



核セキュリティ事象における 核物質魅力度評価

2025年8月20日



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

令和7年度第1回核不拡散科学技術フォーラム

日米核セキュリティワーキンググループ(NSWG)

2010年4月にワシントンDCで開催された核セキュリティ・サミットの後、第2回ソウル核セキュリティ・サミット(2012年)に向け、日米間で核セキュリティ分野での協力を推進するための作業グループを設置することについて検討がなされ、2010年11月の日米首脳会談でその設立が公表された。

日本側からは、外務省、内閣官房(事態対処・危機管理担当室)、内閣府、原子力規制委員会、警察庁、文科省、資源エネルギー庁、国交省、海保庁及び防衛省が参加。米国側からは、国家安全保障会議(NSC)、エネルギー省、国務省、国防省、国土安全保障省、連邦捜査局(FBI)及び原子力規制委員会(NRC)が参加。

https://www.mofa.go.jp/mofaj/dns/n_s_ne/page4_002303.html



12th NSWG meeting, Oak Ridge National Laboratory, August 2023

<https://www.energy.gov/nnsa/articles/us-and-japan-convene-nuclear-security-working-group-adopt-new-goals-discuss-nuclear>

NSWG の具体的な協力分野

ゴール1：核不拡散・核セキュリティ総合支援センター（ISCN）での協力

ゴール2：核鑑識、測定及び核検知に係る技術の研究開発

ゴール3：保障措置の実施に係る協力

ゴール5：輸送中の核物質

ゴール6：高濃縮ウランの利用を低減するための原子炉の転換及び希釈作業の完了

ゴール7：INFCIRC／225／Rev.5の実施

ゴール9：高濃縮ウラン及びプルトニウムの管理に係る共同研究：核物質の魅力度低減

ゴール11：規制管理外の核物質及びその他の放射性物質に係る事案への総合的国家対応の可能な枠組みに関する情報交換

ゴール12：放射線物質セキュリティに係る協力

ゴール13：阻止活動

ゴール14：核・放射性物質セキュリティに関する国際的な法的文書及び多国間イニシアティブに関連する協力

Goal 9 物質の魅力度（核セキュリティリスク）に関する共同研究 核物質及び原子力施設の潜在的な不法行為によるリスクの評 価と提言

米国と日本は、自国の原子力施設がテロリストによる核または放射線攻撃の対象となることを防ぐという共通の義務を負っている。さらに、両国は国際的な民間原子力分野のリーダーとして、核および放射線物質の安全な管理と保管に関するグローバルな基準を設定する責任を共有している。これらの目標を達成するため、両国はNSWKGの「Goal 9」の下で、核セキュリティリスクの技術的評価手法の開発を実施している。

“United States-Japan Joint Study on Material Attractiveness: Evaluating and Reducing the Risks to Nuclear Materials and Facilities from Potential Malicious Acts”, ICONS, February 2020, Vienna Austria

ゴール9の活動は、日本側においては、文科省の核セキュリティ補助事業としてJAEAが主体となって参加。
米国は、エネルギー省国家核安全保障庁(DOE/NNSA)及びロスアラモス、ローレンリバモア、ブルックヘブン、サンディア、オークリッジ国立研究所が参加。



Goal 9 の活動

Goal 9 の下で、核爆発装置(NED)を対象とした共同研究を2012年に実施新たな共同研究として、核燃料サイクル施設に対する核セキュリティ上の3つの脅威である、NEDを目的とした盗取、放射性物質の飛散装置(RDD)を目的とした盗取、妨害破壊行為(sabotage)について、核燃料サイクル施設に存在する核・放射性物質及びそのプロセスの魅力度を評価する手法開発2017年より実施している。

- 盗取の共同研究: 2017 -2023
- 妨害破壊行為の共同研究: 2023-

IAEAで行われる以下の3つの会合で成果を共有。

- 国際核セキュリティ会合 (ICONS), 2020年2月
- 安全解析手法の核セキュリティ目的での利用に関するIAEA 技術会合, 2021年10月
- 国際核セキュリティ会合 (ICONS), 2024年5月

盗取の共同研究の成果をまとめた報告書を2025年1月のNSWG会合に報告。

日本核物質管理学会と原子力学会核不拡散等連絡会合同研究を開催(2025年1月)成果を日本の核セキュリティ関係者と共有。

物質の魅力度(核セキュリティリスク)

魅力度 (リスク) = 成功確率(POC) × 影響の重大性 (Consequence)

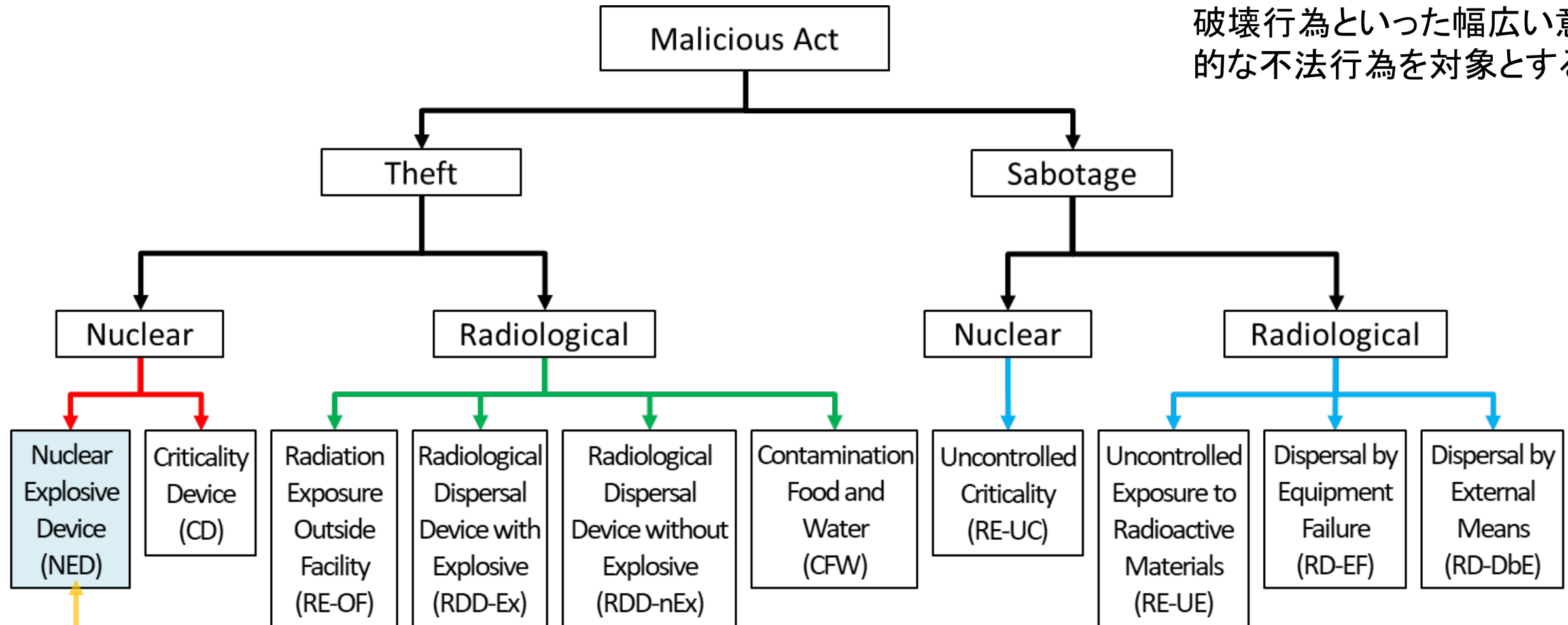
■ 仮定:

敵対者は、物質へのアクセスが可能で、その能力を妨げられることなく、物質の加工および不法行為への利用に適用することができる。

- 物質の内在的な特性と敵対者の能力が評価の対象となり、核物質防護措置は考慮されない。
- 単一の盗難に焦点を当て、長期にわたる少量の転用は対象外です。

意図的な不法行為 (Malicious Act) 図

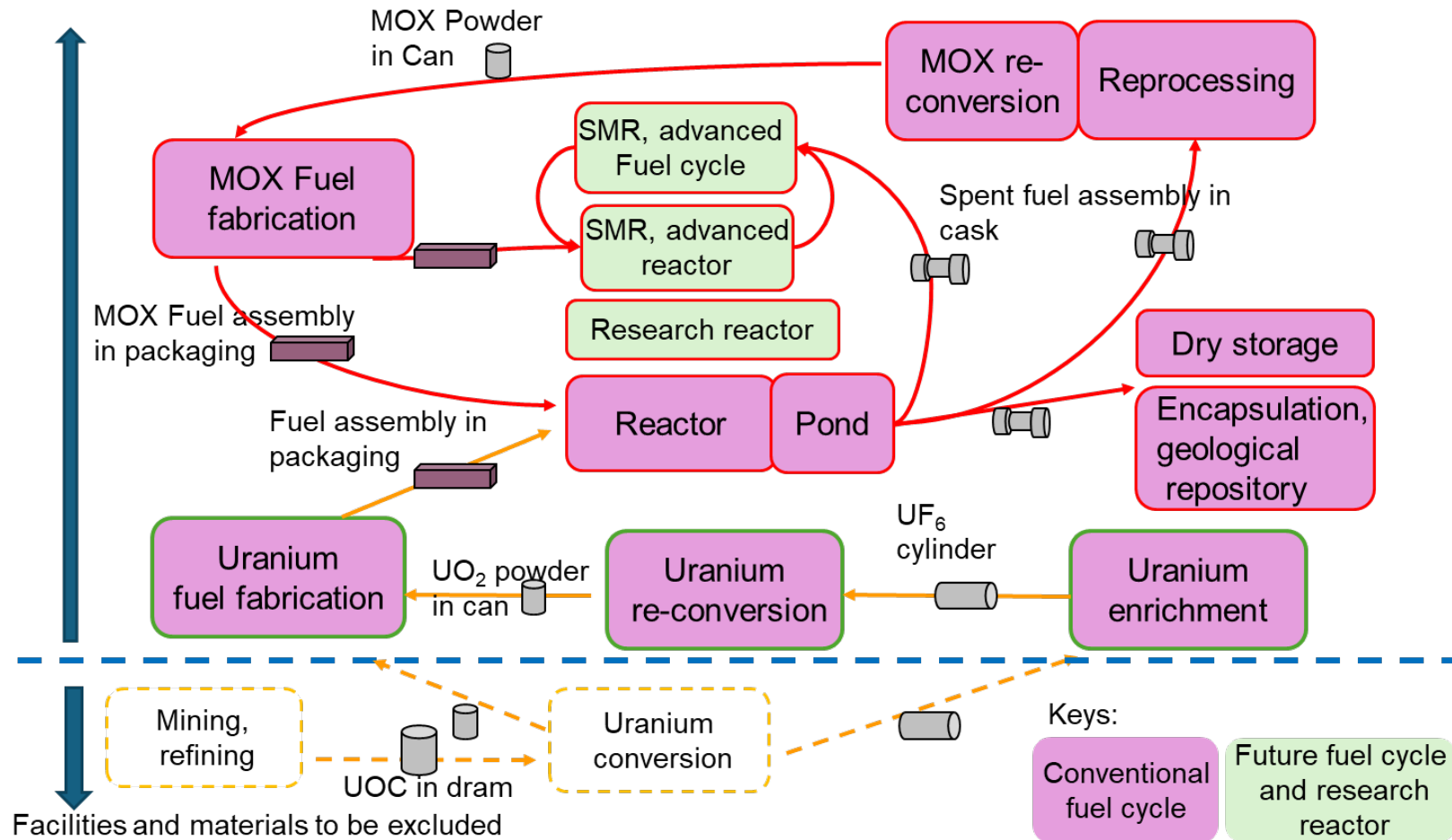
本共同研究では、盗取、妨害破壊行為といった幅広い意図的な不法行為を対象とする。



Study in
2012

"United States-Japan Joint Study on Material Attractiveness: Evaluating and Reducing the Risks to Nuclear Materials and Facilities from Potential Malicious Acts", ICONS, February 2020, Vienna Austria

評価対象の核燃料サイクル施設と核物質



本共同研究の評価対象の核燃料サイクル施設及び物質を特定し、既存の核燃料サイクル施設を優先的に評価することとした。

“United States-Japan Joint Study on Material Attractiveness: Evaluating and Reducing the Risks to Nuclear Materials and Facilities from Potential Malicious Acts”, ICONS, February 2020, Vienna Austria

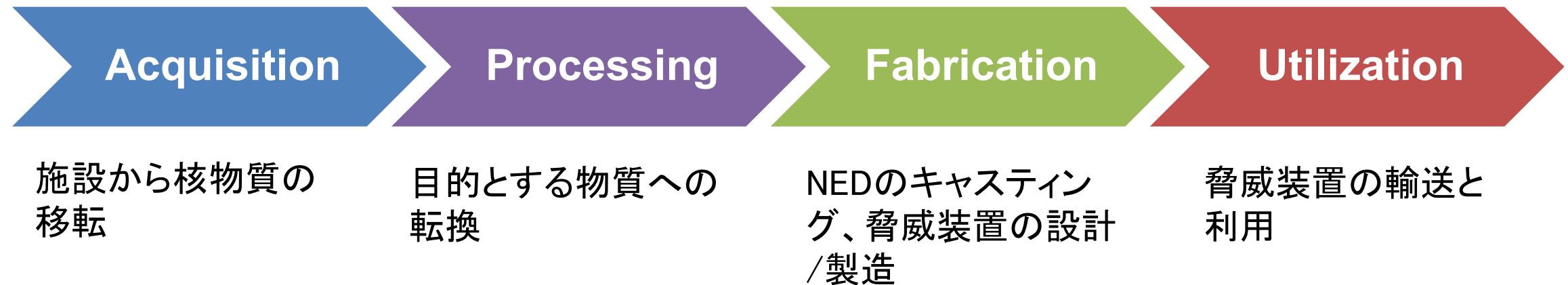
敵対者と意図的な不法行為のフェーズ

- IAEA核セキュリティシリーズ10に基づいて、敵対者を以下の3ケースに分類:

個人(case 1)、10名以下のグループ (case 2)、国家の支援を受けたグループ(case 3)

- すべての敵対勢力: 命を犠牲にする覚悟があり、
- 特殊核物質(SNM)の機械的および化学的分離能力を有する。
- ウラン濃縮または核変換能力を有する者はいない。

- 意図的な不法行為のフェーズ



評価指標とスコア付け

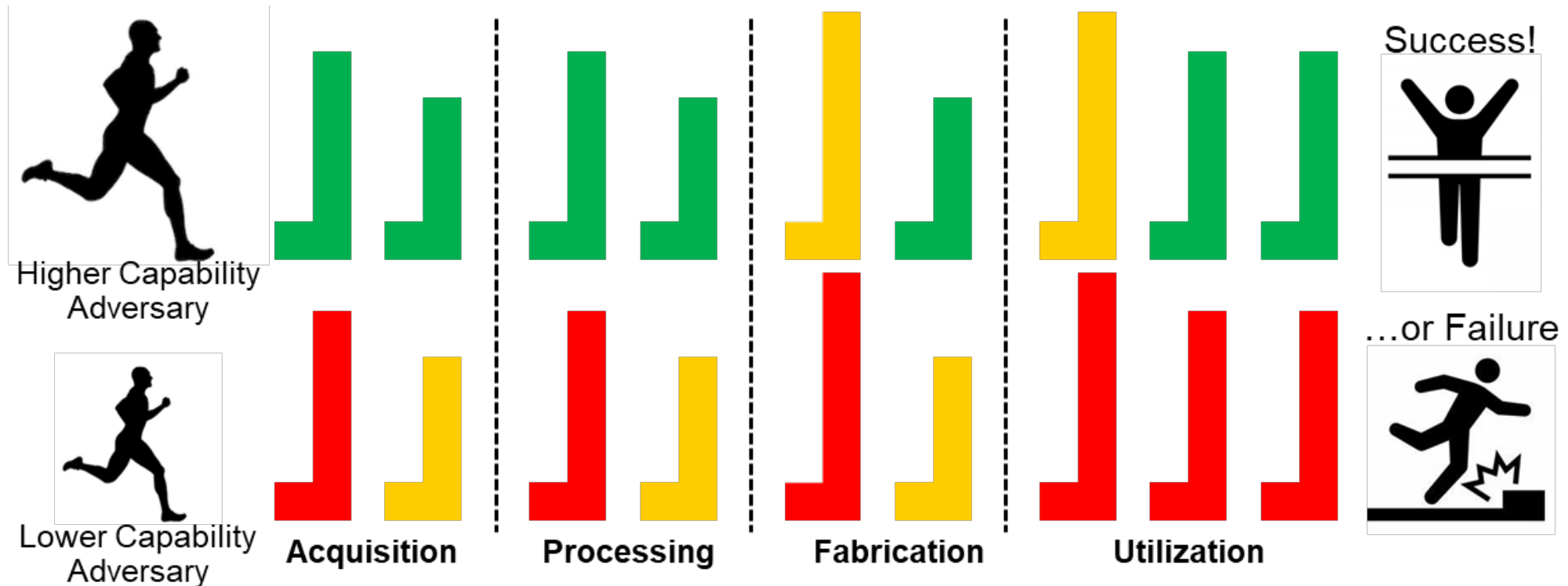
- **指標 (Metrics):**意図的な不法行為に利用される物質の魅力度を左右する属性。
 - 各指標は、攻撃者がそのタスクを実行する際の困難さを独立した指標として評価するもの。
 - 可能な限り定量的なメトリクスを使用。

Phase	Metric
Acquisition	Gross Weight Radiation Dose Rate
Processing	Pre-purification Post-purification
Fabrication	Casting Non-nuclear Fabrication
Utilization	Size & Complexity Heat Content Radiation Dose Rate

Score	Attractiveness	Can likely overcome
1	Very High	Any adversary
2	High	Case 1
3	Medium	Case 2
4	Low	Case 3
5	Very Low	None

確率評価モデル: ハードルモデル

- 走者がハードルを越えることのアナロジーを用いたハードルモデルを採用.
- 指標の値＝ハードルの高さ
- 敵対者の能力＝走者の身長・身体能力



成功確率(POC)

- POC: 敵対者が各指標を克服する可能性の累積確率の積。
- POCを定量化するためにラッシュモデルを使用。

$$POC = \prod p_i(c, s_i)$$

p_i : adversary probability of overcoming a step:

$$p_i(c, s_i) = \frac{1}{1 + e^{\alpha(s_i - (c + 1))}}$$

c : adversary's capability score (1-3 for non-state actors)

s_i : material's step difficulty grading score (hurdle height)

α : slope of the probability function in the Rasch model

* $\alpha = 2$: Used in Goal 9



Capability = 2



Score = 3

$p_1 = 50\%$



Score = 4

$p_2 = 5\%$



POC = 2.5%

影響の重大性(Consequence)

Consequenceに寄与する要素:

- 死者と負傷者 (NED、CD、RE-OF、およびCFW)
- 土地へのアクセス喪失と除染 (RDD-ExおよびRDD-nEx)

各要素の経済的損失は、以下の基準に基づいて算出:

- 死亡・負傷に対する統計的生命価値 (VSL)
- 被害を受けた土地の除染コスト

VSLは死亡・不詳の可能性がある場合に適用

Consequenceは、対象の意図的な不法行為によって異なる。

“United States-Japan Joint Study on Material Attractiveness: Evaluating and Reducing the Risks to Nuclear Materials and Facilities from Potential Malicious Acts”, ICONS, February 2020, Vienna Austria

Goal 9 のアウトカムと今後の研究

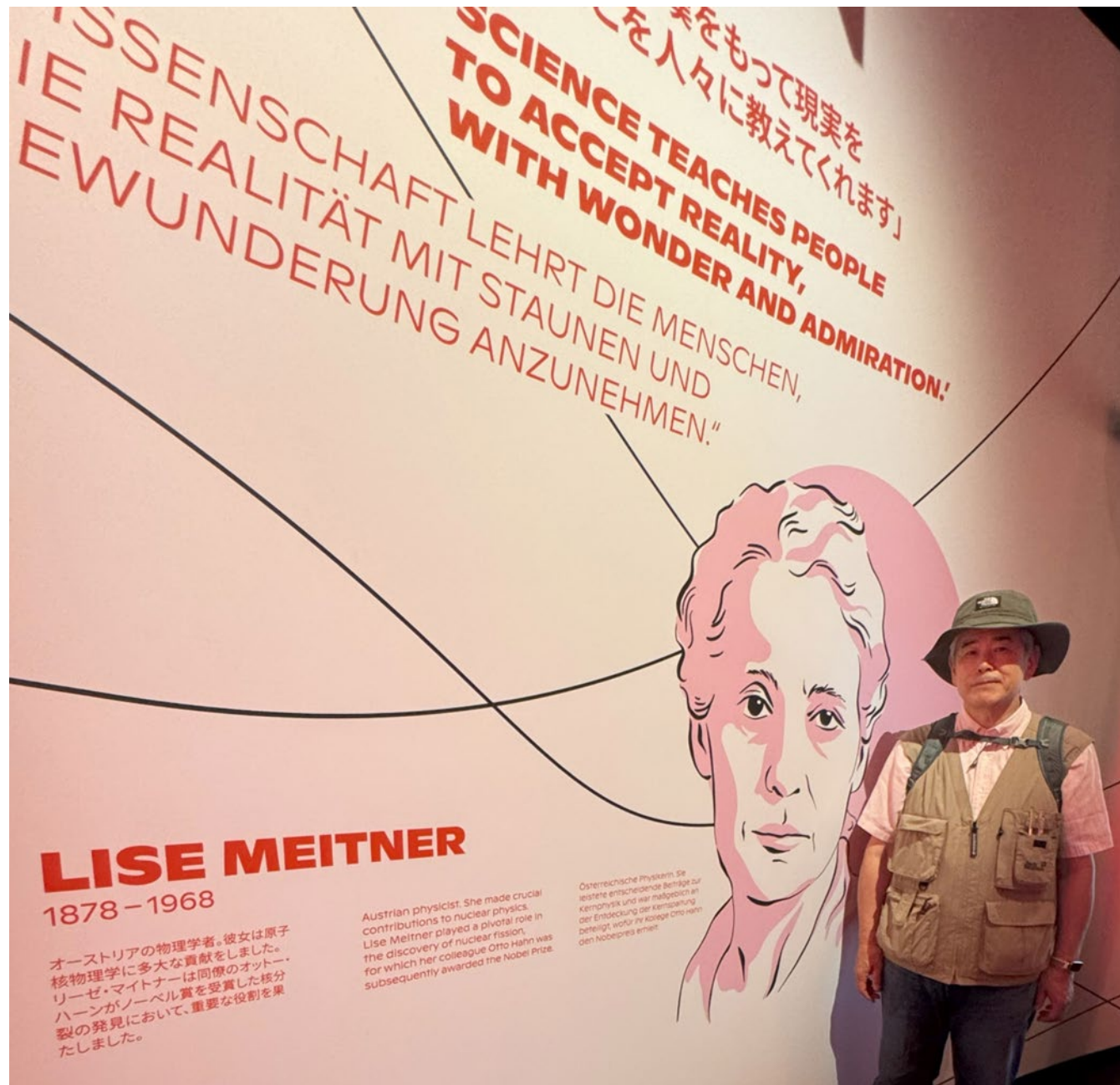
ゴール9の研究結果は、核燃料サイクル全体にわたる核セキュリティリスクの評価を、より信頼性が高く、包括的なものにする。

- 核セキュリティシステムの脆弱性評価の改善
- 核セキュリティ対策を最適化
- 関連する研究開発を優先順位を提供

研究成果の展開および今後の研究について、引き続き、DOE/NNSAと議論を行う。

(今後の研究)

- 評価手法を、研究炉、SMRおよび先進燃料サイクルに応用
- 廃止措置・処分への適用
- 使用中の核物質の魅力度の低減



Thank you for your attention.

EXPO 2025 Osaka Kansai
Austria Pavilion