

P³ 計画と
「Protected Plutonium Utilization for Peace
and Sustainable Prosperity」に関する
第 1 回国際科学技術フォーラム

東京工業大学 原子炉工学研究所

齊藤 正樹

msaitoh@nr.titech.ac.jp

1. P³ 計画ってなに？

(1) プルトニウムの核拡散抵抗性 (Pu238 の役割)

原子力の平和利用を地球規模で円滑に進めて行くためには、核不拡散に向けた国際的信頼性の確立に努めることが不可欠である。このためには、核物質の全てについて、平和利用を担保するための「保障措置」及び「核物質防護措置」の実施は当然重要ではあるが、これらは、基本的には国際的信頼性に基づく約束ごとで、本質的な意味における核不拡散の問題の解決策ではない。

国際的な破壊行為をする集団や国家に対しては何の抵抗力もない。より本質的に重要なのは、使用する核物質そのもの自身が、核拡散に対して固有の強い防護特性（核拡散抵抗性）を有することであり、平和利用以外には物理的に転用不可能な核物質に変換することである。

例えば、プルトニウム 238 は核兵器の材料であるプルトニウム 239 と核拡散抵抗性の観点から比較すると、プルトニウム 238 は 1kg (約 50cm³) 当り約 560 ワットの崩壊熱を放出する。これはプルトニウム 239 の約 300 倍の熱を自然に放出することを意味する。このため、プルトニウム 238 は、月面探査のアポロ計画、太陽圏外へ飛び出していったパイオニア計画、火星探査のバイキング計画、木星や土星から海王星までを探査するヴォイジャー計画、最近では土星のリング探査のカッシーニ計画さらには火星の地上探査機用等の原子力電池の熱源として利用されてきた。このように、多くの熱量を自然に発生するプルトニウム 238 は、常に冷やしておかないと、プルトニウム自身が溶けはじめたり、また、周囲の材料（核兵器の場合は、高速爆縮するための爆薬等）や機器に大きな悪影響を及ぼすため、軍事転用は非常に困難な物質である。

さらに、プルトニウム 238 は 1g 当り 1 秒間に約 2600 個の自発核分裂中性子を自然に放出する。これはプルトニウム 239 の約 13 万倍である。自発核分裂中性子を多く放出す

るプルトニウム 238 は、一箇所に集めようとする、それに抵抗して、早期に自ら分散してしまう傾向が強いため、熱工学の観点のみならず核反応工学の観点からも軍事転用は非常に困難な物質である。

IAEA の報告^(注1)によると 80%以上のプルトニウム 238 を含むプルトニウムは、保障措置の対象から免除されている。また、3月に東京工業大学で開催された本国際科学技術フォーラムでは、プルトニウム 238 の含有率が 10 数%以上であれば、軍事転用は困難であるという議論もなされた。現行軽水型原子炉から取り出される使用済み燃料中のプルトニウム 238 の含有率は約 1~2%程度である。

それでは、如何にして原子炉で強い固有の核拡散抵抗性を持つプルトニウム 238 を多く含むプルトニウムを作ることができるか？

(2) マイナーアクチニドはゴミですか？

マイナーアクチニド (MA) とは、超ウラン元素のうちのプルトニウムを除いたもの、すなわちネプツニウム (Np)、アメリシウム (Am)、キュリウム (Cm) 等の総称であるが、国際原子力機関 (IAEA) の報告^(注2)によると、原子力発電所から取り出された使用済み燃料中に含まれるマイナーアクチニドは、2000 年現在で、世界に約 136 トンある。そのうち約 25 トンは再処理され、高レベル廃棄物として保管されている。その量は 2020 年には 123 トンに増加すると予測されている。

これらのマイナーアクチニドは、現在、わが国では、高レベル放射性廃棄物として地層処分の対象とされている。しかし、マイナーアクチニドは確かに放射性物質であるが、本当に廃棄物なのだろうか？

例えば、現行の軽水型原子炉から取り出される使用済み燃料中のマイナーアクチニドの約半分を占めるネプツニウム 237 は、特に熱中性子領域では大きな中性子捕獲断面積を持ち、中性子をよく吸収する。中性子を吸収するとネプツニウム 238 を経て、プルトニウム 238 に核変換する。

また、残り約半分のマイナーアクチニド (アメリシウム、キュリウム) は、例えば、前述のネプツニウム 237 よりもっと大きな中性子捕獲断面積を持つアメリシウム 241 は、原子炉内で中性子を吸収すると、アメリシウム 242 を経て、キュリウム 242 に核変換される。このキュリウム 242 は半減期約 163 日で α 崩壊して、プルトニウム 238 に核変換する。

また、このとき、ネプツニウム 237 やアメリシウム 241 は原子炉の初期の余剰反応度を抑える可燃性毒物として効果的に働く能力も持つため、炉心の長寿命化に貢献する。

このように現在高レベル放射性廃棄物の対象とされているマイナーアクチニドをウラン燃料に少量添加することにより、発電しながら、どのような燃焼度のタイミングで取り出しても使用済み燃料中にプルトニウム 238 を常に多く含む強い固有の核拡散抵抗性を有するプルトニウムを生成 (Protected Plutonium Production : PPP (図 1 参照)) するこ

とが可能となる。同時に高レベル放射性廃棄物が低減されている。また、マイナーアクチニドの可燃性毒物の効果を活用すると、燃料交換回数の少ない（例えば、10年に1回の燃料交換でよい）長寿命の新しい原子炉が作れる可能性がある。

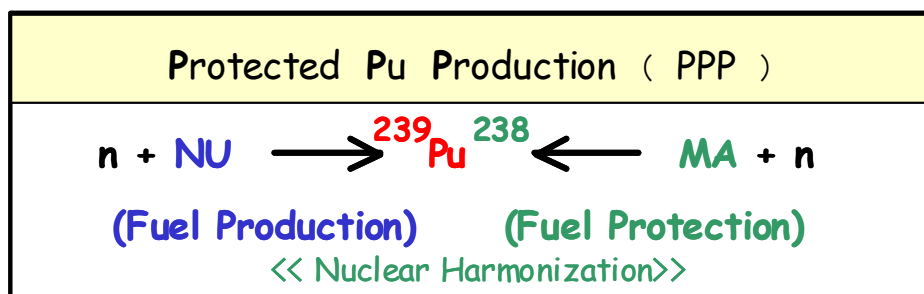


図1 Protected Plutonium Production (PPP) 概念の基本原則

(3) ゴミから宝へ

以上述べたように、マイナーアクチニドは決してやっかいな「ゴミ」ではなく、貴重な「宝」として将来の人間社会の繁栄を支えるものである。このようにして生成される強い核拡散抵抗性を有するプルトニウムは軍事転用が困難であるため、将来のエネルギー危機に備えて、寧ろ「積極的に備蓄する」ことが可能となり、将来の我国の原子力政策に大きな「柔軟性」を付与する。

このような役目を持つ新しい軽水型原子炉は、高レベル放射性核廃棄物の低減のみならず、地球規模での積極的な原子力平和利用の促進、すなわち海外輸出等新たな市場や用途の可能性を拓くものである。さらには地球規模での原子力の平和利用の促進は世界のエネルギーの安全供給や地球環境保全、人類社会の持続可能な発展に貢献するであろう。

昨年6月に国際原子力機関（IAEA）で開催された国際会議「International Conference on Innovative Technologies for Fuel Cycles and Nuclear Power」のサマリーセッションにおいて、本PPPに関する論文に対して、“It (=PPP) would open the possibility for plutonium to be an energy treasure laid by present society as a message and gift to future generations”の特別声明がなされた。このPPPは我々の世代が将来の世代に贈るメッセージである。

プルトニウムを巡って、最近、国際原子力機関のエルバラダイ事務局長やブッシュ米国大統領が提案しているように国際管理強化の動きもある。揺るぎなき原子力平和利用を掲げる日本が海外からの不要な懸念を招かないためにも、ここで紹介したPPPの実現に向け、主導的役割を果すべきであろう。

幸い、昨年度から5カ年計画で、文部科学省の革新的原子炉システム技術開発公募の予算を頂くことになった。米国のエネルギー省の協力を得て、日本チームが主導で、アイダホ国立工学・環境研究所（Idaho National Engineering and Environmental Laboratory: INEEL）の原子炉で、このPPP原理確認の実験を実施する予定である。3年先の最初の実

験データを楽しみにしている。

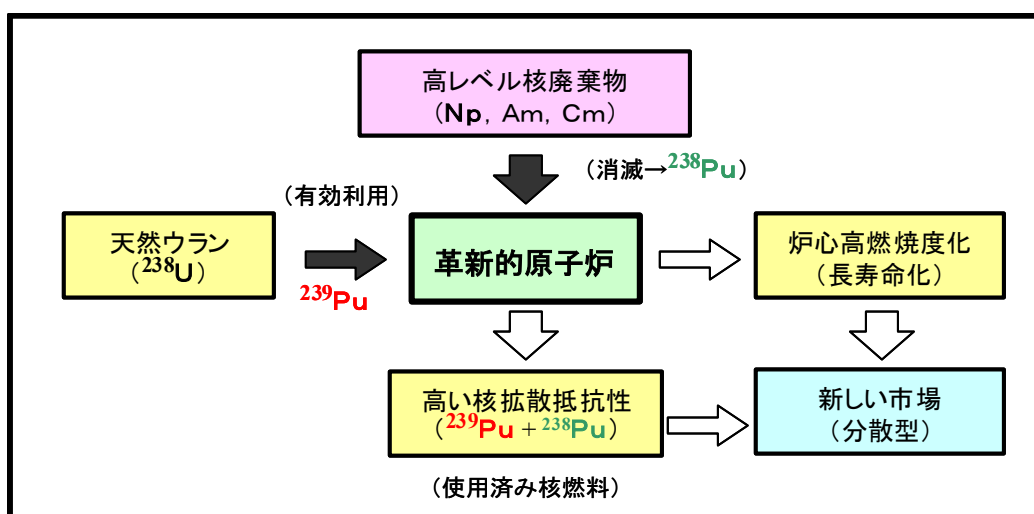


図2 強い核拡散抵抗性を有する革新的原子炉の研究

2. 国際科学技術フォーラム

(1) フォーラムの経緯

このPPP概念には国際原子力機関（IAEA）も強い関心を持ち、昨年6月に、このPPP概念に関する顧問会議「IAEA Consultancy Meeting on Protected Plutonium Production (PPP) - Project」がIAEA本部ウィーンで開催され、その顧問会議の結論において、PPP計画が増え続けるプルトニウムやマイナーアクチノイドの核拡散や環境問題の観点からの問題を解決する可能性を持っていること、しかし、このPPPの科学的及び技術的成立性を実証するには、多くのR&Dが必要であり、それは、IAEA、GEN-IV、ISTC（International Science and Technology Center）や、または、例えば、新しく設立する国際研究組織「International Science and Technology Forum on Protected Plutonium Utilization」等、国際的枠組みの下で、国際協力によって進めるべきであると提案がなされた。

この国際原子力機関（IAEA）の顧問会議での提案に基づいて、第1回国際科学技術フォーラム「International Science and Technology Forum on Protected Plutonium Utilization」（主催：東京工業大学 原子炉工学研究所、後援：核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所、日本原子力産業会議）を平成16年3月1～4日（4日目はフォーラムの運営会議）に、東京工業大学大岡山キャンパス多目的デジタルホールで開催した。海外からの26名を含め167名の参加があった。

(2) フォーラムの目的

本国際科学技術フォーラムの目的は、国内外の大学、研究機関、産業界に所属する著名な科学者や技術者が一堂に会し、新しい世紀における原子力の平和利用のより一層の

促進や持続可能な世界の繁栄への貢献に向けた高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムの実用化について自由に討議をすることにあります。

また、本国際科学技術フォーラムは、以下の各研究分野における PPP&U (Protected Plutonium Production and Utilization) に関する将来の国際協力の推進についても自由に討議することとした。

- Feasibility of Inherently Protected Plutonium Production
- Non-proliferation Issues on Protected Plutonium Production and Utilization
- Safety Issues on Protected Plutonium Production and Utilization
- Economical Issues of Protected Plutonium Production and Utilization (New Reactor Market in the World)
- Advanced Nuclear Reactor Concepts for Protected Plutonium Production and Utilization
- Role of ADS for Protected Plutonium Production and Utilization
- Nuclear Data Base for Protected Plutonium Production and Utilization
- Advanced Fuel Cycle Technology Towards Protected Plutonium Production and Utilization (including Medium- and Long-Term Storage of Protected Plutonium)
- Effects of Protected Plutonium Production and Utilization on Nuclear Wastes Management
- International Collaboration for Protected Plutonium Production and Utilization Activity

(3) フォーラムの概要

フォーラムは 5 つのパネルデイカッションのセッションを含む 8 セッションから構成されている。

「セッション 1」(座長：齊藤正樹 (東京工業大学))

初日の最初のオープニングセッションでは、東京工業大学 21 世紀 COE プログラム「Innovative Nuclear Energy Systems for Sustainable Development of the World」が関本博氏 (東京工業大学) より紹介された。引き続き、藤家洋一氏 (前原子力委員会委員長) による特別講演「On the way approaching to the recycling-based nuclear energy system (Full use on nuclear energy resource and zero release of radioactive wastes)」がなされた。

「セッション 2」(座長：早田邦久 (前 JAERI、現原子力安全委員会委員))

パネル-1: Research and Development of Advanced Nuclear Energy Technologies and International Collaboration for Peace and Sustainable Prosperity

パネリスト: Kosaku Fukuda (IAEA)

Jacques Bouchard (CEA, フランス)

相沢清人 (JNC)

Ralph G. Bennette (INEEL, 米国)

塩沢周策 (JAERI)

このパネルでは、PPP&U フォーラムのバックグラウンドとして、各国の各機関で実施されている革新的原子力技術の研究開発の現状および国際協力に関する紹介がなされた。

「セッション 3」(座長：大和愛司 (JNC))

パネル-2: 「Current Status and Future Prospective of Pu and Nuclear Wastes」

パネリスト: Kosaku Fukuda (IAEA)

Dominique Greneche (COGEMA, フランス)

野村茂雄 (JNC)

田辺博三 (RWMC:原子力環境整備促進・資金管理センター)

このパネルでは、PPP&U フォーラムのバックグラウンドとして、世界および各国の Pu、MA 及びその他の核廃棄物の現状および将来予測について、IAEA、COGEMA、JNC、RWMC の代表が発表した。

「セッション 4」(座長：Günther Keßler (元カールスルーヘ研究所, ドイツ))

このセッションでは、齊藤正樹 (東京工業大学) が本 PPP&U フォーラムの主題である「自己整合性を有する原子力システム (SCNES) と高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムの生成 (P^3)」について発表をし、質疑応答を行った。

「セッション 5」(座長：澤田哲生 (東京工業大学))

パネル-3: 「Non-Proliferation Issues on Protected Plutonium Production (P^3)」

パネリスト: Günther Keßler (元 KFK, ドイツ)

Thomas Edward Shea (PNNL:Pacific Northwest 国立研究所, 米国)

Anatoliy N. Shmelev (モスクワ物理工科大学, ロシア)

Vladimir V. Artisyuk (東京工業大学)

Guennadi Kuolikov (ISTC, ロシア)

前のセッションの「高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムの生成 (P^3)」の発表を受けて、 P^3 に関する核不拡散問題について、ドイツ、米国、日本、ロシアの専門家による高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムの生成 (P^3) に関する核拡散抵抗性に関する議論を行った。プルトニウム 238 の含有率が 10 数%以上であれば、軍事転用は困難であるという議論もなされた。

「セッション 6」(座長：吉田 正 (武蔵工業大学))

パネル-4: 「Nuclear Data and Experiments in TCA, FCA and Joyo on P^3 」

パネリスト: Yu. Korovin (オブニンスク原子力工科大学, ロシア)

井頭政之（東京工業大学）

小山真一（JNC）

森 貴正（JAERI）

このセッションでは、高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムの生成（P³）に関する核データベースの現状と P³ 計画に関する TCA、FCA、常陽での実験計画の紹介がなされた。

「セッション7」（座長：中島一郎（核燃料サイクル開発機構））

P³ 原理の実証のために計画しているの ART 炉（Advanced Test Reactor）におけるネプツニウム-ウラニウム試料照射について、John M. Ryskamp 氏（INEEL, 米国）が紹介した。照射は来年度から開始する予定である。

「セッション8」（座長：鈴木正昭（東京工業大学））

パネル-5: 「Fuel Cycle Technologies on Protected Plutonium Production and Utilization」

パネリスト: 小島久雄（JNC）

Claude Degueudre（PSI, スイス）

井上 正（CRIEPI）

湊 和生（JAERI）

このセッションでは、高い核拡散抵抗性を有するプルトニウムの生成と利用に対して核燃料サイクル技術開発の立場から、議論を行った。

フォーラムの第4日目は、フォーラム運営会議を開催し、本フォーラムのまとめと今後の活動計画について議論を行った。



国際フォーラムの状況

年度末の忙しい 3 月に、本国際科学技術フォーラムに参加して頂いた方々にお礼を申し上げます。特にパネリストとして、また座長としてご出席くださった方々、多忙な中、貴重なお時間を作っていただきまして心からお礼を申し上げます。また、本フォーラムの後援をして頂きました核燃料サイクル開発機構、日本原子力研究所、日本原子力産業会議に感謝いたします。最後に、本フォーラムの運営に協力頂いた東京工業大学のスタッフの皆さんにお礼を申し上げます。

(注 1) IAEA, INFCIRC/153, 1972

(注 2) K. Fukuda, The 1st International Science and Technology Forum on Protected Plutonium Utilization for Peace and Sustainable Prosperity, Tokyo, March, 2004