

ISCN ニュースレター

No.0220

July, 2015

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 (JAEA)
核不拡散・核セキュリティ総合支援センター (ISCN)

目次

1 国内外の動向-----4

1-1-イラン核問題の最終合意と関係者の動向-----4

2015年7月14日、ウィーンでのE3/EU+3の外相級の全体会合で、イランの核開発に係る共同作業計画（JCPOA）が最終合意に至った。その概要を報告する。

1-2-米中原子力協力協定に係る公聴会について-----9

2015年4月21日に議会にオバマ大統領が上程した「米国と中国の間の平和目的の原子力利用に係る協力協定」案(新協定)の議会審議の動向を報告する。

1-3-米国の解体核由来のプルトニウム処分に関するレポートとそれを巡る動向-----12

米国は核兵器由来のプルトニウム（Pu）34MTの処分を定めるロシアとの協定（PMDA）に基づき処分を計画している。2015年4月13日付で、米国のプルトニウム処分方法を評価する新たなレポートがAerospace社より提出された。またそのレポート評価結果に対し、High Bridge Associate（High Bridge社）から6月29日にレポートが出された。それぞれのレポート内容とこれらを巡る動向について報告を行う。

2 活動報告-----18

2-1-ESARDA37に参加して-----18

ESARDAは、欧州における保障措置・核不拡散等の研究開発に関する学会であり、その年次大会においては、2年ごとにシンポジウム形式で大きな発表会を実施している。そのなかで、原子力機構が行った発表を取り上げ、報告する。

2-2-「核セキュリティに関するインターナショナルスクール」参加報告-----21

IAEAとイタリアのThe Abdus Salam International Centre for Theoretical Physicsの共催により、2015年4月27日～5月8日までイタリアのトリエステにおいて開催された「核セキュリティに関するインターナショナルスクール」に参加した。本スクールは、核セキュリティに特化した2週間のコースであり、カリキュラムは、講義、グループワーク、施設視察等で構成され

ており、核セキュリティ関連の政治・法律から現場で用いられている技術に至るまで幅広く学ぶことができた。その概要について報告する。

2-3-ヘリウム3代替中性子検出器技術開発と実証試験（核セキュリティ強化等推進事業：平成23年度-平成26年度実施） ----- 24

9.11 テロ以降、米国国土安全保障省が、核物質探知の目的で大量の中性子検知器の配備を進めたことにより、ヘリウム3が将来供給不足に陥ることが、現実味を帯びてきた。そこでIAEAは、2011年に検査察用代替He-3中性子検出器の開発を世界に呼びかけ、ISCNでは、原子力機構内研究組織とタッグを組んで、平成23-26年に代替He-3中性子検出器の開発を行った。

1 国内外の動向

1-1 イラン核問題の最終合意と関係者の動向

1. 概要

E3/EU+3（独仏英米中露）とイランは、イランの核開発問題の解決に向け、2013年11月に包括的解決に向けた「共同作業計画」（Joint Plan of Action）に合意し¹、最終段階の包括的合意に向け協議を続けてきた。

2015年4月には、スイスのローザンヌで開催された外相級会議で、包括的共同作業計画（Joint Comprehensive Plan of Action；JCPOA）についての主要な事項が作成され²、イランの核開発能力の制限と検証及び制裁解除の方法について細部を詰める作業が続けられてきたが、2015年7月14日、ウィーンでの外相級の全体会合で最終合意に至った³。

この合意により、イランはウランの濃縮能力の削減と、IAEAの厳格な査察を受け入れるが、平和利用を前提としたウラン濃縮を含む核開発は認められた。一方、E3/EU+3側は核関連の経済制裁を解除する。ただし、イランが合意に反した場合、制裁が元に戻される「スナップバック」が適用される。

今後、関係各国は、国内の承認手続きに入るが、米国及びその一部同盟国には強い反対意見があり、特に米議会の保守強硬派の抵抗を抑えることが出来るかが合意を履行できるかのもう一つの問題となる。

2. JCPOA の最終合意の概要

2.1 核開発

- ・ 遠心分離機数は、19,000機から6,104機⁴に削減され、最も旧式で能力の低いIR-1型に限定される。

¹ 「イランの核問題に関する EU/EU+3 とイランの間の暫定合意」, 核不拡散ニュース No. 0201, November 2013, http://www.jaea.go.jp/04/isdn/nnp_news/attached/0201.pdf#page=2

² 「イラン核開発協議」, ISCN ニュースレター No. 0217, April 2015, http://www.jaea.go.jp/04/isdn/nnp_news/attached/0217.pdf#page=5

³ “Joint statement by EU High Representative Federica Mogherini and Iranian Foreign Minister Javad Zarif Vienna”, 14 July, 2015,

<https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-director-generals-statement-and-road-map-clarification-past-present-outstanding-issues-regarding-iran-s-nuclear-program>

⁴残される遠心分離機はナタンズの FEP に 5,060 機、フォールド施設に 1,044 機が認められた。

-
- ・ ウラン濃縮規模は、10年間、ナタンズのウラン濃縮施設（FEP）の5,060機に制限される。また、15年間は、ウラン濃縮度の上限は3.67%に制限され、低濃縮ウラン（UF₆）のストックは300kg以下に削減される。この合意により、イランが核兵器用核物質の製造を試みたとしても、取得に必要な時間（ブレイクアウトタイム）は、10年間は、一年以上が確保される。
 - ・ ウラン濃縮に係る研究開発は、10年間、遠心分離機開発は限定されたモデル及び規模に限られ、かつウラン濃縮は制限される。また、ガス遠心分離法以外の同位体分離技術開発も制限される。また、15年間、ウランを利用した研究開発は、ナタンズのパイロットウラン濃縮施設（PFEP）に、ウランを使用しない工学試験は、PFEPとテヘラン研究所に限定される。
 - ・ フォルドの地下施設は核物理・技術研究センターへ転換され、ウラン濃縮活動は15年間制限される。
 - ・ アラク重水炉は、兵器級プルトニウムの生産が出来ないように、再設計・転換される。新たな重水炉の建設及び重水の保有量は15年間制限される。
 - ・ 発電炉及び研究炉の使用済み燃料は、将来にわたり、国外へ搬出される。
 - ・ 15年間そしてその後も、医療用及び工業用のアイソトープの製造を除き、使用済み燃料の再処理技術に繋がる使用済み燃料の再処理、再処理施設の建設、及び研究開発活動に関与しない。

2.2 透明性と信頼性構築

- ・ イランは、批准するまでの間、暫定的にIAEAの追加議定書を適用するとともに、補助取決め3.1⁵を履行する。
- ・ イランは、過去の核開発に係る未解決の問題について、IAEAと合意したロードマップに従い2015年末までに完全に解決する。
- ・ イランはIAEAに対し、イランの核サプライ・チェーン、および燃料サイクルに対する、継続的な監視システムを提供する。
- ・ イランは、核爆発装置開発につながる活動を行わない。

2.3 制裁解除

- ・ 国連安保理は、イランによる合意の履行をIAEAが検証すると同時に、全てのイランの核関連の制裁を終了する。

⁵ 核施設建設・変更に際し、IAEAに対する設計情報の早期通知の義務付け。

- ・ EU 及び米国は、イランによる合意の履行を IAEA が検証すると同時に、全てのイランの核関連の制裁を終了する。
- ・ ただし、イランが合意内容に違反した場合、65 日以内に制裁が戻される (Snap back)。
- ・ 国連安保理決議による武器禁輸は 5 年間、弾道ミサイル開発についての制裁は 8 年間継続される。

2.4 実施計画

Adoption Day (発効日)	JCPOA は国連安保理決議 (7/20) から 90 日後 (10/18)、または関係者の合意によりそれ以前に発効する。
Implementation Day (合意履行の日)	IAEA がイランによる合意の履行を確認した日 欧米及び国連は、核関連の制裁を停止する。
Transition Day (移行の日)	発効日から 8 年後、または IAEA が、イランのすべての核物質が平和的利用の範囲と見なされる (拡大結論) を導出した日。 欧米は残る制裁を解除あるいは改正しなければならない。一方、イランは追加議定書を批准しなければならない。
Termination Day (終了日)	発効日から 10 年後、全ての制裁は停止され、イランの核問題は終了する。

3. 合意を受けた関係国・機関の動向

3.1 IAEA

天野 IAEA 事務局長とサーレヒイラン副大統領は、7 月 14 日、イランの軍事的面 (PMD) に関する調査のロードマップに署名したことを明らかにした。天野 IAEA 事務局長は、2015 年末までに、最終報告を行うことができる見込みとしている⁶。

ロードマップ (概要)

- ・イランは未解決問題に関する説明文書と関連文書を 8 月 15 日までに IAEA に提出。

⁶ IAEA, “IAEA Director General’s Statement and Road-map for the Clarification of Past & Present Outstanding Issues regarding Iran’s Nuclear Program”

<https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-director-generals-statement-and-road-map-clarification-past-present-outstanding-issues-regarding-irans-nuclear-program>

-
-
- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">・ IAEA は、文書から得た情報を 9 月 15 日までに審査。・ 未解明の部分の調査については協議を行い、10 月 15 日までに完了させる。
<ul style="list-style-type: none">・ IAEA 事務局長は 12 月 15 日までに最終評価を理事会に提示する。なお、発出前に技術確認会合をイランと IAEA の間で開催する。 |
|---|

3.2 イラン

イランの最高指導者であるハメネイ師は、核協議に関する大統領と核協議団の努力に感謝を述べ、この協議が結論に至ったことはイランの発展に向けた重要な一歩だと評価し、合意への支持を表明した。一方で、欧米側の約束違反への警戒を強調し、根強い不信を示した⁷。

3.3 米国

(1) オバマ大統領

今回の合意を受けて 7 月 15 日、オバマ大統領は「歴史的な合意(historic deal)であり、イランの核開発を阻止し、世界と米国にとってより安全でセキュアになった」との声明を発表した⁸。合意は、イランの核兵器取得の手段を阻止しており、仮にイランが今回の合意内容に違反した場合には即時に制裁が戻される(Snap back)とし、議会が今回の合意の実施を阻止しようとする場合には拒否権を行使すると述べた。そして、イランと取り決めを結ぶ以外に同国の核開発を制限する代替案はないとし、外交手段による合意が無ければ、他の国々が核計画を追求する可能性が出てきて、戦争の危険も高まると訴えた。

合意直後にオバマ大統領はサウジアラビアサルマン国王、イスラエルネタニヤフ首相等と電話会談を行い、合意への理解を求めた。

⁷ Iran japeanease radio, <http://japanese.irib.ir/news/leader/item/56417>-「核協議の終結は、イラン国民にとって重要な一歩」

⁸ Whitehouse “The President Announces a Historic Nuclear Deal with Iran”
<https://www.whitehouse.gov/photos-and-video/video/2015/07/14/president-announces-historic-nuclear-deal-iran>

(2) 米国議会

従来はイランとの核問題に関する協定締結に関して米国議会が介入することができなかったが、その是非を判断する権限を議会付与する法案を可決したことにより、今回の合意に関しては60日の審査期間が設けられた。

仮に、議会の合意の否決に対し、オバマ大統領が拒否権を行使したとしても、議会の2/3以上の合意があれば、拒否権を覆すことができることから、合意に反対する共和党がどれだけ民主党議員の賛同を得られるかが注目される。

3.4 イスラエル

今回の合意締結を受け即時にネタニヤフ首相は、「歴史的な間違い (historic mistake)」としてイランとの合意を批判している⁹。今回の合意により、オバマ大統領の意見とは真逆で、世界はより危険になると述べている。

3.5 サウジアラビア

7月17日、オバマ米大統領は、サウジアラビアのジュベイル外相を迎え意見交換を行い、同外相は「行動計画を歓迎する」意向を示した。一方で、7月16日のケリー米 국무長官との会談時には、同外相は、イランが最終合意に基づく制裁解除で得る資金を「国民生活の改善に向けるべきで、地域での危険な冒険に利用しないよう望む」などと述べ、また、イランの核施設に対する厳格な査察体制の構築が重要だとし、「イランが地域に災いをもたらそうと企てれば、断固として対決する決意だ」とも強調し、制裁解除で強化されるイランに対する警戒と対抗心を示した。¹⁰

【政策調査室 清水 亮、小鍛治 理紗】

⁹ The Jerusalem Post - Israel News, "Netanyahu says Iran nuclear deal 'a bad mistake of historic proportions'"

<http://www.jpost.com/Israel-News/Politics-And-Diplomacy/Netanyahu-says-Iran-nuclear-deal-a-bad-mistake-of-historic-proportions-408895>

¹⁰ 時事通信他、各種国内報道より

1-2 米中原子力協力協定に係る公聴会について

2015年4月21日に議会にオバマ大統領が上程した「米国と中国の間の平和目的の原子力利用に係る協力協定」案(新協定)¹¹の議会審議動向を報告する。

なお、新協定は、議会への上程から90日間の継続会期中に上下両院による合同不承認決議が可決されなければ協定の発効要件が整うことになる。

1. 上院外交関係委員会の公聴会

2015年5月11日と12日、上院外交関係委員会(SFRC)は、新協定につき、「潜在的リスクと利益のバランス」と題する公聴会を開催した¹²。12日の公開での公聴会¹³では、トーマス・カントリーマン米国国務省国際安全保障・不拡散担当次官補¹⁴とフランク・クロッツ米国エネルギー省核セキュリティ担当次官(国家核安全保障庁長官)¹⁵が証言し、中国との積極的かつ継続的な外交関係の維持、米国産業界の中国での原子力ビジネス展開、さらに未だ改善の余地がある中国の核不拡散に係る取組み強化のため、新協定下で中国との脅威の削減、輸出管理、原子力安全、核セキュリティに係る協力の実施等の観点から、新協定発効の必要性を説いた。

一方でコーカーSFRC委員長(共和党、テネシー州)、エドワード・マーキー上院議員(民主党、マサチューセッツ州)、ロバート・メネンデス上院議員(民主党、ニュージャージー州)等は、従前からの彼らの主張通り核不拡散の確保の必要性を重視し、軍備を拡大する中国が米国の原子力技術を軍事転用する可能性があること、中国のパキスタンへの原子炉輸出が原子力供給国グループ(NSG)ガイドライン違反であること、中国国有企業や個人が大量破壊兵器やミサイル

¹¹ “Text of a proposed agreement between the Government of the United States of America and the People’s Republic of China concerning peaceful uses of nuclear energy”, <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CDOC-114hdoc28/pdf/CDOC-114hdoc28.pdf>. なお、新協定の内容の概要は、ISCN ニューズレター、No. 0219、2015年6月を参照されたい。
http://www.jaea.go.jp/04/isn/nnp_news/index.html

¹² United States Senate Committee on Foreign Relations, “The Civil Nuclear Agreement with China: Balancing The Potential Risks and Rewards”, May 12, 2015, http://www.foreign.senate.gov/hearings/the-civil-nuclear-agreement-with-china_balancing-the-potential-risks-and-rewards

¹³ 5月11日の公聴会は、「米中協定の商業的、政治的、安全保障への影響の理解」に係るもので、非公開。

¹⁴ “Testimony of Assistant Secretary Thomas M. Countryman on the President’s Submission to the Congress of the U.S.-China Agreement for Peaceful Nuclear Cooperation (123 Agreement)”, May 12, 2015, http://www.foreign.senate.gov/imo/media/doc/051215_Countryman_Testimony.pdf

¹⁵ “Statement of Lt. Gen. Frank G. Klotz, USAF (Ret.), Under Secretary for Nuclear Security, U.S. Department of Energy on the United States-China Agreement for Peaceful Nuclear Cooperation Before the Senate Foreign Relations Committee”, May 12, 2015, http://www.foreign.senate.gov/imo/media/doc/051215_Klotz_Testimony.pdf

計画に係る技術を中東や南アジアの国に売却した事実があり米国から制裁を受けていること等を指摘して、中国政府自身が真摯に核不拡散に取り組んでいないと中国の対応を批判し、新協定に何らかの厳しい核不拡散に係る条件を付さない限り新協定を承認できないと強硬に主張した。

2. 下院外交委員会小委員会の公聴会

2015年7月16日、下院外交委員会のアジア・太平洋小委員会と、テロリズム・不拡散・貿易小委員会は合同で「米中原子力協力協定のレビュー」と題する公聴会を開催した¹⁶。公聴会には、前出のカントリーマン次官補及びクロツツ次官と、民間から、核不拡散シンクタンクの不拡散教育センター(NPEC)のヘンリー・ソコルスキー所長¹⁷、米国原子力エネルギー協会(NEI)のダニエル・リップマン副会長¹⁸及び米国戦略国際問題研究所(CSIS)のシャロン・スクワッソーニ拡散防止プログラム部長兼上級研究員¹⁹が証人として出席した。カントリーマン次官補及びクロツツ次官は、上院公聴会とほぼ同様の趣旨及び内容を述べ、リップマン副会長は新協定がもたらす米国のビジネス及び雇用に係る経済的便益を強調した。

一方、マット・サーモン アジア・太平洋小委員会委員長(共和党、アリゾナ州)、テッド・ポー テロリズム・不拡散・貿易小委員会委員長(共和党、テキサス州)及びウィリアム・ケーティング(民主党、マサチューセッツ州)下院議員等は、核不拡散の観点から、上院での公聴会でも論点となった米国の原子力技術の軍事転用や適切な輸出規制なしに第三国に再移転される可能性等につき懸念を示した。ソコルスキー所長及びスクワッソーニ部長は、従前から核不拡散をより重視する観点から原子力協力協定に係る議会の関与の必要性を説いており²⁰、ソコルスキー所長は、協定対象核物質の再処理に関し包括的事前同意で

¹⁶ House Committee on Foreign Affairs, “Joint Subcommittee Hearing: Reviewing the U.S.-China Civil Nuclear Cooperation Agreement”, <https://foreignaffairs.house.gov/hearing/joint-subcommittee-hearing-reviewing-us-china-civil-nuclear-cooperation-agreement>

¹⁷ “Conditioning the U.S.-PRC Nuclear Cooperative Agreement against Further Military Diversions”, <http://docs.house.gov/meetings/FA/FA05/20150716/103718/HHRG-114-FA05-Wstate-SokolskiH-20150716.pdf>

¹⁸ <http://docs.house.gov/meetings/FA/FA05/20150716/103718/HHRG-114-FA05-Wstate-LipmanD-20150716.pdf>

¹⁹ “Nuclear cooperation with China: Strong rules build strong partnership”, <http://docs.house.gov/meetings/FA/FA05/20150716/103718/HHRG-114-FA05-Wstate-SquassoniS-20150716.pdf>

²⁰ 例えば、2014年1月31日の上院外交関係委員会での原子力協力協定に関する公聴会での彼らの証言。https://www.jaea.go.jp/04/np/np_news/attached/0204.pdf

なく個別の同意が必要とすること、中国での協定対象核物質等の用途につき透明性を高めるため、米国諜報機関による定期的な報告や評価を求める等、協定発効に議会が追加的な核不拡散に係る要件を付すことを主張した。スクワッソーニ部長は、中国では軍民施設の分離が十分ではなく、例えば再処理施設に保障措置が適用されない可能性があり、協定対象核物質の軍事転用の懸念を払拭するために施設の軍民分離に係り透明性を高める必要があること、また NSG ガイドラインを順守する等、輸出規制を強化する必要があるとし、議会は米国政府が新協定で上記の懸念を払拭できるか否かを精査する必要があると述べている。

3. 新協定に係るその他の議会動向

2015年5月22日、ジョー・ウィルソン下院議員（共和党、サウスカロライナ）とブレンダン・ボイル下院議員（民主党、ペンシルベニア州）が協定案を承認する合同決議案（H. J. Res 56）を下院外交委員会に提出した²¹。一方で、同年7月15日、マルコ・ルビオ上院議員（共和党、フロリダ州）とコットン上院議員（共和党、アーカンソー州）は、新協定を不承認とする合同決議案（S. J. Res 19）を上院外交関係委員会に提出した²²。

2015年7月26日現在、H. J. Res 56 に対してはその後のアクションは起こされておらず、一方、S. J. Res 19 については委員会からの審議付託が解除され上院本会議に進んでいるものの法案の採否を問う投票日程は決まっていない。

4. まとめ

上下両院の公聴会でも、中国との良好な外交関係の維持と、中国の核不拡散への取組みを向上させつつ米国産業界の中国でのビジネス展開の継続等を意図する政権及び NEI の証人と、中国の核不拡散に対する姿勢と行動に深い疑義を抱く上下両院の議員及び核不拡散関係シンクタンクの証人の意見は、専ら平行線を辿り、噛み合っていない。特に上院では、米国が締結するすべての原子力協力協定にゴールドスタンダード条項を盛り込むことを主張していたほど核不拡散を重視するコーカー-SFRC 委員長や、また 1985 年に既存の米中原子力協定が

²¹ <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/bdquery/z?d114:HJ00056:@@L&summ2=m&>

²² <http://thomas.loc.gov/cgi-bin/query/C?c114:./temp/~c1149xLCCw>

発効する際も、中国から第三国へ米国の核物質や技術が再移転され、それが核拡散に繋がる可能性に懸念から米中原子力協力に反対していたマーキー上院議員等は、何らか強い核不拡散条件を付与しなければ、協定を承認できないことを強硬に主張していた。

しかし上述したように、新協定は議会への上程から90日間の継続会期中に上下両院による合同不承認決議が可決されなければ協定の発効要件が整うことになる。90日の満了日は、議会が休会しなければ7月末であるが、7月26日現在、米国議会は7月14日にイランとE3/EU+3で合意した包括的共同作業計画(JCPOA)に係る審議に傾注しており、7月末日までに不承認決議案が可決されるのは難しい状況にあると言えよう。

【政策調査室 田崎真樹子、須田一則】

1-3 米国の解体核由来のプルトニウム処分に関するレポートとそれを巡る動向

1. 概要

米国は核兵器由来のプルトニウム (Pu) 34MT の処分を定めるロシアとの協定 (PMDA) に基づき Pu 処分を MOX 燃料に加工し軽水炉にて照射して処分する計画である。2014年4月、米国エネルギー省/国家核安全保障庁 (DOE/NNSA) は、MOX 処分によるコストの上昇、米国内の財政状況を鑑み、他のオプションのコスト評価も含むレポート (2014PWG) を公表した。レポートでは MOX オプションには予定されていたよりも多額のコストがかかり、希釈処分オプションは比較的安価で済むという評価がなされた²³。この結果を受け、2015年歳出予算法案 (FY2015 Consolidated & Further Continuing Appropriations Act) で議会は、DOE/NNSA に MOX 処分オプションと希釈処分オプションについての施設建設コストと運営コスト含むライフサイクルコストの評価を2015年4月15日までに実施するよう指示していた。

これを受け、2015年4月13日付で、プルトニウム処分方法を評価する新たなレポートが Aerospace 社²⁴より提出された。MOX 処分と希釈処分のオプシ

²³ 核不拡散ニュース No.206 号 2-2 参照。

²⁴ 2014年4月に NNSA のプルトニウム処分作業グループが提出したレポートの評価を実施している。調査は、Aerospace Corporation という政府から拠出を受ける独立の研究団体 (FFRDC : Federally Funded

ンに関し、2014年 PWG でのコスト評価に対して想定されるリスクをコストとして計上するなどの見直しが行われた。その結果、MOX 処分オプションに関しては、年間 5 億ドルと年間 3.75 億ドル予算で実施する場合に分けて分析され、材料コストや労働コスト等の上昇を主たる原因として、2014PWG よりもコストは 224 億ドルあるいは 853 億ドル上昇するという評価がなされた。

これに関し、モニツ DOE 長官は、8 月 10 日までにオークリッジ国立研究所 (ORNL) のトム・メイソン所長を議長とするレッドチーム²⁵に「将来への最善策(best path forward)」について調査しレビューを行うよう指示した²⁶。

また Aerospace 社のレポート評価結果に対し、MOX Fuel Fabrication Facility (MFFF) の建設を実施している CB&I AREVA MOX Services, LLC²⁷ (MOX Services 社) は 6 月 10 日に High Bridge Associate (High Bridge 社) に Aerospace 社の評価のレビューを依頼し、6 月 29 日にレポートが出された。そこでは、Aerospace 社の MOX オプションに対する評価は不明確で、希釈処分オプション実施に関しての不確実性等のリスク評価は適切に行われておらず、非現実的であると述べ、MOX 処分オプションはロシアとの協定実施のため、地政学的観点、核不拡散の観点からは無視することのできないものであると結論づけている。

以下、それぞれのレポートについて報告する。

2. Aerospace レポート内容

2.1 概要

コスト評価

- MFFF 建設は、現在の予算レベル 3.5 億ドル/年では、完成させることができない。4%の建設費上昇と 2%の労働運営費の上昇が想定される。MFFF

Research Development Center) によって実施された。DOE にレポートが提出されたのち、議会に報告書が提出されることになっている。NNSA より 2015 年 5 月 8 日以降に公開承認されている。

²⁵ 2014 年にトム・メイソン所長を議長とするレッドチームは、Y-12 施設におけるウラン処理施設のコストに関するレポートを提出した実績を有する。Y-12 施設は第二次世界大戦時に建設された施設も有しており、近代化のための改築において、コスト高と完成時期の遅れ等から、コストを上昇させずにプロジェクトを実施するための報告書を DOE から要請された。

NNSA Releases UPF “Red Team” Report, 1 May 2014.

<http://www.nnsa.energy.gov/mediaroom/pressreleases/upfredteam>,

Orkridgetoday, “Mason to brief feds on UPF alternatives report today” 28 April 2014.

<http://oakridgetoday.com/tag/red-team/>

²⁶ Nuclear Security & Deterrence Monitor, “Moniz letter directs analysis”, 10 July 2015.

²⁷ 米国の MOX 施設建設の契約をしていた Shaw Areva MOX Services LLC を含む Shaw グループは CB&I 社に買収され、2013 年には買収完了、会社名が変更された。

を完成させるための最低限の建設費用は約 3.75 億ドル/年で、完成時期は 2100 年になる。MOX 燃料計画全体への総建設費用は、1,104 億ドルとなる。MOX 燃料計画の完成は 2115 年となる。

- 2014PWG と同じ年間 5 億ドル規模での MFFF 建設予算では、MOX 処分オプションは 475 億ドルと試算される。MOX 燃料照射、材料供給、輸送計画（MOX Fuel Irradiation, Feedstock, and Transportation Program: MIFT）と他の事項の予算で 4-5 億ドル/年は必要となる。MFFF 運転コストは、2044 年から処分完了の 2059 年まで 11-13 億ドル/年となる。
- 希釈処分オプションのコストは、総額 172 億ドルとなる。希釈に関する建設と運営のコストは 2014PWG のタイムラインにあわせると 1-2 億ドル/年となる。MIFT と他のコストは 4-5 億ドル/年で 2049 年に完了予定。
- MOX 計画の遅れにより、2014PWG 試算よりも最大 43 億ドルのコスト上昇が見込まれる。

コストに関連するリスクの評価

- MOX 処分オプションと希釈処分オプションを比較すると、計画全体の総コストとコストに関するリスクについて大きな違いがある。また、MOX 処分オプションの総コスト評価では確実性がほとんどなく、希釈処分オプションよりも確実性が低い。
- 2014PWG のコスト評価は、産業界におけるベストプラクティスの下に評価が行われており、不測の事態から起こるコスト評価については、過小に評価されている。計画における技術的なリスクや他の事項との関連性があまり考慮されていない。残されている業務範囲に関しては不確実性が残る。
- 輸送（MIFT）関係計画の遅れから、2014PWG 試算よりも最大 15 億ドルの上昇となる。
- MOX 処分オプションの主たるリスクは、MFFF 建設、運転開始、MOX 燃料製造と材料供給に関する不確実性である。
- 希釈処分オプションは、MOX 処分オプションよりもリスクが少ない。最も大きいリスクは、材料供給に関する不確実性となる。
- どちらのオプションも、安定した単一の材料製造ラインに統合することでコストを減らすことができる。

表 MOX 処分と希釈処分のコスト評価と時期まとめ
(Aerospace 社の評価した表に施設完成時期を追記)

	2014 PWG 総コスト (\$)	2014 PWG 計画遅れ などから のコスト 再評価 (\$)	今回のレポートによる リスクを踏まえた コスト評価 (\$) (85%確実性) Aerospace 社の予測		施設完 成 → 処 分完了 時期 (年) 2014 PWG	施設完成 → 処分完了 時期 (年) Aerospace 社の予測	
MOX*1	251 億	307 億	475 億	1104 億	2028 年 ↓ 2043 年	2044 年 ↓ 2059 年	2100 年 ↓ 2115 年
年間 予算	5 億	5 億	5 億	3.75 億	5 億	5 億	3.75 億
希釈*2	103 億	132 億	172 億		2019 年 ↓ 2046 年	2021 年 ↓ 2049 年	

1 総コスト計算には運転終了から安全な状態への閉鎖までのコストを含むが、グリーンフィールドに戻すまでの費用は含まない。

*2 希釈処分ときは、2 億ドルを超えないので、5 億ドルあるいは 3.75 億ドルは適用しない。

2.2 Aerospace レポートに対する反応

● モニツ DOE 長官

モニツ DOE 長官は、今回のレポートを受け、ロシアとの協定での 34 トンを含む米国全体で保有する余剰 Pu を処分するためには、年に 10 億ドルかかるだろう、と述べている。しかしすでにロシアとの協定があり、その上ですすでに建設のために投資していることを踏まえると、MOX オプションが最有力候補だと述べる²⁸。

● サウスカロライナ州選出議員

Lindsey Graham 上院議員、Tim Scott 上院議員、Joe Wilson 下院議員ら

²⁸ Aiken Standard “Moniz: Properly funding MOX would take \$1 billion a year” 17,6, 2015.
<http://www.aikenstandard.com/article/20150617/AIK0101/150619518>

は、すでに MFFF 施設はほぼ完成しており、今回の Aerospace によるレポートによる試算は信頼性にかけてと発表している²⁹。

- SRS Watch

米国の MOX オプション政策を注視している団体である SRS Watch のサイトでは、SRS Watch が MOX Services 社や MOX プロジェクト推進派の Lindsey Graham 上院議員、Tim Scott 上院議員、Joe Wilson 下院議員らに試算を出すよう要請したが拒否されたことを挙げ、今回の Aerospace 社による評価を批判する根拠には乏しいと主張している³⁰。

- 憂慮する科学者同盟 (Union of Concerns Society : UCS)

米国の MOX オプションに反対する Edwin Lyman を擁する UCS も 2014 年 PWG で実施された試算は過小評価されていると結論付ける今回のレポートのまとめを紹介している³¹。

- MOX Service 社

MOX Service 社のスポークスマン Bryan Wilkes は希釈処分オプションについても MOX 処分オプションと同等の金額であると発表した³²。

3. High Bridge レポート

- MOX 処分オプションと希釈処分オプションのコストはほぼ同じになる。希釈処分オプションには MFFF のサンクコストが含まれることから、もとの希釈処分コストに 50 億ドル追加したコストとなる。MOX 処分オプション以外の希釈等他の処分オプションを選択した場合には、MOX 処分オプションを終了させるための年間予算に加え、新たなオプションのため

²⁹ Tim Scott “Graham, Scott, and Wilson Voice Concerns with Assessment Claiming Sharp Cost Increases for MOX Facility” 23,4,2015.

<http://www.scott.senate.gov/press-release/graham-scott-and-wilson-voice-concerns-assessment-claiming-sharp-cost-increases-mox>

³⁰ Savannah River Site Watch, “Redacted DOE Plutonium Disposition Report Obtained, Gives Details of \$47.5 Billion to \$110.4 Billion Yet to be Spent on Plutonium Fuel (MOX) Boondoggle, Finished in 2059 to 2115” 9, May, 2015,

http://www.srswatch.org/uploads/2/7/5/8/27584045/srs_watch_on_aerospace_plutonium_disposition_report_may_9_2015.pdf

³¹ UCS, “Aerospace Independent Assessment”, 22 April, 2015

<http://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/04/nuclear-m-doe-mox-report-2015.pdf>

³² Aiken Standard, “”

<http://www.aikenstandard.com/article/20150509/AIK0101/150509426>

の予算が必要となる。

- MOX 処分オプションから希釈処分オプションに変更するにあたって発生するであろうリスクについて、対応されていない。PMDA には MOX 処分オプションにて実施することが規定されており、核不拡散上も無視することのできない選択肢である。
- 希釈処分オプションを選択する際には、WIPP (Waste Isolation Pilot Plant, 核廃棄物隔離試験施設³³) を初めとする施設面における重大なリスクが存在する。希釈処分オプションが想定している WIPP 施設では、現状では兵器級 Pu の処分は想定されていない。
- 2014PWG からの加えられた評価事項の追加と MIFT に関するコスト評価には具体性が欠けており、公的な議論が行われていない。
- Aerospace 社によるコストの増加は産業界での指標より高い値を使用している。(建設費) 4%上昇の値は、NNSA が最近使用している上昇値 (平均 1.4%) よりもかなり高い値になる。

【政策調査室 小鍛冶 理紗】

³³ ニューメキシコ州カールズバッドの東方に位置する、核兵器の開発の際に生じる放射性廃棄物を処分する恒久的な岩塩層の地層処分施設。

2 活動報告

2-1 ESARDA37 に参加して

ESARDA は、欧州における保障措置・核不拡散等の研究開発に関する学会であり、その年次大会においては、2年ごとにシンポジウム形式で大きな発表会を実施している。今回の第37回年次大会（ESARDA37）は、イギリス/マンチェスターで開催され、核物質の測定・分析技術開発、評価手法、核物質管理システム、教育プログラム、国際共同プログラムなどの分野で多くの発表がなされた。5月19日から21日の3日間で約130件の発表（内10件はポスター発表）があり、参加者は約200名であった。参加者には、大学や研究機関に加え、IAEA関係者や、欧州原子力共同体（EURATOM）、欧州委員会エネルギー総局（DC-ENER）、イギリス、ハンガリー、ベルギー、ノルウェー、スウェーデンの政府機関からの参加者が見られた。米国からも、LANL、Oak Ridge、Sandia、Pacific Northwest といった米国立研究所、DoE（Department of Energy）、US NRC（Nuclear Regulatory Commission）からの参加があり、保障措置・核不拡散、核セキュリティにおける欧州で重要な学会であるとの印象を受けた。

会議は、初日午前中のプレナリセッションの後に、各テーマに従ったパラレルセッションに移行した。原子力機構からは、8人、9件の発表を行っている。その内訳は、技術開発の概要で1件、パルス中性子を利用した核物質のアクティブ非破壊検知・測定技術の開発で4件、核鑑識で1件、核共鳴蛍光散乱を利用した核物質の非破壊分析技術開発で1件、中性子検知技術開発で1件、人材育成で1件である。なお、今回発表したこれらの研究開発は、文部科学省からの核セキュリティ補助金で実施している。

人材育成に関しては、国際共同活動というパラレルセッションで、「Overview of Activities and Outcomes at Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation and Nuclear Security Related to Japanese Commitment at Nuclear Security Summit Process」という題で、人材育成事業を含め ISCN の活動概要の紹介を瀬谷（ISCN）が行った。

瀬谷（ISCN）はまた、プレナリセッションにおいて、Overview of JAEA-ISCN's NDA Development Programs という題で、補助金事業による技術開発全体を紹介した。ISCN が行ってきた技術開発として、Pu-非破壊分析（NDA）技術開発、

レーザーコンプトン散乱およびそれを用いた NDA 技術開発、He-3 代替検知技術の開発、核共鳴蛍光分析技術開発、中性子共鳴濃度分析法 (Neutron Resonance Densitometry, NRD) 技術開発を紹介した。続いて、平成 27 年度から開始している、核共鳴蛍光を用いた NDA 技術開発、アクティブ中性子 NDA 技術開発、Pu モニタリング技術開発についての紹介を行った。その中で、コンプトン散乱ガンマ線によるコンテナ内に隠蔽された核物質の検知技術に関し、ガンマ線の透過力に関する質問があったが、コンテナなどに対し十分透過力があるとの説明を行った。

呉田 (基礎工セ) は、国際協力のセッションで、「Introduction of JAEA-JRC Collaboration on Development Active Neutron NDA Techniques」という題で、平成 27 年度より新規に始まるプロジェクト「アクティブ中性子 NDA 技術開発」の紹介を行った。本技術開発は、パルス中性子を用いた 4 つの技術開発 (DDA (ダイアウェイ時間差分析法)、DGS (遅発ガンマ線分析法)、PGA/NRCA (即発ガンマ線法/中性子共鳴捕獲分析法) NRTA (中性子共鳴透過分析法)) を進めることになっている。ロドリゲス (ISCN)、土屋 (基礎工セ)、小泉 (ISCN) は、非均一物質の評価というパラレルセッションで「アクティブ中性子 NDA 技術開発」における 4 つの開発技術のうち 3 つを紹介した。ロドリゲスの発表は、

「Utilizing Delayed Gamma Rays for Fissionable Material Measurement in NDA」という題で、DGS についてであった。核分裂で生成される放射性原子核の構成 (分布) は、元となる核物質同位体と核分裂過程により異なってくる。それは、核分裂片から放出されるガンマ線 (DG (遅発ガンマ線)) のエネルギースペクトルとなって現れる。DGS では、中性子で核分裂を誘起し、得られたスペクトルから、元になる核分裂性物質 (U-235、Pu-239、Pu-241) の同位体比に関する情報を引き出す技術である。発表で示したグラフについて質問があったが、核データの不足が原因であり、将来実験的に補完されるべき (核データ取得の基礎研究が重要) であることで質問者と一致した。土屋は、「Technique of Neutron Resonance Transmission Analysis (NRTA) for Active Neutron NDA」という題で、NRTA についてレビューした。中性子はその運動エネルギーによって原子核との反応断面積が異なり、特有な共鳴を示す。そのため、パルス中性子を用い、飛行時間測定を行い、得られた共鳴に関する情報から、核物質量を同位体ごとに定量することができる。新規事業においては、D (重水素)-T (トリチウム) 中

中性子発生管を中性子源とした試験装置の製作を計画している。それに関し、D-T 中性子源のパルス幅 (10 μ 秒) が NRTA の測定精度に及ぼす影響 (飛行時間測定における分解能) について質問があったが、それに関しては研究項目の一つとなっていることを説明した。小泉は、「Techniques of Neutron Resonance Capture Analysis and Prompt Gamma-ray Analysis for Active Neutron NDA」という題で、中性子を捕獲した際に放出されるガンマ線を測定して、試料中の物質を同定する技術について紹介した。その中で核物質と爆発物の検知の技術開発の進行状況についての質問があったが、まだアイデア段階であることを説明した。同セッションで、静間 (量子ビーム) は、「R&D Status of Nondestructive Assay System Based on Nuclear Resonance Fluorescence」という題で、核共鳴蛍光散乱を用いた核物質の非破壊分析に関する技術開発の現状と今後の計画について説明した。核共鳴蛍光は、原子核の共鳴準位と同じエネルギーのガンマ線を照射して、共鳴散乱させる現象を用い、原子核の検知・測定を行う技術である。

新技術と鑑識セッションにおいて、篠原 (ISCN) は「Nuclear Forensics Technologies in Japan (日本における核鑑識技術)」と題する研究成果を発表した。ここでは原子力機構で開発した基本的核鑑識技術を紹介するとともに、核鑑識国際体制への日本の寄与について言及した。会場からは法の執行要件である“Chain of Custody (監督義務の連鎖)”や放射性同位元素についても核鑑識の対象として重視すべきであるとのコメントがあった。本発表論文は ESARDA Bulletin2015 に掲載されることになった。なお核鑑識に関しては、 γ 線測定により $^{214}\text{Bi}/^{234}\text{U}$ 比を求めてウラン年代を決定する新分析手法や、ウラン年代測定に関する国際比較試験 (REIMEP-22) の結果が発表された。

中村 (再処理技術開発セ) は、He-3 代替中性子検出器のセッションで、「Demonstration Result of Sample Assay System equipped Alternative He-3 detectors」という題で発表を行った。本研究開発は、He-3 が供給不足になる可能性が高まってきたのを受けて開発してきた核物質測定装置についてである。本発表では、開発した装置を 3 名の外部専門家を招いて平成 27 年度末に行った装置試験の結果を報告しており、最新鋭機と比較しスペック的には劣るものの、実用できるレベルに達していることを示した。

なお、ESARDA37の初日の基調講演において、JRC 総局長の V. Sucha 氏が、中性子共鳴濃度分析法 (Neutron Resonance Densitometry, NRD) の研究開発を取り上げて紹介したことで、NRD 共同研究開発が成功裏に終了していることが印象付けられた。NRD は、平成 24 年度から平成 26 年度まで、原子力機構が EURATOM (JRC-IRMM (Geel, Belgium)) と共同研究を進めてきた粒子状溶融燃料の核物質測定する技術で、平成 27 年 3 月には、IRMM にてワークショップを共同で開催し、NRD のデモ実験を行うとともに、その研究成果を発表している。

【報告:技術開発推進室 小泉 光生】

2-2 「核セキュリティに関するインターナショナルスクール」参加報告

IAEA とイタリアの The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) の共催により、2015 年 4 月 27 日～5 月 8 日までイタリアのトリエステにおいて開催された「Joint IAEA-ICTP International School on Nuclear Security」に参加した。

本スクールは、核セキュリティ全般に関するに特化した講義内容となっている。今年度は 300 名以上の申込者の中から 47 名が選出された。参加者の出身は、北・中央アフリカが多数を占め、中東、南米、東欧、アジアの途上国からの参加で、その多くが、原子力（放射性物質）規制局に属し、その他には、物理学等の研究者、医療従事者、警察官も参加していた。

本スクールのカリキュラム概要は以下のとおりである。以下の A～C 項に加えて、最終日の 5 月 8 日に、イタリア外務省、イタリア新技術・エネルギー・環境庁、EC、IAEA がイタリアのボローニャで共催した High-Level Event “Nuclear Security Summit 2016 and beyond: the role of training and support centres and Center of Excellence” において、本スクールの修了式が行われた。

A) 核セキュリティに関する講義及び関連するグループエクササイズ

IAEA の核セキュリティシリーズ文書及び国際枠組みに関する理解を深めることを主な目的とし、以下項目に関連する 40 以上の講義が展開された。

核セキュリティに関する国際枠組み、核セキュリティ文化、IAEAの核物質防護の基本原則、核セキュリティに対する脅威の同定及び対応計画、核物質防護システム、規制管理外の物質に関する脅威と脅威評価、違法取引、放射線測定技術、輸送セキュリティ、核鑑識、サッカーワールドカップなどの大型イベントにおける核セキュリティ、サイバーセキュリティ、核セキュリティに携わる人材の育成のための施策など。

講師は、IAEAの核セキュリティ部門担当者のほかに、南アフリカの大学教授やハンガリー、ヨルダン、スロベニア、ロシアの原子力規制当局、国際核輸送研究所（World Nuclear Transport Institute）の特別顧問など、幅広い機関からの参加があり、講義では講師の経験や各国特有の事情なども交えつつ行われた。核セキュリティに関する国内法やガイドラインが整備されていない発展途上国からの参加者が多かったこともあり、活発な議論及び質問のやり取りがなされた。質問の中には、「どのような説明をすれば、核セキュリティに関心のない政治家をやる気にさせることができるのか」といったものもあり、このような質問のやり取りを通じて、発展途上国における放射性物質規制の現状を垣間見ることができたように思う。

グループエクササイズでは、毎回12名程度の4グループに分かれてディスカッション及び発表を実施した。テーマは、上記の講義に関連するものであり、講義で説明された事柄を実例や仮想設定のもとに実務レベルに落として検討を行った。

B) 放射線測定機器の操作体験

放射線測定器（線量計、デジタルスペクトロメーター）の基本的な使用方法に関する講義、実習に加え、部屋に隠されている複数の異なる放射性物質を見つけ出し、その物質が何であるかを特定するエクササイズ、空港のセキュリティゲートを模した環境における放射性物質の探知及び疑わしい荷物・人物の隔離、尋問に関するエクササイズを実施した。

C) スロベニアのコペル港見学

トリエステから車で30分ほど場所にあるスロベニアのコペル港を訪れ、コンテナの構外搬出時の放射性同位体の非破壊検知システムを見学した。実際の警報発生時、セカンドインスペクションを実施するか否かの判断に際し、当該港においては以下3点—①事業者による積荷の申告内容、②トラック全体から均一のスペクトルが検出でき、かつ検出される放射線量が均一であるか³⁴、③放射線量—を考慮しているとのことであった。実際の現場での運用方法を知り、改めて、検出器による警報を受けた後の人間の判断、対応の重要性を認識した。

今回、生徒として本スクールに参加したことで、様々なバックグラウンドを持つ他国の参加者と活発に交流することができ、その中で、他の参加者の母国が抱える核セキュリティや原子力政策に関する問題などについても議論する機会が持てたことは、大変貴重な経験であった。

これまで主に携わってきた保障措置分野においては、IAEAと国家の間で締結される包括的保障措置協定や追加議定書は法的拘束力を持つがゆえに、各国の政策や国内法は、法的義務をベースに制定される比較的自由度の低いものであった。一方で、核セキュリティ分野においては、いくつかの法的枠組みはあるものの、IAEAの勧告や指針に基づいて、各国がそれらを参照しつつ政策や国内法を独自に制定する分野が多く、国家の主体性や責任が大きく問われる分野であることを認識できた。さらには、核セキュリティへの脅威が、日々増加・変化し続ける当分野においては、いまだ世界標準が確立されていない分野も多く、そのような中で、IAEAをはじめとした世界各国の様々な機関と連携し活動を行うこと、また最新の情報・状況を常にアップデートしていくことの重要性を感じた。

【報告:能力構築国際支援室 平井 瑞記】

³⁴例えば、カリウム40を含むバナナが積荷である場合、当該コンテナの積荷が、申告書上、バナナのみであるならば、検出されるスペクトルがカリウムのもものと一致すること、かつ、検出される放射線量が均一であれば、セカンドインスペクション実施への動機は薄れる。一方、積荷申告書の内容からは想定されないスペクトルが検出されたり、積荷が1種類であるにもかかわらず、コンテナの一部分から異常な高線量が検出されたりした場合、それはセカンドインスペクション実施への大きな動機となる。

2-3 ヘリウム3代替中性子検出器技術開発と実証試験（核セキュリティ強化等推進事業：平成23年度-平成26年度実施）

1. 背景

核不拡散・核セキュリティ分野において、核物質の検知・測定に、中性子検出器は不可欠のものである。その中性子検出器に広く使われているヘリウム3（He-3）ガスは、（世界ではほぼ唯一の供給国である）米国におけるストックから供給されてきたが、2001年9月11日の同時多発テロ以後、米国の国土安全保障省が国境、港湾等において核物質探知の目的で大量の中性子検出器を配備したことで米国内の在庫が減少し、それまでと同様な供給を続けることが困難となりつつあった。また、中性子科学分野の進展により需給がさらに逼迫する可能性が高くなった。米国はこのような状況を受け、平成21（2009）年頃から世界に対して、

- ・代替の効かない分野（医療MRI利用、低温科学、石油掘削等）に優先的に供給
- ・核セキュリティ、保障措置分野等の代替技術で対処可能な分野では代替技術開発の推進

という方針を表明し始めた。そのような米国の方針を受け、IAEAは2011年3月末にHe-3代替中性子技術に関するワークショップ（WS）を開催し、加盟各国に対して、「現在使用しているHe-3利用査察検認非破壊分析（NDA:Nondestructive Assay）装置の代替装置について、3年後の技術実証、5年後の現場展開を可能とするよう」開発を要請した。

このような流れを受け、JAEAでは、核セキュリティ強化等推進事業において、J-PARCセンターで開発したZnS/10B2O₃セラミックシンチレータをベースに代替検出器を開発するとともに、それを用いたNDA装置の開発を進め、平成27年3月には、開発した代替検出器の性能実証試験、MOX粉末を用いた性能比較試験（実証試験）などを実施した。この開発実証においては、JAEA内の多くの組織が関与し（表1）、その積極的な協力により（対IAEA等という観点で）JAEAの持つ総合技術力を示すこととなった。

表1 JAEA内での役割

JAEA 内組織	役割
核不拡散・核セキュリティ総合支援センター	統括 【関係する国内・国際関係機関との調整全般】
J-PARC センター	ZnS/ ¹⁰ B ₂ O ₃ セラミックシンチレータ中性子検出器開発及びその性能実証試験 【信号処理、計数回路系技術の開発】
原子力基礎工学研究センター	セラミックシンチレータ中性子検出器を用いた非破壊測定装置 (APCA、ASAS) の設計・開発(製作) 【製作、実証試験における装置設置、操作支援】
再処理技術開発センター	開発した NDA 装置 ASAS と He-3 利用 NDA 装置 INVS との性能比較 (実証) 試験 【MOX サンプルの準備。IAEA・He-3 利用 NDA 装置 (INVS) に関する情報提供、使用許可取得。測定実施。PP 対策、核物質利用に伴う安全対策など】
放射線管理部 (放射線標準施設)	ZnS/ ¹⁰ B ₂ O ₃ セラミックシンチレータ中性子検出器の試験に用いた熱中性子照射装置、ガンマ線照射装置の利用協力

2. ZnS/¹⁰B₂O₃セラミックシンチレータ中性子検出器の開発

本プロジェクトで最も重要でかつその成否の鍵を握るのは ³He 中性子検出器の代替検出器の開発である。我々は代替検出器として J-PARC センターで開発され、実機に組み込まれて実績のある ZnS/¹⁰B₂O₃セラミックシンチレータを採用した。図 1、2 は、開発した ZnS/¹⁰B₂O₃セラミックシンチレータ中性子検出器の構造図を示す。シンチレータは長方形の薄いガラス面の片側に薄く焼結形成したもので、これを鏡面反射面をもつ矩形型金属管の中に装填し、中性子とシンチレータの相互作用の結果生ずる蛍光を検出器両端に設置した光電子増倍管 (PMT) で検出する。この 2 つの光電子増倍管からの出力信号を波形整形・同時計数等

の処理を行うことで中性子を計測する。セラミックシンチレータの蛍光特性に応じて適切に信号処理する手法を用いて、ガンマ線の影響を低減した。また、シンチレータをガラス基板上に形成することでシンチレータの両面から蛍光を効率よく測定し検出効率を高めることに成功した。本開発については、J-PARC ニュース³⁵での報告を予定している。

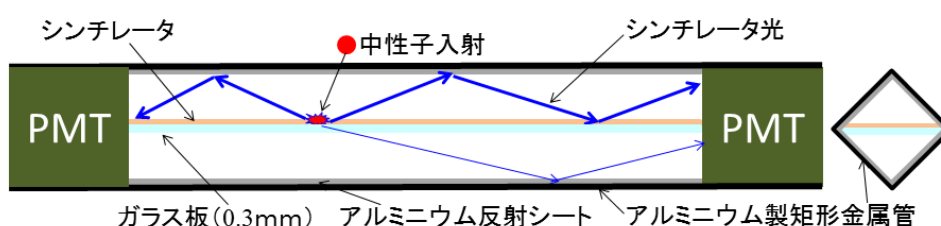


図1 セラミックシンチレータ概略図。角状の金属管内に斜めにシンチレータを取り付けている。シンチレータ光を効率よく両端のPMTに導くため、金属管の内面にはアルミニウム製の反射シートが貼り付けられている。

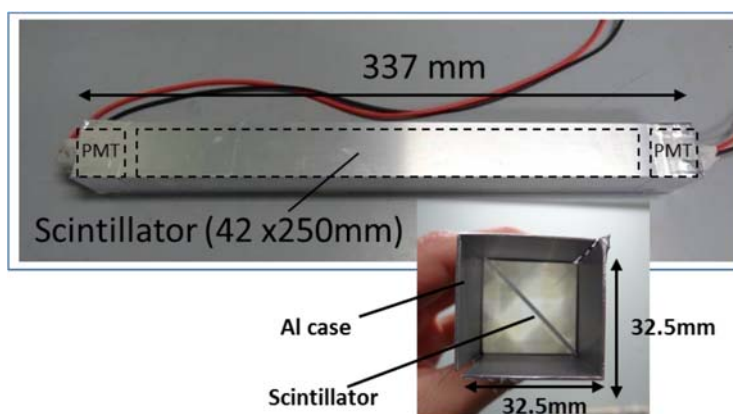


図2 開発したセラミックシンチレータ検出器ヘッド

³⁵ J-PARC ニュース : <http://j-parc.jp/researcher/ja/database/news/index.html>

3. NDA 装置の設計・開発

$^{10}\text{B}_2\text{O}_3/\text{ZnS}$ セラミックシンチレータ中性子検出器を用いる非破壊分析 (NDA) 装置の開発は、「IAEA が査察現場にて使用している NDA 装置と性能・サイズ的に同等な装置を目指してほしい」という IAEA の基本要件に従い、開発したセラミックシンチレータ中性子検出器に対応して設計を最適化する方針で臨んだ。このため、当初は大型の NDA 装置 (APCA: Alternative Plutonium Canister Assay system) の設計・試作を進めていたが、小型の NDA 装置 (ASAS: Alternative Sample Assay System) の開発を進めることとした。

図 3 に開発した小型の NDA 装置 ASAS を示す。図 4 は、ASAS の比較対象として選定した He-3 比例計数管を用いた NDA 装置 (INVS: Inventory Sample Counter) である。この装置は、実際にプルトニウム転換技術開発施設 (PCDF) における、固定日ランダム査察等において申告値の妥当性の迅速な検認に用いられている査察用非破壊測定装置 (合格範囲: $\pm 7.4\%$ (申告値と測定値の差の 3σ)) である。INVS は、核物質サンプル (Pu) から放出される (自発) 中性子を測定し自発核分裂同位体量 (有効 Pu-240 量) を定量・確認するためのものであるが、開発した NDA 装置 ASAS も同様な機能を有している。

$^{10}\text{B}_2\text{O}_3/\text{ZnS}$ セラミックシンチレータを用いた NDA 装置

直径 41cm × 高さ 78cm (重量約 60kg)



図 3 ASAS (代替 He-3 中性子検出器)

He-3 を用いた査察用 NDA 装置

直径 30cm × 高さ 51cm (重量約 20kg)



図 4 INVS (He-3 中性子検出器)

ASAS 装置本体は、外形寸法 $\phi 406\text{mm}$ (架台部 $\phi 500\text{mm}$) の円筒形状で、高さは架台部分を含めると 740mm となり、その内部に開発した $^{10}\text{B}_2\text{O}_3/\text{ZnS}$ セラミックシンチレータ検出器を 24 本装備している。ASAS 本体を構成するフレーム構造材の材質は、アルミニウムとし、中性子減速材として酸化マグネシウム及び高密度ポリエチレンを使用した。核燃料サンプルを設置するサンプル室は、バイアル瓶を収容できる $\phi 68\text{mm} \times 158\text{mm}$ の円筒状である。本装置の中には、上記中性子検出器 8 本を縦置きに同心円状に配し、これを 3 層とした多層構造にしている。ASAS のシステム構成図を図 5 に示す。

開発した ASAS の基本性能確認については、その後の実 MOX 粉末を使う IAEA 等の性能評価試験のこともあり、PCDF にて実施した。その基本性能は (INVS との比較として)、表 2 に示すとおりである。

中性子の検出効率 (ε) 及び Die-away Time (τ : NDA 装置内の中性子消滅平均時間) の測定結果ならびに NDA の性能を表す国際的な指標 (FOM: Figure of Merit (ε^2/τ)) により評価した。ASAS の検出効率は INVS の約半分程度、ASAS の Die-away Time は INVS の 1.7 倍程度であった。FOM においては、ASAS は INVS の 1/7 程度であり、十分な性能は得られなかった。



図5 ASASの全体構成図

表2 ASASとINVSの基本性能比較結果

	検出効率 (・:%)	Die-away Time (・:・s)	FOM (・ ² /・)
ASAS (代替 He-3)	15.97	77.67	328.4
INVS (He-3)	30.82	45.36	2094.1
備考	相対的に高い方が良好	相対的に短い方が良好	相対的に高い方が良好

今後、ASASをINVSレベルまで改善するためには、下記に示す課題への対応が必要と考えられる。

-
- ・ 検出管構造の改善 ⇒ 検出効率と Die-away Time を改善
 - ・ ASAS 検出器内の検出管の配置方法の最適化 ⇒ 検出効率と Die-away Time を改善
 - ・ γ 線影響を除去するためのノイズ除去手法の改善 ⇒ 検出効率を改善

4. 性能実証試験

本プロジェクトで開発を進めてきた $^{10}\text{B}_2\text{O}_3/\text{ZnS}$ セラミックシンチレータ中性子検出器の性能及びそれを用いた NDA 装置の性能を評価するため、招待した専門家 3 名 (JRC-ITU(1 名)、IAEA (1 名)、米国 LANL(1 名)) を第 3 者評価者とした性能 (実証) 試験を平成 27 年 3 月中旬に実施した。

(1) $\text{ZnS}/^{10}\text{B}_2\text{O}_3$ セラミックシンチレータ中性子検出器の性能試験

セラミックシンチレータ中性子検出器の性能試験は、原子力科学研究所の放射線管理部の所有する放射線標準施設において、標準の ^{252}Cf 中性子照射装置及び ^{60}Co ガンマ照射装置を用いて実施した(図 6 参照)。





図6 放射線標準施設(上)と熱中性子照射装置(左下)、ガンマ線照射装置(右下)

この性能試験では、3個のプロトタイプ $\text{ZnS}/^{10}\text{B}_2\text{O}_3$ セラミックシンチレータ中性子検出器について、中性子検出効率及びガンマ線感度を測定した。その結果、全てのセラミックシンチレータ検出器について、標準 He-3 比例計数管（直径1インチ；4気圧）の75-80%の検出効率（単位長さ当たり）を有していることが確認された。また、ガンマ線感度は100mSv/hrの高いガンマ線場でも 10^{-7} 以下であることが確認され、中性子検出器として高い性能を有することが示された。この結果を受けて、評価者からは「Excellent performances」との高い評価を得た。

(2) プロトタイプ NDA 装置 (ASAS) の性能試験

プロトタイプ NDA 装置 ASAS の性能試験は、PCDF・基礎実験室 (A128) で行った。査察現場での適用性を検討するため、ASAS が同タイプの INVS と同等の性能を有していることを、MOX 粉末 (0.1gPu~10gPu) 及びチェックソース (Cf 線源) を用いて確認することが一つの目標であった。

・校正試験（キャリブレーション）結果

ASAS と INVS に対し、既知の Pu 量や同位体組成比の MOX 粉末 (0.1gPu~10gPu) を用いて、Pu 量(実際はPuの実効質量(自発核分裂中性子数と相関のある質量)) に対する Doubles 計数率 (自発核分裂中性子に関する計数率) の相関関係 (検量線) を、校正試験により得ることができた。ASAS と INVS の校正式 (検量線) を以下の図 7 及び図 8 にそれぞれ示す。なお、Pu 量の増加に応じて中性子の自己増倍効果が生じることから検量線は二次式としている。

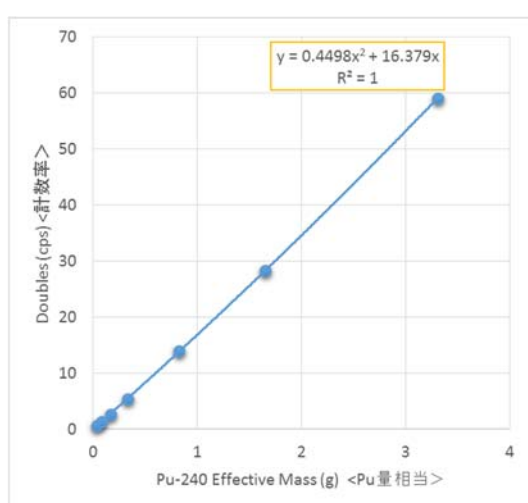


図 7 ASAS の校正式 (検量線)

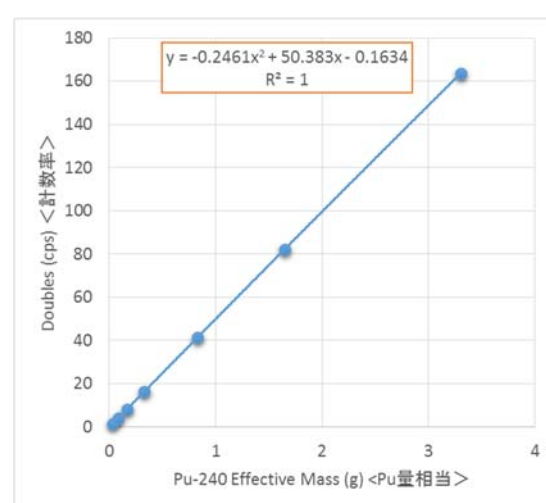


図 8 INVS の校正式 (検量線)

なお、検量線法その他、中性子の増倍を補正する校正手法 (known- α) 法による評価もあわせて実施した。

・測定の不確かさ評価

中性子検出器の総合的な評価として、測定及び校正結果より得られた不確かさを表4に示す。ASASの基本性能はINVSに劣るが、総合的な不確かさとしては、ASAS、INVSともに同等の結果を得ることができた。これらの結果は、査察機器（部分欠損検認用機器）としての要求性能（総合不確かさとして6%以下）を満足するものである。また、検出下限値については、0.029gPu（ASAS）及び0.013gPu（INVS）であることが分かった。

表4 ASASとINVSの測定の不確かさの評価結果

	総合不確かさ(%) ³⁶	系統不確かさ(%)	偶然不確かさ(%)
ASAS	3.9	2.3	3.2 ³⁷
INVS	3.7	2.9	2.2
備考 (不確かさの成分等)	系統不確かさと偶然不確かさの二乗和平方根により求まる。	・校正式の不確かさ ・標準試料の誤差 ・サンプル室内の感度分布	・計測のばらつき(30分) ・標準試料の誤差

³⁶同種の中性子検出器の総合不確かさの国際標準は2.1%（5分測定）である。ASASにおいて2.5gPu以上の試料を測定した場合、INVSにおいて1gPu以上の試料を測定した場合は、国際標準を満足する。

³⁷長時間連続測定（数時間以上）による計測のばらつきが認められた（光電子増倍管の温度上昇による若干の計数値ドリフトを確認）。

なお、ASAS-INVS 性能比較試験の様子を以下の写真に示す。



図 9 ASAS-INVS 性能比較実証試験の様子



(JAEAメンバー、IAEA、LANL、JRCの評価者+JRC見学者を加えた集合写真)

図 10 ASAS-INVS の性能比較実証試験参加者集合写真

5. 外部評価者による総合評価

外部評価者からは、以下のような総合評価が得られた。

- ・セラミックシンチレータを用いた代替技術は革新的で興味深い技術である。
- ・セラミックシンチレータの高い中性子検出効率からすれば NDA 装置の中性子検出効率はもう少し高くできる。
- ・短時間測定においては安定しており、バイアスなく Pu の定量性を有していることから、核物質の測定に適用することが可能と判断できる。
- ・検出効率等、今後も継続して ASAS の性能を改善することを期待する。

このように、基本性能(中性子検出効率、Die-away Time、FOM)は INVS に比べて低かったが、Pu の定量性(測定の不確かさを含む)の観点では、保障措置で幅広く利用されている INVS と遜色のない定量性(測定不確かさ)を有することが確認でき、査察機器への適用の可能性を示すことができた。

6. 世界の He-3 代替 NDA 装置開発競争と現状での He-3 代替問題

最後に、世界の He-3 代替 NDA 装置開発競争と現状での He-3 代替問題について触れておこう。

現在から約 5 年前の 2010 年頃に米国政府が出した He-3 ガス供給不足への警鐘に端を発する、IAEA の加盟国への開発要請(2011 年 3 月)は、表 5 の各機関による世界的な He-3 代替中性子 NDA 装置開発競争を引き起こした。こうした中、IAEA は、装置の開発状況を把握するために“He-3 代替国際 WS”を、JRC と USDOE に共同で開催することを依頼した。第 1 回 WS は、2013 年 6 月に LANL (米)において、第 2 回 WS は 2014 年 10 月に JRC-ITU (Ispra) (伊)において開催された。

第2回目となる2014年10月のWSでは、各機関が開発したプロトタイプをITU (Ispra) に持ち込み、JRC を評価者とする評価試験が行われることになっていた。これに何とか間に合わせたのは、米国民間企業のPTI社と英国民間企業のSymetrica社であり、JAEAとLANLは、これに間に合わせることはできなかった。JAEAの開発した装置(ASAS)については、本報告書に記したとおり、半年遅れになる2015年3月に評価者を招聘した試験を行っている。LANLの装置については、2015年5月からJAEA-PCDFにおいて性能実証試験を進めているところで、本稿が公開される頃には結果が出ているはずである。米国民間企業のPTI社 (Proportional Technology, Incorporate) は、この第2回WSにStraw Tube (*) を多数用いたHLNCC型NDA装置を持ち込み、実証試験の結果、査察現場展開が可能なレベルの装置であると(最初に)評価がなされた。(PTI社によれば、このNDA装置は非常に安価なものとなっている、とのこと。)

表5 IAEAの要請に応じてHe-3代替中性子NDA装置開発に参加した機関

開発者	国	装置 (実証試験場所)	査察現場展開 (判定時期)
PTI (Proportional Technologies, Inc.) (米国民間企業-米国防省委託)	米国	PTI-Straw HLNCC (JRC-ITU(Ispra))	可能 (2014年10月)
Symetrica, Inc. (英国民間企業-JRC支援)	英国	Symetrica-HLNCC (JRC-ITU(Ispra))	(本来検出器数の1/4) ?
(USDOE) LANL (米国国立研究所-米国DOE支援)	米国	HLNB (HLNCC型) (JAEA-PCDF)	可能 (2015年5月)
(MEXT) JAEA (国立研究開発法人-政府MEXT支援)	日本	ASAS (INVS型) (JAEA-PCDF)	可能 (2015年3月)

また、同 WS において、米国 DOE は、「米国・国土安全保障省は 2015 会計年度 (2014 年 10 月開始) から核セキュリティ用に He-3 を購入しないと決定した」との報告を行った。このことは、米国内での He-3 消費が減ることを意味しており、同時に IAEA への He-3 ガス供給が、2011 年に比べ緩和される見通しが明らかになった。このことによって、He-3 代替中性子技術開発に関する切迫性がかなり薄れ、事実上、IAEA の保障措置上の He-3 問題は解決されたものとなった。

(*) 米国国防省の委託により大規模な Straw Tube (Al と Cu の Tube 内面に B₄C を貼り付けた比例計数管) 製作ラインを完成させ、安価な Straw Tube 供給体制が確立した、とのこと。

上記のように、多様な He-3 代替技術がほぼ同時に開発されたことによって、IAEA の保障措置 NDA 検認が継続可能なものとなった。これを受け、IAEA は次のような方針を出している。

- ・ He-3 NDA 装置は続けて使用する
- ・ He-3 比例計数管内面に ¹⁰B を薄く塗布した ¹⁰B Plus 計数管を使い He-3 を節約
- ・ 必要に応じて開発された代替技術を使用する (性能が同じであればコストの安いもの)

(あしがき)

IAEA の要請を受ける形で、JAEA は (関係部門は協力して) 世界の He-3 代替 NDA 装置開発競争に参加しました。JAEA 内に蓄積された多様な技術を基に、JAEA オリジナルの He-3 代替検出器及びそれを用いた NDA 装置 (ASAS) を完成させ、実際の核物質 (MOX) を使う性能比較試験を行い、国際保障措置に貢献する形で技術開発の一翼を担うことができた。本技術開発を成し遂げるためには、表 1 に示す JAEA 内の研究組織や研究施設とそれに関係する人々のポテンシャルの高さ、

多大な協力、努力が不可欠でした。本報告書をまとめるにあたり、協力していただいた皆様に感謝の意を表します。

【報告:技術開発推進室 小泉 光生】

発行日：2015年7月31日

発行者：国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構（JAEA）

核不拡散・核セキュリティ総合支援センター（ISCN）