

JAERI-Tech  
97-048



## 大型船舶用原子炉MRX模型の製作と 点検・保守性の検討

1997年10月

笠原芳幸\*・中澤利雄・楠 剛・高橋博樹・頼経 勉

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力公済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1997

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 株高野高速印刷

大型船舶用原子炉MRX模型の製作と  
点検・保守性の検討

日本原子力研究所東海研究所原子力船研究開発室

笠原 芳幸\*・中澤 利雄・楠 剛  
高橋 博樹・頼経 勉

(1997年8月29日受理)

大型船舶用原子炉MRX (Marine Reactor X) は、受動的安全系を採用した小型の一体型原子炉である。一体型炉においては、一次系機器が原子炉容器内に内蔵されること、また、小型炉においては点検・保守用スペースが制限されることから、「組立性」、「点検・保守性」、「分解・解体性」について、十分検討しておくことが重要である。このため、MRXの1/5寸法の模型を作成し、前述の検討を行った。検討の結果以下の点が明らかになった。

- (1) 原子炉圧力容器、格納容器、炉内構造物等の製作性については基本的に問題はないこと。
- (2) 蒸気発生器、非常用崩壊熱除去設備伝熱管、格納容器水冷却設備伝熱管等について構造上は基本的に問題はない。しかし、伝熱管支持構造、炉内での固定方法について詳細設計において十分注意する必要がある。
- (3) 原子炉圧力容器、格納容器の配管貫通部とくにフランジ構造部については詳細設計において十分な検討（漏洩対応、取付性、点検性等）を行う必要があること。
- (4) 格納容器内のスペースは狭いので機器配置を十分に検討すること。
- (5) 水中の計測器の取付法、計測線の取出し法等について検討する必要があること。

Fabrication of Nuclear Ship Reactor MRX Model and  
Study on Inspection and Maintenance of Components

Yoshiyuki KASAHARA\*, Toshio NAKAZAWA, Tsuyoshi KUSUNOKI  
Hiroki TAKAHASHI and Tsutomu YORITSUNE

Office of Nuclear Ship Research and Development  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received August 29, 1997)

The MRX (Marine Reactor X) is an integral type small reactor adopting passive safety systems. As for an integral type reactor, primary system components are installed in the reactor vessel. It is therefore important to establish the appropriate procedure for construction, inspection and maintenance, dismantling, etc., for all components in the reactor vessel as well as in the reactor containment, because inspection space is limited. To study these subjects, a one-fifth model of the MRX was fabricated and operation capabilities were studied.

As a result of studies, the following results are obtained.

- (1) Manufacturing and installing problems of the reactor pressure vessel, the containment vessel and internal components are basically not observed.
- (2) Heat transfer tube structures of the steam generator and the heat exchangers of emergency decay heat removal system and containment water cooler were not seen of any problem for fabrication. However, due consideration is required in the detailed design of supports of heat transfer tubes.
- (3) Further studies should be needed for designs of flange penetrations and leak countermeasures for pipes instrument cables.
- (4) Arrangements of equipments in the containment should be taken in consideration in detail because the space is narrow.
- (5) Further discussion is required for installation methods of instruments and cables.

Keywords : Nuclear Ship Reactor, Integral Type Reactor, MRX, Machinery Arrangement, Construction, Maintenance, Dismount

---

\* Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

## 目 次

1. まえがき .....	1
2. MRXの概要 .....	7
2.1 MRXの設計条件 .....	7
2.2 MRXプラントの特徴 .....	7
3. MRX模型製作 .....	12
3.1 設計方針及び設計条件 .....	12
3.2 主要仕様及び構造 .....	12
3.3 製作 .....	13
3.4 評価 .....	16
4. 模型による点検・保守性の検討 .....	40
4.1 MRXの燃料交換、点検・保守の基本手順 .....	40
4.2 模型による組立、分解、点検・保守性の検討 .....	41
5. MRXにおける点検・保守手順の検討 .....	55
6. まとめ .....	62
謝辞 .....	62
参考文献 .....	62

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Outline of MRX .....	7
2.1 Design Condition of MRX .....	7
2.2 Features of MRX Plant .....	7
3. Fabrication of MRX Model .....	12
3.1 Design Basis and Conditions .....	12
3.2 Description and Structures .....	12
3.3 Fabrication .....	13
3.4 Evaluation .....	16
4. Survey of Refueling, Inspection and Maintenance .....	40
4.1 Refueling, Inspection and Maintenance Procedures for MRX .....	40
4.2 Survey of Procedure for Construction, Inspection and Maintenance, Dismount ...	41
5. Survey of Inspection and Maintenance Procedure for MRX .....	55
6. Summary .....	62
Acknowledgments .....	62
References .....	62

## 1. まえがき

大型船舶用原子炉MRX (Marine Reactor X) は、将来の実用原子力船への搭載を目的に、経済性、信頼性の向上を目指して研究開発を進めている改良型の舶用炉である。

経済性の向上の面では船体に対する原子炉の重量、容積比の低減が重要となること、また、信頼性の面では系統の簡素化及び安全性の向上が重要となることなどから、小型・軽量化、系統の簡素化、安全系統設備への受動的安全システムの採用等を設計の重要課題として取り上げ検討を行ってきた。その結果、MRXの基本炉型として「水張式格納容器を持った一体型加圧水炉」の概念を固め、設計の詳細化を計るため平成4年度から8年度にかけて工学設計を進めた。設計の結果、本原子炉は原子炉出力は原子力船「むつ」の約3倍にも係わらず、格納容器容積は約3/4倍、重量は1/2倍となり、飛躍的な軽量・小型化が図られた。

これまでの発電用原子炉の経験でも指摘されているように、プラントの点検・保守は機器の故障の発生を低減させるなどプラントの信頼性を向上させ、ひいては稼働率を上昇させる。すなわち、適切な点検・保守はプラントの事故の予防保全として極めて重要であると言える。

本原子炉MRXは前述のように小型・軽量化を目指し設計を行った。しかし、原子炉を小型化することは、機器の分解作業、点検作業を困難にすることから、点検・保守性の面では大きなマイナスとなる。MRXの設計においては、点検・保守性を考慮して設計を進めたが、設計上の問題（特に、機器配置、組立性、分解性等）を検討することを目的に、原子炉格納容器、原子炉及び炉内構造物を含む1/5の大きさの模型を製作し、所要の検討を行ったものである。なお、製作した模型の全体写真及び組立状況を Photo 1. 1 及び Photo 1. 2 に示す。

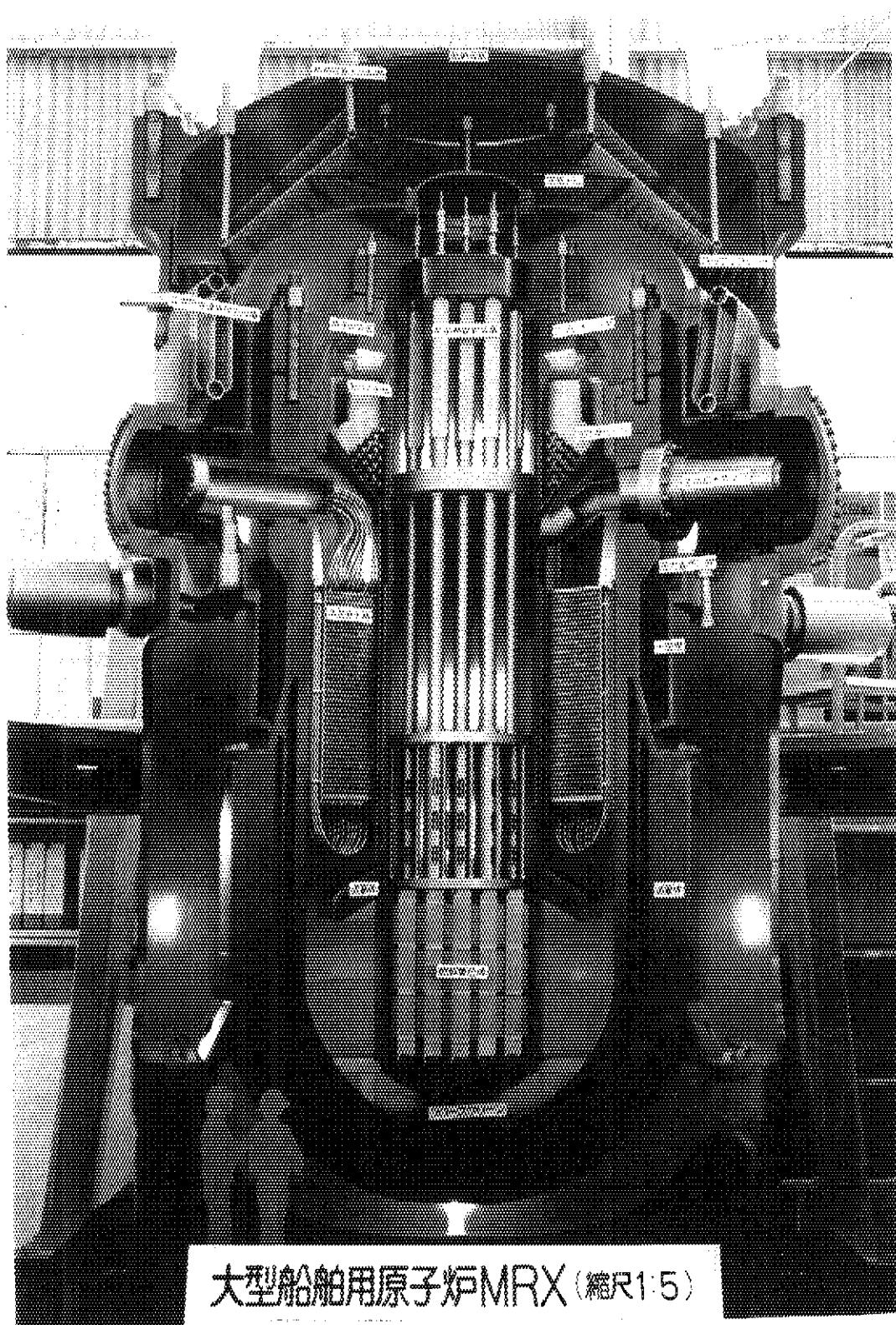
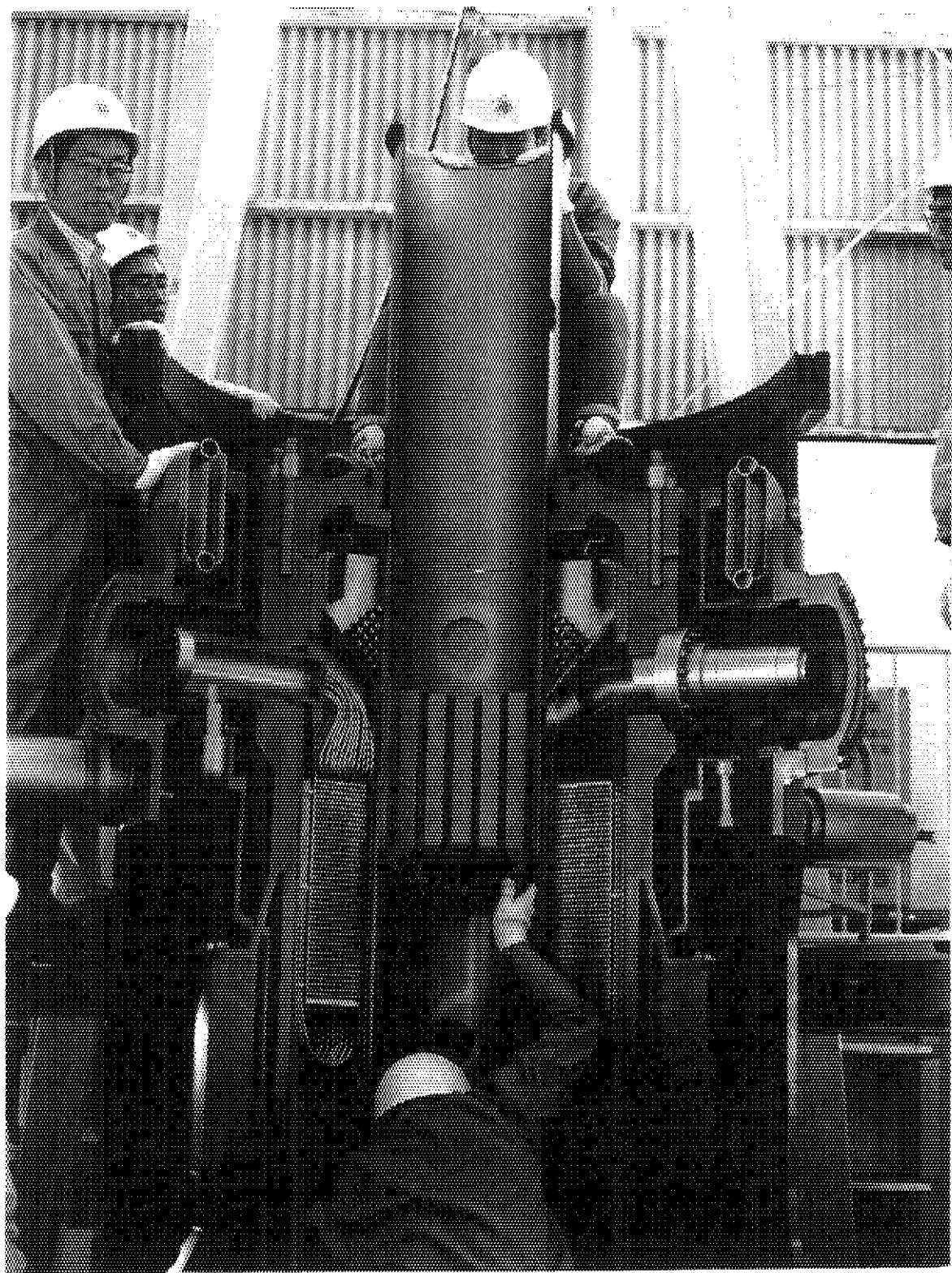


Photo1.1 作成模型全体写真



Photol. 2 組立状況写真

## 2. MRX の概要

大型船用原子炉MRX (Marine Reactor X) は砕氷観測船、大型コンテナ船等への搭載を考えて設計している改良船用炉である。本原子炉は小型・軽量化と高度の安全性、信頼性を実現するため、原子炉容器内装型制御棒駆動機構、水張式格納容器、受動的崩壊熱除去系等を採用した一体型PWRである。

### 2. 1 MRX の設計条件

#### 1) 設計目標

本原子炉プラントの設計目的は次の通りである。

- (1) 軽量小型化を追求し、経済的に優れた原子炉であること。
- (2) 安全性・信頼性に関しては、既存の安全基準を満たすとともに、他の諸性能とも釣り合いのとれた合理的な設計であること。工学的安全施設については受動的安全システムを採用する。また、負荷追従性の良い原子炉とすること。
- (3) 運転、保守が容易で使いやすい原子炉であること。

設計目標と設計対応を Fig. 2. 1 に示す。

#### 2) 主要設計条件

##### (1) 設計仕様

- (a) 熱出力 : 100Mwt
- (b) 平均負荷率 : 50%
- (C) 耐用年数 : 20年
- (d) 燃料交換設備及び廃棄物処理施設は陸上設置

##### (2) 船体運動及び振動の条件

船体運動条件は下記の通りである。

- (a) 付加加速度 : 上下 0.85g/ 横 0.95g
- (b) 船体横定傾斜角度 : 30 度
- (C) 船体縦定傾斜角度 : 10 度
- (d) 左右同様角度条件 : 45 度

### 2. 2 MRX プラントの特徴

主要目を Table2. 1 に、その全体を Fig.2. 2 にそれぞれ示す。

MRX プラントの主な特徴は次のとおりである。

#### (1) 一体型 PWR の採用

通常の分離型PWRでは原子炉容器の外側に設置されている蒸気発生器を原子炉容器に内蔵し、一次系をほぼ原子炉容器内で閉じる構造とした。これにより大口径配管が無くなり、

系統の簡素化が図られるとともに、冷却材喪失事故としては小口径配管破断事故に限られることになり、工学的安全設備の簡素化が可能となる。原子炉容器は大きくなるが、プラント全体としては小型化が達成される。

#### (2) 原子炉容器内装型制御棒駆動機構の採用

従来、原子炉容器の外側に設置されている制御棒駆動機構を原子炉容器内に設置することにより、制御棒飛び出し事故の原因を排除し安全性を高めるとともに、プラントの小型化を図る。

#### (3) 水張式格納容器の採用

水を充填した格納容器内に原子炉容器を設置することにより、LOCA時において受動的に炉心冠水の維持を図る。これにより工学的安全施設の簡略化を図った。また格納容器水を遮蔽体として活用することによって二次遮蔽体を不要とした。

#### (4) 受動的崩壊熱除去系の採用

主蒸気管破断、蒸気発生器伝熱管破断、LOCA等の事故時に、自然循環により崩壊熱を格納容器水中に放熱する非常用崩壊熱除去設備を設けた。また、格納容器水中に放出された熱はヒートパイプ式冷却器で大気へ放出する。これらの設備は受動的安全システムであり、系統の簡素化、信頼性の向上が達成されている。

これらの特徴により、MRXはプラントの大幅な軽量・小型化が図られるとともに、プラント固有の安全性、信頼性を高めている。

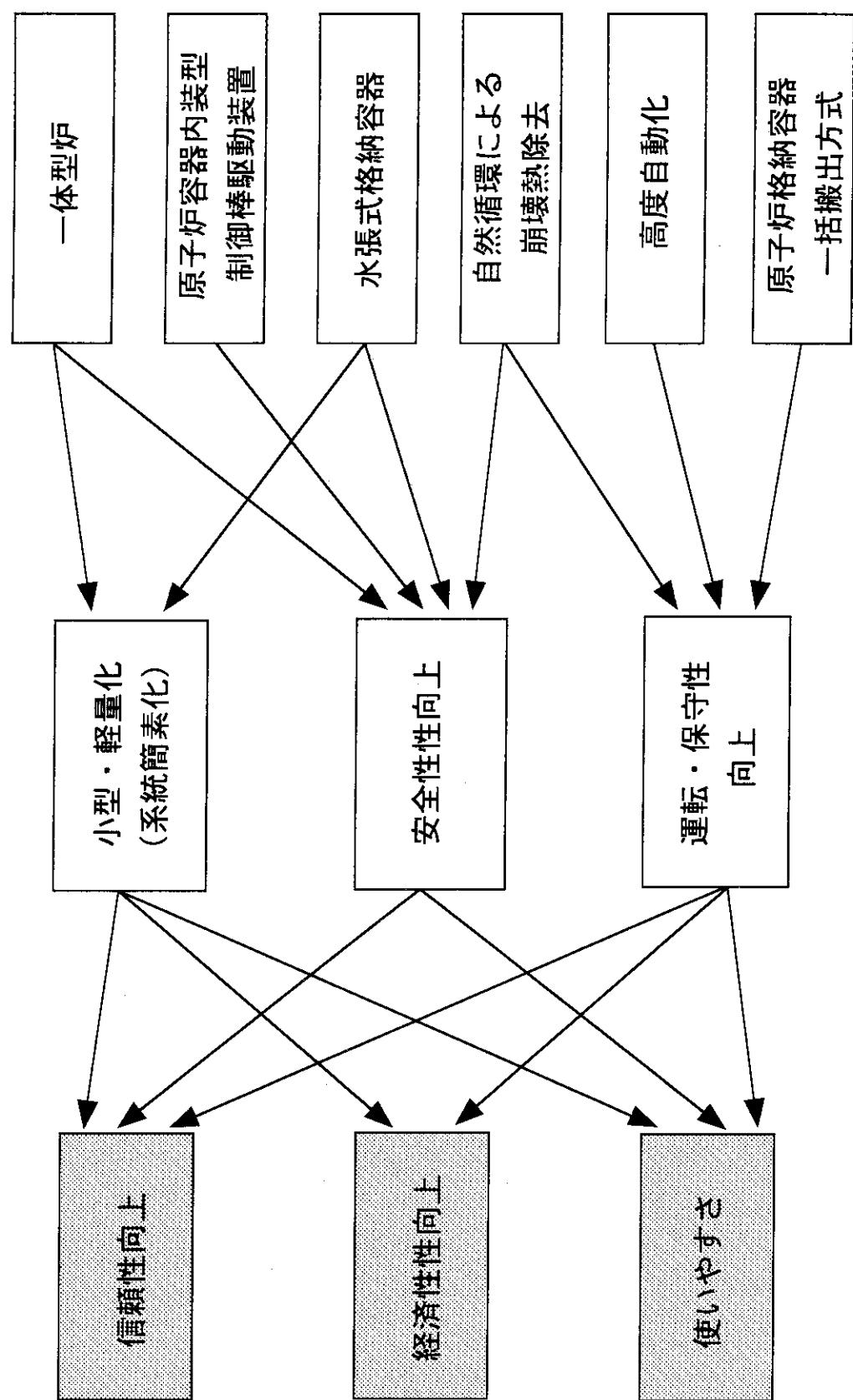


Fig2.1 改良船用炉の設計目標

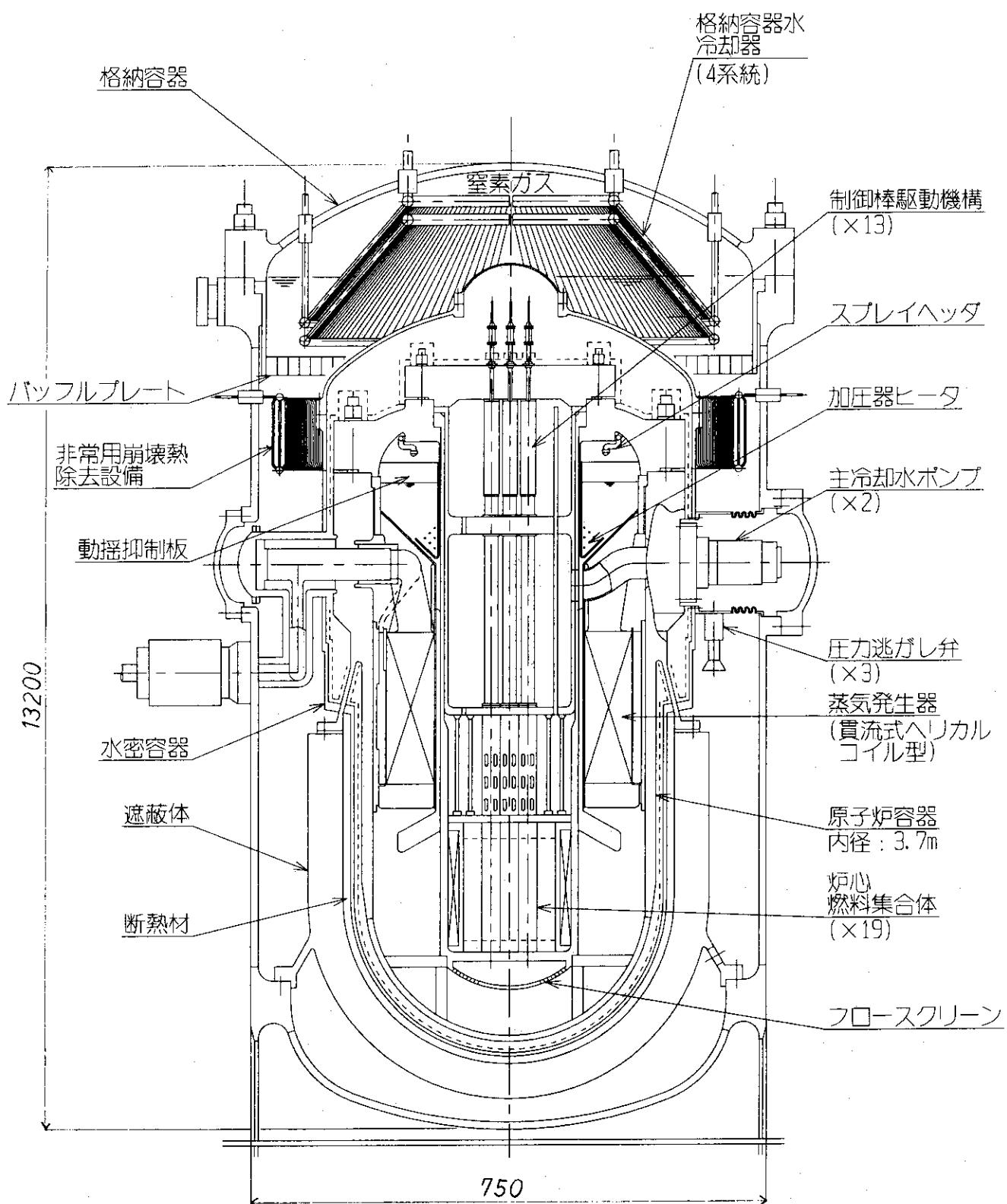


Fig2.2 大型船舶用原子炉M R X概念図

Table 2.1 原子炉プラント主要目

原子炉出力	100Mwt
炉形式	一体型加圧水炉
一時冷却水運転圧力	12MPa
一時冷却水運転温度	290°C
一次冷却水流量	4,500t/h
炉心	
等価直径	1,492mm
有効高さ	1,400mm
平均線出力	76.26W/cm
平均出力密度	40.9kW/l
平均燃焼度	22,600Mwd/t
燃料形式	Zry 被覆 UO <sub>2</sub> 燃料棒
<sup>235</sup> U 濃縮度	4.3 / 2.5 重量% (Gd 無し / 入り) (Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> は 6 重量%)
燃料装荷量	6.326t
炉心寿命	8年(4年ごとに1.9バッチ燃料取替えとシャッフリング)
燃料集合体数	19体
制御棒駆動機構	型式: 原子炉容器内装型
基數	13基
加圧方式	型式: 内装電熱式
基數	1基
一次冷却水ポンプ	型式: 横置軸流型キャンドモーターポンプ
基數	2基
蒸気発生器	型式: ヘリカルコイル貫流式
蒸気圧力	40kg/cm <sup>2</sup> G
蒸気温度	288.7°C
伝熱管材質	インコロイ 800
原子炉容器	
外径/高さ	4.0m / 9.4 m *
最高使用圧力	13.7MPa
最高使用温度	320°C
材質	低合金鋼
格納容器	型式: 水漬式格納容器
設計圧力	4MPa
外径/高さ	7.0m / 13.2m*

\*模型制作時の設計仕様

### 3. MRX 模型製作

#### 3. 1 設計方針および設計条件

MRX の模型製作に対しては、次に示す設計方針および設計条件に基づき実施する。

##### (1) 設計方針

- ・実機の組立、保守・点検操作等のシミュレーションを行うため、可能な限り構成部品を模擬する構造とする。
- ・展示公開等のため模型本体の搬出、輸送ならびに建屋内の設置等の制約条件等を考慮して適切に分割できる構造とする。

##### (2) 設計条件

- ・形状、寸法： MRX の寸法の 1/5
- ・材質： 木、鋼、エポキシ樹脂、アルミ等
- ・温度： 最高 80°C
- ・分割寸法： 最大 W 950 × D 1,100 × H 2,000mm
- ・重量： 総重量 約 500kg 以内（目標）
- ・電源： 表示用照明灯 AC 100V、15A
- ・仕上げ色調： 金属光沢模擬色  
(異材複合構成を鑑み、材料/塗料仕様を違和感無きよう定める)
- ・付随機能： 主要部品に吊り具ねじ穴を取付

#### 3. 2 主要仕様及び構造

##### (1) 模型構造及び形状

原子炉容器中心軸より前方へ 120 度開口縦断面（局所的に 180 度断面）を開口する構造とする。据付部は船体の二重船底を模擬する構造とする。模型計画図を Fig.3. 1 に示す。

##### (2) 主要構成設備及び分割数

- |          |                                    |
|----------|------------------------------------|
| 原子炉容器    | ： 平蓋、上鏡蓋、本体胴の 3 分割構成               |
| 炉内構造物    | ： 上部炉心構造物（内槽）、下部炉心構造物（炉心槽）の 2 分割構成 |
| 制御棒      | ： 炉心装荷本数同一の 13 体分割構成               |
| 燃料集合体    | ： 炉心装荷本数同一の 19 本分割構成               |
| 水密容器     | ： 上蓋、上部本体胴、本体胴の 3 分割構成             |
| 格納容器     | ： 上蓋、本体胴の 2 分割構成                   |
| 加圧器ヒータ   | ： 独立単一構成                           |
| バッフルプレート | ： 独立単一構成                           |

##### (3) 照明

格納容器並びに原子炉容器内の冷却材水位を示す投光を採用する。

### 3. 3 製作

#### 3. 3. 1 製作工程

模型の製作は、構成設備が原子炉容器部、格納容器部及びその他の附属設備に大別されることから下記の区分により実施した。

原子炉容器部の製作：平成5年12月～平成6年3月

格納容器部の製作：平成6年2月～平成6年6月

付属施設の製作：平成5年12月～平成6年3月及び平成6年8月～平成7年1月

なお、組立、分解等の機能確認試験は平成6年10月～平成7年3月にかけて実施した。

Fig.3. 1にMRX模型計画図を、Table 3. 1に製作品目一覧を、Table 3. 2に、主要製作品目の重量を示す。

#### 3. 3. 2 原子炉容器部製作

原子炉容器部の製作した構成機器をFig.3. 2に、分割構成図をFig.3. 3に示す。以下に各構成機器の製作概要を述べる。

##### (1) 原子炉容器本体

平蓋、上蓋（スプレイヘッダ付）及び本体胴の3分割構成にて製作し、外形形状は原子炉容器中心軸より前方へ120度開口縦断面構造として製作した。原子炉本体胴には、水密容器下部及び格納容器内遮蔽体を取り付け一体構造（これらは実機では個別配置）とした。製作した原子炉容器本体の写真をPhoto 3. 1 (1) 及び3. 1 (2) に示す。

##### (2) 炉心燃料集合体

燃料集合体1体分の模擬として、下部ノズル、支持格子（4ヶ所）及び燃料棒を全面フライス加工等により製作した。製作した炉心燃料集合体の写真をPhoto 3. 2 (1) 及び3. 2 (2) に示す。

##### (3) 制御棒駆動機構

制御棒駆動機構の機能試験を行うことは本模型製作の目的ではないので、制御棒駆動機構の外殻部のみを製作した。同外殻部は制御棒駆動機構支持板の位置で分割できる構造とした。なお、上部炉心構造物の内槽を形成する制御棒案内管領域の案内管内部には、制御棒駆動機構の駆動軸を模擬したダミー管をそれぞれ設けた。製作した制御棒駆動機構の写真をPhoto 3. 3 (1) 及び3. 3 (2) に示す。

##### (4) 炉内構造物

炉内構造物は上部炉心構造物（内槽）及び下部炉心構造物（炉心槽）の2分割で構成した。それぞれの外筒部（フロースクリーン含む）は後述する加圧器本体、蒸気発生器等と合わせて前方120度開口縦断面とした構造で製作した。内槽を構成する制御棒駆動機構支持板、上部炉心支持板及び上部炉心板並びに炉心槽を構成する下部板については、炉内構造物内に装備される制御棒駆動機構（13体）及び燃料集合体（19体）を考慮して、120度

縦断面せず全形状模擬する構造とし、併せてスクラムスプリング案内管、制御棒案内管の全数（各13体）を内装備した構造として製作した。製作した炉内構造物の写真を Photo 3. 4 (1) 及び 3. 4 (2) に示す。

#### (5) 蒸気発生器

蒸気発生器は貫流式ヘリカルコイル型構造である。本蒸気発生器下部に設けられる蒸気発生器遮蔽体と併せて、前方120度開口縦断面とした構造で製作した。MRXの給水ノズル及び蒸気ノズルのラインは各2系統であるが、本模型では管板付蒸気ノズル部の1方位（1ヶ所）をそれぞれ代表して製作した。製作した蒸気発生器の写真を Photo 3. 5 (1) 及び 3. 5 (2) に示す。

#### (6) 加圧器本体

加圧器本体は原子炉容器本体、蒸気発生器等と同様に、前方120度開口縦断面とし、動搖抑制板、加圧器ヒータ及び補強リングを内装備した構造で製作した。なお、スプレイヘッダは原子炉容器上部蓋に付設している。製作した加圧器本体の写真を Photo 3. 6 (1) 及び 3. 6 (2) に示す。

#### (7) 主冷却水ポンプ

MRXの主冷却水ポンプは2系統で構成されるが、本模型では上述した蒸気発生器の管板付蒸気ノズル部との対として、一基製作した。なお、主冷却水ポンプのキャンドモータ部は外殻部のみを表現した。主冷却水ポンプ出入口配管部は冷却材流路形成の把握が可能な構造とし、ディフューザ、インペラ等を配備した。製作した主冷却水ポンプの写真を Photo 3. 7 (1) 及び 3. 7 (2) に示す。

### 3. 3. 3 格納容器部製作

格納容器部の製作した構成機器を Fig. 3. 4 に、分割構成図を Fig. 3. 5 に示す。以下に各構成機器の製作概要を述べる。

#### (1) 水密容器

水密容器は実機に同じく上蓋、上蓋鏡及び本体胴の3分割で構成した。また、原子炉容器模型と同様に120度開口縦断面構造として製作した。なお、水密容器本体胴の下部は模型強度上の観点から原子炉容器本体と一体形成にて製作したため、原子炉容器支持サポートより上端部のみを製作した。製作した水密容器の写真を Photo 3. 8 (1) 及び 3. 8 (2) に示す。

#### (2) バッフルプレート

バッフルプレートは、上部フランジ及び吊り胴並びに動搖抑制板の主要3部品で構成され、格納容器容器内壁と水密容器上蓋間に配備される。

構造は上部フランジ付短尺円筒形状で、本体吊り胴部の下端には格納容器冷却水の動搖抑制を図る目的から2枚の積層板（連通する多孔穴5列／各列には流路間仕切り板有）により構成されている。製作したバッフルプレートの写真を Photo 3. 9 (1) 及び 3. 9 (2) に示す。

### (3) 格納容器

本設備は格納容器上蓋と本体胴に2分割構成される。本体胴部のノズルベルト近傍、下部鏡板及び据付け部は120度開口縦断面構造とし、他の部分については180度開口縦断面構造として製作した。なお、格納容器上蓋には格納容器水冷却器を格納容器貫通スリーブを介して全体取付可能な構造とし、また格納容器内水位を表現するため淡青色アクリル材の水位面を設けた。製作した格納容器の写真をPhoto 3. 10 (1) 及び3. 10 (2) に示す。

### (4) 格納容器水冷却設備

格納容器水冷却設備はヒートパイプ方式である。構造は、格納容器内の熱交換器蒸発部上部ヘッダー管及び下部ヘッダー管並びにこれらを結ぶ伝熱管、格納容器外の熱交換器凝縮部と格納容器内の熱交換器蒸発部とを結ぶ蒸発管及び液戻り管（1層円周4分割×2段=8分割）により構成される。本格納容器水冷却設備は独立形式で製作後、実機と同様に液戻り管貫通スリーブを介して格納容器上蓋に取りつけた。製作した格納容器水冷却設備の写真をPhoto 3. 11 (1) 及び3. 11 (2) に示す。

### (5) 非常用崩壊熱除去設備

非常用崩壊熱除去設備は、3系統より成り伝熱管とその上下に配した連絡管により構成される。模型では、水密容器内の他設備と同様に外形状を模擬して全体を120度開口断面構造で製作した。

非常用崩壊熱除去設備は、格納容器水冷却設備と同様に独立形式で製作後、実機と同様に貫通配管のスリーブを介して格納容器内の胴上部に取りつた。製作した非常用崩壊熱除去設備の写真をPhoto 3.12 (1)及び3.12 (2)に示す。

### (6) 模型据付け台座

模型据付け台座（ベースプレート）は本MRX模型構造を据付ける台座を成すもので、模型組立時の総重量に対し十分な強度を有した矩形梁構造で製作した。

本ベースプレートは模型の規模からして大型化（W 1800×D 1800×H 500mm）が余儀なくされることから2分割構成とし、模型据付正面に当たる当該側面箇所には二重船底構造の外表面を模擬して製作した。

また、模型本体（格納容器下部）との固定はSUS材のL型金具を用いてボルト固定し、ベースプレートと建屋床面間はアンカーボルトを用いて固定した。

### 3. 3. 4 附属施設の製作

模型の展示、組立・保守等の作業のため、作業架台及び照明設備等の製作を行った。また、装置は当初JRR-4実験準備室に設置したためホイスト取付等の整備作業も合わせて実施した。以下に作業架台及び照明設備の製作概要を述べる。

#### (1) 作業架台

本架台は原子炉及び格納容器の組立、保守、解体の作業性の検討のための架台であり、全体配置図及び製作図を Fig.3. 6 及び Fig.3. 7 にそれぞれ示す。

#### (2) 照明設備

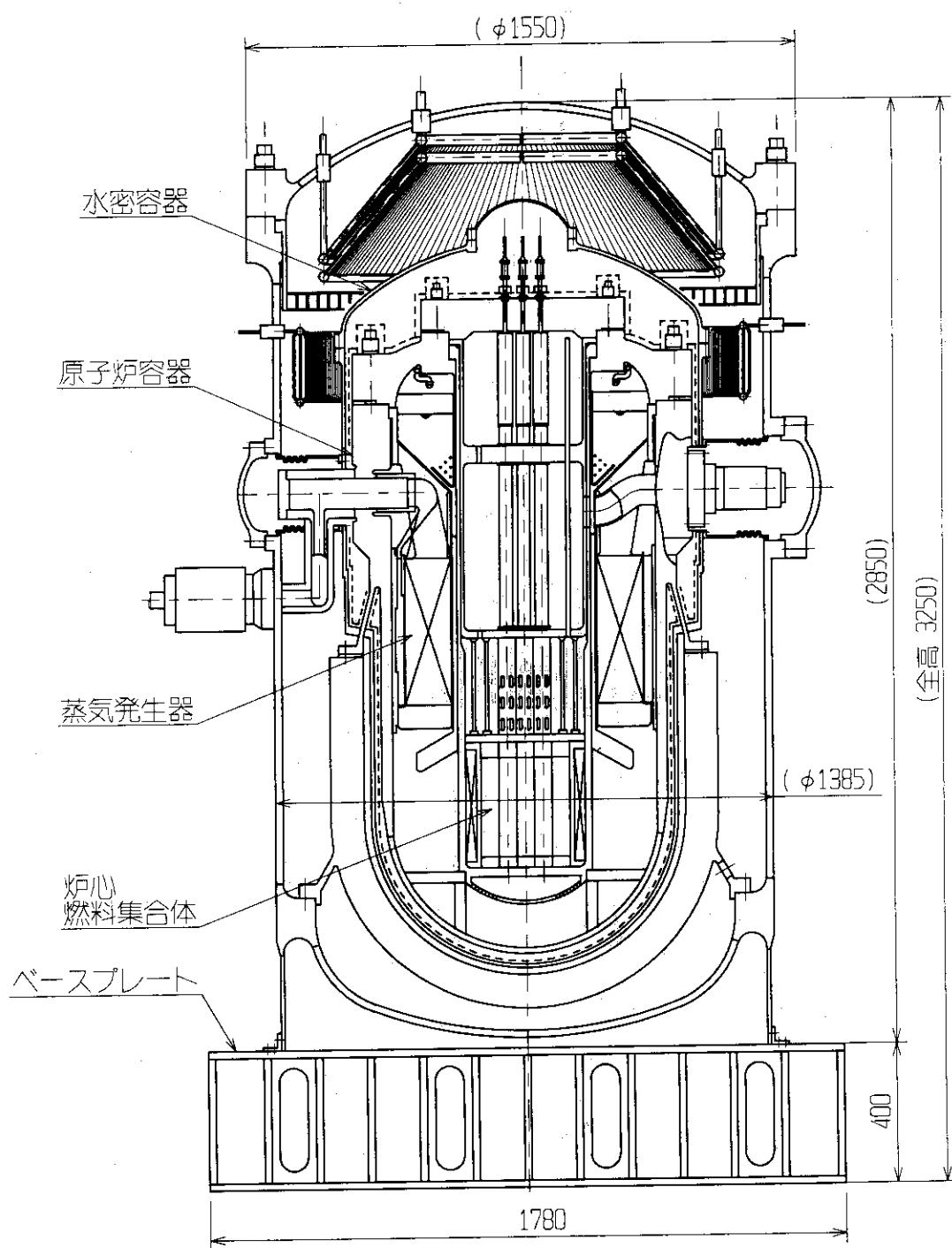
模型の全体構造が原子炉容器、水密容器、格納容器の三重構造を形成しており、かつ蒸気発生器、制御棒駆動機構等が原子炉容器内に内装備される等複雑な構造形状を有していることから、原子炉一次冷却材バウンダリー、窒素ガス、格納容器冷却水バウンダリー等が容易に判別できる照明設備を模型本体内に配備した。照明の配置図、配線経路図を Fig.3. 8 及び Fig.3. 9 にそれぞれ示す。

### 3. 4 評価

本模型製作の大きな目的は、原子炉及び格納容器がコンパクトに設計されている水張式格納容器方式の一体型原子炉である MRX の原子炉及び格納容器構成機器に対する「組立性」、「点検・保守性」、「分解・解体性」について、模型によって作業を実施し作業性に対する具体的な知見を得るとともに課題を摘出するものであった。このため、模型の寸法については、(1) 製作される機器の取扱が可能な程度の大きさを有することと、(2) 設置の面から、建家内に収納できる程度まで小さくする必要があること、の相反する条件があったが、建家内に設置可能な限界の大きさとすることとし、実寸に対して 1/5 の規模（格納容器高さ 2.85m、台座を入れた全高 3.25m）とした。

製作を通じて以下の点が明らかとなった。

- (1) 原子炉圧力容器、格納容器、炉内構造物等の製作性については基本的に問題はないこと。
- (2) 蒸気発生器、非常用崩壊熱除去設備伝熱管、格納容器水冷却設備伝熱管等について構造上は基本的に問題ないと考えられるが、伝熱管支持構造、炉内での固定方法については、詳細設計において十分注意する事があること。
- (3) 原子炉圧力容器、格納容器の配管貫通部とくにフランジ構造部については詳細設計において十分な検討（漏洩対応、取付性、点検性等）を行う必要があること。
- (4) 格納容器内のスペースは狭いので機器配置を十分に検討すること。
- (5) 今回の製作には含めなかつたが、水中での計測器の取付法、計測線の取出法等について検討する必要があること。



注  
本図中の寸法は模型寸法(実尺1/5)を示す。

Fig3.1 大型船舶用原子炉MRX模型計画図

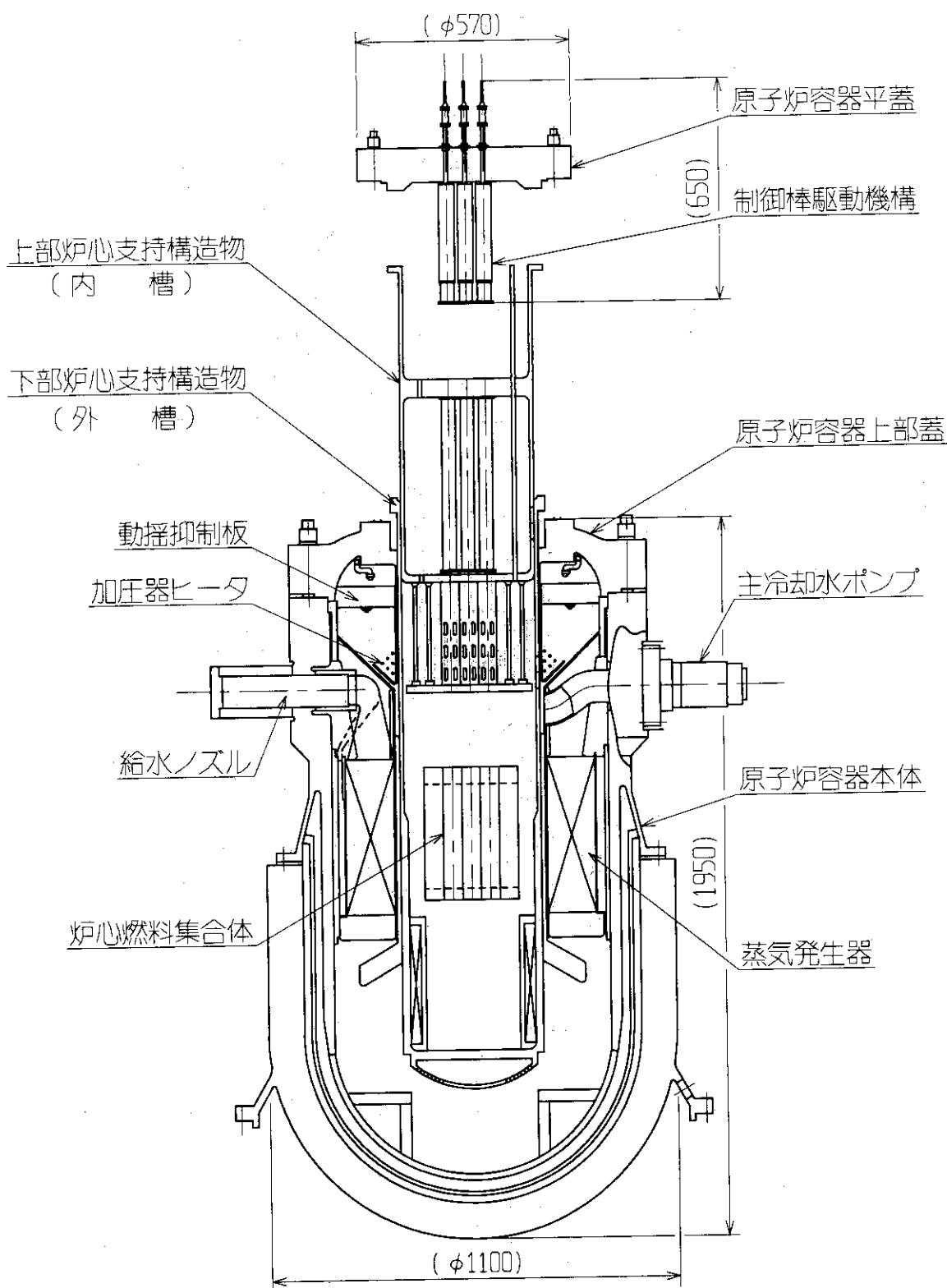


Fig3.2 模型構造図(原子炉容器)

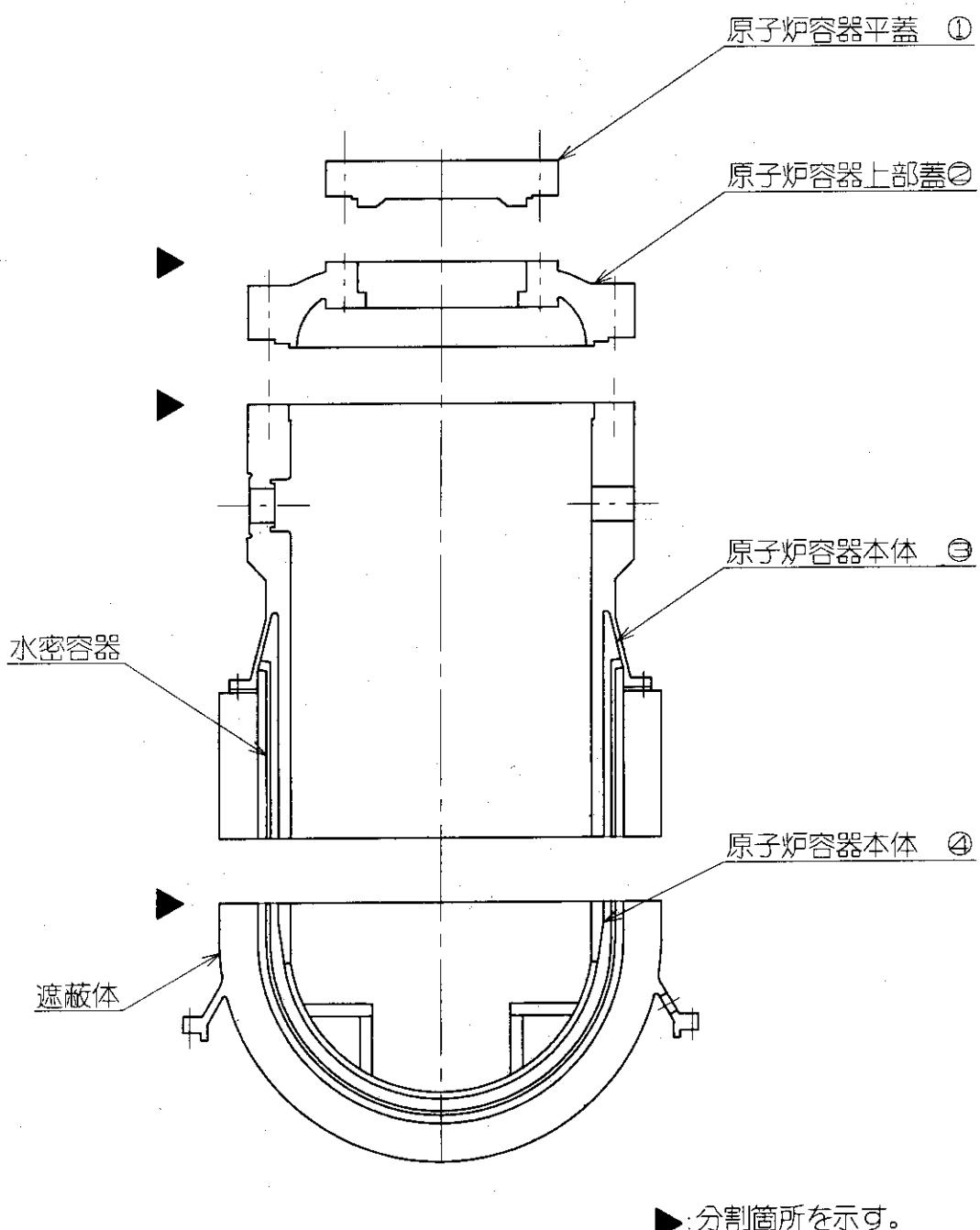


Fig3.3 原子炉容器分割構成図

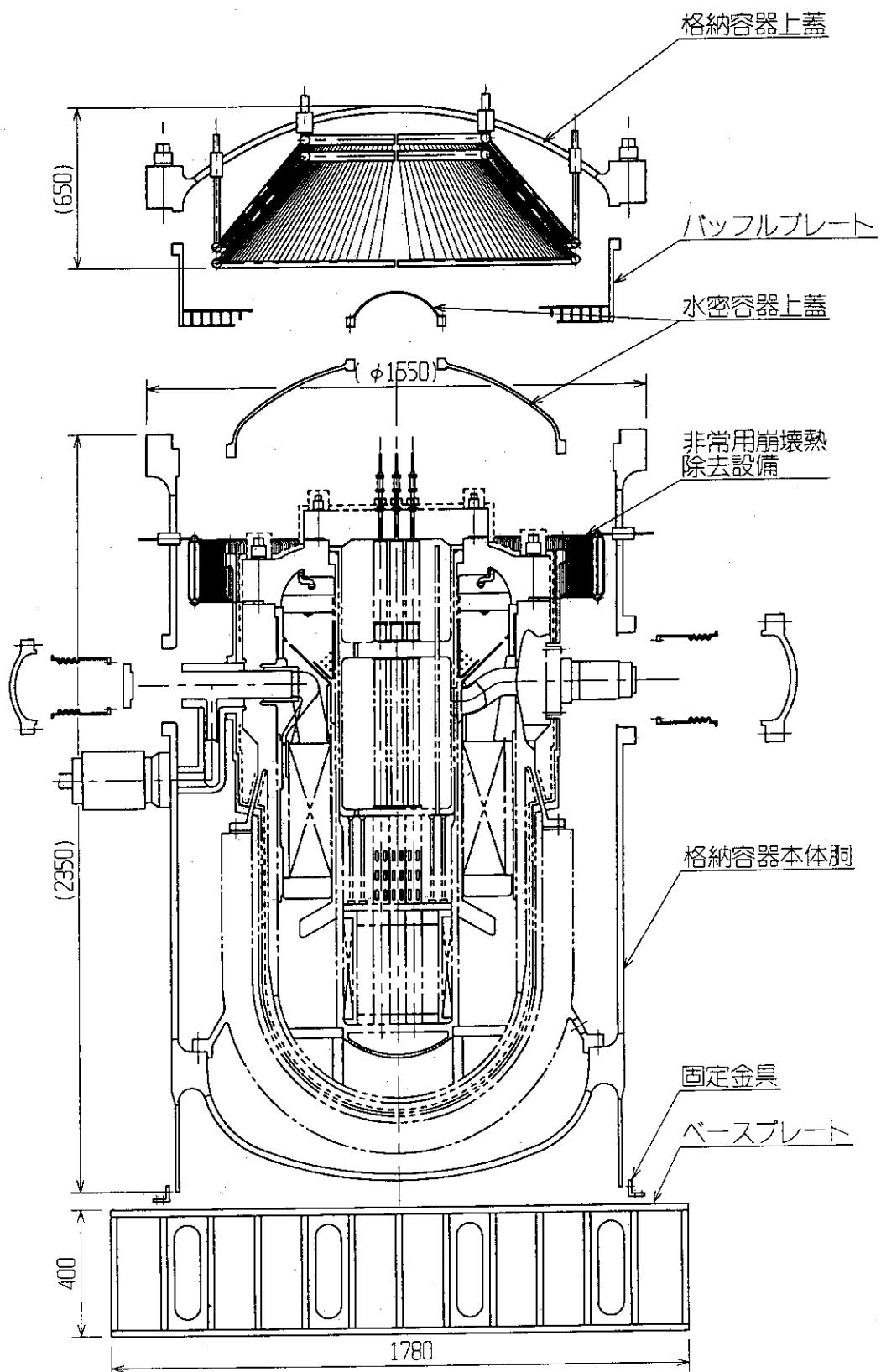


Fig3.4 格納容器模型構造図

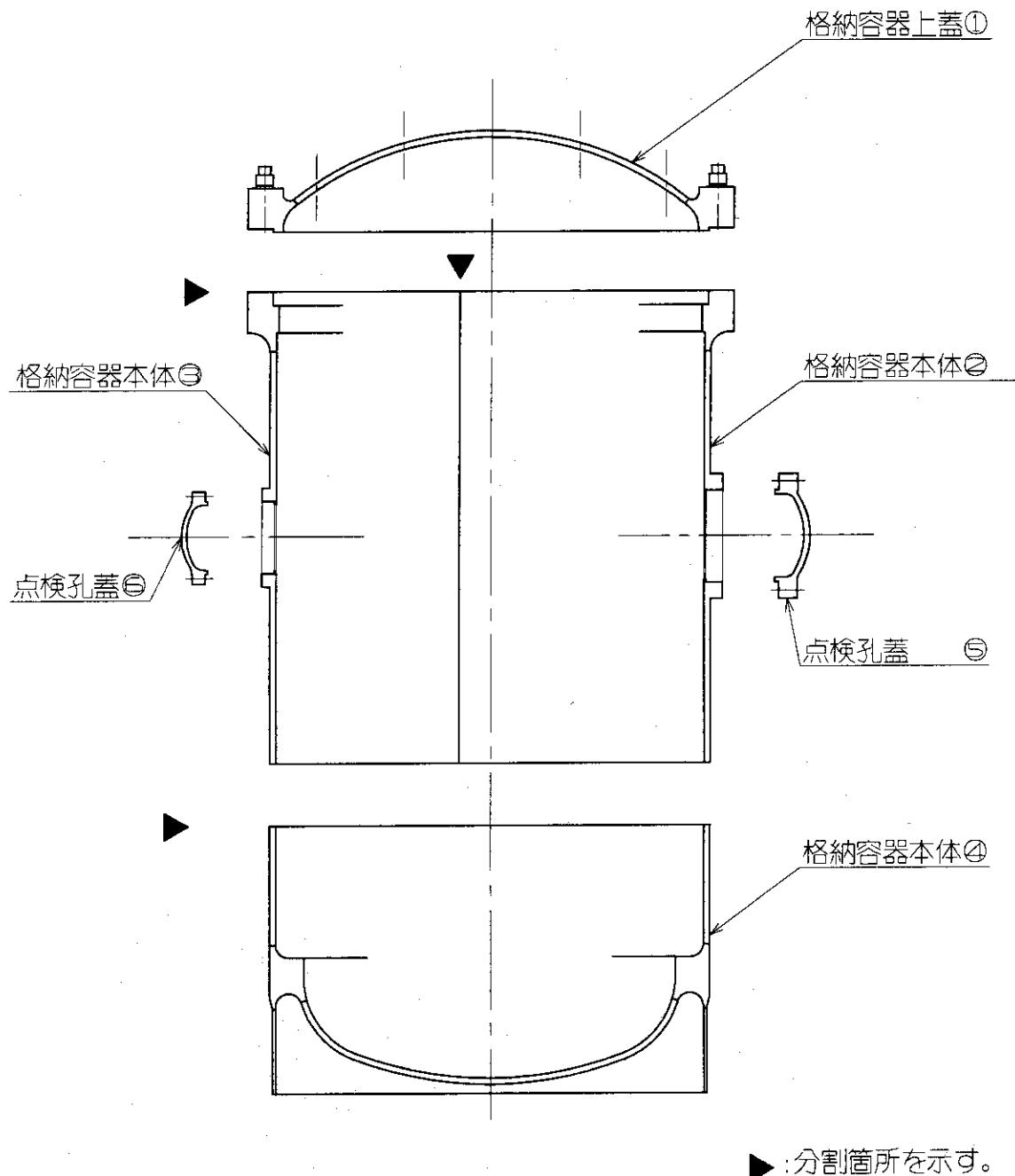


Fig3.5 格納容器分割構成図

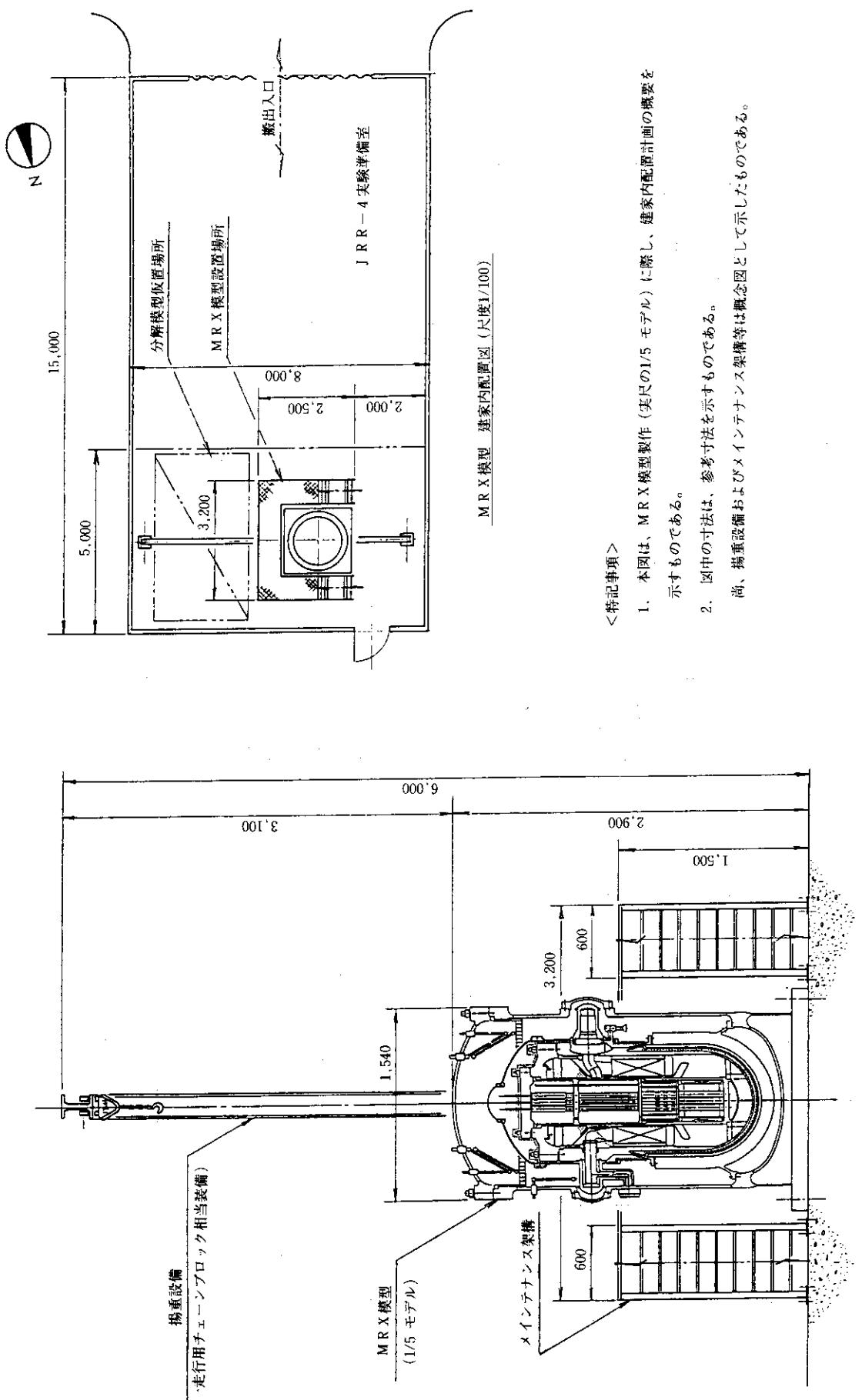


Fig3.6 M RX 模型全体配置図

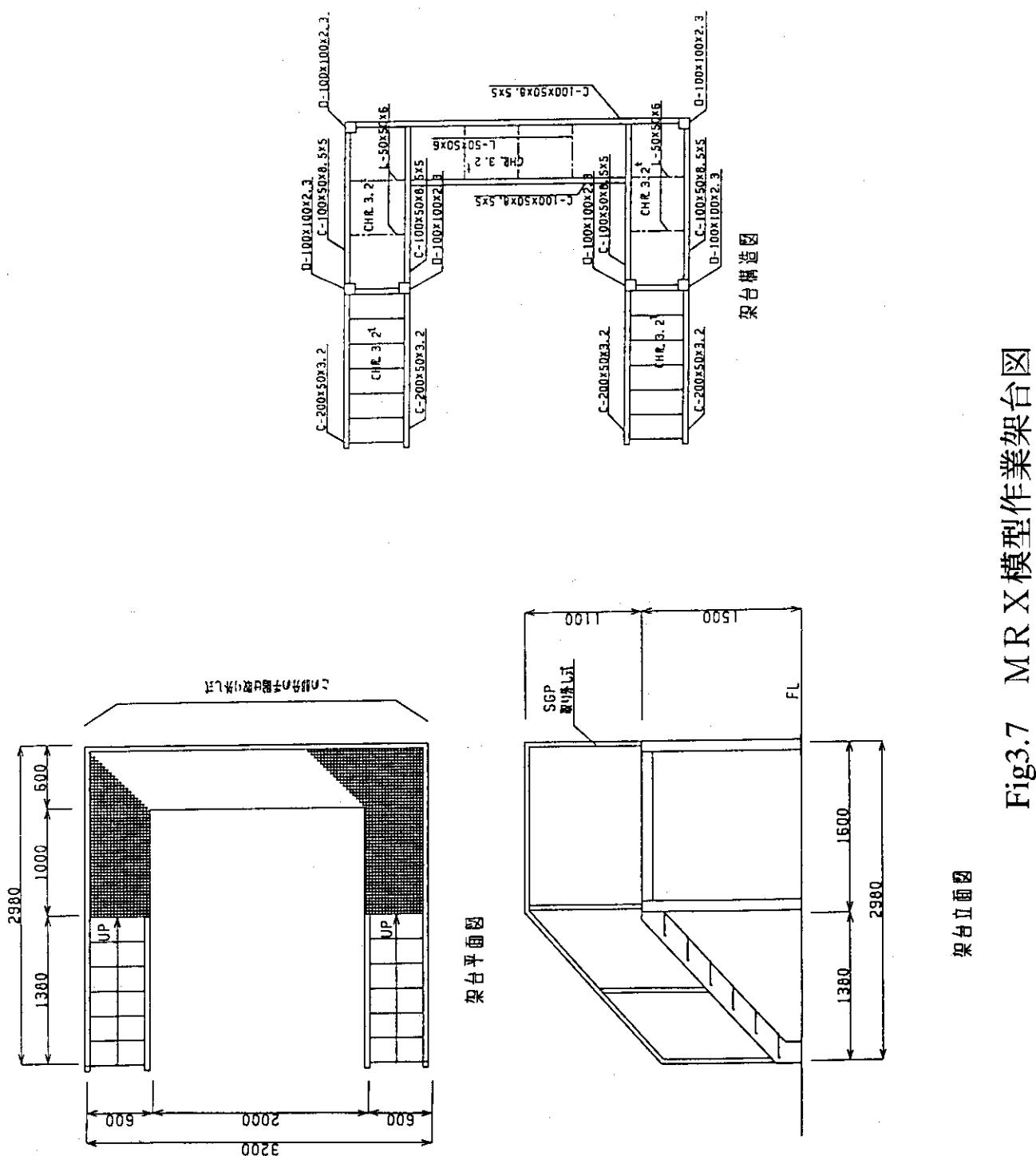
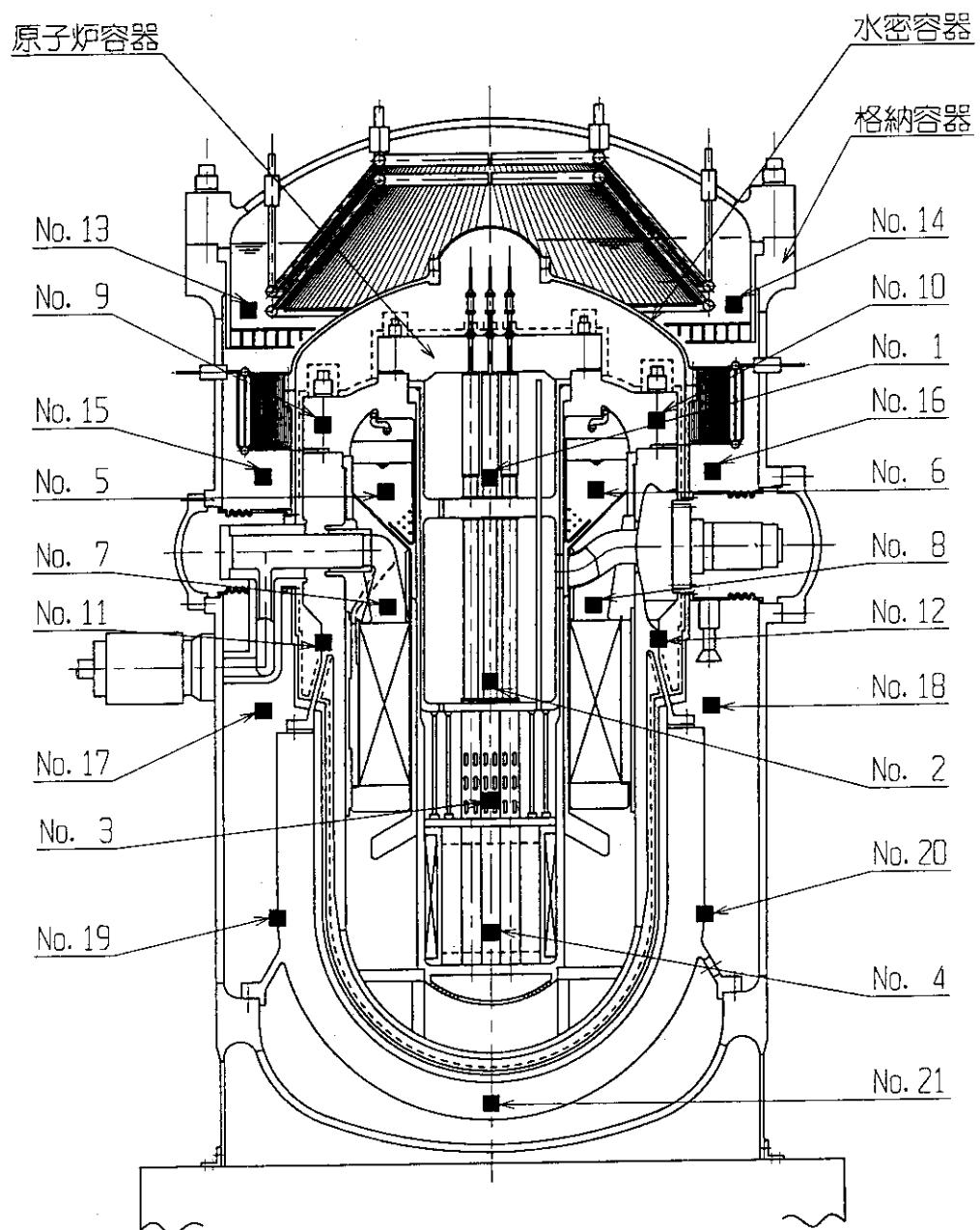


Fig3.7 MR X 模型作業架台図



## ■ 照明灯配置内訳

- |          |                   |
|----------|-------------------|
| ① 原子炉容器  | 3灯(No. 1~No. 3)   |
| ・炉内構造物   | 5灯(No. 4~No. 8)   |
| ・原子炉容器本体 |                   |
| ② 水密容器   | 4灯(No. 9~No. 12)  |
| ③ 格納容器   | 9灯(No. 13~No. 21) |

Fig3.8 照明灯配置図

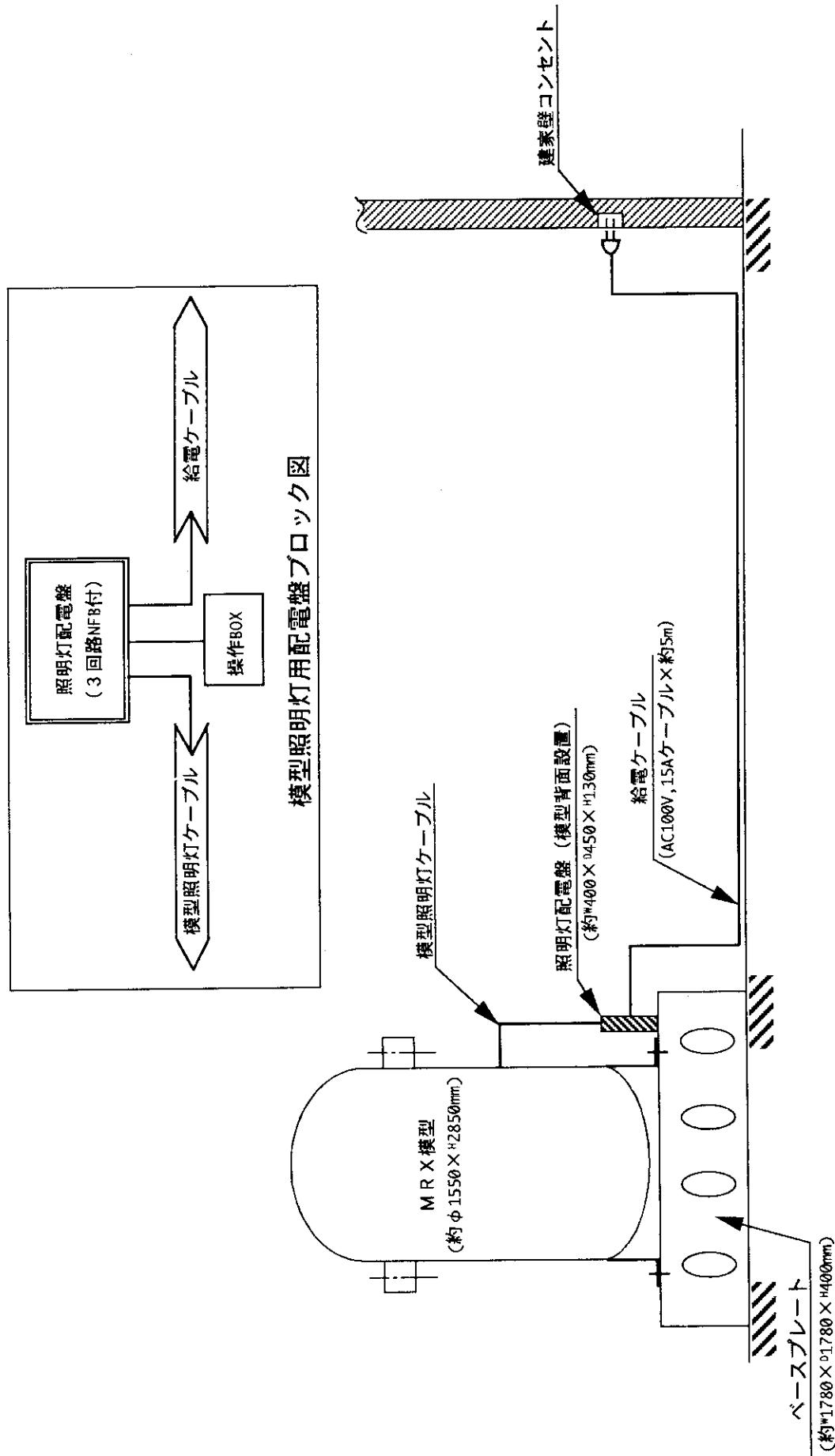


Fig3.9 MR X 模型照明灯用配線経路図

Table 3.1 M R X 模型作成品目一覧

項目	数量	備考
(原子炉容器部)		
・原子炉容器本体	1 基	平蓋、上記蓋（スプレイヘッダ付）、本体胴（3分割構成）及び水密容器下部及び格納容器内遮蔽体
・炉心燃料集合体	19 体	1 体毎に外形状を模擬
・制御棒駆動装置	13 体	1 体毎に外形状を模擬
・炉内構造物	1 基	内槽及び炉心槽
・蒸気発生器	1 基	管板付蒸気ノズル、蒸気発生器遮蔽体を付設
・加圧器本体	1 基	動搖抑制板、加圧器ヒータを付設
(格納容器部)		
・水密容器	1 基	上蓋、上蓋鏡、本体胴の3分割構成
・バッフルプレート	1 基	外形状を模擬
・格納容器	1 基	上蓋、本体胴の2分割構成
・格納容器水冷却設備	1 基	外形状を模擬
・崩壊熱除去装置	1 基	外形状を模擬
・模型据付台	1 基	二重船底を模擬
(付属設備)		
・作業架台	1 式	
・照 明	1 式	

Table 3.2 MR X 模型構成品の重量内訳

	品 名	重量 (kg)	備 考
1.	原子炉容器	100	遮蔽体・水密容器の一部を含む
2.	炉内構造物	(25)	内槽・炉心槽
3.	原子炉容器内構成品 ・蒸気発生器 ・制御棒駆動装置機構 ・主冷却水ポンプ ・加圧器本体 ・炉心燃料集合体	(80)	
4.	水密容器	(30)	上蓋含む
5.	格納容器	130	上蓋含む
6.	格納容器内設備	(25)	
7.	ベースプレート	100	2分割構成 (50 kg／基×2基)
総 重 量		490	

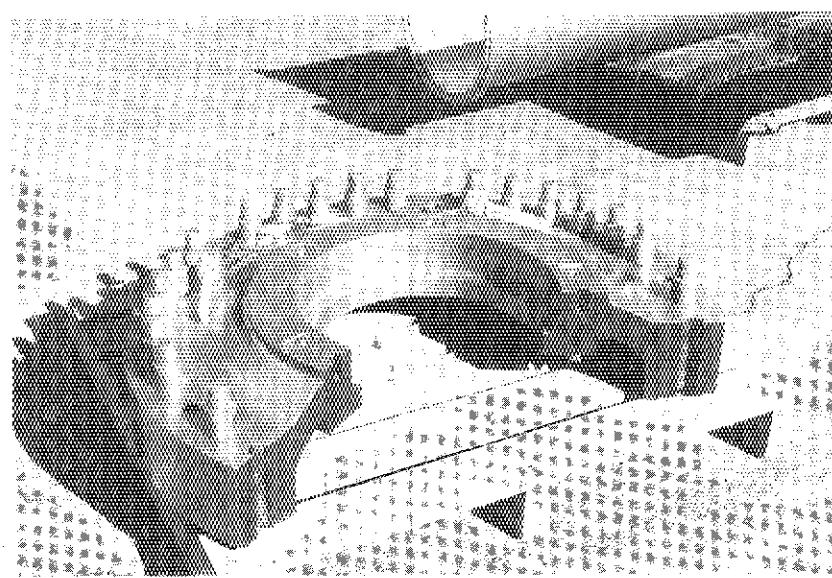


Photo 3.1(1) 原子炉容器上蓋

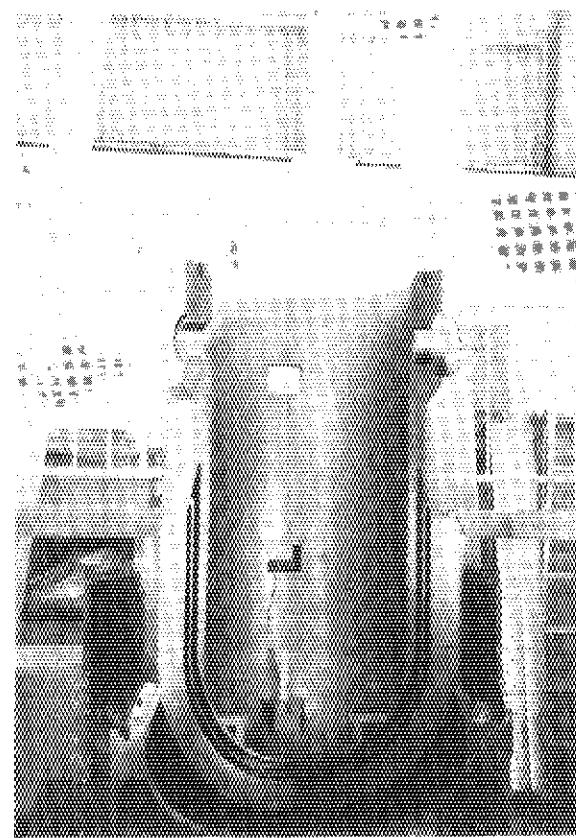


Photo 3.1(2) 原子炉容器

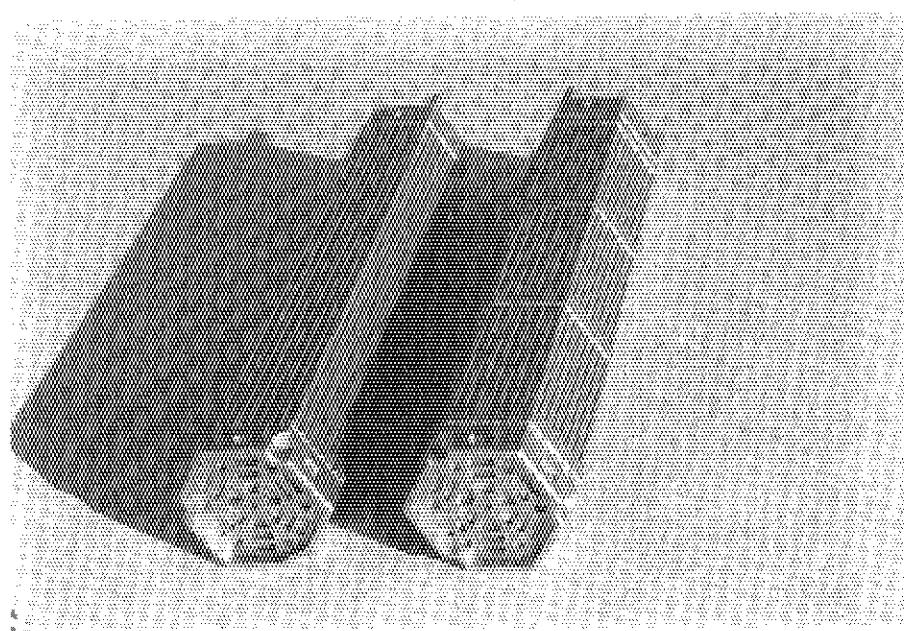


Photo 3.2(1) 炉心燃料集合体

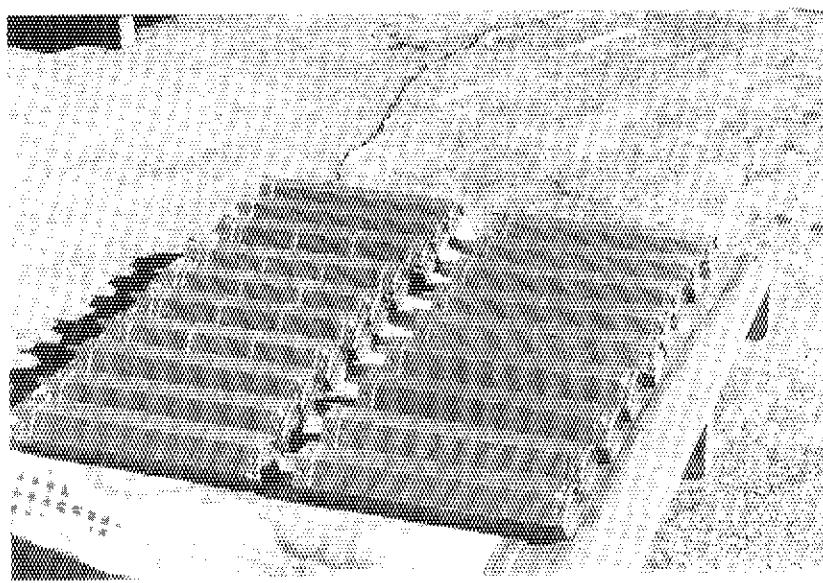


Photo 3.2(2) 炉心燃料集合体群全影

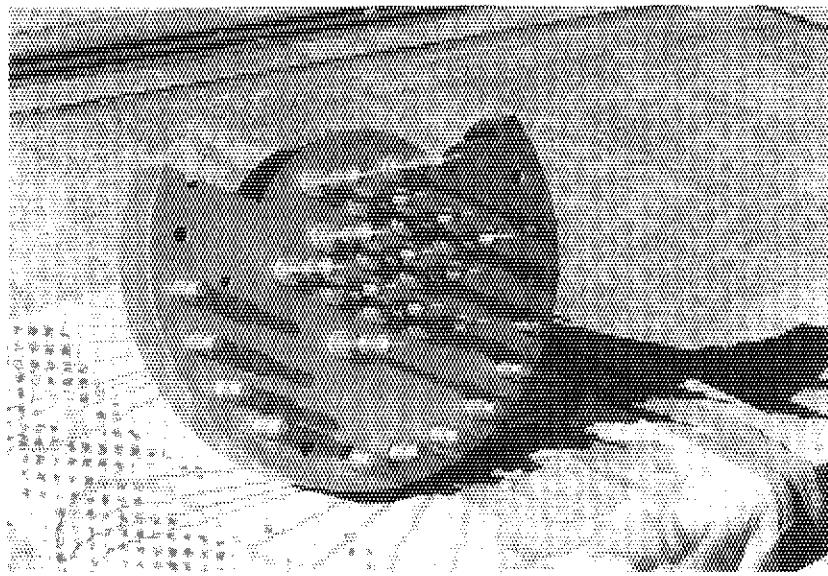


Photo 3.3(1) 制御棒駆動機構上部ペネトレーション

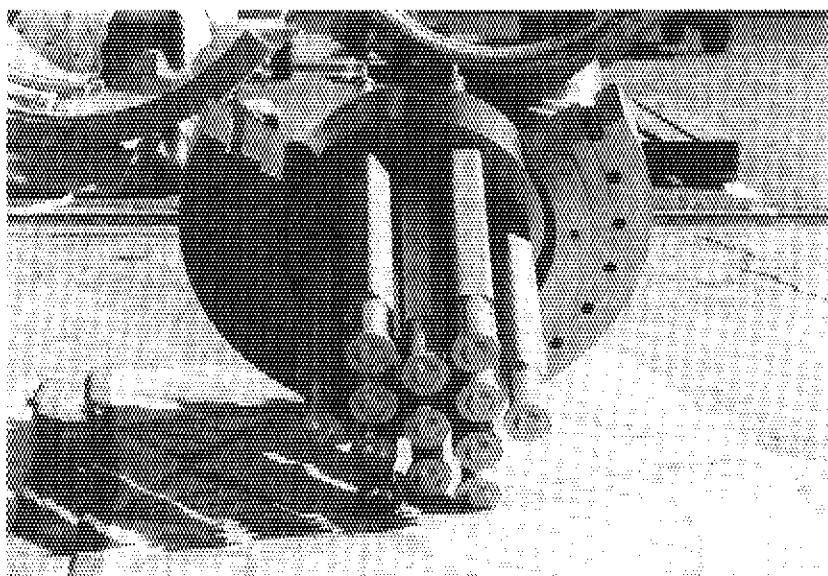


Photo 3.3(2) 制御棒駆動機構本体

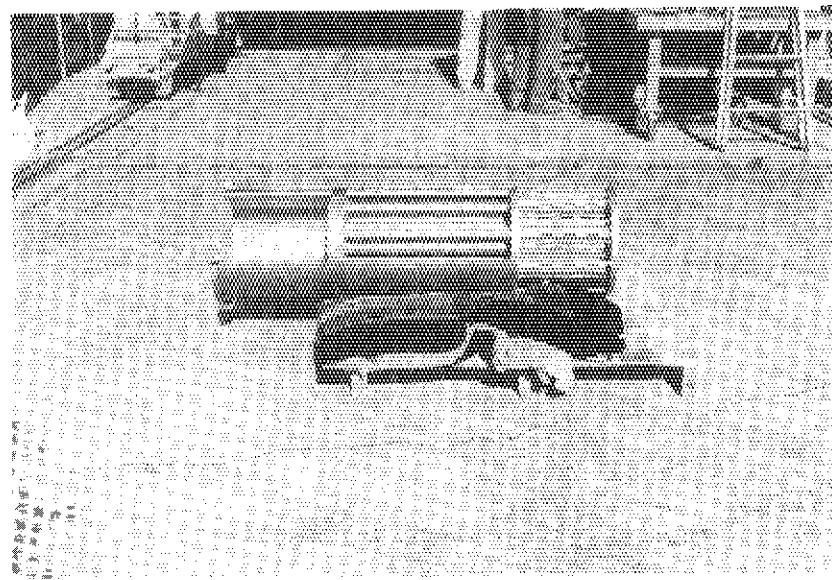


Photo 3.4(1) 上部炉心構造物（内槽）

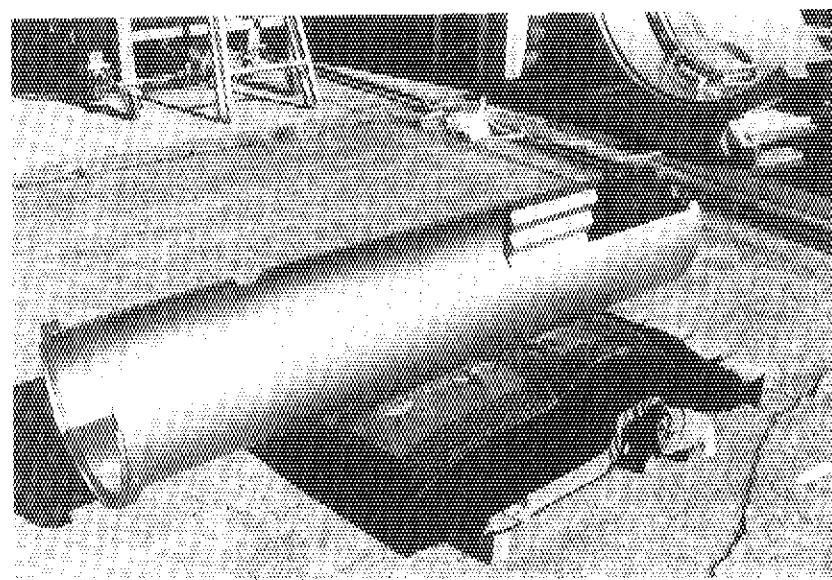


Photo 3.4(2) 下部炉心構造物（炉心槽）

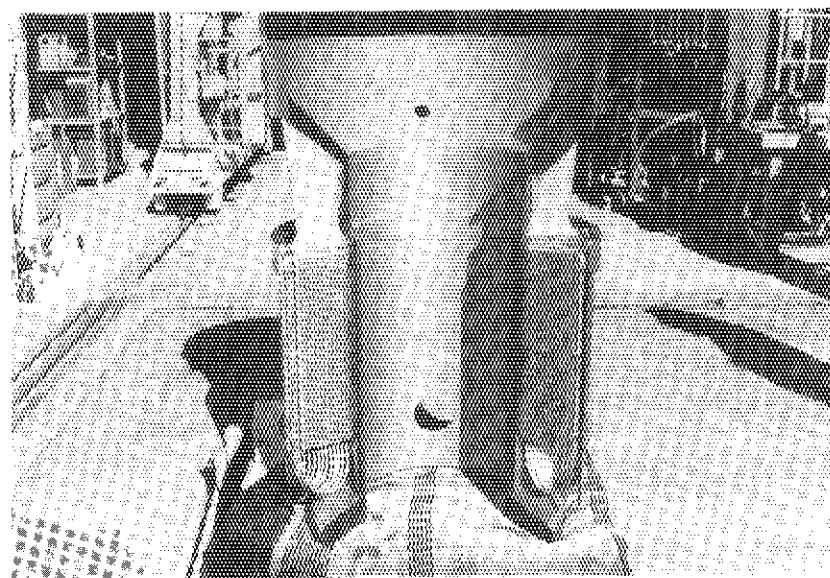


Photo 3.5(1) 蒸気発生器正面

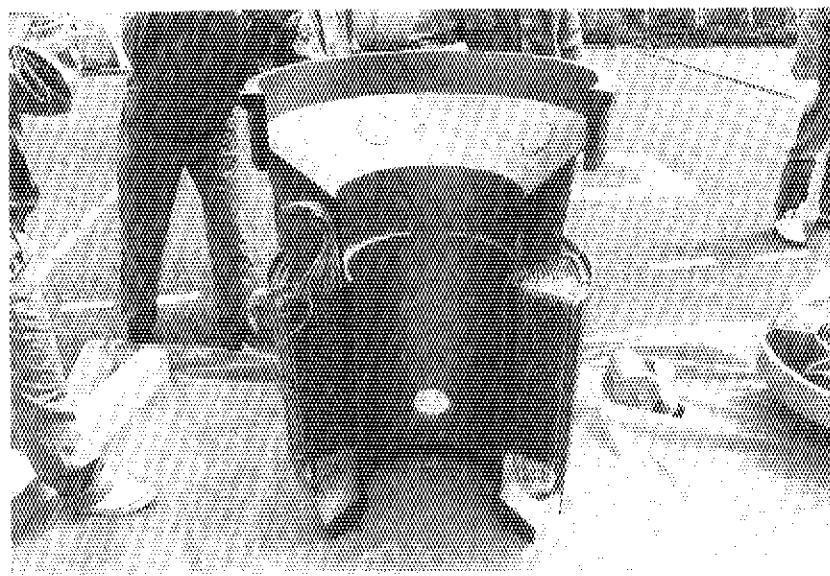


Photo 3.5(2) 蒸気発生器鳥瞰

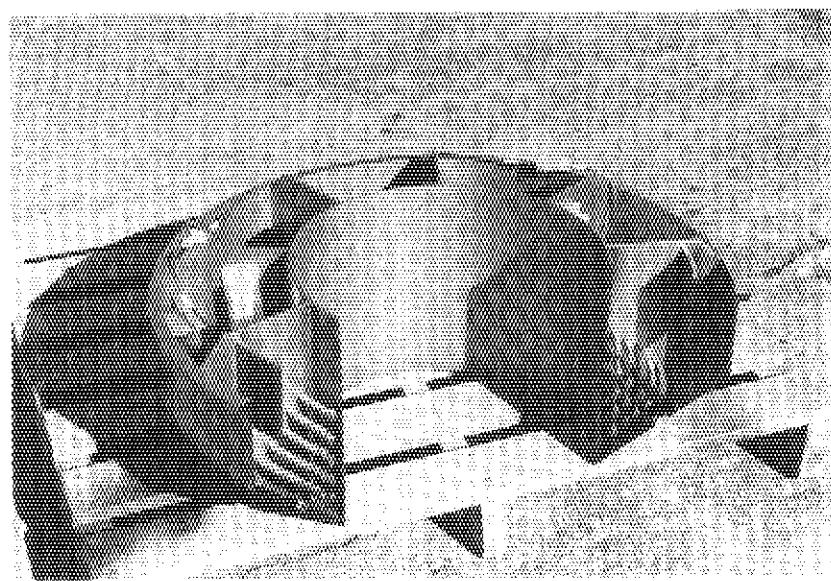


Photo 3.6(1) 加压器全影

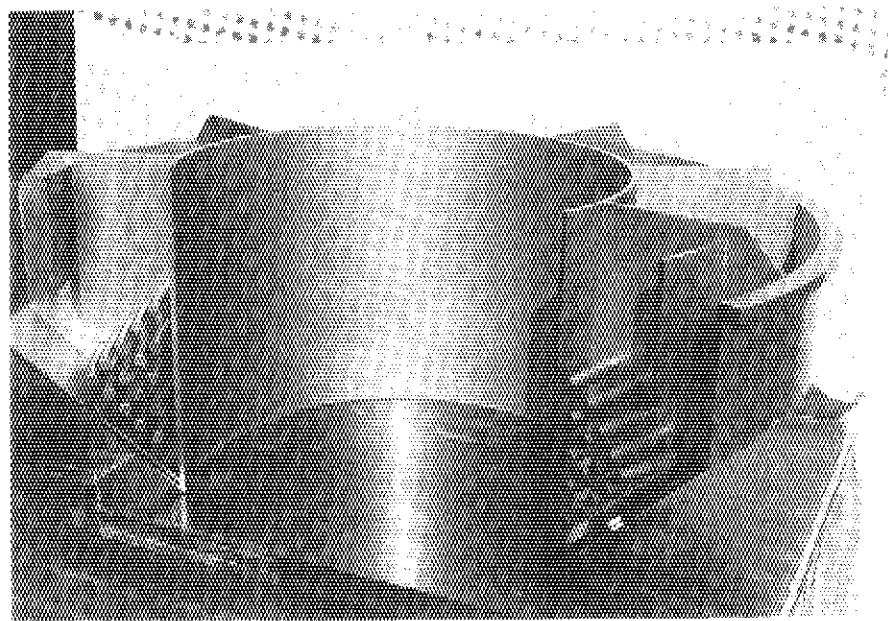


Photo 3.6(2) 加压器ヒータ

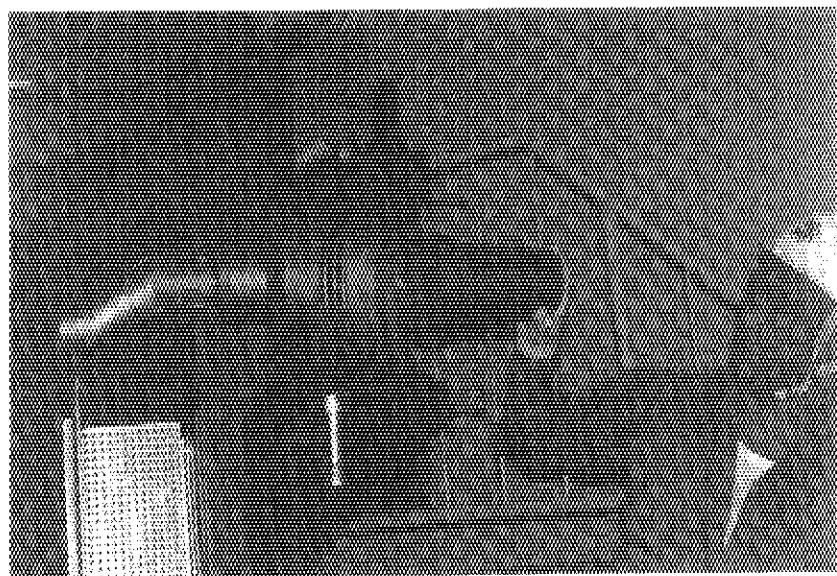


Photo 3.7(1) 主冷却水ポンプ本体

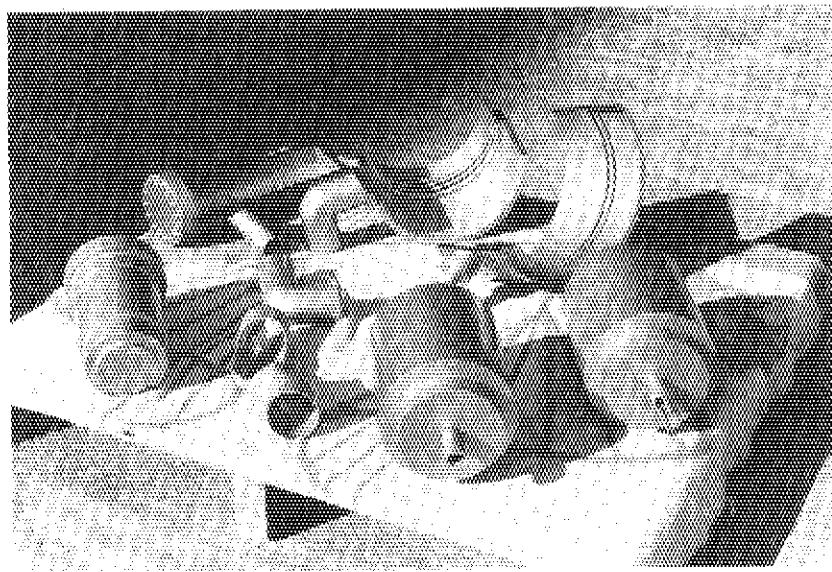


Photo 3.7(2) 主冷却水ポンプ構成品

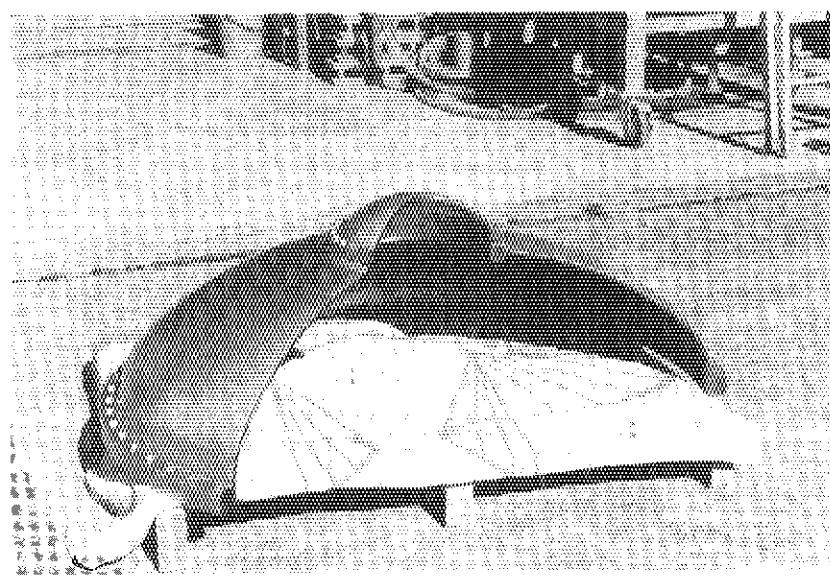


Photo 3.8(1) 水密容器上蓋

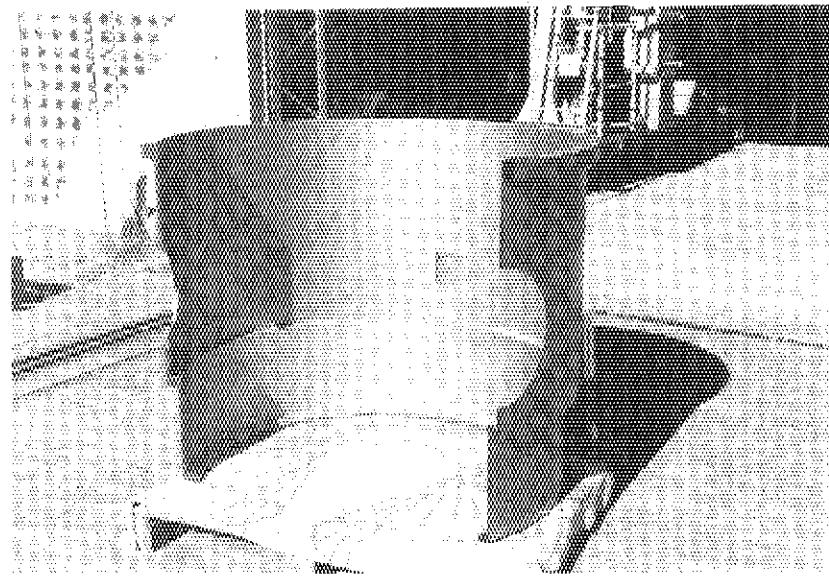


Photo 3.8(2) 水密容器本体

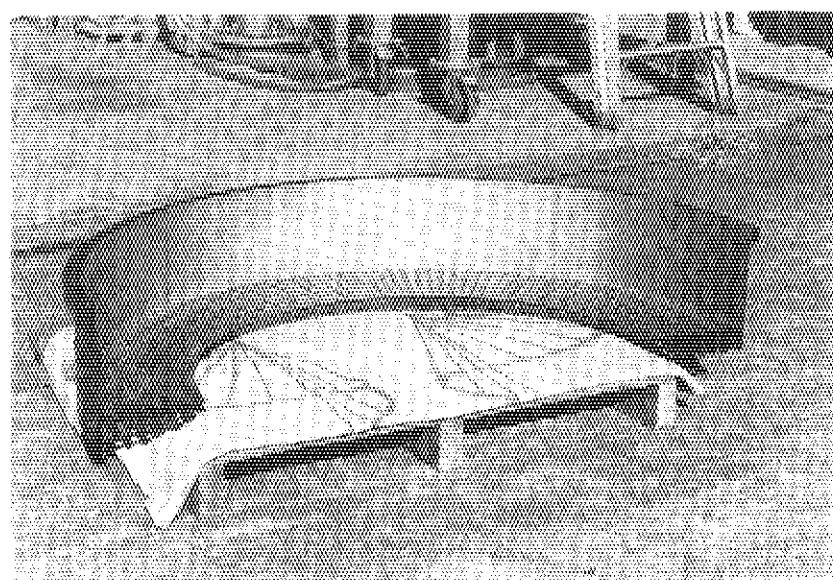


Photo 3.9(1) バッフルプレート全影

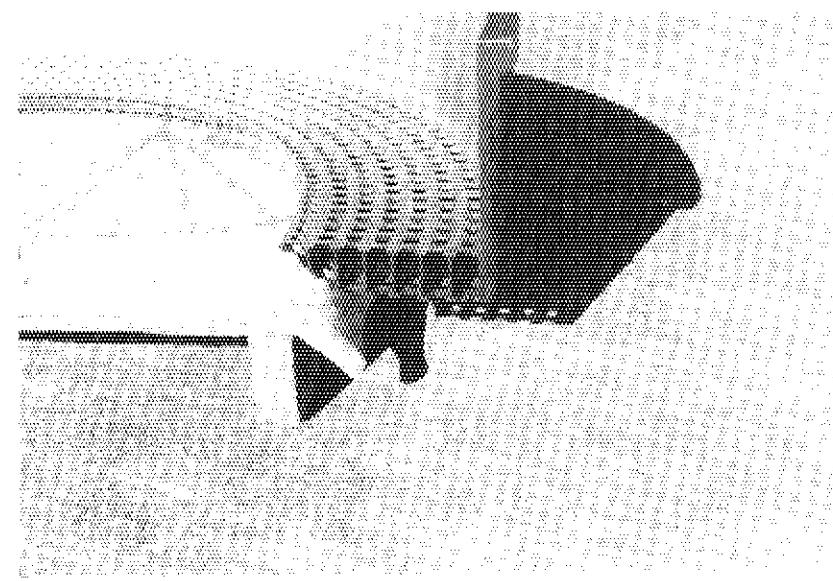


Photo 3.9(2) バッフルプレート下部構造

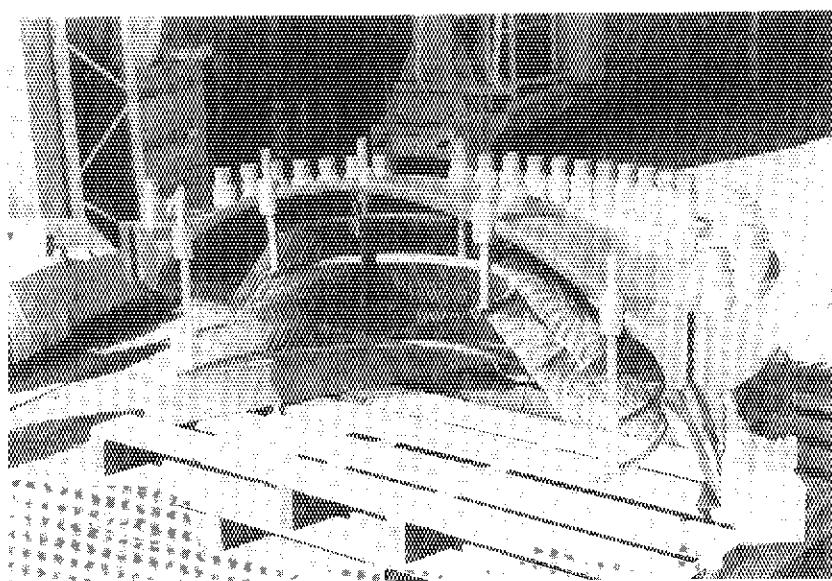


Photo 3.10(1) 格納容器上蓋

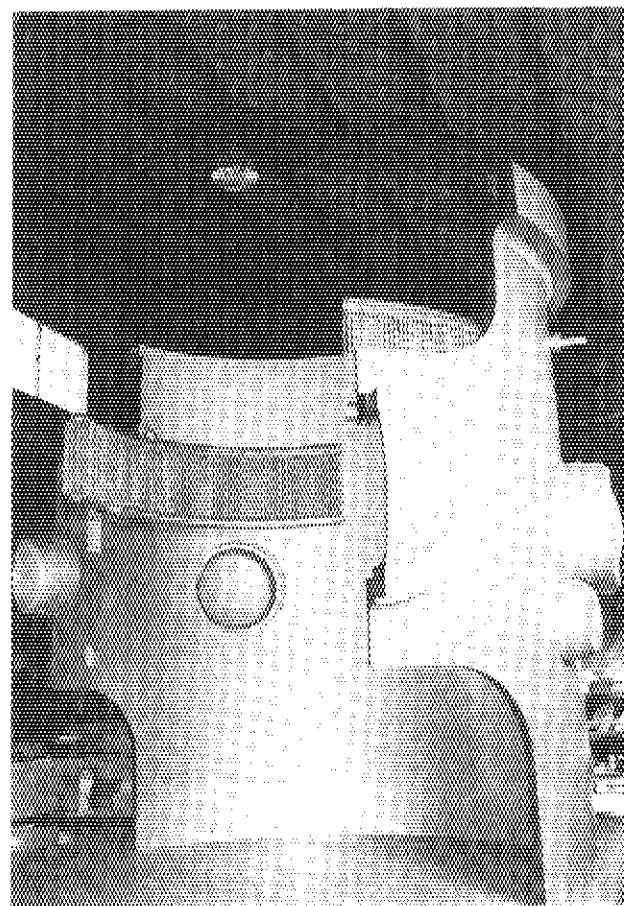


Photo 3.10(2) 格納容器本体

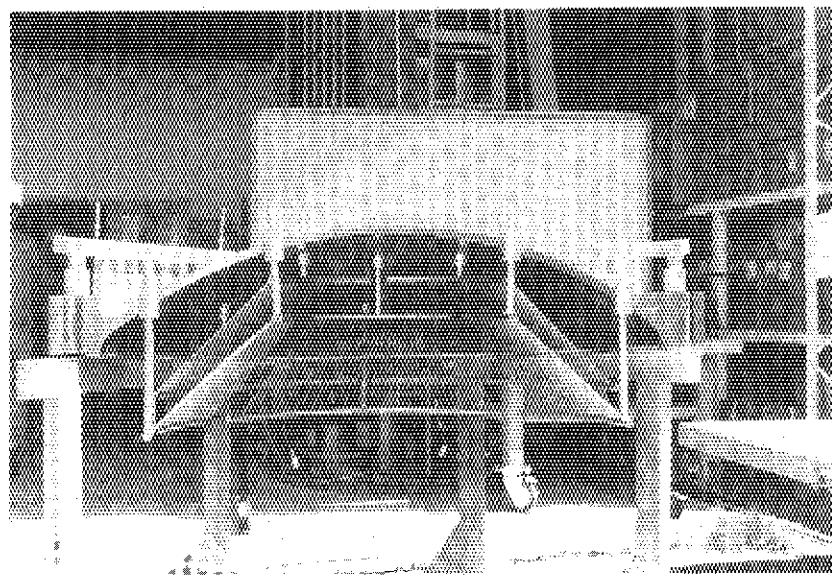


Photo 3.11(1) 格納容器水冷却設備全影

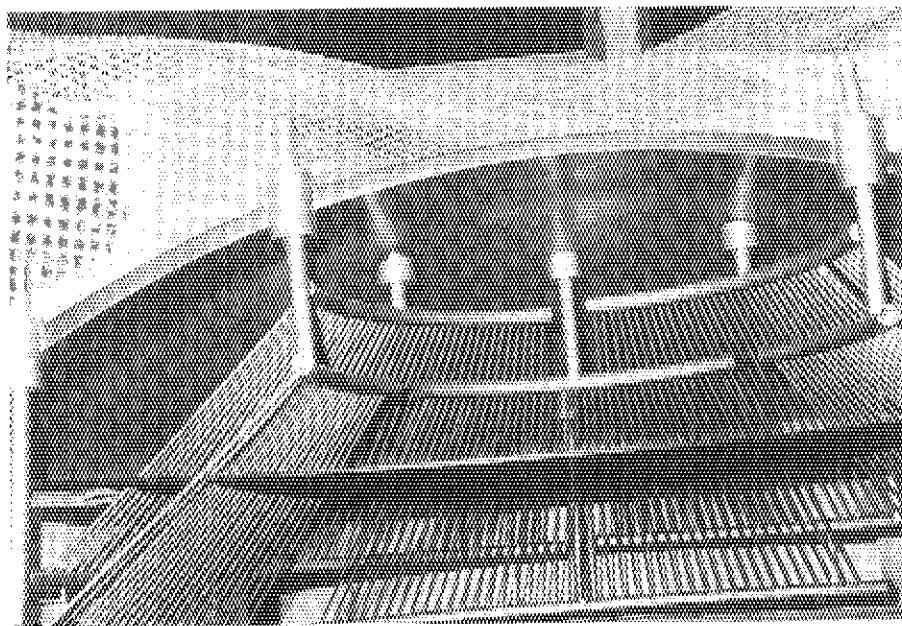


Photo 3.11(2) 格納容器水冷却設備伝熱管構成

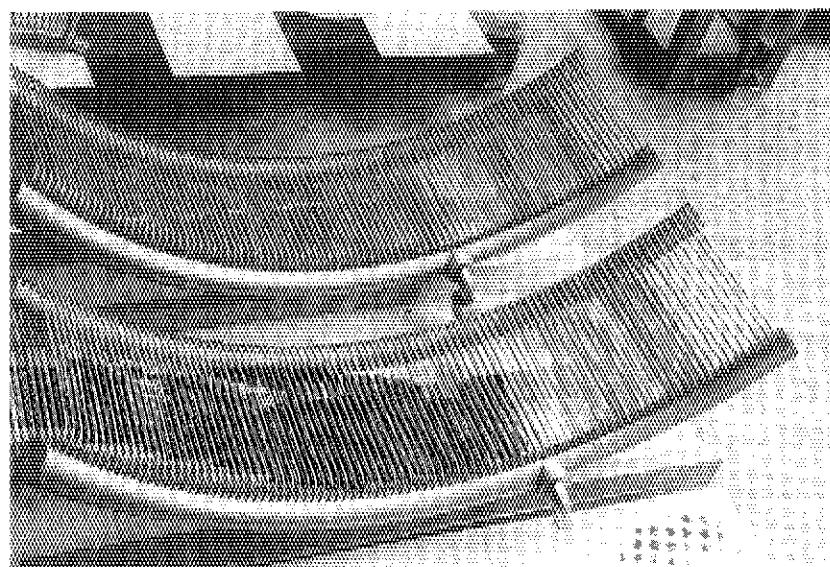


Photo 3.12(1) 非常用崩壊熱除去設備本体

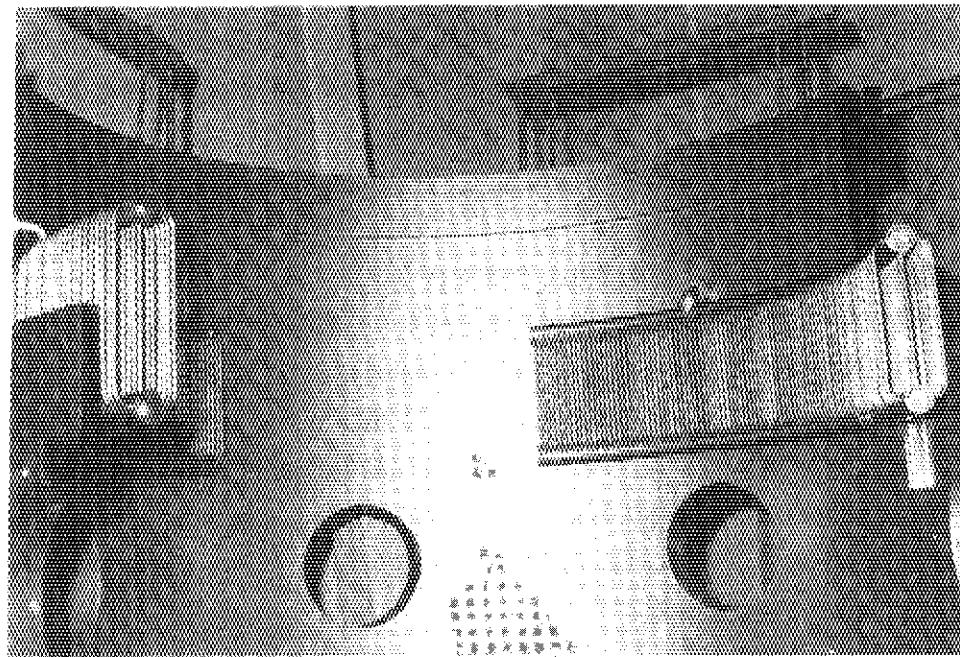


Photo 3.12(2) 非常用崩壊熱除去設備／格納容器取付状態

#### 4. 模型による点検・保守性の検討

##### 4. 1 MRX の燃料交換、点検・保守の基本手順

原子炉の点検・保守作業は、船が帰港した後専用施設で実施される。原子力船「むつ」の場合には、「むつ事業所」関根浜定係港において、船体原子炉部上部に「船上補助建屋」を設置して原子炉蓋開放を行い、燃料交換、原子炉内点検等を実施した。

船上補助建屋を設置する場合には点検・保守が船内で行われるため船の運航稼働率が低下することになる。このため、MRX を搭載する原子力船においては、点検・保守専用港において、原子炉部を格納容器ごと一括して船体から取り出し、専用施設へ搬入して点検・保守を行う「一括搬出、点検・保守方式」を提案している。そして、船体へはすでに点検・保守の完了した原子炉を搬入設置することとしている。Fig.4. 1 に本方式の概念を示す。原子炉部に交換性を持たせる本方式は現在の原子炉等の規制法の下では直ちに適用はできないが、将来標準化の概念が取り入れられることによって実現されるものと考えられる。

MRXにおいて格納容器部を含む原子炉部の燃料交換、点検・保守の手順は以下のとおりである。Fig.4. 2 に MRX の原子炉の分解概念図を示す。

- 1) 格納容器が解放できるよう、これを貫通し外部に設置される格納容器水冷却系凝縮器等につながる配管（蒸気管、液戻り管等）を継手で切離し、撤去する。
- 2) 格納容器水位を所定のレベルまで下げ、格納容器蓋を取り外す。
- 3) 格納容器内部の原子炉容器などの機器について、解体に必要な部位の断熱材を取り外す。
- 4) 原子炉容器上蓋の取付ボルトを取り外し、上蓋と一緒に制御棒駆動装置の駆動部を原子炉容器外へ取出す。必要な場合、駆動部の保守、点検を行う。
- 5) 制御棒駆動装置の駆動軸上端にある制御棒ハンドリングヘッドに操作治具を取り付け、制御棒の切離しを行う。
- 6) 炉内構造物の内槽を取り出し、燃料取り出し作業を行う。
- 7) 原子炉容器の保守、点検は原子炉容器廻り鉄遮蔽体の一部を切欠き構成したアクセスルートより自走式溶接線検査装置を挿入して原子炉容器外側より行う。
- 8) 蒸気発生器は、これに繋がる主蒸気、主給水ヘッダ部フランジを取り外し、二次側のみの解放により保守、点検を行う。現設計において、蒸気発生器は原子炉容器と一体としており、燃料交換時、供用期間中検査時にも原子炉容器からの取外しは行わない。
- 9) 主冷却水ポンプを取り外し、一次冷却材圧力バウンダリーおよびその支持部である検査対象箇所について、保守、点検作業を行う。
- 10) 組立、復旧は、上述する解体作業手順の逆操作手順により行う。

## 4. 2 模型による組立、分解、点検、保守性の検討

MRX 模型による組立、分解、点検保守等の検討の目的は、①原子炉内蔵機器の組立、保守性等を検討し、MRX プラント全体の簡便かつ合理的な組立・分解手法を確立すること、②未設計部分（炉内計装ケーブルの配置等）の検討、機器設計及び改良への提案、今後の設計の資することにある。

### 4. 2. 1 模型による組立分解作業

作業は模型の分解から行い、再組立によって復旧した。以下に作業の手順および主な作業内容を述べる。なお、(\*)印の項目は模型にかかる作業であり、MRX 本体では不要の作業である。なお、それぞれの作業状況を写真に示す。

- (1) 冷却材バウンダリ照明の取外し (\*)
  - a. 各照明灯のコネクター部のケーブル番号の確認
  - b. 照明用電源「断」を確認後、模型背面にて各照明灯のコネクタ一切離し
- (2) 各銘板の取外し (\*)
- (3) 格納容器上蓋及び格納容器水冷却設備取外し (Photo 4. 1 (1) (2))
  - a. 格納容器上蓋スタッドボルト取外し (周方向ボルト 10 本)
  - b. 上蓋スタッドボルト穴を利用し、吊り上げ治具の取付け
  - c. スリングと電動ホイストを使用して格納容器上蓋を吊り上げ
  - d. 保管場所への移動
- (4) バッフルプレート取外し (Photo 4. 2 (1) (2))
- (5) 水密容器頂部上蓋取外し
  - a. 頂部上蓋ボルト取外し
  - b. 水密容器頂部上蓋取外し
- (6) 水密上蓋取外し (Photo 4. 3)
  - a. 上蓋ボルト取外し
  - b. 水密容器上蓋の取外し
- (7) 原子炉容器平蓋及び制御棒駆動機構取外し (Photo 4. 4 (1) (2))
  - a. 原子炉容器平蓋スタッドボルト取外し
  - b. 原子炉容器平蓋及び制御棒駆動機構の取外し
- (8) 上部炉心構造物（内槽）取外し (Photo 4. 5)
- (9) 燃料集合体の取外し (Photo 4. 6)
- (10) 下部炉心構造物（炉心槽）取外し (Photo 4. 7 (1) (2))
- (11) 原子炉容器上蓋及び加圧器スプレー配管取外し (Photo 4. 8)
  - a. 原子炉容器上蓋スタッドボルト取外し
  - b. スリングと電動ホイストを使用して、原子炉容器上蓋の吊り上げ。

- (12) 加圧器本体取外し (Photo 4. 9)
- (13) 主冷却水ポンプの取外し
  - 13-1) 主冷却水ポンプ取外し (Photo 4. 10)
    - a. 機器取り出し用フランジ取り出し
    - b. 主冷却水ポンプ本体部の取り出し
  - 13-2) 蒸気ヘッダー取外し (\*) (Photo 4. 11)
    - a. 機器取出し用フランジ取外し
    - b. 蒸気発生器伝熱管取外し
    - c. 蒸気ヘッダー取外し
- (14) 蒸気発生器及び蒸気発生器遮蔽体の取外し (\*) (Photo 4. 12 (1) (2))

#### 4. 2. 2 実機への適用上の検討

上記の一連の分解、組立の作業を通じて、実際の MRX の適用上の課題について検討を行った。実機への反映事項を以下にまとめる。

- (1) 機器の組立、分解の基本的な手順は上述の方法で可能であることが確認できた。
 

今回の MRX 模型分解・組立のシミュレーションにおいては、動力用配線、計装用機器及び配線についてシミュレーションするに至っていない。今後、特に下記の機器についてケーブル貫通位置、配線の布設ルート等をも考慮した組立・保守点検要領の検討を行う必要がある。

  - ・制御棒駆動機構の動力、計装ケーブルの水密容器頂部上蓋の貫通部構造
  - ・主冷却水ポンプ関連計装、動力ケーブルの取出し
  - ・炉内熱電対、その他各種の炉内計装機器
- (2) 作業性の向上のため吊具、架台等について十分に検討しておくこと。主要なものを以下に列記する。
  - ・格納容器上蓋、原子炉容器上蓋、炉内構造物等の吊り具及び作業架台並びに吊り具の強度
  - ・周部バッフルプレート取外し専用治具の検討。内周部バッフルプレートは、水密容器上蓋に設置されているため、水密容器頂部上蓋及び制御棒駆動機構の解放作業の足場として利用する。
  - ・格納容器水冷却設備のヒートパイプが格納容器上蓋フランジ部より下に出ているため、ヒートパイプの破損防止及び上蓋点検用専用保管台の検討。
- (3) 点検・保守において、とくに格納容器内機器の分解、点検のため、機器の配置、作業スペース等について十分に検討を行っておく必要があること。
- (4) 炉内構造物の取り出しに際しては、放射線の遮蔽（キャスク）を十分に考慮しておくこと。水中作業は有効な方法と考えられる。なお、下記炉内構造物取り出しにおいて上部10m高の作業スペースが必要。

(5) 制御棒駆動機構と制御棒の切り離し時期及び方法(確認)の検討。切り離しの確認はデラッチ状態で駆動機構モータを回し、位置指示に変化がないことで、制御棒駆動機構本体側(分割ポールナット)と駆動軸が切り離されていることが確認できる。

(6) 主冷却ポンプの分解においては下記事項の検討を行っておくことが必要である。

- ・主冷却水ポンプ関連計装、独立ケーブルの取外し方法
- ・主冷却水ポンプ用補機冷却水配管及びベント配管の取外し方法
- ・ポンプ内構造物の引出し方法。ポンプ本体、インペラ及びデフューザーを一体構造で水平方向へ引抜くことで検討。
- ・重量物を支持し、水平方向にポンプを引抜く治具の検討

(7) 制御棒駆動機構の分解、点検方法

別途要素技術の開発として実施している原子炉容器内装型制御棒駆動機構の開発の成果を反映させて、分解手順、点検項目等を明らかにすること。

(8) 蒸気発生器交換

現在の設計では、蒸気発生器は寿命期間中は取外さない計画である。蒸気発生器の交換・取外しを考えた場合は、下記手順となる。

蒸気発生器本体は、蒸気発生器遮蔽体と一体構造であり、蒸気出口及び給水入口伝熱管は、各ヘッダーに溶接されている。また、ヘッダーは、原子炉容器直胴部に溶接され、原子炉容器内面より内側に配置されているため、蒸気発生器を上方向に引き抜く場合、各ヘッダーが干渉する。したがって、各ヘッダー管板部を原子炉容器内面より切断する。蒸気発生器は蒸気発生器遮蔽体と一緒に搬出する。

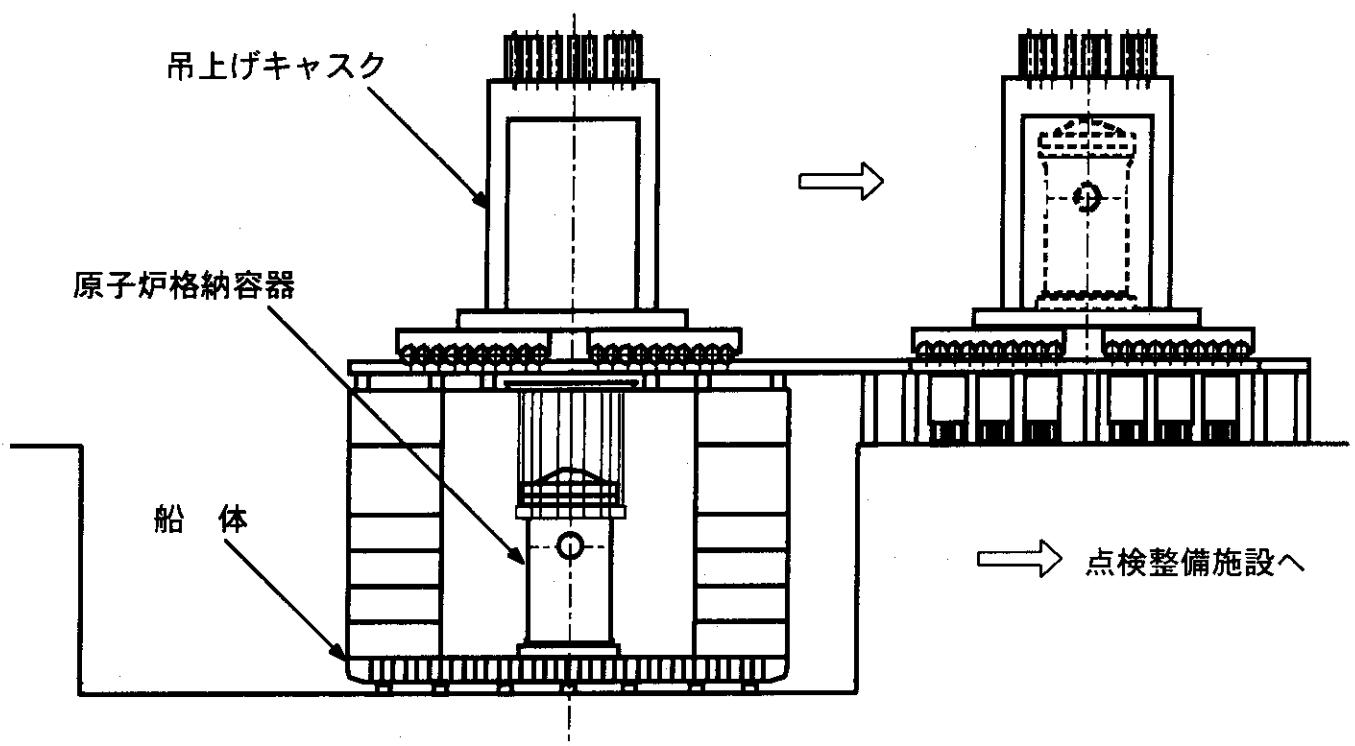
組立時の検査方法としては、加圧器下部にマンホールが設置されており、この部分より検査員が内部に入り検査を行う。

この場合、下記の検討が特に必要である。

- ・切断方法及び切断後管板部を原子炉容器内へ押し込むことが可能か。
- ・組立方法としては、管板に伝熱管を溶接後、蒸気発生器遮蔽体と一緒に原子炉容器に挿入し、ヘッダースリープに内側より溶接する。この場合、溶接部の開先合わせ方法及び溶接検査方法の検討

(9) 燃料交換及び定期検査で、原子炉容器上蓋を解放しない場合、スタッドボルトの温度管理もしくは低温締付け(ボルトの脆性破壊防止策)方法の検討

(10) 一括搬出方式を採用する場合は、移送中の炉心熱除去装置(仮設)の設置が必要であること。



### 考え方

- ・燃料を装荷したまま、格納容器ごと船から取り外し
- ・陸上の燃料交換・点検整備施設へ移送
- ・整備済みの原子炉を船に搭載

### メリット

- ・3週間程度のドック入り期間内に作業終了
- ・点検等が陸上の広いスペースで実施可能
- ・船の寿命後原子炉の再活用
- ・解役が容易

Fig. 4.1 原子炉一括搬出方式の概念

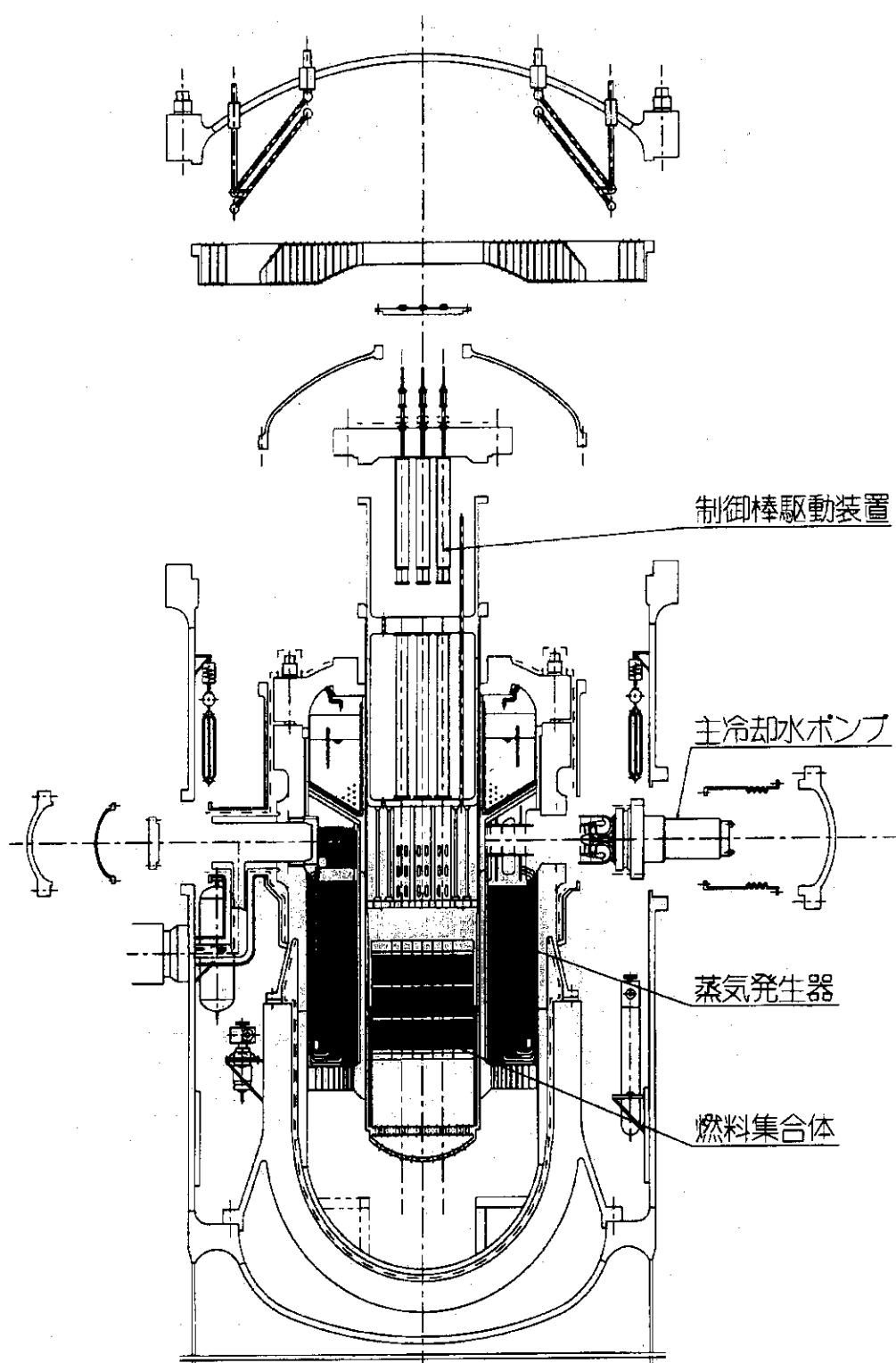


Fig4.2 MRXの分解概念図

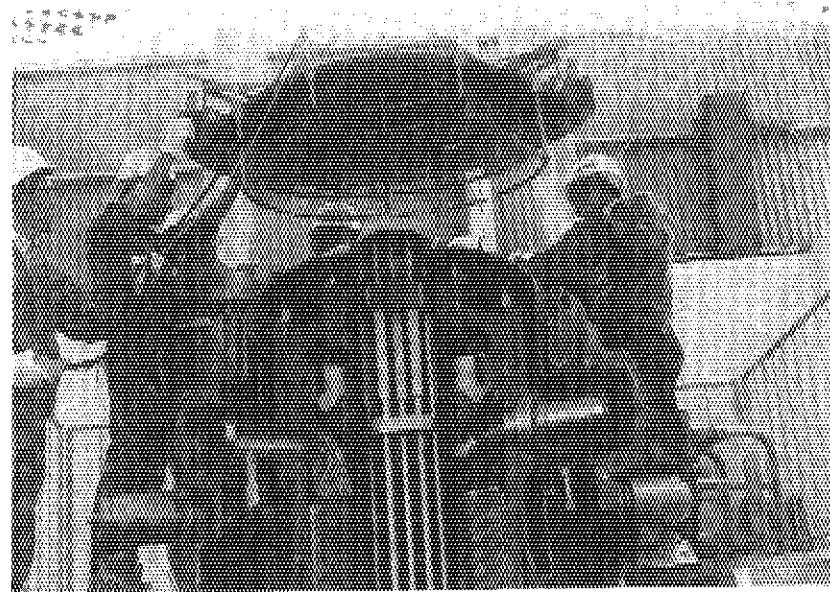


Photo 4.1(1) 格納容器上蓋及び  
格納容器水冷却設備取外し

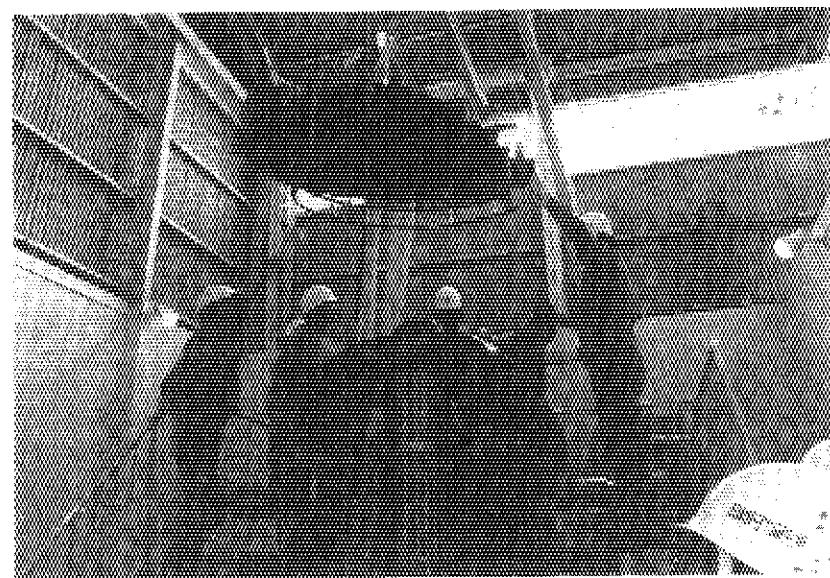


Photo 4.1(2) 格納容器上蓋及び  
格納容器水冷却設備取外し

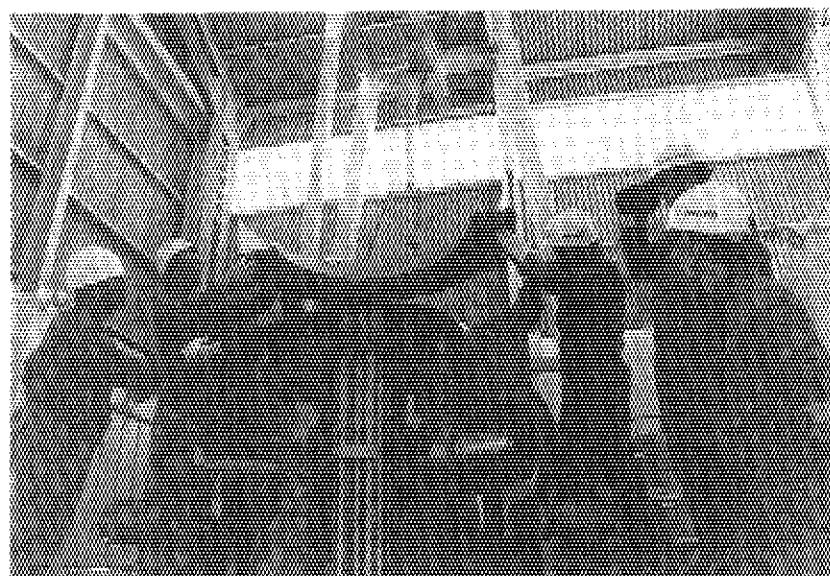


Photo 4.2(1) バッフルプレート取外し

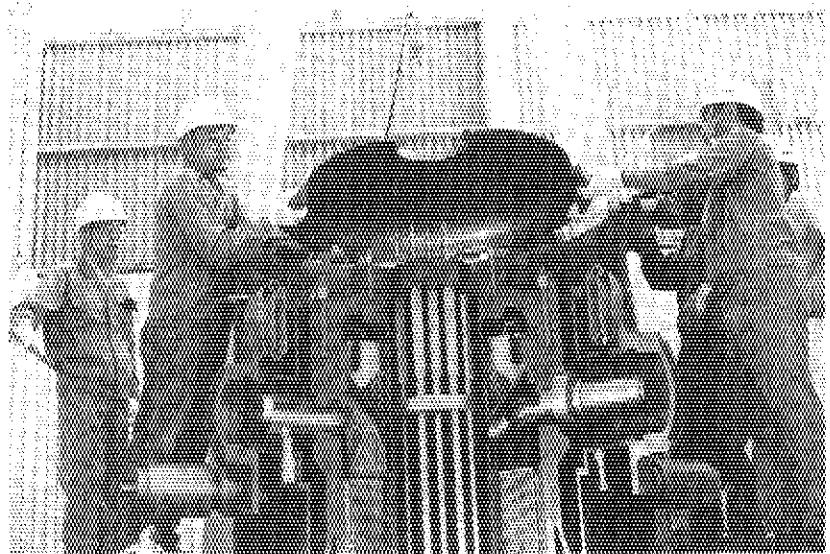


Photo 4.3 水密容器上蓋取り外し

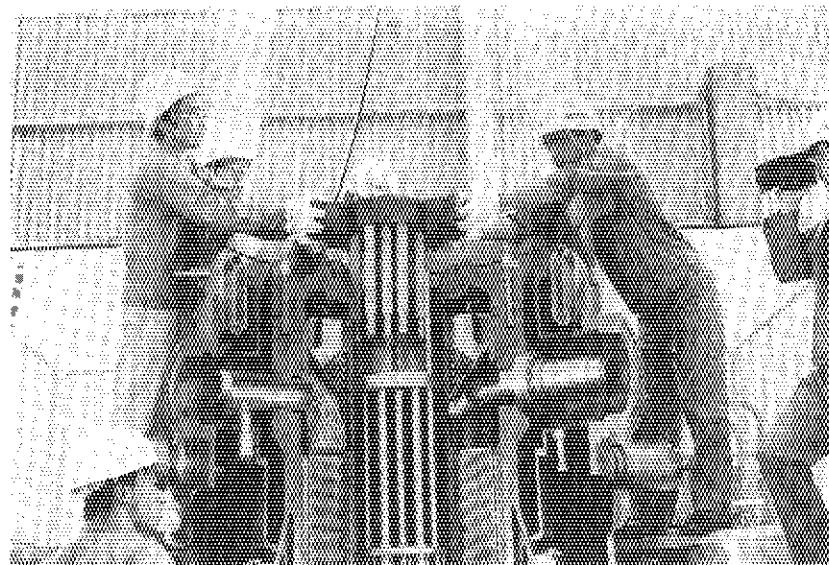


Photo 4.4(1) 原子炉容器平蓋及び  
制御棒駆動機構取外し



Photo 4.4(2) 原子炉容器平蓋及び  
制御棒駆動機構

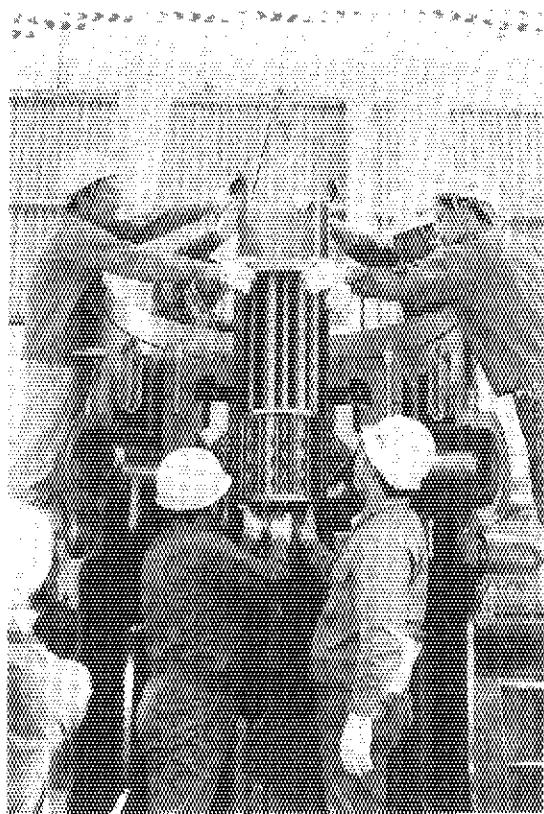


Photo 4.5(1) 上部炉心構造物（内槽）取外し

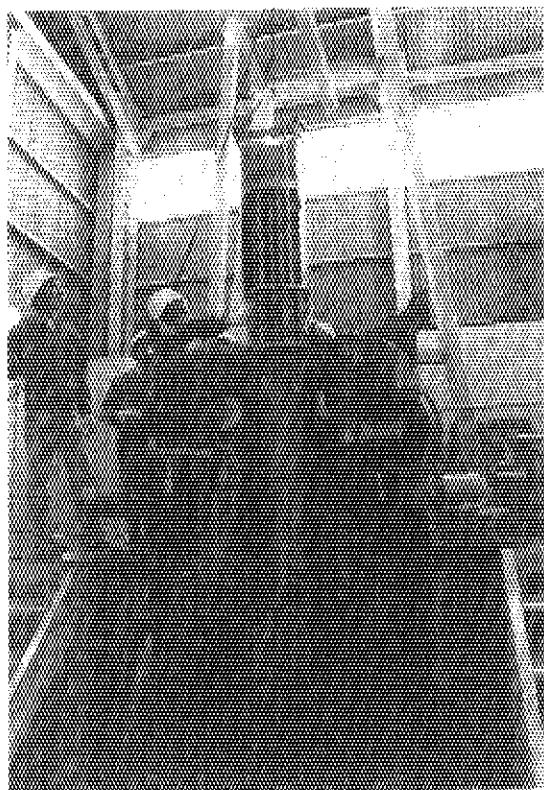


Photo 4.5(2) 上部炉心構造物（内槽）取外し

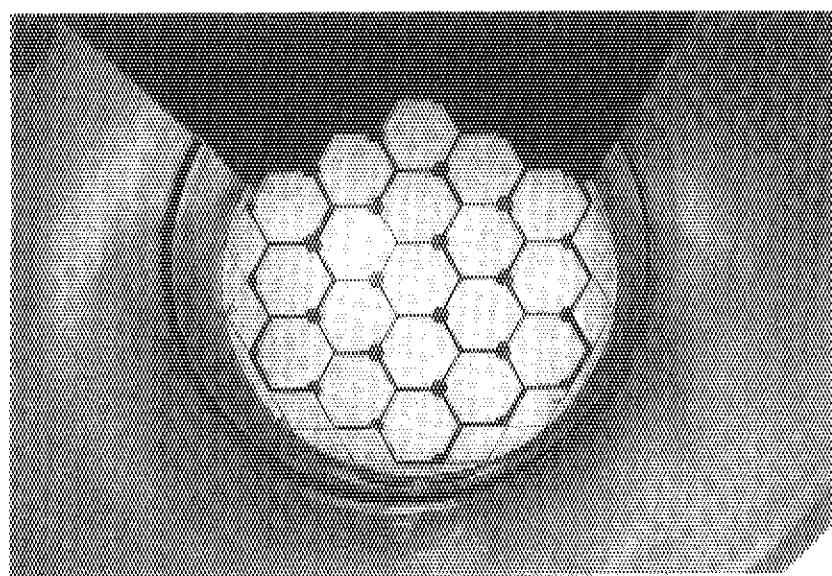


Photo 4.6(1) 炉心集合体取外し

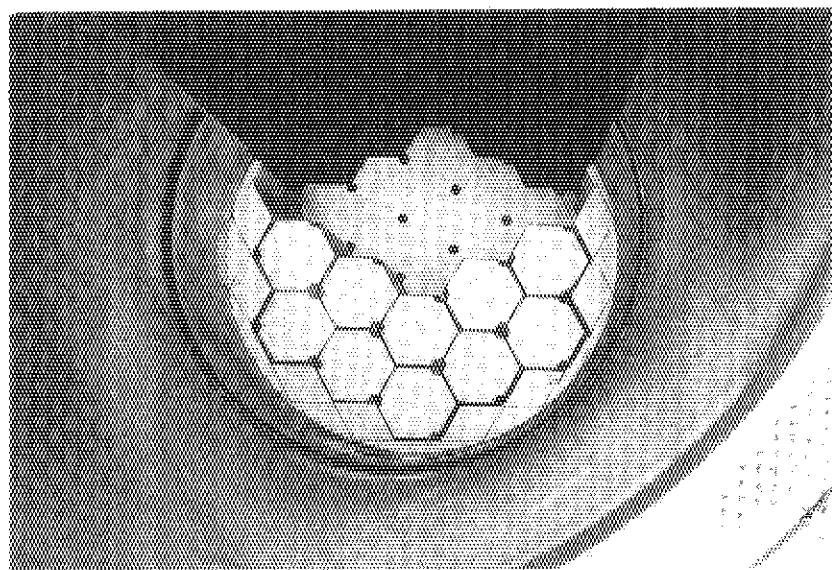


Photo 4.6(2) 炉心集合体取外し

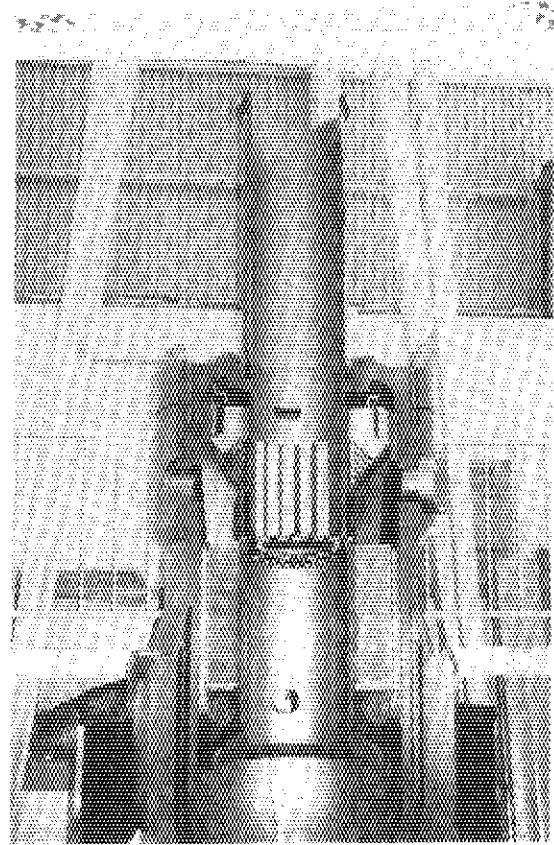


Photo 4.7(1) 下部炉心構造物（炉心槽）取外し

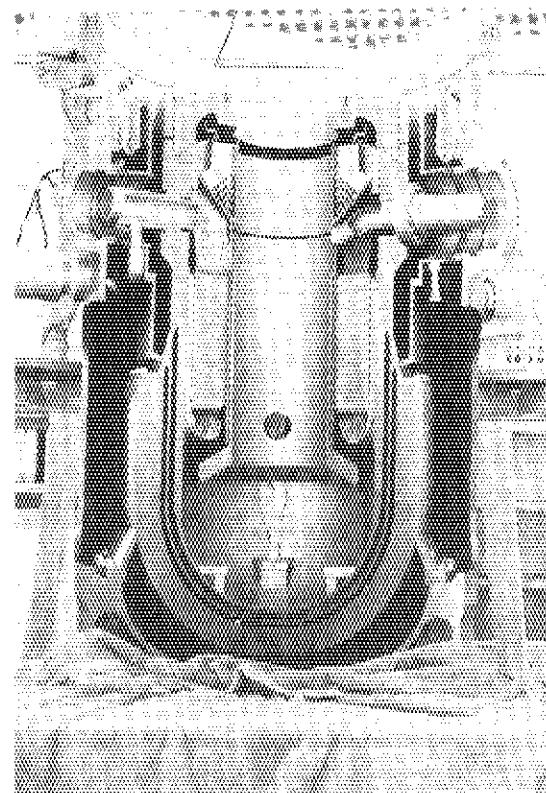


Photo 4.7(2) 下部炉心構造物（炉心槽）取外し完了

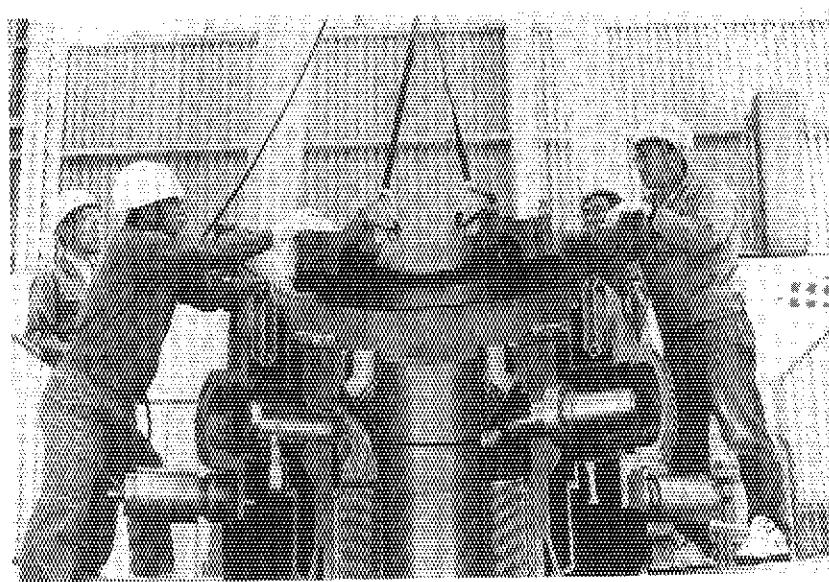


Photo 4.8(1) 原子炉容器上蓋及び  
加圧器ストレーリ配管取外し



Photo 4.9 加圧器本体取外し

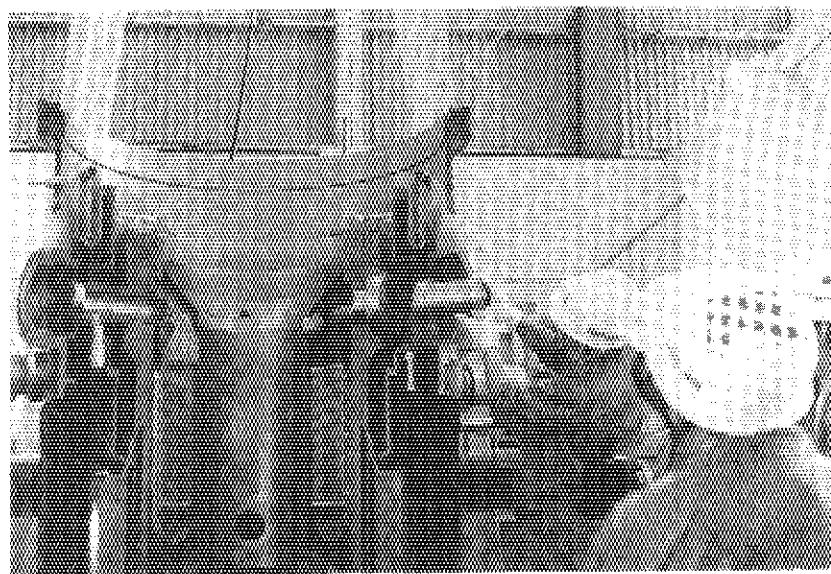


Photo 4.10 主冷却水ポンプ取外し

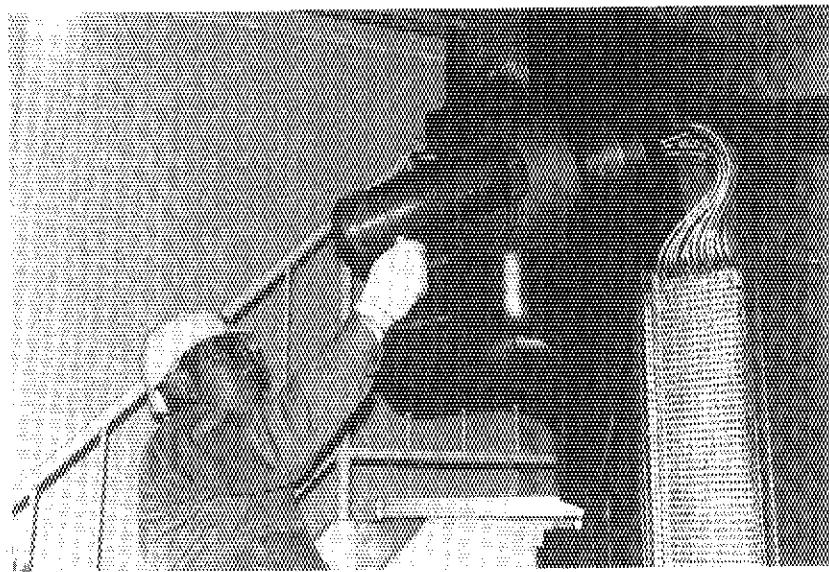


Photo 4.11 蒸気ヘッダ取外し

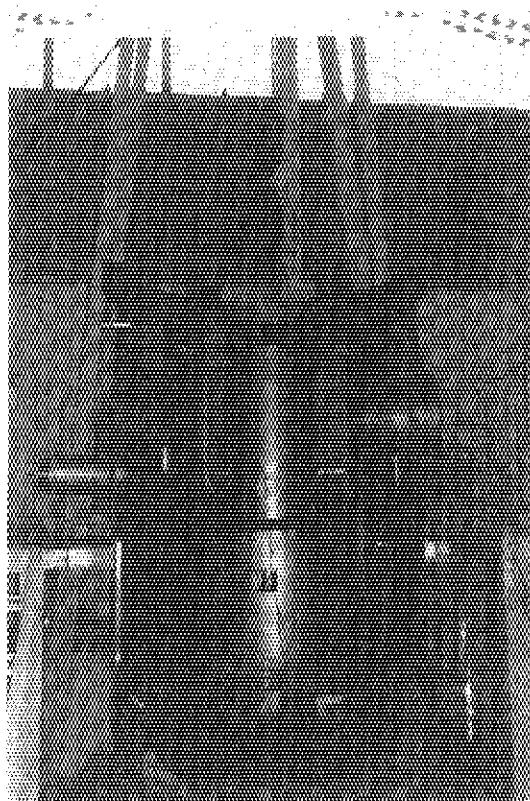


Photo 4.12(1) 蒸気発生器及び  
蒸気発生器遮蔽体取外し

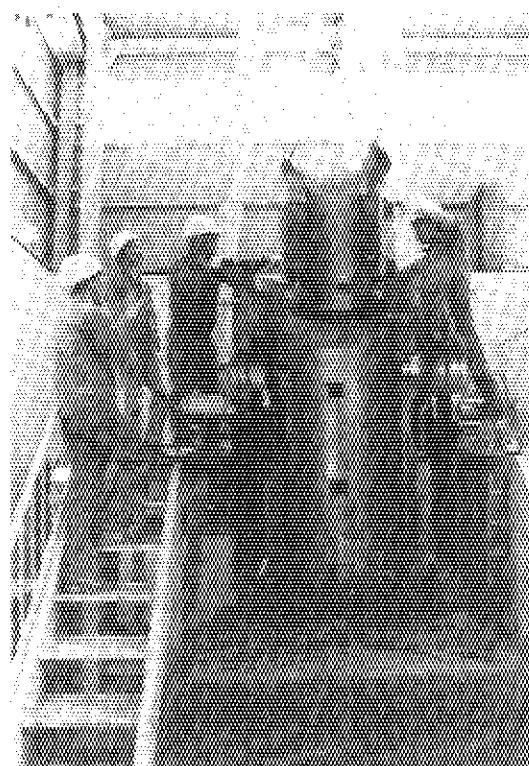


Photo 4.12(2) 蒸気発生器及び  
蒸気発生器遮蔽体取外し

## 5. MRXにおける点検・保守手順の検討

模型による組立、分解作業の経験及び問題点等の検討結果をもとに、MRXにおける点検・保守の手順を検討した。以下に手順及び各手順の主要な作業内容を述べる。

また Fig. 5. 1 に、手順の概念を示す。

- 1) 開放前準備 (Fig.5. 1 (1))
  - (1) 原子炉冷態停止へ移行後、格納容器気相部ガス分析・置換作業
  - (2) 格納容器水の水抜き
  - (3) 格納容器水冷却設備の切離し
    - a. ヒートパイプ内冷媒の回収作業
    - b. ヒートパイプ切離し後、各切離しフランジ部に盲フランジ取付け
- 2) 格納容器上蓋及び格納容器水冷却設備の撤去作業 (Fig.5. 1 (2))
  - (1) 格納容器スタッドボルト取外し
    - a. ボルトの締付け管理（解放順序及びトルク管理）
    - b. ボルトの検査・保管要領（被汚染区域作業）
  - (2) 格納容器上蓋の撤去作業
    - a. 格納容器上蓋ガイドピンの設置
    - b. 格納容器上蓋吊上げ（専用治具）
    - c. スタッドボルト穴保護用キャップ取付け
    - d. 格納容器フランジシート部保護プレート取付け
- 3) バッフルプレート取外し
  - (1) 外周部バッフルプレート取外し (Fig.5. 1 (3))
  - (2) 内周部バッフルプレートは、水密容器頂部上蓋と一括搬出 (Fig.5. 1 (4))
- 4) 水密容器頂部上蓋取外し
  - (1) 水密容器頂部上蓋締付けボルト取外し
  - (2) 制御棒駆動機構動力・計装ケーブルの切離し
  - (3) 水密容器頂部上蓋取外し
- 5) 制御棒駆動軸と制御棒の切離し
  - (1) 制御棒駆動軸グリッパー部を専用治具で開放
  - (2) グリッパー部解放後、制御棒駆動軸を一本ずつ荷重管理を行いながら引抜く。（規定荷重以下であれば、制御棒駆動軸と制御棒は切離されていることが確認できる。この時点でグリッパー爪部を閉動作し、制御棒駆動軸を挿入することで、制御棒ヘッド部と制御棒駆動軸は機械的に切り離し状態となる。）
- 6) 原子炉容器平蓋取外し (Fig.5. 1 (5))
  - (1) 原子炉容器開放に先立ち、原子炉容器内の水抜きを行う。  
(水抜き方法としては、加圧器気相部サンプリングラインより窒素ガスを挿入し、

体積制御ライン抽出配管より体積制御タンクへ水抜きを行う。また、同様に非常用崩壊熱除去系熱交換器の水抜きを行う。水抜き完了後、サンプリングライン及びベントラインを切離す。)

(2) 原子炉容器平蓋スタッドボルト取外し

- a. ボルトの締め付け管理（開放順序及びトルク管理）
- b. ボルトの検査・保管要領（汚染区域作業）

(3) 原子炉容器平蓋の撤去作業

- a. 原子炉容器平蓋ガイドピンの設置
- b. 原子炉容器平蓋吊下げ（専用治具）
- c. スタッドボルト穴保護用キャップ取付け
- d. 原子炉部平蓋フランジシート部保護プレート取付け
- e. 専用架台に原子炉容器平蓋を設置・保管
- f. 専用架台を利用して、制御棒駆動機構の点検を行う

7) 上部炉心構造物（内槽）取外し (Fig.5. 1 (6))

- (1) 上部炉心構造物キャスクを吊上げ、原子炉容器／保護プレート上に設置
- (2) 上部炉心構造物（内槽）をキャスク内へ収納
- (3) 水切り後、保管場所へ移動

8) 燃料集合体の取出し

燃料集合体の取出しに関しては別途下記の検討を行う必要がある。

- ・燃料交換方式の決定
- ・乾式の場合、崩壊熱除去を考慮した燃料交換キャスクの検討
- ・使用済燃料集合体の保管場所
- ・燃料輸送容器
- ・燃料集合体取出し完了時の原子炉格納容器内状態図 Fig.4. 1. 3 (7) に示す。

9) 下部炉心構造物（炉心槽）取外し (Fig.5. 1 (10))

- (1) 下部炉心構造物キャスクを吊上げ、原子炉容器／保護プレート上に設置
- (2) 下部炉内構造物をキャスク内へ収納
- (3) 水切り後、保護場所へ移動

10) 原子炉容器内残水排除

（原子炉容器内残水排除としては、仮設の排出用ポンプ、配管を使用）

11) 主要機器の分解・点検を実施

- (1) 主冷却水ポンプの分解・点検 (Fig.5. 1 (8))  
(主冷却水ポンプの分解・点検は、原子炉容器から取外し、点検用エリアで実施する)
- (2) 蒸気発生器の点検  
(蒸気発生器の点検は ECT 検査または配管破損時は盲プラグの施工。これらの作業は、蒸気ヘッダー側から行うことが可能)

(3) 加圧器ヒータ交換

(模型の加圧器本体は、原子炉容器上蓋と加圧器内筒、側板、底板及び加圧器ヒータが溶接一体構造となっている。したがって、原子炉容器上蓋ごと取外し加圧器ヒータの交換を行う。)

- a. 加圧器安全弁、スプレー弁及び逃がし弁配管について、フランジ部にて切離し、盲フランジを取付ける。
- b. 加圧器ヒータ要動力ケーブルの配線取外し
- c. 原子炉容器上蓋スタッドボルト取外し
  1. 原子炉容器上蓋ガイドピンの設置
  2. 原子炉容器上蓋吊上げ（専用治具）
  3. スタッドボルト穴保護用キャップ取付け
  4. 原子炉容器上蓋フランジシート部保護プレート取付け
  5. 専用架台に原子炉容器平蓋を設置・保管

(4) 蒸気発生器交換

(現状の設計では、蒸気発生器は生命期間中は取り外さない。しかし、蒸気発生器の交換・取外しが必要の場合は下記手順となる。)

蒸気発生器本体は、蒸気発生器遮蔽体と一体構造であり、蒸気出口及び給水入口伝熱管は、各ヘッダーに溶接されている。また、ヘッダーは、原子炉容器直胴部に溶接され、原子炉容器内面より内側に配置されている。したがって、各ヘッダー管板部を原子炉容器内面より切断し、その後蒸気発生器は蒸気発生器遮蔽体と一緒に搬出する。なお、組立時の検査は、加圧器下部に設置のマンホールより検査員が内部に入り検査を行う。

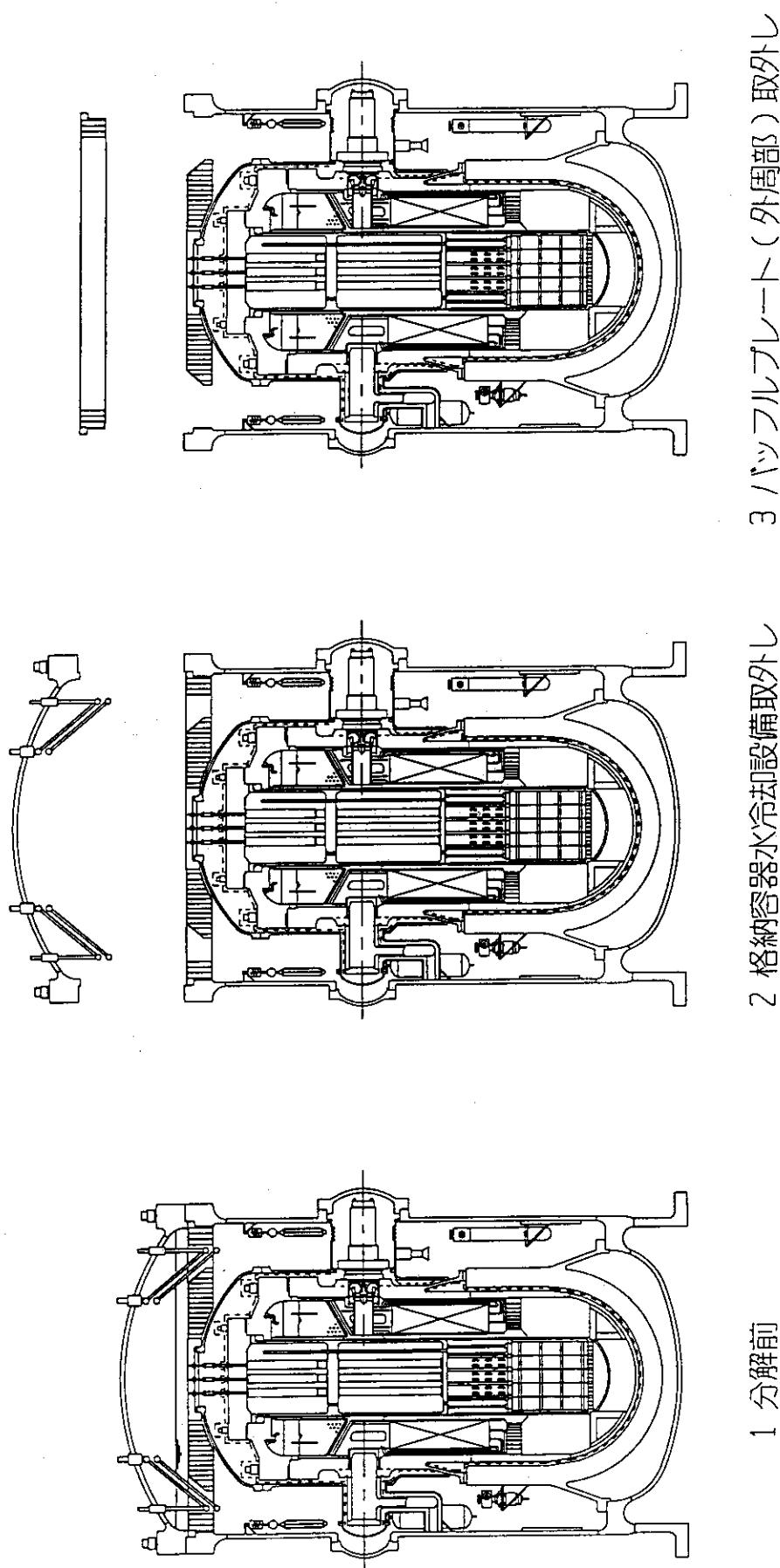
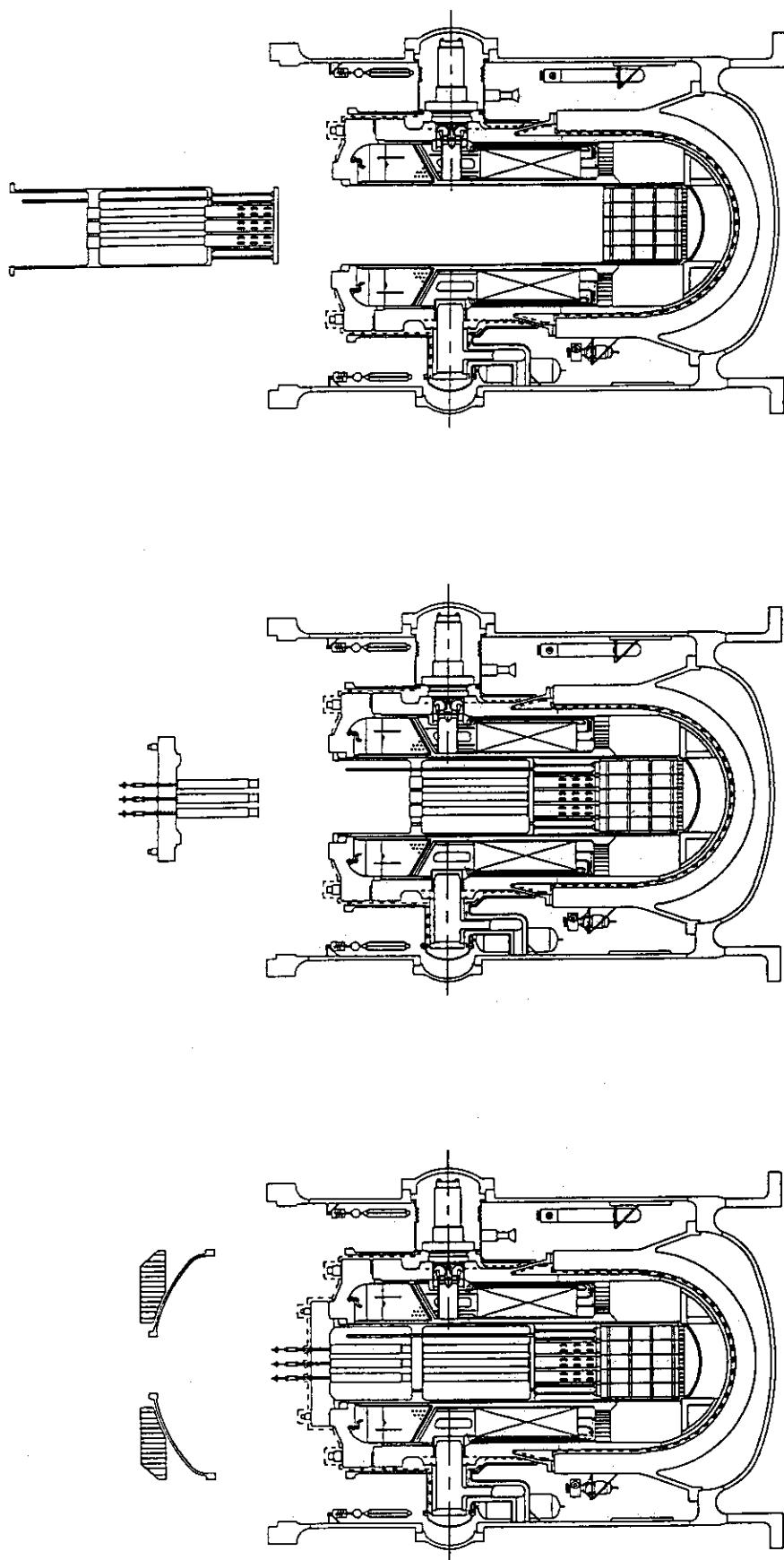


Fig5.1 分解手順

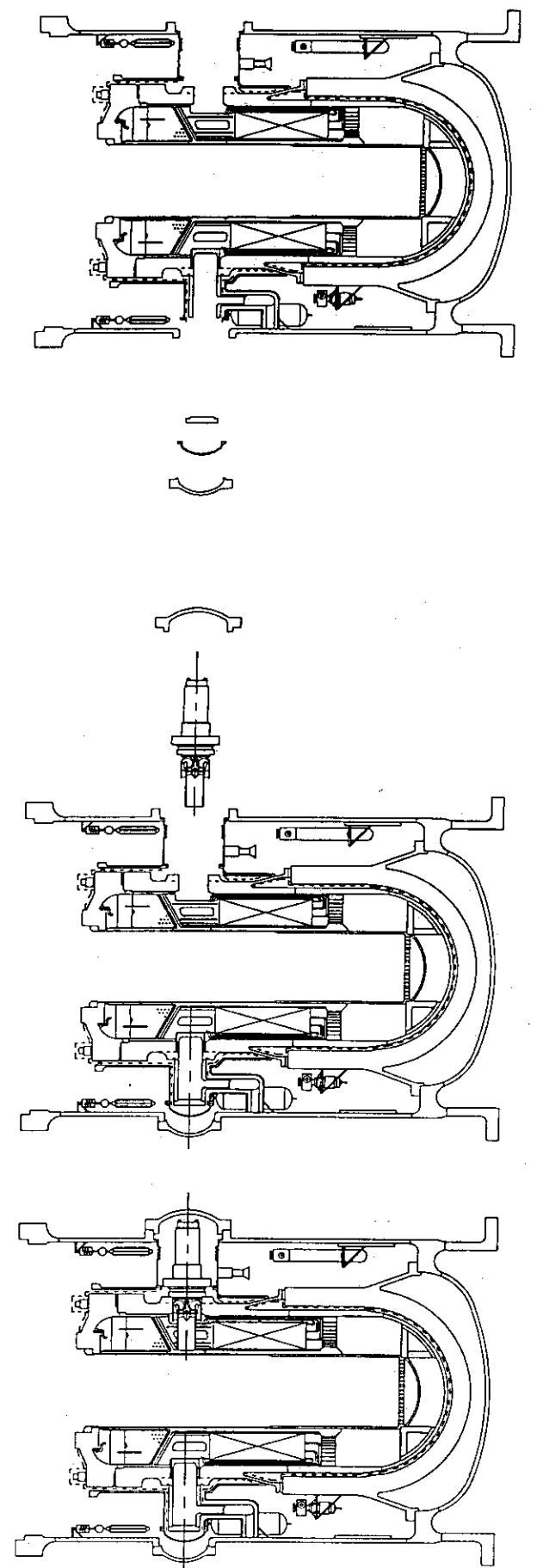


6 上部炉心構造物（内槽）取外し

5 原子炉容器器平蓋及び  
制御棒駆動機構取外し

4 水密機器及び  
バッフルプレート（内周部）取外し

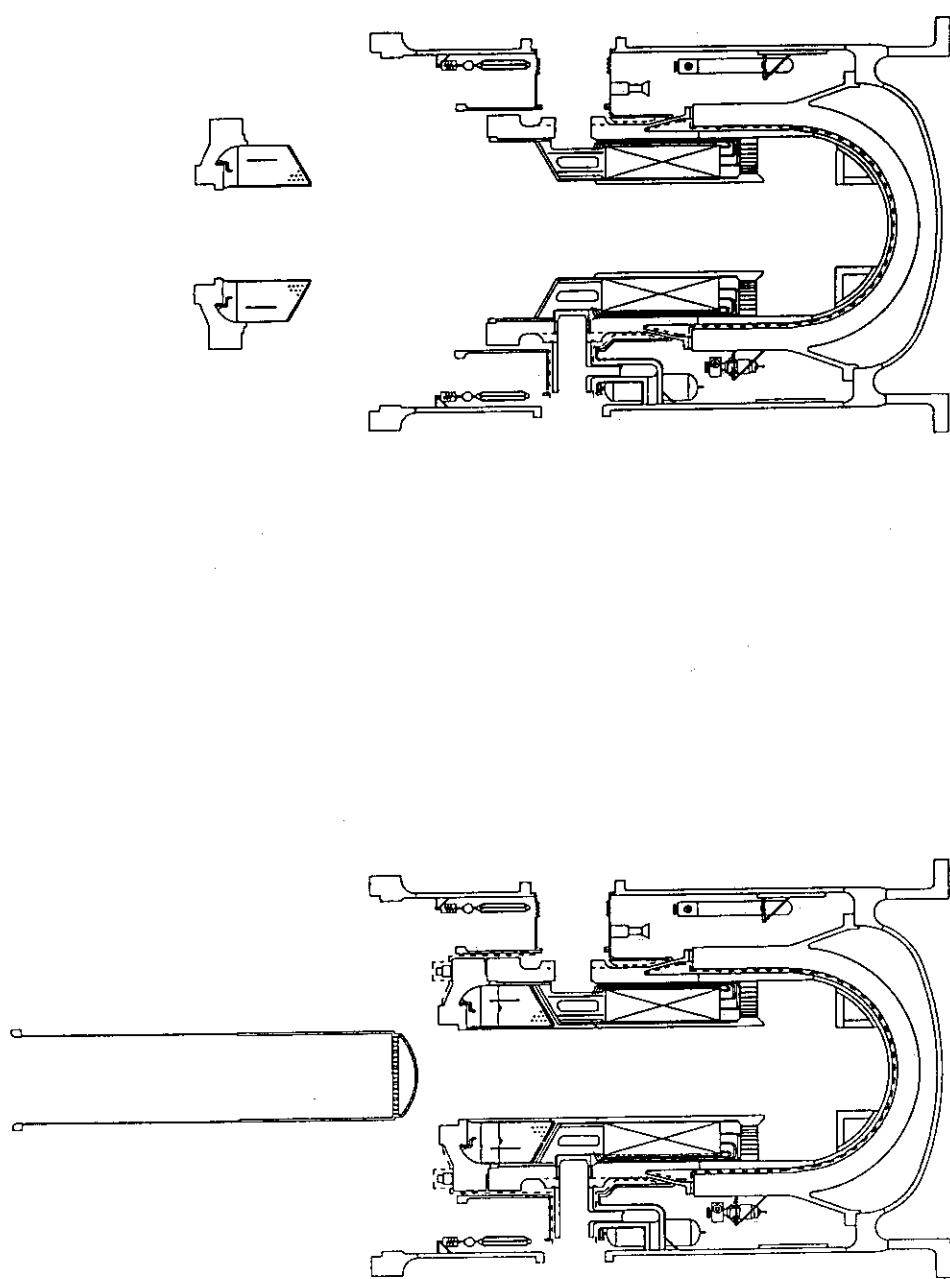
Fig5.1 分解手順（続き）



7 燃料集合体取出後  
8 一次冷却水ポンプ分解・取り外し

9 蒸気発生器二次側開放

Fig5.1 分解手順 (続き)



10 下部炉心構造物（炉心槽）取外し

11 原子炉容器上蓋及び加圧器本体取外し

Fig5.1 分解手順（続き）

## 6. まとめ

一体型原子炉は一次系機器が原子炉圧力容器内に設置されていることから、機器の点検・保守あるいは交換がループ型原子炉に比べて困難と言われている。また、MRXは船舶用として用いるために小型・軽量化を設計の重要目的の一つとして取り上げ、とくに水張式格納容器方式を採用したため点検・保守性及び機器の交換性等がより困難となっている。

模型の製作は目的の項で述べられたように、機器の製作性、組立・分解性等システム全体の取り扱い性を検討するために実施した。製作に当たっては、まず製作の寸法（縮尺）をどの様にすべきか議論になったが、現実的に1/5の縮尺にすることで構成機器単体の取り扱いとともに組立・分解の手順の検討に十分活用できた。

模型において計測器等の詳細機器、ケーブル、配管等の配置、貫通方法、弁等の設置・支持方法等詳細については模擬できなかったが、詳細設計に対する課題等を明らかにできた。また、実際に水を封入した模擬はできなかったが、とくに格納容器に封入される水に対する耐水構造の検討は重要課題の一つである。本件については別途R&Dの一環として材料の選定、構造等の検討が進められているところであり、この成果を活用して行きたい。

模型を用いた組立・分解作業の実施によって、作業上困難な場所、構造等について種々の知見を得た。また、得られた知見をもとにMRXにおける点検・保守、分解・組立に対する手順案の作成を行った。今後、これらの成果は詳細設計に活用されるものと期待している。

なお、模型による組立、分解の作業は原子力船研究開発室の全室員が参加して実施したもので、模型による作業ではあったが、貴重な実務経験を得ることができた。

## 謝 辞

本模型の設計、製作に当たっては技術部、工作課並びに技術業務課の協力をいただくとともに模型設置はJRR4実験準備室を活用させていただいた。また分解・点検の作業は原子力船研究開発室全員に協力をいただいた。本報告を取りまとめに際しこれらの御協力及び御好意に対して厚く感謝の意を表します。

## 参考 文 獻

- 1) 改良船用炉MRXの工学設計, JAERI-Tech 97-045(1997)

## 6. まとめ

一体型原子炉は一次系機器が原子炉圧力容器内に設置されていることから、機器の点検・保守あるいは交換がループ型原子炉に比べて困難と言われている。また、MRXは船舶用として用いるために小型・軽量化を設計の重要目的の一つとして取り上げ、とくに水張式格納容器方式を採用したため点検・保守性及び機器の交換性等がより困難となっている。

模型の製作は目的の項で述べられたように、機器の製作性、組立・分解性等システム全体の取り扱い性を検討するために実施した。製作に当たっては、まず製作の寸法（縮尺）をどの様にすべきか議論になったが、現実的に1/5の縮尺にすることで構成機器単体の取り扱いとともに組立・分解の手順の検討に十分活用できた。

模型において計測器等の詳細機器、ケーブル、配管等の配置、貫通方法、弁等の設置・支持方法等詳細については模擬できなかったが、詳細設計に対する課題等を明らかにできた。また、実際に水を封入した模擬はできなかったが、とくに格納容器に封入される水に対する耐水構造の検討は重要課題の一つである。本件については別途R&Dの一環として材料の選定、構造等の検討が進められているところであり、この成果を活用して行きたい。

模型を用いた組立・分解作業の実施によって、作業上困難な場所、構造等について種々の知見を得た。また、得られた知見をもとにMRXにおける点検・保守、分解・組立に対する手順案の作成を行った。今後、これらの成果は詳細設計に活用されるものと期待している。

なお、模型による組立、分解の作業は原子力船研究開発室の全室員が参加して実施したもので、模型による作業ではあったが、貴重な実務経験を得ることができた。

## 謝 辞

本模型の設計、製作に当たっては技術部、工作課並びに技術業務課の協力をいただくとともに模型設置はJRR4実験準備室を活用させていただいた。また分解・点検の作業は原子力船研究開発室全員に協力をいただいた。本報告を取りまとめに際してこれらの御協力及び御好意に対して厚く感謝の意を表します。

## 参考 文献

- 1) 改良船用炉MRXの工学設計, JAERI-Tech 97-045(1997)

## 6. まとめ

一体型原子炉は一次系機器が原子炉圧力容器内に設置されていることから、機器の点検・保守あるいは交換がループ型原子炉に比べて困難と言われている。また、MRXは船舶用として用いるために小型・軽量化を設計の重要目的の一つとして取り上げ、とくに水張式格納容器方式を採用したため点検・保守性及び機器の交換性等がより困難となっている。

模型の製作は目的の項で述べられたように、機器の製作性、組立・分解性等システム全体の取り扱い性を検討するために実施した。製作に当たっては、まず製作の寸法（縮尺）をどの様にすべきか議論になったが、現実的に1/5の縮尺にすることで構成機器単体の取り扱いとともに組立・分解の手順の検討に十分活用できた。

模型において計測器等の詳細機器、ケーブル、配管等の配置、貫通方法、弁等の設置・支持方法等詳細については模擬できなかつたが、詳細設計に対する課題等を明らかにできた。また、実際に水を封入した模擬はできなかつたが、とくに格納容器に封入される水に対する耐水構造の検討は重要課題の一つである。本件については別途R&Dの一環として材料の選定、構造等の検討が進められているところであり、この成果を活用して行きたい。

模型を用いた組立・分解作業の実施によって、作業上困難な場所、構造等について種々の知見を得た。また、得られた知見をもとにMRXにおける点検・保守、分解・組立に対する手順案の作成を行った。今後、これらの成果は詳細設計に活用されるものと期待している。

なお、模型による組立、分解の作業は原子力船研究開発室の全室員が参加して実施したもので、模型による作業ではあったが、貴重な実務経験を得ることができた。

## 謝 辞

本模型の設計、製作に当たっては技術部、工作課並びに技術業務課の協力をいただくとともに模型設置はJRR4実験準備室を活用させていただいた。また分解・点検の作業は原子力船研究開発室全員に協力をいただいた。本報告を取りまとめに際しこれらの御協力及び御好意に対して厚く感謝の意を表します。

## 参考 文 獻

- 1) 改良船用炉MRXの工学設計, JAERI-Tech 97-045(1997)