

原子力委員会 研究開発専門部会 革新炉検討会

原子力中長期炉型戦略と 日立の革新炉開発

平成14年 2月14日

山下 淳一

(株)日立製作所 原子力事業部

目 次

第Ⅰ部 原子力中長期炉型戦略

1. 基本的考え方
2. 革新炉サイクルシステム
3. 低減速炉概念
4. 低減速炉の開発戦略と展開
5. 多目的利用原子炉
6. 先進燃料サイクルシステム
7. 革新炉開発に関する国への要望

第Ⅱ部 日立の革新炉概念・技術開発

◇ 原子炉

- [1] ABWR-Ⅱ [2] ABWR-Ⅱ低減速炉 [3] HABWR
- [4] RBWR [5] 小型RBWR [6] SCPR [7] FBR
- [8] SSBWR

◇ サイクル

- [9] FLUOREX法 [10] 改良フッ化物揮発法



第 I 部 原子力中長期炉型戦略



基本的考え方

- **全体構想**；今後、我国の原子力開発においては原子炉と燃料サイクルの整合性を持ったシステム(以下**革新炉サイクルシステム**と呼ぶ)を確立すると共に、原子力利用範囲を一層拡大する**多目的利用技術開発**が重要である。
- **開発課題**；革新炉サイクルシステムは信頼性確保を前提に、経済性・安全性に優れ、燃料サイクルを廻る状況変化に柔軟に対処しつつPuリサイクル技術確立し、更に究極のシステムとして高い目標を達成する必要がある。
- **開発・実用化の進め方**；このように革新炉サイクルシステムには多様なニーズや多くの開発課題のある事を踏まえ、開発ステップを2段階に分け「**移行期システム**」と「**平衡期システム**」を並行して開発し段階的に実用化するのが妥当であると考えられる。



炉型戦略全体構想

■基幹電源

(大型炉～小型炉)

－位置付け－

－主要課題－

革新炉サイクルシステム（原子炉＋サイクル）

I. 移行期システム

信頼性を確保しつつ、早期実用化

- 他電源との競争激化への対応
- 燃料サイクルの多様なニーズへの対応
－多様な選択肢の提供－

II. 平衡期システム

究極・理想のリサイクルシステム実現

- 世界的エネルギー需要急増への対応
- 放射性廃棄物変換

■多目的利用

多目的利用原子炉

- 熱供給/海水淡水化/水素製造/需用地近接/核拡散抵抗性 等

◆ 移行期システムに求められる選択肢例

- ① PLU 多重リサイクル ② 使用済燃料中間貯蔵 ③ 使用済燃料を簡易処理し「PLU＋FP」と「U」を分離保管 ④ PLU サーマル後に使用済燃料貯蔵 ⑤ 上記の複数の組み合わせ

◆ 多目的利用原子炉の燃料サイクルの考え方

多目的利用炉は原子力利用の主要部分ではないとすると、燃料需給バランス上はリサイクルをしないことも許容されると考えられる。



革新炉サイクルシステムの開発目標

I. 移行期システムの目標

- 資源有効利用
- 経済性
- 安全性
- 環境負荷低減
- 核拡散抵抗性

- ・ 持続的エネルギー供給確保
- ・ 実現性高い技術で競争力確保(含サイクル)
- ・ 現行炉並み(負のボトム係数等)
- ・ MA蓄積量の低減
- ・ Pu単独存在無し/Pu低除染化

II. 平衡期システムの目標

- ・ エネルギー需要急増への対応
- ・ 新エネルギーを凌駕(含サイクル分離)
- ・ 苛酷事故時退避不要/テロ対策
- ・ MA、LLFPの分離、転換
- ・ 「炉+サイクル」のコケーション・システム

開発目標の考え方

<移行期システム>

- ・ 経済性、柔軟性が最重要。
- ・ 他の目標は経済性を損なわない範囲で現行炉並み以上とする。

<平衡期システム>

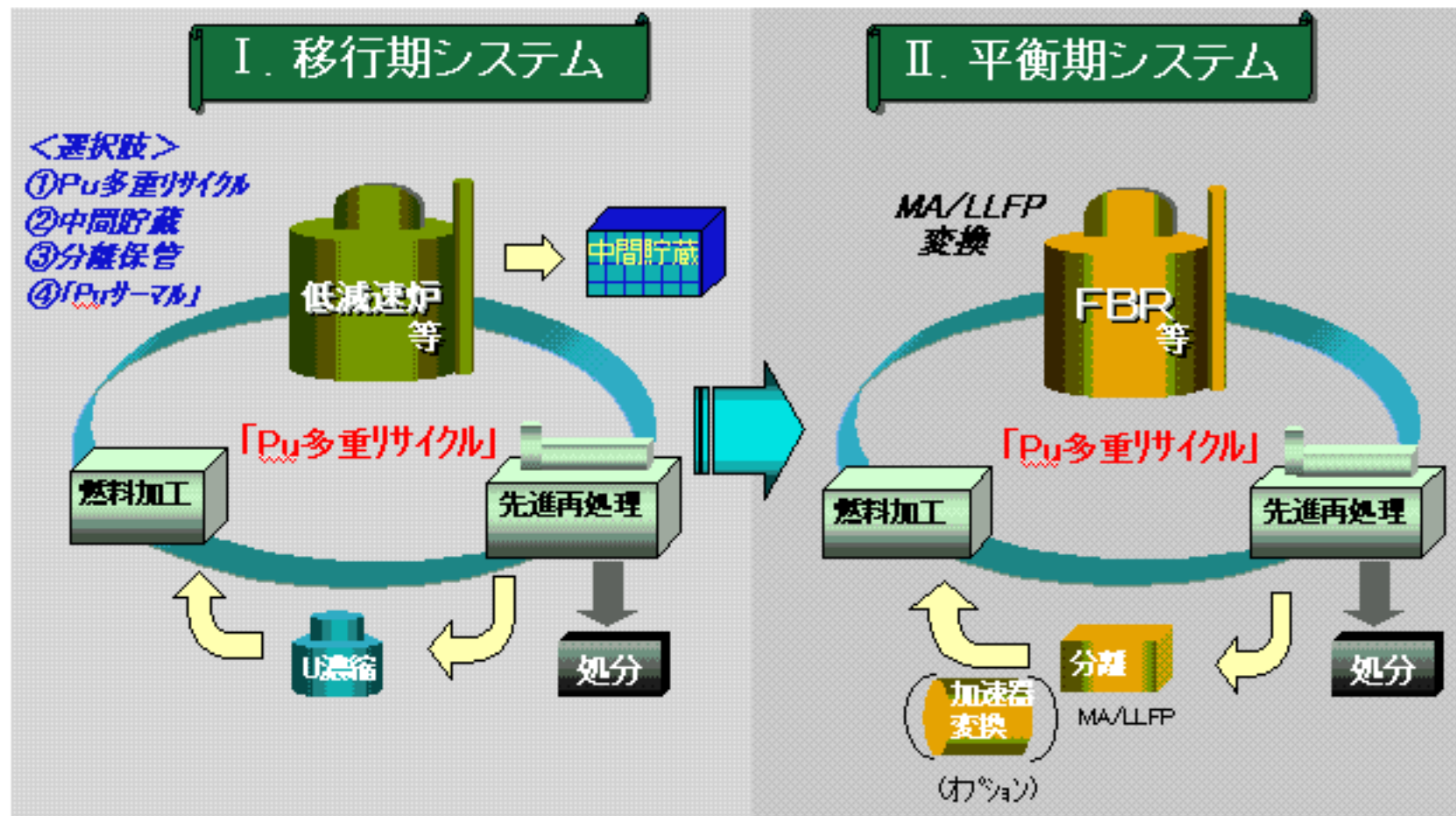
- ・ 究極理想の原子力システムとして、達成すべきレベルのものとする。



革新炉サイクルシステムの構成

移行期システムは低減速炉/先進再処理によるPu多重リサイクルを基本とし、燃料サイクルの多様なニーズに柔軟に対応できるものとする

基幹電源用（大型炉・小型炉）

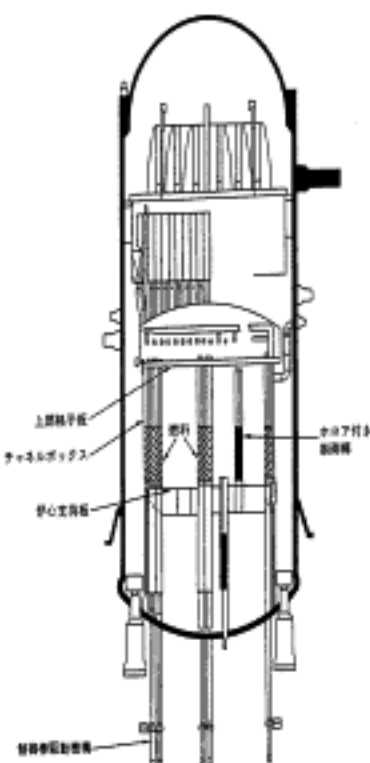




低減速炉概念

燃料・制御棒等の入替えにより、経済性・安全性等を確保しつつ、
燃料サイクルを廻る多様なニーズに柔軟に対応

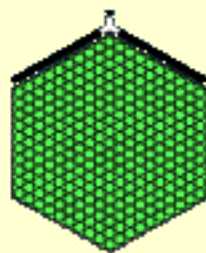
[1] リサイクルの場合



低減速炉心

主要仕様
・六角炉心格子
・燃料材 MOX
・燃料有効長 1~2m
・稠密燃料配列

主要性能
・転換率 0.95~1.05
・ボイド係数 負

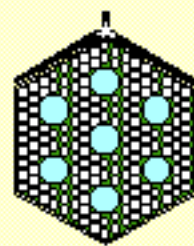


[2] 中間貯蔵の場合

高減速炉心

主要仕様
・六角炉心格子
・燃料材 UO_2 /MOX
・燃料有効長 3~4m
・粗密燃料配列

主要性能
・転換率 ~ 0.6
・ボイド係数 負



燃料・制御棒
の入替えによ
り炉心を変換

<六角格子、Y字形下部挿入制御棒を用いたBWRの場合>



低減速炉の役割・効果ーリサイクルの場合ー

低減速炉サイクルシステムの導入

ー軽水炉をベースに経済性・信頼性の確保ー

◆ 長期エネルギー 安定供給

ー増殖率 ~ 1.0 による持続的エネルギー供給の確保

◆ 使用済み燃料蓄積量の低減

ーリサイクルシステムによる使用済み燃料貯蔵量低減

◆ Pu 蓄積量の低減 (核拡散抵抗性)

ー Pu 多重リサイクルによる炉外蓄積量低減

◆ MA 蓄積量の低減 (環境負荷低減)

ー高速中性子を活用した Np 等の炉内燃焼



低減速炉サイクル技術の連続性

低減速炉サイクルシステムの実用化によりPu多重リサイクル技術を確立し、FBRサイクルシステムへ移管する

<システム技術>

現行炉

低減速炉サイクル

FBRサイクル

■ プラントシステム

水冷却

水冷却

Na/ガス/他

■ 燃料サイクル

<Pu 多重リサイクル>

<Pu 多重リサイクル>

ー 炉 心 熱中性子炉心

高速中性子炉心

高速中性子炉心

ー 再処理 —

先進再処理技術

先進再処理技術

ー 長寿命
核種変換 —

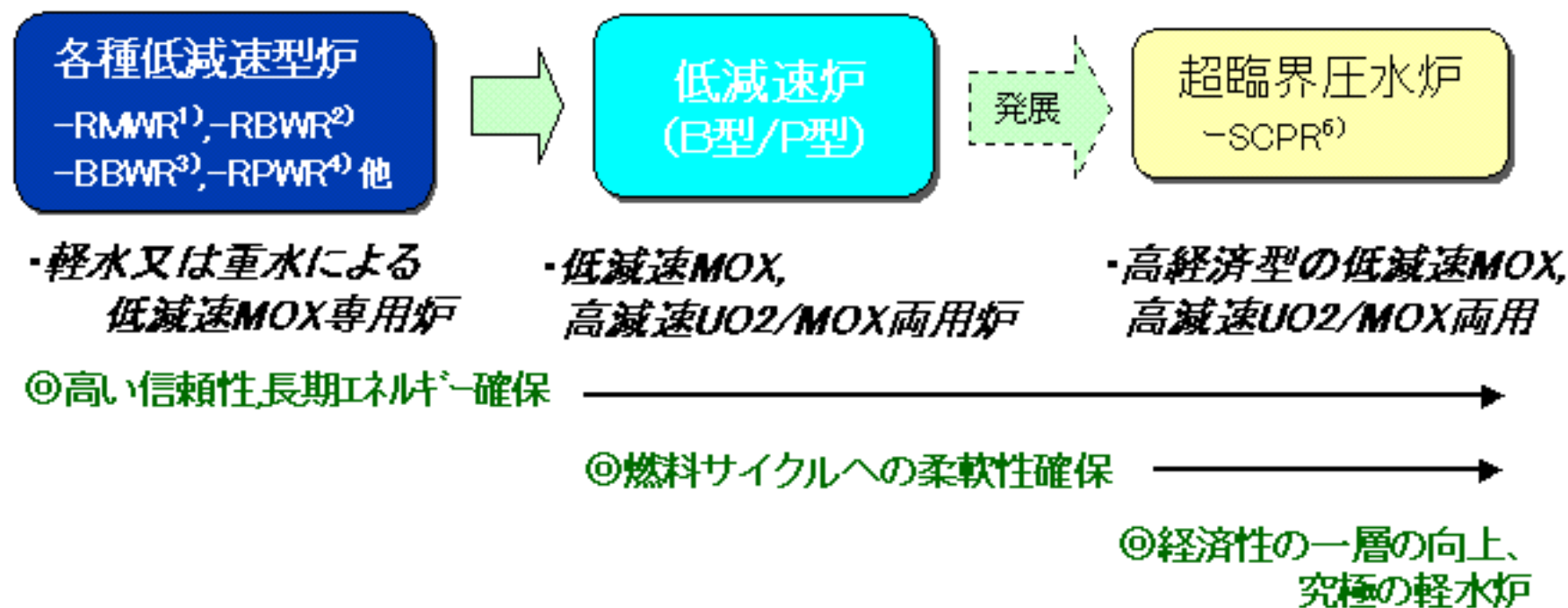
部分実用化
(Np 等)

本格実用化
(MA, LLFP)



低減速炉の開発戦略と展開

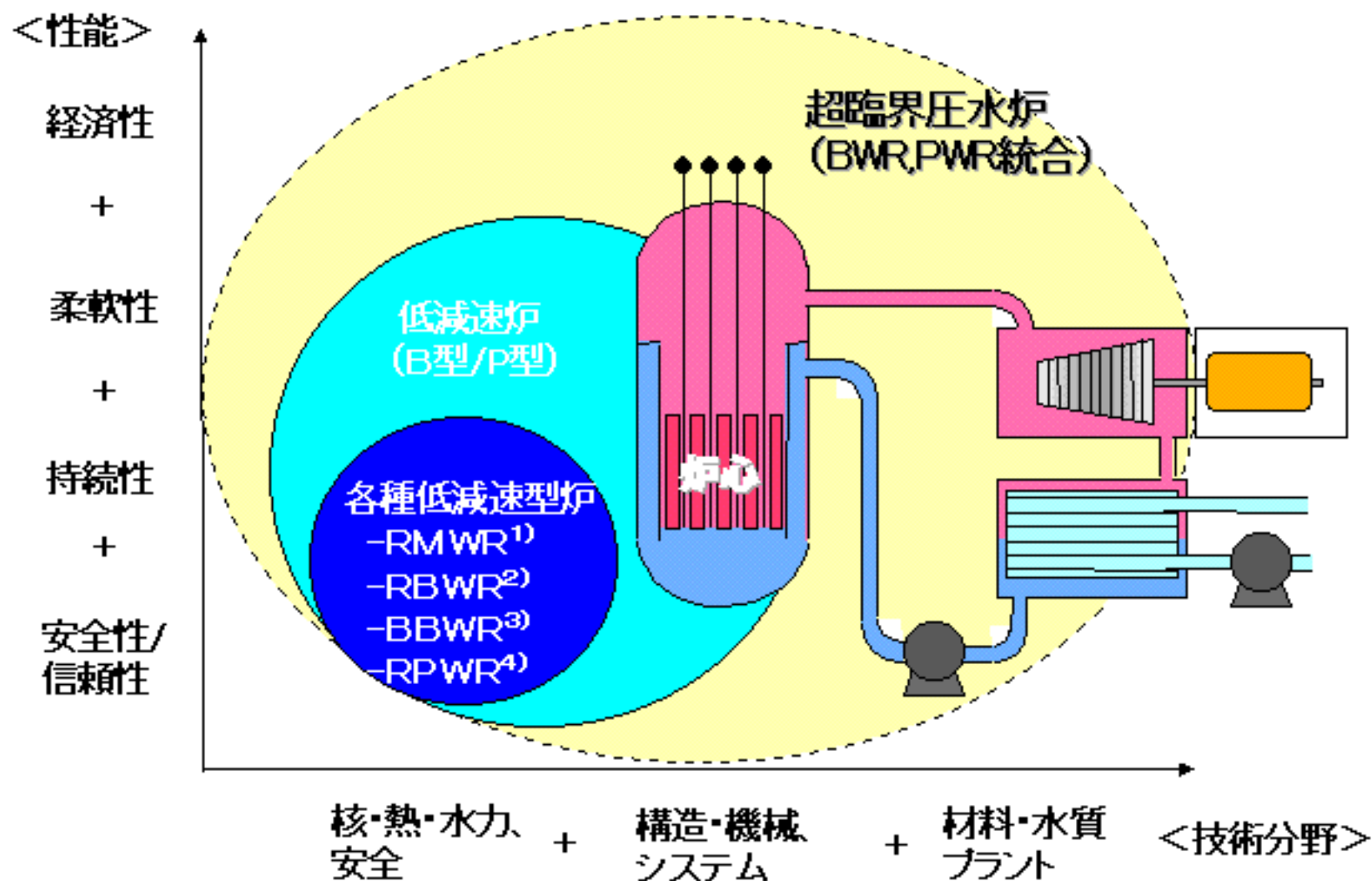
我国の優れた軽水炉技術をベースに、主要原子力機関(産学官)の総力結集による世界の原子力開発のリーダーシップと国際貢献



- 1) RMWR ; Reduced Moderation Water Reactor(日本原研)
2) RBWR ; Resource Renewable BWR(日立) 3) BBWR ; Breeding BWR(東芝)
4) RPWR ; Recycle PWR(三菱) 5) ABWR-II 低減速炉(日立)
6) SCPR ; Super Critical Pressure Reactor(東大 岡教授他)



低減速炉開発と軽水炉基盤技術力の維持





多目的利用原子炉

多様な用途・目的の多種の炉型が有り、類型化・共通化による
共通要素技術の効率的開発が必要

		水炉	ガス炉	金属冷却炉	備 考
用途・目的	■ 独立電源	○	○	○	○;対応可 △;要検討 ▲;対応困難
	■ 熱供給	○	○	○	
	■ 海水淡水化	○	○	○	
	■ 水素製造	▲	○	△	・小型化によるリスク低減等 ・事故時退避不要等 ・原子炉一体取り替え型等
	■ 経済性向上 (キャッシュフロー)	△	△	△	
	■ 需用地近接	○	○	○	
	■ 核拡散抵抗性	○	○	○	
	<多目的利用炉例>	A, B, C, E, H	F, G I	D	

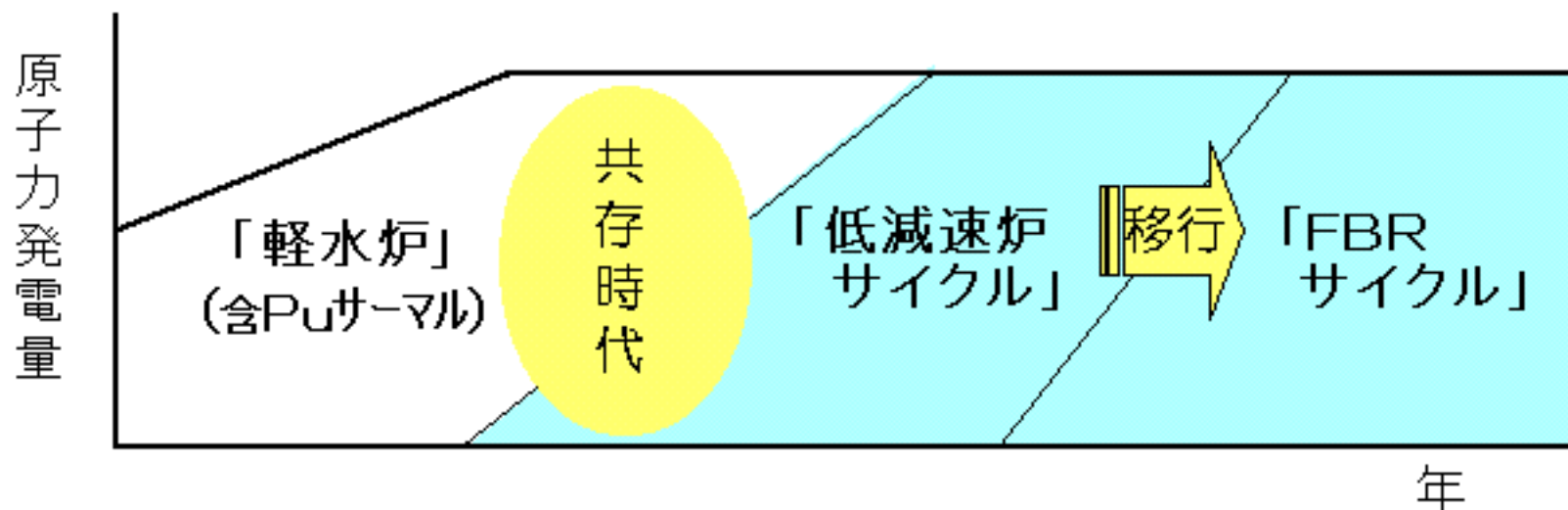
注) A. SSBWR(日立) B. LSBWR(東芝) C. IMR(三菱) D. 4S(電中研、東芝)
E. 分散小型炉(原研) F. PBMR G. GT-MHR H. 小型RBWR I. HTTR(原研)



革新炉サイクルシステムの先進再処理・燃料加工

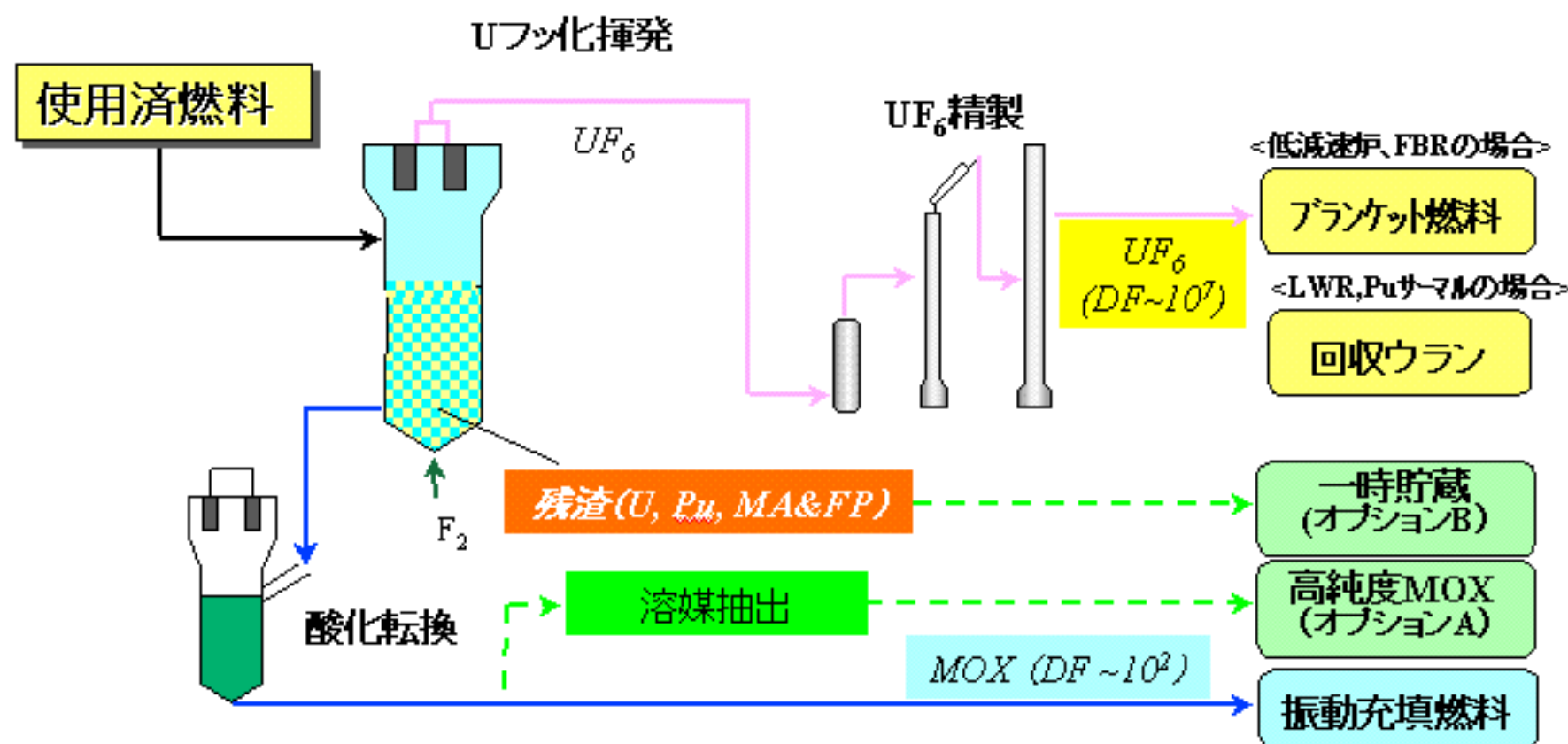
要件

- 経済性に優れていること
 - ー 特に小容量(モジュール/コロケーション)での経済性重要ー
- 「低減速炉サイクル」→「FBRサイクル」への連続性
- 共存する軽水炉(含Puサーマル)燃料再処理への適合性





先進的再処理技術例ー改良フッ化物揮発法ー



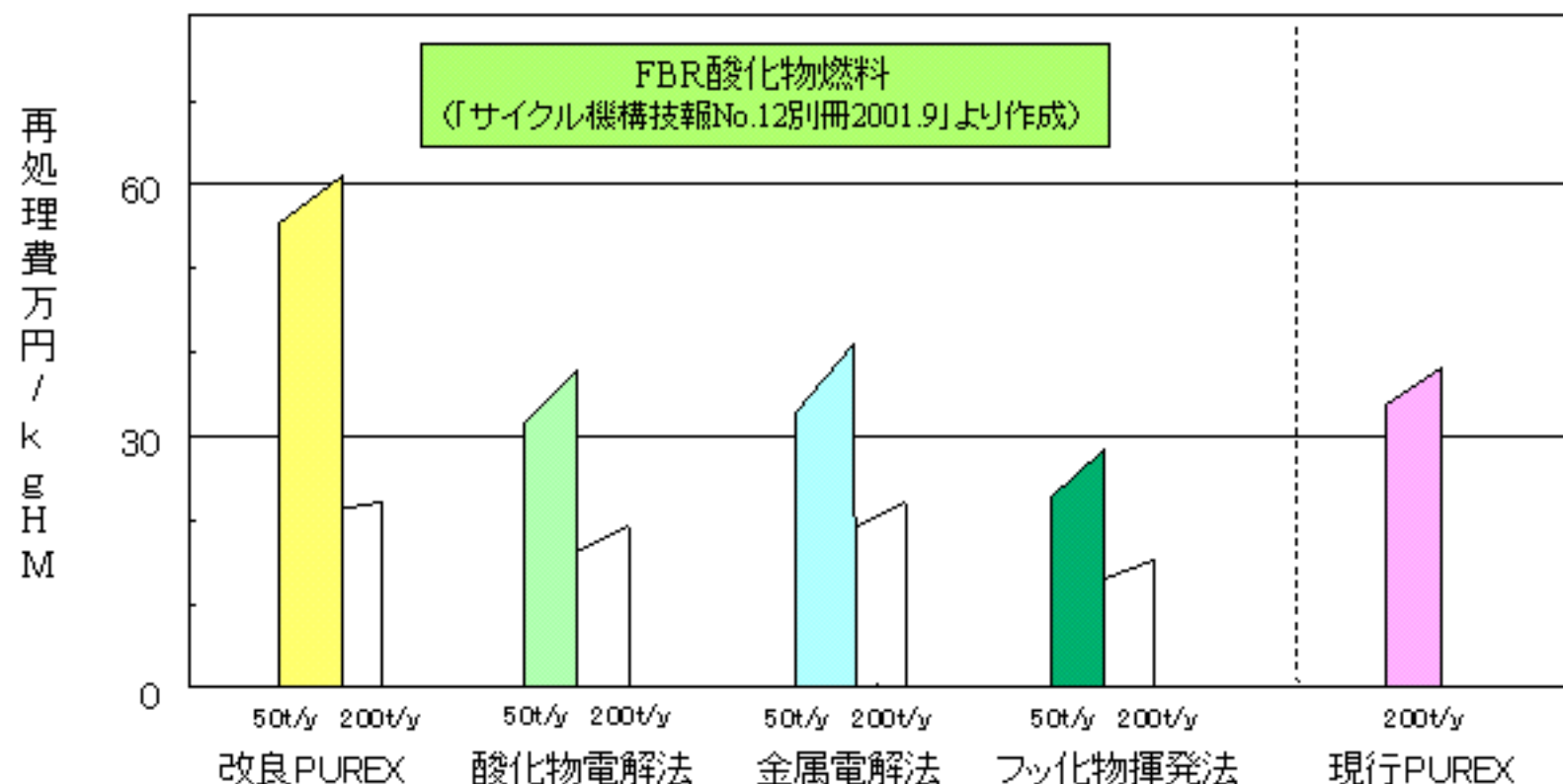
多様なニーズ
へ柔軟対応

- ・オプションA: 高純度MOX (DF~10⁷)が必要な場合には、酸化転換後に小規模溶媒抽出工程付加で対応可能 (FLUOREX)
- ・オプションB: 残渣をコンパクトでかつ安定に一時貯蔵可能



先進再処理技術の経済性

改良フッ化物揮発再処理は小容量の場合にも優れた経済性を期待することができる





革新炉サイクルシステム開発・実用化の進め方

低減速炉サイクルシステムの実用化に当たり、低減速炉「試験炉」の建設・運転による革新技術の確証等が必要と考えられる

システム \ 時期	短 期	中 期	長 期
1. 現行炉システム	実用化		
2. 低減速炉サイクルシステム	開発 試験炉	実用化	
3. FBRサイクルシステム	開発（含分離・変換技術）		実用化
4. 多目的利用炉	開発	実用化	



革新炉開発に関する国/国の研究機関への要望

国のセキュリティー確保(エネルギー、Pu利用等)に関わる革新炉開発

I. 低減速炉サイクルシステムの開発・試験

- 1) 低減速炉サイクルシステムの調査、基礎試験
- 2) 低減速炉「**試験炉**」の建設・運転
 - 低減速炉の総合的確認、許認可データ取得、高度化研究開発
- 3) 先進サイクル技術の確立
 - 軽水炉～高速炉に適合する経済性に優れたサイクル技術の開発、実証
- 4) 超臨界圧水炉の研究開発
 - 原子炉/システム/プラント全般に関わる高温・高圧下の技術開発

II. 多目的利用原子炉技術の開発支援

- 1) 共通要素技術試験、開発実証試験

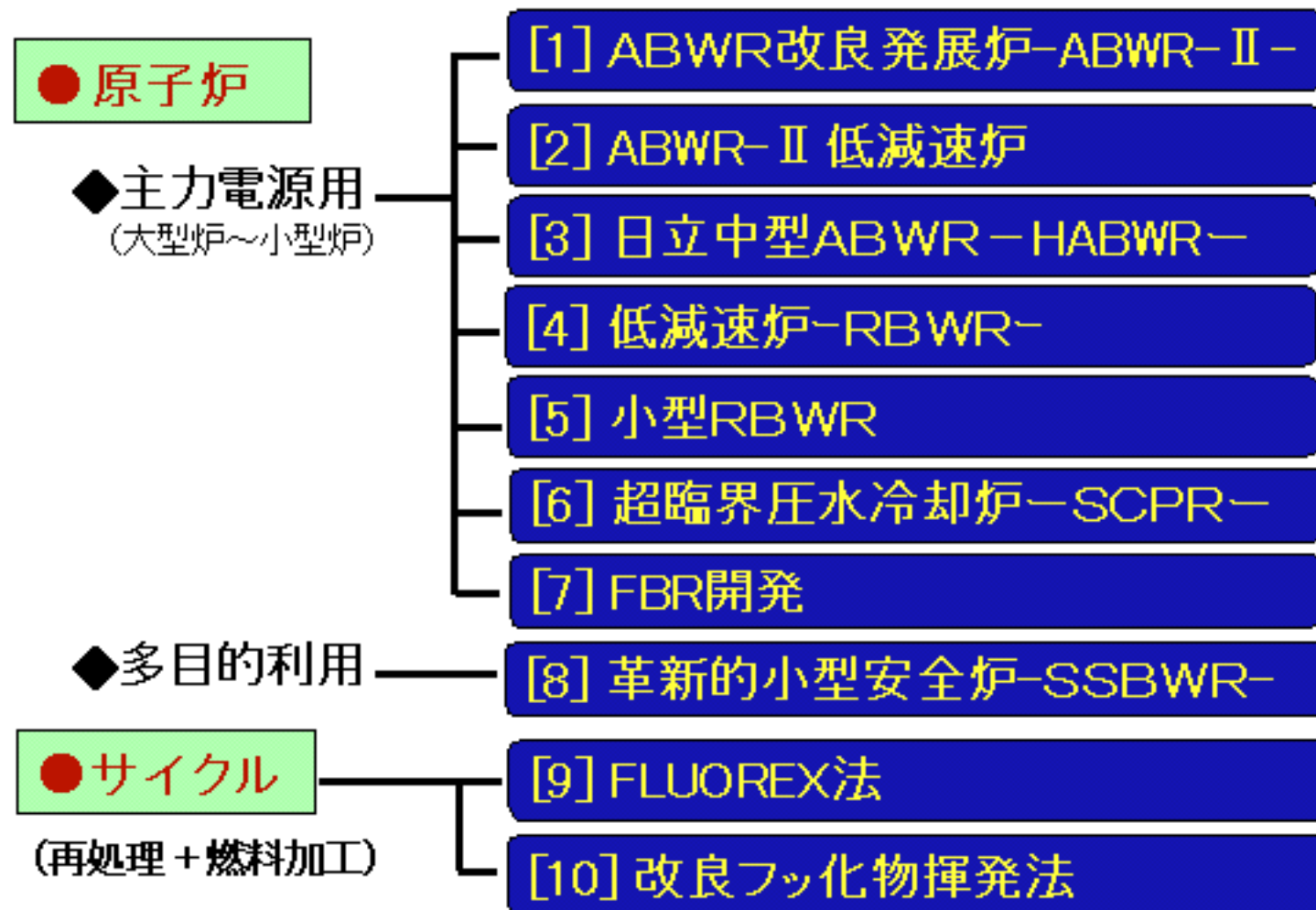
III. FBRサイクルシステムの開発推進



第Ⅱ部 日立の革新炉概念・技術開発



日立が開発に取り組んでいる革新炉概念・技術





[1] ABWR改良発展炉-ABWR-II-

簡素化・大容量化による経済性の徹底追求

大型K格子炉心

大容量SRV

新型タービン湿分分離器

電気出力：1700
MW

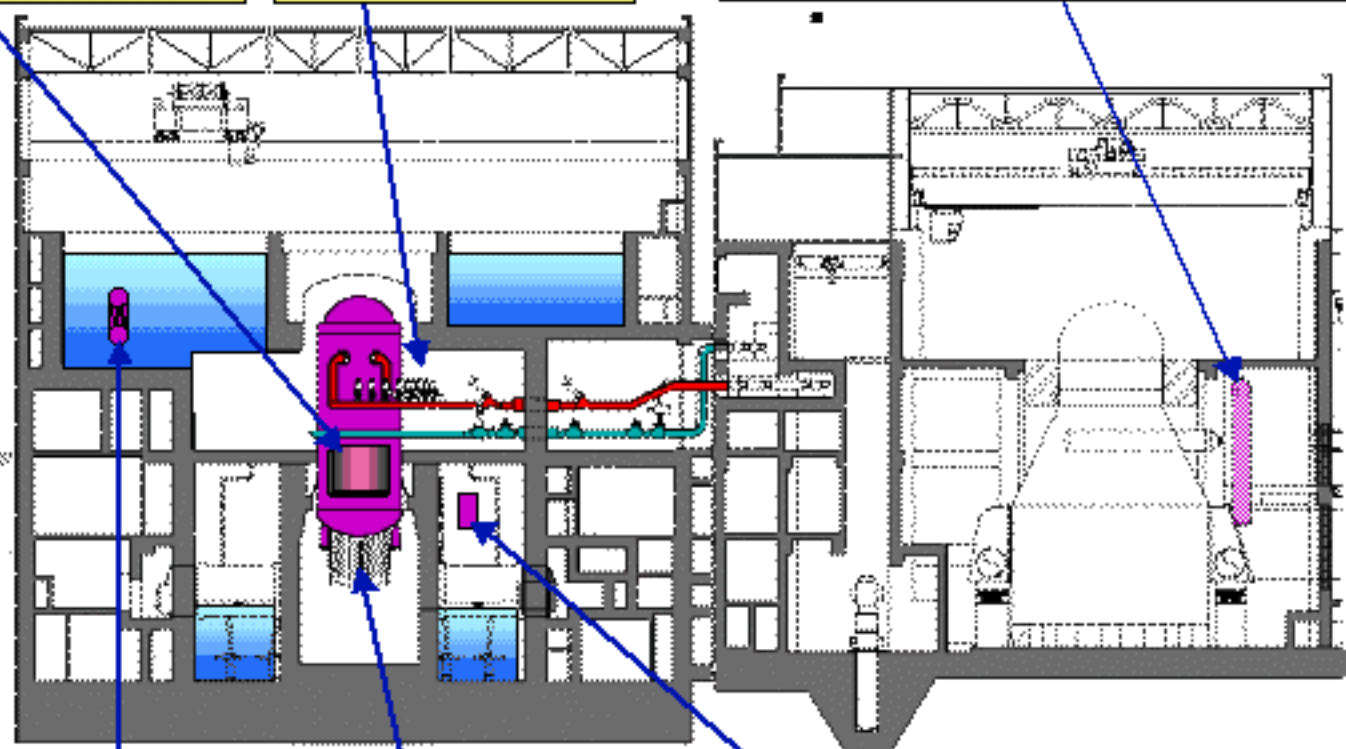
運転期間：18ヶ月

定検期間：20日

建設単価：20%減

発電単価：25%減

稼働率：96%
以上



静的格納容器冷却系

機能別CRD

静的水素再結合器



[2] ABWR-II 低減速炉

特 徵

效果

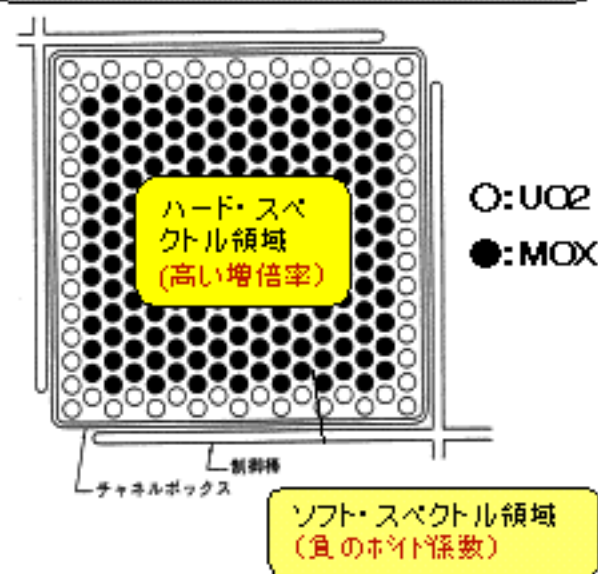
- ① ABWR-II —————・優れた経済性、信頼性
- ② 高いPu増倍率 —————・持続的エネルギー供給
- ③ 固有の負のボトム係数 ————
 - ・高い安全性、信頼性
 - ・炉心高さ有効活用
- ④ 低減速・高減速両用型 ————・燃料サイクルを廻る状況変化に柔軟に対応
- ⑤ 高速～熱中性子利用 ————・超長寿命核種の変換
- ⑥ チムニ一部形成 —————・自然循環力の増大
(事故時安全性向上)

<革新性>

「ハイブリッドスペクトル炬心」

—非均質格子構造の活用—

- 高いP_u増倍率
- 固有の負のボイド係数
(無限体系)





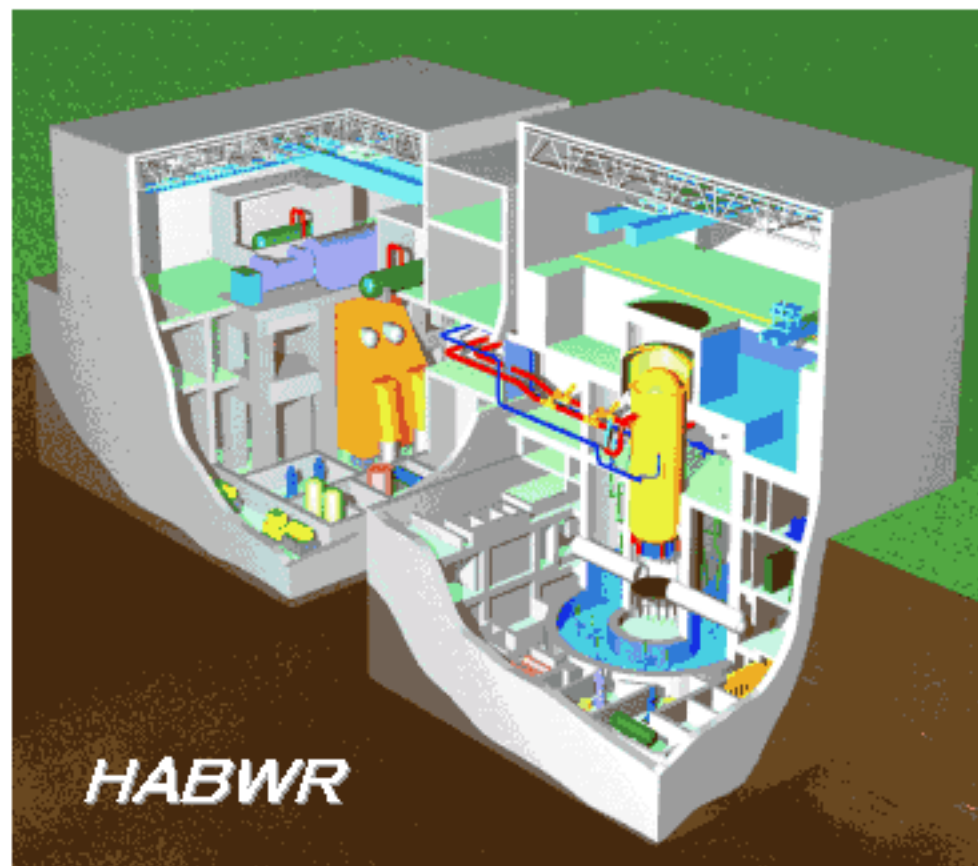
[3] 日立中型ABWR(HABWR)

高い信頼性と優れた経済性の最新鋭 600MWe級ABWR

特 徴

- 実績のある技術
ABWR基本技術適用
- 大型炉並の経済性
機器・システムの簡素化
- 初期投資抑制による立地
自由度増大

- 高性能炉心
- インターナルポンプ:4台
- タービン:270-52インチ翼
- 給水加熱器:1系列
- 復水器:1胴

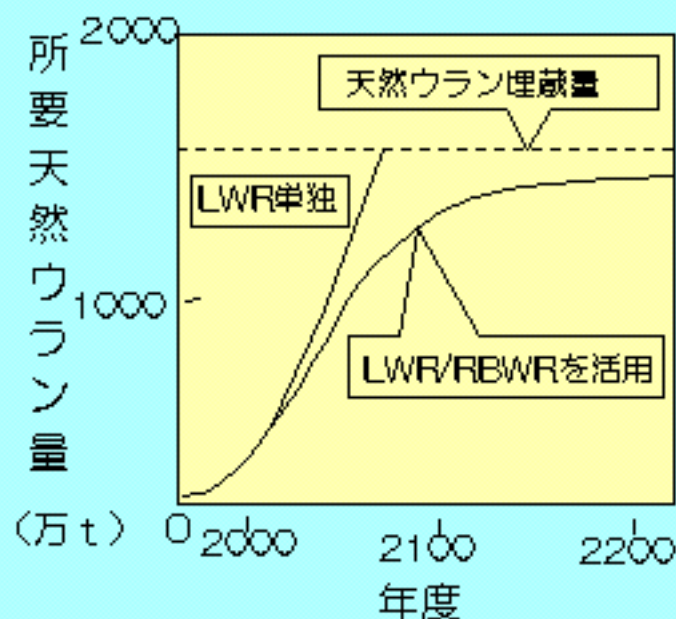




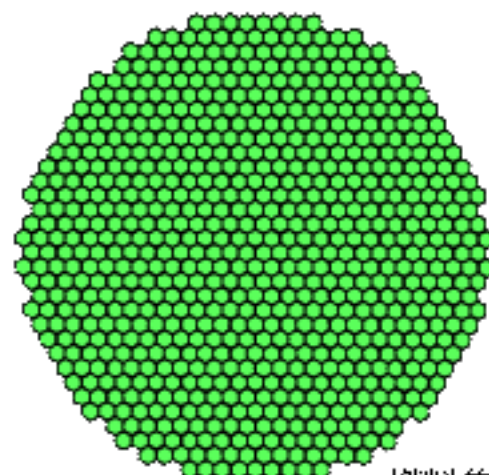
[4] 低減速炉—RBWR—

- ・エネルギー長期安定供給
- ・長寿命放射性廃棄物の有効利用

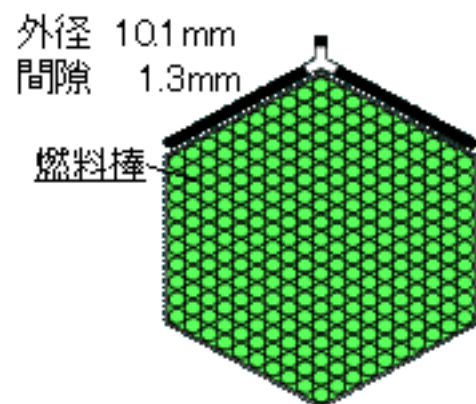
軽水により増殖比1.0を達成



項目	単位	RBWR
電気出力	MWe	1,356
平均燃焼度	MWd/t	45
平均ボイド率	%	59
炉心部P _{eff} 富化度	%	10.7
転換率	—	1.01
ボイド反応度係数	$10^{-4} \Delta k/k \% \text{void}$	-0.5



炉心



燃料集合体 720本
制御棒 223本

燃料集合体



[5] 小型RBWR

低減速炉心

- 增殖比(Pu残存比)1.0以上

重力分離型氣水分離器

- ・炉内構造の簡素化

自压式ECCS

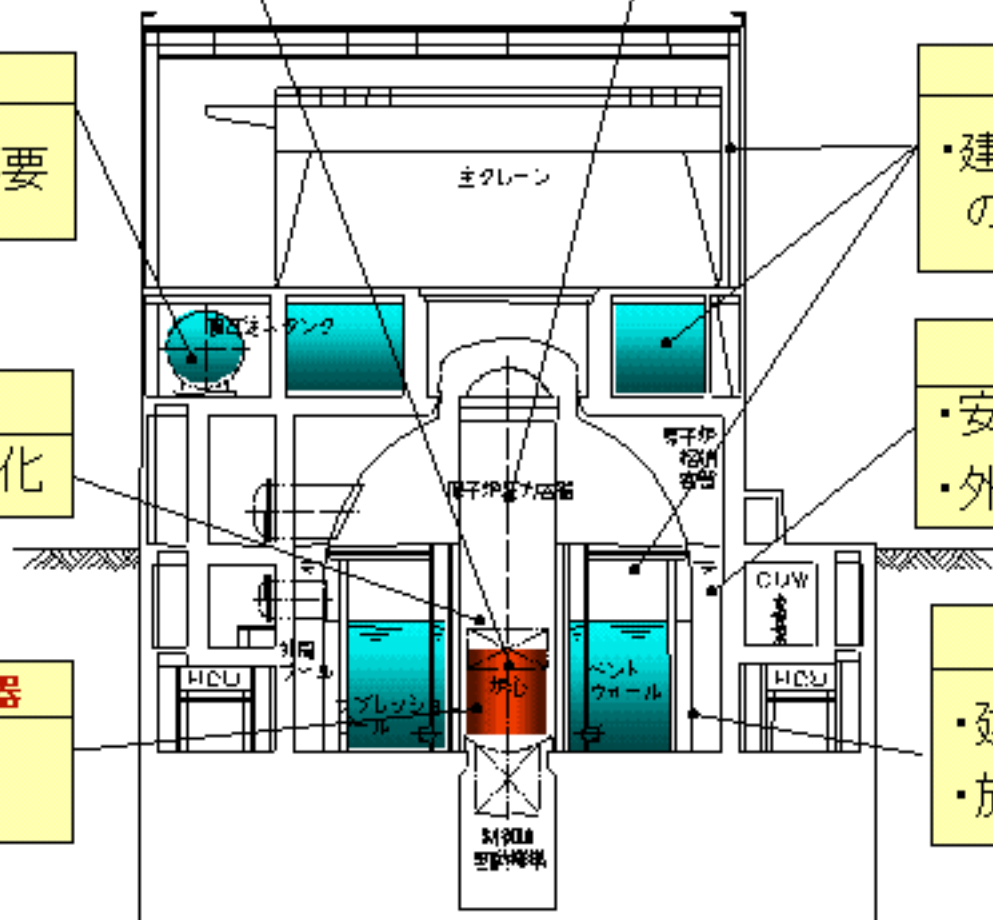
- 外部動力電源不要

自然循環炉

- ・炉内構造物簡素化

短尺燃料·低重心容器

- ・耐震制約緩和



工期短縮建屋

- ・建屋・PCV内部構造物
の鋼製化

自然放熱型PCV

- ・安全余裕の向上
- ・外部動力電源不要

鋼製自立PCV

- ・建設工期の短縮
- ・放射化コンクリート少



[6] 超臨界圧水冷却炉—SCPR—

発電性能向上

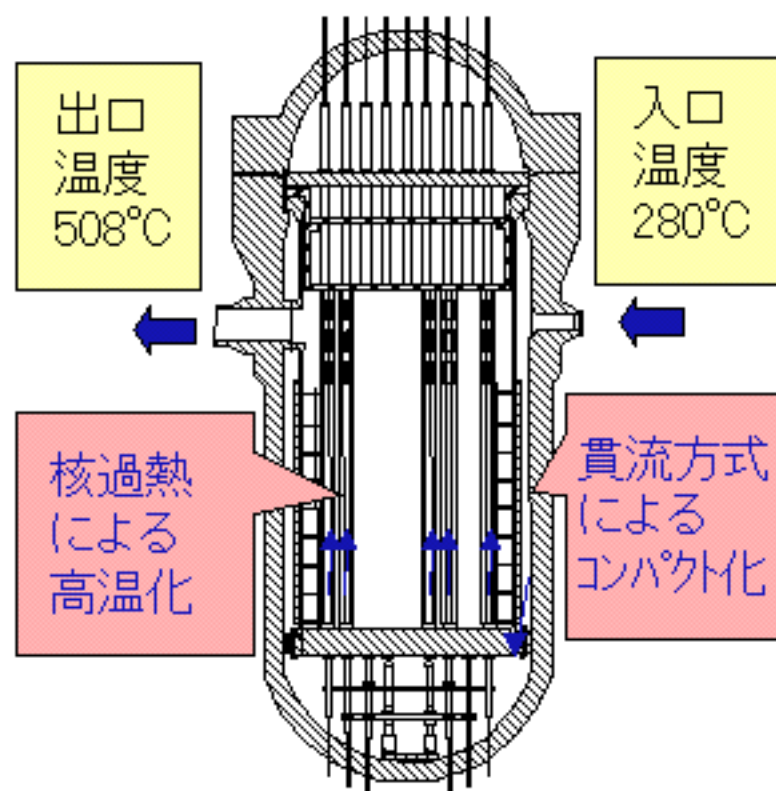
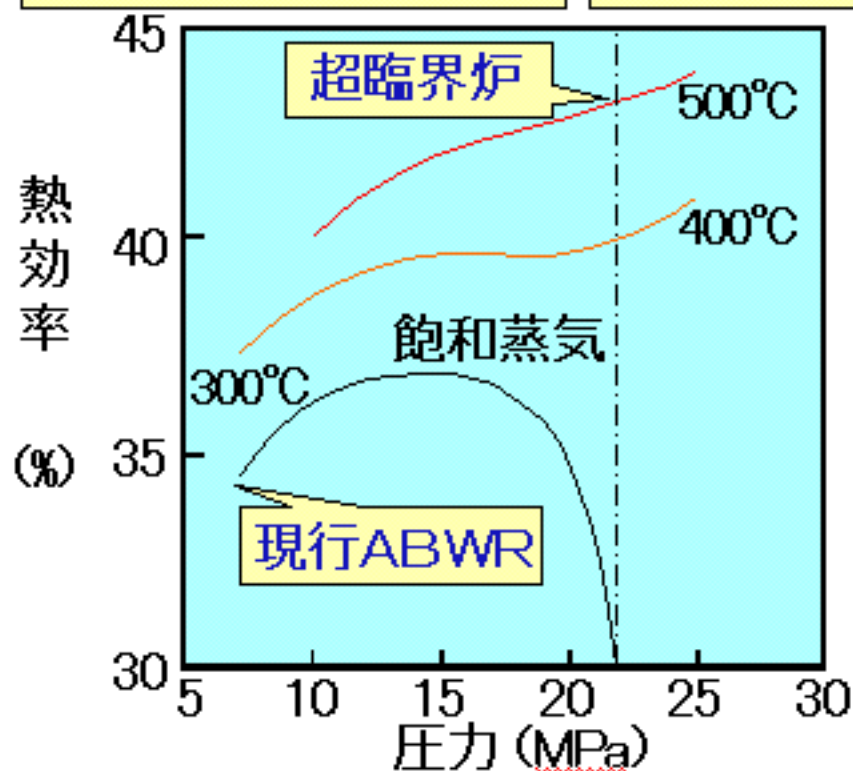
火力発電並の熱効率

システム簡素化

- ・機器合理化、小型化
- ・再循環系、気水分離系なし

早期実用化

超臨界圧タービン技術、
軽水炉技術の活用



Y.Oka and S.Koshizuka, SCR-2000, Nov.6-8, 2000, Tokyo "Design Concept of Once-Through Cycle Supercritical-Pressure Light Water Cooled Reactors"



[7] FBR開発

<FBR実用化戦略調査研究における日立取組>

フェーズ1

2000

フェーズ2

2005

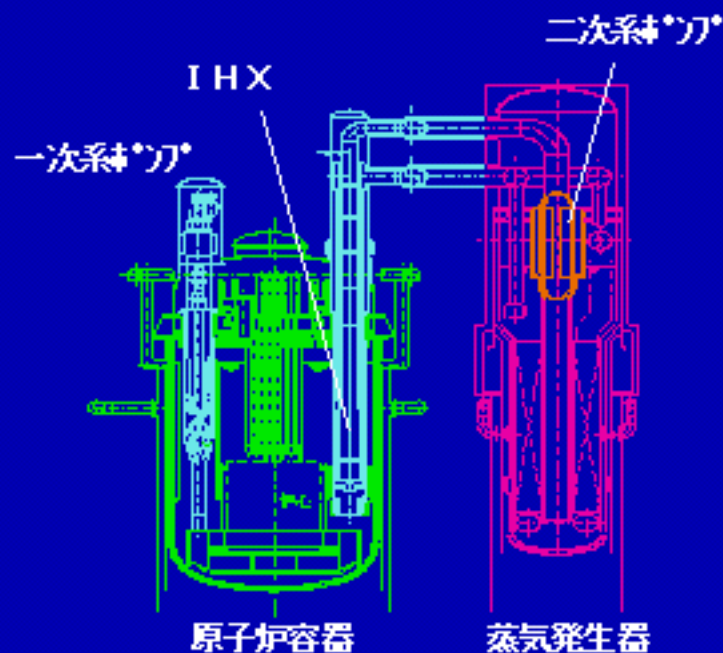
－概念検討－

- ◆ナトリウム冷却炉
ループ/タンク/モジュール
- ◆重金属炉◆ガス炉◆溶融塩炉

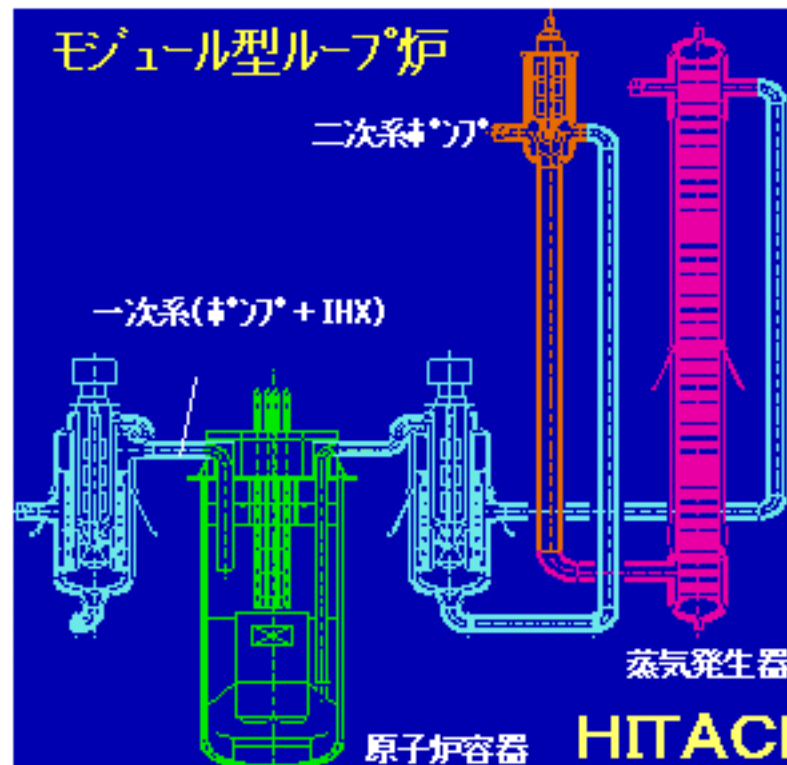
－予備的概念設計－

- ◆ナトリウム冷却炉
大型ループ/モジュール型ループ
- ◆重金属炉 ◆ガス炉

モジュール型タンク炉



モジュール型ループ炉





[8] 革新的小型安全炉—SSBWR—

SSBWR : Safe & Simplified BWR

■ 安全性

- ・事故時の公衆退避不要を目指した受動安全系
- ・ボイド係数～ゼロの安定炉心
- ・大口径配管を排除し大LOCAなし

■ 核不拡散性

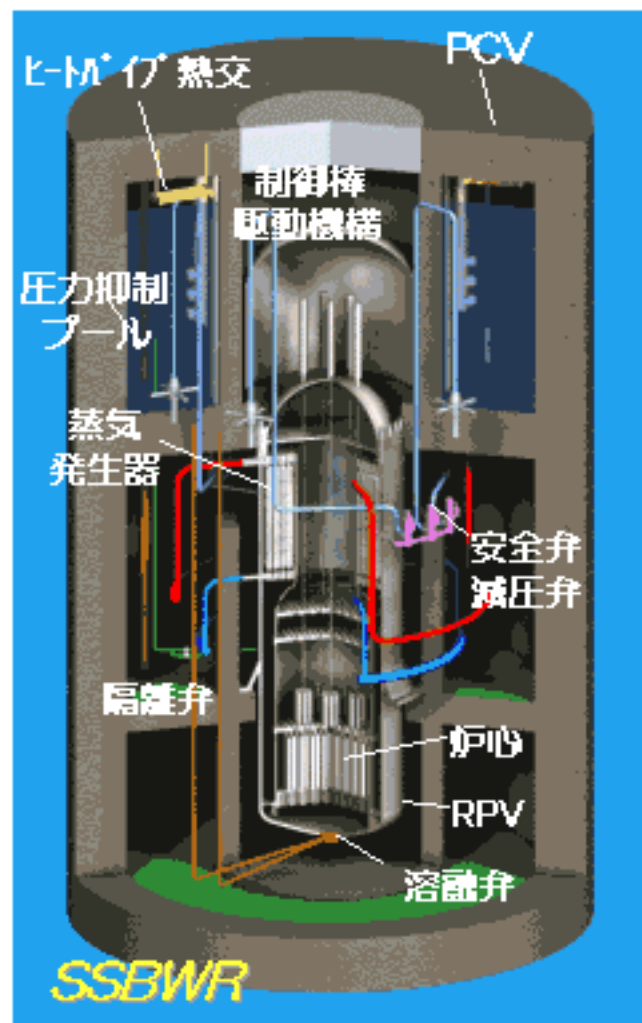
- ・運転サイクル20年の炉容器一体交換により、高い核不拡散性

■ 多目的熱利用

- ・コンパクトな間接サイクルシステム

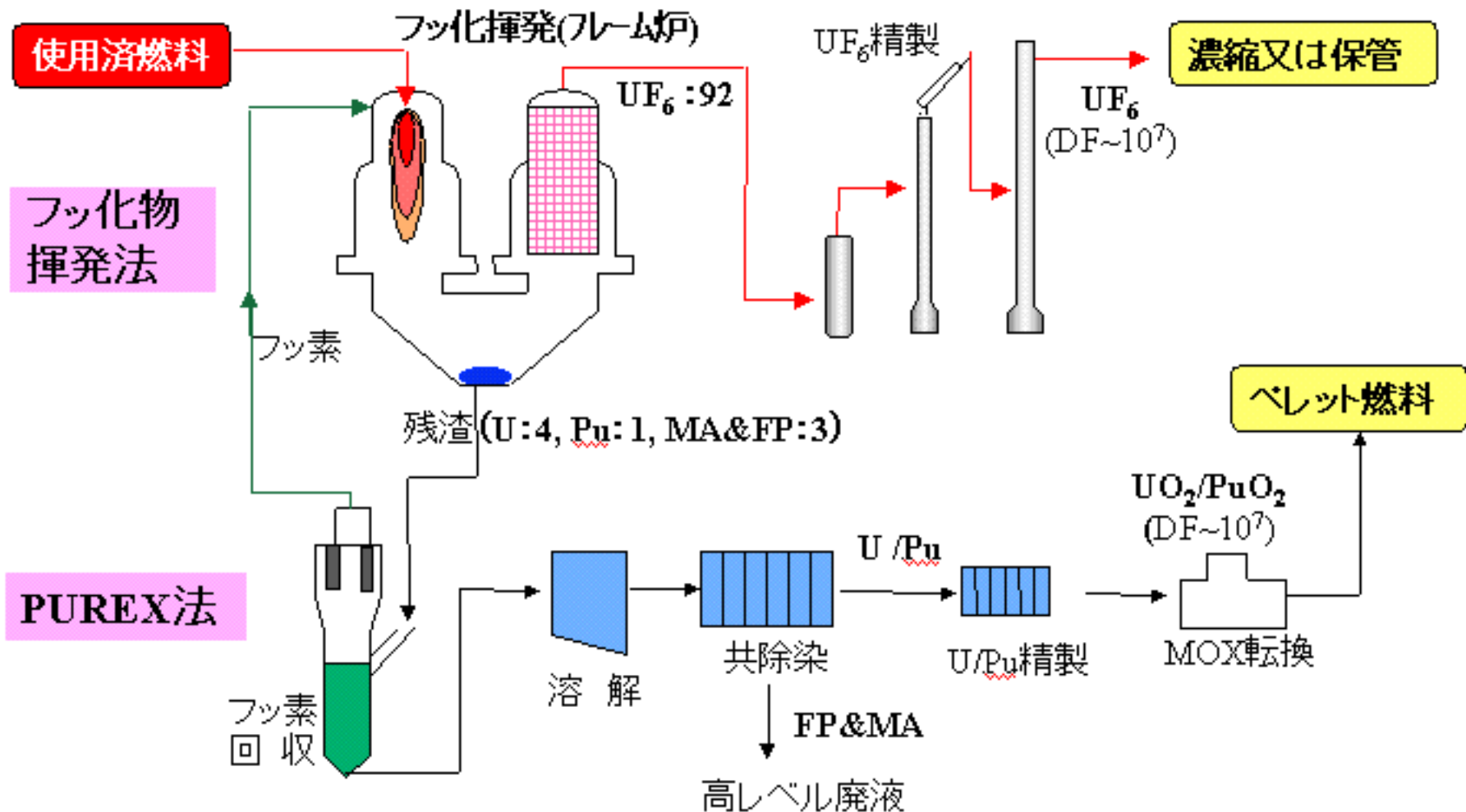
■ 経済性

- ・制御棒、動的機器削減、簡素化
BOP系、超短期工法などによる高い経済性

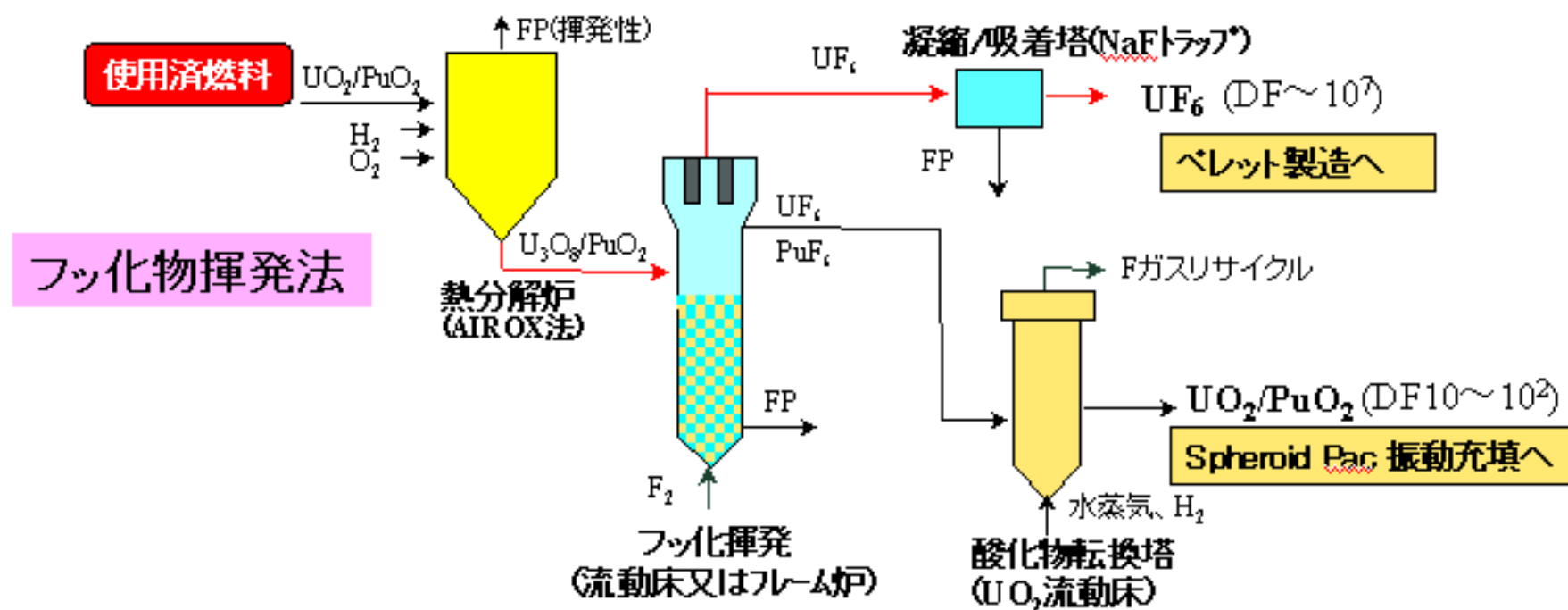




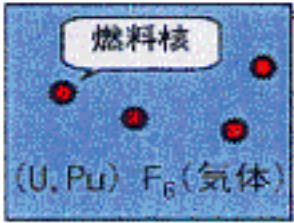
[9] FLUOREX法 -軽水炉(含Puサーマル)共存時代向け-



[10] 改良フッ化物揮発法(低減速炉サイクル,FBRサイクル両用)



【Spheroid Pac 振動充填燃料製造の特徴】

燃料名称	粉末製法	粉末形状	特徴
Spheroid Pac (仮称)	 (フッ化物揮発法)	 (ほぼ球形)	・弱振動充填が可能 ・粉末粒径：広範囲



日立の革新炉概念・技術の位置付け

開発目標	実用化時期		
	(短期)	(中期)	(長期)
◆経済性の追求 (大型/簡素化、熱効率向上)	・ABWR	・ABWR-II (高減速炉/低減速炉)	・SCPR
◆市場の拡大 (中小型炉、事故時退避不要)	・HABWR (600MWe)		・SSBWR (150MWe)
◆資源有効利用 (高増殖比、Pu利用)		・小型RBWR (300MWe)	
◆環境負荷低減 (高除染U,MA・LLFP転換)		・RBWR	・FBR
◆核不拡散性向上 (低除染Pu/ロケーション化)		・FLUOREX法	・改良フッ化物揮発法