

OHP 集

平成 11 年 2 月 9 日

(財)電力中央研究所

1. 研究開発の目的と対象核種

- ・ 現行の深地層処分技術は潜在的毒性を顕在化させないシナリオに基づいた技術である。
- ・ 群分離・消滅処理技術は、高レベル廃液から発生するガラス固化体の潜在的毒性そのものを低減する
 - － 処分期間が極めて長期であることによる不確実性を低減
 - － 公衆の不安感を低減することを目的とする。
- ・ 潜在的毒性を低減の観点から最も優先される超ウラン元素を群分離・消滅処理の対象に選定する。
- ・ 群分離・消滅処理技術の実用化は 2030 年頃以降
 - － 高燃焼度燃料、プルサーマル燃料、高速炉の使用済み燃料
 - － 超ウラン元素に起因する高い発熱量
 - ガラス固化体の発生本数を低減
 - 処分量に余裕を与えることになる。

2. 研究開発の目標

(1) 全体のシナリオ

- ・ 高レベル廃液、不溶解性残渣などからウラン、超ウラン元素を乾式法で回収し、金属燃料に混合しFBRで燃焼させる(図1)
- ・ 燃焼した使用済み金属燃料は乾式法で再処理する
- ・ 軽水炉サイクル、高速炉サイクルから発生する超ウラン元素を高速炉サイクル内に閉じ込める
- ・ 最終的には軽水炉サイクルと高速炉サイクルを統合した燃料サイクル「乾式リサイクル技術」を構築(図2)
- ・ 超ウラン元素の環境への排出を最小限にする核燃料サイクルの確立を図る

図1 電中研の分離・消滅処理構想

- ・ 乾式法によるTRUの分離
- ・ 金属燃料高速炉を用いたTRU消滅（金属燃料サイクルにTRUを閉じ込める）

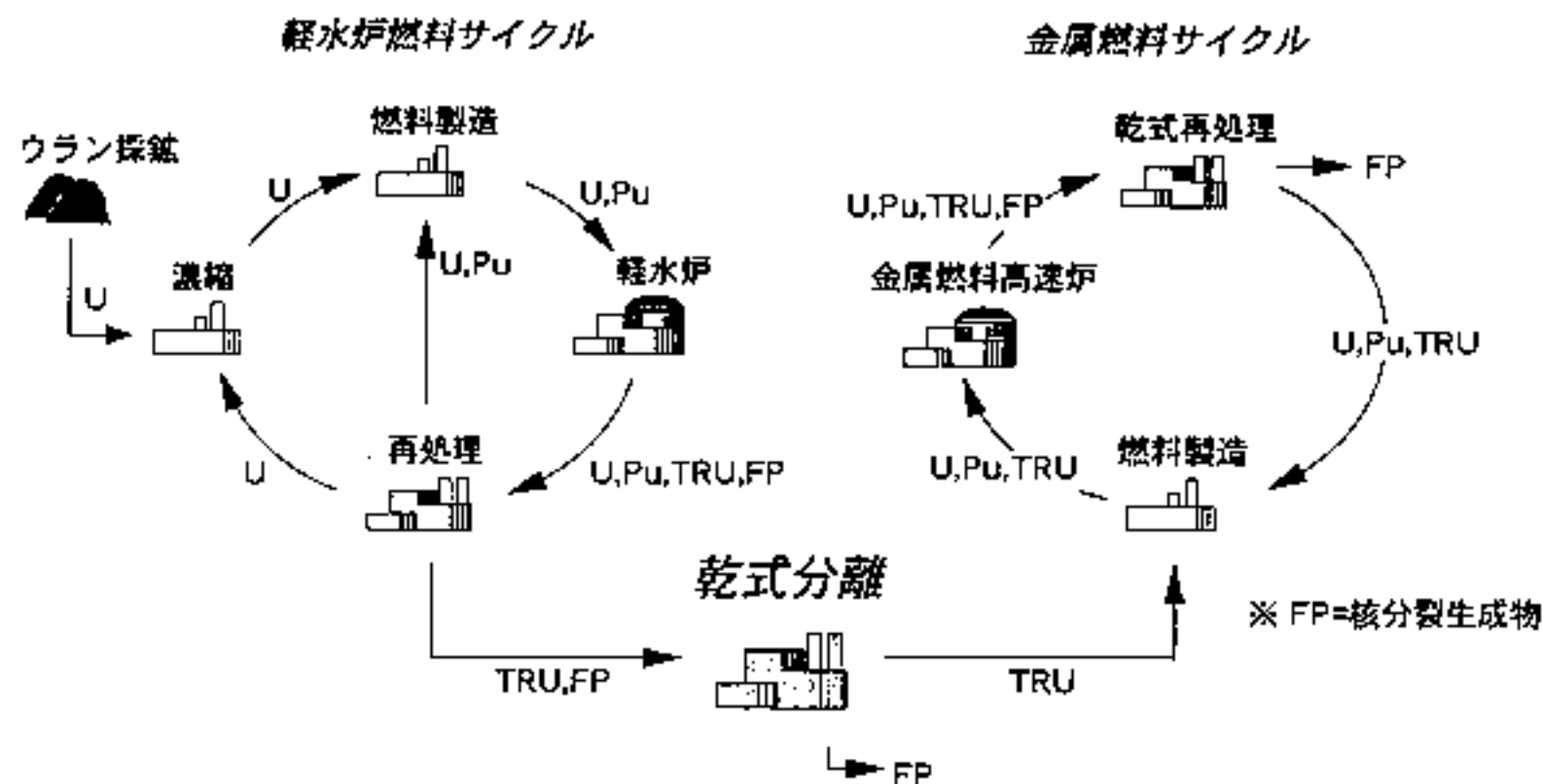
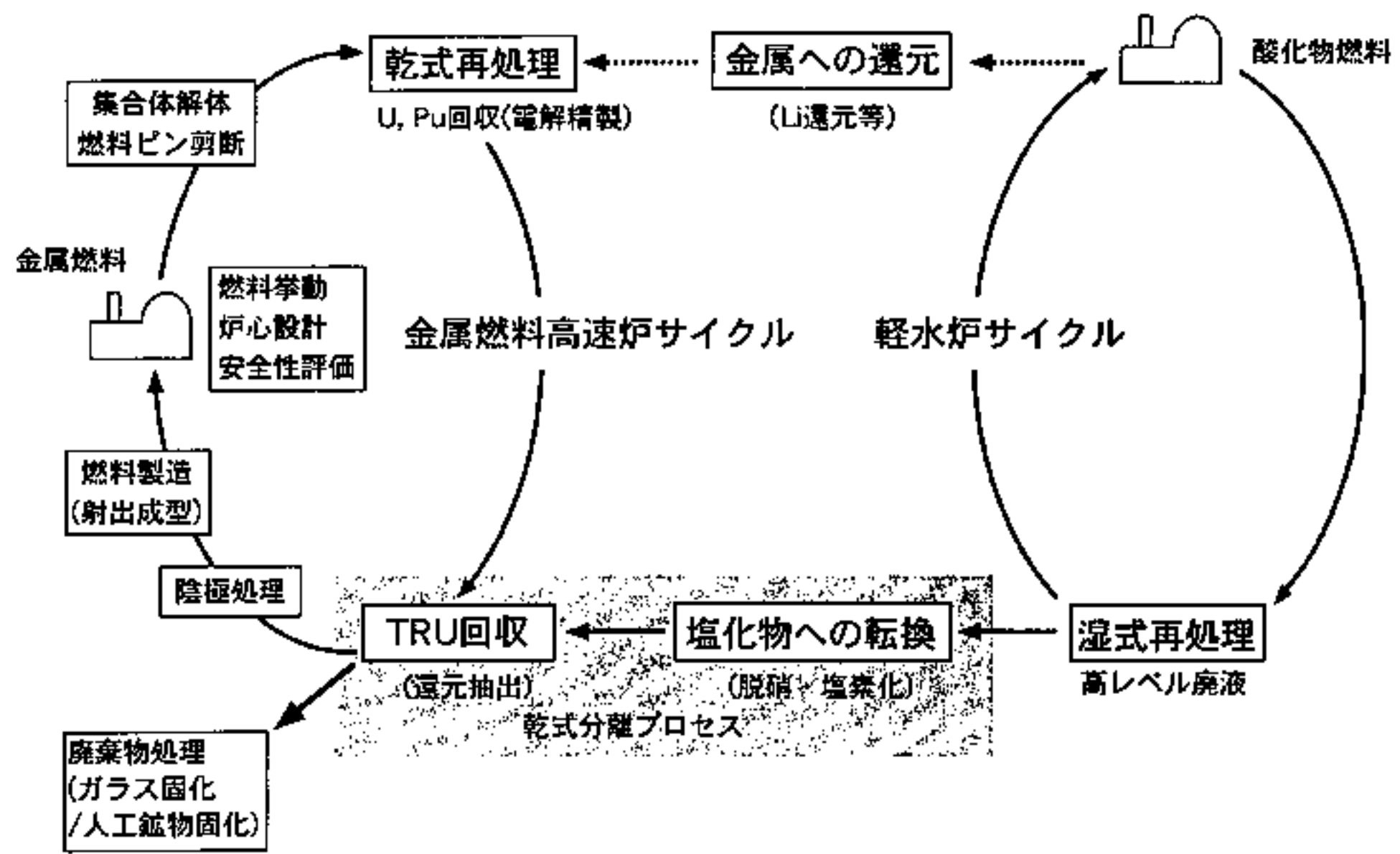


図2 乾式リサイクル技術の概要



(2) 分離法（乾式分離）

- ・ 熔融塩／液体金属を用いてウラン、超ウラン元素を 99%以上分離・回収する
- ・ 高レベルの核分裂生成物等を含む廃棄物はガラス固化、または人工鉱物固化する

(3) 消滅処理

- ・ 乾式法により回収された金属状の超ウラン元素を金属燃料に混合（最大 5 重量%）し、燃焼（消滅）させる

3. 研究開発の経緯

- ・ 昭和 58 年から 2 ケ年：国内外の動向調査や群分離の技術的可能性の検討
- ・ 昭和 60 年頃：米国(アルゴンヌ国立研究所)との情報交換
 - － 群分離への乾式法の適用可能性を検討
 - － 乾式法の要素技術のフィージビリティー
- ・ 昭和 61 年：本格的に研究開発に着手
- ・ 群分離・消滅処理を含め、軽水炉(LWR)サイクル、高速炉(FBR)サイクルを統合した「乾式リサイクル技術」として研究開発を実施

4. 乾式分離・消滅処理技術の特徴

(乾式分離技術)

- ・ 高レベル廃液、不溶解性残渣（固体）などにも適用可能
（汚泥状の高レベル廃液にも）
- ・ 溶媒（溶融塩、液体金属）、還元剤等（リチウム、塩素ガス）がリサイクル可能
- ・ 有機溶媒やイオン交換樹脂などの劣化生成物が恒常的に発生しない。（プロセス廃棄物の発生が少ない）
- ・ 分離プロセスがコンパクト、経済的に有利
- ・ 臨界制限に対する裕度が大きい

(消滅処理技術)

- ・ 金属燃料高速炉：酸化物燃料に比較して消滅効率が良い

- ・ 燃料製造：簡便な鑄造法

燃料製造コストの大幅な低減

- ・ 高速炉の使用済み燃料の乾式再処理：ウランやプルトニウムとともにマイナーアクチニド元素が一括して回収可能

(乾式リサイクル技術全体として)

- ・ 核燃料サイクル：すべてのウランや超ウラン元素を燃料サイクルへ閉じ込める
 - － 環境中に排出される長半減期の元素の量が低減（環境負荷の低減）
- ・ 純粋な形でのプルトニウム等の取り出しが困難
 - － 核拡散抵抗性が高い
 - － 盗難等物的防護に強い（放射能が極めて大）
- ・ 燃料形態や組成を問わず適用可能（酸化物燃料、金属燃料、窒化物燃料、UO₂, MOX 等）
- ・ プルトニウムのリサイクル燃料や高燃焼度燃料にも適用しやすい
- ・ 金属燃料炉心：少ない使用済み燃料の発生、固有の安全性の確保、プルトニウムの増殖性能が良い

5. 乾式分離・消滅処理の主要プロセス

(乾式分離技術、図 3)

- ・ 高レベル廃液を塩化物に転換
- ・ 超ウラン元素の分離は熔融塩、液体金属を用いた電解精製や還元抽出法(図 4)
- ・ 高レベル放射性の廃棄物はガラス固化、または人工鉱物固化し地層中に処分

(消滅処理技術)

- ・ 消滅率・炉心解析：金属燃料内での TRU の消滅効率の評価、TRU 含有炉心の特性評価
- ・ TRU 含有燃料の物性評価と照射試験
(照射試験は仏国フェニックス炉)

図3 乾式分離プロセスの提案

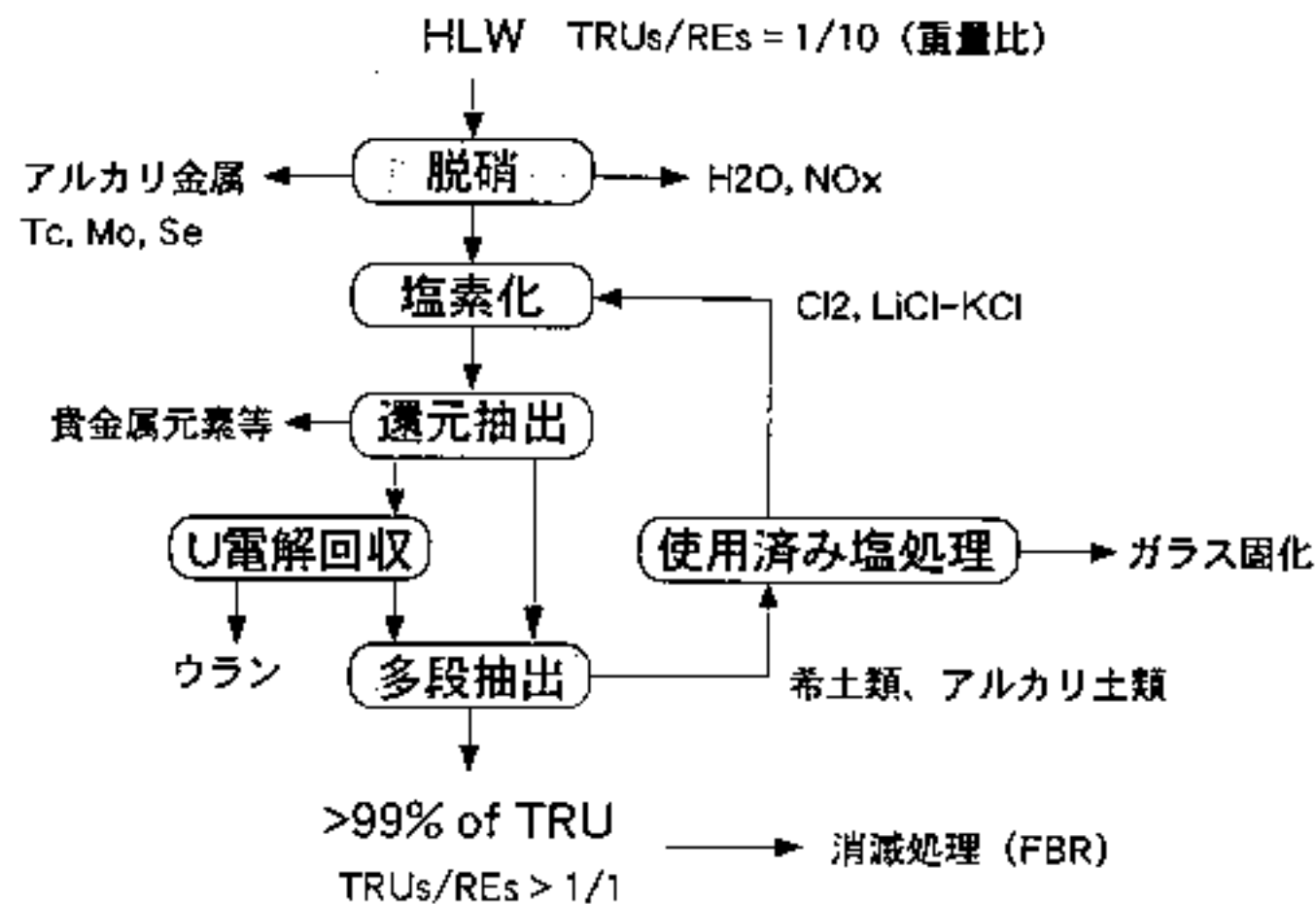
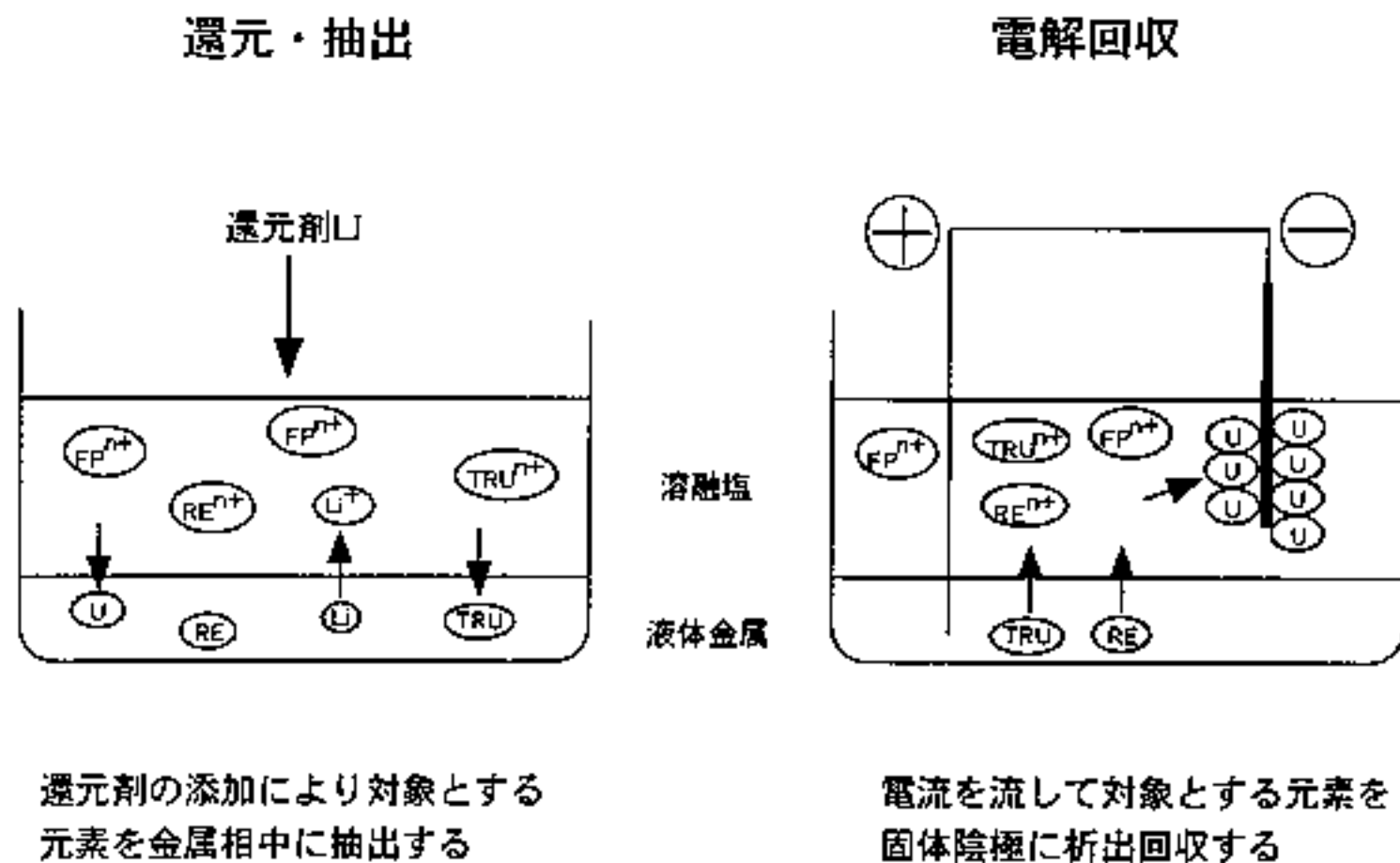


図4 還元抽出と電解回収の概念



6. 研究成果の概要

(乾式分離技術)

第 1 フェーズ(昭和 62 年～平成元年)

目標：熱力学データの取得と各プロセスの成立性の
検討

- ・ 基礎データの取得により要素技術の適用を確認

第 2 フェーズ(平成 2 年～平成 5 年)

目標：要素技術の開発、超ウラン元素の分離精度の
把握

- ・ 酸化物へ転換、塩化物へ転換技術の開発を継続
- ・ 廃棄物発生量の少ない塩化物処理法を開発
- ・ 電解精製で 99%以上溶融塩中から超ウラン元素を除去できることを実証

第3 フェーズ(平成6年～平成9年)

目標：小規模分離実証試験の実施、最適なプロセス
フローの構築

- ・ 99%以上の超ウラン元素の回収を実証(表1)
- ・ プロセスフローを構築(図5)

乾式分離研究開発の進捗状況の概要を図6

表1 多回抽出によるTRU/REの分離試験結果

試験結果例1 試験開始時のTRUとREの比 1:21.7 (wt./wt.)

5段の多回抽出により

回収率 Np 99.93%

Pu 99.94%

Am 99.66%

回収物中のTRUとREの比 0.32:1 (wt./wt.)

(計算では0.30:1)

試験結果例2 試験開始時のTRUとREの比 1:9.91 (wt./wt.)

4段と6段の多回抽出により

回収率 Np 99.8%

Pu 99.7%

Am 99.4%

回収物中のTRUとREの比 2.01:1 (wt./wt.)

図5 乾式分離プロセス

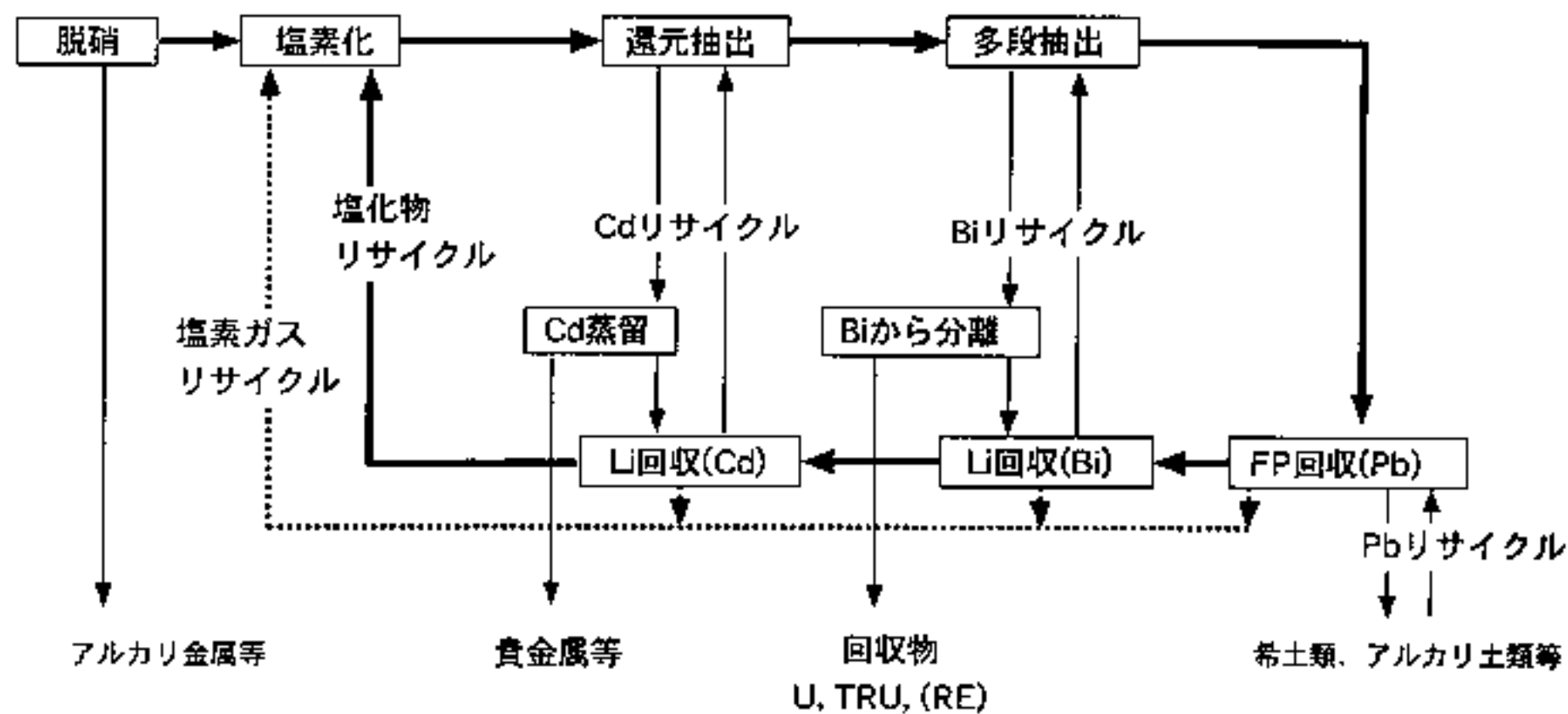
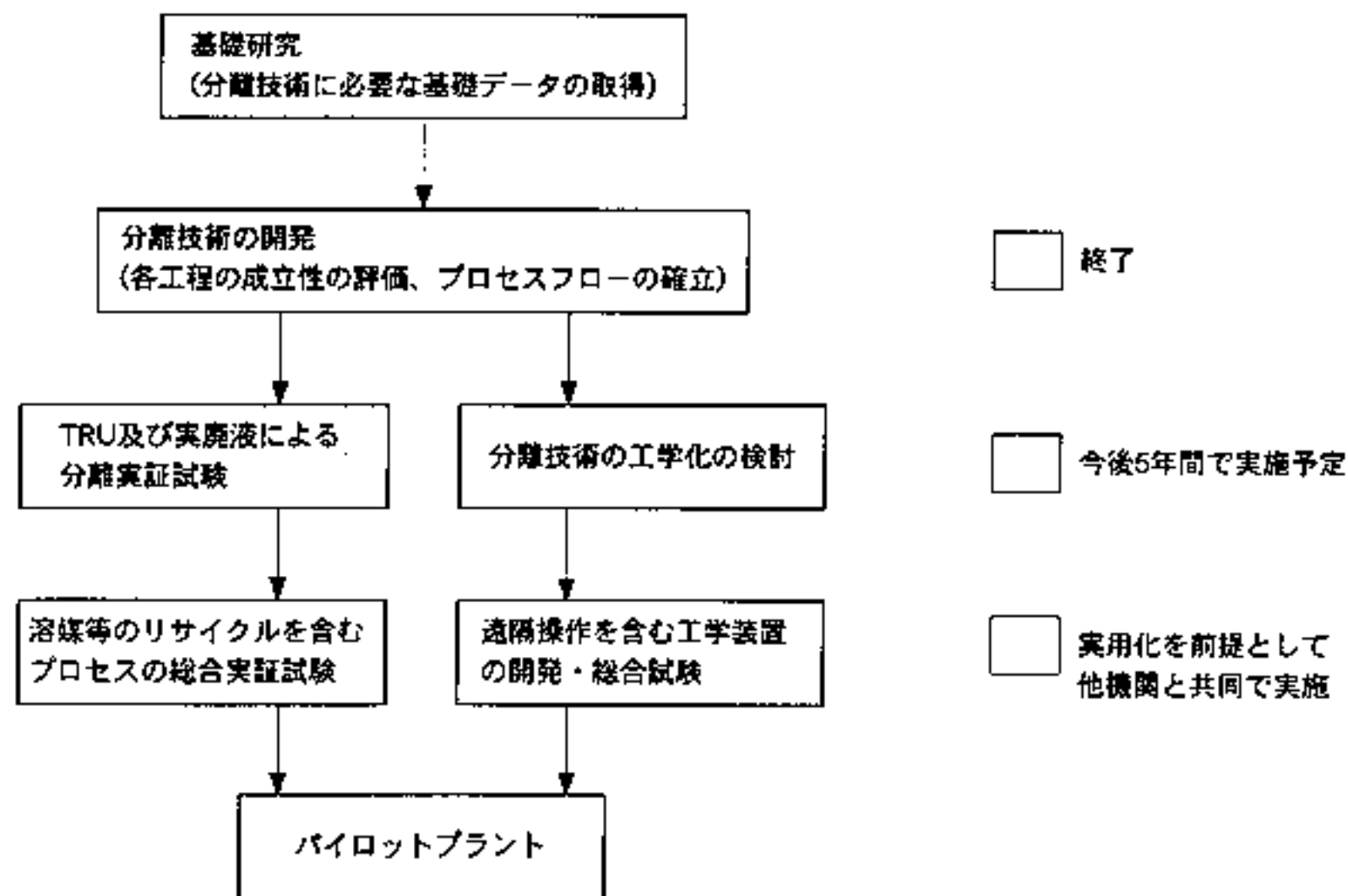


図6 高レベル廃液からのTRU乾式分離プロセスの開発段階



(消滅処理技術)

第 1 フェーズ(平成元年～平成 3 年)

目標：超ウラン元素の消滅率の解析と、超ウラン元素を含む合金燃料の物性把握

- ・ 金属燃料に超ウラン元素を 5wt. %混合することにより、軽水炉 5～6 基/年から発生する超ウラン元素の消滅が可能(図 7)
- ・ 超ウラン元素を含む合金の物性(熱伝導度、融点、合金中の超ウラン元素の挙動)を測定

第 2 フェーズ(平成 4 年～平成 6 年)

目標：解析コードの開発と照射試験用の超ウラン元素を含む合金燃料の製造

- ・ 超ウラン元素を装荷した燃料棒の燃焼を取り扱う計算コードを開発
- ・ 照射試験用の金属燃料を製造(図 8)

図7 金属燃料(5wt.%MA+5wt.%RE含有燃料)FBRの平衡サイクル

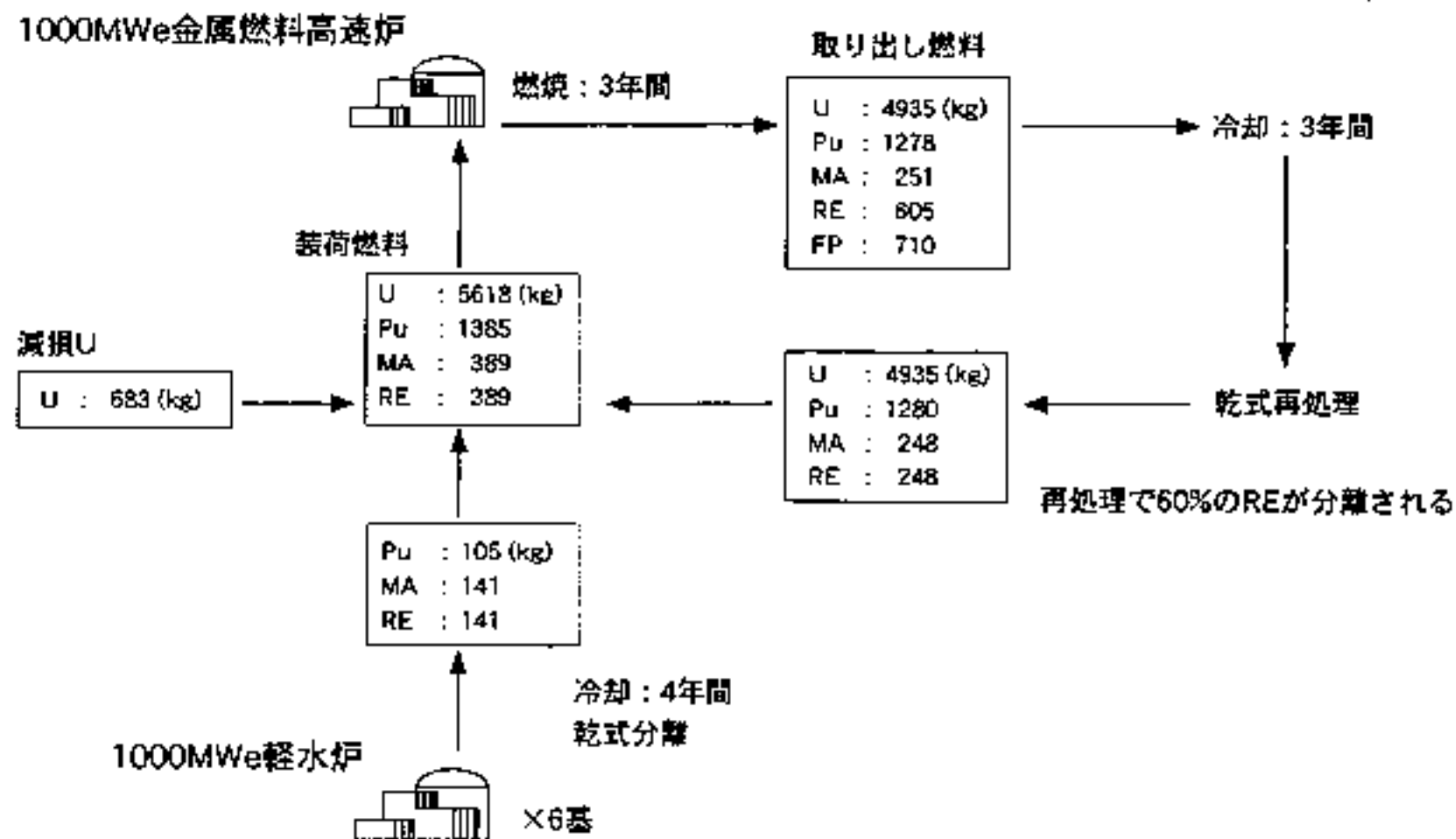
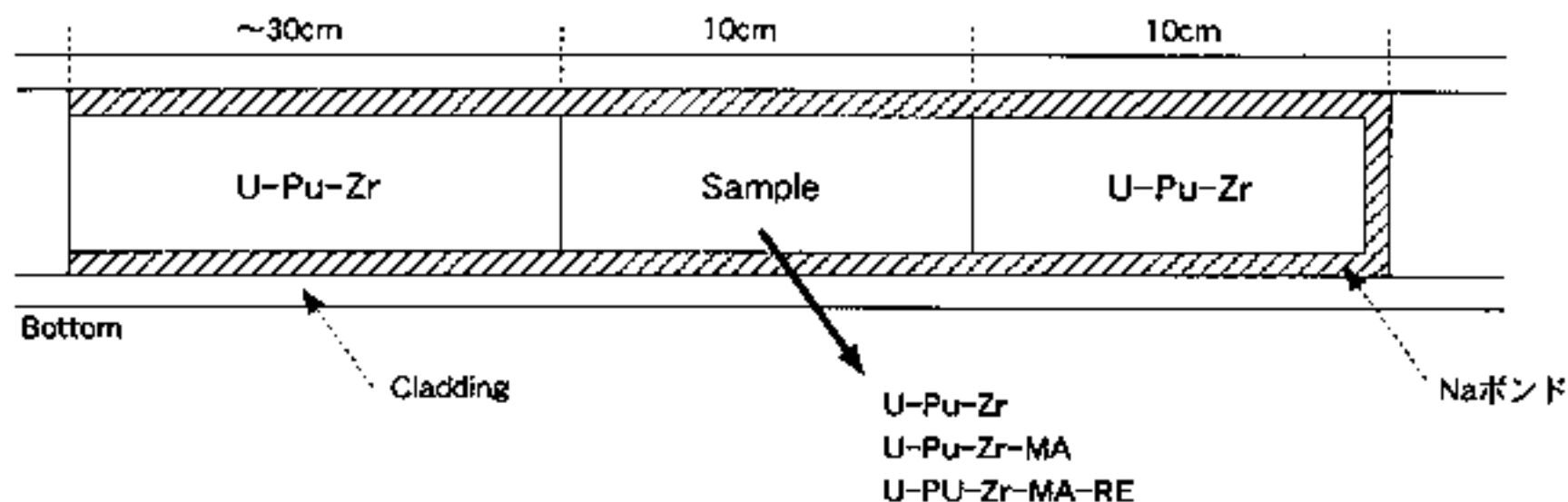


図8 フェニックス炉照射試験用MA含有金属燃料棒



燃料組成 1) 71%U-19%Pu-10%Zr (Reference)
 2) 67%U-19%PU-10%Zr +2%MA +2%RE
 3) 61%U-19%PU-10%Zr +5%MA +5%RE
 and 61%U-19%Pu-10%Zr +5%MA

燃焼度 1) ~1 at.%
 2) 6 at.%
 3) >10 at.%

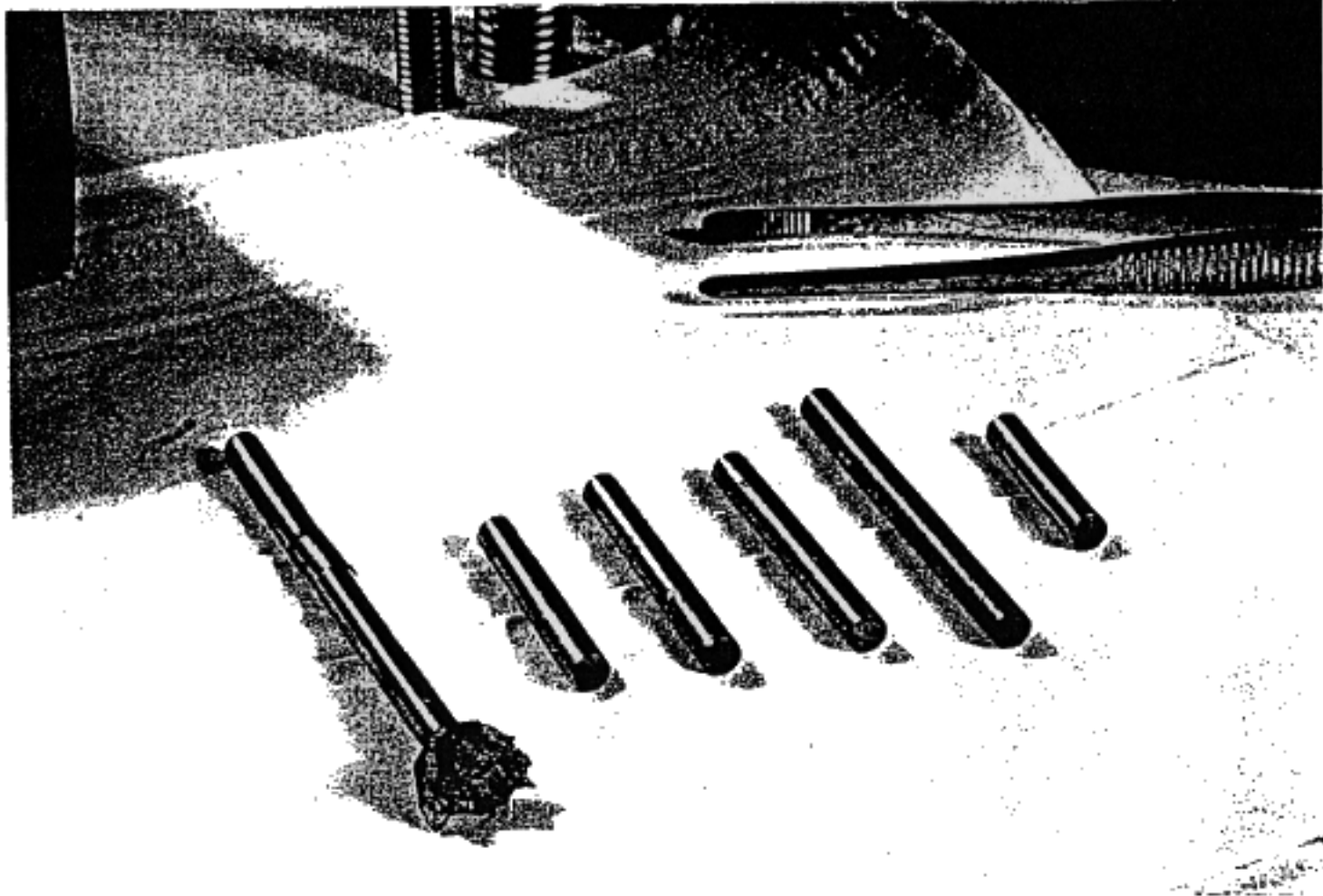


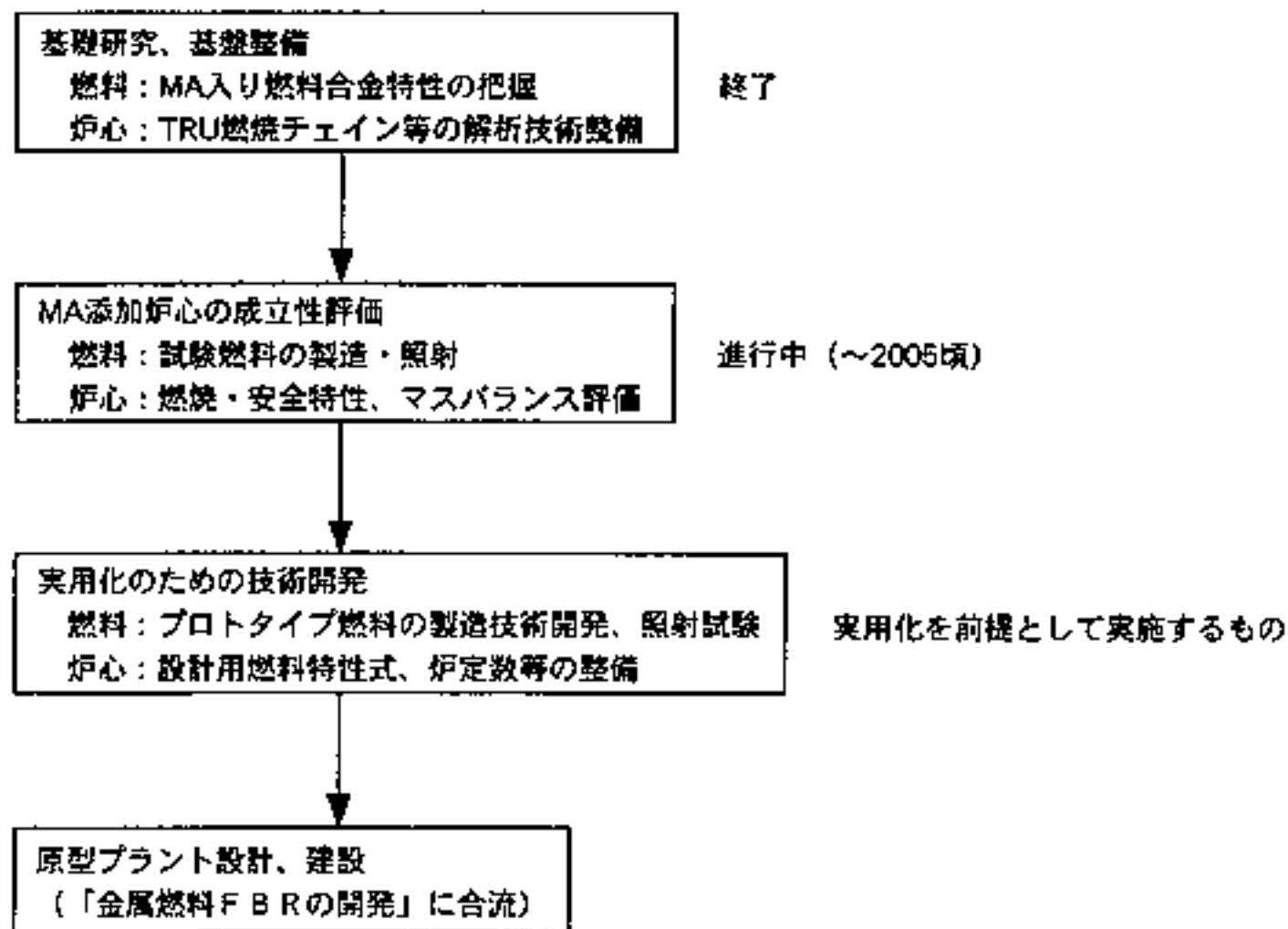
Fig. 2.9 Rods of UPuZr as casted in an Y_2O_3 crucible

第3フェーズ(平成6年～平成12年)

目標：解析コードの検証と照射試験

- ・TRU 含有合金燃料は照射試験に向けて待機中
(平成12年初頭から照射の予定)

図9 金属燃料FBRによるTRUの燃焼技術の開発段階



7. 今後の研究計画(添付表1)

研究目標：超ウラン元素の分離プロセスの実証
工学技術への展開

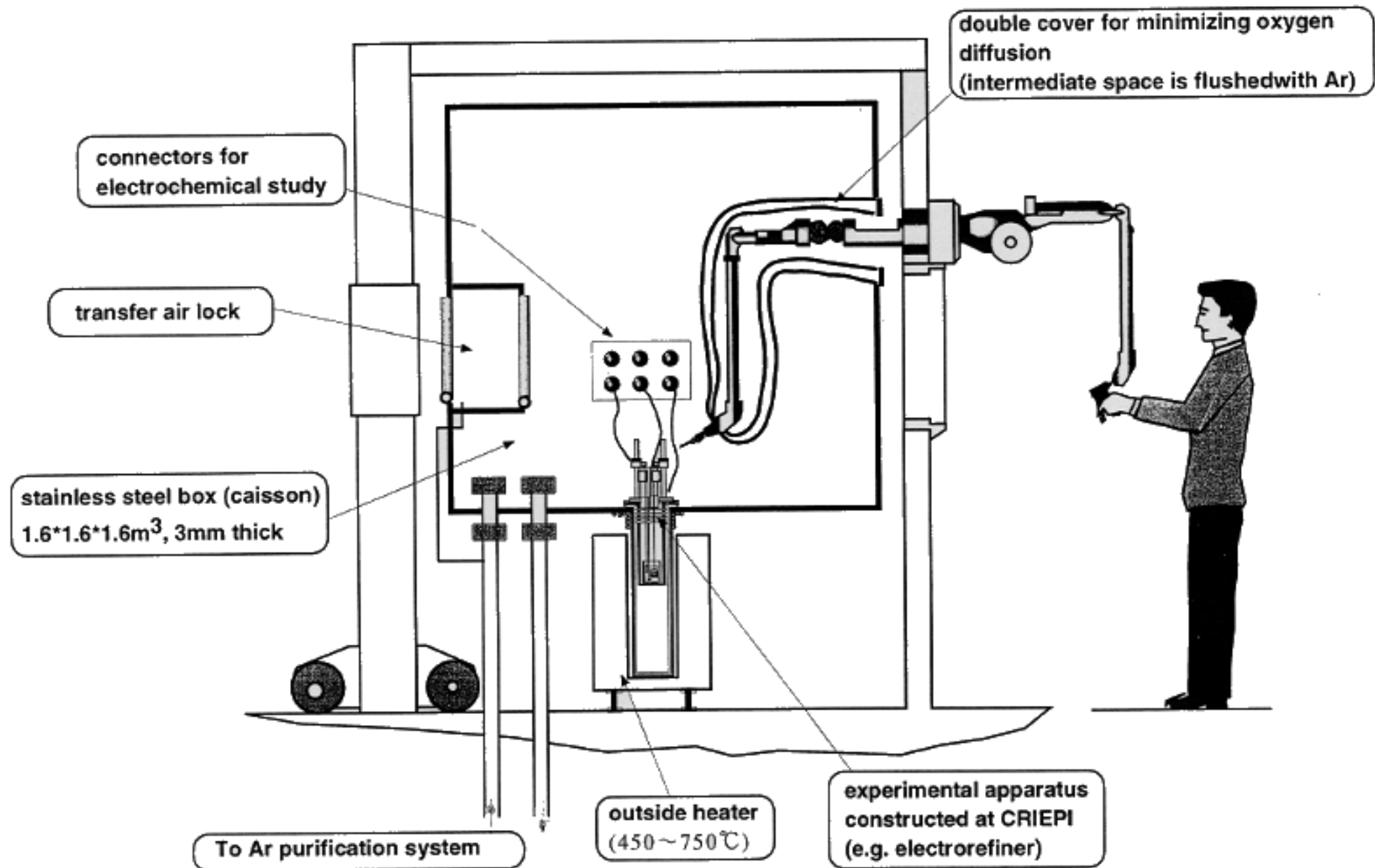
分離技術

- ・ 超ウラン元素や実廃液、実燃料を用いた分離プロセスの実証試験
- ・ 実用化用の工学的に適用できる装置の検討
- ・ 施設概念の検討と経済性評価

消滅処理技術

- ・ 超ウラン元素を含む金属燃料の照射試験
- ・ 照射試験結果に基づいた解析コードの検証

HEATING HOT CELL FOR PYROMETALLURGICAL EXPERIMENTS



添付表1 電中研のP-T技術開発計画

	第1フェーズ			第2フェーズ				第3フェーズ				第4フェーズ					
	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03~
乾式分離技術の開発	分離基礎データの取得			各工程の要素技術の開発 （コールド・TRU試験）				高温冶金分離 TRU 試験				実廃液を用いたプロセス実証					工学規模試験 実廃液を用いた総合試験
								システム技術の開発				工学装置の開発					
乾式リサイクル技術の開発				U, Puの電解精製技術開発 (DOE)								U, Puの電解プロセスの実証					工学規模試験 使用済み燃料を用いた 総合試験
	電解精製基礎試験							酸化物の金属への転換プロセスの開発									
								システム技術の開発				射出成型技術の開発					
								塩廃棄物処理基礎試験				塩廃棄物処理技術の開発					
MA添加金属燃料の開発				燃料合金の特性炉外試験								照射(PHENIX), PIE(1.0, 6.0, 10.0at.%)					金属燃料高速炉の 開発研究に統合して 研究を推進する
				照射仕様検討				照射用MA調整									
								照射用ビン製作									
MA添加炉心概念の開発				解析コード開発、燃焼特性解析								非動評価 コードに反映					解析コード検証、設計改善、安全性評価
								炉心概念の設計検討									
金属燃料FBRの開発				燃料・炉心設計、過渡解析								→ 再処理・成型加工技術と整合したサイクル概念構築					実用化のための 技術開発
				燃料挙動解析コード開発								→ 燃料-被覆管共存性の解明					