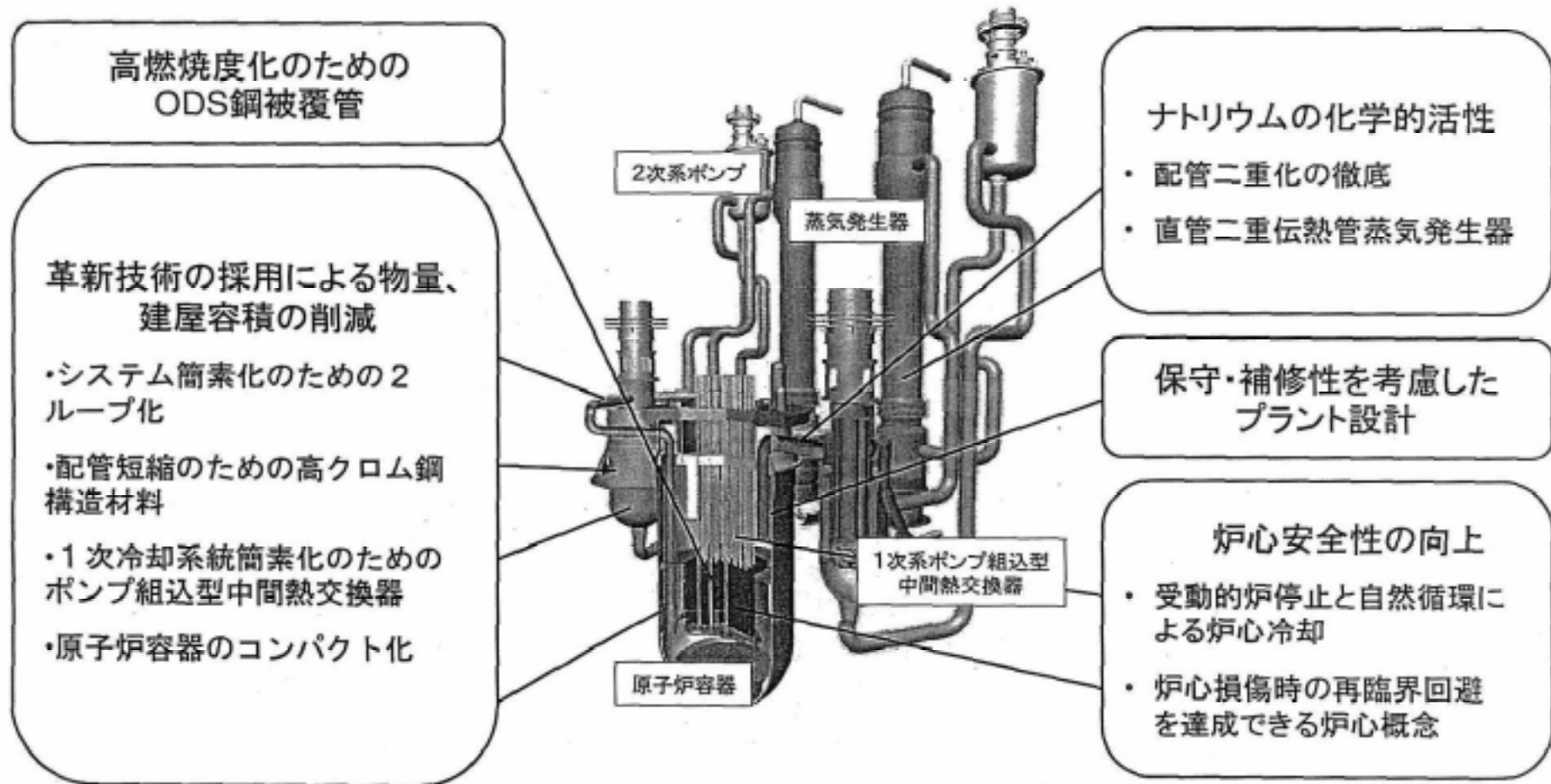


図-I-1 フェーズⅡにおける検討の流れ



注) ナトリウム炉の仕様比較については表-I-1参照

図-I-2 ナトリウム冷却高速増殖炉概念

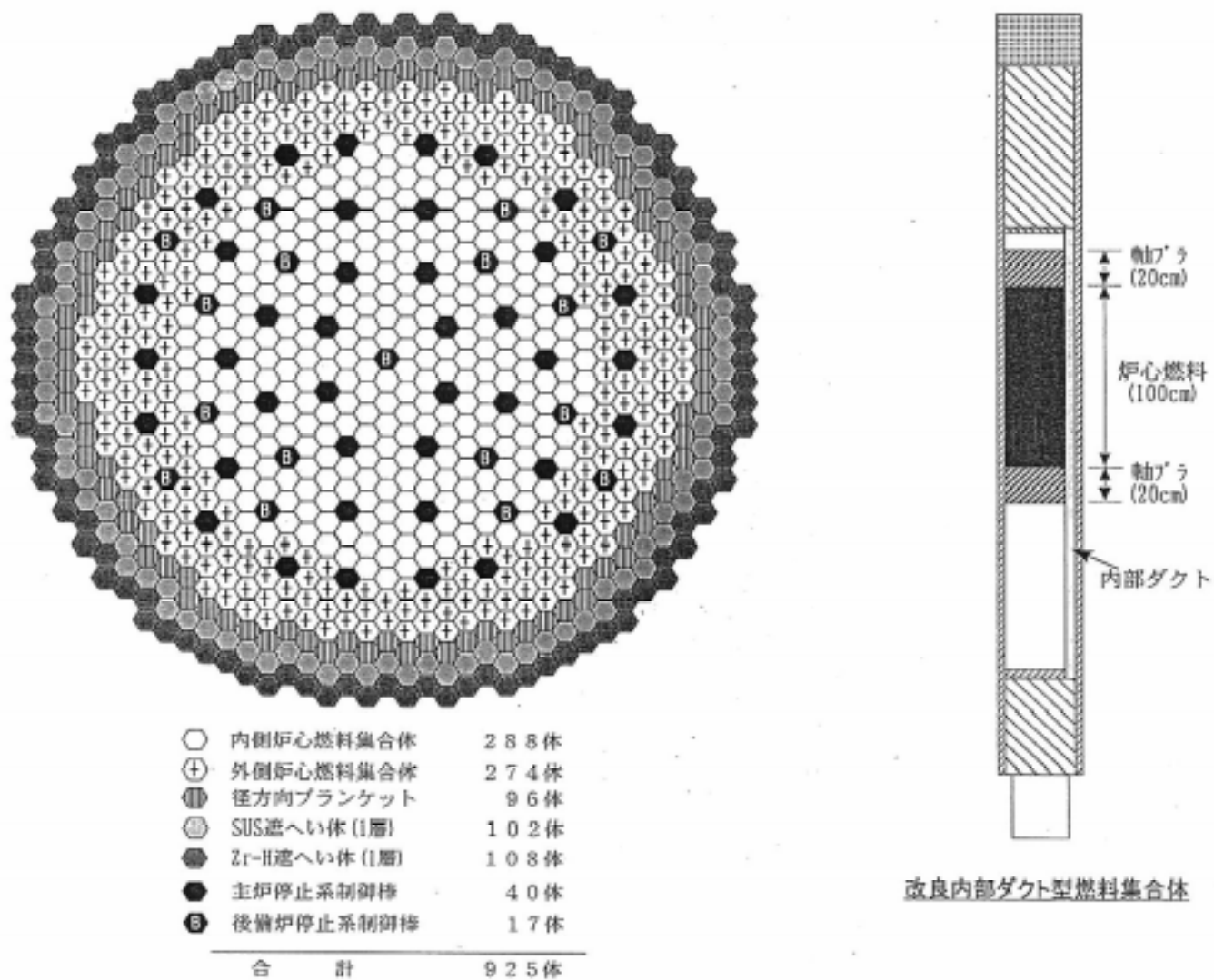
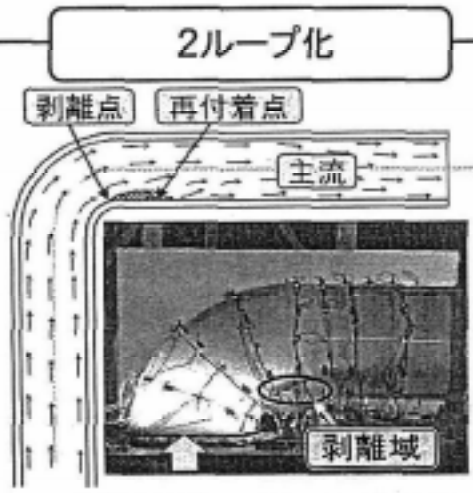
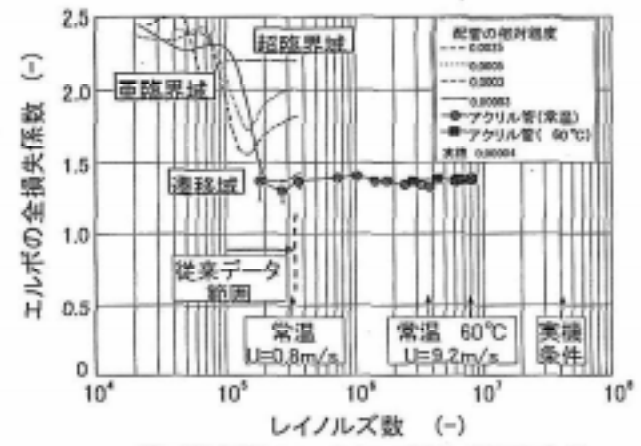


図-I-3 ナトリウム冷却大型炉の「資源重視型」酸化物燃料炉心の炉心配置



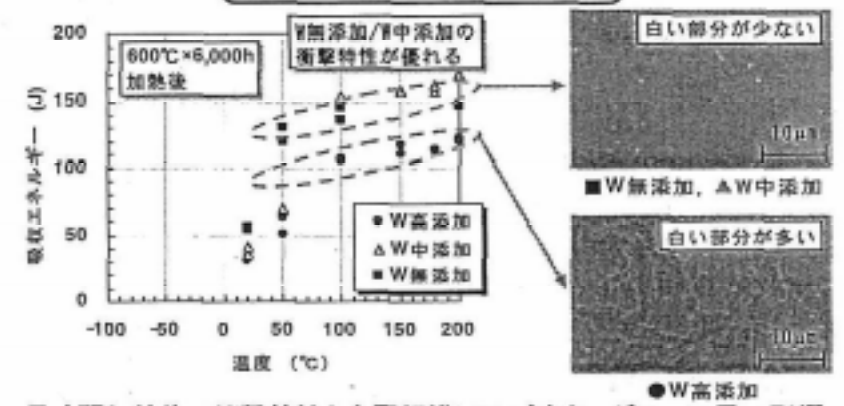
実機流速(9.2m/s)での流動状況
(大型炉ホットレグ配管1/3縮尺流力振動試験)



エルボ圧損係数のレイノルズ(Re)数依存性

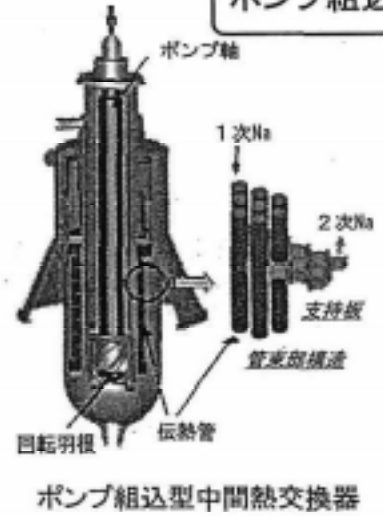
・超臨界域の高Re条件では、剥離域が成長せず、流況がRe数に依存しないこと、構造健全性に影響する振動が発生しないことを確認

高クロム鋼構造材料



長時間加熱後の衝撃特性と金属組織に及ぼすタングステン量の影響
 ・タングステン量が少ない方が、熱時効後の衝撃特性に優れる。
 →高速増殖炉用12Cr鋼候補仕様反映

ポンプ組込型中間熱交換器



- ・中型炉の1/4スケール振動特性試験
 - 振動試験により機器内での振動伝達特性を計測・分析
- ・振動試験解析による解析モデル構築
 - 試験装置の流体、構造、伝熱管などのすべてをモデル化した試験評価モデルを構築
 - 上記試験結果により検証
- ・実機評価モデル構築
 - 実機評価モデルを構築し、伝熱管消耗量を評価
 - 寿命中の伝熱管健全性を確保できる見通し

図-I-4 ナトリウム冷却高速増殖炉の要素技術開発成果(例)

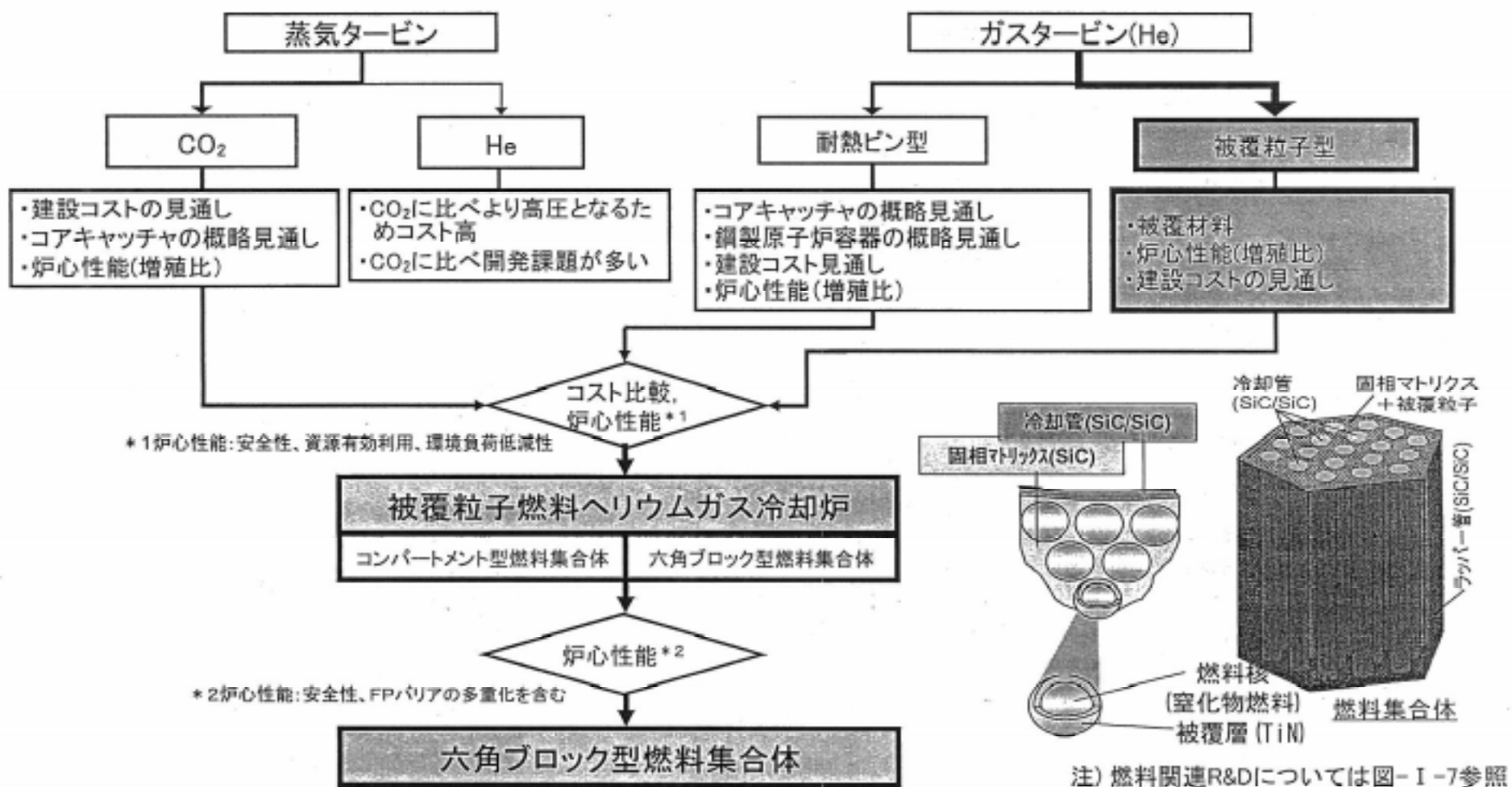
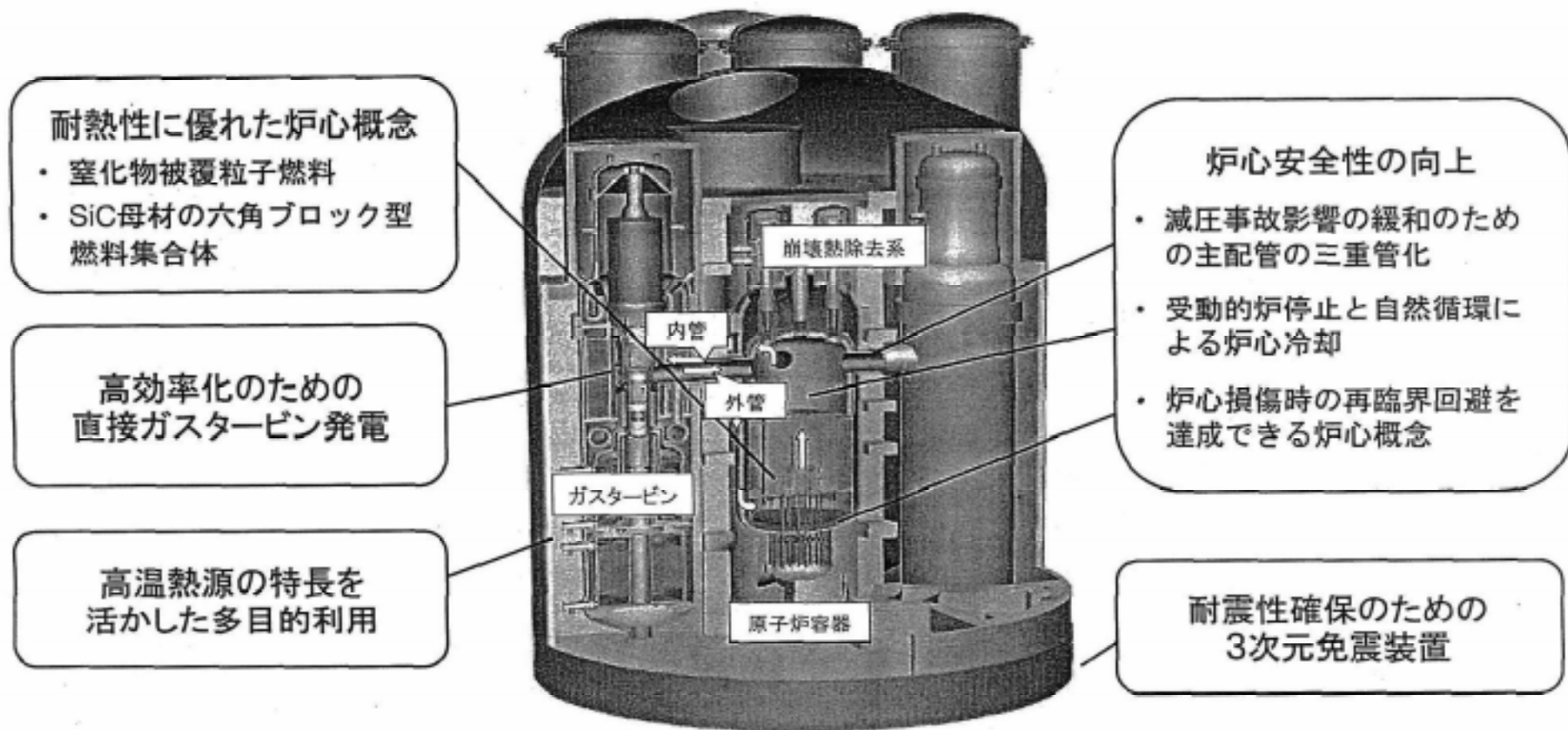
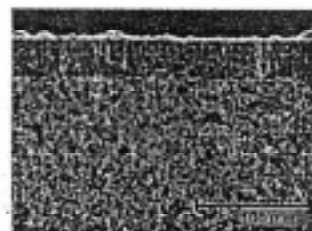


図-I-5 ガス冷却高速増殖炉の検討の流れ



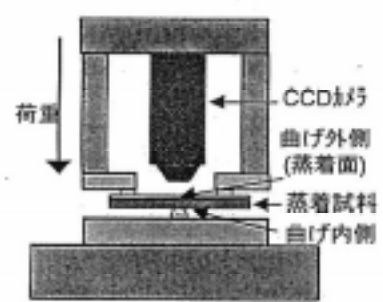
注) ガス炉の仕様比較については表-I-5参照

図-I-6 被覆粒子燃料ヘリウムガス冷却高速増殖炉概念



- ・PVD*では内部応力が課題であるが、TiNに僅かなTi(金属)を付加し積層蒸着することで、30 μ m程度の膜厚まで健全な状態で形成されることが分かった。
- ・本方法により、さらなる厚膜形成の可能性を有すると推測される。
(米国では、さらに厚膜の被覆試験を行い、見通しを得ている。)

厚膜蒸着特性試験



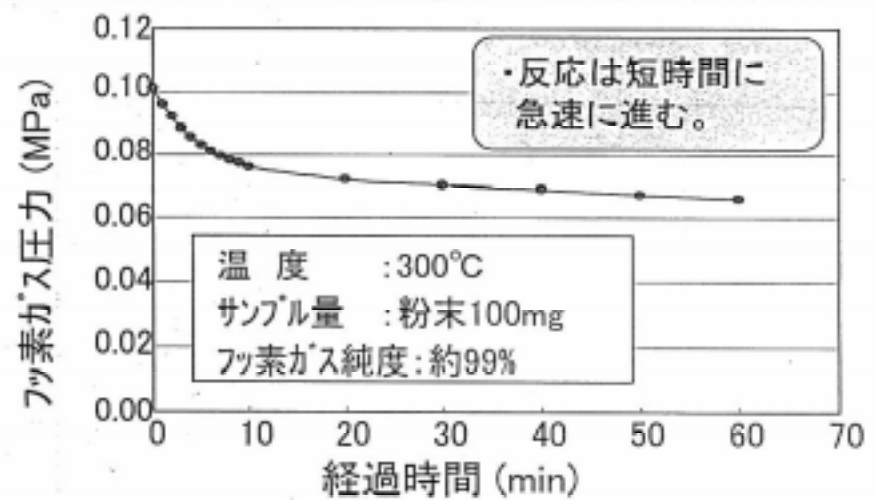
[強度測定装置概略図]

- ・PVDによる薄膜被覆(10 μ m)について、室温条件で曲げ強度を測定するとともに、確率論的評価手法を適用しワイブル係数(強度のバラつきに関する係数)の評価を行った。
- ・TiN被覆は、高ワイブル係数を有し、SiCと比較し優れた強度特性が期待できることが示された。

* PVD: Physical Vapor Deposition (物理気相成長法)

曲げ強度試験

フッ化反応の進行速さと圧力変動の確認

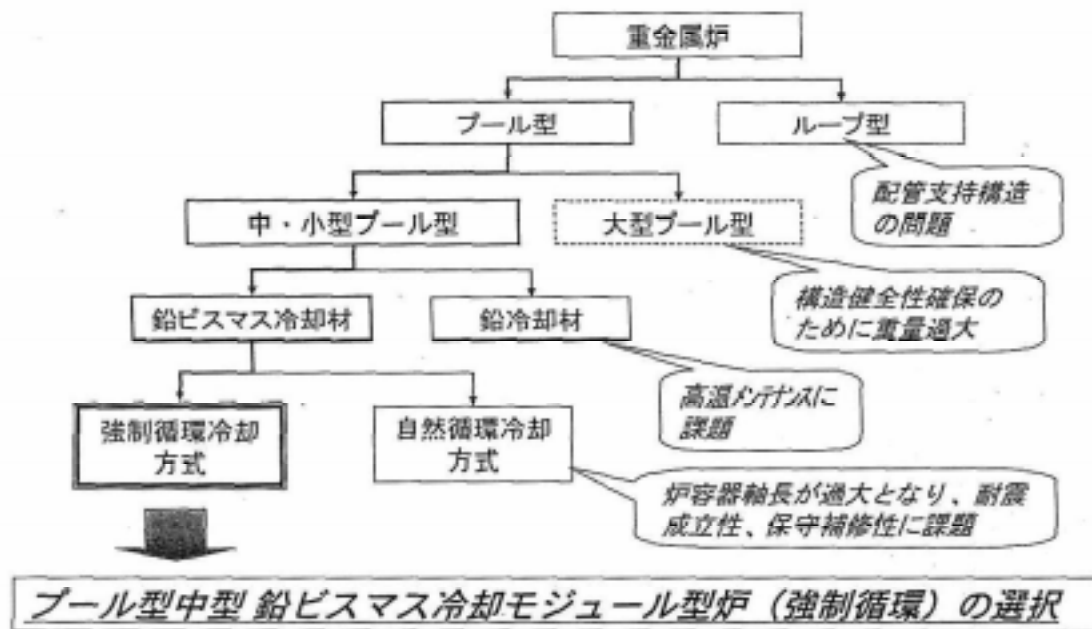


TiNコーティング材でのフッ化反応の確認

・およそ20%程度の質量減少を確認し、フッ化反応の進行を確認した。

TiN脱被覆基礎試験

図-I-7 被覆粒子燃料の要素技術開発成果(例)



重金屬冷却炉の検討の流れ

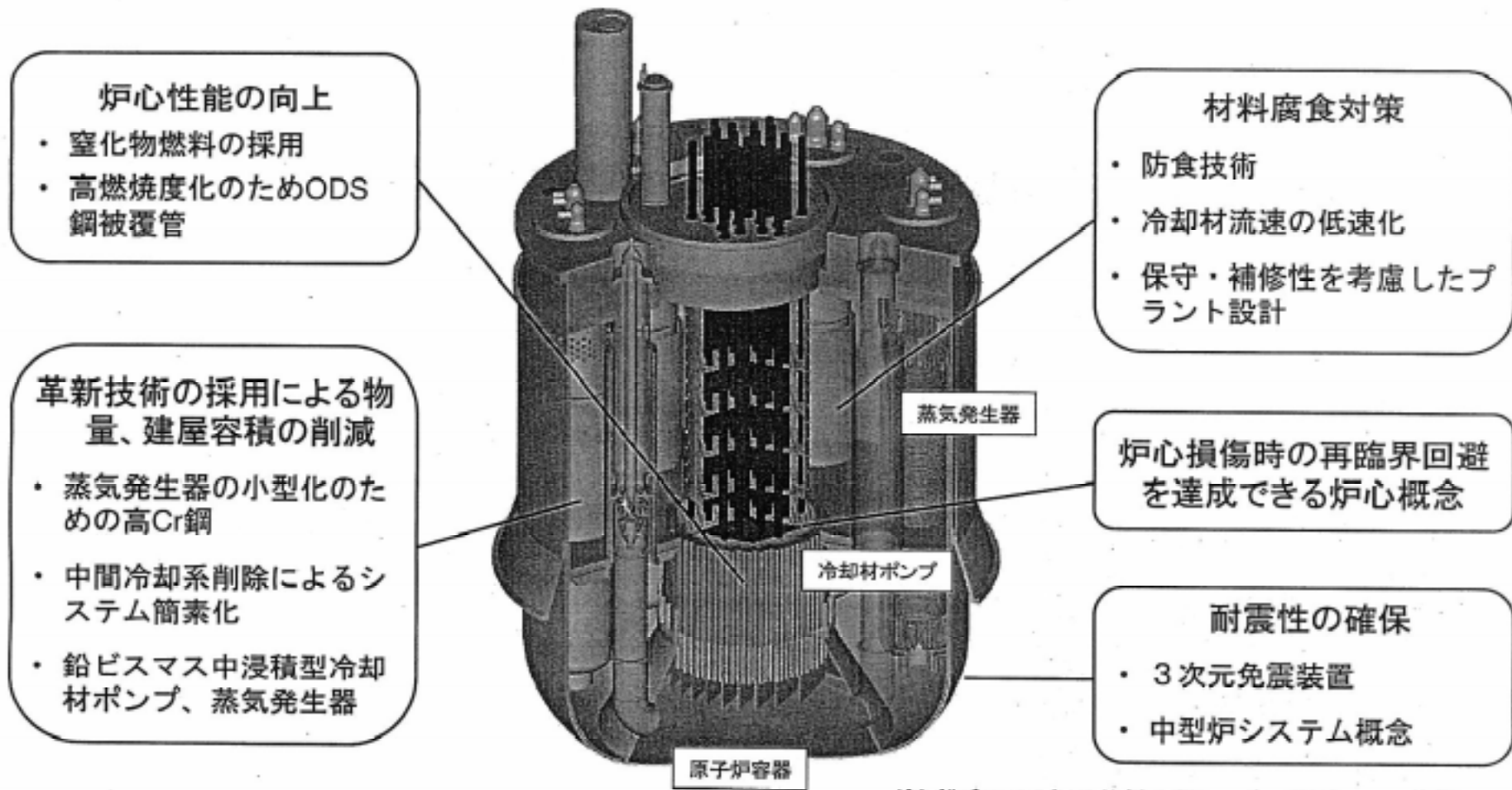


600°C-10,000h 浸漬後表面

- ▶ 独国FZKとの国際協力で実施した材料腐食試験の結果、被覆管最高温度を570°C程度に制限することが必要。
- ▶ これを受けて原子炉出口温度を445°C以下に設定。

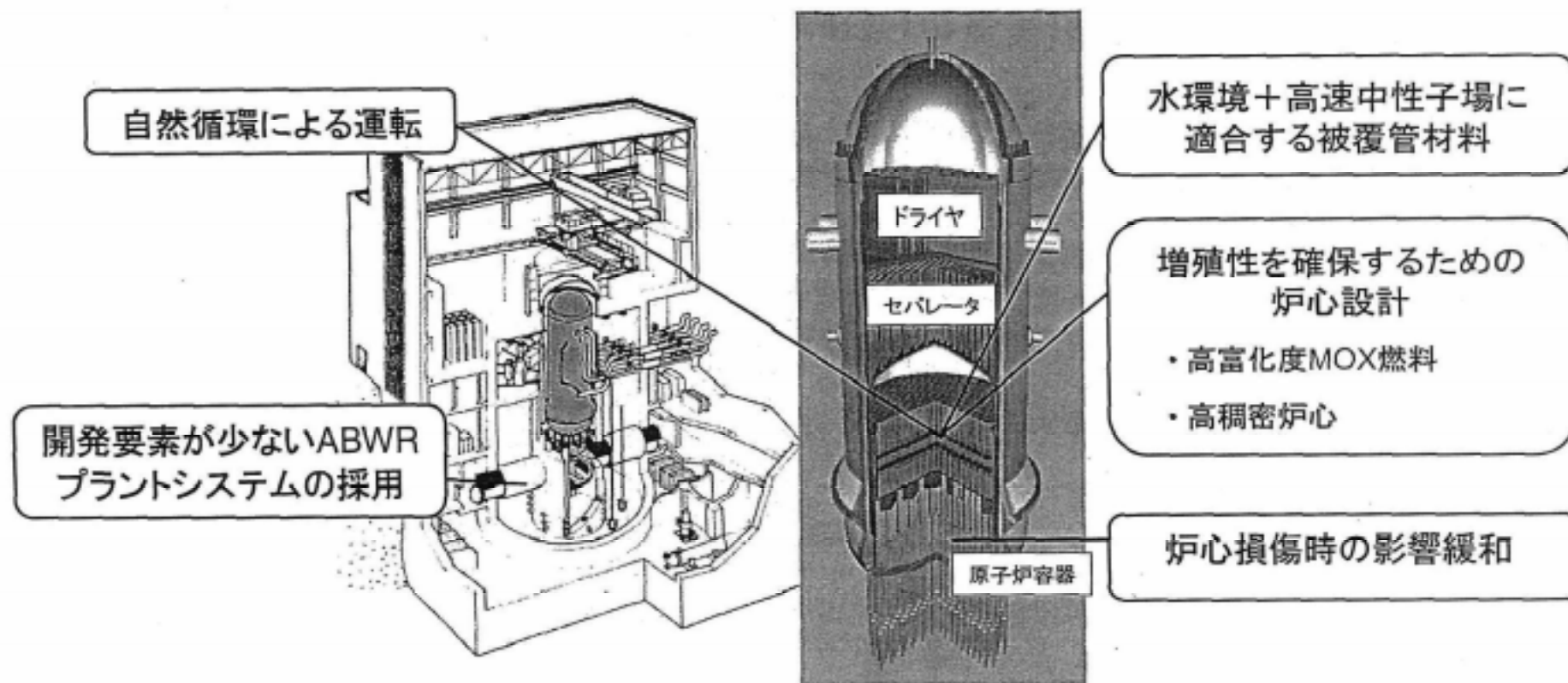
停留鉛ビスマス中ODS鋼浸漬試験結果

図-I-8 鉛ビスマス冷却高速増殖炉の検討の流れと要素技術開発成果(例)



注) 鉛ビスマス炉の仕様比較については表-I-7参照

図-I-9 鉛ビスマス冷却高速増殖炉概念

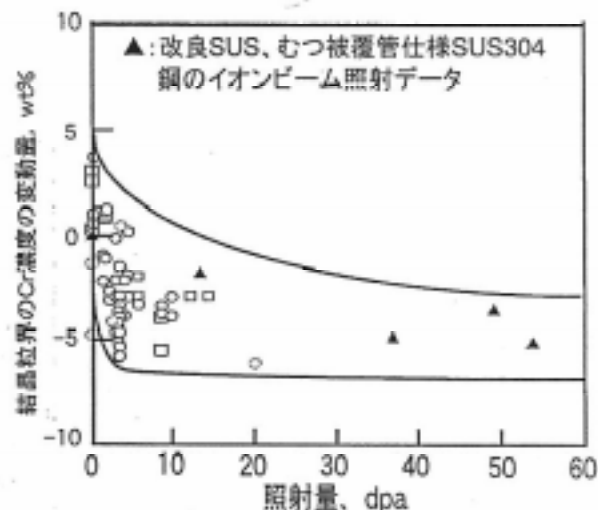


注) 水冷却炉の仕様比較については表-I-9参照

図-I-10 水冷却高速増殖炉(BWR型)概念

改良SUS(25Cr-35Ni-0.2Ti)の開発

- 耐食性、耐照射性、延性に優れた合金設計
- 超高純度電子ビーム溶製法を採用し粒界型応力腐食割れを抑制
- 微細析出分散と微細粒化が可能な加工熱処理により機械的強度を向上



改良SUSの照射による結晶粒界のCr濃度変動量を測定した結果、粒界腐食抑制に十分なCr濃度を保持できることを確認した。

実用化に向けて高速中性子炉条件及び沸騰水条件の照射試験が必要。

図-I-11 水冷却高速増殖炉(BWR型)の要素技術開発成果(例)

☐でマークした課題: 国際協力が期待される項目
 ●: 代替概念がある技術

実現可能性(難易度: ハードルの高さ)の分類
 低: 「開発見通しがあり、不確かさが少ない革新技術」
 中: 「現状知見に乏しく、開発に不確かさがある革新技術」
 高: 「基礎知見に乏しい燃料・材料関連の革新技術であり、不確かさが最も大きく、かつ研究開発に時間がかかる技術」

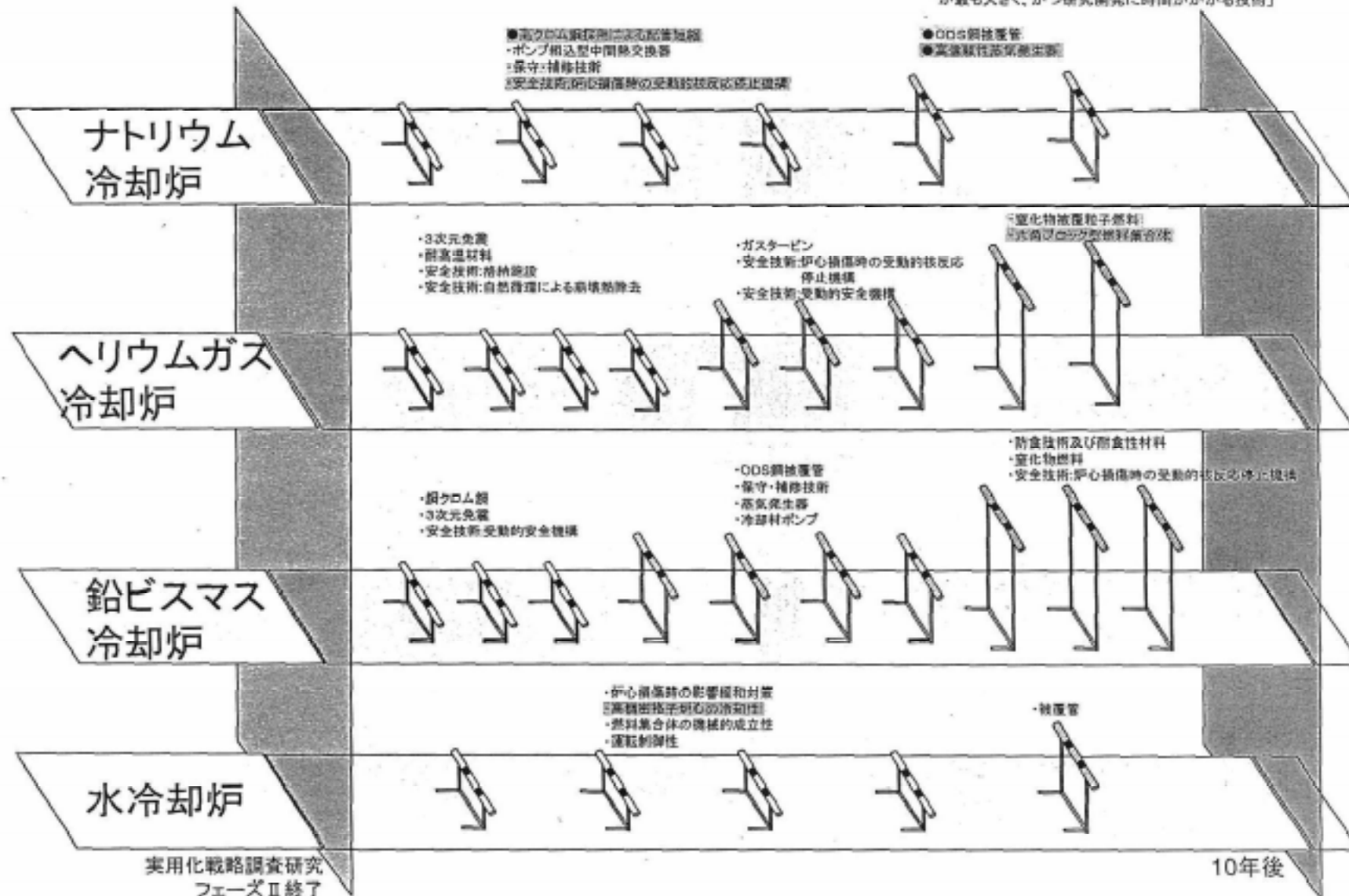
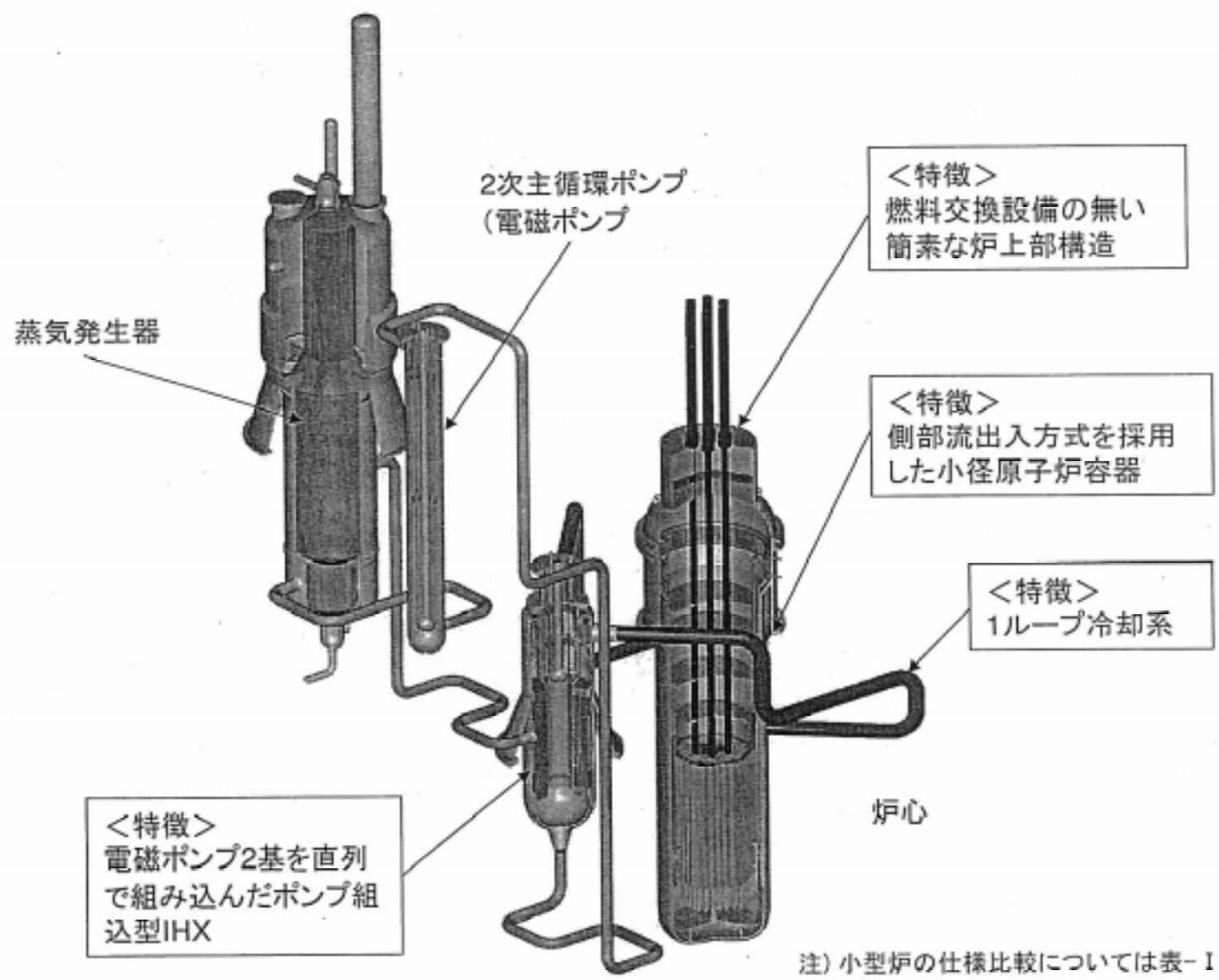


図-I-12 各高速増殖炉システムの技術的実現性



注) 小型炉の仕様比較については表-I-12参照

図-I-13 遠隔地立地向け小型炉系統概念図

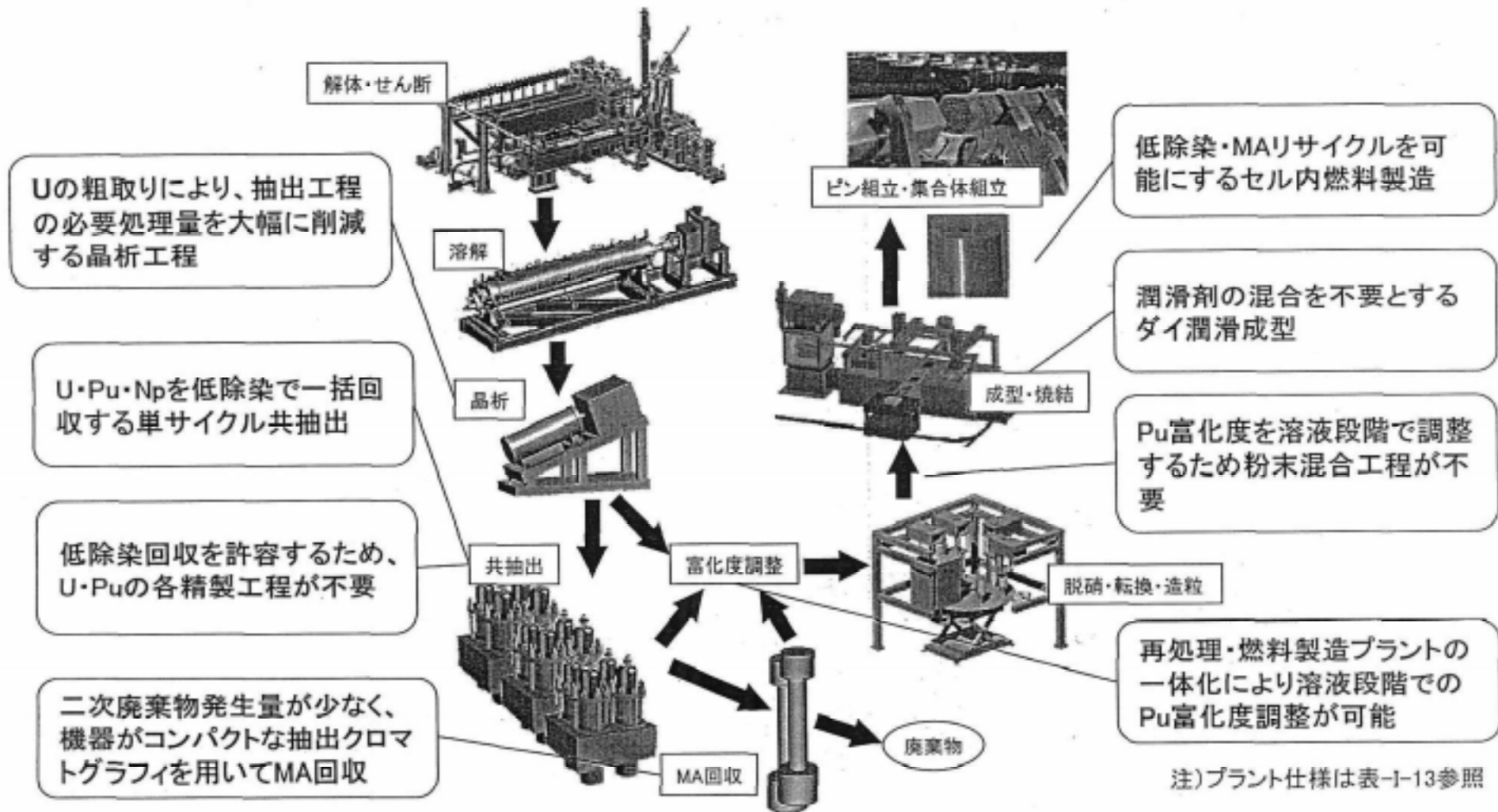
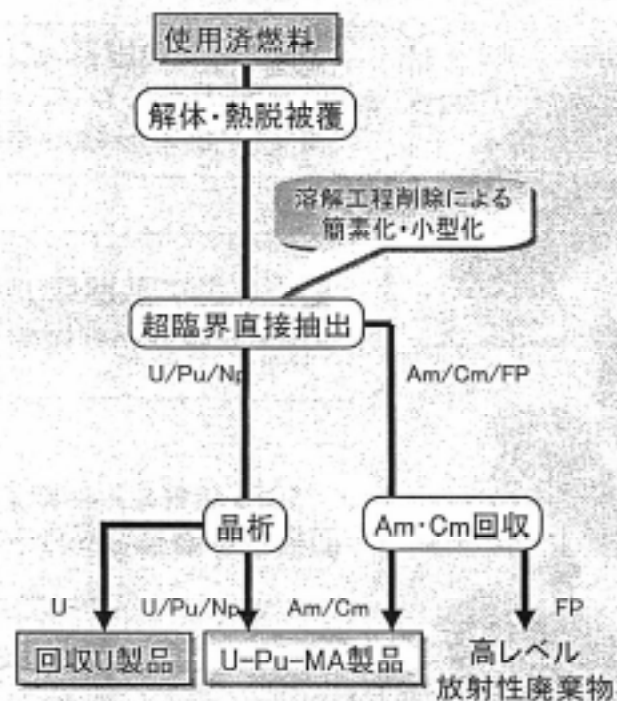
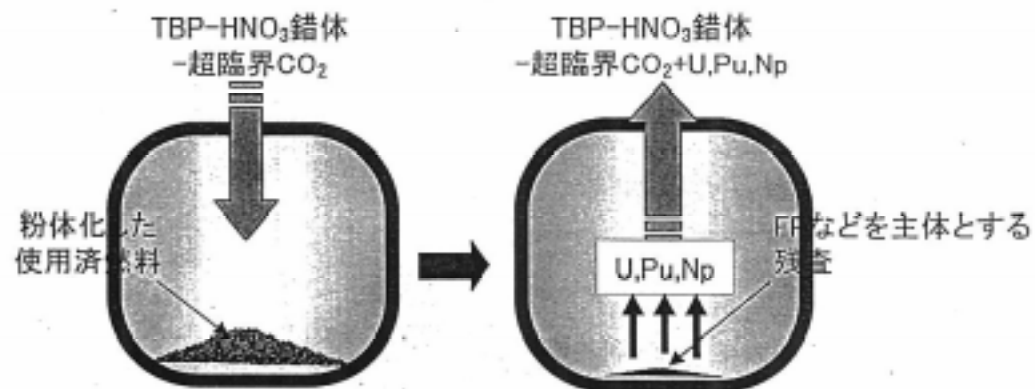


図-I-14 先進湿式法再処理及び簡素化ペレット法燃料製造の組合せ概念

超臨界直接抽出法を用いた先進湿式法



超臨界直接抽出法の原理



- 粉体化した使用済燃料から、
- 溶解工程を経ずに、
- TBP-硝酸を含む超臨界炭酸ガスに
- 直接、U・Pu・Npを抽出

⇒ 工程の簡素化による経済性向上の可能性

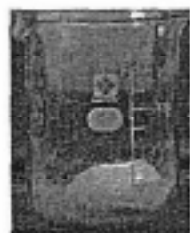
技術開発の現状

- 使用済燃料を用いたピーカースケールの試験によって原理を確認した段階。
- コーヒー豆からのカフェインの抽出など、一般産業界では実用化されている。

図-I-15 超臨界直接抽出法を用いた先進湿式法再処理の概念

晶析技術開発

晶析工程に関する実溶解液を用いた小規模ホット試験などにより、ウラン回収率74%程度、除染係数100程度の達成見込みを確認。



円環型キルン式晶析装置(約0.1t-U/d)を試作、ウラン試験で性能に問題が無いことを確認。



抽出技術開発

単サイクル共抽出プロセスの成立性を小規模ホット試験によって確認、高速増殖炉再処理へ適用可能と判断。



10Kg-U/hの遠心抽出器システム試験装置を用いた試験により、異常時(1段停止)にも運転継続可能と評価。



革新技術として超臨界直接抽出法も検討。

脱硝技術開発

約1/50規模のウラン脱硝試験機を試作。試験の結果、良好な製品粉末を得たが、溶液飛散対策及び量産性の確認に課題を残す。



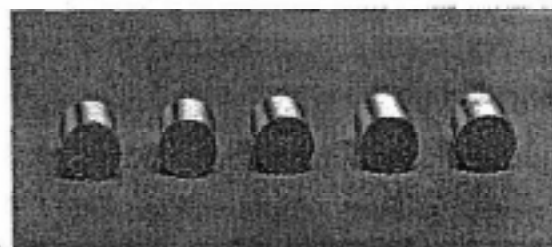
簡素化ペレット法による燃料製造

転動造粒により製造したMOX原料粉末を用いてペレット焼結試験を実施し、良好な成型体を得られることを確認。



MA含有燃料開発

5%Am-MOXや2%Am-2%Np-模擬FP-MOXのペ



レット製造試験などを実施し、焼結条件最適化により良好な焼結性を得られることを確認。

図-I-16 先進湿式法再処理及び簡素化ペレット法燃料製造の要素技術開発成果(例)

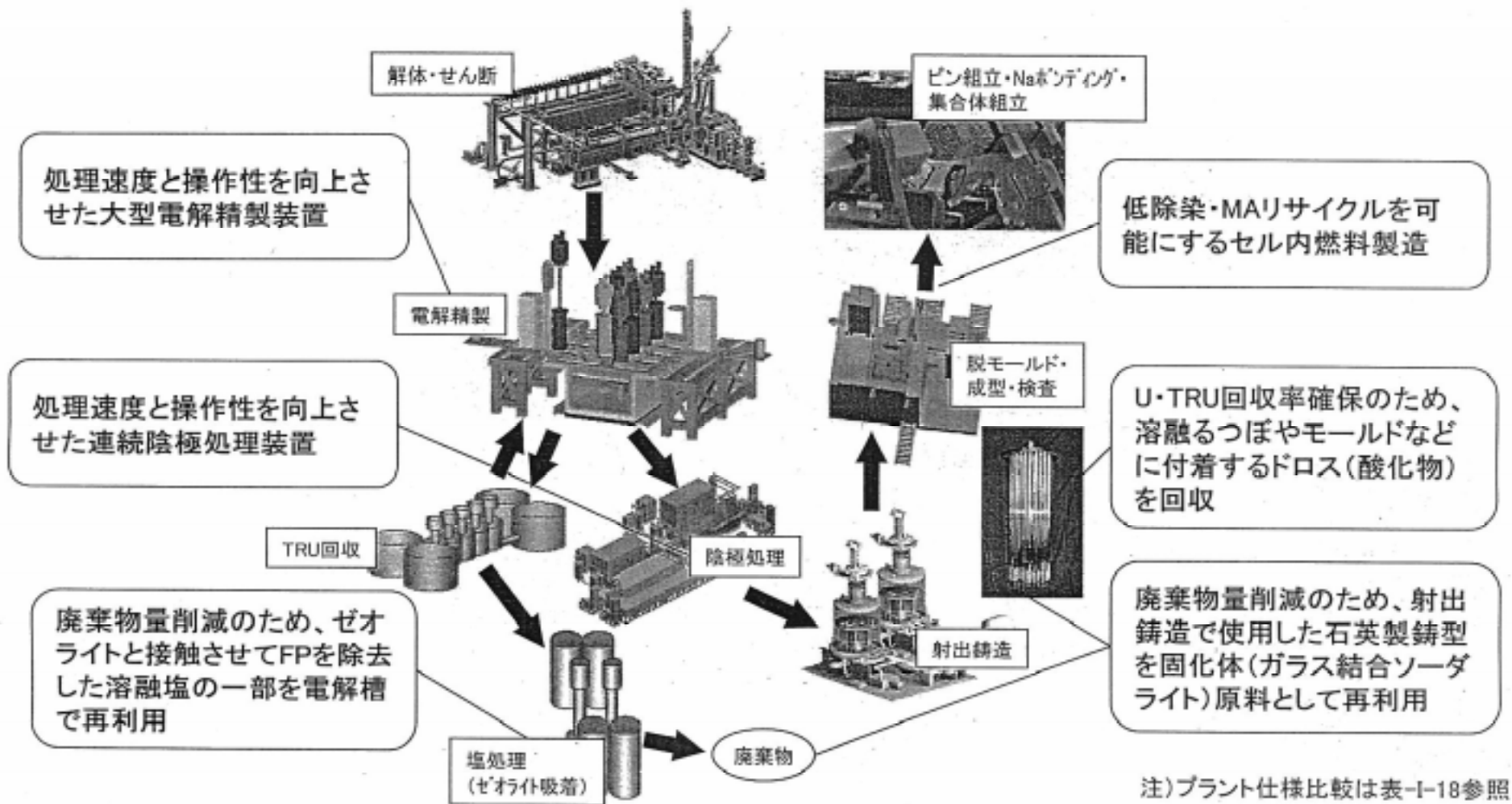
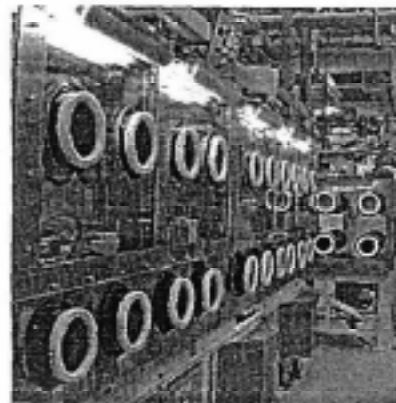
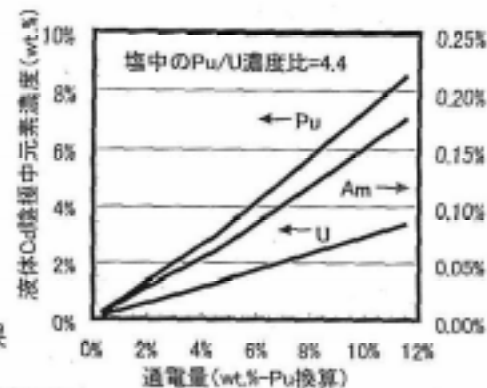


図-I-17 金属電解法再処理及び射出鑄造法燃料製造の組合せ概念

Puを用いた小規模試験の結果

- ・ PuをUと共に安定的に回収できる
条件: 塩中Pu/U濃度比 > 2
- ・ AmはPuに随伴してCd陰極に回収
- ・ 希土類の分離係数 = 20~30

※電中研-旧原研共同研究の成果

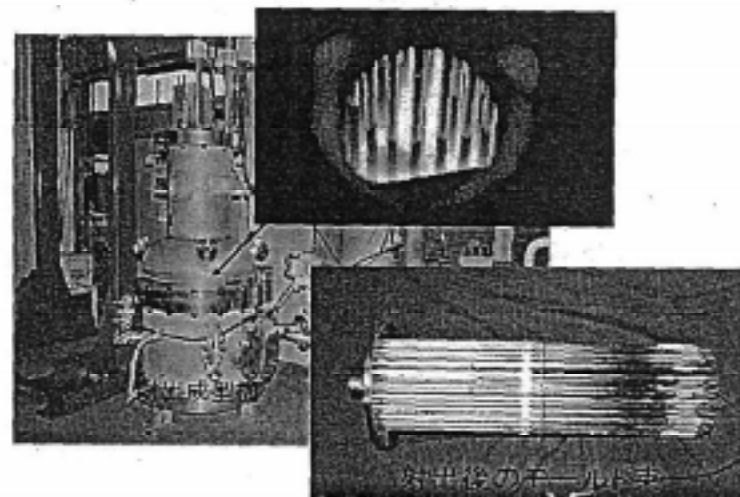


CPFにおける金属電解法
プロセス試験設備とU析出物

CPFに設置した電解精製及び陰極処理などからなる試験設備を用いてU試験を実施、高いU回収率(>96%)を確認。

※旧JNC-電中研共同研究の成果

電解精製技術開発



U-Zr合金を用いた実規模に近い規模での射出鑄造試験により、燃料スラグの外径や密度に関する統計データを蓄積。平均外径精度±0.05mm以内、Zr濃度±1%以内などの仕様設定値が満足される見通しが得られた。

溶融合金に対する射出量の割合(射出割合)は設計目標値(70%)を達成できることを確認した。

射出鑄造技術開発

図-I-18 金属電解法再処理及び射出鑄造法燃料製造の要素技術開発成果(例)

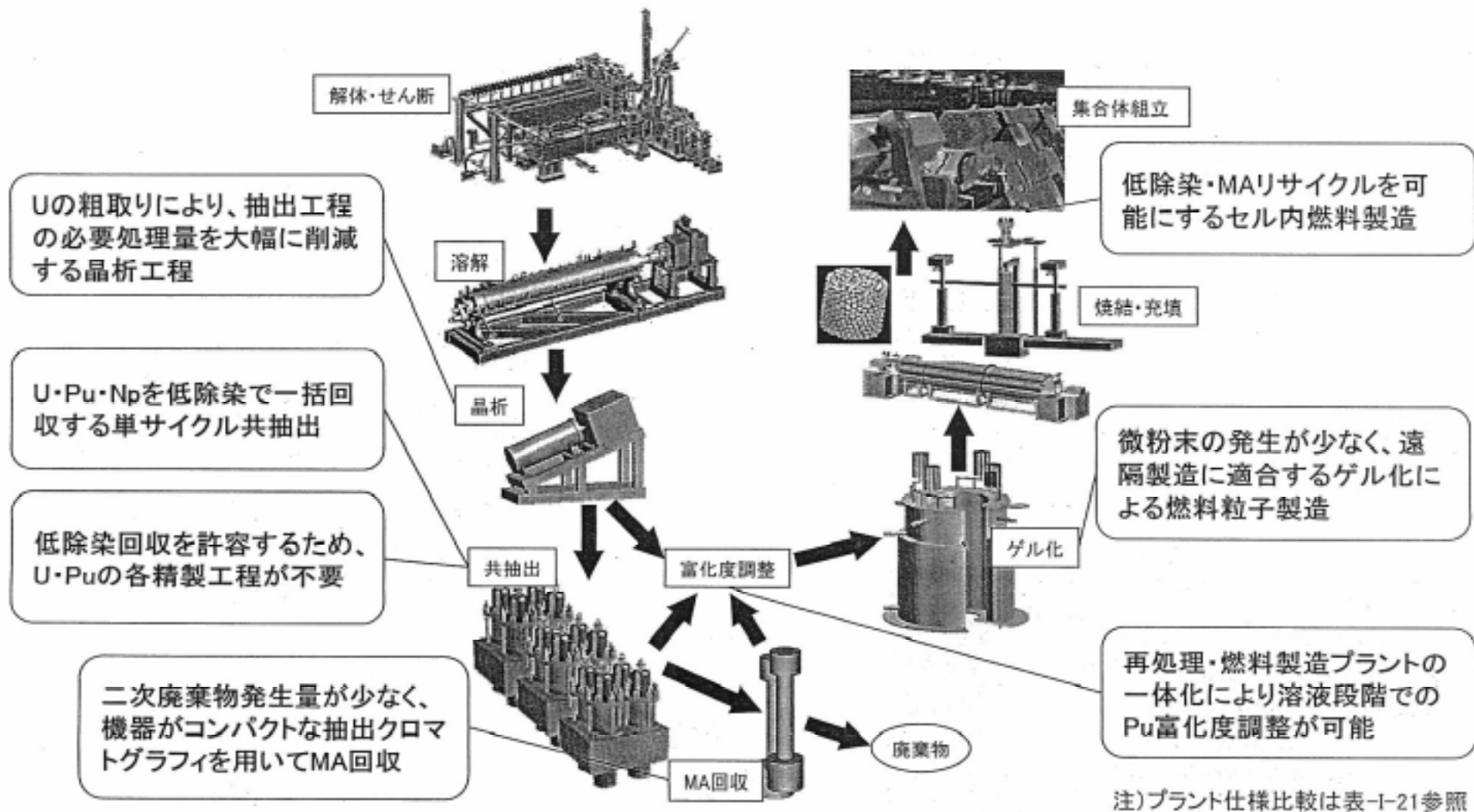


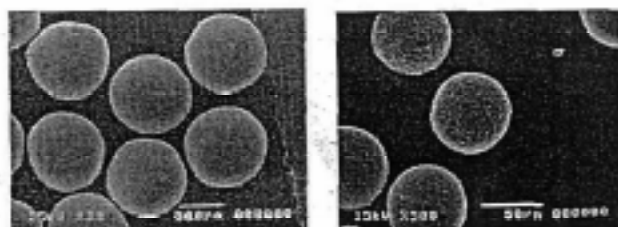
図-I-19 先進湿式法再処理及び振動充填法燃料製造(スフェアパック燃料)の組合せ概念

- ・ 5%のNpを含有するMOX粒子燃料を製造し、Npの添加が粒子燃料製造に悪影響を及ぼさないことを確認。
- ・ 原料溶液や添加剤の γ 線照射試験を行い、MA添加時や低除染時に懸念された放射線劣化の影響が少ないことを確認。

- ・ 模擬粒子の充填試験や照射試験燃料の製造の結果、スミア密度80%以上、軸方向分布 $\pm 2\%$ 以内、などを確認。
- ・ 高出力照射試験などを実施、現在照射後試験結果を解析中。

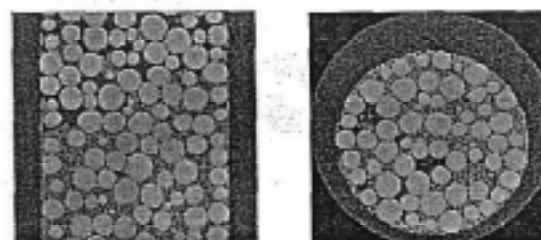


外部ゲル化法による小径液滴の滴下(U試験)



大径粒子(約900 μ m) 小径粒子(約70 μ m)

外部ゲル化法で製造したUO₂粒子



充填途中のスフェアパック燃料ピンのCT画像

ゲル化法粒子製造技術開発

充填試験と照射試験

図-I-20 先進湿式法再処理及び振動充填法燃料製造(スフェアパック燃料)の要素技術開発成果(例)

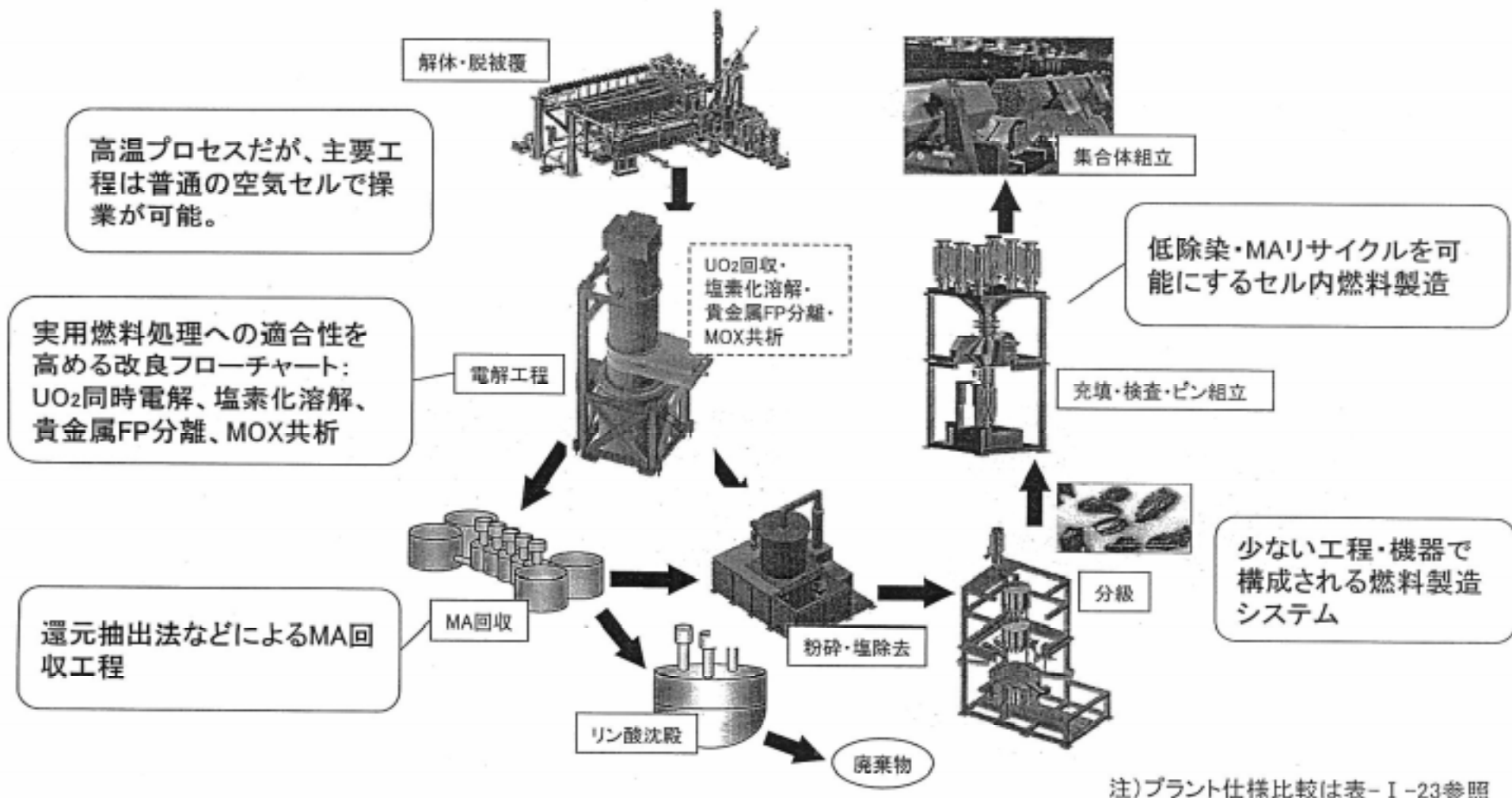


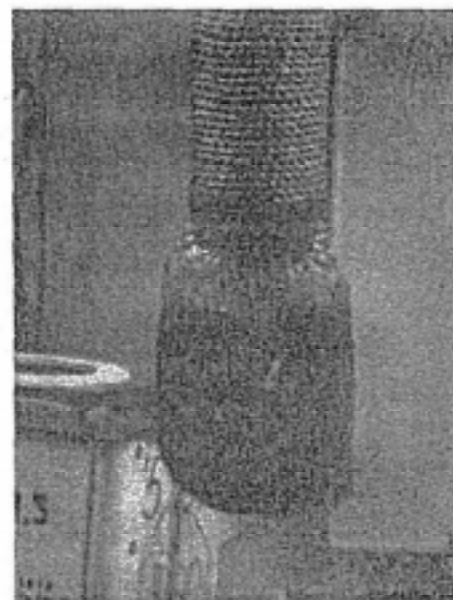
図-I-21 酸化物電解法再処理及び振動充填法燃料製造(パイパック燃料)の組合せ概念

MOX共析試験

- Pu沈殿の生成は吹き込みガス中の塩素濃度を上げることで防止でき、電流効率は塩中のPu/U濃度比を高めることで維持できることをロシアにおける使用済燃料を用いた試験で確認。電流効率はMOX析出物中のPu富化度などにより、20～60%の間で変化
- 希土類の除染係数は現状では10～20との見込み

振動充填と照射試験

- 照射済MOX燃料を酸化物電解法(ただしRIARオリジナルの方法)で処理して得られたMOX顆粒を用いて低除染バイパック燃料を製造
- Pu富化度の軸方向のばらつきは、ロシアにおける高除染MOX燃料製造実績から、制限値(Pu富化度の±5%)以内とできる見通し。
- 実験炉BOR-60で照射した結果、高除染のバイパック燃料とほぼ同様のふるまいであることを確認



回収したMOX析出物
(U+Pu 2.7kg)

図-I-22 酸化物電解法再処理及び振動充填法燃料製造(バイパック燃料)の要素技術開発成果(例)

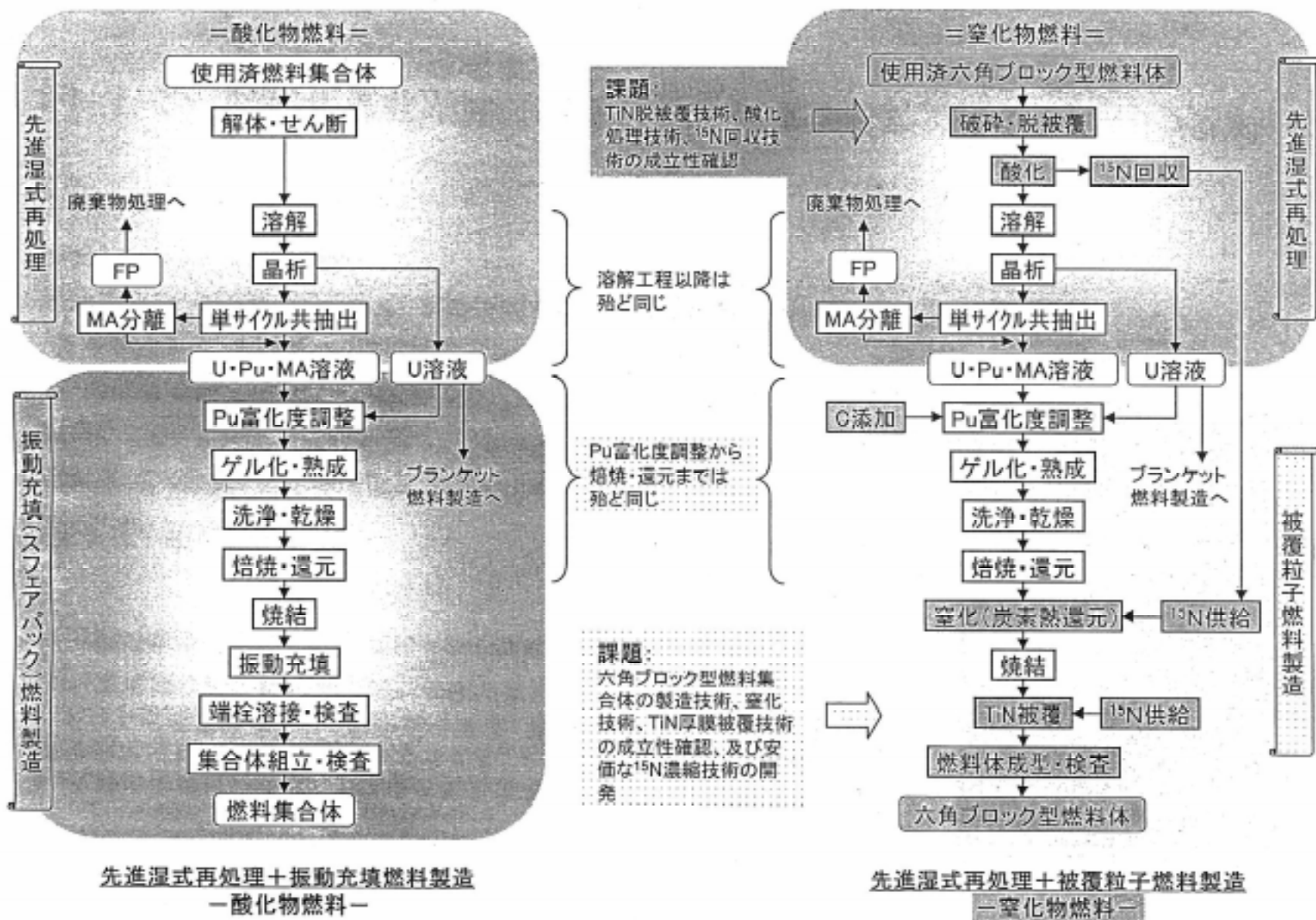


図-I-23 窒化物燃料サイクル概念(先進湿式再処理と被覆粒子燃料製造の場合)

実現可能性(難易度:ハードルの高さ)の分類
 低:「開発見通しがあり、不確かさが少ない革新技術」
 中:「現状知見に乏しく、開発に不確かさがある革新技術」
 高:「基礎知見に乏しい燃料・材料関連の革新技術であり、不確かさが最も大きく、かつ研究開発に時間がかかる技術」



図-I-24 各燃料サイクルシステムの技術的実現性

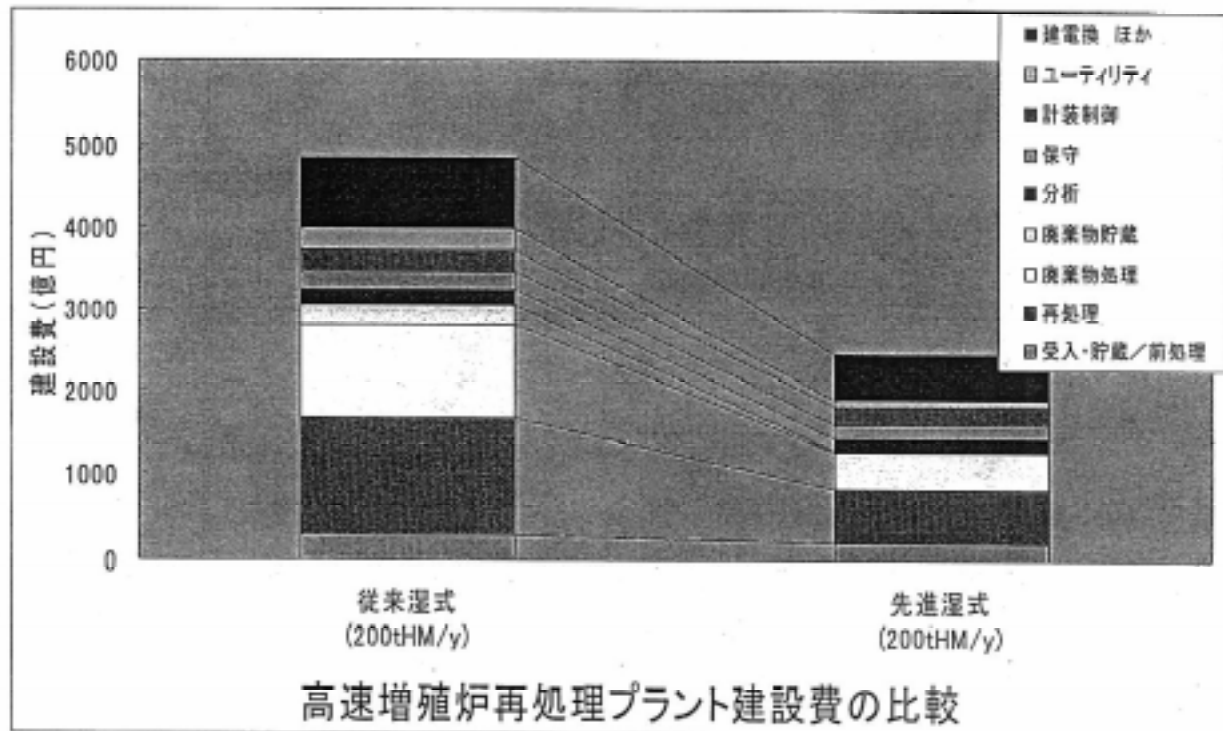
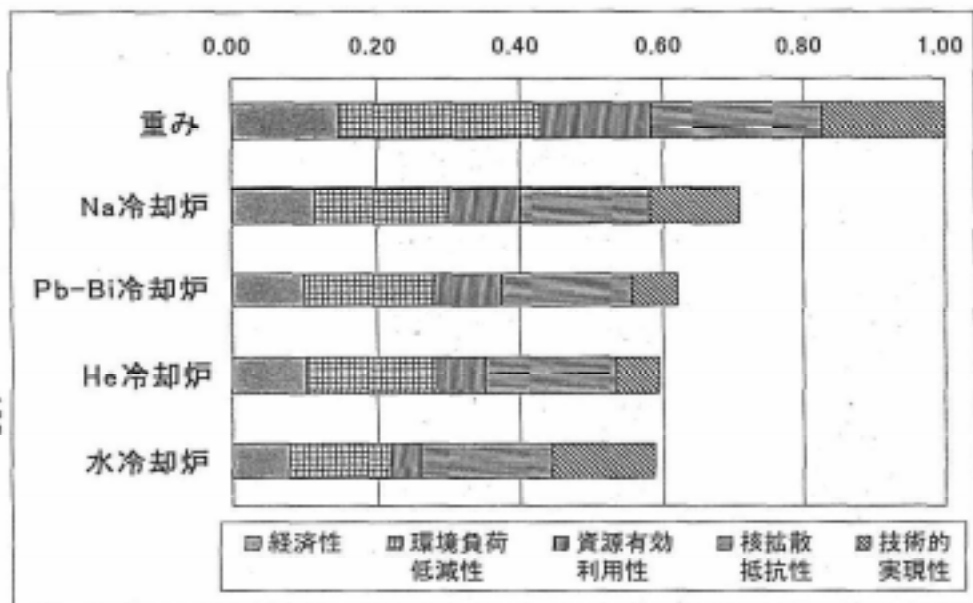
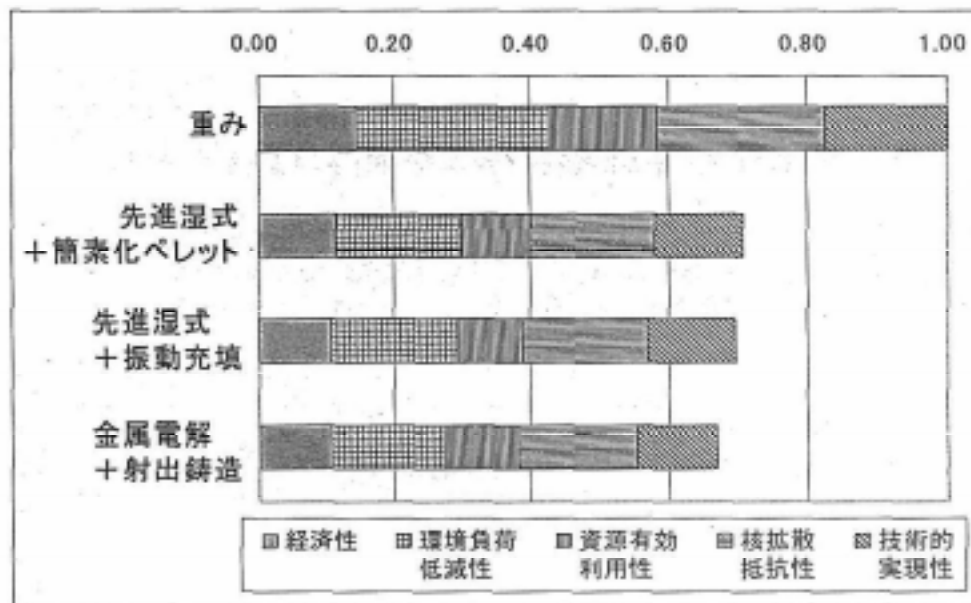


図-I-25 従来型湿式法と先進湿式法の建設費の比較



炉型毎の総合的な目標適合度の比較(普通の市民の重み)

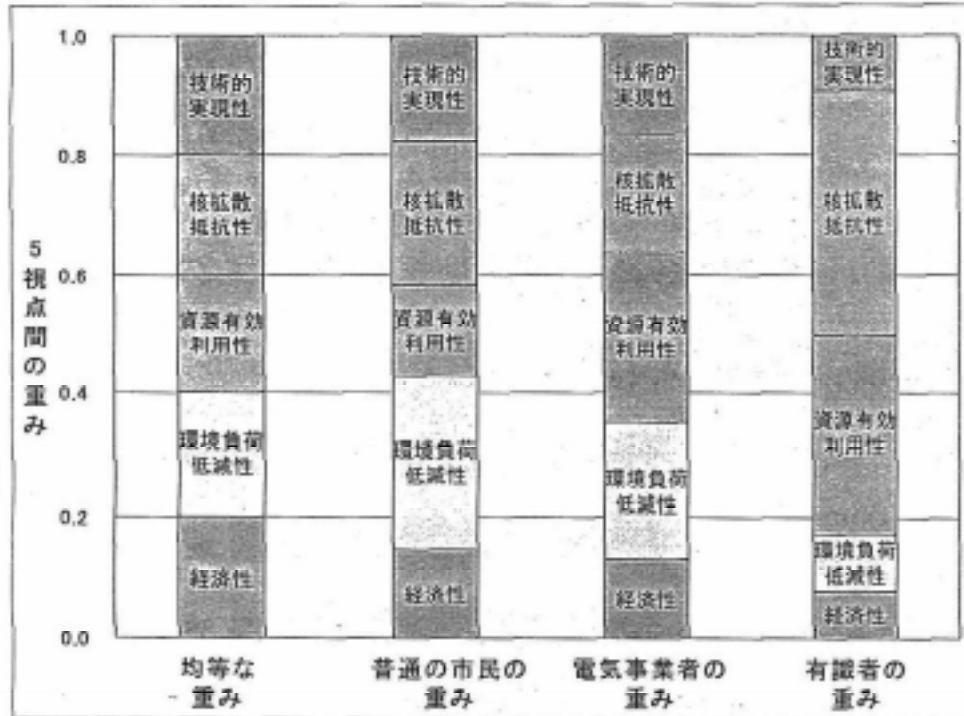
〔先進湿式再処理 / 簡素化ペレット製造 (He炉のみ被覆粒子燃料製造) と組合わせた場合。炉心は資源重視型炉心。〕



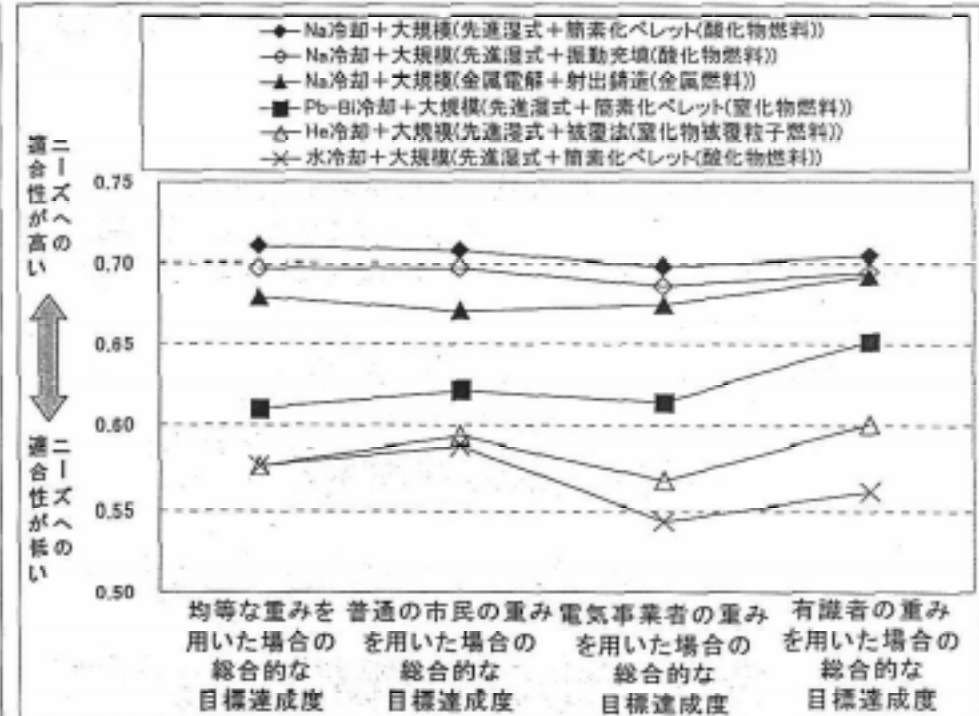
再処理・燃料製造方法毎(200t/y)の総合的な目標適合度の比較(普通の市民の重み)

〔Na冷却炉と組合わせた場合。炉心は資源重視型炉心。〕

図-I-26 総合的な目標達成度の炉型別及び燃料サイクル別比較



5視点間重み
(電気事業者、有識者、普通の市民の重み)



重みを考慮した総合的な目標適合度の比較

[注] 普通の市民の重みを用いた場合の炉型別及び燃料サイクル別の比較は図-I-26参照

図-I-27 社会的属性による重みとそれを考慮した総合的な目標適合度の比較