

核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会セッション

核軍縮検証における我が国の役割と技術的な課題・原子力技術の応用可能性
Technical Challenges and Applicability of Nuclear Technology for Nuclear Disarmament
Verification, Roles to be taken by Japan

(3) 核軍縮検証技術及びその研究開発要素

(3) Nuclear Disarmament Verification Technology and its R&Ds

*木村 祥紀¹、富川 裕文¹¹日本原子力研究開発機構

1. 核軍縮検証のための国際パートナーシップ (IPNDV) における検証技術の検討

核軍縮検証とは、核弾頭やその運搬手段の削減・廃棄が、国際条約上の義務や約束にしたがって適切に実施されていることを二国間または国際的に確認するプロセスを指し、将来の世界的な核兵器廃絶に向けて非常に重要なプロセスであると考えられる。2014年に、核軍縮検証のための国際パートナーシップ (International Partnership for Nuclear Disarmament Verification: IPNDV: IPNDV) が米国により提唱され、2015年からIPNDVの活動が開始された。IPNDVでは、2015年に開始された第1フェーズにおいて、核兵器のライフサイクル (核物質の生産・管理、核弾頭の製造・配備・保管、削減・解体・廃棄等) のうち「核弾頭の解体及び核弾頭解体に由来する核物質の検証」に焦点を当て (図1: Step6 から10)、シンプルシナリオと呼ばれる「核弾頭解体施設で核弾頭1体を解体する」というシナリオに基づき、WG1「監視と検証の目的」、WG2「現地査察」、WG3「技術的な課題と解決」の3つの作業部会において、検証の具体的な手順や課題の検討が進められてきた。核兵器国と非核兵器国の両者を含むのべ25か国以上の参加のもと議論が進められた第1フェーズは2017年12月に開催された第5回全体会合をもって終了し、「核弾頭の解体及び核弾頭解体に由来する核物質」の検証に係る課題と具体的な道筋を示した成果報告書が公開されている[1]。

IPNDVのWG3「技術的な課題と解決」では、将来の核軍縮検証プロセスを達成するために必要な技術を検討することを目的とし、『核弾頭の解体及び核弾頭解体に由来する核物質、高性能爆薬等の構成物の検証』に適用可能な候補技術と、「候補技術を実際に検証に適用する上での技術的課題 (ギャップ)」についての検討が行われた。「核弾頭の解体及び核弾頭解体に由来する核物質、構成物の検証」では、①解体施設に到着した核弾頭が申告されたものであるか、②解体施設内及び核弾頭解体前後における管理の連続性 (Chain of Custody: CoC) が担保されているか、の2点を主に検証する必要がある。IPNDVのWG3の報告書では保障措置技術や核セキュリティ技術として従来利用されているものを中心に候補技術がリストアップされており、それらの技術は以下に分類される。

- 核弾頭が申告されたものであることを確認するための測定技術
- 核弾頭解体後の核物質を検認するための測定技術
- 核弾頭解体後の高性能爆薬を検認するための測定技術
- 解体施設及び一時保管施設における、監視対象物品 (核弾頭、核物質、高性能爆薬) の管理の連続性の確認技術

さらに、リストアップされた候補技術のそれぞれについて、核弾頭解体の検証に適用する上での課題、技術の成熟レベル (Technology Readiness Level) といった観点での評価も行われている。図2に仮想的な核弾頭

* Yoshiki Kimura¹, Hirofumi Tomikawa¹¹ Japan Atomic Energy Agency

解体施設におけるシンプルシナリオの各ステップにおける検認項目と適用可能な技術の例を示す。

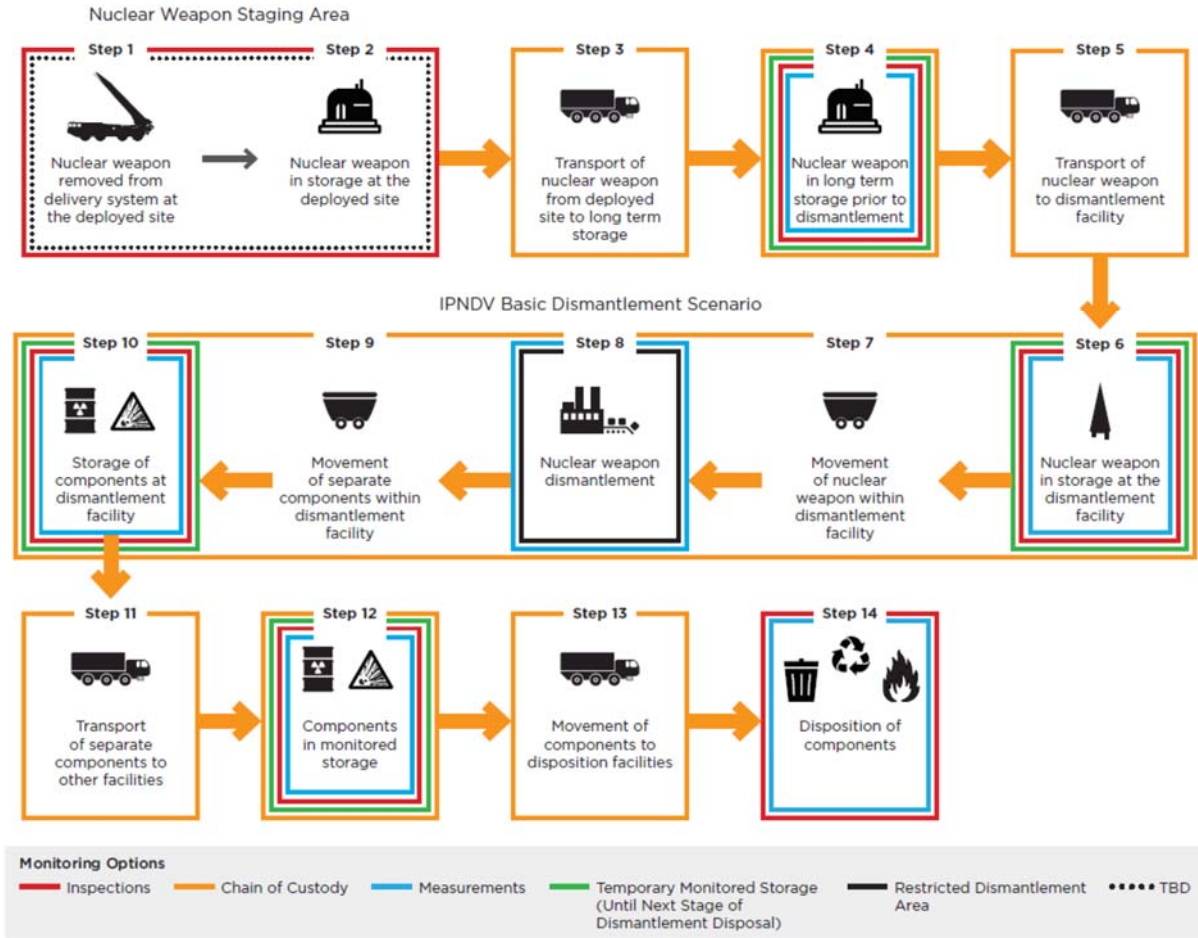


図1：核兵器のライフサイクル（IPNDV 第1フェーズでは Step6-10 について検討） [1]

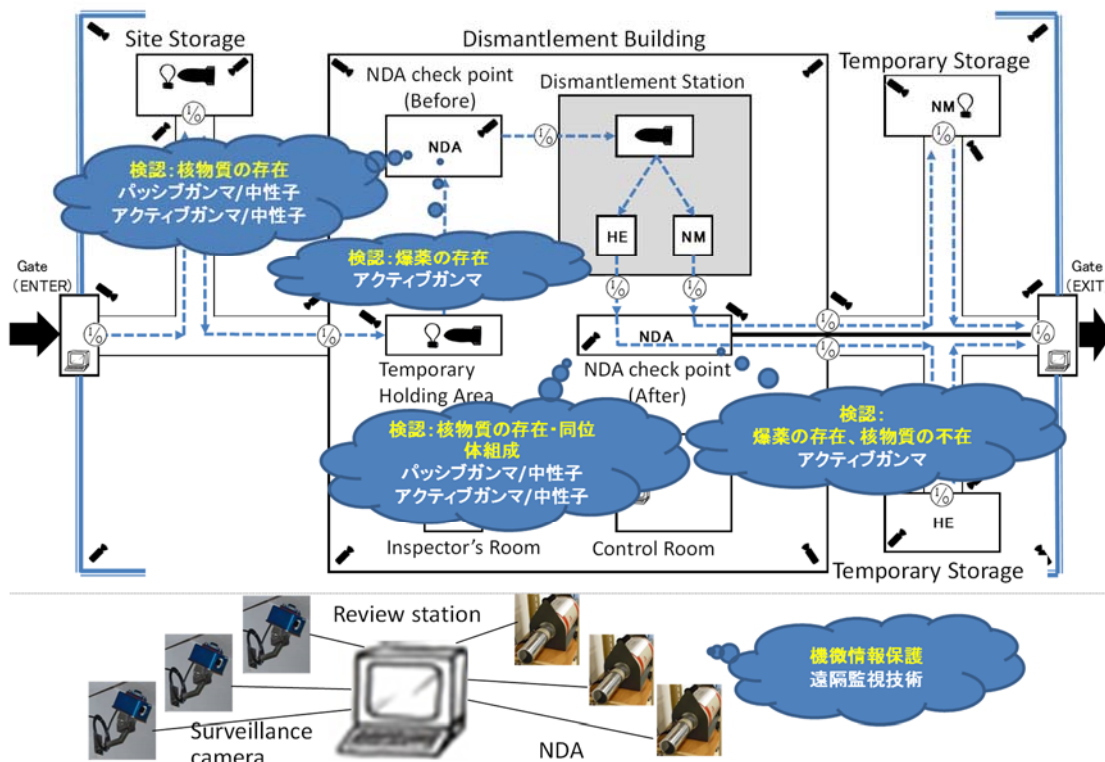


図2：核弾頭解体施設の各ステップにおける検認項目（黄色）と適用可能な技術例（白） [3]

2. 核弾頭解体の検証技術における課題

「核弾頭の解体及び核弾頭解体に由来する核物質の検証」に関して、適当な候補技術が存在しないものとして IPNDV の WG3 「技術的な課題と解決」によって示されたものは以下である[1, 2]。これらは、主に解体施設においてアクティブ法の適用が安全上の理由から難しい場合があること、遮へいされた容器からの放射線測定の高難易度が主な理由である。

- 密閉されたコンテナ内の化学爆薬を検知する非破壊測定技術
- 密閉されたコンテナ内の化学爆薬が一定量以上であることを検認する非破壊測定技術
- 密閉されたコンテナ内のウランの同位体組成及びウランが一定量以上であることを検認する非破壊測定技術

また、候補技術は存在するが、今後追加的な研究開発が必要なものとして以下が示されている。

- 遠隔で室内の高性能爆薬を検知する技術
- 核弾頭の検認のための放射線テンプレートマッチング技術
- 様々な測定技術と組み合わせることができる情報保護（Information Barrier: IB）技術
- 解体前後で核弾頭の特徴を検認することができる技術

IPNDV の第1フェーズでは、各作業部会による検討に加えて、シンプルシナリオに基づく Walk-Through 演習[4]が実施され、核弾頭解体の検証における課題をより具体的に示す試みが行われた。この Walk-Through 演習では、より具体的かつ優先的な技術的課題として以下が提言されている。

- 核軍縮検証では機微情報の保護技術が必要不可欠であり、いくつかの技術コンセプトがすでに存在しているが、これを実現可能な技術とする一層の研究開発が必要である。
- 放射線テンプレートマッチング技術については、解体前の核弾頭が申告されたものであること、解体前後の核物質が同じものであることを高い信頼性で検認するための技術として最優先的に検討されるべきである。
- コンテナ内の高性能爆薬の検認技術について、アクティブ法の適用困難性など技術的な制限を改善する研究開発が必要である。

「核弾頭の解体及び核弾頭解体に由来する核物質の検証」では、核弾頭及び核物質、高性能爆薬などの核弾頭を構成する物品の詳細な情報（例えば、形状、組成、質量など）は核不拡散・安全保障・セキュリティの観点から機微となることから、これらの測定値を生データのまま出力せずに検証を可能にするための「情報保護（Information Barrier: IB）技術」が必要不可欠であることが指摘されている。この IB 技術については、「信頼性の高い査察」と「機微情報保護」という、相反する目的を達成する必要性が指摘されており、核軍縮検証における特徴的な技術的課題のひとつであると言える。IB 技術の具体例として、英国とノルウェーが過去に実施した核軍縮検証に係るイニシアチブ（UK-NR イニシアチブ）において、プルトニウムの同位体組成検証における IB 技術が開発されている[5]。この技術では、パッシブガンマ法で測定されたプルトニウムのスペクトル信号に対して電子回路処理を行うことで、プルトニウムの同位体組成が閾値以上かどうかを二値信号（赤・青など）で表示し、プルトニウム同位体組成を保護しつつ検証を行うことが可能になっている。また、米国とロシアが戦略兵器削減条約（START 条約）のもと実施した二国間現地査察で使用されることを目的に開発された、放射線テンプレートマッチングが IB 技術の候補技術のひとつとして挙げられている [6]。この技術はパッシブ法で事前に測定した核弾頭中の核物質のガンマ線エネルギー波形を申告データ（テンプレート）として、査察時に測定する波形と一致するかどうかを確認するというものである。申告データであるエネルギー波形は外部から閲覧できない形で信号処理装置に格納されており、機微情報を保護しつつ核弾頭が申告されたものであるかどうかを検認可能となっている。放射線テンプレートマッチング技術では、申告データと現地査察の測定条件が同じでなければならないなどの技術的制限があり、依然研究開発が必要で

あると考えられる。以上のように、IB 技術は技術的には情報処理分野の課題であると考えられ、測定技術の種類やその精度などに依存しない汎用的な技術であることが望まれる。IB 技術は現地査察における検証結果の信頼性レベルや査察手順などと密接に関わる課題であり、これらと並行して議論が進められる必要がある。

核弾頭解体の現地査察では、機微情報保護の観点から査察者が核弾頭やその構成物品を直接目視することができない。そのため測定技術については「密閉されたコンテナ内に存在する物品を測定する技術」が必要となる。特に高性能爆薬の測定では、非破壊測定におけるアクティブ中性子法などを用いた場合でもコンテナによる放射線の遮蔽で測定が困難であることが指摘されており、新しい技術開発の必要性が指摘されている。なお、IPNDV のフェーズ 1 では、核弾頭解体後の高性能爆薬コンテナについては「核物質が存在しないことを検認する」ことで核弾頭の解体を確認する、といった現地査察手順の最適化により、一部のステップでは信頼性が低い査察活動全体として検証結果の信頼性レベルを構築する方法についても検討が行われている。しかし、コンテナ内の核弾頭構成物品の非破壊測定における技術的な制限の改善も引き続き重要な検討課題となっている。

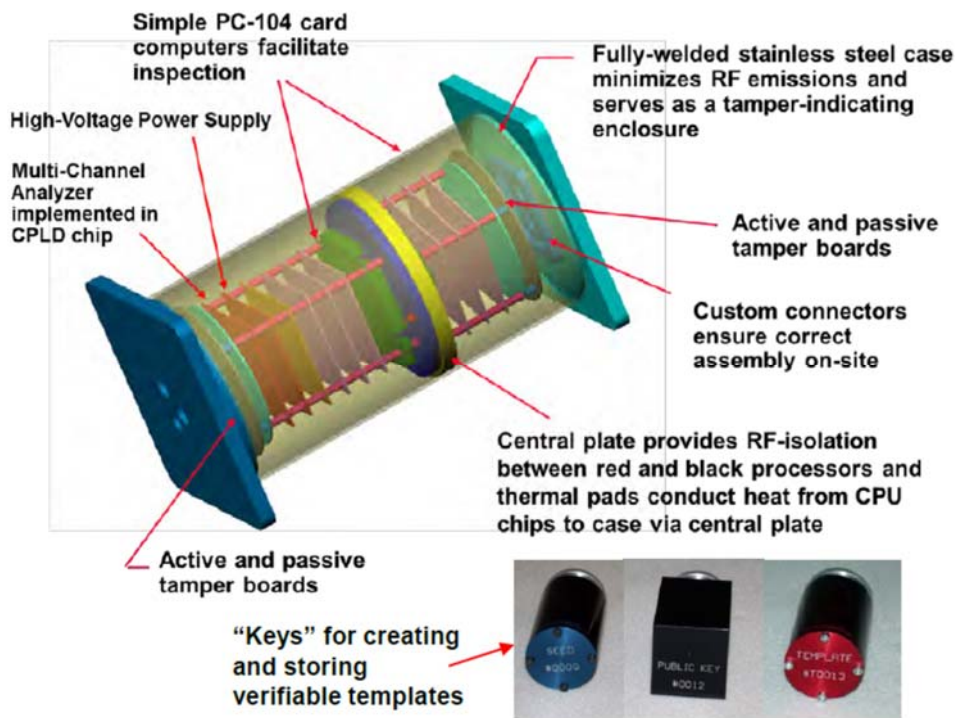


図 3：放射線テンプレートマッチング技術（Trusted Radiation Identification System: TRIS） [6]

3. まとめと今後

核軍縮検証のための国際パートナーシップ（IPNDV）の第 1 フェーズでは、WG3「技術的な課題と解決」において「『核弾頭の解体及び核弾頭解体に由来する核物質の検証』に適用可能な候補技術」と、「候補技術を実際に検証に適用する上での技術的課題（ギャップ）」についての検討が行われ、保障措置技術や核セキュリティ技術として従来利用されているものを中心に候補技術がリストアップされ、それらを踏まえた技術的な課題が示された。また、シンプルシナリオと呼ばれる「核弾頭解体施設で核弾頭 1 体を解体する」というシナリオに基づいた現地査察の Walk-Through 演習が実施され、より具体的かつ優先的な技術的課題が提言されている。核弾頭解体の検証においては、「密閉されたコンテナ内に存在する物品を非破壊で測定する技術」と「機微情報の保護（Information Barrier: IB）技術」が大きな技術的な課題として指摘されている。核軍縮の検証技術は現地査察における検証結果の信頼性レベルや査察手順などと密接に関わる課題であり、これらと

並行して議論が進められる必要がある。

IPNDV では、2018 年からの 2 年間を目途とした第 2 フェーズにおいて、引き続き WG6「検証技術」で核軍縮検証技術に関する検討が進められる。第 2 フェーズでは、核軍縮における核弾頭の解体以外のステップについても焦点を当て、かつ多数の核兵器を解体する実際の解体プロセスに近づけた核兵器のライフサイクル全体を通じた検証について検討が進められる予定であり、今後さらなる技術的な課題が示されると考えられる。特に、核弾頭の解体で発生した兵器級核物質の廃棄（図 1：Step14）に関しては、その検証技術だけでなく廃棄処理の方法といった視点の検討も必要であると考えられ、保障措置などの従来の原子力技術の応用可能性が今後一層大きくなることが期待される。日本においては、原子力の平和利用を実現するための保証措置技術や核セキュリティ技術の知見を多く有しており、また唯一の被爆国として、今後の核軍縮検証技術開発において我が国が果たす役割が大きくなることが期待される。

参考文献：

- [1] IPNDV Phase I Summary Report (2017). [2] IPNDV WG3 Deliverable Summary (7-10) [2017].
- [3] 富川裕文, 原子力平和利用と核不拡散・核セキュリティに係る国際フォーラムパネル 2 (2016).
- [4] IPNDV: Walkthrough Exercise Summary (2017). [5] UK/NOR/VERTIC Report (2009).
- [6] Trusted Radiation Identification System (2017).