

「原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る 国際フォーラム

> -東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、 今後の核燃料サイクルのオプションに係る 核不拡散・核セキュリティの確保-」 フォーラム報告書

Report of "The 2013 International Forum on Peaceful Use of Nuclear Energy,
Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security
-Ensuring Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security of Nuclear Fuel Cycle Options
in Consideration of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station-"

(編) 山村 司 須田 一則 富川 裕文 鈴木 美寿 久野 祐輔 持地 敏郎

(Eds.) Tsukasa YAMAMURA, Kazunori SUDA, Hiroifumi TOMIKAWA, Mitsutoshi SUZUKI Yusuke KUNO and Toshiro MOCHIJI

核物質管理科学技術推進部

Department of Science and Technology for Nuclear Material Management

March 2014

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(http://www.jaea.go.jp) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課 = 319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 = 2 番地 = 4 電話 = 029-282-6387, Fax = 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,

Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2014

「原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラム -東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、今後の核燃料サイクルのオプションに係る 核不拡散・核セキュリティの確保-」 フォーラム報告書

日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部

(編)山村 司、須田 一則、富川 裕文、鈴木 美寿、久野 祐輔、持地 敏郎

(2014年1月21日受理)

日本原子力研究開発機構は、2013年12月3日、4日に、公益財団法人日本国際問題研究所及び国立大学法人東京大学大学院工学系研究科の共催を得て、「原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラム-東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、今後の核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティの確保-」を開催した。

フォーラムでは、日本、米国、仏国の政府及び国際原子力機関(IAEA)からの出席者が、其々の国や所属機関等における原子力平和利用と核不拡散に係る取組み等について講演した。また、パネル討論では、「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティ方策」、「核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散確保のための保障措置や技術的措置の役割」という2つのテーマで議論が行われた。前者では、東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故(以下「東電福島第一原子力発電所事故」あるいは「原子力事故」という。)の国内外の原子力利用への影響や核燃料サイクルのバックエンドへの関心の高まりを踏まえ、核燃料サイクルの2つのオプションの核不拡散・核セキュリティ上の課題について、主に政策的、制度的観点からの議論を行った。また、後者では保障措置やプルトニウム燃焼技術等の核拡散抵抗性技術が核燃料サイクルのバックエンドにおける核不拡散・核セキュリティ確保に果たすべき役割について議論した。パネル討論には、日本、IAEA、米国、仏国及び韓国の政府関係者、専門家がパネリストとして参加し、活発な議論を展開した。

本報告書は、本フォーラムの基調講演の要旨、パネル討論の概要及びパネル討論で使用された発表資料を収録したものである。

なお、基調講演の要旨、パネル討論の概要等の文責は編者にある。

原子力科学研究所(駐在): 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

Report of "The 2013 International Forum on Peaceful Use of Nuclear Energy, Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security

- Ensuring Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security of Nuclear Fuel Cycle Options in Consideration of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station-"

The Japan Atomic Energy Agency (JAEA) held "International Forum on Peaceful Use of Nuclear Energy, Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security - Ensuring Nuclear Non-Proliferation and Nuclear Security of Nuclear Fuel Cycle Options in consideration of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station—" on 3 and 4 December 2013, with the Japan Institute of International Affairs (JIIA) and School of Engineering, The University of Tokyo, as co-hosts.

In the Forum, officials from Japan, the United States, France and International Atomic Energy Agency (IAEA) explained their efforts regarding peaceful use of nuclear energy and nuclear non-proliferation. Discussion was made in two panels, entitled "Nuclear non-proliferation and nuclear security measures of nuclear fuel cycle options in consideration of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station" and "Roles of safeguards and technical measures for ensuring nuclear non-proliferation for nuclear fuel cycle options". In the first panel based on the implications of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on the domestic and global nuclear energy use and increased interest in the back end of nuclear fuel cycle, discussion was made on nuclear non-proliferation and nuclear security challenges on both fuel cycle options from the policy and institutional viewpoints whereas in the second panel the roles of safeguards and proliferation resistant nuclear technology including plutonium burning technology in ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security in the back end of nuclear fuel cycle were discussed. Officials and experts from Japan, IAEA, the United States, France and Republic of Korea participated in the panel and made contributions to active discussion.

This report includes abstracts of keynote speeches, summaries of two panel discussions and materials of the presentations in the forum. The editors take full responsibility for the wording and content of this report except presentation materials.

Keywords: Nuclear Energy, Nuclear Non-proliferation, Nuclear Security, Back End of Nuclear Fuel Cycle

目 次

| 1. | はじめに | 1 |
|----|---|-----|
| 2. | 「原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラム-東電福島第一原子力 | |
| ۷. | 発電所事故を踏まえた、今後の核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリ | ティ |
| | の確保-」結果報告 | |
| | 2.1 フォーラムの概要 | . 2 |
| | 2.2 開会挨拶 | . 3 |
| | 2.3 基調講演 | . 4 |
| | 2.3.1「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた我が国のエネルギー政策」 | . 4 |
| | 2.3.2 「核不拡散と核セキュリティを確保するための日本との連携」 | . 6 |
| | 2.3.3「フランスの核燃料サイクル政策と核不拡散の国際的な取組」 | . 8 |
| | 2.3.4「保障措置の課題への対応」 | 10 |
| | 2.4 パネル討論 1 「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた今後の核燃料サイクルの | |
| | オプションに係る核不拡散・核セキュリティ方策」の概要 | 12 |
| | 2.5 パネル討論 2 「核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散確保のための保障措置 | 量 |
| | や技術的措置の役割」の概要 | 27 |
| | 2.6 閉会挨拶 | 38 |
| | | |
| 3. | おわりに | 39 |
| | | |
| | | |
| | 録1プログラム | |
| | 録 2 基調講演者、パネルの座長及びパネリスト等のプロフィール | |
| 付 | 録 3 発表資料集 | 52 |

JAEA-Review 2014-011

Contents

| 1. | Introducti | on |
|----|-------------|--|
| 2. | Summary | of "The 2013 International Forum on Peaceful Use of Nuclear Energy, Nuclear |
| | Non-proli | feration and Nuclear Security - Ensuring Nuclear Non-proliferation and Nuclear |
| | Security o | f Nuclear Fuel Cycle Options in consideration of the Accident at TEPCO's |
| | Fukushim | a Daiichi Nuclear Power Station-" |
| 2 | .1 Outline | e of the Forum |
| 2 | .2 Openin | ng Remarks |
| 2 | .3 Keynot | ze Speeches ····· |
| | 2.3.1 "Jap | an's energy policy in consideration of Accident at TEPCO's Fukushima |
| | Daii | chi Nuclear Power Station" |
| | 2.3.2 "Par | tnering with Japan to Ensure Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security" |
| | 2.3.3 "Fre | ench nuclear fuel cycle policy and its international efforts for ensuring |
| | nuo | clear non-proliferation" |
| | 2.3.4 "Me | eting Safeguards Challenges" |
| 2 | | iscussions 1 |
| | "Nuclear | non-proliferation and nuclear security measures of nuclear fuel cycle options |
| | in consid | leration of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station" |
| | | |
| 2 | .5 Panel D | iscussions 2 |
| | "Roles o | f safeguards and technical measures for ensuring nuclear non-proliferation |
| | for nucl | ear fuel cycle options" |
| 4 | 2.6 Closing | g Remarks····· |
| 3. | Conclusior | 1 |
| | | |
| Ар | pendix 1 | Program of the Forum |
| Ар | pendix 2 | Profile of Speakers, Chairpersons and Panelists |
| Ар | pendix 3 | Presentation Materials |

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という)は、核不拡散に関する一般公衆の理解促進と国際貢献を目的として、毎年、原子力平和利用と核不拡散に係る国際フォーラムを開催している。本フォーラムでは、その時々の今日的な課題に焦点を当てた議論を通じ、原子力平和利用と核不拡散の両立に係る種々の課題や方策について国内外の理解を深めるとともに、我が国及び原子力機構の核不拡散への取組みを紹介している。

安倍総理大臣は、2030 年代に原発稼働ゼロを可能とするという前政権の方針をゼロベースで見直す意向を表明した。他方で、東電福島第一原子力発電所事故を契機として、より厳格な安全基準が採択されるなど、原子力安全が強化されるとともに、使用済燃料の取扱いを含む、核燃料サイクルのバックエンドの今後の在り方が、核不拡散・核セキュリティの面も含めクローズアップされている。事故により、安全とともに核不拡散・核セキュリティに関する国内外の関心が高まっている中で、今後の核燃料サイクルのバックエンドに関して、再処理(クローズドサイクル)、直接処分(オープンサイクル)のいずれのオプションを選択した場合であっても、核不拡散・核セキュリティの確保の取組は必要である。

このような状況を踏まえ、原子力機構は、2013 年 12 月 3~4 日に、公益財団法人 日本国際問題研究所及び国立大学法人 東京大学大学院工学系研究科の共催を得て、「原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラム-東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、今後の核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティの確保-」を開催した。フォーラムでは、原子力先進国及び国際機関の関係者が、原子力平和利用と核不拡散に係る取組みについて講演を行い、その中には日本の今後の取組みに対する具体的な期待等も盛り込まれた。またパネル討論1では、東電福島第一原子力発電所事故の国内外の原子力利用への影響や核燃料サイクルのバックエンドへの関心の高まりを踏まえ、オープンサイクル、クローズドサイクルという、核燃料サイクルの2つのオプションの核不拡散、核セキュリティ上の課題や対応方策について、主に政策的、制度的観点から議論が行われた。続くパネル討論2では、保障措置やプルトニウム燃焼技術等の核拡散抵抗性技術が核燃料サイクルのバックエンドにおける核不拡散・核セキュリティ確保に果たすべき役割についての議論が行われた。

フォーラムには、約200名の参加があり、会場からも積極的に討論に加わって頂き、活気のあるフォーラムとなった。本報告書は、同フォーラムの基調講演の要旨、パネル討論の概要及びパネル討論で使用された発表資料を収録したものである。フォーラムでの議論が、我が国における今後の原子力利用と核不拡散・核セキュリティに係る議論に資することを期待する。

2. 「原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラム -東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、今後の核燃料サイクルのオプションに係る 核不拡散・核セキュリティの確保-」 結果報告

2.1 フォーラムの概要

日 時:2013年12月3日(火)10時~17時、4日(水)9時30分~12時10分

場 所:時事通信ホール

主 催:独立行政法人 日本原子力研究開発機構

<u>共催</u>:公益財団法人 日本国際問題研究所、国立大学法人 東京大学大学院工学系研究科 講演者、座長、パネリスト:

海外:国際原子力機関、米国、仏国、韓国

国内:原子力及び国際政治関係機関、大学等

参加者数:約200人

【基調講演】:

- 1) 東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた我が国のエネルギー政策 畠山 陽二郎 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課長
- 2) 核不拡散と核セキュリティを確保するための日本との連携 トーマス・カントリーマン 米国国際安全保障・不拡散担当国務次官補
- 3) フランスの核燃料サイクル政策と核不拡散の国際的な取組 フレデリック・ジュールネス フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA) 企画・渉外局長兼 国際局長(代読)
- 4) 保障措置の課題への対応 テロ・ヴァージョランタ 国際原子力機関(IAEA)保障措置担当事務次長(代読)

【パネル討論1】:

「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた今後の核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティの確保」

【パネル討論2】:

「核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散確保のための保障措置や技術的措置の役割」

2.2 開会挨拶

松浦 祥次郎 日本原子力研究開発機構 理事長

2011 年 3 月 11 日の東電福島第一原子力発電所事故以降、原子力を含む我が国のエネルギー政策については見直しが行われている。原子力機構は我が国における唯一の総合的な原子力研究開発機関として、原子力事故への支援や関連する研究開発に総力を挙げて取組んでいるが、本来、原子力に対する信頼回復の先頭に立つべき原子力機構が、「もんじゅ」における保守管理上の不備や大強度陽子加速器施設(J-PARC)での放射性物質の漏えい事故、「もんじゅ」における核物質防護規定の遵守義務違反を立て続けに起こしてしまったことを深く反省している。今年の 10 月から 1 年間を集中改革期間と位置づけ、原子力機構改革計画に従って改革を断行中であり、特に安全に関しては、「Integrity: 完全性、統合性、誠実さ」を強靭な忍耐力をもって追求する「安全道」を実践していきたい。

今年のフォーラムでは、東電福島第一原子力発電所事故を踏まえ、核燃料サイクルの今後の オプションに関し、核不拡散・核セキュリティをいかに確保していくべきかという点をテーマとした。 クローズドサイクル、オープンサイクルそれぞれに関する、核不拡散、核セキュリティ上のリスク及 び対応方策を専門家の間で御議論いただくことは、核燃料サイクルの今後のあり方を議論する上 で貴重なバックグラウンドを提供するものとなる。極めてチャレンジングな課題であり、一日や二日 で議論を尽くすことはできないが、専門家の方々の活発な議論により、こうした課題に関する理解 を深めることができればと期待している。

2.3 基調講演

2.3.1 「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた我が国のエネルギー政策」

畠山 陽二郎 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業本部 原子力政策課長

我が国は、1970 年代のオイルショック等を踏まえ、約30 年かけて石油依存度の低減を推進してきたが、2011年3月11日の東電福島第一原子力発電所事故以降は原子力発電炉が順次、運転を停止したことにより原子力の比率が低下し、その代替のための火力発電により、天然ガス、石油の比率が増加している(2013年度の化石燃料依存度は全体の発電量の約9割)。しかし、中東から輸入する化石燃料の多くはホルムズ海峡を経由するため、何らかの危機や封鎖が生じた場合、我が国が輸入する石油の約8割、天然ガスの約3割が調達困難となるリスクがある。原子力発電の稼働停止に伴う火力発電の焚き増しによる2013年度の燃料費の増加は、約3.6兆円と試算されており、燃料費の増加は電気料金の値上げ圧力の要因ともなっている。また、火力発電の焚き増しのため、地球温暖化の原因となる温室効果ガスの排出量が増加している(CO2換算で1.1億トンの排出増(日本全体の排出量の9%に相当))。

東電福島第一原子力発電所事故の処理については、深刻化する汚染水問題を根本的に解決することが急務であり、東京電力任せにせず、国が前面に出て必要な対策を実行するというのが基本的な考え方である。汚染源を取り除く、汚染源に水を近づけない、汚染水を漏らさない、という3つの基本方針の下、緊急対策に加え、抜本対策を重層的に実施していく。また、国際廃炉研究開発機構(IRID)を中心に、専門家からなる国内外の叡智結集のためのチームを立ち上げ、技術提案を募集したところ、約780件の提案があった(内、約30%が海外からの提案)。現在それらの提案を予防的かつ重層的な汚染水対策の全体像に反映すべく精査中である。安全な廃炉に向けた中長期ロードマップは、先日、4号炉の使用済燃料プール内の燃料の取り出しが開始されたことにより第2期に移行した。第2期では燃料デブリ取り出しのための準備を行い、最終段階である第3期で燃料デブリ取り出しを含む廃炉措置を実施予定である。

東電福島第一原子力発電所事故は、推進と規制の分離が十分ではなかったこと、我が国の原子力安全行政が過信・慢心にとらわれ有効に機能していなかったこと、大規模な原子力事故に際して俊敏に対応する上で問題があったことを露呈した。原子力規制体系を再構築し、地に堕ちた国民の信頼を回復するために、原子力規制委員会が2012年9月19日に発足した。また、2013年7月8日には、事故の教訓や世界の最新知見を踏まえ、原子力規制委員会が策定した「新規制基準」が施行された。従来の規制基準は、シビアアクシデントを防止するための基準であったが、新規制基準では、防止のための基準や地震、津波対策を抜本的に強化するとともに、シビアアクシデントが起きた場合の対応も盛り込まれた。現在、7つの原子力発電所、14基の原子炉についての申請がされている。

原子力発電に関しては、原子力規制委員会において高い安全基準に照らして安全が確認されれば、再稼働を進めて行くというのが政府の基本スタンスである。また、エネルギー政策の中での原子力発電の比率については引き下げていくという方針を安倍総理大臣が表明している。

エネルギー基本法に基づくエネルギー基本計画は、エネルギー需給に関して総合的に講ずべき施策等を内容とするもので、総合資源エネルギー調査会の意見を聴いて、経済産業大臣が案を策定し、閣議で決定する必要がある。責任あるエネルギー政策を構築するという観点で、現在、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会において議論を進めており、年末までにエネルギー基本計画の議論を取りまとめる予定である。原子力の比率をエネルギー基本計画の中で明記すべきか否かについては様々な議論があり、まだ結論は出ていない。

2.3.2 「核不拡散と核セキュリティを確保するための日本との連携」

トーマス・カントリーマン 米国 国際安全保障・不拡散担当国務次官補

オバマ大統領は 2009 年のプラハにおける演説で、核兵器のない世界の平和と安全保障を実現するため、①核兵器の削減を目指すこと、②核兵器不拡散条約(NPT)を強化すること、そして③テロリストが絶対に核兵器を入手しないようにすること、という具体的な3つの措置を述べた。

米国が核兵器のない世界の実現に固い決意を持っていることを示すための具体的な措置として、「戦略攻撃兵器の更なる削減及び制限のための条約(新 START)」をロシアとの間で署名・批准し、 米露が配備済みの戦略核弾頭を2018年までに1550発以下に削減することに合意した。また、米国 上院における包括的核実験禁止条約(CTBT)の批准承認への支持を拡大する努力や兵器用核分 裂性物質生産禁止条約の締結に向けた道筋を探るための外交取組みを継続している。

NPT は今でも米国の核不拡散政策の土台である。2010 年の NPT 運用検討会議において、米国は他国と緊密に連携して改めて NPT 体制に対する信頼を確認することにより、10 年ぶりに NPT の全加盟国のコンセンサスを得た最終文書を採択することに成功した。この最終文書は NPT の3 つの柱である、核軍縮、核不拡散、原子力平和利用の全てを包含する詳細な行動計画である。行動計画では、IAEA の平和利用イニシアティブ(PUI)への言及がなされている。4 年間で1 億ドルを調達することを目的として米国が始めたイニシアティブであり、120 を超える NPT の加盟国が PUI の便益を享受している。

核軍縮、核不拡散、原子力平和利用は相互に補強し合う NPT の 3 本柱であり、同時並行的に追求していかなければならない。現在、多くの国が技術的には核兵器を開発する能力を持ちつつも、190 に近い加盟国が核兵器の拡散防止に合意している。しかし、問題は NPT を遵守する意志のない北朝鮮、イラン、シリアのような国家が存在することである。イランに関しては、最近進展があった。IAEAとイランが協力枠組みに関する共同声明に署名するとともに、10 日前には、IAEAとP5+1¹の間で、イランの原子力活動の進展を防止すること、ある側面においては縮小することを意図した当面の措置と引き換えにイランに対する制裁を限定的に緩和する合意がなされた。今後、イランに NPT 上の義務を完全に遵守させることを目的に 6 か月以内により恒久的な合意を得るべく交渉を行う予定である。北朝鮮に対しては、米国の政策目標は以前と変わっておらず、朝鮮半島を検証可能な形で平和的に非核化することである。米国は何があっても核保有国としての北朝鮮は受け入れない。北朝鮮自らが2005年9月の共同声明で表明したコミットメントや国連安全保障理事会決議の遵守、拡散活動等の阻止に向けて、六者会合のパートナー国を始めとする国際社会と協働する。

¹ 国連安全保障理事会常任理事国(米国、ロシア、英国、フランス、中国)とドイツ

テロリストが核兵器を入手する脅威に対応するため、米国は核物質や放射性物質を保有する他の国と協力して、核セキュリティサミットや「核テロリズムに対抗するためのグローバル・イニシアティブ」など様々なメカニズムを推進している。こうしたメカニズムを通じて、全世界における核物質・放射性物質のセキュリティの確保、各国の国境管理や不法移転に関する法執行能力の強化、全ての原子炉における高濃縮ウラン利用の最小化、核セキュリティに関する Center of Excellence (CoE)等を通じた情報交換、といった様々な措置が実施されており、核セキュリティサミットのプロセスが開始されて以降、3 トンの脆弱な高濃縮ウラン、プルトニウムが除去あるいは処分されるなどの成果が得られている。全世界として核テロを防止し、対応する能力が高まってきており、来年オランダで開催される第3回核セキュリティサミットにおいてもこうした取組みを継続する。

核不拡散を推進する活動の全ての分野において日本は米国の重要なパートナーである。国連、IAEAの場、多国間枠組み、地域レベル及び日米二国間の枠組みで連携している。また、特に1988年に日米原子力協力協定が改定されて以降、原子力平和利用の分野での両国の協力が花開くこととなった。

日本は保障措置の強化、原子力安全、核セキュリティの推進においてリーダーとしての役割を果たしており、PUI の重要なパートナーでもある。米国と日本の間で行われてきた技術協力、特にその中でも、IAEAも含めた、六ヶ所再処理施設等、プルトニウム取扱施設における保障措置の検討を高く評価している。また、日本が表明している「余剰プルトニウムを保有しない」という政策についても支持、評価している。

日本は現在エネルギー政策の検討にあたり困難な状況に直面していると承知している。日本は、原子力の利用をどうするのかについて、日本国民のみならず世界のパートナーに対しても責任ある決断を下す必要がある。米国は日本のパートナーとして、日本が核燃料サイクルのバックエンドに関する政策、特に六ヶ所再処理施設やプルトニウム処分の方策の検討を行うに際して、①公開性、透明性の確保、②政治的な現実だけでなく、経済的な現実や技術的な現実の直視、③日本の核燃料サイクル政策が地域及びグローバルな核不拡散取組みに与える影響を考慮すること、を期待したい。

最後に核セキュリティに関して以下を付言しておきたい。日本の全ての施設における核セキュリティの能力に関して劇的な進展があった。また、日本が設置した CoE²が運用を開始しており、地域における国々に対して有用な貢献を行っている。

² 原子力機構の核不拡散・核セキュリティ総合支援センター

2.3.3 「フランスの核燃料サイクル政策と核不拡散の国際的な取組」

フレデリック・ジュールネス フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA) 企画・渉外局長兼国際局長

(代読:クリストフ・グゼリ 在日フランス大使館 原子力参事官)

1 年半前の大統領選挙の結果、政権交代が起きたことにより、フランスにおける今後のエネルギーミックスに影響が及ぶと考えられるが、原子力やクローズドサイクルが主要な役割を果たすことに変わりはない。ラ・アーグ再処理施設及びメロックス MOX 燃料製造施設の稼働は継続し、使用済燃料リサイクルは維持される。また、核兵器削減や以下に示すような核不拡散に対するフランスのコミットメントが変わることもない。

- ✓ 核不拡散の推進を最優先課題とすること
- ✓ IAEA のミッションとりわけ追加議定書の署名、履行を支持すること
- ✓ 原子力資機材の輸出にあたって核不拡散上の義務の遵守を条件とすること
- ✓ 使用済燃料管理に関する役務の提供を継続すること、濃縮役務に関する開かれた柔軟な 国際市場を支持すること
- ✓ CTBT に関するコミットメントや核兵器用の核分裂性物質の製造を行わないという自主 的決定を遵守すること
- ✓ イラン、北朝鮮及びシリアに対する従来のスタンスを維持すること

原子力が国際的に拡大する中で核拡散を防止する措置として、技術的措置、法/制度上の措置及び政治・商業上の措置の3つが挙げられる。

1. 第1の障壁としての技術的措置

原子力発電に利用される核分裂性物質は核兵器に適していないため、原子力発電そのものが核拡散上の脅威となるわけではない。原子力発電用の濃縮ウランは 5%の濃縮度であるのに対し、核兵器製造には90%を超える濃縮ウランが必要である。また、低濃縮ウランを用いた原子力発電は兵器級のプルトニウムを得るのに適したオプションではない。後者に関して更に核拡散抵抗性を高めるために、フランスの原子力産業は高燃焼度燃料の開発を実施している。

2. 第2の障壁としての法/制度上の措置

保障措置は核拡散を防止する上で有効な手段であり、特に追加議定書や国レベルコンセプトを支持している。また、厳格な輸出管理体制が重要であると考えており、その観点から、原子力資機材の潜在的供給国であるインドの原子力供給国グループ(NSG)への参加を支持している。

3. 第3の障壁としての政治・商業上の措置

核兵器の取得を意図する国は濃縮技術、再処理技術いずれかの取得が必要とし、その観点から最も効率的な核拡散防止策は、殆どの国が自国で核燃料サイクル施設を建設する必要がないよう、これらの役務を提供することである。

(フロントエンド)

限定された数の濃縮施設において世界の需要を満たすのに十分な濃縮役務を提供できること、核不拡散に関する信頼性の欠如以外の要因により、燃料供給が阻害されないことが重要であり、この課題の最善の解決策は、IAEA が格付け機関として振舞う透明な市場に基づくアプローチである。現在の市場は既に高いレベルでの供給のセキュリティを提供するものとなっており、それに加え、IAEA は追加的な燃料供給保証を提供する燃料バンクを構築しつつある。

(バックエンド)

使用済燃料に含まれるプルトニウムは、燃焼度が高いほど、兵器用の核物質としての魅力は減少するが、使用済燃料のリサイクルを行うことによりこの魅力度をさらに減少させることができる。理想的には、全ての使用済燃料を保障措置下にある再処理・リサイクル施設で処理、MOX 燃料加工し、軽水炉または将来においては高速炉で利用することである。EDFが既に実施しているように、再処理される使用済燃料の量と MOX 燃料として利用されるプルトニウムの量が均衡するようにすることで分離プルトニウムの在庫の増加を防ぐことが必要である。これに対し、使用済燃料の直接処分には長期的な保障措置をいかに確保するかという難しい課題が伴う。

世界には多くの数の再処理施設は必要なく、各地域をカバーする限られた数の再処理施設が存在する状況が望ましい。

再処理・リサイクルにおける核拡散抵抗性の向上は引き続き優先課題であり、フランスや日本 等は本研究を継続している。また、高速炉開発も核不拡散の目標に貢献する。高速炉は世界が より多くのエネルギーを必要とする時は増殖炉として機能し、社会が廃棄物管理をプライオリ ティとする時は、プルトニウムやアクチニドの燃焼炉として機能するという特徴を有する。

2.3.4 「保障措置の課題への対応」

テロ・ヴァージョランタ 国際原子力機関(IAEA) 保障措置担当事務次長

(代読:デイヴィス・ハート IAEA 東京事務所長)

東電福島第一原子力発電所事故を経てもなお世界的には原子力への関心は高まっており、IAEA 保障措置下の施設は増加している。また、より重大な懸念は、濃縮、再処理といった機微な原子力活動が拡散することであり、貿易のグローバル化やボーダーレス化に伴い核関連技術の秘密裡の輸出入が容易になりつつあることやインターネットによる機微情報流出への懸念の高まりを背景に、IAEA 保障措置への要求が増大かつ複雑化している。他方で、IAEA の保障措置予算の増加は見込めないことから、より戦略的な資源の重点投入が必要となる。もちろん、現在のイランのような「問題事例」にも多くの資源と能力を投入する必要がある。

また、約20年前のイラクの秘密裡の核兵器開発計画の露見を機に、追加議定書の導入に至っているが、全ての加盟国が追加議定書を締結しているわけではない。全ての核物質が平和利用されているという結論をIAEAが導くには追加議定書が必要不可欠である。よって追加議定書の普遍化が主要な政治的課題である。

環境サンプリングや衛星画像といった新たな技術の活用により、この20年間で利用可能な保障措置関連情報が増加し、効果的かつ効率的なIAEA保障措置の実施に貢献しているが、本質的なことは、オープンで透明性のある方法で我々の活動を説明することにより加盟国の信頼を維持することである。また、確実かつ公平にIAEAの権限を行使することにより我々自身の信頼性を維持しなければならない。不遵守の事例においてIAEAは妥協することはない。この点、天野事務局長の方針は明確で一貫している。

北朝鮮、シリア、イランへの保障措置適用に関して、IAEA は難しい問題に直面しているが、最近、イランとIAEA が段階的に問題解決に取組むことを意図した協力枠組みに関する共同声明に署名するという進展があった。その中でイランは今後3か月間に、原子力施設や原子力活動の計画に関するより広範な情報提供やウラン鉱山や重水製造施設へのアクセスなど6つの措置を履行することに合意した。

私は10月に保障措置担当事務次長に就任した際、加盟国の原子力計画と原子力関連活動を国家全体として評価する「国レベルコンセプト」を推し進めていくことでIAEA保障措置の有効性と効率性を向上していく決意を新たにした。このアプローチは、環境試料、衛星画像、公開情報、調達関係情報、さらに追加議定書締約国では補完アクセス情報など、広範な保障措置関連情報を活用することにより、当該国の原子力計画のより包括的かつ高度な評価を可能とするものである。

追加議定書の履行によって加盟国の原子力計画の全体像を構築することが容易になり、保障措置の履行を更に最適化することで、効率的かつ効果的な保障措置の実施が可能となり、加盟国及び IAEA 双方にとって有益である。

加盟国内における保障措置の履行を最適化する試みにおいては、IAEAと加盟国あるいは地域保障措置機関との協力関係の構築は、実地での検認活動の減少など、双方に有益な結果をもたらすであろう。こうした「国レベルコンセプト」を採用することは保障措置履行の「差別化」につながると主張する者がいるが、当該国の原子力活動の特徴や規模が保障措置の適用に影響を与えるのは当然であり、こうした保障措置の「区別化」が「差別化」につながるという懸念を払拭するために、IAEAでは個々の国に対する保障措置アプローチを構築する上で、明確で透明性の高いプロセスを導入している。

我々は費用対効果を改善するために、入手可能な範囲で最良の保障措置機器及び技術に投資し続ける必要がある。保障措置局ではITシステムの大規模な改良作業を行っており、効果的かつ効率的な業務の実施を可能にするであろう。また、オーストリアのサイバースドルフでは、核物質のサンプルの分析所を新たに建設するECASと称するプロジェクトが進行中である。

保障措置がさまざまな保障措置関連情報の包括的評価に基づいて独立かつ堅牢な保障措置結論を導くもので有り続けること、そして、保障措置協定の不履行に対しては毅然と対処することが将来の保障措置に対する私のビジョンである。

2.4 パネル討論 1 「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた今後の核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティ方策」の概要

【論点】

- 1. 東電福島第一原子力発電所事故の原子力利用への影響
- 2. 核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策

【座長】

遠藤 哲也 日本国際問題研究所特別研究員、元原子力委員長代理

【パネリスト】

トーマス・カントリーマン 米国 国際安全保障・不拡散担当国務次官補

クリストフ・グゼリ 在日フランス大使館 原子力参事官

デイヴィス・ハート IAEA 東京事務所長

ロバート・アインホーン ブルッキングス研究所 上級研究員

山名 元 京都大学 原子炉実験所教授

持地 敏郎 日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部長

【パネル討論1の概要】

パネル討論1では、東電福島第一原子力発電所事故の国内外の原子力利用への影響や核燃料サイクルのバックエンドへの関心の高まりを踏まえ、オープンサイクル、クローズドサイクルという、核燃料サイクルの2つのオプションの核不拡散、核セキュリティ上の課題や対応方策について、主に政策的、制度的観点から議論を行った。

まず、<u>持地(原子力機構)</u>から原子力事故の日本の原子力政策への影響や今後の課題について、 またカントリーマン氏からその国際的な影響について説明が行われた。カントリーマン氏は、原子力 事故により、原子力安全だけでなく、核セキュリティ、核不拡散に関するリスクが改めて認識されるこ とになったことを述べ、日本において、核セキュリティ上の脅威が存在しないとする思い込み、すな わち原子力における「安全保障神話」に陥らないよう警告した。

昨年、原子力委員会に設置された原子力発電・核燃料サイクル技術等小委員会の検討結果(核燃料サイクルの技術選択肢:第1ステップのまとめ(核不拡散、核セキュリティ))を踏まえ、オープンサイクル、クローズドサイクルの双方に関して核不拡散、核セキュリティ上の課題及び対応方策が議論された。まずオープンサイクルに関して、IAEAのハート氏から、使用済燃料に対しては恒久的に保障措置が適用されること、処分場に適用される保障措置については長年に渡る国際的な議論により基本的な概念が既に構築されていること、処分場閉鎖後は実際の使用済燃料へのアクセスが困

難となるため、核物質へのアクセスをベースにしたこれまでの保障措置とは全く別の手法(処分場を含むエリアにおいて発掘等の作業が行われないことの検認等)が必要になることが述べられた。また、在日フランス大使館の<u>グゼリ氏</u>からは処分の可逆性を確保する処分場の設計を採用した場合には、保障措置の適用がより難しくなるという見解が述べられた。

他方、クローズドサイクルに関するハート氏の説明では、保障措置の適用経験がない使用済燃料の処分場の場合と異なり、IAEA は小規模ではあるものの東海再処理施設への適用経験を有していることが強調された。ただし、大量のプルトニウムを取り扱う大規模な施設においては計量誤差が大きくなる可能性があることが課題である旨が述べられた。また、<u>持地</u>からは、クローズドサイクルは、プルトニウムを抽出することで短期的にはリスクはあるが、発生する高レベル放射性廃棄物は保障措置の適用から外れることに言及するとともに、オープンサイクルの場合は、「プルトニウム鉱山」や回収可能性の問題もあり、リスクは低いとは言えないことを指摘した。

アインホーン氏は、高速炉の実用化の見通しが立っていない現段階において、クローズドサイクルのメリットは限定的であり、特に日本では、六ケ所再処理施設が稼働した場合、プルトニウムの需要と供給の不均衡が増すことになることから、使用済燃料の中間貯蔵を進めることが望ましい旨、主張した。これに対してグゼリ氏は、多くの国はオープンサイクルを選択するか、クローズドサイクルを選択するか決定しておらず、そうした国にとっては将来の選択に柔軟性を確保する観点から中間貯蔵に価値があるが、既にクローズドサイクルを選択したフランスや日本のような国は、将来を見越して再処理や高速炉の研究開発を継続すべき旨が述べられた。京都大学の山名氏は、六ヶ所再処理施設を今すぐにフル稼働させるのではなく、プルトニウム消費に合わせた運転を行うことで、短期的にプルトニウムバランスはコントロール可能であり、より長期的には、六ヶ所再処理施設の稼働のモード、軽水炉でのMOX利用の程度、中間貯蔵の容量の三者を上手くバランスさせながら進める必要がある旨を強調した。

核セキュリティに関して、<u>カントリーマン氏</u>は日本が近年、行った核セキュリティに関する改善を高く評価した。また、複数の参加者から内部脅威に関し信頼性確認制度の導入が課題である旨が述べられた。

【論点 1: 東電福島第一原子力発電所事故の原子力利用への影響】

遠藤座長

パネル1の趣旨を説明

持地

「福島第一原子力発電所事故の教訓と対応」として、「東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調)」における再発防止策に係る提言、原子力規制委員会発足後の新

たな規制体制、新たな規制基準の概要や策定経緯、安全審査の動向、核セキュリティに係る教訓と 課題等、事故が日本の原子力利用に与えた影響を述べた上で、核不拡散、核セキュリティについて の今後の課題として、核不拡散・核セキュリティの徹底、核燃料サイクル政策に関する透明性の確保、 核拡散抵抗性技術の開発を挙げた。

カントリーマン

東電福島第一原子力発電所事故の国際的な影響や核セキュリティに関する米国の政策、日本への期待について説明

- 東電福島第一原子力発電所事故は、国際的な関心を原子力平和利用プログラム全般及び原子力平和利用に内在するリスクに向けさせるものとなった。こうしたリスクには原子力安全のリスクだけでなく、核セキュリティ、核不拡散上のリスクも含まれる。
- 米国は 2010 年の NPT 運用検討会議以来、二酸化炭素を排出しないエネルギーとしての原子力の平和利用の有用性に対する国際的な認識を深める取組み、原子力発電の安全性やセキュリティに対する信頼の構築の取組みを進めるとともに、核不拡散・核セキュリティに関する各国の能力の強化に努めてきた。
- ここでは核セキュリティサミットについて述べたい。3 年半に及ぶ核セキュリティサミットのプロセスは国際的な関心を核セキュリティに向けさせることに成功し、原子力に関するインフラを有する全ての国が、核テロリズムが実際に起こり得る脅威であることを認識し、国内における核セキュリティの改善を行った。ギフトバスケットと称される多国間のコミットメントは、全体として、核セキュリティの大きな改善につながる。また「核テロリズムに対抗するためのグローバル・イニシアティブ」の活動も継続している。
- 2010年のNPT運用検討会議、核セキュリティサミット、東電福島第一原子力発電所事故以降、多くの国がINFCIRC225/Rev5の履行を開始し、またIAEAの国際核物質防護諮問サービス(IPPAS)を受けるなど、核セキュリティが国際的にみて改善されているのは明らかである。
- 日本のエネルギー政策、核燃料サイクル政策に国際的な注目が集まっている。日本が事故以降、原子力以外の燃料に依存してきたことは国際エネルギー市場に既に影響を与えている。また、日本が原子力から撤退する政策を継続すれば、日本の原子力産業の海外での競争力や、原子力ビジネスを通じて日本と協力関係にある米国にも影響を与え得る。
- 日本が原子力政策に関してどのような決定を行うにせよ、日本が原子力施設において核セキュリティを確保する責任がなくなることはない。
- 日本は近年、核セキュリティの改善を行ってきており、正しい道を歩んでいると言える。いわゆる安全神話が東電福島第一原子力発電所事故をもたらしたと言われている。日本が米国や中東などから遠く離れていること、また均質性が高い国であることから、核セキュリティ上の脅威

が存在しないとする思い込み、すなわち原子力における「安全保障神話」を避けるべきである。 核物質はどの国に由来するものであろうともテロリストにとって魅力的であり、信頼性確認制度 の導入なども含め、セキュリティシステムの継続的改善を進めることが必要である。

• 兵器に転用可能な核物質が存在する限り、いかなる保障措置、核セキュリティのシステムをもってしても、完全にリスクを除去することはできず、だからこそ米国は濃縮、再処理の拡散に反対し、各国による独自の濃縮、再処理に代わる方策を提供してきた。日本との間では、IAEAも含めて、保障措置技術、核物質防護技術の開発に関し協力してきており、こうした協力は日本における核物質から生じるリスクの軽減に役立ってきた。

アインホーン

- 核不拡散、核セキュリティの優先課題について述べたい
- ✓ <u>イラン</u>については、11月24日にP5+1とイランとの間で暫定合意がなされるという重要な進展があった。これは歴史的な進歩であるが、暫定合意から6ヶ月以内に最終的な合意に至るかが課題である。<u>北朝鮮の非核化</u>が第2の課題であり、米国は、北朝鮮が、「完全で検証可能な非核化」という目標に合意することなどが、米国が交渉に応じる前提条件である。
- ✓ 第3の課題は、イランや北朝鮮による核開発に対応して核兵器保有への関心を高める可能性がある国のセキュリティ上の懸念への対応である。こうした国には、中東で言えば、サウジアラビア、エジプト、トルコ、アジアにおいては、日本や韓国といった、米国の同盟国やパートナーが含まれる。米国は海外における関与を縮小しつつあるという誤解があるが、米国は、数週間、あるいは数か月の内に、そうではないことを行動で示すであろう。輸出管理に関して各国の国内体制には大きな進展があり、特に日本は輸出管理強化の面で途上国への指導者としての役割を果たしている。濃縮・再処理に関する技術や施設のさらなる拡散の防止については、各国が独自の核燃料サイクル能力を獲得するインセンティブをできるだけ減らすべきである。核兵器国と非核兵器国、特に非同盟諸国の対立が NPT の強化を難しくしている。核兵器国、非核兵器国の双方がそれぞれ NPT 上の義務である、核軍縮と核不拡散上の取組みを履行することが必要である。米国は新 START を超える核兵器の削減を行う用意があるが、ロシアが抵抗している。また不拡散に関しては、追加議定書の普遍化や不遵守の場合の制裁措置が重要である。核セキュリティといては、来年のハーグの核セキュリティサミットがさらなる強化の機会となろう。

グゼリ

• 大規模な原子力国として日本は不拡散上の国際的な信頼性も高く、核不拡散、核セキュリティに関して大きな役割を果たすべきである。核セキュリティに関しては、特に内部脅威対策な

どで日本にはさらなる対策が必要であろう。また、特に新たに原子力発電を導入する国に対する原子力資機材の輸出に際し、受領国が核不拡散及び核セキュリティの面で必要な措置をとるよう促すべきである。

ハート

• 東電福島第一原子力発電所事故は、核不拡散、特に保障措置の適用、に関しても大きな影響を与えた。事故の後、放射線レベルの上昇により査察官のアクセスが困難になったことや保障措置の機器が損害を受けたことなどにより、IAEAは通常の保障措置のアプローチや手法を適用することができないという事態に直面した。そのため特別な手法やアクセスにより対応する必要があったが、この点について日本政府や事業者は、保障措置協定上の義務を大きく超える情報の提供などにより、福島における効果的な保障措置を継続する上で非常に協力的であったことを強調しておきたい。

山名

- 日本は大規模な原子力利用国でありながら核兵器の保有を放棄したという点において特別な立場にある。核不拡散に関して国際的に明確なメッセージを発信してきており、特に保障措置において、追加議定書の批准や統合保障措置の適用などに率先して取組んできた。これは、いわば原子力平和利用国にとってのジャパンモデルとでも言えるものであり、今後もこのジャパンモデルを堅持、強化する必要がある。こうしたジャパンモデルの一環として、今後、核不拡散強化の観点から核物質の国際管理が進むなら、日本も積極的な取り組みを行うべき立場にある。
- また核セキュリティについても、INFCIRC225/Rev5の取入れなど、近年、取組みを強化してきたが、事故以降、一層核セキュリティに関する要求が強まっており、安全とセキュリティの強化が同じ水準で求められている。
 - 輸出規制も NSG の一員として、情報や技術の漏洩に対して厳しく望むのが必然であろう。
- 安全に関しては、世界トップクラスの安全性、安全文化の追求が事故を起こした国の責務である。
- 保障措置技術の開発に関しては、IAEA などの開発に参加してきたが、計測技術、監視技術、エレクトロニクス、情報技術など核セキュリティに適用できる世界に誇れる技術を有している。こうした保障措置、核セキュリティに関して日本が有する技術を国際的に共有することにより核不拡散に貢献することが可能である。

【論点 2:核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策】 持地

議論の導入として、原子力委員会に設置された原子力発電・核燃料サイクル技術等小委員会に おいて行われた核燃料サイクルオプションの核不拡散、核セキュリティの議論等を紹介

- 小委員会では、核拡散リスクに関しては、ワンススルーが最も低く、MOX リサイクル、FR/FBR リサイクルの順で高くなるためより高度な保障措置が必要になるとの見解が示された。FBR では、純度の高い分離プルトニウムが生成されることが課題とされ、核拡散抵抗性技術の開発も行われているが、その効果について意見が分かれる旨が述べられている。
- 核セキュリティリスクに関しても、ワンススルーが最も低いとされている。ワンススルーに関しては処分後100年近くアクセス困難であり、相対的にリスクが低いとされているのに対し、MOXリサイクル、FR/FBRでは分離プルトニウムの利用、在庫量、プルトニウム輸送量の増加により、テロリズムの可能性が高くなるため、より強固なセキュリティ対策が必要であるとされている。
- こうした議論は昨年の国際フォーラムでも取り上げた。その際、短期的にはリスクの低いワンススルーにおいても処分後数百年経つと放射線が下がり、いわゆるプルトニウム鉱山の問題が生じることから長期的に見れば核不拡散、核セキュリティ上の対応は必要であることが指摘された。

(オープンサイクルの核不拡散・核セキュリティについて)

ハート

- 使用済燃料の処分場自体がまだ存在していないため、処分場にどのような保障措置を適用すべきかについては現時点では推測での話になるが、長年にわたり、加盟国との間で検討が行われてきており、その結果、基本概念が構築されてきた。
- IAEA 保障措置に関して使用済燃料処分場は原子力施設として取り扱われており、他の原子力施設と同様、全ての保障措置の手法が適用される。廃棄物の場合と異なり、保障措置協定や IAEA の保障措置に関する方針を定めた文書には使用済燃料に対する保障措置の適用の終了を定めた条項がない。つまり保障措置は恒久的に適用されることになる。
- その基本概念としては処分場建設時に設計情報検認により詳細な審査を行い、使用済燃料が処分場に搬入された時点で検認し、アクセスが可能な期間、定期的に検認を継続することになる。処分場閉鎖によりアクセスが不可能になった後は、処分場を含む周辺区域を監視下に置く方策が必要であり、処分場周辺における掘削等の活動が検知可能な状況にあることが必要になる。

グゼリ

- 処分場に関して安全上の問題はなく、数百年にわたり処分場の安全を確保し続けることは可能である。
- どこに使用済燃料が存在するかなどについての技術情報の記録を 500 年程度保管することは可能であろう。
- 保障措置は永遠に続くとされており、技術の進展により、何らかの活動が行われればその 検知は可能であろう。可逆性の確保は社会の要求であるが、保障措置の適用をより難しいもの にする。
- 核セキュリティの観点からは、使用済燃料を取り出すことは容易ではない。しかしながら今は政治的には安定している地域であっても数百年後にはどうなるかは分からない。
- このように使用済燃料の直接処分には難しい問題がある。それよりは、既に我々が技術を保有しているより安全な方法、すなわちプルトニウムをリサイクルする方が望ましい。将来の技術開発によって、より良いプルトニウム処分方法が構築されることを期待する。

(クローズドサイクルの核不拡散・核セキュリティについて)

<u>山名</u>

「日本の核燃料サイクルの展望」として、クローズドサイクルの日本にとっての意義、日本における 核燃料サイクルの状況、課題、保障措置、核セキュリティ上の課題について説明

- 総合資源エネルギー調査会では原子力政策を含めて議論がなされている。調査会の議論の中で、原子力に関しては、10項目の課題が挙げられており、この内の2つがバックエンドの問題。原子力に対する反対世論が高まっているが、その理由は、安全性、信頼感の欠如、バックエンドが未解決であることの3つであり、これらの問題の解決は非常に重要
- クローズドサイクルは使用済燃料を再利用して原子力の持続可能性を高める。日本は資源の有効利用と廃棄物処分の合理化という2つの理由からクローズドサイクルを選択してきたが、国情によっては使用済燃料を廃棄物とするオープンサイクルをとる国もある。
- 原子力発電・核燃料サイクル技術等小委員会の議論では2つのオプションの比較がなされ、資源の有効利用、廃棄物処分の合理性、将来的な技術の裕度の観点からはクローズドサイクルが優位であること、クローズドサイクルは経済性に問題があること、安全性に大きな差はないが、核不拡散の観点からはクローズドサイクルにはより高度な保障措置や核物質防護が必要である、という結論が得られている。これらを踏まえ、当面六ヶ所再処理施設を活用する現路線を続け、中間貯蔵する使用済燃料やMOX使用済燃料の取扱いについては将来決定すべきという並存シナリオが提言された。

- 私が独自に行った試算によれば、40年で全ての原子炉を廃止すれば2040年時点で4万トン以上の使用済燃料が発生するが、六ヶ所再処理施設で再処理すれば、減らすことが可能である。ただしこの場合にはプルトニウムを燃焼させる軽水炉が次第に減るため、プルトニウムが過剰となる可能性があり、このシナリオはなかなか難しい。また原子炉を40年以上運転する場合には、使用済燃料の発生量が更に増える。
- 日本の核燃料サイクルには技術的問題、物質管理の問題、政策や規制の問題、公衆の信頼の喪失の問題、コストの問題等、様々な問題がある。六ヶ所再処理施設や高速増殖炉の運転や開発の遅れの原因は技術的な問題であり、日本の原子力技術に対する政治や社会からの信頼感を失わせる結果となっている。
- クローズドサイクルでは高度な保障措置が求められる。六ヶ所再処理施設に適用される保障措置については「大型再処理施設保障措置適用に関する技術的検討(LASCAR)」で検討が行われ、近実時間計量管理(NRTA)の導入、OSLと呼ばれるラボの設置、ソリューションモニタリングといった技術の開発がなされた。こうした措置により六ヶ所再処理施設への保障措置は問題ないと認識している。核セキュリティに関しては、人的行為に対して深層防護を強化することにより対応する必要がある。
- 国際的には六ヶ所再処理施設の稼働によって大規模再処理施設の保障措置を実証する 必要があり、また海外にある35トンのプルトニウムを軽水炉で早く消費する必要がある。また 1988年に発効した日米原子力協力協定により、日本は米国から再処理に関する包括的事前 同意を得たが、2018年にはいずれかの当事国の通知により終了させることができる状態にな る。
- また、国際廃炉研究開発機構の理事長としての立場からは、福島第一原子力発電所サイトにおける保障措置、核セキュリティの確保も重要。

持地

- オープンサイクルとクローズドサイクルを比べると後者のほうが短期的には核拡散抵抗性は低いが、これまでにも IAEA 保障措置や核物質防護の強化により対応してきた。今後の六ヶ所再処理施設の稼働後も同様に実績を示していく必要がある。
- 長期的には、クローズドサイクルの場合には最後はガラス固化体になり、保障措置が終了するという利点がある。一方オープンサイクルについては処分後も保障措置を適用し続ける必要があり、今後議論していかなくてはならない。プルトニウム鉱山は潜在的なリスクとなりえよう。また、回収可能性を処分場閉鎖後にも確保するとなると、オープンサイクルの核拡散リスクが低いとは言えないと考える。
 - クローズドサイクルでは高速炉サイクルが軌道にのった場合、プルトニウムの総量を増やさ

ないという意味で核不拡散・核セキュリティ上の効果は期待できよう。

ハート

• クローズドサイクルには、再処理、MOX 燃料製造が含まれ、大量のプルトニウムを取り扱う 大規模な施設においていかに保障措置を適用するかは大きな課題である。プルトニウムの計量 は難しく、いかなる計測装置であっても計量誤差はつきものであり、少量の計量誤差が累積す れば、大きな不確実性につながる。ただし、使用済燃料の処分場への保障措置の適用が現状 では仮想上の問題であるのに対し、クローズドサイクルへの保障措置の適用については、IAEA は既に経験を有しており、東海再処理施設や六ヶ所再処理施設への保障措置の適用は成功 している。プルトニウムには可能な限り最も厳しい保障措置をかけるというのが IAEA の方針であ る。また、もしプルトニウム関連施設で事故があれば保障措置上は福島以上に厳しい事態とな ると予想され、そうならないことを願う。

グゼリ

- 日本、フランス、米国、韓国は、プルトニウムの計測技術の開発に関して IAEA に貢献できる。フランスとしては再処理施設の拡散は望んでおらず、限定的な数の大規模な再処理施設が存在する状況が保障措置や核セキュリティの点からも望ましい。社会的合意としてプルトニウムの量を減らす方向や質を低下させる方向に進むべきかという問題がある。そうしたコンセンサスが得られた場合には、高速炉をプルトニウム燃焼炉という形で活用することで核不拡散努力に貢献できるだろう。
- フランスの政策は社会の求めるものに沿っており、乏しいエネルギー資源を再利用するとともに廃棄物を減らして環境への負荷を最小限にするというものである。そこでフランスではクローズドサイクルを選び、プルトニウムの在庫を一定に保つという不拡散上の原則に基づいて再処理を進めている。

(クローズドサイクルの意義)

グゼリ

フランスの核燃料サイクル政策について説明

• 原子炉は 58 基を運用し、EPR1 基を建設中であり、このうち 22 基で MOX を運用することで天然ウランの使用を最大 25%節約している。EPR は 100%MOX を装荷することも可能である。

- 最終処分場の選定も進んでおり、地元との対話を進めて支持も得ており、2015-2020 年に 稼働させたいとしている。
- プルトニウム在庫を増やさないため、22 基の MOX で消費できる量の再処理を行っており、理論的にはさらなる再処理も可能である。MOX 使用済燃料は技術的に再処理可能であるが、現状では再処理を行っていない。フランスは長期的な観点からプルトニウムをより効率的にリサイクルする高速炉の開発を進めている。ASTRID と称される実証炉の計画を進めており、現在、設計段階にある。2019 年までに建設の可否が決定される予定である。国際協力の観点からもんじゅや常陽の運転再開を期待している。

<u>ハート</u>

● 毎年、IAEA はプルトニウムの転用の兆候は見られないという結論を導き出していることからすれば、プルトニウム取扱施設に適用される保障措置は現状では十分であるということになるが、現在保障措置下にある東海再処理施設は比較的小規模であり、六ヶ所再処理施設では短期間の保障措置の経験しかないことを考慮しておく必要がある。欧州では英仏のより大規模な施設で EURATOM 保障措置がかけられ、EURATOM はプルトニウムの転用の兆候は見られないという結論を導き出しているはずである。大規模なプルトニウム取扱施設においては、核物質の量が小規模な施設の10 倍に達し、IAEA は保障措置の結論を導き出せるかどうかのギリギリの線まで追い込まれる可能性がある。これまで計量技術の開発に多くの資金が投入されてきたが、大規模な施設で保障措置の適用を成功させるためには、今後も多くの資源を投入し続ける必要があると日本政府及び海外のパートナーは認識している。

アインホーン

• 日本とフランスはクローズドサイクルを選んだが、米国をはじめ多くの先進国が一度はクローズドサイクルを選択しながら、政策変更し、別の道を選んだ。資源の有効利用、廃棄物処分や経済性において利点があることが明確であるのであれば、なぜこれらの国はクローズドサイクルを放棄したのか。

グゼリ

• 自国で再処理施設を建設するかどうかという選択と再処理そのものを実施するかという選択の 2 つがある。例えば、ドイツやベルギーは自国での再処理は放棄したが、英仏両国に対し、再処理委託を行ってきた。スウェーデンの場合は、原子力からの撤退の決定の際に再処理の放棄を決定した。

● 一方フランス、日本の場合は、既に確立された再処理施設を有しており、エネルギー資源がないことから、再処理をやめる理由はない。スウェーデン、フィンランドを除き使用済燃料の処分場は決定されていない。多くの国は、使用済燃料の保管を継続しつつ、将来のオプションをオープンにしており、直接処分が上手く行かない場合は再処理路線に戻る可能性もある。

アインホーン

• クローズドサイクルの利点、特に廃棄物処分の観点での利点は高速炉の活用によって始めて実現される。しかしながら高速炉はまだ実用化されておらず、実用化までどれくらいの期間を要するか不明確である。高速炉の実用化及び使用済燃料の最終処分の両者に不確実性がある中で、最終的な選択を延期する観点から、中間貯蔵は暫定的な解決策とはなり得ないのか。

グゼリ

• 中間貯蔵はまだ決定を行っていない多くの国によっては良い解決策である。他方、既に再処理や高速炉のプログラムを有している国は、将来を見越して、核拡散抵抗性の更なる向上も含めた研究開発を継続する必要がある。

アインホーン

• フランスは多くの原子炉でMOX利用が可能であるが、プルトニウムの需要と供給に不均衡がある日本のような国では中間貯蔵があり得るのではないか。MOX燃料を燃焼させる原子炉が限定されている中で、六ケ所再処理施設が稼働した場合、不均衡が更に増すことになる。

山名

• まず海外の35トンのプルトニウムをリサイクルする必要がある。その上で六ヶ所再処理施設はプルトニウムバランスを崩さないよう、年800トン処理せずに消費に合わせた運転を行うことになろう。従ってプルトニウムバランスはコントロールの範囲内にある。重要なのは安全審査により原子炉の再稼働が遅れていること、MOX利用の地元了解という政治的・社会的な問題が残っていることである。六ヶ所再処理施設をやめれば、中間貯蔵施設が更に必要になるが、日本が無制限につくっていけるかどうかは社会的な問題である。六ヶ所再処理施設の稼働のモード、軽水炉でのMOX利用の程度、中間貯蔵の容量の三者を上手くバランスさせながら進める必要がある。

(核セキュリティについて)

持地

• 来年の核セキュリティサミットに向けて日本としては内部脅威に対する信頼性確認が課題になっている他、日本に限らず輸送時の核セキュリティが課題となろう。また高濃縮ウランの最小化が世界的な趨勢であり、日本は原子力機構が保有していたウランを米国にほぼ返還することで国際社会に協力してきた。

山名

• 原子力における「安全保障神話」に陥らないことが重要。 具体的には設計基礎脅威(DBT) であらゆる可能性を考え、それにハード・ソフトで対応することが重要であろう。 日本の各原子力 施設でも DBT の分析に応じて対応を考えること、そうした対応を真剣に考える文化を育てることも必要ではないか。

グゼリ

• ハードだけではなくソフト面の対応も重要。各国においてそれぞれ状況は異なるため、ある 国で上手く行ったことが別の国で上手く行くとは限らない。各国がそれぞれの状況に応じて規 制や措置を実施する必要がある。核セキュリティサミットの意義は核セキュリティの重要性に関 する国際的な認識を高めることである。フランスは輸送セキュリティに関するギフトバスケットに関 し、メンバー国として引き続きコミットしていく。

遠藤

• 個人的には核セキュリティに対する日本の意識はあまり高くないと考える。例えば核脅威イニシアティブ(NTI)のインデックスでも日本の評価は低く最下位に近い。こうした国際社会からの日本への目を意識して核セキュリティを改善すべきである。

(プルトニウムへの保障措置の適用の区分化)

遠藤

• プルトニウムの形態(液体、粉末、ペレット)によって核拡散抵抗性は異なるのか。

ハート

• プルトニウム管理のそれぞれのオプションに適用される保障措置について述べたい。保障措置下のプルトニウムは、ほとんどが使用済燃料の形態であり、量が急速に増加しつつある。従って将来の核不拡散確保は使用済燃料に適用される保障措置に依存すると言っても過言ではない。使用済燃料プールで保管されている使用済燃料自体は実際に見ることができるため、この状態での保障措置の適用が最も容易く、単純で、安価である。2番目に簡単なのは、欧州やカナダで広く行われている乾式貯蔵下にある使用済燃料への保障措置の適用である。処分場における使用済燃料への保障措置は現状では概念しかなく、クローズドサイクルにおけるプルトニウムへの保障措置については小規模施設への適用の経験しかないが、プルトニウムの収支に大きな差異が生じたことはなく、上手く行っていると言える。

持地

• プルトニウムへの保障措置は原子炉級プルトニウムと兵器級プルトニウムで取扱いを区別していない。しかし魅力度という観点から、核分裂性プルトニウムの比率により取扱いを区別した方が良いのではと個人的には考える。また形状の違いや単体か MOX かによってテロリストにとっての魅力度が異なるのではないか。

山名

- 当面のプルトニウム管理に関しては、保障措置の精度を高く保つことができるかにかかって くる。 六ケ所再処理施設で採用されている NRTA 等の手法を活用することにより対応可能と考 える。 IAEA との間でこの手法が上手く行くことを検証することが重要
- 超長期的な問題として、原子力をどこまで利用するかに依存するが、国際的にプルトニウム管理をどうしていくのかという問題がある。原子力時代の終わりを見越してプルトニウムを使い切ろうとする考え方、あるいは、原子炉を今後も継続的に利用するという前提で、プルトニウムの資源としての価値を活用する観点から、回収可能性を確保しつつ貯蔵する、もしくは当面、軽水炉 MOX による暫定的な利用を続けるという考え方がある。国際的な議論があってしかるべき。

グゼリ

● プルトニウムに対する保障措置は今のところ成功している。 追加議定書により、未申告の活動を検知することが可能。

【会場からの質疑と応答】

質問1

• これまでに核兵器開発に成功した国の事例を見るとプルトニウム分離に成功することはそれほど難しくないように思われる。しかし六ヶ所再処理施設は問題に直面している。原子炉からのプルトニウム分離と核兵器製造のための分離は違うのか。仮にイランが重水炉の使用済燃料からプルトニウムを分離しようとした場合、六ヶ所再処理施設で適用されているような技術を使うのか。

グゼリ

• 六ヶ所再処理施設の問題はプルトニウム分離の問題ではなくガラス固化の問題である。技 術そのものに大きな違いはないが、小規模で再処理を実施する方が大規模で実施する場合よ りも簡単であるということは言える。

質問2

• インドとの関係において NPT 体制は矛盾を有しているように思われるが、その解決なしに他の問題の解決はないのでないか。

アインホーン

• 米国は前政権時代にインドとの原子力協力を行うことを決定し、包括的保障措置を適用していない国との協力を行わないこととされていた NSG ガイドラインに関し、インドに対してのみ例外を認めるよう他の国を説得した。当時、私はインドとの原子力協力に反対であり、議会でもそう証言した。オバマ政権はインドを核不拡散の主流に近づけるという期待から前政権の政策を踏襲しており、インドによる輸出管理の強化などによって一定の成功は収めている。ただし、この例外扱いが、ルールは簡単に枉げられるものであるという間違ったシグナルを送るものである点、パキスタンやイスラエルに対する取扱いとの違いにより二重基準を構成するものである点で、問題が多いものであることは認めざるを得ない。

質問3

• 兵器級と原子炉級のプルトニウムに関して、原子炉である程度まで燃焼させたプルトニウムでも兵器製造が可能であるという報道があったが、核分裂性プルトニウムの比率による区分を設けることに対する技術的検討はどこまでなされているか。

ハート

• IAEA の保障措置システムでは純粋なプルトニウム 238 を例外として全てのプルトニウムを 等しく扱っている。これは、IAEA がプルトニウムの核兵器への利用に関する情報を直接保有し ておらず、プルトニウムの同位体比に関して核兵器への転用の魅力度を評価することが難しい ことによる。

アインホーン

• 原子炉級のプルトニウムによる核実験が過去に行われたという最近の報道が事実であれば、同位体組成にかかわらず、プルトニウムの扱いには注意する必要がある。

質問4

• なぜ NTI における日本の核セキュリティの評価が低いのか。

遠藤

● 評価が低いのはプルトニウム保有量が多い、保管場所が多い、プルトニウムの輸送が多い、 規制組織と推進組織が分離されていなかった、核物質防護に関して武装警備員がいない、内 部脅威対策がなされていないといった理由による。あくまで一つのシンクタンクがそう見ていると いうことである。

2.5 パネル討論 2 「核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散確保のための保障措置や技術的措置の役割」の概要

【論点】

- 1. クローズドサイクルとオープンサイクルにおける保障措置技術の役割
- 2. 核不拡散を強化する技術的措置としての核拡散抵抗性向上の取組みとプルトニウム燃焼技術等の検討

【座長】

田中 知

東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授

【パネリスト】

デイヴィス・ハート クリストフ・グゼリ イル・ソン・ホワン 安 俊弘(アン・ジョンホン)

IAEA 東京事務所長 在日フランス大使館 原子力参事官 韓国ソウル国立大学工学部教授

カリフォルニア大学バークレー校原子力工学科副部長・

久野 祐輔

原子力機構 核物質管理科学技術推進部次長

【パネル討論2の概要】

本パネルでは、保障措置やプルトニウム燃焼技術等の核拡散抵抗性技術が核燃料サイクルの バックエンドにおける核不拡散、核セキュリティ確保に果たすべき役割について議論が行われた。

まず、ハート氏がIAEA保障措置の進化について説明するとともに、従来の保障措置が核物質の検認を中心としたものであったのに対し、現在の保障措置は「国レベルコンセプト」という概念で特徴づけられるようになったこと、すなわち、保障措置の適用対象となる国の核拡散のリスクを様々な情報から総合的に評価する時代に入ってきている旨が述べられた。原子力機構の久野からは、日本の保障措置の取組みが説明された。特に、六ヶ所再処理施設において技術的に保障措置の精度を高める様々な方策が検討されてきたことが述べられた一方で、「国レベルコンセプト」の中で、国を評価するファクターとして「IAEAとの協力」という項目が挙げられているとおり、より重要なことは、原子力活動の透明性の向上であり、IAEAとのコミュニケーションを緊密化することで、大型再処理施設の保障措置への信頼性が高まるとの見解が示された。ソウル国立大学のホワン氏からは、韓国が開発を行っているパイロプロセスに関して保障措置をいかに適用するかが課題であるとの見解が示された。また、カリフォルニア大学の安氏からは、使用済燃料の処分場に適用される保障措置は、処分場の深度や地質によって異なるものになる可能性があり、処分場の設計に応じて保障措置のあり方を検討する必要があるとする指摘がなされた。

<u>久野</u>から、長期的な検討課題として、最終廃棄物(オープンサイクルでは使用済燃料)中のプルトニウムの同位体比による保障措置の取扱いの区分化に関する問題提起がなされたのに対し、<u>ハー</u>ト氏は、数種類のプルトニウム区分を保障措置に導入することは、当該プルトニウムが実際に申告さ

れた区分に該当することをIAEAが検認する必要が生じることを意味し、現時点では効率性の点でメリットがない旨を述べた。

また、<u>複数の参加者</u>から、IAEA や原子力先進国による新規原子力発電導入国に対する計量管理の支援や、原子力輸出に際して、Safeguards by design (SBD) ³の考え方を取り入れることの重要性が示された。

核拡散抵抗性技術に関しては、<u>安氏</u>から、高温ガス炉による TRISO 型被覆燃料等の deep burn による Pu-239 の燃焼等、核拡散抵抗性を向上させるいくつかの技術的オプション、<u>ホワン氏</u>から、高レベル放射性廃棄物から中レベル放射性廃棄物への転換の可能性を有するパイログリーンと呼ばれる分離・消滅処理技術及びそうした技術に基づく地域的な核燃料サイクルのスキームの構想、<u>グゼリ氏</u>から、フランスが進める高速炉である ASTRID 計画の概要がそれぞれ紹介された。<u>安氏</u>は、高速炉によるウランの燃焼(プルトニウムの増殖)と高温ガス炉によるプルトニウムの燃焼を組み合わせることで回収ウランや劣化ウランも含め、核物質全体としての消費を促進することができるとした。

核拡散抵抗性と保障措置との関係に関して、<u>ハート氏</u>は、核拡散抵抗性の向上により保障措置 レベルを下げることは可能であるが、いかなる技術であっても不正使用の可能性は否定できないた め、保障措置の適用を完全に排除するということはできないことを述べた。

また、<u>久野</u>から、プルトニウム利用・消費の長期的なビジョンを示していくことが重要であり、その中には、こうした核拡散抵抗性技術や、実現は必ずしも容易ではないものの、国際管理も含まれる旨のコメントがあった。

【論点 1:クローズドサイクルとオープンサイクルにおける保障措置技術の役割】

田中座長

パネル2の趣旨を説明

ハート

IAEA 保障措置の進化について説明

•IAEA 保障措置の進化の歴史は 4 つの時期に分けられる。1950 年代の IAEA の設立から 1980 年代までの第1期(「古典期」)においては、核物質の検認が中心であり、IAEA は各国から 提出される報告書の正確性を独自に検認するという役割、核物質の輸出入に関して輸出国、輸入国の双方から提出される報告書の整合性を確認するという役割が中心であった。

³ 原子力施設の設計段階から保障措置の適用を考慮することにより、保障措置の適用を容易にする考え方

- •この時期の保障措置のアプローチの限界は、当該国が核物質を申告しなければ何もできないということであり、こうした従来の保障措置の弱点は湾岸戦争後、イラクによる未申告の原子力活動が発覚したことで明らかになった。こうしたことから IAEA 保障措置の強化の議論が行われ(第2期(「強化期」)、こうした議論はモデル追加議定書の採択という形で結実した。
- •第3期は「統合期」と称すべき時期であり、追加議定書が履行される中で、従来の保障措置手法と追加議定書の下での保障措置手法が統合、最適化されて適用されていった時期である。
- •現在は、「国レベルコンセプト」の導入により特徴づけられる第4期に入ろうとしている段階である。「国レベルコンセプト」とは、IAEAが評価する核拡散リスクに応じて、当該国への保障措置適用のあり方を調整するものである。IAEAの保障措置資源の1/3は日本における保障措置に使用されており、2011年の予算では、日本、韓国の順番であったが、2012年には、イランが日本に次いで2番目となった。このことは、核拡散リスクが大きい国により多くの資源を投入するという「国レベルコンセプト」の考え方を反映したものである。IAEAにおいて実際に現場で保障措置に従事する査察官は約250人に過ぎず、資源を効率的に活用する必要がある。

グゼリ

- •フランスは核兵器国であり、IAEAの保障措置の適用は限定的であるが、EURATOMの保障措置下にある。EURATOMの保障措置においては、核兵器国も非核兵器国も同等に扱われ、全ての民生原子力プログラムが対象となる。従ってフランスが適用を受けている保障措置は、保障措置の適用主体が異なるだけで IAEA 保障措置と同じである。フランスでは CEA やフランス放射線防護・原子力安全研究所(IRSN)で実施されている計量技術等の研究を通じて IAEA や EURATOM における保障措置適用を支援している。
- •フランスではパイロプロセス技術の開発を行っているが、Safeguards by Design (SBD)⁴という考え方や核拡散抵抗性に留意して開発を進めている。

久野

「クローズド及びオープン燃料サイクルにおける核拡散リスクへの対応策」として、保障措置に関する日本の取組みやクローズドサイクルとオープンサイクルにおける核拡散リスクに関する説明がなされた。

・六ヶ所再処理施設においては様々な手法を用いて保障措置が適用されている。仮に今後、

⁴ 原子力施設の設計段階から保障措置の適用を考慮することにより、保障措置の適用を容易にする考え方

不明物質(MUF)が生じたとしても IAEA と共同で解明すれば良く、直ちに日本の保障措置結論に影響を与えることにはならない。

- •クローズドサイクルは短期的には核拡散リスクは高いが、原子炉で燃焼させることにより長期的には、核兵器への転用の可能性から見たプルトニウムの質が低下することから、核拡散リスクは低くなる。直接処分の場合には、短期的には核拡散リスクは低いが、核分裂生成物の崩壊により長期的には核分裂性プルトニウムの比率の上昇により高くなる。
- •米国では核兵器への転用の魅力度の観点から、プルトニウムに等級を設けることについて の研究が行われている。
- •日本は高速炉によりエネルギーを効率的に利用するという政策をとっているが、プルトニウムを消費するという目的では、TRISO燃料の高温ガス炉での燃焼や岩石燃料によるプルトニウム燃焼技術の活用が考えられる。

グゼリ

•新規原子力発電導入国に対して計量管理システムの構築や人材育成に関して支援を行うことは重要。IAEA 加盟国は IAEA と協力して、新規原子力発電国に対して保障措置適用の経験を伝えていくことにより、これらの国が保障措置上の義務を果たすことができるようにすることが重要

ホワン

- •韓国原子力研究所(KAERI)では、使用済燃料のリサイクル技術の開発としてパイロプロセスに関する技術開発を行っているが、保障措置技術の開発に関して多くの課題に直面している。パイロプロセスは核拡散抵抗性、高速炉への適用、臨界安全、経済性といった点で多くの利点を有しており、この保障措置の課題が、実用化を考えた場合に主要な阻害要因となっている。
- •湿式の大型再処理施設の保障措置については、現状のように核不拡散上の懸念が少ない原子力先進国で運転されている限りにおいては十分かもしれないが、もし、他の国に輸出することを考えた場合には更に保障措置を向上させていく必要がある。
- •東電福島第一原子力発電所事故以降も特に新興国における原子力導入への関心は衰えていない。韓国は1970年代の原子力発電導入時に、米国、フランス、カナダといった先行国から多くのことを学んだ。過去にそうした恩恵を受けたお返しとして、原子力導入国に対する支援を実施している。例えば、韓国政府は、韓国国際原子力学校(Korea International Nuclear Graduate School: KINGS)を設立し、原子力発電の導入に必要なマイルストンを示したIAEAの

文書⁵に含まれる 19 の項目について韓国の経験を盛り込むことなどによりマニュアル化することで、韓国の経験を新興国に伝えるという取組みを実施している。そうした新興国との交流の中で、平和利用に特化して原子力利用を実施し、燃料サイクル関連活動を行わないことが賢明な選択であることを伝えている。

ハート

- •IAEA は保障措置分野に限らす、原子力発電新規導入国に対する、キャパシティビルディングに関する支援プログラムを有している。保障措置の分野では、トレーニングの提供等の協力を行っており、例えば、最近では、ベトナムとの間で保障措置に関する緊密な協議が行われてきている。その結果、追加議定書の署名や保障措置インフラの改善など、保障措置強化に関して進展が見られた。
- •IAEA としてもできる限り原子力新興国を支援していくが、保障措置の経験を有する日本、韓国等の原子力先進国がこれらの国に対する直接的な支援を継続していくことも重要である。

グゼリ

•EURATOMにおいても保障措置やその他の原子力に関する支援プログラムを有している。

久野

•SBD という考え方が必ずしも全ての原子力資機材の輸出国やメーカーに浸透していないのではないかという懸念があり、SBDを取り入れたメーカーがコスト面で不利になり、競争に負けてしまうようなことがあってはならないわけで、そのためには IAEA を中心に、SBD に関する国際的なコンセンサスを構築していく必要がある。

久野

•技術的に保障措置の精度を高める様々な方策が検討されているが、より重要と考えるのは、透明性の向上である。国レベルコンセプトの中で、国を評価するファクターとして「IAEA との協力」という項目が挙げられている。例えば、施設の運転データの提供を IAEA が求めてくる場合があるが、そうした要求にできる限り応えることにより IAEA とのコミュニケーションを緊密化することで、大型再処理施設の保障措置への信頼性が高まる。

No. NG-G 3.1

⁵ Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, IAEA Nuclear Energy Series,

<u>安</u>

- •大学における保障措置、核セキュリティの概念研究は特に 2001 年同時多発テロ以降、始まったものであり、まだ初期の段階にある。IAEA や各国の研究機関との協力が重要
 - •本分野の研究を行うに際して公開性、透明性とのジレンマに直面している。
 - •SBD は大学での研究テーマとして興味深い。

グゼリ

•SBD の考え方を浸透させることは長期的な課題である。短期的な方策として、現状で適用可能な技術により、保障措置の有効性、効率性の改善を図っていく必要がある。

久野

•万年単位に及ぶ超長期にわたる直接処分における保障措置を考えた場合に、現状の国をベースにした保障措置という制度的アプローチで果たして対応可能なのかという懸念がある。 そうしたことを踏まえてどちらのオプションを選択するか検討する必要があり、核拡散や核テロの観点からの魅力度の低いオプションを選択すべきである。

安

- 久野氏が述べたように、超長期的に見て使用済燃料の直接処分が保障措置上、複雑な問題を提起するのは間違いなく、時間が経つにつれて状況が改善される放射線安全よりも解決が難しい。
- •また、一口に使用済燃料の直接処分と言っても、様々なオプションがあり、処分場の深さや地質によって保障措置の適用の仕方は異なるのではないか。例えば、deep borehole による処分の場合、長期的にも再取り出しは非常に困難である。また、粘土質の土壌で処分する場合は、ハードロックでの処分の場合に較べて、掘り返す場合の騒音が小さく検知しにくいという問題がある。
- •実際に地層処分を開始する前に保障措置に関する技術オプションを検討しておく必要がある。

⁶ 地表から 2000~5000 メートルの地下に処分することで人間環境からの隔離を確かなものにしようとする概念

ハート

•これまでの IAEA の保障措置は核物質へのアクセスをベースにしたものであったが、使用 済燃料の処分場は一旦、閉鎖されてしまうとアクセスができなくなり、未申告のアクセスの兆候 がないことをいかに検認するかが重要になるという点で、これまでの保障措置とは異なるアプロ ーチが必要になる。

ハート

- •プルトニウムの同位体による保障措置の区分の導入については長年に渡り議論が行われてきた。プルトニウムの種類によって核兵器への転用の容易さは異なること、核兵器国が核兵器を製造するのに用いるプルトニウムは通常の原子力発電炉からのプルトニウムとは大きく異なることについて異論はない。IAEAがプルトニウムの同位体比による保障措置の区分を導入していない理由は、実際の適用を想定した場合に、効率性の点でメリットがないことによる。プルトニウムをタイプ A とタイプ B に分けることを想定した場合、どこで線を引くかという問題がある。また、当該国が保有するプルトニウムをタイプ B として申告したとすれば、IAEA はそのプルトニウムがタイプ B であることを検認する必要がある。
- •高温ガス炉による deep burn で殆ど核分裂性プルトニウムが存在しないようなケースに関しては、将来、保障措置の区別化を導入することも考えられる。

久野

•今すぐにプルトニウム区分を導入することを主張しているわけではない。長期を見据えた場合、原子力利用が終焉する時期において、使用済燃料に含まれる原子炉級プルトニウムに適用される保障措置が果たして現状のままで良いのかという観点から問題提起をしている。

グゼリ

•国レベルコンセプトの導入とプルトニウムの区分化の導入を結びつけたような議論も出来る のではないか。 【論点 2:核不拡散を強化する技術的措置としての核拡散抵抗性向上の取組みとプルトニウム燃焼技術等の検討】

安

「長期的な核拡散抵抗性の改善」として、核拡散抵抗性を長期的に向上させるいくつかの技術的オプション(高温ガス炉や高速炉によるプルトニウムの燃焼、deep borehole による処分)の説明がなされた。

- •高温ガス炉はプルトニウム-239 の燃焼に適しているという特徴があり、設計によってはプルトニウム-239 の 90%を燃焼させることが可能である。従って、燃料の組成によっては保障措置の適用を終了させられる可能性もある。
- •核拡散抵抗性以外にも内在的安全性や地層処分の場合の燃料の健全性などの特徴があり、今後、真剣に導入を検討すべきオプションである。
- •ナトリウム冷却高速炉(SFR)は増殖炉として活用した場合、プルトニウム在庫の増加、他の国における増殖炉への関心の増大、という短期的な核拡散リスクの増加につながる。
- •高温ガス炉、ナトリウム冷却高速炉はいずれもプルトニウム、ネプツニウム、アメリシウムの 消滅処理に有用であるが、前者が、急激に、高燃焼度で、しかしながら不完全に燃焼させるの に対し、後者はゆっくりと、低燃焼度で、しかしながら完全に燃焼させるという特徴の違いがある。 核拡散抵抗性を最大化するには両者を活用することが重要。
- •加速器駆動システム(ADS)は長期的に有用なオプションであり、第1段階のPuサイクルと第2段階のMAによるサイクルという2段階のサイクルから構成される。
- Deep borehole による処分は、殆ど回収が不可能であるという利点があるが、深地層の環境に不確かさがあることから、臨界安全や放射線安全の確保が課題である。
- •燃料サイクルオプションを検討する上においては、相互に影響し合う長期的な要因と短期的な要因、国内的な要因と国際的な要因を勘案する必要がある。
 - •長期的な拡散リスクを減少させるには国際的な燃料サイクルシステムの構築が不可欠。

ホワン

「多国間アプローチによるクローズドサイクル」としてクローズドサイクルにおいて核拡散抵抗性を 向上させる多国間アプローチについて説明がなされた。

・マイナーアクチニド(MA)や核分裂生成物を先進的な方法で分離、核変換することにより、 残された廃棄物の区分を高レベルから中レベルあるいは低レベルに変更することが可能になる。 中レベルの放射性廃棄物の処分は米国の廃棄物隔離パイロットプラント(WIPP)で実証されてい ることから、こうした区分変更はメリットがある。

- •1999 年に米国の科学アカデミーは先進的な分離・核変換により高レベル放射性廃棄物をなくすことは不可能であるという結論を出したが、10 年後にアルゴンヌ国立研究所(ANL)の Leidler 氏は UREX+という技術を用いて低レベル放射性廃棄物に変えることが可能であることを実証した。
- •私は、韓国で過去 15 年間にわたり、韓国核変換エネルギー研究センター(Nuclear Transmutation Energy Research Center of Korea)を運営しており、KAERI や米国のアルゴンヌ国立研究所(ANL)、日本、欧州連合と協力し、廃棄物の除染を目的としてパイログリーンと称するプロセスを開発している。研究の成果は韓国内の独立した専門家グループによりレビューされ、実験室レベルで実証されたという評価を受けている。開発には時間を要し、2050 年を実用化の目標としている。
- •最初の研究開発の段階においては、核拡散抵抗性の観点からパイロプロセスよりも湿式の プロセスの方がよりメリットがある。パイロプロセスの開発が進めば、パイロプロセスを活用する第 2段階に移行する計画である。
- •こうした技術の開発には多くの投資が必要となるため、使用済燃料の管理という共通の課題を抱えるアジアの国が協力して進める地域的なアプローチが不可欠である。各国が暫定的な措置として自国における使用済燃料の乾式貯蔵を進めつつ、長期的な研究開発に協力すれば、原子力の持続性に関する公衆の理解を得る上で有益である。

グゼリ

ASTRID 計画について説明

- 高速炉は、元々、核不拡散の目的で開発が行われたわけではないが、核不拡散の観点からも有用なツールである。
- •現在、概念設計の第2段階にあり、2015年に詳細設計に入る。2019年に実際に建設を行うか否かの決定が予定されているが、マイルストンに沿って作業がなされる限りにおいて、2019年までの資金は政府から提供されることになる。2025年頃の運転開始を予定している。

久野

•各パネリストから紹介があったようなプルトニウム消費の方策は今すぐ利用可能なわけではない。当面は軽水炉やもんじゅでの利用を促進しつつ、長期的には革新的な技術を用いたプルトニウム消費方策を検討していく必要がある。

ハート

•IAEA による核物質の定義には MA は含まれておらず、保障措置協定にも MA への保障措置の適用は含まれていない。ボランタリーな措置として、関係国がネプツニウムとアメリシウムの保有量を報告しているのみである。

グゼリ

•MA を含めたリサイクルの実現可能性は確認されているが、コストがかかる。MA リサイクルが実現するか否かはそうしたコストを将来の社会が許容するかどうかに依存する。

田中

• 高温ガス炉によるプルトニウム消費の実現可能性は?

安

- •高温ガス炉は日本を含む多くの国で研究開発が行われてきており、実用化に期待をもたせる多くの成果が得られている。しかしながらこれまでは、高温ガス炉は水素製造や高熱の利用という核不拡散とは別の観点で開発が行われてきており、プルトニウムの燃焼という側面からの見直しが必要。場合によっては、設計上の制約を緩和することができるかもしれない。
- •プルトニウムが蓄積していくとしても保障措置の適用により監視することが可能であり実際上の問題は生じない。従ってプルトニウムの蓄積の問題は保障措置の問題というよりは、特に日米原子力協力協定のコンテキストでの国際政治上の問題。技術の開発にあたっては、実際上のニーズを見極めた上で開発スケジュールを策定していく必要がある。

ホワン

•リサイクル施設を地域の施設として容量を増やすことで経済性を向上させることができる。

久野

•プルトニウムが蓄積したとしても保障措置が適用されているため転用の問題は生じないというのはその通り。問題は日本が約束している「余剰プルトニウムを保有しない」という政策との関係であり、国際的に日本がどう見られているかということ。プルトニウム利用に関する将来のビジョンを示す必要がある。そうしたビジョンの中には国際管理のようなものが含まれるし、核拡散抵抗性技術の開発も含まれる。

<u>ハート</u>

•ミスユースが不可能な技術というものはなく、核拡散抵抗性というのは程度の問題である。 従って核拡散抵抗性の向上により保障措置レベルを下げることは可能であるが、保障措置の適 用を完全に排除するということはできない。

【会場からの質疑と応答】

質問1

•長期にわたる核拡散抵抗性を考える場合に、将来の脅威をどう想定するか。

久野

現在の脅威をベースに考えているが、確かに脅威の進化を考慮に入れる必要はある。

質問 2

•高温ガス炉をプルトニウム燃焼に利用するという提案は興味深い。高温ガス炉に加えて高速炉も必要であるという説明があったが、その部分についても補足いただけるとありがたい。

安

高温ガス炉によるプルトニウムの在庫管理が上手く行ったと仮定した場合、残された最大の課題はウラン(回収ウラン、劣化ウラン)をいかに処分するかである。原子力利用の時代の終焉に際して全ての遺産を処分するとすれば、ウランの在庫の問題にも対応する必要があり、ウランをプルトニウムに変換し、処分するのに高温ガス炉は適用できず、高速炉を利用することが合意的なオプションと考える。その意味で高速炉と高温ガス炉を組み合わせて活用することにより効率的な処分が可能になる。

2.6 閉会挨拶

遠藤 哲也 日本国際問題研究所特別研究員 元原子力委員長代理

本フォーラムは性格が異なる3つの機関が協力することにより、政策と技術を結びつけて議論することが可能となっており、開催の数を重ねて定着してきた感がある。今後も同様の取組みを継続していきたい。

日米原子力協力協定は日本の核燃料サイクルの履行のベースになっているものであり、協定交渉に関与した者として、2018年以降も協定が継続することを願っている。

その観点で余剰プルトニウムを保有しないという政策を堅持し、プルトニウム利用計画を具体的に示す必要がある。

田中 知 東京大学大学院工学系研究科 原子力国際専攻教授

本フォーラムは研究開発、国際政治、人材育成の要素がマッチングして開催されており、他に例がない。今後の日米原子力協力協定の期限の到来、六ヶ所再処理施設の稼働開始に向けて、地に足がついた核不拡散、核セキュリティの対応が必要。

本国際フォーラムの場での議論を通じて核不拡散、核セキュリティに我が国が真剣に取り組んでいることを示すことができたのではないかと考える。

3. おわりに

今年度の国際フォーラムでは昨年度に引き続き核燃料サイクルのバックエンドの核不拡散、核セキュリティをテーマとして取り上げた。保障措置や核物質防護といった制度的措置に関する議論を更に深めるとともに、プルトニウムの蓄積による核拡散や核テロリズムのリスクへの懸念の緩和の観点からプルトニウム燃焼技術等の核拡散抵抗性技術も取り上げ、制度的措置と技術の双方を活用して、いかに核不拡散、核セキュリティの確保を図っていくかを主要なテーマとした。

本フォーラム後、経済産業省総合資源エネルギー調査会基本政策分科会により「エネルギー基本計画に対する意見」が取りまとめられ、ベース電源としての原子力発電の重要性が改めて認識されるとともに、核燃料サイクルについても着実に推進する方針が示された。しかしながら、本意見に基づき、「エネルギー基本計画」が策定されたとしても、その履行には、東京電力福島第一原子力発電所事故以前に較べて不確実性が伴うことは否定できない。事故後の我が国の原子力政策の揺らぎや今後の履行の不確実性は、パネル討論での参加者の発言からも分かるように、特に、我が国のプルトニウム在庫が増えることに関して懸念を惹起している。こうした懸念を緩和するためには、我が国が今後もクローズドサイクルを継続する中で、透明性のあるプルトニウムの利用・消費方策を、時間軸とともに示すことが重要である。当面は、使用済燃料の中間貯蔵とともにプルサーマルやもんじゅの活用等の方策によりプルトニウムの消費・利用を促進する必要がある。また、中長期的には、本フォーラムのパネル 2 で取り上げられたような、高温ガス炉等の活用によるプルトニウムの効率的消費や核変換等の技術的方策や、更にはプルトニウムの国際管理についてもオプションとして考えていくことが望ましい。

クローズドサイクルに関しては、IAEA のハート氏が指摘したように既に東海再処理施設等で保障措置適用の経験がある。しかしながら、今後、より規模が大きい六ヶ所再処理施設が操業開始に伴う処理量の増加にあたって保障措置上の課題に直面することも想定され、保障措置の有効性の向上や効率化を更に進めることと並行して、運転情報提供など透明性確保にも取組むことが信頼醸成の観点で重要である。

他方、オープンサイクルには、使用済燃料が、時間を経過するにつれて核兵器への転用の観点でより魅力あるものになっていくのに対し、保障措置によって転用がなされないことを半恒久的に担保できるのかという課題が指摘された。今後、原子力発電を導入する多くの国はオープンサイクルを採用することが想定されるが、長期的に使用済燃料における核拡散リスクやセキュリティリスクを低下させるためには、本フォーラムで議論されたような核拡散抵抗性技術を国際協力により開発し、これらの国におけるプルトニウム消費に活用していくことも重要である。

本フォーラムにおいて、国外の参加者からは、日本のこれまでの核不拡散、核セキュリティに関する取組みを高く評価する一方で、透明性の確保等、日本が今後の原子力政策の検討、履行にあたって留意すべき点も示された。核不拡散、核セキュリティも含めた国際的な視点は重要であり、本フォーラムでの議論が今後の原子力政策の履行に資することを期待したい。

原子力機構が毎年開催している国際フォーラムは、核不拡散・核セキュリティについて国内外の

有識者を集め、公開の場での議論により、広く一般の方に対し、核不拡散・核セキュリティに関する 最新の話題についての議論をお聞きいただく機会を提供している。今後も、原子力平和利用と核不 拡散、核セキュリティに関して、長期的、国際的な観点から、技術や科学に根差す議論を展開する 場として、本フォーラムを更に充実させていきたいと考えている。

付録1 プログラム

- **名 称** 原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラム
 - 東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、今後の核燃料サイクルのオプションに係る 核不拡散・核セキュリティの確保-
- **日 時** 平成 25 年 12 月 3 日(火) 10:00~17:00

レセプション: 平成 25 年 12 月 3 日(火) 17:30~19:00

(於:時事通信ビル 13階 ラウンジ日比谷)

平成 25 年 12 月 4 日(水) 9:30~12:10

12月3日(火)

●開会挨拶及び基調講演(10:00~12:30)

開会挨拶

松浦 祥次郎 日本原子力研究開発機構理事長

基調講演

東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた我が国のエネルギー政策

畠山 陽二郎 経済産業省 資源エネルギー庁 電力・ガス事業部 原子力政策課長

核不拡散と核セキュリティを確保するための日本との連携

トーマス・カントリーマン 米国 国際安全保障・不拡散担当国務次官補

フランスの核燃料サイクル政策と核不拡散の国際的な取組

フレデリック・ジュールネス フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)

企画•涉外局長兼国際局長(代読)

保障措置の課題への対応

テロ・ヴァージョランタ 国際原子力機関(IAEA)保障措置担当事務次長(代読)

●パネル討論1(14:00~17:00)

「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた今後の核燃料サイクルのオプションに係る核不拡 散・核セキュリティの確保」

座長 遠藤 哲也 日本国際問題研究所特別研究員、元原子力委員長代理

パネリスト トーマス・カントリーマン 米国 国際安全保障・不拡散担当国務次官補

クリストフ・グゼリ 在日フランス大使館 原子力参事官

デイヴィス・ハート IAEA 東京事務所長

ロバート・アインホーン ブルッキングス研究所 上級研究員

山名 元 京都大学 原子炉実験所教授

持地 敏郎 日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部長

12月4日(水)

●パネル討論2 (9:30~12:10)

「核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散確保のための保障措置や技術的措置の役割」

座長 田中知 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授

パネリスト デイヴィス・ハート IAEA 東京事務所長

クリストフ・グゼリ 在日フランス大使館 原子力参事官

イル・ソン・ホワン 韓国ソウル国立大学工学部教授

安 俊弘(アン・ジョンホン) カリフォルニア大学バークレー校原子力工学科

副部長•教授

久野 祐輔 日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部次長

●閉会挨拶

田中 知 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授

遠藤 哲也 日本国際問題研究所特別研究員、元原子力委員長代理

付録2 基調講演者、パネルの座長及びパネリスト等のプロフィール

開会挨拶

松浦 祥次郎 日本原子力研究開発機構理事長

Mr. Shojiro Matsuura, JAEA President

『学歴』



昭和 33 年 3 月 京都大学工学部応用物理学科卒業 昭和 35 年 3 月 京都大学大学院工学研究科原子核工学修士課程修了

『主要職歴』

昭和 60 年 4月 日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部長

昭和 61 年 8月 同研究所企画室長

平成 元 年 9月 同研究所東海研究所副所長

平成 5年 2月 同研究所理事

平成 10年 11月 同研究所理事長(同研究所副理事長を経て)

平成 12 年 4月 内閣府原子力安全委員会委員長

平成 24 年 11 月 一般社団法人原子力安全推進協会代表(非常勤)

平成 25 年 6月 日本原子力研究開発機構理事長

基調講演

トーマス カントリーマン 米国 国際安全保障・不拡散担当国務次官補

Mr. Thomas Countryman, Assistant Secretary of State for International Security and Nonproliferation, United States



Mr. Thomas Countryman, a career member of the Senior Foreign Service, rank of Minister-Counselor, has been Assistant Secretary for International Security and Nonproliferation since September 2011. The ISN Bureau leads the U.S. effort to prevent the spread of nuclear, chemical, and biological weapons, their related materials, and their delivery systems.

Mr. Countryman began his State Department career in 1982, serving as a consular and political officer in Belgrade, Yugoslavia from 1983 to 1985. From 1985 to 1988, he worked in the Department's Office of Eastern European and Yugoslav Affairs.

From 1988 to 1990, Mr. Countryman studied Arabic language and culture in the U.S. and Tunisia. During Operations Desert Shield and Desert Storm, he served as the Political-Military Officer at the American Embassy in Cairo, Egypt. From 1991 to 1993, he was the senior officer for reporting on political, security, and religious affairs within Egypt.

In 1993 and 1994, Mr. Countryman worked in the State Department's Office of Counter-Terrorism. From 1994-1997, he was responsible for advising Ambassador Albright on Middle East affairs at the U.S. Mission to the United Nations, and served as liaison with the UN Special Commission investigating Iraq's weapons programs. In this position, he dealt not only with Iraq, but also with Libya, Sudan and Arab-Israeli issues.

From 1997 to 1998, Mr. Countryman served as Director for Near East and South Asian Affairs at the National Security Council, with responsibility for the region stretching from Morocco to Syria. As part of his position at the NSC, he served as the White House representative on Ambassador Dennis Ross' peace process team. In 1998-1999, he participated in the Senior Seminar, the federal government's most advanced professional development program for foreign affairs and national security officials.

From 1999 to 2001, Mr. Countryman was Director of the Office of South Central European Affairs (EUR/SCE) in the Department of State, where he focused on working with the democratic opposition in Serbia. From 2001 to 2005, he was the Minister-Counselor for Political Affairs at the American Embassy in Rome, Italy.

After a short assignment as Director of the Office of United Nations Political Affairs in the Department, he served as Deputy Chief of Mission at the US Embassy in Athens, Greece from 2005 to 2008. For a five-month period in 2007, he served as the Chargé d'Affaires of the Embassy. In 2008-2009, he was the Foreign Policy Advisor to General James Conway, the Commandant of the US Marine Corps.

He served as the Principal Deputy Assistant Secretary for Political-Military Affairs in 2009-2010, and as Deputy Assistant Secretary for European Affairs (with responsibility for Balkan affairs) in 2010-2011.

The Department of State gave him the Superior Honor Award for each of his assignments at USUN, EUR/SCE, Rome, and Athens. He was awarded senior performance pay in 2006 and 2007, and received the Presidential Meritorious Service Citation for 2007.

Mr. Countryman graduated from Washington University in St. Louis (summa cum laude) with a degree in economics and political science, and studied at the Kennedy School of Government at Harvard University. His foreign languages are Serbo-Croatian, Arabic, Italian, Greek, and German. He is a native of Tacoma, Washington. He is married and has two sons.

フレデリック ジュールネス フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA) 企画・渉外局長兼国際局長

Mr. Frédéric Journes, Director of Strategy and International Affairs of the Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA) and Governor for France to the IAEA



Degree in history, geography aggregation, Postgraduate Diploma (cities and societies)

Graduate of the Ecole Supérieure de Commerce de Lyon;

Alumnus of the École nationale d'administration, promotion "Valmy", 1998.

At the École nationale d'administration, 1996-1998;

Appointed as Secretary of Foreign Affairs, 1 April 1998;

Special Adviser to the Director of the abroad French community dept, 1998-2001;

Special Adviser to the Director of Political affairs, 2001-2003;

First Secretary at the Permanent Representation of France to the United Nations in New York, 2003-2007, in charge of the arms control and non-proliferation portfolio;

First Counselor in Athens, 2007-2009;

First Counselor in Kabul, 2010-2011;

Deputy Director of Strategic, Security and Disarmament Affairs, January 2012-August 2013.

Languages: Fluent English, Italian, German

テロ ヴァージョランタ 国際原子力機関(IAEA)保障措置担当事務次長

Mr. Tero Varjoranta, Deputy Director General and Head of the Department of Safeguards, International Atomic Energy Agency (IAEA)



Mr. Varjoranta assumed the post of Deputy Director General and Head of the Department of Safeguards on 1 October 2013. Prior to this, he was the Director General of the Radiation and Nuclear Safety Authority, STUK, in Finland. Between 2010-2012 Mr. Varjoranta served as a Director in the Nuclear Energy Department of the IAEA having previously worked as Division Manager in the International Science and Technology Centre in Moscow. Mr. Varjoranta has served as President of ESARDA, President of the European Nuclear Regulators Group (ENSREG) and as a member of SAGSI for seven years. He is a physicist by education (MSc and PhL) from Helsinki University.

パネル討論1

遠藤 哲也 日本国際問題研究所 特別研究員、元原子力委員長代理

Mr. Tetsuya Endo, Ambassador, Adjunct Senior Fellow, The Japan Institute of International Affairs / Former Vice Chairman, Atomic Energy Commission of Japan



昭和 32 年 10 月 外交官領事官試験合格 昭和33年3月 東京大学法学部卒業 昭和 33 年 4 月 外務省入省 昭和33年8月~35年6月プリンストン大学等留学 在連合王国日本国大使館一等書記官 昭和 42 年 8 月 昭和48年7月 外務省アジア局南西アジア課長 昭和50年7月 外務省アジア局北東アジア課長 昭和 52 年 12 月 在ロンドン国際戦略問題研究所研究員(兼在連合王国日本国大使館 参事官) 在メキシコ日本国大使館公使 昭和54年1月 昭和 56 年 11 月 外務省国連局審議官 昭和60年1月 在ホノルル総領事 昭和62年1月 外務省科学技術審議官(局長職) 平成元年 11 月 在ウィーン国際機関日本政府代表部特命全権大使 平成元年 10 月~ 2 年 10 月 国際原子力機関(IAEA)理事会議長 平成 4年 5月~12月 特命全権大使(対旧ソ連邦支援対策を担当) 平成 5年 3月 特命全権大使(日朝国交正常化交涉日本政府代表) 平成 5年 8月 (アジア・太平洋経済協力(APEC)担当を兼任) 平成7年2月 大使(朝鮮半島エネルギー開発機構(KEDO)担当) 平成8年1月 ニュー・ジーランド駐箚日本国特命全権大使 平成 10 年 1 月 原子力委員会委員 平成 13 年 1 月 原子力委員会委員長代理 平成16年4月~17年3月 外務省 参与 (国際原子力機関(IAEA)核不拡散問題諮問委員会 委員) 平成16年6月~17年3月 財団法人 原子力安全研究協会 参与 平成 16 年 8 月 UCN 会 幹事 平成 18 年より 財団法人 日本国際問題研究所 特別研究員

トーマス カントリーマン 米国 国際安全保障・不拡散担当国務次官補

Mr. Thomas Countryman, Assistant Secretary of State for International Security and Nonproliferation, United States

ディヴィス ハート IAEA 東京事務所長

Mr. Davis Hurt, Head of the IAEA Tokyo Regional Office

平成 22 年 7 月より



Mr. Davis Hurt is currently Head of the Tokyo Regional Office of the International Atomic Energy Agency. The IAEA Tokyo Regional Office coordinates safeguard inspections and other safeguards activities in Japan, and serves as liaison between the IAEA and the Japanese government's safeguards authorities.

財団法人 原子力安全研究協会 研究参与、原子力政策研究会 委

Prior to his assignment to Tokyo in July 2011, Mr. Hurt was for five years the head of a section of inspectors responsible for safeguards implementation in 16 European countries. In earlier duties with IAEA, going back to 1997, he was section head for safeguards policy development.

Prior to joining the IAEA, Mr. Hurt was Assistant Technical Director of the U.S. Defense Nuclear Facilities Safety Board in Washington, DC. He was trained as a nuclear engineer, and has worked on nuclear safety and safeguards issues since 1977 in Washington, Vienna and Tokyo.

クリストフ グゼリ 在日フランス大使館 原子力参事官

Mr. Christophe Xerri, Nuclear Counsellor at the Embassy of France in Japan



Mr. Christophe Xerri has been assigned as Nuclear Counsellor at the Embassy of France in Japan since December 1st, 2011.

After graduating from Ecole Centrale de Lyon (Engineering - 1984) and Salford University (UK – Master of Science - 1984) and Institut Supérieur des Affaires (MBA - 1988), Mr. Christophe Xerri started his career in a Japanese bank in Tokyo.

He then joined AREVA Group in 1991, where he got involved in the promotion of nuclear fuel recycling, in the implementation of the first return of reprocessing residues to Japan, then in investments in uranium mining and in innovation and technological developments (including joint programs with CEA).

In 2000, he moved to the field of International Relations and Non-Proliferation, acted as expert to the IAEA and chaired a European expert working group on Safeguards implementation. This position included interaction with the International Directorate of CEA and with the Ministry of Foreign Affairs.

From 2003 to 2007, he was appointed personal assistant to the CEO of AREVA for international affairs.

He moved to Tokyo in 2007 to join AREVA Japan as Managing Director - Marketing and Industrial Strategy. In this position, he was involved in developing relationship with MHI and in the creation of the MNF Joint-Venture. He was then seconded by AREVA to the position of Director and Senior Executive Vice President of Mitsubishi Nuclear Fuel (MNF), a joint-venture created in Japan in 2009 between AREVA, and Mitsubishi Heavy Industries (MHI) in the field of nuclear fuel design and fabrication.

ロバート アインホーン ブルッキングス研究所 上級研究員

Mr. Robert Einhorn, Senior Fellow, Brookings Institution



Mr. Robert Einhorn is a senior fellow with the Arms Control and Non-Proliferation Initiative and the Center for 21st Century Security and Intelligence, both housed within the Foreign Policy program at Brookings. Mr. Einhorn focuses on arms control (U.S.-Russia and multilateral), nonproliferation and regional security issues (including Iran, the greater Middle East, South Asia, and Northeast Asia), and U.S. nuclear weapons policies and programs.

Before coming to Brookings in May 2013, Mr. Einhorn served as the State Department special advisor for nonproliferation and arms control, a position created by Secretary of State Hillary Clinton in 2009. In that capacity, he played a leading role in the formulation and execution of U.S. policy toward Iran's nuclear program, both with respect to sanctions and negotiations between Iran and the P5+1 countries. He also helped shape the Obama administration's overall approach to nonproliferation, supported nonproliferation goals through diplomatic contacts with China, Russia and key non-aligned countries and addressed nuclear security and strategic stability challenges in South Asia. He played a key role in the development of the 2010 Nuclear Posture Review and served as U.S. delegation head in negotiations with South Korea on a successor civil nuclear agreement.

Between 2001 and 2009, Mr. Einhorn was a senior advisor at the Center for Strategic and International Studies, where he directed the CSIS Proliferation Prevention Program. Before coming to CSIS, he was assistant secretary of state for nonproliferation (1999-2001), deputy assistant secretary of state for political-military affairs (1992-1999), and a member of the State Department policy planning staff (1986-1992). Between 1972 and 1986, he held various positions at the U.S. Arms Control and Disarmament Agency, including ACDA's representative to the strategic arms reduction talks with the Soviet Union. In 1984, he was an international affairs fellow at the Council on Foreign Relations.

Mr. Einhorn has written extensively in the area of arms control and nonproliferation. He authored Negotiating from Strength: Leverage in U.S.-Soviet Arms Control Negotiations (1984), co-edited Protecting against the Spread of Nuclear, Biological, and Chemical Weapons: An Action Agenda for the Global Partnership and The Nuclear Tipping Point: Why States Reconsider their Nuclear Choices, and published numerous articles in such journals as Survival, The National Interest, Foreign Policy, Arms Control Today, The Washington Quarterly, The Nonproliferation Review, and Yaderny Kontrol.

Mr. Einhorn holds a B.A. in government from Cornell University and a M.A. in public affairs and international relations from the Woodrow Wilson School at Princeton University.

山名 元 京都大学 原子炉実験所教授

Prof. Hajimu Yamana, The Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI)



京都大学原子炉実験所教授。専門は、核燃料サイクル工学と関連するアクチニド化学。1953年、京都生まれ。1981年、アクチニド元素の放射化学研究により、東北大学工学博士を取得。1981年、動力炉・核燃料開発事業団(現、日本原子力研究開発機構)に入社し、東海再処理工場にて再処理技術開発に参加。1981年から1990年まで、PUREX 再処理技術に関わる化学と工学の研究に従事。1991年から1995年まで、将来の核燃料サイクルの最適化に関わる研究に貢献。1996年、京都大学に移籍し、特に溶融塩中でのアクチニド元素の化学研究を開始。2013年8月、技術研究組合国際廃炉研究開発機構の理事長に就任。

持地 敏郎 日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部長 兼 核不拡散・核セキュリティ総合支援センター 副センター長 **Mr. Toshiro Mochiji**, Director, Department of Science and Technology for Nuclear Material Management (STNM) / Deputy Director, Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security (ISCN), JAEA



1980 年名古屋大学工学研究科原子核工学専攻修士課程修了、同年動力炉・核燃料開発事業団に入社し、再処理回収ウラン転換試験に従事。1988 年より企画部勤務後、1991 年外務省国際連合局原子力課に出向し、IAEA 保障措置、OECD/NEA 関係業務を担当、その後1993~1995 年、在米国日本大使館科学班にて専門調査員として米国の核不拡散情勢の調査・分析に従事。帰国後、Pu の国際管理、透明性向上など、核不拡散業務に従事した後、東京事務所次長、核不拡散科学技術センター次長を経て、2007 年より3 年間、ウィーン事務所長に就任。2010 年帰国後、現在、核物質管理科学技術推進部(旧、核不拡散科学技術センター)の部長として核不拡散政策、技術開発、保障措置、核物質防護等、核不拡散・核物質管理業務を推進。

パネル討論2

田中 知 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授

Prof. Satoru Tanaka, Department of Nuclear Engineering and Management, School of Engineering, The University of Tokyo



『略歴』

昭和47年 東京大学工学部原子力工学科卒業 昭和49年 東京大学工学系大学院修士課程修了(原子力工学) 昭和52年 東京大学工学系大学院博士課程修了(原子力工学)(工学博士) 昭和52年 東京大学工学部助手(原子力工学科) 昭和56年 東京大学工学部助教授(工学部付属原子力工学研究施設・茨城県東海村) 平成6年 東京大学大学院工学系研究科教授(システム量子工学専攻) 平成20年 東京大学大学院工学系研究科教授(原子力国際専攻)

平成 23 年度 **『研究分野』**

核燃料サイクル、放射性廃棄物管理、原子力と社会、核融合工学、核不拡散工学

日本原子力学会会長

ディヴィス ハート IAEA 東京事務所長

Mr. Davis Hurt, Head of the IAEA Tokyo Regional Office

クリストフ グゼリ 在日フランス大使館 原子力参事官

Mr. Christophe Xerri, Nuclear Counsellor at the Embassy of France in Japan

イル ソン ホワン 韓国ソウル国立大学工学部教授

Prof. Il Soon Hwang, Department of Nuclear Engineering, School of Energy Systems Engineering, Seoul National University, Republic of Korea



Professor II Soon Hwang, a nuclear energy specialist, with Ph.D. in Nuclear Materials Engineering from MIT, M.S. in Mechanical Science from Korea Advanced Institute of Science and Technology and B.S. in Nuclear Engineering from Seoul National University, has expertise in nuclear materials, nuclear plant integrity, nuclear waste transmutation and nuclear non-proliferation. He has led Korean implementation of IAEA Periodic Safety Review (PSR) and the development of the advanced nuclear waste partitioning and transmutation technology, known as PEACER-PyroGreen, while serving as the Director of Nuclear Transmutation Energy Research Center of Korea and as a member of the Korea National Academy of Engineering. He chairs or co-chairs IAEA Advanced Partitioning Expert Group, OECD-NEA Task Force on Lead-alloy Coolant Technology (LACANES), the International Workshop on Nuclear Pyroprocess (NUPYRO), the Forum on Climate Change and Energy Policy, the Nuclear Power Infrastructure Development Seminar (NUPID), the Summit of Honor on Atoms for Peace and Environment (SHAPE), an advisory committee for the Seoul Nuclear Security Summit 2012. He serves as the Vice President of the Korea Nuclear Policy Society, as a member of the Leadership Council of International Forum on Reactor Aging Management (IFRAM) and as a member of the editorial board of International Journal for Nuclear Energy Management as well as an advisory member for the Asia Pacific Leadership Network (APLN). He has been serving as international reviewer for national nuclear R&D programs of Japan, Germany, U.S.A. as well as Korea. Currently he is a member of legal organizations including the Korean Civic Legislation Committee, Korean Commercial Arbitration Board and the Advisory Committee on Reactor Safeguards of the Korea Nuclear Safety & Security Commission. He was decorated with Cavaliere dell'Ordine al Merito della Repubblica Italiana (Italian Knighthood Medal) by the Italian President for excellence in scientific collaboration.

He lives in Seoul with his wife and three daughters.

安 俊弘(アン ジョンホン) カリフォルニア大学バークレー校原子カエ学科副部長・教授

Prof. Joonhong Ahn, Professor and Vice Chair, Department of Nuclear Engineering, University of California, Berkeley



Professor Joonhong Ahn received his doctoral degrees from UC Berkeley (PhD, 1988) and University of Tokyo (D.Eng., 1989), and joined the faculty of UC Berkeley in 1995. His research focuses on performance assessment for advanced nuclear fuel cycles and geological disposal of radioactive wastes, including: (1) mathematical modeling and computational analyses for performance assessment of geological disposal of radioactive wastes, in which radiological risk and criticality safety are quantitatively evaluated as performance metrics, by particularly focusing on radionuclide transport through a geological medium and engineered barriers and long-term evolution of engineered-barrier materials, and (2) analysis of mass-flow in advanced nuclear fuel-cycle systems. These two are being combined to optimize the nuclear-power system from the viewpoint of risk minimization by exploring relationship between the fuel-cycle system parameters and geologic repository performance. He has also been active in the field of Science-Technology-Society interaction in the back-end of fuel cycle, particularly after the Fukushima accident. He led numerous joint research projects with institutions of Japan, South Korea, US, and IAEA.

Honors and Awards:

In March 2012, he received the Outstanding Achievement Award from Division of Nuclear Fuel Cycle and Environment, Atomic Energy Society of Japan, Tokyo, Japan, together with 6 other co-authors, for the book entitled "Engineering for Radioactive Waste Management" published in February 2011.

In June 2011, he was granted Minner Faculty Fellow in Engineering Ethics and Professional/Social Responsibility from College of Engineering, UC Berkeley.

In 2007, he became a fellow of School of Engineering, University of Tokyo.

久野 祐輔 日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部次長/東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授(委嘱)

Dr. Yusuke Kuno, Deputy Director, JAEA/STNM / Professor (appointed), Nuclear Non-Proliferation Research Laboratory, Department of Nuclear Engineering and Management, School of Engineering, The University of Tokyo



旧動力炉・核燃料開発事業団(旧核燃料サイクル開発機構)にて 20 年にわたり再処理工場の分析所に勤務、同工場における IAEA 保障措置対応体制の確立を始め多くの保障措置技術開発、分析技術開発に携わった。またピューレックス再処理プロセスの安全性に係る基礎化学的研究にも従事。1986-1987年に英国 UKAEA のハーウェル研究所およびドーンレイ原子力開発事業所に研究員として留学。東海再処理工場の分析課長を経て、1999年から7年間にわたりIAEA に勤務。IAEA では保障措置分析所(サイバースドルフ)所長として核物質申告値検認のための分析並びに未申告活動の有無を検証するための環境サンプリングのための分析業務に従事した。その間、イラク、イラン、リビアなどの国々における未申告活動の疑惑事象の解明に深く関与した。2006年7月より日本原子力研究開発機構(JAEA)に勤務。現在、同機構の核物質管理科学技術推進部次長(研究主席)。東京大学大学院工学系研究科教授(原子力国際専攻委嘱)を兼任。工学博士(東京大学一放射線化学/核物質分析)。東京大学主催「国際保障学研究会」副主査。

閉会挨拶

·**遠藤 哲也** 日本国際問題研究所 特別研究員、元原子力委員長代理

Mr. Tetsuya Endo, Ambassador, Adjunct Senior Fellow, The Japan Institute of International Affairs / Former Vice Chairman, Atomic Energy Commission of Japan

田中 知 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授

Prof. Satoru Tanaka, Department of Nuclear Engineering and Management, School of Engineering, The University of Tokyo

1

3

国際フォーラムパネル1

(12月3日(火)14:00~17:00)

Panel Discussion 1 in International Forum

Date and Time: 3 December, 14:00-17:00

2

- タイトル「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、今後の核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティの確保」
- テーマ「東電福島第一原子力発電所事故を踏まえた、核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・ 核セキュリティ方策」

Title: "Measures to ensure nuclear nonproliferation and nuclear security of the nuclear fuel cycle back end"

Theme: "Nuclear non-proliferation and nuclear security measures of nuclear fuel cycle options in consideration of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station"

4

論点1:東電福島第一原子力発電所事故の原子力利用 への影響

√原子力事故が国際的な原子力動向や日本の原子力 計画の履行に与える影響

論点2:核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核 セキュリティ確保の課題と対応方策

- ✓ 核燃料サイクルオプションに係る核不拡散・核セキュリティ上のリスク(短期及び長期)
- ✓ オープンサイクルにおける核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策
- ✓ クローズドサイクルにおける核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策

Discussion Points 1: Impacts of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on nuclear energy utilization

✓ Impacts of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (the Accident) on global trends in nuclear energy utilization, including the US and France, especially on Japan's nuclear energy programs

Discussion Points 2: Challenges and necessary measures for ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security of fuel cycle options

- Open and closed fuel cycle options: Short- and long- term nuclear non-proliferation and nuclear security risks of both options
- Open fuel cycle option: Challenges and necessary measures for ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security
- Closed fuel cycle option: Challenges and necessary measures for ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security

- 座長:
 - 遠藤 哲也 日本国際問題研究所 特別研究員、元原子力 委員長代理
- パネリスト:
 - トーマス カントリーマン 米国 国際安全保障・不拡散担当 国務次官補
 - ロバート アインホーン ブルッキングス研究所 上級研究員
 - ディヴィス ハート IAEA東京事務所長
 - クリストフ グゼリ 在日フランス大使館 原子力参事官
 - 山名 元 京都大学原子炉実験所教授
 - 持地敏郎 日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技 術推進部長

Chairperson:

Mr. Tetsuya Endo, Ambassador, Adjunct Senior Fellow, The Japan Institute of International Affairs / Former Vice Chairman, Atomic Energy Commission of Japan

Panelists:

- Mr. Thomas Countryman, Assistant Secretary of State for International Security and Nonproliferation, United States
- Mr. Robert Einhorn, Senior Fellow, Brookings Institution
- Mr. Davis Hurt, Head of the IAEA Tokyo Regional Office
- Mr. Christophe Xerri, Nuclear Counsellor at the Embassy of France in Japan
- Prof. Hajimu Yamana, The Kyoto University Research Reactor Institute (KURRI)
- Mr. Toshiro Mochiji, Director, Department of Science and Technology for Nuclear Material Management (STNM), JAFA

第1論点

原子力事故が国際的な原子力動向や日本の原子力 計画の履行に与える影響

- ✓「福島第一原子力発電所事故の教訓と対応」について 紹介
 - 原子力事故の教訓
 - 我が国における原子力規制委員会の設置
 - 安全基準の厳格化
 - 核セキュリティに係る教訓と課題等

9

Discussion Points 1

Impacts of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on nuclear energy utilization

- ✓Introduction of Lessons and Responses on the Accident
 - **Lessons from the Accident**
- Establishment of Nuclear Regulation **Authority (NRA)**
- Strengthening of nuclear safety regulations and standards
- Lessons and Responses on Nuclear security

第1論点(続き)

原子力事故が国際的な原子力動向や日本の原子力 計画の履行に与える影響

- ✓「核セキュリティへの関心の高まり」について
 - 原子力事故と同様の事象がテロによっても起こ り得ることへの懸念

Discussion Points 1 (Cont.)

Impacts of the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station on nuclear energy utilization

- ✓ Growing interests in strengthening nuclear nonproliferation and nuclear security measures
- Concerns about possibilities of the consequences of similar magnitude being caused by terrorists' attacks

第1論点(続き)

質問1

福島原子力事故後の核セキュリティ・核不拡散の課題

質問2

核セキュリティ・核不拡散における我が国の責務

質問3

核セキュリティ・核不拡散における世界からの期待

13

Discussion Points 1 (Cont.)

Questions 1:

What nuclear non-proliferation and nuclear security issues should the world tackle after the Accident?

Questions 2:

What is Japan's responsibility in terms of 3S?

Questions 3:

What roles does the international community expect Japan to play in the area of nuclear non-proliferation and nuclear security?

14

第2論点

核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策

✓ 核燃料サイクルオプションに係る核不拡散・核セキュリティ上のリスク

15

Discussion Points 2

Challenges and necessary measures for ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security of fuel cycle options

✓Introduction to nuclear proliferation and nuclear security risks within fuel cycle options

16

第2論点(続き)

オープンサイクルにおける核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策

質問1

処分場閉鎖前の保障措置アプローチに対する課題と 方向性(設計期、建設期、運転期における課題)

質問2

処分場閉鎖後、長期に渡る制度的な3S確保(回収可能性・可逆性の留保、情報・技術の継承)

17

Discussion Points 2 (Cont.)

Questions 1:

What are necessary measures to ensure nuclear non-proliferation for spent fuel repositories? (preconstruction and operation phases)

Questions 2:

How to ensure "3S" (Safeguards, security and safety) of the repository over the long term? (What Safeguards approaches and nuclear security measures are possible in order to reserve reversibility and retrievability of spent fuel from a geological repository?

How to pass necessary information and technologies on the repository down the generations?)

第2論点(続き)

核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策

- ✓ クローズドサイクルにおける核不拡散・核セキュ リティ確保の課題と対応方策
 - 日本における核燃料サイクル課題の見通しに ついて紹介

19

Discussion Points 2 (Cont.)

Challenges and necessary measures for ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security of fuel cycle options

- √ Closed fuel cycle option: Challenges and necessary measures for ensuring nuclear nonproliferation and nuclear security
 - Introduction of Prospects for the fuel cycle issues in Japan

20

第2論点(続き)

クローズドサイクルにおける核不拡散・核セキュリティ確保 の課題と対応方策

質問1

クローズドサイクルにおける核拡散・核セキュリティ上のリスク(短期的、長期的)と効果

質問2

クローズドサイクルを実施する上で、核不拡散、核セキュリティ上の対応

21

Discussion Points 2 (Cont.)

Questions 1:

What are nuclear proliferation and nuclear security risks of closed fuel cycle both in short and long terms?

What are possible measures to reduce such risks?

Questions 2:

What nuclear non-proliferation and nuclear security measures are effective and feasible for promoting closed fuel cycle?

22

第2論点(続き)

核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策

- ✓ クローズドサイクルにおける核不拡散・核セキュリティ確保の課題と対応方策
 - フランスにおける核燃料サイクル政策について 紹介

Discussion Points 2 (Cont.)

Challenges and necessary measures for ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security of fuel cycle options

- ✓ Closed fuel cycle option: Challenges and necessary measures for ensuring nuclear non-proliferation and nuclear security
 - Introduction of French nuclear fuel cycle's policy

24

第2論点(続き)

大型の再処理施設やプルトニウム燃料製造施設への保障措置の適用・核セキュリティの確保 質問1

プルトニウム取扱い施設の保障措置は十分か

質問2

核セキュリティ強化に係る今後の方向性と各国への 期待

25

Discussion Points 2 (Cont.)

Delineate possible Safeguards and nuclear security measures for closed fuel cycle facilities, including large scale reprocessing and plutonium fuel production facilities

Questions 1:

Is Safeguards for plutonium handling facilities sufficient?

Questions 2:

What are goals for nuclear security and expectations for each country?

26

第2論点(続き)

プルトニウムの取扱いに対する核不拡散・核セキュリティ 確保のための措置

質問3

核不拡散・核セキュリティの観点からのプルトニウム の取扱い

27

Discussion Points 2 (Cont.)

Necessary nuclear non-proliferation measures for plutonium management

Questions 3:

Plutonium management from the view point of nuclear non-proliferation and nuclear security

28

パネル1の質疑と全体まとめ

- フロアからの質疑
- 議論のまとめ

29

Questions from floor and summary of the panel discussion 1

- Questions from floor
- Summary of the Panel Discussion 1



福島第一原子力発電所事故の 教訓と対応

日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部長 持地 敏郎



The Fukushima Daiichi Nuclear Accident: Lessons and Responses

Toshiro Mochiji Director Department of Science and Technology for Nuclear Material Management JAEA

(JAEA)

1. 福島原子力発電事故の教訓

再発防止等に係る提言(政府事故調)

- 1.安全対策・防災対策の基本的視点
- 2.原子力発電の安全対策
- 3.原子力災害に対応する態勢
- 4.被害の防止・軽減策
- 5.国際的調和
- 6.関係機関の在り方
- 7.継続的な原因解明・被害調査

JAEA

Lessons from the Accident

Recommendations of the government-appointed panel

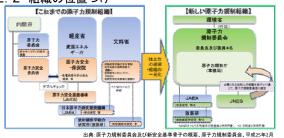
- 1. Basic stance for safety measures and emergency preparedness
- 2. Safety measures regarding nuclear power generation
- 3. Nuclear emergency response systems
- 4. Damage prevention and mitigation
- 5. Harmonization with international practices
- 6. Relevant organizations
- Continued investigation of accident causes and damage

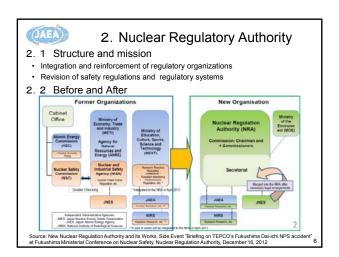
.

JAEA

2. 原子力規制委員会・規制庁の設置

- 2.1 組織の特徴と主な役割
- 関係組織の一元化及び機能強化
- ・ 原子力安全のための規制や制度の見直し
- 2.2 組織の位置づけ







3. 新たな規制基準

3.1 新基準の背景

• 国会及び政府事故調が指摘した課題

シビアアクシデント対策、バックフィットの不備、海外の知見の導入などの安全向上を目指す姿勢の欠如、地震や津波に対する安全評価等の総合的なリスク評価、及び規制に係る一元的な法体系

→これらを規制対象に追加

• 新基準の策定経緯と特徴

発電用原子炉

- ✓ 2012年10月~2013年5月 関係者へのヒアリングとパブリックコメント 2013年7月 施行
- ✓ 設計基準の強化、耐震・耐津波性能の強化、シビアアクシデント・テロ対策 (新設)

核燃料施設等

- ✓ 2013年4月~2013年10月 関係者へのヒアリングとパブリックコメント
- ✓ 2013年12月 施行(予定)
- ✓ 施設ごとに基準を策定、重大事故対策の導入(再処理、加工施設)

(JAEA)

3. New Regulatory Requirements

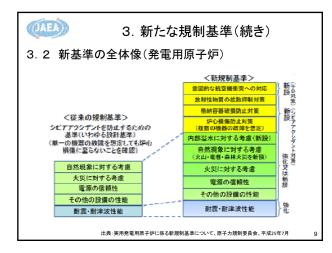
3. 1 Backgrounds

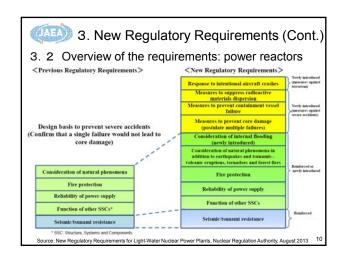
- Key issues pointed by Diet's and Government's investigation measures against severe accident, back fit system, attitude toward new developments in overseas, comprehensive safety assessment on earthquake and tsunami, unified regulatory legislation
 - → all of the above is added to the new requirements

· New requirements

for power reactor

- ✓ October 2012-May 2013 hearing and public comments
- ✓ July 2013 entry into force
- ✓ strengthen design basis; strengthen seismic and tsunami standards; established countermeasures for severe accident and terrorist attack
- for other facilities such as nuclear fuel facilities
- ✓ April 2013-October 2013 hearing and public comments
- ✓ December 2013 entry into force (expected)
- ✓ set standards for each facilities and established countermeasures for severe accidents in reprocessing and fabrication facilities





JAEA

4. 核セキュリティに係る教訓と課題

4.1 核セキュリティに係る教訓

- 原子力施設に対するテロリストの関心の増大
- 原子炉等の防護に加え、電源設備、原子炉や使用済燃料プールの冷却設備 の防護の強化
- 従業員等がテロ行為を行うことも想定
- 緊急事態における核セキュリティ活動の強化

4.2 核セキュリティ上の課題

- 侵入の早期検知
- テロ行為の遅延
- ・ 防護すべき設備の耐性向上
- 防護体制の整備
- 緩和策等の準備
- 訓練及び評価の実施
- 内部脅威対策

省令改正

- ・実用発電用原子炉の設置、運転 等に関する規則(原子力安全・保 安院、2011年12月,2012年3月)
- 使用済燃料の再処理、核燃料物 質の加工、使用及び研究炉等に 関する規則(原子力安全・保安院、 文部科学省、2012年3月)

4. Lessons and Responses: Nuclear Security

Lessons

- · Increased interest of terrorists in nuclear facilities
- · Reinforcing protection of facilities relating to power supply and cooling of reactors and spent fuel pools as well as nuclear power reactors
- · Assuming that employees may act as terrorists
- · Reinforcing security activities in an emergency

4. 2 Tasks and responses

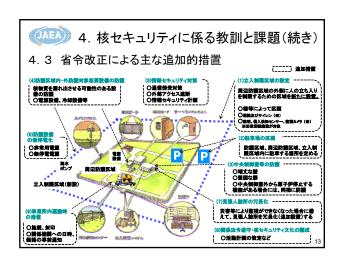
- Early detection of intruders
- · Delaying terrorist attack
- Toughening components that should be protected
- Improving physical protection system
- Preparing to mitigate accidents
- Training and assessment
- · Countermeasures for Insider threat

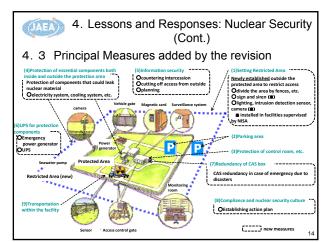
Revision of ministerial ordinances

•Dec. 2011 and Mar. 2012: NISA amended Regulations Concerning the Installment, Operation, etc. of Reactors

Mar. 2012: NISA, MEXT amended Regulations Concerning Reprocessing.

Fabrication, Use of Nuclear Fuel Material and Research Reactors etc.





JAEA

4. 核セキュリティに係る教訓と課題(続き)

- 4. 4 核セキュリティ強化に係る主な検討課題
- 信頼性確認制度の導入
- ・関係組織間の責任(役割分担)
- ・設計段階からの核セキュリティの考慮
- 核セキュリティ文化の醸成
- ・輸送時の核セキュリティ対策
- ・ 放射性物質及び関連施設の核セキュリティ
- 核セキュリティ事案の検知と対応計画
- 規制上管理を外れた核物質及びその他の放射性物質に関する核セキュリティ

(JAEA)

4. Lessons and Responses: Nuclear Security (cont.)

- 4. 4 Key issues regarding nuclear security
- · Adapting trustworthiness check system
- Division of responsibilities and roles among concerning organizations
- · Nuclear security by design
- · Developing nuclear security culture
- · Nuclear security during transport
- Nuclear security of radioactive materials and associated facilities
- Plans of detection and response to nuclear security incidents
- Nuclear security of nuclear materials and other radioactive materials that are out of regulatory control

. .

(JAEA)

5. 今後の動向

5.1 新規制基準適合性に係る審査

• 発電用原子炉

PWR 24基中、12基について審査中 BWR 26基中、2基について審査中(福島第1原子力発電所1号機 ~4号機を除く)

 核燃料施設 新規制基準施行(2013年12月)後に審査開始予定

5.2 今後の課題

- 核不拡散(保障措置)・核セキュリティの厳格な徹底
- 核燃料サイクル政策に関する透明性の確保
- ・ 核拡散抵抗性技術の開発

(TAEA)

5. Future Prospects

5. 1 Examination based on new safety standards

Power reactors

PWR: of all 24 reactors, 12 are under examination BWR: of all 26 reactors (excluding Fukushima No.1-No.4), 2 are under examination

 Nuclear fuel facilities: will be examined after a new regulatory requirements enter into force (expected to be in December 2013)

5. 2 Further tasks

- Stricter nuclear nonproliferation/safeguards and nuclear security measures
- Securing transparency of nuclear fuel cycle policy
- · Developing proliferation-resistant technology



Nuclear proliferation and nuclear security risks within fuel cycle options

Toshiro Mochiji Director

Department of Science and Technology for Nuclear Material Management

JAEA

* The following pages are an excerpt from the document "Technical options of nuclear fuel cycle: Summary of the first step", prepared for the 9th meeting of the Technical Subcommittee on Nuclear Power, Nuclear Fuel Cycle, etc, established within Japan Atomic Energy Commission and does not reflect any view of JAEA.

Discussion on nuclear proliferation and nuclear security risks in once through (direct disposal) and closed cycle (reprocessing)

Proliferation: Proliferation risk is at its lowest level in oncethrough (direct disposal of spent fuel) option, followed in the order of MOX recycle, FR, and FBR options. Therefore advanced safeguards are required for closed fuel cycle option.

- In case of once-through option, as spent fuel contains plutonium, long-term Safeguards is required even after a geological disposal.
- In case of recycling option that produces separated plutonium, plutonium inventory management is a key element. In FBR option, challenging issue is plutonium containing high quantities of fissile material produced from FBR. Despite of R&D of proliferation-resistant technology for reprocessing, its effectiveness is debatable.

Source: Technical options of nuclear fuel cycle: Summary of the first step, The 9th meeting of Technical Subcommittee on Nuclear Power, Nuclear Fuel Cycle, etc. (in Japanese), The Japan Atomic Energy Commission (English translation by 1661).



Discussion on nuclear proliferation and nuclear security risks in once through and closed cycle (Cont.)

<u>Nuclear security</u>: Nuclear security risk is is at its lowest level in once-through (direct disposal of spent fuel) option while the recycling, FR, and FBR options need stricter nuclear security measures.

- In case of once-through option, nuclear security risk is relatively low since access to spent fuel in a geological repository is difficult for almost 100 years.
- In case of MOX recycling and FR/FBR, increased usage and storage of separated plutonium and transportation of plutonium would cause higher risk of nuclear terrorism and require stricter nuclear securities measures.

Source: Technical options of nuclear fuel cycle: Summary of the first step, The 9th meeting of Technical Subcommittee on Nuclear Power, Nuclear Fuel Cycle, etc. (in Japanese), The Japan Atomic Energy Commission (English translation by

Prospects for the fuel cycle issues in Japan

Research Reactor Institute, Kyoto University International Research Institute for Nuclear Decommissioning

Hajimu Yamana

Major subjects of discussion addressed in basic policy subcommittee

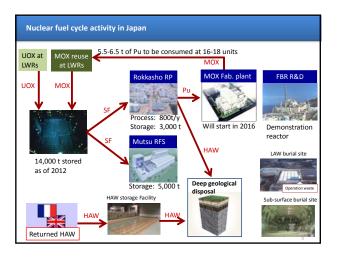
- 1. Strengthening of accident prevention scheme
- 2. Reinforcement of the safety assurance culture of utility companies
- 3. Fostering of human resources
- 4. Recovery of the public's trust to the nuclear policy
- 5. Future support to local municipalities that have contributed to nuclear power
- 6. Solutions to the issues of accumulating spent nuclear fuels and high level wastes, as well as delay in the implementation of deep geological disposal
- 7. Revision of the nuclear fuel cycle policy, which is suffering a serious delay, as seen in Rokkasho Reprocessing Plant and FBR Monju
- 8. Contribution to the world, in terms of safety, non-proliferation, and security
- 9. Contribution to the world's peaceful nuclear utilization, in view of the growing nuclear capacity
- 10. Definition of nuclear business operation, in the context of enhanced safety regulation and ongoing electricity reform

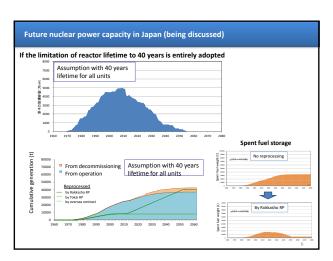
Advantage of the Closed Fuel Cycle in Japan Generally Not recognize the spent LWR fuels as wastes, but put importance on its potential as fuel, to enhance the sustainability of nuclear power. Keep the potential technology for the future uncertainty in terms of resource security and waste management Specifically Save ca. 15 to 20 % of U-235 demand (MOX recycling to LWR) To facilitate deep geological disposal Reduce the volume of HLW Reduce the heat generation of HLW More stabilized form of HLW Reduce the number of the stored spent fuels (to 1/8 or 1/7 by MOX recycling) More flexibility in Plutonium management Reduce the long-lived radiological toxicity by recycling it to the Gen-IV reactor

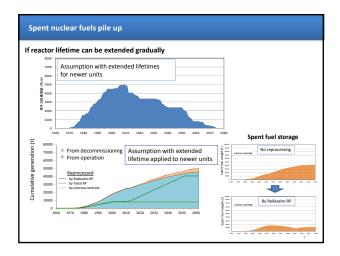
Cooperation by municipalities Place a higher premium on the understanding and acceptance on the fuel cycle

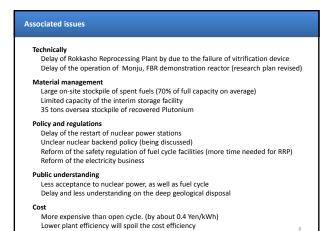
facility (Rokkasho complex) by Aomori Prefecture











Safeguard and security are necessary to take the advantage of the closed cycle

Safeguard of Rokkasho Reprocessing Plant

Evaluation by LASCAR

Implementation of advanced safeguard measures

NRTA

OSL (Analytical labo. for authentication)

Solution monitoring (Process parameter monitoring)

IIV taking Pu monitor

r u momto

Security issues

- By the reformed nuclear safety regulation, strengthened design basis for external incidents are strongly required.
- In addition to the natural phenomena, human-caused incidents like airplane crush and loss of external power supply would be potential threat. Terrorism or sabotage may be a greater potential risks.
- sabotage may be a greater potential risks.

 Strengthened Defense-in-Depth of the system will be necessary to achieve the robustness of the plant against the human-caused threat.
- This will improve the reliability of the nuclear power system, in terms of gaining public trust and of avoiding political controversy.

Necessary aspects for the recovery of public trust to nuclear power

Understanding the necessity of nuclear power

1. Enhancement of public understanding of the importance of nuclear power for energy security

Safety improvement

- 2. Reinforcement of safety with strengthened "Defense in Depth" $\,$
- 3. Reformed nuclear safety regulation (Nuclear Regulation Authority)
- 4. Operator's voluntary activity to improve safety further

Information

- 5. Disclosure information in a proper way
- 6. Transparency of the power generation business

Radiation safety

- 7. Improvement of public understanding of radiation safety
- 8. Calming exaggerated media reports

Scientific trust

9. The necessity of an independent academic authority

International concern

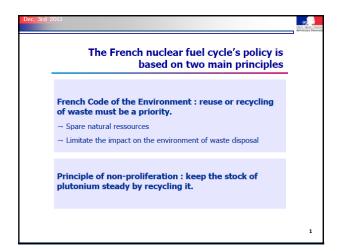
Early commissioning of Rokkasho Plant is desired, and result of the Large Scale Reprocessing Plant Safeguards (1988-1992) upon the effectiveness of the safeguard of large reprocessing plant should be verified.

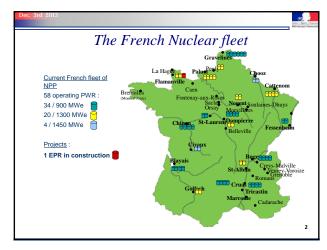
Early consumption of 35 tons of Plutonium stockpile in Europe (France and UK) is expected, even though with the delayed restart of the nuclear power stations as well as of the MOX loading. Associated surface transportation of MOX fuels will be frequent.

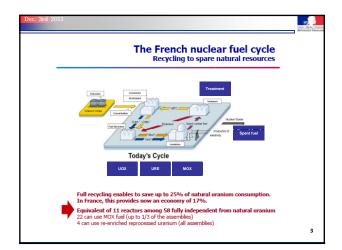
Japan-US nuclear cooperation agreement is supposed to expire in 2018

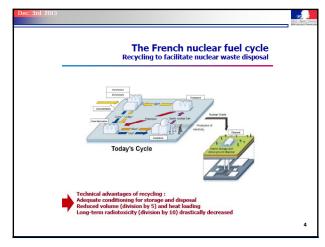
Japan has been granted with advance programmatic consent for reprocessing and the retransfer of the items subject to the agreement to another state.

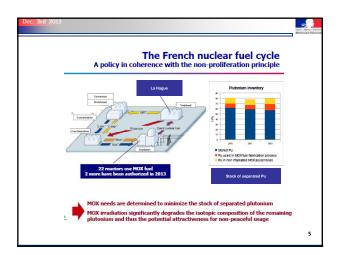
After the accident of Fukushima-Daiichi NPP and the subsequent undesirable incidents, world's concern is focusing on the reliability of government's governance on the nuclear operations in Japan.













国際フォーラム パネル討論2

Panel Discussion 2

4 December, 9:30-12:00

テーマ:

「核燃料サイクルのオプションに係る核不拡散確保 のための保障措置や技術的措置の役割」

Theme:

Roles of Safeguards and technical measures for ensuring nuclear nonproliferation for nuclear fuel cycle options

座長: Chairperson:

田中 知 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授

Prof. Satoru Tanaka, Department of Nuclear Engineering and Management, School of Engineering, The University of Tokyo

パネリスト: Panelists:

- <u>ディヴィス・ハート</u> IAEA東京事務所長

Mr. Davis Hurt, Head of the IAEA Tokyo Regional Office

クリストフ・グゼリ 在日フランス大使館 原子力参享官

Mr. Christophe Xerri, Nuclear Counselor at the Embassy of France in Japan

イルソンファン ソウル国立大学教授

Prof. II Soon HWANG, The Seoul National University, the Republic of Korea

安 俊弘 カリフォルニアパークレイ校原子カエ学科教授 Prof. Joonhong Ahn, Professor and Vice Chair, Department of Nuclear

Engineering, University of California, Berkeley − <u>久野 祐輔</u> 日本原子力研究開発機構 核物質管理科学技術推進部次長

Dr. Yusuke Kuno, Deputy Director, Department of Science and Technology for Nuclear Material Management (STNM), Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

論点1:クローズドサイクルとオープンサイクルにおける保障措置技術の役割 ssion Point 1:Roles of Safeguards technologies for closed and open fue cycle facilities

イントロダクション (Introduction)

クローズドサイクルとオープンサイクルにおける保障措置の役割と技術に関するIAEAと日仏の取組みと課題について、以下の内容についてパネリストから紹介

IAEA's efforts to develop Safeguards approach for closed and open fuel cycle facilities. Japan's and France's efforts for IAEA safeguards and challenges, and possible measures to overcome such challenges. Following topics will be presented by the panelists.

・クローズドサイクルとオープンサイクル両者に関連する原子力施設への保障 措置適用に関するIAEAの取組

- •IAEA's effort for Safeguards applied to closed and open fuel cycle facilities
- •クローズドサイクルに適用される保障措置に対する我が国の対応
- Japan's efforts for Safeguards measures and technologies for closed fuel cycle facilities
- ・使用済燃料の直接処分(オープンサイクルでの使用済ウラン燃料、クローズドサイクルでの使用済MOX燃料等)に関する保障措置アプローチ検討と技術開
- •Safeguards approaches for direct disposal of spent uranium and MOX fuels 2

<u>論点1</u>:クローズドサイクルとオープンサイクルにおける保障措置技術の役割 cussion Point 1: Roles of Safeguards technologies for closed and ope cycle facilities

議論(Discussions)

- 保障措置は重要、特に機微技術をあつかう核燃料サイクル(短期)には有効
- From non-proliferation perspective, Safeguards is important and effective especially for nuclear fuel cycle facilities with sensitive technologies.
- 今後どのような保障措置技術開発を進めるべきかについても議論
- In this respect, we should now discuss what Safeguards technologies we
- しかし長期的に核拡散リスクを残す直接処分においては、保障措置に限界はないか、長期にわたって有効という保証はない)?直接処分では保障措置を短中期に有効な対策と考え、長期的には、より抵抗性(物質・技術的困難性)に重点を置いた対応が必要ではないか。
- However, the direct disposal of spent fuel has proliferation risks on a long-term basis because there is limitation of Safeguards (no guarantee that effectiveness of safeguards can be maintained over a long period of time). Considering these aspects of the long-term nuclear activities such as direct disposal of spent fuel, we should consider that safeguards is effective measures in short/medium term, but need to focus on proliferation resistant including reducing material attractiveness and technical difficulties in long-

質問(Questions)

- 質問1:保障措置強化と効率化を同時に進めるための技術として何が必要か?
- Q 1: both What kinds of Safeguards technologies are required for promoting strengthening and efficiency of Safeguards?
- 再処理などの大規模な機敏技術施設を有する国に対する保障措置(保障措置制度・技術の進化がどのように活きるか)? 質問2:
- 0.2 How can IAEA Safeguards systems and technologies contribute to the Safeguards in a state that has large-scale nuclear facilities with sensitive technology, such as reprocessing plant?
- 質問3: 核不拡散確保のための原子力新興国への保障措置技術協力と原子カメーカーの役割は?
- Q 3: What are roles of developed nuclear energy countries and their nuclear industries in emerging nuclear energy states for ensuring nuclear non-proliferation? What kind of assistance should they make available in the area of Safeguards?
- 賞問4:使用済燃料直接処分における保障措置の限界は?
- Q 4: Does Safeguards have an unlimited effectiveness even in the direct disposal of spent fuel?
- 質問5: Puグレード別扱いの可能性の考え方の必要性・導入可能性は?
- Is it possible to introduce a concept of the differentiated safeguards approach based on graded plutonium? Q 5:

鱠点2:核不拡散を強化する技術的措置としての核拡散抵抗性向上の取組とプルト ニウム燃焼技術等および国際協力の検討

Discussion Point 2:Technical measures for enhancing nuclear non-proliferation efforts for improving proliferation resistant technologies and technologies for plutonium-burning

イントロダクション (Introduction)

- 短中期的には、クローズドサイクルとオープンサイクルいずれにおいても保 障措置の役割は重要、しかし様々な課題がある。
- In the short- and mid- term, Safeguards is important and effective for both closed and open fuel cycle, although it faces various challenges.
- 一方、長期的には、技術的対応策がより重要性を増す。
- In the long-term, however, proliferation resistance technologies play critical roles for nuclear non-proliferation.



核拡散リスクを低減するための抵抗性技術や国際協力について議論。

Based on such premise, we will discuss possible proliferation resistant technologies which enable to reduce proliferation risks

<u>鱠点2</u>: 核不拡散を強化する技術的措置としての核拡散抵抗性向上の取組とプルト ニウム燃焼技術等および国際協力の検討

<u>Discussion Point 2</u>:Technical measures for enhancing nuclear non-proliferation efforts for improving proliferation resistant technologies and technologies for plutonium-burning

議論(Discussions)

のでは、In order to implement feasible, effective and efficient proliferation resistant measures, following arrangements would be effective and have significance.

•クローズドサイクル: 余剰Puを持たないためにPu消費技術よって補完しつの制度(保障措置)による抵抗性が有効

Closed fuel cycle: Application of Safeguards systems supplemented by technologies for consuming plutonium, which can avoid surplus plutonium accumulation, is effective.

・オープンサイクル・Pu消費や核分裂性プルトニウムの比率を低下させるなどの抵抗性技術が意義を持つ

•Open fuel cycle: Introduction of proliferation resistant technologies, which can consume plutonium and reduce fissile plutonium ratio etc., have significance.

・保障措置、核不拡散分野における国際協力の活用

Promoting international cooperation in the area of nuclear non-proliferation and Safeguards

質問(Questions)

- 質問1:使用済燃料を如何に扱えばよいのか。 クローズドサイクル(リサイクル)の不拡散課題 クローズドサイクル(リサイクル)の不拡散課題に対する方策 オープンサイクル(直接処分)の不拡散課題に対する方策
- Q1: How Spent Fuel should be managed?

Measures against proliferation risk in closed cycle?

- Measures against proliferation risk in open cycle? 質問2:Pu(アクチニド)燃焼・消費という考え方の意義(経済性・産業的成立性を含む)は?
- Q 2What are significance of burning and consuming of plutonium and minor actinides, including their economic justification and industrial feasibility?
- 質問3:核拡散抵抗性向上策の実現に向けた課題は?
- Q 3:What are challenges for improving and implementing proliferation resistant measures and technologies?
- 質問4:核拡散抵抗性向上策を講じた場合のIAEA保障措置の軽減可能性は?
- Q 4: Is it possible to reduce IAEA Safeguards activities by introducing such proliferation resistant measures and technologies into nuclear facilities?

質問(Questions) continued

- 質問5:Pu利用とPu消費という異なった考え方をどうパランスをと るか?
- · Q 5: How do we balance utilization and consumption of plutonium because these are different concepts?
- 質問6:再処理等の国際管理/多国籍管理や地域保障措置は有 効か?
- Q 6: Are international controls and/or multinational approaches to nuclear fuel cycle facilities (MNA), and regional safeguards such as EURATOM safeguards effective for nuclear non-proliferation?

8

パネル2の質疑と全体まとめ Questions from floor and summary of the panel discussion 2

- フロアからの質疑
- · Questions from floor
- 議論のまとめ
- · Summary of the panel discussion 2

Measures Against Proliferation Risk On Closed/Open Fuel Cycle

クローズドおよびオープン燃料サイクルにおける 核拡散リスクへの対応策

Y. Kuno/JAEA

General Proliferation Concerns on Reprocessing 再処理における核拡散の一般的懸念

-Is there sufficient Safeguardability in commercial scale reprocessing plant? 商用規模の再処理において十分な保障措置がなされているか。

For the example of Rokkasho Reprocessing case, the effective/efficient SSAC based on state-of-the-art Safeguards technologies is implemented. Together with the applications of Integrated Safeguards (IS) and State-Level Approach (SLA), State as a whole, Safeguards conclusion is drawn.

最先端の保障措置技術をベースにした効果的・効率的な国内保障措置制度 が導入されている。統合保障措置および国全体としての国レベル保障措置ア プローチの適用も併せ、保障措置結論が導出される。

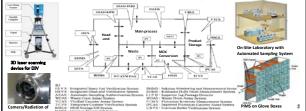
—Is there Realistic Security Concern on civilian use Pu theft /terrorism? プルトニウム民政利用に係る核テロ(プルトニウムの盗取/テロ)は現実的に大 きなセキュリティ懸念か。

Probably Yes, but MOX-form and Reactor Grade Pu may be less attractive for terrorism, although strong security is essential regardless of weapon / non-weapon state 恐らくYesであろうが、テロリズムにとってMOX化された原子炉級のプルトニウム の魅力度は兵器級金属Pulこ比べれば高くないかもしれない(核兵器国、非核兵器国を問わず、強いセキュリテイは不可欠であるが)。

Safeguards for Rokkasho Reprocessing Plant 六ヶ所再処理工場の保障措置

- DIQ/DIV (Design Information Questionnaire /Verification) 設計情報検認
 <u>Dual C/S</u>(Containment / Surveillance; Cameras, Radiation Detectors) 對込め監視

- <u>Votal Cylconiamient</u> y Surveiniante; Cameras, Radiation Detection) **Jacobs** Process Monitoring (Hull Monitoring, Solution Monitoring, Process Inventory Measurement System etc) プロセスモーター(ハル・溶液移送・プロセス在庫用) NRTA (Near Real Time Accountancy) ニア・リアルタイム計畫法 Unattended Mode Inspection, Centralized Collection of Inspection Data 非立会モード重察、中央重察データ集約
- Various NDAs (Non-destructive Assays) さまざまな非破壊測定系 Advanced Accountancy System 先進的な計量システム
- On-Site-Laboratory (Rapid Verification Measurement) オンサイト査察分析所



Pursuing Change in Safeguards 保障措置の変化への追及

- Move further away from narrow, prescriptive, criteriadriven implementation focused at facility-level, towards safeguards implementation focused at the State-level
- More focused, adaptable safequards implementation
- (施設レベルにおいて、狭く、規範的で、クライテリアに 左右される保障措置の実施から、国レベルにフォーカ スした保障措置への移行
- より重点の置かれた、順応性のある保障措置の実施

Implication of Nuclear Nonproliferation on Closed Fuel Cycle (Reprocessing) and Open Cycle (Direct Spent Fuel Disposal) クローズドサイクル(再処理)とオープンサイクル(使用済み燃料直接 処分)における核不拡散の意味合い

Reprocessing-Advantages: Long term - less proliferation risk (reduction of waste volume and toxicity, energy security)

Reprocessing-Disadvantages: Short term - proliferation risk (short term: recycle cost)

Direct disposal-Advantages: Short term - Less proliferation risk (save recycle cost - short term)

Direct disposal –Disadvantages: Long term: Increase in need on safeguards/security (larger waste volume and toxicity)

再処理-長所:核拡散リスク軽減-長期的観点(廃棄物減容、毒性軽 減、エネルギーセキュリティ)

再処理-短所:核拡散リスクが高い-短期的観点(高コスト-短期的)

直接処分-長所:低い核拡散リスク-短期的観点(低コスト-短期的) 直接処分-短所:保障措置・セキュリティ措置ニーズの増大-長期的 観点(廃棄物容量大、毒性高)

Implication of Nuclear Nonproliferation on Closed Fuel Cycle (Reprocessing) and Open Cycle (Direct Spent Fuel Disposal) クローズドサイクル (再処理) とオープンサイクル (使用済み燃料直接 処分) における核不拡散の意味合い Proliferation risk in reprocessing is regarded "high", since Pu is more or less separated in any form. However, total amount of Pu that human being produces would be

- consumed in series by burning recovered Pu. In the end of atomic energy era, amount of remaining Pu in all SFs to be disposed should be much smaller than that of direct disposal option. In addition, quality of final Pu would be lower that practically unusable for weapon (smaller fraction of Pu-239).
- Proliferation risk in direct disposal is regarded "low", since Pu is present in high radiation Fission Products (FPs) . However, Pu in SF from e.g. LWR will be isolated together with only in long term. Quality of such Pu will come close to higher grade. Concerns on Safeguards and Security risk will increase with time.
- .再処理の核拡散リスクは、プルトニウム(Pu)がMOXであれ分離Puであるため一般に 高いとされる。しかし、回収した中を燃焼により消費していけば、原子力利用終焉時には、廃棄すべき全残存Pu量は直接処分に比べ大幅に小さい。また最終的に残存 するPuの質(核分裂性Puの割合)も低下するため、長期的にみれば全体として核不拡散に繋がる。
- 直接処分の核拡散リスクは、高放射性の核分裂生成物(FP)と共に存在するため、 般に低いとされる。しかし、FPはその大部分が短半減期の理由で消失し、最終的には低放射性のPuが(Uと共に)残存する。一方、Puの質は徐々に高まる。結果的に、SF直接処分における核拡散・セキュリティ懸念は時間とともに増大する。

米国におけるプルトニウムのグレード分類の議論 Discussion on Graded Pu in USA (I)

核物質獲得プロセスAcquisition of Materials

 \downarrow

核物質転換プロセス(金属へ)Conversion (to Metallic Phase)

 \downarrow

核兵器製造プロセスWeponization

$$FOM = 1 - \log \left(\frac{M}{800} + \frac{Mh}{4500} + \frac{M}{50} \left[\frac{D}{500} \right]^{\frac{1}{\log 2}} \right)$$

FOM =核物質の魅力度指数Figure Of Merit (Material Attractiveness) M = 金属Puの最低臨界質量Bare Critical Mass of e.g., Pu (kg)

h = Heat Generation from Nuclear Material (e.g. Pu) 金属Puの発熱量 (W/kg)

D = 対象物質から1m離れた地点の放射線量 Dose at 1m from the Matetrial (rad/h)

米国におけるプルトニウムのグレード分類の議論 Discussion on Graded Pu in USA (II)

| FOM | Weapons Utility | Attractiveness | Attractiveness Level† |
|-----|-----------------|----------------|-----------------------|
| > 2 | Preferred | High | ~B |
| 1-2 | Attractive | Medium | ~C |
| 0-1 | Unattractive | Low | ~D |
| < 0 | Unattractive | Very Low | ~E |

- Desirable FOM designations are Low and very low.
- Undesirable FOM designations are High and Medium.

† "Nuclear Material Control and Accountability," U. S. Department of Energy manual DOE M 470.4-6 Chg 1 (August 14, 2006).

‡ Depleted, Enriched, and Normal Uranium; ²³³U; ²³⁸Pu; ²³⁹Pu; ²⁴⁰Pu; ²⁴¹Pu; ²⁴²Pu; ²⁴¹Am; ²⁴³Am; Bk; ²²²Cf; Cm; ²H; Enriched Lithium; ²³⁷Np; Th; ³H; and Uranium in Cascades.

Conclusion: Nonproliferation/Safeguards : Reprocessing and Direct Disposal

結論:再処理および直接処分の核不拡散/保障措置

- NNP for SF direct disposal where required level of safeguards/security should increase with time in long-term. No one may be able to guarantee NNP for SF direct disposal with such institutional systems.
 一方、使用済み燃料直接処分では、短期的には拡散リスクが低いが、時間とともにリスクが増大。長期レンジ(千年~10万年)にわたる制度的対策の持続は保証できるか?

May desire to consider Proliferation Resistance for Spent Fuel disposal 使用済燃料の(直接)処分には核拡散抵抗性(例えば物質の魅力度を下げる)の考慮が望まれる。

Improvement of Long-term **Proliferation Resistance**

Joonhong Ahn

Professor and Vice Chair Department of Nuclear Engineering University of California, Berkeley

December 4, 2013

Panel discussion 2: Roles of safeguards and technical measures for ensuring nuclear non-proliferation for nuclear fuel cycle options

2013 International Forum on Peaceful Use of Nuclear Energy, Nuclear Non-Proliferation and Nuclear Security, December 3-4, 2013 Jiji Press Hall, Tokyo

| Japan's Used Fuel Balance (02/2013) | | | | | | |
|---|--|---------------|--|--|--|--|
| Stored at JNFL (Rokkasho) | 3,350 MT | Vitrified HLW | | | | |
| Stored at NPPs | 14,170 MT | Pu | | | | |
| Overseas reprocessing | 7,100 MT | RepU | | | | |
| Tokai reprocessing | 1,020 MT | to or | | | | |
| TOTAL | 25,640 MT | | | | | |
| 1 Metric Ton (MT) of LWR U Has generated 0.05 GWyr(e Contains 10 kg of Np/Am/P 9 kg of Plutonium, including 1 kg of Neptunium and Ame Generates 1 canister of vitre | Diameter ~ 0.4 m, Height ~ 1.0 m Volume = 150 liter ² | | | | | |

Materials waiting for disposal

- HLW (including TRU wastes from reprocessing)
 - IAEA Safeguard inspection likely to be terminated due to low Pu content
- Used fuel (UO2 or MOX):
 - Subject to IAEA Safeguard inspection
- Pu stockpile
- Reprocessed U
 - Subject to IAEA Safeguard inspection
- · Depleted uranium (DU)
 - Approximately 7 times more mass than fuels
 - Subject to IAEA Safeguard inspection
- Mill Tailings

Pu stockpile → MOX → Disposal

- Costly, but feasible
- Subject to IAEA Safeguard inspection for geological disposal
- Radiological safety of geological disposal
 - Higher TRU contents
 - Greater hear emission
 - · Greater radiotoxicity
 - · Higher heterogeneity in fuel

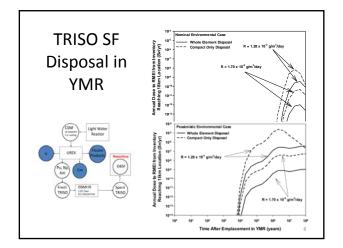
Advanced options for Pu inventory management

- Thermal neutron systems
 - High-Temperature Gas-Cooled Reactor (HTGR)
- Fast neutron systems
 - Fission reactors (SFR, IFR, ...)
 - Accelerator-driven system
 - Fusion
- Deep bore-hole disposal

HTGR as Pu Burner

- thermal efficiency > 40%
- 90 ~ 120 GWday/MT
- Reactor with Inherent safety
 - Negative reactivity coefficient with temperature (stops chain reactions)
 - Low power density and robust fuel forms (cools reactor core naturally)
 No melt down
 No significant radiation release in accident
 Demonstrate with actual test of reactor
- Deep burn of Pu-239
- > 90% of Pu-239 is burnt by once-through
- Possibility for termination of IAEA safeguard inspection for geological disposal
 High durability of graphite-TRISO fuel in virtually any geological conditions
 Relaxation of temperature constraints for engineered barriers in a geological repository (higher density, i.e. smaller footprint; simpler repository design)

| | | Inventro | y Per 1000kg | LWR-C | SNF | | | |
|---------|---------|----------|--------------|-------|--------------|-------|------------|-------|
| | LWR TRU | | Fresh TRISO | | Once Through | | Twice Thro | ugh |
| Nuclide | w/o | kg | w/o | kg | w/o | kg | w/o | kg |
| 237Np | 4.68 | 0.468 | 5.2 | 0.468 | 7.7 | 0.231 | 4.4 | 0.044 |
| 238Pu | 1.35 | 0.135 | 1.5 | 0.135 | 6 | 0.18 | 10.3 | 0.103 |
| 239Pu | 51.3 | 5.13 | 57 | 5.13 | 3.2 | 0.096 | 0.1 | 0.001 |
| 240Pu | 20.7 | 2.07 | 23 | 2.07 | 27.8 | 0.834 | 7 | 0.07 |
| 241Pu | 7.47 | 0.747 | 8.3 | 0.747 | 21 | 0.63 | 5 | 0.05 |
| 242Pu | 4.5 | 0.45 | 5 | 0.45 | 26.5 | 0.795 | 35 | 0.35 |
| 241Am | 8.18 | 0.818 | 0 | 0 | 1 | 0.03 | 3.3 | 0.033 |
| 242mAm | 0.03 | 0.003 | 0 | 0 | 0.1 | 0.003 | 0.5 | 0.005 |
| 243Am | 1.48 | 0.148 | 0 | 0 | 5.3 | 0.159 | 16.7 | 0.167 |
| 244Cm | 0.29 | 0.029 | 0 | 0 | 1.3 | 0.039 | 16 | 0.16 |
| 245Cm | 0.02 | 0.002 | 0 | 0 | 0.1 | 0.003 | 1.7 | 0.017 |
| Total | 100 | 10 | 100 | 9 | 100 | 3 | 100 | 1 |
| | | | | | | | | |
| F | 05.04 | | | | 5.00 | | 0.00 | |



HTGR Deployment

- In an HTGR core, 1.27 MT-(PuAmNp), or 1.13 MT-Pu
 - 5 regions shuffled with a cycle of 300 days
 - 0.2 MT-Pu/year/reactor is consumed.
 - 1GWyr LWR generates 20 MT used fuel, containing 0.2 MT-Pu
- Construction cost ~ \$2,000/kW(e)

Energy MWyr(e

- For a 600MW(th) plant with 50% efficiency (300MW(e)), \$ 600 Million
- 20 reactors → \$12 Billion (1.2兆円)
- Power generation cost ~ 4 cent/kWh(e)

SFR as U burner (or Pu breeder)

- RepU and DU in the blanket → Pu.
- It increases short-term proliferation concern.
 - Creating Stockpile
 - Increasing interest in Pu breeding in emerging countries (technology proliferation)

10

HTGR vs. SFR

- Both the HTGR (utilizing thermal neutrons) and the SFR (utilizing fast neutrons) can destroy Pu, Np and Am. However, the quality of destruction is different.
- The HTGR can burn:
 - rapidly due to high cross sections with thermal neutrons,
- deeply due to very high fuel burnup thanks to high material durability, but
- somewhat incompletely due to unfavorable fission-to-capture ratios.
- The SFR can burn:
 - slowly due to small cross sections with fast neutrons,
 - lightly due to relatively low burnup particularly with metal fuel, but
- completely due to favorable fission-to-capture ratios.
- Thus, it will be ideal to construct a system that integrates both types of reactors.

Accelerator-driven system

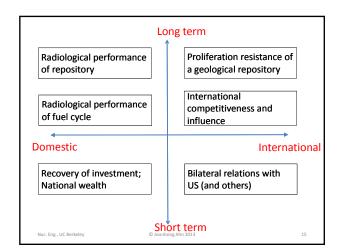
- Suitable for small mass flow (minor actinides)
 - E.g. ATW for Pu+MA after UREX (60 cores for 60 years)
- Double strata fuel cycle
 - Pu cycle as the primary
 - MA cycle as the secondary. ADS is applied for this.
 - 1 ADS for 6 ~ 10 GW
 - MA stockpile issue
 - Thus, not available for all countries
- International fuel cycle is inevitable.

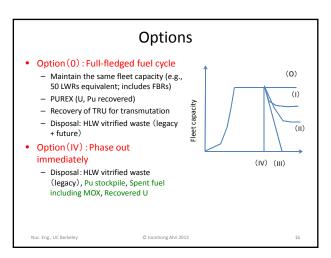
Deep bore-hole disposal No retrievability High proliferation resistance Epistemic uncertainty Criticality safety Radiological safety Radiological safety Suitable for disposal of long-lived FP and U, but not of TRU.

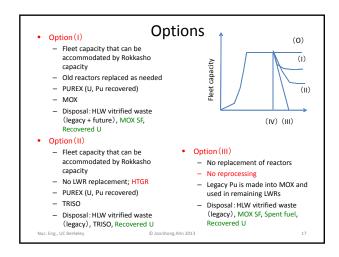
Couplings observed in spent fuel management

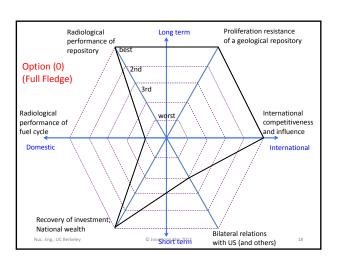
- · Short term (fuel cycle) vs. Long term (disposal)
 - Short term → Long term
 - Overall long-term performance is dependent on short-term options.
 - Long term → Short term
 - Without a plan for repository siting, implementation of short-term options is difficult due to lack of public trust and confidence.
- Domestic vs. International
 - Domestic → International
 - Failure in consuming recovered fissile materials may cause international skepticism.
 - International → Domestic
 - International and bilateral treaties define framework for fuel-cycle options
 - E.g., US-Japan 123 agreement negotiation by 2018

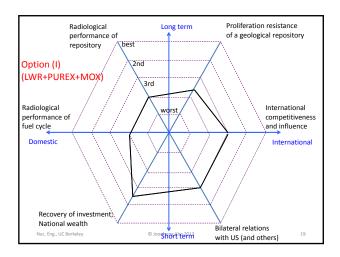
Nuc. Eng., UC Berkeley © Joonhong Ahn 2013 14

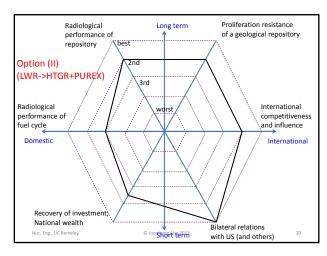


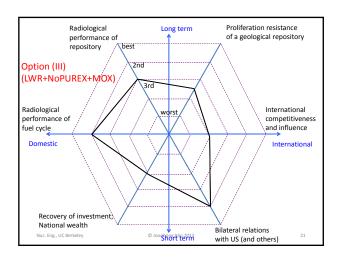


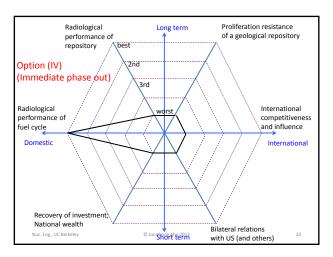












Closing remarks

- Coupling between long-term and short-term proliferation risk is observed.
- Choose options flexibly, as the international and domestic environment evolves.
- International fuel cycle system is inevitable to reduce long-term proliferation risks.

Closing Nuclear Fuel Cycle by Multi-National Approach

Professor II Soon Hwang hisline@snu.ac.kr

Nuclear Fuel Cycle
Advanced Partitioning & Transmutation
Multi-National Approach (MNA)
Summary

Outline

- · Nuclear Fuel Cycle
- Front End Fuel Cycle: Uranium Enrichment
- Back End Fuel Cycle: Advanced Recycling
- Advanced Partitioning & Transmutation
- Multi-National Approach (MNA)
- Summary and Conclusion

Repositories for LILW are accepted, but not for HLW

Volume Reduction

Interim Storage

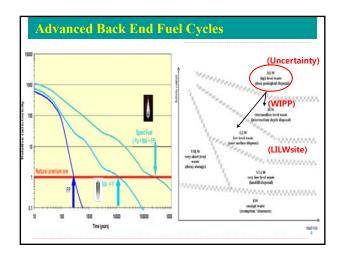
Direct Disposal

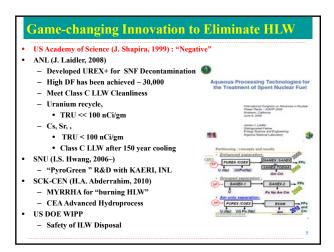
Direct Disposal

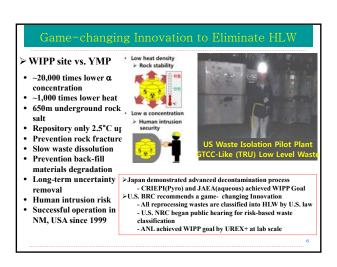
Direct Disposal

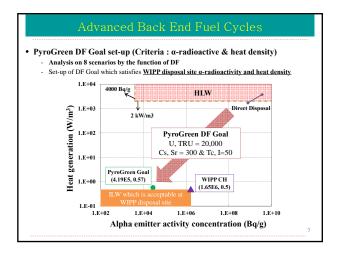
Direct Disposal

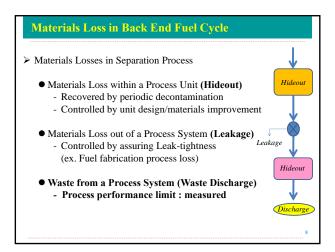
HLW Into LILW

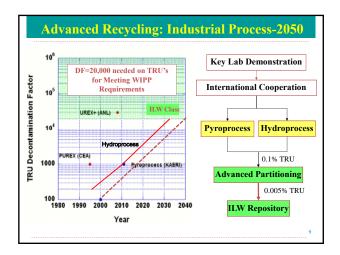




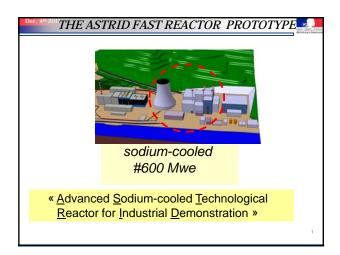


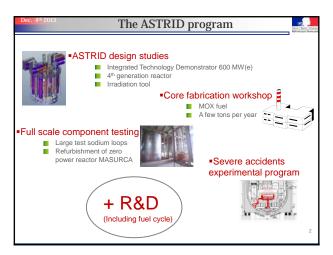


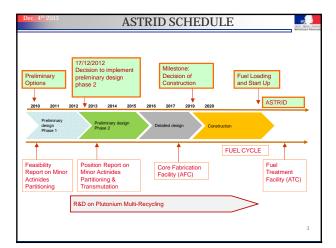


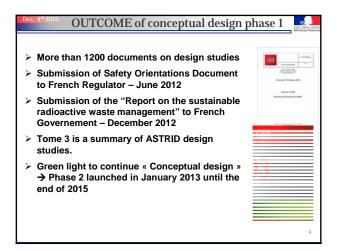


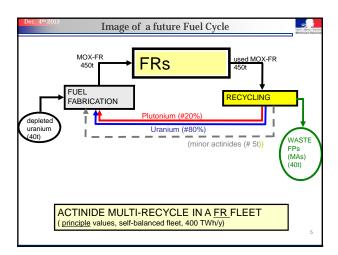












国際単位系(SI)

表 1. SI 基本単位

| 基本量 | SI 基本i | 単位 |
|-------|--------|-----|
| 本半里 | 名称 | 記号 |
| 長 さ | メートル | m |
| 質 量 | キログラム | kg |
| 時 間 | 秒 | s |
| 電 流 | アンペア | A |
| 熱力学温度 | ケルビン | K |
| 物質量 | モル | mol |
| 光 度 | カンデラ | cd |

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

| 組立量 | SI 基本単位 | |
|-----------------------|----------------|--------------------|
| 和立里 | 名称 | 記号 |
| 面 | 積 平方メートル | m^2 |
| 体 | 積 立法メートル | m^3 |
| 速 さ , 速 | 度メートル毎秒 | m/s |
| 加速 | 度メートル毎秒毎秒 | m/s^2 |
| 波 | 数 毎メートル | m ⁻¹ |
| 密度, 質量密 | 度キログラム毎立方メートル | kg/m ³ |
| 面 積 密 | 度キログラム毎平方メートル | kg/m ² |
| 比 体 | 積 立方メートル毎キログラム | m³/kg |
| 電 流 密 | 度アンペア毎平方メートル | A/m ² |
| 磁界の強 | さアンペア毎メートル | A/m |
| 量濃度 ^(a) ,濃 | 度 モル毎立方メートル | mol/m ³ |
| 質 量 濃 | 度キログラム毎立法メートル | kg/m ³ |
| 輝 | 度 カンデラ毎平方メートル | cd/m ² |
| 屈 折 率 | (b) (数字の) 1 | 1 |
| 比 透 磁 率 | (b) (数字の) 1 | 1 |

- (a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度
- (albatine concentration) ともよばれる。 (substance concentration) ともよばれる。 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

| 衣 3. | | | | |
|-----------------------|----------------------------|-------------------|----------------------|---|
| | | | SI 組立単位 | |
| 組立量 | 名称 | 記号 | 他のSI単位による | SI基本単位による |
| | | 記り | 表し方 | 表し方 |
| | ラジアン ^(b) | rad | 1 (p) | m/m |
| | ステラジアン ^(b) | sr ^(c) | 1 ^(b) | $m^{2/}m^2$ |
| 周 波 数 | ヘルツ ^(d) | Hz | | s^{-1} |
| 力 | ニュートン | N | | m kg s ⁻² |
| | パスカル | Pa | N/m^2 | m ⁻¹ kg s ⁻² |
| エネルギー、仕事、熱量 | ジュール | J | N m | m ² kg s ⁻² |
| 仕事率, 工率, 放射束 | ワット | W | J/s | m ² kg s ⁻³ |
| 電荷,電気量 | クーロン | C | | s A |
| 電位差(電圧),起電力 | ボルト | V | W/A | m ² kg s ⁻³ A ⁻¹ |
| 静 電 容 量 | ファラド | F | C/V | $m^{-2} kg^{-1} s^4 A^2$ |
| | オーム | Ω | V/A | m ² kg s ⁻³ A ⁻² |
| コンダクタンス | ジーメンス | s | A/V | $m^{-2} kg^{-1} s^3 A^2$ |
| 磁東 | ウエーバ | Wb | Vs | m ² kg s ⁻² A ⁻¹ |
| 磁 束 密 度 | テスラ | Т | Wb/m ² | kg s ⁻² A ⁻¹ |
| | ヘンリー | Н | Wb/A | m ² kg s ⁻² A ⁻² |
| | セルシウス度 ^(e) | $^{\circ}$ C | | K |
| · · | ルーメン | lm | cd sr ^(c) | cd |
| | ルクス | lx | lm/m ² | m ⁻² cd |
| 放射性核種の放射能 (f) | ベクレル ^(d) | Bq | | s^{-1} |
| 吸収線量, 比エネルギー分与, | グレイ | Gy | J/kg | $m^2 s^{-2}$ |
| カーマ | - | Су | o/Kg | III S |
| 線量当量, 周辺線量当量, 方向 | シーベルト ^(g) | Sv | J/kg | m ² s ⁻² |
| 性線量当量,個人線量当量 | シーベルト、。 | NG | J/Kg | |
| | カタール | kat | | s ⁻¹ mol |
| (.)CT松高部以田士の女好1.97日かん | - ~ 40 -> H (-> 1. 40 7. A | 1- 11 4 E | ト田 - ペキッ 1 J. 1 4次元章 | キャルトリ モガルルショルル |

- 酸素活性|カタール kat | s¹mol (a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (e) 池外学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している(d) へルソは周頻現象についてのみ、ペクレルは放射性接種の統計的過程についてのみ使用される。(d) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きなは同である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はとちらの単位で表しても同じである。(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表 4 単位の中に因有の名称と記号を含むSI組立単位の例

| 表 4 . 単位 0 |)中に固有の名称と記号を含 | | 立の例 |
|-------------------|-------------------|--------------------|--|
| | S | I 組立単位 | |
| 組立量 | 名称 | 記号 | SI 基本単位による 表し方 |
| 粘 度 | パスカル秒 | Pa s | m ⁻¹ kg s ⁻¹ |
| 力のモーメント | ニュートンメートル | N m | m ² kg s ⁻² |
| 表 面 張 力 | ニュートン毎メートル | N/m | kg s ⁻² |
| 角 速 度 | ラジアン毎秒 | rad/s | m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹ |
| 角 加 速 度 | ラジアン毎秒毎秒 | rad/s^2 | m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻² |
| 熱流密度,放射照度 | ワット毎平方メートル | W/m ² | kg s ⁻³ |
| 熱容量,エントロピー | | J/K | m ² kg s ⁻² K ⁻¹ |
| 比熱容量,比エントロピー | ジュール毎キログラム毎ケルビン | J/(kg K) | $m^2 s^{-2} K^{-1}$ |
| 比エネルギー | ジュール毎キログラム | J/kg | $m^2 s^{-2}$ |
| 熱 伝 導 率 | ワット毎メートル毎ケルビン | W/(m K) | m kg s ⁻³ K ⁻¹ |
| 体積エネルギー | ジュール毎立方メートル | J/m ³ | m ⁻¹ kg s ⁻² |
| 電界の強さ | ボルト毎メートル | V/m | m kg s ⁻³ A ⁻¹ |
| | クーロン毎立方メートル | C/m ³ | m ⁻³ sA |
| | クーロン毎平方メートル | C/m ² | m ⁻² sA |
| 電 束 密 度 , 電 気 変 位 | クーロン毎平方メートル | C/m ² | m ⁻² sA |
| 誘 電 率 | ファラド毎メートル | F/m | m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ² |
| 透磁率 | ヘンリー毎メートル | H/m | m kg s ⁻² A ⁻² |
| モルエネルギー | ジュール毎モル | J/mol | m ² kg s ⁻² mol ⁻¹ |
| モルエントロピー, モル熱容量 | ジュール毎モル毎ケルビン | J/(mol K) | m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹ |
| 照射線量 (X線及びγ線) | クーロン毎キログラム | C/kg | kg⁻¹sA |
| 吸 収 線 量 率 | グレイ毎秒 | Gy/s | $m^2 s^{-3}$ |
| 放射 強 度 | ワット毎ステラジアン | W/sr | m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s |
| 放射輝 度 | ワット毎平方メートル毎ステラジアン | $W/(m^2 sr)$ | m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³ |
| 酵素活性濃度 | カタール毎立方メートル | kat/m ³ | m ⁻³ s ⁻¹ mol |

| 乗数 | 接頭語 | 記号 | 乗数 | 接頭語 | 記号 | | | | |
|-----------|-----|----|-------------------|------------|----|--|--|--|--|
| 10^{24} | ヨ タ | Y | 10 ⁻¹ | デ シ | d | | | | |
| 10^{21} | ゼタ | Z | 10 ⁻² | センチ | c | | | | |
| 10^{18} | エクサ | E | 10 ⁻³ | ₹ <i>リ</i> | m | | | | |
| 10^{15} | ペタ | P | 10 ⁻⁶ | マイクロ | μ | | | | |
| 10^{12} | テラ | Т | 10 ⁻⁹ | ナーノ | n | | | | |
| 10^{9} | ギガ | G | 10-12 | ピコ | р | | | | |
| 10^{6} | メガ | M | 10^{-15} | フェムト | f | | | | |
| 10^{3} | 丰 口 | k | 10 ⁻¹⁸ | アト | a | | | | |
| 10^{2} | ヘクト | h | 10^{-21} | ゼプト | z | | | | |
| 10^{1} | デカ | da | 10^{-24} | ヨクト | у | | | | |

表5 CI 控前每

| 表6. SIに属さないが、SIと併用される単位 | | | | | |
|-------------------------|------|--|--|--|--|
| 名称 | 記号 | SI 単位による値 | | | |
| 分 | min | 1 min=60s | | | |
| 時 | h | 1h =60 min=3600 s | | | |
| 目 | d | 1 d=24 h=86 400 s | | | |
| 度 | ۰ | 1°=(п/180) rad | | | |
| 分 | , | 1'=(1/60)°=(п/10800) rad | | | |
| 秒 | " | 1"=(1/60)'=(п/648000) rad | | | |
| ヘクタール | ha | 1ha=1hm ² =10 ⁴ m ² | | | |
| リットル | L, l | 1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³ | | | |
| トン | t | $1t=10^3 \text{ kg}$ | | | |

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で 表される数値が実験的に得られるもの

| | 衣される数値が夫厥的に待られるもの | | | | | | |
|------|-------------------|-----|-----|---|----|--|--|
| 名称 記 | | | | | 記号 | SI 単位で表される数値 | |
| | 電 | 子力 | ベル | ト | eV | 1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J | |
| | ダ | ル | 卜 | ン | Da | 1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg | |
| | 統- | -原子 | 質量单 | 並 | u | 1u=1 Da | |
| | 天 | 文 | 単 | 位 | ua | 1ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m | |

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位 記号 SI 単位で表される数値 名称 1 bar=0.1MPa=100kPa=10⁵Pa bar 水銀柱ミリメートル nmHg 1mmHg=133.322Pa オングストローム $1 \text{ Å=0.1nm=100pm=10}^{-10} \text{m}$ Å 海 里 1 M=1852m Μ $1 b=100 \text{fm}^2=(10^{-12} \text{cm})2=10^{-28} \text{m}^2$ バ b kn 1 kn=(1852/3600)m/s ネ Np SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。 11 В

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

ル dB -

| 名称 | 記号 | SI 単位で表される数値 |
|-----------------------|-----|---|
| エルグ | erg | 1 erg=10 ⁻⁷ J |
| ダ イ ン | dyn | 1 dyn=10 ⁻⁵ N |
| ポアズ | P | 1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s |
| ストークス | St | $1 \text{ St} = 1 \text{cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{m}^2 \text{ s}^{-1}$ |
| スチルブ | sb | 1 sb =1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻² |
| フォト | ph | 1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx |
| ガル | Gal | 1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻² |
| マクスウェル | Mx | $1 \text{ Mx} = 1 \text{G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$ |
| ガ ウ ス | G | 1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T |
| エルステッド ^(c) | Oe | 1 Oe ≙ (10³/4π)A m ⁻¹ |

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≦ 」は対応関係を示すものである。

| 表10. | SIに属 | はなない | いその | 他 | の | 単 | 立 | の | 例 | |
|------|------|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | - | _ | - |

| 名称 | | | | | 記号 | SI 単位で表される数値 |
|-----------|---|---|----|---|------|--|
| + | ユ | | リ | _ | Ci | 1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq |
| ν | ン | 卜 | ゲ | ン | R | $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$ |
| ラ | | | | K | rad | 1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy |
| ν | | | | ム | rem | 1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv |
| ガ | | ン | | 7 | γ | 1 γ =1 nT=10-9T |
| フ | x | | ル | ξ | | 1フェルミ=1 fm=10-15m |
| メートル系カラット | | | | | | 1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg |
| 卜 | | | | ル | Torr | 1 Torr = (101 325/760) Pa |
| 標 | 準 | 大 | 気 | 圧 | atm | 1 atm = 101 325 Pa |
| 力 | 口 | | IJ | _ | cal | 1cal=4.1858J(「15℃」カロリー),4.1868J (「IT」カロリー)4.184J(「熱化学」カロリー) |
| 3 | ク | | 口 | ン | μ | 1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m |