Fri. Sep 9, 2016

Room B

Planning Lecture | Technical division and Network | Nuclear Fuel Division

[PL3B] Roadmaps of LWR Fuel-Related Issues for Safety Enhancement

Chair: Hiroaki Abe (Tokyo Univ.)
1:00 PM - 2:30 PM Room B (Kumume City Plaza - Gallery 1)

[PL3B01] Improvement and Advancement of Fuel Reliability
*Mutsumi Hirai[1] (1.NFD)

[PL3B02] Improvement in Reactor Physics and Thermal Hydraulics Methodologies for Reactor Core Design Evaluations
*Shigeaki Aoki[1] (1.MNF)

[PL3B03] Development of Accident-Tolerant Fuels
*Tatsuya Hinoki[1] (1.Kyoto Univ.)

[PL3B04] Interfaces of Roadmaps for Fuel Safety Enhancement
*Takeshi Makigami[1] (1.TEPCO HD)

Room C

Planning Lecture | Technical division and Network | Water Chemistry Division

[PL3C] Present status and future work of Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

Chair: Junichi TAKAGI (TOSHIBA Corp.)
1:00 PM - 2:30 PM Room C (Kumume City Plaza - Gallery 2)

[PL3C01] The situation of contaminated water measures
*Hiroya SHIRAKI[1] (1.TEPCO HD)

[PL3C02] Current situation of subdrain treatment process
*Shunsuke MIYAKE[1] (1.Hitachi-GE)

[PL3C03] Influence Assessment of Inhibitors in RPV/PCV for Multiple Radio-nuclides Removal System
*Naoki TAJIMA[1,2] (1.IRID, 2.TOSHIBA Corp.)

[PL3C04] R&D on Treatment and Disposal of Radioactive Waste resulting from Accident at Fukushima Daiichi NPS
*Yasuaki MIYAMOTO[1,2] (1.IRID, 2.JAEA)

[PL3C05] Characteristics study on fuel debris
*Masahide TAKANO[1,2] (1.IRID, 2.JAEA)

Room D

Planning Lecture | Technical division and Network | Young Generation Network (YGN)

[PL3D] Rethinking Nuclear Governance

Chair: Kenta Horio (YGN, Univ. of Tokyo)
1:00 PM - 2:30 PM Room D (Kumume City Plaza - Gallery 3)

[PL3D01] Allocation of Nuclear Administration Authorities between the National and Local Governments
*Akinori Shimizu[1] (1.Fukushima Univ.)

[PL3D02] Local Autonomy in the Nuclear Power Plant Location Area
*Takeshi Inoue[1] (1.Fukui Pref. Univ.)

[PL3D03] Questions from Young Professionals
*Shin-etsu Sugawara[1,2] (1.CRIEPI, 2.YGN)

[PL3D04] Panel Discussion

Room E

Planning Lecture | Board and Committee | 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会

[PL3E] Periodical Report from Study Committee on Decommissioning of The Fukushima Daiichi NPP

Chair: Koji OKAMOTO (Univ. of Tokyo)
12:30 PM - 2:30 PM Room E (Kumume City Plaza - Kurumeza Theatre)

[PL3E01] Summary of Recent Activities
*Hiroshi MIYANO[1,2] (1., 2.Hosei Univ.)

[PL3E02] Decommissioning of Fukushima-daiichi NPS: Current Status and the Strategic Plan
*Toshihiko FUKUDA[1] (1.NDF)

[PL3E03] Overview of IRID R&D Project
*Atsufumi YOSHIZAWA[1] (1.IRID)

[PL3E04] Risk Appraisal and Management
*Akira YAMAGUCHI[1] (1.Univ. of Tokyo)

[PL3E05] Analysis on Radioactive Waste Management Scenarios
*Satoshi YANAGIHARA[1] (1.Univ. of Fukui)

[PL3E06] Activity of Subcommittee on Follow-up of Unresolved Issues of the Accident and Proposals from AESJ
*Akio YAMAMOTO[1] (1.Nagoya Univ.)

[PL3E07] Activity of Subcommittee on Structural Performance of Reactor Building
*Katsuki TAKIGUCHI[1] (1.Professor Emeritus at Tokyo Tech)

©Atomic Energy Society of Japan

Room F

Planning Lecture | Technical division and Network | Nuclear Fuel Cycle and Environment Division

[PL3F] How durable is HLW glass ?

Chair: Gento Kamei (JAEA)
1:00 PM - 2:30 PM Room F (Kumume City Plaza - Creative Box)

[PL3F01] In an aspect of performance assessment
*Toshiaki Ohe[1] (1.Tokai Univ.)

[PL3F02] Current international studies
*Yaohiro Inagaki[1] (1.Kyushu Univ.)

[PL3F03] In an aspect of scientific fundamentals
*Takahiro Okubo[1] (1.Chiba Univ.)

[PL3F04] In an aspect of computational modeling and simulation
*Tamotsu Chiba[1] (1.JGC)

[PL3F05] Current Japanese studies and future plan
*Sei-ichiro Mitsui[1] (1.JAEA)

[PL3F06] Discussion
Chair: Katsuhiko Ishiguro[1] (1.NUMO)

Room H

Planning Lecture | Board and Committee | 福島特別プロジェクト

[PL3H] Opnion by Fukushima Special Project

Chair: Harukuni Tanaka (JNFL)
1:00 PM - 2:30 PM Room H (Kumume City Plaza - Studio 3)

[PL3H01] Effort of Fukushima Special Project
*Reiko Fujita[1] (1.JST)

[PL3H02] Today and the future of agriculture in Fukushima fighting against harmful rumor caused by the nuclear accident
*Takashi Kanno[1] (1.JA Fukushima Mirai)

[PL3H03] Opnion by Fukushima Special Project
*Takeshi Iimoto[1] (1.Univ. of Tokyo)

Room J

Planning Lecture | Technical division and Network | Health Physics and Environment Science Division

[PL3J] Prospects for Researches on Environmental and Health Effects of the Fukusihma Dai-ichi NPP Accident

Chair: Hiromi Yamazawa (Nagoya Univ.)
1:00 PM - 2:30 PM Room J (Kumume City Plaza - Conference Room)

[PL3J01] Details of Researches on Environmental and Health Effects after the Fukushima Dai-ichi NPP Accident
*Kimiaki Saito[1] (1.JAEA)

[PL3J02] Prospects for Researches on Environmental Effects
*Tomoyuki Takahashi[1] (1.Kyoto Univ.)

[PL3J03] Prospects for Researches on Health Effects
*Naoki Matsuda[1] (1.Nagasaki Univ.)

Room K

Planning Lecture | Technical division and Network | International Affairs Committee

[PL3K] The UK Nuclear Industry, Past, Present and Future

Chair: Atsushi Mukunoki (JGC Corp.)
1:00 PM - 2:30 PM Room K (Kumume City Plaza - Assembly Room 1)

[PL3K01] From Decommissioning the Original Fleet of Nuclear Power Stations, to Nuclear New Build
*Keith Franklin[1,2] (1.NNL, 2.British Embassy Tokyo)

Room L

Planning Lecture | Board and Committee | Standards Committee 3

[PL3L] Regulatory Activities based upon the Report of the Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission to Japan

Chair: Naoto Sekimura (Univ. of Tokyo)
1:00 PM - 2:30 PM Room L (Kumume City Plaza - Assembly Room 2)

[PL3L01] Outline of the Report of the IRRS Mission to Japan and the Activities of NRA
*Shuich Kaneko[1] (1.NRA)

[PL3L02] Toward the New Inspection Rule for Nuclear Power Plants
*Tadahiro Katsuta[1] (1.Meiji Univ.)

[PL3L03] General Discussion

Room M

Planning Lecture | Board and Committee | Ethics Committee

[PL3M] Mission and Relation to Society as a Nuclear Experts

Chair: Kyoko Oba (JAEA)
1:00 PM - 2:30 PM Room M (Kumume City Plaza - Assembly Room 3)

©Atomic Energy Society of Japan

[PL3M01] Crisis and Post-crisis Responses against the Fukushima Nuclear Power Plant Accident

*Shunichi Yamashita[1] (1.Nagasaki Univ.)

[PL3M02] Discussion

©Atomic Energy Society of Japan

Planning Lecture | Technical division and Network | Nuclear Fuel Division

[PL3B] Roadmaps of LWR Fuel-Related Issues for Safety Enhancement

Chair: Hiroaki Abe (Tokyo Univ.)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room B (Kumume City Plaza - Gallery 1)

[PL3B01] Improvement and Advancement of Fuel Reliability

*Mutsumi Hirai[1] (1.NFD)

[PL3B02] Improvement in Reactor Physics and Thermal Hydraulics Methodologies for Reactor Core Design Evaluations

*Shigeaki Aoki[1] (1.MNF)

[PL3B03] Development of Accident-Tolerant Fuels

*Tatsuya Hinoki[1] (1.Kyoto Univ.)

[PL3B04] Interfaces of Roadmaps for Fuel Safety Enhancement

*Takeshi Makigami[1] (1.TEPCO HD)

©Atomic Energy Society of Japan

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(1) 燃料信頼性向上･高度化

(1) Improvement and Advancement of Fuel Reliability

*平井　睦[1]

[1]日本核燃料開発

1. 燃料信頼性向上・高度化に関する課題の抽出と整理

軽水炉燃料等の安全高度化のうち、燃料信頼性向上および高度化に関する項目は、設計・製造から運転、貯蔵に関する通常時、過渡時、DBA 時だけでなく、DEC を含む B-DBA、SA 時に至る広い分野にわたっており、核燃料部会においてアクシデントマネジメントの観点から、抽出した課題(1)~(3)並びに日本原子力学会標準委員会システム安全専門部会の下に設けられた「炉心燃料分科会」において既存の基準類の枠に囚われることなく安全設計の考え方を整理し、海外基準類、国内外の新知見を踏まえて抽出した相違点(4)を基に、安全対策の種類並びに深層防護レベルに対して各項目を分析し、必要に応じて新規項目を追加した。

安全対策の種類は、1)現状の安全課題、2)改良材料や燃料設計変更による安全性向上、3)コードや基準等の見直し、新規技術課題や未評価項目、未反映知見への取り組みによる安全評価の信頼性向上に分けられ、このほかにこれらをサポートする 4)要素技術/基盤技術の維持/向上、5)燃料の安全性向上及び高度化燃料の早期実用化のための許認可等の制度検討が挙げられ、これら安全を確保した上での 6)燃料の高度化に大別された。

深層防護レベルに関しては、a)Lv1～3 における材料や構造などハード改良による安全性向上、b)Lv1～3 における被覆管機械的破損に関する信頼性向上、c)Lv2 および Lv3 における NonLOCA 時の安全性向上/評価の信頼性向上、d)Lv3 における LOCA 時安全性向上/評価の信頼性向上、e)Lv3 におけるソースタームなどの事故時被ばく評価、f)Lv1～3 における燃料集合体/チャンネルボックスの安全性向上、g)Lv4 における SA 時燃料挙動に関わる評価の信頼性向上、h)Lv3,4 における SA 時の安全性向上燃料に分類した。

2. 今後の進め方

これらの項目について、達成目標時期（短期：2020 年、中期：2030 年、長期：2050 年)、並びに技術開発期間を検討することにより時間軸へ展開し、ロードマップを策定する。また、策定されたロードマップについて、適宜最新知見、最新状況を反映してローリングを行う予定である。

参考文献

(1) (独) 原子力安全基盤機構「原子力安全研究ロードマップの整備 2005 年 12 月

(2) 特別専門委員会「燃料高度化技術戦略マップ」、2007 年 7 月、核燃料部会「燃料高度化技術戦略マップ」2008 年 12 月他

(3) 核燃料部会「溶融事故における核燃料関連の課題検討ワーキンググループ」報告書（2013 年 12 月）

(4) 標準委員会レポート「発電用軽水炉型原子炉の炉心及び燃料の安全設計に関する報告書」2015 年 10 月

(5) 安全対策高度化技術検討特別専門委員会「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」2015 年 6 月

Mutsumi Hirai[1]

[1]NFD

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(2) 炉心･熱水力設計評価技術の高度化

(2) Improvement in Reactor Physics and Thermal Hydraulics Methodologies for Reactor Core Design Evaluations

*青木　繁明[1]

[1]三菱原子燃料

「炉心・熱水力設計評価技術の高度化」に含まれる課題の概要

「炉心・熱水力設計評価技術の高度化」には、基盤となる「炉心・熱水力設計評価技術」があり、適用先としての「運転性能の高度化」及び「プラント運用技術、炉心設計管理の高度化」がある。

「炉心及び熱水力設計評価技術」は、通常及び事故時の炉心挙動評価の基盤技術である。これらの技術の信頼性向上は、通常運転での安全性に関しての説明性の向上、さらに、異常事象収束対策の信頼性向上に寄与すると考えている。特に、最適評価および不確かさ評価技術、また未臨界度測定を含む炉心解析結果を確認する実験技術の開発、炉物理計算には欠かすことができない核データの測定及び評価技術の維持、不確かさ評価の入力データとなる共分散データの整備を行い、炉心及び熱水力設計評価技術の高度化に資する内容となっている。

次に、「運転性能の高度化（事象進展抑制、停止機能、Ｌ／Ｆ等)」では、既設プラントの高稼働率運転、長期安定運転を実現するためには、炉心出力の向上や長期サイクル運転の導入により達成されると考えている。燃料濃縮度は増加の方向であり、過渡・事故時の事象進展を緩和する停止機能の向上や反応度制御能力を向上する技術の高度化が重要であり、負荷追従運転を含め、運転条件に即した現実的な安全余裕を定量的に把握し、運転管理に役立てることが重要である。本課題である運転性能の高度化に係る技術開発は、高稼働率・長期安定運転時の一層の安全性向上に資するものであり、「炉心・熱水力設計評価技術の高度化」の成果が反映される。

最後に、「プラント運用技術、炉心設計管理の高度化」では、原子力プラントの性能を最大限に活用し設備利用率を向上させるためには、出力向上や長サイクル運転といったプラント運用技術の高度化が有効であるとし、出力向上については、必要に応じてタービンや蒸気発生器等の設備拡張（それに伴う材料開発等の要素技術開発含む）や給水流量の測定精度改善、原子炉熱出力向上の安全評価技術の高度化等が必要と考えている。また、長サイクル運転や設備利用率向上のためには、燃料の高燃焼度化、状態監視の幅広い導入やリスク情報活用によるオンラインメンテナンス導入（作業員の負荷平準化等）などによる設備信頼性の向上が有効であるとしている。また、炉心構成要素（高燃焼度燃料、事故耐性燃料および制御棒等）の設計変更、原子炉の運転条件見直しに対し、運転上の制限を遵守し、安全余裕を確保した状態で原子炉の運転を行うためには、炉心設計、運用管理技術の高度化を継続的に推進していくことが必要であることを記載している。

「マイルストーンおよび目指す姿」について

上述の課題は、短期的には、「信頼性向上へ向けたプラント技術・運用管理の高度化」に関与し、中期的には、「既設プラントの高稼働運転と長期安定運転の実現」及び「事故発生リスクを飛躍的に低減する技術の整備」に関与するものである。

Shigeaki Aoki[1]

[1]MNF

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(3) 事故耐性燃料の開発

(3) Development of Accident-Tolerant Fuels

*檜木 達也[1]

[1]京都大

東日本大震災における地震と津波、熊本地震のような連続的な大きな地震等、重畳的な事象も含めて将来の全ての事故を引き起こす要因を想定することは不可能である。事故耐性燃料・制御棒は、想定外の事象に起因する事故も含めて、固有安全性の向上により、最終的には炉心における事故発生リスクの飛躍的低減や事故拡大リスクの大幅な抑制を達成する概念である。要素技術として、炭化ケイ素(SiC)、改良ステンレス鋼(改良 SS)、改良ジルコニウム合金(改良 Zr 合金)、代替革新的燃料(被覆粒子燃料、トリウム燃料、炭化物燃料、窒化物燃料、シリサイド燃料、添加酸化物燃料)、改良制御棒の検討を行っている（表 1)。

表 1 各要素技術の安全性向上効果

	特長（事故時特性）	事故の進展 LOCA ⟶ SA				事故進展抑制
		冷却性	炉心溶融	CV 破損	FP 拡散	再臨界防止
①SiC	・寸法安定性が高い・溶融点が高い ・水素発生が殆どない	◎	◎	◎	◎	−
②改良 SS	・寸法安定性が比較的高い・水蒸気反応が殆どないので反応熱、水素の発生も殆どない	◎	○	○	○	−
③改良 Zr 合金	・水蒸気反応が殆どないので反応熱、水素の発生も殆どない	○	○	○	○	−
④代替革新的燃料	・熱伝導度が高い・融点が高い ・FP 閉じ込めに優れる	○	○〜◎	○〜◎	○〜◎	−
⑤改良制御棒	・燃料に先行して破損しない・水素発生が殆どない・制御材が燃料物質から分離しない	○	◎*	−	−	◎

◎：高い防止・抑制効果が期待される。○：防止・抑制効果が期待される。△：抑制効果が期待される。

＊：制御棒の先行溶融に対する高い防止・抑制効果が期待

短期的段階では、効果が高いと思われる革新的な候補技術の開発を活性化し、固有課題について技術成熟度を向上させると共に、革新技術導入による安全性向上効果の定量評価法を確立した上で、技術の最終的な達成目標と達成に至るまでの開発課題や開発ステップ、及び候補技術の選択の手法等を明確にする必要がある。共通基盤技術の開発では、照射データの蓄積や工学規模の性能検証試験等において、長期の開発期間や大きな費用が必要であり、短期的な段階からの戦略的な研究開発推進が重要となる。併せて、他の革新技術の導入と同様に、燃料設計、燃料製造技術、安全性評価だけでなく、炉心設計や炉心運用技術、さらに規格基準や規制も含めて、現行技術に対する高度化の開発要求を明確化し、かつ、それを分野横断的に認識共有する必要がある。この点についても短期的段階からの包括的な取組が重要となる。

中長期的段階では、短期的段階において技術選定した実用化技術に基づく、経済性のある燃料の設計、量産加工技術の開発、安全性評価手法の確立、安全性向上効果の検証、革新技術に対応した炉心設計や炉心運用技術の高度化及び規格基準や規制の整備、等を着実に進め、実用化までに必要な開発期間と得られる効果を適切に評価し、適宜技術導入していくことで、段階的に炉心の事故耐性性能を向上させていく。

規格基準や規制、技術評価、共同照射試験、材料ベンチマーク試験、等に係る国際協力の枠組みにおいて、他国をリードする人材と技術レベルを伴って、国際的な原子力安全の向上を主導していく必要がある。

Tatsuya Hinoki[1], [1]Kyoto Univ.

核燃料部会セッション「核燃料関連の安全性向上に係る課題のロードマップの検討」

(4) 燃料安全高度化ロードマップのインターフェース

(4) Interfaces of Roadmaps for Fuel Safety Enhancement

*巻上　毅司[1]

[1]東京電力 HD

１．燃料安全高度化ロードマップのインターフェース

現在、核燃料関連の安全性向上に係る課題の検討を進めているが、これを継続的な軽水炉安全技術の向上に結び付けるためには、軽水炉安全技術・人材ロードマップ(1)とのインターフェースを確立し、軽水炉等の安全性向上に係る課題として体系的に位置づけていくことが必要である。

軽水炉安全技術・人材ロードマップは平成 27 年 6 月に策定され、今後ローリングが行われるが、ローリングにおいて特に燃料安全高度化とのインターフェースを意識すべき個別課題として、「安全解析技術の高度化」と「使用済燃料の安全評価技術の高度化」があげられる。前者は燃料・炉心を内包する原子炉システムの安全解析、後者は使用済燃料を内包する貯蔵・輸送設備の安全評価の高度化に係るものである。

２．安全解析技術の高度化(2)

現行の許認可用安全コードは、保守的な条件及び手法を原則としているが、物理現象に即した安全余裕の内訳に係る説明性に改善の余地があり、国際的な水準から見ても最新化の必要がある。また、過酷事故解析コード等の高度化は、主に海外での事故事象模擬試験等の知見をモデル化することで進められてきたが、福島第一原子力発電所事故事象の検証などを進めていくためには、モデルの高度化に資する試験を実施すると共に、海外と連携して過酷事故解析コードのモデルに反映していく必要がある。

３．使用済燃料の安全評価技術の高度化(2)

原子力発電所などの使用済燃料プールについては、冷却機能の喪失によるプール水位の低下、燃料の温度上昇に起因した燃料破損、それに続く再臨界等の発生防止のため、注水強化等の安全対策が求められ、取り組みが進められている。通常時の安全性向上を図りつつ、燃料破損などが発生した場合にも、その影響を最小限に緩和するための燃料貯蔵方法について検討を進め、原子炉、使用済燃料プール、使用済燃料乾式貯蔵設備などの安全対策に反映することが望まれる。

４．今後の進め方

上述の課題は、短期的には「事故発生リスク低減・更なる安全性向上の実施」及び「信頼性向上へ向けたプラント技術・運用管理の高度化」、中期的には「既設プラントの高稼働運転と長期安定運転の実現」などに関連するものであり、今後のローリング活動を通じて、燃料安全高度化に着目して抽出された課題を、安全解析・安全評価の高度化に反映していく。

参考文献

(1) 安全対策高度化技術検討特別専門委員会「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」2015 年 6 月

(2) 安全対策高度化技術検討特別専門委員会 活動報告書 資料 3 「課題調査票」2015 年 5 月

Takeshi Makigami[1]

[1]TEPCO HD

Planning Lecture | Technical division and Network | Water Chemistry Division

[PL3C] Present status and future work of Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

Chair: Junichi TAKAGI (TOSHIBA Corp.)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room C (Kumume City Plaza - Gallery 2)

[PL3C01] The situation of contaminated water measures

*Hiroya SHIRAKI[1] (1.TEPCO HD)

[PL3C02] Current situation of subdrain treatment process

*Shunsuke MIYAKE[1] (1.Hitachi-GE)

[PL3C03] Influence Assessment of Inhibitors in RPV/PCV for Multiple Radio-nuclides Removal System

*Naoki TAJIMA[1,2] (1.IRID, 2.TOSHIBA Corp.)

[PL3C04] R&D on Treatment and Disposal of Radioactive Waste resulting from Accident at Fukushima Daiichi NPS

*Yasuaki MIYAMOTO[1,2] (1.IRID, 2.JAEA)

[PL3C05] Characteristics study on fuel debris

*Masahide TAKANO[1,2] (1.IRID, 2.JAEA)

©Atomic Energy Society of Japan

水化学部会セッション「福島第一原子力発電所廃止措置の現状と今後の取り組み」

（1）汚染水対策の現状

(1) The situation of contaminated water measures

白木　洋也[1]

[1]東京電力ホールディングス　福島第一廃炉推進カンパニー

福島第一原子力発電所の汚染水対策の進捗状況について

福島第一原子力発電所の廃炉・汚染水対策のうち汚染水対策については、３つの基本方針を策定し、各々の対策（作業項目）を進めてきている。

以下に「基本方針」と「作業項目」に示す。

１．汚染源を取り除く

①多核種除去装置等による汚染水浄化

②トレンチ内の汚染水除去

２．汚染源に水を近づけない

③地下水バイパスによる地下水汲み上げ

④建屋近傍の井戸での地下水くみ上げ

⑤凍土方式の陸側遮水壁の設置

⑥雨水の土壌浸透を抑える敷地舗装

３．汚染水を漏らさない

⑦水ガラスによる地盤改良

⑧海側遮水壁の設置

⑨タンクの増設（溶接型へのリプレイス等）

これら、作業項目の多くは作業が完了したり、運用を開始したりしており、状況について説明する。

また、汚染水対策に関連して、陸上及び海洋で行っているモニタリング結果についても説明する。

*Hiroya Shiraki[1]

[1]Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. Fukushima Daiichi Decontamination and Decommissioning Engineering Company

水化学部会セッション「福島第一原子力発電所廃止措置の現状と今後の取り組み」

（2）サブドレン水処理の状況

(2) Current situation of subdrain treatment process

*三宅　俊介[1]

[1]日立 GE

1. はじめに

福島第一原子力発電所（以下福島第一）では東日本大震災以来、発生する汚染水を処理するためのさまざまな設備が設置されてきた。ここでは、日立 GE ニュークリア･エナジー株式会社（以下日立 GE）が浄化設備を設置したサブドレン水処理の状況について紹介する。

2. 地下水流入量低減の取り組み

2011 年の震災以降、福島第一では 1 号機～4 号機原子炉建屋、タービン建屋等に地下水が流入し建屋内汚染水増加の原因となっている。これまで、1 日約 400m^3 の地下水が流入しており、この流入量を低減することが大きな課題となっている。

地下水流入量低減のため、以下の取り組みが行われている。

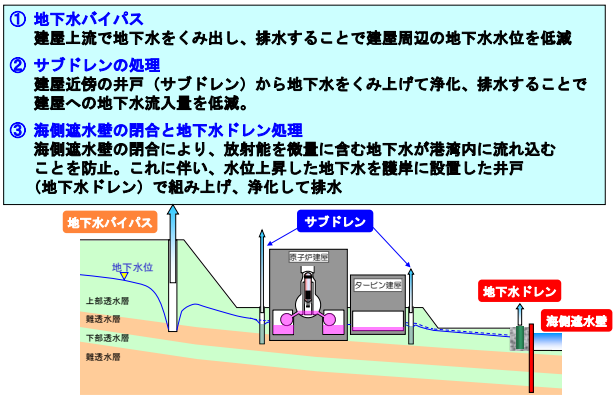


図 1　地下水流入量低減の取り組み

① 地下水バイパス

建屋上流側で地下水をくみ上げることにより、建屋周辺の地下水水位を下げる

② サブドレン処理

建屋周辺の井戸（サブドレン）から地下水をくみ上げて浄化、放流することにより建屋への地下水流入量を低減する。

③ 海側遮水壁の設置と地下水ドレン処理

海側遮水壁の設置により放射性核種を含む地下水が港湾内に流れ込むことを防止。これに伴い水位上昇した護岸に設置した井戸（地下水ドレン）から地下水をくみ上げて浄化する。

上記に加え、陸側遮水壁（凍土壁）の設置により、建屋への地下水流入を更に低減させる計画である。

サブドレン浄化設備は上記のうち、②のサブドレン及び③の地下水ドレンを浄化するための設備である。

3. サブドレン水処理の概要

サブドレン他水処理施設の全体概要を図２に示す。本施設は、建屋周辺に設置されたサブドレン、護岸に設置された地下水ドレンから地下水をくみ上げる集水設備、くみ上げた地下水に含まれる放射性核種（トリチウムを除く）を十分低い濃度になるまで除去する浄化設備、処理済水の水質を分析した後、排水する移送設備から構成される。

*Shunsuke Miyake[1]

[1]Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd.

サブドレン浄化設備の概要図を図３に示す。サブドレン浄化設備はサブドレン、地下水ドレンに含まれる放射性核種を十分低い濃度まで浄化する設備である。本設備は処理対象水に含まれる粒子状、コロイド状の放射性核種を除去する前処理装置、イオン状の放射性核種を除去する核種吸着装置から構成されている。処理対象水に含まる主な放射性核種は Cs-134,Cs-137,Sr-90 であり、これらを除去するために Cs/Sr に対する選択性の高い吸着材を採用している。その他の核種についても複数の吸着材を組み合わせることにより、処理済み水の放射能濃度を検出限界値レベルに浄化する能力を有している。

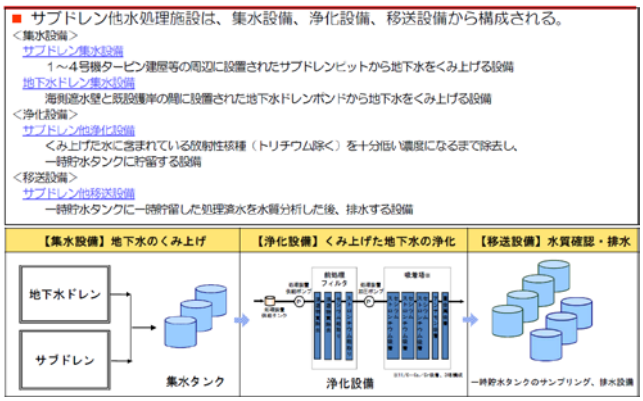


図２　サブドレン水処理施設の全体概要

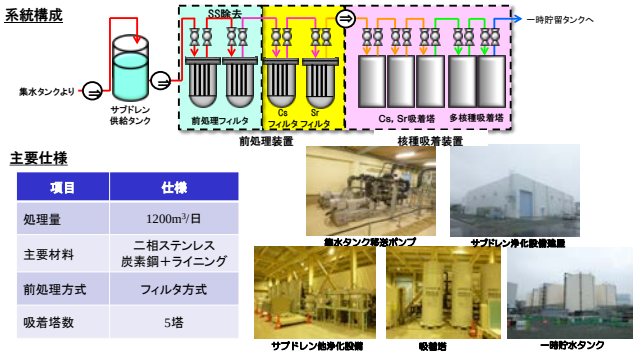


図３　サブドレン浄化設備の概要図

4. サブドレン浄化設備の水質管理

サブドレン処理済水は港湾に排水されるため、水質を厳密に管理する必要がある。このため、処理済水は浄化設備下流の一時貯水タンクに受入れ、タンク毎に水質の分析を行い、運用目標値を満足していることを確認した後に排水される。運用目標値は核種毎に定められた濃度限度（告示濃度限度）を満足するよう、十分に低い値に設定されている。また、分析については東電 HD に加え、第三者機関による分析を行い、双方が運用目標値を満足している場合にのみ排水する運用としている。運要目標値を上回った水は再度浄化設備で処理を行う。

上記に加え、上流側のサブドレン、地下水ドレン、集水タンク等においても定期的に分析を行い処理対象水の水質傾向を把握している。

5. 処理実績と地下水位低減効果

本設備は 2015 年 9 月より本格運用を開始した。2016 年 7 月現在で約 15 万 m^3 のサブドレン水を処理し、処理済水を港湾に排水している。これまで、処理済水の濃度が運用目標値を上回ることはなく安定して運転を継続している。サブドレン浄化設備の稼動により、サブドレン水位は徐々に低下し、管理目標値近傍で安定して維持している。

6. 今後の動向

現在、陸側遮水壁（凍土遮水壁）が設置され、2016 年 3 月より凍結が開始されている。これに伴い、サブドレン・地下水ドレンの水質やくみ上げ量が変化することが想定されるため、水質動向を注視しつつ、処理を継続していく。また、現在サブドレン浄化設備は 1 系列のみの構成であり、今後 2 系列化による更なる信頼性向上に取り組んでいく。

水化学部会セッション「福島第一原子力発電所廃止措置の現状と今後の取り組み」

（3）圧力容器／格納容器向け防錆剤の多核種除去設備への影響評価

(3) Influence Assessment of Inhibitors in RPV/PCV for Multiple Radio-nuclides Removal System

*田嶋 直樹[1]，関 秀司[1]，須佐 俊介[1]，福松 輝城[1]，川原田 義幸[1]，田中 徳彦[1]

[1]国際廃炉研究開発機構／株式会社東芝

1. 緒言

事故発生後、原子炉圧力容器（RPV）および原子炉格納容器（PCV）は海水に曝されたことなどの影響により腐食の進展が懸念されている。今後の廃炉作業に向け、長期に渡って RPV／PCV の構造材料の腐食の進行を防ぎ、健全性を維持するための腐食抑制策の実機適用性確認が必要である。また、現在、1F では燃料デブリの冷却のための循環注水、水素爆発防止のための PCV への窒素封入が実施されている。窒素雰囲気中では水中の溶存酸素濃度が低下することから構造材の腐食進行は抑制状態にあると推定されるが、今後、燃料デブリ取り出し時には PCV が開放されることから、周囲の大気が流入することで水中の溶存酸素濃度が上昇し、腐食が進行する可能性がある。腐食の進行は、構造材料の耐震強度、PCV・S/C のバウンダリ維持機能に影響を及ぼすことが懸念される。窒素封入に代わる腐食抑制策として、防錆剤の循環冷却水中への添加が有望であるが、PCV から防錆剤を含む汚染水が建屋滞留水側にリークすると、既存の水処理設備の処理性能に影響を及ぼす可能性がある。

2. 評価状況

株式会社東芝が導入した第二セシウム除去装置 SARRY$_{TM}$ と多核種除去設備 MRRS$_{TM}$ を評価対象の既存水処理設備として選定した。評価対象元素はセシウム、ストロンチウム、ヨウ素、アンチモンとした。防錆剤を添加した SARRY$_{TM}$、MRRS$_{TM}$ の模擬液を用いて評価対象元素の濃度を防錆剤の添加有無の条件で比較して影響度を評価した。その結果、臨界防止剤としても使用される五ホウ酸ナトリウムは MRRS$_{TM}$ で Sr 除去の阻害影響をもつことなどの知見が得られた。

表 1　評価対象の防錆剤と想定処理濃度

被膜状態	防錆剤	RPV/PCV汚染水中の想定濃度	SARRY$_{TM}$での想定濃度	MRRS$_{TM}$での想定濃度
酸化被膜型	タングステン酸ナトリウム	1500	1500	3000
	五ホウ酸ナトリウム	6000 (as B)	6000 (as B)	10000 (as B)
沈殿被膜型	亜鉛混合リン酸塩＋炭酸ナトリウム	400	400	800
酸化被膜＋沈殿被膜型	亜鉛／モリブデン酸ナトリウム 混合リン酸塩	3500	3500	7000

SARRY$_{TM}$: Simplified Active Water Retrieve and Recovery System　単位：ppm

MRRS$_{TM}$: Multiple Radio-nuclides Removal System

3. 今後

防錆剤の水処理性能への影響評価は、燃料デブリ取り出しに向けた重要な検討項目の 1 つである。今後も以下の観点での影響評価を継続する。

① 既存水処理への全体的な影響評価　②吸着性能に対する防錆剤濃度の影響評価

③ 小循環水処理ループを想定した評価

4. 謝辞

本発表は資源エネルギー庁の平成 25 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発）」において IRID が補助事業者となりその組合員である東芝が実施した成果の一部を取りまとめたものである。この場を借りて御礼申し上げます。

*Naoki Tajima[1], Shuji Seki[1], Shunsuke Susa[1], Teruki Fukumatsu[1], Yoshiyuki Kawaharada[1] and Norihiko Tanaka[1]

[1]IRID／TOSHIBA Corporation

水化学部会セッション「福島第一原子力発電所廃止措置の現状と今後の取り組み」

（4）福島第一原発事故廃棄物の処理・処分技術開発

(4) R&D on Treatment and Disposal of Radioactive Waste resulting from Accident at Fukushima Daiichi NPS

宮本　泰明[1,2]
[1]国際廃炉研究開発機構, [2]日本原子力研究開発機構

1. 諸言　福島第一原子力発電所（以下、1F）の事故により発生した廃棄物は、事故に伴い炉心溶融が起こっていることから炉心燃料に由来した放射性核種を含んでおり、高線量のものが多いなど、通常操業している原子力発電所の廃棄物とは異なった特徴がある。本研究では、特殊な廃棄物について、処分に関する安全性の見通しを確認すること、及び、現在 1F の現場で行われている廃炉・汚染水対策を円滑に進めるために必要な技術の整備、データの整備を行っていくことを目的としている。

2. 汚染水処理二次廃棄物の性状把握

2-1. セシウム吸着装置吸着塔のインベントリ推定

汚染水処理に伴う二次廃棄物として発生する廃ゼオライト、スラッジ等は高線量であり直接放射能分析できないことから、処理設備の前後の汚染水の分析データの差分推定によりインベントリ評価した。汚染水の核種分析で装置入口水濃度が非検出となる核種については、入口水の検出下限値を入口濃度とし、これに総処理水量をかけることで総核種量を求めた。セシウム吸着装置吸着塔（KURION）の評価結果として、核種分析で検出された ^{137}Cs 等 8 核種に加え、非検出の ^{41}Ca、^{241}Pu 等 24 核種についても保守的な核種量を推定した。推算結果は、汚染水分析により不検出であった核種が分析下限値で全量吸着するという非常に保守的な評価となっており、コンクリートピット処分の基準線量相当濃度を超えた ^{41}Ca、^{129}I、^{90}Sr については、今後より不確定性を減らすことが必要である。

2-2. 多核種除去設備スラリーの核種分析

多核種除去設備（ALPS）から発生する鉄共沈スラリー及び炭酸塩スラリーの核種分析結果を図 1 に示す。既設 ALPS からは鉄共沈と炭酸塩のスラリーがそれぞれ発生し、増設 ALPS については炭酸塩のスラリーのみが発生する。スラリーに含まれる核種は ^{90}Sr が支配的であり、1×10^{6}～10^{7}Bq/cc の放射能濃度となっている。^{90}Sr 以外にも、核分裂生成物（^{125}Sb, ^{137}Cs）、放射化生成物（^{54}Mn, ^{60}Co）、アクチニド核種（$^{238,239+240}$Pu, ^{241}Am）が除染されている。アクチニド核種の除去には鉄共沈処理が効果的であり、スラリー中の Pu 濃度は 1×10^{1}Bq/cc 程度であった。

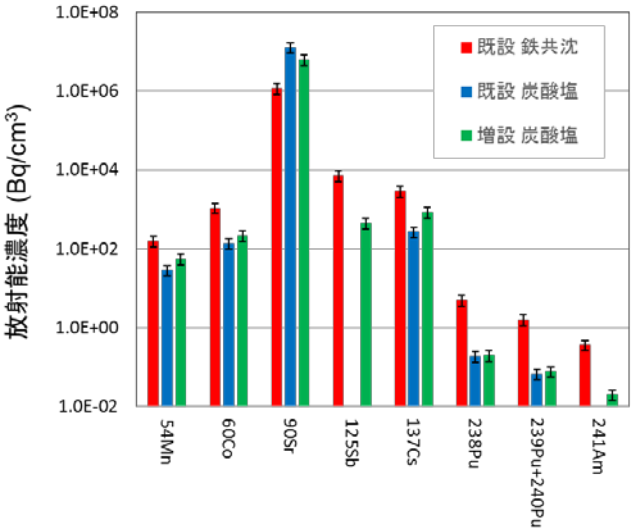


図 1　多核種除去設備スラリーの核種分析結果

3. 結言　1F の事故廃棄物を安全に処理・処分する見通しを得るためには、個別研究開発項目の検討に基づく廃棄物ストリーム（廃棄物の発生、保管から処理・処分までの一連の取扱い）をまとめることが重要になる。現時点では性状把握を進めることにより不確定性を減らしていくことが重要であり、集中的な検討を実施していく。

本研究は、経済産業省受託事業「平成 25 年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備（事故廃棄物処理・処分概念構築に係る技術検討調査）」、経済産業省／平成 25 年度「廃炉・汚染水対策事業費補助金（事故廃棄物処理・処分技術の開発）」及び平成 26 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発）」の成果を含んでいる。

Yasuaki Miyamoto[1, 2]
[1]IRID, [2]JAEA

水化学部会セッション「福島第一原子力発電所廃止措置の現状と今後の取り組み」

（5）燃料デブリ性状把握研究の概要

(5) Characteristics study on fuel debris

高野 公秀

IRID（原子力機構）

1. 緒言　燃料デブリ取出しに向けた性状把握のため、デブリ中に何が生成し（化合物、相）、それらがどのように入り混じり（組織）、どのくらい硬いのかを主眼に、実験室規模で種々の模擬デブリを作製して性状予測データを取得・整理した概要を報告する。

2. 模擬デブリ作製・試験内容　酸化物デブリの主要構成成分である$(U,Zr)O_2$を、UO_2とZrO_2から焼結法により作製するとともに、少量添加物として希土類（可燃性毒物、FP）、Fe（ステンレス鋼由来）、Ca（海水塩及びコンクリート由来）の酸化物を固溶させたものも作製した。炉心の模擬デブリとして、$(U,Zr)O_2$/Zr/SUS/B_4C 系混合物をアーク溶解により溶融・固化して作製した。格納容器底部で炉心溶融物とコンクリートが反応した模擬 MCCI 生成物として、上記炉心材料にコンクリート粉を加えてアーク溶解した試料に加え、コンクリート片上で炉心材料成形体を局所集光加熱で溶融させる手法も用いた。これら模擬デブリ試料に関して、断面の組織観察、元素分析による組成評価、X 線回折による相同定を行うとともに、デブリ取出しの切削系工具への負担の指標となる微小硬さを測定した。さらに、水中に浸漬した際の物理・化学的変性について基礎知見を取得した。

3. 生成相・組織・硬さの概要　$(U,Zr)O_2$ コリウムの性状には、冷却条件が大きく影響することが分かった。UO_2–ZrO_2 二元系は、超高温では全率固溶し立方晶単相となるが、2000℃以下では急激に相互固溶度が低下するため、ゆっくりと冷えた部位では U リッチの立方晶と Zr リッチの正方晶（+単斜晶）に相分離が起こる。Fe が固溶した際にはこの傾向が助長され、両相がミクロンサイズで入り混じった組織となることを模擬デブリと TMI-2 デブリで確認した。急冷条件の立方晶単相組織が 12〜14.5 GPa の微小硬さであるのに対し、微細入り混じり組織の微小硬さは 8〜11 GPa 程度である。元々UO_2に含まれている Gd は、二相分離が起こる際にも Gd/U 比をほぼ保持したまま分配される。

炉心の燃料デブリは$(U,Zr)O_2$ セラミック質部分と金属質部分からなり、酸化が進まないような条件下では、金属質部分には Fe-Cr-Ni 及び$(Fe,Cr,Ni)_2(Zr,U)$などの金属相に加えて、ZrB_2や$(Fe,Cr)_2B$ 等の非常に硬いホウ化物が分散析出することが分かった。水蒸気中の酸素分圧を模擬した酸化雰囲気焼鈍（酸素分圧 1×10^{-3}atm、1500℃）では、金属相中の U と Zr 及びZrB_2中の Zr は酸化して$(U,Zr)O_2$となるが、遊離したホウ素は周辺の Fe、Cr と$(Fe,Cr)_2B$ を形成して Fe-Cr-Ni 合金とともに比較的安定に残存する。

MCCI による生成相の傾向は、還元剤として作用する金属 Zr と、脱水が酸化要因として作用するコンクリートの混合比に依存する。溶融物中の金属 Zr 比率が高い条件下では、コンクリート中の SiO_2 と一部の Al_2O_3 が還元され、金属相には Fe-Cr-Ni-Si-Al-Zr-U 系の種々の合金が生成するとともに、酸化物相は$(U,Zr,Ca)O_2$ と Al-Ca-O が主要成分となる。逆に、コンクリート成分が多い場合には、金属相は Fe-Ni (-Si) が主要成分となり、酸化物相は$(U,Zr,Ca)O_2$とケイ酸ガラス（U, Zr, Gd, Fe, Cr 等が溶解）が主要成分となる。一方、炉心溶融物とコンクリートの界面付近では 2000℃前後の温度勾配があるので、集光加熱の手法で到達温度と生成相の階層構造イメージを構築した。約 1200℃以下のコンクリート部分は溶融しないものの、脱水による熱劣化で強度が低下するとともに取出し作業時に汚染水が浸透しやすい形態になっている。

デブリ水中浸漬時の物理・化学的変性には、水の放射線分解で生成する過酸化水素の影響が最も大きい。UO_2を過酸化水素水に浸漬すると、サブミクロンの微細な過酸化ウラン酸が生じ、コロイド的性質を示す。一方、PuO_2は過酸化水素水中でも変性しないことから、長期に渡る浸漬中に U と Pu の分布に差が生じる可能性が示唆される。ただし、$(U,Zr)O_2$を過酸化水素水に浸漬した際の過酸化ウラン酸生成量は、UO_2からの生成に比べてかなり少なく、比較的安定であることが分かっている。

本報告は、「平成 25 年度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業（燃料デブリ性状把握・処置技術の開発）」に係る資源エネルギー庁からの受託事業、平成 25 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリ性状把握・処置技術の開発）」及び平成 26 年度補正予算「廃炉・汚染水対策事業費補助金（燃料デブリの性状把握）」に係る補助事業の成果である。

Masahide Takano

IRID (JAEA)

Planning Lecture | Technical division and Network | Young Generation Network (YGN)

[PL3D] Rethinking Nuclear Governance

Beyond Confrontational Views on "Central-Local" Relations

Chair: Kenta Horio (YGN, Univ. of Tokyo)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room D (Kumume City Plaza - Gallery 3)

[PL3D01] Allocation of Nuclear Administration Authorities between the National and Local Governments

*Akinori Shimizu[1] (1.Fukushima Univ.)

[PL3D02] Local Autonomy in the Nuclear Power Plant Location Area

*Takeshi Inoue[1] (1.Fukui Pref. Univ.)

[PL3D03] Questions from Young Professionals

*Shin-etsu Sugawara[1,2] (1.CRIEPI, 2.YGN)

[PL3D04] Panel Discussion

©Atomic Energy Society of Japan

YGN セッション

原子力ガバナンス再考：『中央 VS 地方』を超えて

Rethinking Nuclear Governance: Beyond Confrontational Views on “Central-Local” Relations

我が国では、原子力安全に係る規制権限は国が一元的に有しているが、原子力施設の再稼働等の判断に際して、施設の立地する道県や市町村が実質的に様々な形で関与してきた。こうした自治体の関与をめぐっては、原子力事業の遂行に対する住民意見の反映や地域社会としての意思決定機会の確保といった評価が与えられる一方、法令に基づく規制プロセスの外部でこれらの関与が行われる点や、首長判断における不透明性、事業運営上の予見可能性の低さといった問題も指摘されている。

当該問題についての議論提起は福島原子力事故以前から既になされており、事故の後にも国と自治体の役割分担明確化の必要性に対する指摘は出されていた。しかし現実には、原子力発電所の再稼働が進められるなかで、当該問題に対する抜本的な検討と見直しに至らないまま、自治体の首長が実質的に大きな役割を果たす状況が経路依存的に続いている。

この問題は、「発電所の再稼働に対する地元同意」という観点から、若手実務者・研究者の間でも関心が高いテーマである。しかし、当該問題を議論する上では、原子力安全の基礎的理解にとどまらず、行政学・行政法学、地方自治・地方分権論、ガバナンス論、地域社会学等の複合的視座が求められ、すぐれて学際的な問題領域であるため、これまで若手原子力関係者がそれらを包括的に学び議論する機会は限られてきた。

そこで本セッションでは、行政法・環境法や行政学、地方自治等に詳しい有識者に講演をお願いし、当該問題を議論する上で必要な視座や知識の獲得を目指す。まず福島大学の清水晶紀准教授より、行政法・環境法の立場から、「原子力行政をめぐる国と地方の役割分担」について講演していただく。次いで、福井県立大の井上武史講師より、地方自治や地域政策の観点から、「原子力立地地域における自治と自立」というテーマで講演していただく。加えて、原子力に携わる若手から問題提起を行い、講演者と若手によるパネル討論及び質疑応答を通じて、若手参加者の当該問題に対する理解を深める。パネル討論では、単に「中央 VS 地方」という二項対立的関係にとどまらず、「原子力利用を進める上で、立地地域の自治体・住民も含めたガバナンスはどうあるべきか？」という、より大局的且つ根源的な問題設定から、登壇者及び参加者相互の議論の深化を図りたい。

YGN セッション

原子力ガバナンス再考：『中央 VS 地方』を超えて

Rethinking Nuclear Governance: Beyond Confrontational Views on “Central-Local” Relations

我が国では、原子力安全に係る規制権限は国が一元的に有しているが、原子力施設の再稼働等の判断に際して、施設の立地する道県や市町村が実質的に様々な形で関与してきた。こうした自治体の関与をめぐっては、原子力事業の遂行に対する住民意見の反映や地域社会としての意思決定機会の確保といった評価が与えられる一方、法令に基づく規制プロセスの外部でこれらの関与が行われる点や、首長判断における不透明性、事業運営上の予見可能性の低さといった問題も指摘されている。

当該問題についての議論提起は福島原子力事故以前から既になされており、事故の後にも国と自治体の役割分担明確化の必要性に対する指摘は出されていた。しかし現実には、原子力発電所の再稼働が進められるなかで、当該問題に対する抜本的な検討と見直しに至らないまま、自治体の首長が実質的に大きな役割を果たす状況が経路依存的に続いている。

この問題は、「発電所の再稼働に対する地元同意」という観点から、若手実務者・研究者の間でも関心が高いテーマである。しかし、当該問題を議論する上では、原子力安全の基礎的理解にとどまらず、行政学・行政法学、地方自治・地方分権論、ガバナンス論、地域社会学等の複合的視座が求められ、すぐれて学際的な問題領域であるため、これまで若手原子力関係者がそれらを包括的に学び議論する機会は限られてきた。

そこで本セッションでは、行政法・環境法や行政学、地方自治等に詳しい有識者に講演をお願いし、当該問題を議論する上で必要な視座や知識の獲得を目指す。まず福島大学の清水晶紀准教授より、行政法・環境法の立場から、「原子力行政をめぐる国と地方の役割分担」について講演していただく。次いで、福井県立大の井上武史講師より、地方自治や地域政策の観点から、「原子力立地地域における自治と自立」というテーマで講演していただく。加えて、原子力に携わる若手から問題提起を行い、講演者と若手によるパネル討論及び質疑応答を通じて、若手参加者の当該問題に対する理解を深める。パネル討論では、単に「中央 VS 地方」という二項対立的関係にとどまらず、「原子力利用を進める上で、立地地域の自治体・住民も含めたガバナンスはどうあるべきか？」という、より大局的且つ根源的な問題設定から、登壇者及び参加者相互の議論の深化を図りたい。

YGN セッション

原子力ガバナンス再考：『中央 VS 地方』を超えて

Rethinking Nuclear Governance: Beyond Confrontational Views on “Central-Local” Relations

我が国では、原子力安全に係る規制権限は国が一元的に有しているが、原子力施設の再稼働等の判断に際して、施設の立地する道県や市町村が実質的に様々な形で関与してきた。こうした自治体の関与をめぐっては、原子力事業の遂行に対する住民意見の反映や地域社会としての意思決定機会の確保といった評価が与えられる一方、法令に基づく規制プロセスの外部でこれらの関与が行われる点や、首長判断における不透明性、事業運営上の予見可能性の低さといった問題も指摘されている。

当該問題についての議論提起は福島原子力事故以前から既になされており、事故の後にも国と自治体の役割分担明確化の必要性に対する指摘は出されていた。しかし現実には、原子力発電所の再稼働が進められるなかで、当該問題に対する抜本的な検討と見直しに至らないまま、自治体の首長が実質的に大きな役割を果たす状況が経路依存的に続いている。

この問題は、「発電所の再稼働に対する地元同意」という観点から、若手実務者・研究者の間でも関心が高いテーマである。しかし、当該問題を議論する上では、原子力安全の基礎的理解にとどまらず、行政学・行政法学、地方自治・地方分権論、ガバナンス論、地域社会学等の複合的視座が求められ、すぐれて学際的な問題領域であるため、これまで若手原子力関係者がそれらを包括的に学び議論する機会は限られてきた。

そこで本セッションでは、行政法・環境法や行政学、地方自治等に詳しい有識者に講演をお願いし、当該問題を議論する上で必要な視座や知識の獲得を目指す。まず福島大学の清水晶紀准教授より、行政法・環境法の立場から、「原子力行政をめぐる国と地方の役割分担」について講演していただく。次いで、福井県立大の井上武史講師より、地方自治や地域政策の観点から、「原子力立地地域における自治と自立」というテーマで講演していただく。加えて、原子力に携わる若手から問題提起を行い、講演者と若手によるパネル討論及び質疑応答を通じて、若手参加者の当該問題に対する理解を深める。パネル討論では、単に「中央 VS 地方」という二項対立的関係にとどまらず、「原子力利用を進める上で、立地地域の自治体・住民も含めたガバナンスはどうあるべきか？」という、より大局的且つ根源的な問題設定から、登壇者及び参加者相互の議論の深化を図りたい。

(Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room D)

[PL3D04] Panel Discussion

近年、原子力発電所の再稼働や停止をめぐる立地県知事の動向が注目を浴びており、規制権限のない自治体が関与すること自体を問題視する声も聞かれる。本セッションでは、この問題を、法的権限の有無や「中央VS地方」という二項対立にとどまらず、「我が国の原子力利用をめぐる、立地地域の自治体・住民も含めたガバナンスはどうあるべきか」という問題として捉え直し、行政法や地方自治分野の知見も踏まえつつ、より根本的な議論を行う場を設定する。若手会員を中心に、関連する分野の知見を真摯に学び、建設的な議論に参加していただける人を歓迎する。

©Atomic Energy Society of Japan

Planning Lecture | Board and Committee | 福島第一原子力発電所廃炉検討委員会

[PL3E] Periodical Report from Study Committee on Decommissioning of The Fukushima Daiichi NPP

Aiming at Safe and Smooth Implementation of Decommissioning

Chair: Koji OKAMOTO (Univ. of Tokyo)

Fri. Sep 9, 2016 12:30 PM - 2:30 PM Room E (Kumume City Plaza - Kurumeza Theatre)

[PL3E01] Summary of Recent Activities

*Hiroshi MIYANO[1,2] （1., 2.Hosei Univ.）

[PL3E02] Decommissioning of Fukushima-daiichi NPS: Current Status and the Strategic Plan

*Toshihiko FUKUDA[1] （1.NDF）

[PL3E03] Overview of IRID R&D Project

*Atsufumi YOSHIZAWA[1] （1.IRID）

[PL3E04] Risk Appraisal and Management

*Akira YAMAGUCHI[1] （1.Univ. of Tokyo）

[PL3E05] Analysis on Radioactive Waste Management Scenarios

*Satoshi YANAGIHARA[1] （1.Univ. of Fukui）

[PL3E06] Activity of Subcommittee on Follow-up of Unresolved Issues of the Accident and Proposals from AESJ

*Akio YAMAMOTO[1] （1.Nagoya Univ.）

[PL3E07] Activity of Subcommittee on Structural Performance of Reactor Building

*Katsuki　TAKIGUCHI[1] （1.Professor Emeritus at Tokyo Tech）

©Atomic Energy Society of Japan

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」活動報告 —廃炉の安全・円滑な実施に向けて—

（１）活動の概要

Report from the Committee of TEPCO's Fukushima Daiichi Decommissioning

(1) Summary of Recent Activities

*宮野　廣[1]

[1]廃炉検討委員会委員長，法政大学

抄録　福島第一原子力発電所の廃炉は昨年、長期活動の指標としてのロードマップが定められた。

今年 5 月には具体的な個別の開発目標が戦略プランとして定められた。現状の技術開発の状況を共有するとともに、学会としてそれを支援する活動について広く報告意見交換を行う。

キーワード：福島第一原子力発電所，廃止措置，技術開発，

Fukushima-Daiichi Nuclear Power Station, Decommissioning, R&D

1. 緒言

廃炉検討委員会が発足して２年が経過した。

福島第一原子力発電所の廃炉は、かつて経験のない技術的な挑戦を伴いつつ、極めて長期に亘り継続される国を挙げて取り組む事業、重要な国家プロジェクトである。内閣、経済産業大臣を頂点とする組織体系が整えられ、予想される技術的な困難さから、世界がその進展に関心と懸念を示す中、世界の英知を集め、事業を進める体制ができた。原子力学会は、原子力分野の専門集団として積極的な貢献を行うことはもちろん、「学」の総力を挙げた取り組みが求められている。

2. 目的

廃炉検討委員会では、福島第一原子力発電所の廃止措置が安全かつ円滑に進むよう、技術的・専門的な視点から貢献するとともに、学会事故調の提言・課題のフォローを目的として活動してきた。特に関心の高い検討課題については分科会を設置して精力的に活動を進めている。今年度は新たに廃棄物検討分科会を設置した。さらに、事故時の様々な事象に未解明のことも多く、それの解明に取り組むべくＷＧを発足させた。本企画セッションでは、これらの活動を広く学会員をはじめ、社会の皆さんに理解いただくべく、機会を得て報告している。

3. 各報告の概要

福島第一原子力発電所の廃炉作業の進捗状況と昨年とりまとめられた廃炉作業全体のロードマップに基づく個別の進捗の状況を今年５月に新たに取りまとめられた「戦略プラン２０１６」を中心にＮＤＦより論点を報告する。また、２０１８年に近づいた炉内、格納容器外より溶けた燃料の取り出し作業の工法の決定を目指した開発の状況などを中心にＩＲＩＤより報告する。

原子力学会からは、リスク評価分科会、廃炉検討分科会、事故提言・課題フォロー分科会、建屋の構造健全性評価分科会より活動状況を報告する。

報告のほか、ロボット分科会ではロボット学会との連携により廃炉作業の重大課題となっている燃料デブリの取り出しのための格納容器下部に侵入できるロボット技術の開発へのチャレンジを学会あげて取り組んでいるところである。ロボット学会の日程が原子力学会と重なりここでの報告はできなかったが、ここに紹介しておく。

---

*Hiroshi Miyano[1], [1]Chairof the Committee, Hosei Univ.

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」活動報告 ―廃炉の安全・円滑な実施に向けて―

（2）福島第一原子力発電所廃炉の進捗状況と戦略プラン

(2) Decommissioning of Fukushima-daiichi NPS: Current Status and the Strategic Plan

*福田 俊彦[1]

[1]原子力損害賠償・廃炉等支援機構

1. はじめに

原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）は、中長期的な廃炉戦略として、「東京電力ホールディングス㈱福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン」（戦略プラン）を取りまとめている。NDF は、2015 年 4 月 30 日に戦略プラン 2015 を公表して約 1 年間の現場や技術開発等の様々な取組の進捗を踏まえ、2016 年 7 月 13 日に戦略プラン 2016 を公表した。

2. 戦略プランについて

2-1. 戦略プランの目的

戦略プランは、「東京電力㈱福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」（中長期ロードマップ）の着実な実行や改訂の検討に資すること、確かな技術的根拠を与えることを目的としている。具体的には、中長期的視点から重要な課題である燃料デブリ取り出し及び廃棄物対策について、戦略、方針及び取組の計画を取りまとめている。

2-2. 戦略プランの基本方針及び 5 つの基本的考え方

福島第一原子力発電所の廃炉は、「事故により発生した通常の原子力発電所にはない放射性物質によるリスクを、継続的、かつ、速やかに下げること」を基本方針としている。すなわち、戦略プランとは中長期の時間軸に沿った「リスク低減戦略の設計」といえる。

上記の基本方針を達成する上で重要となる 5 つの基本的考え方を示している。

基本的考え方 1：安全	放射性物質によるリスクの低減 (注) 及び労働安全の確保
	（注）環境への影響及び作業員の被ばく
基本的考え方 2：確実	信頼性が高く、柔軟性のある技術
基本的考え方 3：合理的	リソース（ヒト、モノ、カネ、スペース等）の有効活用
基本的考え方 4：迅速	時間軸の意識
基本的考え方 5：現場指向	徹底した三現（現場、現物、現実）主義

3. リスク低減戦略

戦略プランでは、様々な放射性物質を特定し、その特徴をとらえて分析及び評価を実施し、優先順位を決定した上でリスク低減のための対応を決定している。さらに、リスク低減戦略を着実に進める上で、廃炉プロジェクトの進捗に大きな影響を及ぼし得るプロジェクトリスクを特定して適切に管理するとともに、地域住民の皆様をはじめとする様々な関係者の理解を得ながら社会と共同で廃炉を進めていくという考え方が重要である。

3-1. 放射性物質によるリスク低減戦略

福島第一原子力発電所における放射性物質による主要なリスク源を対象に、リスクの大きさ「リスクレベル」は、上記リスク源に含まれる放射性物質が放出された場合の影響である「結果」とその「起こりやすさ」の組合せとして表される。ここでは、英国原子力廃止措置機関 NDA が開発した SED 指標（Safety and Environmental Detriment Score）を参考にしてリスク分析を行っている。

「結果」を表す指標は、リスク源が持つ放射性物質の全量に、漏えい又は移動のしやすさの観点から気体、液体、固体等の性状を加味し、安全機能が喪失した場合の復旧までの時間余裕を考慮している。

「起こりやすさ」を表す指標は、施設の健全性や閉じ込め機能等の要素の組合せでリスク源を序列化する因子とリスク源の状態変化や梱包・監視状態等を組合せ要素とする因子とで構成している。

図 1 に、不確かさの影響を広がりによって示したリスク分析の例を示す。

リスクレベルを分析した結果、以下のように 3 分類して、対応方針を示している。

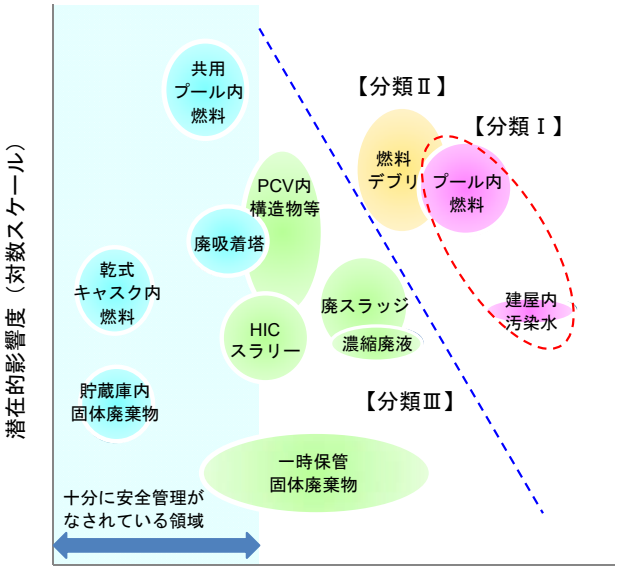


図 1　福島第一原子力発電所のリスク分析例

【分類Ⅰ】可及的速やかに対処すべきリスク源

プール内燃料については、安全管理指標が十分小さい共用プールへの移送の準備が進められている。建屋内汚染水は処理して、放射性物質を水処理二次廃棄物に移行し、より安定に保管する。

【分類Ⅱ】周到な準備と技術によって安全・確実・慎重に対処し、より安定な状態に持ち込むべきリスク源

燃料デブリは、取り出して十分安全に設計された収納缶に収納し、より安定な状態で保管する。

【分類Ⅲ】より安定な状態に向けて措置すべきリスク源（濃縮廃液、廃スラッジ、HIC スラリー、一時保管固体廃棄物の一部、PCV 内構造物等）

現状でもリスクレベルは小さいが、より長期にわたって安定に保管できるように措置が必要である。

【その他】共用プール内燃料、乾式キャスク内燃料、貯蔵庫内固体廃棄物、廃吸着塔は、十分安全・安定な状態にあり、適切な管理の継続によって十分リスクレベルが低い状態を維持されている。

リスク低減の対策を実施する上で、リスク源が現在一定の安定状態にあるとしても、何もしなければ施設の劣化等によりリスクレベルが増加する可能性もあるため、時間軸の考慮が重要である。さらに、リスク低減の作業を実施する場合、施設状態の変化や作業そのものによって一時的にリスクレベルが増加する可能性がある。作業によって得られる現存リスクの低減効果との比較等も考慮して、合理的な作業を行うことも考慮する必要がある。

3-2. 廃炉プロジェクトの着実な推進

リスク低減戦略を着実に進捗させ、放射性物質によるリスクを継続的かつ速やかに下げるためには、廃炉プロジェクトの進捗に係るリスクを洗い出し、それらの重要度を分析し、重要なリスクに対して対策を講じておく必要がある。技術開発の失敗、要員及びスペースの不足、コストの増加、安全の考え方が不確かなことによる手戻り発生等を含めてプロジェクトリスクを広く検討していくことが重要である。

また、福島第一原子力発電所の廃炉の進捗は、避難されている地元住民の方々の帰還に深く関わることから、社会に対して廃炉プロジェクトの見通しを明確に伝えるとともに、様々なリスクと対策を地域住民の皆様と共有することは極めて重要である。

4. 燃料デブリ取り出し分野の戦略プラン

4-1. 燃料デブリ取り出し（リスク低減）の検討方針

燃料デブリのリスクを継続的、かつ、速やかに下げるためには、中期的リスクの低減と長期的リスクの低減という 2 つの視点の戦略が必要となる。

中期的リスクとは、燃料デブリについて現在維持されている”一定の安定状態”から逸脱するリスクである。長期的リスクとは、将来的に核燃料物質が環境中に漏えいして環境汚染が発生するリスクである。燃料デブリ取り出しの初期においては、中期的リスクの低減を重視し、できるだけ効率的な燃料デブリの回収が可能な方法を選定する。なお、取り出し作業に付随するリスクが許容される範囲を超える場合には、取り出し作業自体が正当化されないことに注意が必要である。

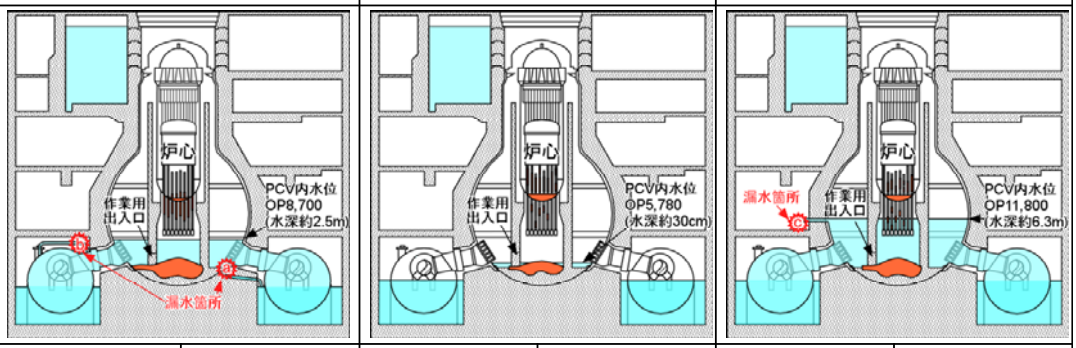
「事故炉の中長期的リスクの解消」と「取り出し作業に付随するリスク」の間の最適点をバランスさせながら探ることが燃料デブリ取り出し戦略と言える。

4-2. 炉内状況把握のための調査戦略と最新情報

燃料デブリ取り出し工法の検討を進める上で、プラント状況、燃料デブリを含めた炉内状況を把握することが極めて重要である。しかしながら、高い線量率等厳しい環境条件を踏まえると必要な情報を全て実機調査することは、技術的にも、時間的にも困難である。このため、情報の必要時期、精度、重要性を勘案した優先度をつけた上で、実機調査のみならず、事故進展解析の結果やプラントパラメータに基づく評価等も最大限活用して最も確からしい結果が得られるよう総合的に分析・評価することが肝要となる。

ミュオン検知やロボット等を用いた映像、温度、放射線量等の調査結果やから炉内状況を確認するとともに、改良した事故進展解析コードによる解析で全体像の把握を行っている。また、実機のプラントパラメータを用いて熱バランスやトレンドからも燃料デブリの位置、量の推定している。(表 1)

表 1　1 号機～3 号機のプラント状況　(燃料デブリ分布の推定含む)



[単位:ton]

	位置	1号機 評価値*1	1号機 代表値*2	2号機 評価値*1	2号機 代表値*2	3号機 評価値*1	3号機 代表値*2
燃料デブリ分布(推定)*3	炉心部	0-3	0	0-51	0	0-31	0
	炉底部	7-20	15	25-85	42	21-79	21
	RPVﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ内側	120-209	157	102-223	145	92-227	213
	RPVﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ外側	70-153	107	3-142	49	0-146	130
	合計	232-357	279	189-390	237	188-394	364
プラント調査状況	PCV内線量率	約5～10 Sv/h (2015年4月10～16日測定、水面上0.7mの気相中、グレーチング上約半周)		約31～73 Sv/h (2012年3月27日測定、水面上3.7～6.7mの気相中、X-53ペネ付近)		約0.75～1 Sv/h (2015年10月20日測定、水面上0.55mの気相中、X-53ペネ付近)	
	漏えい確認部位他	・サンドクッションドレン管（ⓐ）及びS/C真空破壊ラインの伸縮継手カバー（ⓑ）からの漏えいを確認		・気相中に漏えい痕跡が認められないことから、トーラス室滞留水面下部からの漏えいを推定		・主蒸気配管Dの伸縮継手周辺（ⓒ）からの漏えいを確認	
	PCV内部調査等	・既設設備（PLRポンプ、PCV内壁面、HVHなど）に大きな損傷なし ・D/W底部に堆積物が広く分布 ・PLR配管遮へい体が落下		・RPVペデスタル開口部から内部を撮影した写真によりRPV下部の構造物が確認できたため、RPV底部の破損は大規模ではない可能性あり		・PCV貫通部から調査装置を挿入することによるPCV内部調査によりPCV内の構造物・壁面に、確認した範囲では損傷なし	

*1:評価結果の範囲を示す。
*2:複数の解析結果等を踏まえて推定した現時点における最も確からしい値を示す。
*3:燃料デブリの重量は、燃料＋溶融・凝固した構造材（コンクリート成分を含む）の重量を示す。

燃料デブリ分布：IRID 提供資料を基に作成
プラント調査状況：東京電力提供資料を基に作成

引き続き、様々なプラントデータや実機調査の結果や解析コードを活用して総合的な分析・評価の精度を高めていくとともに、燃料デブリ取り出し作業を進めつつ、実機の状況を確認し、フィードバックして、炉内状況把握の精度を上げた上で、作業計画の絞り込み、具体化、見直しを実施するという進め方も検討

する。

4-3. 燃料デブリ取り出し工法の実現性の検討

燃料デブリを取り出すためのアクセス方向とPCV水位の組合せに対して、実現可能性の観点から重点的に取り組む工法を絞り込んでいる。（図2）

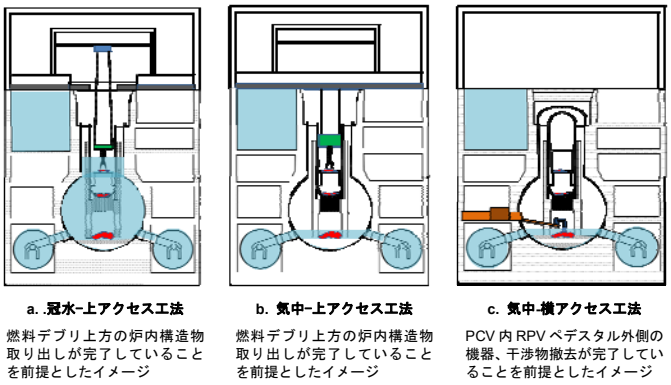


図2　重点的に取り組む3工法（イメージ）

燃料デブリ取り出し作業時の安全確保のための重要技術課題は、重点的に取り組む3工法に共通であるが、冠水工法と気中工法では、燃料デブリ取り出し時の環境条件他の違いから、工法に応じて特に重要な技術課題がある。

冠水-上アクセス工法では、閉じ込め機能の構築（PCV補修（止水））、臨界管理、PCV・建屋の構造健全性の確保が、気中-上アクセス工法、気中-横アクセス工法では、閉じ込め機能の構築（放射性ダスト飛散防止）、燃料デブリ取り出し作業時の被ばく低減が、特に重要な課題として検討・評価を実施している。また、燃料デブリ取り出し方法実現のための重要技術課題として、燃料デブリへのアクセスルートの構築、燃料デブリ取り出し機器・装置の開発、系統設備・エリアの構築について要素試験や概念設計を進めている。

4-4. 燃料デブリ取り出し方針に向けて

重点的に取り組む3工法に関する燃料デブリ取り出し工法実現性の検討が進められており、2017年夏頃の「号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定」に資することとしている。

燃料デブリを一つの燃料デブリ取り出し工法で取りきれるとは限らず、燃料デブリの場所に応じて複数の工法を組み合わせて取り出す方針を決める可能性もある。この場合、最初の取り出し対象箇所に対する取り出し作業と併せて、他の箇所の燃料デブリの調査や検討を進め、その燃料デブリの取り出し方法案を適宜改善し、次の段階の作業を継続していくことが考えられる。「号機ごとの燃料デブリ取り出し方針」では、それまでの検討結果、知見に基づき、号機ごとに最初に取り出す燃料デブリ位置と安全性確保等の観点から確度の高いと考えられる工法を選定することとなる。

5. 廃棄物対策分野の戦略プラン

5-1. 廃棄物分野の検討方針

事故等で発生した固体廃棄物は、従来の原子力発電所で発生していた廃棄物とは特徴が異なるが、その安全かつ安定な保管管理とともに、中長期を見据えた処理方法や処分概念の検討が重要である。中長期ロードマップにおいて、2017年度に、固体廃棄物の処理・処分に関する基本的考え方を取りまとめ、2021年度頃を目途に、固体廃棄物の処理・処分における安全性の見通しを確認することが次工程へ進む判断の重要なポイントとしており、これを目標に検討を進める。

5-2. 国際的な放射性廃棄物対策における安全確保の基本的考え方

国際放射線防護委員会（ICRP）やIAEAにおいて国際的に取りまとめられている一般的な放射性廃棄物の処分に対する安全確保の基本的考え方を整理しておくとともに、事故により発生した廃棄物の特徴に配慮し、当面重要となる放射性廃棄物の管理の在り方も整理した。

5-3. 廃棄物対策における中長期観点からの対応方針と今後の対応

放射性廃棄物対策における安全確保の基本的な考え方や現行の中長期ロードマップに基づいた取組から抽出された課題を踏まえ、福島第一原子力発電所の中長期的な固体廃棄物対策において、現時点から対応又は留意すべき事項について述べる。

(1)　発生量低減

現状の固体廃棄物に係る発生量低減対策は、一定の成果を上げている。今後更なる発生量低減を図るべく、対策を継続的に検討し実施することが重要である。固体廃棄物の除染方法の選択をする場合、二次廃棄物の発生に留意し、適切な技術を選択することが重要である。

(2) 保管管理

工事等により発生する固体廃棄物の物量予測に基づき保管管理計画が策定された。今後は、保管管理計画を確実に実施することにより、固体廃棄物に起因するリスクの低減を図っていくことが重要である。燃料デブリ取り出し作業の際に発生する固体廃棄物に関して、適切な保管場所や保管方法について、燃料デブリ取り出し工法の検討と並行して検討する必要がある。

(3) 性状把握

効率的にデータを取得するためには、廃炉工程の推進や処理及び処分方策の検討に資することができるデータの取得を最優先にすべきである。

(4) 処理及び処分方策に関する検討

固体廃棄物の発生履歴等の属性、汚染履歴、包含される放射性物質濃度等の情報を保存・管理し、それに基づき区分管理を行うことが重要である。固体廃棄物に関する規制制度が円滑に整備されていくためには、必要な情報を規制機関に適宜提供していくことが重要である。

6. 研究開発への取組

6-1. 基本的な方針と概観

技術的難度の高い課題が多い福島第一原子力発電所の廃炉に向けて、様々な実施主体において、多様な内容の研究開発が進められてきている。NDF は、研究開発を実効的かつ効率的に推進するため、これらの研究開発を一元的に把握・レビューするとともに、実施主体の特性や期待される成果を踏まえた上で、役割分担のさらなる明確化・調整と、関係機関との密接な連携により、全体の最適化に取り組んでいる。廃炉作業への適用に向けた研究開発のマネジメントが重要である。(図 3)

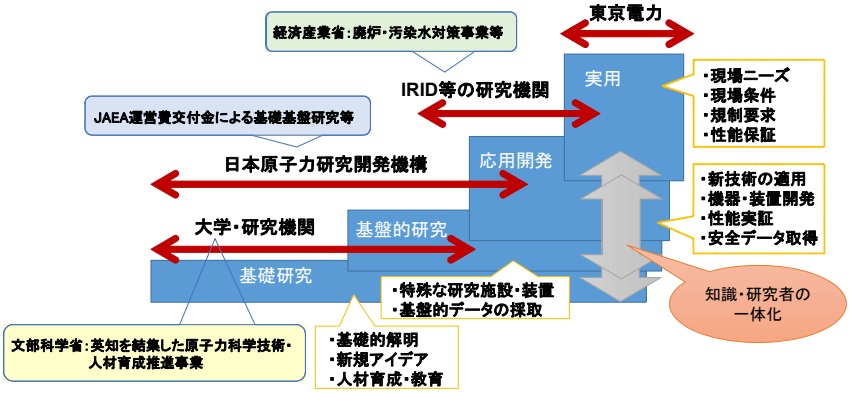


図 3 福島第一原子力発電所の廃炉に関連する研究開発の全体像

6-2. 研究開発の連携強化

廃炉研究開発連携会議が NDF に設置され、廃炉技術の基礎・基盤研究で得られる成果や知見を廃炉作業や実用化開発に活かしていくための取組が強化された。

7. 今後の進め方

燃料デブリ取り出し及び廃棄物対策分野については、2017 年度に各々「号機ごとの燃料デブリ取り出し方針の決定」、「処理・処分の基本的考え方の取りまとめ」といった中長期ロードマップで示されたマイルストーンの年を迎えることとなり、これからの 1 年は非常に重要な期間となる。このため、これまでの諸活動で得られた調査・検討結果を踏まえて、重要な技術課題等について、関係機関と密接に連携し、今後の研究開発の成果も反映しつつ継続的な評価・見直しを繰り返すことで戦略のスパイラルアップを図り、廃炉作業の着実な推進に繋げていく。

* Toshihiko, Fukuda [1], [1]NDF:Nuclear Damage Compensation and Decommissioning Facilitation Corporation

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション
「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」活動報告 —廃炉の安全・円滑な実施に向けて—

(3) IRIDの研究開発の状況

(3) Overview of IRID R&D Project

*吉澤　厚文[1]
[1]技術研究開発組合　国際廃炉研究開発機構

福島第一原子力発電所廃炉に際しての最大の課題は溶融した燃料が冷えて固まっている燃料デブリの取出しである。本報告では燃料デブリ取出しに関わる技術開発状況について報告する。

キーワード：福島第一原子力発電所事故、廃炉、燃料デブリ

1. 緒言

福島第一原子力発電所の廃炉は、廃炉戦略の立案・研究開発プランの策定を行う「原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)」、事業者の「東京電力福島第一廃炉推進カンパニー」、研究開発を実施する「IRID」の３者が緊密に連携し、国を含む４者が一体となって取り組む体制となっている。IRIDは福島第一原子力発電所の廃炉に必要となる研究開発に中心的にかかわる１８法人が集まった組織体である。IRIDが進める主な研究開発は「燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発」、「放射性廃棄物の処理・処分に係る研究開発」、「使用済み燃料プールからの燃料取り出しに係る研究開発」の３つがある。安全かつ着実な作業を可能とするシステムを構築するためには、①燃料デブリの所在やプラントの損傷状態等の綿密な調査、②原子力安全リスクの想定と対処及び検証、③高放射線環境、きょうあい部、水中、暗所等の環境での信頼性の高い遠隔作業の技術等が必要とされ、開発を続けている。本稿では、燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発について進捗状況等について述べる。

2. 研究の進捗と展望

燃料デブリ取出し準備に係る研究開発としては、主に３つの要素から研究に取り組んでいる。初めに、格納容器内の燃料デブリを直接的に検知するための技術開発を進めている。１号機においては昨年４月、格納容器内部へロボットを侵入させることに初めて成功した。今年度は引き続き、ペデスタル外側の燃料デブリ調査に向けた準備を進めている。一方、２号機においては圧力容器直下（ペデスタル内側）の燃料デブリを調査するためのロボット開発さらには作業員の被ばくを低減するため格納容器貫通部を遠隔で穴あけする装置の開発を進めている。また、３号機においてもペデスタル内側の燃料デブリ調査に向け水中遊泳ロボットの開発を進めている。これらのロボットで燃料デブリを遠隔でとらえた後は、燃料デブリへ直接アクセスし、分布状態や組成の調査を進めていく計画である。このためには、ロボット技術をさらに高度化するともに、格納容器内へのアクセス方法や高放射線下での各種計測技術等の開発を引き続き進めていく必要がある。上記と並行し、燃料デブリの所在については、過酷事故解析コードの高度化により原子炉内や格納容器内の状況を推定するとともに、宇宙線ミュオンを利用した調査を進めている。１号機のミュオン調査では、原子炉建屋の外側から原子炉内の燃料デブリの分布調査を行い、炉心部に多量の燃料が残っている可能性が小さいことを明らかにした。その後、この技術を２号機に展開し、本年３月よりミュオン調査を継続している。燃料デブリ取出し技術の開発については、原子炉内や格納容器内での燃料デブリへのアクセス、切削、収集、格納、搬出そして保管といったすべてのプロセスを遠隔で行う要素技術の開発を進めている。一方で、燃料デブリの取出しは単に要素技術を組み合せるのでなく、原子力安全リスクを確保しかつリスクマネージメントが可能なように設計されることや、さらに保管、廃棄物、所要期間、コストまで見据える必要がある。メンテナンスや長期的な作業を着実に行ってゆけるような構成も重要である。IRIDでは遠隔除染、健全性評価、止水、臨界管理、燃料デブリ性状把握、移送・収納管等の各プロジェクトが燃料デブリ取り出し技術の開発を支援し、安全で着実な廃炉作業を可能とする技術開発を進めている。

3. 今後の進め方

極めて困難な廃炉事業を進めてゆくためにIRIDは国内外の叡智を結集し、研究開発を進めていく所存である。とりわけ、破損燃料の取り出し・保管作業等を実施している海外機関には、ハードウェアのみならず、安全管理やプロセス等の実績についても大いに期待し、今後も緊密な連携を構築、維持して安全かつ着実な廃炉のための技術開発を行っていく。

参考文献

[1] 荻野他、原子力機構福島部門報告会　燃料デブリの取出しとその後の取り組み(2016)
[2] 岡田、米谷、電気学会全国大会　廃炉作業に伴うロボット技術の開発と現場適用の状況(2016)

* Atsufumi Yoshizawa[1, 1] International Research Institute for Nuclear Decommissioning.

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」活動報告 —廃炉の安全・円滑な実施に向けて—

（4）廃炉のリスク分析とリスク管理について

(4) Risk analysis and risk management of decommissioning,

*山口　彰[1]

[1]リスク評価分科会主査　東京大学

福島第一原子力発電所の廃炉では、１号機から３号機の原子炉と格納容器内にある燃料デブリ、使用済み燃料プール内燃料、高濃度汚染水など、複数の放射能ハザードを扱う必要がある。これらのリスクは、原子力発電所の運転に伴うリスクとは様相が大きく異なっている。そこで、重要度の高いリスクから低減していくことが最善であり、それに応じて適切に優先度を定める必要がある。目的は、安全に着実に廃炉を進めることである。

リスクの大きさは、以下の４つの要因に依存すると考えられる：放射性物質の量と性状、閉じ込めの性能、移行のしやすさ、取出しと保管・管理。すなわち、危険物質の量だけでなく、それを安定に閉じ込められるか、管理できるかなどを総合的に判断してリスク低減の優先度を決めるべきであろう。また、リスクは閉じ込め能力や監視機能、異常時の対応能力などを強化することによっても低減できること、リスク低減作業の困難さも留意する必要がある。

原子力損害賠償・廃炉等支援機構の戦略プラン 2015 の評価も参考にしつつ、本検討では 3 号機の使用済み燃料プールからの 566 体の燃料取出しを題材としてリスク管理を考える。既に、4 号機の燃料プールからは 1533 体の燃料集合体が 2014 年 12 月に取り出しを完了している。燃料取出しによりリスクを適切に低減していく作業は４つのタスクからなる：(1)廃炉プロセスの事前分析、(2)リスク評価の実施、(3)リスク管理の実施、(4)様々な意思決定（変更を含む）、(5)リスク管理プロセスに関するコミュニケーション。

まず、(1)事前分析として燃料取出しの成功パスの記述とそれに対する傷害要因を摘出した。あらゆるリスク要因を網羅的に検討することが重要と考えてのことである。これは、成功パス検討チームを構成して実施した。次に、(2)リスク評価としてリスクの大きさを定量化する考え方を検討した。上述したようにリスクの大きさが作業の優先度を決めるからである。そのため、リスク指標検討チームを構成して実施した。次年度以降は、(3)リスク管理、(4)意思決定を実施するために、成功基準検討チームを編成する予定である。リスク管理と意思決定を行うための、リスク指標に関する判断の目安を定める必要がある。

リスク指標については、公衆の健康影響、環境への影響、従事者の被曝、プロジェクト進捗への影響を評価することとした。適切なリスク指標を参照して総合的に判断することが原子力安全と着実な廃炉を両立させるリスク管理である。

---

* Akira Yamaguchi [1], [1] University of Tokyo

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」活動報告 —廃炉の安全・円滑な実施に向けて—

（5）放射性廃棄物管理シナリオの分析について

(5) Analysis on Radioactive Waste Management Scenarios

*柳原　敏[1]

[1]廃棄物検討分科会主査　福井大学

第 11 回福島第一原子力発電所廃炉検討委員会（平成 28 年 5 月 18 日）において廃棄物検討分科会の設置が承認され、福島第一原子力発電所（1F）廃炉等で発生する放射性廃棄物の対策のあり方（放射性廃棄物管理シナリオの分析）についての検討を開始した。検討の内容は、廃棄物発生量の予測と特性評価、廃棄物管理シナリオの想定と分析、廃棄物の処理・管理等に係る知識マネジメントなどから構成される。このうち、廃棄物発生量の予測は、これまでに発生したもの、燃料デブリ取出し作業から発生するもの、廃炉作業から発生するものなど、時系列を考慮する。また、廃棄物管理シナリオは、安全性、経済性、社会的受容性など、様々な観点からの分析が必要であり、作業シナリオに対応して幾つかの廃棄物管理シナリオの想定と分析を実施する予定である。なお、1F 廃炉は長期に及ぶものであり、その間に多くの情報が得られるが、廃棄物管理や処分等に向けて整理・継承すべき情報・知識などについての検討も進める予定である。

---

* Satoshi Yanagihara[1], [1] University of Fukui

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」活動報告 —廃炉の安全・円滑な実施に向けて—

（6）事故提言フォロー分科会の活動について

(6) Activity of Subcommittee on Follow-up of Unresolved Issues of the Accident and Proposals from AESJ

*山本章夫[1]

[1]事故提言フォロー分科会主査　名古屋大学

1. 概要

原子力学会は、2014 年 3 月に「福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言: 学会事故調 最終報告書」(以下、事故調報告書)を出版し、その中で将来にわたる原子力災害防止にむけた提言をとりまとめた。提言は、実行に移されてはじめて原子力安全に貢献できると考えられることから、その取り組み状況をフォローアップすることは極めて重要であると考えられる。このような状況のもと、学会廃炉委員会の事故提言フォロー分科会においては、事故調報告書の提言についての取り組み状況と、事故進展に関する未解明点のフォローを実施している。

2. 事故調提言への取り組み状況の取りまとめ

提言に対する取り組みの調査結果については、2016 年 3 月に「学会事故調最終報告書における提言の取り組み状況(第 1 回調査報告書)として取りまとめた。本文書は、原子力学会の福島第一原子力発電所廃炉検討委員会の HP よりダウンロード可能である。なお、参考のため、今後さらに取り組みを強化すべきと考えられる事項についてまとめておく。

2-1. 原子力安全の基本的な事項

安全目標の合意形成と活用は取り組みが緒についたところ。引き続きの取り組みが望まれる。また、リスク情報の活用がなされつつあるが、活用方法、活用範囲の検討を含め、さらに取り組む余地がある。基本安全原則の明確化、深層防護の検討と明文化、規格基準類の体系化などについては、原子力学会での検討が進められている。今後、規制図書などへの反映が期待される。核セキュリティの強化については、安全対策との相乗効果をさらに生み出すべく、分野間の連携に関する取り組みが望まれる。

2-2. 直接要因に関する事項

外的事象対策、過酷事故対策は、新規制基準および自主的安全性向上などの取り組みにより、大幅に強化されつつある。

2-3. 背後要因のうち組織的なものに関する事項

原子力学会が果たすべき責務の再認識については、会員の所属意識の希薄性も含め、実際の行動に結びつくにはまだ多くの課題があり、継続的努力が必要である。安全研究ロードマップについては、着実に取り組みがなされている。ローリングを通じた継続的改善を実施し、安全研究に着実に取り組むことが望まれる。学際的取り組みの強化として、他学会との連携などが図られつつある。

2-4. その他

原子力安全研究基盤の充実については、「自主的安全性向上・人材育成ロードマップ」などの策定、各組織体での取り組みにより、強化されつつある。国際協力体制については、福島第一事故ベンチマーク(BSAF)、PRA 日米ラウンドテーブルの実施、原子力リスク研究センターの発足など、様々な取り組みが進められている。人材育成については、国からの支援を含め、様々な取り組みがなされている。一方で人材育成は長期的な課題であり、息の長い取り組みが望まれる。放射線モニタリングについては、体制の整備が図られ

つつある。廃棄物の減容化・再利用などによる最小化については、今後さらに重要となる問題であり、引き続き取り組むべきである。

3. 今後の活動

事故後 5 年が経過し、事故進展についてはかなりの知見が得られてきている。そこで、これまでに得られた事故進展に関する新たな知見、これに基づく解明事項の解明状況を整理し、これまでの知見をとりまとめることを計画している。概要は以下の通りである。

・フォローすべき課題(未解明点)を確認する。学会事故調報告書、東電未解明レポートなどを参照し、現在すでに解明された課題でも、事故直後に未解明点とされていたものを含めて整理する。

・抽出された課題について、最新の知見を確認し、事実関係を取りまとめる。

・残されている課題を整理し、今後、安全性向上や水平展開などの観点から優先して解明に取り組むべき課題について検討する。

・未解明点の調査・検討に際して生じると考えられる課題を整理する(例：廃炉作業時のデータ取得に関する留意事項、データを分析する際の留意事項など)

・企画セッションや、シンポジウムを通じて情報発信を行う。

4. まとめ

事故調提言の中には、その取り組みに長期間を要するものも含まれており、今後も継続的に提言への取り組み状況を確認する必要がある。また、未解明となっている技術課題の解明に向けた活動に取り組む予定である。

---

* Akio Yamamoto[1], [1] Nagoya University

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」活動報告 ―廃炉の安全・円滑な実施に向けて―

（7）建屋の構造性能検討分科会の活動

(7) Activity of Subcommittee on Structural Performance of Reactor Building

*瀧口克己[1]

[1]建屋構造健全性評価分科会主査　東京工業大学

1. 活動の概要

分科会の、位置づけ、目的、基本方針、委員構成、これまでの活動実績、など、本分科会の活動の概略を述べる。

委員名簿、分科会の資料リスト、2015 年の大会での報告概要、2016 年 3 月のシンポジウムでの講演概要などが資料となる。

2. 目標と課題

分科会のあり方をおおまかに紹介した後、この分科会が果たすべき役割、この分科会であるからできること、など、目標について論ずる。短期、中期、長期のものを考えることになる。

同時に課題や能力についても言及する。達成が可能であろうと思われる目標については、
成果の具体的なイメージも示したいと考えている。本文開始。

3. 当面の計画

ごく短期、すなわち、ここ半年ぐらいでまとめ得ると思われる成果について説明する。言葉を換えれば、分科会が発足して約 2 年が経過した段階での報告の内容を議論するということになる。

現時点で結論できる範囲を明確にすることは、具体的に分科会活動の方向を示すことにもなる。

---

*Katsuki Takiguch[1], [1]Professor Emeritus at Tokyo Institute of Technology

Planning Lecture | Technical division and Network | Nuclear Fuel Cycle and Environment Division

[PL3F] How durable is HLW glass ?

Current understandings of HLW glass performance in geological disposal

Chair: Gento Kamei (JAEA)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room F (Kumume City Plaza - Creative Box)

[PL3F01] In an aspect of performance assessment

*Toshiaki Ohe[1] (1.Tokai Univ.)

[PL3F02] Current international studies

*Yaohiro Inagaki[1] (1.Kyushu Univ.)

[PL3F03] In an aspect of scientific fundamentals

*Takahiro Okubo[1] (1.Chiba Univ.)

[PL3F04] In an aspect of computational modeling and simulation

*Tamotsu Chiba[1] (1.JGC)

[PL3F05] Current Japanese studies and future plan

*Sei-ichiro Mitsui[1] (1.JAEA)

[PL3F06] Discussion

Chair: Katsuhiko Ishiguro[1] (1.NUMO)

©Atomic Energy Society of Japan

バックエンド部会セッション
「ガラス固化体の実力は？—地層処分におけるガラス固化体性能評価の現状—」

（1）ガラス固化体の実力は？ —性能評価の観点から—

(1) In an aspect of performance assessment

*大江 俊昭[1]
[1]東海大学

1. はじめに

我が国における地層処分の実現可能性を論じた第 2 次取りまとめ（取りまとめ）では、ガラス固化体は処分後約 7 万年で全量が溶解するとしている。しかし、7 万年では ^{135}Cs や ^{237}Np などの長半減期核種を隔離することは覚束ず、そのためか、その後の固化体性能に関する研究開発は停滞していたといっても過言ではない。一方、取りまとめは 15 年前の技術情報に立脚していたこと、メカニズムが十分把握されていない部分は安全側の仮定に立った評価をせざるを得なかったこと、などの理由で寿命を過小評価していたことは否めない。そこで、ガラス固化体にどの程度の核種保持能が期待できるか再吟味し、新たな役割を付与できるか否かを検討した。

2. 前提の再吟味

2-1. 温度

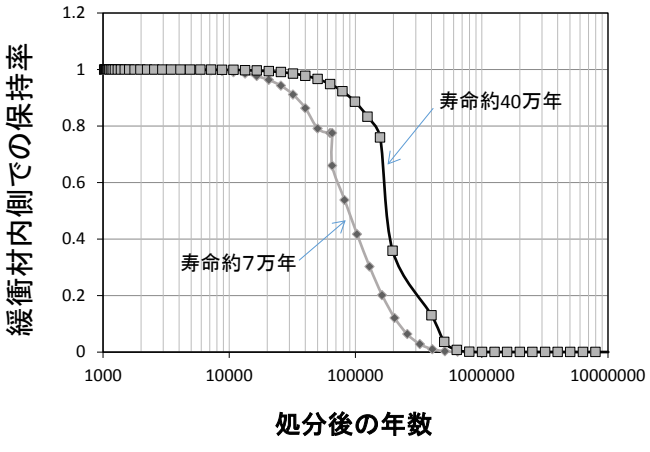
ガラス固化体の温度は時間とともに低下し、約 3000 年後には地温（設定 45℃）とほぼ等しくなるが、取りまとめでは保守的に廃棄体定置後 1000 年での温度 60℃が継続するとしている。この温度差では残存溶解速度定数に約 3 倍の違いがあり、現実的な温度設定によりガラス固化体溶解寿命は 3 倍となる。

2-2. 表面積

ガラス固化体の溶解に伴い表面積は徐々に減少し、溶解速度も低下する。一方、取りまとめでは、製造時の割れを考慮して表面積は初期値の 10 倍としているものの、そのまま表面積一定としているので溶解速度が過大評価されている。そこで、実験的に求められた割れの幾何学的長さと同じ長さの平板に置き換えたモデルや、小球に分割したモデルを使って表面積の減少を考慮すると、溶解寿命は 40 万年を超える可能性が見えてくる。

3. 長寿命化が与える効果

ガラス固化体の溶解寿命が 40 万年に伸びた場合、ガラス固化体と緩衝材中に残存する ^{135}Cs の割合を時間の関数で示したのが右図である。約 15 万年程度は 80%以上の ^{135}Cs を保持している結果となった。これは 7 万年の場合と比較しても約 3 倍の保持期間である。



ガラス固化体の寿命を延伸させる現象として、上記以外にも、①反応表面に形成される保護皮膜、②亀裂内部での実効的な接液面積の低下、などが十分期待できる。ガラス固化体の溶解寿命の延伸は、これまで長期の核種保持能を期待されていなかったガラス固化体に新たな役割を付与できる可能性があり、そのためには、これまで停滞していた研究開発を再度活性化することが不可欠である。

*Toshiaki Ohe[1], [1]Tokai University

バックエンド部会セッション
「ガラス固化体の実力は？—地層処分におけるガラス固化体性能評価の現状—」

（2）ガラス固化体の実力は？—世界の研究の現状—

(2) Current international studies

*稲垣　八穂広[1]
[1]九州大学

1. はじめに

ガラス固化体は核燃料サイクルから発生する全放射能の大半を含有する廃棄物であり、多種の放射性核種をホウケイ酸ガラスのマトリクス中に固溶という形態で安定に閉じ込めた廃棄体である。従って、その核種保持性能は高レベル放射性廃棄物の冷却保管（数十年）および地層処分（数万年以上）の安全性を担保する重要な役割を担っている。ガラス固化体の性能評価研究は 1980 年頃からガラス固化体を有する国々において本格的に開始され、現在まで継続して進められているが、近年、フランスおよび米国を中心とした国際協力研究が活発になっている。ここでは近年の国際協力研究の背景とその内容について述べる。

2. 近年の国際協力研究の背景

ガラス固化体は先述の様に地層処分される全ての放射性核種を固溶という形態で物理化学的に固定した廃棄体であり、ガラス固化体からの核種の溶出は地層処分における核種移行のソースタームとなる。また、仮に他の人工バリアの機能が喪失した場合、ガラス固化体からの核種溶出が核種移行を支配することになる。従って、ガラス固化体の数万年以上にわたる物理化学的挙動を充分に理解することは、地層処分の長期性能の信頼性向上のための現実的かつ有効な手段である。このような理由からガラス固化体の地層処分を計画する国々ではガラス固化体の性能評価研究が継続して実施されてきた。2010 年代に入り、フランスでは地層処分の候補地が選定され、実際の処分の実施を見据えたガラス固化体性能評価研究がより活発になっている。また、米国にではそれまでのヤッカマウンテンにおける直接処分の方針の見直しにより、再処理および高レベル廃棄物のガラス固化を含む基盤研究が再開され、ガラス固化体の性能評価研究も活発になっている。このような経緯から、フランス、米国を中心としてガラス固化体の性能評価に関する国際協力研究体制（International Glass Corrosion Workshop）が発足し、現在に至っている。現在の参加国は、フランス、米国、ベルギー、英国および日本である。

3. 近年の国際協力研究の内容

ガラス固化体の性能評価研究は、以下の 3 種類に大別できる。

(1)基礎科学的研究：現象の基礎科学的理解、反応機構の解明と反応モデルの構築、等
(2)工学的研究：処分時の環境条件の評価設定、反応パラメタの取得、定量的／体系的評価、等
(3)性能評価研究：基礎科学的研究および工学的研究の成果の統合化と整理／単純化による性能評価モデルの構築および核種移行解析への適用、等

また、これら 3 種類の研究成果の一貫性、整合性、合理性を検証していくことが評価の信頼性の観点から重要である。以上を踏まえて、現在の国際協力研究で取り組んでいる課題は、「ガラスの原子配列構造、表面変質層構造の理解（基礎科学的研究）」「ガラス長期溶解メカニズムの理解（基礎科学的研究、工学的研究）」「処分環境で起こりうる各種プロセスとのカップリング（基礎科学的研究、工学的研究、性能評価研究）」等である[1]。なお、処分環境等は各国で異なるため、各国独自の研究が求められ、それらの成果を統合したガラス固化体性能評価の国際的コンセンサスの構築が最終的な目標である。

[1] J.Vienna, J.Ryan, S.Gin, Y.Inagaki, International journal of Applied Glass Science, 4[4]283(2013).

*Yaohiro Inagaki[1], [1]Kyushu University

バックエンド部会セッション
「ガラス固化体の実力は？—地層処分におけるガラス固化体性能評価の現状—」

（3）ガラス固化体の実力は？—基礎科学の観点から—

(3) In an aspect of scientific fundamentals

*大窪 貴洋[1]
[1]千葉大院（工）

1. はじめに

ガラス固化体の長期溶解挙動を精密に予測するためには、ガラス溶解に関連する素反応を明らかにし、溶解挙動に影響を与える化学反応や物質移動をガラス溶解モデルに組み込む必要がある。ガラス溶解に強い影響を与える現象としてガラス表面に生成される表面変質層が知られている。表面変質層は、生成過程やその中での物質移動に関連する現象理解が進んでいなため現行のガラス溶解モデルに組み込まれていない。しかし、基礎科学の進展に伴う分析技術やシミュレーション技法の向上により変質層の化学構造やその中での核種挙動が明らかになりつつある。本報告では、それらの結果について説明する。

2. 変質層の構造解析

実験室レベルで行われるガラス溶解試験の期間で生成するガラス表面の変質層は、マイクロメートルのスケールであり、変質層の生成速度、構造、化学的性質を精密に分析することが難しい。検出感度が高く深さ方向の分析が可能な二次イオン質量分析(SIMS)によってガラス表面に生成した表面変質層の Si、B、Na および H の深さ方向プロファイルを解析した結果が報告されている。また溶液組成やガラス組成、温度等をパラメータとしたガラス溶解試験を行い、SIMS により表面状態を観察することでガラスの溶解特性に影響を与える表面変質層の生成プロセスが観察されている。表面に生じる変質層は、B や Na の溶出したゲル相と B 濃度に勾配のある拡散層の 2 つの層で存在することが認識されている。深さ方向の元素分布に加えて、変質層の化学構造を求めることを目的に分光法による構造解析が行われている。固体 NMR 法は、ガラス表面に生成する変質層の Si や B の化学構造を選択的に検出することが可能で、変質相のシリケート構造は、溶液中に滲出した Si の再結合により架橋が進展することが報告されている。

3. 変質層中の物質移動

水と接触したガラス表面の微小な領域で起こる物質移動を実験的に取得することは難しいが、SIMS から得られる元素の濃度プロファイルから拡散係数を評価する試みがなされている。ガラス表面の変質層は、未変質ガラスから放出される放射性核種のバッファとして働きガラス溶解の保護層として働くと考えられるが、現状では精密な物質移行を予測できるモデルの構築に至っていない。変質層による核種移行の保護的役割を解明することができれば、現行モデルのガラス固化体の寿命をより長く設定した核種移行解析が可能となると考えられる。また実際の処分環境ではガラス固化体は水と接触していることから、変質層と水の界面で起こる素反応を明らかにすることで新しい溶解モデルの進展につながると考えられる。本報告では、変質層中で起こる物質移動の反応を明らかにするために分子動力学計算によるガラス変質層中のシミュレーションを試みたので紹介する（図 1）。

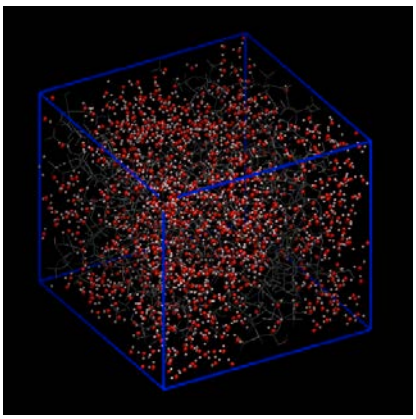


図 1: 変質層の構造。赤白は水分子、灰色はシリケート

* Takahiro Ohkubo[1], [1] Chiba University

バックエンド部会セッション
「ガラス固化体の実力は？—地層処分におけるガラス固化体性能評価の現状—」

（4）ガラス固化体の実力は？ —計算科学の観点から—

(4) In an aspect of computational modeling and simulation

*千葉 保[1]
[1]日揮株式会社

1. はじめに

ガラスの原子配列構造、あるいはガラスの長期性能に係る諸現象において、近年の計算機能力の向上に伴い、従来は適用が困難であった計算負荷の大きいシミュレーションも試みられるようになっている。本報告では、それらの手法について概説する。

2. ガラスの微視的構造とガラスの溶解

2-1. 第一原理計算

第一原理計算（ab initio calculation）では、原子レベルで化学反応をシミュレートするものであり、非時間依存型のシュレディンガー方程式を解くことが求められる。ガラスの分野においては、Si-O-Si や Si-O-Al の結合を水、H_3O^+、OH^- が切断する際の活性化エネルギーの計算などへの適用事例が報告されている。

2-2. 分子動力学

分子動力学では、第一原理計算よりは大きな系を対象とし、通常、多体間のポテンシャルを相互作用の駆動力として設定する。ガラスの分野への適用例としては、溶融から冷却までの遷移過程をシミュレートすることで、ガラスの構造を再現するのに広く用いられている。シミュレーションからは、ホウ素 B の異なる配位（3 配位 B と 4 配位 B）の存在比率など、主要元素の基本構造に関する情報を得ることができる。

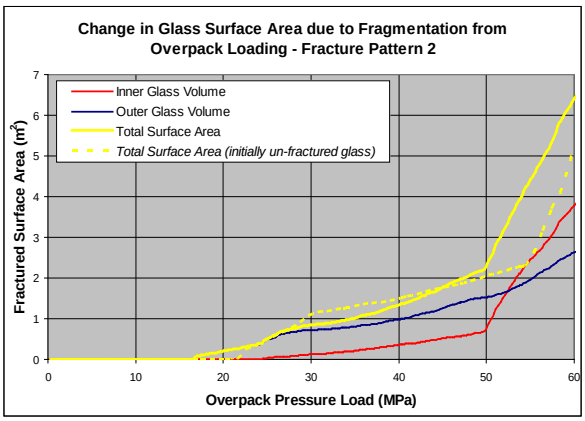
2-3. モンテカルロシミュレーション

ガラスの分野におけるモンテカルロシミュレーションへの適用例としては、以下が挙げられる。ガラスの初期構造を格子状に構築した上で、水分子との接触による Si-O-Si や B-O-B などの結合の解離（及び再結合）を統計論的な確率過程としてとらえ、ガラスの溶解と変質層の形成過程をシミュレートするものである。

今後の課題としては、第一原理計算でミクロ構造及び解離・再結合のエネルギーを算出、分子動力学で基本構造を決定した上でモンテカルロ法を適用する、といった上記手法の統合化が期待される。

3. ガラスの割れ

オーバーパックの腐食膨張による応力の増大で生じるガラス固化体の割れの進展は、FDEM（Finite and Discrete Element Method）法によってシミュレートすることが出来る。割れによって新たに生じたガラス表面積の増大をガラスに加わる応力の大きさの関数として示したのが右図である。①表面積の増大は初期の表面積の数倍程度であること、②表面積の増大は初期の割れ（冷却時）を考慮した場合でも必ずしも顕著に変化する訳ではないこと、が示されている。



* Tamotsu Chiba[1], [1]JGC Corporation

バックエンド部会セッション
「ガラス固化体の実力は？―地層処分におけるガラス固化体性能評価の現状―」

（5）ガラス固化体の実力は？ ―日本の研究の現状と課題―

(5) Current Japanese studies and future plan

*三ツ井 誠一郎[1]
[1]日本原子力研究開発機構

1. はじめに

地層処分システムの安全評価におけるソースタームのうち，高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）からの Cs-135 などの可溶性放射性核種の放出率は，ガラス固化体の長期溶解速度により制限されるため[1]，現実的で信頼性の高いガラス固化体の溶解モデルの開発が必要である。「ガラス固化体の実力」はこの溶解モデルにより示すことができる。ガラス固化体近傍の溶存ケイ酸濃度は，処分環境におけるガラス固化体の溶解速度を支配する主要因の一つとされているが，ガラス固化体周辺に存在するオーバーパックとの相互作用による Fe ケイ酸塩鉱物の析出や海水起源の地下水中に存在する Mg イオンとの反応による Mg ケイ酸塩鉱物の析出など，複数のプロセスが溶存ケイ酸濃度に影響しうることが近年の研究によって報告されている。これらのプロセスの影響の程度が大きい場合，ガラス固化体近傍の溶存ケイ酸濃度が長期的に低く維持され，ガラス固化体の溶解が高い速度で進行する可能性がある。一方，ガラス固化体の表面に形成される変質層が保護膜として作用する場合，ガラス固化体の溶解・変質抑制が期待できる。本報告では，各種プロセスを考慮した溶解モデルの開発に向けたわが国の取り組みを紹介する。

2. 第 2 次取りまとめ以降の研究

第 2 次取りまとめ[1]以降，国内では各種プロセスに関する現象の理解と溶解モデルに用いるパラメータの取得を目的とした実験的研究等が行われてきた（以下に一部を示すが，出典や他の成果については原子力機構の CoolRep[2]を参照されたい。）。液性および温度等の環境条件の影響については，これらの条件の制御が可能なマイクロチャネル流水試験法が新たに開発され，pH および温度依存性に関する浸出試験により正確な溶解速度やガラス溶解に関するみかけの活性化エネルギー等のデータが取得された。人工バリア材料との相互作用については，放射性ケイ素（Si-32）を用いた圧縮ベントナイトに対する拡散試験等により，ガラス溶解モデルにおいて緩衝材との相互作用を考慮する際に必要となる拡散係数および分配係数が取得された。また，これらの研究で得られた成果を含め，各種プロセスに関する現時点での知見に基づき作成された予備的なガラス溶解モデルによる感度解析が実施され，オーバーパックとの相互作用によって形成する Fe ケイ酸塩鉱物の析出や変質層の保護的効果などがガラス固化体の長期溶解速度を支配する可能性が示された。

3.溶解モデルの信頼性の向上にむけて

処分環境におけるガラスの長期溶解に関する現象理解，データは未だ十分とは言えない。例えば，2 で述べた Fe ケイ酸塩鉱物の析出による影響の程度は，オーバーパックの腐食に伴う Fe イオンの供給速度や析出する Fe ケイ酸塩鉱物の Si/Fe 比に依存することから，実験等によりこれらのデータを取得する必要がある。また，各種ケイ酸塩鉱物が析出する条件でも変質層が保護膜として作用しうるのかは現時点では明らかにされていない。溶解モデルの信頼性の向上，すなわち，より確からしい「ガラス固化体の実力」を示すには，各種のケイ酸塩鉱物の析出や変質層の保護的効果といった重要なプロセスに関する研究に取り組む必要がある。

参考文献

[1]サイクル機構，JNC TN1400 99-23 (1999)，[2]原子力機構，http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/

*Seiichiro Mitsui[1], [1]Japan Atomic Energy Agency

(Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room F)

[PL3F06] Discussion

Chair: Katsuhiko Ishiguro[1] （1.NUMO）

ガラス固化体は核燃料サイクルから発生する全放射能の大半を含有する廃棄物であり、多種の放射性核種を化学的に安定なホウケイ酸ガラスのマトリクス中に固溶という形態で安定に閉じ込めた廃棄体である。従って、その核種保持性能は高レベル放射性廃棄物の冷却保管から地層処分までの数万年以上にわたる長期の安全性を担保する重要な役割を担っている。近年、フランスおよび米国を中心としてガラス固化体の性能を再確認する動きが始まっており、国際協力研究が活発になっている。本セッションでは近年の国際協力研究の背景と内容について紹介するとともに、日本の今後の研究の進め方について議論する。

©Atomic Energy Society of Japan

Planning Lecture | Board and Committee | 福島特別プロジェクト

[PL3H] Opnion by Fukushima Special Project

Toward promotion of return home and reconstruction in Fukushima

Chair: Harukuni Tanaka (JNFL)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room H (Kumume City Plaza - Studio 3)

[PL3H01] Effort of Fukushima Special Project

*Reiko Fujita[1] （1.JST）

[PL3H02] Today and the future of agriculture in Fukushima fighting against harmful rumor caused by the nuclear accident

*Takashi Kanno[1] （1.JA Fukushima Mirai）

[PL3H03] Opnion by Fukushima Special Project

*Takeshi Iimoto[1] （1.Univ. of Tokyo）

©Atomic Energy Society of Japan

福島特別プロジェクトセッション
「福島特別プロジェクトからの見解―福島の帰還・復興を進めるために―」

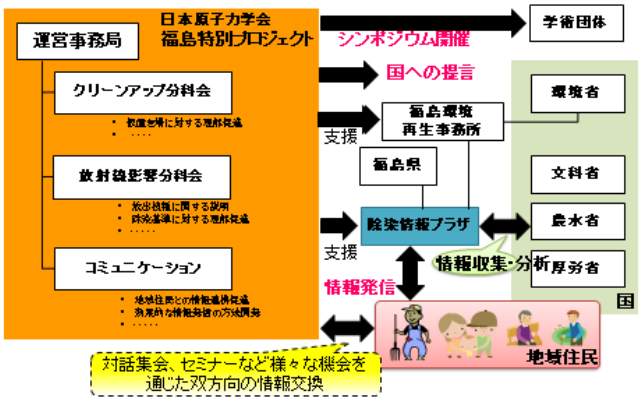
（1）福島特別プロジェクトのこれまでの取組

（1）Activities on Fukushima Special Project

*藤田　玲子[1]
[1]日本原子力学会福島特別プロジェクト[1]

日本原子力学会は 2012 年 6 月に福島の住民の方々に寄り沿う活動をするために、理事会に直結する組織として“福島特別プロジェクト”を設立した。福島特別プロジェクトは福島の住民の方々が少しでも早く現状復帰できるように住民の方々と国や環境省との間のインターフェースの役割をすることを目的とした。

これまでの活動は2011年から2012年にかけては「原子力安全」調査専門委員会の下で「クリーンアップ分科会」として①モニタリングおよび環境修復に関する提言、②除染技術カタログの作成、③除去土壌の仮置き場の開設、④除染・処分コストの評価、⑤水田における修復技術の実証（南相馬市における稲作試験に継続）などを実施し、福島県庁や市町村役場とのコミュニケーション活動を実践してきた。



福島特別プロジェクト設立後、現在まで引き続き実施している活動としては以下である。

1. 住民の方々への情報提供
   H24 年 5 月から「除染推進に向けた対話フォーラム」を 5 回実施し、講師やパネリストとして参加。その後は相談コーナーの相談員などとして参加。
2. 福島県におけるシンポジウム
   H24 年 5 月 13 日（コラッセふくしま）を皮切りに今年 7 月 23 日（いわき産業創造館）まで年 2 回、計 10 回実施。
3. 除染推進活動
   伊達市や南相馬市、川内村役所に定期的に訪問し、課題について討議、アドバイスしたり、意向や情報を福島県や環境省福島再生事務所に伝えるなどインターフェースの役割を実践。
4. 除染情報プラザへの専門家派遣
   環境省福島再生事務所と福島県が運営する“除染情報プラザ”に開館した 2012 年 1 月から毎週末および祝日に専門家を派遣。本年 5 月末までにのべ約 590 名が駐在し、アドバイスなど実施。
5. 南相馬市における稲作試験
   2014 年から今年も引き続き、水田で稲作試験を実施。Cs の移行挙動や施肥やゼオライト散布の影響などを実データ取得に努めている。GLOBAL など国際会議でも論文発表。

*Reiko Fujita[1]
[1]The Special Project for Fukushima of AESJ

福島特別プロジェクトセッション
「福島特別プロジェクトからの見解―福島の帰還・復興を進めるために―」

（2）原子力事故による風評と闘う福島の農業の今・そして未来

(2) Today and the future of agriculture in Fukushima fighting against harmful rumor caused by the nuclear accident

菅野孝志[1]
[1]JA ふくしま未来

福島は桃、梨などの果物、キュウリ、トマトなどの野菜、米、花卉などの栽培が盛んで、様々な農産品が全国の上位を占める農業県である。河川の清流や日本酒の品質などでも全国一となるなど「うつくしま福島」を名乗っている。2011 年 3 月東日本大震災とともに福島第一原発の事故が発生して県内には大きな混乱が起きたが、中通りの農業協同組合では「心配せずに作物作りに専念しよう」とラジオで呼びかけ、一方避難して来た方々へのお握りの炊き出しを行いその数が 10 万個を超える支援を行った。

しかしその時から県内農業関係者にとって大変な苦難が始まり、その闘いは今日も続いている。避難区域で農業が営めないことは勿論、避難の必要は無いとされる地域でも出荷制限がかかり、土壌や果樹に対する放射能除染という経験したことの無い作業を行うこととなった。震災は天候の変化をもたらした訳ではなかったので、近年に無い農産品の出来映えにもかかわらず出荷できない低価格には涙の出る無念さがあった。

農業協同組合は 2011 年の内にウクライナ・ベラルーシに調査団を派遣し、旧ソ連のチェルノブイリ原発事故の影響にどのように立ち向かっているか、現地の農業関係者から経験談を聞き多くの知見を得た。

福島県では現在でも、出荷する米の 1,000 万俵以上に及ぶ全袋汚染検査を行ない、野菜・果物も全品目全品種について汚染の調査を続けている。事故発生の 4 年目から米は出荷制限値を超えるものは無くなり、99.99%が測定下限値未満である。また、桃・梨・キュウリ・トマトなどの果物・野菜は既に事故発生の 2 年後には 100%が測定下限値未満である。これらの検査実績はインターネットなどを通じて逐一公表し、農業協同組合自身も様々な広報・販売活動を行っている。

にもかかわらず、福島県産の農産品の単価は全国平均と比べて低迷し、出荷額は震災前に程遠い状態にある。出荷量は震災前に向けて戻りつつあるが、売れる単価が上がらないということは、風評被害に乗じた買い叩きであって、流通企業の姿勢に問題があると言わざるを得ない。他県の農業と比べ汚染検査という大きなコストをかけながら、そして放射能は測定下限値未満でありながら、その販売単価が低いと言う苦難を福島の農家はいつまで背負い続けなければいけないのか、これは正しく倫理観の問題である。

既に事故から 5 年半が経とうとしている。農業関係者は、作付け制限地域でのバイオエネルギー生産など未来に向けた工夫にも取り組んでいるところであり、原子力学会そして広く消費地の皆様には、

(1) 福島産品の適正価格ゾーンへの調整の働きかけ
(2) 植物への移行メカニズムの解明
(3) 出荷品に対する徹底した汚染検査体制への理解
(4) 自然界にもある放射能、放射線に関する教育の強化
(5) 問題をうやむやにしない国民的視点での取り纏め

など支援をお願いするものである。

*Takashi KANNO[1]
[1]JA-Fukushima Mirai

福島特別プロジェクトセッション
「福島特別プロジェクトからの見解―福島の帰還・復興を進めるために―」

（3）福島特別プロジェクトからの見解

（3）Opinion by Fukushima Special Project

*飯本　武志[1]

[1]日本原子力学会福島特別プロジェクト

東京電力福島第一原子力発電所の事故では、福島県を中心に広い範囲で放射性物質による環境汚染が引き起こされた。事故からすでに 5 年半ほどが経過し、環境の除染は進んでいるものの、まだ道半ばと言わざるを得ない。日本原子力学会福島特別プロジェクトは平成 23 年 5 月に、一元的なモニタリングの必要性と住民への情報公開、面的で系統的な除染をすることの必要性、等を緊急提言した。平成 24 年からは年 2 回福島市、郡山市、いわき市で、除染の状況、放射線の健康影響、住民との対話、福島第一発電所の廃止措置の状況など、その時期に適合した話題をテーマに選定し、住民向けのシンポジウムを開催してきた。また、平成 24 年に JA そうま（現 JA ふくしま未来）の協力を得て、南相馬市の水田において水稲栽培試験を行い、放射性セシウムの土壌から玄米、精米への移行挙動の調査を実施、現在もその活動を継続している。福島県と環境省が共同で設置した除染情報プラザ（福島市）へ、最新の情報の提供と住民支援を目的として、平成 24 年より土・日曜日を中心として述べ 590 名の専門家を派遣してきた。このほか、福島県が県内各所で実施する住民との対話フォーラム等へも専門家を派遣している。

政府は、昨年から今年にかけて川内村、葛尾村、南相馬市等で避難指示解除準備区域における避難指示を解除し、来年 3 月末には帰還困難区域を除く区域の避難指示を解除する方針を明らかにしており、除染を含む関連の政策を進めている。一方「除染は進んでいるのか」「まだ線量の高いところがあるが除染はしてくれるのか」「放射線の影響が心配」「戻った後の生活の基盤は」などの住民不安がいまだ強いことも事実である。

上記の状況を背景に、このたび、専門家チームとしてこれまで住民目線で活動してきた福島特別プロジェクトが、以下に示す６項目の見解を公表することになった。これらが適切に活かされ、一日も早くより多くの方が安定的な日常生活をとり戻され、かつ未来への夢へとつながることを強く願っている。

1. **帰還のために個人線量の情報を提供すること**
2. **帰還困難区域の詳細モニタリングを行い、線量率マップを作成して、地元住民と自治体に情報提供すること**
3. **今後も住民の要望を取り入れて、除染をきめ細やかに実施すること**
4. **除染に伴う土壌、廃棄物の合理的な処理方策を検討するとともに、今後本格的な運用が開始される中間貯蔵施設についてはその安全確保の方策を具体的に住民に示すこと**
5. **住民（特に帰還住民）への丁寧な対応と放射線に関する正確な情報の発信を継続すること**
6. **積極的な復興促進策を講じること**

本見解を取り纏めた福島特別プロジェクトの幹事会メンバーは下記のとおり。

代表：井上　正　副代表：飯本武志、藤田玲子　委員：上坂　充、太田宏一、佐賀井美都、三倉通孝、田中隆則、田中治邦、布目礼子、服部隆利、平岡英冶、藤井靖彦、宮原　要、山下祐司

*Takeshi Iimoto[1]
[1]The Special Project for Fukushima of AESJ

Planning Lecture | Technical division and Network | Health Physics and Environment Science Division

[PL3J] Prospects for Researches on Environmental and Health Effects of the Fukusihma Dai-ichi NPP Accident

Chair: Hiromi Yamazawa (Nagoya Univ.)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room J (Kumume City Plaza - Conference Room)

[PL3J01] Details of Researches on Environmental and Health Effects after the Fukushima Dai-ichi NPP Accident

*Kimiaki Saito[1] (1.JAEA)

[PL3J02] Prospects for Researches on Environmental Effects

*Tomoyuki Takahashi[1] (1.Kyoto Univ.)

[PL3J03] Prospects for Researches on Health Effects

*Naoki Matsuda[1] (1.Nagasaki Univ.)

©Atomic Energy Society of Japan

保健物理・環境科学部会セッション「福島の環境影響・健康影響の新たな展開」

（1）過去５年間の研究の経緯

(1) Details of Researches on Environmental and Health Effects after the Fukushima Dai-ichi NPP Accident

斎藤 公明[1]

[1]原子力機構

1. はじめに

本発表では、過去の５年間に行われた事故影響に関する主な調査・研究を参照しつつ、福島周辺の陸地における放射線環境がどのように変化してきているか、それによる被ばくがどの程度であったのか、全体像を大まかに把握するための情報を提供する。

2. 放射線環境の経時変化

2-1. 放射性セシウムの沈着量

福島原発からは 10 PBq を超える ^{137}Cs が放出され、その 20%弱が日本国内の陸地に沈着したと推定される。放射性セシウムの相当部分は森林に沈着しており、人間の被ばくに直接関係する放射性セシウムの割合は大きくない。80 km 圏内全域を見ると、沈着した放射性セシウムの水平方向への動きは小さいが、人間の生活に関係した環境における放射性セシウムは比較的速く除去されてきたと推測される。土壌に沈着した放射性セシウムは地中に徐々に浸透し、これにより空間線量率が減少している。長距離の放射性セシウムの移行の観点からは、河川を通した土砂流出に伴う移行が重要である。

2-2. 空間線量率

空間線量率の減少の様子は土地利用状況により大きく異なる。純粋な森林内での空間線量率はほぼ物理減衰に従って減少することが確認されている一方、道路上の空間線量率は物理減衰の２倍以上の速さで減少してきた。人間が関わる様々な環境における空間線量率も道路上の空間線量率に追従するように速い減少傾向にある。避難指示区域の内外で空間線量率の減少傾向が明らかに異なっており、人間活動が線量率減少の重要な要因であることが示唆されるが、定量的な解析はまだ行われておらず、今後の課題である。

3. 住民の被ばく線量

3-1. 外部被ばく線量

福島事故においては一般に外部被ばくが重要な被ばく経路であると考えられている。福島県による県民健康管理調査で評価された事故直後から４ヶ月間の福島県民の外部被ばく線量は、最大で 25 mSv、平均で 0.8 mSv であった。事故が落ち着いて以降の、個人線量計を住民に配布した大規模測定結果によれば、追加被ばく線量は年々減少し、現在はほとんどの市町村において年間線量は 1 mSv 以下が大半を占めている。また、住民の帰還が始まっている地域で予想される年間被ばく線量も、1 mSv を大きく上回る例は報告されていない。

3-2. 内部被ばく線量

放医研による線量再構築結果では、放射性ヨウ素による内部被ばくによる甲状腺線量は最大で 30 mSv 程度と推定されたが、事故直後の状況については不明な点も多く、今後も引き続き研究が必要である。大規模に行なわれた体外計測結果では、大きな預託実効線量を受けたと評価された例はほとんどない。

Kimiaki Saito[1]

[1]Japan Atomic Energy Agency

保健物理・環境科学部会セッション「福島の環境影響・健康影響の新たな展開」

（2）今後の環境影響研究に何が必要か

(2) Prospects for Researches on Environmental Effects

*高橋 知之[1]

[1]京都大学原子炉実験所

1. 環境影響評価と線量評価の不確実性

東京電力福島第一原子力発電所事故から５年以上が経過した。この間、事故の環境影響や被ばく線量に関する調査研究が継続的に実施され、放射性物質の移行蓄積状況や被ばく線量等、事故の影響の概要は徐々に明らかとなってきている。しかしながら、このような評価には不確実性が不可避である。例えば事故による放射性物質の放出直後の住民の線量評価は、取得されたデータが限られていること等から、現時点でもその評価結果は大きな幅を持っている。よって、今後はこのような不確実性を考慮した、より正確な評価を進める必要がある。

放射性物質の環境中での移行や被ばく線量に影響を与える環境要因は様々である。これらの要因の中には、その変動をパラメータの確率分布として捉えることが可能なものから、事故直後の飲食物の摂取状況や避難行動等、確率分布として評価することは困難なものもある。また、特に将来予測において、除染等の人間活動に起因する環境要因の影響を正確に考慮した評価を行うことは困難である。評価対象グループの設定方法や大きさによっても、このような不確実性の取扱いは変わってくる。今後は、これらの環境要因の不確実性の特性を精査して、研究の進展によってより精緻な評価が可能となる要因を中心に調査研究を進める必要がある。

2. 社会的ニーズと研究テーマ

本事故の環境影響や被ばく線量に関する調査研究には多くの研究者・技術者が関与した。事故から５年以上が経過し、空間線量率や食品中放射性物質濃度等は減少傾向にある。このような状況で、空間線量率や食品中放射性物質濃度等が低いことを確認し続けることは社会的に必要であろう。一方、研究者は常に研究成果が問われており、その研究活動には「新たな知見」が求められる。政府や地方自治体、研究機関、個々の研究者・技術者に求められる社会的なニーズと、特に研究者に求められる「新たな知見」のバランスを考える必要がある。

3. 将来への責任

今回の事故は 1986 年のチェルノブイル原子力発電所事故から 25 年後に発生した。このため、チェルノブイル原子力発電所事故時や、その後の調査研究を実際に行った経験者がシニア層にいて、その経験や知見を特に初動体制において活かすことができた。しかしながら、仮に今回の事故が 10 年後あるいは 20 年後に発生していたとしたら、これらの経験や知見を活かすことができたであろうか。

今後も原子力発電を継続するのであれば、今回の事故の経験や知見将来にわたって活かすことができるような情報の保全や、研究・技術のポテンシャルの維持が必要である。なお、今回の事故において、様々な個人・団体が、それぞれの目的を持って放射線データを測定したという事実を記録として留め、後世に残すということも、社会的意味として重要である。

Tomoyuki Takahashi[1]

[1]Kyoto University Research Reactor Institute

保健物理・環境科学部会セッション「福島の環境影響・健康影響の新たな展開」

（3）今後の健康影響研究に何が必要か

(3) Prospects for Researches on Health Effects

*松田尚樹[1]

[1]長崎大学原爆後障害医療研究所　放射線リスク制御部門

放射線影響の研究には、ヒトを対象とした疫学調査的なアプローチと、動物個体や培養細胞を用いた実験科学的なアプローチの2つの方法がある。東京電力福島第一原子力発電所事故後の調査的アプローチは、福島県健康調査において被ばく線量推定と甲状腺検査がセットになり進められている。日本全国における甲状腺がんの発症数などから推定される数よりも数十倍多い患者数が存在していることや、二巡目の検査で発見された症例もあることが判明しているが、県内における地域性が見られないこと、青森、山梨、長崎の３県調査とその後の追跡調査でも小児期の甲状腺所見は比較的短期間で変化しやすくある一定の割合で甲状腺がんが認められる可能性があること、チェルノブイリ事故後の患者の被ばく時年齢と大きく異なることなど、放射線との因果関係について結論付けられる状況にはない。一方、長崎大のホールボディカウンタによる住民等の内部被ばく検査結果は、最大で甲状腺線量 100mSv を超える乳幼児の存在を示した。技術的理困難さは伴うが、1mSv、10mSv、100mSv という程度の大枠であっても、実際に甲状腺がんの発見された個人についての内部被ばく線量を推定した上での考察、説明が今後必要となるであろう。国外では昨年、仏英米 3 ヶ国の原子力産業労働者を対象とした疫学調査（INWORKS）により、白血病及び固形がんのいずれも 100mSv 未満でリスクが存在すると報告されたが、実際にその有意性が認められた線量域は原爆被爆者の場合と同様 100mSv 以上であった。ただし dose-response も原爆被爆者の場合と同様で、線量率効果は見られなかったことになる。この点も含め、今後の継続的な検討が極めて重要である。

実験科学的なアプローチでは、現存被ばく環境における低線量率長期被ばくの影響研究の社会的重要性が高まっている。環境科学技術研究所によるマウス個体への低線量率照射結果によれば、400mGy（1mGy/日）で雌の寿命短縮と雌雄の染色体異常、8000mGy（20mGy/日）で雌雄の寿命短縮が確認されている。死因の 90%は腫瘍であり、照射群では腫瘍発生後の増殖が促進され、抗腫瘍免疫は低下していた。内部被ばくについては、I-131 は従来から内照射療法に用いられてきたため細胞レベルでの知見は積み重ねられているが、発がんにエンドポイントを置いた研究はほとんど見られない。我々は現在、内部被ばくによるリスクの見える化を目的として、放射線応答性を個体レベル（PET/SPECT）、細胞レベル（染色体ライブイメージング）、分子レベル（DNA 損傷修復分子イメージング）で追跡しているところである。細胞生物学の観点からは、放射線は細胞に対する外的刺激の一つに過ぎず、特に低線量では紫外線、化学物質、定常的に生じる活性酸素種等のストレス因子と同様に対処しているものと考えられる。放射線に対する細胞応答がどの段階で発がんに結びつくのか、そして放射線の痕跡はあるのかないのか、これらの根本的な疑問は、DNA 複製、細胞分裂、DNA 損傷修復など、細胞の普遍的機能の解明を待つところが大きい。近年の放射線影響研究領域で世界的に高く評価された研究も、DNA 修復と発がんや老化に密接に関わる可能性のあるクロマチンのリモデリングの分子に関わるものが多く、このような生命の神秘の多様な考察により放射線影響の理解がビルドアップされていくことを期待したい。

Naoki Matsuda[1]

[1]Department of Radiation Biology and Protection, Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University

Planning Lecture | Technical division and Network | International Affairs Committee

[PL3K] The UK Nuclear Industry, Past, Present and Future

Chair: Atsushi Mukunoki (JGC Corp.)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room K (Kumume City Plaza - Assembly Room 1)

[PL3K01] From Decommissioning the Original Fleet of Nuclear Power Stations, to Nuclear New Build

*Keith Franklin[1,2] (1.NNL, 2.British Embassy Tokyo)

©Atomic Energy Society of Japan

海外情報連絡会セッション

“The UK Nuclear Industry, Past, Present and Future”
From Decommissioning the Original Fleet of Nuclear Power Stations, To Nuclear New Build

*Dr Keith Franklin, MBE
National Nuclear Laboratory
First Secretary (Nuclear), British Embassy Tokyo

The UK has a long history in the nuclear industry. From the opening of the world’s first nuclear power station at Calder Hall in 1956, to the current plans for nuclear to provide 18GW, of the UK’s electricity by the 2030s (Figure 1). The UK believes that safe, reliable and affordable nuclear power can provide a large amount of secure, low carbon electricity, and that it should remain part of the energy mix. Of the first 3 new projects in the UK, one is French, and two are Japanese, involving Hitachi and Toshiba.



Figure 1: New Nuclear Build Sites in the UK

A method called “Contract for Difference” has been developed in the UK to ensure that all low carbon electricity generation methods are considered on an equal basis. This applies not only to nuclear, but to other low carbon forms of generation. This allows for the setting of ‘strike price’ for electricity, so that developers can be confident of the return on their investment over an extended time period.

The UK currently has reactors at all stages of their lives. In addition to the new build plans, there are a fleet of operating Advanced Gas Cooled reactors (Table 1) and one PWR (Sizewell B, opened in 1995).

Table 1: Start and Closure Dates of the UK's Advanced Gas-Cooled Power Stations

Dungeness B	1983	2018→
Hartlepool	1983	2019→
Heysham 1	1983	2019→
Heysham 2	1988	2023→
Hinkley Point B	1976	2016→
Hunterston B	1976	2016→
Torness	1988	2023→

[N.B. Life extensions are being pursued on these plants]

In decommissioning, the UK is in a unique position, with complex clean-up challenges at sites such as Sellafield and Dounreay, but also experience of decommissioning an entire reactor fleet, the iconic Magnox Reactors (Table 2). This decommissioning experience is also very relevant to water cooled, as well as gas cooled reactors.

Table 2: Start and Closure Dates of the UK's Magnox Power Stations

Wylfa (part-closed)	1971	2015 (44 years)
Bradwell	1962	2002 (40 years)
Chapelcross	1959	2004 (45 years)
Dungeness A	1965	2006 (41 years)
Hunterston A	1964	1989 (25 years)
Hinkley Point A	1965	2000 (35 years)
Calder Hall (First nuclear power station)	1956	2003 (47 years)
Trawsfynndd	1965	1991 (26 years)
Berkeley (now entered SafeStore)	1962	1989 (27 years)
Oldbury	1967	2012 (45 years)
Sizewell A	1966	2006 (40 years)

[N.B. All exceeded original 25 year planned lifetime]

The skills and experience gained from Sellafield and Dounreay have provided useful insight into solutions for the challenges at Fukushima Dai-ichi, with knowledge of how to retrieve difficult radioactive material from a building, and then packaging it safely for disposal, finding particular parallels with the situation at Dai-ichi.

UK's Nuclear Decommissioning Authority (NDA) is in charge of the strategy, and this allows for the sharing of expertise across all decommissioning sites (Figure 2). The NDA is a government body, but the actual delivery of decommissioning is carried out by individual Site Licence Companies, who utilise the extensive UK supply chain to carry out the work on their sites.



Figure 2: Nuclear Decommissioning Authority (NDA) Sites in the UK

There are many lessons to be learned in decommissioning, in particular the need to not only focus on the technical aspects. The social aspects of decommissioning should not be ignored, and in many cases are more important. The nuclear industry has many stakeholders, and they need to be allowed to engage in the process at their speed not yours. A lot of decommissioning can take place inside buildings, where progress is not obvious, sometimes it is also necessary to be seen to be making visible progress, as with the demolition of the Calder Hall cooling towers (Figure 3).

Decommissioning requires a different mindset, with many changes needed from operations. A lot is said about decommissioning culture, and the UK has gained valuable experience in moving from an operational to a decommissioning culture. It isn't just a technical shift in behaviour, the importance of a strategy, setting interim end states, site management on a constantly changing site, and contracting arrangements are some of the aspects which need to be considered.



Figure 3: The Demolition of the Calder Hall Cooling Towers

The UK's nuclear industry has been operating in a deregulated, liberalised market for over 20 years. Japan is now starting this process, and may be able to benefit from the UK's experience in delivering decommissioning projects, at low cost, in full market conditions. One of benefits of being the first country to commission a fleet of nuclear reactors means that the UK were one of the first to undertake large scale decommissioning, and plans are in place for a special tour of UK decommissioning sites for interested participants from the Japanese Nuclear Industry early in 2017.

The UK and Japanese nuclear industries have world class and complementary skills. Japanese New Build and UK decommissioning and waste management have the potential to be a strong alliance. Organisations in both countries should consider the advantages of such strategic partnerships for the future of the industry, in the UK, Japan and around the world.

Planning Lecture | Board and Committee | Standards Committee 3

[PL3L] Regulatory Activities based upon the Report of the Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission to Japan

Chair: Naoto Sekimura (Univ. of Tokyo)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room L (Kumume City Plaza - Assembly Room 2)

[PL3L01] Outline of the Report of the IRRS Mission to Japan and the Activities of NRA

*Shuich Kaneko[1] （1.NRA）

[PL3L02] Toward the New Inspection Rule for Nuclear Power Plants

*Tadahiro Katsuta[1] （1.Meiji Univ.）

[PL3L03] General Discussion

©Atomic Energy Society of Japan

標準委員会セッション3（原子力安全部会共催）
「IAEA IRRS（日本への総合規制評価サービス）ミッション報告を受けた対応について」

（1） IRRS ミッション報告書の概要と原子力規制庁の対応について －原子力規制に係る検査制度の見直しについて－

(1) Discussion on Reform of Inspections in the Nuclear Regulation

金子 修一[1]

[1]原子力規制委員会原子力規制庁長官官房制度改正審議室

1. はじめに

東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故から5年半が経過し、再稼働した原子力発電所もある中、国際的な視点からの指摘も踏まえ、原子力規制委員会では、運用面における安全性を向上することを主眼として、原子炉等規制法による検査制度の見直しなどに取り組んでいる。本稿では、この取組みの背景や現在の状況等の概略を紹介する。

2. これまでの原子力規制委員会の取り組み

平成24 年9 月の組織創設以降、原子力規制委員会においては、改正された原子炉等規制法に基づき、(1) 重大事故（シビアアクシデント）対策、(2) 既に許可を得た原子力施設にも最新の技術的知見を取り入れた基準への適合を義務付け（いわゆるバックフィット制度）、(3) 運転期間延長認可制度などを内容とする新規制基準の下での安全審査を進めてきた。また、東京電力福島第一原子力発電所の事故収束や廃止に向けた各種取組みの監督・指導、避難指示区域をはじめとした周辺地域の放射線モニタリングなどの事故後対応にも注力してきた。

一方で、原子力発電所等の施設の運用に関しては、検査制度を中心に、事故後の法改正による制度見直しは行われておらず、これまでに指摘等がなされている事項に対して、十分に対応できている状況にはなかった。

3.IAEA の総合規制評価サービス報告書における指摘

IAEA は、各国の原子力規制の枠組みに対するピア・レビューを行う総合規制評価サービス(Integrated Regulatory Review Service: IRRS)を実施しており、我が国は2016 年1 月にIRRS ミッションを受け入れた。その結果をとりまとめた報告書では、日本の原子力規制の枠組みに関して、IAEA 安全基準に継続的に整合するために改善が求められる事項として13 の勧告及び13 の提言がなされており、特に、検査制度やその運用を行う組織に対して次のような指摘がある。

3-1. 検査

現行の検査制度は、検査内容と頻度が法令で詳細に規定されており、検査が予め決められたことを確認するチェックリスト方式となっていることから、法令を改正し、更なる実効性を確保すべきとされている。また、検査官が安全上の問題を認識した場合に是正措置を迅速に決定できる権限を与えるとともに、検査官が発電所内のあらゆる場所にいつでも自由にアクセスできる権限を法定すべきであるとの指摘がある。さらに、検査やこれに関連する評価、意思決定に関わる能力を向上させるため、検査官の訓練及び再訓練の改善を検討すべきともされている。

*Shuichi Kaneko[1]

[1]Regulatory Reform Office, Nuclear Regulation Authority, Japan

3-2. 組織体制

IRRSレビューチームは、原子力規制庁の各部局がそれぞれに孤立した形で作業しているように見受け、任務の間にいくつかの類似性があるにもかかわらず、縦割り的な業務遂行により効率的で効果的な業務遂行が保証されていないとも指摘している。例えば、原子力規制部では、BWRとPWRで検査・審査が別々の課及びプロセスでなされている。許認可の審査及び評価、検査やその結果を踏まえた行政措置の適用などについて、横断的なプロセスを確立しないままであると、規制判断の不一致を生じさせるおそれがあると指摘された。

4. 検査制度の見直しの基本的考え方

IRRS からの指摘を踏まえ、また、先の重大事故の教訓から学べば、安全神話に陥ることなく継続的改善の努力が促され、安全確保の活動の全てを視野に入れた包括的で体系的な監視が行われるように、検査制度の見直しを行うことが必要と考えられる。その際、原子力事業者自らが、より高い安全性を目指した活動をすることに重きを置けるよう、事業者の安全確保に対する一義的な責任を徹底しつつ、事業者の取組みや施設の状況を監視・評価した結果に応じて、単に義務履行違反のみを取り上げるのではなく、助言なども含む柔軟な行政上の措置を講ずる仕組みとすることで、実効的な安全水準の向上につながるものとすることが特に重要な基本的考え方である。

また、新たな仕組みを運用する際には、安全確保の水準を向上させることの実効性と合理性を高めるためにも、監視・評価に係るプロセスや判断の基準などが明確であり、透明性と予見可能性のある実務を構築することが鍵となる。安全性の評価を行う際にリスク情報を活用することや、安全確保の活動の成果として現に達成されている安全水準の実績に着目することは、この観点から、新たな仕組みの極めて重要な運用方針となるものである。

5. 法律により構築すべき新たな枠組み

このような考え方に基づいて現在の検査制度を見直し、以下の事項を中心として、法律により新たな枠組みを構築する。

(1) 規制機関が行う検査により直接に基準適合性を確認するのではなく、事業者が行う検査等で確認された内容を規制機関が監視する仕組みに変更

(2) 事業者の安全確保の活動の全てを対象として、時期や期間を限定せず、規制機関がその実施状況を監視・評価する仕組みを創設

(3) 使用前検査等の原子力施設の許認可に対応した段階的な安全規制について、運転段階前などの節目において規制機関が基準への適合性を確認するなどとして、新たな仕組みと整合する形で維持

(4) 事業者に課された義務に対応した行政上の措置を体系的に整備

6. 新たな仕組みの運用に向けて明確にすべき事項

今後、さらに新たな仕組みの具体的な運用の姿を明確にしていくため、以下の事項について、継続的な詳細の検討を行う。

(1) 新たに事業者が行うこととなる検査等に要求される事項

(2) 節目における規制機関による確認の時期や確認方法

(3) 手数料の設定

(4) 新たな監視・評価の対象範囲

(5) リスク情報の活用手法

(6) 事業者による安全確保の水準の実績の反映手法

(7) 新たな監視・評価の仕組みにおけるプロセスや評価・判断基準

(8) 新たな仕組みの体系・運用の継続的改善システム

(9) 新たな仕組みを実施する組織・体制

(10) 監視・評価を担う要員に対する研修実施など、人材育成、能力向上施策

(11) 事業者の自主的取組みに係る規制機関との情報共有

(12) 現場における監視の実施手法

7. 新たな制度の運用に向けたスケジュール

検査制度を見直し、新たな枠組みを構築するための法律改正については、平成 29 年の通常国会に原子炉等規制法等の改正法案を提出すべく準備を進める。改正法案が通常国会において成立した場合には、順次、以下のスケジュールを念頭に新たな制度の運用に向けた準備を進める。

また、新たな制度の運用の詳細を規定する規則や運用ガイド、マニュアル等の整備を進め、平成 31 年からの試運用が可能となるよう成果を得る。試運用の結果を踏まえて、これらの文書の修正等を継続する。並行して、リスク情報の活用のためのツール整備を行い、新たな制度の試運用から運用し、改善を進める。加えて、組織・体制の整備も含めた新たな制度の運用準備を進め、平成 32 年度に改正法に基づく新制度を施行する。

8. 結び

原子力規制委員会では、現在、検査制度の見直しに係る基本的な方向性をとりまとめている段階であるが、今後、法律改正案の作成や新たな制度の運用に係る詳細な検討を進めることで、さらに新たな制度を具体化・明確化していく。この際、被規制者をはじめとした関係者の意見などを聞く機会を設けることを含め、継続的な情報発信、情報共有を行うこととしている。

標準委員会セッション3（原子力安全部会共催）
「IAEA IRRS（日本への総合規制評価サービス）ミッション報告を受けた対応について」

（2）原子力発電所の新たな検査制度にむけて —課題と展望—

(2) A New Inspection System of Japan's Safety Regulation - Challenges and Prospects -

勝田 忠広[1]

[1]明治大学法学部

1. はじめに

原子力規制委員会が導入を試みる新たな検査制度は有効なのか、その課題と展望について議論する。

東京電力福島第一原子力発電所の事故を契機として、2012年に原子力基本法及び原子炉等規制法が改正され原子力規制委員会が発足した。この委員会により原子力発電及び核燃料サイクル施設に対する新規制基準が施行され、現在、事業者との適合性審査が行われている。さらに2016年、委員会はIAEAによる日本への総合規制評価サービス(IRRS)を契機とした新たな検査制度の議論をスタートさせた。これにより日本の原子力安全規制は、また新たな段階に入ったといえる。

2. 従来の課題と現状の課題

すでに事業者の一義的責任の徹底や、規制者と事業者とのコミュニケーションの重要性等、多くの議論が行われている。しかし過去の規制の不備とその遠因、そして新たな検査制度はこれらの課題を確実にカバーできるのかという分析も必要である。過去、国内では数多くの隠蔽、虚偽、ねつ造、改ざんが行われてきており、その多くが内部告発によって発覚してきた歴史について、構造的な課題を整理することは重要である。またIRRSは規制者に対する検証であるが、国内の非規制者の課題等の検証・分析は行われていない。IRRSの内容に引きずられないように広い視野で議論を行う必要がある。

3. 今後の課題

新たな検査制度を遵守すれば原子力施設は安全となるのか？規制側が踏み込んでいない課題が新たな検査制度の実現性を脅かす可能性もある。例えば安全目標は、米国のようにリスク便益分析に基づく一人当たりのガン発生リスクにまで明確に換算されておらず緊張感が得られにくい。また規制者としての原子力安全についての明確なステートメント、また原子力に携わる技術者の倫理についての議論は行われていない。そして日本政府による原子力の長期見通しと現実の状況との乖離も存在する。これらは規制者と事業者のモラルを潜在的な部分で揺さぶり、いくら検査制度が新しくなっても、関係者の倫理的なハードルを下げてしまう要因ともなり得る。

また原子力を推進する理由の一つにその公的側面があげられるが、そうであればこそ、規制者と事業者による公共への説明責任は重要であるばかりでなく、それは国民による監視につながり、健全な安全性強化への圧力となり得る。しかしそのような視点はまだ議論されていない。

4. おわりに：検査制度を超えて

なぜこれまで検査制度を変えなかったのか、変えることが出来なかったのか、その検証を行わない限り、本質的な問題は変わらない。またなぜ、誰のために新たな検査制度が必要なのか、その根本的な課題に立ち返らない限り、新しい検査制度は有効性を持たないだろう。

*Tadahiro Katsuta

[1] School of Law, Meiji University

(Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room L)

[PL3L03] General Discussion

©Atomic Energy Society of Japan

Planning Lecture | Board and Committee | Ethics Committee

[PL3M] Mission and Relation to Society as a Nuclear Experts

Looking Back on Fukushima Daiichi Nuclear Plant Accident, Think Again about Ethics as Researchers and Engineers

Chair: Kyoko Oba (JAEA)

Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room M (Kumume City Plaza - Assembly Room 3)

[PL3M01] Crisis and Post-crisis Responses against the Fukushima Nuclear Power Plant Accident

*Shunichi Yamashita[1] (1.Nagasaki Univ.)

[PL3M02] Discussion

©Atomic Energy Society of Japan

倫理委員会セッション「原子力の専門家としての使命と社会との係わり方 —福島事故を振り返り、改めて研究者・技術者としての倫理について考える—」

（1）福島原発事故非常事態とその後の対応：一原子力災害専門家の反省

(1) Crisis and Post-crisis Response against the Fukushima Nuclear Power Plant Accident: Reflection of A Nuclear Disaster Expert

山下 俊一[1,2]

[1]長崎大学、[2]福島県立医科大学

福島の地において原子力災害医療に正対してきた一専門家として、日本原子力学会会員各位の前で、倫理的観点も含めて自己評価する事は大変難しい問題です。しかし、「覆水盆に返らず」の連続であったとしても、被ばく医療の道を歩む大学人として、自らの言動を反省する機会を与えられたことに感謝申し上げます。その上で、良きにつけ悪しきにつけ自分自身を教材として原子力災害医療に係る後継人材の育成に努める大きな責任があると考えています。すなわち、「歴史に学ぶとは、現在を真摯に生き、将来への責任を担うこと」に繋がると考え、東日本大震災とその後の福島原発事故を経験した私たちの行動規範と、クライシス・ポストクライシスの両期における放射線健康リスクへの対応から福島の現状と課題を共考し、最後に、2016 年 4 月長崎大学に平時にも係らず、学長直轄の原子力災害対策戦略本部を何故発足させたのかについてもご紹介したいと思います。

はじめに、71 年前に、広島市と長崎市では人類史上初の核戦争があったのです。そして、大量被爆の前では、医師や関係者は全く無力で茫然自失したのです。原爆被爆という鮮烈な印象から、放射線や放射能に対する先入観や偏見、そして風評被害が問題視される一方で、その惨劇の記憶が薄れ、風化から無関心へと流れる傾向も深刻です。この間、東西冷戦構造時代のおびただしい数の核実験と核兵器開発競争、その中での放射線防護や放射線リスクへの対応と放射線影響研究が行なわれてきました。

1950 年以降放射線影響研究所が、原爆被爆者約 12 万人をコホートとする長期健康影響調査を開始し、1958 年第一回原爆後障害研究会が開催され、その後広島と長崎で交互に毎年開催されています。放射線影響研究や放射線災害医療に係る専門家は限られた陣容ですが、海外では、国際原子力機関 IAEA、原子放射線に関する国連科学委員会 UNSCEAR、さらに国際放射線防護委員会 ICRP の放射線リスク評価から種々の防護措置などが勧告されています。すなわち福島原発事故以前から、現実問題として原子力や放射線事故の医学的対応面では、世界保健機関 WHO が緊急被ばく医療ネットワーク下で準備と対応をしてきました。

原発事故に遭遇する前から、緊急時被ばく状況から現存被ばく状況、さらに計画的な被ばく状況下における防護措置に対する国際的なコンセンサスが存在していました。しかし、放射線の健康リスクを正しく理解し、その科学的エビデンスと疫学データを正確に説明できる専門家は少数でした。特に、医療被ばくの正当化の問題と、無益無用な被ばくを避ける為の閾値無し直線関係（LNT 仮説）の防護面での理論を理解する為には、放射線生物学や遺伝学、そして疫学から規制科学への幅広い洞察力が不可欠となります。

しかし、原発事故前には、放射線防護に関する国民的なコンセンサスは得られていない状況にあったことは自明であり、突然事故後の混乱と混迷に、緊急被ばく状況やその後の現存被ばく状況での線量参考レベルが提示されても、被災住民に限らずその理解は困難であったと言えます。そのような混乱の中で、政府指示による避難住民のみならず全県民を対象とした健康見守り、すなわち健康管理調査事業の検討が、事故 2 ヶ月後の 5 月には福島県立医科大学と県が主導性を発揮し、国の復興支援の中で始まりました。全県民を対象とした基本調査（初期 4 ヶ月間の外部被ばく線量推計の為の郵送調査）と、避難住民を中心と

する詳細調査が開始されていますが、未曾有の事故遭遇によるストレス、環境汚染に伴う二次被害への不安など、慢性生活習慣病の増加のみならず、精神・心理社会的影響も大きいものがあります。特に、甲状腺検診の現状と課題解決が重要となり、超音波検査の妥当性と継続性については引続き協議が必要です。基本調査の推計結果から外部被ばく線量は十分に安全なレベルにあり、また体内被ばくも阻止されていることが測定結果から報告されています。国際機関との円滑な連携事業の下で、これら放射線のリスクが正当に評価され、福島県の復興と再生に向けた着実な取組みが支援されていますが、これらの調査結果は、定期的に福島県立医科大学放射線医学県民健康管理センターの「県民健康調査報告書」に更新されています（http://fukushima-mimamori.jp）。しかし、今なお、一般住民における低線量被ばく、とりわけ微量慢性被ばくによる健康影響への不安と恐怖は払拭されず、環境モニタリングと食の安全モニタリングに加えて、県民健康管理事業を含む健康モニタリングと住民サービス提供が益々重要となっています。

私たち自身の体験からも、チェルノブイリ原発事故と福島原発事故の相違点に着目し、放射線健康リスクと防護基準の考え方の違いを説明してきましたが、国民の科学リテラシーの向上と、科学コミュニュケーションに関する医療関係者の係り方も向上させる必要があります。

未曾有の原子力災害に遭遇し、倫理的な視点からその行動規範を反省する一助として、福島原発事故の最前線で奮闘した医療人の生の言葉、それが「放射線災害と向き合って」（ライフサイエンス社、2014 年）に凝縮されていますし、福島県立医科大学の活動記録集「いのちの最前線」（http://www.fmu.ac.jp/univ/dbook/#page=1）に総括されています。本年、すでにチェルノブイリ原発事故から 30 年、福島原発事故から５年を経過し、現代科学技術社会における光と影を熟考すればこそ、何故平時から原子力対策戦略本部という構想が必要なのか、災害サイクルの視点と放射線健康リスクから理解を深めて頂ければ幸甚です。

参考文献

1. Yamashita S: Tenth Warren K. Sinclair keynote address: the Fukushima nuclear power plant accident and comprehensive health risk management. ***Health Phys*** 106(2): 166-180, 2014
2. Suzuki K, Mitsutake N, Saenko V, Yamashita S: Radiation signatures in childhood thyroid cancers after the Chernobyl accident: possible roles of radiation in carcinogenesis. ***Cancer Sci*** 106(2): 127-133, 2015
3. Yamashita S, Takamura N: Post-crisis efforts towards recovery and resilience after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. ***Jpn J Clin Oncol*** 45(8): 700-707, 2015
4. Hasegawa A, Tanigawa K, Ohtsuru A, Yabe H, Maeda M, Shigemura J, Ohira T, Tominaga T, Akashi M, Hirohashi N, Ishikawa T, Kamiya K, Shibuya K, Yamashita S, Chhem R: Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. ***Lancet*** 386(9992): 479-488, 2015
5. Ohtsuru A, Tanigawa K, Kumagai A, Niwa O, Takamura N, Midorikawa S, Nollet K, Yamashita S, Ohto H, Chhem R, Clarke M: Nuclear disasters and health: lessons learned, challenges, and proposals. ***Lancet*** 386(9992): 489-497, 2015
6. Takamura N, Orita M, Yamashita S, Chhem R: After Fukushima: collaboration model, ***Science*** 352(6286): 666, 2016

Shunichi Yamashita[1, 2]

[1]Nagasaki University, [2]Fukushima Medical University

(Fri. Sep 9, 2016 1:00 PM - 2:30 PM Room M)

[PL3M02] Discussion

ご自身も被曝二世でいらっしゃり、内分泌・甲状腺、放射線医療科学を専門となさる山下俊一先生は、チェルノブイリ発電所の事故後に何度も現地に足を運ばれ、小児甲状腺癌の調査および治療に当たられた。その豊富なご経験および研究者としての信念に基づかれ、福島事故直後から現在に至るまで、積極的にご活動されている。しかしながら、先生のご発言が一部の国民の反発を受けたのもまた事実であった。
しかし、そうした状況に怯むことなく、科学の確信をもって福島での活動を続けられ、今現在も自らの信念に従って活動なさっている山下先生から、
①研究者とはどうあるべきか（研究者の責任）
②強い使命感（意思）を支えたものはなにか
③今後への思い（一般者への情報開示等に対する教訓やさらなる活動，原子力学会への期待について）
をお話しいただき、改めて原子力学会会員が社会の中でどのように立ち振る舞うべきかについて、フロアの皆さんも交えたディスカッションを行う。

©Atomic Energy Society of Japan