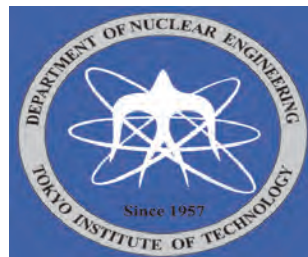


日本原子力学会2013年秋の大会(八戸工大)
総合講演・報告5「高温ガス炉の課題と解決法
(安全性、経済性、持続可能性)」

(3) 高温ガス炉の持続可能性

クリーン燃焼高温ガス炉とADSによるTRU変換システムを
用いたバックエンド問題の解決

PuバーナーとしてのCBHTR

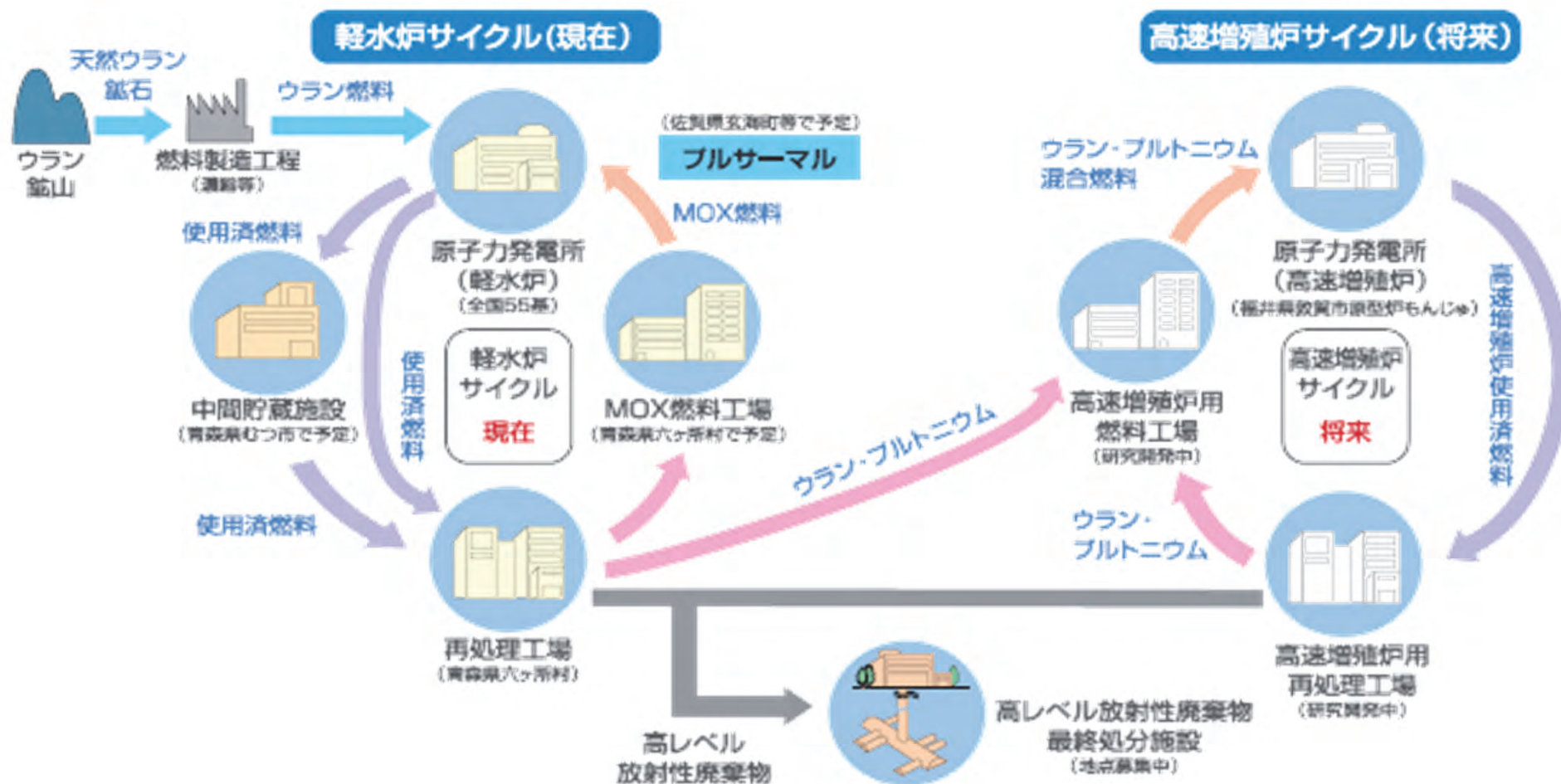


東京工業大学
千葉 敏



エアフォートサービス3月20日

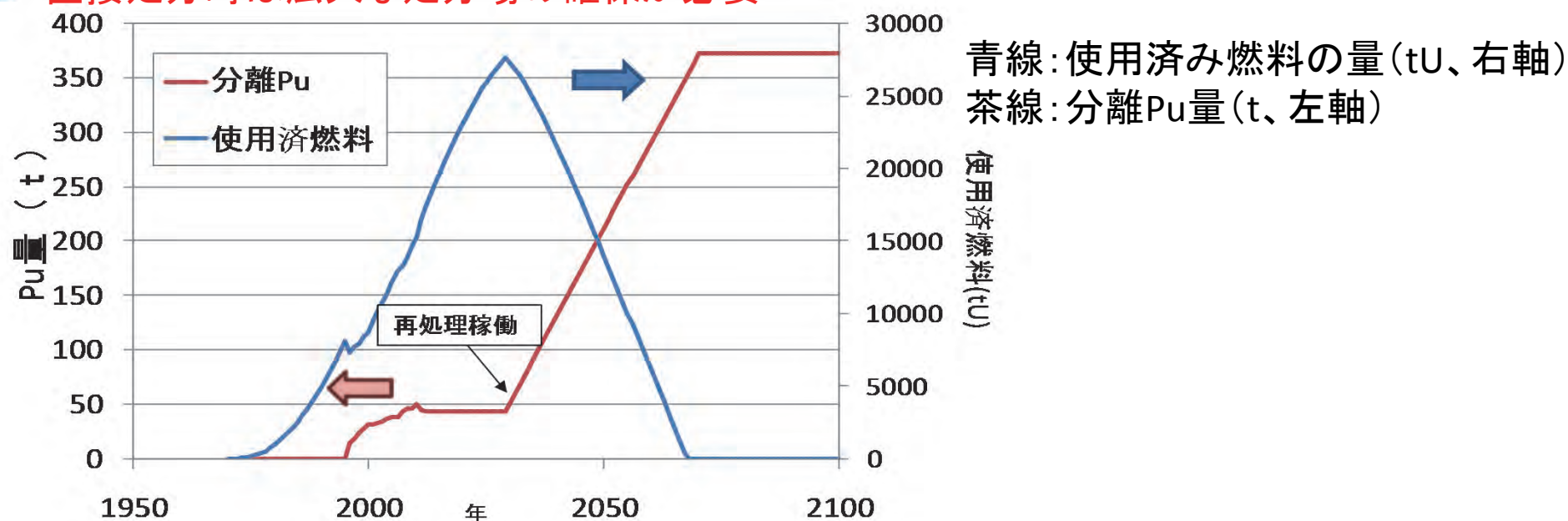
原子力発電と核燃料サイクル



高速増殖炉核燃料サイクル: (1967年「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」では1980年代後半の実用化を目標、現時点では2050年を目標)

軽水炉使用済燃料の蓄積

- 2010年時点で全国の軽水炉の使用済燃料貯蔵プールの余裕は全体で6890tU
- 一方、年間約1000tUの使用済燃料が発生する
- 数年以内に運転を中止せざるを得ない原子炉が出てくる
- 六ヶ所再処理施設付属の貯蔵施設(3000tU)は既に搬入済みで、むつ市に中間貯蔵施設(5000tU)を建設中
- 一時貯蔵には1F4号機の貯蔵プールで明らかになった潜在的なリスクが存在する
- 再処理施設(800t/y)の稼働が急務
- 再処理施設稼働後は年間約8tの分離Puが発生
- 分離したPuの受け皿がなければ余剰Puとなる
- 直接処分時は広大な処分場の確保が必要



ヤッカマウンテン処分サイト(米国)

2009年、オバマ政権が計画中止を決定

- 究極のNIMBY問題
- 必要な面積を考えると、(日本においては)直接処分は非現実的で、さらにPA上不可能ではないか？
- 最終処分には廃棄物量と毒性の最小化が不可欠
- 何らかの分離変換手法の必要性

■ ネバダ州

- 面積28万km² (日本の国土の0.74倍)
- 人口168万人

■ ラスベガスから160km離れた砂漠地帯の「ネバダ試験場」にある

<http://www.ocrwm.doe.gov/>より

余剰Pu問題

- 我が国が保有するプルトニウムは約44トン。六カ所再処理施設が稼働すると、更に、8トン／年の割合で増加。
- 軽水炉MOXや高速炉を用いて余剰プルトニウムを燃焼する計画は必ずしも順調とはいえない。

余剰プルトニウム:米長官、日本にクギ「懸念のない形で」

毎日新聞 2013年07月02日 01時09分

【ウィーン樋口直樹】核物理学者でもあるモニツ米エネルギー長官は1日、ウィーンで鈴木俊一副外相と会談し、日本の核燃料サイクル政策に伴う余剰プルトニウム問題について「懸念のない形で進めてほしい」と注文を付けた。両氏は同地で開催中の国際原子力機関（IAEA）核安全保障閣僚級会議の開会前に直接会談した。

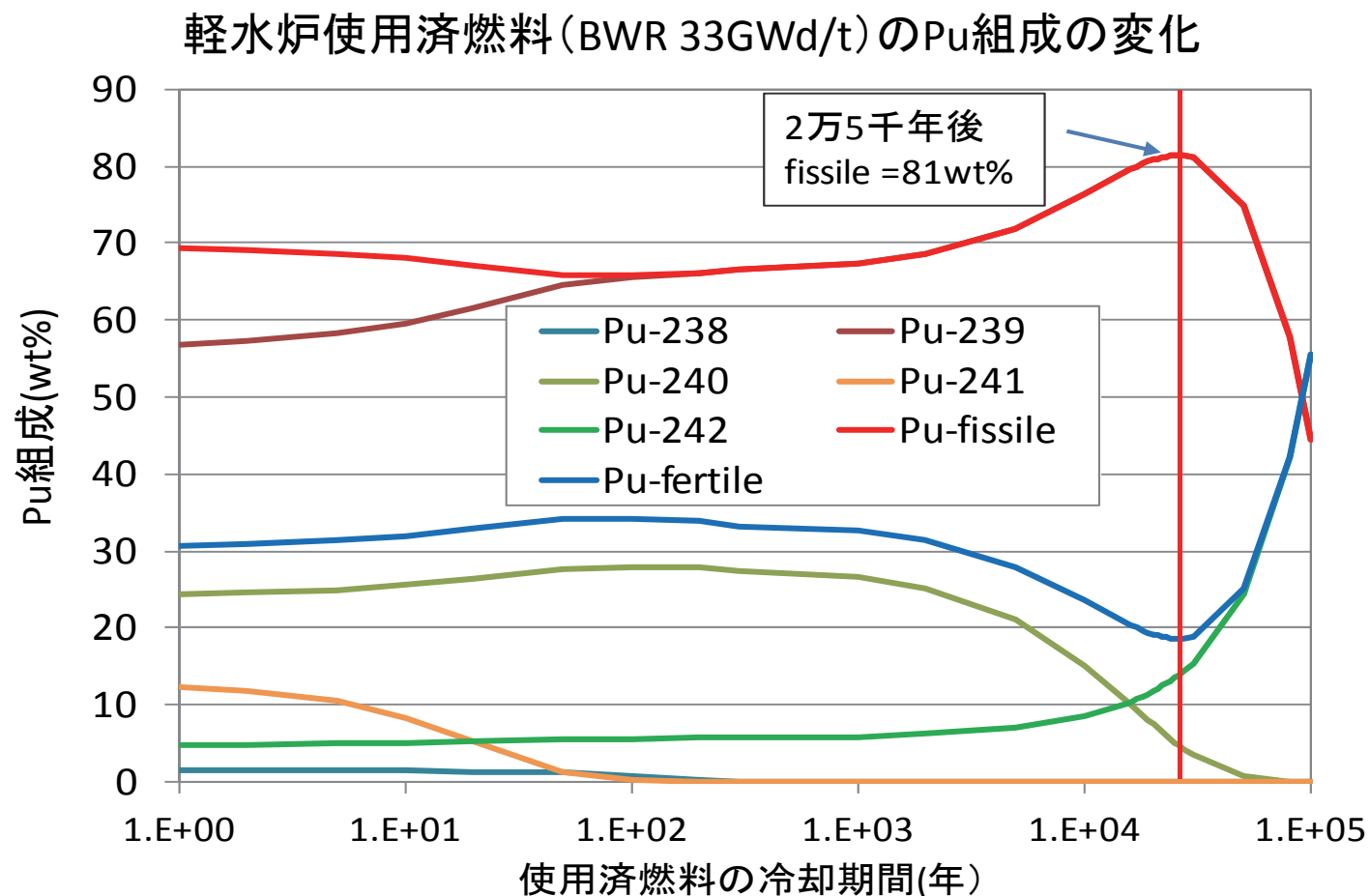
鈴木氏によると、モニツ氏から日本の核燃料サイクルで生じるプルトニウムの扱いについて照会があった。鈴木氏は「利用目的のないプルトニウムは持たず、核不拡散と原子力の平和利用という国際的義務を果たしていく、という日本の従来政策に変更はない」と説明。モニツ氏は「引き続き核不拡散上の懸念のない形で日本の原子力政策を続けてほしい」と応じたという。

鈴木氏は「（モニツ氏から）懸念が表明されたわけではない」と強調する一方、「米国とは今後も密接なコミュニケーションを図り、原子力分野の協力を進めていきたい」と述べた。

米政府はこれまでも軍事転用が可能なプルトニウムの余剰問題について、懸念を表明してきている。

現実的な時間スケールで実現可能なプルトニウム燃焼システムを開発し
国際公約の遵守が必要不可欠

Pu組成の変化(Pu鉱山の出現)



Pu核種の半減期

	半減期
Pu-238	87.7年
Pu-239	2万4千年
Pu-240	6千5百年
Pu-241	14.4年
Pu-242	38万年

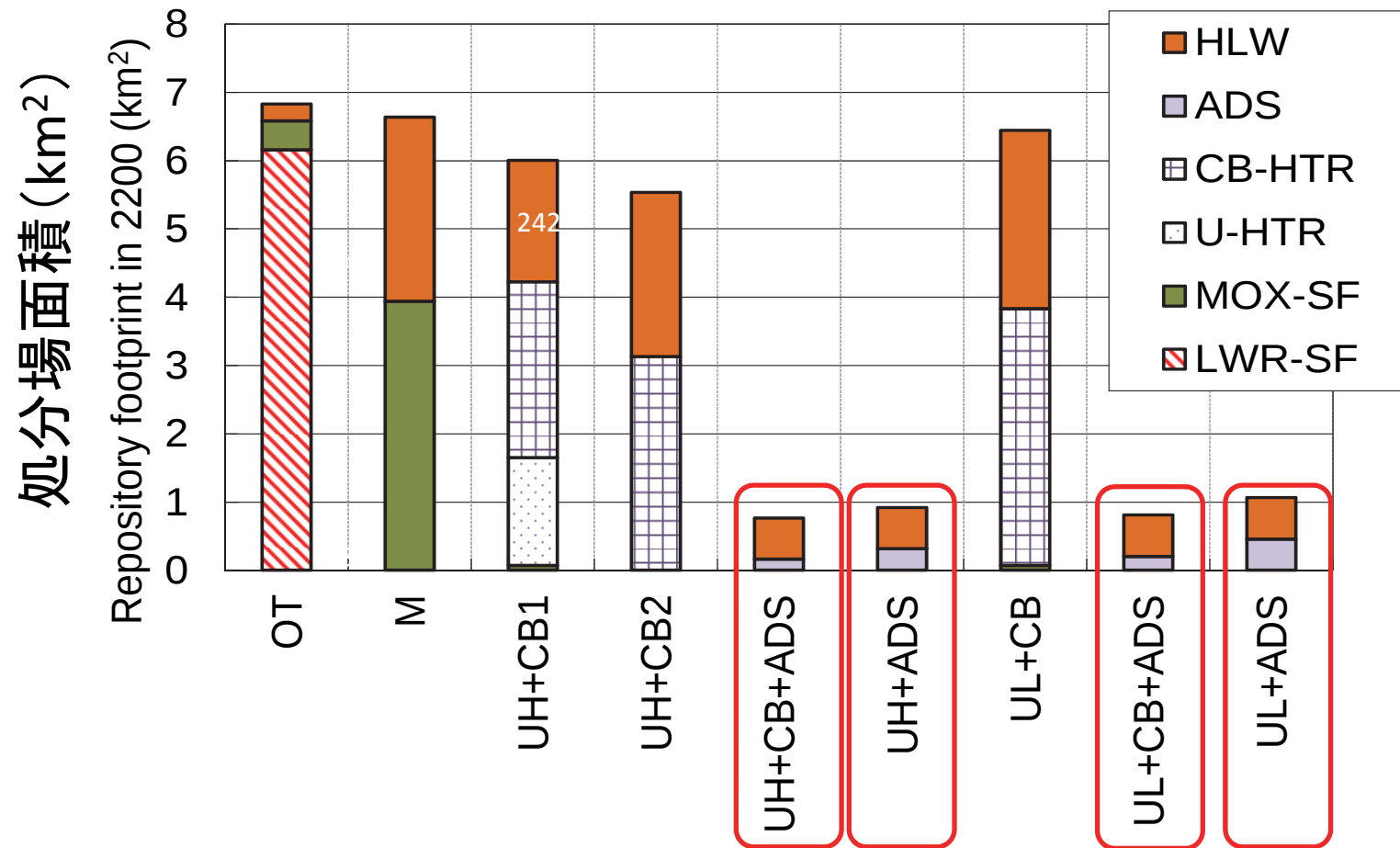
核兵器級Pu :
fissile > 94%

使用済燃料中に含まれるPuの主な核分裂性物質であるPu-239は半減期が2万5千年程度と長く、他の同位体のそれとの関係で2万5千年後に核兵器級に近い組成のPuが現れる(良質のPu鉱山の出現)。**バリアーと保障措置体制をそれに合わせて維持するのは困難、かつ非現実的。**

ウラン資源と発電コスト

- ウラン資源量は、採掘コストをいくらまで許容するかによって決まる
- もともと原子力の発電単価に占める燃料費の割合は小さい(3%程度)
 - － 再生可能エネルギーとの競合では相当割高でも可能
 - － シェールガス:地球温暖化問題
- 地上分だけで100年から300年程度と予測され、さらに海水ウランまで利用可能になれば相当の(ほぼ無尽蔵の)資源量になる(予稿参照)
- 従って高速炉サイクル実現までに十分な時間をとることが可能
 - － その間は軽水炉を中心とする熱中性子炉で発電を行えばよい
- むしろ、原子力のコストは、高速炉サイクルが開発されるまでの間に、いかに一般に受容される形で廃棄物(特にPu)の処理を粛々に行い、さらに最終処分までのロードマップを示すことができるかにかかっている
 - － もしこれができなければ、原子力の持続自体が拒否され、あるいは近い将来に不可能となり、結局原子力のコストは無限大と等価であることになる

2200年に必要な処分場面積



OT=once-through、M=MOX=PuThermal、UH=U-HTR、CB=CB-HTR、
UL=UウランLWR、ADS=Accelerator-driven system

- HTRのみ導入では、処分場面積はあまり変わらない
- ADS導入で、1/10程度に減少する→ADSの導入が効果的で、必要

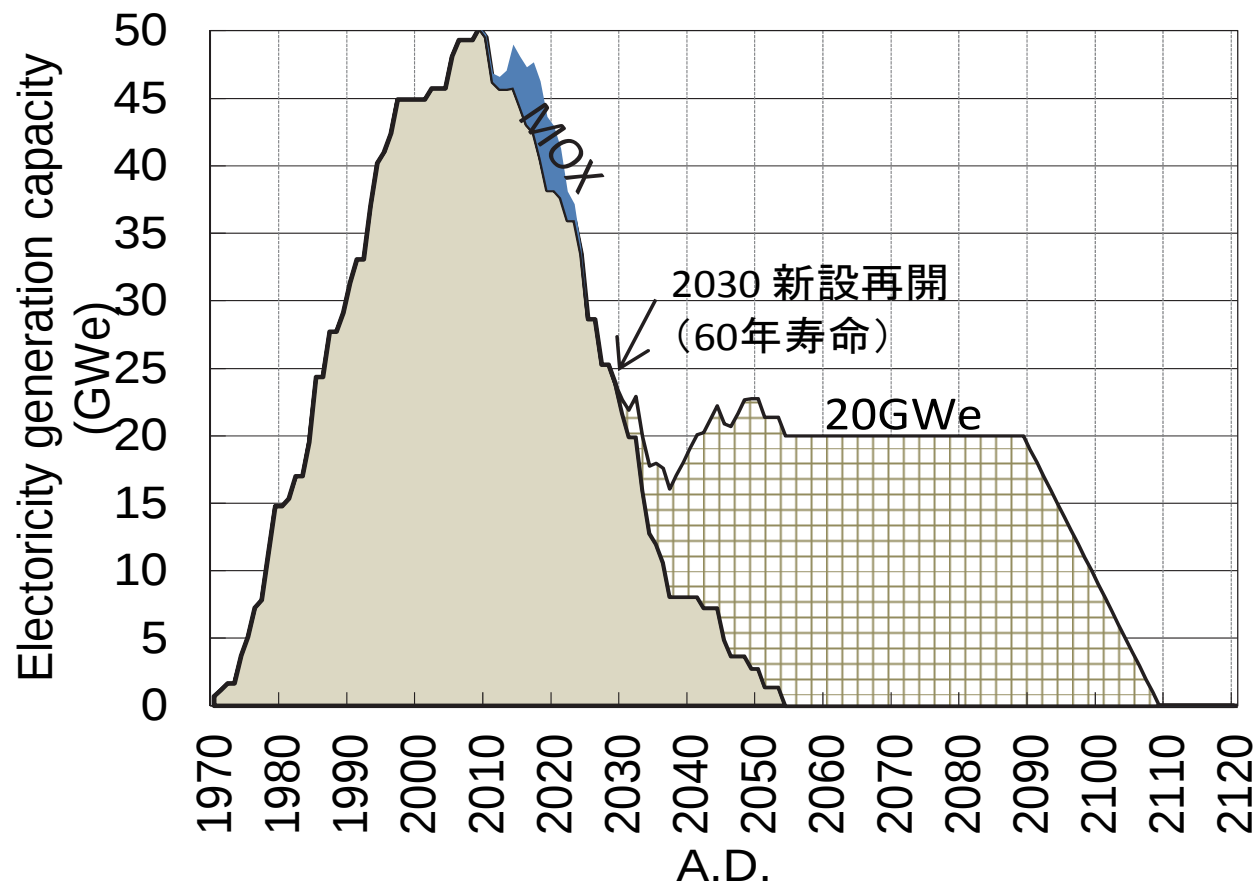
今日、議論すること

- 分離変換技術の主要要素として、MAの完全変換が可能で最終処分場面積の劇的な低下を可能にするADSを導入するものとして、
- その弱点を効果的に補うため、革新要素技術が少なく早期導入が可能で、核分裂性Puの変換能力の高いクリーン燃焼高温ガス炉(CBHTR)がADSと連携するシナリオ
 - ◆ (Puバーナーとしての)CBHTR+(残存PuとMA核変換のための)ADSによるバックエンドシステムの提案
 - ◆ ただし安全性や核不拡散性、PAを損なわない
 - ◆ 原子力新規導入国におけるエネルギー生産とバックエンド問題に対するHTR+ADSの貢献

前提条件

- 原子力が全電力の15%(20GWe)を担う縮小継続シナリオ
- ウランの資源量は十分であり、資源問題は当面考えなくて良い
- 原子力の持続性を脅かす最大の問題点はバックエンドにある
- 廃棄物処理場は究極のNIMBY施設である
 - － 直接処分ではなく、できる限りの最小化、無毒化が必要
- 国内でLWR-SFの再処理技術は近い将来に確立(CBHTRの燃料製造が可能)
 - － 日米原子力協定(再処理条件)の変更が必要
- 高速炉核燃料サイクルの実現は2050年以降
 - － すぐにPu消費が可能です、と言えない
 - － 実現したとしても原子力発展途上国での建設・運用は困難
 - － そういう国でのバックエンド、Pu鉱山問題も発生
- 高温ガス炉は2030年から導入可能、ADSは2060年から導入可能
- 2060年までに高温ガス炉用不活性母材(YSZ)燃料の再処理技術が開発終了
- 建設費用
 - － LWR(1GWe)～3000億円
 - － ADS 2290億円(加速器部 590億円 炉心部 1700億円:JAEA西原氏の見積もり)
 - － CBHTR(30万kWe) 550億円(武井等、日本原子力学会誌5、109(2006))
- ADSは2世代、60年に亘って運転する
- LWR-SF組成のPu燃焼が苦手であり、何らかの前処理が必要

原子力縮小継続(15%)シナリオ



- 軽水炉の多くは寿命を向かえ廃炉が始まっている(長寿命化の議論はありますが)
- 民主党下の15%シナリオに相当する設備容量20GWeは2030年の設備容量
- 電力の安定供給を行うためには、耐用年数の延長を行わない限りは2030年から新規炉心の本格的な導入が必要
- それまでに原子力が一般公衆の信頼を回復してあることが大前提

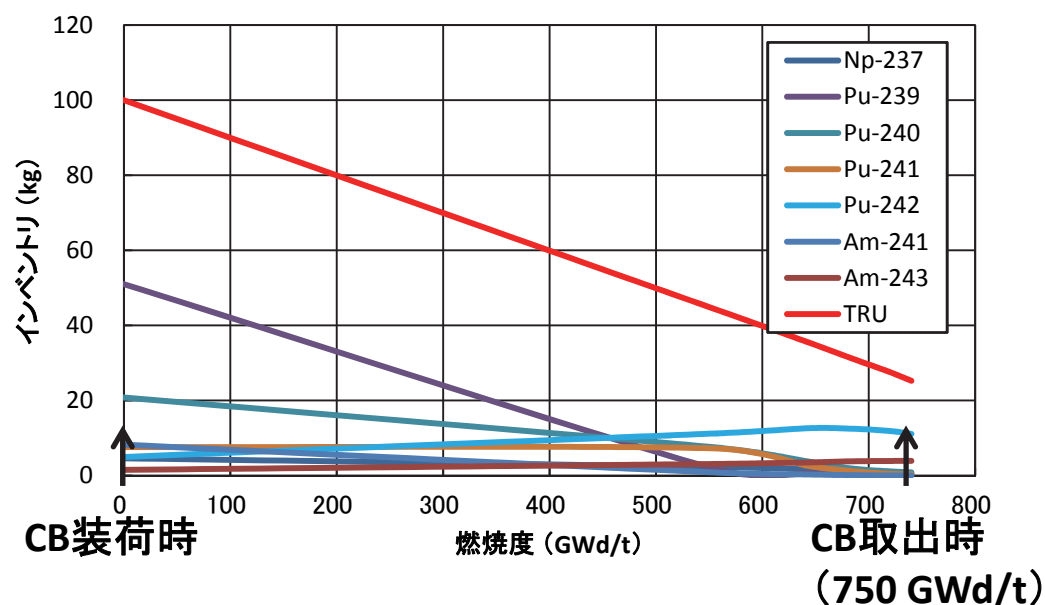
CBHTRが実現した場合の効果

燃焼度550GWd/t炉心(核分裂性Puの燃焼率=80% : IAEAの保障措置対象外に)

- ✓ 電気出力30万KWの高温ガス炉1基あたりのPu燃焼能力は年間約300kg→現存する約44トンのプルトニウムの燃焼は、10基・15年で可能
- ✓ 生物圏への放射能毒性が高いNpの50%を核変換により削減できる

燃焼度800GWd/t炉心

- ✓ Pu燃焼高温ガス炉にドライバ燃料としてウラン燃料を追加装荷することで、約800GWd/tの高燃焼が可能となる見通し
- ✓ この場合、核分裂性プルトニウムの99%を燃焼、TRUの75% (Npの90%)を核変換処理できる



TRU核種	装荷時 (kg)	取出時 (kg/初期TRU 100kg)
Np-237	4.6	0.5
Pu-238	1.3	3.7
Pu-239	51.0	0.3
Pu-240	20.8	0.8
Pu-241	7.6	0.3
Pu-242	5.0	11.1
Am-241	8.2	0.0
Am-243	1.5	3.9
その他	0.0	4.2
Total	100	25.2

クリーン燃焼高温ガス炉とADSの連携システム

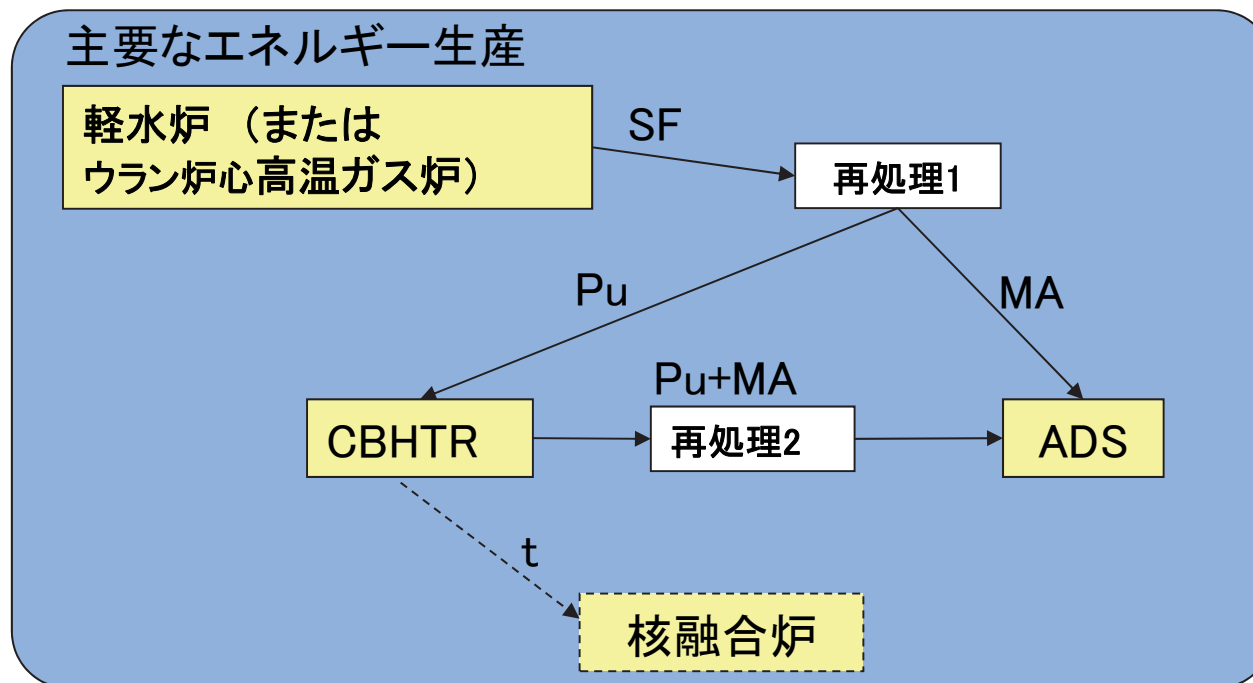
■ CBHTR

共に高い安全性

- ✓ HTTRの建設及び運転で培われた既存の技術、及び岩石型燃料の研究成果を利用した、開発課題の少ない早期導入型のPu専焼高温ガス炉

■ ADS

- ✓ マルチリサイクルによりTRU(Pu+MA)の完全変換が可能
- ✓ 高価

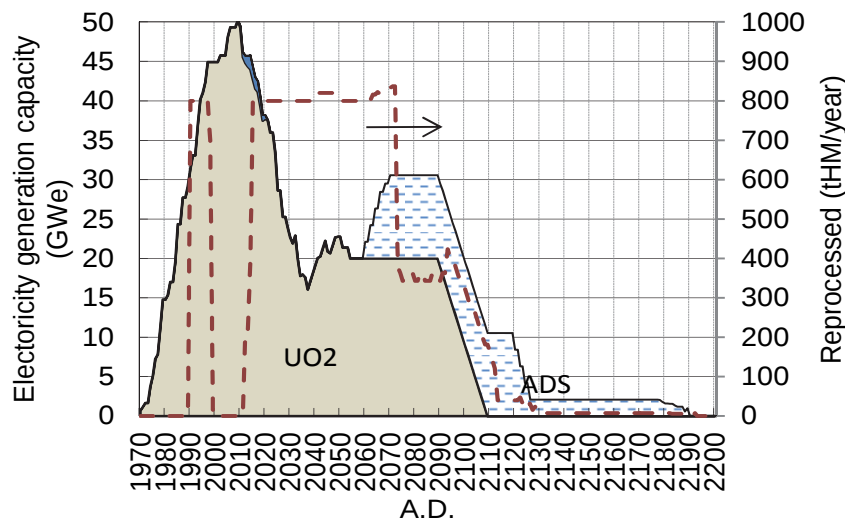
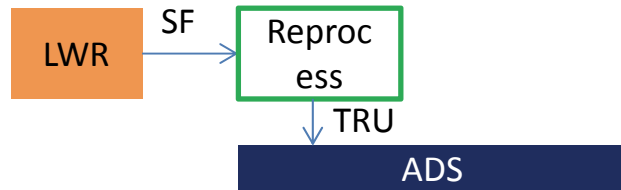


LWR-SFからの再処理Puは岩石型燃料であり、高い核拡散抵抗性を有する
CBHTR-SRからの再処理Puはfissileが20%以下であり、保障措置対象外

クリーン燃焼高温ガス炉とADSの連携の効果(1/3)

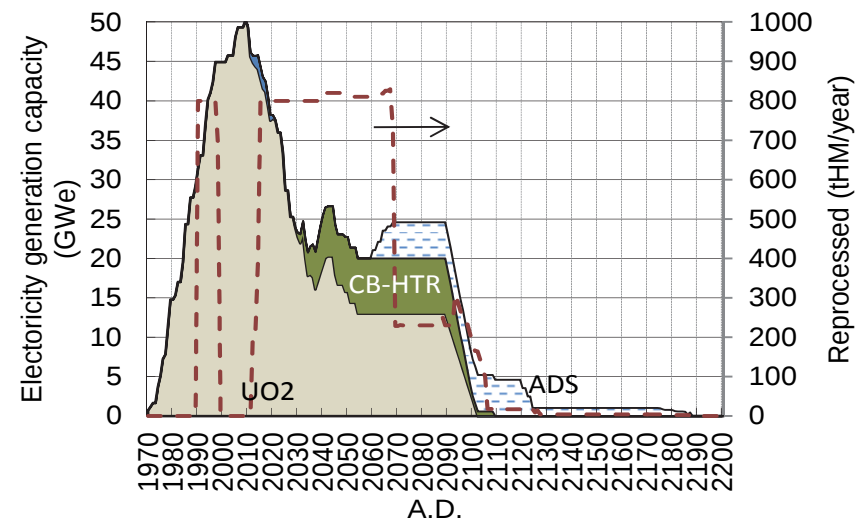
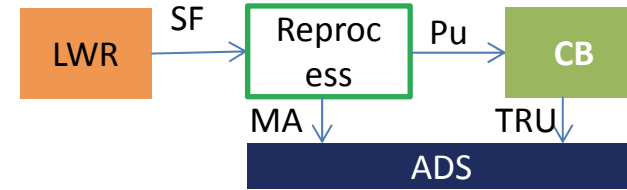
基準ケース LWR縮小継続シナリオにおける評価例

LWR(UL)+ADS



LWR20基(1GWe級)、ADS48基

LWR+CBHTR+ADS



LWR13基(1GWe級)、CB23基、ADS21基

ADSは、2060～2180年(2世代)に渡って運転する。

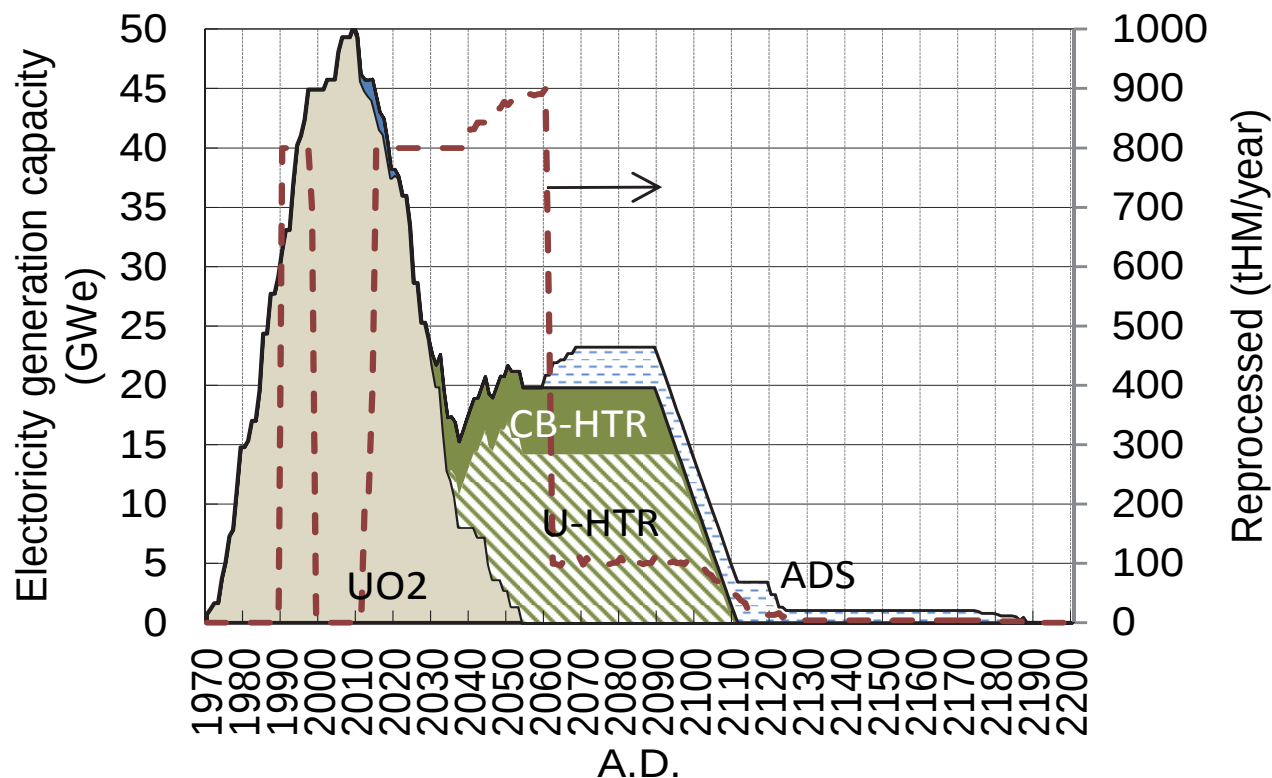
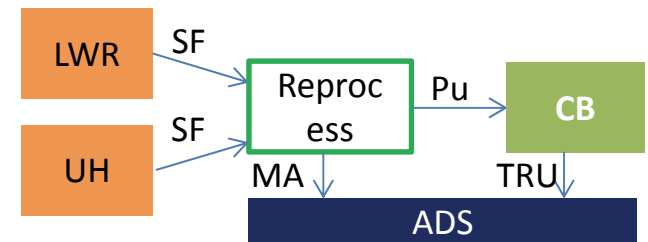
本評価例ではADS導入基数が48基から21基へ激減(全体で7兆円の節約)

CBHTR+ADSは軽水炉継続シナリオにおいても有効なTRU変換手法

クリーン燃焼高温ガス炉とADSの連携の効果(2/3)

(新規導入原発を全てU-HTRとする場合)

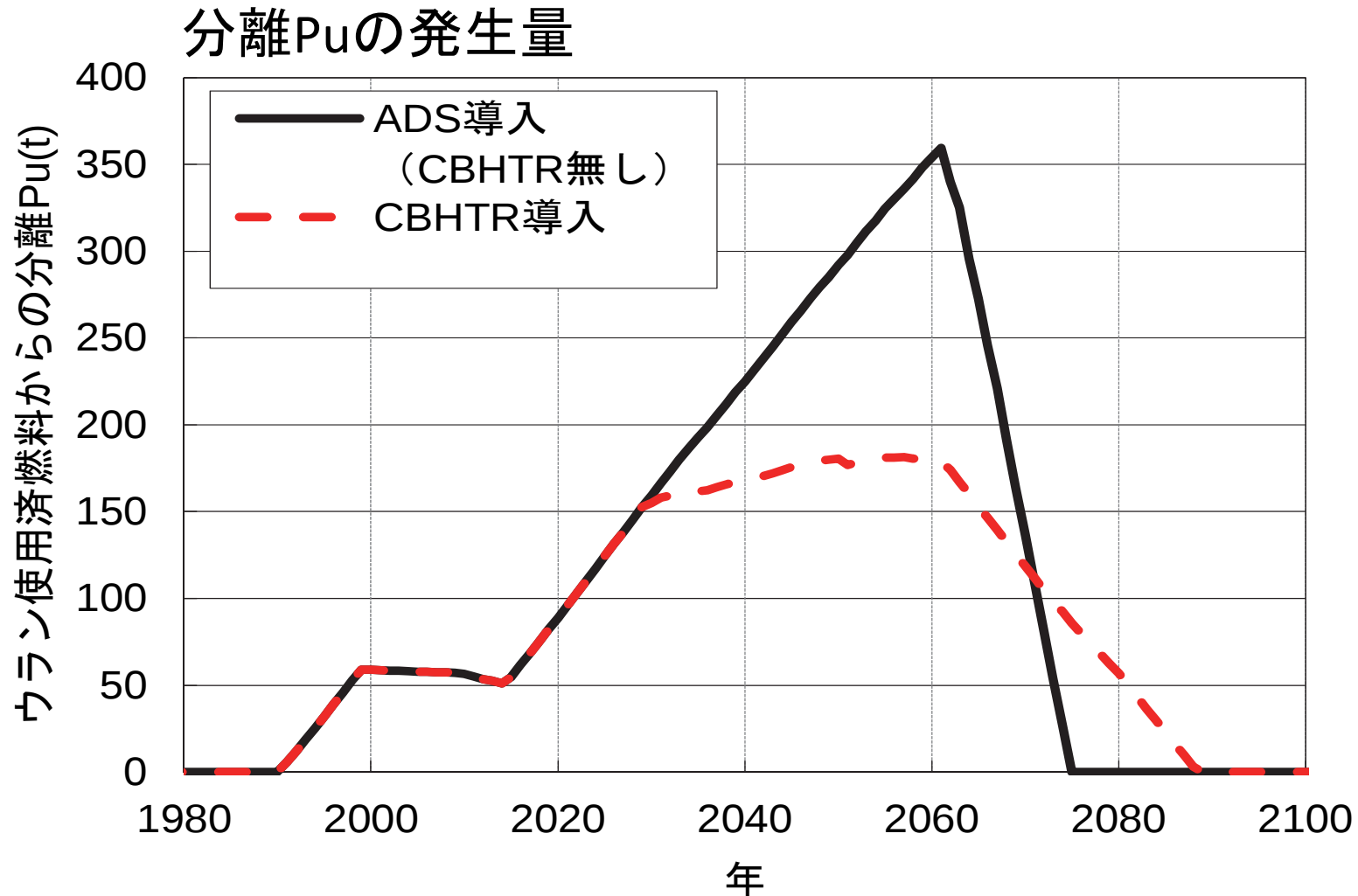
UH+CB+ADS



U-HTR47基、CB19基、ADS17基

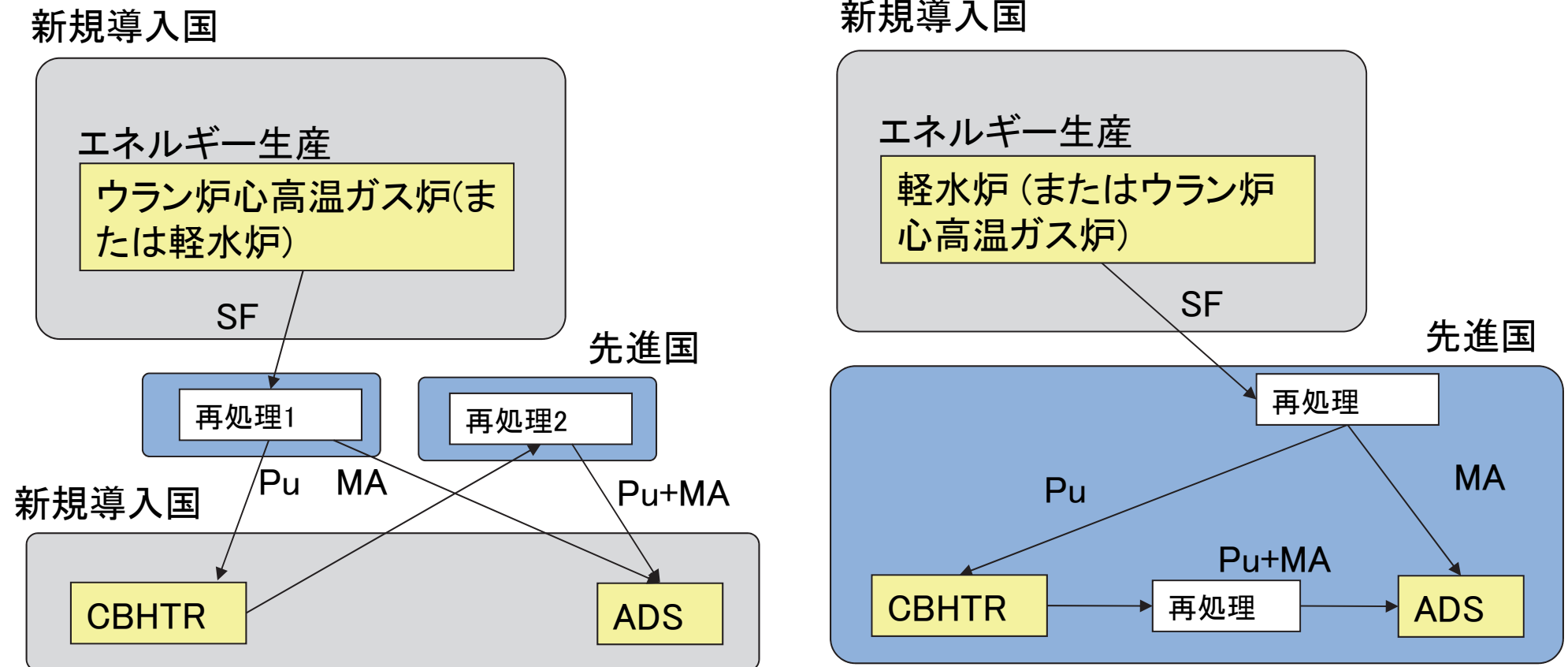
ADS導入基数が48基から17基へ激減(全体で13兆円の節約)
20基のLWR → 66基必要なHTRのPA

クリーン燃焼高温ガス炉とADSの連携の効果(1/3)



- CBHTR導入により分離Puの前倒し処理が可能
- 蓄積量のピークが半減する

原子力新規導入国におけるクリーン燃焼高温ガス炉とADSの連携システム(二つのオプション)



- (左) エネルギー生産をウラン炉心高温ガス炉で行えば、軽水炉と高温ガス炉という異なる技術を導入する必要が無く、最小限のインフラ整備で参入可能
- (右) 軽水炉導入のバックエンドを原子力先進国が担当するオプション

提案

- 高速炉核燃料サイクルが実現するまでの間、(すでに軽水炉を導入済みの原子力先進国では、)TRU処理のためにCBHTRとADSを導入し、SF中のTRU量を常に最小平衡量としておく
 - これにより、LWRを中心とする原子力システムの持続性が担保される
 - 余剰Pu問題も解決
 - MOXと同程度のウランの有効利用にもつながる
 - 一部のCBHTRでトリチウム生産を可能にしておくことも可能(核融合炉実現時に初期燃料として活用)
 - 高速炉サイクルが開発された場合も、(OTではないため存在する)処理済みUを用いる増殖が可能で、さらに余剰Pu量の調整に活用可能
 - 原子力からの撤退を決めた場合の放射性廃棄物の最終処理や核不拡散問題が継続的に解決された状態に保たれる
- 今後原子力を導入する諸国では、軽水炉導入にともなうインフラ整備をバイパスし、UH+CBHTR+ADSにより発電+バックエンド処理をパッケージとして実現可能。あるいはバックエンドは先進国が受け持つオプションもある。その場合は軽水炉でもOK

まとめ

- 原子力の持続性を決定する主要な要素の一つは、**高速炉サイクルが開発されるまでの間に、いかに一般に受容される形で廃棄物（特にPu）の処理を粛々に行い、最終処分までのロードマップを示すことができるか**ということである
- CBHTR+ADSの連携システムは、
 - PuとMAの完全核変換を可能にし
 - 処分場面積を劇的に低下し
 - 核不拡散性が高く
 - 高い安全性を有し
 - （CBHTRは）早期導入によるPu処理の前倒しが可能で
 - 経済的な

システムであり、分離変換技術のコアとなりうる実現性の高いバックエンド技術

- **CBHTRに残された技術的課題を解決するため、ADSと共に研究開発のためのファンディング措置が早期になされることを希望します**

資料作成協力(敬称略)

- 深谷 裕司(JAEA大洗研究開発センター、原子力水素・熱利用研究センター・原子炉設計グループ)
- 西原 健司(JAEA原子力基礎工学研究部門 核工学・炉工学ユニット 核変換工学技術開発グループ)
- 後藤 実(JAEA大洗研究開発センター・原子力水素・熱利用研究センター・原子炉設計グループ)
- 上田 祥平(JAEA 大洗研究開発センター・原子力水素・熱利用研究センター・小型高温ガス炉研究開発ユニット・国際共同試験グループ)
- 國富 一彦(JAEA原子力水素・熱利用研究センター・上級研究主席・小型高温ガス炉研究開発ユニット長)

残された開発課題は？

■ 燃料の比較

燃料形状	燃料核の組成	最大燃焼度 (GWD/t)	備考
LWR: 焼結ペレット	酸化物 ($\text{PuO}_2 + \text{UO}_2$)	50	
HTTR: 被覆燃料粒子	酸化物 UO_2	60	照射試験実績 HTTR設計は33GWD/t(最大)
Clean-Burn: 被覆燃料粒子	酸化物+YSZ ($\text{PuO}_2 + \text{YSZ}$)	700	米国で PuO_2 の700GWD/tの照射実績あり、 $\text{PuO}_2 + \text{YSZ}$ はさらに安定

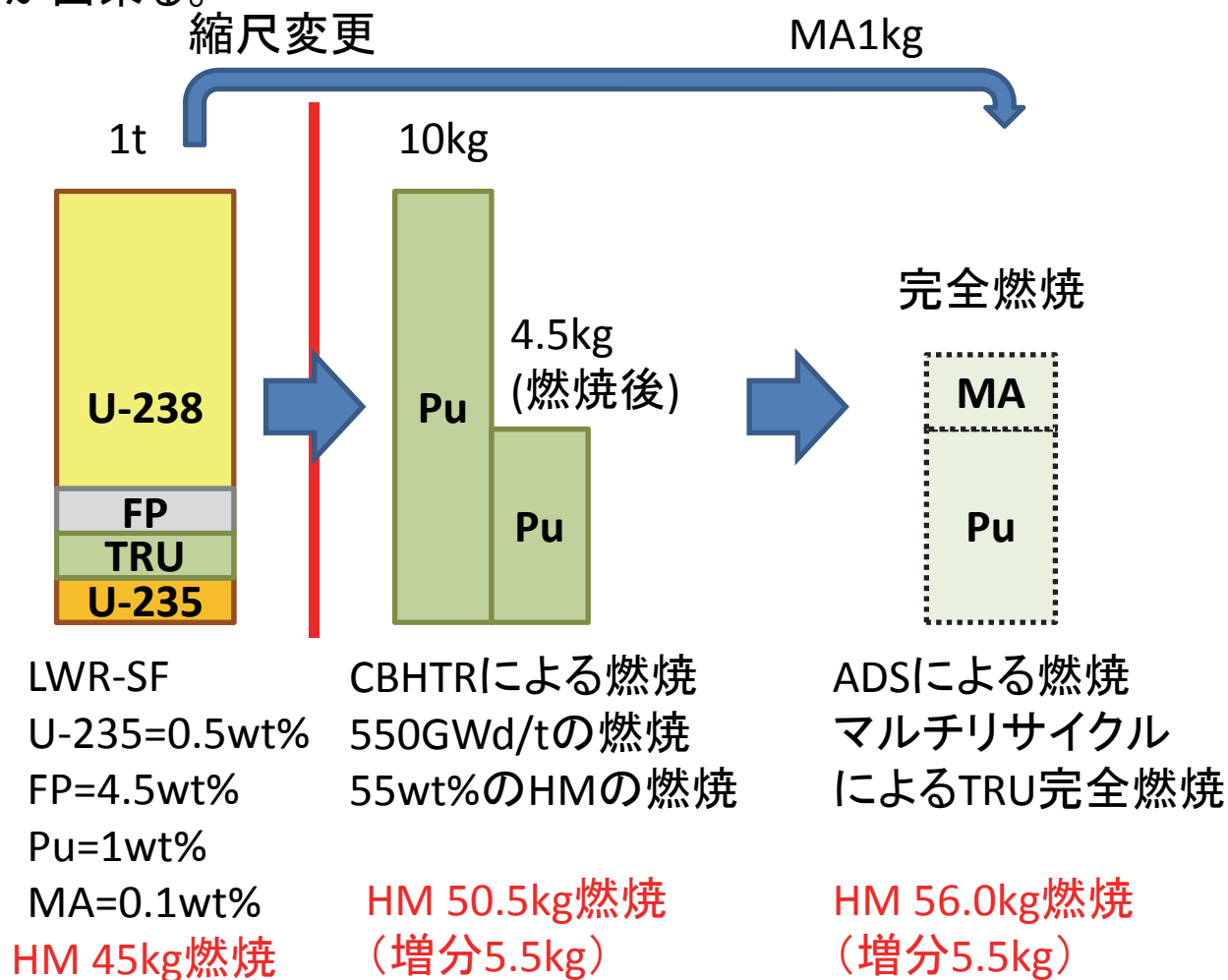
■ 燃料の技術的課題

- PuO_2 -YSZ被覆燃料粒子の被覆技術の確証試験が必要
- PuO_2 -YSZ被覆燃料粒子の照射試験が必要
- UO_2 被覆燃料粒子の再処理(前処理)技術の実証試験が必要

注1) PuO_2 燃料核については、製造実績がある。被覆工程については、現行技術の応用が可能。

軽水炉燃料利用率向上

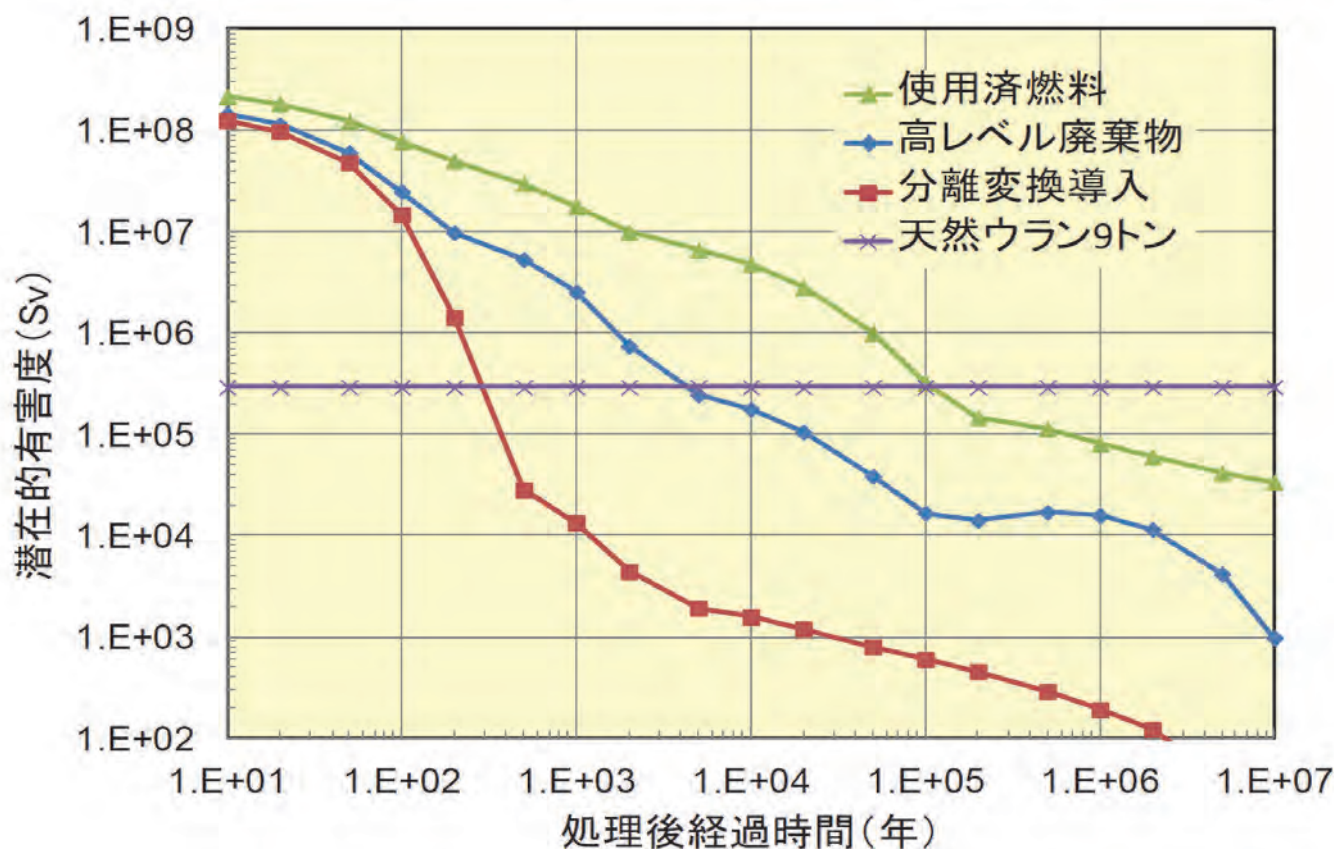
CBHTRとADSの連携システムでは、軽水炉使用済燃料からのTRUも燃焼でき資源の有効利用が出来る。



CBHTRの燃焼では12.2%、ADSも合わせると24%多く燃焼が出来る
→MOXと同程度のU利用効率

軽水炉使用済燃料の潜在的有害度と TRU変換の効果

潜在的有害度： 各放射性核種の人体への影響(線量換算係数)で重みづけした指標



長半減期核種を含むTRU(Pu+MA)は長期間にわたり存在し続ける。
TRUを変換することにより、潜在的な有害度が天然ウランレベルへ300年程度で減衰。

原発における使用済み燃料貯蔵状況

(2011年9月末現在)

電力会社名	発電所名	1炉心(tU)	1取替分(tU)	管理容量(tU)	貯蔵量(tU)	貯蔵割合(%)
北海道電力	泊	170	50	1,000	380	38
東北電力	女川	260	60	790	420	53
	東通	130	30	440	100	23
東京電力	福島第一	580	140	2,100	1,960	93
	福島第二	520	120	1,360	1,120	82
	柏崎刈羽	960	230	2,910	2,300	79
中部電力	浜岡	410	100	1,740	1,140	66
北陸電力	志賀	210	50	690	150	22
関西電力	美浜	160	50	680	390	57
	高浜	290	100	1,730	1,180	68
	大飯	360	110	2,020	1,400	69
中国電力	島根	170	40	600	390	65
四国電力	伊方	170	50	940	590	63
九州電力	玄海	270	90	1,070	830	78
	川内	140	50	1,290	870	67
日本原子力発電	敦賀	140	40	860	580	67
	東海第二	130	30	440	370	84
	合計	5,070	1,340	20,630	14,200	69

原子力委員会 原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会
第8回資料より(平成24年2月23日)

核燃料サイクルに対する要求

福島事故を機に核燃料サイクルに対するパラダイムシフトが起こり、現状の核燃料サイクルが抱える問題を再確認し核燃料サイクルの有り方について考え直す必要がある。

これまでの議論：

- ・1969年（長期計画）より資源の乏しい日本は準国産資源とみなせる高速増殖炉を中心とする核燃料サイクルの確立を目指してきた。



現状における問題点：

持続性： 再生可能エネルギーの大規模な導入、
ウラン資源耐用年数を考慮し再確認する必要がある。

安全性： 全電源喪失時にも炉心損傷を起こさず炉停止出来る
高い安全性が必要である。

電力の安定供給： 軽水炉リプレイス、再処理施設稼働延期による使用済燃料の
問題。

核セキュリティ： 余剰Puを持たないという国際公約を遵守する必要がある。

環境負荷： 放射性毒性が問題であり、日本学術会議では地層処分の
安全性を疑問視し核変換技術研究開発を推奨。

これまでの核燃料サイクル構想及び 陸上ウラン資源の持続性

エネルギー資源を持たない日本は尽きることのないエネルギー資源として高速増殖炉核燃料サイクルの確立をめざした。

(1967年「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」では1980年代後半の実用化を目標、現時点では2050年を目標)



陸上ウランはUranium : Resources, Production and Demand (通称Red Book)の2009年版では100年分(可採埋蔵量、約600万トン、ウラン必要量約6万トン)存在すると報告されている。未発見資源を含めると300年分、その他、非在来型資源は300年分程度存在すると言われている。

福島事故以降は、メガソーラーをはじめとする再生可能エネルギーの積極的な導入が議論され、原子力発電のシェアの縮小も考えられる。

ウラン資源の枯渇は100-300年程度は考えなくてもよく、資源論の観点からは核燃料サイクルの選択は急務ではない。

海水ウランの持続性

海水ウランの存在量は陸上ウランの1000倍と言われ、ほぼ、無尽蔵の資源であり、海に囲まれた日本では純粋な国産資源であると言える。

海水ウランの要素開発はほぼ完成しており経済性が主な問題

海水ウランの経済性

(玉田正男、「モール状捕集システムによる海水ウラン捕集コストの試算」

日本原子力学会和文論文誌、Vol. 5、No. 4、p.358-363 (2006)より)

海水ウランはグラフト重合構造を持つ捕集材により採取。捕集材の使用限界回数がコストを決定する。60回の吸着により 126\$/kgU, 現実的な達成回数は18回であり 238\$/kgU

陸上ウランの経済性

一般的に経済評価で使われるウラン価格は60\$/kgU, Red Book 2003では <130\$/kgUが「経済的に回収可能なウラン資源」と定義されている。2007年にはウラン価格が高騰しスポット価格で300\$/kgを記録した。Red Book 2009では <260\$/kgUが追加されえる。

ウラン購入費の発電原価へ占める割合は3%と低く

ウラン価格が5倍に高騰しても、発電原価は1割程度しか増えない。現在においても海水ウランは十分に経済的に回収出来る範囲であり、増殖炉が無くウラン資源のみでも数万年オーダーでの持続性の達成が可能。

海水ウランの採取を行えば、持続性に関する問題は完全に解決される。

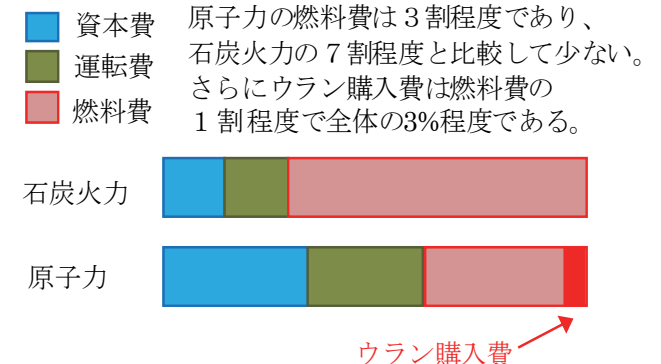


図1 発電原価に対するコスト分類の割合

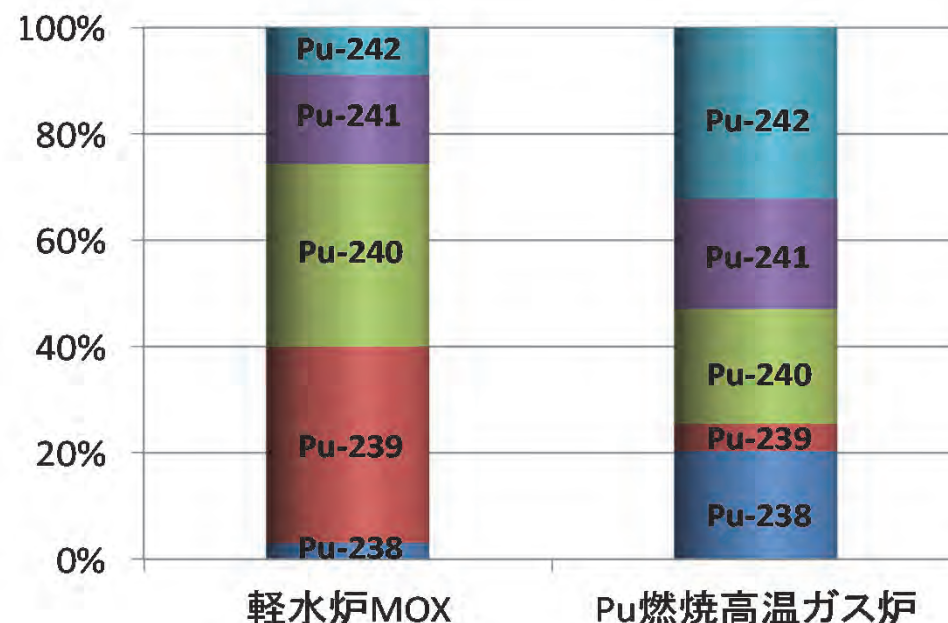
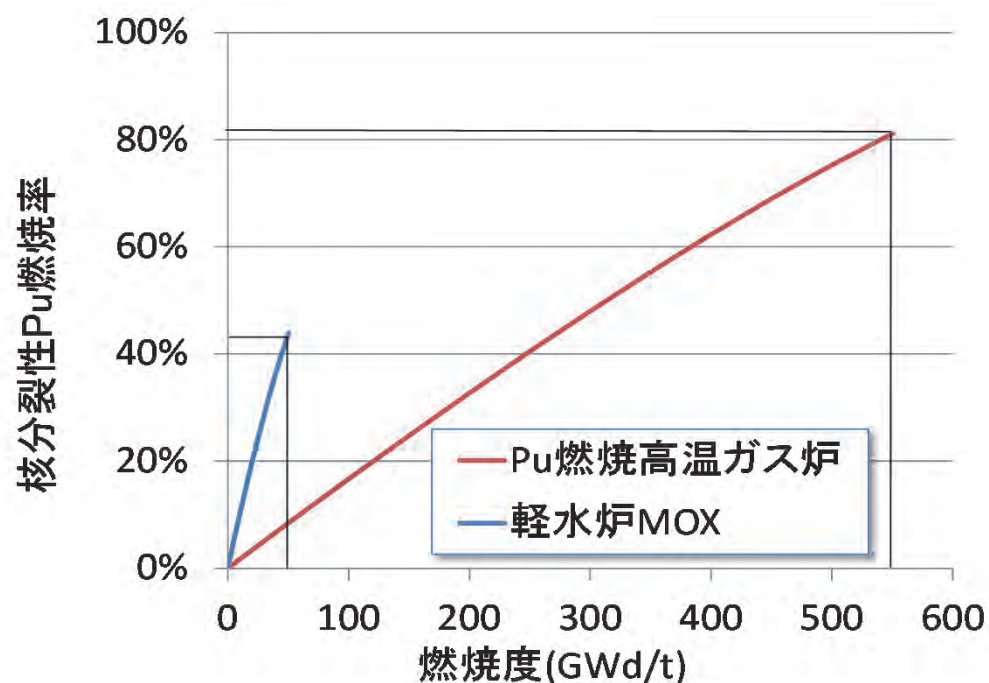
核燃料サイクルへの要求

- ・日本は資源論の観点から、Puの増殖を目的とした核燃料サイクルの確立を目指してきたが、現状の問題を再認識し、選択しうる多くのシナリオを検討する必要がある。
- ・原子力の設備容量が減ることを考慮すると、現在のウラン資源のみでも100-300年程度は資源の枯渇を考えなくてもよい。更に、海水ウランを考慮に入れるなら、ウラン資源だけでも持続性は完全に解決され、その経済性も実現出来る範囲である。海水ウランは海に囲まれた日本における純粋な国産資源である。
- ・原子炉の耐用年数を考慮すると、電力を安定供給するためには、遅くても2030年からの新規炉の本格導入が必要になる。
- ・再処理を中心とした、核燃料サイクルの稼働の大きな目的としては、軽水炉使用済燃料の保管スペースの確保であり、中間貯蔵施設を建設中ではあるが、完成しても依然として再処理施設稼働に対する期待は大きい。しかし、現状においては、再処理に伴って発生するPuの受け皿は無いため、再処理施設を稼働させるためにはPu専焼炉の導入が望ましい。また、使用済燃料の直接処分は「Pu鉱山」の発生につながり問題である。
- ・TRU(Pu+MA)は長期的な廃棄物の毒性に寄与し、核変換により毒性の低減が見込まれる。

クリーン燃焼高温ガス炉システムの特長

核セキュリティ上も優れる

- ✓ 核分裂性Puの**80%を燃焼**でき、核セキュリティリスクの低減、及び余剰Puを持たないという国際公約を遵守できる。
- ✓ 核分裂性Pu割合を**20%まで低減**でき、IAEAの保障措置対象外となり得る。

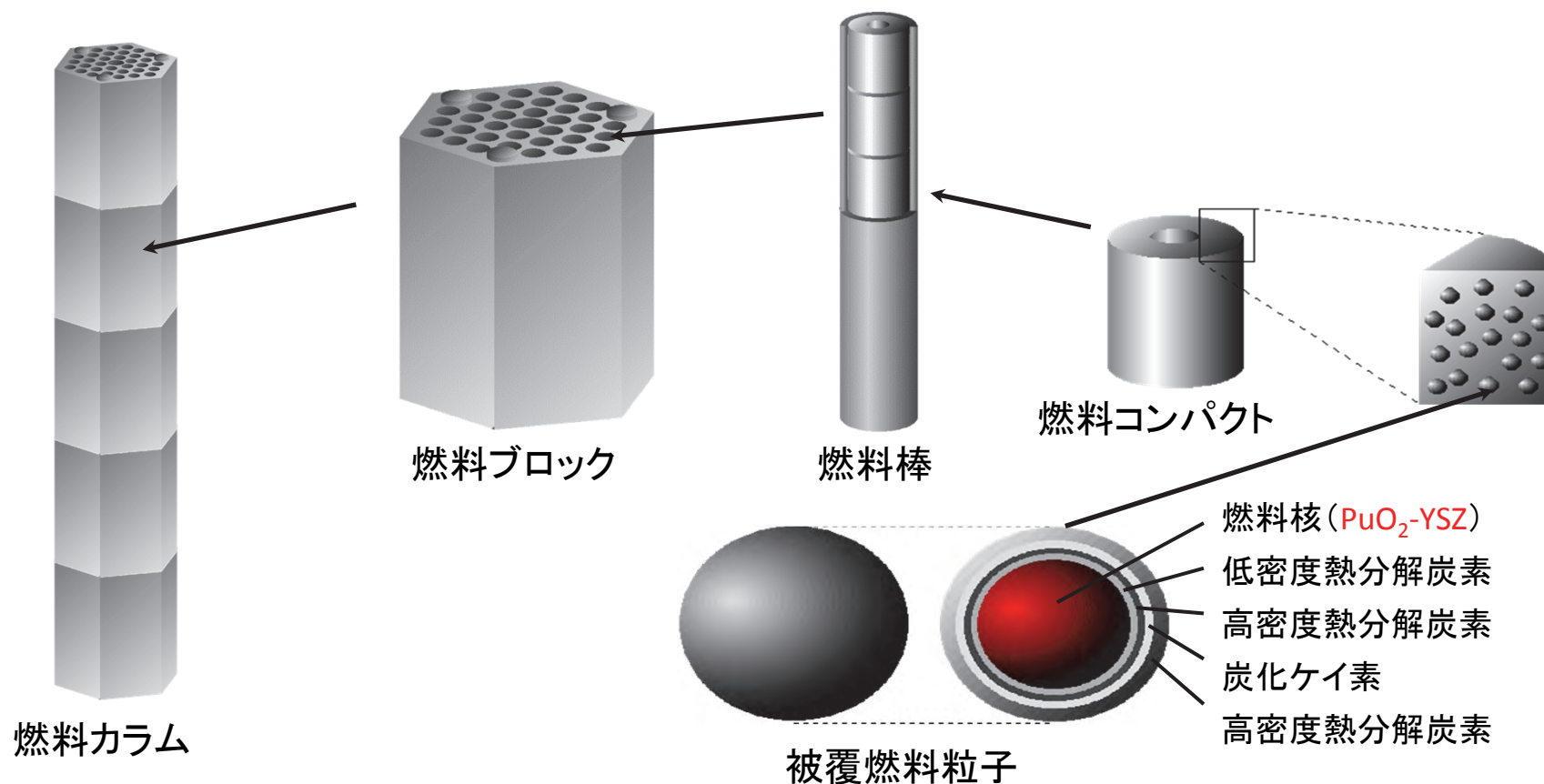


燃焼に伴う核分裂性Puの燃焼率（左図）と取出時におけるPu核種の割合（右図）

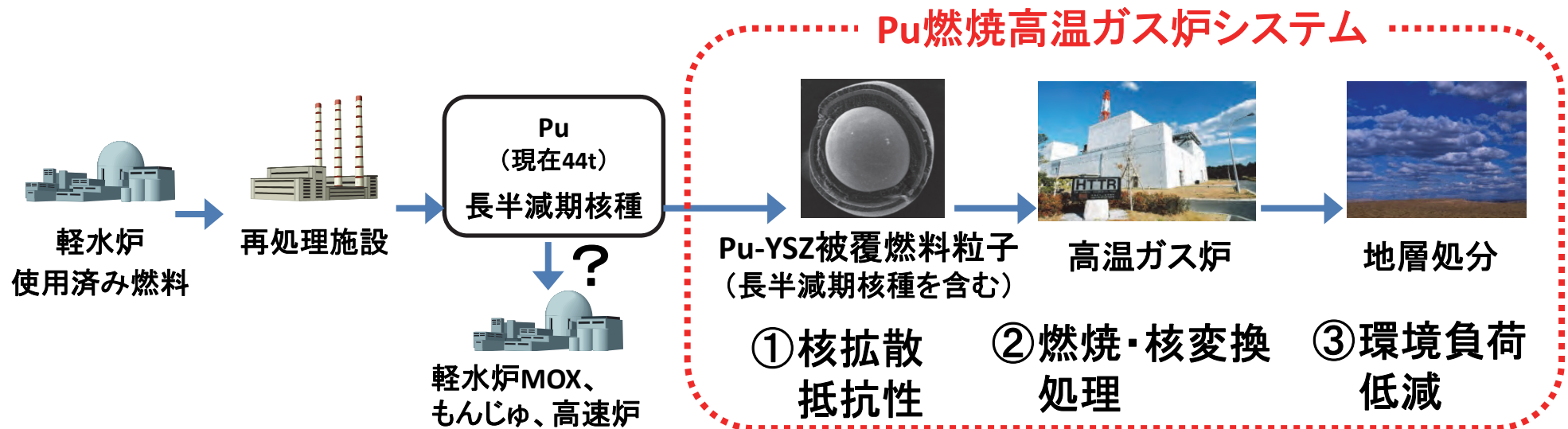
クリーン燃焼高温ガス炉の燃料

■ 特長

- ✓ PuO_2 -YSZは化学的に安定で、被覆燃料粒子内で母材からのCO発生を抑制
⇒ **高燃焼度(800GWd/t)が達成可能**
- ✓ PuO_2 -YSZは化学的に安定で難溶性であるため、再処理が困難
⇒ **核拡散抵抗性に優れる、地層処分に適する**



クリーン燃焼高温ガス炉システムを成立させるために必要な研究



1. Pu-YSZ被覆燃料粒子の核拡散抵抗性が従来の燃料に比べて各段高いこと

研究課題：①燃料設計、②燃料製造技術の確立、③核拡散抵抗性の実証

2. 燃焼・核変換処理における安全性及び処理効率が軽水炉などより各段に高いこと

研究課題：①核的・熱的成立性、②安全評価、③シビアアクシデント評価

3. 超長期健全性など地層処分時の環境負荷が各段に小さいこと

研究課題：③地層処分時の安全性評価

地層処分時における優位性

- 不活性母材型燃料を用いた高温ガス炉：加工せず処分
 - SiC層の優れた耐腐食性により健全性は100万年オーダー¹⁾
 - さらにYSZの低いFP浸出率（ガラス固化体の1/100程度）²⁾
- LWR-MOX : ガラス固化体にして処分
 - オーバーパックの健全性は1000年オーダー³⁾



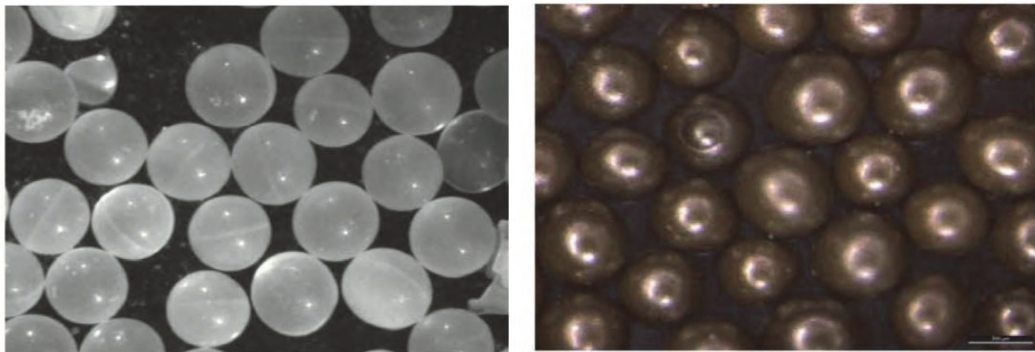
不活性母材型高温ガス炉燃料は、地層処分にも有利であり、環境保全性に優れる

1) C. Rodriguez, et. al, NED 222 (2003).

2) K. Kuramoto, et. al, J. Nucl. Materi. 319 (2003).

3) JNC TN1400 99-020 (1999) 、オーバーパック破損設定値.

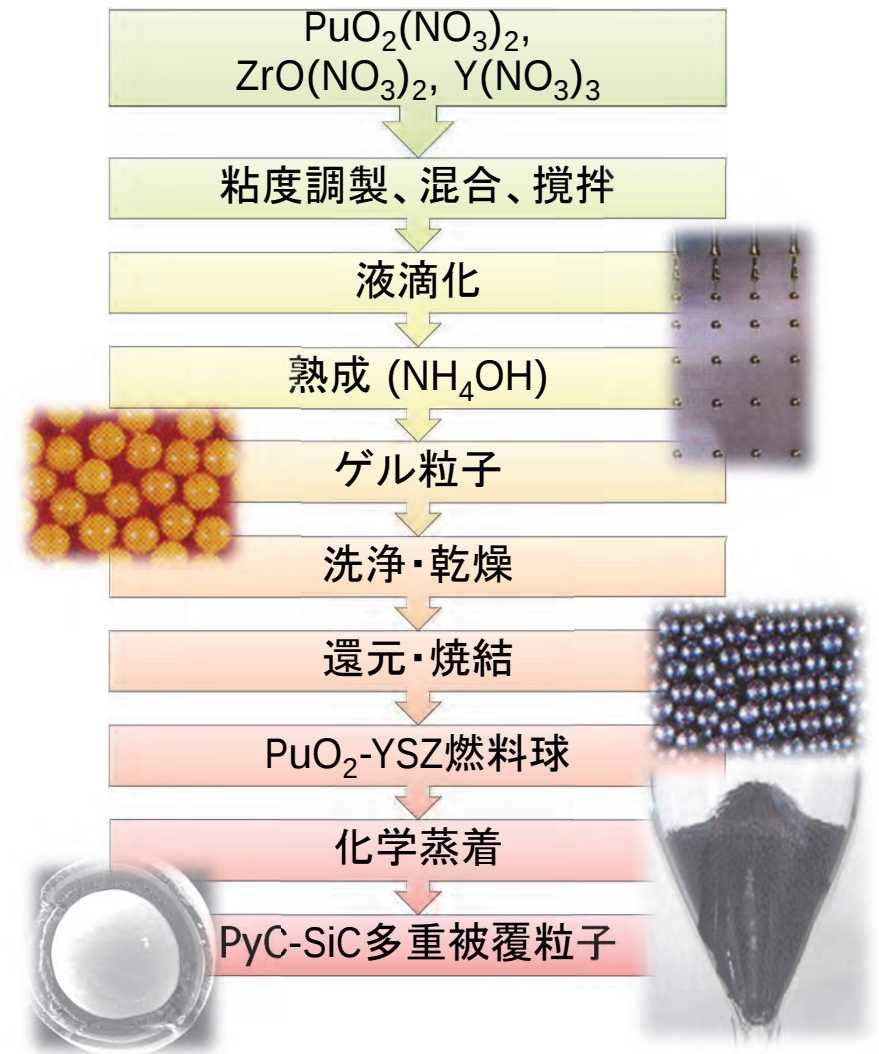
PuO₂-YSZ (TRU-YSZ) 被覆燃料粒子



YSZ(左)とPuO₂-YSZ(右)、ZrO₂を主体とするYSZの外観は石英(SiO₂)に類似している。

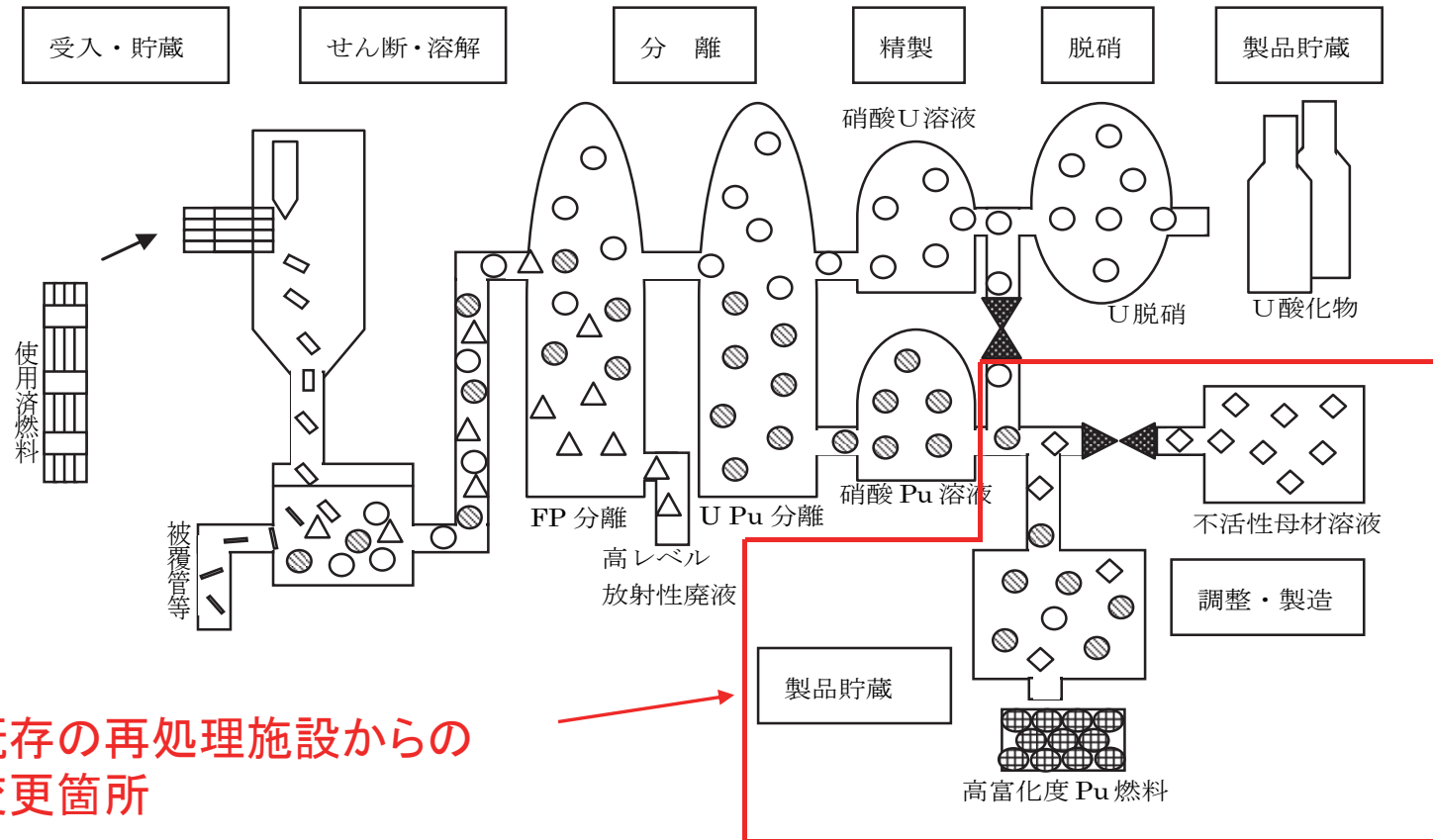
研究開発状況

- 国内でUO₂-YSZ燃料粒子の製造実績と照射試験の実績がある。
- 海外(独国)でPuO₂-YSZ燃料粒子の製造実績がある。
- JAEAと原燃工の間で、Pu模擬被覆燃料粒子の製造試験の実施を検討中。
- JAEAにおいて、PuO₂-YSZ燃料粒子製造試験の実施を検討予定。



PuO₂-YSZ被覆燃料粒子の製造フロー

Pu単体の利用を可能とする 再処理及び燃料製造法



既存の再処理施設からの
変更箇所

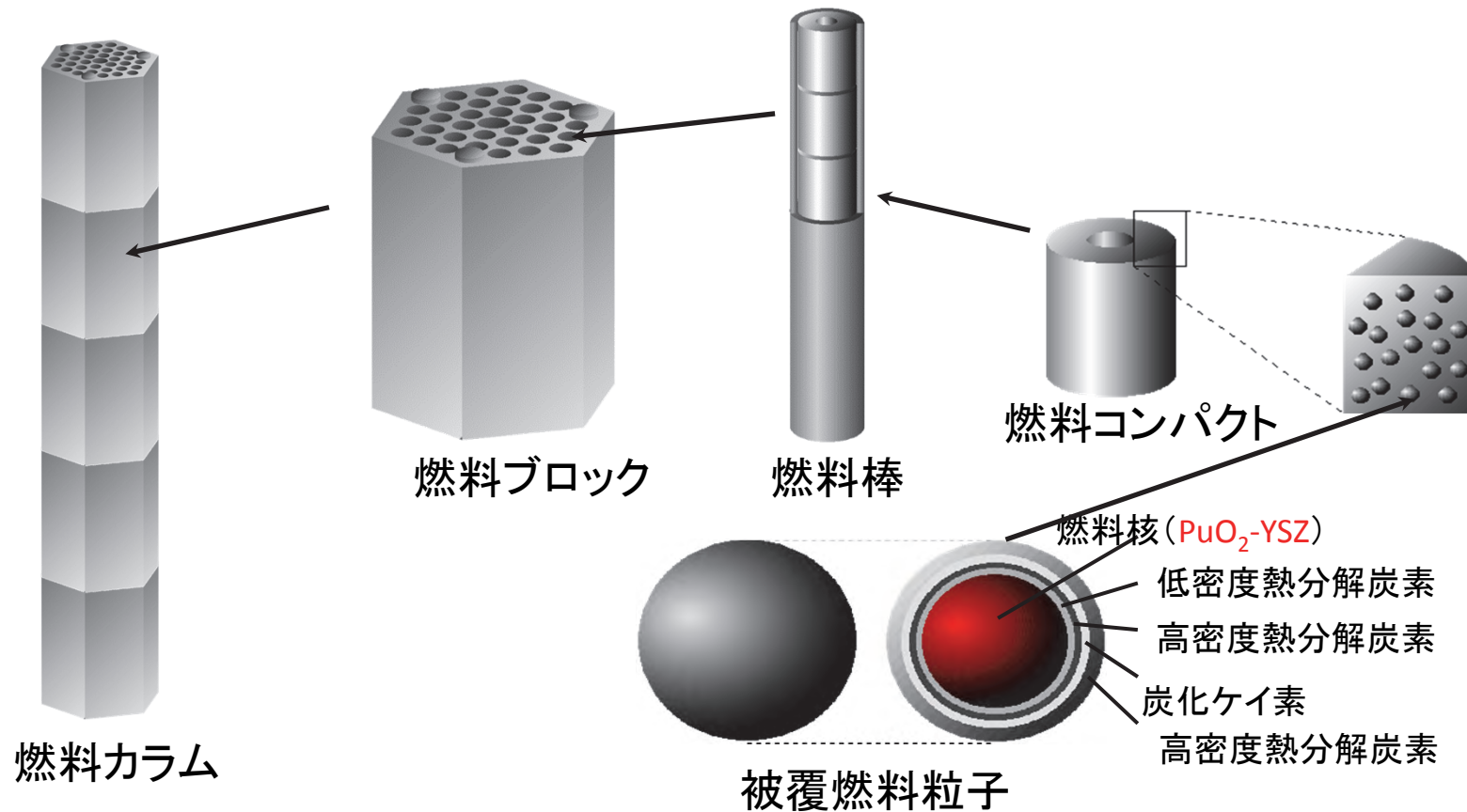
日米再処理交渉により
Pu:U=1:1の混合が義務付けられている



・Uの代わりに化学的の安定が高いYSZを混合
・脱硝せずにゾルゲル法燃料製造ラインへ接続

既存の手法よりも核拡散抵抗性の高い製法によりPu単体の燃焼が可能となる。

CBHTRの構成



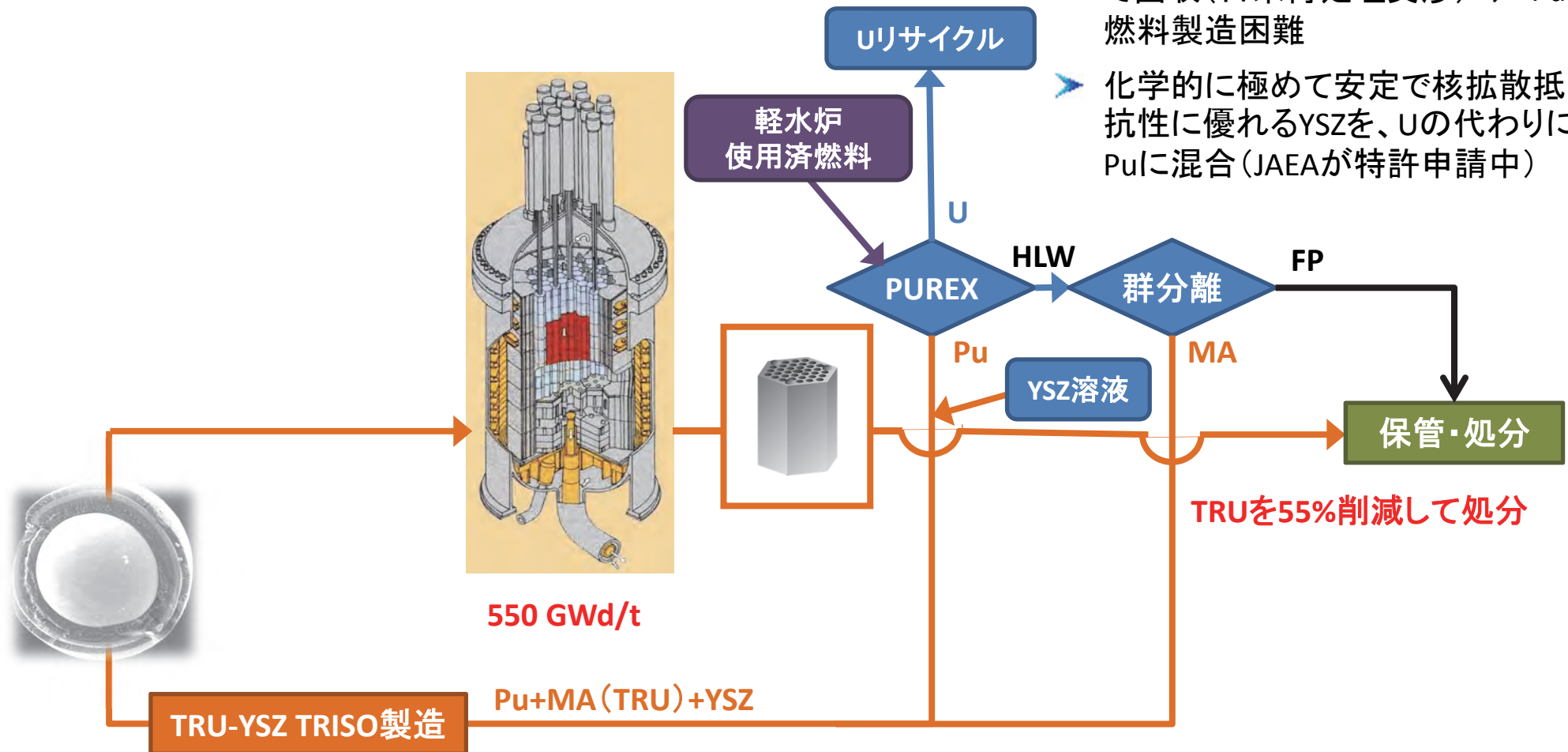
■ 不活性母材燃料 (Inert Matrix Fuel (IMF)) の特長

- $\text{PuO}_2\text{-YSZ}$ は化学的に安定で、被覆燃料粒子内で母材からの CO_2 発生を抑制
⇒ **高燃焼度 (700GWD/t) が達成可能**
- $\text{PuO}_2\text{-YSZ}$ は化学的に安定で難溶性であるため、再処理が困難
⇒ **核拡散抵抗性に優れる、地層処分に適する**

Clean Burn

YSZが必要な理由

- ▶ 六ヶ所再処理工場ではPu:U=1:1で回収(日米再処理交渉) → Pu燃料製造困難
- ▶ 化学的に極めて安定で核拡散抵抗性に優れるYSZを、Uの代わりにPuに混合(JAEAが特許申請中)



MA : Minor Actinide

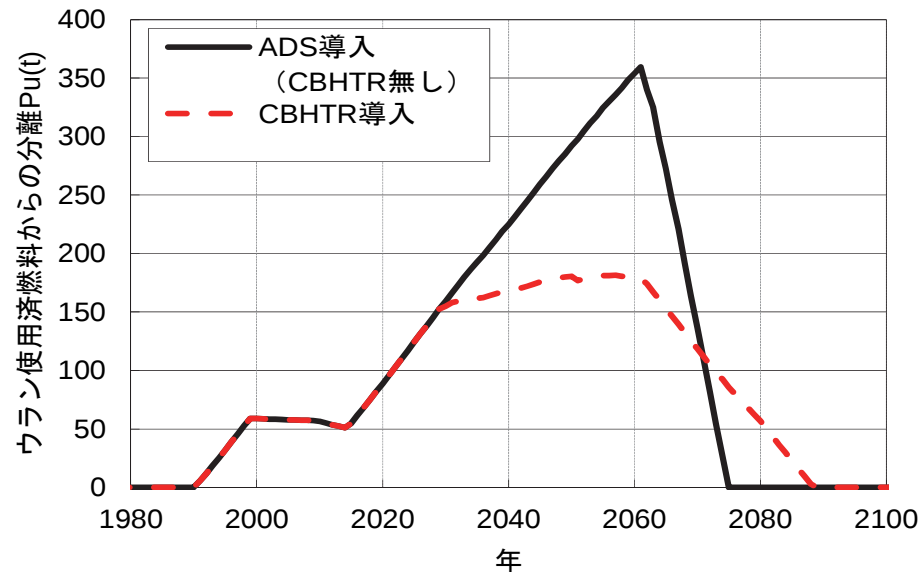
TRU : TRans Uranium

YSZ : Yttria Stabilized Zirconia

HLW : High Level Waste

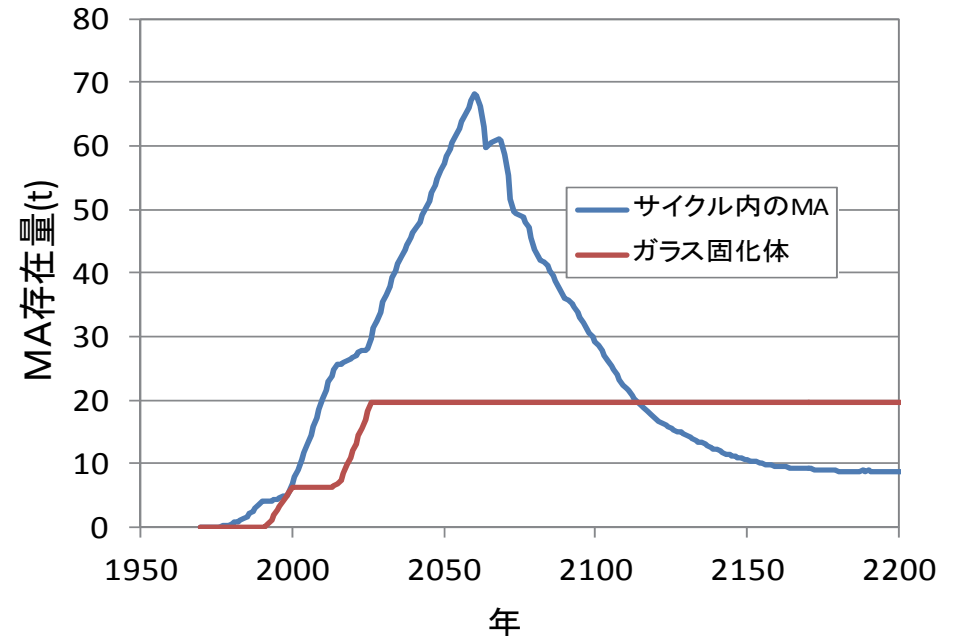
クリーン燃焼高温ガス炉とADSの連携の効果(2/2)

分離Puの発生量の比較



CBHTR導入により分離Pu蓄積量のピークが180t程度に抑えられる。

MA量



マルチリサイクルのADSにより、MA核種は完全に変換され、サイクル内の存在量は10t程度で平衡になる。

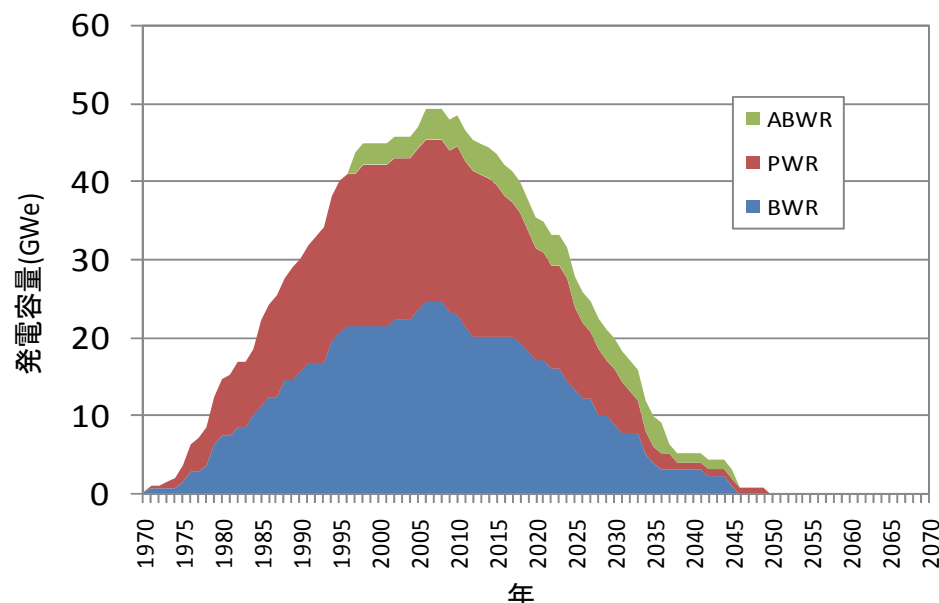
一方で、軽水炉再処理でガラス固化されたMAは残り続ける→後世の負担に

クリーン燃焼高温ガス炉の導入により核拡散抵抗性が高く、ADSの導入により環境負荷の低いバックエンドシステムが実現する(Pu、MAをほぼゼロにできる)→最終処分場の面積の劇的な減少

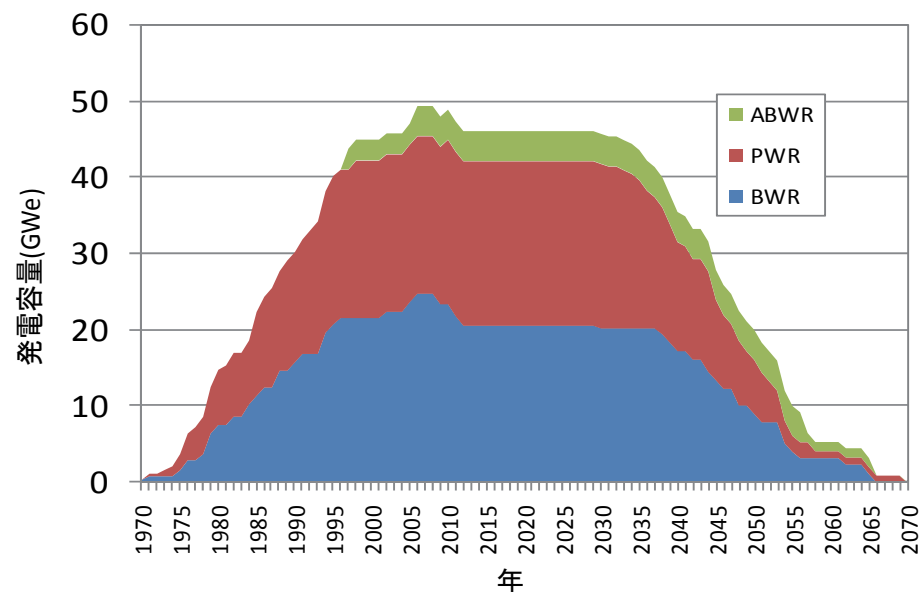
軽水炉設備容量の推移

1970年から導入された軽水炉は現在、寿命を向かえ廃炉が始まっている。

長寿命化(耐用年数40年から60年へ)の議論も存在する。



耐用年数40年のケース



耐用年数60年のケース

- ・次世代軽水炉では2030年の導入を予定していた。
- ・高速炉は2050年の導入を予定。
- ・民主党下の15%シナリオに相当する設備容量20GWeは2030年の設備容量。

電力の安定供給を行うためには、耐用年数の延長を行わない限りは2030年から新規炉心の本格的な導入が必要。