

本資料は2001年11月30日付で  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

## FBRプラント建設コストの削減効果の分析

1990年8月

動力炉・核燃料開発事業団

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

配布限定



## F B R プラント建設コストの削減効果の分析

谷山 洋<sup>1</sup> 中西征二<sup>2</sup>

### 要 旨

本資料は、昭和63年度の第24回研究開発幹部会へ報告されたものを事業団におけるF B R 実用化シナリオ検討の出発点となる成果であると判断し、限定資料として登録し印刷したものである。

---

<sup>1</sup> 動力炉技術開発部

<sup>2</sup> 大洗工学センター技術開発部技術管理室

## F B R プラント建設コストの削減効果の分析

### 目 次

1. 原型炉→実用化炉段階における建設コスト	1
2. 建設コスト削減効果の分析	1
2.1 原型炉→実証炉段階	1
2.2 実証炉段階→実用化炉段階	3
資料1：原型炉から実用化炉への各段階における建設コスト	4
資料2：建設コスト削減効果の分析	5
参 考：米国軽水炉の建設単価の変遷	23

本資料は、動燃における「常陽」、「もんじゅ」の研究開発・設計・建設・運転経験、大型炉の研究開発・設計研究経験等にもとづき、FBRプラント建設コストの削減効果について分析したものである。

## 1. 原型炉→実用化炉段階における建設コスト(資料1)

原型炉から実用化炉の各段階におけるプラント建設コストについて、研究開発、設計、建設等のこれまでの経験・実績にもとづいて推定、積算あるいは目標設定を行った。

すなわち、プラント建設コストは実証炉段階(動燃1988年設計)ではLWR比約1.2\*の積算値が得られ、実用化炉段階(動燃1989年設計開始)ではLWR比1.0\*以下を目標として設定している。

\* 同規模のLWRの建設コストと比較した値(116万KWe PWRをベースとした推算値、NOAKコスト)

## 2. 建設コスト削減効果の分析(資料2)

### 2.1 原型炉→実証炉段階

原型炉「もんじゅ」から実証炉段階(動燃1988年設計)におけるコスト削減幅は、LWR比%で150%である。

コスト削減の設備別の内訳は、削減幅の大きい順に、

- ① 補助設備(42%)
- ② 燃取系設備(36%)
- ③ 原子炉設備(15%)

- ④ 一次系設備(13%)
- ⑤ T/G電気設備(13%)
- ⑥ 二次系設備(12%)

などである。( )内はLWR比%

上記には、各設備のコンパクト化による二次効果としての格納設備への削減効果(16%)、三次効果としての建屋、空調設備への効果(25%)が含まれている。

このようなコスト削減を可能にした主要因子・技術と、これらを採用できる理由を各設備ごとに分析し、これら各因子の削減効果の定量化を試みた。

コスト削減の要因を削減効果(二次、三次効果を含む)の大きい順に上げると、

- ① 使用済燃料貯蔵方式の合理化(28%)
- ② 二次系配管へのベローズ継手の採用(12%)
- ③ 電気信号系統への多重伝送方式の適用(9%)
- ④ コンクリート建屋一体型矩形格納施設の採用(9%)
- ⑤ IHXのフローティング・サポート(9%)
- ⑥ 燃料交換機・出入機の合理化(6%)
- ⑦ IHX・ポンプガードベッセルの削除(5%)
- ⑧ 原子炉容器の縮小(5%)

となった。( )内はLWR比%、推定値。

このような大幅なコスト削減は、新技術導入、関連技術進歩、設計合理化等によるが、特に「もんじゅ」の経験に負うところが大きい。

## 2.2 実証炉段階→実用化炉段階

実証炉段階(動燃1988年設計)から実用化炉段階(動燃1989年設計開始)における、コスト削減の目標幅は20%以上である。

このために実用化炉においては、前節で挙げたコスト削減技術に加えて、さらに多くの合理化、革新技術・システムの適用を図っていく必要がある。

実用化炉設計で、検討予定のコスト削減技術の中で効果が大きいと考えられているものは次の通り。

- ① 二次系削除(10%)
- ② 建屋免震(5%)
- ③ 機器一体化(5%) (二次系ありの場合)
- ④ 設計基準、設計・評価手法の合理化、高度化(5%)
- ⑤ 建屋縮小化(2~4%)
- ⑥ 高温、高熱効率化(2~3%)

( )内はLWR比%、概略見込み値。

以上示したFBRプラントの建設コスト削減の目標達成のため、実証炉及び実用化炉について、設計研究と研究開発の連携実施により開発目標、達成時期を具体化、明確化しつつ、プラントシステムの構築を進めていく必要がある。

原型炉から実用化炉への各段階におけ建設コスト

開発段階	プラント	コスト算定方法	LWR比単位出力 当り建設コスト*
原型炉	もんじゅ 28万KWe	プラント価額	7 (FOAK)
	もんじゅ 100万KWe**	スケール則で推定	4.7 (FOAK) 2.7 (NOAK)
実証炉	動燃 1988年設計 100万KWe	LWRベース積算	1.2 (NOAK)
実用化炉	動燃 1988年設計 (実施中) 150万KWe	目標	1.0以下 (NOAK)

\*FOAKコスト： 同種プラントのうち最初に建設するプラントの建設費(First-of-a-kind)。  
もんじゅの場合はさらに只1基(Only one-of-a-kind)。

NOAKコスト： 同種プラントを何基か建設して、習熟などにより一定値まで下がった時の建設費(N<sup>th</sup>-of-a-kind)。

\*\* 「もんじゅ」と同じシステム構成、プラント概念で100万KWeプラントを仮想して、このプラントの建設費を「もんじゅ」価額からスケール則(2/3乗則)で推定したものをFOAKコストとして示す。  
このプラントのコストをLWRベースの積算に基づいて推定したものをNOAKコストとして示す。この場合はNOAKコストはFOAKコストの43%減。

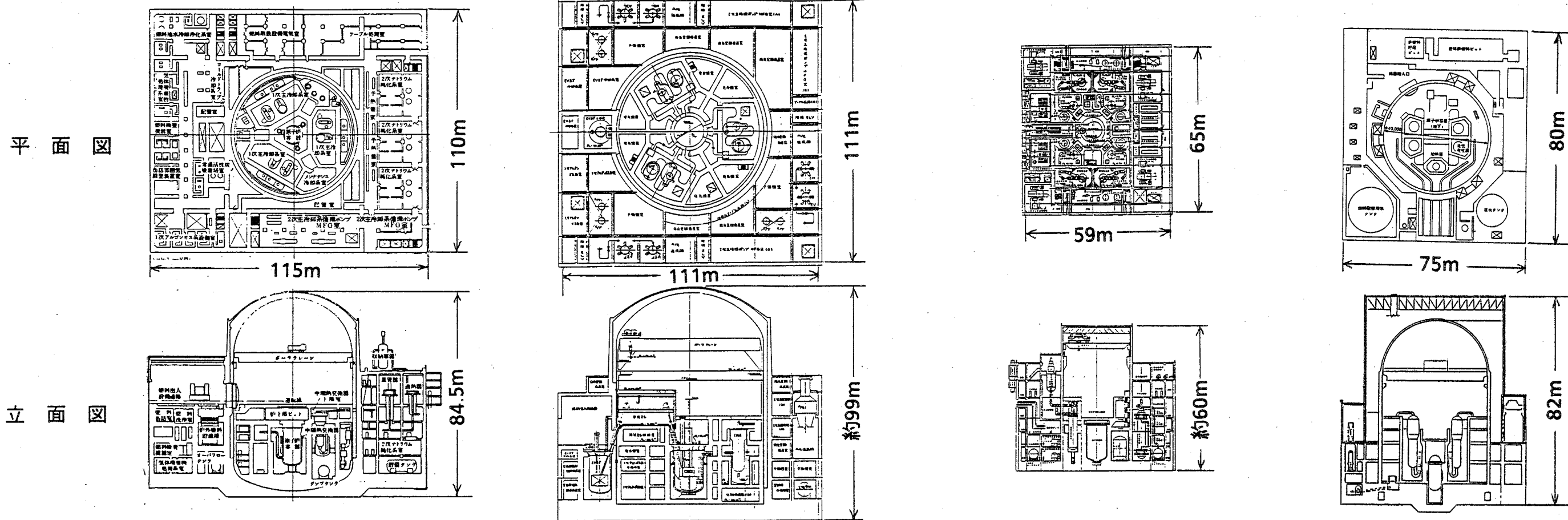


## 建設コスト削減効果の分析

## 目 次

- 図・表1 もんじゅ28万KWe → 1988年100KWe各プラントの主要仕様
- 図・表2 もんじゅ28万KWe → 1988年100KWe  
単位出力当たりの建設コスト(対LWR)
- 図・表3-a もんじゅ28万KWe → 1988年設計(100万KWe)の  
低減コスト内訳
- 図・表4 コスト低減効果の分析  
[もんじゅ28万KWe → 1988年設計(100万KWe)]
- 図・表5 コスト低減技術と研究開発 (1/9~9/9)  
主要コスト低減技術とそのコストダウン効果
- 図・表7 実証炉段階から実用炉段階への設計研究目標
- 図・表8 実証炉段階と実用炉段階の研究開発目標

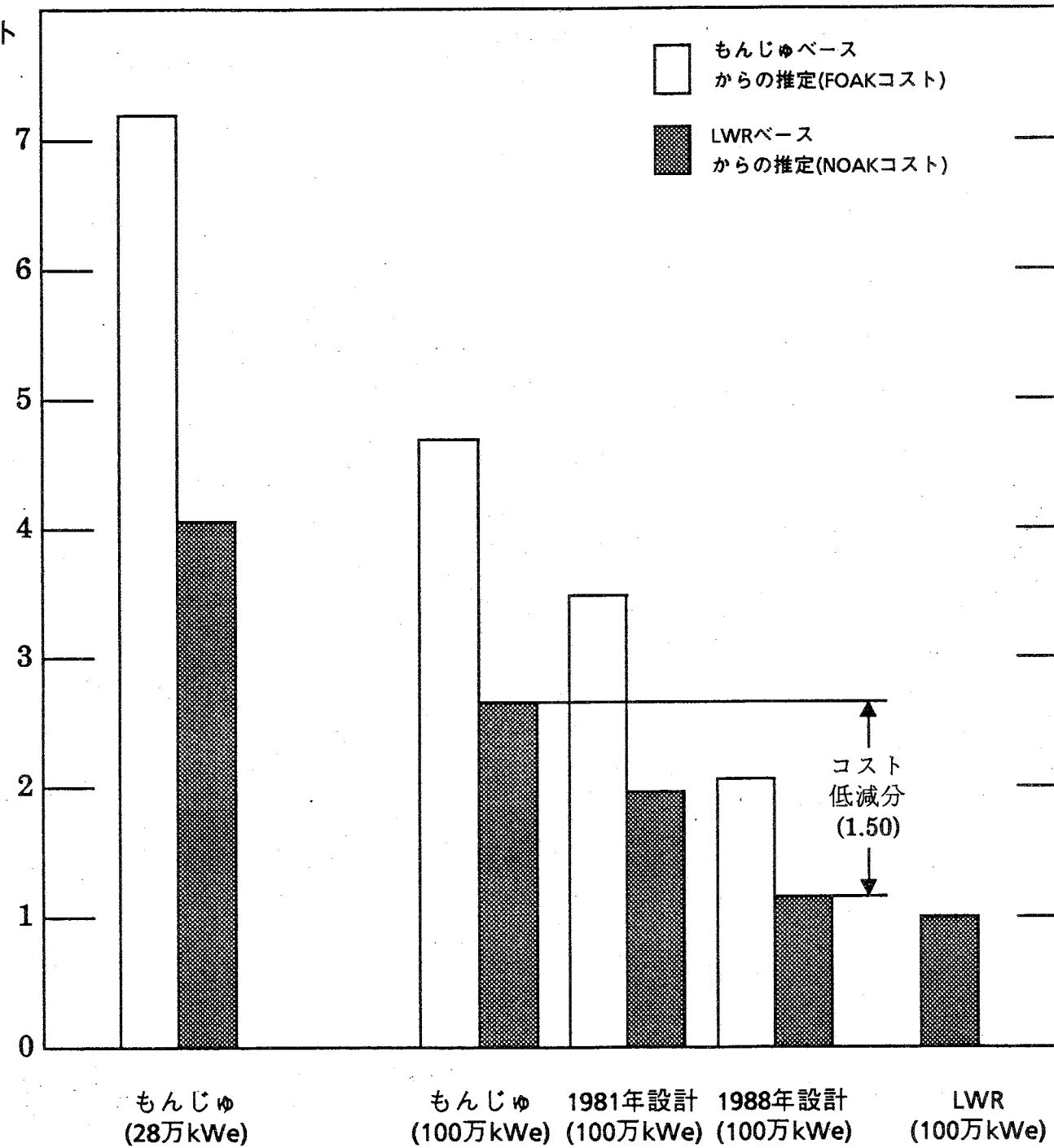
図・表 1 もんじゅ28万kWe→1988年設計100万kWe各プラントの主要仕様



	もんじゅ(28万kWe)	1981年設計(100万kWe)	1988年設計(100万kWe)	PWR(100万kWe)
狙い	<ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギーセキュリティの観点から、わが国の環境、技術力等の国情に適した高速増殖炉を自主開発する。</li> <li>高速増殖炉発電所の技術的性能についての見通しを得る。</li> <li>実用炉開発についての問題点を解明する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>「もんじゅ」プラント概念をベースにプラント全体の概念設計を行い、1000MWeプラントの概念を明らかにするとともに、実用規模の発電プラント設置に関する技術的基盤を確立した。</li> <li>プラントの性能及び経済性の向上を図るため、太径ピン燃料集合体、2重回転プラグオフセットアーム燃料交換方式、シュート・移送セル燃料出入方式などの多くの概念を示した。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種新技術を幅広く導入することによりプラント物量を削減し、建設コストにおいて軽水炉と同等のプラント概念を構築する。</li> <li>実証炉概念の達成に必要なR&amp;D項目及び開発目標を示す。</li> </ul>	
主要仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉出力 280MWe ・原子炉出口温度 529°C</li> <li>運転日数 5カ月 ・炉心材料 改良SUS316鋼</li> <li>集合体最大燃焼度 8万MWD/T</li> <li>原子炉容器 7.1m<math>\times</math>17.8m<math>\text{H}</math></li> <li>単回転・パンタグラフ方式燃料交換機/単円筒炉心上部機構/キャスクカー方式燃料出入機</li> <li>高所配管引返し</li> <li>有液面ヘリカルコイル分離貫流型(伝熱管材料は2<math>\frac{1}{4}</math>Cr-1Mo鋼/SUS321鋼)</li> <li>鋼製格納容器</li> <li>原子炉補助建物 115m<math>\times</math>100m ・冷却ループ数 3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉出力 1000MWe</li> <li>原子炉出口温度 530°C</li> <li>運転日数 12カ月</li> <li>原子炉容器 12m<math>\times</math>19m<math>\text{H}</math></li> <li>1次系ホットレグポンプ</li> <li>2重回転プラグオフセット方式燃料交換機</li> <li>シュート・移送セル燃料出入方式</li> <li>鋼製ハイブリッド型格納容器(64m<math>\times</math>89m<math>\text{H}</math>)</li> <li>原子炉補助建物 111m<math>\times</math>111m</li> <li>冷却ループ数 3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉出力 1000MWe ・原子炉出口温度 510°C</li> <li>炉心材料 改良オーステナイト鋼</li> <li>最大線出力(高線出力化) 430w/cm</li> <li>原子炉容器 8m<math>\times</math>15.7m<math>\text{H}</math></li> <li>3円筒型炉心上部機構</li> <li>IHXフローティングサポート方式配管/ペローズ継手配管</li> <li>一体貫流型SG(伝熱管材料は高クロムフェライト鋼)</li> <li>コンクリート建屋一体型矩形格納施設</li> <li>ガードベッセル兼用セルライナ</li> <li>低床応答(建屋埋込)</li> <li>原子炉補助建物大きさ 59m<math>\times</math>65m ・冷却ループ数 4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子炉出力 1000MWe</li> <li>原子炉出口温度/圧力 325°C/157kg/cm<math>^2</math>g</li> <li>炉心材料 ジルカロイ-4</li> <li>3.9万MWD/T</li> <li>原子炉容器 4.4m<math>\times</math>12.9m<math>\text{H}</math></li> <li>プレストレストコンクリート製格納容器 43m<math>\times</math>65m<math>\text{H}</math></li> <li>原子炉建物/補助建物 75m<math>\times</math>80m/65m<math>\times</math>79m</li> </ul>
建設費 (軽水炉比)	約 7 約 4	3.5 (もんじゅからの推定) 2.0 (軽水炉からの推定)	2.0 1.2	1.0

図・表 2 もんじゅ 28万kWe→1988年100万kWe単位出力当たりの建設コスト(対LWR)

LWR比  
建設コスト



前提条件

建設コスト (間接費は除外、土地、建物等、原子炉及び付属設備、機械装置は含まれる)

もんじゅ-28万kWe 約5,000億[推定]  
 もんじゅ-100万kWe  $5,000 \text{億} \times (100/28)^{2/3}$   
 LWR-110万kWe 約2,700億  
 LWR-100万kWe  $2,700 \text{億} \times (100/110)^{2/3}$

出力当たり建設コスト

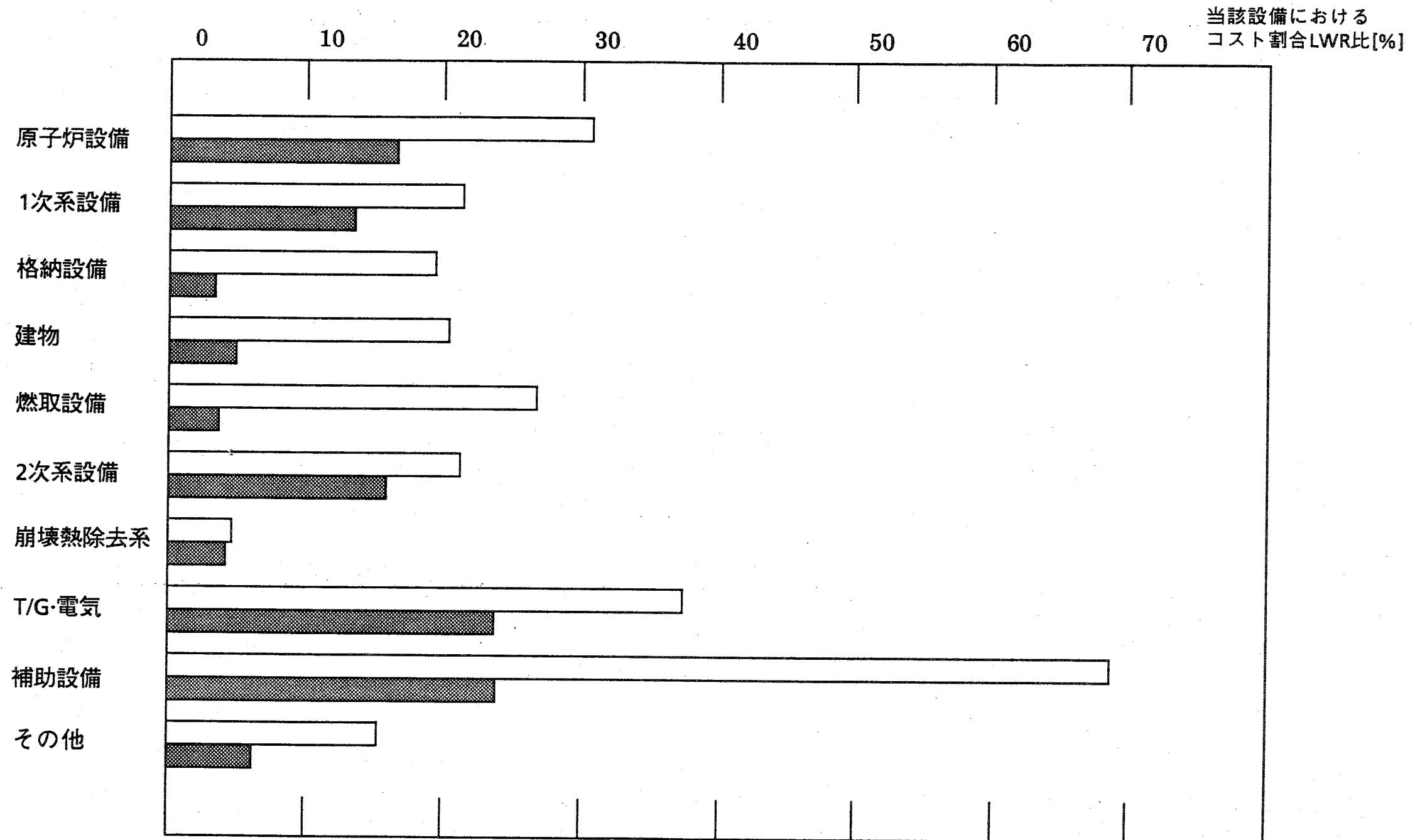
もんじゅ-28万kWe 178.9万円/kWe  
 もんじゅ-100万kWe 117.1万円/kWe  
 LWR-100万kWe 24.9万円/kWe

プラント	対LWR比	備考
もんじゅ (28万kWe)	約 7 約 4	
もんじゅ (100万kWe)	4.7 2.7	出力によるスケール則で推定
1981年設計 (100万kWe)	3.5 2.0	物量によるスケール則で推定
1988年設計 (100万kWe)	2.0 1.2	物量による積算

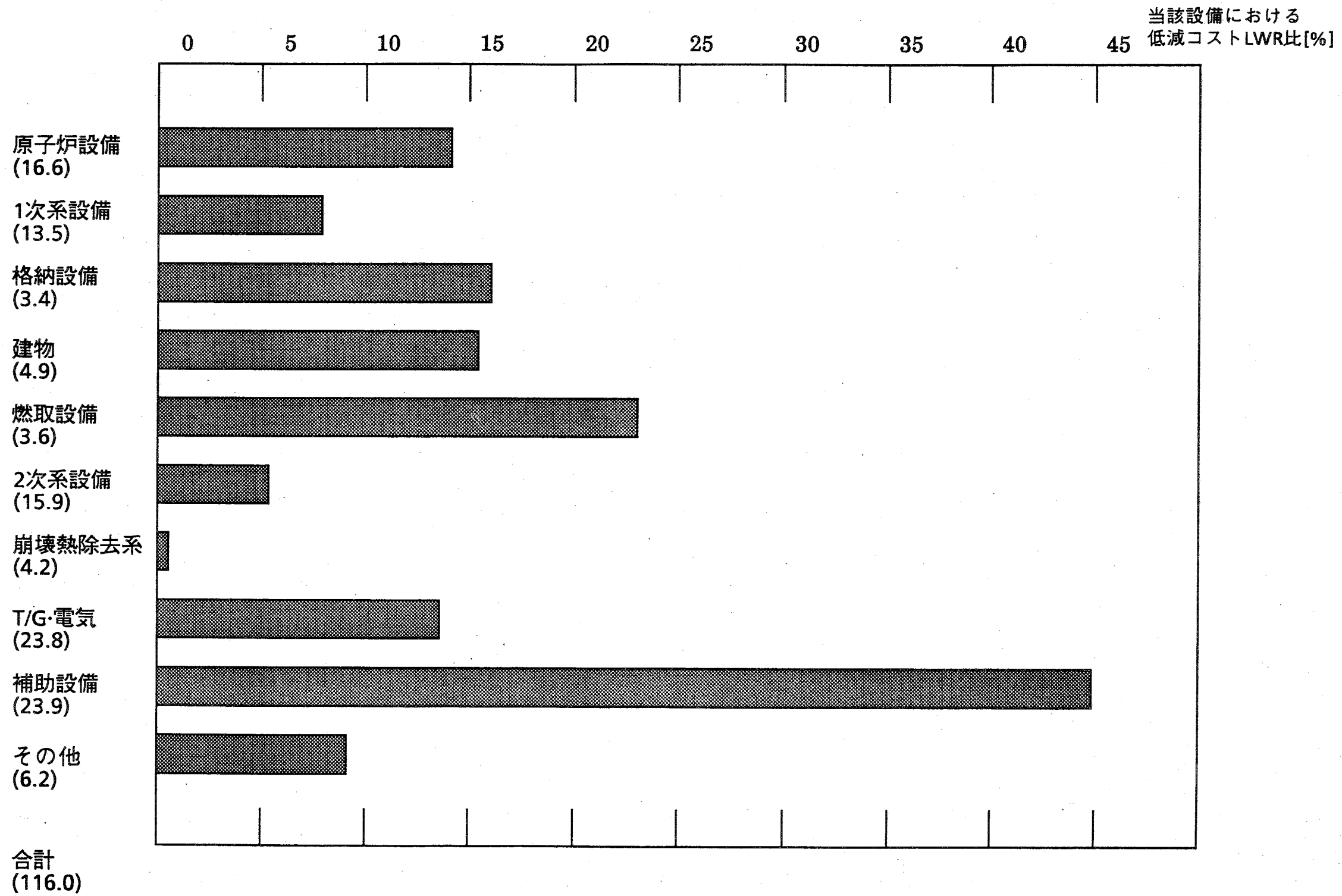
上段の値はもんじゅベースからの推定(FOAKコスト)  
 下段の値はLWRベースからの推定(NOAKコスト)

FOAK : First-of-a-kind  
 NOAK : Nth-of-a-kind

図・表3-a もんじゅ 100万kwe→1988年設計(100万kwe)のコスト低減



図・表3-b もんじゅ 100万kwe→1988年設計(100万kwe)の低減コスト内訳



( )内はコスト低減後の当該設備コスト割合

図・表4 コスト低減効果の分析 [もんじゅ100万kWe→1988年設計(100万kWe)]

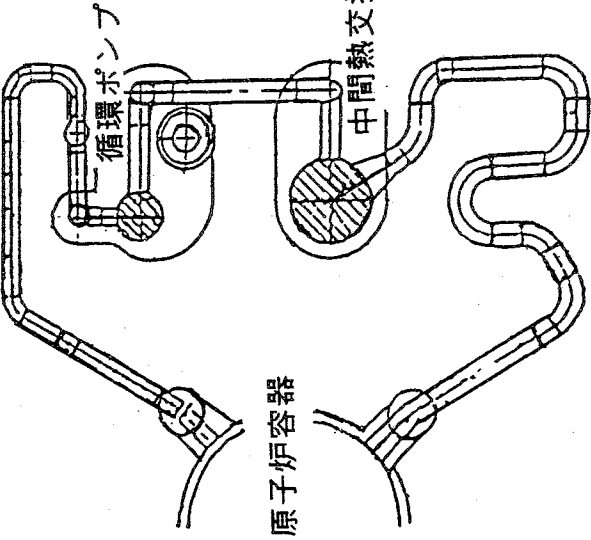
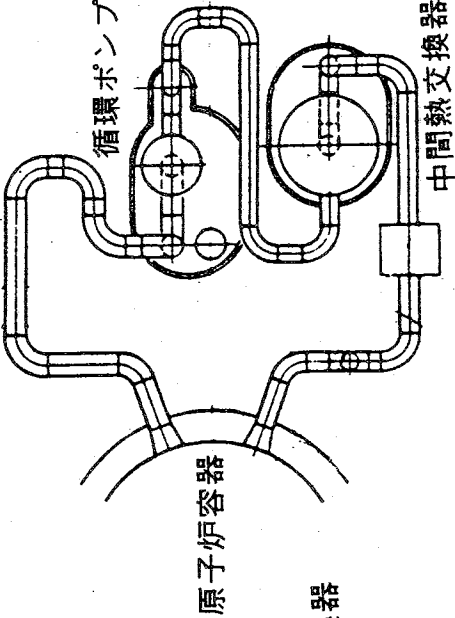
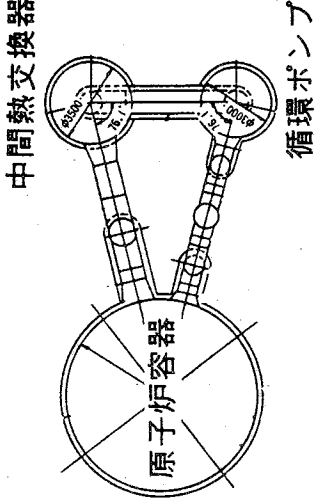
設備名	1次効果 (当該設備への効果)	2次効果 (格納設備への効果)	3次効果 (建屋・空調への効果)	要因別 合計	設備別 合計
原子炉設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>炉心のコンパクト化 [1.5]</li> <li>内部構造物のコンパクト化 [3.1]</li> <li>遮蔽プラグ径の縮小 [2.5]</li> <li>原子炉容器の縮小 [4.4]</li> <li>ガードベッセルの削除 [3.5]</li> <li>その他 [-0.9]</li> </ul>	→ 格納設備の縮小 [0.4]	<ul style="list-style-type: none"> <li>建屋の縮小 [0.1]</li> <li>空調設備の削減 [0.1]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[1.5]</li> <li>[3.1]</li> <li>[2.5]</li> <li>[5.0]</li> <li>[3.5]</li> <li>[-0.9]</li> </ul>	[14.7]
1次系設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>IHXフローティングサポート方式の適用 [3.6]</li> <li>IHXポンプガードベッセルの削除 [5.7]</li> <li>その他 [-1.4]</li> </ul>	→ 格納設備の縮小 [3.5]	<ul style="list-style-type: none"> <li>建屋の縮小 [0.9]</li> <li>空調設備の削減 [0.6]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[8.6]</li> <li>[5.7]</li> <li>[-1.4]</li> </ul>	[12.9]
格納設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート建屋一体型矩形格納施設 [8.7]</li> <li>その他 [0.6]</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>[8.7]</li> <li>[0.6]</li> </ul>	[9.3]
補助設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>オーバーフロー系の削除(1次系) [3.4]</li> <li>ドレンタンク削除(1次系) [2.4]</li> <li>メンテナンス冷却系の削除 [2.9]</li> <li>ドレンタンク共有化(2次系) [2.6]</li> <li>その他(補機冷却系、RAD設備等) [25.5]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 格納設備の縮小 [0.3]</li> <li>→ 格納設備の縮小 [1.5]</li> <li>→ 格納設備の縮小 [0.4]</li> <li>→ 格納設備の縮小 [0.6]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 建屋、空調 [0.1]、[0.1]</li> <li>→ 建屋、空調 [0.4]、[0.3]</li> <li>→ 建屋、空調 [0.1]、[0.1]</li> <li>→ 建屋、空調 [0.2]、[0.1]</li> <li>→ 建屋、空調 [0.8]、[0.5]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[3.9]</li> <li>[4.6]</li> <li>[3.5]</li> <li>[2.9]</li> <li>[27.4]</li> </ul>	[42.3]
燃取系設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>保持筒内ナトリウムポットEVS方式 [14.5]</li> <li>燃料交換機・出入機の合理化 [6.0]</li> <li>その他 [2.6]</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 建屋の縮小 [8.0]</li> <li>→ 空調設備の削減 [5.2]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[27.7]</li> <li>[6.0]</li> <li>[2.6]</li> </ul>	[36.3]
2次系設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>配管ベローズ継手方式の適用 [5.3]</li> <li>SGの一体貫流型化 [0.1]</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>→ 建屋の縮小 [3.8]</li> <li>→ 空調設備の削減 [2.5]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>[11.6]</li> <li>[0.1]</li> </ul>	[11.7]
崩壊熱除去系	<ul style="list-style-type: none"> <li>除熱容量の削減 [0.5]</li> </ul>			[0.5]	[0.5]
T/G電気設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>非常用DG台数の削減(2系統分離) [2.8]</li> <li>多重伝送の適用 [9.2]</li> <li>その他 [0.1]</li> </ul>		→ 建屋の縮小 [0.8]	<ul style="list-style-type: none"> <li>[3.6]</li> <li>[9.2]</li> <li>[0.1]</li> </ul>	[12.9]
他	<ul style="list-style-type: none"> <li>構築物・土地等 [9.4]</li> </ul>				[9.4]
計		[118.6]	[6.7]	[24.7]	[150.0]

[ ]内の値は低減コスト(LWR比%)

図表5 コスト低減技術と研究開発(1/9)

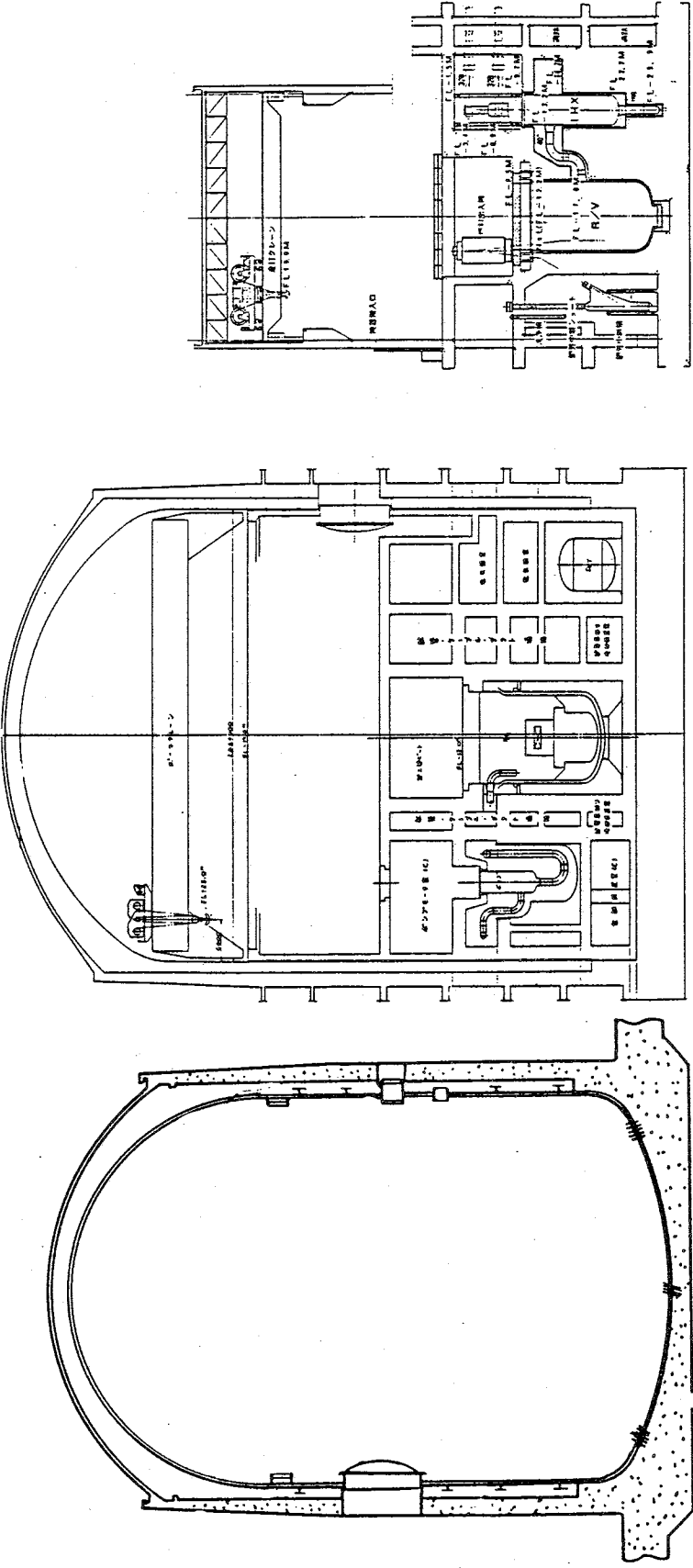
設備あるいは系統	原子炉設備	コスト低減分	もんじゅ100万KWe→1988年設計(100万KWe):14.7%
採用概念(形状・寸法)			
	<p>原子炉容器重量:284ton もんじゅ28万KWe</p> <p>原子炉容器重量:760ton 1981年設計(100万KWe)</p> <p>原子炉容器重量:228ton 1988年設計(100万KWe)</p>		
<p>コスト低減を可能にした 主要因子・仕様</p>	<p>原子炉容器の縮小・遮へいプラグの縮小 *新概念の採用</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>単回転プラグ</li> <li>一体円筒炉心上部機構</li> <li>固定アーム形パンタグラフ式燃料交換機</li> </ul> <p>原子炉容器の縮小・遮へいプラグの縮小</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>二重回転プラグ</li> <li>一体円筒炉心上部機構</li> <li>固定アーム形オフセット式燃料交換機</li> </ul> <p>原子炉容器の縮小・遮へいプラグの縮小</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>二重回転プラグ</li> <li>三円筒形炉心上部機構</li> <li>固定アーム形オフセット式燃料交換機</li> </ul> <p>霧囲気</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>予熱の削減</li> <li>同左</li> </ul> <p>霧囲気の高温化</p>		
<p>採用に至った理由</p>	<p>原子炉を確実に安全に運転するため、制御棒駆動機構を含む炉心上部機構と燃料交換機が互いに干渉することなく確実に作動するように設計している。</p> <p>制御棒駆動機構との整合性及び自然循環力への配慮から下部にベレットを置き、上部をプレナムとした。</p> <p>原子炉容器の縮小・遮へいプラグの縮小</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul> <p>炉心コンパクト化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul> <p>ガードベッセルの削除</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>同左</li> </ul> <p>Na漏洩時に確実にNaを保持し、コンクリートとの反応を防止</p> <p>(原子炉容器の縮小・遮へいプラグの縮小)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>FBR高温構造設計基準の整備</li> <li>炉内伝熱流動評価手法の高度化</li> </ul> <p>原子炉容器の縮小・遮へいプラグの削除</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>セルライナーの信頼性の向上の見通しを得られた。</li> </ul> <p>(ガードベッセルの削除)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>セルライナーの挙動および健全性評価試験</li> </ul>		

図表5 コスト低減技術と研究開発(2/9)

設備あるいは系統	一次系設備	コスト低減分	コスト低減分
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>原子炉容器 循環ポンプ 中間熱交換器</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>原子炉容器 循環ポンプ 中間熱交換器</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>原子炉容器 循環ポンプ 中間熱交換器</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">採用概念(形状・寸法)</p>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>配管長:112m/ループ もんじゅ28万KWe</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>配管長:130m/ループ 1981年設計(100万KWe)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>配管長:39.4m/ループ 1988年設計(100万KWe)</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">(配管短縮)</p>			
<p>コスト低減を可能にした 主要因子・仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高所配管引き回し</li> <li>・ポンプ・IHXのガードベッセルの削除</li> <li>・ガードベッセル設置</li> <li>・低温雰囲気</li> <li>・薄肉構造のため、機器固定支持とし、かつ高温による配管熱膨張差を配管引き回しで吸収している。</li> <li>・炉心冷却のための冷却材液位確保のためにガードベッセルを設けている。</li> </ul> <p style="text-align: center;">予熱の削減</p> <p style="text-align: center;">(配管短縮)</p>			
<p>採用に至った理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐震評価手法の改良および建屋埋め込みによる低床応答化により、成立の見通しがえられた。</li> <li>・上部より下げフローティング方式により過大な熱応力をさけられる見通しが得られた。</li> <li>・ガードベッセルを兼用したセラライナーの設置についてもんじゅで得られた評価手法により成立の見通しがえられた。</li> </ul> <p style="text-align: center;">予熱の削減</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高温に耐えない1次系機器は床下に設置しないようにした。</li> </ul> <p style="text-align: center;">(配管短縮)</p> <p>FBR高温構造設計基準の整備 床応答低減解析手法の高度化</p>			
必要とされるR&D			



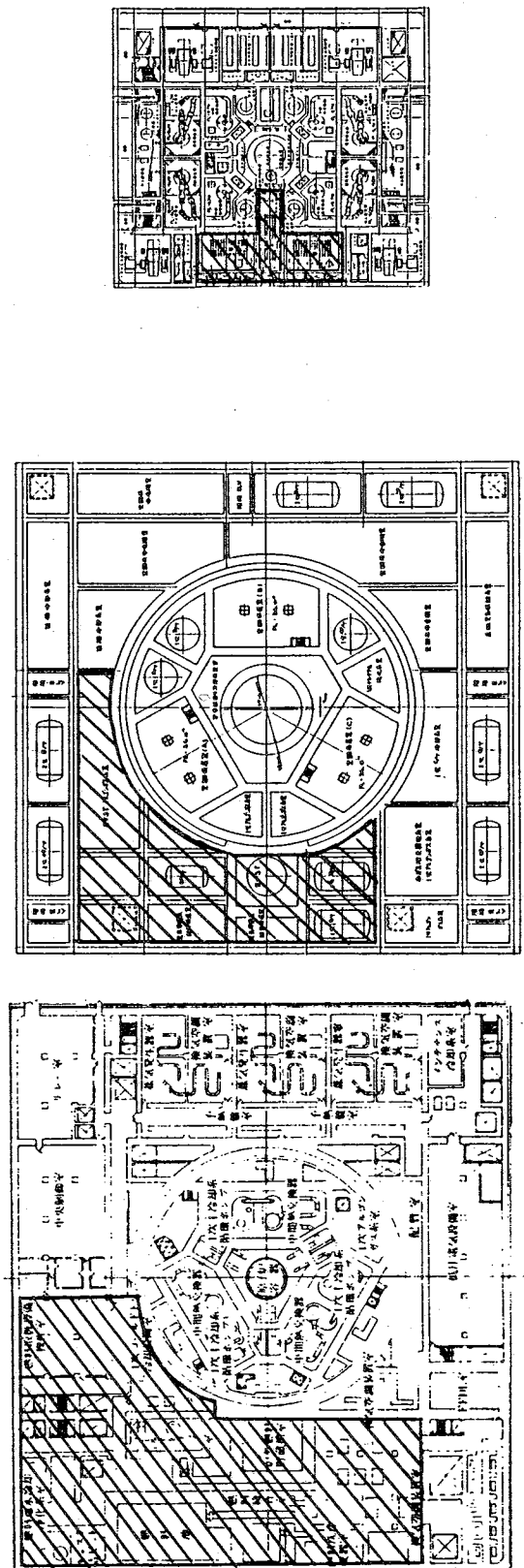
図表5 コスト低減技術と研究開発(3/9)

設備あるいは系統	格納設備	コスト低減分	コスト低減分
採用概念(形状・寸法)			
主要因子・仕様を決定する	<p>格納設備容積:13万m<sup>3</sup> もんじゅ 28万KWe</p> <p>鋼製円筒形格納容器</p>	<p>格納設備容積:35万m<sup>3</sup> 1981年設計(100万KWe)</p> <p>鋼製ハイブリッド円筒形格納容器</p>	<p>格納設備容積:4.8万m<sup>3</sup> 1988年設計(100万KWe)</p> <p>建屋一体形コンクリート製格納施設</p>
採用に至った理由	<p>格納施設の合理化</p> <p>深層防護の観点で、軽水炉(PWR)で実績のある鋼製格納容器を採用した。</p> <p>軽水炉等での実績面について優れており、実現性が高く、配置上の利用も考えられるため選定した。</p> <p>「もんじゅ」の安全評価を通しての安全評価・解析評価技術の高度化および国際協力を通してのFBRの特質をより良く生かすことにより、格納施設を整備される条件が緩和されたとした。(社会的な容認の努力が必要)</p>		
必要とされるR&D	<p>(格納施設の合理化)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ナトリウム漏洩火災、ソールスターム等に関する研究</li> <li>・事故時格納施設内挙動評価手法の開発・整備</li> <li>・炉心局所事故等の安全評価手法の整備</li> <li>・シビアアクシデント安全評価手法の整備</li> <li>・PSA手法の高度化</li> <li>・破壊力学に基づく漏洩破損口想定 of 合理化</li> </ul>		

図表5 コスト低減技術と研究開発(4/9)

設備あるいは系統	建屋等原子炉建屋 + 補助建屋	コスト低減分	もんにゅ100万KWe→1988年設計(100万KWe): 15.2%
採用概念(形状・寸法)	<p>原子炉建屋</p> <p>原子炉補助建屋</p> <p>建屋容積:62.4万m3 もんにゅ28万KWe</p> <p>建屋容積:90万m3 1981年設計(100万KWe)</p> <p>建屋容積:19.5万m3 1988年設計(100万KWe)</p>		
主要因子・仕様 コスト低減を可能にする	<p>機器の大きさ 主要配管引き回し 配置設計 格納施設 建屋のコンパクト化等 機器の縮小、配管の短宿化等によって決定されるが、合理的な配置設計によって建屋のコンパクト化がはかれる。</p>		
採用に至った理由			
必要とされるR&D			

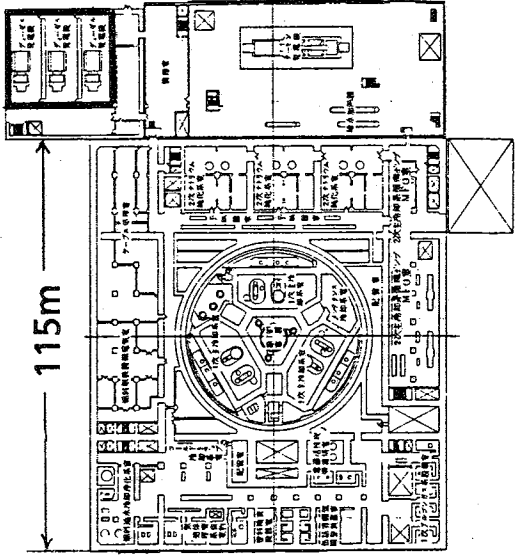
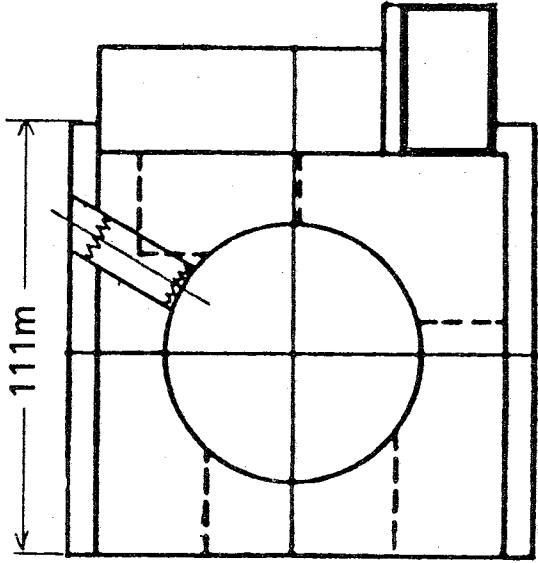
図表5 コスト低減技術と研究開発(5/9)

設備あるいは系統	燃取設備	コスト低減分	コスト低減分
<p>コスト低減分 もんじゅ 100万KWe → 1988年設計(100万KWe): 36.3%</p>			
採用概念形状・寸法			
コスト低減を可能にした主要因子・仕様	<p>燃取系占有面積:3600m<sup>2</sup> もんじゅ 28万KWe</p>	<p>燃取系占有面積:2400m<sup>2</sup> 1981年設計(100万KWe)</p>	<p>燃取系占有面積:370m<sup>2</sup> 1988年設計(100万KWe)</p>
採用に至った理由	<p>安全にまた確実に貯蔵できるように炉外貯蔵槽とした。水プールは常陽で実績がある。</p>	<p>使用済み燃料貯蔵設備の合理化 ・同左</p> <p>燃料交換機・燃料・出入機の合理化 ・固定アーム形パンタグラフ式燃料交換機 ・炉内中継機構/走行台車方式燃料出入機</p>	<p>使用済み燃料貯蔵設備の合理化 ・同左</p> <p>燃料交換機・燃料・出入機の合理化 ・固定アーム形オフセット式燃料交換機 ・シャフト/移送セル式燃料出入機</p>
必要とされるR&D	<p>(使用済み燃料貯蔵設備の合理化) ・高輻射率コーティング材料の開発 ・高温ガス洗浄法の実証試験 ・ガスキヤスクの実証試験</p>	<p>燃料交換機・燃料・出入機の合理化 ・燃料交換機として、原子炉運転時に容易に炉外に取り出しができ、パンタグラフ式より機構が簡易な固定アーム形オフセット式とした。燃料出入方式は燃料交換時間の短縮による炉の稼働率向上を狙ってシャフト/移送セル式とした。</p>	<p>(燃料交換機・燃料・出入機の合理化) 同左および燃料出入設備のコンパクト化と燃料交換時間の短縮化を狙ってシャフト/回転ツインチェーンバー式燃料出入機とした。</p> <p>・コスト低減効果のある保持筒方式とした。これらの方式を検討する上では、「もんじゅ」の開発や基礎技術開発で養われた解析・評価技術が使用され、その裏付けとなっている。</p>

図表5 コスト削減技術と研究開発(6/9)

設備あるいは系統	2次系設備	コスト削減分	コスト削減(100万KWe)→1988年設計(100万KWe): 11.7%
採用概念(形状・寸法)			
大きさ(物量)を決定する 主要因子・仕様	配管長:306m/ループ もんじゅ28万KWe 配管長:260m/ループ 1981年設計(100万KWe) 配管長:51m/ループ 1988年設計(100万KWe)	高所配管引き回し 同左 蒸気発生器のコンパクト化 分離型、液面無し 配管レイアウト設計 機器分散型 同左	配管短縮 同左 配管ベロース継ぎ手による熱膨張吸収方式 一体型、液面無し 同左
採用に至った理由	安全で確実に熱膨張変位を吸収するため、エルボの柔らかさを利用した通常の配管引き回しをおこなった。 同左 蒸気発生器のコンパクト化 SCCのため蒸発器には2.1/4Cr-1Mo鋼を、過熱器にはステンレス鋼を使用した。 同左 研究開発によって設計基準、製作基準、検査基準等が完備されつつあり、配管ベロース継ぎ手の2次系への適応見通しが得られた。 同左 Mod.9Cr-1Mo鋼の採用見通しが得られ一体型が可能となった。		
必要とされるR&D	(配管短縮) 第3種機器ベロース継ぎ手の設計基準、製作基準、検査基準の作成 (蒸気発生器のコンパクト化) 高クロム鋼の材料強度基準の整備 Na水反応テーパーベースの整備		

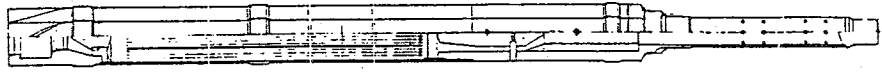


図表5 コスト低減技術と研究開発(7/9)

設備あるいは系統	タービン発電機・電気設備	コスト低減分	もんじゅ100万KWe→1988年設計(100万KWe): 12.9%
<p>採用概念形状・寸法</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">             占有面積:770m<sup>2</sup>      占有面積:980m<sup>2</sup>      占有面積:530m<sup>2</sup>              もんじゅ28万KWe      1981年設計(100万KWe)      1988年設計(100万KWe)         </p>			
<p>コスト低減を可能にした 主要因子・仕様</p>	<p>ダイーゼル発電機台数の削減</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦3基</li> <li>◦同左</li> <li>◦2基</li> </ul>	<p>多重伝送</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦多重伝送</li> <li>◦同左</li> <li>◦多重伝送</li> </ul>	
<p>採用に至った理由</p>	<p>ダイーゼル発電機台数の削減</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦系統分離を3系統分離とした</li> <li>◦同左</li> </ul>	<p>多重伝送</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦2+2系統分離の考え方を採用した。この方式によっても十分信頼性を確保できる。</li> <li>◦同左</li> </ul>	<p>多重伝送の技術が開発された。</p>
<p>必要とされるR&amp;D</p>			

図表5 コスト低減技術と研究開発(8/9)

設備あるいは系統	補助系設備	コスト低減分	コスト低減分
(補助タンク)			
<p>タンク容量 一次系:300m3 二次系:990m3</p> <p>タンク容量 一次系:1260m3 二次系:2580m3</p> <p>タンク容量 一次系:200m3 二次系:500m3</p> <p>もんじゅ 28万KWe</p> <p>1981年設計(100万KWe)</p> <p>1988年設計(100万KWe)</p>			
<p>コスト低減を可能にする 主要因子：仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一次系オーバーフロー系設置</li> <li>オーバーフロー(O/F)系設置</li> <li>ドレンタンク設置</li> <li>一次系ドレンタンク削除</li> <li>ドレンタンク設置</li> <li>一次系メンテナンス冷却系削除</li> <li>メンテナンス冷却系設置</li> <li>メンテナンス冷却系削除</li> <li>メンテナンス冷却系削除</li> <li>2次系ダンブタンク共用化</li> <li>ダンブタンク/収納タンク独立</li> <li>ダンブタンク共用</li> <li>一次系オーバーフロー系削除</li> <li>オーバーフロー系設置</li> <li>一次系ドレンタンク削除</li> <li>ドレンタンク設置</li> <li>一次系メンテナンス冷却系削除</li> <li>メンテナンス冷却系削除</li> <li>メンテナンス冷却系削除</li> <li>ダンブタンク共用</li> <li>一次系オーバーフロー系削除</li> </ul>			
<p>採用に至った理由</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>確実に安全に運転するため、液位を一定に制御できるオーバーフロー系を設けた。</li> <li>同左</li> <li>確実にメンテナンスできるようドレンタンクを設置した。</li> <li>同左</li> <li>メンテナンス時に確実に除熱できるように設置した。</li> <li>一次系メンテナンス冷却系削除</li> <li>崩壊熱除去系の信頼性を確保できる技術の高度化で達成可能。</li> <li>同左</li> <li>ナトリウム水生成物を独自に収容するために独立とした。</li> <li>ナトリウム水反応の発生頻度を少なくする技術の高度化で達成可能</li> <li>同左</li> </ul>			
<p>必要とされるR&amp;D</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>(一次系オーバーフロー系削除)</li> <li>FBR高温構造設計基準の整備</li> </ul>			

図表5 コスト低減技術と研究開発(9/9)

設備あるいは系統	炉心・燃料	稼働率向上	もんじゅ100万kWe(71%)→1988年設計(100万kWe)(85%)
(燃料集合体)			
採用概念(形状・寸法)			
	<p>集合体全長4.2m もんじゅ28万KWe</p>	<p>集合体全長4.8m 1981年設計(100万KWe)</p>	<p>集合体全長4.3m 1988年設計(100万KWe)</p>
コスト低減を可能にする 主要因子・仕様	360W/cm	430W/cm	430W/cm
	148日5バッチ	292日3バッチ	365日3バッチ
4.2m	4.8m	4.3m	
採用に至った理由	<p>PCMIを考慮し低密度ペレットを採用し最大線出力を360W/cmとした。</p>	<p>海外炉の照射データによる高密度ペレットのPCMIに対する裕度を評価し、高密度ペレットの採用により線出力向上を図った。</p>	同左
	<p>「もんじゅ」の炉心サイズに対応した制御棒本数等を考慮し約半年の運転サイクル長とした。</p>	<p>燃料ピンの太径化等により燃焼反応度低減を図り運転サイクル長を長期化可能との見通しを得た。</p>	<p>燃料ピンの太径化、改良オーステナイト鋼の採用により、運転サイクル長の長期化、燃料の炉内滞在日数の長期化が達成可能との見通しを得た。</p>
<p>炉心高さ93cmに上下ブラケット・上部ガスプレナム、さらには中性子遮蔽体や流路閉塞防止対策としてエントランスノズルを設置して集合体長を4.2mとした。</p>	<p>炉心高さ100cm、炉内滞在日数の長期化に伴うガスプレナムの長期化に対することにより燃料集合体を短尺化可能とした。</p>	<p>炉心高さ100cm、下部プレナムの採用及び軸ブランクートの短尺化により燃料集合体をさらに短尺化可能との見通しを得た。</p>	
必要とされるR&D	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大型炉心の成立性の実証</li> <li>・遮蔽予測精度10%1桁減衰</li> <li>・高密度ペレットのPTM試験</li> <li>・改良オーステナイト銅被覆管の開発</li> </ul>		

図・表 6 1988年設計(100万kWe)→実用化プラント(150万kWe)主要コスト低減技術とそのコストダウン効果

コスト低減技術	1988年設計(100万kWe)	実用化プラント(150万kWe)	コストダウン効果
高性能燃料の開発	改良オーステナイト鋼 430W/cm 9万MWD/T	高強度フェライト鋼 470W/cm 20万MWD/T	燃焼度の向上による燃料サイクル費低減~1/2
燃料集合体の短尺化	4.3m	3.8m	~1%(集合体短尺化により燃取系全工程等が簡素化される)
運転日数の長期化	12か月	24か月	稼働率向上による運転コストの低減
高温・高熱効率化	510°C SUS304/高クロム鋼 熱遮へいライナー	550°C SUS316LCN 無し	2~3%(高温化により熱効率が向上し、熱出力の低減、熱交換器の伝熱面積の低減、タービンの小型化、水蒸気系(復水系、給水系)の合理化等が図れる)
原子炉構造の縮小化	8mΦ×15.7mH 三円筒型 炉心槽 有り	9mΦ×15mH 三円筒型 無し	1~2%(原子炉容器、炉内構造物、遮へいプラグ等の物量低減と耐震性向上による板厚等の低減の相乗効果)
冷却系配管の短縮化	フローティングサポート /ベローズ継ぎ手	配管フローティング・冷却系 配管炉容器上蓋貫通方式	~1%(配管物量とその付帯設備(耐震サポート等)等の削減効果)
ポンプの合理化	機械式・比速度S=1200 オーバーフローコラム無し	・機械式・比速度S=1500 オーバーフローコラム無し ・電磁ポンプ	~1%(ポンプの物量削減)
中間熱交換器の合理化	管外1次平行流	管内1次ジグザク流、 伝熱管のちょう密化	1~1.5%(熱交換効率の改善によるコンパクト化および圧損低減によるポンプの小型化)
2次系削除	2次系有り	2次系削除	~10%(2次系構成機器・配管の削除によるコスト低減と高信頼性SGの使用によるコスト上昇を考慮)
機器一体化		中間熱交換器+2次系ポンプ +蒸気発生器	~5%(2次系配管およびその付帯設備(耐震サポート等)削除と容器の共用化等によるコスト低減)
ナトリウム漏洩 対策設備の合理化	ガードベッセル兼用 セルライナー	ガードベッセル兼用 セラミックスライナー	~1%(セラミックスライナー使用による工期短縮と人件費の削減)
建屋耐震の合理化	低床応答(建屋埋め込み)	建屋免震	~5%(床応答低減による配管・機器類および建屋の板厚削減と耐震サポート類等の削除、将来はサイトに依存しない設計標準化によるエンジニアリング費の低減)
建屋縮小化	2.0×10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup>	1.4×10 <sup>5</sup> m <sup>3</sup>	2~4%(機器・配管の削除・縮小と最適配置の効果による物量削減と工期短縮等)
補助設備の合理化			~3%(各種機器・配管の削除・縮小と最適配置の効果による補助設備(ケーブル、ダクト、換気空調系等)コストの低減)
設計基準(構造設計基準・ 安全設計方針等)の合理化			~5%(安全裕度向上による各機器・配管の縮小や構造の簡素化、エンジニアリング費の削減)
設計・解析・評価手法の 高度化			



図・表7 実証炉段階から実用炉段階への設計研究目標

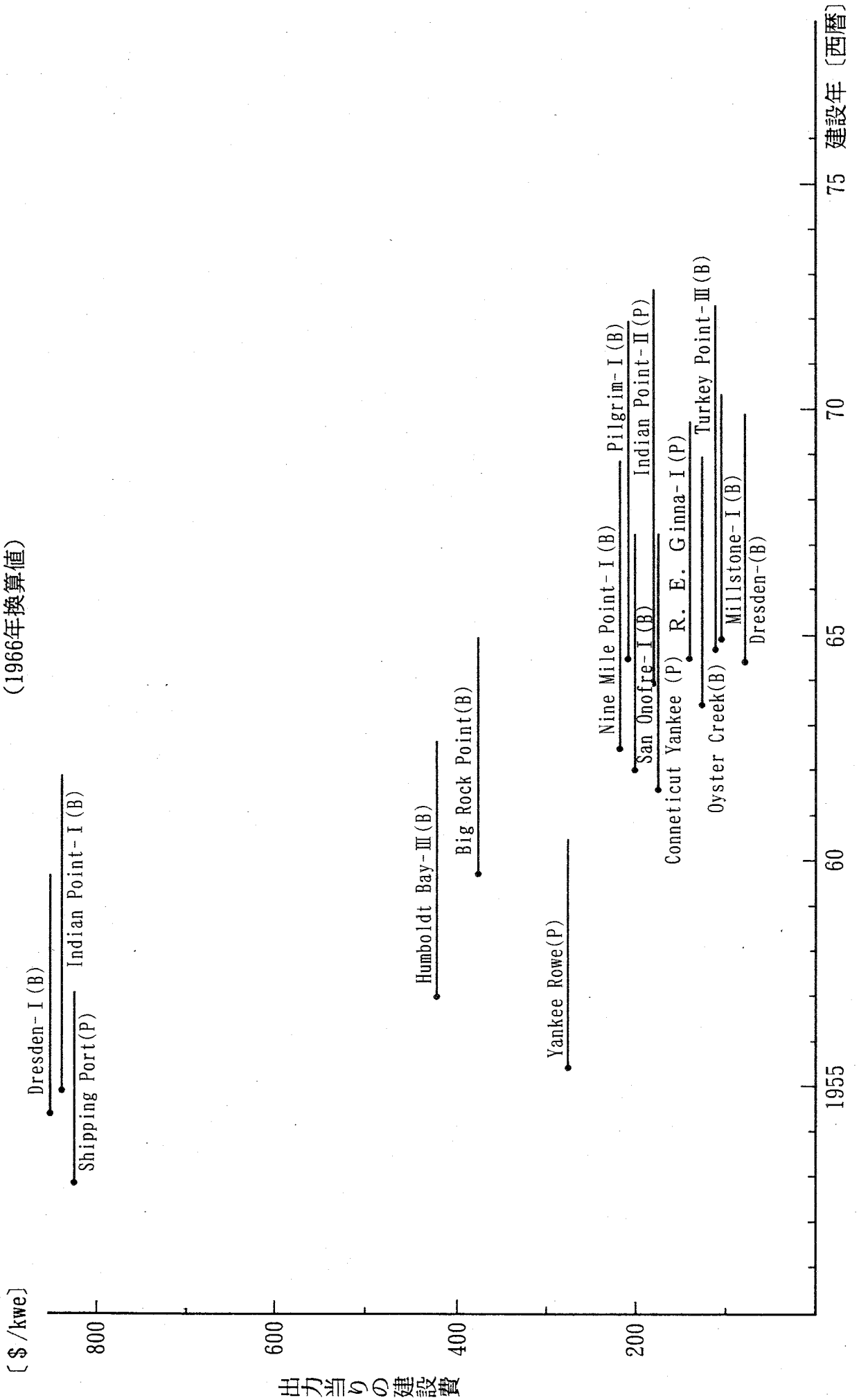
	レファレンスプラント (2000年以前に着工を想定したプラント)	実用化プラント (2005~2010年に着工を想定したプラント)
狙い	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FBR実用化に関する開発戦略を策定するため、プラントの主要な部分について合理的な大型化の見通しを立てる。</li> <li>・ 現状において成立可能な技術および今後のR&amp;Dにより成立性が十分期待できる技術(2000年以前に着工が可能な技術)で構成する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ FBR実用化への長期開発戦略を策定する。</li> <li>・ プラントの高温、高熱効率化を図る。</li> <li>・ 二次系の削除、機器合体化、免震工法などの各種革新技術を幅広く導入することによりプラント物量を削減する。</li> <li>・ 建設コスト、発電コストにおいて同時代の軽水炉を凌駕するプラント概念を構築する。</li> </ul>
主要な採用技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 改良炉心材料(改良オーステナイト鋼)</li> <li>・ 短尺燃料集合体(逆ノズル方式)</li> <li>・ 改良構造材料(SUS316LCN)</li> <li>・ 冷却系配管炉容器上蓋貫通方式/配管フロード方式</li> <li>・ 高流速配管機器</li> <li>・ 炉心槽の削除(自立式炉心拘束法)</li> <li>・ 原子炉容器下部耐震振止め の廃止</li> <li>・ 機械式ポンプの高比速度化 (S=1200 → 1500)</li> <li>・ 1次管内IHX方式PRACS(補助炉心冷却系)</li> <li>・ 設計基準(構造設計基準、安全設計方針等)の整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2重管SGによる2次系削除</li> <li>・ 一体型機器</li> <li>・ 冷却系高温化(原子炉炉出口温度550°C)、高熱効率化</li> <li>・ 新型炉心(長寿命炉心)</li> <li>・ 高線出力化 470w/cm</li> <li>・ 改良炉心材料(分散強化型フェライト鋼)</li> <li>・ 燃料集合体最大燃焼度 20万MWD/T</li> <li>・ ダクトレス燃料</li> <li>・ 免震技術の採用</li> <li>・ 超電導等技術を用いた高性能電磁ポンプ</li> <li>・ ガードドベドセル兼用フアインセンシティブ・セルライナー</li> </ul>
建設費目標 (軽水炉比)	1.0~1.1	0.8~0.9 (目標)

図・表8 実証炉段階と実用炉段階の研究開発目標

開発課題	開発目標	原型炉「もんじゅ」の仕様・技術	実証炉段階研究開発項目	実用化炉段階研究開発項目
高性能燃料の開発		(燃焼度 8万MWd/t 線出力 360W/cm)	(燃焼度 13万MWd/t 線出力 480W/cm) ・改良オーステナイト鋼燃料	(燃焼度 20万MWd/t 線出力 480W/cm) ・高強度フェライト鋼燃料
高性能大型炉心の開発		(2領域均質炉心)	(均質/軸非均質炉心) ・大型炉心成立性実証 ・遮蔽予測精度10%/1桁減衰	(高燃焼度・長期サイクル炉心) ・新型燃料炉心[金属、炭窒化物] ・新遮蔽材の開発[ZrH, BeO]
プラントの高温化		(原子炉出口温度 530°C)	(原子炉出口温度 530°C) ・FBR高温構造設計基準の整備 ・高温用構造材料の開発 ・非弾性評価手法の整備 ・破壊力学に基づく評価手法の整備	(原子炉出口温度 550°C) ・高温用構造材料データベースの整備
配管・機器の合理化、高信頼化		(高所水平引き廻し配管、分離貫流型SG)	(1次・2次配管系の簡素化、主要構成機器の合理化) ・配管ベローズ継手の開発 ・一体貫流型SGの開発	(同 左) ・一体型機器の開発 ・超電導電磁ポンプの開発
合理的格納施設の開発		(鋼製耐圧格納容器)	(低耐圧建屋一体型格納施設) ・ナトリウム漏洩火災、ソースターム等に関する研究 ・事故時格納施設内挙動評価手法の開発・整備	(同 左)
免震構造の開発		(LWR耐震指針に基づき設計)	(床応答低減) ・解析手法の高度化 ・スロッシング評価法の整備	(免震技術体系の確立) ・免震構造評価手法の開発
2次系削除システムの開発		—	—	(2次系削除成立性の確立) ・2重管蒸気発生器の開発 ・安全設計論理の構築
高信頼性崩壊熱除去系の開発		(2次主冷却系分岐IRACS)	(自然循環による崩壊熱除去系の確立) ・自然循環熱流動評価手法の整備 ・DRACS、PRACSの開発	(同 左) ・受動的崩壊熱除去システム
被曝の低減化(運転保守技術の高度化)		(被曝低減、運転信頼性向上)	(同 左) ・CPの抑制・除去技術の開発 ・運転保守支援システムの開発	(自律制御、自動化) ・AI利用 ・フアイジー制御
合理的な安全論理の構築		(LWRの考え方をベースにFBRの特殊性を考慮した安全論理)	(FBR固有の安全性、パッシブセーフティを取り入れた合理的な安全論理の構築) ・炉心局所事故等の安全評価手法の整備 ・シビアアクシデント安全評価手法の整備 ・PSA手法の高度化 ・新型炉停止装置の開発 ・異常診断システムの開発	(同 左) ・高速炉安全評価手法の確立

( )は開発目標及び特徴を示す。

米国軽水炉の建設単価の変遷  
(1966年換算値)



出力当りの建設費