

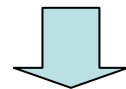
図1-2-31 連続晶析装置の研究開発

(1) 技術の現状

晶析方法の化学的成立性及び連続晶析装置の基本的成立性を確認

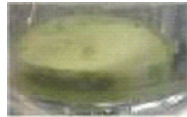


- ・ 実溶解液を用いた小規模ホット試験により、プルトニウムを4価に調整することで、ウランを粗分離できることを確認。
- ・ U-模擬FP溶液、U-Pu-模擬FP溶液及び照射済燃料の溶解液を用いた試験により、除染係数100程度が達成可能であることを確認。FP元素によっては、条件により、異なる挙動を示すことを確認。
- ・ 臨界管理を形状管理とした円環型キルン式晶析装置を試作し、ウラン試験で性能に問題がないことを確認。

照射燃料などを用いた試験により晶析条件の基本的成立性が見通しが得られつつある

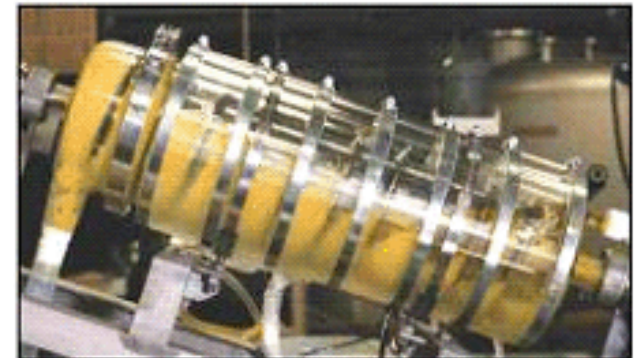


晶析操作条件の最適化、工学規模装置の開発が必要

U 結晶中における Pu の存在比

	U結晶の外観	Pu 比
Run1		100 : 0.3 (U) (Pu)
Run2		100 : 5 (U) (Pu)
Run3		100 : 1.5 (U) (Pu)

Pu(IV) のみの場合には母液に付着する
Pu(VI) の場合には結晶に取り込まれる



連続晶析装置概念(基礎試験装置)

図1-2-31 連続晶析装置の研究開発

(2) 結晶中のUに対するPuとFPの除染係数 (DF)

核種		洗浄回数			
		0	1	2	3
ii-3	Am-241	12	100	250	3,000
	Cs-137	13	100	170	740
	Eu-155	11	100	240	860
ii-4	Am-241	6	58	550	1,700
	Cs-137	6	57	420	1,300
	Eu-155	6	56	530	1,400

		Pu	¹²⁵ Sb	¹³⁷ Cs	¹⁵⁵ Eu
Run1 (急冷)	洗浄前	5.6	1.6	1.2	4.2
	洗浄後	25	0.7	0.8	27
Run2 (緩冷)	洗浄前	4.6	0.8	0.9	3.5
	洗浄後	19	0.5	0.9	19

(4) 再処理の技術開発課題へのコメント

① 晶析工程

i. 基礎データの充実

「FS フェーズⅡ報告書」においては、再処理工程を「解体・せん断→溶解→ウランの粗取り→共抽出→MA回収」とし、この「ウランの粗取り」の工程に晶析法を採用することが提案されている。晶析法は、物質によって溶解度に差があり、かつ温度によって溶解度が変化する、という物質の性質を利用する方法であり、これまでの溶媒抽出法と比較して制御が容易であること、廃棄物発生量が少ないことを期待している。

これまでに、小規模ではあるがホット試験を行い、プルトニウムの挙動、FPの挙動の確認が行われている。しかし、革新的な技術であり、今後、さらに溶液から固体を析出する非均質プロセスとしてTRU、FP挙動に係わる基礎的なデータの充実、ウラン回収率の安定性、制御性などに関する検討を行うことが必要であると考え（図1-2-31参照）。

ii. 機器の大型化に配慮した研究開発の実施

晶析法は固相と液相が共存するプロセスであるが、固相と液相が共存する場合には機器の規模が大きくなるとプロセス内で不均一性の問題が顕在化する可能性が高い。このため、大型機器を用いて基礎的なデータの拡充を図るなど、機器の大型化に配慮した研究開発が必要であると考え。また、①ヨウ化パラジウム、モリブデン酸ジルコニウムなど溶液条件の変化により固相を生成する化学種が与える影響、②ウラン濃度の上昇に伴う配管閉塞の懸念、などを考慮した機器開発が必要であり、その有効性を確認するためには、実際の使用済燃料を用いた工学規模での試験を行うことが必要であると考え。

② ウラン、プルトニウム、ネプツニウムを一括回収する高効率抽出システムの課題

図1-2-32 遠心抽出器の研究開発

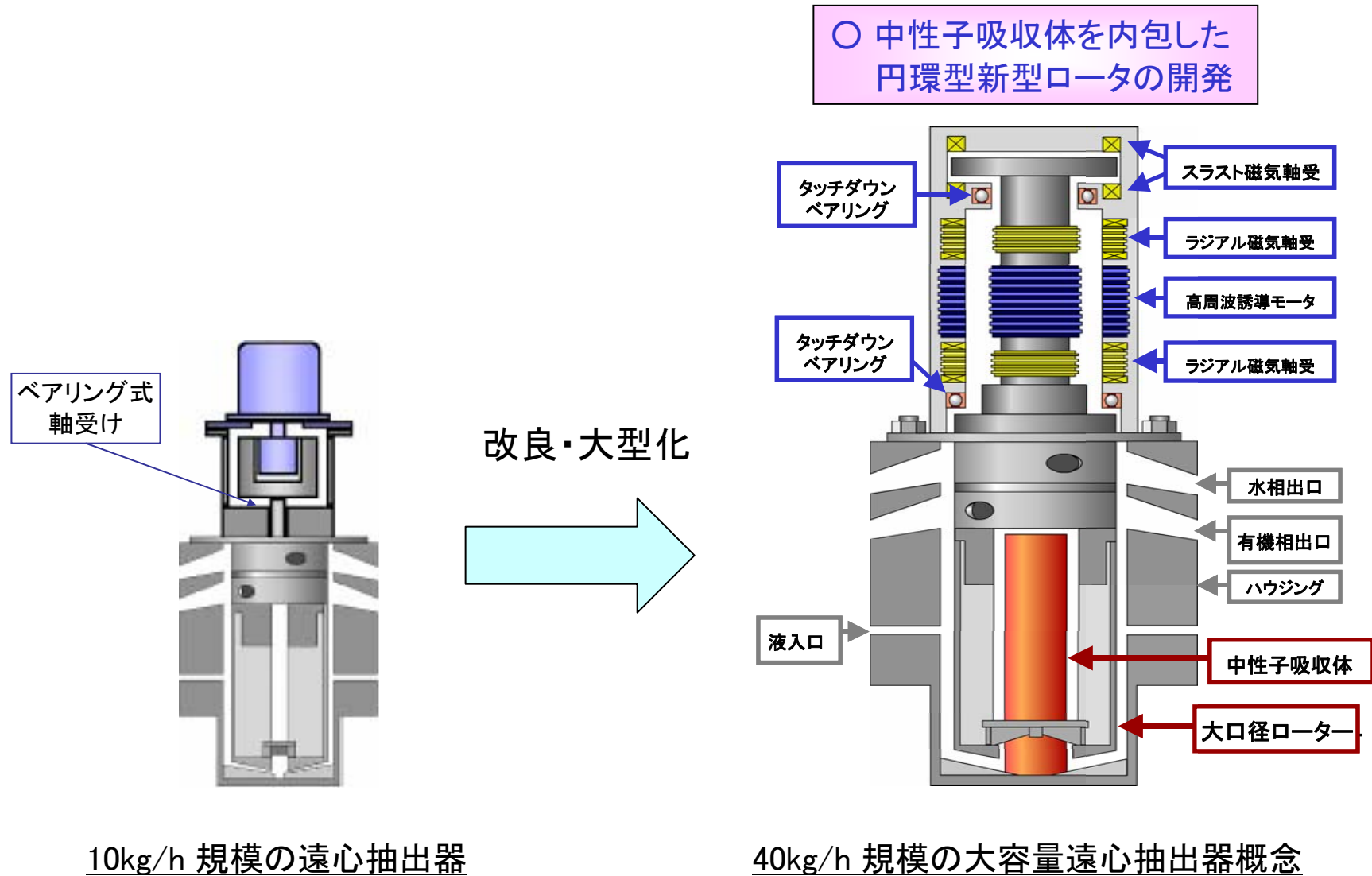


図1-2-33 抽出クロマトグラフィ装置の研究開発

技術の現状

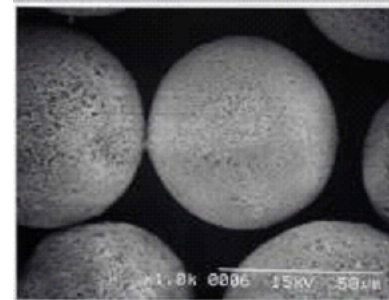
抽出クロマト法のMA回収工程への適用に関し、その基本性能を確認

- ・CMPO/SiO₂-P及びTODGA/SiO₂-Pについて、希土類元素の吸着容量、耐熱性、対放射線性等の基礎データを収集し、高温、高硝酸濃度条件下における耐久性についてはCMPO含浸吸着材の方が良好であることを確認。
- ・吸着材からのCMPO浸出を最小化する方法を考案し、分離試験によりAm-Cm回収工程への適用に向けて基本性能に問題がないことを確認。

実験室規模での試験で分離特性を確認、CMPOとBTPの組み合わせを将来の候補技術として抽出した

分離操作条件、分離塔など主要な機器の開発が必要

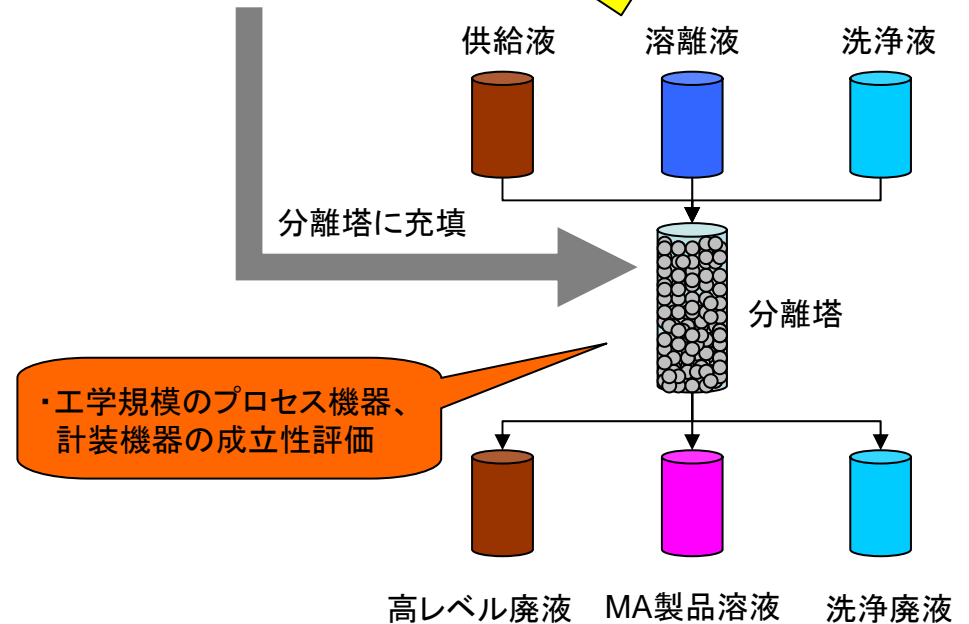
- 多孔質SiO₂ 粒子の表面にポリマー(スチレンジベニルベンゼン)を被覆(SiO₂-P)
- SiO₂-Pの表面に抽出剤(CMPO、TODGA、BTP等)を固定化



CMPO/SiO₂-P吸着材外観

抽出剤の比較・評価・選定

- ・フローシートの作成
- ・MA及びFP元素の挙動確認



i. 遠心抽出器に中性子吸収体を配置した場合の吸い込み性能

既に、ロータ部の直径が 8cm 相当の遠心抽出器による試験が行われている。さらに遠心抽出器を大型化する場合を想定し、安全性の観点からロータ部の内側に中性子吸収体を挿入することが提案されている。しかし、吸い込み部分の形状はノウハウが多い部分であり、ロータ部の内側に中性子吸収体を挿入した場合に生じる吸い込み部分への影響については、慎重な検討を行うことが必要であると考え（図 1-2-3 2 参照）。

ii. 不溶解性スラッジの影響

「FS フェーズⅡ報告書」には特段の記載がないが、工学的には、遠心抽出器の前段の工程から十分に溶解されていない残渣（不溶解性スラッジ）が混じって流れ込んでくることが懸念される。このため、不溶解性スラッジへの対応に関し、今後十分な検討を行うことが必要であると考え。

③ 抽出クロマトグラフィ法による MA 回収技術の開発

「FS フェーズⅡ報告書」では、これまで TRU 回収技術として研究開発が行われてきた溶媒抽出法ではなく、廃液の大幅な低減及び経済性の向上が期待できるとして抽出クロマトグラフィ法を採用し、これにより高レベル放射性廃液からアメリシウムとキュリウムを回収することが提案されている。抽出クロマトグラフィ法で利用する抽出剤に関しては、溶媒抽出法（SETFICS 法）で利用されている抽出剤と同じ CMPO 抽出剤を利用し、これを吸着材に担持する方式が提案されている。

溶媒抽出法と比べて抽出クロマトグラフィ法では利用する溶媒の量が少ないことから廃溶媒発生量の低減効果などが期待できると考えられ、これの導入を目指して研究開発を行うことは妥当と考える。しかし、抽出剤に関しては CMPO 抽出剤以外の使用も考えられ、より環境適合性や経済性などに優れた抽出剤の研究開発を行い、比較検討を行うことが必要であると考え（図 1-2-3 3 参照）。また、抽出剤を

図1-2-34 将来の軽水炉使用済燃料の再処理への
従来型 PUREX 法の適用と先進湿式法の適用の比較

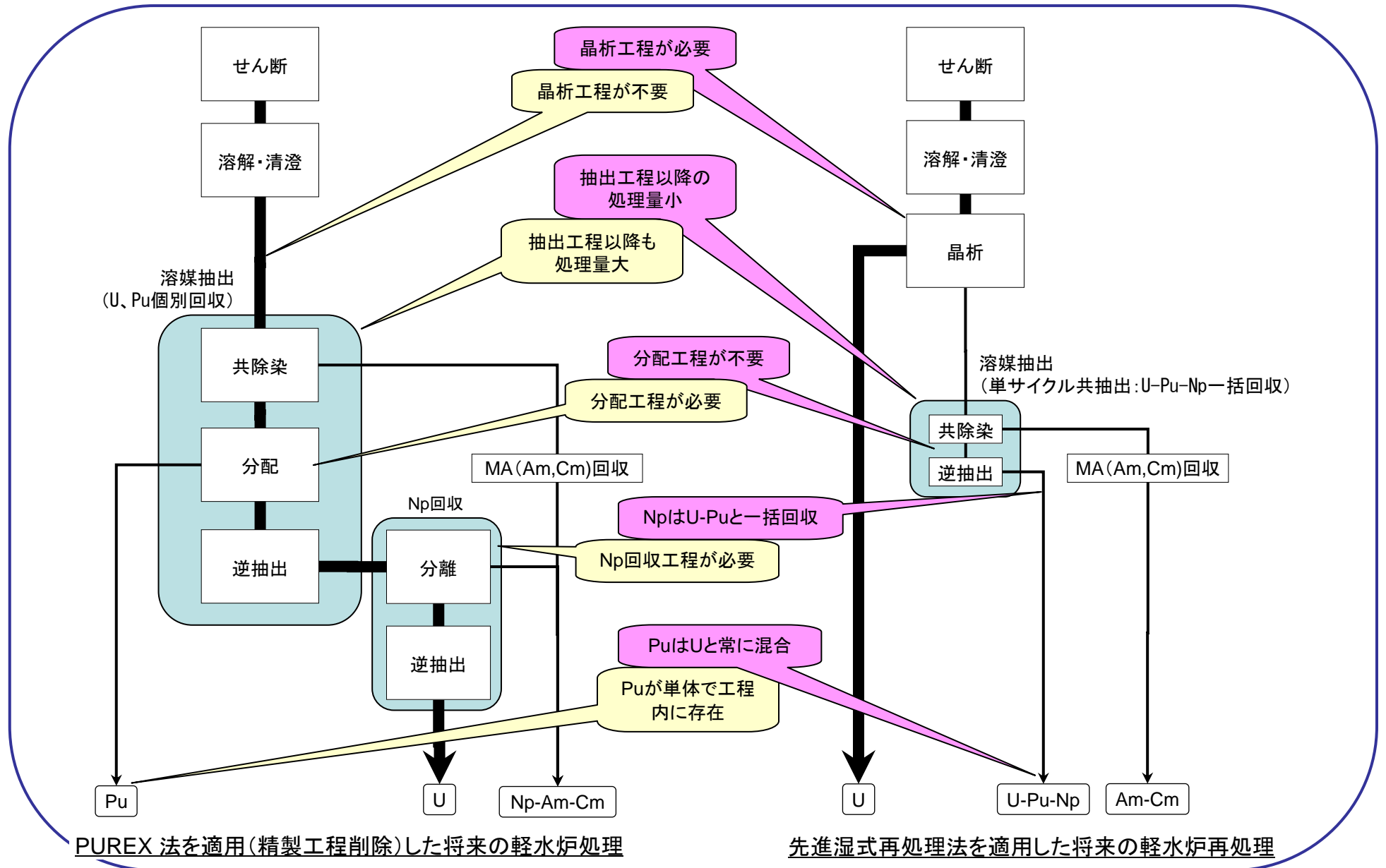
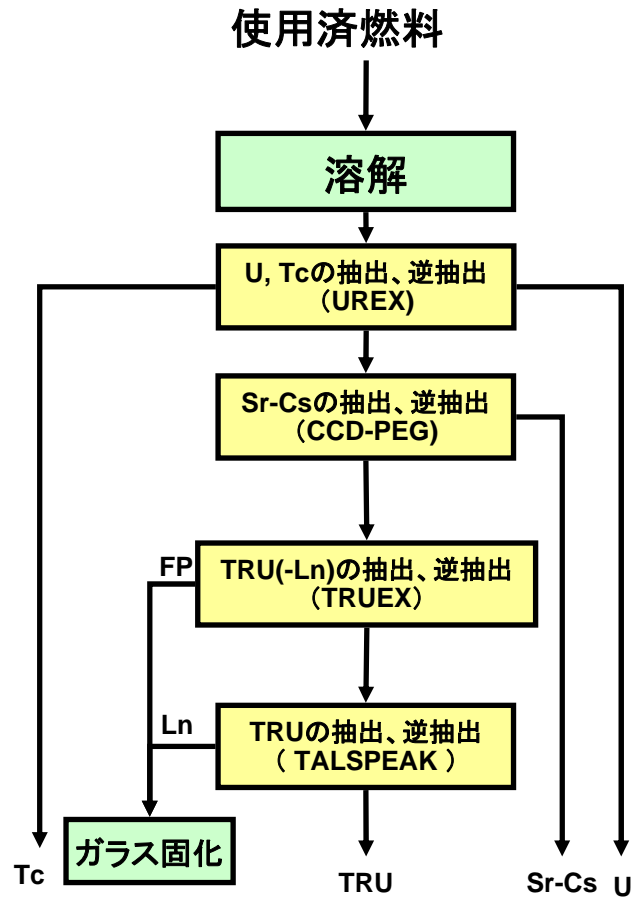


表1-2-7 米国が開発しているUREX法によるウラン分離回収技術の特徴



ウラン分離回収における米国(UREX法)と日本(晶析法)との比較

	位置付け	要求事項	特徴(課題)
米国(UREX+) UREX法によるウラン回収	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済LWR燃料を処理 ・回収Uは浅地処分(LWR燃料としての使用も念頭) 	<ul style="list-style-type: none"> ・回収率: > 90% ・DF (Pu) > 10⁵ ・TRU < 100nCi/g (浅地処分時(10CFR61.55に準拠)) LWR燃料として使用する際は、より厳しい要求(ASTM C788-98に準拠) 	<ul style="list-style-type: none"> ○高DFを確保 ×廃溶媒及び廃液の発生 → 経済性の向上が困難
日本(先進湿式) 晶析法によるウラン回収	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済FBR燃料を処理 ・回収UはFBR燃料として使用 	<ul style="list-style-type: none"> ・回収率: ~ 80% ・DF (Pu) > 20 ・DF (他元素) > 100 (遠隔操作による取扱いが前提) 	<ul style="list-style-type: none"> ○試薬の使用無し (廃溶媒及び廃液の発生無し) → 経済性の向上 ×高DF化(> 10⁵)が困難

UREX+1a法(米国)

担持する材料や抽出剤溶出対策に関する検討が必要であると考え。さらに、クロマトグラフィ装置は分析設備としては実績があるものの、分離のための工業用大型施設としての実績はないことから、工業用大型施設として必要とされる要件を満足できる設計について、今後とも検討が必要であると考え。

④ 先進湿式法の軽水炉燃料再処理への適用

現在の軽水炉燃料再処理施設においては使用済燃料の中からプルトニウムとウランを選択的に回収している。このウラン（回収ウラン）は、回収される工程において他の核種と十分に分離されている（「高除染」と呼ばれている。）ことから、放出する放射線量が少なく、発熱量も少ないなど、その取り扱いが比較的容易であり、改めて核燃料に加工して利用することも容易である。

晶析法で回収されたウランには、FPやTRUの一部が多く含まれ（「低除染」と呼ばれている。）、このため放出される放射線量や発熱量が多く、取り扱いがこれまでより困難になることから、回収ウランの貯蔵にも配慮が必要になる。このため、晶析法を将来の軽水炉燃料再処理に採用する場合には、軽水炉燃料再処理からの大量の回収ウランについて、その除染係数をどの程度とすべきかなど検討が必要と考える。また、回収ウランの除染係数を設計要求として設定するにあたっては、軽水炉サイクルを含む燃料サイクル全体を視野に入れて評価することが必要であると考え（図1-2-34参照）。

なお、米国が将来の再処理工程として検討している UREX 法（溶媒抽出法の一つ）では、回収ウランの除染係数について、回収ウランの処分をも見据え、低レベル放射性廃棄物と同等の処分が可能な放射能レベルに設定することを検討していると言われている（表1-2-7参照）。回収ウランの除染係数の妥当性については、我が国と米国ではウラン資源に対する考え方が異なり、技術的側面からのみで判断すべきではないと考える。軽水炉燃料からの回収ウランの活用方法に関する議論などが必要であり、これに基づき設計要求の見直しが要請される可能性があることに留意すべきと考える。

(5) 燃料製造の研究開発課題へのコメント

① MA の取り扱い

「FS フェーズⅡ報告書」では、高速増殖炉サイクル平衡期には、MA 組成はネプツニウム 0.1 %、アメリシウム 0.7 %、キュリウム 0.2 % になることが示されている。一方、高速増殖炉サイクル導入期においては、長期に中間貯蔵した軽水炉燃料やプルサーマル燃料から回収される MA を最大 5 % 程度まで添加して燃料を製造することから、MA 組成は平衡期とは異なる。特にキュリウムは発熱源となることから、その比率が大きくなると、特に燃料製造の際にハンドリングが困難になる。今後の研究開発にあたっては、このような MA の組成割合に対応した燃料製造が可能となるよう、優先的に取り組むべきである。

② ダイ潤滑成型

従来のペレット製造法では、成型工程における MOX 粉末の潤滑性を高めるために粉末段階で潤滑材を混合している。これに対し、簡素化ペレット法では、ペレット成型の際に潤滑剤を噴霧する方式が提案されている。これまでの研究開発において、実験室規模では成立性を確認したとされているが、量産技術として成立するか否か今後さらに研究開発を行う必要があると考える。

(6) 共通的な事項へのコメント

① 保障措置技術分野

我が国は、今後も、原子力の研究、開発及び利用は、厳に平和の目的に限って推進し、国際的な核不拡散体制に積極的に参加し、IAEA保障措置及び国内保障措置の厳格な適用を確保して行くこととしている。新たな高速増殖炉サイクルシステムを実用化するにあたっては、この考え方を踏まえて推進することが必要である。このため、新たな高速増殖炉サイクルシステムを実用化するためには、核不拡散性が高く、十分な計量管理がなされ、合理的な保障措置の適用が可能となるような設計及び運転管理とする必要があると考える。

「FS フェーズⅡ報告書」では保障措置関連技術に関する記述が十分になされていない。保障措置関連技術は施設の設計に深く係わるものであり、今後、実証段階の施設の設計や実用段階の概念を具体化していく際には徐々にその重要性が増してくる。今後の研究開発にあたっては、保障措置関連技術に関する検討を十分に行うべきであると考え

