

配管ベローズ継手
炉内実証試験検討ワーキング・グループ
成果報告書

1992年5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)

配管ベローズ継手 炉内実証試験検討ワーキング・グループ 成果報告書

PROFIT推進会議第1分科会

配管ベローズ継手炉内実証試験

検討ワーキング・グループ

要 旨

本報告書は、これまでに当事業団で展開されて終了した配管ベローズ継手の成立性研究に引き続いて、実験炉「常陽」を用いた配管ベローズ継手の実証試験について検討した結果をまとめたものである。

本件はPROFIT推進会議第1分科会の所掌であり、分科会の下に配管ベローズ継手炉内実証試験検討ワーキング・グループが設置され、実験炉部・技術開発部・機器構造開発部からPROFIT推進会議事務局によって選任されたワーキング・グループ委員が当該事項を検討した。

検討内容は、「常陽」主冷却配管系を用いた実証試験の意義・目的、方法、工程、期待される成果および必要経費である。

検討結果は第1分科会、PROFIT推進会議、技術会議に報告され、審議された結果、2次主冷却配管系に12号口径内圧型縦置き配管ベローズ継手を設置して、開発部と実験炉部の業務として実証試験を実施することが決められた。

May, 1992

A Validation Test Planning of Piping Bellows Expansion Joint
in Experimental FBR 'JOYO'

The First Sub-Committee of the PROFIT
Committee Working Group on a validation
test planning of piping bellows

ABSTRACT

This report describes the summary of 'A Validation Test Planning of Piping Bellows Expansion Joint in Experimental FBR "JOYO" '. The planning followed 'A Feasibility Study of Piping Bellows Expansion Joint' which had been completed at Oarai Engineering Center of PNC.

The planning of validation test is one activity of the First Sub-Committee of the PROFIT Committee. Under the First Sub-Committee, a working group was organized for constructing the validation test program.

The working group had considered meanings/objectives, methods, schedules, expected results and expenses of validation test using experimental FBR 'JOYO'.

The output of the working group presented in this report was reported to and deliberated in the First Sub-Committee, the PROFIT Committee and a Technical Steering Committee in Oarai Engineering Center. The last choice was made by the Technical Steering Committee to push forward with the plan.

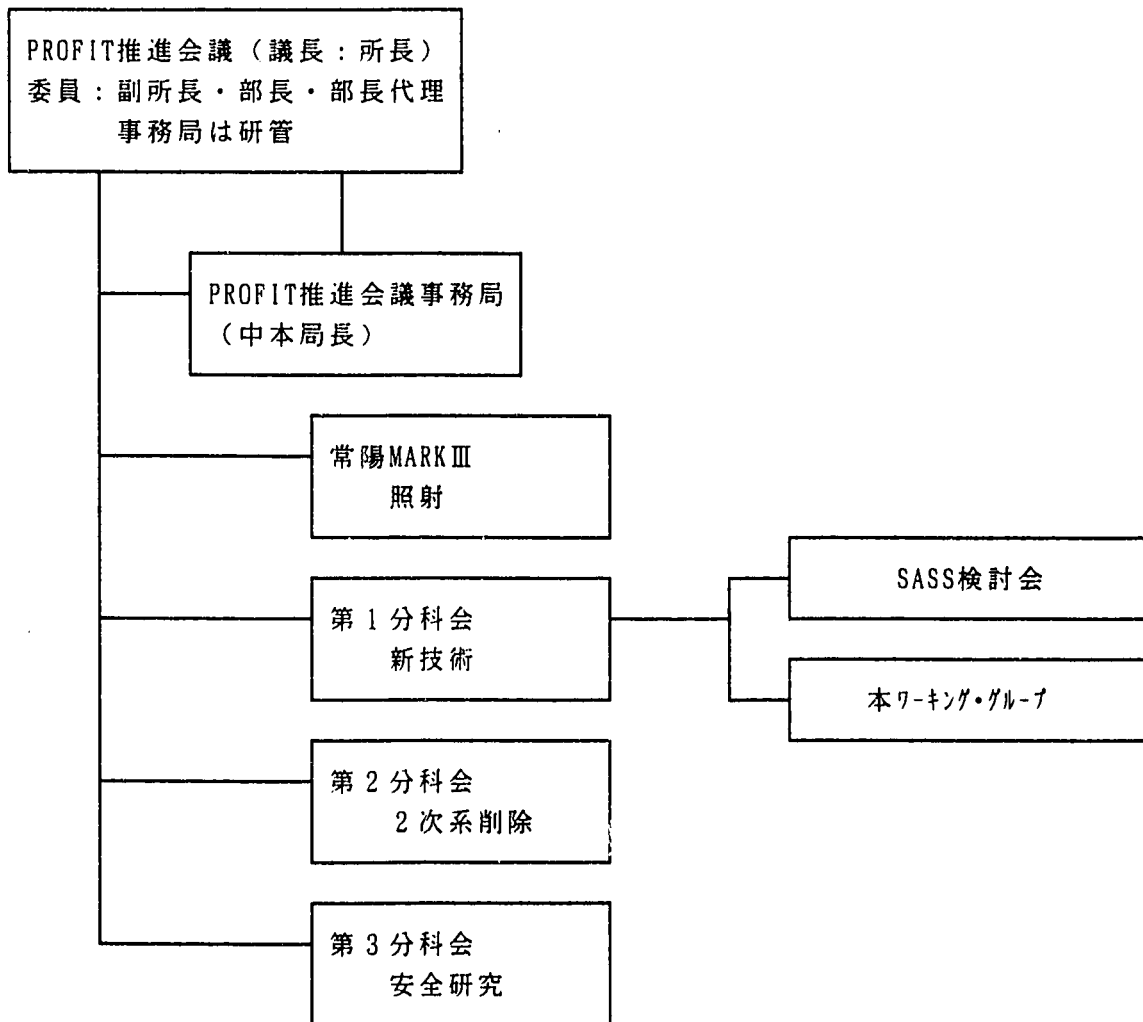
目 次

要 旨	I
1. まえがき	1
2. 配管ベローズ継手炉内実証試験検討ワーキング・グループ構成	2
3. 検討の経緯と結果および決定	3
4. 推奨する今後の展開	4
付 録	
付録(1)配管ベローズ継手炉内実証試験検討W/G議事録	11
付録(2)常陽配管ベローズ設置位置の検討	26
付録(3)配管ベローズ構造健全性の検討	53
付録(4)予熱・保温に関する検討	57
付録(5)連続漏洩監視に関する検討	60
付録(6)ベローズ設置による常陽配管解析結果	65
付録(7)ベローズ仕様検討	72

1. ま え が き

PROFIT推進会議は平成3年9月、懸案事項の一つである常陽を用いた配管バロズ継手実証試験の意義・工程や経費を検討するために、「配管バロズ継手炉内実証試験検討ワーキング・グループ」を第1分科会の下に組織した。このワーキング・グループの目的は、当該実証試験について検討し、その結果を第1分科会に答申することにある。

当ワーキング・グループのPROFIT推進会議の中での位置づけを下に示す。



2. 配管ベローズ継手炉内実証試験検討ワーキング・グループ構成

本ワーキング・グループの構成委員を以下に示す。

主査 渡士 克己（大洗 機器構造開発部構造工学室）⁽¹⁾

委員（順不動）

拝野 寛（大洗 実験炉部技術課）

磯崎 和則（大洗 実験炉部技術課）

則次 明広（大洗 実験炉部原子炉第1課）

高須 宏雄（大洗 実験炉部原子炉第2課）

永田 敬（大洗 技術開発部プラント工学室）⁽²⁾

片岡 一（大洗 機器構造開発部機器システム開発室）⁽³⁾

月森 和之（大洗 機器構造開発部構造工学室）

幹事

冨田 直樹（大洗 実験炉部原子炉第2課）

川崎 弘嗣（大洗 機器構造開発部材料開発室）

(1) 平成4年4月から 大洗 機器構造開発部材料開発室

(2) 平成4年4月から 大洗 機器構造開発部構造工学室

(3) 平成4年4月から 大洗 実験炉部照射課

3. 検討の経緯と結果および決定

3.1 検討に到る経緯

配管ベローズ継手の成立性研究は1983年から1989年までの7年間に亘って、機器構造開発部において実施され、配管ベローズ継手の強度設計評価手法策定に必要な項目および製作・検査・保守基準作成に必要な項目について研究開発が展開された。これらの中には、下記の試験項目がある。

- (1) SUS316の材料試験
- (2) ベローズの疲労・クリープ疲労試験
- (3) ベローズのき裂進展事件
- (4) ベローズの内圧および外圧座屈試験
- (5) ベローズの衝撃破壊試験
- (6) ベローズ付き直管の動的挙動試験
- (7) 配管ベローズ継手継手の熱過渡強度試験
- (8) 大気中実証試験としての配管ベローズ継手の耐久試験

上記のうち、(8)では高速炉一次主冷却配管への設置を目指して42 ϕ 口径のジンバル形式の内圧型および外圧型の配管ベローズ継手を機器室のポンプ・ループに設置し、560 $^{\circ}$ Cの流動ナトリウム下の耐久試験を三年間に亘って約2,000回の変位繰り返しを与えることによって実施し、その結果を用いて製作・検査・保守基準案の作成を実施している。

また、配管ベローズ継手の成立性研究に先行して、ナトリウム・ループに配管ベローズ継手を用いてその効果および機能を調べるために、10 ϕ 口径配管ベローズ継手が大型ナトリウム・ループに設置され、過渡熱応力および繰り返し配管ベローズ継手熱膨張変位の負荷のもとに健全性が長時間実証されている。この中では、配管ベローズ継手を設置することによって配管長を短縮するとともに、厳しい過渡熱応力の繰り返しのもとで長時間の継手の健全性を調べられており、10 ϕ 口径配管ベローズ継手は八年間に亘って所定の熱膨張変位を吸収し、現在なお健全に使用されている。

以上を総括すると、配管ベローズ継手の成立性研究は、ナトリウム・ループでの実証試験が終了し、高速炉第1種配管ベローズ継手用高温構造設計方針(案)および高速炉

第1種配管用ベローズ継手の製作・検査・保守基準（案）が策定されている。これらの基準案はいずれも技術的には完成しており、オーソリティーによって認知されるのを待つばかりである。

その他、配管ベローズ継手に関しては、原子力産業会議に委託して矢川東大教授を主査とする外部委員会で動燃の開発した両基準案の検討が終了、またプラント最適化に関する日米協力（POST）が終了している。最近米国エネルギー省より「EBR-II配管ベローズ継手共同評価申込が来信しているが、このベローズ継手は「Design by Test」の概念を基本とするASME CC N290に基づいており、解析による設計を基本とする動燃策定の基準（案）とは手法が根本的に異なっており、ここで計画している実証試験と干渉するものではなく、常陽を用いた実証試験とは得られる成果（技術の認証・ねらいめ）が異なる。

3.2 検討の経緯

昭和64年度にPROFIT推進会議において、配管ベローズ継手の常陽における実証試験が提案されて以来、暫く検討が中断した後、平成3年9月のPROFIT推進会議において当該実証試験の工程等を検討するために「配管ベローズ継手炉内実証試験検討ワーキング・グループ」が設置された。

PROFIT推進会議等における本課題の検討経緯を下に示す。

平成3年9月のPROFIT推進会議	本W/Gの設置決定
11月のPROFIT推進会議	中間報告
	目的・意義の検討項目追加
	選択できるレビュー結果の提示
平成4年2月のPROFIT推進会議	最終報告
	実証試験実施が決定
	格納容器内設置または格納容器外設置の決定は技術検討会廻し
	MARK-III用冷却系改造工程との整合性および仕様
	検討継続がコメント

平成4年2月の技術会議

配管ベローズ継手を格納容器～空気冷却器へ到る
垂直配管ベローズ継手部に設置することに決定。

5年度概算要求書は本W/G対応。

3年度末をもって本W/Gは解散（以後は開発部と
実験炉部のライン業務）

2～3ヵ月に1回の割合の所長直属の検討委員会に諮るために、本W/Gは3年度9月に発足以来付録(1)に示す議事録のように活発な活動を展開し、第1分科会、PROFIT推進会議および技術会議で審議できる資料を作成した。

3.3 検討の結果

(1) 検討の範囲

下記の項目について、検討した。

- ① 常陽一次主冷却配管系および2次主冷却配管系への設置案
- ② 目的・意義
- ③ 配管系の熱膨張および地震解析と設計
- ④ ベローズ設計
- ⑤ 構造健全性説明倫理検討
- ⑥ 構造安全性説明倫理検討
- ⑦ 予熱・保温検討
- ⑧ 漏洩監視・ISI検討

(2) 常陽一次主冷却配管系および2次主冷却配管系

常陽の一次主冷却系配管は二重配管であり、動燃の成立性研究で開発した配管ベローズ継手を一次系に用いた場合には、構造が安全機能上バックアップ・ベローズを備えた二重構造であるので、必然的に配管ベローズ継手部は3重構造となる。このような構造は、付録(2)にはその構造形状の概念図を示したが、相当複雑な構造となって、その実現を狙うのは困難と考えられる。

2次主冷却系は12寸口径であり、格納容器内と格納容器外に分類される。格納容器内は運転時窒素雰囲気であり、格納容器外は空気雰囲気であるが何れにしても設置は

技術的に可能である。

図1に、最終的に技術検討会で決定された配管ベローズ継手設置位置を示す。設置場所は、格納容器配管貫通部から空気冷却器に到る12寸口径配管（DHX入口ホット・レグ配管Bループ）の垂直配管部である。この場所にジンバル内圧型配管ベローズ継手を設置すると、スナッパ－2本を追加することによって、一次固有振動数を4.1Hzとでき、現行の固有振動数4.0Hzを上回る。当該配管ベローズ継手の回転角吸収量は基本設計段階では0.67度である。

(3) 目的・意義

常陽に設置する目的・意義は、成立性研究で策定した基準案をオーソライズすることにある。即ち、常陽に設置する配管ベローズ継手について添付資料10および添付資料8を基準にして設置許可および設工認を得て、溶接検査・使用前検査・定期検査を経験することによって、動燃の開発した配管ベローズ継手の基準類を国に認めてもらうことにある。見方を変えれば、この実証試験は配管ベローズ継手が実証炉以降の高速大型炉で必要となった場合、許認可を受ける設置者の労力を削減することになる。

(4) ベローズ設計

ベローズ設計では、配管ベローズ継手設計方針に従って作成したスクリーニング・プログラムを用いて仕様のしぼりこみを行い、設計方針に照らして成立する仕様の中から構造健全性維持上無理のない仕様を選定した。ベローズ設計方針での規定は①一次膜＋曲げ応力の制限、②ラチェットすびみの制限、③クリープ疲労損傷の制限、④座屈圧力の制限であり、これを満たす選定した仕様を下記に示す。

選定した仕様

谷 径 d (mm)	320
山 高 H (mm)	26
ピッチ q (mm)	26
板 厚 t (mm)	2.1
山 数 N	12

上記ペローズの軸方向一次固有振動数は179Hz、二次固有振動数は358Hz、横方向一次固有振動数は229Hz、二次固有振動数は401Hzであり、曲げばね定数は 3.304×10^6 kg mm/radである。

(5) 構造健全性説明倫理検討

添付資料8での対応が必要となろう配管ペローズ継手の構造健全性に関する説明は、配管ペローズ継手設計方針および製作・検査・保守基準案を策定したバックグラウンド・ドキュメントを整理することによって、現状で基本的には対応できる。但し、製作・検査・保守基準案中には今後の検討に委ねる等の記述が散見されるので、当該基準案の開発主体である機器システム室が添付資料8中の資料として提出できるように当該基準（案）を完成させることが必要である。また両基準（案）とも、常陽主冷却配管系の構造健全性の説明倫理との整合性を考える必要がある。

(6) 構造安全性説明倫理検討

ここでいう配管ペローズ継手の構造安全性はナトリウム漏洩に係わるものであり、き裂初生および仮想的な初期欠陥に対するペローズの応答・漏洩検出およびISIが関係する。漏洩検出とISIは「配管ペローズ継手の製作・検査・保守基準案」に従い、連続漏洩監視および定期検査時におけるパッケージ保温解散による目視検査によるものとし、ここではき裂初生および仮想的な初期欠陥に対するペローズの応答についての説明倫理について検討した。

「配管ペローズ継手高温第1種機器の高温構造設計方針案」の一次および二次応力強さの制限は $3\bar{S}_m$ であり、現実には応力はこれ以下に制限される。実際よりも大きめの応力が起動・停止によって作用するとして $3\bar{S}_m$ を採用すると、十万サイクル以上の常陽の起動・停止サイクルによってペローズにき裂が発生することになる。設計想定起動・停止回数は350サイクルであるので、100倍以上の安全率のあることになる。

高品質を保証する原子炉冷却材バウンダー用製作・検査基準に準拠した「配管ペローズ継手の製作・検査・保守基準案」に従って製作・据付・検査されるとともに、12号口径のペローズは目視・外観検査を容易に実施するのに十分大きい。また、100体を超えるナトリウム配管用ペローズの製作・検査・使用実績があり、当該ペローズに通常初期欠陥は想定しがたい。

安全評価上敢えてベローズに初期欠陥を想定すると、欠陥は10,000サイクルで貫通する。これは設計想定荷重繰返し数の30倍であり、この安全率は通常の原子力圧力容器の耐圧設計における安全率が3～4であることを考えると十分に大きいと考えられる。

このような仮想的に存在するき裂は、高い頻度で存在するものではなく、またき裂進展挙動や遭遇する荷重も実際に負荷される値ではない。そこでき裂一個について、漏洩に対する信頼性を評価すると、運転開始後1年で7ナイン、20年で6ナインの信頼性となる。この値は、常陽二次主冷却配管系の信頼性と比較して低い値ではないと考えている。

(7) 予熱・保温検討

配管ベローズ継手の予熱方法には間接予熱と直接予熱がある。424口径ベローズ継手のナトリウム中実証試験では直接予熱が、大型ナトリウム・ループの12口径ベローズ継手では間接予熱が採用されているが、既存の常陽主冷却配管系では直接予熱方式が用いられている。予熱の均一性、他の配管系との独立性、漏洩検出器取付性、ISIのし易さ、および必要経費には殆ど差がないので、何れも選択可能である。

保温の難燃性のロックウール系統が良いと考える。保温性能、施行性、ナトリウムとの共存性、価格の点でより優れた物があれば、ロックウール系統にこだわらなくてよい。

(8) 漏洩監視・ISI検討

漏洩監視を実施することが、開発した「配管ベローズ継手高温第1種機器の製作・検査・保守基準案」に規定されている。漏洩監視には、連続漏洩監視と間欠的な漏洩痕の監視があるが、配管ベローズ継手では連続漏洩監視を勧めている。連続漏洩監視には接点式、SID、およびRIDがあるが、既存の常陽主冷却配管系の漏洩監視思想との整合性を考慮しながら基本設計段階で選定していくのが望ましい。この他に、実証試験として配管ベローズ継手の吸収変位をモニターし、配管設計で算出した当該継手の吸収角と比較することによって配管設計手法の信頼性を評価することが必要である。

ISIについてはパッケージ保温を施行して、ISI時に保温を取り外すことによる配管ベローズ継手の直接目視検査が適していると考えられる。

4. 推奨する今後の展開

本ワーキング・グループ「配管ベローズ炉内実証試験検討W/G」は、実証試験の基本仕様を検討を終了して解散する。平成8年度の冷却系改造工事と同一時期に配管ベローズ継手の取りつけることを目指して平成4年から実施される予定の「配管ベローズ継手炉内実証試験実施ワーキング・グループ」（仮称）の作業は、平成8年度のベローズ継手据付を目指して平成4年度には基本設計および安全評価に着手するとともに、詳細設計を開始し、設置変更書類の準備にとりかかる必要がある。

炉内実証試験検討W/Gにおいて終了した作業は基本仕様選定であり、下記の項目が終了あるいは検討した。

- (1) 配管系基本設計
- (2) ベローズ仕様選定
- (3) 安全審査対応検討
- (4) 工事・計装検討

今年度は基本設計／安全評価の実施並びに詳細設計／設置変更の準備に着手する必要がある。開発部と実験炉部のライン業務として実施する。作業項目には次のものがある。

- (1) 開発部
 - ① 配管ベローズ継手高温第1種機器設計方針案の条文直し
 - ② 配管ベローズ継手製作・検査・保守基準案の完成および条文直し
 - ③ 構造健全性説明資料作成（計算・評価含む）
 - ④ 構造安全性説明資料作成（計算・評価含む）
- (2) 実験炉部
 - ① 配管ベローズ継手付き配管ベローズ継手系設計
 - ② 保温・予熱設計
 - ③ 安全設計方針決定（漏洩検出・供用期間中検査検討、論旨決定）
 - ④ 配管ベローズ継手付き配管系の設計計算信頼性評価構想作成（配管ベローズ継手変位計測手法決定）

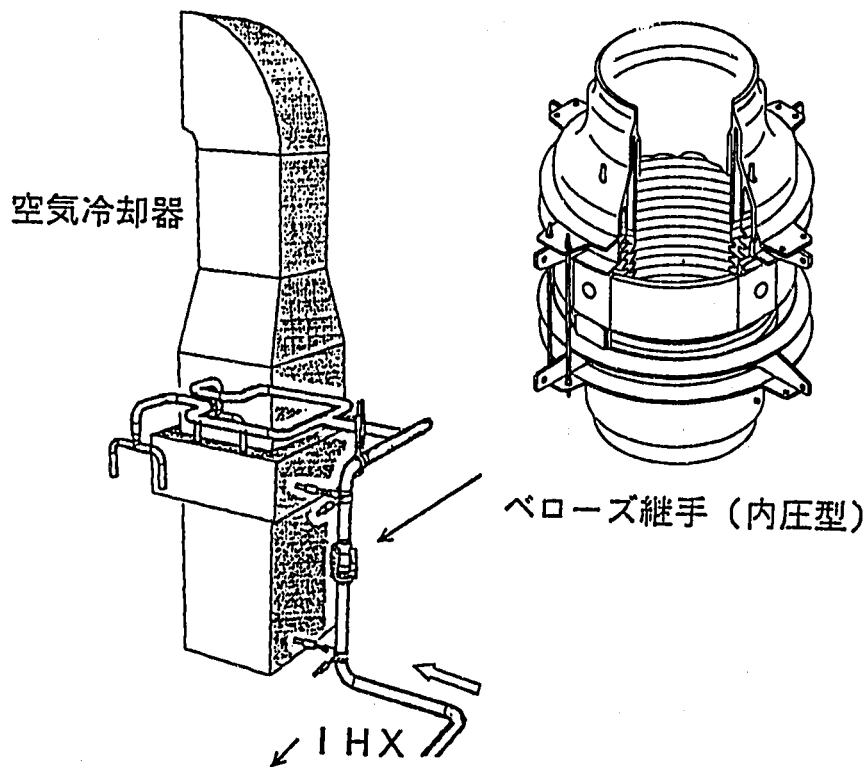
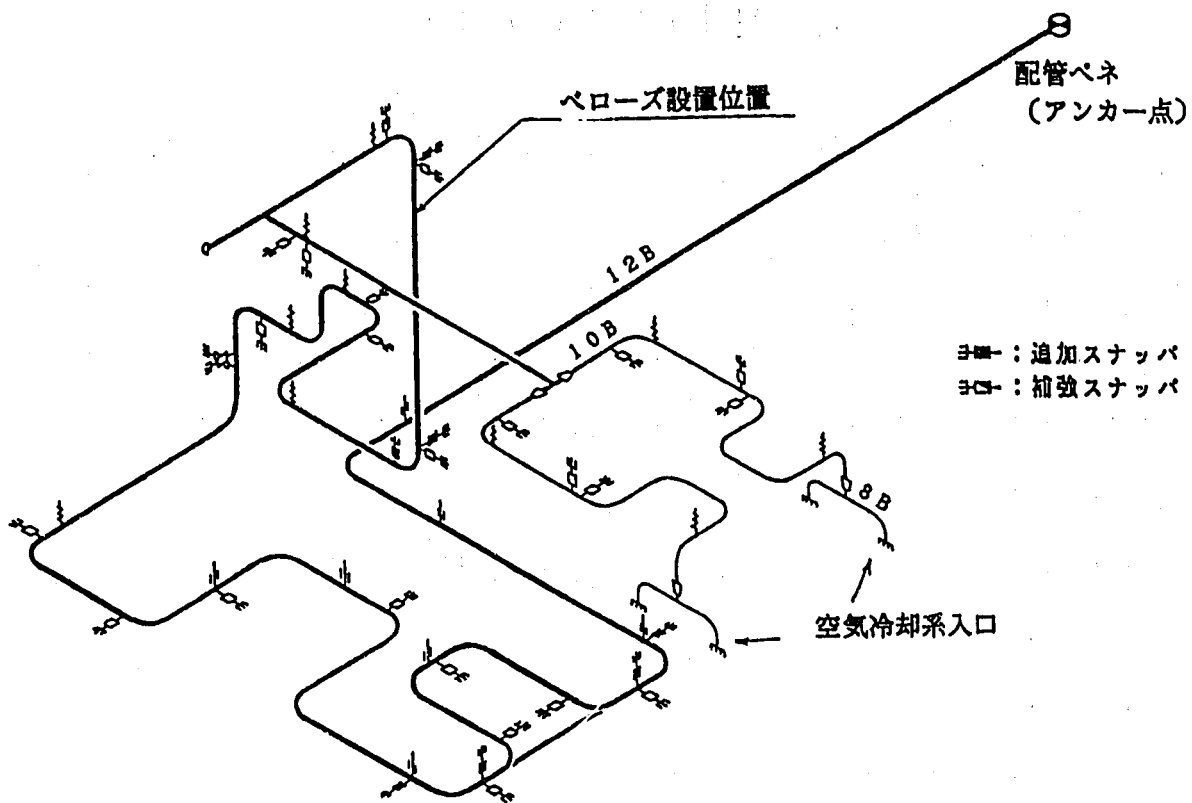


図1 「常陽」2次系配管ベローズ継手設置場所

Fig.1 Set up location of the piping bellows expansion joint at the secondary coolant system of experimental fast reactor JOYO

付録(1)

配管ベローズ継手炉内実証試験検討

W / G 議事録

第1回配管ベローズ継手実証試験検討W/G 議事録

1. 日 時 : 平成3年9月24日(火) 9:00~12:00
2. 場 所 : 構造工学室 2階会議室
3. 出席者 : 渡土主査, 冨田委員, 拝野委員, 磯崎委員, 則次委員, 高須委員,
永田委員, 片岡委員, 月森委員, 川崎委員, 林道第1分科会主査
4. 配布資料 : ・配管ベローズ継手実証試験検討W/G(仮称)の発足
・プロフィット計画第1分科会資料
・「常陽」からみた配管ベローズ実証試験の解決すべき問題点
5. 議 題 : (1) 経緯・趣旨説明
(2) 許認可対応に向けての検討すべき項目・工程等
(3) 進め方・分担の決定
6. 議事メモ :

[議題(1)]

- ・林道第1分科会主査より本W/G発足に関する説明がなされた。
- ・W/G活動期間はH4.3/末までの予定。
- ・常陽技術評価検討専門委員会(11月予定)での第1分科会の検討内容として盛り込むため,本W/Gとしては可能なら10/10頃までにまとめたい。
- ・H4年の設置許可申請に間に合わせる。
- ・最短のターゲットは冷却系の改善から。
- ・常陽へのベローズ設置は最適引き回しではなく,実績がポイントである。
- ・実験炉の計画の中にどう盛り込むか,バランスのとれた系にどう盛り込むか検討する。
- ・実証の意味は将来のプラントに生かすため,ベローズを付けて安全審査を通すことが大きな目的。
- ・P工の2次系設計の中でも配管ベローズ継手を考えている。ベローズのメリットは今の所明確でないが,これから検討される。健全性というよりは体系をみていくことになる。

[議題(2)]

- ・ 富田委員よりベローズ実証試験の検討課題について、説明があった。
- ・ 水平配管ではNaドレインが完全にできない。
- ・ ベローズの常陽への設置場所は、DHX廻りの立ち上がり直管部分を切断して付けるのが最適であろう。
- ・ ベローズ設置スペースはあるが、壁面のサポートを考える必要がある。
- ・ 安全審査時の対応として添十に関し、Na漏洩に関するシナリオを作成する必要がある。(ベローズ設置によってバックフィットがでないように)
 - ① 設計荷重サイクルでき裂が発生しない
 - ② 発生しても貫通までに至らない
 - ③ 万が一漏れてもLBBが成立する等のような3段構えのストーリーを考える(渡士主査)。
- ・ 配管設計上の強度計算書のためのツールはほぼそろっている。H/Wは別途考える必要がある。
- ・ ベローズの寸法を知るため、概算で設計計算をしてみる(富田委員)。
- ・ 概算結果に対し、ベローズの寸法・種類等案を検討する(月森・富田委員)。
- ・ 設置場所の決定に関しては現地をみて検討する。

[議題(3)]

・ 作業分担

添十の考え方(渡士主査)

添八の説明(月森委員)

配管設計の概算(富田委員)

PII二次系ベローズ設計の進捗(永田委員)

・ W/Gの運営方法

主査 渡士担当役

幹事 富田委員

幹事兼事務局 川崎委員

・次回W／G開催

9/30～10/3のいずれかの日

以上

第2回配管ベローズ継手実証試験検討W/G 議事録

1. 日 時 : 平成3年10月3日(木) 10:20~12:00
2. 場 所 : 構造工学室 2階会議室
3. 出席者 : 渡士主査, 冨田幹事, 拝野委員, 磯崎委員, 則次委員, 高須委員,
永田委員, 片岡委員, 川崎幹事
欠席者 : 月森委員
4. 配布資料 : ・配管ベローズのナトリウム漏洩に関するシナリオ(案)
・ベローズ設置想定箇所の端点変位(暫定)の提示
・91年度大型炉設計研究におけるベローズの適用と成立性評価について
5. 議 題 : (1) 常陽配管ベローズ検討
 - ① 添八の説明
 - ② 添十の考え方
 - ③ 配管設計進捗報告(2) フラント工学室ベローズ継手付2次主冷却系設計の進捗
(3) その他

6. 議事メモ :

[議題(1)①]

- ・次回まわし。

[議題(1)②]

- ・渡士主査より添十の考え方について説明があった。
- ・き裂進展寿命の項で, 初期欠陥を想定した根拠は特にはないが, 設定した方法は軽水炉の考え方による。
- ・ベローズに発生する応力は $3 \text{ Sm}_{\text{bar}}$ よりかは, 今回の場合実際に作用する応力で試算の方がよいのではないか。
- ・溶接が入ると初期欠陥は想定しがたいとはいえないが, シームレスで42Bまで製作実績があるので, 12インチ口径はシームレスで大丈夫であろう
- ・漏洩監視はSIDか接触方式か。

- ・異材継手に関しては検討が必要。(304, 316-2.25Cr-1Mo)

管として設計できる。

2.25Cr-1Moでベローズを製作するには問題があるだろう。

Y-junctionの影響が異材にかからないようにする。

開先の検討が必要。

304, Inconel, 2.25Cr-1Moの3要素解析になるだろう。

材料室から異材継手に関する情報を得る。

- ・本内容で添十の説明しなり得るか検討する(冨田幹事)。

[議題(1)③]

- ・配管の固有振動数は4 Hzであるため、サポート強化の検討が必要。
- ・ベローズ設置に関しては、現状のサポート位置の場合端点変位が大きすぎるものが計算上予想されるため、レストレイントのようなサポートを追加した方がよい。
- ・42Bベローズの検討では変位を角度で逃がしていたが、最大変位を軸方向としてベローズ形状を試算してみる。実際は周囲の配管系でも吸収されるであろう。
- ・ベローズタイプを決定し、固有振動数をどこまで上げられるか早急に検討する(冨田幹事, 月森委員)。

[議題(2)]

- ・永田委員よりP工室の大型炉でのベローズ適用と成立性評価について説明があった。
- ・92年度以降のベローズに関するスケジュールについては、今の所具体的な計画はない。

[議題(3)]

- ・本W/Gの名称を「配管ベローズ継手実証試験検討W/G」とする。

- ・次回までの対応

添八の説明(月森委員)

ベローズ設置予定現場の見学(冨田幹事, 月森委員, 片岡委員)

配管設計の進捗及びスケジュール(冨田幹事)

- ・次回W/G開催

10/11頃(後日連絡)

以上

第3回配管ベローズ継手実証試験検討W/G 議事録

1. 日 時 : 平成3年10月11日(金) 13:30~15:30
2. 場 所 : 構造工学室 2階会議室
3. 出席者 : 渡土主査, 富田幹事, 川崎幹事, 拝野委員, 磯崎委員, 則次委員,
片岡委員, 月森委員(代理 山下)
欠席者 : 高須委員, 永田委員
4. 配布資料 : ・第1種配管用ベローズ継手の高温構造設計方針の特徴
・ベローズ設置想定箇所の端点変位(暫定)の提示(その2)
・「常陽」における配管ベローズ継手実証試験工程
5. 議 題 : (1) 常陽配管ベローズ検討
① 添八の説明
② 配管設計進捗報告
(2) その他
6. 議事メモ :
[議題(1)①]
・山下氏より配管用ベローズ継手の高温構造設計方針の紹介があった。
[議題(1)②]
・ベローズの規格・基準・単品の選定に関しては開発部(R&D側)で検討する。
配管設計に関しては実験炉側で検討する。
・ベローズ形状の検討は構造室で行う。
実験炉はプラント側としての条件を提示する。
・常陽で実際にベローズを設置できるかの見極めが先決。これによって添八, 添十を
検討していくという方針。
・ベローズ形状の検討方向
ジンバル型で検討中
軸変位吸収でなく回転で吸収
常陽配管ベローズ設置候補場所3カ所に対して適したベローズ形状を提示する

(月森委員→冨田委員)。

・基本仕様選定に関して

[基本仕様] [基本設計]

配管解析→ベローズ形状選定→ハードウェア設計→サポート設計→(保温設計)
→(耐震設計)

・ベローズ詳細設計に関して

ベローズ単体の強度評価法としてまとまっている。

配管ベローズとして設計するためのパラメータとしてはまとまっていない。

ベローズと配管の接合部の設計は、配管ベローズ高温構造設計基準とBDSと
で基本的にできるであろう。

・42インチベローズ等のサポート設計、保温設計、モニタ、ISI、ヒーター等の現状
を知っておいたほうがよいだろう。次回片岡委員等に紹介して頂く。

[議題(2)]

・次回までの対応

42インチベローズのサポート設計・保温設計等の現状紹介(片岡委員)

ベローズ形状の検討(月森委員)

ベローズ配管設計の進捗(冨田委員)

・次回W/G開催

11月8日午前中

以上

第4回配管ベローズ継手実証試験検討W/G 議事録

1. 日 時 : 平成3年11月8日(金) 10:00~12:00
2. 場 所 : 構造工学室 2階会議室
3. 出席者 : 渡土主査, 拝野委員, 磯崎委員, 月森委員, 川崎幹事, 菊池氏
欠席者 : 富田幹事, 則次委員, 高須委員, 永田委員, 片岡委員
4. 配布資料 : ・42インチ配管ベローズ継手に関する資料
・TTSにおける配管ベローズの使用例
・常陽ベローズ仕様検討
・「常陽」配管ベローズ継手実証試験工程
5. 議 題 : (1) 常陽配管ベローズ検討
① 42インチベローズのサポート設計・保温設計・予熱ヒータ等の紹介
② 10インチベローズのサポート設計・保温設計・予熱ヒータ等の紹介
③ ベローズ継手設計進捗報告
④ ベローズ配管設計進捗報告
(2) その他
6. 議事メモ :

[議題(1)①]

- ・渡土主査より42インチ配管ベローズ継手に関する形状・サポート部・保温部・予熱ヒータ等の紹介があった。

[議題(1)②]

- ・菊池氏よりTTSにおける配管ベローズ継手に関する形状・サポート部・保温部・予熱ヒータ等の紹介があった。
- ・ベローズを2個つなぐ場合, 溶接部, クランプ等でその間隔は約500mm必要となる。
- ・ベローズ自重(本体+保温)は約1tonになる。

[議題(1)③]

- ・月森委員より常陽配管ベローズ継手の仕様に関して検討結果が報告された。
- ・ベローズ形状はジンバル型（内圧型）で検討した。
- ・常陽配管への設置想定場所3箇所のうち、ケース1の立ち上がり直管部がよい結果を得ている。
- ・2つベローズを付けるメリットはなさそうである。
- ・バックアップベローズを付けるとバネ定数は1～2倍になる。
- ・ねじり角はdegかradか確認する。
- ・板厚に対しては、従来の経験から1.5mmを最大に計算してあるが、もう少し厚いケースの結果も追加して欲しいとの要望があった。10.3mmまではいかなくても、できるだけ厚いケースの結果がほしい。

[議題(1)④]

- ・拝野委員より常陽ベローズ配管設計の進捗報告がなされた。
- ・常陽ベローズ仕様検討の結果から、ケース1に対して配管設計をしたところ、スナバのみの追加でいけそうである。スナバ2個追加で固有振動数は直管並の4.1Hz程度になる。

[議題(2)]

今後のスケジュール

- ・11/11のPROFIT事務局会議に向けての準備
 - ① 「常陽」配管ベローズ継手実証試験工程表に予算・工数を書き込む。
 - ② ベローズ設置場所の見取図作成（寸法・サポート込み）
 - ③ 常陽配管ベローズ形状の図作成

上記3枚のOHP原稿を11/11朝までに作成する（実験炉対応）。

- ・次回W/G開催

12/9の常陽技術評価専門委員会での結果を待ってから開催予定。

以上

第5回配管ベローズ継手実証試験検討W/G 議事録

1. 日 時 : 平成3年12月11日(水) 13:30~15:30
2. 場 所 : 構造工学室 2階会議室
3. 出席者 : 富田幹事, 拝野委員, 磯崎委員, 片岡委員, 月森委員(代・山下),
川崎幹事
欠席者 : 渡士主査, 則次委員, 高須委員, 永田委員
4. 配布資料 : ・配管ベローズ取付位置による比較
・1次主冷却系配管ベローズの概念
・配管解析結果
・常陽ベローズ仕様検討
・ナトリウム漏洩検出器の原理と用途・特徴
5. 議 題 : (1) 推進会議からの宿題事項の対応報告
 - ① 2次系選択の理由
 - ② 設置場所の選定理由
 - ③ 各設置場所での配管系解析結果
 - ④ 実施予算と工程
 - ⑤ ベローズ形状案
 - ⑥ 構造健全性上の比較
 - ⑦ 漏洩監視・保温・予熱上からの比較(2) 漏洩監視に関する紹介
(3) その他

6. 議事メモ :

[議題(1)]

- ・②1次系でのベローズは, 外管ベローズをバックアップベローズとみて, 内管ベローズは一重ベローズでもよいのではないか。
- ・④コストの見積りをもう少し正確にする。
- ・④据え付け工程は延ばさなくても大丈夫であろう。

- ・⑤推奨するペローズ形状を選定する。実証炉のスケールダウンしたものがよいであろう。
- ・⑦不活性ガス供給、校正用パイプ等が必要。

[議題(2)]

- ・片岡委員より各種漏洩検出器の紹介があった。

[議題(3)]

- ・推進会議用説明資料は主査と幹事で相談して決める。

以上

配管ベローズ継手実証試験検討W/G関係者会議 議事録

1. 日 時 : 平成4年1月31日(金) 10:00~12:00
2. 場 所 : 構造工学室 2階会議室
3. 出席者 : 渡士主査, 富田幹事, 拝野委員, 月森委員, 川崎幹事
4. 配布資料 : ・プロフィット推進会議での報告OHP案
・W/G報告書目次案
5. 議 題 : (1) プロフィット推進会議での報告内容の検討
(2) W/G報告書目次案
(3) 基本計画書・実施計画書案の検討
6. 議事メモ :

[議題(1)(3)]

- ・選択肢1なら設置場所①が選定可能とする。
- ・選択肢2では候補選定中とする。
- ・なぜ1次系を選ばなかったかを言う。

物理的に不可能。格内床下に入らない。床下図面を見せる。

- ・1次系も検討したことを言う。
- ・工程表に本W/Gの工程も入れる。
- ・経費は選択肢1と2それぞれについて記入する。

[議題(2)]

- ・報告書目次については、後日検討する。

第6回配管ベローズ継手実証試験検討W/G 議事録

1. 日 時 : 平成4年3月4日(水) 10:00~12:00
2. 場 所 : 機器室 2階会議室
3. 出席者 : 渡士主査, 拝野委員, 則次委員, 片岡委員, 月森委員, 川崎幹事
欠席者 : 富田幹事, 磯崎委員, 高須委員, 永田委員
4. 配布資料 : ・7071tt推進会議資料兼技術会議資料
・製作・検査・保守基準案報告書の表現について
5. 議 題 : (1) 経過報告
(2) 未審議事項について
(3) 今後の計画
6. 議事メモ :

[議題(1)]

- ・渡士主査より, 7071tt推進会議および技術会議の報告がなされ, 技術会議で選択肢1の①案に決定したと報告があった。
- ・W/G名称を「配管ベローズ継手炉内実証試験検討W/G」と改めた。

[議題(2)]

- ・構造健全性の説明論理は, 富田幹事のコメントを受けて見直す。
- ・予熱・保温・漏洩監視については, 深く検討していなかったため, 片岡委員よりこれらの方法に関し説明があった。
- ・予熱に関しては, ベローズの所だけ配管とは切り放して考えた方がよい。
- ・保温に関しては, 塩素系の少ないものとし, 動くところは断熱材を詰め込む形となろう。
- ・漏洩監視に関しては, S I D, P I Dの単体価格が1000万ほどし, D P Dは100万程度だが, バックアップとして用いるものである。プラントに設置した場合を考えるとさらに費用はかかる。
- ・ベローズ継手とバックアップベローズの漏洩検出を考える必要がある。
- ・予熱・保温・漏洩監視については, 片岡委員が各方法についての比較検討結果を提示

し、後日関係者で推奨案を相談することになった。

検討結果に対するコメント締切3/12。関係者間相談3/13。

- ・「配管ベローズ継手の製作・検査・保守基準案」報告書(SN9410 87-145.88-170)の内容について、さらに検討を後日に申し送る旨の記述があるため、主査より機器室に確認をとることになった。

[議題(3)]

- ・本W/Gは3月で終了予定である。
- ・今後は炉内実証試験実施W/Gなるものがこの計画を推進していく予定。
- ・報告書は5月の第2週を目標に作成する。
- ・最終案にたどり着くまでの経緯をいれる。
- ・前回の目次案を主査と幹事で見直し、執筆分担を後日送付する。

付録(2)

常陽配管ベローズ設置位置の検討

PROFIT推進会議用資料 兼 技術会議用資料

配管ベローズ継手実証試験について

← PROFIT題目

配管ベローズの開発

← 技術会議題目

平成4年2月

配管ベローズ継手炉内実証試験検討W/G

配管ベローズ継手炉内実証試験検討W/G 関連審議の経緯

	1991年9月 プロフィット推進会議	1991年11月 プロフィット推進会議	1992年2月 プロフィット推進会議	本日の 技術会議
説明の クル 説明の 内容 決定など	第1分科会の審議 事項のひとつ	本W/Gの検討の 中間報告 報告事項のひとつ	本W/Gの検討の 中間報告 審議事項のひとつ	同左
	終了しているフィージ ビリティ・スタディの概要 説明 炉内実証試験の 構想説明	許認可実績を得る 目的で「常陽」配 管系に設置する場 合の検討の進捗状 況を報告	検討範囲を拡大。 結果の提示法を 改良。 (選択肢2の仕様 選定が中間段階)	同左 + 前回の コメント対応
	工程等検討のため に、本W/Gの設置 を決定	検討範囲が狭い (目的意義も範囲) 検討結果の提示法 (選択肢の提示)	選択肢1 or 2に決 定 (最終決定は技術会議で) 工程・仕様検討の 作業継続がコメント	

説 明 の 構 成

1. 概要説明 (渡士)

- (1) 配管ベローズ継手成立性研究の概要
- (2) 配管ベローズ継手実証試験の意義
- (3) 配管ベローズ継手炉内実証試験検討W/Gの検討の概要

2. 実験炉冷却系への配管ベローズ継手設置 (冨田)

- (1) 位置の検討
- (2) 配管系解析結果、等

3. ベローズの仕様選定 (月森)

4. 期待される成果 (渡士)

5. 今後の進め方 (渡士)

- 付録1 EBR-II配管ベローズ継手の共同評価提案について
- 付録2 配管ベローズ継手実証試験各案の比較

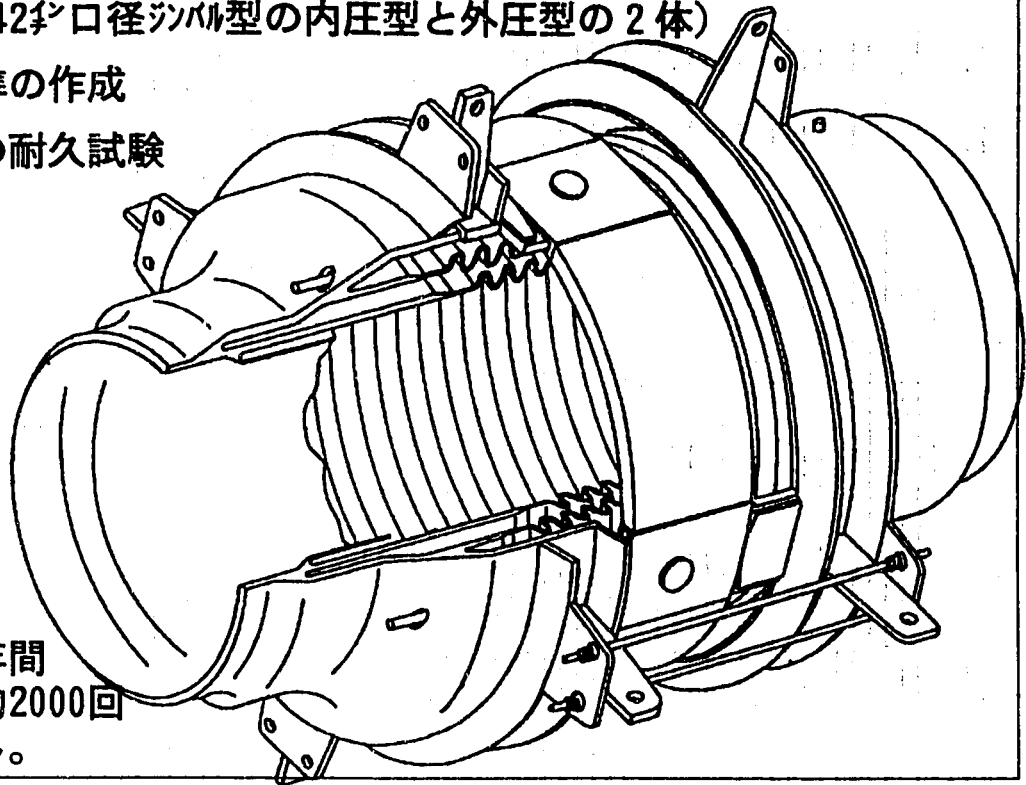
1. 概要説明 (1) 配管ベローズ継手成立性研究の概要

1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
———— 材料試験 ————									材料SUS316
←———— クリープ疲労 ————→									ベローズ
————— き裂進展 —————									ベローズ・モデル
————— 座屈 —————									ベローズ
————— 衝撃圧 —————									ベローズ
————— 加振 —————									ベローズ、ベローズ付直管
————— 熱過渡 —————									配管ベローズ継手モデル
————— 耐久試験 —————									配管ベローズ継手
————— 配管ベローズ継手の高温構造設計方針 —————									
————— 配管ベローズ継手の製作・検査基準 —————									

(————— 10年・6年配管ベローズ継手の使用実績 —————)

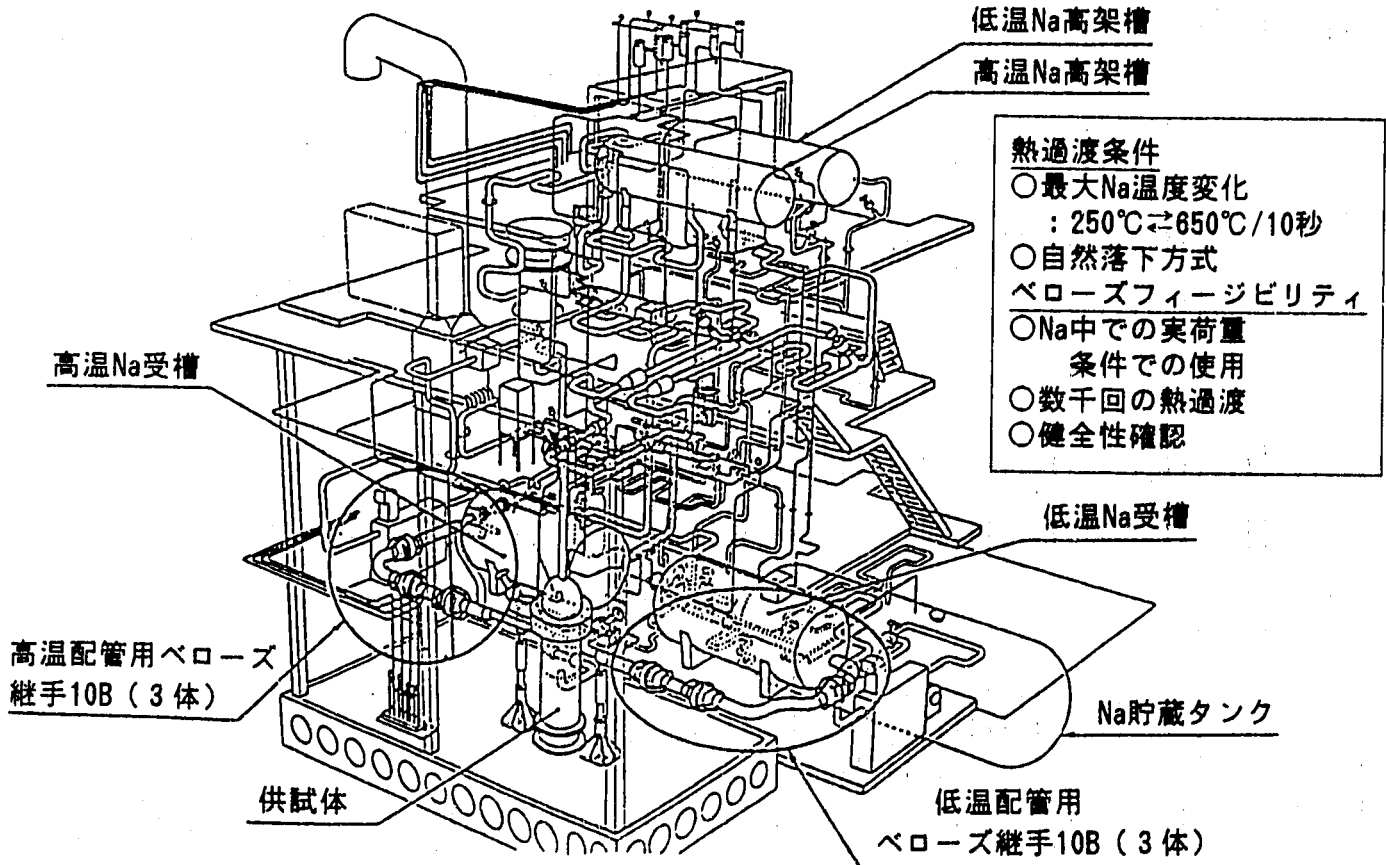
耐久試験の内容

- ・ 高速炉1次主冷却配管系への設置を目指した配管ベローズ継手の製作
(42φ口径ツバル型の内圧型と外圧型の2体)
- ・ 製作・検査基準の作成
- ・ 流動ナトリウム下の耐久試験



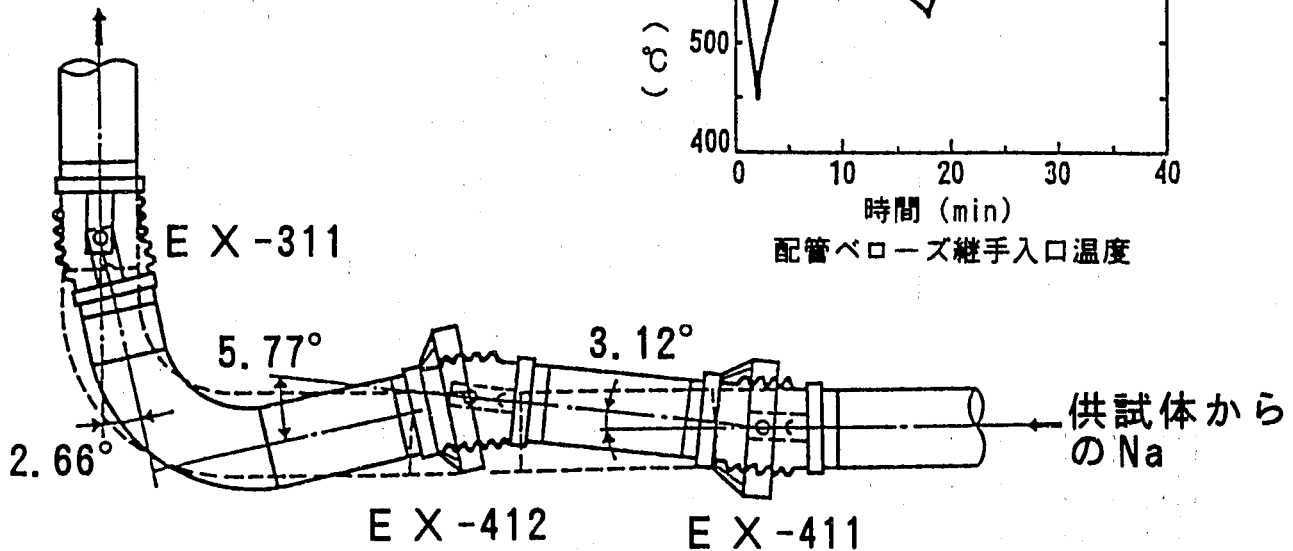
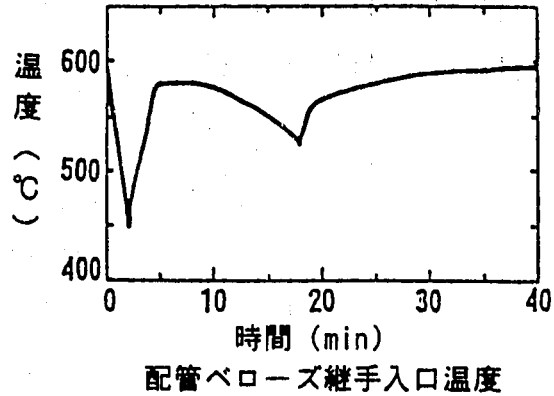
560 °Cで3年間にわたって約2000回の変位繰返し。

構造物強度確性試験施設



T T S 試験装置設置配管ベローズ運転前後の動き

1. 実線はプリセット時
2. 点線は650℃運転時



1. 概要説明 (2) 配管ベローズ継手炉内実証試験の意義

(1) 現在のレベル

【 炉外での実証試験は終了 】

- 42φ口径のジナル型配管ベローズ継手の耐久試験で、繰返し曲げ変位下での実証終了。
- 10φ口径のジナル型・ヒンジ型配管ベローズ継手の長期間使用によって、繰返しの熱過渡荷重+熱膨張変位下での実証終了。

【 技術基準 】

- 高速炉第1種配管用ベローズ継手の高温構造設計方針 (案)
 - 高速炉第1種配管用ベローズ継手の製作・検査基準 (案)
- いずれも技術的には完成。

【 その他 】

- ・外部委員会 (原産) による検討が終了。
- ・日米協力 (POST) は終了
- ・EBR-II 配管ベローズ継手共同評価申込来信 (DOE) ⇒ 付録1 参照

1. 概要説明 (2) 配管ベローズ継手炉内実証試験の意義

【 現 状 】

配管ベローズ継手の開発は、PNCの成立性研究で収束。

実証炉（原電）⇒ 課題の抽出中

(運営委員会技術部会3年度研究開発計画調整W/G ベローズ配管開発検討会)

(2) 炉内実証試験の意義

選択肢0：研究開発は終了している。実証炉で配管ベローズ継手を採用する見込みが薄い。ベローズの需要はあるが詳細未確定。確定後、必要性に応じたベローズの実証試験を実施する。

選択肢1：常陽で許認可実績を与えて、ユーザーが使い易くする。

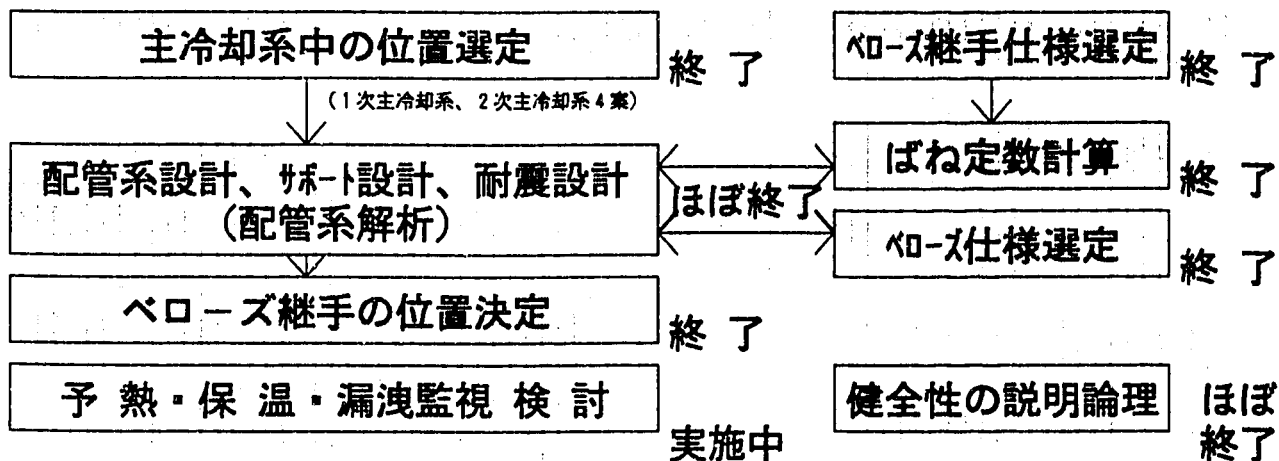
許認可実績

選択肢2：常陽の配管短縮化を図るとともに、許認可実績を得て、配管ベローズ継手をアピールする。

許認可実績 + 配管短縮化

1. 概要説明 (3) 配管ベローズ継手炉内実証試験検討W/Gの検討の概要

(1) 検討の流れ図 選択肢1 (前回PROFIT会議まで)



(2) 選択肢2 (前回以後の検討分)

格納容器内2次主冷却配管系への配管ベローズ継手採用による配管長の短縮。

終了
実施中

本日報告分

2. 実験炉冷却系への配管ベローズ継手の設置

2章の構成

- 2.1 位置の検討
- 2.2 配管系解析結果
- 2.3 工程
- 2.4 まとめ

2.1 位置の検討

「常陽」への配管ベローズ継手設置検討

1次系ホットレグ配管へ設置 (クリーブ温度域)

2次主冷却系への設置検討

格内床下スペース狭隘

選択肢1

許認可実績

選択肢2

許認可実績+配管短縮化

主冷却建屋 (非管理区域) 設置

- ①案: 1基、最も簡単
- ②案: 1基、ドレン抜きライン 必要
- ③案: 1基、建屋大改造必要
- ④案: 2基、ベローズ付配管標準モデル

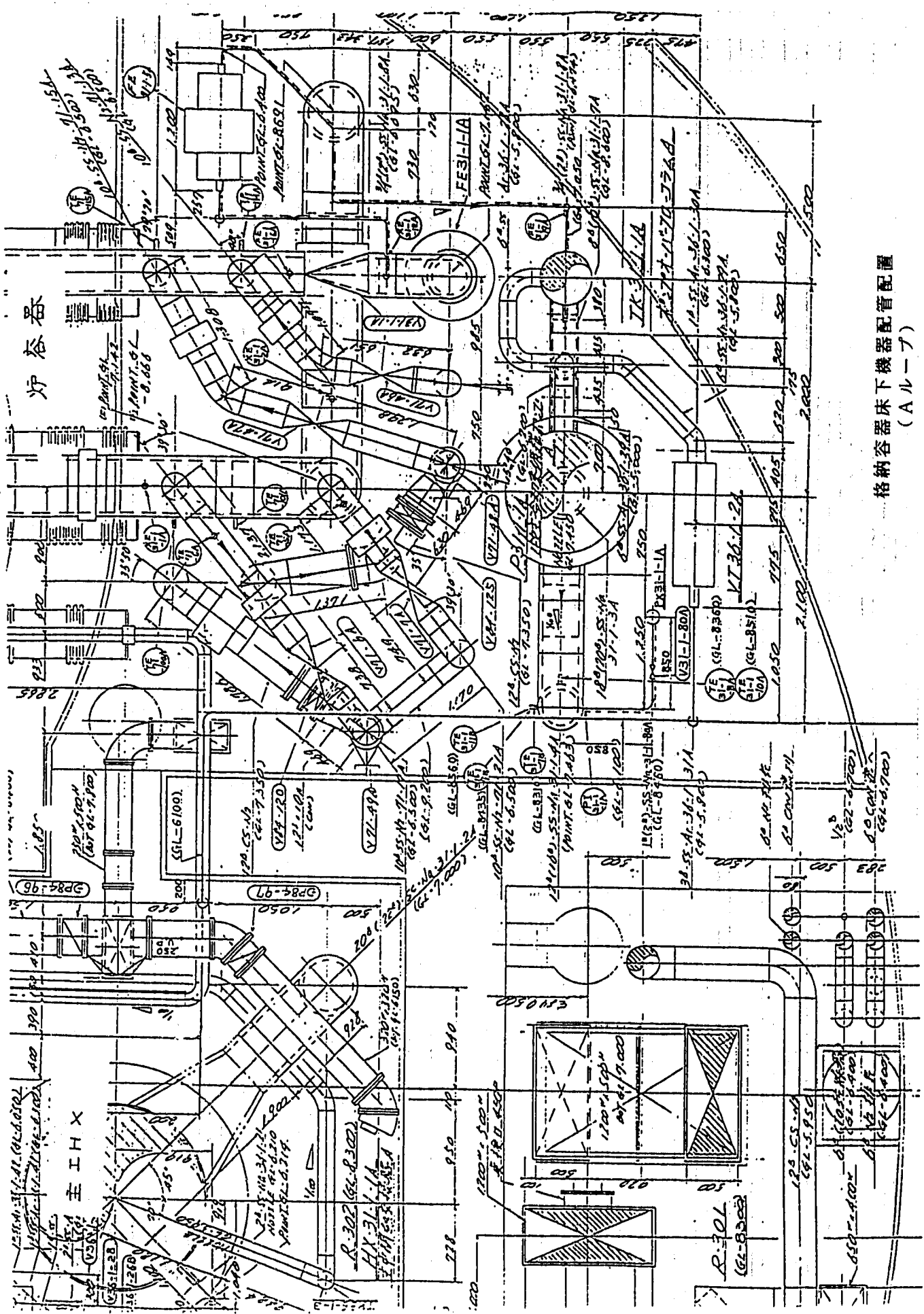
運転中立入り可能

格納容器内 (管理区域内) 設置

- ①案: 1基、配管直線化
- ②案: 2基、ベローズ隣接設置
- ③案: 2基、ベローズ応力緩和
- ④案: 2基、ベローズ応力緩和
- ⑤案: 3基、配管応力低減

MK-III冷却系改造工程見直し必要

運転中立入り不可能 (N₂ 雰囲気)

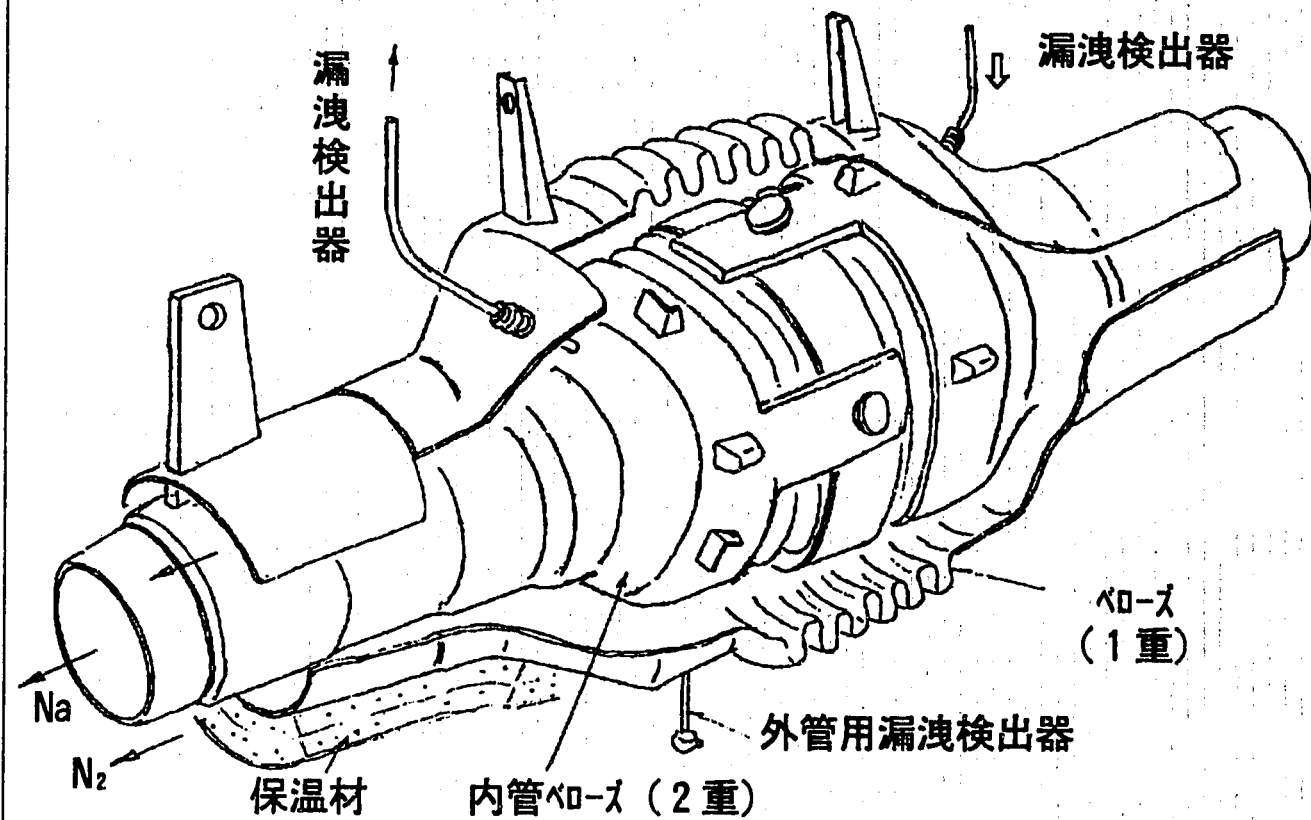


格納容器床下機器配管配置 (Aルーブ)

1次主冷却系配管バローズ継手概念(1)



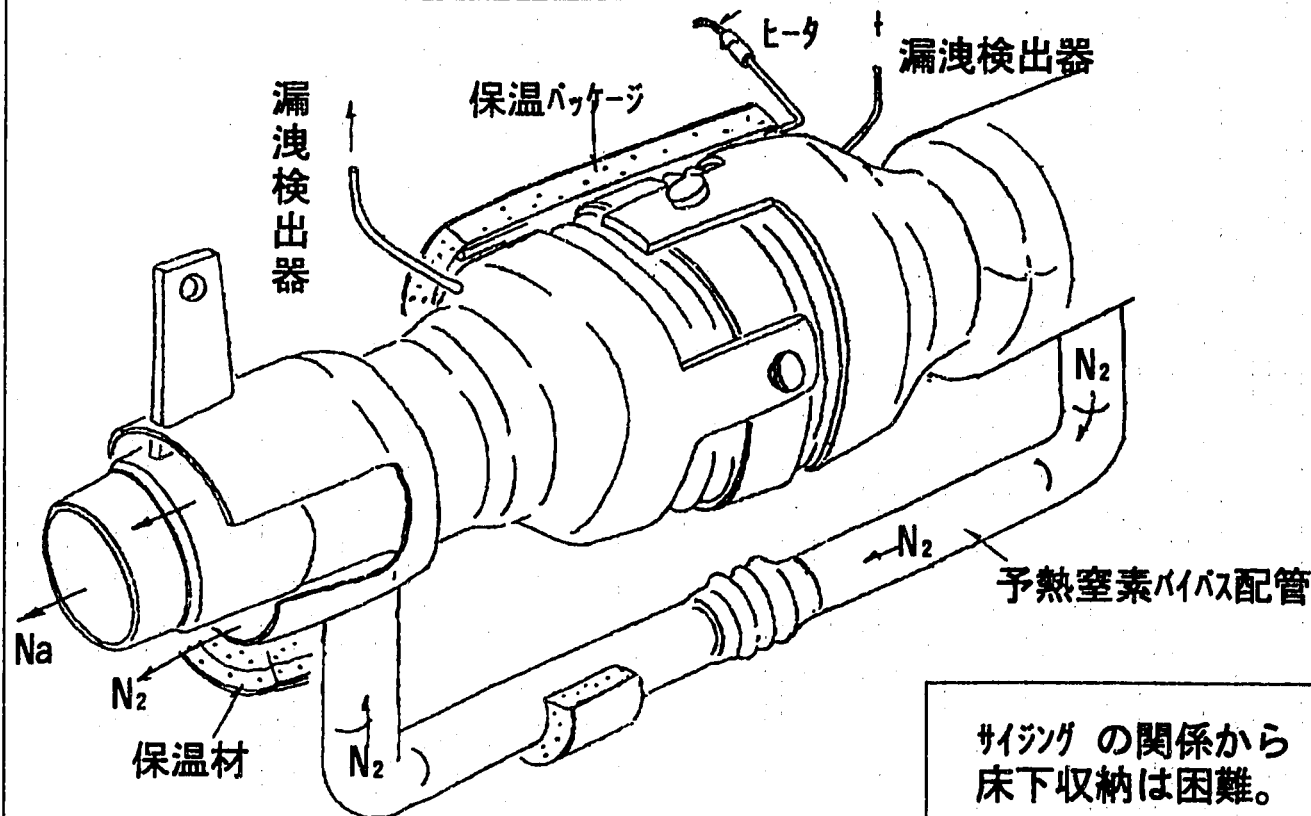
3重バローズは非現実的



1次主冷却系配管バローズ継手概念(2)



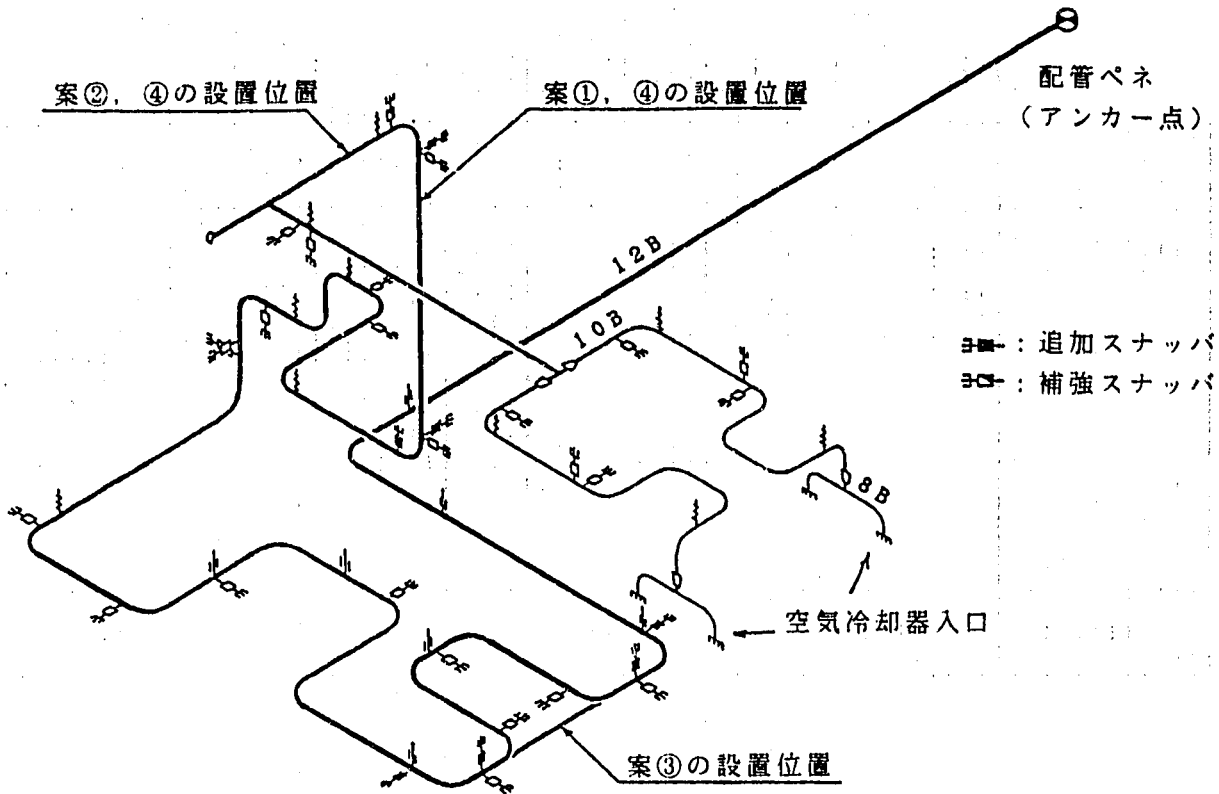
⇒ 現状では、収納仕切れない。



サイジングの関係から
床下収納は困難。

選択肢 - 1 主冷却建家ベローズ取付位置による比較

項目	案①	案②	案③	案④
取付個数	1	1	1	2
取付方向	垂直	水平	水平	垂直 + 水平
ベローズ型式	内圧ジソバル	外圧ジソバル	外圧ジソバル	内圧ジソバル + 外圧ジソバル
設置場所	DHXX入口HHL配管 (S505)	DHXX入口HHL配管 (S505)	2次系配管格納室 (S303)	DHXX入口HHL配管 (S505)
アクセス性	良	やや不良	通常立ち入りせず	やや不良
ガス抜き/ ドレン	不要	必要	必要	必要
配管サポート	・スナッパ2本追加	・スナッパ1本追加	・スナッパ3本、ハン ガ3本撤去、スナッ パ4本追加	・スナッパ3本追加 ・スナッパ1本撤去 UP
注家改造	・スナアバ金物運込 ハツリ、追加と格納	・スナアバ金物運込 ハツリ、追加と格納	・スナッパ金物運込 ・引撤去 ・S301階段撤去 ・S411入口拡張	・スナッパ金物運込
既設設備改造 又は追加	・地受トイ撤去、復旧 ・ヒータ、L/D追加 ・SID追加	・地受トイ撤去、復旧 ・ヒータ、L/D追加 ・SID追加 ・OFTカバーガス部 改造 ・止弁追加 ・ガス抜き/ドレン管 保温、電源追加	・地受トイ撤去、復旧 ・空調ダクト引直し 更 ・ヒータ帽子箱、コン ジット移設 (40本) ・可伐設備撤付 ・ヒータ、L/D追加 ・D/Tドレンヘッド 改造 ・D/Tカバーガス配 管改造 ・止弁追加 ・ガス抜き/ドレン管 保温、電源追加 ・SID追加	・地受トイ撤去、復旧 ・ヒータ、L/D追加 ・SID追加 ・OFTカバーガス部 改造 ・止弁追加 ・ガス抜き/ドレン管 保温、電源追加



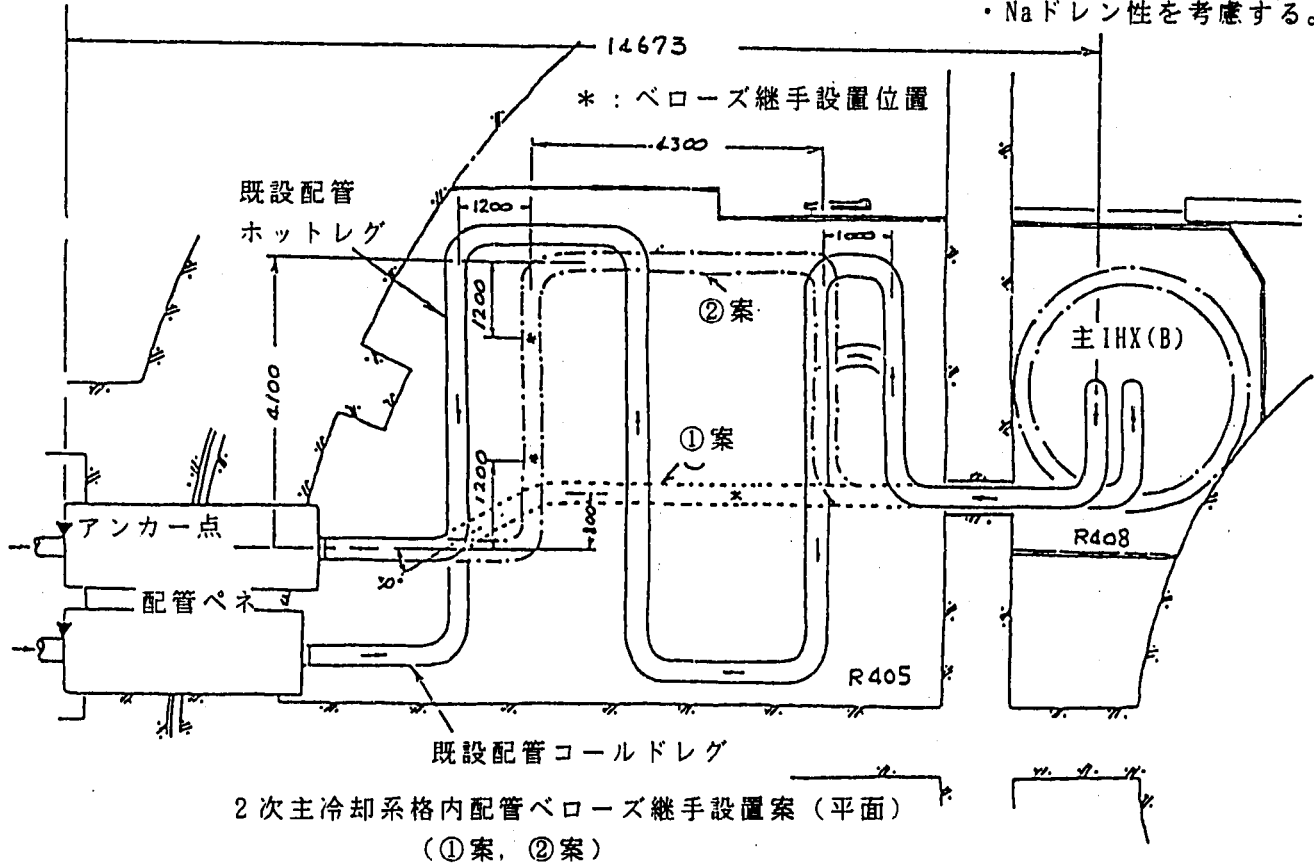
主冷却建家内ベローズ継手設置案
(2次主冷却系配管格納容器壁～空気冷却器)

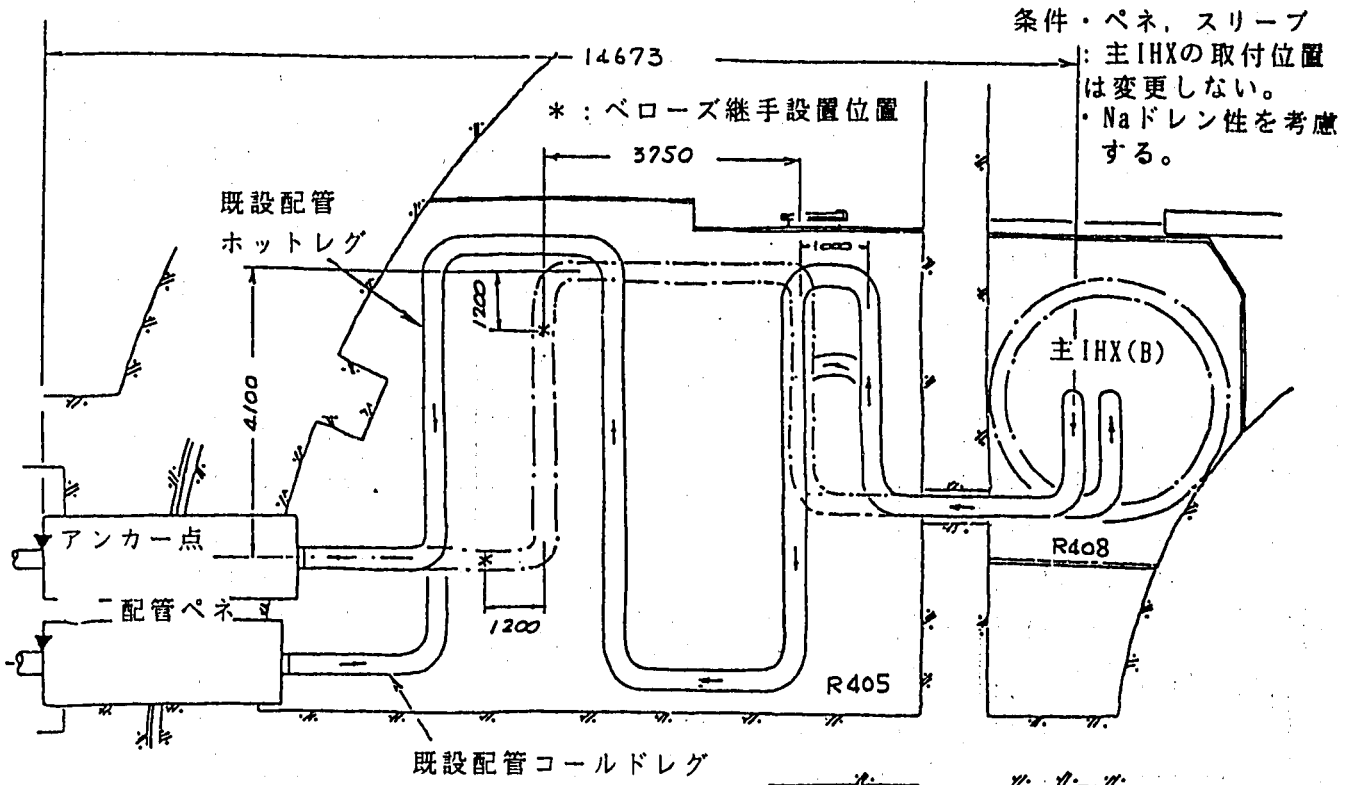
選択肢 - 1 主冷却建家設置のコストと工程

	① 案	② 案	③ 案	④ 案
概算コスト (百万円)	<ul style="list-style-type: none"> ・設計 20 ・製作 (ベローズ) 40 ・据付 60 ・計装 20 <hr/> 140	<ul style="list-style-type: none"> ・設計 20 ・製作 (ベローズ) 40 ・据付 133 <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px;"> <ul style="list-style-type: none"> ベローズ1set 50 ドレン/ガス抜配管 40 OFT改造 40 アクセス改造 3 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・計装 20 <hr/> 213	<ul style="list-style-type: none"> ・設計 70 ・製作 (ベローズ) 40 ・据付 223 <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px;"> <ul style="list-style-type: none"> ベローズ/主配管 100 ドレン/ガス抜配管 50 OFT改造 70 アクセス改造 3 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・建家 80 ・既設改造 50 ・計装 20 <hr/> 483	<ul style="list-style-type: none"> ・設計 40 ・製作 (ベローズ) 80 ・据付 203 <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 2px;"> <ul style="list-style-type: none"> ベローズ/主配管 110 ドレン/ガス抜配管 50 OFT改造 40 アクセスルート 3 </div> <ul style="list-style-type: none"> ・計装 20 <hr/> 353
予想据付工程	1.5ヶ月	2.0ヶ月	4.5ヶ月	3ヶ月

選択肢 - 2

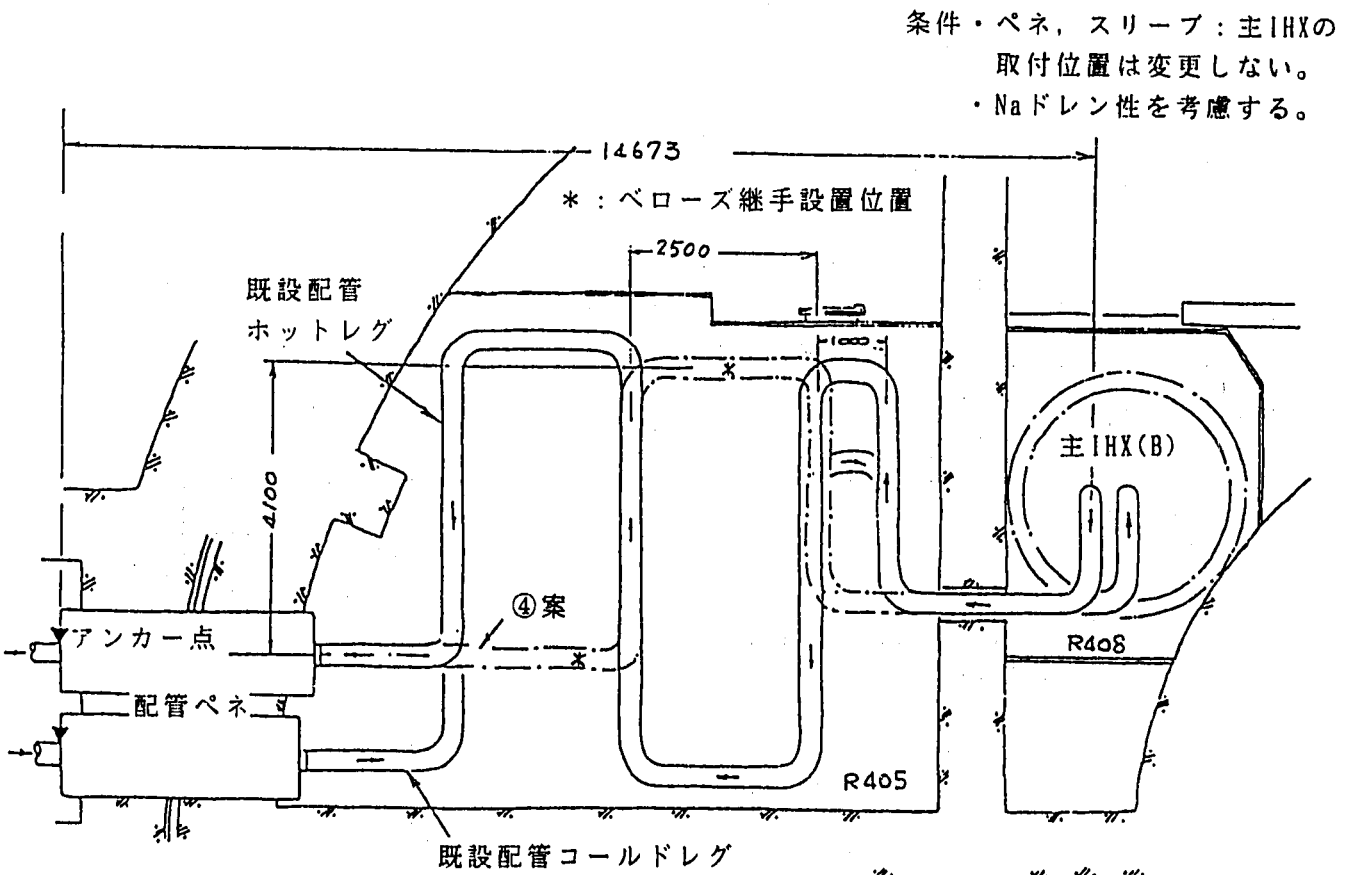
条件・ペネ、スリーブ：主 IHX の
 取付位置は変更しない。
 ・Naドレン性を考慮する。





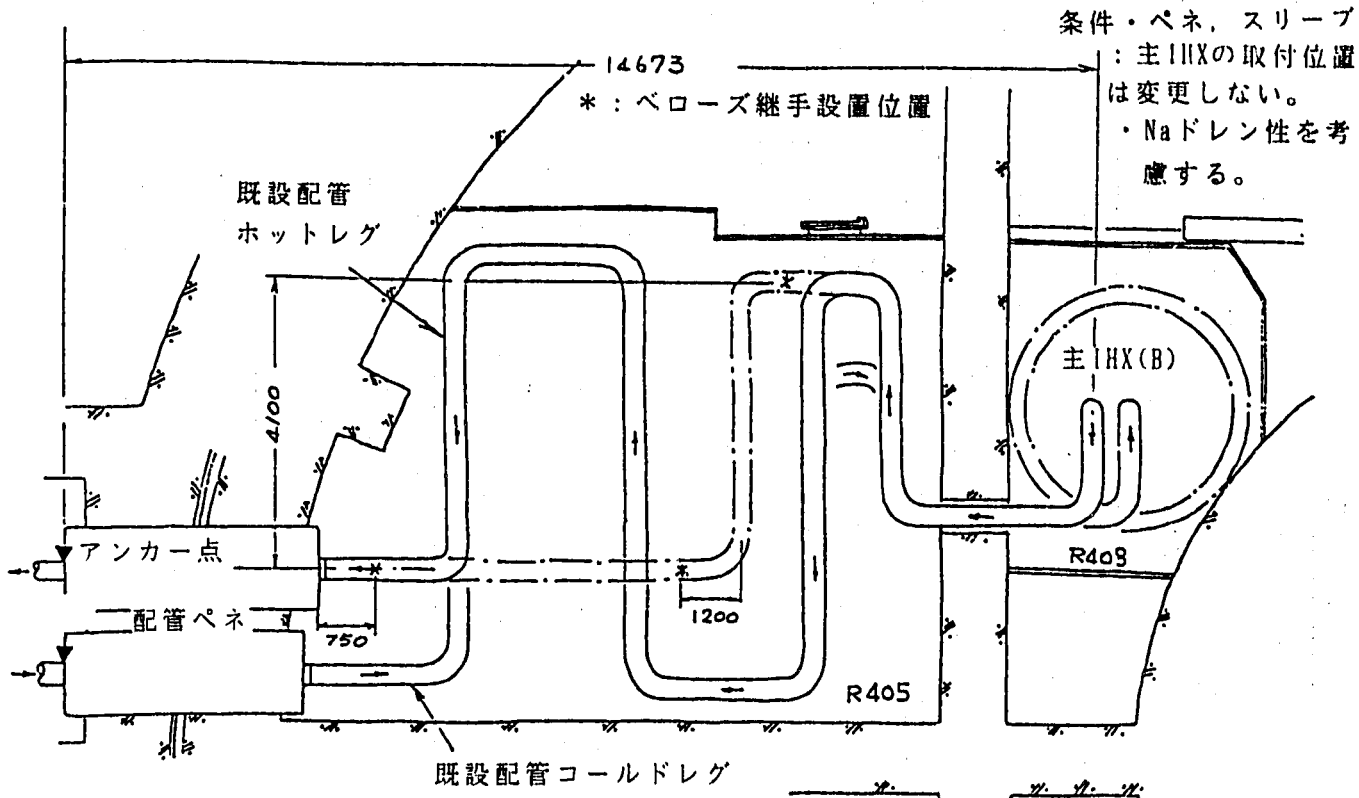
条件・ペネ、スリーブ
 : 主 IHX の取付位置
 は変更しない。
 ・ Na ドレン性を考慮
 する。

2 次主冷却系格内配管ペローズ継手設置案 (平面)
 (③ 案)

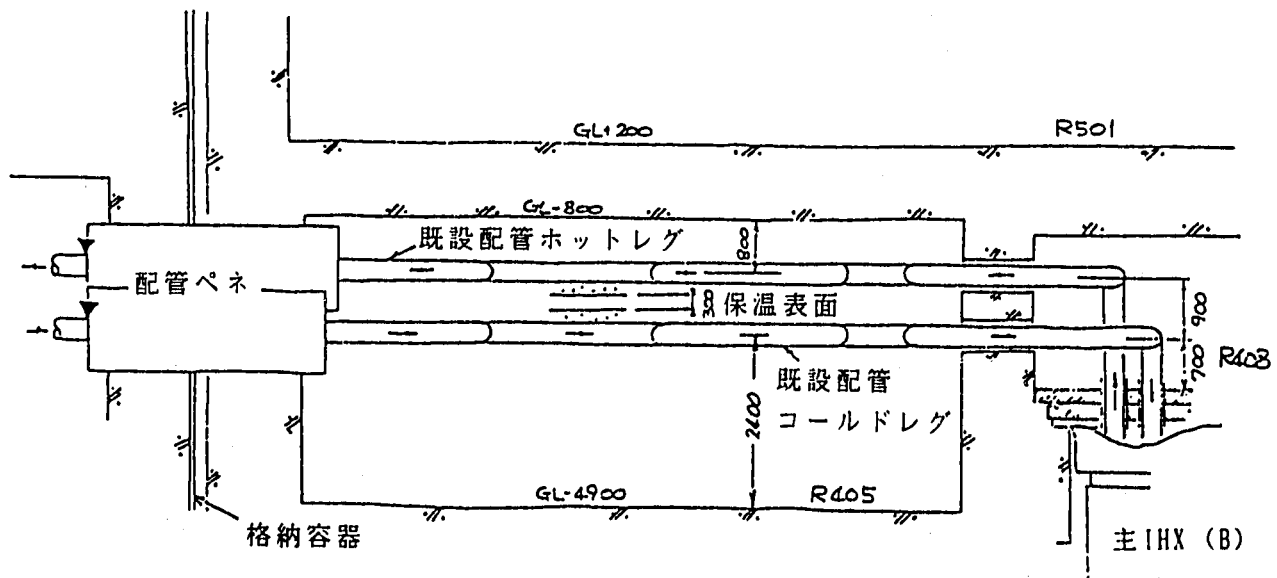


条件・ペネ、スリーブ : 主 IHX の
 取付位置は変更しない。
 ・ Na ドレン性を考慮する。

2 次主冷却系格内配管ペローズ継手設置案 (平面)
 (④ 案)



2次主冷却系格内配管ベローズ継手設置案 (平面)
(⑤ 案)



2次主冷却系格内配管ベローズ継手設置案 (立面)

選択肢 2 格内 2 次主冷却系配管の短縮効果の試算

	リジナル 配管	①案	②～⑤案
合計長	32,503mm	12,917mm	20,103mm
短縮長	—	19,586mm	12,400mm
短縮率	—	60.6 %	38.2 %
エルボ 数	8 個	30° エルボ2個又は 曲管使用で 0	4 個
バンド 数	8 個	2 個	4 個

$$\text{短縮率} = \frac{\text{リジナル 配管長} - \text{短縮長}}{\text{リジナル 配管長}}$$

選択肢 2 格内 2 次主冷却系配管バース継手設置の各案の比較

	①	② ~ ④	⑤
バース個数	1 ~ 2	2	3
型 式	直管型	外圧ジナル型	
設置場所	2 次主配管室 (R405)		
アクセス性	不 可		
ガス抜き / ドレン	必 要		
配管サート	16	15 ~ 16	17
建屋改造	ライナー撤去、気密ライナーペネ追加		
既設設備改造 又は追加	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 配管サート撤去・ヒータ 端子箱等撤去 ▪ ドレン / ガス抜き配管追加・止め弁追加 (遠隔手動化) ▪ 既設ドレン 配管改造・ヒータ 電源追加又は流用 ▪ 監視用TV、SID 追加 (格内配置、ベネ検討) ▪ ナトリウム 充填ドレン 操作要領変更 		

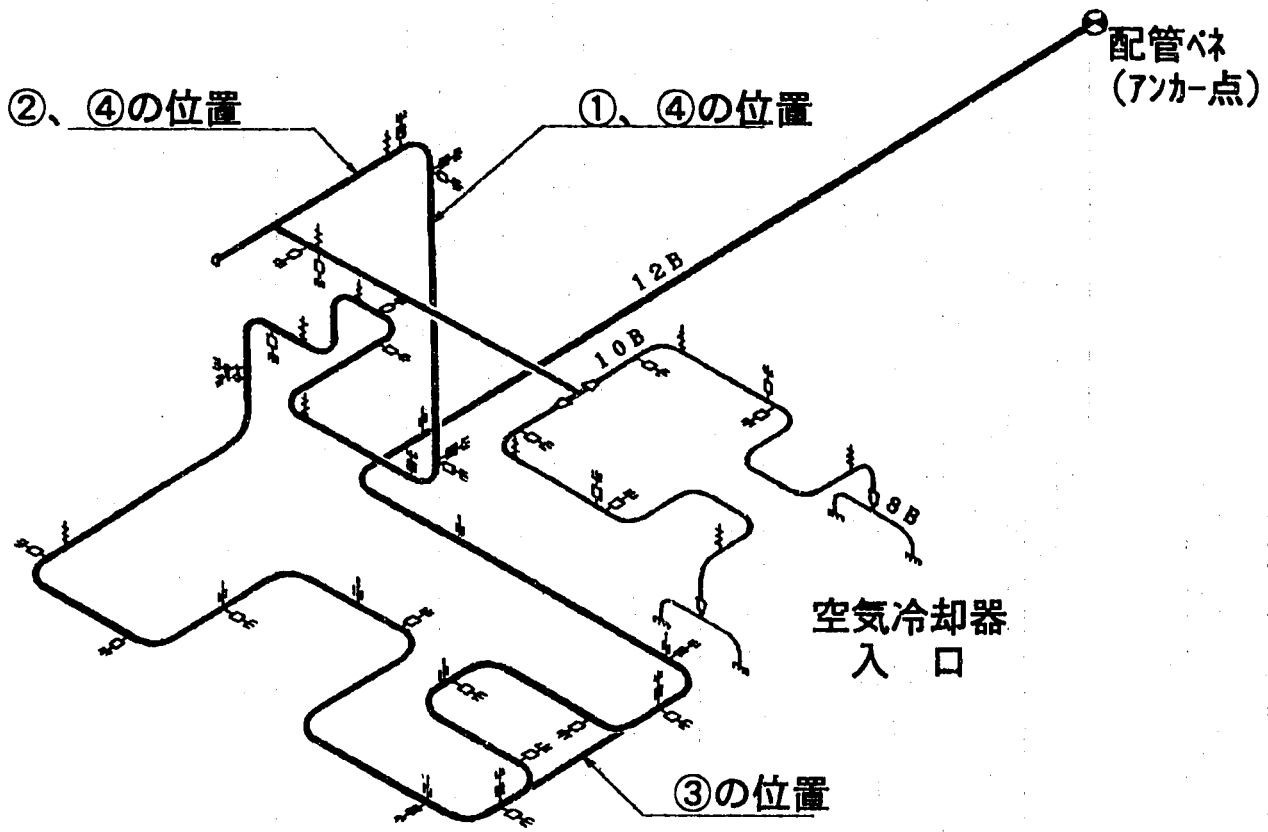
選択肢2 格内設置のコストと工程			
概算コスト (百万円)	①案	②～④案	⑤案
・設計	60	50	50
・製作	100	80	120
・据付	270	300	310
ベローズ/主配管	150	180	180
ドレ/ガス抜き配管	80	80	80
配管サポート	40	40	50
・既設撤去	80	80	80
・ライナ撤去・取付	80	80	80
・計装 (SID, TV, LVDT, TC, 等)	50	50	50
合計金額	640	640	690
予想据付工程	3.0 ヶ月	3.5 ヶ月	3.5 ヶ月

2.2 配管系解析結果

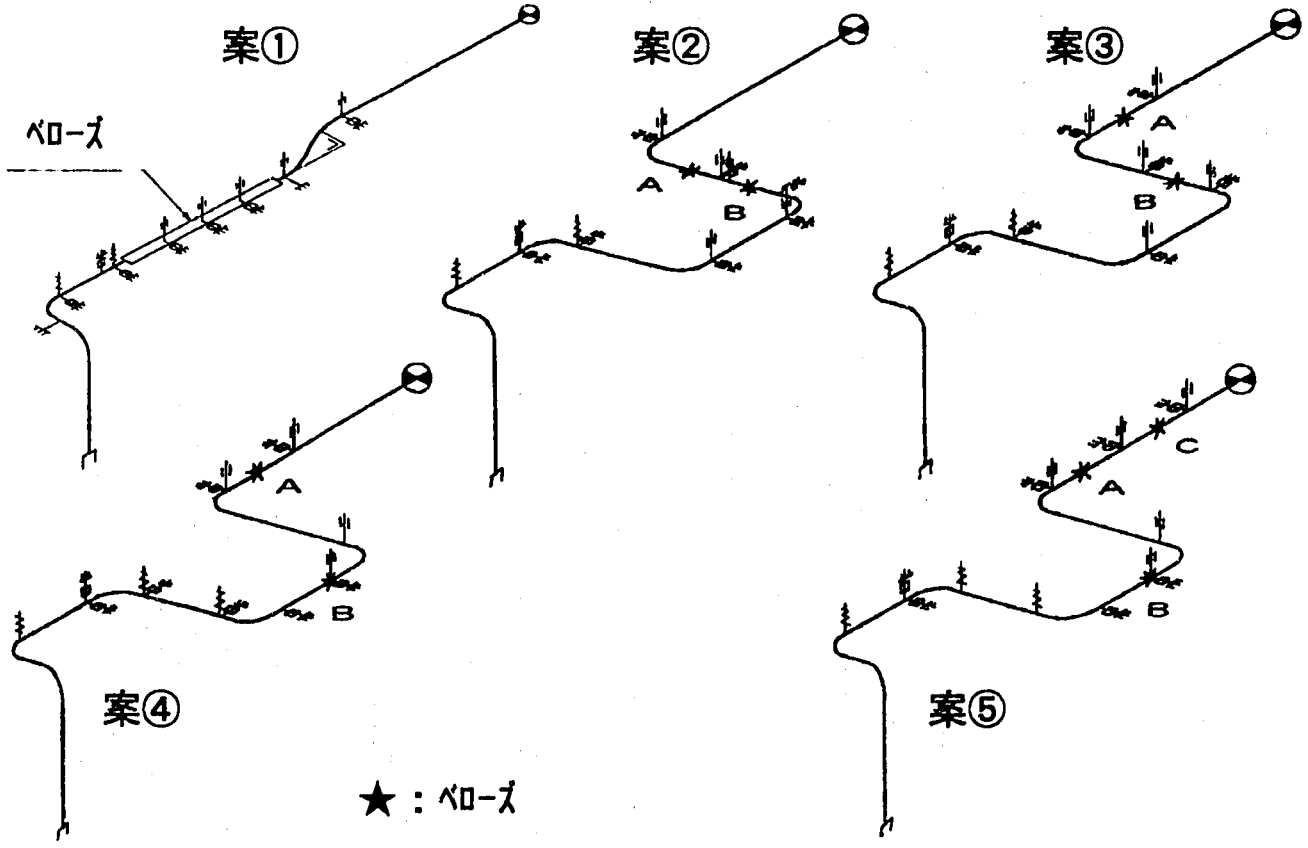
配管ベローズ継手設置のための配管解析

- 使用コード (要素) : FINAS (PIPE2)
- 解析項目 :
 - ・自重
 - ・熱膨張
 - ・地震 (動解析)
- 解析モデル : 図参照
- ベローズのモデル化 : 配管ピン結合
(回転剛性、ベローズ重量考慮)

選択肢 1 2次主冷却配管系解析モデル (格外)



選択肢 2 2次主冷却配管系解析モデル (格内)

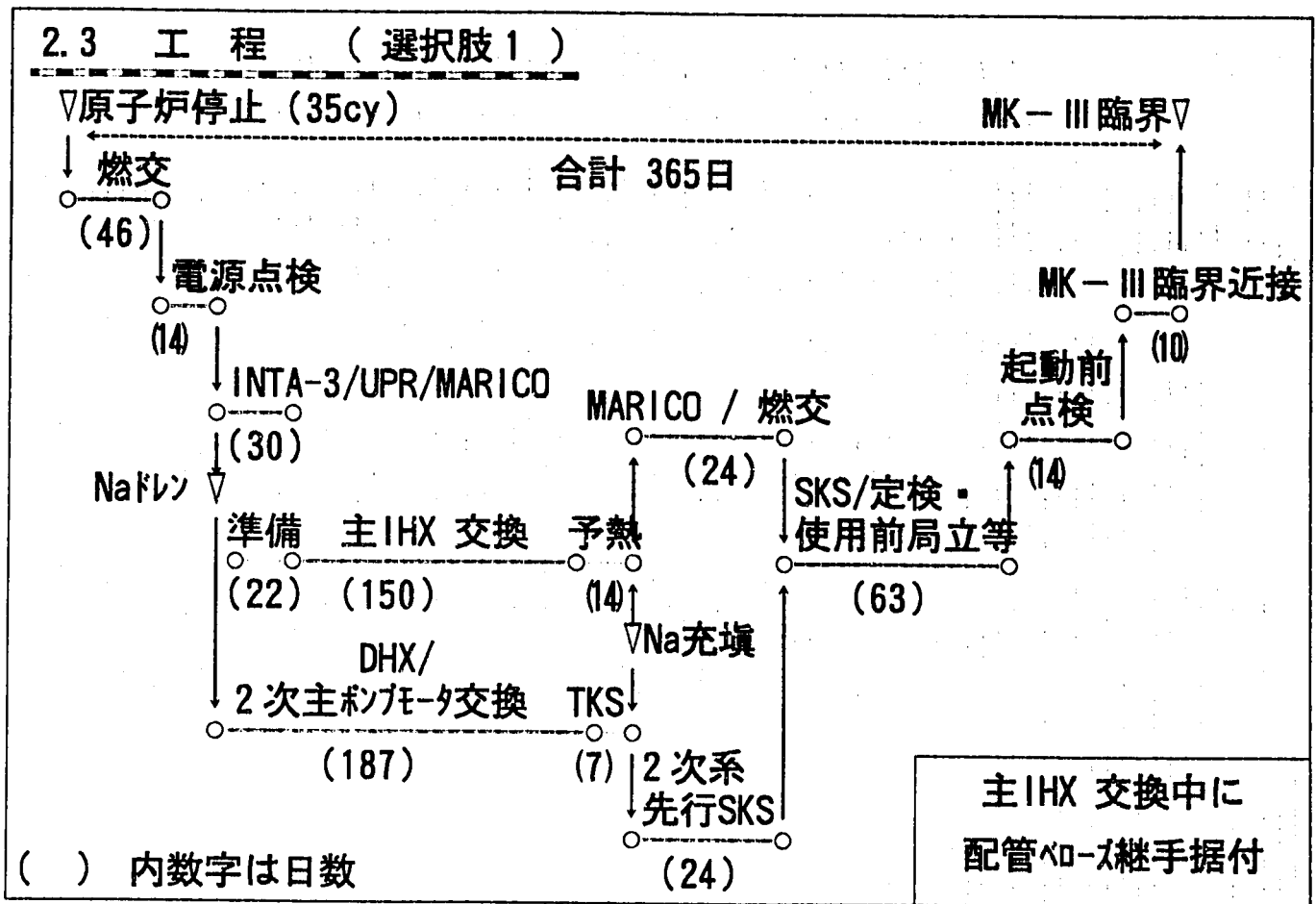


配管系解析結果一覧

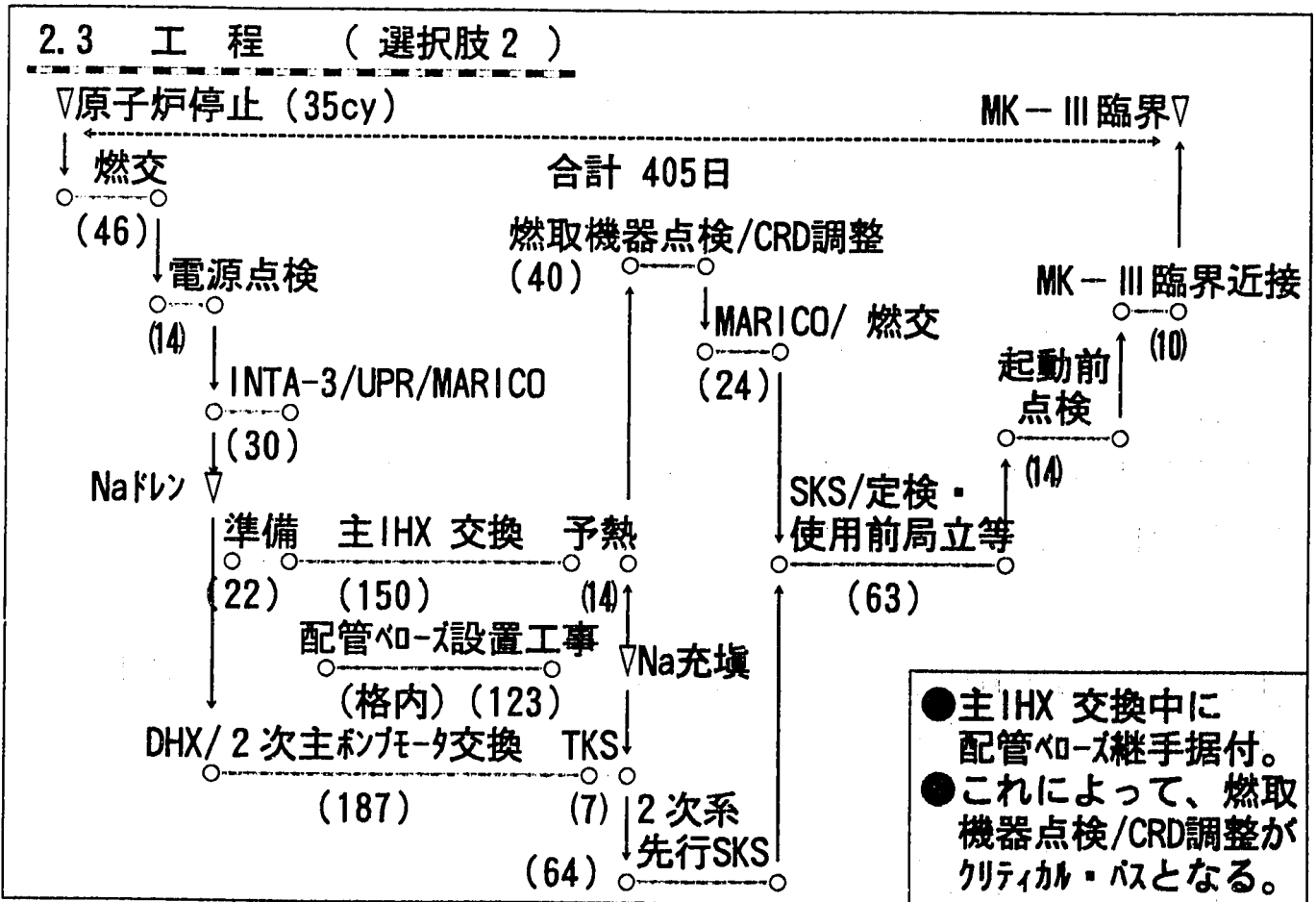
項目		選択肢	選択肢-1 (格外設置)					選択肢-2 (格内設置)				
			①案	②案	③案	④案	現状	①案	②案	③案	④案	⑤案
吸収回転 変位量 (度) (自重+熱膨張)	ボーズA	0.67* ¹	1.19* ¹	1.50* ¹	0.60* ²	—	軸 64mm ¹¹	3.65* ⁵	2.03* ⁵	1.12* ⁵	3.59* ⁵	—
	ボーズB	—	—	—	1.00* ³	—	軸直11mm	3.76* ⁶	2.52* ⁶	1.68* ⁶	1.47* ⁶	—
	ボーズC	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.17* ⁷	—
1次固有 振動数 (Hz)	対策前* ⁸	3.3	3.7	1.6	1.6	4.1	7.0 * ¹⁰	8.1 * ¹¹	9.3 * ¹¹	8.2 * ¹¹	8.2 * ¹¹	5.2
	対策後* ⁹	4.1	4.1	4.1	4.1							
スナッチ本数	追加	2	1	4	3	24	7 * ¹²	8 * ¹²	8 * ¹²	8 * ¹²	9 * ¹²	9
	補強* ¹¹	—	—	—	1							
リジッドハンガ, レストレイト 本数		変更無	同左	1本減	変更無	8	7 * ¹² * ¹³	5 * ¹²	5 * ¹²	4 * ¹²	5 * ¹²	4
スプリングハンガ 本数		変更無	同左	同左	同左	10	2 * ¹²	2 * ¹²	2 * ¹²	3 * ¹²	3 * ¹²	3
配管短縮効果		無	無	6%* ¹⁴	無	— * ¹⁵	61% * ¹⁶	38% * ¹⁷	同左	同左	同左	— * ¹⁸

*1 ①~③案はボーズ1基設置。 *2 鉛直ボーズ。 *3 水平ボーズ。 *4 配管を直線化した結果、軸方向及び軸直角方向熱変位を吸収する。 *5 格納容器貫通部側ボーズがA。
 *6 格納容器貫通部から2番目のボーズがB。 *7 主IHX 側ボーズがC。 *8 ボーズを設置した後スナッチの追加又は補強を行わない場合の固有振動数。
 *9 現状配管と同等の固有値確保を目標としてスナッチの見直しを行った後の値。 *10 新たなスナッチ支持計画の基に解析したもの。
 *11 スナッチの支持荷重容量を大きくしたものと交換する。 *12 新たな配管支持計画に基づき解析したもの。 *13 主IHX 出口配管エルボ及びボーズの貫通部側にレストレイト が必要。
 *14 短縮長は6m。 *15 19774 の貫通部~DHX 間配管長は107.6m。 *16 短縮長は19.6m。 *17 短縮長は12.4m。 *18 19774 の主IHX ~貫通部配管長は32.5m。

2.3 工程 (選択肢 1)



2.3 工程 (選択肢 2)



2.4 位置の検討・配管系解析結果のまとめ

成立性研究で開発した、クリーブ温度領域における配管ペローズ継手の高温構造設計方針および製作・検査基準に基づく配管ペローズ継手の炉内実証試験として、常陽主冷却系を検討した結果は、次のようにまとめられる。

- (1) 1次主冷却配管系への設置は、2重管であること、または設置空間が狭隘故、設置は困難。
- (2) 選択肢1（格外）の考え方にに基づき、主冷却建屋内2次主ホットレグ配管上で4案を選定し、改造程度に差はあるものの、何れの案も成立することを確認した。
- (3) 選択肢2（格内）の考え方にに基づき、主冷却建屋内2次主ホットレグ配管上で5案を選定し、配管系の解析を終了した。②～⑤案について、成立することを確認した。①案では厚肉長尺ペローズの成立性研究が別途必要である。

3. ペローズ仕様の検討

仕様の検討に際して...

- ① 強度上の要件を満たすこと。
即ち、
『高速増殖炉第1種配管用ペローズ継手の高温構造設計方針（暫定案）』
で評価して成立すること。
- ② 大型炉設計研究での2次系配管ペローズの形状、寸法比を参照する。

3.1 大型炉設計研究での2次系配管ベローズの形状, 寸法

* 常陽2次系配管は大型炉設計研究での2次系配管の呼び径の約1/3.

	大型炉設計研究 2次系配管ベローズ	常陽ベローズ
呼び径 d (mm)	965	320
山高 H (mm)	70~80	23~27
ピッチ q (mm)	60~80	20~27
板厚 t (mm)	6	2
山数 N	12~18	12~18

3.2 選択肢1の場合

スクリーニング解析の実施

* ①案の自重, 熱膨張による配管系の応答解析から得られた
ベローズ吸収変位

曲げ角変位量 ; 0.665 deg (以下案①を例示)

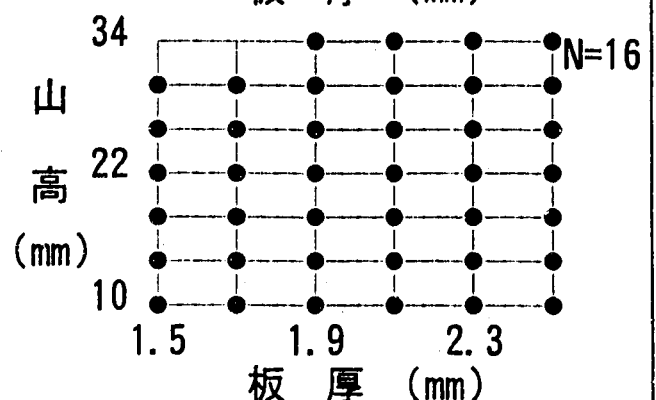
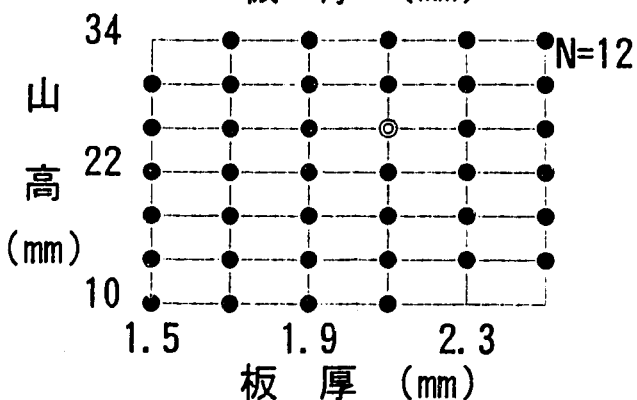
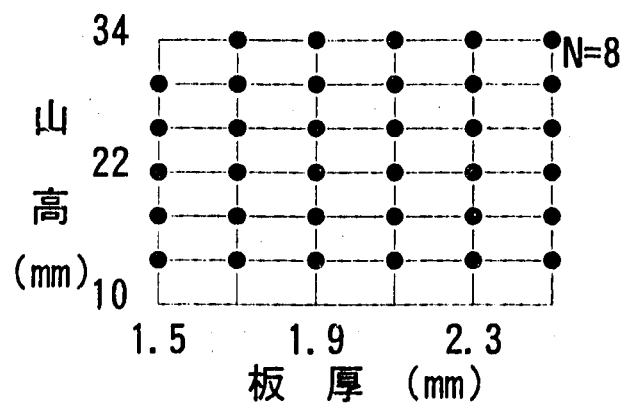
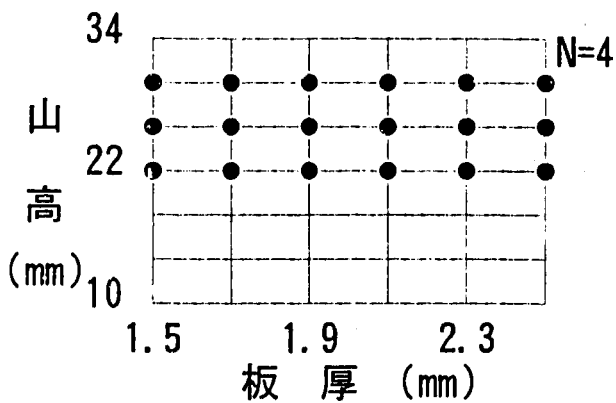
* スクリーニングするベローズの寸法範囲を次のとおりとした.

呼び径 d (mm)	320
山高 H (mm)	10~34
ピッチ q (mm)	$H/q=1$
板厚 t (mm)	1.5~2.5
山数 N	4~16

スクリーニング解析の条件

材 質	MATE	316SS
運転圧力(kg/mm ²)	PRES	0.038
設計圧力(kg/mm ²)	DESI	0.045
ピッチ/山高	QRAT	1.0
累積使用時間(hr)	DURA	69800
谷 径(mm)	DIAM	320.
熱負荷サイクル	CYCL	350
地震加速度(g)	ACCE	1.98 , 0.36
温 度(℃)	TEMP	470 , 20 , 200

スクリーニング解析の結果 (N ; 山数、● ; 成立、◎ ; 選定)



選定する仕様 (①案)

谷径 d (mm)	320
山高 H (mm)	26
ピッチ q (mm)	26
板厚 t (mm)	2.1
山数 N	12

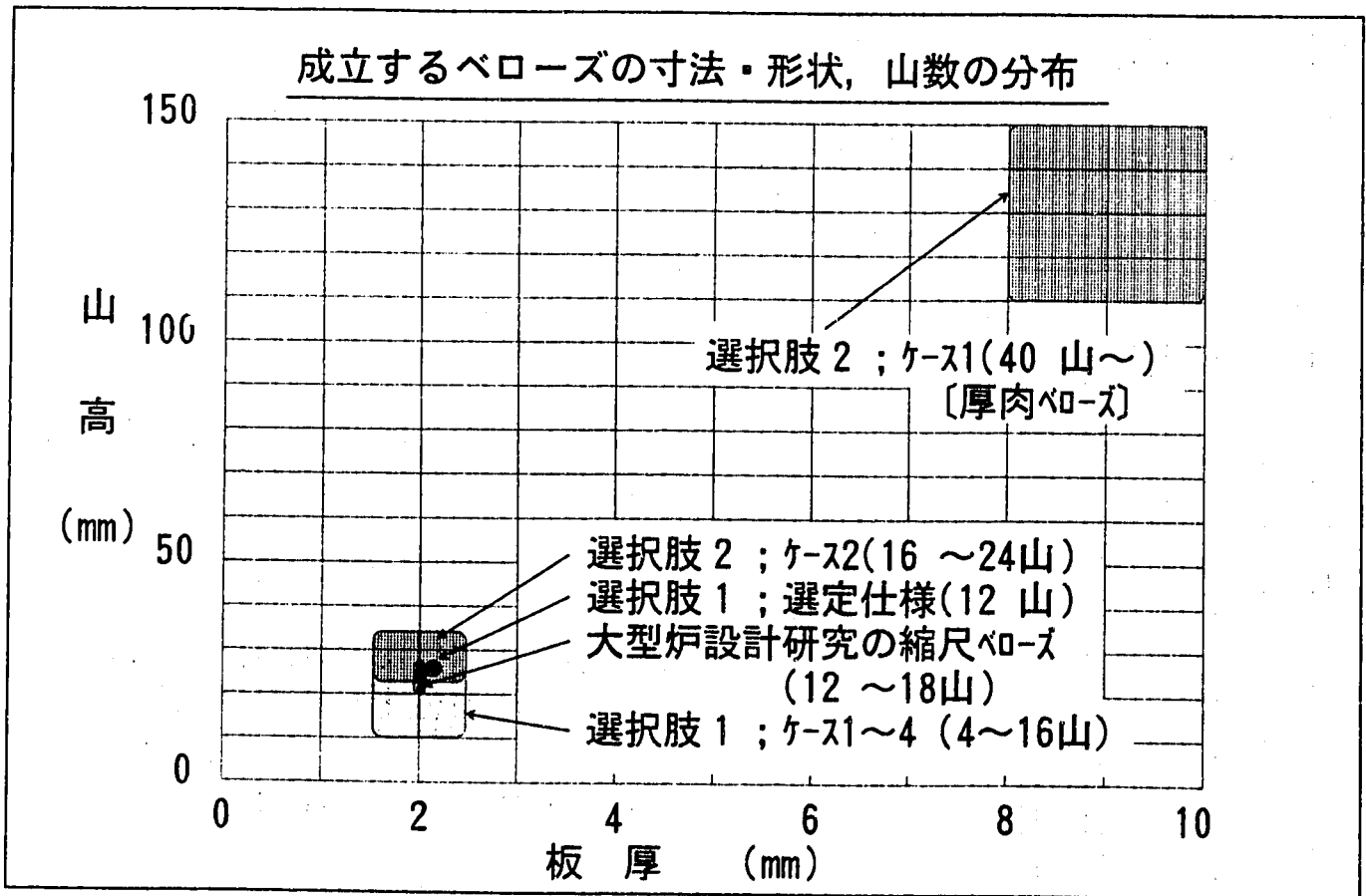
3.3 選択肢 2 の場合

配管系解析結果

案	ボーズ	角変位量 $\times 10^{-3}$ rad	イルネ 応力強さ Sn kg/mm ²	備考
	—	—	17.5	現状引回し
①	X	軸 64mm 軸直 11mm	?	直管型厚肉ボーズ (不適)
②	A B	63.77 65.54	7.69	ボーズの吸収変位が最大、その割にイルネに発生する応力が低減されていない。
③	A B	35.37 43.99	8.55	イルネに発生する応力が最大。
④	A B	19.46 29.12	5.89	ボーズの吸収変位が小さい、その割にイルネに発生する応力が低い。
⑤	A B C	62.69 25.60 37.82	2.11	イルネに発生する応力が最小。

選択肢 2		スクリーニング結果 (ペローズの仕様)			
	山高 H (mm)	板厚 t (mm)	山数 N	曲げ剛性 K_{θ} (kgmm/rad)	応力強さ S_n (kg/mm ²)
1	110 ~ 150	8~10	40 以上	(検討せず)	(検討せず)
2-A	30.	2.1	20	4.32×10^6	30.4
-B					31.1
3-A	30.	2.1	12	7.20×10^6	28.4
-B			16	5.40×10^6	26.7
4-A	26.	2.1	9	14.33×10^6	27.1
-B			12	10.74×10^6	30.1
5-A	30.	2.1	20	4.32×10^6	29.9
-B			9	9.61×10^6	27.5
-C			12	7.20×10^6	30.1

* 谷径 $d = 420$ mm、山高・ピッチ比 $H/q = 1.0$
 * ペローズ応力強さ許容値； 32.4 kg/mm²



4. 期待される成果

~~選択肢0 (炉内実証試験は実施しない。)~~

~~⇒ 現状の知見のまま。~~

~~〔実証炉の設計に協力し、設計が固まった段階で、必要に応じてボーズなどの研究開発を実施することを、原電はPNCに期待。〕~~

選択肢1 (格納容器外配管ボーズ継手設置案)

⇒ 配管ボーズ継手について、許認可取得の実績
(設置許可と設工認の取得)
溶接検査・使用前検査・定期検査の経験

選択肢2 (格納容器内配管ボーズ継手設置案)

⇒ 配管ボーズ継手について、許認可取得の実績 (選択肢1と同じ)
+
配管長短縮効果を炉内で実証。(PR効果大)

5. 今後の進め方(案)

~~(1) 選択肢0 : 既存のJ-P連絡会、ボーズ配管検討W/G~~

(2) 選択肢1および選択肢2 :

① 基本仕様選定段階 (~ 4年9月 炉内実証試験検討W/G)

- ・ 実験炉部 : 配管系設計、安全審査対応検討
工事・計装の検討、など
- ・ 開発部 : ボーズ仕様選定、安全審査書類等の準備方針検討

② 基本設計段階 (4年10月 ~ 炉内実証試験実施W/G)

- ・ 実験炉部 : 設計・製作・据付・運転など
- ・ 開発部 : 安全審査時の対応(資料・説明)など

③ 今後の工程案（選択肢1および選択肢2）							
	3年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度
常陽 ペローズ	検討W/G		炉内実証試験実施W/G				
	基本仕様選定		詳細設計		製作		
	基本設計/設置 安全評価		設置変更		設工認		
経費M円	選択肢1 ①	10	20	←40→		80	
	選択肢2 ②	10	50	←80→		510	
常陽 Mark III	基本設計 安全評価		設置変 更準備	設置変更 設工認	冷却系機器配管製作 溶検/使用前検査	冷却系 改造	性能 試験
	詳細設計			燃料製作/炉心装荷			

検討結果の要約版を、付録2に示す。

以上

付録1 EBR-II 配管ベローズ継手の共同評価提案(DOE, N. Grossman) について

1. PNC/DOE ジョイント・プログラム (配管ベローズ継手の試験後評価) 提案有。

(本件、POSTとは別件。POSTは終了している。)

N. Grossman (1989年7/31~8/2 にかかれた配管ベローズ継手に関する日米専門家会議における米国側の責任者)

2. EBR-II 配管ベローズ継手試験の概要

(1)試験目的; モジュラー型FBR SAFRのDRACS 配管に用いるclass2配管ベローズ継手の開発の一環としての実証試験。

(SAFR: The Sodium Advanced Fast Reactor)

(2)試験工程; 1985年4月設置 (RI社の委託)

試験期間 2年 (手紙によると5年以上取り付けていたことになる)

(3)設置場所; 2次系ナトリウム配管, 2体 (添付図参照)

(4)設計条件他; 最高温度 875 °F

温度サイクル ΔT 200 ~ 300 °F, 50回以上

最大曲げ角度 3度

設計基準 ASME C. C. N-253-2, N-290-1, N-47-21

(5)主な仕様; タイプ: ジンバル型、山径: $16^{1/2}$ / 32 分、谷径: 14 分 (山高 1 分)
肉厚: 0.042 分、長さ: 8.75 分、山数: 10山、材料: 316SS

(6)計測方法; ITV により角度変位をモニター

3. 当W/G の意見

(1)手紙の文面からは、何故今DOE がジョイントプログラムを提案したのか不明。

(提案のプログラムは1~2年程度の小規模のもの)

(2)EBR-II の配管ベローズ継手は実験に基づく構造設計コード (ASME Code Case N253-2, N290-1) による。

(3)PNC のR&D 成果である当該継手の構造設計方針は解析・公式に基づく。

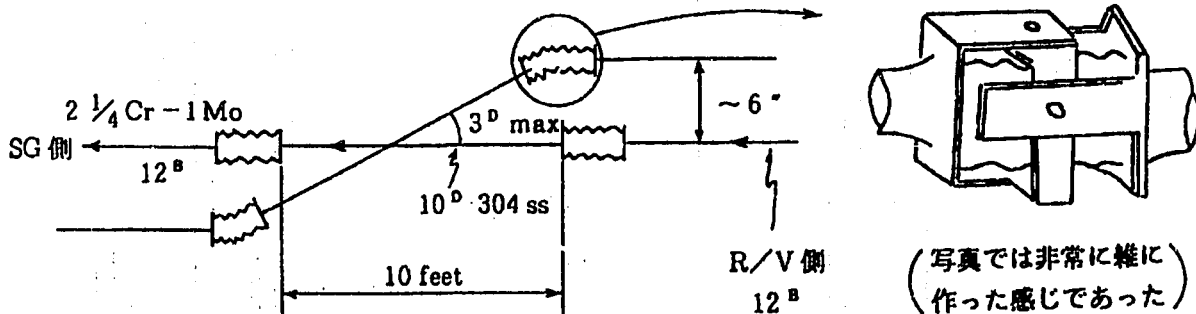
(4)実施のメリット: 設計・製作・据付・検査・撤去に関する情報が入手できる。

実施オプションとして①既提案の配管ベローズ継手のみ、②当方からもTTS の炉外実証試験 (短期) および常陽の実証試験 (長期) の提案。

(いずれにせよ、お金のやり取りはしない。)

(5)実施のデメリット: 手間の割に、具体的な成果が出づらい。

(6)情報が得られ参考にはなっても、常陽実証試験の代替にはならない。



この図は、PNC SN9420 86-001(1986)p204 から引用。

(写真では非常に難に作った感じであった)

付録-2

配管ペロ-ズ継手実証試験各案の比較

項目	選択肢1 (格外2次主冷却系に設置)				選択肢2 (格内2次主冷却系に設置)				
	①	②	③	④	①	②	③	④	⑤
概要	バックアップ・ペロ-ズ付き一層薄肉成形ペロ-ズ				一層厚肉	バックアップ・ペロ-ズ付き一層薄肉成形ペロ-ズ			
型式	ｼﾝﾊﾞﾙ内圧型	ｼﾝﾊﾞﾙ外圧型		ｼﾝﾊﾞﾙ内圧型 ｼﾝﾊﾞﾙ外圧型	直管外圧型	ｼﾝﾊﾞﾙ外圧型			
個数向き	1/鉛直	1/水平		1/鉛直	1/水平	2/水平		3/水平	
配管等	変更無	少し変更	大規模変更	少し変更	大幅に変更、ライナー一部変更				
意義	許認可実績				許認可実績 + 配管長短縮 (PR効果大)				
技術評価	PNCのR&D 成果を反映して問題なく成立				別途成立性 研究必要	PNCのR&D 成果を反映して十分成立			
						製作施行上 有利		ペロ-ズ2基による配管 引回しとしてベスト	
必要経費	1.4 億	2.13 億	4.83 億	3.53 億	?	6.4 億		6.9 億	
工事期間	1.5 ヶ月	2.0 ヶ月	4.5 ヶ月	3 ヶ月	3 ヶ月	3.5 ヶ月			
	既存工程は変更なし 主冷/付属他作業 187日の中で吸収				常陽MKIII冷却系改造+第12回定検基本工程の内、並行作業不可となる燃取系・CRD 調整がクリティカルとして表面化し、40日伸びる。				
マンパワー									
設計・許認可	6.4 人年	(0.2人年×4年×3人) (1人年×4年×1人)			?	7.6 人年	(0.3人年×4年×3人) (1人年×4年×1人)		
工事	2次系改造 枠内で可能	1人×50%	2人×100%	1人×50%	2人×100%				
総合評価									

付録(3)

配管ベローズ構造健全性の検討

配管ベローズ継手実証試験検討W/G資料

配管ベローズのナトリウム漏洩に
関するシナリオ（案）

1. 荷重

ベローズにかかる主たる荷重が、引張圧縮および繰返し曲げであるとする。

高い内圧（10atG以上）を想定する場合には、別の倫理追加が必要となる。スナバー固着などに起因する異常に高い応力を想定する場合にも、別の倫理追加が必要となる。

2. 運転中のき裂生成寿命

ベローズに発生する応力は、クリープ温度領域（470℃）では $3 S_{mbar}$ （ 24.88 kgf/mm^2 ）/0.151%（1000000hr）/ 26.44 kgf/mm^2 /0.16%（10000hr）の応力／ひずみ値以下である。この応力の繰返しによって、ベローズ表面にき裂は、100,000サイクル（ 10^{10} / 10^9 サイクル）以上の荷重繰返し数で発生する。一方、設計想定荷重最大繰返し数は100サイクルであり、1000倍以上の安全率がある。この値は、通常プラントの起動・停止サイクルに用いられる安全率20よりも大きく、十分な安全率であるといえる。

3. き裂進展寿命

ベローズは高いグレードを有する原子炉冷却材バウンダリ用製作・検査基準によって製作・据付・検査される。12寸口径は目視・外観検査を実施するのに十分大きく、また100体を超えるナトリウム配管用ベローズの製作・検査・仕様実績があり、当該ベローズの初期欠陥は通常想定しがたい。

仮想的な事態として、初期欠陥（深さとして板厚の50%である1mm、長さ2mmの半楕円形状）を想定する。この欠陥は10,000サイクルで板厚の80%まで進展し、背面からの発生き裂と合体して、貫通する。10,000サイクルは設計想定荷重最大繰返し数の100倍であって、安定き裂進展に対して十分大きな安全率といえる。

き裂進展による板厚貫通事象を考えると、き裂1個についてこの事象の累積生起確率は、運転開始後1年で 10^{-7} 、運転開始後20年で 2×10^{-7} であり、社会的に容認されてい

るリスクの範疇に入る。

4. 不安定破壊に対する安全率

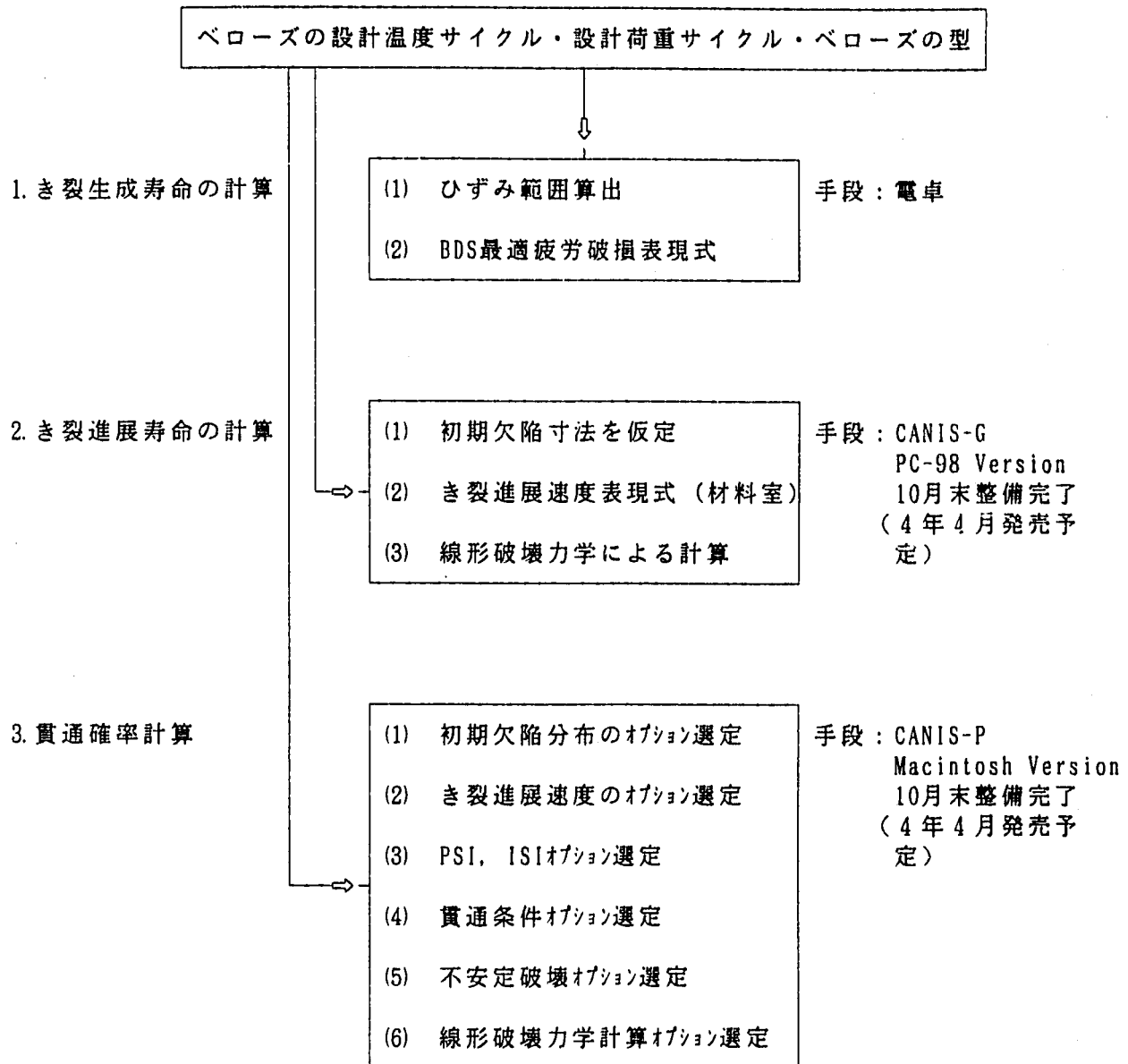
ベローズに対して貫通き裂を想定し、構造安全上不安定破壊が他の破損モードに先行して生起するかどうかのチェックが必要である。ベローズは高延性材料製の薄肉構造であるので、内圧漸増不安定試験によると、貫通き裂を有するベローズは構造的な不安定変形によって内圧を吸収し（座屈強度は無欠陥ベローズと同等）、不安定破壊を生じない。

衝撃内圧に対しては、静的内圧座屈の破損形態と同様であるが、座屈強度は4～5倍向上するので、安全上は座屈に対して構造健全性が保証されれば良い。

5. 安全設備対応

バックアップベローズを設けた2重構造とし、疲労あるいはクリープ疲労によってコンモード型破損が生じないようにバックアップベローズの設計条件を厳しくする。連続漏洩監視をナトリウムイオン検出器で行う。消耗品として取扱い、設計寿命の更新はしない。ヒンジやジンバル型で用いる場合にはポテンショメータによる角度の連続監視を実施する。

計算フロー



付録(4)

予熱・保温に関する検討

予熱，保温に関する検討

配管ベローズ継手を「常陽」二次系に設置する場合の予熱，保温方式について検討した。推奨予熱，保温方式は，表1に示す通り，電気ヒータの直巻き予熱，保温は主として保温材の直付け固定保温である。しかし，配管ベローズ継手ゆえの特殊性から生じる制約にさしたるものではなく，推奨方式にこだわるつもりはない。

1. 予熱について

- (1) 予熱方式については，一般的な電気ヒータ予熱の他に，窒素ガス予熱やガス火炎予熱もFBR関係では使われているが，設備が大型になることから，電気ヒータ予熱が適当と考える。
- (2) 電気ヒータで予熱する場合においては，ヒータを直接機器に巻き付ける方式と，機器を保温の箱の中に納め，箱の内側にヒータを施工して，輻射熱で間接的に予熱する方式とがある。間接予熱方式は，機器を均一に予熱できるという利点がある反面，仕上がり外形が大きくなる，保温箱を貫通する支持構造物のようなものが多数ある機器には不向き，等の欠点がある。

また，予熱機器が配管ベローズ継手であるという点を考慮した場合，「常陽」では二次系設置のため必ずしも「配管用ベローズ継手の製作・検査・保守基準案」に従う必要はないと思われるが，基準案では，配管ベローズ継手の変位監視，荷重監視，目視検査を実施することになっていて，「常陽」でもこれらを実施するということになれば，検出レバーのような構造物が保温層を貫通するとになり，その場合には直接予熱方式を選定した方が，施工が容易であると考ええる。

- (3) ヒータ種類には，小径で可とう性に優れるマイクロヒータと，シーズヒータが一般的であるが，機械強度，寿命に優れるシーズヒータを推進する。シーズヒータは配管ベローズ継手形状に倣うように成形する。

また，シーズヒータの発熱線に注目すると，直線状に発熱線が組み込まれたものと発熱線が螺旋状に工作されたものがある。任意の長さで，任意の発熱量が得られる螺旋状発熱線を持つシーズヒータが良いと考える。

(4) 施工上のヒータの領域分割は、周方向について、42Bモックアップでは約φ2500mmで3等分分割していた。「常陽」はφ1m以下と思うので、2分割しておけば温度ムラは充分小さく納まると思われる。

上下方向は、モックアップでは3分割独立制御であったが、小型とはいえ、「常陽」でも配管ベローズ継手の形状は類似となるであろうから、たとえば支持脚が出ている等の施工上の形状的制約から、3分割独立制御が望ましいと考える。

(5) 温調設定幅は、モックアップ採用値の適用を勧める。モックアップでは±10℃の設定で、その発生温度ムラによってもベローズ許容応力値を満足した、との報告がある。「常陽」は小型の点、さらに応力的に楽になると考えられる。詳細解析を行えば、設定幅を広げることは可能である。

(6) ヒータ本数は、上記ヒータ分割により算出すると6本となる。予備を含まないか、どの程度含むかは、「常陽」の他の機器との整合をとる必要がある。

2. 保温について

(1) 保温について、全体的には保温材の直付け固定保温であるが、目視検査を実施するとした場合の保温材取り外し性を考慮し、対象部位のみは簡単に取外すことができる局所的なパッケージ保温にしておくことが好ましいと考える。

(2) 保温材材質は、・使用温度 ・値段 ・非塩素系 ・非石綿 の観点で推薦した。特にこれだけに限定されるものではない。

3. 参考文献

1) 錦見他：高速増殖炉用予熱ヒータに関する技術資料

SN9410 87-106 1987年8月 動燃

2) 水上他：高速増殖炉用保温に関する技術資料

SN9410 88-083 1988年7月 動燃

付録(5)

連続漏洩監視に関する検討

連続漏洩監視に関する検討

配管ベローズ継手を「常陽」に二次系に設置することもあって、ナトリウム漏洩監視にかかわる安全理論をどうするかは、今後十分論議されなければならない。選択肢としての漏洩検出器を表 2 に、また、漏洩検出器構成概念の例を図 1 に示す。

表 1 予 熱 と 保 温

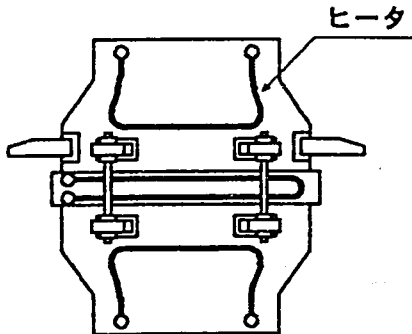
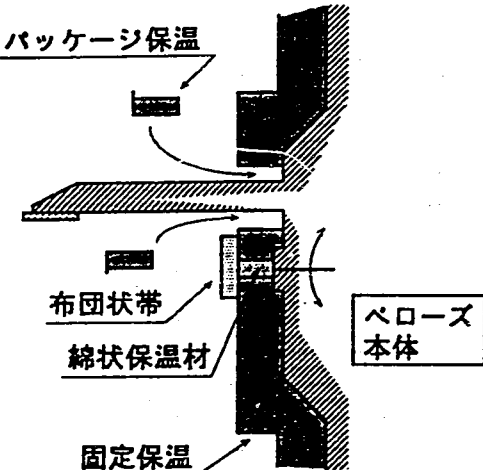
	項 目	仕 様	理 由	説 明 図
予 熱	方 式 種 類 領域分割 温調設定幅 ヒータ本数	○電気ヒータ直巻き予熱 ○シースヒータ (発熱線螺旋巻き) ○周方向2ブロック分割 上下3領域独立制御 ○±10℃ ○6本	保温仕上がり外形を小型とし、かつ変位監視、荷重監視、目視試験を実施することになった場合(検出レバー等、部品の取付け)の容易性を確保する。	
保 温	方 式 保温材層数 可動隙間部 適用可能保温材	○局部的パッケージ保温 他は直付け固定保温 ○固定部軟質保温材2~3層 表面外装鉄板仕上げ ○無定形綿状保温材充填 ○ロックウール系 グラスウール系 ファインフレックス系	取付け金具部目視検査を実施することになった場合の局部解放性を考慮しておく。	

表 2 ナトリウム漏洩検出器の比較

種類と原理		概念図	特徴
ガス サン プリ ング 型	S I D : ナトリウムイオン化式検出器 (Sodium Ionization Detector) 高温フィラメントにより、Naエアロゾルを電離させ、フィラメント-コレクタ間に流れる電流を検出		<ul style="list-style-type: none"> ○不活性ガス雰囲気中のエアロゾル検出 ○検出感度は、最高 10^{-11} g/cc
	R I D : 放射線イオン化検出器 (Radiative Ionization Detector) 電界電極中に、Am-241でイオン化したキャリアガスを流し、Naエアロゾルが含まれた時の電極間電流の減少を検出		<ul style="list-style-type: none"> ○空気雰囲気中のエアロゾル検出 ○検出感度は、最高 10^{-10} g/cc ○温度変化に敏感(Mj)
	D P D : 差圧式検出器 (Differential Pressure Detector) フィルタへのNa捕集による上流、下流の圧力差増大を検出		<ul style="list-style-type: none"> ○漏洩Na蓄積型の検出器 ○不活性ガス、空気の両雰囲気に適用可 ○検出感度は、バックグラウンド差圧の 25% 増 ○フィルタ撤去、分析により確実な検出 ○S I D、R I Dとの組み合わせ使用が良
接触型検出器 電極間、もしくは電極-大地間を導電性漏洩Naが電気的に短絡することを検出		<ul style="list-style-type: none"> ○構造簡単、安価 ○施工容易 ○検出器までNaが流れてこないと検出不可 	

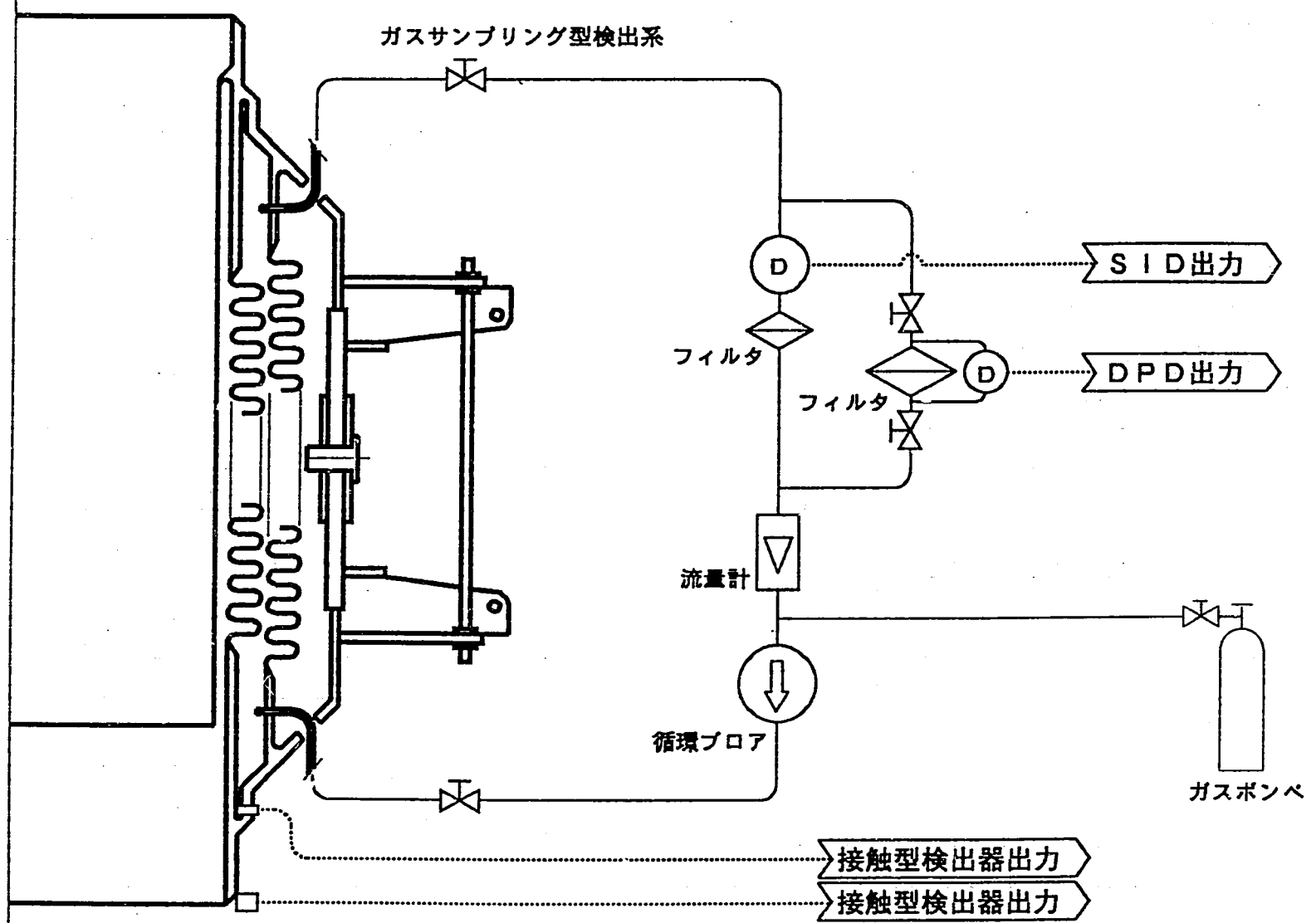


図 1 Na漏洩検出器構成概念の例

付録(6)

ベローズ設置による常陽配管解析結果

ベローズ設置のための「常陽」配管解析結果

1. 解析の目的

- (1) ベローズの仕様設定（吸収変移量の算出）
- (2) ベローズ設置後の配管系成立性の確認

2. 解析内容

(1) 使用コード（要素）

- ・FINAS (PIPE2)

(2) 解析項目

- ・自重
- ・熱膨脹
- ・地震（動解析）

(3) 解析モデル

- ・選択肢1の解析モデルを図1に示す。
- ・選択肢2の解析モデルを図2～6に示す。

(4) ベローズ部の模擬方法

- ・配管ピン結合（回転剛性、ベローズ重量考慮）
（但し、選択肢2案①においては直線ばねで模擬）

3. 解析結果

選択肢1の解析結果を表1に、選択肢2の解析結果を表2に示す。

4. まとめ

本配管解析によって得られた吸収変移量は、選択肢2の案①を除き従来の研究範囲内の値であり、ベローズの設計上問題のない値であった。また、選択肢1および2の各案共、配管サポートを適切に設けることによって、ベローズ設置後の配管系の成立性は十分あるとの見通しが得られた。

表1 選択肢1配管解析結果

		案①	案②	案③	案④	
					垂直側	水平側
吸収回転変位量(°) (自重+熱膨脹)		0.67	1.19	1.50	0.60	1.00
1次固有 振動数 (Hz)	対策無	3.3	3.7	1.6	1.6	
	対策有	4.1	4.1	4.1	4.1	
スナップ 本数	追加	2	1	4	3	
	補強	—	—	—	1	

注) 現状の1次固有振動数4.0Hz

表2 選択肢2配管解析結果

		案①	案②	案③	案④	案⑤	現状
吸収回転変位量 (°) (自重+熱膨脹)	Δφ-A	68.7mm	3.65	2.03	1.12	3.59	—
	Δφ-B	—	3.76	2.52	1.68	1.47	—
	Δφ-C	—	—	—	—	2.17	—
1次固有振動数(Hz)		7.0	8.1	9.3	8.2	8.2	5.2
スナップ本数		7	8	8	8	9	9
リジットハンガ本数		5	5	5	4	5	4
スプリングハンガ本数		2	2	2	3	3	3
レストレント本数		2	—	—	—	—	—

注) 案①の吸収変位量は、軸方向の伸縮量を示す。

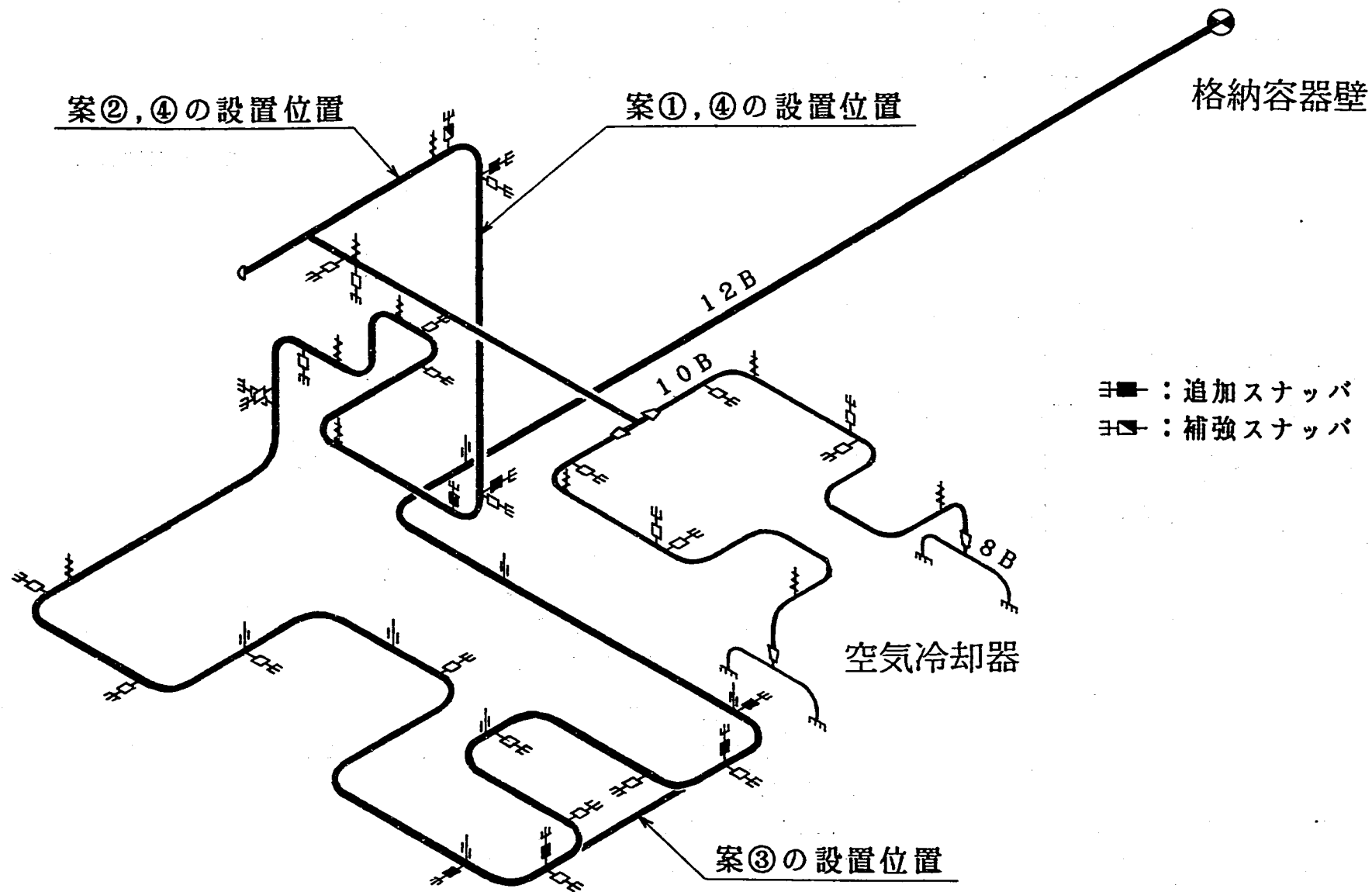


図1 選択肢1 配管解析モデル
(2次主冷却系配管 格納容器壁～空気冷却器)

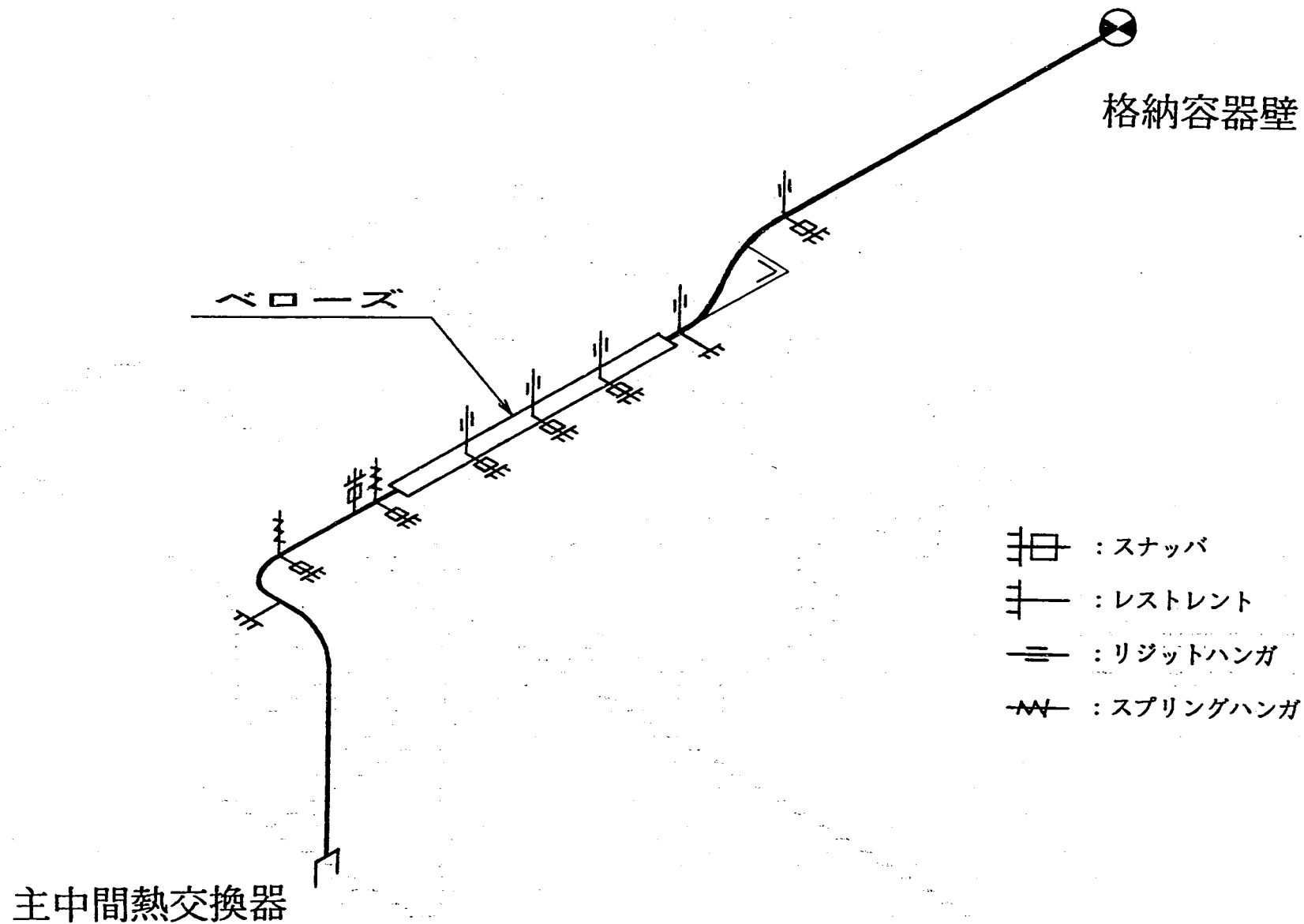


図2 選択肢2案①配管解析モデル
 (2次主冷却系配管 主中間熱交換器～格納容器壁)

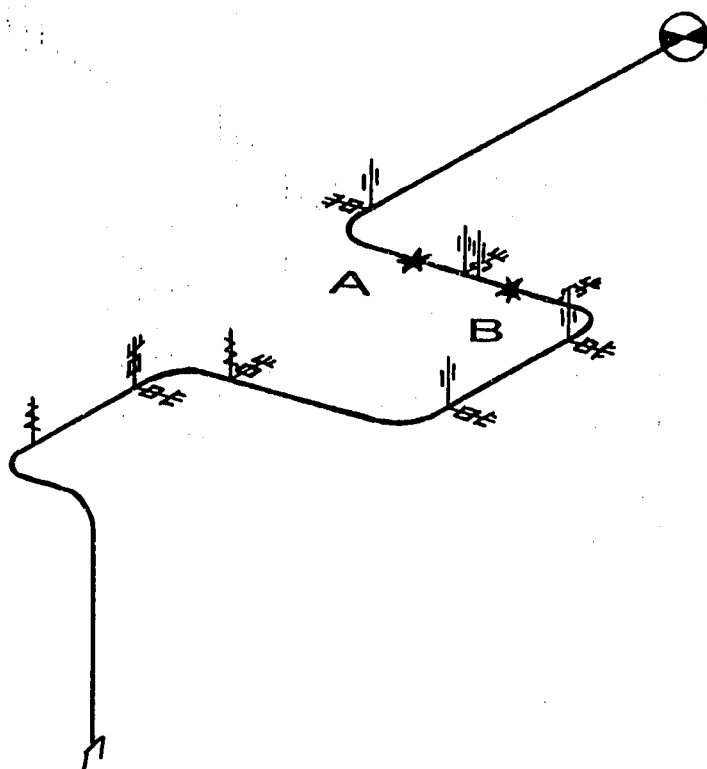


図3 選択肢2案②配管解析モデル

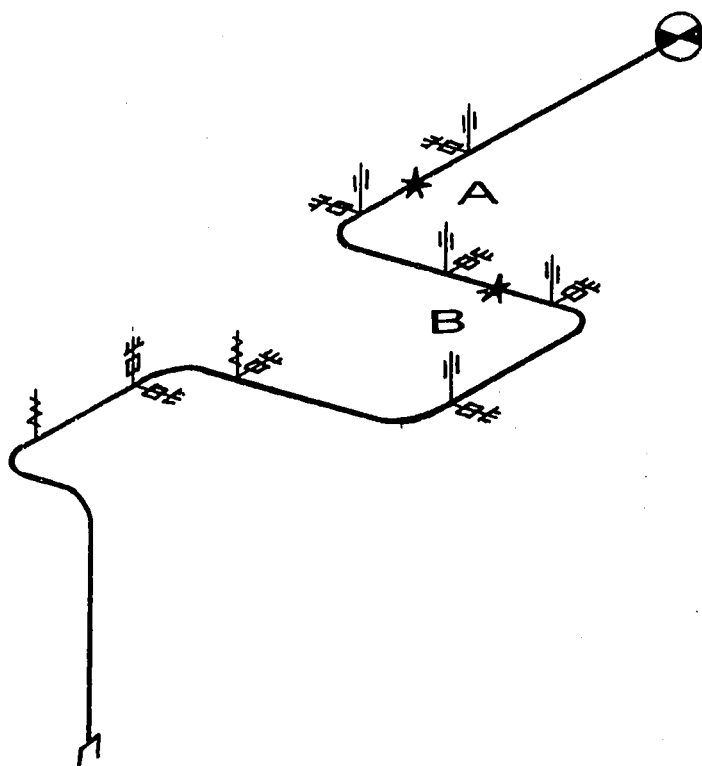


図4 選択肢2案③配管解析モデル

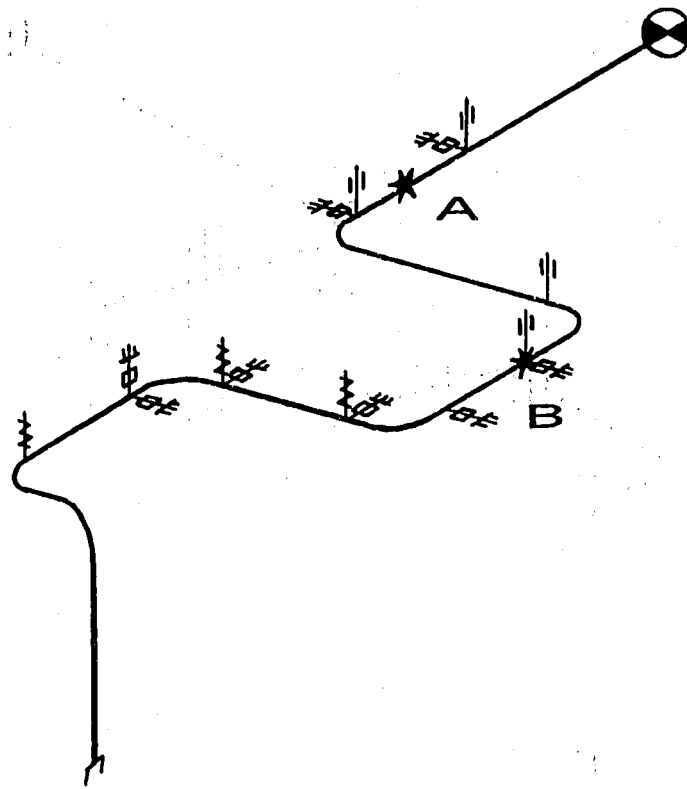


図 5 選択肢 2 案④配管解析モデル

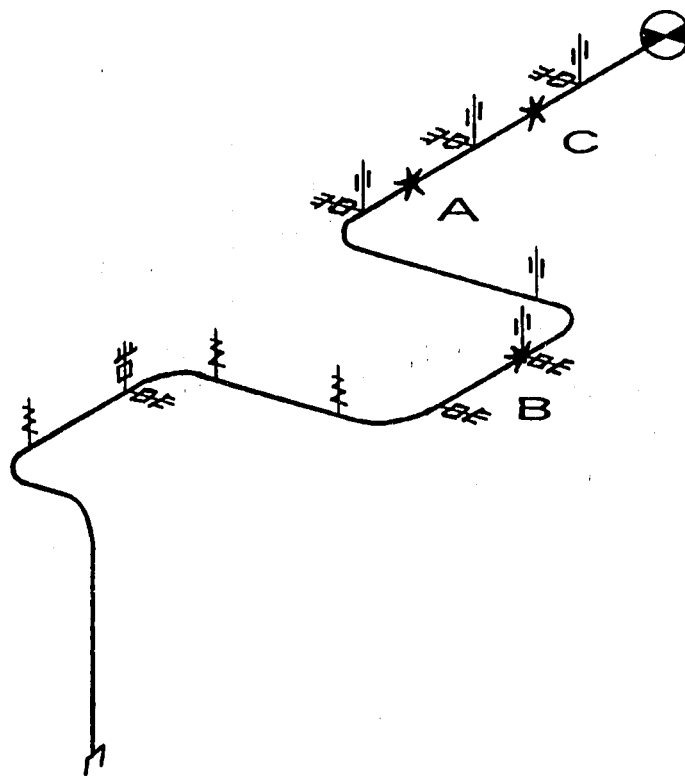


図 6 選択肢 2 案⑤配管解析モデル

付録(7)

ベローズ仕様検討

ベローズ仕様検討

仕様の検討に際して...

I. 強度上の要件を満たすこと.

即ち, 『高速増殖炉第1種配管用ベローズ継手の高温構造設計方針(暫定案)』

で評価して成立すること.

II. 大型炉設計研究での2次系配管ベローズの形状, 寸法比を参照する.

大型炉設計研究での2次系配管ベローズの形状, 寸法

* 常陽2次系配管は大型炉設計研究での2次系配管の呼び径の約1/3.

	大型炉設計研究 2次系配管ベローズ	常陽 ベローズ
呼び径 d (mm)	965	320
山高 H (mm)	70~80	23~27
ピッチ q (mm)	60~80	20~27
板厚 t (mm)	6	2
山数 N	12~18	12~18

1. 選択肢1の場合

選択肢1については, 4ケースについて成立するベローズはほぼ類似した仕様となる。

ここでは, 『ケース1』の場合についてのみスクリーニングの結果を示すにとどめる。

スクリーニング解析の実施

* 『ケース1』の自重、熱膨張による配管系の応答解析から得られたベローズ吸収変位

曲げ角変位量； $0.665 \text{ deg} (11.6 \times 10^{-3} \text{ rad})$

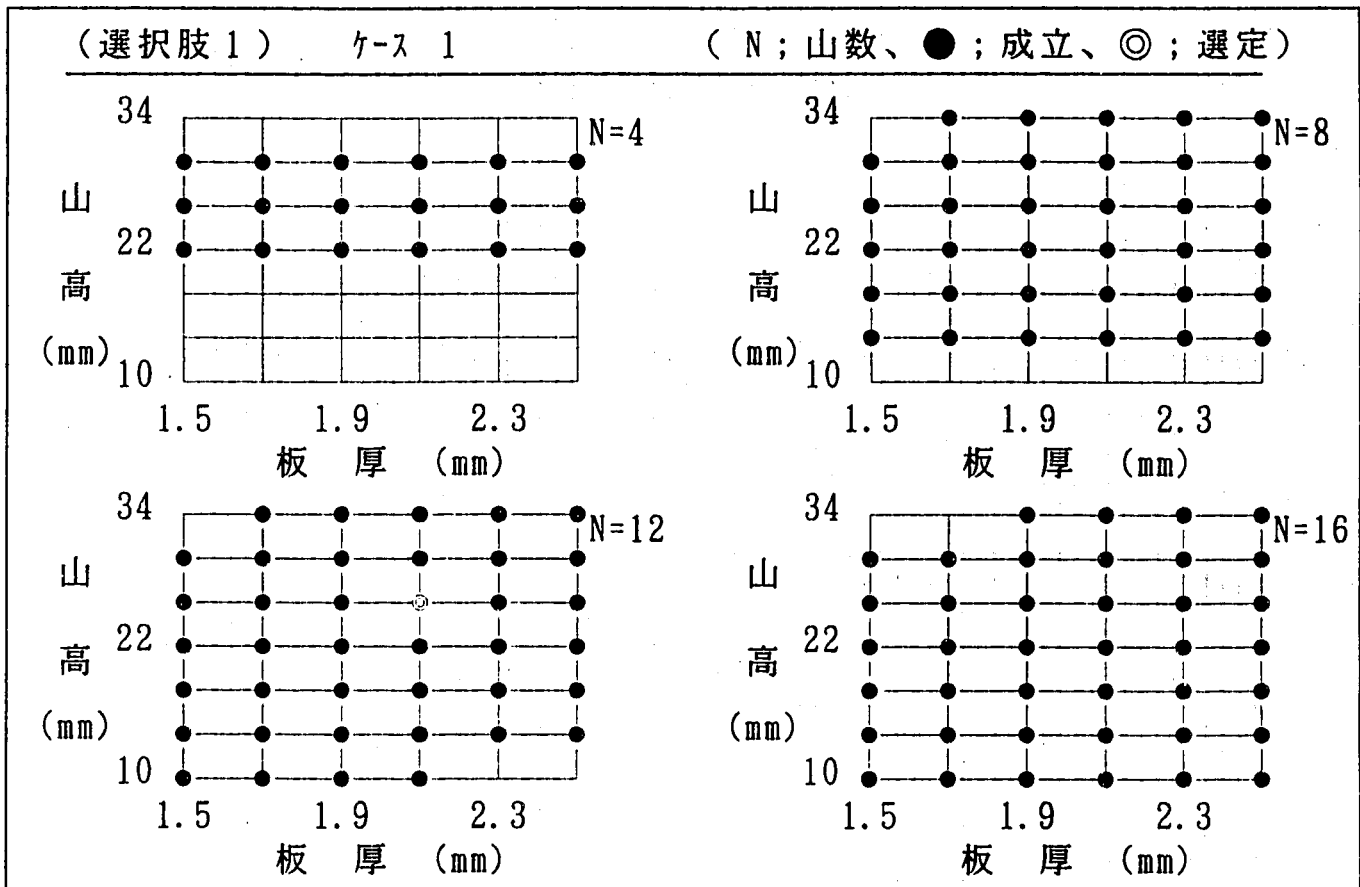
* スクリーニングするベローズの寸法範囲を次のとおりとした。

呼び径	d (mm)	320
山高	H (mm)	10~34
ピッチ	q (mm)	$H/q = 1$
板厚	t (mm)	1.5~2.5
山数	N	4~16

スクリーニング解析の条件

材質	MATE	316SS		
運転圧力(kg/mm ²)	PRES	0.038		
設計圧力(kg/mm ²)	DESI	0.045		
ピッチ/山高	QRAT	1.0		
累積使用時間(hr)	DURA	69800		
谷径(mm)	DIAM	320.		
熱負荷サイクル	CYCL	350		
地震加速度(g)	ACCE	1.98	, 0.36	
温度(℃)	TEMP	470	, 20	, 200
板厚(mm)	THIC	2.5	, 1.5	, 0.2
山高(mm)	DEPT	34.	, 10.	, 4.
山数	CONV	16	, 4	, 4

スクリーニング解析の結果 (ケース1)



選定する仕様 (ケース1)

呼び径 d (mm)	3 2 0
山高 H (mm)	2 6
ピッチ q (mm)	2 6
板厚 t (mm)	2. 1
山数 N	1 2

2. 選択肢 2 の場合

ベローズの吸収角変位置

1次解析としてベローズ部をピンジョイント(曲げ剛性 0)としてベローズの吸収変位角を計算した結果を下の表に示す。ケース1は、ほぼ直線の配管となるがベローズの負担は甚だ大きい。ケース5は、エルボの負担を最も軽減するが、ベローズAの負担が大きい。ベローズとエルボの両方の負担を軽減するという観点からみるとケース4が最もバランスがよいといえる。

解析ケース	ベローズ	吸収角変位置 ($\times 10^{-3}$ rad)	エルボ最大応力 (kg/mm^2)	備考
0	—	—	17.5	現状引回し
1	X	軸 94mm 軸直 15mm	—	直管型厚肉ベローズ (不適)
2	A	63.77	7.69	ベローズの吸収変位が最大、その割にエルボに発生する応力が低減されていない。
	B	65.54		
3	A	35.37	8.55	エルボに発生する応力が最大。
	B	43.99		
4	A	19.46	5.89	ベローズの吸収変位が小さい、その割にエルボに発生する応力が低い。
	B	29.12		
5	A	62.69	2.11	エルボに発生する応力が最小。
	B	25.60		
	C	37.82		

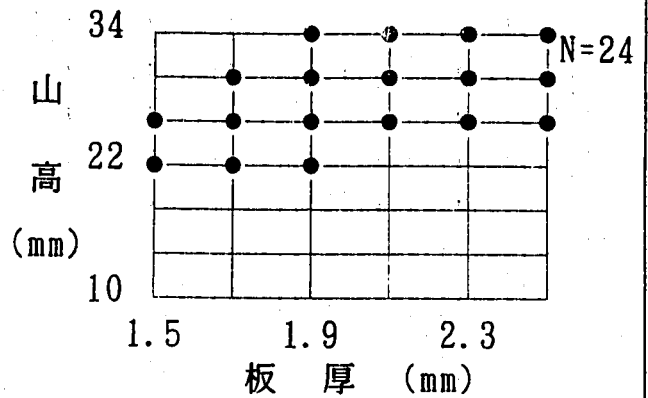
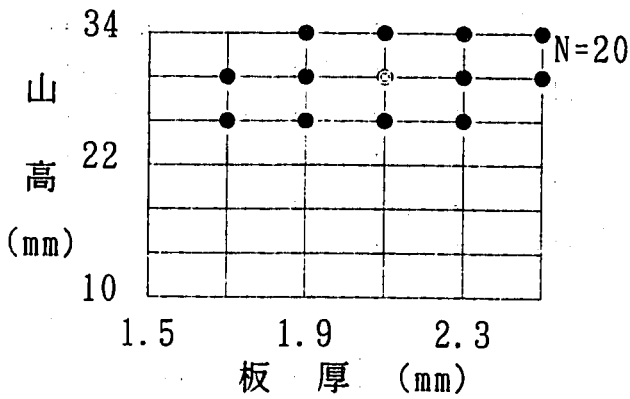
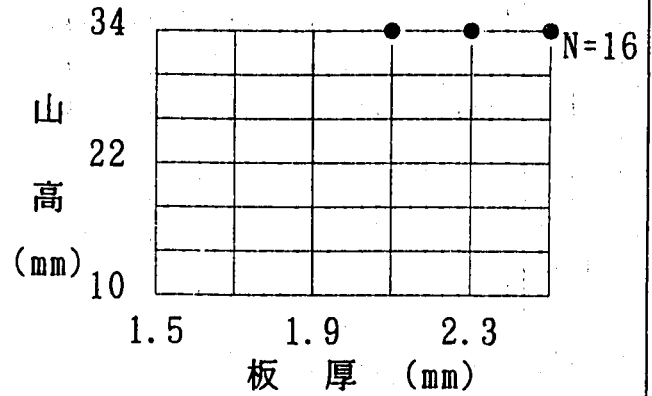
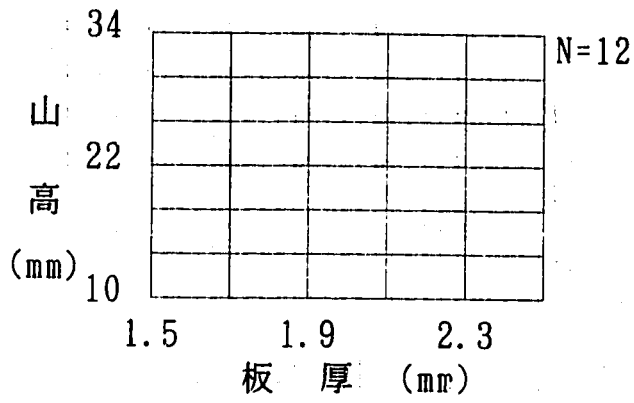
(エルボ許容応力 ; $27.0 \text{ kg}/\text{mm}^2$)

スクリーニング解析の結果

後の図に示すように、ケース1は、大型炉設計研究の縮尺ベローズに近い寸法・形状の選択が不可能である。以下のスクリーニング解析の結果については、ケース2からケース5のみを示す。

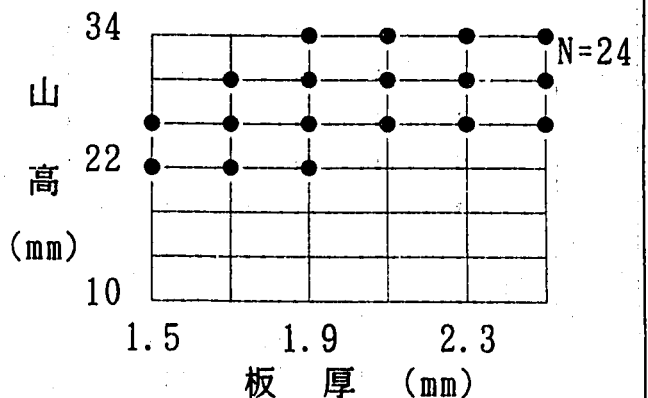
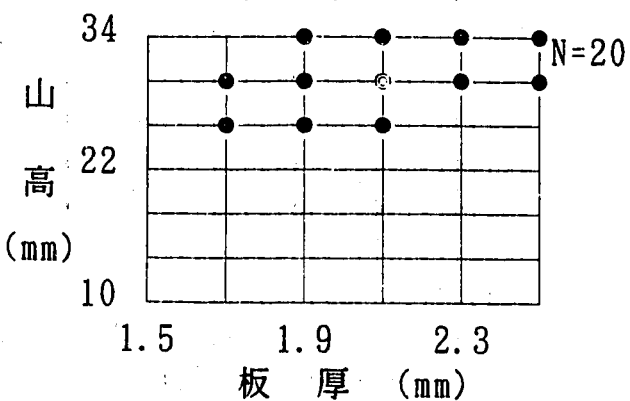
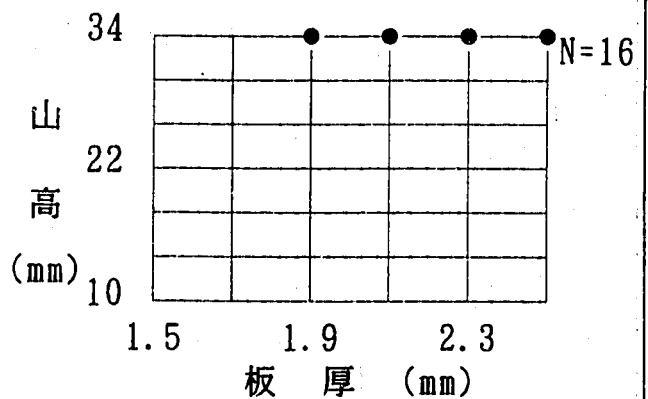
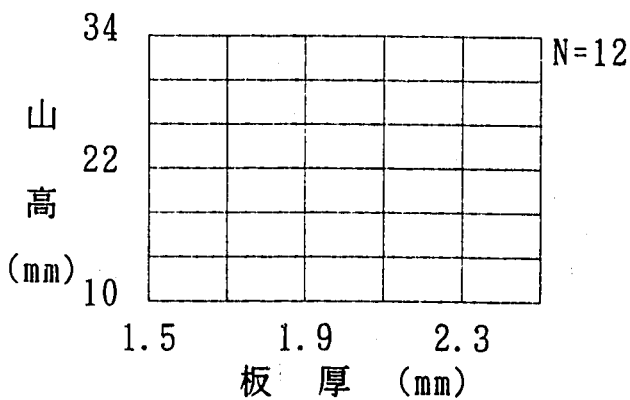
(選択肢 2) ケース 2 ベロースA

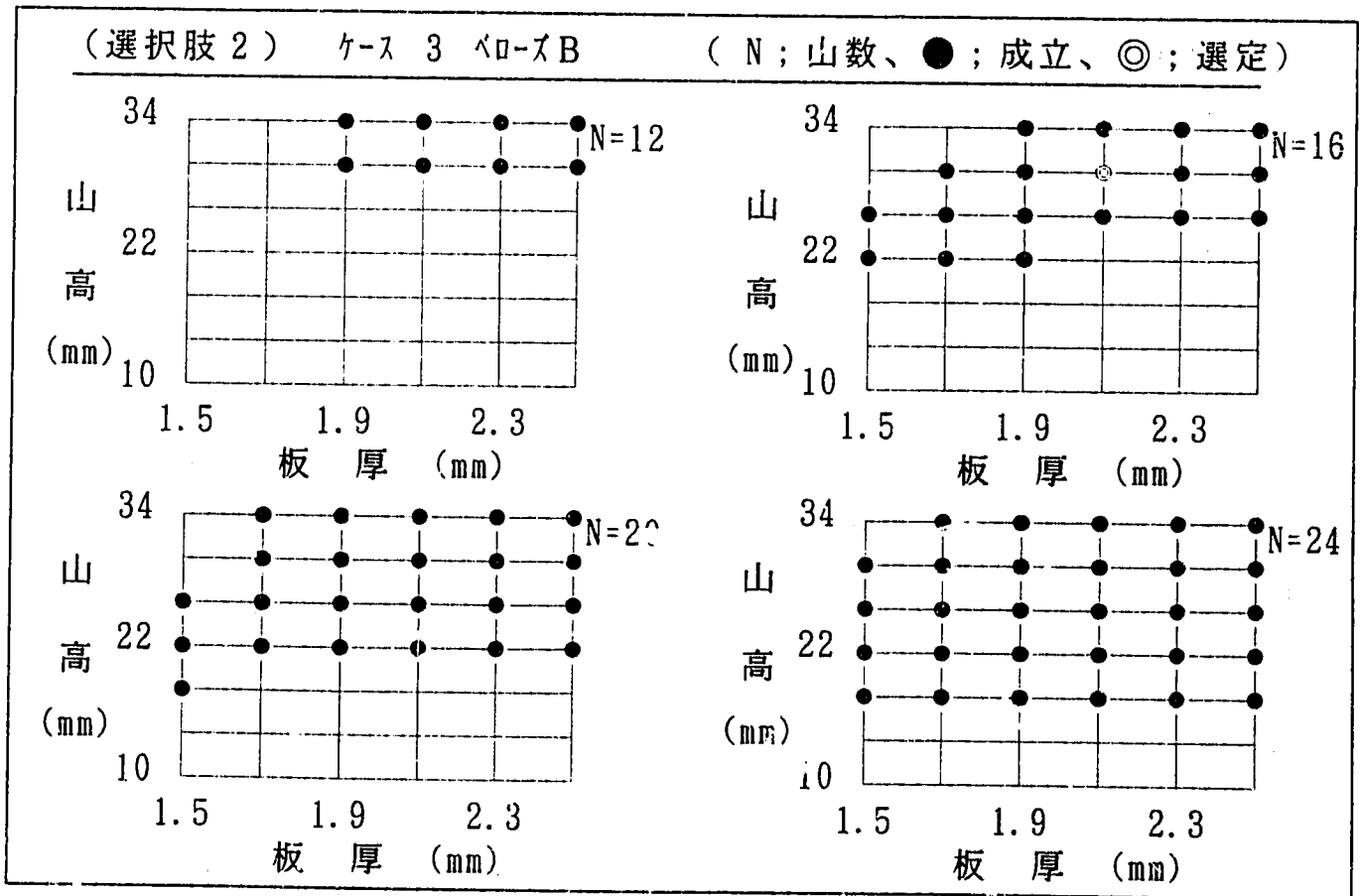
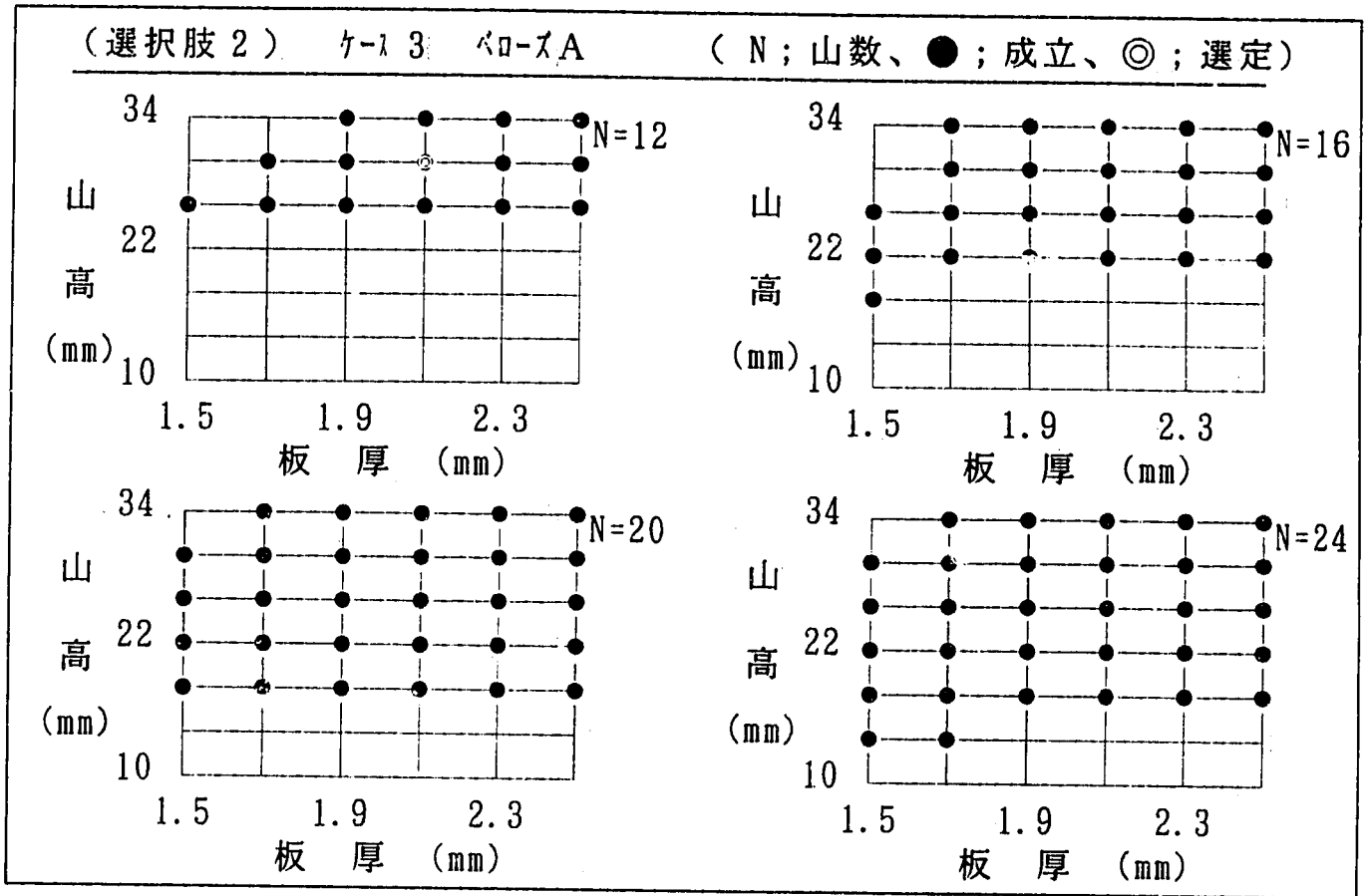
(N ; 山数、 ● ; 成立、 ⊙ ; 選定)

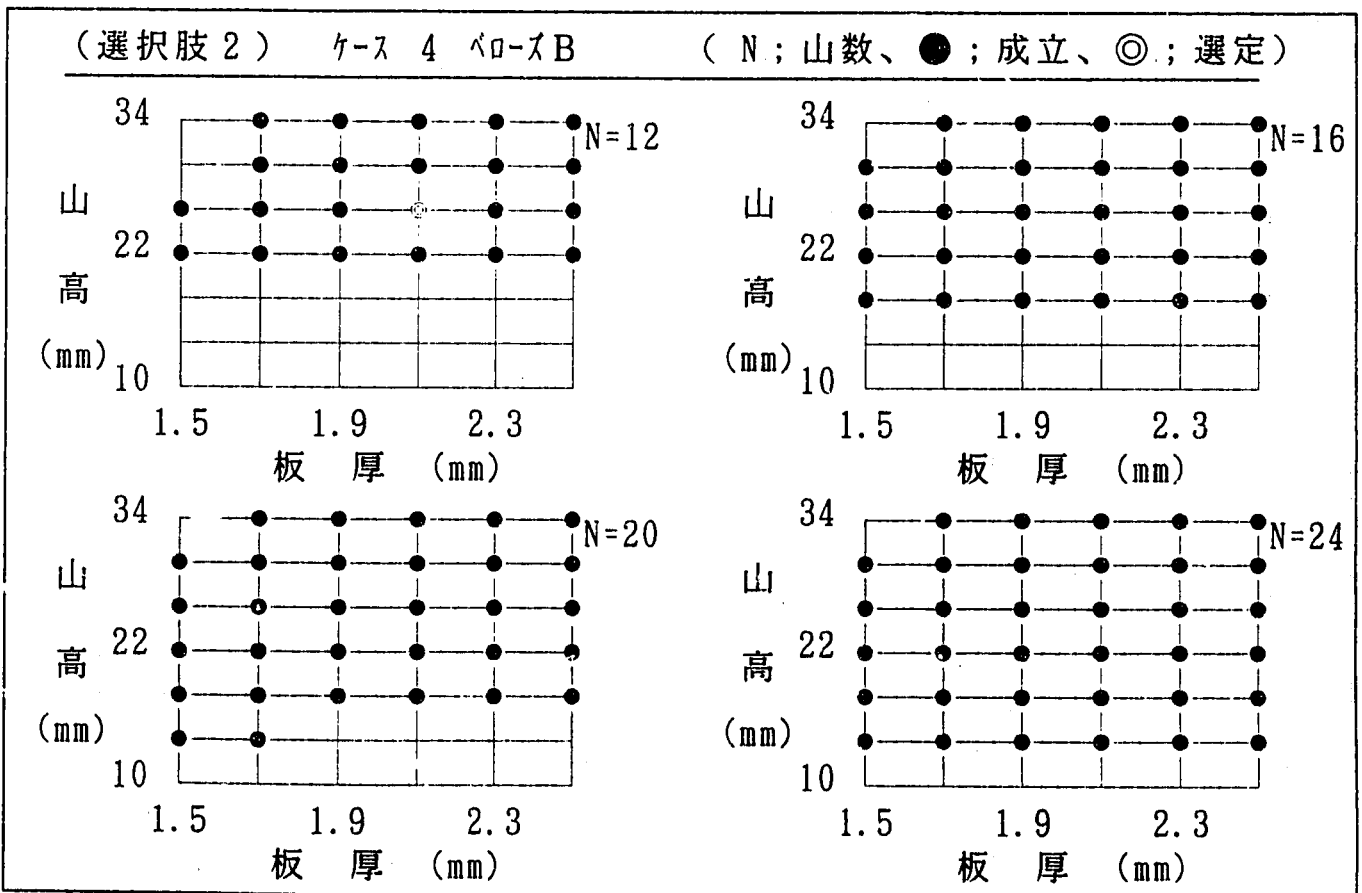
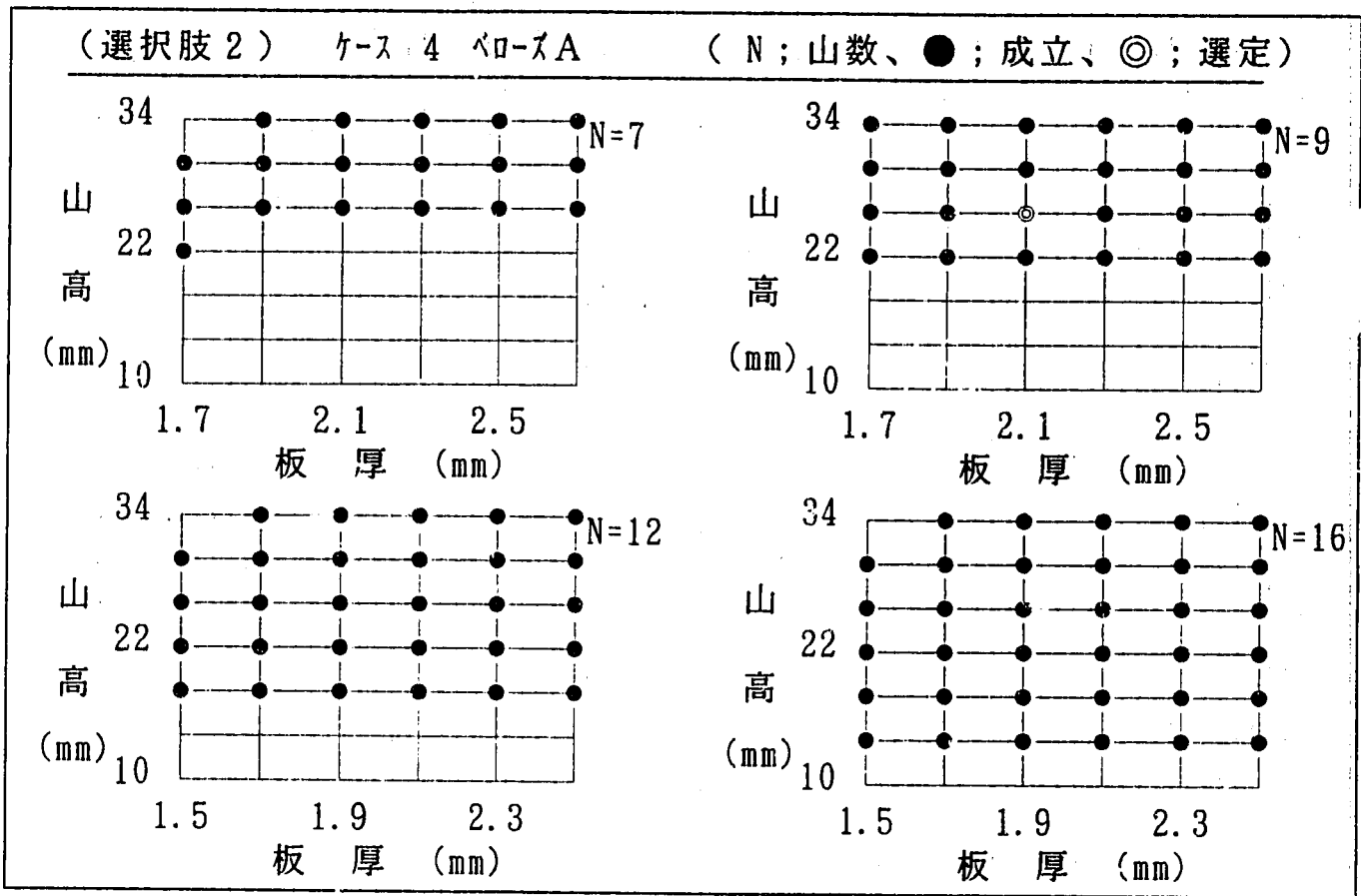


(選択肢 2) ケース 2 ベロースB

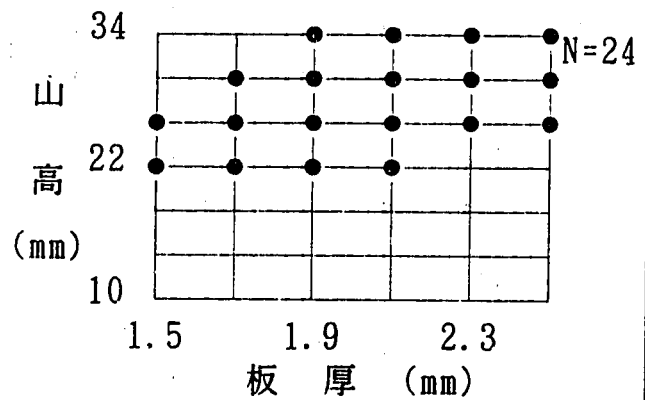
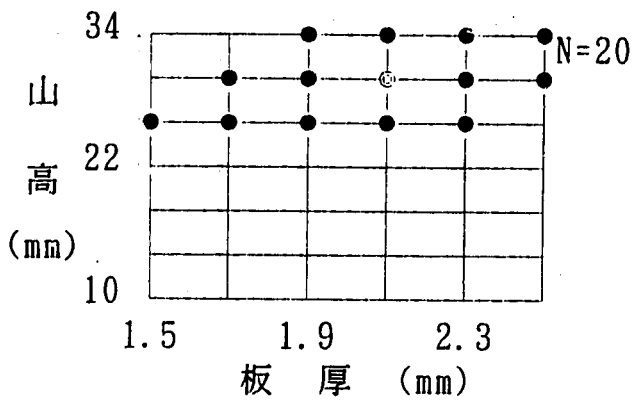
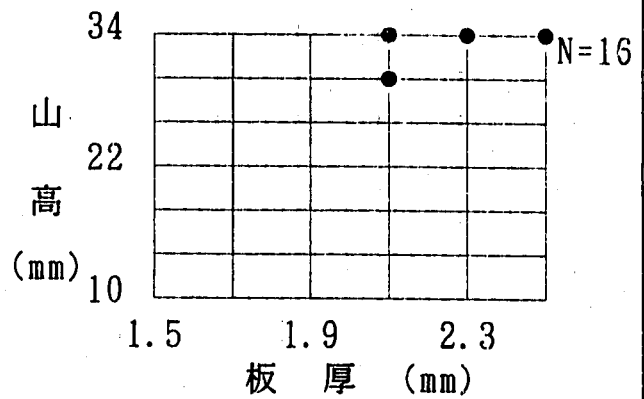
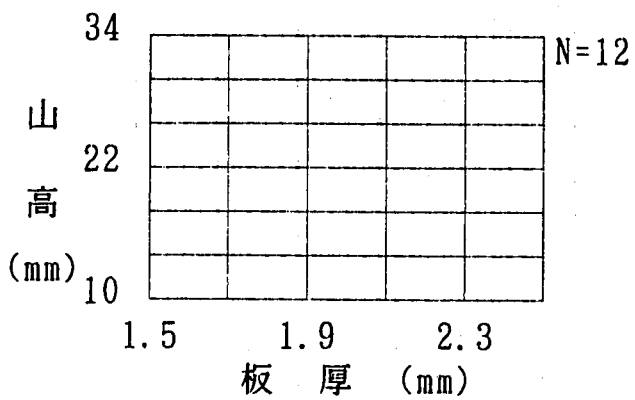
(N ; 山数、 ● ; 成立、 ⊙ ; 選定)



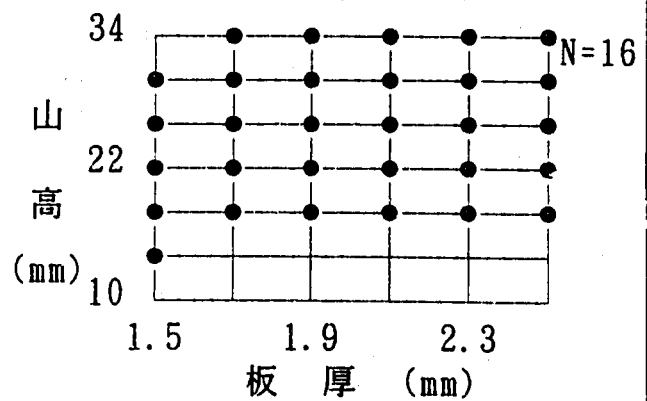
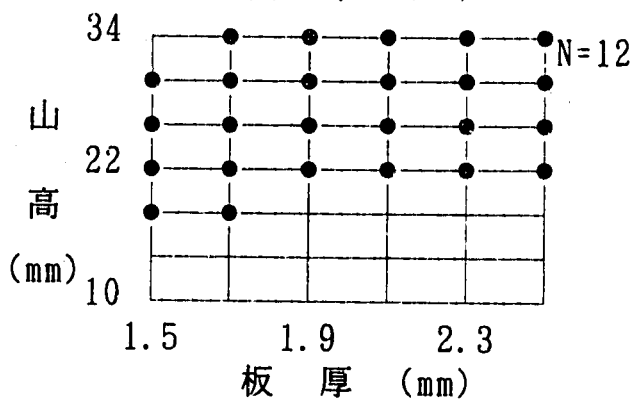
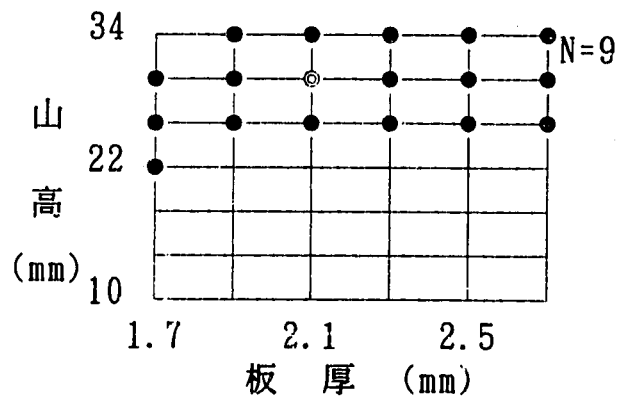
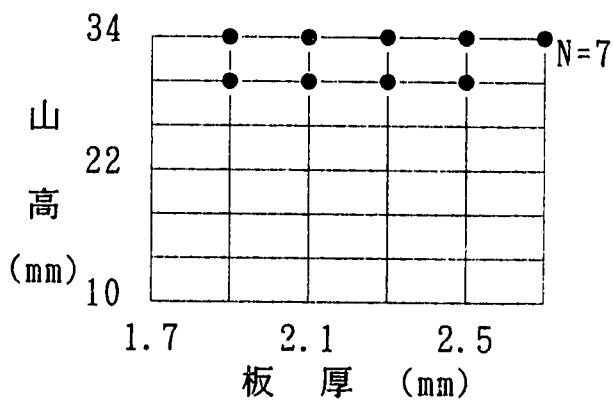


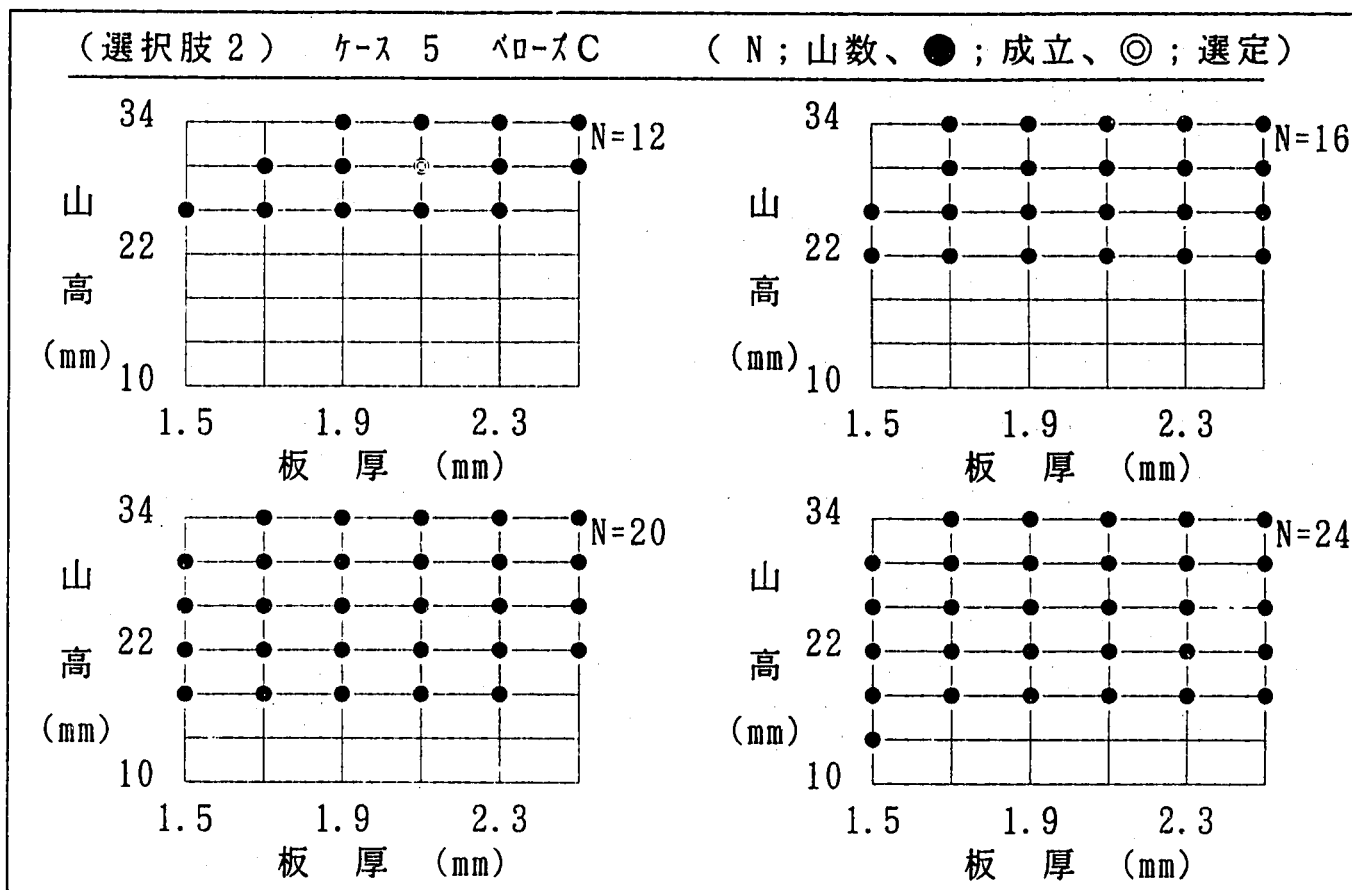


(選択肢 2) ケース 5 ベローズA (N ; 山数、● ; 成立、◎ ; 選定)



(選択肢 2) ケース 5 ベローズB (N ; 山数、● ; 成立、◎ ; 選定)





選定する仕様

	山高 H (mm)	板厚 t (mm)	山数 N	曲げ剛性 $K\theta$ (kgmm/rad)	発生応力 S_n (kg/mm ²)
2 - A	30.	2.1	20	4.32×10^6	30.4
2 - B					31.1
3 - A	30.	2.1	12	7.20×10^6	28.4
3 - B			16	5.40×10^6	26.7
4 - A	26.	2.1	9	14.33×10^6	27.1
4 - B			12	10.74×10^6	30.1
5 - A	30.	2.1	20	4.32×10^6	29.9
5 - B			9	9.61×10^6	27.5
5 - C			12	7.20×10^6	30.1

* 曲げ剛性は、バックアップベローズの曲げ剛性を含む。なお、バックアップベローズの曲げ剛性は外圧型を考慮してバウンダリベローズの 0.5倍とした。

* 谷径 $d = 420\text{mm}$

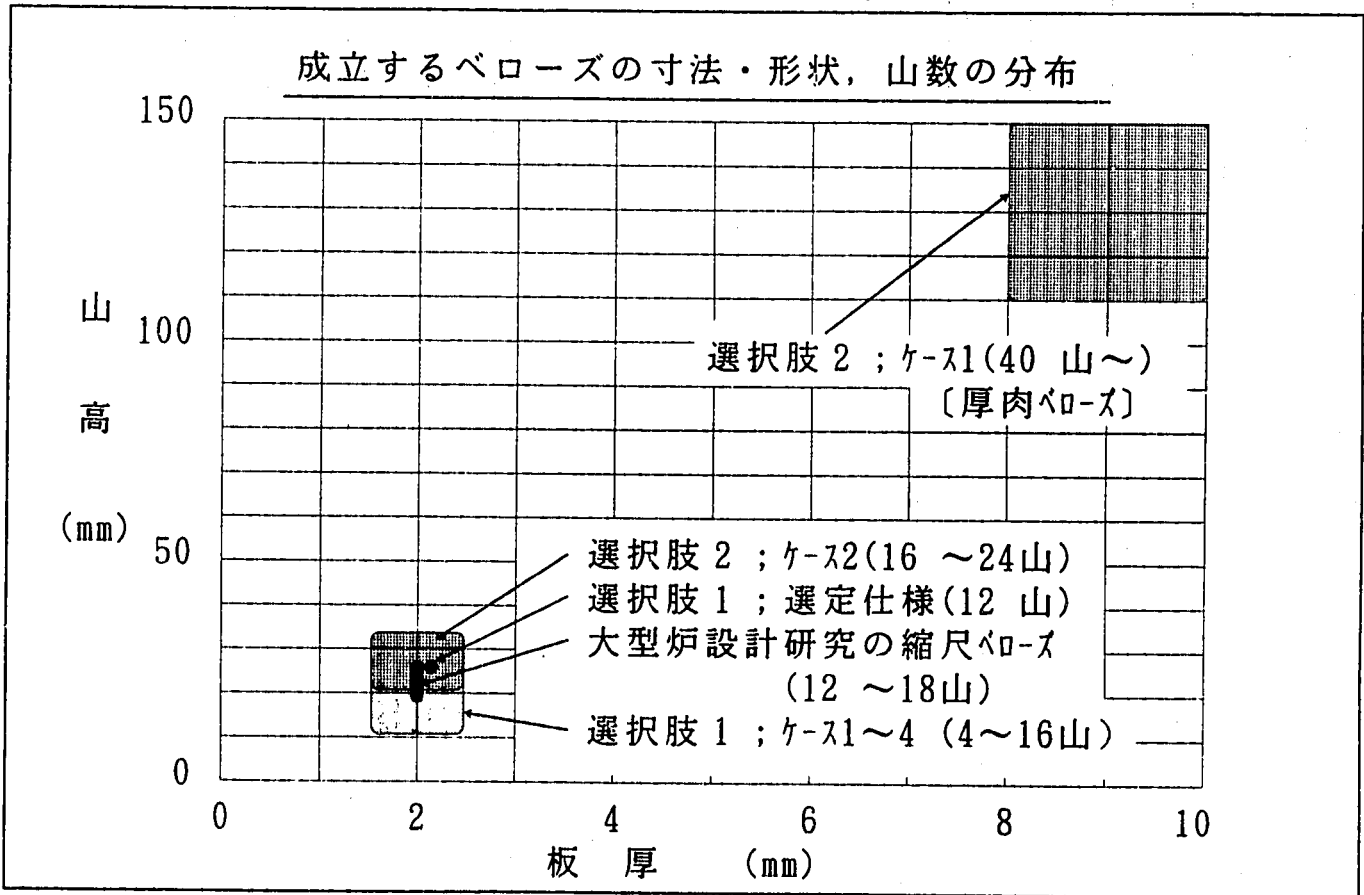
山高・ピッチ比 $H/q = 1.0$

* ベローズ応力許容値 ; 32.4kg/mm^2

3. 選択肢1と選択肢2の比較

成立するペローズの領域

下に、選択肢1および2を通じて成立するペローズの領域を大型炉設計研究の縮尺ペローズと併せて、板厚と山高の関係で図示する。図からわかるように選択肢2のケース1で成立するペローズは、大型炉設計研究の縮尺ペローズを含む他の領域から大きく離れている。



配管ペローズ継手の常陽での実証試験各案の比較

(1) 概要

選択肢1

2次主冷却系配管格納容器壁・空気冷却器間 (格外)

- ①・ジンバル，内圧型
 - ・ 1，鉛直方向
 - ・ 既存の配管引回しに変更なし
- ②・ジンバル，外圧型
 - ・ 1，水平方向
 - ・ 既存の配管引回しに変更なし
- ③・ジンバル，外圧型
 - ・ 1，水平方向
 - ・ 既存の配管引回しを多少変更，1ベンド分を直線で結ぶ。
- ④・ジンバル，外圧型および内圧型
 - ・ 2，鉛直方向（内圧型）および水平方向（外圧型）各1
 - ・ 既存の配管引回しに変更なし

選択肢 2

2次主冷却系配管 I H X (B) ・ C / V 壁間 (格内)

- ①・直管自由伸縮型，外圧型，厚肉タイプ
 - ・ 1ないし2，水平方向
 - ・ 既存の配管引回しを変更，I H X 出口配管と C / V 壁アンカー点をほぼ直線で結ぶ。
- ②・ジンバル，外圧型
 - ・ 2，水平方向
 - ・ 既存の配管引回しを変更，I H X 出口配管と C / V 壁アンカー点を1ベンドで結ぶ。
- ③・ジンバル，外圧型
 - ・ 2，水平方向
 - ・ 既存の配管引回しを変更，I H X 出口配管と C / V 壁アンカー点を1ベンドで結ぶ。
- ④・ジンバル，外圧型
 - ・ 2，水平方向
 - ・ 既存の配管引回しを変更，I H X 出口配管と C / V 壁アンカー点を1ベンドで結ぶ。
- ⑤・ジンバル，外圧型
 - ・ 3，水平方向

- ・既存の配管引回しを変更。IHX出口配管とC/V壁アンカー点を1バンドで結ぶ。

(2) 意義

選択肢1

①・許認可実績のみ

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果をアピールする素材なし。

②・許認可実績のみ

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果をアピールする素材なし。

③・許認可実績のみ

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果をアピールする素材ほとんどなし。

④・許認可実績のみ

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果をアピールする素材なし。

選択肢2

①・許認可実績（PNC R&D スコープ外なので難しい）

- ・配管短縮という観点からは最も効果大（但し、付随する問題が多く現実的ではない）

②・許認可実績

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果のアピール性大

③・許認可実績

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果のアピール性大

④・許認可実績

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果のアピール性大

⑤・許認可実績

- ・ベローズ継手適用による配管系の合理化効果のアピール性大

(3) 技術評価

選択肢1

- ①・構造設計上PNC R&Dを反映して問題なく成立。

- ②・構造設計上PNC R&Dを反映して問題なく成立。

③・構造設計上PNC R&Dを反映して問題なく成立.

④・構造設計上PNC R&Dを反映して問題なく成立.

選択肢 2

①・新たに技術的成立性を見きわめるためのR&Dが必要となる可能性大.

②・構造設計上PNC R&Dを反映して十分成立.

ダブルジンバル継手1式となると製作・施工上有利. ただし, ベローズに要求される吸収変位量は.

③・構造設計上PNC R&Dを反映して十分成立.

④・構造設計上PNC R&Dを反映して十分成立.

ベローズ継手2基適用による配管引回しとしては最も望ましい配置.

⑤・構造設計上PNC R&Dを反映して十分成立.

通常配管部に発生する応力を最小限とする思想. そのかわりベローズ継手は1基増える.