

核拡散抵抗性と保障措置

核不拡散連絡会企画セッション

東京大学大学院原子力国際専攻

&

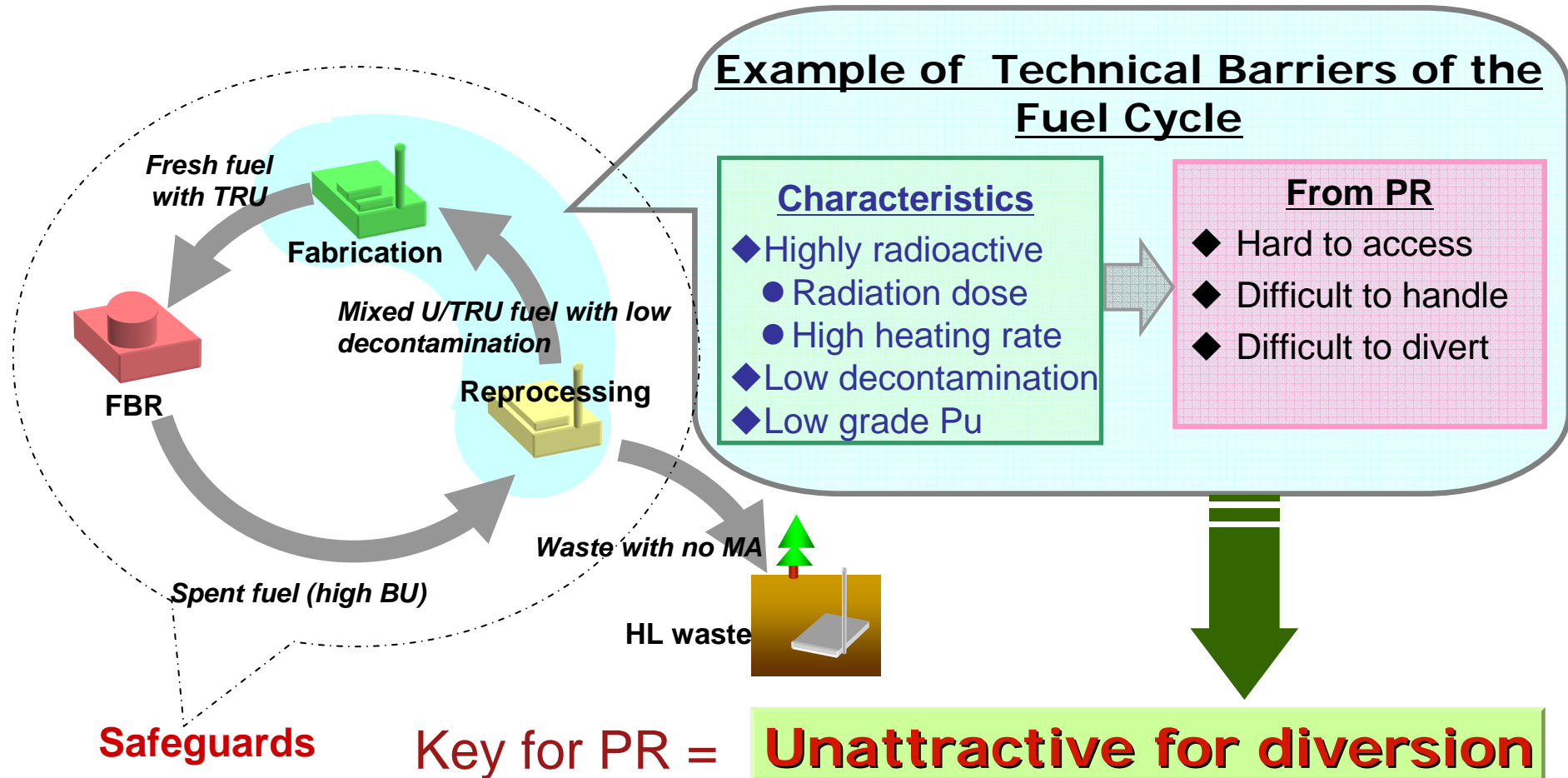
日本原子力研究開発機構

久野祐輔

発表内容

- 核拡散抵抗性の必要性
- 核拡散抵抗性の定義
- これからの原子力システムにおける核不拡散対策
(基本的考え方)
- INFCE等核拡散抵抗性議論の歴史
- INPRO、GEN IVにおける核拡散抵抗性評価
- 保障措置の効果
- 設計において考慮すべき抵抗性対策
- 日米関係における保障措置と抵抗性について
- 結論

高速炉サイクル戦略における核拡散抵抗性のイメージ



なぜ「核拡散抵抗性」？

将来の原子力システムに核拡散抵抗性を持たせることの必要性について

- NPT体制は世界の190カ国加盟、無期限延長という状況に至った。この事実からすればNPT体制はこれまで概して成功であったと言える。
- しかし、過去にリビア、イラクなどによる不正行為が発覚し、そして現在北朝鮮脱退-核兵器製造やイランの核開発、核テロへの危惧など、核拡散の深刻化と世界的な原子力エネルギー必要性増大の中で、国際社会は平和利用と核不拡散の両立を果たしていくためにNPTを根幹としつつも、核不拡散体制を強化するために新しい仕組みを編み出して対応していかなければならない状況にある。

将来の原子カシシステムに核拡散抵抗性を持たすことの必要性について(続)

- 同じNPT下に存在する国家においても非核兵器国であることについての重みにかなりの差がある。
- 単なるNPT下での制度による核不拡散対策では十分と言えない。すなわち、制度は脅威に対する対策として重要な機能を果たすが、それだけではすべての脅威に対応できない。
- 一方、非国家主体・テロリストに対しては保障措置等制度はほとんど効果なく、物理的防護を始めとする他の対策が必須である。
- また、既に燃料サイクル技術を有する国の脱退には制度は機能しない。

ブッシュ・エルバラダイ構想、PSIなど複数の対策が提案；核拡散抵抗性は原子カシシステムに対する不拡散強化対策と考えられる。

核拡散抵抗性の定義について

IAEAが2002年10月にイタリア・コモで拡散抵抗性の定義を含む基本的理解について議論。コンセンサスの得られたものとして扱われている。

- ・ 定義：「国家が核兵器や他の核爆発装置を獲得することを目的とした核物質の転用や未申告生産、技術の不正使用を防ぐための特性。将来の原子力システムが核兵器計画のための材料獲得には非魅力的なものであり続けることを確実にすること。拡散抵抗性の程度は、技術的設計特性、運転形式、保障措置、その他の制度的取り決め、の組み合わせにより決まる。」
- ・ この時点で、核拡散抵抗性は「国家」の行為に対するものであり、非国家主体やテロリストの行為に対しては、PP(物理的防護)あるいは核セキュリティにより対処するという考え方が一般的理解となった。

これからの原子力システムにおける 核不拡散対策(基本的考え方)

- 核拡散抵抗性 = 制度によるバリア + 技術によるバリア
- 核不拡散のための措置としては、保障措置を中心とした制度的手段が、転用や不正使用の検知に有効。
- 技術的手段は、核燃料サイクルの不正使用を魅力的にしないものにするもので、制度的手段とは異なった効果。
- 技術的バリア: 特に「放射能・物質特性を利用してPuを防護する技術」、つまり、単体Pu、兵器級Pu獲得を難しくする技術(PuへのUやMA混入やスパイキング、Puフィサイクル低下などの技術)がある。

これからの原子力システムにおける 核不拡散対策(基本的考え方)(続)

- 今後、U資源の高騰・欠乏(供給不足)により、日本以外の非核兵器国・地域での使用済み燃料処理・処分、再処理などが必要となった場合、自主開発ではなく技術輸入の可能性が大。抵抗性の高い技術を標準として確立しておけば、核不拡散上効果的。(技術的バリアが有効に働く)。
- 核物質防護非国家主体・テロリストによる盗取については、関連の制度が最も有効であり、技術としては特にPP技術とプロセス技術(放射能・物質特性を利用してPuを防護する技術)が高い有効性(転用上魅力のなさ)を示す。

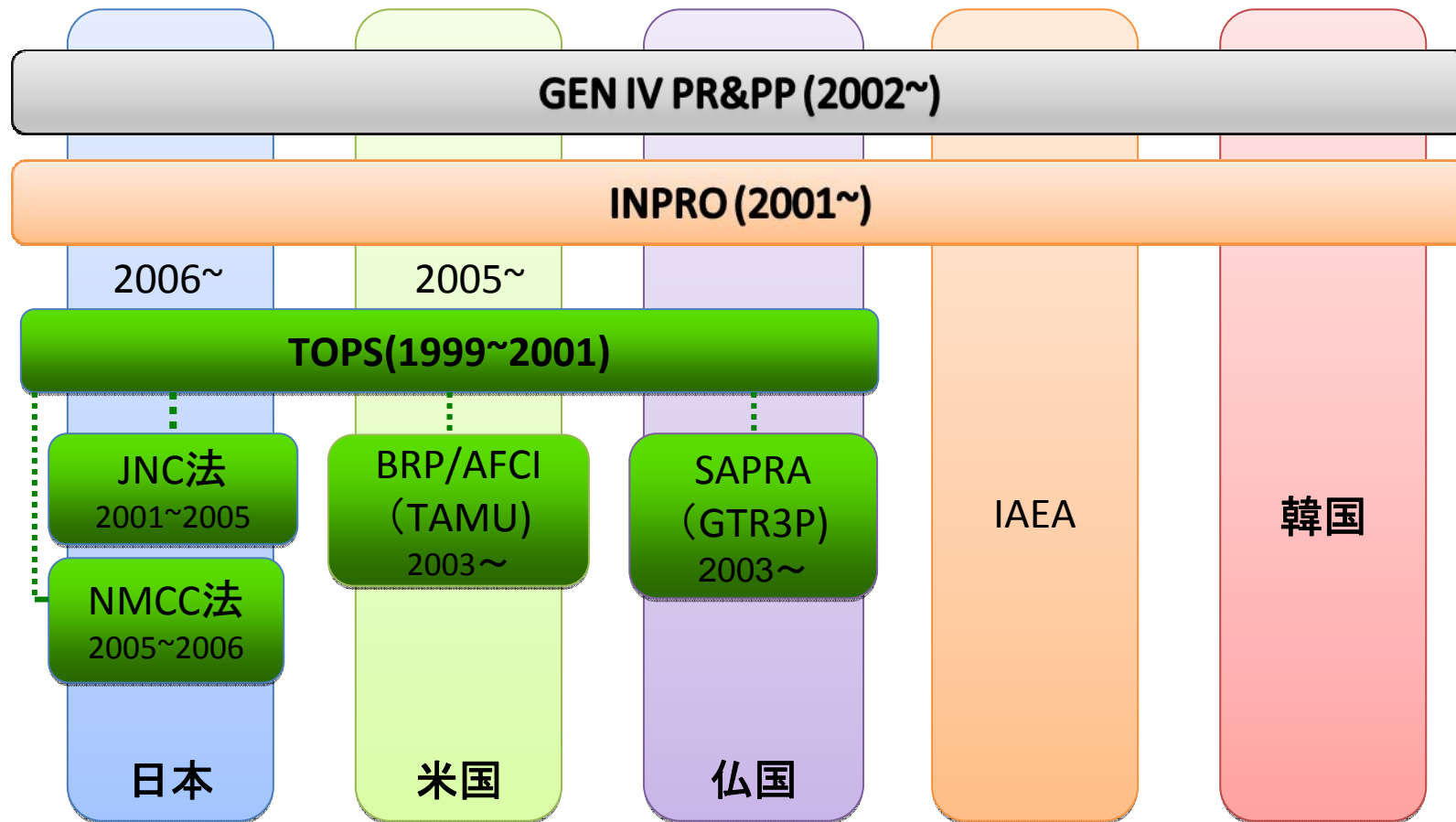
核兵器を秘密裏に所有したいと潜在的に考える 国々がその抵抗性の高い技術を採用するか？

- ・ NPT第4条のもと原子力の平和利用は誰しものが奪い得ない権利、そのための技術を限定することはできない。
- ・ その場合、核兵器国を含むいわゆる先進国のみが核拡散抵抗性の高い技術を導入し、いわゆる「ならずもの国家」はプルトニウムが単体で取り出せる技術(例えば古典的なPUREXなど)を採用する？という状況が生じる可能性は否めない。
- ・ 国際社会は高抵抗性技術を有する技術を国際基準・規範として一般化する(それ以外のものは使用しないなどの)ような策を講じることが必要となる。
- ・ その実現のためには、核拡散抵抗性をもった次世代システムを国際的合意のもとに統一的な技術として確立・採用する、従来システムに比べほぼ同等レベルのコストで建設できるようにする、ということが必要。

INFCEにおける検討

INFCE (International Fuel Cycle Evaluation, 1977年～1980年) は過去最大規模での国際的議論であり、その結論は現在も未来も尊重し得る重要なもの。以下INFCE第四作業部会結論より。

- 核拡散は主として政治的な問題であり技術的な問題ではない。
- 技術的な手段は転用の相対的困難さと転用スピードのみに影響が限られ、これだけで核拡散を防止できない。
- 技術的手段よりも保障措置やその他の制度的手段が重要
- ただし、技術的手段は、核燃料サイクルの不正使用を確実に魅力の無いものにするもので、保障措置及びその他の制度的手段とのパッケージの一部となり得る。
- 核拡散抵抗性については、技術的な手段、保障措置及びその他の制度の核拡散リスクに対する影響度を、はっきり評価しておくことが重要。
- さまざまな燃料サイクルに関する転用への抵抗性について、現在及び将来にわたって普遍的に正しい単一の評価は無い。それ故、一般に燃料サイクル中で拡散上脆弱な点を確認し拡散リスクの抑止法を追究することが重要かつ建設的。



核拡散抵抗性評価手法の開発状況

INFCE後「核拡散抵抗性の議論」;約20年ほど本格的にはなされず。

近年、核拡散抵抗性については、ここに示すようないくつかの手法が提案されたが国際的に取り上げられ、現在も引き続き注目されているのはINPROとGEN IVである。

TAMU(BRP/AFCI): AFCIプログラム下でTAMU(テキサスA&M大学)が開発した手法。

AFCI下で抵抗性を検討するBRP(Blue Ribbon Panel)にその結果が答申された。

SAPRA: 仏国内のCEAやAREVA等が作るPR&PP検討のワーキンググループ(GTR3P)が開発したTOPSベースの定量化評価手法

INPRO、GEN IVにおける核拡散抵抗性評価

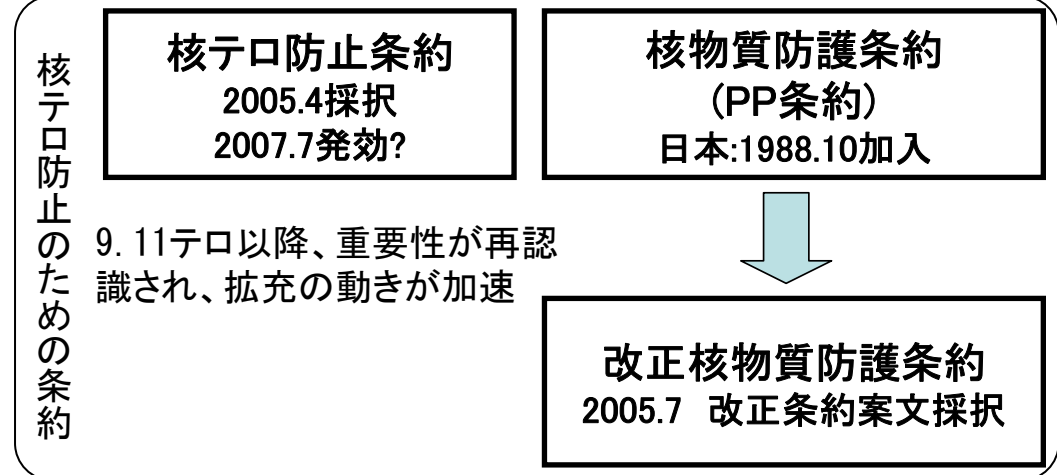
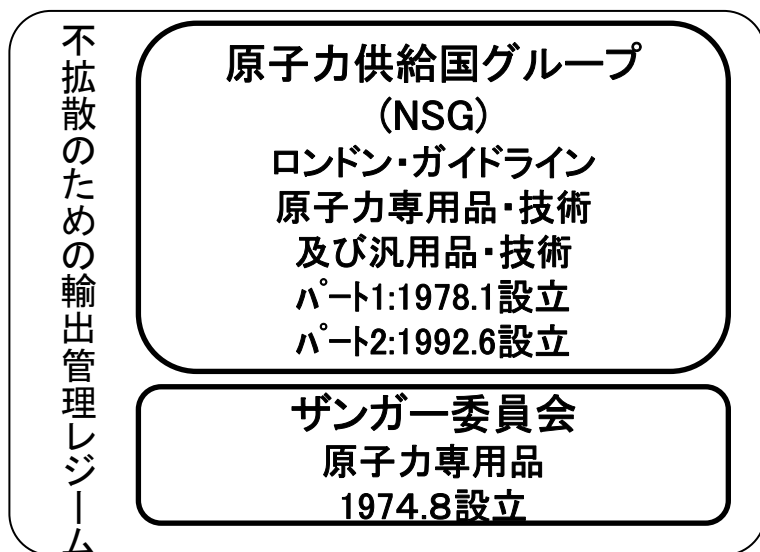
INPROとGEN IVの特徴比較

対象	目的	目標	評価の方法
<p>INPRO</p> <p>革新的原子力システムに関心のある全ての国</p>	<p>革新的原子力システム (INS)において十分な抵抗性措置が達成されていることの確認の手引き、PRを強化する方法に関するガイダンスの提供</p> <p>原子力発電プログラムの導入を計画、保有または拡大している国へのガイダンスの提供</p>	<p>革新的原子力システム (INS)が核兵器計画のための核分裂性物質獲得に対して魅力のないものであることが保証できるように、INSの全寿命を通して核拡散性抵抗性の内在的特性と外在的措置が組み込まれること。</p>	<p>属性評価（抵抗性措置項目別に評価）</p> <p>原子力システムが核兵器製造目的に悪用されないための措置（非魅力化）についての要件（UR）、指標（IN）、許容レベル（AL）を定め評価。サイクル全体あるいは、個々のプロセスについて評価する。</p> <p>定性的評価</p>
<p>GEN IV PR&PP WG</p> <p>GEN IV参加国</p>	<p>内在的特性及び外在的措置間の相互作用を解明し、それらの相互作用を検討し、そして最適設計に導くこと（設計時に）</p> <p>具体的な設計に反映すること(設計者)</p>	<p>GEN IV原子力システムは、兵器利用物質の転用や盗取に対して非常に非魅力的で、望ましくないルートであるという確証を高め、テロの行為に対してより高い物理的防護を提供するものとする。</p>	<p>システム応答評価対象とする原子力システムについてサイクル全体を対象に、脅威毎にパスウェイ解析を行い強さ弱さを評価</p> <p>定量的評価</p>

INPROとGEN IVの特徴比較(続)

対象	具体的な評価手段	許容レベル														
<p style="text-align: center; color: green; font-weight: bold;">INPRO</p> <p>革新的原子力システムに関心のある全ての国</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">基本原則 (BP)</th> <th style="width: 25%;">ユーザー要件 (UR)</th> <th style="width: 60%;">評価基準 (CR)・評価指標 (IN)・許容限度 (AL)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;">基本原則 (BP)</td> <td>UR 1 国のコミットメント:</td> <td>CR 1.1 法的枠組み (国際標準に合致) CR 1.2 制度的処置 (制度的処置済み)</td> </tr> <tr> <td>UR 2 魅力度:</td> <td>CR 2.1 核物質の質 CR 2.2 核物質量の魅力度 CR 2.3 核物質の形態 CR 2.4 核技術</td> </tr> <tr> <td>UR 3 転用困難性・検出能力</td> <td>CR 3.1 計量 CR 3.2 封印監視手段 CR 3.3 核物質の検出可能性 CR 3.4 プロセス変更の困難性 CR 3.5 施設設計変更の困難性 CR 3.6 不正使用検出可能性</td> </tr> <tr> <td>UR 4 多重障壁</td> <td>CR 4.1 多重の内在的特性・外材的措置 CR 4.2 障壁の堅牢性</td> </tr> <tr> <td>UR 5 設計最適化:</td> <td>CR 5.1 設計への反映 CR 5.2 対策のコスト CR 5.3 検証アプローチ</td> </tr> </tbody> </table> <p style="color: red; font-weight: bold;">評価項目ごとに採点もしくはチェックを行う。</p>	基本原則 (BP)	ユーザー要件 (UR)	評価基準 (CR)・評価指標 (IN)・許容限度 (AL)	基本原則 (BP)	UR 1 国のコミットメント:	CR 1.1 法的枠組み (国際標準に合致) CR 1.2 制度的処置 (制度的処置済み)	UR 2 魅力度:	CR 2.1 核物質の質 CR 2.2 核物質量の魅力度 CR 2.3 核物質の形態 CR 2.4 核技術	UR 3 転用困難性・検出能力	CR 3.1 計量 CR 3.2 封印監視手段 CR 3.3 核物質の検出可能性 CR 3.4 プロセス変更の困難性 CR 3.5 施設設計変更の困難性 CR 3.6 不正使用検出可能性	UR 4 多重障壁	CR 4.1 多重の内在的特性・外材的措置 CR 4.2 障壁の堅牢性	UR 5 設計最適化:	CR 5.1 設計への反映 CR 5.2 対策のコスト CR 5.3 検証アプローチ	<p style="color: red; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Acceptance Limit (AL) : に対応して設定</p> <p>要件に関連するコンプライアンス/ギャップの確認</p> <p>(ただし多くのALが専門家による判断に委ねられている)</p>
基本原則 (BP)	ユーザー要件 (UR)	評価基準 (CR)・評価指標 (IN)・許容限度 (AL)														
基本原則 (BP)	UR 1 国のコミットメント:	CR 1.1 法的枠組み (国際標準に合致) CR 1.2 制度的処置 (制度的処置済み)														
	UR 2 魅力度:	CR 2.1 核物質の質 CR 2.2 核物質量の魅力度 CR 2.3 核物質の形態 CR 2.4 核技術														
	UR 3 転用困難性・検出能力	CR 3.1 計量 CR 3.2 封印監視手段 CR 3.3 核物質の検出可能性 CR 3.4 プロセス変更の困難性 CR 3.5 施設設計変更の困難性 CR 3.6 不正使用検出可能性														
	UR 4 多重障壁	CR 4.1 多重の内在的特性・外材的措置 CR 4.2 障壁の堅牢性														
	UR 5 設計最適化:	CR 5.1 設計への反映 CR 5.2 対策のコスト CR 5.3 検証アプローチ														
<p style="color: green; font-weight: bold;">GEN IV PR&PP WG</p> <p style="text-align: center;">GEN IV参加国</p>	<p>脅威シナリオ例 (再処理からの転用)</p> <p style="color: red; font-weight: bold;">脅威に対して弱点を特定しその程度を評価する。</p> <p>[評価指標] 核拡散の技術的困難性 (TD) 拡散コスト (PC) 拡散時間 (PT) 核分裂物質のタイプ (MT) 検知確率 (DP) 検知リソースの効率 (DE)</p> <div style="text-align: center;"> </div>	<p style="color: red; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">設定なし</p> <p>今後検討していく</p>														

国際的な制度枠組み



新しい多国間不拡散レジーム

PSI、MNA、GTRI、GNEP、国連決議1540、G8サミットなど

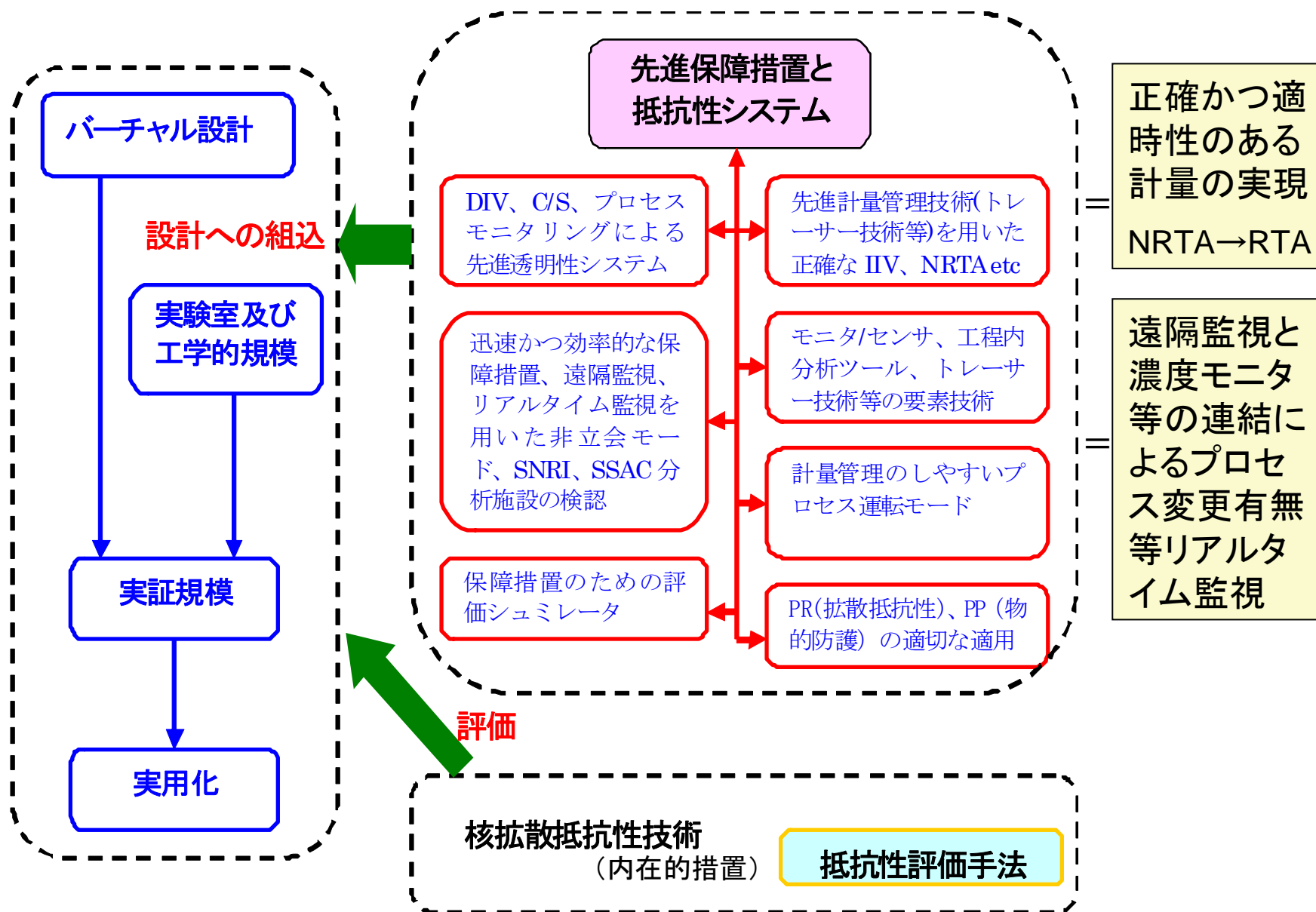
注:「核不拡散」という用語は、「核兵器の水平拡散の防止(非核兵器国への核の拡散防止)」及び、「垂直拡散の防止(核兵器国の核軍縮)」の両方の意味で用いられる。

保障措置の効果

- 国際保障措置の目的は、有意量の核物質の、平和目的の原子力活動から核兵器またはその他の核爆発装置の製造への転用を適時に検知することおよび、早期検知のリスクによってそのような転用を抑止すること(計量管理、封じ込めおよび監視、査察／現場検証、そして情報の評価から成る)。
- このような状況にある保障措置システム*は抵抗性措置の中でも強力かつ信頼性の高いものである。

(* 有意量の核物質転用を適時に検知できるシステム)

大規模先進核燃料サイクルにおける高検知能保障措置システム



技術的困難性

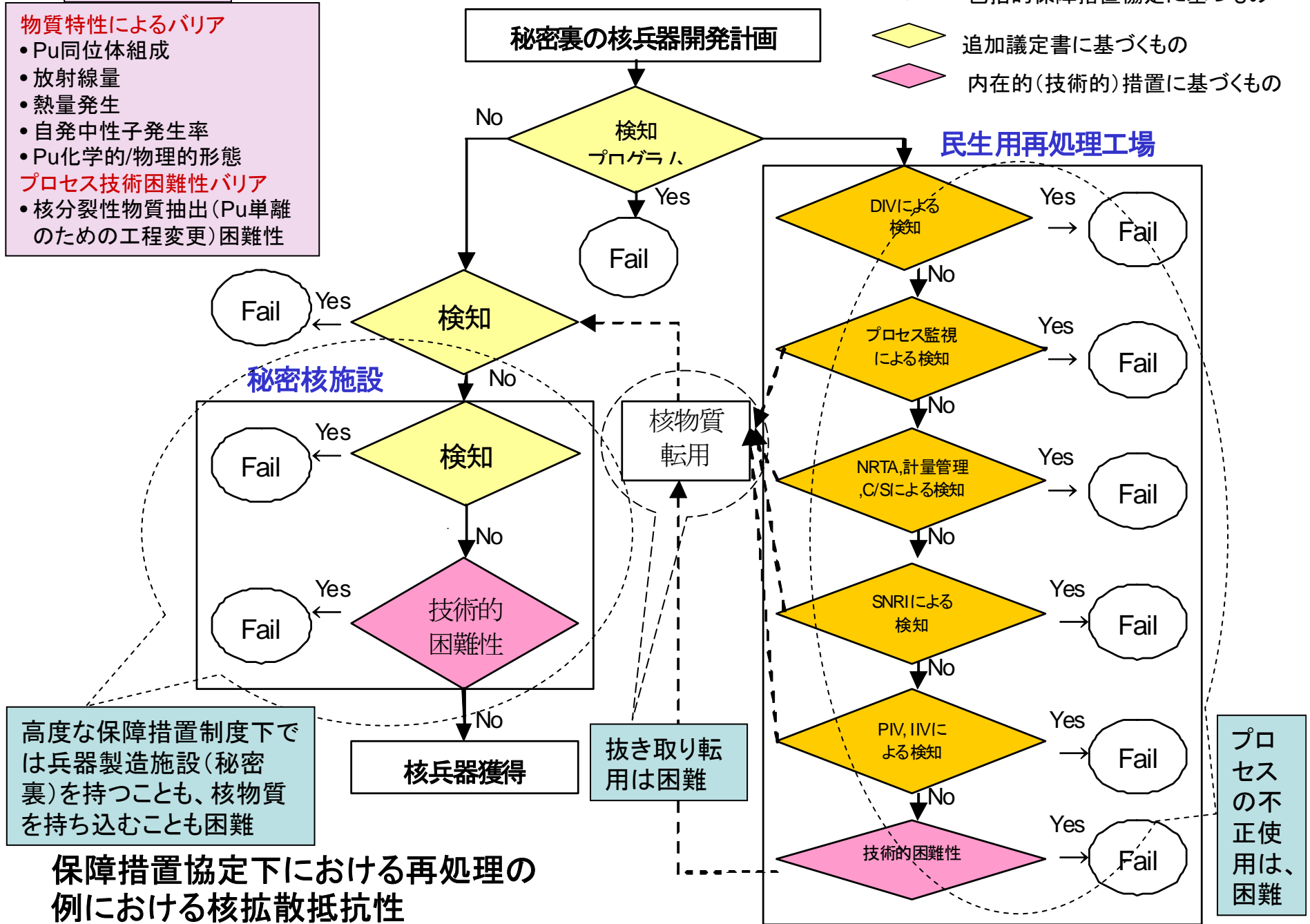
物質特性によるバリア

- Pu同位体組成
- 放射線量
- 熱量発生
- 自発中性子発生率
- Pu化学的/物理的形態

プロセス技術困難性バリア

- 核分裂性物質抽出(Pu単離のための工程変更)困難性

- 包括的保障措施協定に基づくもの
- 追加議定書に基づくもの
- 内在的(技術的)措置に基づくもの



保障措施協定下における再処理の例における核拡散抵抗性

設計において考慮すべき抵抗性対策イメージ

INPRO

国のコミットメント (UR 1)
核物質と技術の魅力度 (UR 2)
転用困難さと検出可能性 (UR 3)
多重障壁 (UR 4)
設計の最適化 (UR 5)

GEN IV

核拡散の技術的困難性 (TD)
拡散コスト (PC)
拡散時間 (PT)
核分裂物質のタイプ (MT)
検知確率 (DP)
検知リソースの効率 (DE)

経済的合理性のある設計

キーとなる抵抗性対策 (バリア)

1. 転用検知・不正使用検知によるバリア
2. プロセス(変更)の困難性によるバリア
3. 物質的特性によるバリア

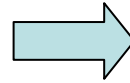
主な効果

- 適時に転用検知
- 転用/兵器製造を遅らせる

潜在的に転用の意志を持つ国家 において考えられる転用ケース

= 「国際制度に入らないで燃料サイクル確立」ケースは考えない

a) 制度を保持しつつ抜き取るケース



- △ 抜き取り後、秘密裏施設でPu単離、兵器へ
- △ プロセス変更でPu単離、秘密裏施設で兵器へ

b) 制度からの脱退のケース



- プロセス変更でPu単離、兵器へ

テロリストにより襲われるケース



- 抜き取り後、秘密裏施設でPu単離、兵器へ
- プロセス変更でPu単離、兵器へ

対策

- a) 高レベルの保障措置等制度下にあれば高い確率で検知されるため実現可能性は低い: 保障措置の強化で対応可。
- b) これに対する対策としては(兵器製造への大幅な時間的遅延)
- 1) 脱退後もPu単離ができないプロセス(プロセス変更不可、または変更しても単離Puを得ることができないもの)
 - 2) 単離されても兵器としての価値を有さない、又は低いPuであること(Puフィッサイルが低い、Pu-238含有率が高い、など)。

テロリスト: 単離困難、低価値Pu、接近困難/取り扱い困難など

日米関係における保障措置と抵抗性

- ・ 日米原子力協力協定が1955年に締結、保障措置の適用、随時の観察、管轄外移転の事前同意、返還請求権など供給国の一方的かつ縛りの強い内容。核不拡散法を1978年に発効させ、核不拡散に対する強い姿勢を示す。
- ・ 1977年の東海再処理工場運転に際しては、日米再処理交渉を受けて混合転換を導入するという結果に導くなど、わが国の原子力計画に大きな影響を与えた。しかし、1988年に日米原子力協力協定の内容の改定により再処理施設が包括同意（あらかじめ一定の条件を定め、その枠内で一括して承認するという包括同意方式）の対象となるなど、INFCEの結論がだされた1980年以降は、原子力分野における良好な協力関係を維持
- ・ 2004年3月、六ヶ所再処理工場は、附属書4に掲げる「建設中の施設」から附属書1に掲げる施設へと変更。この格上げ交渉においても、INFCE等で議論となった混合抽出(プルトニウム・ウランの共抽出)を採用することなく、米政府、議会レベルで大きな争点ともなっていない。このことは、日本の原子力利用に対する米政府・議会に対する理解促進の働きかけに加えて、日本の核燃料サイクル施設に対するIAEA保障措置の実績や、米国の国立研究所を巻き込んだ保障措置機器開発の成果、核テロ等に対抗する核物質防護の強化等によって、日本の原子力利用に対する信頼が高まったことが要因。

日米関係における保障措置と抵抗性(続)

- ・ 現状の日米の原子力利用を取り巻く情勢は日米再処理交渉の頃とは異なっており、今後、短中期的に、我が国の原子力利用計画に大きな影響を与えるような圧力が米国からかかる可能性は、低いものと推察できる。
- ・ ただし、今後も原子力における日米関係を良好に維持すること、核物質転用の疑惑やIAEA保障措置目標の未達成、核テロ・核物質防護の不備など不信を与えるような事象が発生しないよう引き続き注意を払うことが重要。
- ・ さらに、現行の日米原子力協定が2018年に期限切れ。新たな協定の議論に際して、上記のマイナス要素が少なければ、現行協定の維持あるいは現行協定の改善が行われ、その後も、原子力分野における日米の良好な関係を維持可能。
- ・ そのためにも、理解促進の働きかけ等に加えて、①IAEA保障措置協定の義務を履行し、転用、未申告活動等がないことの保証を得ていく、②核テロ等に対抗する、適正な核物質防護措置の適用、③核拡散抵抗性の向上及び透明性の向上に対する取り組み姿勢を示す、④多国間管理等の新たな核不拡散の枠組みの議論への参加といった、核不拡散上の信頼を維持する取り組みが重要。
- ・ 近年の核拡散抵抗性の必要性についての議論の高まり、および現実的には核不拡散についてはその時々、政治的な状況に依存するため、「核拡散抵抗性の高い技術」が要求される可能性がある。
- ・ また「高速増殖炉およびその燃料サイクル」という場合は、上記とは異なった扱いとなる可能性も高く、予断を許さない。「核拡散抵抗性」の考え方は、政権交代に影響されることなく広く米国に支持されている核不拡散概念である。

原子力政策大綱（関連部分）

- 我が国は、今後も、原子力利用を厳に平和の目的に限って推進し、国際的な核不拡散制度に積極的に参加し、IAEA保障措置及び国内保障措置の厳格な適用を確保していくべきである。
- 核不拡散に関しては、未申告の核物質及び原子力活動を容易に探知し得る環境を整えるため、世界各国にIAEAとの包括的保障措置協定及びその追加議定書の締結を求めるとともに、軍事転用を探知するための高度な計量管理技術や転用を困難にする核拡散抵抗性技術の開発等を推進する。

結論

- 有意量の核物質転用を適時に検知できる保障措置システムは抵抗性措置の中でも強力かつ信頼性の高いものである。そのためには、追加議定書の（燃料サイクル導入計画国への）義務化が重要
- 核燃料サイクルに対する不拡散対策として、従来からの保障措置等「制度」に基づく対策だけでなく、原子力システム自身に内在するような「技術的な抵抗性」をもたせることが求められている。
- 設計に際しては、1) 転用検知・不正使用検知によるバリア、2) プロセス(変更)の困難性によるバリア、3) 物質的特性に依るバリア、の観点から経済合理性のある範囲で抵抗性対策を組み込むことが重要。具体的な考え方としては（例）、
 - 原子力システムが高い転用検出能を有すること(先進保障措置)
 - Pu単離が困難なプロセスの設計、扱いが困難な物質にすること、
 - 仮に単離されても兵器としての価値の低いPuであること。
- 以上のような点を考慮した核拡散抵抗性パッケージ（クライテリア）を検討するとともに、それを組み込んだ原子力システムを国際標準(Norm)としてつくりあげることが重要。