# 改良標準型MARK-II原子炉格納容器

## Improved MARK-II Primary Containment Vessel

原子力発電所での原子炉格納容器は、原子炉圧力容器をはじめ原子炉冷却材再循環系ポンプ及び配管、非常用炉心冷却系配管などの設備を収納し、事故時の一次障壁となる最も重要な容器である。内部の機器設備・配管系は、その重要性から定期検査時の保守点検項目が規定され、それに基づいて、実施されているが、従来の原子力発電所では格納容器内スペースの制約から、主蒸気逃し安全弁の搬出入、ISIなどの保守点検作業スペース確保につき改善の要望が各方面から出されていた。

これらの経験を踏まえ、昭和49年から格納容器内の作業性改善を中心に、原子炉格納容器の改良に関する検討を開始した。一方、国内の動きとしては、昭和50年から通商産業省指導の下に、原子力発電所の安全性向上、作業員被ばく低減などを目的とした改良標準化が進められ、日立製作所としてもこの改良標準化の場に参加し検討を進めてきた。東京電力株式会社福島第二原子力発電所2号機は、沸騰水型原子力発電所としては、上記改良標準化結果を実設計に反映し、営業運転に入った初号機である。

今回営業運転に入った本2号機には、その結果を反映して原子炉格納容器の直径拡大、パイプホイップ構造強化による安全性向上、機器ハッチ・逃し安全弁搬出入ハッチ追加による作業性改善、曲げ管大幅採用による溶接線長低減、ドライウエル冷却器の上下分離配置による効果的な冷却方式の採用など、随所に改良が織り込まれている。

二井内親兵衛\* Shimbei Niinai 江 端 栄\*\* Sakae Ebata

## ■ 緒 言

## 2 原子炉格納容器の改良標準化

原子炉格納容器は原子炉建屋の中心に設置され、内部に原子炉圧力容器、原子炉冷却材再循環ポンプ及び原子炉冷却材再循環系配管、主蒸気系配管、非常用炉心冷却系配管などを含む鋼製容器である。原子炉格納容器本体は、内部での仮想事故時に発生する高温蒸気、高温水を閉じ込めると同時に、下部にあるサプレッションチェンバ内保有水で凝縮、減圧することを目的とした一次障壁となっており、事故時圧力・温度、想定最大地震に対しても耐えられる形状、板厚、材質になっている。

原子炉格納容器内での改良標準化は、特に容器内の作業性改善による被ばく低減、建設作業の改善に力点をおいて進められた。このために、(1)各種自動化機器採用スペースの確保〔自動配管溶接機、CRD(制御棒駆動機構)自動交換装置、自動ISI(In-Service Inspection:供用期間中検査)装置など〕、(2)建設作業・点検作業の改善〔(a)原子炉圧力容器と原子炉遮へい壁間の間隙を拡大して原子炉遮へい壁完成後の原子炉圧

力容器搬入を可能としたことによる原子炉圧力容器製作工程の緩和,(b)原子炉遮へい壁配管貫通部での観音開き扉の採用,(c)主蒸気系配管母管エリアと給水系配管母管エリアの分離による逃し安全弁への接近・搬出入の簡易化など〕,(3)機器点検・搬出入専用治具の設置〔(a)逃し安全弁搬出入用一周モノレール類の設置,(b)主蒸気隔離弁分解点検用モノレール類の設置など〕,の種々の改良を実施した。また、主蒸気配管・給水配管の分離設置、作業員通路スペースの改善、など積極的な提案を行ない種々の改善を推進した。

今回、福島第二・2号機に採用された原子炉格納容器はMARK-II改良型と言われ、東京電力株式会社福島第一原子力発電所6号機、及び日本原子力発電株式会社東海第二発電所に採用された我が国最初のMARK-II型と呼ばれる原子炉格納容器の形状及び寸法を改良したものである。本福島第二・2号機はプラント計画当初から通商産業省、東京電力株式会社の指導により、特に原子炉格納容器本体及び内部構造物の安全性向上、作業員被ばく低減を目的とした改良及びコスト低減・許認可審査期間の短縮を目的とした標準化を目指し、沸騰水型原子力発電所適用としては運転開始した初号機として隣接3、4号機ほかMARK-II改良型原子力発電所の標準になったものである。

MARK-II改良型原子炉格納容器の特長は、下記のとおりである。

- (1) 原子炉格納容器内作業性の改善(放射線被ばく低減)
- (2) 建設時原子炉格納容器内作業性の改善
- (3) 原子炉格納容器内配管サポート,パイプホイップ支持構造の強化
- (4) 工学的安全系検出・制御系統の系統分離による信頼性向上

<sup>\*</sup> 日立製作所電力事業本部 \*\* 日立製作所日立工場

表 I MARK-II 改良型原子炉格納容器内作業性の改良項目 従来型から改良型への改良状況を項目ごとに示す。

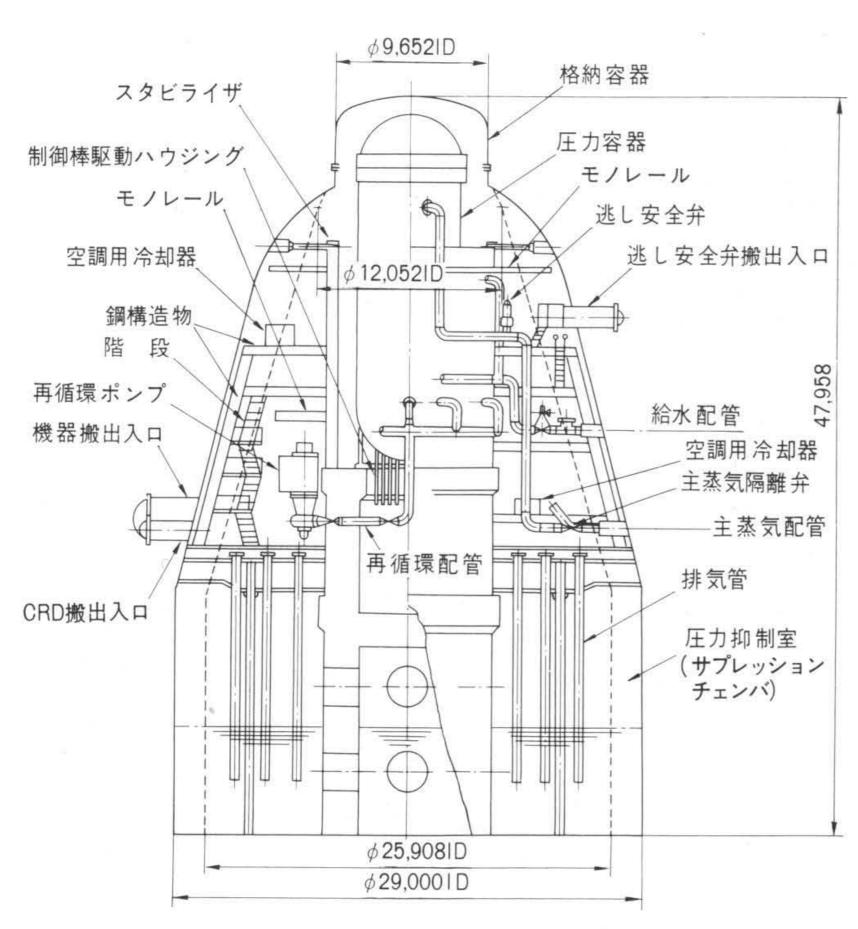
No.	項	目	従 来 形	改 良 形	効 果	
ţ	CRD自動交換	やスペース確保	狭い	十分なスペース確保	CRD交換作業改善	
2	主蒸気・給水ペネトレーション		同一レベル位置	レベル差を設けた。	●十分な作業スペースの確保	
3	主蒸気・給	水配管母管	同一レベル位置	レベル差を設けた。	● ISI作業の容易化 ●十分な逃し安全弁類搬出入スペース確保	
4	空調	機器	最下階床	上下階に分割設置	<ul><li>■電動機搬出時のダクト取外し不要</li><li>●ダクトスペース低減</li></ul>	
5	主蒸気隔離弁・弁軸取付方向		45度方向	45度方向周辺スペース拡大	主蒸気隔離の分解組立作業の改善	
6	PCV内支持構造物スペース確保		狭い	十分なスペース確保	パイプホイップ支持構造強化	
7	上下階の連絡路	階段及びはしご	はしごが主体	階段が主体	通路性の改善	
8	搬出入口	機器	Ĭ.,	2		
		C R D	1 (機器搬出入口に併設)	1(独立)	CRD交換作業改善	
		逃し安全弁	専用のものなし	独 立 設 置	取付エリアから直接搬出入	
		人 員	Ī	1		

注:略語説明·CRD(制御棒駆動機構), PCV(原子炉格納容器)

上記をすべて包含した原子炉格納容器形状・寸法の決定及び内部構造物の配置,構造上の具体的改良を,「改良標準化」での原子炉格納容器検討の目標とした。図1に原子炉格納容器形状・寸法の改良状況を,表1に内部作業性改良項目を示す。標準化では、上記検討に基づく原子炉格納容器基本寸法及び作業性改良の各項目の考え方を統一し、これらは通商産業省、電力会社を含めた場で確認されたものである。

## 3 原子炉格納容器

図1に先行MARK-II型とMARK-II改良型の形状,寸法比較を示す。MARK-II改良型では、胴径に関しては主蒸気隔離弁周りの作業スペース確保、肩部については主蒸気管ノズル出口配管と原子炉格納容器の空間を確保することにより、ISIスペース及び、後述するパイプホイップ構造物設置スペースの



注: ---- MARK-II改良型, ---- MARK-II型

図 I MARK-II改良型及びMARK-II型原子炉格納容器 直径拡大及び肩部の膨らみなど改善状況を示す。改良項目に対応した構造物を示す。

確保を行なっている。また、この径寸法拡大により主蒸気配管母管周りの逃し安全弁分解、管台ISIスペース確保にもなっている。これらの目的により改良型では、高さ寸法は不変であるが胴径寸法が大きくなると同時に、肩に相当する部分が丸みを帯びているのが分かる。

原子炉格納容器材質に関しては、径が大きくなったことに対応してサプレッションチェンバ部に先行 MARK-II 型使用のJIS G3118SGV49から降伏点及び引張強さが高い JIS G3115SPV50を採用し、現地での焼鈍を不要とした\*。図2に福島第二・2号機原子炉格納容器の建設状況を示す。

また、原子炉圧力容器と原子炉遮へい壁の間隙に関しては 先行MARK-II型では約560mmで、つり込まれる原子炉圧力容 器には間隙以上の長さのノズルが出ているため、つり込み後 でないと原子炉遮へい壁の建設が完成できず、原子炉圧力容 器据付は発電所建設でのクリティカルパスの一つを形成して いた。MARK-II改良型では間隙を950mmまで拡大して、先行し て建設済み原子炉遮へい壁内に原子炉圧力容器をつり降ろす ことを可能にし、工程短縮に寄与した。

## 分解・点検・搬出入作業性改善

MARK-II改良型採用に当たっては、被ばく低減の観点から以下のような改良を行なった。

## (1) 機器ハッチ員数の増加

機器ハッチは原子炉冷却材再循環ポンプ用電動機,主蒸気隔離弁ほかの搬出入用に設けられているが,,先行MARK-II型では電動機2台に対しハッチが1個であったため,搬出入時は約40tある電動機を原子炉格納容器内でつり装置でハッチまで移動しているため,移動スペースの確保も必要であった。更に,後述するドライウエル冷却器の配置とも関係し,電動機の搬出時にはHVAC(換気空調)ダクトの取外しが必要な発電所もあり,電動機搬出入の改善が望まれていた。MARK-II改良型では原子炉冷却材再循環ポンプの半径方向にハッチを2個設置し,搬出入作業の効率化及び原子炉格納容器内のスペースの活用を図った。

## (2) 逃し安全弁搬出入ハッチ追設

原子炉格納容器の上部空間を,通常ドライウエルと呼んでいるが,ドライウエル中間高さに主蒸気配管母管が設置され,

<sup>※)</sup>日立評論,第62巻,9号,p.675~677(昭55-9),小山田,外:「我が国 最初の改良標準型原子炉格納容器の開発」,から引用

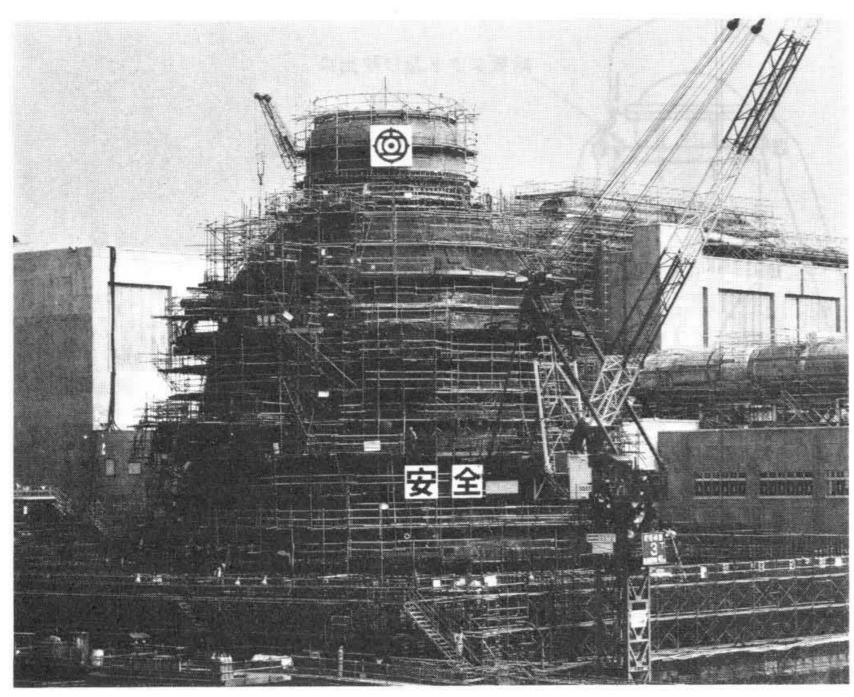


図2 建設中のMARK-II改良型原子炉格納容器 リークテスト直前 の原子炉格納容器を示す。

逃し安全弁18個が設置される。点検が必要な弁については管 台から取り外された後、隣接する弁の上をつり装置でつられ て機器ハッチから搬出されていた。搬出入時の安全性確保及び 保修後の弁のホイッピングテストの必要から,専用室を確保 し、主蒸気ヘッダレベルで外部の保修室へ直接接続する専用 ハッチを設置した。ハッチ寸法は台車に弁本体を載せて自由 に往来できるようにした。

#### (3) 主蒸気隔離弁周り改良

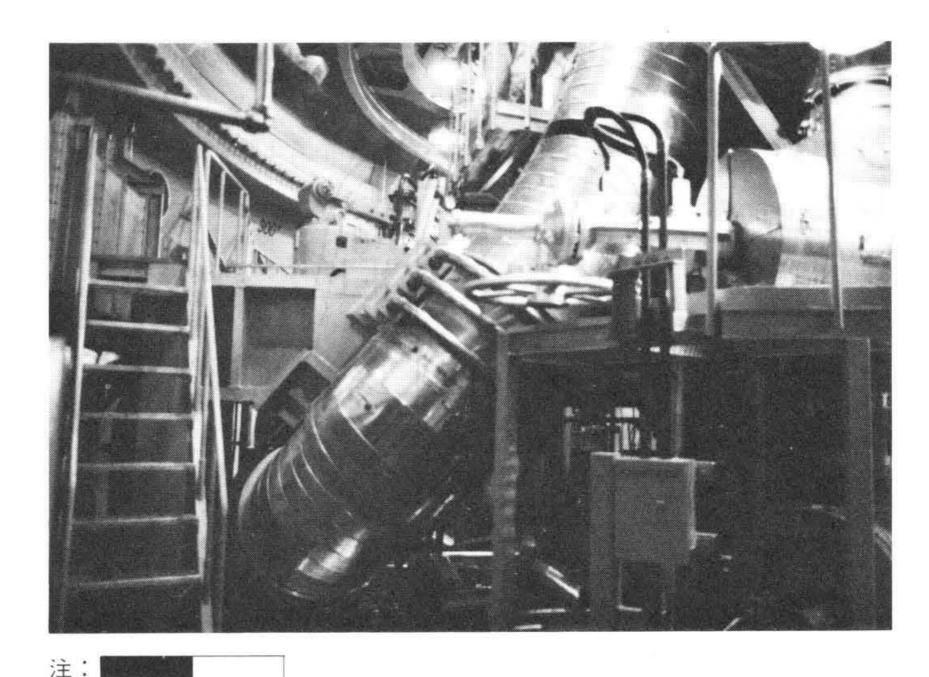
主蒸気隔離弁周りについては,以下に述べるような改良を 行なった。先行MARK-II型で、主蒸気隔離弁付近で主蒸気管 と給水配管が接近していた点を改善し、分解・点検作業スペ ースの確保を目的としてペネトレーションレベル間を拡大し た。また、主蒸気隔離弁は"Flow to Close"(蒸気の流れを活 用して閉じさせる。)のため、弁軸が流れに対して45度に傾斜 しているが、そのため、従来上部構造引抜き、挿入に多くの 工数を要していた。改良型では従来チェーンブロックで引き 抜いていた上部構造を、滑らかに引き抜けるような冶工具を 設置することを考えそのスペースについても検討を行ない, 必要に応じて設置できるようにした。

## 5 接近性改良

作業性改善,被ばく低減を改良型原子炉格納容器の大き な目標とした。その結果, 原子炉格納容器径が拡大したため 従来上下昇降ではしごが主体であったものを,可能な限り階 段とした。一方、配管類のISIスペース確保のため、配管間 のスペースを500mmを原則とした配管径路とした。特に、原 子炉遮へい壁での配管貫通部の遮へい体の開閉方法に, 観音扉 方式を採用し原子炉圧力容器周りの作業性向上をはかった。ま た,原子炉格納容器内ポンプ,弁,溶接線については設計段 階から接近可能なことを確認した。逃し安全弁周りの改善状 況を図3に示す。

## 6 パイプホイップ構造物

パイプホイップ構造物に関しては、我が国に導入した先行 MARK-II の建設途中から設計思想として加わったため、ス ペース的に十分でない面があった。このため先行 MARK-II では局部的に集中した設計になっていたものを改善し, 当初原 子炉格納容器寸法決定の段階からパイプホイップ構造寸法を



500 I,000mm

図3 逃し安全弁周りアクセス性改善状況 逃し安全弁周りのスペ ース拡大, アクセス用階段など改善状況が分かる。

考慮し、十分なスペースをもつものとした。実設計に当たっ ては、従来から設置されているラジアルビームとパイプホイ ップ構造物の共用化,配管サポート取付けを考慮した構造物 の剛性確保などを行なった。特に配管破断時配管の振れ回り を抑えるステンレス製ロッドと溶接線位置については, 点検 スペースの確保調整に十分な考慮を払った。

#### 7 ドライウエル冷却器の改善

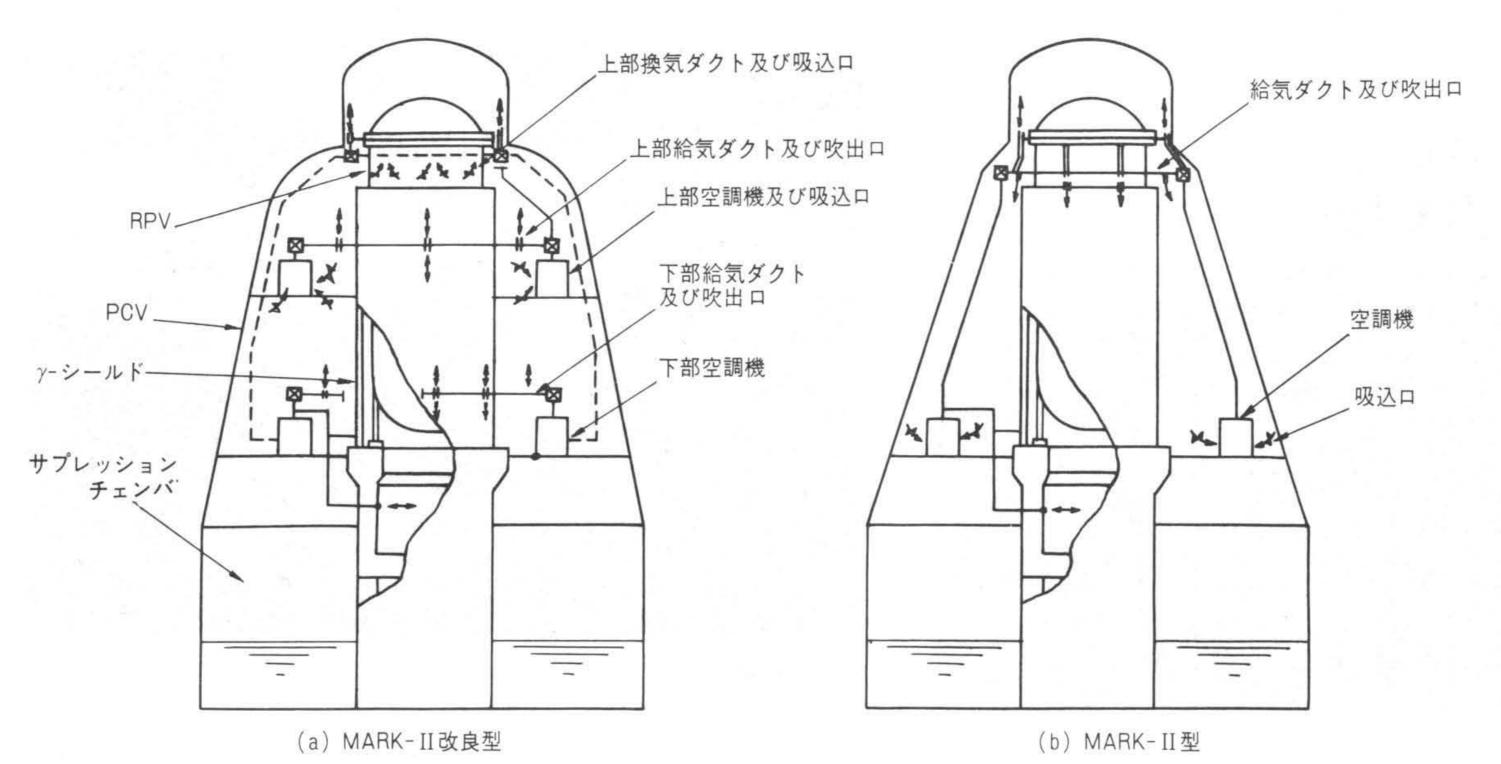
原子炉格納容器ドライウエル部の冷却方式についても改良 を行なった。

- (1) 先行 MARK-II 型で下部床に 5 台設置していたドライウ エル冷却器を,原子炉格納容器上部床に3台,下部床に3台と 分散配置することにより,原子炉冷却材再循環系ポンプ搬出 入スペースを確保し、ポンプ搬出時のHVACダクトの撤去な どを不要とした。また、合わせて上下階連絡HVACダクトを 削減した。
- (2) 先行MARK-II型で採用していた上部吹出し、下部吸込 による冷却方式を下部吹出し,上部吸込方式に改良し,風量 の低減を図った。
- (3) ドライウエル冷却器6台のうち3台にA系, B系非常用 電源を接続し、常用電源喪失時でも最低3台のドライウエル 冷却器による冷却容量の確保を図った。
- (4) ドライウエル冷却器に冷凍機冷水を通水し、原子炉格納 容器内を除湿冷却する新設計を採用した。
- (5) ドライウエル冷却器内送風機を冷却器内蔵方式から外部 に出し、メンテナンス性の改善及び信頼性向上を図った。 以上の改良状況を図4に示す。

## 8 コンポジット調整設計法改良

原子炉格納容器内には多くの構造物が据え付けられるが, それらの機能確認を含めた調整設計には多くの時間が必要と なる。それらを改善するため、2号機の設計に当たってはモ デルを大幅に採用した。

当初改良標準化検討の段階で、縮尺点のものを主要機器配 置,主要配管径路検討を主目的として製作していたが,機器 分解スペースなどの作業性の最終確認, 格納容器内で特に干 渉問題が発生する計装配管径路などの小口径配管径路の確認, 更に格納容器内での詳細建設手順の検討を行なうため、縮尺書



注:略語説明 RPV(原子炉圧力容器)

図 4 原子炉格納容 器内空調設備の比較 原子炉格納容器内空調設 備の改善状況を示す。

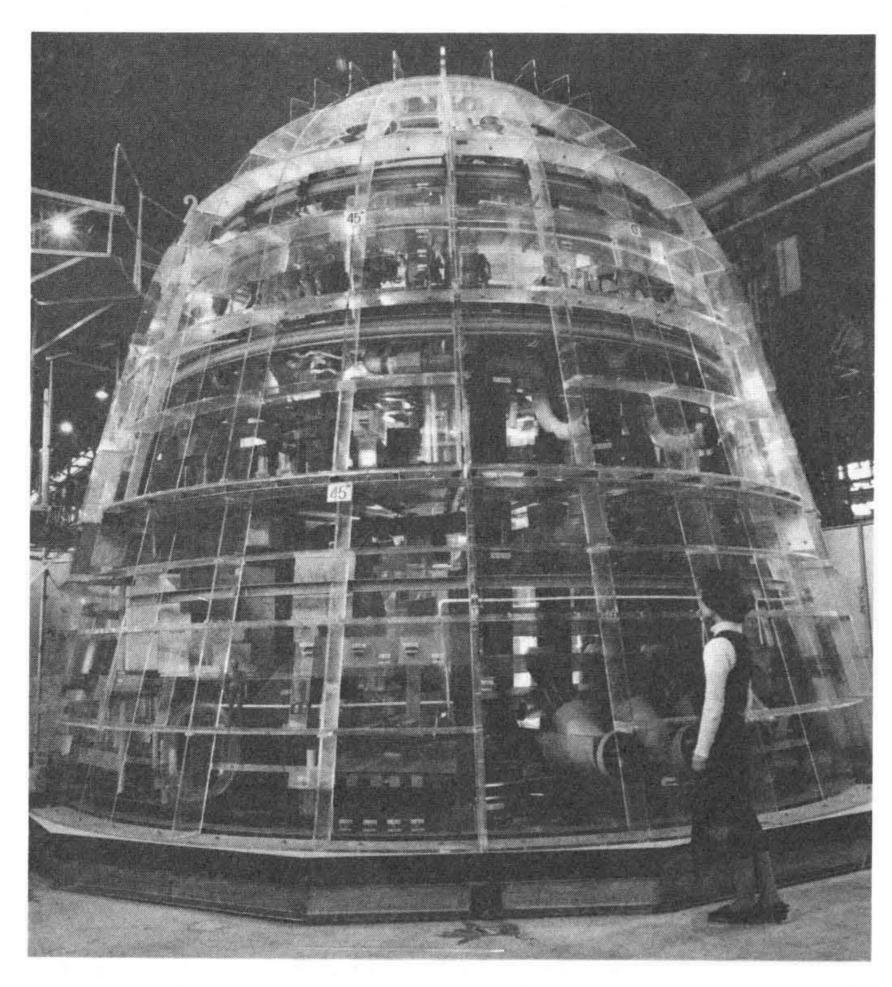


図 5 縮尺 景原子炉格納容器モデル 内部にすべての構造物を反映した状況が分かる。

のものを製作した。その内部に小口径管、サポートなど現地で 据付けされるものすべてを入れることにより、種々の確認を 可能とした。本モデルは最終的にはサイト建設所へ運び込ま れ、顧客及び日立製作所の建設指導員が建設手順、搬入手順 などの検討に役立てた。図5に縮尺責モデルを示す。

#### 図 配管,サポート改善

配管、サポートについても改良を加えた。配管に関しては被ばく低減及び信頼性向上を目的として曲げ管を大幅に採用した。曲げ管については、先行MARK-II型では主蒸気管、主給水管、原子炉再循環配管のヘッダに相当する部分で、曲げR(半径)が10D(配管外径)以上の場合にだけ採用されてい

た。2号機の場合,曲げ確性試験,減肉率,残留応力,組織の調査を実施し,信頼性を確認の上,炭素鋼管,ステンレス鋼管ともに3.0Dまで使用可能とした。この曲げ管採用により溶接線数を先行MARK-II型に対し約75%まで減少させた。溶接線周りは当然ISI用スペースを確保した設計となっている。

また、配管熱応力低減のため配管分岐部に特殊形状継手を採用しているが、先行MARK-II型では輸入品を使用していた。今回素材製作メーカーと国産化を検討し、応力解析に必要な応力指数を算出して検討した上で採用した。また、本継手形状選定に当たっては溶接線が極力減少するように検討した。

サポートに関しても原子炉格納容器内が通常運転時は接近できないため、油交換などメンテナンスフリーの要求を推進し、メカニカルスナッバを大幅に採用した。また、スペース効率を上げるため、従来型鋼で組んでいたレストレント構造をロッドレストレント構造に替える改良を行なった。サポート点数については改良標準化のものを可能な限り採用し、標準化の礎を作った。

#### 100 その他

その他原子炉格納容器内重要機器の移動式工学テレビジョンによる監視の一部採用,原子炉圧力容器下部CRD遠隔自動交換装置の設置,工学的安全系検出・制御系統の系統分離による信頼性向上などの改善を行なっている。

## 10 結 言

世界で初めての改良標準型原子炉格納容器を採用した2号機の改良点の概要について述べた。福島第二・2号機は試運転を終え、昭和59年2月に営業運転に入り、現在順調に運転中である。今後は運転結果に基づき改良標準化の妥当性の確認を行なうことになるが、その結果が出た段階で別途紹介することにしたい。

最後に、本原子炉格納容器及び内部構造物設計に当たり、 御指導をいただいた東京電力株式会社の関係各位に対し、深 謝の意を表わす次第である。

## 参考文献

 小山田,外:我が国最初の改良標準型原子炉格納容器の開発, 日立評論,62,9,675~677(昭55-9)