 によると、SMR の導入に興味を持つ国は、2025 年には 25 カ国以上にのぼると

\*Kazuaki Kito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>International Nuclear Information Network (Hitachi-GE Nuclear Energy)

予想されている[6]。海外電力調査会の調査によると、東欧、中東、アジアなどで SMR の導入が検討されており、その候補炉型は、BWR である BWRX-300、PWR である VOYGR、RR SMR、SMART、SMR-160 など、SMR（軽水炉）が多い[12]。

これらのニーズに対応し、SMR（軽水炉）の開発も活発に行われている。IAEA の SMR Catalogue 2024 では開発中の SMR（軽水炉）として、欧米、中国、ロシア、日本などの 14 炉型（海上設置型を除く）が掲載されており[3]、一部の炉型の開発には日本企業も参画している。日立 GE ニュークリア・エナジー(株)は、米国の GE Hitachi Nuclear Energy 社と共同で BWRX-300 を開発している他、日揮ホールディングス(株)及び(株)IHI は NuScale 社に出資した上で VOYGR の開発に参画している。

この他、海上設置型の SMR（軽水炉）も開発されている。IAEA の SMR Catalogue 2024 にはロシア、中国、韓国の 6 炉型が掲載されているが、その内 4 炉型がロシアの炉型であり、その一つである KLT-40S は 2019 年に運開しているなど、ロシアが先行している[3]。多くは船舶内に発電用原子炉を設置し、遠隔地に係留して電気と熱を供給するが、近年は米国や日本で、沖合に設置する浮体式の SMR（軽水炉）も開発されている。

## 2-2. SMR（非軽水炉）

本報告では、SMR（非軽水炉）として高速炉（高速増殖炉を含む）、高温ガス炉、その他の炉型を取り上げる。SMR（非軽水炉）は発電の他、多くは SMR（軽水炉）よりも高い冷却材温度になることを活用した熱利用の観点でも期待されている。炉心出口の冷却材温度は、高速炉で約 500℃またはそれ以上、高温ガス炉で最高 950℃、熔融塩炉で最高 750℃と、最高 330℃程度の SMR（軽水炉）に比較して高い[13]。

まず高速炉の状況について記載する。高速炉は大型炉から小型炉まで出力ラインナップがあるが、例えばカナダでは北部の遠隔地域でのエネルギー源として SMR のニーズがある[14]。ロシアでは電気出力 880MW の大型炉が既に営業運転を開始している他、中国でも電気出力 600MW の大型炉が運開間近であり[14]、一部の国では高速炉は実用化段階にある。米国でも TerraPower 社と GE Hitachi Nuclear Energy 社が開発する高速炉 Natrium が、米国の ARDP の支援を受け、米国ワイオミング州での 2030 年の実証炉運転開始を目指して 2024 年に着工されている[15]。これらの高速炉はナトリウム冷却であるが、開発中の高速炉はナトリウム冷却の他、鉛冷却、鉛ビスマス冷却炉などがあり、ロシアと中国の他、欧米やインド、日本でも開発が進められている。

日本では、2023 年に中核企業として三菱重工業(株)が選定され、炉概念には三菱 FBR システムズ(株)の案が選定された[16]。今後、2028 年度の実証炉の基本設計・許認可手続きへの移行判断に向け、日本原子力研究開発機構(JAEA)とも連携して開発を進める見込みである（ただし、国内では電気出力 400～650MW の中型炉になる見込み）。

次に高温ガス炉については、炉の特性から基本的には電気出力 300MW 以下の小型炉となる。なお、中国の高温ガス炉 HTR-PM（実証炉）は電気出力 210MW、HTR-PM600（商用炉）は電気出力 650MW である[14]。ともにタービンは 1 基であるが、原子炉はそれぞれ 2 基、6 基であり、原子炉 1 基当たりの電気出力で見ると小型炉になる。中国では HTR-PM が 2023 年に商業運転を開始済みである。

高温ガス炉は発電目的とともに、高い安全性と、最高 950℃になる炉心出口冷却材温度を活用した熱利用面での注目度も高い。上述した HTR-PM でも地域暖房への活用が計画されている[17]他、ポーランドでも産業施設への熱供給を目的とした高温ガス炉の導入を目指している[14]。また、米国でも ARDP による支援のもとで高温ガス炉として Xe-100、BANR、MIGHTR の開発が進められている[4]。国内では JAEA が高温ガス炉と水素製造施設の接続技術確立に向けた検討を行っている。開発中の高温ガス炉の多くは、炉心出口冷却材温度が 750℃～850℃であり[13]、炉心出口冷却材温度が 950℃と高い日本の JAEA の GTHTR300 は水素製造の面で優位性がある。日本では 2023 年に三菱重工業(株)が中核企業に選ばれ[18]、JAEA とともに高温ガス炉の開発を進める見込みである。

その他、熔融塩炉やヒートパイプで冷却する炉型なども開発されている。熔融塩炉は米国、欧州、日本で、ヒートパイプ冷却炉は米国、日本などで開発が行われている。日本で開発中の炉型としては、熔融塩炉の Fuji が、ヒートパイプ冷却超小型炉の MovelluX が、SMR Catalogue 2024 に掲載されている[3]。

### 3. まとめ

本報告は原子力学会・海外情報連絡会として、他の機関の海外情報連絡会の委員とも協力して、SMRの海外状況や開発状況などについてまとめたものである。調べた結果は、軽水炉と非軽水炉に分けて記載した。詳細については、日本原子力学会 2025 年春の年会の理事会セッションで報告予定である。

### 参考文献

- [1] 令和 5 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2024）、日本国政府（2024）
- [2] 米グーグルやアマゾンが小型モジュール原子炉からの電力購入などを発表、JETRO（2024）、  
<https://www.jetro.go.jp/biznews/2024/10/9f4e0fc76c0a2f04.html>
- [3] Small Modular Reactors - Catalogue 2024, IAEA (2024)
- [4] Advanced Reactor Demonstration Program, DOE, <https://www.energy.gov/ne/advanced-reactor-demonstration-program>
- [5] Future Nuclear Enabling Fund: successful applicants, DESNZ, <https://www.gov.uk/government/publications/future-nuclear-enabling-fund-shortlisted-applications/future-nuclear-enabling-fund-successful-applicant>
- [6] Small Modular Reactors – Advances in SMR Developments 2024, IAEA (2024)
- [7] A China’s Multi-purpose SMR-ACP100 Design and Project Progress, NPIC, Gen.IV International Forum (2022)
- [8] Early site preparation work to begin on new clean generation at Darlington, OPG (2022), <https://www.opg.com/releases/early-site-preparation-work-to-begin-on-new-clean-generation-at-darlington/>
- [9] OPG applies to Canadian Nuclear Safety Commission for License to Construct, OPG (2022), <https://www.opg.com/news/opg-applies-to-canadian-nuclear-safety-commission-for-licence-to-construct/>
- [10] NUSCALE Small Modular Reactor, NuScale Power (2022), <https://www.nuscalepower.com/-/media/nuscale/pdf/fact-sheets/smr-fact-sheet.pdf>
- [11] Rolls-Royce SMR and ČEZ Group partner to deploy SMRs in UK and Czechia, CEZ (2024), <https://www.cez.cz/en/media/press-releases/rolls-royce-smr-and-cez-group-partner-to-deploy-smrs-in-uk-and-czechia-201775>
- [12] 世界の小型モジュール炉の開発動向、海外電力調査会（第 32 回原子力委員会資料第 1 号）（2021）
- [13] Advances in Small Modular Reactor Technology Developments – A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2022 Edition, IAEA (2022)
- [14] 山野秀将 他 3 名、次世代革新炉(高速炉と高温ガス炉)開発の最前線 1. 次世代革新炉開発の国内外動向、日本原子力学会誌、Vol. 66、No. 12、pp. 607-611 (2024)
- [15] TerraPower Begin Construction on Advanced Nuclear Project in Wyoming, TerraPower (2024),  
<https://www.terrapower.com/terrapower-begins-construction-in-wyoming>
- [16] 碓井志典、次世代革新炉(高速炉と高温ガス炉)開発の最前線 2. 高速炉開発における中核企業の取り組み、日本原子力学会誌、Vol. 66、No. 12、pp. 612-614 (2024)
- [17] 中国 高温ガス炉 HTR-PM による地域暖房プロジェクト始動、電気新聞 (2024)、  
<https://www.jaif.or.jp/journal/oversea/22501.html>
- [18] 原輝夫、大西宏行、次世代革新炉(高速炉と高温ガス炉)開発の最前線 3. 高温ガス炉開発における中核企業の取り組み、日本原子力学会誌、Vol. 66、No. 12、pp. 615-617 (2024)

海外における原子力の情勢と我が国の方向  
World Trends of Nuclear Energy and Future Direction of Japan

**(3) 幅広い視点から考える日本の原子力・核燃料サイクルの価値とリスク：  
欧州グリーンディールに学ぶ**

(3) Rethinking the values and risks of nuclear energy and fuel cycles in Japan from a wider scope:  
Insights from the European Green Deal

渡辺 凜<sup>1</sup>

<sup>1</sup> キヤノングローバル戦略研究所

## 1. EGD から学ぶ

### 1-1. EGD が扱う問題の多元性と複合性

温室効果ガスの排出を抑えて気候変動の緩和に貢献することは、当然ながら「欧州グリーンディール (EGD)」のメインテーマである。しかし、関連する欧州連合 (EU) の政策文書を読み解くと、EGD は単なる「温暖化政策」ではないことが分かる。むしろ、脱炭素化の実現を主軸の一つとして、持続可能な社会経済への転換を目指す、幅広いスコープの政策である、と捉える方が適切であろう。

この違いを、あえて日本のグリーントランスフォーメーション (GX) 政策との対比で説明するならば、両政策とも気候変動を社会規模の課題と位置づけている点は同じだが、GX 政策では「社会・経済構造を抜本的に転換しなければカーボンニュートラルを達成できない」という「対策や手段の水準」において社会的課題と捉える向きが強いのにに対し、EGD では「気候変動は EU 社会が抱えるあらゆる課題やビジョンに影響する」という「問題認識や政策目的の水準」において社会的課題として論じられている、と考えられる。実際に、EGD および関連する政策群においては、気候変動対策やエネルギー安全保障に加えて、有害物質による環境汚染や、生物多様性の喪失、生態系の破壊、生活の環境、食の安全、循環型社会への移行、格差と貧困、社会的弱者の救済と地位向上、イノベーション促進、EU の国際的なリーダーシップ向上など、多くの社会課題と気候変動の相互作用が論じられ、各政策領域の予算との連携も図られている。こうした政策としての射程の広さは、EGD が標榜する価値の多様さにも表れている (2-2 節参照)。

### 1-2. EGD が扱う問題の多元性と複合性に学ぶ

そもそも EU と日本は地理的、地政学的、政治的条件や、文化あるいは価値規範を含む様々な違いがあり、政策体系や行政区分も異なる。そして当然ながら、EGD にも多くの理念的あるいは実際的な課題がある。その上で、日本が EGD から学びうる点として、昨今の気候変動をめぐる大規模かつグローバルな取り組みと、そのためのエネルギーインフラの改革を、従来のエネルギー政策や経済振興政策の範囲に留めるのではなく、幅広い価値/リスク、政策領域、そしてステークホルダーの複合問題として、様々な社会課題との関係性の中で検討していくことの重要性を指摘したい。これは、エネルギー政策に対する環境問題の位置づけに着目して換言すれば、気候変動を含む環境問題を政策の外的条件や制約として位置づけるのではなく、エネルギー・経済活動の構成要素の一つ (しかも、他の要素に影響を与える重要な要素) として内部化し、経済・環境 (気候)・社会の複合問題の一環としてエネルギーガバナンスを考えること、ともいえる。

EGD が掲げる具体策や、個別の問題や価値ではなく、むしろ、こうしたスコープの広さ (多元性)、そして縦割りの発想ではなく、ステークホルダーの声を中心に、問題間の関係性を捉えて対策を考える姿勢 (複合性) に学ぶことが、GX 政策や我が国の原子力の方向性を考える上で、肝要なのではないか。

## 2. 幅広い視点から原子力・核燃料サイクルの価値とリスクを考える

### 2-1. これまでの原子力利用をめぐる視点

日本では石油危機以降、3E (安定供給、経済効率、環境適合) および S (安全性) を基本理念としてエネルギー

ギー政策が形成されてきた。それらの理念に照らせば、原子力はエネルギー密度の大きさ、安定した出力特性、発電プロセスにおいて温室効果ガスを排出しないこと、大型化による経済性向上が可能であること、燃料のリサイクルによる資源効率の向上が可能であることなど、複数の利点がある。同時に、事故のリスクや、原子力発電所、核燃料リサイクル施設、あるいは放射性廃棄物の処分施設において一般公衆や作業員への平時・事故時の被ばくリスクが考えられ、推進にあたって対策が講じられてきた。

ここで重要な点として、S+3Eのような政策の理念、あるいは政策を考える上で重視される視点は、客観的・科学的・中立的に決められるものではなく、その社会や政府が重視する価値、あるいはその時代の支配的なパラダイムなどの志向に強く影響されながら、広義の政治的プロセスを通じて定められる、という点である。すなわち、こうした視点のあり方は社会の趨勢に応じて再考されることが望ましいと考えられる。[3]

## 2-2. 日本の原子力・核燃料サイクルに関係しうる EGD の幅広い視点

では、従来の政策理念に縛られない、多元性と複合性のある幅広い視点とは、具体的にどのようなものか。次節に示す簡易的な検討においては、EGD が掲げる以下の多様な社会理念を参照してみたい。

EGD に関わる政策文書[1]や、その具体化を支える EU タクソノミー[2]が問題とする「環境目的」などには、実現を目指すべき社会のあり方として次のようなキーワードが度々登場する。EU の政策文書における文脈を踏まえて解釈すれば、次の括弧内のような社会像を表していると考えられる。

- ・ Circular (資源を無駄にしない社会、天然資源の開発に頼らない社会)
- ・ Sustainable (次世代の機会を損なわない社会)
- ・ Clean (有害な物質や音、熱、振動、光、その他による汚染の被害のない社会)
- ・ Biodiverse (森林や海洋を含む自然の生態系や生物種、また個体の多様性が守られる社会)
- ・ Resilient (変動や災禍を切り抜けられる社会)
- ・ Healthy (健やかに過ごすための空気や水、食や環境、およびインフラに困らない社会)
- ・ Free (外圧や力に負けず、意思が尊重される社会)
- ・ Thriving (あらゆる規模の経済主体に活力があり、国際競争力のある社会)
- ・ Innovative (新しいソリューションを生み出せる社会)
- ・ Fair (競争が歪められず、誰もが資源や機会にアクセスできる社会)
- ・ Just (誰かに理不尽を押し付けられない社会)
- ・ Diverse, Inclusive (多様なステークホルダーが受け容れられ、活躍する社会)
- ・ Responsible (各主体が負う責任について合意があり、その責任が果たされる社会)
- ・ Transparent (意思決定のメカニズムやプロセスが明確であり、公開されている社会)
- ・ Accountable (計測、記録、会計などが適切に作成・保存・公開される社会)

## 2-3. 幅広い視点から考える日本の原子力・核燃料サイクルの価値とリスクの検討例

最後に、前節に示した多様な社会的理念がどのように日本の原子力・核燃料サイクルをめぐる問題に関係しうるか、次の4領域を含む例を提示し、幅広い視点で考えることの意義を提起する。

### ●原子力・核燃料サイクル政策全体

- 原子力・核燃料サイクル政策に対する一般市民や消費者、国、事業者、あるいは地方自治体の責任所在 (Responsible) や、利害関係者やその他の関与者の声意思決定に反映される仕組みが不明瞭であり (Transparent)、そうした政策形成の記録と保存と公開が不十分なために、これまでの決定の正当性を評価することさえ困難な状況にある (Accountable) という指摘が多数ある。
- 一方、ガバナンスのあり方を改善できれば、上述の点が他電源／産業と比した際の価値にもなりうる。

### ●立地地域との関係

- 立地地域や周辺地域に身体的、精神的、社会的な健康や Well-being (Healthy/Clean/Inclusive/Resilient) に関するリスクや、風評被害や大型産業への依存といった経済活動 (Thriving) に関するリスクが集中することが指摘されている。さらに、地元の二極化や社会・政治的な混乱や分断、また外的な圧力に曝されるリスク (Free/Inclusive) もあり、過大な負担を強いられている (Just) という指摘も多い。
- 一方で、たとえば地域医療体制に対し、資金面のみならず、人材や技術、ロジスティクス、防災対策、

教育や研究といった方面から貢献することや、看護や介護や保育といったケアワーカーの体制拡充、屋内施設や児童の遊び場の整備、まちづくり支援等に取り組みれば、地域に新たな価値を提供しながら、原子力災害にも備えることが可能かもしれない (Sustainable/Healthy/Clean/Inclusive/Resilient/Innovative)。

#### ●原子力事故に対する安全

- 原子力事故は、放射線被ばくによる人体への健康影響のみならず、教育、就労、余暇、その他生活全般への障害、家族や親族間、あるいは地元コミュニティにおける分断や対立、喪失感をはじめとする様々な心理的影響や心身の不調、避難先における地域社会の混乱、差別、動植物に対する影響、生物多様性や生態系への影響、関係する地域のインフラや経済活動への影響、スティグマ等の様々なリスクがある (Sustainable/Healthy/Biodiverse/Clean/Thriving/Just/Free/Inclusive/Diverse/Resilient)。また、地域が災害から復興する力に大打撃を与えるリスクがある (Sustainable/Thriving/Resilient)。
- 今後、安全目標や、今後の技術開発や事業開発の目標において、放射線被ばくの影響や狭義の環境影響の防止のみならず、より広義の人々や地域全体の健やかさ (Healthy/Clean/Thriving/Inclusive/Resilient)、Biodiversity、そして災害弱者の保護 (Just/Inclusive) 等を包含した目標設定をすることが考えられる。
- 特に、避難指示にまつわる意思決定のシステムを Just、Inclusive、Responsible、Transparent そして Accountable にし、避難指示区域外においても避難をめぐる不安や社会的混乱、コミュニティの分断が生じうることに十分留意し、各人が最善の選択をできるように経済的、社会的、政治的 (広域的)、専門的サポートを提供することが考えられる (Thriving/Just/Free/Inclusive/Diverse/Resilient/Fair/Responsible)。

#### ●働き方

- 被ばく等の健康リスクを伴う業務や、業界に対する社会的スティグマ、福島事故後の社会的責任、人材・資金不足あるいは業務の増加や煩雑化、その他一般企業と共通する就業者への負担の他、業界全体として適切なスキルを有する人材の不足、ノウハウの継承、ダイバーシティの低さ等が、リスクとして考えられる。(Sustainable/Healthy/Clean/Thriving/Just/Inclusive/Diverse/Resilient)。
- 一方、関連業界でも通用する内容の Reskilling や Upskilling の機会や支援の提供、健康的に働き続けられる職場づくり、戦略的な国際人材の活用等に取り組みれば、日本において先行事例となりうる (同上)。

#### 2-4. 幅広い視点から考えるための今後の課題

政策科学的な観点でいえば、以上のような簡易的な検討のために用いた EGD の社会的理念の中には、本質的な価値から、その派生型ともいえる中間価値まで、様々な水準の概念が混在する。より本格的な検討にあたっては、枠組みの整理が求められよう。加えて、そもそも日本の原子力・核燃料サイクルを考えるためには、EGD が掲げる価値を参照するのではなく、日本の社会問題・ステークホルダーの調査から、価値やリスクやそれに関する理念を抽出する必要がある。今後、様々な社会課題と原子力・エネルギー政策および気候変動政策の接点を考えるワークショップ型の研究会を通じて、こうした課題に取り組んでいきたい。

[1] EUR-lex, “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS The European Green Deal COM/2019/640 final”, 11 December 2019. 他

[2] EGD が掲げるビジョンに沿う活動を具体的に定め、分類した規則。

Official Journal of the European Union, Regulation (EU) 2020/852 of the European Parliament and of the Council of 18 June 2020 on the establishment of a framework to facilitate sustainable investment, and amending Regulation (EU) 2019/2088, July 2020.

[3] 気候変動政策の文脈で日本のエネルギー政策の「S+3E」の枠組みを批判的に取り上げた研究プロジェクトとして次が挙げられる：江守正多他「脱炭素化技術の日本での開発/普及推進戦略における ELSI の確立」. 国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) 社会技術研究開発センター (RISTEX), 「科学技術の倫理的・法制度的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践研究開発プログラム」, (2020年9月～2024年3月). <https://www.jst.go.jp/ristex/rinca/projects/jpmjrx20j1.html>

Rin Watanabe <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Canon Institute for Global Strategies.

企画セッション | 委員会セッション：理事会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場(Zoomルーム4)

**[1D\_PL] 海外における原子力の情勢と我が国の方向**

座長:越塚 誠一(東大)

**[1D\_PL04] 総合討論**講演者全員、大井川 宏之<sup>1</sup> (1. JAEA)

原子力はCO<sub>2</sub>を排出しないため地球温暖化対策に貢献できるエネルギー源である。また、最近の世界情勢として軍事的な衝突・緊張が増しており、安定したエネルギーとして注目が集まっている。さらには、データセンターなどの電力需要の高まりへの対応が必要とされている。こうした背景から海外では原子力エネルギーを積極的に活用する動きが活発になってきている。そこで本セッションでは、大型軽水炉、SMR、核燃料サイクルについて、海外での最近の情勢および我が国の方向をそれぞれの専門家から講演いただき、その後、総合討論にて議論を深める。

企画セッション | 部会・連絡会セッション：原子力発電部会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 F会場(Zoomルーム6)

**[1F\_PL] 持続可能な未来に向けての原子力の社会受容性と技術革新の状況**

座長:北田 孝典(阪大)

[1F\_PL01]

近年の原子力発電をめぐる世論の動向

\*藤田 智博<sup>1</sup> (1. INSS)

[1F\_PL02]

女川原子力発電所の再稼働に向けた安全性向上の取り組み

\*諸井 睦<sup>1</sup> (1. 東北電力)

[1F\_PL03]

GX実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

a) 革新軽水炉SRZ-1200の開発状況

\*西尾 浩紀<sup>1</sup> (1. MHI)

[1F\_PL04]

GX実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

b) Highly Innovative ABWR及びBWRX-300の導入に向けた取り組み

\*近藤 貴夫<sup>1</sup> (1. 日立GE)

[1F\_PL05]

GX実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

c) 革新軽水炉iBRの主要な特徴

\*青木 保高<sup>1</sup> (1. 東芝ESS)

## 原子力発電部会セッション

持続可能な未来に向けての原子力の社会受容性と技術革新の状況  
Social acceptability of nuclear power and state of technological innovation  
towards a sustainable future

## (1) 近年の原子力発電をめぐる世論の動向

## (1) Recent Trends in Public Opinion regarding Nuclear Power Generation

\*藤田 智博<sup>1</sup><sup>1</sup> INSS

## 1. はじめに

近年の原子力発電をめぐる日本国内の世論の動向を簡潔にまとめるならば、2011年の震災と事故後、否定的な方向に大きく振れた意見が、とりわけ、2022年のロシアによるウクライナへの侵攻以降の情勢の変化と平行して、肯定的な方向に戻している、となるだろう。それは、脱炭素電源法の成立等、制度面の変化の方向性とも大きく違わない（藤田, 2024）。本報告では、いくつかの先行研究を概観した後、具体的な調査結果に基づき、近年に至るまでの世論の変化の軌跡をたどることとしたい。加えて、今後、震災直後と比較した際に、既設炉の活用が進み、また、原子力発電所のリプレースや増設等が視野に入らる中で、重要になるはずの論点にかかわり、同様に調査結果を紹介し、示唆を引きだすこととしたい。

## 2. 先行研究と調査概要

## 2-1. 変化の方向性と影響する要因

原子力発電をめぐる世論を研究するといった場合、一般の人々に対して実施した調査結果を単純に集計するというアプローチがある一方、リスクに対する態度といった観点から、より深く学術的にアプローチする場合がある。本報告では、後者のアプローチに関連する先行研究を参照し、①過去の研究においては、事故に代表されるように、どうしても否定的な方向への変化を予期させる事象を前後した変化に照準を合わせる研究が多いこと、②リスクにかかわる意見に影響を及ぼす要因や判断材料として、人々が有している知識量と信頼を対置させる議論が多いこと、の二点を確認する。それゆえ、意見の肯定的な方向への変化は未解明な部分があると同時に分析の俎上にのせる機会自体が少なく、また、信頼の一般的な性質として、獲得や高めることが難しく、喪失や低下が瞬時に生じることを考慮するならば（Poortinga and Pidgeon, 2004）、事故後に原子力発電に対する肯定的な世論が大きく低下した日本の特殊性を考慮する必要がある（Fujita, 2025）。

これらの点を踏まえるならば、事故を経験した日本において、2021年から2022年にかけて原子力発電に対する意見が総じて肯定的な方向に改めて動いていることは（藤田, 2024）、興味深い事象であるといっていよう。この興味深さを念頭に置いたうえで、近年の動向を振り返ることとしたい。

## 2-2. 調査概要と使用するデータ

使用するのは、INSSが継続的に実施している、原子力発電についての意識調査のデータである。対象としているのは、関西地域の16歳から79歳の男女である。調査自体は1990年代から実施しているものの、2011年の事故後から近年の変化に照準を合わせるため、2010年から2023年までのデータを用いる。サンプリング方法は、2016年までは現地積上法、2017年は現地積上法と割当法を併用し、2018年以降は割当法を採用している。回収は訪問留置法を用いて、各年10月頃におよそ一月かけて、約1000人から回収している。

\*Tomohiro Fujita<sup>1</sup><sup>1</sup> Institute of Nuclear Safety System, Inc.

### 3. 結果

**総合的な利用態度：** 2011年の震災と事故直後に大きく低下したものの、21年から22年にかけて、肯定意見が増え、2023年も維持されている（図1）。

**原子力施設事故への不安感：** 事故直後に高まった不安感は年を経過しおおむね低下方向で推移している。

**1F事故のような事故が再び起こる可能性：** 2011年の震災直後と比較して「起こりそう」という回答の比率は低下する中、2022年にいったんは高まっているものの（背景には、ロシアのウクライナ侵攻とザポロジェ原子力発電所への攻撃）、2023年には戻している。

**日本の発電能力について：** 2021年から22年にかけて、「十分」であると回答する割合が低下している。

**電力会社に対する評価・原子力規制機関に対する評価・真実公表に対する不信感：** 電力会社、規制機関に対する評価はいずれも震災と事故直後と比較した場合に高まっており、真実公表への不信感も相対的に低下している。

**原子力発電を減らした場合に生じる懸念：** 2021年から22年にかけて、電気料金上昇への懸念、電力安定供給への懸念、国際的な資源争いに巻き込まれる懸念、生活水準が低下することへの懸念が高まっている。

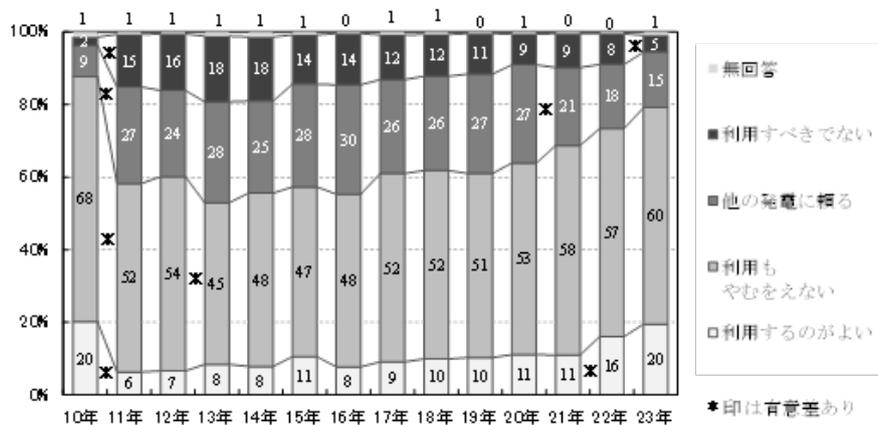


図1 総合的な利用態度の推移

そのほか、当日は、GX（グリーン・トランスフォーメーション）に関連し、カーボンニュートラルを一般の人々はどのように見通しているのか、新型革新炉に関連するトピック、2030年の電源別の電力構成の見通しに対する意見、将来の電力需要の見通し、データセンターへの期待といった個別の論点についても、調査結果を紹介したい。

### 4. おわりに

繰り返しになるが、原子力発電をめぐる世論の状況は、震災直後と比較して肯定方向に動いており、それは、政策をはじめ、制度面との変化とも連動するものである。今後、既設炉の再稼働が少しずつ進み、リブレースや増設等が視野に入中、あるいは、電力需要の見通しが変わる中、原子力発電の役割や事業者に改めて注目が集まることがあるだろう。日常的な実感が容易ではないその貢献を、うまく伝えていくコミュニケーションが求められる。

#### 文献（一部）

藤田智博、2024年、「世論も転換したのか？」日本原子力学会誌『ATOMOZ』Vol.66: pp.24-27.

[https://doi.org/10.3327/jaesjb.66.5\\_250](https://doi.org/10.3327/jaesjb.66.5_250)

Fujita, T., 2025, Energy knowledge and public response to restarting nuclear plants in Japan following the Fukushima accident, Utilities Policy, Vol. 92: 101858. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2024.101858>

Poortinga W., Pidgeon N.F., 2004. Trust, the asymmetry principle, and the role of prior beliefs. Risk Analysis. 24, 1475-86. <https://doi.org/10.1111/j.0272-4332.2004.00543.x>

## 原子力発電部会セッション

持続可能な未来に向けての原子力の社会受容性と技術革新の状況  
Social acceptability of nuclear power and state of technological innovation  
towards a sustainable future

## (2) 女川原子力発電所 2号機に向けた安全性向上の取り組み

## (2) Efforts toward Restart of Onagawa Nuclear Power Station Unit 2

\*諸井 睦<sup>1</sup><sup>1</sup>東北電力株式会社

## 1. はじめに

原子力発電は、エネルギー資源に乏しい日本において、安定供給、経済効率、環境適合の観点から重要なエネルギー源です。特に、ロシアによるウクライナ侵攻後、エネルギー安全保障の重要性が増しています。

女川原子力発電所 2号機は、2011年3月11日の東日本大震災で被災以降停止していましたが、2024年11月13年ぶりに再稼働しております。女川原子力発電所 2号機の再稼働により年間約220万トンのCO2排出削減が期待されており、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて重要な役割を果たします。

本報告では、原子力発電所の安全性向上、地域の皆様から信頼され、地域に貢献する発電所を目指した取り組みをお知らせいたします。

## 2. 安全性向上への取り組み

女川 2号機の安全性は、地震、津波および竜巻等の自然現象への対応、電源確保、冷却機能の確保、閉じ込め機能の確保、火災防護対策等の安全対策の強化により、東日本大震災前と比較して確実に向上したものと考えております。

また、大規模な原子力災害の発生に備えた体制を強化した上で、設備面だけでなく社員のスキル向上に取り組むため訓練内容の強化を実施するとともに、避難計画の実効性向上のため、地域住民の方々と連携した訓練を通じて、緊急時対応能力の向上を図っております。



女川原子力発電所の安全対策の全体像

\*Makoto Moroi<sup>1</sup><sup>1</sup>Tohoku Electric Power Co., Inc.

### 3. 社会の皆様への理解向上に向けた取り組み

女川2号機の再稼動においては、長期の停止期間を経て状態が変化する設備があること、また、新たに設置した設備があることから、様々な警報や不具合等が発生することが想定されたため、その際には、一旦立ち止まり、状況に応じて綿密な点検等を行い次工程に進めて参りました。

また、再稼動の過程において発生した不具合等の事象については、「女川原子力発電所の情報公開基準」を定め確認された不具合等の安全性に与える重要度に応じ、タイムリーかつわかりやすい情報発信に努めました。

女川原子力発電所の情報公開基準

区 分		公表時期	重要度
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>法令及び安全協定における通報連絡の対象に該当する重要度の高い事象</li> <li>発電所周辺にお住まいの方から問い合わせが予想されるなど緊急性のある事象</li> </ul>	<b>「直ちに」</b> (夜間、休日を問わず)	高
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>事象の進展または状況の変化によっては、法令及び安全協定における通報連絡の対象に該当する事象または社会的に影響の出るおそれのある事象など</li> </ul>	<b>「翌営業日に」</b>	低
IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>「区分I～III」に至らない機器の不具合など</li> </ul>	運転中 停止中	
		公表未済	

### 4. まとめ

女川原子力発電所の再稼動は、エネルギー安全保障の強化、燃料費の低減、CO2 排出量の削減等に寄与することが期待されております。

今後も、原子力発電所の「安全対策に終わりはない」という確固たる信念のもと原子力発電所のさらなる安全性の向上に向け取り組みを着実に進め、地域社会との信頼関係を築きながら、持続可能なエネルギー供給に貢献して参ります。

## 原子力発電部会セッション

## 持続可能な未来に向けての原子力の社会受容性と技術革新の状況

Social acceptability of nuclear power and state of technological innovation towards a sustainable future

## (3) GX 実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

## a) 革新軽水炉 SRZ-1200 の開発状況

(3) Efforts to development advanced light water reactor to realize GX

a) Development Status of Mitsubishi Advanced Light Water Reactor "SRZ-1200"

\*西尾 浩紀<sup>1</sup><sup>1</sup>三菱重工業株式会社

## 1. はじめに

2024年12月17日に発表された第7次エネルギー基本計画案において、原子力の最大限活用が強調された。また、従前の「可能な限り依存度低減」の文言が削除された他、原子力はその優れた安定供給性と技術自給率を有し、さらに他電源と遜色のないコスト水準の脱炭素電源とされ、安全性の確保を大前提に、必要な規模(参考資料として示されたエネルギーミックスでは、2040年時点の原子力発電比率は約2割と想定)を持続的に活用していくと方針が明示された。また、「次世代革新炉の開発・設置」として、東日本大震災以降、初めて国内新設(リプレース)に取り組む方針が示された。

当社は、国内全24PWRプラントの建設実績に加え、国内既設プラント(PWR、BWR)の再稼働支援や特定重大事故等対処施設の設置推進を通じて技術力を維持し、図1に示すように、2030年代以降に革新軽水炉SRZ-1200の実用化を通じて将来のカーボンニュートラル実現に貢献することを目指している。加えて、将来の多様化する社会ニーズに応じて、高速炉、高温ガス炉、小型炉等の開発を進めるとともに、“夢のエネルギー源”である核融合炉にも挑戦する。

本稿では、当社が開発を進めているSRZ-1200について、その設計状況および実現に向けた取り組みを紹介する。

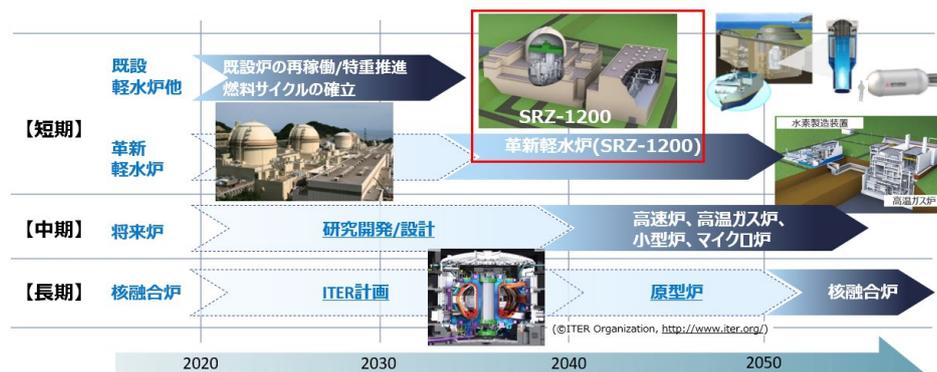


図1 開発ロードマップ

## 2. SRZ-1200 のプラント仕様と特徴

## 2-1. プラント仕様

SRZ-1200の基本仕様について、既設PWRとの対比を含めて表1に示す。SRZ-1200は、経済性と電力系統

\*Hiroki Nishio<sup>1</sup><sup>1</sup>Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

上の運用性を考慮して、120万kW級の電気出力を設定している。この出力を達成するために、大型炉向けに開発した蒸気発生器や1次冷却材ポンプなどの主要機器を適用し、1ループ当たりの流量を増加させている。

表1 SRZ-1200 プラント基本仕様

項目	SRZ-1200	既設PWR
電気出力(Gross)	～1,210 MWe	1,180 MWe
炉心熱出力	3,411 MWt	3,411 MWt
1次冷却材ループ数	3ループ	4ループ
燃料集合体	193体	193体
1次冷却材流量	25,100 m <sup>3</sup> /h/loop	20,100 m <sup>3</sup> /h/loop

## 2-2. プラントの特徴

SRZ-1200は、豊富な運転実績を有するPWRプラントの技術を基に、福島第一原子力発電所事故の教訓を反映した安全対策を設計段階から取り入れた新しい原子炉である。具体的な特徴は以下の通りである。

### (1) 自然災害に対する耐力（耐震性、津波耐性など）の向上

安全系設備が設置される建屋は、できる限り正方形に近い整った形状とし、低重心化及び岩盤への埋込み等を行うことで、地震時の建屋安定性を高めている。また、設計基準となる津波高さより高い敷地とすること等に加え、更に建屋を水密化することで津波に対する耐性を高める。

### (2) 事故時の炉心冷却・格納容器破損防止機能の強化（図2参照）

- 従来プラントでは2系列（トレン）構成であったものをSRZ-1200ではさらに多重性を強化し、3系列（トレン）に増強した上で、各系列間の分離（区画分離）を強化することで、複数設置する安全系設備が同時に機能喪失する可能性を低減し、安全性を向上させる。
- SRZ-1200では、福島第一原子力発電所事故での経験を踏まえた新たな深層防護設計の考え方をプラント設計段階から取り入れ、事故の進展レベルに応じた対策設備を設置し、異なる深層防護レベル間での設備の独立性及び多様性強化を図り、安全性を向上させる。
- 高性能蓄圧タンク等の静的（パッシブ）設備と動的（アクティブ）設備のベストミックスを採用することにより、炉心冷却事故初期の迅速な対応と速やかな事故収束を両立する。

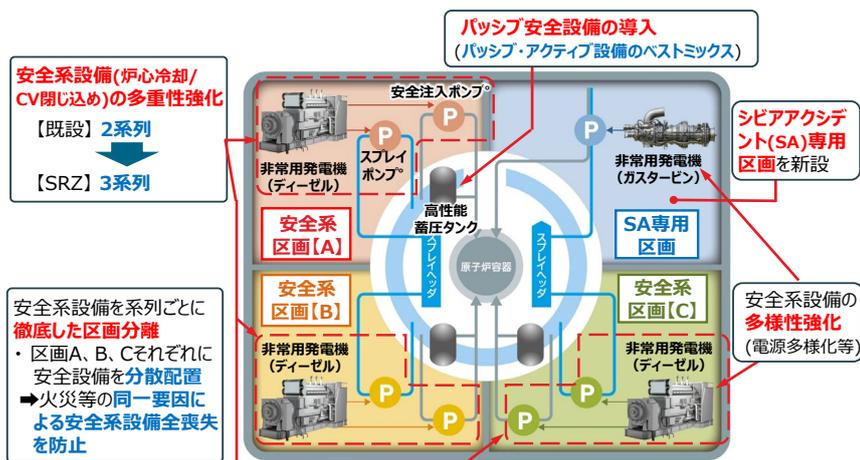


図2 SRZ-1200の安全設備構成

### (3) 格納容器の強化

格納容器については、高強度鋼板を用いた鋼製格納容器と頑健な外部遮蔽壁による2重構造とすることにより、航空機衝突に対する頑健性と耐震性を両立し、放射性物質の閉じ込め能力を向上させる。

### (4) 溶融炉心及び格納容器破損防止対策

万が一、溶融炉心が格納容器内に放出されたとしても、溶融炉心冷却設備及び格納容器内の除熱設備により格納容器の破損を防止する。

### 3. SRZ-1200 の開発状況

SRZ-1200 は、2030 年代半ばの運転開始をターゲットとして、2019 年以降、国内電力 4 社（関西電力株式会社、北海道電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社）と共同で立地（サイト）を特定しない標準設計を進めている。標準設計では、許認可が必要となるプラント設備の仕様を検討することとしており、現段階で概ね基本設計が完了し、個別プラント設計へ進む準備ができています（図 3 参照）。

サイトが決定すれば、立地条件（地震条件、冷却水・外気条件等）を反映した個別サイト向けの設計を進め、個別機器の詳細設計、製作・建設へと進めて行く。

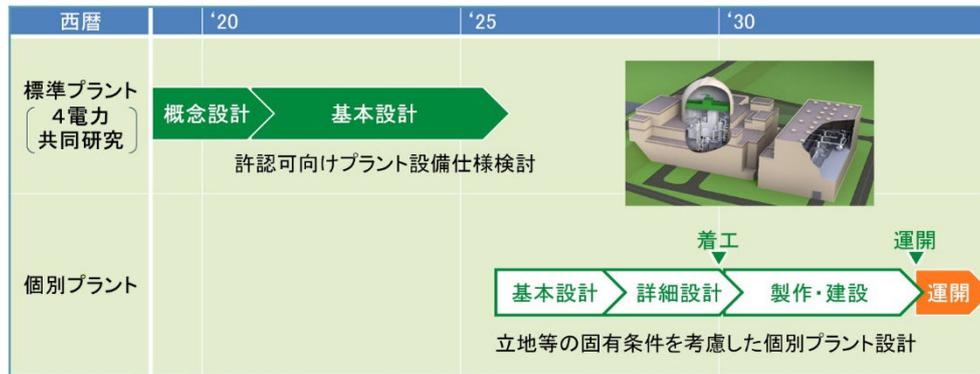


図 3 SRZ-1200 の開発工程

### 4. 主要設備の検証試験

SRZ-1200 は、安全性向上や経済性・運用性向上の観点で従来プラントからの改良技術や従来プラントで適用していない新技術を採用している。SRZ-1200 に適用する主要な改良技術や新技術及び検証状況について以下に示す。

#### (1) 原子炉容器

容器下部からの漏えいリスクの低減の観点から、従来プラントにおいて設置されていた下部計装管台を SRZ-1200 では廃止するとともに、事故時の炉心冠水時間短縮の観点から原子炉容器下部のプレナム部の容積を削減している。また、表 1 に示す通り 1 次冷却材流量が従来プラントより増加していることも相まって、炉内の冷却材の流動が従来プラントと異なることから、プラントの安全性及び安定運転を担保するため、炉内流動試験による検証を進めている。

#### (2) 上部挿入式炉内核計装

炉心の状態監視のための計装設備は、従来プラントでは原子炉容器下部から挿入していたが、SRZ-1200 では原子炉容器上部からの挿入方式に変更する。従来プラントと異なる炉内構造となるため、上記(1)に合わせて炉内流動試験を実施するとともに、実機プラントを想定した保守方法等の検証試験を進めている。

#### (3) 熔融炉心冷却設備

従来プラントでは炉心の下部に予め注水を行い熔融炉心が冷却水中に放出されることで熔融炉心を冷却する方式としていた。これに対し、SRZ-1200 では、熔融炉心をより確実に冷却するため、熔融炉心を薄く拡げてから注水可能なパッシブの熔融炉心冷却設備を設置する。本設備の適用性検討や基本設計は実施済みであり、現在は海外機関とも協力し、犠牲材コンクリート（熔融炉心の低粘性化のため）や耐熱材の耐放射性試験等、設備の実証性・許認可のためのデータ取得を目的とした検証試験を進めている。

#### (4) 1 次冷却材ポンプ

SRZ-1200 では、従来プラントを上回る 1 次冷却材流量を有する MA25S 型 1 次冷却材ポンプを適用する。当社所有の 1 次冷却材ポンプルーブ工場試験設備を用い、実機プラントにおける高圧・高温の冷却材条件において検証試験を実施済みである。

#### (5) 高性能蓄圧タンク

SRZ-1200 では、従来プラントにある蓄圧注入系と低圧注入系をカバーする高性能蓄圧タンクを設置する。

本設備は、内部に設置した渦巻ダンパ（静的機器）により、大流量から小流量への切替をタンク内水位の低下に応じて自動的に行う機構を有している。当社にて実機プラント相当規模での検証試験を実施済みである。

なお、上述の通り(1)～(3)については技術開発及び適用性検討は完了しており、検証試験を通してプラント建設に必要な許認可データ、実機設計用データを取得し、プラントの完成度を高めていく計画である。

図4に検証試験の計画を示す。

また、上記以外にも、SRZ-1200では従来プラントから改良された機器を採用する場合には、設備毎に個別の検証試験を実施する計画である。

項目	内容	'20	'25	'30
炉内流動試験	原子炉容器内での冷却水の流動状況を確認し、プラントの安全・性能評価に必要なデータを取得・評価を行う。	→		
熔融炉心冷却設備	熔融炉心の挙動及び冷却性能の確認を行い、許認可向けのデータ整備を行う	→		
炉内核計装	炉内核計装設備の計測性能・健全性・保守性の確認を行う	→		

図4 SRZ-1200の主要設備の検証計画

## 5. 許認可の予見性向上に向けた活動

原子力発電プラントの建設には厳格な許認可プロセスが求められる。新設炉向けの規制要求の明確化のため、SRZ-1200の設計を題材として原子力規制庁との対話を通じて許認可の予見性を高める活動がATENA（原子力エネルギー協議会）にて実施されている。具体的な取り組み状況は以下の通りである。

### (1) 論点の明確化

現行の規制基準に対して、SRZ-1200の設計を題材として規制要件を体系的に整理し、新設炉向けの規制要件として原子力規制庁との議論が必要になる論点を整理。

### (2) 原子力規制庁との意見交換会

各論点について、SRZ-1200の設計や運用に関する基本的な安全性担保の方針について原子力規制庁へ説明を行い、意見交換を通じて新設炉向けの規制要件について共通認識を醸成する。これらの活動を通じて、将来行われる新設プラントの許認可プロセスの予見性を高め、実プラントの建設時のスムーズな許認可取得を実現することを目指している。

## 6. 製造設備及びサプライチェーン維持

原子力発電プラントの建設に向けて、福島第一原子力発電所事故を踏まえた新設計画の中断に伴い、設計だけでなく製造・調達に関する準備を進めて行く必要がある。

製造設備の維持については、SRZ-1200の機器製作に必要な大型設備の重要部品の刷新や設備保全体制の強化を行っている。さらに、工作機械の主軸回転数高速化やセンサーを利用した設備状態監視を実施し、原子力機器製造の競争力を維持・向上させている。

サプライチェーンの維持に向けては、約400社以上のビジネスパートナーと連携し、SRZ-1200関連の進捗に関する情報交換や調達品の品質確保に向けた協議を推進している。

## 7. まとめ

SRZ-1200は、福島第一原子力発電所事故から得た教訓を反映した安全対策を設計の段階から取入れ、さらに新技術を取り入れて、安全性、経済性、運用性を向上させた革新軽水炉である。当社では、その実用化に向けて、設計のみならず、許認可対応、製造、調達等の各種取り組みを進めている。今後も、安全性、経済性、運用性の向上を図りながら、カーボンフリー社会の実現に貢献していく所存である。

## 原子力発電部会セッション

持続可能な未来に向けての原子力の社会受容性と技術革新の状況  
Social acceptability of nuclear power and state of technological innovation  
towards a sustainable future

## (3) GX 実現に向けた革新軽水炉開発の取り組み

## b) Highly Innovative ABWR 及び BWRX-300 の導入に向けた取り組み

(3) Efforts to development advanced light water reactor to realize GX

b) Development of Highly Innovative ABWR and BWRX-300

近藤 貴夫<sup>1</sup><sup>1</sup> 日立 GE

## 1. 緒言

日立 GE ニュークリア・エナジー（以下、「日立 GE」と記す。）は、CN（カーボンニュートラル）等の原子力ニーズに対応するべく新型炉の実用化と開発を進め、社会のニーズに応じた段階的なソリューションの提供を目指している（図 1）。本稿では、このうち、革新大型軽水炉 HI-ABWR（Highly Innovative ABWR）と高経済性小型軽水炉 BWRX-300 について説明する。



図 1 日立 GE ニュークリア・エナジーの炉型開発戦略

## 2. 革新大型軽水炉 HI-ABWR

HI-ABWR は、英国の設計認証を取得した国際標準 ABWR（UKABWR）をベースにしており、福島第一原子力発電所事故の教訓に基づく安全対策を設計段階から合理的に組み込んでいる。出力規模は 1,350～1,500 MWe を想定し、3 系統である工学的安全系を含めて、基本システムは ABWR と同様である。一方、革新的安全性として、自然災害・テロ・内部ハザードへの耐性強化による安全機能の防護、事故時の除熱機能強化のための静的炉心冷却系 PRCS（Passive Reactor Cooling System）、熔融炉心対策の強化を目的としたコアキャッチャおよび静的デブリ冷却システム、過酷事故時でも住民の避難を実質的に不要とする希ガスフィルタなどを搭載した放射性物質閉じ込め設備を備えている（図 2）。

具体的には、自然災害や航空機衝突などの外部からの物理的損傷に対しては、建屋外壁で防護し、耐震壁と共用することで建築構造を合理化するなど、物量増加を抑制しながら建屋を強化する。地震に対しては、ABWR の特徴である低重心の原子炉建屋に加え、建屋地下の側方拘束などを活用する。建屋内の火災や溢水に対しては、原子炉建屋内部を耐火・止水性能を持つ壁で区分けし、共通要因故障をもたらす事象への対策

\*Takao Kondo<sup>1</sup><sup>1</sup> Hitachi-GE Nuclear Energy

を強化している。静的安全設備である PRCS や静的デブリ冷却システムは、運転員の操作を低減し、ポンプなどの動的機器を排除することで、事故時の対応の信頼性を向上させている。放射性物質閉じ込め設備については、従来のフィルタベントシステムの下流側に希ガスフィルタを追加し、ベント時の放射性物質放出を抑制する。今後もプラント設計のさらなる具体化と安全性向上を進めていく。

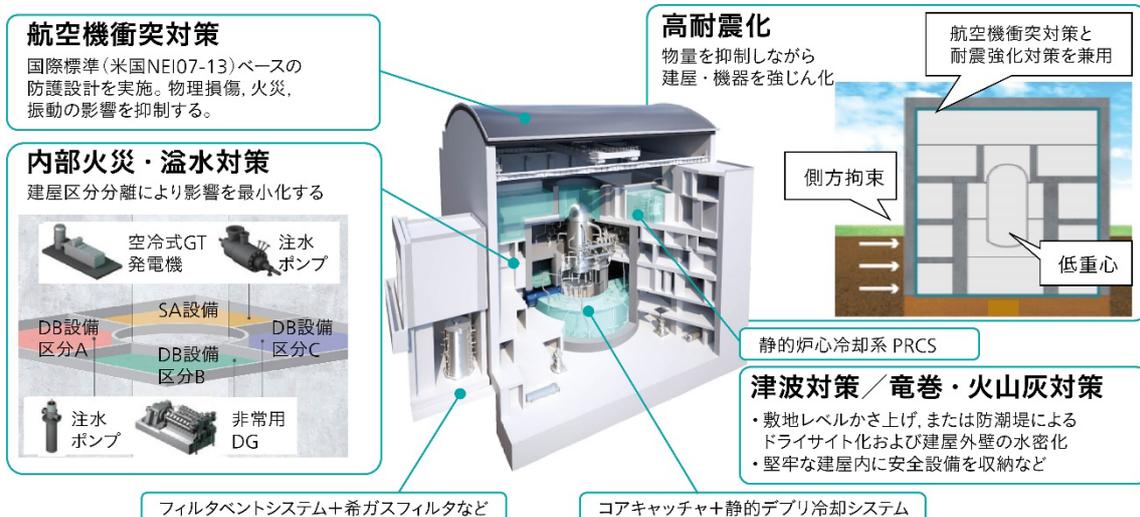


図2 HI-ABWRの概要と外部・内部ハザードへの耐性強化

### 3. 小型軽水炉 BWRX-300

日立 GE は、米国の姉妹会社である GE Hitachi Nuclear Energy (以下、「GE 日立」と記す。) と、電気出力 300 MW の小型軽水炉 BWRX-300 を共同で開発している。BWRX-300 は、先進的な「隔離弁一体型原子炉」概念の採用により冷却材喪失事故の影響を徹底的に抑制することで、安全性を高めつつ、非常用炉心冷却系ポンプ等の大型機器を削減するとともに、原子炉建屋及び原子炉格納容器を大幅に小型化する等、プラントシステムを簡素化した。これにより、機器点数削減による信頼性向上や運転・保守費の低減、そして廃炉時の廃棄物量低減も実現する。カナダ・オンタリオ州の州営電力会社 Ontario Power Generation (以下、「OPG」と記す。) は、BWRX-300 を選定し、2029 年の運転開始を目指し建設許可審査を開始している。米国や欧州でも BWRX-300 導入の動きがあるため、GE 日立は、OPG、米国の国営電力会社 Tennessee Valley Authority、ポーランドの Synthos Green Energy と共同で、BWRX-300 の世界標準設計の構築を開始した。日立 GE も GE 日立のパートナーとして、キー技術の実証試験や主要機器の設計などで BWRX-300 の早期実用化に協力している。将来的には国内への BWRX-300 導入もめざし、開発を進めていく。

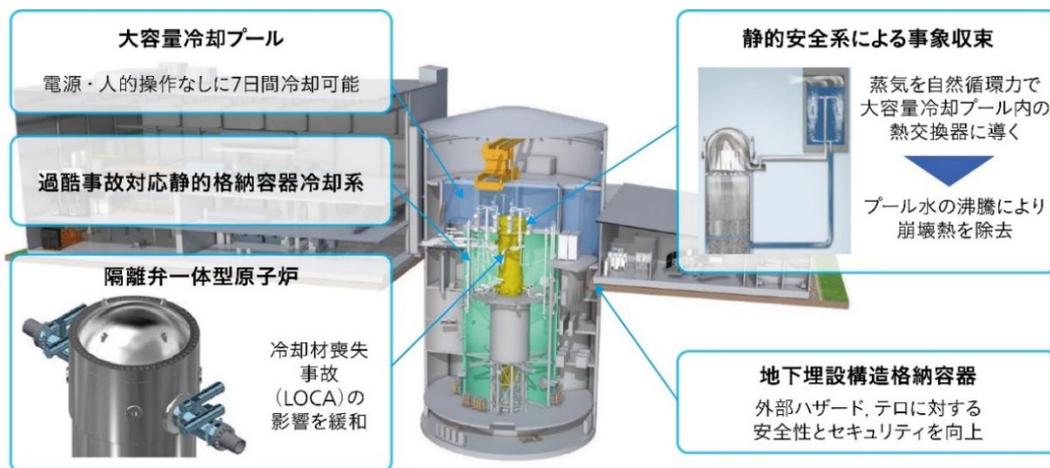


図3 BWRX-300の概要

### 4. 結言

本稿では、長期的な安定電源確保、初期投資リスク低減などの実現に向けた、HI-ABWR 及び BWRX-300 の実用化・開発状況について述べた。今後も、社会の原子力に対するニーズや、福島第一原子力発電所事故の知見などを引き続き取り込みながら、さらなるプラント設計の具体化および安全性向上などを進めていく。

## 原子力発電部会セッション

## 持続可能な未来に向けての原子力の社会的受容性と技術革新の状況

Social acceptability of nuclear power and state of technological innovation towards a sustainable future

## (3) GX 実現に向けた革新軽水炉開発の取組み

## c) 革新軽水炉 iBR の主要な特徴

(3) Efforts to development advanced light water reactor to realize GX

c) Key features of innovative light water reactor iBR

\*青木 保高<sup>1</sup><sup>1</sup>東芝エネルギーシステムズ (株)

## 1. はじめに

2011年3月の東日本大震災で東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所事故が発生し、現在も多くの周辺住民が避難生活を余儀なくされている。これを受けて国内では新規規制基準が施行され、既設炉では再稼働に向けて多くの安全設備や外部特重施設が追設されてきた。今後新設される大型軽水炉については高い安全性と共に、万一の事故時における周辺地域や地域住民への被害影響の低減が求められ、また同時にカーボンニュートラル社会を実現するための安価な電源としての高い経済性も求められている。

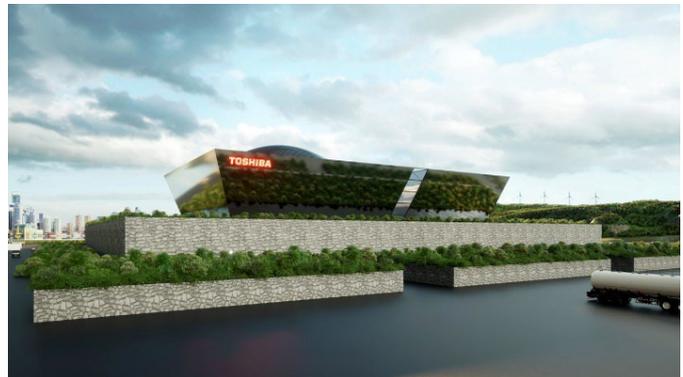


図1 iBR イメージ図

このような状況を踏まえ、東芝エネルギーシステムズ(株)では建設実績のある改良型沸騰水型原子炉(ABWR)をベースに、社会と共生しエネルギー安定供給を実現する革新軽水炉 iBR (innovative, intelligent, inexpensive BWR)(図1)の開発を進めている。iBR は大規模自然災害に対する深層防護を考慮した安全設計を徹底し、①万一の事故時の緊急避難不要/長期移住無し、②7日間のグレースピリオド(運転員操作不要期間)、③建設容易性と高い経済性、の達成を目指している。iBR は二重円筒格納容器(二重円筒 PCV)および静的安全系の採用、安全系の多様化、新設炉としての合理的設計等により、上述した3つの設計コンセプトを実現させる発電プラント(図2)である。

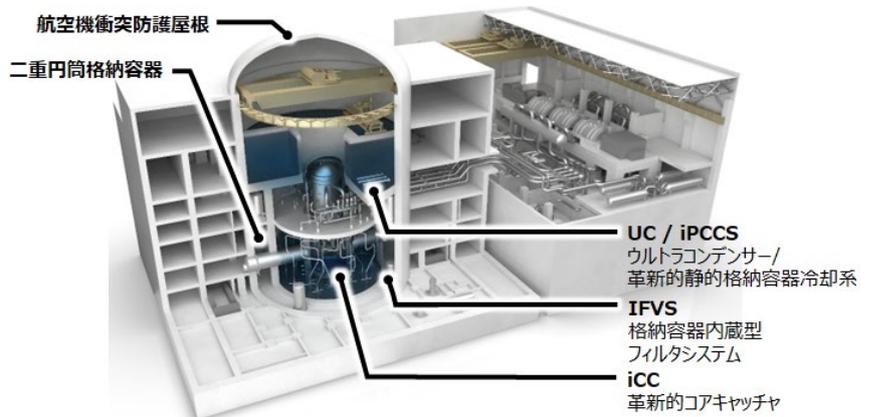


図2 iBR 全体概要図

\*Yasutaka Aoki<sup>1</sup><sup>1</sup>Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

当社は、長年に渡り沸騰水型原子炉(BWR)の開発・設計・建設を手掛けており、ABWRの東京電力ホールディングス(株)柏崎刈羽原子力発電所 6, 7号機や中部電力(株)浜岡原子力発電所 5号機(電気出力: 135万kW級)への納入実績もある。iBRは、一部システムの実証試験や機器設計等を実施中であるものの、既に運転開始しているABWRをベースとしており、新規の要素技術からの開発項目はないため、2030年代には建設開始および運転開始が可能なプラントである。

ここでは当社が開発中のiBRの主要な特徴について述べる。

## 2. iBRの安全性

### 2-1. 静的安全系

iBRの特徴的な静的安全系の概要を図3に示す。iBRでは二重円筒PCVを採用しており、ドライウェル(D/W)、ウェットウェル(W/W)、およびABWRから新たに追設したアウトターウェル(O/W)に耐圧性と気密性を持たせており、事故時に発生する水素や核分裂生成物(FP)を十分閉じ込めるだけの空間を確保している。また、二重構造となっているため、耐震性も向上している。O/Wは、D/W及びW/Wと、革新的静的格納容器冷却系(iPCCS)及び格納容器内蔵型フィルタシステム(IFVS)で接続されている。

原子炉は、異常発生時に制御棒を炉心に急速挿入することで炉停止されるが、炉心崩壊熱が長期にわたって生じるため、炉停止後も冷却による崩壊熱除去を続ける必要があり、iBRでは静的安全系だけでも炉心とPCVを独立に冷却可能な設計としている。

静的安全系の一つであるウルトラコンデンサー(UC)は、原子炉圧力容器(RPV)内にて炉心崩壊熱により発生する蒸気を静的に凝縮させてRPVに戻す構成であり、国内・海外で採用実績のある非常用復水器(IC)をベースに、信頼性と冷却継続期間を向上させており、長期交流電源喪失(長期SBO)時においても原子炉を7日間冷却できる。

iBRで採用を検討しているiPCCSは、PCV内で発生した蒸気をW/Wから吸込み、静的に凝縮させサブプレッションプール(S/P)に戻す構成となっており、PCVを7日間冷却できる。また、シビアアクシデント(SA)においてRPV下部の破損により溶融炉心が下部D/Wに落下した場合には、溶融弁を用いた静的な重力式コリウム冠水系(GDCF)により冷却し、発生した蒸気はベント管を通じてS/Pに移行し、最終的にiPCCSで除熱される。蒸気以外の非凝縮性ガス(窒素、水素など)は、FPとともにO/Wに排出される。O/Wを排出先としているため、W/Wが高圧化しても機能停止することがない。更に、排出の過程でIFVSによりヨウ化セシウム(CsI)などの粒子状FPをスクラビングし、希ガスなどの除去されないFPはO/Wに閉じ込める。これにより、原子力発電所内の敷地境界における実効線量を20mSv/月以下、Cs-137(セシウム137)の放出量を100T(テラ:  $10^{12}$ )Bq以下に制限することができ、設計上は緊急避難不要、長期移住なしを達成可能である。よって、これらの機能によりPCV内の蒸気や非凝縮性ガスを外部に放出するシステムも不要となる。

また、iBR専用で考案された革新的コアキャッチャー(iCC)はRPV下部のD/W床に設置しており(図4)、SAにおいてRPV下部の破損で落下する溶融炉心によるコンクリートとの相互作用(MCCI)を物理的に排除している。iCCはRPV幅に余裕を持たせた伝熱面積を確保し、径方向に対称な傾斜冷却流路とすることで、冷却水の流れに偏りが生じない設計としており、傾斜冷却流路をS/P水で常時通水させておくことで、溶融炉心を捕捉し、傾斜冷却流路への伝熱で溶融炉心を下面から静的に冷却させる。溶融炉心で発生した熱は、冷却

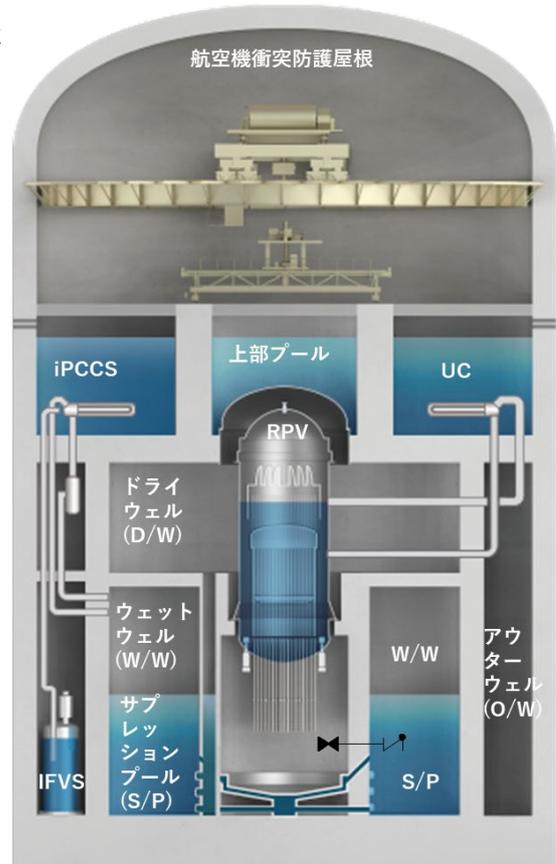


図3 静的安全系の概要

流路の出入口の高低差による自然循環でチムニー配管を通じて S/P に移行し、最終的に iPCCS で除熱される。iCC は、既設炉で採用している運転員操作による事前水張りは不要であり、熔融炉心落下後は GDCF により上面からも水をかけることで、熔融炉心を上下両側から冷却可能である。加えて、当社は様々なタイプのコアキャッチャーの開発・設計や実証試験の経験も有しており、今後は iCC も含めて iBR に最適なコアキャッチャーや冷却方法を選定し、実用化していく方針である。

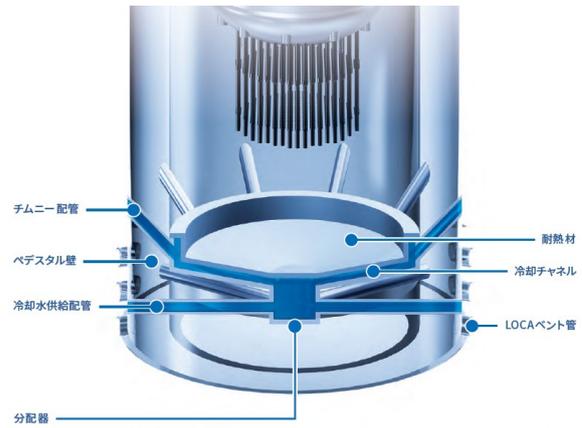


図4 革新的コアキャッチャー(iCC)の構成

## 2-2. 大規模自然災害等の外的事象への耐性

iBR の最大の特徴は二重円筒 PCV も含めた静的安全系であるが、深層防護にも十分配慮し、動的安全系にも多様性を持たせることにより、動的安全系と静的安全系を組み合わせたハイブリッド安全系も採用している。さらに各設備間の独立性を強化することにより、大規模自然災害を起因とした長期 SBO、最終ヒートシンク喪失(LUHS)等の事象においても安全面で高い信頼性を維持することが可能である。

また、これらのハイブリッド安全系の一部を原子炉建屋壁や格納容器上部の航空機衝突防護屋根により防護することで高い頑健性を維持し、航空機衝突のみならず様々な自然災害による被害が発生した場合においても活用可能としている。

加えて、iBR ではサイト内に7日分の電源燃料、冷却水等を準備しており、大規模自然災害による長期 SBO、LUHS、さらに SA が発生した場合でも、7日間はサイト外部からの支援が不要であるとともに、万一運転員の操作がなくても自動で安全を確保できる期間(グレースピリオド)を確保している。さらに、事故後7日以降に外部からの支援(電源燃料、水源への冷却水の補給等)があれば、当然ながら継続して原子炉や格納容器の冷却を行うことも可能である。

## 3. iBR の経済性

iBR は、建設実績のある ABWR をベースに様々な静的安全系を導入して安全性を高めているが、様々な観点で経済性にも優れたプラントを目指している。以下に、経済性の観点からの特徴について幾つか述べる。

国内では、東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所事故を受けて新規規制基準が施行され、既設炉では重大事故等対処設備(SA 設備)及び特定重大事故等対処施設の追加設置が必要になっている。iBR は今後新規建設する炉型であるため、航空機衝突にも耐える建屋内に静的安全系も組み込み、またそれらの安全対策設備を建設時から合理的に配置することが可能である。これにより、既設再稼働プラントと比較して安全対策設備の物量を低減し、建屋をコンパクト化することを志向している(図5)。

また、iBR は長年にわたり簡素化改良を続けてきた BWR の長所を継承しており、高圧容器は RPV のみで外部再循環ループもなく、PCV も圧力抑制型のため容積やコンクリート物量を抑制できる。

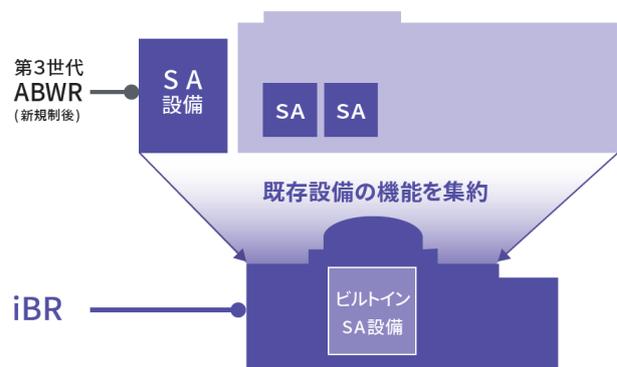


図5 iBR の合理的設計

電気出力についても、BWRは原子炉内を循環する冷却材流量を調整することで柔軟に変化させることができるため、電力需要の増減への追従性(負荷追従性)が高い特長があり、負荷変動の大きさや変動周期に応じた負荷追従運転方式で安定した運転が可能である(図6)。iBRはこの特長を生かした設計とすることで、ベースロード電源確保だけでなく需給調整にも柔軟に対応できることから、エネルギーの安定供給を実現し、事業者の発電コスト増大を抑える効果がある。

このように、iBRは安全性だけでなく経済性においても優れた設計を目指しており、電力需給調整にも柔軟に対応可能で、エネルギー安定供給に貢献できるプラントである。

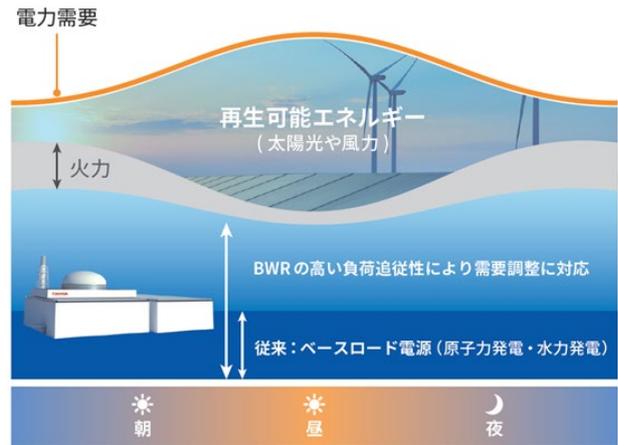


図6 iBRの電力需給調整

#### 4. さいごに

建設実績のあるABWRをベースに、二重円筒PCVと革新的静的安全系を導入することで、大型軽水炉として世界最高の安全性を目指し、また経済性にも優れる革新軽水炉iBRの開発を推進している。

現在iBRは基本設計段階にあり、各システムや機器の設計活動を実施中であるが、革新軽水炉として2030年代での国内建設開始および運転開始に向けて、引き続き研究開発と実証試験等も進めていく計画である。なお、iBRは海外規制への適合も考慮しており、将来的には国際標準炉としての採用可能性も十分有していると考えている。

#### 参考文献

- [1] 松本 圭司、ほか “社会と共生しエネルギー安定供給を可能とする革新軽水炉 iBR”. 東芝レビュー78 巻3号(2023年5月)
- [2] Y. Yamazaki, et al, Plant and Safety features of Toshiba innovative ABWR plant iBR, Proc. of ICAPP 2024, pp.247-254, June 16-19, 2024, Las Vegas, USA

企画セッション | 部会・連絡会セッション：材料部会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 G会場(Zoomルーム7)

**[1G\_PL] 金属積層造形技術の現状とエネルギー機器材料応用への可能性**

座長:岡 弘(北大)

[1G\_PL01]

金属積層造形研究開発の現状

\*千葉 晶彦<sup>1</sup> (1. 東北大)

[1G\_PL02]

金属積層造形による耐熱合金の開発

\*渡邊 誠<sup>1</sup> (1. 物材機構)

[1G\_PL03]

金属積層造形の構造部材への適用に向けた取組

\*藤谷 泰之<sup>1</sup> (1. MHI)

[1G\_PL04]

総合討論

講演者全員

## 金属積層造形技術の現状とエネルギー機器材料応用への可能性

Current Status of Metal Additive Manufacturing Technology and Potential for Energy Equipment Material Applications

## (1) 金属積層造形研究開発の現状

## (1) Current Status of Metal Additive Manufacturing R&amp;D

\*千葉 晶彦<sup>1</sup><sup>1</sup>東北大学

## 1. はじめに

金属積層造形 (AM) 技術は、航空宇宙、自動車産業などで革新的な製造技術として発展している。特に、電子ビーム積層造形 (EB-PBF) は高エネルギー密度を持つ電子ビームを用い、従来の加工技術では困難だった形状や高性能部品の製造を可能にする技術として注目されている。しかし、EB-PBF ではメルトプールの挙動や温度分布が製品品質に影響するため、欠陥を抑える高度なプロセス管理が求められる。本発表では、EB-PBF を中心に金属積層造形技術の現状を概説し、インシチュ監視技術を活用した無欠陥造形法について紹介する。特に、産業界での実用化に向けては、造形品質の安定化が重要な課題であり、EB-PBF やレーザー積層造形 (LB-PBF) における欠陥低減や品質向上のための最新のプロセス制御技術についても紹介する。

## 2. EB-PBF と LB-PBF のプロセス特性の比較

近年、EB-PBF プロセスにおいてリアルタイムモニタリング技術が導入され、造形中にメルトプールの挙動を観察することで、欠陥の発生を予測し制御する研究が進められている。特に、EB-PBF とレーザー積層造形 (LB-PBF) のプロセス特性を比較することで、それぞれの欠陥発生メカニズムを明らかにできる。EB-PBF ではスパッタの発生が少なく、比較的安定したメルトプールが形成されるのに対し、LB-PBF では蒸発反跳圧によるスパッタが多く、欠陥形成リスクが高い。特に、LB-PBF では高エネルギー密度のレーザー照射によりキーホールモードの溶融が発生しやすく、これがポア (気孔欠陥) の主な原因となることがわかっている。

## 3. パウダーベッドの特性とメルトプールの形成

パウダーベッドの特性がメルトプールの形成に与える影響についても検討されている。粉末の形状や粒度分布、気孔率がメルトプールの安定性に影響を与えることが分かっており、球形度の高い粉末 (PREP 粉末) はエネルギー吸収率が均一であり、安定した造形が可能であるのに対し、不規則な形状を持つガスアトマイズ (GA) 粉末では熱伝導率が低く、過度の溶融や未溶融が発生しやすい。さらに、粉末の充填密度や熱放射率の違いが、造形品質や内部欠陥の発生に関わることも明らかになった。

## 4. 天面平坦度による欠陥予測技術とプロセスマップ最適化手法

本発表では、メルトプールの直接監視ではなく、造形物の最上表面 (天面) の平坦度を評価し、内部欠陥を予測する手法を紹介する。分析の結果、平坦な天面 (Even Surface) を持つ試料は欠陥が少なく、不均一な天面 (Uneven Surface) や多孔質な天面 (Porous Surface) の試料ではポアや未溶融欠陥が多く発生することが確認された。この知見を基に、機械学習のサポートベクターマシン (SVM) を活用し、天面の平坦度と欠陥発生確率の関係を学習させ、最適なプロセス条件を導くプロセスマップ最適化手法を開発した。この手法により、ビーム電流、走査速度、エネルギー密度といったプロセス変数を最適化し、欠陥のない部品を製造する条件を特定できる。さらに、リアルタイム監視と組み合わせることで、造形中の異常を検出し、再溶融プロセスを適用して欠陥を修正するシステム構築にも応用可能である。

本発表で紹介する研究成果は、EB-PBF をはじめとする金属積層造形技術において欠陥の発生を抑えつつ高品質な部品を安定して製造するための基盤技術となる。特に、リアルタイム監視やプロセスマップ最適化手法の活用により、エネルギー機器を含む多様な産業分野への応用が期待され、高温高压環境に耐える特殊材料や複雑形状部品の実用化を大きく前進させる可能性がある。今後は、完全自動化システムの開発や異なる材料系への適用研究を進めることで、従来の加工では困難だった高度な金属部品の製造領域をさらに拡張し、産業界における積層造形技術の活用を一層促進していくと考えられる。

\*Akihiko Chiba<sup>1</sup><sup>1</sup>Tohoku Univ.

## 金属積層造形技術の現状とエネルギー機器材料応用への可能性

Current Status of Metal Additive Manufacturing Technology and Potential for Energy Equipment Material Applications

## (2) 金属積層造形による耐熱合金の開発

## (2) Development of Heat-Resistant Alloys by Metal Additive Manufacturing

\*渡邊 誠<sup>1</sup>、草野 正大<sup>1</sup>、北嶋具教<sup>1</sup>、北野 萌一<sup>1</sup><sup>1</sup>物質・材料研究機構

## 1. 概要

金属積層造形 (AM) プロセスは、コンピュータ上の CAD モデルに基づいて、複雑形状を実現する新しい製造加工技術として多くの関心を集めている。レーザ粉末床溶融結合法 (Laser Powder Bed Fusion, PBF-LB) は、最も広く使用されている AM プロセスの一つであり、プラットフォーム上に敷いた金属粉末層に対し選択的にレーザ照射を行う課程を一層ずつ繰り返すことで、三次元形状を造形する。PBF-LB ではレーザによる急速加熱と急冷によって微視組織が形成されるため、従来の casting や鍛造とは異なる AM プロセスに特徴的な異方性を有する微視組織が形成される。このため、プロセス-組織-特性の相関関係を理解し、要求される力学特性を実現するための組織制御技術を確認する必要がある。また、レーザによる溶融凝固過程では、凝固完了時に生じる凝固割れや、過入熱によるガス欠陥等の欠陥が生じる場合があり、これらを抑制することも重要である。さらに、部材形状が造形中の温度場に大きな影響を与えるため、同じレーザ条件でも部位によって組織が大きく変化する。新規部材の開発においては、このような AM プロセスならではの特徴についても理解し、プロセス最適化に取り組むことが不可欠である。このため実験による試行錯誤と共に計算による予測技術の活用も必須となる。

図 1 は Ni 基合金(Hastelloy X)について、PBF-LB を適用しレーザ出力と走査速度を変化させて円柱状試料を作成した場合の造形可否と xz 断面での欠陥状態を示している (z:造形方向)。入熱が高すぎると造形が困難となり、一方で、低くなると多くの欠陥が断面にて形成されていることが明らかであり、適切なプロセスウインドウの把握の重要性を示している。本講演ではジェットエンジンや発電タービンにおいて重要な耐熱合金を対象とし、PBF-LB プロセスにおけるプロセス条件と欠陥発生挙動の相関や、レーザ照射による溶融凝固挙動の予測、造形形状と微視組織や温度場の相関、造形体の力学特性等について紹介する。

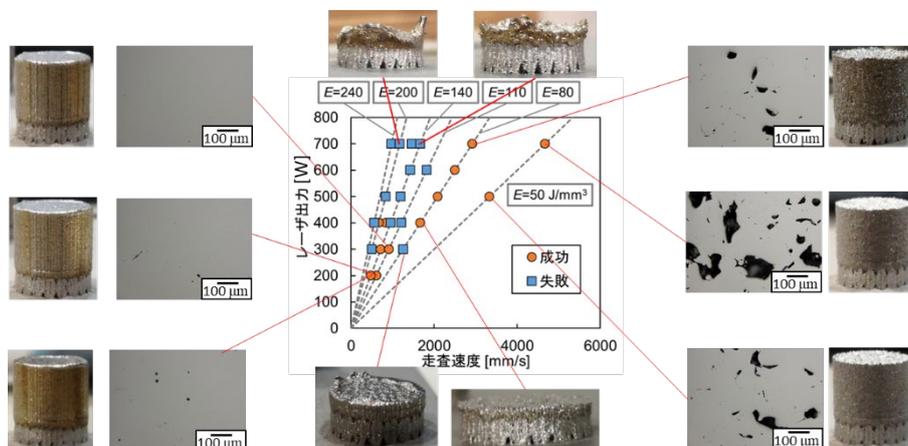


図 1. PBF-LB 法にて作成された Ni 基合金における、レーザ出力と走査速度が造形性および欠陥状態へ与える影響。

\*Makoto Watanabe<sup>1</sup>, Masahiro Kusano<sup>1</sup>, Tomonori Kitashima<sup>1</sup>, Houichi Kitano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Institute for Materials Science, Research Center for Structural Materials.

## 金属積層造形技術の現状とエネルギー機器材料応用への可能性

Current Status of Metal Additive Manufacturing Technology and Potential for Energy Equipment Material Applications

## (3) 金属積層造形の構造部材への適用に向けた取組

## (3) Activities for Application of Metal Additive Manufacturing to Structural Components

\*藤谷 泰之<sup>1</sup><sup>1</sup>三菱重工業株式会社

## 1. はじめに

原子力の安全性・信頼性の確保には、構成機器の安全性・信頼性が重要である。これらの機器の製造には、高度な製作ノウハウと作業者の技量と共に、材料調達から納入まで長期のリードタイムが必要となっている。他方、国内では市場が見通せないことから、重要な機器の部品や材料を供給するサプライヤーの撤退など、サプライチェーンの衰退が始まりつつある。金属積層造形技術は、従来工法では高度な製作ノウハウと作業者の技量を要した複雑形状部品を、高品質でタイムリーに安定して供給できる可能性がある。金属積層造形技術には、主にパウダーベッド方式 (Powder Bed Fusion; PBF) とデポジション方式 (Directed Energy Deposition; DED) の2種類があるが、原子力機器へ適用する場合、大型機器への適用性が高い DED 方式が有力であることから、レーザを熱源とし、ワイヤを溶加材として用いた DED (Directed Energy Deposition) 方式の金属積層造形技術の開発を行った。

## 2. 概要

## 2-1. 高能率造形技術

大型部材へ金属積層を適用する場合、寸法制約や溶着効率の観点からレーザを用いた DED 方式が候補であり、製品適用に向け、経済性の観点から能率向上が必要となる。そこで、炉心槽の出口ノズルのように、比較的単純形状かつ調達リードタイムが長い部材を適用対象と想定し、大型レーザ熱源による均一な溶融池の形成と、熱源に対し効率的かつ安定的に溶加材を供給する造形システムを構築するとともに高能率造形材の特性評価を行った。構築した造形システムではレーザ発振器を最大5台、ワイヤを最大6系統同時に制御することにより1パスで幅約30mmのビードを16.5kg/hで造形できる目途が得られた。また、造形材の0.2%耐力、引張強度は最も入熱の大きい34.1 kJ/cmの条件において、いずれの造形方向についてもSUSF316規格値を満足する値であった。本造形手法は、単純な形状の造形に適しており、鍛造品・鋳造品を溶接・組立・加工して製作する部品の代替として付加造形することで、材料確保、リードタイムの短縮、製造コストの削減につながる可能性があることを確認した。

## 2-2. 高精度造形技術

原子炉容器のRCCA (Rod Cluster Control Assembly) ガイドチューブのように、複雑形状かつ調達リードタイムが長い部材を適用対象と想定し、レーザ熱源と細径ワイヤを利用した溶着分解能の微細化による高精度ニアネット造形により、造形後加工の最小化を実現するためのφ0.2mm溶加材制御手法を検討した。厚さ1.2mm以下を狙った高精度造形の供試体の側面、および上面からは目視で識別可能なクラックや凹凸は認められず、観察した断面から内部欠陥は認められなかった。また、供試体の断面寸法に着目すると、観察した3断面のいずれも板厚は1.2mm以下、板厚精度は0.05mm以内であり、市販されている中で最も細いΦ0.6mmのワイヤを用いて造形した供試体と比較して、造形可能な最小板厚、および板厚精度が向上することを確認した。本造形手法は、精密な造形に適しており、ターゲット形状に合わせて高能率造形用と高精度造形用のビード生成条件を使い分けることで、造形後の機械加工を最小限にできる可能性があることを確認した。

\*Yasuyuki Fujiya<sup>1</sup><sup>1</sup>Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

企画セッション | 部会・連絡会セッション：材料部会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 G会場(Zoomルーム7)

**[1G\_PL] 金属積層造形技術の現状とエネルギー機器材料応用への可能性**

座長:岡 弘(北大)

**[1G\_PL04] 総合討論**

講演者全員

金属積層造形技術は、高度なものづくりが要求される複雑な形状の部品を、高い品質と高い設計自由度で短期間に安定供給できることから、産業界で普及が進んでいる。本技術の原子力産業分野への応用により、産業界のサプライチェーンの維持・強化に貢献するとともに、次世代エネルギープラント向け高信頼性原子炉構造材料の効率的な開発に寄与することが期待される。本セッションでは、金属積層造形技術の開発の現状と具体的な取り組みを紹介するとともに、エネルギープラント用構造材料への応用（次世代原子炉や小型モジュール炉への適用を目指す）の可能性について議論する。

企画セッション | 委員会セッション：福島特別プロジェクト[保健物理・環境科学部会、放射線工学部会共催]

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場(Zoomルーム8)

## [1H\_PL] 福島復興を支える廃炉・環境放射線計測の現場からの報告

座長: 飯本 武志(東大)

[1H\_PL01]

福島環境放射線計測の最新技術とその活用

地域住民の安全確保のための取組

\*佐々木 美雪<sup>1</sup> (1. JAEA)

[1H\_PL02]

福島第一原子力発電所での放射線計測技術の進展

廃炉現場の安全確保のための取組

\*寺阪 祐太<sup>1</sup> (1. JAEA)

[1H\_PL03]

総合討論

福島特別プロジェクトセッション [保健物理・環境科学部会、放射線工学部会共催]

## 福島復興を支える廃炉・環境放射線計測の現場からの報告

Reports from the Field: Decommissioning and Environmental Radiation Measurements Supporting Fukushima Restoration

### (1) 福島環境放射線計測の最新技術とその活用

#### ～地域住民の安全確保のための取組～

(1) Latest Technologies in Environmental Radiation Measurement in Fukushima and Their Applications:  
Efforts to Ensure the Safety of Local Residents

\*佐々木 美雪<sup>1</sup>, 越智 康太郎<sup>1</sup>, 阿部 智久<sup>1</sup>, 御園生 敏治<sup>1</sup>, 森下 祐樹<sup>1</sup>, 中間 茂雄<sup>1</sup>,  
吉村 和也<sup>1</sup>, 舟木 泰智<sup>1</sup>, 眞田 幸尚<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>原子力機構

#### 1. はじめに

2011年の福島第一原子力発電所（以下、1F）事故以降、日本原子力研究開発機構（JAEA）では様々な環境中の放射線モニタリングを実施してきた。本セッションでは、今までの環境モニタリングで使用した技術の紹介、また研究成果の紹介を行う。合わせて、環境中の放射線計測技術を原子力防災や廃炉技術に応用した事例を紹介する。

#### 2. 環境放射線計測技術について

1F事故以降、JAEAでは有人ヘリコプターを用いた航空機モニタリング、車両を用いた走行サーベイ、人が歩いて測定を行う歩行サーベイ、サーベメータを用いてポイントで測定行う定点サーベイ、In-Situ Ge半導体検出器を用いた放射能沈着量の測定、土壌採取及び放射能測定、ダストサンプラーによる大気浮遊じん放射能濃度測定等、様々な測定を行っている。10年以上継続して行われてきたモニタリングデータは膨大な数であり、JAEAではこれまでの放射線モニタリングデータを整備した放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト (<https://emdb.jaea.go.jp/emdb/>) の管理等を行っている。これらのデータは、住民の被ばく線量推定や、特定復興再生拠点区域の解除の指針データ等に活用されており、また国内外の研究者に多く活用されている。

#### 2-2. 福島でのモニタリング経験の活用

これまでの環境モニタリング技術を生かすべく、JAEAでは緊急時モニタリングに活用できるシステムの開発等を行っている。例えば、緊急時に迅速に原発周辺等をモニタリング可能な無人航空機の放射線測定システムの構築、また放射線検出器等で得られた測定データを迅速に解析・共有するための情報共有システム、緊急時に無人機を運用するためのマニュアル、訓練内容の作成等、包括的なシステムの構築を行っている。合わせて、海外の機関（DOE, KAERI, NRCan, IRSN等）との合同サーベイの実施し、各国における緊急時モニタリング技術の情報共有、各国の測定機器の比較等を行っている。

防災技術の開発の他に、廃炉技術への応用開発等も進めており、非GNSS環境下（森林内や建屋内）で自己位置推定可能な放射線測定システムの開発や、四足歩行ロボット等に搭載して運用可能な測定システムの開発、一度の測定で多くの放射線情報を取得できる全方位型放射線検出器（FRIE）の開発等を行っている。

JAEAでは、これらの取り組みで培われた知見や技術を今後も国内外に広く還元することで、原子力防災や廃炉技術のさらなる高度化に貢献し、安全・安心な社会の実現に寄与していきたいと考えている。

---

\*Miyuki Sasaki<sup>1</sup> and Yukihisa Sanada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAEA.

福島特別プロジェクトセッション [保健物理・環境科学部会、放射線工学部会共催]

## 福島復興を支える廃炉・環境放射線計測の現場からの報告

Reports from the Field: Decommissioning and Environmental Radiation Measurements Supporting Fukushima Restoration

### (2) 福島第一原子力発電所での放射線計測技術の進展

#### ～廃炉現場の安全確保のための取組～

(2) Advancements in Radiation Measurement Technologies at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant:  
Efforts to Ensure the Safety at Decommissioning Site

\*寺阪 祐太<sup>1</sup>

<sup>1</sup>原子力機構

#### 1. 廃炉現場の安全確保のための放射線計測研究

福島第一原子力発電所（以下、1F）の廃炉作業には燃料デブリの取り出しは勿論のこと、現場で働く作業員の放射線安全向上のための建屋内作業環境改善も重要な要素である。日本原子力研究開発機構（JAEA）・廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）では、2017年に福島県富岡町に拠点を設置して以降約8年に渡り、1F原子炉建屋内外の放射線計測を実施してきた。原子炉建屋内外のどこに・どれだけの・どのような核種が分布しているかを詳細に計測することで、線量低減のための作業計画立案に寄与することができる。本発表ではJAEA/CLADSのこれまでの1F原子炉建屋内外における放射線計測およびその技術的進展を振り返るとともに、一般的には触れられることが少ない1F現場作業の様子や実際の計測に至るまでの困難や制約を紹介することで、学会員に1Fにおける放射線計測研究の「リアル」を実体験ベースで共有し、廃炉放射線計測に対する理解と関心を高めることを目的とする。

#### 2. 1F廃炉のための放射線計測研究の技術的進展

JAEA/CLADSでは $\gamma$ 線イメージャーの一種であるコンプトンカメラ、放射線センサーとして機能する特殊な光ファイバーであるプラスチックシンチレーションファイバー（PSF）および液体ライトガイド（LLG）、 $\alpha$ 線・ $\beta$ 線の弁別測定が可能なホスフィッチ検出器などを基盤とした $\gamma/\beta/\alpha$ マッピングシステムを開発してきた。 $\gamma$ 線イメージャーであるコンプトンカメラは単体では2次元の $\gamma$ 線飛来方向分布画像しか得られないが、様々な視点からの定点測定または移動しながらの測定を行い、コンプトンカメラの自己位置と環境の3次元モデルを3次元レーザースキャナーにて合わせて得ることにより1/2号機排気塔付近や1/2号機原子炉建屋内の<sup>137</sup>Cs分布の3次元測定に成功した。また、1F原子炉建屋内には $\gamma$ 線放出核種だけではなく、純 $\beta$ 線放出核種<sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Yや $\alpha$ 線放出核種の存在も無視できないエリアが存在する。そこで、我々はPSFやLLGといった光ファイバーを用いた $\beta$ 線放出核種分布測定法を新たに考案した。光ファイバー内でのシンチレーション光の減衰の波長依存性やチェレンコフ放射角度の入射放射線エネルギー依存性を利用して高 $\gamma$ 線バックグラウンド下にて<sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Yを選択的に測定するデバイスを開発し、3号機原子炉建屋内にて<sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Yの「その場」計測を実施した。 $\alpha$ 線については、ZnS(Ag)およびプラスチックシンチレータを積層し、電気信号パルスの波形弁別により $\alpha/\beta$ の弁別を行うホスフィッチ検出器を開発し、こちらについても3号機原子炉建屋内にて $\alpha$ 核種の「その場」測定に成功した。

上記の研究開発および現場実証は我々JAEA/CLADSだけではなく、東京電力HDおよび協力企業の方々の現場特有の技術サポートなくして実施することはできなかった。発表では上記技術の紹介に加え、実際の測定およびそこに至るまでの様子等を共有する。

---

\*Yuta Terasaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAEA

企画セッション | 委員会セッション：福島特別プロジェクト[保健物理・環境科学部会、放射線工学部会共催]

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 H会場(Zoomルーム8)

**[1H\_PL] 福島復興を支える廃炉・環境放射線計測の現場からの報告**

座長:飯本 武志(東大)

**[1H\_PL03] 総合討論**

本セッションでは、福島第一原子力発電所（1F）の廃炉および周辺環境の放射線計測研究について、現場で長年活動してきた研究者が「現場視点」で語ります。最新の技術的進展に加え、現地での作業から得たリアルな体験を共有し、研究の成果や今後の展望を議論します。研究者自身が感じた福島の現状と今後について掘り下げ、福島復興に向けた研究開発の最前線への理解と関心を深めます。

企画セッション | 部会・連絡会セッション：核融合工学部会

📅 2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 🏠 会場(Zoomルーム9)

## [1I\_PL] JT-60SAと炉工学研究のつながり

座長:長坂 琢也(核融合研)

[1I\_PL01]

JT-60SAの運転状況と研究計画

\*芝間 祐介<sup>1</sup> (1. QST)

---

[1I\_PL02]

JT-60SAの構造・装置内環境条件

\*林 孝夫<sup>1</sup> (1. QST)

---

[1I\_PL03]

JT-60SAと原型炉研究開発のつながり

\*宇藤 裕康<sup>1</sup> (1. QST)

---

[1I\_PL04]

プラズマ実験装置におけるプラズマ対向壁工学研究

\*増崎 貴<sup>1</sup> (1. 核融合研)

---

[1I\_PL05]

総合討論

講演者全員

---

## 核融合工学部会セッション

## JT-60SA と炉工学研究のつながり

Relation between JT-60SA and fusion reactor engineering research

## (1) JT-60SA の運転状況と研究計画

## (1) Operational status and research plan of JT-60SA

\*芝間 祐介<sup>1</sup><sup>1</sup>量子科学技術研究開発機構

## 1. 概要

那珂フュージョン科学技術研究所では、幅広いアプローチ活動として日欧共同で実施するサテライト・トカマク計画と、我が国のトカマク国内重点化装置計画の合同計画である JT-60SA 計画を実施している(図.1)。2023 年の統合試験運転で初プラズマとプラズマ制御性能、更にプラズマ電流 1.2 MA のダイバータプラズマを達成した。次の統合試験運転では、プラズマ加熱機器や計測機器が強化された加熱実験 (Operation 2, (OP2)) を計画している。

## 2. 運転状況と研究計画

JT-60SA 計画では、核融合エネルギーの早期実現をめざして、ITER 計画や原型炉をめざす様々な研究開発と整合させた JT-60SA 研究計画の策定活動が進められ、各研究での達成目標、重要な研究項目、ITER 及び原型炉への貢献といった議論がされてきた。

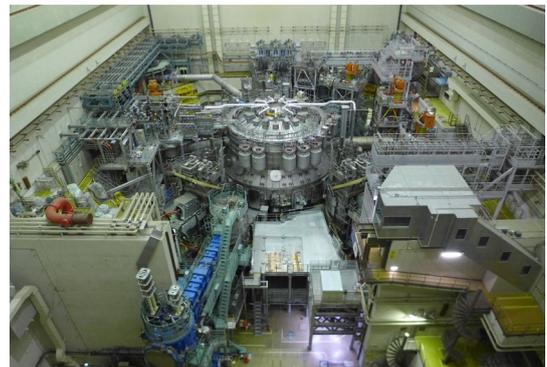


図.1 JT-60SA 装置

## 2-1. 運転状況

2023 年の統合試験運転では、真空容器内にプラズマリミターと真空容器上部に炭素タイルのダイバータを設置、加熱装置としては入射パワー1.5MW の ECRF 装置を整備した。

2024 年 1 月からは装置の強化を計画しており、本年度は、装置強化と保守の期間 (Maintenance and Enhancement 1) である。装置強化では、高圧力プラズマ生成や定常運転を可能とするために、加熱パワー増力として ECRF 装置 3MW、NBI 装置 16/23.5MW(H/D) を整備する。真空容器内に設置する第一壁等の熱負荷を被る機器では、冷却水配管付きヒートシンクに炭素タイルを設置する他、容器内コイル、クライオポンプを有するダイバータの設置等を含む容器内機器の拡充を図る。真空容器では、18 ヶ所でポートを増設し、加熱装置、第一壁等の冷却水のアクセスの他、プラズマ計測等に利用する。

## 2-2. 研究計画

OP2 での主要な達成目標は、(i) 安定な高プラズマ電流 (最大 5.5 MA) 放電や種々のプラズマ制御システムの確認といった統合試験運転、(ii) ITER リスク低減研究として、エネルギー閉じ込め改善モード (H モード) 遷移研究やプラズマ崩壊現象 (ディスラプション) 緩和手法の開発等、(iii) ITER に向けた高閉じ込め H モード運転シナリオの開発であり、それらを達成するための実験研究計画を策定し、2026 年より OP2 を開始する。

\*SHIBAMA Yusuke<sup>1</sup><sup>1</sup>National Institute for Quantum Science and Technology (QST)

## 核融合工学部会セッション

## JT-60SA と炉工学研究のつながり

## Relation between JT-60SA and fusion reactor engineering research

## (2) JT-60SA の構造・装置内環境条件

## (2) Structure and in-vessel environmental conditions of JT-60SA

\*林 孝夫<sup>1</sup><sup>1</sup>量子科学技術研究開発機構

## 1. はじめに

JT-60SA は超伝導コイルを用いた装置であり、100 秒以上の放電を可能とし、また、中性粒子入射装置(NBI)をはじめとした 41MW の強力な加熱装置を有するため、大量の熱を処理するためのプラズマ対向壁が必要となる。また、プラズマの早い制御に必要なコイルは常伝導コイルである必要があり、これらは真空容器内に設置する。さらに、プラズマ制御に必要な多彩な電磁気検出器、及び、真空排気装置であるクライオパネルを真空容器内に設置する。JT-60SA には安定化板を設置し、これらの多くの機器は安定化板と真空容器の間に設置するため、機器間のクリアランスが非常に小さい。一方、プラズマ対向壁は大量の熱に晒されるため、均一に設置する必要がある。これらにより、JT-60SA の真空容器内機器は数 mm 以下の精度で設置することが必要となる。また、比較的多量の中性子発生が見込まれているため、真空容器内機器は耐放射線性を持つ必要がある。定期的に補修が可能なダイバータカセットはリモートハンドリングでの搬出、設置が可能な設計となる。さらに、200 度ベーキングに耐えうる耐熱性も必要となる。これほどまでの多種多様の機器を高精度に真空容器内に設置する装置は JT-60SA が最初であり、容器内機器の種類と条件は ITER と酷似するため、JT-60SA での実績は ITER の容器内機器の開発、製作、及び設置に直結する。これらに必要な要素技術の開発と器具の製作が行われ、容器内機器のほぼ全ての製作を終了した。また、ファーストプラズマに向けては、必要最小限の容器内機器を要求される精度での設置を完了した。これに際し、真空容器表面の組み立て精度が 20mm 程度であったのに対し、これに設置する機器の取付精度を 1mm 以下にする手法の開発が行われた。

## 2. JT-60SA の容器内機器

高圧プラズマを安定に制御するため、JT-60SA の真空容器内には様々な機器を設置する(図 1)。まず、プラズマの不安定性を受動的に抑制するための安定化板(導体制で、そこに流れる渦電流で磁場揺動の成長を抑える)を設置する。また、高速位置制御コイル、誤差磁場補正コイル、抵抗性壁モード制御コイルなどの真空容器内コイル群を用いて、プラズマの位置や磁場の乱れを能動的に高速制御する。

容器内機器は共通して、低放出ガス、非磁性、耐熱性、耐放射線性の材料を用いる必要がある。これらの要求を満たすため、真空容器内の雰囲気と接する材料は金属ではステンレスやインコネル、絶縁材はセラミック(MgO など)を用いた。プラズマ対向壁は高温のプラズマからの熱に対して耐性を持つ必要があり、JT-60SA では当初は炭素タイルを使用する。機器の設計に大きく影響するディスラプションについては、シミュレーションを行うことにより機器に流れる誘導電流やハロー電流を決定し、有限要素法解析を用いて設計を行い、また、振動試験を行って確認を行った。JT-60SA では最大 41MW の追加熱が 100 秒入射される。プラズマから発生する輻射熱や、ダイバータでのプラズマの接触により真空容器や他の容器内機器が高温になるため、これらの保護のためのプラズマ対向壁を設置する。JT-60SA ではプラズマ対向壁として内側第一壁、安定化板、下側ダイバータ、及び上側ダイバータを設置する。プラズマ電流 5.5MA のディスラプション時のハロー電流に耐えうる構造とし、熱負荷の集中を回避するためタイル間の段差は±1mm 以下としている。

下側ダイバータの熱負荷が最大となるが、輻射にて~2MW/m<sup>2</sup>×100 秒、ダイバータ足部にて~15MW/m<sup>2</sup>×100 秒となり、これらの熱の排出のために水冷による強制冷却が必要となる。また、JT-60SA の特長である広

範囲のプラズマ断面形状制御性とダイバータプラズマ性能を両立できることを目的とし、JT-60Uにて良好な結果を得たW形状のダイバータ形状を採用した。また、ダイバータ部は数年毎のメンテナンスが必要であるが、真空容器内線量率が1mSv/hを超えるため、遠隔保守による修理・交換が必要であり、これに対応するためカセット構造を採用した。また、炭素壁でスタートするが、適切な時期に金属（タングステン）壁に変更可能な設計としている。カセットの交換時には配管の切断、接続が必要のため、遠隔保守が可能なレーザー光による管内溶接の開発を行った。開発した溶接ツールを用いてレーザー光を接合部に照射し溶接を行う。この溶接ツールではあらかじめ溶接部の測定が可能であり、その測定結果をもとに高精度に照射位置の制御を行うことにより、開先合わせが比較的不十分な状態でも確実に溶接を行うことが可能となった。

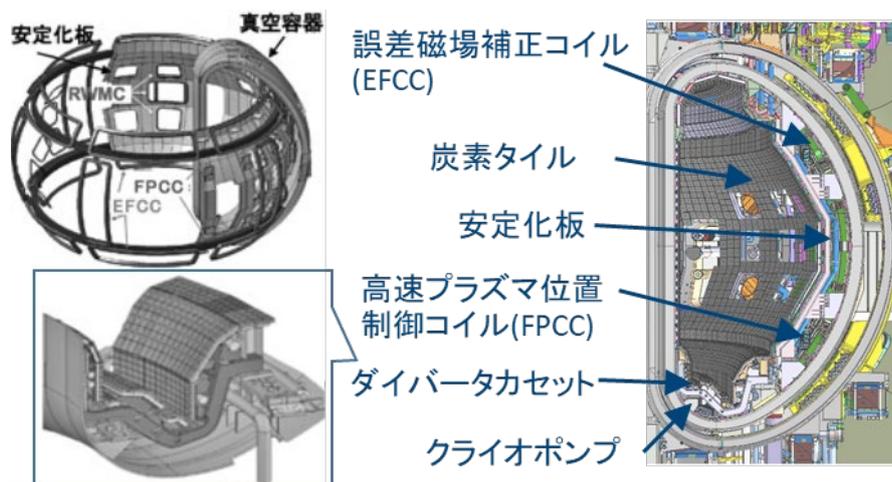


図1 JT-60SAの真空容器内機器群

### 3. 現在の進捗状況とまとめ

JT-60SAの真空容器内には様々な機器を設置される。ファーストプラズマ時には必要最小限の容器内機器のみを設置したが、現在、真空容器内に様々な機器を設置する作業を実施中である。容器内コイルの内、誤差磁場補正コイル(EFCC)は、真空容器外で製作したコイルを真空容器に持ち込んで設置する一方で、高速プラズマ位置制御コイル(FPCC)は、コイル直径が大きく、真空容器の開口部から搬入できないため真空容器内で巻き線作業を行っている。また、安定化板等の固定座の設置も同時並行で進められている。ダイバータカセットについては、2025年夏頃に真空容器内に予定される予定である。

\*HAYASHI Takao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)

## 核融合工学部会セッション

## JT-60SA と炉工学研究のつながり

## Relation between JT-60SA and fusion reactor engineering research

## (3) JT-60SA と原型炉研究開発のつながり

## (3) Relation between JT-60SA and R&amp;D for DEMO reactor

\*宇藤 裕康<sup>1</sup><sup>1</sup>量子科学技術研究開発機構

## 1. はじめに

日本における原型炉研究開発は、平成30年7月24日の第14回核融合科学技術委員会において取りまとめられた「原型炉研究開発ロードマップについて（一次まとめ）」をベースとされており、アクションプランに示された開発課題から、「開発の重要度と緊急性」、「国際協力の観点」に基づいて作成されている。「原型炉に求められる基本概念」は核融合エネルギーの実用化に備え、①数十万kWを超える定常かつ安定した電気出力、②実用に供し得る稼働率、③燃料の自己充足性を満足する総合的なトリチウム増殖の実現、を原型炉の目標とすると規定されている。この基本概念を達成するため炉設計時に留意すべき設計要件の一つとして、運転開始後に得られた知見により設計変更が可能な柔軟なブランケットとダイバータ設計であることが求められている。また、原型炉の運転開発期には、①長時間・長期間運転に向けた熱・粒子制御とディスラプション回避などのプラズマ制御、②実用炉に展開可能なメンテナンスシナリオと原型炉最終段階で実用に供しうる稼働率、③原型炉で得られた知見を反映させたブランケットとダイバータの高性能化、を実現することが求められている。現在、原型炉設計合同特別チーム(特別チーム)では、2022年1月に示された第1回中間チェックアンドレビュー結果を踏まえつつ、原型炉の概念設計を進めている。

## 2. 原型炉 (JA DEMO)の概要と JT-60SA とのつながり

特別チームは、21世紀中ごろに核融合エネルギーによる発電実証を目的とする原型炉の基本概念を構築するため、ITERの燃焼プラズマやJT-60SAの高圧力定常プラズマと同じプラズマ物理基盤及び炉工学技術基盤に基づいた設計を行っている。「ITERで採用された技術を最大限に活かすこと」を方針として、ITERやJT-60SAの物理・技術基盤に加えて、産業界がこれまで培ってきた発電プラント技術や運転経験を取り込みながら原型炉の運転に必要な設備の設計を行うことで、原型炉プラントの概念構築を行っている。図1にJA DEMOの概念図を示す。JA DEMOの主要設計パラメータとして、プラズマの主半径( $R_p$ )は8.5m、核融合出力( $P_{fus}$ )は1.5~2GW、正味電力( $P_{net}$ )は0.2~0.3GW、プラズマ軸上の磁場( $B_t$ )は6Tとなっている。

原型炉開発は上述のようにITERやJT-60SAの物理・技術基盤を前提としており、JT-60SAにおける建設・運転(実験)による知見は原型炉の運転において重要となる。JT-60SAにおける統合コミッショニングの知見は、今後運転開始を控えるITERや原型炉において必須となるものであり、原型炉における運転開始期間を短縮し発電実証の前倒しにも繋がる。また、より原型炉に近い複合環境の中で多くの実験データを要するプラズマ-壁相互作用のデータを取得しうるなど、原型炉の設計段階から期待される項目がある。

本講演では、原型炉設計や研究開発を概観しつつ、原型炉設計開発の視点で特にJT-60SAにおける炉工学研究に期待される項目について述べる。

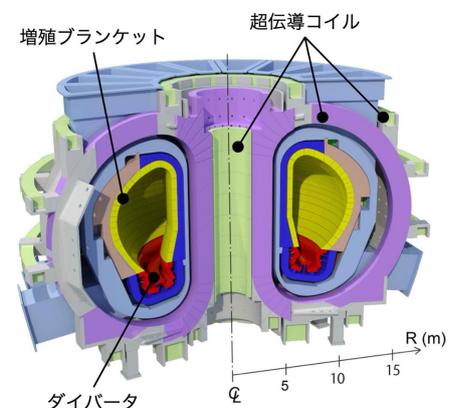


図1: JA DEMO 概念図

\*Hiroyasu Utoh<sup>1</sup><sup>1</sup>National Institutes for Quantum Science and Technology (QST)

## 核融合工学部会セッション

## JT-60SA と炉工学研究のつながり

## Relation between JT-60SA and fusion reactor engineering research

## (4) プラズマ実験装置におけるプラズマ対向壁工学研究

## (4) Engineering research on plasma-facing walls in plasma experimental machines

\*増崎 貴<sup>1,2</sup><sup>1</sup>核融合研, <sup>2</sup>総研大

## 1. はじめに

プラズマ対向壁工学研究は、直線型プラズマ装置でも精力的に行われているが、ここでは JT-60SA を念頭に置き、トカマク型装置やヘリカル型装置のような環状磁場閉じ込めプラズマ実験装置における研究を紹介する。このような装置では、磁場強度やプラズマ対向壁への磁力線の入射角、磁力線長、プラズマ中の不純物輸送、ELMs やディスラプションの発生などが将来の核融合炉に近いため、使用したプラズマ対向壁の分析とその結果を基にした核融合炉におけるプラズマ・壁相互作用の予測や、核融合炉用のダイバータ受熱板構造の試験などが行われている。

## 2. JET ITER-Like Wall 実験におけるプラズマ対向壁工学研究

2013 年度から日欧間の BA 活動の一つとして、JET の ITER-Like Wall (ILW) 実験で使用したリミタ・ダイバータ板から切り出した試料や実験後に真空容器内で採取されたダスト試料が現 QST 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所（以後、六ヶ所研）に輸送され、そこで大学と NIFS、QST、欧州の研究者が共同で分析を行っている。ILW 実験ではダイバータ板材料はタングステンまたはタングステン被覆炭素材、リミタ材料がベリリウムであり、また重水素プラズマ実験中には DD 反応で中性子とトリチウムが生成されるため、ベリリウムとトリチウム、放射化材料の取扱いが可能な同研究所で分析が行われ、多くの成果が得られている。本発表ではプラズマ対向壁工学研究に関わる成果を紹介する。

## 2-1. プラズマ対向面の表面分析

プラズマ照射による対向壁表面の微細構造変化は対向壁の熱特性や機械強度、寿命に関わる。この分析は、NIFS と島根大が集束イオンビーム加工装置と電子顕微鏡を用いて進めている。

## 2-2. プラズマ対向壁やダストへのトリチウム蓄積分析

対向壁やダストへのトリチウム蓄積は、核融合炉におけるトリチウム収支や安全性に関わる。多様な分析手法は六ヶ所研でのトリチウム分析の特長である。昇温脱離ガス分析、イメージングプレート法、ベータ線誘起 X 線分光計測 (BIXS)、液体シンチレーション法、燃焼法、化学的エッチング法などのトリチウム分析手法と、電子顕微鏡、組成分析法、化学状態分析法を組み合わせ、富山大、静岡大、近畿大、茨城大、NIFS が共同で分析を行っている。

## 3. 環状プラズマ実験装置におけるプラズマ対向壁コンポーネント試験、材料のプラズマ曝露実験など

WEST や EAST では、ITER で用いられるのと同様のタングステンモノブロック型の水冷ダイバータ板を設置して実機環境での試験を行っている。また、ダイバータプラズマに材料試料を挿入することができるマニピュレータを用いた実験が、ASDEX-Upgrade、DIII-D、LHD などで行われている。

## 4. まとめ

上述の環状プラズマ装置における実験、分析や試験、直線型プラズマ装置や電子ビーム・イオンビームを用いた実験、そして計算機シミュレーションが協同することにより、核融合炉環境におけるプラズマ対向壁の工学的課題が解決されていく。JT-60SA においても JET 試料の分析のように、大学が共同で実験・分析に参加することが望まれる。どのような研究ができるか、議論を期待する。

\*Suguru Masuzaki<sup>1,2</sup><sup>1</sup>NIFS, <sup>2</sup>SOKENDAI

企画セッション | 部会・連絡会セッション：核融合工学部会

2025年3月12日(水) 13:00 ~ 14:30 会場(Zoomルーム9)

**[1I\_PL] JT-60SAと炉工学研究のつながり**

座長:長坂 琢也(核融合研)

**[1I\_PL05] 総合討論**

講演者全員

超伝導トカマク型プラズマ実験装置JT-60SAでは、ITERや原型炉につながる高性能プラズマ運転の研究が行われているが、工学研究の観点から見ると発電ブランケットが設置されない他は原型炉や発電炉と同様の装置構成を有している。そこで本セッションでは、JT-60SAの運用計画及び装置構造・装置内環境条件、JT-60SAと原型炉工学研究の関わり、欧州のプラズマ実験装置を利用して大学等の研究者が実施してきたプラズマ対向壁に関する工学研究活動、について情報を共有した上で、炉工学研究者が将来、JT-60SAを利用する工学課題での共同研究を提案する可能性やその際の研究課題等について意見交換を行う。