

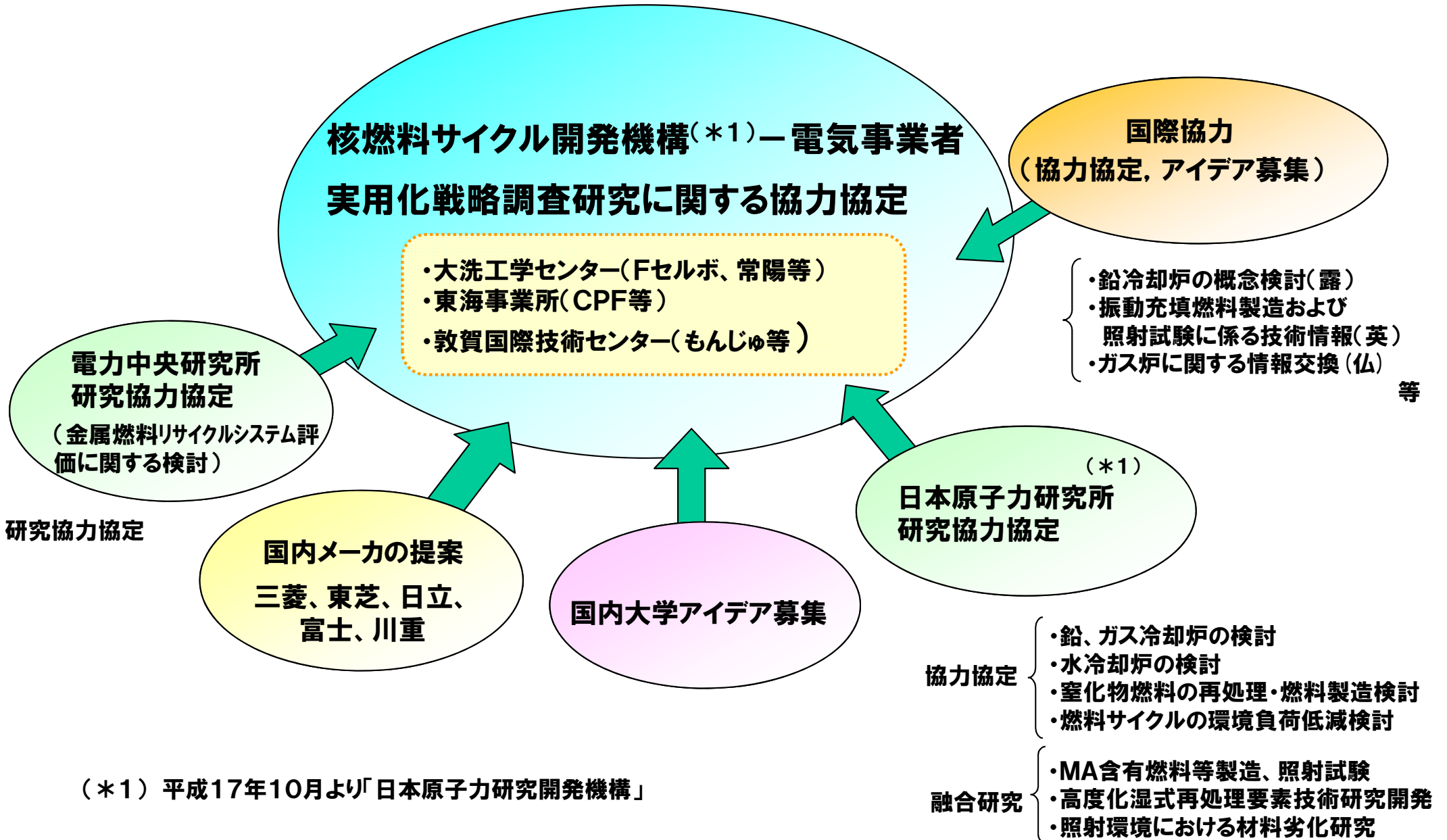
原子炉システムの技術評価 項目の抽出・評価結果

独) 日本原子力研究開発機構
次世代原子力システム研究開発部門

F S での炉概念絞り込みの経緯

実用化戦略調査研究(FS)における協力体制

● 国内外の研究開発の蓄積を活用した技術的選択肢の幅広いサーベイを行うための協力体制を構築



フェーズⅡでの検討対象：高速増殖炉システム

● 幅広い選択肢(冷却材と燃料形態)の組合せ(約40概念)から、今後検討すべき概念を選択

フェーズⅠにおける有望概念の抽出結果

対象技術		炉型の評価	燃料形態の評価		
			MOX	窒化物	金属
ナトリウム炉	大型タンク	B			
	大型ループ	A	A	B	A
	中型モジュール	A			
	小型炉	A(※1)	B	A	
ガス炉	CO2ガス炉	B*	A*		C
	Heガス炉ピン型	B*		A*	
	Heガス炉粒子型	A*	B		-
	小型炉	B*	B*	A*	-
重金属炉	大型	C			
	中型モジュール	A(※2)	B	A	A
	小型炉	A(※3)			
水炉	BWR型	A(※4)	A	-	-
	PWR型	A(※4)	A	-	-
	超臨界圧水型	A(※4)	A	-	-
溶融塩炉		C	C [塩化物溶融塩]		

A:引き続き検討 B:国内外の研究のレビュー C:データ化 *:2001年度に抽出

○:フェーズⅡ中間評価以降に検討を進めた主要な組合せ

フェーズⅡでの検討対象

○ ナトリウム炉

- ・ 大型ループ型(MOX、金属燃料)
- ・ 中型ループ型モジュール炉(MOX、金属燃料)
- ・ 小型炉(金属燃料)

○ ガス炉

- ・ Heガス炉粒子型(窒化物燃料)

○ 重金属炉

- ・ 中型モジュール炉(窒化物燃料)

○ 水炉

- ・ BWR型(MOX)

※1 炉心性能及び実現可能性の観点から金属燃料を選択。小型炉については多目的利用など、基幹電源とは異なる概念として検討。

※2 金属燃料はボンド部にNaを使用しており、破損時に金属間化合物を形成するため、ヘリウムボンドの窒化物燃料を選択。

※3 中型モジュール炉と同様の基礎的課題があるため、2001年度以降の検討対象は中型モジュール炉のみを対象とした。

※4 設計検討が最も進んでおり、炉心損傷時の成立性、経済性を含めたシステムの成立性が高い概念として、BWR型を検討対象とした。

ナトリウム冷却炉の検討

- コールド試験施設、「常陽」、「もんじゅ」による豊富な開発・実証の実績有り
- 実用化に向けての最大の課題は、軽水炉に比肩できる経済性を達成すること

□ 大型炉候補概念の抽出

スケールメリットを生かすとともに、更なるコストダウン方策を採用

- ループ型炉
 - ① 1次系機器合体・ループ数削減
- タンク型炉
 - ① 2次系機器合体・ループ数削減
 - ② 機器合体・集中配置
 - ③ 機器・系統コンパクト化

□ 中型モジュール炉候補概念の抽出

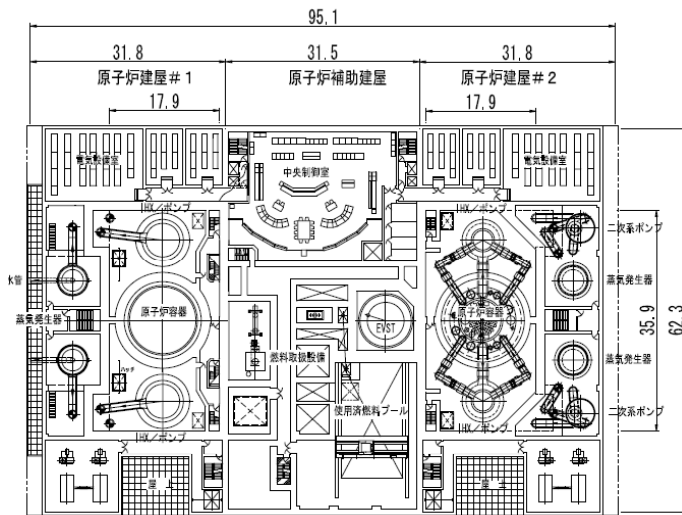
- 単基電気出力のスケールアップによるコストダウン効果とモジュール化によるコストダウン方策を適切に組み合わせ
- 既存の設計例を踏まえ、大型炉を出発点にして中型モジュール炉として検討すべき新しいプラント像を設定

□ 二次系簡素化概念の抽出

- 二次系簡素化による経済性向上、ナトリウム-水反応排除、ナトリウム-水反応影響の大幅緩和による安全裕度拡大をねらって、二次系簡素化概念を幅広く抽出

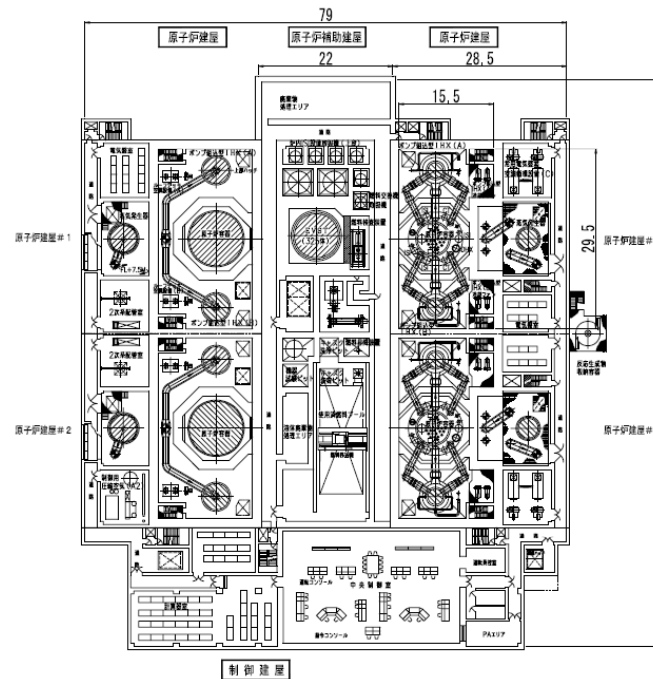
ナトリウム冷却炉のプラント概念図(ループ型炉)

- スケールメリットの活用と更なるコストダウン方策を取り入れた大型炉
- スケールメリットにモジュール化によるコストダウン方策を取り入れた中型モジュール炉
- 2次系削除による経済性、信頼性向上を図った2次系簡素化概念。



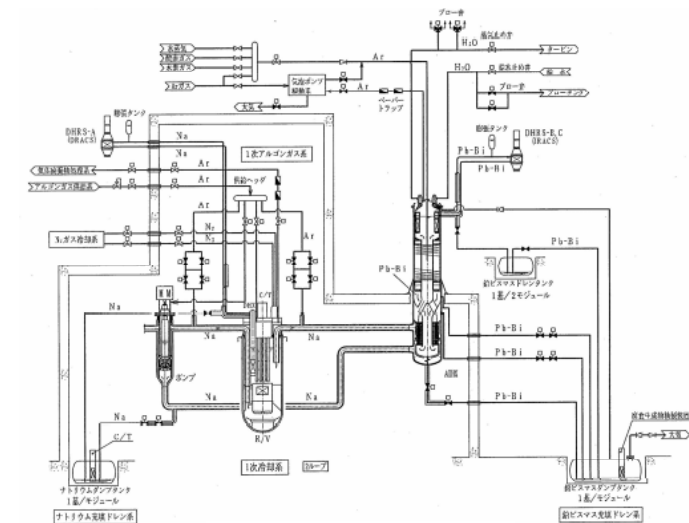
大型炉

電気出力: 1,500MWe、ツインプラント
 熱出力: 3,530MWt
 ループ数: 2ループ
 1次冷却材温度: 550/395°C



中型モジュール炉

電気出力: 750MWe、4モジュール
 熱出力: 1,765MWt
 ループ数: 2ループ
 1次冷却材温度: 550/395°C

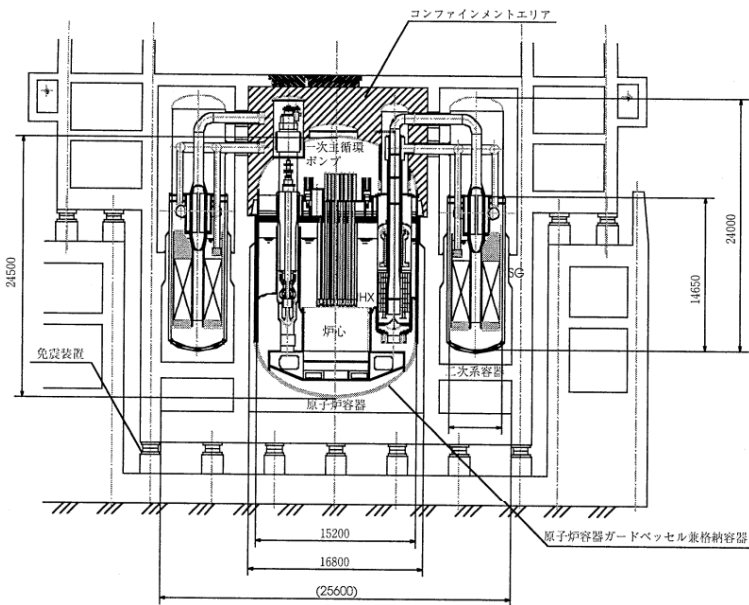


2次系削除型中型炉

(鉛ビスマス熱媒体プール型
 蒸気発生器による図)

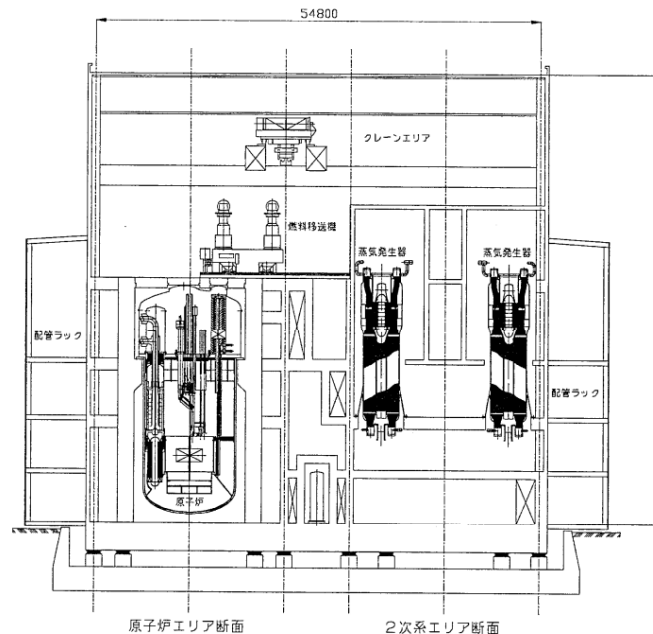
ナトリウム冷却炉のプラント概念図(タンク型炉)

- 3概念のタンク型炉を検討、各概念で採用されているコストダウン方策は異なる
- 互いの長所を相互に取り入れることで更なる物量低減を指向し、より優れた経済性を有する概念を構築



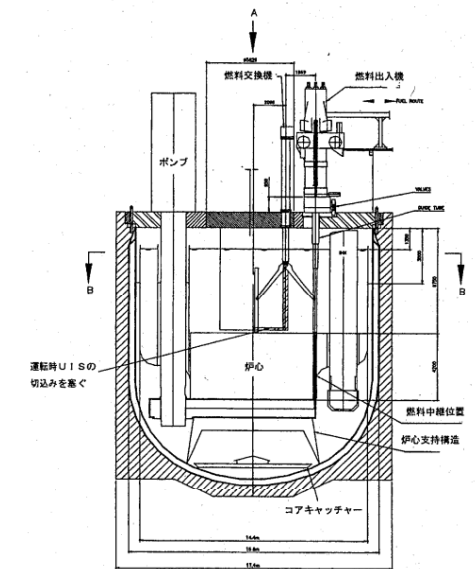
2次系機器合体・ループ数削減型

電気出力: 1,500MWe
 熱出力: 3,660MWt
 ループ数: 3ループ
 1次冷却材温度: 550/395°C



機器合体・集中配置型

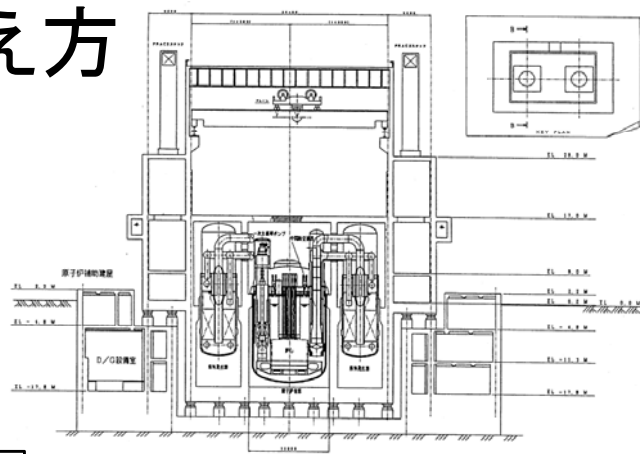
電気出力: 1,600MWe
 熱出力: 3,800MWt
 ループ数: 4ループ
 1次冷却材温度: 550/395°C



機器・系統コンパクト化型

電気出力: 1,500MWe
 熱出力: 3,600MWt
 ループ数: 2ループ(1次系)、
 4ループ(2次系)
 1次冷却材温度: 545/390°C

ナトリウム冷却炉の選択の考え方



3概念の長所を取り入れたタンク型概念

安全性の確保を前提に、
経済性向上達成のための
新技術導入

- ◆ スケールメリットの追求 (~150万kWe)
- ◆ ツインプラント化
- ◆ 新材料の採用 (高クロム鋼)
- ◆ 免震技術の採用
- ◆ 炉上部簡素化、等
- ◆ 炉型に応じた物量削減方法の採用

ループ概念

タンク概念

- 2ループ化の徹底 (1次系、2次系)
- 1次系機器合体
- 配管短縮

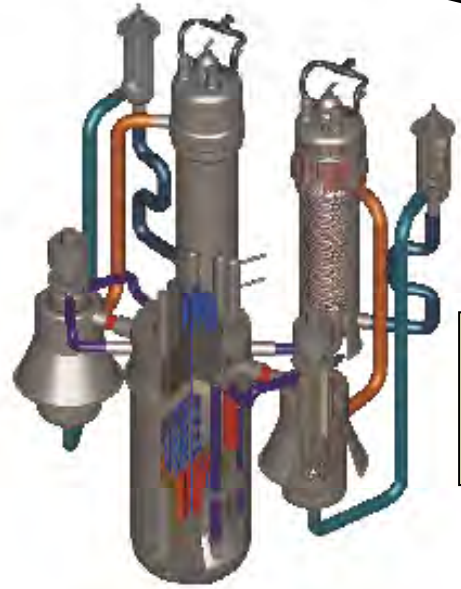
- 炉容器径の削減 (キドニー型 IHX)
- 2次系の2ループ化
- 2次系機器合体

技術的成立性の見通しあり

物量 (経済性) は同等

- 機器アクセス性並びに保守・補修性
- 更なるコストダウンの可能性 (2次系簡素化による物量低減)
- 炉容器などの大型機器の製作性 (将来的なコストダウンの可能性)

ループ概念を選定



日本のFBR技術を継承したループ型概念

ガス冷却炉の検討

- 高温における安定性、取扱性の観点から、熱中性子炉において実績のある炭酸ガス、ヘリウムガスを選定
- その他のガスについても幅広く調査したが、不相当と評価

□ ピン型燃料炭酸ガス炉

- AGRのプラント技術を利用することで現有技術の延長線上での性能及び経済性の向上を追求

□ ピン型燃料ヘリウムガス炉

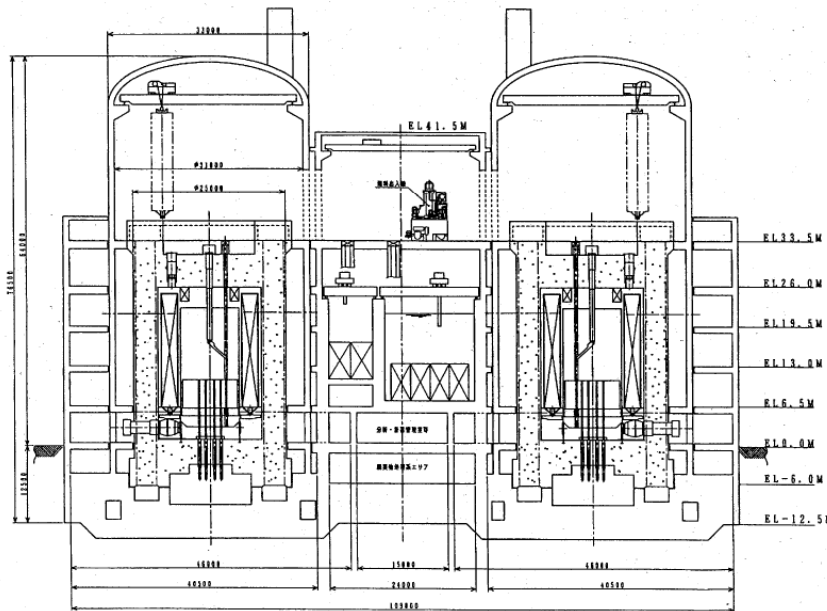
- ピン型燃料を使用した蒸気タービン発電と、耐熱合金を燃料被覆管として原子炉出口温度を高温にしたガスタービン発電を検討
- 蒸気タービン発電は、欧州で検討されたガス増殖炉(GBR4)の技術を利用するとともに、ヘリウムガスによる性能及び経済性向上を追求
- ガスタービン発電は、耐熱合金被覆管の耐熱性を活かして原子炉出口温度を高温化し、直接ガスタービン発電を行って、高い熱効率とシステム簡素化による経済性向上を追求

□ 被覆粒子燃料ヘリウムガス炉

- 被覆粒子燃料の優れた耐熱性を活かして原子炉出口温度を高温下し、直接ガスタービン発電を行って、高い熱効率とシステム簡素化による経済性向上を追求

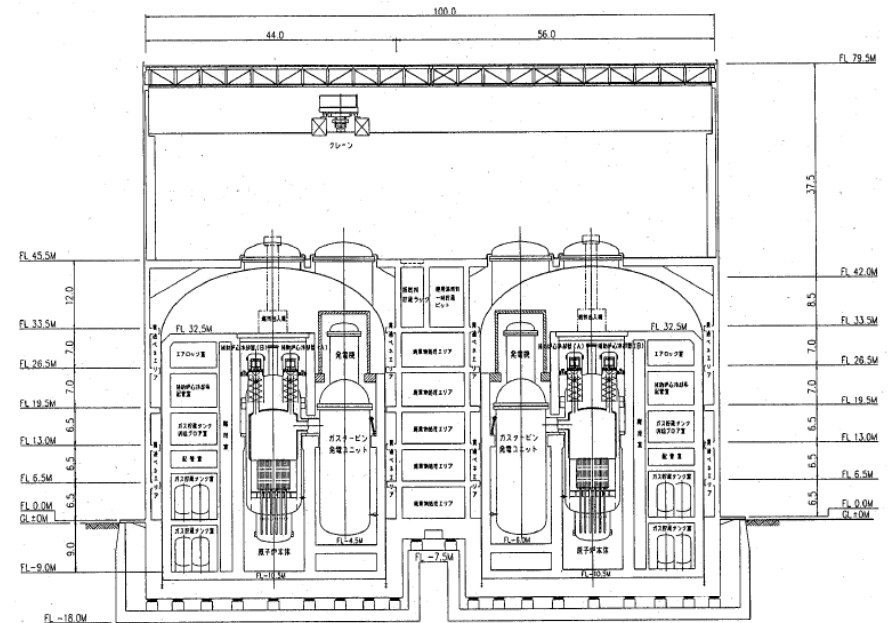
ガス冷却炉のプラント概念図

- 炭酸ガス炉は、炉心性能向上、CDA対策としてコアキャッチャーの設置、スケールメリットの活用とプラント物量の低減による経済性向上を追求。高温での材料腐食の観点から冷却材温度に制限があり、ガスタービン発電には適応できない。
- ヘリウム冷却被覆粒子燃料型炉は、燃料の優れた耐熱性や炉心の低圧損化による自然循環除熱特性の向上、炉心の出力密度制限によるCDA防止機能強化を図った。また、直接ガスタービン発電により中間熱輸送系やタービン建屋を削減し、経済性向上を追求。



炭酸ガス冷却炉

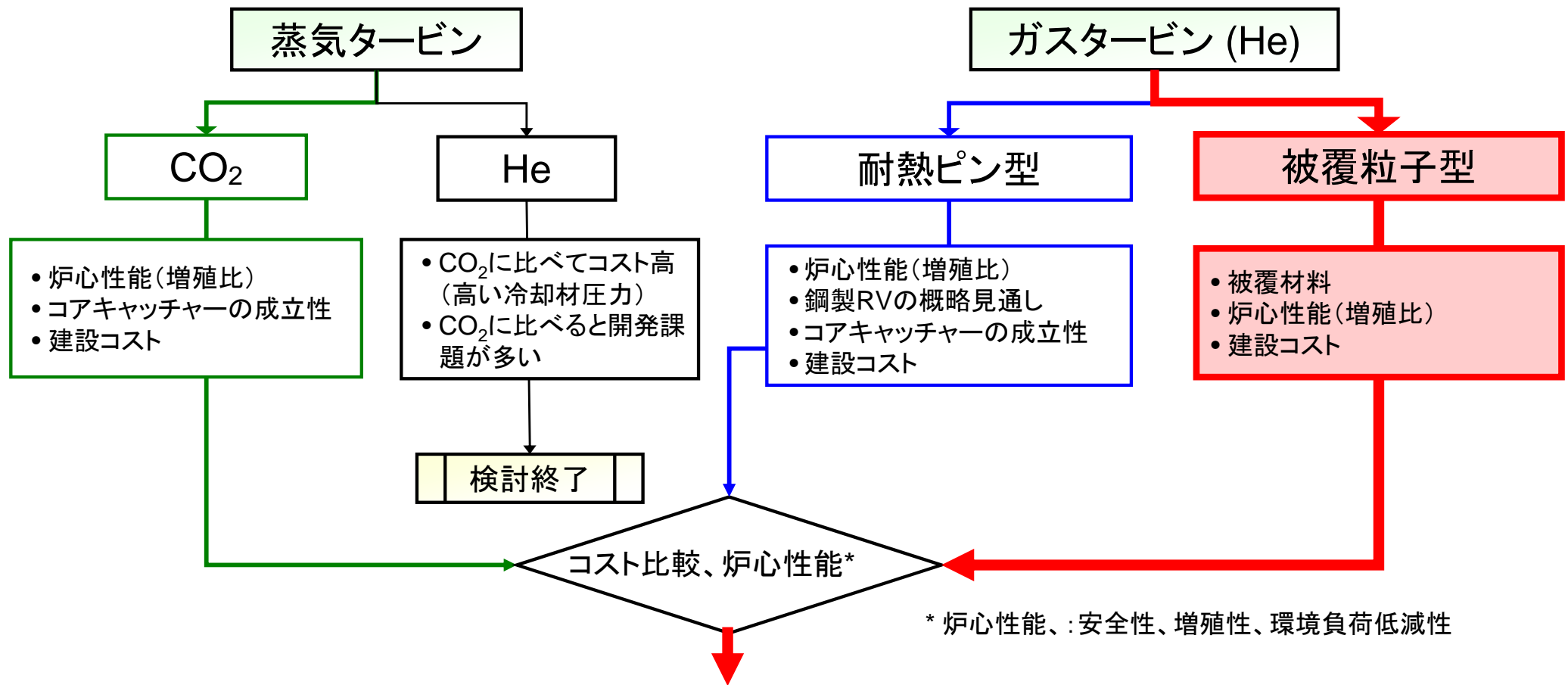
電気出力: 1,369MWe
 熱出力: 3,600MWt
 ループ数: 4ループ
 1次冷却材温度: 530/266°C
 1次系圧力: 4.2MPa



ヘリウムガス冷却被覆粒子燃料型炉

電気出力: 1,120MWe
 熱出力: 2,400MWt
 ループ数: 4ループ
 1次冷却材温度: 850/460°C
 1次系圧力: 6MPa

ガス冷却炉の選択の考え方



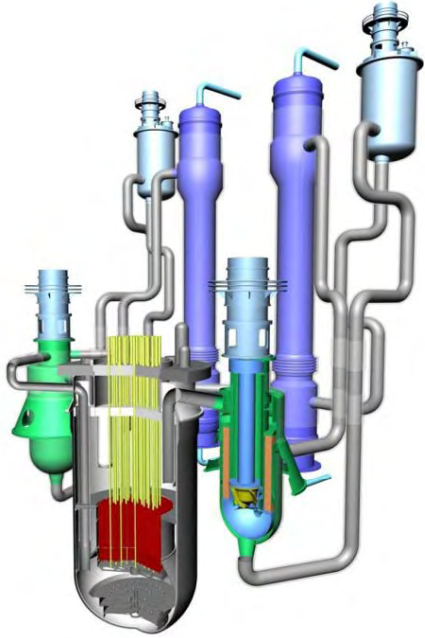
* 炉心性能、: 安全性、増殖性、環境負荷低減性

ヘリウムガス冷却炉(被覆粒子型燃料)を最も有望なガス冷却高速炉概念として選択

- ✓ 直接サイクルガスタービンの採用によるシステム簡素化の可能性
- ✓ 高温(850°C)の冷却材による多目的利用の可能性: 高効率(47%)発電、水素製造、等
- ✓ 耐熱性及び燃料安全の観点から被覆粒子型燃料を選択

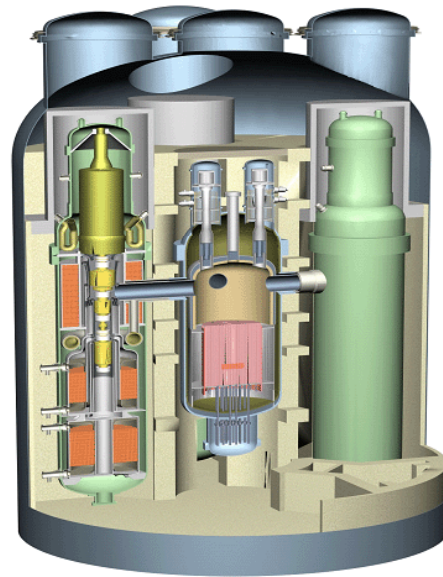
FBRシステムの実用化概念 (FS時)

- FSフェーズIIでは、抽出した概念の要素試験研究やシステムの設計検討を行い、各概念が有する能力を最大限に引き出すことが可能な高速増殖炉システム概念を構築した上で比較検討を実施。



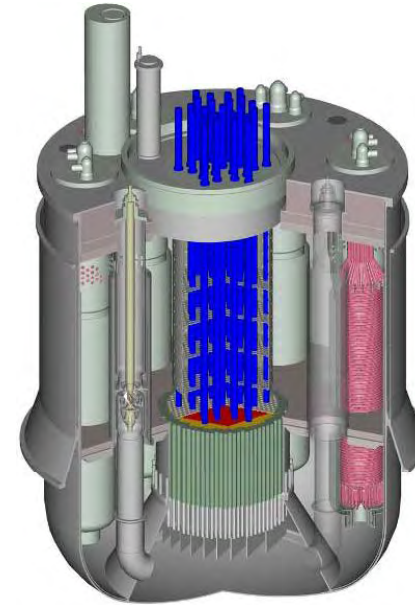
ナトリウム冷却炉

- 150万kWe大型炉 (酸化物及び金属)
- 革新技术の採用で物量、建屋容積を大幅に削減
- ナトリウムの特徴を考慮した設計により信頼性を確保



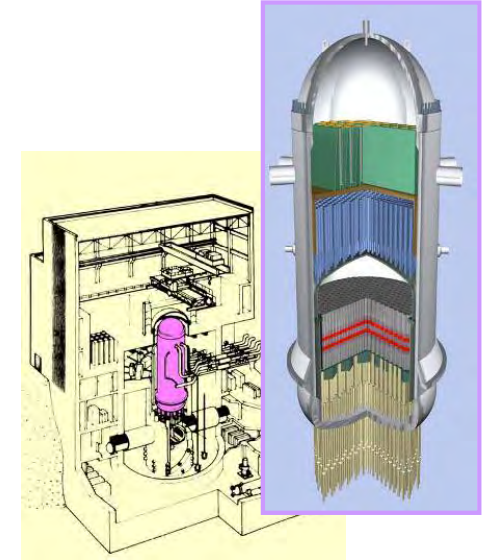
ヘリウムガス冷却炉

- 150万kWe大型炉 (窒化物被覆粒子燃料)
- 高温熱源の特長を活かして物量・建屋容積を削減
- 減圧事故、炉心損傷事故対策を考慮



鉛ビスマス冷却炉

- 75万kWe中型炉 (窒化物燃料)
- 化学的に不活性な冷却材であり二次冷却系を削除したシステムを構築



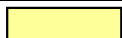
水冷却炉

- 135万kWe BWR型高速増殖炉 (酸化物燃料)
- 増殖性確保のため、高富化度・高稠密炉心概念
- ABWRのプラント技術が利用可能

高速増殖炉システムの有望概念の抽出

- ナトリウム冷却炉が最も有望な概念: 主概念として開発
- ヘリウムガス冷却炉は多様なニーズに対応可能な概念: 機構の検討では将来のニーズなどの不確実性を考慮し選択肢に多様性を持たせる観点から補完概念としたが、国の評価では「選択と集中」の観点から主概念に開発を集中することとし、ヘリウムガス炉は選択されず。

	ナトリウム冷却炉	ヘリウムガス冷却炉	鉛ビスマス冷却炉	水冷却炉
設計要求への適合可能性	全ての設計要求に対して、高いレベルで適合する可能性がある。金属燃料を採用した場合にはさらなる炉心性能の向上が見込める。	全ての設計要求に対して適合する可能性があり、高温熱源としての魅力を有する。	全ての設計要求に対して適合する可能性がある。	資源有効利用性および環境負荷低減性に制約がある。上記以外の設計要求に対しては、適合する可能性がある。
技術的実現性	開発課題が明確であり、また代替技術を準備することができることから、高い確度で実現性を見通すことが可能	実現性を見通すためには、概念成立性に係わる課題を解決することが必要		実現性を見通すための課題が炉心燃料関連に限定
(国際的視点)	国際協力を期待することが可能 (GIFでの活動が活発で、国際標準の概念へ発展していく可能性がある。また、共同開発による革新技术のブレークスルー、開発分担による効率的開発が期待できる。)	国際協力を期待することが可能 (GIFでの活動により、国際標準の概念へ発展していく可能性がある。また、概念成立性に係わる課題が解決されれば、技術的実現性をより向上させることができる。)	国際協力を期待することが困難 (GIFでの活動において開発を主導する国が無く、概念成立性に係わる課題をブレークスルーできる可能性が低い。)	国際協力を期待することが困難 (GIFでの候補概念に取り上げられていないため、現状では基盤的な研究協力内容に限定される。)

 は優れた部分