

ガス炉のプラント概念に関する研究
(研究報告)

2005年6月

核燃料サイクル開発機構
大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2005

ガス炉のプラント概念に関する研究
(研究報告)

森部剛志*1、池田博嗣*1,*2、此村守*1

要 旨

FBR サイクルの実用化戦略調査研究では、多様な冷却材（ナトリウム、重金属、ガス、水等）、燃料形態（MOX、金属、窒化物等）及び出力規模等からなる技術選択肢を摘出・整理し、軽水炉に比肩する経済性を有する実用化時代の高速増殖炉プラント概念を検討している。

被覆粒子燃料ヘリウムガス冷却炉は、平成 15 年度最終時点の建設単価が基準値を 7%程度上回る結果となっており、建設単価低減策を検討する必要がある。そこで、平成 16 年度プラント検討では、これまで検討してきた電気出力 1124MWe ヘリウムガス炉プラントに対し、電気出力をナトリウム冷却大型炉と同様の 1500MWe まで増大できると仮定して、経済性効果の程度を推定することを目的に予備的な検討（コスト出力依存性の概略評価）を行った。

検討の結果、電気出力を 1500MWe まで増大させたプラントは、1124MWe プラントに対する建設単価比で 0.93 となり、炉心燃料設計、安全設計、プラント成立性等の技術的課題は評価していないという条件付きではあるが、1500MWe に出力を増大させることにより建設単価が 7%程度低減される可能性を示す結果を得た。

*1：大洗工学センター システム技術開発部 FBR システムグループ

*2：日本原子力発電株式会社からの派遣者

本研究はサイクル機構と 9 電力、電発、原電の共通研究協力協定の下に実施している。

Study on plant concept for Gas Cooled Fast Reactor

Takeshi Moribe^{*1}, Hirotsugu Ikeda^{*1,*2},

Mamoru Konomura^{*1}

Abstract

In the "Feasibility Study on Commercialized Fast Reactor Cycle System (F/S)", technological options including various coolants (sodium, heavy metal, gas, water, etc.), fuel types (MOX, metal, nitride) and output power are considered and classified, and commercialized fast reactor (FR) concepts that would have economical competitiveness equal to light water reactors (LWRs) are pursued.

The unit construction cost of the helium gas cooled FR using coated particle fuel (He GCFR) at FY2003 was about 7% above the target cost of F/S. Therefore, it was necessary to study the method of decreasing the unit construction cost of He GCFR. In the plant study in FY2004, assuming that the electric power was able to be increased to 1500 MWe compared with the 1124 MWe plant that had been studied so far, a preliminary study was done about the unit construction cost of 1500 MWe plant.

As a result of this preliminary study, it is found that there is a possibility that the unit construction cost would decrease by about 7% by increasing the plant output to 1500 MWe. It is needed a technical problem to make sure the technical feasibility of the 1500 MWe He GCFR concept, such as the core fuel design, safety design and plant design.

*1 : FBR System Engineering Group, System Engineering and Technology Division,
OEC,JNC

*2 : Attached from The Japan Atomic Power Company (JAPC)

目 次

1. はじめに	1
2. 概 要	2
3. 基本概念	3
4. コスト出力依存性の概略評価	10
4. 1 背景・目的	10
4. 2 前提条件	11
4. 3 検討内容	12
4. 4 コスト出力依存性評価	16
4. 5 まとめ	16
5. おわりに	22
謝 辞	23
参考文献	24

表リスト

表 3-1	基本仕様 被覆粒子燃料ヘリウムガス炉 (六角ブロック燃料体概念・導入期炉心・1124MWe プラント) ……	4
表 4-1	主要機器の主要寸法 ……	17
表 4-2	補助炉心冷却系システム構成と除熱容量 ……	18
表 4-3	主要機器の物量データ ……	19
表 4-4	建設単価 ……	20

図リスト

図 3-1	プラント系統概念図 ……	5
図 3-2	原子炉構造概念図 (1124MWe プラント) ……	6
図 3-3	建屋配置図 (1124MWe プラント) ……	7
図 3-4	炉心断面及び主要核特性 (六角ブロック燃料体概念・導入期炉心・1124MWe プラント) ……	8
図 3-5	六角ブロック燃料体 燃料構成要素および燃料概念 ……	9
図 4-1	建設単価内訳 ……	21

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下「サイクル機構」という）では、中長期事業計画（平成 11 年 3 月策定）に基づき、FBR サイクルの完成に向け、安全性を確保した上で、1) エネルギー生産システムとして必要な経済性の向上、2) 資源の有効利用、3) 環境負荷の低減、4) 核不拡散性の確保を開発目標とし、システム全体としての最適化と実用性に留意しながら FBR サイクルの研究開発を実施することとしている。また、中期的には、安全確保を前提として、FBR サイクル全体で、軽水炉の燃料サイクルと比肩する経済性を達成すべく、その向上を図ることを最重要課題として取り組む方針である。

この方針を受けて、平成 11 年 7 月から FBR サイクルの実用化戦略調査研究（以下「実用化戦略調査研究」という）に電気事業者の協力を得て本格着手した。

実用化戦略調査研究の検討フェーズは、軽水炉システムと比肩する競争力を確保する上で有望と考えられる複数の FBR サイクルの候補概念を具体化し、実用化に向けた開発シナリオを策定するフェーズ I（平成 11 年度～平成 12 年度）と、新たな革新的技術を取り入れ、工学的試験も含めて技術的成立性を確認して整合性を図った有望な複数の候補概念に絞り込むフェーズ II（平成 13 年度～平成 17 年度）とで構成されている。なお、ガス冷却炉検討については、フェーズ I が 1 年延期されており、フェーズ II は平成 14 年度から開始された。

実用化戦略調査研究フェーズ I において、ガス冷却炉の有望な概念として被覆粒子型燃料ヘリウムガス冷却高速炉が抽出された。そのプラント概念について、技術的成立性の見通しを明らかにするために、フェーズ II において炉心及びプラント全般の予備的な概念設計等を実施した。

本報告書は、被覆粒子型燃料ヘリウムガス冷却高速炉のプラント設計について、フェーズ II の 3 年目にあたる平成 16 年度検討成果をまとめたものである。

2. 概要

実用化戦略調査研究では、多様な冷却材(ナトリウム、重金属、ガス、水等)、燃料形態(MOX、金属、窒化物等)及び出力規模等からなる技術選択肢を抽出・整理し、開発目標(安全性、資源有効利用性、環境負荷低減、核不拡散性、軽水炉に比肩する経済性)に対して達成可能性を有する実用化時代の高速増殖炉プラント概念を検討している。

ガス冷却炉設計のフェーズI最終年度(平成13年度)に、ガス冷却炉の有望な概念として抽出した被覆粒子型燃料ヘリウムガス冷却高速炉は、冷却材にヘリウムガスを用いて直接ガスタービン発電する方式であり、炉心燃料には高温耐性に優れる被覆粒子燃料を使用し、一層の安全特性の向上を狙った概念である。

平成15年度のプラント基本仕様は、鋼製原子炉容器を採用し、電気出力が1124MWe、冷却材圧力が6MPa、原子炉入口/出口温度が460°C/850°Cである。炉心性能は、窒化物燃料(N-15 100%濃縮)で増殖比約1.1、炉心燃焼度約120GWd/tとなり設計要求をほぼ満足するものとなった。安全性においては、減圧事故時にスクラムを伴わずに自然循環除熱となるような苛酷事象(AWS: Accident Without Scram)においても炉心損傷に至ることを防止できる概念を構築できる可能性のあることがわかった。一方で、平成15年度最終評価時点の本プラント建設単価は基準値を7%程度上回る結果となっており、建設単価低減策を検討する必要がある。

平成16年度は、これまで検討してきた電気出力1124MWeのヘリウムガス炉プラントに対し、電気出力をナトリウム冷却大型炉と同様の1500MWeまで増大できると仮定して、経済性効果の程度を推定することを目的に予備的な検討(コスト出力依存性の概略評価)を行った。

平成15年度最終設計プラントの寸法、物量、建屋配置を基準とし、原子炉出力の増加に応じて、原子炉構造、GT構造、原子炉格納容器などの寸法及び物量を外挿した。これらの検討結果を基に、コマンド・コスト・コード(CCC)⁽¹⁾にて建設単価を算出して、出力増大による経済性効果の可能性を評価した。

本検討においては、炉心燃料設計、安全設計およびプラント成立性等の技術的課題については評価せず、出力増大に対する建設単価の概略評価のみを行った。

3. 基本概念

被覆粒子型燃料ヘリウムガス冷却高速炉（以下「ヘリウムガス冷却炉」という）は、

- ① 被覆粒子燃料、セラミックス炉心構成要素による高温化で、高効率の直接ガスタービン発電を可能として経済性を追求する。
- ② ドップラー効果の改善および自然循環冷却能力の強化により、AWS 時にも炉心損傷事故（CDA：Core Disruptive Accident）を回避することを追求する。さらに、コアキャッチャの設置により、CDA 想定時の影響（損傷炉心燃料およびFPの分散、放出）を原子炉格納容器内に収納することを追求する。
- ③ ツインプラント化等の合理的なプラント設計および大型化により経済性を追求する。

の観点から、経済性および安全性を追求したプラント概念である。

平成16年度の炉心燃料設計などの1124MWeプラント検討結果を反映したヘリウムガス冷却炉概念について、以下の図表に示す。

表 3-1 に基本仕様（縦方向流冷却六角ブロック燃料体概念・導入期炉心・電気出力1124MWe）を示す。プラント関連について、図 3-1 にプラント系統概念図、図 3-2 に原子炉構造概念図、図 3-3 に建屋配置図を示す。炉心燃料関連について、図 3-4 に炉心断面および炉心主要核特性、図 3-5 に六角ブロック燃料体の燃料構成要素および燃料概念を示す。

本報告書では、ヘリウムガス冷却炉各機器の説明については省略するが、これに関しては参考文献(2)などに記載がある。

表 3-1 基本仕様 被覆粒子燃料ヘリウムガス炉

(六角ブロック燃料体概念・導入期炉心・1124MWe プラント)

No	項目	仕様
1	原子炉型式	被覆粒子型燃料ヘリウムガス冷却高速増殖炉
2	電気出力 (発電端)	1124 MWe
3	熱出力	2400 MWt
4	ループ数	4 ループ
5	1 次系 He 温度	460°C/850°C (入口/出口温度)
6	1 次系流量	4262 ton/h
7	1 次系圧力	6 MPa
8	2 次系温度、流量	—
9	水/蒸気温度	—
10	タービン発電機	4 基/プラント
11	プラント熱効率	約 47%
12	所内負荷率	31.6 MW (2.8 %)
13	プラント稼働率	92 %
14	炉心・燃料	被覆粒子型窒化物燃料
15	炉心の径/高さ	5.43 m / 1.00 m
16	軸/径ブランケット	上/下各 0.25 m / 0.25 m
17	被覆粒子燃料	外径 1.00 mm, 燃料核径 0.86 mm, 低密度 TiN (バッファ層) : 70 μm
18	燃焼度	121 GWd/t
19	増殖比	1.11
20	炉心平均出力密度	89 W/cc
21	燃料集合体型式	被覆粒子燃料内蔵集合体 (六角ブロック型燃料集合体)
22	原子炉容器型式	鋼製原子炉容器
23	原子炉停止系	制御棒駆動装置下部設置
24	炉心安全	AWS 時に SASS なしで 2200°C 以下の可能性有り 漏洩流量制限機構設置 (50cm ² 以下の漏洩面積制限)
25	炉心上部機構	無し (制御棒下部駆動, 上部燃料交換)
26	1 次系接続容器	二重管方式
27	補助炉心冷却系	原子炉本体上部設置型直接炉心冷却 : 50%×4 系統
28	原子炉格納施設	鋼製原子炉格納容器
29	燃料取扱方式	プラント運転サイクル 18 ヶ月 6 バッチ方式
30	・燃料減衰待貯蔵	炉外燃料貯蔵方式 (水冷却)
31	・炉内燃料交換	パンタグラフ式燃料交換機
32	・炉外燃料移送	燃料出入機+天井クレーン
33	・燃料搬出入形態	—
34	免震	3次元免震
35	プラント寿命	60年

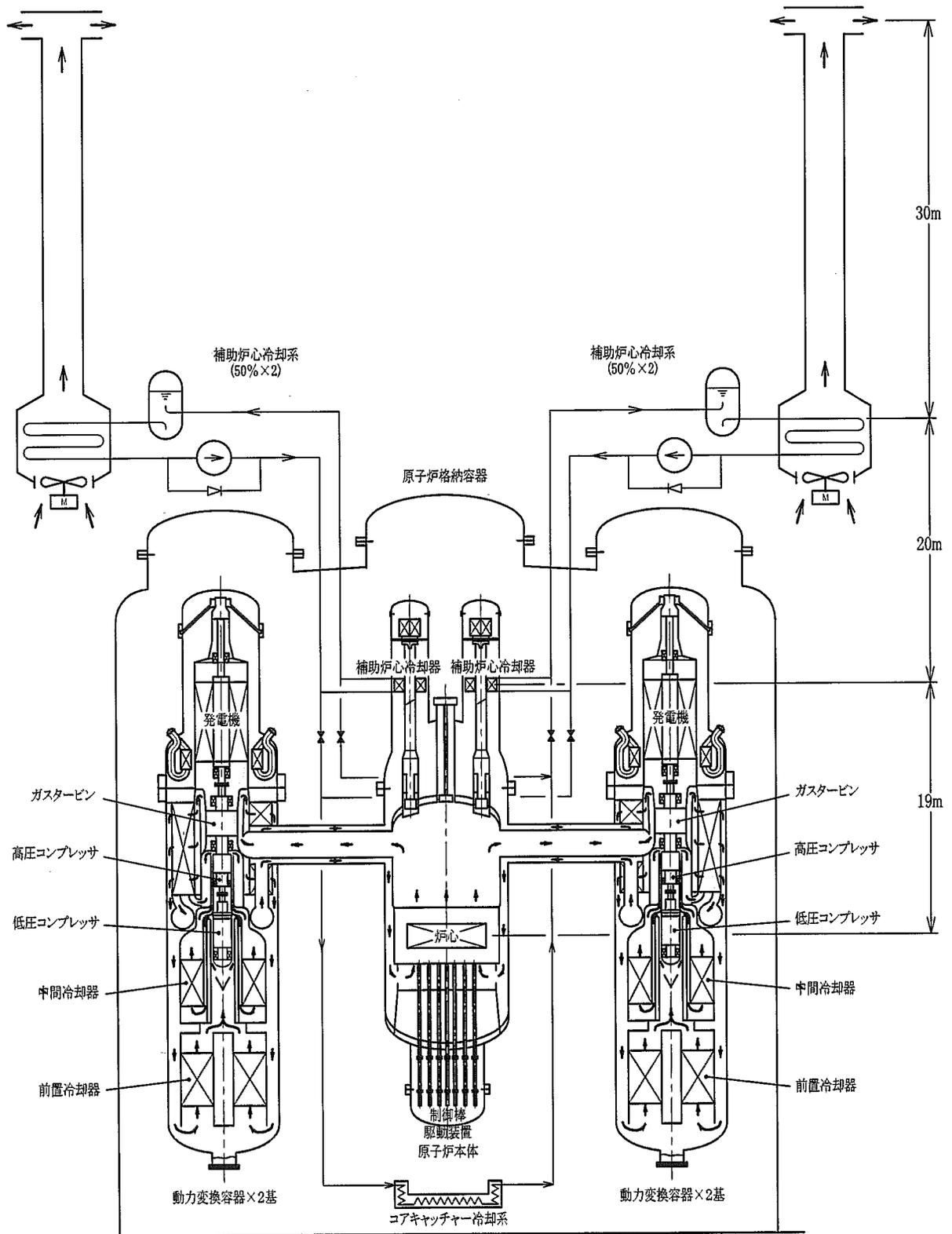


図 3-1 プラント系統概念図

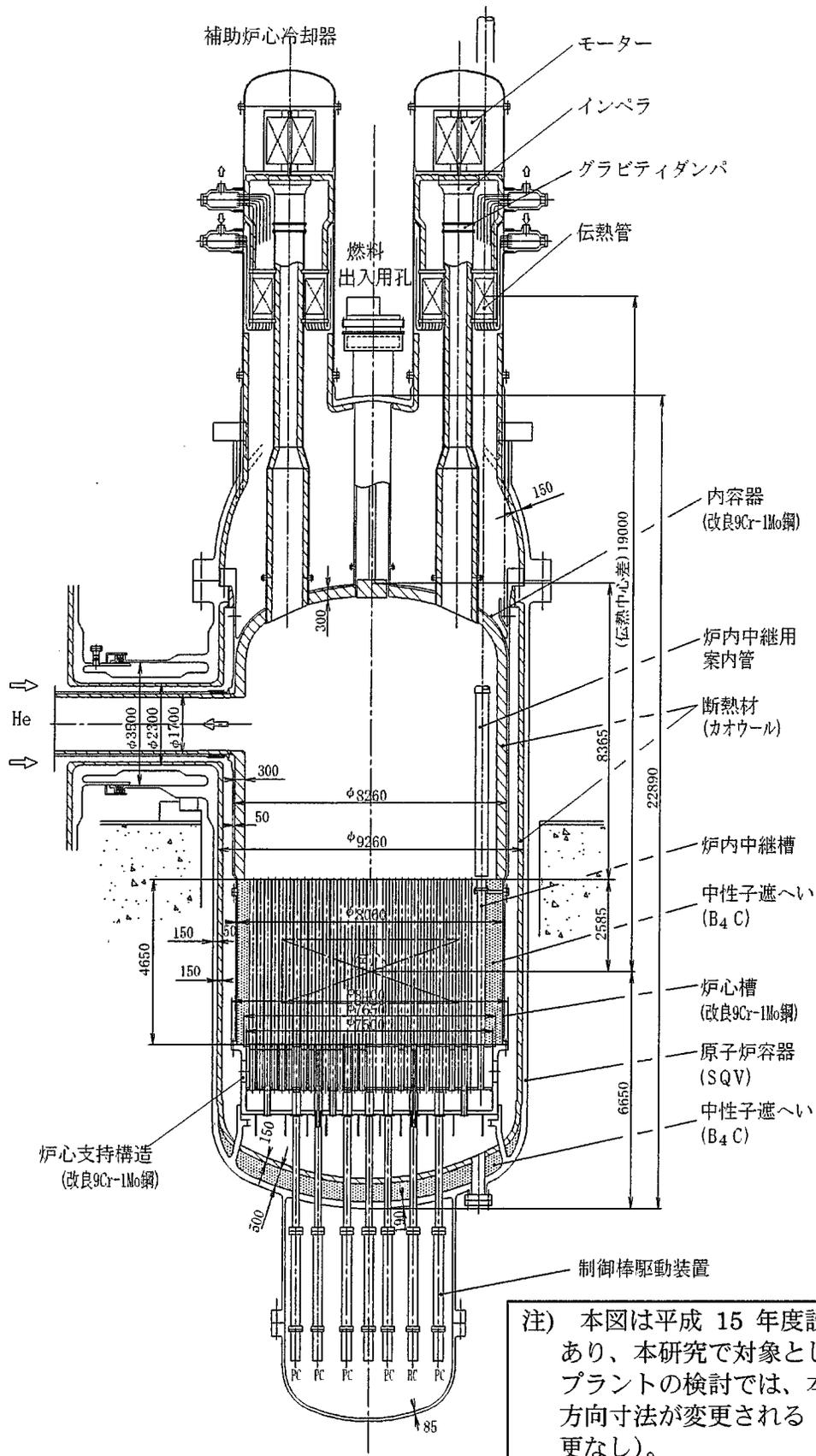


図 3-2 原子炉構造概念図 (1124MWe プラント)

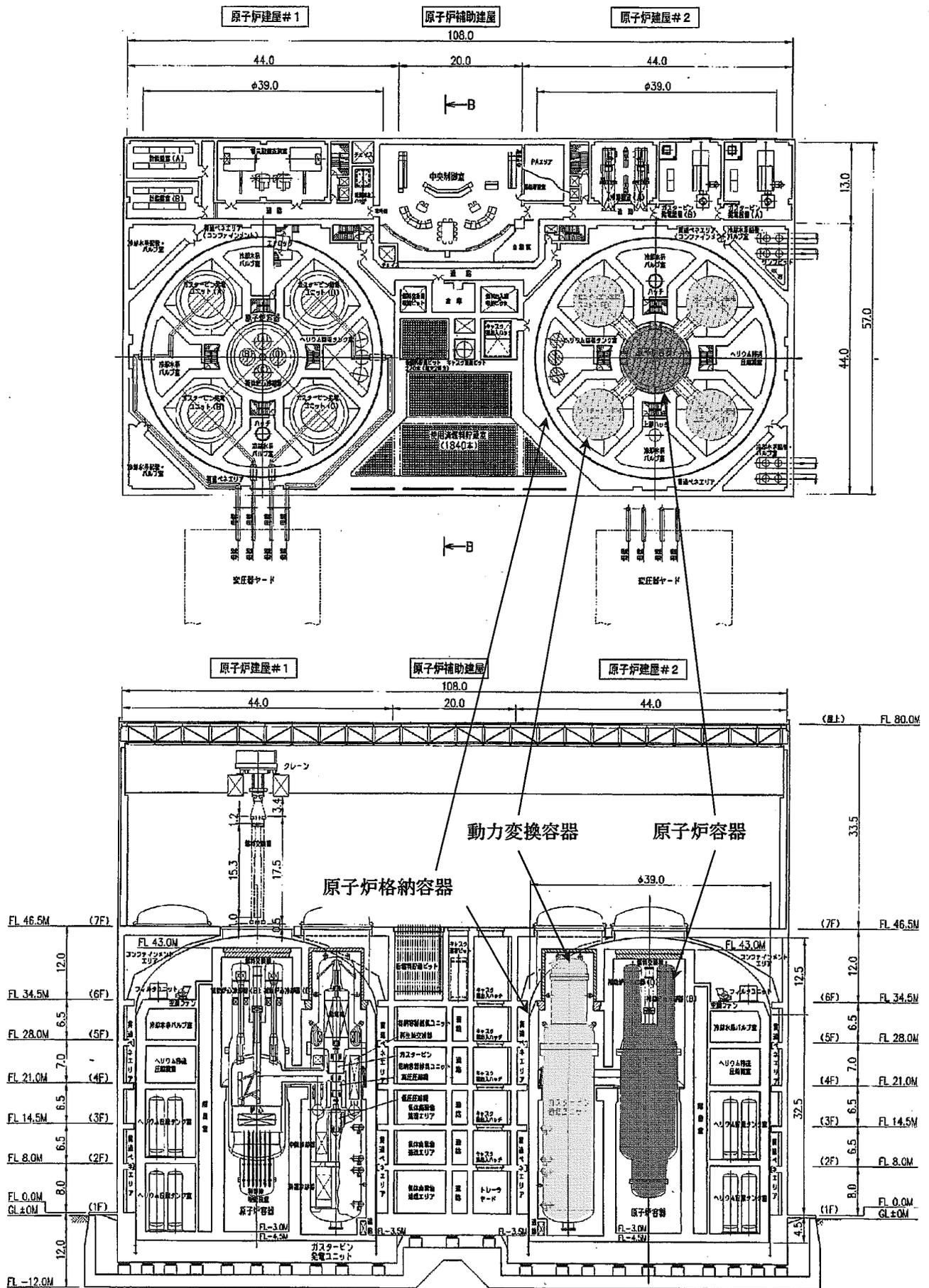
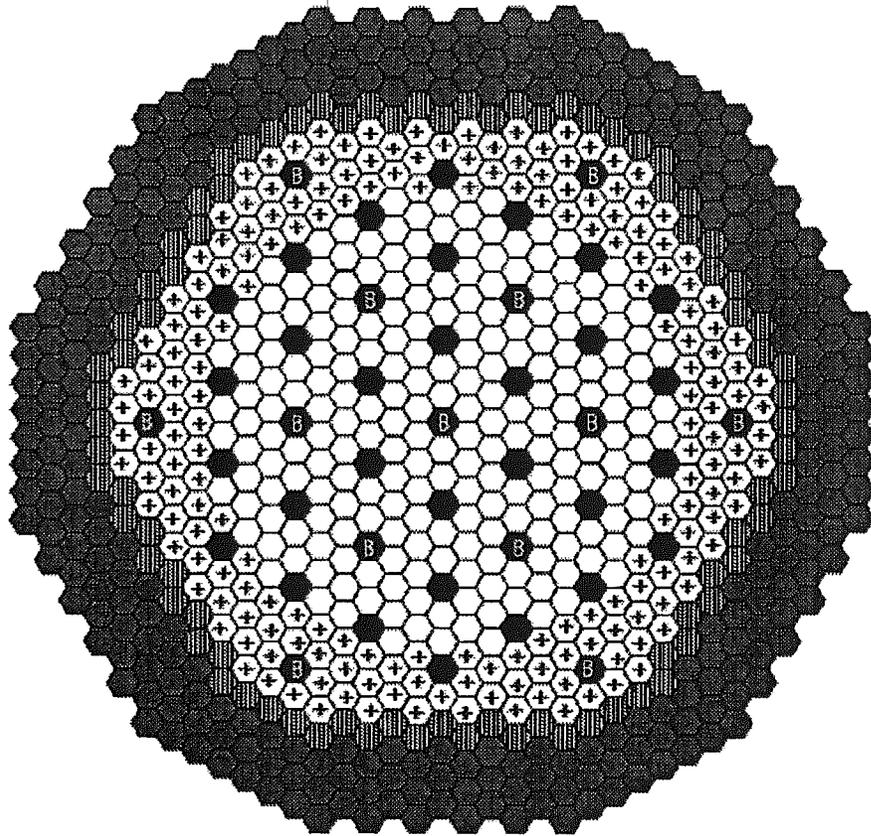


図 3-3 建屋配置図 (1124MWe プラント)



	内側炉心燃料集合体	222体
	外側炉心燃料集合体	192体
	径方向ブランケット燃料集合体	84体
	SiC遮へい体	288体
	主炉停止系制御棒	30体
	後備炉停止系制御棒	13体

図 3-4 炉心断面及び主要核特性

(六角ブロック燃料体概念・導入期炉心・1124MWe プラント)

主要核特性

項目	単位	設計値
熱出力	MWt	2400
電気出力	MWe	1124
冷却材		He
圧力	MPa	6.0
炉心入口/出口温度	℃	460/850
炉心・燃料		均質2領域炉心 被覆粒子型燃料 Pu・U 混合窒化物 TiN SiC 固相マトリクス /SiC 冷却管
炉心型式		
燃料形式		
燃料材質		
被覆材		
集合体構造材		
炉心高さ	cm	100
炉心等価直径	cm	543
径ブランケット		1層
軸ブランケット(上/下)	cm	25/25
燃料集合体		
集合体ピッチ	mm	241.9
燃料核体積比	%	21.0
被覆材体積比	%	11.8
SiC 構造材体積比	%	42.2
He 冷却材体積比	%	25.0
主要核特性		
運転サイクル長さ	月	18
燃料交換バッチ数		6
Pu 富化度		
内側炉心(上下/中)	wt%	22.2
外側炉心(上下/中)	wt%	24.0
燃焼欠損反応度	%Δk/kk'	1.44
平均出力密度	W/cc	89.3
取出平均燃焼度	GWd/t	121.0
増殖比		1.11
ドップラー係数	Tdk/dT	11.2×10 ⁻³
He 減圧反応度	\$	0.30

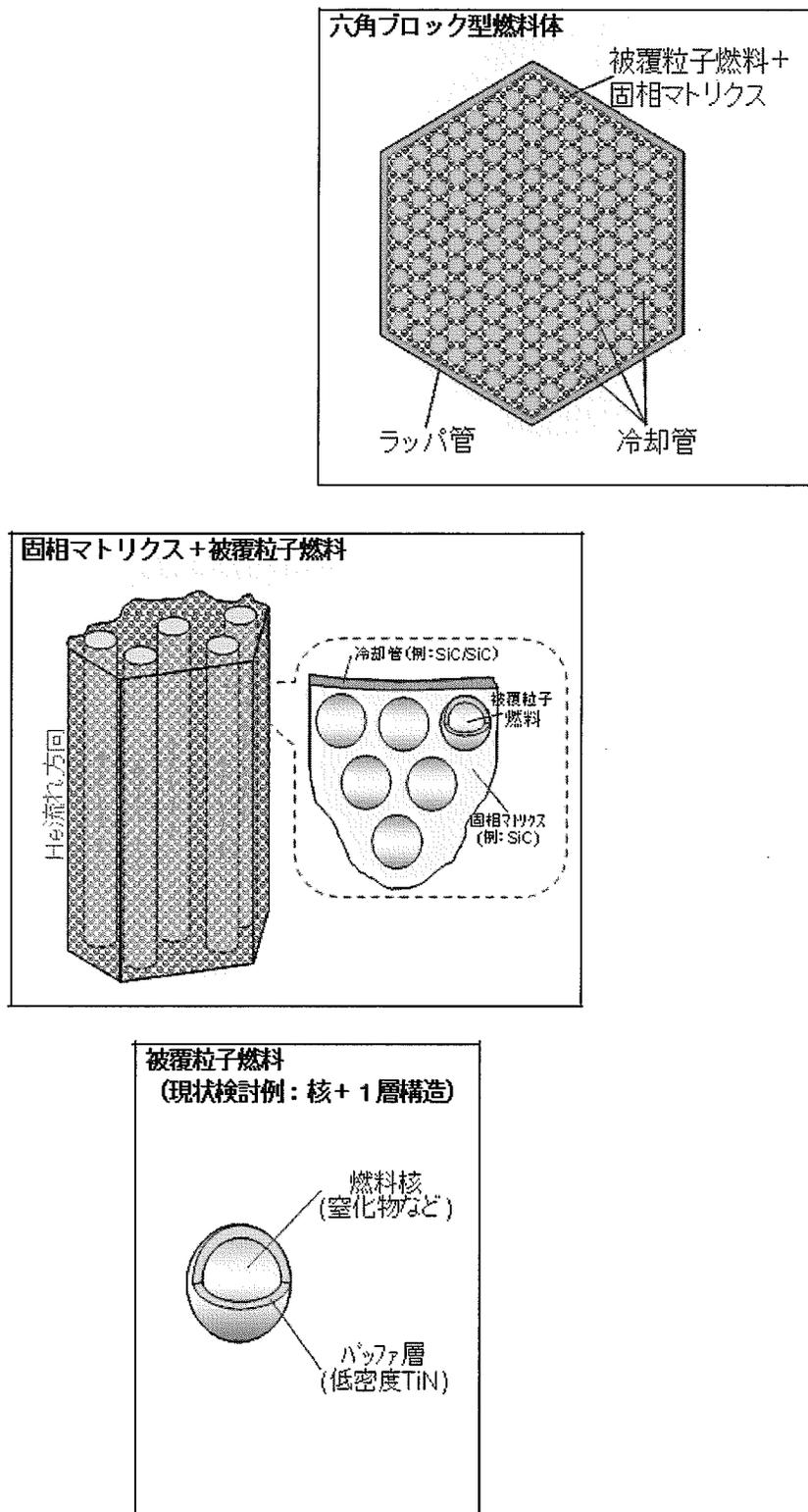


図 3-5 六角ブロック燃料体 燃料構成要素および燃料概念

4. コスト出力依存性の概略評価

4. 1 背景・目的

ヘリウムガス冷却炉設計では、フェーズⅠからフェーズⅡにかけて、熱出力 2400MWt（電気出力 1124MWe）の大型炉の検討を行ってきた。この出力値は、ガスタービン（GT）ユニット出力規模の実現性*¹と原子炉容器の製作性*²の観点から設定したものである。

平成 15 年度、本プラントの経済性検討を行った結果、その建設単価は基準値を 7%程度上回る結果となった⁽³⁾。

コスト高の要因としては、以下のようなことが考えられた⁽³⁾⁽⁴⁾。

- ① 原子炉設備において、直接発電であることから BOP 関連設備の物量は少ないものの、このメリットを打ち消してしまう程の一次系物量の多さにより、建設単価が大きくなっている。
- ② 直接ガスタービン設備を原子炉建屋内に収納しているために、単価の高い原子炉建屋容積が大であり、他炉型に比べて建屋構築物の建設単価が高くなっている。
- ③ ヘリウムガス冷却炉では、燃料集合体等の浮き上がり防止等の観点から 3次元免震装置を採用する必要がある。ナトリウム冷却炉で採用している水平免震装置（鉛直要素付き）と比べ、3次元免震装置は単価が高くなっている。
- ④ 建設単価全体において、特にガスタービン発電機の電気出力が小さいことから割高となってしまう、結果として経済的に有利と考えられる直接発電にも係わらず、建設単価が高くなっている。

上に示す考察を受け、ヘリウムガス冷却炉の建設単価を低減するために、特に④項に着目し、これまで検討してきた電気出力 1124MWe のヘリウムガス冷却炉プラントに対し、電気出力をナトリウム大型炉と同様の 1500MWe まで増大できると仮定して、経済性効果の程度を推定することを目的に予備的な検討を行った。

*1：ガスタービンユニット出力規模の実現性

現行技術延長上で実現可能と考えられる最大容量が 600MWt/基である。この容量は、ガスタービン・モジュラー型高温ヘリウムガス炉（GT-MHR：Gas Turbine - Modular Helium Reactor）⁽⁵⁾にて概念設計中のものと同規模である。

*2：原子炉容器の製作性

原子炉容器はリング鍛造品であり、鍛造メーカーの現有設備では製造能力はφ10m 程度が限界である（鍛造メーカー側の設備増強等があれば、φ10m 以上でも製造は可能）。

4. 2 前提条件

出力増大プラント（1500MWe プラント）の建設コスト概略評価における前提条件は、以下の通りである。

- ・プラント電気出力：1500 MWe
- ・プラント熱出力：3200 MWt
- ・ガスタービン：4基

従来の電気出力 1124MWe（熱出力 2400MWt）のプラントと同じ熱効率約 47%を想定し、プラント熱出力を 3200MWt とした。プラント出力の増大を仮定するに際し、GT の基数を増やすのではなく、容量を増やすことで対応し、従来のプラントと同様に原子炉容器 1 基に対し 4 基の縦置き型 GT を設置した（800MWt/基×4 ループ）。

なお、主要機器等の寸法、物量、建屋配置は、平成 15 年度最終設計プラント⁽³⁾を基準とした。2004 年度炉心燃料設計検討において、燃料集合体概念を横方向流冷却コンパートメント型概念から縦方向流冷却六角ブロック型概念に変更したが、プラント設計（寸法等）には特に影響はない。

本検討においては、炉心燃料設計、安全設計およびプラント成立性等の技術的課題については評価せず、出力増大に対する建設単価の概略評価のみを行った。

4. 3 検討内容

4. 3. 1 検討手法概要

原子炉出力の増加に応じて、炉心等価直径を大きくして原子炉構造を定め、タービンプレード径及び発電機長さを大きくして GT 構造を定め、原子炉格納容器内部の配置性を考慮して原子炉格納容器サイズ、さらに原子炉建屋サイズを外挿した。

これらの検討を元に、電気出力を 1500MWe に増大させた場合のプラント主要機器物量等を概算し、CCC にて建設単価を算出して、出力増大による経済性効果の可能性を評価した。

詳細は、次の 4.3.2 項に示す。

4. 3. 2 詳細設定

表 4-1 に原子炉容器 (RV)、動力変換容器 (PCV)、原子炉格納容器 (CV) の主要寸法、表 4-2 に補助炉心冷却系システム構成と除熱容量を示す。寸法・物量外挿の考え方を以下に示す。

(1) 炉心

原子炉構造の物量を算出するのに必要な炉心サイズを評価した。炉心サイズの設定における考え方は、以下の通りである。

- ① 炉心燃料集合体の構造及びサイズは 1124MWe プラントと同一、炉心高さも 1124MWe プラントと同一の 180cm とした。
- ② 炉心の出力増大に対しては、燃料集合体数の増加により対応した。炉心燃料集合体数は炉心平均出力密度が 1124MWe プラントと同じとして概算した。
- ③ 制御棒本数は、上記で求まる炉心燃料集合体数に比例させて増加させた。
- ④ 径方向ブランケットは炉心の外側に 2 層設置した。
- ⑤ 径方向遮へい体構成は、1124MWe プラントと同一の構成とし、SiC 遮へい体 1 層 + B₄C 遮へい体 1 層を想定した。

上の考え方によれば、制御棒を含めた炉心断面積は、出力にほぼ比例することになる。

- ① 1124MWe 炉心の制御棒を含めた炉心等価直径は、564 cm
(集合体配列ピッチ 22.23 cm、炉心燃料集合体 543 体、制御棒 40 体より)
- ② 1124MWe 炉心の制御棒を含めた炉心断面積は、 $2.5 \times 10^5 \text{ cm}^2$
- ③ 1500MWe 炉心相当の制御棒を含めた炉心断面積は、 $3.3 \times 10^5 \text{ cm}^2$
- ④ 1500MWe 炉心の制御棒を含めた炉心等価直径は、650 cm
- ⑤ 径方向ブランケット 2 層 + 遮へい体 2 層の厚さは、90 cm
- ⑥ 遮へい体を含めた等価直径は、約 8.3m

1124MWe 炉心の遮へい体等価直径は約 7.3m であるので、出力を 1500MWe に増大させることにより遮へい体を含めた等価直径は約 1m 増大するとし、これに伴い炉心槽径

も約 1m 広がると想定した。

(2) 原子炉容器 (RV) 及び炉内構造物

前項(1)項の炉心サイズの検討から設定した炉心槽径を基に RV 内径を設定した。RV 内径は、炉心槽と容器壁とのギャップを断熱材厚さ (150mm 固定) に入口流路 (流路の断面積は出力に比例) を考慮して定めた。RV 板厚は RV 内径に比例させた。

RV 物量は、RV 内径と RV 板厚に比例するとして算出した。炉内構造物物量は、RV 内径の 2 乗に比例するとして算出した。なお、1500MWe プラントでは、RV 内径が $\phi 10\text{m}$ を超えるため、製造側の設備増強改造が必要となる。これを考慮し、RV 製造単価を従来の 2 倍にしてコスト計算することとした。

直接炉心冷却系熱交換器 (DHX) を含む容器の高さ関係は、燃料集合体長さ及び DHX の自然循環ヘッドを変えないため、1124MWe プラントと同一とした。

(3) 1 次系主配管

RV と PCV とを接続する 1 次系主配管は、配管長さ及び配管内流速を 1124MWe プラントと同じにする条件で算出することとした。

配管流速を同じとする条件下では、配管径は流量比 (すなわち出力比) の平方根に比例することになる。また、主配管肉厚は主配管径に比例するため、主配管肉厚も出力比の平方根に比例する。

1 次系主配管物量は、主配管径と肉厚に比例すると考えられるため、言い換えると、主配管物量は出力比に比例することになる。

(4) タービン及び動力変換容器 (PCV)

タービン及び PCV 物量算出の考え方は、以下の通りである。

- ① タービンブレードの流速を 1124MWe プラントと同一とした。
- ② 熱交換機内の流速を 1124MWe プラントと同一とした。
- ③ 発電機の長さ (高さ) については、既存の内部冷却タービン発電機のカタログ⁽⁶⁾ から出力に対する発電機長さ比を求め、それを参考に 1500MWe プラントの発電機高さを求めた。
- ④ PCV の高さは上項により求めた発電機高さを考慮して定めた。

上記の考え方に基くと、PCV 内径は出力比の平方根に比例し、PCV 板厚は PCV 内径に比例するとして、出力比の平方根に比例する。

発電機高さについては、以下のように推定した。

参考文献(6)の内部冷却タービン発電機のカタログによると、現在対象としている発電機容量に近い 250MWe 及び 350MWe での発電機長さは、それぞれ 13800mm、15500mm

であり、断面形状寸法は変わらない。これらの値より、出力に対する発電機長さ比をそれぞれ求め、発電機長さ比の関係から 1500MWe プラントでの発電機高さを推定すると約 17200mm となる (1124MWe プラントの発電機長さは 16m)。したがって、発電機高さは約 1.2m 長くなるものとした。

PCV 高さも 1124MWe プラントの 43m から約 1.2m 高くなるとして 44.2m とした。

PCV 物量は、PCV 内径と PCV 板厚と PCV 高さに比例するとして算出した。

(5) 原子炉格納容器 (CV)

(a) RV と PCV の配置

1500MWe プラントのガスタービン基数は 1124MWe プラントと同じ 4 基であり、配置は 1124MWe プラントと同様の考え方に基づくものとした。

(b) CV 内径と板厚

CV 内径は、内部コンクリート厚さは 1124MWe プラントと同一とし、PCV と CV とのギャップ及び配管長さを 1124MWe プラントと同一とするのを基本寸法とし、これに CV 内の配置性を考慮して最終的な CV 内径寸法を決定した。

以上の考え方に基づき、CV 内径は以下のように定めた。

- ① RV 外径と PCV 外径の増加による CV 内径の増分は、

$$(\text{RV 外径の増分}) + (\text{PCV 外径の増分}) \times 2$$

- ② RV 外径の増分は、1.16m (表 4-1 より)

- ③ PCV 外径の増分は、1.28m (表 4-1 より)

すなわち、CV 内径の増分は約 4m となり、CV 内径は 43m とした。

なお、CV 板厚は、最高使用圧力 0.59MPa(gauge)を考慮して、55mm をベースに CV 内径に比例するものとして定め、61mm とした。

(c) CV 高さ

CV 高さは、PCV 高さが増えた分が高くなるものとして 1124MWe プラントの 49.5m から 1.2m 高くなるとして、51m と仮定した。

一方、ヘリウムインベントリは、RV 体積及び PCV 体積の増加により 1124MWe プラントより約 35%増加している。CV 内体積は、上記の設定 (CV 内径が 4m 増大、CV 高さが 1.2m 増大) から算出すると、約 25%の増加となる。したがって、減圧事故条件下での CV 内圧力は 1124MWe プラントより約 10%増加することになる。そこで、CV 高さをさらに 10%高くして、1124MWe プラントと同等の内圧となるようにし、CV 高さを 56m とした。これにより、CV 内スペースの狭溢さも緩和し、CV 内配置性を確保するものとした。

CV 物量は、CV 内径と CV 板厚と CV 高さに比例するとして算出した。

(6) 原子炉建屋 (RB)

RB 容積の算出については、従来設計を基に出力比から算出した。具体的には、平成 14 年度のナトリウム冷却中型炉 (モジュールプラント 1500MWe) とシングルプラント (750MWe) の出力比に対する建屋容積の指数を出し、その値を本検討における建屋容積算定に使用した。結果は約 240,000m³ であった。(なお、建屋容積の算出法として、表 1 に記載した CV 内径に比例するものとして算出した場合の値は、238,000m³ となり、出力比に基づく値と大差ない結果となった。)

RB 容積としては、上記の値 240,000m³ に CV 高さが増加した分、RB 高さも高くなるとして、その比を乗じた値とする。

1500MWe プラントの RB 高さは、1124MWe プラントの RB 高さ 83.5m に対し 6.5m 増加して 90m とした。その高さ比 8% を乗じて 1500MWe プラントの建屋容積は約 260,000m³ とした。

(7) 補助炉心冷却系

表 4-2 に補助炉心冷却系のシステム構成・除熱容量を示す。

システム構成は 1124MWe プラントと同じ 50%×4 ループとした。除熱容量は原子炉出力に比例するものとして容量を定めた。

4. 4 コスト出力依存性評価

(1) 物量評価

前述の 4.3.2 項により算出した主要機器の物量データを表 4-3 に示す。

(2) 建設コスト評価結果

平成 15 年度最終設計の 1124MWe プラントをリファレンスとして、出力増大させた 1500MWe プラントの建設単価を CCC により算出した（1500MWe プラントの建設期間は、1124MWe プラントの 46.5 ヶ月に対して CV 工事期間が伸びることを考慮し、51 ヶ月と設定）。

表 4-4 に建設単価比を示す（表 4-4 に示した建設単価はツインプラントをベースに算出したものである）。電気出力を 1500MWe まで増大させたプラントは、1124MWe プラント（平成 15 年度最終設計）に対する建設単価比では 0.93 となった。参考に、図 4-1 に 1500MWe プラントの建設単価の内訳を示す。

4. 5 まとめ

炉心燃料設計、安全設計、プラント成立性等の技術的課題は評価していないという条件付きではあるが、1500MWe に出力を増大させたプラントの建設単価は、1500MWe に出力を増大させることにより、建設単価が 7%程度低減される可能性を示す結果を得た。

表 4-1 主要機器の主要寸法

		1500MWe プラント (想 定)	1124MWe プラント (H15 年度最終)
原子炉熱出力		3200 MWt	2400 MWt
原子炉 容器 (RV)	炉心等価径	6.5 m	5.64 m
	炉心槽外径	9.16 m	8.16 m
	RV 内径	10.38 m	9.26 m
	RV 板厚	170 mm	150 mm
動力変換 容器 (PCV)	PCV 内径	9.24 m	8.0 m
	PCV 板厚	150 mm	130 mm
	PCV 高さ	44.2 m	43 m
原子炉 格納容器 (CV)	CV 内径	43 m	39 m
	CV 板厚	61 mm	55 mm
	CV 高さ	56 m	49.5 m

表 4-2 補助炉心冷却系システム構成と除熱容量

	1500MWe プラント (想 定)	1124MWe プラント (H15 年度最終)
ループ構成	50%×4 系統	50%×4 系統
除熱量		
強制循環時	36.4 MWt/系統	27.3 MWt/系統
自然循環時	11.0 MWt/系統	8.25 MWt/系統

表 4-3 主要機器の物量データ

設備・機器	単位	物 量		
		1500MWe プラント (想 定)	1124MWe プラント (H15 年度最終)	備 考
電気出力	MWe	1500	1124	
熱出力	MWt	3200	2400	
ループ数	ループ	4	4	
ユニット数	プラント	2	2	
冷却材	—	ヘリウムガス	ヘリウムガス	
原子炉容器	ton	1381	1087	径と板厚に比例
炉内構造物	ton	633	503	径の 2 乗に比例
1 次系配管	ton	147	110	出力に比例
動力変換容器	ton	1082×4	790×4	径と板厚と高さに比例
GT 発電機設備	MWt	800×4	600×4	出力に比例
原子炉格納容器	ton	5300	3830	径と板厚と高さに比例
原子炉建屋容積	m ³	260,000	218,000	従来設計を基に出力比より算定

表 4-4 建設単価

	1500MWe プラント (想 定)	1124MWe プラント (H15 年度最終)
原子炉出力 (MWt)	3200	2400
電気出力 (MWe)	1500	1120
建設単価比 (-)	0.93	1

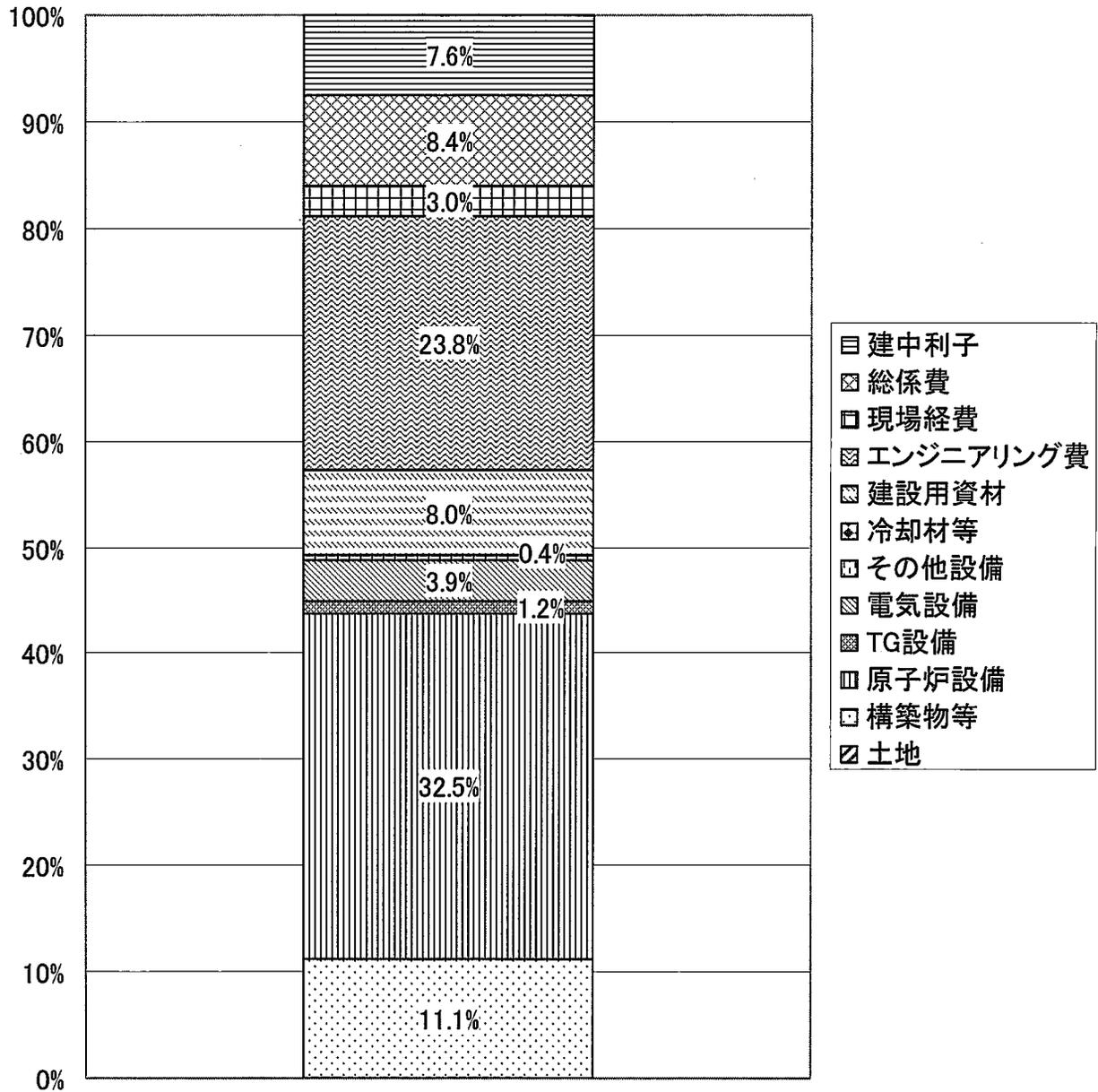


図 4-1 建設単価内訳

5. おわりに

平成 16 年度プラント検討において、これまで検討してきた電気出力 1124MWe ヘリウムガス炉プラントに対し、電気出力をナトリウム冷却大型炉と同様の 1500MWe まで増大できると仮定して、経済性効果の程度を推定することを目的に予備的な検討を行った。

検討の結果、電気出力を 1500MWe まで増大させたプラントは、1124MWe プラントに対する建設単価比で 0.93 となり、炉心燃料設計、安全設計、プラント成立性等の技術的課題は評価していないという条件付きではあるが、1500MWe に出力を増大させることにより、建設単価が 7%程度低減の可能性を示す結果を得た。

今後、電気出力を 1500MWe まで増大させた場合のプラント成立性等について検討していく予定である。

謝 辞

本ヘリウムガス冷却高速炉のコスト出力依存性の概略評価については、サイクル機構・大洗工学センターにおいて議論した検討方法を基本とし、三菱重工業(株) 大久保良幸氏にご協力頂きました。

この場において、感謝の意を込めてお礼を申し述べさせていただきます。

参考文献

- (1) 一宮正和, 他: “FBR システム技術検討書－平成 12 年度報告－”, JNC TY9400 2001-012, p.843～955, (2001)
- (2) 此村守, 他: “高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズ II 中間報告－原子炉プラントシステム技術検討書－”, JNC TN9400 2004-035, P.1118～1418, (2004)
- (3) 森部剛志, 他: “ガス炉のプラント概念に関する研究”, JNC TY9400 2004-007, P.351～356, (2004)
- (4) 一宮正和, 他: “FBR システム技術検討書－平成 12 年度報告－”, JNC TY9400 2001-012, p.878～881, (2001)
- (5) Malcolm P. LaBar: “The Gas Turbine - Modular Helium Reactor: A Promising Option for Near Term Deployment”, General Atomics GA-A23952, (2002)
- (6) 三菱重工業カタログ: “三菱 水素冷却・内部冷却タービン発電機”