

Mon. Mar 13, 2023

Room A

Planning Lecture | Technical division and Network | Fusion Engineering Division

[1A_PL] Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

Chair: Takumi Hayashi(QST)

1:00 PM - 2:30 PM Room A (11 Bldg.1F 1101)

[1A_PL01] Unit system --the new organization of NIFS for interdisciplinary development of fusion science

*Zensho Yoshida¹ (1. NIFS)

[1A_PL02] Creation of materials concerting with various fields of ultrahigh flux

*Takuya Nagasaka¹ (1. NIFS)

[1A_PL03] Fusion Engineering Research in the "Transports in plasma multi-phase matter system" Unit

*Suguru Masuzaki¹ (1. NIFS)

[1A_PL04] Academic plan of Applied Superconductivity and Cryogenics Unit

*Naoki Hirano¹ (1. NIFS)

[1A_PL05] Potential for new energy production in the fusion power complex and its safety

*Naoko Ashikawa¹ (1. NIFS)

[1A_PL06] Recent activities and expectations for research progress of Toshiba Energy Systems and Solutions Corporation

*Atsuro Hayakawa¹ (1. NIFS)

[1A_PL07] Discussion

All Presenters

Room C

Planning Lecture | Technical division and Network | Nuclear Safety Division

[1C_PL] Future of nuclear safety: In light of the past decade of regulation and research

Chair: Akio Yamamoto(Nagoya Univ.)

1:00 PM - 2:30 PM Room C (11 Bldg.2F 1106)

[1C_PL01] Issues and Challenges of the Nuclear Safety Division

*Toyoshi Fuketa¹ (1. Former NRA Commission)

[1C_PL02] Discussion

Toyoshi Fuketa¹, Tatsuya Itoi², Hiroyasu

Takeyama³ (1. Former NRA Commission, 2. UTokyo, 3. Chubu Electric Power)

Room D

Planning Lecture | Technical division and Network | Senior Network

[1D_PL] Let's talk about next-generation innovative reactors

Chair: Mutsuhiko Hayano(SNW)

1:00 PM - 2:30 PM Room D (12 Bldg.2F 1222)

[1D_PL01] Types of Next Generation Innovative Reactors and Portfolio of Their Development

*Shinzo Saito¹ (1. SNW)

[1D_PL02] The mission and its role of next-generation innovative reactors

*Hideo Hariyama¹ (1. SNW)

[1D_PL03] Innovative Reactor Development Inviting Next-Generation Nuclear Engineers

*Naoyuki Takaki¹ (1. TCU)

[1D_PL04] Innovative Reactor Policies from a Student's Perspective

*Tomoatsu Shinohara¹ (1. TCU)

[1D_PL05] Panel discussion on expectations for next generation innovative reactors

Hideo Hariyama¹, Shinzo Saito¹, Naoyuki Takaki², Tomoatsu Shinohara², Ren Horikoshi³, Tomoya Tamaru² (1. SNW, 2. TCU, 3. Tokyo Tech)

Room F

Planning Lecture | Joint Session | Research Committee on Social Science Issues related to Nuclear Power, Social and Environmental Division

[1F_PL] Social Issues of Nuclear Utilization and the Perspective of "Convergence of Knowledge"

Chair: Shoji Tsuchida(Kansai Univ.)

1:00 PM - 2:30 PM Room F (12 Bldg.3F 1232)

[1F_PL01] Objectives and Activities of the Special Committee

*Tsutomu Sata¹ (1. JAEA)

[1F_PL02] Progress Report of the Special Committee

*Kohta Juraku¹ (1. TDU)

[1F_PL03] Mechanism of Reputational Damage

Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.

*Naoya Sekiya¹ (1. Utokyo)

[1F_PL04] General Discussion

Room G

Planning Lecture | Board and Committee | Diversity Promotion
Committee[Co-organized by Japan Atomic Energy Commission, WiN-Japan]

[1G_PL] Promotion of Diversity & Inclusion in the Nuclear Energy Sector Revealed by Questionnaire Results-

Chair:Ken Kurosaki(Kyoto Univ.)

1:00 PM - 2:30 PM Room G (13 Bldg.1F 1311)

[1G_PL01] Towards Improving the Gender Balance in the Nuclear Energy Sector

*Yukiko Okada¹ (1. JAEC)

[1G_PL02] Discussion with Participants

Room H

Planning Lecture | Board and Committee | Fukushima Support Project

[1H_PL] For the recovery and regeneration of Fukushima

Chair:Reiko Fujita(Fukushima Support PJ)

1:00 PM - 2:30 PM Room H (13 Bldg.1F 1312)

[1H_PL01] Past and future activities of the Fukushima support project

*Reiko Fujita¹ (1. Fukushima Support PJ)

[1H_PL02] Effects of Cesium on Rice Cultivation in Minamisoma City

*Michitaka Sasoh¹ (1. TOSHIBA ESS)

[1H_PL03] Environmental remediation in Fukushima and activities of Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation

*Haruo Uemuro¹ (1. Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation)

[1H_PL04] Open Discussion

Room I

Planning Lecture | Over view Report | Research Committee on Fission Product Behavior Related to Decommissioning Work of Fukushima Daiichi NPP

[1I_PL] Issues related to FP behavior for improvement of decommissioning work efficiency and source-term predicting accuracy

Chair:Yosuke Katsumura(Nuclear Systems Association)

1:00 PM - 2:30 PM Room I (13 Bldg.1F 1313)

[1I_PL01] Aims and policy of activities of this research committee

*Yoichi Wada¹ (1. Hitachi)

[1I_PL02] Issues extracted from the field observations

*Junich Takagi¹ (1. Toshiba ESS)

[1I_PL03] Issues extracted from the fundamental research in JAEA/CLADS

*Naoya Miyahara¹ (1. MHI)

[1I_PL04] Issues extracted from the results of severe accident analyses

*Shuhei Miwa¹ (1. JAEA)

[1I_PL05] Issues extracted from the investigations of accident analyses by NRA

*Hidetoshi Karasawa¹ (1. JAEA)

Room J

Planning Lecture | Board and Committee | Education Committee

[1J_PL] Current Status and Issues for Human Resource Development in Industry

Chair:Nobuo Ikeda(Kyushu Univ.)

1:00 PM - 2:30 PM Room J (13 Bldg.2F 1321)

[1J_PL01] Human Resource Development in TEPCO HD

*Yasuhiro Matsuzawa¹ (1. TEPCO HD)

[1J_PL02] Human Resource Development in JAEA

*Hiroko Miyamura¹ (1. JAEA)

[1J_PL03] Human Resource Development in Hitachi-GE Nuclear Energy

*Tetsuya Matsui¹ (1. HGNE)

[1J_PL04] Discussion

All Presenters

Room K

Planning Lecture | Technical division and Network | Reactor Physics Division

[1K_PL] Progression and future issues of Multi-physics approach with reactor physics

Chair:Motomu Suzuki(CRIEPI)

1:00 PM - 2:30 PM Room K (13 Bldg.2F 1322)

[1K_PL01] Current Status and Future Prospects of Multi-Physics Simulation in Reactor Physics

*Masahiro Tatsumi¹ (1.)

[1K_PL02] Development of JAEA Advanced Multi-Physics Analysis Platform for Nuclear Systems JAMPAN

*Kenichi Tada¹ (1. JAEA)

[1K_PL03] Multi-physics simulation for discontinua and its industrial applications

*Mikio Sakai¹ (1. UTokyo)

[1K_PL04] Discussion

Room L

Planning Lecture | Board and Committee | Board of Directors

[1L_PL] What is the future role of the Atomic
Energy Society in advancing GX?

Chair: Shin-ichi Koyama(JAEA)

1:00 PM - 2:30 PM Room L (13 Bldg.2F 1323)

[1L_PL01] Overview of the AESJ's efforts and issues
towards the realization of GX expressed in
the society's statement

*Shinichi Kawamura¹ (1. Hitachi GE)

[1L_PL02] Energy policy for GX

*Yuhei Ohta¹ (1. METI)

[1L_PL03] Effort of comprehensive energy strategy by
operators and the standpoint of nuclear
power

*Taku Sato¹ (1. KEPCO)

[1L_PL04] Roles and Expectations to Nuclear Power
from the Perspective of the Electric
Industry Aiming to Realize GX

*Takashi Ozawa¹ (1. JEMA)

[1L_PL05] Points discussed in the "sustainable reactor
and nuclear fuel cycle examination/proposal
subcommittee"

*Takumi Saito¹ (1. UTokyo)

[1L_PL06] Basic R&D capabilities for realizing GX in
Japan and their international
competitiveness

*Hiroyuki Oigawa¹ (1. JAEA)

[1L_PL07] Discussion

Chair: Shin-ichi Koyama¹, Shinichi Kawamura²,
Yuhei Ohta³, Taku Sato⁴, Takashi Ozawa⁵, Takumi
Saito⁶, Hiroyuki Oigawa¹ (1. JAEA, 2. Hitachi GE,
3. METI, 4. KEPCO, 5. JEMA, 6. UTokyo)

Planning Lecture | Technical division and Network | Fusion Engineering Division

[1A_PL] Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

Chair: Takumi Hayashi(QST)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room A (11 Bldg.1F 1101)

[1A_PL01] Unit system --the new organization of NIFS for interdisciplinary development of fusion science

*Zensho Yoshida¹ (1. NIFS)

[1A_PL02] Creation of materials concerting with various fields of ultrahigh flux

*Takuya Nagasaka¹ (1. NIFS)

[1A_PL03] Fusion Engineering Research in the "Transports in plasma multi-phase matter system" Unit

*Suguru Masuzaki¹ (1. NIFS)

[1A_PL04] Academic plan of Applied Superconductivity and Cryogenics Unit

*Naoki Hirano¹ (1. NIFS)

[1A_PL05] Potential for new energy production in the fusion power complex and its safety

*Naoko Ashikawa¹ (1. NIFS)

[1A_PL06] Recent activities and expectations for research progress of Toshiba Energy Systems and Solutions Corporation

*Atsuro Hayakawa¹ (1. NIFS)

[1A_PL07] Discussion

All Presenters

核融合工学部会セッション

核融合研・新研究体制での核融合工学研究の展開

Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

(1) 核融合研の新体制（ユニット）の概要

(1) Unit system --the new organization of NIFS for interdisciplinary development of fusion science

吉田善章

核融合科学研究所

120 以上の国と地域が目標として掲げる「2050 年カーボンニュートラル」を達成するために、残された約 30 年で核融合エネルギーを実用化することが期待されている。しばしば「核融合 30 年問題」と揶揄されるように、あと 30 年で実現するという見通しを 50 年以上にわたって繰り延べてきた「核融合コミュニティ」にとって、最後のチャンスが訪れていると言ってよいだろう。

早期実現というミッションのもとでは、不確実性を認めながらも、デファクトスタンダードに研究資源を集中し、その開発の過程で生じる困難を個別的な課題に還元し、「パーツ」あるいは「遺伝子」のレベルで **alternative** に置き換えてゆくという戦略が必要である。萌芽的なアイデアや先進性を重んじる学術研究にとって、多様な選択肢 **alternative** を用意するということは、まさしくその本分であることに間違いはない。しかし、核融合エネルギー開発の現実において、「**alternative**」とは具体的に何であるべきかを正確に理解する必要がある。学術研究には、炉形式全体という「パッケージ」の **alternative** を提案するのではなく、様々な対象において発現しうる「遺伝子」の **alternative** を準備することで開発研究と協働することが求められる。翻ってこのことは、学術研究自身に本来の在り方を取り戻すことにもなる。これまでの核融合研究のパラダイムは、炉形式間の性能比較であり、パラメタ競争であった。「そのもの」を作って、比べてみる、という素朴な科学である。これでは開発研究と何も変わらない。新しいパラダイムは、「そのもの」を腑分けし、色々な方式にわたって共通性があるテーマを取り出し、一般性という観点から研究する、そのテーマの一覧表でなくてはならない。特定の方式において生じる課題（例えば閉じ込め性能が良くなるとか、突発的な不安定性が起こるとか）を、方式の個性を超えた一般原理に基づいて解決することが学術研究の役割である。

このような時代認識と学問観に基づいて、核融合研（NIFS）は根本的なパラダイム転換を行う。新しいパラダイムは、核融合という複合的な研究対象を私たちの学問観で「分節化」したものである。「分節化」というと、対象をバラバラに分解してしまうと誤解する人がいるが、そうではない。分節化とは対象に「意味」を与えるための出発点として「単語」を同定することである。核融合研究に学術としての意味を与えるためには、それぞれのテーマに、他分野と通じ合う普遍的な意味を与えなくてはならない。意味の単位＝ユニットたちは、色々な組合せで色々な「文」を構成することができる。それが「プロジェクト」である。例えば「閉じ込め改善」というプロジェクトは、「揺動・乱流」「プラズマ計測・データ解析」「シミュレーション」などのユニットが結合して構成される。さらに、ユニットたちは他の結合によって別のプロジェクトを構成し、様々な科学技術の文脈を紡ぐことができる。

NIFS は、核融合エネルギーというチャレンジを学術のテーマに分節化し、それぞれの課題を一般化することで他分野と通じ合う「ユニット」という研究チームを構成する。各ユニットは、NIFS 職員とともに所外の学際的なメンバーで構成される共同研究チームである。核融合科学を、未来志向のテーマに分節化することによって、これまで以上に広い分野を巻き込んだ共同利用・共同研究が生まれると期待される。2023 年度、NIFS は 11 のユニットの連合体として、新しい時代へ向けたスタートを切る。ユニットの研究テーマ一覧：<https://www.col.nifs.ac.jp/Unit/UnitTheme.html> を参照されたい。

核融合工学部会セッション

核融合研・新研究体制での核融合工学研究の展開

Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

(2) 様々な超高流束場と協奏する材料の創製

(2) Creation of materials concerting with various fields of ultrahigh flux

*長坂琢也, 田中照也, 高山定次, 小林 真, 能登裕之, 申 晶潔

核融合研

1. 研究課題と目的

超高流束協奏材料ユニット (Ultrahigh-flux Concerting Materials Unit, 通称 UICoMat) における研究テーマの焦点を図1に示す。核融合、原子力、宇宙、航空、化学プラント等で使用される材料は複合的な過酷環境にある。過酷環境では温度、応力、濃度場に急勾配があり、中性子照射下等では照射損傷も加わって超高流束のエネルギーと物質粒子が駆動され、非平衡状態がもたらされる。非平衡状態では非晶質や準安定化合物 (準安定相)、そして結晶格子欠陥を含む構成原子集団の自己組織化による準安定周期構造 (散逸構造) が見出されている。

それらの生成機構と物性への寄与を深く理解し活用すれば、材料自らが安定化して劣化が止まったり、逆にその特性が改善する、いわば適応と呼べる新しい挙動が期待できる。特に、自己組織化がもたらす不均一な、そして多様なメゾスケール構造と、強度等マクロな材料特性との相関の理解は未だ乏しく、大変興味湧く新領域の課題である。このメゾ構造ーマクロ物性相関の理解にもとづき、過酷環境下、非平衡状態でも安定な強化・機能因子を活用し増幅することで、過酷環境に耐える、から適応する材料へのパラダイム転換を図り新材料創製につなげる。一方完璧な適応は困難と考えるのが現実的であり、環境の揺動や損傷の蓄積・質的变化に適応が追いつかなければ特性劣化が進み材料は寿命を迎える。劣化の可逆性、不可逆性を理解し制御することで長寿命化を可能とし、さらに寿命を正確に見極め最小限の材料でシステムを維持し経済性と安全性を両立させることが工学課題である。

核融合は全ての過酷環境要素を網羅するので関連工学を先導できる。そこにあって本ユニットでは、材料の適応と寿命を支配する根本法則を究めて体系化し、過酷環境下工学システムを変革する高強度、高機能かつ長寿命材料の創製と寿命予測理論の確立を目指す。

2. 研究課題の定式化と戦略

超高流束がもたらす非平衡下において、材料のメゾ構造とマクロ物性の動態 (ダイナミクス) を、原子の集団現象から理解し制御する。材料の構造と物性に及ぼす温度、応力、濃度、照射場の影響を、相乗効果を含めて明らかにするとともに、その機構モデルを構築する。

核融合炉等の構造強度を担う材料のうち、金属にあっては共有結合性が比較的大きく、セラミック的な高温強度が見込める高融点金属、あるいは鉄鋼であっても高融点セラミックナノ粒子を用いた分散強化合金等を研究対象とする。セラミック材料においては逆に、極細繊維化、金属との接合、複合化によって、擬延性等の金属的な性質を付与した材料が対象である。一方、機能材料としては、絶縁、水素制御、各種センサーに利用できるセラミック材料を対象とするが、金属粒子を注入、分散させる、あるいは過飽和金属欠損を導入し過剰な金属成分により発現する新たな現象を利用して高機能化を目指す。いわば、セラミック的金属、金属的セラミックというメタな状態にこそ新材料創製の可能性があると考えている。

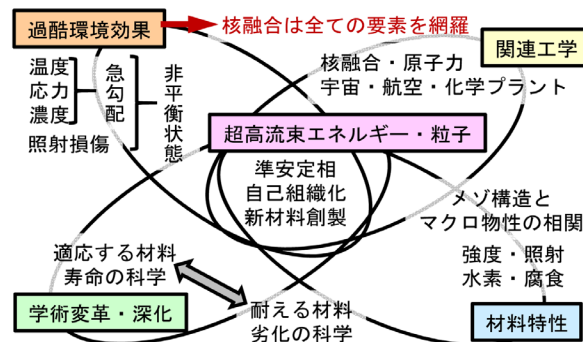


図1 ユニットテーマの焦点

*Takuya Nagasaka, Teruya Tanaka, Sadatsugu Takayama, Makoto I. Kobayashi, Hiroyuki Noto, Jingjie Shen

¹NIFS

核融合工学部会セッション

核融合研・新研究体制での核融合工学研究の展開

Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

(3) プラズマ・複相間輸送ユニットにおける炉工学研究

(3) Fusion Engineering Research in the "Transports in plasma multi-phase matter system" Unit

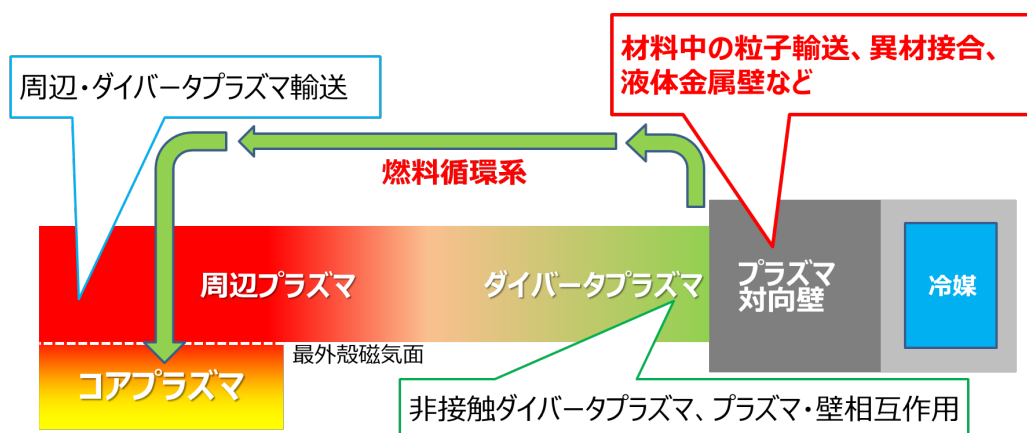
*増崎 貴^{1,2}¹核融合科学研究所, ²総合研究大学院大学

プラズマ・複相間輸送ユニットでは、磁場閉じ込め核融合炉の開いた磁力線領域から壁へ、そして壁を冷却する冷媒、あるいは排気装置を経て燃料循環系に至る系を研究対象とする。この系は、プラズマと固体・液体・気体が接する系であり、この系における熱・粒子・運動量の輸送現象を理解し、予測して、制御することが本ユニットの研究目的である。さらにこのような研究から得られる知見や技術を、核融合分野以外の様々な分野に展開し、それらの分野の進展に寄与することを目指している。

本ユニットでは炉工学に関わり、次の研究を進めている。

1. プラズマ対向壁におけるプラズマ照射および中性子照射による壁の損傷形成や、その水素同位体蓄積・輸送への影響などについて、微細構造観察などからそのメカニズムを明らかにする研究
2. タングステンと銅合金など、高熱流束に耐え得る壁形成のために接合する異種材料間の物質移動現象を原子レベルの精度で解析し、空隙が極めて少ない強固な接合を可能とする方法をミクロな視点から探索する研究
3. 液体金属を用いたプラズマ対向壁について、プラズマと接する界面における不安定性や、液体金属中への粒子蓄積、核融合炉における機器配置、などに関する研究
4. 燃料循環系において特に、未反応の燃料粒子、ヘリウム灰、プラズマ中の放射損失増大のため導入する不純物ガスの排気と、それらの分離などに関する研究

発表では、本ユニットについて概要を紹介するとともに、これら炉工学に関わる研究について、現状と今後の展開について述べる。



プラズマ複相間輸送ユニットにおいて研究対象とする系と、炉工学に関わる研究課題（赤字）

*Suguru Masuzaki^{1,2}¹ National Institute for Fusion Science, ² The Graduate University for Advanced Studies, SOKENDAI

核融合工学部会セッション

核融合研・新研究体制での核融合工学研究の展開

Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

(4) 超伝導・低温工学ユニットの研究計画

(4) Academic plan of Applied Superconductivity and Cryogenics Unit

*平野 直樹, 芦川 直子, 今川 信作, 小野寺 優太, 尾花 哲浩, 高田 卓, 高畑 一也
田村 仁, 力石 浩孝, 成嶋 吉朗, 濱口 真司, 菱沼 良光, 柳 長門
核融合研

1. はじめに

超伝導・低温工学ユニット(ASC ユニット)は、これまで核融合科学研究所が取り組んできた超伝導・低温工学関連の研究成果を踏まえ、長期的目標の核融合だけでなく、中短期的目標としてカーボンニュートラル社会構築を促進するような魅力的で汎用性のある革新的な超伝導マグネット技術、低温技術を高い信頼性のもとで確立するための学術研究を展開することを目指している。

2. ASC ユニットの研究対象

超伝導材料としては金属系から酸化物や MgB_2 まで、幅広い研究対象とする。冷却方法についても、液体水素冷却を含む様々な冷却方式を対象とする。これまでの豊富な研究実績を礎として、例えば以下の研究項目に挙げる取り組みにも挑戦する方針である。

＜ユニットとして取り組む研究項目＞

- ・大電流高温超伝導導体・コイル研究
- ・液体水素利用による超伝導応用研究
- ・液体水素の低温物性評価
- ・先進超伝導線材研究(高強度化・超極細線材加工)
- ・超伝導線材、導体の高信頼性検査手法研究
- ・AIによる予防保全技術開発研究

3. 研究目的

これまで LHD 計画や大学との共同研究にて培われた核融合開発に特化した超伝導・低温工学の遺伝子をさらに活性化することで、持続可能社会実現の加速的な駆動力となる「水素」までも包含し、高い安全性及び信頼性を指向する新たな超伝導工学・低温工学へと展開させることが本ユニットの研究目的である。そして、超伝導・低温工学の進展を次世代の核融合工学にフィードバックすることで、核融合研究における新しい局面を作り出すだけでなく、他のビッグサイエンスの更なる進展にも貢献することを目指す。

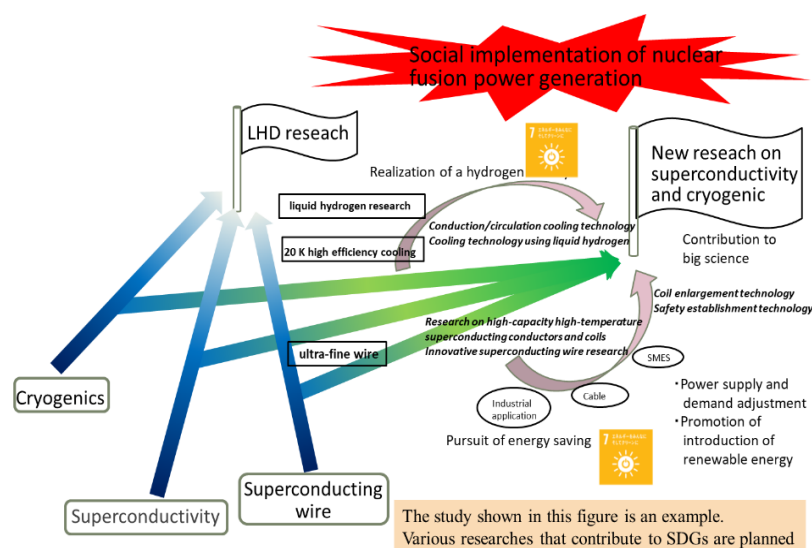


Fig.1 Goals of the Applied Superconductivity and Cryogenics Unit

*Naoki Hirano, Naoko Ashikawa, Shinsaku Imagawa, Yuta Onodera, Tetsuhiro Obana, Suguru Takada, Kazuya Takahata, Hitoshi Tamura, Hirofumi Chikaraishi, Yoshihiro Narushima, Shinji Hamaguchi, Yoshimitsu Hisinuma, Nagato Yanagi
National Institute for Fusion Science

核融合工学部会セッション

核融合研・新研究体制での核融合工学研究の展開

Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

(5) 核融合プラントからの新たなエネルギー創出の可能性とその安全性

(5) Potential for new energy production in the fusion power complex and its safety

*a) 芦川 直子

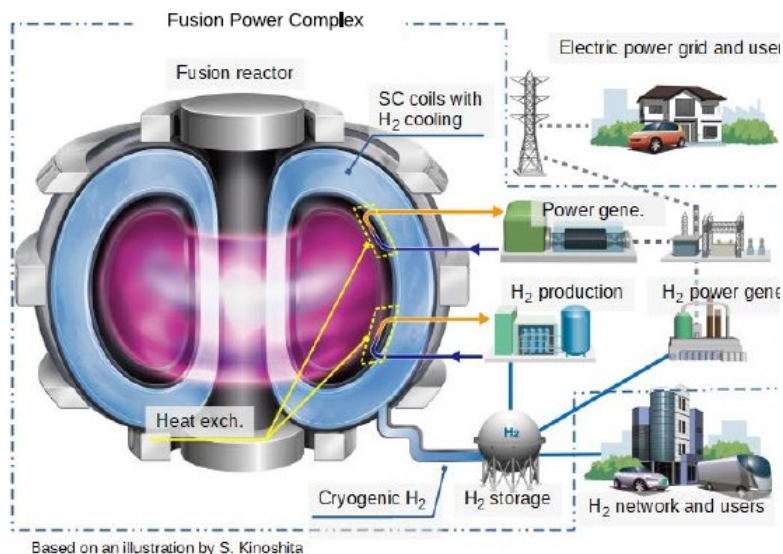
核融合研、^{a)}総研大

1. 目的及び背景

カーボンニュートラルおよび持続可能な社会での核融合エネルギー利用に向け、社会が必要とする核融合プラントとは何か、および核融合プラントに必要な安全性に関する議論を進めている。本講演では、従来の発電のみを目指した核融合プラントではなく高効率化およびカーボンニュートラル社会への貢献を想定し、発電と水素製造を兼ね備えた付加価値の高いエネルギープラント、Fusion Power Complex、を提案しつつ、核融合炉に必要な安全工学とは何かについて触れる。

2. どのような核融合プラントが社会で必要とされるのか

図1に Fusion Power Complex の概念図を示す。将来の核融合炉では、液体水素による超伝導コイル冷却を前提とし、グリーン水素の製造および液体水素としての長期エネルギー備蓄が可能となる。また、従来の核融合発電炉の課題の一つであるベースロードとしての定格発電に対し、水素・電気変換によるデマンド調整も可能となる。水素社会との親和性が高く、そのような社会もしくは都市の一部として Fusion Power Complex の利用できることを提示し、具体的な課題について核融合分野外の専門家らと議論を進めている。

図1. 核融合プラント複合施設の概略図⁽¹⁾

3. 核融合炉の安全性

社会が核融合炉を許容するためには、工学な知見に基づく安全工学、およびそれを支える信頼性工学、制御工学等の関連分野との議論を踏まえた提案が必要となる。

安全工学では、安全とは「許容できないリスクから免れていること」とある⁽²⁾。今後、核融合炉の社会実装に関する議論で「許容できないリスクに該当するのか」を工学的に提示する必要がある。安全規制について核分裂炉との相違点を踏まえた「核融合炉のための規制」の議論が、イギリス等海外の事例も含め始まりつつある。他方、社会が求める安全は「工学」という学問をはるかに凌駕する広い領域となり、信頼と併せて「安心」⁽³⁾も必要となる。安心や信頼の向上を得るための工学研究とは何かを課題として、今後検討を進める必要がある。

(1) H. Chikaraishi, N. Ashikawa et al., Plasma Fusion and Research 18 (2023) 1205001.

(2) 佐藤吉信、安全工学, Vol.41 (2002).

(3) H. Shoji, ITC31 (2022) Invited talk.

* Naoko Ashikawa,

National Institute for Fusion Science, ^{a)}SOKENDAI

核融合工学部会セッション

核融合研・新研究体制での核融合工学研究の展開

Expanding academic fields of nuclear fusion engineering research under the new UNITs of NIFS

(6) 東芝エネルギーシステムズ社の核融合への取組と核融合研究進展への期待

(6) Recent activities and expectations for research progress of Toshiba Energy Systems and Solutions Corporation

*早川 敦郎¹

¹ 東芝エネルギーシステムズ(株)

1. 東芝エネルギーシステムズ(株)と核融合

東芝エネルギーシステムズ株式会社（2017 年 10 月に株式会社東芝から分社）は、核融合研究が開始されて間もない1970 年代から関連技術の開発に取り組んできました。プラズマを生成するための真空容器、強力な磁場を作り出す超電導コイル、プラズマを高温に加熱する高エネルギー粒子や電磁波の発生装置、保守作業ロボットや計測機器など、主要な機器の設計・製作実績を有しています。

2. ITER/JT-60SA への貢献

当社は現在建設が進められている国際熱核融合実験炉（ITER）に、計画段階から積極的に協力してきました。工学設計活動において真空容器セクタモデルや、CS モデルコイル、実規模ビーグルマニピュレータの開発と主要コンポーネントの開発を担っていました。その後、実機建設にあたり、TF コイル 4 台の製造を担当しており、3 月に全て完成します。このコイルは総重量 300t、最大磁場 12T の世界最大の超電導コイルです。また、炉内のブランケットの交換に用いる遠隔保守装置の設計を実施中です。

また、当社は JT-60 時代から各種機器の製作を担当していましたが、超電導化改造（JT-60SA）にあたり、新たにプラズマ真空容器の製作を行うとともに、日欧で建設された機器の全体組立を実施しました。これにより、大型トカマク装置の組立経験を積むことができました。

3. 大学関連装置への貢献

当社はトカマク、ヘリカル、ミラーなど種々の磁場閉じ込め実験装置、加熱機器、電源・制御システムなどの設計、製造、建設を行ってきています。世界最大級のヘリカル型装置である大型ヘリカル装置（LHD）では超電導ボロイダルコイルや加熱装置（NBI/ECH）などの製造を担当しました。また、WT-III、ガンマ 10、QUEST、RT-1 といった大学の種々の形式の核融合装置の設計・製造経験を有しています。

4. 原型炉に向けて

大型プラズマ実験装置や ITER におけるこれまでの機器製作の実績をもとに、数十万 kW を超える定常かつ安定な電気出力の実証を目指す原型炉計画に参画しています。原型炉設計特別チームの一員として核融合中性子からのエネルギー取出しのキーとなるブランケットシステムや安全システムの検討に参画しています。

5. 今後の核融合研究への取組、期待

核融合の研究開発は ITER の建設とその後の運転を経て、いよいよ実際のエネルギー生産を行うプラントの建設計画に進む段階を迎えます。東芝エネルギーシステムズ(株)は人類の持続的な繁栄に不可欠なエネルギーの開発に向けて今後も取り組みを続けていきます。

*AtsuroHayakawa¹

¹Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room A)

[1A_PL07] Discussion

All Presenters

NIFS will evolve into an academic research institute symbolized by the theme of “well-posed and well-defined problems” representing fusion science. From April 2023, NIFS has investigated academic issues in science and engineering in an interdisciplinary manner through eleven Units (groups). In this session, scientific topics are presented by the new UNIT relating to fusion engineering and will be discussed.

Planning Lecture | Technical division and Network | Nuclear Safety Division

[1C_PL] Future of nuclear safety: In light of the past decade of regulation and research

Chair: Akio Yamamoto (Nagoya Univ.)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room C (11 Bldg. 2F 1106)

[1C_PL01] Issues and Challenges of the Nuclear Safety Division

*Toyoshi Fuketa¹ (1. Former NRA Commission)

[1C_PL02] Discussion

Toyoshi Fuketa¹, Tatsuya Itoi², Hiroyasu Takeyama³ (1. Former NRA Commission, 2. UTokyo, 3. Chubu Electric Power)

原子力安全部会セッション

原子力規制の変更から 10 年。原子力安全部会の活動を批判的に振り返る

Future of nuclear safety: In light of the past decade of regulation and research

原子力安全部会の課題と挑戦

Issues and challenges of the Nuclear Safety Division

*更田 豊志¹¹原子力規制庁

1. 部会の初心、1F 事故の反省

原子力安全を巡る議論や検討、研究を行う目的は、原子力の諸活動が与える危険について理解を深め、その脅威、危険性を正しく把握し、評価するための知識、技術を得て、それらが原子力施設の設計や運用、保全、規制等に活かされることにありたいと思います。そこで、安全に対する一つの重要な脅威が認識や理解における“欠け”の存在です。JCO 事故や東京電力・福島第一原子力発電所事故は、大きな事故で認識における“欠け”が重要な要因の一つとなることを教えています（しばしば言われる“想定外”）。事故の発生をきっかけとするものだけでなく、研究や調査検討を通じて高エネルギーアーク火災や三相交流電源の一相開放事象、組立マニュアルの誤記が共通要因となった複数 DG の故障などのように、それまでは認識されていなかった共通要因や機器の損傷モードがこれからも見つかることは間違いありません。知識が不十分であることが認識されている脅威(Known Unknowns)よりも、脅威であること自体が認識から欠けている脅威(Unknown Unknowns)への対処の方がずっと難しく、さらに後者への対処には専門分野の壁を越えた異分野との交流が重要であることが理解されていたからこそ、原子力安全部会(以下、安全部会)はその設立趣意書(2008.7.3)において“安全の横串を通す機能”を謳い、部会規約(2016.5.24)において学会内外での横断的活動を行うことを強調しています。さらに、東京電力・福島第一原子力発電所事故の発生を受け、安全部会では異分野との交流が足りていなかったことが重要な反省の一つとして指摘されました。

2. 外部との交流

異分野との交流の重要性が口々に言われる一方で、それを始める動機が生まれにくいのも事実であるように思われます。優先順位が高いにも拘わらず、実行に向けた動機が生まれにくい典型的な課題です。原子力安全にも専門家は存在し、専門家のコミュニティは国内外に幾つも存在します。専門家は一般に、議論の対象を自身の得意分野に引きつけようとする強い習性を持っており、自らがずっと専門性を発揮してきたフィールドで議論を進めようとし、当然、ルールが違う他のフィールドに入るときには努力が必要です。異分野との議論では、互いの意見を伝え合う以前に用語の定義から明確にしていかなければならないことなどが多く、時間を要するし、ときには精神的負荷を感じるものです。これまでのところは、言葉が通じやすい部会内の専門家同士での議論をつい優先させてきたというのが実際のところではないでしょうか。

3. チャレンジ

例えば、安全部会はいずれ必ず安全目標に係る議論を始めることになると思います。今の時点ではいつどのように始めるのかということ自体が議論の対象ですが、これは社会的受容性に係る議論であることから、異分野との交流、多様な Stakeholder との議論、社会に向けた発信など、積極的に外部との関係を持つことが不可欠となります。安全部会が、専門家のコミュニティとしての密度の高い議論を維持しつつも、外部との接点を増やし、やりにくい議論、個々人の専門性に頼ることが難しい議論を始めるには、部会としての“克己心”が必要であるように思われます。さらに、相手のあることでもあるので、広く議論への参加に同意していただく必要もあります。いずれも簡単なことではありませんが、安全部会の“安全の横串を通す機能”を維持、強化するためには欠かせないことであると思います。

*Toyoshi Fuketa¹¹Nuclear Regulation Authority

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room C)

[1C_PL02] Discussion

Toyoshi Fuketa¹, Tatsuya Itoi², Hiroyasu Takeyama³ (1. Former NRA Commission, 2. UTokyo, 3. Chubu Electric Power)

Planning Lecture | Technical division and Network | Senior Network

[1D_PL] Let's talk about next-generation innovative reactors

How to be a game changer to improve the social acceptance of nuclear power

Chair:Mutsuhiko Hayano(SNW)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room D (12 Bldg.2F 1222)

[1D_PL01] Types of Next Generation Innovative Reactors and Portfolio of Their Development

*Shinzo Saito¹ (1. SNW)

[1D_PL02] The mission and its role of next-generation innovative reactors

*Hideo Hariyama¹ (1. SNW)

[1D_PL03] Innovative Reactor Development Inviting Next-Generation Nuclear Engineers

*Naoyuki Takaki¹ (1. TCU)

[1D_PL04] Innovative Reactor Policies from a Student's Perspective

*Tomoatsu Shinohara¹ (1. TCU)

[1D_PL05] Panel discussion on expectations for next generation innovative reactors

Hideo Hariyama¹, Shinzo Saito¹, Naoyuki Takaki², Tomoatsu Shinohara², Ren Horikoshi³,
Tomoya Tamaru² (1. SNW, 2. TCU, 3. Tokyo Tech)

シニアネットワーク連絡会セッション

次世代革新炉について語ろう

—原子力の社会的受容性を改善するゲームチェンジャーになるには—

Let's talk about next-generation innovative reactors

- How to be a game changer to improve the social acceptance of nuclear power

(1) 次世代革新炉の種類と開発のポートフォリオ

(1) Types of next generation innovative reactors and portfolio of their development

齋藤 伸三

シニアネットワーク連絡会

1. はじめに

次世代革新炉の開発は、TMI-2 発電所事故を契機とし、特にチェルノブイリ-4 発電所事故以降は安全炉と称し、その開発が提唱されてきた。液体冷却炉では、冷却材の重力移動や自然循環、あるいは、大気との自然対流のような基本的な物理法則を安全機能に採用した新しい形式の原子炉すなわち受動的な安全炉への関心が高まった。その結果、世界的に幾つかの受動的な安全の設計概念が提唱された。代表的な受動的な安全炉としては、軽水炉である P I U S、AP-600（現在では AP-1000）、S B W R 等が挙げられ、高温ガス炉では M R S、H T R-M などがある。そして、再び、福島第一原子力発電所事故を受けて、世界的に安全な革新炉開発が叫ばれている。

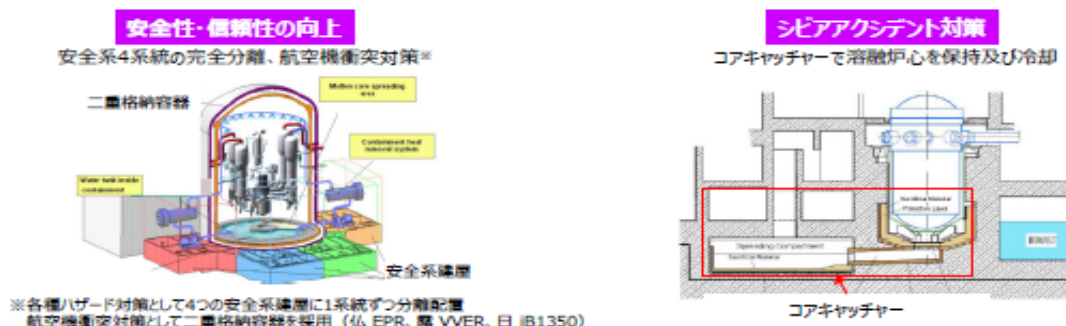
我が国では、現在、革新炉として、革新軽水炉（大型）、小型革新炉、高速炉、高温ガス炉、核融合炉に分類され、特に、政府の GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議、その指示を受けた総合エネルギー調査会下の原子力小委員会、革新炉ワーキンググループにおいて、2022 年後半それぞれの現状、開発要素、実現可能性等について精力的に検討された。

ここでは、国際的な情勢も踏まえつつ、上記の革新炉の概要及び現状を述べる。

2. 次世代革新炉の種類

(1) 革新軽水炉（大型）

大型の革新軽水炉は、従来の第 3 世代炉をベースに、① 地震、津波等の自然災害対策強化 ② 航空機衝突対策を施した二重格納容器 ③ 炉心冷却のための設備、電源の多重性、多様性の強化 ④ 放射性物質放出防止対策 ⑤ 溶融炉心の格納容器内保持（コアキャッチャーの設置）等を具備したものが多い。先行するフランスの EPR の例を第 1 図に示す。我が国の PWR, BWR メーカーも同様な検討（SRZ-1200, RBWR, iB1350）を行っている。



第 1 図 EPR における安全性・信頼性の向上と重大事故対策

Shinzo Saito

Senior Network (SNW)

(2) 小型革新炉

小型革新炉の主力は軽水冷却炉であるが、それ以外の高速炉、高温ガス炉、熔融塩炉、マイクロ炉を含めると、代表的なものでも 20 基を超える。しかし、大半はまだ開発中である。小型革新炉は、出力 30 万 kWe 以下の原子炉を言い、いくつかをつなげたモジュラー炉 (SMR) も含む。その特徴、狙いは、

- ・安全性の向上：フルパッシブな革新的な安全設計
- ・メンテナンス容易
- ・工場で組み上げる生産方式：品質の維持・向上及び現地工事量の削減
- ・電力需要が小さい地域、グリッドの未発達な地域（途上国等）への普及
- ・熱供給と併用
- ・初期投資が抑えられ、早期の投資回収可能

等々が挙げられている。

ここでは、実際に電気事業者が建設準備を進めている 2 炉型とマイクロ炉を紹介する。

① BWRX-300 (日立-GE, GE-Hitachi)

- ・ BWR タイプで、電気出力 30 万 kW
- ・ 自然循環冷却による事故終息電源・注水設備不要の上、運転員操作なしで 7 日間冷却可能
- ・ 圧力容器に隔離弁を直付けすることにより冷却材喪失事故の発生確率を低減
- ・ 地下埋設によるテロや外的事象に対する耐性強化



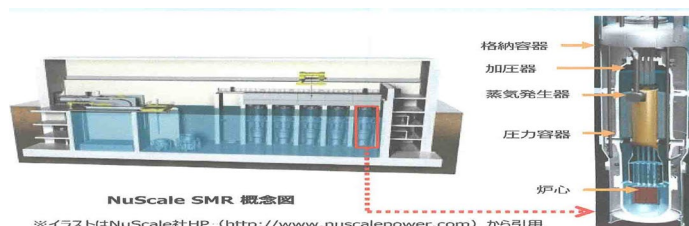
日立多目的蒸気源試験装置

第2図 BWRX-300 の特徴

カナダの電力会社 OPG 社が 2028 年運転開始を目指し選定

② VOYGR (米 NuScale 社)

- ・ PWR タイプで、1 モジュール当り 50、77MWe で最大 12 モジュール
- ・ 圧力容器内に蒸気発生器を有する一体型炉
- ・ 自然循環冷却による事故収束



第3図 VOYGR モジュールの概念図

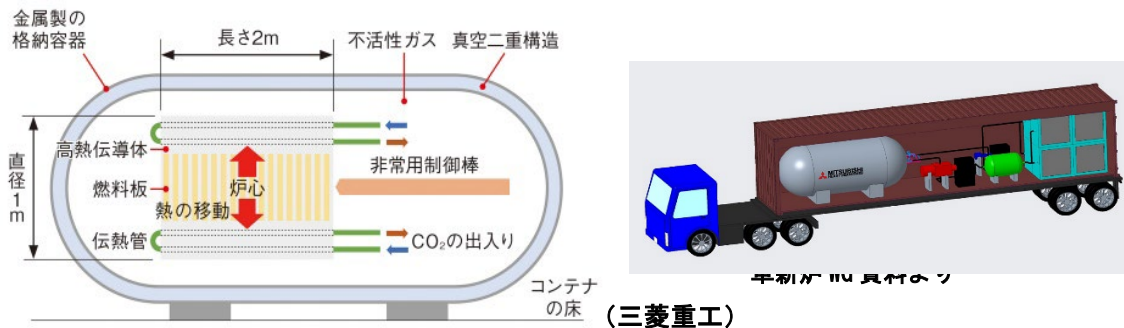
- ・ モジュールとしては、1 モジュールの出力を 77MWe とした VOYGR -4 (308MWe)、同 6 (462MWe)、同 12 (924 MWe) を提示している。
- ・ 日揮、IHI の日本企業も出資して参加している。
- ・ INL (アイダホ国立研究所) において初号機運転開始予定

③ マイクロ炉 (超小型炉)

米・露などでは古くからその開発に取り組んで来ている。米国では、国防総省が 2025 年の実用化を目指し軍事オペレーション用に、また、NASA が 2030 年までに月面探査の電力源として開発中である。ロシアでは、洋上発電用に小型 PWR を既に開発し、運用中である。

最近、日本でもアイデアとして全固体原子炉が提案されている。可搬性に優れ離島やへき地、災害時の電源用(500kW) 向きであるとしている。

- ・全固体原子炉で炉心サイズは直径1m×長さ2m (第4図)
- ・炉心の高熱伝導体は円板形状で材料は黒鉛系、原子炉の冷却と減速材の役割を果たす。
- ・燃料版は、蜂の巣状で複数の穴を空け燃料ペレットを収納。燃料は25年間取り替えなし。
- ・格納容器は魔法瓶のような真空二重構造で、内部は不活性ガス



(3) 高速炉

我が国では、原型炉もんじゅの廃止後、2018年12月の関係閣僚会議において、高速炉の本格的利用が期待されるタイミングは21世紀後半のいずれかのタイミングとなろうから21世紀半ばの適切なタイミングで技術的成熟度、ファイナンス、運転経験等の観点から、その後現実的なスケールの高速炉が運転されることを期待するとされた。開発の進め方としては、当面5年程度は、これまでに培った技術、人材を最大限に活用し、民間による多様な技術開発を促進するとしている。国の支援(NEXIP)を受け、三菱重工、日立—GE等が常陽、もんじゅと異なるコンセプトを提案している。

① 小型ナトリウム冷却金属燃料高速炉(MCR-200) 三菱重工、三菱FBRシステム

- ・金属燃料を粒子型とし受動停止による安全性向上、ナノ粒子をナトリウム冷却材に混ぜることで、ナトリウムの化学的活性を抑制
- ・二次系ループをモジュール型に増やすことにより出力増加が可能

② 小型ナトリウム冷却金属燃料高速炉(PRISM) 日立-GE

- ・小型モジュール高速炉
- ・金属燃料による固有安全性、静的機器による受動安全

設計概念は、米国のVTR, Sodium炉に採用

③ 軽水冷却高速炉 日立-GE

- ・MOX燃料棒を稠密に配した四角格子燃料を既設のBWR/ABWRに装荷し、プルトニウムを集中的に経済効率良く燃焼

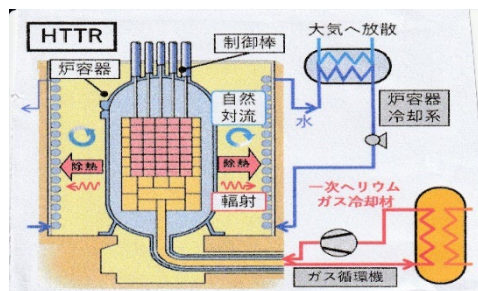
(4) 高温ガス炉

高温ガス炉の特徴として

- ・安全性が極めて高く、重大事故対策が不要
- ・出力密度が低く、炉心の熱容量が大きいため炉心の温度変化は緩慢
- ・原子炉容器外への輻射伝熱により崩壊熱は冷却される。(第5図)
- ・冷却材流量喪失+電源喪失事故に対しても、非常用冷却設備は不要。(第6図)

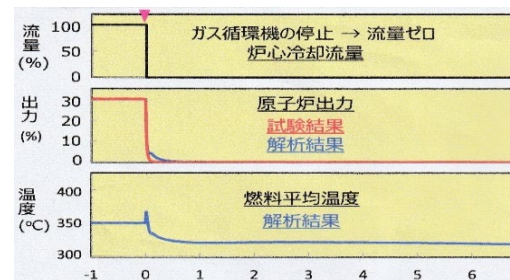
また、極めて高い原子炉出口温度が得られるので、発電のみならず多方面に利用可能であり、多段カスケード式に熱を利用すれば、総合熱利用率70~80%も可能

原子炉出口ヘリウム温度950℃を達成しているHTTRでは、水素製造試験の準備を進めている。また、HTTRでは英国、ポーランドから技術供与が求められ、我が国のメーカーを始め、欧米各国で発電と水素製造に供する高温ガス炉システムが提案されている。



第5図 輻射伝熱による炉心冷却方式

(いずれも高温工学試験研究炉 (HTTR) より)

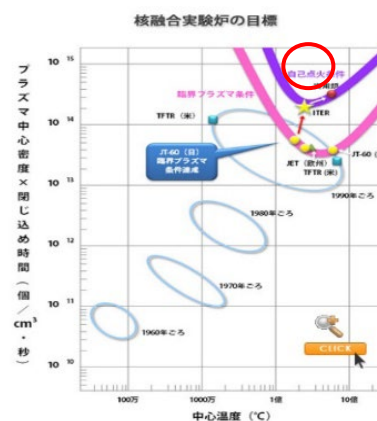


第6図 冷却材流量喪失実験結果

(5) 核融合炉

核融合反応により持続的にエネルギーを取り出し、発電に利用出来るとすればトカマク型であるとされ、長年の国際協力で進められている熱核融合実験装置 ITER は建設途上にある。ITER により、達成、実証すべき課題等は多々ある。

- ・自己点火条件の達成 (第7図)
- ・長時間燃焼 (~1000 秒) の実証
- ・大型・高磁界の超伝導コイル、遠隔保守技術とその適用が可能な炉構造機器の実証
- ・プラズマ対向機器実証
- ・電流駆動装置加熱・実証
- ・トリチウムの安全管理・回収
- ・エネルギー取り出し方法の確立



第7図 自己点火条件の達成

3. 次世代革新炉開発のポートフォリオ

革新炉の開発においては、斬新かつ実用化に直結するアイデア、コンセプトは歓迎されるべきであるが、新型炉の開発は、一般的には、実験炉 (試験炉) の建設・運転を通じて、その炉型の実現性・有用性を見極め、原型炉で発電等に利用する上での安全性・信頼性を確認する。その上で実証炉により実用化に向けた経済性を見通しを得て実用化へと進む。

革新炉 (大型) は世界的にも建設・運転が進んでいる既存軽水炉技術の延長線上にあり、最も成熟度が高い。小型軽水炉も軽水炉の延長線上にあるが、経済性も含め初号機建設について不確実性がある。ナトリウム冷却高速炉は、我が国では、酸化物燃料、ループ型の経験はあるが、金属燃料、タンク型は未経験であり、研究開発が必要である。高温ガス炉は、世界最先端の HTTR の経験があり、水素製造の実績を積み、実証炉に挑戦する段階である。核融合炉は、ITER において 2035 年に核融合運転開始を予定されているが、掲げている目標がどの程度達成されるか結果が待たれる。

	2020	2030	2040	2050
革新軽水炉 (商用初号機)	基本設計	詳細設計	製造・建設	運転
小型革新炉 (実証炉)	概念設計	基本設計	詳細設計	製造・建設
高速炉 (実証炉)	概念設計	基本設計	詳細設計	建設・試験
高温ガス炉 (実証炉)	基本設計	詳細設計	製作・建設	運転
核融合炉 (原型炉)	概念設計	工学設計	原型炉移行判断 建設?	

第8図 革新炉の建設・運転ロードマップ (原子力小委員会資料中、「導入に向けた技術ロードマップ」より、炉の建設・運転に係る項のみ抽出)

シニアネットワーク連絡会セッション

次世代革新炉について語ろう

—原子力の社会的受容性を改善するゲームチェンジャになるには—

Let's talk about next-generation innovative reactors

How to be a game changer to improve the social acceptance of nuclear power

(2) 次世代革新炉の意義とその役割について

(2) The mission and it's role of next-generation innovative reactors

針山日出夫

シニアネットワーク連絡会

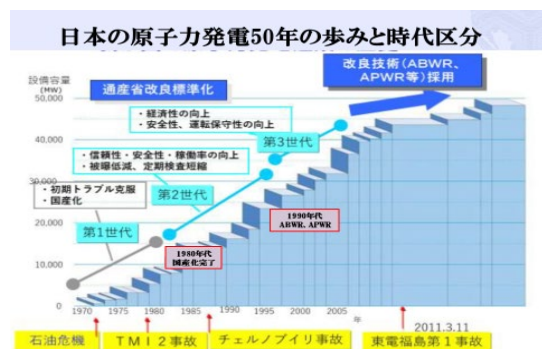
1. はじめに

次世代革新炉は古くて新しい話題である。2022年2月のロシアによるウクライナ侵攻により世界はエネルギー危機と直面し資源高騰と格闘しつつ脱炭素への挑戦を続けている。資源ナショナリズムが先鋭化し国内では電力逼迫に苦慮しつつある中、昨年夏の我が国の原子力政策の大転換宣言によって次世代革新炉は一躍世間の注目を集め、メディアや産業界だけでなく学協会や学生達も熱い視線を注ぐようになってきた。世界では30カ国・5国際機関で約30以上の所謂革新的原子炉モデルが開発中であるが(1)、我が国では開発目標仕様・開発期間・予算化規模・開発に係る人的資源の確保・国際協調プログラムの成り行き・社会への実展開時期・建設資金調達などは今後の検討課題である。

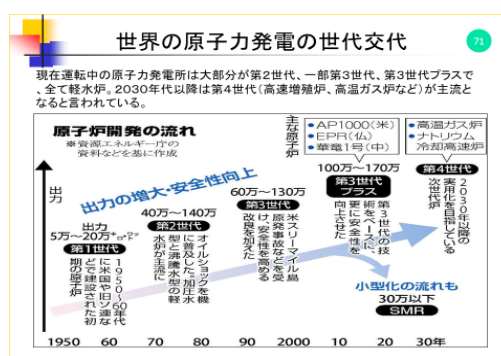
次世代革新炉の開発が政府の目論見通りに進むかどうか楽観は許されないだろうが、ここでは世界での開発動向を俯瞰しつつ我が国のエネルギー安全保障の観点から当面期待が大きい大型革新軽水炉に着目してその開発の意義と役割について検討する。

2. 発電用軽水炉の進化と世代交代

次世代革新炉について語るには内外における原子力発電の進化の歴史と世代交代の様相を俯瞰することが肝要である。付図1,2から、原発は初期故障問題を克服しつつ信頼性・運転性・安全性・経済性を改善してきたことが分かる。世界はまさに次世代革新炉への世代交代の時期が到来しているといえる。



付図1. 日本の原子力発電の歩み



付図2. 世界の原子力発電の世代交代

Hideo Hariyama

Senior Network (SNW)

3. 次世代革新炉の開発理念と開発目標

世界は TMI 事故やチェルノブイル事故や東電福島第一事故など厳しい原子炉事故を経験するたびに革新炉開発へのアクセルを踏んできた。開発戦略は国情の違いにより異なるが世界で共通している開発目論見は以下のポイントで整理できる（順不同）（1）。

- ① より高度な安全性の確立と安定供給性（事故時安全性：日本では最大の要件）
- ② より良好な経済性の獲得（国家の支援による初期投資負担の軽減、資金回収性の改善）
- ③ 立地・運用の柔軟性の確保（変動再エネを補完できる出力制御性、水素・熱利用の拡大、立地多様性）
- ④ 資源循環性（ゼロエミッション電源の核燃料サイクル確立、高レベル放射性廃棄物の再資源化）
- ⑤ 核拡散抵抗性の付与

以上の詳細については企画セッションで議論を深めたいと願う。

4. 次世代革新炉の開発と建設の意義と役割

原子力政策の大転換では既設炉の最大限活用・運転期間延長・次世代革新炉の開発と建設・バックエンド対策の推進がパッケージで提唱された。次世代革新炉の開発・建設は我が国の原子力政策の円滑な推進の上で極めて重要であり歴史的転換点といえる。その意義と役割は以下の観点から模索することができる。

- ① エネルギー安全保障
資源小国の我が国で、安定供給性が高い自主技術による原子力発電を長期に亙り主要電源と位置付ける事はエネルギー安全保障の強化の観点から大前進である。又、新しい安全メカニズムを備えた革新炉は原子力に対する社会的受容性を改善することが期待できる。
- ② 原子力政策の漂流にピリオド
東電福島第一原発事故以来政府は原子力とは正面から向き合うことがなくエネルギー政策は漂流してきたといえる。10 年余にわたる漂流のつけは重く、この間産業界は沈滞しサプライチェーンは弱体化を余儀なくされた。ここにきての政策大転換は原子力政策の不確実性解消への第一歩であり、政策予見性確保への期待は大きい。
- ③ 将来世代の針路形成環境
各種革新炉の研究・開発・人材育成への新たなモーメントが形成される契機となり、意欲溢れる若者が一生の仕事として集まってくれる環境が形成されていく期待が膨らむ。

以上の詳細についても企画セッションで議論を深めたいと願う。

5. まとめ

次世代革新炉の開発は号令が発されただけでありこれから実務が展開されていくことになる。多くの課題が待ち構えていると思われるが国は強力な司令塔機能を発揮してこの壮大なプログラムが整然と展開されていくことを期待したい。大型革新軽水炉については既存の実証済み技術を最大限で活用しつつ新規設計概念を固めて纏めていくことになるとと思われる。然し、建設に至るまでには産業界の立て直し・サプライチェーンの整備・規制リスクの払拭のための安全規制業務の改革の断行・バックエンド問題の前進など基盤的政策を推進することも肝要であると思われる。

以上

参考文献：

- （1）「革新的原子炉の研究開発動向に関する調査報告書」 日本原子力研究開発機構、平成 30 年 2 月

シニアネットワーク連絡会セッション

次世代革新炉について語ろう

—原子力の社会的受容性を改善するゲームチェンジャになるには—

Let's talk about next-generation innovative reactors

How to be a game changer to improve the social acceptance of nuclear power

(3) 革新炉開発がいざなう次世代の原子力技術者

(3) Innovative Reactor Development Inviting Next-Generation Nuclear Engineers

* 高木直行

東京都市大学

1. はじめに

次世代革新炉とはどのような機能・特性を有する原子炉か。これまでの、いわゆる第三世代までの原子炉とは何が異なるのか。将来の原子力システムが満たす要件については、これまでも多く議論が重ねられてきたが、本企画セッションの趣旨に照らせば、それは原子力の社会受容性をも改善する、魅力的な炉概念となることへの期待が伺える。国民に浸透している「原子力＝危険、廃棄物問題、核拡散」といったイメージを革新炉が払拭し得るのか、そうするには何が必要かについて、時代を担う世代の視点を踏まえて考えてみたい。

2. これからの原子力に求められる要件

2022年に実施された原子力小委員会革新炉WGやGX会議での議論を経て、政府は「可能な限り依存を低減する」としていた原子力政策を「安全を大前提とした原子力発電の最大限活用」へと転換させた。提示されたロードマップに則り、各原子炉メーカーは2030年半ばの建設・運開を目指して、革新軽水炉の開発を加速させ始めている。過去の軽水炉開発・建設実績を活かし、新たな工夫を凝らして基本設計が進められているが、各社間で共通する安全設計思想として、a) 安全設備の多重性強化、b) 共通要因故障を排除するための多様性強化、c) 多重化／多様化した系統間の独立性強化、d) 高い信頼性確保のための静的安全系の導入、e) 静的安全系と即効性ある動的安全系の調和化、f) 耐震性の強化、g) 自然災害、航空機衝突、テロへの耐性強化、h) 溶融炉心を捕捉・冷却するコアキャッチャー導入、i) 放射性物質放出防止設備導入による被ばく低減、j) 公衆の緊急避難／長期移住の不要化、などが挙げられる。

これらが、福島原発事故の教訓を踏まえ近い将来に建設される原子炉が新たに（もしくは強化して）備える要件、即ち革新軽水炉の魅力と言えよう。ではさらに未来の原子力に対して求められる要件・機能とはどういったものだろうか。議論のたたき台としてその例を図1に示した。

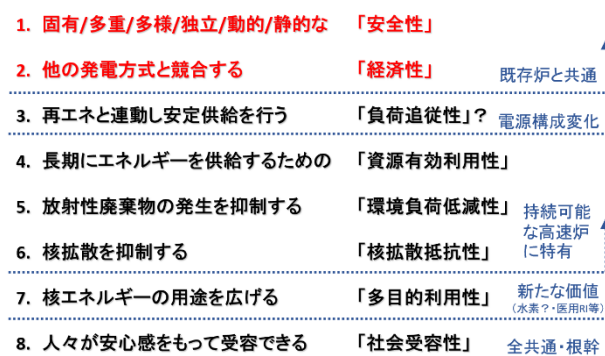


図1 これからの原子力に求められる8要件(例)

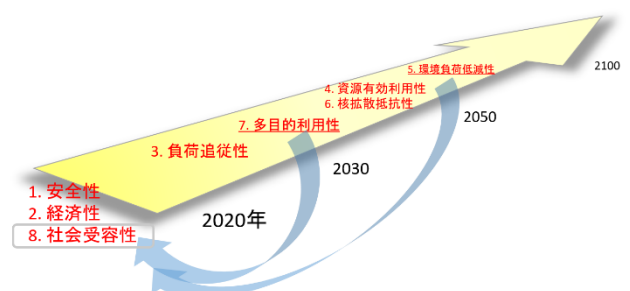


図2 8要件の時系列的展開と社会受容性との相関

「1 安全性」と「2 経済性」は既存炉との共通要件であるが、「1 安全性」については上述の通り、革新軽水炉の段階で質的な発展があり、また絶えず追求されるべき要件である。「3 負荷追従性」は再生可能エネルギーのシェアが増大する昨今重要度を増した要件だが、資本費比率の大きな原子炉で出力調整する（すなわち稼働率を低下させる）ことが本当に得策かについて精査が必要である。余剰中性子に余裕のある高速炉に移行すれば、閉サイクルとの組み合わせで「4 資源有効利用」と「5 環境負荷低減」が達成可能となる。この4こそが、原子力+閉サイクルに期待される本来の機能であり、5との同時達成で、原子力は燃料と廃棄物に責任を持つエネルギー源となり得る。同時に一方で、ブランケットで高純度 Pu が生成されることとなるため、「6 核拡散抵抗性」の重要度が軽水炉サイクルに比べて高まる。また、これまでの商業炉はその用途が「発電」に特化されてきたが、水素製造、プロセスヒート、医療・工業用 RI 生成等にも活用が可能であり、「7 多目的利用性」が今後の原子力の新たな価値・魅力として期待される。

ウクライナ危機や昨今の電力不足により、エネルギーセキュリティに対する社会認識にやや変化は見られるものの、依然として原子力に慎重な論調は根強い。太陽光や風力の再生可能エネルギーで二酸化炭素を排出せず持続可能な電源構成は可能であり、原子力は不要とする政党もある。すなわち、「8 社会受容性」は、原子力を利用する上での前提であるはずだが、その獲得に成功してきたとは言い難い。正論での原子力 PA はこれまでも尽くされてきたが、説得すればするほど逆の効果をもたらす心理的な効果（ブーメラン効果）すら働いている。福島事故以降はなお顕著である。当面は言葉よりも実践によって、原子力の安全や価値を社会へ示し信頼を獲得していく他ないのではないだろうか。図2は、上で述べた8つの要件が満たされるべき時期を時系列的に、相互の関係性ととも示している。原子力は、非化石エネルギー源としての発電のみならず、生み出した長半減期の放射性核種の燃焼により半減期を短縮できることや、水素製造や医療/宇宙用 RI 生成等、多様な産業や医学にも役立つことを、安全確保の上に実践を積み上げ示すことが、社会受容に質的な変化をもたらす信頼回復へつながると期待したい。

3. 前向きかつ予見性ある分野を志向する若い世代

今後数多く進められる原子炉の廃止措置、1F サイトの事故収束に向けた取り組みやバックエンド事業には、多くの革新技术や人材が必要であり、多額の投資が行われることにも違いないが、例えば大学を受験する前の高校生に、それらの重要性や必要性を説き、原子力への理解を得たり、ましてやこの分野の途へ導くことは、残念ながらたやすいことではない。1F 事故以降、国が「可能な限り依存度低減」としていた原子力政策下においての、原子力学科を持つ（数少ない）大学の昨今の入試・募集状況や、東京都市大学が2019年度から導入した「原子力人材入試」の実態がそれを物語っている。またこの傾向には保護者（すなわち社会一般）の考えも無関係でないことを肌で感じている。手塩にかけた我が子が、国が収束させると謳う分野に進むことを快く思う親はいない。

どの時代のどの分野でも、若い世代が「前向きな何か」に魅力を感じ、自分もそれに貢献したいと考えることは自然であろう。ある大学生就職意識調査¹⁾によると、経済状況の悪化や大きな災害等が起こった際には「楽しく働きたい」、「自分のやりたい仕事（職種）ができる」、「給料のよい」といった項目のポイントが減少し、「人のためになる仕事をしたい」、「安定している」が増加する傾向となることが報告されている。現代において、優秀で活気ある人材が競って押し寄せる魅力的な分野とは、前向きであることに加え、何かに裏付けられた予見性が重視されているように思われる。

炭酸ガスを排出せず、考え得るあらゆる自然災害やテロに強く、万一の事故時にもその影響を敷地境界に留め市民の健康や生活への影響を最小化する革新軽水炉や、海外への資源依存度を低減し持続可能なエネルギー生産や廃棄物の寿命短縮可能な高速炉、さらにはプロセスヒートや核医学にも貢献する原子炉を国の方針として実現していくとなれば、原子力は若い世代に十分魅力的な分野となるのではないだろうか。革新炉開発が次世代の原子力技術者をいざなうことを切に願う。

参考文献 1) マイナビ キャリアリサーチ LAB「2022 年卒大学生就職意識調査」

*Naoyuki Takaki, Tokyo City University

シニアネットワーク連絡会セッション

次世代革新炉について語ろう

—原子力の社会的受容性を改善するゲームチェンジャになるには—

Let's talk about next-generation innovative reactors

How to be a game changer to improve the social acceptance of nuclear power

(4) 学生視点からの革新炉政策

(4) Innovative Reactor Policies From A Student's Perspective

*篠原 知篤¹¹ 東京都市大学

1. はじめに

日本政府は2013年度比で2030年までに温室効果ガスの46%削減、さらに2050年までのカーボンニュートラルを目標に掲げておりエネルギー分野においても温室効果ガス削減は急務と言える。脱炭素化に有力な発電方法として再生可能エネルギーと並び、原子力が挙げられている。福島第一原子力発電所の事故以降、新規規制基準に対応した発電所は順次再稼働が進められようとしている。さらに、経済産業省の原子力小委員会において革新炉ワーキンググループが発足し、革新炉についても益々の注目が集まっている。

既存の炉と区別して、革新炉に求められているのは次のものである。第一に福島第一原子力発電所の事故を教訓としたさらなる安全性向上であり、これらは特に革新軽水炉へ適応され既存炉に置き換わることが期待されている。次に準国産エネルギーによるエネルギー自給率向上を目的とした燃料増殖炉および核燃料サイクルの確立が求められる。この核燃料サイクルの実現に向け、高速実験炉「常陽」、高速増殖原型炉「もんじゅ」が建設され、動力炉・核燃料開発事業団から現在の日本原子力開発機構に渡って研究が行われてきた。さらに、実証炉建設に向け三菱重工業が中核企業に選定され、高速炉の開発を専門とする三菱FBRシステムズが発足し、開発が続けられている。2022年1月には米国のテラパワー、エネルギー省と日本の原子力機構の協力に向けた覚書が交わされ、現在もなお意欲的に高速炉の研究開発が行われている。

このようにNa冷却高速炉は長い研究の歴史がある。その歴史の中で福島第一原子力発電所の事故を経験し、安全性への意識がより一層高まっている。Na冷却高速炉の安全性に対して、慎重な視点から今一度再検討を行いたい。大型のNa冷却高速炉は冷却材がボイド化した場合や、万一の炉心溶融に伴い燃料が集合した場合（コンパクション時）に正の反応度が入る傾向を有する。このような場合にも正の反応度投入がない高速増殖炉概念の成立可能性について検討を行った。

2. 再臨界を生じない増殖炉の追求

Na冷却高速増殖炉と軽水炉、低減速軽水増殖炉における冷却材体積/燃料体積と実効増倍率の相関を比較した。結果を図1に示す。

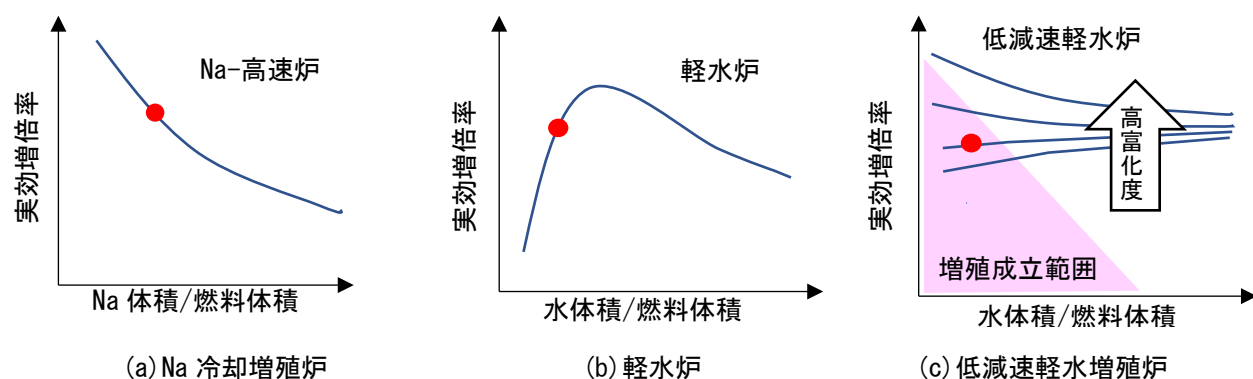


図1 減速材体積割合と実効増倍率の相関

Na 冷却高速炉では冷却材の割合が減少した際に実効増倍率が増加している。すなわち、冷却材温度が上昇し、沸騰により冷却材体積が減少した場合の反応度(ボイド反応度)が正になる傾向がある。「反応度が正」とは通常運転時と比較して実効増倍率が増加し、核分裂反応が促進されることである。また、冷却材の沸騰が続き、炉心が溶融して燃料が集積(冷却材体積が減少)した際の反応度(コンパクション反応度)も正になる傾向がある。現在主流の軽水炉では反対に冷却材割合が減少すると実効増倍率が減少し、ボイド反応度、コンパクション反応度は負になる。しかし、軽水炉では燃料増殖を達成できない。同じ軽水冷却であっても低減速軽水増殖炉であれば増殖可能である。この炉型では冷却材の割合減少時、Pu 富化度が小さいと実効増倍率が減少し、ボイド反応度、コンパクション反応度を負にできる領域が存在する。

3. まとめ

常陽やもんじゅによって永らく開発が行われてきた Na 冷却増殖炉だが、福島第一原子力発電所の事故を経験し、安全性への意識が高まっていることもあり慎重な視点から安全性の考察を行った。Na 冷却増殖炉はボイド反応度、コンパクション反応度が正になる傾向があるが、これらは設計次第で低減することも可能である。これまでも炉心扁平化による Na ボイド反応低減や FADUS 導入による再臨界回避などの研究が行われている。しかし、ボイド反応度、コンパクション反応度が負になる傾向がある水冷却増殖炉も革新炉の候補の一つに追加し、研究を促進することは意義深いと提案する。

*Tomoatsu Shinohara¹

¹Tokyo City Univ.

シニアネットワーク連絡会セッション

次世代革新炉について語ろう

—原子力の社会的受容性を改善するゲームチェンジャーになるには—

Let's talk about next-generation innovative reactors

How to be a game changer to improve the social acceptance of nuclear power

(5) パネル討論：次世代革新炉に期待すること

(5) Panel discussion on expectations for next-generation innovative reactors

* 針山日出夫¹ 斎藤伸三¹ 高木直行² 篠原知篤² 堀越 蓮³ 田丸友也²¹シニアネットワーク連絡会 ²東京都市大学 ³東京工業大学

1. はじめに

シニアネットワーク（SNW）の学生との対話会活動において、最近では脱炭素やエネルギー危機への関心が圧倒的に高く対話テーマの主役になってきている。又、昨年（2022年）夏以降では革新炉についての講演希望も増えてきている。この傾向は、脱炭素・エネルギー危機や革新炉が社会変革の契機であると同時に自分の針路選択に関連が出てくるであろうとの認識が広まっているからと推察される。同時に、SNWにとっても原子力の理解促進を加速する絶好の機会でもあり、社会や若い世代に向かって発信を強める局面と捉えているところである。

以上のような背景から、この企画セッションでは次世代革新炉の開発や社会への実装について若い世代がどのように受け止めているか、どのような希望や期待を寄せているかなどに就いて大いに発言してもらうことを主眼にパネル討論を実施し学生世代の意識を浮き彫りにしたうえで今後のSNWの活動に反映させたいと考える。

2. パネル討論

パネル討論においては、学生世代の若者がエネルギー問題や次世代革新炉に対してどういう認識をしているか、どういう行動を取ろうとしているかについて幅広く発言してもらうために以下の観点からパネル討論を進める。

- 1) エネルギー環境政策への関心全般
- 2) 原子力技術の価値、原発の生産性・実力、原発のリスクについての認識
- 3) 次世代革新炉の意義や開発の進め方について思っている事
- 4) 次世代革新炉についての具体的関心点や期待する事
- 5) 次世代革新炉の開発や設計に関して政府や産業界への要望
- 6) 次世代革新炉の開発や研究に関して大学への希望
- 7) 次世代革新炉の開発が成功するためのキーファクターは何か？どのようなことが必要か？
- 8) 次世代革新炉は本当にゲームチェンジャーになり得るか
- 9) その他（次世代炉について言いたいこと・知りたいこと・議論したいこと 等）

パネル討論ではできるだけ多様な意見を引き出し相互理解に注力したい。一定の方向性や集約化ができそうなものについては纏めたいと考えるが何らかの結論を導き出すものではない。

3. まとめ

我が国の原子力政策の大転換宣言によって次世代革新炉は一躍世間の注目を集め、メディアや産業界だけでなく学協会や学生達も熱い視線を注ぐようになってきた。次世代革新炉は多様なモデルが開発中であり開

発目標仕様と開発要素・開発期間・予算化規模・開発に係る人的資源の確保・国際協調プログラムの成り行き・社会への実展開時期など不確定性に溢れている。今後、政府の目論見通りに開発が進むかどうか楽観は許されないだろう。

次世代革新炉への熱い期待が淡い夢とならないよう我々は今後の展開を注意深く注視しつつ、若い世代がその才能と熱意を注ぎたくなるような対象となるように今後もより一層強く発信を進めていきたいと願う。

*Hideo Hariyama¹, Shinzo Saito¹, Naoyuki Takaki², Tomoatsu Shinohara², Ren Horikoshi³ and Tomoya Tamaru²

¹Senior Network (SNW), ²Tokyo City University, ³Tokyo Institute of Technology

Planning Lecture | Joint Session | Research Committee on Social Science Issues related to Nuclear Power, Social and Environmental Devision

[1F_PL] Social Issues of Nuclear Utilization and the Perspective of "Convergence of Knowledge"

Case of "Harmful Rumor" Problem

Chair:Shoji Tsuchida(Kansai Univ.)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room F (12 Bildg.3F 1232)

[1F_PL01] Objectives and Activities of the Special Committee

*Tsutomu Sata¹ (1. JAEA)

[1F_PL02] Progress Report of the Special Committee

*Kohta Juraku¹ (1. TDU)

[1F_PL03] Mechanism of Reputational Damage Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.

*Naoya Sekiya¹ (1. Utokyo)

[1F_PL04] General Discussion

「原子力に関わる人文・社会科学的総合知問題」研究専門委員会・
社会・環境部会部会合同セッション

「総合知」の視点と原子力利用の諸課題—「風評」問題をめぐって
Social Issues of Nuclear Utilization and the Perspective of "Convergence of Knowledge" -
Case of "Harmful Rumor" Problem

(1) 委員会設立の狙いと活動の経過報告

(1) Objectives and Activities of the Special Committee

佐田 務¹

¹JAEA

1. 設立趣旨

原子力をめぐる様々な課題への対処はこれまで、主に工学など自然科学的な視点が優勢である枠組みからの分析や対応が行われることが多かった。しかしながら原子力を取り巻く近年の課題は、政策や法制度、倫理、社会受容などのより俯瞰的な視野で物事を捉える必要があり、人文・社会科学的な視点が優勢な分析や対応が求められているものがある。学会としても、第6期科学技術・イノベーション基本計画に示されるように、自然科学のみならず、人文・社会科学も含めた「総合知」を活用できる仕組みを構築しなければならない。

このため本委員会では、人文・社会科学的な知見（例えば、人々のリスク認知やわが国の文化や歴史的背景、市場経済や政治と行政の構造など）といった側面からの分析をふまえた対応策を検討し報告書としてとりまとめる。本委員会での当初のテーマは、トリチウム処理水の海洋放出をめぐる「風評」とし、検討状況の進展や社会的な状況の変化を踏まえた上で、さらに別のテーマについても順次、手掛けていく。

2. 委員構成

主査 土田昭司（関西大）、幹事 寿楽浩太（東京電機大）、佐田 務（JAEA）

委員 稲村智昌（電中研）、木藤啓子（原産）、桑垣玲子（電中研）、小林容子（JST）、高木利恵子（エネルギー企画広報舎）、高嶋隆太（東京理科大）、竹田宜人（北海道大）、布目礼子（原環セ）、廣瀬大輔（電事連） 諸葛宗男（パブリック・アウトリーチ）、山本隆一（元 JAEA）

3. 経緯

本委員会はこれまで、下記のテーマなどの検討を進めてきた。

第1回 2022年4月18日

本委員会での当面の検討課題の検討と、処理水や風評に関する各委員の所感と情報共有

第2回 2022年6月26日

春年会での社会・環境部会企画セッション「『風評』と『風評被害を再考する』」の報告とその振り返り

第3回 2022年7月22日

関谷直也氏著「風評被害：そのメカニズムを考える」の購読と質疑

第4回 2022年11月4日

2023年春の年会における企画セッションの提案内容

第5回 2022年11月30日

福島大の小山教授による講演「処理水問題における風評被害をどのように解釈すべきか」と質疑

*Tutomu SATA¹

¹JAEA

「原子力に関わる人文・社会科学的総合知問題」研究専門委員会・
社会・環境部会部会合同セッション

「総合知」の視点と原子力利用の諸課題—「風評」問題をめぐって
Social Issues of Nuclear Utilization and the Perspective of "Convergence of Knowledge" -
Case of "Harmful Rumor" Problem

(2) 「風評」問題に関する検討状況の報告

(2) Progress Report of the Special Committee

寿楽 浩太¹

¹TDU

1. 委員会の検討状況

本委員会は、「総合知」の趣旨に鑑みて、大学や関係機関等に所属する、多様な来歴や専門性を持つ委員が社会・環境部会から選出されて構成されている。そこで、まずは各委員の問題意識の共有がなされた。

その結果、有識者や現場から知見や経験のインプットを得る必要性、他分野の経験から学ぶこと有用性、農水行政にも視野を広げることの重要性などが認識された。

そこで、社会・環境部会が2022春の年会で実施した企画セッション『風評』と『風評被害』を再考するからの報告・振り返り（第2回委員会）、本セッションでの講演をお願いした関谷直也東京大准教授の著書『風評被害：そのメカニズムを考える』（光文社新書、2011）の講読（第2・3回委員会）、福島県内で「風評」問題に関する研究と実践関わってきた小山良太福島大学教授の講演（第5回委員会）を行い、関連する知見の集約・整理・共有に努めた。

2. これまでに出された論点

これまでの検討では、「日本固有の『風評』概念そのものがはらむ問題性」が深く認識されている。関谷氏の著書でも指摘されている通り、「風評被害」という概念はもともと、日本の原子力分野で特有にあらわれ、それが国内他分野での類似問題にも適用され、社会通念化してきたものである。よく指摘されるように、英語には「風評被害」に直接対応する定着した用語はなく、単に *reputation damage*（評判に係る損害）として認識されるのが通常であり、広い分野や場面で一般的に生じる問題と捉えられる傾向がある。問題に対する社会の反応についても、リスク研究や社会心理学においては、*social amplification of risk*（リスクの社会的増幅）、社会学では集合行動現象の一種といったように、より一般性のある現象として研究対象とされている。

もちろん、原子力利用に関して日本で言うところの「風評被害」に類似する現象が生じることは見受けられるが、それを「風評被害」とくくってしまうと、特定の主体の無理解、無知によって生じる、本来は起こるべきではない被害として定式化される。そうすると、例えば「消費者」といった特定の主体に問題を帰責し、規範的にその問題性を難詰することになったり、あるいは無理解や無知の解消を目的とした啓発や教育ばかりが対処策として浮上したりする。

小山氏の講演においても、こうした見取り図がかえって関係地域の問題の実情に照らして有効な解決策を遠ざけ、損害を受けている問題当事者の救済を妨げている可能性が指摘された。

このように、「風評」概念を軸とする問題の捉え方が「政策的選択肢を狭めていること」や「対立構図をつくらざるを得ない含意を持つこと」、そしてその結果として「有効な手当ての実施を困難にし、被害の救済を遅らせていること」が認識された。

*Kohta JURAKU¹

¹TDU

「原子力に関わる人文・社会科学的総合知問題」研究専門委員会・
社会・環境部会部会合同セッション

「総合知」の視点と原子力利用の諸課題—「風評」問題をめぐって
Social Issues of Nuclear Utilization and the Perspective of "Convergence of Knowledge" -
Case of "Harmful Rumor" Problem

(3) 風評被害のメカニズム：

東京電力福島第一原子力発電所事故後のリスクの社会的増幅

(3) Mechanism of Reputational Damage

: Social Amplification of Risk after the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.

* 関谷直也^{1 2}

¹ 東京大学大学院情報学環境総合防災情報研究センター, ² 東日本大震災・原子力災害伝承館

1. 風評被害とは

一般に風評被害とは、「ある事件・事故・環境汚染・災害が大々的に報道され、本来『安全』とされる食品・商品・土地を人々が危険視し、消費や観光をやめることによって引き起こされる経済的被害」を指す（関谷，2003；関谷，2011）。

事故当初の段階では、公的には政府が定めた基準以下ならば安全であるとして、この基準以下で人々が商品を買わないことによって生じる経済被害を「いわゆる風評被害」といつてきた（原子力損害賠償の指針では、これは「いわゆる風評被害」と称されている）。風評被害が問題になる時点で「安全」であるということは大前提であり、農業者・漁業者また流通業者も、ある程度、そのことは了解している。ただ、全ての消費者やその動向を踏まえ事業を行う流通関係者に理解してもらうことは難しいので、経済的被害は継続する。農産物、水産物などにおいて安全面で問題がなくともイメージが少しでも悪くなったものは、消費者の選択肢から外され、商品価値が下がる。それが継続すると流通のルートから外されていく。

ただし、ある程度、時間が経過する中で、空間線量の測定、土壌の測定、農作物などの放射性物質のモニタリング、福島県内では米の全量全袋検査が行われ、また、品種による吸収率の差も明らかになり、様々な吸収抑制対策などの結果として安全性が担保されるようになってきた。検査体制が確立し、検査結果についての情報が提供されるようになった。農産物そのものへの忌避感も和らいでいった。それでも、事故後の長期間の流通の停滞もあり流通はなかなか回復しない。その結果、安全である農作物の出荷額全体が回復しない。これがある程度時間が経過した後の風評被害である。

キノコや山菜などの林産物や野生の動植物以外の圃場で栽培される福島県産農産物から基準値、それどころか検出限界値以上の放射性物質が検出されることはほぼなくなった。海産物も同様で出荷制限対象魚種も2020年2月でなくなった。これらの帰結として、福島県産食品への不安感は低下してきている。ただし市場において米や牛肉などの、市場順位は回復しないなど、この風評被害の問題は以前、課題として残っている。

実態面としてみれば、災禍における不安をもとにする事象「風評」や「直後の不安感」も、それらを忘れていく「風化」も、人間の心理としては「合理的」な反応である。だが、極端な心理的反応を数年、十数年継続する人はごく一部である。そしてある程度たてばそのリスクに応じて不安感も風化し、対策も緩くなっていく。

2. 風評被害をめぐる問題

「風評被害」というこの言葉にはさまざまな意味が込められている。風評被害はそもそも、学術的な用語ではなく、マスコミ用語として、原子力関連に関する問題からうまれてきたものである。現在にいたっても風評被害は、議論が整理されないまま、それらへの対策が考えられ、議論が発散することが多い。

言葉の問題に限っても、放射能の汚染を強調する側は、「風評被害」ではなく「実害」と呼ぶべきだといい、

「除染」とは呼ばず「移染」と呼ぶべきだといい、「自主避難」という言葉ではなく「区域外避難」という言葉を推奨する。一方、現在の「安全」を強調する側は汚染水処理に関して、ALPS を通す前の「汚染された水（Contaminated Water）」の呼称は使うべきでなく、ALPS を通した後の「処理水」という呼称を使うべきとし、8000Bq/kg 以下の除去土壌の活用を「再生利用」とよぶ。最近では、これらを批判するものを「風評加害」と呼ぶ。

だが言い方を変えても、事故で飛散した物質、自然減衰していく放射線量、東京電力福島第一原子力発電所に保管されている水、処理された水に含まれる物質などが変化する訳ではないし、人の心理がドラスティックに変化する訳でもない。物理的事象や社会的事象をどう名づけて言い換えようと、物理的な放射線量や社会問題の本質は変わらない。心理もそう簡単に操作できない。

人の感情的な心理や放射性物質を忌避する人々に寄り添え、と言いたいのではない。それも変えることのできない現実であるということに向かい合わなければ、この問題を乗り越えられないというだけのことである。物理現象だけが真理なのではない。人間とは感情に左右される生き物であり、人の考え方や心理^{ことわり}によって社会が動くというのも、太古の昔から変わらない真理である。「心理」も、「物理」とは別の「理」なのである。

福島での廃炉、他立地地域での原子力防災、帰還、(次の事故・災害での)避難、消費行動という人々の接点を考える以上は、「物理」だけではなく、これら「心理」と向き合わなければならない。社会に受け入れられる技術を考えるというのはそういうことではないだろうか。

3. 風評被害の言葉と実態

風評に戻っていうならば、重要なことは「うわさ」や「得たいのしれないもの」「定義がよくわからない」ということではなく、東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性物質の拡散に伴う、原子力災害、放射線災害の一端であるという認識をきちんと持つことである。どうあるべきか、何をすべきかよりも先に、この風評被害をめぐる心理や社会の実態のポイントを理解することが、この解決策を考えるためのスタート地点なのである。

参考文献

- 関谷直也, 2003, 「風評被害」の社会心理--「風評被害」の実態とそのメカニズム, 災害情報 1, 78-89 ページ。
- 関谷直也, 2011, 風評被害 そのメカニズムを考える, 光文社
- 関谷直也, 2016a, 東京電力福島第一原子力発電所事故後の放射性物質汚染に関する消費者心理の調査研究—福島における農業の再生, 風評被害払拭のための要因分析—, 地域安全学会論文集 29, 143-153 ページ。
- 関谷直也, 2016b, 風評被害の構造 5 年目の対策, 小山良太・田中夏子(監修)『原発災害下での暮らしと仕事—生活・生業の取り戻しの課題』筑波書房, 150-164 ページ。
- 関谷直也, 2019, 東京電力福島第一原子力発電所事故後の水産業と汚染水に関する現状の課題 [online] https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits/24/7/24_7_32/_pdf/-char/ja
- 関谷直也, 2020, 東日本大震災 10 年の海外からの風評被害—近隣諸国の輸入規制の問題を中心に, Isotope News No.773, 日本アイソトープ協会
- 関谷直也, 2021, 風評被害の実態と対策, 秋光信佳・溝口勝編, 『福島復興知学講義』, 東京大学出版会
- 関谷直也, 2021, 放射線災害のリスク・コミュニケーション, 一般財団法人アジア・パシフィック・イニシアティブ(API) 編, 『福島原発事故 10 年検証委員会民間事故調最終報告書』, ディスカヴァー・トゥエンティワン
- Naoya Sekiya, 2021, Reputational Damage in Radiation Disasters 10 years after the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant., Annals of the ICRP Vol 50, Issue 1_suppl, <https://doi.org/10.1177/01466453211020846>

*Sekiya Naoya^{1 2}

¹The Center for Integrated Disaster Information Research, The Interfaculty Initiative in Information, the University of Tokyo.

²Research Division, The Great East Japan Earthquake and Nuclear Disaster Memorial Museum.

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room F)

[1F_PL04] General Discussion

福島第一原子力発電所の処理水海洋放出については、「風評（被害）」問題が焦点化してきた。しかし、社会科学の諸研究は、「風評（被害）」という問題の見方そのものの限界や不都合を示している。政府の科学技術・イノベーション基本計画も、社会課題の解決のために分野をまたいだ「総合知」を活用することを掲げている。本学会では社会・環境部会が中心となり、「原子力に関わる人文・社会科学的総合知問題」研究専門委員会を2022年4月に設置して、「風評（被害）」問題に関する学際的な検討を開始した。本セッションでは、社会心理学者の関谷直也東大准教授の講演を交えて、これまでの検討状況と今後の検討の方向性を議論する。

Planning Lecture | Board and Committee | Diversity Promotion Committee[Co-organized by Japan Atomic Energy Commission, WiN-Japan]

[1G_PL] Promotion of Diversity & Inclusion in the Nuclear Energy Sector Revealed by Questionnaire Results-

Efforts to Address Issues

Chair:Ken Kurosaki(Kyoto Univ.)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room G (13 Bldg.1F 1311)

[1G_PL01] Towards Improving the Gender Balance in the Nuclear Energy Sector

*Yukiko Okada¹ (1. JAEC)

[1G_PL02] Discussion with Participants

ダイバーシティ推進委員会セッション

原子力分野におけるダイバーシティ&インクルージョンの推進
～アンケート結果から明らかになった課題への取り組み～
Promotion of Diversity & Inclusion in the Nuclear Energy Sector
-Efforts to Address Issues Revealed by Questionnaire Results-

原子力分野のジェンダーバランスの改善に向けて

Towards Improving the Gender Balance in the Nuclear Energy Sector

*岡田往子¹¹内閣府 原子力委員会

1. はじめに

世界経済フォーラムが毎年発表しているグローバル・ジェンダーギャップ指数(2022 年)において、日本は世界 146 か国中 116 位と低位であり、OECD 加盟国で最低レベルである。アジア諸国(人口 5 0 0 0 万人以上)の国々の中で、フィリピン 19 位、バングラディッシュ 71 位、タイ 79 位、ベトナム 83 位、インドネシア 92 位、韓国 99 位、中国 102 位、ミャンマー 106 位で、日本より低位にあるのはインド 135 位、パキスタン 145 位などごく少数の国に限られている。近年、世界中で様々な性差及びそれらの効果を科学的に議論する研究が盛んにもかかわらず、日本では依然として高度経済成長時期の男性中心の社会構造から脱却できない状態が続いていると思われる。

世界では、2010 年ころから欧州を中心に、研究と科学技術・イノベーションの質の向上を目指すジェンダード・イノベーションの動きが始まり、世界中に展開されるようになった¹⁾。さらに、持続可能な開発目標(SDGs)の広がりに対応して、その目標 5「ジェンダー平等を実現しよう」の達成が求められている。それらを受けて、日本の社会もジェンダー平等に向けて少しずつ動き始めている。

政府では 2021 年に閣議決定された第 6 期科学技術・イノベーション創出に向けて、「研究のダイバーシティの確保やジェンダード・イノベーション創出に向け、指導的立場も含め女性研究者の更なる活躍を進めるとともに、自然科学系の博士後期課程への女性の進学率の低い状況を打破することで、我が国における潜在的な知の担い手を増やしていく」と記されている。

日本原子力学会(2021)女性正会員の比率は 5.3%と低い状態が続いている。しかしながら、女性学生会員の比率は 2007 年の 4.3%から 2021 年の 11.3%と増加傾向にある。今後の原子力分野の女性研究者・技術者の人材育成のために、ジェンダーバランス改善に向けて、今動き出すことが重要である。

本講演では OECD/NEA のアンケート調査報告、学協会男女共同参画連絡会の第 5 回大規模アンケート調査の報告をベースとし、今後のジェンダーバランスの改善に向けた取り組みを話し合いたい。

2. 工学と女性

日本学術会議男女共同参画分科会では 2022 年 11 月に「性差研究に基づく科学技術・イノベーションの推進」と題した見解が発表されている¹⁾。その中でも、注目されるのが工学分野の女性研究者が少ないことへの指摘である。国立大学の専門分野別の教員(助教、講師、准教授、教授)と学士課程の女性比率では、工学分野の女性教員比率 7.0%、学士課程女性比率 15.3%と最も低い。女性比率が低いことで、女性が発言しにくい、例外として扱われるなどの問題を指摘している。日本の科学技術研究において男女共同参画が進まない最大の要因として、工学分野の女性研究者比率が低いことが 2008 年に海外から指摘されている。日本での調査で、それを裏付けるデータとして、工学関連分野における特許の経済的価値を性別分析した結果と考察が 2016 年に発表されている。日本政策投資銀行と三菱総合研究所との共同研究で、過去 25 年間の 1000 社以上の製造業企業から国内出願特許を抽出し、そのうち権利有効な特許約 100 万件(約 400 社)を対象に発明者を名前から男女に分類し、男性だけが発明者の特許と男女が発明者の特許

の経済的価値を算出して分野別に分析した。その結果、男性だけで研究開発したものより、女性が参画することで経済価値が高くなることが示された。これらは、まだ一部の例であるが、性別役割に偏りのある社会においては、埋もれてしまう能力があるのではないかと感じる。工学分野の女性をはじめとした多様な人材の参画の必要性を物語っている。

3. OECD/NEA アンケート調査²⁾

OECD/NEA では、2019 年よりジェンダーバランス・タスクグループを設立して、国際的な STEM (科学、技術・工学・数学) 分野でのジェンダーバランス改善について取り組んでいる。その一環として 2021 年 6 月から 10 月に加盟国でアンケート調査を実施した。アンケート調査は、原子力分野の機関対象とした (定量的アンケート) と個人向けのもの (定性的アンケート) から構成されており、2 月に集計結果が公表されるとのことである。

この要旨では、定量的アンケートの速報データを紹介する。定量的データでは NEA 加盟国の 96 組織/17 カ国から提出された 6 項目のデータシートを分析した。6 項目は女性比率 (STEM/non-STEM, 専門職/事務職、職位)、新規雇用、従業員離職率、人材育成、昇進、賃金で、それぞれ従業員全体に対する女性の割合を算出した。その結果から、原子力業界の女性の占める割合は 17 国平均 24.9% に対して、日本は 15.4% と最下位であった。新規雇用の割合は 17 カ国平均が 28.8% に対し、日本は若干低めの 27.0% であり、ジェンダーバランスの今後の改善が期待できる。離職率では 17 カ国平均が 23.9% に対し日本は 16.4% であり、よい傾向であると判断できる。人材育成関連の女性参加率は 17 カ国の平均が 26.0% であるのに対し、15.5% と低く、女性の人材育成の機会を増やすような環境の改善が必要になる。昇進関連の女性比率は 17 カ国平均が 27.1% に対し、日本は 14.0% と低く、今後男女間格差をなくす人事評価と努力が必要である。賃金では男性に比べ、17 カ国平均が -5.2% に対し、日本は -9.1% と低いことが分かった。賃金に関しては昇格、職種、職位などが改善されなければならない。定量的データでは、原子力分野の STEM/non-STEM, 専門職/事務職が含まれている。原子力分野の STEM 出身の女性の比率は参加国の全体でみると 20.6% で、STEM 出身の上級管理職は 18.3% である。この結果を踏まえ OECD/NEA 加盟国では、STEM の女性たちジェンダーバランス改善に向けて動き出している。アンケート調査の分析結果をもとに、国際的なジェンダーバランス改善に向けて、Attract、Retain、Advance および Data の 4 つのタスクグループを作り、次の段階の取り組みの検討を開始している。さらに、OECD/NEA は加盟国に向けて、ジェンダーバランス改善の国レベルの包括的な戦略やイニシアティブの実践をサポートすることを目的とした取り組みを始めている。日本では OECD/NEA 加盟国の中でも、ジェンダーバランス改善が特に遅れていると思われる。

原子力委員会では、「原子力利用の基本的な考え方」の見直しを行い、原子力利用の基盤となる人材育成の強化の基本目標の中に、「人材育成においては多様性も意識し、若い世代での女性の比率を高めたり、人材の文理融合を強化したりすることで、研究開発機関や原子力関係事業者内に多角的な視点を取り入れ、研究開発・イノベーションに適した環境を醸成し、原子力利用のための基盤強化を推進する。」と書かれている。原子力分野の技術にイノベーションを起こすためにも、早急な取り組みが必要である。

4. 男女共同参画学協会連絡会の第 5 回大規模アンケート調査

男女共同参画学協会連絡会では、第 5 回大規模アンケート調査が 2021 年に行われ、その集計が 2022 年 10 月に公表された。本発表では、筆者が担当した自由記述を例に挙げ、女性研究者を増やすことに関して、どのような意見があるかについてお話をしたい。

【文献】

- 1) 見解 性差研究に基づく科学技術・イノベーションの推進：日本学術会議 科学者委員会 男女共同参画部会、(2022. 11. 10)
- 2) OECD Nuclear Energy Agency (2023, forthcoming), 'Report on Gender Balance in the Nuclear Sector'

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room G)

[1G_PL02] Discussion with Participants

2023年1月、原子力学会内の多様性を高め、多様な人材の視点を活用し、社会の持的発展に向けて、新たな価値創造やイノベーションにつながるための「ダイバーシティ&インクルージョン推進に向けたアクションプラン」が理事会で承認された。

今回の企画セッションでは、岡田往子原子力委員に、「原子力分野のジェンダーバランスの改善に向けて」というタイトルでご講演いただくとともに、ダイバーシティ&インクルージョン推進に関する意識を高めていくために、会場の参加者と意見交換を行う。

Planning Lecture | Board and Committee | Fukushima Support Project

[1H_PL] For the recovery and regeneration of Fukushima

Activities of Fukushima Support Project

Chair:Reiko Fujita(Fukushima Support PJ)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room H (13 Bldg.1F 1312)

[1H_PL01] Past and future activities of the Fukushima support project

*Reiko Fujita¹ (1. Fukushima Support PJ)

[1H_PL02] Effects of Cesium on Rice Cultivation in Minamisoma City

*Michitaka Sasoh¹ (1. TOSHIBA ESS)

[1H_PL03] Environmental remediation in Fukushima and activities of Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation

*Haruo Uemuro¹ (1. Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation)

[1H_PL04] Open Discussion

福島特別プロジェクトセッション
福島復興・再生に向けてー福島特別プロジェクトの活動ー

For the recovery and regeneration of Fukushima
-Activities of Fukushima Support Project-

福島特別プロジェクトのこれまでの活動と今後

Past and future activities of Fukushima support project

*藤田玲子¹

¹福島特別プロジェクト

1. はじめに

東日本大震災の津波に伴い発生した東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故（1F事故）から12年が経った。福島県では2018年3月には帰還困難区域を除いて避難指示が解除され、帰還困難区域は特別復興再生拠点区域を中心に除染が進められ、双葉町や大熊町でも帰還困難区域の一部で避難が解除されつつある。しかしながら、特別復興再生拠点区域以外の帰還困難区域に除染は帰還する住民の居住の周辺のみの除染をしないとされているだけでそれ以外の区域の除染や避難解除の目途は立っていない。

一方、1FのオンサイトにとまったALPSで処理した処理水は住民との十分なコミュニケーションがされずに海洋放出が決められた。

2. 福島特別プロジェクトの活動

2-1. これまでの活動

福島特別プロジェクトは住民の早期の帰還を促すために、住民に寄り添い、県と住民との間のインターフェースの役割を果たす役割を担い、2012年6月に理事会直結の組織として設立された。これまでは正確で分かり易い情報発信などを中心に活動してきた¹⁾²⁾。

1F事故直後から「除染技術カタログ Ver.1」や「--仮置場 Q&A」などの作成や福島県民向けの「安心・安全フォーラム」や「地域対話フォーラム」などのシンポジウムを開催してきた。また、環境再生プラザへの専門家派遣や次に報告する南相馬市での2014年から継続して実施してきた稲作試験など²⁾。

2-2. 今後の活動

2018年以降は帰還困難区域の住民に向けた活動として新たに浜通りの再生・復興に寄り添う活動や福島県における学校教育への協力・支援として福島高専のオンライン事業の資料作成や国の復興支援による地域活性化の整理と提言、国の施策に対する地元の意向を調査するアンケートなどを実施している。

今後は浜通りを中心として帰還困難区域において少しでも安心して帰還できる方が増えるように住民の意向を国や自治体に伝えていく活動を継続していく。特に、1F処理水の放出のように、双方向コミュニケーションが十分と言えない状況を少しでも改善するため、福島県の地元に通い、コミュニケーションを改善していくことが今後の重要なミッションと考えている。

3. おわりに

特別復興再生拠点区域内の除染される区域を少しでも拡大していくことが福島の再生、復興には重要であるが、特別復興再生拠点区域以外の帰還困難区域の除染は前述したように範囲が限定されていることから帰還困難区域の大部分の避難を解除することは難しい。特別復興再生拠点区域以外の地域における除染作業を拡大していくために地元の自治体と情報交換しながら、戦略を立てることが重要であると考えている。

1)日本原子力学会誌, Vol.54, No.10, 640-641(2012)., 2) 同上, Vol.56, No.3, 193-205(2014).

*Reiko Fujita¹

¹Fukushima Support Project.

福島特別プロジェクトセッション

福島復興・再生に向けてー福島特別プロジェクトの活動ー

For the recovery and regeneration of Fukushima
- Activities of Fukushima Support Project -

南相馬市における稲作へのセシウム影響について

Effects of Cesium on Rice Cultivation in Minamisoma City

*三倉 通孝¹

¹福島特別プロジェクト/東芝エネルギーシステムズ

1. はじめに

福島特別プロジェクト・クリーアップ分科会では震災直後より JA ふくしま未来と協力しながら、1F 事故の影響について、調査を実施してきた。震災の翌年 2012 年より比較的データの少ない水田における稲作時のセシウムの玄米への移行について評価を開始した。南相馬市の水田で稲作によりゼオライトやカリウムの追肥の影響などを調査に着手、営農再開後も現地で行われている稲作により育成された玄米・稲体へのセシウムの移行挙動の評価を継続している。

2. 稲作試験

現地の水田所有者の方に農作業を実施していただき、稲作の試験を実施した。試料は稲体（玄米、もみ殻、わら/茎、根）及び土壌とした。

営農再開前の 2 年（2012 年、2013 年）は、水田にゼオライトと塩化カリウムの散布量をパラメータとして、移行量などを評価した。

営農再開した 2014 年以降は、現地で行われている農作業と同じ量の塩化カリウムおよびゼオライトを散布した水田で回収した資料を評価対象とした。放射線測定は Ge 半導体検出器による γ 線スペクトロメトリで実施した。

3. セシウム挙動評価

玄米、もみ殻等植物体へのセシウムの移行は非常に小さくほとんどの資料で、長時間測定（5 万秒の測定）でようやく確認できる程度（検出下限に近い値）であった。

収穫した玄米中の放射性セシウム濃度はいずれも一般食品の基準値（100 Bq/kg）を大きく下回った。玄米への移行係数は最大で 1% 程度と非常に小さく、海外での報告されている処分施設の性能評価に用いられるような設定値よりも小さな値を示している。また、玄米へのカリウムの移行係数はセシウムの移行係数より 1 桁程度大きいことも明らかとなった。

表 1 現地のゼオライト及び塩化カリウム散布量

西暦	塩化カリウム散布量 (kg/10a)	ゼオライト散布量 (kg/10a)
2014	60	100
2015	60	100
2016	50	-
2017	50	-
2018	50	-
2019	50	-
2020	50	-
2021	-	-
2022	-	-

2021年からは新規作付圃場のみ塩化カリ施用

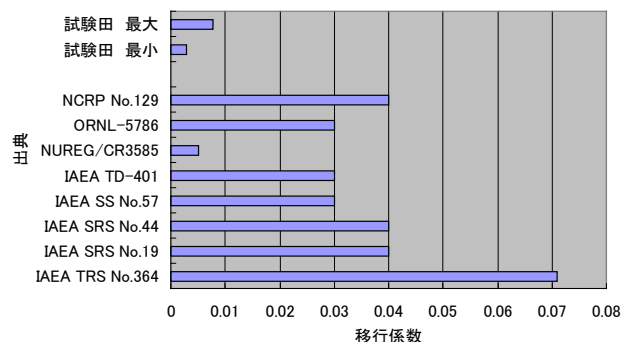


図 1 放射性セシウムの米への移行結果

*Michitaka SaSoh¹

¹Fukushima support project, Toshiba ESS.

福島特別プロジェクトセッション

福島復興・再生に向けてー福島特別プロジェクトの活動ー

For the recovery and regeneration of Fukushima
- Activities of Fukushima Support Project -

福島県における環境回復と福島環境創造センターの取組

Environmental remediation in Fukushima and
activities of Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation

*上楯 治男

福島県環境創造センター

1. 福島県における環境回復

2011年3月に発生した、福島第一原子力発電所事故による放射性物質の拡散に伴い、福島県をはじめとし、広範囲にわたる地域が汚染された。これによる環境汚染からの回復のため、放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われている。福島県内における除染は、図1のとおり、国が除染実施計画を策定し除染事業を進める地域（除染特別地域）と、市町村が除染実施計画を策定し除染事業を進める地域（汚染状況重点調査地域）で実施されてきた。面的除染については除染特別地域内の帰還困難区域を除き、2018年3月までに全てが終了している。

帰還困難区域では、6町村の一部地域が特定復興再生拠点区域として定められており、避難指示解除を目指し、除染や家屋解体などの環境再生事業がインフラ整備と一体的に進められている。このうち、双葉町・大熊町・葛尾村の特定復興再生拠点区域では避難指示が解除されている（2023年1月30日時点）。

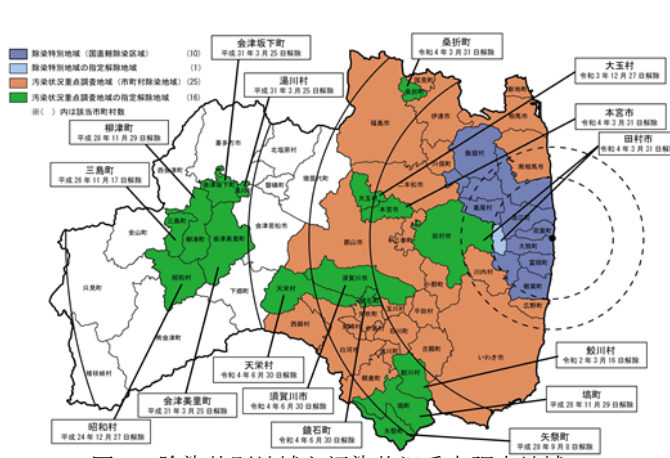


図1 除染特別地域と汚染状況重点調査地域
(福島県ホームページより引用)

2. 福島県環境創造センターの活動

環境創造センターは、放射性物質によって汚染された環境の回復・創造に取り組むための調査研究・情報発信・教育等を行う拠点施設として、国のサポートのもと、2015年に福島県が設置した（図2）。当センターは、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・国立研究開発法人国立環境研究・福島県の3者で形成され、緊密に連携・協力して調査研究等に取り組んでいる。

当センターは、10年間（2015年度～2024年度）の事業方針として「環境創造センター中長期取組方針」を定め、それに基づき「モニタリング」「調査研究」「情報収集・発信」「教育・研究・交流」の4事業を実施している。このうち、調査研究については、「放射線計測」「除染・廃棄物」「環境動態」「環境創造」の4部門で、福島県の環境回復や県民が将来にわたり安心して暮らせる美しく豊かな環境の創造に向けて取り組んでいる。



図2 福島県環境創造センター

*Haruo Uemuro

Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room H)

[1H_PL04] Open Discussion

福島特別プロジェクトは2012年に設立され、福島の住民の早期帰還のため、住民と国や県との間のインターフェースの役割を果たすべく、原子力の専門家集団としての正確でわかりやすい情報発信などに努めると共に、福島県での稲作試験、浜通りの再生・復興への協力、学校教育への協力・支援、国の復興支援による地域活性化の状況把握等を行っており、住民の生活に直結した課題を中心に幅広い視点に立った活動を展開している。本セッションでは、プロジェクトの活動の経緯と今後の取り組み、稲作試験について報告すると共に、福島県の環境回復の取り組みを福島県環境創造センターから報告いただき、今後の活動のあり方等、意見交換を行いたいと考えている。

Planning Lecture | Over view Report | Research Committee on Fission Product Behavior Related to Decommissioning Work of Fukushima Daiichi NPP

[1I_PL] Issues related to FP behavior for improvement of decommissioning work efficiency and source-term predicting accuracy

Chair:Yosuke Katsumura(Nuclear Systems Association)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room I (13 Bldg.1F 1313)

[1I_PL01] Aims and policy of activities of this research committee

*Yoichi Wada¹ (1. Hitachi)

[1I_PL02] Issues extracted from the field observations

*Junich Takagi¹ (1. Toshiba ESS)

[1I_PL03] Issues extracted from the fundamental research in JAEA/CLADS

*Naoya Miyahara¹ (1. MHI)

[1I_PL04] Issues extracted from the results of severe accident analyses

*Shuhei Miwa¹ (1. JAEA)

[1I_PL05] Issues extracted from the investigations of accident analyses by NRA

*Hidetoshi Karasawa¹ (1. JAEA)

総合講演・報告「1F 廃炉に係る FP 挙動」研究専門委員会

1F 廃炉作業効率化とソースターム予測精度向上のための FP 挙動に関する課題の整理

Issues related to FP behavior for improvement of decommissioning work efficiency and source-term predicting accuracy

(1) 本委員会の目的と活動方針

(1) Aims and policy of activities of this research committee

*和田 陽一

日立

1. 本研究専門委員会設置の経緯

福島第一原子力発電所（1F）事故の後、2017 年度～2020 年度の 4 年間に設置された「シビアアクシデント（SA）時の核分裂生成物（FP）挙動」研究専門委員会（先の研究専門委員会）では、1F 事故における FP 挙動を調査し、FP 炉内分布や環境放出量評価における新たな技術課題を整理した。この活動を通じて FP 挙動に関する情報が共有され、共通技術基盤上に新たな技術者集団を構築した。活動成果は、今後 40 年超とされる 1F 廃炉作業等に継承するために、技術報告書としてまとめられた[1]。

しかし、先の研究専門委員会の活動では、格納容器内の FP 分布の把握、廃炉作業の進展に伴う FP の移行及びその廃炉作業への影響等、将来にわたる FP 挙動の予測にはまだ不十分なことから、「1F 廃炉に係る FP 挙動」研究専門委員会（本研究専門委員会）が 2021 年 6 月に原子力学会の 10 部会からの委員の参加により設置された。本研究専門委員会を通じて、1F 廃炉並びに軽水炉の安全性向上の取組に資するための調査・検討をさらに進めることとした。

2. 本研究専門委員会の目的

本研究専門委員会は、次の 2 つの目的の下に活動を進めている。

① 1F 事故事象の把握と廃炉作業への貢献。

主に事故後を対象とし、1F 事故事象に関する知見を整理、把握することで、廃炉期間中の FP 挙動（FP 分布把握、廃炉作業までの FP 移行、廃炉作業への影響など）を予測可能な水準まで評価技術を高めるための道筋を示すことにより、廃炉作業に貢献する。

② ソースターム予測技術の向上への貢献。

主に事故時を対象とし、1F 事故事象の把握で得た情報をソースタームの予測技術の向上に反映させ、原子炉安全の一層の向上に繋げるための道筋を示すことにより、ソースターム予測技術の向上に貢献する。

3. 本研究専門委員会の活動方針と活動状況

上記の 2 つの目的の下に、2021 年からの 2 年間の具体的な活動として、幹事会および研究専門委員会全体会議での議論を経て、担当幹事を中心とした「拡大幹事会」を 4 つ設置して検討すべき技術課題の調査を行い、委員会全体で技術課題に関する議論と課題の特定を行った。この検討結果を受けて、期間延長後の 2 年間では選定された技術課題に応じた複数のワーキンググループを設置して、各技術課題の解決に向けての必要な研究開発の道筋を検討する計画である（図 1）。

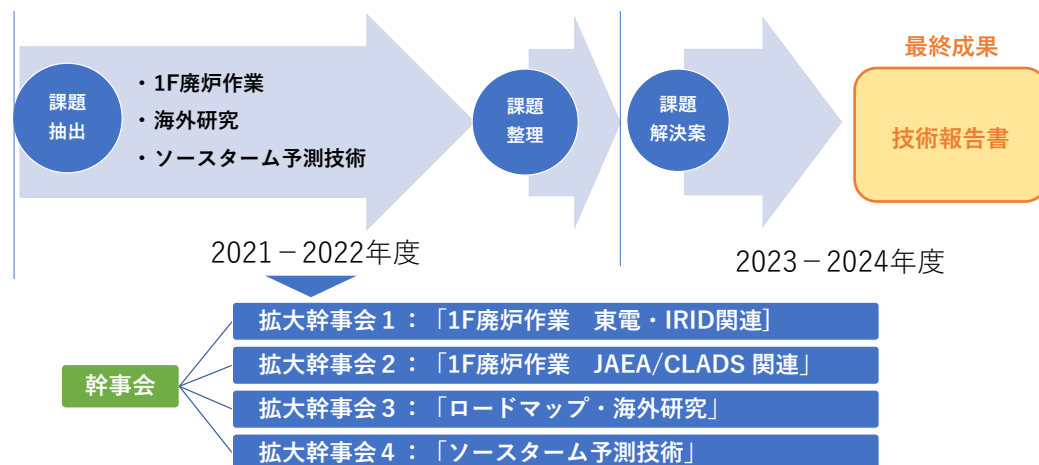


図1 拡大幹事会を通じた本研究専門委員会での課題の特定と成果まとめまでの流れ

本研究専門委員会に設置された拡大幹事会は、それぞれ担当幹事を含めて4、5名程度の人数で課題の抽出を行った。1F 廃炉や軽水炉の安全性向上に向けて取組がなされている以下の4つのテーマについて幅広く調査し、先の研究専門委員会で抽出された技術課題との整合を図りつつ、新たな技術課題の抽出・整理を行った。

(1) 1F 廃炉作業／東京電力・国際廃炉研究開発機構（IRID）の取組

汚染水対策、燃料デブリ取り出し、および放射性廃棄物処理・処分の3つの課題に対し東京電力ホームページ[2]を中心に1FでのFP挙動に関する情報を収集し、1F廃炉に資するための技術課題を探った。具体的には、FP挙動に加えてα核種のソースタームへの影響や汚染水等におけるFPのマスバランスの把握、デブリ取り出しでの技術的ニーズ/シーズの明確化、廃棄物管理における移行モデル整備等を挙げた。

(2) 1F 廃炉作業／JAEA/廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）の取組

調査対象はCLADSにおける①基礎・基盤研究の全体マップ[3]、並びに②英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業[4]である。FPに関し、全体マップにおいては燃料デブリ取り出しにおける炉内状況把握の一項目としてFPの状況把握が挙げられ、課題の詳細や関連研究が記載されている。この中から、サンプリング技術、デブリ性状、FP分布の経年変化のメカニズム解明等を抽出した。

(3) ロードマップ・海外研究

1F事故の後に改訂された、軽水炉研究開発、安全研究等に関するロードマップや Phenomena Identification and Ranking Table (PIRT)等を対象に1F前後での変更点等を整理し、重要なFP挙動とその優先度を整理した[5, 6]。その中から、ヨウ素等の化学的挙動、中長期的な再浮遊や再蒸発等のFP移行の評価、SA対策技術の影響評価等を課題として抽出した。

(4) ソースターム予測技術

原子力規制委員会(NRA)における各種技術評価委員会等における新たな知見や情報を整理し、1F事故分析結果、現地調査結果に基づき課題を抽出し、1FにおけるFP挙動予測技術向上に関する課題の抽出を行った[7, 8, 9]。具体的には、シールドプラグや非常用ガス処理系等を通じた格納容器からのFPリーク現象の把握等を課題として抽出した。

4つの拡大幹事会を通じた調査から、上記のような技術課題が抽出された。これらの技術課題を整理し、期間延長後の2年間では、選定された技術課題についてのワーキンググループ活動により必要な研究開発や技術の議論を深め2つの目的に貢献するための方策を検討していく。活動成果は技術報告書として取りまとめる計画である。

[参考文献]

- [1] 日本原子力学会「シビアアクシデント時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会、「福島第一原子力発電所における核分裂生成物の短期/長期挙動」、日本原子力学会技術報告書、ISBN 978-4-89047-179-9(2021/5).
- [2] 東京電力ホームページ、福島への責任、公表資料、会議体等資料、中長期ロードマップの進捗状況、
https://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap_progress/index-j.html.
- [3] 廃炉環境国際共同研究センターホームページ、廃炉技術研究、基礎・基盤研究の全体マップ、
<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd/map/map.html>.
- [4] 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業、<https://www.kenkyu.jp/nuclear/>
- [5] 例えば、M. Pellegrini, et al., Nucl. Technol. 206, 9 (2020) 1449-1463.
- [6] 日本原子力学会熱流動部会「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ検討」ワーキンググループ、熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ 2020、http://www.aesj.or.jp/~thd/committee/TH-RM-2020/TH-RM_2020.pdf.
- [7] 原子力規制委員会、東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会、
https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/index.html.
- [8] 原子力規制委員会、福島第一原子力発電所廃炉及び事故分析に係る連絡・調整会議、
https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/1F_tyosei/index.html.
- [9] 原子力規制委員会、シビアアクシデント技術評価検討会、
https://www.nsr.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/gh_severe_accident/index.html.

*Yoichi Wada

Hitachi

総合講演・報告「1F 廃炉に係る FP 挙動」研究専門委員会

1F 廃炉作業効率化とソースターム予測精度向上のための FP 挙動に関する課題の整理
Issues related to FP behavior for improvement of decommissioning work efficiency and source-term predicting accuracy

(2) 実機調査から得られた課題

(2) Issues extracted from the field observations

*高木 純一¹、和田陽一²、宮原直哉³、細見憲治¹、駒義和⁴

¹東芝エネルギーシステムズ、²日立製作所、³三菱重工業、⁴原子力機構

1. 調査対象

「1F 廃炉に係る FP 挙動」研究専門委員会では、その前身である「SA 時の FP 挙動」研究専門委員会の活動成果を踏まえ、1F 事故事象の把握と廃炉作業への貢献、並びに、ソースターム予測技術の向上を活動目標とし、4つの拡大幹事会で課題抽出を行った。そのうち、拡大幹事会 1 では実機調査として、事故後に公開された東電・IRID（経産省補助事業等）関連の直接的なデータを改めて俯瞰し、課題抽出に必要な情報の再収集、整理を行った。中長期ロードマップの進捗は月例の会議にて報告、検討されており、2013 年からは廃炉・汚染水対策チーム会合事務局会議（現在は廃炉・汚染水・処理水対策チーム）の資料が公開されている。そのうち、以下の 3 分野に着目して情報収集を行った。

- ① 汚染水対策：汚染滞留水には炉心の燃料デブリから流出・移送された FP 成分が含まれており、放射能除去の過程で得られる汚染水、および、固体二次廃棄物に含有される放射能の情報を収集する。
- ② 燃料デブリ取り出し準備：PCV 内の燃料デブリの FP 情報の収集はこれから本格化するが、まずはこれまでに得られた FP 情報を収集する。今後のサンプリング・分析方針に対する提言が必要である。
- ③ 廃棄物処理・処分：大量に発生する廃棄物情報のデータベースから FP 情報を抽出する。ソースタームとの関連付けが困難であり、FP 挙動としての情報活用方針の検討が必要である。

2. 調査結果概要

(1) 汚染水対策

汚染水には PCV 内で発生した FP 核種（Cs 等の γ 核種、Sr 等の β 核種）が移行している。特に事故直後は 10^6Bq/cm^3 相当の非常に高濃度の Cs、Sr 放射能が移行したことが確認されている。また、燃料デブリの主体であるアクチニド核種（U、Pu 等の α 核種）も、近年、汚染水中や S/P 水中に存在することが報告されている。これら汚染水中の放射能は除去設備で系外除去されるが、1F サイト全体のマスバランス評価上は重要なデータとなる。 α 核種挙動のトピックスとして、2、3 号のトラス室のサンプル分析結果に関する報告が抽出され、滞留水中の α 核種の大部分が立方晶 UO_2 をベースとした酸化物の形態で $0.1 \mu\text{m}$ のフィルタで除去されることが示された。図 1 に 2 号機トラス室滞留水 $0.1 \mu\text{m}$ フィルタろ過物 TEM/EDS 分析結果

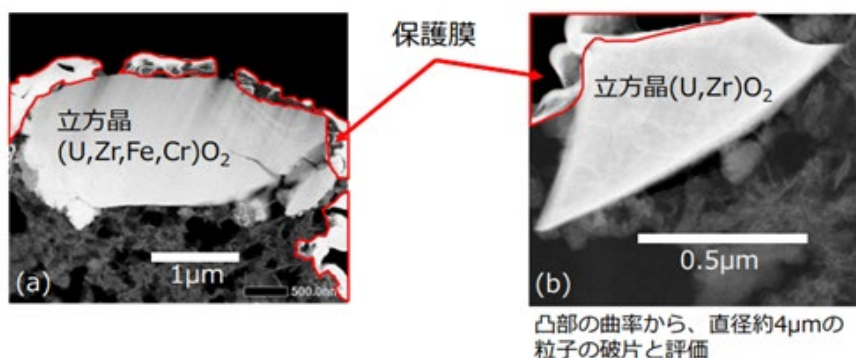


図 1 2 号機トラス室滞留水 $0.1 \mu\text{m}$ フィルタろ過物 TEM/EDS 分析結果

(2) 燃料デブリ取り出し準備

燃料デブリ自体の核種組成や機械的物性などは、まだサンプリングがされていないこともあり、現時点では情報が少ない。また、FP 挙動としては化学形態が重要だが、汚染物質の化学形態については情報がほとんどない。全体的な状況として、取得されているデータは断片的であり、それらの情報を基に全体像を把握するための手段が必要である。図 2 に 1 号機 PCV 底部堆積物の例を示す。[2] 検出された粒子は約 $2\mu\text{m}$ であり、 $(\text{U,Zr})\text{O}_2$ 母相の内部に高 Zr 領域を確認した。冷却過程で $(\text{U,Zr})\text{O}_{2-x}$ から分離した $\alpha\text{-Zr(O)}$ 相と推測される。

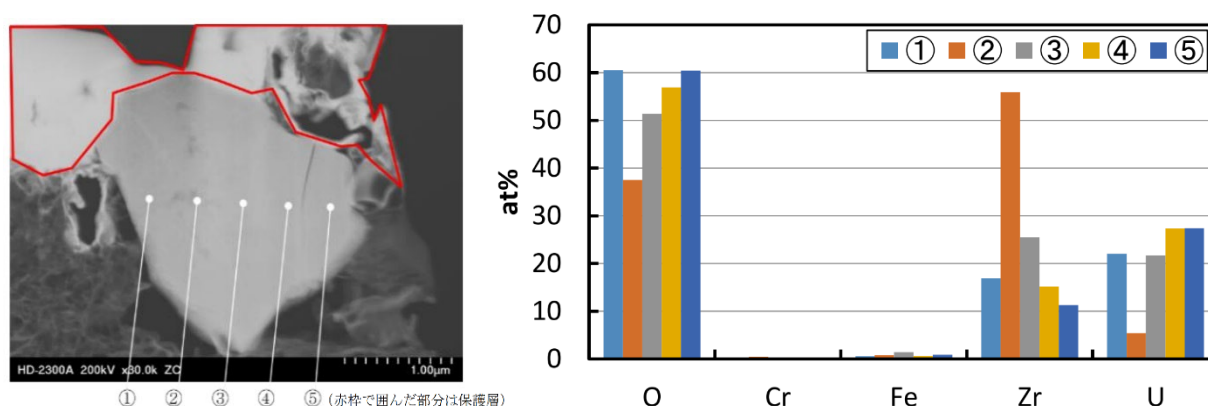


図 2 1 号機 PCV 底部堆積物から検出された粒子とその元素組成

(3) 廃棄物処理・処分

廃棄物分野はサイト内のすべての汚染物に関心があり、FP のみならずアクチニド、放射化生成物も含め挙動の全容を把握するニーズがあり、特に、処分安全において考慮すべき長半減期核種が重要である。固体放射性廃棄物の由来（発生源）は様々存在すると共に、核種のソースタームとして複数（燃料、放射化生成物）を考慮する必要がある、検討の対象が多岐にわたることになる。分析による調査では高線量廃棄物（PCV 内等）はサンプリングが難しく、実データを得にくいことは燃料デブリと同様の課題である。吸着材やスラリー等の水処理に伴う二次的な廃棄物は処理・処分等の施策において重要ではあるが、工学的な設計に基づいて制御、管理されたシステムに由来するので、FP 挙動の観点からの優先度は低い。

3. 調査結果より得られた課題

これらの調査結果から抽出された今後取り組むべき課題につき、以下に項目ごとに示す。本研究専門委員会ではこれらの課題解決に向けたアクションリストを関係諸機関に提供することを目的とする。

(1) 汚染水対策

- ① $\beta\gamma$ 放射能の FP 核種のインベントリーを正確に評価し、PCV 内、環境、汚染水におけるマスバランスを把握する。
- ② Cs 放射能を主体とする高放射性廃棄物は SARRYTM から、Sr 放射能を主体とする高放射性 HIC スラリー廃棄物は多核種除去設備にて定期的に除去されており、その放射能インベントリーを評価する。
- ③ α 核種には溶解性と非溶解性とがあり、PCV 内/建屋内滞留水への残留、系内への付着、汚染水への移行等の挙動を正確に評価し、 α 核種のインベントリー、化学形態、溶解度等を把握する。

(2) 燃料デブリ取り出し準備

- ① 今後の燃料デブリ取り出しに向け、燃料デブリ取り出し作業におけるリスク評価、被ばく評価の手法を検討し、必要とされる情報の質と量とを明確にする。（ニーズの評価）
- ② そのため、燃料デブリのサンプリング・分析の目的、方法・技術、評価項目、実機適用性、等を、多方面と連携して策定する。（シーズの評価）
- ③ デブリ取り出し時のリスク評価、被ばく評価（例：PCV 内における Cs の存在量分布等）に向けて、実測値との比較により既存のソースタームの評価技術を向上させる。（ニーズとシーズのマッチング）

(3) 廃棄物処理・処分

- ① 核種移行のモデルを開発し、インベントリー評価につなげる。このモデルは事故進展を詳細に反映する必要はないが、汚染の様態を再現するよう分析データを活用する。
- ② 事故発生当時とそれ以後の汚染、また、空気経由と水経由の汚染を、それぞれ分けて評価を行う。
- ③ 求めたインベントリーの不確実性の統計的な評価を行う。

4. 今後の進め方

これまで、拡大幹事を選任して調査を分担し、主に東京電力 HD および IRID の公開情報をもとに事故後 10 年の公開情報を網羅的に調査、整理した。この結果を受け、以下の課題抽出を行った。

- i. FP マスバランスの評価精度の向上
- ii. 燃料デブリ取り出しに向けて必要なサンプリング・分析方針の提言

今後の 2 年間の活動においては、これまでの研究専門委員会活動で蓄積してきた FP 挙動のシナリオとの適合性を吟味しつつ、課題解決に向けたアクションリストの策定に取り組み、1F 廃炉作業への貢献に資するものとする。

参考文献

[1] 東京電力 HD ホームページ

1～3 号機格納容器内部調査関連サンプル等の分析結果（2020 年 11 月 26 日）

https://www.tepco.co.jp/decommission/information/committee/roadmap_progress/pdf/2020/d201126_08-j.pdf

[2] 東京電力 HD ホームページ

福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果

「第 6 回進捗報告」について（添付資料 5） サンプル分析による事故状況の把握（2022 年 11 月 10 日）

https://www.tepco.co.jp/decommission/information/accident_unconfirmed/pdf/221110j0109.pdf

* Junichi Takagi¹, Yoichi Wada², Naoya Miyahara³, Kenji Hosomi¹, Yoshikazu Koma⁴

¹Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation, ²Hitachi Ltd., ³Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., ⁴Japan Atomic Energy Agency

総合講演・報告「1F 廃炉に係る FP 挙動」研究専門委員会

1F 廃炉作業効率化とソースターム予測精度向上のための FP 挙動に関する課題の整理

Issues related to FP behavior for improvement of decommissioning work efficiency and source-term predicting accuracy

(3) JAEA/CLADS 関連研究調査から得られた課題

(3) Issues extracted from the fundamental research in JAEA/CLADS

*宮原 直哉¹, 唐澤 英年², 井元 純平²

¹三菱重工業(株), ²日本原子力研究開発機構

1. 調査対象

本委員会では、福島第一原子力発電所（1F）における核分裂生成物（FP）挙動に関する情報の調査や、専門家間での議論を通じて、1F 廃炉作業の効率化及びソースターム予測精度向上に向けた FP 関連課題を抽出し、その解決のための大きな道筋を示すことを目的としている（本シリーズ発表(1)）。本報では、FP 挙動に関する基礎・基盤研究の視点から課題を抽出するため、廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）が所管する基礎・基盤研究の全体マップ^[1]のうち「FP の状況把握」のカテゴリで整理されている資料（英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業^[2]報告書等）を中心に調査を実施した。また、日本原子力研究開発機構（JAEA）を主体に実施されているその他の FP 関連基礎・基盤研究についても何件かをピックアップして調査を実施した。調査の結果から、本委員会として取り組むべきいくつかの FP 関連課題を抽出した。

2. 調査結果

表 1 に、調査した資料とその内容（得られた成果等）及び各資料の内容から見えてくる課題について、概要を整理した（ここでの課題は、各資料の内容に対するものであり、調査者の所感を含む）。

JAEA/CLADS で実施されている基礎・基盤研究は、Cs 含有放射性微粒子の分析等のミクロな視点の研究（No.1,2）から、総合的な 1F 炉内状況把握（No.4,5）といった全体を俯瞰した研究まで幅広く実施されており、燃料デブリの劣化（No.3）やコンクリート内への Cs の浸透（No.6）等の長期的な視点での研究も実施されている。また、線源分布の推定（No.7）やサンプル分析（No.8）など、1F 実機データ取得と、その活用方法に係る研究も実施されている。総じて、FP の移行過程に着目した研究が多く、1F 実機サンプル（燃料デブリ、Cs 含有放射性微粒子等）のデータが、そのための重要なリファレンスになるものと考えられる。

3. 調査結果より得られた課題

表 1 の調査結果に基づき、本委員会として取り組むべき FP 関連課題を下記(1)、(2)の通り抽出した。課題の抽出においては、本委員会の活動目的に鑑み、①課題解決が 1F 廃炉作業の効率化やソースターム予測精度向上に繋がること、②多くの研究者に課題として認識されること、及び③課題を技術的に深掘りする余地があること、の 3 点を考慮した。今後は、課題を更に深掘りし、具体的なアクション事項まで落とし込むことで、FP 関連研究の更なる活性化に貢献すべく活動していく予定である。

(1) FP 移行時の物理化学プロセスの解明

FP 移行時の物理化学プロセスの解明は多くの研究において課題とされており、ソースターム予測精度向上のみならず、1F 廃炉作業の効率化への貢献にもつながる（FP 形態に応じた除染方法の検討など）。

(2) 1F 実機取得データの活用方法の検討

1F 実機取得データの様々な活用方法を想定して分析ニーズを整理することは、FP 挙動の解明の観点でも有用であると考えられる。また、点データからマクロな状況（現象）を推測する統計的手法は確立されておらず、議論の余地がある。この手法が確立されれば、FP 分布の全体像把握や 1F 廃炉に係る安全評価の合理化につながるものと考えられる。

表 1 JAEA/CLADS 関連研究の調査結果概要

No.	資料名	内容（得られた成果等）	見えてくる課題（所感含む）
1	H30 年度英知事業 放射性微粒子の基礎物 性解明による廃炉作業 リスク低減への貢献 ^[3]	- Cs 含有放射性微粒子の回収 分離技術の開発を開始 - Cs 含有放射性微粒子の分析 （同位体組成等）を開始	- 炉内外で取得されるサン プルの分析技術の開発 - Cs 含有放射性微粒子の生 成機構の解明
2	R1 年度英知事業 放射性微粒子の基礎物 性解明による廃炉作業 リスク低減への貢献 ^[4]	- Cs 含有放射性微粒子の組成 を分析し、いくつかのタイプ （A, B, C）に分類 - Cs 含有放射性微粒子及びそ の情報を管理するためのサン プルアーカイブを整備	- Cs 含有放射性微粒子の生 成量の評価（代表性） 1F 廃炉において取得され るサンプル及びそれに関 する情報の管理
3	R1 年度英知事業 放射線・化学生物的作 用の複合効果による燃 料デブリ劣化機構解明 ^[5]	- 放射線、化学及び生物的損傷 による燃料デブリの劣化機構 解明のための研究を開始 - 予備検討として分析手法の検 討、代表物質の選定等を実施	燃料デブリや構造物等の 長期的な劣化の有無、メカ ニズム及びその影響
4	廃炉・汚染水対策事業 費補助金 総合的な炉内状況把握 の高度化 平成 28 年度 成果報告 ^[6]	- 炉心物質のスランピングが事 象進展に影響を与えた可能性 - FP 化学特性として、Cs が鋼 材中の Si と化学反応を起こ すことを解明	炉内状況推定の精度向上 （内部調査データの蓄積、 1F 事故解析技術の高度化 （スランピング、FP 移行 ルート、FP 化学モデルの 取り込み等））
5	廃炉・汚染水対策事業 費補助金 総合的な炉内状況把握 の高度化 平成 29 年度 成果報告 ^[7]	- 号機ごとに知見を集約し、燃 料デブリの分布・RPV・PCV 状態の推定図を作成 - PCV トップフランジが 1F 事 故時の主要な FP 移行ルート の 1 つであったことを特定	
6	H28 年度英知事業 汚染コンクリートの解 体及びそこから生じる 廃棄物の合理的処理・ 処分の検討 ^[8]	1F コンクリートの事故時温 度分布を解析し、コンクリー ト変質条件を評価 - 模擬変質コンクリートへの FP 拡散・収脱挙動を評価	- コンクリートの変質や浸 透汚染の経時変化に関す る更なる現象把握 - 基礎知見を反映した廃棄 物の処理・処分方針の検討
7	廃炉・汚染水対策事業 費補助金 被ばく低減のための環 境・線源分布のデジタ ル化技術の開発 ^[9]	原子炉建屋の構造及び空間線 量率から線源位置を特定し、 除染や遮蔽による線量率変化 を解析することで、被ばく低 減効果を評価できるシステム の開発を開始	1F 現場環境改善の合理化 - 実機データ蓄積（線量率測 定）、研究（線源推定）及び 廃炉現場作業の 3 者連携 の効率化
8	JAEA レポート 東京電力ホールディン グス(株)福島第一原子力 発電所燃料デブリ等分 析について ^[10]	燃料デブリの取出し等におけ る課題と分析ニーズを整理 し、分析対象項目、分析手法 及び取得位置やサンプル重量 ／寸法等を整理。	- サンプルの平均的な特徴 とばらつきの評価方法の 整備 - 点データからマクロな現 象を推測する手法の整備

参考文献

- [1] 廃炉環境国際共同研究センターホームページ、廃炉技術研究、基礎・基盤研究の全体マップ、
<https://clads.jaea.go.jp/jp/rd/map/map.html>.
- [2] 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業、<https://www.kenkyu.jp/nuclear/>
- [3] 廃炉国際共同研究センター（CLADS）及び茨城大学、「放射性微粒子の基礎物性解明による廃炉作業リスク低減への貢献（委託研究）；平成30年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」、JAEA-Review 2019-041、2020.
- [4] 廃炉国際共同研究センター（CLADS）及び茨城大学、「放射性微粒子の基礎物性解明による廃炉作業リスク低減への貢献（委託研究）；令和元年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」、JAEA-Review 2020-033、2021.
- [5] 廃炉国際共同研究センター（CLADS）及び東京工業大学、「放射線・化学生物的作用の複合効果による燃料デブリ劣化機構解明（委託研究）；令和元年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」、JAEA-Review 2020-046、2021.
- [6] 国際廃炉研究開発機構（IRID）及びエネルギー総合工学研究所、「廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）平成28年度成果報告」、平成29年6月.
- [7] 国際廃炉研究開発機構（IRID）及びエネルギー総合工学研究所、「廃炉・汚染水対策事業費補助金（総合的な炉内状況把握の高度化）平成29年度成果報告」、平成30年6月.
- [8] 北海道大学、「汚染コンクリートの解体およびそこから生じる廃棄物の合理的処理・処分の検討；平成30年度英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」、平成31年3月.
- [9] 岡本ら、「被ばく低減のための環境・線源分布のデジタル化技術の開発 (1)全体計画」、日本原子力学会2022秋の大会、2B10.
- [10] 日本原子力研究開発機構、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所燃料デブリ等分析について」、JAEA-Review 2020-004、2020.

*Naota Miyahara¹, Hidetoshi Karasawa², Junpei Imoto²

¹Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., ²Japan Atomic Energy Agency

総合講演・報告「1F 廃炉に係る FP 挙動」研究専門委員会

1F 廃炉作業効率化とソースターム予測精度向上のための FP 挙動に関する課題の整理
Issues related to FP behavior for improvement of decommissioning work efficiency and source-term predicting accuracy

(4) 実機解析調査から得られた課題

(4) Issues extracted from the results of severe accident analyses

*三輪 周平, 塩津 弘之

JAEA

1. 調査対象

本委員会では、1F 廃炉や軽水炉の安全性向上に向けての取組を対象に幅広く調査し、「シビアアクシデント (SA) 時の FP 挙動」専門委員会で抽出された技術課題との整合を図りつつ、新たな技術課題の抽出・整理を行い、その解決に向けた大きな道筋を示すことを目的としている。本件では、1F 事故やその実機解析結果を踏まえて、軽水炉の安全研究、研究開発基盤整備等における FP 挙動等の課題や研究開発優先度を示したロードマップや Phenomena Identification Ranking Table (PIRT) がアップデートされていることから、以下に示す実機解析の結果、国内外の各種委員会等で発行されている各ロードマップ、PIRT の調査を行い、FP 挙動に関する課題を抽出した。

実機解析： NEA Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (BSAF) [1]

ロードマップ、PIRT： 熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ 2020(熱水力ロードマップ 2020)[2]、SA 評価に関する調査研究報告書[3]、水化学ロードマップ 2020[4]、Severe Accident Research Network of excellence (SARNET) PIRT [5]

2. 調査結果概要

実機解析、各ロードマップ・PIRT において示されている重要な FP 挙動について表 1 に示す。

BSAF[1]は、様々な SA 解析コード (MAAP、MELCOR、ASTEC、THALES-2、SAMPSON 等) を用いた事故進展解析結果を整理し、得られた知見を有効に活用するとともに、各解析コードの効率的な開発に展開するために 2012 年に開始された。フェーズ 1 では、事故後 6 日間の圧力容器 (RPV) と格納容器 (PCV) 内部での熱水力状態の推移に着目した解析が実施され、フェーズ 2 では、解析対象期間を 3 週間に拡大し、FP 放出の解析も含めて実施された。本取組において、解析担当者間で不確かさが大きい現象について合意がなされ、プールスクラビングや中長期にわたる FP 再移行、FP 化学形態が挙げられた。プールスクラビングは、1F 事故で想定される高温の水中、高いガス注入速度、および急速な圧力低下時の挙動評価の重要性について示された。また、FP 再移行では燃料デブリからの浸出は解析コードでは考慮されておらず、再移行のモデルの不確かさ低減とともに重要性が示された。また、FP 化学形態では、欧米でも知見が乏しい BWR 制御材ホウ素によるセシウムの化合物生成の評価についての重要性が示された。

熱水力ロードマップ[2]は、軽水炉に係る熱水力分野の研究開発の到達点と課題を俯瞰して、取り組みのポイントを示したもので、1F 事故を受けて改訂活動が進められた。安全評価技術マップ及び基盤 R&D 技術マップから成り、熱水力に係る技術の成熟や広範な技術に立脚し、現行炉と新型炉を対象に短期・中期・長期・継続の課題を抽出したもので、規制への要請や他分野との関連を考慮している。FP 挙動に係る研究実施の優先度として、炉心の高温領域における挙動 (制御材の影響、ルテニウム挙動、FP 化学挙動)、ヨウ素化学、エアロゾル挙動、FP 除去、リークパスにおける FP 除去等が高いと評価された。FP 化学挙動は化学反応データベースの整備や速度論的な取扱いの必要性検討、ヨウ素化学はモデルの高度化、エアロゾル挙動はエアロゾ

ル粒径の解析精度の向上についての重要性が示された。また、FP 除去についてはプールスクラビングにおける不確かさの低減、SA 解析コードの原子炉建屋（R/B）への適用性評価が重要であることが示された。

SA 評価に関する調査研究報告書[3]は、1F 事故の事象進展解明に向けて、解析コードの効果的な改良に必要な改良の優先度付けを行うために、シミュレーションに対する課題を抽出し、SA における重要項目を選定したものである。1F3 号機を検討対象とし、事象として RPV 内で 677 件、PCV では 358 件、R/B で 124 件を抽出し、重要度や現状の知識レベルをもとにランク付けを行っている。FP に係る重要な挙動として、炉心からの放出挙動、FP 化学挙動、エアロゾル挙動について挙げられている。炉心からの放出挙動は熔融燃料からの放出や制御材ホウ素の影響評価の重要性が示されている。また、FP 化学挙動については、SA 早期～後期において高温領域から低温領域までの移行時の多岐にわたる挙動について重要性が示されている。また、エアロゾル挙動については R/B についての評価の重要性も示された。

水化学ロードマップ[4]は、これまで設備・機器の腐食抑制、被ばく線量低減、放射性廃棄物低減を通じてプラントの安全性、信頼性、経済性向上に貢献してきた水化学について、今後の高経年化対応や燃料高度化、安全性向上において新たに生じ得る課題を予見し、効果的に対応するための研究の基盤と成果の活用を示したものである。重要な FP 挙動として、炉内の FP 挙動としては、高温水/蒸気中の FP の燃料材料、構造材料との相互作用（化学形態の変化と構造材への沈着、放出挙動）、長期的な化学形態変化に伴う FP 移行現象の解明と系統外への放出および除去特性について重要性が示されている。また、FP 除去特性として、フィルタベントをはじめとする各種除去性能に及ぼす化学形態、水化学放射線照射の影響について重要性が示された。

SARNET[5]は、欧州において SA における未解明事象に関する不確かさ低減、SA 関連知見の拡充等を目的として欧州にて開始されたプログラムで、欧州の研究計画 FP6 の中で優先度の高い事象を評価し、PIRT としてまとめた。また、FP7 において、1F 事故を受けて優先度の高い事象をレビューし、PIRT を改訂している。PWR を対象として検討がなされており、FP 挙動としてはルテニウムとヨウ素の挙動が重要とされている。一方、1F 事故を受けて、再冠水時の挙動の内、後期において重要性のランクが上がった。

3. 調査結果より得られた課題

調査結果より、実機解析、各ロードマップ・PIRT において示されている重要な FP 挙動をもとに、FP 挙動の予測技術を向上させるために研究開発の実施が必要な課題としては以下の三点にまとめた。化学挙動については従前からヨウ素等について重要性が示されていたが、1F 事故を受けて、セシウムの挙動や制御材ホウ素の影響について重要性が高まった。中長期的な FP 移行については、1F 事故が長期間継続したことを受け、FP 分布等の予測において、FP の再移行評価についての重要性が高まった。SA 対策の影響評価についても、1F 事故を受けて評価が必要になり、プールスクラビング挙動の不確かさ低減の必要性が高まった。

- (1) 化学の適用：セシウム、ヨウ素、ルテニウムの挙動、制御材ホウ素の影響評価、等
- (2) 中長期的な FP 移行の評価：再浮遊、再蒸発、水相を介した移行、等
- (3) SA 対策の影響評価：フィルタードベントにおける挙動、等

参考文献

- [1] 例えば、M. Pellegrini, et al., Nucl. Technol. 206, 9 (2020) 1449-1463.
- [2] 「熱水力安全評価基盤技術高度化戦略マップ検討」ワーキンググループ、熱力学ロードマップ 2020, 令和 2 年 9 月.
- [3] 「シビアアクシデント評価」研究専門委員会、シビアアクシデント評価に関する調査研究報告書, 平成 26 年 11 月.
- [4] 水化学部会, 水化学ロードマップ 2020, 令和 2 年 3 月
- [5] W. Klein-Heßling, et al., Ann. Nucl. Energy, 74, (2014) 4-11.

2023年春の年会

表1 実機解析、各ロードマップ・PIRT において示されている重要な FP 挙動
(重要度を高・中・低で記載)

重要な FP 挙動	BSAF (2020)	熱水力ロードマップ 2020 (2020)	SA 評価に関する調査研究報告書 (2014)	水化学ロードマップ 2020	SARNET PIRT	
					FP6 (2008)	FP7 (2014)
燃料からの FP 放出		中：既存モデルの適用性	高 (早期)：溶融燃料からの放出		高：Ru について酸化雰囲気 (高燃焼度燃料及び MOX 燃料への空気侵入条件)	
特定 FP (特に Ru) の挙動		高：実機条件下の実験				
制御材等の影響	高：ホウ素の影響		高 (早期*)：ホウ素の影響			
再冠水時の挙動		中：既存モデルの適用性検討や福島デブリサンプルの分析が必要			低：FP 放出	中 (後期*)
溶融固化後の再加熱の影響						
高温 FP 化学の影響	高：化学反応による揮発性 FP の生成の評価が必要	高：化学反応データベースの整備、速度論的な取り扱い	高 (早期～中期*)：凝縮、再蒸発、吸着挙動 高 (後期*)：再蒸発、海水影響、有機ヨウ素	高：FP の燃料材料、構造材料との相互作用	高：ヨウ素及び Ru の化学種	
PCV 内ヨウ素挙動	高：水からのヨウ素放出挙動	高：解析コードにおけるモデル	高 (後期*)：ヨウ素化学			
エアロゾル挙動		高：エアロゾル粒径	高 (中期～後期*)：PCV 内挙動 高 (後期*)：R/B 内挙動		低：保持、PCV クラックからの漏洩、冷却系での再蒸発評価が必要	
Cs 粒子 (CsMP) 挙動		中：CsMP (TypeA)、CsMP (TypeB) のモデル				
FP 除去 (プールスクラビング)	高：特に高温の水中、高いガス注入速度、および急速な圧力低下	高：モデル高度化		高：化学形態、水化学放射線照射の影響		
環境へのリークパス・FP 除去	高：RPV から PCV、環境へのリークパス	高：SA 解析コードの適用性評価・拡張				
中長期的な FP 移行	高：FP とコンクリート等との反応 高：FP の再移行	中：水相への浸出		高：化学形態変化、系統外への放出・除去特性		

*早期：スクラムから RPV 破損、中期：RPV 破損から PCV 破損、後期：PCV 破損以降

* Shuhei Miwa and Hiroyuki Shiotsu

JAEA

総合講演・報告「1F 廃炉に係る FP 挙動」研究専門委員会

1F 廃炉作業効率化とソースターム予測精度向上のための FP 挙動に関する課題の整理

Issues related to FP behavior for improvement of decommissioning work efficiency and source-term predicting accuracy

(5) 事故分析調査から得られた課題

(1) Issues extracted from the investigations of accident analyses by NRA

*唐澤 英年¹, 岡田 英俊², 日高 昭秀³

¹JAEA, ²エネルギー安全技術研究所, ³新潟大学

1. 調査対象

本委員会の目的の一つである「ソースターム予測技術向上への貢献」に資するため、原子力規制委員会(NRA)で実施している「東京電力福島第一原子力発電所(以下「1F」と略す)における事故の分析に係る検討会」(以下、「事故分析検討会」と略す)の会合資料¹を調査した。事故分析検討会は2019年9月に開催された原子力規制委員会で承認された検討会で、現場アクセスの可能性や廃炉作業の進展等により追加的に実施できる調査・分析の内容を基に、事故時の事象進展や状況の詳細な検討が可能な範囲を対象として検討を行っている。

2019年9月から2021年3月までの検討を取りまとめた「1F 事故の調査・分析に係る中間取りまとめ」²⁾で参考にした会合資料、及び2021年3月以降の会合資料を調査した。中間取りまとめでは、第1章「原子炉格納容器(PCV)からの放射性物質等の放出又は漏えい経路・箇所に関する検討」、第2章「原子炉建屋における水素爆発の詳細分析」、第3章「原子炉冷却のための機能すべき機器の動作状況に関する検討」の構成となっているが、FP 挙動に関連する第1章に関連する会合資料を対象とした。

拡大幹事会4では、以下の3分野に関連する会合資料を調査した。

- (1) 非常用ガス処理系(SGTS)配管系の汚染状況とその形成メカニズム
- (2) オペレーションフロア(以下「オペフロ」と略す)及びシールドプラグ(以下「SP」と略す)付近の放射線量と SP 下面におけるセシウム(Cs)の存在
- (3) 建屋内線量分布(中間とりまとめでは特に章立てはしていないが、FP 挙動評価に重要)

2. 調査結果

主な調査結果を下記に示す。出典は、()内に事故分析検討会の回数(#)と会合資料番号を示す。

(1) 非常用ガス処理系(SGTS)配管系の汚染状況とその形成メカニズム

耐圧強化ベントラインは、圧力抑制室(S/C)から電動(MO)弁、ラプチャーディスク(RD)を経て、SGTS からのラインと逆止弁(GD)(#10_4-2)を介して合流し、主排気筒に接続している(#12_5-2)。また、1, 2 号機共用の主排気塔には頂部までのベント配管は無いが、3, 4 号機共用の主排気塔には頂部までのベント配管が有る構造となっている(#12_5-2)。耐圧強化ベントラインにおける汚染状況は、NRA による10回の調査(#9_4)と東京電力ホールディング株(東電 HD)の調査資料に基づき明らかにされている(#8_2, #10_4-3)。ベント配管の汚染に関する事故分析検討会での論点を以下に示す(#8_3, #9_3, #10_4)。

① 2 号機は最後までベントに成功しなかったと判断する考え方

2 号機 RD 付近の汚染は 0.05 mSv/h で、1 号機 RD 付近の汚染の数千 mSv/h と比べて低く、事故時に 2 号機 RD 付近に FP が通っていないことを意味している(#8-3)。従って、2 号機ベントは成立していない(#9_3)。

② 1, 2 号機共用主排気塔下部の高汚染の原因

1, 2 号機共用主排気塔下部の汚染(約 6,000 mSv/h)は、3, 4 号機共用排気筒下部の汚染(3 mSv/h)の 1,000 倍程度であった(#8_2)。上記記載(#12_5-2)のように、1, 2 号機ベント配管は排気筒下部に接続

しているためベントガスが排気塔基部に滞留したと考えた²⁾。

③ 1, 2 号機と 3, 4 号機の排気塔下部汚染レベルの差の要因

S/C での減圧沸騰によるスクラビング効果への影響は小さいことを、大型実験装置により確認した(#8_4)。また、スクラビング時の水深は、3 号機の方が 1 号機よりも深く、3 号機の方が 1 号機よりも除染効果が高い(#10_2)。従って、スクラビング効果では、1, 2 号機と 3, 4 号機の汚染レベルの差を説明できない。

④ 2 号機 SGTS 配管と 1 号機 SGTS 配管の汚染レベルの差

1, 2 号機共有排気塔基部で 2 号機耐圧ベントラインが 1 号機耐圧ベントラインに合流しているが、2 号機 SGTS 配管(0.1~1 TBq オーダー)の方が 1 号機 SGRS 配管(0.01~0.1 TBq オーダー)より汚染レベルが高い(#14_4, #22_5-2)。熱流動解析による検討を行い(#14_4-1, #32_3)、逆流量などの境界条件を見直し、水蒸気の凝縮及び凝縮水の低所への移動が、汚染パターンの主なメカニズムと結論づけた(#35_1-2)。

⑤ 1 号機 S/C 内の真空破壊弁周辺に高い汚染

解析から、真空破壊弁で D/W と W/W を均圧させるほどのバイパスが生じた可能性は低い(#10_2)。今後、1, 2 号機共用排気筒下部のドレイン水等ベントガス組成の痕跡を分析し、真空破壊弁のバイパス流量の推定を行う(#11_2-2)。

(2) オペフロ及び SP 付近の放射線量と SP 下面における Cs の存在

SP は頂部カバー、中間カバー、底部カバーの 3 層構造で、各カバーは直径約 12 m、厚さ約 0.62 m、重さ約 50 t で、カバー間の隙間は約 10 mm で、各カバーは 3 分割となっている(#14_5-1)。各号機の汚染状況を以下に示す。

① 1 号機(#10_6-3)

SP は、水素爆発により下方への衝撃によりズレた。吊り下げにより測定した中間カバー下の最大線量率は 1,100 mSv/h であり、事故時の高い PCV 圧力の条件下ではフランジ部からの漏えいがあったものと考えた。3D 計測により、SP のたわみ量は 80~170 mm であった(#27_2-1_別添 2)。

② 2 号機

水素爆発が起きなかったため、頂部カバー表面の汚染により頂部カバーと中間層カバーの隙間に蓄積している Cs-137 の汚染密度を以下の 3 方法の測定結果から推定した；a)オペフロ床表面から 150 cm 位置での周辺線量当量率の測定(#31_3)、b)コリメータ付き線量計による表面から 30.5 cm 高さでの γ 線線量率の測定(#15_4)、c)新たに穿孔した穴 13 個と既存穴(直径 5 cm, 深さ 7 cm)2 個に線量計を挿入して線量当量を測定(#21_5-4, #22_3-3, #27_2-1)。いずれの推定でもオペフロ内壁の寄与の推定にはかなりの「不確かさ」があるが、頂部カバー下面に大量の Cs-137 が存在していることは間違いなしとしている(#31_3)。SP の形状測定では 30~60 mm 程度の落ち込みがあり(#27_2-1_別添 2)、この種の変形による SP の継ぎ目が放射性物質の放出経路になったと考えた(#28_2-1-3, #32_4-1)。落ち込みの原因は、構造解析により自重変形の可能性が示された(#32_4-2)。

③ 3 号機

建屋が水素爆発で破損したため SP は雨ざらしの状況であったが、表面を掘削し除染を行っている(#21_3-3)。SP 上の平均汚染密度は $2.6E+10$ Bq/cm² で、半径 6 m の SP 隙間全体に平均の密度で一様に Cs-137 があるとする、総量で約 30 PBq となる(#22_3-3)。SP は中央部に約 300 mm の変形が確認されたが、原因は天井クレーン等の落下と推定されている(#27_2-1_別添 2)。

(3) 建屋内線量分布

NRA の現地調査により、1 号機原子炉建屋 1, 2, 3, 4 階(#27_2-2, #29_2)、2 号機オペフロ(γ カメラによる測定)(#11_3-1)、2 号機原子力建屋 5 階(#30_3-1)、3 号機原子炉建屋 1, 2 階(#27_2-2)の線量測定が行われた。また、JAEA にて、瓦礫試料やドレンサンプ水試料(#14_4-2, #15_5, #21_4-1)、建屋等スミア試料

(#22_4-1, #27_4-1, #29_1-3,)の分析・評価が行われた。

3. 調査結果より得られた課題

本委員会の目的の一つである「ソースターム予測技術向上への貢献」の観点から、以下の課題を抽出した。

課題 1 ; ベントガス放射線量評価 (上記(1)-③⑤に対応) ; ベントラインの汚染程度や PCV 内線量分布などのデータから、事故進展シナリオを見直す必要がある。

課題 2 ; ベントラインの汚染メカニズム (上記(1)-④に対応) ; 現行の SA 解析では、ベントガスは S/C 気相部から排気塔を介して環境へ直接放出されとしている。このため、事故進展に沿ったベントラインでの汚染メカニズムを検討する必要がある。

課題 3 ; PCV リーク経路の確認 (上記(2)に対応) ; 現行 SA 解析で PCV リークは想定しているが、SP を介する放出経路 (リーク) は想定していない。

4. 今後の進め方

上記課題解決のためには、1F 現場で得られるデータをソースタームの観点から見直し、環境への FP 放出モデルを改良する必要がある。各課題の解決に向けた対策案を以下に示す。

課題 1 ; ベントガス放射線量評価 ; ベントラインの汚染程度、PCV 内線量分布等の実測値、及びモニタリングポストでの測定値や WSPEEDI の解析結果³⁾などと、事故進展シナリオから得られる推定値を比べ、事故進展シナリオを見直していく。

課題 2 ; ベントラインの汚染メカニズム ; ベントガス放出のタイミングやベントガスの組成に関するデータを基にしたベントラインでの汚染量から、フィルタードベントシステムの汚染程度を評価する。

課題 3 ; PCV リーク経路の確認 ; 事故時の PCV 内圧力挙動から PCV トップフランジからのリークタイミングを推定し、SP の蓄積量からリーク量を推定し、これらから事故進展シナリオを見直す。そして、SP での除染効果を評価する。

これらの検討・評価をワーキンググループで行い、FP 放出モデル改良の一助になるように活動経過・結果を技術報告書にまとめていく。なお、重要なデータが得られる事故分析検討会は継続中なので、今後も引き続き注視していく。

参考文献

- 1) 原子力規制委員会、「東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会」、
https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/yuushikisya/jiko_bunseki01/index.htm
- 2) 原子力規制委員会、「東京電力福島第一原子力発電所事故の調査・分析に係る中間とりまとめ」
(2021/3/5)、[000345595.pdf \(nra.go.jp\)](https://www.nra.go.jp/disclosure/committee/000345595.pdf)
- 3) G. Katata, et.al., “Detailed source term estimation of the atmospheric release for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident by coupling simulations of an atmospheric dispersion model with an improved deposition scheme and oceanic dispersion model”, Atoms. Chem. Phys., 15, 1029(2015).

*Hidetoshi Karasawa¹, Hidetoshi Okada² and Akihide Hidaka³

¹JAEA, ²IEST and ³Niigata University

Planning Lecture | Board and Committee | Education Committee

[1J_PL] Current Status and Issues for Human Resource Development in Industry

Chair: Nobuo Ikeda (Kyushu Univ.)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room J (13 Bldg.2F 1321)

[1J_PL01] Human Resource Development in TEPCO HD

*Yasuhiro Matsuzawa¹ (1. TEPCO HD)

[1J_PL02] Human Resource Development in JAEA

*Hiroko Miyamura¹ (1. JAEA)

[1J_PL03] Human Resource Development in Hitachi-GE Nuclear Energy

*Tetsuya Matsui¹ (1. HGNE)

[1J_PL04] Discussion

All Presenters

教育委員会セッション

産業界における人材育成の現状と課題について
Current Status and Issues for Human Resource Development in Industry

(1) 東京電力 HD における人材育成の取組み

(1) Human Resource Development in TEPCO HD

*松澤 泰弘

東京電力 HD

1. 原子力人材育成センター設立の経緯

福島第一原子力発電所（以下、1F という）の事故においてシビアアクシデント対策が不十分であった要因に、「安全意識」、「技術力」、「対話力」の不足があった。「安全意識」、「技術力」、「対話力」を向上させていくための基盤は人材の育成にある。そこで本社・発電所に分散していた訓練部門を集約して効率的かつ効果的な訓練を進めるために、原子力・立地本部長の直属組織として 2016 年に原子力人材育成センターを設立した。

2. SAT の適用とパフォーマンススペースの力量管理

2-1. SAT の適用

原子力人材育成センターによる効率的かつ効果的な訓練の推進にあたり、SAT（Systematic approach to training）の適用も強化した。SAT とは訓練プログラムを体系的に開発・維持することを目的としたアプローチであり、ADDIE モデルという分析（Analysis）、設計（Design）、開発（Development）、実施（Implementation）、評価（Evaluation）の 5 つのプロセスで構成されるモデルが用いられる。ADDIE モデルの 5 つのプロセスを回していくことにより、運転、保全、放射線、化学、燃料などの各分野の業務を遂行する上で、必要な内容に基づいたパフォーマンススペースの訓練を継続的に実施していくことを目指している。

2-2. パフォーマンススペースの力量管理

訓練の結果について、これまでは理解度テストや実技の結果を基に、主に知識・技能の観点から評価を行ってきた。しかしながら、訓練の結果が実際の業務に活用され行動に現れているかパフォーマンスの観点で評価すべきとの考えに至り、業務の成果を軸に力量を評価するパフォーマンススペースの力量管理の取り組みを 2019 年度より開始した。個人の力量を所属するグループの業務におけるパフォーマンススペースで評価することにより、個人の力量に加えて組織の力量の見える化も進める。また、評価結果を踏まえ訓練プログラムについても、SAT プロセスを活用し、パフォーマンスの向上に一層寄与する内容に継続的改善を図る。

3. プラント長期停止における運転員の訓練

東日本大震災以降、プラント長期停止が続いているが、運転員はプラントシミュレーターを活用し、事故時だけでなくプラント起動操作の訓練なども継続して実施している。重大事故対応を目的とした現場とシミュレーターを組み合わせた訓練は年間 120 日に及ぶ。また、運転経験のない若手運転員を中心に、実際に動いているプラントの現場を体感することを目的として火力発電所や既に稼働した原子力発電所での訓練を実施したり、運転経験豊富なベテラン運転員から現場操作の指導を受けたりするなど力量向上に努めている。

4. 福島第一原子力発電所の廃炉作業に関する人材育成の取り組み

1F の廃炉作業は、燃料デブリの取り出し、ALPS 処理水の対応など通常の廃炉とは異なる作業を進めるためのコア技術修得が必要となる。そこで各業務を担当するグループから講師を選定し、社内で廃炉コア技術講座を開講して力量向上に努めている。また、日本原子力研究開発機構（JAEA）主催により、1F の廃炉に携わる地元企業やメーカーの技術者、大学の研究者等を対象に、「1F 廃炉全般に関わる基礎知識の習得」、「1F 廃炉に共通して有することが望ましい技術の習得」を目的とした「廃炉人材育成研修」も行われている。

*Yasuhiro Matsuzawa

TEPCO HD

教育委員会セッション

産業界における人材育成の現状と課題について
Current Status and Issues for Human Resource Development in Industry

(2) 原子力機構における人材育成の取組み

(2) Human Resource Development in JAEA

*宮村（中村） 浩子¹¹JAEA

1. 原子力機構における人材育成概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以降、JAEA と略す）では、原子力分野における研究開発成果の最大化を達成するため、目指すべき人材像、育成の方針等を盛り込んだ人材ポリシーを策定するとともに、各研究開発部門においては、研究開発のプロフェッショナルな人材育成の他、核不拡散・核セキュリティ総合支援センターや原子力緊急時支援・研修センター等、各々の事業の専門分野に応じた職員の人材育成を推進している。

また、これら研究開発等の施設設備や人材を活用して、国内外の人材育成を推進するため、原子力人材育成センターは、日本における原子力利用の初期段階から、研修事業を開発するとともに、各研究開発部門や核不拡散・核セキュリティ総合支援センター、原子力緊急時支援・研修センター等、日本における時代のニーズに応じて、特定分野の人材育成を推進し、我が国における原子力利用の基礎基盤に貢献してきている。

2. 国内外における人材育成概要

JAEA では、教育機関や産業界からの要請に応えるため、昭和 32 年に旧日本原子力研究所ラジオアイソトープ研修所、昭和 34 年に原子炉研修所がそれぞれ設置され、これらを起源として昭和 50 年に原子力人材育成センターが設立された。以降、国内外の原子力に関する研究者及び技術者の養成訓練に係る取組みを、「国内研修」「国際研修」「大学との連携協力」「原子力人材育成ネットワーク」活動として推進している。

国内研修では、社会人に対し、原子力利用の基礎的な内容から実践的な講座まで、また国家試験対策講座もニーズに応じて用意している。理論的なことを実験実習で体得することを組み込んだカリキュラムである。

また、国内の人材育成に限らず、アジアを中心とした原子力の国際交流開始に伴い、アジアにおける原子力利用を促進するため、国際講師の育成を目標とした国際研修を立ち上げた。アジアを中心とした 11 か国対象に原子力の専門家、講師を輩出し、各国の原子力利用の自立化を目指した貢献を果たしている。

大学との連携協力では、大学・大学院・高専等の学生向けに、大学連携ネットワークによる講義、JAEA の施設を用いた実験実習等、最先端教育・研究の機会を提供している。本活動は、人材センターで取りまとめ、各研究部門が教育指導を担うことで、最先端レベルの実験実習を提供している。

さらに、我が国の産官学が連携し設立した原子力人材育成ネットワークの共同事務局を、日本原子力産業協会、原子力国際協力センターと共に担当している。ここでは、個々の機関では対応できない人材育成課題に資するため、育成対象ごとに 5 つの分科会を設置し、活動している。現在、共通的な課題を設定し、日本における原子力分野の人材育成に係る戦略ロードマップの策定に向けて、鋭意検討や協議を進めている。

*Hiroko Nakamura Miyamura¹¹JAEA

教育委員会セッション

産業界における人材育成の現状と課題について
Current Status and Issues for Human Resource Development in Industry

(3) 日立GEにおける人材育成の取組み

(3) Human Resource Development in Hitachi-GE Nuclear Energy Ltd.

*松井 哲也、清水 美和子、神宮司 悠／日立GEニュークリア・エナジー株式会社

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故以降、原子力人材の確保と育成が産業界にとって大きな課題になっていることは周知のとおりであり、例えば、原子力人材育成ネットワークの報告^[1]によれば、『産業界の人材獲得・育成は将来の事業性を見据えて行われることから、第一に予見性のある原子力将来ビジョンが明確に示されることが重要』と指摘されている。そのような状況を踏まえ、本稿では、原子力プラントメーカーの一つである弊社における人材育成の課題と対応に関し、人材採用と採用後の人材育成の両面について報告する。

2. 弊社における人材採用の状況と課題

日本原子力産業協会の調査報告^[2]の原子力メーカー6社（弊社含む）の採用状況（2021年）では「東北地方太平洋沖地震から2013年度まで、採用人数は減少したが、2015年度に一旦回復し、その後再び減少傾向にある。原子力専攻の採用人数は他学科よりも減少が小さく、2012年度から2019年度までは採用人数全体の20～30%で推移していたが、ここ2年ほどは減少傾向にある。」とある。弊社単体においても傾向はほぼ同様であり、2020年～2021年の採用人数は2012年～2013年レベルと同程度の低いレベルであった。一方、原子力専攻の採用人数に関しては、年度によって変動はあるものの、採用人数に対する比率では期間平均で約25%と安定している。これは逆に原子力専攻以外の学生の採用も約75%で推移していることを意味している。大学での原子力教育の観点で原子力専攻の学生への取り組みが重要であることは当然であるが、原子力専攻の約3倍の学生が他分野から原子力メーカーにきている状況に関し、その原因を分析するとともに、他分野学生への原子力教育に関し何らかの手立てを考えることも今後重要ではないかと考える。

一方、最近の採用ではインターンシップの重要性が増しており、弊社では2018年～2020年の3年間にわたり、文部科学省「国際原子力人材育成イニシアティブ事業」において原子力人材育成のためのインターンシップ型の研修を実施した^[3]。研修目的は、原子炉および燃料のリスクを正しく知るとともに、それが制御できるものであるとの認識を身に付けることとし、5回の研修で計50名の学生が参加した。この活動は現在弊社単独のインターンシップ活動に取り込み継続実施している。

3. 弊社内での人材育成の取組み

採用後の人材育成の一つとして、弊社では多岐にわたる原子力技術を若い世代に確実に伝承するため、ナレッジマネジメントを用いて、エキスパートのナレッジをネクスパート（エキスパートのナレッジを受け継ぐ若手[Next Expertの略称]）に伝承する活動をシステムティックに進めている^{[4][5]}。また、技術士の国家資格に「原子力・放射線部門」が新設されたのは2004年であったが、それ以降技術士取得の教育支援を継続し、他分野の技術士を含め延べ143名の技術士を育成して、技術レベルと技術者倫理の維持を図ってきている。

参考文献

- [1] 原子力人材育成ネットワーク「産業界における原子力人材育成に関する現状と課題について」（2022年）
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/genshiryoku/kakushinro_wg/pdf/006_05_00.pdf
- [2] （一社）日本原子力産業協会「原子力関連企業・機関の採用状況の調査結果について」（2021年8月5日）
https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2022/06/2021_saiyou_report.pdf
- [3] 松井 他、原子力学会 2021 年秋の大会, 1K14（2021）
- [4] 八木 他：次世代に技術をつなぐ原子力分野でのナレッジマネジメント活動，日立評論（2020.03）
- [5] 八木 他、原子力学会 2021 年秋の大会, 1K12（2021）

*Tetsuya Matsui, Miwako Shimizu, Yu Jingui / Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room J)

[1J_PL04] Discussion

All Presenters

原子力発電プラント長期停止からくる技術・経験を失うことへの懸念を背景に、組織的かつ継続的な教育・訓練の充実、研究開発や業務を通じた人材育成の必要性が認識されている。本セッションでは、原子力産業界の人材育成に焦点をあて、研究者/技術者の養成、運転員の訓練や安全意識・技術力向上への取組み、福島第一原子力発電所廃炉に係る人材育成や、新型炉開発に向けた技術の伝承、産官学連携の状況等について、広く関係機関、企業での取組み事例を報告し、今後の人材育成の在り方について議論する。

Planning Lecture | Technical division and Network | Reactor Physics Division

[1K_PL] Progression and future issues of Multi-physics approach with reactor physics

Chair: Motomu Suzuki (CRIEPI)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room K (13 Bldg. 2F 1322)

[1K_PL01] Current Status and Future Prospects of Multi-Physics Simulation in Reactor Physics

*Masahiro Tatsumi¹ (1.)

[1K_PL02] Development of JAEA Advanced Multi-Physics Analysis Platform for Nuclear Systems JAMPAN

*Kenichi Tada¹ (1. JAEA)

[1K_PL03] Multi-physics simulation for discontinua and its industrial applications

*Mikio Sakai¹ (1. UTokyo)

[1K_PL04] Discussion

炉物理部会セッション

炉物理におけるマルチフィジックス研究と今後

Progression and future issues of Multi-physics approach with reactor physics

(1) 炉物理におけるマルチフィジックスシミュレーションの現状と将来展望

(1) Current Status and Future Prospects of Multi-Physics Simulation in Reactor Physics

*巽 雅洋¹¹原子力エンジ

欧米におけるマルチフィジックスシミュレーションの取り組みをレビューし、デジタル技術の活用と人材育成の観点から、我が国における課題と今後の可能性について論じる。

キーワード：マルチフィジックス、モデリング&シミュレーション、デジタル技術、人材育成

1. 欧米における事例と成果

2000年代半ばより、持続可能な社会に適合する原子力を実現すべく、科学的合理性に立脚したモデリング&シミュレーション(M&S)によるアプローチを通じて、それらが示す事柄を客観的事実に基づき受容していくサイエンスベースの姿勢が重要であるとの認識が高まってきた。これを受けて、欧州では2007年からEURATOMによるNURESIMプロジェクト(後にNURESAFE等に発展)が開始された。また、米国ではDOE原子力R&Dロードマップに基づき、2009年よりNEAMS(Nuclear Energy Advanced Modeling and Simulation)の枠組みのなかで、軽水炉シミュレーションの高度化を目的としてOak Ridge国立研究所(ORNL)を中心としたコンソーシアム(CASL: Consortium for Advanced Simulation of Light Water Reactor)が立ち上げられた[1]。産官学による複数年におけるプロジェクト遂行にあたり、EuratomやDOEから相応の予算が割り当てられている。達成すべき目的に鑑みて、考慮する現象の範囲を広げると同時に計算モデルの忠実度を高めている。炉物理、熱流動、燃材料を対象としたソルバー間でのカップリング計算を基本とし、CASLにおいては水化学も対象に含めている。大規模分散並列計算機も含めた様々な計算環境でのシミュレーションの実行を想定しており、連成計算やデータ可視化のためにデータ交換フレームワークであるSALOMEやMOOSEが積極的に活用されている。既存の計算コードやソルバーを活用すると同時に、新規開発の高忠実な計算コードをフレームワークに組み込むことで、ノウハウ活用による効率化と新規開発のベネフィットを両立している。検証と妥当性確認も重要なテーマの一つであり、ベンチマーク問題の設定・活用、感度および不確かさ解析を含めた実験結果との比較など、解析能力の向上だけではなく人材育成の観点からも意義深いプロジェクトといえる。プロジェクト成功のためには、①予算的な裏付けも含めた強力なトップマネジメント、②明確なビジョンと目標の設定、③各機関の特性を活かしたプロジェクト運営、の3つの要素が重要であると言える。

2. 我が国における課題と将来展望

2000年代以降、我が国においては、軽水炉分野を中心に炉物理や熱流動などの個別の分野において、計算手法やコードの開発において顕著な成果を上げてきた。一方でマルチフィジックスシミュレーションという観点においては、高速炉解析分野での試み[2]や軽水炉の安全解析の枠組みでの進展はあったが、次世代炉を対象にしたものは殆どなく、研究開発や人材育成の観点での推進という意味では欧米に後れを取っていたと言わざるを得ない。これには様々な理由が考えられるが、①福島第一原子力発電所の事故後の議論の中で、研究開発分野における課題意識や緊急度が欧米に比べて低かったこと、②核燃料サイクルの将来ビジョンが不透明な状況において、高速炉や次世代炉を対象とした研究開発が限定的だったこと、③原子力分野におけるソフトウェア投資への理解が少なく、モデリング&シミュレーション分野での人材育成投資が進まなかったこと、の三つに集約されると考える。

福島原子力発電所事故に対する真摯な取り組みを継続した結果、エネルギー安全保障への関心と原子力エネルギーの活用への関心・理解も広がりつつあり、ベストミックスを実現するための方法論や原子力技術の維持・向上に対する議論の機運が高まりつつある。しかしその一方で、10年超におよぶ研究開発の停滞は、

原子力人材の確保と育成に対して想像以上のダメージを与えている。特に、原子力黎明期を担ったベテラン層が持つノウハウをいかに次世代に繋げるか、原子力の未来を託す若手をどのように育成していくべきか、今まさにこのタイミングで真剣に考えなければならない状況にある。その解決方法のひとつとして、我が国の原子力分野におけるマルチフィジックスシミュレーション技術の高度化推進を提案したい。

いま最も重要なことは、原子力発電に係る基盤技術を維持・向上させることであり、この分野が魅力的であり続けることである。Software-Defined な社会への移行が進みゆく中で、重要な社会インフラを担う原子力の分野においても、デジタル技術を活用した変革が求められている。単なる IT 化による合理化やコスト低減だけを指向するのではなく、原子力を含めたエネルギー全体のエコシステムについて、デジタル技術を活用してデザインするという新たな発想が必要となるだろう。そのためには、全技術者のデジタルリテラシーの底上げが必要であり、さらには一部のコア人材に対しては高度な専門スキルを養成することが肝要である。素養を持つ潜在層まで対象を広げたとしても、需要を満たす人材を十分に確保することができず、熾烈な獲得競争の中で少ないパイを奪い合っているのが現状である。

そこで提案するのが、マルチフィジックスシミュレーション技術の高度化として、今後導入が期待される次世代炉のデジタルツインモデルの開発である。科学技術および原子力産業における競争力の向上が期待できると同時に、人材育成の観点でも費用対効果が高く波及効果も大きい。既存の計算機資源を活用する場合において、ソフトウェア開発費用の大部分は人件費であり「人への投資」である。これまでハードウェア偏重傾向だった予算を見直し、ソフトウェア分野への投資に集中することで、我が国が得意とする応用分野でより一層の存在感を発揮できるだろう[3]。我が国が誇るスーパーコンピュータ「富岳」は高い演算性能と汎用性を同時に発揮できる非常に優れたアーキテクチャを有しているが、それでも性能を引き出すためには、計算工学や計算機科学に関する高度な専門知識が不可欠である。この分野における取り組みは、現時点において欧米に比べて後れを取っているかもしれないが、次世代原子炉の設計開発に資するビジョンと明確な目標を掲げることで、素早くキャッチアップできるだろう。すでに実現済みの要素技術から重要なエッセンスを抽出し、それらを最新の計算機アーキテクチャに適合させていく、あるいは、それらを踏まえて次世代アーキテクチャとして提案・開発・実装していくことで、高度なデジタルツインを実現することが可能なのではないか。科学技術立国の基本方針のもと、盤石なエネルギー基盤の実現に資する意味でも、国民への還元効果が期待できる国家プロジェクトとして推進していくことが望ましい。連合プロジェクトとして実現することで、組織の枠を超えて、有形無形の資産を将来世代と共有できると確信する。

上記は単なる理想論、夢物語にすぎないとの批判もあるだろう。予算と人材の不足、組織の壁など、課題やできない理由は容易に列挙できる。しかしながら、我が国の大学、研究機関、民間企業、そして規制当局は優秀な人材を擁しており、それぞれが個別に活躍していることも事実である。あと必要なことは、明確なビジョンと目標を掲げ、予算的な裏付けを行い、強力なリーダーシップと適切なマネジメントのもと、これらのタレントを束ねていくことである。これこそが欧米の事例から学び、我が国において我々が実践していくべきことではないだろうか。

本稿が今後の議論に一石を投じることを期待する。なお、本稿の内容は筆者個人としての発言であり、筆者が所属する組織を代表するものではないことを付記しておく。

参考文献

- [1] 堀田, 「米国と欧州の情勢」 計算科学技術部会企画セッション, 日本原子力学会 2011 年秋の大会
<https://csed.sakura.ne.jp/archives/543>
- [2] 横山他, 「汎用炉心解析システム MARBLE2 の開発」, JAEA-Data/Code 2015-009. (2015).
DOI:10.11484/jaea-data-code-2015-009
- [3] 安宅, シン・ニホン AI×データ時代における日本の再生と人材育成, NewsPicks パブリッシング (2020).

*Masahiro Tatsumi¹

¹NEL

炉物理部会セッション

炉物理におけるマルチフィジクス研究と今後

Progression and future issues of Multi-physics approach with reactor physics

(2) JAEA マルチフィジクス用プラットフォーム JAMPAN について

(2) Development of JAEA Advanced Multi-Physics Analysis Platform for Nuclear Systems JAMPAN

*多田 健一¹¹JAEA

JAEA が開発中のマルチフィジクス用プラットフォーム JAMPAN について説明する。

キーワード：マルチフィジクス，プラットフォーム，JAMPAN

1. JAMPAN の開発背景

炉心設計コードの妥当性検証には、実験データとの比較が必要となる。しかし、核熱連成などのマルチフィジクスを取り扱った実験データは非常に限られている。そのため、実験データに代わる高忠実なマルチフィジクスシミュレーションを実現することで、炉心設計コードの妥当性確認に資することが求められている。JAEA では、忠実な核熱連成シミュレーションの実現のため、マルチフィジクス用プラットフォーム JAMPAN(JAEA Advanced Multi-Physics Analysis platform for Nuclear systems)の開発を 2021 年に開始した。

2. JAMPAN の構造

図 1 に JAMPAN の構成図を示す。JAMPAN では、HDF5 形式の汎用データコンテナを中核として核計算や熱水力計算などの物理計算コードを連結する。各物理計算コードは共通のインタフェース（データ変換モジュール）を介してデータの受け渡しを行うことで、他の物理計算コードへの連結を個別に考慮しなくてもよい。この特徴を活かすことで、構造計算や材料の腐食計算など、様々な物理計算コードを比較的容易に追加していくことが可能となる。このようにマルチフィジクス計算に必要な物理計算機能をモジュールとして追加することで、様々なマルチフィジクス計算を実現することを計画している。

また、図 1 は現状における核熱連成計算のために組み合わせ可能なコード群を示しており、核計算コードとして MVP、熱水力計算コードとして JUPITER と NASCA が利用できる。熱水力計算では、詳細度の異なる 2 種類のコードが選択でき、各計算コードの入出力を取り扱うモジュールを実装すれば、容易に他の計算コードも追加することが可能である。今後は三次元二流体モデル解析コード ACE-3D などを追加することを検討している。

JAMPAN は Python ベースで構築している。そのため、同じく Python ベースで構築されている JAEA の汎用炉心解析システム MARBLE とも親和性が高い。JAMPAN と MARBLE は共通する部分が多いことから、MARBLE の資源を最大限活用していくことで、JAMPAN 開発の効率化を図っていく予定である。

JAMPAN の開発はスタートしたばかりであり、物理計算モジュールや入出力フォーマットの詳細については今後決定していく予定である。JAMPAN の開発状況については学会等で報告していくので、その際には JAMPAN の発展のため、忌憚のないご意見・ご要望を頂きたい。

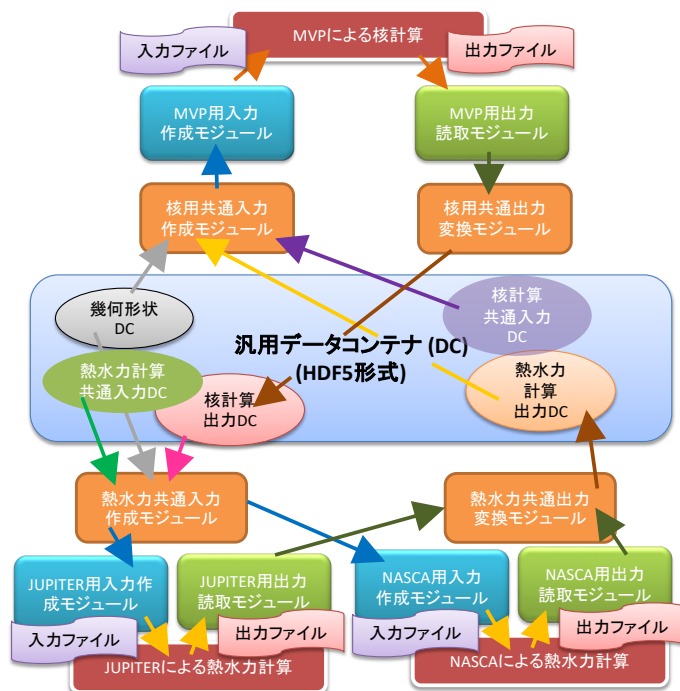


図1 JAMPANの構成図

*Kenichi Tada¹¹JAEA

炉物理部会セッション

炉物理におけるマルチフィジックス研究と今後

Progression and future issues of multi-physics approach with reactor physics

(3) 不連続体を対象としたマルチフィジックスシミュレーションとその産業応用

(3) Multi-physics simulation for discontinua and its industrial applications

*酒井 幹夫¹¹ 東京大学

1. はじめに

流体や弾性体のような連続体は支配方程式が確立しており、マルチフィジックスシミュレーションに広く利用され、その妥当性確認もなされている。他方、著者の研究対象とする不連続体は支配方程式が確立しておらず、個々の固体粒子の挙動を模擬するラグランジュの手法の Discrete Element Method (DEM)¹⁾が世界標準として使用されている。DEM と Computational Fluid Dynamics (CFD) を連成²⁾した計算手法の CFD-DEM は、もっとも典型的なマルチフィジックスシミュレーションのひとつの固体-流体連成シミュレーションにおいて広く使用されている。本稿では、マルチフィジックスシミュレーション手法として CFD-DEM の概要を示すとともに、CFD-DEM を用いた固体-流体連成シミュレーションの計算事例について紹介する。

2. 数値シミュレーションモデルの概要

CFD-DEM では、CFD のグリッドサイズと DEM の計算粒子の大きさの比によって固体-流体間相互作用力のモデル化が異なる。本稿では、CFD のグリッドサイズが DEM の粒子径よりも大きい Unresolved CFD-DEM について述べる。Unresolved CFD-DEM では、流体の支配方程式には局所体積平均が導入されており、Navier-Stokes 方程式における固体-流体間相互作用項は実験などにより導出された式(例えば、Wen & Yu の式と Ergun の式を結合したもの)により模擬される。Unresolved CFD-DEM の流体の支配方程式に関する安定条件は、クーラン数および拡散数に加えて、固体-流体間相互作用項の Mori-Sakai の式³⁾があげられる。Mori-Sakai の式は、著者のグループで導出されたものであり、

$$\Delta t < \frac{D^2 \rho \varepsilon^2}{(1-\varepsilon)(75+1.75Re_p)\mu_f} \quad (1)$$

のように表される。ここで、 D 、 ρ 、 ε 、 μ_f および Re_p は、それぞれ、粒子径、流体密度、空隙率、流体粘度および粒子レイノルズ数である。このような安定条件の下、Unresolved CFD-DEM を使用して固体-流体連成シミュレーションを実行すると、実現象に対して再現性の良い結果を得ることができる。

Unresolved CFD-DEM を産業規模の粉体システムに応用する際に計算粒子数が不足する可能性がある。1 台の計算機を使用した際の計算粒子数は 100 万個程度となるが、これはスプーン数杯分の粉砂糖にすぎない。そのため、Unresolved CFD-DEM を産業規模の粉体システムに応用することは実質的に不可能である。このような問題を解決するために、著者のグループでは、Unresolved CFD-DEM を大規模粉体システム(例えば、10 億個超の粒子数の体系)に応用する計算手法として DEM 粗視化モデル⁴⁾を開発している。DEM 粗視化モデルでは、粗視化粒子と呼ばれるモデル粒子を用いて実粒子の粒子群を模擬する。なお、DEM 粗視化モデルでは、粗視化粒子と粒子群の間で質量と全エネルギーが一致するようにモデル化がなされている。DEM 粗視化モデルを使用すると、粗視化粒子が実粒子よりも L 倍大きな場合、計算粒子数は $1/L^3$ にすることができる。すなわち、実粒子 10 億個の大規模体系であっても、10 倍大きな粗視化粒子を使用すると計算粒子数は 100 万個となるため、このような大規模体系であっても 1 台の計算機で模擬することができる。

*Mikio Sakai¹¹The University of Tokyo

3. 計算事例：粉体混合

本稿では、Unresolved CFD-DEM を応用した計算事例として粉体混合を紹介する。本稿で示す混合機とは異なるが、粉体混合は原子力分野においても軽水炉用原子燃料の製造プロセスなどで採用されている。

まず、Unresolved CFD-DEM を用いた粉体混合シミュレーション⁵⁾について述べる。本研究では、コンテナブレンダーを対象とし、粒子密度が $1,500 \text{ kg/m}^3$ で粒子径 0.20 mm の細粒子 (Case 1-1) および粒子径 1.0 mm の粗粒子 (Case 1-2) を対象とした固体粒子の粉体混合を行い、ブレンダー内部の気流が粉体混合の進展に及ぼす影響を評価した。計算粒子径は Case 1-1 および 1-2 ともに 1.0 mm とし計算粒子数を $500,000$ 個とした。なお、Case 1-1 では DEM 粗視化モデルを用いて実粒子径 0.20 mm の固体粒子を直径 1.0 mm の粗視化粒子で模擬した。コンテナの回転速度は 40 rpm とした。Case 1-1 および 1-2 ともに、初期状態において上側半分の粒子を赤色で可視化し、下側半分の粒子を白色で可視化した。

図 1 に計算結果を示す。9 回転目において Case 1-1 および Case 1-2 の粉体混合状態を比較したところ、Case 1-1 の方がよく混合されていた。細粒子の混合状態が良かった理由として、コンテナブレンダー内に発生する気流が粉体の流動性を高め、これが混合効率を高めたことがあげられる。このことを確認するために、図 2 のように容器内部の気流も可視化したところ、内部の気流によって細粒子の流動性の向上を確認できた。

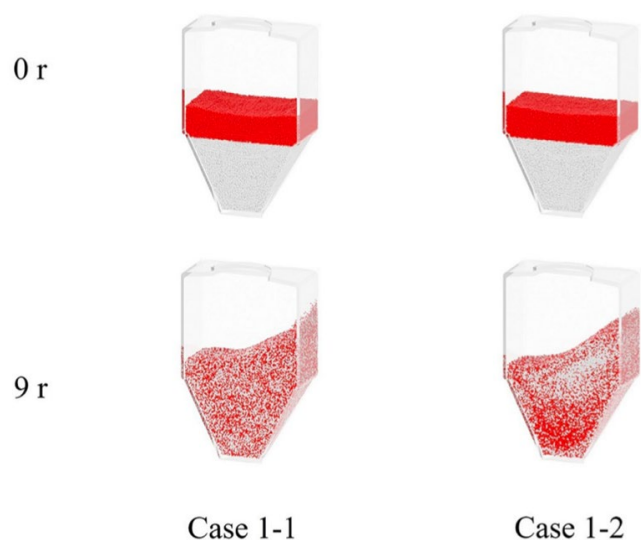


図 1 粉体混合における細粒子と粗粒子の流動挙動の違い⁵⁾

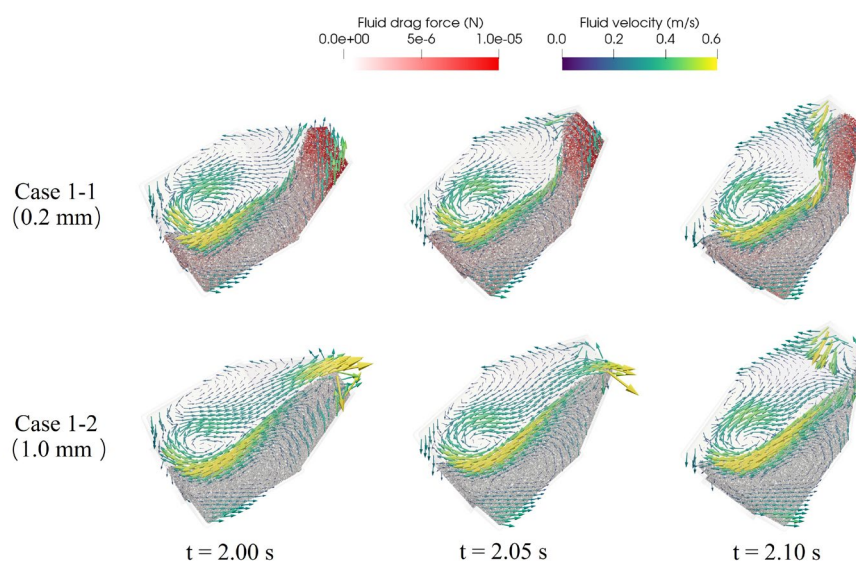


図 2 粉体混合時における細粒子と粗粒子の配置・速度と流体の速度ベクトル⁵⁾

4. おわりに

本稿では、DEM と CFD を連成した数値解析手法の DEM-CFD について、計算手法の概要とともに粉体混合の計算事例についても示した。CFD-DEM は原子力分野において、原子燃料の製造プロセスの最適化検討はもちろんのこと、シビアアクシデントの現象理解や廃止措置における燃料デブリ取り出しの方針検討などにおいても役立てられると思う。CFD-DEM は固気液三相流⁹⁾も模擬できることから、CFD-DEM と炉物理を融合したマルチフィジックスシミュレーションは、複雑な混相流現象に対応した精緻な臨界評価も可能なため、新しい研究テーマを創るきっかけになると思う。従って、やや大袈裟な言い方になってしまうかもしれないが、マルチフィジックスシミュレーションの計算手法の開発を軸とした研究者交流は、原子力工学の計算科学において新しい学問を創る可能性を秘めていると思う。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(17KK0110、21H04870 および 21K19760)の助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) P.A. Cundall, O.D.L. Strack, "A discrete numerical model for granular assemblies," *Geotechnique* 29 (1979) 47–65.
- 2) Y. Tsuji, T. Kawaguchi, T. Tanaka, "Discrete particle simulation of two-dimensional fluidized bed," *Powder Technol.* 77 (1993) 79–87.
- 3) Y. Mori, M. Sakai, "Development of a robust Eulerian-Lagrangian model for the simulation of an industrial solid-fluid system," *Chem. Eng. J.*, 406 (2021) 126841.
- 4) M. Sakai, M. Abe, Y. Shigeto, S. Mizutani, H. Takahashi, A. Vire, J.R. Percival, J. Xiang, C.C. Pain, "Verification and validation of a coarse grain model of the DEM in a bubbling fluidized bed," *Chem. Eng. J.*, 244, 33-43 (2014)
- 5) Q. Shi, M. Sakai, "Numerical study on effect of airflow on powder mixing in a container blender," *Phys. Fluids*, 35 (2023) 013329.
- 6) X. Sun, M. Sakai, "Three-dimensional simulation of gas-solid-liquid flows using the DEM-VOF method," *Chem. Eng. Sci.*, 134, 531-548 (2015)

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room K)

[1K_PL04] Discussion

解析コードの評価精度向上や大規模試験施設の廃止による代替検証のためにマルチフィジックスコードの必要性が取りざたされる。国内原子力分野でのマルチフィジックスコードは炉心設計や過渡解析コードとして使用されてきたが、これらコードの説明性向上のために、より詳細な物理現象に基づく評価手法が必要である。

国外では米国のCASLやEUのNURESIMなどマルチフィジックスコードの開発が進められている。また、日本ではJAEAがマルチフィジックス用プラットフォームの開発をスタートさせた。これら動向のレビュー、炉物理以外の分野から固体-流体連成研究を紹介し、日本の炉物理分野が取り組むべき開発テーマや人材育成について議論を行う。

Planning Lecture | Board and Committee | Board of Directors

[1L_PL] What is the future role of the Atomic Energy Society in advancing GX?

Chair: Shin-ichi Koyama(JAEA)

Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room L (13 Bldg.2F 1323)

[1L_PL01] Overview of the AESJ's efforts and issues towards the realization of GX expressed in the society's statement

*Shinichi Kawamura¹ (1. Hitachi GE)

[1L_PL02] Energy policy for GX

*Yuhei Ohta¹ (1. METI)

[1L_PL03] Effort of comprehensive energy strategy by operators and the standpoint of nuclear power

*Taku Sato¹ (1. KEPCO)

[1L_PL04] Roles and Expectations to Nuclear Power from the Perspective of the Electric Industry Aiming to Realize GX

*Takashi Ozawa¹ (1. JEMA)

[1L_PL05] Points discussed in the "sustainable reactor and nuclear fuel cycle examination/proposal subcommittee"

*Takumi Saito¹ (1. UTokyo)

[1L_PL06] Basic R&D capabilities for realizing GX in Japan and their international competitiveness

*Hiroyuki Oigawa¹ (1. JAEA)

[1L_PL07] Discussion

Chair: Shin-ichi Koyama¹, Shinichi Kawamura², Yuhei Ohta³, Taku Sato⁴, Takashi Ozawa⁵, Takumi Saito⁶, Hiroyuki Oigawa¹ (1. JAEA, 2. Hitachi GE, 3. METI, 4. KEPCO, 5. JEMA, 6. UTokyo)

GX 実現に向けた原子力学会の今後の役割とは
What is the future role of the Atomic Energy Society in advancing GX?

(1) GX 実現に向けて学会ステートメントで示した取り組みの全体像と課題

(1) Overview of AESJ's efforts and issues towards the realization of GX expressed in the society's statement

川村 慎一 / 日立 GE ニュークリア・エナジー

1. はじめに

政府の第 2 回 GX 実行会議では原子力を不可欠な脱炭素エネルギーの一つに位置付け、専門家の意見も踏まえてあらゆる方策の検討を加速する方針が示された。本会理事会では、この会議で提示された検討事項等への考え方と本会の社会貢献について取り纏め、2022 年 10 月 28 日にステートメントを発表した。

2. ステートメントで示した取り組みと課題

2-1. 原子力発電所の安全性向上とエネルギー・環境問題解決への活用について

本会では東京電力福島第一原子力発電所事故の分析を行い、安全性向上策の検討や倫理の醸成等に取り組んできた。事故の教訓を踏まえて安全性が向上した原子力発電所は、エネルギーと環境の問題解決に向けて十分に活用されるべきである。また、再稼働とその後の運転では、技術、組織運営、安全文化、倫理等の継続的改善とリスクコミュニケーションに、事業者、規制当局、関係組織が取り組むことが重要であり、本会としても継続的に取り組む。さらに、確かな情報の効果的な発信で、原子力利用の理解促進にも貢献する。

2-2. 原子力発電所の長期利用について

原子力発電所の経年化対応では、IAEA の IGALL (International Generic Aging Lessons Learned) をはじめ、国際的に多くの知見が積み重ねられるとともに、国内でも本会を含む様々な場で技術検討が進められてきた。原子力発電所が長期にわたって安全にその役割を果たすように、こうした検討成果を活用し、必ずしも一律の運転年限ではなく、科学的根拠に基づいて設備の安全な利用継続の可否が判断されるべきである。

2-3. 次世代革新炉の開発について

次世代革新炉に関しては、より安全でより合理的な次期軽水炉の設計方針を実現する技術要件を取り纏めるとともに、SMR (Small Modular Reactor) 等、革新炉の安全設計等について検討してきた。また、再生可能エネルギー利用が増加する電力系統の安定性確保、電力以外のエネルギー供給の面でも研究開発が必要である。国においては、既に行われている研究開発支援に加え、新たに建設が進むための社会的仕組みの整備や、新技術に対応した安全規制の整備が、早急に進められるべきである。

2-4. バックエンドについて

本会では再処理、廃止措置、廃棄物の処理・処分を安全に進めるべく検討するとともに、技術的な指針を標準図書に纏めて発刊してきた。また、社会におけるステークホルダの対話に資する発信にも、取り組んでいる。これらを継続するとともに、国によるバックエンドの取り組みが、さらに強化されることを期待する。

2-5. 取り組みを支える学術的・基盤的な裾野の保持等について

原子力の学術的・基盤的な裾野を幅広く保持するとともに、人材の確保・育成が極めて重要である。本会は魅力的な研究開発活動について情報発信していく。また、原子力科学技術は、エネルギー源としてだけでなく、中性子線や放射光といった放射線活用により、燃料電池や超伝導材料等の開発にも役立つものである。

3. おわりに

本会は原子力の安全性向上と原子力科学技術の幅広い活用に関して、引き続き専門家として独立の立場から学術、技術の発展に取組み、成果を提供することで社会に貢献していく。

理事会セッション

GX 実現に向けた原子力学会の今後の役割とは
What is the future role of the Atomic Energy Society in advancing GX?

(2) GX を実現するためのエネルギー政策について

(2) Energy policy for GX

大田 悠平

資源エネルギー庁

1. 我が国のエネルギー政策

我が国は、2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル」の実現を表明し、2021 年 4 月には 2030 年度の温室効果ガス排出量を 46%削減する新たな目標を表明した。これらの目標に向けたエネルギー政策として、2021 年 10 月に第 6 次エネルギー基本計画を閣議決定し、長期的なエネルギー戦略を政府として示してきた。具体的には、安全性の確保を大前提に、気候変動対策を進める中でも、安定供給の確保やエネルギーコストの低減（S+3E）に向けた取組を進めることを大方針とされた。

このような国際公約を掲げ、政策を推進する中で、2022 年 2 月にロシアによるウクライナ侵略が発生した。世界のエネルギー価格の高騰が顕著となる他、我が国でも電力需給の逼迫が発生するなど、エネルギー安全保障の確保に向けた取り組みをより強化する必要性を改めて認識することとなった。

こうしたエネルギー情勢の変化を受け、2022 年 7 月より、政府は GX 実行会議を設置し、エネルギーの安定供給とグリーントランスフォーメーションを実現するための取り組みの方針を議論してきた。その議論の結果として本年 1 月に閣議決定された GX 実現に向けた基本方針においては、GX を通じた 2030 年度の温室効果ガス 46%削減や 2050 年のカーボンニュートラルの達成と、安定的で安価なエネルギー供給につながるエネルギー需給構造の転換の実現に向けた今後 10 年を見据えた取組の方針を取りまとめた。

講演ではこれらの政策の決定の過程とその概要を紹介する。

2. 原子力政策

エネルギー政策の中における原子力の位置付けとして、エネルギー基本計画においては、2050 年カーボンニュートラルを実現に向けて、安全性の確保を大前提に、必要な規模を持続的に活用していく方針とされ、2030 年のエネルギーミックスにおいては、電源構成の 20~22%を見込むものとされた。また、この中で人材育成と研究開発については推進することとされた。

その後、GX 実行会議と総合資源エネルギー調査会における議論を経て、安全最優先の再稼働、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、運転期間の延長に関する制度整備、バックエンドの強化を進めることとされた。研究開発については、GX 経済移行債（仮称）等を活用した大胆な先行投資支援の事業として、2023 年度より、高速炉と高温ガス炉の実証炉をそれぞれ建設するための研究開発プロジェクトが立ち上がる。

講演においては、これらの原子力政策の具体的な内容について紹介する。

Yuhei Ota

Agency for Natural Resources and Energy

GX 実現に向けた原子力学会の今後の役割とは

What is the future role of the Atomic Energy Society in advancing GX?

(3) 事業者の包括的なエネルギー戦略の取り組みと原子力の位置づけ

(3) Effort of comprehensive energy strategy by operators and the standpoint of nuclear power

佐藤 拓 / 関西電力

1. はじめに

昨年 12 月に公表された「GX 実現に向けた基本方針（案）」では、「エネルギー安定供給の確保を大前提とした GX に向けた脱炭素の取組」として、安定的で安価なエネルギー供給が我が国の最優先課題であるとした上で、化石エネルギーへの過度な依存からの脱却を目指すとともに、再生可能エネルギー、原子力など安全保障に寄与し、脱炭素効果の高い電源を最大限活用する旨が示された。この基本方針を踏まえて、電気事業者としては、サプライサイドでの、再生可能エネルギーの更なる導入拡大や安全を大前提とした原子力発電の最大限の活用、火力発電の脱炭素化、またデマンドサイドでの電化の推進など、安定供給確保とカーボンニュートラルの実現に向け、あらゆる対策を講じていくことが必要と認識している。

本稿では GX 実現に向けた原子力発電の位置づけを確認するとともに、原子力発電の活用について論ずる。

2. 原子力発電の位置づけと活用

(1) 原子力発電の特長と位置付け

原子力発電は他のエネルギー源と比較してエネルギー出力密度が圧倒的に大きく、長期間にわたり在庫燃料のみで発電が可能であり、また我が国では国内でサプライチェーンの大部分が完結することから、安定供給と効率性、エネルギーセキュリティの観点で優れている。また、運転時には温室効果ガスの排出がなく、ライフサイクル CO2 発生量も極めて少ないため、カーボンニュートラルの実現に大きく貢献できる。さらに、燃料価格が安価であり、燃料費の占める割合が低いため運転コストの変動が少ない。以上の特長から、エネルギー資源の乏しい我が国にとって原子力発電は低炭素の準国産エネルギー源として、長期的なエネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源である。世界的にも、これら原子力エネルギーの特長が改めて評価され、原子力発電については革新的原子炉システムの提案、研究、開発が進められている。

一方で、我が国では、東京電力福島第一原子力発電所事故以降、依然として、原子力発電に対する不安感や不信感が払拭されたとは言えず、社会的な信頼は必ずしも十分に獲得されてはいない。また、使用済燃料対策、核燃料サイクルの確立、最終処分の実現、廃炉の確実かつ効率的な実現など様々な課題が存在しており、対応が必要であることに変わりはない。

GX 実現に向けて、原子力発電については、安全性の確保を大前提の上で、課題解決に取り組むとともに、その特長を生かして、将来にわたり最大限の活用を図っていくことが求められている。

(2) 原子力発電の活用にあたって

GX 実現に向けた原子力発電の活用について、電気事業者は、まず何よりも、安全確保について不断の努力が必要であると認識しており、いわゆる「安全神話」からの脱却と自主的・継続的な安全性の追求の取り組みをより深化させていく必要がある。このために安全性を追求する活動を業界全体として一貫して継続的にマネジメントする仕組みを構築した。今後、この仕組みをしっかりと回していくことが重要である。

将来にわたって持続的に原子力発電を活用するために、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・建設の取り組みとともに、既存の原子力発電所の可能な限りの活用が求められているため、いずれも安全性の確保を大前提の上で精力的に取り組んでいく。

これらの取り組みについての概要と、これらの取り組みを円滑に実現するための実効性のある制度・仕組みの構築の必要性について論ずる。

理事会セッション

GX 実現に向けた原子力学会の今後の役割とは
What is the future role of the Atomic Energy Society in advancing GX?

(4) GX 実現を目指す電機産業からみた原子力の役割と期待

(4) Roles and Expectations to Nuclear Power from the Perspective of the Electric Industry Aiming to Realize
GX

*小澤 隆

一般社団法人日本電機工業会

1. カーボンニュートラル(CN)実現へのロードマップの策定

日本電機工業会(JEMA)は、原子力の他、火力・水力発電や送配電、再生可能エネルギー、電機を使用する家電製品や産業用電気機器等を取り扱っております。多様な電源、電気を作る・送る・使うそれぞれの立場から、2050 年 CN 実現に向けたロードマップを作成し、様々な課題を議論すべく取り組んでおります。

まず 2050 年のあるべき（ありたい）姿を想定し、そこからバックキャストした長期のロードマップが必要と考え、現在保有する技術の将来展開予想ではなく、2030 年、2040 年の断面でどのような技術が必要かを議論する素材として提示しました。

2. JEMA の取り組みから**2-1. 原子力発電に係わるロードマップの考え方**

JEMA では、原子力発電を 2050 年カーボンニュートラルに貢献する有力な選択肢と捉え、2050 年における発電量 13,500 億 kWh/年の 20%である 2,700 億 kWh/年を原子力発電で担うと仮設定しました。原子力発電の稼働率は、海外でも十分実績がある 85%以上とし、設備容量 36GW 以上を確保するための課題等を検討する素材として提供しました。これは、様々な課題はあるものの、十分実現可能な目標と考えます。

海外に目を向けると、軽水炉の新たな可能性として小型モジュール炉が提案され、既に許認可のプロセスが始まっているプロジェクトが複数あります。一部では日本企業も参加しており、設計の具体化やものづくりを中心に貢献が期待されます。また、高温ガス炉や高速炉も注目され、民間の技術開発への大胆な政府支援の下、技術開発が世界で行われています。原子力の技術開発は一般的に長期にわたることから、国際協力を通じてリソースやリスクをシェアしながら効率的に進めることは、新たな魅力が加わるものと考えます。

2-2. 技術イノベーションと社会実装の時間軸

原子力発電に関しては、既に実用化され発展の方向性が見通しやすい軽水炉、開発が進んで技術的な見通しがあるものの実用化までに時間を要する革新炉等、時間軸を意識しつつ分けて工程表を提示しました。原子力業界の中ではイメージがほぼ一致していると思われますが、電気を作る・送る・使う立場が協力して提示できたところに特徴があると思います。

原子力学会においては、研究者、設計製造者、運転者などの様々な立場がありますが、工程表は CN に貢献する電気を社会にお届けするところをゴールとして記載しています。軽水炉以外の革新炉については、研究開発の段階や技術の成熟度、課題解決の時間を踏まえ、2100 年までの工程を提案しました。

2-3. 今後の課題とアクション

原子力発電は社会実装に時間が掛かる技術であると共に、社会の理解を得ながら着実に推進する必要があります。健全な投資を後押しする制度、技術的特性や安全性、社会の中での経済的価値など、多角的に議論する必要があると考えます。

本理事会セッションにおいては、JEMA の業務に従事する中で私が感じていることを含め、電機産業から見た原子力の役割と期待について自由な意見を交わしたいと考えます。

*Takashi Ozawa

¹Japan Electrical Manufacturers' Association

GX 実現に向けた原子力学会の今後の役割とは

What is the future role of the Atomic Energy Society in advancing GX?

(5) 持続的な原子炉・核燃料サイクル検討・提言分科会の論点

(5) Points discussed in the "sustainable reactor and nuclear fuel cycle examination/proposal subcommittee"

斉藤 拓巳 / 東京大学

1. はじめに

アゴラ調査専門委員会「持続的な原子炉・核燃料サイクル検討・提言分科会」は、エネルギー・経済安全保障とカーボンニュートラルが両立する社会を実現するためには、原子力技術を最大限活用することが必要であり、同時に、高レベル放射性廃棄物の処分も含めたクローズドサイクルを実現し、原子力エネルギーを持続的に活用することが不可欠であるとの認識から、持続的な原子炉・核燃料サイクルの位置づけと価値について、学術的立場から総合的に検討し、提言をまとめることを目的としている。本稿では、昨年12月に公表された「GX 実現に向けた基本方針（案）」を受けて、GX 実現に向けた原子力学会の今後の役割の一つとして期待できる、当分科会の活動を紹介する。

2. 持続的な原子炉・核燃料サイクルとは

GX 実行会議が開催され、日本のエネルギーの安定供給の再構築とそれを前提とした脱炭素に向けた経済・社会、産業構造変革を行うとしている。すなわち、エネルギー・経済安全保障とカーボンニュートラルが両立する社会を実現することを希求している。そして、そのためには、自己決定力を備えたエネルギー政策が不可欠であり、GX の牽引役としての原子力技術が貢献するところは多い。

一方、この問題を中長期的視点で捉えた場合、エネルギー・経済安全保障とカーボンニュートラルの両立に加えて、原子力エネルギー自体が持続的なものである必要がある。つまり、現時点でその供給が逼迫はしていないウラン資源量の価格高騰や高品位資源の枯渇を想定し、燃料としての供給力も含めたフロントエンドの持続性が挙げられる。また、原子力エネルギーの利用によって発生する様々な廃棄物、特に、高レベル放射性廃棄物を処分できる必要がある。そして、最終的には、クローズドサイクルの確立によって、廃棄物の負荷をできる限り低減させつつ、継続的に発生する廃棄物を適切に選定された処分場に処分し、同時に、ウラン資源を最大限利用することで、持続的かつ自立的な原子力エネルギーシステムを構築していくことが望まれる。同様の議論は、EU のタクソノミーにおいてもなされており、そこでは、低レベル廃棄物の処分場の操業と高レベル廃棄物の処分プログラムの策定が条件として挙げられている。

このような持続的な原子炉・核燃料サイクルを志向した場合、革新炉、特に、高速炉の果たす役割は大きい。そして、単なる炉型選択や展開の議論に留まらず、対応する核燃料サイクル技術の開発、二次廃棄物まで含めた廃棄物管理の方針など、包括的な研究開発の推進が求められる。換言すると、燃料供給や核燃料サイクル、廃棄物処分など、原子力エネルギーのライフサイクル全体に関する長期的な整合性を担保していくことが不可欠であり、そのために、今の段階から、関係する多様な専門性を有する技術者、研究者とステークホルダーの間で議論を継続し、具体的なアクションに繋げていく必要がある。

エネルギー政策は、2050 年時点での目標を達成することで終わるものではない。講演では、長期的かつ包括的な視点から、原子炉システムと核燃料サイクルのあり方についての当分科会での議論の一端を紹介する。

GX 実現に向けた原子力学会の今後の役割とは
What is the future role of the Atomic Energy Society in advancing GX?

(6) GX 実現の基盤となる研究開発力とその国際競争力

(6) Basic R&D capabilities for realizing GX in Japan and their international competitiveness

* 大井川 宏之¹

¹ 日本原子力研究開発機構

1. はじめに

継続的に安全性・経済性等を向上し、かつ、バックエンド対策（1F 廃炉を含む）を着実に進めながら、持続的に原子力を利用するためには、その基盤となる研究開発力が欠かせない。研究開発力を保持するには、それを担う「人材」と、その能力を発揮できる「場」が必要である。

2. 研究開発力の現状

2-1. 人材と場

研究開発は、その段階に応じて、①基礎基盤的な研究、②主に国が主導するプロジェクト、③主に民間が主導する実用化の取組 に分類されよう。①～③にバランスよくリソース配分され、互いに連携しながら活発に成果を出していることが重要であり、それこそが研究開発に必要な「場」である。そのような「場」があれば、「人材」の確保・育成は可能だが、「場」が脆弱になっているのが我が国の現状と言わざるを得ない。

2-2. 施設

原子力の研究開発では、原子炉や核燃料取扱施設といったインフラが重要な役割を果たす。しかし、我が国の研究開発施設は 1990 年代以前に建設されたものが多く、老朽化・陳腐化の危機に晒されている。原子力機構では、保有する原子力施設 90 施設の内、約 8 割が築 40 年以上となっている。この状況は大学も同様であり、このままでは上記の「場」が活発化するのには困難である。

2-3. 国際競争力

研究開発に関する国際競争力は、一部の分野を除いて、低下していると言わざるを得ないであろう。例えば、軽水炉のシビアアクシデントの進展を遅らせる効果が期待されている事故耐性燃料の開発では、国内唯一の照射炉であった JMTR が廃炉となったことから、照射試験を米国に依存している。一方、高温ガス炉や高速炉についてはそれぞれ試験研究炉と実験炉を保有しており、世界を先導する成果が期待されている。

2-4. 非原子力エネルギー分野

放射線を用いた物質科学の探求は、原子力エネルギー以外の分野でも GX に貢献できる。例えば、中性子線は、水素やリチウムと言った軽い元素への感受性が高く、燃料電池や蓄電池の性能向上に重要な役割を果たすことができる。

3. 学会の果たすべき役割

原子力学会は、前述①～③に携わる大学、研究機関、民間企業等が集う場として、施設を含む研究開発の「場」のあり方の議論や、「人材」の確保・育成の方策に関して積極的に関わることが期待される。また、原子力科学技術は、科学、工学、人文社会にわたる極めて広範な科学技術・学術の複合分野であり、かつ発展途上である。原子力学会をハブとして、多くの学協会等が連携し、原子力分野の課題を共有して弱点の克服に活かすとともに、非原子力分野でのイノベーションを原子力分野に取り込んでいく機能が期待される。

4. おわりに

1F 事故を経験した我が国において原子力利用を拡大することは容易ではない。原子力の諸課題に取り組むために、研究開発力の再構築が必要であり、そのための「場」の形成と「人材」の確保・育成が急務である。

*Hiroyuki Oigawa¹

¹Japan Atomic Energy Agency

(Mon. Mar 13, 2023 1:00 PM - 2:30 PM Room L)

[1L_PL07] Discussion

Chair: Shin-ichi Koyama¹, Shinichi Kawamura², Yuhei Ohta³, Taku Sato⁴, Takashi Ozawa⁵, Takumi Saito⁶, Hiroyuki Oigawa¹ (1. JAEA, 2. Hitachi GE, 3. METI, 4. KEPCO, 5. JEMA, 6. UTokyo)

Board of directors in the Atomic Energy Society (AESJ) of Japan made a statement, titled "Contribution to Society toward GX". AESJ has considered it is necessary to clarify the direction of efforts based on an academic standpoint. In this session, experts will be invited and discussed of the future role of the AESJ towards the realization of GX.