

配管用ベローズ継手システム設計ワーキンググループ 活 動 報 告 書

1 9 8 8 年 1 2 月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

配管用ベローズ継手システム設計
ワーキング・グループ
活動報告書

配管用ベローズ継手
システム設計W/G

要 旨

配管用ベローズ継手システム設計W/Gは、ベローズ継手をFBRに適用するにあたっての総合評価（設計、製作、検査技術、材料、信頼性、安全思想等）を行い、FBR主冷却系配管へ適用可能な配管用ベローズ継手を開発するために設立された組織である。本W/Gでは昭和58年度にFBR配管ベローズ継手分科会の下に発足して以来、動力炉・核燃料開発事業団独自でベローズ継手全般に関する調査・検討を進めてきた。

以下に、昭和58、59年度に同W/Gが実施した作業要概要を示す。

- ① 実証炉設計の現状調査
- ② 一次主冷却系の機器・配管配置の考え方
- ③ 格納容器径45mにおける、機器・配管配置の検討

昭和58、59年度までの作業を通じて、配管ベローズ継手に関する調査・検討を行い、格納容器径45m配置案を提案した。今後は内容をさらに吟味し、物量削減を図って行く予定である。

Activity Report of Working Group for System Design of Piping Bellows Expansion Joints

Working Group for System Design
of Piping Bellows Expansion Joints

A b s t r a c t

"Working Group for System Design of Piping Bellows Expansion Joints" is an organization which was established for the purpose of developing piping bellows applicable to the primary cooling piping system of FBR by performing total evaluation on design, manufacture, inspection technology, material, reliability and safety.

Research and investigation concerning the piping bellows in general have been carried out every year by this working group composed of PNC staff since the working group was organized under "FBR Piping Bellows Expansion Joints Section Meeting" in 1983.

The outline of the works performed by the group in 1988 and 1989 is as follows.

- ① Investigation for the design of FBR Demonstration Plant.
- ② Concept on arrangement of components and piping of primary coolant system.
- ③ Investigation for arrangement of components and piping in containment vessel of diameter 45m.

Design using arrangement of components and piping with bellows in containment vessel of diameter 45m was proposed on the basis of research and investigation concerning the piping bellows carried out in 1988 and 1989.

We are planning to make effort to reduce material weight and volume by farther investigating and analysing the proposed design.

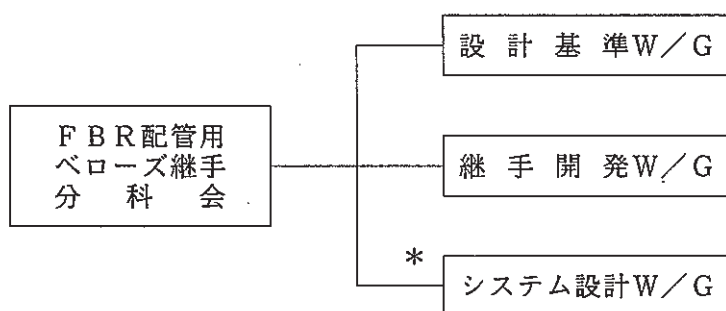
目 次

1. まえがき	1
2. W／G構成委員	2
2.1 58年度委員	2
2.2 59年度委員	3
3. 58、59年度活動状況	4
3.1 活動概要	4
3.2 成 果	7
4. 配管用ベローズ継手に関する調査・検討	8
4.1 1次主冷却系の合理化	8
4.1.1 機器・配管配置の基本条件	8
4.1.2 1次系機器・配管レベルの配置の考え方	10
4.1.3 配管構造設計	15
5. 今後の課題	31
5.1 合理化の追求	31
5.1.1 1次冷却系の合理化	31
5.1.2 2次冷却系を含めた合理化	32
5.2 成立性の検討	33
5.3 安全ロジックの策定	33
5.3.1 LBBについて	33
5.4 ISIについて	34
5.5 衝撃圧力に対するバウンダリ維持について	34
5.6 総合評価	35

付 録	.....	37
付 録(1) 配管用ベローズ継手システム設計		
ワーキング・グループ議事録	.....	39
付 録(2) 有限要素モデル化	.....	84
1. 配管ベローズ継手の有限要素モデル化	.....	85
2. 逆止弁のモデル化	.....	96
付 録(3) 支持装置のピッチ検討	.....	98
1. ハングの支持スパン検討	.....	99
2. 耐震用支持装置	.....	103
付 録(4) 構造健全性評価	.....	105
1. 機器ノズルの評価	.....	106
2. ヒシジ構造部の構造評価	.....	112
付 録(5) ループ型における機器・配管配置案の検討	.....	120
1. 概 要	.....	121
2. 1次主冷却系の設計	.....	122
3. 2次主冷却系の設計	.....	156

1. ま え が き

大型高速増殖炉（FBR）は建設費低減が重要な開発課題になっており、その一手法として配管用ベローズ継手を採用することにより配管の短縮化を図るとともに、格納容器等の物量を削減する方法が考えられている。動力炉・核燃料開発事業団（以下PNCと記す）では昭和58年度から、配管用ベローズ継手の開発を進めることになり、「FBR配管用ベローズ継手分科会」が発足した。この分科会の下部組織として、3つのワーキング・グループが組織され、その一つとして「配管用ベローズ継手システム設計ワーキング・グループ」が設けられた。当ワーキング・グループは、PNC内で配管用ベローズ継手をFBRに適用するにあたっての総合評価を行う事を目的とした組織である。



* 昭和60年4月組織改正により、「システム設計W/G」作業を「設計基準W/G」および「継手開発W/G」に分担する。

2. W / G 構成委員

2.1 58年度委員

主 査 福 田 達 (大洗 システム設計開発室) ⁽¹⁾副主査 松 本 精 夫 (本社 実証炉) ⁽²⁾

委 員 (順不同)

天 田 健 一 (本社 機器 G r) ⁽³⁾加 納 茂 機 (本社 構造 G r) ⁽⁴⁾ (昭和58年12月退任)亀 井 満 (大洗 開発部) ⁽⁵⁾ (昭和59年3月退任)林 道 寛 (大洗 開発部) ⁽⁶⁾ (昭和58年12月退任)吉 利 醇 (大洗 材料室) ⁽⁷⁾ (昭和59年3月退任)酒 井 大 忠 (大洗 材料室) ⁽⁸⁾鈴 木 達 也 (大洗 材料室) ⁽⁹⁾鈴 木 道 明 (大洗 機器室) ⁽¹⁰⁾榊 原 安 英 (大洗 構造室) ⁽¹¹⁾ (昭和59年3月退任)今 井 熙 (大洗 システム設計開発室) ⁽¹²⁾谷 本 貢 (大洗 システム設計開発室) ⁽¹³⁾ (昭和59年3月着任)幹 事 小 杉 敏 夫 (大洗 システム設計開発室) ⁽¹⁴⁾事務局 丸 山 昭 (大洗 開発部) ⁽¹⁵⁾ (昭和59年3月退任)

-
- (1) 現 大洗 技術開発部
 - (2) 現 東海 技術管理室
 - (3) 現 大洗 機器室
 - (4) 現 大洗 材料室
 - (5) 現 大洗 機器室
 - (6) 現 本社 総務部
 - (7) 現 石川島播磨重工業(株)
 - (8) 現 三菱重工業(株)
 - (9) 現 川崎重工業(株)
 - (10) 現 川崎重工業(株)
 - (11) 現 もんじゅ 技術課
 - (12) 現 石川島播磨重工業(株)
 - (13) 現 大洗 機器室
 - (14) 現 本社 訴訟対策室
 - (15) 現 本社 技術情報室

2.2 59年度委員

主 査	福 田 達	(大洗 システム設計開発室) ⁽¹⁾	
副主査	松 本 精 夫	(大洗 機器室) ⁽²⁾	
委 員 (順不同)			
	清 水 民 一	(本社 実証炉) ⁽³⁾	(昭和59年 8 月着任)
	天 田 健 一	(本社 機器 G r) ⁽⁴⁾	
	小 杉 敏 夫	(大洗 大型炉) ⁽⁵⁾	
	酒 井 大 忠	(大洗 材料室) ⁽⁶⁾	(昭和59年 9 月退任)
	小 峰 龍 司	(大洗 材料室)	(昭和59年10月着任)
	鈴 木 達 也	(大洗 材料室) ⁽⁷⁾	(昭和59年 6 月退任)
	鈴 木 道 明	(大洗 機器室) ⁽⁸⁾	
	月 森 和 之	(大洗 構造室)	(昭和59年 7 月着任)
	今 井 熙	(大洗 システム設計開発室) ⁽⁹⁾	
	戸 根 哲 治	(大洗 システム設計開発室) ⁽¹⁰⁾	(昭和59年 7 月着任)
	金 子 義 久	(大洗 システム設計開発室) ⁽¹¹⁾	(昭和59年11月着任)
	三 村 賀 紀	(大洗 システム設計開発室) ⁽¹²⁾	(昭和59年 7 月着任)
幹 事	谷 本 貢	(大洗 システム設計開発室) ⁽¹³⁾	
事務局	山 田 栄 吉	(大洗 開発部)	(昭和59年 7 月着任)

-
- (1) 現 大洗 技術開発部
 (2) 現 東海 技術管理室
 (3) 現 川崎重工業(株)
 (4) 現 大洗 機器室
 (5) 現 本社 訴訟対策室
 (6) 現 三菱重工業(株)
 (7) 現 川崎重工業(株)
 (8) 現 川崎重工業(株)
 (9) 現 石川島播磨重工業(株)
 (10) 現 石川島播磨重工業(株)
 (11) 現 大洗 機器室
 (12) 現 三井造船(株)
 (13) 現 大洗 機器室

3. 58、59年度活動状況

3.1 活動概要

システム設計ワーキング・グループでは、FBR配管ベローズを用いたシステム設計を行う観点から、58、59年度は主に次の作業を行った。

- ① 実証炉設計の現状調査
- ② 冷却系機器・配管配置の考え方
- ③ 格納容器径45mにおける、機器・配管配置案の検討

(1) 58年度の活動概要

表 3.1 に58年度の調査、検討内容を示す。

表 3.1 58年度の調査・検討

W/G	開催日	議 題
第1回	58. 7. 8	1. 実証炉設計の経緯と現状 ・ベローズ継手を用いた主冷却系の設計現状 ・配管ベローズ分科会システム設計W/Gの体制
第2回	58. 9. 2	1. 実証炉配管ベローズ強度計算結果の紹介 ・1次系配管にベローズを用いた設計 (M社) の紹介 ・同 上 (T社) の紹介 2. 機器配置の設計限界の明確化について
第3回	58. 10. 6	1. 実証炉配管ベローズ強度計算結果の紹介 ・2次系配管にベローズを用いた設計 (H社) の紹介 ・同 上 (K社) の紹介
第4回	58. 11. 17	1. ベローズに関する要求事項とその仕様 ・FBR用配管ベローズ設計 2. 実証炉機器配置の条件 ・実証炉機器配置の条件 3. ベローズを用いた冷却系の設計について ・方針検討
第5回	58. 12. 22	1. もんじゅ冷却系配管・機器配置の考え方 ・「もんじゅ」1次冷却系配管・機器配置について

表 3. 1 58年度の調査・検討（続き）

W/G	開催日	議 題
第 6 回	59. 1. 19	1. 配管ベローズ継手を使用した設計例 ・ 1 次冷却系「ベローズ方式に適した機器設計」について 2. L B B 思想について ・ 配管ベローズの L B B 思想の検討について
第 7 回	59. 3. 8	1. F B R 配管の破損可能性についての調査 ・ F B R 配管の破損可能性について 2. 配管ベローズ継手を使用した配置の配管設計・計算について ・ 配管ベローズ本体の応力解析及び発生応力に対するベローズ形状効果の検討

(2) 59年度の活動概要

表 3. 2 に59年度の調査、検討内容を示す。

表 3. 2 59年度の調査、検討

W/G	開催日	議 題
第 8 回	59. 7. 24	1. メンバー交替及び幹事の交替 ・ メンバーの紹介及び幹事の交替について 2. 今後の活動テーマと進め方について ・ システム設計 W/G の活動について 3. 格納容器内の機器・配管設置について
第 9 回	59. 8. 8	1. ベローズ継手を使用したループ型炉の設計研究 ・ 「第 2 次概念設計 (I)」 1 次冷却系設計の検討 ・ 「高速増殖炉実証炉設計研究 1 次冷却系に関する設計研究」の検討 ・ 配管支持要領 ・ “Rupture Prevention in PHTs” の裁定について
第10回	59. 9. 6	1. 遮蔽について ・ 実証炉 1 次主冷却系室の放射線強度計算について 2. システムレベルの考え方 ・ 1 次系機器・配管レベル配置の考え方 3. ベローズを用いた配管引き回し設計 ・ 配管ベローズを用いた C/V, A/B 縮小化設計フロー ・ 配管ベローズ解析例

表 3. 2 59年度の調査、検討（続き）

W/G	開催日	議 題
第11回	59. 10. 11	1. F I N A S とメーカ計算の比較 ・配管応力解析のメーカとの比較 2. F I N A S でのヒンジ・ジンバル型ベローズのモデル化 ・配管要素としてのベローズ継手の有限要素モデル化 3. F E Mコード“S A P - I V” の紹介 ・構造解析プログラム 4. ベローズを用いた配管引廻し設計の検討 ・格納容器径45mの配管引き廻しの検討 ・配管ベローズの破壊力学的手法による健全性評価のフローチャート
第12回	59. 10. 30	1. 配管ベローズを用いた配管解析結果の検討 ・格納容器径45mの配管引廻しの検討 ・配管設計検討書について ・F B R 第一種管機器の構造解析及び評価 ・ベローズの強度評価 ・ベローズ要素によるベローズ継手付配管系の解析
第13回	59. 11. 22	1. 配管ベローズを用いた配管解析結果の検討 ・機器&配管配置の基本条件 ・F E Mによるジンバル型ベローズ継手の簡易モデル化 2. もんじゅ遮蔽計算について ・遮蔽設計区分 3. 実証炉遮蔽計算について ・冷却系に係わる遮蔽上の問題
第14回	59. 12. 20	1. 配管ベローズを用いた解析結果の検討及び評価 ・格納容器径配管ベローズ継手引廻し検討 ・機器室42Bベローズのコンボリューションの応力 ・ベローズ継手F E Mモデル化 「42B外圧型ジンバルタイプベローズ継手」 ・フローティング・サポート ・機器ノズルの荷重評価 ・P O S T - P D Sを用いた配管径の応力評価 2. 遮蔽壁の検討 ・炉容器壁厚さについて 3. 今後の作業計画の検討 ・「58、59年度活動報告」案について

表 3. 2 59年度の調査、検討（続き）

W/G	開催日	議 題
第15回	60. 1. 25	1. 配管ベローズを用いた解析結果の整理と今後の作業方針について ・システム設計W/G活動報告案 ・格納容器径45mにおける配管ベローズを用いた引き廻し案の比較 2. コールドレグベローズの角変位について ・コールドレグベローズ継手の許容角変位に関する説明 3. 鋼鉄材料の強度等について ・高速炉構造材料について 4. 58、59年度活動について ・同上（案）について 5. 4 2 B 配管ベローズ継手ヒンジ構造部の強度計算

3. 2 成 果

58、59年度の成果を以下に示す。

(1) 調査、検討

- ① 実証炉設計の経緯と現状調査
- ② 第2次概念設計（I）、配管ベローズ強度計算結果の紹介
- ③ ベローズコンボリューション形状効果の検討
- ④ 冷却系配管・機器配置の考え方の紹介
- ⑤ FBR配管破損可能性及び、配管ベローズLBB思想の調査
- ⑥ 格納容器径45mの機器・配管配置案の検討
- ⑦ FBR 1次主冷却系室の放射線強度計算の紹介

(2) 1次主冷却系の合理化

実証炉ループ型の配管用ベローズ継手を用いた配管引回しでは、格納容器径50mが考えられている。しかし軽水炉と経済的に競合してゆくには、建設費で軽水炉の1.5倍程度を目標に進める必要があり、そのための格納容器径は40m程度となる。当ワーキング・グループでは、40mを最終目標とするが、現状での機器及び配管ベローズの条件を使用し45m配置案の見通しが得られた。この結果より、40m配置成立に向けての問題点の抽出及び検討を行い、今後の合理化を進めるものである。

4. 配管用ベローズ継手に関する調査・検討

4.1 1次主冷却系配管の合理化

大型増殖炉の建設費低減の一手法として、配管用ベローズ継手を採用することにより配管の短縮化を図るとともに、格納容器径等の物量を削減する方法が考えられている。第2次概念設計（I）では、ベローズ継手を採用した設計が行われ格納容器径50mの配置案が検討されている。しかし軽水炉に競合する為には40m程度とする必要がある。本ワーキング・グループでは、格納容器径を40m程度に短縮するに当たっての問題点を摘出する観点から、45m配置案の合理化設計を行った。

4.1.1 機器・配管配置の基本条件

(1) 機器・配管配置の基本方針

格納容器内の1次主冷却系室内機器・配管装置に際しては、下記の基本方針を考慮した。

- ① 格納容器径45m以内に1次系配管及び機器を納める。
- ② 1次系配管、機器の専有スペースとして、格納容器の周方向の角度として、1ループ当たり100度を目標とする。
- ③ 炉容器カバーガス圧力低減対策として、ホットレグおよびクロスオーバーレグ配管の短縮化を計る。またホットレグ配管の水平引廻しを目標とする。
- ④ 中間熱交換器は、ポーラクレーンの寄付き範囲を考慮した配置とする。
- ⑤ 中間熱交換器と主循環ポンプの中心間距離は、メンテナンス時等を考慮した配置スペースとする。また主循環ポンプ上部室と中間熱交換器上部室との雰囲気シール用に壁を設置する。
- ⑥ 主循環ポンプ吐出ノズルからの立上がりは、据付け床と配管との干渉を避ける。
- ⑦ 生体遮蔽壁厚は、暫定的に2mとする。
- ⑧ 90°エルボの曲げ半径は、原則として1Dとする。（90°以外は1.5D）
- ⑨ エルボ端部より1D以上の直管部をもうける。また原則として、この範囲は支持装置等は取付けない。
- ⑩ I S I および補修スペース等を考慮する。

(2) 基本条件

(i) 機器仕様

1次主冷却系内に配置される機器は、第2次概念設計(I)の仕様とする。原子炉容器構造図、中間熱交換器構造図及び1次主循環ポンプ構造図を付録(5)に示す。

(ii) FBR用伸縮管継手の仕様

FBR用に設計された伸縮管継手(直管型、ユニバーサル型、ヒンジ型、ジンバル型)の構造例を付録(5)に示す。

FBR用としては、ベローズ部を二重構造としてナトリウムに接するベローズが万一破損しての、ナトリウムの漏洩防止ができるようにしている。ベローズの外表面が流体と接するものを外圧型、ベローズの内表面が流体と接するものを内圧型と呼んでいる。外圧型はベローズを水平に設置した場合でも、ドレンラインを設けることにより全ナトリウムをドレンできる特徴があり、設計例においても適宜使い分けられている。

(iii) 機器・配管破損時の液位低下

以下の事象を考慮する。(第2次概念設計(I))

(a) 初期漏洩

- ・ 漏洩箇所 …………… R/V、ポンプ、IHX、配管等1次系バウンダリー全ての箇所に起こりうる。
- ・ 事故後シーケンス … 炉スクラム、ポニーモータ運転(破損ループポニーモータ運転も考慮する)
オーバーフロー汲上げ運転、停止どちらも考慮する。

注) ポニーモータによる定常運転状態に移行する以前にR/V内最低液位に達することはない。(∵ 1/4Dt破損、Naリーク検知)

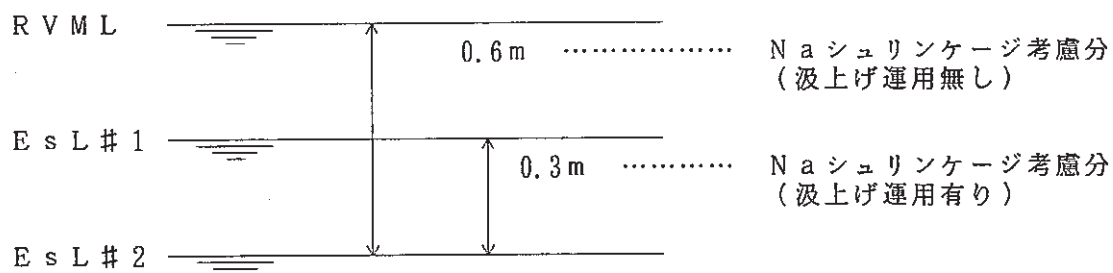
(b) 初期漏洩後のNa温度低下によるシュリンケージ

- ・ オーバーフロー汲上げ運転、停止どちらも考慮する。

(c) 多重漏洩(初期漏洩後、他のループでさらに破損)

- ・ 多重漏洩の場合はDRACSによるものとし、主系統はサイホンブレイクし主系統のNaの一部はR/Vに還流するものとする。
- ・ R/V破損後ループ側破損、ループ側破損後R/V破損という組合せは起きないものとする。

第2次概念設計（I）では以下の通り



4.1.2 1次系機器・配管レベルの配置の考え方

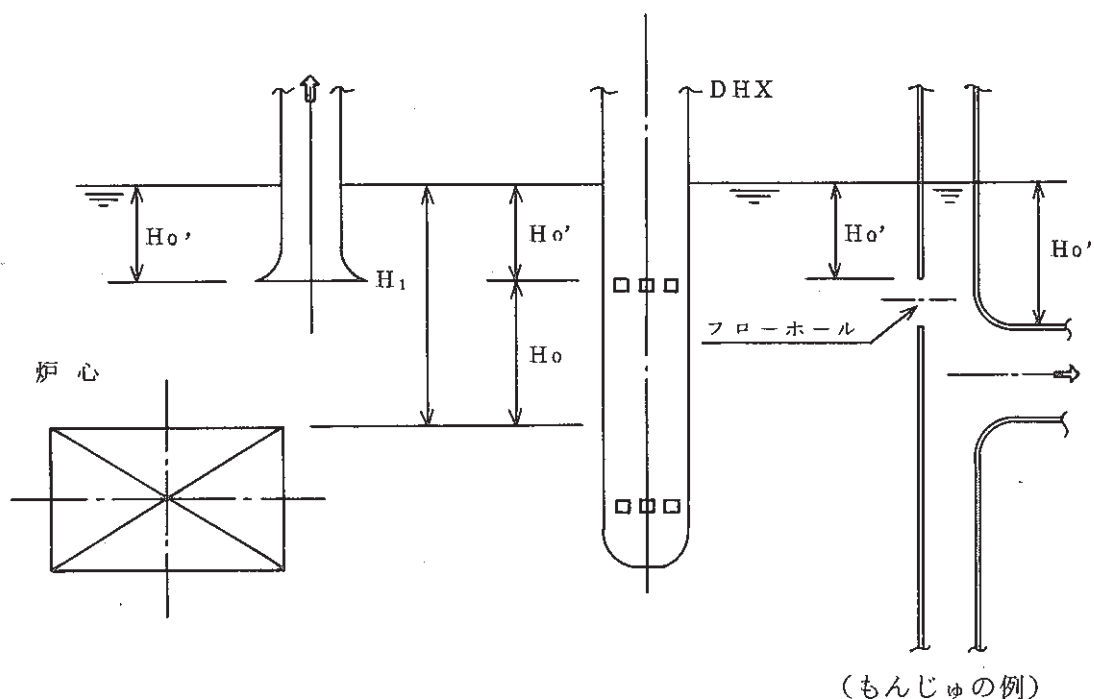
(1) 考慮すべき事項

- ① 機器・配管破損時等の炉容器内液位確保
- ② 炉心－I H X 伝熱中心間高さ（自然循環に影響）
- ③ C/V高さ、R/V高さ、ポンプ軸長の縮小化

(2) 機器・配管破損時等の炉容器内液位確保のためのレベル配置

機器・配管レベルは、第2次概念設計（I）の高所配管引廻しのG/V方式の考え方による。

(i) R/V内最低液位 E s L # 2



H_o : Na 循環パス確保に必要な炉心上部からの最低液位

H_o' : 液面の波立ち、ノズル等の取付誤差を考慮した余裕

注 : ノズル位置等を下げれば H_o を小さくできるが、R/V 上部プレナム Na 流動を考慮するとむやみに小さくできない。

第 2 次概念設計 (I) では $H_i = 1.6\text{m}$

$H_o' = 0\text{m}$

RVML の設定の考え方

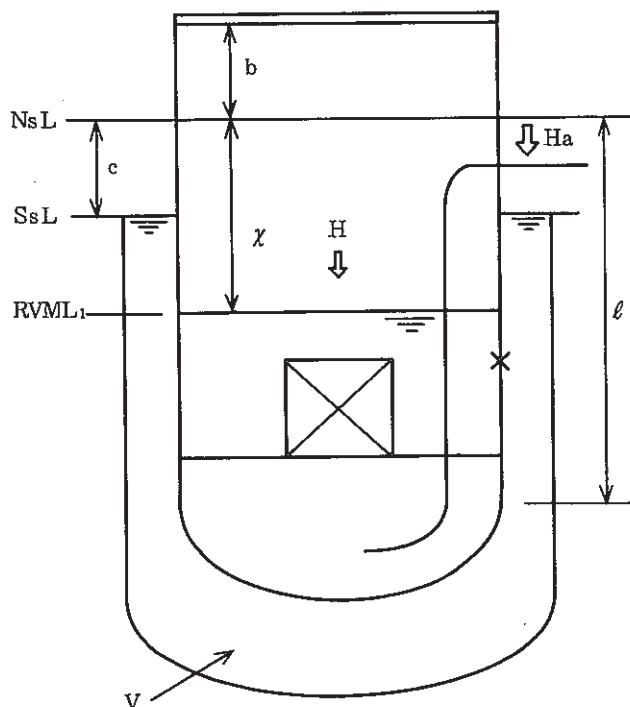
初期漏洩時の最低液位とする。

(a) 高所配管 …………… R/V 液位低下 $\Rightarrow$ 負圧になり流出停止

(b) R/V 下部破損 … R/V ガードベッセル内漏洩 Na 保持

(ホットプレナム部)

R/V 内、G/V 内、圧力バランスにより流出停止



H_o : 初期カバーガス圧
 $= 21.2 \text{ (mNa abs)}$
 (7900mmAq ゲージ)

H_a : 雰囲気気圧
 $= 12.1 \text{ (mNa abs)}$
 (100mmAq ゲージ)

H : 炉内液面が NsL から
 $x \text{ (m)}$ 低下した時の
 カバーガス圧 (mNa abs)

リークの際カバーガス系を締め切るものとする。

・炉内カバーガス圧

$$H = H_0 \frac{b}{\chi + b} \dots\dots ①$$

・R/V、G/V液面バランス

$$H = H_a + (\chi - c) \dots\dots ②$$

①②より $\chi = NsL - RVML1 = 1.8m$

尚、ガードベッセル容積Vは以下の通り漏洩Na量より少なくガードベッセルの液面はSsLとなる。

$$V < (R/V \text{ 液面断面積}) \times \chi \\ = 250(m^3)$$

$$\begin{cases} V = 176 m^3 \\ R/V \text{ 液面断面積} = 137 m^2 \end{cases}$$

また、 $H = H_a + 0.1(mNa)$ でR/V内カーバガス圧は正圧となっている。

ここで $b = 2.5m$

$c = 1.7m$

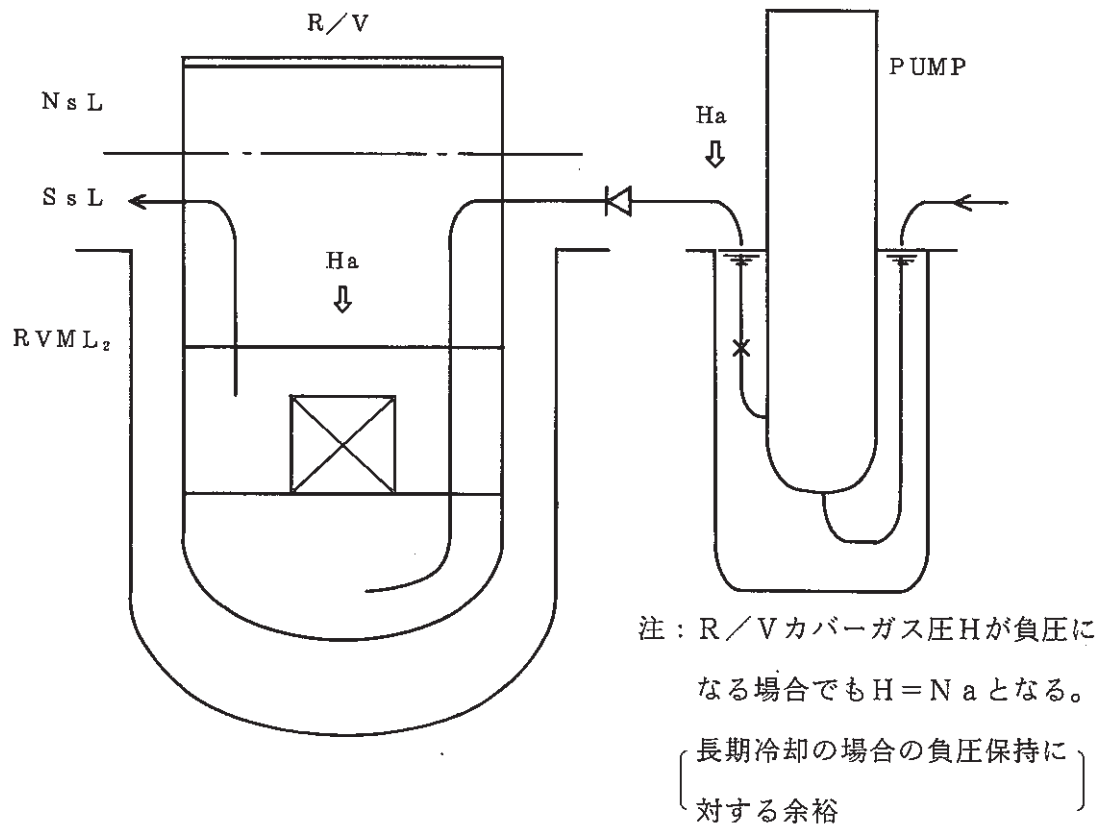
$$\left[\begin{array}{l} SsL \leq NsL - 1.16^{(1)} - (ノズル半径)^{(2)} \\ \therefore NsL - SsL \geq 1.7 \end{array} \right]$$

注(1): 液面の波立ちを考慮しR/Vの出入口ノズル貫通部が通常時液面下に入るように、ノズル中心をNsL-1.16mとする。

注(2) SsLはノズル下面レベルより低くする。

(c) 低所配管破損

最も厳しいのはポンプ出口配管部で破損し、破損ループのポニーモータが停止しない場合である。



ポニーモータによる汲出しは、ポンプガードベッセル内 $N a$ 液位が立つことにより締切揚程以上となり停止する。

$$\begin{aligned}
 R V M L_2 &\leq S s L - H p & H p : \text{ポニーモータ締切揚程} \\
 &= N s L - 1.7 - 1.5 & (= 1.5 m N a) \\
 &= N s L - 3.2
 \end{aligned}$$

以上(a)、(b)、(c)より

$$R V M L = N s L - 3.2(m) \text{ とする。}$$

まとめた結果を図3.1-8に示す。

注：ポンプ側条件（ハイドロスタティックベアリングの $N a$ 浸漬条件、ポニーモータ運転条件時の $N P S H$ ）については別途検討する。

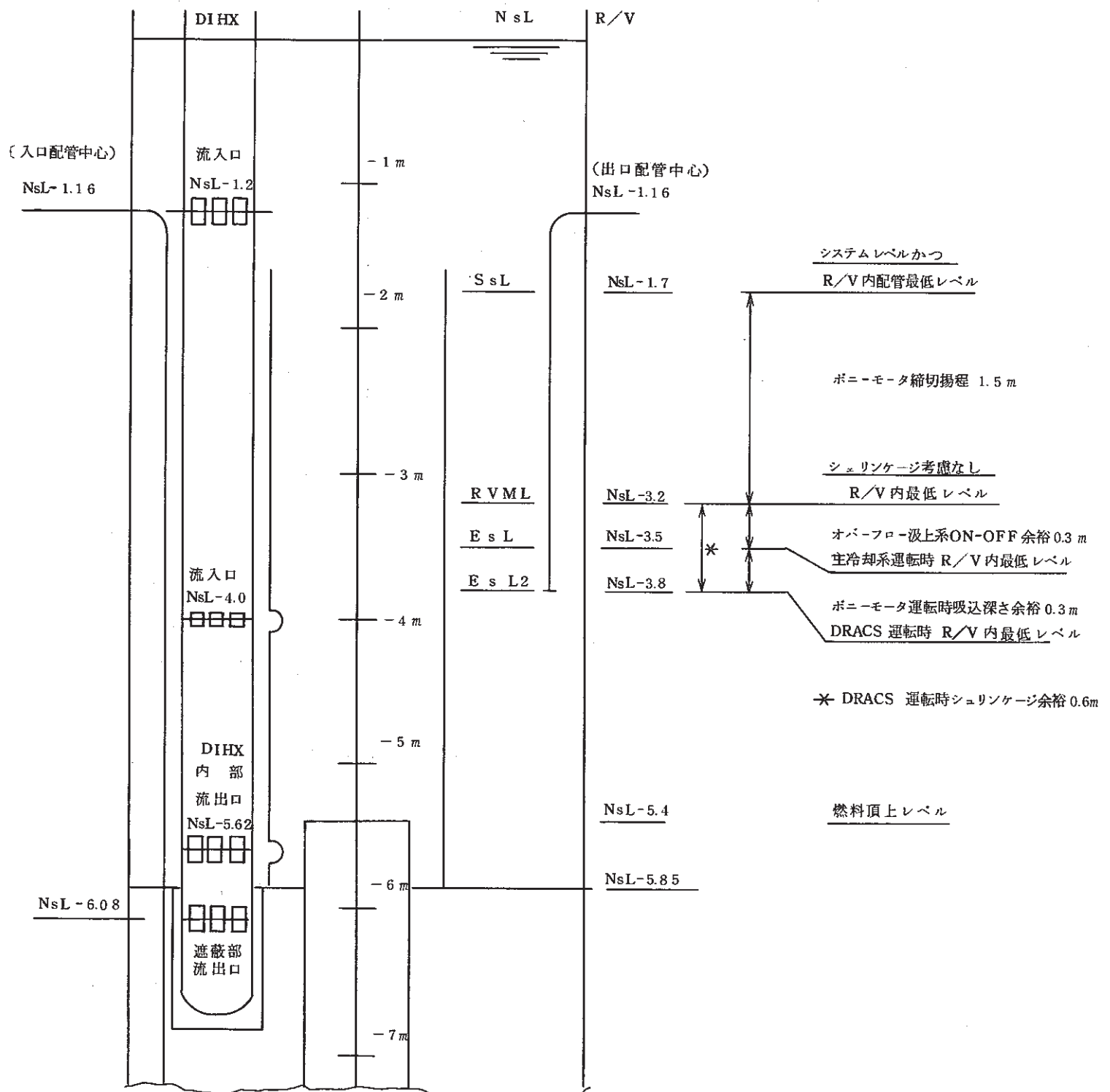


図 4.1-8 炉容器内レベル相関

4.1.3 配管構造設計

構造解析は、格納容器径45mの機器・配管配置の妥当性を確認する上で、熱膨張解析、自重解析、固有値解析のみ実施する。

(1) 設計条件

(i) 配管およびベローズ継手の主要目

配管主要目を表4.1-1に示す。ベローズ継手の主要目を表4.1-2に示す。

(ii) 物性値

物性値は以下による。

- ・ 発電用原子力設備の技術基準（昭和55年10月）
- ・ 高速原型炉高温構造設計方針 材料強度基準（昭和56年11月）

(iii) 主要機器ノズル端点条件

1次冷却系主要機器のノズル端における端点移動量を表4.1-3に示す。但し、このノズル端点条件は剛とする。

(iv) 配管配置

機器・配管配置の基本条件を考慮し、格納容器径45mにおける引廻し3案（CASE-1～3）を考えた。配置図を図4.1-9～図4.1-11に示す。

(v) ベローズ継手等のモデル化

(a) ベローズ継手のモデル化

FEM解析モデルは、汎用非線形構造解析システム“F A I N S”の2つの方法（要素）を提案した。詳細は付録(3)に示す。

- ① 円筒要素（PIPE2）＋ファスニング機能
- ② はり要素（SB E A M 2）

(b) 逆止弁のモデル化

FEM解析モデルは、汎用非線形構造解析システム“F A I N S”の円筒要素（PIPE2）で行う。詳細は付録(2)に示す。

(vi) 支持装置の解析上の取扱い

配管支持装置は、使用条件に応じ多種多様の形式、構造がある。

ここでは、実証炉1次系配管に使用されと思われる型式の機能を下記のように考え、格納容器径解析への取扱いを設定する。

なお、支持装置のピッチの考え方を付録(3)に示す。

コ ン ス タ ン ト ハ ン ガ ー	配管系の重量（自重）を支持し、一定の荷重で配管系を支持している。
メ カ ニ カ ル ス ナ ッ バ	熱膨張などの緩やかな移動は拘束せず、地震等の振動や衝撃の変位を拘束する。
レ ス ト レ ン ト	配管系の自由な動きを拘束する。

解析上の取扱い

○：有効 ×：無効

	熱膨張	自 重	固有値	備 考
コ ン ス タ ン ト ハ ン ガ ー	×	*1 ○	×	*1 クランプ重量を加味
メ カ ニ カ ル ス ナ ッ バ	×	×	*2 ○	*2 バネ定数を剛とする
レ ス ト レ ン ト	○	○	○	
ハ ン ガ ー ク ラ ン プ 重 量	×	×	○	
ス ナ ッ バ ク ラ ン プ 重 量	×	○	○	

表 4.1-1 1次主冷却系配管主要目

項 目		単 位	ホットレグ配管 (RV~IHx)	クロスオーバーレグ配管 (IHx~PUMP)	コールドレグ配管 (PUMP~RV)
呼径×スケジュール		—	42B×SCH20,	42B×sch40	38B×sch40
材 質		—	SUS304	SUS304	SUS304
外 径 / 肉 厚		mm	1066.8/14.3	1066.8/19.1	965.2/19.1
最 高 使 用 温 度		℃	550	405	405
最 高 使 用 圧 力		kg/cm ² g	2	2	12
運 転 温 度		℃	530	385	385
運 転 圧 力		kg/cm ² g	1.5	1.5	9.5
縦 弾 性 係 数		kg/mm ²	高速原型炉高温構造設計方針材料強度基準 (昭和56年11月) による		
平均線膨張係数		1/℃	同 上		
重 量	配 管	kg/m	375	498	450
	ナ ト リ ウ ム	kg/m	700	685	580
	保温材 (各トーマ)	kg/m	257	0	170
	計 (マージン考慮)	kg/m	1,350	1,200	1,250
保 温 厚		mm	225	—	150
エ ル ボ 半 径		mm	1,066.8	1,066.8	965.2
※1 応 力 係 数	B ₁	—	0.5	0.5	0.5
	B ₂	—	10.17	7.10	7.77
	C ₁	—	1,487	1,478	1,481
	C ₂	—	13.47	9.42	10.31
	K	—	1.0	1.0	1.0
断 面 係 数 ※2		mm ³	1,228×10 ⁷	2,005×10 ⁷	1,312×10 ⁷

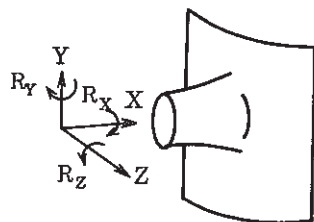
※1 エルボに関する係数

表 4.1-2 ベローズ継手の主要目

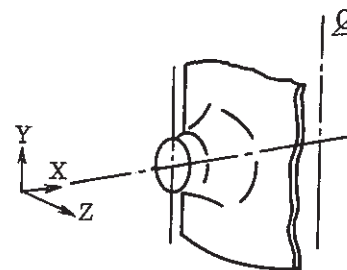
		ホットレグ配管用 シンバル型ベローズ継手	クロスオーバレグ 配管用ユニバーサル型 ベローズ継手	コールドレグ配管用 シンバル型ベローズ継手
最高使用温度 (°C)		550	405	405
最高使用圧力 (kg・cm ² g)		2	2	12
運転温度 (°C)		530	385	385
運転圧力 (kg・cm ² g)		1.5	1.5	9.5
角度方向吸収変位 (度)		±1.25	±1.25	±0.8
主 要 部 寸 法	ベローズ谷径 (mm)	1,080	1,080	978
	ベローズ山高 (mm)	60	60	60
	ベローズピッチ (mm)	50	50	50
	ベローズ板厚 (mm)	2	2	4
	ベローズ山数 (mm)	12	12	14
	有効長さ (mm)	600	600	700
	継手面間寸法 (mm)	1,800	1,800	1,700

表 4.1 - 3 機器のノズル端点変位量

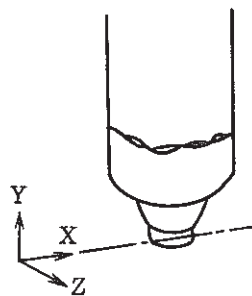
対 象 箇 所		変 位 条 件	変 位 (mm)		
			X	Y	Z
原 子 炉 容 器	入口ノズル	最高使用温度時熱変位量	-73.0	-20.0	0.0
		地震時変位量 (S_1)	4.0	4.0	4.0
		地震時変位量 (S_2)	6.0	4.5	6.0
	出口ノズル	最高使用温度時熱変位量	-73.0	-20.0	0.0
		地震時変位量 (S_1)	4.0	4.0	4.0
		地震時変位量 (S_2)	6.0	4.5	6.0
中 間 熱 交 換 器	1次側 入口ノズル	最高使用温度時熱変位量	-30.0	-25.0	0.0
		地震時変位量 (S_1)	2.0	0.0	2.0
		地震時変位量 (S_2)	3.5	0.0	3.5
	1次側 出口ノズル	最高使用温度時熱変位量	0.0	-105.0	0.0
		地震時変位量 (S_1)	5.6	0.0	5.6
		地震時変位量 (S_2)	10.5	0.0	10.5
1次主循環ポンプ	吸込ノズル	最高使用温度時熱変位量	0.0	-60.0	0.0
		地震時変位量 (S_1)	5.5	0.0	5.5
		地震時変位量 (S_2)	11.0	0.0	11.0
	吐出ノズル	最高使用温度時熱変位量	-15.0	-40.0	0.0
		地震時変位量 (S_1)	5.0	0.0	5.0
		地震時変位量 (S_2)	10.0	0.0	10.0



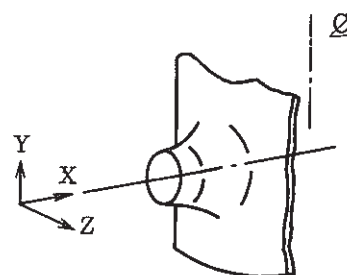
a) 原子炉容器入口ノズル及び出口ノズル



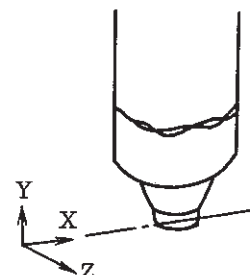
d) 中間熱交換器入口ノズル



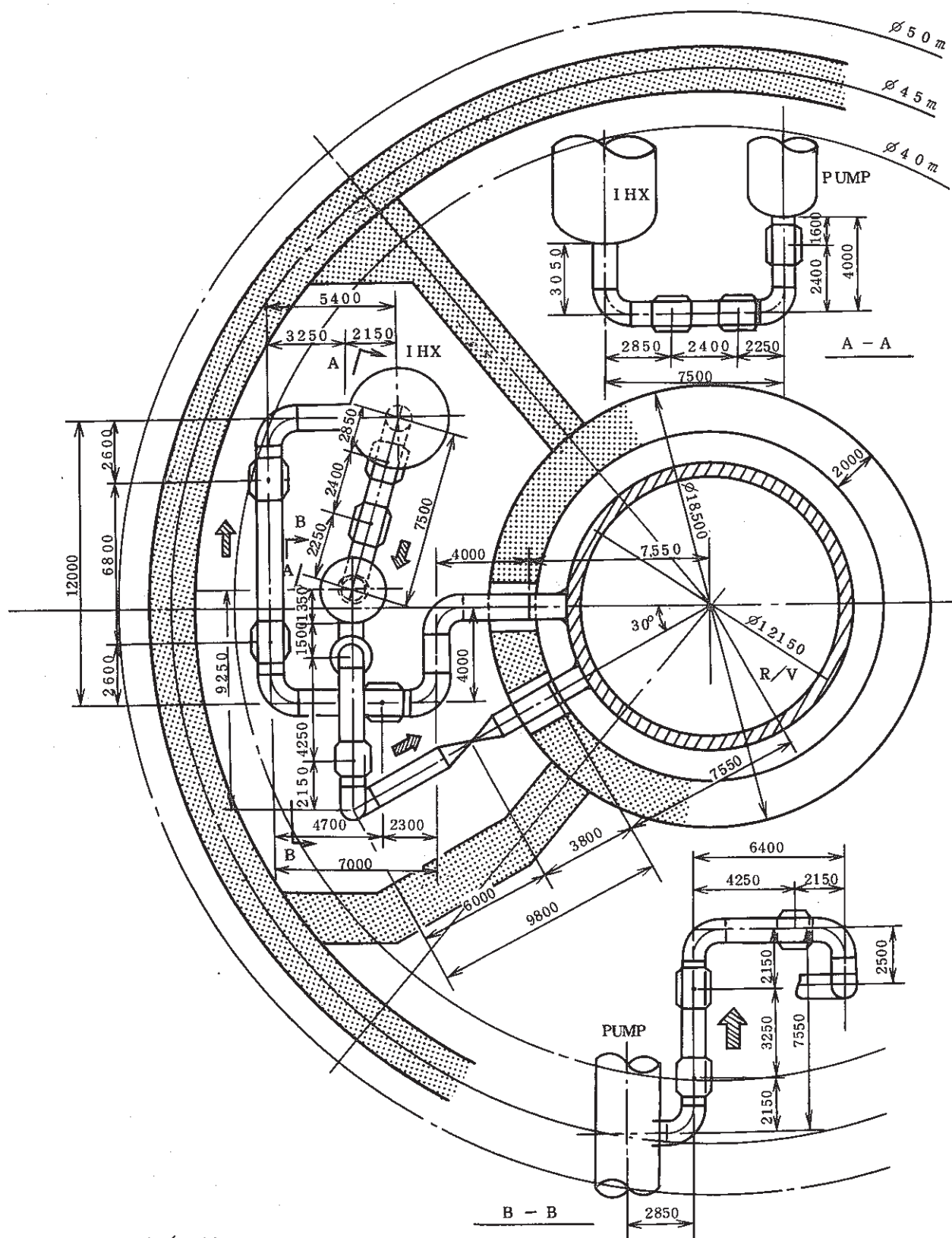
c) 中間熱交換器出口ノズル



d) 1次主循環ポンプ吐出ノズル



e) 1次主循環ポンプ吸込ノズル



スケール 1/1000

図4.1-9 CASE-1配置案

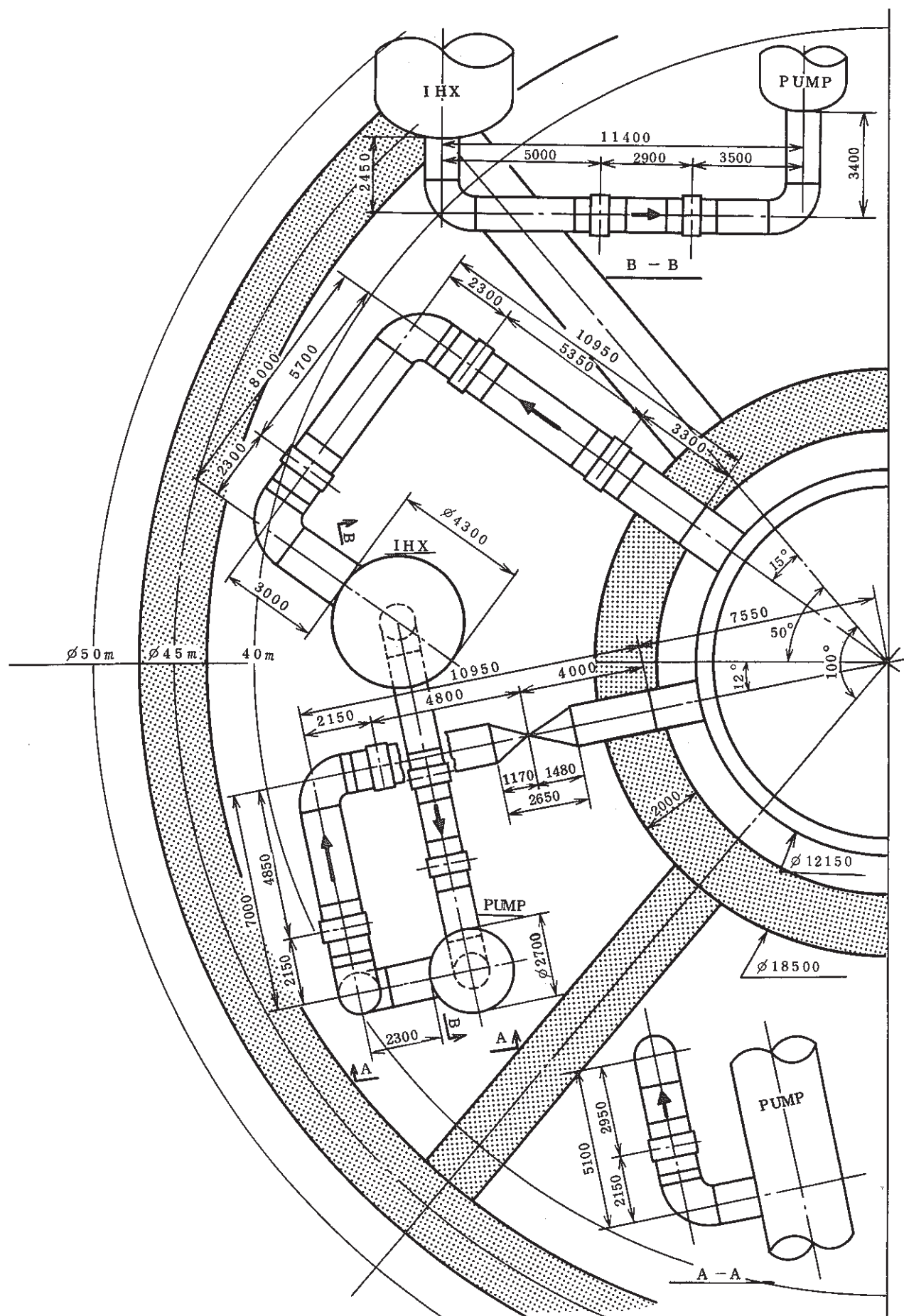


图 4.1-10 CASE-2 配置案

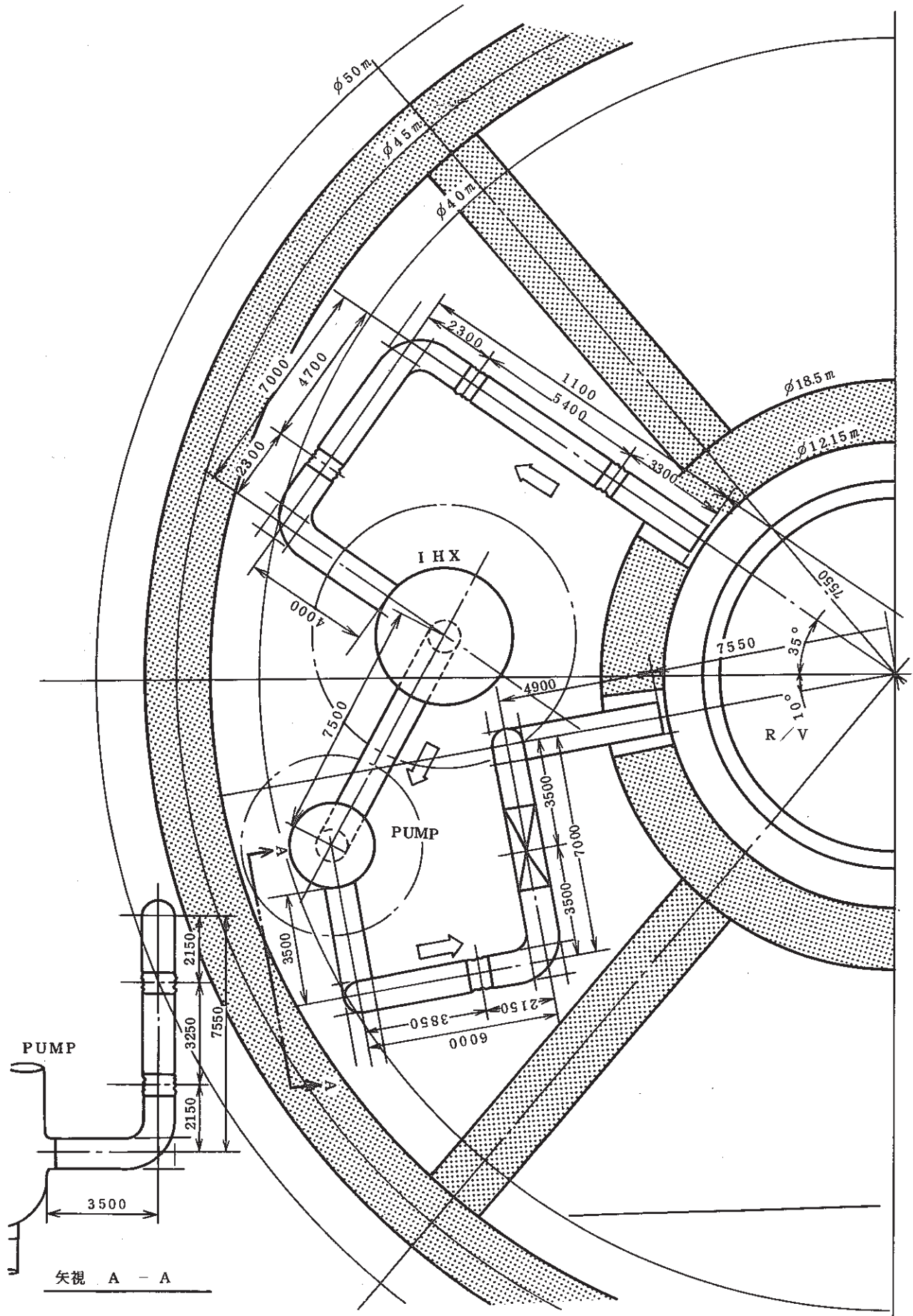


图 4.1-11 CASE-3 配置案

(2) 配管構造解析

(i) 配管熱膨張解析

本ワーキング・グループでは配管ベローズ継手を用いて、格納容器径45mに収まる配置案を3案(CASE-1～3)考え、この引廻し案の健全性を確認するため熱膨張解析を行った。

評価の結果、何れの配置案とも目安の許容値を満足する。熱膨張応力解析の評価結果を表4.1-4に、配管ベローズ継手の角変位の評価を表4.1-5に、配管アイソメ図を表4.1-6に示す。

なお、第2次概念設計との物量比較を表4.1-7に示す。

表4.1-4 熱膨張応力解析の評価

(kg/mm²)

	CASE-1	CASE-2	CASE-3	許容値	評 価
HOT LEG	3.426	2.580	3.026	約26.0	○
CROSS OVER LEG	0.991	2.184	0.657	約34.0	○
COLD LEG	14.173	30.194	17.320	約34.0	○

応力値は最大値を記載する

表4.1-5 ベローズ継手の角変位評価

(度)

	CASE-1	CASE-2	CASE-3	許容値	評 価
HOT LEG	1.882	2.280	2.424	±1.25	○
CROSS OVER LEG	1.039	—	1.320	±1.25	○
COLD LEG	1.431	1.376	1.464	±0.80	○

角変位は最大値（両振り）を記載する

表4.1-6 配管アイソメ図

	CASE-1	CASE-2	CASE-3
HOT-LEG			
CROSSOVER-LEG			CASE-1と同じ
COLD-LEG			

表 4.1-7 1次主冷却系物量比較

		単 位	CASE-1	CASE-2	CASE-3	概念設計
格 納 容 器 径		m	45.0	45.0	45.0	50.0
伸 縮 管 継 手 個 数		ヶ	9	8	9	7
1 次 主 冷 却 系	配 管 長	m	72.6	64.6	68.0	70.0
	エルボ数	ヶ	10	7	9	10

物量は1ループ分を記載する

(ii) 構造健全性評価

(a) 配管系評価

熱膨張応力解析の結果、3 ケースの配管配置案とも目安の許容値を満足することが判明した。配管配置案の妥当性を確認する上では、支持装置の配置を含めた検討を行う必要があり、このため自重解析および、固有値解析を行う。解析は3 ケースある配置案の内、熱膨張応力および、ベローズ継手の角変位が少ないCASE-1について行った。評価は高温構造設計方針(BDS)を引用し、目安の許容値を満足することで判定した。アイソメ図を図4.1-12~14に、解析結果を表4.1-8に示す。耐震に関しては、配管系の固有値が建屋固有値(2~4 Hz)の2倍以上離れていることで判定した。

固有振動数を表4.1-9に示す。

評価の結果CASE-1の配置案の妥当性が確認できた。

表 4.1-8 配管系の構造解析評価 (CASE-1)

(kg/mm²)

	圧 力	自 重	熱膨張	S n	しきい値	構造健全性
ホ ッ ト レ グNo.④	0.373	0.826	長期1次応力低 2.15<3.0 (PL+Pb<S<p)			○
			3.426	4.625	24.2	
クロスオーバレグNo.⑤	0.279	0.131	0.991	1.401	33.0	○
コ ー ル ド レ グNo.③	1.516	1.178	14.173	16.867	33.0	○

表 4.1-9 配管系の固有振動数 (CASE-1) (単位: Hz)

	ホ ッ ト レ グ	ク ロ ス オ ー バ レ グ	コ ー ル ド レ グ
1 次	14.6	18.0	16.3
2 次	17.4	25.9	19.0
3 次	22.2	27.4	23.6

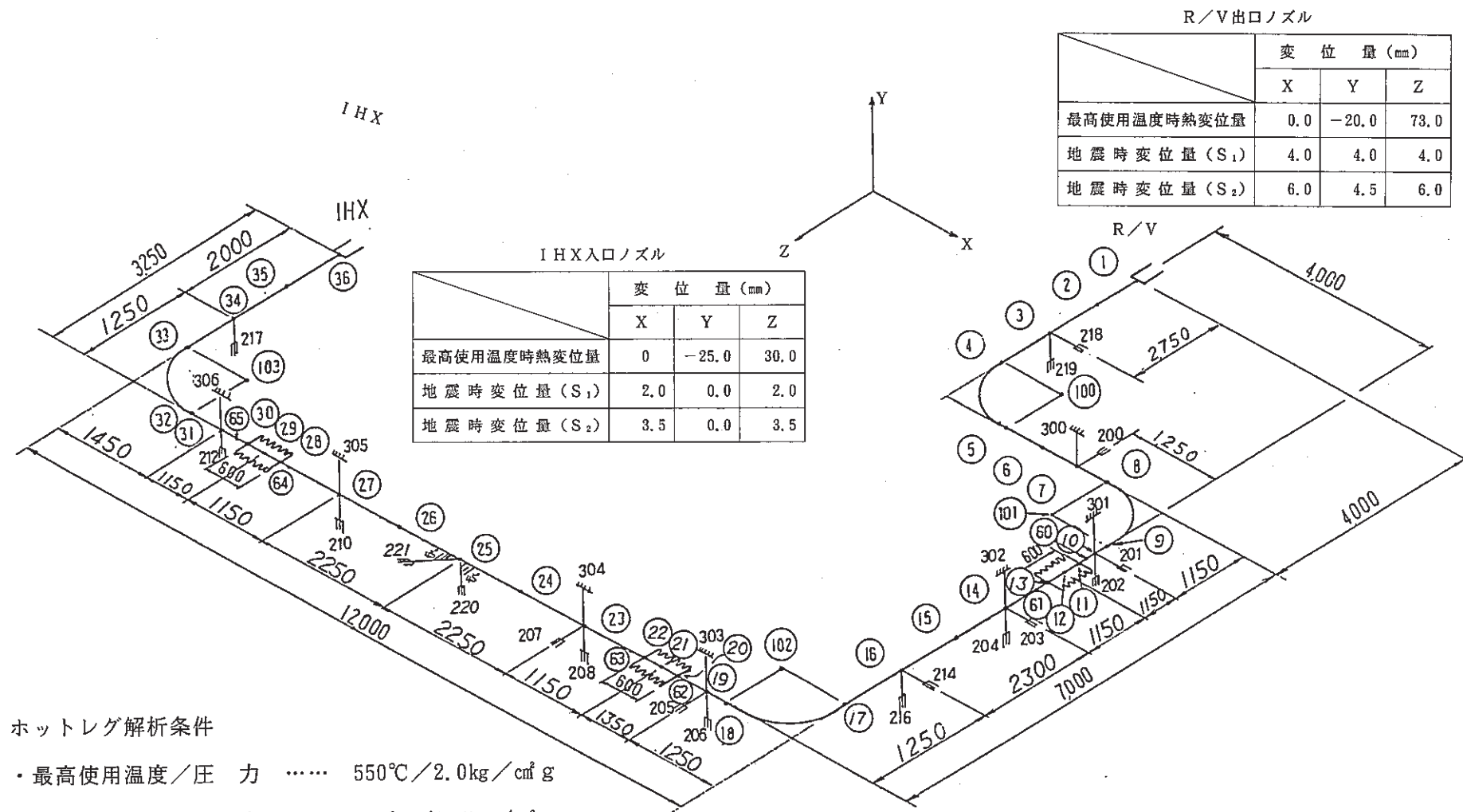
(b) 機器ノズルの座屈評価

機器ノズルの座屈評価は、高温構造設計 (BDS) 付録 G による評価の結果、許容値を満足する。表 4.1-10 に結果を示す。

座屈荷重の考え方を付録(4)に示す。

表 4.1-10 機器ノズルの座屈評価 (kg/mm²)

評価ノズル位置	設 計 、 運 転 状 態 I 、 II		
	計 算 値	許 容 値	判 定
R/V 出口ノズル	0.838	3.65	○
IHX 入口ノズル	0.328	3.65	○
IHX 出口ノズル	0.233	4.09	○
ポンプ入口ノズル	0.179	4.09	○
ポンプ出口ノズル	0.974	4.09	○
R/V 入口ノズル	0.798	4.09	○



ホットレグ解析条件

- ・ 最高使用温度/圧力 550℃/2.0kg/cm²g
- ・ 運転温度/圧力 530℃/1.5kg/cm²g
- ・ 外径/肉厚 1066.8mm/14.3mm
- ・ エルボ半径 1066.8mm
- ・ 材質 SUS304
- ・ 配管重量 1350kg/m (配管+Na+保温材)

図 4.1-12 ホットレグ配管アイソメ図

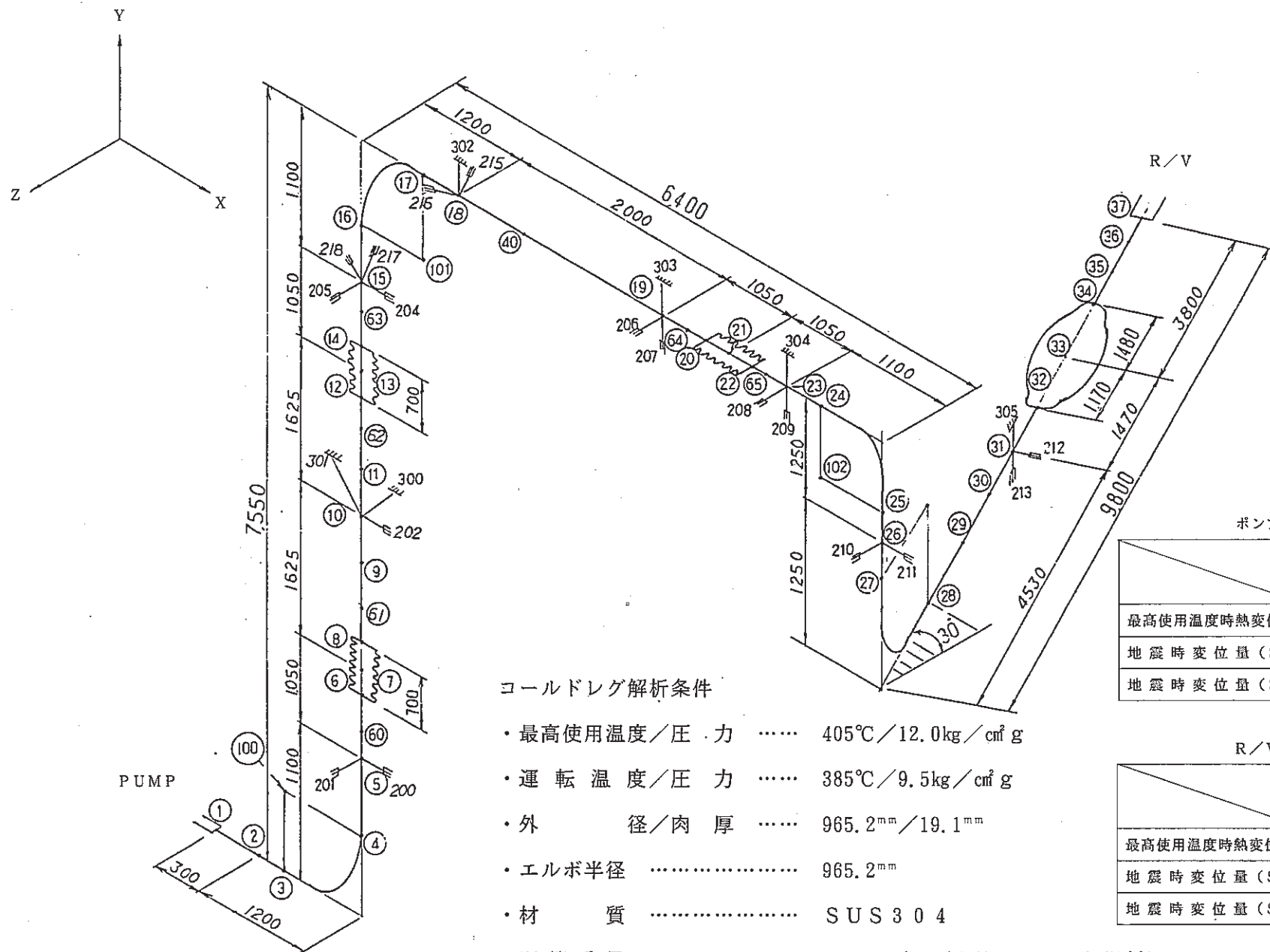


図 4.1-14 コールドレグ配管アイソメ図

(c) ヒンジ構造部の強度評価

ベローズ継手のヒンジ構造は、支持構造物としての評価を行う必要がある。ヒンジ構造部の強度評価式として定まったものは無いが、下記に示す評価式を適用した。

- ・ 高速原型炉高温構造設計方針及び、材料強度基準等
- ・ STATUS REPORT OF PHYSICAL AND MECHANICAL TEST DATA OF ALLOY 718 (IDAHO NATIONAL ENGINEERING LABORATORY)

評価の結果、許容値を満足する。表 4.1-11 に結果を示す。

ヒンジ構造部の強度計算の考え方を付録(4)に示す。

表 4.1-11 ヒンジピンの曲げ応力評価

(kg/mm²)

		ケース 1			ケース 2			ケース 3		
		計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
ヒの ン ジ 強 ピ ン 度	曲げ 応力	7.21	28.2	○	18.0	91.3	○	7.02	45.6	○
	剪断 応力	1.48	16.9	○	3.70	91.3	○	1.44	22.8	○
ヒ ア ー ム 強 度	局部 応力	8.46	9.2	○	21.2	23.6	○	8.23	11.8	○
	剪断 応力	1.61	5.52	○	4.03	23.6	○	1.57	5.91	○
リ 強 ン グ 部 の 度	曲げ 応力	4.87	9.2	○	12.18	23.6	○	4.74	11.8	○
	剪断 応力	5.28	5.52	○	13.20	23.6	○	5.14	5.91	○

注)

- ・ ケース 1 : 設計条件
- ・ ケース 2 : 試験装置の設計条件
- ・ ケース 3 : 内圧（運転圧力）＋地震荷重

5. 今後の課題

5.1 合理化の追求

本W/Gの設計目標をループ型炉の建設費低減のため、物量最小な配置とすることとし、具体的には

- (1) 格納容器径40m以内に1次系配管機器を収める。
- (2) 原子炉容器 - 蒸気発生器間距離を40m以内

に収まるループ型炉を配管用ベローズを使用して追求する。

今迄の成果として現状の機器、運転条件等基本仕様条件で格納容器径45mの配管配置の見通しを得た。今後はこの格納容器径45mの配管配置案の評価検討を行い、次に設計目標である格納容器径40mを達成するための基本条件に対する問題点、ベローズ基本仕様に対する制約を摘出し、成立するための条件を設定、整理したうえでR&D項目を摘出し、格納容器径40mの配管配置案を作成する。

5.1.1 1次冷却系の合理化

配管用ベローズ継手導入による配管引廻しの合理化により格納容器直径40m成立のため

- 1) 機器・配管配置基本条件
- 2) 配管系の設計条件
- 3) 配管系のアイソメ図
- 4) ベローズ継手の設計条件
- 5) ベローズの構造設計
- 6) メンテナンスの問題
- 7) 安全上の問題

等の検討、解析、評価を行い問題点を摘出し成立性を追求する。

上記検討項目を詳細に述べる。

- 1) 機器・配管配置基本条件
 - ① C/V直径40m以下
 - ② 機器・ベローズの保守、点検が容易
- 2) 配管系の設計条件
 - ① 内 圧

- ② 自重
- ③ 熱膨張
- ④ 地震振動
- ⑤ 地震変位
- ⑥ 熱衝撃

3) 配管系のアイソメ図

各構成配管の形状及び支持装置をアイソメ図で描き、荷重条件に対する配管系の応力解析を実施する。

4) ベローズ継手の設計条件

配管解析からベローズ設計変位を求める。

5) ベローズの構造設計

ベローズ要素の仕様決定

6) メンテナンスの問題

- ① I S I 技術の確立
- ② 保守・補修
- ③ メンテナンス
- ④ 施工性

7) 安全上の問題

- ① L B B 思想の確立
- ② 遮蔽について

等詳細に検討を行う。

5.1.2 2次冷却系を含めた合理化

原子炉容器 — 蒸気発生器間距離を40mとすることを設計目標とするループ型炉を追求する。

作業手順は1次冷却系の合理化追求と同様とし

- 1) 機器・配管配置基本方針
- 2) 配管系の設計条件
- 3) 配管系のアイソメ図
- 4) ベローズ継手の設計条件
- 5) ベローズの構造設計

6) メンテナンスの問題

7) 安全上の問題

等の検討、解析、評価を行い問題点を摘出し成立性を追求する。

5.2 成立性の追求

配管用ベローズを使用した配管配置が、プラントとして成立性を満足するための検討項目を以下に述べる。

- 1) 機器、配管の施工性、据え付け性
- 2) 欠陥発生 of 早期検出機構
- 3) I S I 及び交換性を考慮すること
- 4) ナトリウム充填。ドレン時の問題点
- 5) ベローズの交換スペース、機器の搬入、搬出路の確保
- 6) 機器、配管のメンテナンス
- 7) 配管支持装置及び予熱保温装置
- 8) 構造上の成立性
 - ① 高温疲労寿命の低下
 - ② クリープ疲労試験
 - ③ 座屈試験
 - ④ 耐震試験
 - ⑤ 水流動試験
 - ⑥ 耐衝撃圧試験

以上について検討、問題点の摘出を行い成立性を追求する。

5.3 安全ロジックの策定

5.3.1 L B B について

原型炉「もんじゅ」では、配管において設計条件を越える条件下でき裂が肉厚を貫通したとしても、その破損形状が原因となって不安定破壊に至る可能性はなく、漏洩先行型破損 (L B B) の様相を呈し、N a リーク検出器等によりプラントは安全に停止できるとしている。また、この時の破損口面積の想定を $1/4 D t$ としたが、これは安全解析上十分保守的な値である。

このような考え方が配管ベローズに適用しうるかどうか検討が必要である。

検討手順を図 5.3-1 に示す。

配管ベローズは通常配管と異なる点は以下の通りである。

- ① 配管ベローズは薄肉であること。
- ② 配管ベローズはその内外面が通常塑性域に入っていること。また、山、谷部で大きな曲げ応力が発生すること。
- ③ 配管ベローズは通常は配管と比べ、剛性が低いこと。

このような点から図 4.3-1 における初期き裂の決定、き裂進展の評価及び、不安定破壊の評価を行うためのデータ、解析理論ともに不十分な状態である。また、これらを解決するためには試験による実証も含めかなりの時間を要すると考えられ、長期的に見た R & D の基本計画を作成し、実施することが配管ベローズの成立性に対し必要である。

5.4 ISI について

原型炉「もんじゅ」では、原子炉冷却材バウンダリとしての 1 次及び、2 次主冷却系配管の使用期間中検査として、肉眼を主とした試験及び、体積検査を行い、また供用期間中を通じてナトリウム漏洩監視を行うとしている。

これに対し配管ベローズは山、谷のある形状と二重ベローズ方式であることから、「もんじゅ」配管ベローズ部と同様の肉眼及び、体積検査を行うことは現状ではかなり困難である。従って取り得る方法として、バウンダリベローズに対してナトリウム漏洩監視により、バックアップベローズに対してバウンダリ、バックアップベローズ間の圧力監視等によることが考えられる。いずれにしても、前項「LBB について」で述べた様な、想定される破損口による漏洩が検出できることを確認する必要がある。一方では「もんじゅ」における原子炉容器の体積検査と同様にベローズの肉眼、体積検査についても R & D を進めおく必要がある。ファイバースコープの使用、ベローズの山谷部に適合した探触子の開発等、今後の技術の進展を考えると適用の可能性もあると考えられる。

5.5 衝撃圧力に対するバウンダリ維持について

1 次主冷却系配管ベローズについては H C D A に対する衝撃圧力に対して、2 次主冷却系配管ベローズについてはナトリウム-水反応時のピーク圧力、準定常圧力に対してナトリウムバウンダリが維持できることを確認しておく必要がある。

58年度実証炉設計研究では以上の点について検討を行った結果1次系、2次系ともに破損することが示された。この対策については補強器具を付けることが提案されている。しかし、このような衝撃圧力に対する対応としては以下の様な検討を進める必要がある。

(1) H C D Aに対しては、衝撃圧力の見直し（58年度設計研究では「もんじゅ」での使用値としている）

(2) ベローズ構造評価法の検討

(3) ハードウェアとしての対応策が必要な場合には、下記の方法について検討

① 厚肉化

② 多層化

③ 補強金具附加

いずれにしても、配管ベローズの設計に大きく影響するものであり、上記(1)(2)についての検討は早急に行う必要がある。

5.6 総合評価

当ワーキング・グループは動燃内のみで組織し、作業の発展に伴い、必要に応じてメーカーに参加を呼びかけることとしている。作業内容は、配管用ベローズ継手をF B Rナトリウム冷却系配管に適用するにあたっての総合評価を行う。

総合評価というテーマはその範囲が多岐に渡るため、検討すべきポイントは何かを討論、検討の中から探ることとした。

まず当ワーキング・グループとしては第2次概念設計、A W / G 及び、B W / G の成果を基本条件として、配管の長さ、格納容器直径の縮小を計る配管・機器配置設計をサーベイし、その限界を決定している部分は何か、それをクリアーするためには、どのような検討を行っていけば良いかを総合的に明らかにして行く。

一方配管破損に対する安全ロジックと、ベローズにおけるそれとの整合性を検討し、安全ロジックの確立を計る。以上の作業を行い、配管ベローズ継手のF B Rへの最適応用にあたっての総合評価を行う。

(58年度実証炉設計研究「1次冷却系に関する設計研究」より)

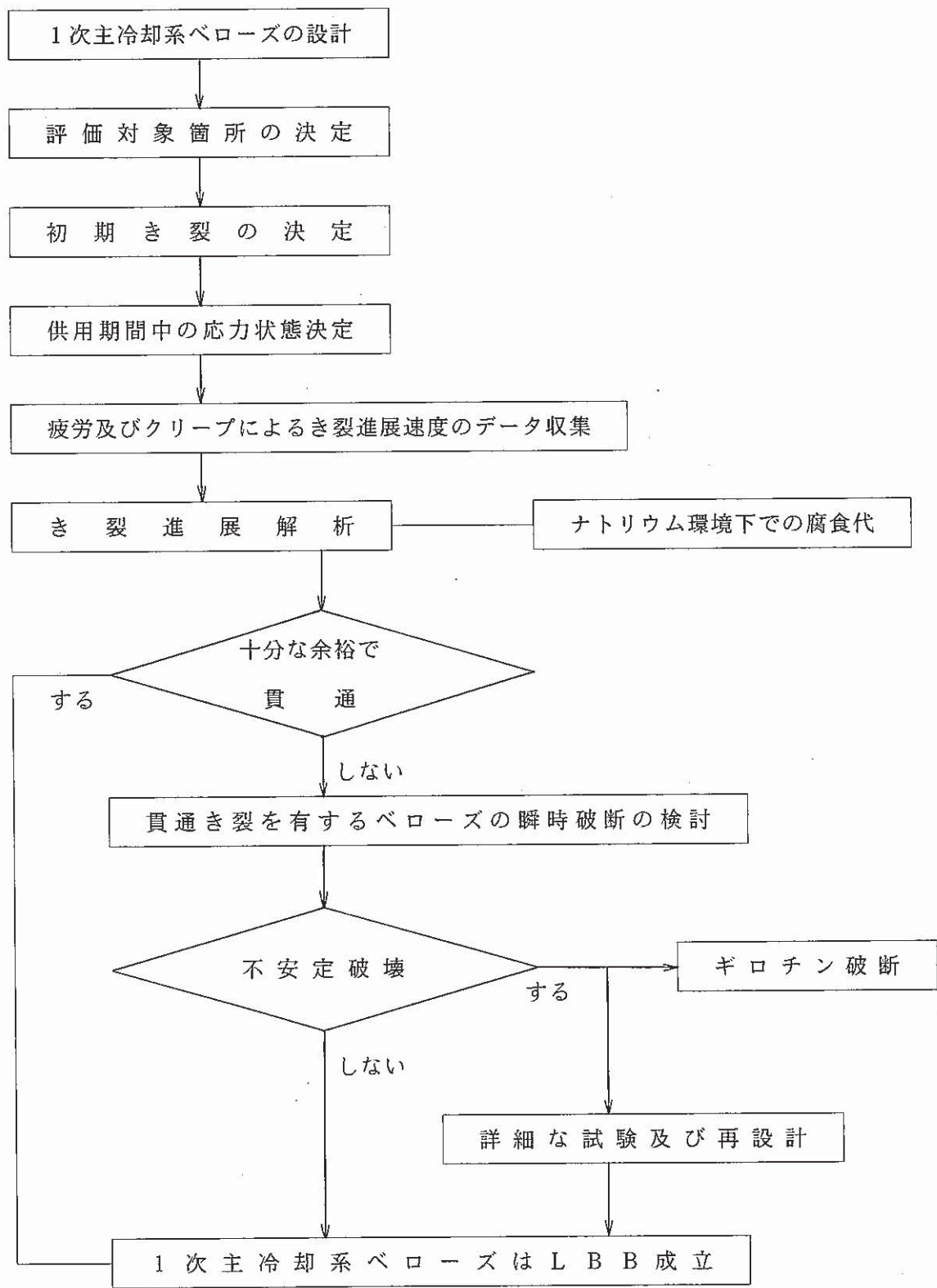


図 5.3-1 配管ベローズの破壊力学的手法による健全性評価フローチャート

付 録

付録(1) 配管用ベローズ継手システム設計 ワーキング・グループ議事録

付録(2) 有限要素モデル化

1. 配管ベローズ継手の有限要素モデル化
 - (1) 二重円筒ファスニングモデル化
 - (2) はり要素としてのモデル化
 - (3) モデルの比較
2. 逆止弁の有限要素モデル化

付録(3) 支持装置のピッチ検討

1. ハンガの支持スパン検討
 - (1) 曲げ応力、せん断応力の合成
 - (2) たわみの制限
 - (3) 最大支持スパンの計算
2. 耐震支持装置
 - (1) 固有振動数によるスパン計算
 - (2) パイプクランプの検討
 - (3) 保温材
 - (4) クランプ重量

付録(4) 構造健全性評価

1. 機器ノズルの評価
 - (1) 座屈評価
 - (2) 熱膨張によるノズル評価
2. ヒンジ構造部の計算式
 - (1) ヒンジ構造部の強度計算
 - (2) ヒンジ構造部の計算式

付録(5) ループ型における機器・配管配置案の検討

1. 概 要
2. 1次主冷却系の設計
 - 2.1 格納容器径45m配置の検討
 - 2.2 格納容器径40m配置の検討
 - 2.3 まとめ
3. 2次主冷却径の設計
 - 3.1 格納容器径40m配置に対応する2次系配置制約事項の抽出
 - 3.2 原子炉補助建物内2次系機器の配置

付録(1) 配管用ベローズ継手システム設計 ワーキング・グループ議事録

第1回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 58. 7. 8 13:20～15:30

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (実証炉Gr)

委 員

(本社)

赤対 (システムGr)

(大洗)

軍司 (機器室)

榎原 (構造室)

亀井 (開発部)

丸山 (開発部)

山田 (開発部)

林道 (開発部)

今井 (システム設計室)

幹 事

小杉 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-1-1 ベローズ継手を用いた主冷却系の設計現状

(参考資料)

① FBR配管用ベローズ継手の開発検討体制

② 望月理事メモ

5. 議 事

(1) 実証炉設計の経緯と現状

松本副主査よりHB-C-1-1の説明が行われた。

Q. 1次系Naはドレンするか。

A. ドレンする。

Q. ベローズ部はドレンに対してどうなっているか。

A. 各社によって現状は異なる。

M社 外圧型 ⇒ 可能

T社 内圧型 ⇒ 谷にNaが残る。(今後の検討課題)

- ・ 現状の機器配置、ノズル位置を前提にベローズを適用した設計となっているが、これらの変更も含めたベローズを用いた最適設計を考えるべきでないか。
- ・ 「もんじゅ」の様に1次系、2次系と系統別にメーカを振り分けるのではなく、一貫した設計をやらせれば良いものができるのではないか。

Q. HB-C-1-1、5頁の、ベローズのリーク検出法はノズルが1ヶしかないが、ガスのフローはとらないのか。

A. 図ではノズルが1ヶしかみえないが、実際は2ヶあってガスを流すのではないと思う。

- ・ 何が配置上の合理化の限界を定めているかを、検討すべきである。
- ・ 4社が行った実証炉ベローズ強度計算の詳細内容を下記の分担、スケジュールで紹介してもらう。

M社 ⇒ 榊原氏 } 8/31

T社 ⇒ 天田氏 }

H社 ⇒ 丸山氏 } 9/31

F社 ⇒ 鈴木氏 }

これら4社の報告書は担当に一週間以内に送る。紹介のポイントは、何が設計の限界を決めているかを明らかにすることである。

- ・ 機器配置の限界を決めているのは何かを、明らかにするための作業方法を福田主査が検討する。
- ・ ベローズのLBB思想を詰めるために前提として、現状の配管系でLBB思想がどうなっているかを、もんじゅの担当から説明してもらうことを計画したい。

(2) 配管ベローズ分科会の体制

福田主査より資料②の説明が行われた。

- ・ 他のワーキング・グループと異なり、作業目標、視点が定めにくい。
- ・ 本ワーキング・グループは実証炉ブロックのバックアップという事で、メーカは当面入れない。

Q. I S E S との関係はどうなっているか。

A. 当面は現状のまま続けていく。

- ・ 分科会の事務局は亀井氏、丸山氏が担当する。

本ワーキング・グループの幹事は小杉氏が担当する。

(3) その他

- ・ 7 / 14 に設計基準ワーキング・グループで、メーカ 5 社のベローズ構造説明の予定がある。
- ・ プラントメーカ、ベローズメーカの説明会は、富士精工のみ残っており、他はすべて終わっている。
- ・ 資料③は参考に配布するが、指摘された点は今後当ワーキング・グループでも取り上げてゆきたい。

第2回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 58. 9. 2 13:30～17:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

委 員

(本社)

天田 (機器G r)

(大洗)

鈴木 (機器室)

榊原 (構造室)

丸山 (開発部)

林道 (開発部)

鈴木 (材料室)

幹 事

小杉 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-2-1 第1回議事録

HB-C-2-2 EJMAの概要

HB-C-2-3 高速原型炉第1種管機器の高温構造設計方針

HB-C-2-4 実証炉第2次系概念設計 (I) 1次冷却系配管 M社

HB-C-2-5 第1種配管の構造設計方針

HB-C-2-6 実証炉第2次系概念設計 (I) 1次冷却系配管 T社

HB-C-2-7 N-290による応力評価 (1次圧力ベローズ部)

HB-C-2-8 FBR実証炉概念設計 (Ⅲ) ホットレグ配管の熱膨張応力解析

HB-C-2-9 福田主査からの宿題に対する回答 (酒井委員)

HB-C-2-10 福田主査からの宿題に対する回答 (天田委員)

HB-C-2-11 福田主査からの宿題に対する回答（榊原委員）

5. 議 事

(1) 1次配管にベローズを用いた設計（M社）の紹介

榊原委員より以下の説明が行われた。

① 構造設計基準の説明（HB-C-2-2、3）

② HB-C-2-4によりM社案を説明

- ・ ベローズの応力は許容値内に案に収まっている。この理由として、正案及び代案の1つにEJMAを設計基準としていることもある。
- ・ 許容値の限界まで余裕を切り詰めた設計配置はなされていない。

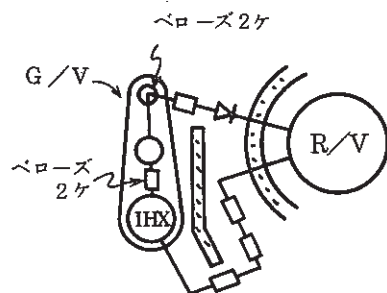
(2) 1次配管にベローズを用いた設計（T社）の紹介

天田委員より以下の説明が行われた。

① 構造設計基準の説明（HB-C-2-5、7）

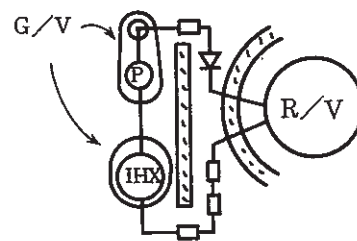
② HB-C-2-6によりT社案を説明

- ・ エルボの評価のみ数値がでており、ベローズは○×のみの表示である。
- ・ 1次系の配置・引き回しに関しては、東芝では以下の3つの案が考えられており、各々の得失、実現の可能性より配管引き回し等について検討する。



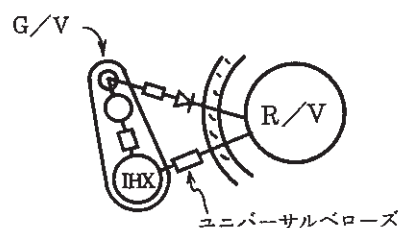
A案（資料6の配置案）

ベローズ計8個所



B案

ベローズ計6個所



C案

ベローズ計5個所

- ・ 特にC案については配置のコンパクトさでは有利であるが、ベローズ型式、強度設計の成立性等困難な点があると考えられる。
- (3) 福田主査からの宿題に対する回答は配布のみとする。
- (4) 次回 9 / 29 13 : 15 ~ の予定。

第3回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 58. 10. 6 10:00～12:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (実証炉G r)

委 員

(本社)

天田 (機器G r)

(大洗)

鈴木 (機器室)

丸山 (開発部)

林道 (開発部)

鈴木 (材料室)

今井 (システム設計室)

幹 事

小杉 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-3-1 第2回議事録

HB-C-3-2 高速実証炉配管ベローズの構造設計について (H案)

(添付: 6/28、29高速実証炉設計研究本会議配布資料)

HB-C-3-3 実証炉第2次系概念設計 (I) 2次冷却系配管 (F社)

5. 議 事

(1) 実証炉2次系配管ベローズの構造設計 (H案)

丸山委員よりHB-C-3-2の説明が行われた。

- ・ 日立案はコンサーバティブな設計であり、そのためベローズの使用個数が多い。
- ・ ベローズは16山の設計（東芝は12山）であるが、現状のメーカ設備ではこのような山数のものを作る事は出来ない。

Q. 22頁の許容変位角はどのようにして求めたか。

A. 30頁図14で発生応力Qの許容値から求めていると思われる。

Q. 9 頁耐震解析の結果で、なぜこのような剛な支持となっているか。

A. 16頁のアイソメ図にあるように、ベローズ周りにスナッパを多くつけてあり、固めているという設計になっている。

Q. 本設計ではメカニカルスナッパを用いているが、オイルスナッパとの得失は何か。

A. メカニカルスナッパは故障時に固着するが、オイルスナッパは故障時にフリーとなるため地震は問題（効果がない）となり、特にベローズには向かないのではと思う。もんじゅ 2 次系では建設費低減の観点から、オイルスナッパとしている。

(2) 実証炉 2 次系配管ベローズ設計（F 社）

鈴木委員より H B - C - 3 - 3 の説明が行われた。

Q. ミドルレグにベローズを用いていないがどうしてか。

A. ベローズを用いなくても許容応力に入るから。また、ベローズを用いた設計も別途行っている。

(3) 今後のワーキング・グループ検討内容

① 福田主査より以下の質問、提案があり承認された。

Q. ベローズを含めた配管設計を本ワーキング・グループ内で行えるか。

A. 可能である。

② 次回ワーキング・グループ予定

- ・ 機器配置の条件、考え方をもんじゅ、実証炉について報告する。

（「もんじゅ」については L B B についても含む）

担当は「もんじゅ」は建設部

「実証炉」は小杉幹事

- ・ ベローズの強度設計について報告する。（天田委員担当）

第4回 配管用ペローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 58. 11. 17 10:00～12:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

委 員

(本社)

天田 (機器Gr)

(大洗)

鈴木 (機器室)

亀井 (開発部)

丸山 (開発部)

鈴木 (材料室)

今井 (システム設計室)

幹 事

小杉 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-4-1 第3回議事録

HB-C-4-2 N-290とMC (第1種機器)との対応表

HB-C-4-3 N-290とMC (第2種機器)との対応表

HB-C-4-4 N-290とMC (第3種機器)との対応表

HB-C-4-5 N-290とMC (第4種機器)との対応表

HB-C-4-6 FBR用配管ペローズの仕様決定とシステム設計

HB-C-4-7 実証炉の機器配置条件

HB-C-4-8 高クロムフェライト鋼、2'／4Cr-1Mo鋼及び、SUS30

4の熱衝撃応力の比較及び、配管引廻し面積の比較

5. 議 事

(1) FBR用配管ベローズ設計

- ・ 鈴木委員、天田委員よりHB-C-4-2～5の説明が行われた。
- ・ 天田委員よりHB-C-4-6の説明が行われた。
- ・ 軽水炉での使用例を調査する必要がある。

(2) 実証炉機器配置の条件

- ・ 小杉幹事HB-C-4-7の説明が行われた。

(3) 配管ベローズを用いた冷却計の設計について

- ・ 福田主査より標記に関し以下の様な命題について一ヵ月以降検討、実作業を行うことが提案された。
 - ① どれだけ配管長、C/Vの大きさを縮められるか。
 - ② 何が上記①における限界か。
 - ③ 上記②の限界を越えるためには、どのような開発が必要か。

次回は12月に本社で「もんじゅ」の配管・配置について行う。

第 5 回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 58. 12. 22 13:30～16:00

2. 場 所 : 本社 プライムビル 2 F 会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (実証炉 Gr)

委 員

(本社)

石井 (開発調整室)

深田 (F B R 本部)

岡林 (機械課) アドバイザー

奈良 (開発調整室)

清水 (開発調整室)

神戸 (開発調整室)

(大洗)

丸山 (開発部)

山田 (開発部)

鈴木 (材料室)

谷本 (システム設計室)

幹 事

小杉 (システム設計室)

4. 配布資料

H B - C - 5 - 1 1 次主冷却系設計上の考え方について

5. 議 事

(1) メンバー交代について

福田主査より以下の様な変更について報告され、承認された。

加納氏、林道氏 ⇒ 退任

谷本氏 ⇒ 新任

(2) 「もんじゅ」1次冷却系配管・機器配置について

岡林氏よりHB-C-5-1の説明が行われた。

- ・ 本資料は安審顧問会に提出した資料である。顧問会では「常陽」からなぜ設計を変えたか？ということがいつも質問された。

(例：無液面IHX、一重配管高所引廻し)

- ・ 19頁の機器高さ関係は、各々の数値が相互に関連しあい全てがうまく収まっているので動かしようがない。例えばカバーガス圧を下げようとしても運転時の負圧防止のために系統圧損を下げないと達成できず、これはなかなか困難である。

Q. 20頁でPNC案における熱膨張許容応力 $14\text{kg}/\text{mm}^2$ はどうやってOKとしたのか。

A. 弾性追従判定により、2次応力として分類することによりOKとなっている。

Q. 配管引廻しの際、補修スペースは考えたか。

A. 壁からの距離、配管相互の距離等を考慮したが、ハンガー、スナッパー等を含めた配置を考えると大変狭く、現状ではこのような制約条件の下で補修を考えざるを得ない。

Q. 14頁のホットレグ配管で応力の厳しい箇所はどこか。

A. 60°エルボ (No.⑬～⑭)、90°エルボ (No.⑰～⑱) 及び

90°エルボ (No.⑥～⑦) の箇所

- ・ 「もんじゅ」1次系配管設計は外挿して1000MW e実証炉を成立させることは配管径、径・肉厚比の増大から困難である。このための方策として、以下の項目が上げられる。

① 配管流速を上げる。

10m/s程度は考える必要がある。問題点としては振動があげられる。

② 厚肉配管とする。

熱過渡解析が進み $1^\circ\text{C}/\text{sec}$ 程度に下げられれば肉厚を大きくできる。

第7回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 3. 8 13:30～16:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (実証炉Gr)

委 員

(大洗)

丸山 (開発部)

榊原 (構造室)

鈴木 (材料室)

軍司 (機器室)

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-7-1 ベローズ継手を使用した配置・配管設計計算

HB-C-7-2 配管ベローズ本体の応力解析および発生応力に対するベローズ形状
効果の検討

HB-C-7-3 FBR配管ベローズの破損可能性について

5. 議 事

(1) HB-C-7-1の説明が谷本委員より行われた。

Q. C/V内の配置案が3案出されているが、今後の検討を願いたい。

A. 検討する。

Q. ベローズのクリープ疲労損傷に関して、山数をもう少し増やした場合のカーブはどうなるか。

A. ISES等を踏まえて検討する。

(2) HB-C-7-2の説明が鈴木委員より行われた。

Q. 本資料に関しては他で行ってないか。

A. ISESで行っている。

Q. ベローズの曲げ解析はどう行っているか。

A. “FAINAS”では軸対象モデルの解析しか出来ないので、曲げは軸方向の変位に置き換えて解析している。

Q. ベローズの変位量は降伏応力一杯を取っているが妥当か。

A. 1次+2次応力を考えるべきで、もう少し許容値を下げる必要がある。

Q. 山高とピッチの関係をISESで調査する。

A. 調査する。

(3) HB-C-7-3の説明が榊原委員より行われた。

Q. 破損可能性はベローズにも適用できないか。

A. 「材料設計、設計、制作、試験、検査にかんする分析、破損様式はどんなものか…」等の考え方でゆけば可能と思われるが、岡林氏の話によれば配管でやっとできたものなので難しいとのこと。

Q. 軸方向の亀裂だけでなく、縦方向の亀裂は解析可能か。

A. 可能です。

Q. ベローズの破損可能性のロジックはどう組立ててゆけばよいか、検討する必要があるのではないか。

A. ベローズの破損のバラツキ等のデータが必要である。

(4) ベローズのウィークポイントは何かを調査する（配管に対して）

- ・ 上記を調査し、配管とのギャップを詰めるのにどうしたらよいかを、分担して作成したい。（各W/Gに各分野の設計の検討書をまとめてもらう）

(5) 次回開催予定日と内容

① 4/9を予定する。

② { ベローズの破損可能性のロジックの組立
ISESの資料紹介
配管解析結果

第 8 回 配管用ペローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 7. 24 13:20～14:45

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (機器室)

委 員

鈴木 (機器室)

月森 (構造室)

小杉 (L. FBR)

今井 (システム設計室)

金子 (システム設計室)

戸根 (システム設計室)

三村 (システム設計室)

事務局

山田 (開発部)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-8-1 An assessment of basic approaches to the design of loop
type LMCrs

HB-C-8-2 Design considerations for the primary system and primary
componennts of SNR-2

HB-C-8-3 INNOVATIVE FEATURES FOR LOOP PLANNTS

HB-C-8-4 主要目比較表 (もんじゅ、実証炉)

HB-C-8-5 格納容器内機器配置方式

HB-C-8-6 FBR配管用ベローズ継手分科会
システム設計W/Gの活動について
HB-C-8-7 第7回システム設計W/G議事録

5. 議 事

(1) 当ワーキング・グループのメンバー交替の紹介

大洗

(開発部) 丸山 ⇔ 山田
(構造室) 榊原 ⇔ 月森
(機器室) 松本 (前実証炉)
(L. FBR) 小杉 (前システム設計室)
(システム設計室) 金子、戸根

本社

(機器) 天田

(2) 幹事交替の県

7/1人事移動で小杉氏がL. FBRに移動のため、谷本氏が新幹事となった。

(3) 当ワーキング・グループの活動報告書

第1～第7回までの活動報告をレポートとして8月中に発行する。

(4) 今後の当ワーキング・グループの活動について、HB-C-8-6の説明が行われた。

(5) HB-C-8-1～5については、格納容器の縮小化に対しての資料であると説明が行われた。

(6) モデルプラントの検討の審議は、第1回目として8/8(水)の一日かけて行なう。

(7) 上記作業のたたき台は8/8(水)前までに作成する。

(8) 当ワーキング・グループで、活動に関しての復習を8/6(月)に行う。

(新規メンバー対象)

(9) ISES活動内容の要約書を回覧にて送付する。

設計も別途行っている。

配管用ペローズ継手システム設計W／G（復習会）議事録

1. 日 時 : 59. 8. 3 13:10～17:20

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者（敬称略、順不同）

福田主 査（システム設計室）

委 員

（本社）

清水（実証炉）

（大洗）

鈴木（機器室）

月森（構造室）

小杉（L. FBR）

金子（システム設計室）

戸根（システム設計室）

三村（システム設計室）

事務局

山田（開発部）

幹 事

谷本（システム設計室）

4. 配布資料

資料1 : 高速増殖実証炉の設計研究の現状

資料2 : 概念設計（Ⅱ）および（Ⅲ）

機器配置図および機器図

資料3 : 高クロムフェライト鋼、2 1／4Cr－1Mo鋼およびSUS304の
熱衝撃応力の比較および配管引廻し面積の比較

資料4 : 管の設計方針と、他の設計基準の規定との比較

- 資料 5 : 熱応力解析の必要性の検討
資料 6 : 1 次主配管配置設計
資料 7 : 1 次主冷却系設計上の考え方について

5. 議 事

- (1) 今回の打合せの方針について、福田主査より説明が行われた。
- (2) 配布資料に関して谷本幹事より説明が行われた。
- (3) 質疑応答

福田主査が問題点として次の事を上げた。

- ① 機器の高さ関係
- ② 配管引廻しとNaリーク対策
- ③ 遮蔽とメンテナンス
- ④ 配管応力

Q. R/Vの大きさは何により決まるか。

A. 燃取より決まる要素が大きい。

Q. 機器の高さ関係はどのように決められるか。

- A. ① R/VとIHX自然循環を期待する。
② R/VとPUMP、ガードベッセル内に収まるNaインベントリーの関係
③ カバーガス圧の関係

またカバーガス圧に関しては、次の説明が行われた。

- (a) カバーガス圧によりH/L PUMPかC/L PUMPにするかが決まる。

H/L PUMP 圧損小 ⇒ カバーガス圧小

C/L PUMP 圧損大 ⇒ カバーガス圧大

- (b) 冷却塔は外気より負圧にならないこと。

(外気ガスを巻き込み炉心に影響を与えるため)

- (c) カバーガス圧が大きくなれば、R/Vのシール性が悪くなる。

- (e) 実証炉は「もんじゅ」に比べ配管口径が大きくなるため、引廻しが長くなり圧損も大きくなることからガス圧は高くなる。

Q. 高クロムフェライト鋼は実証炉での使用が出来ないか。

A. 原子力でのデータが無い（特にNa中でのデータが無い）

Q. 配管支持装置の計画をする際の条件はどうか。

A. メーカーより設計手順を組み込んだカタログを10部程度取り寄せる。

Q. C/V縮小をどう考えてゆくか。

A. 最低必要とされる要求事項をまとめる（機器外形、ISI、メンテナンス等）

Q. C/V縮小の一つにノズルレス方式があるがどうか。

A. メンテナンス時の放射化、二重管の熱膨張差など種々の問題点がある。

(4) 今後の作業について

上記の件について次のような意見が述べられた。

① 1次系配管の図面を集め検討する。

② 今後の作業方法にかんするストーリーを考える。

（例） FBR配管系の課題、ベローズを使った配管系の課題

③ 「もんじゅ」の設計手順書があれば検討してはどうか。

④ 条件の整理をする。 ⇒ 将来使われるであろうベローズの考え方を打ち出してやる。

⑤ 当ワーキング・グループで将来の問題となる点を内部、外部に働き掛けてはどうか。

⑥ 現在必要とされているR/D内容を考えるべきである。

⑦ 戦略を立て、今後の作業を進めるべきだ。

(5) 第9回打ち合わせ内容

① C/V 50m案の設計研究の報告書の検討

② 機器の高さ関係の資料調査

第9回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 8. 8 9:00～16:40

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (機器室)

委 員

(本社)

天田 (機器Gr)

(大洗)

鈴木 (機器室)

月森 (構造室)

小杉 (L. FBR)

金子 (システム設計室)

戸根 (システム設計室)

三村 (システム設計室)

事務局

山田 (開発部)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-9-1 第2次概念設計 (I) 1次主冷却系設計書

HB-C-9-2 高速増殖炉実証炉設計研究

1次冷却系に関する設計研究

HB-C-9-3 Finding of Facts

HB-C-9-4 配管支持の要領

H B - C - 9 - 5 第 8 回システム設計 W / G 議事録

H B - C - 9 - 6 システム設計 W / G 復習会議事録

5. 議 事

(1) 第 8 回議事録が承認された。

(2) 福田主査より次の事柄が述べられた。

- ① 8 月 3 日の打ち合わせの際、ベローズ開発に関する R & D とシステム設計 W / G が行なっている作業内容がマッチングしているかが問題となった。
- ② 当 W / G の作業として取り敢えず格納容器径 40 m を目指して設計を進めるが、その中で設計研究と R / D のマッチングにも注意を払う。
- ③ 手始めとして東芝案の格納容器径 50 m の 57 年度、58 年度設計を検討し、ループを組み立てる際の問題点を考える。
- ④ 今後当 W / G の作業を進めるに当たって次の点を注意して欲しい。
 - (a) 設計を行うのは初めてなので、分からない事は気軽に質問する。
 - (b) 格納容器径 40 m を目指してアイデアを出し、アイデアを育てる。
 - (b) 各委員の経験を生かして設計を行う。

(3) H B - C - 9 - 1 を谷本幹事が読み上げ、全員で内容の検討を行った。

Q. 中間遮蔽壁の役割の一つとして、I H X 2 次側ナトリウム放射化防止対策とあるが、問題となる線源は何か。

A. 原子炉運転中に発生する中性子が機器の表面を放射化し、機器メンテナンス時等に問題となる。これを低減するために中間遮蔽壁を設置するものと考えられる。

- ・ 遮蔽計算に関して一度検討してみる必要がある。

Q. コールドレグ配管のポンプ～R / V 入口部でポンプ出口配管を立ち上げる理由は何か。

A. ベローズはおちを考えた引廻しの結果と思われる。

- ・ 本設計書のは計装に関する事柄が書かれていないが、計装関係はバウンダリーを考えた取付方法の検討が大切だ。

Q. 配管ルートの検討は手計算で目安がつかめないか。

A. 自重、耐震計算に関しては或る程度の目安がつくが、熱膨張に関して時間が掛かり計算機の方が早い。またベローズの剛性を考えて手計算は難しい。

Q. 配管クランプ部よりの放熱計算はあるか。

A. 実験により確認する必要がある。

- ・ 荷重条件の決め方についての説明が天田委員より行われた。

Q. 応力評価結果は何を注意して見ればよいか。

A. 熱膨張応力が一般に高いので、ひずみの制限の S_n 値が許容値を満足しているかを検討するえば問題ないと思われる。

(4) HB-C-9-2 を幹事が読み上げ、全員で内容の検討を行った。

Q. コールドレグ配管でポンプと R/V 据え付けレベルを同一として剪断方向相対変位を無しとしているが心配ないか。

A. 実際の工事では据え付けレベルは誤差範囲内に入れば良しとするし、各ノズルの伸びが計算通りに伸びるかは不安であるが、直管形 2 ヶを用いたルートであるので、ある程度の剪断方向の変位は可能と思われる。またベローズとしては剪断方向の変位より振じりが加わる方が寿命への影響は大きい。

Q. コールドレグ配管は、57年度設計に比べ直線状の配管としてあるがポンプへの放射化の問題はないか。

A. 放射化の心配が考えられるためメーカへ問い合わせる。

Q. ベローズの許容変位、または角度が小さいのは何が問題か。

A. クリープ疲労損傷が一番大きい。現状の規格ではこの評価は厚肉の材料データより決められており、ベローズのような薄肉に関するデータが無く検討中である。

(5) 谷本幹事より HB-C-9-4 の説明が行われた。

(6) 天田委員より HB-C-9-3 の “Rupture Prevention in PHTS” の説明が行われた。

(7) 以上の検討を行った結果、次の作業を行う事となった。

- ① 格納容器縮小のネックは、遮蔽壁か配管引廻し上の問題かを検討する。
- ② 当 W/G 内で配管ルートの計算を計算機を使って行う。なお、構造室に配管専用プログラムがあるので、大矢氏に問い合わせる。(月森氏担当)
- ③ PNC 内で遮蔽の考え方を炉心ブロック大谷氏に問い合わせる。(天田氏担当)
- ④ 東芝に配管引廻し等の問題に関して質問状を出す。(主査担当)
- ⑤ 遮蔽の考え方については当 W/G 内で検討後、不明な点について東芝に説明に来てもらう。日時については未定
- ⑥ ベローズのウィークポイントを次回以降押さえてゆく。
- ⑦ LBB で破損口 $1/4 D_t$ の考え方があるが、ベローズに関しても適用されるかを検

討する。

⑧ 次回の打合せは、8 / 20の週に行う予定である。

第10回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 9. 6 13:10～17:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (機器室)

委 員

(本社)

天田 (機器 G r)

(大洗)

鈴木 (機器室)

月森 (構造室)

小杉 (L. F B R)

進藤 (システム設計室)

金子 (システム設計室)

戸根 (システム設計室)

三村 (システム設計室)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

H B - C - 10 - 1 第 9 回システム設計W／G議事録

H B - C - 10 - 2 配管ベローズを用いた C／V、A／B 縮小化設計フロー

H B - C - 10 - 3 1 次系機器・配管レベル配置の考え方

H B - C - 10 - 4 配管ベローズ解析例

H B - C - 10 - 5 実証炉 1 次主冷却系室の放射線強度計算について

(その他)

- ・ 配管支持装置 総合カタログ（日本発条㈱） — 委員に各一部配布
- ・ 配管系の応力解析（日本発条㈱） — 同 上
- ・ 日本発条の英語版および三和テッキのカタログ — システム設計、開発部に保管
- ・ 高速増殖炉の高温構造設計

5. 議 事

(1) 新規メンバーの紹介

進藤氏（システム設計室）が着任した。

(2) 第9回の議事録が承認された。

(3) HB-C-10-2の説明が谷本幹事および小杉委員より行われた。

Q. 設計フロー作成の意図は何か。

A. 設計手順を明確にする目的で作成した。

(4) HB-C-10-5の説明が天田委員より行われた。

① 58年度実証炉の遮蔽計算は、炉心ブロック大谷氏が着手しており、今年10月末に計算結果が出る。

② 計算は原子炉容器室内の計算を行っている。

これにより貫通部の放射線量が分かる。

③ 1次系の部屋の放射線強度は「もんじゅ」の計算を利用し、減衰比で行なえば良いと思われる。

④ 貫通部での放射線強度は低下する。

⑤ 中間遮蔽壁はストリーミングに対しては効果が無いが、機器が直接放射線によりあおられるのは防げる。

⑥ 中性子の減衰比は 1.0であり、殆ど減衰しない。

⑦ 「もんじゅ」では停止時に入室可能なために、運転中の中性子束を $10^4 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 以下としている。

⑧ 東芝へ問い合わせの結果は次の通り

(a) 動燃実証炉としては計算は行っていない。

(b) 遮蔽計算は電力実証炉を引用した。なお計算は三菱担当のため提出することは出来ない。

⑨ 「もんじゅ」の遮蔽計算結果を調査する。（福田主査担当）

(5) H B - C - 10 - 3 の説明が小杉委員より行われた。

① E s L 2 は炉心上部より 1.6m が限界か分かっていない。

② 通常運転時のカバーガス圧および負圧防止の考え方が入っていないので今後説明する。

（小杉委員担当）

③ D I H X の上部入口 1 のノズルは何の為に調査する。（同上）

④ ベローズのギロチン破損の可能性はどうか調査する。（同上）

⑤ 第 1 ステップとして高所配管、G/V 方式を考えたが、サイフォン・ブレイクを考えた引廻しの検討も必要と思われる。

⑥ N a 漏洩量の点から、破損後の過渡状態についても検討の必要があると思われる。

⑦ 実証炉の配管破損の想定は、「もんじゅ」よりコンサーバティブのようであるとの指摘があった。その例として、多重漏洩を考慮する（「もんじゅ」では無し）、およびポンプ・モータによる締切り揚程度運転がある。

上記質問に対して小杉委員より次の発言があった。

- ・ 多重漏洩を考慮しなければならないという必要が出てきたのではなく、D R A C S をつけたことにより対応できるので考慮に入れた。

⑧ レベル配置の詳細検討と設定は、今後の配管引廻し決定後詰める。

(6) H B - C - 10 - 4 の説明が谷本幹事より行われた。

① 第 2 次概念設計（I）を参考に中間遮蔽壁を除き、格納容器径 45m の配置案を考えた。

② 機器の大きさ、移動量、ベローズの剛性は第 2 次概念設計（I）の条件を使用する。

③ 今回はホットレグ配管のみを解析対象とした。

④ 今回の案では、ベローズの角変位は許容角を越えていると思われる。

⑤ F I N A S の内容にミスがあり、熱膨張計算の結果は 9/10 以降でないと分からない。

⑥ ベローズの各方向の剛性をバネ定数として与えているが、モデル化として妥当か、他社の例やその他の例を調査する。（谷本幹事担当）

⑦ 実証炉の配管引廻しと同じルートの計算を F I N A S で行い、メーカーの計算結果と比較してみる。（谷本幹事担当）

(7) 構造室で開発した配管プログラム“P I S A C”について、月森委員より説明が行われた。結論として“P I S A C”では配管ベローズを用いた解析は難しいとの事であった。

(8) 今後の作業

- ① HB-C-10-4の計算結果を提出する。(谷本幹事担当)
- ② 実証炉の引廻しについて計算し、メーカーの計算結果(三菱、東芝)と比較する。
- ③ 各自の引廻し案を作成し、FINASを用いて各自で計算する。
(10月以降なら谷本幹事の方で計算する事も可能)
- ④ 上記①～③の結果を次回集める。
- ⑤ 天田氏より構造設計の実務的な説明を行う。(次回以降に予定)
- ⑥ ベローズの角変位の制限は、何処から来ているかを明確にする。

第11回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 10. 11 13:30～18:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

(本社)

天田 (機器G r)

(大洗)

鈴木 (機器室)

月森 (構造室)

小杉 (L. F B R)

進藤 (システム設計室)

金子 (システム設計室)

戸根 (システム設計室)

三村 (システム設計室)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

H B - C - 11 - 1 第10回システム設計W／G議事録

H B - C - 11 - 2 配管応力解析のメーカとの比較

H B - C - 11 - 3 格納容器径45mの配管引廻し検討

H B - C - 11 - 4 配管要素としてのベローズ継手の有限要素モデル化

H B - C - 11 - 5 構造解析プログラムS A P I Vの紹介

H B - C - 11 - 5' S A P I V使用マニュアル

H B - C - 11 - 6 配管ベローズの破壊力学的手法による健全性評価のフローチャート

5. 議 事

(1) 第10回の議事録が承認された。

(2) HB-C-11-2の説明が谷本幹事より行われた。

Q. メーカの計算とF I N A Sの計算で若干応力の差があるが、良く合っているのか。

A. 使用した物性値の違い、配管勾配の有無を考えると良く合っていると思われる。

Q. 最大応力がメーカの値より一割違うがどうしてか。

A. 物性値、配管勾配の他に、機器ノズルの剛性が剛になっているので、応力が高くなっていると思われる。

Q. 配管上下で発生するモーメントは違うと思われるが、計算結果はどこの位置のモーメントをO/Pしているか。

A. 一番応力の高い所をO/Pしている。

Q. 配管ベローズにしわ寄せが来ているが、エルボを含めてバランスのよい引廻しが出来ないか。

A. もっとバランスのよい引廻しが望ましい。

Q. 熱膨張計算でベローズの角変位が約 2.5° 振れているが、応力として厳しい方に出ているのではないか。

A. 配管にコールドスプリングをかけセットするので、応力としてはゆるやかな方向になる。但しコールドセット時の応力計算を行い安全を確認しておく必要がある。

Q. 東芝の計算方法はベローズを梁としてモデル化しているのか。

A. 梁としてモデル化している。三菱に関しては不明

(3) HB-C-11-3の説明が谷本幹事より行われた。

Q. ベローズ間を長くすれば、何故角変位が小さくなるのか。

A. $\tan \theta = h / l$ の関係で、ベローズ間のパイプ (1) が長い程ベローズの角変位は小さくなる。従って間を開けるのは効果がある。

Q. 配管応力のバランスがうまく取れないか。

A. 引廻し等を考えればうまくやれると思う。

Q. 角変位のバランスをうまく取るため、ベローズの山数等を変えたベローズの使用は考えられないか。

A. 可能と思われるが、ベローズのたわみおよび溶接部が増える事から、山数はあまり多く出来ない。またコストの点から同型のベローズを制作するのが安価になる。

Q. ベローズ間のLを長くすると応力が小さくなるが、Lによる応力のしわ寄せは何処にくるのか。

A. ベローズにくる。

Q. 今回の計算をもとに、手計算で応力が当たれないか。

A. ベンド、直管を剛と考え、移動量を求めればある程度当たれると思う。

(4) HB-C-11-4の説明が月森委員より行われた。

Q. ファスニングの意味は何か。

A. 接点のコネクティング機能であり、接続部の自由度を定義するものである。

Q. 3頁の高速条件のポイント2、3の“FASTENING”のFREEはおかしいのではないか。

A. 誤解を招きやすい説明となっているので、訂正し差し換える。

Q. ベローズの剪断係数は計算に影響するか。

A. 口径が大きく短いので考慮する必要がある。

(その他)

- ・ FINASでのベローズモデル化のガイドブックを整理しておく必要がある。
- ・ 実機ベローズより、ベローズの剛性を検討する。

(5) HB-C-11-5および5'の説明が天田委員より行われた。

(6) HB-C-11-6の説明が小杉委員より行われた。

Q. 健全性の評価はどこでやるべきか。

A. Aグループでやればよいのではないか。

ストーリー作りはCグループでやるべきではないか。

(7) 今後の作業

- ① 各人引廻し案の、解析結果を発表する。
- ② 格納容器径45mのクロスオーバーレグ、コールドレグ及び、耐震計算の結果を発表する。
- ③ 次回以降の検討項目
 - (a) ベローズ角変位 2.5° の根拠の説明を設計基準W/Gに相談する。
 - (b) B D Sの説明
- ④ 次回の開催は10/30の13:30~17:00とする。

第12回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 10. 30 13:00～17:30

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

委 員

(本社)

天田 (機器 G r)

(大洗)

月森 (構造室)

小峰 (材料室)

小杉 (L. F B R)

進藤 (システム設計室)

金子 (システム設計室)

戸根 (システム設計室)

三村 (システム設計室)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

H B - C - 12 - 1 第11回システム設計W／G議事録

H B - C - 12 - 2 格納容器径45mの配管引廻し検討

H B - C - 12 - 3 配管設計検討書

H B - C - 12 - 4 F B R第一種機器の構造解析及び評価

H B - C - 12 - 5 ベローズの強度設計

H B - C - 12 - 6 ベローズの要素によるベローズ継手付配管系の解析 (その2)

5. 議 題

(1) メンバー交代の紹介

材料室酒井氏に替り、小峰氏が交代した。

(2) 第11回議事録が確認された。

(3) H B - C - 12 - 2 の説明が、戸根委員よりあり以下のような論議が行なわれた。

Q. 配管形状から見て、P. T15のベローズのせん断力が大きくないか。

A. ジンバル型ベローズでは、せん断力はピン部に加わる荷重であり、4 2 Bベローズのピン径は約 $\phi 80\text{mm}$ と考え応力を計算すると約 0.1kg/mm^2 程度であるため、問題ないと思われる。

また、ピン部の接触応力の検討は *ヘルツの式 (H e r t z) で応力分布、せん断応力を求めることができる。

*ヘルツの式 …… “機械設計便覧” に記載されている。

(4) H B - C - 12 - 3 の説明が谷本幹事よりあり、以下のような議論が行なわれた。

Q. R/V 出口配管長が 5.0m から 4.0m になっているが、どうしてか。

A. R/V 出口ノズルの長さを詳細に検討してみると 4.0m であった。

Q. 前回の検討 (C A S E - 8) から考えれば、ベローズの配置が同じであるので、応力、ベローズの角変位とも小さくと思われるが、同程度の値となっていないのはなぜか。

A. R/V 出口配管部の引廻しが同じでないためである。

(その他)

- ・ 現状のベローズ 3 ヶを用いた配管引廻しでは、中間に設けたベローズに負担がかかる。
- ・ ホットレグ配管に関しては、ベローズ間の配管長を変えて計算し応力、ベローズ角変位の検討を行なう。
- ・ コールドレグ配管に関しては、データを作成し計算を行なう。

(5) H B - C - 12 - 4 の説明が天田委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. 一度配管解析結果を当てはめ評価を行なってはどうか。

A. 解析が終った時点で、計算結果を使用し評価してみればよいと思う。

Q. 実証炉では熱過渡の検討を行なったものはあるか。

A. 配管ベローズを用いてない結果はあるが、現在配管ベローズを使用した熱過渡の見直しを行なおうとしている。

(6) H B - C - 12 - 5 の説明が月森委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. ベローズの許容角変位を大きくするためには、山数を増やせばよいのではないか。

A. いくらでも山数を増やすことが出来ない。E J M A では20数山で座屈が問題となり、メーカー側からは製作性が問題となる。

Q. 山高、ピッチの関係は、現状では $\frac{\text{ピッチ}}{\text{山高}} = 0.8 \sim 1.0$ となっているが、山高を 100 mm 程度にし応力を下げた使用は出来ないか。

A. 山高 100mm では、内圧による座屈の問題が発生する。

Q. ベローズの評価は、安全ファクターを多く取ってあるので、安全ファクターを取って考えると、評価値を大きくとれないか。

A. 評価の中には、解析と実験により確認してゆくものがあり、クリープ疲労、座屈に関しては実験により確認を行なってゆく。

また、B D S では板厚が最小10mmまでのものを検討しており、ベローズのような2 mm 程度のものは検討していない。

従って評価が安全側か非安全側かを確認する必要がある。

Q. 温度を下げた場合のベローズの許容値は大きくとれないか。

A. 温度が下がることにより許容値も大きくなるが、詳細は検討する必要がある。

(7) H B - C - 12 - 6 の説明が月森委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. ベローズモデル化をはり要素とベローズ要素で計算した数値が下3ケタで違っているが、計算上問題ないと思われるがどうか。

A. 詳細設計を行なう上では、問題は大きいと思われる。

(その他)

- ・ 今回は熱膨張計算の対比であるが、耐震計算の差がどうであるか検討してみる必要がある。
- ・ 機器室で試験計画している実機ベローズより、解析上必要なデータを機器室へ依頼する。

(8) その他

- ・ 今後の作業として11月までに計算結果を整理し、12月に報告書としてのストーリーを考える。
- ・ 次回開催は11月22日（木）13：30よりシステム室にて行なう。

第13回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 11. 22 13:30～17:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

委 員

(本社)

天田 (機器G r)

大谷 (炉物理G r)

(大洗)

月森 (構造室)

飯田 (L. F B R)

小杉 (L. F B R)

進藤 (システム設計室)

金子 (システム設計室)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

H B - C - 13 - 1 第12回システム設計W／G議事録

H B - C - 13 - 2 遮蔽設計区分図

H B - C - 13 - 3 冷却系に係わる遮蔽上の問題

H B - C - 13 - 4 機器&配管配置の基本条件

H B - C - 13 - 5 F E Mによるジンバル型ベローズ継手の簡易モデル化

H B - C - 13 - 6 配管設計検討書

H B - C - 13 - 7 第13回配管ベローズシステム設計W／G資料

5. 議 題

- (1) HB-C-13-2の説明が福田主査よりあった。
- (2) HB-C-13-3の説明が、炉物理Grの大谷氏よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. 現状での貫通部の遮蔽は問題ないか。

A. 現状の原子炉容器の大きさ、および上部流入方式であれば問題ない。よって原子炉容器を小さくすると中性子の減衰効果が薄くなるので好ましくない。

Q. 計算費用はどの位掛ったか。

A. 民間ベースで換算すると約9千万円となる。CPU時間は27時間ぐらい。

Q. 高速中性子と全中性子の違いは何か。

A. 高速中性子は 10^6 eV以上のものを言い、機器の損傷に考え全中性子はそれ以下の中性子であり、放射化に考える必要がある。

Q. 遮蔽壁2mの厚さは何より決まっているのか。

A. 計算結果では、遮蔽壁が無くても2次系ナトリウムへの放射化は問題ない。従って遮蔽壁の厚さは地震等の強度から決まっていると思われるが、建築家に言わせると遮蔽から決まっているとのことであるので、詳細な検討が必要である。

- (3) HB-C-13-4の説明が谷本幹事よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. C/V貫通部の溶接線はなぜ無いのか。

A. ISIが出来ないためと思われる。

- (4) HB-C-13-5の説明が月森委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. EJMA式は何を基準に作成されたのか。

A. 解析をベースに作成されたと思う。

Q. ベローズの解析を行なう上で、必要なデータを機器室に依頼してはどうか。

A. 計測装置の関係か、圧縮と引張りのバネ定数しかメーカーの提示はなかった。

Q. メーカーで必要なデータが出なければ、機器室の試験でデータを取る計画をしたらどうか。

A. 機器室と検討してみる。

Q. ファスニングモデルでは、せん断係数(Ks)は考えなくてよいのではないか。

A. 考えた方がよい。また数値は実測より求める必要がある。

- (5) HB-C-13-6の説明が谷本幹事よりあった。

(6) H B - C - 13 - 7 の説明が金子委員よりあった。

(7) その他

- ・ 遮蔽壁の必要厚さについては、本社内で問合せる（天田氏担当）
- ・ 格納容器内に設置する機器等の基本的な事柄を詰めてゆく。
- ・ 解析の評価を行なってみる。また 1 月以降の計画を立てる。
- ・ 次回は 12 / 21（金） 13 : 30 ~ の予定とする。

第14回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 59. 12. 20 13:30～17:00
2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

松本副主査 (機器室)

委 員

(大洗)

月森 (構造室)

小峰 (材料室)

鈴木 (機器室)

片岡 (機器室)

小杉 (L. F B R)

進藤 (システム設計室)

戸根 (システム設計室)

三村 (システム設計室)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

H B - C - 14 - 1 第13回システム設計W／G議事録

H B - C - 14 - 2 格納容器径45mの配管引廻し検討 (戸根案)

H B - C - 14 - 3 格納容器径45mの配管引廻し検討 (三村案)

H B - C - 14 - 4 機器室42Bベローズのコンボリューションの応力

H B - C - 14 - 5 ベローズ継手のFEMモデル化

「42B外圧型ジンバルタイプベローズ継手」

H B - C - 14 - 6 フローティング・サポート

- HB-C-14-7 機器ノズルの荷重評価
- HB-C-14-8 POST-DS (PDS) を用いた配管系の応力評価
- HB-C-14-9 炉容器室厚さについて
- HB-C-14-10 「昭和58、59年度活動報告について」

5. 議 題

- (1) 第13回の議事録が確認された。
- (2) HB-C-14-2 の説明が戸根委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。
 - Q. 前回金子氏の引廻し案でベローズ無しが考えられていたが、今回なぜ必要か。
 - A. 引廻し案の違いによる。
 - Q. ホットレグに比べコールドレグはなぜ応力が高いのか。
 - A. 配管、ベローズ、チェック弁の剛性が高く、フレキシビリティがとれないため。
 - Q. 例えば 550℃を 500℃に下げた場合の効果はどうなるか。
 - A. 材料の許容値も大きくなり、それに従ってベローズ角変位も大きくなると思われるが、検討していない。
 - Q. コールドレグのベローズ角変位は、ホットレグに比べなぜ小さいのか。
 - A. コールドレグの内圧が高く、コンボリューションの座屈が起るため。
 - Q. コールドレグの角変位は 1.6° はどこから引用したのか。
 - A. 57年度の東芝設計からだ、詳細は調査する。
- (3) HB-C-14-3 の説明が三村委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。
 - ・ ホットレグ、コールドレグとも、各人の案が出ているが、各案の違いを表にまとめてはどうか → 整理する。
- (4) HB-C-14-4 の説明が鈴木委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。
 - Q. ベローズは自重によって撓まないか。
 - A. コンボリューション 3 mm の板厚ではほとんど撓みは無い。板厚 2 mm のものでは、少し撓むが、数値は不明。
 - Q. C_p 、 C_r は何か。
 - A. ベローズの計算等に用いる補正係数であり、EJMA の図より求める。
 - Q. 運転状態と設計条件の決め方で、設計温度は 20℃ 高く、圧力は 0.5~1.5 kg/cm² 高いがなぜか。

A. もんじゅの設計条件を引用して決めている。

Q. ベローズの圧損は大きいのではないか。

A. フロースリーブをもうけているので大きくないが、フロースリーブは配管径より少し締めてあるので、この影響の圧損がある。

Q. フロースリーブは、Naが流れることによって発生する振動に対して問題はないか。

A. フロースリーブ端部にカルマン渦の起振力によって振動を発生するが、メーカーの意見では共振点から離れているため問題ないとのことである。

Q. ベローズの使用方法で、外圧型は水平に、内圧型は垂直にして使用するとあるがなぜか。

A. ベローズ内のNaドレン性により用途を決めている。

(5) HB-C-14-5の説明が月森委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. FEMで何をしたのか。

A. 日立がベローズのハード部を解析した結果に基づき、ベローズを梁とPIPEに置き換えた剛性を求めた。

Q. ベローズの形状から剛性は判るのか、また汎用化したデータは出せるか。

A. ベローズは個々によって板厚、補強等が違っているので汎用化したデータは出せない。従ってFEM解析を行ない算出されたデータから簡易モデル化することになる。

Q. 現状での計算は妥当か。

A. 各社理論式を引用して剛性を出しているが、実際はFEM解析、実機のデータを取り算出する必要がある。

Q. 理論式はできないか。

A. コンボリューション部はEJMAの式等がある。

Q. ベローズの重量は配管に比べて大きいのか。

A. 配管はホットレグで約1350kg/mで、ベローズは約2750kg/mある。従ってベローズは約2倍の重さである。

(6) HB-C-14-6の説明が片岡委員よりあり、以下のような論議が行なわれた。

Q. 三菱との違いは何か。

A. 現状のポンプでは強度の点から成立しないとの事であったが、東芝案では成立するとの見通しである。

Q. インナーケーシングの地震による問題はないか。

- A. ポンプメーカー（エバラ）では、見通しがあるとの話であった。
- Q. 可撓機構はどういう構造か。
- A. ボールジョイントと思われるが、今後の検討課題である。
- Q. ポンプはどう動くのか。
- A. インナーケーシングは床面に剛に固定しており、外ケーシングが変位を吸収する。
- Q. サポートピンの材料は何を考えているか。
- A. 黒鉛押込型金属結晶材である。
- Q. 機器ノズルと配管の接続方法はどうか。
- A. ノズルは一般と同じであるが、入口部は外部ケーシングに出口部は内部ケーシングに溶接される。
- Q. ポンプ入口部のスナッパは、配管が地震荷重を受けもつので、不安ではないか。
- A. 機器間に配管を接続すれば、剛となるが、地震による振れは発生するので必要。
- Q. スナッパ移動量 170mmの変位が必要となっているが可能か。
- A. メーカーによれば、可能とのことである。
- Q. 今後の作業はどうか。
- A. 今年度はここまでであり、来年度は未定である。
- Q. ポンプは低回転時の振れに問題はないか。
- A. 内部ケーシングの固有振動数が、ポンプ回転数以上であれば、問題ないということであり、これを満足するには内部ケーシングφ3000mmの胴径とすればよい。
- (7) HB-C-14-7の説明が谷本幹事よりあり、以下のような論議が行なわれた。
- Q. $2\frac{1}{4}Cr-1Mo$ などはSyはSmに比べ倍程度大きいがどうしてか。
- A. 材料室に問合せしてみる。
- Q. 機器ノズルの強度は、この資料で評価すればよいが、ベローズのピン部の強度はどうするか。
- A. Bワーキング・グループの方へ問合せしてみる。
- (8) HB-C-14-8の説明が谷本幹事よりあった。
- (9) HB-C-14-9の説明が小杉氏よりあった。
- (10) HB-C-14-10の説明が福田主査よりあった。
- (11) 次回の予定は1月22日（火）13:30～を予定する。

第15回 配管用ベローズ継手システム設計W／G議事録

1. 日 時 : 60. 1. 25 13:30～17:00

2. 場 所 : 大洗工学センター システム設計室 B会議室

3. 出席者 (敬称略、順不同)

福田主 査 (システム設計室)

委 員

(大洗)

月森 (構造室)

小峰 (材料室)

小杉 (L. FBR)

進藤 (システム設計室)

戸根 (システム設計室)

三村 (システム設計室)

幹 事

谷本 (システム設計室)

4. 配布資料

HB-C-15-1 第14回システム設計W／G議事録

HB-C-15-2 配管ベローズ分科会システム設計W／G活動報告 (案)

HB-C-15-3 格納容器径45mにおける配管ベローズを用いた引廻し案の比較

HB-C-15-4 コールドレグベローズ継手、許容角変位に関する説明資料

HB-C-15-5 高速炉構造材料について

HB-C-15-6 42B配管用ベローズ継手 ヒンジ構造部の強度計算

5. 議 題

(1) 第14回システム設計W／G議事録が確認された。

(2) HB-C-15-2の説明が谷本幹事よりあり、以下のような論議が行なわれた。

- ・ 2.1.3 項「1 次冷却系室の遮蔽検討」については、発表の可否について炉物理 G r 大谷氏に問合せてみる。
- ・ 2.1.1 項 a) の前に主要条件として、機器の大きさ等を入れる。
- ・ 3.2 項「成立性の追求」は施工性、メンテナンス等を含んだものである。
- ・ 3.3 項「安全ロジックの策定」は項目を区切らないで、L B B、I S I、ギロチン破断文章中に書き表わす。

また、担当は大型炉、構造室をやめ、松本副主査、月森氏、谷本幹事とする。

- ・ ベローズのギロチン破断は無いものと考えられる。

薄肉ベローズでは、内圧等によってコンボリューション部が引き伸ばされて破損すると思われる。

- ・ 3.1 項「合理化の追求」では、格納容器径40mを目指し取組む。
- ・ 3.2 項「成立性の追求」の担当はシステム室からのメンバーで行なう。
- ・ 報告書の作成日程

2 / 4 : 作業検討項目を担当者へ配布（取まとめ者 → 担当者）

2 / 末 : 原稿提出（担当者 → 取まとめ者チェック → 幹事）

3 / 初～3 / 末 : 校正および印刷

(3) 今後の方針について

- ・ 2 月末に親分科会が開催され、各ワーキング・グループの活動報告を行ない、次年度以降の方針を決める。
- ・ 4 月以降システム設計 W / G の活動が認められれば、「システム設計 W / G 活動報告（案）」の 3 項「今後の課題」に取組む。
- ・ 上記「活動報告（案）」の 3.1 項「合理化の追求」に対し検討を行なった結果を、メーカーに作業依頼する。
- ・ 上記「活動報告（案）」の 3.3 項「安全ロック策定」については、ベローズ配管ループの整合性ということで、4 月以降の課題とした。

(4) H B - C - 15 - 3 の説明が谷本幹事よりあり、以下のような論議が行なわれた。

- ・ 記述変更について

2 頁のクロスオーバーレグの平面図の寸法は、側面図の寸法に改正する。

5 頁の C A S E - 3 の伸縮継手個数は 9 ヶに改正する。

7 頁の “ ” のコールドレグの応力は $17,320\text{kg/mm}^2$ に改正する。

- ・ CASE-1 のポンプ下のベローズはメンテナンス上問題となるのではないか。
 - ・ 第2次概念設計（I）に比べ、CASE1～CASE3 のエルボ、配管長が大きくなっているのは、熱膨張応力およびベローズ角変位とも許容値に対し、余裕のある配管引廻しのためと思われる。
 - ・ 実証炉設計研究（58年度）での配管ベローズに適した機器を使えば、ベローズ個数、配管長とも短縮できると思う。
 - ・ CASE1～CASE3 案では、58年度設計に比べ配管長が短縮されていないのは、機器仕様の違いからである。
 - ・ 今回比較した内容だけでは、一概に結論を出すことはできないので、とりあえずCASE-2 についてノズル圧力、座屈ベローズのハードウェアを含めた剛性のチェックを行う。
 - ・ 活動報告の中に2.2 項として、従来の引廻しとの比較を入れ、ワーキング・グループ案の特色をうかびあがらせる。
 - ・ 現在検討中の格納容器径45mをさらに短縮するとすれば、水平引廻し配管を立ち上げた引廻しにすれば可能と思われる。
 - ・ コールドレグ配管の熱膨張応力は、ベローズ継手を入れただけでは小さくならない。理由としてホットレグに比べ剛性が大きく、ベローズの角変位が取れないためと思われる。
 - ・ ホットレグポンプを用いた利点としては、圧損およびカバーガス圧の低減が考えられる。
 - ・ クロモリ鋼を一次系に使用することは、クリープ強度が SUS に比べ低い値であるので難しい。
 - ・ 1 次系にクロモリ鋼を使用すると、Na 中での脱炭が起り、強度が落ちる。
- (5) HB-C-15-4 の説明が月森委員よりあり、以下のような議論が行なわれた。
- ・ 図-32の1 次応力は内圧によるものであり、ベローズ角変位に関するものではない。
 - ・ コールドレグベローズは内圧が高いので、板厚を薄くし角変位を大きくとることはできないようだ。
 - ・ 図-33では、20山であれば角変位 $\pm 1.2^\circ$ となるが、ベローズの座屈およびたわみが問題となるとと思われる。
 - ・ コールドレグベローズの角変位が $\pm 1.2^\circ$ と $\pm 0.8^\circ$ では、配管長および格納容器径

に、どう短縮差に違いがでるかを、4月以降検討する必要がある。

- ・ ベローズとエルボの応力を均等化するには、ストッパーガイド等を使用すればよいが、FBRは大口径薄肉配管であるため、変形等が問題となる。
- ・ エルボおよびベローズの限界を、もう一度整理してみる必要がある。
- ・ ベローズを用いた配管系の肉厚を見直す必要があるのではないか。

(6) HB-C-15-5の説明が小峰委員よりあり、以下の論議が行なわれた。

- ・ フェライト鋼は 371℃以上、オーステナイト系ステンレス鋼は 427℃を超える高温域で使用の場合はクリープを考えるが、コールドレグ配管はクリープ効果が顕著でない。
- ・ 応力の $S_o \sim S_r$ の S の後に付く文字 $o \sim r$ は何を意味するか調査する。
- ・ 板と管で強度が違うのは、加工、熱処理が加わるためと思われる。
- ・ Code N-47では応力分類により詳細な応力評価を行なっているが、ボイラーの規準に比べれば裕度が大きいのではないか。
- ・ 9Cr-1Mo鋼の強度は、SUS321に近い値でSCCに強く、クリープも問題ないと思われる。
- ・ 9Cr-1Mo鋼の問題はぜい性破壊と溶接性にある。
- ・ 新材料のデータを蓄積する場合、ある程度傾向がつかめているので、いままでのような期間は費さないと思う。
- ・ 9Cr-1Mo鋼の拡散水素量は、SUSに比べ少ないようだ。

(7) HB-C-15-6の説明が谷本幹事よりあり、以下のような論議が行なわれた。

- ・ ヒンジ部の強度計算は、JISおよび材料力学より求めていると思われる。

(8) その他

- ・ 活動報告の原稿依頼は12月4日に取まとめ者より担当者へ行う。
- ・ 原稿提出は2月末とする。
- ・ 次回開催予定日は2月22日（金）13:30～とする。

付録(2) 有限要素モデル化

1. 配管ベローズ継手の有限要素モデル化

(1) 二重円筒ファスニングモデル化

(2) はり要素としてのモデル化

(3) モデル化の比較

2. 逆止弁のモデル化

1. 配管ベローズ継手の有限要素モデル化

ベローズ継手を含む配管系のFEM解析を行う場合、使用するプログラムの機能によっても異なるが、ベローズ継手の部分をモデル化する必要がある。

ここでは、配管要素を使用した二重円筒ファスニングモデルおよび、3次元はり要素を使用したはりモデルについて説明する。

(1) 二重円筒ファスニングモデル

(i) 概 要

ベローズ継手は、ある自由度については柔であるが、ハードウェアに拘束される自由度については比較的剛となる。ここで提案するモデルは、汎用性非線形構造解析システムFINASのファスニング機能を利用して、ベローズ継手を柔な円筒要素と、剛な円筒要素(PIPE 2 element)の並列結合として扱う。以下、これを二重円筒ファスニングモデルと呼ぶ。

(ii) ヒンジ型ベローズ継手の一例

以下にモデル化の例として、ヒンジ型ベローズをとりあげて示す。

(a) ヒンジ型ベローズ継手の剛性

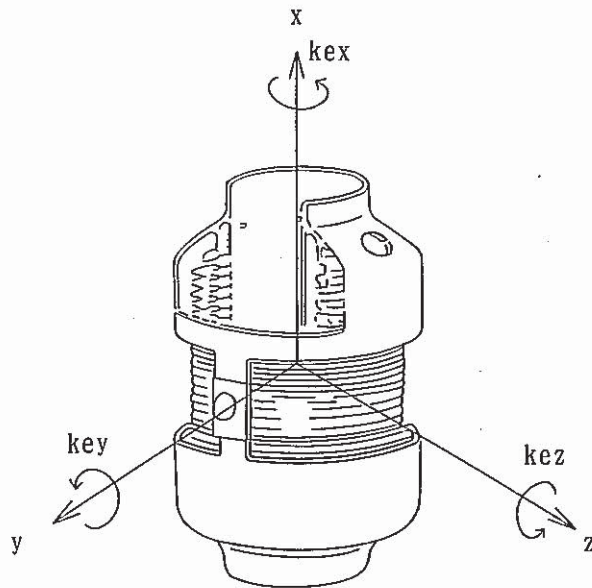
図に示す用に各方向のばね定数を定め、軸方向には充分剛な値、回転方向についてはベローズの曲げばね定数を与える。

- ・ 軸方向 $K_x = 10^4 \text{ kg/mm}$

$$\left[K_x = \frac{\pi E d \cdot t_2}{L} \right]$$

- ・ 回転方向 $K_{\theta y}, K_{\theta z} = 2.88 \times 10^7 \text{ kgmm/rad}$

$$\left[K_{\theta y}, K_{\theta z} = \frac{\pi E \cdot d^3 \cdot t_1}{8 L} \right]$$



(b) 寸 法

- ・ ベローズ長さ $L = 600\text{mm}$ (12山)
- ・ 等価円筒直径 $d = 1000\text{mm}$ (ピッチ径程度)
- ・ 等価円筒肉厚 (Kx、kθyの式より算出)
 - ベローズコンポリューション $t_1 = 2.768 \times 10^{-3}\text{mm}$
 - ハードウェア $t_2 = 0.12\text{mm}$

(c) 材料定数

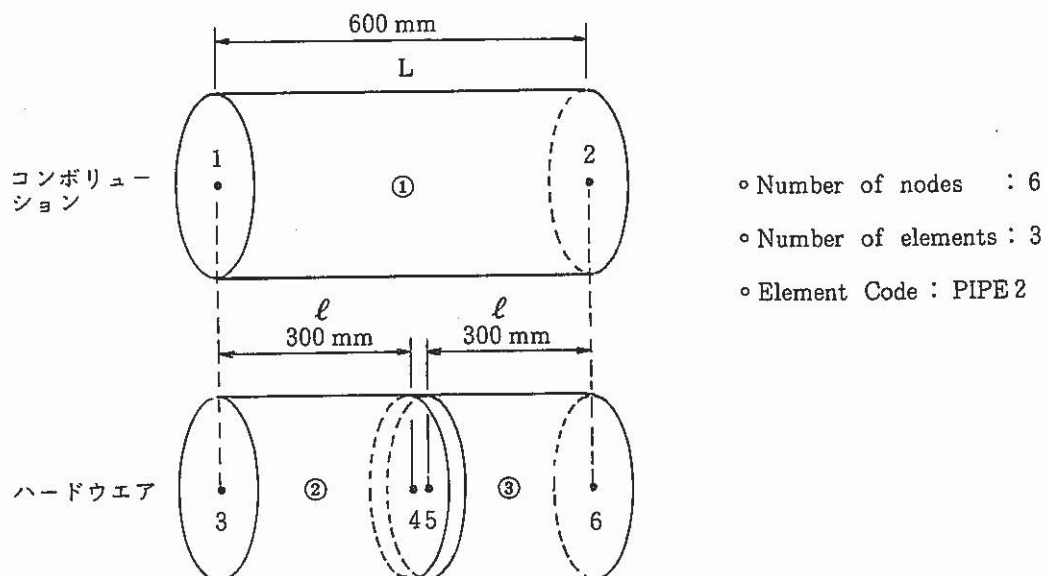
- ・ ヤング率 $E = 1.50 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$
- ・ ボアソン比 $\nu = 0.3$

(d) 有限要素によるモデル化

○ 要素と節点

ベーズ継手モデルは、下図の様に3つの2節点配管要素 (PIPE2) と6つの節点から成っている。

要素①は、ベローズコンポリューションを、要素②及び③は、ヒンジ構造を模擬しており、節点4と5の結合部はピン構造部分に相当する。



○ 幾何形状

円筒要素の寸法は(b)に従って次の様に定める。

要素 ① : 外径 $d = 1000\text{mm}$ 、長さ $L = 600\text{mm}$

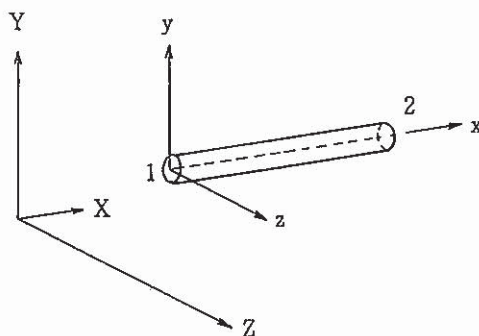
板厚 $t_r = 2.768 \times 10^{-3}\text{mm}$

要素②、③ : 外径 $d = 1000\text{mm}$ 、長さ $\ell = 300\text{mm}$

板厚 $t_r = 0.12\text{mm}$

○ 座 標 系

要素座標及び全体座標を下図のように定める。回転変移については、各軸まわりに右ねじ方向を正とする。



○ ファスニング

ベローズを表わす要素①の節点1とハードウェアを表わす要素②の節点3、同じく節点2と節点6は一体となって動く。又、ヒンジ構造を表わす要素②と③の結合（節点4と5）はピンまわりの回転（ θ_y ）のみ独立で他の自由度は一致する。従ってファスニングの条件は、次の様になる。

- ・ 節点 1と3 : $\delta x, \delta y, \delta z, \theta x, \theta y, \theta z$
- ・ 節点 2と6 : $\delta x, \delta y, \delta z, \theta x, \theta y, \theta z$
- ・ 節点 4と5 : $\delta x, \delta y, \delta z, \theta x, \theta z$

(2) はり要素のモデル化

(i) はり要素モデル化

ベローズのモデル化は、汎用構造解析プログラF I N A Sのはり要素（S B E A M 2）を用いて行う。

ベローズ継手はジンバル型とし、軸方向、回転方向、振り剛性をモデル化する。

(ii) ジンバル型ベローズ継手の一例

(a) ジンバル型ベローズ継手の剛性

- ・ 軸方向剛性 : $K_x = 10^4 \text{ kg/mm}$

$$\left[K_x = \frac{E \cdot A}{L} \right]$$

- ・ 軸直角方向剛性 : $K_x = 10^4 \text{ kg/mm}$

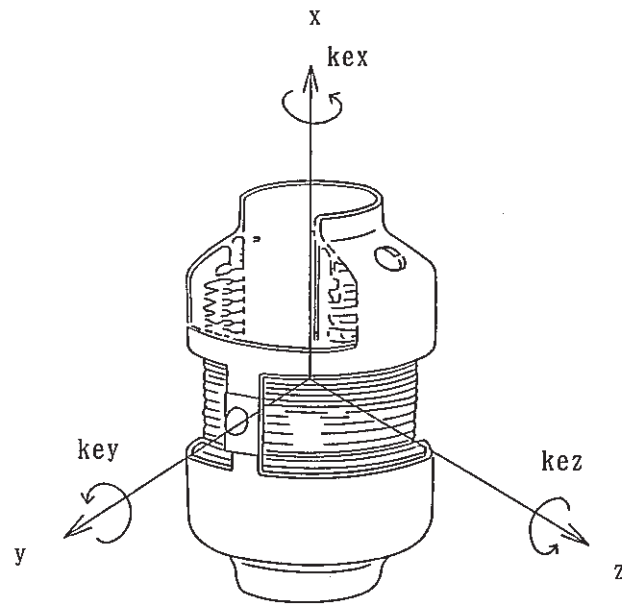
$$\left[K_x = \frac{G \cdot A}{L} \right]$$

- ・ 回転バネ剛性 : $K_{\theta x}, K_{\theta z} = 2.88 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{mm/rad}$

$$\left[K_{\theta y}, K_{\theta z} = \frac{E \cdot I}{L} \right]$$

- ・ 振り剛性 : 剛（配管肉厚の2倍とする）

$$\left[K_{\theta x} = \frac{G \cdot 2 I}{L} \right]$$



(b) 寸 法

- ・ ベローズ長さ $L = 600\text{mm}$ (12山)

(c) 物性値

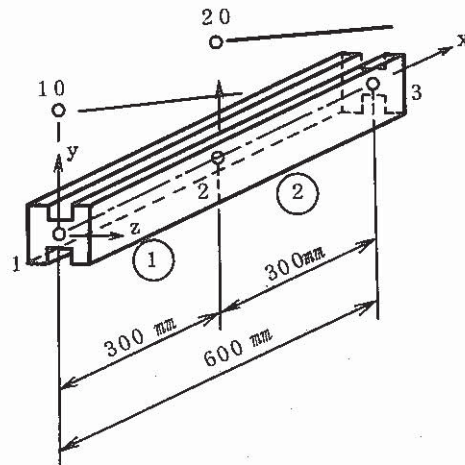
- ・ 材 質 SUS 3 0 4
- ・ ヤ ン グ 率 $E = 1.59 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$
- ・ 横弾性係数 $G = E / 2 (1 + \nu) \text{ kg/mm}^2$
- ・ ボアソン比 $\nu = 0.3$

(d) 有限要素によるモデル化

- ・ 要素と節点

ベローズ継手のモデルは、下図の様に2つの3接点はり要素 (SBEAM2) から成っている。

要素①、②はベローズ継手のベローズコンボリュションとハードウェア部を模擬している。



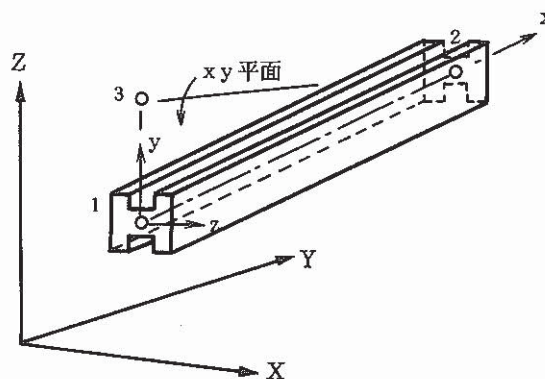
- 幾何形状

はり要素①、②の寸法は(b)に従って、次の様に定める。

- 等価断面積 $A = 3777.4 \text{ mm}^2$
- 有効せん断面積 $A_y, A_z = 981.1 \text{ mm}^2$
- 等価断面 2 次モーメント $I = 1.087 \times 10^6 \text{ mm}^4$
- 等価ねじり定数 $J = 1.310 \times 10^{10} \text{ mm}^4$

- 座 標 系

要素座標系及び、全体座標系を下図のように定める。回転変位については、各軸まわりに右ねじ方向を正とする。



(3) 各モデルの比較

(i) 解析結果

(a) はりモデルと二重円筒ファスングモデルによる比較

- ・ 変位負荷 (step 1)

図 1 解析モデル及び解析結果

表 1 解析結果一覧

- ・ 変位+熱膨張 (step 2)

図 2 解析モデル及び解析結果

表 2 解析結果一覧

図 1、2 及び表 1、2 ははりモデルと二重円筒モデルを用いた配管系静的解析の比較であるが、この解析では代表節点での反力の際は 1 %程度であった。なお詳細については、「ベローズの解析のための簡易計算手法」(PNC SN9410 86-12)を参照願いたい。

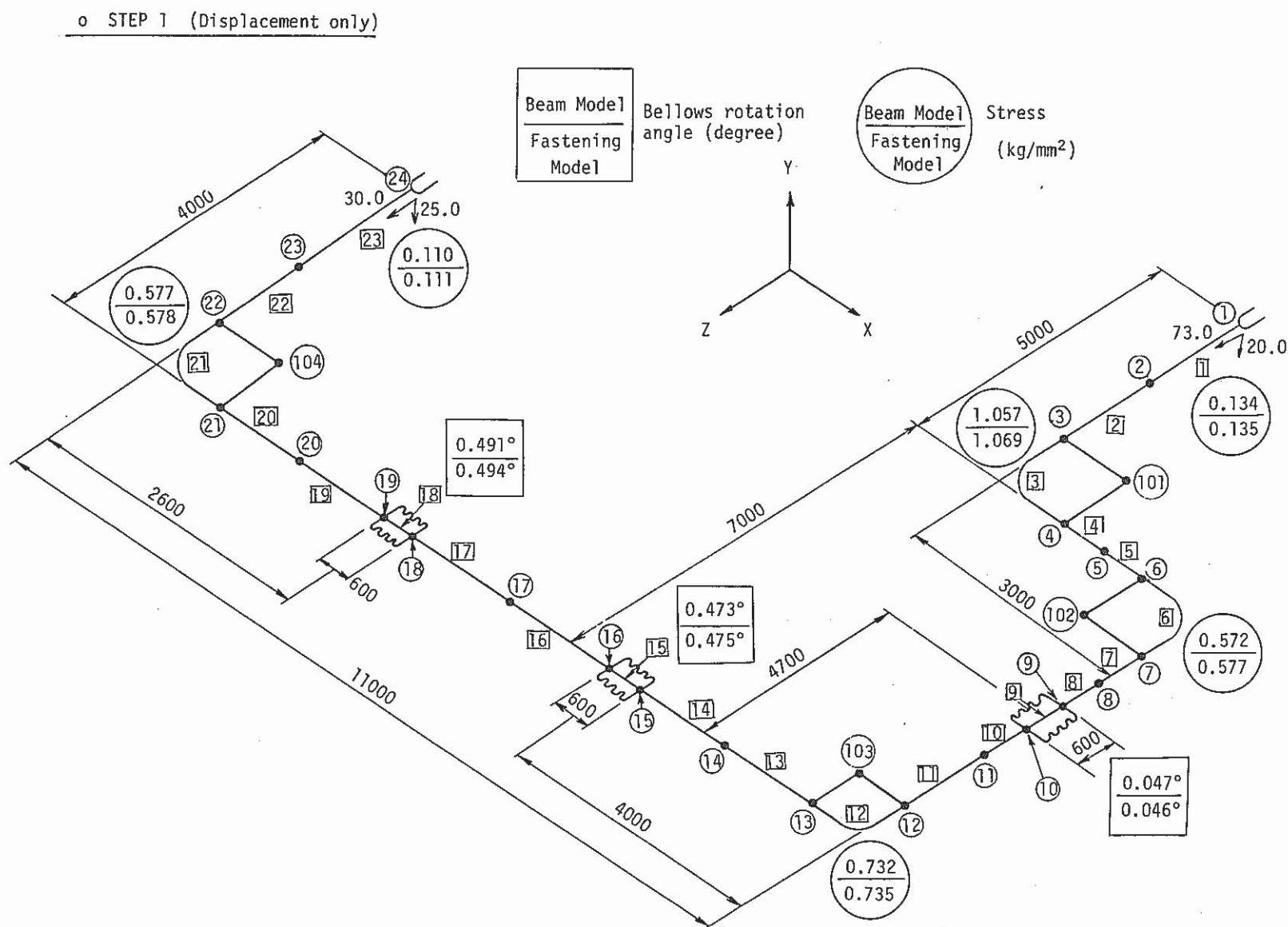


図1 解析モデル及び解析結果 (step 1)

o STEP 2 (Displacement+thermal expansion)

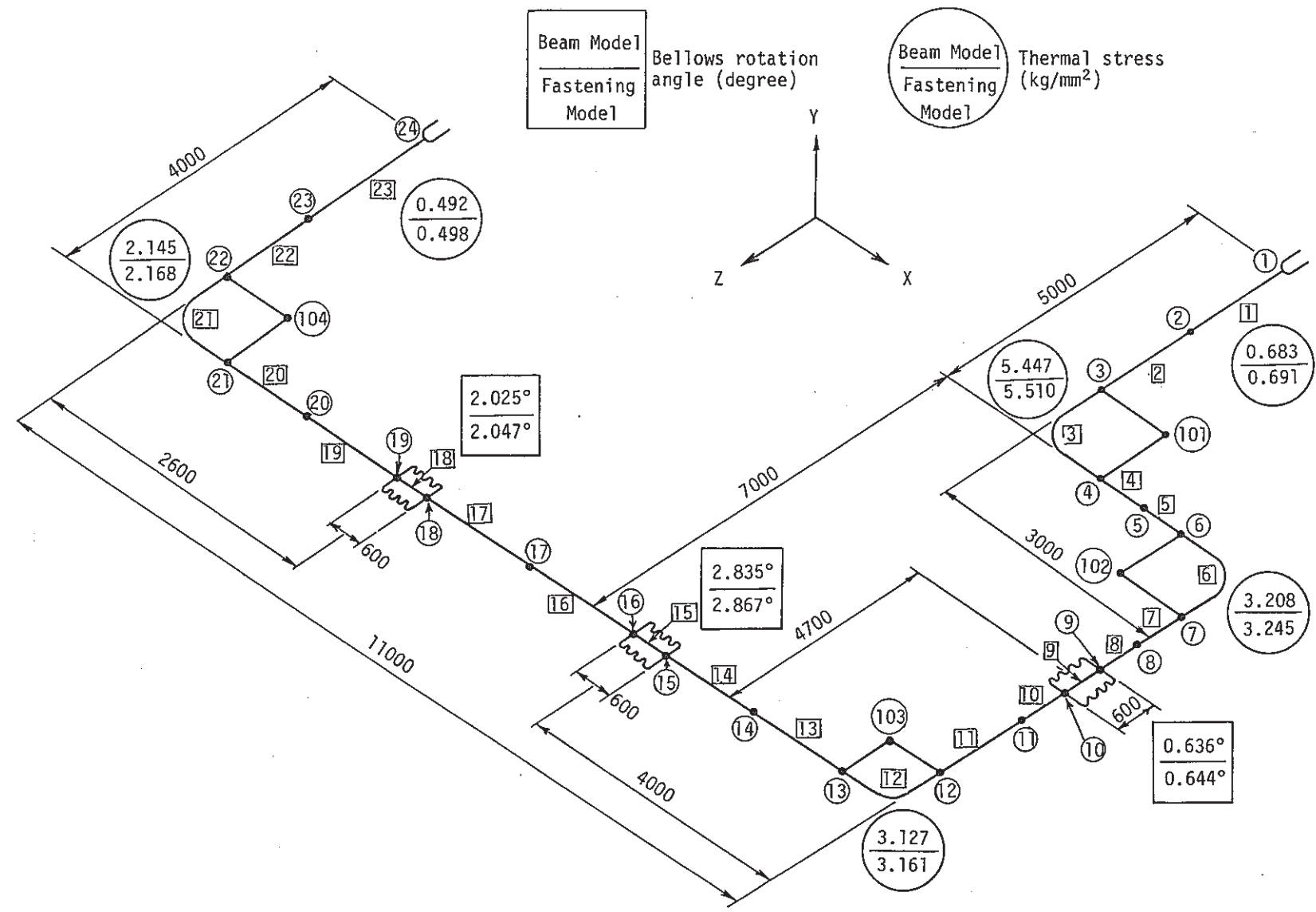


図2 解析モデル及び解析結果 (step 2)

表1 はりモデルと二重円筒ファスニングモデルの解析結果
step 1 (変位負荷)

節 点	主要節点	ベローズ部 の 要 素	相対変位角 (ベローズ端)	曲 げ (kg・mm)	ね じ り (kg・mm)	せん 断 (kg)	軸 反 力 (kg)
①	①～②	SBEAM2	—	1.64×10^6	-1.26×10^5	137.5	-172.4
	(直 管)	PIPE2(FAS)	—	※ 1.66×10^6	1.08×10^5	138.6	※-174.5
③	③～④	SBEAM2	—	7.98×10^4	9.60×10^5	219.9	17.2
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	6.78×10^4	※ -9.72×10^5	※222.4	14.2
⑥	⑥～⑦	SBEAM2	—	5.20×10^5	4.01×10^4	137.5	172.4
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	5.25×10^5	3.67×10^4	138.6	※ 174.5
⑨	⑨～⑩	SBEAM2	0.047°	1.08×10^5	-5.72×10^3	137.5	-172.4
	(ベローズ)	PIPE2(FAS)	0.046°	8.96×10^4	-8.25×10^3	138.6	-174.5
⑫	⑫～⑬	SBEAM2	—	1.23×10^5	-6.56×10^5	219.9	-17.2
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	9.87×10^4	-6.63×10^5	※222.4	-14.2
⑮	⑮～⑯	SBEAM2	0.473°	3.38×10^5	8.02×10^4	137.5	-172.4
	(ベローズ)	PIPE2(FAS)	0.475°	3.41×10^5	6.28×10^4	138.6	-174.5
⑱	⑱～⑲	SBEAM2	0.491°	2.68×10^5	8.02×10^4	137.5	-172.4
	(ベローズ)	PIPE2(FAS)	0.494°	2.69×10^5	6.28×10^4	138.6	-174.5
㉑	㉑～㉒	SBEAM2	—	5.20×10^5	8.02×10^4	137.5	-172.4
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	5.23×10^5	6.28×10^4	138.6	-174.5
㉔	㉔～㉕	SBEAM2	—	1.35×10^6	-1.15×10^4	137.5	172.4
	(直 管)	PIPE2(FAS)	—	1.37×10^6	-5.96×10^3	138.6	※ 174.5

※ : 最大値

表2 はりモデルと二重円筒ファスニングモデルの解析結果
step 2 (変位+熱膨張)

節 点	主要節点	ベローズ部 の 要 素	相対変位角 (ベロ-端)	曲 げ (kg・mm)	ね じ り (kg・mm)	せん 断 (kg)	軸 反 力 (kg)
①	①～②	SBEAM2	—	8.39×10^6	-1.26×10^5	575.5	-869.3
	(直 管)	PIPE2(FAS)	—	※ 8.48×10^6	-1.08×10^5	581.9	※-879.3
③	③～④	SBEAM2	—	7.98×10^4	-4.96×10^5	1043.4	17.2
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	6.78×10^4	※ -5.02×10^6	※1055.3	14.2
⑥	⑥～⑦	SBEAM2	—	2.93×10^6	4.01×10^4	576.9	869.6
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	2.96×10^6	3.67×10^4	583.2	※ 879.6
⑨	⑨～⑩	SBEAM2	0.636°	5.80×10^5	-5.72×10^3	577.1	-869.3
	(ベローズ)	PIPE2(FAS)	0.644°	5.84×10^5	-8.25×10^3	583.5	-879.3
⑫	⑫～⑬	SBEAM2	—	1.23×10^5	-2.85×10^6	1042.9	-17.2
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	9.87×10^4	-2.88×10^6	1054.8	-14.2
⑮	⑮～⑯	SBEAM2	2.835°	1.64×10^6	8.02×10^4	577.1	-869.3
	(ベローズ)	PIPE2(FAS)	2.867°	1.66×10^6	6.28×10^4	583.5	-879.3
⑱	⑱～⑲	SBEAM2	2.025°	8.97×10^5	8.02×10^4	577.1	869.3
	(ベローズ)	PIPE2(FAS)	2.047°	9.06×10^5	6.28×10^4	583.5	-879.3
㉑	㉑～㉒	SBEAM2	—	1.95×10^6	8.02×10^4	577.4	-869.0
	(エルボ)	PIPE2(FAS)	—	1.98×10^6	6.28×10^4	583.8	-879.0
㉔	㉔～㉕	SBEAM2	—	6.05×10^6	-1.15×10^4	578.8	869.3
	(直 管)	PIPE2(FAS)	—	6.12×10^6	-5.96×10^3	585.2	879.3

※ : 最大値

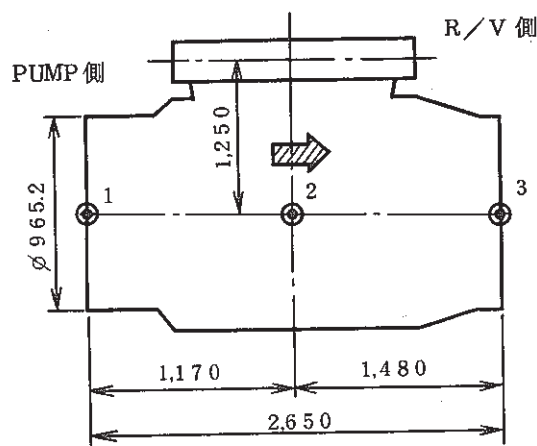
2. 逆止弁のモデル化

(i) 逆止弁のモデル化

逆止弁のモデル化は、汎用構造解析プログラム F I N A S の配管要素 (P I P E 2) を用いて行う。

(a) 剛 性

- ・ 配管の 2 倍の剛性 (肉厚 2 倍)



(b) 寸 法

- ・ 逆止弁の長さ $L = 2650\text{mm}$

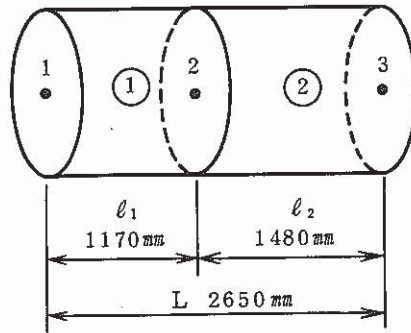
(c) 物 性 値

- ・ 材 質 SUS 304
- ・ ヤング率 $E = 1.723 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$
- ・ ボアソン比 $\nu = 0.3$

(d) 有限要素によるモデル化

- ・ 要素と節点

逆止弁のモデルは、下図の様に 2 つの 2 接点配管要素 (P I P E 2) から成っている。要素①、②は逆止弁の本体部を模擬している。



・ 幾何形状

配管要素の寸法は(a)及び(b)に従って、次の様に定める。

要素 ① : 外径 $d = 965.2 \text{ mm}$ 、長さ $\ell_1 = 1170 \text{ mm}$
肉厚 $t = 47.6 \text{ mm}$

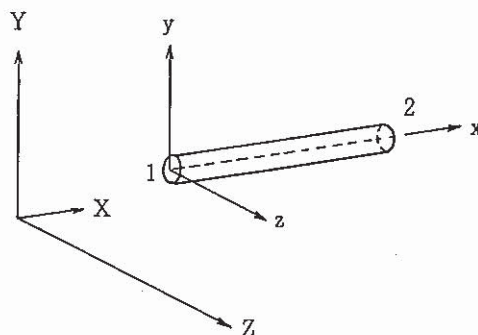
要素 ② : 外径 $d = 965.2 \text{ mm}$ 、長さ $\ell_2 = 1480 \text{ mm}$
肉厚 $t = 47.6 \text{ mm}$

・ 荷 重

接点 2 は弁本体重量 (7615kg) を、要素①、②はナトリウム重量(883kg/m) を与える。

・ 座 標 系

要素座標系及び、全体座標系を下図のように定める。回転変位については、角軸まわりに右ねじ方向を正とする。



付録(3) 支持装置のピッチ検討

1. ハンガの支持スパン検討

- (1) 曲げ応力、せん断応力の合成
- (2) たわみの制限
- (3) 最大支持スパンの計算

2. 耐震用支持装置

- (1) 固有振動数によるスパン計算
- (2) パイプクランプの検討
- (3) 保 温 材
- (4) クランプ重量

1. ハンガの支持スパン検討

配管自重による応力およびたわみ量は、ANSI B31.1では、次の条件を定義している。

- (a) 水平配管のスタンダード管 (Sch 40) で、温度は 400℃
- (b) 中間に集中荷重 (フランジ、バルブなど) のある配管には適用されない。
- (c) 曲げ応力、せん断応力の合成が 1.05kg/mm^2 、スパンの中央たわみが 2.54mm

上記条件は、B31.1が火力発電を対象にしている。従って、実証炉用として配管材質、温度等の見直しを行い応力およびたわみ量を求める。

(1) 曲げ応力、せん断応力の合成

火力発電の鋼管材質を $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ と考え、実証炉で使用する SUS304 の応力を求める。

	(イ) 断面係数比	(ロ) 材 料 の 応 力 比	(ハ) 使用温度に よる応力比	(ニ) ANSI B31.1 の 応 力	(イ)×(ロ)× (ハ)×(ニ) 実証炉応力
ホ ッ ト レ グ (42B×Sch20)	1.317	0.933	0.879	1.05kg/mm	1.134kg/mm
クロソオーバレグ (42B×Sch40)	1.0	"	"	"	0.816kg/mm
コ ー ル ド レ グ (38B×Sch40)	"	"	1.0	"	0.980kg/mm

注) (イ) は Sch 40 との比 : $\frac{\text{Sch 40}}{\text{実証炉での Sch}}$

(ロ) は 400℃における S_o 値の比 : $\frac{\text{SUS304}}{2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}}$

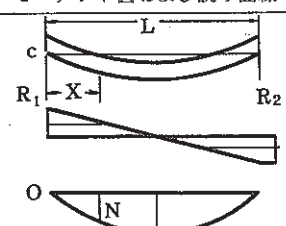
(ハ) SUS304 S_o 値の比 : $\frac{\text{使用温度}}{400^\circ\text{C}}$

(2) たわみの制限

配管を両端単純支持、等分布荷重と考えると、スパンの中央のたわみ量は

$$Y_{\max} = \frac{5WL^4}{384EI}$$
 となる (1)

(機械設計便覧より)

荷重、せん断力図、曲げ モーメント図および読み曲線	反力Rおよびせん断力F	曲げモーメントM	撓み y
	$R_1 = R_2 = \frac{wL}{2}$ $F = \frac{w}{2} (L - 2x)$ $F_{\max} = \pm \frac{wL}{2}$	$M = \frac{wx}{2} (L - x)$ $x = \frac{L}{2} : \text{---}$ $M_{\max} = \frac{wL^2}{8}$	$y = \frac{wL^4}{24EI} \left(\frac{x}{L} - \frac{2x^3}{L^3} + \frac{x^4}{L^4} \right)$ $x = \frac{L}{2} : \text{---}$ $y_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5L^2}{48Ee}$

2 ¼ Cr – 1 Mo を SUS 3 0 4 に換算してたわみ量を求める。

	(イ) 断面 2 次 モーメント 比	(ロ) ヤング率の 比	(ハ) 使用温度に よるヤング 率比	(ニ) ANSI B31.1 のたわみ量	(イ) × (ロ) × (ハ) × (ニ) 実証炉たわみ量
ホ ッ ト レ グ	1.317	1.070	1.084	2.540mm	3.880 mm
クロスオーバーレグ	1.0	"	"	"	2.946 mm
コ ー ル ド レ グ	"	"	0.991	"	2.693 mm

注) (イ) は S c h 4 0 との比 : $\frac{S c h 4 0}{\text{実証炉での } S c h}$

(ロ) は 400℃におけるヤング率の比 : $\frac{2 \frac{1}{4} 4 C r - 1 M o}{S U S 3 0 4}$

(ハ) SUS 3 0 4 の温度 : $\frac{400^{\circ}C}{\text{使用温度}}$

(3) 最大支持スパンの計算（両端単純支持）

実証炉用として求めた応力、たわみ量よりスパンを計算する。応力よりスパンを考えると、せん断応力は曲げ応力に比べ小さいので、ここでは曲げ応力のみ考えると、スパンは次式より求められる。

$$\sigma = \frac{M}{Z} \quad \text{より} \quad \text{等分布荷重の} \quad M = \frac{WL^2}{8} \quad \text{なので}$$

$$L = \sqrt{\frac{8 \sigma Z}{W}} \quad \text{となる。}$$

たわみ量からスパンは次式に求められる。（等分布荷重の時）

$$Y_{\max} = \frac{5 WL^4}{384 EI} \quad \text{より}$$

$$L = \left(\frac{384 EI Y_{\max}}{5 W} \right)^{1/4} \quad \text{となる。}$$

ここで

	ホ ッ ト レ グ	ク ロ ス オ ー バ レ グ	コ ー ル ド レ グ
E	1.57×10^4	1.716×10^4	1.716×10^4
I	6.549×10^9	8.629×10^9	6.354×10^9
*W	1.35	1.2	1.25

W：単位当りの重量（kg/mm）

L：支持スパン（mm）

I：断面2次モーメント（mm⁴）

Z：断面係数（mm³）

E：ヤング率（kg/mm²）

Y：たわみ量（mm）

* 単重は東芝は57年度設計を参照

以上のことから、ホットレグ、クロスオーバーレグ、コールドレグの最大支持スパン計算結果を表 1 に示す。

表 1

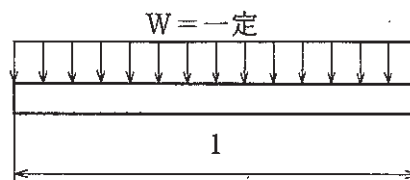
	(L1) 応力より求めたスパン (m)	(L2) たわみ量より 求めたスパン (m)	Min (L1, L2) (m) 最大支持スパン
ホットレグ配管	9.0	12.2	9.0
クロスオーバーレグ配管	9.6	12.9	9.6
コールドレグ配管	9.0	11.5	9.0

2. 耐震用支持装置

(1) 固有振動数によるスパン計算

配管の両端を単純支持すると、固有振動数は次式より求められる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \lambda^2 \sqrt{\frac{EI}{u l^4}} \dots\dots\dots (1)$$



(1)式より

$$I = \left[\frac{\lambda^2 \sqrt{\frac{EI}{u}}}{2\pi f} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

(2)式よりホットレグ、クロスオーバーレグ、コールドレグの定ピッチを計算する。

なお物性値、断面 2 次モーメント単重は下記による。

	ホ ッ ト レ グ	クロスオーバーレグ	コ ー ル ド レ グ
E	1.57×10^4	1.716×10^4	1.716×10^4
I	6.549×10^9	8.629×10^9	6.354×10^9
* W	1.35	1.2	1.25

* 単重は東芝57年度設計を参照した。

ここで

f : 固有振動数 (Hz) (20Hzとする)

λ : 振動数係数 $\left\{ \begin{array}{l} \text{斉藤、小堀より直管} 4.73 \\ 90^\circ \text{ エルボ} 4.06 \end{array} \right\}$

E : ヤング率 (kg/mm^2) (使用温度における値)

I : 断面 2 次モーメント (mm^4)

u : 単位長さの質量 ($\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{mm}^2$)

$$u = \frac{w}{g}$$

w : 単位長さ当たりの重さ (kg/mm)

g : 重力の加速度 (mm/sec^2)

以上の条件で求めたスナッパのスパン結果を表 2 示す。

表2 スナッパ支持スパン

(m)

	直 管 部 ス パ ン	90℃エルボ部スパン
ホ ッ ト レ グ 配 管	12.4	10.4
クロスオーバレグ配管	14.0	12.0
コ ー ル ド レ グ 配 管	12.6	11.0

(2) パイプクランプの検討

大型実証炉でのハイクランプは現在開発中であるが、配管解析を進める上で必要な項目（クランプ巾、重量）を決める必要がある。よってここではNHKカタログを参考に検討を行ったものである。

参照カタログ : 総合カタログ配管支持装置－81（日本発条㈱）

対象クランプ : NPCE-H型（高温－重荷重用）

但しH型サイズは24Bまでのため、M型の48Bを参照し、重量は1.5倍とする。

$$\left[\begin{array}{l} \text{24Bの重量比の検討} \end{array} \quad \frac{\text{H型}}{\text{M型}} = \frac{91.9\text{kg}}{64.7\text{kg}} = 1.42\text{倍} \right]$$

(3) 保 温 材

保温材の材質はセラミックス系、またはけい酸カルシウム系とする。なお保温厚はホットレグ、クロスオーバレグは 225mm、コールドレグは 150mmと考える。

(4) クランプ重量

① ホットレグ、クロスオーバレグ用

配管口径42Bで保温厚さ 225mmより $42\text{B} + 225\text{mm} \times 2 \approx 60\text{B}$

M型48Bの重量は 256mmであるので、60Bに換算すると 320kgの重さとなる。

これにH型とM型の比較 1.5倍を掛けると 480kgとなる。コールドレグ用の同様の考えで計算すると 400kgとなる。

- ・ ホットレグ用 $\Rightarrow$ 400kg
- ・ クロスオーバレグ用 $\Rightarrow$ 480kg
- ・ コールドレグ用 $\Rightarrow$ 400kg

なお、クランプ巾は、58年度設計より 400mmとする。

付録(4) 構造健全性評価

1. 機器ノズルの評価

(1) 座屈評価

(2) 熱膨張によるノズル評価

2. ヒンジ構造部の構造評価

(1) ヒンジ構造部の強度計算

(2) ヒンジ構造部の計算式

1. 機器ノズルの評価

(1) 座屈評価

BDS付録Gによれば、機器ノズルの座屈評価は次の式を満足すればよい。

$$\frac{F_c}{A} + \frac{D_o M}{2 y I} \leq \frac{S_y}{f_d} \quad \dots\dots\dots (G. 1)$$

ここで、 S_y は設計降伏点（別表1. 4による）であり、下記の値である。

- ・ 530℃ ⇒ 10.96kg/mm²
- ・ 385℃ ⇒ 12.28kg/mm²

また、安全係数は 3.0（別表2. 4による）である。

従って、これらをホットレグ、クロスオーバレグ、コールドレグ毎に求めると次の値とする。

表1-1 許容値

kg/mm²

	設計条件 運転状態 I, II
ホ ッ ト レ グ	3.65
ク ロ ス オ ー バ レ グ コ ー ル ド レ グ	4.09

(2) 熱膨張によるノズル評価

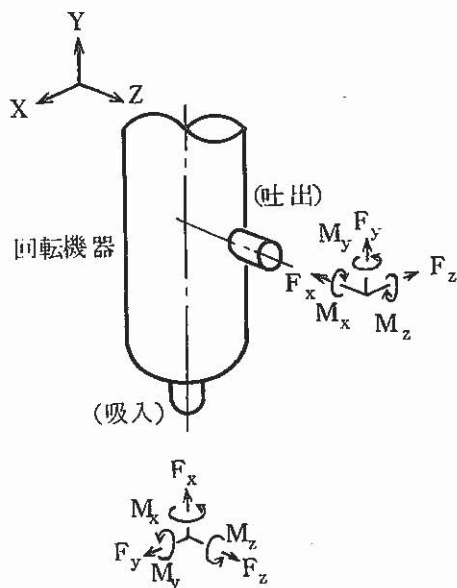
熱膨張の問題を処理する場合は、配管系に生じる熱応力と同時に、固定点や拘束点に生じる反力、モーメントが問題となる。これらはメーカーに請求して許容値をはっきりさせなければならない。メーカーからの許容値の提唱がない場合に一般に適用されているNEMA (National Electrical Manufacturers Association)とRossheim Marklの方法がある。

(i) ポンプ・コンプレッサのノズルの場合（NEMAを適用する。）

(a) 個々のノズルに対する許容値

$$F = \frac{500 D - M}{3} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{cases}
 F : \text{合力 (l b)} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \\
 M : \text{合成モーメント (f t-l b)} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} \\
 D : \text{ノズル直径の呼称径 (インチ)} \\
 \quad \text{但し 8 インチを越える場合は次式による。} \\
 D = \frac{16 + D'}{3} \quad (D' : \text{ノズルの呼称径})
 \end{cases}$$



(1)式は下記のグラフで表される。

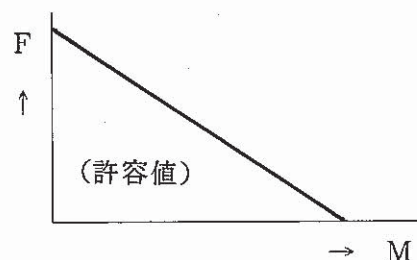


図 1-1 個々の座標系

(b) 吸入、吐出側ノズルの合成

(1)式を満足させた上で、次の条件を満足する必要がある。(吐出側ノズルを中心に作用する組合せ)

$$F_c = \frac{250 D_c - M_c}{2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{cases}
 F_c : \text{吸入側、中間、吐出側に作用する力の組合せ合力 (l b)} \\
 M_c : \text{吸入側、中間、吐出側に作用するモーメントの組合せモーメント} \\
 \quad \text{と、それぞれのノズルに作用する力によるモーメントの組合せ合成} \\
 \quad \text{(f t-l b)} \\
 D_c : \text{吸入側、中間、吐出側ノズルの面積の和に等しい、相当直径} \\
 \quad \text{(i n)} \\
 \quad \text{但し、} D_c < 9 \text{ のときは次式による。} \\
 D_c = \frac{18 + \text{相当直径}}{3}
 \end{cases}$$

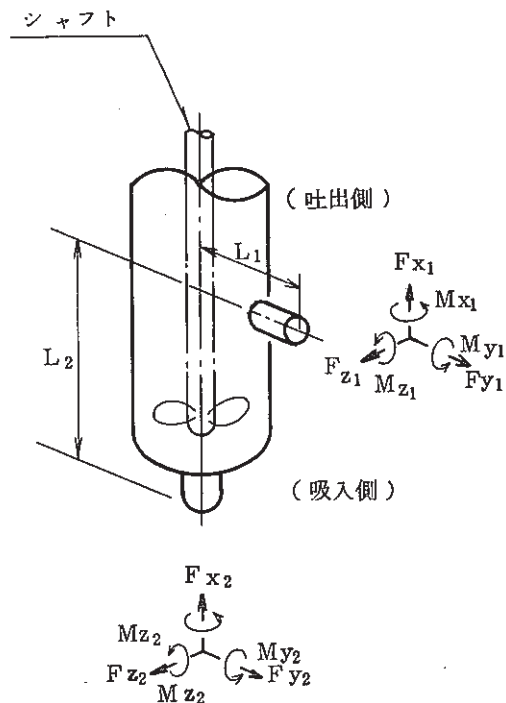
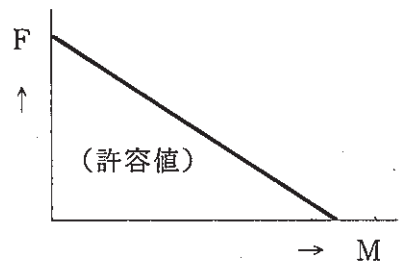


図 1 - 2 合成の座標系

(2)は下記のグラフで表される。



$$\begin{aligned} F_x &= F_{x1} + F_{x2} \\ F_y &= F_{y1} + F_{y2} \\ F_z &= F_{z1} + F_{z2} \\ M_x &= M_{x1} + M_{x2} + F_{z2} L_1 \\ M_y &= M_{y1} + M_{y2} - F_{z2} L_1 \\ M_z &= M_{z1} + M_{z2} - F_{z2} L_1 + F_y L_2 \end{aligned}$$

(注記)
・ F_x シャフトに平衡な方向とする。

(c) 単位換算

(1)、(2)式を単位換算すると下記の値となる。

$$F = 75.757D - 1.095 \times 10^{-3}M \dots\dots\dots (1)'$$

$$F_c = 56.818D_c - 1.643 \times 10^{-3}M \dots\dots\dots (2)'$$

(d) 許容値の計算

実証炉の1次主循環ポンプの許容値を求める。

- ・ 吸込側 $\Rightarrow$ 42B (断面積 $8.938 \times 10^5 \text{ mm}^2$)
- ・ 吐出側 $\Rightarrow$ 38B (断面積 $7.317 \times 10^5 \text{ mm}^2$)

吸込側と吐出側の面積の和 (A) は、 $1.625 \times 10^6 \text{ mm}^2$ となる。

- ・ 面積の和に相当する直径は、 $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 56.6 \text{ (in)}$ とする。

表 1-2 ノズルの口径

	回 転 機 器 の ノ ズ ル	
	吸 込 側	吐 出 側
個々のノズルの呼称径 $D = \frac{16 + D'}{3} \text{ (in)}$	19.333	18.000
吸入、吐出ノズルの相当直径 $D = \frac{(18 + \text{相当直径})}{3} \text{ (in)}$	24.867	

(1)' より

$$M = 0 \text{ のとき } F = 75.757 D$$

$$F = 0 \text{ のとき } M = \frac{75.757 D}{1.095 \times 10^{-3}}$$

(2)' より

$$M = 0 \text{ のとき } F_c = 56.181 D_c$$

$$F = 0 \text{ のとき } M_c = \frac{56.181 D_c}{1.634 \times 10^{-3}} \quad \text{となる。}$$

上記式に D、D_c を入れ計算すると下記の値となる。

表 1-3 個々の許容値

	熱膨張による配管系よりの許容値	
	吸 入 側	吐 出 側
個々のノズルの合力 $F \text{ (kg)}$	1460	1360
“ 合成モーメント $M \text{ (kg} \cdot \text{mm)}$	1.337×10^5	1.245×10^6
吸入、吐出ノズルの組合せ合力 $F_c \text{ (kg)}$	1410	
“ “ 合成モーメント $M_c \text{ (kg} \cdot \text{mm)}$	8.599×10^5	

以上NEMAの規格によって許容値を求めたが、NEMAでは組合せ合力、組合せ合成モーメントの各成分の制限値を決めている。従って計算によって求められた値であってもこの制限値を越えることがあってはならない。

NEMAによる組合せ合力、組合せ合成モーメントの各成分の制限値は次の通りである。

表 1 - 4 合成の許容値

合力等の種別	NEMAの制限値	計 算 値	使用する許容値
F x (kg)	560	1410	560
F y (kg)	1410	"	1410
F z (kg)	1130	"	1130
M x (kg・mm)	8.598×10^5	8.599×10^5	8.598×10^5
M y (kg・mm)	4.299×10^5	"	4.299×10^5
M z (kg・mm)	"	"	"

上記に示したとおり、許容値は制限値、計算値の小さな値を使用する。

(ii) 圧力容器のノズルの場合 (Rossheim MarkIの方法)

塔、槽、熱交換器などの圧力容器に加えられる配管からの反力およびモーメントに対する検討は、回転機器とは異なり、主として強度的な検討となる。

一般には有限要素法による応力解析かバイロードの方法が使用されるが、簡易的な方法として、K E L L O G社のDESIGN OF PIPING SYSTEM にRosshsim MarkIの提唱した方法が使用実績から判断して、安全性がある。

従ってここでは、Rossheim MarkIの方法により許容値を求めた。

表 1 - 5 個々の許容値

反 力 種 別		許 容 値	計 算 値
42 B	軸方向反力 (kg)	$1.474 D^3$	1.343×10^5
	軸直角方向反力 (kg)	$0.680 D^3$	6.196×10^4
	曲げおよび振りモーメント (kg・mm)	$8.298 \times 10^3 D^3$	7.562×10^8
38 B	軸方向反力 (kg)	$1.474 D^3$	1.016×10^5
	軸直角方向反力 (kg)	$0.680 D^3$	4.687×10^4
	曲げおよび振りモーメント (kg・mm)	$8.298 \times 10^3 D^3$	5.719×10^8

Dは外径ではなく、インチによる外径の呼称径に3インチを加えたものである。

D = 呼称径 + 3

2. ヒンジ構造部の構造評価

ヒンジ構造部は、支持構造物としての応力評価を行う必要がある。ヒンジ構造部の強度計算式として定まったものはないが、以下に考え方を示す。

(1) ヒンジ構造部の強度計算

(i) ヒンジ構造部形状

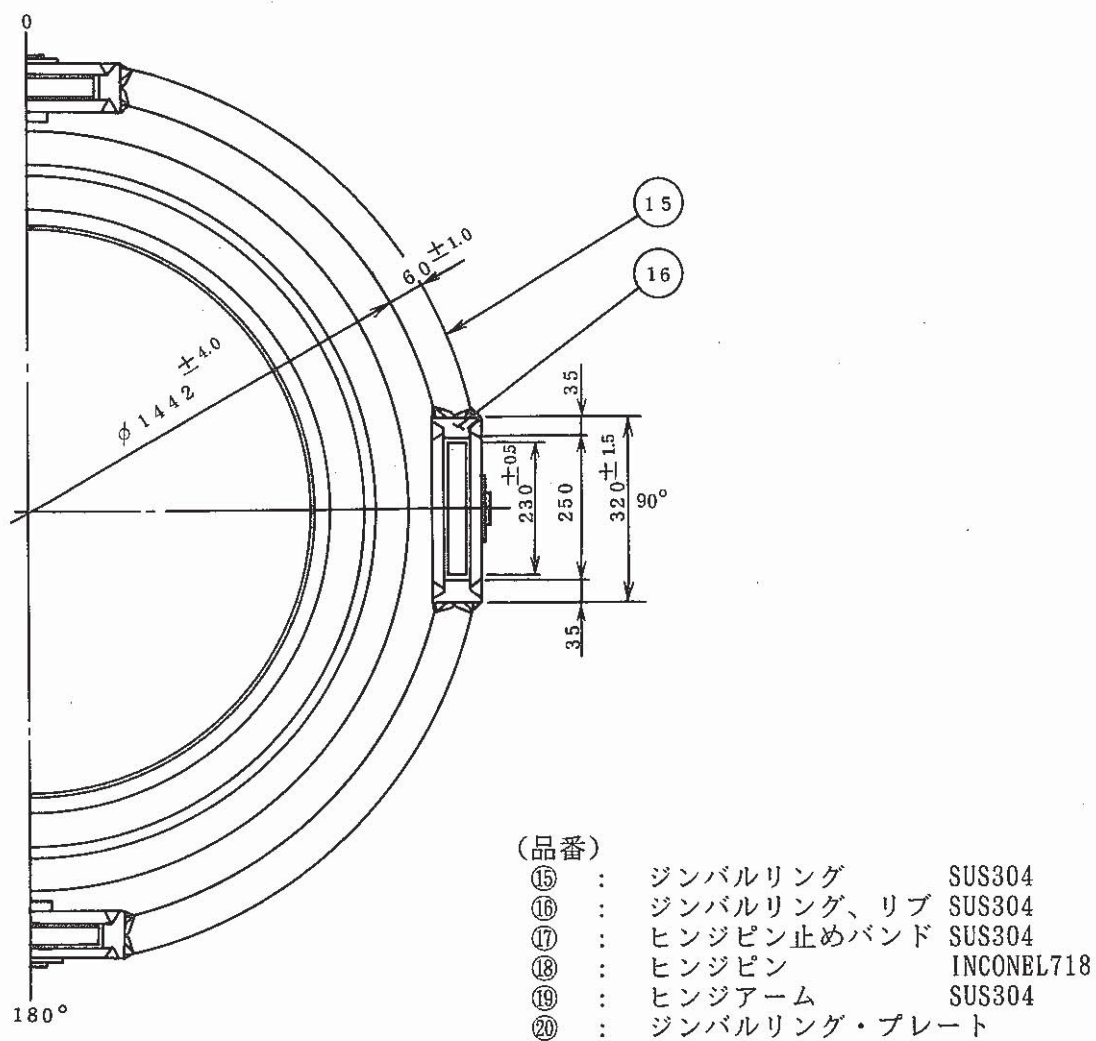


図 2 - 1 ベローズ継手概要図

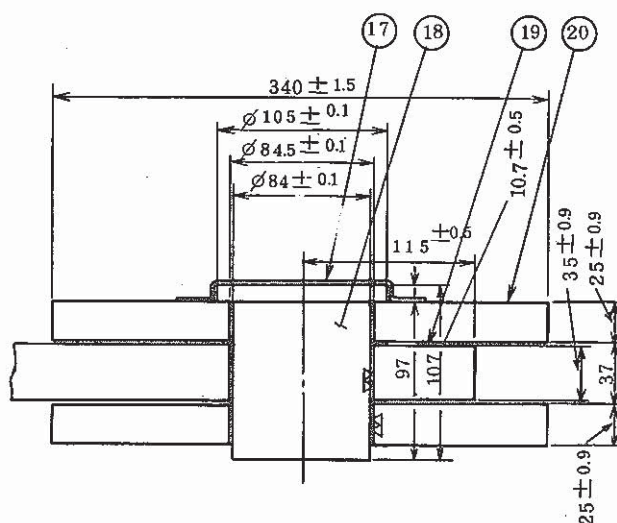


図 2 - 2 ピン部概要図

(ii) 荷 重

- ・ケース 1 : 実証炉荷重条件のうち、最高使用圧力による推力 (表 2 - 1 による)
- ・ケース 2 : 試験装置荷重条件のうち、設計圧力による推力 (表 2 - 2 による)
- ・ケース 3 : 実証炉 1 次主冷却径ホットレグ配管の S 1 地震動的解析結果の最大サポート反力 + 運転圧力による推力 (表 2 - 3 による)

表 2 - 1 (ケース 1) 設計条件

最 高 使 用 圧 力	P_d (kg/cm ² g)	—
バックアップベローの平均直径	D_p (mm)	$D_p = D + W$
内 圧 に よ る 推 力	F_p (kg)	$F_p = \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot P_d}{400}$
ヒンジ部 1 ヶ所にかかる荷重	F (kg)	$F = \frac{F_p}{2}$

表 2-2 (ケース2) 試験装置の設計条件

設 計 圧 力	P_{max} (kg/cm ² g)	—
バックアップベローの平均直径	D_p (mm)	$D_p = D + W$
内 圧 に よ る 推 力	F_p (kg)	$F_p = \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot P_{max}}{400}$
ヒンジ部 1 ヶ所にかかる荷重	F (kg)	$F = \frac{F_p}{2}$

表 2-3 (ケース3) 内圧(運転圧力) + 地震荷重^{*1}

内 圧 に よ る 推 力 ($P = 1.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$)	F_p (kg)	$F_p = \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot P}{400}$
地 震 荷 重	F_A (mm)	—
ヒンジ部 1 ヶ所にかかる荷重	F (kg)	$F = \frac{F_p + F_A}{2}$

(※1) 地震荷重は、実証炉1次主冷却径ホットレグ配管のS1地震の動的解析結果の最大サポート反力を荷重条件とした。

(ii) 強度評価

許容応力値は、「高速原型炉高温設計方針 材料基準等」及び、STATUS REPORT OF PHYSICAL AND MECHANICAL TEST DATA OF ALLOY718 (IDAHO NATIONAL ENGINEERING LABORATORY) に従った。

(a) 各荷重ケースの適用応力制限

表 2-4 応力制限

荷重ケース	応力の種類	適用応力制限	許容応力
ケース 1	膜 応 力 曲 げ 応 力	設計条件	S_o
	せん断応力 ねじり応力	設計条件	$0.6 S_o$
ケース 2	膜 応 力 曲 げ 応 力	運転状態Ⅳ	$2.4 S_m$
	せん断応力 ねじり応力	運転状態Ⅳ	$2.4 S_m$
ケース 3	膜 応 力 曲 げ 応 力	運転状態Ⅲ	$1.2 S_m$
	せん断応力 ねじり応力	運転状態Ⅲ	$0.6 S_m$

(b) ピン、アーム、リング部材の許容応力

表 2-5 部材の材質

ピン 材 料	インコネル 718
アーム 材料 リング	SUS304

表 2-6 応力制限

荷重ケース	温度 (°C)	許容応力値 (kg/mm^2)		
		———	インコネル 718	SUS304
ケース 1		S_o	28.2	9.2
		$0.6 S_o$	16.9	5.5
ケース 2		$2.4 S_m$	91.3	23.6
		$2.4 S_m$	91.3	23.6
ケース 3		$1.2 S_m$	45.6	11.8
		$0.6 S_m$	22.8	5.91

(2) ヒンジ構造部の計算式

ヒンジ構造部は、支持構造物としての応力評価を行う必要がある。ヒンジ構造部の強度計算式として定まったものはないが、以下に考え方を示す。

(i) 記号の説明

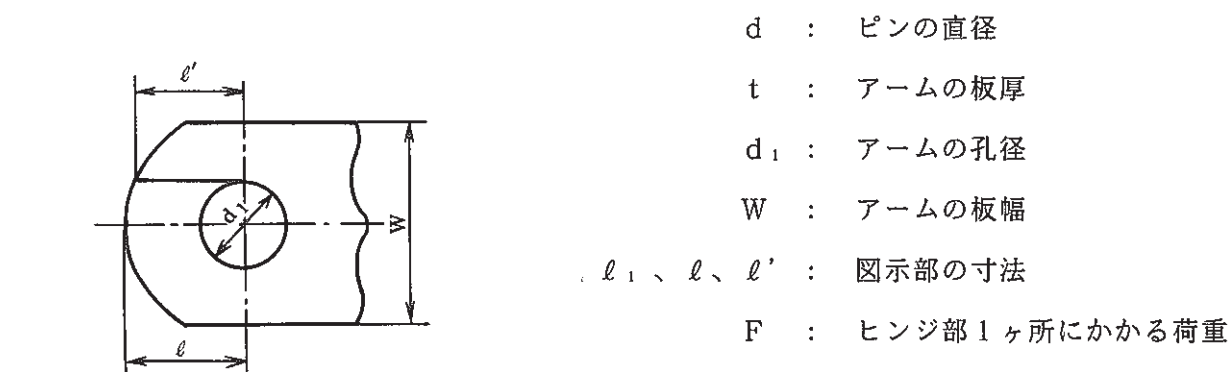


図 2 - 3 ピン部

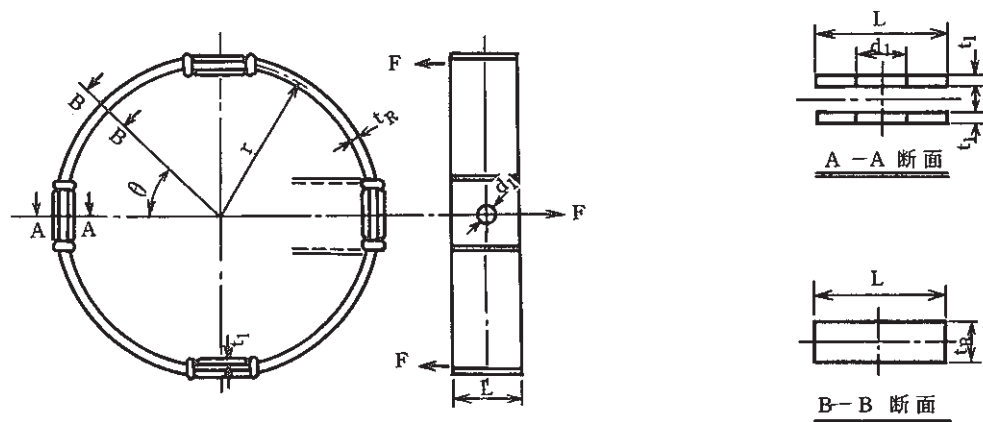


図 2 - 4 ビンバルリング部

- r : 中間支持リングの板厚中心の半径
 t_R : 中間支持リングの板厚
 L : 中間支持リングの板巾
 d_1 : 中間支持リングのピン孔の直径
 t_1 : 中間支持リングのピン孔部リブの板厚

(ii) ヒンジピンの強度計算式

強度計算式の出典は日本建築学会編「網構造計算規準同解説」による。

(a) ヒンジピンの曲げ応力

$$\sigma_{Mmax} = k_1 \frac{M_{max}}{Z} = k_1 \frac{8 \cdot F \cdot \ell_1}{\pi \cdot d^3} \dots\dots\dots (A. 1)$$

- σ_{Mmax} : ピンの最大曲げ応力
 k_1 : 係数 ($K_1 = d / (2t) + 1$)
 Z : ピンの断面係数 ($Z = \pi / 32 \cdot d^3$)
 M_{max} : 最大曲げモーメント ($M_{max} = 1 / 4 \cdot F \cdot l_1$)
 (判定) $\sigma_{Mmax} < \text{ピン材の許容引張応力}$

(b) ヒンジピンのせん断応力

$$\tau_{max} = \frac{8}{3} \cdot \frac{F}{\pi \cdot d^2} \dots\dots\dots (A. 2)$$

- τ_{max} : ピンの最大せん断応力
 (判定) $\tau_{max} < \text{ピン材の許容せん断応力}$

(iii) ヒンジアームの強度計算式

(a) ヒンジアームの局部集中応力

$$\sigma_{Amax} = k_2 \frac{F}{(W - d_1) \cdot t} \dots\dots\dots (A. 3)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \sigma_{Amax} & : \text{ 局部集中応力} \\ k_2 & : \text{ 1/Wによる係数} \end{array} \right.$$

(出典 J.E. Shigley, Mechanical Engineering Design
3rded, McGRAW-HILL)

(判定) $\sigma_{Amax} < \text{アーム材の弾性限度}$

(b) ヒンジアームのせん断応力

$$\tau_A = \frac{F}{2 \cdot \ell' \cdot t} \dots\dots\dots (A. 4)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \tau_A & : \text{ アームの許容せん断応力} \\ * \text{ (判定)} & \tau_A < \text{アーム材の許容せん断応力} \end{array} \right.$$

(iv) ジンバルの中間支持リング部の強度計算式

強度計算式の出典は、PRODUCT ENGINEERING • JANUARY 7, 1963 P70~P81 ALEXANDER
BLAKE による

(a) リングの曲げ応力

$$\sigma^R_{Mmax} = \frac{M_{max}}{Z} = \frac{3 \cdot F \cdot r \cdot L}{2 \cdot t_1 \cdot (L^3 - d_1^3)} \dots\dots\dots (A. 5)$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \sigma^R_{Mmax} & : \text{ リングの曲げ応力 } \quad \text{最大曲げ応力} \\ M_{max} & : \text{ リングの最大曲げモーメント} \\ M_{max}_{\theta=0^\circ} = \left[\frac{F \cdot r (\sin \theta - \cos \theta)}{2} \right]_{\theta=0^\circ} & = - \frac{F \cdot r}{2} \\ Z & : \text{ ピン孔部リブの断面係数} \\ Z & = \frac{2 t (L^3 - d_1^3)}{6 \cdot L} \\ \text{(判定)} & \sigma^R_{Mmax} < \text{リング材の許容引張応力} \end{array} \right.$$

(b) リングのねじり応力

$$\sigma_{Tmax} = \frac{T_{max}}{k \cdot L \cdot t_R^2} = \frac{0.4142 \cdot F \cdot r}{2 \cdot k \cdot L \cdot t_R^2} \dots\dots\dots (A. 6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{Tmax} : \text{リングのねじり応力} \\ T_{max} : \text{リングの最大ねじり応力} \\ T_{\theta=45^\circ} = \left[\frac{F \cdot r (\sin \theta + \cos \theta - 1)}{2} \right]_{\theta=45^\circ} \\ \qquad \qquad = - \frac{0.4142 \cdot F \cdot r}{2} \\ k : \text{リング断面の短形両辺の長さの比 } L/t_R \text{ による係数} \\ \qquad \quad \text{(出典 : コロナ社版 材料力学公式集)} \\ \text{(判定)} \quad \sigma_{Tmax} < \text{リング材の許容せん断応力} \end{array} \right.$$

付録(5) ループ型における機器・

配管配置案の検討

1. 概 要
2. 1 次主冷却系の設計
 2. 1 格納容器径45m配置の検討
 2. 2 格納容器径40m配置の検討
 2. 3 まとめ
3. 2 次主冷却径の設計
 3. 1 格納容器径40m配置に対応する
2 次系配置制約事項の摘出
 3. 2 原子炉補助建物内 2 次系機器の
配置

1. 概 要

1.1 格納容器径45m配置の検討

配管用ベローズ継手システム設計ワーキング・グループでは、1次主冷却系配管にベローズ継手を用いた機器・配管配置の検討を行った。

配管系の熱膨張解析及び耐震解析の結果、格納容器径45mに対応する1次主冷却径機器・配管配置案の見通しが得られた。

この配置案をもとに下記観点からの検討を行い、格納容器45m配置の成立性を検討した。

(a) 配管サポート構造の構造概念

(b) ベローズ継手のメンテナンス性

(c) 補助ナトリウム系機器・配管及び空調ダクト・ケーブルトレイ等との配置調整検討の結果、配置案は基本的に成立するが、一部配管支持装置の設置上、エルボ、ベローズ継手等の継手間距離が充分でない部位や、ベローズ継手のメンテナンス性向上のためにベローズ継手設置の見直しが必要な部位を明らかにした。

1.2 格納容器径40m配置の検討

1次主冷却系室の機器・配管配置に関して、製作性、据付性、メンテナンス性等の観点から配置制約事項を摘出した。摘出された項目を格納容器系40mに適用し、1次主冷却系機器・配管の配置許容スペースを明らかにした。さらに、許容スペースを満足するための配置概念案及び、ベローズ継手に対する設計要求事項を検討し格納容器径40mの配置案を3案提案した。

1.3 格納容器径40mに対応した2次系配置の検討

2次系機器・配管の配置設計方針及び配置上の制約事項を摘出し、格納容器径40mに対応した2次系機器・配管配置を検討した。なお、蒸気発生器設備の型式として、2次系機器・配管のコンパクト化上メリットのある一体貫流型SGを仮定した。

2. 1 次主冷却系の設計

2. 1 格納容器径45m配置の検討

2. 1. 1 検討条件

検討の対象とした高速増殖実証炉プラントの基本仕様は下記の通りである。

- | | |
|-------------------|-----------------------------------|
| ① 原子炉型式 | プルトニウムウラン混合酸化物燃料
ナトリウム冷却高速中性子炉 |
| ② プラント型式 | ループ型 |
| ③ 主冷却系ループ数 | 3 ループ |
| ④ 電気出力／熱出力 | 1000MWe／2480MWe |
| ⑤ 増殖比 | 1.25以上 |
| ⑥ 建物形状 | 円形 |
| ⑦ S G配置 | 分散 |
| ⑧ 格納容器形式 | 接合形 |
| ⑨ 炉心出入口温度 | 530℃／385℃ |
| ⑩ I H X 2 次側温度 | 500℃／325℃ |
| ⑪ タービン蒸気条件 | 127kg／cm ² g／483℃ |
| ⑫ 炉心崩壊熱除去系 | 直接炉心冷却系 |
| ⑬ 燃料出入方式 | シュート。移送セル方式 |
| ⑭ 1 次主循環ポンプ位置 | コールドレグ |
| ⑮ 1 次主循環ポンプ形式 | 単段片吸込型 |
| ⑯ ポンプオーバフローコラム | 無し |
| ⑰ 1 次系流量計 | 無し |
| ⑱ 1 次系主配管口径 | 42 B／38 B |
| ⑲ I H X 形式 | 堅置無液面平行向流型 |
| ⑳ S G 伝熱管型式／水流動形式 | ヘリカルコイル型／一体貫流型 |
| ㉑ N a 水反応生成物収納容器 | 2 次系ダンプタンク共用型 |

(1) 1次主冷却系設備

(i) 最高使用温度／最高使用圧力

- ・ ホットレグ …… 550℃／2.0kg／cm²g
- ・ クロスオーバーレグ …… 405℃／2.0kg／cm²g
- ・ コールドレグ …… 405℃／11.0kg／cm²g

(ii) 配管口径／肉厚

- ・ ホットレグ …… 42B／14.1mm
- ・ クロスオーバーレグ …… 42B／19.1mm
- ・ コールドレグ …… 38B／19.1mm

(iii) 配管ベローズ仕様

(a) 許容角変位

- ・ ホットレグ …… ±1.25°
- ・ クロスオーバーレグ …… ±1.25°
- ・ コールドレグ …… ±0.80°

(b) ベローズ継手型式 …… ジンバルタイプ

(iv) 系統図と主要機器外形図

格納容器内の1次系総合系統図、1次系機器高さ関係図、原子炉構造、中間熱交換器、1次主循環ポンプ、ベローズ継手の機器外形図を図2.1.1-1～6に示す。尚、中間熱交換器及び1次主循環ポンプのガードベッセルは、1次主冷却系にサンホンブレイクシステムを採用することを前提に削除する。

サンホンブレイクラインの取り付け箇所として、ホットレグ配管系においては中間熱交換器の1次側最高レベルが、またコールドレグ配管系においては1次主循環ポンプ出口配管の高所水平部が利用可能である。

中間熱交換器、1次主循環ポンプは耐震設計条件に応じて下部振れ止め構造の設置が必要と考えらるが、今回の検討では条件未定につき検討対象外とした。

(2) 2次主冷却系設備

(i) 最高使用温度／最高使用圧力

- ・ ホットレグ …… 525℃／8.0kg／cm²g
- ・ コールドレグ …… 345℃／8.0kg／cm²g

(ii) 配管口径／肉厚

- ・ ホットレグ …… 36 B / 19.1 mm
- ・ コールドレグ …… 36 B / 19.1 mm

(iii) 配管ベローズ仕様

(a) 許容角変位

- ・ ホットレグ …… $\pm 1.00^\circ$
- ・ コールドレグ …… $\pm 2.00^\circ$

(b) ベローズ継手型式 …… ジンバルタイプ

(iv) 系統図と主要機器外形図

2次系総合系統図、2次主循環ポンプ、一体貫流型蒸気発生器、ダンプタンク、ベローズ継手等の機器外形図を図 2.1.1-7～11に示す。

2.1.2 1次主冷却系機器・配管配置

1次主冷却系機器・配管配置は2.1.1項で示した検討条件、1次主冷却系配管アイソメ図及び、自重応力解析のサポート点反力データを考慮し検討した。

配管配置図（平面図、側面図）及び代表支持構造図を図 2.1.2-1～3に示す。

尚、配管支持装置を設置するに当たって、特に考慮した項目を表 2.1.2-1 及び表 2.1.2-2 に示す。

(1) 配管配置の問題点

検討の結果、格納容器計45m配置に対し下記の問題点が抽出した。

(i) 配管支持装置

配管支持装置は次の点に注意する必要がある。

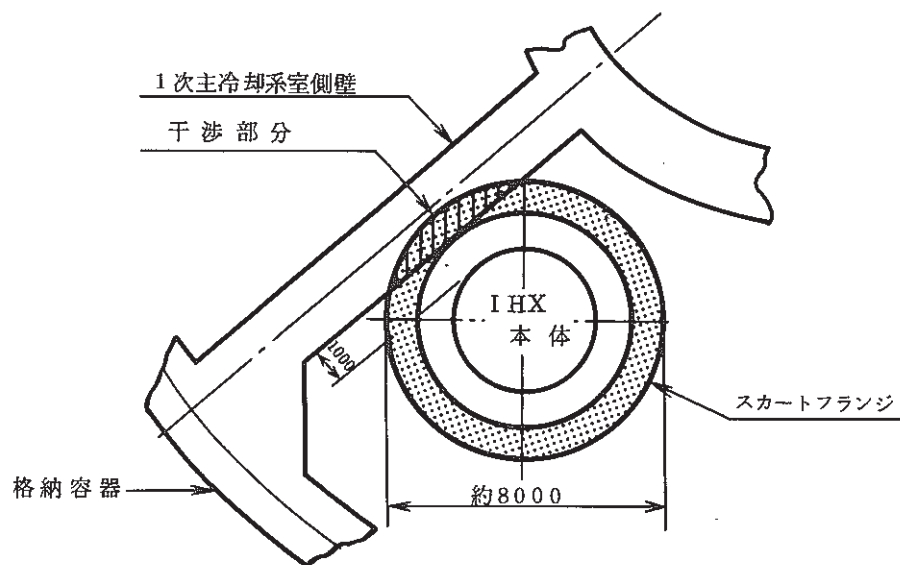
- (a) 40 B 程度の配管クランプ幅は 400～500 mm となる。
- (b) 配管支持力が配管溶接部に大きな影響を与えない為、溶接線～配管クランプ端部間の距離を 300mm 程度離しておく必要があることから、溶接線～支持点間の距離は、最低 500mm 以上が必要となる。

以上の観点から支持装置の検討を行うと、ベローズ継手溶接線～エルボ部溶接線間の距離が短い（1000mm 以下）部分がある。従って、支持装置及びベローズ継手設置位置の見直し等を行う必要があると思われる。

(ii) I H X 支持部

I H X が 1 次主冷却系室側壁に近接して設置されていることから、一部スカートフランジ部（外径約8000mm）が側壁と干渉する。（下図参照）

I H X のスカート寸法は、格納容器径を縮小する上でクリティカルな要因の一つであることから、今後機器のコンパクト化及び I H X 支持構造の改善等が要求される。



(iii) 配管交叉部

ホットレグ配管とコールドレグ配管が交叉している近傍に設置している、ホットレグベローズ継手とコールドレグベローズ継手が接近していることから据付性及び、メンテナンス性が悪くなっている。

配管設置を変更した場合、ベローズ継手間の接近を避ける配置例として、コールドレグベローズ継手を逆止弁近傍の水平配管部に移動した配置等が考えられる。（但し、解析による確認が必要）

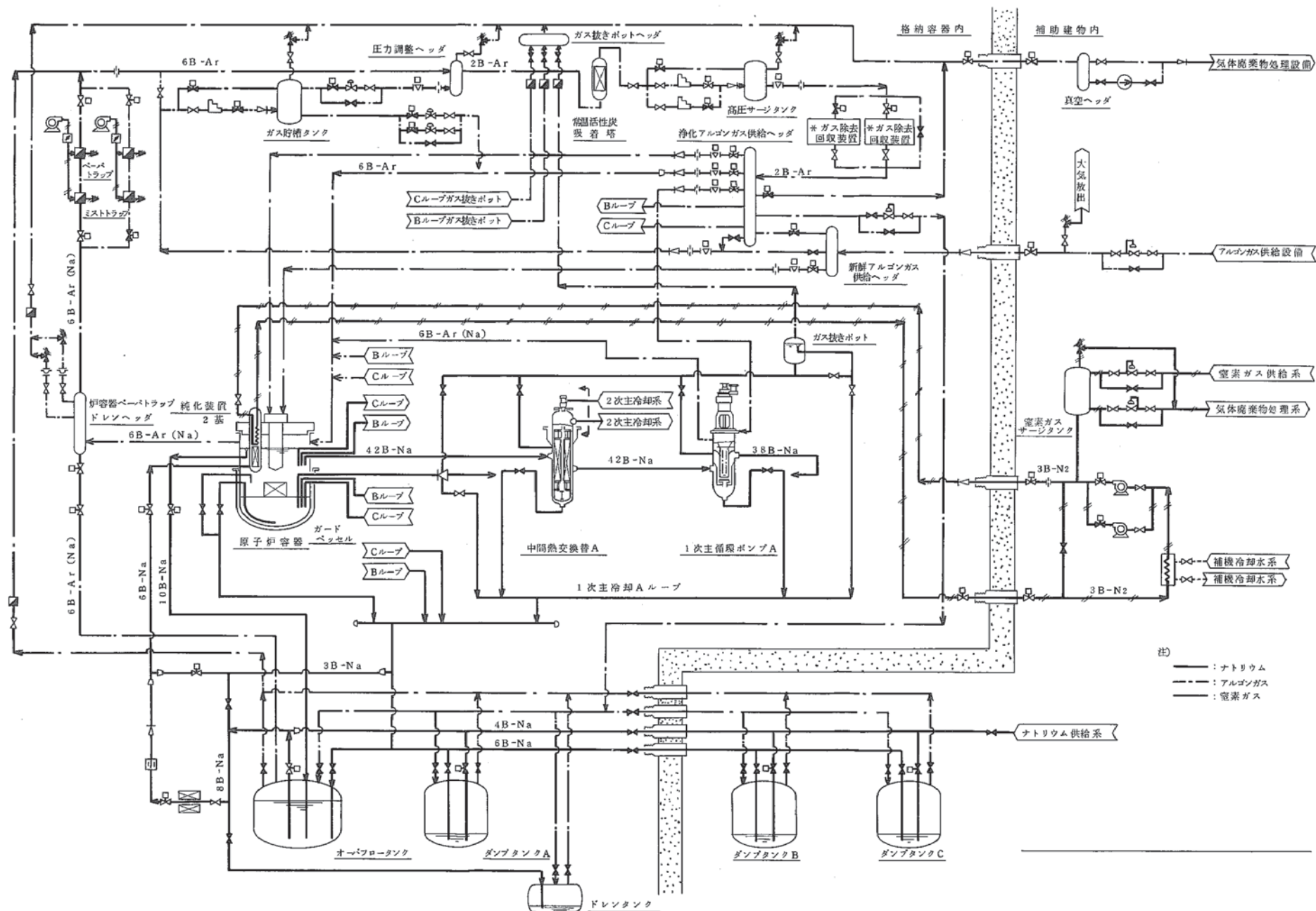


図 2.1.1-1 1次系総合系統図

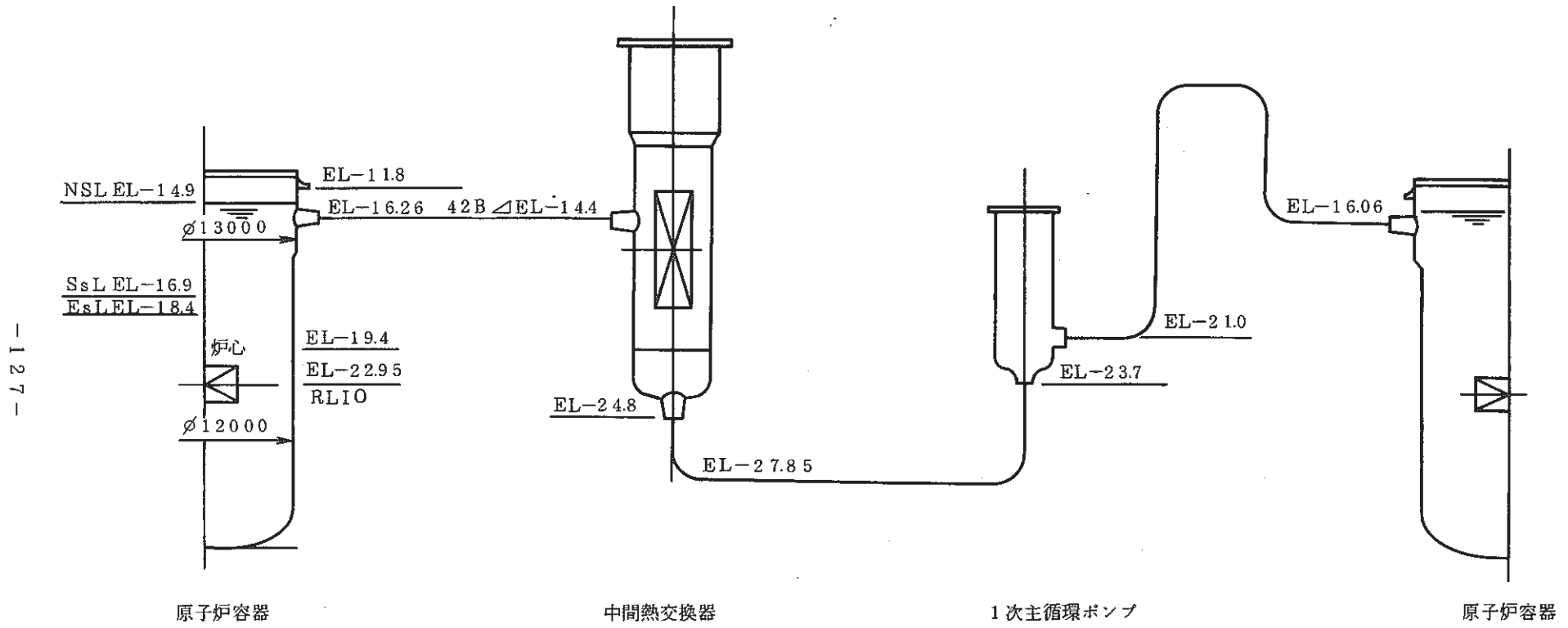


図 2.1.1 - 2 1次主冷却系機器高低関係図

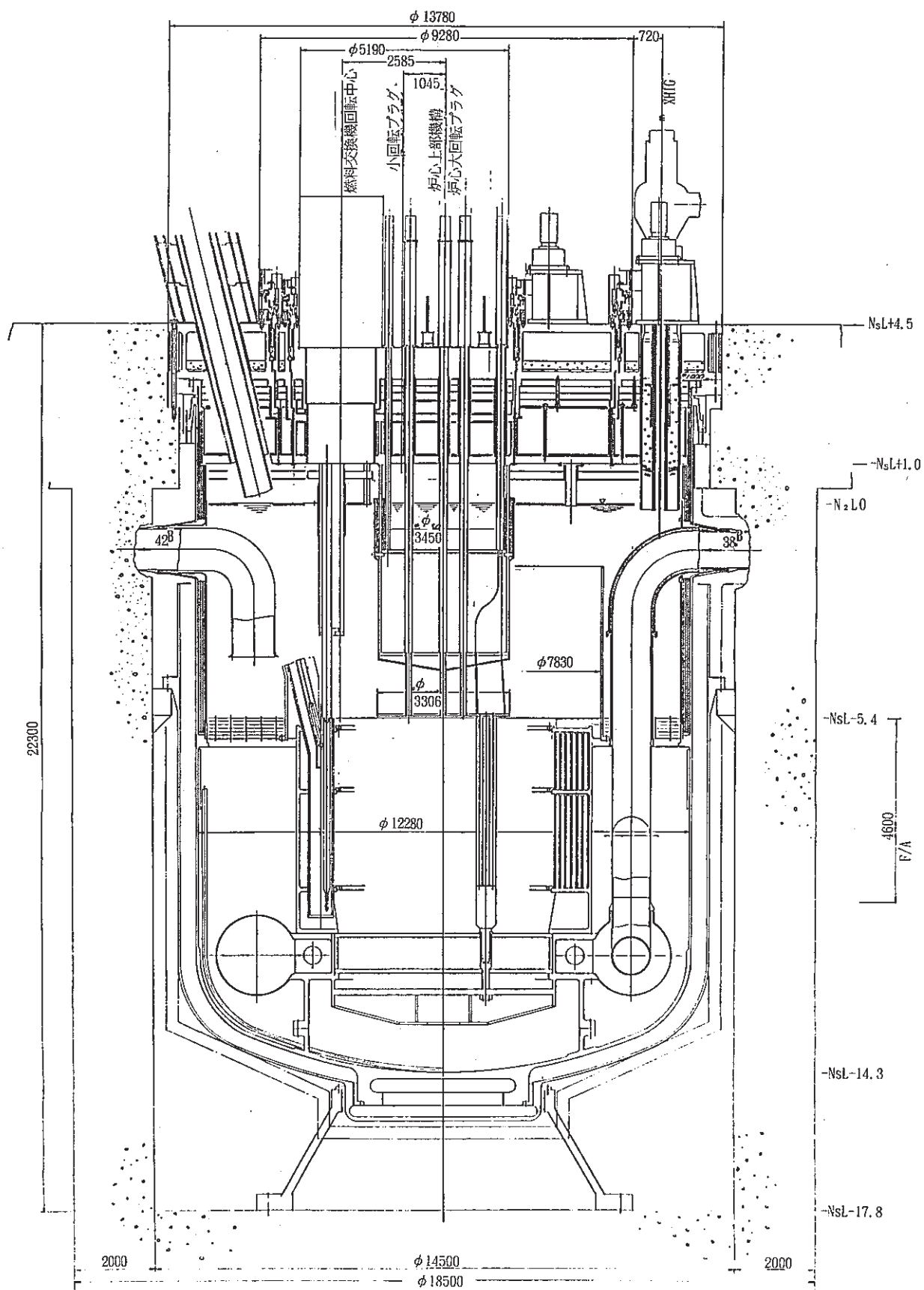


図 2. 1. 1 - 3 原子炉構造断面図

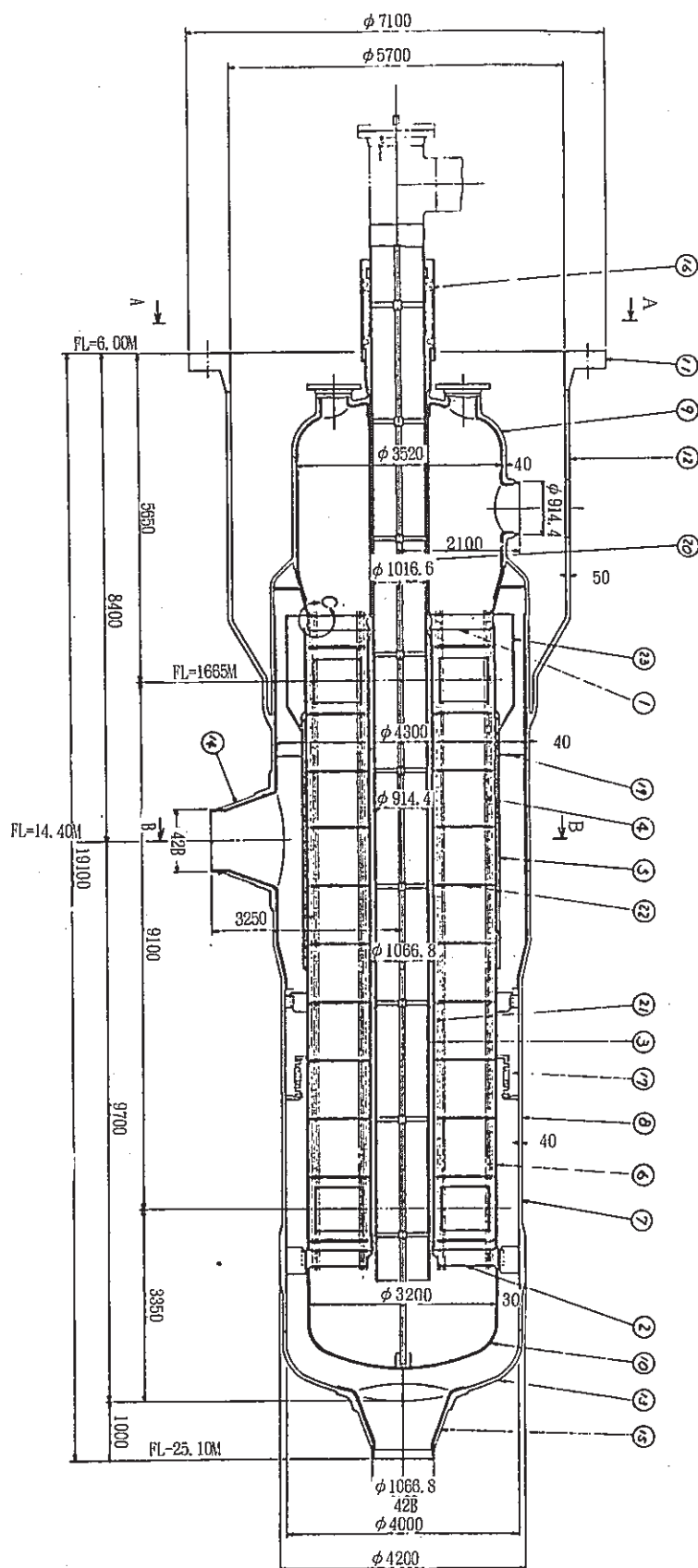


図 2.1.1-4 中間熱交換器構造図

本図は、高速増殖実証炉設計研究報告書からの抜粋である。

番号	名 称	番号	名 称	番号	名 称
30	グラインド部カバー	20	吐出ノズル	10	軸保護管
29	カップリング	19	吸込ノズル	9	蛇 籠
28	スプールピース	18	スタンドバイハブノズル	8	ナトリウム受
27	リ ー	17	リークフロー戻しノズル	7	案内羽根
26	シ ー	16	シ ー	6	吸入ケース
25	下部フライング	15	玉 籠	5	羽 車
24	羽根車止ナット	14	台 板	4	生体しゃへい
23	耐震サポ ー	13	モ ー	3	熱しゃへい装置
22	ウェアリング	12	上部フライング	2	内部胴 胴
21	軸受ストレーナ	11	軸 保護管	1	外部ケーシング
番号	番号	番号	番号	番号	番号

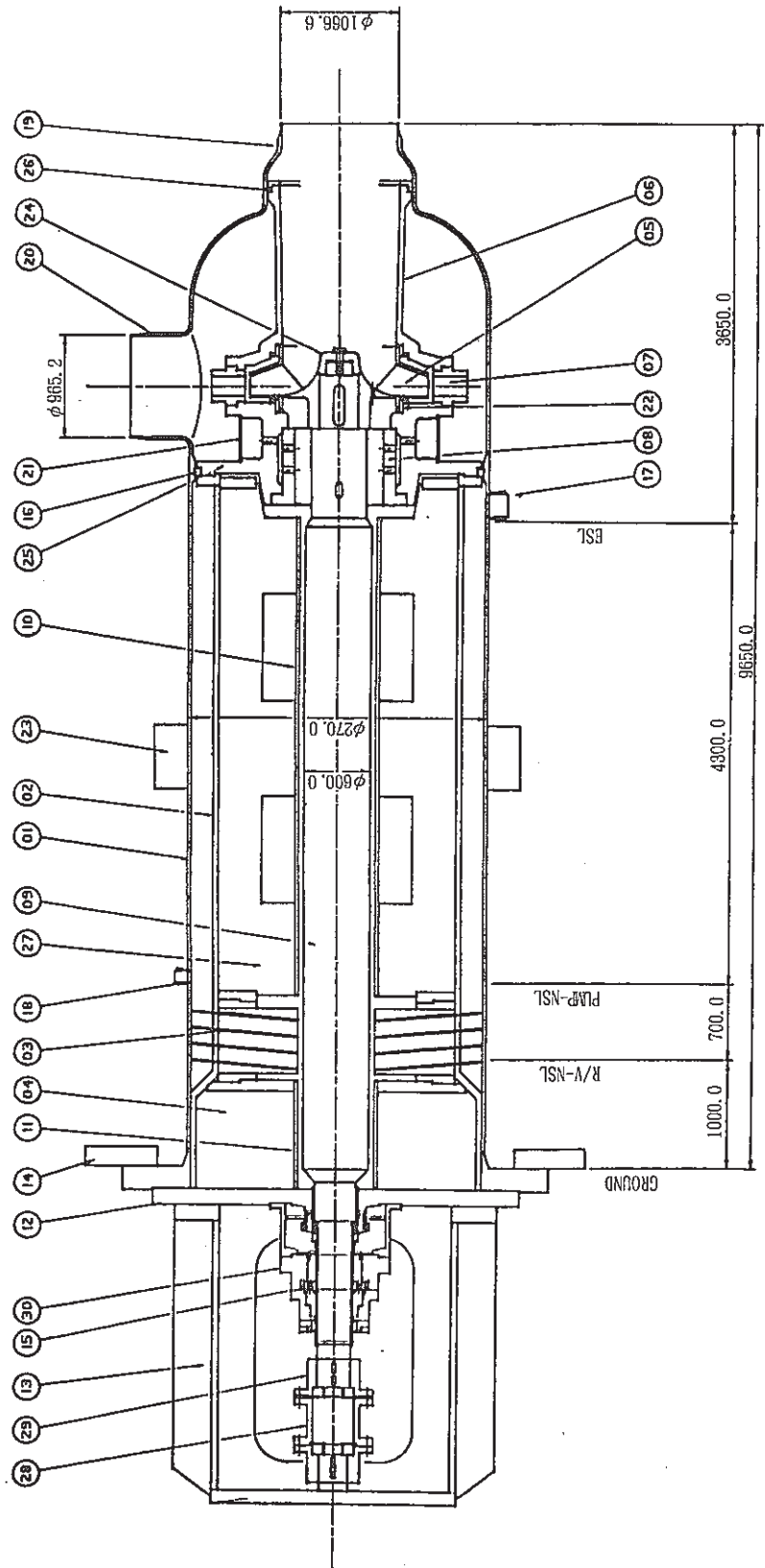


図 2. 1. 1 - 5 1 次主循環ポンプ構造図

本図は、高速増殖実証炉設計研究報告書からの抜粋である。

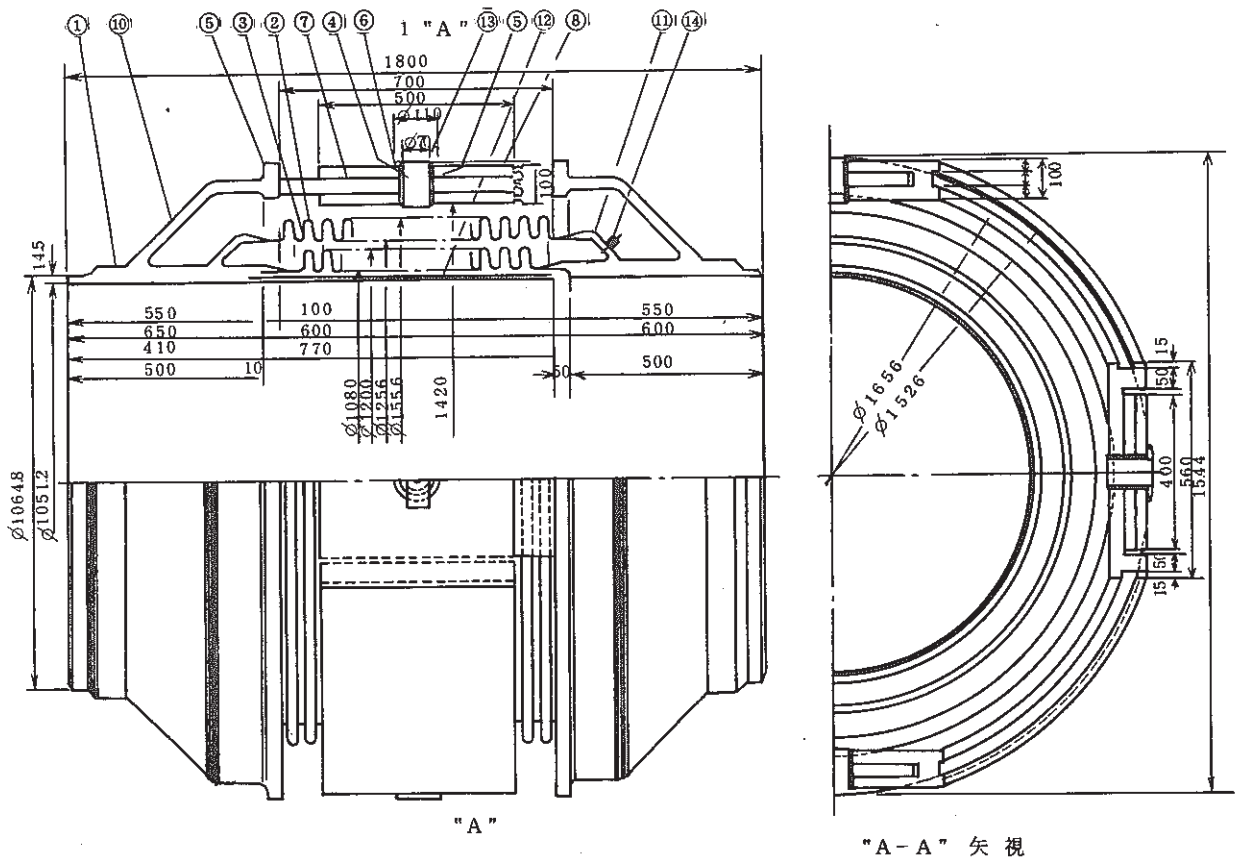
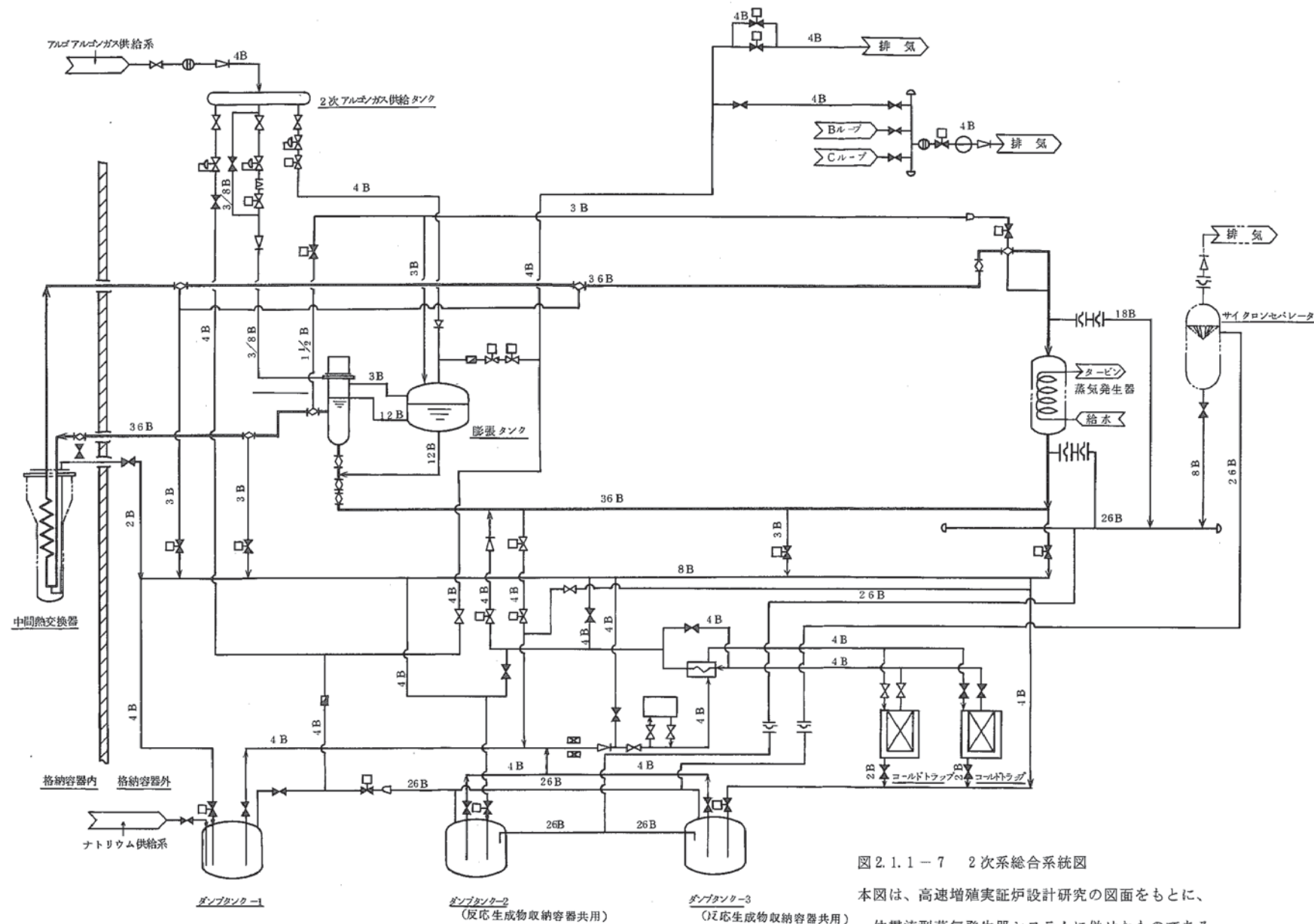
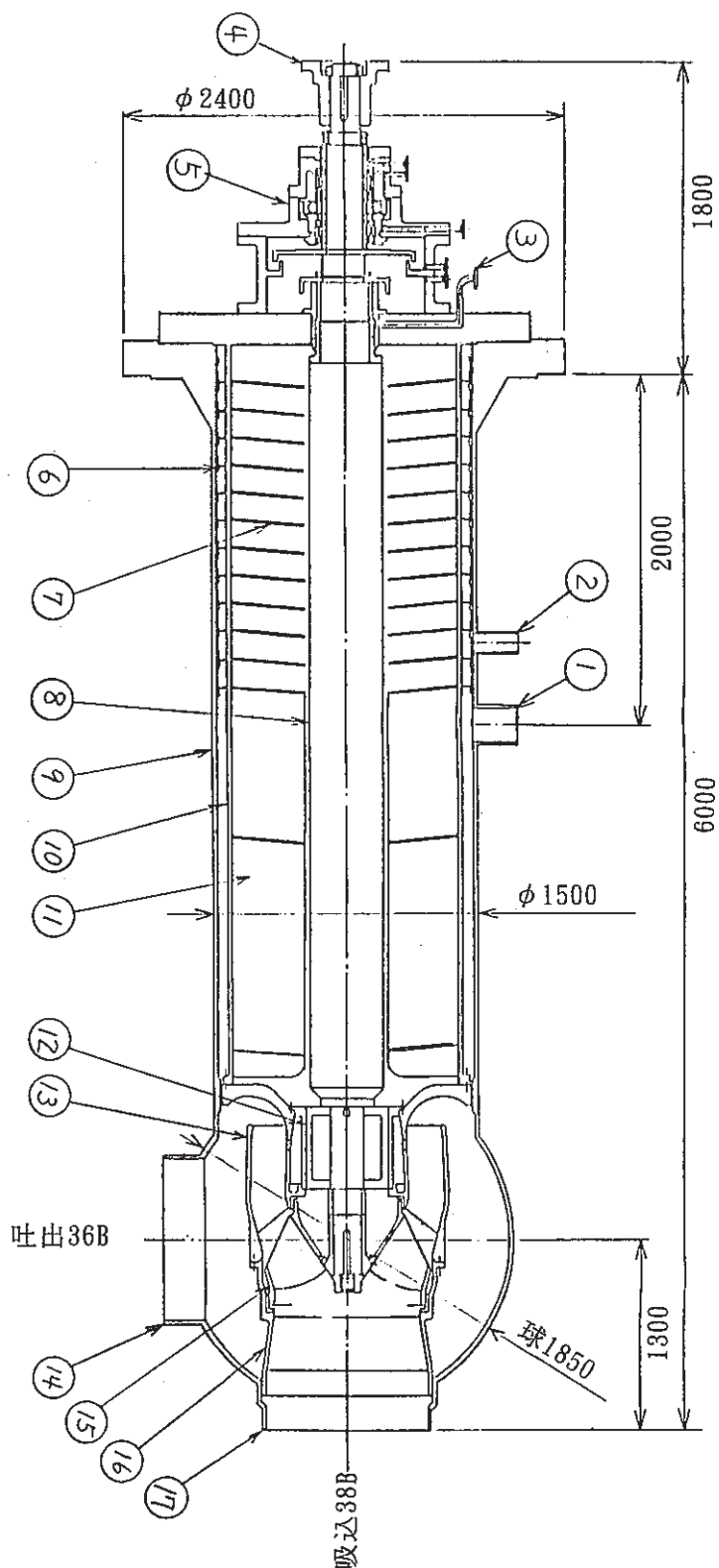


図 2.1.1-6 ホットレグ配管用ベローズ継手
本図は、高速増殖実証炉設計研究報告書からの抜粋である。

No.	品 番	部品名称	材 質	数 量	単重	備 考
		PARTICULARS	MATERIAL	REQD	WEIGHT	REMARKS
14		リーク検出用接合管	SUS304	1		φ22
13		ヒンジピットメバンド	SUS304	4		t 2
12		スリーブ	SUS304	1		t 2
11		内筒パイプ	SUS304	2		t 20
10		外筒パイプ	SUS304	2		t 30
9		ヒンジーム支持用リソク	SUS304	2		□30×80
8		ジソバルリソク	SUS304	1		t 30×2
7		ヒンジーム	SUS304	4		t 40
6		座 金	SUS304	4		t 10
5		ブッシュ		4		
4		ヒンジピソ	SUS304	4		—
3		バクソタリ一ベローズ	SUS	1		t 2
2		バクソアソベローズ	SUS	1		t 2
1		端 管	SUS304	2		

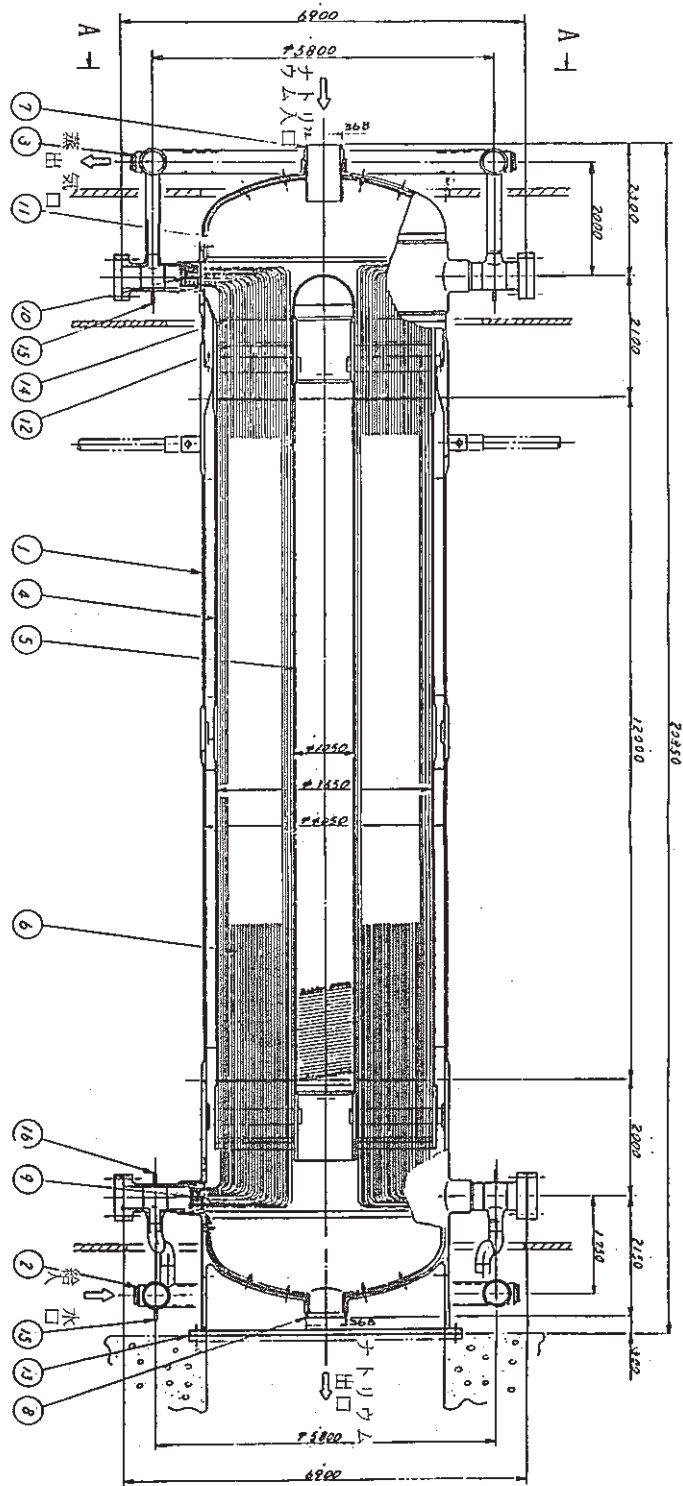




番号	名称	材質	番号	名称	材質
1	オーバーフローノズル	SUS304	10	内ケーシング	SUS304
2	ガスベンドノズル	SUS304	11	防渦板	SUS304
3	Arガス供給管	SUS304	12	静圧軸受	SUS304 (ハート-シグ材 鍍金)
4	カップリング	S30C	13	ディフューザー	
5	軸封部	SUS304	14	吐出ノズル	SUS304
6	対流防止板	SUS304	15	インペラ	
7	熱遮蔽板	SUS304	16	サクション	SUS304
8	シャフト	SUS304	17	吸込ノズル	SUS304
9	外ケーシング	SUS304			

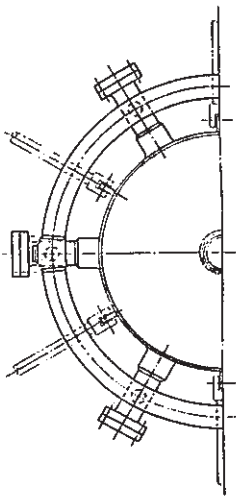
図 2.1.1 - 8 2次主循環ポンプ構造図

本図は、高速増殖実証炉設計研究報告書からの抜粋である。



16	換気抜き用ノズル	SFVAF22B	1式	
15	ドレンノズル	SFVAF22B	1式	
14	伝熱管サポート	SCVM4	1式	
13	本体支持装置	"	1式	
12	ナトリウム分配装置	SCMV4	1式	
11	熱遮断板	SCMV4	1式	
10	蒸気出口管板	Mod. 9Cr-1Mo	6	
9	給水入口管板	"	6	
8	ナトリウム出口ノズル	"	1	26層
7	ナトリウム入口ノズル	"	1	
6	伝熱管	"	611	
5	内部シェラウド	"	1式	
4	外部シェラウド	Mod. 9Cr-1Mo	1式	
3	蒸気出口リングヘッダー	STPA24	1	
2	給水入口リングヘッダー	STPA24	1	
1	胴体	Mod. 9Cr-1Mo	1式	
品号	名称	材質	員数	備考

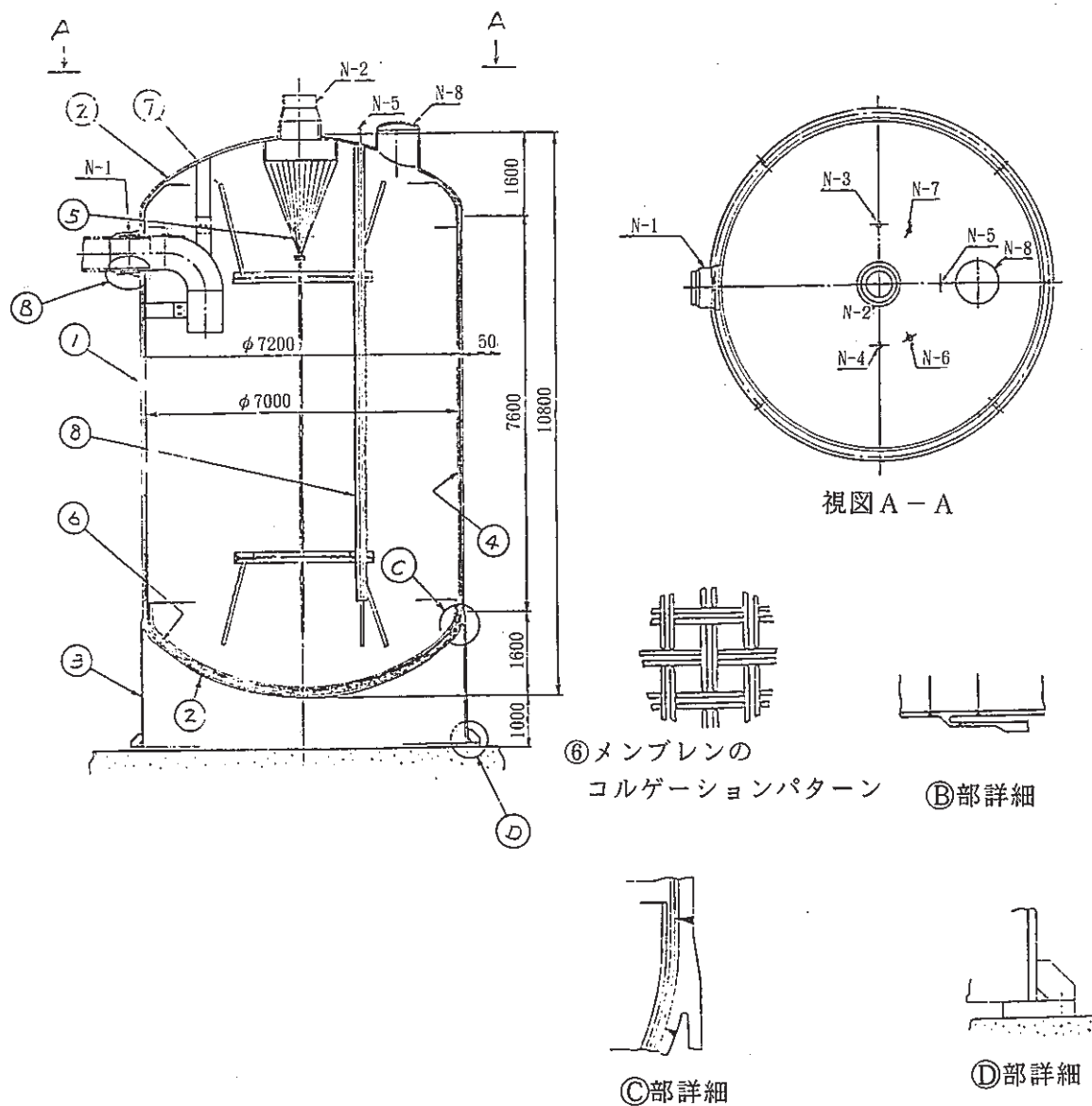
設計仕様	
形式	ヘリカルコイル一体貫流型
員数	1基/ループ
交換熱量	826.5MW
伝熱面積	4830㎡
設計圧力	胴側
	管側
設計温度	胴側
	管側



A Aから見る

図 2.1.1 - 9 一体貫流型蒸気発生器構造図

本図は、高速増殖実証炉設計研究報告書からの抜粋である。



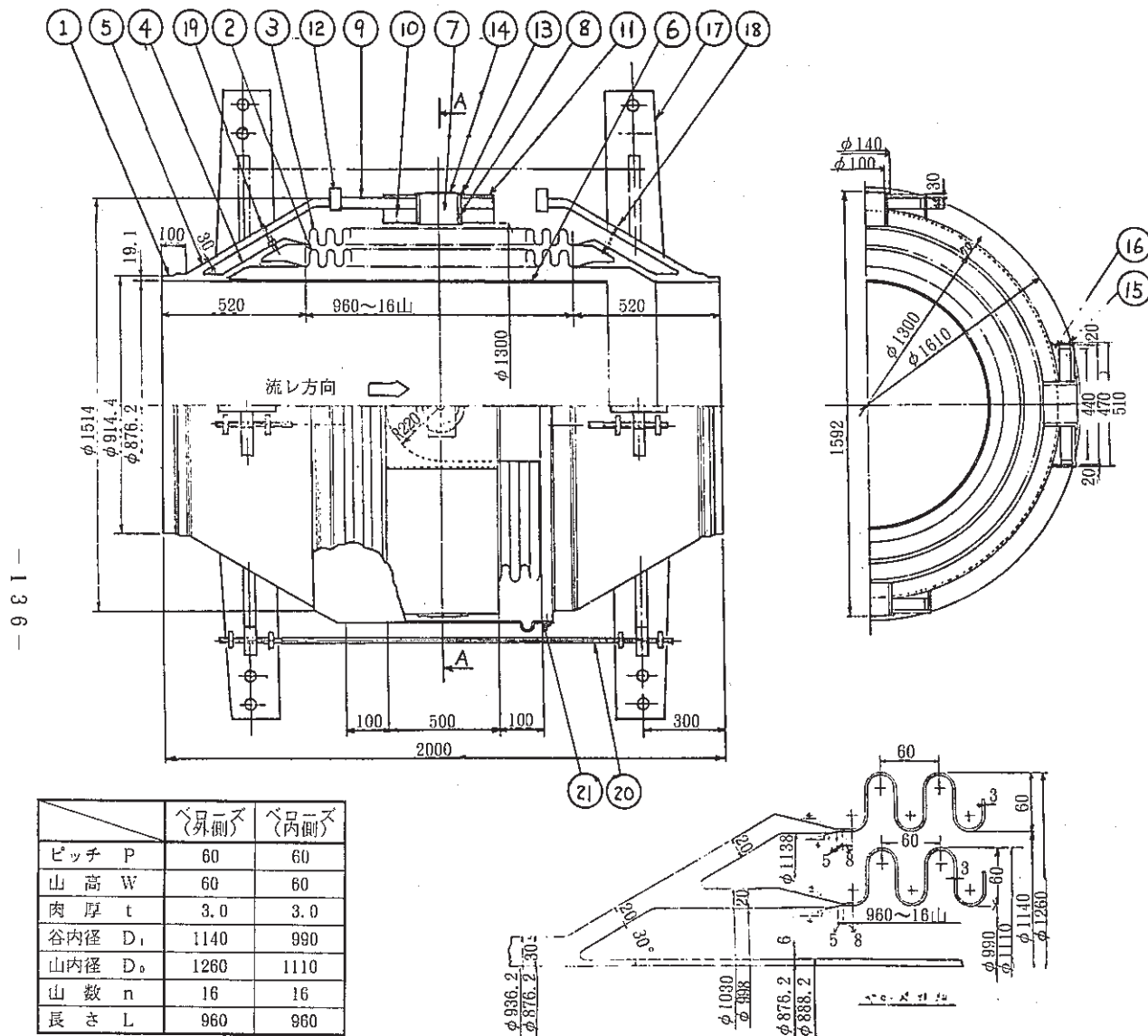
ノズル番号	名 称	材 質	呼 径	員数	備 考
N-1	放出系配管入口ノズル	SUS304	26B	1	
N-2	反応ガス出口ノズル		26B	1	
N-3	ドレンノズル		3B	1	
N-4	Na充填ノズル		4B	1	
N-5	液面計ノズル		1B	2	
N-6	アルゴンガスノズル		4B	1	
N-7	圧力計配管ノズル		1B	1	
N-8	マンホール	SUS304	20B	1	

設 計 仕 様		
形 式	堅 型 円 筒 形	
流 体	ナトリウム、アルゴンガス	
収 納 容 量	250m ³	
幾 何 容 量	310m ³	
設計圧力	内 圧	10kg/cm ² g
	外 圧	1 kg/cm ² g
設計温度	内圧作用時	525℃
	外圧作用時	230℃

8	保 護 筒	SUS304	1	液面計用
7	サ ポ ート		1式	
6	メ ン ブ レ ン		1	
5	セ パ レ ー タ		1	
4	内 容 器		1	
3	ス カ ー ト 脚		1	
2	鏡 板		2	
1	胴 体		1	
品番	名 称	材 質	員数	備 考

図 2. 1. 1 - 10 反応生成物収納容器共用型ダンプタンク

本図は、高速増殖実証炉設計研究報告書からの抜粋である。



設計条件

用途	高温配管用		低温配管用	
	ベローズ (外側)	ベローズ (内側)	ベローズ (外側)	ベローズ (内側)
最高使用圧力 kg/cm ² g	8.0	8.0	8.0	8.0
運転圧力 kg/cm ² g	5.0	5.0	5.0	5.0
最高使用温度 °C	525	525	345	345
運転温度 °C	505	505	325	325
吸収角変位 (度)	±1.0	±1.0	±2.0	±2.0

21	ベローズ保護カバー	—	1	2分割
20	ベローズ変形防止金具	—	4	
19	ナトリウムリーク検出管	SUS304	8	ベローズ点検孔兼用
18	リーク検出用接続管	SUS304	2	
17	ラ グ	SUS304	8	t40
16	座	SUS304	8	
15	リ プ	SUS304	8	t20
14	ヒンジピン上バンド	SUS304	4	t2
13	座 金	SUS304	4	t5
12	ヒンジアーム支持用リング	SUS304	2	
11	ヒンジカバー	SUS304	4	t30
10	ジナルリング	SUS304	1	t70
9	ヒンジアーム	SUS304	4	t44
8	ブ ッ シュ		4	
7	ヒンジピン	SUS304	4	
6	ス リ ー プ	SUS304	1	t6
5	外 筒	SUS304	2	t30
4	内 筒	SUS304	2	t20
3	ベローズ (外側)	SUS316	1	t3
2	ベローズ (内側)	SUS316	1	t3
1	短 管	SUS304	2	t191
品番	部 品 名 称	材 質	個数	単重量
				摘 要

図 2.1.1-11 ジンバル型ベローズ継手構造図

本図は、高速増殖実証炉研究報告書からの抜粋である。

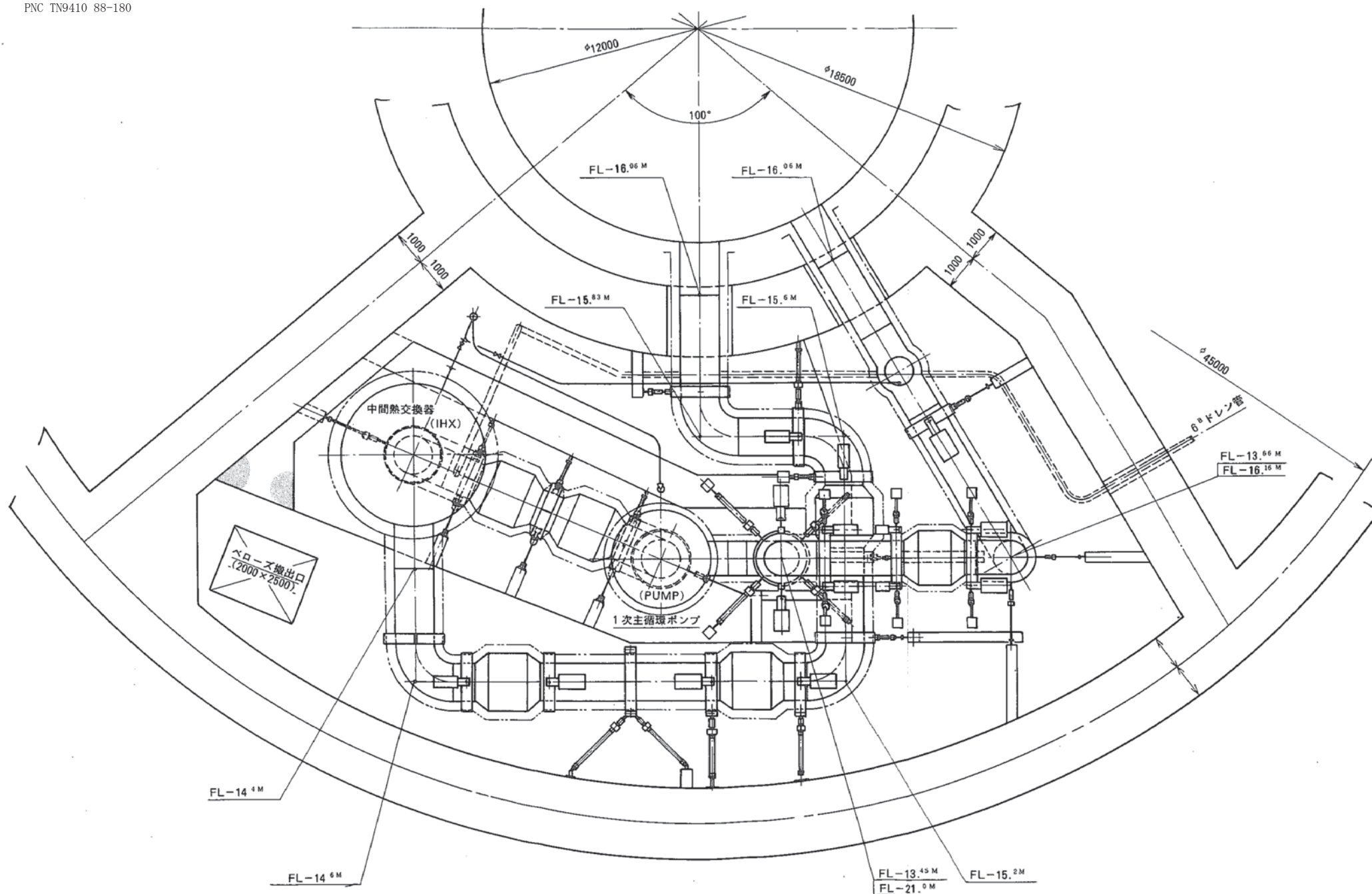


図 2.1.2-1 1次主冷却機器配管配置図 (平面図)

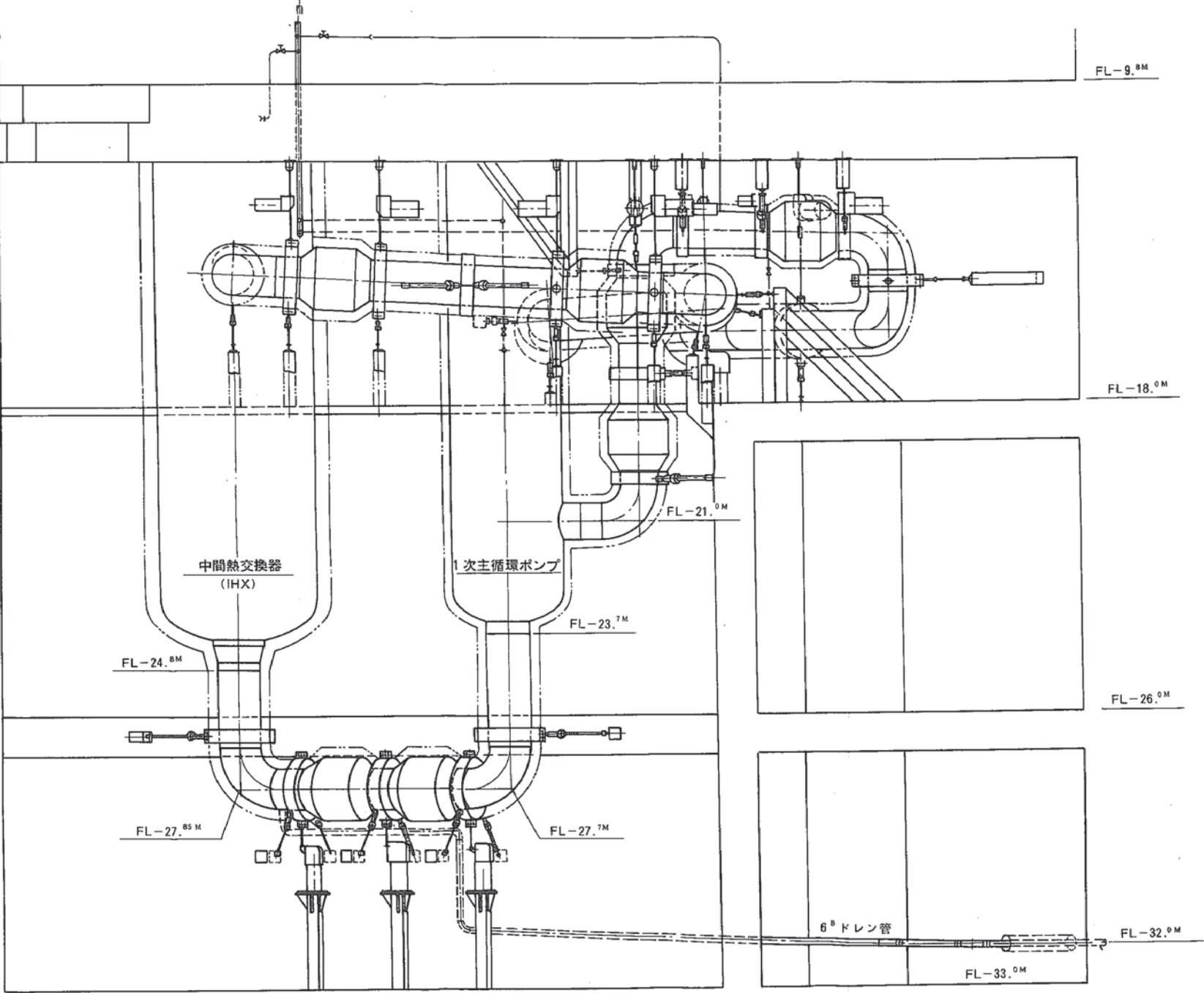
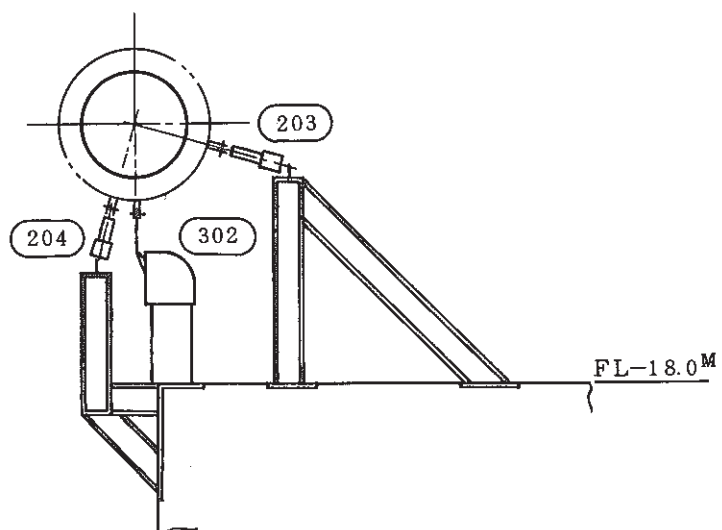
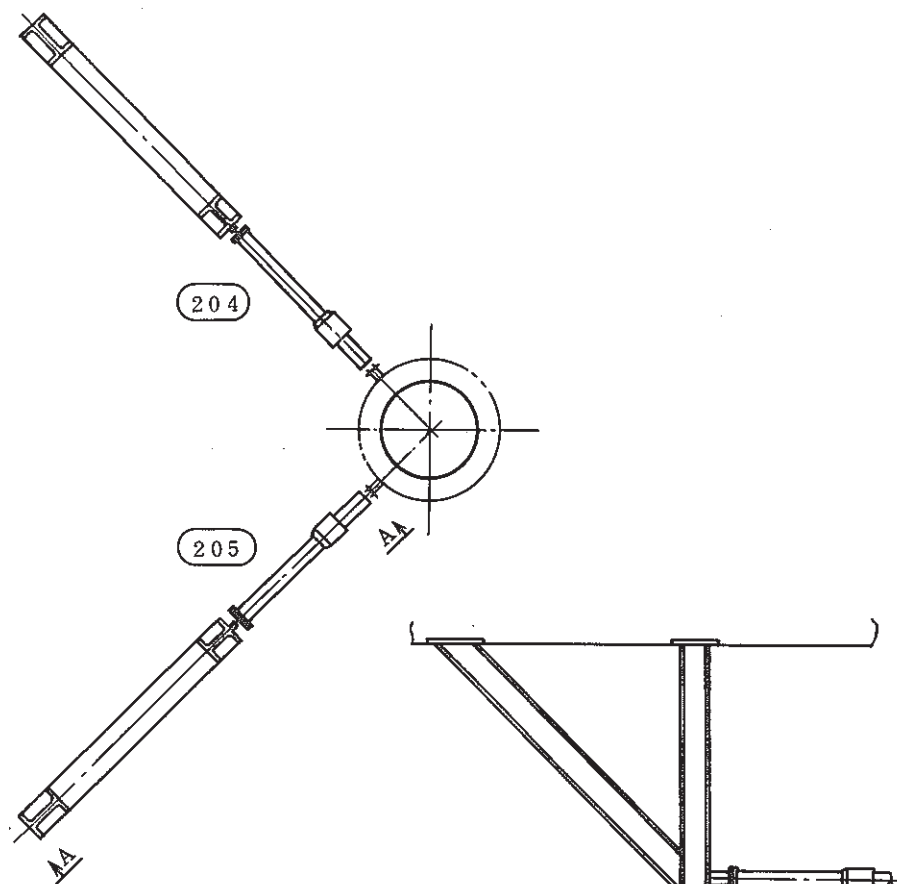


図 2.1.2-2 1次主冷却機器配管配置図（立面図）



i ホットレグ



A-A断面

ii コールドレグ

注：サポート用構造材は全て
H300×300×10×15である。

図 2.1.2 - 3 代表支持構造図

表 2.1.1 ハンガ設置上の考慮事項

	ハンガ No.	支 持 方 法	理 由
ホ ッ ト レ グ	302	下から支えるタイプ	コールドレグ配管と交叉するため、上から吊ることが出来ない。
クロスオーバーレグ	300～302	下から支えるタイプ	ベローズ継手搬出入性の観点から、クロスオーバーレグの上部にハンガ支持用架構造を設置しない。
コ ー ル ド レ グ	302～304	2本のハンガで吊る	天井の間隔が小さいため。

表 2.1.2 スナッパ設置上の考慮事項

	スナッパ No.	支 持 方 法*1	理 由
ホ ッ ト レ グ	203、204	X、Y方向より15度づつ回転し取り付ける。	ハンガ(302)との干渉を避けるため。
クロスオーバーレグ	201～204 207、208	X、Y方向より45度づつ回転し下方向より取り付ける。	ハンガ(300～302)との干渉を避けるため。
コ ー ル ド レ グ	200、201 204、205	X、Z方向より45度づつ回転し取り付ける。	配管と壁との間隔、ホットレグ配管とコールドレグ配管との間隔が小さいため。
	206～208	Y方向に対して45度づつの方向に取り付けた。	配管と天井の間隔が小さいため。

*1 X、Y、Z方向はアイソメ図の座標系による。

2.1.3 1次主冷却系室空調ダクト及びケーブルトレイ配置

(I) 1次主冷却系室部屋割り

前項に記載した1次主冷却系室の機器配管配置をもとに、1ループ分の部屋割図(図2.1.3-1)を作成した。部屋割図作成に際しては、下記の点を考慮した。

- (a) ホットレグ、コールドレグの配管は、FL-18.0M以上で引廻し配置がされているので、FL-18.0M基準床レベルを設ける。

- (b) 配管の高所水平引廻しエリア (F L - 18.0M以上) の下部空間は、格納容器内装置の補助系機器、電気品、C/V貫通ケーブルベネ等の配置を考慮して、F L - 18.0Mとベースマット (F L - 33.0M) との間で、I H X、ポンプを囲む壁を設置し、1次主冷却系室との間で雰囲気気分離が可能な構造とした。
- (c) I H X、ポンプと生体しゃへい壁との間に関しては、F L - 26.0Mとベースマットとの間に壁を設けるものとし、F L - 18.0Mレベルはグレーチング床とした。これは、雰囲気気空調系の給気ダクトの配置とその気流性を考慮して、主配管廻りメンテナンス床がグレーチングが妥当と判断したことによる。

(2) 1次主冷却系空調ダクト及びケーブルトレイ配置

1次主冷却系室素雰囲気調整系の熱負荷容量及び風量は、高速増殖実証炉設計研究でまとめられた下記の設計条件を前提条件とした。

- ・ 熱負荷容量 $404 \times 10^3 \text{ kcal/hr}$
- ・ 風 量 $38,000 \text{ m}^3/\text{hr}$

上記の値をもとに、1次主冷却系室の給・排気ダクト口径は1500mmとした。ダクトルートを選定に際しては、下記の点を留意した。

- (a) 室内の雰囲気気温度分布が良好になるように給気口及び排気口の位置を定めるものとする。
- (b) ダクトの底面レベルは、保守点検ルートにおける通路高さ2mを確保すると共に、主配管サポート構造との干渉を避けて設定するものとする。

ケーブルトレイについてはケーブル物量が現状未定であるが、標準的な寸法として、幅900mm、高さ400mmとした。この高さ400mmは動力用、計装用、制御用ケーブルの各々のケーブルトレイ3段を含めた寸法である。

また、I H X、ポンプの予熱用ケーブルは、F L - 18.0Mからベースマットまでの間に配設した壁に沿って電線管により配置処理するものとした。

空調ダクト及びケーブルダクト配置図を図2.1.3-2に示す。

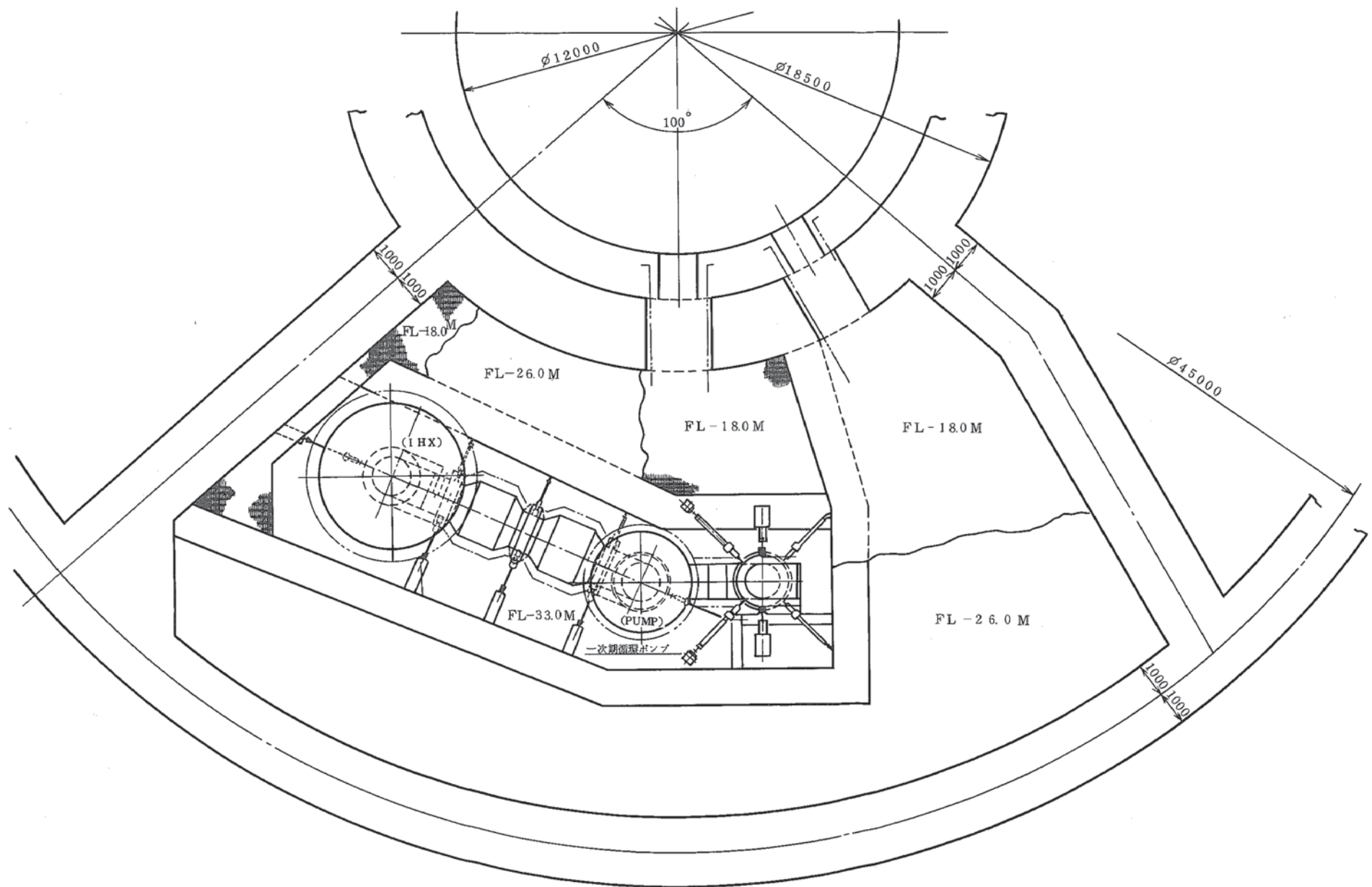


图 2.1.3-1 1 次主冷却系室部屋割图

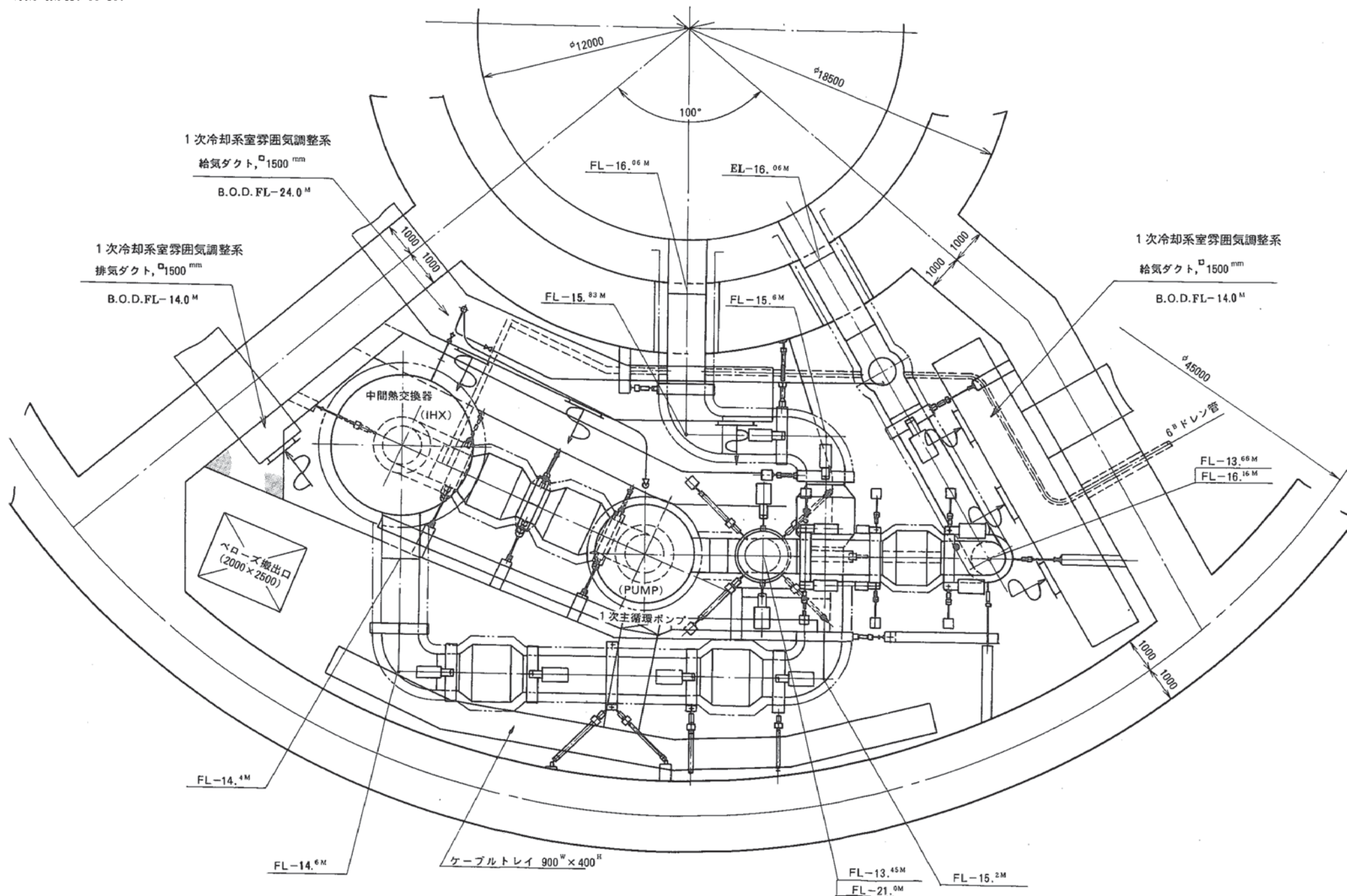


図 2.1.3-2 1次主冷却系空調ダクト、ケーブルトレイルルート図

2.1.4 1次主冷却系配管ベローズ継手のメンテナンス性検討

ベローズ継手に対するメンテナンス計画を整理するとともに、万一プラント寿命中に交換の必要性が生じた場合の搬出ルート及び、交換手順を検討した。

(1) メンテナンス計画

メンテナンス計画を下記に示す。

- (i) 外観検査として、保温外表面より直接またはI T Vを用いた遠隔目視により異常の有無を確認する。また、必要に応じベローズ継手部保温材を外し、ファイバースコープ、ボアスコープなどの光学装置による遠隔目視検査を実施する。
- (ii) ヒンジ及び、ジンバル型ベローズ継手を用いた場合、継手のピン部においては高温条件下で使用されるために固着等が生じていないことを確認する。

(2) ベローズ継手交換作業要領の検討

(i) ベローズ継手搬出入ルートの検討

図2.1.4-1にベローズ継手搬出入ルート図を、表2.1.4-1にベローズ継手搬出ルートの検討結果を示す。尚、表2.1.4-1に示した搬出ルートを逆手順にすることで搬入が可能である。

1次主冷却系室天井（F L-11.8M）付近には、1次主冷却系配管・配管支持装置・空調ダクト等が設置されることから、交換するベローズ近傍からベローズ搬出入用ハッチ迄のベローズ継手の移動をチェンブロックにて行うことは困難な為、F L-18.0Mに設置した床上台車を使用することにした。

(ii) ベローズ継手交換手順の検討

ベローズ継手全体を交換する場合につき、表2.1.4-2にその手順を示す。格納容器系内の合理化に伴い空間が狭い為、治具等によりベローズ継手の交換方法も考えられるが、補助系配管及び、I T V用レール等も設置されるゆえ、チェンブロック及び、台車を使用し作業を実施する。

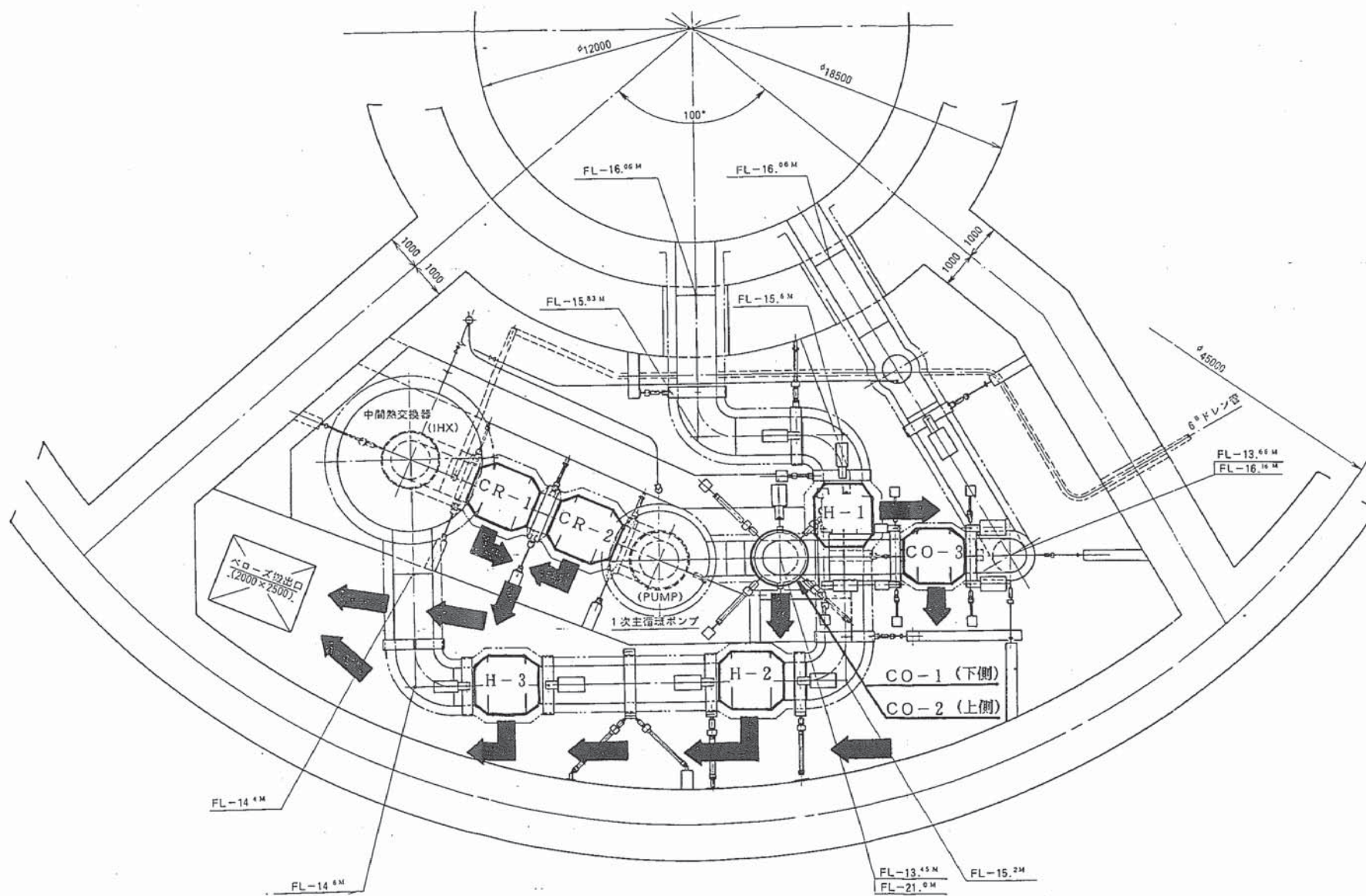


図 2.1.4-1 ベローズ継手搬出入ルート図

表 2.1.4-1 ベローズ継手搬出ルート

ベローズ継手番号*1	搬 出 ル ー ト*2
H-1	① ベローズ継手切断後、FL-11.8Mのチェンブロックにて、ポンプの反対側に移動する。(FL-18.0Mに設置した床上台車の上まで移動) ② ベローズ継手を床上台車に搭載する。 ③ 床上台車にて、ベローズ搬出入用ハッチ下まで移動し、チェンブロックにてIH X上部室へ吊上げる。 ④ IH Xメンテナンスハッチからポーラクレーンにてオペレーションフロアーへ吊り上げる。 ⑤ 機器搬出口から格納容器外へ搬出する。
H-2 H-3	① ベローズ継手切断後、FL-11.8Mチェンブロックにて、ベローズ継手下方のFL-18.0Mに設置した床上台車に搭載する。 ② 以降、H-1ベローズ継手③～⑤項と同手順とする。
CR-1 CR-2	① ベローズ継手切断後、機器との干渉を避けるため、FL-11.8Mのチェンブロックにて、炉心反対側に移動する。 ② ベローズ継手をFL-18.0Mの床上まで吊り上げ、炉心反対側のFL-18.0Mに設置した床上台車上方まで移動し、床上台車に搭載する。 ③ 以降、H-1ベローズ継手③～⑤項と同手順とする。
CO-1	① ベローズ継手切断後、FL-11.8Mのチェンブロック及び、アイプレートによる垂直配管と干渉しない位置まで炉心反対側に移動する。 ② さらにFL-11.8Mのチェンブロックにて、FL-18.0Mの床上まで吊り上げる。 ③ FL-18.0Mに設置した床上台車に搭載する。 ④ 以降、H-1ベローズ継手③～⑤項と同手順とする。
CO-2	① 上記(CO-1)②項を除き、CO-1ベローズ継手と同じ。
CO-3	① ベローズ継手切断後、FL-11.8Mの、チェンブロックにてベローズ継手下方の、FL-18.0Mに設置した床上台車に搭載する。 ③ 以降、H-1ベローズ継手③～⑤項と同手順とする。

*1 図 2.1.4-1 のベローズ継手と対応している。

*2 本表ではベローズ継手搬出ルートのみ示したが、搬入する場合には表中に示した内容を逆手順で作業するばよい。

表 2. 1. 4 - 2 ベローズ継手交換手順及び、作業内容

作業 手順	ベローズ継手取外し時作業内容	作業 手順	ベローズ継手取付時作業内容
1.	- 配管系のナトリウムドレン後、対象配管系の冷却待ち。 - 対象ベローズ継手上部にチェーンブロック及び、作業足場設置。	1.	取外された配管開先距離に合致するように、ベローズ継手変形を拘束。
2.	ベローズ継手近傍の補助系配管類等の切断。	2.	- ベローズ継手の搬入 - ベローズ継手取外し部の移動。
3.	リーク検出系、計装類の継ぎ部の切断及び、保温材の取外し。	3.	γプラグを利用して、バックパージ用 Ar ガスラインの設置。 - 切断配管間へベローズ継手の挿入。 - ベローズ継手変形防止治具の調整、配管開先とベローズ継手端部の食い違いの測定後、開先の調整。 - ベローズ継手の配管への挿入。
4.	ベローズ継手前後配管の拘束及び、ベローズ継手変形防止治具の取付。	4.	- 溶接治具の取付け及び、バックパージ用 Ar ガスを溶接適正圧力に設定。 - 溶接施工。 - 溶接治具の取外し。 - バックパージ用 Ar ガスラインの撤去及び、配管内 Ar ガスシール用風船の取外し。
5.	玉掛けによるベローズ継手の拘束後、ベローズ継手支持装置の取外し。	5.	- 検査治具の取付 - 検査実施及び確認。 - 検査治具の取外し後ベローズ継手リーク検出系の取付。
6.	- 配管切断装置の設置 - ベローズ継手近傍の γ プラグを利用して、ゴム風船による配管系内 Ar のガスのシールのち、ベローズ継手切断。	6.	- ベローズ継手支持装置取付け後、ベローズ継手の玉掛けによる拘束解除。 - ベローズ継手変形防止治具の取外し。 - ベローズ継手前後配管の拘束解除。
7.	ベローズ継手の搬出。	7.	- ナトリウム検出系、計装類の継ぎ部の接続。 - 保温施工。
8.	切断、配管内面洗浄。	8.	- 補助系配管類の取付け。 - 作業足場の取外し。
9.	- 開先加工装置の配置。 - 配管の開先加工。 - 開先部の浄化後、開先部の形状測定及び、上下開先間の距離測定。	9.	- 予熱昇温。 - ナトリウム充填。 - ガスベント。

2.2 格納容器径40m配置の検討

2.2.1 配置設計上の制約事項の摘出

1次主冷却系室内機器・配管配置に対する制約事項を下記に示す。

(1) 格納容器壁厚中心～機器中心間距離

ポーラクレーン寄り付き上から、IHX、ポンプ等の大型機器は格納容器壁厚中心から機器中心までMin. 4.7m以上離す。本基準は、高速増殖原型「もんじゅ」の設計現状を反映したものである。

(2) エルボ～エルボの取り付け

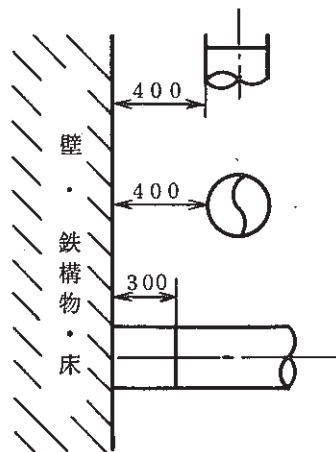
エルボとエルボの直接溶接は行わない。エルボ溶接に働く応力係数を考慮し、1D以上の短管を挟み取り付ける。本基準は、告示 501号第48条に依るものである。

(3) 隣接管の距離

配管の地震時及び、熱膨張時の接触を防止するため、隣接管の距離は保温外装面からMin. 300mm以上離す（I社基準）

(4) 配管溶接作業空間

壁、床及び、鉄構物に近接する配管は溶接施工、検査等を考慮し下図の空間を設ける。（I社基準）



(5) スプレー火災対策上からの配管～コンクリート壁距離

ライナーを装備していない場所における、ナトリウムスプレー噴出によるコンクリートとの火災防止距離は、（配管保温表面～コンクリート壁）Min. 600mm離す。（I社基準）

(6) 配管サポートを考慮した適正配管長の検討

詳細計画段階で適正サポート寸法が不足することの無いよう、予め 400～500 mm のサポート長を設置する。(I 社基準)

2.2.2 格納容器径40m装置の基本概念

2.2.1 項に記載の配置設計上の制約事項から、1 次主冷却系室における機器・配管の許容配置スペースを格納容器径40mに対して明示すると、図 2.2.2-1 に示す通りとなる。この配置許容スペースを満足する 1 次主冷却系機器・配管配置案を A、B、C 案として、図 2.2.2-2～図 2.2.2-4 に示す。何れの配置案においてもシステム構成及び、機器外径寸法等は格納容器径45m配置検討の前提条件と同じとした。

(1) 配管 A 案

図 2.2.2-2 に示す配管 A 案は、クロスオーバーレグ及びコールドレグの配管引廻しは、格納容器径45m配置案と同じである。

ホットレグ配管系の熱膨張吸収は、上下方向面内の垂直配管の引廻しで行う。A 案成立性評価のためには、今後さらに下記の点を詰める必要がある。

- (a) ホットレグ配管径の構造健全性評価。
- (b) ベローズ継手無しの条件で成立性不可の場合、垂直配管部におけるベローズ継手の適用法検討。
- (c) ホットレグ配管の下部水平部とクロスオーバーレグ配管との干渉が問題となる場合、IHX 出口配管を IHX 胴側部取付けとし、1 次主循環ポンプ吸込みノズルをポンプ胴側部取付けとする。

(2) 配管 B 案

図 2.2.2-3 に示す配置 B 案は、A 案のコールドレグ配管径を合理化したものであり、ポンプ出口配管がポンプ吐出ノズルから立ち上がった後、原子炉容器入口ノズルに接続する配置案である。B 案における検討課題は、A 案に示したもの以外に、コールドレグ配管の構造成立性評価がある。

(3) 配置 C 案

図 2.2.2-4 に示す配置 C 案は、B 案からホットレグ配管を合理化したものであり、原子炉容器出口ノズルと中間熱交換器入口ノズルを水平直管で結び、熱膨張吸収は直管型ベローズ継手で行う。この場合、中間熱交換器設置場所を図 2.2.2-1 の許容範囲で原子炉容器から最も遠い位置とすると、ベローズ継手による吸収変位量は約 150 mm 程度となる。また、ベローズ継手の設置可能な直管長さは、約 3 m 程度となる。従来より検討されているベローズ板厚 2 mm～3 mm の単層ベローズでは、1 山あたりの吸収変位量は、2 mm～3 mm 程度が現状のベローズ設計基準を満足するものである。

従って、上記の直管型ベローズ継手の許容据付けスペースで吸収変位量を満足するベローズ継手の構造概念としては、多層ベローズとするか、板厚を厚くして山高を高くするものか考えられる。検討課題は、ベローズ継手の詳細構造概念を今後詰める必要がある。

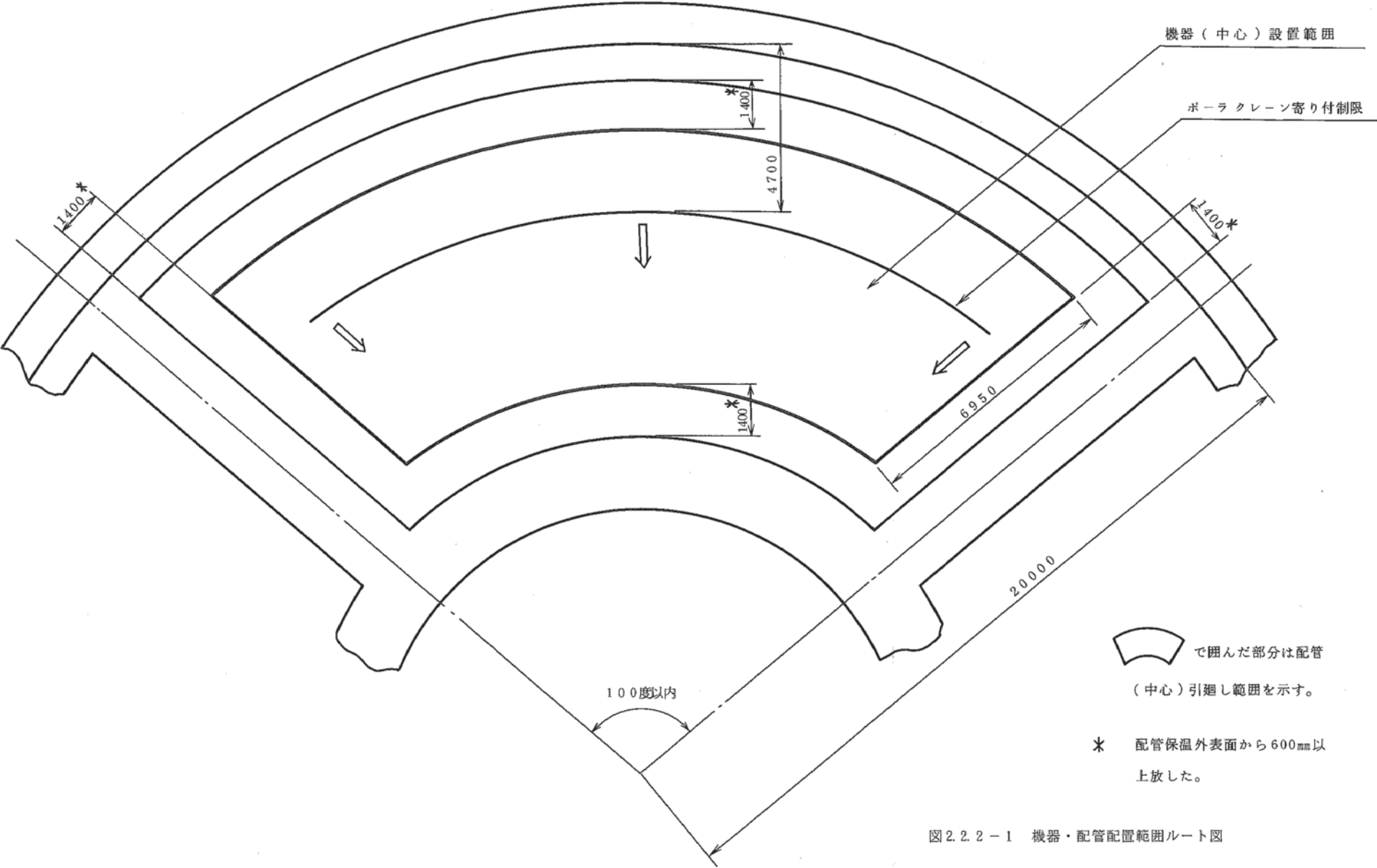


図 2.2.2 - 1 機器・配管配置範囲ルート図

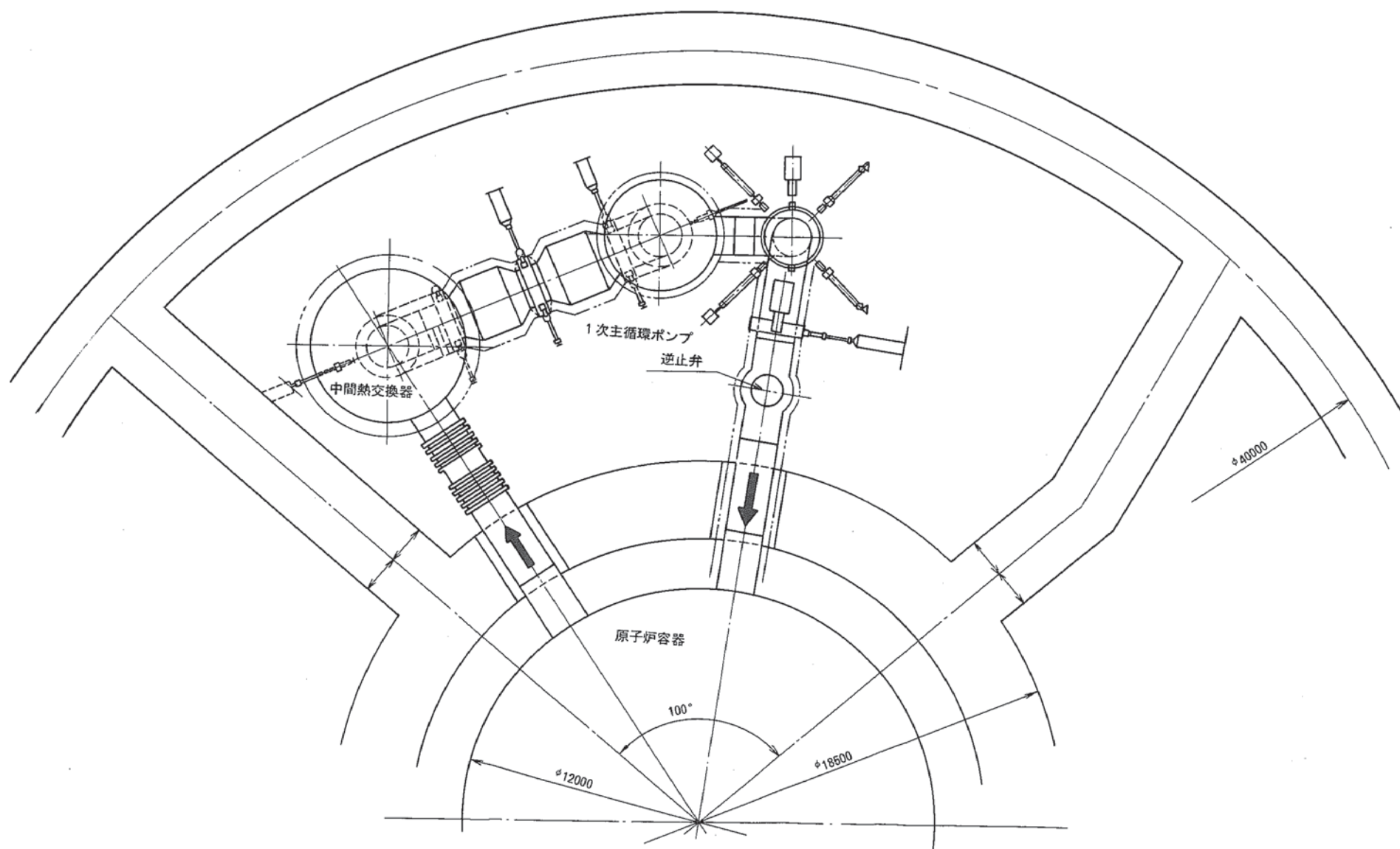


図 2.2.2-4 格納容器径40m配置C案

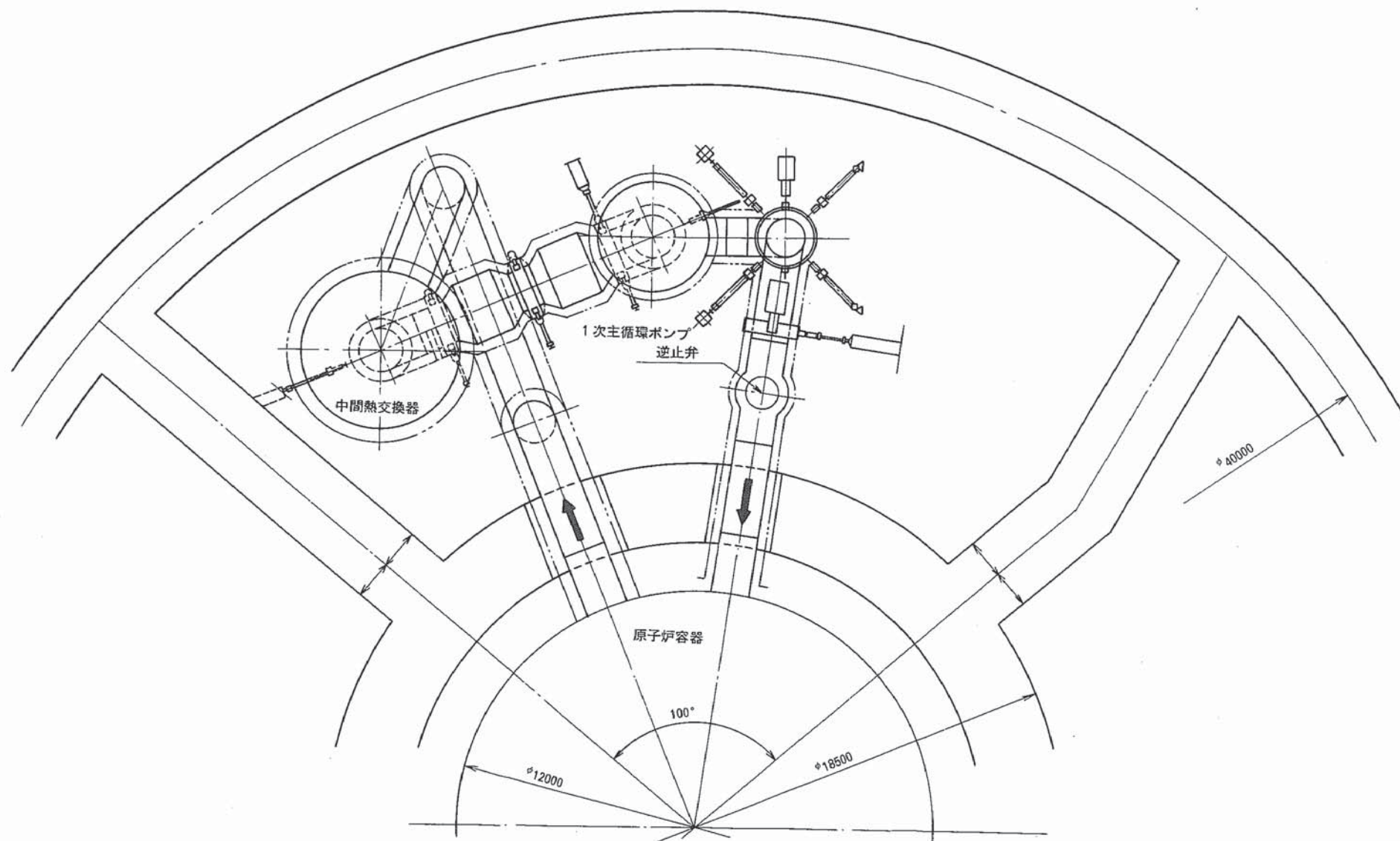


図 2.2.2-3 格納容器径40m配置B案

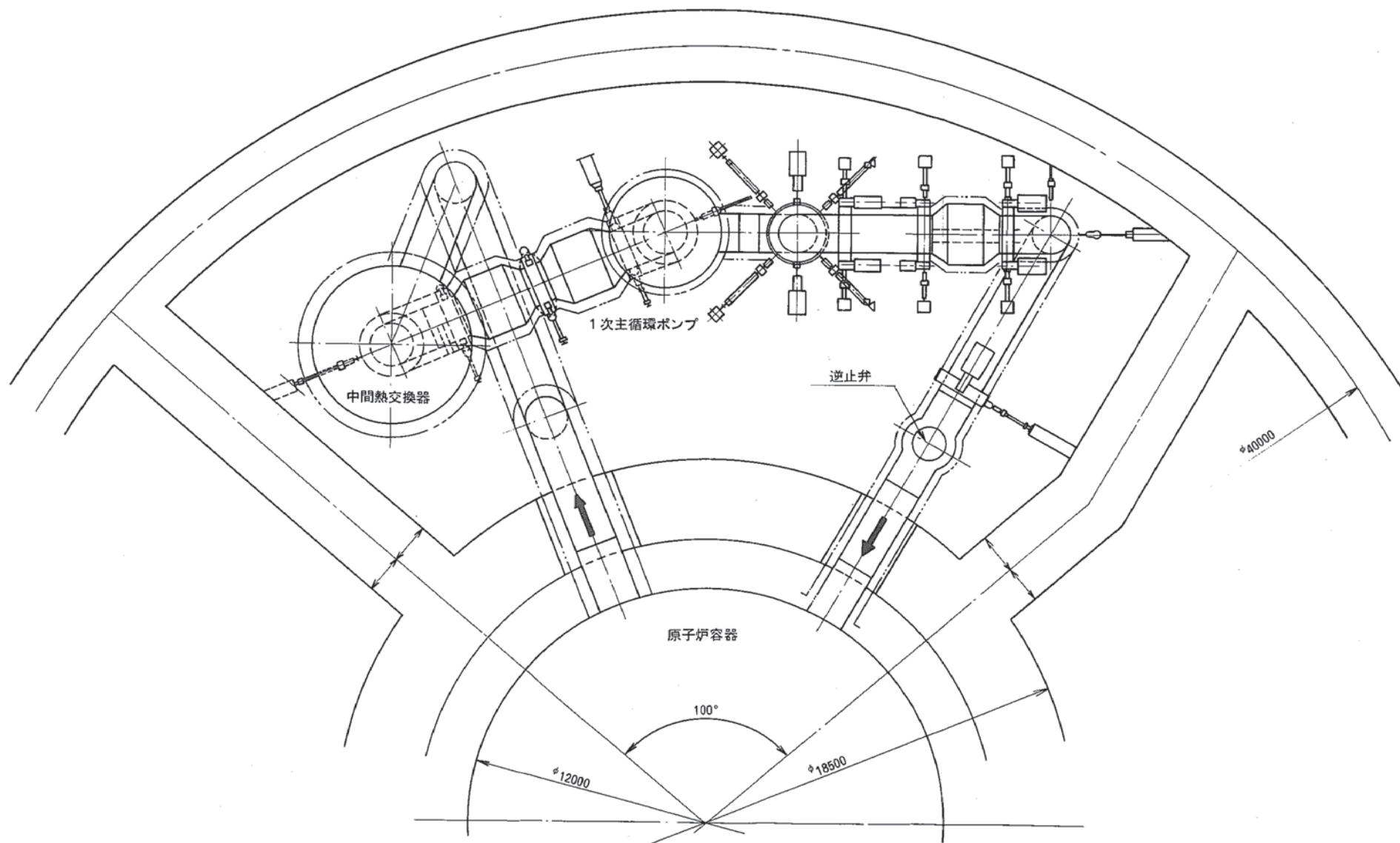


図 2.2.2 - 2 格納容器径40m配置 A 案

2.3 ま と め

上記 1 次主冷却径の設計をまとめると次の通りである。

- (1) 配管支持装置を設ける部位については、配管クランプの幅を考慮して、エルボやベローズ継手等の継手間に妥当な短管長さが必要であるが、今回の配置案ではこの短管長さが十分でない部位があった。
 - (2) 検討の前提条件とした I H X の支持フランジ寸法が大きく、これが 1 次主冷却室の平面寸法の決定要因の 1 つとなっている。今後の格納容器径コンパクト化のためには、I H X、及びポンプの機器におけるフランジ径寸法等を詰める必要がある。
 - (3) ホットレグ配管のベローズ継手とコールドレグのポンプ出口立ち上がり配管部のベローズ継手が近傍しており、ベローズ継手のメンテナンス性向上のためには、コールドレグ配管のベローズ継手設置部を見直すことが望ましい。
 - (4) 今回の配置案に示したように、I H X、ポンプの長尺機器を炉容器ノズル方位から偏心させて配置することは、1 次主冷却系配管引廻し領域の下部空間を部屋を設けることが可能な点でメリットがある。さらに空間利用率を上げるためには、I H X、ポンプを可能な限り生体しゃへい壁側に設けることが望ましい。
 - (5) 今回の検討対象とした配管配置では、1 次系ナトリウムダンプタンクをベースマット上に配置して、ナトリウムドレンを重力落下で行うことは不可能である。ドレンのためにダンプタンク側のカバーガス圧を負圧に引く等の操作が必要である。
 - (6) 格納容器 40m に対応した 1 次主冷却系機器・配管配置の配置案を検討して、今後の検討課題として下記を摘出した。
 - ・ ホットレグ配管系の垂直配管引廻し。
 - ・ ポンプ出口立ち上がり垂直配管部にのみベローズ継手を用いた場合のコールドレグ配管系の構造健全性評価。
 - ・ ホットレグ配管系への直管型ベローズ継手の適用限界の詰め。
- (a) ホットレグ配管系の垂直配管引廻し。
 - (b) ポンプ出口立ち上がり垂直配管部にのみベローズ継手を用いた場合のコールドレグ配管系の構造健全性評価。
 - (c) ホットレグ配管系への直管型ベローズ継手の適用限界の詰め。

3. 2 次主冷却系の設計

3.1 格納容器径40mに対応する2次系配置制約事項の摘出

格納容器径が40mに縮小された場合における、2次主冷却機器・配管配置上の制約事項を下記に示す。

(1) IHX上部室

(i) C/V貫通部

(a) C/V貫通管にフリュードヘッドを設け、格納容器バウンダリーを形成する場合には、B種の漏洩試験（プロセス管～フリュードヘッドとC/V貫通スリーブ接続線配管空間部の局部漏洩試験）及び、B種の漏洩試験（格納容器バウンダリー全体漏洩試験）が実施されるため、C/V内壁側 0.5m以内に邪魔物は設置しない。

(b) C/V径縮小及び、大口径管に相乗する効果として、図3.2-1に示す如く、貫通管付属品は傾斜角が大となるため、これらの品物製作時には注意が必要。

(ii) ベローズ継手

(a) IHX上部室が狭くなるため、ベローズの搬出入を考慮した配置が必要。

(2) 2次主冷却系ナトリウム機器配管室

(i) 蒸気発生器廻り

(a) 蒸気発生器の上下部にある管台及び、リングヘッダーと壁との間隔は、伝熱管検査が可能なスペースを確保する。

(ii) ベローズ継手

(a) 格納容器貫通部～2次系機器室の間に設置するベローズ継手は、その搬出入の際に、できる限り蒸気発生器あるいは2次主循環ポンプ搬出入用ハッチを利用できる用考慮する。

(iii) その他

(a) 配管系のレイアウトには特別な制約とはならないが、格納容器貫通部～2次系機器室の間は、点検用通路等の確保を考慮し、この間の配管は出来るだけ上部に設置する。

(3) 上記以外の制約事項

上記以外の制約事項として、2.2.1項で示した下記項目と同様である。

- (a) エルボ～エルボの取付け
- (b) 隣接管の距離
- (c) 配管溶接作業の最低空間
- (d) スプレー火災対策上からの配管～コンクリート壁距離
- (e) 配管サポートを考慮した適正配管長の検討。

3.2 原子炉補助建物内 2 次系機器配置

格納容器径を40mにした場合の2次主冷却系機器・配管配置を検討し、下記図面に示す。

図3.2-1 : 原子炉建物機器・配管配置図（平面図）

図3.2-2 : 原子炉建物機器・配管配置図（側面図）

本作業は下記の項目を前提として、2次主冷却系機器・配管配置を検討した。

- (a) 格納容器径40m
- (b) 一体貫流型蒸気発生器

原子炉補助建屋面積の比較を図3.2-3に示す。図より、原子炉補助建屋面積は、約13%の削減となっている。更に、蒸気発生器を一体貫流型としたことから、図3.2-1の7347 (㎡/ループ) ((⑩～⑫) 通り×(F a×E a) 通り) の削減ができる。但し、燃取系等の多くの部屋のレイアウトは、今後検討が必要である。

今回の検討では、一体貫流型のSGの採用により2次系ナトリウムインベントリーが、高速増殖実証炉設計研究に比べ約25%減少することから、ドレンタンク及び膨張タンクの径を約14% (約1 m) 小さくできる可能性がある。

图 3.2-1 原子炉建物機器配管配置図 (平面図)

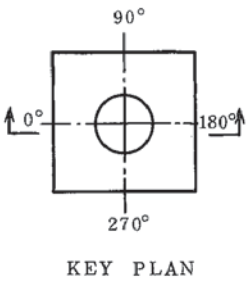
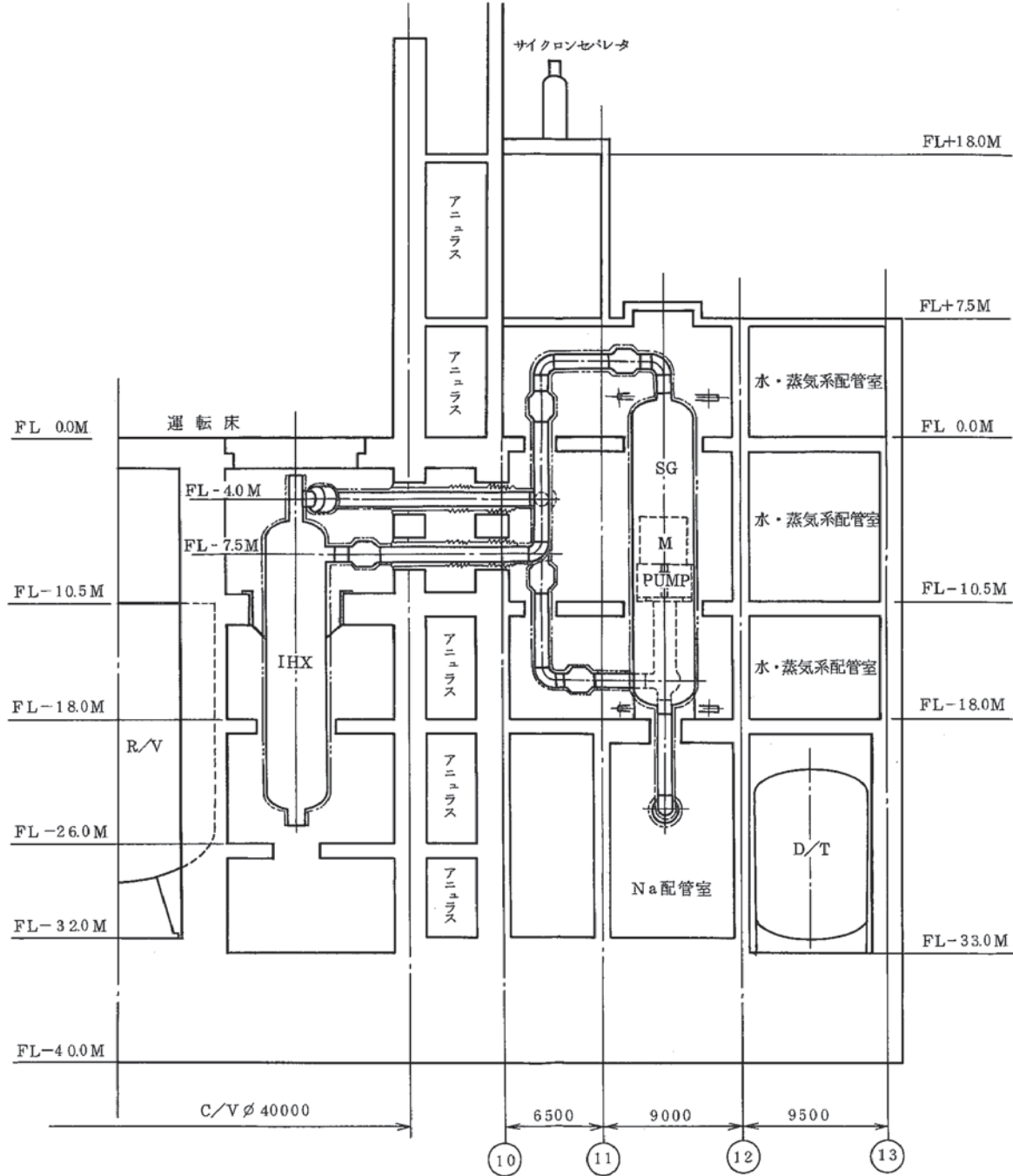


図 3.2 - 2 原子炉建物機器配管配置図 (側面図)

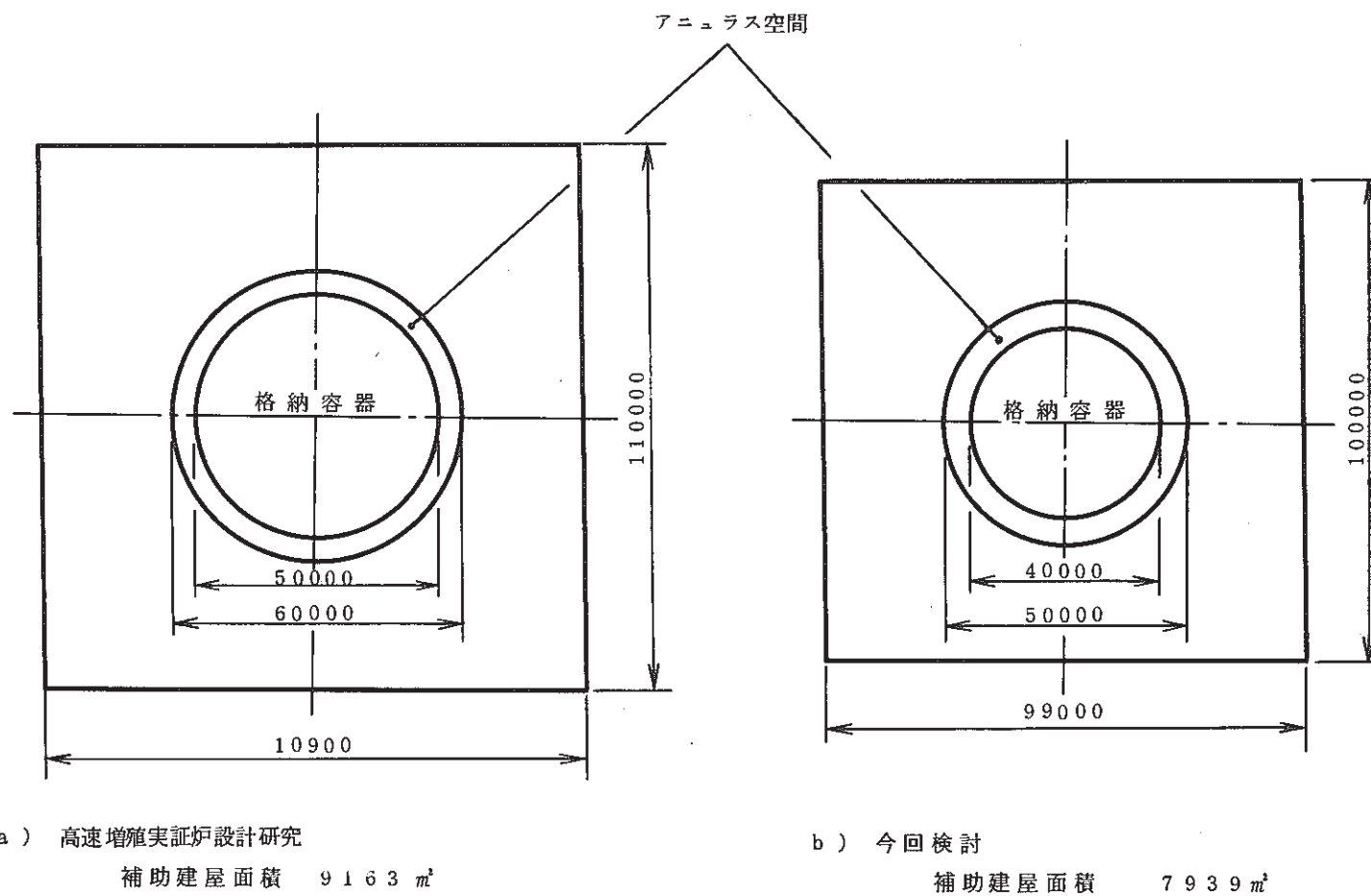


図 3.2-3 原子炉補助建屋面積の比較