

# Measures Against Proliferation Risk On Closed/Open Fuel Cycle

クローズドおよびオープン燃料サイクルにおける  
核拡散リスクへの対応策

Y. Kuno/JAEA

# General Proliferation Concerns on Reprocessing

## 再処理における核拡散の一般的懸念

—Is there sufficient Safeguardability in commercial scale reprocessing plant?

商用規模の再処理において十分な保障措置がなされているか。

For the example of Rokkasho Reprocessing case, the effective/efficient SSAC based on state-of-the-art Safeguards technologies is implemented. Together with the applications of Integrated Safeguards (IS) and State-Level Approach (SLA), State as a whole, Safeguards conclusion is drawn.

最先端の保障措置技術をベースにした効果的・効率的な国内保障措置制度が導入されている。統合保障措置および国全体としての国レベル保障措置アプローチの適用も併せ、保障措置結論が導出される。

—Is there Realistic Security Concern on civilian use Pu theft /terrorism ?

プルトニウム民政利用に係る核テロ(プルトニウムの盗取/テロ)は現実的に大きなセキュリティ懸念か。

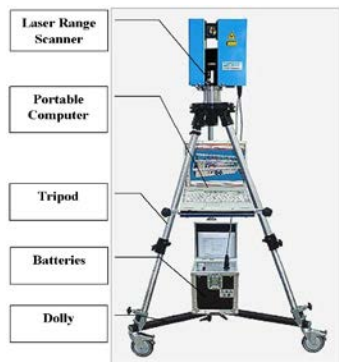
Probably Yes, but MOX-form and Reactor Grade Pu may be less attractive for terrorism, although strong security is essential regardless of weapon / non-weapon states.

恐らくYesであろうが、テロリズムにとってMOX化された原子炉級のプルトニウムの魅力度は兵器級金属Puに比べれば高くないかもしれない(核兵器国、非核兵器国を問わず、強いセキュリティは不可欠であるが)。

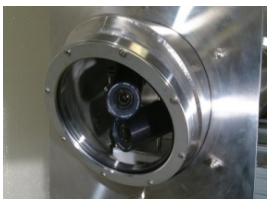
# Safeguards for Rokkasho Reprocessing Plant

## 六ヶ所再処理工場の保障措置

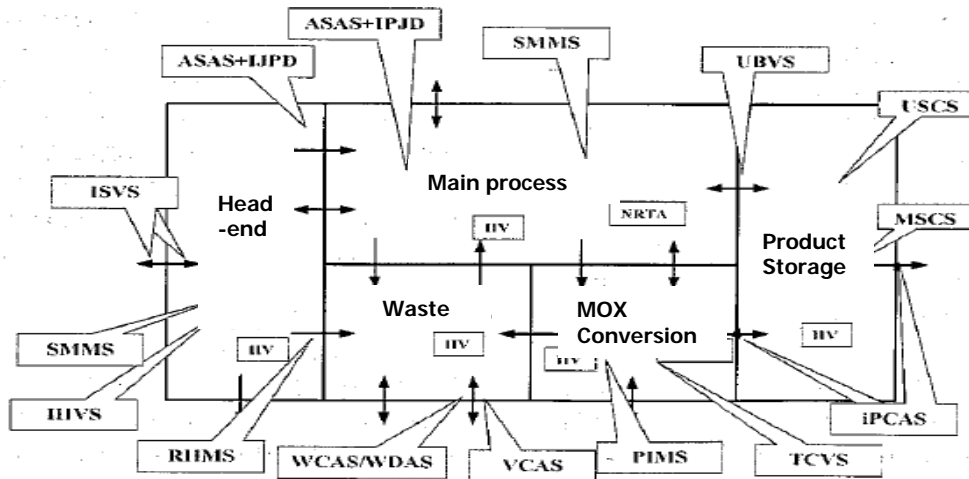
- DIQ/DIV (Design Information Questionnaire /Verification) 設計情報検認
- Dual C/S (Containment / Surveillance; Cameras, Radiation Detectors) 封込め監視
- Process Monitoring (Hull Monitoring, Solution Monitoring, Process Monitoring, Measurement System etc) プロセスモニター(ハル・溶液移送・プロセス在庫用)
- NRTA (Near Real Time Accountancy) ニア・リアルタイム計量法
- Unattended Mode Inspection, Centralized Collection of Inspection Data 非立会モード査察、中央査察データ集約
- Various NDAs (Non-destructive Assays) さまざまな非破壊測定系
- Advanced Accountancy System 先進的な計量システム
- On-Site-Laboratory (Rapid Verification Measurement) オンサイト査察分析所



3D laser scanning device for DIV



Camera/Radiation of IHVS



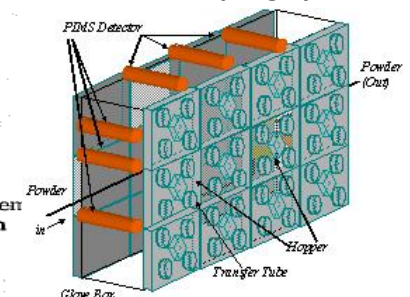
注)

ISVS : Integrated Spent fuel Verification System  
 IHVS : Integrated Head-end Verification System  
 ASAS : Automatic Sampling Authentication System  
 WCAS : Waste Crate Assay System  
 VCAS : Vitrified Canister Assay System  
 TCVS : Temporary Canister Verification System  
 MSCS : MOX Storage C/S System  
 USCS : Uranium Storage C/S System

SMMS : Solution Monitoring and Measurement System  
 RHMS : Rokkasho Hulls Drum Measurement System  
 IJPJD : Inspector Jug Passage Detector  
 WDAS : Waste Drum Assay System  
 PIMS : Plutonium Inventory Measurement System  
 iPCAS : Improved Plutonium Canister Assay System  
 UBVS : Uranium Bottle Verification System



On-Site-Laboratory with Automated Sampling System



PIMS on Glove Boxes

# Pursuing Change in Safeguards

## 保障措置の変化への追及

- Move further away from narrow, prescriptive, criteria-driven implementation focused at facility-level, towards safeguards implementation focused at the State-level
- More focused, adaptable safeguards implementation
- (施設レベルにおいて、狭く、規範的で、クライテリアに左右される保障措置の実施から、国レベルにフォーカスした保障措置への移行)
- より重点の置かれた、順応性のある保障措置の実施へ

# Implication of Nuclear Nonproliferation on Closed Fuel Cycle (Reprocessing) and Open Cycle (Direct Spent Fuel Disposal)

## クローズドサイクル(再処理)とオープンサイクル(使用済み燃料直接処分)における核不拡散の意味合い

- Reprocessing-Advantages: Long term - less proliferation risk (reduction of waste volume and toxicity, energy security)
- Reprocessing-Disadvantages: Short term - proliferation risk (short term: recycle cost)
- Direct disposal-Advantages: Short term - Less proliferation risk (save recycle cost – short term)
- Direct disposal –Disadvantages: Long term: Increase in need on safeguards/security (larger waste volume and toxicity)
- 再処理-長所: 核拡散リスク軽減-長期的観点(廃棄物減容、毒性軽減、エネルギーセキュリティ)
- 再処理-短所: 核拡散リスクが高い-短期的観点(高コスト-短期的)
- 直接処分-長所: 低い核拡散リスク-短期的観点(低コスト-短期的)
- 直接処分-短所: 保障措置・セキュリティ措置ニーズの増大-長期的観点(廃棄物容量大、毒性高)

# Implication of Nuclear Nonproliferation on Closed Fuel Cycle (Reprocessing) and Open Cycle (Direct Spent Fuel Disposal)

## クローズドサイクル(再処理)とオープンサイクル(使用済み燃料直接処分)における核不拡散の意味合い

- ◆ Proliferation risk in reprocessing is regarded “high”, since Pu is more or less separated in any form. However, total amount of Pu that human being produces would be consumed in series by burning recovered Pu. In the end of atomic energy era, amount of remaining Pu in all SFs to be disposed should be much smaller than that of direct disposal option. In addition, quality of final Pu would be lower that practically unusable for weapon (smaller fraction of Pu-239).
- ◆ Proliferation risk in direct disposal is regarded “low”, since Pu is present in high radiation Fission Products (FPs) . However, Pu in SF from e.g. LWR will be isolated together with only in long term. Quality of such Pu will come close to higher grade. Concerns on Safeguards and Security risk will increase with time.
- ◆ .再処理の核拡散リスクは、プルトニウム (Pu)がMOXであれ分離Puであるため一般に高いとされる。しかし、回収したPuを燃焼により消費していけば、原子力利用終焉時には、廃棄すべき全残存Pu量は直接処分に比べ大幅に小さい。また最終的に残存するPuの質(核分裂性Puの割合)も低下するため、長期的にみれば全体として核不拡散に繋がる。
- ◆ 直接処分の核拡散リスクは、高放射性の核分裂生成物 (FP)と共に存在するため、一般に低いとされる。しかし、FPはその大部分が短半減期の理由で消失し、最終的には低放射性のPuが(Uと共に)残存する。一方、Puの質は徐々に高まる。結果的に、SF直接処分における核拡散・セキュリティ懸念は時間とともに増大する。

# Long term radio-toxicity of standard PWR spent fuel vs cooling time

PWR標準使用済燃料の放射能毒性-冷却期間の長期的時間変化

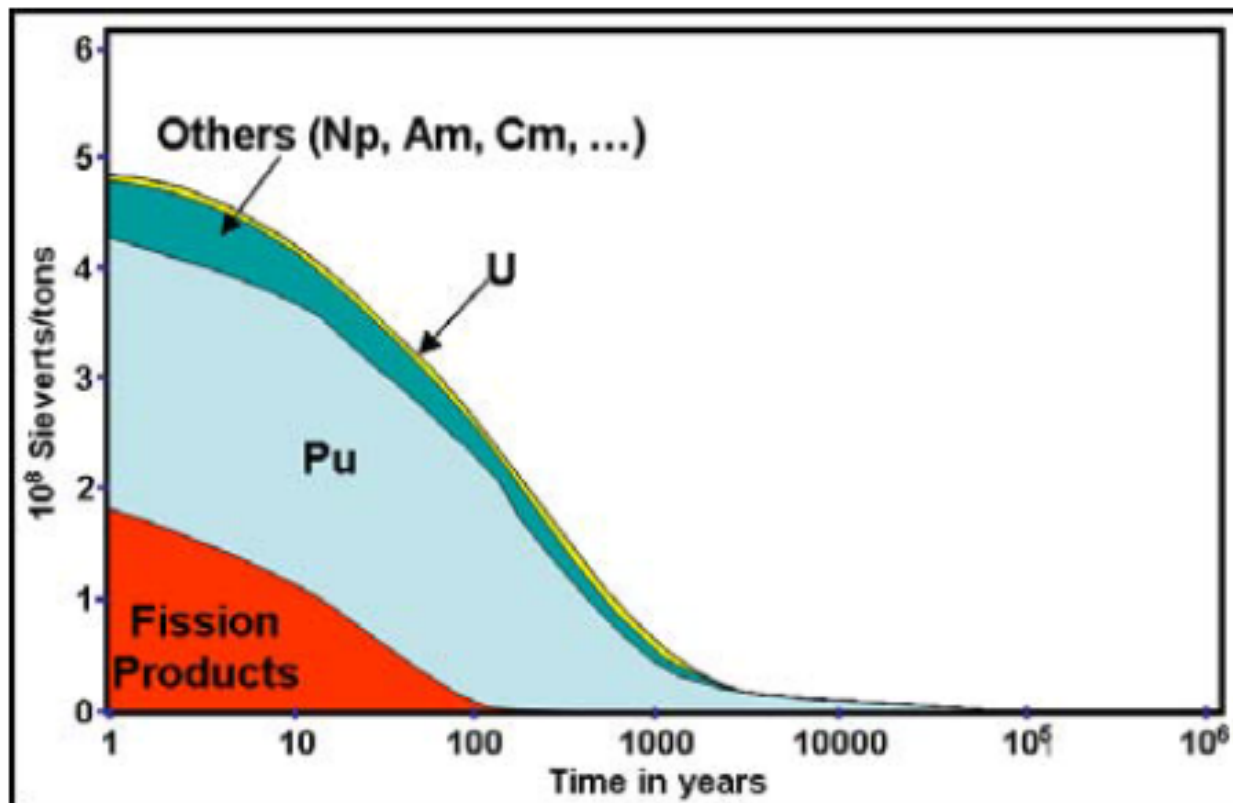


Figure 4. Potential radiotoxicity vs. cooling time.

Spent Fuel Reprocessing Options, IAEA-TECDOC-1587, August 2008



# 米国におけるプルトニウムのグレード分類 の議論 Discussion on Graded Pu in USA (I)

核物質獲得プロセス Acquisition of Materials



核物質転換プロセス(金属へ) Conversion (to Metallic Phase)



核兵器製造プロセス Weaponization

$$FOM = 1 - \log \left( \frac{M}{800} + \frac{Mh}{4500} + \frac{M}{50} \left[ \frac{D}{500} \right]^{\frac{1}{\log 2}} \right)$$

FOM = 核物質の魅力指数 Figure Of Merit (Material Attractiveness)

M = 金属Puの最低臨界質量 Bare Critical Mass of e.g., Pu (kg)

h = Heat Generation from Nuclear Material (e.g. Pu) 金属Puの発熱量 (W/kg)

D = 対象物質から1m離れた地点の放射線量 Dose at 1m from the Material (rad/h)



# 米国におけるプルトニウムのグレード分類 の議論 Discussion on Graded Pu in USA (II)

FOM	Weapons Utility	Attractiveness	Attractiveness Level†
> 2	Preferred	High	~B
1-2	Attractive	Medium	~C
0-1	Unattractive	Low	~D
< 0	Unattractive	Very Low	~E

- Desirable FOM designations are **L**ow and very low.
- Undesirable FOM designations are **H**igh and **M**edium.

† “Nuclear Material Control and Accountability,” U. S. Department of Energy manual DOE M 470.4-6 Chg 1 (August 14, 2006).

‡ Depleted, Enriched, and Normal Uranium; <sup>233</sup>U; <sup>238</sup>Pu; <sup>239</sup>Pu; <sup>240</sup>Pu; <sup>241</sup>Pu; <sup>242</sup>Pu; <sup>241</sup>Am; <sup>243</sup>Am; Bk; <sup>252</sup>Cf; Cm; <sup>2</sup>H; Enriched Lithium; <sup>237</sup>Np; Th; <sup>3</sup>H; and Uranium in Cascades.

# Conclusion: Nonproliferation/Safeguards : Reprocessing and Direct Disposal

## 結論：再処理および直接処分の核不拡散/保障措置

- From RRP' example, it can be said that Nuclear Non-Proliferation (NNP) for reprocessing as “sensitive technology” can be accomplished by institutional system such as high level safeguards/security.

六ヶ所再処理の例のように機微技術に対し、高いレベルの保障措置/セキュリティなど制度的対策により核不拡散は達成できる。

- NNP for SF direct disposal where required level of safeguards/security should increase with time in long-term. No one may be able to guarantee NNP for SF direct disposal with such institutional systems.

一方、使用済み燃料直接処分では、短期的には拡散リスクが低いが、時間とともにリスクが増大。長期レンジ(千年~10万年)にわたる制度的対策の持続は保証できるか？

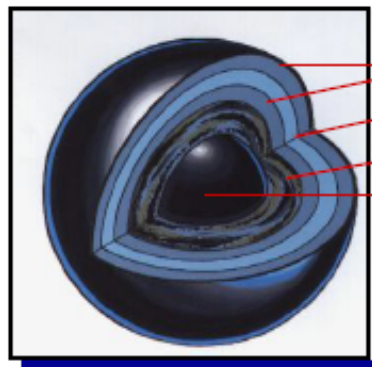
May desire to consider Proliferation Resistance for Spent Fuel disposal

使用済燃料の(直接)処分には核拡散抵抗性(例えば物質の魅力度を下げる)の考慮が望まれる。

# Potential Techniques for future Pu Burn/Consumption プルトニウムの非常に高い燃焼/消費 達成の可能性のある技術

Example1

## Deep-Burn of TRISO Fuel at HTGR 高温ガス炉によりTRISO燃料を用いた高燃焼 (90 ~ 120 GWD/MT)



Pyrolytic Carbon  
Silicon Carbide or Zirconium Carbide  
Porous Carbon Buffer  
Uranium Oxide or Uranium Oxycarbide

TRISO Coated fuel particles (left) are formed into fuel rods (center) and inserted into graphite fuel elements (right).



Initially charged Pu-239 > 50% (初期Pu239は50%以上)  
Pu-239 at discharge < 10% (最終的Pu239は10%以下)

# Potential Techniques for future Pu Burn/Consumption

プルトニウムの非常に高い燃焼/消費 達成の可能性のある技術

## Burn rock type Pu fuels at normal LRW

Example 2

### 岩石型Pu燃料の軽水炉による燃焼

Fuel: PuO<sub>2</sub>+UO<sub>2</sub> (1:2) +YSZ (Pu: solid solution with Y-stabilized Z) Burn at LWR with U

燃料: PuO<sub>2</sub>+UO<sub>2</sub> (1:2) +YSZ(イットリア安定化ジルコニア)に固溶したもの。ウラン系燃料と組み合わせて軽水炉で燃焼



YSZ Pellet

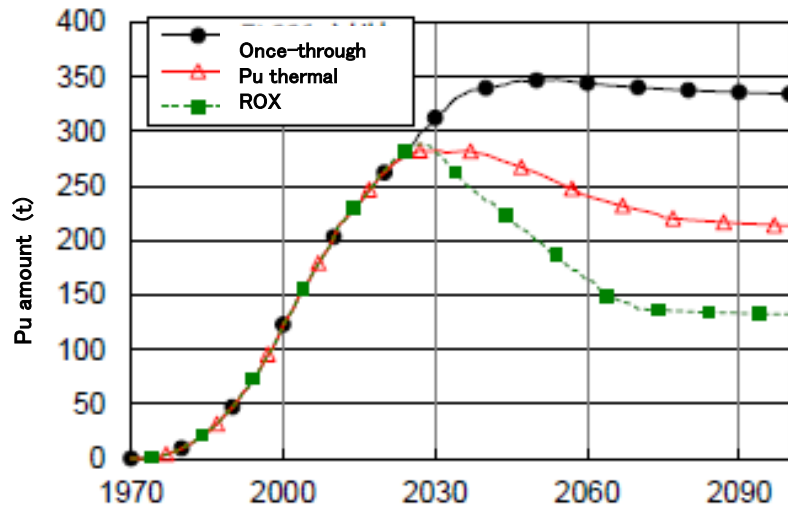


Fig. Comparison of finally Produced Pu (残存するPu量)

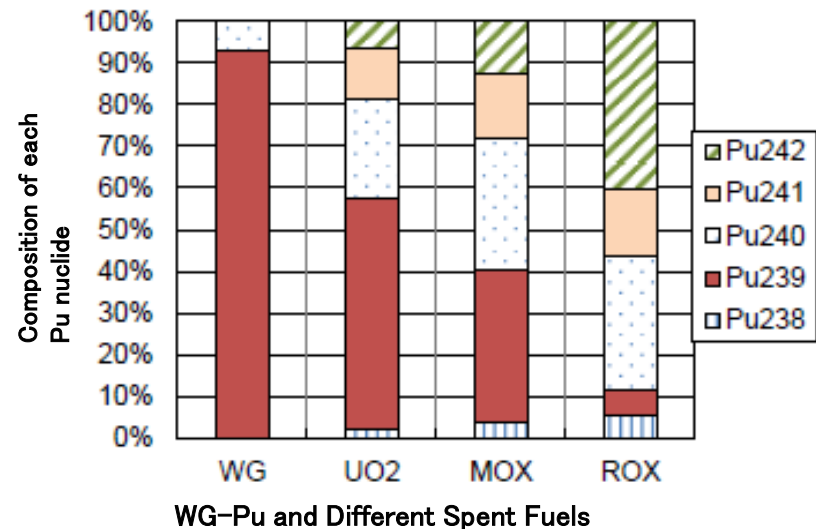


Fig. Comparison of Pu composition (Pu同位体組成の比較)

Nishihara et al. Atomic Energy Society of Japan, Hiroshima, Sep 2012

Thank you for your attention.