



# ISCN Newsletter

(ISCN ニュースレター)

## No.0304

## April, 2022

Integrated Support Center for Nuclear Nonproliferation  
and Nuclear Security (ISCN)

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	4
1-1 JAEA Review「非核化達成のための要因分析と技術的プロセスに関する研究:非核化の事例調査と要因分析」の発行	4
2. 核不拡散・核セキュリティに関する動向(解説・分析)	5
2-1 2022年3月3日付けIAEAによるイランの監視検証報告(GOV/2022/4)について	5
2022年3月3日付けで発出されたIAEAによるイランの監視検証報告について、その概要を報告する。	
2-2 米国バイデン政権の核態勢の見直し(NPR)の骨子	10
2022年3月28日、バイデン政権は、核政策の指針となる「核態勢の見直し(NPR)」の骨子を記載したファクトシートを発表した。当該骨子の概要を紹介する。	
2-3 米国バイデン政権の2023会計年度(FY2023)の予算教書	11
(1) エネルギー省国家核安全保障庁の予算要求(核不拡散、核セキュリティ等に係る部分)	11
2022年3月28日、米国バイデン大統領は、2023会計年度(FY2023、2022年10月～2023年9月)の予算教書を議会に提出した。このうち、①米国エネルギー省(DOE)及び②DOEの国家核安全保障庁(NNSA)の予算要求、③NNSA予算のうち核不拡散及び核セキュリティに係る「防衛核不拡散」項目の予算要求、そして④DOEの原子力(NE)局の予算要求の概要を紹介する。	
(2) 国務省予算のうち、国際原子力機関(IAEA)や包括的核実験禁止条約機関(CTBTO)等への拠出に係る要求概要	19
国務省の2023会計年度(FY2023)予算要求のうち、国際原子力機関(IAEA)や包括的核実験禁止条約機関(CTBTO)等への拠出に係る要求について紹介する。	
2-4 IAEA共同研究プロジェクトのサクセスストーリー～コンピュータ・セキュリティの強化～	23
2022年3月、IAEAは、コンピュータ・セキュリティ強化の研究を支援するため、IAEA共同研究プロジェクトにて原子力発電所施設のシミュレーターを開発した旨を発表した。発表内容と、関連するコンピュータ・セキュリティの共同研究プロジェクトを紹介する。	
3. 技術紹介	28
3-1 レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析システムの開発	28
ISCN技術開発推進室では、核物質の非破壊分析技術開発の一環として、レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析システムの開発を行ってきた。本開発に関するこれまでの成果の概要を紹介する。	

---

<b>4. 活動報告</b> -----	<b>34</b>
<b>4-1 JAEA-EC/JRC アクティブ中性子非破壊分析技術ワークショップの開催</b> -----	<b>34</b>
2022年3月1日及び2日、JAEAとEC/JRCの間で、アクティブ中性子非破壊分析技術開発に関する技術ワークショップが開催されたので報告する。	
<b>4-2 JAEA-EC/JRC 共同研究に関する運営会議の開催</b> -----	<b>37</b>
2022年3月4日、JAEAとEC/JRCの間で、核物質保障措置等についての研究開発協力に関する運営会議が開催されたのでその概要を報告する。	
<b>4-3 ラオスにおける放射性物質セキュリティ事案対応に係るオンラインコースの開催</b> -----	<b>39</b>
ISCNは、2022年3月7日(月)～9日(水)、ラオスにおける放射性物質セキュリティ事案対応に係るオンラインコースをラオス教育スポーツ省、米国エネルギー省と共に開催したところ、その概要を報告する。	
<b>4-4 日本原子力学会 2022年春の年会への参加</b> -----	<b>40</b>
2022年3月16～18日にかけて、日本原子力学会2022年春の年会がオンラインにて開催された。ISCNでは技術開発推進室から、4件の発表、及び、1件の講演を行ったので、その概要について報告する。	
<b>5. コラム</b> -----	<b>45</b>
<b>5-1 リスボン議定書及びブダペスト覚書の相違点</b> -----	<b>45</b>
ロシアのウクライナ侵攻に関連し、ソ連崩壊後にウクライナがロシアに核兵器を移譲する際に作成されたリスボン議定書及びブダペスト覚書について、両文書の相違点について整理した。	

---

---

## Contents

<b>1. Announcements</b> .....	<b>4</b>
<b>1-1 JAEA Review 2021-076: Research on factor analysis and technical process for achieving denuclearization; Case study and factor analysis of denuclearization</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security Trends and Analysis</b> .....	<b>5</b>
<b>2-1 Brief summary and analysis of IAEA Director General's report on "Verification and monitoring in the Islamic Republic of Iran in light of United Nations Security Council resolution 2231 (2015)" (GOV/2022/4)</b> .....	<b>5</b>
<b>2-2 Fact Sheet on 2022 Nuclear Posture Review</b> .....	<b>10</b>
<b>2-3 US President's FY 2023 Budget Request</b> .....	<b>11</b>
<b>(1) Request for Defense Nuclear Nonproliferation (NNSA) and Office of Nuclear Energy</b> --	<b>11</b>
<b>(2) Request for DOS Foreign Operations and Related Program (IAEA and CTBTO)</b> .....	<b>19</b>
<b>2-4 IAEA Success Story of Coordinated Research Projects~Enhancing Computer Security~</b> .....	<b>23</b>
<b>3. Introduction of Technologies related to Nuclear Non-proliferation and Nuclear Security</b> .....	<b>28</b>
<b>3-1 Development of Neutron Resonance Transmission Analysis using a Laser Driven Neutron Source</b> .....	<b>28</b>
<b>4. ISCN's Activities Reports</b> .....	<b>34</b>
<b>4-1 Workshop on "Development of Active Neutron NDA Techniques" held by JAEA and EC/JRC</b> .....	<b>34</b>
<b>4-2 Steering Meeting on Joint Research between JAEA and EC/JRC</b> .....	<b>37</b>
<b>4-3 Online Course on Radioactive Material Security Incident Response in Laos</b> .....	<b>39</b>
<b>4-4 Participation in 2022 Spring Annual Meeting of Atomic Energy Society of Japan</b> .....	<b>40</b>
<b>5. Column</b> .....	<b>45</b>
<b>5-1 Difference between the The Lisbon Protocol and the Memorandum on Security Assurances in connection with Ukraine's accession to the Treaty on the Non-roliferation of Nuclear Weapons</b> .....	<b>45</b>

---

## 1. お知らせ

### 1-1 JAEA Review「非核化達成のための要因分析と技術的プロセスに関する研究:非核化の事例調査と要因分析」の発行

ISCN 計画管理・政策調査室は、2018 年度から「非核化達成のための要因分析と技術的プロセスに関する研究」を実施しております。

この度、「非核化達成のための要因分析と技術的プロセスに関する研究: 非核化の事例調査と要因分析」と題する報告書(JAEA-Review 2021-076、DOI: 10.11484/jaea-review-2021-076)を発行致しました。

当該報告書では、南アフリカ、イラク、リビア、旧ソ連 3 か国(ウクライナ、カザフスタン、ベラルーシ)、北朝鮮、イラン及びシリアの非核化の経緯と非核化の特徴をまとめると共に、シリアを除く上記の国々を、8 つの非核化要因(①核開発・核兵器取得(継承・維持)の動機、②非核化決断時の国内外情勢、③核開発の進捗度、④制裁の効果、⑤非核化の国際的枠組み、⑥非核化の対価(インセンティブ)、⑦非核化の方法、⑧非核化の検証方法、検証者)から分析した結果、さらには旧ソ連の核開発に関与した技術者・研究者の流出防止方策等についても、調査・分析した結果をまとめて記載しております。

以下の URL から閲覧できますので、是非、ご一読下さい。

<https://doi.org/10.11484/jaea-review-2021-076>

## 2. 核不拡散・核セキュリティに関する動向(解説・分析)

### 2-1 2022年3月3日付けIAEAによるイランの監視検証報告(GOV/2022/4)について

#### 1. はじめに

2022年3月3日付けで発出されたIAEAによるイランの監視検証報告(GOV/2022/4)<sup>1</sup>は、国連安全保障理事会決議2231(2015)に基づき、イランの包括的共同作業計画(JCPOA)の遵守状況の報告を4半期毎に行っているものである。

#### 2. JCPOAに基づく監視と検証のための装置

2021年12月15日に、IAEA事務局長とイラン副大統領兼イラン原子力機関(AEOI)長官との間で建設的な協議が行われた結果、JCPOAの下でのIAEAの監視・査察設備に関連して新たな条件が合意された<sup>2</sup>。その合意により、カラジのワークショップ(工場)<sup>3</sup>で2021年12月末までに、IAEAによりカメラが更新され、また、JCPOA関連カメラのすべての記憶媒体を交換するなど、関連するメンテナンス活動が行われた。

2022年1月19日、イランはIAEAに、カラジのワークショップの代替として、エスファハンの新しいワークショップで遠心分離機のローターチューブとベローズを生産することを通知した。IAEAは、監視・モニタリング活動をそれに応じて調整し、2022年1月22日、IAEAはカラジのワークショップの全ての機械に封印シールを貼り付け、その上で監視カメラを撤去した。2022年1月24日、IAEAの査察官が、エスファハンにある前述の新しいワークショップにカメラを設置し、IAEAの監視下に置かれた。<sup>4</sup>

IAEAの理解では、全てのカメラ、濃縮度モニタ、電子シール、及び設置された測定器からの監視データは引き続き保管され、JCPOAに基づく核関連事項の公約(コミットメント)の履行を再開した場合、再び利用可能になる。

#### 3. JCPOAに基づく監視と検証

##### 3.1 重水製造設備

イランは、2021年2月以降、IAEAに対して、重水製造プラント(HWPP)における重水生産量及び保有量に関する情報提供を行っておらず、また、検証も認めていない。

<sup>1</sup> IAEA, “Verification and monitoring in the Islamic Republic of Iran in light of United Nations Security Council resolution 2231 (2015)”, GOV/2022/4, 3 march 2022, URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/22/03/gov2022-4.pdf>

<sup>2</sup> IAEA, “Verification and monitoring in the Islamic Republic of Iran in light of United Nations Security Council resolution 2231 (2015)”, GOV/INF/2021/47, 15 December 2021, URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/22/03/govinf2021-47.pdf>

<sup>3</sup> テヘラン近郊のウラン濃縮に使われる遠心分離機の部品製造施設、2021年6月に何らかの破壊活動により設備が破壊されるとともに、IAEA設置の監視カメラも被害を受けた。

<sup>4</sup> IAEA, “Verification and monitoring in the Islamic Republic of Iran in light of United Nations Security Council resolution 2231 (2015)”, GOV/INF/2022/3, 31 January 2022, URL:未公開

## 3.2 ウラン濃縮に関連する活動

### (1) ナタンズのウラン濃縮施設(FEP)

ナタンズの FEP では、表 1 に示すように 2022 年 2 月 22 日現在、31 カスケードの IR-1 型遠心分離機、6 カスケードの IR-2m 型遠心分離機、2 カスケードの IR-4 遠心分離機で、天然ウランを供給して 5%までの濃縮ウランを製造している。

表1 FEP に設置されているカスケードの運転状況等

	2021/2/17	2021/5/24	2021/8/25	2021/11/13	2022/2/22	
	運転中	運転中	運転中	運転中	運転中	計画
IR-1	30	15	29	28	31	36
IR-2m	2	3	5	6	6	6
IR-4	0	2	2	2	2	6
IR-6	0	0	0	0	0	1

### (2) フォルドのウラン濃縮施設(FFEP)

フォルドの FFEP では、IR-1 型遠心分離機の 3 組の連結カスケードで 20%までの濃縮ウランの製造を継続している。また 166 機の IR-6 型遠心分離機カスケードで、20%までの濃縮ウランの製造を開始した。

### (3) ナタンズのパイロットウラン濃縮施設(PFEP)

2022 年 2 月 21 日時点で、ナタンズの PFEP の line4 に設置された 164 機の IR-4 型遠心分離機及び line6 に設置された 164 機の IR-6 型遠心分離機で構成されたカスケードに、5%までの濃縮ウランを供給し、60%までの濃縮ウランの製造を行っていた。この 2 つのカスケードの廃品(以下テール)は、line1 の IR-5 型遠心分離機と IR-6s 型遠心分離機で構成されるカスケードで、再び 5%までの濃縮ウランに濃縮された。

PFEP には、遠心分離機を設置する 6 つの line があるが、上記以外の line2, 3, 5 では、各種遠心分離機<sup>5</sup>による R&D が行われており、2%までの濃縮ウランが生産されている。

### (4) イスファハンの燃料板製造施設(FPPF)

イランはテヘラン研究炉(TRR)燃料製造施設の建設を FPPF で進めており、IAEA は、シリサイド燃料製造の 3 段階の工程のうち、最初の UF<sub>6</sub>を UF<sub>4</sub>へ転換する工程の装置の設置がほぼ完了したことを 2022 年 1 月に確認しているが、2022 年 2 月 21 日現在もテスト中である。

今報告書期間中の主な活動は以下の通り。

<sup>5</sup> 試験が行われているのは、IR-1, IR-2m, IR-4, IR-5, IR-6, IR-6s, IR-7, IR-8, IR-8B, IR-9, IR-s 型の遠心分離機

- 
- 2022年1月に、PFEPより60%までの濃縮UF<sub>6</sub> 23.3 kgUと20%までの濃縮UF<sub>6</sub> 147.8 kgUを受け入れた。
  - 2022年2月19日、IAEAは、イランが20%までの濃縮U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 1304 gUを含む87個のターゲットを、また、2月28日には20%までの濃縮ウランシリサイド70 gUを含む3個のターゲットを生産したことを確認した。
  - 2022年2月19日、IAEAは、FPFPで製造された17燃料集合体のうち10体がTRRへ出荷されたことを確認、残りの7体はIAEAにより封印されている。
  - 2022年2月25日、IAEAはイランより、60%までの濃縮ウランで小型プレート(ターゲット)の製造と、それを可能とする施設の変更を含む設計情報質問表(DIQ)を受領した。同日、IAEAは、イランが新しいプロセスを開始する前に追加の保障措置の適用が必要であることを通知した。同月27日、IAEAは設計情報検認(DIV)を実施、その後、60%までの濃縮ウランは封印を解除され、IAEAの監視のもとで固定化された。
  - イランが申告した60%までの濃縮ウランのターゲット製造プロセスは、20%までの濃縮ウランのものと同じであり、IAEAは、核物質に係る知識の継続性を維持し、適切な場所、時期にそれを検認することにより、プロセスの各ステップを監視する。2022年2月28日、IAEAは、イランが60%までの濃縮UF<sub>6</sub>のUO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>への転換を開始したことを検認した。

#### (5) ウラン転換施設(UCF)

2021年11月の段階で、金属ウラン転換設備の設置は完了していたが、2022年2月12日現在、この生産エリアには、核物質は搬入されていないことをIAEAは検認している。

#### (6) 燃料製造

ナタンズのFEPから移送されたUF<sub>6</sub>は、イスファハンの濃縮二酸化ウラン粉末プラント(EUPP)でUO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>に転換した後、FPFPでAUC(炭酸ウラニルアンモニウム)に転換し、続いて二酸化ウラン(UO<sub>2</sub>)へ転換するためウラン転換施設(UCF)へ、そしてホンダーブ重水研究炉(KHRR)<sup>6</sup>用の燃料製造のためイスファハンの燃料製造施設(FMP)へ送られる。

EUPPでは、FEPより、2021年9月に103 kgU、2021年11月21日に141.1 kgU、2021年12月19日に143.1 kgUの、3.5%までの濃縮UF<sub>6</sub>を受領している。

IAEAは、2022年2月21日、FMPで52 kgUの3.5%までの濃縮UO<sub>2</sub>粉末及びペレットを検認した。

---

<sup>6</sup> 旧名アラク重水炉



### 3.3 遠心分離機製造、試験、部品在庫

2021年2月23日以降、IAEAは遠心分離機の試験及び製造の監視データへアクセスすることが出来ていない。その結果、イランの製造及び在庫に関するデータを保有していない。

2022年1月19日、イランはIAEAに遠心分離機のロータチューブとベローズの製造をイスファハンで生産することを伝え、IAEAの査察官は、新しいワークショップに監視カメラを設置した。

### 3.4 濃縮ウラン保有量

表2にイランの六フッ化ウラン形態の濃縮ウラン保有量と前回報告からの増減を、図1にこれまでの保有量の推移を示す。

前回の事務局長報告から濃縮ウラン保有量は569.8 kgU増加し2883.2 kgUになったと推定されている。また、5%までの濃縮ウラン保有量は344.4 kgU減少し1277.9 kgになったと推定されている。20%までの濃縮ウラン保有量は182.1 kgU、60%までの濃縮ウラン保有量は33.2 kgUに増加した。

表2 イランの濃縮ウラン保有量

(単位 kgU)

	2021/2/23	2021/5/22	2021/8/30	2021/11/6	2022/02/19	差
~2%UF6	1025.5	1367.9	503.8	559.6	1390.0	830.4
~5%UF6	1890	1773.2	1774.8	1622.3	1277.9	-344.4
~20%UF6	17.6	62.8	84.3	113.8	182.1	68.3
~60%UF6	0	2.4	10	17.7	33.2	15.5
計	2915.5	3206.3	2372.9	2313.4	2883.2	569.8

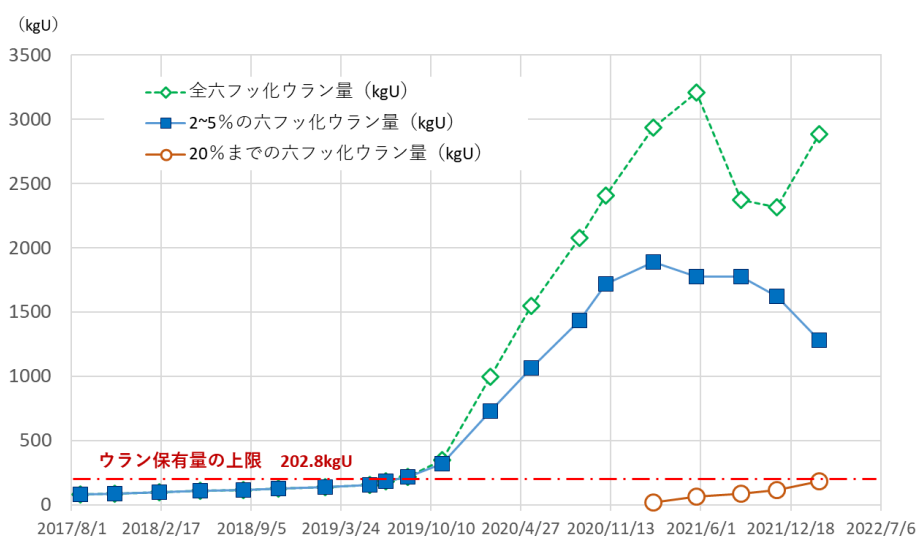


図1 イランの濃縮ウラン量の推移

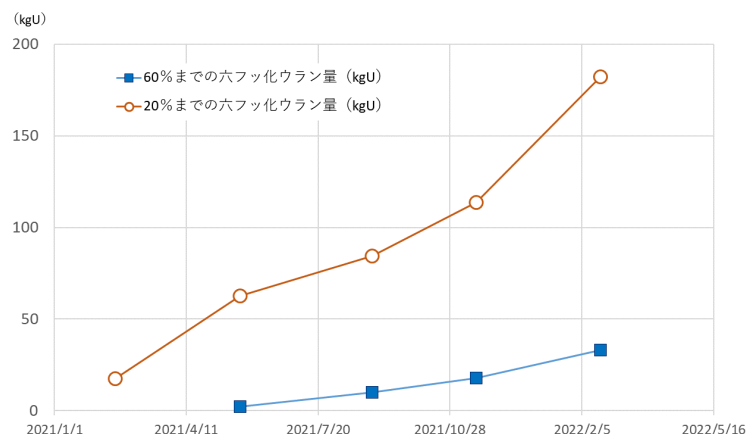


図2 イランの濃縮ウラン量の推移(濃縮度 20%, 60%)

#### 4. 考察

イランの濃縮ウラン保有量は、2021 年以降、2%までの濃縮ウランを 5%までの濃縮度のウラン生産の原料として消費していたが、2021 年の 11 月以降は再び天然ウランのみを 5%までの濃縮度のウラン生産用の原料として利用するようになったことから、全六フッ化ウラン量は増加した。一方、2~5%までの濃縮六フッ化ウランは、20%及び 60%までの高い濃縮度の六フッ化ウランの生産での消費が増加していること、及び重水炉の燃料製造の原料として消費されたことから減少量が大きくなったと考えられる。

【報告： 計画管理・政策調査室 清水 亮】

---

## 2-2 米国バイデン政権の核態勢の見直し(NPR)の骨子

2022年3月28日、バイデン政権は、核政策の指針となる「核態勢の見直し(NPR: Nuclear Posture Review)」の骨子を記載したファクトシート<sup>7</sup>を発表した。なお本文は後日発表されるとのことである。

骨子では、①核兵器に係る米国にとっての最優先事項は、安全で確実かつ効果的な核抑止と、強力かつ信頼できる拡大抑止のコミットメントの維持であること、②核兵器が存在する限り、米国の核兵器の基本的な役割は、米国と同盟国及びパートナー国に対する核攻撃を阻止することであること、③米国が唯一、核兵器の使用を考慮するのは、米国または同盟国及びパートナー国の重要な国益を守るための極端な状況である、こと等が述べられている。

また軍備管理については、④米国は核兵器の役割を低減し、軍備管理におけるリーダーシップを再確立すること、⑤戦略的安定性に重点を置き、費用を要する軍拡競争を回避し、可能な場合はリスクの軽減と軍備管理に係る取決め(arrangement)を促進する、ことが述べられている。

なお、今次骨子には、核の先制不使用(核攻撃を受けない限り、核兵器を使用しないとする方針)は示されていない<sup>8</sup>。また国防総省やエネルギー省(DOE: Department of Energy)国家核安全保障庁(NNSA: National Nuclear Security Administration)の核兵器関連等 FY2023 予算要求は、上記 NPR を反映したものとのことである。

【報告： 計画管理・政策調査室 田崎 真樹子】

---

<sup>7</sup> 国防総省、”Fact Sheet: 2022 Nuclear Posture Review and Missile Defense Review”, URL: <https://media.defense.gov/2022/Mar/29/2002965339/-1/-1/1/FACT-SHEET-2022-NUCLEAR-POSTURE-REVIEW-AND-MISSILE-DEFENSE-REVIEW.PDF> なおこのファクトシートには、「ミサイル防衛見直し(MDR: Missile Defense Review)」の骨子も記載されている。

<sup>8</sup> バイデン大統領は2020年に、核兵器の唯一の目的は米国またはその同盟国に対する核攻撃を阻止することであると宣言すると述べたが、それに従わないことを決定したこと、またその代わりに、核兵器による攻撃への報復としてだけでなく、核兵器以外の脅威に対応するためにも核兵器を使用するオプションを維持するというオバマ政権からの政策を承認したという。Daryl G. Kimball, “Biden Policy Allows First Use of Nuclear Weapons”, April 2022, URL: <https://www.armscontrol.org/act/2022-04/news/biden-policy-allows-first-use-nuclear-weapons>

## 2-3 米国バイデン政権の2023会計年度(FY2023)の予算教書

### (1) エネルギー省国家核安全保障庁の予算要求(核不拡散、核セキュリティ等に係る部分)等

#### 【概要】

2022年3月28日、米国バイデン大統領は、2023会計年度(FY2023、2022年10月～2023年9月)の予算教書を議会に提出した<sup>9</sup>。このうち、①米国エネルギー省(DOE: Department of Energy)及び②DOEの国家核安全保障庁(NNSA: National Nuclear Security Administration)の予算要求、③NNSA予算のうち核不拡散及び核セキュリティに係る「防衛核不拡散」項目の予算要求、そして④doeの原子力(ne: Nuclear Energy)局の予算要求の概要を紹介する。なお本稿は、2022年4月10日現在での公開情報に基づくものである<sup>10</sup>。

#### 【DOEのFY2023予算要求の概要】

DOEのFY2023要求額は481億8,354万1千ドルであり、この金額は、FY2022要求額(466億4,630万ドル)から約15億3,724万ドル、FY2022実施予算額<sup>11</sup>(448億5,562万4千ドル)から約33億2,791万ドル(約7.4%)増額されている(表1参照)。

表1 DOEのFY2023要求額等

(単位:千ドル)

FY2021 <sup>12</sup>	FY2022 <sup>13</sup>		FY2023 <sup>14</sup>	FY2022実施との差/割合	
実施	要求	A:実施	B:要求	C: B-A	C/A*100
39,625,025	46,646,300	44,855,624	<b>48,183,541</b>	+3,327,917	+7.4%

DOEのグランホルム長官は、今次予算要求により、「(化石燃料エネルギーから)クリーンエネルギーへの移行をさらに促進し、エネルギーコストの削減及び二酸化炭素

<sup>9</sup> White House, “Statement by President Joe Biden on the FY 2023 Budget”, 28 March 2022, URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/03/28/statement-by-president-joe-biden-on-the-fy-2023-budget/>

<sup>10</sup> DOE, “FY 2023 Budget Justification”, 24 March 2022, URL: <https://www.energy.gov/cfo/articles/fy-2023-budget-justification>

<sup>11</sup> FY2022予算法案(H.R.2471: Consolidated Appropriations Act, 2022)は、2022年3月9日に下院、10日に上院で可決され、3月15日にバイデン大統領が署名して成立した(Law No. 117-103)。White House, “Remarks by President Biden at Signing of H.R. 2471, “Consolidated Appropriations Act, 2022”, URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2022/03/15/remarks-by-president-biden-at-signing-of-h-r-2471-consolidated-appropriations-act-2022/> 及び米国議会、URL: <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/2471/text>

<sup>12</sup> 米国政府出版局, “Explanatory Statement Submitted by Ms. Delauro, Chair of the House Committee on Appropriations, Regarding the Amendment to the Senate Amendment to H.R. 2471, Consolidated Appropriations Act, 2022, Division A through F”, 9 March 2022, p.592, URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CREC-2022-03-09/pdf/CREC-2022-03-09-bk3.pdf>

<sup>13</sup> 同上

<sup>14</sup> DOE, “Department of Energy; FY 2023 Congressional Budget Request, Budget in Brief”, March 2022, p. 19, URL: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-04/doe-fy2023-budget-in-brief-v6.pdf>

---

を排出しない未来に向けたエネルギーの独立性を確保する」と述べ、FY2023 予算での主要実施事項として以下を挙げた<sup>15</sup>(後述する DOE の国家核安全保障庁(NNSA)に関連する言及を除く)。

- 低所得者用住宅の光熱費の支援や住宅耐候化支援プログラム等を通じた低廉なエネルギー価格の実現とその維持。エネルギー効率の向上及び二酸化炭素を排出しないクリーンな再生可能エネルギーの導入及び利用促進、
- DOE 傘下の国立研究所による脱炭素化計画の策定や、パートナー国との連携、またクリーンエネルギー関連のサプライチェーン強化等を担当する部署の新設等により、地政学的な混乱に強い安全なサプライチェーンの構築・強化の促進、
- 化石燃料への依存低減により、石油やガス供給の混乱に対してレジリエンス(強靭さ)を有するクリーンエネルギー分野での米国の技術的リーダーシップの確立とエネルギー安全保障の強化。国立研究所や大学が実施する最先端の研究を支援し、クリーンエネルギー関連の新技术の確立を加速。

併せてグランホルム長官は、昨年の FY2022 要求時の言及同様に、またホワイトハウスによる DOE の FY2023 予算要求概要説明<sup>16</sup>においても言及されているように、今次 DOE の FY2023 予算要求が、クリーンエネルギー関連のインフラ支援、米国内でのクリーンエネルギー生産の強化、クリーンエネルギーへの転換、また地球温暖化対策の解決策となる関連技術の研究開発・実証を促進すると共に、それらの分野において高給の雇用を創出し、ひいては米国の長期的な財政見通しを改善するための予算であると述べている。

### 【DOE の国家核安全保障庁(NNSA)の FY2023 予算要求の概要】

DOE 内で半独立的(semi-autonomous)な地位を有する国家核安全保障庁(NNSA: National Nuclear Security Administration)の主要な任務は、備蓄核兵器の維持、核不拡散、拡散対抗、テロ対策及び米国海軍原子力潜水艦への動力源提供等である。この NNSA の FY2023 予算要求額は 214 億 1,040 万ドルであり、FY2022 要求額(197 億 4,300 万ドル)から 16 億 6,740 万ドル増額され、また FY2022 要求額を上回った FY2022 実施予算額(206 億 5,600 万ドル)からも 7 億 5,440 万ドル(約 3.7%)増額されたものとなっている(表 2 参照)。

なお、例年どおり、予算項目としては、NNSA 予算のうち、「核兵器に係る活動(Weapons Activities)」予算が、全体要求額の 8 割弱(約 77%)を占め、核不拡散、拡散対抗、及び核テロ対策に係る活動の予算項目である「防衛核不拡散(Defense

---

<sup>15</sup> DOE, “Statement by Energy Secretary Granholm of the President Biden’s DOE Fiscal Year 2023 Budget”, 28 March 2022, URL: <https://www.energy.gov/articles/statement-energy-secretary-granholm-president-bidens-doe-fiscal-year-2023-budget#:~:text=In%20total%2C%20DOE's%20FY%202023,Increasing%20energy%20affordability%20and%20resilience.>

<sup>16</sup> White House, “Budget of the U.S. Government: Fiscal Year 2023”, pp.61-63, URL: [https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/03/budget\\_fy2023.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/03/budget_fy2023.pdf)

Nuclear Nonproliferation)」が 1 割強、「海軍原子炉(Naval Reactors)」が 1 割弱を占めている。

表 2 NNSA の FY2023 要求額等

(単位:千ドル)

予算項目	FY2021 <sup>17</sup>	FY2022 <sup>18</sup>		FY2023 <sup>19</sup>	FY2022 実施との差/割合	
	実施	要求	A:実施	B:要求	C: B-A	C/A*100
Weapons Activities	15,345,000	15,484,295	15,920,000	<b>16,486,298</b>	+566,298	+3.6%
Defense Nuclear Nonproliferation	2,260,000	1,934,000	2,354,000	<b>2,346,257</b>	-7,743	-0.3%
Naval Reactors	1,684,000	1,860,705	1,918,000	<b>2,081,445</b>	+163,445	+8.5%
Federal Salaries and Expense	443,200	464,000	464,000	<b>496,400</b>	+32,400	+7.0%
<b>NNSA Total</b>	<b>19,732,200</b>	<b>19,743,000</b>	<b>20,656,000</b>	<b>21,410,400</b>	<b>+754,400</b>	<b>+3.7%</b>

グランホルム DOE 長官は、今次 NNSA の FY2023 予算要求は、NNSA 史上最も高額な要求額であり、当該予算で、核兵器関連インフラの近代化、安全で確実かつ効果的な備蓄核兵器の維持、軍備管理と核不拡散における米国のリーダーシップの再活性化、米国海軍の原子力潜水艦への動力源の提供、さらに緊急時やサイバーセキュリティリスクへの適確な対応等を通じ、米国の安全保障の更なる強化を図るとしている。

またフルービー NNSA 長官 (DOE 国家安全保障担当次官) は、今次 FY2023 予算要求が、現在のように極めて重要な時期<sup>20</sup>における NNSA の国家安全保障ミッションへの強いコミットメントであること、NNSA は老朽化した核兵器インフラを増強し、冷戦終結以降低下した備蓄核兵器の機能を再確立しつつ、核兵器を近代化するというこれまでにない困難な事態に直面していること、現在及び将来の種々の課題に対応するために、NNSA は核セキュリティと核不拡散の取組みを進めていくこと、そして今次予算要求により、安全で、確実で、信頼でき、また効果的な核抑止力の提供と、そのための主要な(核)能力の回復に着手することができる等を述べた<sup>21</sup>。またフルービー長官は、FY2023 予算要求が、バイデン政権の「核態勢の見直し(NPR)」<sup>22</sup>に基づく政策履行に寄与するものであると共に、今次予算要求に基づき実施する主要なプログラ

<sup>17</sup> FY2022 Omnibus Appropriations Bill, Explanatory Statement, Division A through F, pp.575-578, URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CREC-2022-03-09/pdf/CREC-2022-03-09-bk3.pdf>

<sup>18</sup> 同上

<sup>19</sup> DOE, “Department of Energy; FY 2023 Congressional Budget Request, Budget in Brief”, op. cit., p. 19

<sup>20</sup> 「現在のように極めて重要な時期」が、具体的に何を指すかは言及されていないが、暗に露国によるウクライナ侵攻を指すと思われる。

<sup>21</sup> NNSA, “President’s FY23 NNSA Budget Enables “Responsive and Responsible” Nuclear Security Efforts”, URL: <https://www.energy.gov/nnsa/articles/presidents-fy23-nnsa-budget-enables-responsive-and-responsible-nuclear-security>

<sup>22</sup> 国防総省、“Fact Sheet: 2022 Nuclear Posture Review and Missile Defense Review”, op. cit.



---

ム・活動として、以下を挙げている。

- 備蓄核兵器の維持及び核兵器の近代化<sup>23</sup>
- 可能な限り 2030 年を目途にした年間 80 個の(プルトニウム)ピット<sup>24</sup>の生産<sup>25</sup>
- 効果的かつ的を絞った民生用の機微な核物質の最小化・撤去
- NNSA の国立研究所の科学、工学、及び技術能力を活用して、バイオセキュリティ(生物テロに対するセキュリティ)を保証するための新しい生物テロ対応プログラム(bioassurance program)の確立
- 核不拡散、核セキュリティ、及び将来の軍備管理の検証技術に必要とされる専門知識、インフラ及び能力の開発
- 現在及び将来の原子力潜水艦の能力を強化し、使用済燃料処理施設の建設を継続するための研究開発を含む米国海軍の支援

#### 【NNSA の予算要求のうち、「防衛核不拡散」の FY2023 要求の概要】

表 2 記載の NNSA の 4 つの予算項目のうち、核不拡散、拡散対抗、及び核テロ対策に係る活動予算が、「Defense Nuclear Nonproliferation (防衛核不拡散)」の予算項目である。当該項目の FY2023 の要求額は 23 億 4,625 万 7 千ドルで、FY2022 要求額(19 億 3,400 万ドル)からは 4 億 1,225 万 7 千ドル増額されているが、FY2022 実施予算(23 億 5,400 万ドル)からは 774 万 3 千ドル(約 0.33%)減額されており、概して FY2022 の実施額を前提とした要求額となっている。この「Defense Nuclear Nonproliferation」の詳細項目毎の FY2023 予算要求額等は表 3 のとおりである。

---

<sup>23</sup> FY2023 要求においては、「Weapons Activities (核兵器関連活動)」として、備蓄核兵器及び核弾頭の近代化(寿命延長、生産設備と機能の近代化等を含む)や、核抑止力を維持するためのインフラ及び重要設備の資本増強を図っている。

<sup>24</sup> 核爆発を誘引するために核弾頭の先端部分に取り付けられている球状の塊(ピット)

<sup>25</sup> 米国は 1992 年以降のモラトリアムにより、核実験の計画中止に加えて、新型の核弾頭開発も中断していた。またトランプ政権が発表した核態勢見直し(NPR)は、老朽化した核弾頭の近代化を視野に入れ、2030 年までに年間 80 個のプルトニウム・ピットの製造能力確保を掲げていた。

表3 「Defense Nuclear Nonproliferation (防衛核不拡散)」の FY2023 要求額等

(単位:千ドル)

予算項目	FY2021 <sup>26</sup>	FY2022 <sup>27</sup>		FY2023 <sup>28</sup>	FY2022 実施との差/割合	
	実施	要求	A:実施	B:要求	C: B-A	C/A*100
Material Management and Minimization (M3)	400,711	342,946	342,946	<b>450,885</b>	+107,939	+31.5%
Global Material Security	528,939	497,941	531,441	<b>504,077</b>	-27,364	-5.1%
Nonproliferation and Arms Control	148,000	184,795	184,795	<b>207,656</b>	+22,861	+12.4%
Defense Nuclear Nonproliferation R&D	601,900	672,736	729,236	<b>720,245</b>	-8,991	-1.2%
<b>NNSA Bioassurance Program</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20,000</b>	<b>+20,000</b>	<b>(FY2023 新規)</b>
Nonproliferation Construction	148,589	156,000	156,000	<b>71,764</b>	-84,236	-54.0%
Nuclear Counterterrorism and Incident Response	377,513	370,782	370,782	<b>438,970</b>	+68,188	+18.4%
Legacy Contractor Pensions and Settlement Payments	14,348	38,800	38,800	<b>55,708</b>	+16,908	+43.6%
Use of Prior Year Balances	0	-330,000	0	<b>-123,048</b>	-123,048	0
<b>Defense Nuclear Nonproliferation Total</b>	<b>2,260,000</b>	<b>1,934,000</b>	<b>2,354,000</b>	<b>2,346,257</b>	<b>-7,743</b>	<b>-0.3%</b>

2022年4月10日現在、上記表3の各項目の実施内容の詳細(増減理由を含む)は公開されていないが、FY2022 実施予算額に比し増額、あるいは新設され、FY2023における実施内容等が言及されているものは以下のとおりである。

- 「Material Management and Minimization (核物質等の管理/核兵器に利用可能な核物質等の最小化)」: FY2023では、高濃縮ウラン(HEU)仕様の研究炉や同位体製造施設の LEU 仕様への転換や運転停止、HEUを使用しないモリブデン-99生産施設の支援、核兵器に利用可能な核物質の撤去・処分、サウスカロライナ州か

<sup>26</sup> FY2022 Omnibus Appropriations Bill, Explanatory Statement, Division A through F, op. cit., pp.575-577

<sup>27</sup> 同上

<sup>28</sup> DOE, “Department of Energy; FY 2023 Congressional Budget Request, Budget in Brief”, op.cit., p. 31



---

らのプルトニウム(Pu)の撤去、Pu の希釈・処分及び HEU のダウブレンドを実施するとしている。

- 「Defense Nuclear Nonproliferation R&D (防衛不拡散研究開発)」: 本項目は、核爆発や、外国の核兵器関連活動、また特殊核物質の存在、移動及び転用等の検知のための研究開発予算であり、FY2023 では、核拡散関連の研究開発の早期発見、衛星搭載用核爆発検知装置の生産、基礎的な不拡散技術能力の維持・開発への取組みを継続するとしている。
- 「NNSA Bioassurance Program (NNSA 生物テロ対応プログラム)」: 米国の国家安全保障のための研究開発プログラムの 1 つで、FY2023 要求で新設された予算項目である。DOE の科学局や他省庁と連携・協力し、また米国の生物テロ防衛戦略・計画を補完しつつ、生物テロの脅威を予測・検知するとし、核の脅威やリスク、輸出管理と許認可、不拡散、検知・検証作業等を参考に、また国家安全保障専門家の見解を交え、生物テロ対応に不可欠な機能を提供するとしている。
- 「Nonproliferation Construction (核不拡散構築)」: 前出の予算項目である「Material Management and Minimization(核物質等の管理/核兵器に利用可能な核物質等の最小化)」を支援するもので、FY2023 では、余剰 Pu の希釈・処分を実施するため、サバンナリバーサイト(SRS)においてグローブボックス容量を追加して <sup>29</sup>Pu の希釈を加速し、サウスカロライナ州からの Pu の撤去を支援するとしている。
- 「Nuclear Counterterrorism and Incident Response Program (核テロ対抗、インシデント対応)」: FY2023 では、世界中の核・放射線に係る事象や事故に迅速に対応するための専門の科学チームと機器で構成される DOE/NNSA 核緊急支援チーム(NEST: Nuclear Emergency Support Team)の展開、規制管理外、あるいは核攻撃に使用された核物質源の特定に寄与する核鑑識能力の維持、国内及び国際パートナーに対する訓練や演習による教育を通じた原子力事故への効果的な対応、対テロ及び拡散対抗に適用する技術の開発等を行うとしている。

### 【DOE 原子力(NE)局の FY2023 予算要求の概要】

- DOE の原子力(NE)局の FY2023 予算要求額は 16 億 7,506 万ドルであり、この金額は、FY2022 予算要求額(18 億 5,050 万ドル)から約 1 億 7,544 万ドル削減されているが、FY2022 年実施予算額(16 億 5,480 万ドル)<sup>30</sup>からは若干 2,026 万ドル(約 1.2%)増額されたものとなっている(表 4 参照)。

---

<sup>29</sup> FY2022 要求では、Pu を取り扱うグローブボックス及び附属機器やシステムの設計を完了・製造し、SRS に搬出すると共に、SRS での受入準備作業を進めるとしており、FY2023 はそれに継続する作業である。

<sup>30</sup> DOE, “Department of Energy; FY 2023 Congressional Budget Request, Budget in Brief”, op. cit., p.22. 左記の資料では、NE 局の予算項目毎の FY2022 実施予算額は記載されていない。

表4 原子力(NE)局の FY2023 要求額等

(単位:千ドル)

予算項目	FY2021 <sup>31</sup>	FY2022 <sup>32</sup>		FY2023 <sup>33</sup>	FY2022 実施との差/割合	
	実施	要求	A: 実施	B: 要求	C: B-A	C/A*100
Directed R&D and University Programs	0	0	0	161,029	55,029	+51.9%
Integrated University Program	5,000	6,000	6,000			
STEP R&D	5,000	0	0			
NEUP, SBIR/STTR and TCF			100,000			
Reactor Concepts RD&D	208,000	240,000	257,000	135,000	-122,000	-47.5%
Fuel Cycle Research and Development	309,300	368,500	320,150	421,775	101,625	+31.7%
Nuclear Energy Enabling Technologies	122,869	124,000	117,000	102,737	-14,263	-12.2%
Advanced Reactor Demonstration Program	250,000	370,350	250,000	230,238	-19,762	-7.9%
Versatile Test Reactor Project (VTR) <sup>34</sup>	45,000	145,000	0	45,000	45,000	-*
Infrastructure	337,500	356,850	371,850	334,224	-37,626	-10.1%
Idaho Sitewide Safeguards and Security	149,800	149,800	149,800	156,600	6,800	+4.5%
International Nuclear Energy Cooperation		5,000	3,000	3,000	0	-**
Program Direction	75,131	85,000	80,000	85,457	5,457	+6.8%
<b>Nuclear Energy TOTAL</b>	<b>15,07,600</b>	<b>1,850,500</b>	<b>1,654,800</b>	<b>1,675,060</b>	<b>+20,260</b>	<b>+1.2%</b>

\* FY2022 実施予算額がゼロ(議会在 FY2022 予算配賦を認めず)だが、FY2023 で要求

\*\* FY2022 実施予算額と FY2023 要求額が同額

2022 年 4 月 10 日現在、各予算項目の FY2023 の実施内容及び増減理由の詳細は明らかにはなっていないが、FY2022 実施予算に比し FY2023 要求で 31%以上増

<sup>31</sup> FY2022 Omnibus Appropriations Bill, Explanatory Statement, Division A through F, op. cit., pp.552-555

<sup>32</sup> 同上

<sup>33</sup> DOE, "Department of Energy; FY 2023 Congressional Budget Request, Budget in Brief", op. cit., p. 58

<sup>34</sup> 2019 年 2 月に、ペリーDOE 長官(当時)が着手した多目的試験炉(VTR)の開発プロジェクト。VTR は、2018 年に成立した「2017 年原子力技術革新対応法(NEICA 2017: Nuclear Energy Innovation Capabilities Act of 2017)」でその必要性が強調されていたもので、新型炉技術の研究開発で重要な役割を担う高速中性子の照射施設をアイダホ国立研究所に建設し、2026 年(当初予定は 2025 年末)の運転開始を目指すというもの。URL: <https://www.energy.gov/articles/secretary-perry-launches-versatile-test-reactor-project-modernize-nuclear-research> 及び <https://www.energy.gov/ne/versatile-test-reactor>

---

額された「Fuel Cycle Research and Development (燃料サイクル研究開発)」について、DOE は、FY2023 において、商用原子炉からの使用済燃料の中間貯蔵オプションの確立、資源の利用とエネルギー生産の改善、放射性廃棄物の削減、核拡散リスクを制限する取組みを含む米国の使用済燃料と高レベル放射性廃棄物の管理と処分の進歩を加速する可能性のある先進燃料サイクル技術の研究開発の支援を行うと説明している。またこの予算の中には、高アッセイ低濃縮ウラン燃料(HALEU)<sup>35</sup>の利用可能性を含む信頼性が高く経済的な燃料の供給を確保するための研究開発が含まれるとしている。

また「Advanced Reactor Demonstration Program (先進炉実証プログラム)」の予算項目について、以前は本項目に含まれていた 2 つの先進炉<sup>36</sup>の実証支援に係る予算は、2021 年 11 月に成立した超党派インフラ投資・雇用法<sup>37</sup>に沿い、新設のクリーンエネルギー実証局(Office of Clean Energy Demonstrations)<sup>38</sup>を通じて提供される<sup>39</sup>。

### 【今後の動向等】

2022 年 4 月 10 日現在、NNSA 及び NE 局を含め、DOE の FY2023 要求で実施する事項の詳細内容(増減理由を含む)は明らかになっていない。うち NNSA の核不拡散及び核セキュリティに係る「防衛核不拡散」の項目の FY2023 実施内容等については、詳細が公開された時点で、次号以降の Newsletter で紹介予定である。

なお、米国において予算教書は、政権の要求リストに過ぎず、実際の予算配賦を決定するのは議会であり、今後、議会の関連する委員会では、政権の要職者を召集した公聴会の開催を含め、予算に係る審議が実施される予定である。今次予算要求の議会での採否について述べると、現在の米国議会は上下両院ともバイデン大統領率いる民主党が優位となっているが、昨今の不安定な国際情勢や 2022 年 11 月に中間選挙が実施されることから、FY2023 要求が予算教書どおりに成立するか否かは現時点では分からず、今後も本件に係る議会動向を注視していく。

【報告： 計画管理・政策調査室】

---

<sup>35</sup> ウラン 235 の濃縮度が 5~20%の低濃縮ウラン(LEU)燃料。多くの先進炉で燃料とすることが提案されている。

<sup>36</sup> テラパワー社の「ナトリウム冷却高速炉」と、Xエナジー社の小型ペブルベット式高温ガス炉「Xe-100」。URL: <https://www.energy.gov/ne/articles/us-department-energy-announces-160-million-first-awards-under-advanced-reactor> 及び <https://www.energy.gov/ne/advanced-reactor-demonstration-program?msclkid=8ff2aa2ac39111ecac65d1600d5b0fc8>

<sup>37</sup> US Congress, Public Law No. 117-58 (11/15/2021), Infrastructure Investment and Jobs Act, URL: <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684/text>

<sup>38</sup> DOE, “DOE establishes new Office of Clean Energy Demonstrations under the Bipartisan Infrastructure Law”, 21 December 2021, URL: <https://www.energy.gov/articles/doe-establishes-new-office-clean-energy-demonstrations-under-bipartisan-infrastructure-law>

<sup>39</sup> Office of Clean Energy Demonstration では、NE 局予算から予算項目が移行した Advanced Reactor Demonstration に係り、2,500 万ドルを要求している。“Department of Energy; FY 2023 Congressional Budget Request, Budget in Brief”, op. cit., p. 58

## (2) 国務省予算のうち、国際原子力機関(IAEA)や包括的核実験禁止条約機関(CTBTO)等への拠出に係る要求概要

### 【概要】

国務省の2023会計年度(FY2023)予算要求のうち、国際原子力機関(IAEA)や包括的核実験禁止条約機関(CTBTO: Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty Organization)等への拠出に係る要求について紹介する。

### 【国際機関への拠出に係る要求概要】

国務省は、43の国際機関(国際原子力機関(IAEA)などの国連関連の機関や、北大西洋条約機構(NATO)及び化学兵器禁止機関(OPCW: Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons)等を含む)に拠出している。それら国際機関へのFY2021実施予算額、FY2022要求額及び実施予算額<sup>40</sup>、並びにFY2023要求額は、以下の表1のとおりである。バイデン政権は、気候変動、保健・健康、平和・安全、人道、民主主義、人権等に係る世界的な課題に取り組む協力体制を構築・強化するため、国際機関における米国のリーダーシップを促進させるとし、FY2023は16億5,823万9千ドルを要求した。この金額はFY2022要求額及び実施額に比し約0.28%のみの減額で、ほぼ実施額を反映した要求となっている。

表1 国際機関への拠出に係るFY2023要求額等

(単位:千ドル)

FY2021 <sup>41</sup>	FY2022 <sup>42</sup>		FY2023 <sup>43</sup>	C: B-A	C/A*100
実施予算	要求	A: 実施予算	B: 要求		
1,505,928	1,662,928	1,662,928	<b>1,658,239</b>	-4,639	-0.28%

### 【IAEAの通常予算への拠出】

上記の国際機関への拠出のうち、IAEAの通常予算への拠出に係るFY2023要求額は、1億1,140万6千ドルであり、これはFY2022要求額に比し226万7千ドル(約2%)の減額であるが、FY2022実施予算額から若干(91万4千ドル、約0.83%)増額さ

<sup>40</sup> White House, “Remarks by President Biden at Signing of H.R. 2471, “Consolidated Appropriations Act, 2022”, URL: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2022/03/15/remarks-by-president-biden-at-signing-of-h-r-2471-consolidated-appropriations-act-2022/>

<sup>41</sup> 米国政府出版局, “Explanatory Statement Submitted by Ms. Delauro, Chair of the House Committee on Appropriations, Regarding the Amendment to the Senate Amendment to H.R. 2471, Consolidated Appropriations Act, 2022, Divisions G through O”, p.536, 9 March 2022, URL: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CREC-2022-03-09/pdf/CREC-2022-03-09-bk4.pdf>

<sup>42</sup> 同上

<sup>43</sup> DOS, “Congressional Budget Justification, Department of States, Foreign Operations, and Related Program, Fiscal Year 2023”, p.48, URL: [https://www.state.gov/wp-content/uploads/2022/03/FY-2023-Congressional-Budget-Justification\\_Final\\_03282022.pdf](https://www.state.gov/wp-content/uploads/2022/03/FY-2023-Congressional-Budget-Justification_Final_03282022.pdf)

せたものであり<sup>44</sup>、大きな変化はない(表 2 参照)。

表 2 IAEA の通常予算への拠出に係る FY2023 要求額等

(単位:千ドル)

FY2021	FY2022		FY2023	C: B-A	C/A*100
実施予算	要求	A: 実施予算	B: 要求		
113,297	113,673	110,492	<b>111,406</b>	+914	0.83%

なお FY2022 要求では、米国から 43 の国際機関への拠出要求額で、最も多額なものは、世界保健機関(WHO)に対する 1 億 2,356 万ドル、次に IAEA に対する 1 億 1,367 万 3 千ドルであったが、FY2023 要求では順位が逆転し、IAEA への要求額(1 億 1,140 万 6 千ドル)が WHO のへの拠出要求額(1 億 336 億 5 千万ドル)を上回った。

**【大量破壊兵器(WMD)不拡散、反テロリズム、及び地域の安定化に係る活動への拠出に係る要求】<sup>45</sup>**

国務省は、上述した国際機関への拠出の他に、核不拡散や反テロリズム等に係る国際的な活動等に拠出しており、それらは、①核兵器を含む WMD の不拡散に係る活動、②反テロリズムに係る活動、③地域の安定化に係る活動<sup>46</sup>への拠出である。FY2023 の①～③に係る要求額等は、以下の表 3 のとおりである。①には、【IAEA への特別拠出及び包括的核実験禁止条約機関(CTBTO)への拠出】、また【大量破壊兵器テロリズム】、【地球的規模脅威削減(GTR)プログラム】、及び【核兵器不拡散条約(NPT: Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons)・生物兵器禁止条約(BWC: Biological Weapons Convention)の強化に係る支援】といった項目への拠出が含まれ(詳細後述)、一方②反テロリズムに係る活動には、テロリストの阻止/個人識別・評価プログラム、反テロリズム活動への支援に係る活動等が含まれる。

<sup>44</sup> DOS、前掲、p.50.

<sup>45</sup> DOS、前掲、pp.122-125.

<sup>46</sup> 小型武器や軽量兵器といった通常兵器の違法な拡散への対抗、また地雷等の撤去等の活動が含まれる。



表3 ①WMDの不拡散、②反テロリズム、及び③地域の安定化に係る活動への拠出に係るFY2023要求等<sup>47</sup>

(単位:千ドル)

	FY2022		FY2023	C-B	C-A
	A: 要求	B: 実施	C: 要求		
① WMDの不拡散	318,650		<b>333,950</b>		+15,300
IAEA 特別拠出	95,000		<b>95,000</b>		0
CTBTO 準備委員会拠出	31,000		<b>33,000</b>		+2,000
国際監視制度(IMS)	29,000		<b>30,000</b>		+1,000
CTBTO 準備委員会	2,000		<b>3,000</b>		+1,000
核不拡散・軍縮基金	15,000		<b>10,000</b>		-5,000
WMD テロリズム	11,500		<b>11,500</b>		0*
輸出管理・国境警備	79,750		<b>84,400</b>		+4,650
GTR プログラム	86,400		<b>91,050</b>		+4,650
NPT 等に係る協力	0		<b>9,000</b>		+9,000
② 反テロリズム	326,747		<b>329,247</b>		+2,500
③ 地域の安定化	254,850		<b>237,050</b>		-17,800
合計(①+②+③)	900,247	889,247	<b>900,247</b>	+11,000	0*

注: 表中、空欄については今次予算教書では詳細な数値の記載無し。

\*: FY2022 要求額とFY2023 要求額が同じ

FY2022 と FY2023 における①～③の個々の要求額は、要求年度毎に異なるが、総額としては、FY2023 は、FY2022 要求額と同額を要求した。

上記のうち①WMD の不拡散に係る活動の予算要求の概要は以下のとおりである<sup>48</sup>。

**【IAEA への特別拠出】**については、FY2022 要求額と同額の 9,500 万ドルを要求した。当該要求は、イラン、シリア及び北朝鮮に対して、核不拡散義務を遵守させる米国の取組み、核拡散を阻止・検知するための IAEA の活動、そして保障措置の強化に加え、核セキュリティや原子力技術の平和的利用を促進する IAEA の種々のプログラムを支援するためのものであるとしている。

**【CTBTO 準備委員会への拠出】**については、FY2022 要求額(3,100 万ドル)から 200 万ドル増額した 3,300 万ドルを要求した<sup>49</sup>。CTBTO は、国際監視制度(IMS)<sup>50</sup>や国際データセンター(IDC)<sup>51</sup>の活動を担っており、米国は、IDC のデータを、米国空軍が行う核実験の監視の補足情報として使用している。また上記要求には、米国の優先的な

<sup>47</sup> DOS、前掲、pp.122-125 及び pp.169-172.

<sup>48</sup> DOS、前掲、pp.122-124.

<sup>49</sup> 米国は CTBT を批准していないが、分担金の支払いは実施している。

<sup>50</sup> 世界 321 か所に設置された 4 種類の監視観測所(地震学的監視観測所、放射性核種監視観測所、水中音波監視観測所、及び微気圧振動監視観測所)により、CTBT により禁止される核兵器の実験的爆発又は他の核爆発が実施されたか否かを監視する制度。外務省、URL: <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kaku/ctbt/kokusai.html>

<sup>51</sup> 世界各地の IMS 施設から送付されるデータを処理するセンター

---

ニーズに対応する特定のプロジェクトへの拠出を通じて、IMS 及びその支援システムの効果・効率性を向上させるための活動が含まれるとしており、そのようなプロジェクトの選定には、米国国務省、エネルギー省、国防総省、及び諜報機関の代表者で構成される核実験検証監視タスクフォース(VMTF: Nuclear Testing Verification and Monitoring Task Force)が、CTBTO 準備委員会暫定技術事務局(PTS: Provisional Technical Secretariat)との協議の上、勧告を行うとしている。加えて本拠出は、PTS における米国人の雇用促進や、米国の負担金をカバーするものであるとしている。

**【核不拡散・軍縮基金】**については、FY2022 要求額(1,500 万ドル)の3分の1に当たる500万ドルを減額した1千万ドルを要求した(減額理由については説明なし)。本基金は、核不拡散及び軍縮に係る重要な事態において迅速に対応するためのものであり、中国、露国及び北朝鮮の悪意ある活動への対抗支援を含む化学、生物、放射性及び核兵器等による不測の事態への対応も基金の使用対象となっている。

**【大量破壊兵器テロリズム】**については、FY2022 要求額と同額の1,150万ドルを要求し、生物及び化学テロに重点を置き、テロリストや非国家主体による WMD 及び関連物質の密輸、取得及び使用を阻止、検知、対応するための国際協力や米国のパートナー国の能力強化により、世界的な WMD テロの脅威に対抗するとしている。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(GICNT: Global Initiative to Combat Nuclear terrorism)」等への支援を通じ、世界の核・放射性テロリズムの脅威に対する国際協力を強化するとしている。

**【輸出管理及び国境警備】**については、FY2022 要求額(7,975万ドル)から465万ドル増額した8,440万ドルを要求し、米国のパートナー国の能力、具体的には、WMD 及び運搬システムの拡散阻止、国境を跨ぐ不正取引の検知及び阻止、機微技術の転用防止、悪意ある国家や非国家主体による港湾での入国阻止等の能力構築に係る支援を行うとしている。加えて中国、露国、北朝鮮及びイランの悪意ある活動に対抗し、それらの国の協力国(者)や先進技術の提供者、中継ハブの特定等を行うとしている。

**【地球的規模脅威削減(GTR)プログラム】**については、FY2022 要求額(8,640万ドル)から465万ドル増額した9,105万ドルを要求した。本プログラムの優先事項としては、国家及び非国家主体による生物及び化学兵器攻撃の防止、露国による核不拡散を覆す行為や中国の軍事優先への対抗、さらに核拡散国による WMD、原子炉輸出、弾道ミサイル及び高性能通常兵器(ACW: Advanced Conventional Weapons)プログラムを阻止する活動等が含まれるとしている。

**【NPT 等に係る協力】**については、FY2023 で新たに900万ドルを要求した。NPT については、特に包括的保障措置協定や追加議定書を発効させていない国々に対して、個々の国の開発ニーズを満たし、平和的目的の原子力関連の科学技術の利用等について、より効果的な協力及び支援を拡大・促進し、NPT の強化を図るとしている。その他、BWC に関しても途上国と技術協力活動を実施し、BWC の強化を図るとしている。

【報告： 計画管理・政策調査室】

## 2-4 IAEA 共同研究プロジェクトのサクセスストーリー ～コンピュータ・セキュリティの強化～

2022年3月14日、国際原子力機関(IAEA)は、コンピュータ・セキュリティ強化の研究を支援するため、IAEA 共同研究プロジェクト(CRP)によって、Asherah と呼ばれる原子力発電所施設のシミュレーターを開発した旨を発表した<sup>52</sup>。IAEA の発表内容と、コンピュータ・セキュリティの強化に向けて IAEA が実施している関連の CRP について紹介する。

### 【IAEA の発表内容】

Asherah は、サイバー攻撃に対する原子力施設のハードウェア及びソフトウェアの応答を試験し、システム全体への影響を理解するための独自のアプローチを提供するもので、実際の原子力施設において核セキュリティを損なうことなく、かつ機密情報を開示するリスクを冒すことなく、サイバー攻撃に関する研究を実施することができる。

施設内の原子力安全及び核セキュリティに関するデジタル制御システムに対し、それらの潜在的な脆弱性を標的としたサイバー攻撃は無視できないリスクである。IAEA の情報管理のセクションヘッドであるスコット・パービス氏は、「コンピュータ制御システムにおいて最も機密性の高いデジタル機器を分析及び特定し、適切なコンピュータ・セキュリティ対策を講じることにより、深層防護を強化し、段階的なアプローチを組み込むことができる」と述べている。コンピュータ・セキュリティ事例の分析と対応では、施設の原子力安全・核セキュリティ機能の両方の特性、サイバー攻撃の検知・対応の支援のためにこれらの機能を実行するコンピュータベースのシステムを特定する必要がある。パービス氏は、「攻撃の検知、システムの隔離、影響の緩和、及びシステムの回復を行う機能を維持することが、堅牢なコンピュータ・セキュリティプログラムの重要な要素である」と強調した。

本 CRP は、原子力施設におけるコンピュータ・セキュリティ事案の分析を強化するための方法論の開発、試験、及び適応について、世界中の研究所、学界、施設事業者のネットワークによって実施し、以下の包括的な目的を達成した。

- ・ 原子力施設のコンピュータ・セキュリティ機能を改善し、原子力安全及び核セキュリティに直接的あるいは間接的に悪影響を与え得るコンピュータ・セキュリティ事案の防止・検知・対応を支援する。
- ・ 原子力施設におけるコンピュータ・セキュリティ事案への対応の分野で、良好事例の情報交換を促進する専門家の国際コミュニティを確立する。

本 CRP にて開発された模擬システムにより、実際の制御機器に対する侵害の影響

<sup>52</sup> IAEA, “CRP Success Story: Enhancing Computer Security Incident Analysis at Nuclear Facilities” URL: <https://www.iaea.org/newscenter/news/crp-success-story-enhancing-computer-security-incident-analysis-at-nuclear-facilities-j02008>



---

も取り入れた研究を支援できる。また、標的型サイバー攻撃を示唆する異常の検知に適用される人工知能技術等、相応のコンピュータ・セキュリティ対策の開発及び評価も含まれている。更に、獲得した異常検出技術の経験により、原子力事業者の環境内で使用するためのサイバー侵入検知システムの開発を支援してきている。

米国ジョージア工科大学のファン・ツァング助教は、「サイバー攻撃に関する敵対者の戦術、技術、手順は日々進化しているため、いついかなる場所においてもプロセスへの初期の影響等、セキュリティの侵害が検知され得ることを理解することが重要である。この CRP に関与するコミュニティは、この分野の開かれた研究を可能にする Asherah シミュレータ等、一連のツールを製作した。これらのツールは現在利用可能となり、原子力施設でのコンピュータ・セキュリティ事案の分析を強化するため、世界規模の研究と更なる取組みの支援を続けていく」と述べた。

CRP のその他の成功は、査読付きジャーナル誌に掲載された論文等 80 に上る出版物の作成に顕われている。本 CRP の技術を活用して、更に論文執筆及び研究活動が進行中である。将来を見据えて、IAEA は、放射線検知システムのコンピュータ・セキュリティの強化に関する新たな CRP 等、本プロジェクトの成果利用を促進し各国を支援する活動に着手した。その全体的な目標は、放射線検知装置、関連するコンピュータベースのシステム、及び放射線検知システムの機能を支援するネットワークインフラ関連のデータ通信プロトコルについて、コンピュータ・セキュリティを更に改善する方法論・技術を開発することである。

以上が、今回の IAEA の発表内容である。次に、コンピュータ・セキュリティの強化に向けて IAEA が実施している関連 CRP を紹介する。

#### 【コンピュータ・セキュリティの強化に向けて IAEA が実施している関連 CRP】

IAEA は、世界の原子力平和利用における研究開発及びその応用を奨励・支援しており、途上国及び先進国共通の関心のある研究プロジェクトである IAEA 共同研究プロジェクト(CRP)に各国の研究機関を結集させている<sup>53</sup>。このうち、コンピュータ・セキュリティの強化に向けては、前述の IAEA の発表にもあるように、次の 2 件の CRP を実施している。

##### 1) 原子力施設におけるコンピュータ・セキュリティ事案の分析能力強化<sup>54</sup>

今回の IAEA の発表で紹介された CRP で、2015 年 11 月に承認、2016 年 7 月に開始され、米国、カナダ、ドイツ、オーストリア、中国、韓国等、13 か国が参加している。

本 CRP 開始以前の原子力施設のコンピュータ・セキュリティ対策は、主に標準的な情報技術環境から採用して原子力施設の運用技術環境に適用され、ある程度の防護

---

<sup>53</sup> IAEA, “Coordinated Research Activities”, URL: <https://www.iaea.org/services/coordinated-research-activities>

<sup>54</sup> IAEA, “Enhancing Computer Security Incident Analysis at Nuclear Facilities”, URL: <https://www.iaea.org/projects/crp/j02008>

---

を提供していた。しかし、2015 年に開催された原子力界におけるコンピュータ・セキュリティに関する IAEA 国際会議(専門家の議論と知見交換)において、進化するサイバー脅威に対する継続的な防護を確保するために、コンピュータ・セキュリティについて、更に調整された体系的なアプローチが必要であることが認識され、それを契機に本 CRP が開始された。

本 CRP の目的は、今回の IAEA の発表において包括的な目的として述べられているように、第一に、原子力施設のコンピュータ・セキュリティ機能を改善して、原子力安全と核セキュリティに直接的または間接的に悪影響を与え得るコンピュータ・セキュリティ事案の防止、検知、及び対応を支援することである。そして、第二に、原子力施設におけるコンピュータ・セキュリティ事案への対応の分野で、良好事例の情報交換の促進に向けた専門家の国際コミュニティを確立することである。

具体的なテーマは次のとおり:

- ・ 原子力施設におけるサイバー犯罪捜査の支援
- ・ コンピュータ・セキュリティ事案の認識及び対応に関する事業者への支援提供
- ・ 加盟国間のコンピュータ・セキュリティに関する情報交換の促進
- ・ コンピュータ・セキュリティ事案への対応を支援するための分析、手法、及び技術の提供

これらは、原子力施設におけるコンピュータ・セキュリティ事案に関する良好事例、技術、分析手法、対応のための推奨手順、鑑識活動等、重要な領域を調査するものである。成果は、核セキュリティの報告書として公開されるとともに、核セキュリティのガバナンスとトレーニングの整備に対する情報提供に役立てられる。

また、コンピュータ・セキュリティ事案の分析・対応の強化に向けた以下の 4 つの活動に参加する機会を提供している:

- ・ コンピュータ・セキュリティ事案の認識と対応に関する事業者の支援
- ・ コンピュータ・セキュリティ事案への対応の分析及び技術支援
- ・ コンピュータ・セキュリティに関する情報交換
- ・ サイバー犯罪捜査

IAEA の CRP は、遂行が非常に困難な研究分野を創始するものとされている。その一つが、原子力施設に対するサイバー攻撃への防護、検知、及び対応を支援するという、対象を絞ったコンピュータ・セキュリティ対策の設計と開発である。従来は、そうした研究に着手する唯一の手段は、実際の原子力施設と提携し、i) 機密情報と見なされる可能性が高いデータを施設から取得するか、ii) 現場の変更管理プロセスに準拠して制御システム環境内にハードウェア/ソフトウェアを導入することであった。

しかし、これらのアプローチは何れも、原子力施設に固有のコンピュータ・セキュリティ対策の整備に相応の時間を要するため、負担が非常に大きいことに難があった。

---

本 CRP では、Asherah で開発された仮想施設の機器を参照することにより、作成されたデータセットに対する新たな技術の試験ができるようになった。これらのデータセットは、実際の原子力施設内で見出されるものを代表しており、原子力施設と提携するためのリソースや繋がりを有していない研究機関等であっても初期の開発を実施することができる。

本 CRP の成果は、IAEA の主要な会議、査読付きジャーナル誌及び出版物等で発表され、IAEA の他部門、国の規制当局、学会及び民間組織から大きな関心が寄せられている。これらの成果は、基礎研究のみならず、核セキュリティのためのコンピュータ・セキュリティを推進する継続的な教育、トレーニング、及び意識向上活動の実践においても価値を示している。

## 2) 放射線検知システムのコンピュータ・セキュリティ強化<sup>55</sup>

2021 年 9 月に実施が承認され、現在、具体的な内容を検討中である。

放射線検知システムは、原子力発電、核燃料サイクル活動、研究炉運転、医療応用、核物質輸送、環境監視、国境管理、及び主要な公共イベントにおいて、原子力安全と核セキュリティの目的で使用される多数の固定あるいは可搬型放射線検知器で構成されている。放射線検知装置、及び関連するコンピュータベースのシステムは、ハードウェア及びソフトウェアからなるコンピュータ・ネットワーク機器を介して有線及び無線ネットワークに接続されるが、この接続により外部から機微データに対する侵害及び操作を受けるリスクが高まる。また、放射線検知システムは、サイバー攻撃の対象となり得るデジタル技術に依存している。情報の保存、操作、送信の際の機密性、完全性、及び有用性を破壊するサイバー攻撃によって、実用に供されている施設、設備、あるいは運転機能に関する核セキュリティ及び原子力安全に対して影響を受ける可能性がある。したがって、放射線検知システムのコンピュータ・セキュリティを強化する方法論（プロセス認証、データ暗号化等）、及び技術（外部ネットワークとの切り離し、防御的なコンピュータ・セキュリティの基本設計等）の開発が重要である。

本 CRP は検知システム技術を研究し、サイバー脅威機能を調査して、放射線検知システムの使用（機器の構成及び較正のメカニズム、データ通信プロトコル等）を支援するセキュリティ対策のための新たなアプローチ（方法論と技術）を開発するものである。得られた成果により、原子力及びその他の放射性物質の検知に使用されるデジタルベースのシステムを確保する加盟国の能力強化を企図している。

本 CRP の目的は、放射線検知装置、関連するコンピュータベースのシステム、データ通信プロトコル、及び放射線検知システムの使用を支援するネットワークインフラについて、コンピュータ・セキュリティを向上させる方法及び技術を開発することである。

具体的なテーマは次のとおり：

---

<sup>55</sup> IAEA, “Enhancing Computer Security for Radiation Detection Systems”,  
URL: <https://www.iaea.org/projects/crp/j02017>

- 
- ・放射線検知装置、それらの構成機器及び較正のメカニズム、関連するコンピュータベースのシステム及び通信プロトコルについてのコンピュータ・セキュリティを強化する方法論の開発
  - ・防御的なコンピュータ・セキュリティの基本設計の適用を支援する技術及び参照デザインの開発、放射線検知機器に利用される既存もしくは新規の有線、無線、あるいはモバイルネットワークへの侵害に対する防御レベルの追加に関する良好事例の提供
  - ・放射線検知データの収集、分析、及び配布に使用するクラウドサービス(コンピューティング、ストレージ等)のコンピュータ・セキュリティ対策及びガイダンスの整備、新たな技術研究
  - ・ネットワーク化された放射線検知システムと統合するコンピュータ・セキュリティのトレーニング及びデモンストレーションのためのシミュレーション・ツールの開発
  - ・能力構築、学習・知識の伝達を促進するオンライン情報共有トレーニング・プラットフォームの開発

計画されている研究プロジェクトは、放射線検知装置、双方向チャンネル及びプロトコル、有線／無線ネットワークの使用、可搬型インフラ／クラウド／ストレージの使用、及び放射線検知装置の構成等、機器とシステム間の通信に関連するコンピュータ・セキュリティの課題に対処する。参加組織は、機微情報及びデータのセキュリティを強化する技術の進展を調査し、ネットワーク化された放射線検知システムを使用して、シミュレーションツールとオンラインプラットフォームの開発等、コンピュータ・セキュリティのトレーニング技術を開発する。これらの成果により、能力構築及び知識伝達を促進し、CRPの一層の展開と適用を可能とする。

以上が、コンピュータ・セキュリティ強化に関する施策について実施あるいは計画されているIAEAのCRPの概要である。

#### 【おわりに】

近年のインターネットの普及とコンピュータ技術の進展に伴い、一層巧妙化するサイバー犯罪の増加が深刻な社会問題となっている。原子力施設においても、コンピュータシステムは原子力安全、核セキュリティ、保障措置をはじめ様々な分野で重要な役割を果たしており、サイバー攻撃への対策強化は急務である。今回、発表されたCRPの成果等を活用して、各国がコンピュータ・セキュリティを適切に強化していくことが望まれる。

【報告： 計画管理・政策調査室 玉井 広史】



---

## 3. 技術紹介

### 3-1 レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析システムの開発

4-1に報告の通り、文部科学省「核セキュリティ強化等推進事業費補助金」事業の一環で行っているアクティブ中性子非破壊分析技術開発が2021年度3月を以って区切りを迎えた。これに当たり、アクティブ中性子非破壊分析技術開発の枠組みで実施された3つの技術開発テーマについて、今月号から3回に分けて紹介予定である。まず本号では、レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析システムの開発について、これまでの成果の概要を紹介する。

#### 1. はじめに

原子力施設等において、使用済燃料等の核物質は計量管理され、IAEA等がそれを検認している。年々増加するこれらの業務の効率化や、次世代炉等における核物質管理への対応には、その場で即時・簡便に定量できる非破壊分析(NDA: non-destructive assay)技術が有用な技術として考えられており、ISCN技術開発推進室では、そのためのNDA技術の高度化を進めている。

使用済燃料等の核物質は、核分裂生成物やマイナーアクチノイド等による強い放射能を伴うため、試料から自然に放出されるガンマ線や中性子を測定するパッシブNDA技術により対象の核物質を計量することは難しい。一方、パルス中性子源を用いたアクティブNDA技術の一つである中性子共鳴透過分析(NRTA: neutron resonance transmission analysis)[1]は、検出器を試料から離れた場所に置くことができるため、上記のような強い放射能を有する核物質の計量にも有効である。このことからNRTAは、保障措置に有用な手段として技術開発が進められてきた[2,3]。

NRTAを幅広く計量管理に用いるためには、コンパクトな装置で高精度な測定を行えることが望ましい。このため、当室では、次世代の中性子源として期待されているレーザー駆動中性子源(LDNS: laser-driven neutron source)[4,5,6]に着目し、それをNRTAシステムに適用するための技術開発を進めてきた。本報告では、まず、NRTAとLDNSについて簡単に紹介し、その後、LDNSを用いたNRTA技術開発のこれまでの成果について概要を報告する。

#### 2. 中性子共鳴透過分析

NRTAでは、加速器等を用いて発生させたパルス中性子を試料に照射し、透過した中性子がある距離を飛行して検出器で検出されるまでの飛行時間(TOF: time-of-flight)を測定することで、中性子の速度(運動エネルギー)を求める[7]。原子核は、その固有の中性子エネルギー(共鳴エネルギー)において大きな核反

---

応確率を示すため、透過中性子のエネルギースペクトル (TOF スペクトル) には、共鳴ピーク (凹み) が観測される。TOF スペクトルの凹みの位置 (エネルギー値) と深さは、試料中の核種と量によるため、これを分析することで核種別の定量が可能となる。

NRTA を高いエネルギー分解能で実施するには、中性子源のパルス幅は短く、中性子の飛行距離は長い方が有利であるため、一般的に NRTA は飛行距離 10 m 以上の大規模な施設を中心に行われてきた[1]。一方で、今後、計量管理等の用途で NRTA の実用化を進めるためには、装置をコンパクトにする必要がある。そのためには、中性子の飛行距離を短くすることが重要な要素であるが、その上で高いエネルギー分解能を達成するためには、短パルスの中性子源が必要となる。

### 3. レーザー駆動中性子源

近年のレーザー技術の革新により、その応用先の一つとして LDNS が注目されている。LDNS における中性子の生成には、ピッチャー・キャッチャー法[8]と呼ばれる手法が一般的に用いられている。本手法では、レーザーを重水素化ポリエチレンなどのターゲット (ピッチャー) に照射することで照射領域を高密度プラズマ化し、その結果加速された高エネルギー陽子と重陽子がベリリウムなどの中性子コンバータ (キャッチャー) に当たって高速中性子が生成される。LDNS は、レーザーのパルス幅が極短く ps (pico second:  $10^{-12}$  秒) オーダー以下であるため、ns (nano second:  $10^{-9}$  秒) オーダーの短パルス中性子が得られる[9]。

現状の LDNS は、加速器駆動中性子源と比べても小型とは言えず、まだ実用化の段階にはないが、近年のレーザー技術の革新は目覚ましく、テーブルトップ高出力レーザーの開発[10]など、小型化、高出力化、高繰り返し化 (単位時間当たりのレーザーショット数の向上) などの開発が急速に進められており、次世代の中性子源として期待されている。

### 4. 技術開発

以上の理由から、当室では、コンパクトな NRTA システムに適用する新たな中性子源として、LDNS に着目して技術開発を進めてきた。本章では、これまで進めてきた技術開発のうち、モデレータ及び中性子検出器の開発について、その背景及び成果の概要を報告する。また、LDNS の NRTA への適用可能性を実験的に実証することを目的として行った中性子透過実験について、その結果を報告する。

#### 4.1. モデレータの開発

核物質を NRTA により分析するためには、それらの共鳴構造がある熱～熱外エネルギー領域の中性子が必要であり、LDNS により生成された高速中性子は、モデレータを用いて減速させる必要がある。一方で、中性子が減速される過程で中性子のパルス幅は広がるため、このことは NRTA のエネルギー分解能を悪化させることにつながる。したがって、短パルス中性子が得られる LDNS の特長を活かすためには、高速中性子を短いパルス幅を保ったまま熱外中性子まで効果的に減速させるモデレータの開発が必要とされた。

本研究では、モンテカルロ・シミュレーション・コード PHITS[11]を用いてモデレータの素材、形状及び構造を変化させながらモデレータの性能（中性子強度及びエネルギー分解能）を調査した。中性子のエネルギーが高い場合、モデレータにおいて主要な役割を果たす水素原子核に対して中性子の断面積が急激に小さくなるため、複数の素材を組み合わせたモデレータが有効であることが予想された。このため、本シミュレーションでは、上部モデレータ、ポリエチレンモデレータ、散乱体で構成される、複数素材モデレータを設計した。図 1 は設計したモデレータの概念図である。ポリエチレンモデレータは厚さを薄く、かつ、断面積を大きくし、散乱体は厚くすることによって、分解能の悪化を抑えながら、より高い中性子フラックスを得ることができた。また、タングステン(W)やベリリウム(Be)を上部モデレータの素材として採用した結果、入射中性子のエネルギーが高くなり W や Be における(n,xn)反応の閾値を超えると、中性子フラックスは高くなったが、分解能の変化はあまりなかった。以上の結果から、複数素材モデレータの有効性が確認できた[12]。

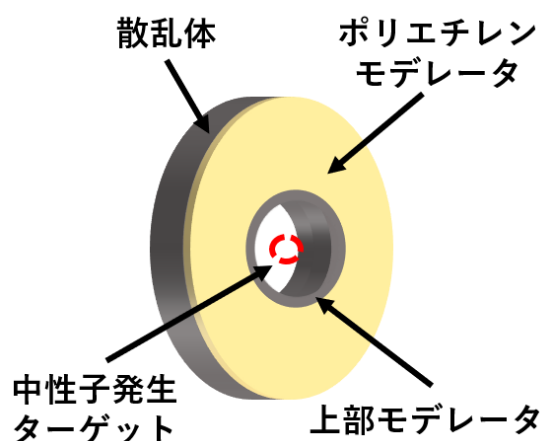


図 1 設計したモデレータの概念図

---

## 4.2. 中性子検出器の開発

LDNS を用いたコンパクトな NRTA システムでは、一度のレーザーショットで短時間に多くの中性子が発生すること、及び、飛行距離が短いことから、高い計数率に対応できる減衰時間の早い検出器が要求される。<sup>6</sup>Li ガラスシンチレータは、中性子感度が高く、早い減衰時間 (~70 ns) を持つため、中性子研究分野に幅広く利用されているが、一方で、ガンマ線と中性子の弁別能力に乏しいという短所がある。しかしながら、原子炉や加速器駆動中性子源を用いた中性子実験では、中性子が減速材中の水素原子核に吸収された際に放出される 2.2 MeV のガンマ線が主なバックグラウンド成分となる。さらに、短い飛行距離では、中性子フラックスだけでなく、バックグラウンドとなるガンマ線も指数関数的に増えることから、ガンマ線が中性子検出の妨げとなることが予想された。以上の理由から、ガンマ線感度を低く抑えつつ、高い中性子検出効率を実現する中性子検出器の開発が必要とされた。

<sup>6</sup>Li ガラスシンチレータでは、中性子と <sup>6</sup>Li の核反応により生成する  $\alpha$  粒子及びトリチウムが、シンチレータ内を飛ぶ間に発光中心を励起することで発生するシンチレーション光を利用して、中性子を検知する。一方で、同シンチレータにガンマ線が入射した場合は、コンプトン散乱によって弾き出された電子が発光中心を励起することで発光を引き起こす。この際、 $\alpha$  粒子及びトリチウムの飛程が  $\mu\text{m}$  オーダーであるのに対して、電子の飛程は mm オーダーである。本開発では、この飛程の違いを利用して、ガンマ線感度を低く抑えつつ、高い中性子検出効率をもつ中性子検出器<sup>56</sup>を考案し、実験によりその有効性を確認した。

## 4.3. 実証実験

LDNS の NRTA への適用可能性を実験的に実証することを目的とし、大阪大学レーザー科学研究所(ILE)の LFEX レーザーを用いたパルス中性子源を利用して、中性子透過実験を行い、TOF スペクトルを取得したので、その結果について報告する。

本実験において、LFEX レーザーは、半値全幅約 1.5 ps の時間分布を持ち、約 1000 J の総エネルギー、約  $10^{19}$  W/cm<sup>2</sup> の集光強度で照射された。中性子源から検出器までの飛行距離は約 3.6 m であり、測定試料には、厚さ 0.2 mm のインジウム(In)と 0.8 mm の銀(Ag)を用いた。中性子検出器の周囲には、散乱中性子やガンマ線のバックグラウンドを低減するため、20%ボロン入りポリエチレンブロック及び鉛ブロックを設置した。実験で得た透過中性子の TOF スペクトルと、シミュレーション計算により求めた TOF スペクトルを図2に示す。実験データは、3 回分のレーザーショットから得られた測定結果の合計値である。図2の通り、実験で得た TOF スペクトルは、シミュレーション計算により求めた TOF スペク

---

<sup>56</sup> 特許出願中 中性子検出器(特願 2021-214537)



トルと類似の傾向を示している。これは、 $^{115}\text{In}$  (1.46 eV)と $^{109}\text{Ag}$  (5.19 eV)の共鳴ピークを3回分のレーザーショットから観測できたことを示唆している。

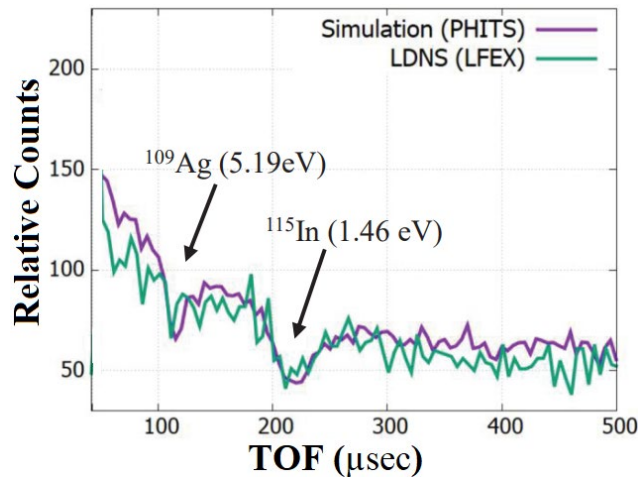


図2 実験で得た TOF スペクトルとシミュレーション計算により求めた TOF スペクトルの比較。インジウムと銀の共鳴ピーク（凹み）が観測された。

## 5. まとめ

次世代の中性子源として期待される LDNS を用いたコンパクトな NRTA システムの開発を進め、開発したシステムを用いた実験により、LDNS が NRTA へ適用可能性であることを示した。現在、核種の定量性能等を評価するための解析を継続している。

本開発の中では、従来の $^6\text{Li}$  ガラスシンチレータの課題を解決する中性子検出器を考案して特許を出願するなど、NRTA システム以外にも適用可能な技術を開発することができた。これらの技術を今後の開発にも活かすことで、効率よく実用性のある技術開発を進め、原子力の平和利用に貢献したい。

---

参考文献

- [1] P. Schillebeeckx *et al.*, EUR 26848 EN (2014).
- [2] H. Tsuchiya *et al.*, Plasma Fusion Res, **13**, 2406004 (2018).
- [3] Y. Kusumawati *et al.*, E-J Adv Maint, **11**, 46–64 (2019).
- [4] W. Bang *et al.*, Phys Rev E, **87**, 023106 (2013).
- [5] G.M. Petrov *et al.*, Phys. Plasmas, **19**, 093106 (2012).
- [6] S.R. Mirfayzi *et al.*, Appl. Phys. Lett., **111**, 044101 (2017).
- [7] P. Schillebeeckx *et al.*, JINST, **7**, C03009 (2012).
- [8] S.C. Wilks *et al.*, Phys. Plasmas, **8**, 542-549 (2012).
- [9] H. Tanaka *et al.*, “Evaluation of neutron pulse width in laser-driven neutron source using organic scintillator”, Proc. 2019 IEEE NSS/MIC (2019).
- [10] E. Cartlidge, Science. 359, 382–385 (2018).
- [11] T. Sato *et al.*, J. Nucl. Sci. Tech., **55**, 684-690 (2018).
- [12] J. Lee *et al.*, “Designs and neutronic characteristics of an epithermal neutron moderator at ambient temperature for neutron time-of-flight measurements”, J. Nucl. Sci. Tech., (to be published).

【報告：技術開発推進室 李 在洪、弘中 浩太】

---

---

## 4. 活動報告

### 4-1 JAEA-EC/JRC アクティブ中性子非破壊分析技術ワークショップの開催

#### 1. 概要

2022年3月1日及び2日、JAEAとEC/JRC (European Commission Joint Research Centre)の間で、アクティブ中性子非破壊分析技術開発に関する技術ワークショップが開催された。本ワークショップは、文部科学省「核セキュリティ強化等推進事業費補助金」の一環で進めている「アクティブ中性子非破壊分析技術開発」の第2期のプロジェクトが令和3年度をもって区切りを迎えるにあたり、プロジェクトの成果について評価を受け、今後の研究に資することを目的に、関連機関の専門家を招待して開催したものである。開発した技術の多くは、JAEAとEC/JRCとの共同研究であるため、両者が主催した。

本ワークショップは、時差を考慮して、1日3時間ずつ、2日間で合計6時間とした。ISCNセンター長、EC/JRC核セキュリティユニット長の開会あいさつ及び招聘者などの基調講演に続いて、技術開発成果発表を行った。成果発表後、評価者から講評をいただき、ISCN副センター長、EC/JRC核セキュリティユニット長のあいさつで閉会した。評価者としては、EC DG ENER (European Commission Directorate-General for Energy)、SCK-CEN (Belgian Nuclear Research Centre)、CEA (French Atomic Energy Commission)、京都大学、IAEA (International Atomic Energy Agency)の各機関から参加を要請した。参加登録は43名で、外部機関としては、DOE NNSA (United States Department of Energy National Nuclear Security Administration)、CEA、JRC-Ispra、電力中央研究所から参加があった。

#### 2. 技術開発成果発表

アクティブ中性子非破壊分析技術は、外部中性子源を利用して、試料に中性子を照射し、その反応から試料を分析する技術である。本技術開発では、このようなアクティブ法を用い、現有技術では測定が難しい使用済燃料など放射能の高い試料の測定手法の確立等を目指し、ダイアウェイ時間差分析(DDA)法、即発ガンマ線分析(PGA)法、中性子共鳴透過分析(NRTA)法、遅発ガンマ線分析(DGA)法の4つの技術開発を行っている。これらの異なる手法で得られるデータを相補的に用いることによって、測定対象をより明確に分析できる。また、試料の性状が明らかになることから、より精度の高い定量を行うことが期待できる。本技術開発では、(1)統合装置技術開発、(2)レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析システム開発、(3)遅発ガンマ線分析技術開発、の3つのテーマに分かれて研究を進めてきた。このうち(1)と(3)は、EC/JRCとの共同研究で進めてきたものである。各テーマ毎の発表内容の概要を以下に示す。

---

### (1) 統合装置技術開発

DDA、PGA、NRTA の 3 つの測定を一つの DT 中性子源で行うことができる統合測定装置(Active-N)の開発において得られた成果を報告した。

- DDA は、パルス状の中性子を試料に照射して核分裂を起こし、放出される核分裂中性子を検出することにより核分裂性物質の総量を測定することができる。PWR の使用済燃料溶解液の模擬試料を用いた試験を実施し、その測定に成功した。
- PGA は、中性子捕獲に伴う即発ガンマ線を測定することにより、元素分析を行うことができる。プロトタイプ装置に比べてバックグラウンドを大幅に減少させることができたほか、中性子毒物(ホウ素、ガドリニウム)や爆発物(窒素)の模擬試料を用いた試験を実施し、その測定に成功した。
- NRTA は、パルス状の中性子を試料に照射し、透過してきた中性子を飛行時間法によって測定することで核種の定量分析ができる。ウランとプルトニウムの模擬試料(インジウム、銀)のほか、実際のプルトニウムを用いた試験を行い、その定量に成功した。

### (2) レーザー駆動中性子源を用いた中性子共鳴透過分析システム開発

コンパクトな NRTA 装置において高いエネルギー分解能を実現するためには、短パルスな小型中性子源が必要となる。近年発展著しいレーザー技術を用いたレーザー駆動中性子源(LDNS)は、そのような中性子源として将来を期待されている。本研究では、LDNS を用いたコンパクトな NRTA システムの技術開発を行い、大阪大学レーザー科学研究所の LFEX レーザーを用いた中性子透過実験により、LDNS の NRTA への適用可能性を実験的に示した。

### (3) 遅発ガンマ線分析技術開発

DGA は、核分裂生成物からの遅発ガンマ線を測定し、そのスペクトルから核分裂生成物の生成量分布を決定し、それを用いて、核分裂性物質の構成を分析する技術である。本研究では、小型でより効率的な装置を開発するために、Cf 中性子線源や DT 中性子源による実験を行い、それによる効果を調べた。また、試料の形状等による影響、中性子検出器の性能試験などを行っており、本ワークショップでは、このプロジェクトの進捗状況及び将来計画について発表した。

## 3. 講評

技術開発成果発表の内容について、評価者及び外部機関の参加者から以下のように

---

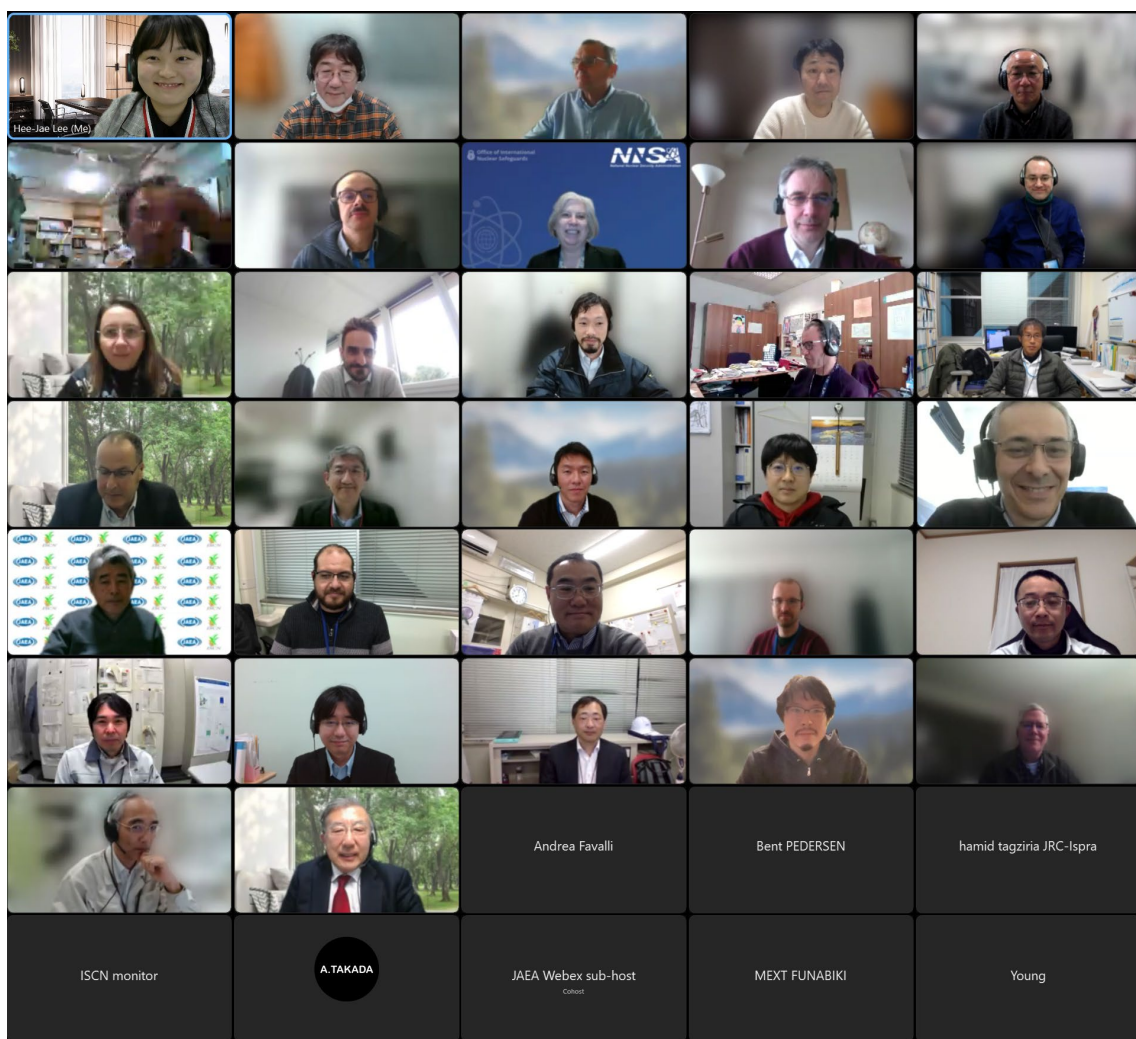
な講評をいただいた。

- プロジェクトの区切りとなる時期にこのようなワークショップを開催することは非常に良いことである。
- 成果がよく整理されており、開発が進捗している状況が確認できた。
- 技術開発は時間がかかるものなので、これからも着実に技術開発を進めてほしい。
- 高精度、高効率、小型で、さらに安全で容易に使える装置が必要である。
- 小型化は重要であるが、難しく、野心的な技術開発である。
- 保障措置技術開発では、質的な計測から量的な計測技術開発に移行していくことが重要である。また、最終段階では、一般的な技術から特化した技術開発が必要であり、試料、放射能、測定環境などを想定し、実用性を考慮する必要がある。
- LDNS を用いた NRTA システム開発には感銘を受けた。研究成果が論文化されたら送ってほしい。
- JAEA と EC/JRC との共同研究における連携は非常に良かった。

#### 4. 所感

本ワークショップでは口頭での質疑に加えてチャット機能も活用して技術的に深い議論が行われた。参加者は非常に興味を持って聴講し、ワークショップでの議論を楽しんでもらえたと感じた。講評の中で、保障措置技術開発の最終段階では、実際の環境を想定して、その目的に特化した技術開発を進める必要があるとのコメントをいただいた。これは、私自身も日頃から気をつけているところであるが、一方で、より幅広い機会に適用できる汎用的な技術を開発をしたいという考え方とは逆行するものであり、開発者としては少々難しい決断を迫られることになる。実用化に繋がるような効果的な技術開発のために、いつ特化し始めるか、どこへ特化するかを常に念頭に置きながら技術開発を進めていきたい。





ワークショップの集合写真

【報告：技術開発推進室 弘中 浩太】

#### 4-2 JAEA-EC/JRC 共同研究に関する運営会議の開催

2022年3月4日、JAEAと欧州原子力共同体(EURATOM、EC/JRC (European Commission Joint Research Centre)が代表)との間の「核物質保障措置の研究及び開発に関する取決め」に基づくJAEA-EURATOMの協力に関する運営会議が開催された。本会議は、両者の共同研究の実施内容・計画についてレビュー等を行う目的で開催するものであり、2010年5月以降ほぼ毎年、日本と欧州で交互に実施してきたもの。今回は昨年引き続きCOVID-19の影響でオンライン開催となり、日本は夕方、ヨーロッパは早朝という時間帯での開催となった。

---

会議の冒頭、EC/JRC の副局長 Mr. Bernard Magenhann と JAEA の大島理事が両組織を代表して挨拶を交わした。続いて、EC/JRC 及び JAEA の活動概況について相互に報告した。COVID-19 の影響により共同研究が進めにくい状況の中で、共同研究で進めているプロジェクトのうち、保障措置及び核セキュリティトレーニング、核鑑識技術開発、アクティブ中性子非破壊技術開発についての進捗状況等の報告が双方から行われた。今次会議では、同じ週に開催された JAEA-EC/JRC 技術ワークショップでも報告されたような技術開発に関する協力内容・計画について活発な議論が行われ、今後、協力関係のさらなる強化が見込まれる。

なお、JAEA は、旧原研時代より EC/JRC と情報交換、相互訪問等の協力関係を維持してきた経緯があり、旧原研・EURATOM 間で最初の研究協力取決め「日本原子力研究所と欧州共同体委員会によって代表される欧州原子力共同体との間の核物質保障措置の研究及び開発に関する取決め」を締結したのは 1990 年に遡る。その後、旧原研と旧サイクル機構の統合を挟みつつ、数次の延長を通じて同協力関係は維持・継続されてきており、2021 年には協力内容の見直しを行い、2026 年までを期間とする現行取決めが締結されている。現行取決めにおける主な協力分野は以下の通り。

- 1) 保障措置及び核不拡散に係る R&D (保障措置技術開発、環境試料分析技術開発、廃炉に関わる意見交換)
- 2) 放射性物質及び核物質の不正取引に関する R&D (核検知、核鑑識技術開発等)
- 3) 保障措置、核セキュリティ及び核不拡散に関する人材育成 (カリキュラム開発、講師相互派遣、第 3 国への共同アウトリーチ等)

また、2021 年の取決め延長に合わせて新たに追加された協力テーマ (上述の協力分野を細分化した小項目) は以下の通り。

- 認証標準物質の調整と検証
- 次世代炉・燃料の保障措置に関する情報交換
- リモートトレーニング開発に関する情報交換

引き続き、EC-JRC との協力を通じて、JAEA における核不拡散・核セキュリティの技術開発及び人材育成業務を効果的・効率的に進めていきたい。

【報告：技術開発推進室 弘中 浩太】

### 4-3 ラオスにおける放射性物質セキュリティ事案対応に係るオンラインコースの開催

ISCN は、2022 年 3 月 7 日(月)～9 日(水)の 3 日間、ラオス教育スポーツ省及び米エネルギー省国家核安全保障庁(DOE/NNSA)と共に、ラオスにおける放射性物質セキュリティ事案対応に係るオンラインコースを開催した。ラオスは医療用、農業用、工業用に少量の放射性物質を有しているが、核物質及び原子力施設はない。核セキュリティの範囲は核物質に留まらず、放射性物質の悪用の防止も含まれる。放射性物質は核物質よりも汎用性が高く、医療・農業・工業等、様々な分野で使われているが、それら施設は原子力施設ほどに強固な防護措置はとられていない。ラオスにとっては放射性物質のセキュリティに関する国内体制整備及び能力構築が喫緊の課題となっている。ISCN は 2018 年よりラオスに対する放射性物質セキュリティ分野の人材育成支援を行っており、政府関係機関を対象としたトレーニングの実施は今回で 2 度目である。前回は放射性物質のセキュリティに関する入門コース(2020 年 1 月)であり、今回は先方の要請で ISCN は、放射性物質セキュリティ事案への対応をテーマとしたオンライントレーニングカリキュラムを DOE/NNSA と共に開発し、実施した。

ラオスでは 2019 年に放射線管理法が成立し、2021 年に教育スポーツ省科学局が同法の施行における中心的な役割を担うこととなった。また産業省、農林省、公安省、資源・環境省等、12 の省庁も関与する。今回のトレーニングには、それら 13 の省庁より 40 名が参加した。オンラインコースではあるが、ラオス側参加者はビエンチャン市内のホテル会議室に集まり、ISCN 及び米側講師はオンラインで参加するハイブリッド型での開催となった。冒頭、ラオス教育スポーツ省副大臣が挨拶し、ISCN による継続的な支援に謝辞が述べられた。

本コースでは、放射性物質セキュリティにおいて想定される脅威及び被害、必要な対応能力、防護措置、事態対応に用いる検知機器等のツール等について、IAEA のガイドラインを使って説明したり、放射性物質が病院や倉庫から盗まれたり輸送車が強奪される等公開されている過去に発生した事例を用いて説明を行った。最終日には、仮想の病院を舞台にしたシナリオ型のディスカッションを行った。参加者は講師から断片的に情報を与えられ、都度状況を判断しながら次に何をすべきか、それぞれの省庁がどのような役割を果たすのかを議論しあった。

オンラインコースでは講師からの一方通行のコミュニケーションになったり、参加者同士のやりとりが少なくなりがちだが、今回ラオス側参加者は会場に集まっていたため、参加者を 3 つのグループに分けてディスカッションを行い、ラオス教育スポーツ省の職員が自発的に現地ファシリテートを行ったことから参加者間の活発な議論を引き出した。また講師はオンラインツールで web 投票を行ったり、クイズを出題したり、参加者と効果的にコミュニケーションをとる工夫をした。その結果、参加者からは非常に活発に質問やコメントが寄せられ、講義時間を延長することたびたびあった。また、ある参加者からは、今回のコースのように 13 の省庁から放射性物質セキュリティ事案対応に係る関係者が一堂に会する機会は非常に貴重であり、会場にて各省庁間における課題



共有や議論ができた旨の感想もあった。コース終了後のアンケートでは参加者の満足度は非常に高く(100%)、さらなるトレーニングの実施を希望するコメントも多かった。

ラオス教育スポーツ省の体制構築へのモチベーションは非常に高く、安全と核セキュリティの規制を統合することで合理的な規制体制が構築できることから、それをどう実現するかという点での能力構築支援を先行国に期待していると思う。そして、その期待にどう応え支援していくかが我々支援側の課題であろう。また、今回のようなハイブリッド形態のトレーニングの場合、現地でファシリテートできる人材を活用することが高い効果につながることも学んだ。

本コースを受けて、ラオス側は今後国内体制整備のために優先的に行うべき事項をとりまとめ、ISCN は引き続きラオスとの協力について協議していくこととした。



ラオス教育スポーツ省副大臣による挨拶



ホテルの会議室に集まったラオス側参加者

【報告：能力構築国際支援室 野呂 尚子】

#### 4-4 日本原子力学会 2022 年春の年会への参加

2022 年 3 月 16～18 日にかけて、日本原子力学会 2022 年春の年会がオンラインにて開催された。ISCN では技術開発推進室から、一般セッション「核不拡散・核セキュリティ」において 2 件、「原子炉測定および核物質探査」と「光子計測技術」においてそれぞれ 1 件の発表、及び、核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会の企画セッション「核セキュリティ分野における人工知能技術の応用と課題」において 1 件の講演を行ったので、その概要について報告する。

##### 1. 一般セッション「核不拡散・核セキュリティ」

発表者：芝 知宙

タイトル：核分裂即発ガンマ線の核セキュリティへの応用

核セキュリティ上、遮蔽体内に隠ぺいされた核物質を検知する技術が求められている。核物質に特有な核分裂に伴う即発ガンマ線は連続スペクトルであるが、透過力の高い高エネルギー領域までのスペクトルを有する。本発表では、即発ガンマ線を用い

た核検知技術の開発について説明した。特に、ウランからの即発ガンマ線を測定するための、 $\text{UO}_2$  線源を用いたアクティブ中性子実験について述べた。

会議参加者からは「実験結果の不確かさの導出過程を詳細に示して欲しい」というコメントがあった。本コメントに関して、報告者は不確かさの導出過程の詳細を発表スライドに記載していないという落ち度があったため、今後気を付ける所存である。また、別の参加者から「どれくらいの量の核物質を検出目標とするのか」という質問があった。報告者は「まずは本技術の基礎実験を積み重ね、物理的な理解を深めたうえで、検出目標を定めていきたい」と回答した。

発表者： 木村 祥紀

タイトル： ボクセル型検出器モジュールによるガンマ線源の位置推定技術開発 –モンテカルロシミュレーションによるボクセル型検出器モジュールによる線源位置推定の有効性検討–

本発表では、ボクセル型検出器によるガンマ線源位置推定技術の開発に関して、ボクセル型検出器モジュール(イメージ: 図中)による線源の立体角方向及び距離の識別可能性についてモンテカルロシミュレーションにより検証した結果を報告した。本研究は大規模公共行事等における規制外の核・放射性物質の検知に関し、異常な放射線源の位置を迅速に特定するための新しい技術の開発を目指したものである。同じCsI(Tl)検出器を8個( $2 \times 2 \times 2$ )組み合わせたモジュールについて、モンテカルロ法により $^{137}\text{Cs}$ 線源の位置を変えた場合のガンマ線計数スペクトルをシミュレーションし、モジュールの各検出器における計数の相対値に基づいて線源の立体角方向と距離の両方を識別できる見込みを得た。今後は機械学習モデルを中心とした具体的な線源位置推計手法の開発と、実機モジュールの構築及び試験を進める予定である。

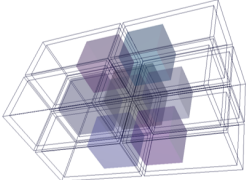
ISCN

## ボクセル型検出器モジュール

- 同じ検出素子を立体状に配列
- 各検出素子で計数スペクトルを取得
- 計数スペクトルの相対比較に基づいて線源\*の立体角方向と距離を推定

**ボクセル型検出器のメリット**

- ✓ 比較的軽量のモジュール (コリメータ不要)
- ✓ モジュール構築が容易 (同じ検出器を複数利用)
- ✓ コンプトンカメラ等よりも安価 (シンプルなデータ収集系)
- ✓ 1台で検知の全工程に対応可能 (放射線検知→位置特定→核種判定)



**ボクセル型検出器モジュール**  
( $2 \times 2 \times 2$ , イメージ)

発表スライドの抜粋

---

## 2. 一般セッション「原子炉測定および核物質探査」

発表者： 持丸 貴則

タイトル： 核・放射性物質検知のためのプラスチックシンチレータを用いた中性子検出器開発

本発表では、波形弁別(PSD: Pulse Shape Discrimination)可能なプラスチックシンチレータを用いた中性子検出器開発の進捗状況について報告した。ISCN 技術開発推進室では、大規模公共イベント会場等へ持ち込まれた核物質を迅速に検知する手法として、プラスチックシンチレータを組み込んだ中性子検出器を開発している。核物質等の中性子を放出するものを探す場合、ガンマ線を検出するよりも、透過力が高く遮蔽が難しい高速中性子を検出することが有効な場合があることから、高速中性子に感度があるプラスチックシンチレータに着目した。本研究では、当室で開発した、プラスチックシンチレータを組み込んだ検出器を用いて、近畿大学原子力研究所が所有する原子炉起動用 Pu-Be 中性子線源から放出される高速中性子を測定する実験を行い、核セキュリティ分野への適用可能性を調査した。今後、検出効率の向上や、装置の可搬化等を行う計画である。会場からは、プラスチックシンチレータの検出効率に関する質問があり、実験を通して確認できた検出器の厚さ及び立体角が検出効率へ与える影響について説明した。

## 3. 一般セッション「光子計測技術」

発表者： 李 在洪

タイトル：  ${}^6\text{Li}$  ガラスシンチレータの高エネルギーガンマ線に対する応答特性

${}^3\text{He}$  資源の供給問題と中性子検出器の需要増加により、これまで中性子検出器の主流であった  ${}^3\text{He}$  ガス検出器に代わる中性子検出器として、 ${}^6\text{Li}$  ガラスシンチレータが有力な選択肢となっている。加速器や原子炉を用いた中性子実験では、中性子が減速材中の水素に吸収された際に放出される 2.2 MeV ガンマ線が主なバックグラウンド成分となるため、 ${}^6\text{Li}$  ガラスシンチレータの高エネルギーガンマ線に対する応答特性を知ることは重要である。本研究では、 ${}^{24}\text{Na}$  が崩壊した後に放出される 1.37 MeV と 2.75 MeV のガンマ線を、厚さ 1 cm の  ${}^6\text{Li}$  ガラスシンチレータ(GS20)に照射し、高エネルギーガンマ線に対する応答特性を調べ、GS20 の光出力(Ch/MeV)、エネルギー分解能及び応答関数の結果を報告した。会場からは、高エネルギーガンマ線と中性子の弁別方法等について質問があり、そのための GS20 の特性と弁別方法について議論した。

---

#### 4. 企画セッション「核セキュリティ分野における人工知能技術の応用と課題」

発表者： 木村 祥紀

タイトル： 核鑑識及び核・放射線テロ現場初動対応関連技術における機械学習モデルの応用

本講演では、核セキュリティ分野における人工知能技術の応用例として、核・放射線テロ現場初動対応を含む核鑑識関連技術における機械学習モデルの応用に関する研究とその成果、今後の展望を紹介した。人工知能に関する中心的技術として様々な分野に応用されている機械学習は、サンプルデータから規則性などを学習し、解析の目的となるタスクを実現するモデルを構築する手法であるが、目的となるタスクやデータの種類・量などに応じて適切な機械学習モデルを選択することが非常に重要である。ISCN では、機械学習モデルを応用した核鑑識技術開発に際し、核鑑識プロセス全体の評価と、それに基づいて機械学習モデルの潜在的なニーズを検討し、核鑑識における技術的課題の解決に資する技術の実現を目標として、以下に関する技術開発を進めている。

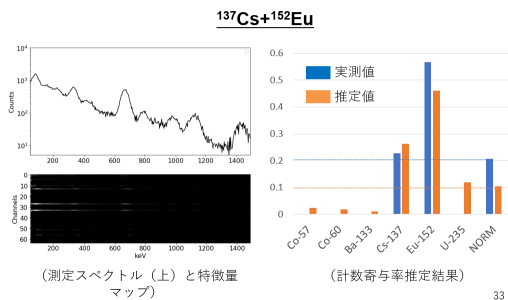
- 深層ニューラルネットワークモデルによる放射性核種判定アルゴリズムの開発
- 深層距離学習モデルによる核物質表面パターン解析技術の開発
- 核鑑識分析データの解釈における従来型機械学習モデルの応用に関する研究

本講演ではこれらのうち、放射性核種判定アルゴリズム及び核物質表面パターン解析技術の開発に関する成果の一部を紹介した。

深層ニューラルネットワークモデル(DNN)による放射性核種判定アルゴリズムについては、携帯型検出器で測定したガンマ線スペクトルの解析に DNN モデルを応用することで、高い性能で自動的に核種判定が可能なアルゴリズムの基礎技術を開発した。本アルゴリズムでは、核種判定の結果だけでなく、DNN モデルにより推定した各核種に起因する計数の割合をもとに、ユーザーによる結果の解釈を非常に容易に行うことができる。深層距離学習モデルによる核物質の表面パターン解析については、解析サンプルを区別しやすい空間にプロットするためのモデルを構築する距離学習と呼ばれる手法と、画像解析に用いられている畳込みニューラルネットワーク(CNN)モデルを組み合わせることで、電子顕微鏡で撮影した核物質の表面形状パターンを自動的に解析し、①分析試料が既知物質のどれに分類されるか、②あるいはまったく未知の物質かどうか、を判断する解析技術の開発を進めている。距離学習と CNN モデルを組合わせた解析により、高い性能で上記2つタスクを同時に実現できることを確認し、顕微鏡画像解析に対する本技術の有効性を確認した。

## 計数寄与率推定結果例 (Csl(TI), CNN)

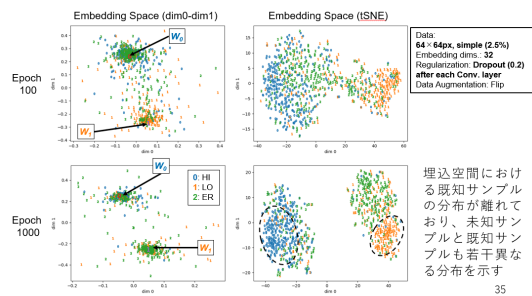
ISCN



33

## 埋込空間分布 (テストサンプル)

ISCN



35

### 発表スライドの抜粋

(左:核種判定アルゴリズム、右:表面パターン解析技術)

【報告: 技術開発推進室 芝 知宙、木村 祥紀、持丸 貴則、李 在洪】



## 5. コラム

### 5-1 リスボン議定書及びブダペスト覚書の相違点

#### 【リスボン議定書及びブダペスト覚書の相違点】

ロシアのウクライナ侵攻により、ソ連崩壊時に核兵器をロシアに移譲したウクライナが、今、ロシアによる核兵器の脅威にさらされている。

かつて旧ソ連構成国であり、核兵器国の一部であったウクライナ共和国等が、分離独立後、核兵器をロシアに移譲するにあたる合意文書として、特にウクライナ、カザフスタン及びベラルーシを含めて非核兵器国として核兵器不拡散条約(NPT)<sup>57</sup>に加入する際に作成されたリスボン議定書<sup>58</sup>並びに、ウクライナが非核兵器国として NPT に加入する際に作成されたブダペスト覚書<sup>59</sup>は、両文書の違いが日本語仮訳だけでは分かりにくい。しかしながら、ブダペスト覚書は、英語正文の書き振りから法的拘束力の有するか否かの判断が困難であり、これらの文書をどのように解釈すべきなのかについて敷衍してみたい<sup>60</sup>。

まず、ブダペスト覚書はその題名からも明らかなように、ウクライナが NPT に加入する際の安全保証に係る覚書である。同覚書は国連条約集にも登録されており、条約と見做されているものの、その書き振りを見ると、例えば、前文の末尾は「以下を確認する(confirming the following.)」となっている。本文には法的拘束力を持たせるための shall が使用されておらず、各国のコミットメントの内容を再確認(reaffirm)するとあるのみであり、引用されている文書も政治的合意文書である CSCE 最終文書<sup>61</sup>及び一般的な国連憲章である。このため、NPT にウクライナが加入した事実を歓迎した上で、上記 2 文書に依拠するものであり、一見すると政治的文書のようにも見える。

しかしながら、国連条約集に登録されている事実から法的拘束力を有する条約と当時国が見做していることが推定されるが、同覚書は署名のみで発効しており、この事実はどのように解すべきであろうか。ウィーン条約法条約第 12 条第 C 項では、条約に拘束されることについての国の同意は「署名に同意の表明の効果を付与することを国が意図していることが当該国の代表者の全権委任状から明らかであるか又は交渉の過程において表明されたかのいずれかの場合」と規定している。更に、同覚書の署名が国家元首又は政府を代表する首相等により署名されていることから、同条 C 項後段

<sup>57</sup> Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, 729 UNTS 161 (adopted 1 July 1968, entered into force 5 March 1970).

<sup>58</sup> The Lisbon Protocol to the 1991 Strategic Arms Reduction Treaty, (signed on 23 May 1992 and entered into force on 5 December 1994), URL: <https://2009-2017.state.gov/documents/organization/27389.pdf>

<sup>59</sup> Memorandum on Security Assurances in connection with Ukraine's accession to the Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons, 3007 UNTS 167 (signed and entered into force on 5 December 1994)

<sup>60</sup> ブダペスト覚書の具体的な内容については、ISCN ニュースレター No.0303, March 2022, pp.6-7, 2-2-1「ウクライナの非核化の経緯」を参照されたい。URL: [https://www.jaea.go.jp/04/iscn/nnp\\_news/attached/0303.pdf#page=6](https://www.jaea.go.jp/04/iscn/nnp_news/attached/0303.pdf#page=6)

<sup>61</sup> 欧州安全保障協力会議(CSCE: Conference on Security and Co-operation in Europe)の最終文書(Final Act), 1975 年。URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/5/c/39501.pdf> (as of 6 April 2022)



---

に該当するという事実により、国の同意を示す最終的な署名(definitive signature)が行われてブダペスト覚書が発効したと解しうる。つまり、同条を満たしているものと解し、法的拘束力が発生するものと勘違いさせているものと考えられる。

他方で、リスボン議定書は明らかに法的拘束力を有するいわゆる条約の文体(treaty language)で書かれている。例えば、前文末尾は「次のとおり協定した(have agreed as follows.)」として、随所に法的拘束力を有する shall が使用されているのみならず、関係国についても、「締約国(Party)」と条約らしい表現が使用されている。特に、同議定書第6条2項には、「この議定書は条約と不可分の一体をなし、その条約の有効期間を通じて、有効である。」と規定され、本体条約である第一次兵器削減条約(START-I)の議定書であることが明示されており、我々がよく見る条約の附属議定書や補足議定書と変わらない。更に、ベラルーシ、カザフスタン及びウクライナの国家元首から米国大統領に宛てた書簡により、この議定書によるコミットメントを確認する手厚い当事国の意図表明も行われている。

ブダペスト覚書がもし国連法務部への登録といった最低限の条件を満たしていなければ通常の意図表明文書と類似の文書に留まっており、他方でリスボン議定書は、NPT 上かつては核兵器国の一部であり、実際に核兵器も所持していた国々から核兵器を移譲した上で、非核兵器国として NPT に加入させることが目的の文書の書き振りの違いに<sup>62</sup>、筆者は改めて驚きを禁じ得なかった。と言うのは、前者は、国連条約集に登録されており、国家元首級の署名と言う事実がなければ、非拘束的文書と見なしかねない文書であり、他方で後者は、通常の条約その他の国際約束と同様に明確に法的拘束力を有する表現で書かれており、核兵器国と非核兵器国の差は今更ながらに大きいと感じた次第である。

因みに、ブダペスト覚書で引用されているCSCE最終文書はCSCE(今日のOSCE<sup>63</sup>)加盟国の政治的合意を体現した政治的文書であり、表現も「参加国(subscribing States)」とされており、前文の結びも「以下を採択した(adopted the following.)」とし、shall や agree 等の表現は避けて作成されている。また、ブダペスト OSCE 会議のマージンで署名された覚書は国連法務部に条約として登録されていなければ、非拘束文書と誤解されかねない書き振りである。いずれにせよ、両文書を締結し、核兵器を放棄したウクライナに対する安全保証は、2014年のロシアによるクリミア併合に続き、ロシアによる今回のウクライナ侵攻により遵守されなかった。そもそもウクライナ自身がブダペスト覚書の寄託国になっており、実際に登録されたのは何故か2014年であり、上記

---

<sup>62</sup> 深堀亮『国際法外交雑誌』「研究ノート:国際社会における非拘束的文書の役割」国際法学会 2019年第118巻第3号、82頁-100頁。

法的拘束力のある文書と非拘束文書の違いについて、同論考は具体的な表現の書き分け、外交実務における条約、その他の国際約束(交換公文等)、非拘束文書(取決め等)の使い分けについて、外務省前外務省条約課長が分かりやすく解説したものである。

<sup>63</sup> 欧州安全保障機構(OSCE: Organization for Security and Co-operation in Europe)北米、欧州、中央アジアの57か国が加盟する世界最大の地域安全保障機構で、経済、環境、人権・人道分野における問題も安全保障を脅かす要因となるとの考えから、安全保障を軍事的側面のみならず包括的に捉えて活動している。条約でない政治的文書(ヘルシンキ最終文書)を設立文書としており、厳密には国際機関ではないが、政治的対話を行うフォーラム。

---

のとおりクリミア併合の年である。今回、同覚書を反故にされる事態が生じても、その違反に対する是正措置も同覚書に規定されていない。

【報告： 計画管理・政策調査室 福井 康人】

---

## 編集後記

筆者の所属する CTBT・輸送支援室の CTBT チームでは、包括的核実験禁止条約機関 (CTBTO) 準備委員会との契約に基づき、国際監視制度 (IMS) のうち日本国内にある放射性核種監視観測所 (高崎、沖縄) を維持管理している。筆者は沖縄放射性核種監視観測所の運営に関与しており、定期的に沖縄を訪れている。

沖縄放射性核種監視観測所は、那覇空港から車でおよそ 1 時間半程度、沖縄本島中部西岸の風光明媚な海岸地帯から数 km 内陸に入った山の中にある。生け垣はツツジではなくハイビスカスである。屋上からは海が見える。昼食時には海岸の観光地帯まで降りていき、眼下に広がるエメラルドグリーンの海を眺めながら沖縄そばをいただき、心も胃も満たす。コロナ禍で沖縄の観光客が激減し、コロナ前は芋を洗うような状態だった海岸に今はほとんど人がいない。きれいな景色を独占できてご満悦ではあるものの、沖縄の経済が心配にもなる。

観測条件はかなり厳しい。潮風の影響が強いため、錆対策が重要である。除湿器+エアコン+サーキュレーターをフル稼働で湿度を管理しているため、除湿器やエアコンの寿命も短い。山の中ゆえ外壁にはすぐにコケが生え、それを食べに虫が寄ってくる。粒子状核種を捕獲するフィルターにも、装置の中にもすぐに虫が入りこむ。建屋に仕掛けられているゴキブリホイホイにはヤモリも頻繁にトラップされる。鼠も蛇も蜂もいる。害虫防除と除草は冬季でも実施しなくてはならない。台風が来れば現地オペレータの方々も出勤停止になり、観測も 2~3 日止まる。雷も凄まじく、CTBTO からの依頼で安定化電源を設置した。屋根の防水コートの寿命も短く、昭和時代に設置された金属製の雨どいも腐食し... 等々、次から次へとトラブルや要修正事項が発生する。自然豊かな山の中での観測がいかに大変か、この仕事をするようになって改めて思い知らされた。

それでも現地オペレータの方々の尽力のおかげで、沖縄観測所は年末年始やお盆も含めて年中無休で順調に稼働しており、データ取得率はほぼ 100% で推移している。国際情勢が厳しくなる中、IMS のデータは日々重要性を増している。オペレータの方々はそれを重々承知のうえで誇りをもって仕事をしてくださっている。私たちも緊張感を持って業務に当たっている。平和な日々が戻ってくることを祈るばかりである。

(A. F)

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](mailto:iscn-news-admin@jaea.go.jp)

\*\*\*\*\*

発行日: 2022 年 4 月 28 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)