



# プルトニウム取扱い施設に対する短期 事前通告ランダム査察の概念検討

堀 雅人 Ming Shih Lu \*

本社 国際・核物質管理部

\*ブルックヘブン国立研究所

Improved Safeguards Methodology Using Short Notice Randomized Inspection at Plutonium Handling Facilities

Masato HORI Ming-Shih LU \*

International Cooperation and Nuclear Material Management Division, Head Office

\* Brookhaven National Laboratory

プルトニウム取扱い施設に適用しうる短期事前通告ランダム査察（SNRI）概念について、1997年より米国のブルックヘブン国立研究所（BNL）との共同研究を実施してきた。

これは、サイクル機構のプルトニウム取扱い施設に対して、月1回実施されている国際原子力機関（IAEA）の中間査察を、既にウラン加工施設に適用されている査察手法であるSNRIを適用することにより、大幅に削減するものである。これまでの検討結果として、これらの施設に対する従来の査察の目標を達成しつつ、中間査察の業務量を最大で50%削減することが可能であるとの結論が得られた。

現在IAEAが中心となって、査察の効率化策について検討が行われているが、本手法もその項目に加えることが検討されている。

*The joint study of safeguards methodology using short notice randomized inspection (SNRI) at plutonium handling facilities has been performed with Brookhaven National Laboratory since 1997.*

*The objective is to reduce current monthly interim inspection for plutonium handling facilities, which is being performed by the International Atomic Energy Agency (IAEA), by applying the SNRI concept, which has been applied to uranium fuel fabrication facilities.*

*Up to 50% of the interim inspections under the current IAEA Safeguards Criteria may be omitted. The IAEA could achieve the same timeliness and detection probability goals as required in regular, non-random inspection.*

*Several discussions to reduce inspection effort have been performed at IAEA. This SNRI concept is being considered as a method to reduce inspection effort in the framework.*

## キーワード

保障措置, 総合保障措置, 短期通告ランダム査察, プルトニウム取扱い施設, 中間査察, 査察の効率化, ゾーンアプローチ, リモートモニタリング, 国際原子力機関, 査察業務量

*Safeguards, Integrated Safeguards, Short Notice Randomized Inspection, Plutonium Handling Facility, Interim Inspection, Efficient Inspection, Zone Approach, Remote Monitoring, International Atomic Energy Agency, Inspection Effort*



堀 雅人

核不拡散・保障措置グループ所属  
サイクル機構全体の保障措置技術開発、国外研究機関との保障措置協力の調整、保障措置概念の検討に従事。



Ming Shih Lu

ブルックヘブン国立研究所において保障措置に関する統計手法の研究に従事。  
IAEAの技術サポートもしている。

## 1. はじめに

湾岸戦争後、イラク、北朝鮮の核兵器開発疑惑を受けて、国際原子力機関（IAEA）を中心として、「93+2計画」と言われる一連の保障措置強化策が検討されてきた。これらの検討結果に基づいて、追加議定書を含む、新しい保障措置システムがIAEA理事会で承認され、実施に移されている。

我が国においては、1999年12月に追加議定書（INFCIRC/540）が発効し、同議定書に基づいて、2000年より拡大申告が行われ、補完的なアクセスが適用されている他、環境サンプリング、設計情報の早期提出といった保障措置の強化・効率化策が適用されている。

追加議定書の発効に伴い、未申告活動が行われていないことが、IAEAによって、より高い信頼性で確認されることから、従来行われてきた保障措置（INFCIRC/153）を合理化する「統合保障措置」の議論がここ数年活発に行われている。追加議定書の発効国の増加や、六ヶ所の再処理施設の運転に伴い、今後、IAEAの査察業務量が大幅に増加しIAEAの財政を脅かすことから、統合保障措置による査察の効率化の検討は、IAEA保障措置を中心とした核不拡散体制を維持していくためにも重要な課題となっている<sup>1)</sup>。

現在、統合保障措置の議論は、ウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）燃料を使用しない軽水炉に対して焦点が当てられており、ランダム査察やリモートモニタリングと組み合わせて、従来3ヵ月に1回行われていた中間査察を年1回に減らすことが検討されている。MOX燃料を使用しない軽水炉に対するIAEAの査察業務量は、全世界の20～30%といわれているが、一方で、サイクル機構のプルトニウム取扱い施設に適用されているIAEAの査察業務量は、全世界の10～15%を占めている。今後、六ヶ所の商業再処理施設等が運転開始するに伴い、プルトニウム取扱い施設の査察業務に占める割合が増大することから、これら施設に対する査察の効率化の重要性は増すものと考えられる。

サイクル機構は、20年以上にわたり、プルトニウム取扱い施設に対する保障措置の研究開発に携わってきており、査察の効率化、保障措置システムの確立、計量管理精度の向上等に貢献してきた。今後のプルトニウム取扱い施設に対する統合保障措置を検討する上で、これらの実績を有するサイクル機構の寄与は不可欠である。

このような観点より、サイクル機構は、種々の査察効率化策を検討してきたが、その一環として、プルトニウム取扱い施設に対する短期事前通告ランダム査察（SNRI）を、ブルックヘブン国立研究所（BNL）との共同研究として1997年より実施してきた。

## 2. 査察の目標とSNRIの考え方

現在、IAEAが実施している査察は、大きく分けて以下の二つの目標を達成するために実施している。

核物質の収支をとり、有意な量の核物質が転用されていないこと（量的な目標）を確認する  
核物質の核兵器への転用時間を考慮し、適時に核物質の転用がないこと（適時性の目標）を確認する

査察官が、客観的かつ公平に査察の評価を行うために、査察の評価基準が「IAEAクライテリア」に詳細に記載されている。未照射のプルトニウム化合物の適時性は、低濃縮ウランの1年に対して1ヵ月と短く、この目標を達成するために、プルトニウム取扱い施設では、月1回の中間在庫検認（IIV）が行われている。したがって、プルトニウム取扱い施設の多くは、IIVが施設全体の査察量に占める割合が多くなっており、施設運転者の負担にもなっている。

現状のIAEAのクライテリアを満たしつつ、大幅な査察の効率化を図るためには、月1回のIIVの回数を減らすことが重要であることから、以下に示す三つのSNRIのスキームについて、検討を行った。

施設毎のアプローチ（月1回計画されているIIVのランダム化）

施設毎のアプローチ（完全なランダム査察）  
国レベルのアプローチ

SNRIは、査察を短期事前通告でランダム化することにより、1回の査察でカバーする核物質を増やし、査察の頻度や業務を減らす手法である。既に低濃縮ウラン加工施設において核物質の移動の検認に適用され、成果を上げている<sup>2)</sup>。SNRIの適用により、査察の効率化に加えて、運転状態の確認や未申告活動が行われていないことをより高い信頼性で確認することが可能になるとの指摘もある。

## 3. ランダム査察の各アプローチに関する検討

### 3.1 施設レベルのアプローチ

（月1回計画されているIIVのランダム化）

本アプローチは、事前に月1回計画されているIIVを査察の直前に実施するか否かをランダムに決定し、適時性の目標を達成しつつ、IIVの回数を減らすものである。査察をランダム化する方法として以下が考えられる。

- (1)  $p$ の確率でIIVを実施するか否かの決定をランダム化する
- (2) ランダム化していない通常のIIVにおいて要求される検知確率を満たすよう査察対象の核物質をランダム抽出し、検認を行う
- このようなランダム査察を適用した場合の未検知確率は下式で示される。

$$= 1 - p + p \cdot \beta_{actual}$$

ここで $\beta_{actual}$ 実際のIIV時の検知確率である。IIVの確率 $p$ が、IAEAクライテリアで要求されている検知目標 $\beta_{goal}$ 以上で、かつ、 $\beta_{actual}$ が $(\beta_{goal})/p$ を下回らないときに、適時性の目標が達成されることになる。

このようにして、IIV時の検知確率を高めることにより、通常の査察と同様の検知目標を達成しつつ、査察の回数を減らすことが可能となる。

例えば、 $p = 0.6$ とすると、中間査察の平均回数は、11から $11 \times 0.6 = 6.6$ 回に減少する。

また、IAEAクライテリアでは、監視カメラ、封印といった封じ込め・監視装置が適用されている核物質については、中間査察の検認の対象から外れる事となっていることから、ほぼ全ての核物質が封じ込め・監視装置下にある施設（図1もんじゅの封じ込め監視装置）においては、比較的容易に、このアプローチが適用可能である。

ランダム査察を実施するための要件として、施設側の申告情報を事前にIAEAに提供する必要が

ある。その内容としては、核物質の移動及び在庫、施設の運転スケジュール等の情報が含まれる。既にSNRIが適用されているウラン加工施設では、Mailboxと呼ばれるIAEAのコンピュータが設置されており、施設の情報が、毎日、このコンピュータに送られている。SNRIが行われる場合には、IAEA査察官はMailbox内の申告された情報を取り出し、それに基づいて検認が行われる。現在、これら情報を遠隔転送する試験も行われている。

既に計画されているIIVをランダム化する本アプローチにおいても、査察に必要な情報を、毎日入力する必要はなく、IIVの直前に入力すればよい点で、施設側の負担も軽減される。

### 3.2 施設レベルのアプローチ(完全なランダム査察)

上記3.1のランダム査察のモデルを一般化することにより、完全なランダム査察(査察官がIIVを行う日を決定できる、いわゆるany time 査察)に拡張できる。中間査察の機会 $t_i$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, N-1$  [ $t_N$ の時に適時性の期間(プルトニウム化合物の場合は1ヵ月)]とすると下式が得られる。

$$\prod_{i=1}^k \beta_i \leq \beta_{goal}$$

ここで $k$   $N_i$ 回目の査察が行われる確率を $p_i$ とし、その際の査察の検知確率を $\beta_i$ とすると、未検知確率は下式で示される。

$$(1 - p_i) + p_i \beta_i \leq \beta_{goal}$$

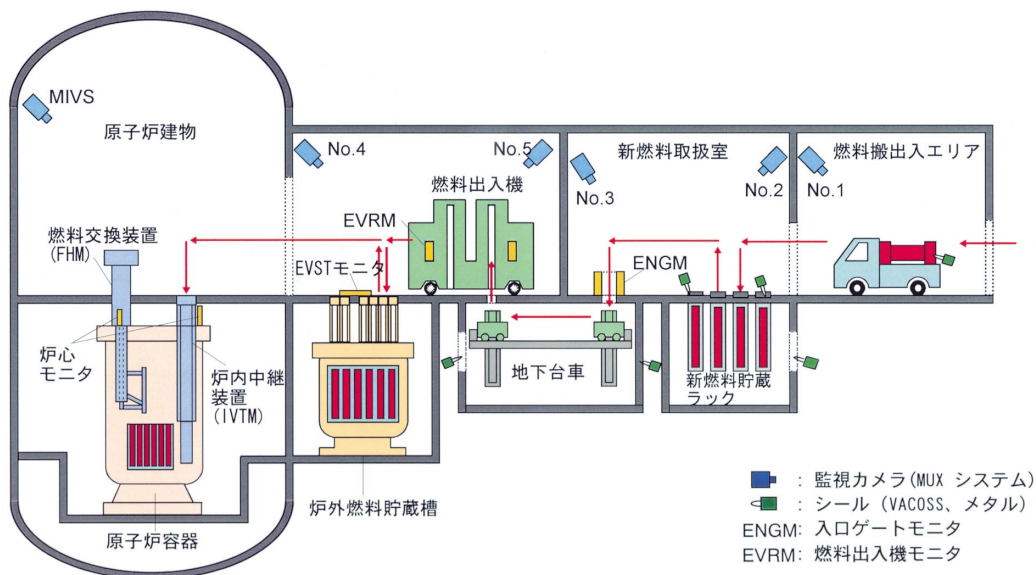


図1 もんじゅの封じ込め・監視装置

前項と同様に、以下の条件が成り立てば、通常の査察同様の検知目標が達成される。

$$pi \geq 1 - i \text{ and } 1 - si' \geq \frac{1 - i}{pi}$$

完全なランダム査察は、いつ行われるかが予想できないため、現時点では、国の査察官の対応や施設側の対応といった実施面の問題があり、適用が難しい状況であるが、これにより、更なる査察業務量の低減が可能であり、加えて、施設の運転状態の確認や未申告活動が行われていないことがより高い信頼性で確認される。

### 3.3 国レベルのアプローチ

施設レベルのアプローチに対して、国レベルのアプローチでは、関連する複数の施設を一つのゾーンとして扱う（例えば、再処理施設の使用済み燃料からはじまり、MOX燃料加工施設、MOX炉一つのゾーンとして扱う）ことにより、ゾーン内の施設の間で行われる核物質の移動に対する検認は不要とするアプローチである。このアプローチを実施する前提として、ゾーン内の核物質の実在庫検認（PIV）が同時に行われなければならない。従来は、同時PIVは、査察側及び施設側の双方に実施面の問題があり、実用的なアプローチではなかったが、封じ込め・監視技術の発達により検認対象の核物質が減少すること、及び、ランダム査察の適用により査察の実施に柔軟性が得られるため、実効性が高まっており、このアプローチにより、査察の大幅な効率化が期待できる。

また、地域ごとにゾーン化するアプローチも適用可能であると考えられ、例えば、サイクル機構東海事業所で運転している複数のプルトニウム取扱い施設を一つのゾーンとして扱い、ランダム査察を適用することにより、査察官の手配に柔軟性を持たせつつ、査察業務量を減らすアプローチも考えられる。

## 4. 終わりに

3.1のアプローチの実効性と有効性をまとめた結果を表1に示す。

表1 SNRIの各アプローチの有効性と適用性

	MOX炉	MOX燃料加工	再処理
IIVの査察業務量	2人・日/月	10~20人・日/月	6~8人・日/月
SNRIの有効性	高い	高い	低い
SNRIの適用性	高い	低い	低い

この結果は、MOX炉については、SNRIの適用性が高く、IAEAクライテリアにおけるIIVの検知確率は50%であるので、最大で50%の中間査察を削減できることが分かった。また、MOX炉のように、すべての核物質がアイテムとして管理されており、新燃料及び使用済み燃料がNDA装置や監視カメラ下にある施設においては、リモートモニタリング等との組み合わせにより、更に査察業務量の低減が可能である。

一方、MOX燃料加工施設についても、SNRIを適用できる可能性があり、現在、MOX燃料加工施設が多くの査察業務を費やしていることから、更に技術的な検討を進める必要がある。

これまで検討してきた内容については、保障措置に関するワークショップやIAEAとの協議の場で説明を行っており、今後は、IAEAを含めて、SNRIを適用するための条件や手順については、検討を行う予定である。また、国レベルのアプローチを含めて、より有効性と実効性の高いアプローチについて検討を行い、国及びIAEAに提案していきたいと考えている。

### 参考文献

- 1) J. Cooley and K. Murakami: "Implementation of the Additional Protocol", Proceedings of the 21st ESARDA Symposium on Safeguards and Nuclear Material management, ESARDA 29, p.63, IAEA (1999).
- 2) T. Ishikawa and K. Suzuki: "Implementation of SNRI at an LEU Fabrication Plant," Proceedings of the 40th INMM Annual Meeting, Japan Nuclear Fuel Co.(JNF),(1999).