

# 円筒型原子炉格納容器と建屋配置

## Cylindrical Primary Containment Vessel and Reactor Building Layout Concept

新型沸騰水型原子力発電設備では、インターナルポンプの採用を基本条件として圧力抑制機能、機器・配管類の配置、経済性・建設施工性などについて評価した結果、世界で初めて原子炉建屋と一体となった円筒型鉄筋コンクリート製原子炉格納容器の採用を検討している。

この原子炉格納容器を内蔵する原子炉建屋は、原子炉格納容器との一体化による建築構造の合理化、収納機器設備の合理化による機器設置スペースの縮小、更には保守点検スペースの共用化・合理化などを行ない、原子炉建屋容積の低減及び建設工程の短縮を図っている。

小山田 修\* *Osamu Oyamada*  
 古川 秀康\* *Hideyasu Furukawa*  
 江端 栄\* *Sakae Ebata*  
 渡里正英\* *Masahide Watari*

### 1 緒言

ABWR(新型沸騰水型原子力発電設備)の原子炉格納容器は、種々の検討を経て円筒型鉄筋コンクリート製原子炉格納容器を採用することとした。この円筒型原子炉格納容器は、原子炉圧力容器内蔵型原子炉冷却材再循環系ポンプを採用しているため大口径一次系再循環配管がなく、かつ安全系配管を操作作業床(グレーチング)下部に分離配置していることから、安全性、被ばく低減に優れている。更に、従来の改良標準型原子炉格納容器を採用した原子炉建屋と比べて出力比を考慮すると、20%以上内容積が低減されている。以下に円筒型原子炉格納容器及び建屋配置について述べる。

あり、この事故時に加わる圧力・温度に十分耐えるほか、想定最大地震に対しても耐えられる設計となっている。

ABWRの原子炉格納容器は、RCCV(鉄筋コンクリート製格納容器)を採用するものとしているが、RCCVについては国内での建設実績がないことから、基礎的な実験及びABWR型RCCV形状での健全性を確認するためのモデル実験を学識経験者の助言を得ながら東京電力株式会社をはじめとするBWR(沸騰水型原子力発電)電力会社、日立製作所、株式会社東芝により電力共同研究を推進中である。

図1に円筒型RCCVと従来の改良標準型鋼製格納容器の形状比較を示す。

### 2 円筒型原子炉格納容器の概要

原子炉格納容器は内部に原子炉圧力容器、インターナルポンプ(原子炉圧力容器内蔵型原子炉冷却材再循環系ポンプ)、主蒸気系配管、非常用炉心冷却配管などを内蔵し、配管破断による冷却材喪失事故を想定した場合にあっても放射性物質を外部に出すことなく封じ込めるといった役割を果たすもので

### 3 円筒型原子炉格納容器の形状設定

ABWRの原子炉格納容器の形状については、当初は建屋と独立した自立円すい型<sup>1)</sup>を検討した。その後、原子炉建屋全体にわたる建設工程を含めた経済性追求の検討結果から、建屋と一体の円筒型原子炉格納容器を採用することにした。

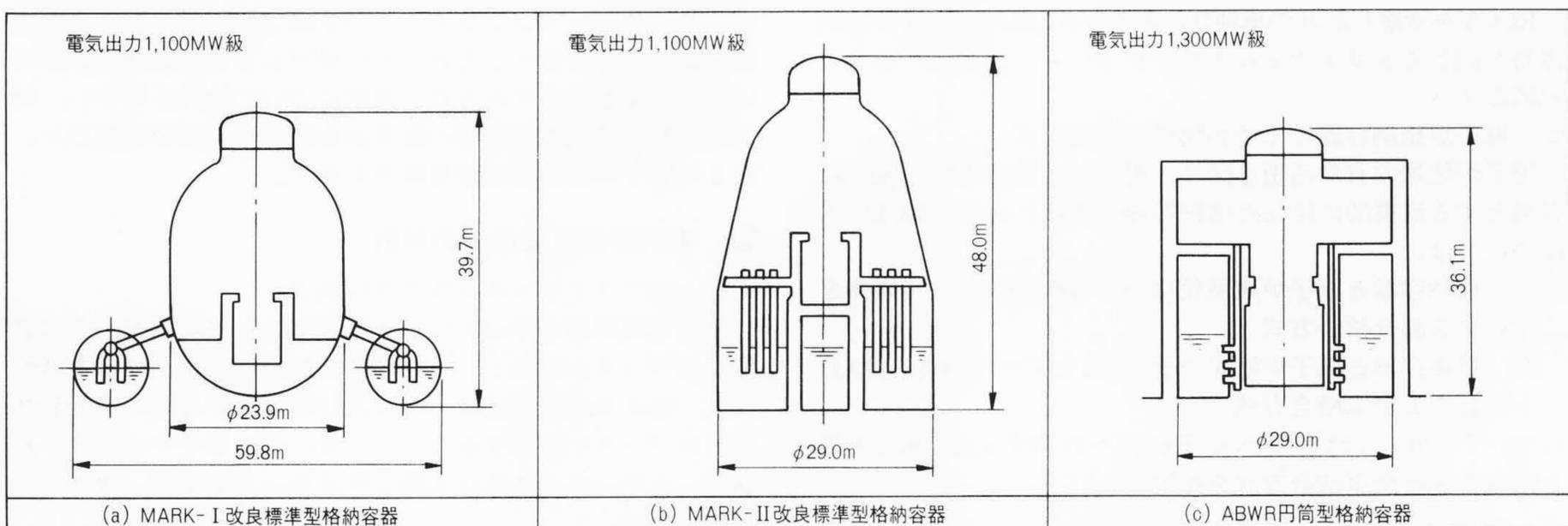


図1 原子炉格納容器の形状・寸法比較 ABWRでは従来の鋼製容器に代わり国内初の鉄筋コンクリート製容器を採用しており、また、ベント方式についても垂直方式に代わって水平方式を採用した。

\* 日立製作所日立工場

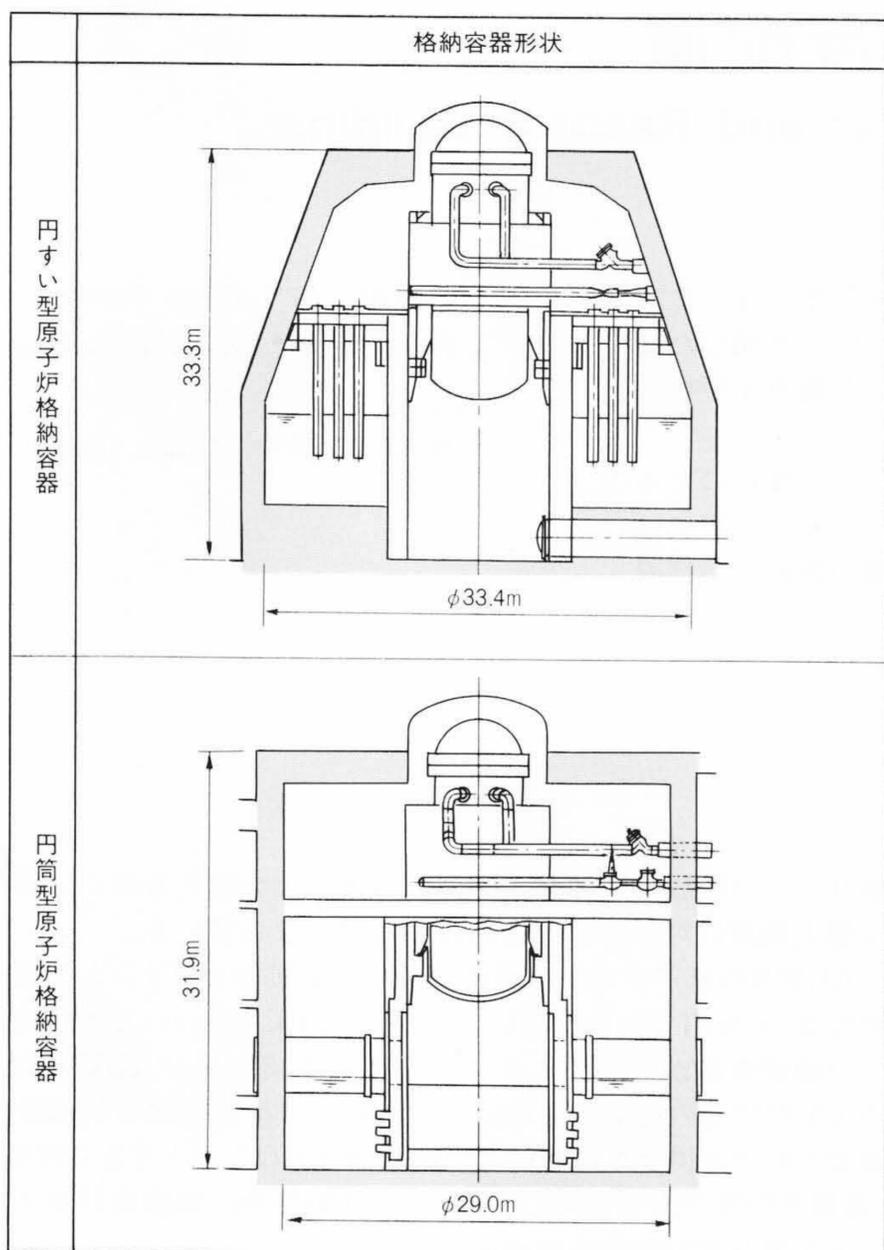


図2 丸すい型原子炉格納容器と円筒型原子炉格納容器の比較  
丸すい型及び円筒型原子炉格納容器の各断面形状を示す。円筒型は建屋と一体化されており、丸すい型に比べて建屋構造の合理化、及び建設工期短縮の点で優れている。

図2に、丸すい型原子炉格納容器と円筒型原子炉格納容器の形状比較を示す。

なお、円筒型原子炉格納容器の主要寸法の設定に当たっては、RCCVとしての特徴を生かすため以下の点を考慮した。

(1) ドライウェルとサブプレッションチェンバの上下配置

RCCVを考慮し形状の単純化の観点から、MARK-II型格納容器と同じくドライウェルとサブプレッションチェンバを上下配置とする。

(2) 原子炉格納容器と原子炉建屋の構造形式

原子炉建屋の有効活用を図り、更に高地震域までの適用を容易とする耐震的に優れた格納容器とするために、構造形式については、

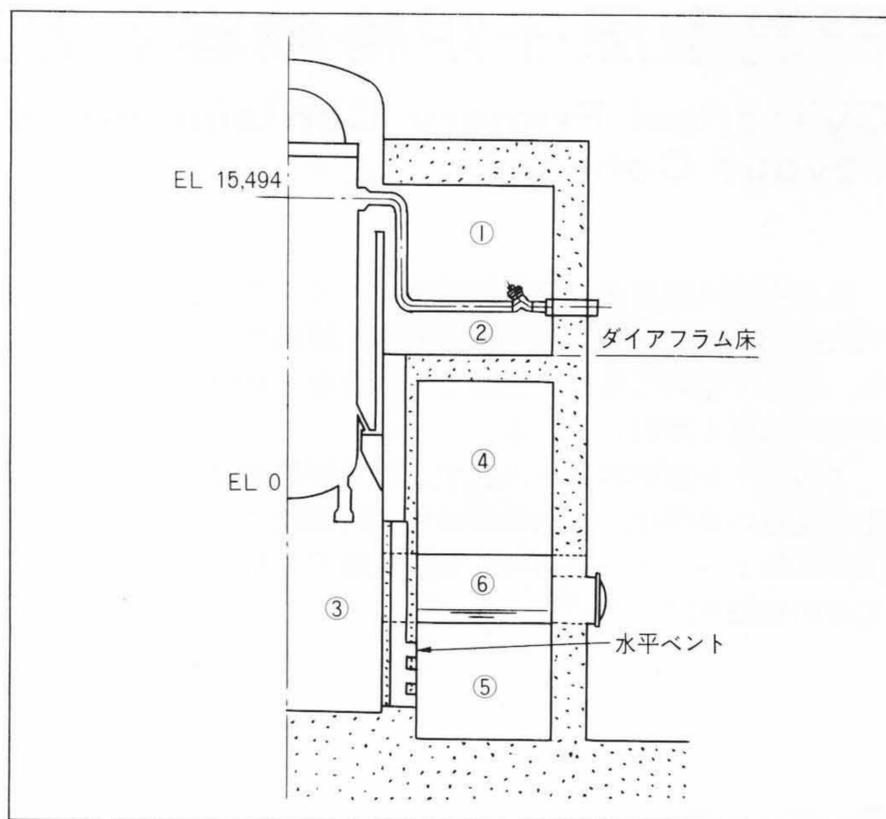
(a) 格納容器と原子炉建屋使用済み燃料貯蔵プール躯体を結合する部分結合方式

(b) 格納容器と原子炉建屋の全床(同上プール躯体を含む)を結合する全床結合方式

について解析・評価を行ない、RCCVへ作用するせん断応力度を軽減できる全床結合方式を採用した。

(3) ベント方式

格納容器の圧力抑制機能については、従来のMARK-II型に採用されている垂直ベント方式、及び海外プラントで採用されている水平ベント方式の両案について評価検討し、物量削減及び格納容器内部スペースの有効活用の観点から水平ベント方式を選定した。



No.	名称	用途
①	上部ドライウェル	<ul style="list-style-type: none"> <li>●主蒸気系配管引き回しスペース</li> <li>●主蒸気隔離弁、安全弁搬出入スペース</li> <li>●換気空調設備設置スペース</li> <li>●ケーブル、ダクト、計装配管など設置スペース</li> </ul>
②	上部ドライウェル	<ul style="list-style-type: none"> <li>●給水系配管、非常用炉心冷却系配管引き回しスペース</li> <li>●配管支持構造スペース</li> <li>●ケーブル、ダクト、計装配管など設置スペース</li> </ul>
③	下部ドライウェル	<ul style="list-style-type: none"> <li>●インターナルポンプ搬出入スペース</li> <li>●制御棒駆動機構分解交換設備搬出入スペース</li> </ul>
④	サブプレッションチェンバ空間部	●安全上必要な空間部容積
⑤	サブプレッションプール	●安全上及びシステム上必要な水を保有するプール
⑥	下部ドライウェルトンネル	●機器ハッチ、人員ハッチ、制御棒駆動機構配管、移動式炉心内計測装置用トンネル設置スペース

図3 格納容器内配置概念図 ABWRでは国内初の水平ベント方式を採用しているが、従来の垂直ベント方式に比較して格納容器に与える事故時の水力学的動荷重は大幅に低減される。水平ベント方式の蒸気凝縮性能については、国外で実施例があり十分確認済みである。

(4) 下部ドライウェルへの接近方式

原子炉建屋から格納容器下部ドライウェル室への接近方式として、サブプレッションチェンバ下部コンクリートマット内にトンネルを設置する方式、及びサブプレッションチェンバ内にトンネルを設置する方式の両案について検討を行ない、物量削減及び建設工期短縮の観点から後者の方式を採用した。

図3に原子炉格納容器配置概念を示す。

4 格納容器主要仕様の検討

(1) 上部ドライウェル必要径及び高さ

主蒸気系配管を中心として上部には逃し安全弁搬出入に必要なスペースを確保し、下部には支持構造物水平材設置スペース、給水系配管設置スペース及び非常用炉心冷却系配管類設置スペースを確保するものとして、径寸法を中心とするパラメータサーベイにより上部ドライウェル必要径・高さ寸法を決定した。

(2) 下部ドライウェル必要径及び高さ

新型のCRD(制御棒駆動機構)及びインターナルポンプの取扱い装置用スペース及び人員通路用スペースにより必要径・高さの寸法を決定した。また、従来プラントと大きく変更となった下部ドライウェルの配置検討に当たっては、図4に示

すように、実物大部分モデルを製作し、インターナルポンプの保守点検性や通路性について確認を行なった。

(3) サプレッションチェンバ必要高さ

従来の格納容器と同様、機器などの配置上の要求からドライウェル内の必要空間容積を決めた後、過渡解析を行ない所定の設計圧力、温度を設定できるように、サプレッションチェンバ空間容積及びサプレッションプール水量を決定した。

設計圧力は(国内のMARK-II型格納容器がゲージ圧3.16 kg/cm<sup>2</sup>であること及びこれを基にした試設計によるRCCV配筋量がほぼ妥当なものであることを考慮し)、ゲージ圧3.16kg/cm<sup>2</sup>を目標としてサプレッションチェンバ高さを決定した。

(4) 原子炉格納容器仕様及び形状寸法

以上の検討による円筒型原子炉格納容器の主要設計仕様を表1に、主要形状寸法を図5に示す。

5 水平ベント方式

原子炉格納容器の圧力抑制方式は、基本的に従来のBWRプラントと同様、プール水を保有するサプレッションチェンバにドライウェルからの蒸気を導く方法を採用しているが、ABWRでは図5に示すように、原子炉本体基礎にベント管を

表1 円筒型原子炉格納容器及びMARK-II改良標準型原子炉格納容器の主要仕様比較 鉄筋コンクリート製円筒型及び水平ベント方式の採用などにより、MARK-II改良標準型に比べて約25%の高さ低減を実現した。

		円筒型原子炉格納容器	MARK-II改良標準型原子炉格納容器
内 径		29m	29m (サプレッションチェンバ部)
全 高		約36m	約48m
ドライウェル容積	上部ドライウェル容積	約5,500m <sup>3</sup>	約7,350m <sup>3</sup>
	下部ドライウェル容積	約1,850m <sup>3</sup>	
サプレッションチェンバ空間容積		約5,950m <sup>3</sup>	約5,700m <sup>3</sup>
サプレッションチェンバ水容積(L.W.L)		約3,580m <sup>3</sup>	約4,000m <sup>3</sup>
設 計 圧 力		ゲージ圧3.16kg/cm <sup>2</sup>	ゲージ圧3.16kg/cm <sup>2</sup>

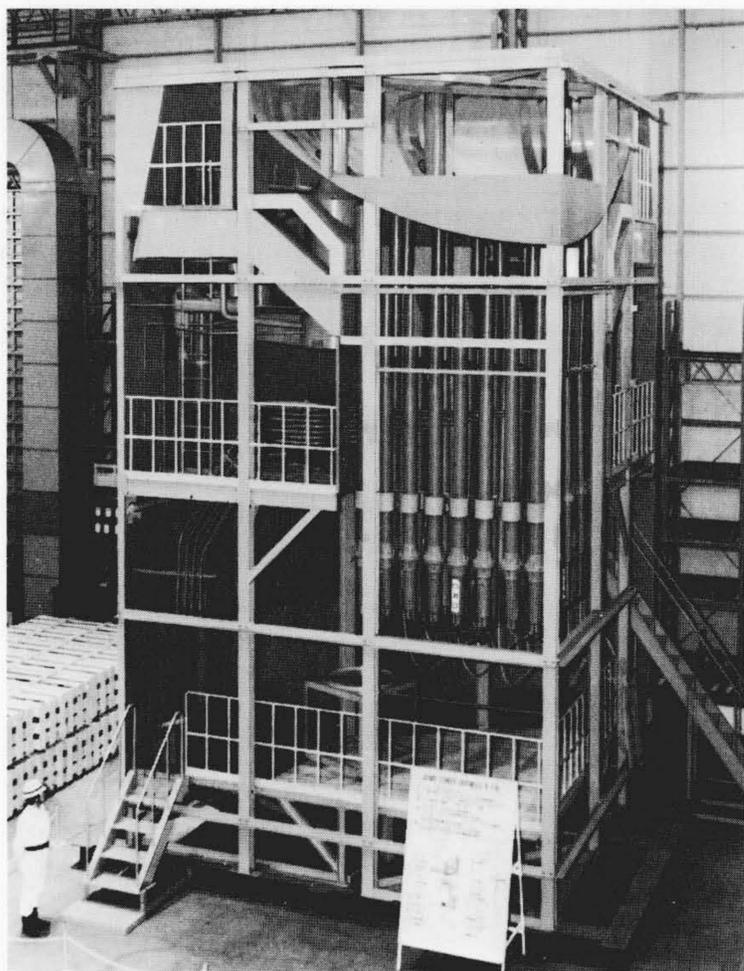


図4 下部ドライウェル実物大部分モデル 下部ドライウェル周りの作業性・保守点検性については、実物大部分モデルにより確認した。

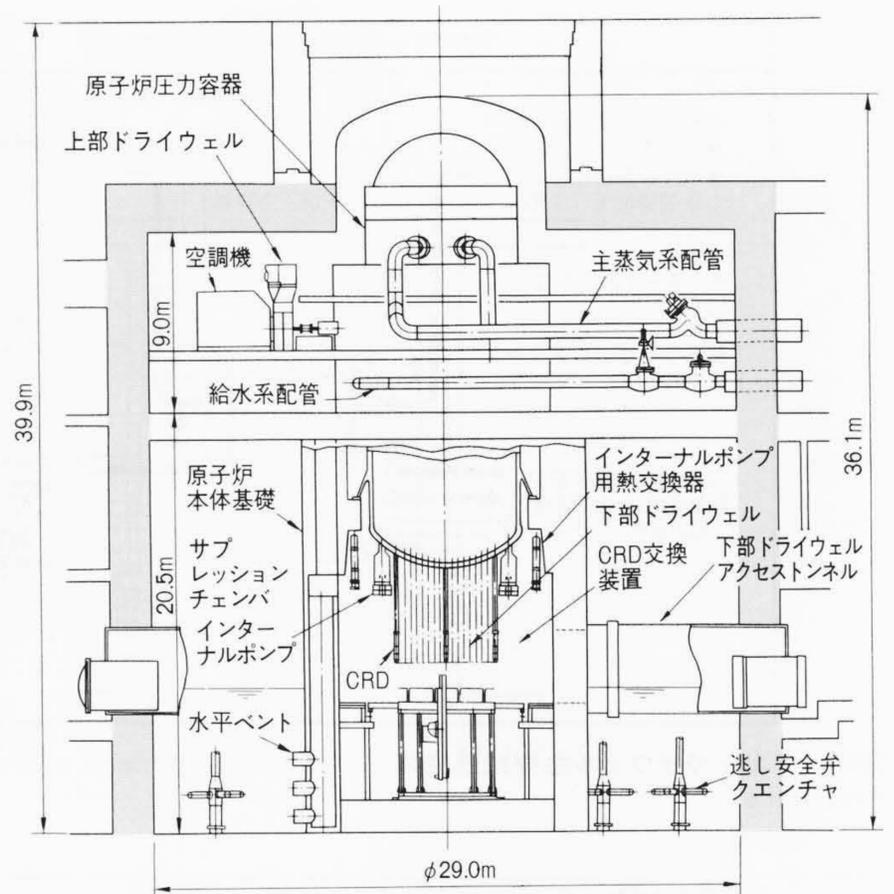


図5 円筒型原子炉格納容器主要形状寸法 円筒型原子炉格納容器内は、上部ドライウェル、下部ドライウェル及びサプレッションチェンバ部の三つのスペースに区分され、上部ドライウェルには、主蒸気系・給水系配管、空調機などが、下部ドライウェルには、CRD交換装置(インターナルポンプ分解・点検架台と兼用)などが、サプレッションチェンバ内には、アクセストンネル、逃し安全弁クエンチャなどが収納される。

内蔵させ、サプレッションチェンバプール水内に水平に放出させる水平ベント方式を採用している。この方式はMARK-II型格納容器での垂直ベント方式に比べて、物量の低減と格納容器に作用する事故時水力的動荷重の低減に効果がある。

6 下部ドライウェルアクセストンネル

下部ドライウェルへの接近方式としては、特に経済性及び建設工期の点で優れているサプレッションチェンバ内の空間部にトンネルを設置する方式を採用した。

下部ドライウェルの主要接近径路を図6に示す。このトンネルは鋼製であるが、想定事故時のドライウェルとサプレッションチェンバ間の差圧に耐えるほか、原子炉本体基礎とRCCVの熱膨脹差を吸収する必要がある。そのために考案されたのが図7に示すフレキシブルリングを採用した構造で、中間に設けられたフレキシブルリング部により熱膨脹差を吸収することが可能であり、ベローズのような薄肉部は不要である。この鋼製トンネルは、詳細応力解析により強度的に問題のないことが確認されているが、解析に用いた有限要素法のモデルを図8に示す。

7 建屋内配置

円筒型原子炉格納容器を収納する原子炉建屋内機器配置の一例を以下に述べる。

原子炉建屋の基本概念は、円筒型原子炉格納容器を中心として、下階には非常用炉心冷却系設備、原子炉冷却材浄化設備及び非常用発電・電気設備を配置し、上階には使用済み燃料貯蔵設備を配置することにより建屋内収納設備を最小とし、原子炉建屋の建設工期短縮及び建屋容積の低減を図るものとした。検討結果による二次格納施設(原子炉建屋で原子炉格納容器を内包し、気密性を保持するように設計される部位)容積

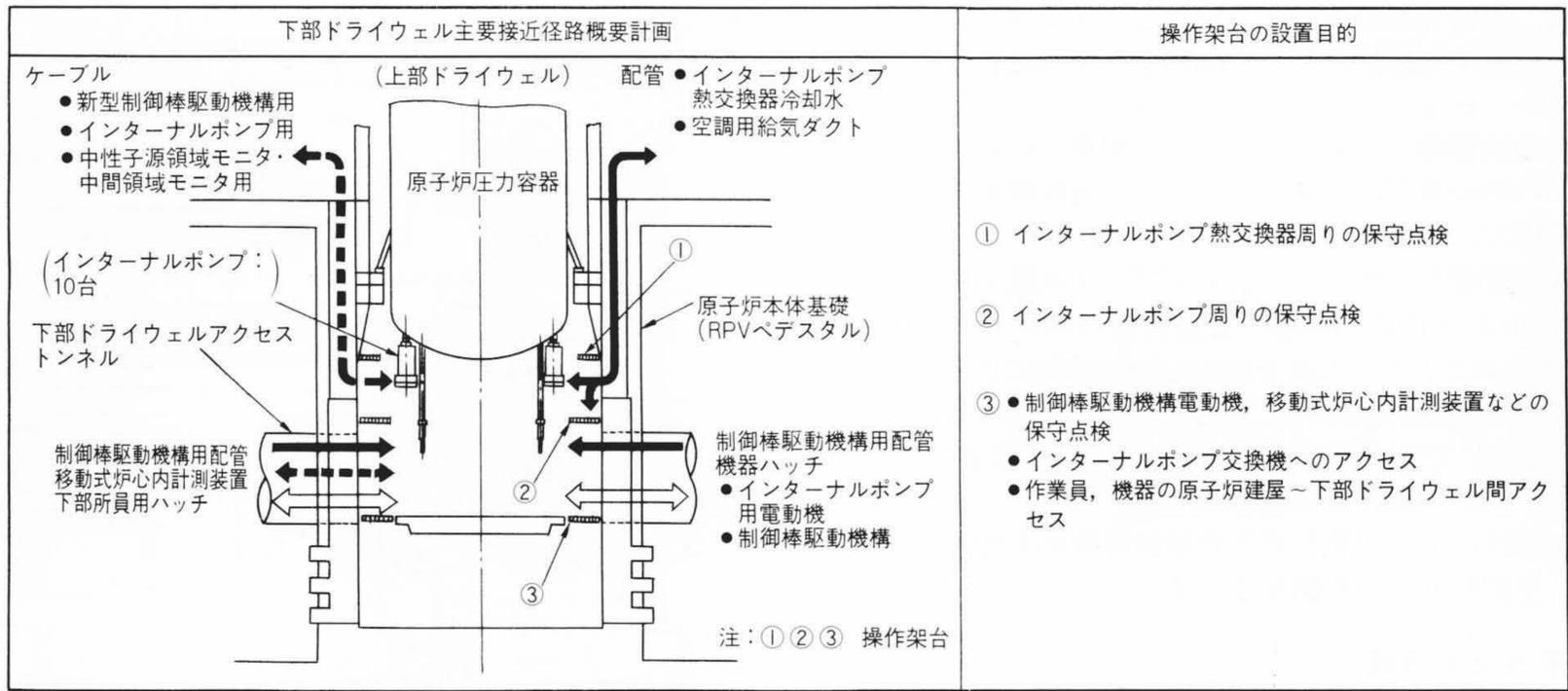


図6 下部ドライウェル主要接近経路 外部からの人員の連絡，機器の搬出入及び制御棒駆動機構用配管類連絡は，2箇所設置したアクセストンネルにより行なわれる。

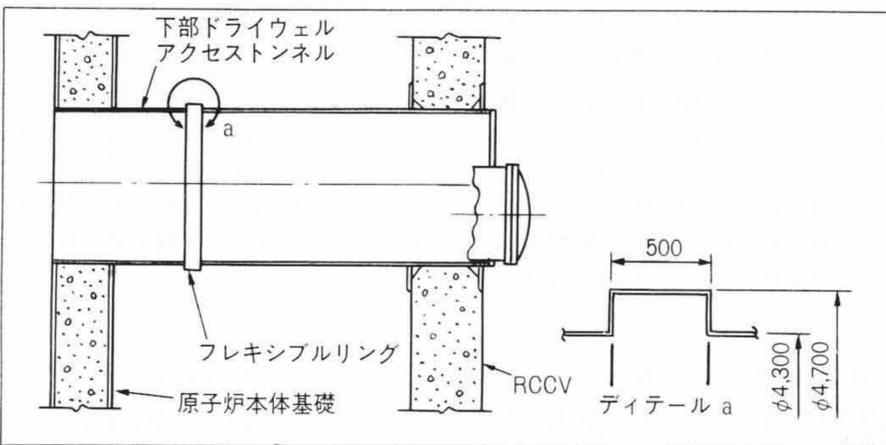


図7 下部ドライウェルアクセストンネル 中間に凸部(これをフレキシブルリングと称している。)を設けたことにより，トンネル両端の熱膨脹差を吸収できる。

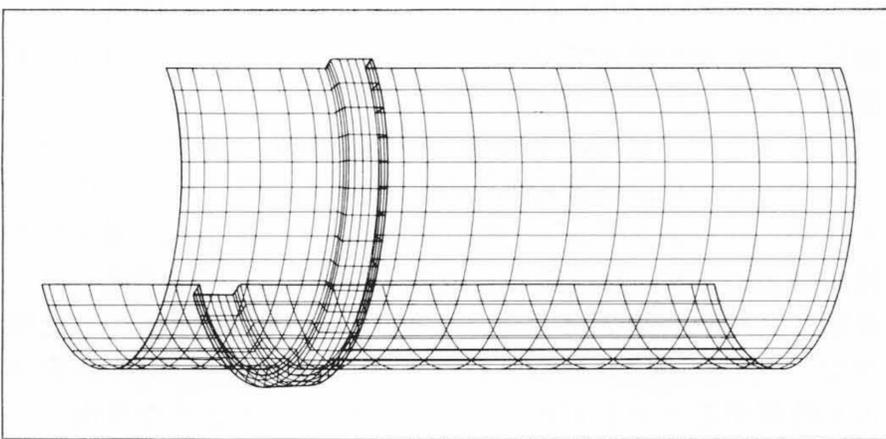


図8 下部ドライウェルアクセストンネル構造解析用モデル図 この3次元モデルを用いて，差圧及び熱膨脹荷重に耐えられることを確認した。

は，インターナルポンプを採用し縮小化が図られた円筒型原子炉格納容器及び機器・設備の合理化などの適用により，ABWR原子炉建屋ではMARK-II改良標準型(電気出力1,100MWクラス)に対して約20%(二次格納施設容積：MARK-II改良標準型約 $170 \times 10^3 \text{m}^3 \rightarrow$  ABWR約 $140 \times 10^3 \text{m}^3$ )の容積減を達成している。図9に原子炉建屋配置断面図(例)を示す。

一方，高地震地域での建屋配置としては，上記建屋の周囲の同一基礎マット上に付属棟を設置し，マット幅を広げることによって安定性を増加させることで対応することとしている。

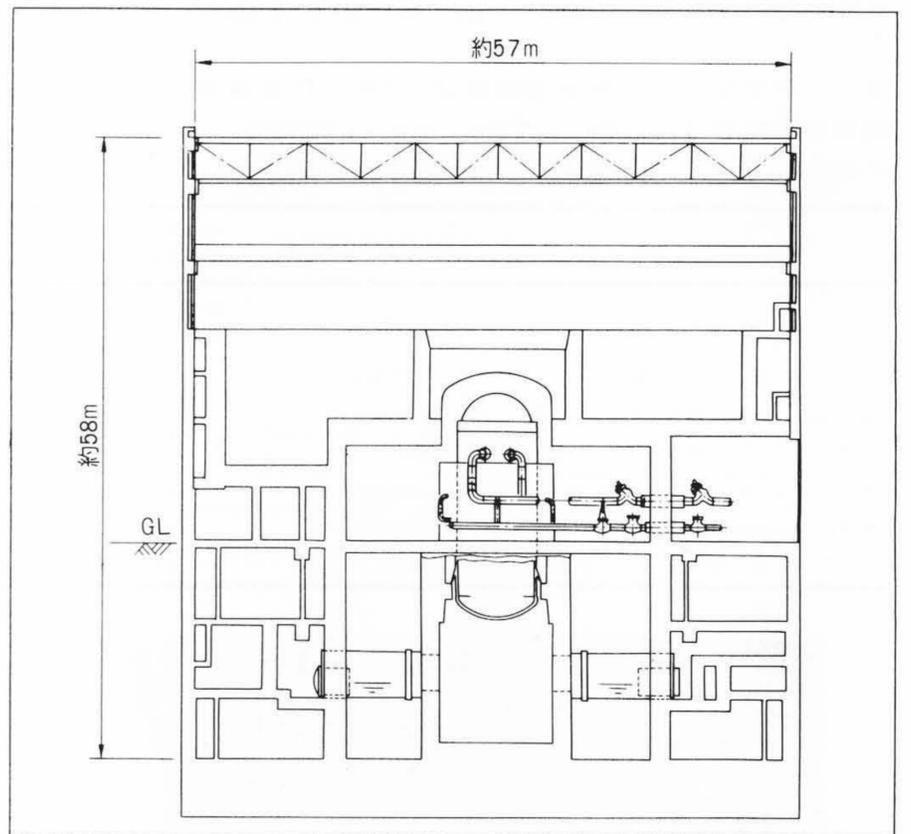


図9 原子炉建屋断面図(例) 円筒型原子炉格納容器を採用し，原子炉建屋と一体化による建築構造の合理化，機器設備の合理化などを行ない，原子炉建屋容積の低減を図っている。

## 8 結 言

ABWRに適用する円筒型原子炉格納容器及び建屋は，工学安全系の分離配置など従来プラント以上の安全性・保守点検性を持ち，更に建設工期の短縮・建設費及び被ばく線量の低減という軽水型原子力発電設備に対する今日の社会的ニーズに十分対応できることを確認した。

最後に，本原子炉格納容器及び建屋配置の設計に当たり，御指導をいただいた東京電力株式会社殿をはじめ，関係各位に対し深く感謝の意を表わす次第である。

## 参考文献

- 1) 高島，外：ABWR(新型沸騰水型原子力プラント)の開発，日立評論，66，4，305～310(昭59-4)