

ISCN Newsletter

(ISCN ニュースレター)

No.0341

May, 2025

Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation, Security and
Human Resource Development (ISCN)

原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター

Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



目次

1. お知らせ	3
1-1 ISCN 統合に伴う新センターの発足式を行いました。	3
1-2 夏期休暇実習生の募集及び「ISCN 夏の学校 2025」のご案内	4
1-3 ISCN が GENKI LABO チャンネルとコラボしました！	5
2. 核不拡散・核セキュリティに関する動向(解説・分析)	6
2-1 韓国が「センシティブ及びその他の指定国リスト」に掲載される	6
報道によれば、2025 年 1 月、韓国がバイデン米国政権下のエネルギー省(DOE)により「センシティブ及びその他の指定国リスト」掲載された。その背景、影響及び韓国の対応等について、2025 年 4 月 1 日現在の情報を基に紹介する。	
2-2 「ウクライナでの戦争後の核拡散の未来」(論文紹介)	10
Nicolas Miller 氏(米国ダートマス大学政治学部准教授)による「ウクライナでの戦争後の核拡散の未来」と題する論文を紹介する。	
3. 技術・研究紹介	16
3-1 核分裂性物質の非破壊分析のための中性子共鳴分析技術の開発	16
ISCN 技術開発推進室では、核分裂性物質を非破壊で分析するための技術として、中性子飛行時間(TOF)法を用いた中性子共鳴分析(NRA)技術の開発を進めている。NRA 技術開発の一つとして、試料にパルス中性子を照射し、試料を透過した透過中性子を測定する中性子共鳴透過分析(NRTA)法の技術開発を行っている。本報告では、NRA 法について概説し、NRTA 技術開発の一環として実施した透過中性子 TOF 測定実験の結果を報告する。	
4. 活動報告	23
4-1 原子力施設のコンピューターセキュリティ検査の実施に関する地域トレーニングの共催報告	23
2025 年 3 月 17 日～3 月 21 日に IAEA 主催「原子力施設のコンピューターセキュリティ検査の実施に関する地域トレーニングコース」をホストしたため概要を報告する。	
4-2 令和 6 年度学生原子力施設見学会を実施しました	24
2025 年 3 月 18、19 日の 2 日間、日本原子力研究開発機構原子力科学研究所(原科研)見学会を実施したため概要を報告する。	

Contents

1. Announcements -----	3
1-1 An inauguration ceremony was held for the new ISCN Center. -----	3
1-2 Call for summer holiday apprentices and 'ISCN Summer School 2025' -----	4
1-3 ISCN collaborated with the GENKI LABO channel! -----	5
2. Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security Trends and Analysis -----	6
2-1 South Korea was reportedly placed on the "Sensitive and Other Designated Countries List (SCL)" -----	6
According to reports, South Korea was included on the "Sensitive and Other Designated Countries List" by the Department of Energy (DOE) under the Biden administration in January 2025. This article introduces the background, impact, and South Korea's response, based on information available as of April 1, 2025.	
2-2 “The Future of Nuclear Proliferation after the War in Ukraine” by Prof. Nicholas MILLER -----	10
This article introduces a paper entitled "The Future of Nuclear Proliferation After the War in Ukraine" ¹ by Nicholas L. MILLER, Associate Professor, Department of Government of the Dartmouth College.	
3. Introduction of Technology and Research related to Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security -----	16
3-1 Development of Neutron Resonance Analysis Technology for a nondestructive fissile material assay -----	16
ISCN has been developing neutron resonance analysis (NRA) using a neutron time-of-flight (TOF) method for a nondestructive fissile material assay. As one of the NRA technologies, we are developing a neutron resonance transmission analysis (NRTA) technology to detect transmitted neutrons through the sample after irradiating pulsed neutrons. In this report, we introduce the NRA technology and report the results of neutron transmission measurements for the NRTA technology development.	
4. ISCN's Activities Reports -----	23
4-1 Report on Regional Training Course on Conducting Computer Security Inspections at Nuclear Facilities -----	23
IAEA/ISCN hosted the IAEA's " Regional Training Course on Conducting Computer Security Inspections at Nuclear Facilities" from March 17 to March 21, 2025, and we report the outline of the workshop.	
4-2 FY2024 Student Nuclear Facility Tour Held -----	24
We conducted a tour of the Japan Atomic Energy Agency's Nuclear Science Research Institute over two days, March 18th and 19th, 2025, and here we provide an overview.	

¹ Nicholas L. MILLER, “The Future of Nuclear Proliferation after the War in Ukraine”, Institut français des relations internationales (Ifri), <https://www.ifri.org/en/studies/future-nuclear-proliferation-after-war-ukraine>

1. お知らせ

1-1 ISCN 統合に伴う新センターの発足式を行いました。

2025年4月1日、ISCNは新たな一步を踏み出しました。これまで別々に活動していた核不拡散・核セキュリティ総合支援センターと原子力人材育成センターが統合し、「原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター」新ISCNとして新たな一步を踏み出しました。

それに伴い、統合を記念して発足式を行いました。発足式では多くのメンバーが一堂に会し、センター長、副センター長、そして各室長が抱負を紹介、センターの士気を高めました。交流の時間も設けられ、メンバー間の絆を深めることができました。

新ISCNは「3S 人材育成支援×2S 技術開発・協力」を通じてアジア・国内のHUBとなる新たな役割を担って原子力機構に新たな価値を付加できるよう努めてまいります。



これからも私たち ISCN は一丸となって活動していく所存です。引き続き皆様のご支援とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

新センターの HP・ロゴは下記のとおりです。

< <https://iscn.jaea.go.jp/> >



【報告:原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター】

1-2 夏期休暇実習生の募集及び「ISCN 夏の学校 2025」のご案内

【令和 7 年度 JAEA 夏期休暇実習生募集要領】

日本原子力研究開発機構では、大学、大学院及び高等専門学校を学生を対象に夏期休暇実習として原子力について広く学ぶ機会を提供する取り組みを毎年行っております。昨年(2024 年)度は、ISCN において 6 テーマで募集し、8 名の実習生を受け入れました。今年度も ISCN では 7 月 22 日(月)～9 月 30 日(月)の期間で夏期休暇実習生を募集します。受入期間はテーマごとに異なりますが、この期間内で相談可能です。

「令和 7 年度 JAEA 夏期休暇実習生募集要領」

https://iscn.jaea.go.jp/student_intern_guidelines_kkjs_R07.php

参考:2024 年度の夏期休暇実習に参加した学生の感想:

https://www.jaea.go.jp/04/iscn/nnp_news/attached/0334.pdf#page=52

【夏の学校 2025】

上記の夏期休暇実習の機会をさらに活用していただく取り組みとして「ISCN 夏の学校 2025」を開校します。これは ISCN のテーマに参加される夏期休暇実習生を対象として、実習生同士で交流しつつ、互いに議論ができるような場を提供することを目的としています。

詳細はニューズレター6月号にてご連絡いたします。

下記リンクにて随時情報が更新されていきますのでご確認ください。

<<https://www.jaea.go.jp/04/iscn/activity/2025-07-30/announce.html>>

参考:ISCN 夏の学校 2024 実施報告:

https://www.jaea.go.jp/04/iscn/nnp_news/attached/0334.pdf#page=41

「ISCN 夏の学校 2025」問合せ先:

原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター (ISCN)

夏の学校 2025 事務局

E-mail: iscn-event@jaea.go.jp

1-3 ISCN が GENKI LABO チャンネルとコラボしました！

ISCN では、核不拡散や核セキュリティ分野を含む原子力分野により多くの学生さん達に知っていただくことが将来の人材確保のために重要と考えています。このため、科学系 YouTuber である **GENKI LABO** さんとコラボレーションし、ISCN で技術開発を行っている放射線検知ロボットや実習フィールドを紹介する動画を制作、第 1 本目の動画が 4 月 26 日に公開されました。今後も新しい動画が配信される予定です。視聴者が楽しめる内容が盛りだくさんです。是非ご覧ください！

動画リンク

<<https://www.youtube.com/watch?v=Yorse9vLL4I>>

GENKI LABO とは「世の中は全て科学でできている」「人の夢を実現させる魔法のような科学の芽を育てたい」をスローガンに科学を通じて、防災減災の周知、温暖化対策など再生可能エネルギーの実験、科学でふるさと納税の開発、理美容品の開発、食の開発、音楽ライブの演出、バラエティの罰ゲーム開発、未だ誰もみたことがない実験開発など『科学』×『○○』で幅広く活動しています。

GENKI LABO YouTube アカウント

<<https://www.youtube.com/@GENKILABO>>

2. 核不拡散・核セキュリティに関する動向（解説・分析）

2-1 韓国が「センシティブ及びその他の指定国リスト」に掲載される

1. 概要

報道によれば、2025年1月、バイデン政権下の米国エネルギー省(DOE)は、「DOE関連の研究機関に係るセキュリティ問題」と、「韓国の研究者がDOEの研究所を訪問したり、共同研究プロジェクトに参加したりする際にセキュリティ規制に違反した」ため、韓国をDOEの「センシティブ及びその他の指定国リスト(Sensitive and Other Designated Countries List: SCL)」に掲載した^{1,2}。当該指定は4月15日に発効するという³。本稿では、その背景、影響及び韓国の対応について、2025年4月1日現在の情報を基に紹介する。

2. 韓国の「センシティブ及びその他の指定国リスト」への掲載

報道によれば、SCLには①テロ支援国家(State Sponsors of Terrorism)、②リスク国(Country of Risk)及び③その他の指定国(Other Designated Countries)の3つのカテゴリーがあり、韓国は③に指定とされたという^{4,5}。2025年4月1日現在、国務省は①にキューバ、北朝鮮、イラン及びシリアを指定しており⁶、報道によれば、②には中国及び露国等⁷が指定されているという。また③は、米国の「情報保護」の観点からの指定であり⁸、インド、イスラエル、パキスタン、サウジアラビア、台湾等が指定されているという⁹。ただし昨今は「安全保障、核不拡散、またはテロ支援上の理由」に留まらず、米国

¹ American Nuclear Society (ANS), “Issues arise over South Korean access to U.S. nuclear info”, NuclearNewswire, 28 March 2025, <https://www.ans.org/news/article-6896/issues-arise-over-south-korean-access-to-us-nuclear-info/>

² The Korea Times, “DOE lab contractor employee terminated after attempting to fly to Korea with reactor design software: report”, 18 March 2025, <https://www.koreatimes.co.kr/foreignaffairs/20250318/us-dept-of-energy-lab-contractor-employee-terminated-after-attempting-to-fly-to-korea-with-reactor-design-software-report>

³ 同上

⁴ Chosun Online, 「韓国がリスト入りした「センシティブ国」、対象は主に米国の敵性国…最近はライバル国も指定」、2025年3月17日、https://www.chosunonline.com/site/data/html_dir/2025/03/17/2025031780015.html

⁵ なおDOE命令による「センシティブ国リスト(Sensitive Country List)」(注: Other Designated Countriesは含まれていない)、「テロ支援国家(State Sponsors of Terrorism)」及び「リスク国(Country of Risk)」前の定義は各々以下のとおり。センシティブ国リスト:DOE内部の審査及び承認プロセスにおいて、外国人のアクセスに関する政策上の理由により特別な配慮が払われる国のリスト。セキュリティ、核不拡散、またはテロ支援の理由により、リストに掲載される国がある。テロ支援国家:国務省によりテロリズムまたはテロ活動を支援する団体及び/または活動のスポンサーとして特定され、テロ支援国家リストに掲載されている国。リスク国:DOEの科学担当次官が、エネルギー担当次官、安全保障担当次官及び情報・防諜局(OICI)と協議の上、国家情報長官の「世界規模の脅威に関する評価報告」及び「米国の国家防諜戦略」を考慮し(ただしこれに限定されない)、リスクがあると判断した国。出典:DOE, “DOE O 142.3B Chg 1 (LtdChg), Unclassified Foreign National Access Program”, <https://www.directives.doe.gov/directives-documents/100-series/0142-3-border-b-chg1-ltdchg/@@images/file>

⁶ DOS, “State Sponsors of Terrorism”, <https://www.state.gov/state-sponsors-of-terrorism/>

⁷ Chosun Online, 前掲

⁸ 東亜日報, 「정부, ‘민감국가’ 해제 절차도 까끌...내달 발효전 지정 철회 불투명」, 2025年3月19日、<https://www.donga.com/news/Politics/article/all/20250319/131236846/1>

⁹ Hankyoreh, “[Exclusive] US classifies South Korea as ‘sensitive country,’ limiting cooperation on advanced tech”, 10 March 2025, https://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_national/1186263.html

のエネルギー安全保障の観点からライバル国もリストに含まれるケースもあると言われる¹⁰。

韓国外交部長官は、③が①～③の中で最も下位のもので、「核不拡散」と「テロ防止」に重点を置く①と②とは根本的に異なる」と述べた¹¹が、報道によれば、③に指定されると例えば韓国国民による DOE 傘下の国立研究所へのアクセスは指定前に比し、より厳しい審査と承認手続きの対象となり、また原子力、人工知能及び先端技術関連研究への研究者の参加を制限する可能性があるという^{12, 13}。

3. DOE の指定理由及び背景

DOE は今次、韓国をリストに掲載した理由を明らかにはしていないが、在ソウル米国大使代理は、DOE 傘下の国立研究所への訪問者(visitors)が機微な情報を誤って扱ったためと述べ¹⁴、また韓国外交部長官は、今次指定が韓国の外交政策上の問題ではなく、DOE 傘下の国立研究所の「セキュリティに関する問題(issues related to security)」に起因していると認識していると述べた¹⁵。この「セキュリティに関する問題」に関連し、DOE 監察総監室(Office of the Inspector General: OIG)が 2024 年上半期に米国議会に提出した半期報告書¹⁶は、アイダホ国立研究所(INL)が、米国連邦規則に基づき輸出管理が必要な INL 独自の原子炉設計のソフトウェアを所持して韓国行の飛行機に搭乗しようとした INL の請負業者の従業員(contractor employee)を解雇したこと、当該従業員は情報の持ち出しに係り輸出管理の必要性を認識していたにも拘わらずそれを行わなかったこと、加えて当該従業員は外国政府¹⁷とメールやチャットで連絡を取り合っていたこと等を記載している¹⁸。韓国政府は左記と米国による今次指定の関係を精査しているという¹⁹。

DOE が指定理由を明確にしていないことから、上記の米韓政府関係者の発言以外に以下を根拠、あるいは背景とする推測も報じられている。

¹⁰ Chosun Online、前掲

¹¹ Hankyoreh, “What other names added to US ‘sensitive country’ list suggest about Korea”, 25 March 2025, https://english.hani.co.kr/arti/english_edition/e_national/1188826.html

¹² ANS, op. cit.

¹³ なお、韓国がリストに掲載されたのは今回が初めてではない。米国が 1981 年に SCL 制度を導入した際に韓国はリストに掲載されていたが、韓国は指定解除に向けて閣僚級レベルも含め米国と協議を重ね、最終的に 1994 年にリストから外された(指定が解除された)という。東亜日報、前掲 及び Hankyoreh, “[Exclusive] US classifies South Korea as ‘sensitive country,’ limiting cooperation on advanced tech”, op. cit.

¹⁴ Reuters, “South Korea says it agreed with US to swiftly resolve ‘sensitive country’ status”, 21 March 2025, <https://www.reuters.com/world/asia-pacific/south-korea-says-it-agreed-with-us-swiftly-resolve-sensitive-country-status-2025-03-21/>

¹⁵ Hankyoreh, “What other names added to US ‘sensitive country’ list suggest about Korea”, op. cit.

¹⁶ DOE OIG, “Semiannual Report to Congress, For period ending March 31 2024”, DOE-IG-0085, <https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-05/Semiannual%20Report%20to%20Congress%20Period%20Ending%20March%2031%202024.pdf>

¹⁷ 国名は特定されていない

¹⁸ Hankyoreh, “US researcher fired for trying to bring nuclear reactor software to South Korea, DOE report shows”, 18 March 2025, https://www.hani.co.kr/arti/english_edition/e_international/1187603.html

¹⁹ 同上

(1) 韓国が核開発に向かうのではないかとの米国の懸念:「センシティブ国」に指定されている国は韓国以外では、露国、北朝鮮、イラン等の米国の敵対国と、インド、イスラエル、台湾、ウクライナ等の核兵器を保有、あるいは核兵器開発に戦略的な理由を有する米国の同盟国・パートナー国であること²⁰。

(2) 韓国内での核武装論の高まり²¹:昨今、「国民の力」所属の国会議員やソウル市長が核武装の必要性を主張していること^{22,23}。この背景には、北朝鮮の核・ミサイル脅威の高まり²⁴や、以前に韓国が在韓米軍の維持費を増額しなければ米軍を撤退させると発言したトランプ氏²⁵の大統領再任がある^{26,27}。

(3) 韓国の政治的混乱:「センシティブ国」の指定には、国家安全保障上のリスクや経済安全保障上の脅威、核拡散懸念やテロ支援の他に、地域や国家の安定性の欠如も考慮される。韓国では、2024年12月のユン・ソンニョル大統領による「非常戒厳」の宣布や同大統領に対する弾劾案可決など、政治的混乱が継続していること^{28,29,30}。

上記の他、米国は、韓国による原子炉(APR1000)の第三国への輸出に伴う米国の原子炉技術の移転が核不拡散を阻害する可能性を懸念したのではないかとの見解もある³¹。具体的には、DOEが韓国をリストに加える直前の2025年1月16日、韓国水力原子力発電(KHNP)及び韓国電力公社(KEPCO)は、米国のウェスティングハウス社

²⁰ The Korea Herald, [Wang Son-taek] South Korea as a 'sensitive country', 20 March 2025, <https://www.koreaherald.com/article/10445457>

²¹ 産経ニュース、「バイデン米前政権が韓国を核「センシティブ国」に指定、4月15日発効 核武装論を警戒か」、2025年3月16日、<https://www.sankei.com/article/20250316-HJ5UMSDW7BM6RNTD6OB63W3QYE/>

²² 毎日経済、「元喜龍、尹相賢、韓東勳は慎重論「力量は備えるが核武装は留保」、2024年6月25日、<https://www.mk.co.kr/jp/politics/11050613> 毎日経済、「柳容源(ユ・ヨンウォン)「国民の力」議員単独インタビュー 30年以上国防省取材した「国防通」1日「原子力振興法改正案」発議 韓「核潜在力」確保のための第一歩」、2024年7月8日、<https://www.mk.co.kr/jp/politics/11061673>

²³ 必ずしも今、直ぐというわけではないがタイミングを見計らいつつ必要な際にいつでも使えるよう「核潜在力」を確保すべきとの慎重論もある。同上、

²⁴ Chosun Online、「ソウル市長 韓国は「少なくとも日本水準の核潜在力保有すべき」、2024年6月28日、https://www.chosunonline.com/site/data/html_dir/2024/06/28/2024062880195.html

²⁵ Yonhap News Agency, “Trump proposed complete withdrawal of U.S. Forces Korea: Esper”, 11 May 2022, <https://en.yna.co.kr/view/AEN20220511000300325>

²⁶ CNN World, “Why are South Koreans losing faith in America’s nuclear umbrella?”, 21 January 2023, <https://edition.cnn.com/2023/01/21/asia/us-nuclear-umbrella-south-korea-analysis-intl-hnk-dst/index.html>

²⁷ 韓国内における核武装論の存在・高揚は新しいものではない。例えば1970年代初めのニクソン政権下で在韓米軍撤退が示唆された際、朴正熙元大統領(当時)は「自主国防」と「核開発」を同時に進めようとしたが、後者については米国の強力な圧力で放棄したという。Hankyoreh、「韓国の核武装論と朴正熙の10月維新【コラム】」、2024年7月10日、<https://japan.hani.co.kr/arti/opinion/50550.html>

²⁸ The Korea Herald, op. cit.

²⁹ 産経ニュース、前掲

³⁰ 東亜日報、「ビクター・チャ氏「米韓同盟、静かな危機…韓国の政治危機は大統領選挙を経てこそ解決」、2025年3月29日、<https://www.donga.com/jp/article/all/20250329/5523118/1>

³¹ 韓国科学技術研究院(KIST)の専門家の弁。東亜日報、「정부, ‘민감국가’ 해제 절차도 감감...내달 발효전 지정 철회 불투명」、前掲

(WH)とAPR1000の知的財産権の所在に係る問題で和解³²し、KHNPはAPR1000の知的財産権がWHにありKHNPによる第三国へのAPR1000の輸出には米国の輸出許可が必要であることを認めた³³が、米国政府はKHNPによる原子炉輸出や技術移転に伴う核拡散を懸念したのではないかというものである。

4. 予想される影響と韓国政府の対応

DOEの報道官は今次指定の影響について、SCLはそもそも広範な国を網羅しており、指定された国は必ずしも米国と敵対的関係にあるわけでないこと、米国がエネルギー、科学、技術、テロ防止、核不拡散といった多様な課題について定期的に協力する国も含まれること、現在、米韓で科学技術協力について新たな制限はなく、両国の国民の訪問や協力も禁止されないが、DOE内部での精査が必要になると説明したと報じられている³⁴。また在ソウル米国大使代理も、DOEによる指定は米韓関係に影響を与える程の深刻なものではなく、大したことではない(not a big deal)と述べたという³⁵。

3月21日、急遽訪米した韓国の産業通商資源部長官はDOE長官と本件について会談し、両国が本件に迅速に対処するための協力継続と、実務レベル協議の開始に合意した。また韓国政府高官等によれば、米国側は今次リストへの掲載について、単に「進化するテクノロジー環境から生じる技術のセキュリティに係る懸念(technology security concerns arising from the evolving technology landscape)」と説明し、一方、韓国側は米国の懸念に対処するため、韓国のセキュリティ強化計画(plans for security enforcement)を説明したという³⁶。

5. 最後に

DOEの今次リストへの掲載理由について、DOEは具体的な説明をしておらず、また種々の推測が報じられているが、SCLの③のカテゴリーが米国の「情報の保護」に重点を置いたものとも言われること、上述したようにINL請負業者従業員による情報持ち出しやAPR1000の知的財産権を巡りKHNPがWHと争っていた事実があること、加えて過去にKHNPの協力会社が北朝鮮と推定されるサイバー攻撃を受けて原子炉関

³² Westinghouse, “Westinghouse Announces Global Settlement Agreement with KEPCO and KHNP”, 16 January 2025, <https://info.westinghousenuclear.com/news/westinghouse-announces-global-settlement-agreement-with-kepc-and-khnp> APR1000の知的財産権に関し、WHはKHNPが輸出を意図しているAPR1000モデルが自社の技術を土台に開発されたこと、したがってKHNPが保有する当該技術が米国の輸出規制対象であり、米国の許認可申請及び許可無く第三国への輸出は不可能であるとし、2022年に米国裁判所に訴訟を提起した。一方KHNPは、自身の独自の技術によるAPR1000開発を主張した。WHは今次和解の内容等の詳細を明らかにしていない。

³³ 毎日経済、2025年3月31日、<https://www.mk.co.kr/jp/business/11278801>。KHNPにとってWHとの知識財産権紛争がチェコの原子力発電所建設受注契約で最も大きな障害物であった。しかしKHNPのWHへの譲歩(WHへの知的財産権使用料の支払いやプロジェクト毎の業務保証など)が行き過ぎであり、またAPR1000の技術を韓国自らが放棄したことを問題視する見解もある。出典、同左

³⁴ 毎日経済、2025年3月15日、<https://www.mk.co.kr/jp/world/11264438>

³⁵ Chang Dong-woo, “(LEAD) S. Korea's sensitive country listing 'not a big deal,' says acting U.S. envoy”, Yonhap News Agency, 18 March 2025, <https://en.yna.co.kr/view/AEN20250318005551320>

³⁶ The Korea Times, “South Korea, US launch working-level talks over 'sensitive country' issue”, 22 March 2025, <https://www.koreatimes.co.kr/foreignaffairs/20250322/south-korea-us-launch-working-level-talks-over-sensitive-country-issue>

連情報を含む資料が流出した経緯も報じられていること^{37,38}、さらに3月の米韓の協議で米国側がリスト国への掲載について技術のセキュリティ懸念に言及したと報じられていること等を鑑みると、米国は韓国の核武装や核拡散の懸念よりも、むしろ技術の盗取や知的財産権の侵害といった情報データの取扱いに係る懸念が理由になっているように思われる。

本稿執筆時点の4月1日現在では、4月15日に発効するとされる今次指定の具体的な影響は分からないが、本件に係る米韓の動向、あるいは他国への影響をフォローしていく。

【報告：政策調査室：田崎 真樹子、清水 亮】

2-2 「ウクライナでの戦争後の核拡散の未来」(論文紹介)

1. 概要

Nicolas Miller氏(米国ダートマス大学政治学部准教授)による「ウクライナでの戦争後の核拡散の未来」と題する論文を紹介する。論文では、核拡散の将来像を以下の4つのステップに分けて評価し、各々の概要は以下のとおりである。なお同論文は、2024年4月(同年11月の米国大統領選挙前)にフランス国際関係研究所(IFRI)から発表されたもので、事実関係はそれ以前の状況や情報に基づくものである。

- 現在、核拡散のエスカレーションの引き金となる可能性があるリスク要因として、(1)大国間の競争の激化といった国際安全保障環境の変化、(2)核不拡散体制強化に係る米国の能力の低下、(3)核兵器国による核軍縮の停滞や核兵器禁止条約(TPNW)の台頭が核不拡散規範を損なう可能性、(4)露国による核の威嚇など国家安全保障にとって核兵器が重要であるとの認識の高まり、の4つがある。
- しかし上記要因の多くは過去に効果的に対処されてきた(*effectively managed*)。またTPNWの台頭といった新たな要因の影響も依然として不確かである。つまり現在の核拡散を巡る環境は必ずしも悲惨なもの(*dire*)ではない。
- 現在、核拡散が最も懸念されるのは東アジアと中東であり、前者に関し米国は核不拡散に必要な行動を起こす意思と能力を有している。一方後者に関し、米

³⁷ 中央日報、「北朝鮮推定のハッカー、韓国水力原子力の協力会社に侵入…原発資料72万件流出」、2024年10月10日、<https://japanese.joins.com/JArticle/324760?sectcode=200&servcode=200>

³⁸ 上記の他、韓国における情報の取り扱いやハッキングについては、過去1年では以下の報道もある。中央日報、「巨額受け機密流出」韓国軍情報司令部軍務員を拘束起訴…間諜罪は適用せず」、2024年8月28日、<https://japanese.joins.com/JArticle/322996?sectcode=220&servcode=200>、AFP、「韓国でサイバー脅威が深刻化、対前年比48%増…目立つ「ハッキング」「情報漏洩」」、2025年1月25日、<https://www.afpbb.com/articles/-/3559890>、産経新聞、「LINEヤフー、韓国ネイバーへの委託を終了 情報流出問題受け」、2024年5月8日、<https://www.sankei.com/article/20240508-VBQQUEDA5P6DJORCM44KFTCPA/>

国の制裁と外交(取引)の有効性の低下及び米露中間の競争の間隙を縫ってイランが核開発を決断し、サウジアラビアがそれに追随する可能性がある。

- 国際社会及び大国は、可能な限り核不拡散の維持に努め、核拡散のトリガーとなるリスク要因に対処する必要がある。一方米国について、もしトランプ大統領が同盟関係の解体や弱小化、また核不拡散を重要視しなければ、東アジアや中東のみならず、欧州でも重大な核拡散がもたらされる可能性がある。

2. 核拡散をエスカレートさせるリスク要因の現況と核拡散懸念の高まり

一部のアナリストは、上記 1.の(1)~(4)のリスク要因について、以下を含む事実を根拠に今後数年間で核拡散が高まる可能性を指摘している。

- (1) 米露間の軍備管理協定が頓挫しつつある一方で露国による西側諸国との決別と核兵器を背景にしたウクライナへの攻撃、中国による核兵器の増強と軍事力の強化、北朝鮮による核兵器開発の進展、イランによる中東でのプレゼンス拡大と核活動の進展(イランは核兵器保有の瀬戸際(nuclear weapons threshold)にいる)など、ここ数年、国際安全保障環境は劇的に変化している。
- (2) 米国は歴史的に核不拡散体制の構築と履行に中心的な役割を果たしてきた。しかし昨今は特に、安全保障提供国としての信頼性、民生用原子力市場における相対的地位³⁹、効果的な制裁を課す能力、核不拡散交渉に応じる能力⁴⁰のいずれにおいても低下あるいは疑問視されている。
- (3) 核兵器国による核軍縮は遅々として進まず(核不拡散条約(NPT)第6条の不遵守)ばかりか、殆ど全ての核兵器国が核兵器を拡大、あるいは近代化している。また各国が NPT を脱退することになれば、NPT が弱体化する可能性がある。
- (4) 露国のウクライナへの軍事侵攻はブダペスト覚書違反であり、そのことは核兵器の維持の必要性和、露国が勝利した場合には国家の究極の防衛手段は核兵器であるとの認識が高まる可能性がある。

3. しかし、現在の核拡散を巡る環境は必ずしも悲惨なものではない

上記 2.の(1)~(4)のリスク要因・根拠の多くは過去にも存在したが、大きな核拡散に繋がることなく成功裡に対処されてきた。また核不拡散体制強化に係る米国の能力低下や米国原子力産業の衰退、TPNW の台頭といった新たなリスク要因についても限定的な例外を除き、核拡散に拍車をかける決定的な要因となる可能性は低い。

³⁹ 米国は、核燃料等の供給保証により相手国に厳格な核不拡散条件(例:ウラン濃縮や再処理を控えること等)の受入れを要求してきたが、昨今は自国の原子炉燃料の調達もままならず、2024年1月の報道によれば、米国原子炉燃料の24%が露国産で、2028年も15%を輸入すると試算しているという。日本経済新聞、「米国、原発燃料の脱ロシアに限界 28年も15%輸入」、2024年1月9日、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOGN21EHW0R21C23A2000000/>

⁴⁰ 例として、露国がブダペスト覚書に違反してウクライナに侵攻したにも拘わらず、米英がウクライナを守るために直接介入しなかったことにより、米国の核不拡散交渉者としての信頼性が損なわれたことを挙げられている。

例えば(1)について、もし中国との軍備管理が実現せず兵器の規模が拡大し続ければ、近隣の非核兵器国の核武装を招くのではないかとの懸念がある。しかし冷戦時、米国はソ連の核兵器が数万発に達していたにも拘わらず、NATO 加盟国を安心させることに成功した(NATO 加盟国が核兵器を実質的に保有することはなかった)。つまり、冷戦時のように大国間競争が激化している間でも大国による核拡散阻止のための行動により、ある程度は拡散を阻止できる。

(2)の安全保障の提供国としての米国の信頼性について、冷戦初期(特に 1950 年代後半～1960 年代前半)に米国本土はソ連の核攻撃に対して脆弱であったが、米国は、西独との同盟が同国による核兵器保有と相容れないとの主張及び NATO の核戦略協議に西独を参加させることにより、同国の核兵器保有の意図の放棄に成功した。さらに米国は、1969 年のニクソン・ドクトリン⁴¹に起因する韓国と台湾の核開発計画を、アメとムチの併用^{42,43}で中止させるよう説得し、成功した。

(3)について、核兵器国による軍縮の停滞が、具体的に核拡散の可能性や核不拡散体制への支持に重大な影響を与えたという証拠は殆んど存在しない。

(4)について、朝鮮戦争時、アイゼンハワー政権は核による威嚇を行い、中国と北朝鮮に米国の条件による休戦に同意させようとした。その有効性については議論があるが、中国が核兵器開発の決断を下したのは、確かに米国の核による威嚇という認識によるところが大きい。しかしイスラエルについて、同国は核兵器を領土拡大やアラブのライバル国の優位性の抑止、また極限状態における自国の存続維持に使用できる保険と見做しているが、そのことは米国等の制裁や軍事力の行使、NPT 後の核不拡散体制の強化等が反映されたこともあり、リビア、イラク、イラン及びシリアの核拡散にはつながらなかった。さらに 2014 年の露国によるクリミア及びウクライナ東部一部の占領後に新たに核開発を開始した国はない。ただし、露国が核兵器を使用し、それがウクライナの降伏や欧米諸国による対ウクライナ支援撤回に繋がれば、核兵器の安全保障上の価値が数十年ぶりに高まる可能性がある。

一方、(2)の「民生用原子力市場における米国の相対的地位の低下」と「米国の効果的な制裁を課す能力や核不拡散交渉に応じる能力の低下」、そして(3)の「TPNW の台頭」は新たなリスク要因である。先ず(2)の「民生用原子力市場～」について、米国の原子力産業は限定的ではあるが回復してきており、また露国のウクライナ侵攻後、欧州諸国は露国から米仏へ核燃料の供給国を変更していること、さらに世界的なレベ

⁴¹ 1969 年にニクソン大統領(同時)による外交政策。ベトナム戦争の激化と米国の苦境及び米国経済の深刻な落ち込みを受け、また中国との和解を意図し、アジアでの過度な介入を抑制し、アジアの同盟国(日本、台湾、韓国)に役割の分担を求めた。

⁴² 韓国について、核開発を意図した朴正熙大統領は 1979 年に暗殺され、後継の全斗煥大統領は、米国の核の傘の継続と F-16 戦闘機など軍事・経済援助と引き換えに核開発計画を放棄した。産経新聞、「韓国大統領父娘を襲ったトランプ&ニクソン・ショック 米軍撤退と核武装…父・朴正熙氏と同じ危機に権恵氏は?」、2016 年 11 月 21 日、<https://www.sankei.com/article/20161121-CWQ3CFKHJRIPJOBTB2COXT6D7I/4/>

⁴³ 台湾について、同国の核開発計画は、1964 年の核実験後に進められたが、1970 年～1990 年代に米国から軍事支援と原子炉燃料の供給中断を提起され、中断・放棄するに至った。東亜日報、「台湾、核放棄後も設計図など資料保管」、2004 年 1 月 13 日、<https://www.donga.com/jp/article/all/20040113/278604/1>

ルでの保障措置の厳格性の向上⁴⁴や相手国への軍事・経済的支援の打ち切りといった代替手段により、米国の相対的地位の低下を補うことが可能となっている。

(2)の「米国の効果的な制裁を課す能力～」について、米国は相手国が同盟国であれば、経済制裁とは別に安全保障上のコミットメントの格下げや解除といった代替手段で、その影響力を行使することが可能である。ただし相手国が露国やイランのような米国の敵対国の場合、米国の影響力の行使は経済制裁に依存し、その点は限界がある。(現に、米国は露国及びイランに対し強力な制裁を付加しているが、両国の経済は現在もなお回復力を保っている。)

さらに(3)の「TPNWの台頭」について、TPNW加盟国の多くは概して核不拡散を支持しており、仮にNPTから脱退すれば核兵器国から制裁等により多大な負担を強いられる可能性があることから、TPNWの台頭が核拡散に繋がるとは言い難い。

4. 東アジアと中東の核不拡散への影響

現在、核拡散が最も懸念されるのは、東アジアと中東であるが、前者について、上述したように米国は過去に核不拡散に成功し、また中国の台頭とのバランスから、米国には例えば日韓を安心させ米国のコミットメントを強化するという強い動機がある。一方中東について、今日、イランは歴史上最も核兵器保有の瀬戸際におり、加えてイランが支援するハマス、フーシ派及びヒズボラ、またイランと敵対関係にあるイスラエルとの戦争による中東の安全保障環境の悪化や、イランが制裁回避のテクニックを駆使して自国産原油の輸出を大幅に増加させ米国の制裁を上手く切り抜けていること等により、今後数年のうちに瀬戸際を超える可能性がある。またイランが今後、数年のうちに核兵器を保有することになれば、サウジアラビアも何らの対応が必要との強い圧力を感じるであろう。加えてサウジアラビアが戦略的に極めて重要な国であることに鑑み、米露中がその他の非核兵器国よりも核不拡散要件の緩い条件で原子力技術を提供する可能性がある。

5. 結論

今後、10年間の核拡散リスクは、多くのアナリストが示唆するほど深刻ではなく、対処可能であると思われる。核拡散をエスカレートさせるリスク要因の多くは目新しいものではなく、過去にも大幅な核拡散に繋がることなく効果的に対処されてきた。米国の原子力産業の衰退やTPNWの台頭といった新たなリスク要因もあるが、今後10年間に核拡散の可能性が大幅に高まるとは考えにくい。しかし最も懸念されるリスク要因は、大国間の競争の激化と、核不拡散体制強化に係る米国の能力の低下であり、これらを東アジアと中東に当てはめると、後者における核拡散の可能性が高い。

また過去に学ぶ教訓として、過去に核拡散のトリガーとされた多くの要因が実際に

⁴⁴ 上述したとおり米国は、従来から核燃料等の供給保証により相手国に厳格な核不拡散条件の受入れを要求してきたが、昨今は例えばIAEA保障措置追加議定書(AP)の普遍化により、相手国がAPを批准していれば、核不拡散の強化が義務付けられことになった。ただしエジプトやサウジアラビアのように、APに署名していない国には効果はない。

は核拡散に結び付かなかつた大きな理由は、特に NPT 後の時代において国際社会と大国がリスク要因に対処したからである。このことは米国が昨今の韓国との「ワシントン宣言」⁴⁵のように、拡大抑止の強化等で同盟国を安心させる取組みを継続し、また米露中も可能な限り核不拡散の優先順位を維持して、地政学的な目的が競合しても核不拡散に関しては進んで協力すべきである。

一方で、トランプ大統領が再選され、米国の同盟関係の解消や弱体化を決定し、核不拡散の重要性を格下げすることになれば、東アジアや中東だけでなく、欧州においても重大な核拡散の結果をもたらす可能性がある。しかし、その様な劇的な逆転劇がない限り、今後 10 年間に核拡散が大幅に増加することはないだろう。

6. 最後に(本稿筆者所感)

上記で紹介した論文は、Miller 氏が 2024 年の大統領選挙前に発表したものである。それから約 1 年後の 2025 年 4 月現在、トランプ大統領のこれまでの言動の幾つかは、Miller 氏が上記 5.の最後のパラグラフで懸念しているような方向にあるように思われるが、予想を超えた部分もある。例えば核拡散が懸念される東アジアでは、トランプ大統領が北朝鮮を核保有国と呼ぶ⁴⁶と共に、ウクライナでの戦争における米国の対応(米国の防衛コミットメントの不確実性)等から露呈した信頼性の揺らぎから韓国で核武装論が再浮上している⁴⁷。一方、中東においては、ヒズボラ等のイランの代理勢力が影響力を失い、イスラエルとイランの直接対立が軍事攻撃を招く危険性が高まっており、イランの核開発に対する懸念が強まりつつある。トランプ大統領は中国との対抗及びイスラエルとの関係から両地域における核不拡散の取組みを必ずしも軽視しないであろうが、イランに対しては核開発を停止しなければ軍事力を行使する可能性を明示し、より強硬な態度を見せている⁴⁸。

また欧州について、トランプ大統領はウクライナでの戦争でこれまで欧州及びバイデン前政権下の米国が露国に対抗して実施してきたウクライナの軍事、経済及び人道支援に疑問を呈し援助を削減するとともに、国連総会でもウクライナの領土保全を支持するウクライナ及び欧州の決議案に対して露国やベラルーシ及び北朝鮮と共に反対票を投じた⁴⁹。さらに停戦交渉でも露国よりの姿勢を取っている。このような米国の対応が継続すれば、Miller 氏が図らずも予測しているように、「東アジアや中東だけでなく、欧州においても重大な核拡散の結果をもたらす可能性」は否定できないことに

⁴⁵ U.S. Embassy & Consulate in the Republic of Korea, “Washington Declaration”, 27 April 2023, <https://kr.usembassy.gov/042723-washington-declaration/>

⁴⁶ NHK、「トランプ大統領「北朝鮮は核保有国」公式見解と異なる表現」、2025年3月14日、<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20250314/k10014749421000.html>

⁴⁷ JIJI.COM、「韓国は「核武装」に向かうのか その課題と代替案から見たリアリティ・チェック」、2025年3月15日、https://www.jiji.com/jc/v4?id=foresight_00346_202503030001

⁴⁸ Reuters、「トランプ氏、イランに核開発停止を要求 軍事力行使を改めて示唆」、2025年4月10日、<https://jp.reuters.com/world/security/WGE4LEMA5ZJFPITPJTQTVXGAR5U-2025-04-09/>

⁴⁹ UN, “Ukraine war: Amid shifting alliances, General Assembly passes resolution condemning Russia’s aggression”, 24 February 2025, <https://news.un.org/en/story/2025/02/1160456>

なる(現に独国でも核武装論が浮上しているという⁵⁰)。昨今、仏国のマクロン大統領が仏国保有の核抑止力を欧州に拡大する検討を開始した⁵¹のも、上記を懸念してのことと思われる。しかし、露国に対しての仏国の核戦力は抑止力としては力不足であり^{52,53}、仏国が核戦力の増強を図る場合は、非核兵器国の NPT 体制に対する失望を招くことが懸念される。このことが核拡散に直接繋がるリスクは極めて低いと思われるが、上述したように非核兵器国の NPT からの脱退を招くことになれば、これまで NPT を基軸としてきた核不拡散体制は大きな課題に直面することとなる。

【報告:政策調査室 田崎 真樹子、清水 亮】

⁵⁰ The Wall Street Journal, 「ドイツに核武装論、トランプ氏のロシア接近で西側同盟に足並みの乱れ、米国の核に代わる自前の選択肢再考へ」、2025年3月12日、<https://jp.wsj.com/articles/trumps-embrace-of-putin-has-germany-thinking-of-nuclear-weapons-d4f8ee04>

⁵¹ France 24, “Macron will discuss extending French nuclear protection to Europe with allies”, 6 March 2025, <https://www.france24.com/en/europe/20250306-macron-will-discuss-extending-french-nuclear-protection-to-europe-with-allies-ukraine-russia-usa>

⁵² SIPRI Yearbook 2024 によれば、露国が保有する核弾頭数(配備済、配備される可能性があるが現在備蓄されているもの及び退役核弾頭(解体を待つ核弾頭)の合計、以下同)は 5,044 発、仏国は 290 発である。
https://www.sipri.org/sites/default/files/2024-06/yb24_summary_en_2_1.pdf

⁵³ BBC News Japan, 「【解説】フランスの「核の傘」内に欧州の同盟諸国は収まるのか」、2025年3月7日、
<https://www.bbc.com/japanese/articles/c3w1n0pe9nlo>

3. 技術・研究紹介

3-1 核分裂性物質の非破壊分析のための中性子共鳴分析技術の開発

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(JAEA)の原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター(ISCN)では、過去 10 年間、IAEA 等の国際機関や各国の核不拡散・核セキュリティ分野で活用される技術として、核物質の非破壊分析(NDA)技術の開発を進めてきた。特に当センターでは、外部から中性子を照射し、核反応で放出される中性子やガンマ線などを測定することで、強い放射線が放出されるため、従来のパッシブ法では難しい試料(使用済み燃料、燃料デブリ、次世代原子炉の新型燃料など)の測定を可能とするアクティブ中性子 NDA 技術の開発を行っている^[1]。

技術開発を行っているアクティブ中性子 NDA 技術の中でも中性子共鳴分析(NRA)は、次の 3 つの異なる放射線を組み合わせて、試料中の核分裂性核種を識別し、その量を定量する。

- 中性子共鳴透過分析(NRTA)^[2]による透過中性子
- 中性子共鳴捕獲分析(NRCA)^[3]による捕獲ガンマ線
- 中性子共鳴核分裂中性子分析(NRFNA)^[4]による核分裂中性子

NRA 手法の概念図を図 1 に示す。電子線型加速器を行った実験では、加速器から作られたパルス中性子を試料に照射して核反応を誘起し、それによって発生する放射線を中性子飛行時間(TOF)法で測定する。原子核は、中性子と大きく反応する核種固有の反応断面積(共鳴)を持っているため、入射中性子の飛行時間分布(TOF スペクトル)にはその共鳴ピークが観測される。ピーク的位置及び高さは、試料中の原子核の核種と量によって決定されるため、共鳴を分析することで、核物質を識別し、定量することができる。また、NRA 技術は、対象とする反応断面積が異なるため、NRTA、NRCA、NRFNA から得られた情報を相補的に利用することで、核物質の分析能力の向上させることができる。

NRA 装置の適用にあたり、NRFNA と NRCA では、パルス波形弁別(PSD)により高速中性子とガンマ線の弁別を可能とする PSD シンチレータを選択した^[4]。この PSD シンチレータから弁別された中性子信号は NRFNA に使用し、ガンマ線信号は NRCA に使用する。さらに、NRTA による透過中性子検出には、熱中性子及び熱外中性子の検出に幅広く使用されている ⁶Li ガラスシンチレータ(GS20)を選択した^[5]。GS20 は、比較的速い減衰時間(50~70 ns)と高い熱中性子ピークの分解能(15~30 %)を持っているため^[6]、パルス中性子源を使用する中性子 TOF 測定によく使われているシンチレータである。

したがって、本研究では、GS20 検出器を NRTA 測定システムに適用し、その技術を開発する。その目的を達成するために、GS20 検出器を用いた透過中性子 TOF 測定実験を行った。本実験は、京都大学複合原子力科学研究所の電子線型加速器 (KURNS-LINAC) の 12 m ビームラインで行い、測定試料は、石英ガラスを用いた。本報告では、得られた測定結果を基に現在の NRTA 測定システムの性能を評価し、今後の計画についても報告する。

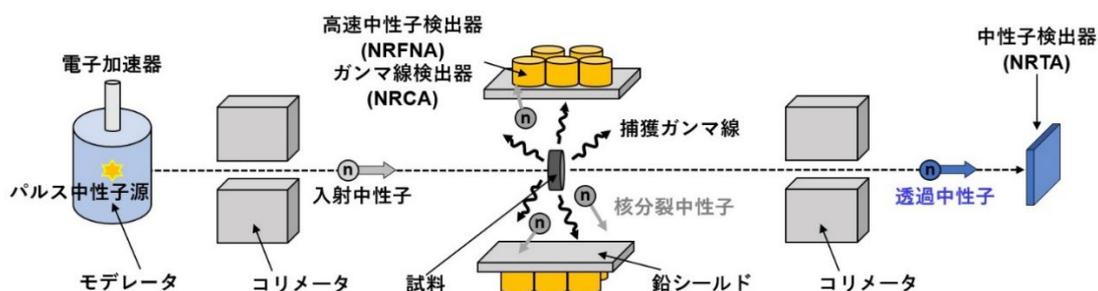


図1 NRA 法の概念図

2. 中性子共鳴透過分析法

中性子 TOF 測定^[7]では、入射中性子のエネルギー E_n は

$$E_n[\text{eV}] = \frac{1}{2} \cdot m_n \cdot \left(\frac{l}{t}\right)^2 = \left(\frac{72.3 \cdot l[\text{m}]}{t[\mu\text{s}]}\right)^2, \quad (1)$$

となる。ここで、 m_n は中性子の質量、 l は中性子の飛行距離、 t は中性子の飛行時間を示す。測定試料が均質であり、入射中性子のビームが試料に平行である場合、試料を透過する中性子透過率 $T(E_n)$ は

$$T(E_n) = \frac{C_{\text{IN}}(E_n)}{C_{\text{OUT}}(E_n)} = \exp\left(-\sum_i \sigma_{\text{tot},i}(E_n) \cdot n_i\right), \quad (2)$$

となる。ここで、 $C_{\text{IN}}(E_n)$ は試料を透過して測定された中性子 TOF スペクトルの計数率、 $C_{\text{OUT}}(E_n)$ は試料がない時に測定された中性子 TOF スペクトルの計数率、 $\sigma_{\text{tot},i}(E_n)$ は核種 i の中性子全断面積[barn]であり、 n_i は核種 i の面密度[atoms/barn]である。式(2)から分かるように、中性子透過率と核種の面密度が分かる場合は核種の中性全断面積が得られ、中性子透過率と核種の中性全断面積が分かる場合は核種の面密度(核種の量)が得られる。

3. 中性子透過実験

本実験では、KURNS-LINAC のパルス中性子源を用いて、石英ガラスの中性子全断面積を求めた。石英ガラスは、高レベル廃棄物処分に用いるガラス固化体や⁶Li ガラスシンチレータ(GS20, KG2 など)の主成分であり、その中性子全断面積は、ガラス固化体の臨界安全性の評価や⁶Li ガラスシンチレータ(GS20, KG2 など)の中性子応答を理解するために重要なデータとなる。図 2 は実験のための実験装置の配置及び石英ガラス試料を示す。実験装置は、パルス中性子源、試料、検出器とデータ収集システムなどで構成され、各構成機器を具体的に説明する。

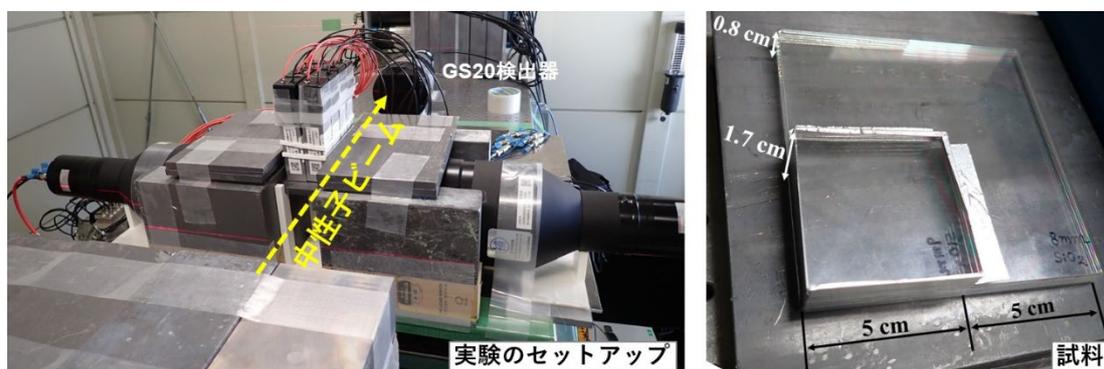


図 2 NRTA 実験の配置図と石英ガラス試料

3.1. パルス中性子源

KURNS-LINAC は、パルス繰り返し 50 Hz、パルス幅 2 μ s、平均ビーム電流約 42 μ A 及び電子加速エネルギー30 MeV で運転された。パルス高速中性子は、Ta ターゲットにパルス電子ビームを照射することによる(γ , n)反応によって生成される。熱中性子と熱外中性子を得るために、パルス高速中性子は Ta ターゲット周りの水モデレーター(直径 20 cm、高さ 30 cm)により減速される。減速されたパルス中性子は、コリメータにより3 \times 3 cm の形状にし、飛行距離 12 m ビームライン内の試料に照射された。

3.2. 試料

本実験では、大きさと厚さが異なる石英ガラス(SiO₂、東ソーSGM 社)を 7 枚使用した。厚さ 2 mm のものが 5 枚、厚さ 3 mm のものが 1 枚、厚さ 4 mm のものが 1 枚であり、密度は 2.2 g/cm³、純度は 99.99 %であった。図 2 右側は厚さ 17 mm の石英ガラス試料を示す。試料は 3 \times 3 cm コリメータの入口の前に設置された。

3.3. 検出器とデータ収集システム

試料を透過した透過中性子の測定には、中性子検出器として厚さ 1 cm の ${}^6\text{Li}$ ガラスシンチレータ (GS20) が使用され、Ta ターゲットから約 12.6 m の飛行距離のところに設置された。GS20 は浜松フォトニクス社製光電子増倍管 (PMT) (H6527) に接続され、-1550 V で動作した。検出器からの出力信号は CAEN デジタイザ (V1730SB) に送信され、アナログ信号からデジタル信号への変換が行われた。すべてのパルスハイトの分布 (Pulse Height) と TOF イベントを含むリストデータは、オフライン分析のためにコンピュータに送信され、記録された。

3.4. 測定

試料測定と試料を置かない測定 (ブランク) は、中性子透過率 $T(E_n)$ を取得するために実施した。また、Cd、In、Ag、Co 及び Mn の共鳴フィルターを測定し、バックグラウンドを評価した。実施した測定と測定時間を表 1 に示す。

表 1 測定リスト

試料	測定	測定時間 (h)
なし (ブランク)	中性子スペクトル	5.4
石英ガラス	フォアグラウンド	2.0
共鳴フィルター	バックグラウンド	1.0

3.5. デッドタイムの補正

本測定について、V1730SB デジタイザのデッドタイムは、信号によらず $0.25 \mu\text{s}$ で一定である。本測定システムにおいて、中性子飛行時間 t に対して観測された計数率 $C(t)$ と直の計数率 $C_{\text{true}}(t)$ の関係は次式で表わされる。

$$C_{\text{true}}(t) = f(t) \cdot C(t), \quad (3)$$

ここで、 $f(t)$ は補正係数である。また、補正係数 $f(t)$ は次式のように表わせる。

$$f(t) = \left(\frac{1}{1 - \int_{t-\tau}^t \frac{C(t') dt'}{H} - \frac{C(t)}{2 \cdot H}} \right), \quad (4)$$

ここで、 τ はデッドタイム ($0.25 \mu\text{s}$)、 H は加速器のパルス繰り返し周波数である。式(4)から、デッドタイムの補正係数を各測定に対して計算し、各測定の TOF スペクトルを補

正した。デッドタイム補正後の TOF スペクトルを図 3 に示す。

3.6. バックグラウンドの除去

継続的なバックグラウンドを決定するために、共鳴フィルターの測定におけるブラック共鳴(0.2、1.46、5.19、132、および 336 eV)での計数率をフィッティング方程式で補間した。

$$B(t) = B_1 \cdot \exp(-t/\tau_1) + B_2 \cdot \exp(-t/\tau_2) + B_3, \quad (5)$$

ここで、 $B(t)$ はバックグラウンド、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 τ_1 及び τ_2 はフィッティングのパラメータである。1 番目の指数関数は、減速材内の $^1\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$ 反応から発生した 2.2 MeV ガンマ線の検出に由来する。2 番目の指数関数は、検出器内で散乱された中性子によって由来する。得られた継続的なバックグラウンドを図 3 (赤線) に示す。TOF スペクトルのデッドタイム補正後、評価されたバックグラウンドをブランクと石英ガラスの TOF 結果から差し引いた。

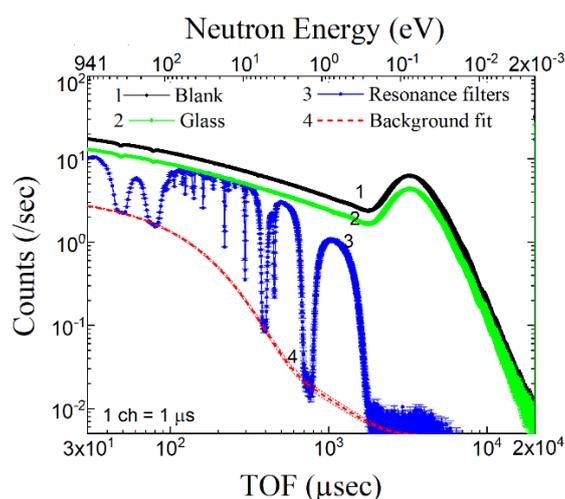


図 3 得られた TOF スペクトル^[5]

4. 結果と議論

中性子 TOF 測定法と KURNS-LINAC の加速器駆動中性子源を用いた石英ガラスの中性子透過実験を行った。デッドタイムの補正とバックグラウンドの除去の後、0.002 eV~25 eV の入射中性子エネルギー領域における石英ガラスの中性子全断面積を取得した。得られた石英ガラスの中性子捕獲断面積を図 4 に示す。本研究では、GS20 検出器を用いた NRTA 測定システムによる試料分析能力の信頼性を確認するために、現在の結果を以前の実験値と ENDF-B/VIII.0 の評価値と比較した。

Blosteinら(1999)の実験データとの比較では、0.08 eV 以下と 0.3 eV 以上のエネルギー領域において誤差範囲以内で良く一致している。しかし、0.15 eV 付近のエネルギー領域では、我々の実験データは Blostein らのデータより約 4 %高かった。さらに、0.3 eV 以上のエネルギー領域では、Waschkowski ら(1976)の実験データと今回の測定結果と誤差範囲以内で良く一致している。

評価値との比較では、まず、1 eV 以上のエネルギー領域において評価済み核データライブラリのシリコン(Si)原子 + 2×酸素(O)原子の全断面積の合計と現在の結果を比較した(図 4 の上)。比較の結果、今回の測定結果は、ENDF/B-VIII.0 の合計データ(Si + 2×O)とよく一致することが示された。砂、土や岩石などの主成分である SiO₂ クリスタル(α-SiO₂)と石英ガラスは異なる物質である。しかし、本研究では、参考として、1 eV 以下のエネルギー領域において今回の測定結果を ENDF/B-VIII.0 の SiO₂ クリスタルの評価値と比較した(図 4 の下)。1 eV 以下のエネルギー領域では、熱中性子散乱は物質の構造などに大きく影響を受ける。したがって、今回の測定結果と SiO₂ クリスタルの評価値の不一致が見られた理由は、非結晶構造と結晶構造を持つ石英ガラスと SiO₂ クリスタルの構造の違いによるものである。

本実験では、今回の測定結果と以前の実験値及び ENDF-B/VIII.0 の評価値間に一般的に良好な一致性が見られた。このような結果から、GS20 検出器を用いた NRTA 測定システムの信頼性及びデッドタイムの補正やバックグラウンドの除去などの分析手法の妥当性を確認することができた。現在は、本実験で得られた測定データを基により高精度で測定できるように NRTA 測定システムの最適化を行っている。

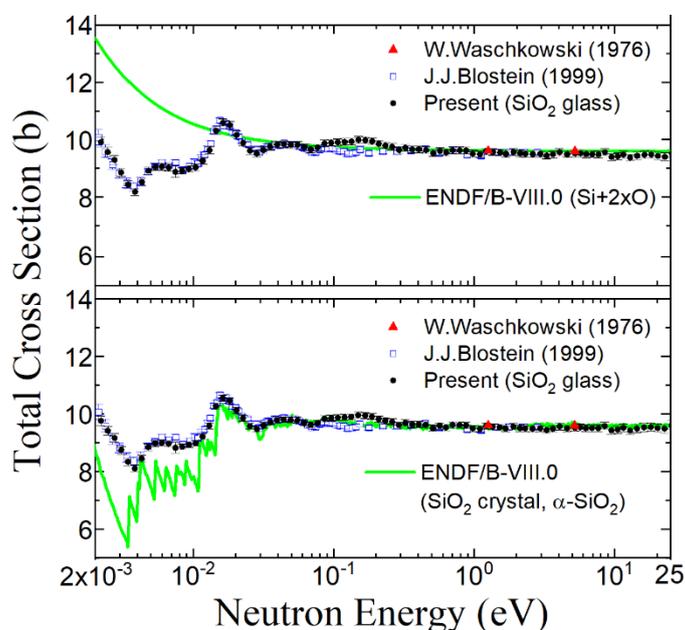


図 4 得られた石英ガラスの中性子全断面積^[5]

5. まとめ

本研究では、NRTA 技術開発のため、KURNS-LINAC のパルス中性子源と GS20 検出器を用いて石英ガラスの中性子透過実験を行った。その結果、得られた石英ガラスの中性子全断面積は、以前の実験値および ENDF/B-VIII.0 の評価値と類似の傾向を示した。本実験の結果により、NRTA 測定システムの信頼性及び分析手法の妥当性を確認した。現在は、得られた測定データを基に NRTA 測定システムのアップグレードを進めている。また、今までの石英ガラスの測定結果をまとめ *Annals of Nuclear Energy* 誌へ論文を投稿した^[5]。

現在、新しい NRTA 測定用の検出器として、熱中性子・高速中性子・ガンマ線を弁別できるプラスチックシンチレータ EJ-270 を採用し、その検出器の性能評価を実施中である。また、より高い精度の NRA 測定データを収集するため、中性子コリメータ及び遮蔽システムの開発を進めている。

本研究は、文部科学省「核セキュリティ強化等推進 事業費補助金」事業の一環として実施したものである。

参考文献

- [1] M.Koizumi, Proceedings of 41st ESARDA Symposium, 260-267 (2019).
- [2] P. Schillebeeckx *et al.*, JRC Science and Policy Reports, JRC 91818, EUR 26848 EN (2012).
- [3] H. Postma *et al.*, Neutron resonance capture and transmission analysis, Encyclopedia of Analytical Chemistry (New York: John Wiley & Sons Ltd.) (2009).
- [4] K. Hironaka *et al.*, Nucl. Instr. Methods Phys. Res. A, **1054**, 168467 (2023).
- [5] J. Lee *et al.*, *Annals of Nuclear Energy*, **211**, 111017 (2025).
- [6] F. Ito *et al.*, Nucl. Instr. Methods Phys. Res. A, **1064**, 169465 (2024).
- [7] P. Schillebeeckx *et al.*, Nucl. Data Sheets, **113**, 3054–3100 (2012).

【報告:技術開発推進室 李 在洪】

4. 活動報告

4-1 原子力施設のコンピューターセキュリティ検査の実施に関する地域トレーニングの共催報告

IAEA/ISCN は、文部科学省核セキュリティ強化等推進事業費補助金による人材育成支援事業の一環として、国際原子力機関(IAEA)主催の「原子力施設のコンピューターセキュリティ検査の実施に関する地域トレーニングコース」を2025年3月17日～3月21日(5日間)に茨城県東海村にてホスト開催した。

本コースは、IAEA ガイドライン TDL-06⁵⁴に基づき、IAEA 加盟国の原子力施設やその他の放射性物質取扱施設における規制検査活動の一つとして、原子力施設でのコンピューターセキュリティ検査の実施方法について学ぶことを目的に開催された。アジア太平洋地域9か国(オーストラリア、バングラデシュ、インドネシア、マレーシア、パキスタン、フィリピン、韓国、タイ及び日本)の核セキュリティ規制当局においてコンピューターセキュリティ業務に従事する官庁職員をはじめ、サーバーシステムや保安設備などのIT管理者等15名が参加した。

本コースでは、コンピューターセキュリティに係る国内法体系整備をはじめ、原子力施設で使われている機密デジタル資産(Sensitive Digital Asset: SDA)の特定や検査すべき事項、サイバー攻撃に対するリスクアセスメント、インシデント対応等について、講義及びグループ演習が実施された。



グループ演習(左)及び閉会式(右)の様子

コースの3日目にはISCN 実習フィールドの見学を実施し、SDAにおけるサイバー攻撃の侵入経路の想定や、それを防ぐための方法を検討する等、ISCN 実習フィールドに設置されている核物質防護用設備の実機や模擬中央警報監視所(CAS)などを用いて、コンピューターセキュリティに特化して説明をISCN 講師が説明した。

本トレーニング期間中、講師、参加者ともに親密な様子で演習が進行され、活発に質疑応答が行われた。これは、IAEA トレーニング講師の「コミュニケーションを円滑に

⁵⁴ <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TDL006web.pdf> “Conducting Computer Security Assessments at Nuclear Facilities”, 2016, IAEA

し、より良いものを共有するために参加者も講師も垣根なく話したい」という意向により成しえられたものと感じられた。グループ演習においては講師と参加者がともに同じ机に座り、常に視線を合わせられるようファシリテーションを行っていた他、講師がスライドを使って説明する講義形式に加え、講師と参加者がそれぞれの経験を共有するディスカッション形式のモジュールも取り入れていた。講師との距離が近づくことで、参加者もより積極的にトレーニングに臨むことができたと考える。今回本トレーニングを共催できたことは、物理的防護を中心にトレーニングを提供してきた ISCN にとって、コンピューターセキュリティに係るトレーニングの知見を広げられた他、より学習効果の高いトレーニングを提供するための姿勢についても教訓を得られたと感じている。

これからも高品質なトレーニングが提供できるよう、国内外の関係機関と協力し教材開発や運営に取り組んでいきたい。



ISCN 実習フィールド見学の様子

【報告:能力構築支援室 加藤 茜、伊東 慎太郎】

4-2 令和 6 年度学生原子力施設見学会を実施しました

2025 年 3 月 18、19 日の 2 日間、原子力機構原子力人材育成センター(現原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター)による原子力科学研究所(原科研)見学会が実施され、高専・大学・大学院から男女各 10 名、合計 20 名の学生が参加した。

本見学会は、原子力以外を専攻する学生に対しても原子力や機構に関心を持ってもらうことを目的に開催した。遠方の学生に対して積極的に声を掛けた結果、北海道から九州まで、全国から様々な分野を専攻する学生が集まってくれた。

見学会は 2 日間に渡るプログラムを用意した。初日は、原子力人材育成センター担当理事である門馬理事の挨拶に始まり、原科研・プロモーションオフィス(PO)の小林オフィス長による原科研の紹介、続いて夏期休暇実習生を受け入れているグループによる仕事・研究の紹介や夏期休暇実習テーマの紹介等を行った。参加者からは、「最先端の研究をしている人から直接話が聞けた」、「いろんな仕事があることを知った」、

「自分の専門に近い分野の人も働いていることを知った」等の声が挙がった。また、原子力人材育成センターの研修施設でウランガラスや放射化実験等のデモンストレーションを見学し、実験の楽しさを経験した。

2日目は、PO 松島氏による「原科研バスツアー」から始まり、バスで原科研構内を回りながら、ユニークな施設紹介が行われた。その後、ISCN 実習フィールド、JRR-3、J-PARC センター等の大型施設の見学、先端基礎研究交流棟のロビー訪問、安全研究・防災支援部門安全研究センターの視察など、盛りだくさんの内容となった。参加学生は常に真剣に職員の説明を聞き、予定時間を超えて質問する場面も見られた。

実施後のアンケートでは、17名が大満足、1名が満足と回答した。今後も同様のイベントに参加したいとの声も多く、主催者にとっても励みとなった。



参考情報： 門馬理事挨拶

先端基礎研究交流棟のロビーにて

参加人数:20名

所属別:

高専 3名、

大学学部 1年1名、2年2名、3年4名、4年5名、

大学院修士1年4名、修士2年1名

性別:

女性10名、男性10名

専門別:

原子力6名、電気3名、情報2名、地球科学2名、物理1名、材料1名、工学1名、機械1名、核融合1名、エネルギー社会教育1名、教育1名

【報告:戦略調整室 宮村 浩子】

編集後記

この4月から新たに本ニュースレター編集委員会のメンバーとなった。まだメンバーとして何も貢献していないのだが、皮肉にもこの編集後記がその最初のタスクとなった。これまでニュースレターには記事は書いたことがあるものの、編集自体は私にとって“新しいこと”である。

先月号でもお知らせした通り、当センターは新たに「原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター(ISCN)」として発足したのだが、それまでの道のりはかなり険しいものであり、制度や過去の経緯など多くのことを学んだ。発足後も自身の業務範囲は拡大され、これまであまり関与してこなかった業務や業務のやり方の違いなど、多くの“新しいこと”に戸惑いながらもなんとか耐えている。逆を言えばこのような“新しいこと”との遭遇は、自身の仕事のやり方を見直すチャンスでもあるともいえる。これまでの自身の経験に邪魔されず、正しい方向にまっすぐ進める自信はないが、多少の寄り道もまたそれでよいのかもしれない。今は生成AIなど便利なツールも使える時代。新しいものをどんどん吸収できる柔軟性は持ち続けたい。次回の編集後記はAIに書いてもらおうとも思っている。(T.Y)

ISCN ニュースレターに対してご意見・ご質問等は以下アドレスにお送りください

E-MAIL: iscn-news-admin@jaea.go.jp

発行日: 2025年5月1日

発行者: 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(JAEA)

原子力人材育成・核不拡散・核セキュリティ総合支援センター(ISCN)