

**核燃料サイクル開発機構及び財団法人電力中央研究所  
における  
乾式再処理技術に関する研究開発の現状と展望**

**平成16年7月20日**

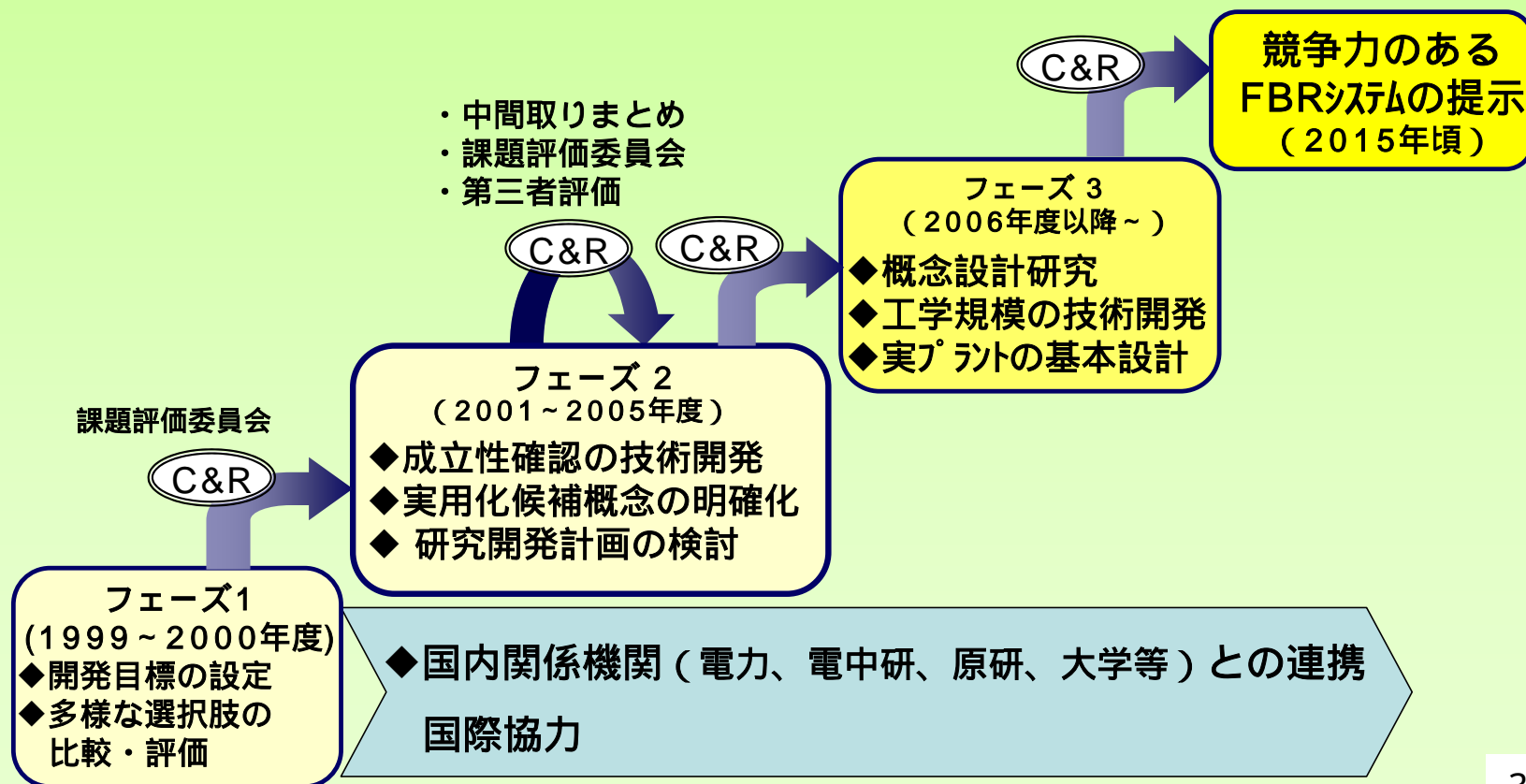
**核燃料サイクル開発機構 野村茂雄  
(財)電力中央研究所 井上 正**

# 目次

- 1 . FBRサイクル実用化戦略調査研究の概要(野村)
- 2 . 乾式再処理技術の現状と展開(井上)
- 3 . まとめ(井上、野村)

## 1 . FBRサイクル実用化戦略調査研究の概要

# FBRサイクル実用化戦略調査研究の展開



## 次世代再処理技術の開発目標と方向性

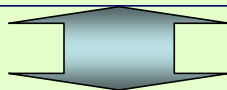
安全性強化 : 取扱い物質やプロセス条件を踏まえた安全策

経済性 : 商用PUREXを上回る再処理単価

環境負荷低減性 : 廃棄物発生量の低減、長寿命核種の分離変換

資源有効利用性 : ウラン資源の最大利用と最小廃棄

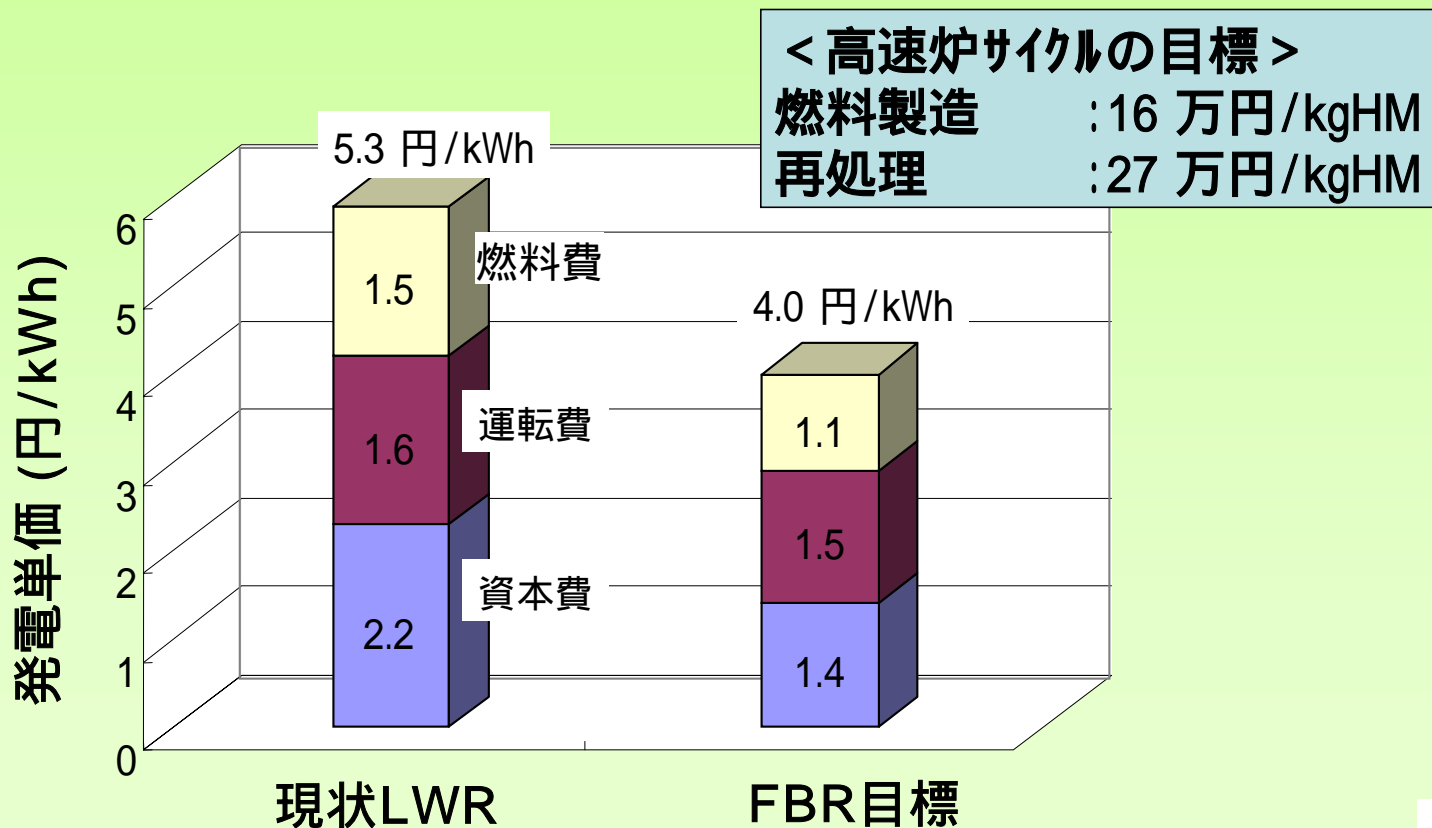
核拡散抵抗性 : 純粋な単体プルトニウムが存在しない



単サイクル化・コンパクト化・遠隔自動化・全アクチノイド元素のクローズド・サイクル

## 開発目標の設定

### 経済性：軽水炉の発電単価との比較

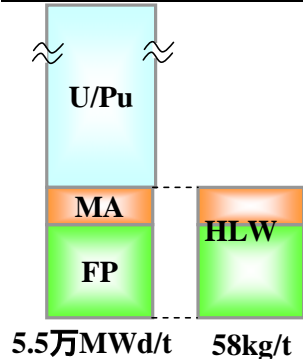


## 1. FBRサイクル実用化戦略調査研究の概要

# 開発目標の設定 環境負荷低減; 高レベル廃棄物量の削減

FP : 核分裂生成物  
MA : マイナーアクチノイド  
HLW : 高レベル廃液  
CP : 腐食生成物

### 軽水炉UO<sub>2</sub> 使用済燃料



### 軽水炉サイクル

#### 従来型

FP 10%  
MA/CP 5%  
塩 10%

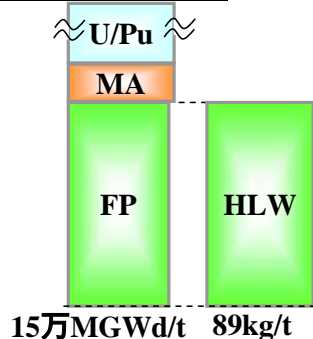
#### 高減容型

FP 13%  
MA/CP 7%  
塩 10%

#### 3%MoO<sub>3</sub>分離 究極高減容型

FP 23%  
MA/CP 12%  
塩 10%

### FBR使用済燃料



### 高速炉サイクル

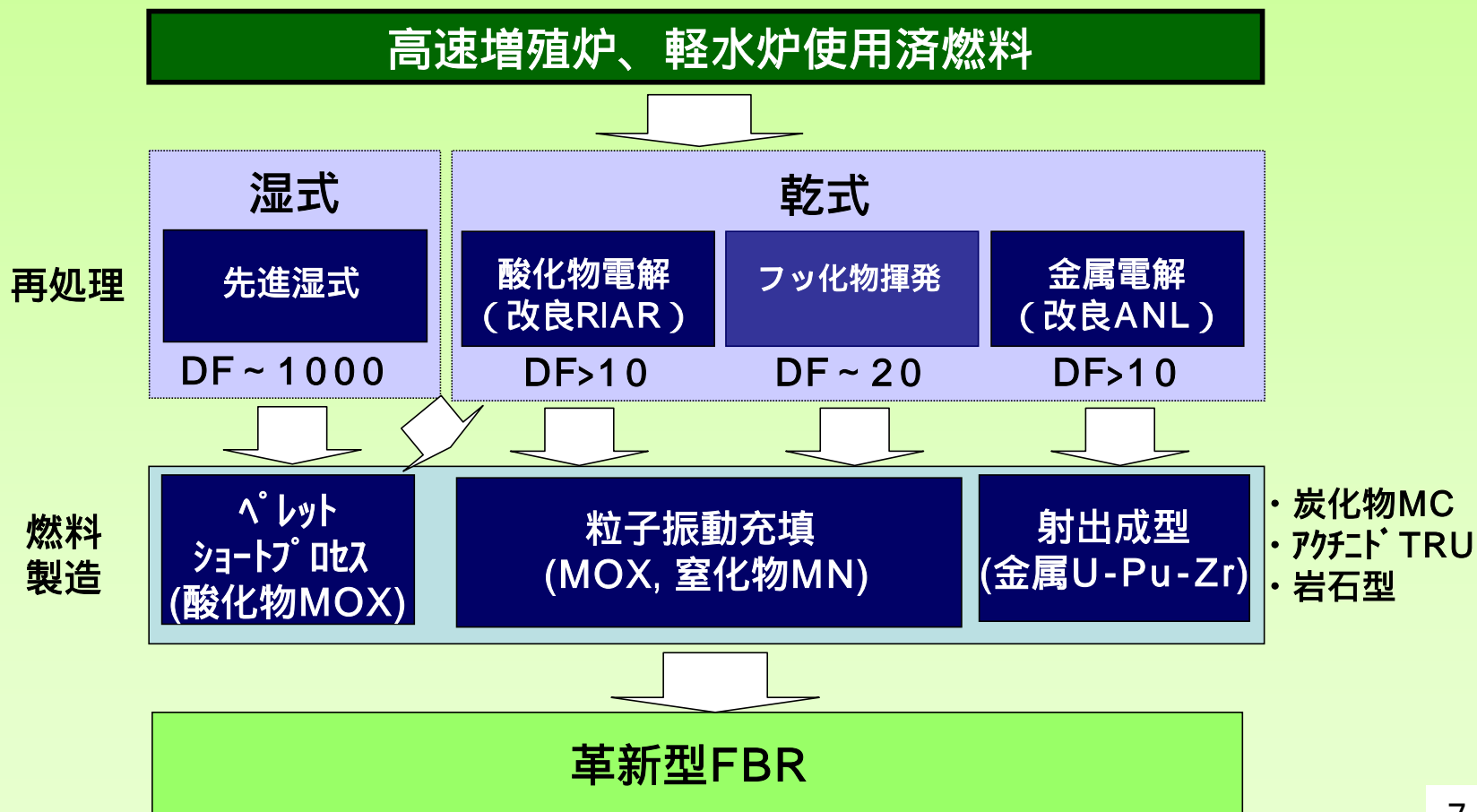
主要核種  
グループ分離



処分場面積の縮小!

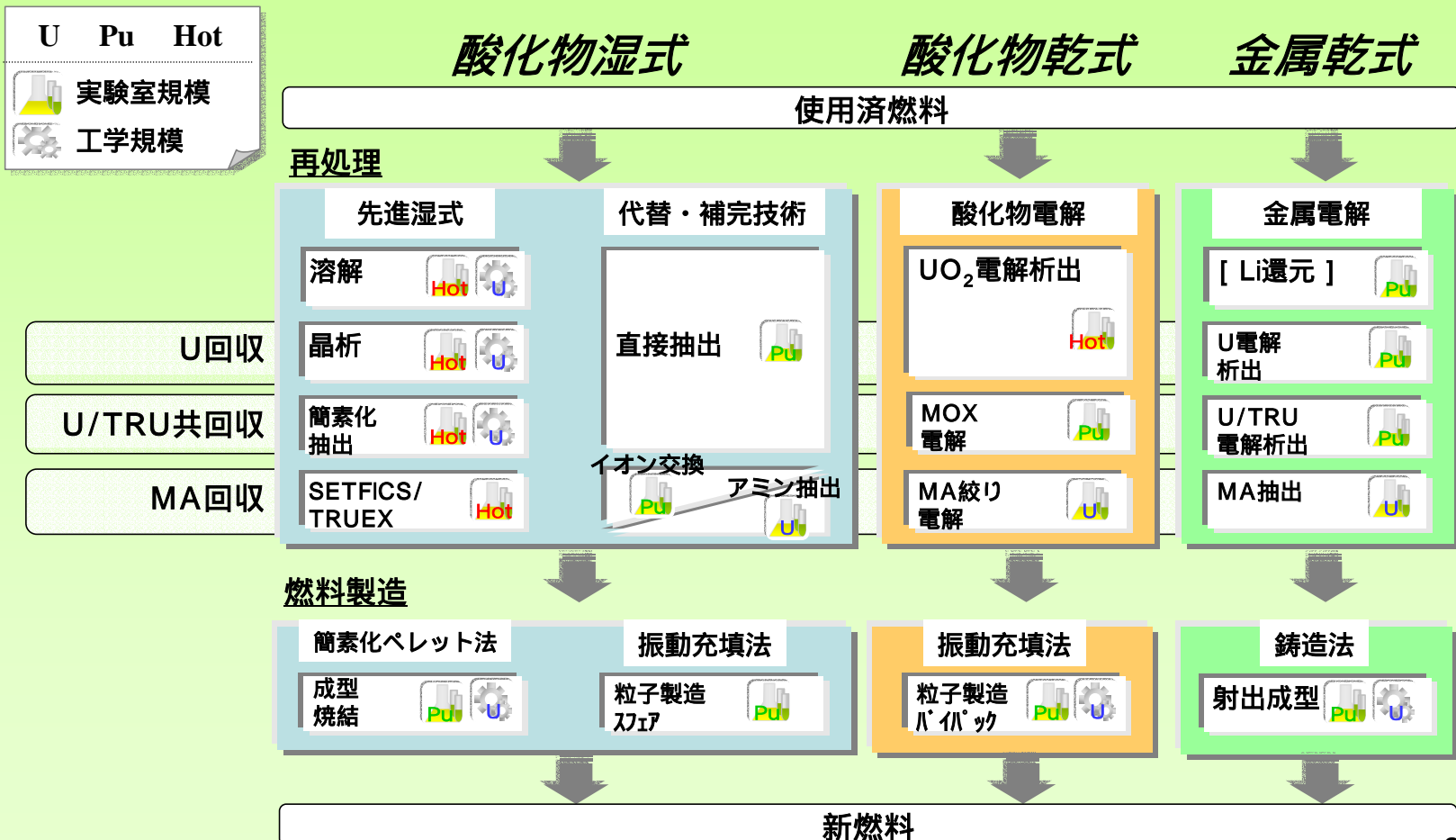
更なる分離?

## 次世代核燃料サイクルの候補技術



## 1. FBRサイクル実用化戦略調査研究の概要

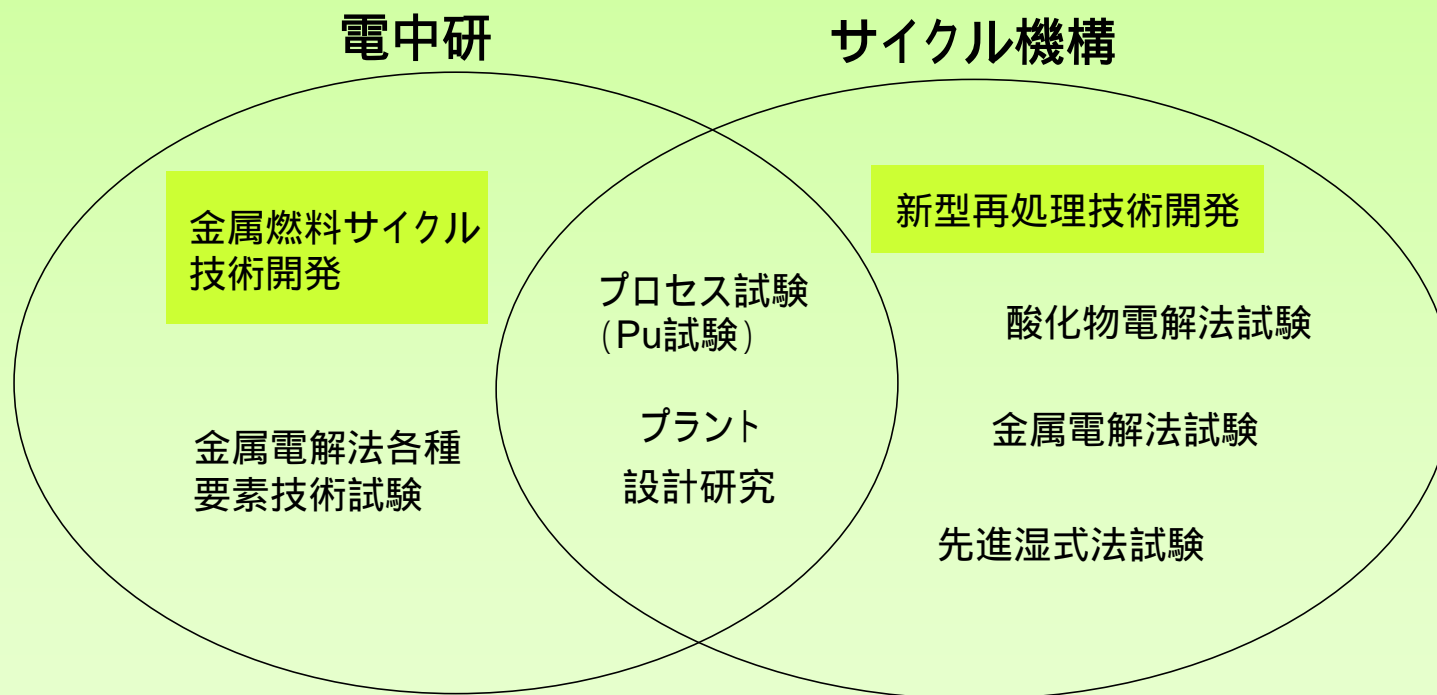
# 先進核燃料リサイクルの主要技術開発状況





# 電中研 / JNCの役割分担

---



経済性、核拡散抵抗性、環境負荷低減などを踏まえた

## 乾式リサイクル(再処理)技術の研究開発の現状と展望

---

- 軽水炉使用済み燃料の乾式再処理技術の開発
- 金属燃料を用いた高速炉サイクル技術の開発 –  
FBRサイクル実用化戦略調査研究の一環として実施 -

## 乾式法を使った次世代のリサイクル(再処理)技術開発の意義

**意義:** 使用済み燃料処理方策、高速炉サイクル確立  
の有力な技術オプションの提示

**目標:** 軽水炉使用済み燃料の処理技術の確立

- ・ 六ヶ所工場に対応できない燃料の処理  
(プルサーマル使用済み燃料、高燃焼度使用済燃料、六ヶ所工場容量  
超過分等 あらゆる酸化物燃料に適用できる)
- ・ 第2再処理工場にむけた技術の提示

**使用済み燃料中間貯蔵後へのオプション提示:**

- ・ 中間貯蔵にあたり、貯蔵後の取り扱いへの回答

**高速炉燃料サイクルの確立**

- ・ ウラン資源の有効利用、エネルギーセキュリティ

## 次世代の燃料サイクルの要件

✓経済性

✓核拡散に対する強い抵抗性

✓環境負荷低減性

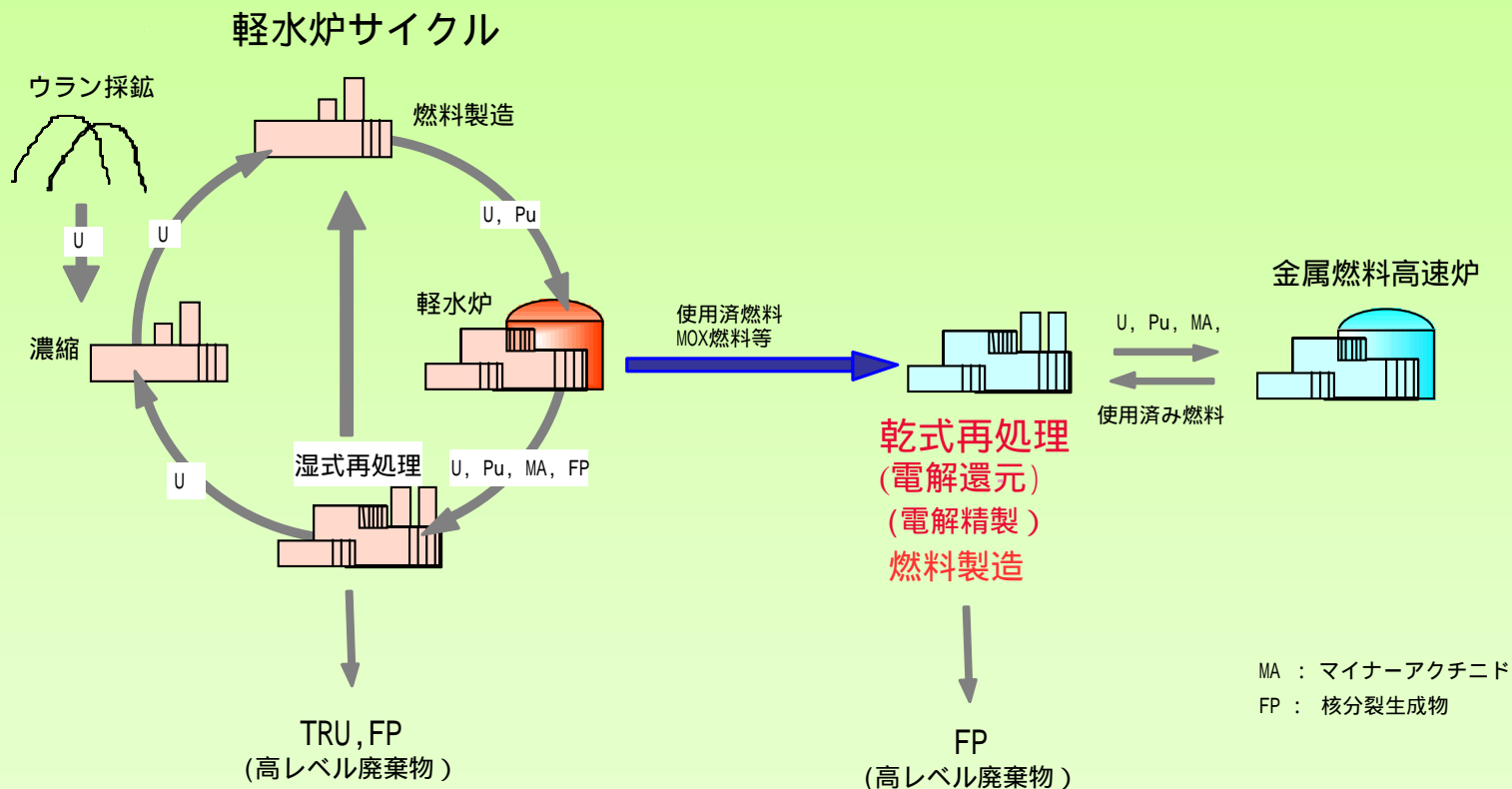
長寿命核種の管理、利用  
廃棄物量の低減

✓柔軟性: 剛より柔へ

長期から短期へ  
大型から小型(モジュール)へ  
限定種から多種へ(燃料・炉系によらず)  
緩急運用への対応  
投資リスクの分散

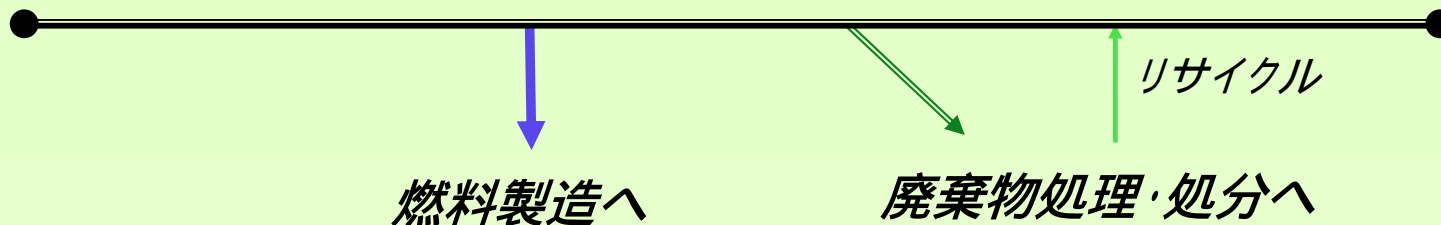
## 2. 乾式再処理技術の開発

# 乾式リサイクル技術(乾式再処理技術)



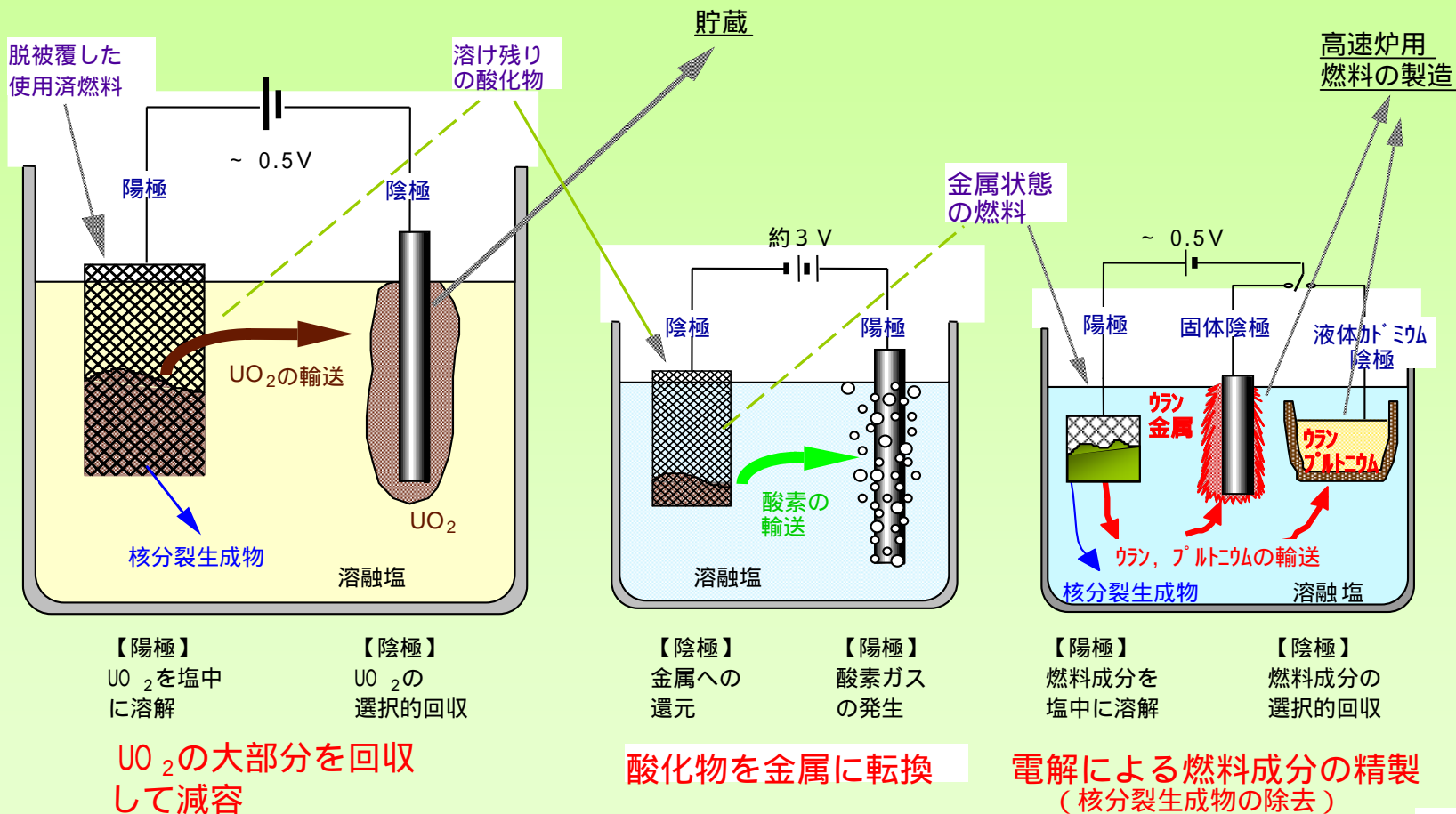
## 乾式による軽水炉使用済み燃料処理技術とは

- 使用済み燃料から $\text{UO}_2$ を選択的に回収する技術の開発  
(最初の段階で取り扱う量を大幅に低減)
- 残りの酸化物(ウラン、プルトニウム、超ウラン元素の酸化物、核分裂生成物の酸化物)を金属に転換する技術(電解還元技術)の開発
- 転換した金属からウラン、超ウラン元素を回収する技術の開発



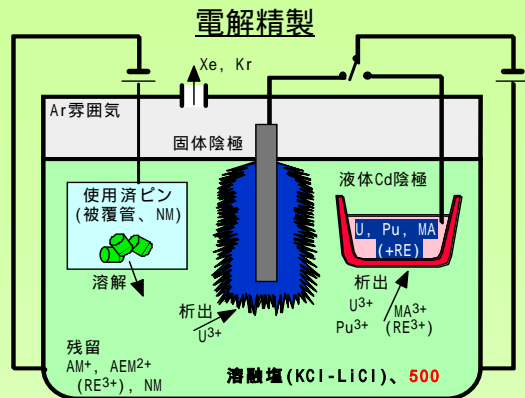
## 2. 乾式再処理技術の開発

# 軽水炉燃料の乾式再処理の概念図



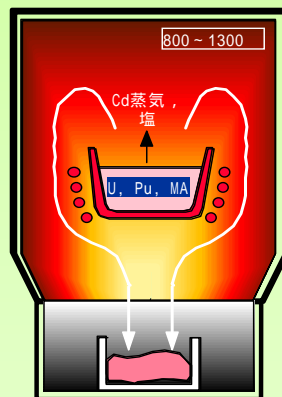
## 2. 乾式再処理技術の開発

### 金属燃料の乾式再処理技術の主要工程

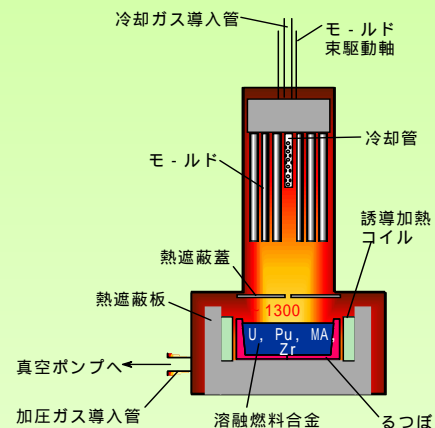


MA:マイナーアクチニド(Np, Am, Cm)、RE:希土類F.P.  
AM:アルカリ金属F.P、AEM:アルカリ土類金属F.P

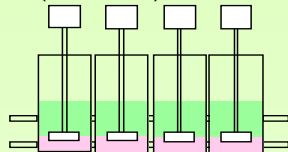
#### 陰極処理



#### 射出成型



#### 塩処理 / TRU回収 (多段抽出)



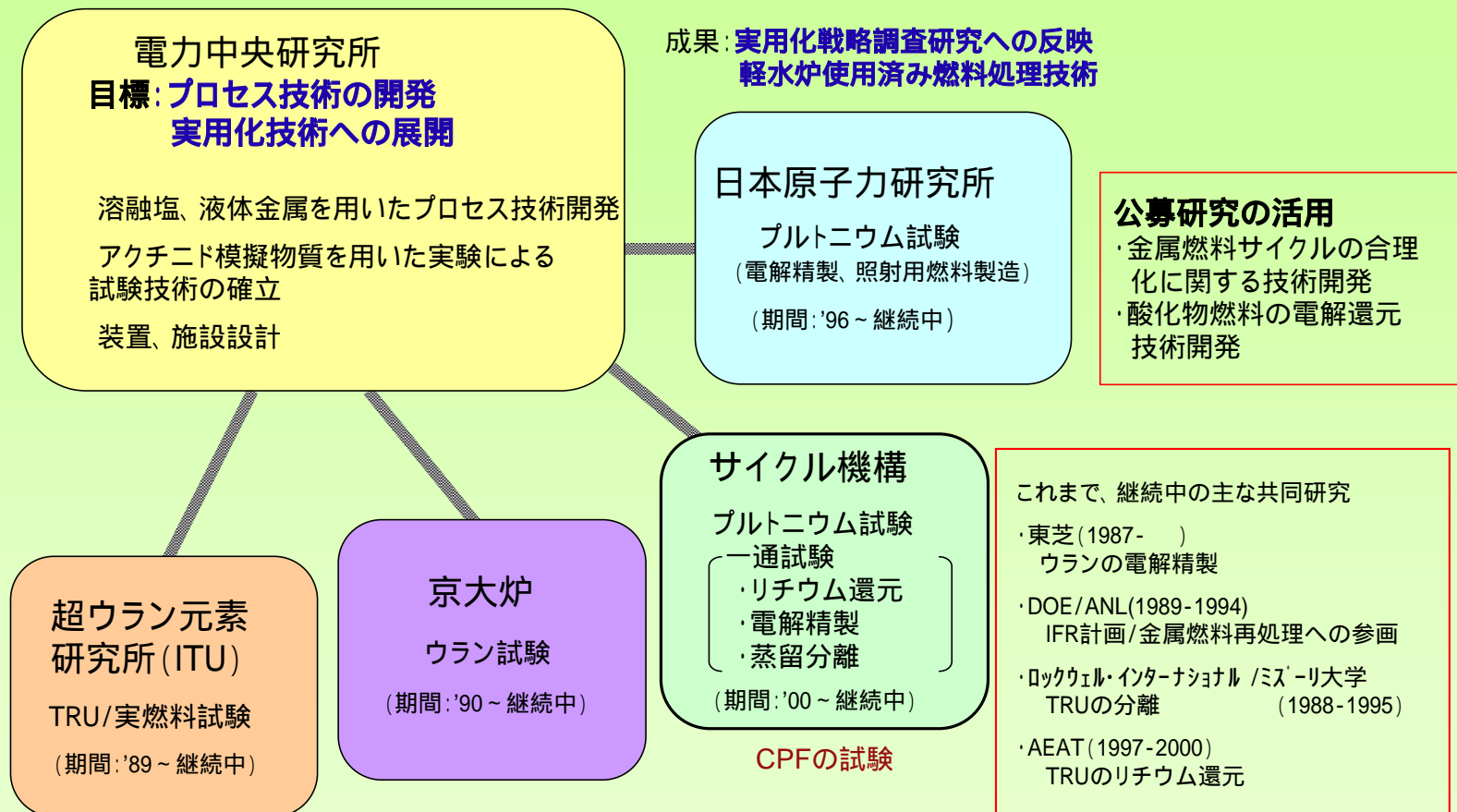
#### FP除去

(セライト吸蔵 固化)



## 2. 乾式再処理技術の開発

### 乾式リサイクル研究(乾式再処理)に関する国内外機関との連携



## 2. 乾式再処理技術の開発

# U,Puを用いた乾式再処理プロセス連続試験

《目的》全プロセスを連続して実施できる装置を開発し、ウランやプルトニウムを用いてプロセスを連続させた試験を実施する。これにより、最終製品の品質と回収率を評価し、実用化技術としての確信を得る



高レベル放射性  
物質研究施設  
(CPF)



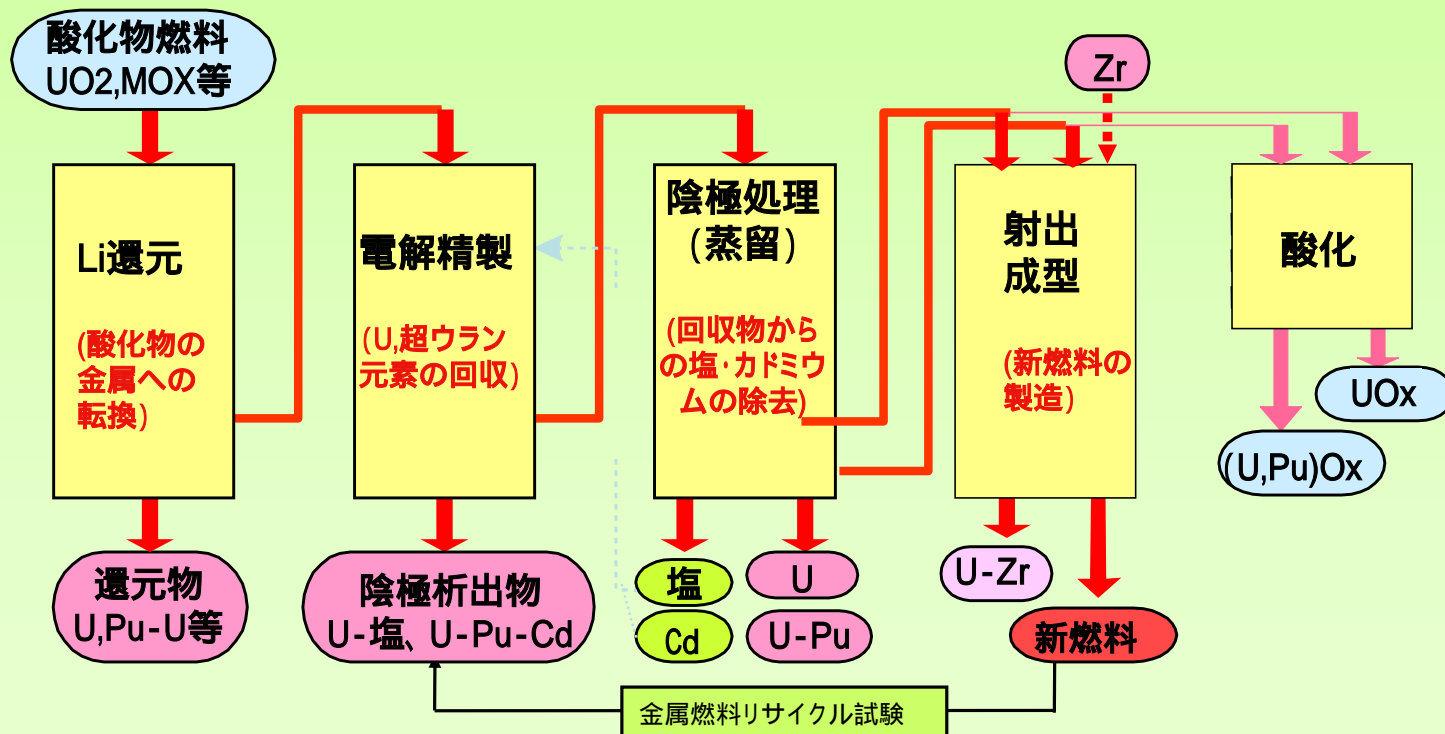
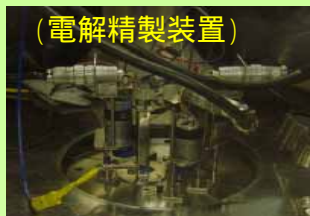
金属電解法プルトニウム試験設備(電中研 / サイクル機構共同研究)



固体陰極に回収  
したウラン析出物

## 2. 乾式再処理技術の開発

# プルトニウムを用いた乾式再処理プロセス試験



## 乾式再処理技術の開発 機器開発の現状(サイクル機構)

---



酸化物電解用C CIM電解槽



MK-IV電解槽(ANL-W)



カソードプロセッサ(ANL-W)



## 2. 乾式再処理技術の開発



$\alpha$ -ラボに設置  
Pu試験に着手(2000年)



回収した固体/液体陰極  
(2001-2年)



ホットセル前面鉛ガラス



ホットセル地下に設置した  
専用雰囲気調整設備(2003年)

乾式再処理の小規模実証試験装置  
- ホットセル施設とホット試験着手 -

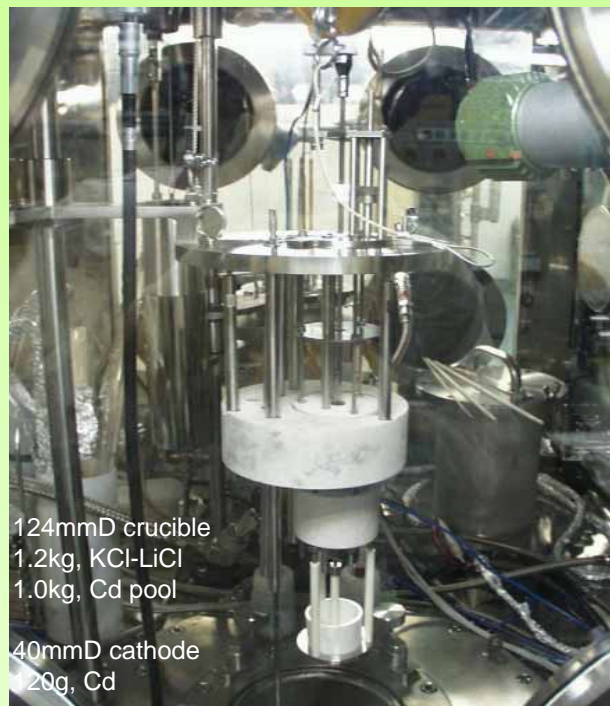
## 2. 乾式再処理技術の開発

### 原研との共同研究 (1995 ~)

Arグローブボックス中での、U, Pu, MA を用いた  
電解精製の基礎的試験  
(陰極処理による燃料合金製造  
照射用燃料製造も計画中)



Arグローブボックスの外観



124mmD crucible  
1.2kg, KCl-LiCl  
1.0kg, Cd pool

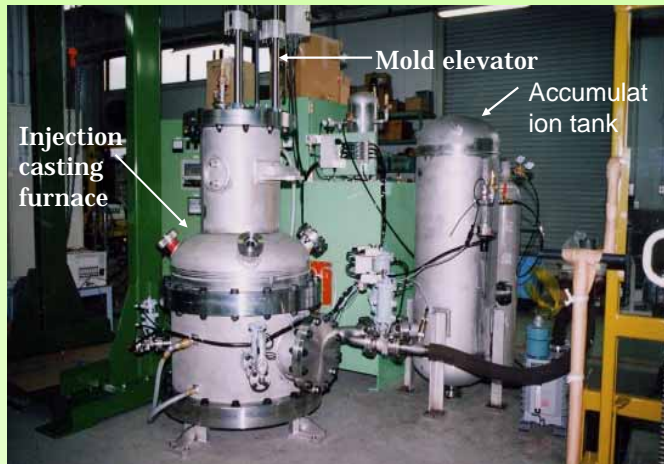
40mmD cathode  
20g, Cd

電解精製試験装置

## 2. 乾式再処理技術の開発

### 工学規模射出成型試験 (1996 ~) - 文科省受託研究 -

20kgのU-Zrを溶解  
50本以上の合金スラグを射出  
(6mm- , 500mm-L)  
(ヒール残量 < 溶解量の30%)



射出成型試験設備の外観



射出中の炉内



射出後のモールド束



## 2. 乾式再処理技術の開発

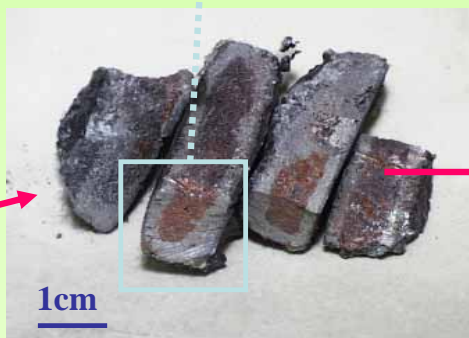
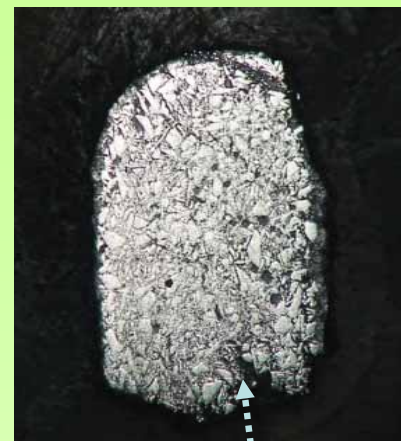


ペレット(10個)粉碎と分級

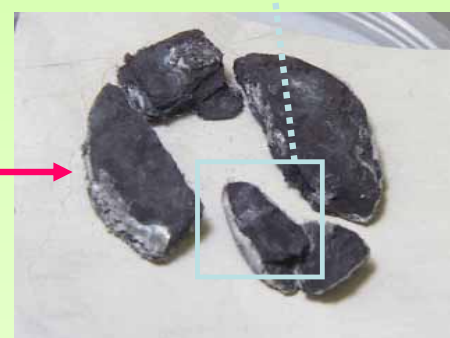


ウラン顆粒の装荷  
(Tiバスケット陰極)

乾式研磨後の試料断面(拡大)



還元率50%で取り出した試料断面  
(外周部から還元進行)



還元率100%の試料断面  
(還元/凝縮による塩侵入)

軽水炉燃料への乾式技術の適用研究100g-ウラン燃料の電解還元試験(2003年)  
(実用規模はキログラムスケール)



## 2. 乾式再処理技術の開発

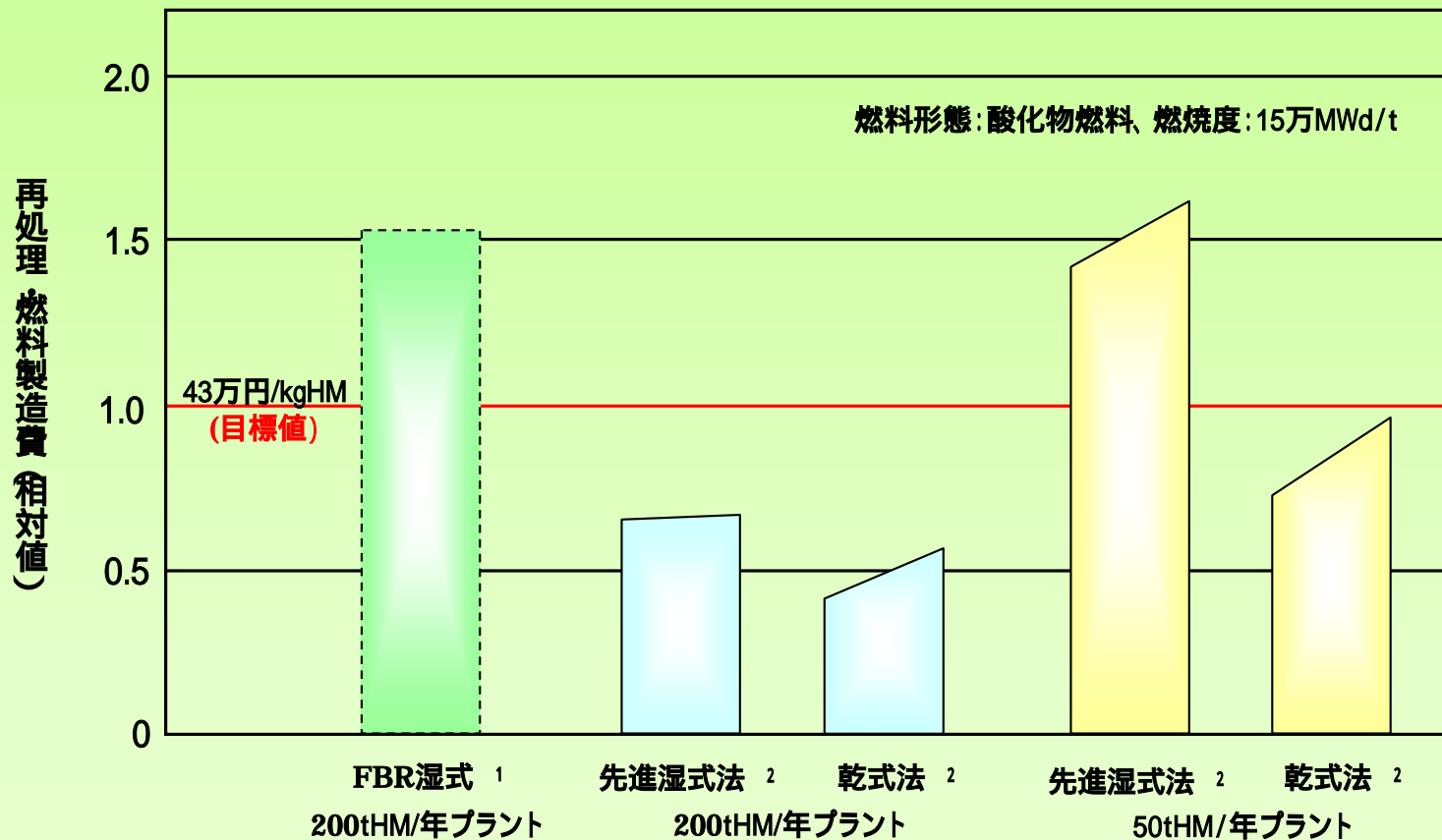
### 使用済み燃料の乾式処理技術の特徴

---

- **経済性:** 改良湿式の1/2以下を目標
  - プロセスが極めて簡単, 単純なプロセスのため **施設がコンパクト**になる(経済性の大幅な向上)
  - MOX燃料等軽水炉燃料へ適用する場合、第一段階で多くのUO<sub>2</sub>を回収
- **環境負荷の低減:** 超ウラン元素を廃棄物としない
  - ウラン, プルトニウム, マイナーアクチニドの回収率が高い(廃棄物としない)
- **適用の多様性, 柔軟性:**
  - 様々な形態の酸化物燃料(軽水炉MOX, 高燃焼度燃料, MOX製品等)に適用可能,
- **高い核拡散抵抗性:**
  - 常にプルトニウムが, ウランや超ウラン元素、一部のFPと一体で存在
  - 製品の強い放射能
- **投資リスクと技術革新:** 産業基盤が整いやすい
  - 小容量の単位を逐次(必要に応じ)増設し所定の容量へ
  - 全容量停止することなく旧式のものを最新技術に
  - 不具合部分の取替えも比較的容易
  - 改良技術、革新技術が取り入れやすい
- **原子炉と再処理施設が同一サイト(コロケーション):**
  - 核拡散抵抗性の強化
  - 核燃料物質の大幅な公道、航海輸送回数の低減

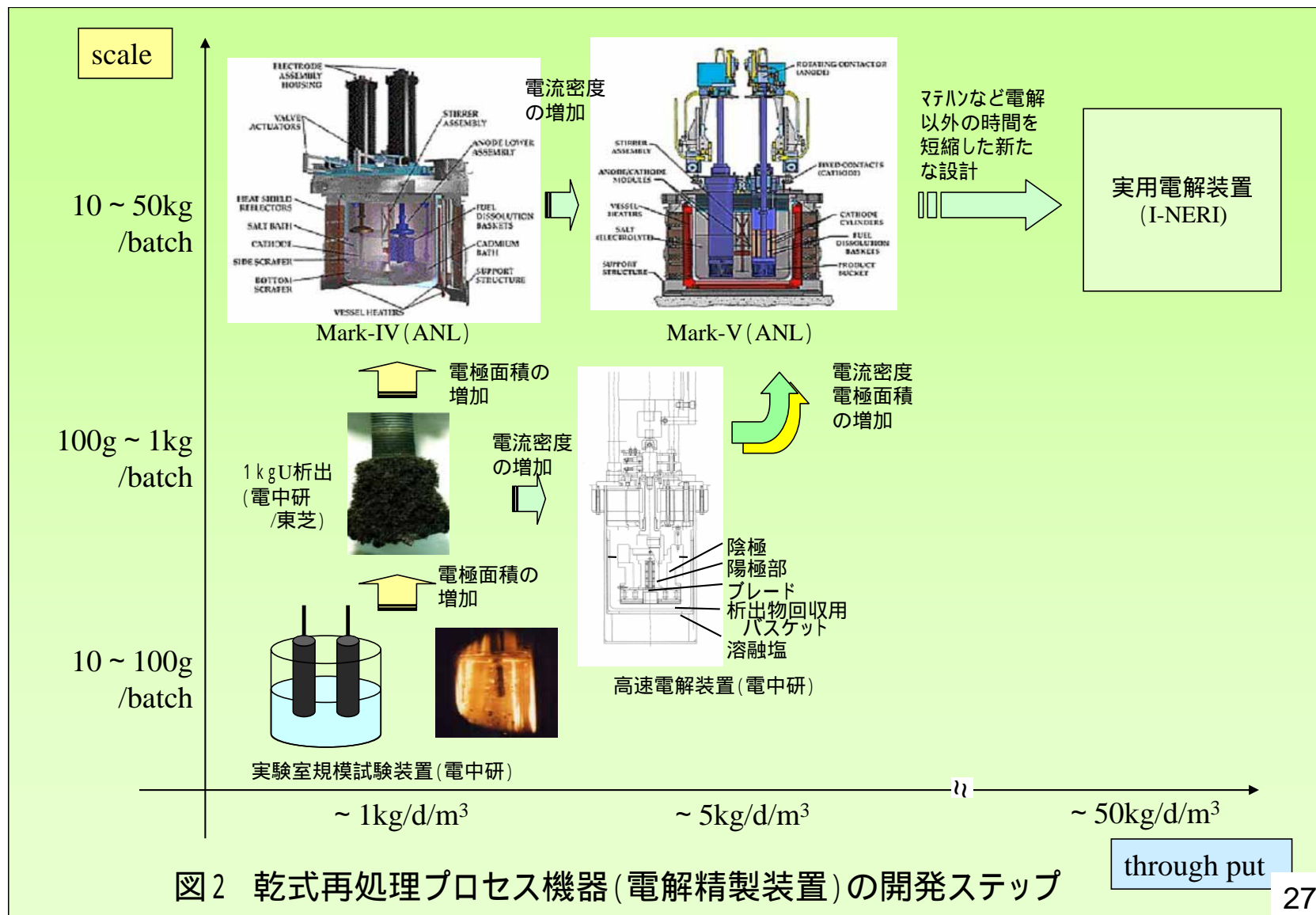
**使用済み燃料処理について多用な選択肢が提供**

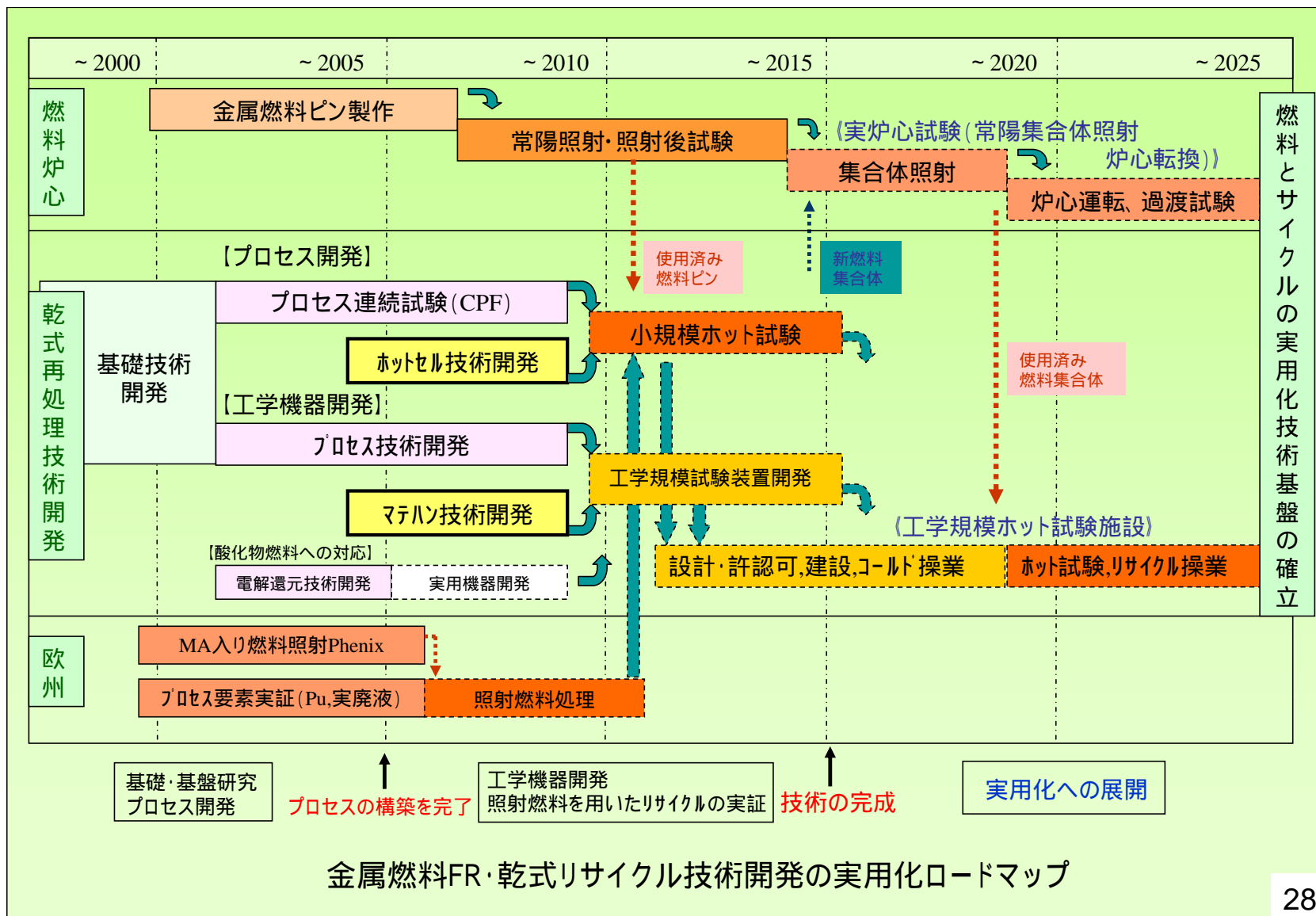
## 経済性評価結果



<sup>1</sup> 従来湿式法に遠心分離器の採用、  
建屋の合理化等で経済性を向上

<sup>2</sup> 各方式において、今後開発課  
題を達成した時の予想値





### 3 . まとめ

## 実用化までの課題

---

### 技術的課題

- ・高温耐食材料の開発
- ・遠隔操作技術の開発
- ・核物質管理・保障措置技術の開発

### 開発実施上の課題

- ・国内における試験施設の整備(湿式、酸化物燃料試験はJNC等で可能であるが乾式が試験できる施設の整備が必要)
- ・TRU取り扱い施設の整備

### 乾式技術の今後の開発についての国への要望

- ・国大での計画として位置づけ(電中研 - 統合法人共同研究)
- ・国の資金援助
- ・公募事業フェーズ2、フェーズ3への展開の道筋

雨後の竹の子的ではなく、現在実施中の課題のフェーズ1が終了したら達成度、技術的ポテンシャルの観点からC&Rを行い、フェーズ2、フェーズ3へと進展させる仕組みを作る必要有

### 3. まとめ

## 原子力長計策定にあたっての要望 (技術開発にあたる立場から)

### 原子力政策に燃料サイクルに関する将来の道を位置づける

事業化段階にある六ヶ所工場は着実に進める

### 原子力委員会は燃料サイクル政策(使用済み燃料対策)について将来の方向を明示する

- ・使用済み燃料についての議論、複数のオプションを明示する
- ・オプションの研究開発指針、長期戦略を明示する  
(これまでの道の踏襲にとらわれず)

(経済性議論への偏重、国家エネルギー安全保障、技術の時間軸をしっかりと定義、技術論を踏まえた議論)

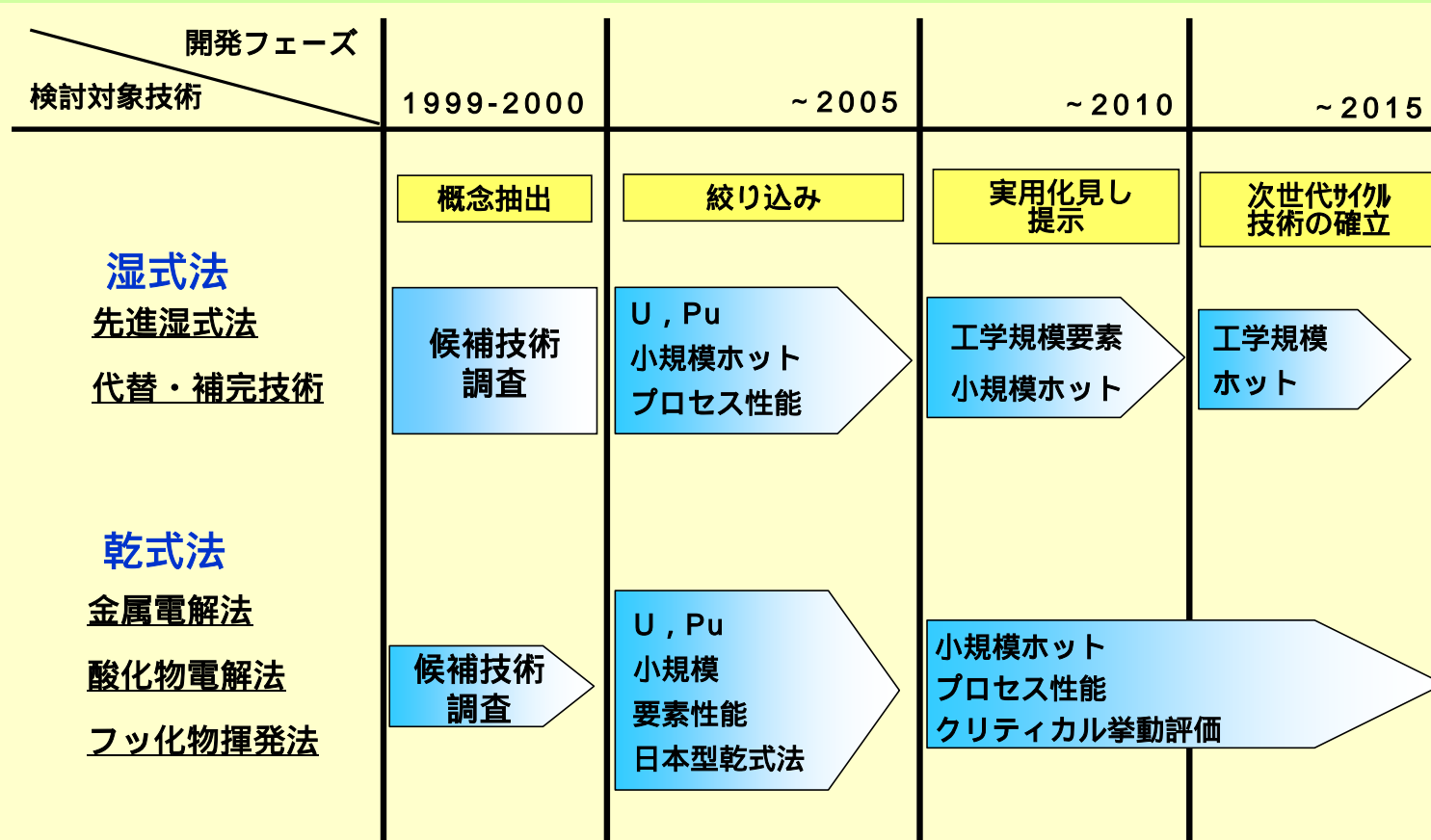
#### ・技術の現状

先進湿式(経済性を大幅に向上させるため革新技術の導入)  
乾式技術

(湿式技術開発のインフラは蓄積、乾式、湿式とも新技術開発のレベルはまだ同レベル)

### 3. まとめ

## 実用化戦略調査研究の展開案



## 燃料サイクル開発を推進する上での留意点

- 実現性と整合性を重視
  - － Closed燃料サイクルをどうする、使用済燃料発生量と必要な措置
  - － 現行第1世代軽水炉核燃料サイクルとの連続性と移行シナリオ
  - － 世界的なGEN-IV型次世代サイクルの開発と導入時期及び規模の検討
  - － バックエンドとの整合性(ライフサイクルの最適化)
- 合理的な投資対効果の追求
  - － 新法人での選択と集中(5年単位での目標達成レベルの設定とC&R)
  - － ダブル路線:プロジェクト(日本オリジナル技術)と基礎・基盤(創造と多角的挑戦)
  - － 先端技術開発の国際的枠組みの活用(米AFCEI, IAEA・INPRO)
- エンジニアリング能力の維持と向上
  - － 国内専門家、テーマの結集、技術伝承
  - － 試験フールドの提供と競争的資金の活用