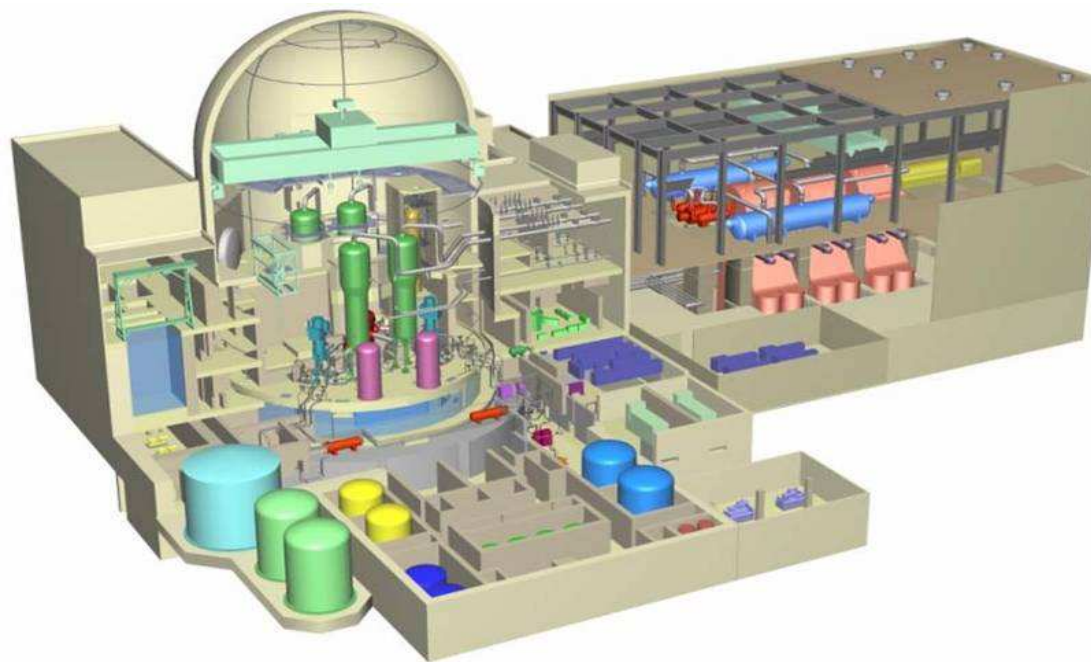


日本原子力学会「2007秋の大会」  
海外情報連絡会 企画セッション

# 原子力グローバル化に向けた最新動向



平成19年9月29日  
三菱重工業株式会社

# 目次

1. グローバル化を支える技術力
2. 主要機器輸出の実績
3. 世界戦略炉の開発と市場投入
4. 核燃料サイクルの確立と国際展開

# 1. グローバル化を支える技術力

## プラントライフのすべてを通じた総合技術力

### エンジニアリング力

- 炉心設計、安全解析に係る高度な **設計技術**
- プラント全体の **開発・設計技術**
- 製造、建設、保全に係る **研究開発技術**
- 燃料に係る高度な **開発・設計技術**

### もの作り力

- 世界最先端の工作技術・溶接技術などに基づく **製造技術**
- 半世紀にわたる建設経験に基づくプラント **建設技術**

### 技術サポート力

- 高経年化対応、メンテナンス、検査の効率化・高度化に応える **予防保全技術**
- 安全性維持向上に応える **設計、保全技術**

### [社会のニーズ]

原子力プラント  
の安全・安心  
の確保

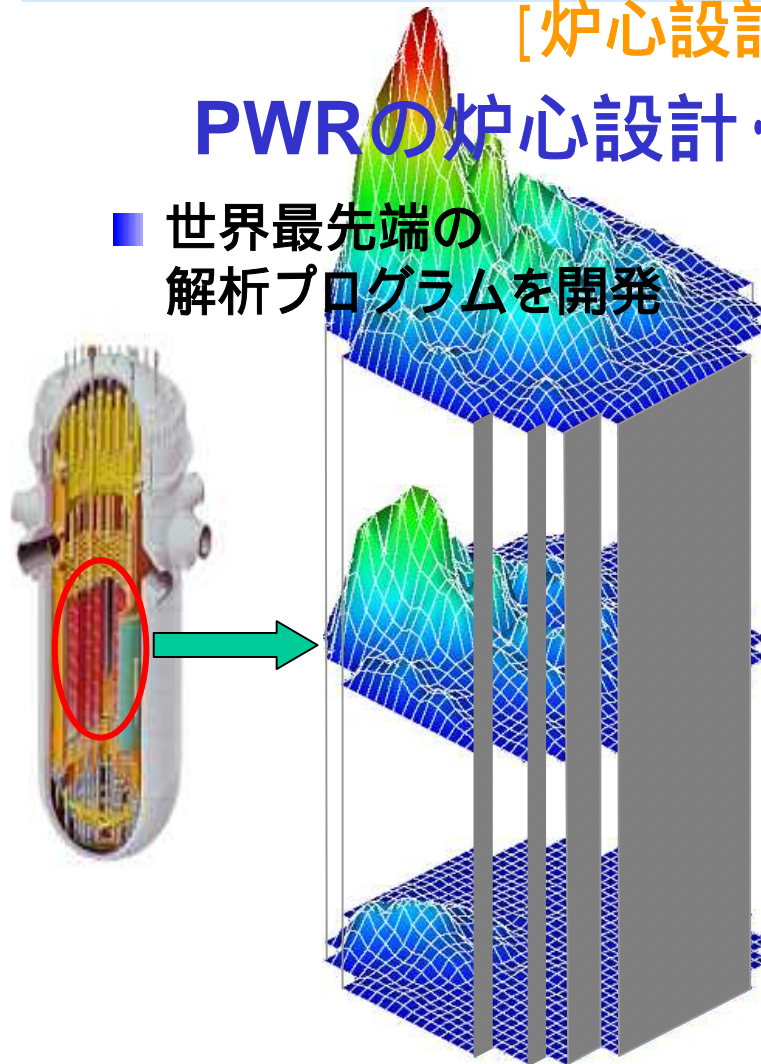
経済性の  
向上

# 1. (1) エンジニアリング力

[炉心設計・安全解析技術]

## PWRの炉心設計・安全解析を一貫実施可能

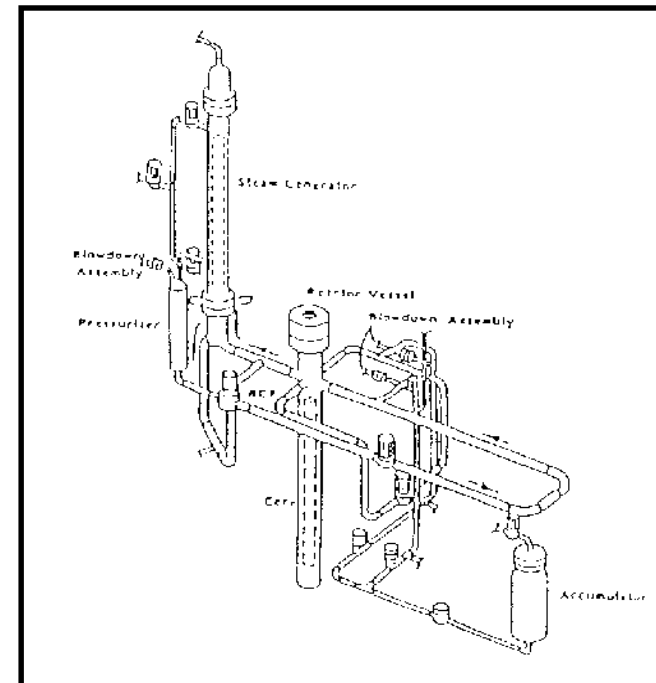
- 世界最先端の解析プログラムを開発



安全解析事例

- 自社大規模実証装置による解析プログラム実証

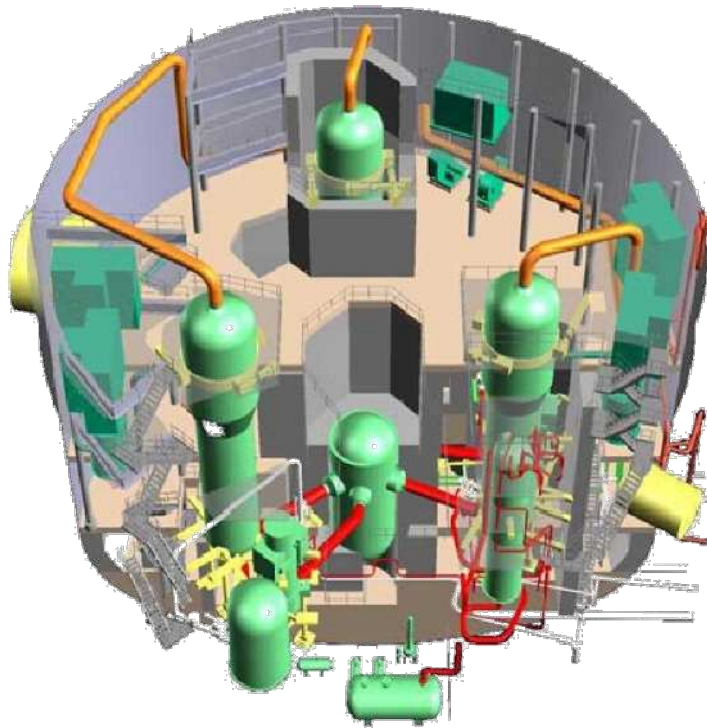
- LOCA(1次冷却材喪失事故)解析プログラム 実証装置



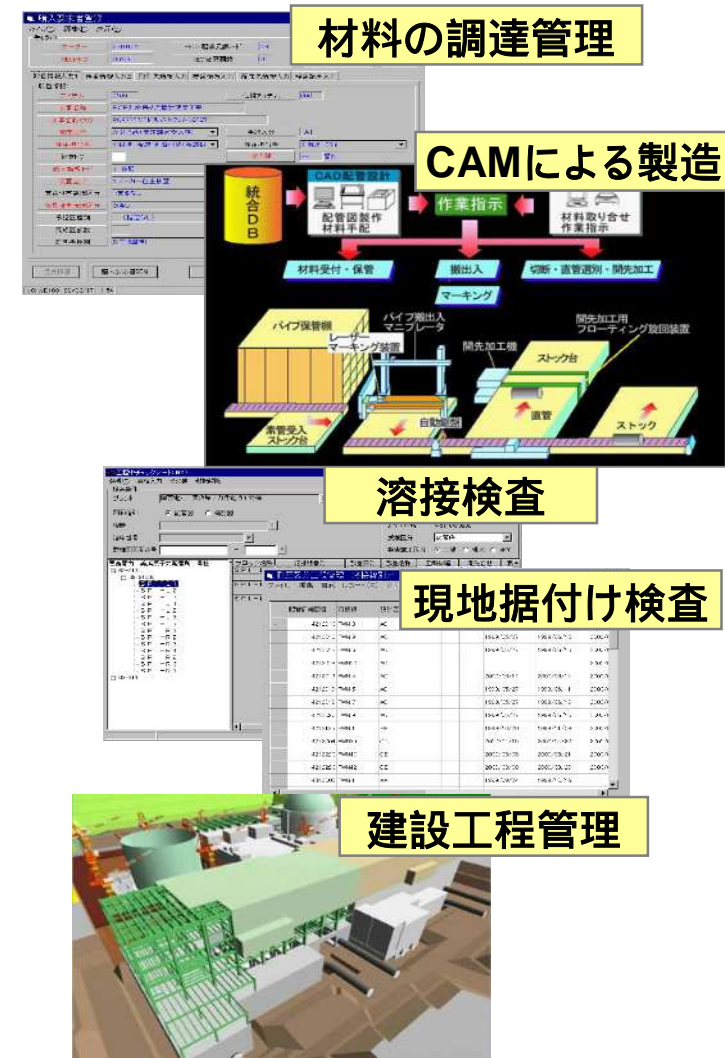
# 1. (1) エンジニアリング力

## [ プラント開発設計技術 ]

プラント開発・設計・製造・建設の一貫した 共通データベースで、製造・建設を支援



共通データベースの例





# 1. (1) エンジニアリング力

## [PWR燃料開発・設計技術]

### ➤ 豊富な供給実績と高い信頼性

(日本で唯一の再転換・成型加工の一貫体制)

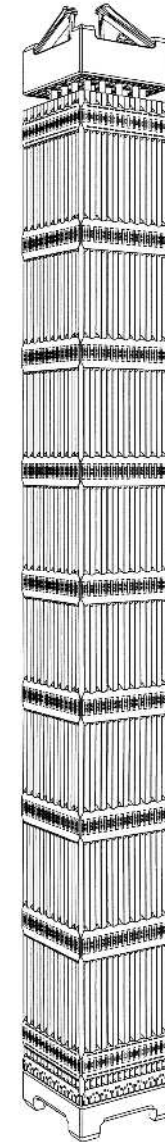
- ・ 累計製造体数 約 17,600体 (2007年7月1日時点)
- ・ 海外燃料に比べ 一桁低い破損率  
三菱;  $\sim 10^{-6}$       海外;  $\sim 10^{-5}$

### ➤ 経済的で柔軟なプラント運転に対応した開発

- ・ 高燃焼度燃料: 39   48   55GWd/t \* (現行)  
    ➡ 更なる高燃焼度化 (70-80GWd/tに挑戦)
- ・ 運転期間長期化、炉心出力アップに対応

### ➤ 再処理からの Pu、U 資源の有効利用

- ・ プルサーマル利用としての MOX燃料の供給
- ・ 回収ウラン燃料の供給



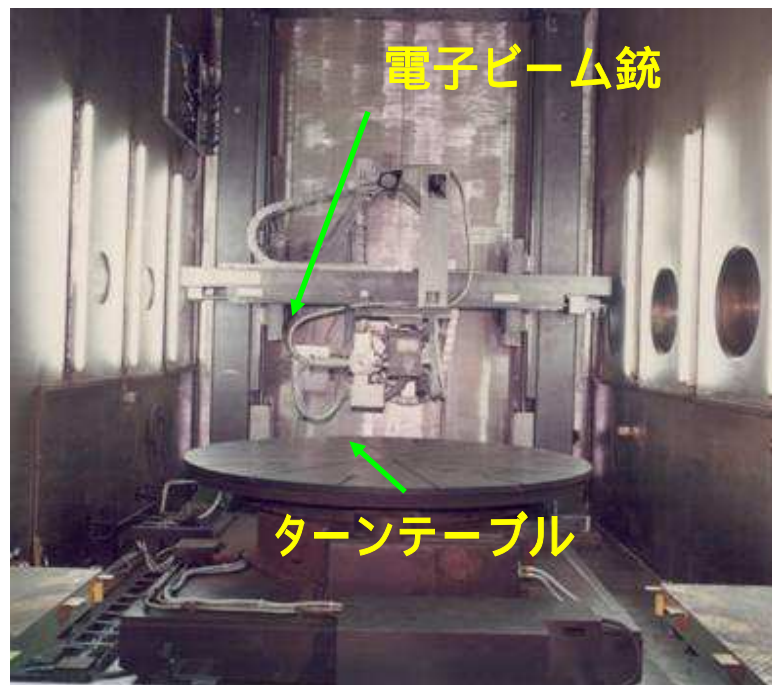
\* GWd / t: ウラン重量当たりのエネルギー発生量

# 1. (2) もの作り力

## ■ 高精度、高効率、高品質の製造技術革新を継続

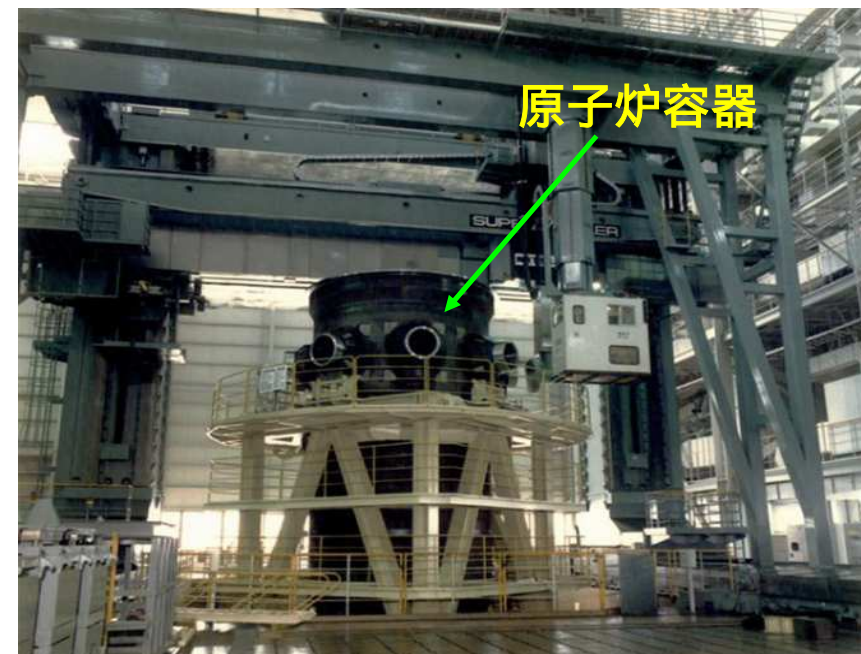
### 150kW 電子ビーム溶接装置

大型構造物への世界トップレベルの  
高精度溶接技術適用



### 超大型複合工作機 “スーパーミラー”

高精度・高品質加工が縦置きで可  
能な世界唯一の超大型工作機械



## 1. (2) もの作り力

原子炉容器一体型胴と  
ノズルの溶接

蒸気発生器伝熱管  
挿入作業

超大型の回転冶具を開発  
総重量200 tを回転させ溶接加工

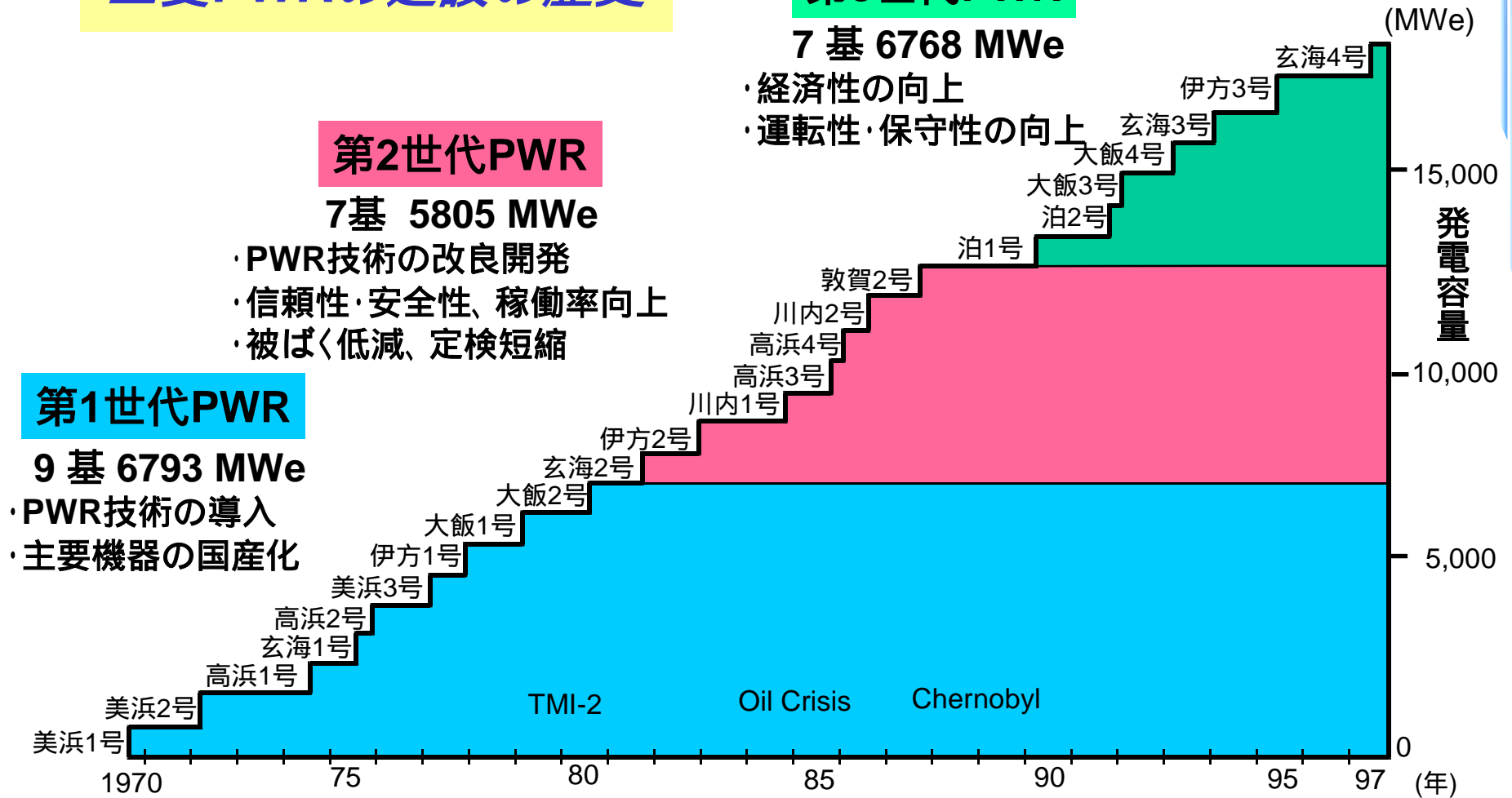
約10,000本の伝熱管を蒸気  
発生器へ高精度に挿入組立





# 1.(2) もの作り力

## 三菱PWRの建設の歴史



# 1.(2) もの作り力

## [プラント建設技術]

### ■ 現地作業の低減



**超大容量クレーン**  
土木-建築作業の  
統合的プロジェクト工程管理



**SC(鋼板コンクリート) 内部構造**



**プレハブ大型ブロック**

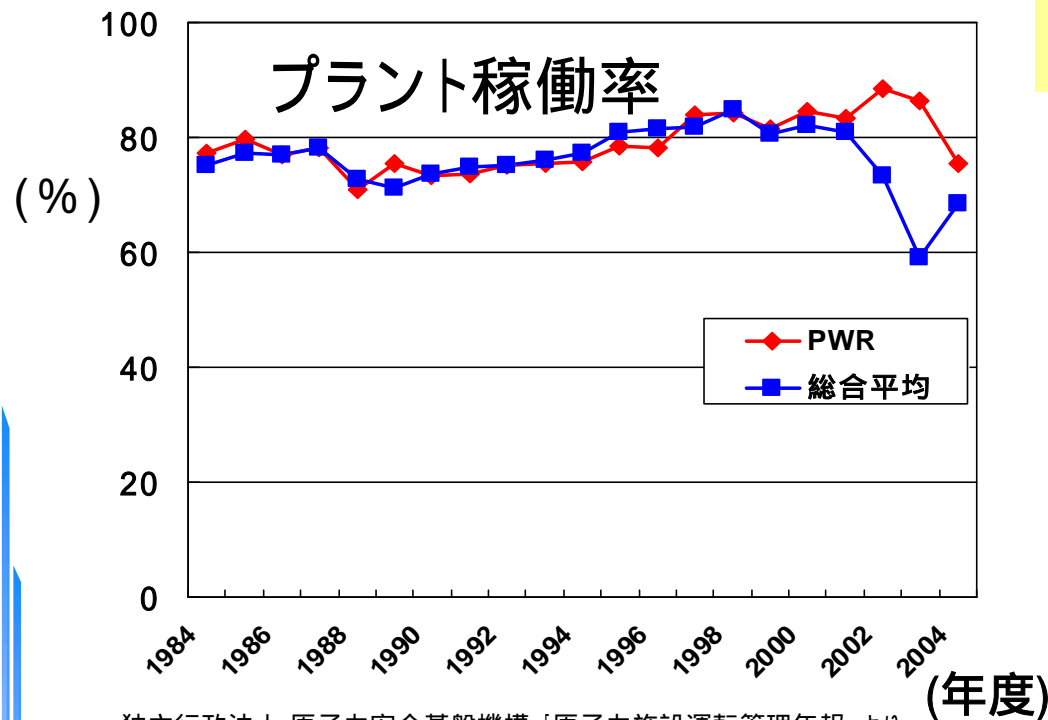
**【建設工期実績】**  
(コンクリート打設 ~ 燃料装荷)



伊方2号機(2ループ) 34.5ヶ月  
高浜3号機(3ループ) 37.5ヶ月  
大飯3号機(4ループ) 40.0ヶ月

# 1. (3) 技術サポート力

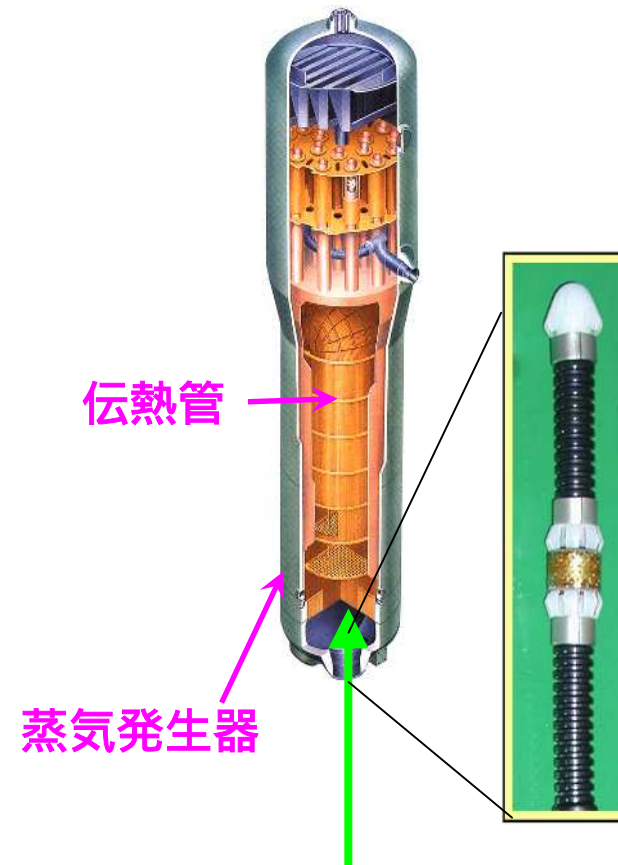
## [保全技術サポート]



独立行政法人 原子力安全基盤機構「原子力施設運転管理年報」より

高度な検査技術、予防保全技術、  
補修技術、機器取替技術で  
プラント稼働率を向上

世界一高精度・高速の  
インテリジェント渦流探傷(ECT)技術



# 1. (3) 技術サポート力

## [保全技術サポート (大型機器取替)]

- プラント総合エンジニアリング (プラント熟知による的確な工法立案 → 短工期)
- 製造技術 (超高精度、高品質、短期製作能力)

実績豊富な  
蒸気発生器取替  
国内29基  
海外からも多数受注



世界初の炉内構造物取替  
高放射線環境下で、短工期  
・高精度で据付



世界初の中央制御盤取替  
制御系デジタル化と中央制御盤  
取替を同時に実施



高経年化への信頼性向上と寿命延長

運転性の大幅向上



## 2. 主要機器輸出の実績

	アジア	アメリカ	欧州	合計
原子炉容器 	2	-	1(1)	3(1)
上部原子炉容器 	-	15(4)	3	18(4)
蒸気発生器 	-	8(6)	14 (6)	22(12)
1次冷却材ポンプ 	8 (4)	-	-	8(4)
タービン 	2(2)	2	2	6(2)

( ) ; 製造中または据付前の内数

## 2. 主要機器輸出の実績

### アジア

	プラント	納入
原子炉容器	Qinshan I (CHINA)	1986
	Qinshan II #1 (CHINA)	1999
1次冷却材ポンプ	Qinshan II #1 (CHINA)	1999
	Qinshan II #2 (CHINA)	2001
	Qinshan II #3 (CHINA)	(2009)
	Qinshan II #4 (CHINA)	(2010)
タービン	Taiwan 4 th Nuclear Power Station #1 (TAIWAN)	(2006)
	Taiwan 4 th Nuclear Power Station #2 (TAIWAN)	(2006)

### アメリカ

	プラント	納入
上部原子炉容器	Surry #2	2003
	Kewaunee	2004
	Farley Unit #1	2004
	Farley Unit #2	2005
	H. B. Robinson	2005
	Millstone #2	2005
	Point Beach #1	2005
	Point Beach #2	2005
	Prairie Island #2	2005
	Prairie Island #1	2005
	Fort Calhoun	2006
	South Texas PJ#1	(2009)
	South Texas PJ#2	(2010)
	San Onofre #2	(2011)
San Onofre #3	(2012)	
加圧器	Fort Calhoun	2006
蒸気発生器	Fort Calhoun	2006
	San Onofre #2	(2008)
	San Onofre #3	(2009)
タービン	Laguna Verde #1 (MEXICO)	1975
	Laguna Verde #2 (MEXICO)	1975

### ヨーロッパ

	プラント	納入
原子炉容器	Olkiluoto #3 (FINLAND)	(2006)
上部原子炉容器	Ringhals #2 (SWEDEN)	1996
	Ringhals #3 (SWEDEN)	2004
	Ringhals #4 (SWEDEN)	2005
蒸気発生器	Tihange #1 (BELGIUM)	1995
	Tihange #2 (BELGIUM)	2001
	Doel #2 (BELGIUM)	2004
	Unit F (FRANCE)	(2008)
	Unit G (FRANCE)	(2008)
シミュレータ	Novovoronezh Training Center (RUSSIA)	1996
タービン	Vandellos #2 (SPAIN)	1999
	Krsko (SLOVENIA)	2006

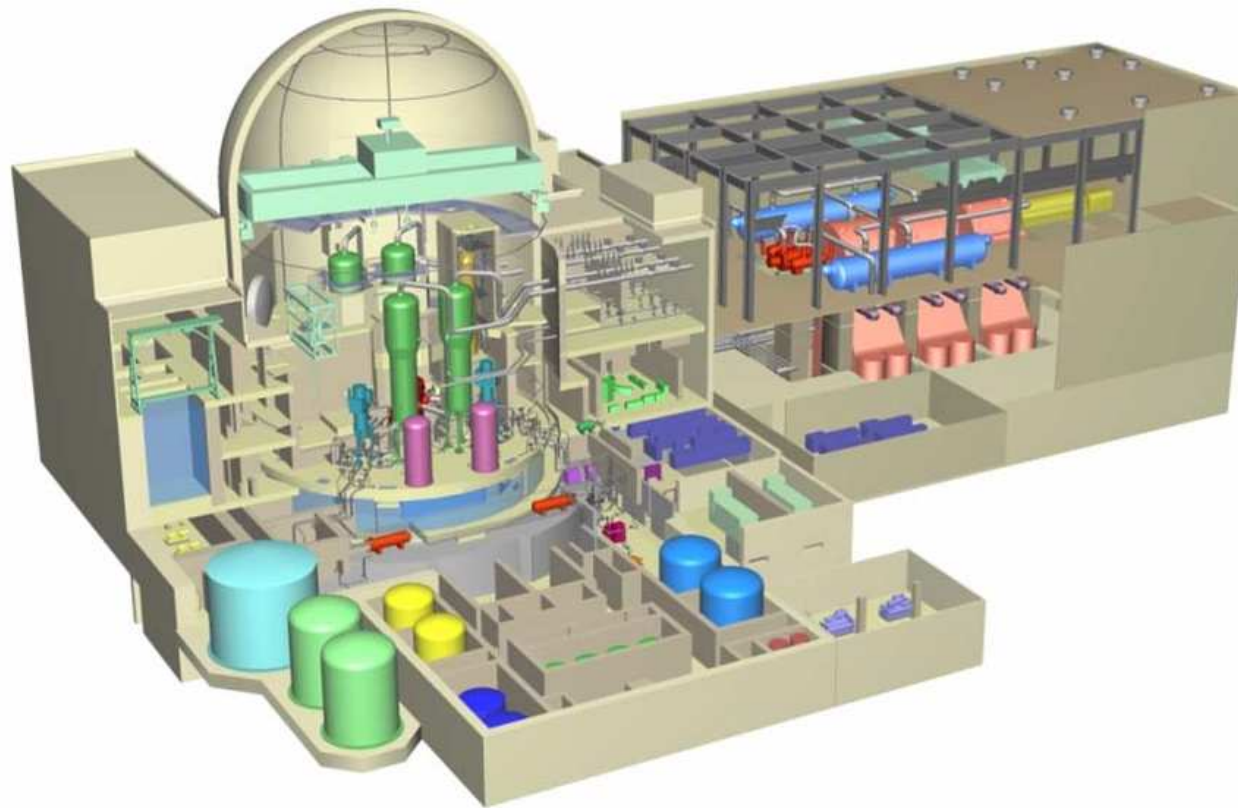
## 3. 世界戦略炉の開発と市場投入

### 世界最先端技術の活用による戦略炉の具体化

- **大型戦略炉 (US - APWR) の市場投入**
  - ・ 大規模出力需要に応える最新鋭大型炉
  - ・ 検証済みAPWR技術を活かした自主開発炉
  - ・ 米国認証取得と早期市場投入
- **中型戦略炉 (ATMEA1) のAREVAとの共同開発**
  - ・ 世界的に需要の大きい110万kWクラスPWR
  - ・ 共同開発による 性能No.1中型炉の早期市場投入  
(両社最先端技術の盛り込み)
- **小型戦略炉 (PBMR) の開発**
  - ・ 電力需要地近接の分散型小型炉
  - ・ 三菱の総合技術力を活かした実証機の早期建設

## 3.(1) 大型戦略炉の市場投入

### - US-APWRの米国展開 -



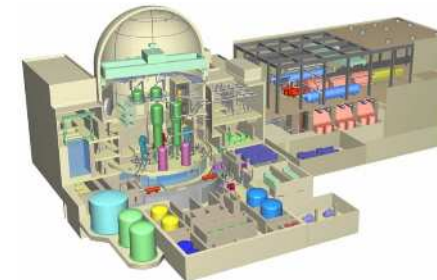


# US-APWRの特徴

## 米国電力の早期実現ニーズへの適合

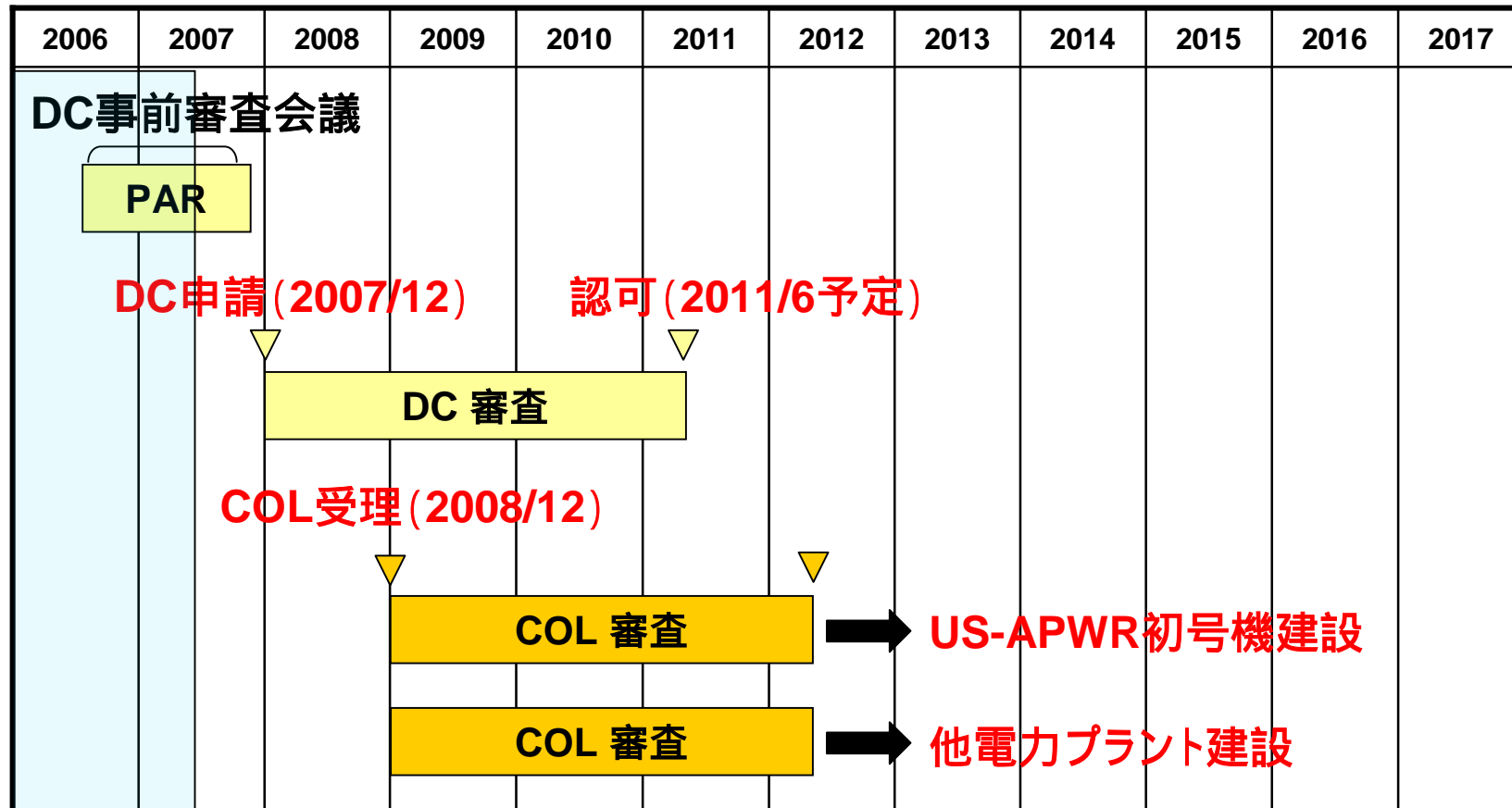
国内APWRをベースに大出力化

- 世界最大級の電気出力(170万kWクラス)
- 24ヶ月連続運転による燃料経済性の向上
- 世界トップレベルの安全性・信頼性
  - ・ パッシブ技術とアクティブ技術のベストミックス
  - ・ 航空機落下対策
- 目標建設工期 41ヶ月



# US-APWRの米国市場早期投入

- 国内PWRで検証済の技術をベースに、短期間でDC申請
- 客先と一体となり、COLのDCとの並行審査を計画



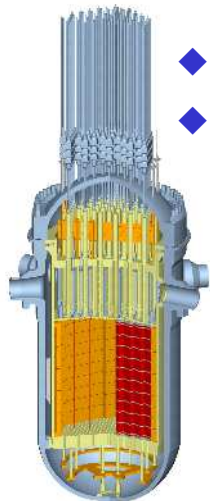
DC : Design Certification    COL : Combined License

# US-APWRの主要技術

## 大出力と燃料経済性の両立

## 安全性・信頼性・保守性の向上

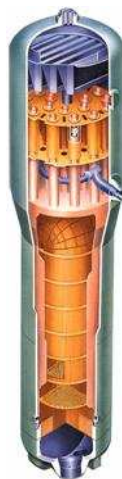
### 炉心



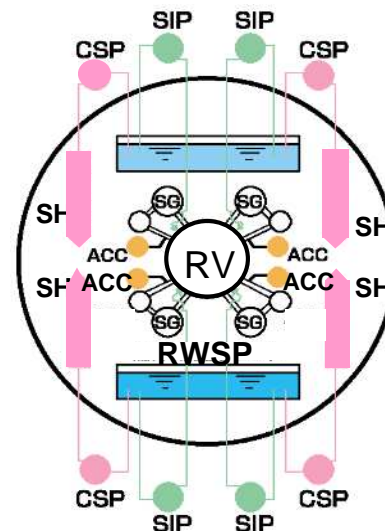
- ◆ 14ft燃料
- ◆ 中性子反射体

- ◆ 高性能気水分離器
- ◆ 高性能湿分分離器
- ◆ コンパクトサイズ

### 蒸気発生器



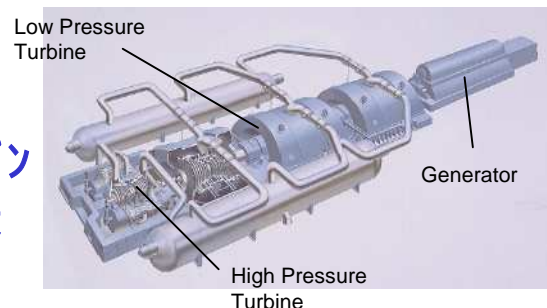
### 非常用炉心冷却システム



- ◆ 独立4トン
- ◆ パッシブとアクティブのベストミックス (高性能蓄圧タンク)
- ◆ 格納容器内燃料取替用水タンク

### タービン

- ◆ 70インチ級長翼低圧タービン
- ◆ インテグラルシュラウド翼構造



### I & C

- ◆ 総合デジタル化
- ◆ コンパクトコンソール





# US-APWRの主要技術検証

## ■ 各種主要技術の検証試験



蒸気発生器気水分離器実圧試験



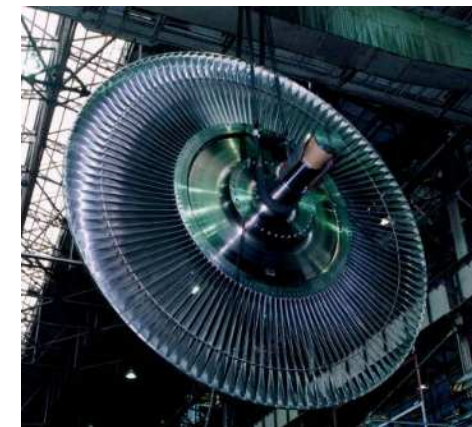
炉内構造物総合流動試験



高性能蓄圧タンク実圧注入試験



蒸気発生器Uチューブ耐震試験



低圧タービン回転試験



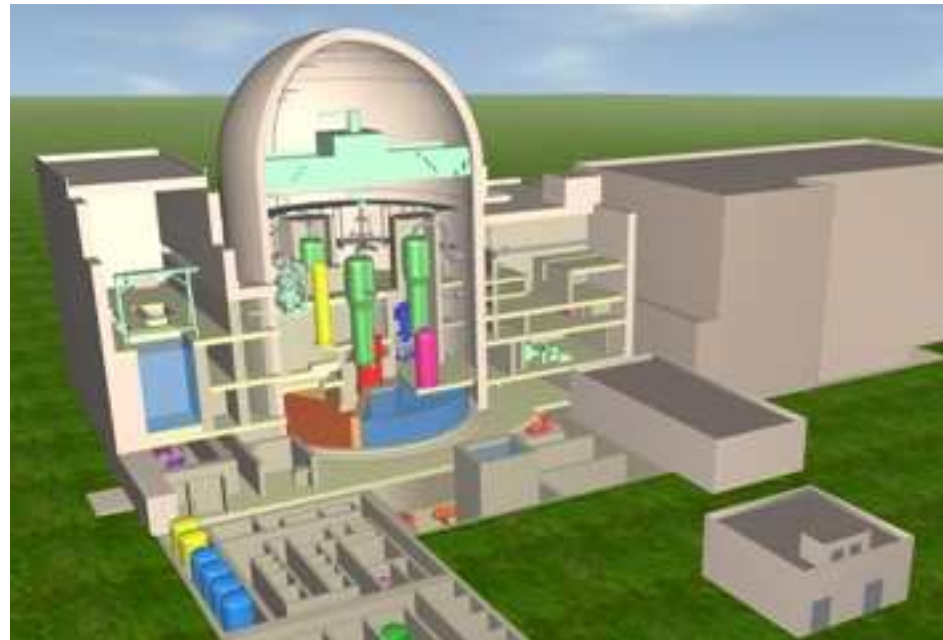
# US-APWRの主要性能

世界最高レベルの性能

		US-APWR
電気出力		170万kWe級 (Gross)
プラント効率		~ 39% (Gross)
炉心性能(ウラン消費量)		既設から 18%低減
運転サイクル		24%カ月
信頼性	稼働率	95.7%以上
	計画外停止率	0.1回 / 炉年以下
運転保守性		4トレン化に伴う オンラインメンテナンス
建設工期		41ヶ月

## 3 . (2) 中型戦略炉の開発

### - ATMEA1 の共同開発 -



# ATMEA1 開発の経緯

## 世界トップの総合力を持つ、2大原子力メーカーの協調

最新技術を融合 (US-APWR、EPR)

ノウハウ、人的資源の共有

シナジー効果の発揮

- ・ 原子力分野で 12工場 ➡ 機器製作などのボトルネック回避
- ・ 120基以上の商用原子力発電プラントで蓄積した建設経験

既に、概念設計完了 : 2006.10 ~ 2007.6

設計・拡販のためのJV: ATMEA社を設立予定 : 2007.10

➡ 開発期間半減で早期市場投入

# ATMEA1 国際市場への展開

## 世界中で建設・運転可能

### 広い規制適合性

- IAEA、米国、欧州、日本の安全基準に適合
- 各国電力要求にも広く対応：URD(米国)、EUR(欧州)
- 実証された技術を利用、低い許認可リスク

### 第3世代炉としての安全性

- CDF, LRFを従来炉から一桁改善
- シビアアクシデント時も格納容器の健全性を長期にわたり確保
- 航空機落下に耐える設計

### 建設サイト、送電線条件に対する柔軟性

- 1000–1150MW(net)、中クラスの送電容量にも対応
- 高耐震地域にも対応可能
- 50Hz/60Hzに対応

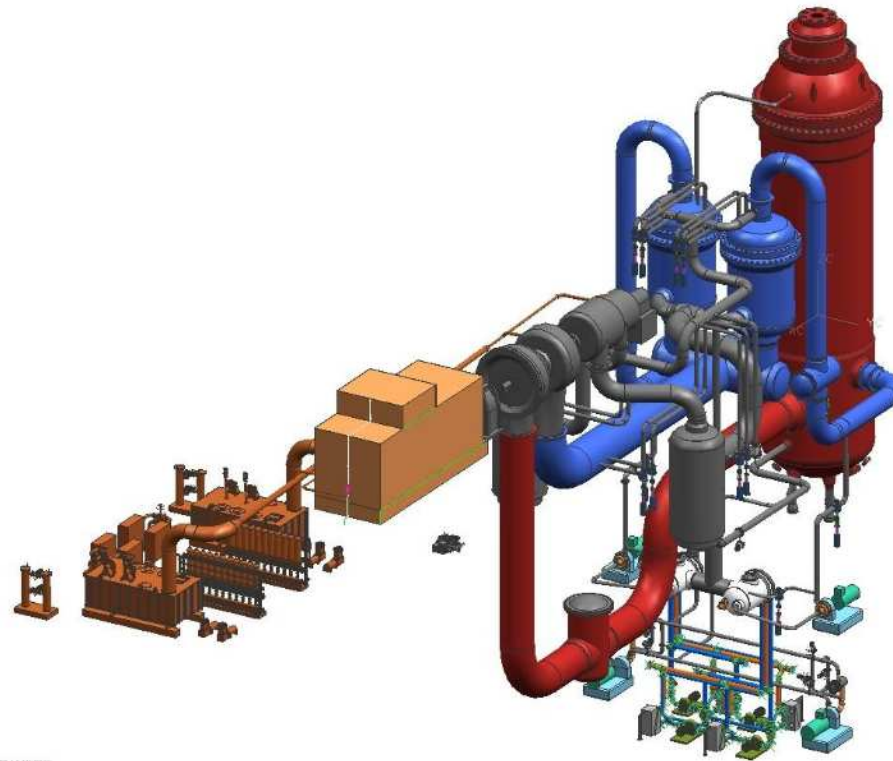


# ATMEA1 主な運転性能

- 出力： 1000-1150MWの送電端出力レンジ
- 熱効率： 37%(net)、世界最高水準
  - 必要な熱エネルギーを従来プラントよりも約10%低減
- 稼働率： 92%以上
  - 通常定検16日以下
  - 運転中保守に対応
- 運転柔軟性
  - 12ヶ月～24ヶ月の運転サイクル期間
  - 1/3～100%のMOX燃料装荷
  - 幅広い負荷追従運転、周波数調整運転能力
- 最新のマンマシンインターフェイス

## 3 . (3) 小型戦略炉の開発

### - PBMR開発 -



# PBMRの開発

PBMR: Pebble Bed Modular Reactor

【PBMRの特長】

電力需要地近接型の高温ガス炉

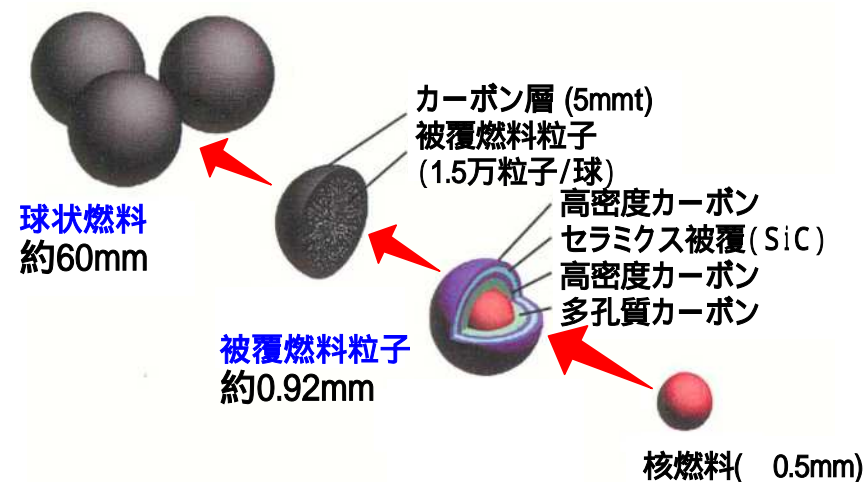
- 安全性: 炉心溶融のおそれのない固有の安全性
- 運転性: 炉を停止することなく燃料の供給・取出しが可能

冷却材: ヘリウムガス (非放射化媒体)

モジュール型: 電力需要に応じて増設可能

燃料: ペブルベッド燃料

(酸化ウラン粒子 + 黒鉛粉末 球状に圧縮成型)



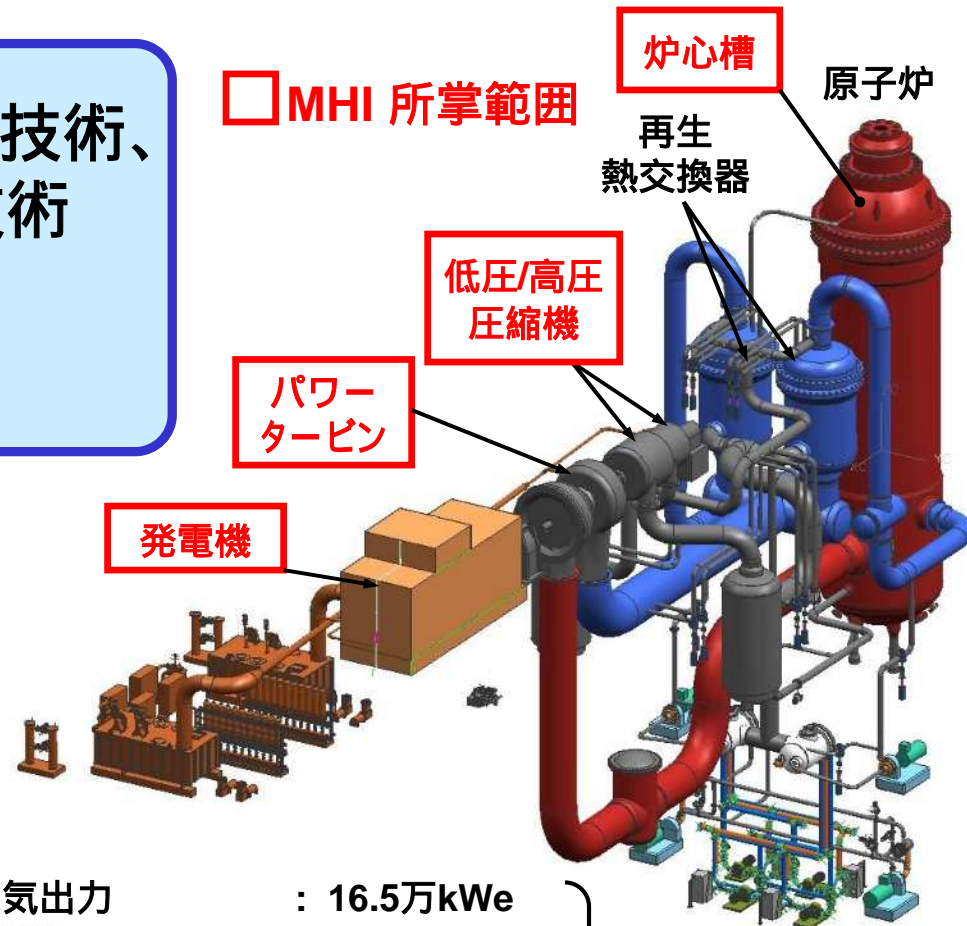
# PBMRプロジェクト

当社は、2001年からPBMRプロジェクトに参画

- 三菱重工業のガスタービン技術、原子力機器の設計・製造技術
- +
- PBMR社のガス炉技術

[顧客]: Eskom社  
(南アフリカの電力会社)

実証機: クバーグに建設予定  
運転開始: 2013年



- 電気出力 : 16.5万kWe
- 発電効率 : > 40%
- 原子炉出/入口温度 : 900°C/500°C



## 4. 核燃料サイクルの確立と国際展開

核燃料サイクル分野での長年の広範囲な実績と  
最先端技術に基づく国策への積極貢献

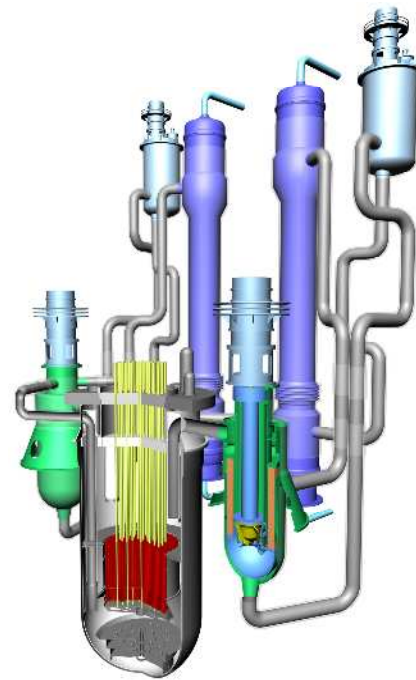
### (1) 高速増殖炉 (FBR) の開発

- ・ 「常陽」「もんじゅ」での実績に基づく FBR 技術の活用
- ・ 三菱 FBR システムズ (MFBR) の設立
  - ➡ FBR 実証炉、実用炉への開発推進
- ・ 国際プログラム (GNEP) に応募済 (AREVA と共同)

### (2) 燃料サイクルへの取組み

- ・ 燃料サイクル全分野への参画 ➡ サイクル確立への貢献
- ・ 世界最先端の六ヶ所再処理工場の主要機器設計・製作
- ・ 第二再処理工場、六ヶ所 MOX 燃料工場建設への参画

## 4 . (1) 高速増殖炉 (FBR) の開発



# FBRの実用化に向けて

● 経済性向上

● 発電実証

実用炉[2050年までに]  
(電気出力150万kWe)

● 高速中性子技術

● ナトリウム技術

実験炉「常陽」  
(炉出力14万kWt)



FBR成立性の実証  
燃料・材料の照射データ  
の蓄積

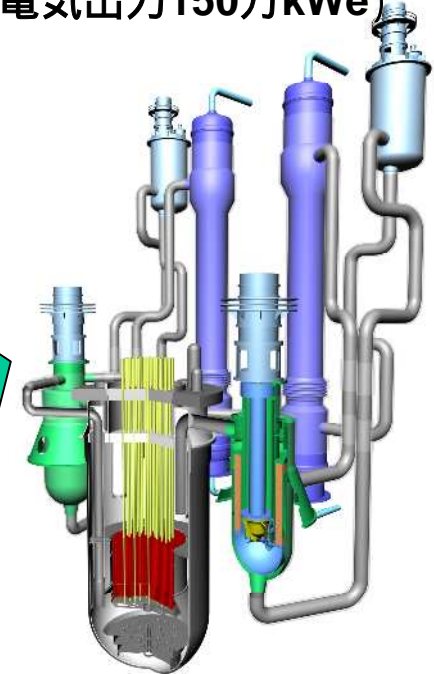
原型炉「もんじゅ」  
(電気出力28万kWe)



発電の実証  
ナトリウム技術の確立

次期炉  
[2025年運開]

革新技術の実証



三菱FBRシステムズ 主体で推進

# 三菱重工業提案のループ型炉



革新技術で  
実用炉に選定

## 【革新技術の特長】

スケールアップ効果  
(150万kWeツインプラント)

高強度の高クロム鋼

完全自然循環型  
崩壊熱除去系

L字配管  
(配管短縮化)

原子炉容器径  
の縮小(10m台)

2ループ  
(ループ数削減)

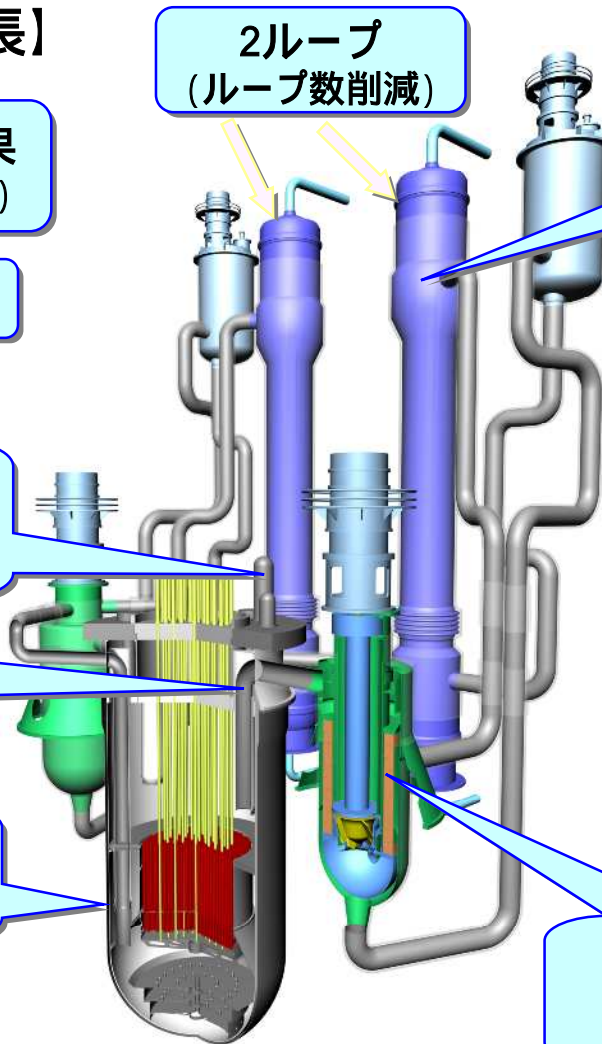
2重管蒸気発生器  
(ナトリウム水反応防止)

安全性・経済性の向上

## 仕様

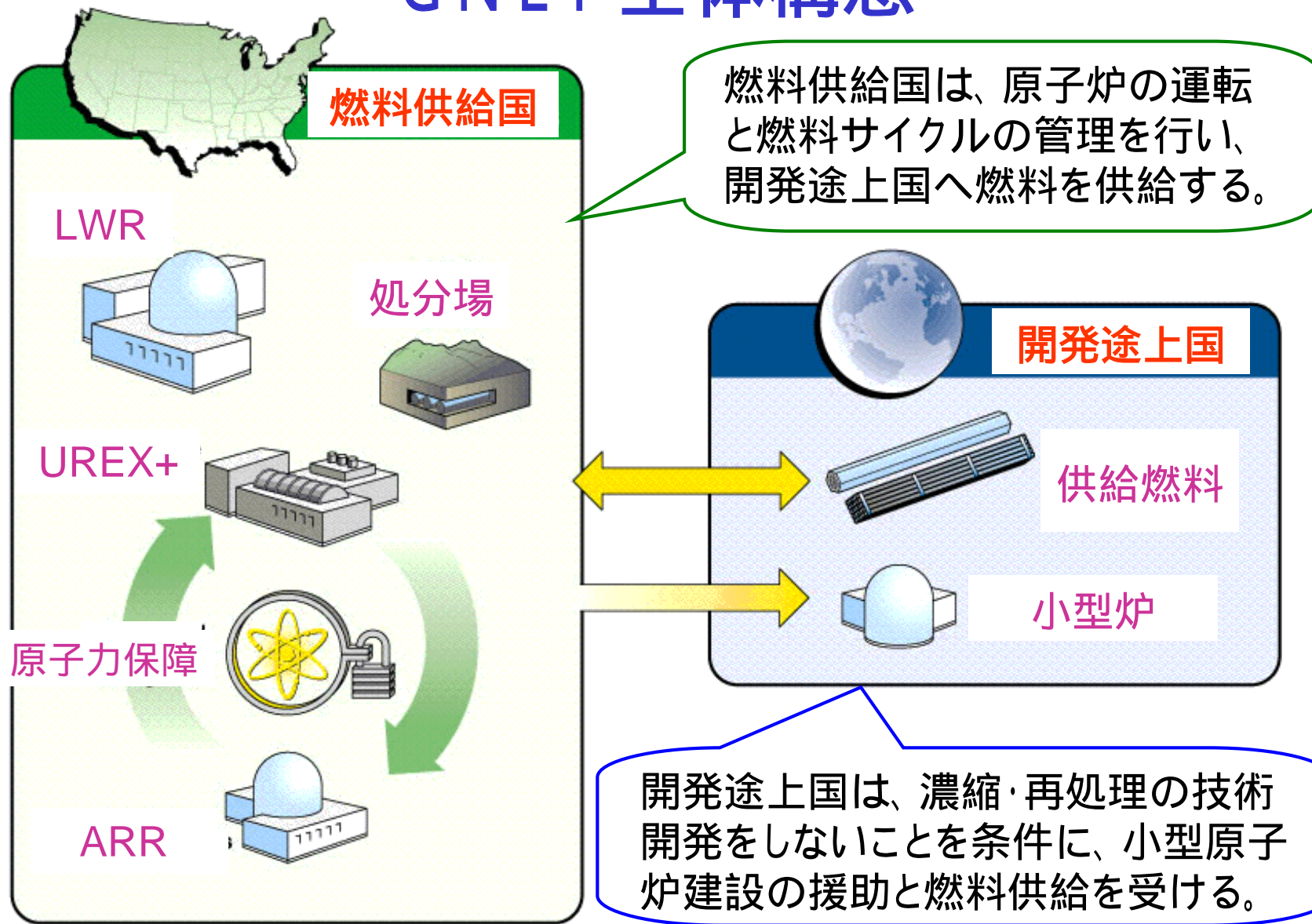
- ・ 電気出力: 150万kWe
- ・ 2ループ
- ・ 混合酸化物(MOX)燃料
- ・ 発電効率: 42.5%

ポンプ組込型  
中間熱交換器





# GNEP全体構想



米、日、仏、英、露、中の6ヶ国

(GNEP: Global Nuclear Energy Partnership)

# 米国のGNEP計画に提案

- プルトニウム等を燃焼させる先進リサイクル炉 (ARR) と、使用済燃料を再処理する統合核燃料取扱センター (CFTC) の一括提案を米国DOEが募集

ARR: Advanced Recycling Reactor

CFTC: Consolidated Fuel Treatment Center

- 三菱重工とAREVAが共同提案 (日本原燃及び複数の米国企業が参加)

ARR: 三菱がリーダー

CFTC: AREVAがリーダー (日本原燃が協力)

- 提案は、文部科学省、経済産業省、電気事業連合会、日本原子力研究開発機構、日本原燃などとの協議を経て実施
- ARRとして、日本型高速炉 (ナトリウム冷却ループ型高速炉) を採用
- 日本型高速炉の世界標準化を目指す
- 世界的な核エネルギー資源の有効利用、地球環境保全、核拡散のリスク軽減に貢献

複数の米国企業: ワシントングループ (Washington Group International)、BWXテクノロジーズ (BWX Technologies, Inc.)、バットル・メモリアル (Battelle Memorial Inc.)

# GNEPの実施内容及びスケジュール

## ■ 実施内容

### (1) 概念検討

ARR / CFTCの施設概念を検討

### (2) 技術開発ロードマップ

ARR / CFTCを実現するための技術開発ロードマップを策定

### (3) ビジネスプラン

ARR / CFTCの実用化シナリオとビジネスプランを構築

### (4) コミュニケーションプラン

ARR / CFTCに対する一般的な理解促進と有識者等からの支持を得るための方策を検討

## ■ スケジュール

2009年9月までを3つのフェーズに分けてARR / CFTCの検討を推進  
(初期フェーズ：概略検討 ~ 2008年2月)

## 4 . (2) 燃料サイクルへの取組み



# 燃料サイクルへ全分野への参画

## ■ 再処理工場

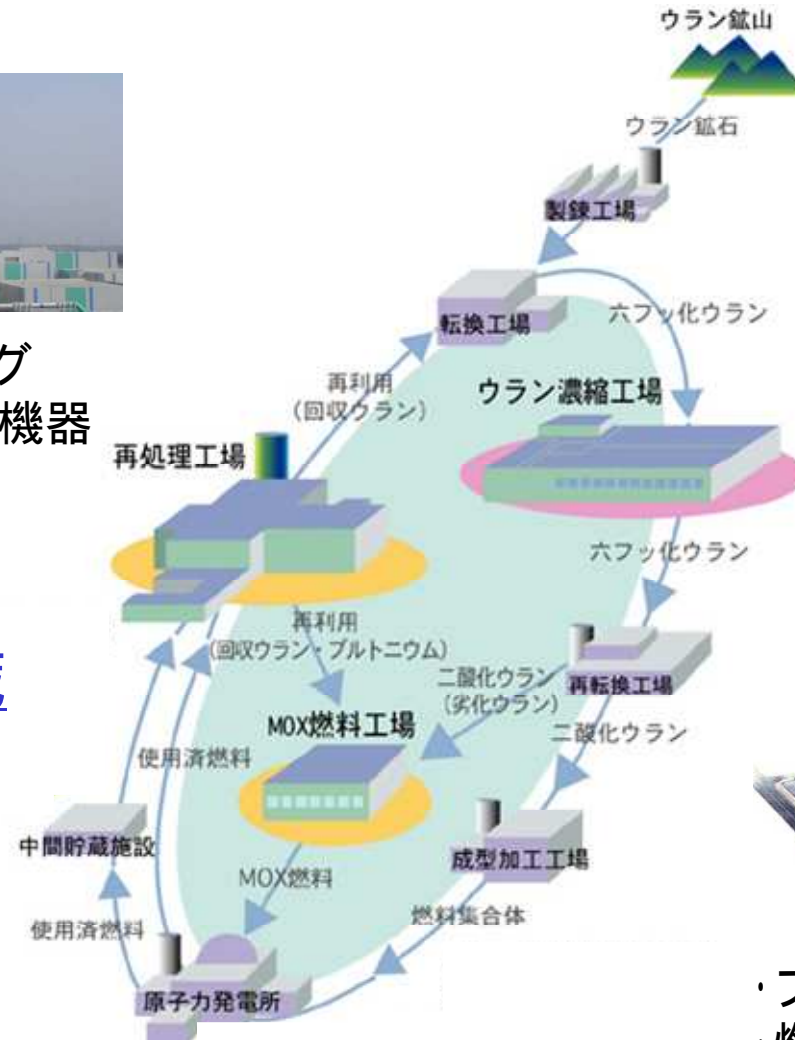


- ・プラントエンジニアリング
- ・主工程(せん断・溶解)機器の設計・製作
- ・運転支援・保守

## ■ 燃料輸送・貯蔵



- ・新燃料輸送キャスク
- ・使用済燃料輸送・貯蔵キャスク



## ■ ウラン濃縮工場



- ・遠心分離機更新用  
周辺設備の設計・製作

## ■ MOX燃料工場



- ・プラントエンジニアリング
- ・燃料棒加工・集合体組立  
設備の設計・製作

# 六ヶ所再処理工場の主工程機器設計・製作

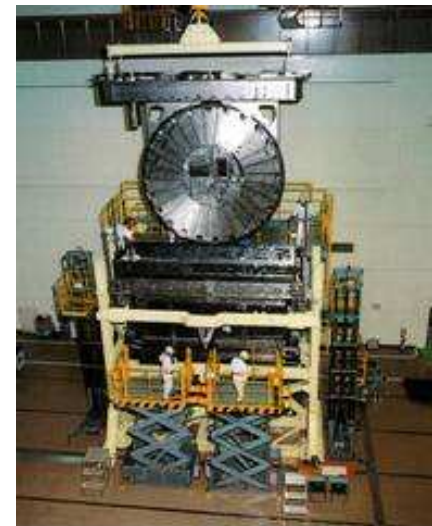
## 当社取りまとめ主工程機器

- 燃料集合体せん断設備
- 溶解設備
  - 燃料成分の溶解と廃棄物(被覆管等)の分離設備 -

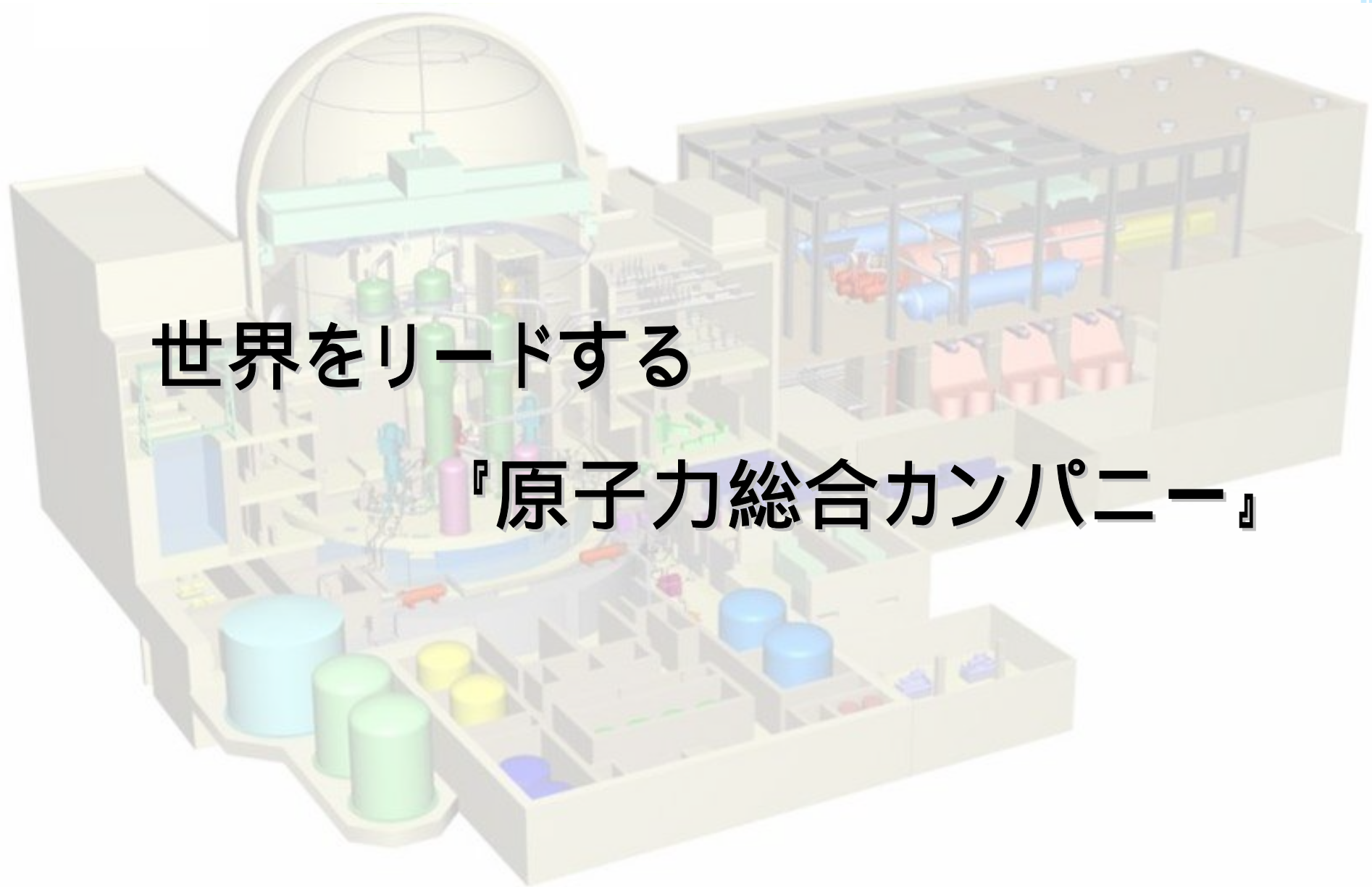
- 三菱重工が、施工取りまとめ
- 世界注目する再処理工場
- 世界最新の核不拡散性の高い処理技術 → 混合脱硝
- 第二再処理工場への参画



使用済燃料集合体せん断技術



耐硝酸性材料(ジルコニウム)での製作技術



世界をリードする

『原子力総合カンパニー』