

FBRサイクルの実用化戦略調査研究 (進捗状況の概要)

2000年 1月 17日

核燃料サイクル開発機構

実用化戦略調査研究の進め方

フェーズ I [1999～2000年度]

幅広い技術的選択肢の評価 → 有望な実用化候補概念を抽出

C&R 候補概念について、開発目標への適合可能性を評価

フェーズ II [2005年度頃まで]

工学試験等を踏まえ、サイクル全体としての最適化及び評価 → 実用化候補の絞り込み

C&R 実用化候補概念(複数)について、工学的な成立見通しの評価

フェーズ II の後

5年程度毎にC&Rを受けローリングプランで実施
目標: 2015年頃には競争力あるFBRサイクル技術を提示

安全性

- 炉 ○ 炉心損傷に至る恐れのある事象の発生を防止するとともに、その発生を仮定しても問題が生じず自然に終息
- 燃料サイクル ○ 臨界安全、閉じ込め機能に十分な対策を施す
- 取扱物質の特性(化学的活性度、毒性等)やプロセス条件(運転温度等)を踏まえた安全対策

経済性

- 将来の軽水炉に比肩する経済性の達成
- コスト目標
 - ・ 炉の建設費: 20万円/kWe
 - ・ 再処理費: 27万円/kgHM
 - ・ 燃料製造費: 16万円/kgHM

資源の有効利用

- 高増殖から、低増殖、TRU燃焼まで柔軟に対応
- 高増殖としては、増殖比1.2程度を目標

環境負荷低減

- TRU燃焼及び長半減期FPの核変換により、放射性廃棄物量を低減
- 施設の運転・保守及び廃止措置に伴い発生する放射性廃棄物量の低減

核不拡散性

- FBRサイクルの中で純粋なプルトニウムが単独で存在しないこと
- 核物質防護性及び保障措置性の対応が良好な設計

図3-1 FBRサイクルの開発目標

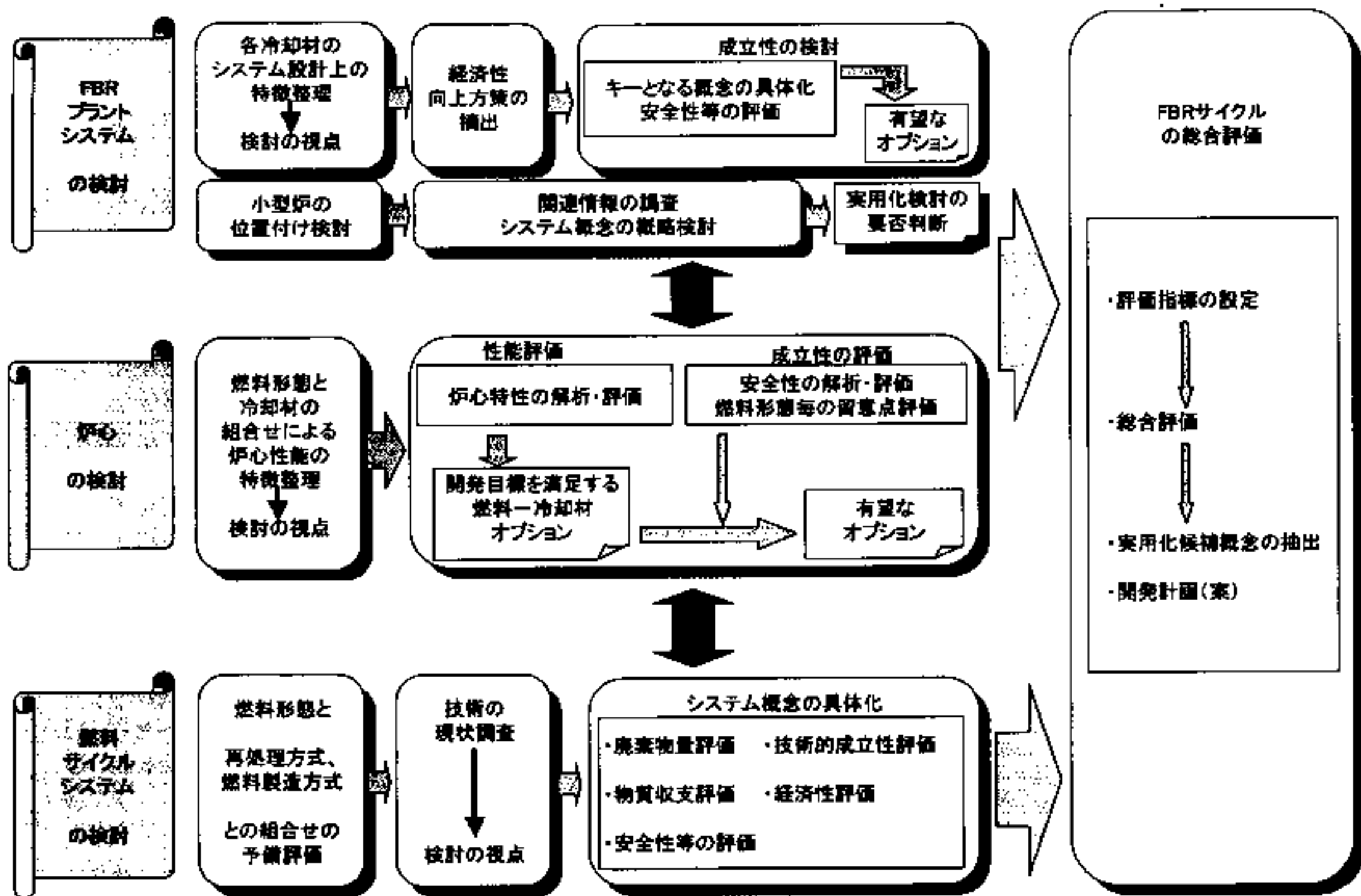


図3-2 フェーズ I の検討フロー

FBR の燃料形態およびプラントシステム概念

国内外の FBR のこれまでの開発経験及び新たな概念等を広範に調査

既往文献の調査、社内提案、メーカ提案、アイディア公募、国内研究協力、国際研究協力等



検討対象の分析と抽出

冷 却 材	燃料形態
ナトリウム: 重金属 : 鉛、鉛ビスマス合金 ガス : 炭酸ガス、ヘリウムガス 水 : 沸騰水、加圧水、超臨界圧水 溶融塩 : 塩化物	被覆管燃料 : 酸化物、金属、窒化物 被覆粒子燃料 : 酸化物、窒化物 (ヘリウムガス冷却の場合)



冷却材と燃料形態との組合せの検討

安全性確保

○軽水炉と同等以上の安全性確保

IAEA の基本安全原則の適用

現行の軽水炉に適用される基準、指針類の準用

FBR の安全基準類の適用

○信頼性確保

システムの簡素化等によるヒューマンエラーの防止

○原子炉停止系

受動的な原理で原子炉を停止する機能

○崩壊熱除去系

自然循環による除熱

○仮想的炉心損傷事象

大きな機械的エネルギー放出を伴わずに事象終息する炉心概念

(酸化物燃料炉心に対し、この要求を満たす概念を構築

現在、その有効性と炉心性能への影響について検討中)

○ナトリウム漏洩対策

化学反応の影響緩和に有効な設備対策

表3-1 炉心の検討状況（ナトリウム冷却炉の例）

	検討項目	これまでの成果	今後の検討内容
酸化 物 燃 料	○大型炉心の経済性 (長期運転期間、高燃焼度、低除染燃料の適用性) ○資源の有効利用 (Pu需給への柔軟な対応能力、TRU燃焼能力) ○環境負荷低減 (長半減期FP核種の変換) ○安全性 (仮想的な炉心損傷時に、機械的エネルギー放出を伴わずに事象終息する特性:再臨界を排除する炉心概念)	・低除染燃料(2wt% HMのFP混入)を用い、連続運転期間18ヶ月、燃焼度15万MWd/tの炉心概念が成立する見通し ・高燃焼度化を達成するための被覆管材料として分散強化型フェライト鋼(ODS)を選定 ・増殖比1.2、倍增時間30年が達成可能 ・TRU燃焼能力(燃焼率/生成率:~5%/1%)が達成可能 ・(長半減期FP核種の変換方策、炉心概念を検討中) ・再臨界を排除した炉心概念の具体化	・炉心性能の向上(増殖能力、等) ・効率的なFP核変換方策 ・許認可に必要なODS被覆管の照射データ、高燃焼度燃料の安全性試験データの取得計画、等
窒 化 物 燃 料	○大型炉心の経済性 (N-15と天然窒素(N-14)を用いた場合の炉心特性)(注) ○資源の有効利用 ○環境負荷低減 ○安全性 (炉心損傷時の窒素解離の問題)(注)	・(低除染燃料(2wt% HMのFP混入)を用い、連続運転期間18ヶ月、燃焼度15万MWd/tの炉心概念を検討中) ・(N-15とN-14を用いた場合の炉心特性を評価中) ・(高燃焼度化を達成する被覆管材料を検討中) ・増殖比1.3、倍增時間20年が達成可能 ・TRU燃焼能力(燃焼率/生成率:~5%/1%)が達成可能 ・(長半減期FP核種の変換方策、炉心概念を検討中) ・(再臨界を排除した炉心概念の具体化を検討中) ・(窒素解離を考慮した炉心損傷事象推移について解析評価中)	・炉心概念の検討継続 ・N-15濃縮の経済性評価 ・炉心性能の向上(増殖能力、等) ・効率的なFP核変換方策 ・再臨界排除の炉心概念の成立性 ・炉心損傷時の窒素解離の問題 ・許認可に必要な燃料要素及び被覆管材料の照射データ、燃料挙動解析手法の開発、新燃料~高燃焼度燃料の安全性試験データの取得計画、等
金 属 燃 料	○大型炉心の経済性 (炉心出口温度の高温化方策)(注) ○資源の有効利用 ○環境負荷低減 ○安全性 (注)それぞれの燃料の個別課題として酸化物と同様な課題に加えて検討	・(低除染燃料(2wt% HMのFP混入)を用い、連続運転期間18ヶ月、燃焼度15万MWd/tの炉心概念を検討中) ・(炉心出口温度の高温化方策を検討中) ・(高燃焼度化を達成する被覆管材料を検討中) ・増殖比1.3、倍增時間20年が達成可能 ・TRU燃焼能力(燃焼率/生成率:~5%/1%)が達成可能 ・(長半減期FP核種の変換方策、炉心概念を検討中) ・(再臨界を排除した炉心概念の具体化を検討中) ・(炉心損傷事象推移について解析評価中)	・炉心概念の検討継続 ・炉心性能の向上(増殖能力、等) ・効率的なFP核変換方策 ・再臨界排除の炉心概念の成立性 ・許認可に必要な燃料要素及び被覆管材料の照射データ、燃料挙動解析手法の開発、新燃料~高燃焼度燃料の安全性試験データの取得計画、等

表3-3 冷却材ごとの炉システムの検討状況と今後の課題

炉種別	検討状況	今後の主な課題	
ナトリウム冷却炉	○実証炉と軽水炉のコスト比較と、欧米のナトリウム冷却概念の調査分析を踏まえ、コストダウン方策を立案 ○各種概念の構築 ・大型炉:コストダウン方策を取り入れたループ型炉、タンク型炉概念を立案 ・モジュール炉:コストダウン方策とともに、再臨界排除炉心の適合性を検討中 ・2次系削除:有望な方策(案)を抽出	大型炉	・ループ数削減の具体化 ・免震システムの具体化 ・機器合体、新材料による機器、配管コンパクト化 ・高温構造設計の高度化
		中型モジュール炉	・機器合体による機器、配管のコンパクト化 ・低温化による安価材料の利用効果
		2次系削除型炉	・中間媒体を介したナトリウム/水熱交換器の具体化 ・直接発電システム概念の有効性評価
重金屬冷却炉	○大型鉛炉:ポンド方式及びループ式大型鉛炉のプラント設計条件を設定し、耐震/免震成立性を評価中 ○モジュール型鉛炉:タンク式モジュール炉の設計条件を設定 ○モジュール型鉛-ビスマス炉:タンク式モジュール炉の設計条件を設定 ○構造材の腐食:防食技術の予備調査を実施	・構造材料に対する腐食対策 ・予熱設備による所内負荷率の低減化 ・供用期間中検査方法の開発 ・放射化ポロニウム対策	
ガス冷却炉	○CO₂炉: ・英国商用ガス冷却熱中性子炉(AGR)のシステムを調査し、システム概念を検討中 ・炉心性能と事故時炉心安全性を検討中 ○He炉: ・被覆粒子燃料 ・欧州のガス冷却高速炉GBR-4のシステムを調査中 ・被覆粒子燃料の仕様と再処理方法を検討中 ・ガスタービンを活用したシステム概念を検討中 ・ピン型燃料については炉心性能を中心に検討中	・熱交換器等の機器の大型化による物量増加対策 ・大型PCRVの成立性 ・事故時の炉心冷却性 ・仮想的炉心損傷時の影響緩和方策の具体化	
水冷却炉	○軽水炉(BWR)をもとにした稠密化炉心: ・炉心性能評価により増殖比1.05を達成可能 ・事故時安全性評価(LOCA等)を実施中 ・仮想的炉心損傷事故時の再臨界排除可能性を検討中 ○超臨界圧水冷却炉:大出力化による経済性向上方策を検討中	・PWRをもとにした重水冷却稠密化炉心の安全性評価 ・事故時の炉心冷却性 ・仮想的炉心損傷時の影響緩和方策の具体化 ・燃料被覆管及び構造材料の腐食対策(超臨界圧水炉)	
小型炉	○ナトリウム、鉛-ビスマス及びガス冷却小型炉について、多目的分散型電源として開発目標と要求条件を整理し、炉心、システム概念を検討中	・燃料交換頻度の少ない長期運転サイクル炉心構築 ・受動的安全性、核拡散抵抗性に優れたシステムの具体化	
熔融塩炉	○塩化物熔融塩炉を中心に、プラント基本概念の調査を実施中	・ウラン・プルトニウムサイクルに適合するシステムの具体化	

炉種別	検討状況	今後の主な課題	
ナトリウム冷却炉	○実証炉と軽水炉のコスト比較と、欧米のナトリウム冷却概念の調査分析を踏まえ、コストダウン方策を立案 ○各種概念の構築 ・大型炉:コストダウン方策を取り入れたループ型炉、タンク型炉概念を立案 ・モジュール炉:コストダウン方策とともに、再臨界排除炉心の適合性を検討中 ・2次系削除:有望な方策(案)を摘出	大型炉	・ループ数削除の具体化 ・免震システムの具体化 ・機器合体、新材料による機器、配管コンパクト化 ・高温構造設計の高度化
		中型モジュール炉	・機器合体による機器、配管のコンパクト化 ・低温化による安価材料の利用効果
		2次系削除型炉	・中間媒体を介したナトリウム/水熱交換器の具体化 ・直接発電システム概念の有効性評価
重金属冷却炉	○大型鉛炉:ボンド方式及びループ式大型鉛炉のプラント設計条件を設定し、耐震/免震成立性を評価中 ○モジュール型鉛炉:タンク式モジュール炉の設計条件を設定 ○モジュール型鉛-ビスマス炉:タンク式モジュール炉の設計条件を設定 ○構造材の腐食:防食技術の予備調査を実施	・構造材料に対する腐食対策 ・予熱設備による所内負荷率の低減化 ・供用期間中検査方法の開発 ・放射化ポロニウム対策	
ガス冷却炉	○CO₂炉: ・英国商用ガス冷却熱中性子炉(AGR)のシステムを調査し、システム概念を検討中 ・炉心性能と事故時炉心安全性を検討中 ○He炉: ・被覆粒子燃料 ? 欧州のガス冷却高速炉GBR-4のシステムを調査中 ? 被覆粒子燃料の仕様と再処理方法を検討中 ? ガスタービンを活用したシステム概念を検討中 ・ピン型燃料については炉心性能を中心に検討中	・熱交換器等の機器の大型化による物量増加対策 ・大型PCRVの成立性 ・事故時の炉心冷却性 ・仮想的炉心損傷時の影響緩和方策の具体化	
水冷却炉	○軽水炉(BWR)をもとにした稠密化炉心: ・炉心性能評価により増殖比1.05を達成可能 ・事故時安全性評価(LOCA等)を実施中 ・仮想的炉心損傷事故時の再臨界排除可能性を検討中 ○超臨界圧水冷却炉:大出力化による経済性向上方策を検討中	・PWRをもとにした重水冷却稠密化炉心の安全性評価 ・事故時の炉心冷却性 ・仮想的炉心損傷時の影響緩和方策の具体化 ・燃料被覆管及び構造材料の腐食対策(超臨界圧水炉)	
小型炉	○ナトリウム、鉛-ビスマス及びガス冷却小型炉について、多目的分散型電源として開発目標と要求条件を整理し、炉心、システム概念を検討中	・燃料交換頻度の少ない長期運転サイクル炉心構築 ・受動的安全性、核拡散抵抗性に優れるシステムの具体化	
熔融塩炉	○塩化物熔融塩炉を中心に、プラント基本概念の調査を実施中	・ウラン-プルトニウムサイクルに適合するシステムの具体化	

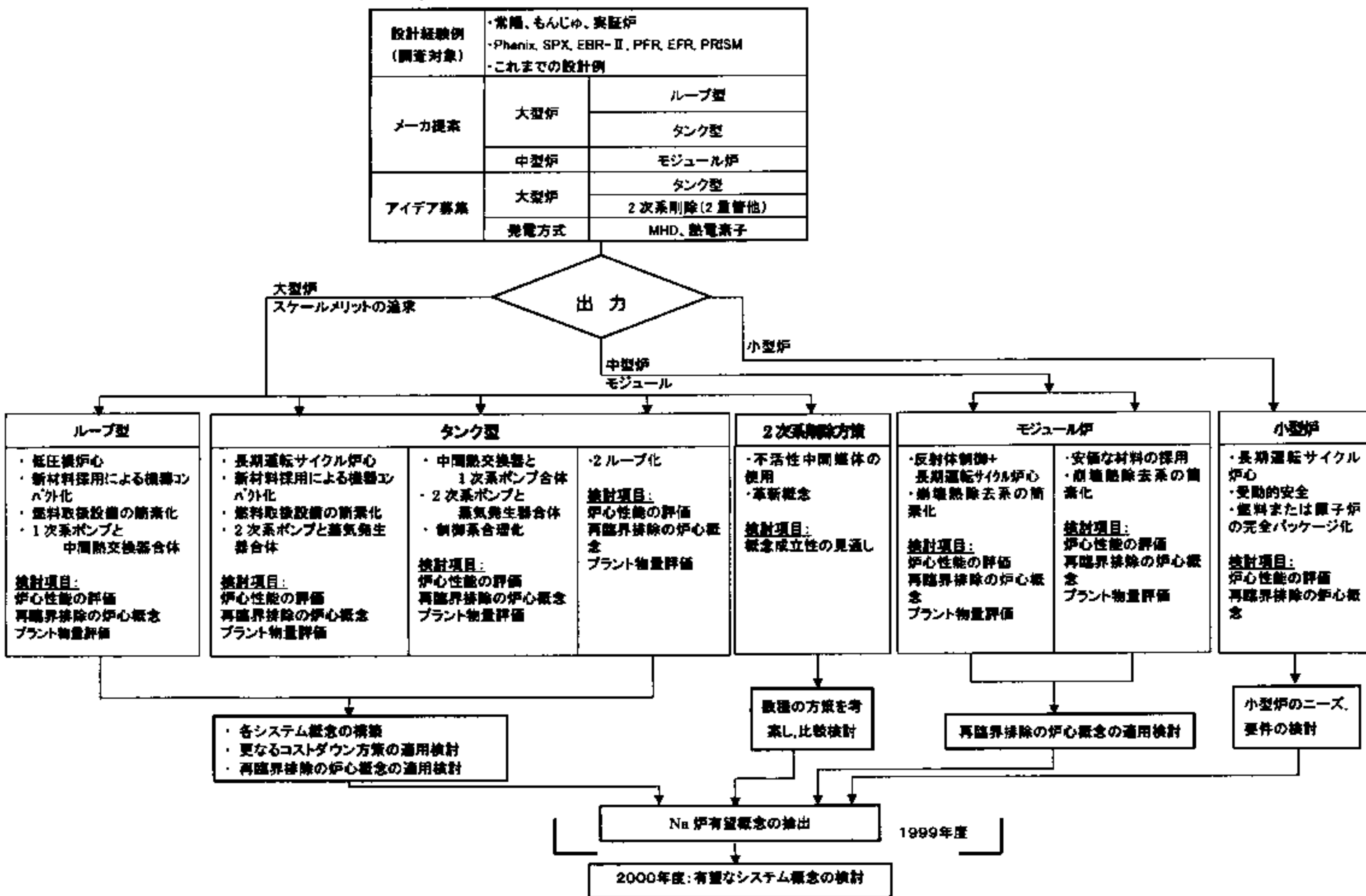


図3-6 Na 冷却炉の候補と検討の進め方

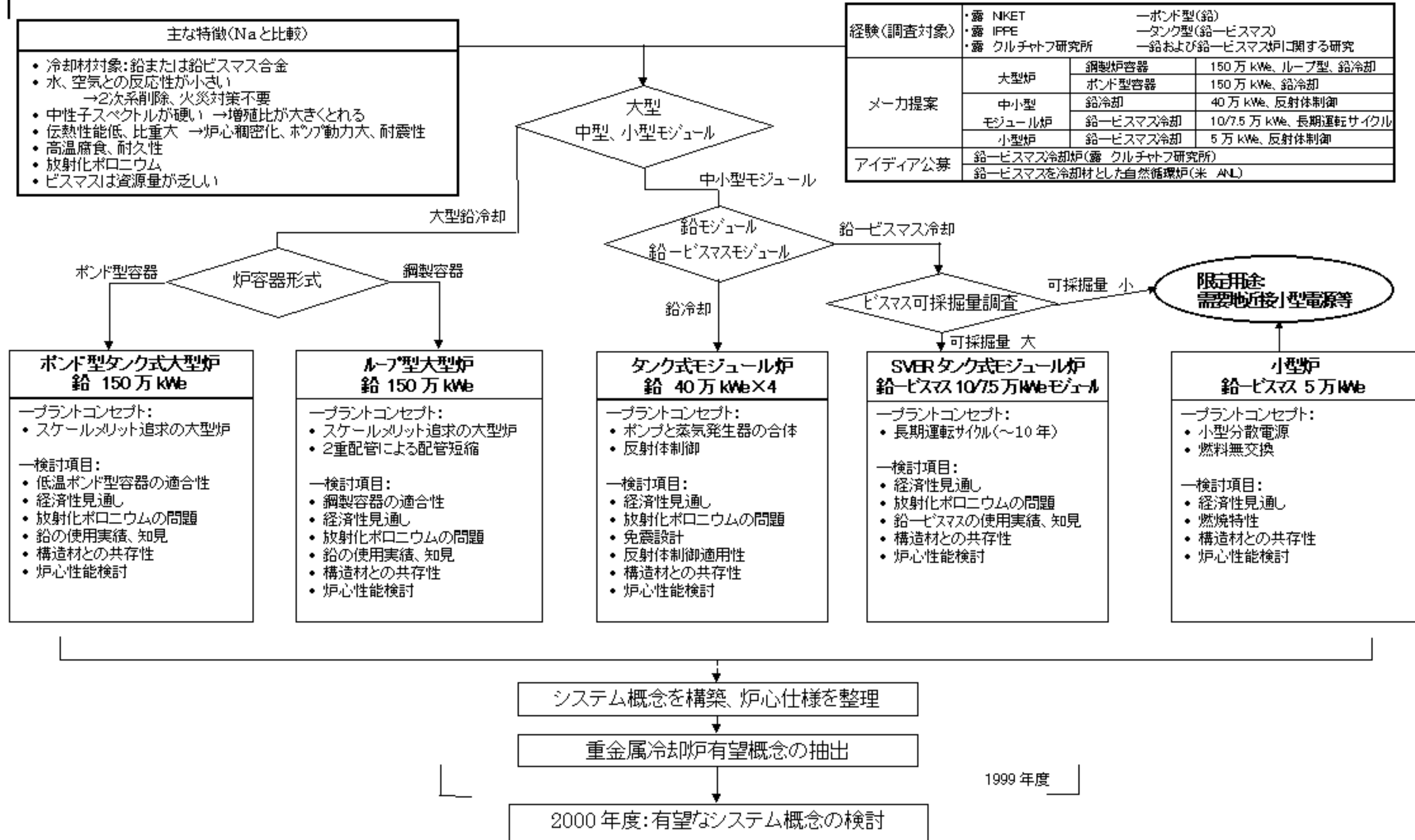


図3-8 重金属冷却炉の候補と検討の進め方

主な特徴(Naとの比較)

- ・ 冷却材対象:炭酸ガス、ヘリウムガス
- ・ 透明で不活性である → 2次系削除、供用中検査(ISO)が容易
- ・ 開発費が少ない → 投資リスクが少ない
- ・ 高効率、コンパクト化の可能性(直接発電)
- ・ 熱輸送能力が低い → 大型化、高圧化
- ・ 冷却材喪失事故等に対する安全性(要検討)
- ・ 増殖比が小さい? (要検討)

経 験
(調 査 対 象)

- ・ 英国のAGR → 炭酸ガス冷却
- ・ 英国のナトリウム炉 → 被覆管材への適用
- ・ HTGR(原研他) → He技術、窒化物燃料

メーカ-提案

ピ ン 型
燃 料

被 覆 粒 子
燃 料

炭酸ガス冷却	140万kW, P CRV, 窒化物燃料
ヘリウム冷却	160万kW, P CRV, 窒化物燃料
ヘリウム冷却	90万kW, 窒化物燃料, 窒化物燃料

冷却材

炭酸ガス

燃料ピン

炭酸ガス ピン型 140万kWe

- プラントコンセプト
 - ・ スケールメリットの追求
- 検討項目
 - ・ プレストレストコンクリート型原子炉容器の成立性
 - ・ フィン付燃料ピンの適用性
 - ・ 炉心性能検討
(増殖比 ≥ 1.0 と減圧事故時冷却の両立の見通しを確認する)
 - ・ 再臨界排除概念

- ・ システム概念の構築
- ・ 炉心仕様の整理

燃料ピン

ヘリウムガス ピン型 160万kWe

- プラントコンセプト
 - ・ スケールメリットの追求
 - ・ 窒化物燃料採用
- 検討項目
 - ・ プレストレストコンクリート型原子炉容器の成立性
 - ・ フィン付燃料ピンの適用性
 - ・ 炉心性能検討
 - ・ 再臨界排除概念

・ 次年度検討予定

ヘリウム

燃料形態

被覆粒子

直接発電(ガスタービン)

中型

小型

モジュール

ヘリウムガス 被覆粒子型 90万kWe
直接発電

- プラントコンセプト
 - ・ 高温化による熱効率向上
 - ・ ガスタービンによる高効率化、コンパクト化
- 検討項目
 - ・ 被覆粒子燃料の再処理技術
 - ・ 再臨界排除概念

・ システム概念を検討

ヘリウムガス ベブルバット型 10万kWe
直接発電

- プラントコンセプト
 - ・ 高温化による熱効率向上
 - ・ ガスタービンによる高効率化、コンパクト化
- 検討項目
 - ・ 被覆粒子燃料の再処理技術
 - ・ 再臨界排除概念

・ システム概念を検討

ガス炉有望概念の抽出

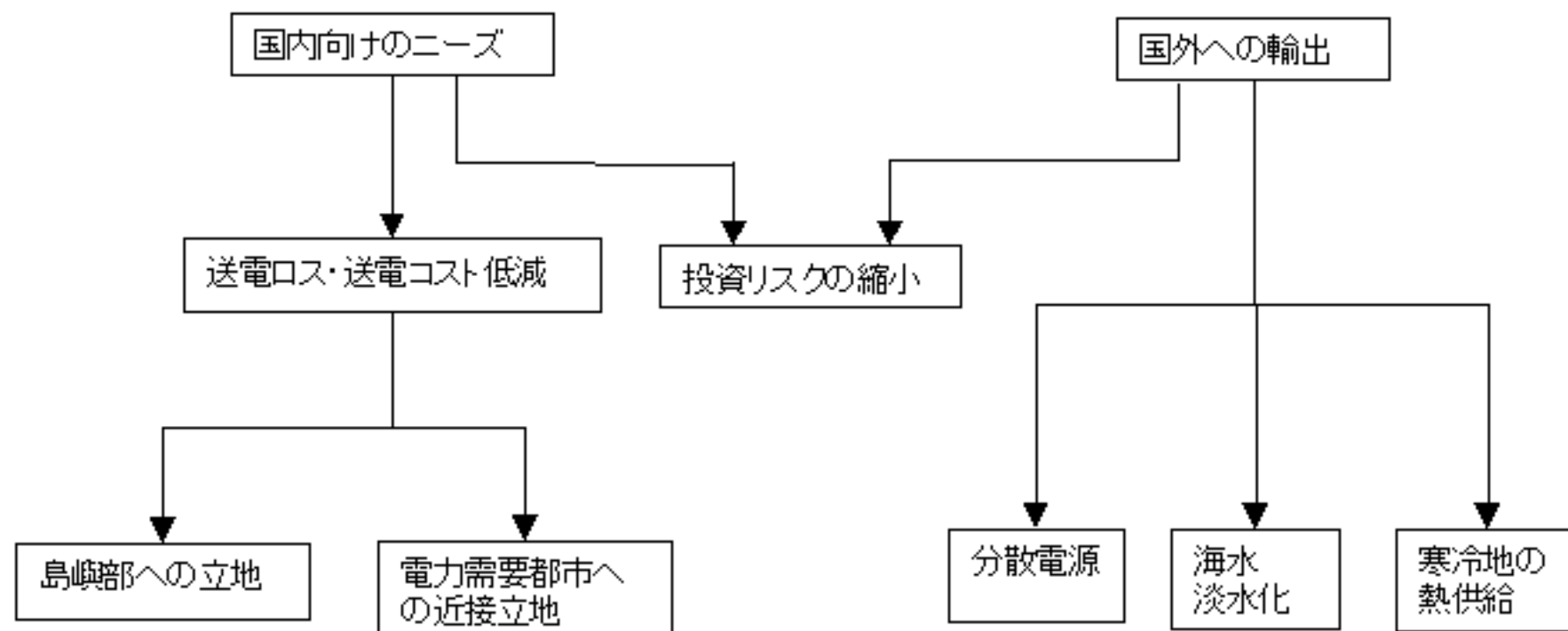
1999年度

2000年度: 有望なシステム概念の検討

図3-10

ガス冷却炉の候補と検討の進め方

小型炉導入のニーズ

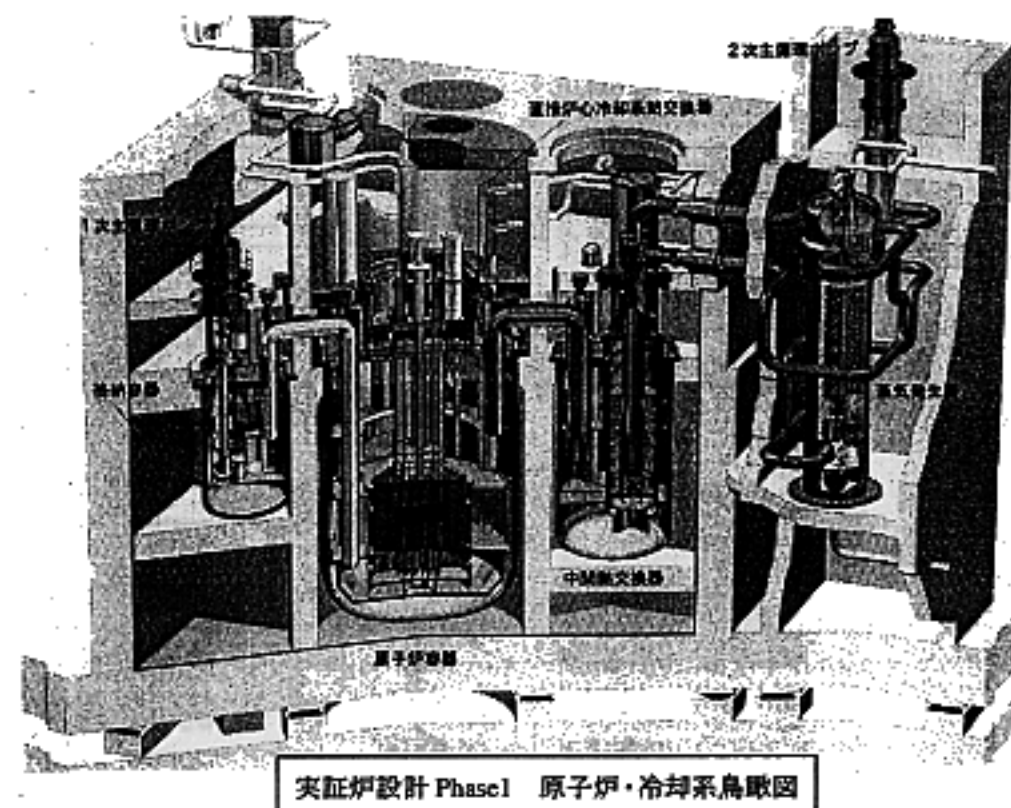
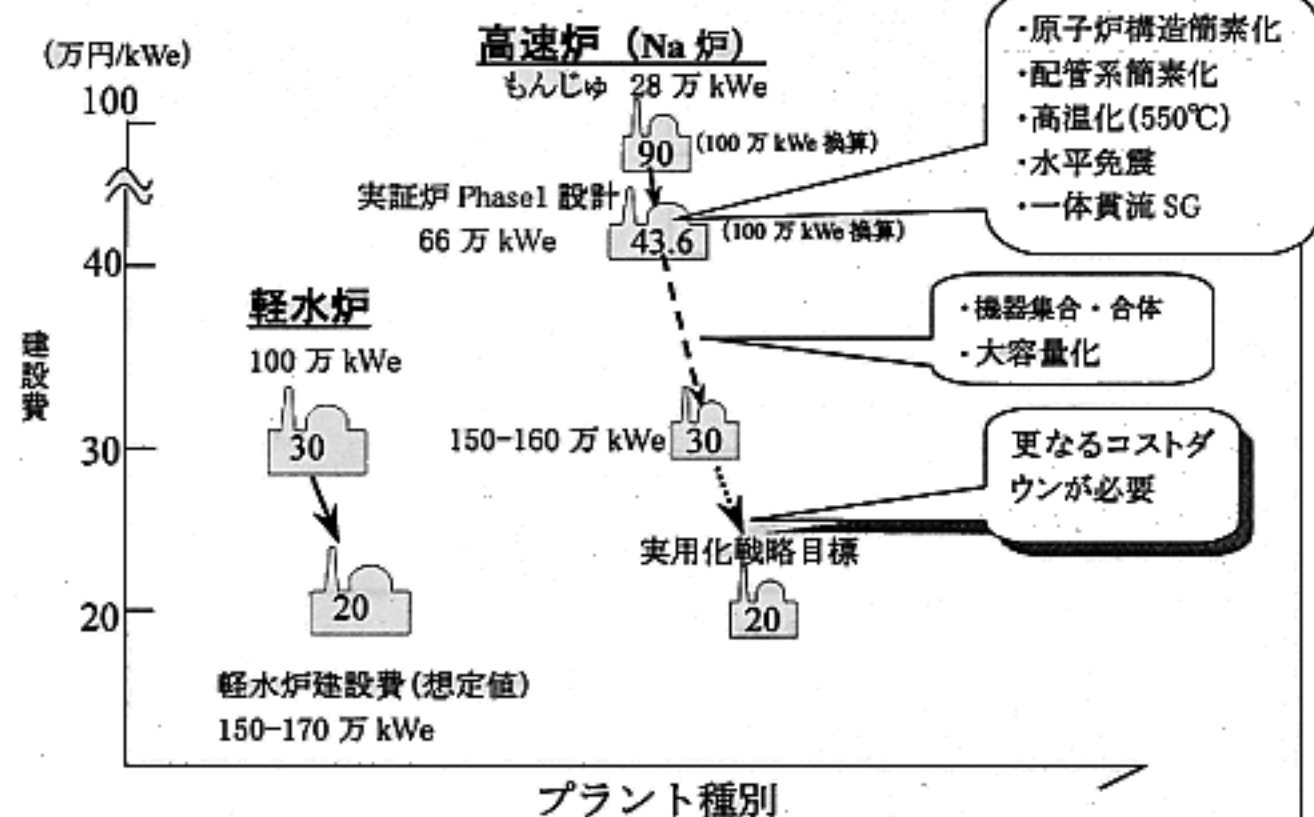


要求条件

- ・燃料交換頻度が少ない等、運転・保守に手間がかからないこと
- ・受動的安全性を有する等、安全性・信頼性が高いこと
- ・単基出力が小さく、モジュール化により容量調節可能なこと
- ・燃料ないしは原子炉への不法なアクセスが困難で核拡散抵抗性に優れること
- ・他の分散電源と競合し得る経済性を有すること

図3-12 小型炉のニーズと要求条件

実証炉開発の成果と軽水炉との経済性比較



実用化プラント構築の着眼点

- 実証炉開発を含めたこれまでの実用化の為の革新技術の開発成果の活用
- 原子炉構造、1次冷却系、2次冷却系、燃料取扱系及び電気計装系の原子炉設備全般にわたる更なるコストダウンが必要

図3-4 軽水炉に比肩する経済性を目指す Na 炉の建設費低減

主要なシステム改善方策

ループ数の削減

機器合体

新材料の採用(12Cr鋼、分散強化型フェライト鋼)

高温構造設計の高度化

3次元免震の採用

中間媒体を介したナトリウム／水熱交換器による2次系削除^(注)

(注)適用可能性について検討中

機器・配管等の物量削減およびそれに伴う建屋容積の削減

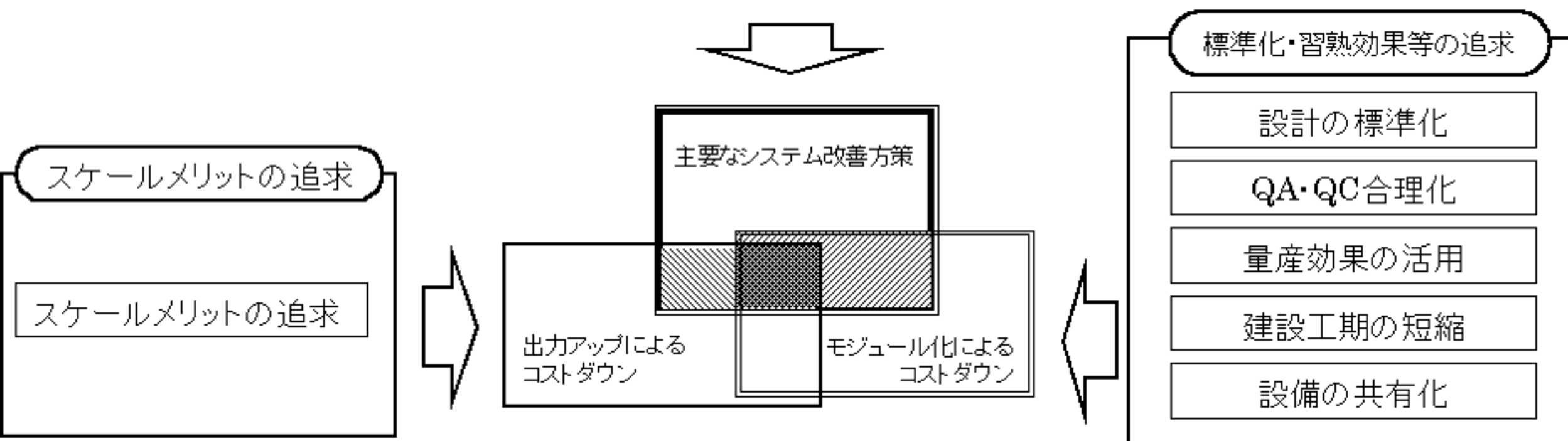


図3-5 建設費20万円/kWeにむけてのコストダウン方策

表3-2 ナトリウム冷却炉における炉心並びにシステムの改善方策

	設計要求(課題)	解決方針	課題解決方策
炉心	炉心領域全体の縮小	・炉心燃料部のみならず、その周囲を含めたコンパクト化	・高性能減速媒体(鉛/Zr-H)による板厚削減 ・径方向ブランケット削減(内部転換比の向上) } による炉心のコンパクト化
	炉心の圧力の低減	・燃料バンドルの流動抵抗の削減	・燃料要素の太径化 ・富化度分布をつけ、軸方向ピーキングを低減 } による低圧炉心の採用
	再臨界排除による炉心性能低下の緩和(集合体内部に内部ダクトを設置)	・炉心燃料体積比の確保	・内部ダクト径の最適化、内部ダクト及び集合体壁の薄肉化 ・炉心性能に影響が少ない他の再臨界排除方策の創出とその採用 ・重原子密度の高い新型燃料(金属、窒化物)の採用
	燃焼度の向上	・炉心材料のスエリング特性改善	・耐スエリング特性の良いODS鋼の開発(取出平均15万MWd/t達成可能) ・高速中性子フルエンス平坦化炉心の検討
	運転サイクル期間の長期化	・燃料体積比の増加による燃焼反応度の抑制	・ラッパ管及び内部ダクトの薄肉化 ・燃料要素の太径化(18ヶ月以上のサイクル期間達成可能) ・重原子密度の高い新型燃料の採用
	炉心出口温度の高温化	・炉心材料の高温特性改善	・高温強度に優れた材料(ODS鋼)の開発(炉心出口温度550℃達成可能) ・富化度分布をつけ、炉心内ホットスポットファクターを低減
	制御棒の長寿命化	・長寿命制御棒の開発	・Naボンド型制御棒の開発 ・軸方向均質(B-10濃縮度の軸方向多領域化)制御棒の採用
	柔軟な増殖性能	・燃料体積比及びブランケット厚で調整	・ラッパ管及び内部ダクトの薄肉化 ・燃料要素の太径化 ・径方向及び軸方向ブランケットの調整
	TRUの受け入れ能力	・炉心反応度特性の改善	・炉心型式、形状の最適化による改善 ・重原子密度の高い新型燃料の採用によるTRU混入制限(融点等)の改善
	長寿命FP各種の核変換	・FP核変換形態の最適化	・効率的な減速材配置、ターゲット材料の最適化 ・重原子密度の高い新型燃料の採用
プラントシステム	核拡散抵抗性の確保	・核物質への接近困難性	・低DF燃料、MA混入燃料の採用
	配管引通しの簡素化・短尺化	・熱膨張の少ない新材料の配管への適用 ・機器合体による機器を結ぶ配管の削減	・12Cr鋼の採用 ・中間熱交換器/ポンプ ・蒸気発生器/ポンプ } の機器合体による系統コンパクト化
	ループ数の削減	・冷却系機器及び配管の単基容量の増大、炉心圧力の低減による炉心冷却性能の向上	・ループ数の削減(4ループから2or3ループ化) ・低圧炉心の採用
	重物物量の削減	・機器・配管のコンパクト化と合理的な配置 ・地震入力値の低減による構造構造の簡素化	・冷却系統のコンパクト化と配置の最適化による装置容積の削減 ・付帯設備(ヒータ、計測系など)の削減 ・3次元免震の採用
	構造設計裕度の拡大	・熱膨張応力発生要因の緩和 ・設計裕度の適正化	・高温構造設計(基準)の高度化 ・熱膨張応力の少ない12Cr鋼の採用
	原子炉容器の縮小	・炉容器径の縮小 ・炉上部構造、燃料取扱構造の簡素化	・炉心コンパクト化 ・単回転プラグの採用 ・炉心支持構造の改善 ・重油型HXによる炉内配置効率の向上(タンク型のみ) } による炉容器径増加の抑制 ・切り欠き式炉心上部構造 ・多関節型燃料取扱機構 } による燃料取扱設備のコンパクト化
	燃料取扱設備の簡素化	・燃料取扱方法の改善と設備の簡素化	・乾式洗浄の採用と水プール冷却設備の活用によるナトリウム冷却の炉外使用済み燃料貯蔵設備の共用化または削除
	伝熱機器、容器の縮小	・伝熱性能に優れた新材料による機器コンパクト化 ・低膨張材料の採用による機器合体の拡大	・中間熱交換器、蒸気発生器への12Cr鋼の採用による機器コンパクト化 ・中間熱交換器、蒸気発生器とポンプとの機器合体による系統コンパクト化
	地震荷重の低減	・免震の採用による機器・配管の薄肉化	・3次元免震の採用による機器配管及び支持構造の簡素化 ・サイト条件にとらわれない設計の標準化によるエンジニアリング費の合理化
	安全性の向上	・受動的な炉停止、崩壊熱除去機能の付与	・異常高温時の制御棒自然挿入機構の採用 ・自然循環による炉心崩壊熱除去機能の向上 ・非常用電源設備の簡素化
	ナトリウム-水反応対策の向上	・ナトリウム-水反応の発生可能性の排除	・中間媒体を介したナトリウム/水熱交換器による2次系閉鎖の検討
	ナトリウム機器の検査・補修能力の拡大	・ISI技術の高度化	・超音波探傷技術、遠隔操作技術の開発
	その他	・設計標準化の拡大	・設計の標準化による製作性の向上、リピータ効果の追求等によるエンジニアリング費の削減 ・QA/QCの合理化による管理費の削減

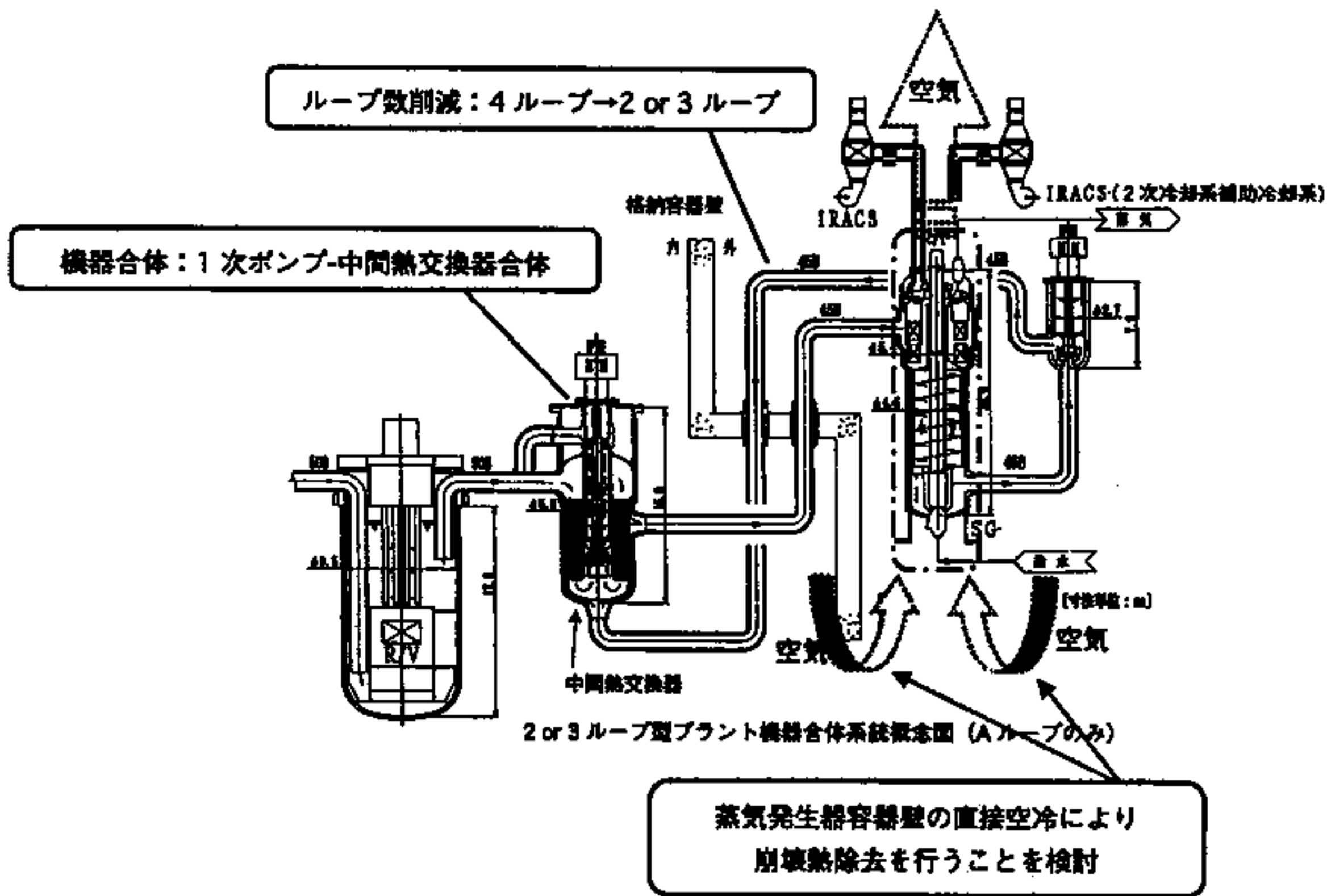


図3-7 ナトリウム大型炉の主なプラント概念図
ループ型炉—ループ数削減+機器合体

燃料サイクルシステム概念

○ FBRは軽水炉に比べ、燃料中の不純物許容量が大

→ 再処理の低除染化（精製工程の削除）が可能

- ・ 経済性向上

- ・ プロセスの簡素化及びこれに基づく廃棄物発生量の削減、プラントのコンパクト化等

- ・ 核不拡散性の向上、環境負荷低減等にも寄与

○ 多量のFPを含んだTRUを取扱う

→ {

- ・ 臨界安全、閉じ込め機能への十分な安全対策
- ・ 取扱物質の特性（化学的活性度、毒性等）やプロセス条件（運転温度等）を踏まえた安全対策

幅広い選択肢の調査

方法	既往文献の調査、社内提案、メーカ提案、アイデア公募、国内研究協力、国際研究協力、等	
調査対象	再処理	湿式(先進湿式法、イオン交換法、超臨界流体抽出法、沈殿法、等) 乾式(酸化物電解法、金属電解法、フッ化物揮発法)
	燃料製造	簡素化ペレット、振動充填、被覆粒子 鑄造(射出成型、遠心法)、等

燃料形態とサイクル技術の組合せの分析によるマトリックス化

○:適用可能な技術

	再処理		燃料製造			
	湿式	乾式	ペレット	振動充填	鑄造	被覆粒子
酸化物	○	○	○	○		○
窒化物	○	○	○	○		○
金属		○			○	
検討の ポイント	・工程の簡素化 ・TRU回収率の向上 ・液体廃棄物発生量の低減 ・Puの非分離回収	・工程間の核物質移送技術 ・TRU回収率の向上 ・塩廃棄物処理 ・計量管理手法の確立	・工程の簡素化 ・低除染燃料への適用 ・遠隔自動化	・造粒工程の合理化 ・Pu富化度、充填密度等の品質管理 ・廃棄物量低減	・鑄型廃棄物量の低減 ・歩留まりの向上 ・坩堝の寿命延長	・炉システム、再処理との整合

図3-13 選択肢の調査と検討のポイント

検討の進め方

酸化物燃料と窒化物燃料は基本的に同じサイクル技術（再処理及び燃料製造技術）の適用が可能

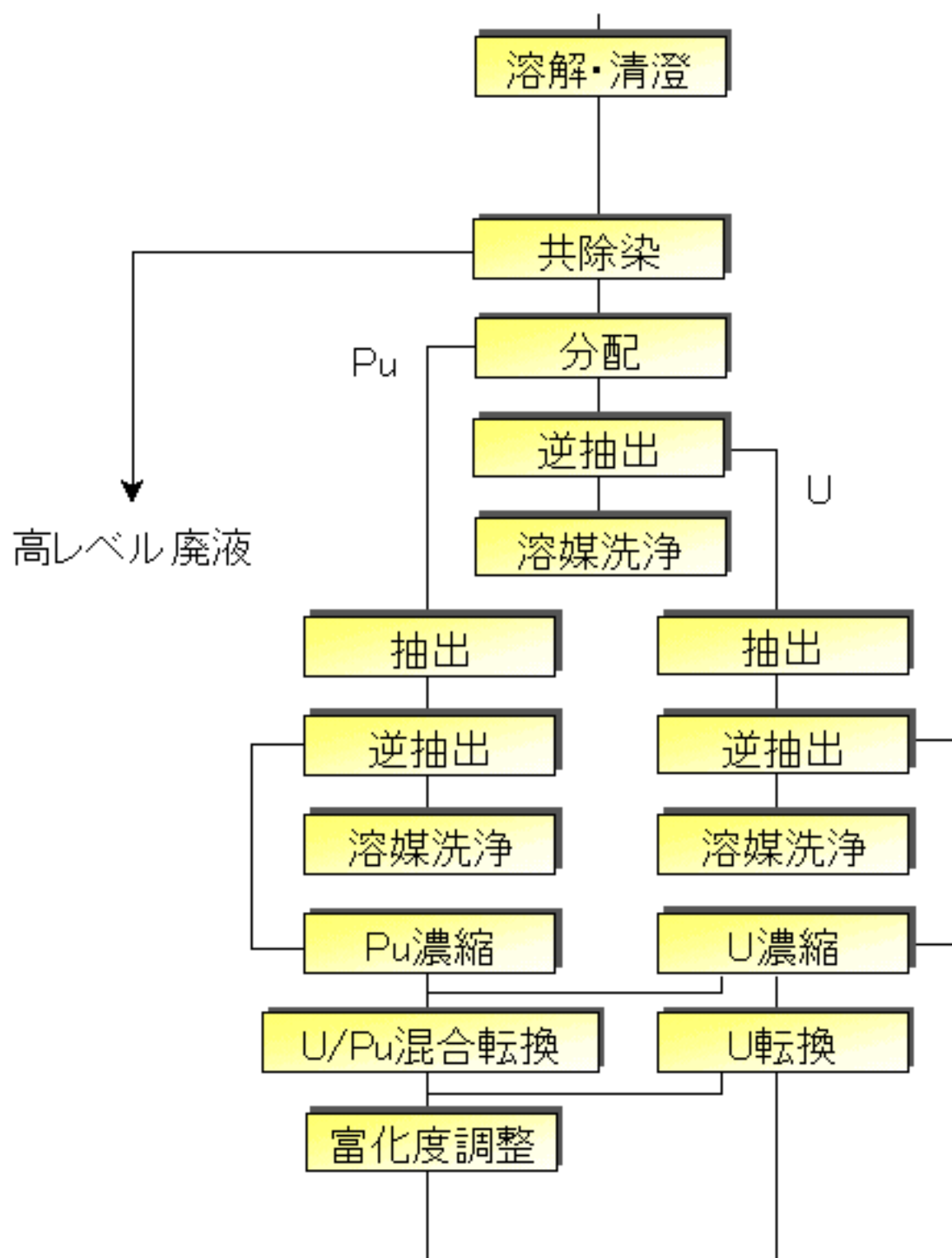
○経験の多い酸化物燃料サイクルから検討

- ・ プロセスフロー、物質収支、設備機器仕様の概念設計検討
- ・ それらに基づく経済性等の評価を実施

○上記の検討結果をベースに、窒化物燃料サイクルについて概略評価

○並行して、金属燃料サイクルについて検討

PUREX法



先進湿式法

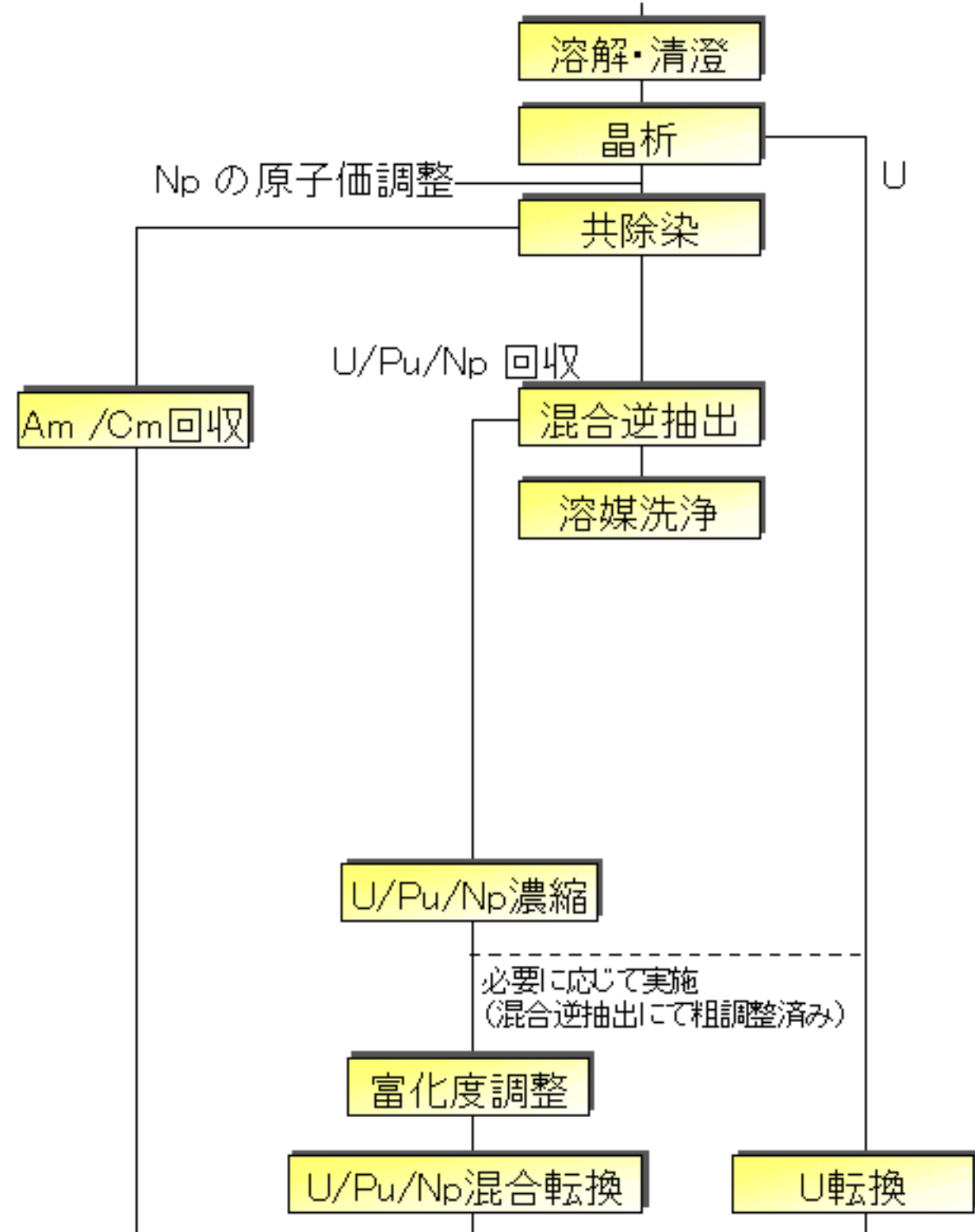
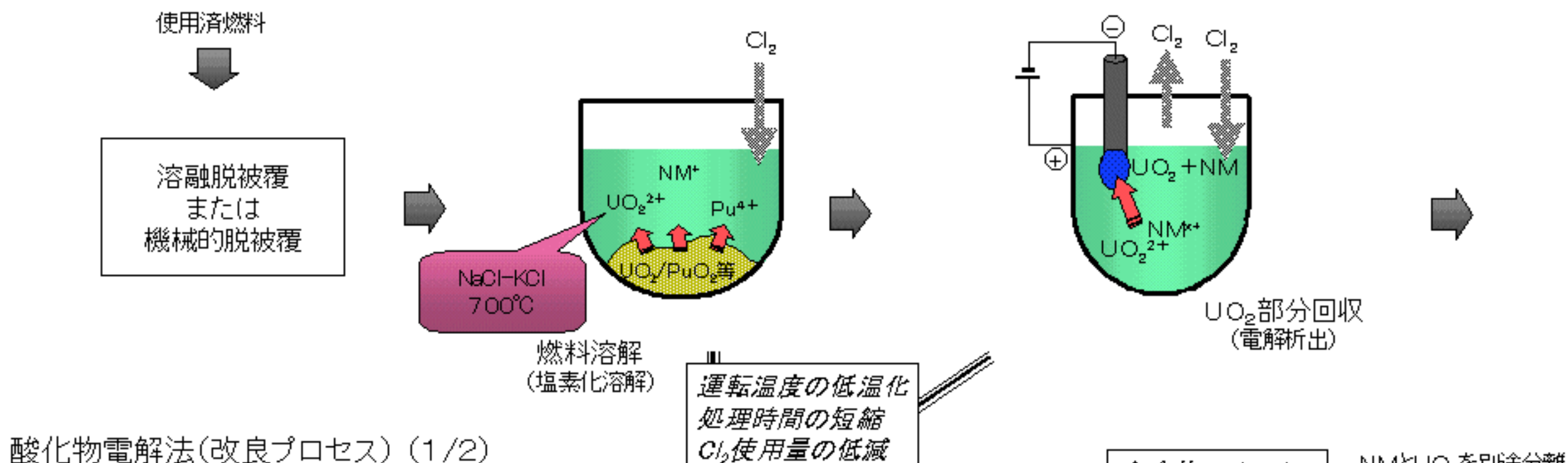


図3-14 先進湿式法プロセスフローの例

(酸化燃料への適用例)

酸化物電解法(ロシアRIAR開発プロセス) (1/2)



酸化物電解法(改良プロセス) (1/2)

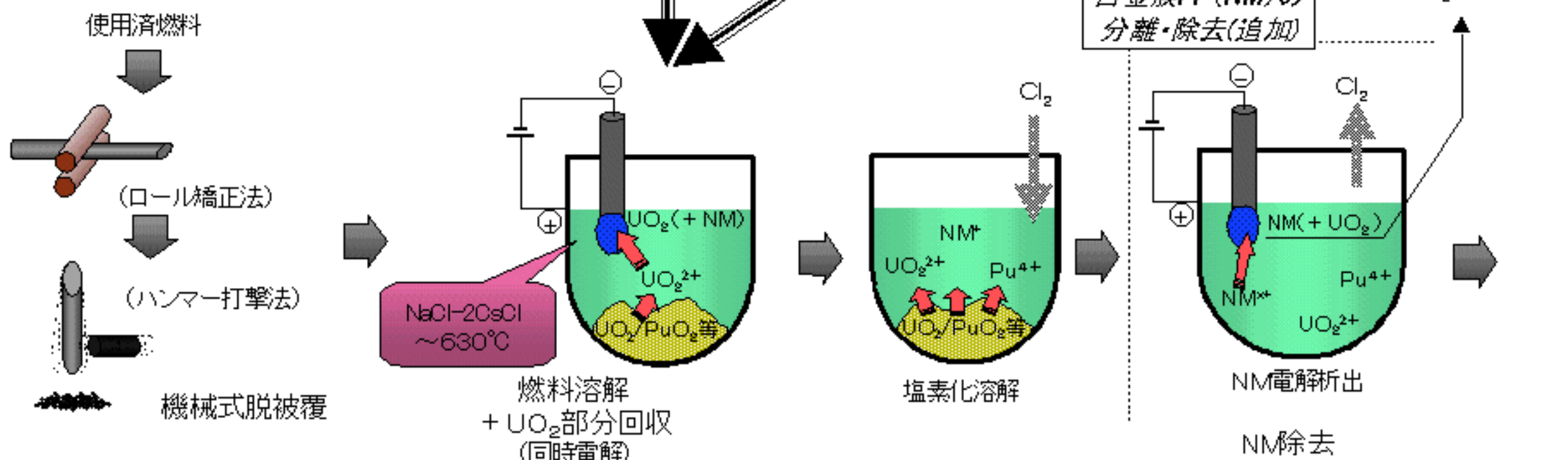
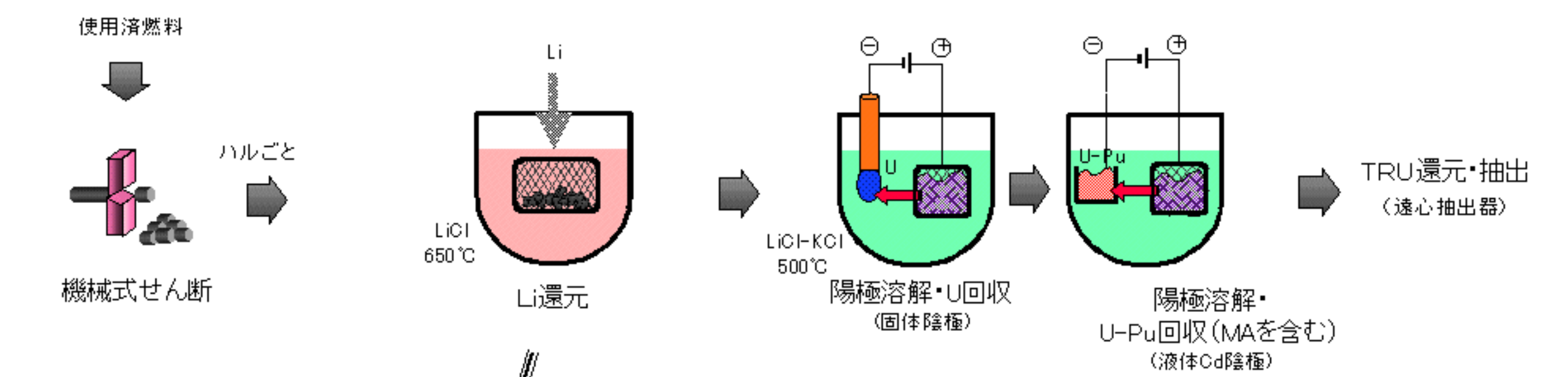


図3-15 酸化物電解法プロセスフロー(RIAR開発プロセスとの比較)(1/2)
(酸化物燃料への適用例)

金属電解法(ANL開発プロセス)



金属電解法(改良プロセス)

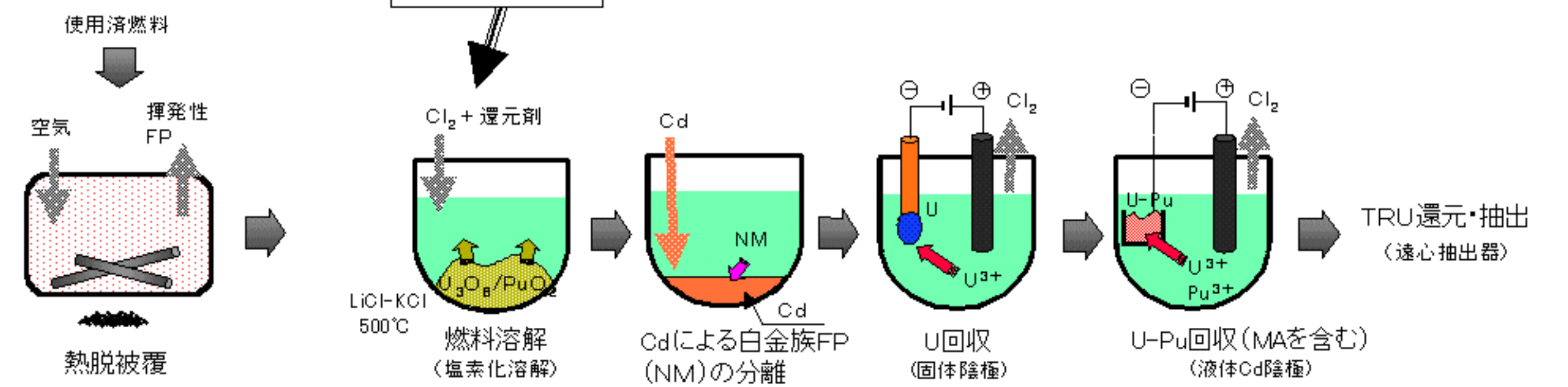


図3-16 金属電解法プロセスフロー(ANL開発プロセスとの比較)
(酸化物燃料への適用例)

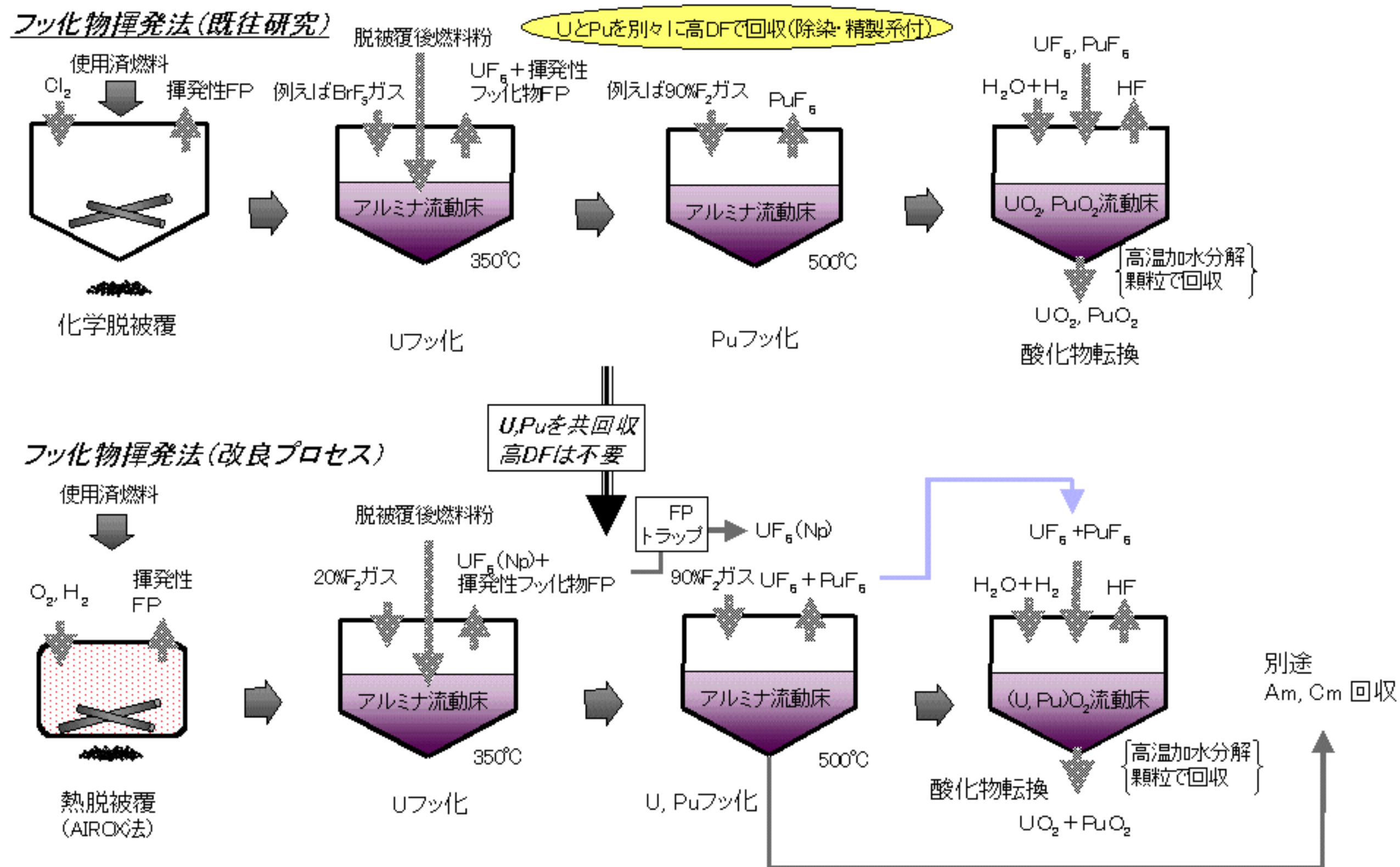


図3-17 フッ化物揮発法プロセスフロー(既往研究との比較)
(酸化物燃料への適用例)

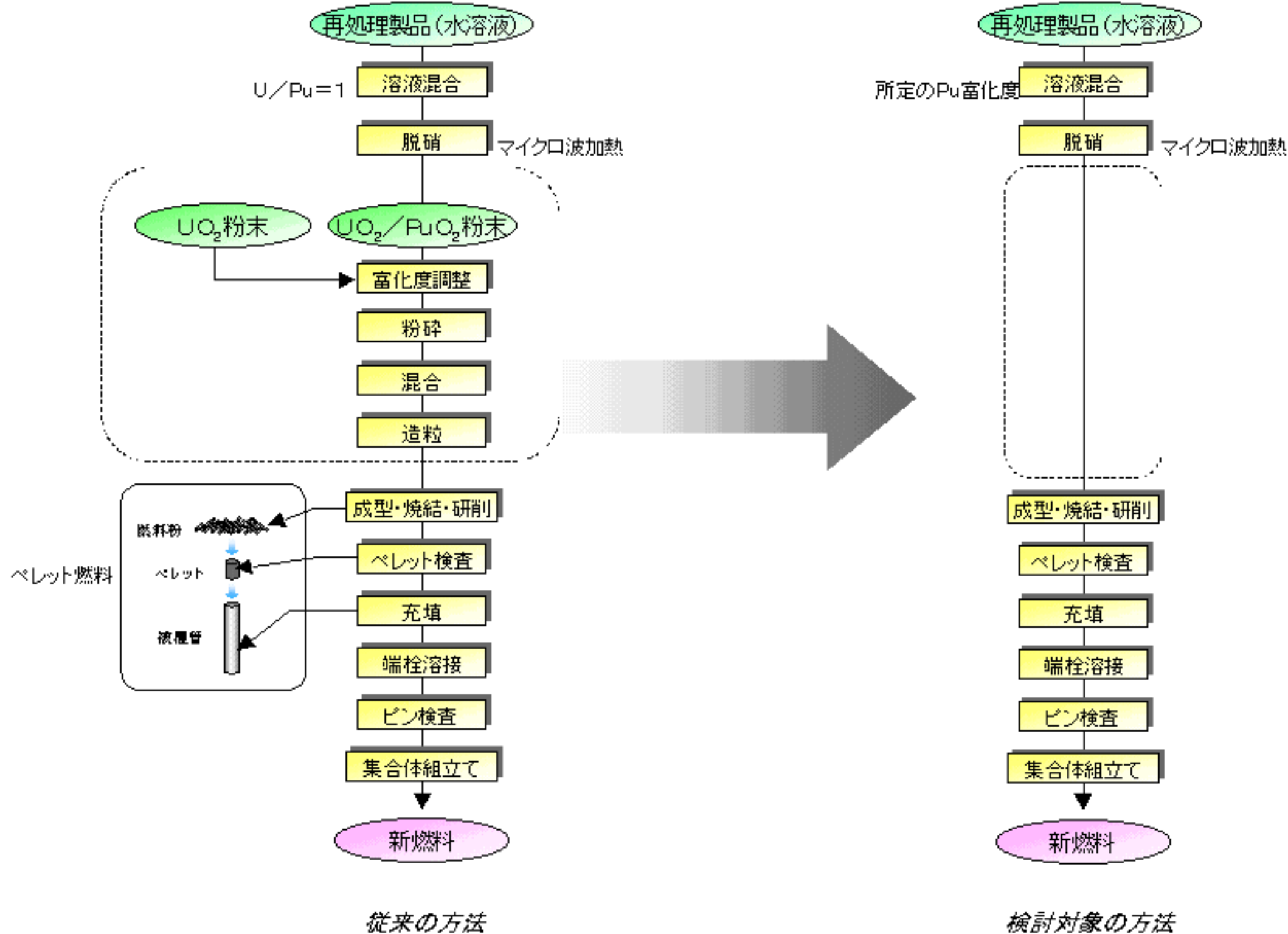


図3-18 簡素化ペレット製造システム
(酸化物燃料への適用例)

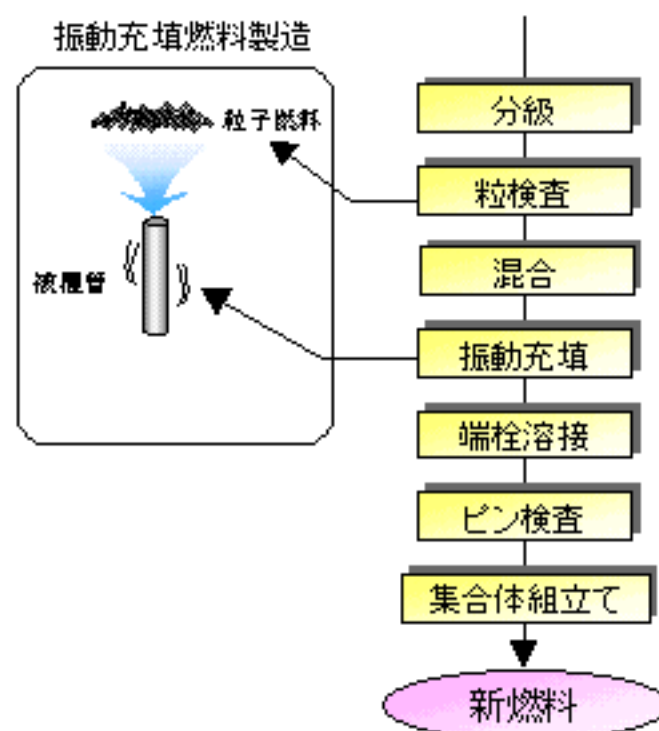
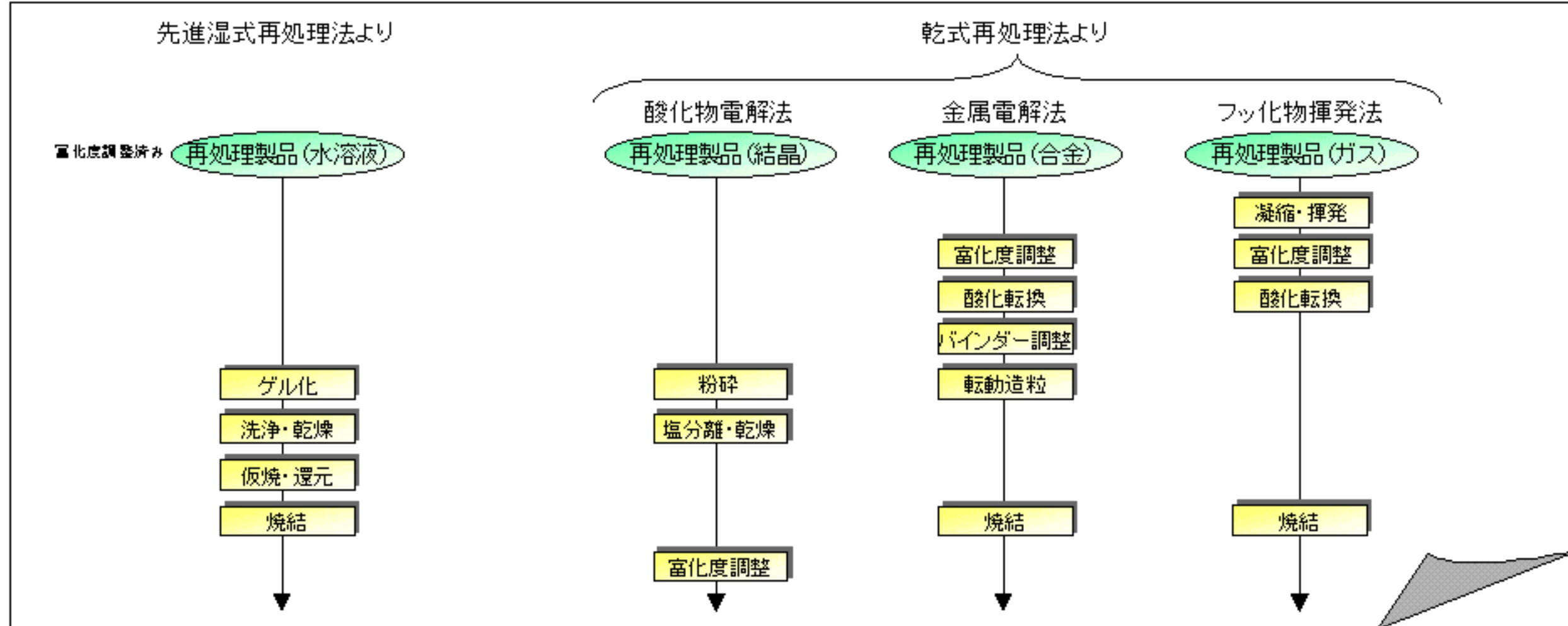


図3-19 振動充填製造システム
(酸化物燃料への適用例)

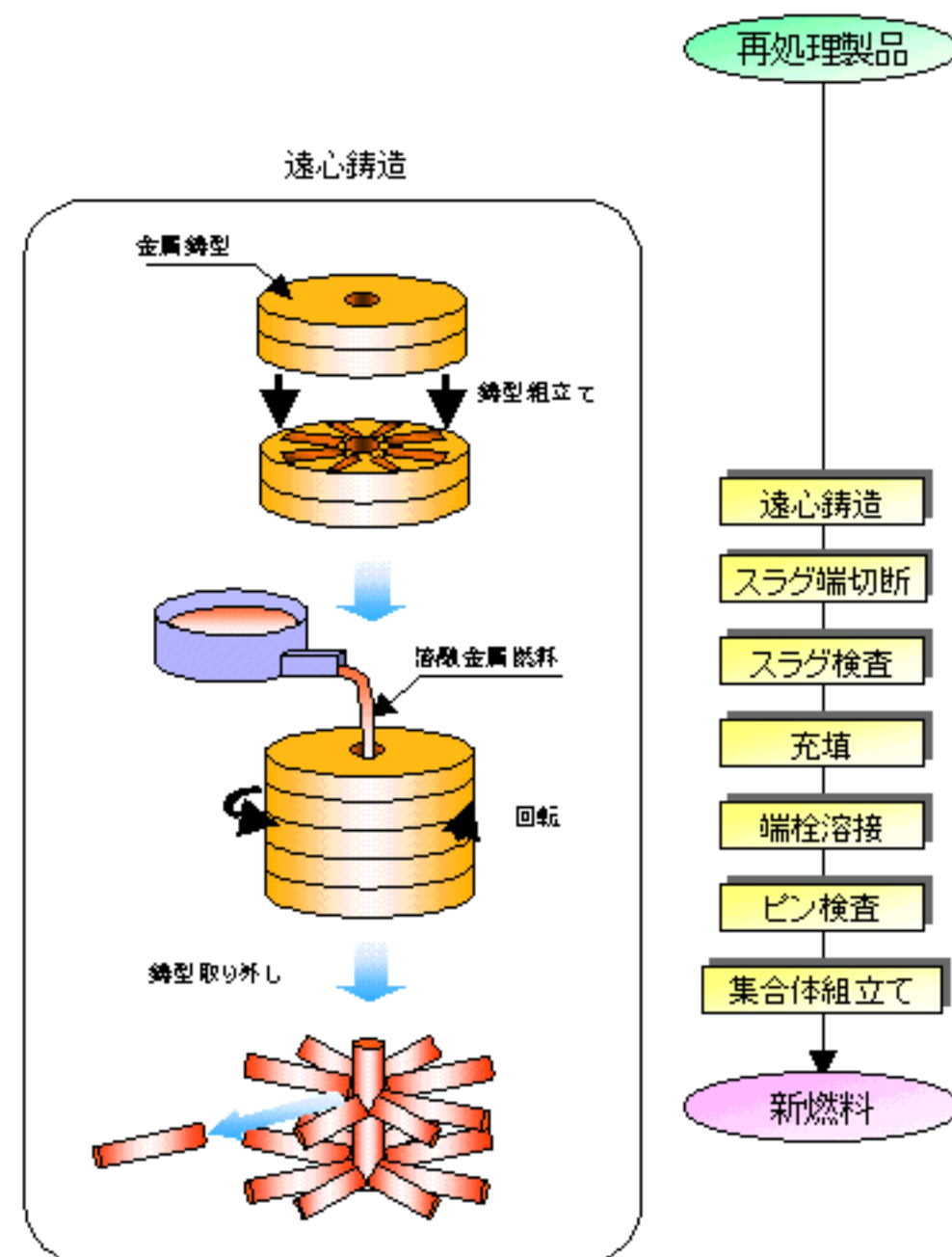
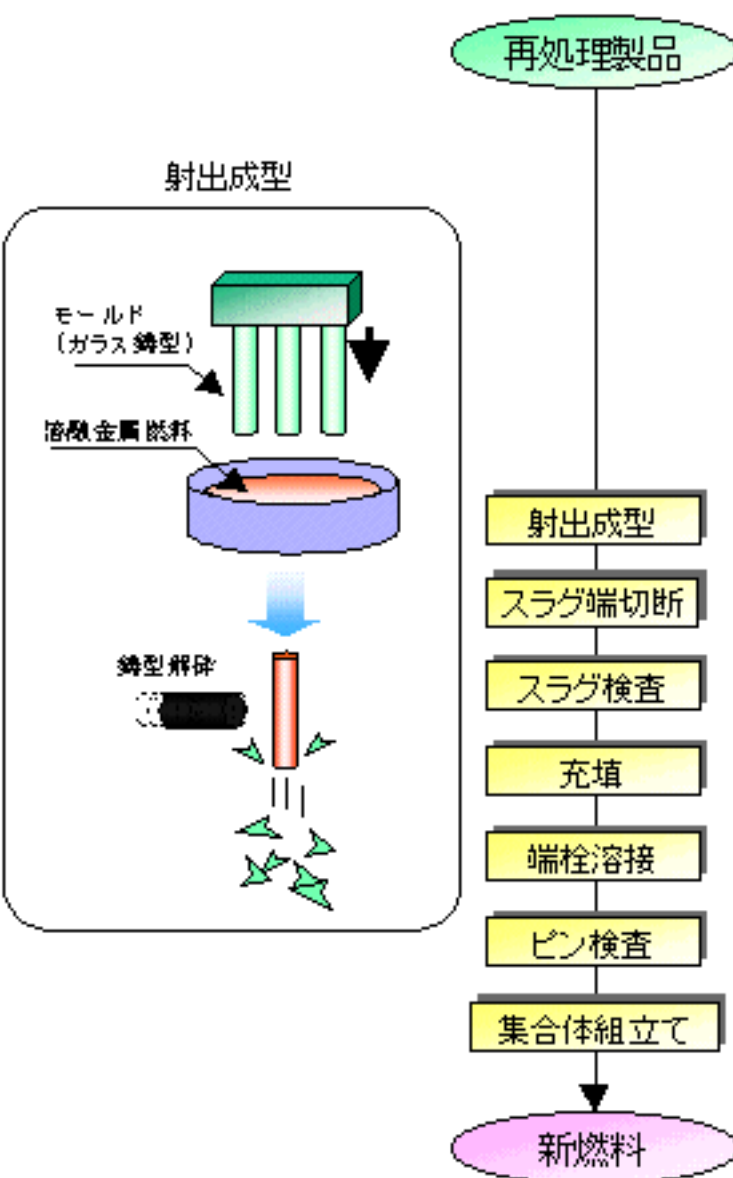


図3-20 金属燃料製造システム

表3-4 燃料サイクルシステムの検討状況と今後の課題

システム	分類	検討状況	今後の課題
再処理システム	湿式法	(酸化物燃料及び窒化物燃料) 酸化物燃料への適用を中心に、以下の施設概念を検討している。 ○先進湿式法 ・簡素化PUREX法による、ウラン/プルトニウム/ネプツニウムを分離せず低除染係数で共回収することによる工程簡素化、及び遠心抽出器採用による施設コンパクト化 ・晶析法併用による過剰なウランの先行分離と液体廃棄物量削減 ・TRU回収機能付加 ○先進湿式法の一部代替・補完プロセスとして、イオン交換法、アミン抽出法、超臨界流体抽出法、沈殿法等 窒化物燃料については、前処理及び製品の窒化物への転換を除き基本的に酸化物と同様の基本プロセスで構築可能であるため、これらを中心に検討を実施している。	・先進湿式法及び代替・補完プロセスを採用した方法についての再処理施設概念の構築 ・建設費、運転費等の経済性評価 ・廃棄物発生量の評価 ・合理的TRU回収技術の検討 等
	乾式法	(酸化物燃料及び窒化物燃料) 酸化物燃料への適用を中心に以下の施設概念を検討している。 ○酸化物電解法として、ロシア技術をベースに、処理速度向上、塩素使用量低減、白金族FP分離工程の付加、ウラン/プルトニウムの共回収、TRU回収工程付加等の改良 ○金属電解法として、米国技術をベースに、塩廃棄物削減のための塩素化溶解の採用、それに伴う白金族FP分離工程付加等の改良 ○フッ化物揮発法として、従来の技術をベースに、U/Puの低除染・共回収やTRU回収工程付加等の改良 窒化物燃料については、前処理及び製品の窒化物への転換を除き基本的に酸化物と同様の基本プロセスで構築可能であるため、これらを中心に検討を実施している。 (金属燃料) ANLが開発したプロセスに、ウラン/TRU回収率向上のための工程を付加して、施設概念を検討している。	・保障措置等も考慮した再処理施設概念の構築 ・建設費、運転費等の経済性評価 ・廃棄物発生量の評価 ・合理的TRU回収技術の検討 ・材料の耐食性改善方策の検討 ・計量管理手法の検討 等
燃料製造システム	ペレット	(酸化物燃料及び窒化物燃料) 酸化物燃料への適用を中心に、湿式再処理法の検討と整合をとりつつ、溶液での富化度調整を行い、造粒工程等の削除による簡素化を図った簡素化ペレット法を検討している。更に低除染の酸化物燃料に対応するため、セル構造でのペレット製造の自動化について検討し、機器・設備構成及び施設概念を検討している。 窒化物燃料については、酸化物燃料製造プロセスを基本に、炭素熱還元/窒化プロセスを付加したプロセスを検討している。	・先進湿式再処理法との一体化施設概念の構築 ・建設費・運転費等の経済性評価 ・廃棄物発生量の評価 等
	振動充填	(酸化物燃料及び窒化物燃料) 湿式法、乾式法の再処理で得られる製品仕様に対応して、廃棄物量低減、造粒工程の合理化設計、粒子の仕様に合致した振動充填条件の最適化を行い、各工程の物質収支の評価と機器・設備構成及び施設概念を検討している。	・上記各再処理との一体化施設概念の構築と経済性評価 ・廃棄物発生量の評価 ・遠隔自動化による検査技術の検討 ・低除染の燃料への適用性検討 等
	鋳造法	(金属燃料) 射出成型法及び鋳型廃棄物の低減を目指した遠心鋳造法について、機器・設備構成及び施設概念の検討を行っている。	・金属電解再処理法との一体化施設概念の検討と経済性評価 ・廃棄物発生量の評価 等

まとめ

現在

幅広い技術選択肢を調査し、有望な候補技術を抽出した。
炉心、FBRプラント、燃料サイクルプラントの概念の具体化を検討中。

2000年度

FBRサイクル全体の整合をとりつつ、有望な実用化候補概念を抽出。

留意点

- 外部の有識者からの多面的なコメント
- 関係機関のコンセンサス
- 国内外の学会等の場への報告
- 第3者による外部評価
- 進捗状況等はインターネットに適宜掲載

「もんじゅ」で得られる発電システムとしての知見・経験は実用化研究にとって不可欠であり、早期の運転再開が望まれる。