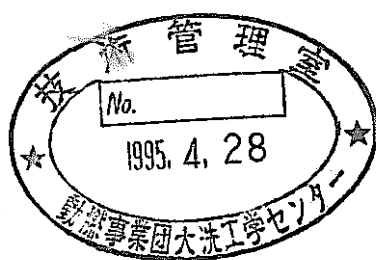


S W A T - 3 改 造 基 本 設 計



1995年3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)

SWAT - 3 改造基本設計

大音 明洋*¹ 唐沢 博一*¹ 中村 武則*¹
小俣 一平*² 渡部 一郎*² 柴崎 洋一*²

要 旨

実証炉DBLの妥当性を、ナトリウム-水反応事象を模擬した総合的な試験により確認するため、既設のSWAT-3の適用性及び改造内容に関し、基本検討を行い、以下の結果を得た。

(1) 試験条件・方法の検討

高温ラプチャに影響を及ぼす要因の整理を行い、試験条件の優先順位を検討するとともに、昨年度設定した試験ケース及び条件の見直しを行った。

(2) 機器設計仕様の確認

Na-水反応熱の影響を確認するため、SWAC13Eによる温度解析を実施し、機器設計評価に反映した。また、発生圧力についてもSWAC13Eと同一の解析モデルで再評価を実施した。

a. 反応容器については、注水ノズル方向及びコイル配列の変更を行った。また、引き抜き性を考慮して、反応容器の胴フランジは2箇所とした。

計装品については、試験時の温度挙動を詳細に測定するため、伝熱管温度測定用に68点、Na及びNa側熱伝達測定用に96点の熱電対を設置した。

b. ダンプタンクの型式は、実証炉設計との整合性及び現SWAT-3設備との整合性を考慮して、予備設計と同様縦置円筒型とした。また、タンク内での気液分離性能について検討し、気液の粗分離は可能との見通しを得た。

本報告書は、株式会社東芝が動力炉・核燃料開発事業団殿との契約により実施した研究の成果である。

契約番号 : 06C2791

事業団殿担当部課および担当者：安全工学部プラント安全工学室（浜田 広次）

*1 : 株式会社 東芝 動力炉開発部

*2 : 石川島播磨重工業株式会社 開発プラント設計部

c. 水加熱器については、試験条件の見直しより必要注水量が増加したため、容量の見直しを行った。この結果、予備設計条件では機器容量が増加するため、飽和蒸気条件の見直し（蒸気圧力 $210\text{kg/cm}^2 \rightarrow 220\text{kg/cm}^2$ ）を行い、容量の合理化を図った。

基数については、隣接管用水加熱器の2基を1基にまとめ、合理化を行った。

d. 反応容器及び配管の耐震評価を行い、設定地震力に対し構造健全性は確保されることを確認した。また、配管の耐熱評価を行い、熱膨張応力は許容値を満足することを確認した。

(3) 試験ループの検討

今年度検討した機器設計及び配管配置に基づき、機器・配管改造範囲及び機器搬出・搬入計画について検討した。この結果、ダンプタンクを除いて建屋クレーンを使用出来る見通しを得た。架台については、FINASによる全体応力評価を行い、水加熱器設置部分を補強することにより、評価を満足することを確認した。

(4) 電気計装制御設備の改造検討

SWAT-3に係わる電気計装制御設備を全面的に更新することを前提に、電気計装制御システム及び設備の具体化を図った。

(5) 合理化項目の検討

改造基本設計に当たり、水加熱器、ダンプタンク及び放出系について合理化項目を摘出・検討し、設計に反映した。

(6) 改造SWAT-3での試験項目及び計画の検討

改造SWAT-3試験装置で確認する項目を摘出し、これらの項目に対する試験計画についてまとめた。また、試験計画を基に、試験装置への要求条件及び要素試験項目について検討した。

音響検出系の検討では、音響検出計試験における評価項目及びシステム構成の詳細化を図るとともに、アクティブ法及びパッシブ法における反応容器への検出器設置基数について見直しを行い、各々6個設置するものとした。

(7) リストの作成

今年度の検討結果を反映し、配管リスト、弁リスト及び計装品リストの見直しを行った。

(8) 改造工程の検討

改造SWAT-3全体工程及びダンプタンク改造工程を作成した。

目 次

1. ま え が き	1-1
2. 試験条件・方法の確認	2.1-1
2.1 試験条件の整理	2.1-1
2.2 試験条件及び試験方法の検討	2.2-1
3. 機器設計仕様の確認	3.1-1
3.1 系統設計条件（系統図含む）	3.1-1
3.2 N a -水反応時圧力及び温度上昇評価	3.2-1
3.3 反応容器設計仕様の検討	3.3-1
3.4 ダンプタンク設計仕様の検討	3.4-1
3.5 水加熱器設計仕様の検討	3.5-1
3.6 反応容器の耐熱・耐震評価	3.6-1
3.7 配管の耐熱・耐震評価	3.7-1
3.8 配管設計仕様の検討	3.8-1
4. 試験ループの検討	4.1-1
4.1 試験ループの検討（機器・配管アイソメ図及び配置図を含む）	4.1-1
4.2 架台の設計検討	4.2-1
5. 電気計装制御設備の改造検討	5.1-1
6. 合理化項目の検討	6-1
7. 改造 S W A T - 3 での試験項目及び計画の検討	7.1-1
7.1 試験計画の検討	7.1-1

7.2 音響検出系の検討	7.2-1
8. リストの作成	8-1
8.1 配管リスト	8-1
8.2 弁リスト	8-2
8.3 計装品リスト	8-3
9. 改造工程の検討	9-1
10. ま と め	10-1

謝 辞

1. まえがき

1987年の英国PFR過熱器のリーク事故では、高温ラプチャにより多数の伝熱管が破損した。この高温ラプチャは、伝熱管の寸法、材質を始めとするSGの設計や運転条件に強く影響されるため、特に水系蒸気設計圧力の高い実証炉では、高温ラプチャを無視できなくなる可能性がある。

従って、実証炉SGの設計条件を考慮した上で、高温ラプチャを含む破損伝播挙動を把握し、プラント安全性確保上重要な、実証炉基準リーク率（DBL：Design Basis Leak）の妥当性（4DEG相当リーク率）を確認する必要がある。

今年度は、平成5年度に設定した試験条件、試験方法及び試験装置の改造内容について、試験時の挙動を含めて詳細評価し、必要に応じ設計仕様の見直しを行った。

以下に検討内容を示す。

（１）試験条件及び方法の確認

（２）機器設計仕様の確認

- ・ 系統設計条件
- ・ Na－水反応時圧力及び温度上昇評価
- ・ 反応容器設計仕様の検討
- ・ ダンプタンク設計仕様の検討
- ・ 水加熱器設計仕様の検討
- ・ 反応容器の耐熱・耐震評価
- ・ 配管の耐熱・耐震評価
- ・ 配管設計仕様の検討

（３）試験ループの検討

（４）電気計装制御設備の改造検討

（５）合理化項目の検討

（６）改造SWAT－3での試験項目及び計画の検討

- ・ 試験計画の検討
- ・ 音響検出系の検討

（７）リスト類の作成目

（８）改造工程の検討

2. 試験条件・方法の確認

2. 1 試験条件の整理

2. 1. 1 概要

蒸気発生器水漏洩事故時の伝熱管破損伝播については、原型炉の開発研究の中で解明が行われ、伝熱管破損伝播の要因であるマルチターゲットウェステージ評価手法が確立されるとともに、原型炉SGの条件下では高温ラプチャーが発生しないことが確認されている。

高温ラプチャーは、伝熱管の寸法、材質を始めとするSGの設計や運転条件に強く影響されるため、高温・高圧条件となる実用化大型炉用SGでは、高温ラプチャーの発生を無視できなくなる可能性がある。従って、高温ラプチャーによる破損挙動を把握し、プラント安全性確保上重要な、設計基準リーク率（DBL）の妥当性を確認する必要がある。

SWAT-3試験は総合試験であるため、その試験回数には限度がある。従って、要素試験では確認することが困難で、しかも高温ラプチャーに大きな影響を及ぼすパラメータを摘出することが重要である。そのため、本節では、高温ラプチャーに影響を及ぼすと考えられるパラメータを摘出し、現在までの知見等を参考に影響度合いの大きいパラメータを選出し、具体的試験条件に反映することを目的とする。

2. 1. 2 影響要因の整理

高温ラプチャーの発生は材料の高温強度に依存し、その1次要因は、温度、応力、及び時間である。尚、Mod. 9Cr-1Mo 鋼の高温強度（短時間クリープラプチャーデータ）は、別途要素試験により、データの整備が必要である。

高温ラプチャー発生の要因を整理して表 2. 1-1 に示す。

改造 SWA T-3 では、表 2. 1-1 に示したパラメータの全てについて確認することは困難であるため、現状までに得られている知見により、高温ラプチャーに対して影響の大きいパラメータを絞り込む必要がある。以下に各試験条件項目に対する考え方を示す。

（1）水／蒸気側初期リーク率及び最大リーク率

高温ラプチャーに対して厳しい水／蒸気側の初期リーク率は、中リーク領域の内、比較的リーク率の大きい数百～数千g/s程度と考えられる。これは、比較的注水量が多いために反応部の温度が高くなり、また範囲も広がるのに対して、プラントにおけるリーク検出時間が大リークに比べて長くなるためと考えられる。

従って、中リーク領域における、初期リーク率と注水時間（注水時間については後述する。）をパラメータとした試験が重要である。

また、中リーク領域では、マルチターゲットウェステージによる破損伝播により最大リーク率も最大となるため、破損伝播による隣接伝熱管の損傷、反応部温度の上昇及び範囲の拡大が考えられる。しかしながら、破損伝播が生じた直後にはR/Dの破断信号によるリーク検出が行われ、直ちにブロー操作に入る。このため、反応継続時間は僅かとなり、高温ラプチャーへの影響は小さいと考えられる。更に、隣接管の損傷については、評価法が確立されており、高温ラプチャーの評価に際して、この損傷を考慮することで対処可能と考えられる。

以上より、試験における注水率はブロー開始まで一定とし、1000 g/sを中心に300 g/sと3000 g/sをパラメータとする。尚、破損伝播を模擬した初期リーク率10 g/sの試験については、添付 2. 1-1 に示す様に試験設備へのインパクトが大きいと判断されるため、今回の試験条件に含めないものとする。

(2) 注水時間

最初に、実証炉におけるリーク検出時間を、リーク検出計毎に示す。

a. Na中水素計によるリーク検出時間

水リーク率 10 g/s～1000 g/sの範囲

- ・ 100%定格運転時 : 120秒
- ・ 30%部分負荷運転時 : 160秒
- ・ 崩壊熱除去運転時 : 210秒

b. カバーガス圧検出計によるリーク検出時間（現状カバーガス運用時）

水リーク率 750 g/s以上の範囲：運転条件に依存しない

- ・ 水リーク率 750 g/s : 39秒
- ・ 水リーク率 800 g/s : 26秒
- ・ 水リーク率 1000 g/s : 13秒

c. 断信号によるリーク検出時間

マルチウエステージによる貫通破損時間（許容損耗量2.64mm）

（動燃殿より提示戴いた、9Cr鋼のマルチウエステージ式により算出）

- ・ 水リーク率 10 g/s～800 g/s : 71.4秒
- ・ 水リーク率 1000 g/s : 93.3秒

R/Dの破断は貫通破損が生じた直後に生じると考えられる。

但し、上記で用いた9Cr鋼のマルチウエステージ式は、かなり保守的な式であることから、動燃殿のSWAT-3での知見に基づく100秒程度では、貫通破損は生じない。

d. 音響検出計によるリーク検出時間

現状の開発目標として、中リーク領域以上に対して、10秒。

現状において、信頼性の高いNa中水素計とR/D破断信号にクレジットを取るとすれば、水リーク率10 g/s～1000 g/sの範囲で（中リーク規模）リーク検出時間は、Na中水素計による検出が早く、

- ・ 水リーク率 10 g/s～1000 g/s : 約160秒（30%部分負荷）

程度と考えられる。但し、今後、音響検出計の開発により、リーク検出時間の短縮化が期待される。

一方、高温ラプチャーの発生に高温時間の影響があることは、前述した通りであるが、S G 伝熱管の高温ラプチャーは短時間の間で生じていることが、動燃殿の知見として得られている。これは、温度上昇による短時間引張強度の低下が高温ラプチャーの発生に強く依存しており、高温時間の影響は小さいためと考えられる。従って、試験における注水時間は、反応開始後の伝熱管温度の静定時間までを考慮すれば良い。解析からは、伝熱管温度の静定時間は、10～20秒程度であるが、裕度を確認するために、試験においてマルチウェステージによる2次破損が生じないと考えられる注水時間である100秒を最大注水時間として設定する。尚、注水率3000g/sの試験については、水加熱器容量の制限から注水量がほぼ同等となる30秒間とする。試験時間の影響を排除するため、1000g/sの最初の試験での注水時間は30秒間とする。

(3) ブローダウン時間

高温ラプチャーが生じる可能性が最も高いのがブローダウン中であると考えられる。これは、水側流量の低下に伴う伝熱管冷却効果の低下に対して内部圧力の降下が遅れる可能性があるからである。

本試験におけるブローダウン時間は実証炉レファレンス（暫定）30秒を考慮して、30秒とするが、ブローダウン時間の影響確認のため、60秒をパラメータとする。

(4) 注水状態

試験では、注水位置の効果を、注水状態（過熱蒸気、サブクール水等）に反映する。

注水位置については、高温ラプチャー発生の観点からは、水側条件が過熱域である管束上部がサブクール水である管束下部に比べて厳しくなる。従って、管束上部を選定する。ただし、比較用として管束下部についても、蒸気とサブクール水の違いが高温ラプチャーに及ぼす影響を把握するため試験対象に含めるものとする。

(5) 注水ノズル方向

実証炉 S G 水側圧力を基にすると、反応ジェットの高さは約 700 mm (Dumm の式) 程度となる。従って、水平方向に注水した場合、改造 S W A T - 3 反応容器の管束部は 8 層 (400 mm) であることから、全層が反応ジェット範囲となる。

また、注水ノズルの方向としては斜め上/下方向も考えられるが、ジェットの広がり方を考慮すると、大部分の伝熱管を包むこととなり、反応ジェットの影響範囲の観点からは、水平方向と有意な差はないと考えられる。

一方、反応ジェット噴き出し方向により、ナトリウム側流動との関連で熱が溜まり易い方向が存在する可能性がある。

以上より、注水ノズルの方向は水平方向をベースとして斜め上/下方向をパラメータとする。

(6) R/D 開放圧力及び開放時間

N a - 水反応時の N a 側流動状況は、反応ジェットの形状、N a 側熱伝達率及び N a 温度上昇へ影響する。N a 側流動状況は、R/D 開放圧力及び開放時間に依存すると考えられる。従って、R/D の開放圧力及び開放時間を実証炉に合わせる必要がある。

改造 S W A T - 3 試験装置では、注水開始前までの間は、実証炉 S G N a 流速にあわせている。

ここで、R/D 開放圧力及び開放時間を実証炉 S G に合わせる上での課題は以下である。

- ・昨年度の検討では、改造 S W A T - 3 における R/D 開放時間は、1000g/s 一定リークとした場合、約 2.2 秒であることが、昨年度の検討で確認されている。一方、実証炉の場合、カバーガス空間が大きいこと (実証炉 S G 8.7 m³、改造 S W A T - 3 反応容器 2.3 m³) 及びカバーガス系配管からの反応ガスの流出により、R/D 開放時間は約 100 秒以上と予測される。従って、R/D 開放時間を実証炉に合わせるためには、設備対応 (バイパス配管系の設置等) が必要と考えられる。

添付 2.1-2 に設備対応案の比較を示すが、現状最も適合性の高いと考えられる方法は、以下である。

- ・反応容器カバーガス空間から収納容器にバイパス配管系を追加する。本バイパス配管系には、止め弁を設置する。
- ・収納容器放出ラインのR/D上流から、バイパス配管系を追加する。本バイパス配管系には、流量調節弁を設置する。この流量調節弁開度は、反応容器カバーガス圧力信号により制御される。
- ・試験時には、設定した注水時間経過後、バイパス配管系の止め弁及び流量調節弁を閉止することにより、直後にR/Dが破断する。更に、R/D破断信号の検出によりブローを自動的に開始する。

(7) 運転条件

高温ラプチャーが発生する運転条件で最も厳しいと考えられるのは、昨年度の検討結果から30%部分負荷である。従って、試験における隣接管の給水流量は30%部分負荷運転時の0.2 kg/s・本とする。尚、給水状態（過熱蒸気、サブクール水等）については、注水条件に合わせるものとする。

ここで、ブローを蒸気側と給水側で行う場合、給水の逆流により水側流量が0 kg/sとなる部位が発生し、この部分では水側除熱量がほぼ0となることから、高温ラプチャー発生上厳しい条件となる可能性がある。ただし、水側流量の0点は、時間とともに移動するため、今後ブロー解析による確認を行い、厳しい条件となり得るか否かの判断が必要である。

また、給水流量が最終的に20%と小さくなる崩壊熱除去運転時については、実証炉の運用により、この間再循環運転となることから、給水は飽和水で温度も低くなるため、水側除熱量の観点から厳しい条件とはならないと考えられる。従って、崩壊熱除去運転時については、試験対象から外すものとする。

以上をまとめ、表2. 1-2に試験パラメータを示す。

表2. 1-2より、試験条件を変更する項目は以下である。

- ・水リーク率
- ・注水時間
- ・ブローダウン時間
- ・注水状態

・注水ノズル方向

試験ケースの設定を行う準備として、上記試験条件に優先順位をつける必要がある。

上記試験条件のうち、最も試験の基本となるのは注水時間及び注水率である。一方、昨年度の予備検討で示した様に、高温ラプチャー発生上厳しい条件は、管束上部破損であると考えられることから、注水状態は、上記試験条件の中では優先順位が低い。また、注水ノズル方向とブローダウン時間については、高温ラプチャー現象を把握する観点から、反応温度上昇等の可能性がある注水ノズル方向の影響を確認することが重要と考えられる。

以上より、各試験条件の優先順位は、

- ① 注水時間及び注水率
- ② 注水ノズル方向
- ③ ブローダウン時間
- ④ 注水状態

となる。ここで、動燃殿で実施された、隣接管冷却を行わない保守側の条件（ガス封入）でのサブクール水注水試験では、隣接管の高温ラプチャーは生じていないとの知見があることから、サブクール水の注入は過熱蒸気の注入で包絡されるものと考えられる。従って、今回の試験条件には、注水状態を含めないものとする。

上記検討に加えて、昨年度計画された、ナトリウム中R/Dの効果確認試験、及び、各試験から得られた結果に基づいた厳しい条件での再現性試験が必要と考えられる。

一方、海外R&Dの比較・評価の上で有効と考えられる試験として、PFRSGを模擬した試験（試験条件として運転条件は考慮せず、伝熱管径、管束仕様等のみを考慮したもの）が挙げられる。今後、実用化大型炉における検討の進捗によりナトリウム中R/Dの設置が採用されない場合には、ナトリウム中R/Dの効果確認試験に替えて、本試験を試験ケースに含めるものとする。この場合、伝熱管径等が異なるため、同一の試験装置で試験するケース9及びケース10に対して、試験を実施するものとする。

以上をまとめ、表2. 1-3に試験ケース一覧（案）を示す。

表 2. 1 - 1 (1 / 2) 高温ラプチャー発生要因の整理

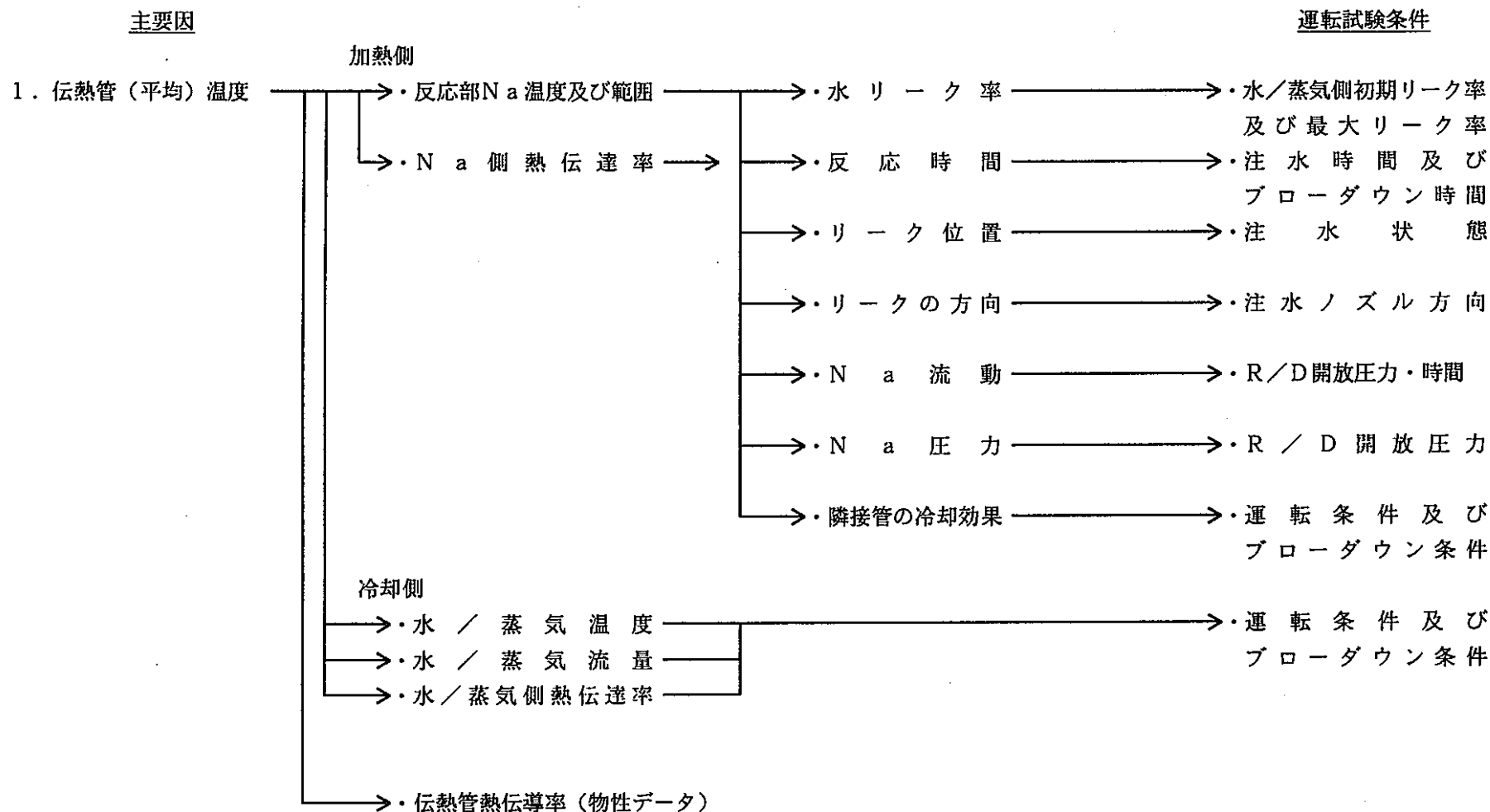


表 2. 1 - 1 (2 / 2) 高温ラプチャー発生要因の整理

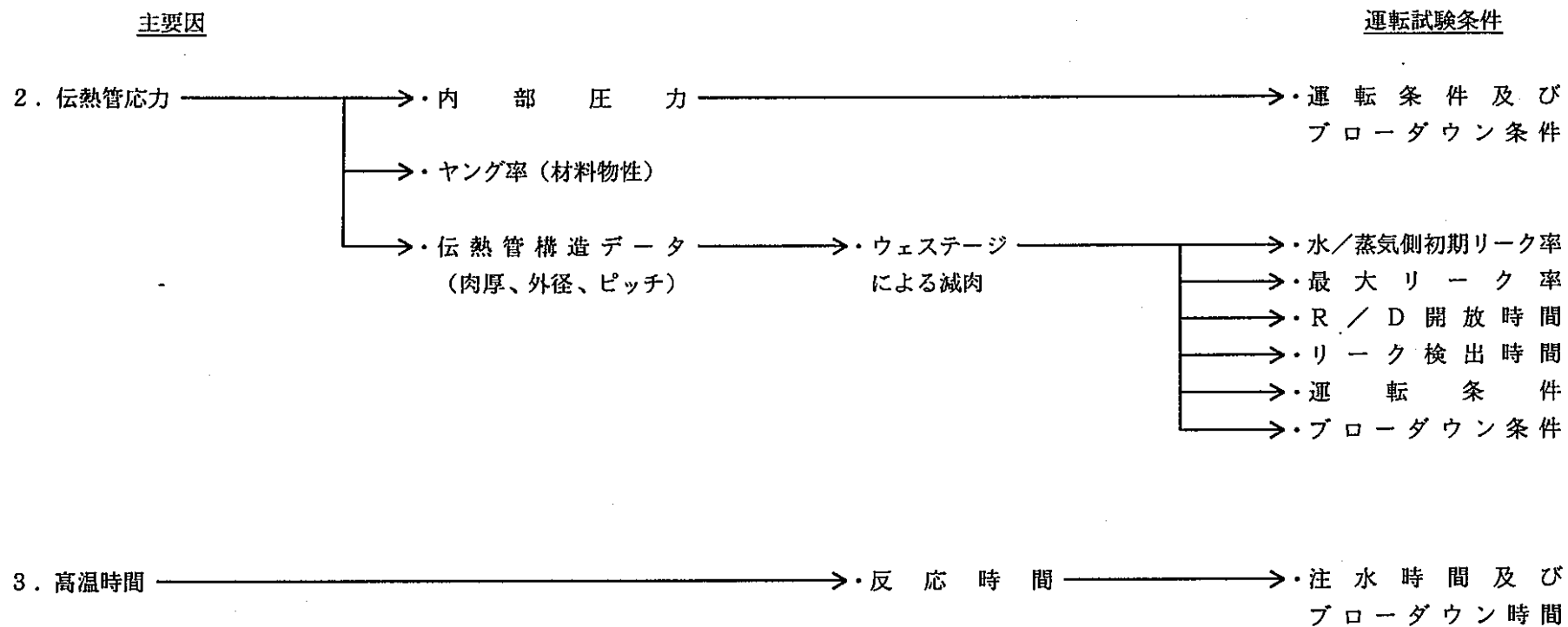


表 2. 1 - 2 試験条件パラメータ

試験条件項目	パラメータ	備 考
水リーク率	3 0 0、1 0 0 0*、3 0 0 0 g/s: リーク率一定	
注水時間 (ブロー開始前まで)	1 0 0 秒* (最大注水時間: 3 0 0、3 0 0 0 g/sに対して) 3 0 秒 (1 0 0 0、3 0 0 0 g/sに対して)	
ブローダウン時間	3 0*、6 0 秒	
注水状態	過熱蒸気*、サブクール水 (管束上部) (管束下部)	管束上部が厳しい条件
注水ノズル方向	水平方向*、斜め上方、斜め下方	S W A T - 3 では全層反応シート範囲
R / D 開放圧力	5. 8 ata (カハ-ガス圧 2. 5 ata、設定差圧 3. 3 at)	
R / D 開放時間	注水終了時 (ブロー開始)	
運転条件	0. 2 kg/s・本 (3 0 % 部分負荷)	最も厳しい隣接管の給水条件

注) *は、リファレンス条件を示す。

表 2. 1 - 3 試験ケース一覧 (案)

ケースNo.	注水時間 (ﾌﾟﾛｰ開始前)	水リーク率	注水/ｽﾚｯﾄﾞ方向	ﾌﾟﾛｰ時間	R/D設置位置	注水状態	隣接管 運転条件	備 考
1	30秒	1000g/s	水平方向	30秒	ｶﾊﾞｰｶﾞｽ中	過熱蒸気	200g/s	水リーク率、時間の影響確認
2	100秒	1000g/s	↑	↑	↑	↑	↑	
3	100秒	300g/s	↓					
4	30秒	3000g/s	水平方向					
5	100秒*1	1000g/s	斜め上方向	↓				リーク方向の影響確認
6	100秒*1	1000g/s	斜め下方向	30秒				
7	100秒*1	1000g/s	水平方向	60秒				ﾌﾟﾛｰﾀﾞｳﾝ時間の影響確認
8	上記試験結果に基づいて厳しい条件を設定する。				↓			厳しい条件の組合せ確認
9*2					ｶﾊﾞｰｶﾞｽ中		↓	厳しい条件の再現性確認
10*2					ﾅﾄﾘｳﾑ中	過熱蒸気	200g/s	接液R/Dの効果確認

*1 : ケース1～3の試験結果に基づいて、見直すこともある。

*2 : 実用化大型炉の検討において、ナトリウム中R/Dが採用されない場合には、これらの試験に替えて、PFRSGを模擬した試験
(伝熱管径、管束仕様等のみを模擬し、運転条件は模擬しない)を実施するものとする。

初期注水量 10 g/s試験の設備へのインパクトについて

1. 試験の位置付け

- (1) 破損伝播の高温ラプチャーへの影響確認
(2) 大型炉条件での破損伝播挙動の実証

2. 試験条件

- (1) 注水管の注水時間及び注水率

・ 2 次破損（3 次破損）までの時間 2 0 0 秒以上？
（ウェステージ式の裕度に依存）

・注水率一定（セルフウェステージ^{*}は無い） 10 g/s

- (2) 隣接管 (貫通破損管: 3 本程度)

・破損時の水リーク量を放出
試験終了まで注水
(ブロー開始まで1DEG相当)

- (3) 隣接管（貫通破損しない管）

・ 30% 負荷時流量 (200g/s) 試験終了まで注水
(ブロー開始まで200g/s/本)

- (4) R/D破断時間及び破断圧力：他の試験と同一

- (5) ブローダウン時間 : 他の試験と同一

- (6) 注水狀態 : 過熱蒸氣

- (7) 注水ノズル方向 : 水平方向

3. 試験設備へのインパクト

破損伝播発生時間（ブロー開始までの時間）を200秒と仮定する。

（1）注水管

$$10\text{ g/s} \times 200 = 2000\text{ g} + 300\text{ g (ブロー時流量)}$$

合計 2.3 kg

改造設備計画

$$1000\text{ g/s} \times 100 = 100000\text{ g}$$

合計 100 kg

従って、インパクトは無い。

（2）隣接管（貫通破損管：3本程度）

破損伝播による隣接管の破損伝播挙動を正確に模擬するためには以下の装置上の対応が必要である。

- ・貫通破損しない管との独立化（共通ヘッダーの分割）
- ・1DEG相当の注水装置の追加
- ・ブロー時の流量制御装置の追加

また、リーク量の増加に着目し、隣接管とは独立に破損管を模擬した注水系を設置し、適切な時間に2次破損を模擬した注水をする方法も考えられるが、この場合も

- ・1DEG相当の注水装置の追加
- ・ブロー時の流量制御装置の追加

が必要である。更に、原型炉と条件が異なるため、注水時刻の設定等を行うための、予備試験として破損伝播試験が必要と考えられる。

従って、インパクトは大きい

(3) 隣接管 (貫通破損しない管)

$$200 \text{ g/s} * 200 * 7 = 280000 \text{ g} + 42000 \text{ g (ブロー時流量)}$$

合計 322 kg

改造設備計画

$$200 \text{ g/s} * 100 * 10 = 200000 \text{ g} + 60000 \text{ g}$$

合計 260 kg

若干のインパクト有り

(4) ナトリウム容量

$$1.5 * (200 + 50 \text{ (試験開始前蒸気温度静定時間)}) / 60 = 6.3 \text{ m}^3$$

改造計画

ナトリウム循環ループインベントリ 6.6 m³

従って、注水時間が200秒程度であれば、インパクトは無い

以上より、初期リーク率10 g/sの試験では、現状とは独立した注水設備の追加が必要であり、試験設備へのインパクトは大きい。従って、今後、初期リーク率10 g/sの試験の優先順位を検討し、今回の改造SWAT-3試験に含めるか否かを決定する必要があると考える。

R/D 開放時間を実証炉と合わせるための構造対応について

R/D 破断時間を実証炉に合わせるための対策を検討する。

対策として考えられる案を以下に示す。

- ① 反応容器カバーガス空間を実証炉に合わせる
- ② 放出系配管の R/D 上流側からバイパス配管系を設置し、Na-水反応時の反応ガス放出する

ここで、上記(1)は、反応容器のカバーガス空間 2.3 m^3 から実証炉の 8.7 m^3 に大幅に構造変更する必要があり、反応容器の胴径を一定とすると、約 5 m 高さが増加するため、設備へのインパクトが極めて大きく、得策ではない。

次に、(2)の場合、バイパス配管系の接続先が重要である。このバイパス配管系からは、反応ガスと共に、反応生成物も流出すると考えられるため、ダンプタンクまたは収納容器に接続することが望ましい。

添付図 2. 1 - 1 及び 2. 1 - 2 に構造対応案を示す。構造対応案(1)は放出系ラインの R/D 上流側からダンプタンクに流量調節弁を有した放出系バイパスラインを設置し、反応容器カバーガス圧の上昇を制御することを狙った構造対応である。

ここで、反応容器のカバーガス空間容積 2.3 m^3 及びダンプタンクの空間容積 1.8 m^3 を考慮した場合の圧力上昇を算出する。

ここでは、計算の簡便性から、放出系バイパスラインでの圧力損失は無視するものとする。

(1) 発生水素ガス量

ここで、 f : 水 1 モルに対して発生する水素ガスモル数 ($= 0.32$)

(原型炉、 $f \cdot T = 250 \text{ (K)}$ に基づく値)

G_{H_2} : 発生水素ガス量 (kg/s)

$G_{\text{H}_2\text{O}}$: 水リーク率 (kg/s)

(2) 計算結果

計算条件を以下に示す。

カバーガス温度 : 693 (K)

カバーガス容積 : 20.3 (m³)

注水時間 : 100 (秒)

注水率 : 1 (kg/s)

ここで、カバーガス (SGカバーガス空間とダンプタンクは同一の圧力と仮定) は、以下の式により求められる。

ただし、P : 圧力 (kg/cm²)

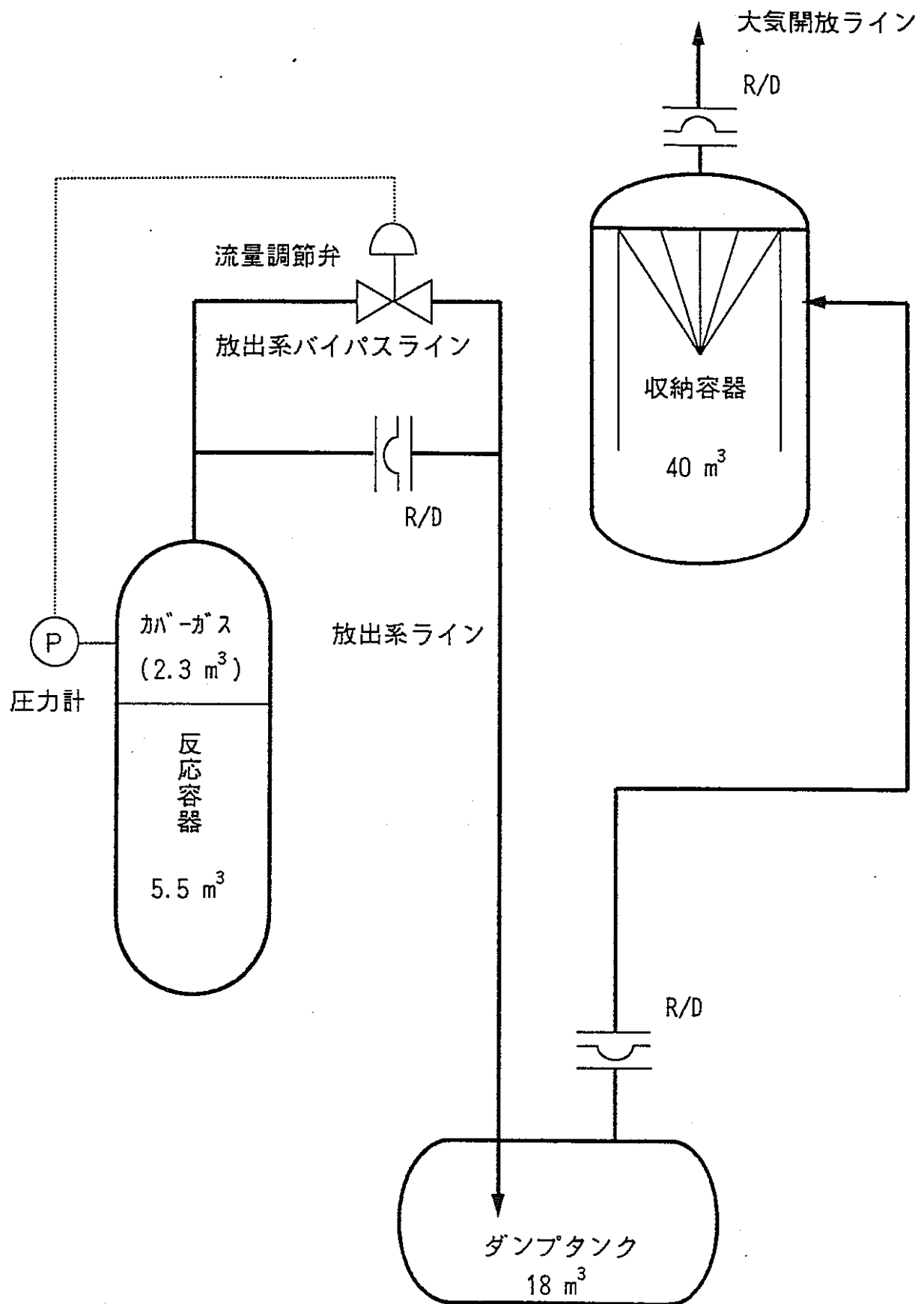
R0 : 水素ガス定数 (= 420.57)

T : カバーガス温度 (K)

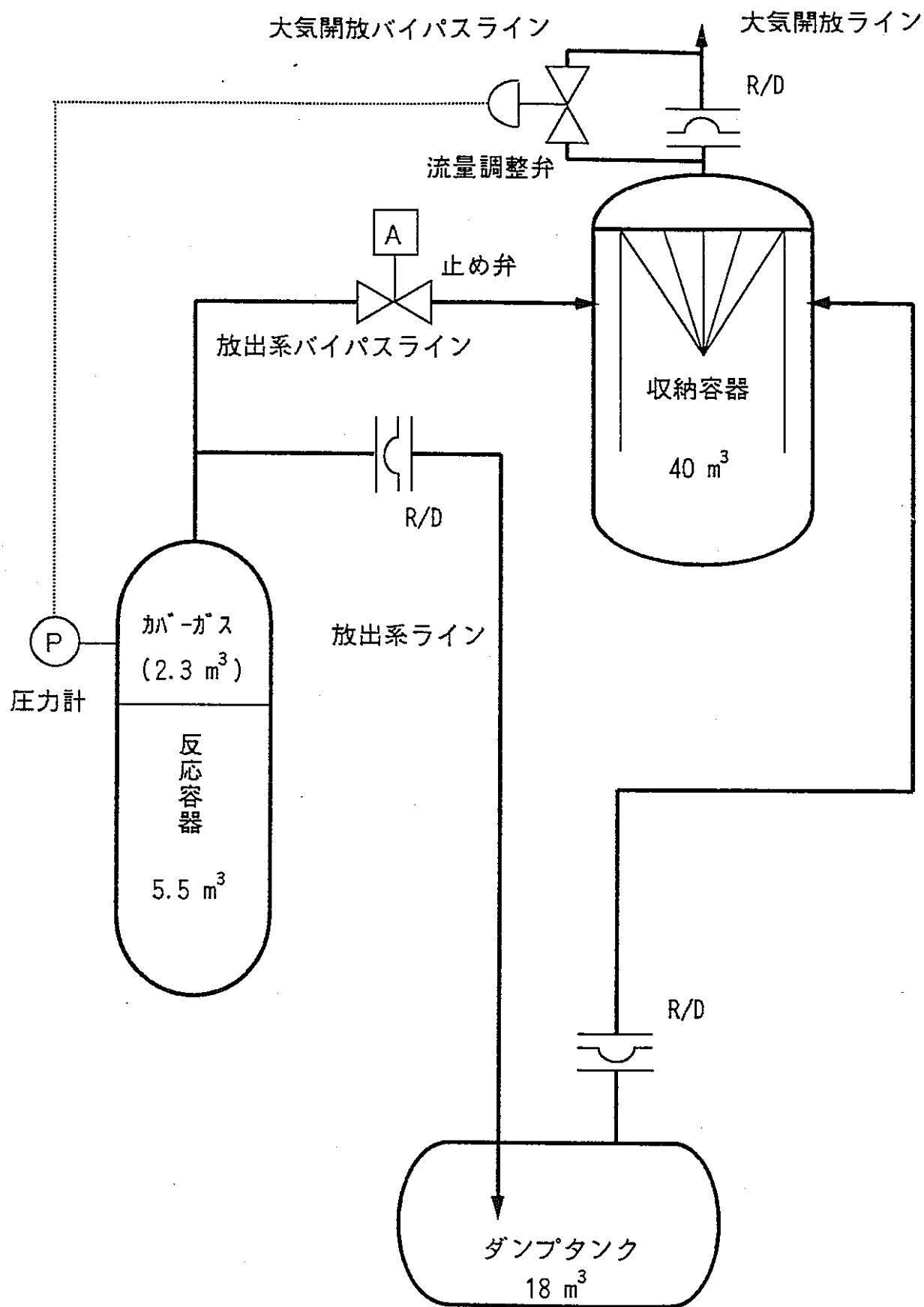
V : カバーガス容積 (m³)

以上より、構造案(1)の場合、カバーガス圧力は5.1(kg/cm²)となる。この場合、ダンプタンクから収納容器に設置したR/Dが開放してしまい、放出特性の確認試験が困難となり適切な構造対応とはならない。

一方、構造対応案(2)の場合においても、大気放出バイパスラインを設置しない場合のカバーガス圧力は、2.5(kg/cm²)と高くなり、大気開放ラインのR/Dを破断させてしまう。このため、構造対応案(2)では、大気開放バイパスラインを設置し、R/Dの破断を防止する必要がある。更に、SGカバーガス圧を制御するための流量調節弁を設置する必要がある。流量調節弁は反応生成物による閉止等を防止するため、大気開放バイパスラインに設置する。放出系バイパスラインに設置した止め弁は、試験で設定した注水時間経過後に閉止することにより、放出系ラインに設置したR/Dを破断させるために設置する。これにより、放出系の放出特性確認が可能である。以上より、改造SWAT-3試験の目的に適合する構造対応として構造対応案(2)を選定する。



添付図 2. 1-1 R/D開放時間を合わせる構造対応案 (1)



添付図 2. 1 - 2 R/D 開放時間を合わせる構造対応案 (2)

2.1-18

2. 2 試験条件及び試験方法の検討

2. 2. 1 試験条件

試験条件については、「試験条件の整理」の中で、高温ラプチャーに影響が大きいと考えられる要因の整理を行い、試験ケース一覧（案）としてまとめている。

表 2. 1 - 3 に試験ケース一覧（案）を示す。

2. 2. 2 試験方法

以下の項目に対する試験方法を検討する。

①注水管及び隣接管の注水方法

②注水ノズル方向及び伝熱管配列

(1) 注水管及び隣接管の注水方法

図 2. 2 - 1 に水加熱器回り概略系統図を示す。

注水管用の注水系は、水加熱器で約 389°C ($220\text{ kg/cm}^2\text{g}$ での飽和温度：水加熱器検討書参照) 昇温された飽和蒸気が、ヘッダを介して注水管に供給される構成としている。注入圧は、注入系入口ヘッダ上流側に設置している調整弁により制御し、所定の圧力で ($175\text{ kg/cm}^2\text{g}$) での注入を行う。また、ブローダウン時にも、この調整弁により注入圧及び注水量を制御しブローダウン運転条件を模擬する。

一方、隣接管用の通水系は、水加熱器で昇温された飽和蒸気が、ヘッダを介して隣接管 (10 本) に供給される構成は、注水管と同じであるが、反応容器の下流側でヘッダにて合流させた後、蒸気回収タンクで蒸気を回収する構成としている。また、ブローダウン時には、隣接管の反応容器出口のブロー弁を開とし系統内の蒸気をブローする。この時、圧力は前記調整弁により制御される。

注入管の試験手順を以下に示す。

- ・試験開始前には、注水管用水加熱器蒸気出口部に設置した止め弁を閉止しておく。また、ヘッダ上流に設置している調整弁は、適切な開度 (注水開始後に注水管内部圧力が $175\text{ kg/cm}^2\text{g}$ となる開度) としておく。
- ・試験開始とともに、前記止め弁を開とし、注入系への蒸気注入を開始する。

- ・注入管内部圧力の上昇により、注入管出口に設置したR/D（破断差圧175 kg/cm²）が破断し、注入が開始される。
- ・ブローダウン開始まで、前記調整弁による圧力制御により注水管からの注水率を一定に保つ。
- ・ブローダウン開始とともに、前記調整弁による圧力制御により、ブローダウン時の注水量を制御する。

次に、隣接管の試験手順を以下に示す。

- ・試験開始前には、隣接管用水加熱器蒸気出口部に設置した止め弁を閉止しておく。また、ヘッダ上流に設置している調整弁は、100%開度としておく。
- ・注入管の注水開始前に、蒸気回収タンク上流に設置している止め弁を閉止した後、隣接管用水加熱器蒸気出口部に設置した止め弁を開とし、通水系への蒸気充填を行う。
- ・通水系の蒸気圧力が175 kg/cm²g 以上（200 kg/cm²g 程度）となった時点で、調整弁を閉止する。
- ・蒸気回収タンク上流の止め弁を開とし、隣接管内圧力が175 kg/cm²g となった時調整弁を開とし、反応容器出口のヘッダ圧力を175 kg/cm²g 一定条件で制御する。なお、試験に先だてて反応容器出口のヘッダ圧力が175 kg/cm²g の条件で、通水量が2 kg/s（隣接管10本の合計）となるように、回収タンク上流側に設置した弁開度を調整（かなりの絞りが必要）しておく。
- ・ブローダウン開始まで、前記調整弁による圧力制御により隣接管内圧力及び通水量を一定に保つ。
- ・ブローダウン開始とともに隣接管の反応容器出口のブロー弁を開とし、系統内の蒸気をブローする。ブローダウン時の圧力は調整弁により制御する。なお、ブローダウン時における、通水量を制御するため、反応容器上流からのブローを併用する。

以上をまとめ、図2. 2-2、3に、注入管及び隣接管の圧力及び流量の時間変化を示す。

(2) 注水ノズル方向及び伝熱管配列

ヘリカルコイル管束部は、部位により、正方配列から千鳥配列の間で変化する。ターゲットウェステージの場合には、コイルの配列とリーク方向に大きく依存するが、高温ラプチャーの場合には、広範囲が反応ジェットに包まれるため、配列の影響は小さいものと考えられる。

しかしながら、改造SWAT-3試験では、1つの反応容器で2回の試験を計画しており、出来る限りコイル配列に近い条件での試験が望ましい。

また、高温ラプチャーを対象とした今回の試験では、ターゲットウェステージによる隣接管の貫通破損を起こさないようにする必要がある。

以上の観点から、図2. 2-4に注水ノズル方向及びコイル配列を示す。

図2. 2-4のコイル配列は、図の左側の層から右側の層にかけて伝熱管設置位置を1/2ピッチ(25mm)毎に、下方向にずらしている。この場合、図からも分かるように上下反転しているものの、0°方向と180°方向は対称な配列となる。

また、試験のパラメータとしている、注水ノズル方向については、図に示した矢印方向への注入が可能である。

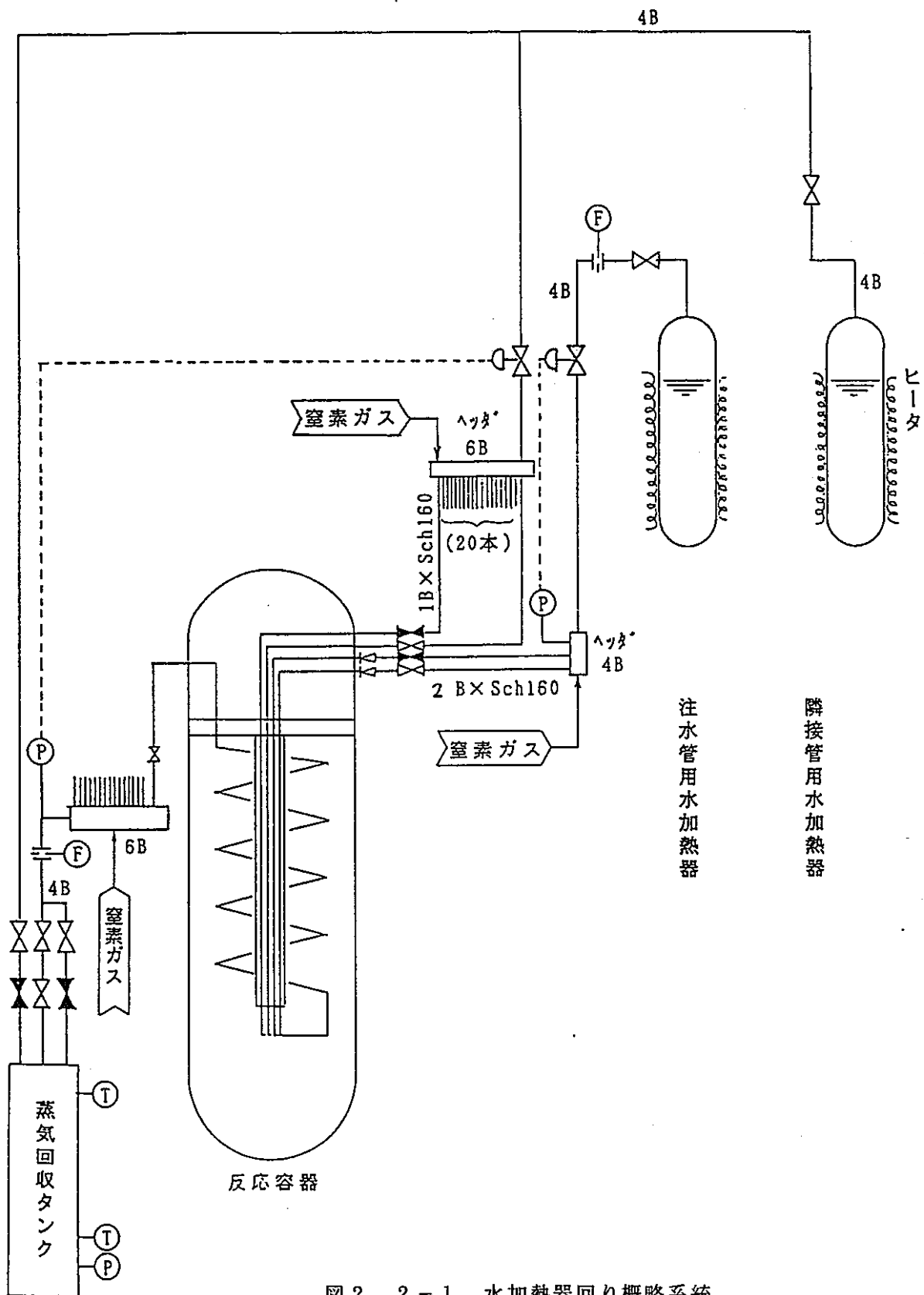


図 2. 2 - 1 水加熱器回り概略系統

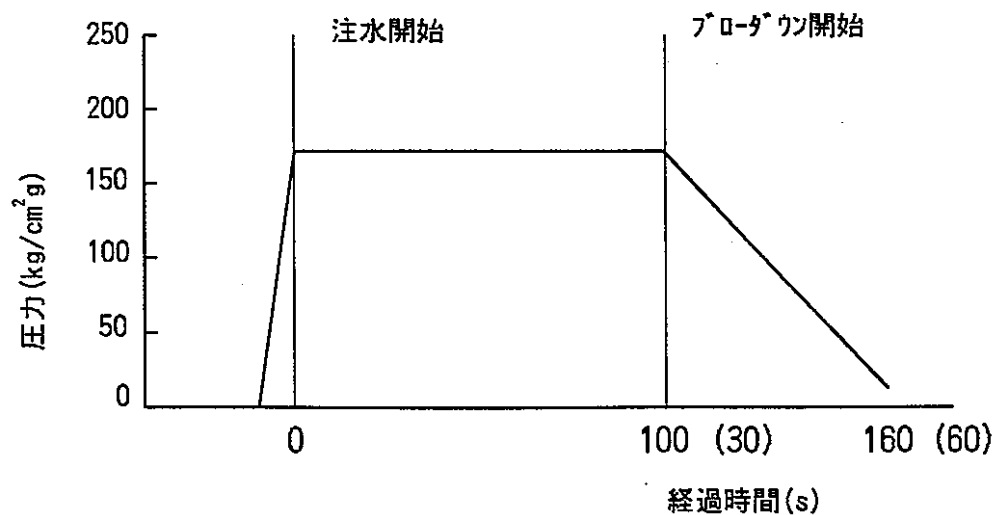
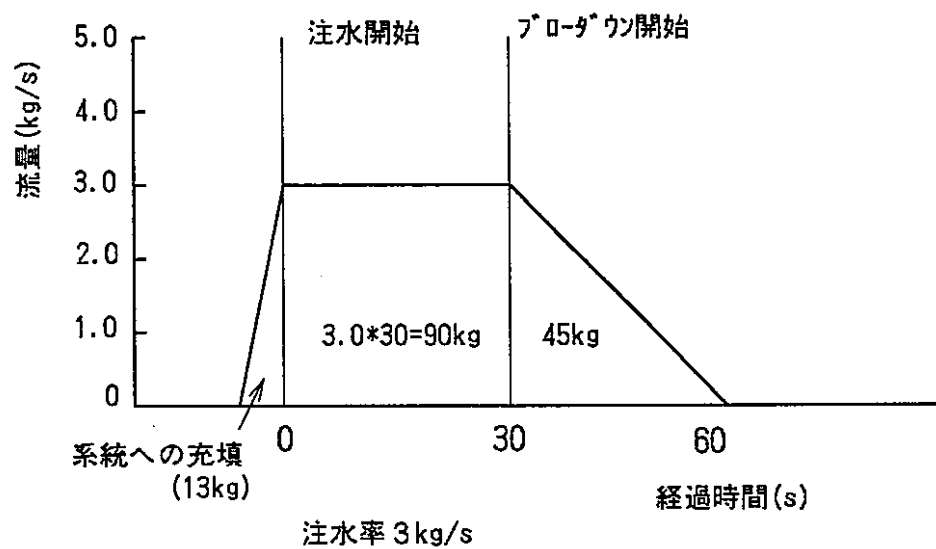
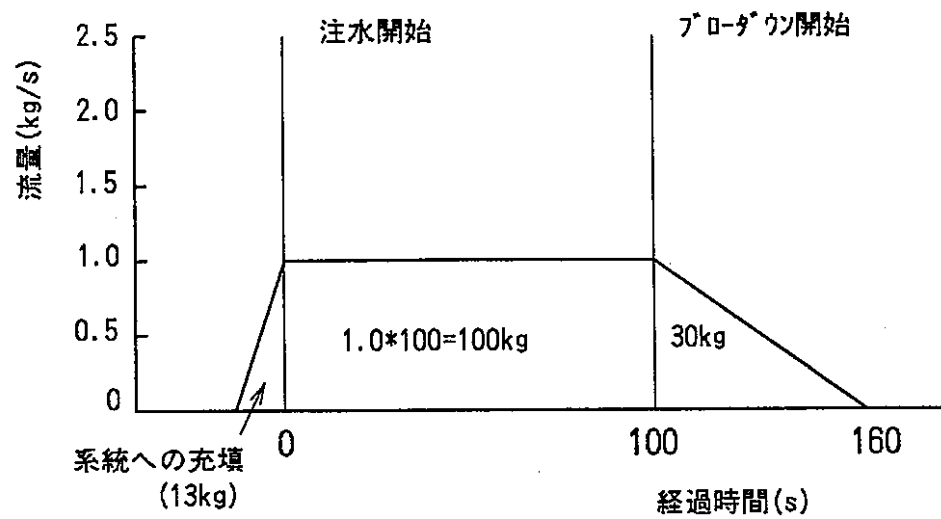


図 2. 2 - 2 注水管圧力、流量の時間変化

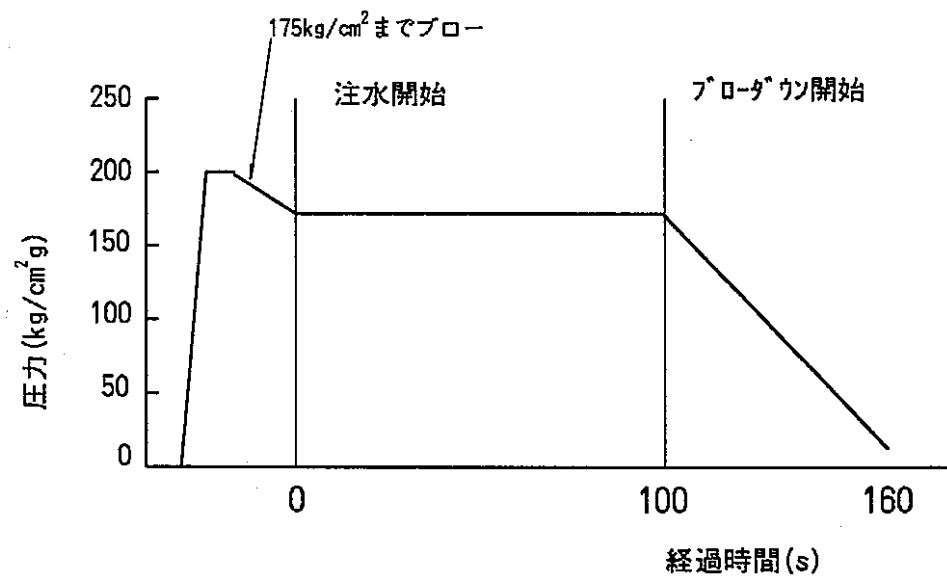
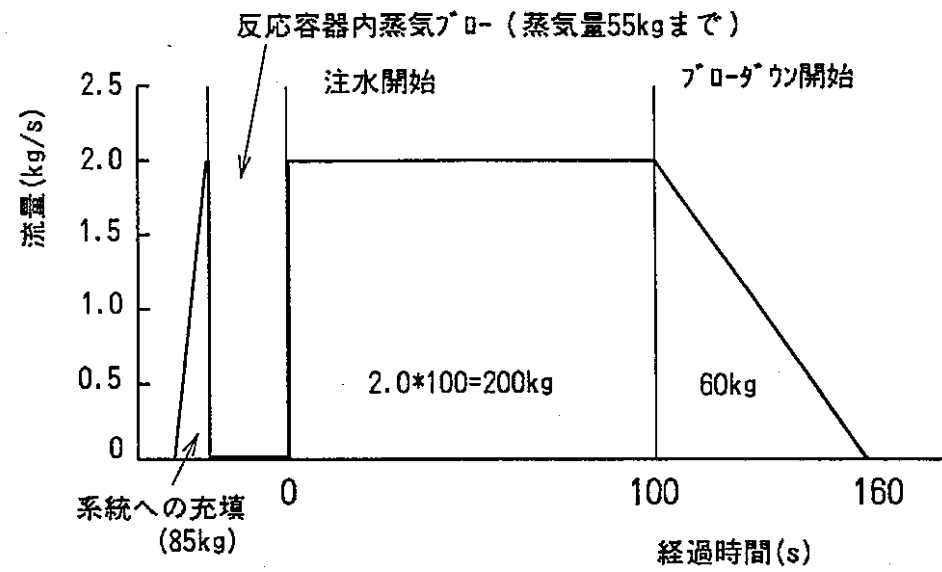
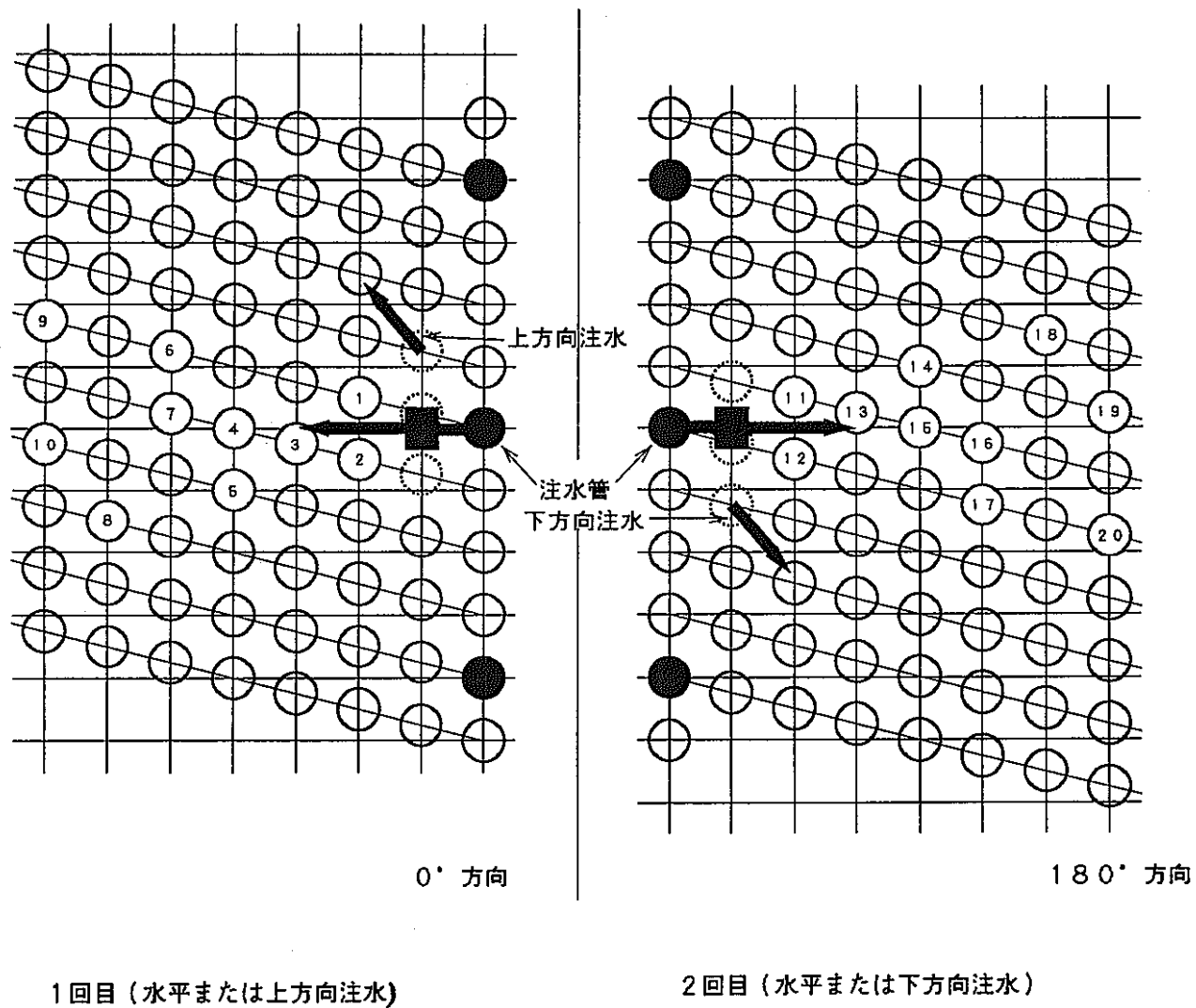


図 2. 2 - 3 隣接管圧力、流量の時間変化



注) 図中数字は、水平方向注水の場合の隣接管を示す。

図 2. 2 - 4 注水ノズル方向及びコイル配列

添付2. 2-1 初期リーク1DEG相当試験の検討

改造SWAT-3試験における注水率を実証炉SG上部破損における1DEG相当リーク率とする場合について検討する。

(1) 1DEG相当リーク率試験の検討

実証炉SG上部破損(1DEG)時の水噴出率をSWACSCコードを用いて計算した結果を添付図2. 2-1に示す。

同図より、0.1秒以降で水噴出率はほぼ静定しており、各噴出率は以下である。

- ・合計水噴出率 : 7.2 kg/s
- ・上流側水噴出率 : 3.3 kg/s (給水側)
- ・下流側水噴出率 : 3.9 kg/s (蒸気側)

上記、水噴出率は、伝熱管端部に大きな水室を有する実証炉SGの値であり、現状のSWAT-3試験装置の場合には、以下の理由から、7.2 kg/sの注水は困難であると考えられる。

- 1) 片側からの注水である。
- 2) 水加熱器から、反応容器までの配管が長く、ここでの圧力損失が大きい。
- 3) 反応容器内で、ナトリウムによる加熱を行うために反応容器入口から注水点までの伝熱管が長く、ここでの圧力損失が大きい。また、注水量が多い場合、過熱蒸気を得られない。

(2) 1DEG相当リーク率試験を可能とする条件

現状の改造SWAT-3試験装置計画で、1DEG相当リーク率試験を困難としているのは、

- ・水加熱器から反応容器内注水点までの圧力損失が大きく、規定の流量とならない
- ・水加熱器では飽和蒸気までの発生であるため、反応容器内でのナトリウム加熱により過熱蒸気を得る必要があるが、大流量の場合、反応容器内の熱交換では、過熱蒸気にすることが困難である。

以上より、注水率1DEG相当試験を可能とするためには以下の改造が必要である。

- 1) 過熱蒸気発生装置(ボイラー等)の設置 : (過熱蒸気の発生)
- 2) 過熱蒸気発生装置から反応容器までの配管の大径化 : (圧力損失の低減)

3) 反応容器内伝熱管長の削減

: (圧力損失の低減)

4) 注水管の大径化

: (圧力損失の低減)

添付 2. 2-2 伝熱管多数管破断試験の検討

我国のSG仕様及び運転・制御条件では、高温ラプチャーによる多数本の伝熱管破断の可能性は低いものと想定されるが、仮に多数本の伝熱管破損が生じた場合にも、1次系バウンダリの構造健全性を確保することにより、比較的容易に安全ロジックが構築できるものと考えられる。

しかも、多数本の伝熱管破損では、水噴出量が極めて大きくなるため、伝熱管破損点近傍部において反応するナトリウムが欠乏し、ナトリウム-水反応による圧力上昇が飽和する可能性が高く、これを確認するためには、多数本の伝熱管破損を模擬した試験が必要となる。

このため、改造SWAT-3試験装置を用いて、最大どの程度の注水が可能であるかを確認するため、動特性解析を実施した。

(1) 検討条件

本検討においては、隣接管用の水加熱器を利用して、10本の伝熱管から注水する場合の注水率を求める。尚、隣接管用の水加熱器は、「水加熱器設計検討書」で見直した 4.8 m^3 、1基とする。

注水量が多いため、反応容器内でのナトリウムによる加熱が期待できない（過熱蒸気になるまで）こと、ダウンカマー及びヘリカルコイル部での圧力損失が大きくなることを考慮して、本検討では、ダウンカマー及びヘリカルコイル部を削除して、反応容器内の連絡管を介してコイル部に注水するものとする。

(2) 解析条件

解析コードは、弊社所有汎用動特性コード「DYSCOS/FBR」を使用する。

解析モデルを、添付図2. 2-2に示す。

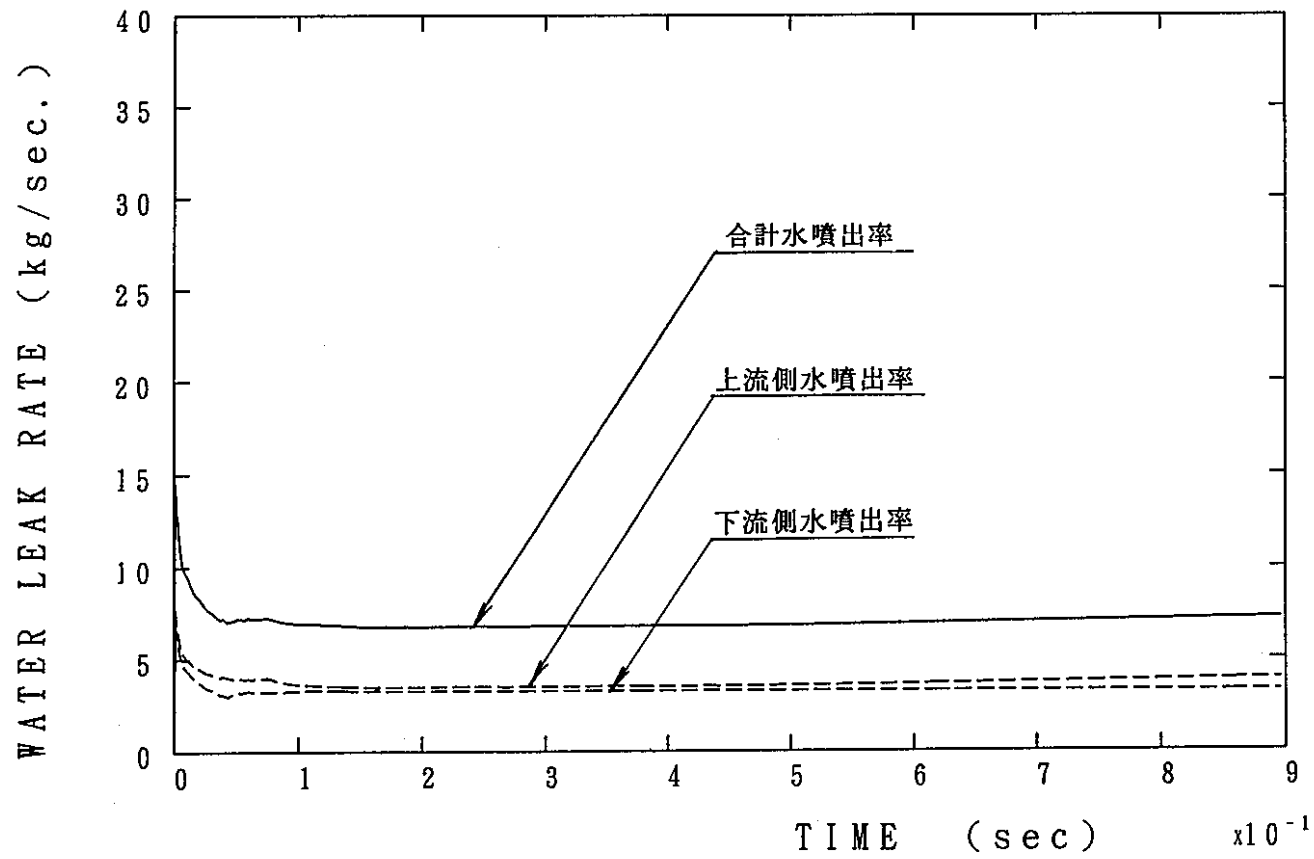
水加熱器のヒータ加熱後の初期条件は、 $220\text{ kg/cm}^2\text{g}$ （飽和温度 372.5°C ）で、飽和水が 3.4 m^3 、残りを飽和蒸気が満たしている。

注水下流側の圧力は、 $2\text{ kg/cm}^2\text{g}$ 一定としている。

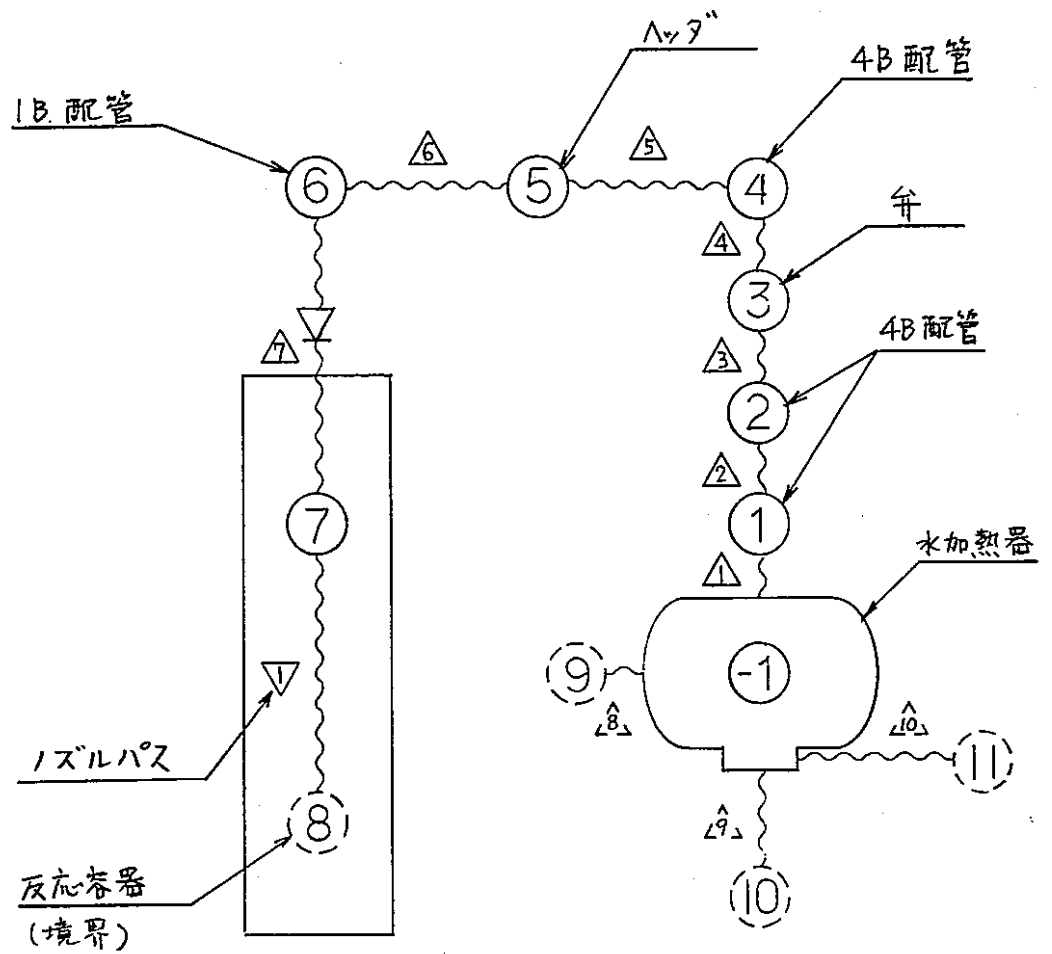
(3) 解析結果

解析結果を、添付図 2. 2-3～添付図 2. 2-6 に示す。添付図 2. 2-3 から、最大注水率は、37.7 kg/s (10本の合計値)であり、注水開始35秒後に10 kg/sまで低下している。初期の注水率は、添付 2. 2-1 に示した実証炉 SG 上部伝熱管破損時の水噴出率の約5倍相当である。

なお、添付図 2. 2-4～添付図 2. 2-6 から、注水部では湿り蒸気となっている。

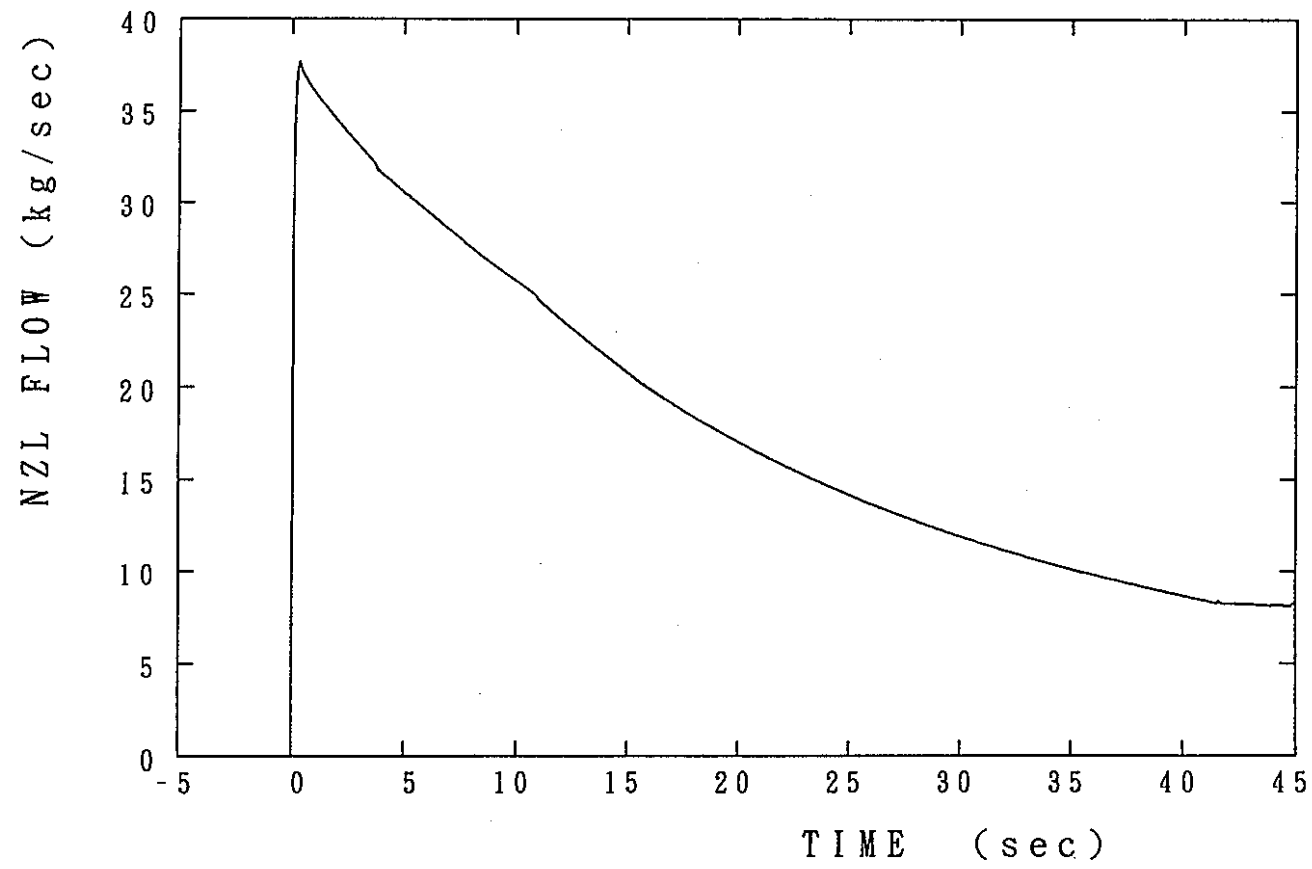


添付図 2. 2 - 1 実証炉 S G 伝熱管上部破損時水噴出率

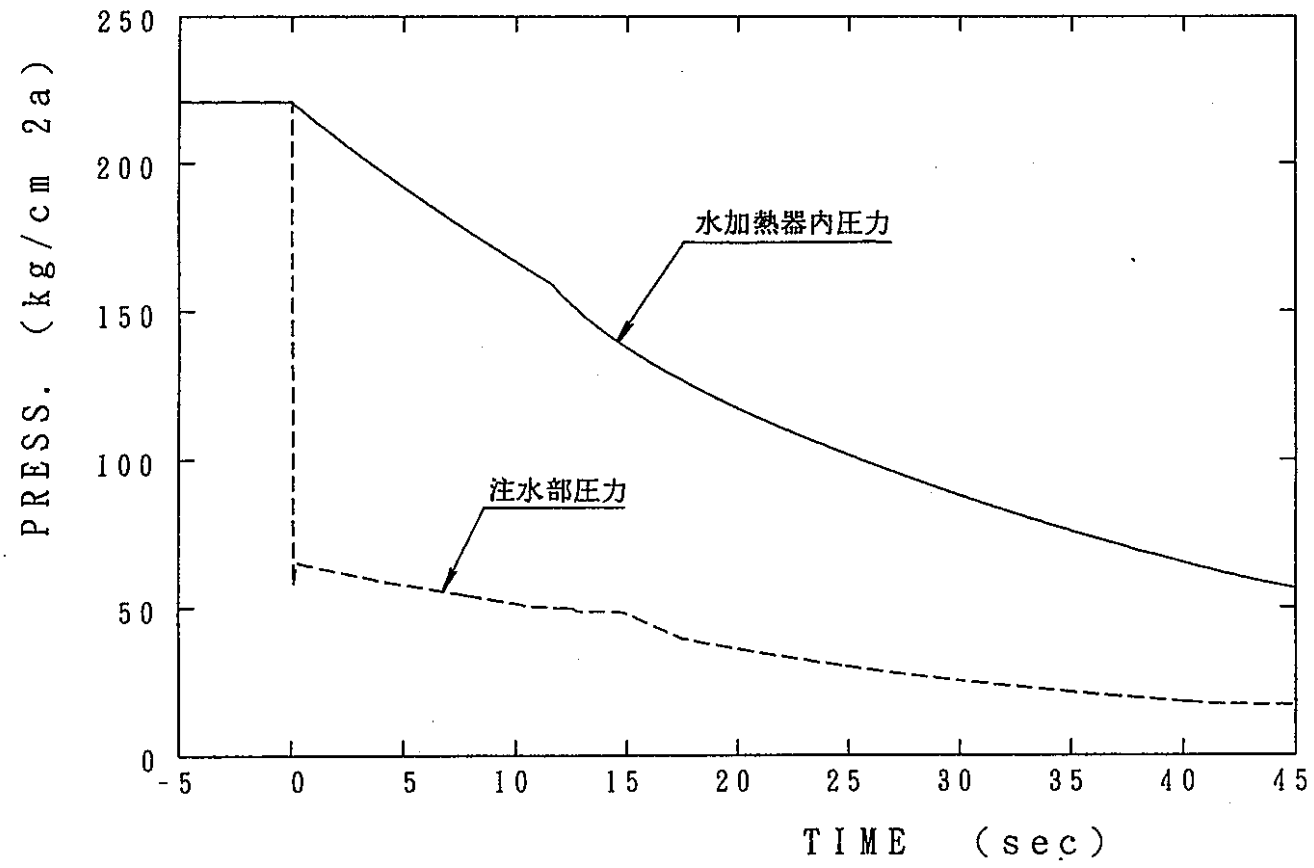


○：ノード
△：リンク

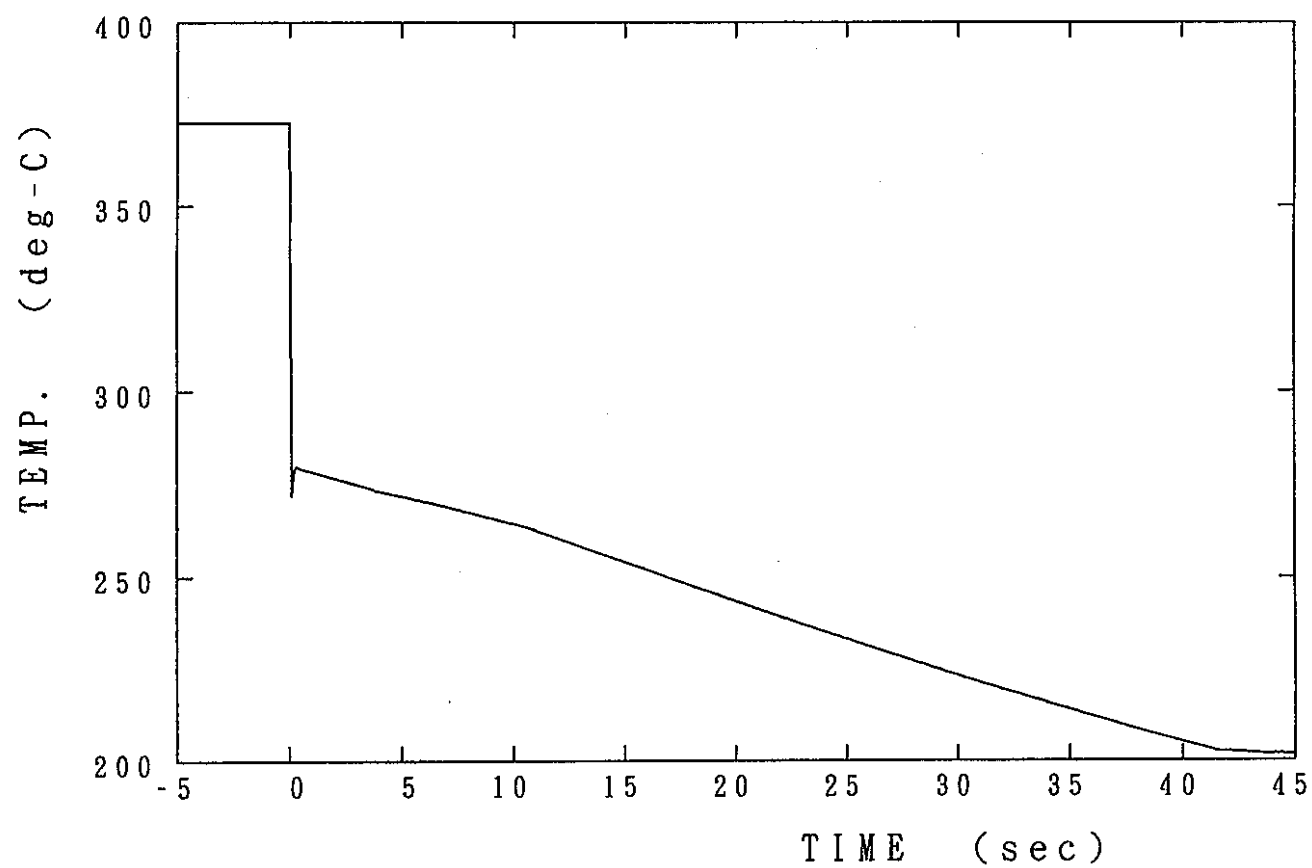
添付図 2. 2 - 2 動特性解析モデル



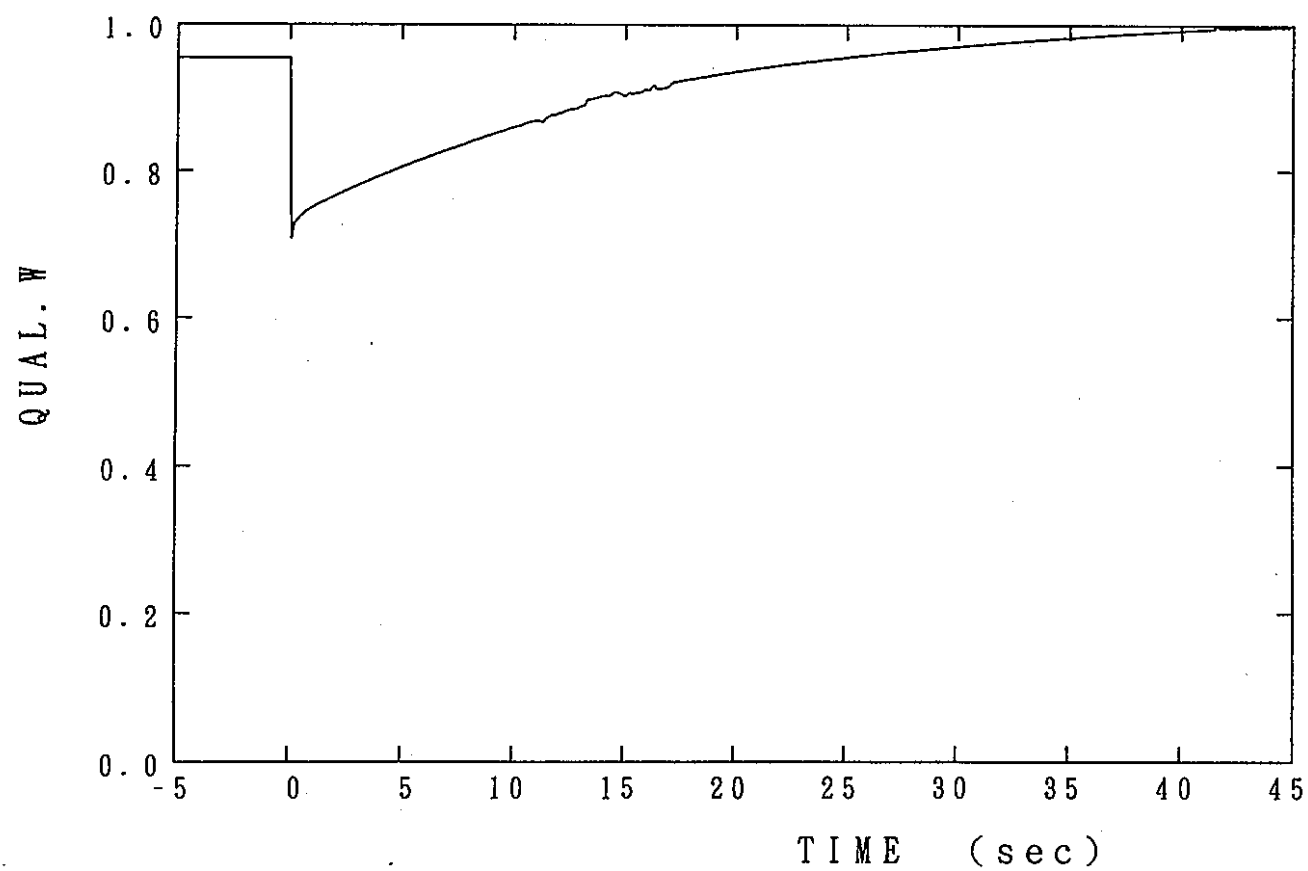
添付図 2. 2 - 3 伝熱管多数本破損試験時水リーク率変化 (10本注入)



添付図 2. 2 - 4 伝熱管多数本破損試験時各部压力変化 (10本注入)



添付図 2. 2 - 5 伝熱管多数本破損試験時注水温度変化 (10本注入)



添付図 2. 2 - 6 伝熱管多数本破損試験時注水クオリティ変化 (10本注入)

3. 機器設計仕様の確認

3.1 系統設計条件

3.1.1 S W A T - 3 系統構成

改造後の S W A T - 3 の系統図を図3.1.1-1に示す。S W A T - 3 の系統は、ナトリウム系（主循環系、純化系、充填ドレン系（放出系を一部兼用））、ナトリウム-水反応放出系、水注入系及びガス系（アルゴンガス系、窒素ガス系）から構成されている。

(1) ナトリウム系

a. 主循環系

主循環系は、反応容器、ナトリウムタンク、ナトリウム加熱器及び循環ポンプより構成される。試験開始前の昇温時は、ナトリウム加熱器を通るラインにより系内ナトリウムの昇温を行う。試験時には、循環ポンプ（電磁ポンプ）により加圧されたナトリウムは、ナトリウム加熱器をバイパスして、ナトリウムタンク（既設反応容器）を経て、反応容器に至り、再び循環ポンプに戻る閉ループより構成される。また、試験後は、準定常圧が十分に落ちついた状態（試験後約20～30分）で、ナトリウム加熱器ラインのどちらかの弁を開け、当該ラインを主循環系と導通させる。なお、ナトリウムタンクは、主循環系のナトリウムインベントリーを増やし、系の一巡時間を大きくすることにより、反応容器で水側の昇温に寄与した低温ナトリウムが一巡して、再び反応容器に流入することを防止するために設置している。

また、試験は、反応容器のスケールを1/3、運転条件として30%部分負荷状態を模擬するものとし、循環流量は $1.5\text{m}^3/\text{min}$ に容量アップしている。

大リーク解析に基づく、11本破断時の主循環系における最大発生圧力は、3.2節で示すように、反応容器～I H X（既設）間で $12.7\text{kg}/\text{cm}^2\text{-a}$ で、現状の S W A T - 3 の設計条件（最高使用圧力 $20\text{kg}/\text{cm}^2\text{-g}$ ）の範囲内である。

一方、最高使用温度については、実用化までの将来炉でのナトリウム入口温度 540°C を考慮し、これに 15°C の余裕を持たせて新設する機器及び配管は、最高使用温度を 555°C とする。既設設備の設計温度は 535°C であり、流用するものについては健全性の再評価を実施する。

また、試験時循環していないラインについては（ラインNo.104, 105及びナトリ

ウム加熱器)、従来同様最高使用圧力は $10\text{kg/cm}^2\text{-g}$ とする。

b. 純化系

純化系の構成は、従来通りであり、主循環系内のナトリウムの純化運転及びダンプタンク内の純化運転は、ラインの切り換えにより対応する。

純化系の設計条件は、主循環系と取り合うライン(ラインNo.201, 205及び207)について最高使用圧力 $20\text{kg/cm}^2\text{-g}$ 、最高使用温度 555°C 、その他のラインは最高使用圧力 $5\text{kg/cm}^2\text{-g}$ とする。最高使用温度は、一律 535°C を設定する。

c. 充填ドレン系

充填ドレン系のダンプタンクは、今回の改造で交換され、収納容器と兼用される。充填ドレン系は、ダンプタンク、主循環系及び純化系からのドレンライン、アルゴンガス系及びサイクロンセパレータ(既設収納容器)との取合いラインから構成されている。充填ドレン系の設計条件は、主循環系及びナトリウム-水反応放出系と取り合うライン(ラインNo.301, 302及び303)について最高使用圧力を $20\text{kg/cm}^2\text{-g}$ 、その他のラインは $5\text{kg/cm}^2\text{-g}$ とする。

最高使用温度は、今回新設する範囲については前述のように実用化までの将来炉でのナトリウム入口温度 540°C を考慮し、 555°C とし、それ以外の範囲については 535°C とする。

(2) ナトリウム-水反応放出系

ナトリウム-水反応放出系は、反応容器からの2本の放出配管(反応容器上部のカバーガス中ラプチャディスク放出配管及び反応容器下部の接液ラプチャディスク放出配管)、ダンプタンク兼用収納容器からの放出配管及びサイクロンセパレータ(既設収納容器)とその大気開放ラインから構成されている。反応生成物及び反応時圧力は、反応容器のカバーガス部からの放出ラインと反応容器出口のナトリウム配管からの放出ラインにより、収納容器に放出され、さらにナトリウムミストを含む水素ガスはサイクロンセパレータを経て大気へ開放される。

設計条件は、大リーク解析結果に基づき、最高使用圧力 $20\text{kg/cm}^2\text{-g}$ 及び最高使用温度 555°C とする。

(3) 水注入系

水注入系は、注水管用と隣接管用に分けられる。注水管用の注入系では、水加熱器で昇温された飽和蒸気が、ヘッダを介して注水管に供給される構成となっている。一方、隣接管用の注入系では、水加熱器で昇温された飽和蒸気が、ヘッダを介して10本の通水対象伝熱管に供給される（通水可能な隣接管は計20本）。

いずれも、注入圧は、各注入系入口ヘッダの上流側に設置されている調整弁により制御され、所定の圧力（ $175\text{kg}/\text{cm}^2\text{-g}$ ）での注入及び通水が可能ようになっていく。ブロー時には、隣接管の反応容器出口のブロー弁を開とし、ブロー時の圧力は前記調整弁により制御する。また、注水管及び隣接管の通水系には、反応容器の上流側にもブローラインを設置しており、このブローラインからもブローを行う。

水注入系の設計条件の詳細は、3.5節で述べるが、水加熱器容量のサイジングから、試験時の水加熱器の元圧は、 $220\text{kg}/\text{cm}^2\text{-g}$ とする。これより、最高使用圧力は $230\text{kg}/\text{cm}^2\text{-g}$ 、最高使用温度は 400°C を設定し、両加熱器とも交換・新設する。

(4) ガス系

試験に使用されるアルゴンガス系及びアルゴンガス・窒素ガス供給設備は、既設設備を流用する。今回の改造で新設される設備は、ガス封入伝熱管用ヘッダと当該伝熱管までの接続配管及び弁から構成される。ガス封入伝熱管の封入圧力は、ナトリウム-水反応時の温度上昇でも破裂しないことを示す観点から、蒸気圧力 $175\text{kg}/\text{cm}^2\text{-g}$ を考慮し、最高使用圧力 $185\text{kg}/\text{cm}^2\text{-g}$ 、最高使用温度 300°C 程度とする。

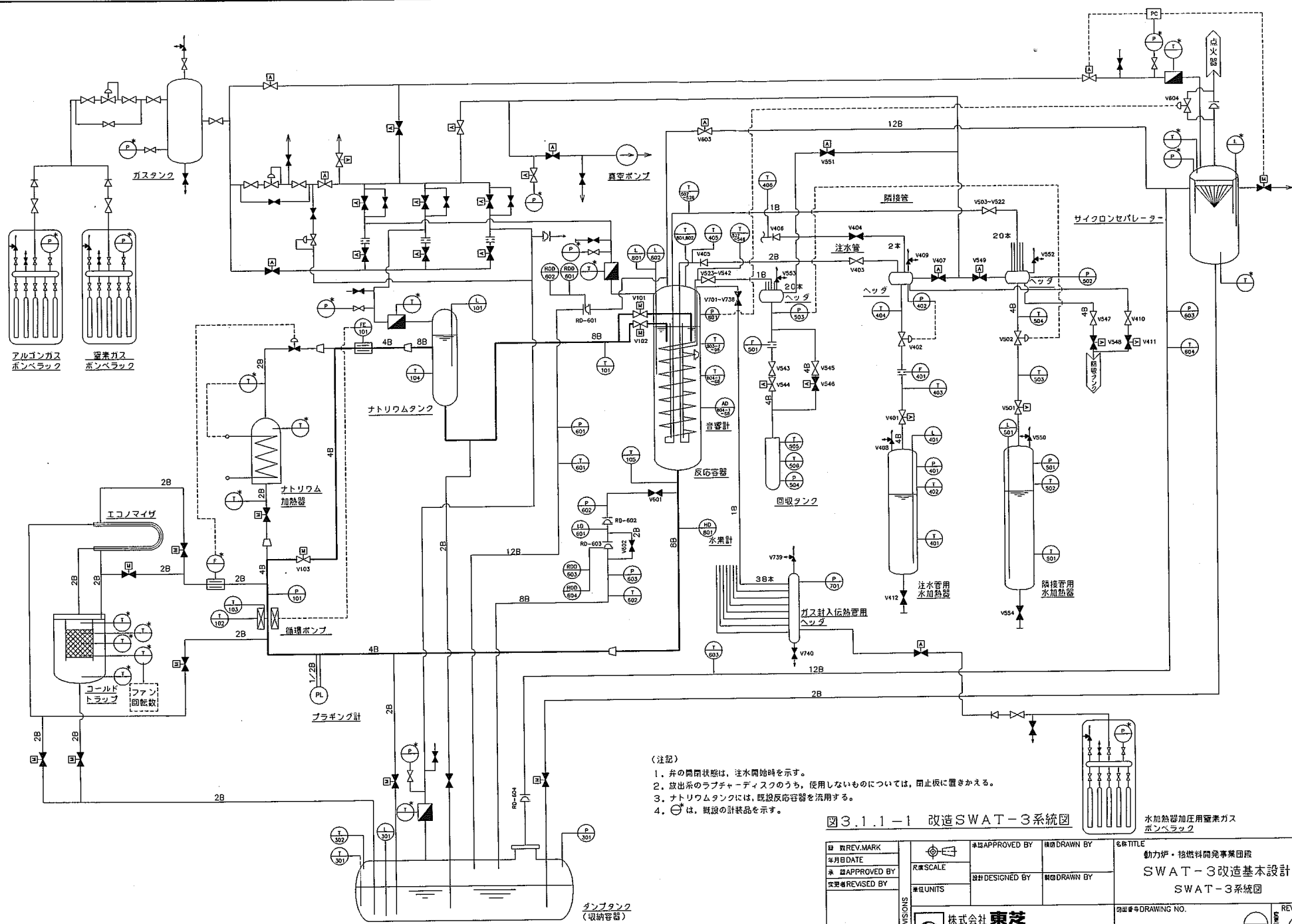
3.1.2 改造範囲

図3.1.2-1に、現状のSWAT-3からの改造範囲を示すとともに、以下にその概要を示す。なお、既設流用部分の詳細については、3.8節を参照のこと。

(1) 改造対象機器及び配管

- ① 反応容器（実証炉SGを模擬し交換）
- ② 循環ポンプ（試験条件に必要な流量確保のため、容量をアップし交換）
- ③ ダンプタンク（収納容器の機能を兼ねるため交換）
- ④ 水加熱器（注水管系及び隣接管系とも交換・新設）
- ⑤ 水素計（新設）

- ⑥放出系（反応容器からダンプタンク間、ダンプタンクからサイクロンセパレータ間の新設）
 - ⑦ナトリウム加熱器バイパスライン（新設）
 - ⑧電磁ポンプ前後の配管（4 B、交換）
 - ⑨模擬中間熱交換器及び配管（撤去）
 - ⑩模擬過熱器（撤去）
 - ⑪注水管及び隣接管の供給・放出ライン（新設）
 - ⑫隣接管用回収タンク（新設）
 - ⑬ガス封入管用ヘッダ及び配管（新設）
- (2) 既設設備の流用範囲
- ①ナトリウム加熱器
 - ②ナトリウムタンク（既設反応容器を流用、移設）
 - ③サイクロンセパレータ（既設収納容器を流用）
 - ④純化系
 - ⑤プラグング計
 - ⑥充填ドレン系配管・弁
 - ⑦アルゴンガス系
 - ⑧アルゴンガス及び窒素ガス供給設備



- (注記)
1. 弁の開閉状態は、注水開始時を示す。
 2. 放出系のラプチャーディスクのうち、使用しないものについては、閉止板に置きかえる。
 3. ナトリウムタンクには、既設反応容器を流用する。
 4. ⊕ は、既設の計装品を示す。

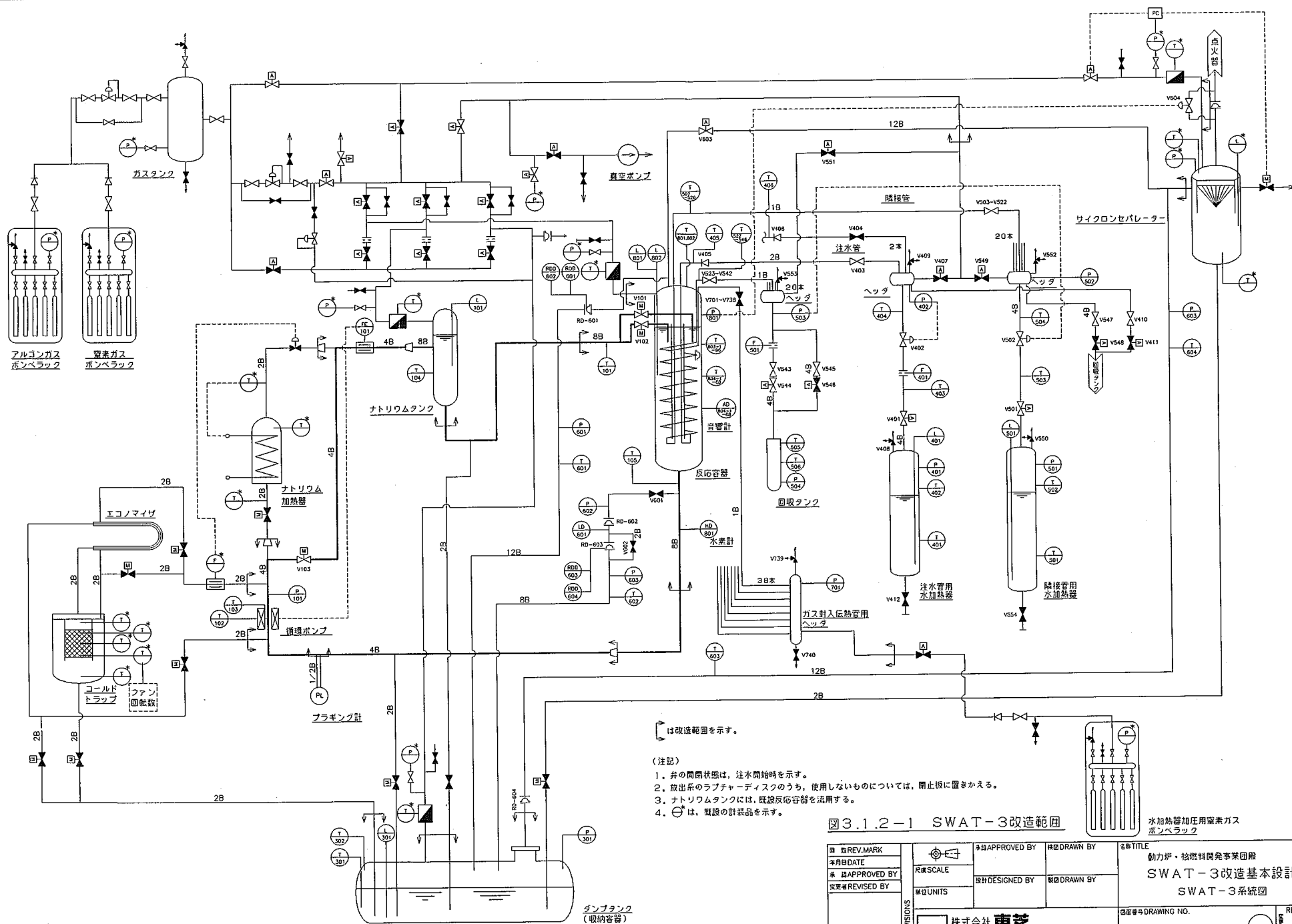
図3.1.1-1 改造SWAT-3系統図

図 改REV.MARK 年月日 DATE 承認 APPROVED BY 変更者 REVISED BY	尺 INCH SCALE 単位 UNITS	承認 APPROVED BY 設計 DESIGNED BY 校核 CHECKED BY	描画 DRAWN BY 校核 CHECKED BY	名 称 TITLE 動力炉・核燃料開発事業団 SWAT-3改造基本設計 SWAT-3系統図 図番 DRAWING NO.

株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

水加熱器加圧用窒素ガス
ボンベラック

REV. MARK
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



REV. MARK	承認 APPROVED BY	設計 DRAWN BY	品名 TITLE
年月日 DATE	尺慮 SCALE	設計 DESIGNED BY	動力炉・核燃料開発事業団
承認者 REVISED BY	単位 UNITS	製図 DRAWN BY	SWAT-3改造基本設計
			SWAT-3系統図
改訂 REVISIONS	株式会社 東芝 TOSHIBA CORPORATION TOKYO JAPAN	図面番号 DRAWING NO.	REV. MARK

3. 2 N a - 水反応時圧力・温度上昇評価

3. 2. 1 概要

改造 S W A T - 3 試験装置の設計条件（圧力・温度）を設定するために、準定常圧解析を実施する。最高使用圧力を設定するための S W A C S コードを用いた準定常圧解析は、昨年度予備設計の中で実施しているが、今年度基本設計における設計進捗により、反応容器及び配管に変更が生じたため、これらを反映した準定常圧解析を実施する。更に、今年度基本設計では、改造 S W A T - 3 試験装置の試験時温度上昇挙動を確認するため、S W A C 1 3 E コードを用いた準定常圧解析を実施する。

3. 2. 2 水リーク率の検討

昨年度予備設計で S W A C S による準定常圧解析用の水噴出率は以下の考えに基づいて設定しており、今年度もこれを踏襲する。

- ① 初期 1 D E G を想定し、ウェステージによる貫通破損を 3 D E G 相当考慮する。
（1 + 3 D E G 相当リーク率は、原型炉 S G での D B L 相当）
- ② これに続く過熱ラプチャーを想定し、隣接管のギロチン破損を考慮する。
（隣接管 1 0 本の内、3 本はウェステージによる貫通破損を想定し、残り 7 本が過熱ラプチャーするものとする。）
- ③ 上記 1）は、解析上同時破損するものとするが、上記 2）は、欧州各国のデータにより、N a - 水反応開始後 1 秒以内では過熱ラプチャーは生じないとの知見を反映し、1 秒までは、1 + 3 D E G 相当リーク率、1 秒以降は 1 1 D E G 相当リーク率とする。

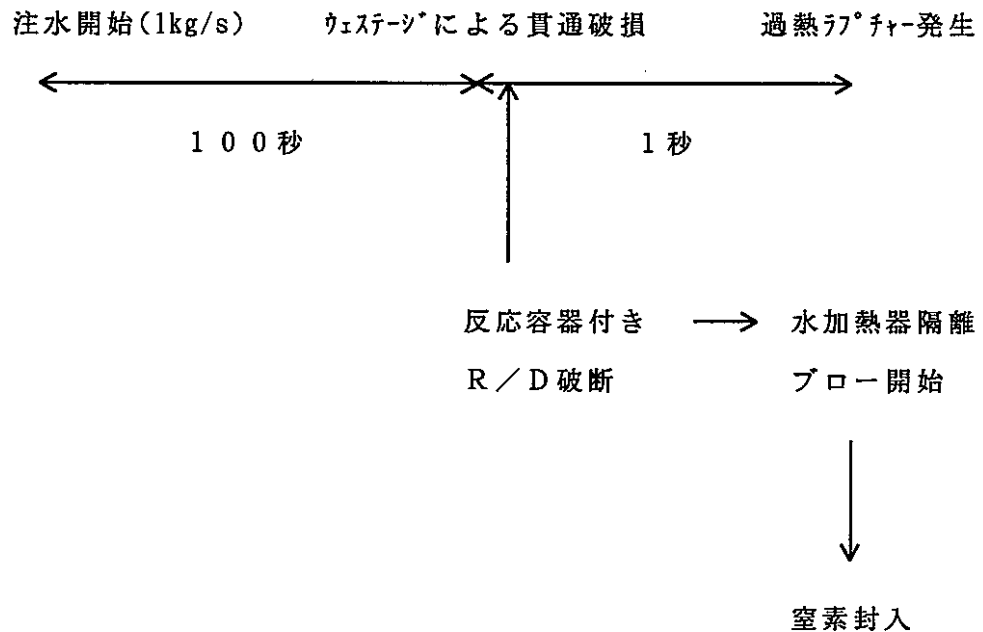
図 3. 2 - 1 に準定常圧解析に使用する水リーク率（S W A C S 用）を示す。

S W A C S 用の水リーク率は、最大発生圧力に着目しており、1 秒以降 1 0 秒まで一定のリーク率（圧力低下による流量低下を考慮しない）として、保守側の条件設定をしている。

一方、S W A C 1 3 E を用いた、準定常圧解析では、機器・配管の温度変化挙動を確認するため、反応時間が解析結果に影響を及ぼす。このため、試験時の運転手順を配慮した水リーク率を解析条件とすることが重要である。

過熱ラプチャーが発生した場合の各部の挙動を以下に示す。

注水管 1 本 → 隣接管 3 本 → 隣接管 7 本
 (中リークから 1 D E G) (ウェステージ) (過熱ラプチャー)



注水時間が一番長い水リーク率 1 kg/s を対象として、注水開始後 100 秒後にウェステージによる貫通破損が生じ、その 1 秒後に過熱ラプチャーが生じるものとしている。ウェステージによる隣接管の貫通破損とほぼ同時に反応容器内カバーガス圧力が上昇し R/D が破断する。R/D の破断信号により、水加熱器の隔離及び保有水ブローが行われる。このため、過熱ラプチャー発生時には、既に水加熱器の隔離及び保有水ブローが開始されている。しかしながら、解析条件としては、保守性を考慮して、保有水ブローの効果は無視して水加熱器隔離後に配管及び伝熱管に残った保有水が反応容器内に注水されるものとする。表 3. 2-1 に、注水管用注水系及び隣接管用注水系内の保有水量を示す。同表より、保有水量は 34 kg であり、11 D E G 相当リーク率では、約 1 秒間の注水に相当する。

従って、SWAC13E 用水リーク率は、以下のように設定する。

- ① 注水開始から 100 秒間、1 kg/s リーク率一定
- ② 100 秒から 1 秒間は、1 + 3 D E G 相当リーク率
- ③ ② に続く 1 秒間を 11 D E G 相当リーク率 (約 33.6 kg/s) とし、その後リーク率 0 kg/s (解析上制約がある場合には、極小さい値を入力) とする。

3. 2. 3 準定常圧解析 (SWACS)

準定常圧解析モデルについて、今年度見直した項目を以下に示す。

- ① 反応容器カバーガス空間寸法の変更
- ② 放出系配管部スリップ比の変更
- ③ 放出系配管ダンプタンク入口部圧力損失係数の変更
- ④ ナトリウムタンクカバーガス空間のモデル化
- ⑤ ナトリウム配管リンク方向の変更

上記①は、今年度、反応容器に中間胴を設置することとしたことから、カバーガス空間が増加したため、解析モデルに反映したものである。

②は、昨年度の解析では、従来の解析例を参考に、放出系配管内のナトリウムと水素のスリップ比を2.0としていたが、原型炉等では保守側の1.0としているため、これを反映した。

③は、ダンプタンクに接続している放出系配管（反応容器側）内のナトリウム流速が1000 m/s以上となり、従来の結果に比べて、極めて大きいことが分かった。解析結果を確認すると、放出系配管部のナトリウム流速が高くなるのは、この部位における圧力が大気圧よりもかなり低くなる場合に混合物比重量が小さくなり、流速が大きくなっていたことが確認された。これは、放出系配管とダンプタンクの容積が大きく異なるため、放出系配管に流入するナトリウムに僅かなアンバランスが生じ易いことが原因と考えられたため、ダンプタンク入口部圧力損失係数を大きくして対処した。これにより、放出系配管部での圧力低下を回避した。

④及び⑤は、解析の初期段階において、コールドレグ配管部が解析上負圧（マイナス圧力）となることを回避するために対処した項目である。ナトリウムタンクにカバーガス空間を考慮しない場合、ナトリウム配管及びナトリウムタンクは非圧縮性として考慮されるため、僅かなナトリウム流入に対して圧力が非常に敏感になると考えられることから、ナトリウムタンクカバーガス空間のモデル化をおこなった。また、今回の解析では、上部リークを考慮しているため、ナトリウムはホットレグ配管からナトリウムタンクを介してコールドレグ配管に流れることから、リンクの流れ方向をこれに合わせた。これにより、解析の初期段階における、コールドレグ配管部の負圧を解消した。

図3. 2-2に、準定常圧解析モデルを示す。また、11本破損に対する解析結果を図3. 2-3に示す。図3. 2-2から、各部の圧力は全て設計条件を満足しているこ

とを確認した。

3. 2. 4 SWAC13Eによる温度上昇評価

(1) 解析条件

- 1) 水噴出率 : 3. 2. 2 項に示す。
- 2) 破損位置 : 上部破損
- 3) ラフチャーディスク設置位置 : カバーガス部
- 4) ラフチャーディスク破断差圧 : 3.7kg/cm^2
- 5) 放出系配管サイズ : 12B
- 6) 反応ガス温度 : 内部計算式により算出
- 7) 解析モデル : 図 3. 2 - 2 に示す。(SWACSモデルと同一)

(2) 解析結果及び評価

各部構造材温度及びナトリウム温度変化結果を図 3. 2 - 4 及び図 3. 2 - 5 に示す。

図 3. 2 - 4 の結果をまとめると以下である。

- ① 反応容器の全ての部位で最高使用温度 (555°C) 以下となっている。
- ② 反応容器の一部を除き、現試験装置の最高使用温度 (535°C) 以下となっている。

以上より、新設部位に対する最高使用温度 555°C 及び既設流用部位に対する最高使用温度 535°C は妥当である。

表 3. 2 - 1 注水系保有水量

	配管・伝熱管仕様	容 積 (m^3)	比重量 (kg/m^3)	重 量 (kg)
注 水 管 用	4B* 2000mm 2B* 4000mm $\phi 31.8 \times 26400\text{mm}$	0.0305	122.9 (176ata, 353.5°C)	3.8
隣 接 管 用	上流側 4B* 9350mm 1B* 20000mm $\phi 31.8 \times 26400\text{mm}$	0.1878	122.9 (176ata, 353.5°C)	23.1
	下流側 4B* 18500mm 1B* 10000mm $\phi 31.8 \times 20000\text{mm}$	0.1239	57.1 (176ata, 497°C)	7.1
合 計				34.0

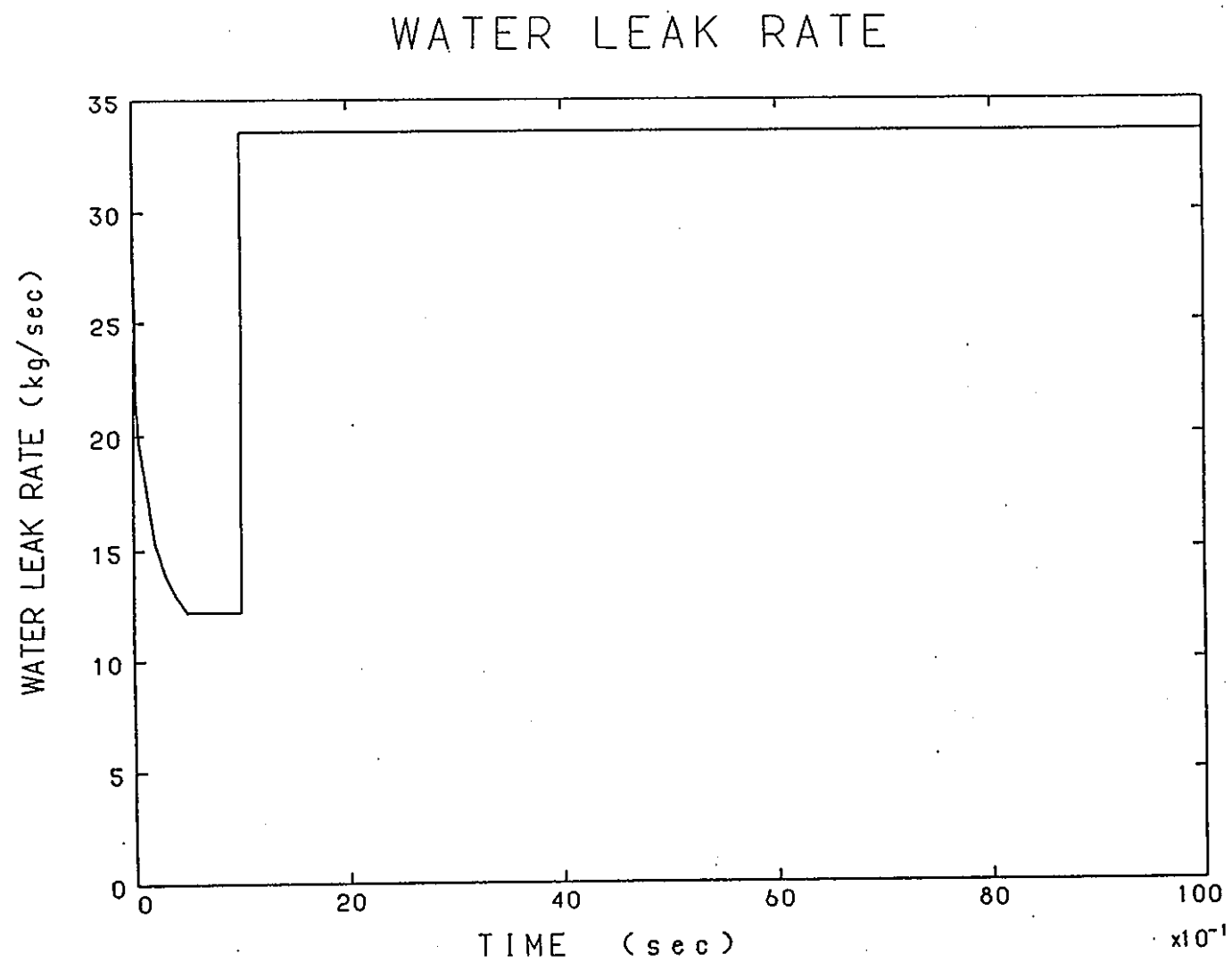


図 3. 2 - 1 準定常圧解析 (SWACS) に使用した注水率 (11本破断)

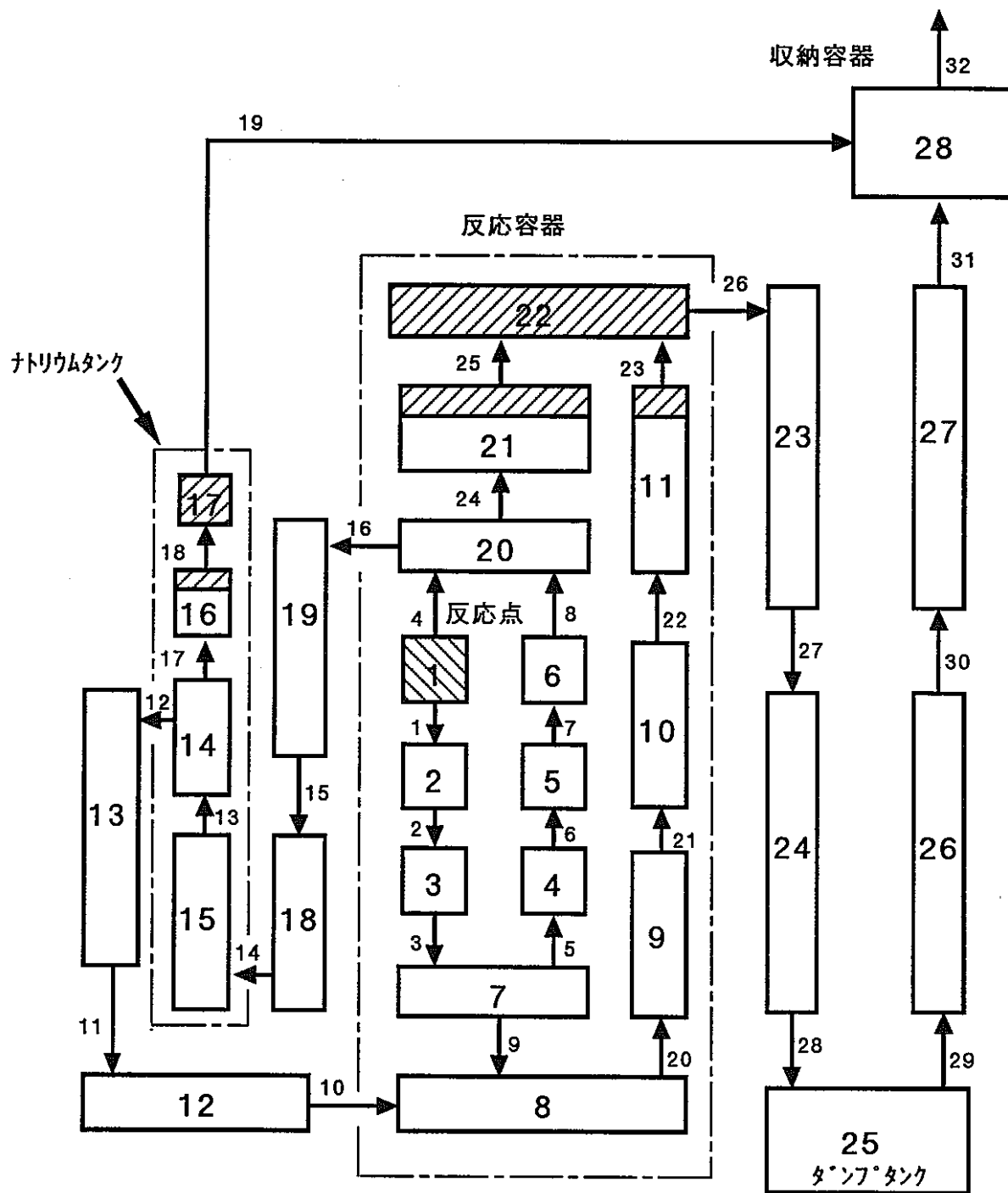


図 3. 2 - 2 改造 SWAT - 3 準定常圧解析モデル

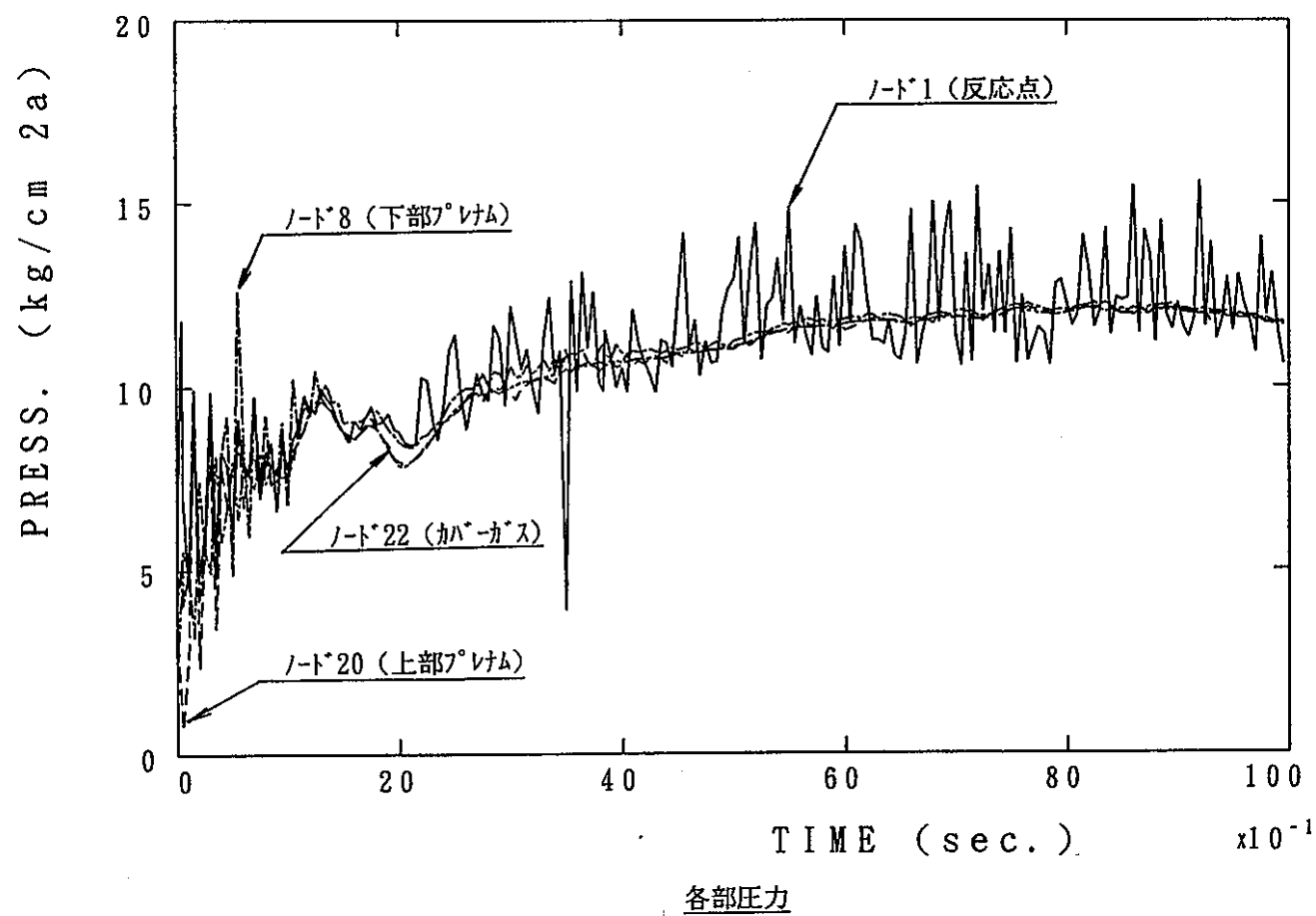


図 3. 2 - 3 (1 / 5) 準定常圧解析 (11本破断)

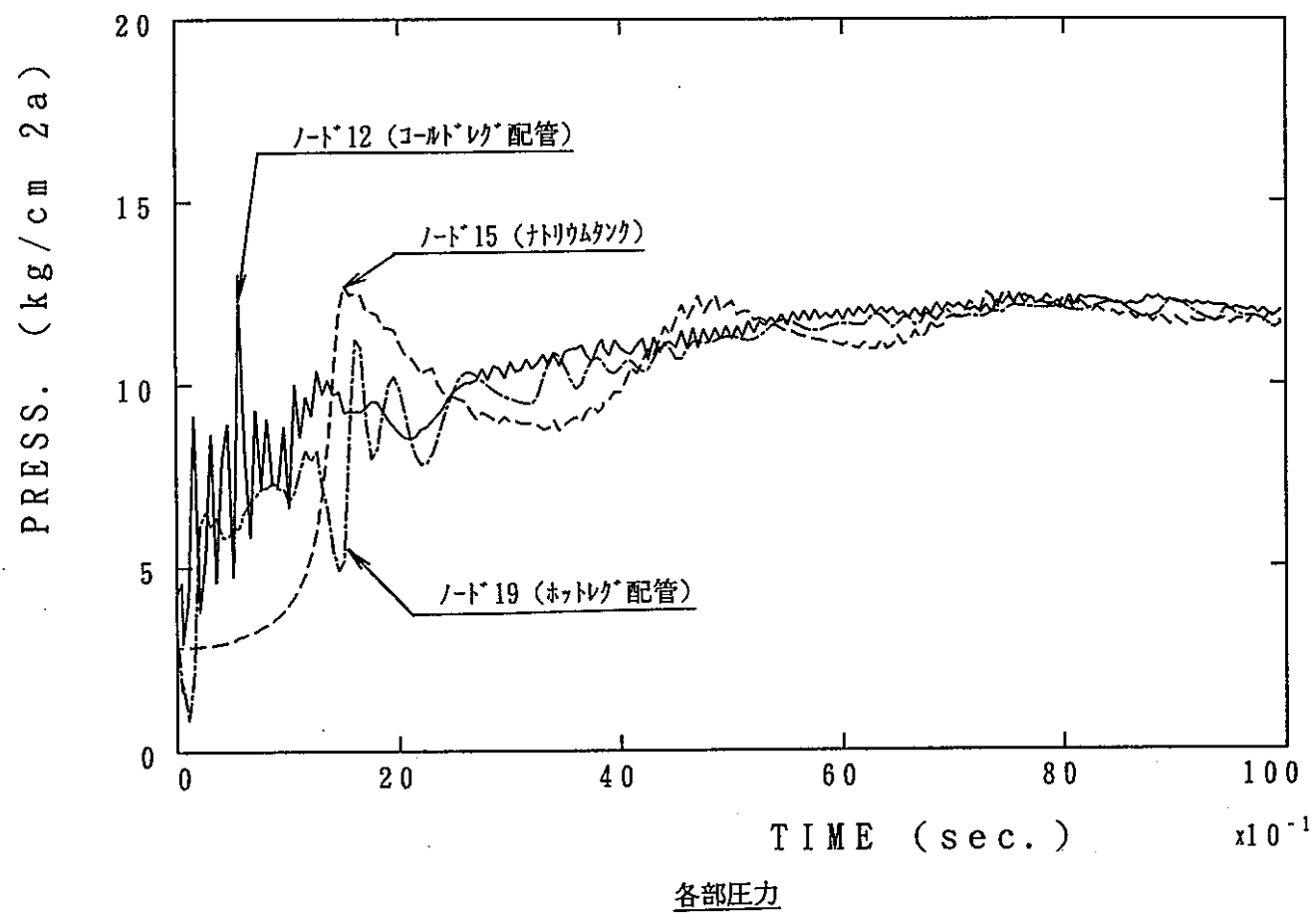


図 3. 2 - 3 (2 / 5) 準定常圧解析 (11本破断)

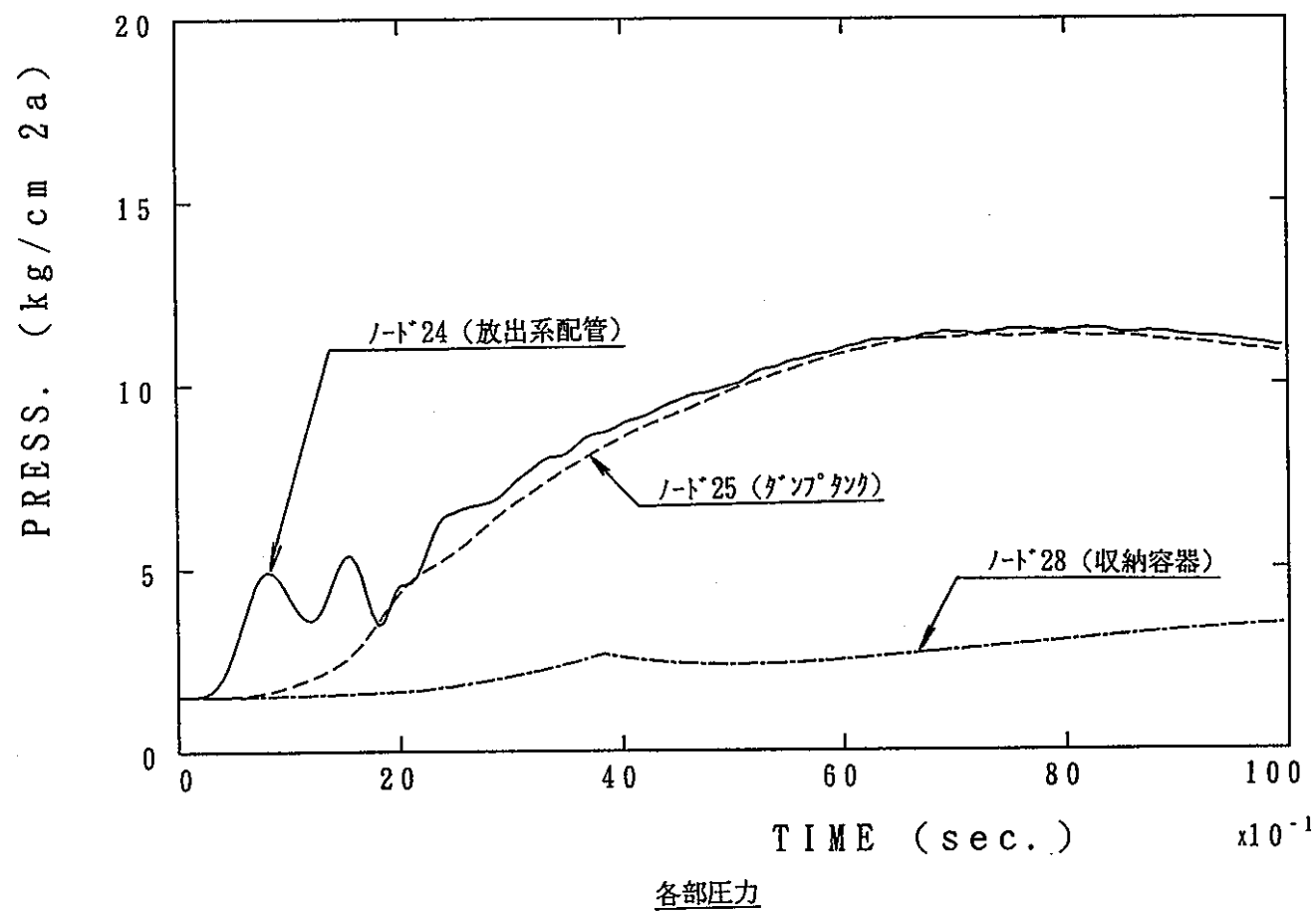


図 3. 2 - 3 (3 / 5) 準定常圧解析 (11本破断)

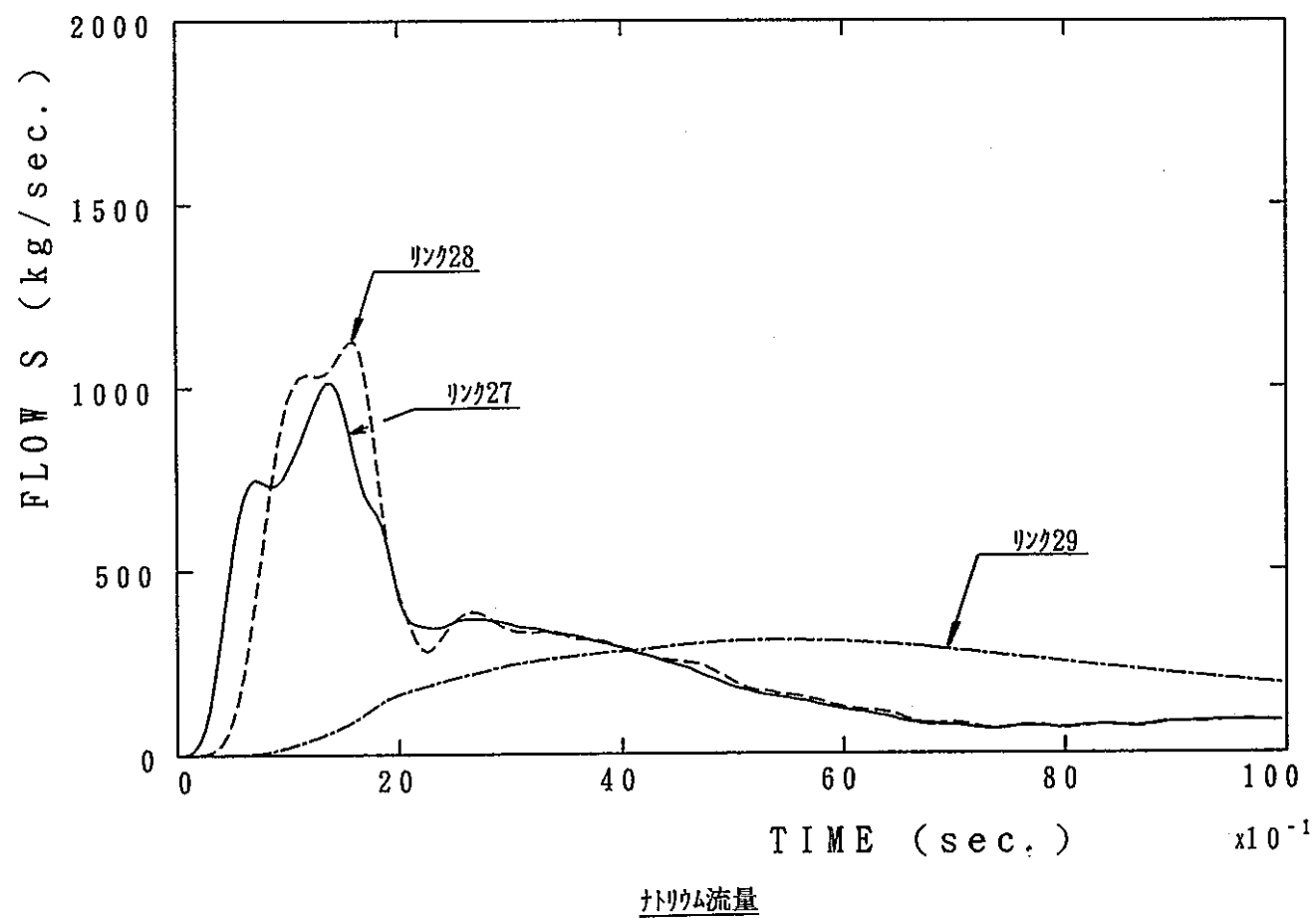


図 3. 2 - 3 (4 / 5) 準定常圧解析 (11本破断)

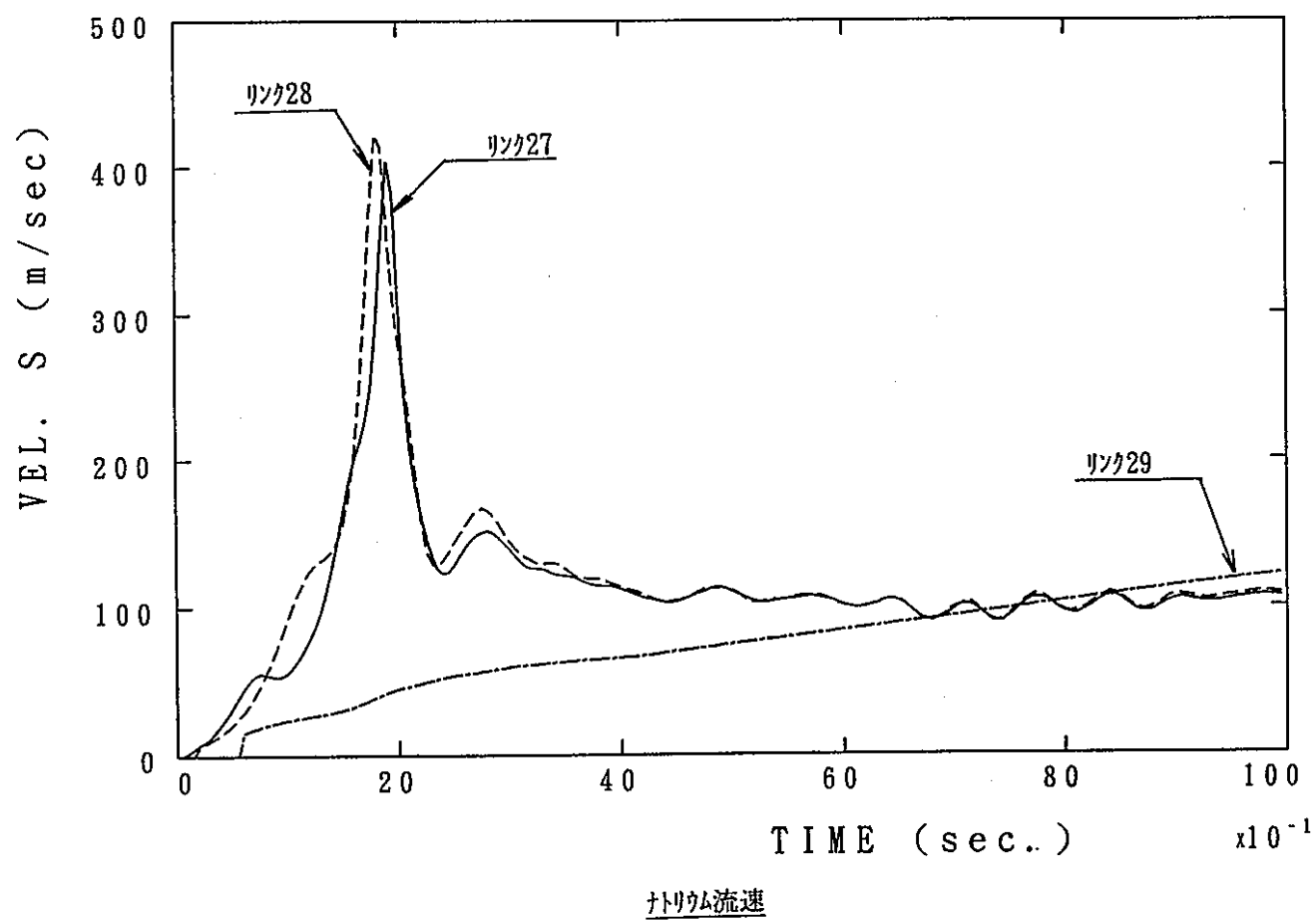


図 3. 2 - 3 (5 / 5) 準定常圧解析 (11本破断)

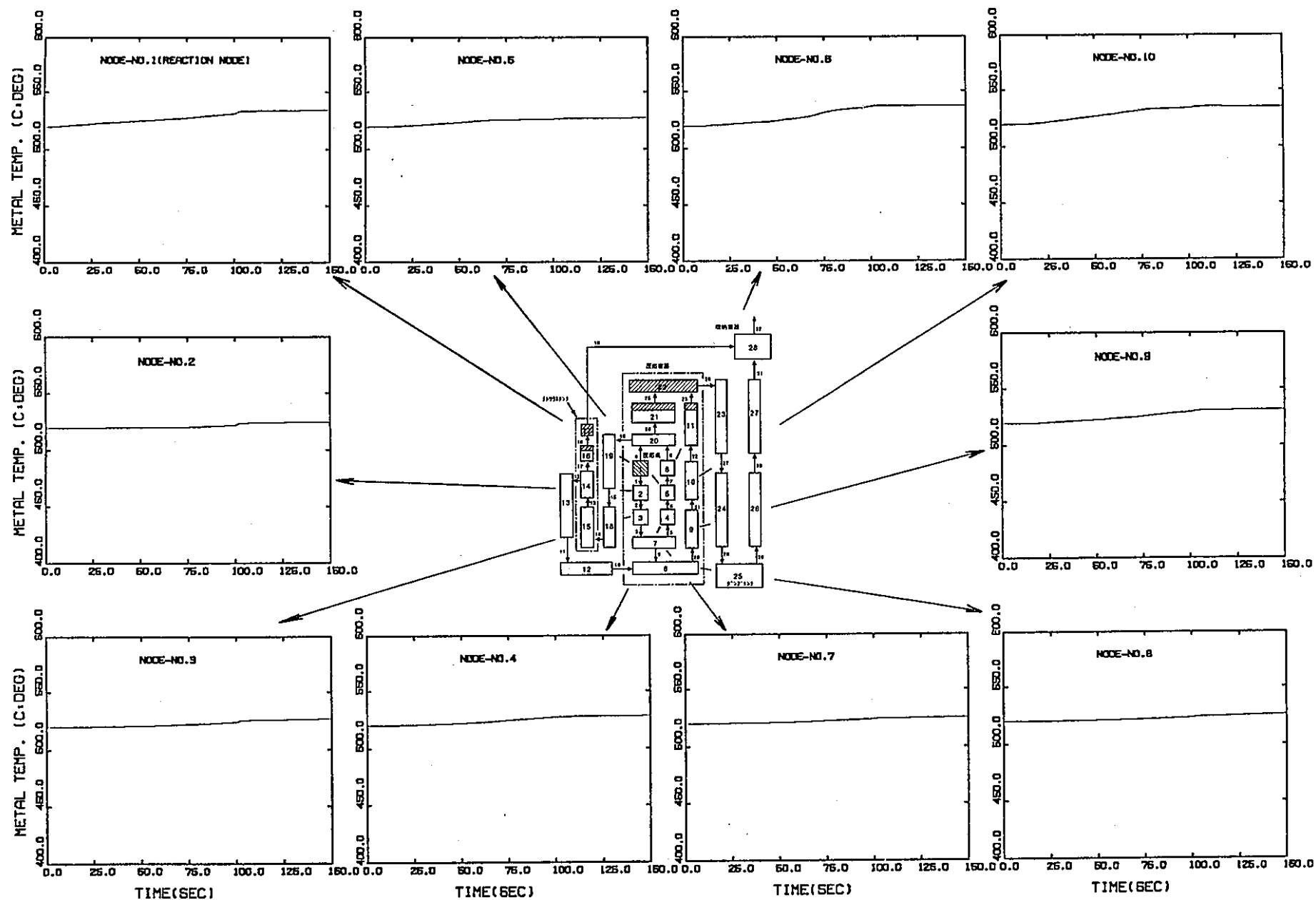


図 3. 2 - 4 (1 / 3) 構造材の温度変化挙動

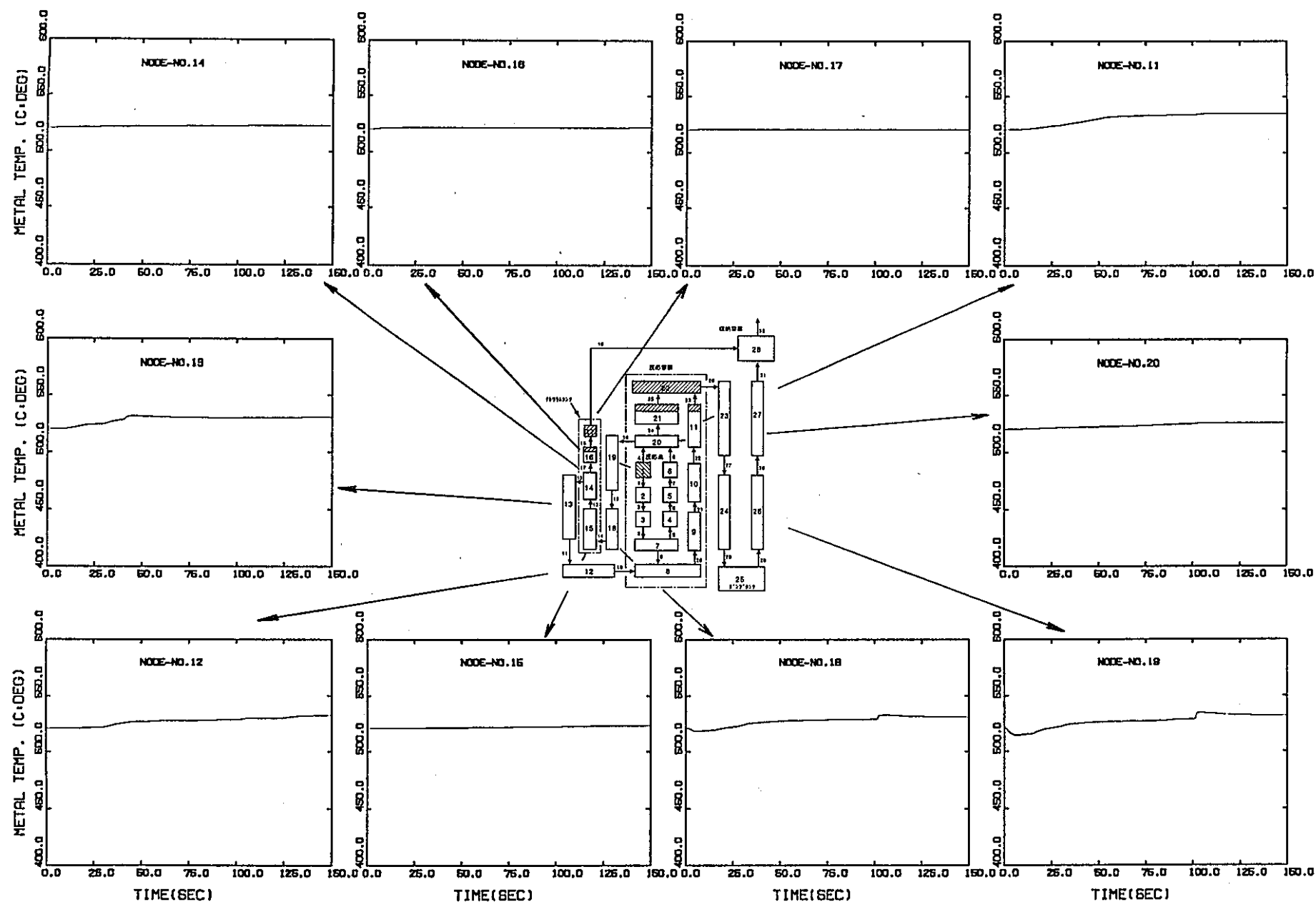


図 3. 2 - 4 (2 / 3) 構造材の温度変化挙動

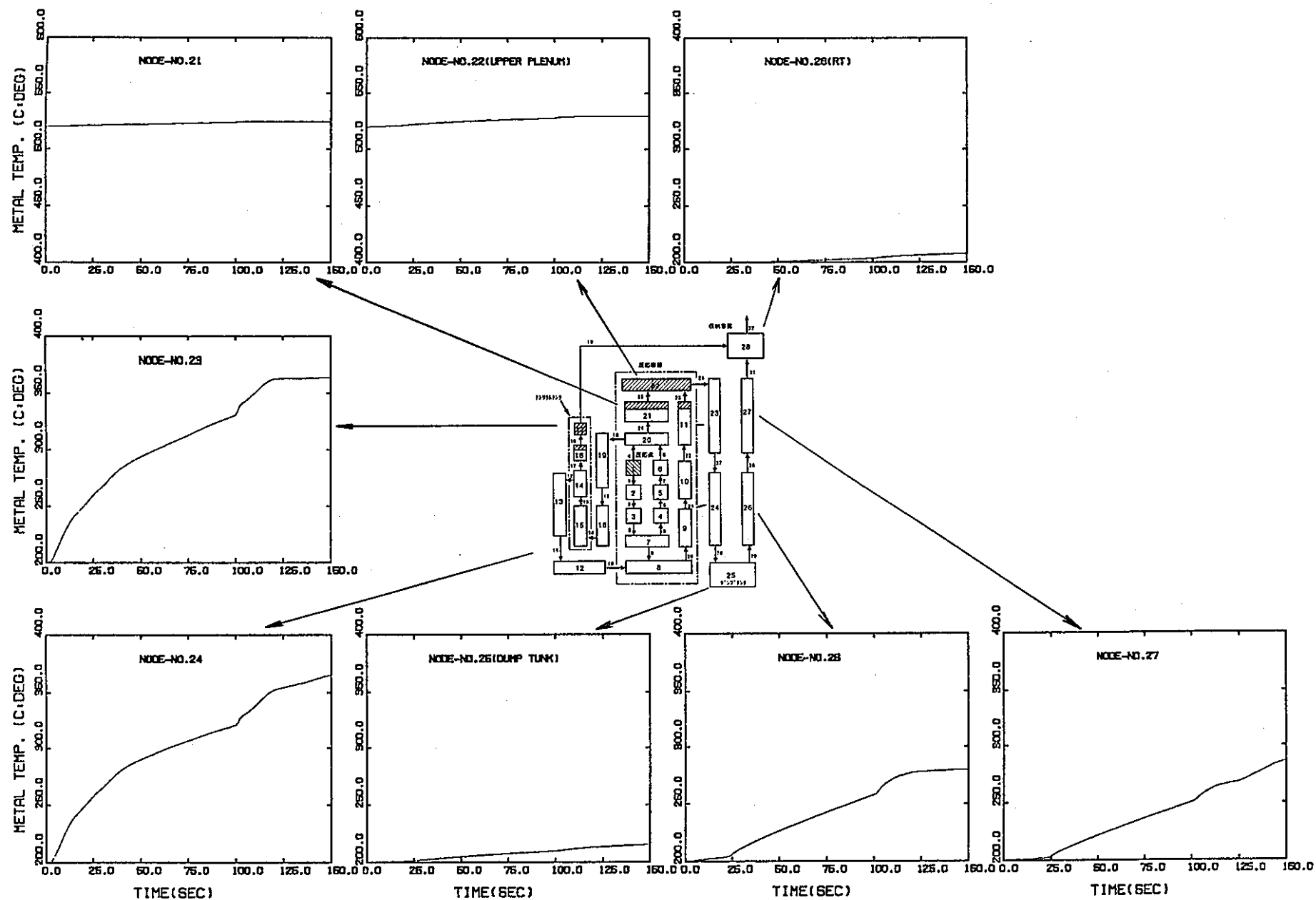


図 3. 2 - 4 (3 / 3) 構造材の温度変化挙動

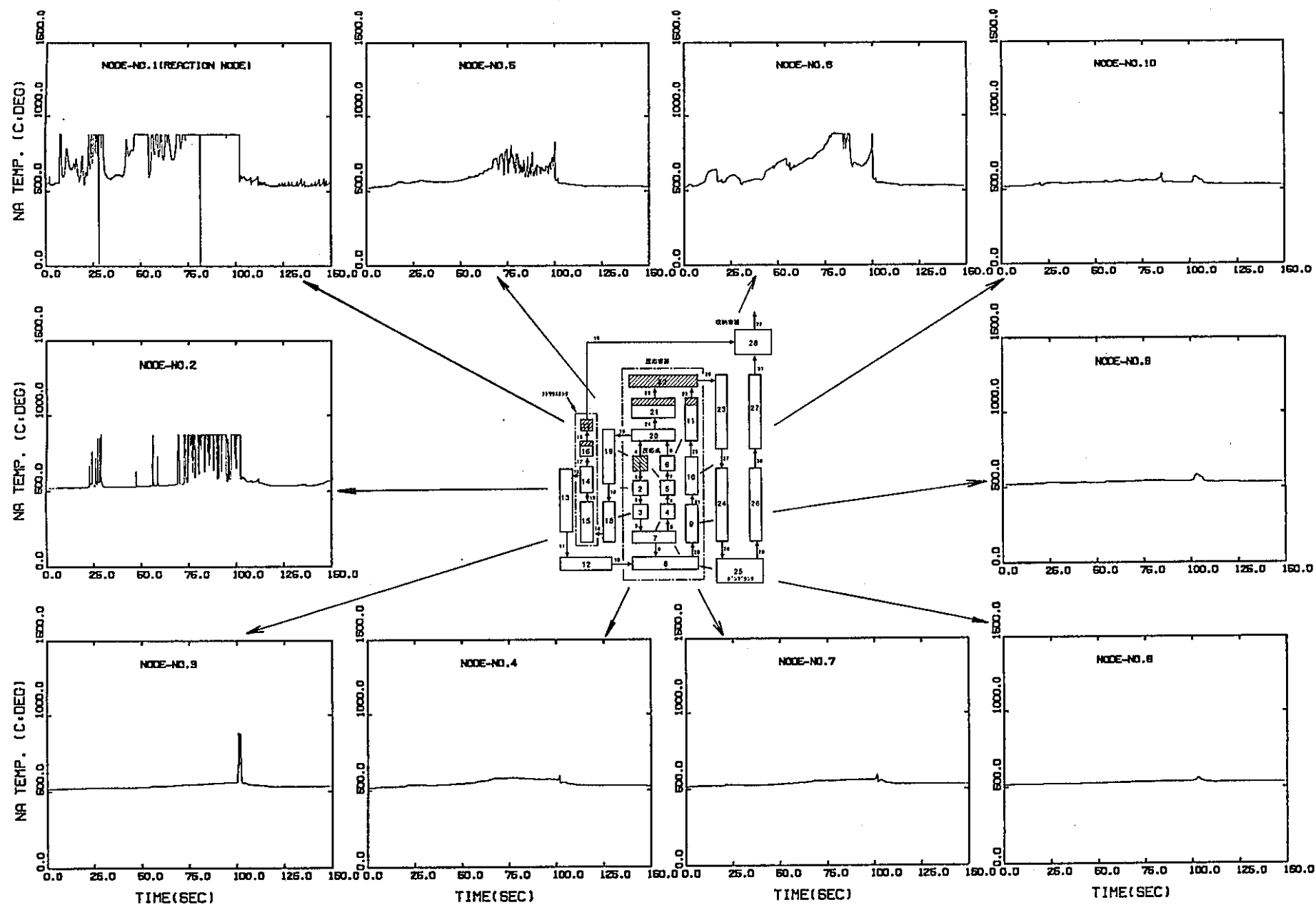


図 3. 2 - 5 (1 / 3) ナトリウムの温度変化挙動

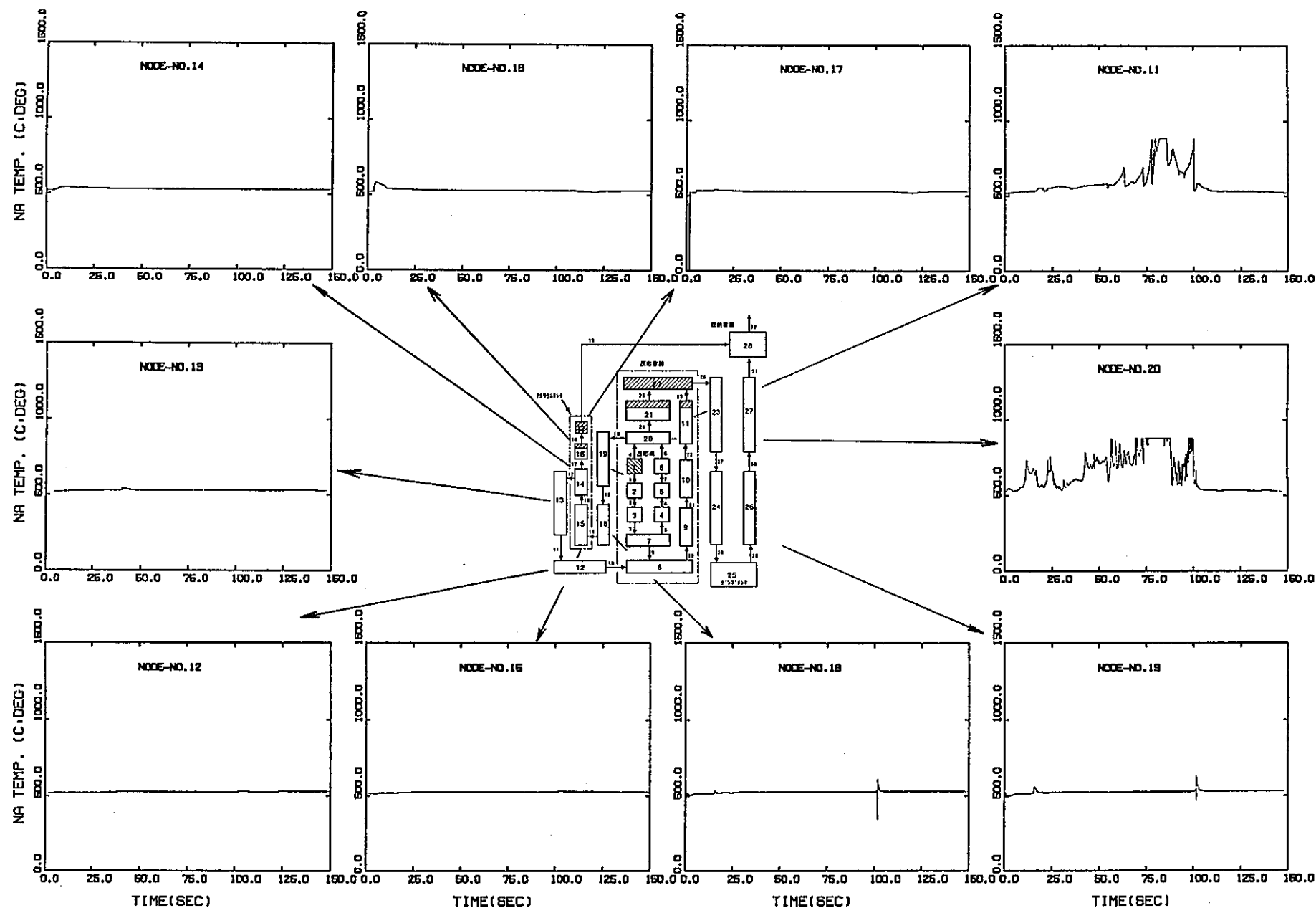


図 3. 2 - 5 (2 / 3) ナトリウムの温度変化挙動

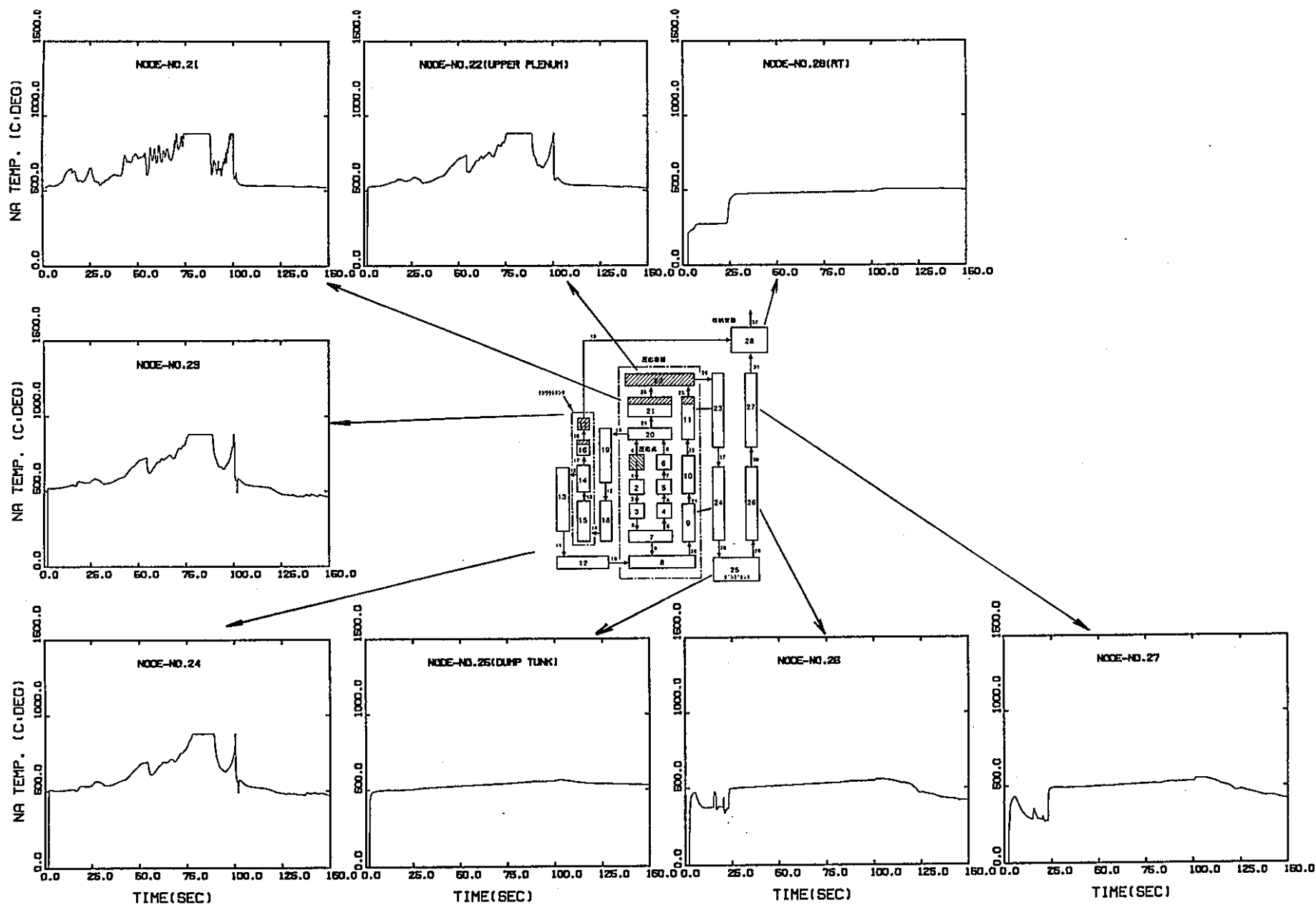


図 3. 2 - 5 (3 / 3) ナトリウムの温度変化挙動

3. 3 反応容器設計仕様の検討

3. 3. 1 基本構造の検討

(1) 設計条件

- ・ 設計圧力 20 kg/cm²g
- ・ 設計温度 555 °C^{*1}
- ・ 適用法規 労働省第一種圧力容器構造規格

* 1 : 実証炉ではナトリウム入口温度は520 °Cであるが、実用化までの将来炉でのナトリウム入口温度540 °Cを考慮して、これに余裕を持たせて555 °Cとする。

(2) Na流動上の要求に対する検討

Naの流れによる冷却効果を考慮して、試験対象部のNa側の流速を実機に合わせて反応容器内全面に流す場合は、反応容器のスケールを1/3とすると6 m³/min必要となるが、反応容器内の構造を考えると伝熱管支持構造物等により、実際は4セクタに分かれていることから、この内の1セクタにNaを流す構造とする。

(3) 基本構造

a. 反応容器のヘリカルコイル高さは、

- ・ リーク率1 kg/s程度のリークジェットの長さが700～1000 mm程度であり、ノズル方向をパラメータとすると、1000 mm以上の管束高さが必要である。
- ・ 水加熱器の合理化の観点から、反応容器では蒸気を加熱する必要がある。隣接管蒸気条件を達成するためには、2.2 m以上（水加熱器の検討参照）の管束高さが必要であり、設計余裕を考慮して3 m程度が望ましい。
- ・ 現状の試験施設の寸法制限、クレーンでの許容搭載荷重からは、管束高さ3 mが限度である。

以上の観点から管束高さを3 mとする。

b. 1 試験体で 180° 離れた位置で2回注水が可能な構造とする。このため注水管系及び隣接管系共2系統設置する。

c. 2 系統の運用は、1 回目試験時に、2 回目試験系統は高温ラプチャの防止を図るため、低圧のガスを封入しておく。

2 回目試験系統は、1 回目試験による影響を受けないように 1 回目試験系統と 2 回目試験系統はできるだけ離して配置する。さらに、1 回目試験によって影響を受けると考えられる範囲の 2 回目試験系統の伝熱管の対象範囲に薄いスリーブを設けるなどの防護処置が考えられる。また、1 回目の試験終了後、下記項目を実施後 2 回目の試験を実施するものとする。

- ① 2 回目試験系統をガス加圧し、ガス圧低下の有無によりリークを検出する。
- ② ①で 2 回目試験系統の隣接管において、リークが検出された管は 2 回目試験時通水させないものとし、1 回目試験系統の隣接管が 2 回目試験に代用できるか確認する。
- ③ リークが検出された隣接管本数と、代用できる隣接管本数により 2 回目試験を実施するか管束を交換するかの判断を行う。

d. 反応容器は管束部全 4 セクタのうち、1 セクタに Na を流動させること及び 1 試験体で 2 回試験を行うことから Na 入口ノズルを 2 本設置する。Na 入口管は反応容器外で分岐した後 2 本の入口ノズルと取合い、弁により注水セクタへの Na 流入を切り換える。

e. 反応容器には本体胴フランジを設置し、上部胴を交換可能なものとし、下部胴は流用するものとする。従って上部胴部分に注水管系、隣接管系ガス封入管系及び Na 入口ノズルを設置する。

f. 1 つの反応容器で 2 回の試験を計画していることから、できるかぎりコイル配列が近い条件での試験が望ましく、高温ラプチャを対象とした今回の試験では、ターゲットウェステージによる隣接管の貫通破損を起こさないようにする必要がある。

以上の観点を考慮した注水ノズル及びコイル配列を図 2. 2-4 に示す。

図 2. 2-4 のコイル配列は、図の左側の層から右側の層にかけて伝熱管設置位置を 1/2 ピッチ (25 mm) 毎に、下方向にずらしている。この場合、図か

らも分かるように上下反転しているものの、 0° 方向と 180° 方向は対象な配列となる。

また、試験のパラメータとしている注水ノズル方向については、図に示した矢印方向への注水が可能である。

(4) 伝熱管肉厚

SWAT-3 反応容器では、伝熱管が万一破損した場合にも反応容器胴が圧力バウンダリとなるため、伝熱管は第一種圧力容器として申請する必要はない。ただし、試験時には蒸気による内圧が加わるため、これに十分耐えられる厚さであるものとする必要がある。

伝熱管の肉厚は、内圧による発生応力に十分耐えられる厚さ + Na 側および水側のくされ代 + 曲げ加工代として考えられる。

ここで、Na 側および水側のくされ代は実証炉の SG の場合、それぞれ 0.3mm 、 0.1mm で、この値は 40 年運転相当である。これに対し SWAT-3 の場合は 1 回の試験に要する期間を仮に 1 ヶ月と想定しても、くされ代としては 0.001mm 程度であることから無視するものとする。内圧による発生応力は下式により求める。

$$\begin{aligned} \cdot \text{半径方向 } \sigma_r &= - \frac{k^2 / R^2 - 1}{k^2 - 1} P_a & k &= b / a \\ & & R &= r / a \\ & & b &= 15.9\text{mm} \\ & & a &= 12.6\text{mm} \\ & & r &= 14.25\text{mm} \\ \cdot \text{周方向 } \sigma_\theta &= \frac{k^2 / R^2 + 1}{k^2 - 1} P_a & P_a &= 175\text{kg/cm}^2 \\ & & & (1.75\text{kg/mm}^2) \end{aligned}$$

ここで、伝熱管肉厚を $3.3\text{mm}(*1)$ として考えると、それぞれの発生応力は

$$\begin{aligned} \sigma_r &= -0.8 \text{ kg/mm}^2, \quad \sigma_\theta = 6.7 \text{ kg/mm}^2 \quad \text{となり、応力強さは} \\ \sigma_\theta - \sigma_r &= 6.7 - (-0.8) = 7.5 \text{ kg/mm}^2 \quad \text{となる。} \end{aligned}$$

この時の許容応力は 12 kg/mm^2 (設計応力強さ $S_m: 540^\circ\text{C}$) であり、内圧による発生応力は許容値を十分下回っている。

従って、反応容器内伝熱管の板厚は、 3.3mm とする。ただし、伝熱管をヘリカルコイルに曲げ加工する際に、曲げ加工による減肉が 0.2mm あるため、直管での

肉厚は3.3mmに曲げ加工代0.2mmを加えた3.5mmとする。

* 1 実証炉SGの伝熱管の肉厚は $3.9\text{mm}^{+2.0\%}_{-0\%}$ で購入する計画である。

この場合、肉厚の最小値は3.9mmとなる。この肉厚からNa腐食代0.3mm、水側腐食代0.1mm及び曲げ加工代0.2mmを考慮し、肉厚は3.3mmとなる。

(5) 基本板厚

労働省第一種圧力容器構造規格より第14条(胴)を適用し、以下に示す計算により求める。

名 称		胴				
設 計 条 件	最高使用圧力	$P = 20 \text{ kg/cm}^2\text{g}$	腐食代	$\alpha = 0 \text{ mm}$		
	最高使用温度	$555 \text{ }^{\circ}\text{C}$	放射線検査	全線	20%	行わず
	使用材料	SUS304	継手効率	$\eta = 1.0$		
	許容引張応力	$\sigma_s = 8.16 \text{ kg/mm}^2$				
	胴内径	$D_i = 1300 \text{ mm}$				
最小厚さ		$t = \frac{PD_i}{200\eta\sigma_s - 1.2P} + \alpha$		$t = 16.2 \text{ mm}$		
使用厚さ		20 mm				

(6) 計装品

SWAT-3 試験では、高温ラプチャーによる破損挙動を把握する必要がある。高温ラプチャーの発生は材料の高温強度に依存し、その1次要因は、温度、応力、および時間である。

これらの要因のうち、反応容器内で計測する項目について、その計測目的、計測方法を以下に示す。

なお、反応容器内Naを冷却する伝熱管内水／蒸気の温度、圧力及び流量については反応容器外の配管部において測定するものとする。

a. 伝熱管温度

a) 目的

伝熱管温度は、高温ラプチャーの発生に直接影響することから、反応ジェットが及ぶと予想される範囲の伝熱管表面温度を測定し、伝熱管温度及び反応ジェット範囲を確認する。

b) 測定方法

伝熱管温度は伝熱管表面に貼り付けた熱電対によって計測する。反応ジェットは3次元的に広がると考えられるが、最も温度が高くなると考えられる注水方向を含む鉛直方向1断面で代表させるものとする。熱電対は伝熱管に反応ジェットがあたりやすい方向で、等間隔に配置するために伝熱管の同一方向に取り付ける。

ここで、図3.3-1に現SWAT-3のRun 19の反応部高温域を示す。Run 19において1000℃を超えた範囲は注水位置からの距離が最大長さ約350 mm、幅約200 mmまで及んでいる。この試験における注水率が1.85kg/secであり、本検討におけるリファレンスの注水率1.0 kg/secより大きいことを考え、熱電対はこの範囲をカバーするように設置するものとする。水平方向注水とした場合の伝熱管配列と熱電対取り付け位置案を図3.3-2に示す。図3.3-2 伝熱管温度測定用に取り付けた熱電対数は、各反応部セクタ34本ずつ、計68本である。

c) 仕様

現SWAT-3 Run19の反応域側主要伝熱管の温度変化を図3.3-3に示す。グラフの番号はそれぞれ図3.3-1で指定している熱電対番号に対応している。熱伝達測定用及び伝熱管温度測定用の熱電対は、SWAT-3のRun 19の

試験結果において伝熱管温度が最高で1400℃近くまで上昇していることから、1500℃程度まで測定できるものを設置するものとする。

b. Na 温度およびNa 側熱伝達率

a) 目的

Na 側温度および熱伝達率は、伝熱管の温度上昇に大きく影響する。Na の沸点は900℃前後であり、反応領域の温度が1000℃以上になるとNa の沸騰により反応領域の気相部分が増し、Na 側の熱伝達率が減少することが予想される。よって反応ジェットが及ぶ範囲においてNa 側の温度および熱伝達率を計測し、Na 温度と熱伝達率の関係を確認する。

b) 測定方法

反応ジェット範囲は伝熱管外表面に設置した熱電対で計測するため、Na 温度は、Na 側熱伝達率を計測する部分に限定する。Na 側熱伝達率は、伝熱管内外面温度と伝熱管外面近傍の反応ジェット温度を熱電対で測定して求める。熱伝達率の測定は、反応ジェットが最も遠くまで広がると予想される方向に沿って注水位置に比較的近い伝熱管と、離れた伝熱管の2本で行う。同じ伝熱管でも反応ジェットのあたる方向によって熱伝達率が異なる可能性のあることを考慮し、伝熱管1本あたり2ヶ所4方向で測定する。Na 側熱伝達率の測定位置は、図3.3-2に示すとおりである。Na 側熱伝達率測定用熱電対の数は、3本×4方向×2ヶ所×2本×2セクタ=96本となる。また、熱伝達測定用熱電対の取付は、現SWAT-3にて行われている方法を踏襲し、図3.3-4に示す通りとする。

c) 仕様

熱伝達率測定用の熱電対の仕様は、伝熱管温度測定用熱電対と同じものとする。

c. カバーガス温度

a) 目的

Na-水反応により発生する高温の反応生成物は、カバーガス部を介して放出系に導かれるが、これによるカバーガス部の温度上昇を測定する。

b) 測定方法

試験セクタの上部カバーガス部に1箇所、反対側に1箇所、熱電対を設置しカ

カバーガス温度を測定する。

c) 仕様

熱電対の仕様は、伝熱管温度測定用熱電対と同じものとする。

d. 反応容器内圧力

a) 目的

N a 側圧力が高いほど反応ジェット温度は高くなるとのデータがあることから、反応容器内圧力を測定する。なお、改造 S W A T - 3 では反応容器内カバーガス圧を実機 S G に合わせる構造対応とするため、圧力制御用に使用する。

b) 測定方法

反応容器上部鏡にカバーガス圧測定用圧力計の取付座を設け、これに圧力計を取り付け、カバーガス部の圧力を計測する。反応部セクタの圧力は、カバーガス圧と N a 液位を測定して間接的に評価するものとする。

c) 仕様

試験前に反応容器内に N a を入れる際は、反応容器内を負圧とすることにより容器内にナトリウムを流入させる。また、反応容器の最高使用圧力が $20\text{kg/cm}^2\text{a}$ であることから、圧力計の測定範囲は $-1\sim 25\text{kg/cm}^2\text{g}$ とする。

e. 反応容器内 N a 液位

a) 目的

反応部セクタの圧力をカバーガス圧と N a 液位を測定して間接的に評価するため、各反応部セクタの N a 液位を測定する。

b) 測定方法

反応容器上部鏡に設けた液面計取付用座に連続式液面計を設置し、反応部セクタの N a 液位を測定する。反応容器内は 4 セクタに分かれており、N a が流入するセクタと他のセクタとの流速及び圧力損失の差から N a 液位が異なることが考えられるため、試験を行う各セクタごとに 1 本ずつ連続式液面計を設置するものとする。

c) 仕様

N a 液位を測定する連続式液面計の測定範囲（定常値）は、運転時の N a 液位

の上下動を測定するのに十分なNL-1500、+500 mmとする。

以上をまとめて、反応容器に設置する計装品を表3. 3-1に示す。

(7) 引き抜き性

動燃殿での試験経験から、反応容器の胴部フランジは2箇所とし、メンテナンス性を確保する。反応容器はフランジにより、鏡部、上部胴部及び下部胴部に分割されるが、Na入口管、伝熱管支持梁および伝熱管等の内部構造物は、上部胴に取り付ける。

また、引き抜き交換性を容易に行えるよう胴部及び隣接管、ガス封入管はフランジ取合とする。

次に、試験による内部構造物の交換時の重量及び吊り上げ性を検討する。

反応容器全体重量は約22TONであり、繰り返して使用する下部胴、スカートを除いた引き抜き重量は約17.6TONである。この内、鏡部が約1.8TON、上部胴部が約15.8TONであり、現設備クレーン容量20TONを十分下回っている。

また、現設備クレーンの最大吊り上げ高さはFL15000mmであり、以下のように吊り上げ性の観点からも問題はない。

	高さ		許容吊り代
・鏡部	6 6 0 m m	<	5 3 6 5 m m
・上部胴部	6 5 3 0 m m	<	7 5 5 0 m m

以上より、反応容器の引き抜き性は十分である。

3. 3. 2 設計主要目及び構造図

3. 3. 1 の基本構造の検討から、反応容器の主要目及び基本構造図をそれぞれ表3. 3-2、及び図3. 3-5に示す。

ナトリウム入口管は試験を行う各セクタ毎に1本ずつ設ける。流入したナトリウムはヘリカルコイル部を下降し、下鏡板のナトリウム出口管台より流出する。

伝熱管本数は1回目、2回目試験系統でそれぞれ注水管1本、隣接管10本とし、ガス封入管38本と合わせて計60本である。

隣接管及び注水管は反応容器上部の管台（上から1、2段目）より挿入し、一度内筒中を下降後、ヘリカルコイル部（8層）を形成し上昇する。注水管先端には注水装

置を設け、設定圧力において注水するものとする。隣接管はヘリカルコイル部からさらに上昇し、管台（上から 3、4 段目）に溶接される。またガス封入管は上から 3、4 段目の管台から挿入し、ヘリカルコイル部を形成して下降後ヘリカルコイル下端においてプラグする。なお、伝熱管用管台及び Na 入口管台は反応容器本体と伝熱管の熱膨張差を吸収するためにサーマルスリーブ構造とする。

注水装置からの反応ジェットの吹き出し方向及びシュラウドによる跳ね返りも試験パラメータの一つとなり得るため、伝熱管の配置及び注水装置の蒸気噴出方向については図 2. 2-4 に示した伝熱管の配置図及び注水装置の蒸気吹き出し方向とする。

伝熱管は伝熱管支持装置、上、下部伝熱管支持梁を介して、内筒及びシュラウドとともに内部装置支持装置によって本体胴に接続される。

反応容器本体の支持はスカート構造によって行い、振れ止めを本体下部に設ける。

また、管束部の引き抜きを可能とするため、本体胴を上胴と下胴に分割するフランジを設ける。

上部鏡板には Na 入口管台、圧力計用座、連続式液面計用座、熱電対取出座及び搬送及び吊り金具を設ける。熱電対取出座数は今後の検討により決定するが、暫定として胴側と合わせて 3 組とする。また搬送及び吊り金具は 8 組設置するものとする。

表 3. 3 - 1 反応容器計装品

計器名称	員数	測 定 対 象	最高使用		測定範囲	計器形式
			圧力 atg	温度 °C		
温度計	68	伝熱管温度	20	555	0~1500°C	
温度計	96	N a 側熱伝達率	20	555	0~1500°C	
温度計	2	カバーガス温度	20	555	0~1500°C	
圧力計	1	カバーガス圧力	20	555	-1~25 atg	
液位計	2	N a 液位	20	555	NL-1500 ~500 mm	

表 3. 3 - 2 反応容器主要目

項 目	単 位	仕 様
型 式	—	円筒縦置型
最高使用圧力	kg/cm ² g	2 0
最高使用温度	℃	5 3 5
基 数	—	1
胴 径	mm	1 3 0 0 (内径)
全 長	mm	7 0 0 0
肉 厚	mm	3 0
材 質	—	S U S 3 0 4
伝熱管 外径×肉厚	mm	3 1. 8 × 3. 5
伝熱管材質	—	Mod. 9Cr-1Mo鋼
伝熱管本数 (注水管) (隣接伝熱管) (ガス封入伝熱管)	— — — —	6 0 (2) (2 0) (3 8)
コイル高さ	mm	3 0 0 0
伝熱管ピッチ (径／軸)	mm	5 0 ／ 5 0
コイル層数	—	8
コイル径 (内層／外層)	mm	4 0 0 ／ 1 1 0 0
ナトリウムインベントリ	m ³	5. 5

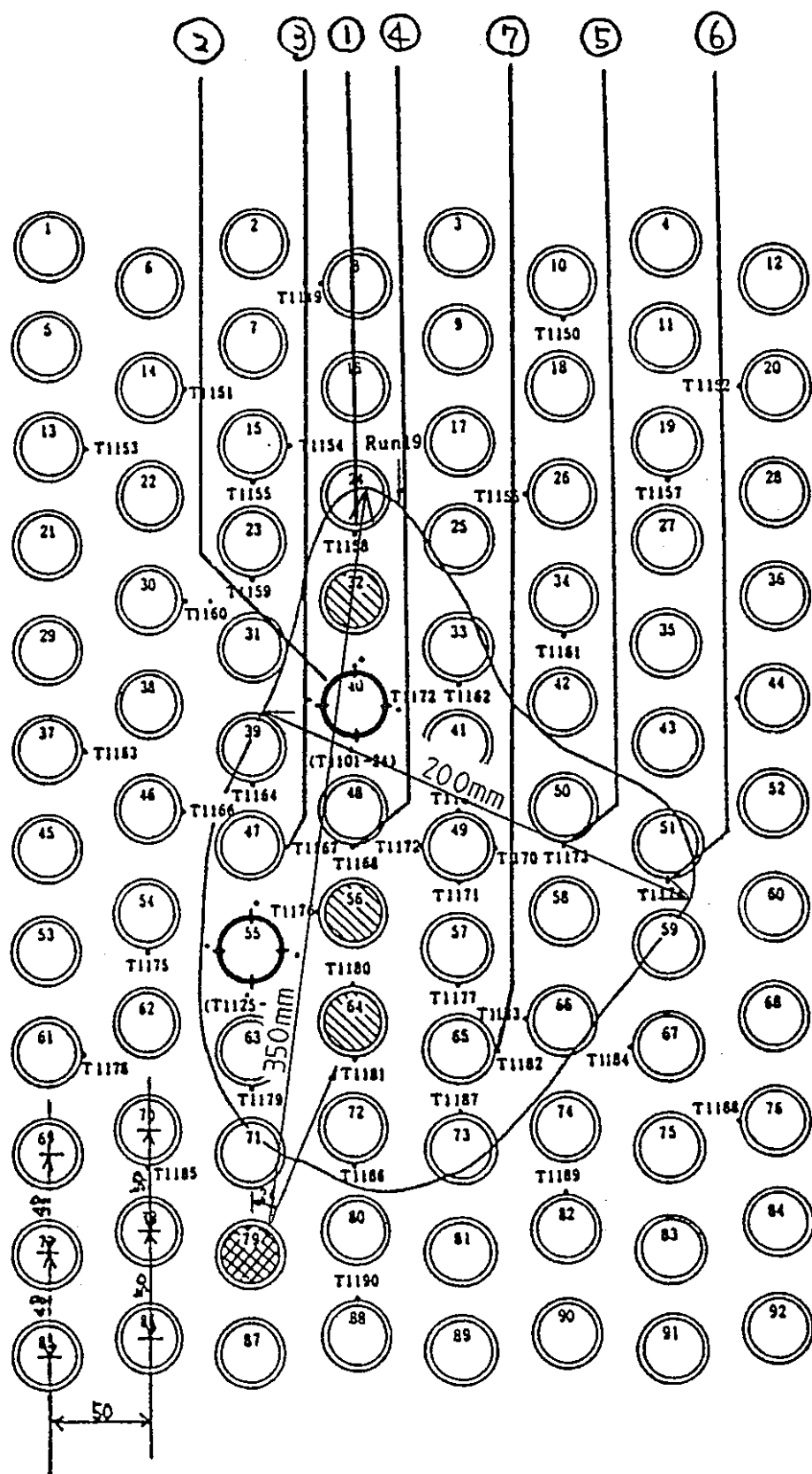


図 3. 3-1 現 SWAT-3 Run19 反応部高温域 (1000℃以上)

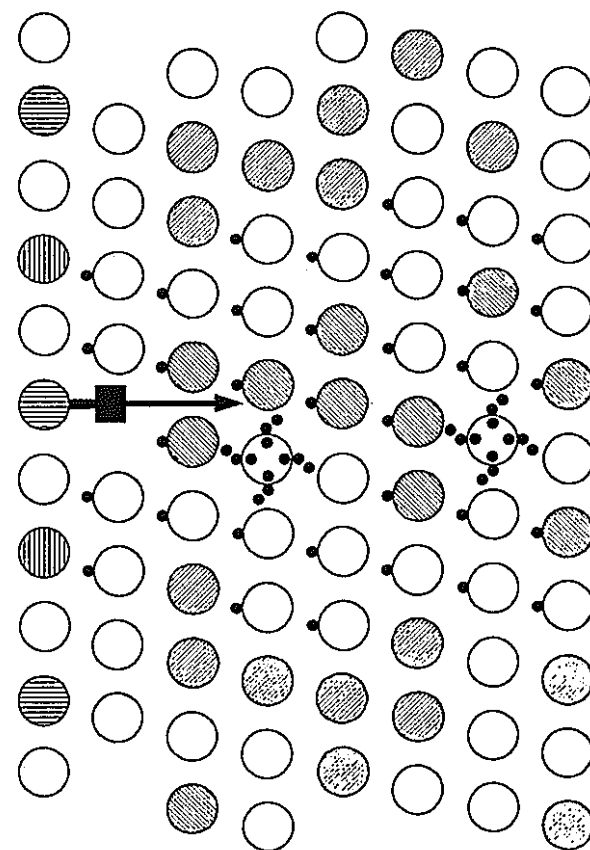
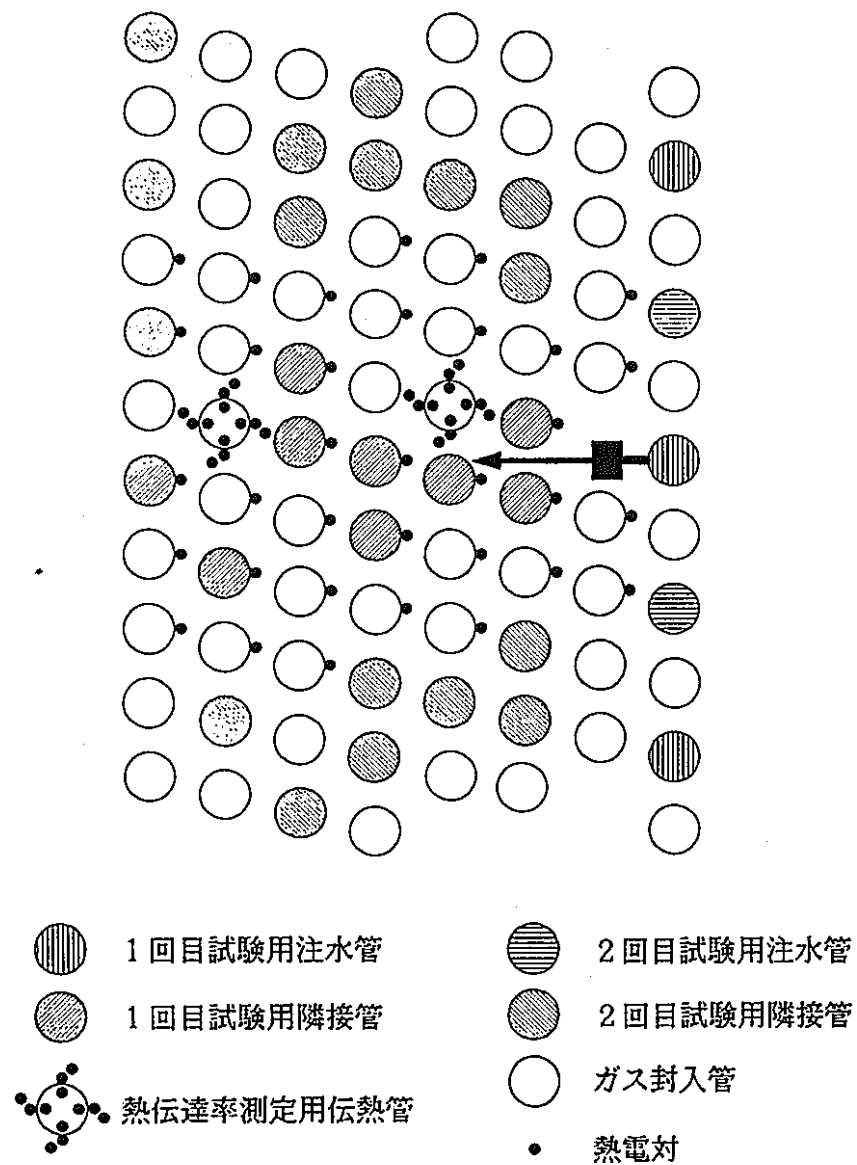
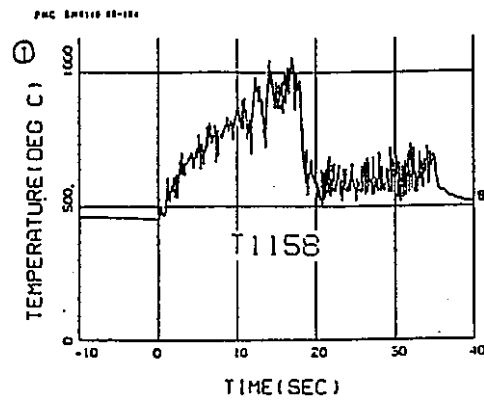
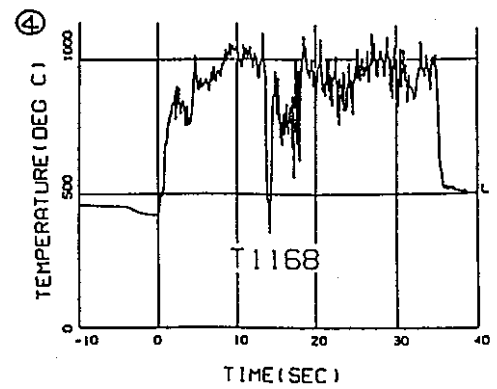


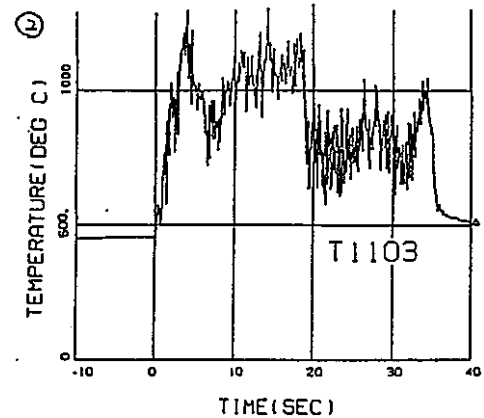
図 3. 3 - 2 注水ノズル方向及び伝熱管配列



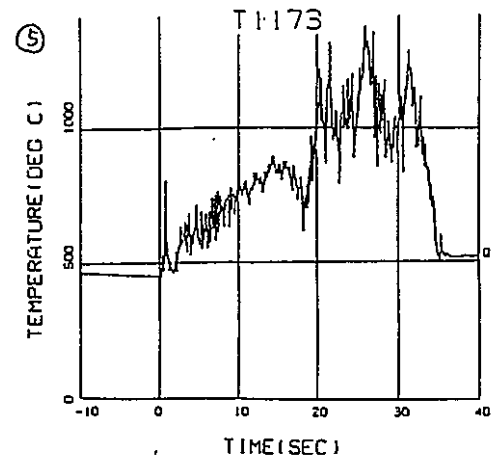
Temperature in Tube Bundle Region (Run 19)



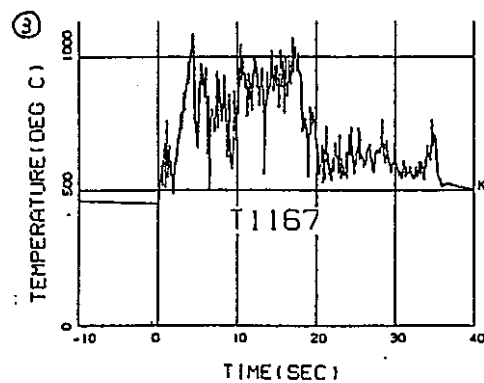
Temperature in Tube Bundle Region (Run 19)



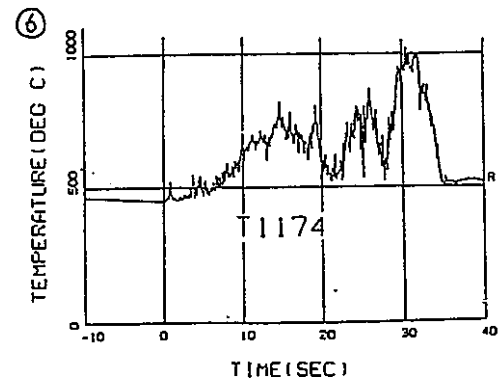
Temperature in Tube Bundle Region (Run 19)



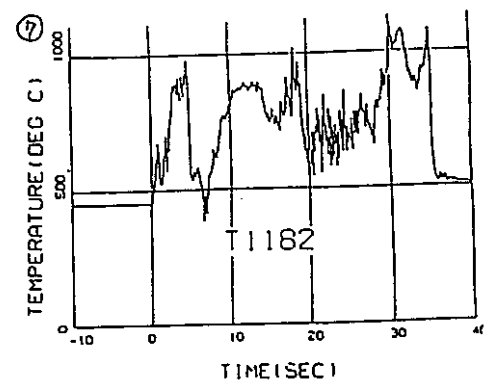
Temperature in Tube Bundle Region (Run 19)



Temperature in Tube Bundle Region (Run 19)



Temperature in Tube Bundle Region (Run 19)



Temperature in Tube Bundle Region (Run 19)

図 3. 3 - 3 現 SW A T - 3 Run19 反応域側主要伝熱管の温度変化

3.3-14

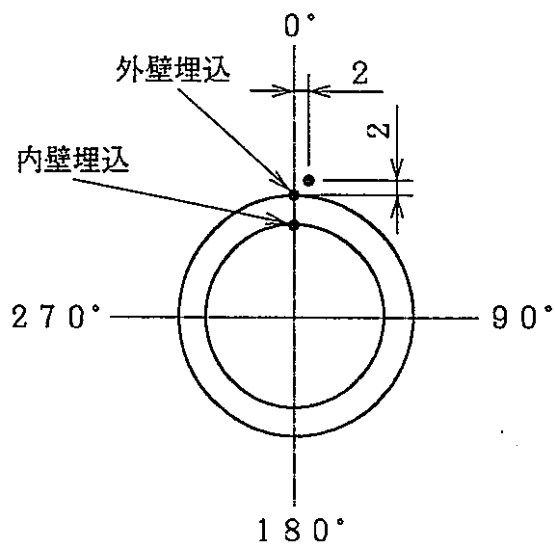
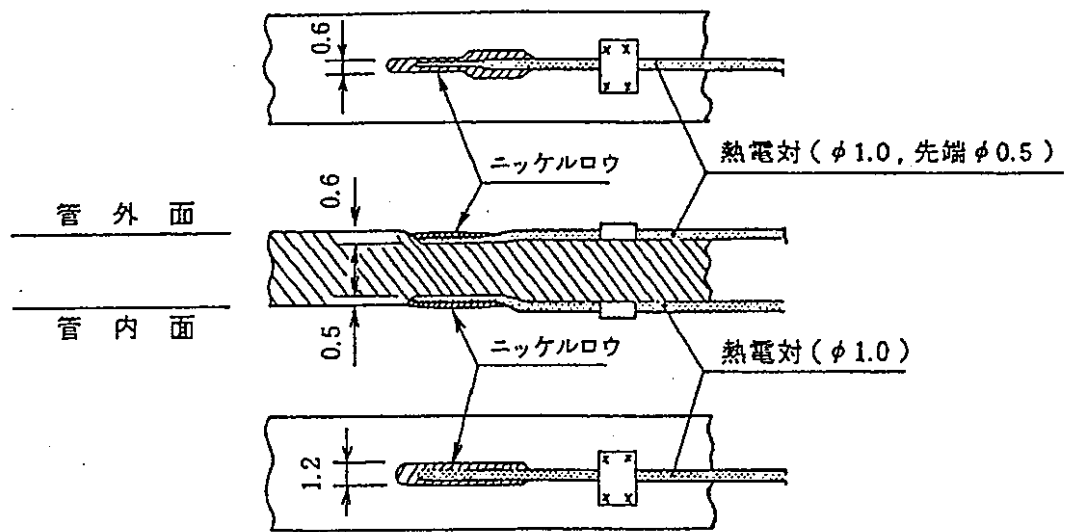
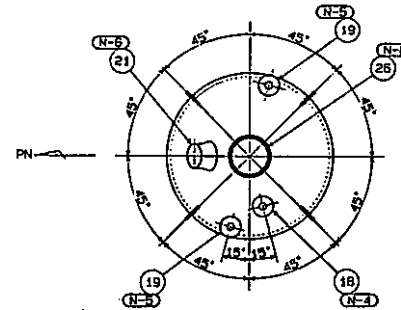
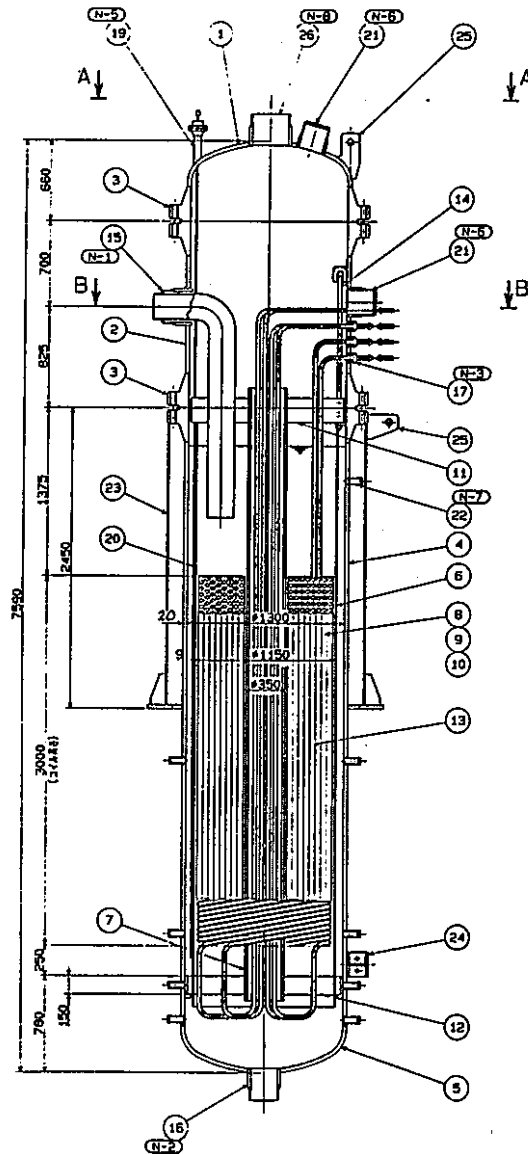
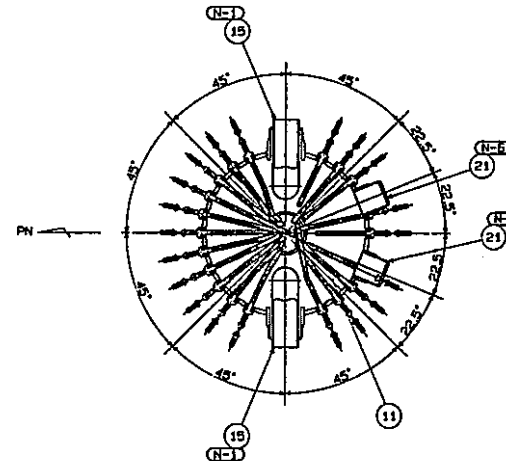


図 3. 3 - 4 熱伝達率測定用熱電対測定方法

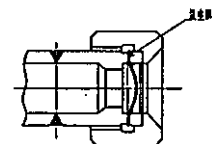
3.3-16



A-A



B-B



注水装置詳細

26	頂部圧力調整弁	1	SUSF304	上開閉弁 120
25	頂部圧力調整弁	8	JIS, SUS304	上開閉弁 2
24	頂部圧力調整弁	4	JIS, SUS304	上開閉弁 2
23	頂部圧力調整弁	1	JIS, SUS304	上開閉弁 2
22	頂部圧力調整弁	15	JIS, SUS304B	上開閉弁 18
21	頂部圧力調整弁	3	SUSF304	上開閉弁 #210
20	頂部圧力調整弁	2	JIS, SUS304	上開閉弁 2
19	頂部圧力調整弁	2	SUSF304	上開閉弁 28
18	頂部圧力調整弁	1	JIS, SUS304	上開閉弁 28
17	頂部圧力調整弁	80	SUSF304	上開閉弁 #81.8
16	頂部圧力調整弁	1	SUSF304	上開閉弁 88
15	頂部圧力調整弁	2	SUSF304	上開閉弁 88
14	頂部圧力調整弁	4	JIS, SUS304	上開閉弁 88
13	頂部圧力調整弁	4	SCHV4	上開閉弁 88
12	頂部圧力調整弁	4	SCHV4	上開閉弁 88
11	頂部圧力調整弁	4	SCHV4	上開閉弁 88
10	頂部圧力調整弁	2	Mod. 9cr-1Mo	上開閉弁 88
9	頂部圧力調整弁	20	Mod. 9cr-1Mo	上開閉弁 88
8	頂部圧力調整弁	38	Mod. 9cr-1Mo	上開閉弁 88
7	頂部圧力調整弁	1	SCHV4	上開閉弁 88
6	頂部圧力調整弁	1	JIS, SUS304	上開閉弁 88
5	頂部圧力調整弁	1	JIS, SUS304	上開閉弁 88
4	頂部圧力調整弁	1	JIS, SUS304	上開閉弁 88
3	頂部圧力調整弁	4	JIS, SUS304	上開閉弁 88
2	頂部圧力調整弁	1	JIS, SUS304	上開閉弁 88
1	頂部圧力調整弁	1	JIS, SUS304	上開閉弁 88

主要部品一覧表

番号	品名	材質	数量	単位
N-1	燃料要素	88	2	
N-2	燃料要素	88	1	
N-3	燃料要素	#B1.8	2	
N-4	燃料要素	#B1.8	40	A020, A020
N-5	燃料要素	#B1.8	38	
N-6	燃料要素	28	1	ケーブル固定用
N-7	燃料要素	28	2	
N-8	燃料要素	#210	3	
N-9	燃料要素	18	15	
N-10	燃料要素	120	1	

*1 数量は概算値です。

型式	内径
最大内径	20kg/cm ²
最大内径	555°C
最大内径	1
最大内径	50mm/50mm
最大内径	0
最大内径	400mm/1100mm
最大内径	5.5m

図 3.3-5 反応容器構造図

1/20, 1/5 1/1	動力炉・核燃料開発事業団	反応容器構造図
SWAT-3基本設計		
IHI	5535-349/06BA4282	411K101

株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

3. 4 ダンプタンクの設計

3. 4. 1 基本構造の検討

(1) 設計条件

- ・設計圧力 20 kg/cm²g
- ・設計温度 555 °C*¹
- ・適用法規 労働省第一種圧力容器構造規格

* 1 : 実証炉ではナトリウム入口温度は520 °Cであるが、実用化までの将来炉でのナトリウム入口温度540 °Cを考慮して、これに余裕を持たせて555 °Cとする。

(2) 機能条件

SWAT-3 試験では、実証炉の放出系の放出特性確認も試験目的に含まれる。従って、可能な範囲で実証炉の放出系を模擬する必要がある。

実証炉の放出系は、SGカバーガス中からの放出系をダンプタンクに導き、ダンプタンクで気液の粗分離を行った後に、サイクロンセパレータでナトリウムミストの分離を行い水素を大気放出するものとしている。従って、ダンプタンクには、Na-水反応時の反応生成物、及びナトリウムを収納する。

以上より、ダンプタンクに要求される機能をまとめて以下に示す。

- ・Na-水反応時に流入する反応生成物（ナトリウム化合物）、及びナトリウムが収納できること
- ・Na-水反応時に高温となった反応生成物（ナトリウム化合物及び水素）の衝撃荷重及び熱荷重に対してバウンダリが健全であること。
- ・気液の粗分離ができること

(3) 基本構造

上記機能条件を満足するための、基本構造を検討した。

a. 必要容量

収納容器兼用ダンプタンクとすることから、SWAT-3 試験ループの全容量のナトリウムが収納できる容量とする。

必要ナトリウム量を設定するに際の注意事項として、反応容器内での蒸気と

の熱交換により出口ナトリウムは低下するため、試験ループを一巡した低温ナトリウムが反応容器に流入するのを防ぐ必要がある。

このため、現模擬過熱器あるいは現反応容器をナトリウムタンクとして流用する必要がある。現模擬過熱器を流用してナトリウムタンクとした場合をケース1、現反応容器を流用した場合をケース2とした時の各部ナトリウムインベントリとナトリウムが一巡するのに要する時間を以下の表に示す。

	配管 (1)	現模擬過熱器 (2)	現反応容器 (3)	Na循環ループ° Naインベントリ (1)+(2)+(3)	循環ポンプ 容 量 (m³/min)	試験可能 時間
ケース1	1.1	1. 5	——	2. 6	1. 5	105秒
ケース2		——	5. 5	6. 6		265秒

	Na加熱器 (4)	コールドトラップ° (5)	新反応容器 (6)	その他 + 余裕 (7)	Naインベントリ (1)+…+(7)
ケース1	0. 7	1. 7	5. 5	3. 5	1 4
ケース2					1 8

ここで、今年度の試験条件検討では、試験時間の最大継続時間は160秒（一定リーク率の注水時間100秒＋ブロー最大時間60秒）である。

ケース1の場合、試験可能時間は105秒であり試験条件を満足することはできない。一方、ケース2では、試験可能時間265秒であり試験条件を十分満足する。

以上より、ダンプタンクで収納するナトリウムの全容量は18m³とし、カバーガス空間を含めたダンプタンクの内容積は22m³とする。

b. 熱衝撃対策

- ・ナトリウム－水反応時にダンプタンクに流入する反応生成物がタンク内壁へ飛

散することによる熱衝撃を防止するため、タンク内の配管にスリーブを設け反応生成物をタンク下面に導き、そのスリーブ下部にはサドルに支持されライナを介してタンクに固定する構造とする。

- ・ 反応生成物の急激な流入による熱過渡対策として、ノズル部にはサーマルスリーブ構造を採用する。

c. 気液分離

昨年度予備検討の中では、ダンプタンクにミストセパレータを設置し、ダンプタンクでミスト分離を行う検討を実施したが、11本破断時の反応生成物量が多量であるため、高速原型炉「もんじゅ」のセパレータに要求された「粒子径 10μ 以上について95%以上を除去」の機能を満足するセパレータをSWAT-3ダンプタンクに設置するのは困難である。このため、ダンプタンクと現収納容器のサイクロンセパレータを併用し、除去効率を確保するものとしている。

一方、現状までの、実証炉設計ではダンプタンクでのミストセパレートに対する十分な検討は詰められておらず、ダンプタンクでは気液の粗分離機能が要求されているのみである。

ダンプタンクにミストセパレータを設置し、サイクロンセパレータの合理化を図ることは将来的に魅力ある項目ではあるが、ダンプタンクでの気液分離特性に対する知見及びSWAT-3試験施設には既にセパレータを有した収納容器が設置されていることを考慮すると、ダンプタンクにミストセパレータを設置する必要はないと考えられる。従って、放出特性の確認試験は、ダンプタンクでの気液分離特性の確認に着目するものとし、ミストセパレータは設置しないものとする。

更に、実証炉設計H6年度では、ダンプタンクで粗分離、サイクロンセパレーターでミスト分離とするのがリファレンス設計となっている。

なお、Na-水反応のように爆発的な反応生成物流入に対するタンクでの気液分離特性に対する知見は現状有していないが、一般的に設計されている分離タンクでの分離特性はタンク内でのガスの流速（SWAT-3ダンプタンクでは上方向）が影響し、流速が遅い程分離効率は高い。ダンプタンクは大きな容積を有することから、反応水素の流速はダンプタンクで減速されるため、遠心分離等の特別な構造対応なしに、気液分離される可能性が高い。添付3.4-1に気液分離に関する検討を示す。

d. タンク形式

SWAT-3 試験施設の条件下で上記 a. ～ c. の検討に適するタンク形式を選定する。

タンク形式として考えられる横置円筒型と縦置円筒型の各形式比較を以下の表に示す。

タンク形式	縦置円筒型	横置円筒型
スペース	上部据付空間が必要 ただし敷地面積は小	敷地面積大 ただし上部空間は小
現設備流用度	全て新規製作	現基礎流用の可能性あり*1
基礎	支持構造はスカート式で基礎ボルトにより荷重を均等に受ける	支持構造は脚式でタンク熱膨張を吸収する固定方法（例、長穴）が必要。
耐流体力	完全固定の基礎ボルトにより荷重を均等に受ける。	遠心分離機能を必要としないため、ねじり荷重は発生しないことから、支持構造に特別な構造対応をする必要はない。
気液分離	遠心分離機能により高い分離効率が得られる。ただし、遠心分離機能を有さない場合でも、粗分離は可能と考えられる。	遠心分離機能を有する構造とは適合しない。ただし、遠心分離はなくても粗分離は可能と考えられる。
耐震性	転倒モーメントによる基礎ボルトの引抜力に対し十分なボルト設計とする。必要に応じタンク上部にスナッパを設置する。	重心が低く、転倒モーメントは小さい。
配置	ダンプタンクへの配管配置を全面的に見直す必要がある。	現状の配管配置でダンプタンクへのドレン性は確保できる。

*1：ただし、流用に当たっては、現状の基礎の強度が十分であることの確認が必要である。不足している場合には、建屋施設としての対応を要する。

図 3. 4-1 に、縦置きタンクの形状・寸法を示すが（寸法設定根拠を添付 3. 4-2 に示す）、現状設備での高さ制限である、F L 0 m を超えており、試験装

置へのインパクトが大きい。上表より、

- ・ 現設備（基礎及び配管配置）の流用が容易である
- ・ 流体力、熱衝撃及び地震等の荷重に対する健全性に有意な差がない
- ・ 気液分離性能も粗分離であれば有意な差はない

ことから、現時点では横置円筒型を採用する。

e. 胴径及び全長

現基礎を流用する観点から、胴全長を大幅に変更しないものとする。よって径、全長ともに現ダンプタンクから微増することで内容積 22m^3 を確保できる以下の寸法とする。

	寸法 (mm)
胴内径	2 7 0 0
全長	4 3 0 0

* 鏡板は1/2半楕円とする。

f. 基本板厚

労働省告示第66号第1種圧力容器構造規格より第14条（胴）、第27条（鏡）を適用し、以下に示す計算により求める。

名 称		胴				
設 計 条 件	最高使用圧力	$P = 20 \text{ kg/cm}^2\text{g}$	腐食代	$\alpha = 0 \text{ mm}$		
	最高使用温度	$555 \text{ }^{\circ}\text{C}$	放射線検査	全線	20%	行わず
	使用材料	SUS304	継手効率	$\eta = 1.0$		
	許容引張応力	$\sigma_s = 8.16 \text{ kg/mm}^2$				
	胴内径	$D_i = 2700 \text{ mm}$				
最小厚さ		$t = \frac{PD_i}{200\sigma_s\eta - 1.2P} + \alpha$		$t = 33.6 \text{ mm}$		
使用厚さ		38 mm				

名 称		半 楕 円 形 鏡 板				
設 計 条 件	最高使用圧力	$P = 20 \text{ kg/cm}^2\text{g}$	腐食代	$\alpha = 0 \text{ mm}$		
	最高使用温度	$555 \text{ }^{\circ}\text{C}$	放射線検査	全線	20%	行わず
	使用材料	SUS304	継手効率	$\eta = 1.0$		
	許容引張応力	$\sigma_s = 8.16 \text{ kg/mm}^2$				
内面長径		$D = 2700 \text{ mm}$	内面短径の1/2	$h = 675 \text{ mm}$		
形状係数		$V = \frac{1}{6} \left\{ 2 + \left(\frac{D}{2h} \right)^2 \right\}$		$V = 1$		
最小厚さ		$t = \frac{PDV}{200\sigma_s\eta - 0.2P} + \alpha$		$t = 33.2 \text{ mm}$		
使用厚さ		38 mm				

g. ドレン時ナトリウム液位

上記 f. でのタンク寸法及びナトリウムインベントリから、タンク内ナトリウム最高液位はタンク中心線から+880mm の位置となる。

h. 管台

ダンプタンクには、次の管台を設ける。

- ・ナトリウムドレン管台（反応容器用、ナトリウムタンク用、収納容器用、純化系用）
- ・ナトリウムチャージ管台
- ・カバーガス管台
- ・タンクドレン管台
- ・マンホール管台（生成ガス出口管台と兼用する。）
- ・反応生成物入口管台（反応容器下部及びカバーガス空間より）

(5) 材質

SWAT-3のダンプタンクは高温の反応生成物が流入すること及び反応生成物を貯留することから、高温強度に優れ、しかも良好な耐アルカリ腐食性を有する材質とする必要がある。

しかしながら、耐アルカリ性に対しては、本試験によって生ずる反応生成物・ナトリウム混合物中のアルカリ濃度はさほど高くないことが想定され影響度は低いと考えられる。文献等では、100℃、NaOH濃度15%の水溶液中で腐食率0.58mm/yearというデータもある。本設備における試験では5000kgのNaに対し約130kgの水が反応するため濃度は約3%程度であること及び板厚の余裕代を約4mmとっていることから問題とはならないと考える。また反応によって生成するNaOHは水溶液中ではないためにイオンの状態ではないため、本試験におけるアルカリ腐食の問題はないと考える。試験条件によっては、高温ラプチャーによる隣接管破損でNaOH濃度が上昇する可能性もあるが、現状までの知見では高温ラプチャーが生じる可能性があるのはブローダウン中であり、それ程大量の蒸気が反応容器内に流入することはないと考えられる。

以上より、ダンプタンクの材質は高温強度に優れるSUS304とする。

(6) 本体付計装の検討

反応生成物は2相流であるため直接流入する流量を計測することは不可能であるが、放出特性を間接的に推定するための、以下の計装品を設置するものとする。

- ・ 圧力計 1 個
- ・ 温度計（タンク下部及びカバーガス空間） 各 1 個
- ・ 液位計 1 個

a. ダンプタンク内カバーガス圧力

ダンプタンクから収納容器への放出は、R/Dの開放によって行われる。

R/Dはダンプタンク内カバーガス圧の上昇によって開放されるため、本タンク内カバーガス圧力を測定するものとする。

b. ダンプタンク内温度

反応生成物は2相流であるため、直接温度を測定することはできない。よってカバーガス温度とダンプタンク下部温度を測定するものとする。

c. ダンプタンク内液位

連続式液位計によりダンプタンク内に貯留される反応生成物の液位を測定するものとする。

3. 4. 2 設計主要目及び構造図

3. 4. 1 基本構造の検討から、ダンプタンクの主要目及び基本構造図をそれぞれ表 3. 4 - 1、及び図 3. 4 - 2 に示す。

ダンプタンクは両端を1/2 半楕円型鏡板を有した横置円筒型で、現基礎上に据え付けられる。タンク内部には反応生成物流入による熱衝撃の緩和を図るため下面にライナを設け、系統からドレンされるナトリウム及び反応生成物は全てサドル上に落下する。反応生成物入口管台下にはノズル端での反応生成物飛散を防止する目的でスリーブを設け流れをタンク下面に導いており、そのスリーブ下部はサドルに支持されライナを介してタンクに固定される。

タンク中央には生成ガス出口管台を設けるものとする。

タンク容量は 22m^3 であり、ナトリウム系全量約 18m^3 を全て貯留した上、カバーガス空間を 4m^3 確保している。

表 3. 4 - 1 ダンプタンク主要目

項 目	単 位	仕 様
型 式	—	円筒横置型
最高使用圧力	kg/cm ² g	2 0
最高使用温度	℃	5 5 5
基 数	—	1
胴 径	mm	2 7 0 0 (内径)
全 長	mm	4 3 0 0
肉 厚 (一般部)	mm	3 8
内 容 積	m ³	2 2
材 質 (本 体)	—	S U S 3 0 4
材 質 (タンク内配管)	—	S U S 3 0 4 T P

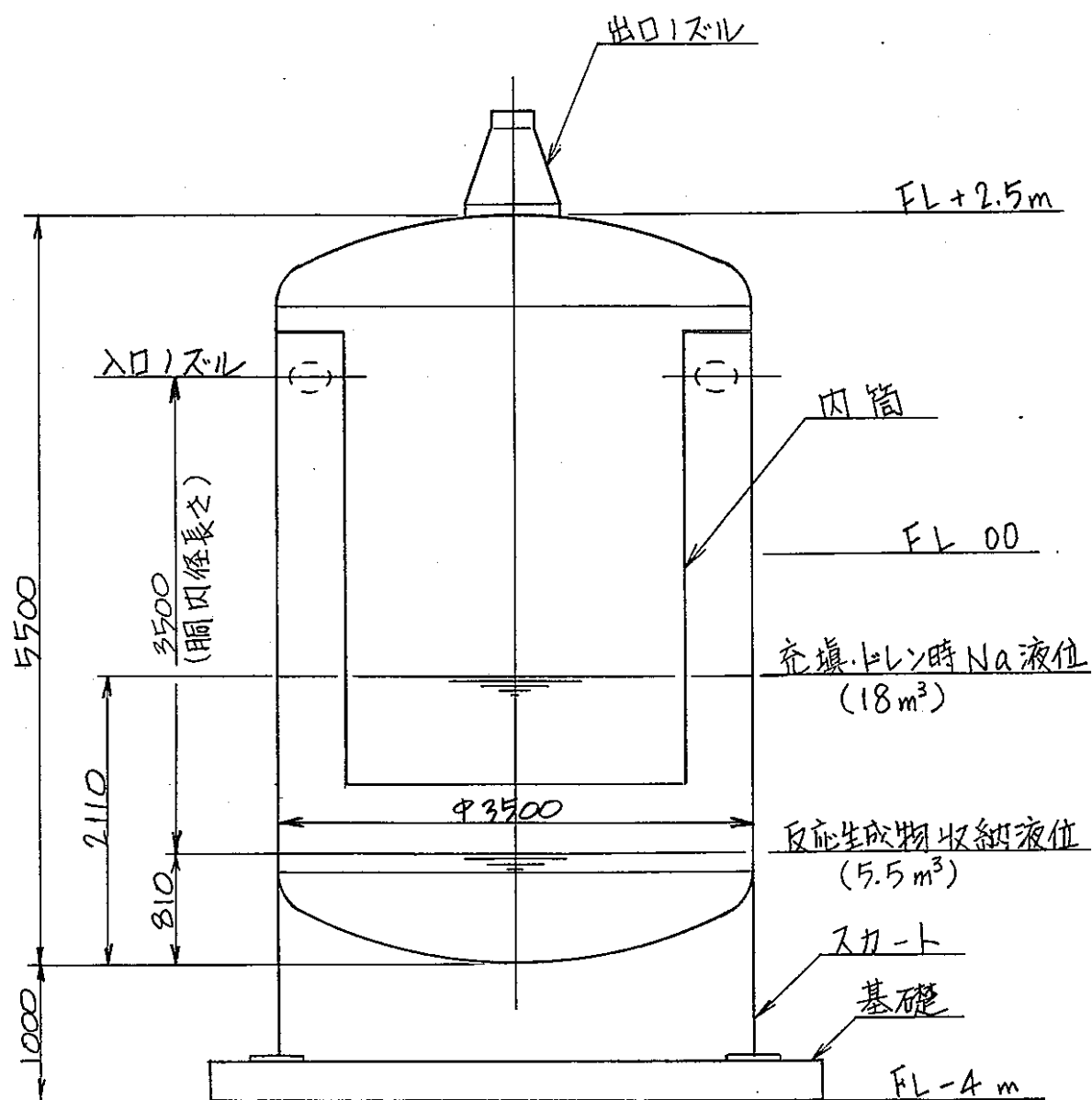
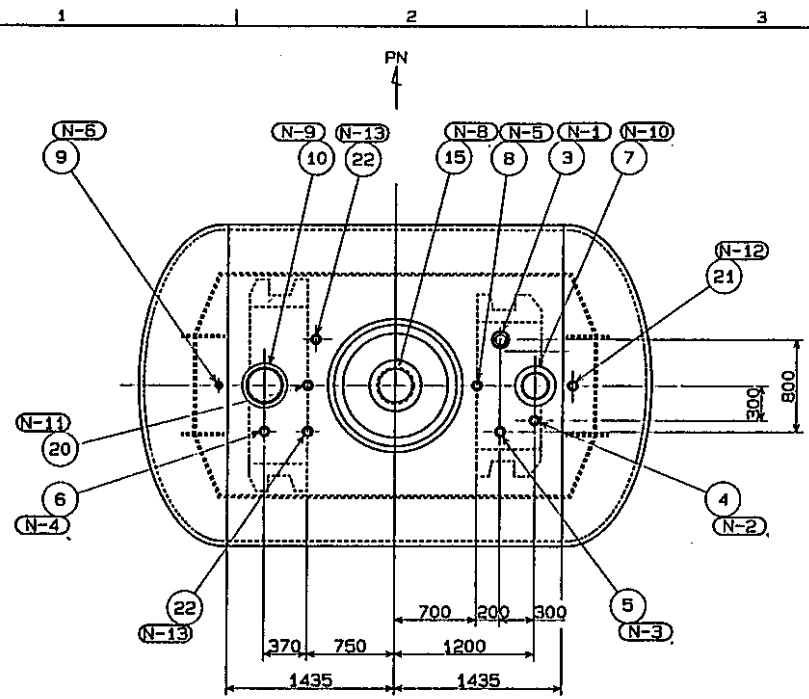
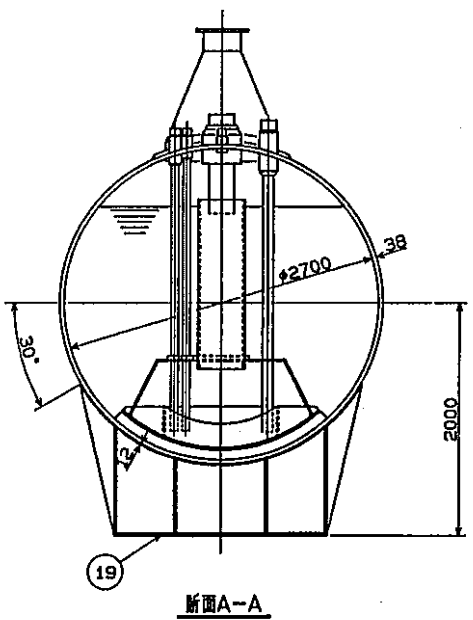
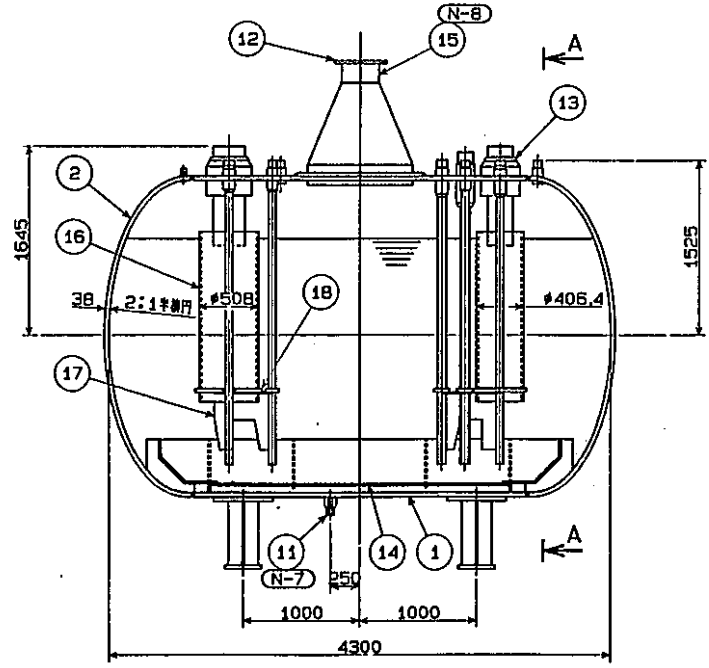


図 3. 4 - 1 縦置ダンプタンク構造

64
3.4-11
95020047



N-13	温度計用	2B	2
N-12	圧力計用	2B	1
N-11	液面計用	2B	1
N-10	反応生成物入口管	8B	1
N-9	反応生成物出口管	12B	1
N-8	生成ガス出口管	12B	1
N-7	タンクドレン管	2B	1
N-6	カバーガス管	1B	1
N-5	ナトリウムチャージ管	2B	1
N-4	ナトリウムドレン管 (異化系用)	2B	1
N-3	(異化系用)	2B	1
N-2	(ナトリウムタンク用)	2B	1
N-1	ナトリウムドレン管 (反応系用)	3B	1
管台番号 名 称 呼び図 数量 備考			
管台一覧表			



MARK	PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED		MASS (kg)		REMARKS
			NO. IN STOCK	SPARE	TOTAL	PER DE	
1	鋼板	SUS304	1				
2	鋼板	SUS304	2				
3	ナトリウムドレン管 (反応系用)	SUS304異化系用	1				
4	(ナトリウムタンク用)	SUS304異化系用	1				
5	(異化系用)	SUS304異化系用	1				
6	ナトリウムドレン管 (異化系用)	SUS304異化系用	1				
7	反応生成物入口管 (8B)	SUSF304	1				
8	ナトリウムチャージ管	SUS304異化系用	1				
9	カバーガス管	SUS304異化系用	1				
10	反応生成物入口管 (12B)	SUSF304	1				
11	タンクドレン管	SUS304異化系用	1				
12	生成ガス出口フランジ	SUSF304	1				
13	サーマルスリーブ	SUS304	6				
14	ライナ	SUS304	1				
15	生成ガス出口管	SUSF304	1				
16	ナトリウム内管用スリーブ	SUS304TP	2				158x1, 208x1
17	内部設置鋼板金具	SUS304	2				
18	スリーブ固定金具	SUS304	7				
19	サドル	SUS304	2				
20	液面計用	SUSF304	1				
21	圧力計用	SUS304	1				
22	温度計用	SUS304異化系用	2				

設計仕様	
型 式	内筒型
最高使用圧力	20kg/cm ² g
最高使用温度	555° C
基 数	1
内 容 量	22m ³

株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

図 3. 4 - 2 ダンプタンク構造図

SCALE 1/30	動力炉・核燃料開発事業団	ダンプタンク構造図
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3基本設計	
3RD ANGLE PROJECTION		
IHI 伊賀重工業株式会社 伊賀重工業株式会社 伊賀重工業株式会社		JOB NO. 5535-349 06CA0792 DRAWING NO. 411K102 REV. 1/1
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.		

添付 3. 4-1 ダンプタンクでの気液分離性能について

実用化大型炉におけるダンプタンクでの気液分離性能の必要性は、「ダンプタンクでの気液粗分離機能により、サイクロンセパレータの小型化を図る」ことにある。

従って、改造 S W A T-3 試験では実証炉におけるダンプタンクでの気液分離特性を確認し、実証炉ダンプタンク及びサイクロンセパレータの設計に反映することが重要である。

(1) 従来知見からの気液分離性能評価

N a-水反応の場合、爆発的な反応により大量で高速の反応生成物が放出系を介して S G 外へ放出される。一般に使用されている分離タンクではこのように過激な流体の流入はなく、専門メーカーにおいても、ダンプタンク内に N a-水反応時の反応生成物が流入した場合の分離機能に関する知見は有していないのが現状である。

従って、ここでは、一般的なタンクでの気液分離理論がダンプタンク内でも成立するとした場合の、分離性能を予測する。

一般的なタンクでの気液分離は、ガス中に存在する液滴に対して、液滴に働くガスからの抗力（鉛直上向き）と液滴に働く重力（鉛直下向き）のバランスにより、ある径以上の液滴が重力によりタンクで分離されることになる。従って、液滴の径分布が同一であれば、ガスの上昇流速を遅くして抗力を小さくすれば、分離効率が向上する。

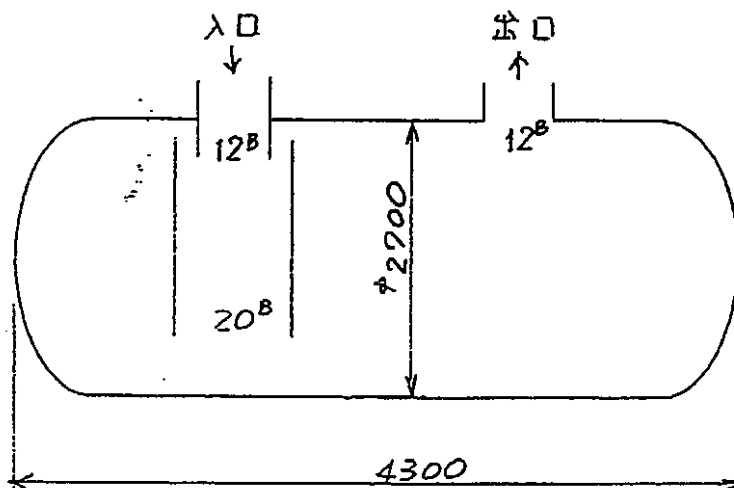
次ページ以降に、S W A T-3 試験装置における 11 本破断時の反応生成物放出量（添付図 3. 4-1 及び添付図 3. 4-2 に 11 本破断時におけるダンプタンク入口ノズル部での各流体の流量及び流速を示す。）に対して、計画中のダンプタンクでの気液分離性能について予測した結果を示す。尚、計算は専門メーカーが行っており、社内データの関係から、必ずしも全ての根拠は明確とはなっていない。

専門メーカーの計算によれば、現状計画中のダンプタンクでは、ダンプタンク出口におけるナトリウムと水素ガスの重量比は 11.5 w % と予測できる。

これは、ナトリウムの流量に換算して、高々 0.3 kg/s 相当であり、流入ナトリウムによる液面の乱れ等を見ればダンプタンクにおける気液分離は十分に行われるものと考えられる。

Customer	石川島播磨重工業 株式会社 股	Inq. No.	
		Item No.	
		Order No.	
		Model No.	
性能検討計算書		Quantity	

ダンクタンク形状



1. 出口における液量を 5% と仮定し、タンク内のガス上昇流速を求めよ

$$V_{\text{Limit}} = K_s \sqrt{\frac{P_L - P_G}{P_G}}$$

V_{Limit} : ガス上昇流速 (FPM)

P_G : ガス密度 (lb/ft^3)

P_L : 液密度 (lb/ft^3)

K_s : 常数



		Approved	Y.O.
		Checked	
		Drawn	T. Koizumi
Rev.	Description	Date	Jan 18 '95
Dwg. No.	TAS - 0022 - 9590		
Work No.			
Quot. No.			

BURGESS MIURA CO., LTD.

• 1-2-10, Tezukayama-Iligashi, Sumiyoshiku,
Osaka Japan. Tel. 06-672-6041
• Oriental Bldg. 3-18-3, Shibuya, Shibuyaku,
Tokyo Japan. Tel. 03-409-1575

Customer		Inq. No.	
		Item No.	
		Order No.	
		Model No.	
		Quantity	

ここで、

$$K_s = A \times (\phi)^B \times (\delta)^C$$

ϕ : 入口における液・ガス重量比 (w%)

δ : 表面張力 (dyn/cm)

2. 上記式より 20秒後のダンプタンク内のガス上昇流速
と V_{Limit} と比較致し、

貴社データ (20秒後)

H_2 流量 : 2.5 kg/s

混合物流量 : 510 kg/s

H_2 流速 : 1600 m/s

混合物流速 : 800 m/s

入口口径 : 12 ϕ ($\approx \phi 300$)

表面張力 : 156.6 dyn/cm

			Approved		.	.
			Checked		.	.
			Drawn		.	.
Rev.	Description	Date	BURGESS MIURA CO., LTD.			
Dwg. No.						
Work No.						
Quot. No.						
			1-2-10, Tezukayama-Higashi, Sumiyoshiku, Osaka Japan. Tel. 05-672-6041 Oriental Bldg, 3-18-3, Shibuya, Shibuyaku, Tokyo Japan. Tel. 03-409-1675			

3.4-14

Customer		Inq. No.	
		Item No.	
		Order No.	
		Model No.	
		Quantity	

データより ρ_g 及び ρ_L を計算致し。.

$$\text{ガス通過面積} = 12^B \div 0.071 \text{ m}^2$$

$$\rho_g = \frac{2.5}{0.071 \times 1600} = 0.022 \text{ kg/m}^3 = 0.00137 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_L = \frac{510}{0.071 \times 800} = 8.979 \text{ kg/m}^3 = 0.5596 \text{ lb/ft}^3$$

K_S を求め。.

$$K_S = A \times \left(\frac{510}{2.5} \times 100 \right)^B \times (156.6)^C$$

$$K_S = 12.2$$

これより V_{Limit} を計算致し。.

$$V_{\text{Limit}} = 12.2 \sqrt{\frac{0.5596 - 0.00137}{0.00137}}$$

$$= 244.3 \text{ (FPM)} (= 1.24 \text{ m/s})$$

			Approved		.	.
			Checked		.	.
			Drawn		.	.
Rev.	Description	Date	BURGESS MIURA CO., LTD. • 1-2-10, Tezukayama-Higashi, Sumiyoshiku, Osaka Japan. Tel. 06-672-6041 • Orienta Bldg. 3-18-3, Shibuya, Shibuyaku, Tokyo Japan. Tel. 03-409-1675			
Dwg. No.						
Work No.						
Quot. No.						

Customer		Inq. No.	
		Item No.	
		Order No.	
		Model No.	
		Quantity	

ダンプタンクの上昇面積を求めます。

$$\frac{(4.3 - \frac{2.7}{4} \times 2) \times 2.7 + \frac{2.7}{4} \times 2}{2} = 4.66 \text{ m}^2$$

ダンプタンク内のガス上昇流速を求めます。

$$V = \frac{0.0071 \times 1600}{4.66} = 2.44 \text{ m/s} (= 480.3 \text{ FPM})$$

上記より、出口液量を 5w% とする場合には^{ガスの}上昇流速を 1.24 m/s にする必要があります。

今回の場合、上昇流速は約 2.44 m/s と仮定出来るため出口液量は 5w% 以上であると考えられます。

3. ここで V_{Limit} を 2.44 m/s とする K_S' を求め。

下記計算式により出口における液量を算出致します。

$$480.3 = K_S' \sqrt{\frac{0.5596 - 0.00137}{0.00137}}$$

$$K_S' = 23.79$$

			Approved	
			Checked	
			Drawn	
Rev.	Description	Date	BURGESS MIURA CO., LTD. ・ 1-2-10, Tezukayama-Higashi, Sumiyoshiku, Osaka Japan. Tel. 06-672-6041 ・ Oriental Bldg. 3-18-3, Shibuya, Shibuyaku, Tokyo Japan. Tel. 03-409-1675	
Dwg. No.				
Work No.				
Quot. No.				

Customer		Inq. No.	
		Item No.	
		Order No.	
		Model No.	
		Quantity	

$$K'_S = A \times (\Phi)^B \times (J)^C \times \left(\frac{\Phi_V}{5}\right)^D$$

Φ_V : 出口における液ガス比重量比 (w%)

$$23.79 = A \times (20400)^B \times (156.6)^C \times \left(\frac{\Phi_V}{5}\right)^D$$

$$\Phi_V = 11.525 \text{ w\%}$$

出口における液ガス比重量比は 11.525%
 と推定する事が出来ます。

以上

		Approved	
		Checked	
		Drawn	

Rev.	Description	Date
Dwg. No.		
Work No.		
Quot. No.		

BURGESS MIURA CO., LTD.

・ 1-2-10, Tezukayama-Higashi, Sumiyoshiku,
 Osaka Japan. Tel. 06-672-6041
 ・ Oriental Bldg. 3-18-3, Shibuya, Shibuyaku,
 Tokyo Japan. Tel. 03-409-1675

(2) 流入ナトリウムのダンプタンク内での挙動

ナトリウムのダンプタンク内での挙動を予測する。Na-水反応時にダンプタンクには、主としてナトリウムと水素ガスが流入するが、ナトリウムの比重量が水素に比べて極端に大きいことから、ダンプタンク内でのナトリウムの挙動はナトリウムの持つ運動エネルギーが支配的となる。

ここでは、汎用流動解析コード「FLOW3-D」を用いて、ダンプタンク内でのナトリウム挙動を予測する。解析の簡便性から、2次元軸対称モデルを用いる関係上、ダンプタンクは、円筒内径と同一径の球形タンクとしてモデル化する。

流入ナトリウムの条件を設定するに際して、今回の改造SWAT-3試験では、各部の最高使用圧力を確認するために、11DEG相当リークでの準定常圧解析を実施しているものの、今回の試験条件では、11DEG相当リークが発生する可能性は低いと見做され、注水管からの最大注水率である3kg/s（試験条件として必ず注入される水リーク率）に着目して、ダンプタンク内でのナトリウム流動挙動を確認するものとする。

このため、「Na-水反応時圧力・温度上昇評価」で検討した準定常圧解析モデル（SWAC13）を用いて、3kg/s一定水リーク率に対する、ダンプタンク入口ナトリウム流量及びナトリウム流速を添付図1-3、4に示す。図から、ナトリウム最大流量は約570kg/s、最大ナトリウム流速は約100m/sである。

ダンプタンク内での保護管は放出径配管より大きいと見做され、保護管出口での流速を補正すると、ダンプタンク内に流入するナトリウム流速及び流量は以下である。

時刻(s)*1	流速(m/s)	流量(kg/s)
0.00	0	0
0.67	36.28	520
1.60	39.42	565
2.20	17.45	250
2.80	7.68	110
9.00	1.75	25

*1：ダンプタンク内へのナトリウム流入開始時刻を0(s)とした。

また、解析上ナトリウム流量とナトリウム流速を合わせるため、モデル上のナトリウム流入ノズル径は、148.5mmとした。

解析結果を添付図3.4-5～7に示す。添付図3.4-5は、ダンプタンク内部に構造物を取り付けない場合、添付図3.4-6は、ダンプタンク胴中央部にバッフ

ル板を取り付けた場合、添付図 3. 4-7 はダンプタンク下部にバッフル板を取り付けた場合の解析結果を示している。

添付図 3. 4-5 からは、ダンプタンク下面で反射したナトリウムが上部に飛んで、保護管に沿って落下している挙動が確認できる。この場合、上部に達するナトリウムが、全てダンプタンク外に流出すると考えると、その量はダンプタンクに流入するナトリウムの約 30 % 程度である。実際には、ダンプタンクの流入管と流出管は離れた位置に設置されていることから、上部に達したナトリウムが全て流出するわけではないと考えられる。添付図 3. 4-6 は、ダンプタンク中央部にバッフル板を取り付けているため、ダンプタンク下部で反射したナトリウムは、バッフル板に当たらず、このためバッフル板を取り付けた効果はない。添付図 3. 4-7 では、ダンプタンク下部に取り付けたバッフル板により、壁面に沿って上昇するナトリウムが転向し、ダンプタンク下部で反射したナトリウムが上部に飛んでいくのを抑制している。解析結果からは、ダンプタンク上部に達するナトリウムは生じていない。

以上より、今後詳細な検討は必要なものの、適切なバッフル板の設置により、ダンプタンク内で気液の粗分離は可能であると考えられる。

(3) 改造 S W A T - 3 試験装置の健全性検討

改造 S W A T - 3 試験装置の健全性に対しては、既に大型の反応生成物収納容器（サイクロンセパレータ）が設置されていることから、仮にダンプタンクでの気液分離が十分でない場合にも、改造 S W A T - 3 試験装置自体の健全性は確保される可能性が高い。

ここでは、試験上最も厳しいと考えられる 11 DEG に対して、反応生成物収納容器での機能が満足するか否かについて検討する。

現状の反応生成物収納容器で想定されている流入水素量は、 $30 \text{ Nm}^3/\text{s}$ である。ミストセパレータは水素ガス流速に依存するため、この条件で、「粒子径 $10 \mu\text{m}$ 以上について 95 % 以上を除去」を達成する。一方、改造 S W A T - 3 試験装置では、昨年度の準定常圧解析でダンプタンクに流入する水素は最大 14.5 kg/s であり、水素の比重を 0.1 (0°C 、常圧) とすれば、 $145 \text{ Nm}^3/\text{s}$ となるが、添付図 3. 4-1 から平均的には、 2 kg/s 程度であり、 $20 \text{ Nm}^3/\text{s}$ 程度である。更に、ダンプタンク出口では、入口での流量のピークが小さくなり、最大で 3 kg/s 程度となる。従って、ナトリウム

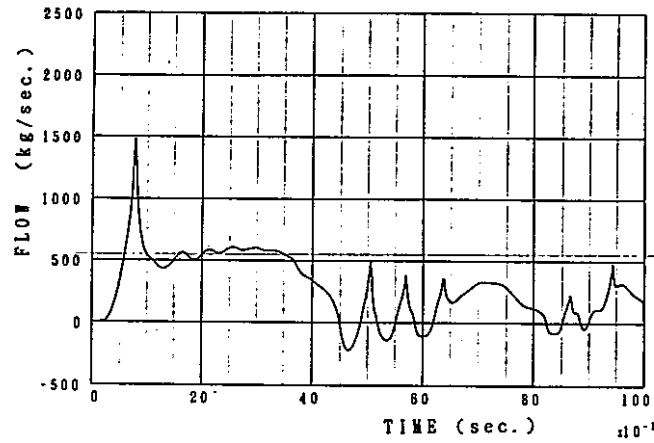
ミストの除去に関しては、機能条件は満足する。

次に、水素とナトリウムの気液分離については、従来設計では数値的に考慮されたものとはなっておらず、 5 m^3 のナトリウム（反応容器内ナトリウム量相当）を収納できる容積を確保しているだけである。従来試験の知見からは、ナトリウムの放出量は、反応容器のナトリウム容量の約半分であることから、ナトリウム収納量の観点から反応生成物収納容器の容量は十分である。また、現SWAT-3試験装置の最大注水量は 24 kg/s で設計されているが、遠心分離機能により十分な気液分離が出来ていたものと推定される。

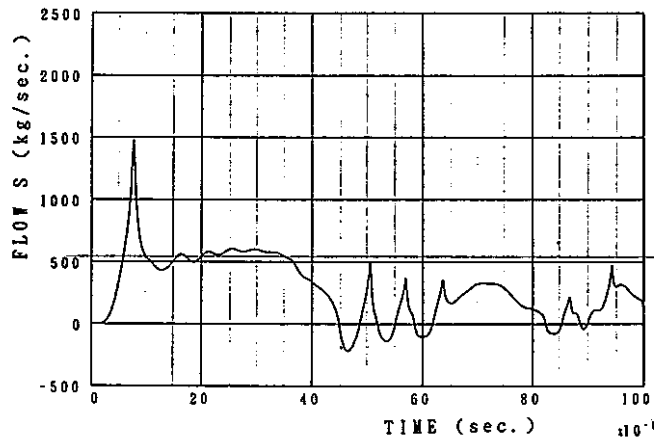
昨年度解析した11DEGの水リーク率は 34.2 kg/s であるため、現SWAT-3試験装置の最大注水量を大きく上回っているものの、この値はかなり保守的な値であり、動特性解析により、隣接管からのリーク率を確認することにより、最大リーク率は大きく低減されるものと考えられる。また、改造SWAT-3では、反応生成物収納容器までに、容量の大きなダンプタンクというバッファを有しており、反応生成物収納容器に流入するナトリウムは更に低減する可能性が高い。

以上より、改造SWAT-3試験装置では、ダンプタンクでの気液分離を前提としなくとも、装置自体の健全性は確保されるものと考えられる。

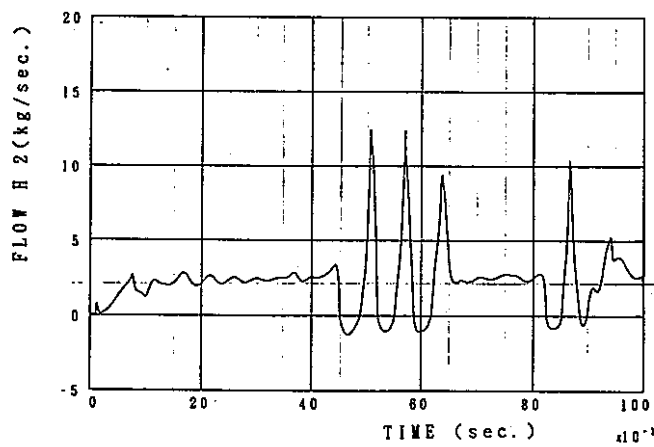
ダンブタンク入口混合物流量



ダンブタンク入口Na 流量



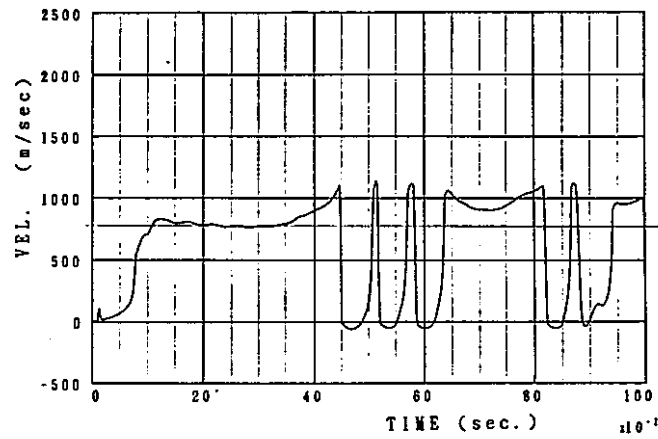
ダンブタンク入口H₂ 流量



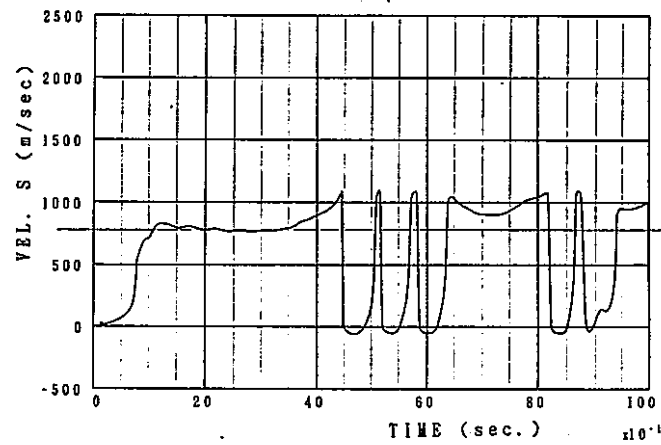
添付図 3. 4 - 1 ダンプタンクの各入口流量

3.4-21

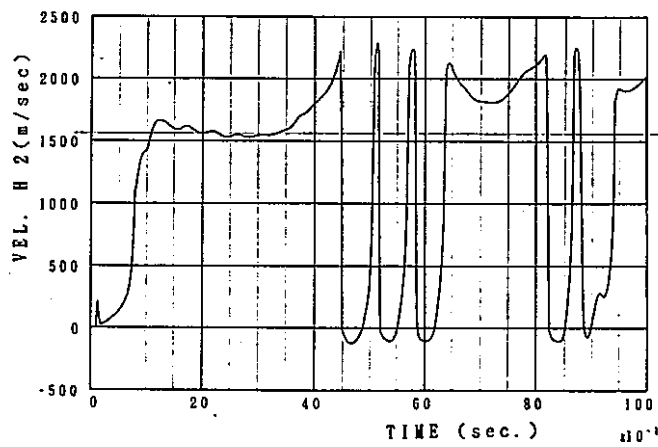
ダンパタンク入口混合物流速



ダンパタンク入口Na流速



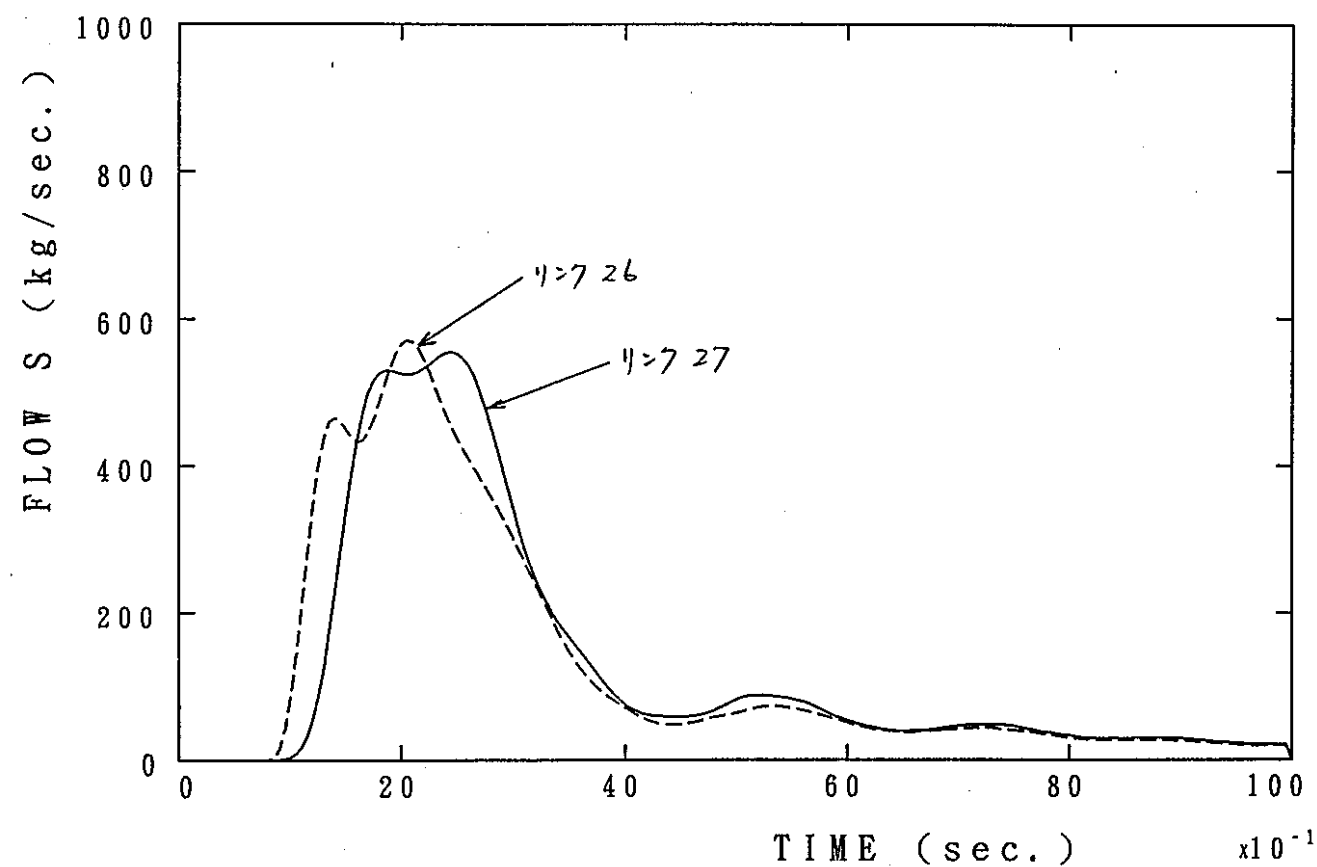
ダンパタンク入口H₂流速



添付図 3. 4 - 2 ダンパタンクの各入口流速

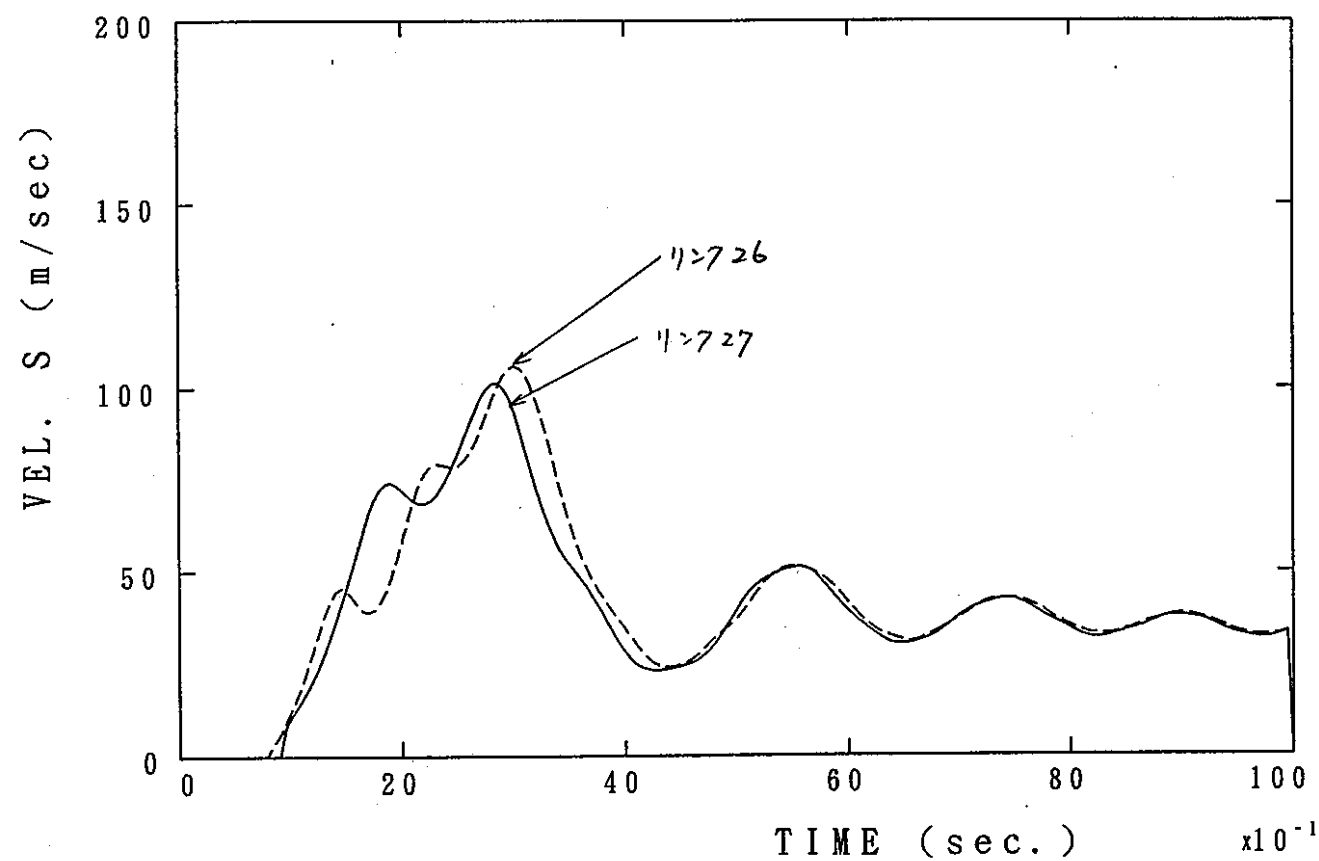
3.4-22

3.4-23

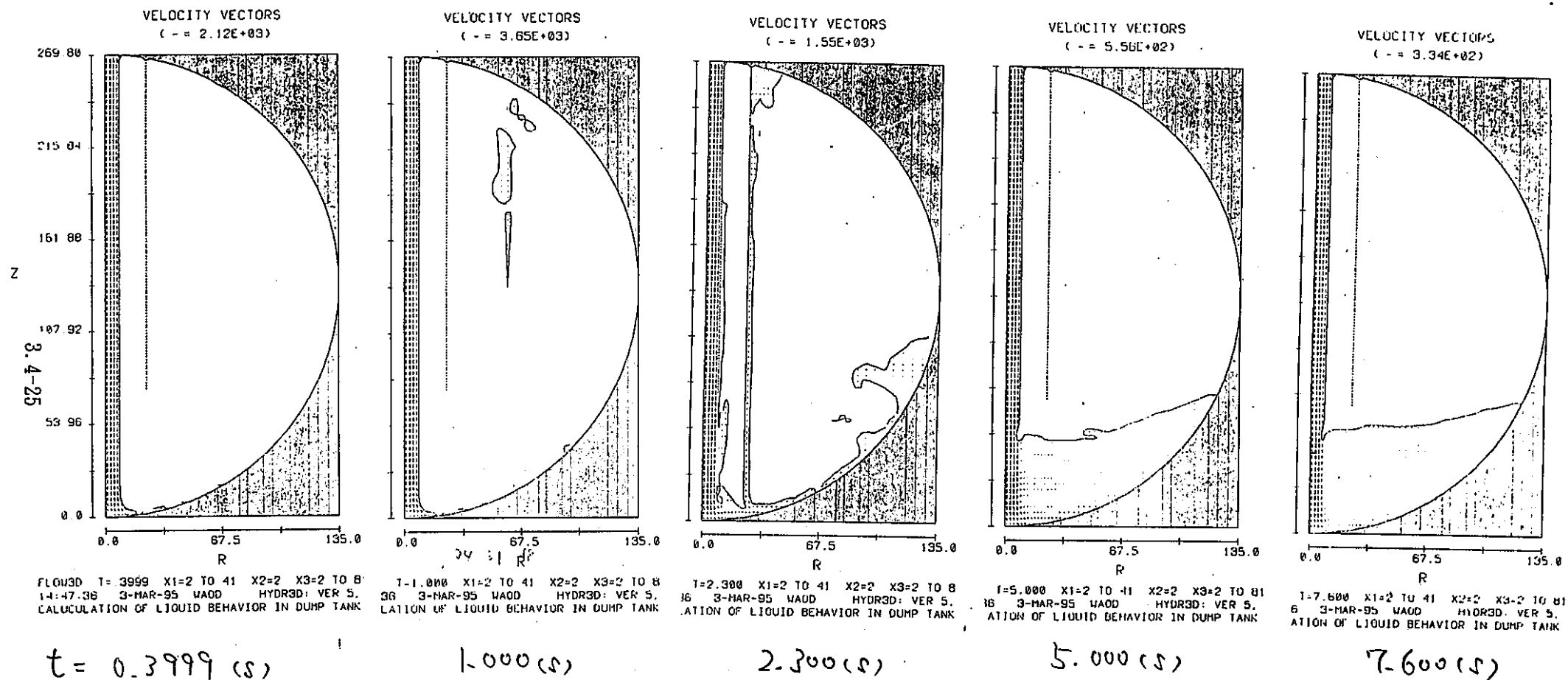


添付図 3. 4 - 3 ダンプタンク流入Na流量(水リーク率3 kg/s一定)

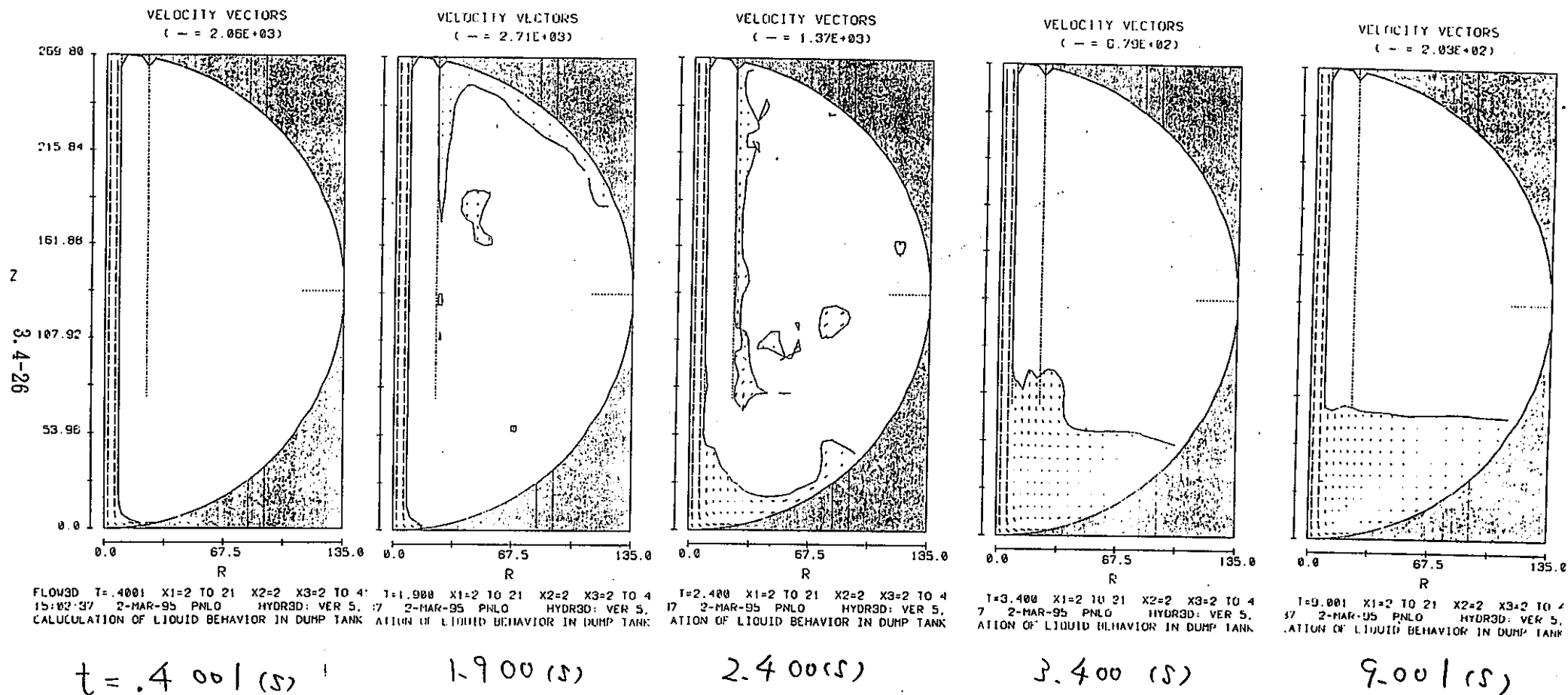
3.4-24



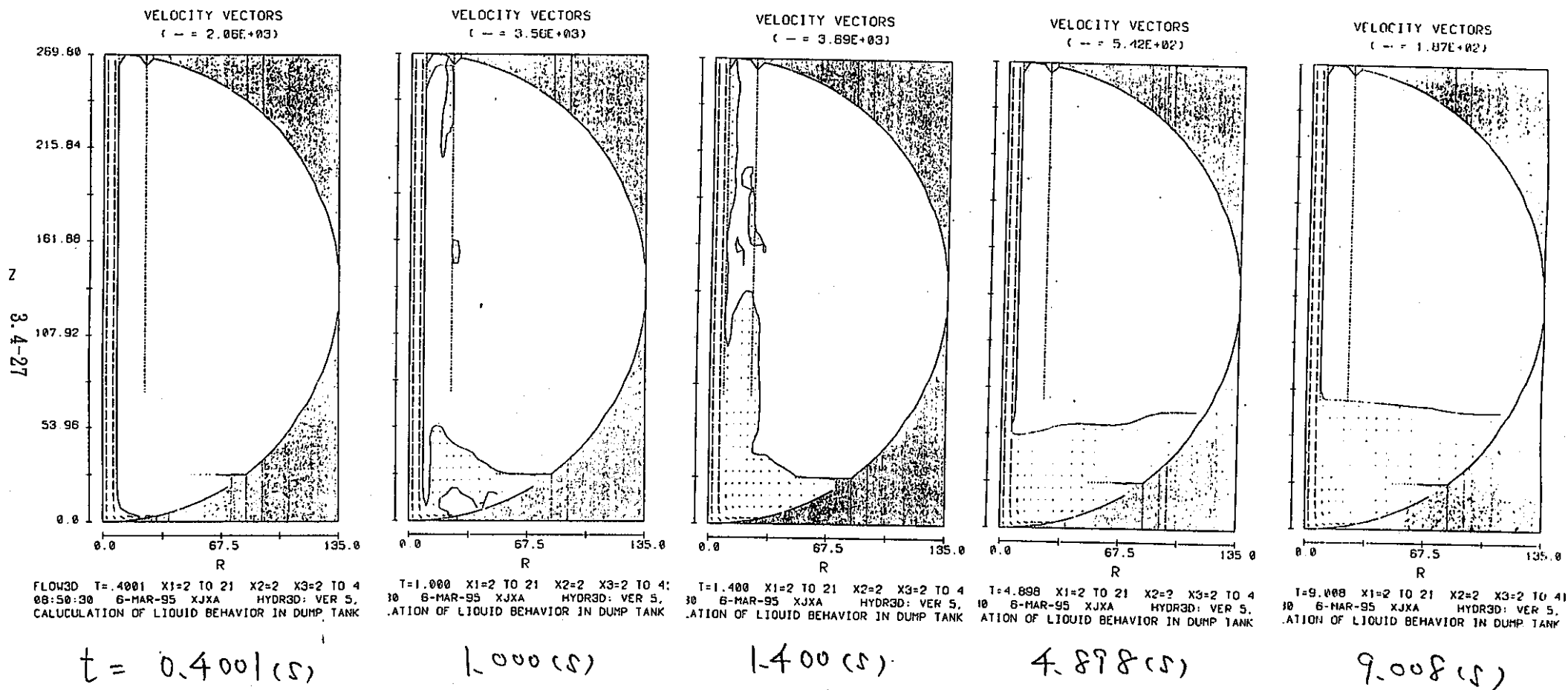
添付図 3. 4 - 4 ダンプタンク流入Na流速 (水リーク率 3 kg/s一定)



添付図 3. 4 - 5 ダンプタンク内Na流動挙動（バッフル板なし）



添付図 3. 4-6 ダンプタンク内Na流動挙動（バッフル板胴中央設置）



添付図 3. 4-7 ダンプタンク内Na流動挙動 (バッフル板胴下部設置)

添付 3. 4 - 2 縦置ダンプタンク寸法設定根拠

気液分離の観点から、旋回流を用いた縦置ダンプタンクの寸法設定根拠を示す。

(1) 分離性能上の必要寸法

反応生成物を旋回流により気液分離するために必要な寸法について、原型炉及び現 SWAT-3 の収納容器設計の考え方を参考として以下のように設定する。

- a. 反応生成物入口ノズルと反応生成物収納後の液面間寸法は、胴内径程度の長さを確保する。
- b. 反応生成物出口ノズルと内筒下端部間寸法は、胴内径の 1.5 倍程度の長さを確保する。
- c. 内筒下部と反応生成物収納後の液面間寸法は、内筒断面積分の高さを確保する。

(2) 必要容量

ダンプタンクは充填及びドレン時の Na を収納するため、Na 全容量を収納できる容量とする。Na 全容量は 1.8 m^3 であり、カバーガス空間を含めたダンプタンクの必要容積は 2.2 m^3 である。

充填時に Na が放出系配管に流入しないように入口ノズルは、全容量 Na の液面より上に設置する。

3. 5 水加熱器設計仕様の検討

3. 5. 1 概要

水加熱器については、昨年度の「SWAT-3 改造予備設計」の中で基本構造・寸法の検討を実施しているが、本年度見直した試験条件の反映及び機器の合理化の観点から検討する。

「試験条件の整理」での検討により、今回の改造 SWAT-3 試験では、管束下部リークを想定した、サブクール水の注水は試験条件とはしないものとしている。従って、水加熱システムに要求される機能は、注水管及び隣接管に過熱蒸気を供給することである。

昨年度の検討では、容器の小型化のために水加熱器では、飽和蒸気及び飽和水を保有させるものとしており、今年度も基本的にこれを踏襲するものとする。

3. 5. 2 必要注水（通水）量

図 2. 2-2 及び図 2. 2-3 に、各々注水管、隣接管の圧力、流量変化図を示す。

(1) 注水管必要注水量

図 2. 2-2 の注水率 1 kg/s の場合を例にとると、注水開始前に注水系統に充填するための蒸気が必要であり、注水管 R/D 破断差圧が 175 kg/cm^2 であることから、 $175\text{ kg/cm}^2\text{g}$ の飽和蒸気を充填すると考えると、 13 kg となる。

次に、ブローダウン開始前までの注水は、 1 kg/s 一定条件で最大 100 秒間注水するため、 100 kg となる。ブローダウン時の注水量は、ブローダウン時間の最大値である 60 秒をベースとして、リニアに流量を低下させるものとすれば、 30 kg となる。ここで、ブローダウン時の注水は、注水配管内の蒸気の流量が流入するが配管系の保有する蒸気量が 13 kg であることから、ブローダウン中にも 17 kg の蒸気を水加熱器から供給する必要がある。

従って、注水率 1 kg/s の時の最大注水量は、 130 kg となる。注水率 300 g/s の場合には、これに包絡される。

次に、 3 kg/s の場合、注水率 1 kg/s の場合と同様に考えると 135 kg となる。

以上より、注水管必要注水量は設計余裕を含め 150 kg とする。

(2) 隣接管必要注水量

隣接管の場合、最初に系統内に飽和蒸気を充填する。この時の蒸気重量は85 kgである。反応容器上流に設置している調節弁を閉止した後、注水開始までに反応容器下流のブロー系からブローを行い、系統内圧力を175 kg/cm²gに低下させる。この時、系統内の蒸気重量は、55 kgである。

次に、ブローダウン開始前までの通水は、2 kg/s (10本分) 一定条件で最大100秒間通水するため、200 kgとなる。ブローダウン時の通水量は、ブローダウン時間の最大値である60秒をベースとして、リニアに流量を低下させるものとすれば、60 kgとなる。ブローダウン時の通水は、注水管同様、通水配管内の蒸気の流量が流入するが配管系の保有する蒸気量が55 kgであることから、ブローダウン中にも5 kgの蒸気を水加熱器から供給する必要がある。

従って、隣接管の最大通水量は、290 kg (85 + 200 + 5) となる。

以上より、隣接管必要通水量は設計余裕を含め300 kgとする。

3. 5. 3 各部圧力損失

蒸気の注水(通水)は、水加熱器と出口(注水管の場合、反応容器内圧力)の差圧で行われる。従って、配管系及び伝熱管での圧力損失が、水加熱器の圧力を決定する上で重要なものとなる。

ここでは、水加熱器から試験対象部(隣接管では反応容器下流のヘッダ：圧力制御点)までの圧力損失を算出する。表3. 5-1、3. 5-2に圧力損失をまとめて示す。

表3. 5-1より、注水管では、弁全開時に注水率1 kg/sの場合11.2 kg/cm²、3 kg/sの場合88.1 kg/cm²の圧力損失となっている。尚、注水率3 kg/sの場合には、4 B 配管取合～伝熱管手前までの配管径を1 Bとするとここでの圧力損失が28 kg/cm²と大きく、伝熱管入口の圧力低下を生じ、管束部での圧力損失が顕著に増加するため、配管、弁を2 Bとして算出した。表3. 5-2より、隣接管は弁全開時に0.5 kg/cm²の圧力損失となった。

3. 5. 4 水加熱器容量の検討

3. 5. 2 節での必要注水量及び3. 5. 3 節での圧力損失をベースとして水加熱器の容量の見直しを行う。

(1) 注水管用水加熱器容量の見直し

見直し条件は、減圧後の圧力 P_2 を $190\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ とし、水加熱器から反応容器へ供給される飽和蒸気量 ΔM を 150Kg ($1\text{Kg}/\text{sec} \times 100\text{sec} + 30\text{Kg}$ に余裕を加えた) とする。

この時、減圧前圧力 P_1 を従来通りの $210\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ とすると、水加熱器の容積は約 5m^3 となり従来の容積約 2.7m^3 に比較して増加容積が大きい。ここで、水加熱器容量の導出は(4)項による。

そこで、減圧前圧力 P_1 を若干高めて $220\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ とすると(この圧力を超えると臨界点に近づき液相状態で容積をカバーするメリットがでなくなる)、水加熱器の容積は約 3.1m^3 となり従来に比較して増加容積量は小さいためこれを採用する。この場合、初めに水加熱器に充填する水のインベントリは約 1.1ton であり、減圧開始時の液相部容積は約 1.9m^3 、気相部の体積は約 1.2m^3 となる。

(2) 隣接管用水加熱器容量の見直し

見直し条件は、減圧後の圧力 P_2 を $180\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ とし、水加熱器から反応容器へ供給される飽和蒸気量 ΔM を 150Kg ($2\text{Kg}/\text{sec} \times 100\text{sec} + 85\text{Kg} + 5\text{Kg}$ に余裕を加え2基で分けた) とする。

この時、減圧前圧力 P_1 を従来通りの $210\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ とすると、水加熱器の容積は約 3.6m^3 となり従来の容積約 3.3m^3 に比較して増加する。

そこで、注水管用水加熱器と同様に減圧前圧力 P_1 を若干高めて $220\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ とすると、水加熱器の容積は約 $2.5\text{m}^3/\text{基}$ となり従来に比較して容積が削減されるためこれを採用する。この場合、始めに水加熱器に充填する水のインベントリは約 $0.8\text{ton}/\text{基}$ であり、減圧開始時の液相部容積は約 1.3m^3 、気相部の体積は約 1.2m^3 となる。

注水管用水加熱器に比べて、隣接管用加熱器の1基当たりの容量が小さくなったことから、機器合理化の観点により、隣接管用加熱器を1基とした場合の検討

を行う。減圧後の圧力 P_2 を $180\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ 、減圧前圧力 P_1 を $220\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ とし、水加熱器から反応容器へ供給される飽和蒸気量 ΔM を 300Kg とすると、水加熱器の容積は約 4.8m^3 となる。この場合、始めに水加熱器に充填する水のインベントリは約 1.7ton であり、減圧開始時の液相部容積は約 3.4m^3 、気相部の体積は約 1.4m^3 となる。

胴内径を従来と同一の 1m とすると、高さは約 6.5m となり、改造 SWAT-3 試験装置に大きな影響を与えることなく、機器の設置が可能と考えられる。従って、隣接管用水加熱器は 1 基とする。

(3) 設計条件の見直し

設計条件の見直しとして、減圧前圧力を $10\text{Kg}/\text{cm}^2$ 上げたことに伴い最高使用圧力を従来の $220\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ から、 $230\text{Kg}/\text{cm}^2\text{g}$ に変更する。

また、最高使用温度は従来 500°C としていたが、水加熱器は飽和状態でのみ使用する事から、これを飽和温度に余裕をみて 400°C に変更する。以下に、最高使用温度 400°C の妥当性を示す。

水加熱器のヒータは容器全体に設置することを当初の計画としていたが、飽和蒸気部分については蒸気の熱伝達率が小さいため、蒸気温度と胴内面の温度差が大きくなる可能性が高く水加熱器胴の肉厚中心温度が高くなることが予測される。従って、メインヒータの設置は初期保有水の範囲のみとし、水加熱器の肉厚中心温度はこの部位に対して検討する。

水加熱器の肉厚中心温度は下式により求める。

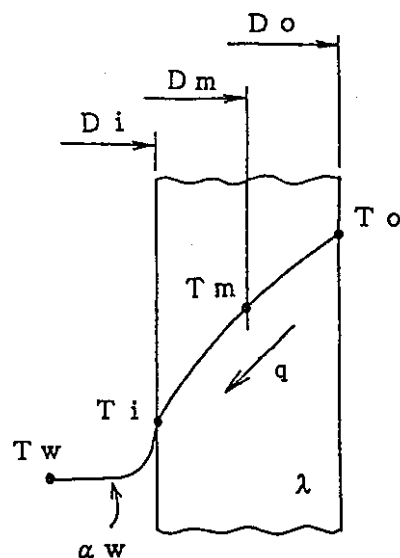
$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_w} \times \frac{D_o}{D_i} + \frac{D_o}{2\lambda} \ln \frac{D_o}{D_i}} \times (T_o - T_w)$$

$$= \frac{(T_i - T_w)}{\frac{1}{\alpha_w} \times \frac{D_o}{D_i}} = \frac{(T_o - T_i)}{\frac{D_o}{2\lambda} \ln \frac{D_o}{D_i}}$$

ただし、 q : 熱流束

α_w : 水側熱伝達率

λ : 容器熱伝導率



D o : 容器外径

D m : 容器肉厚中心径

D i : 容器内径

T o : 容器外表面温度

T m : 容器肉厚中心温度

T i : 容器内表面温度

T w : 水側温度

ここで、水加熱器外表面に設置可能なヒータによる入熱量は単位面積当たり
5700kcal/m²hである。保温材表面からの放散熱量を安全側に無視すると、上記式
の熱流速は5700kcal/m²hである。

初期保有水部はヒータ加熱により温度、圧力が上昇するが、この条件では胴壁
と飽和水の熱伝達はプール沸騰熱伝達を行うものと考えられる。

図 3. 5 - 1 にプール沸騰熱伝達率における過熱度と熱流束の関係を示す。

図 3. 5 - 1 では、熱流束が小さいほど過熱度は小さく、また、同一熱流束で
は圧力が高いほど過熱度は小さくなる傾向を示している。水加熱器の使用条件は、
図 3. 5 - 1 の範囲外にあるが、図から読み取れる管の条件で最も近い条件であ
る C r、l a t a でのデータを見ると熱流束50000kcal/m²hで過熱度は約7℃であ
る。水加熱器は圧力が220kg/cm²g、熱流束は5700kcal/m²hであることから過熱度
は7℃より十分小さいと考えられるが、安全側として飽和水温度と胴内表面の温
度差を7℃とする。飽和水温度の最大値は、水側 2 2 0 kg/cm²g における飽和温
度372.5℃であることから、胴内面温度を379.5℃として胴外表面温度および肉厚
中心温度を以下により算出する。

$$T_o = q \frac{D_o}{2\lambda} \ln \frac{D_o}{D_i} + T_i = 5700 \times \frac{1.24}{2 \times 30} \ln \frac{1.24}{1.00} + 379.5 \\ = 404.9^{\circ}\text{C}$$

$$T_m = q \frac{D_o}{2\lambda} \ln \frac{D_m}{D_i} + T_i = 5700 \times \frac{1.24}{2 \times 30} \ln \frac{1.12}{1.00} + 379.5 \\ = 392.9^{\circ}\text{C}$$

となる。以上より、水加熱器胴部の肉厚中心温度は392.9℃であり、過熱度を安全

側に見ていることから、これに設計余裕を加えた400℃は妥当である。

上記(1)、(2)及び設計条件の見直しに基づく水加熱器の主要目を表3.

5-3に、構造図を図3. 5-2及び図3. 5-3に示す。

(4) 水加熱器容量の導出式

水加熱器から ΔM kgの飽和蒸気を供給する事により、初期圧力 P_1 の飽和状態から減圧後圧力 P_2 の飽和状態になるものとする。

減圧前と減圧後のマスバランスは；

$$\frac{V_{11}}{v_{11}} + \frac{V - V_{11}}{v_{g1}} = \frac{V_{12}}{v_{12}} + \frac{V - V_{12}}{v_{g2}} + \Delta M$$

また、減圧前と減圧後のエネルギーバランスは；

$$\frac{V_{11}}{v_{11}} \times h_{11} + \frac{V - V_{11}}{v_{g1}} \times h_{g1} = \frac{V_{12}}{v_{12}} \times h_{12} + \frac{V - V_{12}}{v_{g2}} \times h_{g2} + \Delta M \times \frac{h_{g1} + h_{g2}}{2}$$

ここで、 V : 水加熱器の容積 (m^3)

V_1 : 水加熱器内飽和水の容積 (m^3)

v_1 : 飽和水の比容積 (m^3/Kg)

v_g : 飽和蒸気の比容積 (m^3/Kg)

h_1 : 飽和水の比エンタルピー ($Kcal/Kg$)

h_g : 飽和蒸気の比エンタルピー ($Kcal/Kg$)

ΔM : 水加熱器から反応容器へ供給される飽和蒸気量 (Kg)

添字1 : 減圧前の状態量

添字2 : 減圧後の状態量

3.5.5 ヒータ容量及び昇温時間

ヒータ設置範囲を初期保有水部のみにしたことにより、設置可能なヒータ容量が小さくなる。このため、本容量でのヒータ昇温時間を求め、現実的な時間であることを確認する。

a. 初期内部水高さ

図 3.5-4 に、ヒータ通電前の内部水高さを示す。(3) で示したように、メインヒータの設置範囲は、初期内部水高さの範囲に設置する。

b. 水加熱器昇温時間

水加熱器の昇温時間は以下の式により求める。

$$t = - \frac{1}{a} \cdot \ln \left\{ 1 - \frac{K_s (T - \theta_s) K}{Q} \right\}$$

$$a = K_s / \Sigma C_p W$$

$$K_s = \frac{2 \pi L}{\frac{2}{\alpha d_o} + \frac{1}{\lambda_H} + \ln \frac{d_o}{d_i}} \cdot \eta$$

ただし、

t	: 昇温時間(h)
K _s	: 容器外表面から大気中に熱放散される熱抵抗係数
T	: 昇温温度 ; 372.5℃
θ _s	: 外気温度 ; 20℃
K	: 設備余裕(1.1)
Q	: ヒータ容量(kcal/h)
L	: 容器長さ(m)
α	: 保温材外表面熱伝達率 ; 10kcal/m ² h℃
λ _H	: 保温材熱伝導率 ; 0.0742kcal/mh℃

d_o : 保温材外径 ; 1.74m
 d_i : 容器外径 ; 1.24m
 η : 保温施工形態による補正係数(1.4)
 $\Sigma C_p W$: 加熱する熱容量の合計(kcal/°C)

ここで、上記式に通水管用水加熱器及び隣接管用水加熱器の以下値を代入し昇温時間を算出する。

	通水管用	隣接管用
Q	2.5*10 ⁴ (kcal/h) (29kw)	4.3*10 ⁴ (kcal/h) (50kw)
L	4.28 (m)	6.45 (m)
$\Sigma C_p W$	2960 (kcal/°C)	4678 (kcal/°C)
t	47.6 (h)	44.2 (h)

上記計算結果により、注水管用、隣接管用ともに昇温時間は2日程度であることから初期保有水の範囲のヒータ設置で十分成立すると考える。

ただし、初期保有水の範囲とそれ以外の部分での昇温時における水加熱器温度差を小さくすることを目的として、メインヒータ設置部以外には、熱流速を小さくしたサブヒータを設置するものとし、メインヒータの約5割の容量を設置するものとする。従って、ヒータ容量は注水管用44kw、隣接管用75kwとなる。尚、メインヒータとサブヒータは独立に制御するものとする。

3. 5. 6 計装品

水加熱器においては以下の計測を行うものとする。以下で述べる水加熱器に設置する計装品の数量は、水加熱器 1 基あたりのものであり、注水管用水加熱器 1 基、隣接管用水加熱器 1 基に同じ計装を施すものとする。

(1) 水加熱器内圧力

ヒータ加熱時の水加熱器内圧力及び通水時の注水管及び隣接管内圧力を制御する必要性から、上部鏡に圧力計 1 個を設置し、飽和蒸気の圧力を測定する。

(2) 水加熱器内温度

内部水の温度を確認するため、水加熱器の上部と下部に温度計を 1 個ずつ設置し、水加熱器内飽和蒸気温度及び飽和水温度を測定する。

(3) 水加熱器内液位

試験開始前に水加熱器内に必要水量が確保されていることを確認するため、及び伝熱管の通水量を算出するために水加熱器の上部と下部に差圧式液面計を 1 個ずつ設置し、水加熱器内の液位を測定する。

3. 5. 7 反応容器内蒸気温度

試験対象部での蒸気温度について検討する。

水加熱器は、容器を小型化するために飽和水及び飽和蒸気を保有している。従って、水加熱器からの飽和蒸気を試験対象部で過熱蒸気にするためには、反応容器内での Na による加熱が必要となる。反応容器の管束部は試験施設の寸法的上の制限により、3 m が限度となるため、この大きさで必要な過熱蒸気を得られることを確認する。

ここで、反応容器での加熱では、試験対象部での条件が重要であるため、これについて考察する。

まず、隣接管については、試験対象部（管束上部リーク模擬）での圧力及び温度が高温ラプチャー現象の発生に重要であり、ブロー開始前まで $175\text{kg/cm}^2\text{g}$ 、 497°C を保持する。

注水管は、昨年度の予備設計では高温ラプチャー試験で重要な要因となる反応部

の温度は反応熱量に依存すると考えら、従来からの知見では反応熱量は水リーク率に依存するため、注水率（予備設計では最大1 kg/s）を確保することを目標として、注水部での蒸気圧力・温度を実機と合わせる構造対応をとっていない。

ただし、注水状態については動燃殿の知見から、過熱蒸気とサブクール水では、過熱蒸気が厳しいため、過熱蒸気を注水する必要がある。

一方、注水管の注水部の条件を実機に合わせる場合にも、以下の理由により隣接管と同じ蒸気条件（ブローダウン開始まで175 kg/cm²g、497℃）とする必要はないと考えられる。

改造SWAT-3試験で対象とする30%部分負荷運転時のリーク前の伝熱管1本当たりの流量は0.2 kg/sである。ここで、実機におけるリーク率1 kg/sの場合を考えると、リーク開始とともに、上流側及び下流側から蒸気がSG内に流入するが、ここで、上流側と下流側から50%ずつリークすると仮定すると、給水流量は30%部分負荷運転時の2.5倍の流量が流れることになりSG内での熱交換では497℃には達しないものと考えられる。また、圧力損失の増加によりリーク位置での圧力も低下すると考えられ、実機条件を考慮すると、リーク位置での圧力・温度条件は175 kg/cm²g、497℃よりも低いものになると考えられる。リーク3 kg/sの場合には、上記の傾向は顕著である。

（1）注水管注水部での蒸気温度

注水管注水部での条件については、前記3.5.3節で示したように、今後詳細を詰める必要があるため、これをパラメータとして確認を行うものとした。

蒸気温度の確認は、静特性解析コードを用いた静定計算により行った。

ここで、反応容器は伝熱管支持構造により4分割されており、試験対象部におけるNa側流速を合わせるため、Naの流入は試験対象部の1/4セクターに流入させるものとしている。ただし、この場合も試験対象部の管束上部では、ほぼ1/4セクターに集中してNaは流れるものの、伝熱管支持構造部には隙間も多いことから管束上部以外では、全セクターにNaは流れるものと考えられる。以上より、静特性解析では、Na側は、全セクターで平均的な流量で流れるものとして計算条件を定めている。また、伝熱管肉厚は3.5 mm、管内汚れは無いものとしている。

表 3. 5 - 4 に解析条件及び解析結果を示す。同表に示すように、注水率 0.3 kg/s では、管束高さ 3 m 以下で注水位置で圧力・温度条件を $175\text{kg/cm}^2\text{g}$ 、 497°C とすることが可能である。

1 kg/s では、試験開始時で 416°C 、試験終了時（ブロー開始前）で 442°C となる。この場合、いずれも注水部では過熱蒸気となっている。

なお、参考として、注水率 1 kg/s で注水位置で圧力・温度条件を $175\text{kg/cm}^2\text{g}$ 、 497°C とするためには 8.4 m の管束高さが必要となり、現在の反応容器では成立しない。

3 kg/s の場合、管束部圧力損失が大きいため、水加熱器の圧力が $190 \sim 220\text{kg/cm}^2\text{a}$ では、注水位置で圧力を $175\text{kg/cm}^2\text{g}$ とすることが困難である。従って、注水部に設置する R/D 破断圧力を 175kg/cm^2 から、 100kg/cm^2 程度に低下させておく必要がある。蒸気温度は試験開始時に 315°C 、試験終了時（ブロー開始前）に 336°C である。この場合、ほぼ飽和蒸気となっている。

尚、過熱蒸気を供給するためには、

- ・ 反応容器内でのナトリウム加熱では規定の過熱蒸気を得られない
- ・ 水加熱器から注水点までの圧力損失大きい

ことを改善するため、以下の改造が必要である。

- 1) 過熱蒸気発生装置（ボイラー等）または水加熱器を大型化してに過熱蒸気を溜めておく
- 2) 上記 1) の対応により反応容器内でのナトリウム加熱が不要となるため、圧力損失低減の観点からヘリカルコイル及びダウンカマー部の伝熱管を削除する

（２）隣接管での蒸気温度

隣接管については、試験対象部（管束上部リーク模擬）での圧力及び温度が高温ラプチャー現象の発生に重要であり、ブロー開始前まで $175\text{kg/cm}^2\text{g}$ 、 497°C を保持する必要がある。

注水管と同じ条件で静特性解析を実施した結果、必要管束高さは 2.2 m であり、十分条件を達成できることを確認した。

表 3. 5 - 1 注水管用水加熱システム圧力損失

単位 kg/cm²

No.	範 囲	計算対象	注水率	
			1 kg/s	3 kg/s
1	水加熱器～1 B 配管手前	4 B 配管 : 5.1 m 4 B エルボ : 3 個 止め弁 : 1 個 調整弁 : 1 個	0.01	0.08
2	4 B 配管取合～伝熱管手前	1 B 配管 : 5 m 1 B エルボ : 2 個 止め弁 : 1 個 逆止弁 : 1 個	3.10	6.71 ^{*1}
3	伝熱管ダウンカマー	φ31.8×t3.5:7 m バンド : 4 ヶ所	1.22	10.74
4	伝熱管コイル部	φ31.8×t3.5:19 m	6.80 ^{*2}	70.5 ^{*2}
合計圧力損失			11.13	88.03

* 1 : 注水率 3 kg/s の場合、1 B の配管径では、この部分の圧力損失が 27.7 kg/cm² と大きく注水部での圧力が極端に低下するため、配管、弁を 2 B として算出した。

* 2 : 静特性解析により算出

表 3. 5 - 2 隣接管用水加熱システム圧力損失

単位 kg/cm²

No.	範 囲	計 算 対 象	圧 力 損 失
1	水加熱器～ヘッダ	4 B 配管 : 7.7 m 4 B エルブ : 5 個 4 B ティ : 1 個 止め弁 : 1 個 調整弁 : 1 個	0.04
2	ヘッダ	ヘッダ流入・分岐	0.01
3	ヘッダ～伝熱管手前	1 B 配管 : 2 m 止め弁 : 1 個	0.04
4	伝熱管ダウンカマー	φ31.8×t3.5: 7 m ベンド : 4 ヶ所	0.06
5	伝熱管コイル部	φ31.8×t3.5: 19 m	0.25
6	反応容器出口～ヘッダ	φ31.8×t3.5: 7 m ベンド : 2 ヶ所 1 B 配管 : 2 m 止め弁 : 1 個	0.12
合計圧力損失			0.52

表 3. 5 - 3 注水管蒸気温度解析条件及び結果

注水率 kg/s	入口エンタルピー kcal/kg	蒸気温度 °C	蒸気圧力 kg/cm ² g	出口エンタルピー kcal/kg	必要管束 高さ m	圧力損失 kg/cm ²
0.3	542 ^{*1}	497	175	781	2.8	0.68
1.0	542 ^{*1}	416	175	713	3.0	5.70
	593 ^{*2}	442	175	738	3.0	6.80
	542 ^{*2}	497	175	781	8.4	19.1
3.0	542 ^{*1}	315	107 ^{*3}	641	3.0	65.5
	593 ^{*2}	336	102 ^{*3}	683	3.0	70.5

*1 : 220 kg/cm²a の飽和蒸気のエンタルピー (試験開始時)

*2 : 190 kg/cm²a の飽和蒸気のエンタルピー (試験終了時)

*3 : 管束部での圧力損失が大きいため、水加熱器圧力が190～220 kg/cm²a
の時に、ここに示した値となる。

表 3. 5 - 4 注水管蒸気温度解析条件及び結果

注水率 kg/s	入口エンタルピー kcal/kg	蒸気温度 °C	蒸気圧力 kg/cm ² g	出口エンタルピー kcal/kg	必要管束 高さ m	圧力損失 kg/cm ²
0.3	542 ^{*1}	497	175	781	2.8	0.68
1.0	542 ^{*1}	416	175	713	3.0	5.70
	593 ^{*2}	442	175	738	3.0	6.80
	542 ^{*2}	497	175	781	8.4	19.1
3.0	542 ^{*1}	315	107 ^{*3}	641	3.0	65.5
	593 ^{*2}	336	102 ^{*3}	683	3.0	70.5

*1 : 220 kg/cm²a の飽和蒸気のエンタルピー (試験開始時)

*2 : 190 kg/cm²a の飽和蒸気のエンタルピー (試験終了時)

*3 : 管束部での圧力損失が大きいため、水加熱器圧力が190～220 kg/cm²a
の時に、ここに示した値となる。

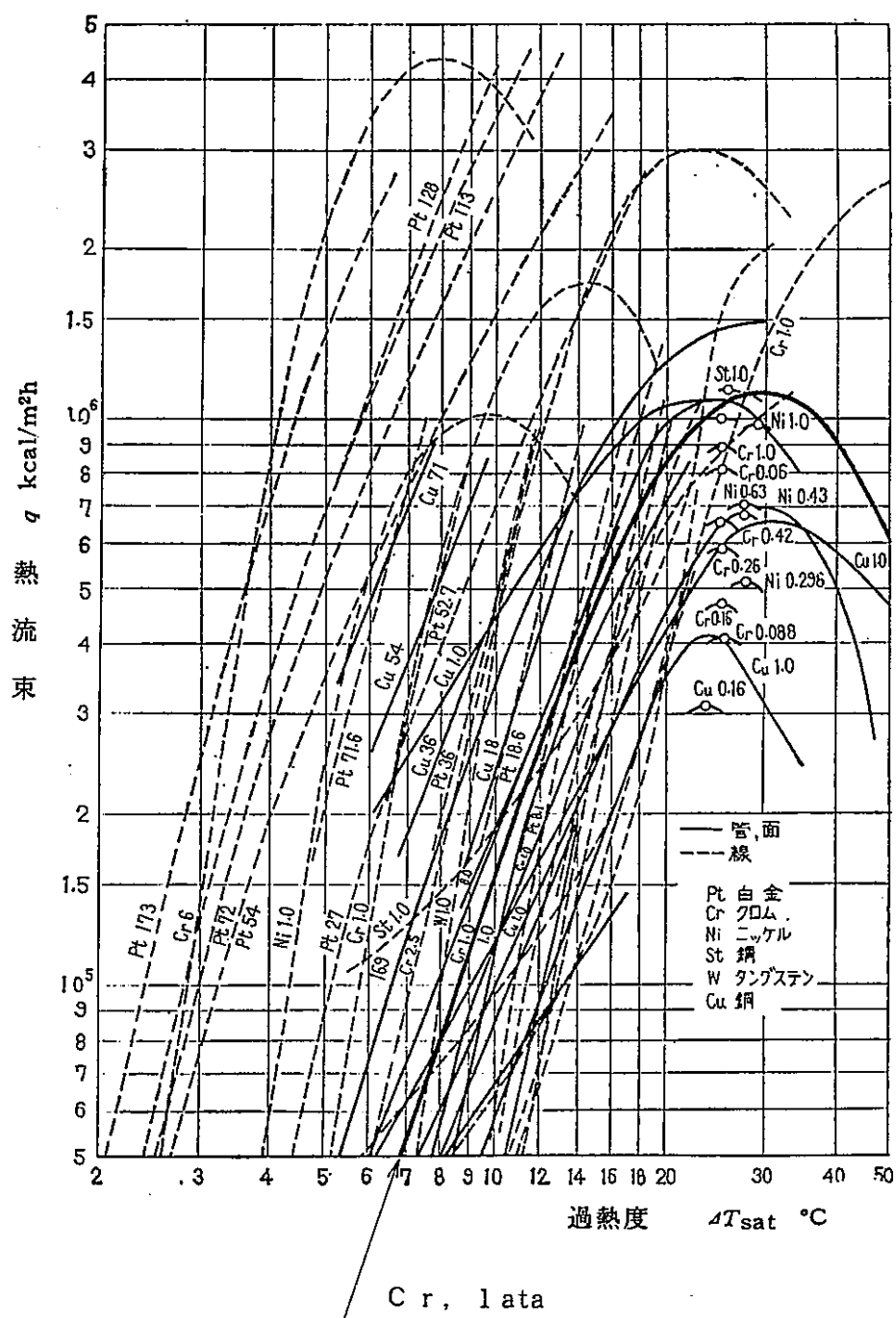
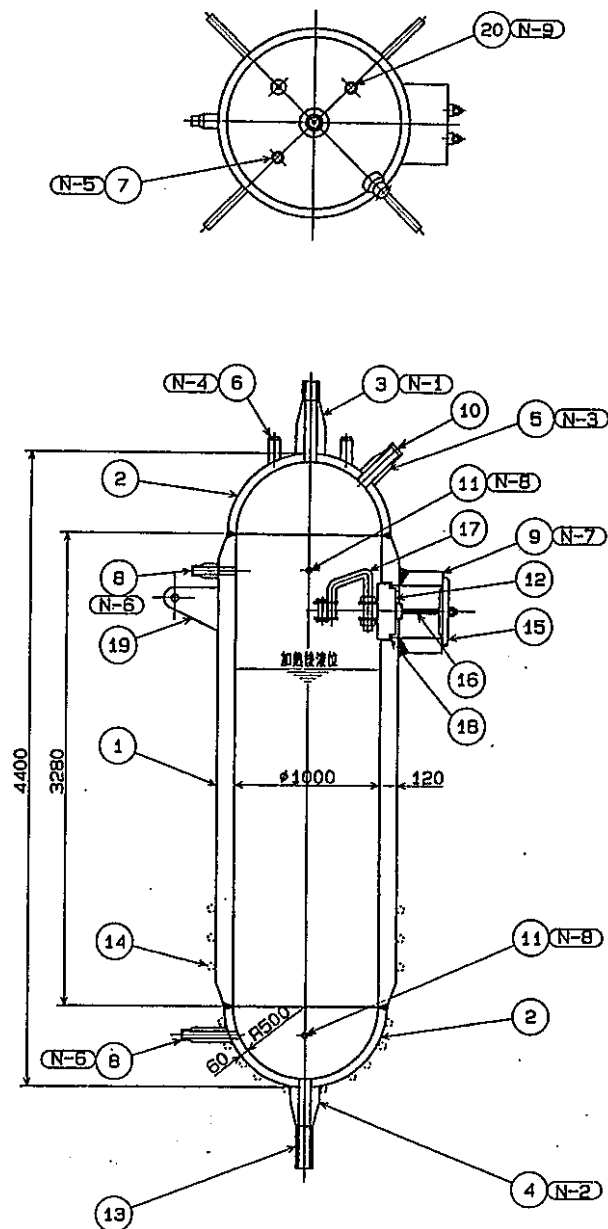


図 3. 5-1 プール沸騰熱伝達率における過熱度と熱流速の関係



設計仕様	
型式	円筒型
最高使用圧力	230kg/cm ² g
最高使用温度	400°C
基数	1
内容量 (液相部)	1.9m ³

N-9	窒素ガス入口管台	SFVA F22A	1	口径 1B
N-8	温度計用座	SFVA F22A	2	口径 38mm
N-7	マンホール座	SFVA F22A	1	口径 380mm
N-6	水面計管台	SFVA F22A	2	口径 1B
N-5	圧力計管台	SFVA F22A	1	口径 1B
N-4	安全弁管台	SFVA F22A	1	口径 32mm
N-3	予備管台	SFVA F22A	1	口径 4B
N-2	水出口管台	SFVA F22A	1	口径 4B
N-1	蒸気出口管台	SFVA F22A	1	口径 4B
符号	名称	材質	個数	備考

管台一覧表

PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED		MASS (kg)		REMARKS
		WORK SPACE	TOTAL	PER ONE	TOTAL	
1	本体胴	SCMV4		1		
2	本体短管	SCMV4		2		
3	蒸気出口管台	SFVAF22A		1		
4	水出口管台	SFVAF22A		1		
5	予備管台	SFVAF22A		1		
6	安全弁管台	SFVAF22A		1		
7	圧力計管台	SFVAF22A		1		
8	水面計管台	SFVAF22A		2		
9	マンホール座	SFVAF22A		1		
10	予備管台蓋	SFVAF22A		1		
11	温度計用座	SFVAF22A		2		
12	マンホール蓋	SFVAF22A		1		
13	水出口管台連結管	STPA24		1		
14	ヒーター	—		1式		
15	マンホールブリッジ	SFVAF22A		2		
16	マンホール締付ボルト	SNB5		2		
17	マンホール閉鎖装置	SFVAF22A		1式		
18	マンホールパッキン	SUS316		1		
19	搬送及び吊り金具	SFVAF22A		4		
20	窒素ガス入口管台	SFVAF22A		1		

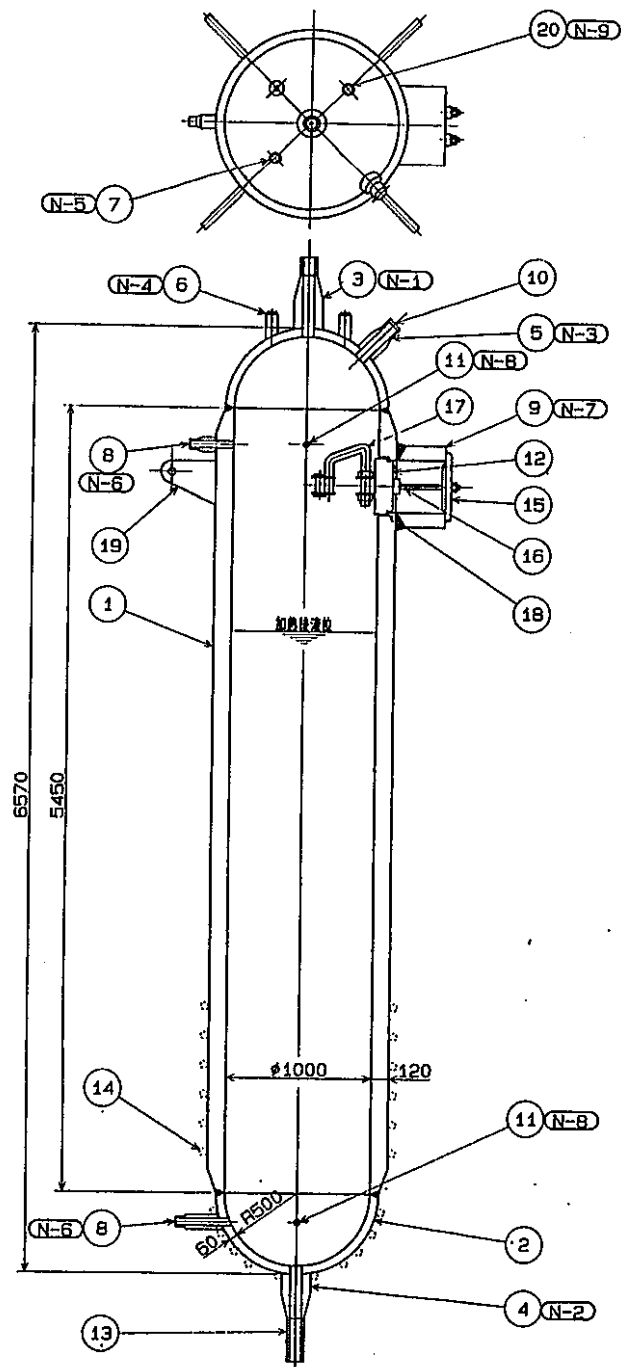
図 3. 5 - 2 水加熱器構造図 (注水管用)

SCALE 1/25	動力炉・核燃料開発事業団	水加熱器構造図 (注水管用)
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3基本設計	
3RD ANGLE PROJECTION	JOB NO. 5535-349/06CA0793 DRAWING NO. 411K103 REV. 1/1	

IHI 石川島重工業株式会社
 東京 芝浦区 東芝ビル
 東芝グループ

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

Toshiba 株式会社 東芝
 TOSHIBA CORPORATION
 TOKYO JAPAN



設計仕様	
型式	円筒型置型
最高使用圧力	230kg/cm ² g
最高使用温度	400° C
添数	1
内容量 (接続部)	3.4m ³

N-9	燃焼ガス入口管台	SFVA F22A	1	口径1B
N-8	温度計用座	SFVA F22A	2	口径38mm
N-7	マンホール座	SFVA F22A	1	口径380mm
N-6	水出口管台	SFVA F22A	2	口径1B
N-5	圧力計管台	SFVA F22A	1	口径1B
N-4	安全弁管台	SFVA F22A	1	口径32mm
N-3	予備管台	SFVA F22A	1	口径4B
N-2	水出口管台	SFVA F22A	1	口径4B
N-1	蒸気出口管台	SFVA F22A	1	口径4B
符号	名称	材質	個数	備考

管台一覧表

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED		MASS (kg)		REMARKS
			WORK	SPARE	TOTAL	PER ONE	
1	本体胴	SCMV4			1		
2	本体横板	SCMV4			2		
3	蒸気出口管台	SFVAF22A			1		
4	水出口管台	SFVAF22A			1		
5	予備管台	SFVAF22A			1		
6	安全弁管台	SFVAF22A			1		
7	圧力計管台	SFVAF22A			1		
8	水出口管台	SFVAF22A			2		
9	マンホール座	SFVAF22A			1		
10	予備管台蓋	SFVAF22A			1		
11	温度計用座	SFVAF22A			2		
12	マンホール蓋	SFVAF22A			1		
13	水出口管台連結管	STPA24			1		
14	ヒーター				1式		
15	マンホールブリッジ	SFVAF22A			2		
16	マンホール締付ボルト	SNB5			2		
17	マンホール開閉装置	SFVAF22A			1式		
18	マンホールパッキン	SUS316			1		
19	搬送及び吊り金具	SFVAF22A			4		
20	燃焼ガス入口管台	SFVAF22A			1		

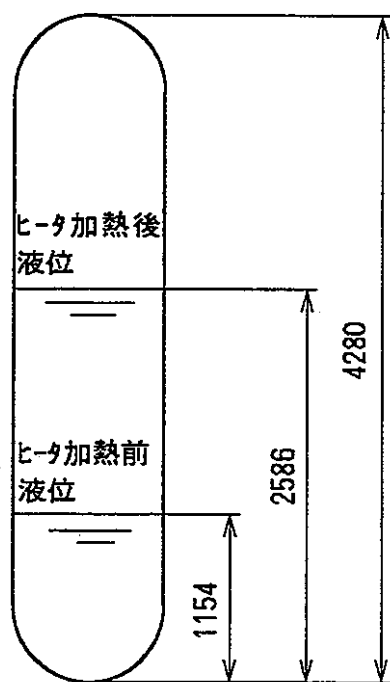
図 3. 5 - 3 水加熱器構造図 (隣接管用)

SCALE 1/25	動力炉・核燃料開発事業団	水加熱器構造図 (隣接管用)
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3基本設計	
3RD ANGLE PROJECTION	石川島重工業株式会社 東京電力株式会社 東京電力燃料部	JOB NO. 5535-349 06CA0941 DRAWING NO. 411K104 REV. 1/1

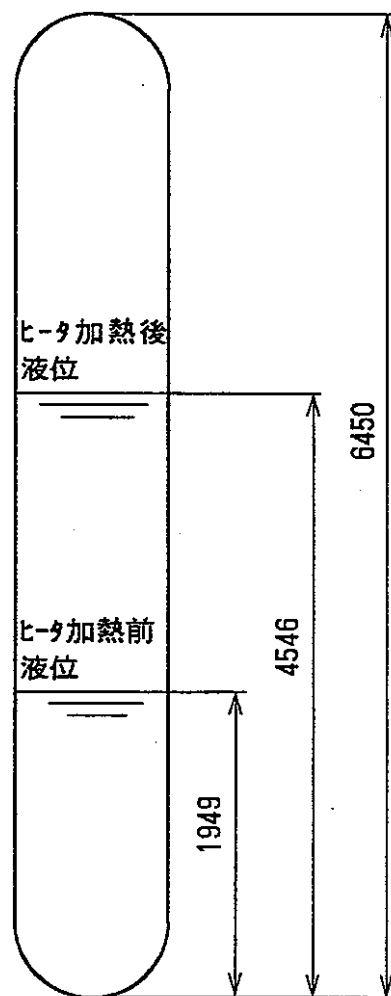


株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

IHI



注水管用



隣接管用

図 3. 5 - 4 水加熱器初期液位

3. 6 反応容器の耐熱・耐震評価

3. 6. 1 目的

反応容器の構造健全性を見通しを得るために、耐熱・耐震評価を行う。

3. 6. 2 適用法規・規格・基準

以下に適用法規・規格及び基準を示す。

- ① 建築基準法
- ② ナトリウム冷却型高速増殖炉発電所の原子炉施設に関する構造等の技術規準
- ③ 鋼構造設計規準 (A I J)
- ④ 日本工業規格 (J I S)

3. 6. 3 耐熱評価

反応容器の注水点近傍部は、注水開始とともに高温となることから、反応点近傍部での温度分布解析及び熱応力解析を実施し、本体胴部の構造健全性を見通す。

(1) 解析条件

- ① ナトリウム温度：初期温度 5 2 0 °C

反応直後 0. 1 秒で 8 0 0 °C、継続時間 1 0 3 秒

(注水率 1 kg/s 試験の最大継続時間相当)

反応終了後 5 2 0 °C 一定

- ② ナトリウム側熱伝達率：2 0 0 0 0 kcal/m²h°C

- ③ 解析モデル : 図 3. 6 - 1 に示す。

- ④ 拘束条件 : 図 3. 6 - 2 に示す。

- ⑤ 解析コード : F I N A S

- ⑥ 使用要素 : 温度分布解析

・ 熱伝導 4 節点四辺形軸対称要素 H Q A X 4

・ 熱伝達 2 節点軸対称要素 F L A X 2

熱応力解析

・ 4 節点四辺形軸対称要素 Q A X 4

(2) 解析結果及び評価

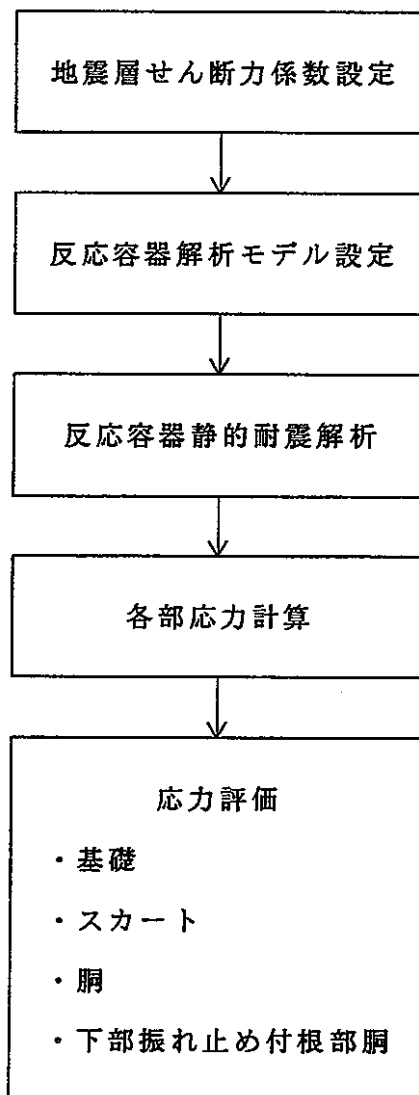
図 3. 6 - 3 及び図 3. 6 - 4 に本体胴及びシュラウドの各部温度変化挙動結果を示す。本体胴に着目すると、本体胴温度は、注水開始後約 2 8 0 秒で最大 5 5 2 °C まで達しているが、反応容器の最高使用温度である 5 5 5 °C 以下である。

本体胴の板厚方向に大きな温度差が生じているのは、時刻約140秒から200秒にかけての範囲であることから、この時刻における熱応力解析を実施した。この結果最大の応力が発生したのは、時刻160秒であった。各成分毎の発生応力分布を図3.6-5に示す。

最大応力は、径方向及び周方向の本体胴内面側に発生している。この値は、約 2.2 kg/mm^2 （膜+曲げ+ピーク応力）程度の値であり、反応容器本体胴部は試験時の温度上昇に対して健全である見通しが得られた。

3. 6. 4 耐震評価

(1) 計算手順



(2) 地震加速度 (地震層せん断力係数)

a. 適用法規

- ① 法律第201号 建築基準法
- ② 政令第170号 建築基準法施行令によるものとする。
- ③ 建設省告示第1793号 Zの数値, R_t 及び A_1 を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準

b. 計算式

上記政令中の第88条より

$$C_1 = Z \cdot R_t \cdot A_1 \cdot C_0$$

ここで C_1 : 地震層せん断力係数

Z : 過去の震害を基に定める係数

R_1 : 振動特性を表す係数

A_1 : 地震層せん断力係数の建築物高さ方向分布を表す係数

C_0 : 標準せん断力係数

c. 地震層せん断力係数の算出

SWAT-Ⅲ架台各階層の自重・載荷重量を図3.6-6に示す。なお載荷重量算出の基本的な考え方を以下に示す。

- ① 反応容器 : 平成5年度SWAT-Ⅲ改造予備設計における概算重量にナトリウムインベントリ5.5 m^3 分の520℃ナトリウム重量を含めるものとする。
- ② 水加熱器(注水管用) : 平成5年度SWAT-Ⅲ改造予備設計における概算重量に上記計画タンク長さと同年度計画タンク長さとの比例倍。タンク内重量には221 kg/cm^2 の飽和水3.4 m^3 が含まれるものとする。
- ③ 水加熱器(隣接管用) : 平成5年度SWAT-Ⅲ改造予備設計における概算重量に上記計画タンク長さと同年度計画タンク長さとの比例倍。タンク内重量には221 kg/cm^2 の飽和水1.9 m^3 が含まれるものとする。
- ④ ナトリウムタンク : SWAT-Ⅲ建設時の反応容器構造図より重量を推定し、ナトリウムインベントリ4.35 m^3 分の520℃ナトリウム重量を含めるものとする。
- ⑤ 配管 : 配管重量は支持点が明確でないことと容器自重と比較して軽量であることから無視する。

政令第170号、建設省告示第1793号および動燃団殿からの地盤連絡より

$$C_0 = 0.2$$

$$Z = 1.0$$

$$T_c = 0.8$$

$$R_1 = 1.0 \quad R_1 \text{の算出は}$$

$$T = h (0.02 + 0.01 \alpha)$$

α : 建物の内、木造または鉄骨である割合 = 1.0

h : 建物の高さ = 13.0 m

であるので

$$T = 0.39 \text{ となり}$$

$T < T_0$ の場合に該当する。

$$A_1 = 1 + (1 / \sqrt{\alpha_1 - \alpha_1}) \frac{2T}{1 + 3T}$$

α_1 は図 3.6-6 より

$$\alpha_1 (\text{at FL } 2.5 \text{ m}) = 1.0$$

$$\alpha_1 (\text{at FL } 5.0 \text{ m}) = 0.962$$

$$\alpha_1 (\text{at FL } 7.3 \text{ m}) = 0.4891$$

$$\alpha_1 (\text{at FL } 7.5 \text{ m}) = 0.4657$$

$$\alpha_1 (\text{at FL } 9.65 \text{ m}) = 0.4622$$

$$\alpha_1 (\text{at FL } 10.0 \text{ m}) = 0.4458$$

$$\alpha_1 (\text{at FL } 11.375 \text{ m}) = 0.4343$$

$$\alpha_1 (\text{at FL } 13.0 \text{ m}) = 0.4268$$

であるので

$$A_1 (\text{at FL } 2.5 \text{ m}) = 1.0$$

$$A_1 (\text{at FL } 5.0 \text{ m}) = 1.0207$$

$$A_1 (\text{at FL } 7.3 \text{ m}) = 1.3381$$

$$A_1 (\text{at FL } 7.5 \text{ m}) = 1.3593$$

$$A_1 (\text{at FL } 9.65 \text{ m}) = 1.3625$$

$$A_1 (\text{at FL } 10.0 \text{ m}) = 1.3781$$

$$A_1 (\text{at FL } 11.375 \text{ m}) = 1.3893$$

$$A_1 (\text{at FL } 13.0 \text{ m}) = 1.3968$$

従って各階層の地震せん断力係数 C_1 は

$$C_1 (\text{at FL } 2.5 \text{ m}) = 0.2$$

$$C_1 (\text{at FL } 5.0 \text{ m}) = 0.21$$

$$C_1 (\text{at FL } 7.3 \text{ m}) = 0.27$$

$$C_1(z=FL7.5m) = 0.28$$

}

$$C_1(z=FL13.0m) = 0.28 \text{ となり、}$$

反応容器据付レベルがFL+5.0mであるので反応容器の設計用地震加速度は0.21Gとする。

(3) 計算条件

a. 計算モデル

反応容器をビーム要素に置き換えたモデルによる静的弾性計算とする。

計算モデルを図3.6-7に示す。

b. 計算コード

汎用非線形解析コード「FINAS」

c. 下部振れ止めバネ定数

$5.79 \times 10^6 \text{ kg/mm}$ とする。算出過程を添付資料3.6-1に示す。

d. 反応容器重量

反応容器構成部品重量	23,753 kg
反応容器内部ナトリウム重量	4,500 kg
合計	28,253 kg

e. 重心

反応容器フランジ合せ面から1.86m下方の位置。

f. 物性値

a) 縦弾性係数 $15,960 \text{ kg/mm}^2$

b) ポアソン比 0.3

(4) 計算結果

解析結果の要約は以下のとおりである。

a. 各部部材力

単位：kg, m

要素番号	発生部材力			備 考
	軸 力	せん断力	曲げモーメント	
1	28,253	4,353	6.78×10^3	スカート
2	28,253	4,353	3.88×10^3	胴（スカート付根）
3	0	1,580	0	胴（振れ止め付根）

b. 反 力

単位：kg, m

支持点名称	節点番号	鉛直方向 (W)	水平方向 (R)	転倒モーメント (M)
スカート基礎	1	28,253	4,353	6.78×10^3
下部振れ止め	5	0	1,580	0

(5) 応力算出

a. スカート部

a) 断面性能

①断面積 $(A_x) : 6.18 \times 10^4 \text{ mm}^2$

②せん断有効断面積 $(A_z) : 3.09 \times 10^4 \text{ mm}^2$

③断面係数 $(Z_z) : 2.51 \times 10^7 \text{ mm}^3$

b) 発生応力

①軸応力 $(\sigma_{Ax}) : 0.46 \text{ kg/mm}^2$

②せん断応力 $(\tau_z) : 0.14 \text{ kg/mm}^2$

③曲げ応力 $(\sigma_b) : 0.27 \text{ kg/mm}^2$

c) 組合せ応力

$$\sigma_1 = \sqrt{(\sigma_{Ax} + \sigma_b)^2 + 3\tau_z^2} = 0.76 \text{ kg/mm}^2$$

b. 胴 (スカート付根部)

a) 断面性能

①断面積 $(A_x) : 12.53 \times 10^4 \text{ mm}^2$

②せん断有効断面積 $(A_z) : 6.27 \times 10^4 \text{ mm}^2$

③断面係数 $(Z_z) : 4.08 \times 10^7 \text{ mm}^3$

b) 発生応力

①軸応力 $(\sigma_{Ax}) : 0.23 \text{ kg/mm}^2$

②せん断応力 $(\tau_z) : 0.07 \text{ kg/mm}^2$

③曲げ応力 $(\sigma_b) : 0.10 \text{ kg/mm}^2$

c) 組合せ応力

$$\sigma_2 = \sqrt{(\sigma_{Ax} + \sigma_b)^2 + 3\tau_z^2} = 0.35 \text{ kg/mm}^2$$

c. 胴 (振れ止め付根部)

a) 応力算出式

$$\sigma_{h\gamma} = \left[\frac{N_h}{M_c / (\gamma_m^2 \beta)} \right] \left[\frac{M_c}{\gamma_m^2 t \beta} \right] C_c$$

$$\sigma_{x\gamma} = \left[\frac{N_x}{M_c / (\gamma_m^2 \beta)} \right] \left[\frac{M_c}{\gamma_m^2 t \beta} \right] C_c$$

ここで N_h : 参考文献 (1) による胴に生じる軸方向膜力 (kg/mm)

N_x : 参考文献 (1) による胴に生じる周方向膜力 (kg/mm)

M_c : 水平力による胴のラグ付根部の周方向モーメント (kg・mm)

$$= 1.58 \times 10^5$$

r_m : 胴の等価半径 (mm) = 665

t : 胴の板厚 (mm) = 30

C_c : 参考文献 (1) による定数 (—) = 0.64 (σ_{h7} 用)

= 0.75 (σ_{x7} 用)

β_1 : 参考文献 (1) によるアタッチメントパラメータ (—)

$$= 0.045$$

β_2 : 参考文献 (1) によるアタッチメントパラメータ (—)

$$= 0.045$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \beta_2} = 0.045$$

σ_{h7} : 周方向モーメントによるラグ付根部の周方向応力

(kg/mm²)

σ_{x7} : 周方向モーメントによるラグ付根部の軸方向応力

(kg/mm²)

$$\tau_{c1} = \frac{Q}{4 C_1 t}$$

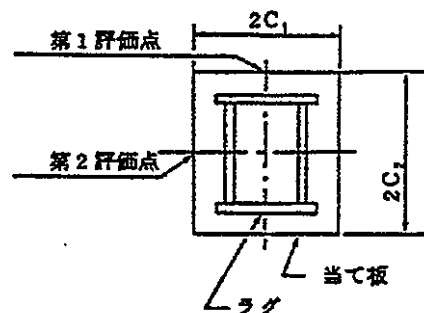
ここで Q : ラグ付根に生じる水平力。従って $R/2$ (kg) = 790

C_1 : ラグの胴付根における幅の $1/2$ (mm) = 100

τ_{c1} : ラグ付根の胴に生じる周方向せん断応力 (kg/mm²)

b) 応力計算結果

ラグの付根部の胴に生じる応力の組合せは評価点を下図のとおりに区分して行う。



①第1評価点

τ_{c1} のみで評価する。

$$\tau_{c1} = 0.07 \text{ kg/mm}^2$$

②第2評価点

σ_{h7} , σ_{x7} を各々評価する。

$$\sigma_{h7} = 0.05 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{x7} = 0.06 \text{ kg/mm}^2$$

d. スカート基礎

a) 応力算出式

$$t_1 = \frac{n A_b}{\pi D_c} = 5.66$$

$$t_2 = \frac{1}{2} (D_{b0} - D_{bi}) - t_1 = 194.34$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \sigma_c}} = 1$$

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2k) = \pi$$

$$e = \frac{1}{2} \left[\frac{(\pi - \alpha) \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right] = 0.75$$

$$z = \frac{1}{2} \left[\cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \alpha - \frac{3}{2} \sin \alpha \cos \alpha + \alpha \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \right]$$

$$= 0.25$$

$$C_t = \frac{2 \{ (\pi - \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} = 0$$

$$C_n = \frac{2 (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} = \pi$$

$$F_t = \frac{M_s - W_z D_c}{e D_c} = -4324.7 \text{ kg}$$

よって引張力は作用しない。

$$F_c = F_t + W = 23928.3 \text{ kg}$$

$$\sigma_b = \frac{2 F_t}{t_1 D_c C_t}$$

$$\sigma_c = \frac{2 F_c}{(t_2 + s t_1) D_c C_n}$$

$$\tau_b = \frac{R}{n A_b}$$

ここで n : 基礎ボルトの本数 (ー) = 36

A_b : 基礎ボルト1本当たりの断面積 (mm²) = 876.3

D_c : 基礎ボルトのピッチ円径 (mm) = 1775

D_{b0} : ベースプレートの外径 (mm) = 1990

D_{bi} : ベースプレートの内径 (mm) = 1500

s : 基礎ボルトと架台の縦弾性係数比 (ー)

ここでは鋼製同士であり = 1

M_s : スカートに作用する転倒モーメント (kg・mm)

$$= 6.78 \times 10^6$$

W : スカートに作用する容器の自重 (kg) = 28253

R : スカートに作用する水平力 (kg) = 4353

z : 基礎ボルト計算における係数 (ー)

t_1 : 基礎ボルト面積相当板幅 (mm)

t_2 : 圧縮側架台相当幅 (mm)

k : 基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数 (ー)

α : 基礎ボルト計算における中立軸を定める角度 (rad)

e : 基礎ボルト計算における係数 (—)

C_t : 基礎ボルト計算における係数 (—)

C_n : 基礎ボルト計算における係数 (—)

F_t : 基礎ボルトに作用する引張力 (kg)

F_c : 基礎架台に作用する圧縮力 (kg)

σ_b : 基礎ボルトの引張応力 (kg/mm²)

σ_c : 基礎架台の圧縮応力 (kg/mm²)

τ_b : 基礎ボルトのせん断応力 (kg/mm²)

b) 応力計算結果

$$\sigma_b = 0 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_c = 0.043 \text{ kg/mm}^2$$

$$\tau_b = 0.14 \text{ kg/mm}^2$$

(5) 応力評価

a. スカート部

a) 許容応力

$$\begin{aligned} S a &= \min. (S_y, 0.6 S_u) = \min. (17.6, 22.8) \\ &= 17.6 \text{ kg/mm}^2 \text{ (材料は S S 4 1)} \end{aligned}$$

b) 評価

$$\sigma_1 = 0.76 \text{ kg/mm}^2 < S a = 17.6 \text{ kg/mm}^2$$

b. 胴 (スカート付根部)

a) 許容応力

$$\begin{aligned} S a &= \min. (1.2 S_y, 0.6 S_u) = \min. (13.2, 22.1) \\ &= 13.2 \text{ kg/mm}^2 \text{ (材料は S U S 3 0 4)} \end{aligned}$$

b) 評価

$$\sigma_2 = 0.35 \text{ kg/mm}^2 < S a = 13.2 \text{ kg/mm}^2$$

c. 胴 (振れ止め付根部)

a) 許容応力

胴 (スカート付根部) と同一である。

b) 評価

① 第1評価点

$$\tau_{c1} = 0.07 \text{ kg/mm}^2 < S_a = 13.2 \text{ kg/mm}^2$$

②第2評価点

$$\sigma_{h7} = 0.05 \text{ kg/mm}^2 < S_a = 13.2 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_{x7} = 0.06 \text{ kg/mm}^2 < S_a = 13.2 \text{ kg/mm}^2$$

d. スカート基礎

a) 許容応力

$$\begin{aligned} f_{sb} &= 1.5 F / 1.5 / \sqrt{3} = 26.4 / 1.5 / \sqrt{3} \\ &= 10.1 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

b) 評価

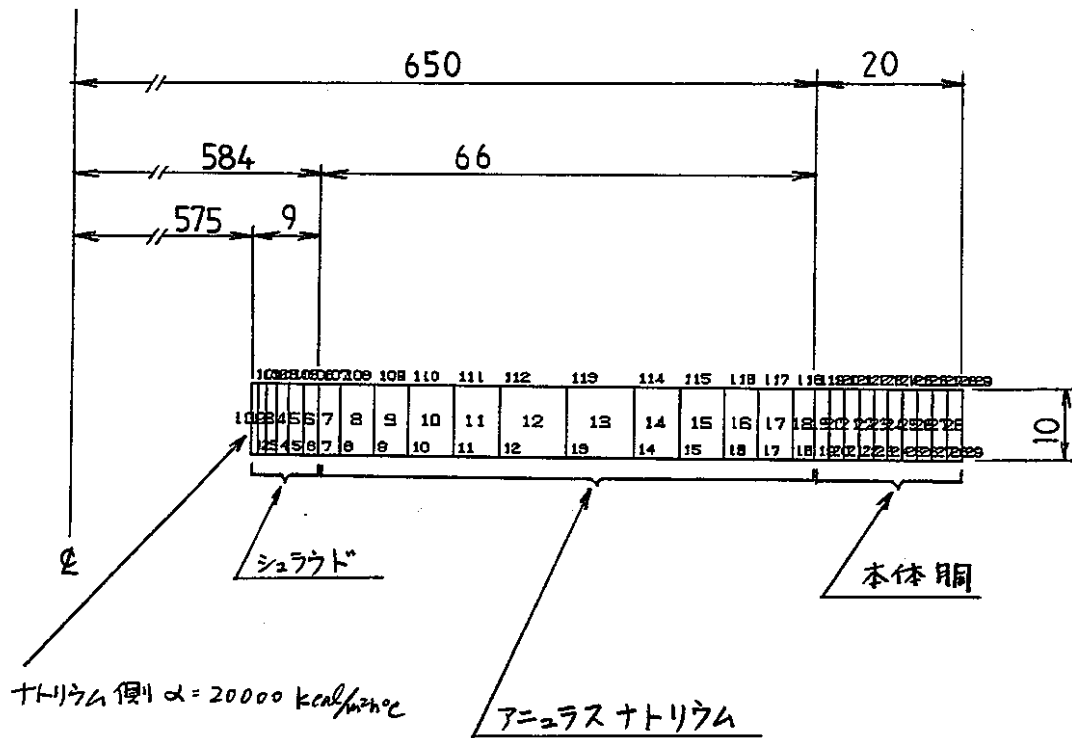
$$\tau_b = 0.14 \text{ kg/mm}^2 < f_{sb} = 10.1 \text{ kg/mm}^2$$

以上より、各部発生応力は何れも許容応力を満足しており反応容器の耐震強度は十分である。

3. 6. 4 参考文献

- ① 「Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings」(WELDING RESEARCH COUNCIL BULLETIN No.107 AUG.1965,REV.MAR.1979)
- ② もんじゅ設工認申請書3回分 資料3-1「高速原型炉第3種容器及び第4種容器の耐震計算書作成の基本方針」
 - ・添付2 スカート支持たて置円筒形容器(耐震クラスB)の耐震計算書作成の基本方針
 - ・添付6 中間支持たて置円筒形容器(耐震クラスB)の耐震計算書作成の基本方針

FINAS

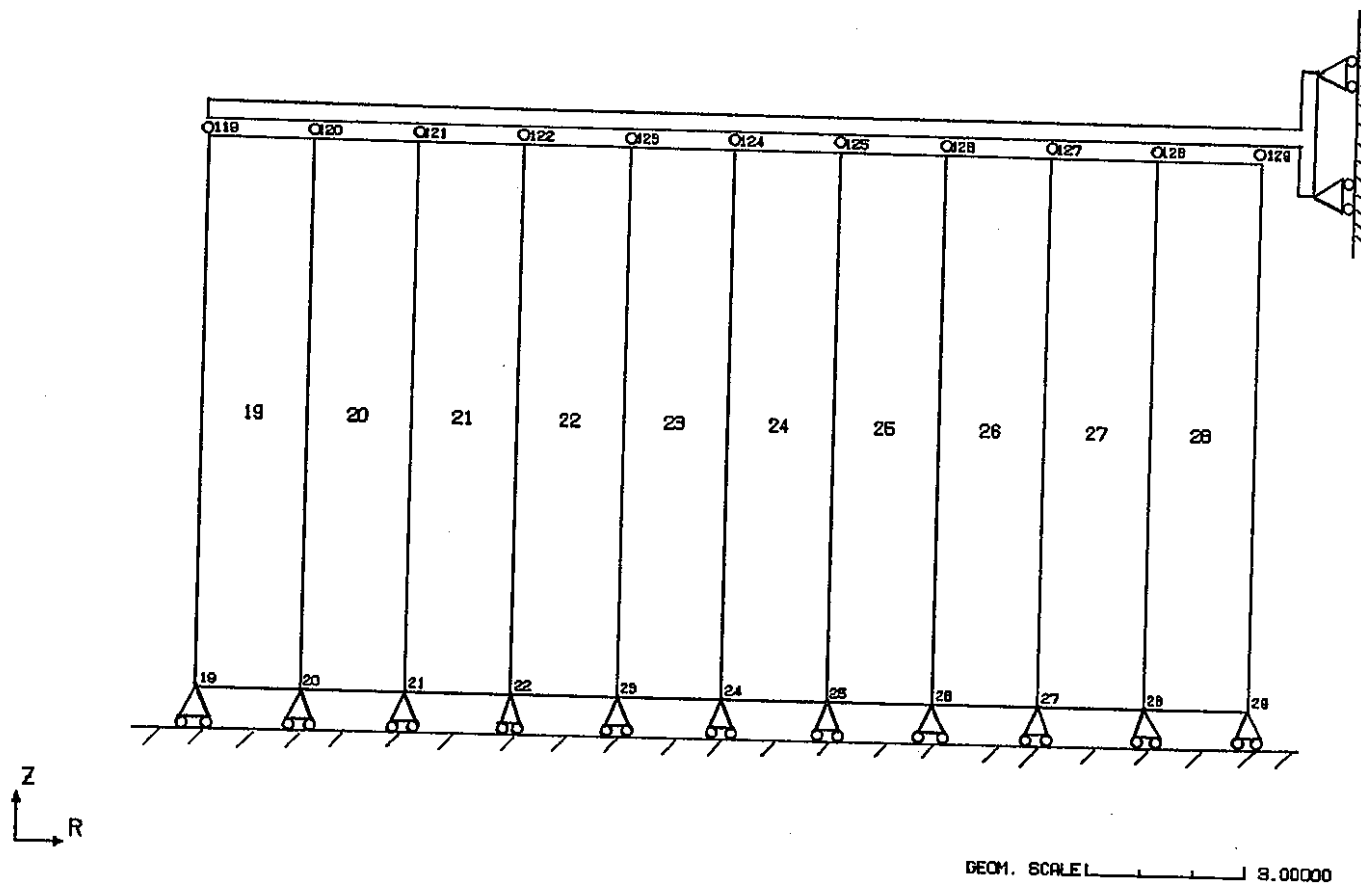


SWAT-3 RT THERMAL DISTRIBUTION ANALYSIS

図 3. 6 - 1 反応容器本体胴温度分布解析モデル

FINAS

3.6-16

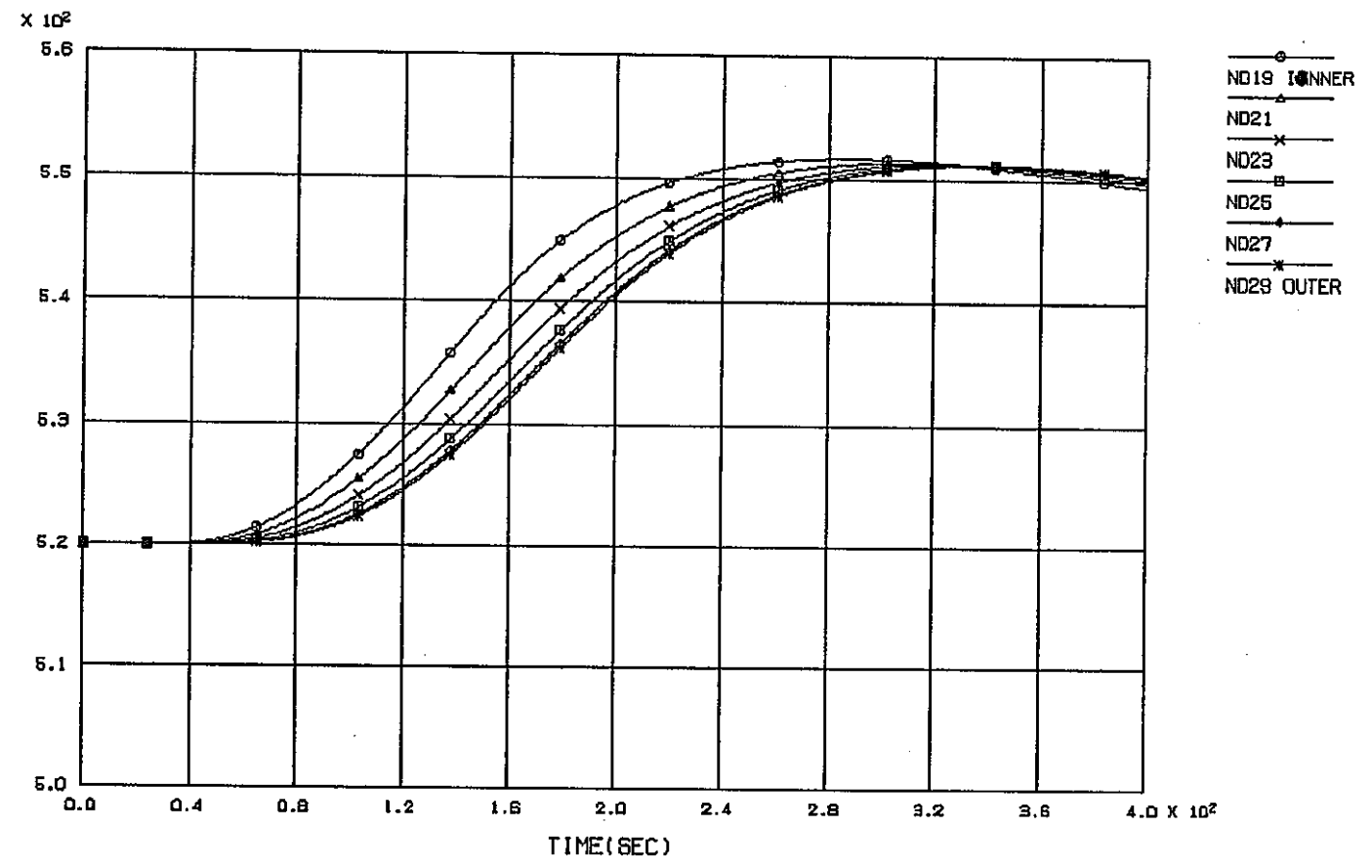


SWAT-3 THERMAL STRESS

图 3. 6 - 2 反应容器本体热应力解析拘束条件

3.6-17

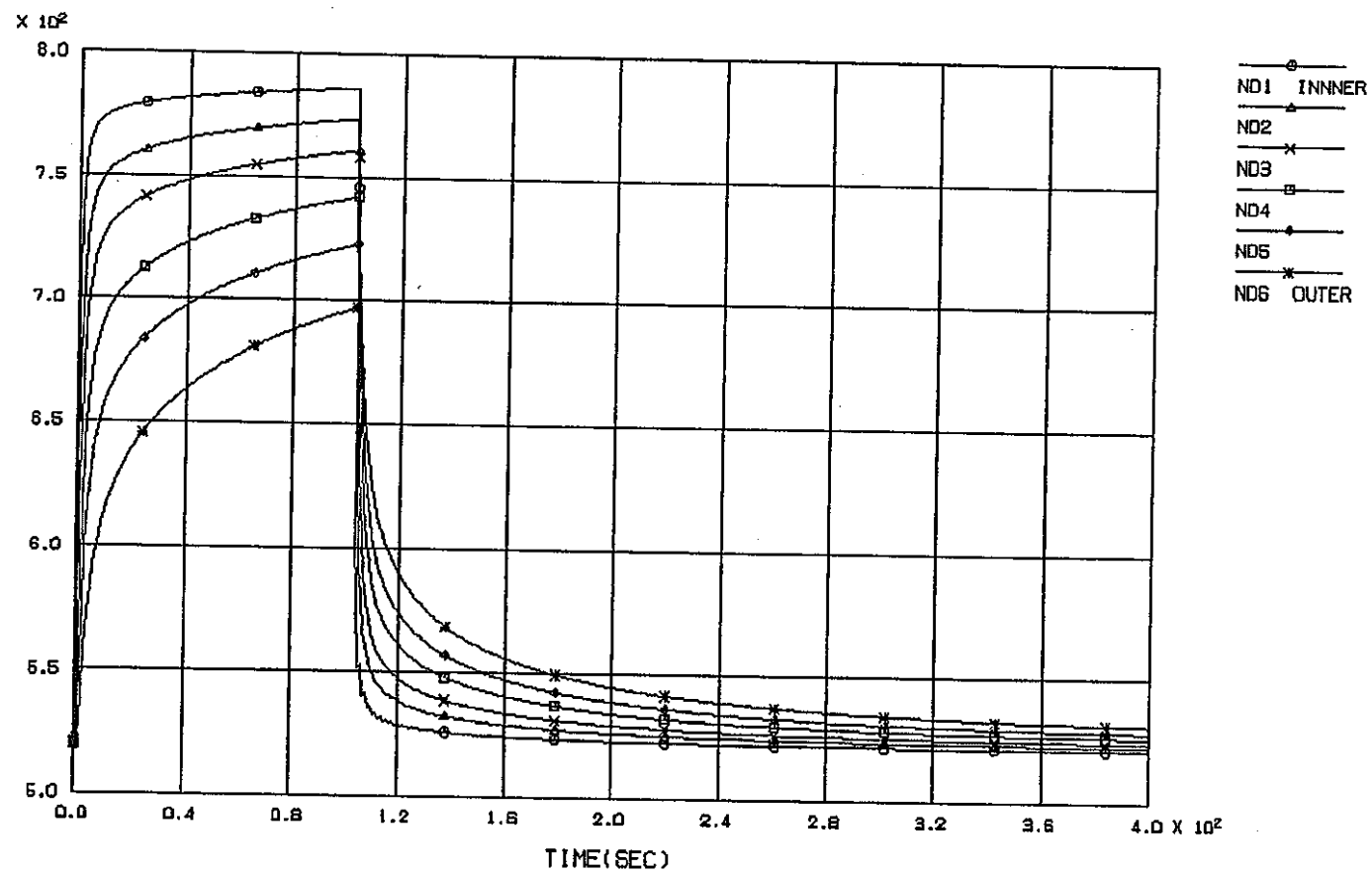
FINAS



TIME HISTORY OF NODAL TEMPERATURE

图 3. 6 - 3 本体胴温度变化挙動

FINAS



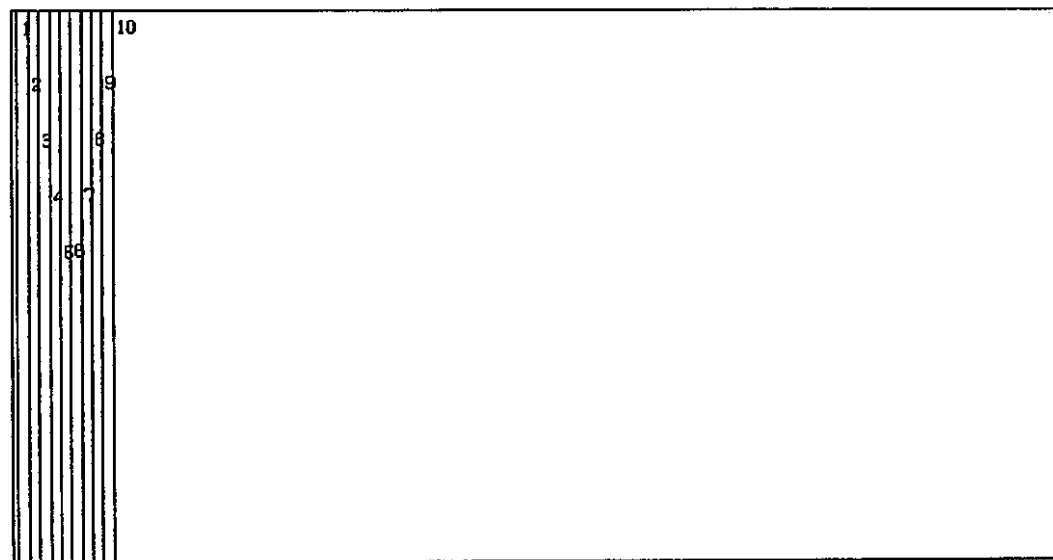
TIME HISTORY OF NODAL TEMPERATURE

図 3. 6 - 4 シュラウド温度変化挙動

FINAS
STRESS COMPONENT 1

CONTOUR VALUES

1	-0.36500
2	-0.32300
3	-0.28100
4	-0.23900
5	-0.19700
6	-0.15500
7	-0.11300
8	-7.10-02
9	-2.80-02
10	1.300-02



STEP NO. 3

DECM. SCALE 1 3.00000

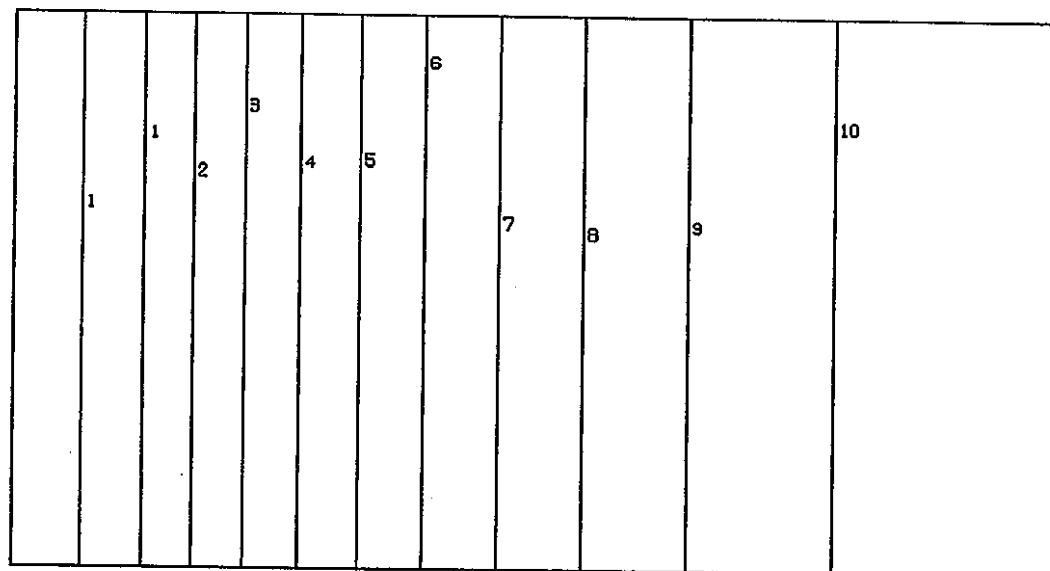
SWAT-3 THERMAL STRESS

图 3. 6 - 5 (1 / 4) 本体胴熱応力分布 (時刻 1 6 0 秒 : 半径方向)

FINAS
STRESS COMPONENT 2

CONTOUR VALUES

1 -2.18000
2 -1.78000
3 -1.38000
4 -0.98000
5 -0.58000
6 -0.18000
7 0.220000
8 0.620000
9 1.020000
10 1.420000



STEP NO. 3

DECM. SCALE 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

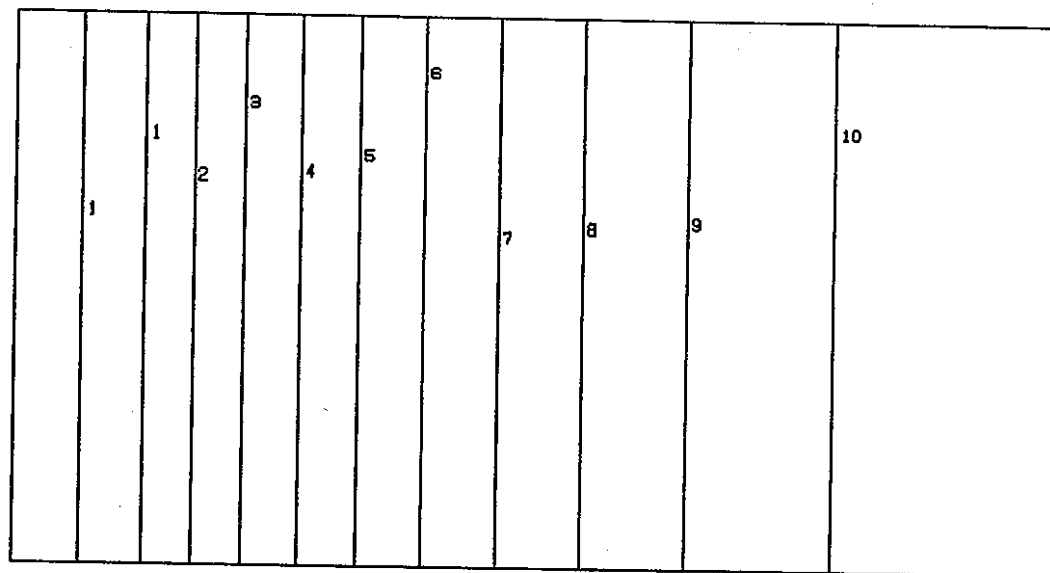
SWAT-3 THERMAL STRESS

図 3. 6 - 5 (2 / 4) 本体胴熱応力分布 (時刻 1 6 0 秒 : 高さ方向)

FINAS
STRESS COMPONENT 3

CONTOUR VALUES

1 -2.17000
2 -1.77000
3 -1.37000
4 -0.97000
5 -0.57000
6 -0.17000
7 0.230000
8 0.630000
9 1.030000
10 1.430000



Z
R

STEP NO. 3

GEOM. SCALE 1 3.00000

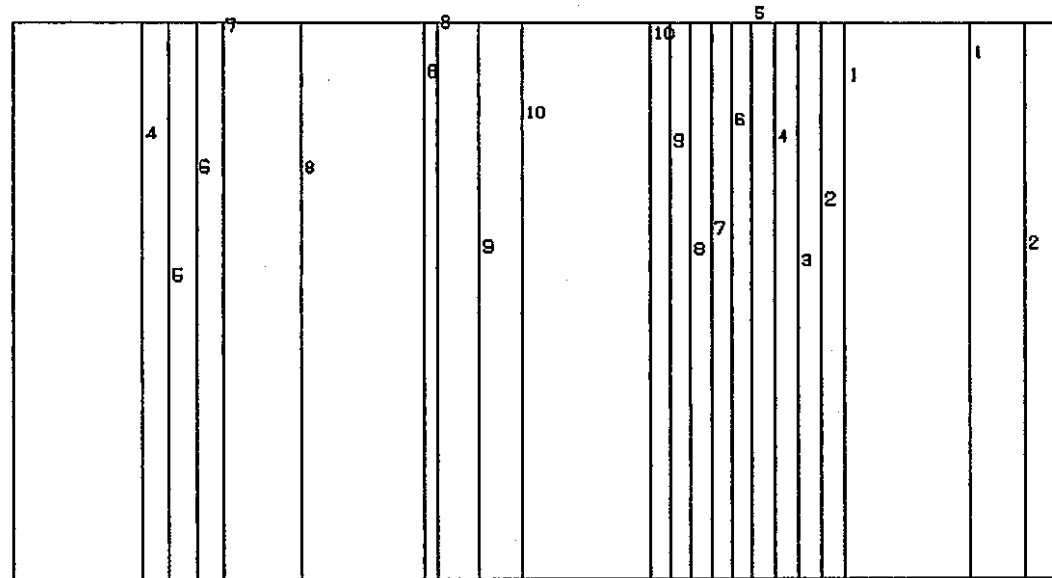
SWAT-3 THERMAL STRESS

图 3. 6 - 5 (3 / 4) 本体胴熱応力分布 (時刻 1 6 0 秒 : 周方向)

FINAS
STRESS COMPONENT 4

CONTOUR VALUES

1 -3.12-12
2 -2.42-12
3 -1.72-12
4 -1.02-12
5 -3.20-19
6 3.800-13
7 1.080-12
8 1.780-12
9 2.480-12
10 3.180-12



STEP NO. 3

DECM. SCALE 1 3.00000

SWAT-3 THERMAL STRESS

図 3. 6 - 5 (4 / 4) 本体胴熱応力分布 (時刻 1 6 0 秒 : せん断)

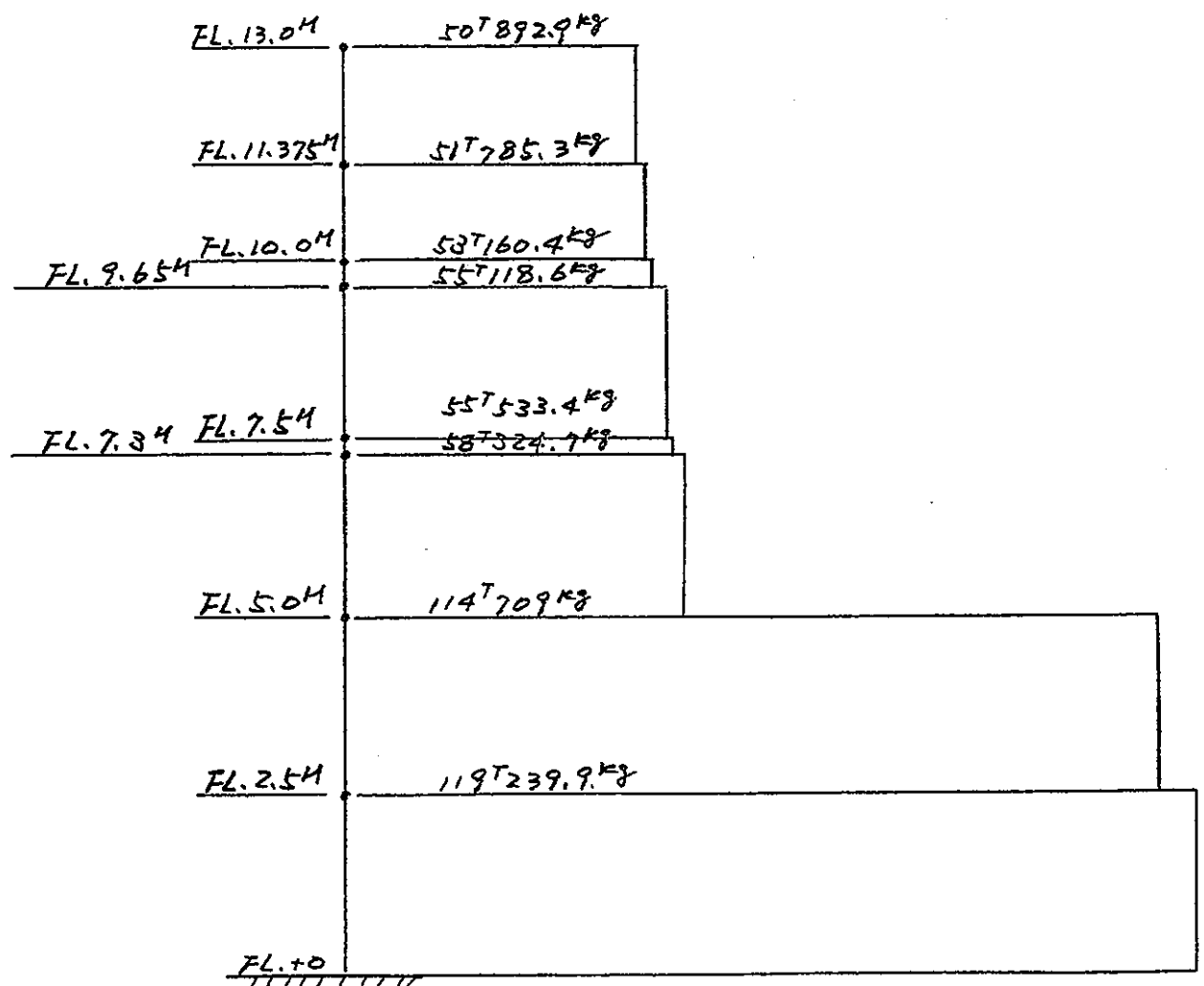
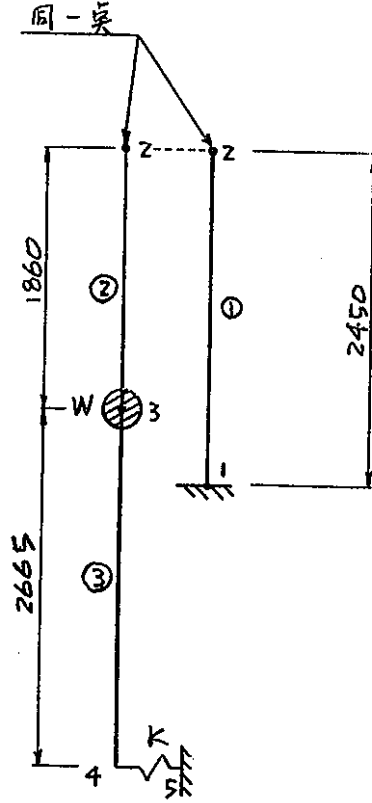
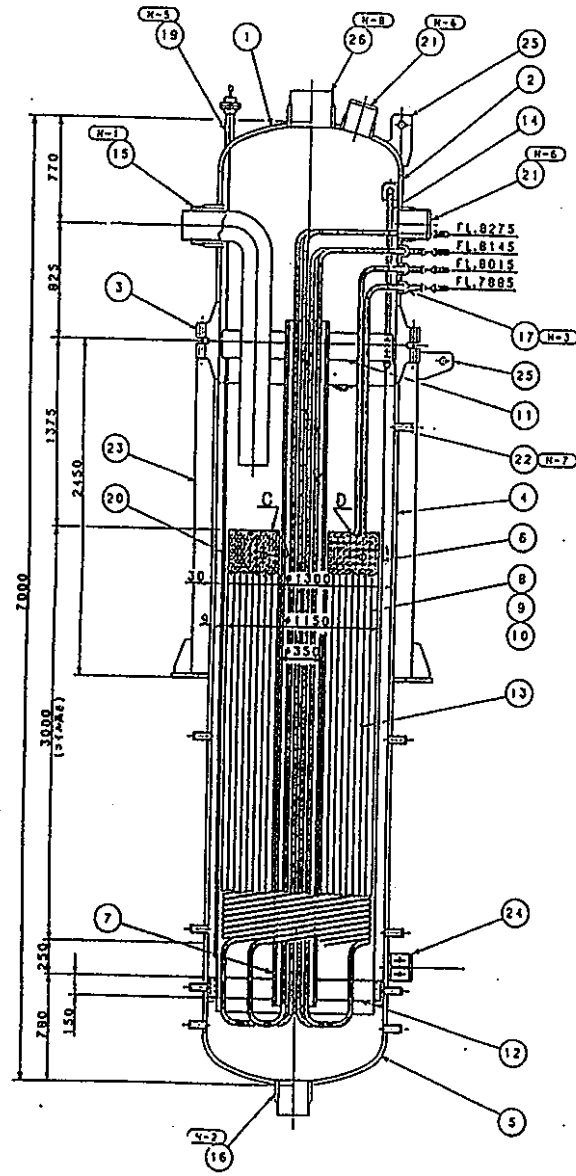


図 3. 6 - 6 架台各層が支える荷重

3.6-24



1~5: 節点番号
①~③: 要素番号

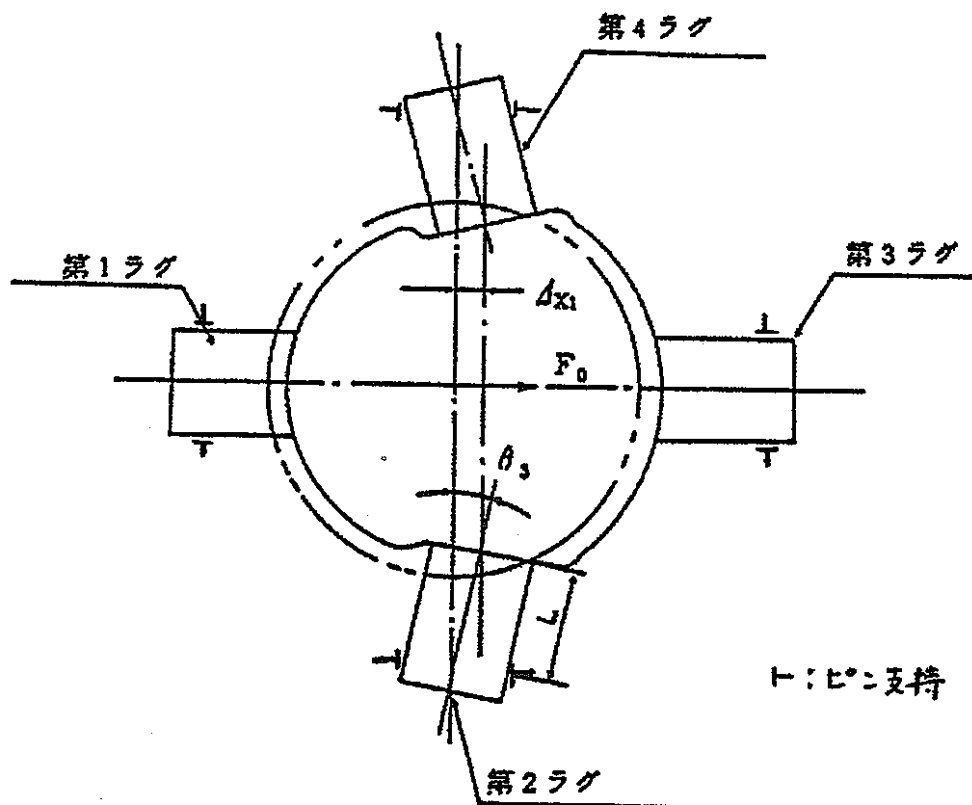
要素断面性能

要素番号	断面積 (mm ²)	せん断断面積 (mm ²)	断面2次モーメント (mm ⁴)
①	6.18×10^4	3.09×10^4	2.07×10^{10}
②	12.53×10^4	6.27×10^4	2.77×10^{10}
③	12.53×10^4	6.27×10^4	2.77×10^{10}

$$K = 5.79 \times 10^6 \text{ kg/mm}$$

図 3. 6 - 7 反応容器耐震解析モデル

添付資料 3. 6 - 1 振れ止めバネ定数の算出



$L = 200 \text{ mm}$ (ラグのモーメントアーム)

$R_m = 665 \text{ mm}$ (胴の等価半径)

$t = 30 \text{ mm}$ (胴の板厚)

$\gamma = R_m / t = 22.17$

$C_1 = 100 \text{ mm}$

$C_2 = 100 \text{ mm}$

$\beta_1 = C_1 / R_m = 0.1504$

$K_c = 1.09$ (参考文献(1)のTable 7より)

$\beta = K_c \beta_1 = 0.164$

$E = 15960 \text{ kg/mm}^2$

$M_c = 2 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ (仮定)

よって

$Q = 10000 \text{ kg}$

$\theta = \frac{M_c K_c}{R_m^3 \beta^2 E} = 1.727 \times 10^{-5} \text{ rad.}$

$\Delta x = L \theta = 3.454 \times 10^{-3} \text{ mm}$

$K = F_0 / \Delta x = 5.79 \times 10^6 \text{ kg/mm}$

3. 7 配管の耐熱・耐震評価

3. 7. 1 概要

SWAT-3のナトリウム主循環系配管では高温Naが流動するため、配管系の基本的な構造健全性を確保する必要がある。今年度は熱膨張解析および耐震解析を実施し、基本的な配管引き回し計画を設定する。

解析条件となる基本的な配管引き回しは、昨年度SWAT-3改造予備設計において検討したナトリウム主循環系配管とするが、熱膨張解析および耐震解析結果に基づいて配管引き回しの見直しを行うものとする。

熱膨張解析については、試験で想定される最高温度（540℃）の条件で解析を行うものとするが、SWAC-13Eによる試験装置の温度分布解析結果から、Na-水反応試験時の温度上昇が本解析の温度条件を超える場合は、別途対応するものとする。

3. 7. 2 解析条件

- ① 解析温度：540℃
- ② 材質：SUS304
- ③ 水平方向地震加速度：0.28 G（建築基準法による。設定根拠は「反応容器の耐熱・耐震評価検討書」に示す。）

3. 7. 3 解析方法

（1）解析モデル

解析を行う配管は以下の2通り。

- ① Naタンク～反応容器（モデル1とする）
- ② 反応容器～Na過熱器～NaタンクおよびNa過熱器バイパスライン
（モデル2とする）

配管引き回し計画を図3. 7-1（1/2）及び（2/2）に、熱膨張解析モデル図を図3. 7-2（1/2）及び（2/2）に示す。

（2）解析手順

解析手順は以下の通りとした。

- ① 昨年度予備設計において検討した配管引き回しでの熱膨張解析を行う。

(支持点は容器ノズルとの取り合いのみとする。ただし、モデル2において電磁ポンプと配管との取り合いは片側6軸拘束、他片側スナッパ拘束とする。)

- ② ①において過度の応力が発生した部位については引き回しを見直し、熱膨張解析を行う。
- ③ 熱膨張解析が成立したモデルにおいて耐震解析を行い、過度の応力が発生する部位についてはスナッパ拘束にて発生する応力を軽減させ構造健全性を確保する。

(3) 解析コード

弊社所有 配管解析用コード ISAP3

(4) 解析結果評価基準

「高速原型炉第1種機器の高温構造設計方針(BDS)」

尚、評価方法は以下とする。

- ・熱膨張解析：熱膨張応力の制限を満足すること。 $(S_e \leq 3S_m)$
- ・耐震解析：ひずみ制限を満足すること。 $(S_n^* \leq 3S_{mH})$

尚、上記 S_e 値は、BDS(5.5.12)式、 S_n^* 値は、BDS(5.5.8)式により求める。

3.7.4 熱膨張解析結果および評価

(1) 昨年度配管引き回し

図3.7-3(1/2)及び(2/2)に熱膨張解析配管変形図を示す。また、高い応力が発生するエルボ部の評価結果を表3.7-1に示す。

表3.7-1に示すように、モデル1では各エルボ部の S_e 値は $3S_m$ を超えるところはなく、熱膨張応力に対して配管の構造健全性は確保される。

一方、モデル2では、節点14、53のエルボ部において S_e 値が $3S_m$ を超えている。

(2) 配管引き回し変更モデル

(1)の解析結果を反映し、モデル2の高応力が発生する部位について配管引き回しを変更した。モデル2の引き回し変更後解析モデルおよび各部寸法をそれ

ぞれ図 3. 7-4 および図 3. 7-5 に示す。引き回しの変更にあたっては、エルボ部に発生する応力を軽減させるとともに、架台や他の配管との干渉がないことを考慮した。

図 3. 7-6 に熱膨張解析配管変形図を、高い応力が発生するエルボ部の評価結果を表 3. 7-2 に示す。

引き回しの変更により、高応力が発生する節点に変更以前のモデルとは異なるが、全ての部位において S_e 値が $3S_m$ 以下となっている。

(3) 評価

(1) 及び (2) 項での検討から、ナトリウム主循環系配管の熱膨張応力は許容値に対して最大 70% 程度であり、今後評価する試験時の温度上昇に対しても十分健全であると予測できる。

以上より、ナトリウム主循環系配管の引き回しは、図 3. 7-2 (1/2) 及び図 3. 7-5 とする。

3. 7. 5 耐震解析結果および評価

モデル 1 および引き回し変更後のモデル 2 について耐震解析を行う。

尚、 S_n^* 値の算出に当たっては、X 方向および Z 方向に地震加速度を与えた時に発生するモーメントを成分毎の絶対値の和を算出し、その 2 乗平均値の 2 倍（両振り考慮）している。（軸力については、絶対値の和の 2 倍）

図 3. 7-7 (1/2) ~ (2/2) に耐震解析モデル図を、図 3. 7-8 (1/4) ~ (4/4) に耐震解析配管変形図を示す。また、高い応力が発生するエルボ部の評価結果を表 3. 7-3 (1/2) ~ (2/2) に示す。

表 3. 7-3 (1/2) ~ (2/2) から、全ての部位で、評価応力は許容値を下回っており、地震力に対する配管の構造健全性は確保される。

表3.7-1 (1/2) 予備設計時配管引き回し熱膨張解析結果 (モデル1)

節点番号	管外径 (B)	肉厚 (Sch)	MX (kg-mm)	MY (kg-mm)	MZ (kg-mm)	Mi** (kg-mm)	Se (kg/mm ²)	$\overline{3S_m}^{*1}$ (kg/mm ²)	判定
13I	8B	S20	368930	10620	-117090	387210.79	10.9	28.4	○
13J	8B	S20	- 5170	-353140	107080	369053.81	10.6		○
17I	8B	S20	5170	196870	- 17640	197726.31	5.5		○
17J	8B	S20	213610	- 21940	22180	215874.20	6.1		○
18I	8B	S20	-213610	27500	41960	219422.24	6.2		○
18J	8B	S20	31940	209170	- 58810	210865.53	5.9		○
26I	8B	S20	109850	-177250	- 31300	210865.53	5.9		○
26J	8B	S20	-202370	- 84730	38120	222678.97	6.2		○

* 1 : $\overline{3S_m}$ は高温使用時間を1000時間として算出。

表3.7-1 (2/2) 予備設計時配管引き回し熱膨張解析結果 (モデル2)

節点番号	管外径 (B)	肉厚 (Sch)	MX (kg-mm)	MY (kg-mm)	MZ (kg-mm)	Mi** (kg-mm)	Se (kg/mm ²)	$\overline{3S_m}^*$ (kg/mm ²)	判定
14I	2B	40	22800	- 49850	45340	71137.74	29.1	28.4	×
14J	2B	40	- 53390	- 19260	- 43660	71607.51	29.3		×
15I	2B	40	53390	- 13520	40980	71137.74	28.1		△
15J	2B	40	- 16880	- 50030	- 42840	67994.12	27.8		△
19I	2B	40	16880	- 14470	64450	68177.11	27.9		△
19J	2B	40	- 16160	- 15200	- 64270	67991.31	27.8		△
53I	2B	40	4820	47790	84240	96972.61	39.7		×
53J	2B	40	56070	- 13100	- 86890	104236.87	42.7		×

表3.7-2 モデル2配管引き回し変更後熱膨張解析結果

節点番号	管外径 (B)	肉 厚 (Sch)	MX (kg-mm)	MY (kg-mm)	MZ (kg-mm)	Mi** (kg-mm)	Se (kg/mm ²)	$\overline{3S_m^*}$ (kg/mm ²)	判定
58I	2B	40	- 50520	- 8940	29160	59012.71	24.2	28.4	○
58J	2B	40	- 6460	48050	- 23710	53969.42	22.1		○
70I	4B	40	32910	- 12110	258850	261214.55	21.1		○
70J	4B	40	- 15140	-25680	-246540	248151.21	20.2		○
76I	4B	40	15140	53710	272210	277870.95	22.4		○
76J	4B	40	56740	- 18170	-283260	289457.77	23.4		○
80I	4B	40	- 56740	30040	252710	234713.77	21.1		○
80J	4B	40	33070	53710	-226080	234713.77	19.0		○

表 3. 7 - 2 (2 / 1) 耐震解析結果 (モデル 1)

節点番号	管外径 (B)	肉 厚 (Sch)	加震方向	MX (kg－mm)	MY (kg－mm)	MZ (kg－mm)	M** (kg－mm)	Fx (kg)	Sn* (kg/mm ²)	3SmH (kg/mm ²)	判定
13I	8B	S20	X	- 12310	- 18290	- 10800	235569.47	- 50	6.6	29.1	○
			Z	96680	- 1810	- 29080		- 19			○
			X + Z	108990	20100	398800		69			○
13J	8B	S20	X	24800	5690	110	195042.83	1	5.5		○
			Z	- 24530	- 73640	27800		14			○
			X + Z	49330	79360	27910		15			○
26I	8B	S20	X	7060	38560	- 24010	247758.45	105	7.0		○
			Z	8410	- 10000	50340		29			○
			X + Z	15470	48560	112910		134			○
26J	8B	S20	X	35960	- 4460	57300	226616.74	1	6.4		○
			Z	- 14150	- 4270	- 43950		- 13			○
			X + Z	50110	8730	101250		14			○

表 3. 7 - 2 (2 / 2) 耐震解析結果 (モデル 2)

節点番号	管外径 (B)	肉 厚 (Sch)	加震方向	MX (kg-mm)	MY (kg-mm)	MZ (kg-mm)	M** (kg-mm)	Fx (kg)	Sn* (kg/mm ²)	3SmH (kg/mm ²)	
26I	4B	40	X	- 2050	4380	-77360	211684.13	- 35	17.1	29.1	○
			Z	1800	1650	28240		0			○
			X + Z	3850	6030	105600		35			○
26J	4B	40	X	- 4450	1980	75440	200987.21	21	16.3		○
			Z	1620	- 1770	24800		- 24			○
			X + Z	6070	3750	100240		45			○
99I	8B	40	X	80	39540	- 2490	624145.07	- 111	17.5		○
			Z	- 2060	272510	- 590		- 11			○
			X + Z	2140	312050	3080		122			○
99J	8B	40	X	-37540	- 2080	-33050	34103.85	0	19.6		○
			Z	308850	-35060	- 2700		0			○
			X + Z	346390	37140	35750		0			○

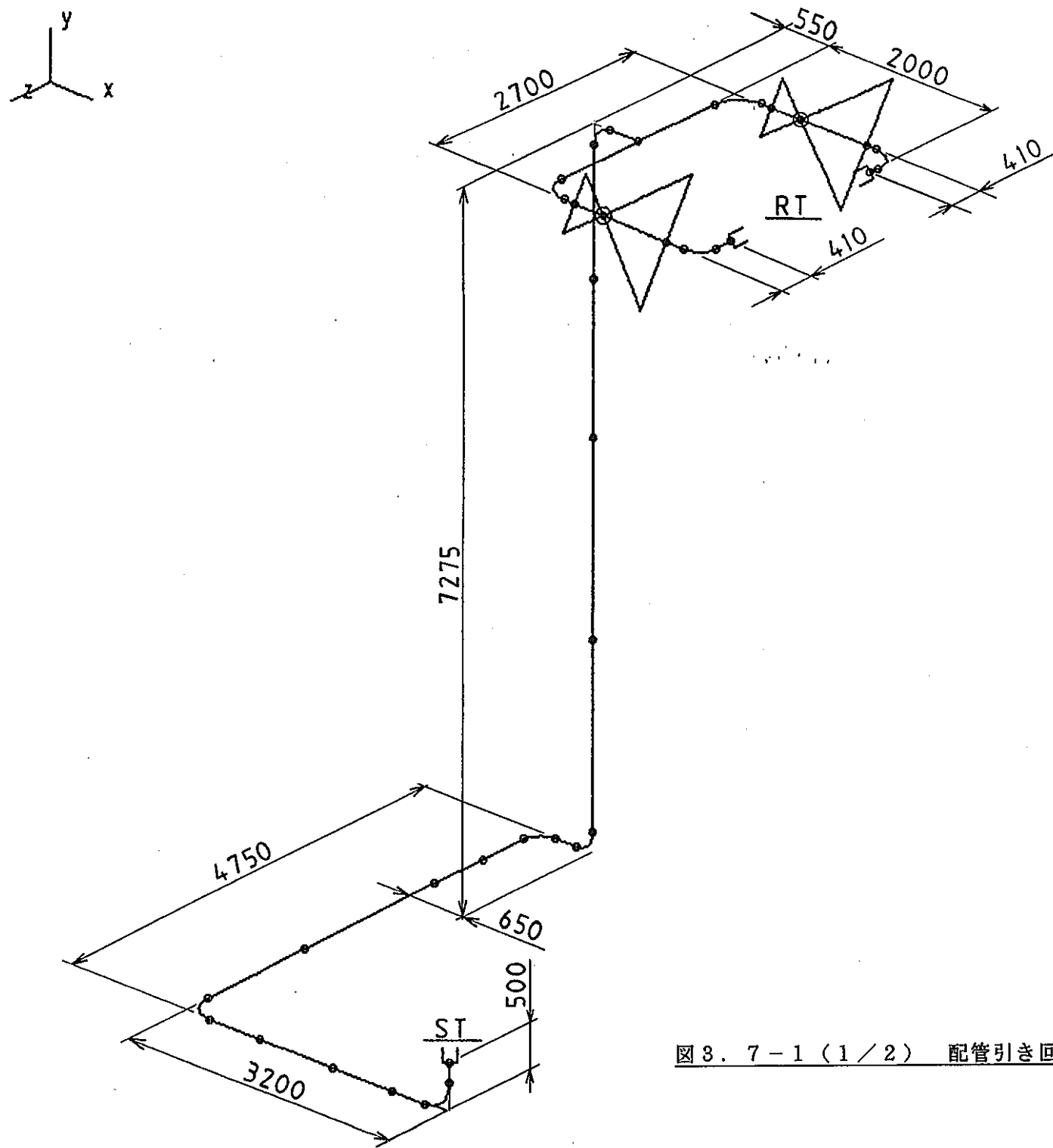


図 3. 7 - 1 (1 / 2) 配管引き回し計画 (モデル 1)

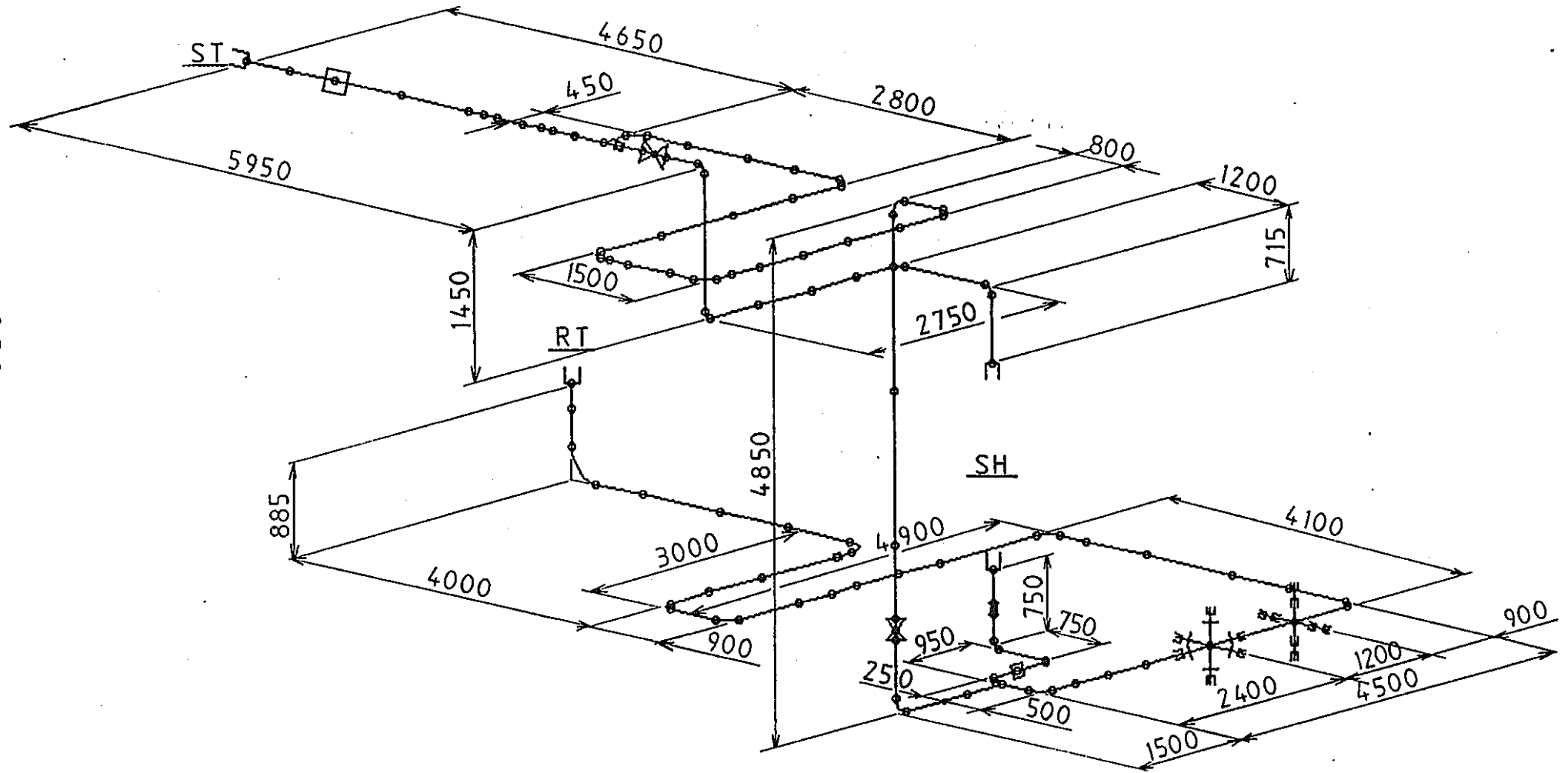
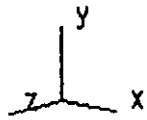


図 3. 7 - 1 (2 / 2) 配管引き回し計画 (モデル 2)

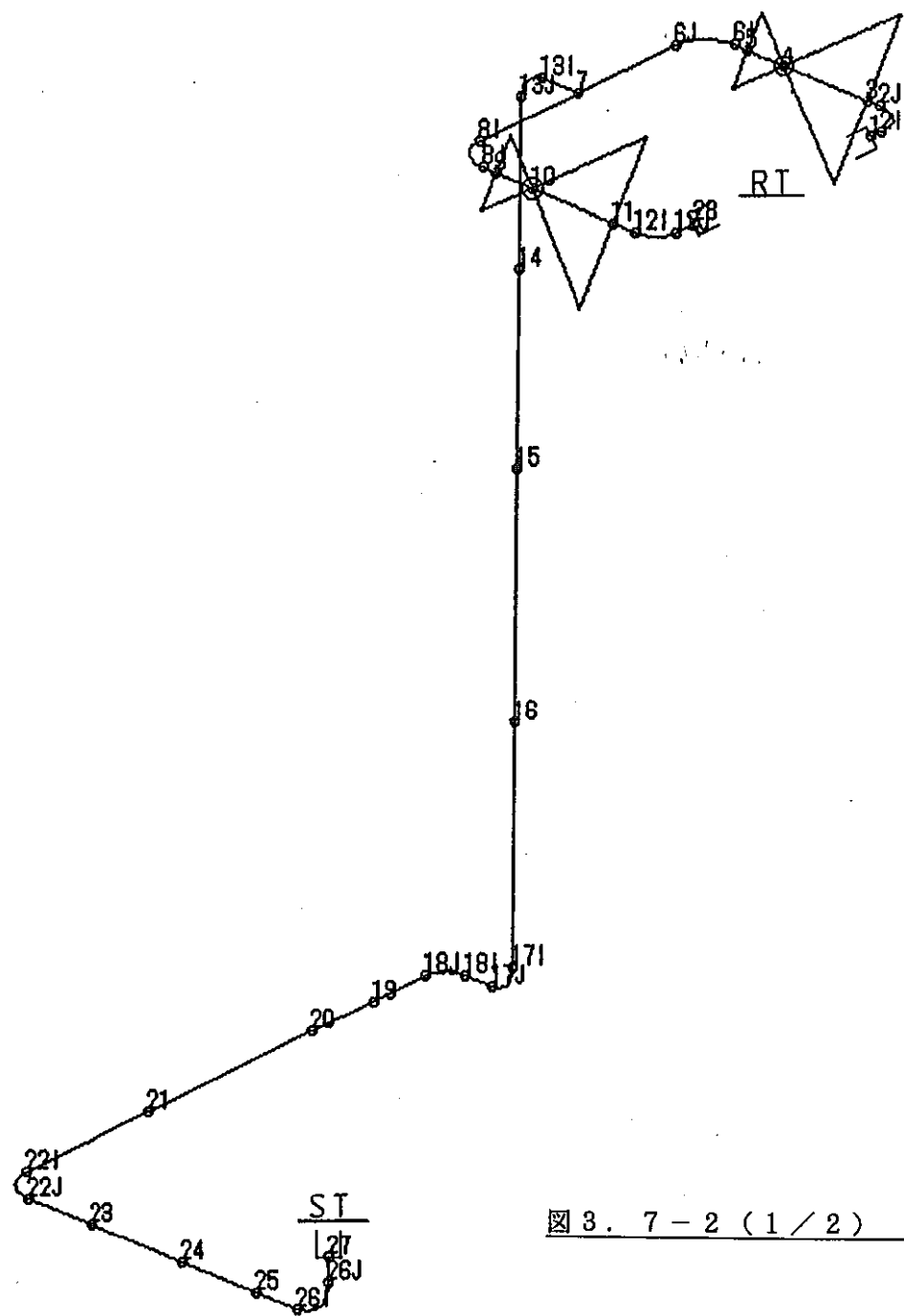
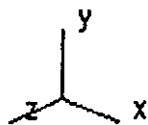


図 3. 7 - 2 (1 / 2) 熱膨張解析モデル図 (モデル 1)

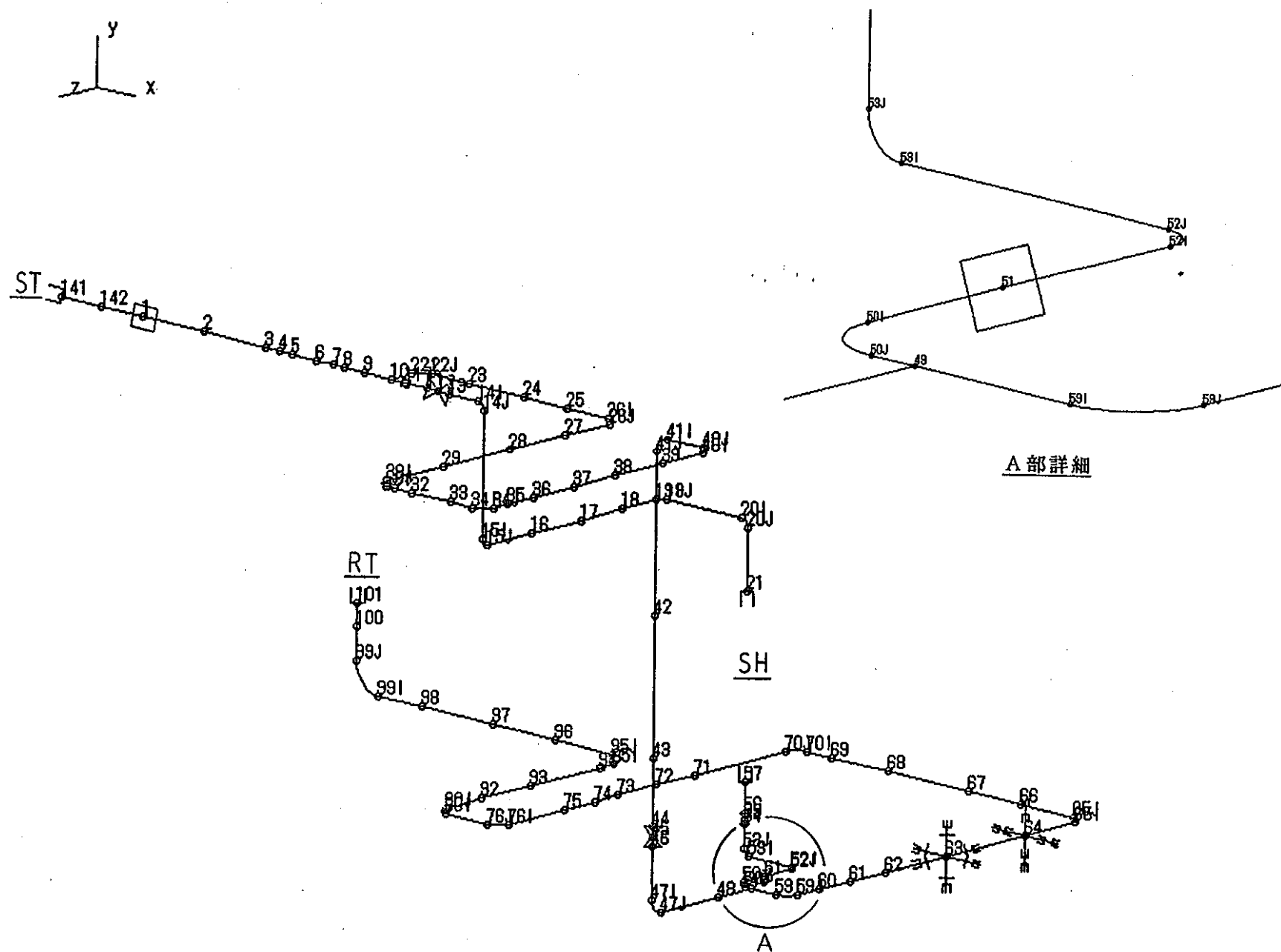


図 3. 7 - 2 (2 / 2) 熱膨張解析モデル図 (モデル 2)

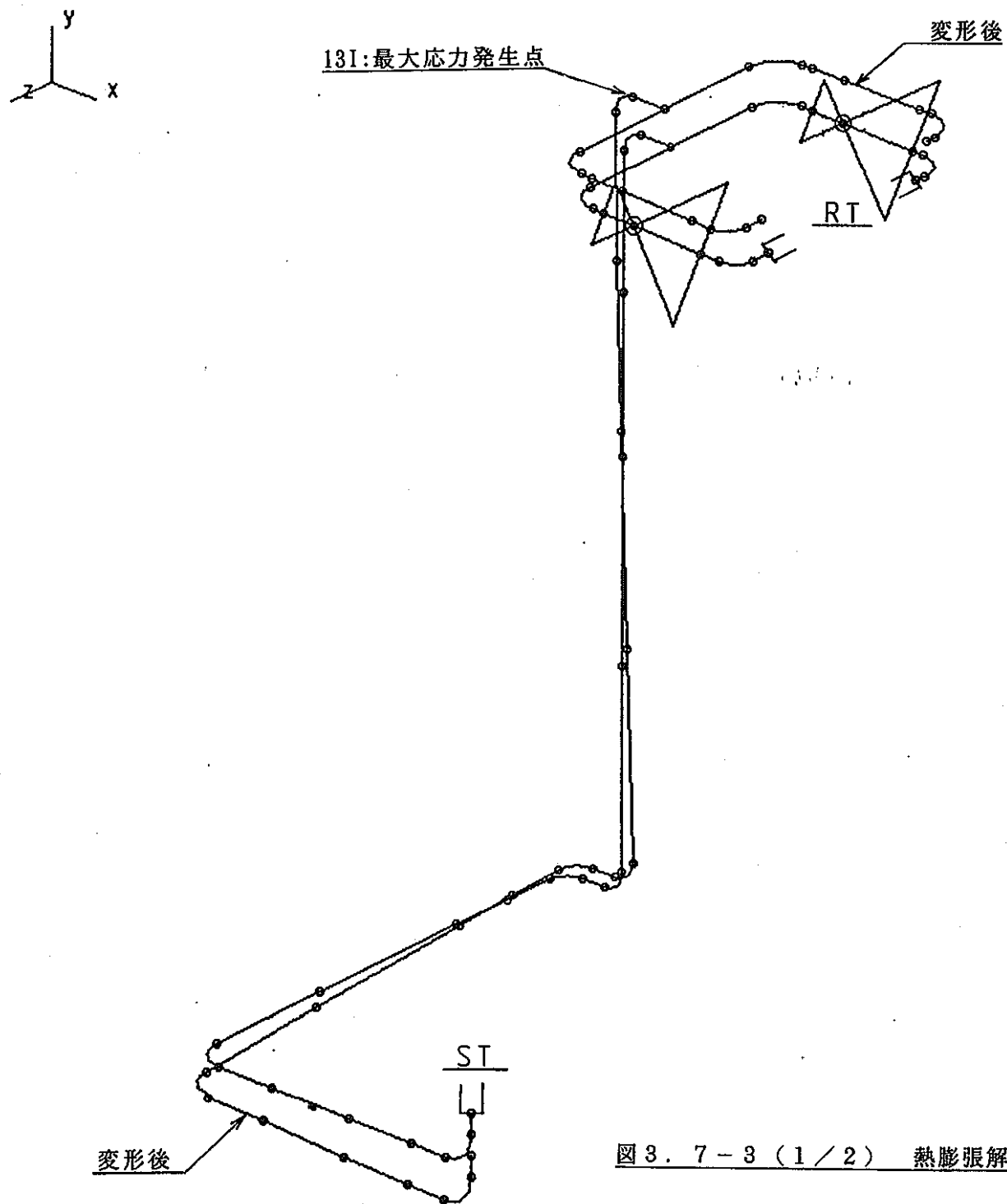


図 3. 7 - 3 (1 / 2) 熱膨張解析配管変形図 (モデル 1)

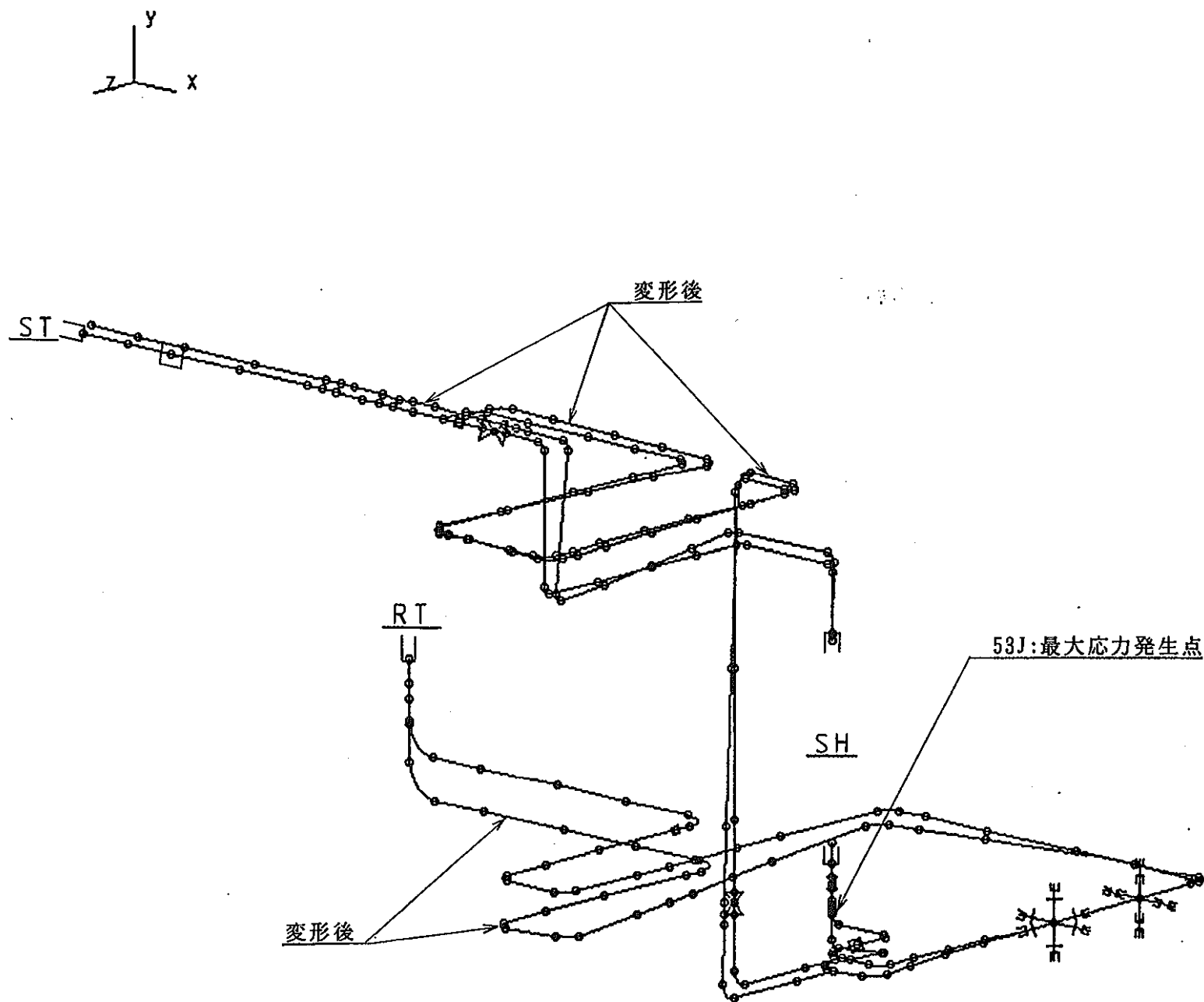


図 3. 7 - 3 (2 / 2) 熱膨張解析配管変形図 (モデル 2)

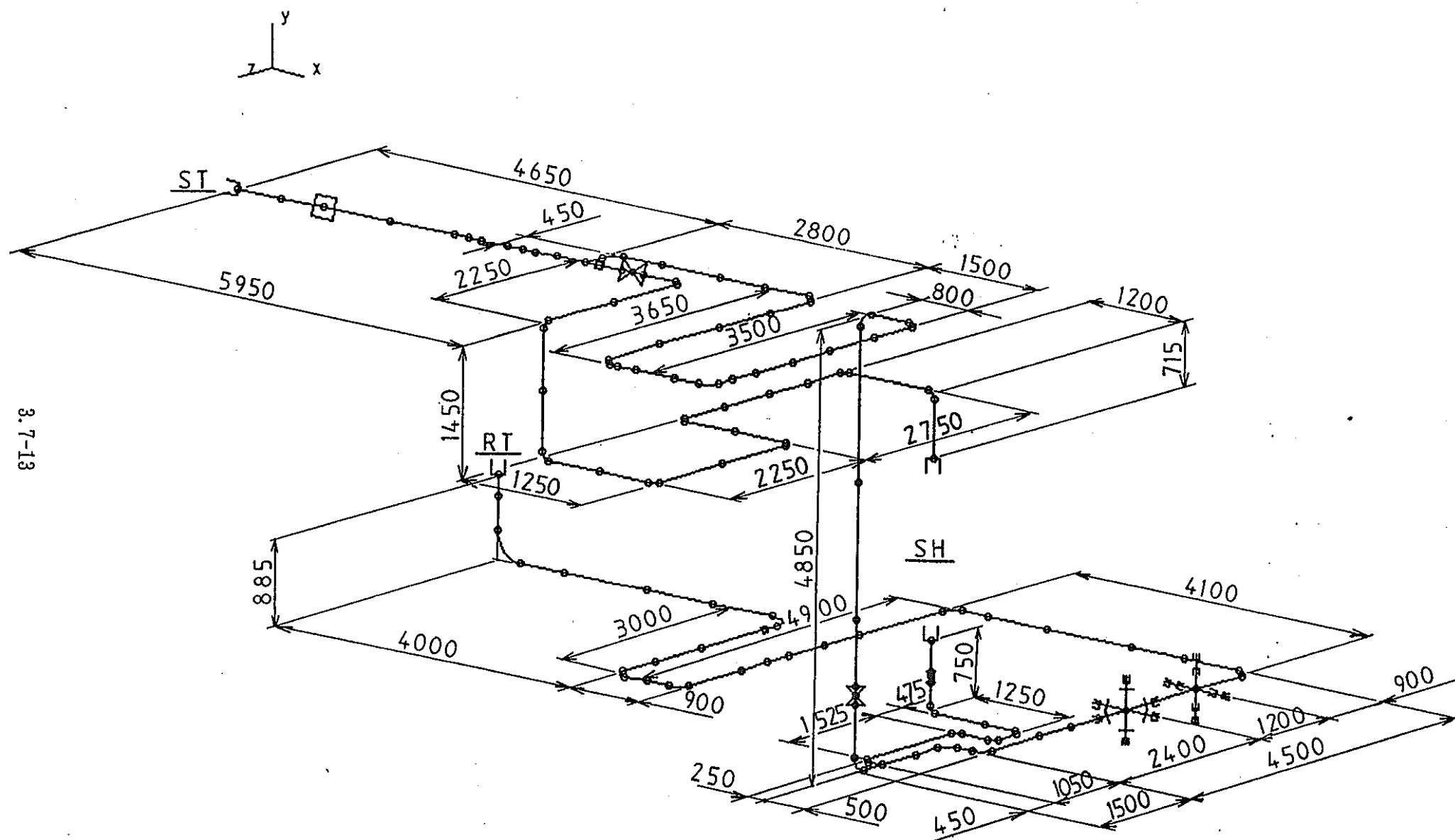
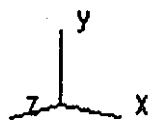


図 3. 7 - 4 配管引き回し計画 (モデル 2 変更)



3.7-14

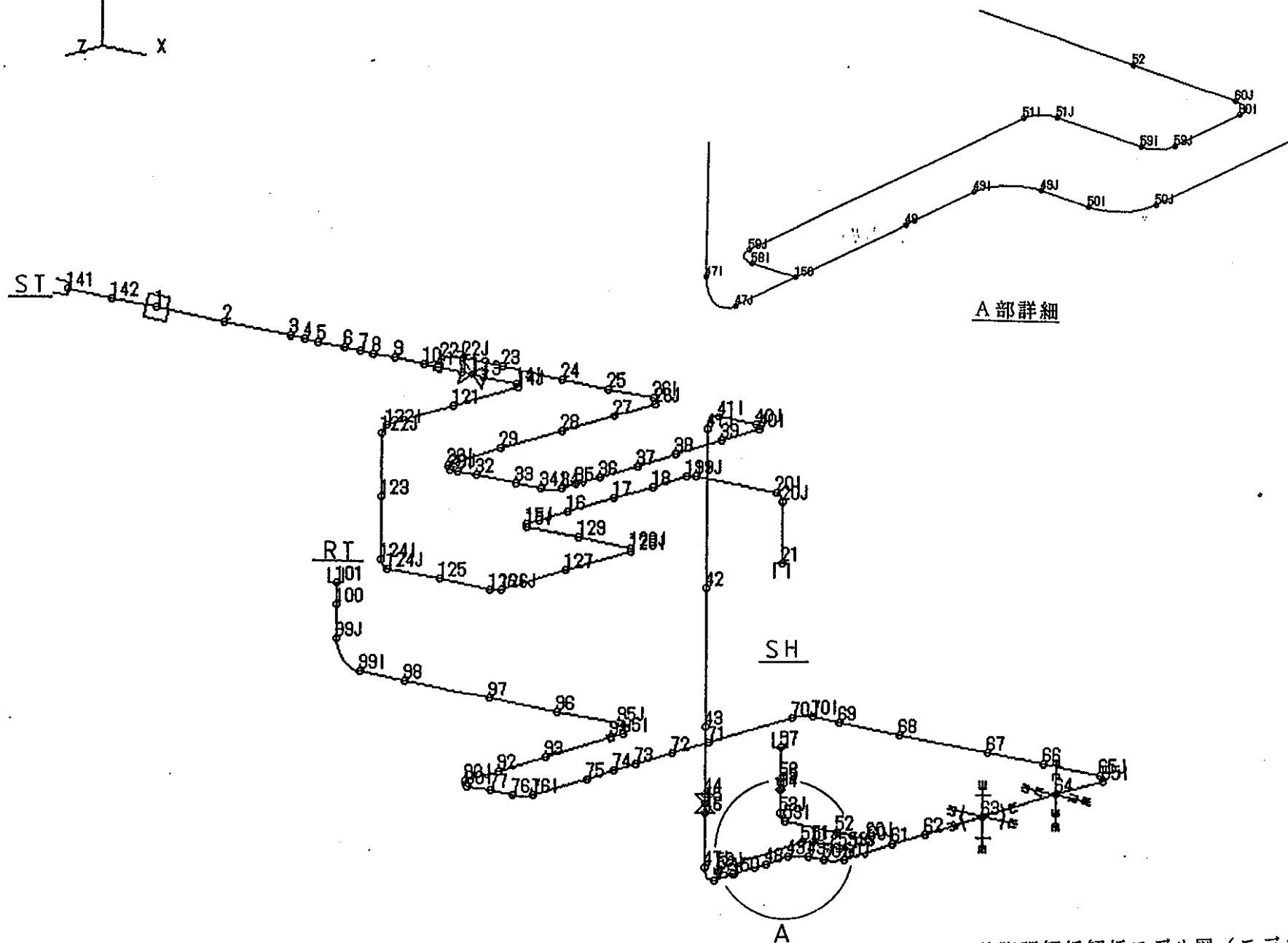


図 3. 7 - 5 熱膨張解析解析モデル図 (モデル 2 変更)

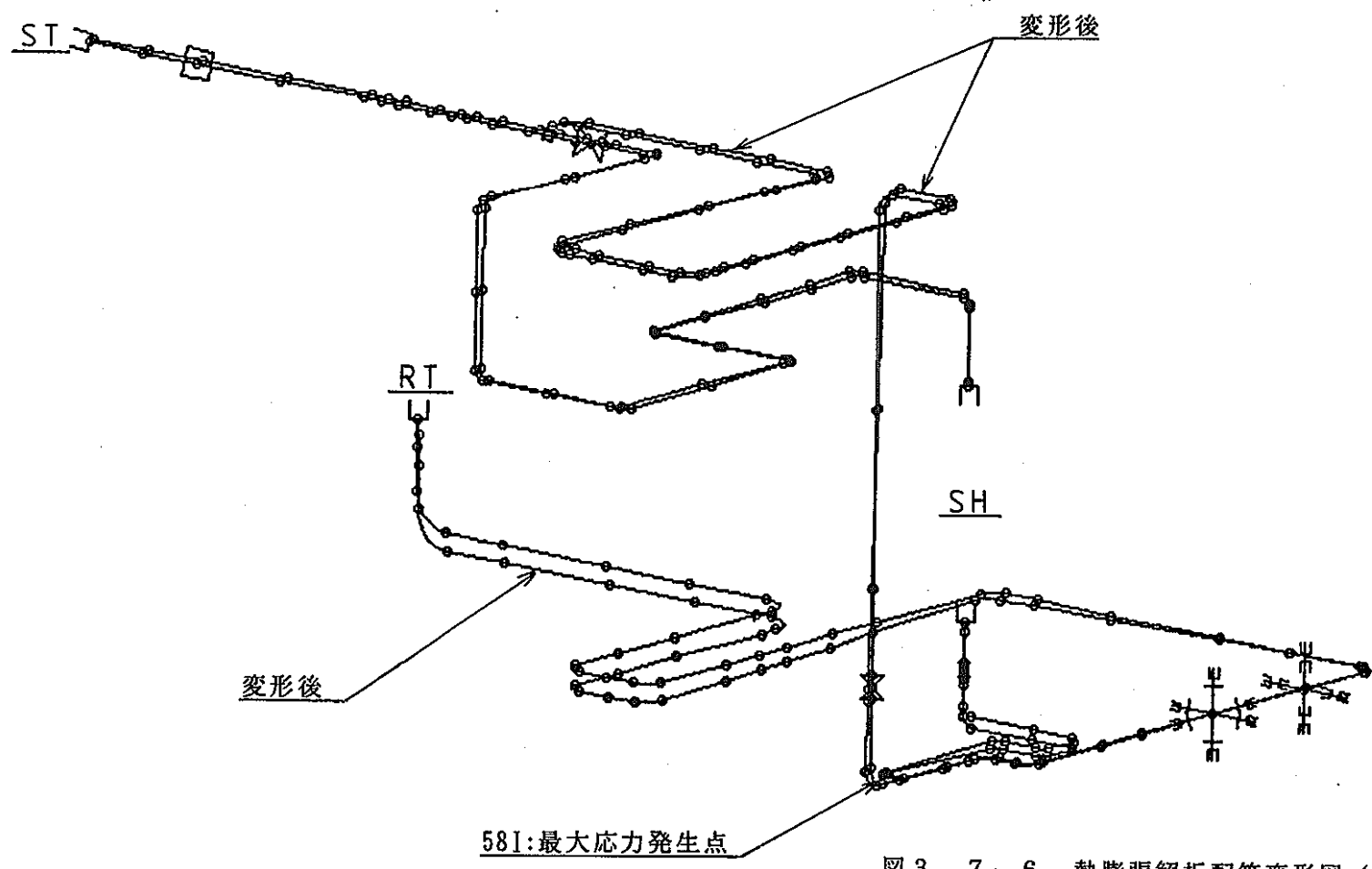
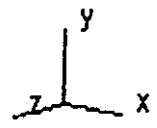


図 3. 7 - 6 熱膨張解析配管変形図 (モデル 2 変更)

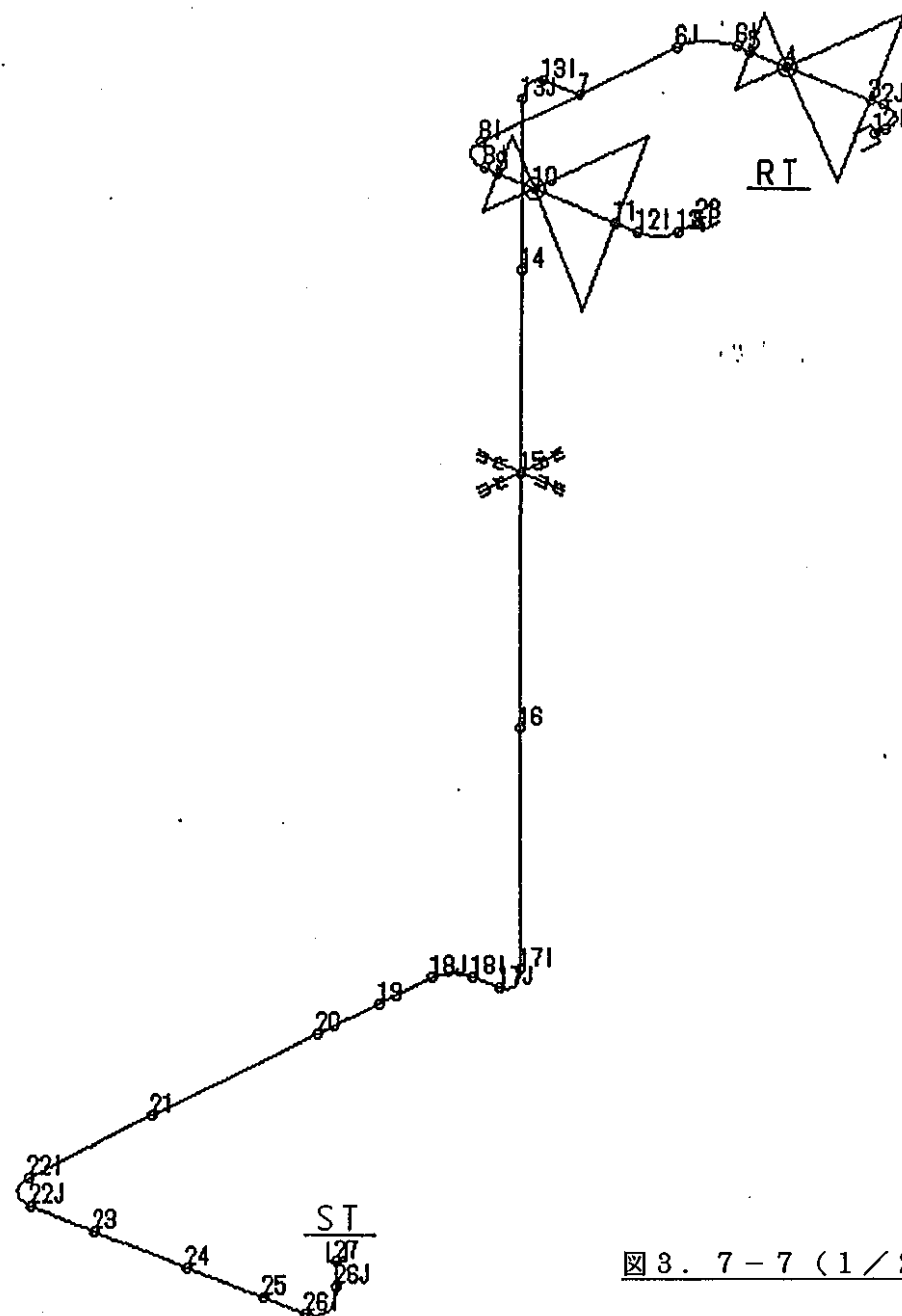
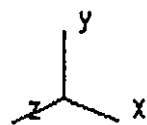


図 3. 7 - 7 (1 / 2) 耐震解析モデル図 (モデル 1)

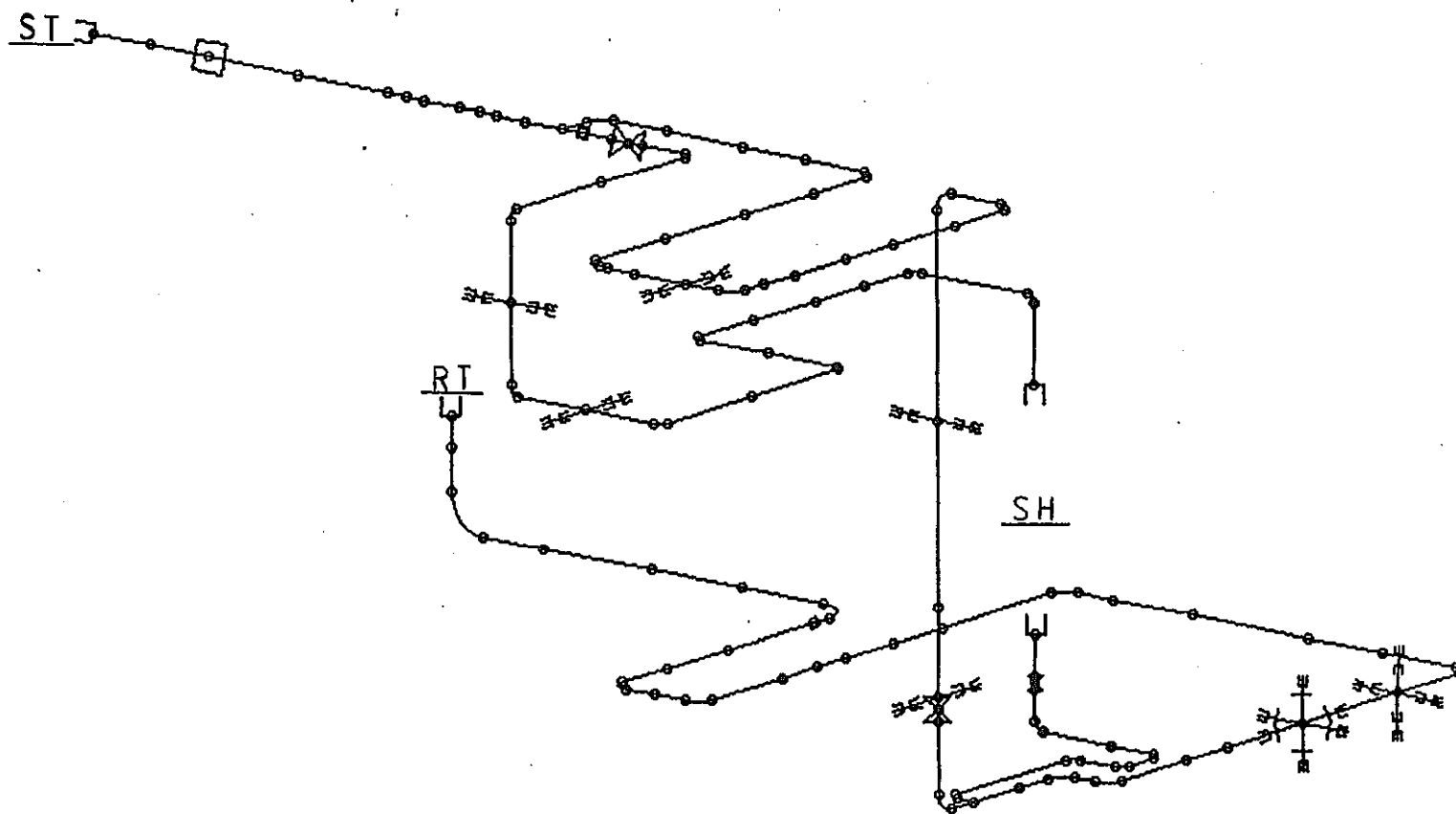


図 3. 7 - 7 (2 / 2) 耐震解析モデル図 (モデル 2)

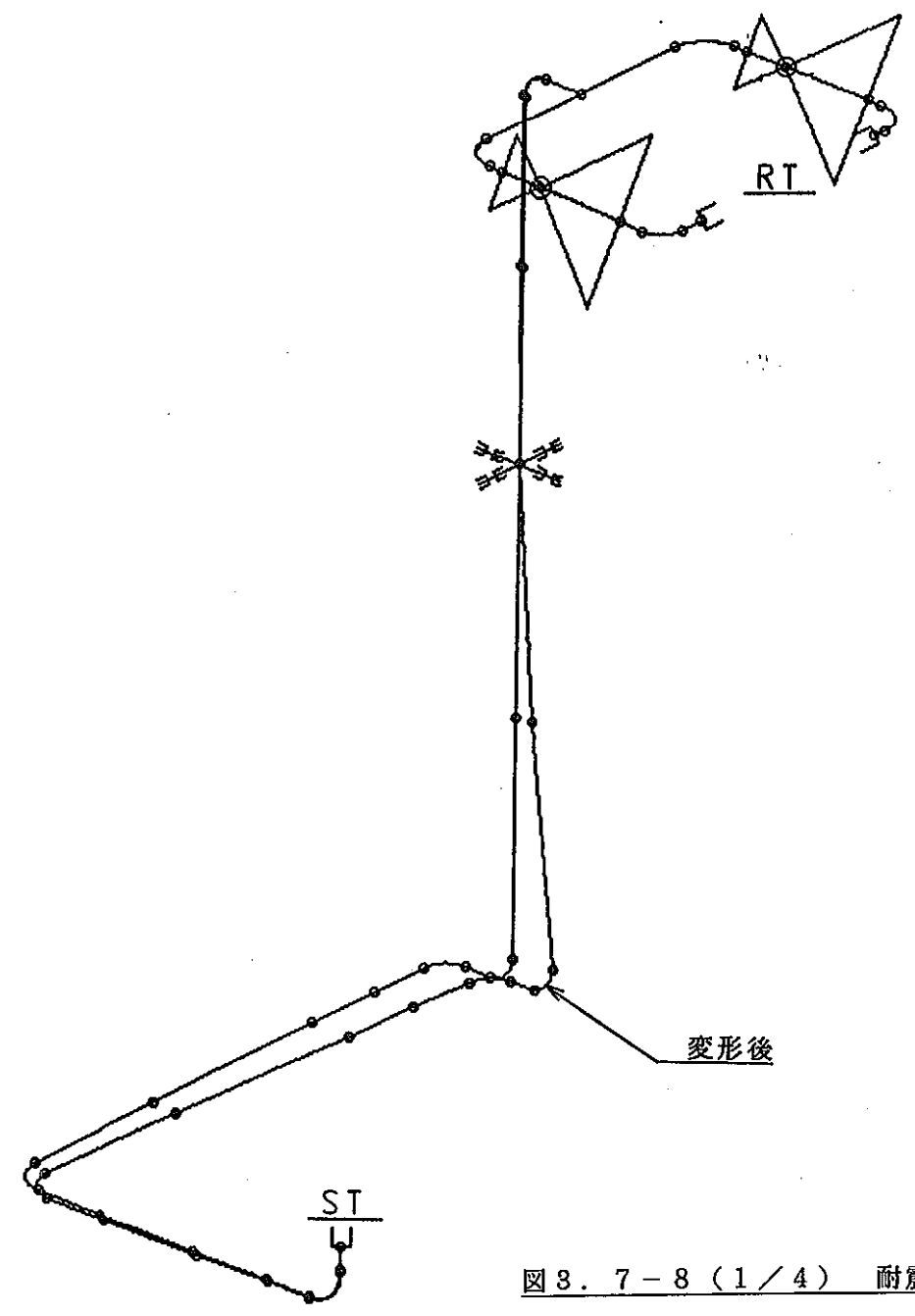
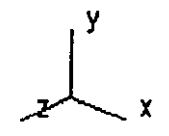


図 3. 7 - 8 (1 / 4) 耐震解析配管変形図 (モデル 1 : X 方向)

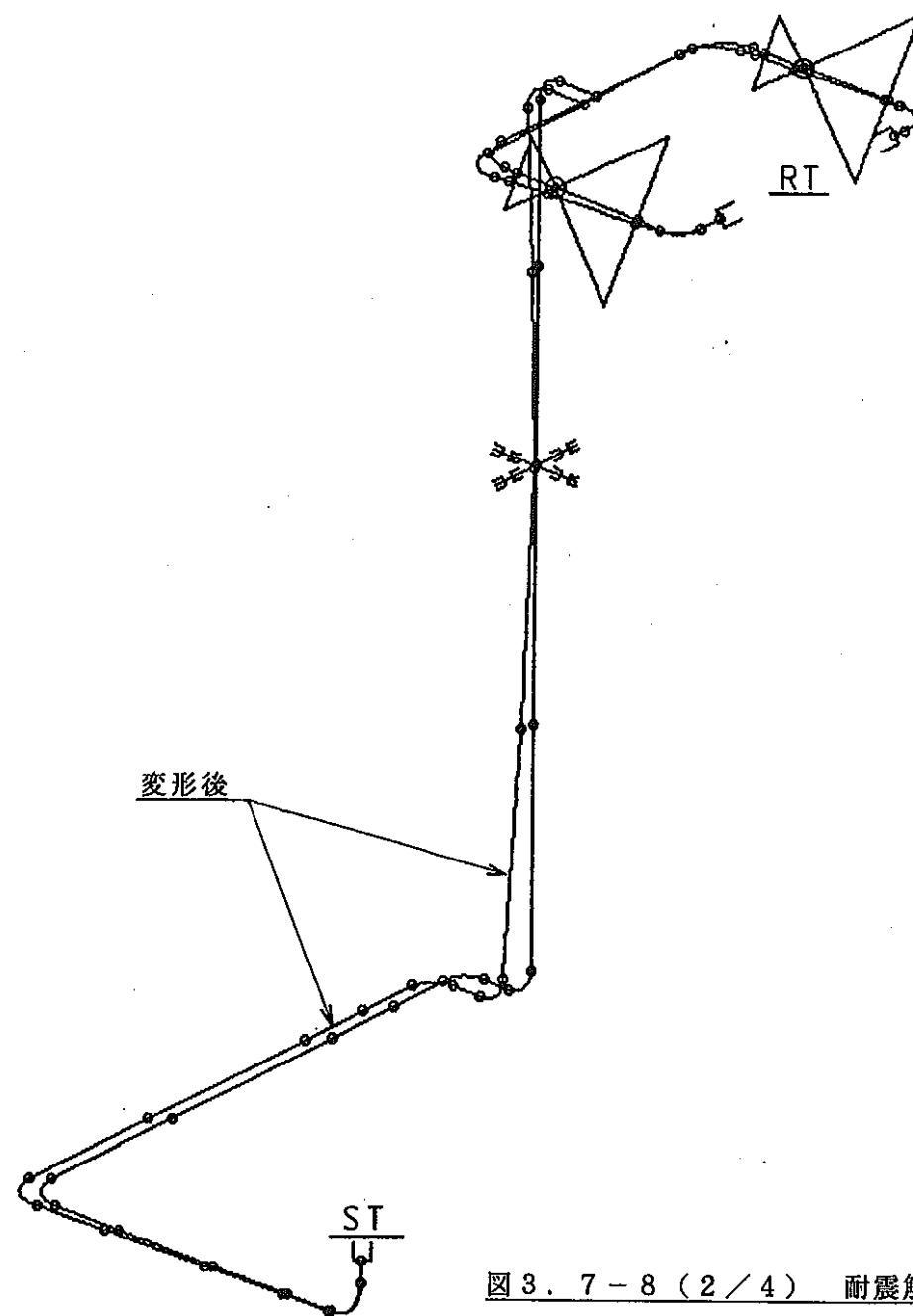
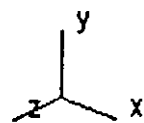


図 3. 7 - 8 (2 / 4) 耐震解析配管変形図 (モデル 1 : Z 方向)

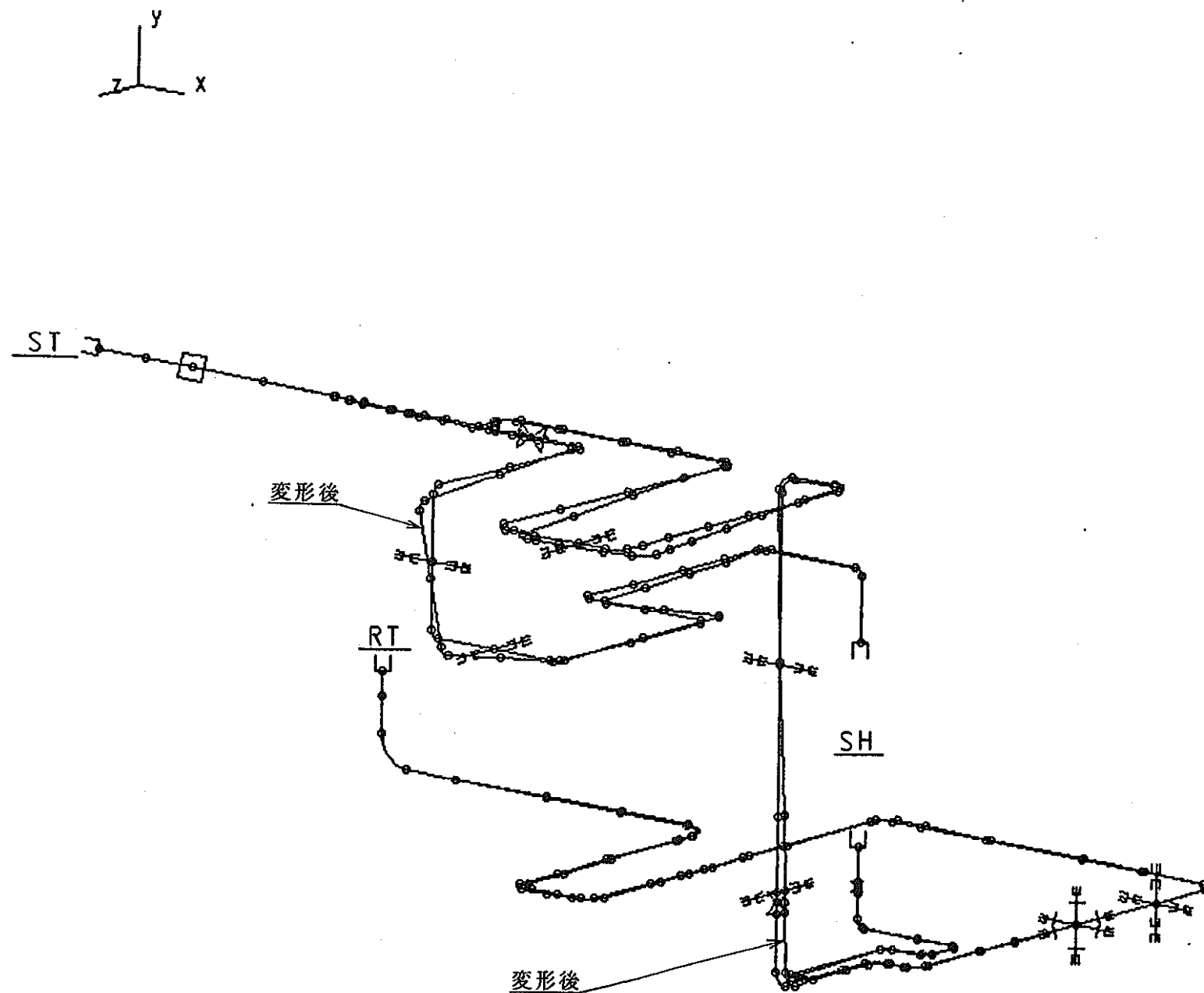


図 3. 7 - 8 (3 / 4) 耐震解析配管変形図 (モデル 2 : X 方向)

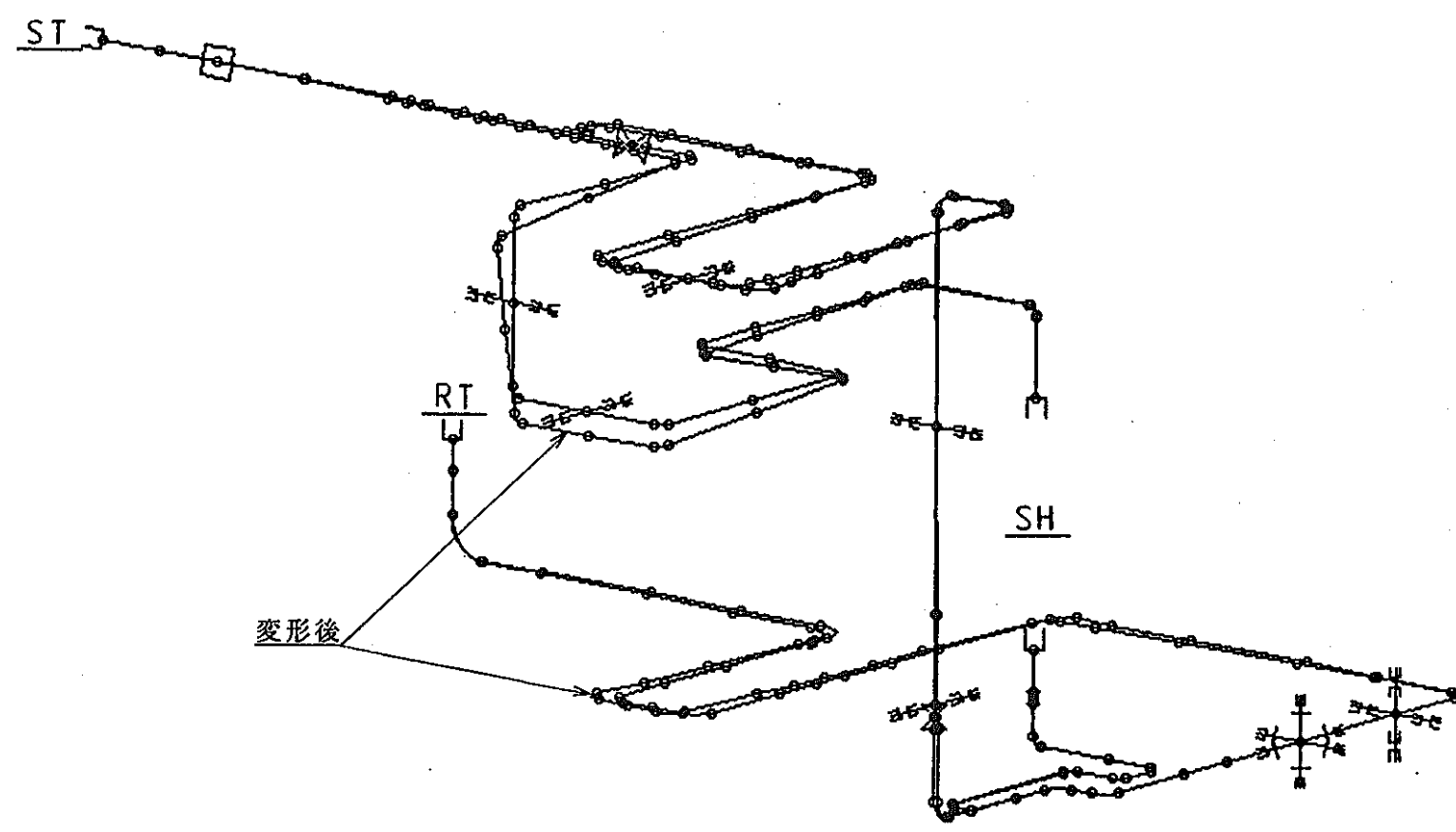
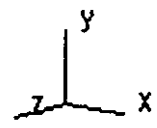


図 3. 7 - 8 (4 / 4) 耐震解析配管変形図 (モデル 2 : Z 方向)

3. 8 配管設計仕様の検討

3. 8. 1 系統構成

今回の改造範囲である配管の仕様を表3. 8-1に示す。昨年度検討結果から、以下の変更を行っている。

- 1) ナトリウム系の使用温度の高温化(520℃から540℃に変更)により、これに関連する最高使用温度を555℃に変更する。
- 2) 水加熱器の最高使用圧力の変更(220 kg/cm²gから230 kg/cm²gに変更)に伴い、注水系の最高使用圧力を変更する。
- 3) 上記1)、2)に伴い、反応容器出口ヘッダから蒸気回収タンクまでの注水系配管の板厚がJIS板厚を超えるため、反応容器出口ヘッダに安全弁を設置することにより、最高使用圧力を210 kg/cm²gとする。
- 4) 注水管用注水系の配管系を1Bから2Bに変更する。
- 5) 試験時のガス封入管圧力の増加(175 kg/cm²g)に伴い、最高使用圧力を185 kg/cm²gとする。

3. 8. 2 基本板厚

(1) 計算式

労働省告示第66号「第一種圧力容器構造規格」第23条準用

$$t = \frac{P D_o}{200 \sigma_a \eta + 0.8 P} + \alpha$$

t : 管の最小厚さ (mm)

P : 最高使用圧力 (kg/cm²)

D_o : 管の外径 (mm)

σ_a : 材料の許容引張応力 (kg/mm²)

η : 管に長手継手がある場合におけるその効率

α : 腐食代 (mm)

合金鋼の場合 1. 0 mm

ステンレス鋼の場合 0. 0 mm

(2) 計算結果

符号	D _o	P	温度	材料	σ_s	η	α	t	使用厚さ
①	216.3	20.0	555	SUS304	8.1	1.0	0.0	2.7	8.2
②	114.3	20.0	555	SUS304	8.1		0.0	1.4	6.0
③	114.3	230.0	400	STPA24	10.5		1.0	12.6	13.5
④	60.5	230.0	400	STPA24	10.5		1.0	7.1	8.7
⑤	34.0	230.0	400	STPA24	10.5		1.0	4.5	6.4
⑥	34.0	230.0	555	SUS304	8.1		0.0	4.4	6.4
⑦	114.3	210.0	555	SUS304	8.1		0.0	13.4	13.5
⑧	34.0	185.0	300	STPT38	8.1		1.0	5.5	6.4
⑨	318.5	20.0	555	SUS304	8.1		0.0	3.9	10.3
⑩	216.3	20.0	555	SUS304	8.1		0.0	2.7	8.2
⑪	318.5	20.0	555	SUS304	8.1		0.0	3.9	10.3

上記⑧は、大幅な最高使用圧力の見直しにより、必要板厚を昨年度の3.4mmから6.4mmに変更する必要があるが、これ以外は最高使用温度及び最高使用圧力の上昇により、昨年度に比べて必要板厚が大きくなっているものの、配管仕様を変える必要はない。

尚、上記⑦の配管で最高使用圧力を230kg/cm²gとすると、必要板厚は14.5mmとなり、sch160の板厚(13.5mm)を超える。この場合、配管、弁等が特殊仕様となり、大幅なコストアップとなるため、反応容器出口ヘッドに安全弁を追加して最高使用圧力を低減するものとした。反応容器出口ヘッドは、試験時に約175kg/cm²gで制御されるため(隣接管内圧力175kg/cm²g)、安全弁の開放圧を200kg/cm²g程度に設定すれば、試験上問題とはならない。

表 3. 8 - 1 改造範囲配管仕様

符号	系 統	流 体	口 径	材 料	設 計 条 件		備 考
					最高使用圧力	最高使用温度	
①	主循環系 (Naタンク～反応容器及び 反応容器～循環ポンプの一部)	Na	8 B	SUS304	2 0	5 5 5	
②	主循環系 (反応容器～Na加熱器の一部及び Na加熱器バイパス管)	Na	4 B	SUS304	2 0	5 5 5	
③	注水系 (水加熱器～ヘッダ)	水蒸気・N ₂	4 B	STPA24	2 3 0	4 0 0	
④	注水系 (ヘッダ～反応容器)	水蒸気・N ₂	2 B	STPA24	2 3 0	4 0 0	注水管
⑤	注水系 (ヘッダ～反応容器)	水蒸気・N ₂	1 B	STPA24 ^{*1}	2 3 0	4 0 0	隣接管
⑥	注水系 (反応容器～ヘッダ)	水蒸気・N ₂	1 B	SUS304	2 3 0	5 5 5	隣接管
⑦	注水系 (反応容器出口ヘッダ～蒸気回収タンク)	水蒸気・N ₂	4 B	SUS304	2 1 0 ^{*2}	5 5 5	
⑧	ガス系 (ヘッダ～反応容器)	N ₂	1 B	STPT38	1 8 5	3 0 0	ガス封入管
⑨	放出系 (反応容器からガス空間～ダンプタンク及び ダンプタンク～収納容器)	Na・H ₂ ・N ₂	1 2 B	SUS304	2 0	5 5 5	
⑩	放出系 (反応容器出口～ダンプタンク)	Na・H ₂ ・N ₂	8 B	SUS304	2 0	5 5 5	
⑪	放出系バイパス (反応容器出口～収納容器)	Na・H ₂ ・N ₂	1 2 B	SUS304	2 0	5 5 5	

* 1 : 反応容器内はMod. 9Cr-1Mo鋼、反応容器外側ではJIS 2 1/4Cr-1Mo鋼とする。

* 2 : 反応容器出口ヘッダに安全弁を設置する。

4. 試験ループの検討

4. 1 試験ループの検討

4. 1. 1 試験ループの検討

機器・配管配置、機器・配管改造範囲及び機器の搬出・搬入計画を示す。

(1) 機器配置

a. 配置方針

交換する機器の配置は、配管ルート及び架台を極力流用するため現在の機器を撤去した後、同位置に設置するものとする。ただし、新設追加する機器については、現状配管ルートとの成立性を考慮した上で、新たな架台を設けて設置するものとする。以下に各機器の配置計画について示す。

b. 反応容器

昨年度の検討結果を踏襲して、反応容器は、現反応容器設置位置に設置する。ただし、主循環ナトリウム出口ラインからダンプタンクへの放出系ラインを設置するために必要な下部スペースと、反応容器内部構造物を建屋クレーンで引き抜くために必要な上部スペースを考慮して、ナトリウム入口レベルをFL8150 mm程度とする。

c. 水加熱器

水加熱器は、現状の1基から、注水管用及び隣接管用の2基に増える。

隣接管用水加熱器は、現状の水加熱器が設置されている架台を流用し、これと反応容器の間に注水管用水加熱器設置用の架台を新設し、水加熱器を設置する。

d. ナトリウムタンク

昨年度の検討結果を踏襲して、ナトリウムタンクは、現状の反応容器を流用し、設置位置は、現状の模擬過熱器の設置位置に設置する。

e. ダンプタンク

必要容積及び最高仕様圧力の増加に伴い、ダンプタンクを新設する必要がある。建屋基礎の流用を考慮して、ダンプタンクは、現状ダンプタンク設置位置に設置する。

f. 蒸気回収タンク

昨年度の検討結果を踏襲して、蒸気回収タンクは収納容器架台に沿わせて設置する。

(2) 配管配置

a. 配置方針

配管配置方針については、昨年度予備設計と基本的に同一である。

配管配置を行うに当たり、配管を取り替える系統でも現配管ルートを極力生かすことを主方針とするほか、各系統における配置方針は以下の通りである。

b. 主循環系

- ・ナトリウム加熱器バイパスラインは現状の模擬中間熱交換器ラインを配管ルートとする。ただし、取合点の不自由さ及び配管寸法が異なるため、模擬中間熱交換器は撤去する。
- ・ナトリウムタンクとして現反応容器を使用する。現反応容器は模擬過熱器を撤去した部位に設置する。設置レベルは現反応容器据付レベルと同一レベルとする。現反応容器と模擬過熱器のナトリウム入口ノズルのレベルの変化は現状の立ち上がり配管で吸収する。
- ・1基の反応容器で2回の試験を行うために、反応容器内の2つのセクタにナトリウムを各々供給する必要がある。このため、ナトリウム入口配管を反応容器の近接部2本に分岐させ、各々に止め弁を設置する。

c. 注水系

- ・水加熱器は反応容器に隣接して設置するものとする。隣接管用は現状の水加熱器を撤去した位置に、注水管用はその北側に設置するものとする。注水管

用については、現在は架台がないスペースであるので架台を追加する。

- ・注水、隣接、ガス封入管のヘッダは可能な限り容器に近接して設置する。
- ・反応容器を出た隣接管は反応容器出口ヘッダで集合させる。また、反応容器出口ヘッダから収納容器架台隣に新設する蒸気回収タンクまで配管を引き回し、内部蒸気を凝縮させて回収する。

d. 放出系

収納容器～ダンプタンク間配管は大口徑管であるが、従来のドレン配管のルートを大幅に崩すことの無いルートとする。

以上（１）、（２）をまとめて、図４．１－１に、機器・配管アイソメ図を、図４．１－２に機器・配管配置図を示す。

（３）機器・配管改造範囲

図４．１－３に機器・配管改造範囲を示す。

（４）機器搬出、搬入計画

現状ＳＷＡＴ－３試験装置において、撤去流用及び撤去廃棄する機器を以下に示す。

- | | |
|---------------|--------------------|
| ①反応容器（流用） | ：高さ約６．９ｍ、重量約 １８Ｔｏｎ |
| ②模擬過熱器（廃棄） | ：高さ約４．９ｍ、重量約 ４Ｔｏｎ |
| ③模擬中間熱交換器（廃棄） | ：高さ約５．０ｍ、重量約０．２Ｔｏｎ |
| ④ダンプタンク（廃棄） | ：高さ約３．１ｍ、重量約 ８Ｔｏｎ |
| ⑤水加熱器（廃棄） | ：高さ約３．５ｍ、重量約 １０Ｔｏｎ |

上記、機器の搬出は、建屋クレーンを用いて行う。ここで、建屋クレーンの仕様はクレーンフック下最大高さＦＬ１５ｍ、容量２０Ｔｏｎである。また、図４．１－４に、各機器の最大吊り代を示すが、水加熱器を除いた機器は、建屋クレーンで搬出可能である。

水加熱器は、水加熱器南側の水平梁を一時撤去することにより、建屋クレーンを用いて搬出する。

次に、SWAT-3 試験装置に搬入する機器を以下に示す。

- ①反応容器 : 高さ約 7.6 m、重量約 22 T o n
- ②ナトリウムタンク : 高さ約 6.9 m、重量約 19 T o n
- ③ダンプタンク (N a 除く) : 高さ約 4.4 m、重量約 18 T o n
(N a 含む) 重量約 33 T o n
- ④注水管用水加熱器 : 高さ約 4.4 m、重量約 14 T o n
- ⑤隣接管用水加熱器 : 高さ約 6.6 m、重量約 20 T o n

機器の搬入もダンプタンクを除いて、建屋クレーンを使用する。

ダンプタンクの設置は、既設ダンプタンク横に仮置きした後、既設ダンプタンク内のナトリウムを移設し、既設ダンプタンクを撤去した場所に移動する方法が、既設の基礎を流用できる可能性が高いため有利である。(ただし、基礎の強度確認が必要である。)このため、新設ダンプタンクは、既設ダンプタンクの横までの搬入を建家クレーンで行い、本設には、トラッククレーンを使用する。

反応容器については、「反応容器設計検討」の項で述べたように、上部胴、中間胴及び下部胴に分割して、建屋クレーンを用いて試験装置に設置する。

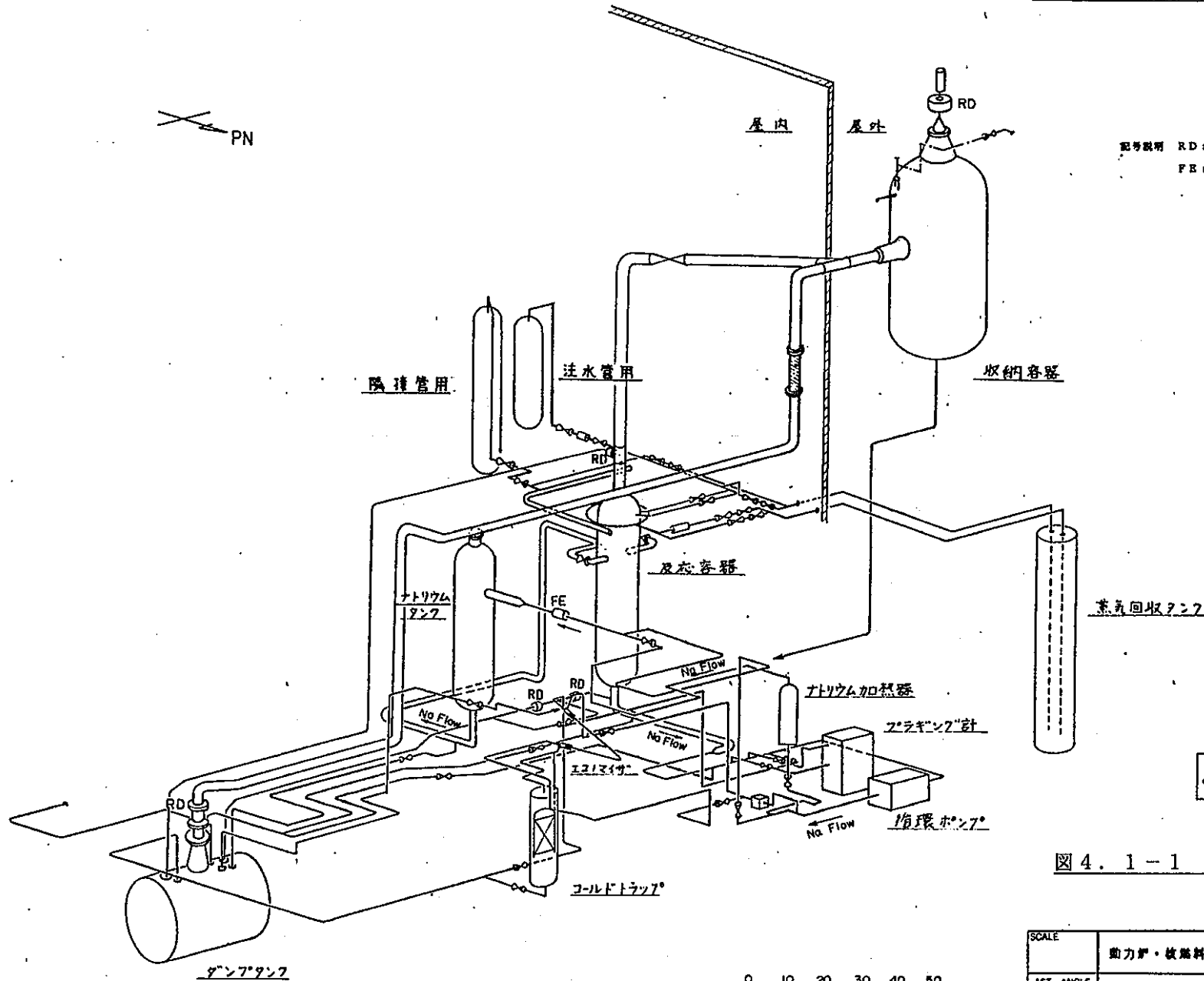
水加熱器については、現状の水加熱器を搬出する方法同様、南側水平梁を一時撤去した状態で試験装置に設置する。尚、隣接管用水加熱器の重量は建家クレーン容量一杯のため、今後の詳細設計で、20 T o n を越してしまう場合には、ダンプタンクと同様のトラッククレーンでの搬入が必要である。

図 4. 1 - 5 に機器搬入計画を示す。

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED		MASS(kg)		REMARKS
			HOWING	SPARE	TOTAL	PER ONE	

A
B
C
D
E
F

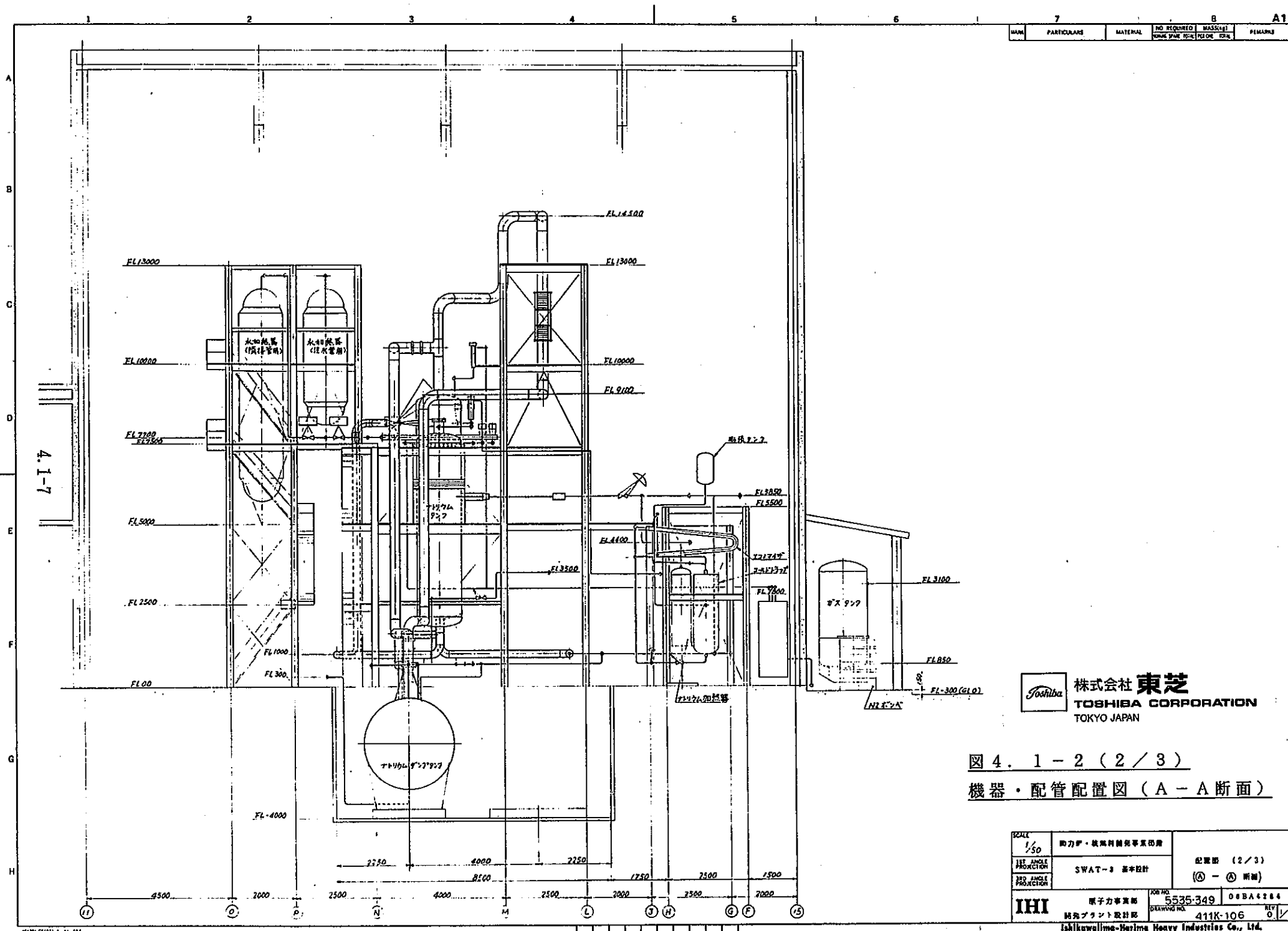
4.1-5



 株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

図 4. 1 - 1 機器・配管アイソメ図

SCALE	動力炉・核燃料開発事業団	機器・配管アイソメ図	
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3 基本設計		
3RD ANGLE PROJECTION			
IHI 開発プラント設計部 原子力事業部		JOB NO. 5535-349	06CA0866
		DRAWING NO. 411K021	REV. 0.1/1



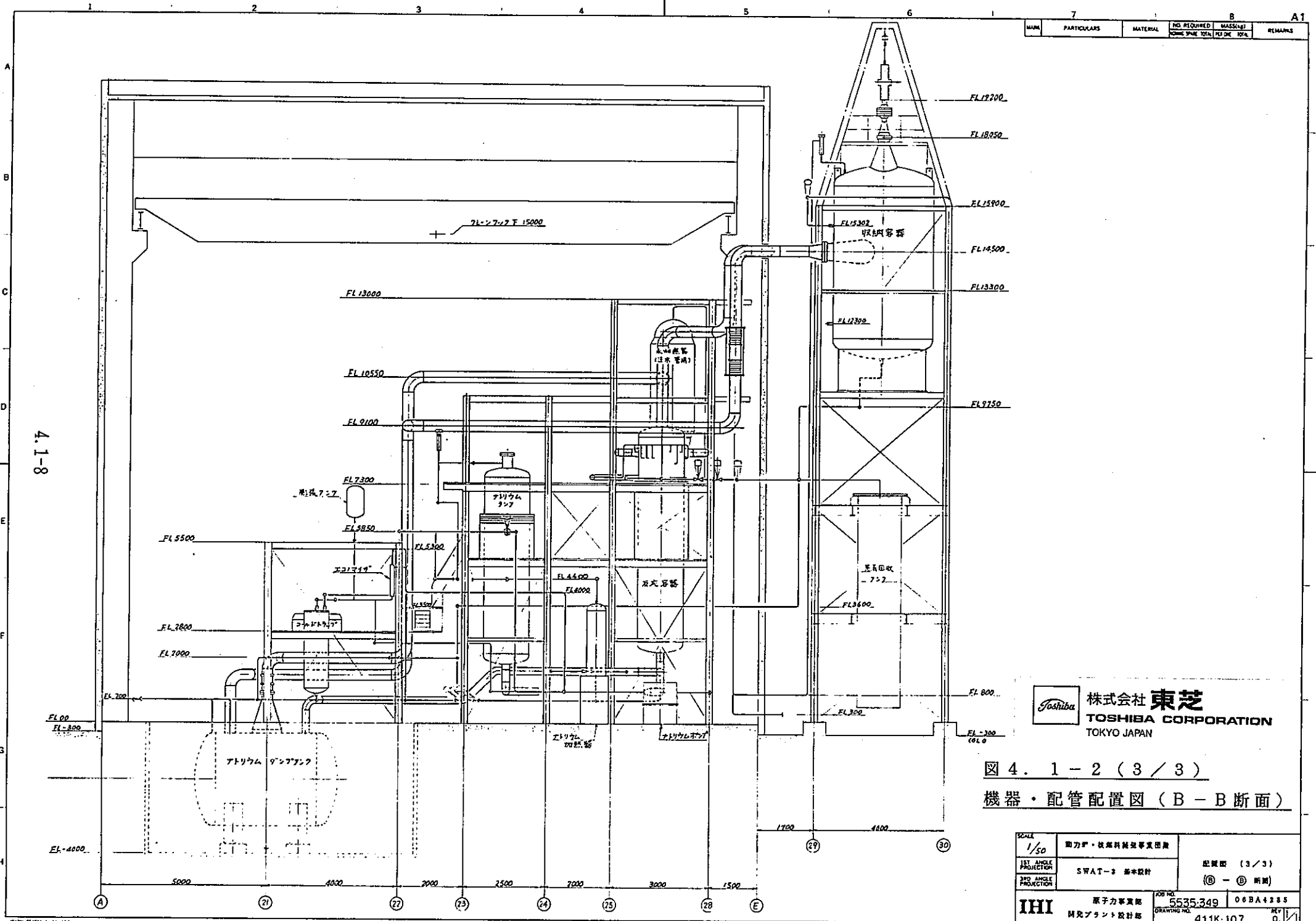
MARK	PARTICULARS	MATERIAL	NO REQUIRED	MASSIVE	REMARKS
			FORM TYPE	TYPE	


株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
 TOKYO JAPAN

図 4. 1 - 2 (2 / 3)
 機器・配管配置図 (A - A 断面)

SCALE 1/50	動力・熱供給部	配管部 (2 / 3)
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3 基本設計	(① - ④ 断面)
2ND ANGLE PROJECTION		
IHI	原子力事業部 開発プラント設計部	JOB NO. 5535-349 DRAWING NO. 411K-106
		08BA4284 REV. 0

Iskikawa-Iima-Marima Heavy Industries Co., Ltd.

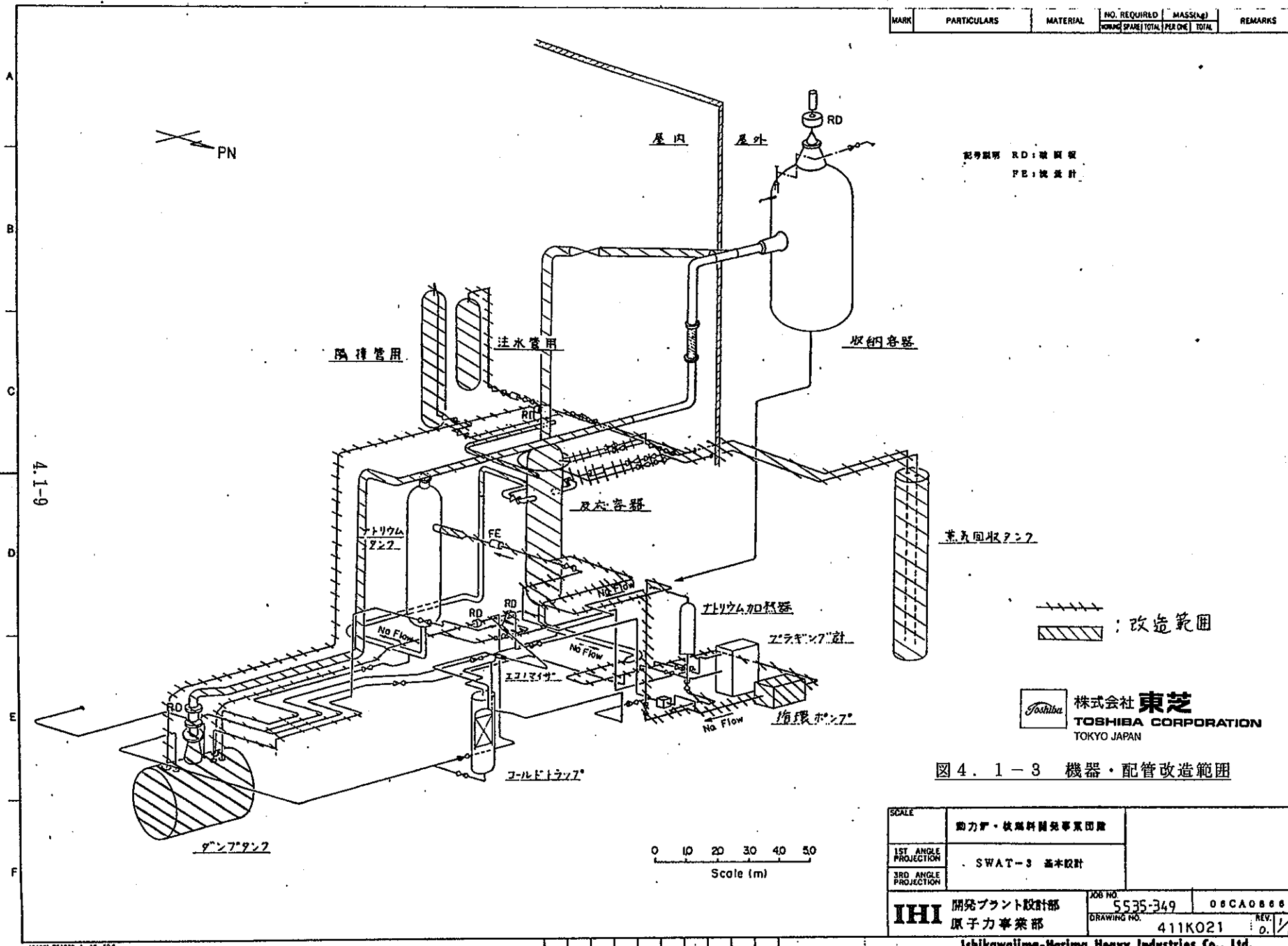


ITEM	PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED		MASSING		REMARKS
			SOME	SPARE	TOTAL	PER DIA.	


株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
 TOKYO JAPAN

図 4. 1 - 2 (3 / 3)
 機器・配管配置図 (B - B 断面)

SCALE 1/50	動力・技術開発事業部	図面番 (3 / 3)	
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3 基本設計	(⑧ - ⑩ 断面)	
2ND ANGLE PROJECTION			
IHI	原子力事業部	5535349	06BA4285
	開発プラント設計部	411K-107	0.1
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.			



MARK	PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED		MASS (kg)		REMARKS
			WORKING	SPARE	TOTAL	PER ONE	

記号説明 RD: 玻璃板
FE: 鋼板

改造範囲

株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

SCALE	動力炉・核燃料開発事業団		
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3 基本設計		
3RD ANGLE PROJECTION			
IHI	開発プラント設計部 原子力事業部	JOB NO.	5535-349
			08CA0866
		DRAWING NO.	411K021
		REV.	0.1/

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

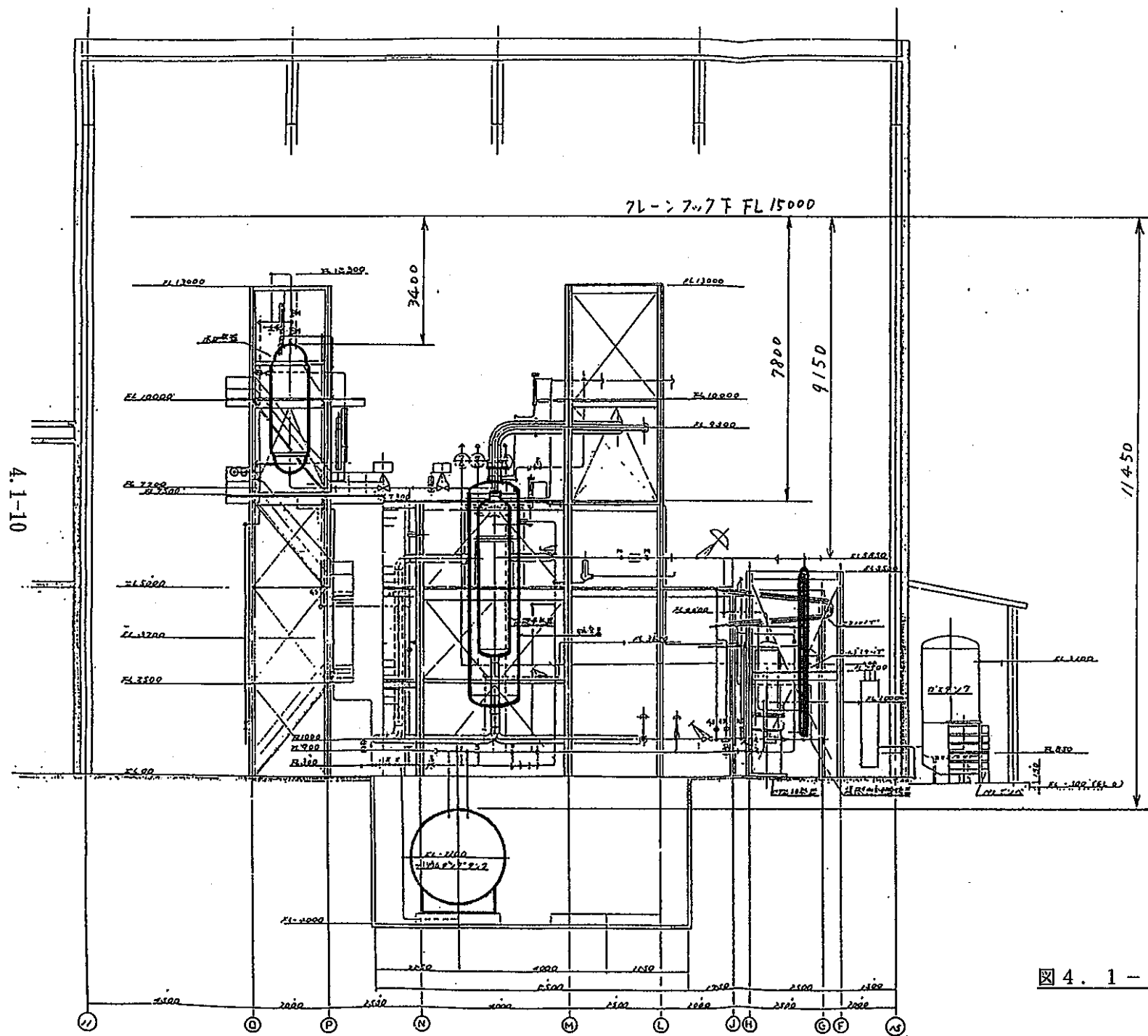


図 4. 1 - 4 (1 / 2) 機器搬出計画

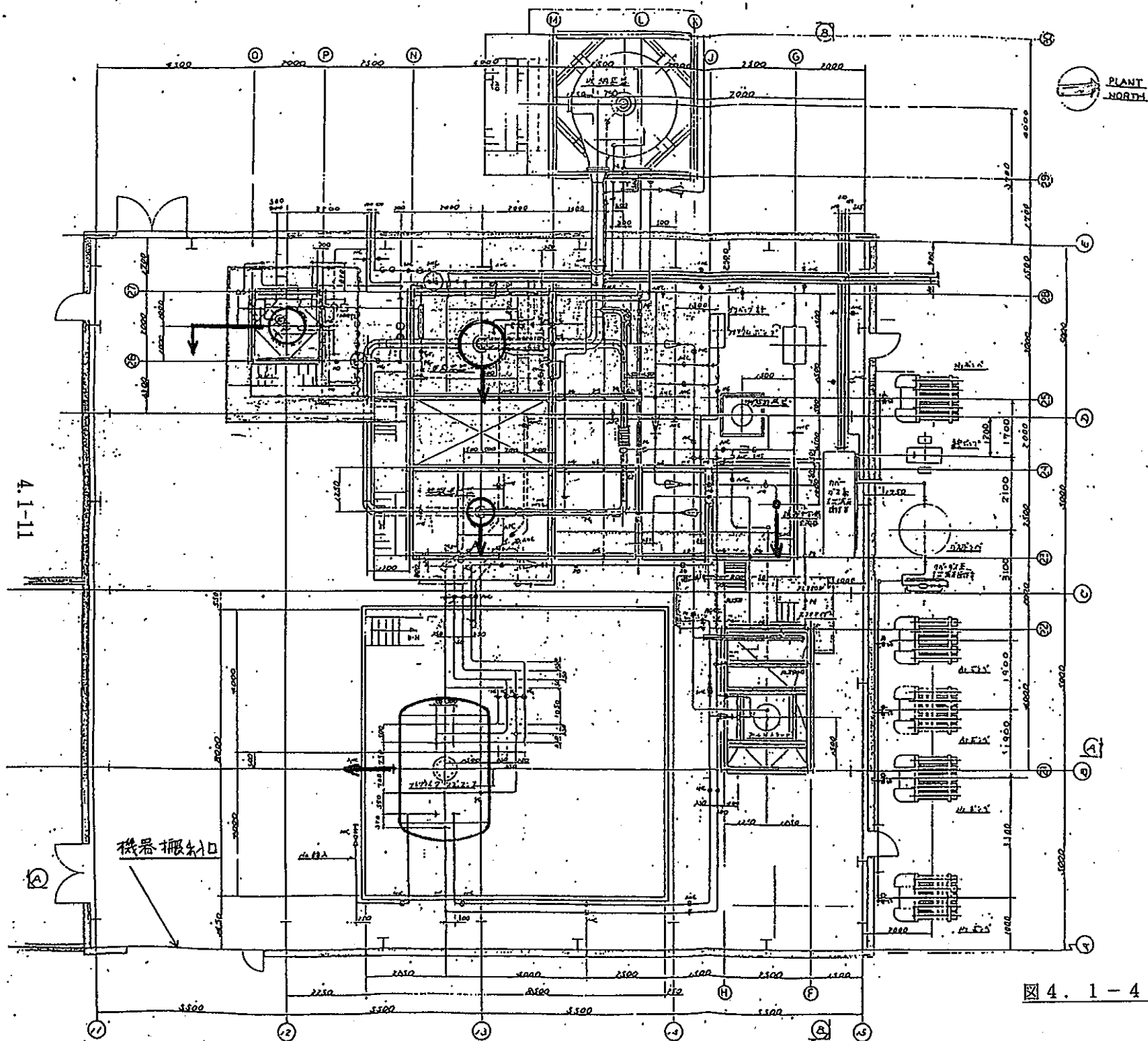
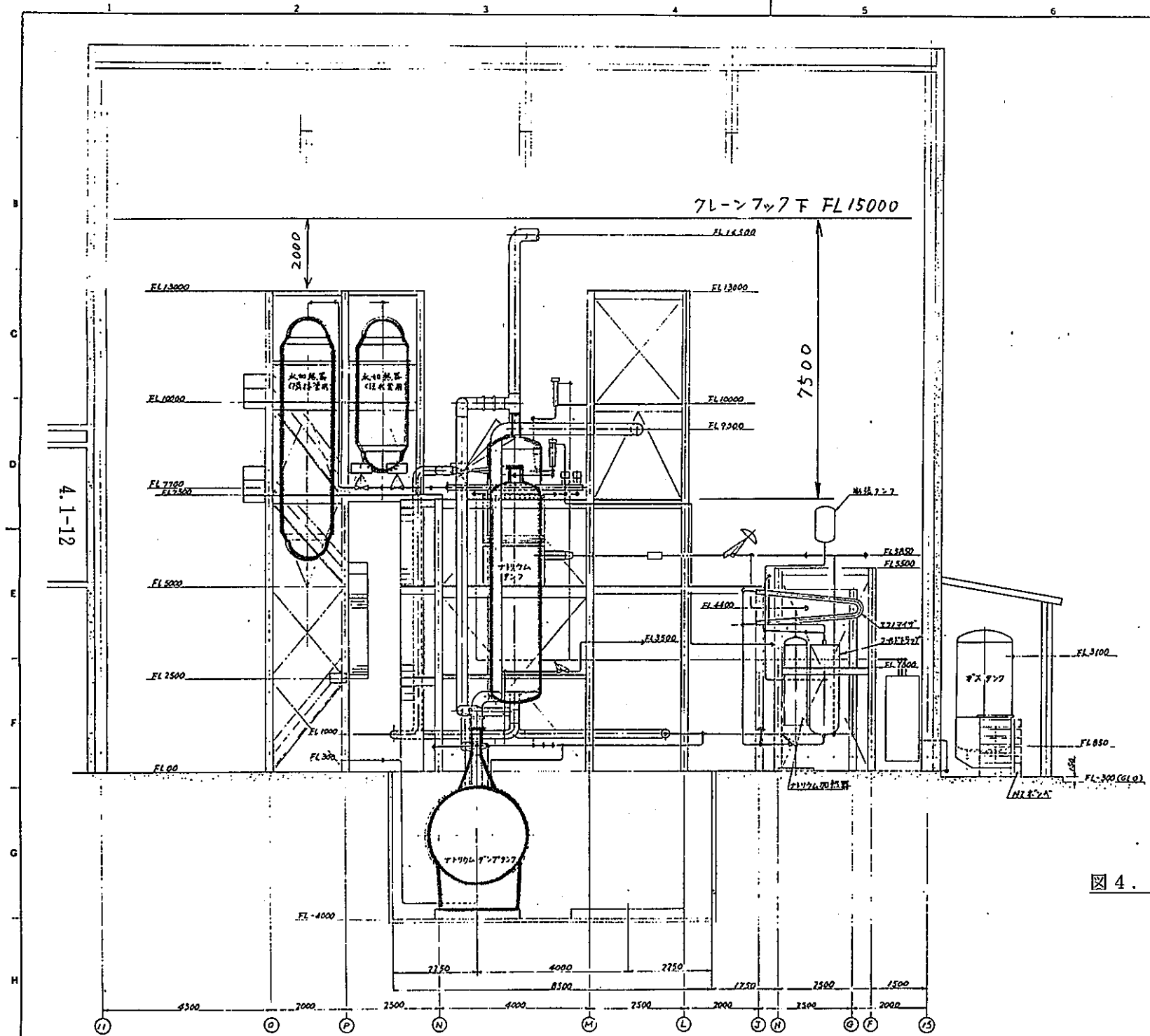


図 4. 1 - 4 (2 / 2) 機器搬出計画



4.1-12

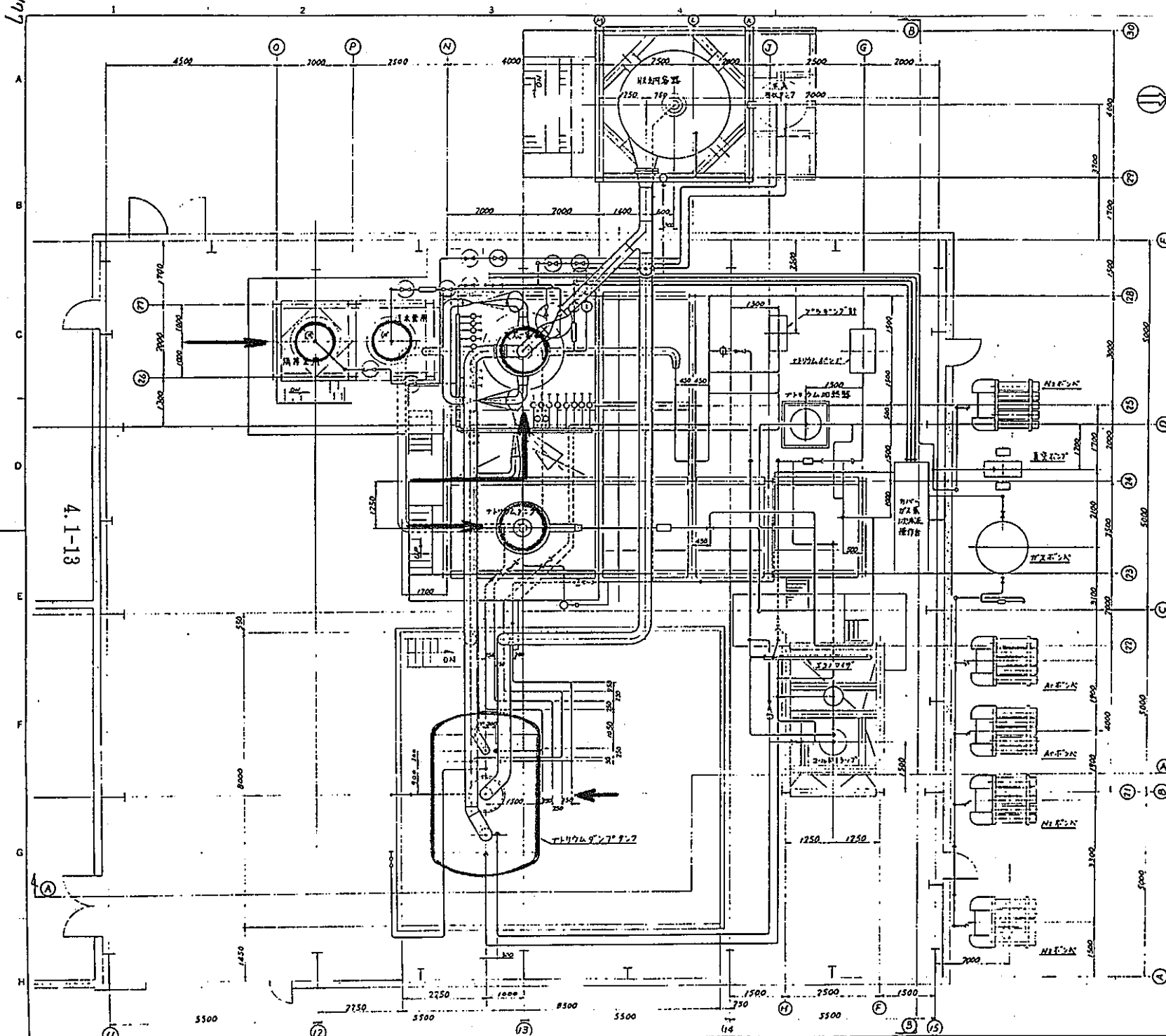
DATE	PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED & MASSIVE	REMARKS
			QTY. UNIT TOTAL QTY. UNIT	

 株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

図 4. 1 - 5 (1 / 2) 機器搬入計画

SCALE 1/50	電力・機械関係事業部	配管図 (2 / 3)
REV. AMPL. PRODUCTION	SWAT-3 基本設計	(〇 - 〇 所置)
REV. AMPL. PRODUCTION		
IHI	原子力事業部 機械プラント設計課	5535-349 083A4344 411K-106 10/1
Ishikawa-Jima-Heavy Industries Co., Ltd.		

177



MAIN	PARTICULARS	MATERIAL	TOTAL	DATE	REMARKS
------	-------------	----------	-------	------	---------




株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
 TOKYO JAPAN

図 4. 1 - 5 (2 / 2)

機器搬入計画

SCALE 1/50	電力・機械関係事業部	図面番 1/3 (平面図)
1st. ANGLE MONITOR	SWAT-3 部・組	
2nd. ANGLE PRODUCTION		
IHI	新子力事業部 機械プラント設計課	5535-349 06BA4363 411K105 0
Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.		

4. 2 架台の設計検討

4. 2. 1 概要

本書は試験装置用架台の地震時に対する現架台の構造健全性について見通しを得ることを目的とする。

4. 2. 2 適用法規

- 1) 建築基準法
- 2) 建築基準法施行令
- 3) Z の数値, R_1 及び A_1 を算定する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定
行政庁が指定する基準 (建設省告示第 1793 号)
- 4) 鋼構造設計規準 (A I J)
- 5) 日本工業規格 (J I S)

4. 2. 3 耐震設計に於ける前提条件

1) 架台構造

架台の構造は試験装置の改造により物理的に干渉する^{*1}、または試験装置の支持に対する必要性から追設等を除き現状構造及び H 5 年度改造予備設計における改造範囲を踏襲するものとする。

* 1 : 水加熱器 (隣接管) の一体化による架台変更。

2) 考慮対象重量

- ① 架台自重及び架台でモデリングしない歩廊等^{*2}の自重。

* 2 : 歩廊等とは以下を示す。

- a. 階段
- b. 手摺
- c. 床縞鋼板
- d. 水・ナトリウム分離用デッキプレート及び根太
- e. 張出し歩廊

なお配管支持装置の取付架台は無視するものとする。

② 機器の重量は以下のとおりとする。

- a. 反応容器：H 5 年度計画概算重量にナトリウム重量を加える。
- b. 水加熱器（注水管用）：H 5 年度計画概算重量に今年度計画タンク長さとは H 5 年度設計タンク長さの比例倍。タンク内重量は圧力 221 kg/cm^2 の飽和水 3.4 m^3 が含まれるものとする。
- c. 水加熱器（隣接管用）：H 5 年度計画概算重量に今年度計画タンク長さとは H 5 年度設計タンク長さの比例倍。タンク内重量は圧力 221 kg/cm^2 の飽和水 1.9 m^3 が含まれるものとする。
- d. ナトリウムタンク：S W A T - III 建設時の構造図より重量を反映し、タンク内重量としてナトリウム重量を加える。
- e. 配管・支持装置及びバルブ重量：今回は無視する。

（今後の詳細設計に於ける配管の詳細解析の結果による支持点確定後に設定し、架台強度精算を行うものとする。）

解析モデルの各節点に上記を原則として定めた付加荷重を表 4. 2 - 1 に示す。

3) 解析の方法

汎用非線形構造解析システム「F I N A S」を使用して、ビーム要素による静的解析を実施する。

4. 2. 4 解析条件

(1) 温度

全ての部材は常温 (20°C) であるものとする。

(2) 使用材料

炭素鋼 S S 4 1 相当

(3) 解析モデル

解析モデル図を図 4. 2 - 1 に示す。

(4) 材料物性値

- ① 縦弾性係数： $21,000 \text{ kg/mm}^2$
- ② 横弾性係数： $8,077 \text{ kg/mm}^2$
- ③ ポアソン比： 0.3

④ 密度 : $7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

(5) 使用部材

解析モデル図に記号で示す。解析モデル図にも説明するが記号の意味は次のとおりである。

a : H-200×200×8/12

b : H-200×100×5.5/8

c : H-150×150×7/10

d : H-400×200×8/13

e : [-150×75×6.5

f : $\phi 89.1 \times t4.2$

g : L-75×75×6

h : 2L-75×75×6(L-75×75×6を2本背中合わせに組合せ。)

なお解析モデル図の○印中の記号は図のレベルより下の柱を示す。

(6) 断面性能

各部材の断面性能を表4.2-2に示す。

(7) 使用要素

①要素名 : 3次元弾性梁要素

②要素記号 : SBEAM2

(8) 解析ケース

①自重解析

②水平地震解析(X方向)

③水平地震解析(Z方向)

(9) 地震層せん断力係数

「反応容器の耐熱・耐震評価」に示す。

(10) 荷重条件

解析モデルの各節点における方向別の集中荷重を表4.2-1に示す。構造物の自重分に付いては解析コード内機能である断面積と密度から求める等分布荷重とする。

4. 2. 5 応力評価方法

建築基準法による他、鋼構造設計規準の組合せ応力の評価においても許容値に満足していること。

(1) 許容応力度

鋼構造設計規準 第5章 許容応力度による。以下の許容応力度は長期応力における値を示す。地震時の許容応力は以下の50%増しとする。

① 許容引張応力度 (f_t)

$$f_t = \frac{F}{1.5} \quad F = 24 \text{ kg/mm}^2$$

② 許容専断応力度 (f_s)

$$f_s = \frac{F_s}{1.5} \quad F_s = \frac{F}{\sqrt{3}}$$

③ 許容圧縮応力度 (f_c)

a. $\lambda \leq \Lambda$ の時

$$f_c = \frac{\{1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\} F}{\nu}$$

b. $\lambda > \Lambda$ の時

$$f_c = \frac{0.277 F}{(\lambda / \Lambda)^2}$$

④ 許容曲げ応力度 (f_b)

a. 荷重面内に対象軸を有する部材で強軸廻りに曲げを受けるもの

$$f_{b1} = \left[1 - 0.4 \frac{(l_b / i)^2}{C \cdot \Lambda^2} \right] f_t$$

$$f_{b2} = \frac{900}{(l_b h / A_f)}$$

$$f_b = \max. (f_{b1}, f_{b2}) \quad \text{但し } f_b \leq f_t$$

b. 鋼管及び箱形断面材

$$f_b = f_t$$

c. みぞ形断面材及び荷重面内に対称軸を有しない部材の圧縮側許容曲げ応力

$$f_b = f_{b2} \quad \text{但し } f_b \leq f_t$$

ここで λ : 圧縮材の細長比

$$\Lambda : \text{限界細長比} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}}$$

E : 縦弾性係数

$$\nu = \frac{3}{2} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

l_b : 圧縮フランジの支点間距離

i : 圧縮フランジと梁背の $1/6$ からなる T 断面のウェブ軸廻り断面 2 次半径

$$C = 1.75 - 1.05 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) + 0.3 \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^2 \quad \text{ただし } 2.3 \text{ 以下}$$

M_1, M_2 : 座屈区間端部の強軸廻りモーメント

h : 梁の背

A_f : 圧縮フランジの断面積

⑤ 組合せ応力度

f_t

$$\text{評価応力 } S = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$$

ここで σ_x : 軸方向応力

σ_y : 軸直方向応力

τ_{xy} : σ_x, σ_y が生じる面内のせん断応力

4. 2. 6 評価

F I N A S の解析結果で得られた各部材力を基に、評価を実施した。現状の架台構造計画において許容値を満足しなかった部位を図 4. 2 - 2 に示す。また、当該代表部における応力評価結果を表 4. 2 - 3 に示す。

表 4. 2 - 3 に示すように、応力評価を満足していない架構は、水加熱器用架台及び水加熱器架台と主架台の取り合い部に限られている。これは、水加熱器の基数の増加及び重量増加によるものである。

このため、当該部を補強した解析を実施した。尚、架台の補強に当たっては、可能な限り、既設架台の変更を行わないことを前提とした。

補強を行った架台の解析モデルを図 4. 2 - 3 に示す。

図 4. 2 - 4 に補強部を含めた全体の架台アイソメ図を示す。

表 4. 2 - 4 に補強後の架台の応力評価結果を示す。

表 4. 2 - 4 に示すように、発生応力は全て許容値以下となる結果を得た。

表4. 2-1 (1/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
9	根太	39.00	-39.10	39.00	0.20	7.80	-39.10	7.80	
9	デッキプレート	97.00	-96.80	97.00	0.20	19.40	-96.80	19.40	
10	根太	39.00	-39.10	39.00	0.20	7.80	-39.10	7.80	
10	デッキプレート	97.00	-96.80	97.00	0.20	19.40	-96.80	19.40	
11	根太	39.00	-39.10	39.00	0.20	7.80	-39.10	7.80	
11	デッキプレート	97.00	-96.80	97.00	0.20	19.40	-96.80	19.40	
12	根太	39.00	-39.10	39.00	0.20	7.80	-39.10	7.80	
12	デッキプレート	97.00	-96.80	97.00	0.20	19.40	-96.80	19.40	
13	根太	39.00	-39.10	39.00	0.20	7.80	-39.10	7.80	
13	デッキプレート	97.00	-96.80	97.00	0.20	19.40	-96.80	19.40	
13	階段	161.00	-161.10	161.00	0.20	32.20	-161.10	32.20	
21	根太・デッキプレート	72.00	-72.20	72.00	0.21	15.12	-72.20	15.12	
21	張出し	24.00	-24.00	24.00	0.21	5.04	-24.00	5.04	
22	根太・デッキプレート	72.00	-72.20	72.00	0.21	15.12	-72.20	15.12	
23	階段踊り場	225.00	-224.90	225.00	0.21	47.25	-224.90	47.25	
23	根太・デッキプレート	72.00	-72.20	72.00	0.21	15.12	-72.20	15.12	
24	根太・デッキプレート	72.00	-72.20	72.00	0.21	15.12	-72.20	15.12	
25	張出し	24.00	-24.00	24.00	0.21	5.04	-24.00	5.04	
25	根太・デッキプレート	72.00	-72.20	72.00	0.21	15.12	-72.20	15.12	
29	歩廊・デッキプレート	249.00	-249.20	249.00	0.28	69.72	-249.20	69.72	
29	水加熱器(隣)地震荷重	3675.00	0.00	3675.00	0.28	1029.00	0.00	1029.00	
29	階段	63.00	-62.90	63.00	0.28	17.64	-62.90	17.64	
30	階段	63.00	-62.90	63.00	0.28	17.64	-62.90	17.64	
30	水加熱器(注隣)地震荷重	4900.00	0.00	4900.00	0.28	1372.00	0.00	1372.00	
30	歩廊・デッキプレート	249.00	-249.20	249.00	0.28	69.72	-249.20	69.72	
31	水加熱器(注)地震荷重	2450.00	0.00	2450.00	0.28	686.00	0.00	686.00	
31	歩廊・デッキプレート	249.00	-249.20	249.00	0.28	69.72	-249.20	69.72	
33	水加熱器(隣)地震荷重	3675.00	0.00	3675.00	0.28	1029.00	0.00	1029.00	
33	歩廊・デッキプレート	249.00	-249.20	249.00	0.28	69.72	-249.20	69.72	
34	水加熱器(注隣)地震荷重	4900.00	0.00	4900.00	0.28	1372.00	0.00	1372.00	
34	歩廊・デッキプレート	249.00	-249.20	249.00	0.28	69.72	-249.20	69.72	

表4. 2-1 (2/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
35	歩廊・デッキプレート	249.00	-249.20	249.00	0.28	69.72	-249.20	69.72	
37	階段	63.00	-62.90	63.00	0.28	17.64	-62.90	17.64	
37	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
38	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
39	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
40	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
41	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
42	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
44	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
45	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
46	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
47	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
48	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
49	歩廊・デッキプレート	147.00	-146.80	147.00	0.28	41.16	-146.80	41.16	
70	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
71	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
71	水加熱器（隣）地震荷重	3675.00	0.00	3675.00	0.28	1029.00	0.00	1029.00	
71	水加熱器（隣）自重	0.00	-7350.00	0.00	0.28	0.00	-7350.00	0.00	
71	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
73	水加熱器（注）地震荷重	2450.00	0.00	2450.00	0.28	686.00	0.00	686.00	
73	水加熱器（注）自重	0.00	-4900.00	0.00	0.28	0.00	-4900.00	0.00	
73	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
74	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
75	水加熱器（隣）地震荷重	3675.00	0.00	3675.00	0.28	1029.00	0.00	1029.00	
75	水加熱器（隣）自重	0.00	-7350.00	0.00	0.28	0.00	-7350.00	0.00	
75	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
76	水加熱器（注隣）地震荷重	6125.00	0.00	6125.00	0.28	1715.00	0.00	1715.00	
76	水加熱器（注隣）自重	0.00	-12250.00	0.00	0.28	0.00	-12250.00	0.00	
77	水加熱器（注）地震荷重	2450.00	0.00	2450.00	0.28	686.00	0.00	686.00	
77	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
77	水加熱器（注）自重	0.00	-4900.00	0.00	0.28	0.00	-4900.00	0.00	

表4. 2-1 (3/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
78	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
79	水加熱器 (隣) 自重	0.00	-7350.00	0.00	0.28	0.00	-7350.00	0.00	
79	水加熱器 (隣) 地震荷重	3675.00	0.00	3675.00	0.28	1029.00	0.00	1029.00	
79	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
80	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
81	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
81	水加熱器 (注) 地震荷重	2450.00	0.00	2450.00	0.28	686.00	0.00	686.00	
81	水加熱器 (注) 自重	0.00	-4900.00	0.00	0.28	0.00	-4900.00	0.00	
82	デッキプレート	22.00	-22.10	22.00	0.28	6.16	-22.10	6.16	
99	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
99	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
99	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	
100	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
100	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
101	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
101	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
102	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
102	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
103	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
103	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	
103	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	
103	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
104	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	
105	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	
107	ナトリウムタンク地震荷重	1438.00	0.00	1438.00	0.20	287.60	0.00	287.60	
107	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
108	ナトリウムタンク地震荷重	1438.00	0.00	1438.00	0.20	287.60	0.00	287.60	
108	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
109	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
109	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
110	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	

表4. 2-1 (4/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
110	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
113	ナトリウムタンク地震荷重	1438.00	0.00	1438.00	0.20	287.60	0.00	287.60	
113	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
114	ナトリウムタンク地震荷重	1438.00	0.00	1438.00	0.20	287.60	0.00	287.60	
114	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
115	階段踊場・手摺・床	248.00	-248.10	248.00	0.20	49.60	-248.10	49.60	
115	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
115	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
116	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
116	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
117	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
117	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
118	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
118	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
119	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
119	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
120	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	
120	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
120	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
124	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
124	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
125	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
125	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
126	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
126	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
127	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
127	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
128	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
128	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
129	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
129	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	

表4. 2-1 (5/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
129	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
131	反応容器地震荷重	1254.00	0.00	1254.00	0.20	250.80	0.00	250.80	
131	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
132	反応容器地震荷重	1254.00	0.00	1254.00	0.20	250.80	0.00	250.80	
132	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
133	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
133	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
134	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
134	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
135	反応容器地震荷重	1254.00	0.00	1254.00	0.20	250.80	0.00	250.80	
135	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
136	反応容器地震荷重	1254.00	0.00	1254.00	0.20	250.80	0.00	250.80	
136	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
137	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
137	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
138	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
138	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
138	歩廊	69.00	-68.50	69.00	0.20	13.80	-68.50	13.80	
139	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
139	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
140	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
140	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
140	歩廊	69.00	-68.50	69.00	0.20	13.80	-68.50	13.80	
141	床グレーチング	16.00	-16.20	16.00	0.20	3.20	-16.20	3.20	
141	ケーブルダクト	100.00	-100.00	100.00	0.20	20.00	-100.00	20.00	
141	手摺	6.00	-6.00	6.00	0.20	1.20	-6.00	1.20	
144	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
144	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
145	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
145	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
146	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	

表4. 2 - 1 (6 / 9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
146	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
147	床グレーチング	60.00	-60.20	60.00	0.21	12.60	-60.20	12.60	
147	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
147	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
148	床グレーチング	60.00	-60.20	60.00	0.21	12.60	-60.20	12.60	
149	階段	63.00	-62.90	63.00	0.21	13.23	-62.90	13.23	
151	ナトリウムタンク地震荷重	2641.30	0.00	2641.30	0.21	554.67	0.00	554.67	
151	ナトリウムタンク自重	0.00	-3600.00	0.00	0.21	0.00	-3600.00	0.00	
151	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
152	ナトリウムタンク地震荷重	2641.30	0.00	2641.30	0.21	554.67	0.00	554.67	
152	ナトリウムタンク自重	0.00	-3600.00	0.00	0.21	0.00	-3600.00	0.00	
152	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
153	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
153	床グレーチング	60.00	-60.20	60.00	0.21	12.60	-60.20	12.60	
153	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
154	床グレーチング	60.00	-60.20	60.00	0.21	12.60	-60.20	12.60	
157	ナトリウムタンク地震荷重	2641.30	0.00	2641.30	0.21	554.67	0.00	554.67	
157	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
157	ナトリウムタンク自重	0.00	-3600.00	0.00	0.21	0.00	-3600.00	0.00	
158	ナトリウムタンク地震荷重	2641.30	0.00	2641.30	0.21	554.67	0.00	554.67	
158	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
158	ナトリウムタンク自重	0.00	-3600.00	0.00	0.21	0.00	-3600.00	0.00	
159	ナトリウムタンク自重	0.00	-3600.00	0.00	0.21	0.00	-3600.00	0.00	
159	ナトリウムタンク地震荷重	2641.30	0.00	2641.30	0.21	554.67	0.00	554.67	
159	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
160	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
160	ナトリウムタンク地震荷重	2641.30	0.00	2641.30	0.21	554.67	0.00	554.67	
160	ナトリウムタンク自重	0.00	-3600.00	0.00	0.21	0.00	-3600.00	0.00	
161	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
161	階段踊場・手摺・床	148.00	-148.40	148.00	0.21	31.08	-148.40	31.08	
161	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	

表4. 2-1 (7/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
182	反応容器自重・地震荷重	3454.80	-4709.00	3454.80	0.21	725.51	-4709.00	725.51	
182	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
183	反応容器自重・地震荷重	3454.80	-4709.00	3454.80	0.21	725.51	-4709.00	725.51	
183	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
184	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
184	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
185	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
185	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
186	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
186	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
187	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
187	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
188	手摺	7.00	-6.90	7.00	0.21	1.47	-6.90	1.47	
188	床グレーチング	25.00	-24.60	25.00	0.21	5.25	-24.60	5.25	
188	床グレーチング	60.00	-60.20	60.00	0.21	12.60	-60.20	12.60	
189	床グレーチング	60.00	-60.20	60.00	0.21	12.60	-60.20	12.60	
195	階段踊場・手摺・床	148.00	-148.40	148.00	0.27	39.96	-148.40	39.96	
195	歩廊	55.00	-54.60	55.00	0.27	14.85	-54.60	14.85	
195	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
195	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
196	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
196	歩廊	55.00	-54.60	55.00	0.27	14.85	-54.60	14.85	
196	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
197	歩廊	55.00	-54.60	55.00	0.27	14.85	-54.60	14.85	
197	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
197	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
198	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
198	歩廊	55.00	-54.60	55.00	0.27	14.85	-54.60	14.85	
198	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
199	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
199	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	

表4. 2-1 (8/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
199	歩廊	55.00	-54.60	55.00	0.27	14.85	-54.60	14.85	
200	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
200	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
201	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
202	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
203	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
204	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
205	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
205	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
206	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
207	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
208	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
209	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
210	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
210	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
211	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
211	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
212	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
213	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
214	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
214	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
215	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
216	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
217	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
218	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
219	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
219	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
220	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
221	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
222	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
222	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	

表4. 2-1 (9/9) 架台解析モデル節点荷重

負荷節点	負荷内容	負荷方向			地震 係数	地震時負荷荷重			備考
		X	Y	Z		X	Y	Z	
223	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
223	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
224	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
225	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
226	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
227	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
227	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
228	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
228	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
229	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
229	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
230	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
230	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
231	床グレーチング	39.00	-38.90	39.00	0.27	10.53	-38.90	10.53	
231	手摺	8.00	-8.00	8.00	0.27	2.16	-8.00	2.16	
248	歩廊	123.00	-122.50	123.00	0.28	34.44	-122.50	34.44	
248	階段	68.00	-67.80	68.00	0.28	19.04	-67.80	19.04	
252	張出し	224.00	-224.00	224.00	0.28	62.72	-224.00	62.72	
252	歩廊	123.00	-122.50	123.00	0.28	34.44	-122.50	34.44	
253	張出し	224.00	-224.00	224.00	0.28	62.72	-224.00	62.72	
253	歩廊	123.00	-122.50	123.00	0.28	34.44	-122.50	34.44	
261	張出し	224.00	-224.00	224.00	0.28	62.72	-224.00	62.72	
262	張出し	224.00	-224.00	224.00	0.28	62.72	-224.00	62.72	

表 4. 2 - 2 (1 / 2) 架台解析モデル使用部材断面係数

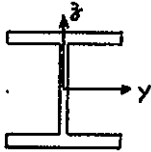
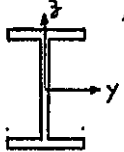
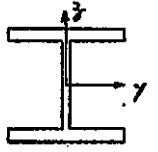
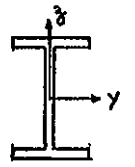
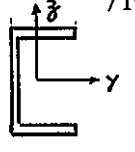
断面形状及び座標	断面積	せん断断面積		ねじり定数	断面2次モーメント		断面係数	
	A_x (mm ²)	A_y (mm ²)	A_z (mm ²)	T_x (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	I_z (mm ⁴)	Z_y (mm ³)	Z_z (mm ³)
H-200×200×8/12 	6 3 5 3	4 8 0 0	1 6 0 0	2.645×10^5	4.72×10^7	1.6×10^7	4.72×10^5	1.6×10^5
H-200×100×5.5/8 	2 7 1 6	1 6 0 0	1 1 0 0	4.52×10^4	1.84×10^7	1.34×10^7	1.84×10^5	2.3×10^4
H-150×150×7/10 	4 0 1 4	3 0 0 0	1 0 5 0	1.17×10^5	1.64×10^7	5.63×10^6	2.19×10^5	7.51×10^4
H-400×200×8/13 	8 4 1 2	5 2 0 0	3 2 0 0	3.61×10^5	2.37×10^8	1.74×10^7	1.19×10^6	1.74×10^5
[-150×75×6.5/10 	2 3 7 1	1 5 0 0	9 7 5	6.37×10^4	8.61×10^6	1.17×10^6	1.15×10^5	2.24×10^4

表 4. 2 - 2 (2 / 2) 架台解析モデル使用部材断面係数

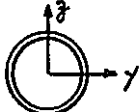
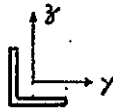
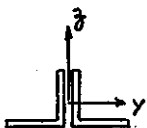
断面形状及び座標	断面積	せん断断面積		ねじり定数	断面 2 次モーメント		断面係数	
	A_x (mm ²)	A_y (mm ²)	A_z (mm ²)	T_x (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	I_z (mm ⁴)	Z_y (mm ³)	Z_z (mm ³)
$\phi 89.1 \times t 4.2$ 	1 1 2 0	5 6 0	5 6 0	2.02×10^6	1.01×10^6	1.01×10^6	2.27×10^4	2.27×10^4
L-75×75×6 	8 7 2	4 5 0	4 5 0	1.08×10^4	4.61×10^6	4.61×10^6	8.47×10^3	8.47×10^3
2 L-75×75×6 	1 7 4 5	9 0 0	9 0 0	2.16×10^4	9.22×10^6	9.22×10^6	1.69×10^4	1.69×10^4

表4. 2-3 (1/2) 架台応力評価(現状計画)

評価項目		エレメントNo. 158			エレメントNo. 161			エレメントNo.		
		評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定
自重	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—			
	圧縮 (σ_x)	1.61	15.87	○	1.67	15.87	○			
	せん断 (τ_{yz})	0.01	9.23	○	0.01	9.23	○			
	せん断 (τ_{zx})	0.22	9.23	○	0.26	9.23	○			
	せん断 (τ_{xy})	0.26	9.23	○	0.35	9.23	○			
	曲げ (σ_y)	2.10	16.00	○	2.59	15.23	○			
	曲げ (σ_z)	18.84	16.00	×	21.75	16.00	×			
	組合せ (S_y)	3.71	16.00	○	4.26	16.00	○			
	組合せ (S_z)	20.43	16.00	×	23.40	16.00	×			
自重 + X 方向地震	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—			
	圧縮 (σ_x)	3.46	15.87	○	3.65	15.87	○			
	せん断 (τ_{yz})	0.01	13.84	○	0.01	13.84	○			
	せん断 (τ_{zx})	0.40	13.84	○	0.55	13.84	○			
	せん断 (τ_{xy})	1.46	13.84	○	1.74	13.84	○			
	曲げ (σ_y)	9.01	22.01	○	10.62	22.01	○			
	曲げ (σ_z)	35.77	24.00	×	45.53	24.00	×			
	組合せ (S_y)	12.46	24.00	○	14.27	24.00	○			
	組合せ (S_z)	39.21	24.00	×	49.16	24.00	×			
自重 + Z 方向地震	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—			
	圧縮 (σ_x)	5.34	15.87	○	5.01	15.87	○			
	せん断 (τ_{yz})	0.02	13.84	○	0.02	13.84	○			
	せん断 (τ_{zx})	1.28	13.84	○	0.15	13.84	○			
	せん断 (τ_{xy})	1.65	13.84	○	2.11	13.84	○			
	曲げ (σ_y)	10.60	22.01	○	13.43	22.01	○			
	曲げ (σ_z)	95.62	24.00	×	26.33	24.00	×			
	組合せ (S_y)	16.05	24.00	○	18.40	24.00	○			
	組合せ (S_z)	100.94	24.00	×	31.29	24.00	×			

表4. 2-3 (2/2) 架台応力評価(現状計画)

評価項目		エレメントNo. 2			エレメントNo. 75			エレメントNo. 575		
		評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定
自重	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	圧縮 (σ_x)	3.24	14.98	○	0.23	15.98	○	0.15	15.95	○
	せん断 (τ_{yz})	0.01	9.23	○	0.17	9.23	○	0.03	9.23	○
	せん断 (τ_{zx})	0.01	9.23	○	0.14	9.23	○	0.08	9.23	○
	せん断 (τ_{xy})	0.01	9.23	○	2.74	9.23	○	0.20	9.23	○
	曲げ (σ_y)	0.19	16.00	○	7.50	16.00	○	0.87	16.00	○
	曲げ (σ_z)	0.23	16.00	○	8.84	16.00	○	5.18	16.00	○
	組合せ (S_y)	3.25	16.00	○	7.73	16.00	○	1.02	16.00	○
	組合せ (S_z)	3.45	16.00	○	9.06	16.00	○	5.33	16.00	○
自重 + X 方向地震	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	圧縮 (σ_x)	8.14	14.98	○	1.92	15.98	○	0.85	15.95	○
	せん断 (τ_{yz})	0.01	13.84	○	0.54	13.85	○	0.10	13.84	○
	せん断 (τ_{zx})	0.01	13.84	○	0.55	13.85	○	0.67	13.84	○
	せん断 (τ_{xy})	0.06	13.84	○	8.46	13.85	○	0.36	13.84	○
	曲げ (σ_y)	0.57	24.00	○	19.58	24.00	○	1.45	24.00	○
	曲げ (σ_z)	0.43	24.00	○	49.45	24.00	×	43.04	24.00	×
	組合せ (S_y)	8.71	24.00	○	21.51	24.00	○	2.57	24.00	○
	組合せ (S_z)	8.53	24.00	○	51.38	24.00	×	43.90	24.00	×
自重 + Z 方向地震	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	圧縮 (σ_x)	16.15	14.98	×	2.84	15.98	○	1.42	15.95	○
	せん断 (τ_{yz})	0.01	13.84	○	1.12	13.85	○	0.17	13.84	○
	せん断 (τ_{zx})	0.03	13.84	○	2.49	13.85	○	0.97	13.84	○
	せん断 (τ_{xy})	0.08	13.84	○	15.09	13.85	×	0.54	13.84	○
	曲げ (σ_y)	0.71	24.00	○	36.66	24.00	×	2.22	24.00	○
	曲げ (σ_z)	1.63	24.00	○	134.32	24.00	×	61.67	24.00	×
	組合せ (S_y)	16.86	24.00	○	39.73	24.00	×	3.98	24.00	○
	組合せ (S_z)	17.78	24.00	○	137.22	24.00	×	63.10	24.00	×

表4. 2-4 (1/2) 架台応力評価表(補強計画)

評価項目		エレメントNo. 158			エレメントNo. 161			エレメントNo.		
		評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定
自重	引張(σ_x)	—	—	—	—	—	—			
	圧縮(σ_x)	0.14	15.87	○	0.16	15.87	○			
	せん断(τ_{yz})	0.01	9.23	○	0.01	9.23	○			
	せん断(τ_{zx})	0.01	9.23	○	0.02	9.23	○			
	せん断(τ_{xy})	0.13	9.23	○	0.21	9.23	○			
	曲げ(σ_y)	0.94	16.00	○	1.45	15.23	○			
	曲げ(σ_z)	0.68	16.00	○	0.79	16.00	○			
	組合せ(S_y)	1.06	16.00	○	1.61	16.00	○			
	組合せ(S_z)	0.80	16.00	○	0.95	16.00	○			
自重 + X 方向地震	引張(σ_x)	—	—	—	—	—	—			
	圧縮(σ_x)	0.22	15.87	○	0.60	15.87	○			
	せん断(τ_{yz})	0.01	13.84	○	0.01	13.84	○			
	せん断(τ_{zx})	0.02	13.84	○	0.03	13.84	○			
	せん断(τ_{xy})	0.29	13.84	○	0.51	13.84	○			
	曲げ(σ_y)	2.29	22.01	○	3.64	22.01	○			
	曲げ(σ_z)	1.22	24.00	○	1.75	24.00	○			
	組合せ(S_y)	2.48	24.00	○	4.24	24.00	○			
	組合せ(S_z)	1.41	24.00	○	2.35	24.00	○			
自重 + Z 方向地震	引張(σ_x)	—	—	—	—	—	—			
	圧縮(σ_x)	0.04	15.87	○	0.21	15.87	○			
	せん断(τ_{yz})	0.01	13.84	○	0.01	13.84	○			
	せん断(τ_{zx})	0.04	13.84	○	0.04	13.84	○			
	せん断(τ_{xy})	0.51	13.84	○	0.55	13.84	○			
	曲げ(σ_y)	3.94	22.01	○	3.91	22.01	○			
	曲げ(σ_z)	2.42	24.00	○	1.86	24.00	○			
	組合せ(S_y)	3.94	24.00	○	4.11	24.00	○			
	組合せ(S_z)	2.43	24.00	○	2.06	24.00	○			

表4. 2-4 (2/2) 架台応力評価表 (補強計画)

評価項目		エレメントNo. 2			エレメントNo. 75			エレメントNo. 575		
		評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定	評価応力	許容値	判定
自重	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	圧縮 (σ_x)	2.60	14.98	○	0.02	15.98	○	0.08	15.95	○
	せん断 (τ_{yz})	0.01	9.23	○	0.06	9.23	○	0.01	9.23	○
	せん断 (τ_{zx})	0.01	9.23	○	0.10	9.23	○	0.01	9.23	○
	せん断 (τ_{xy})	0.01	9.23	○	1.01	9.23	○	0.20	9.23	○
	曲げ (σ_y)	0.09	16.00	○	2.33	16.00	○	0.92	16.00	○
	曲げ (σ_z)	0.24	16.00	○	1.33	16.00	○	0.31	16.00	○
	組合せ (S_y)	2.67	16.00	○	2.35	16.00	○	1.00	16.00	○
	組合せ (S_z)	2.81	16.00	○	1.36	16.00	○	0.38	16.00	○
自重 + X 方向地震	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	圧縮 (σ_x)	5.75	14.98	○	0.28	15.98	○	0.07	15.95	○
	せん断 (τ_{yz})	0.01	13.84	○	0.13	13.85	○	0.02	13.84	○
	せん断 (τ_{zx})	0.01	13.84	○	0.13	13.85	○	0.18	13.84	○
	せん断 (τ_{xy})	0.07	13.84	○	2.53	13.85	○	0.34	13.84	○
	曲げ (σ_y)	0.53	24.00	○	4.99	24.00	○	1.21	24.00	○
	曲げ (σ_z)	0.44	24.00	○	2.34	24.00	○	11.05	24.00	○
	組合せ (S_y)	6.28	24.00	○	5.28	24.00	○	1.31	24.00	○
	組合せ (S_z)	6.15	24.00	○	2.63	24.00	○	11.12	24.00	○
自重 + Z 方向地震	引張 (σ_x)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	圧縮 (σ_x)	10.96	14.98	○	0.19	15.98	○	0.21	15.95	○
	せん断 (τ_{yz})	0.01	13.84	○	0.22	13.85	○	0.02	13.84	○
	せん断 (τ_{zx})	0.02	13.84	○	0.47	13.85	○	0.11	13.84	○
	せん断 (τ_{xy})	0.08	13.84	○	4.47	13.85	○	0.54	13.84	○
	曲げ (σ_y)	0.57	24.00	○	9.97	24.00	○	2.20	24.00	○
	曲げ (σ_z)	1.12	24.00	○	7.17	24.00	○	7.74	24.00	○
	組合せ (S_y)	11.52	24.00	○	10.19	24.00	○	2.41	24.00	○
	組合せ (S_z)	12.07	24.00	○	7.39	24.00	○	7.94	24.00	○

66号, 梁, 柱共共通.

a: H-200x200x8/12

b: H-200x100x5/8

c: H-150x150x7/10

d: H-400x200x8/3

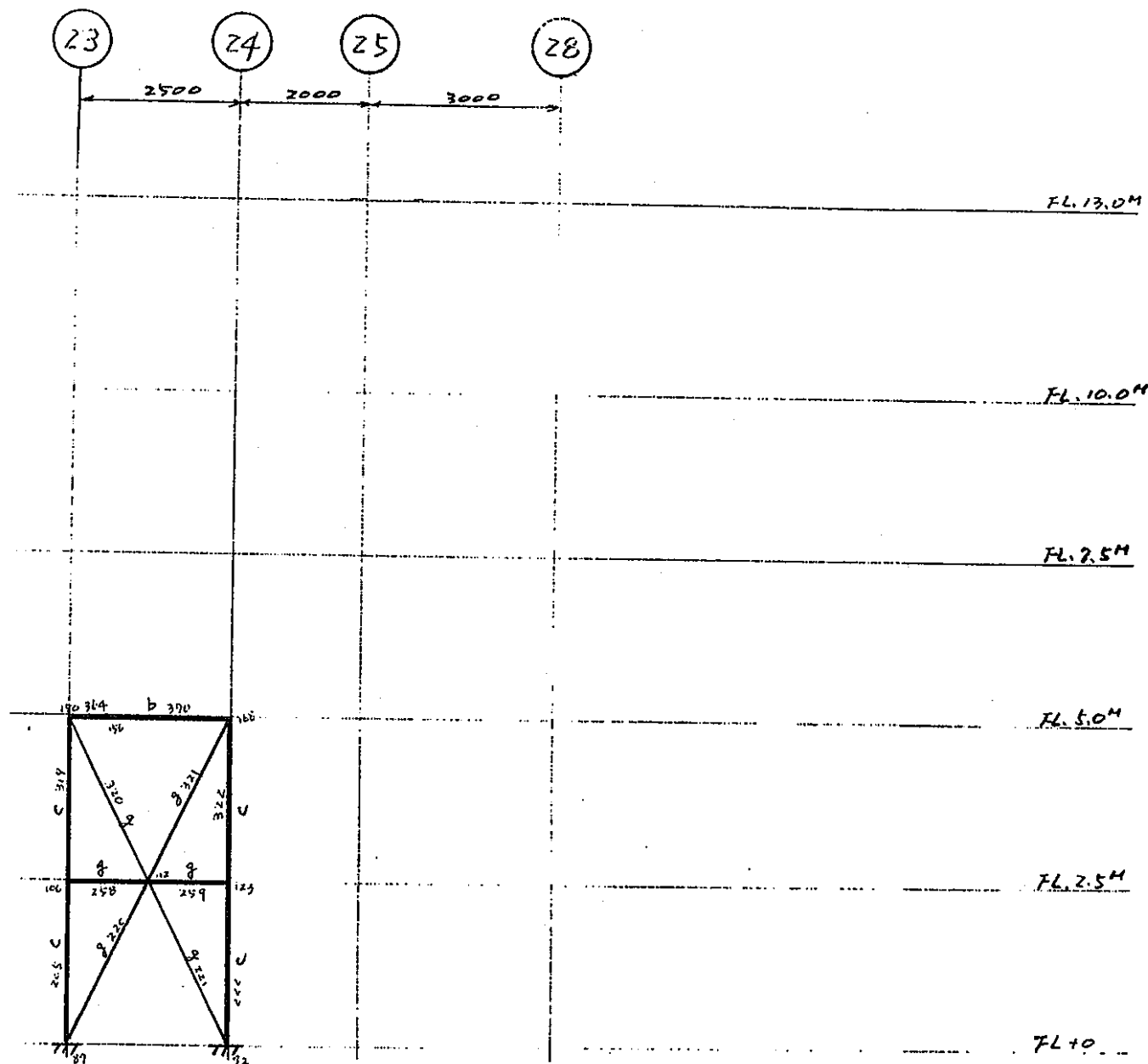
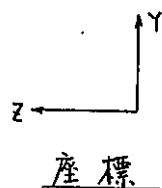
e: L-150x75x6.5

f: $\Phi 89.1 \times 4.2$

g: L-75x75x6

h: 2L-75x75x6

4.2-22



④ 通り

図 4. 2 - 1 (1 / 2 2) 架台解析モデル図

4. 2-23

座標

① 通り

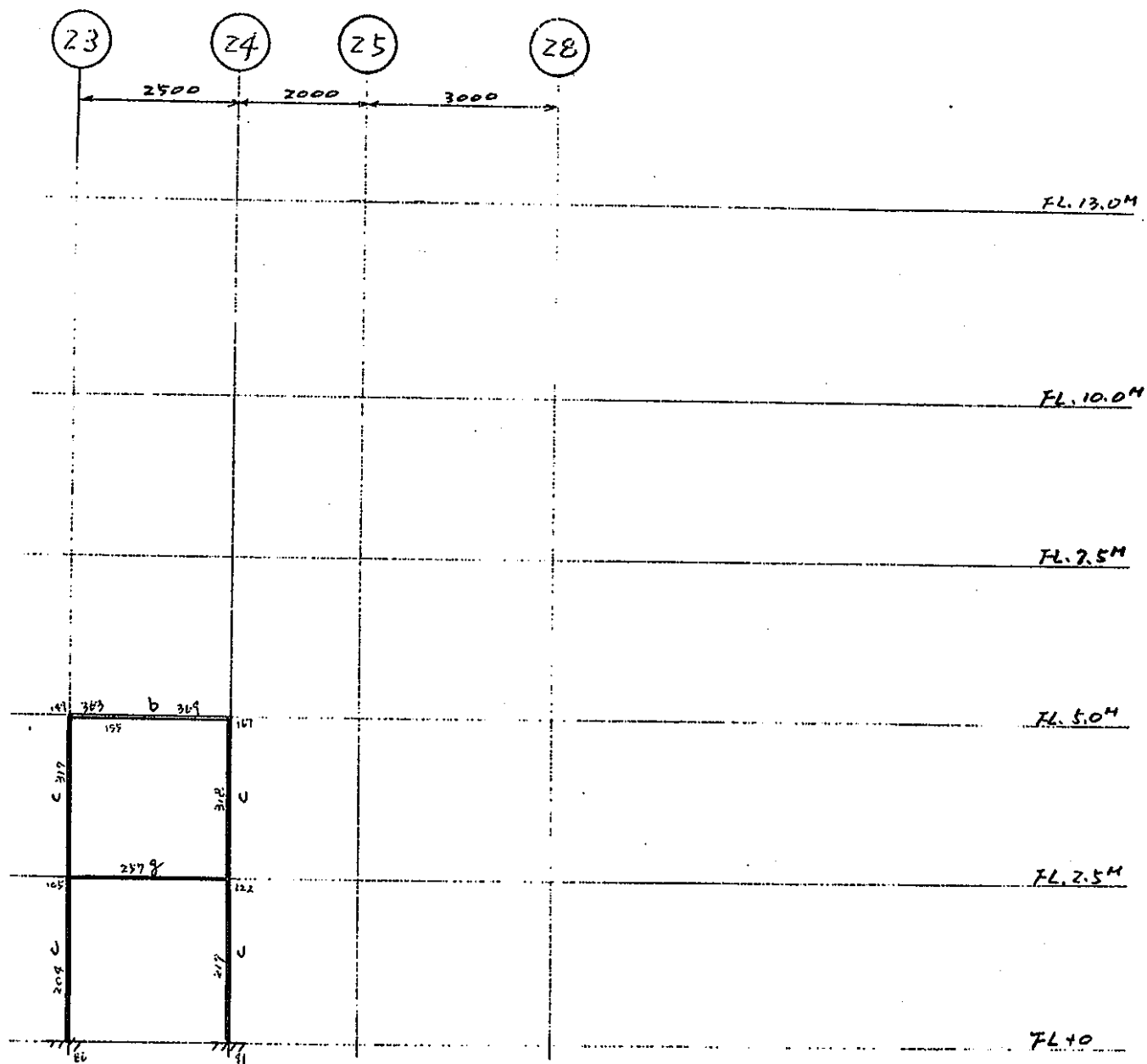


図 4. 2 - 1 (2 / 22) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

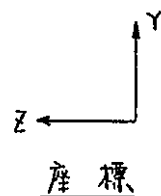
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-24



① 通り

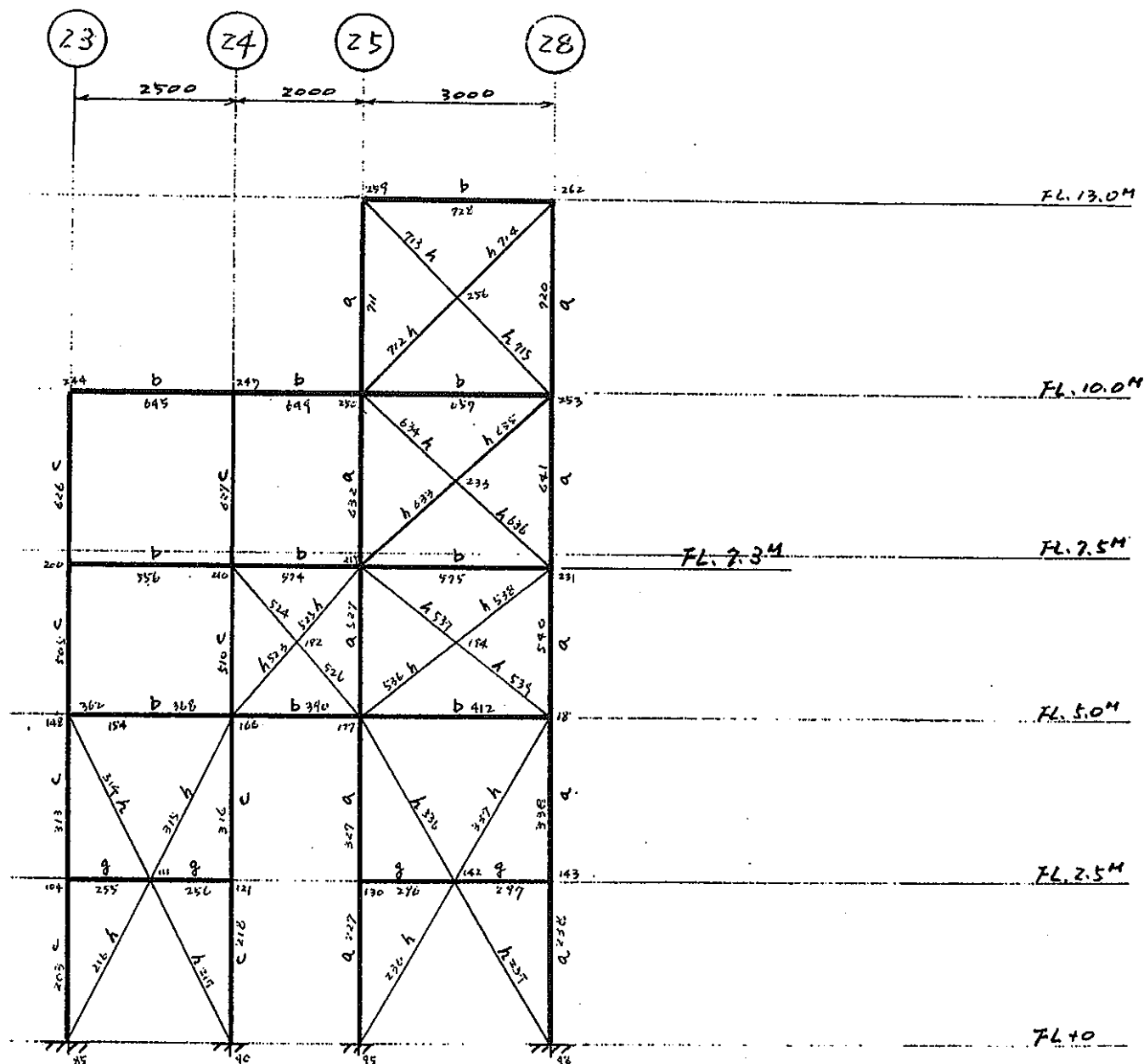


図4.2-1 (3/22) 架合解析モデル図

記号; 梁, 柱共通.

a: H-200×200×12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

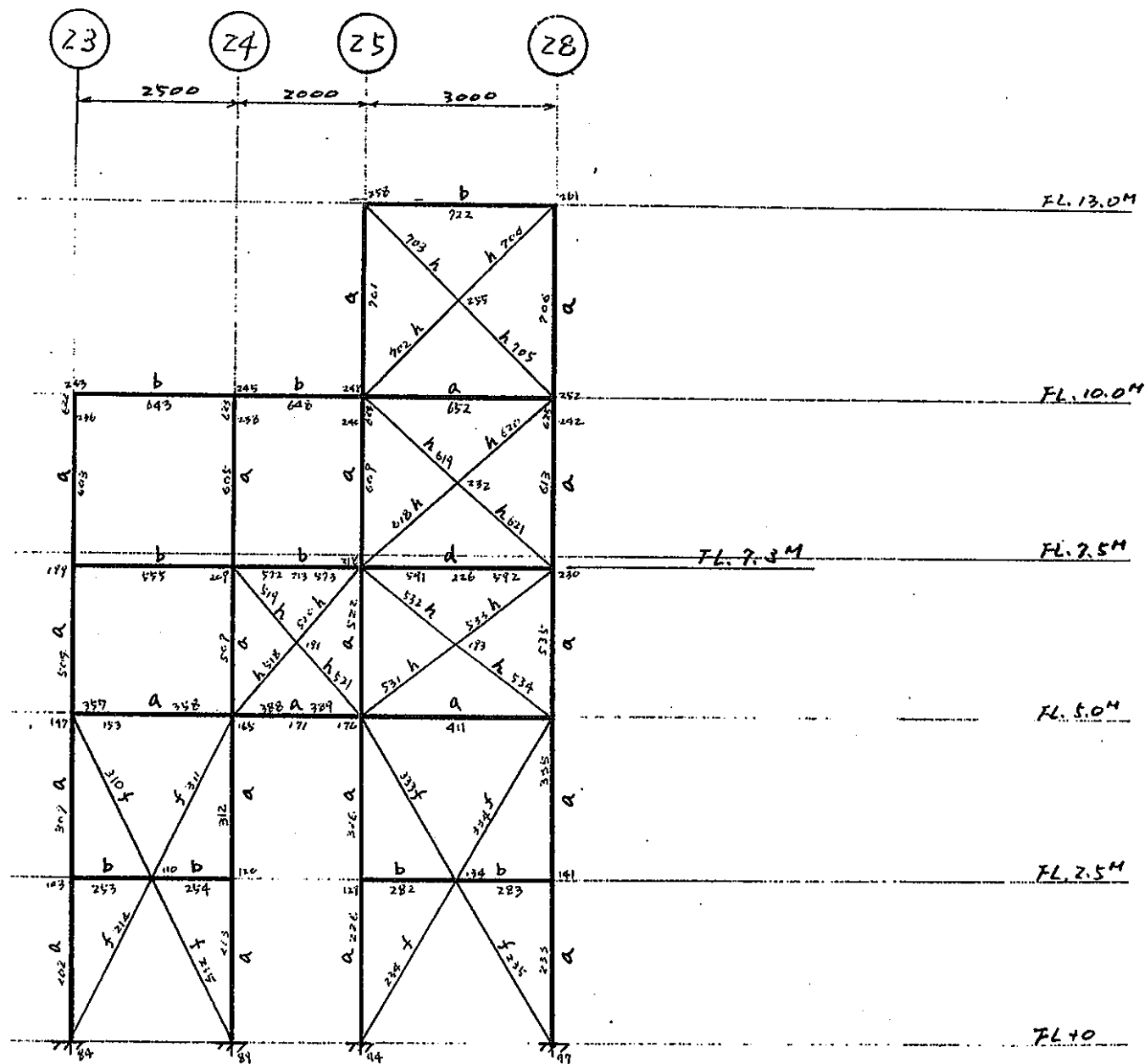
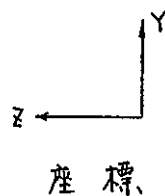
e: L-150×75×6.5

f: 角9.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-25



(M) 通り

図 4. 2 - 1 (4 / 2 2) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

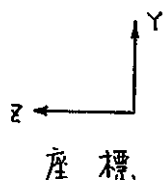
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-26



⊙ 通り

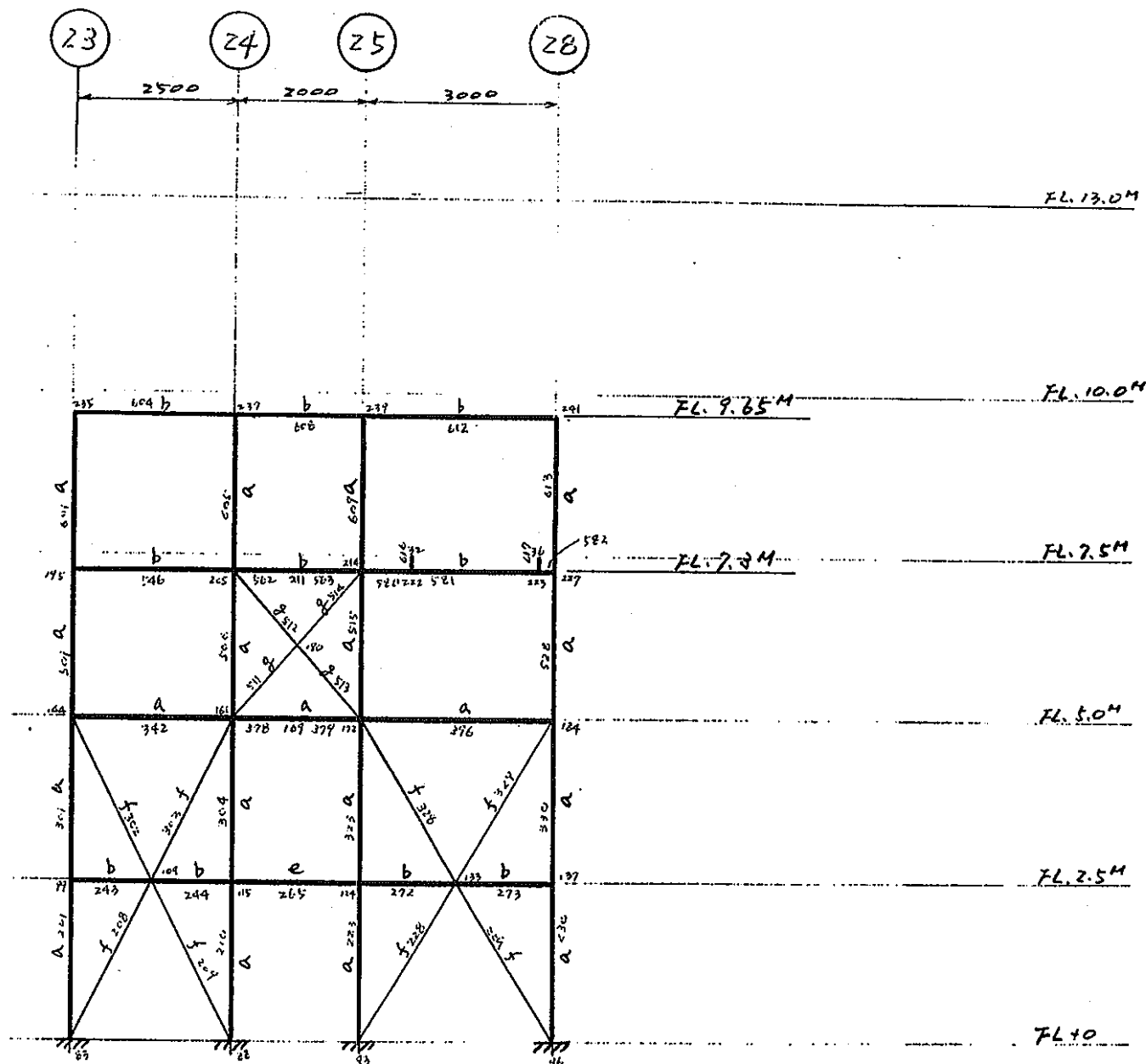


図 4. 2 - 1 (5 / 2 2) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

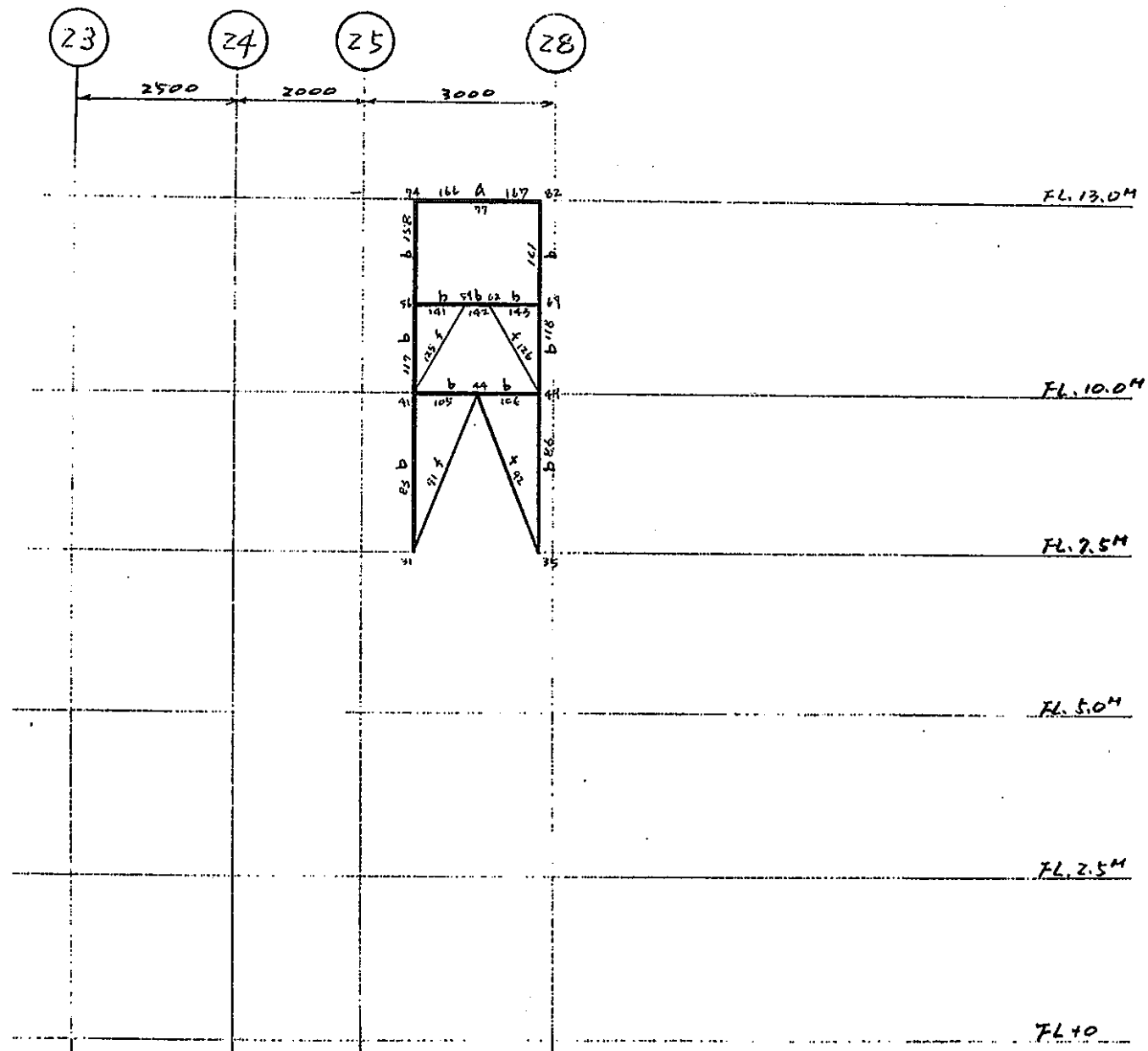
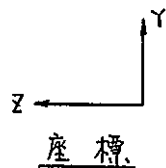
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-27



(P) (N) 通り間

図 4. 2 - 1 (6 / 2 2) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-28



① 通り

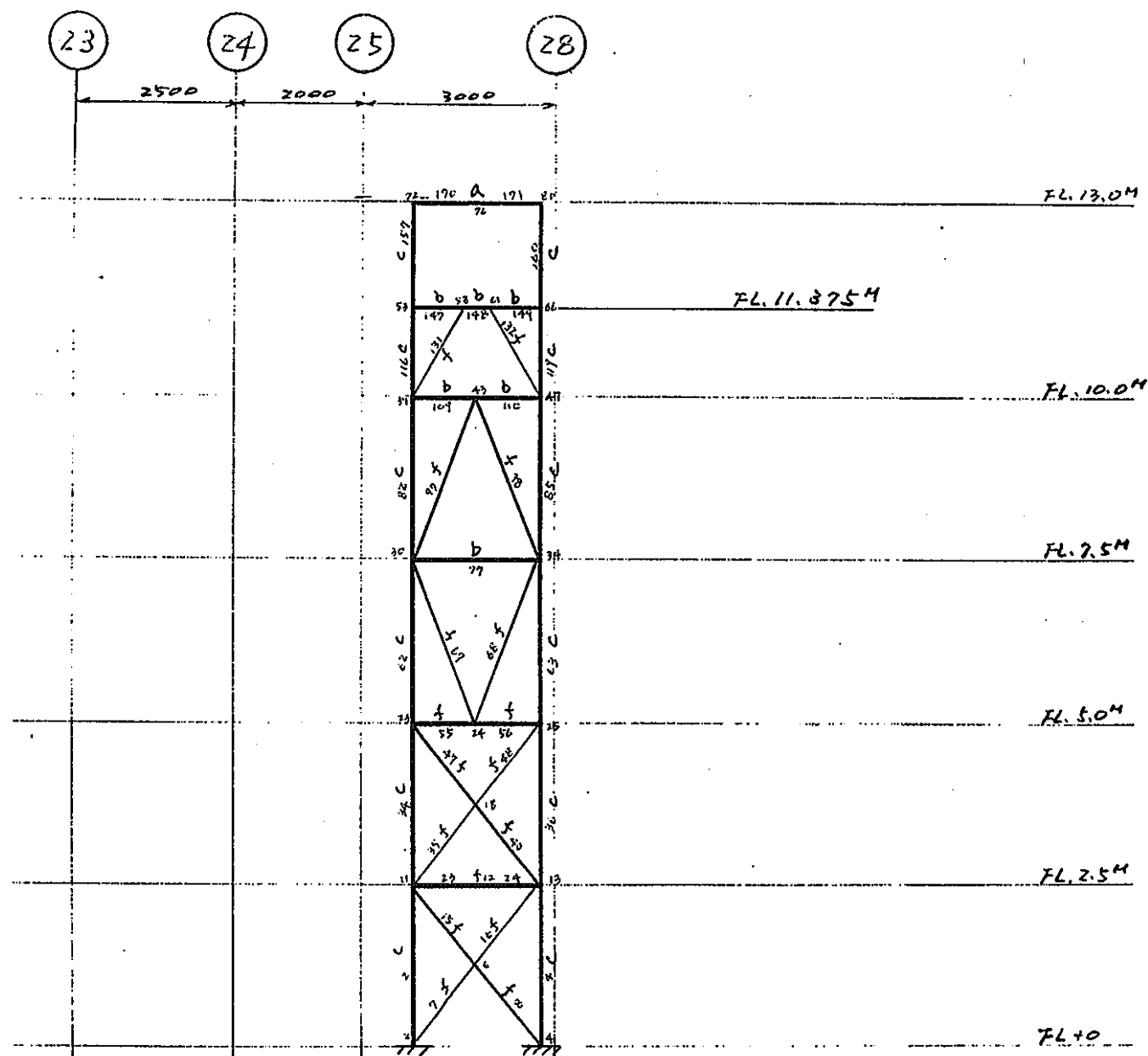


図 4. 2 - 1 (7 / 2 2) 架台解析モデル図

記号: 梁、柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/6

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

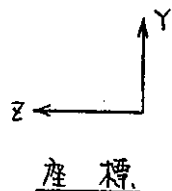
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-29



② 通り

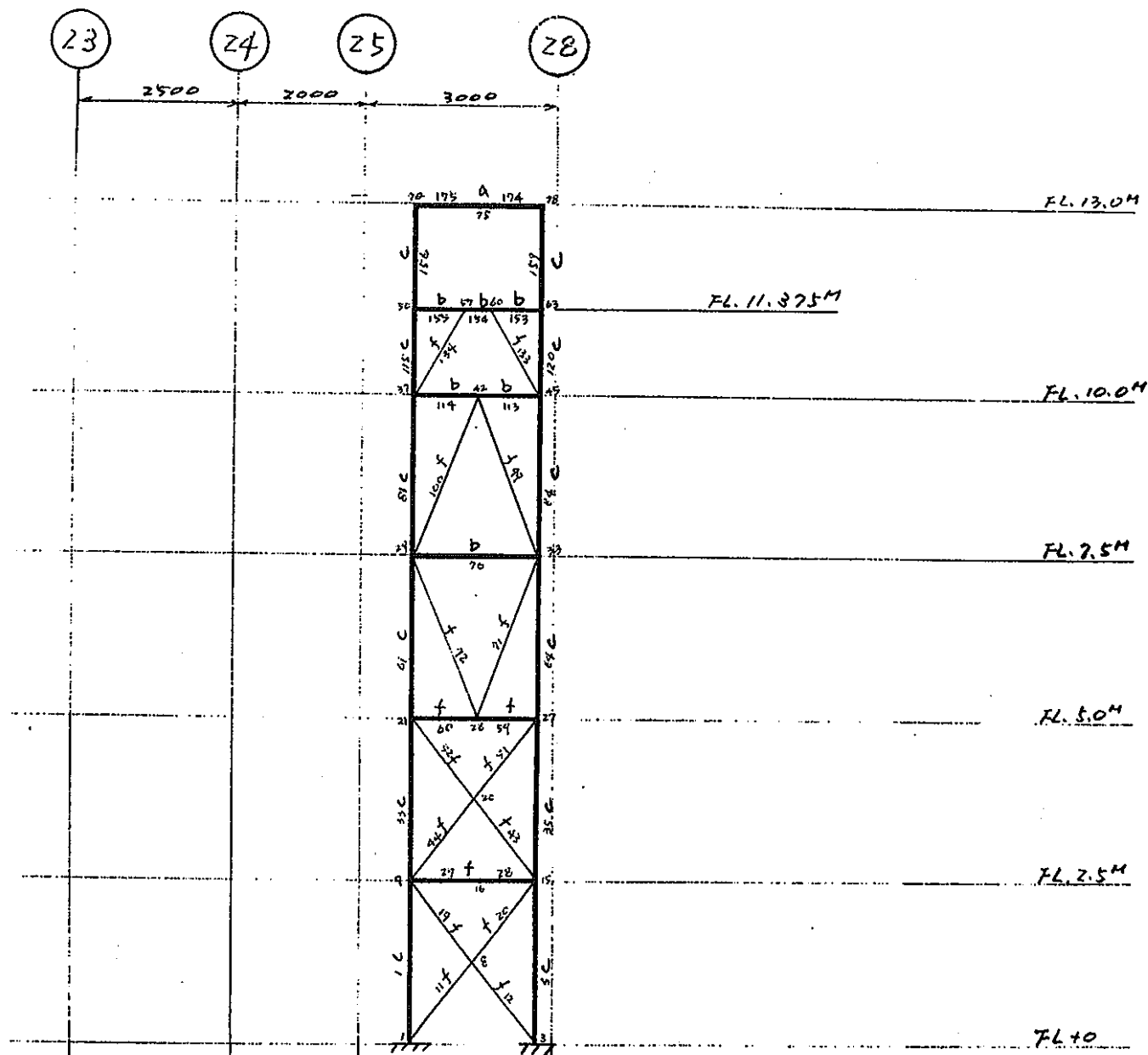
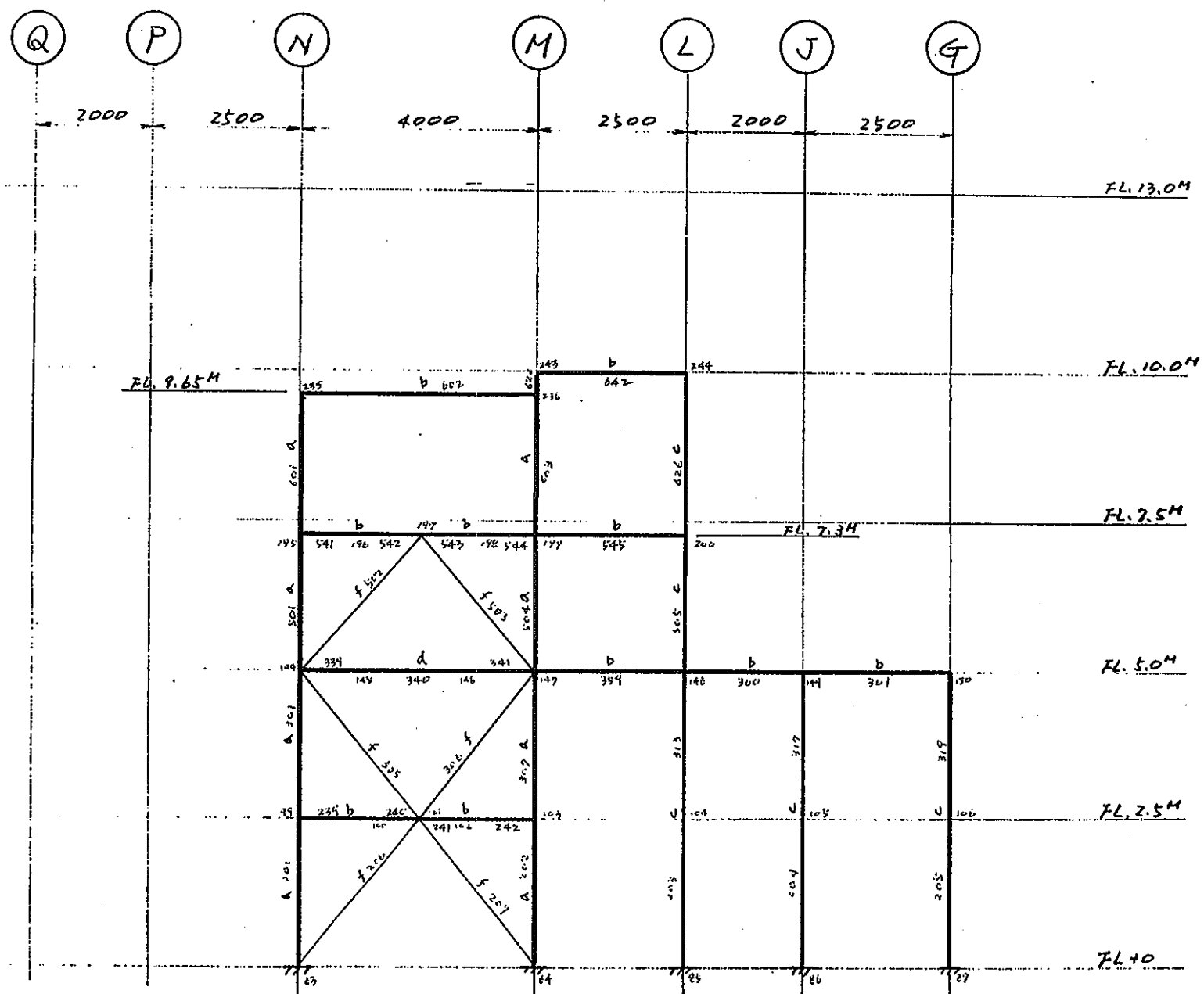
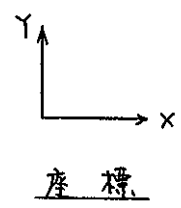


図 4. 2 - 1 (8 / 2 2) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱共通.

- a: H-200x200x8/12
- b: H-200x100x5.5/8
- c: H-150x150x7/10
- d: H-400x200x8/13
- e: L-150x75x6.5
- f: $\Phi 89.1 \times 4.2$
- g: L-75x75x6
- h: 2L-75x75x6

A.2-30



23 通り

図 4. 2 - 1 (9 / 2 2) 架台解析モデル図

記号; 梁, 柱共通.

a: H-200x200x8/12

b: H-200x100x5.5/8

c: H-150x150x7/10

d: H-400x200x8/13

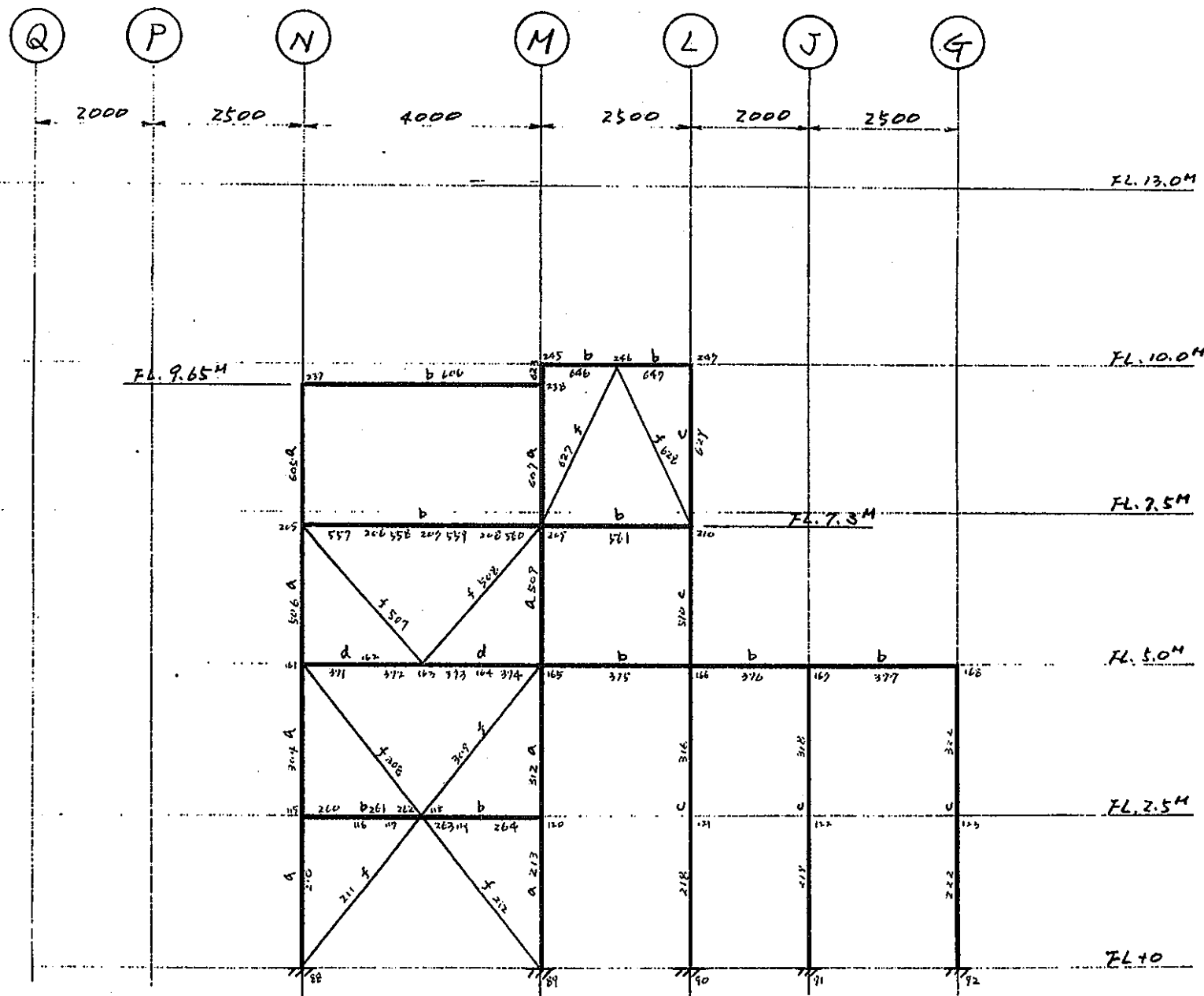
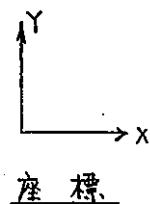
e: L-150x75x6.5

f: $\Phi 89.1 \times 4.2$

g: L-75x75x6

h: 2L-75x75x6

4.2-31



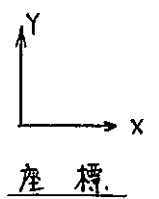
24 通り

図 4. 2 - 1 (1 0 / 2 2) 架台解析モデル図

記号; 梁, 柱共通.

- a: H-200x200x8/12
- b: H-200x100x5/8
- c: H-150x150x7/10
- d: H-400x200x8/13
- e: L-150x75x6.5
- f: $\Phi 89.1 \times 4.2$
- g: L-75x75x6
- h: 2L-75x75x6

4.2-32



25 通り

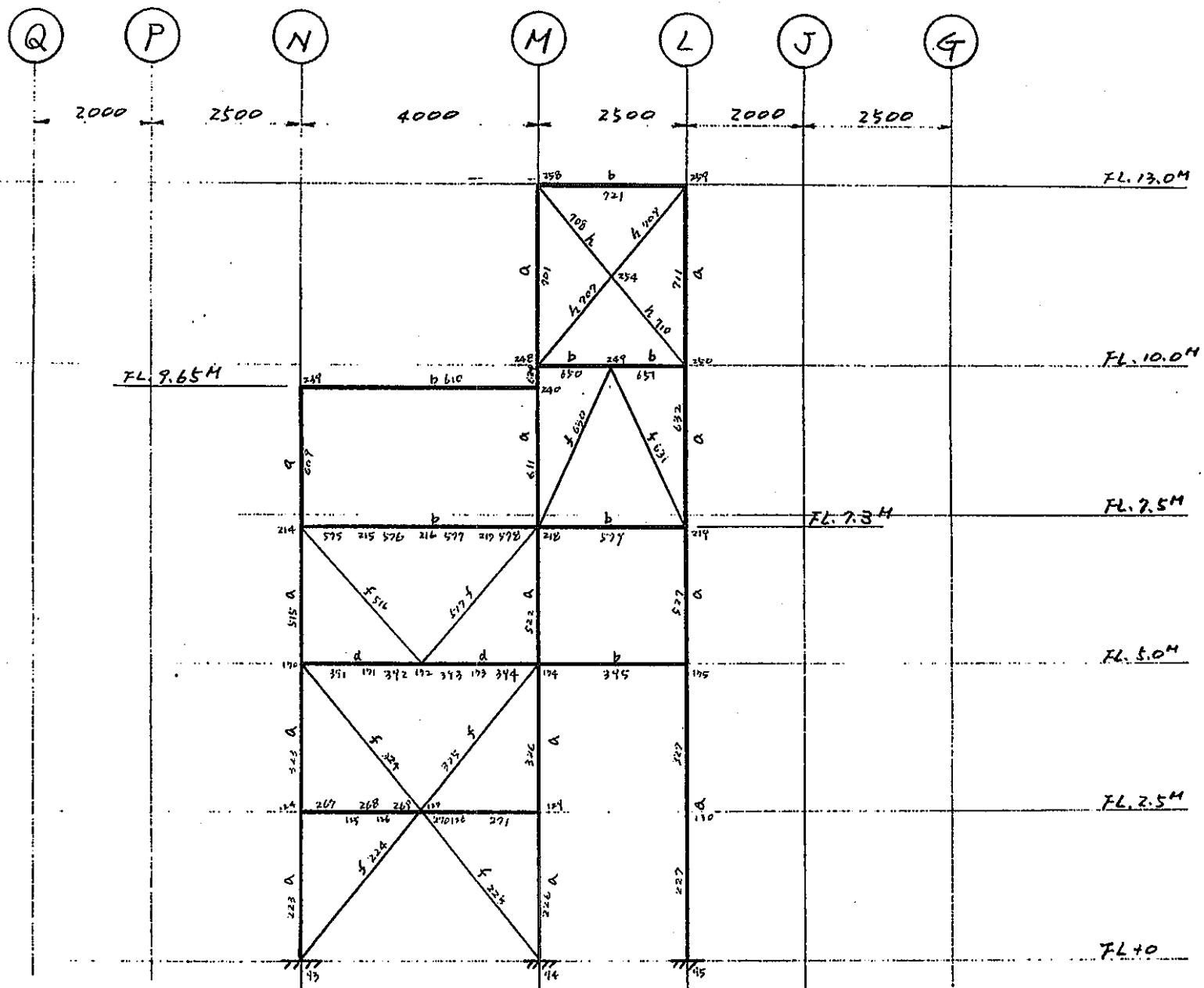


図 4. 2-1 (11/22) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200x200x8/12

b: H-200x100x5.5/8

c: H-150x150x7/10

d: H-400x200x8/13

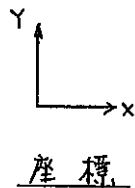
e: L-150x75x6.5

f: 89.1x4.2

g: L-75x75x6

h: 2L-75x75x6

4.2-33



26 通り

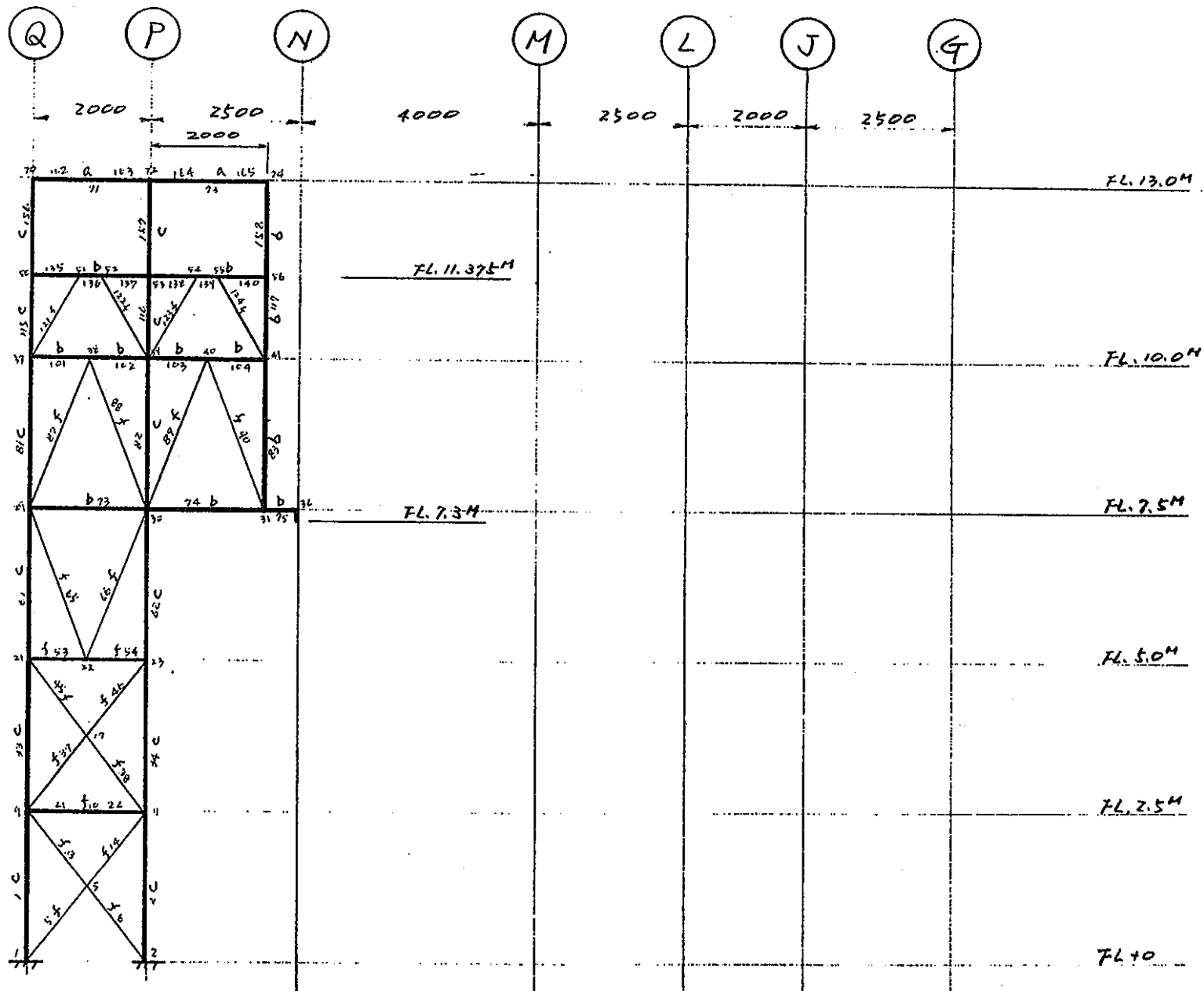


図 4. 2 - 1 (1 2 / 2 2) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200x200x5/12

b: H-200x100x5/8

c: H-150x150x7/10

d: H-400x200x8/13

e: L-150x75x6.5

f: $\angle 89.1 \times 4.2$

g: L-75x75x6

h: 2L-75x75x6

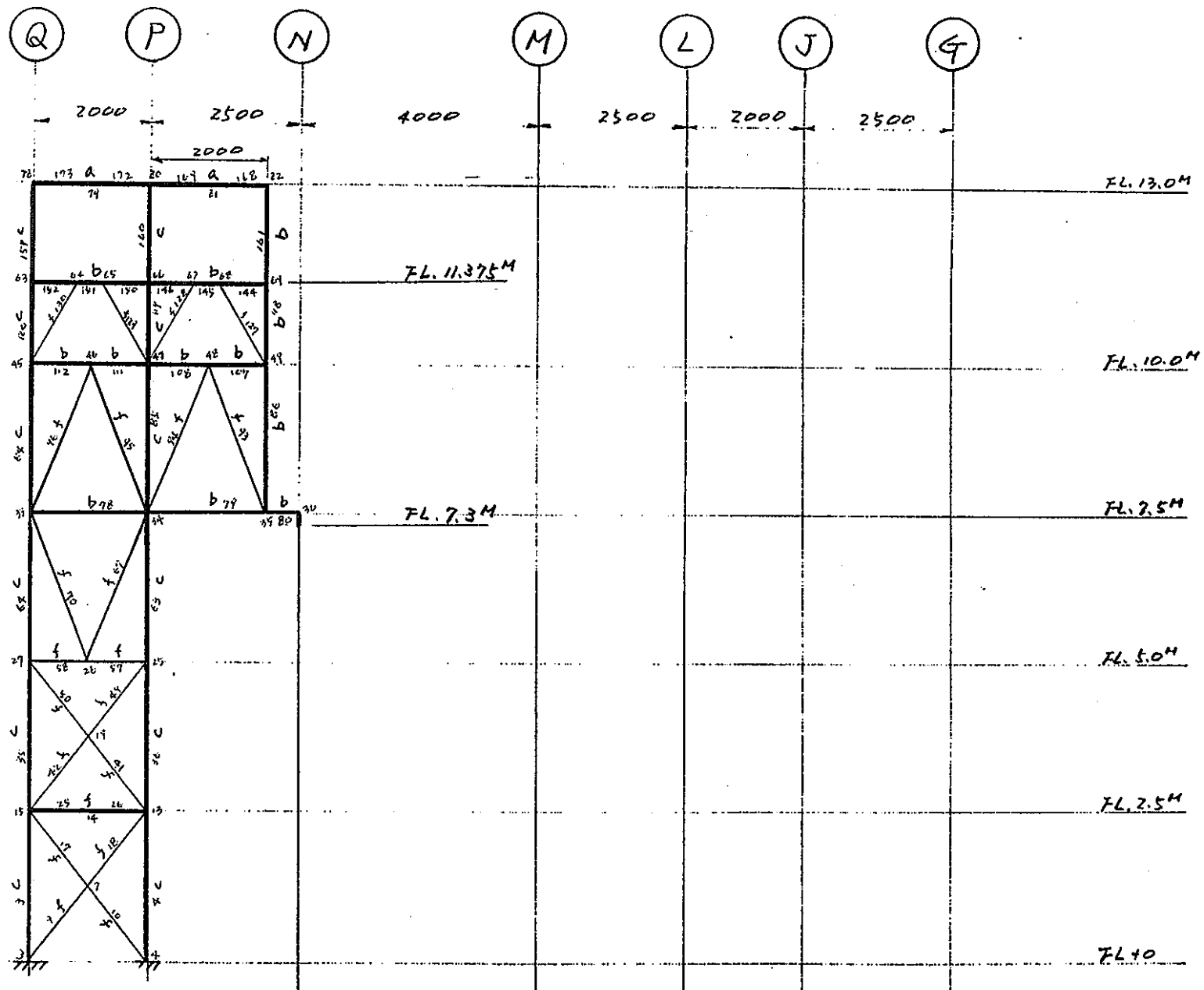


図 4. 2 - 1 (13 / 22) 架台解析モデル図

記号: 梁, 柱, 共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-35



座標

28 通り

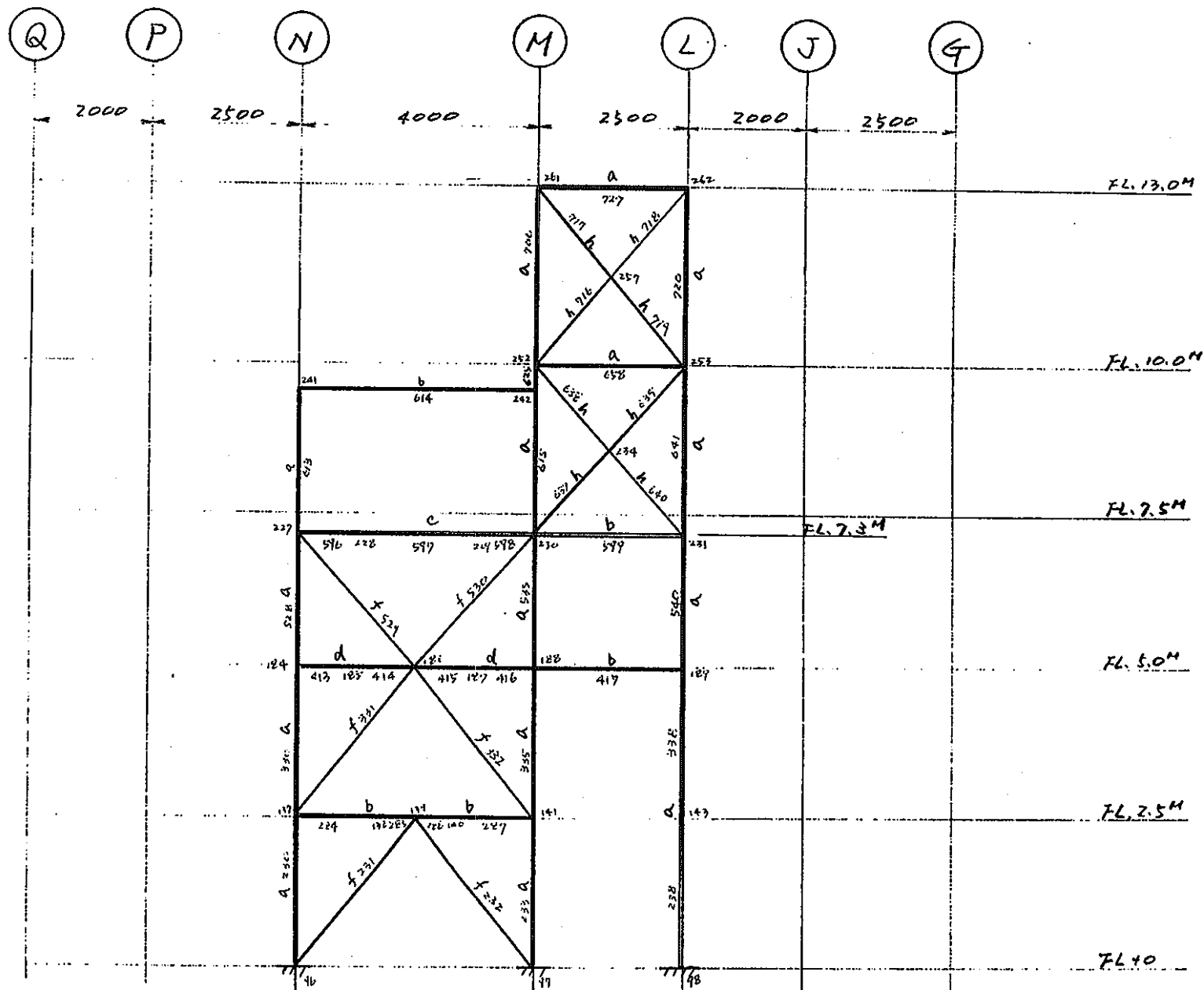
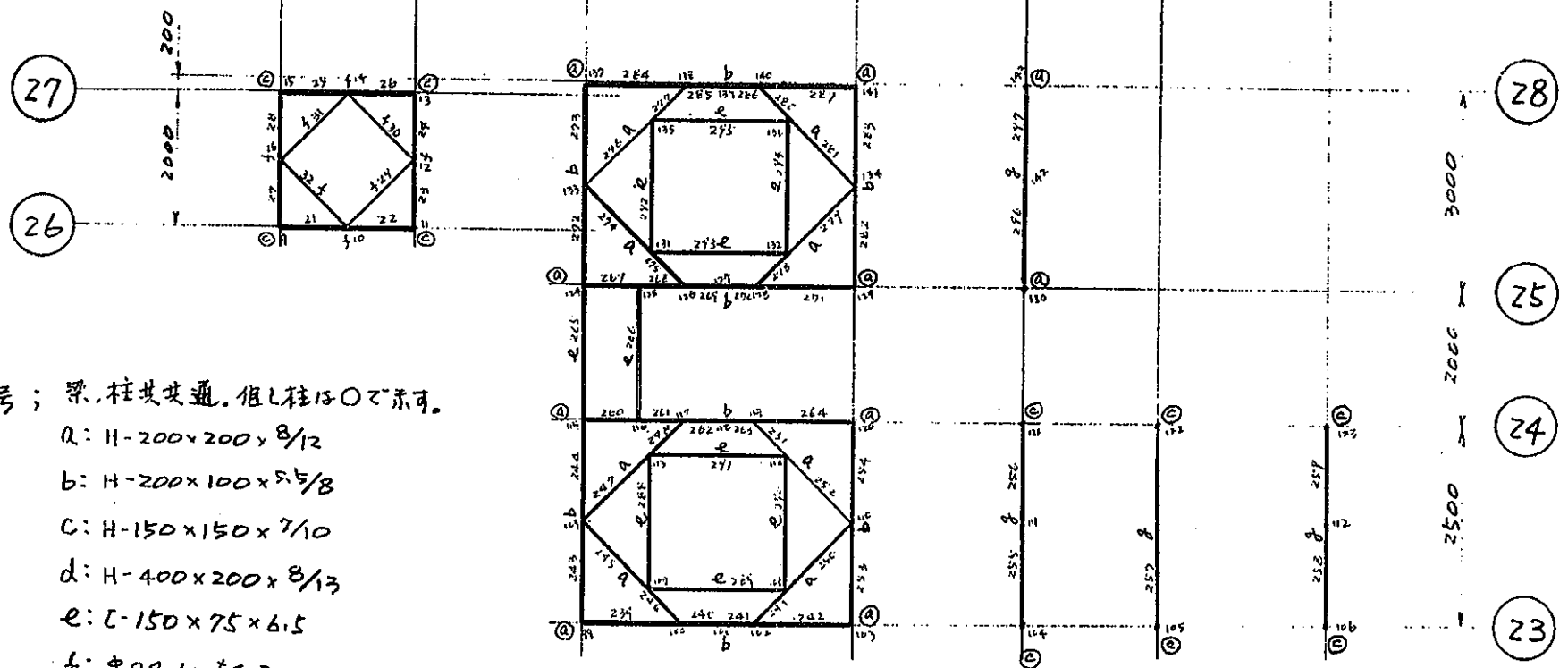


図 4. 2 - 1 (14 / 22) 架台解析モデル図

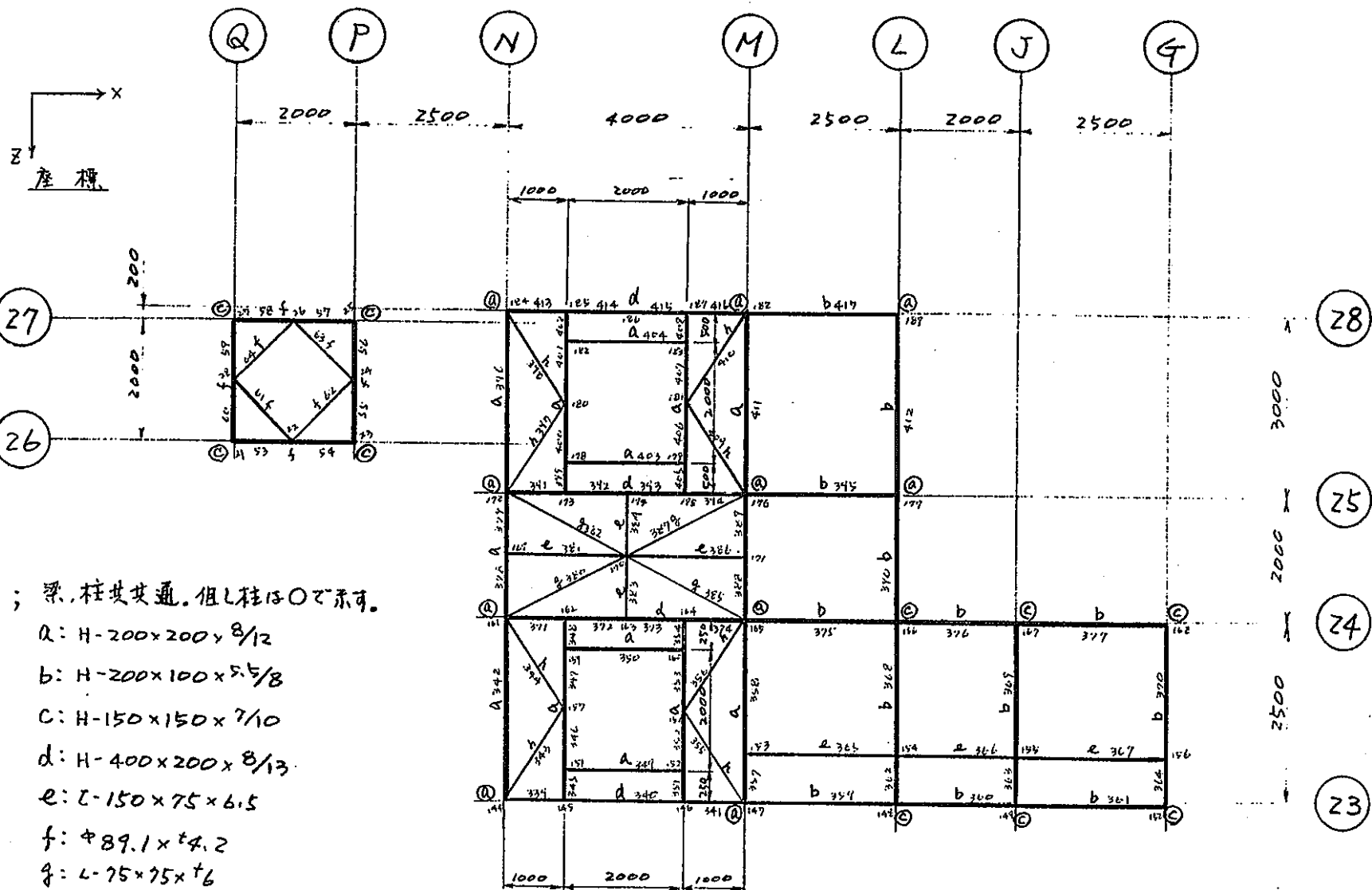


記号；梁、柱共共通。但L柱は○で示す。

- a: H-200×200×8/12
- b: H-200×100×5.5/8
- c: H-150×150×7/10
- d: H-400×200×8/13
- e: L-150×75×6.5
- f: $\phi 89.1 \times t 4.2$
- g: L-75×75×6
- h: 2L-75×75×6

FL. 2.5M

図4. 2-1 (15/22) 架台解析モデル図



記号；梁、柱共通。但し柱は○で示す。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: $\phi 89.1 \times 4.2$

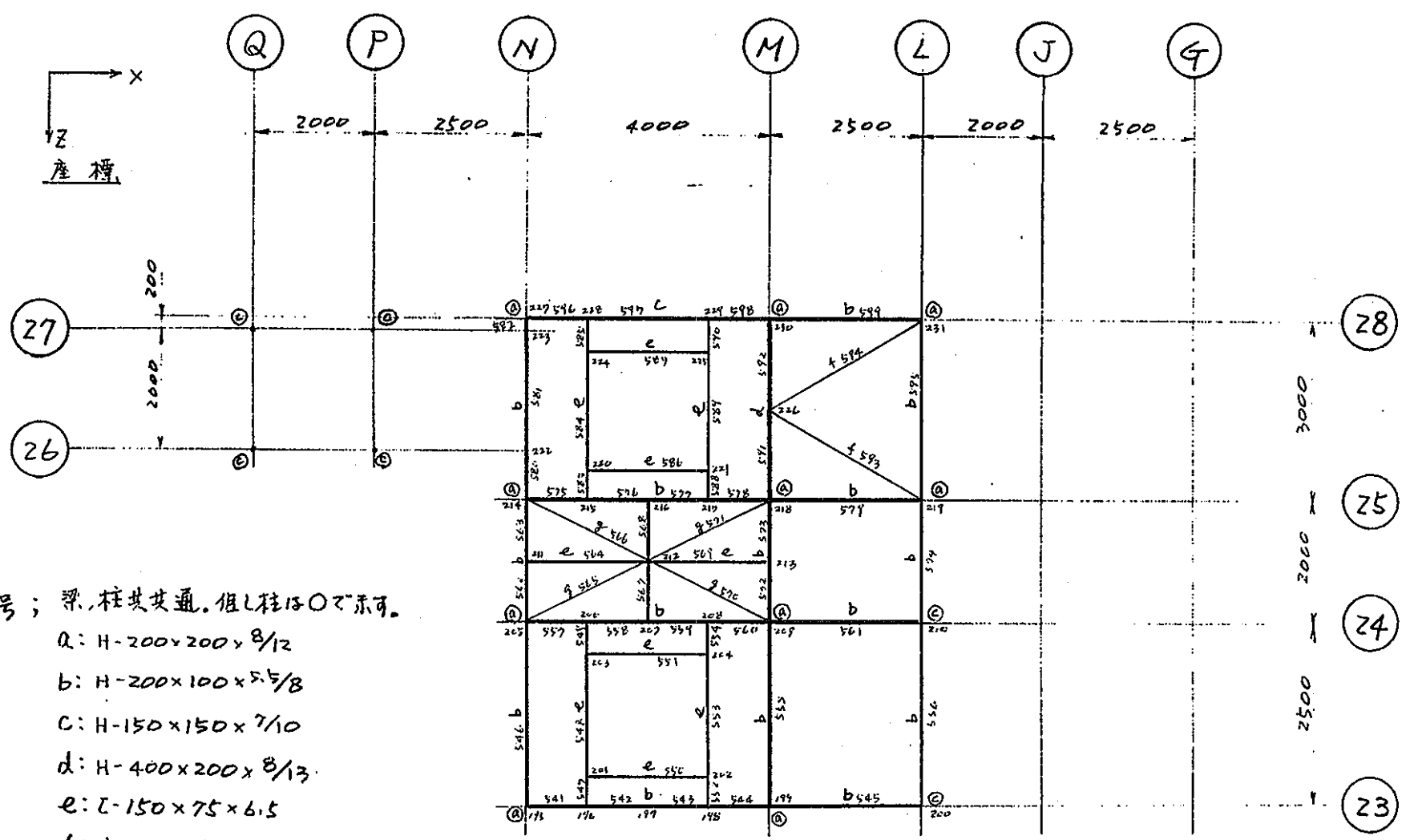
g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

FL. 5.0M

図 4. 2-1 (16/22) 架台解析モデル図

4.2-38



記号; 梁, 柱共通. 但し柱は○で示す.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

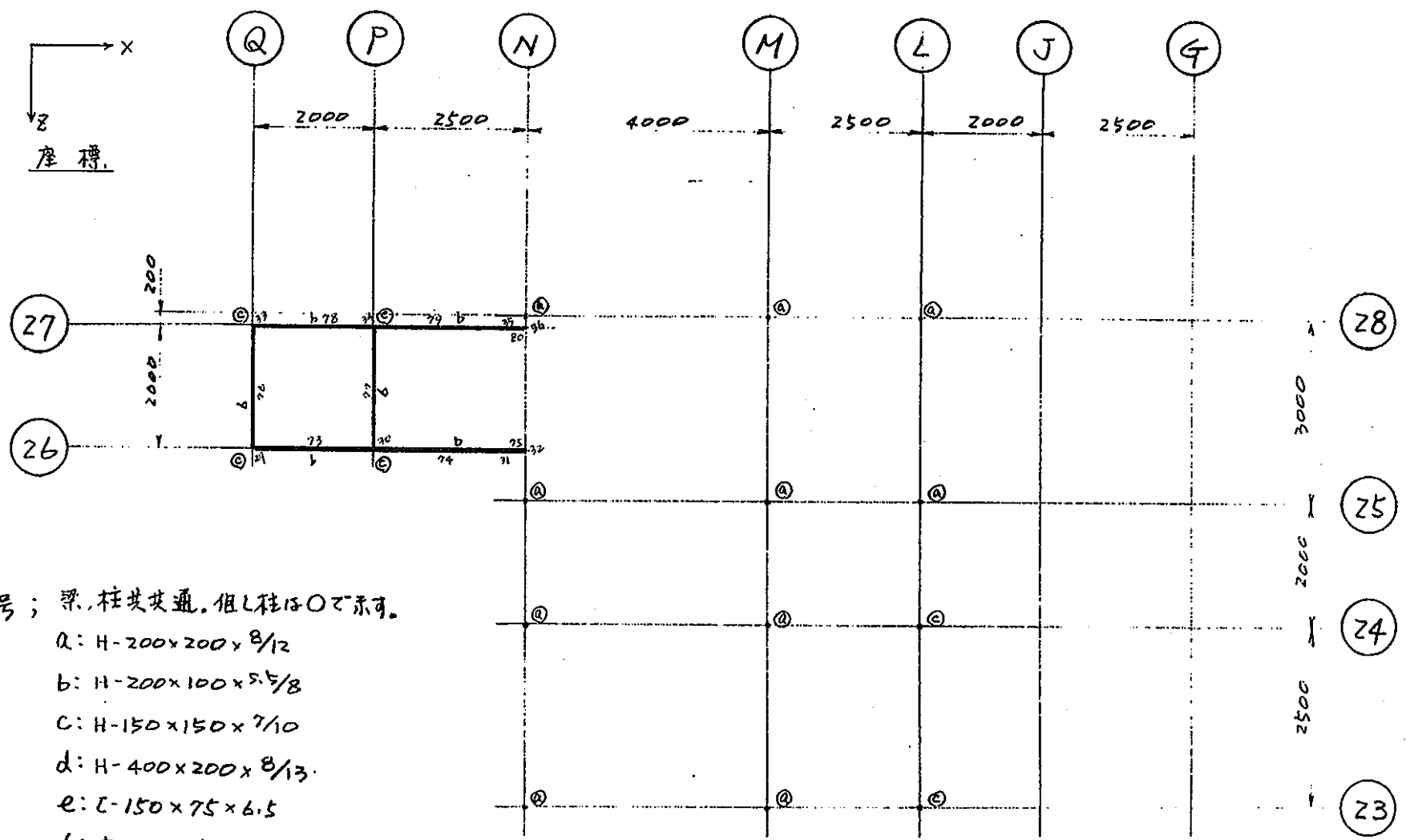
f: $\phi 89.1 \times t 4.2$

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

FL. 7.34

図 4. 2 - 1 (17/22) 架台解析モデル図



記号；梁、柱共共通。但し柱は○で示す。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: C-150×75×6.5

f: $\phi 89.1 \times 4.2$

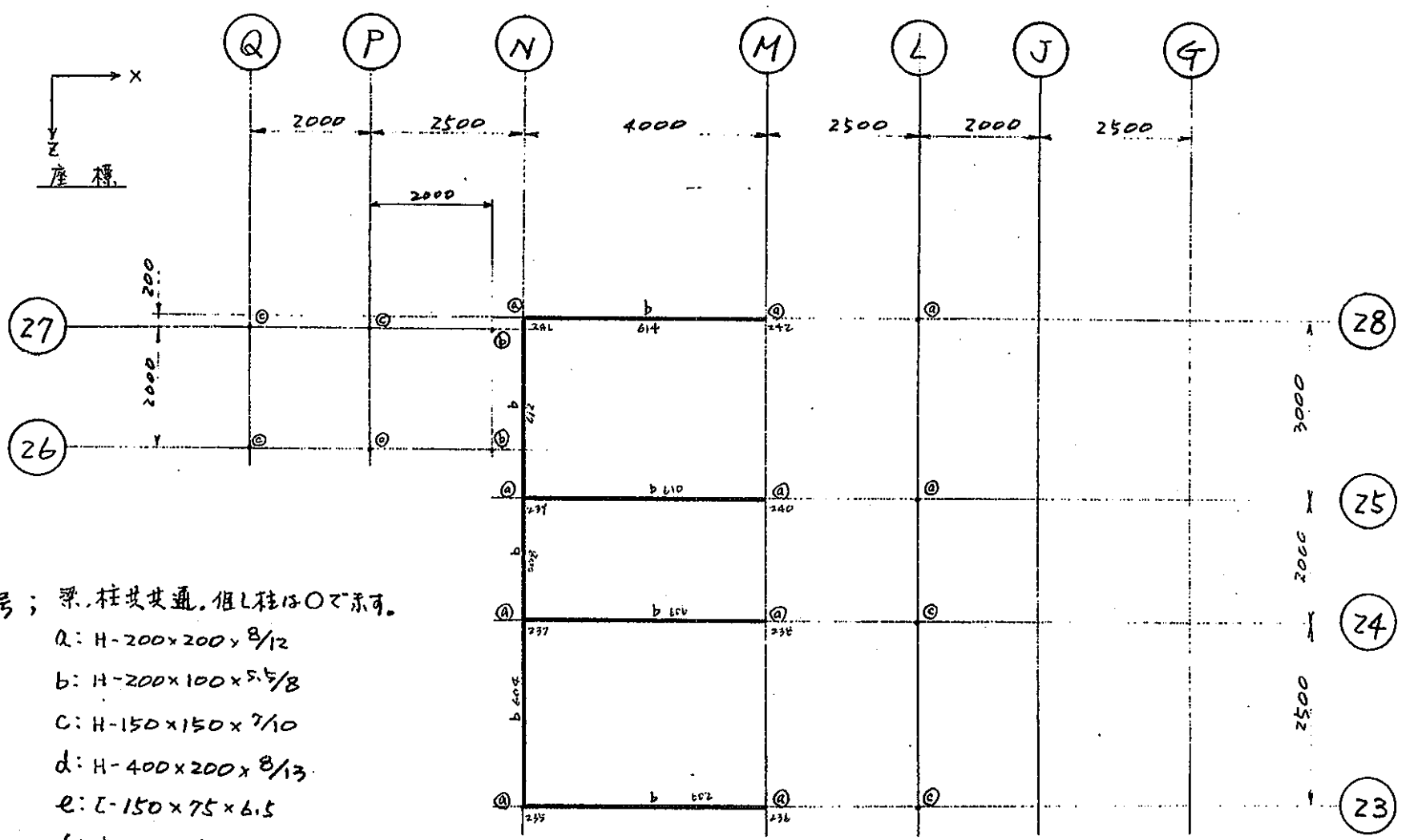
g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

FL. 7.5M

図 4. 2 - 1 (1 8 / 2 2) 架台解析モデル図

4.2-40



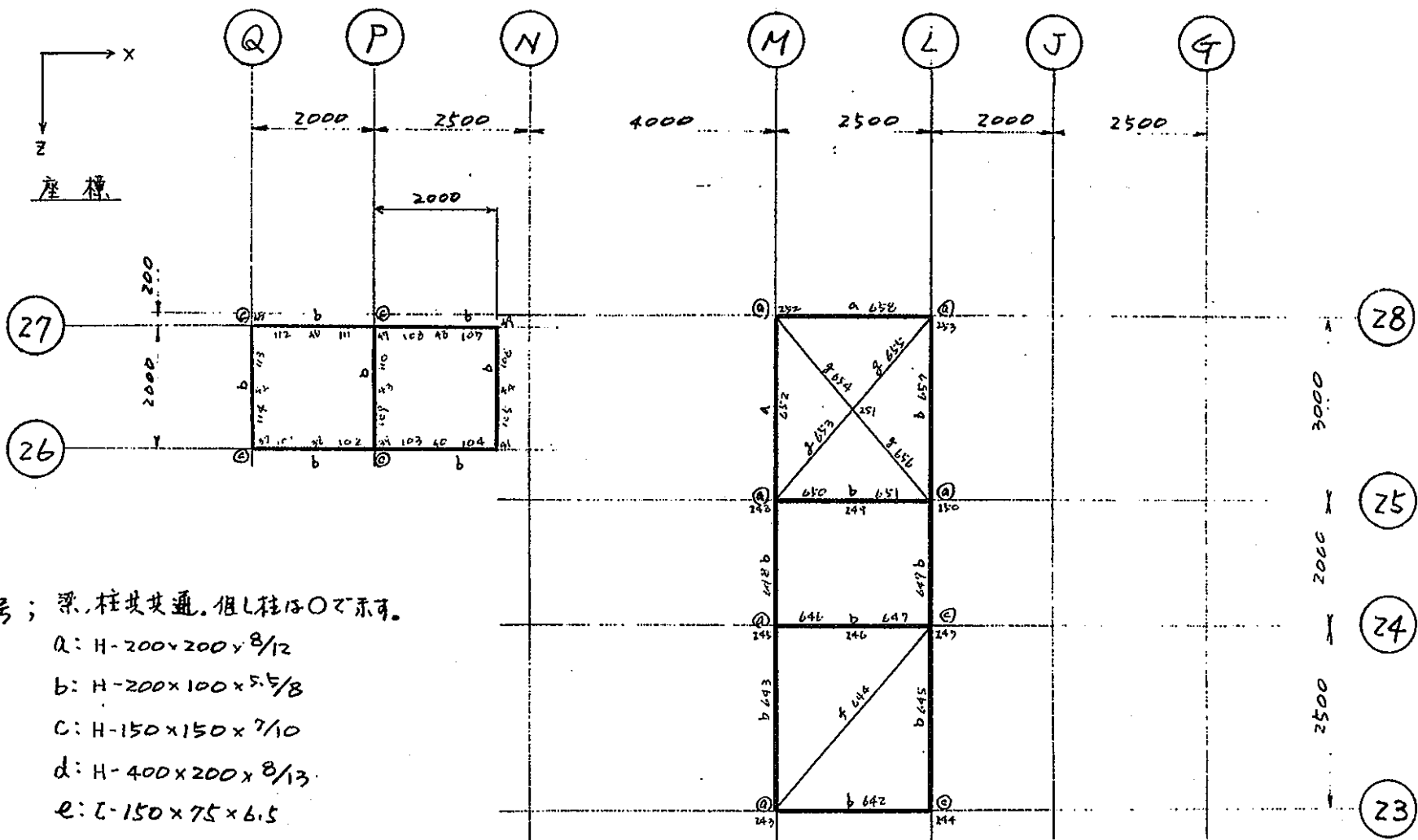
記号 ; 梁, 柱共通。但し柱は○で示す。

- a: H-200×200×8/12
- b: H-200×100×5.5/8
- c: H-150×150×7/10
- d: H-400×200×8/13
- e: L-150×75×6.5
- f: φ89.1×4.2
- g: L-75×75×6
- h: 2L-75×75×6

FL. 9.65M

図 4.2-1 (19/22) 架台解析モデル図

4.2-41

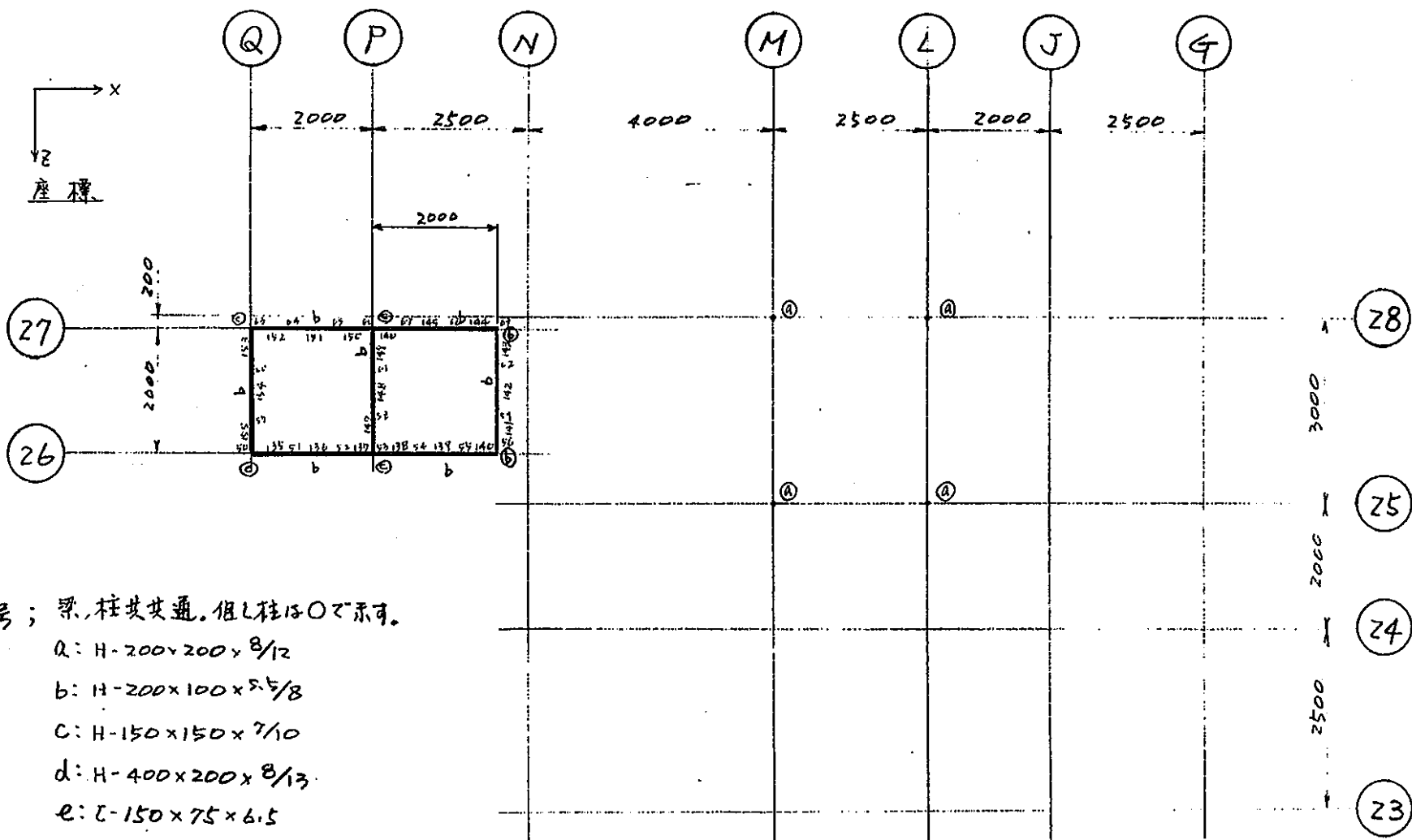


記号 ; 梁, 柱共通. 但し柱は○で示す.

- a: H-200×200×8/12
- b: H-200×100×5.5/8
- c: H-150×150×7/10
- d: H-400×200×8/13
- e: L-150×75×6.5
- f: $\Phi 89.1 \times t 4.2$
- g: L-75×75×t 6
- h: 2L-75×75×t 6

FL. 10.0M

図 4. 2 - 1 (2 0 / 2 2) 架台解析モデル図



記号；梁、柱共通。但し柱は○で示す。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

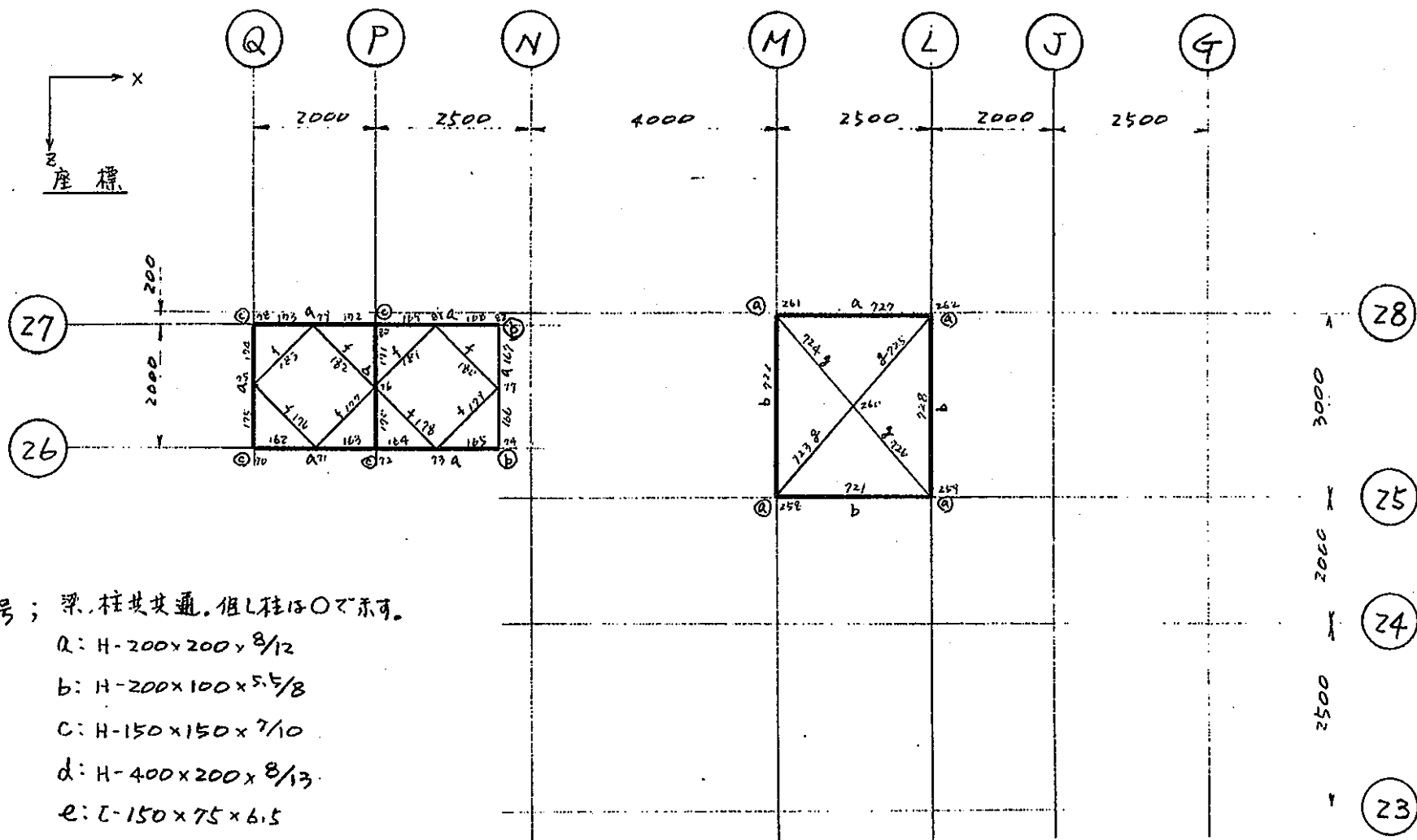
f: $\phi 89.1 \times 4.2$

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

FL. 11.375M

図 4. 2 - 1 (2 1 / 2 2) 架台解析モデル図



記号；梁、柱は共通。但しL柱は○で示す。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: 489.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

FL. 13.0M

図4. 2-1 (22/22) 架台解析モデル図

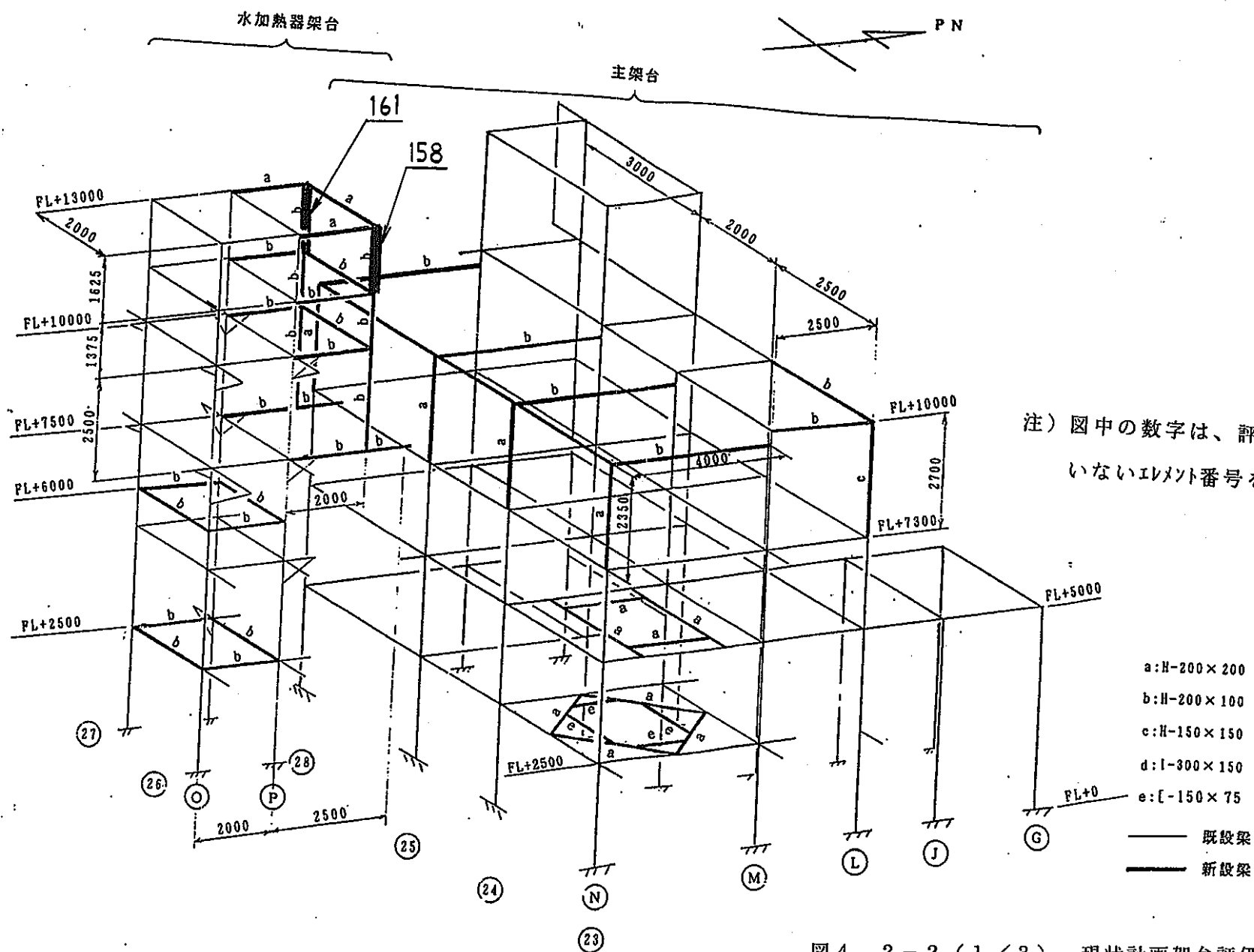


図4. 2-2 (1/3) 現状計画架台評価結果 (自重)

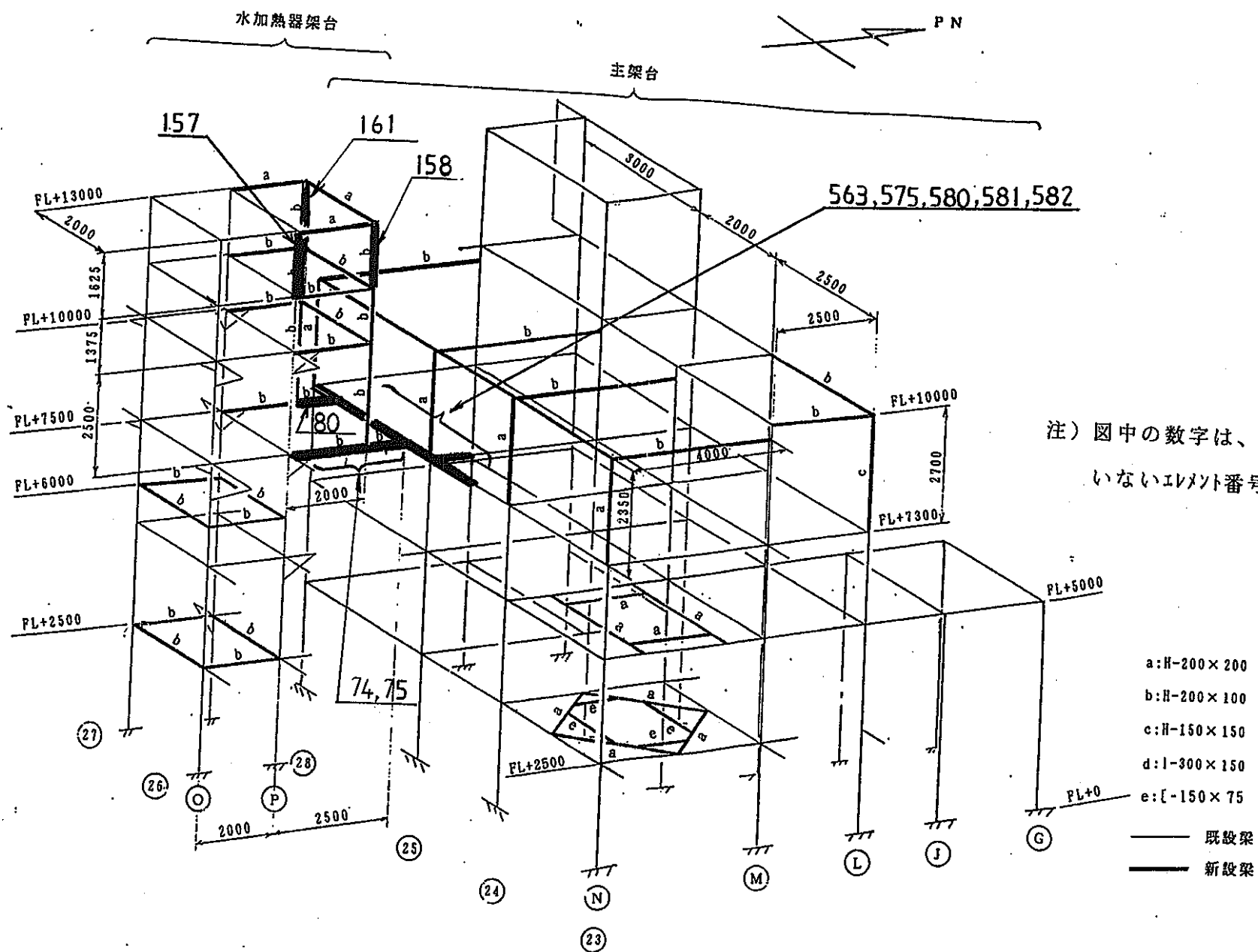
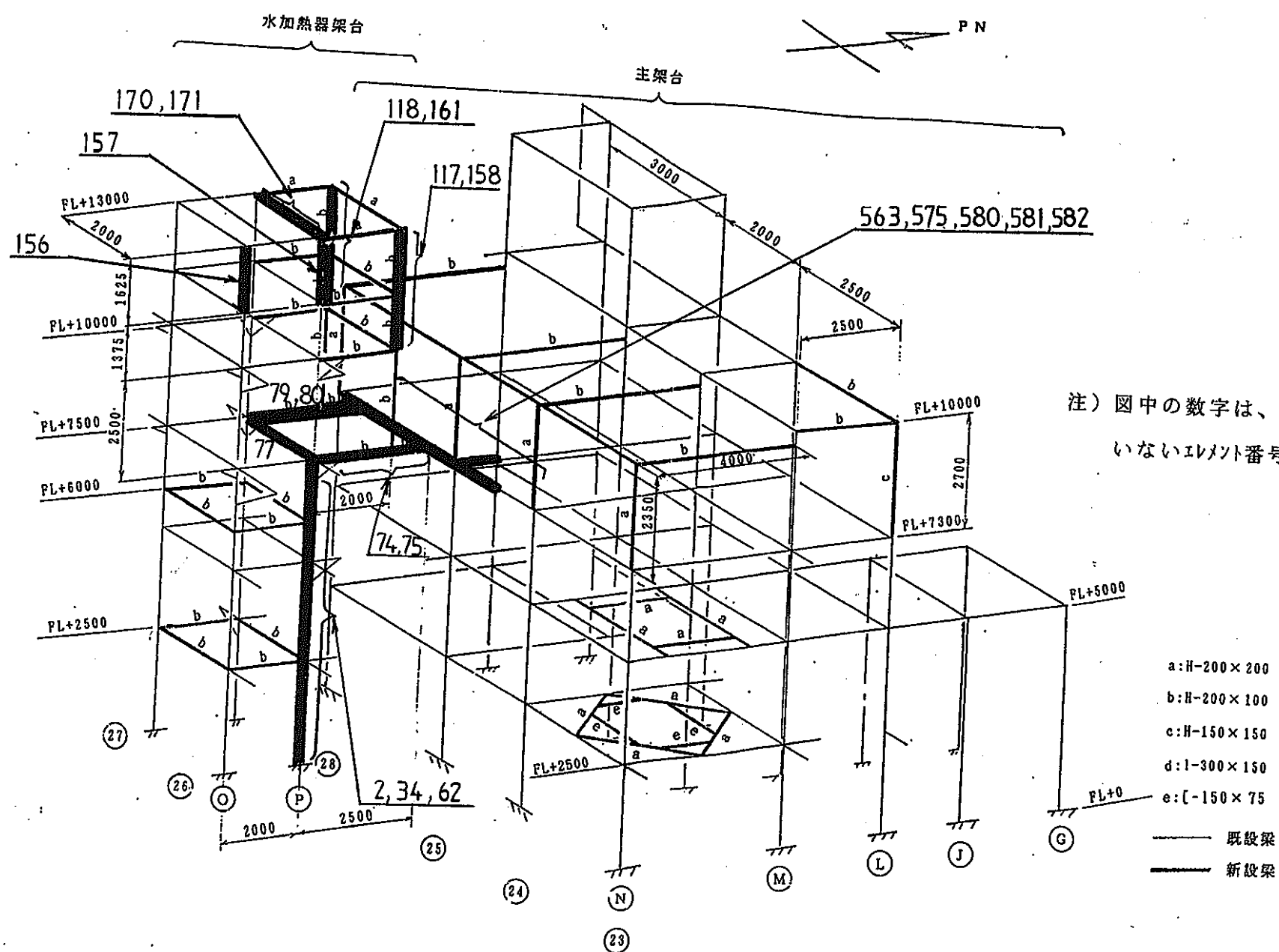


図 4. 2 - 2 (2 / 3) 現状計画架台評価結果 (自重 + X 方向地震)



注) 図中の数字は、評価を満足していないエレメント番号を示す。

図 4. 2 - 2 (3 / 3) 現状計画架台評価結果 (自重 + Z 方向地震)

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

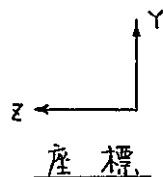
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-47



Ⓝ 通り

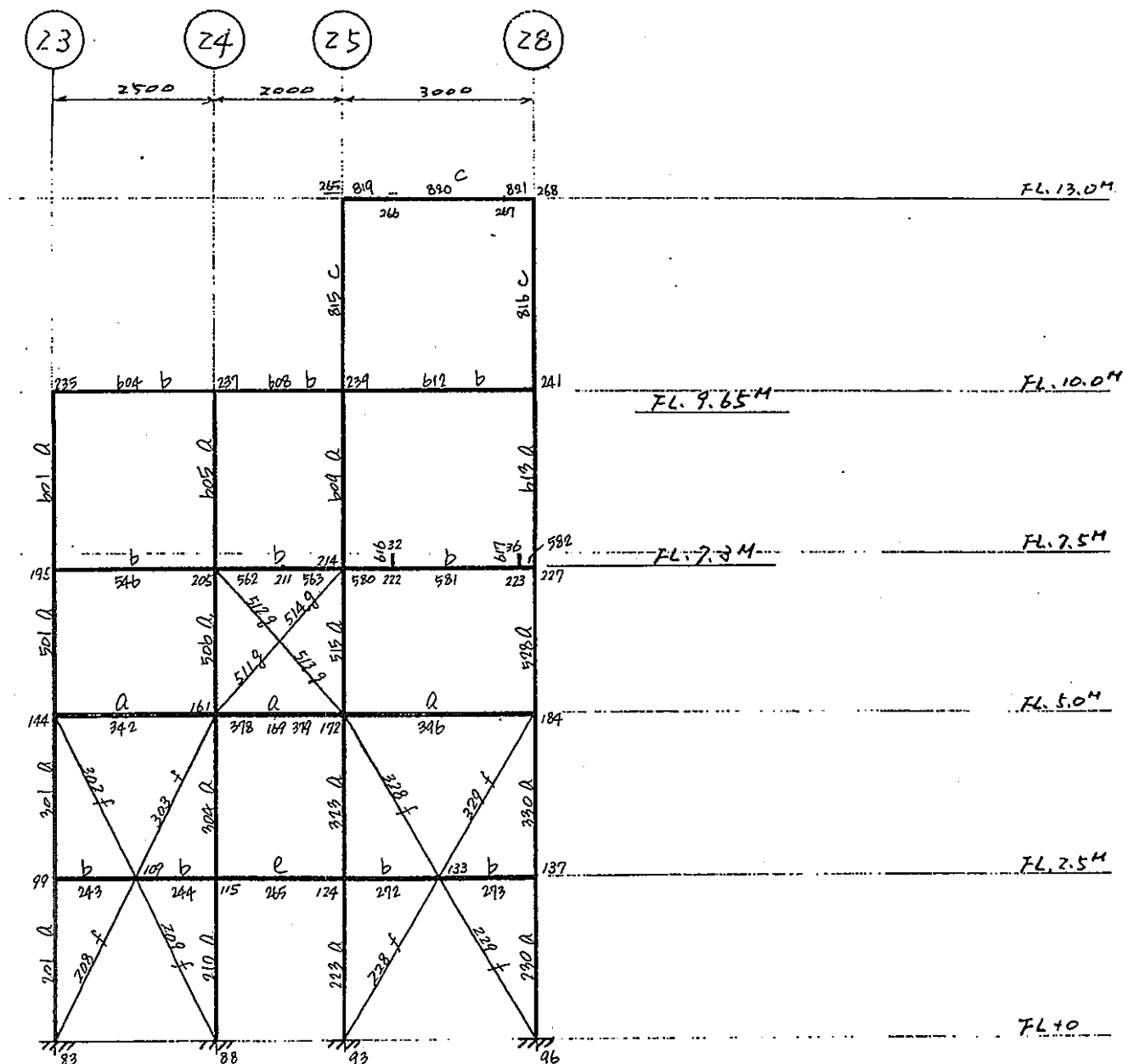


図 4. 2 - 3 (1 / 13) 架台解析モデル図 (補強計画)

記号; 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

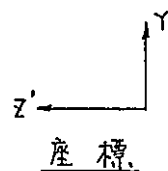
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-48



(P) (N) 通り間

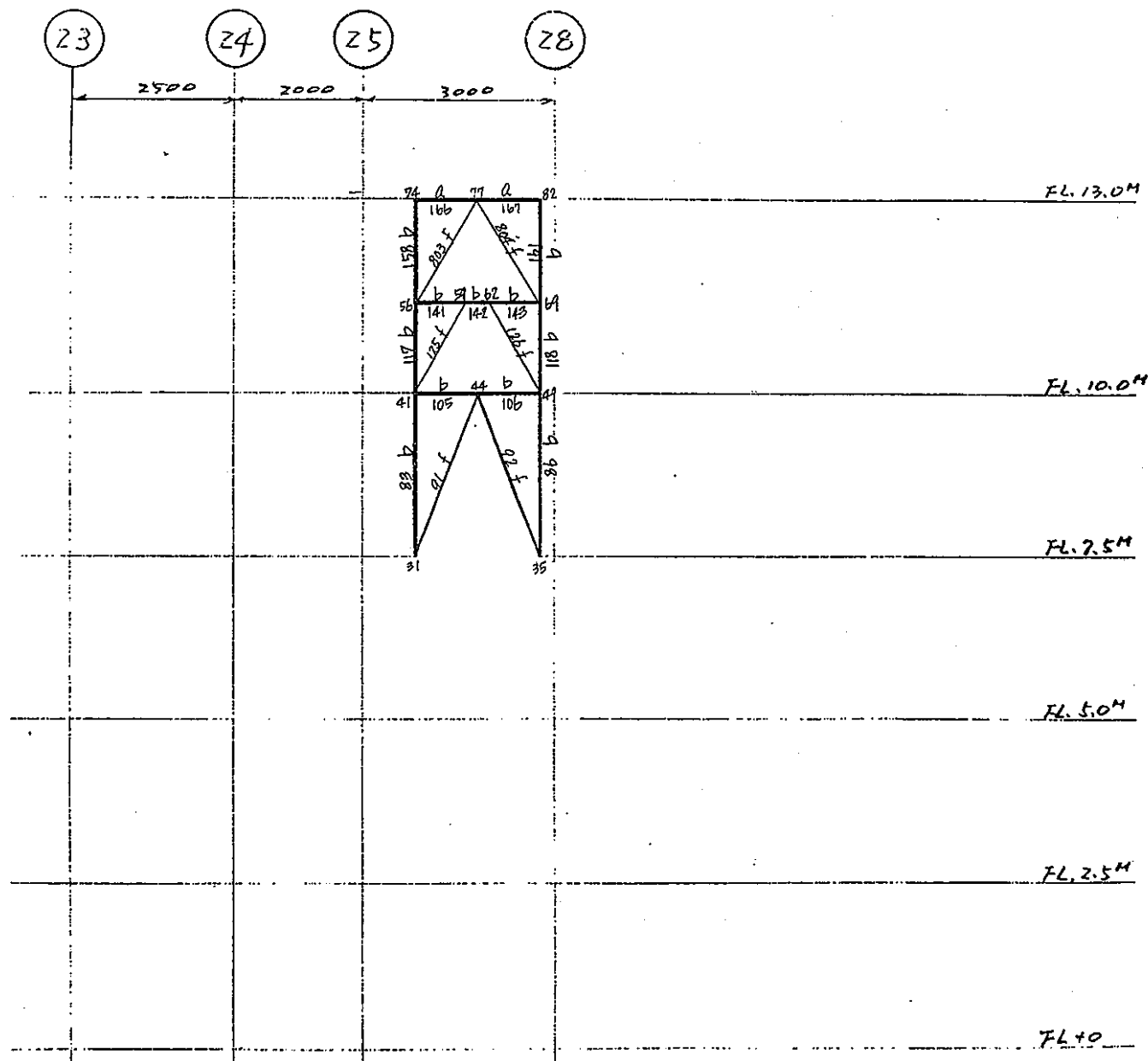


図 4. 2 - 3 (2 / 1 3) 架台解析モデル図 (補強計画)

記号; 梁, 柱共通.

a: H-200×200×10/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

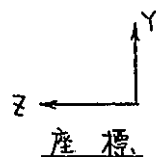
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

A.2-49



⒫ 通1)

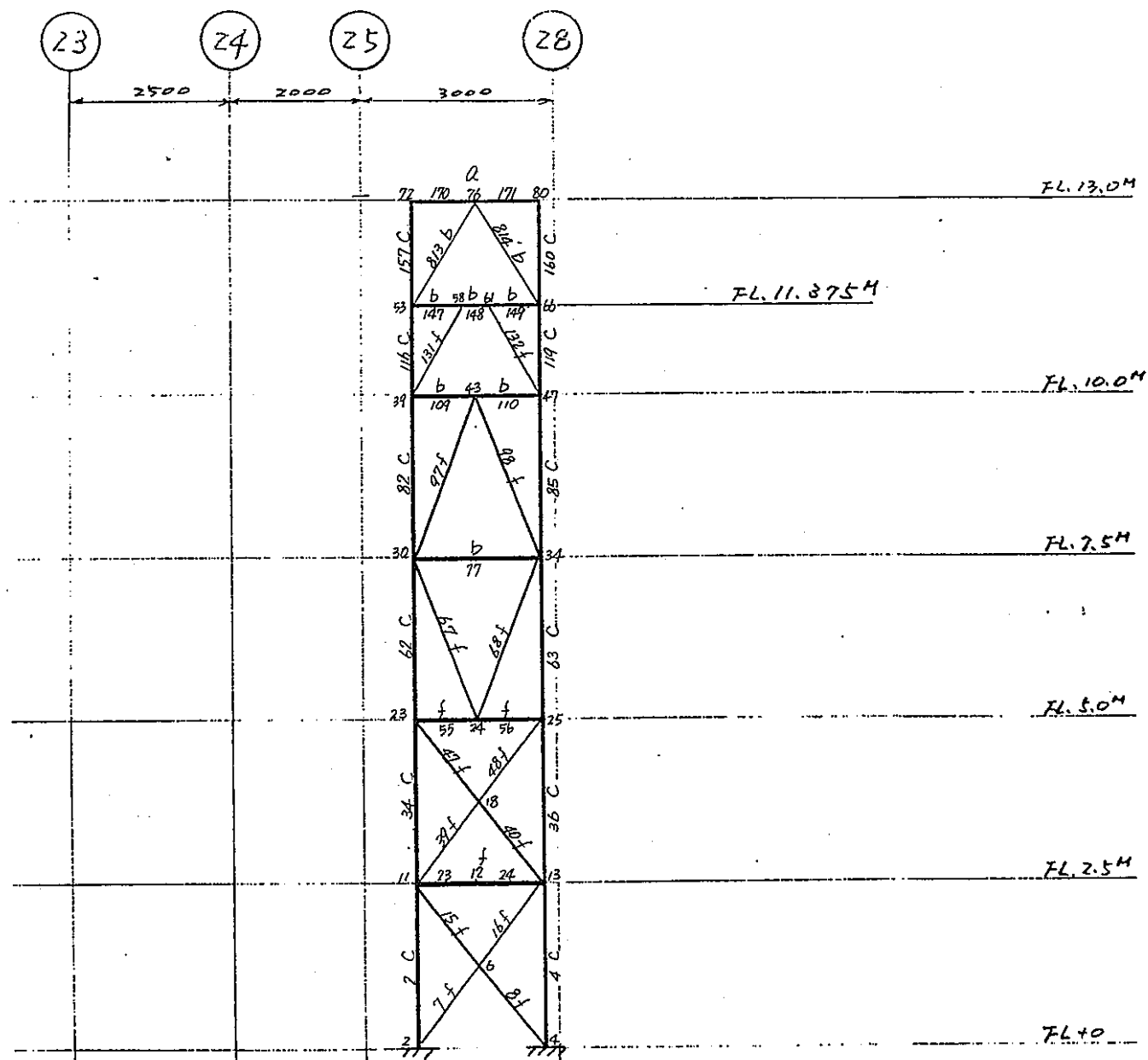


図 4. 2 - 3 (3 / 1 3) 架台解析モデル図 (補強計画)

記号: 梁, 柱共通,

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/6

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

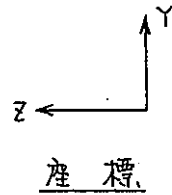
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 24-75×75×6

A.2-50



② 通り

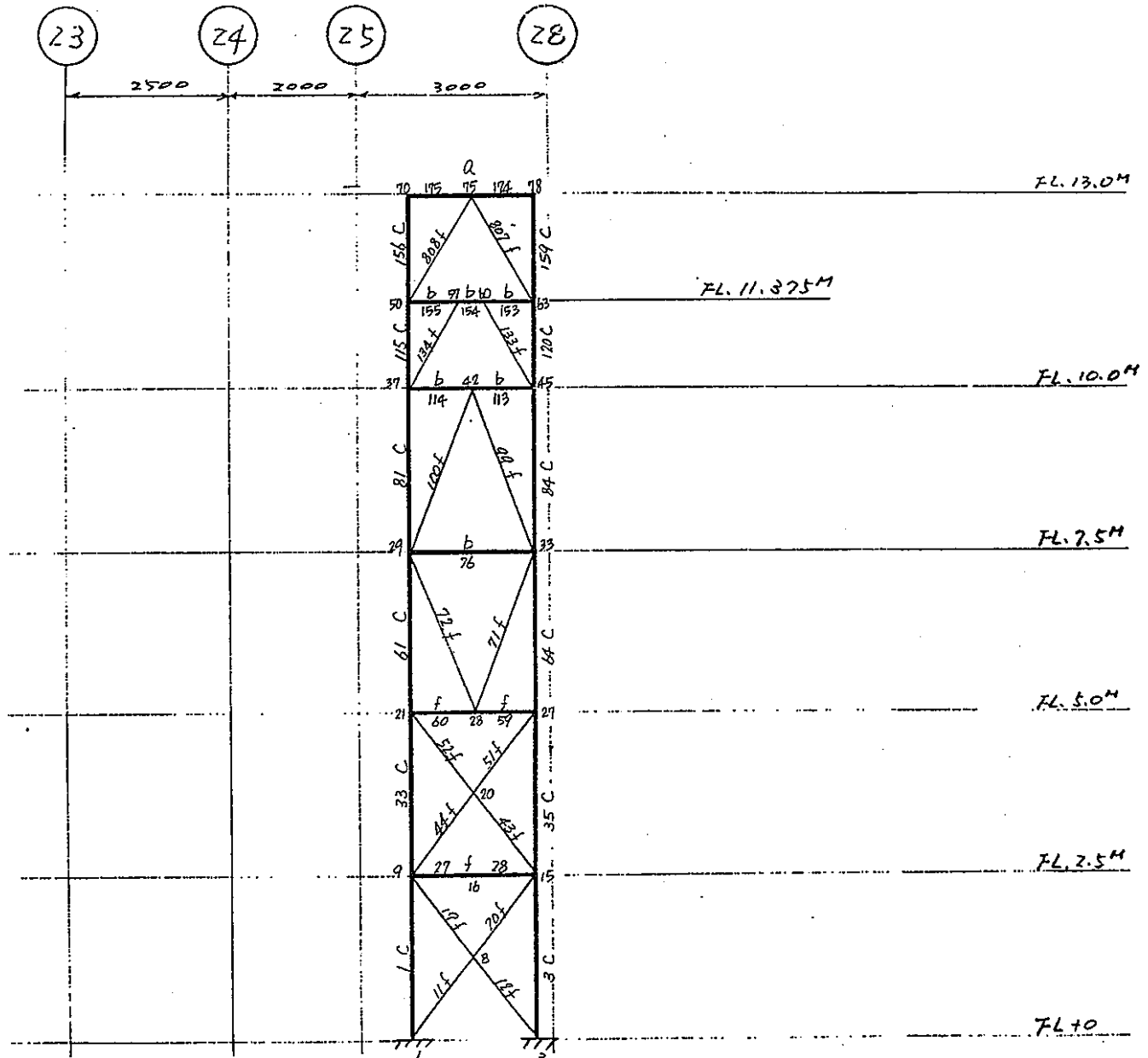


図 4. 2 - 3 (4 / 1 3) 架台解析モデル図 (補強計画)

記号; 梁, 柱共通。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: $\angle 89.1 \times 4.2$

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-51

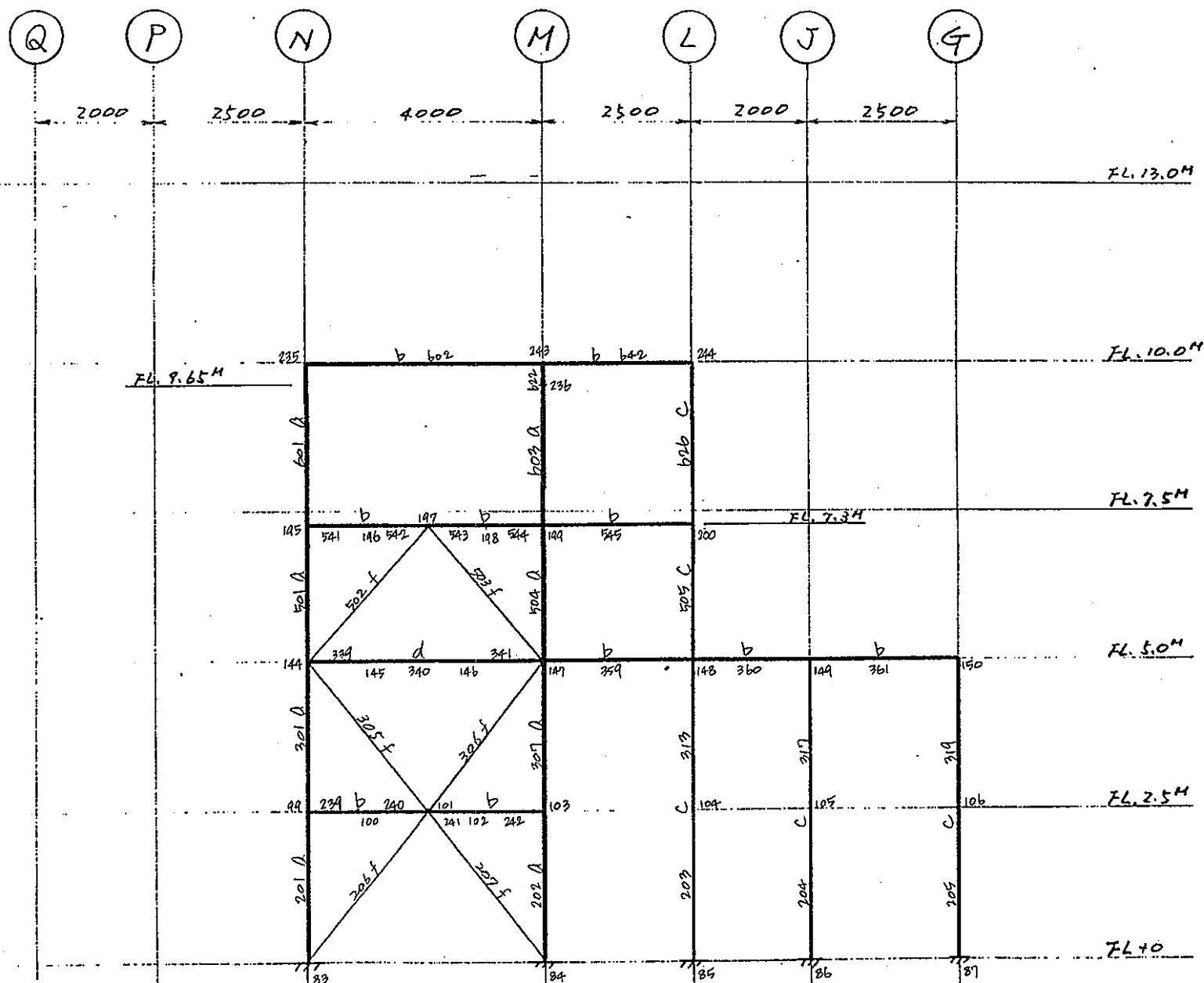
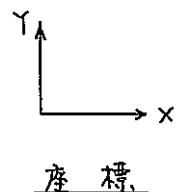


図 4. 2 - 3 (5 / 1 3) 架台解析モデル図 (補強計画)

23 通

記号: 梁, 柱, 共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

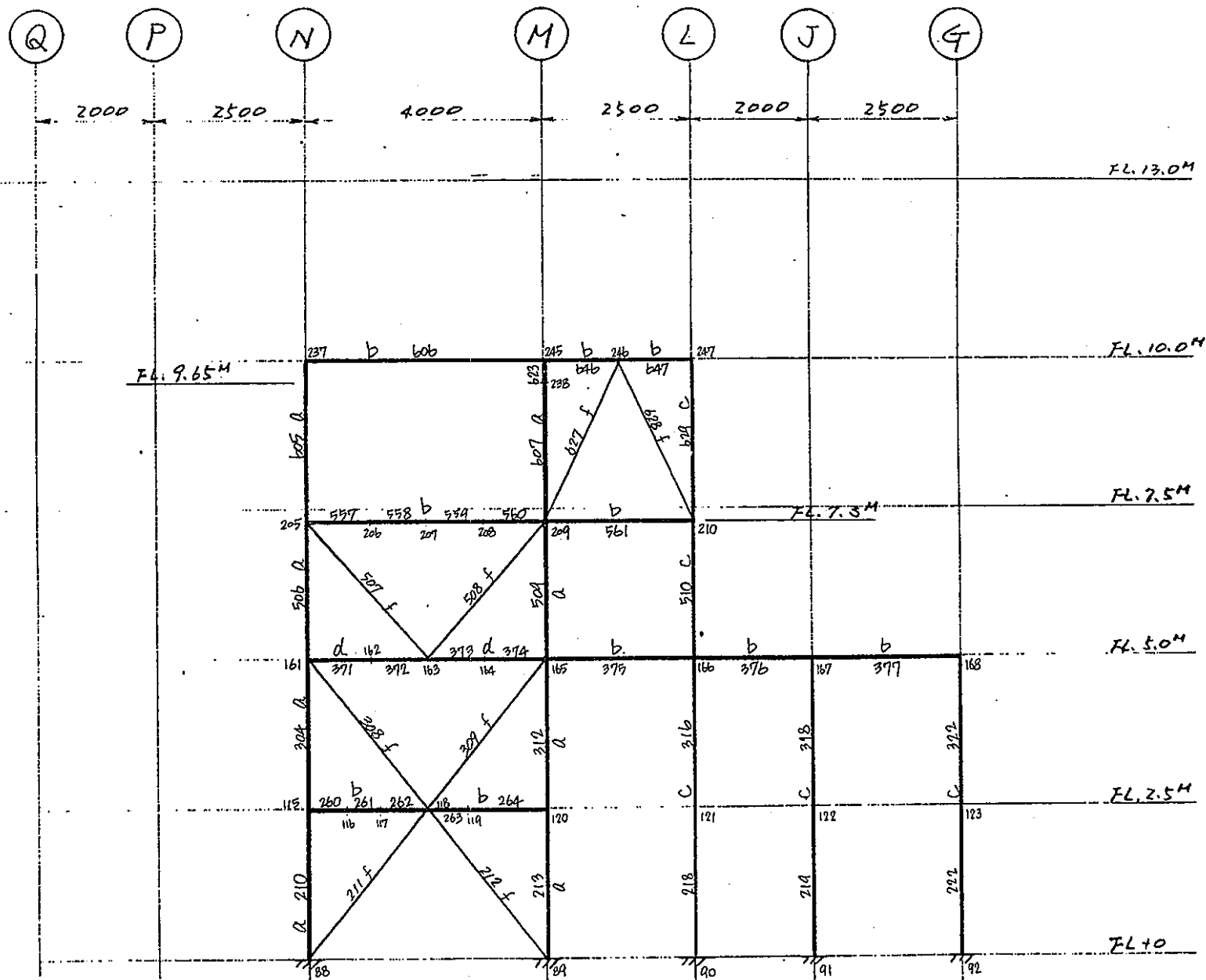
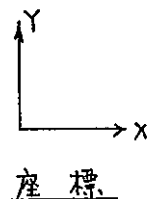
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-52



24 通り

図 4. 2 - 3 (6 / 1 3) 架台解析モデル図 (補強計画)

記号; 梁, 柱共通。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

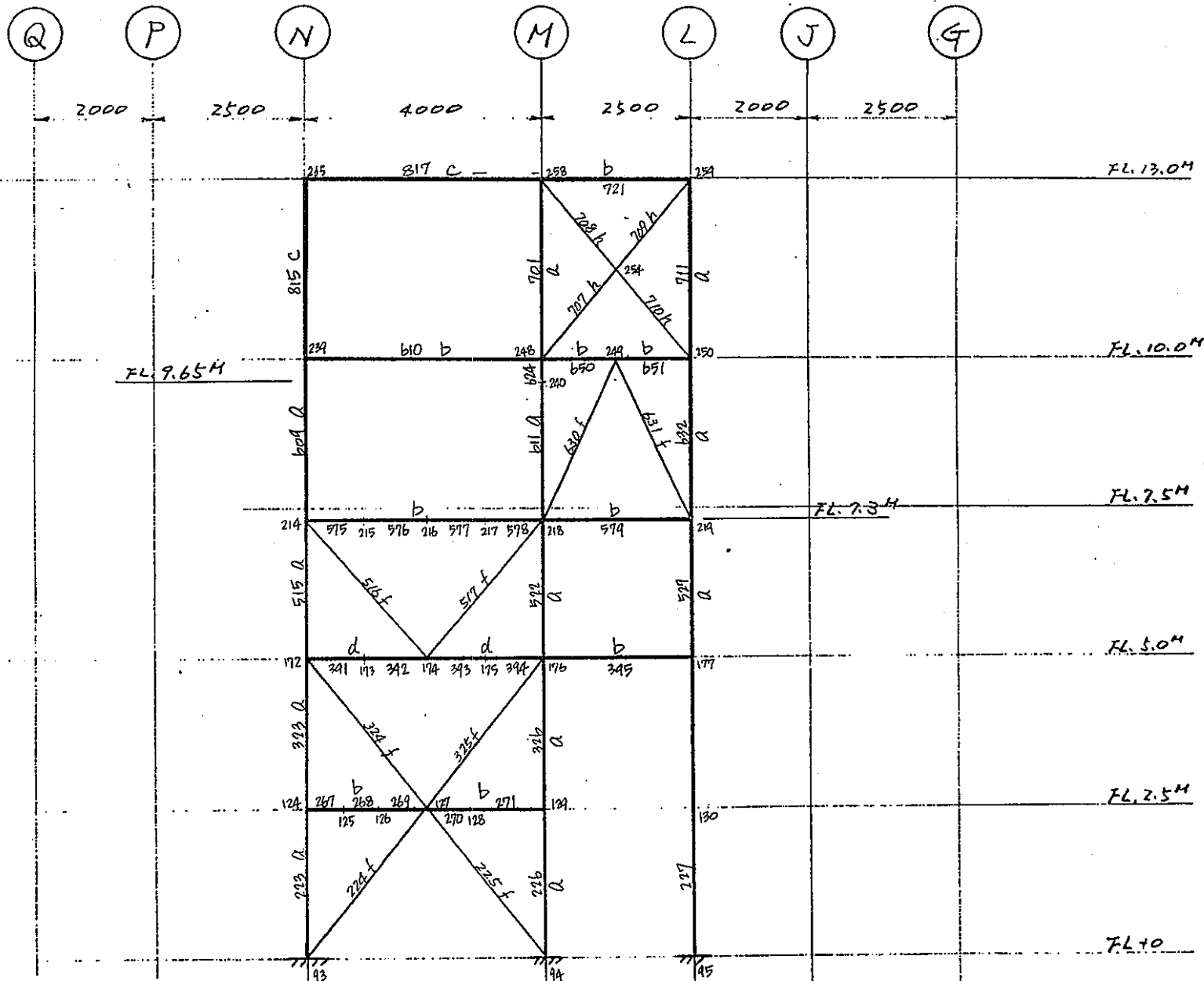
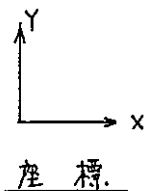


図 4. 2 - 3 (7 / 13) 架台解析モデル図 (補強計画)

A. 2-53



25 通り

記号; 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

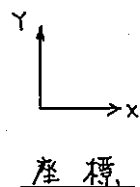
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-54



26 通り

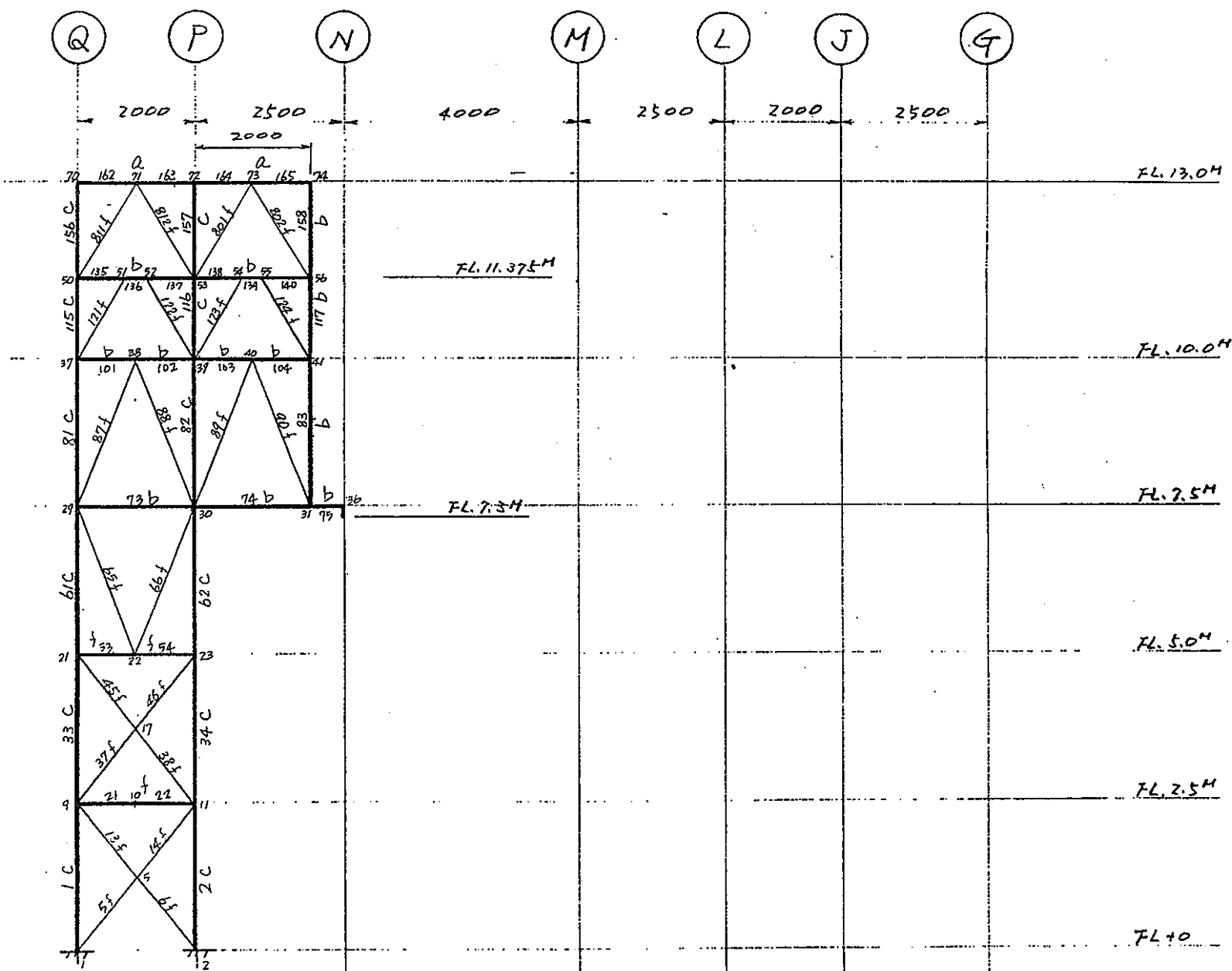


図 4.2-3 (8/13) 架台解析モデル図 (補強計画)

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

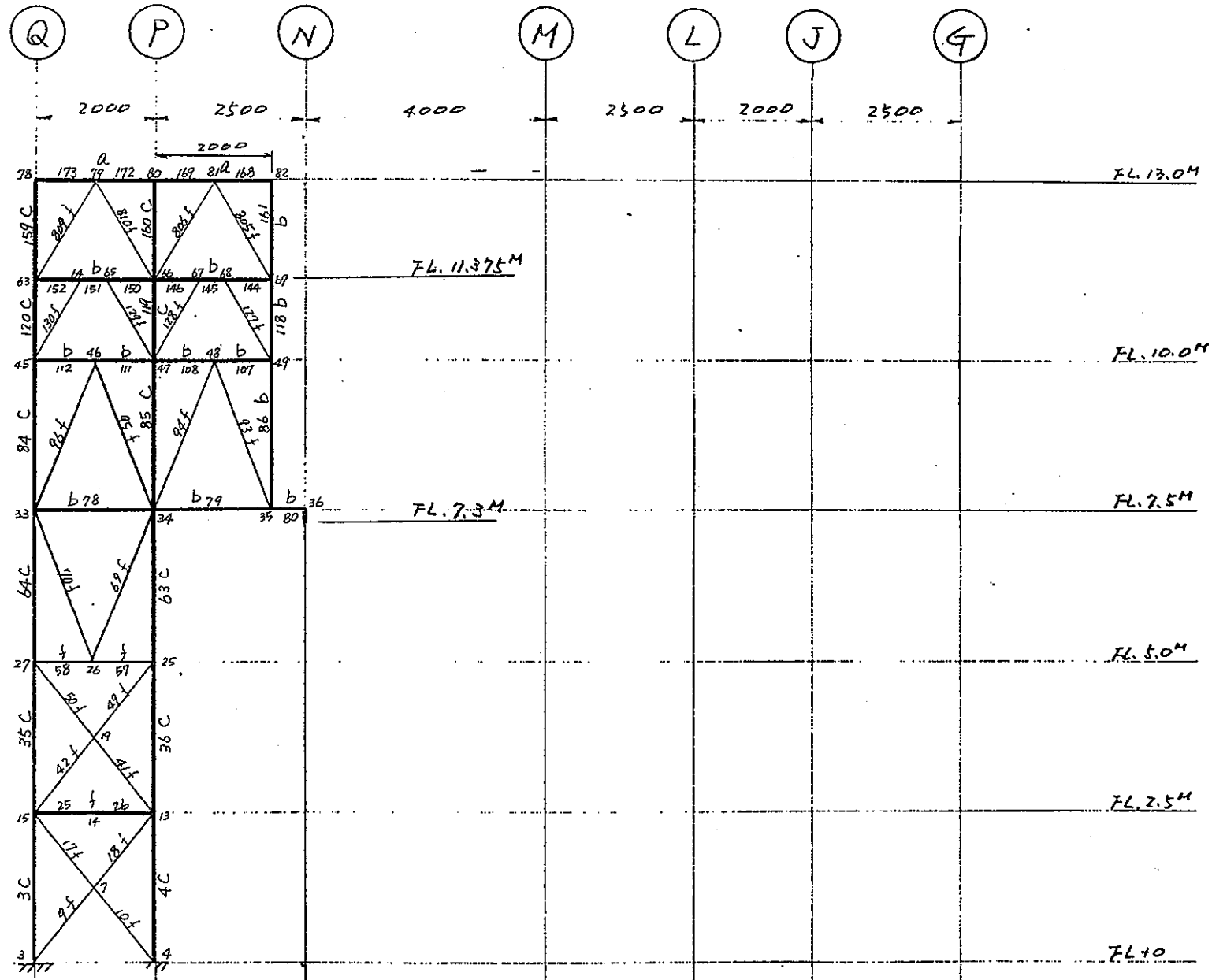
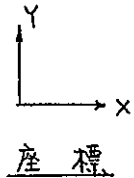
e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

4.2-55



27 通り

図 4. 2 - 3 (9 / 1 3) 架台解析モデル図 (補強計画)

記号: 梁, 柱共通.

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: 89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

A.2-56



座標

28 通り

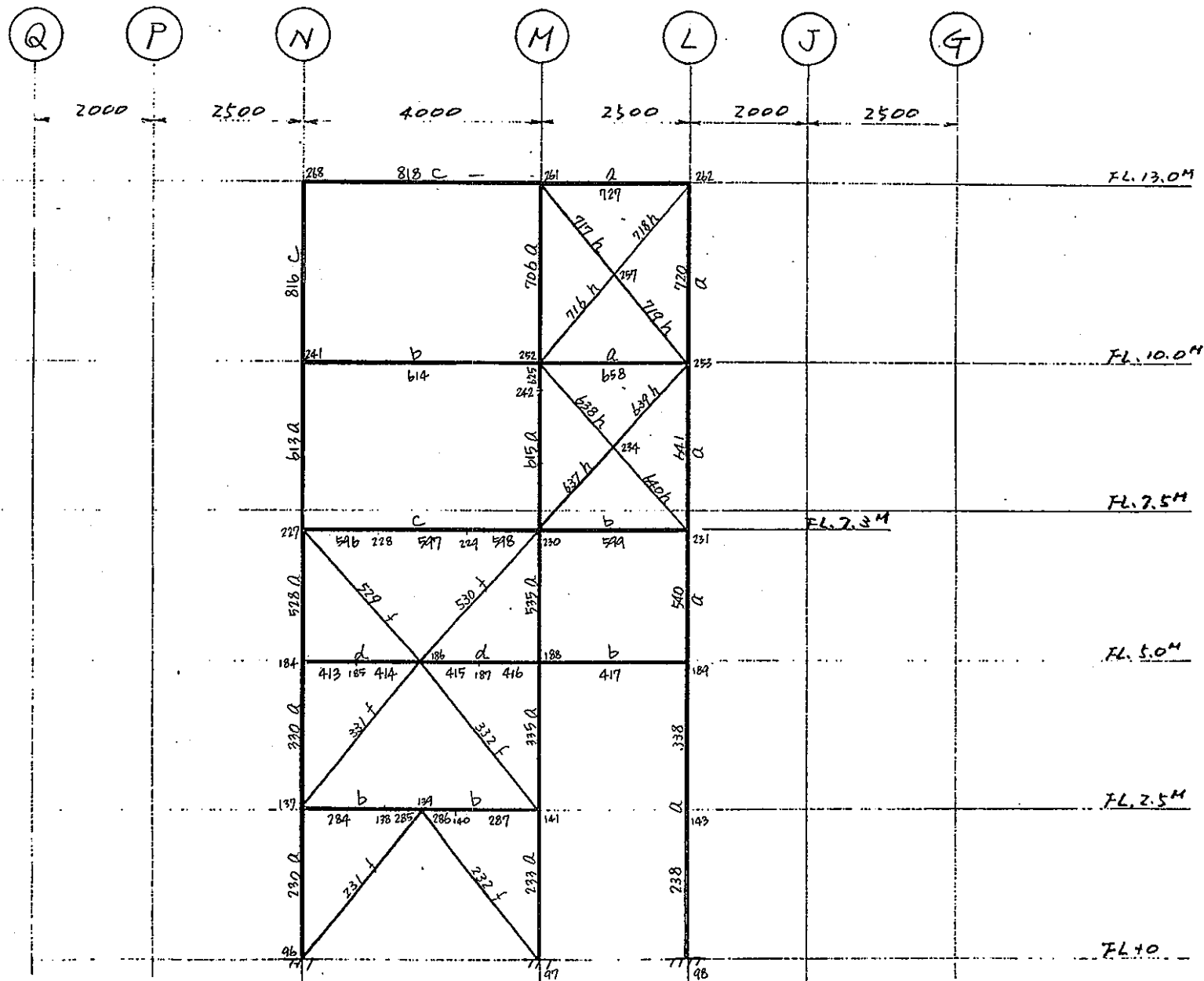
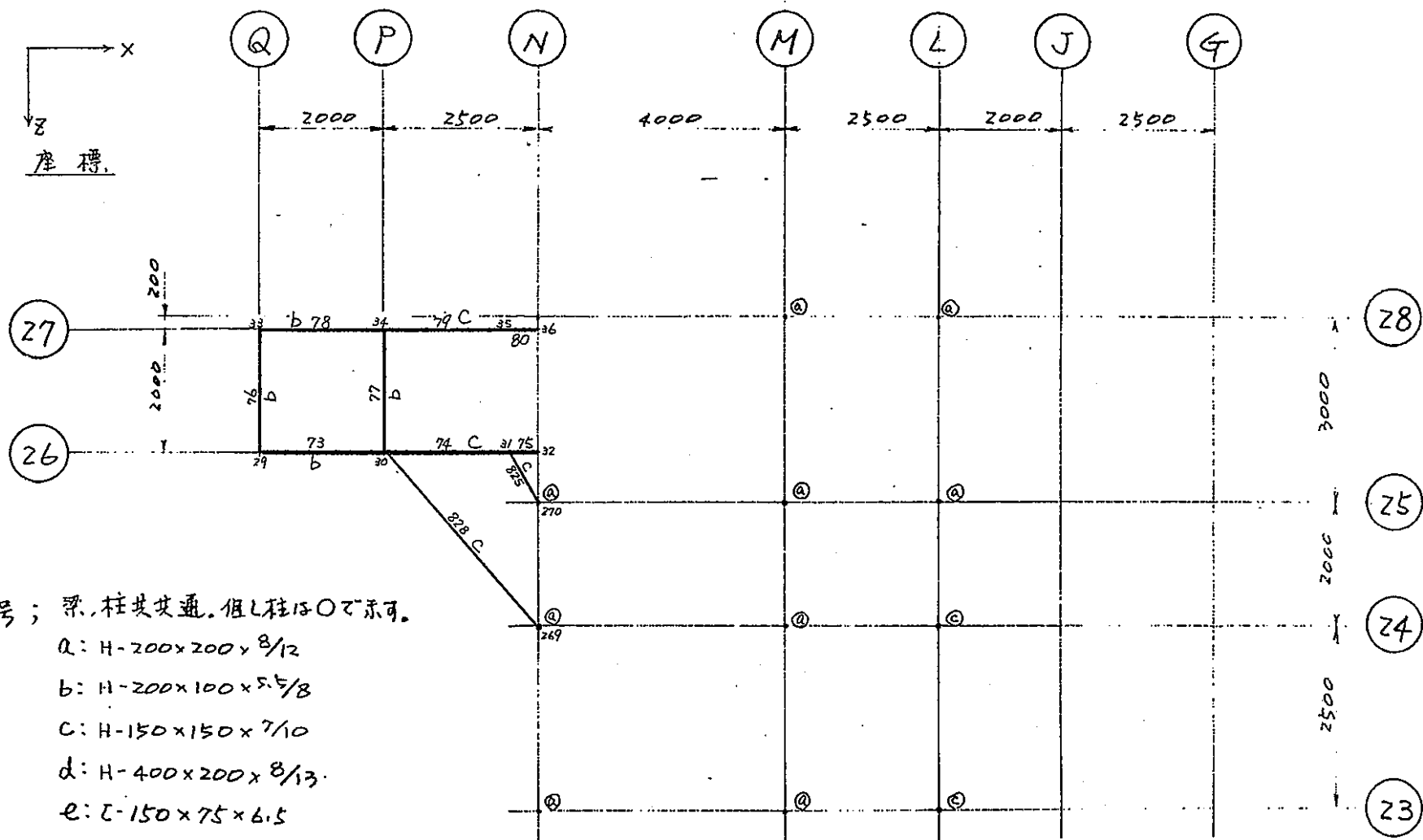


図 4. 2 - 3 (10 / 13) 架台解析モデル図 (補強計画)



記号；梁、柱共共通。但し柱は○で示す。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

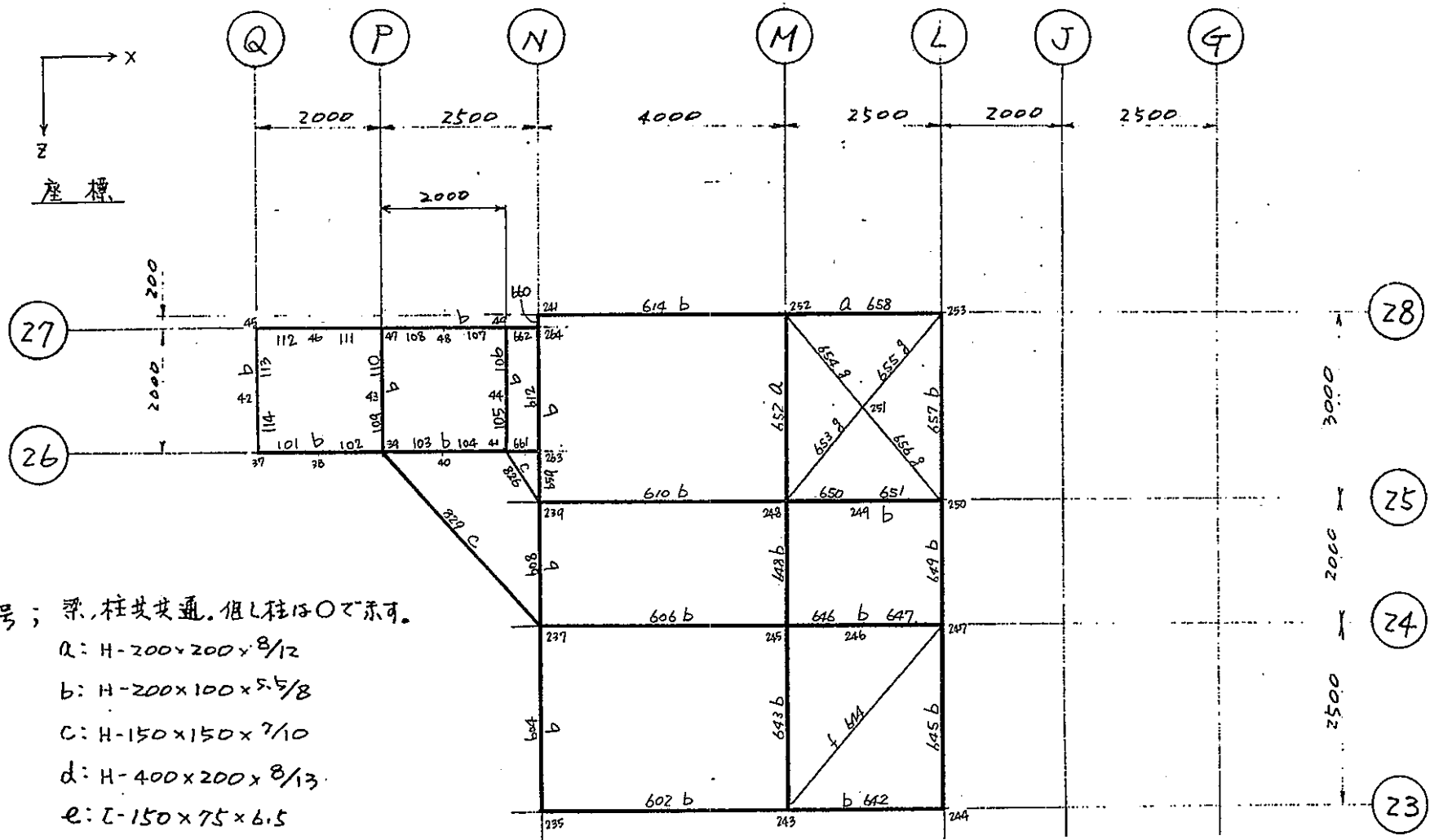
f: φ89.1×4.2

g: L-75×75×6

h: 2L-75×75×6

FL 7.5M

図4.2-3 (11/13) 架合解析モデル図(補強計画)



記号；梁、柱共通。但し柱は○で示す。

a: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

c: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

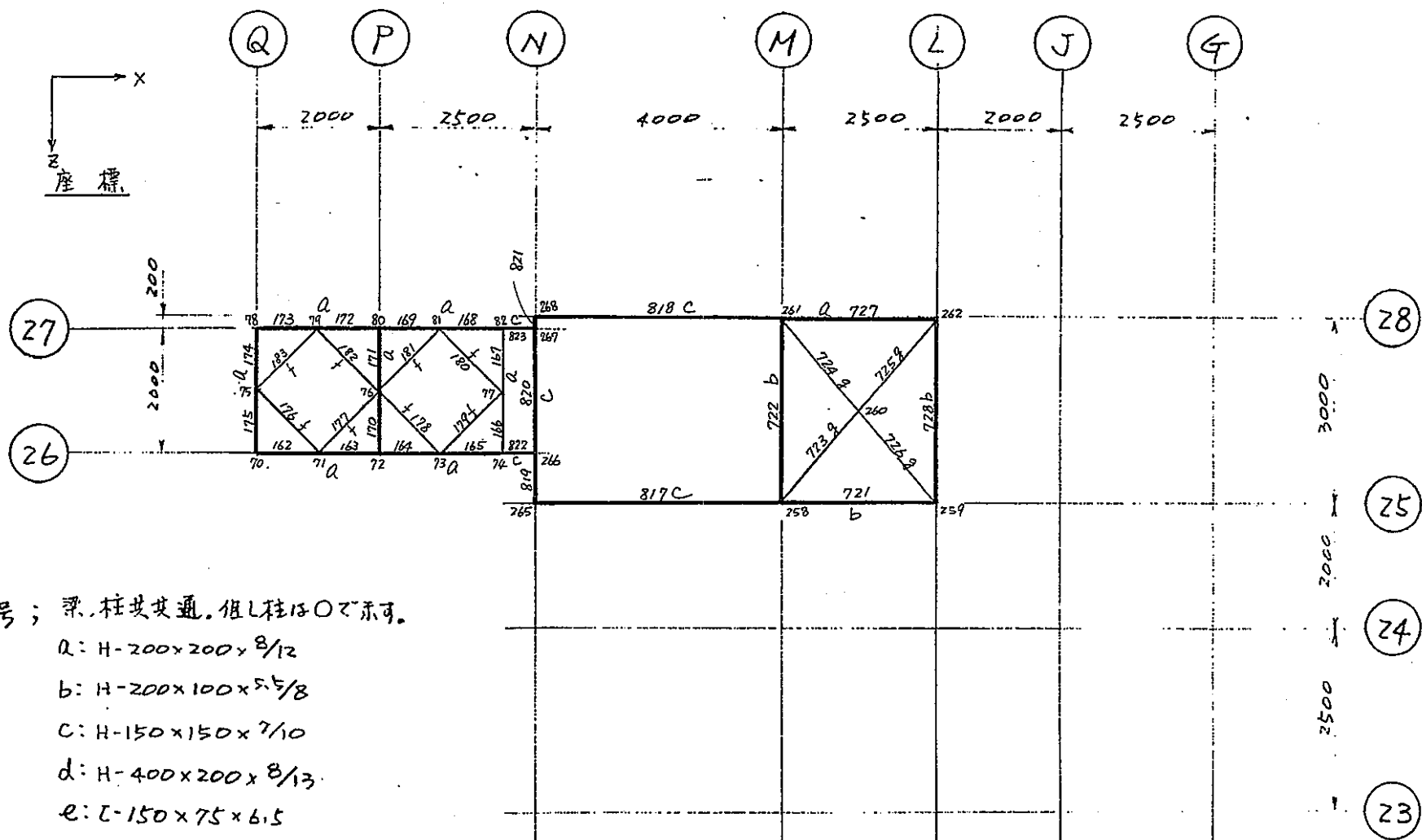
f: $\phi 89.1 \times t 4.2$

g: L-75×75×t6

h: 2L-75×75×t6

FL. 10.0M

図4.2-3 (12/13) 架台解析モデル図 (補強計画)



記号；梁、柱共通。但し柱は○で示す。

Q: H-200×200×8/12

b: H-200×100×5.5/8

C: H-150×150×7/10

d: H-400×200×8/13

e: L-150×75×6.5

f: $\phi 89.1 \times t 4.2$

g: L-75×75×t6

h: 2L-75×75×t6

FL. 13.0^M

図4.2-3 (13/13) 架台解析モデル図(補強計画)

図 4. 2 - 4 全体架台アイソメ図

5. 電気計測制御設備の検討

(1) 概 要

今回の検討では、既設の電気計測制御設備がすでに製作後10年以上経過しており品質保証上から更新が必要であること、及び部分的に使用可能な用品を流用しても設計工数が逆に増える要因になること等の理由から、SWAT-3に関わる電気計測制御設備を全面的に更新することを前提として電気負荷、計測点等のデータの集計結果に基づき電気計測制御システム及び設備の検討を行った。

(2) 電気計測制御システムの検討

図5-1にSWAT-3の電気計測制御システムの全体構成を示す。

同図に示すように、SWAT-3の監視及び操作は、監視・操作用コンソール上のディスプレイ（フラットディスプレイ2台）及び操作部から集中して行える構成とする。また、監視・操作用コンソール上のディスプレイと操作部等のマンマシンシステムの表示・操作機能や主循環流量及びヒータ等のプラント制御・監視機能については、監視・操作盤に収納されたシーケンスコントローラが集中して行う構成とする。

プロセス信号の計測設備としては、液位計測のために液位計装盤を設け、圧力、流量等の計測のためにプロセス計装盤を設ける構成とし、これらの各計装盤で標準信号に変換された各種のプロセス信号を監視・制御盤のPI/Oに直接取り込む構成とする。特に、主循環流量制御については、PI/Oに直接取り込まれた流量信号に基づき監視・制御盤内のシーケンスコントローラで制御を行い、電磁ポンプを駆動する電磁ポンプ駆動電源盤に流量指令を出力する構成とする。また、電磁ポンプ駆動電源盤には、電磁ポンプの電源設備の他に弁類の開閉を行うコンタクタ等を収納することとする。

ヒータを制御するための温度信号については、計測点が膨大となることから多重伝送用の端末であるRTU3台を現場に配置し、多重伝送により監視・制御盤に信号伝送する構成とする。監視・制御盤は、多重伝送により伝送された温度信号により温度制御を行い、ヒータ電力制御盤内のSSR（ソリッドステートリレー）を直接ON/OFFする構成とする。

(3) 電気計測制御設備の検討

a. 計測設備の検討

S W A T - 3 の電気計測制御設備の検討結果を以下に示す。

(a) 液位計

液位計は、表8.3-1(1/5)～(5/5)に示すように、連続式が「反応容器」に2点、「ダンプタンク」に1点及び「Naタンク」に1点の計4点、差圧式が「水加熱器」に2点の計6点であり、専用の変換器により4～20mAの標準信号に変換する必要がある。

このため、変換器を内蔵した液位計装盤（従来ベースの実績から1000W×1000D×2300H程度が1面）に収納し、変換器出力を監視・制御盤のアナログ入力として取り込む構成とする。

図5-2に液位計装盤の外形図（案）を示す。

(b) 圧力計、流量計等

表8.3-1(1/5)～(5/5)に示すように圧力計（12点）、流量計（電磁流量計を含み3点）は、4～20mAの標準出力を直接検出器から出力することができるが、検出器に直流電源を供給するために直流電源を内蔵したI/V変換器（14回路）が必要となる。

その他に接触式の漏洩検出器（接触式1点）や電動弁の開度信号（1点）、空気作動弁の開閉信号（9点）、調整弁の開度（4～20mA3点）等があるが、これらの信号についても監視・制御盤に入力できる信号に変換する変換器が必要となる。

このため、以上に示した変換器をプロセス計装盤（800W×1000D×2300H程度が1面）に収納し、変換器出力を監視・制御盤のアナログ入力として取り込む構成とする。

図5-3にプロセス計装盤の外形図（案）を示す。

(c) 温度計

表8.3-1(1/5)～(5/5)に示すように温度計の点数は、226点あるため熱電対からの出力を直接取り込み多重伝送を介して監視・制御盤に出力することができるRTU（リモートターミナル ユニット）で取り込むこととする。

以下に示すRTU1～3の3面を現場に配置することにより226点の温度信号の取り込みを行う構成とする。

①RTU1

入力点数：96点入力

盤寸法：1400W×500D×1400H

②RTU2

入力点数：96点入力

盤寸法：1400W×500D×1400H

③RTU3

入力点数：48点入力

盤寸法：700W×500D×1400H

図5-4にRTU1及びRTU2盤の外形図（案）、図5-5にRTU3盤の外形図（案）を示す。

b. 監視・制御設備の検討

SWAT-3の監視・制御は、監視・制御盤でおこなう。監視制御盤の機能及び設備の検討結果を以下に示す。

(a) 電磁ポンプ等の制御

主循環系の流量制御は、主循環系に設置された流量計で検出された流量信号をプロセス計装盤を介して監視・制御盤に取り込み、同盤内のシーケンスコントローラにて行う。

シーケンスコントローラから出力される流量指令は、電磁ポンプ駆動電源盤内のEMP電源ユニットのコントローラに取り込まれ、電磁ポンプの電圧、電流及び周波数を同ユニットで制御することにより主循環系のナトリウム流量を制御することができる。尚、電磁ポンプ駆動電源盤には、EMP電源ユニットのコントローラの他に、EMP電源ユニット本体、制御電源及びトランス等を収納するものとする。

電磁ポンプ以外の制御対象としては、以下に示す各種の弁がある。

- 電動弁 : 1台 (AC200V 3φ)
- 電磁弁(ON-OFF) : 9台 (AC100V)
- 電磁弁(連続) : 3台 (AC100V)

これらの弁の制御についても、流量制御と同様に監視・制御盤にて行う。

監視・制御盤は、上記の各弁の駆動回路(コンタクタや電磁接触器等)に開閉指令を出力し、各弁の開度及び開閉制御を行う。

上記の弁類の駆動回路についても電磁ポンプ駆動電源盤に内蔵する構成とする。

① 電磁ポンプ駆動電源盤

EMP電源ユニット : 1式

コントローラ : 1式

トランス : 1式

電磁接触器 : 9個

盤寸法 : 3000W×1000D×2300H

図5-6に電磁ポンプ駆動電源盤の外形図(案)を示す。

(b) 温度制御

温度制御は、RTUを介して取り込んだ温度信号をフィードバック信号として使用し、監視・制御盤にて行う。

ヒータの制御は、表5-1に示すヒータブロック毎にELB（漏電遮断器）等の保護回路及びコンタクタを設け、更にその負荷側にヒータのON-OFFを行うSSR（ソリッドステート リレー）を配置する構成とする。

ELB（漏電遮断器）等の保護回路については、ヒータ電源盤に収納する構成とする。ヒータブロック数は、表5-1に示すように計12個であり6回路構成の標準盤2面の構成とする。

①ヒータ電源盤1

ELB：6点

CTT：6点

盤寸法：1000W×1000D×2300H

②ヒータ電源盤2

ELB：6点

CTT：6点

盤寸法：1000W×1000D×2300H

以上に示したようにヒータ電源盤は、ヒータブロック毎の電源の入り／切り及び保護機能を有している。これに対して、実際にヒータのON-OFFを行うSSR（ソリッドステート リレー）はヒータ電力制御盤に収納することとする。表5-1に示すようにSSRの数は、計156個であり、標準盤に80個程度収納できるため以下に示す2面構成とする。

①ヒータ電力制御盤1

SSR：70点

盤寸法：1000W×1000D×2300H

②ヒータ電力制御盤2

SSR：66点

盤寸法：1000W×1000D×2300H

図5-7にヒータ電源盤の外形図（案）、図5-8にヒータ電力制御盤の外形図

(案)を示す。

(c) 監視・制御盤

(a)及び(b)項に示した監視・制御機能は、監視・制御盤に収納したシーケンスコントローラのCPUユニット上のソフトウェア上で実行する。このため、信頼性を考慮し、電源及びCPUは2重化構成とする。

シーケンスコントローラの必要基板枚数は、表5-2に示すI/O点数は集計結果から42枚となる。

監視・制御盤に収納するシーケンスコントローラのI/Oユニットは、1ユニットあたり18スロット収納可能であるため必要なI/Oユニットは3個とする。

監視制御盤には、監視・操作コンソール上の2台のフラットディスプレイへの表示機能及び操作部のSW類及び表示器とのインタフェース等のマンマシン機能を実現するためにマンマシン用のCPUを制御用とは別に設けるものとする。マンマシン用のCPUについても信頼性を考慮し、電源及びCPUを2重化構成とする。

図5-9に監視・制御盤の外形図(案)、図5-10に監視・操作コンソールの外形図(案)を示す。

表5-1 ヒータ容量

設 置 箇 所	容量 (kW/本)	本 数	総容量 (kW)	ヒータブロック数*2	S S R 数*1	備 考
反応容器	0.5	12	6	1	6	
ダンプタンク	0.6	12	7.2	1	6	
注水管用水加熱器	0.44	20	8.8	1	10	
	0.55	65	35.75	2	33	
隣接管用水加熱器	0.48	32	15.36	1	16	
	0.6	100	60.0	2	30	
配管用 (3B)	0.5	2	1.0	1	1	
配管用 (4B)	0.58	20	11.6	1	10	
配管用 (8B)	0.34	28	9.52	1	14	
配管用 (12B)	0.56	40	22.4	1	20	

注(*1) S S R (ソリッドステート リレー) 数は、最大容量1.2kWで計算した。

但し、1個のS S Rに接続するヒータ数は最大2個とした。

注(*2) 過電流保護から30kW (電源AC200Vとする) 以下で1ブロックとした。

表5-2 監視・制御盤のI/O整理結果

I/O種類	信号種類	点 数	小計	基板数
アナログ入力	①液面信号	6 点	2 5 点	4 枚(8点/枚) 予備 1 枚、
	②圧力信号	1 4 点		
	③弁開度信号	4 点		
デジタル入力	①漏洩検出器信号	1 点	4 7 点	3 枚 (16点/枚) 予備 1 枚
	②弁開閉信号	2 6 点		
	③操作指令	2 0 点		
多重伝送入力	①温度信号	2 2 6 点	2 2 6 点	4 枚(8枚) (2枚幅)
アナログ出力	①弁開度制御信号	3 点	2 7 点	7 枚(4点/枚) 予備 1 枚
	②記録計出力等	2 0 点		
	③弁開度信号	4 点		
デジタル出力	①SSR制御指令	1 3 6 点	2 5 6 点	1 6 枚 (16点/枚) 予備 1 枚
	②弁開閉指令	2 0 点		
	③状態表示	1 0 0 点		
合計基板枚数 (2枚幅は2枚として計算する)				4 2 枚

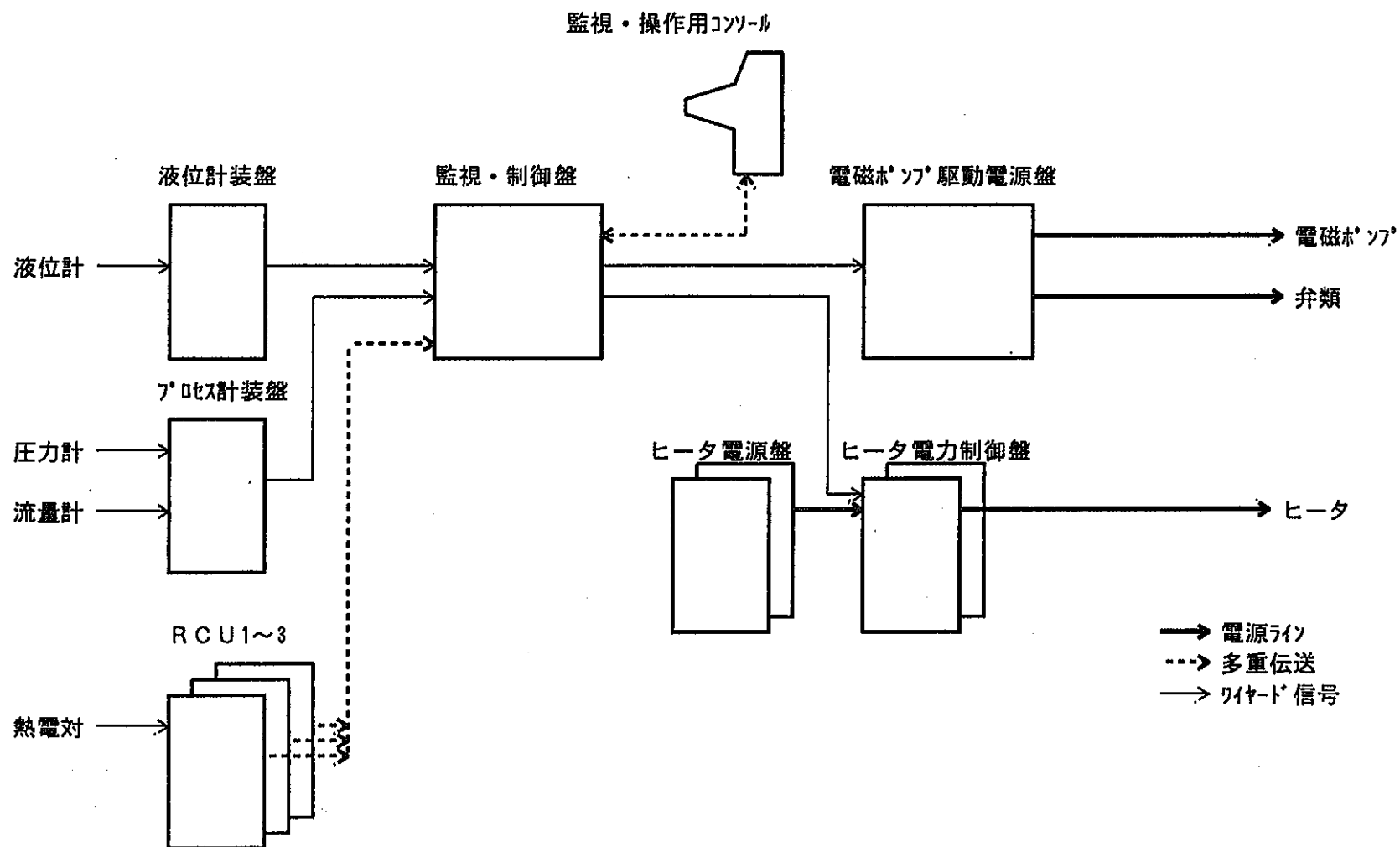


図5-1 電気計測制御システムの構成

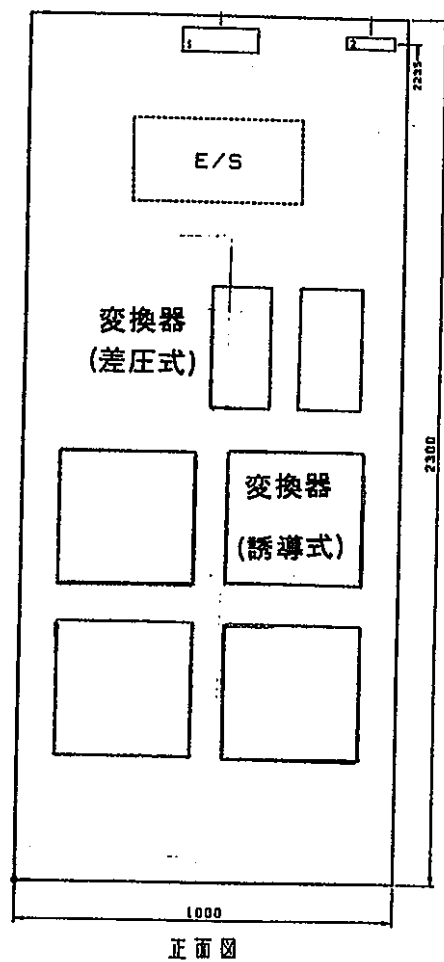


図5-2 液位計装盤の外形図(案)

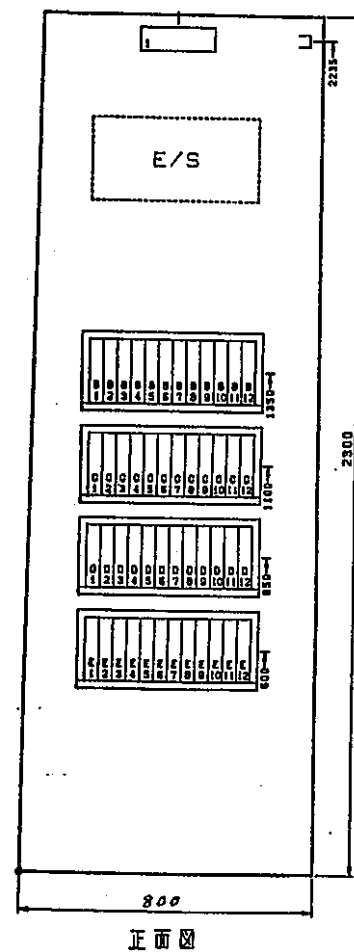


図5-3 プロセス計装盤の外形図(案)

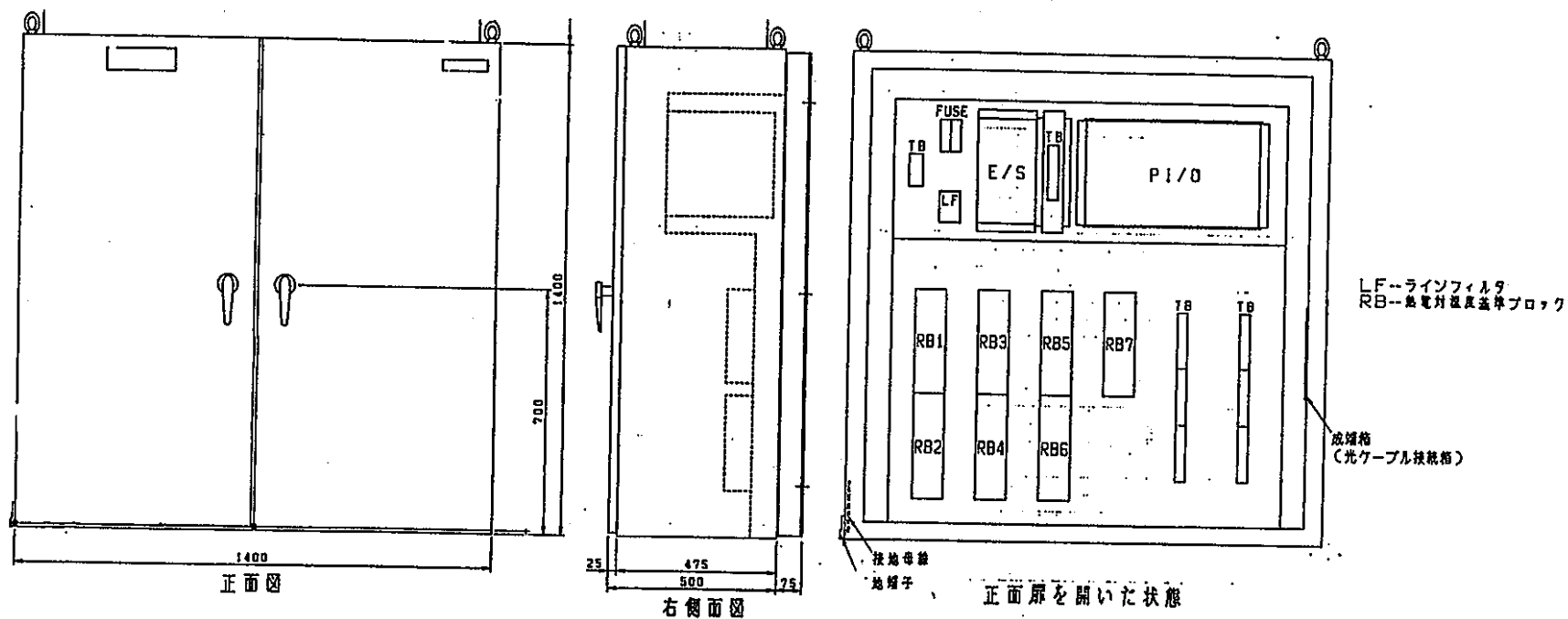


図5-4 RTU 1 及び RTU 2 盤の外形図 (案)

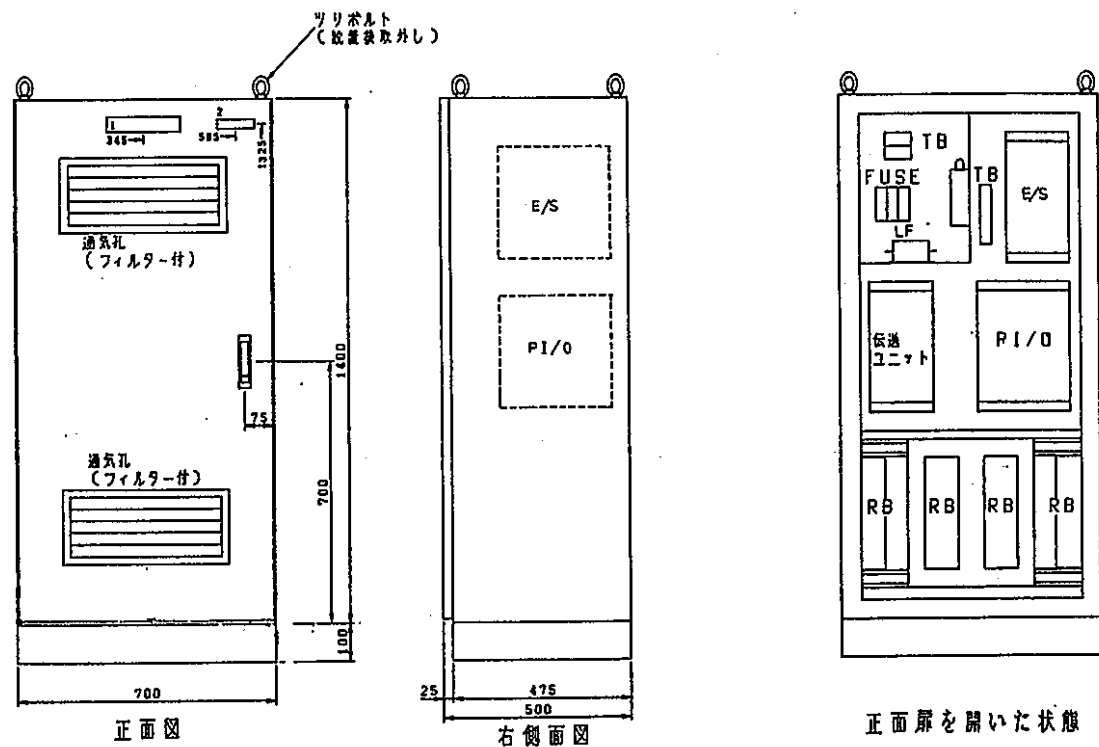
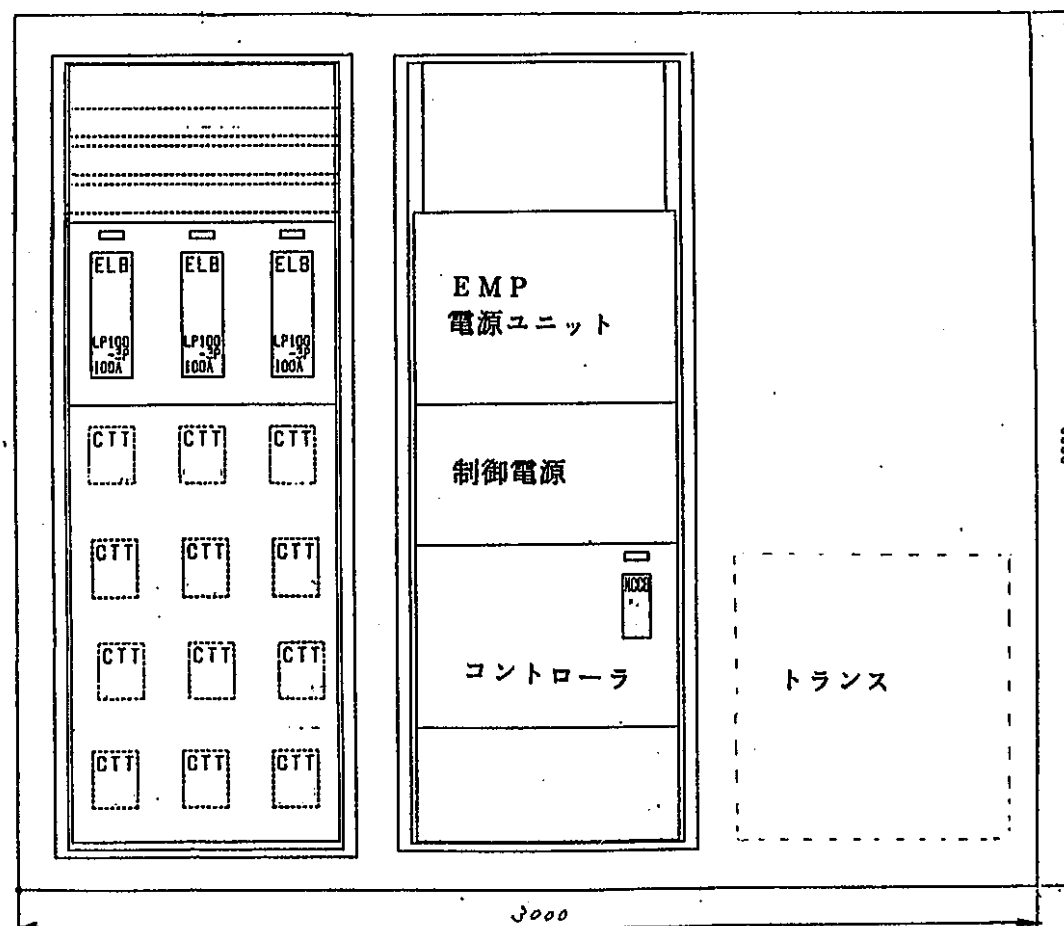


図5-5 RTU3 盤の外形図 (案)



正面扉を開いた状態

CTT : コンタクタ
ELB : 漏電遮断器

図5-6 電磁ポンプ駆動電源盤の外形図 (案)

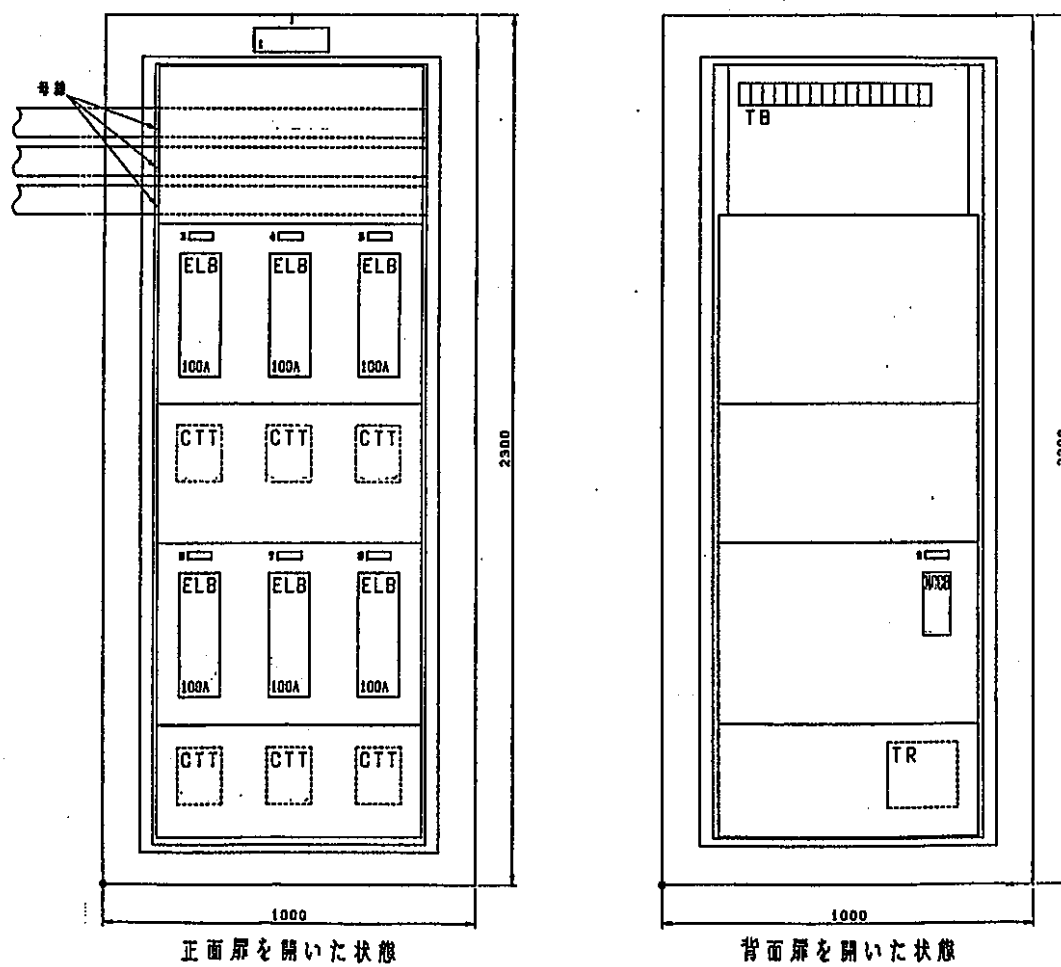


図5-7 ヒータ電源盤の外形図(案)

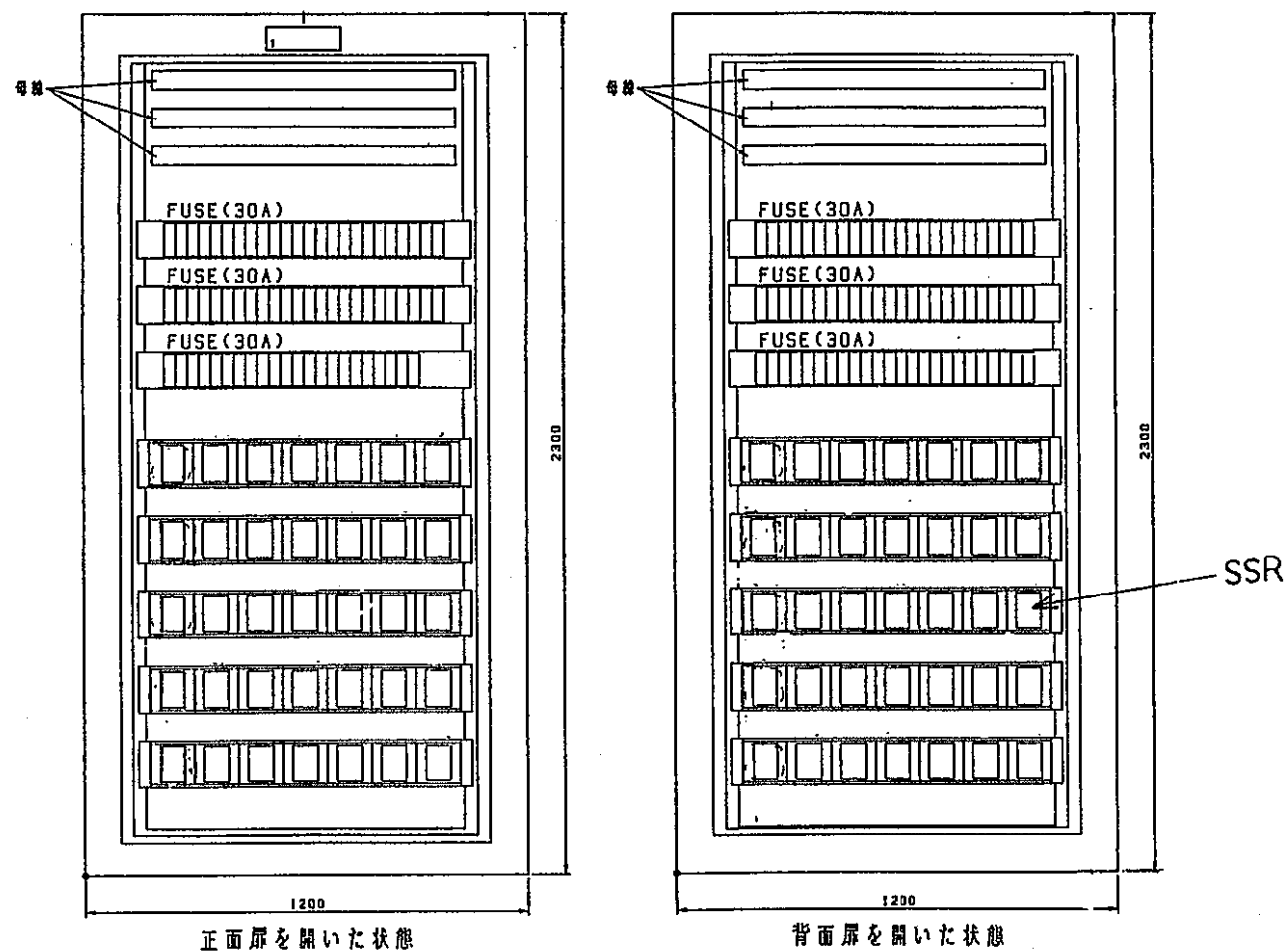


図5-8 ヒータ電力制御盤の外形図(案)

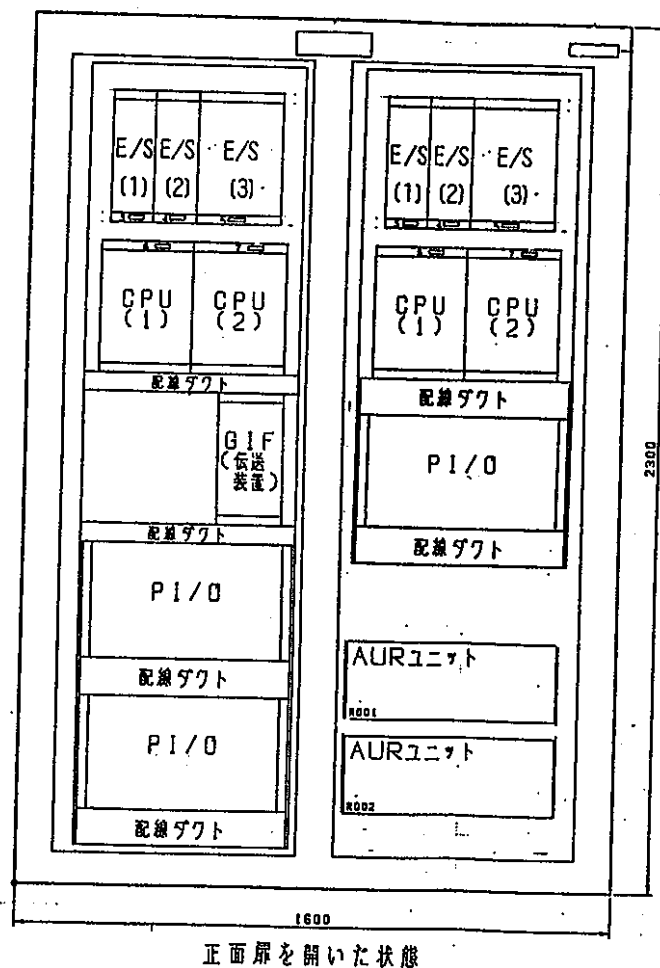


図5-9 監視・制御盤の外形図(案)

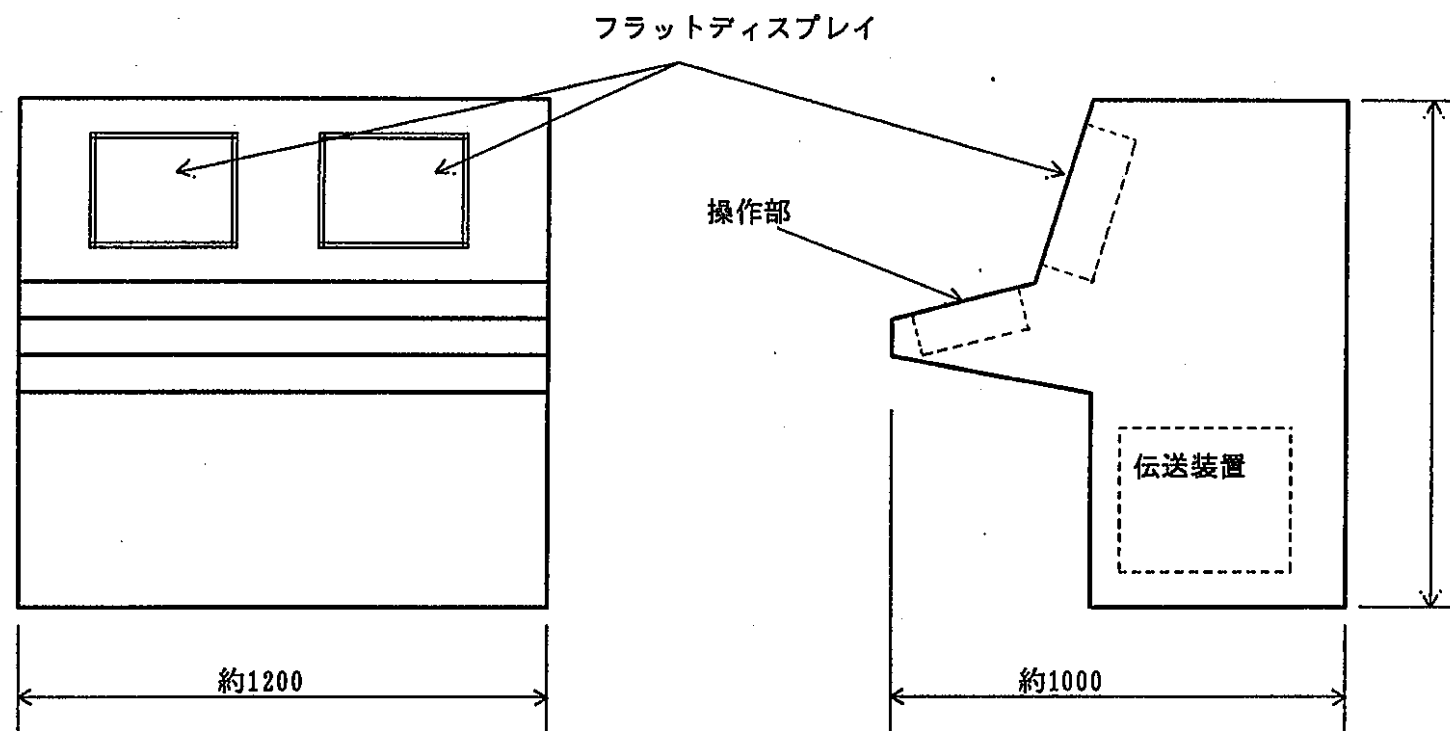


図5-10 監視・操作コンソールの外形図（案）

6. 合理化項目の検討

6. 1 概要

改造 S W A T - 3 試験における合理化項目を検討する。

6. 2 合理化項目

S W A T - 3 改造基本設計検討結果を基に摘出した合理化項目を以下に示す。

(1) 水加熱器

- ①最高使用温度の低減による板厚の合理化
- ②使用圧力の見直しによる容量の合理化
- ③隣接管用水加熱器の基数の合理化
- ④ヒータ容量の合理化
- ⑤水加熱器加圧用窒素ガス系の削除

上記①～④についての検討内容は、水加熱器設計検討書に示す。

S W A T - 3 改造予備設計からの合理化効果は以下の通り。

	改造予備設計	改造基本設計
・水加熱器重量（合計）	4 9 ton	3 4 ton
・ヒータ容量（合計）	3 6 5 kw	1 2 0 kw

尚、隣接管用水加熱器の基数を2基から1基に合理化することにより、隣接管用水加熱器を接続していた配管の合理化ができる。

また、上記⑤は「試験条件の整理」での検討により、改造 S W A T - 3 試験での飽和水の注水をパラメータから外すため、飽和水注水用に設置を検討した水加熱器加圧用窒素ガス系を削除することが可能である。

(2) ダンプタンク

- ①設計圧力の低減による板厚の合理化
- ②ダンプタンク付ミストセパレータの削除

上記①については、今年度実施した準定常圧解析の結果からダンプタンク内の圧力上昇は、最大で10kg/cm²gであることから、現状の最高使用圧力20kg/cm²g から

15kg/cm²g 程度に変更することが可能であり、規格計算上は胴板厚を現状の38mmから29mm程度に合理化できる。ただし、最終的には試験時の反応生成物流入による流体力及び地震に対する荷重を評価して板厚を設定する必要がある。

②は、SWAT-3試験装置及び実用化大型炉の放出系系統構成では、ダンプタンク以降にミストセパレータ付サイクロンセパレータが設置されるため、ダンプタンク出口でのナトリウムミストの流出制限をダンプタンクの機能条件とする必要がない。

また、ダンプタンクにミストセパレータを設置し、後流に設置するサイクロンセパレータを削除する合理化案も考えられるが、昨年度の検討からダンプタンク出口での水素流量が大きいと、ダンプタンク付ミストセパレータが大型化することから、合理化提案とならないことが得られている。従って、ダンプタンク付ミストセパレータは削除する。

(3) 放出系

①接液R/D放出系の削除

今回の試験条件案では接液R/D系を使用する試験条件は1ケースのみである。また、従来検討からは、現状のDBL(1+3DEG)を大幅に超えるような条件(このような条件となるか否かは、改造SWAT-3の試験で確認)に対しては、接液R/D系設置により1次系及び2次系バウンダリの健全性確保に効果があることが解析的に確認されているものの、改造SWAT-3試験により、高温ラプチャーの影響が顕著とならない場合には、接液R/D系は不要となると考えられる。

このため、今回の改造SWAT-3試験で、接液R/D系の試験を行うか否かは、それまでに実施する試験結果を基に決定し、試験が必要な場合に接液R/D系を設置することが得策と考えられる。

尚、将来接液R/D系を設置する上で大きなインパクトを与えないため、改造基本設計では、以下の対応を図っておく必要がある。

- ・ダンプタンク接液R/D系用ノズルの設置
- ・接液R/D系配管引き回し空間の確保

7. 改造 S W A T - 3 での試験項目及び計画の検討

7.1 試験計画の検討

7.1.1 まえがき

本資料では改造 S W A T - 3 試験装置で確認する項目を摘出し、これらの項目に対する試験計画についてまとめた。また、試験計画を基に、試験装置への要求条件並びに要素試験項目についても検討した。

7.1.2 改造 S W A T - 3 で確認する試験項目の摘出と試験計画

改造 S W A T - 3 を用いた試験項目としては、高温ラプチャ現象の解明とともに基盤技術の一環としての試験項目が考えられる。以下にこれらの内容について示す。

(1) 高温ラプチャ現象の解明

a. 設計仕様の影響

実証炉以降の S G ともんじゅ S G の設計仕様の変更が、高温ラプチャに与える影響をまとめると以下のように考えられる。

① 主蒸気条件の高温・高圧化

- ・主蒸気条件：487℃/132atg → 497℃/175atg

伝熱管の肉厚は主蒸気条件の変更に伴い厚くなる。肉厚は必要肉厚+腐れ代

- ・曲げ加工等の余裕代によって設定されるが、この余裕代は前記蒸気条件の変更の範囲では大きく変わらないことから、高温・高圧化により伝熱管の内圧ラプチャに対する裕度は小さくなる傾向となる。

② S G 型式

- ・分離貫流型→一体貫流型

S G の一体貫流化及び S G サイズのコンパクト化に変更に伴い、管束部 (Na 側) 圧損の増加及びカバーガス容積の低減 (蒸発器約 22m³→8.7m³) により、大リーク時の圧力上昇を招く。これは、前章で述べたように反応領域温度を上昇させる要因となる。

③ S G の大容量化

- ・190.8MWt (蒸発器) / 47.2MWt (過熱器) → 534MWt (実証炉 1 号) 以上

S G の大容量化に伴い、管束部高さの増大により、Na 側圧損の増大及び検出時間の遅れを生じる。これらは、Na-水反応時の圧力上昇を引き起こし反応領域温度の上昇及び検出限界リーク率を大きくし、高温ラプチャを生じ易く

する傾向となる。

④伝熱管材料の変更

一体貫流化により、伝熱管は2 1/4Cr-1Mo鋼（蒸発器）／SUS316（過熱器）からMod. 9Cr-1Mo鋼に変更となり、高温域でフェライト鋼を使用することになる。

b. PFR試験の調査・分析

一方、PFR過熱器での高温ラプチャの発生は、Na入口ライザー管嵌合部からのNaのリークフローによる伝熱管支持部でのフレットINGが原因で、小リークから中リークそして急速に大リークへ進展した。我国のもんじゅ及び実証炉では、構造が基本的に異なること及び設計・製作・品質管理等の面でも異なることから直接設計に反映するものは少ないが、高温ラプチャ現象の解明及び事故拡大の限界性についてPFR及びSuper-Noahで実施されている試験の調査・検討が必要である。

c. 支配的な因子の検討・整理

高温ラプチャの現象を正しく把握し、解明するために、高温ラプチャの発生のメカニズムと、防止の方法を整理し、影響する支配的な因子について整理した。

(a)高温ラプチャの発生

高温ラプチャの発生に関しては以下の事象シーケンスが考えられる。

- ①小・中リークの発生
- ②中リーク以上のリーク継続（小リークからの破損伝播含む）
- ③伝熱管周りの広範な高温ジェット（領域）の形成
- ④伝熱管の温度上昇→過熱（オーバーヒートING）
- ⑤伝熱管の高温内圧ラプチャの発生

この高温ラプチャの発生は図7.1-1に示すように、約100g/s以上の中リーク域で問題となり、数秒から数十秒で破損を生じる可能性がある。しかしながら、高温ラプチャを生じているデータはほとんどwithout water flowのものであり、高温ラプチャの発生の有無を確認するには、実際の水側条件を模擬した状態での伝熱管の温度上昇確認試験が必要である。約100g/s以上の中リーク域で高温ラプチャが生じるのは、これ以下のリーク率では周囲のNaの流れによる冷却効果と、図7.1-2に示されるようにNa／蒸気モル比の値が大きくなり、反応領域温度が低くなるためと考えられる。

(b) 高温ラプチャの防止

図7.1-1から推定すると、高温ラプチャを防止するには、小リークからの破損伝播を考慮（最も厳しい場合では約30秒）しても、少なくとも100秒以内に検出する必要がある。このためには、部分負荷運転を考慮すると水素計では前記時間内でリークを検出することは困難であり、音響計による迅速な検出が必要である。

一方、高温での伝熱管のラプチャは、伝熱管の材質とフープ応力に依存している。このフープ応力を低減するためには水・蒸気側の迅速なブローが必要である。EFRでは、定格（185bar）から100bar以下に5秒まで、10barまで20秒で減圧するとの報告もあり、管内圧力を迅速に低減しフープ応力の低下を図っているものと考えられる。

また、動燃殿で実施された伝熱管温度・応力評価及び昨年度の改造予備設計で実施した伝熱管温度評価の結果では、水側がある程度（解析では30%）流れていれば冷却効果は維持され、伝熱管温度は飽和する傾向が得られている。このことから、伝熱管の過熱防止には冷却水を何らかの形で維持しておけば良く、この運用法について検討する必要がある。

以上の点を整理すると、高温ラプチャに対する対策としては、以下の項目が考えられる。

- ①小・中リークの迅速な検出
- ②検出後の水・蒸気側の迅速な減圧（ブロー時間の短縮）
- ③伝熱管の過熱防止→伝熱管冷却の維持

また、欧州でのSG型式は直管型であり、伝熱管径及び肉厚が我国のもの比べて小さい。肉厚が薄いことは、高温ラプチャの観点からは厳しくなるため、これら伝熱管仕様の影響についても確認する必要がある。

- ④伝熱管仕様の選定

(c) 高温ラプチャの支配因子

(a)、(b)の結果から、高温ラプチャの影響する支配的因子とこれらに関連するパラメータをまとめると次のようになる。

i. 反応領域温度

- ①Na温度
- ②Na-水反応モル比

- ・リーク率、リーク口径、リーク位置、水側圧力
- ・Na側流量、流況

③反応時圧力

図7.1-2から反応温度はNa側圧力の増加とともに上昇する。

ii. 反応領域の大きさ及び形状

- ①リーク率
- ②伝熱管形状（ヘリカルコイル型、直管型etc.）
- ③Na側流量、流況

iii. 伝熱管温度上昇

- ①伝熱管仕様
 - ・構造（1重管、2重管）
 - ・伝熱管肉厚
- ②Na側熱伝達率／温度
- ③水側熱伝達率／温度

iv. 高温・高圧継続時間

- ①リーク検出時間
- ②水側減圧早さ（急速ブロー性能）
- ③水・蒸気側冷却の維持
- ④Na側流量の維持

v. 伝熱管強度

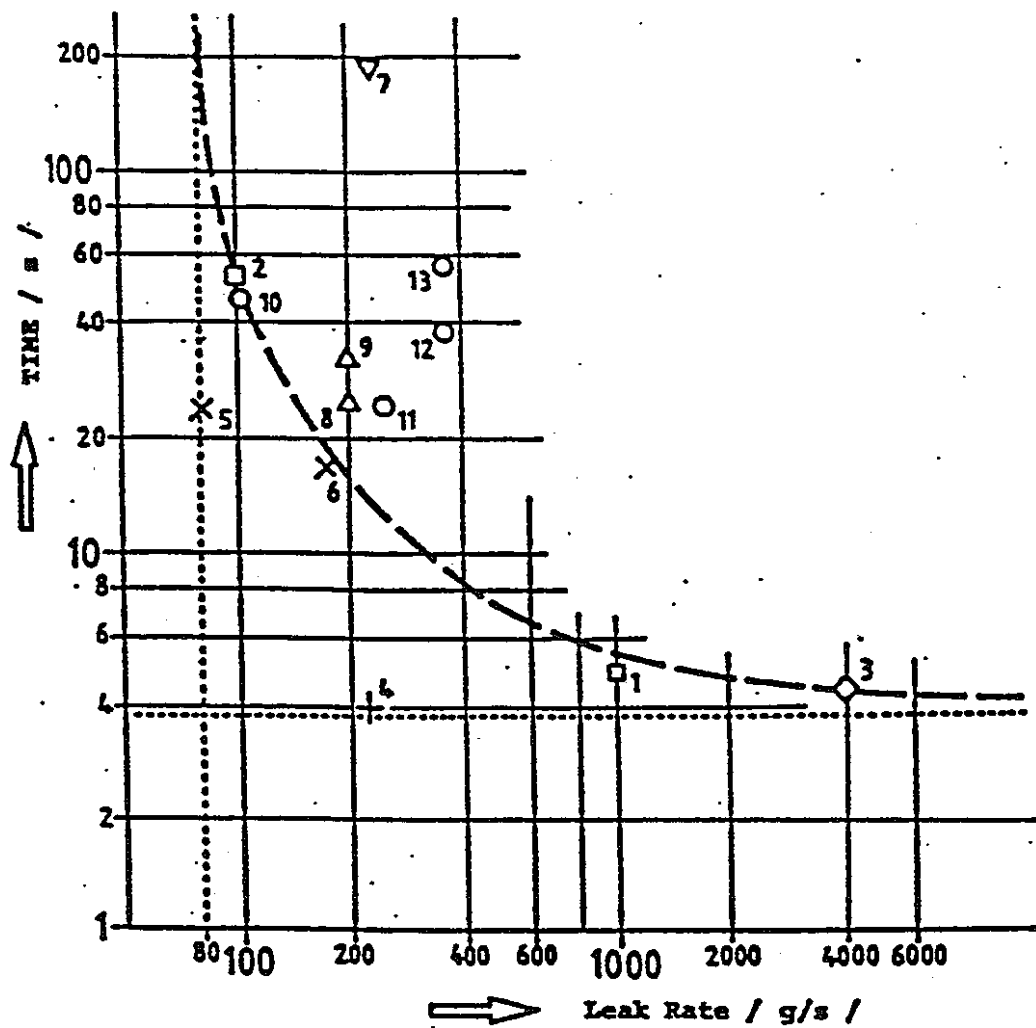
- ①伝熱管構造（1重管、2重管）
- ②伝熱管材料
 - ・超高温短時間／クリープラプチャ強度

図7.1-3に引張り速度をパラメータとした2 1/4Cr-1Mo鋼の引張り強さ及び
伝熱管内部圧力をパラメータとした2 1/4Cr-1Mo鋼の内圧破断試験時間を示す。

- ・超高温でのアルカリ環境腐食耐性（エロージョン・コロージョン）

③伝熱管口径、肉厚（必要肉厚に対する余裕）

以上、改造SWAT-3では、i～vのパラメータが高温ラプチャに与える影響を、要素試験も含めて定量的に把握する。



INTERATOM

$T_{Na}: 325^{\circ}\text{C}$; $p_{Na}: 3-4 \text{ bar}$

- tubes with water flow 2 1/4 Cr
1: pressurized by static water
- ◇ tube without water flow 2 1/4 Cr
- + tube without water flow
Inc. 800
- × tubes with water flow 2 1/4 Cr;
but with preceding wastage

CEA

$T_{Na}: \approx 520^{\circ}\text{C}$; $p_{Na}: \approx 1 \text{ bar}$

- ▽ tube with water flow Inc. 800
- △ tubes without water flow
Inc. 800

UKAEA

$T_{Na}: \approx 450^{\circ}\text{C}$; $p_{Na}: 1.5 \text{ bar}$

- tubes without water flow*
2 1/4 Cr
- * add. 12 tests with water
flow: only damage by wastage

図7.1-1 2次リークから高温ラプチャまでの時間

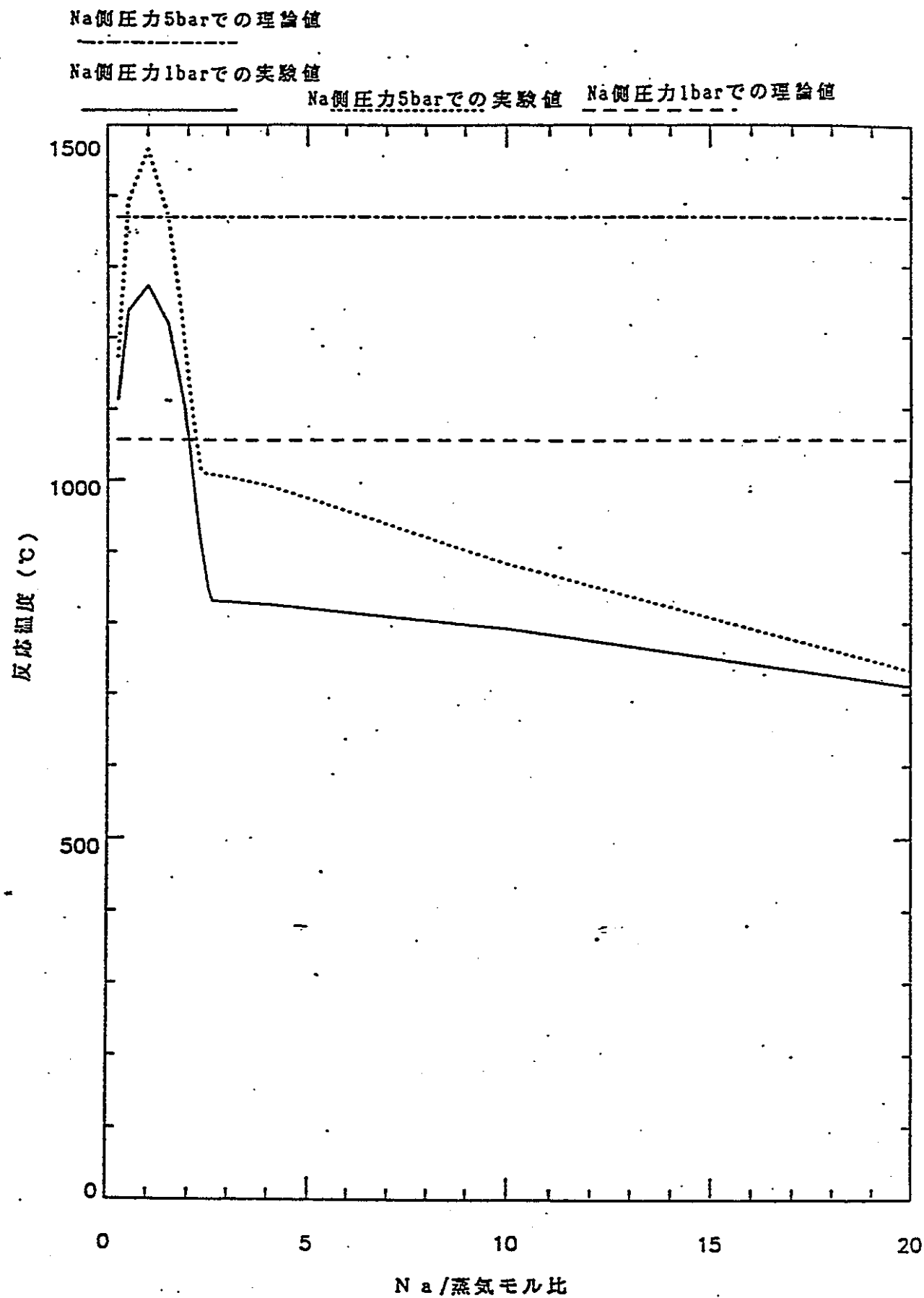
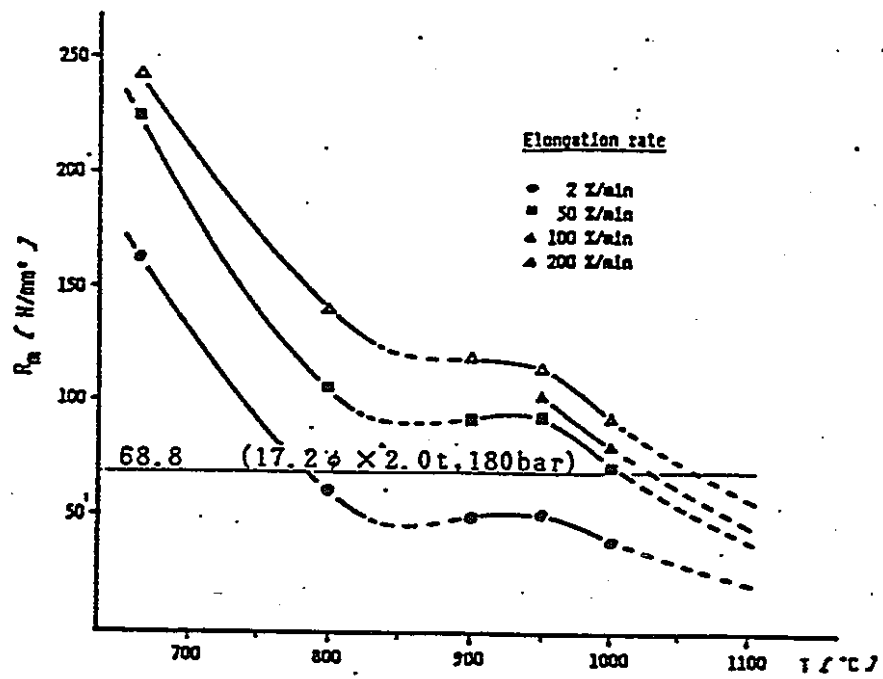
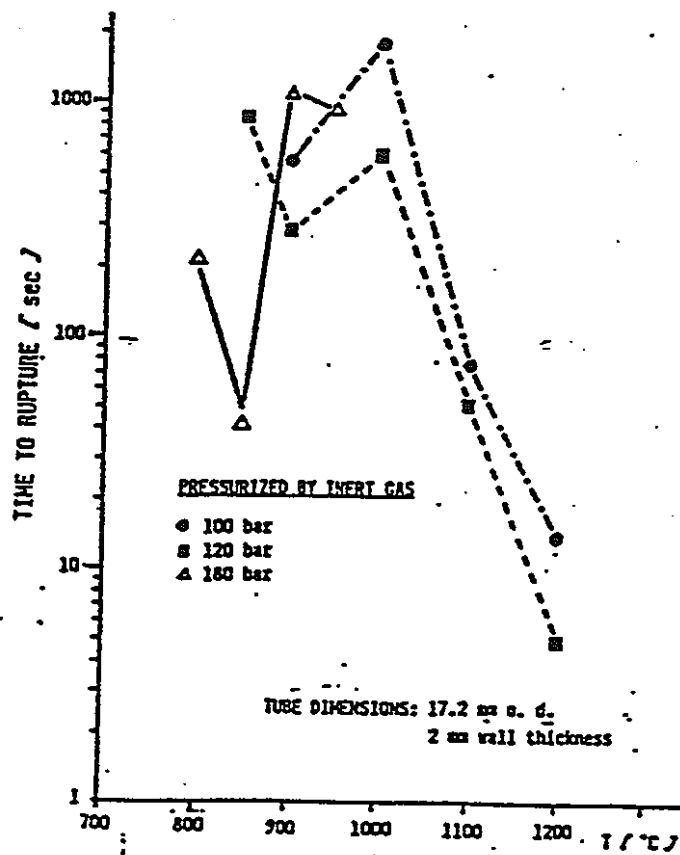


図7.1-2 反応領域温度



2.1/4Cr-1Mo鋼の引張り強さ



2.1/4Cr-1Mo鋼伝熱管の内圧破断試験

図7.1-3 2.1/4Cr-1Mo鋼伝熱管の破断強度

(2) 実証炉体系下での放出系圧力開放特性の確認

実証炉の放出系は、現状ダンプタンク（収納容器兼用）を介しサイクロンセパレータ、大気に到る構成となっている。このため、本系統構成下での圧力開放特性及びNaの分離効率について確認する必要がある。

また、DBLを越える設計基準外リーク事象（暫定的に40本破損を想定）に対しては、SG出口部に接液型ラプチャディスクを設置することも考えられている。この接液型ラプチャディスクの圧力開放特性については、我国に試験データがないことから、実験により確認することが望まれる。

図7.1-4に改造SWAT-3を始めとする、もんじゅ、実証炉及び海外プラントにおける放出系系統構成を示す。改造SWAT-3では、反応容器出口に接液型破壊板を設置し、カバーガス中破壊板のとともに両破壊板の試験が可能なようにしている。なお、接液型破壊板の試験を実施しない時は、当該部をフランジで閉止する計画である。

図7.1-5及び6にSWAC-13Eを用いた11本下部破断時（カバーガス中破壊板のみ）の圧力、温度挙動を示す。最大圧力は反応部で約20ataであり、破断規模にもよるが、BDBL時には両破壊板が開口することを考慮すると、現設計の範囲内に納まると考えられる。

(3) 限界圧力確認試験

多数本破断の状態では、破断点周辺のNaがなくなり、反応点での発生圧力が飽和することが想定され、PFRではこれを確認する試験が考えられている。

このため、従来SWAT-3, RUN-1～7の注水率を越えるリーク率による大リーク試験を実施し、発生圧力の上昇を確認する。

また、現状反応容器Na入口配管に設置している流路切り換え弁を調整し、反応領域のNa/水・蒸気モル比を変え、前記反応部の発生圧力と反応温度への影響を確認する。

(4) 反応生成物の移行確認

(1)～(3)の試験では、従来SWAT-3の試験と異なり、実機のNa流動（30%）を考慮した試験を実施するため、反応生成物の移行挙動をより正確に確認でき、解析コードとの検証が可能である。

(5) 音響検出系の開発

(1)で述べたように、高温ラプチャを防止する一つ的手段として、小・中リーク域での音響計を用いた迅速なリーク検出が必要である。この音響検出法としては、パッシブ法及びアクティブ法の二つの方式が考えられる。これらの検出器（受信器、発信器）を反応容器に設置し、反応時の音響伝播特性を取得するとともに、デジタル信号処理システム及び音響伝播解析手法の確認を行う。

これらの検出器の基数及び設置位置案を図7.1-7及び8に示す。

(6) 二重管SGのNa-水反応現象の解明

FBRの経済性向上のためには、高信頼性二重管SGの開発は必須である。しかしながら、万一初期リークを想定した場合、二重管SGでのNa-水反応現象の確認及びDBLをどうするかは大きな課題である。これらの解決のために、二重管の特徴（厚肉及び界面の存在等）を活かし、以下の点をSWAT-3で確認することが可能である。

- ・ウェステージにより貫通リークは生じないこと。
- ・高温ラプチャは発生しないこと。

試験としては、反応容器の管束部を2重管仕様に変更し、試験装置に設置する。

図7.1-9に改造SWAT-3の必要性のまとめを示す。

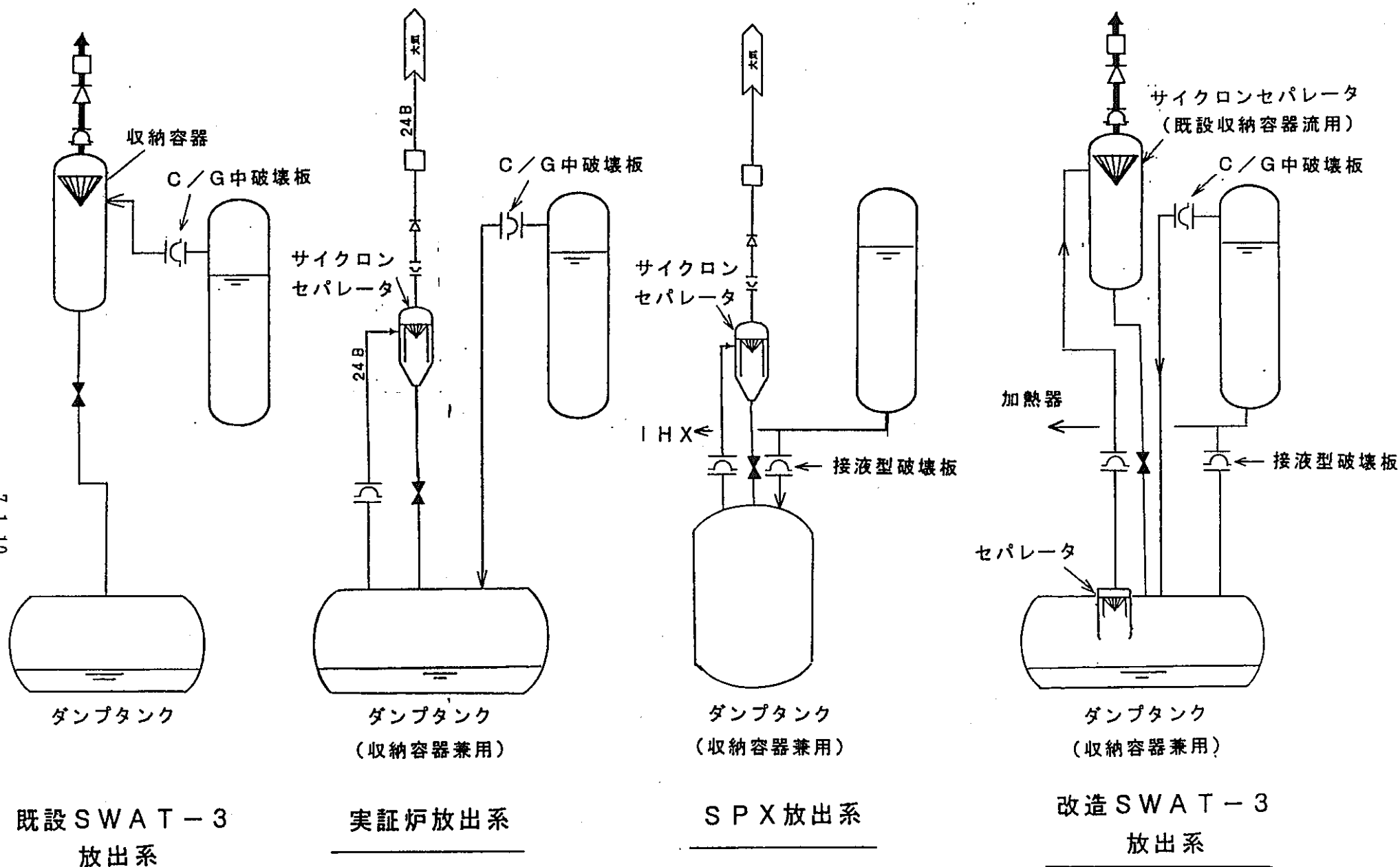


図 7. 1 - 4 放出系系統構成

11-11

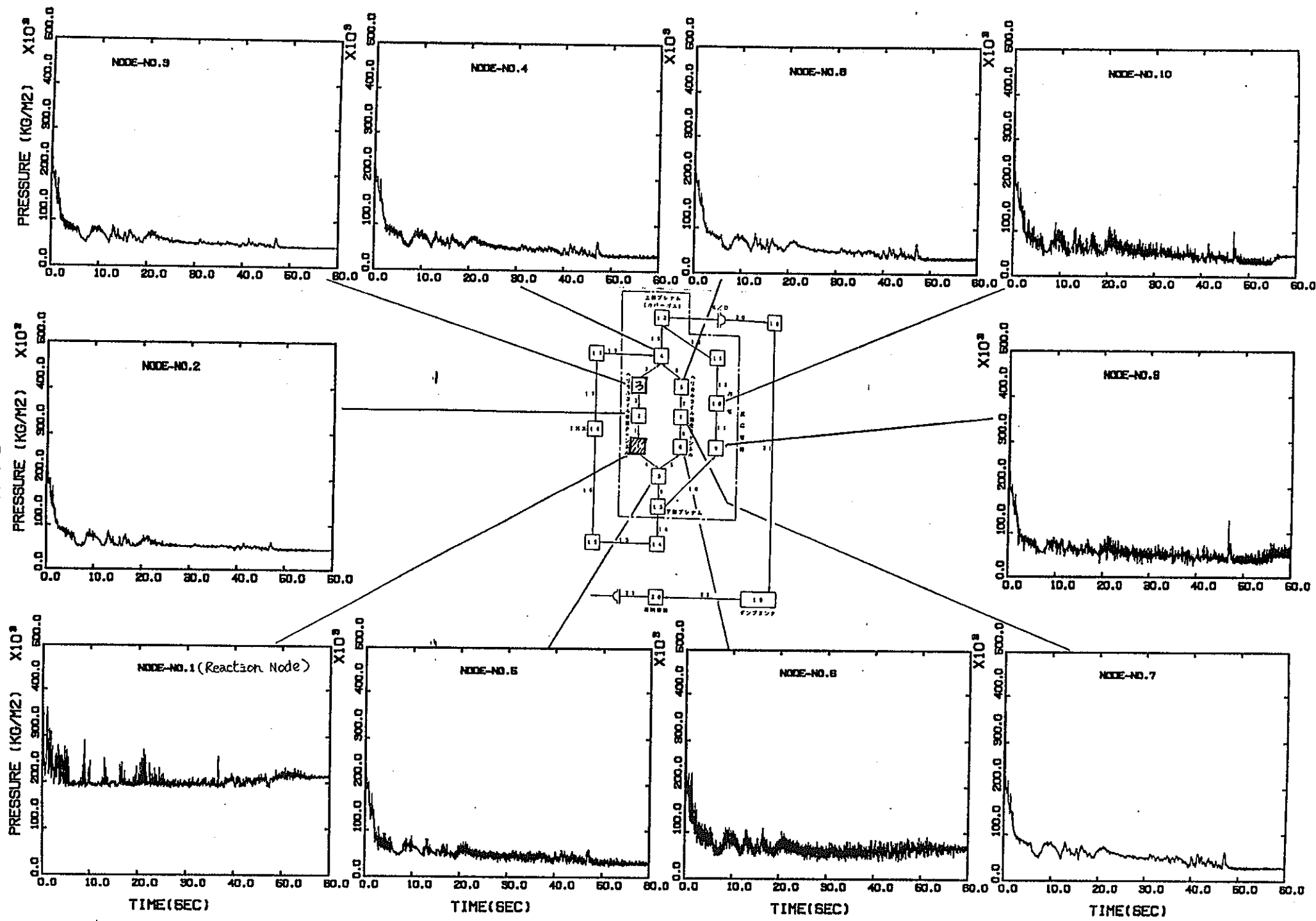


图7.1-5 11本破断時準定常压力挙動（下部破断）

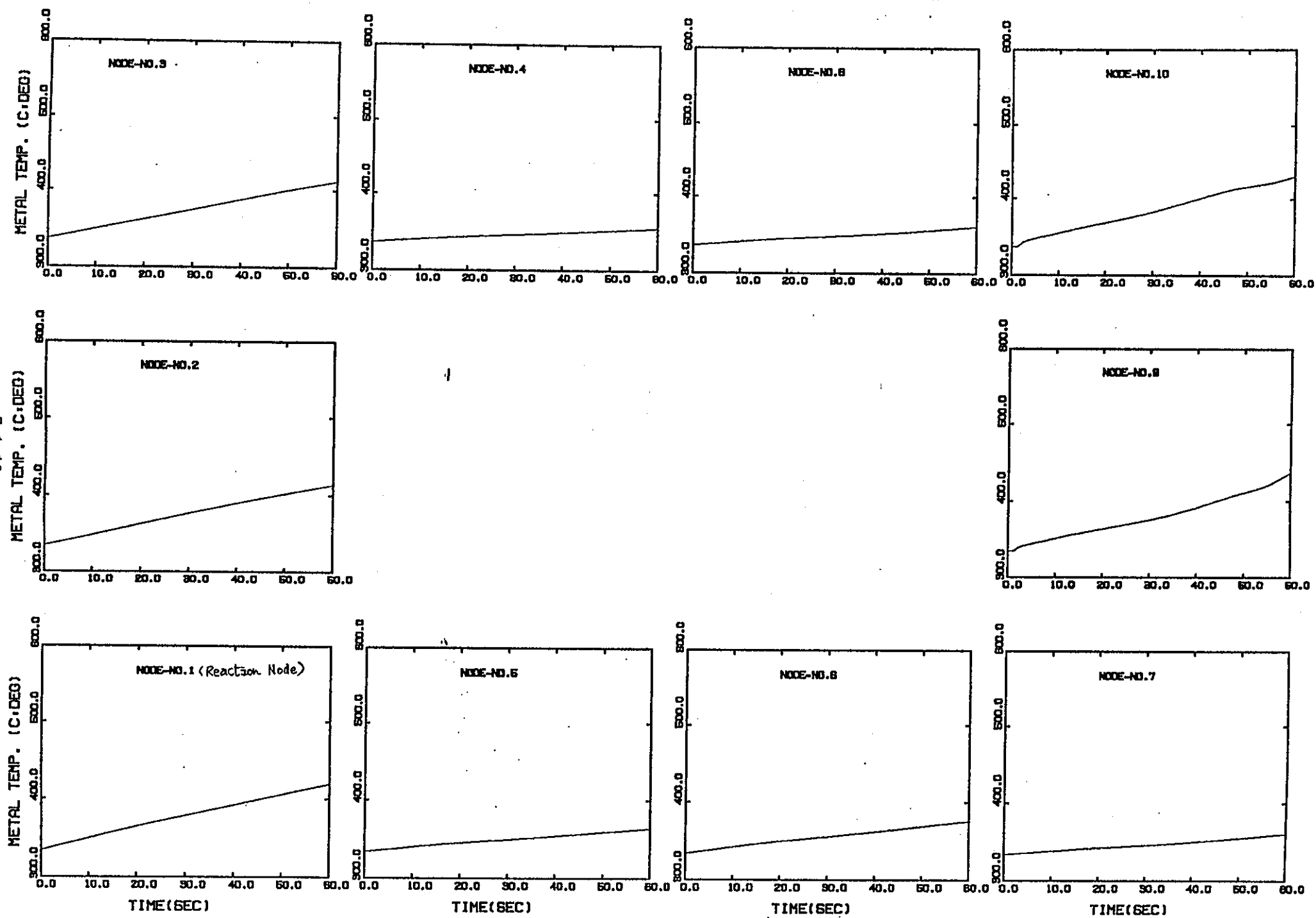


図7.1-6 11本破断時各部温度挙動（下部破断）

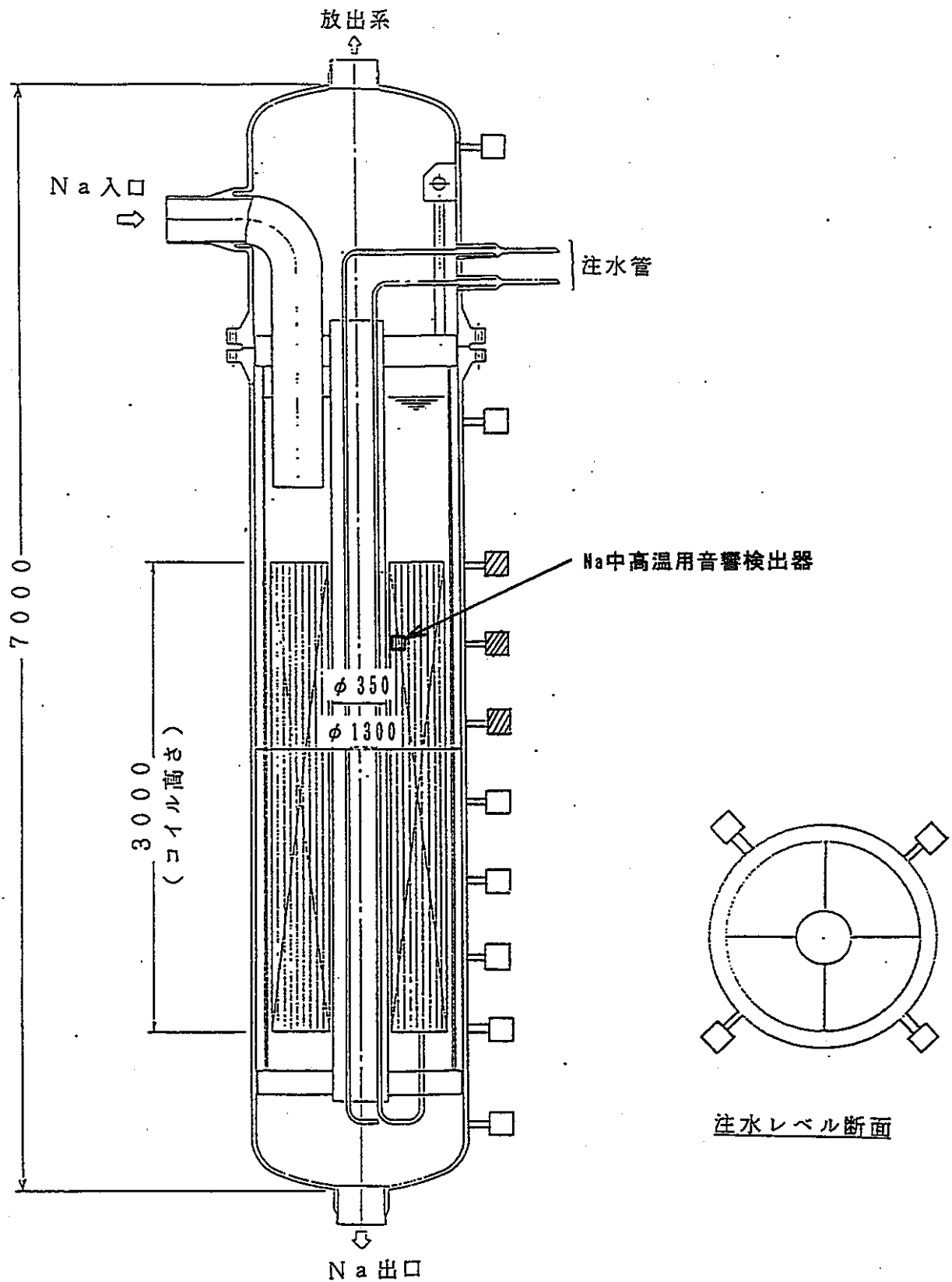


図7.1-7 反応容器への検出器設置位置案（パッシブ法）

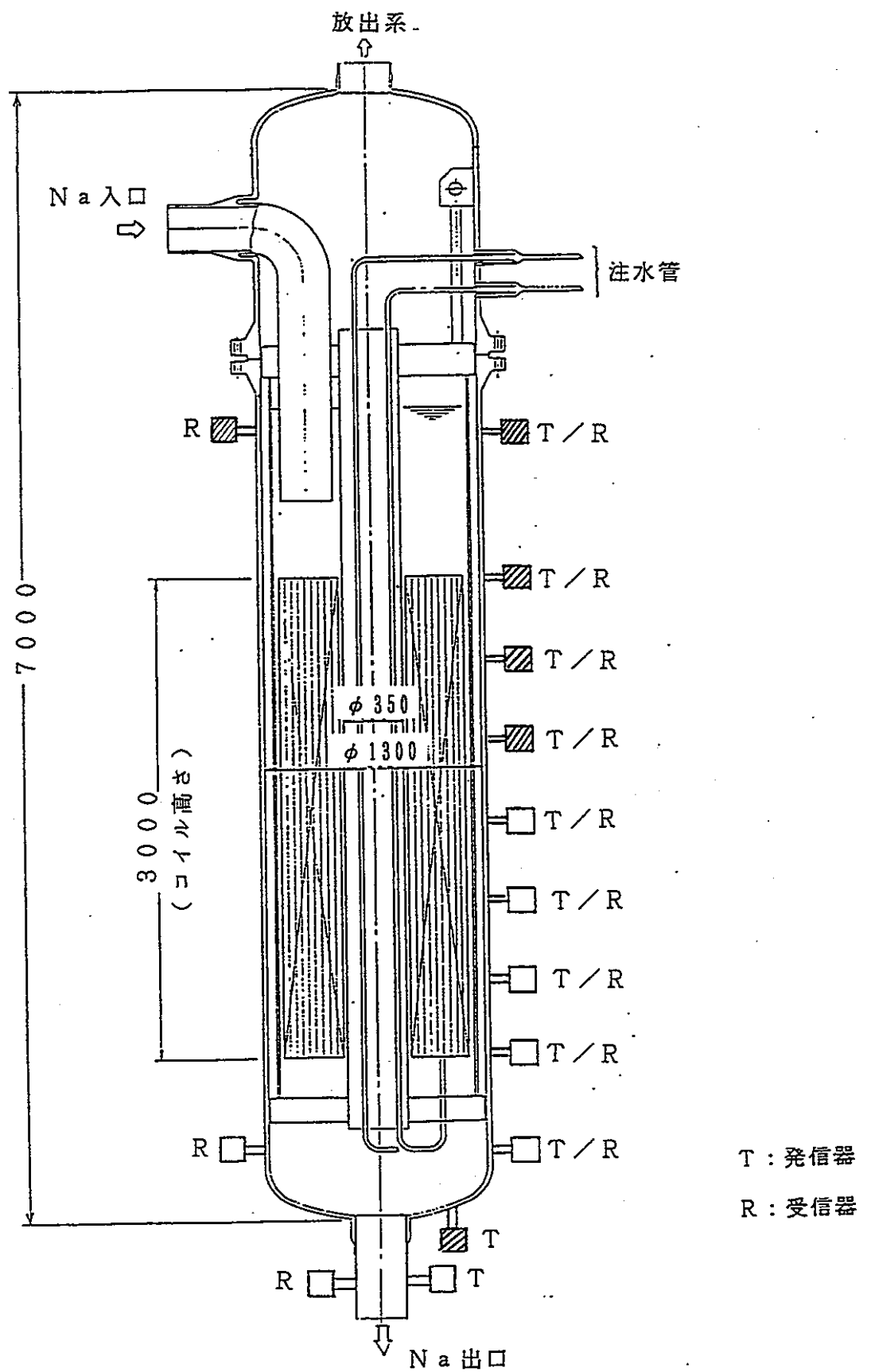


図7.1-8 反応容器への検出器設置位置案（アクティブ法）

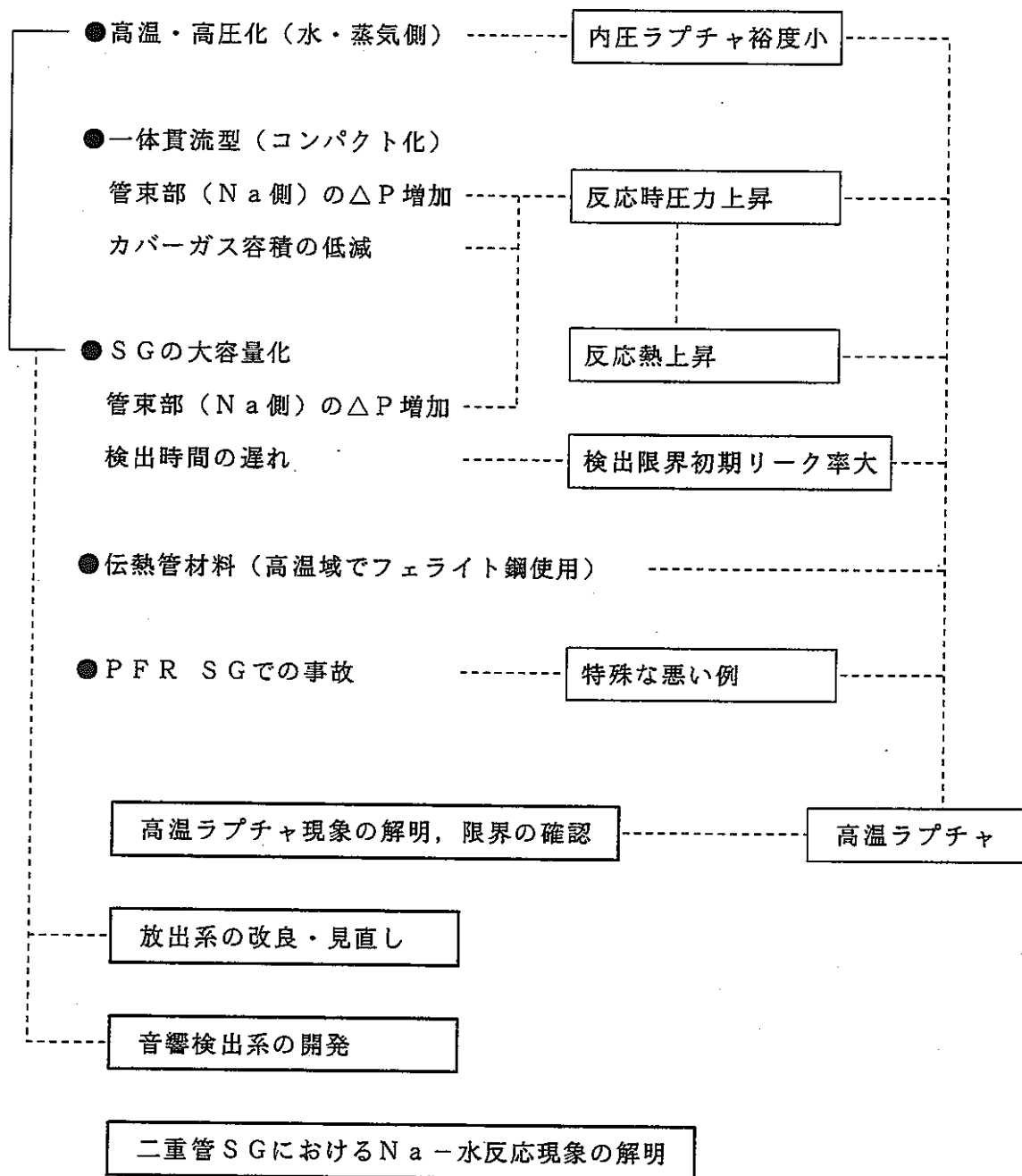


図 7. 2 - 9 改造SWAT-3の必要性

7.1.3 Na-水反応試験装置への要求条件

(1) 影響因子

Na-水反応試験装置に要求される因子を整理すると、まず前節で述べた高温ラプチャに影響する主な因子として：

- ①運転条件では蒸気条件の高温・高圧化に伴うナトリウム入口温度、蒸気出口温度及び圧力
- ②一体貫流化に伴うSG構造として伝熱管材質、伝熱管寸法（外径、肉厚、ピッチ）、伝熱管構造（1重管／2重管）並びにカバーガス空間の有無が挙げられる。

次に、基盤技術としての放出系系統の改良・見直し因子として：

- ③ダンプタンクでの分離機能の有無並びに接液ラプチャディスクの有無

更に検出時間の縮小化に寄与する因子として：

- ④音響検出系の検出特性確認

が挙げられる。

これらの因子に影響を与える、実証炉及び将来炉の設計仕様について記載すると、下記のようなになる。

（数値は実証炉～将来炉の順で示す）

- | | | |
|-------------|------------------------------|--------------|
| ・ナトリウム入口温度 | : 520℃ | ～540℃（但し未確定） |
| ・蒸気出口温度／圧力 | : 497℃/175kg/cm ² | ～（基本的に変わらず） |
| ・伝熱管構造 | : ヘリカルコイル型1重管～同左及び2重管 | |
| ・伝熱管材質 | : Mod.9Cr-1Mo鋼 | ～（変わらず） |
| ・伝熱管寸法 | | |
| （外径／肉厚／ピッチ） | : 31.8/3.9/50mm | ～31.8/*/50mm |

（*厚くなる方向）

- | | | |
|----------|---|------|
| ・液面の有無 | : 有液面 | ～有液面 |
| ・放出系系統構成 | : ・ダンプタンクでのNaミスト分離機能の有無
は今後選択される
・カバーガス中からの放出がレファレンスでありナトリウム配管からの放出（接液型ラプチャは今後選択される | |

（図2.7-4にもんじゅ、実証炉並びに海外プラ

ント等における放出系系統構成を示す)

- ・リーク検出系設備
- ：・水素検出計 ～水素検出計
- ・音響検出計（**） ～音響検出計
- （**パッシブ法及びアクティブ法設置の方向
で検討中）
- ・圧力計 ～圧力計
- ・ラプチャディスク ～ラプチャディスク
- 破裂検出器 破裂検出器

(2) Na-水反応試験装置への要求条件

昨年度の予備設計結果におけるNa-水反応試験装置（SWAT-3）全体の鳥かん図（含改造範囲）を図2.7-10に示す。

前節で述べた影響因子を、これら試験装置の仕様として反映すると、試験ケース毎に交換する反応容器管束部とその他基本的に交換をしない装置全体について以下のようなになる。

a. 反応容器管束部

(a) 伝熱管構造

2重管のほうが水リーク率が小さく、伝熱管も厚肉のため高温ラプチャは発生しにくいため、ヘリカルコイル1重管をレファレンスとし、試験の目的に応じて確認のために二重管のケースを加える。

(b) 伝熱管材質

Mod. 9Cr-1Mo鋼

(c) 伝熱管寸法

外径／肉厚／ピッチは、31.8/3.5/50mm

（肉厚は薄肉のケースで包絡される。また、腐食代分を削する）

(d) ナトリウム入口温度

520℃～540℃で、対象とするケースの実機運転温度にあわせる。

(e) 蒸気出口温度／圧力

497℃/175kg/cm²（上部破損の試験条件）

(f) 給水温度

240℃（下部破損の試験条件）

(g) 液面の有無

有液面

b. 装置全体（反応容器胴部を含む）

（a）全体の設計温度・設計圧力に影響する条件

① ナトリウム入口温度

540℃（設計温度は555℃とする。尚、既設は535℃であり、流用する設備については健全性の再評価を実施する。また、反応による上昇温度が設計温度を越える場合の扱いとして、短時間の強度評価を実施する）。

② 蒸気出口温度／圧力

497℃/175kg/cm²

（b）主要設備への要求条件

① ダンプタンクの機能

- ・系統内Naの充填・ドレン（系統内Naの量は、試験中のNa入口温度低下を防ぐために、反応容器への注水開始から伝熱管の冷却終了までのNaの一巡量より多くする）
- ・カバーガス中からの放出ではダンプタンクでのNaミスト分離機能は有りとし、無しの両ケース可能とする。
- ・ナトリウム配管からの放出では、ダンプタンクにNaミスト分離機能をもたせたケースのみとする。

② 水加熱器

- ・注水管及び隣接管の内部水側条件は、実機の破断点条件（上記過熱蒸気条件及び給水条件）にあわせる。
- ・注水規模は、高温ラプチャに対して厳しいと考えられる数100g/秒～数1000g/秒を対象とする。
- ・反応容器への注水開始から水系ブローの開始までの間、隣接管の圧力を175kg/cm²以上に保つ容量とする。

③ 水ブロー系

主として水系ブロー時間を実機相当にするものとする。（圧力減衰挙動及び流量減衰挙動は適切な範囲でなりゆきとする）

④ Na加熱器

系統のNa温度を520℃まで昇温できることをレファレンス条件とし、540℃まで昇温させる試験ケースに対しては、オプションとして設備追加するか、

既設のNa加熱器での加熱能力を再評価して流用するものとする。

⑤ Na 循環ポンプ

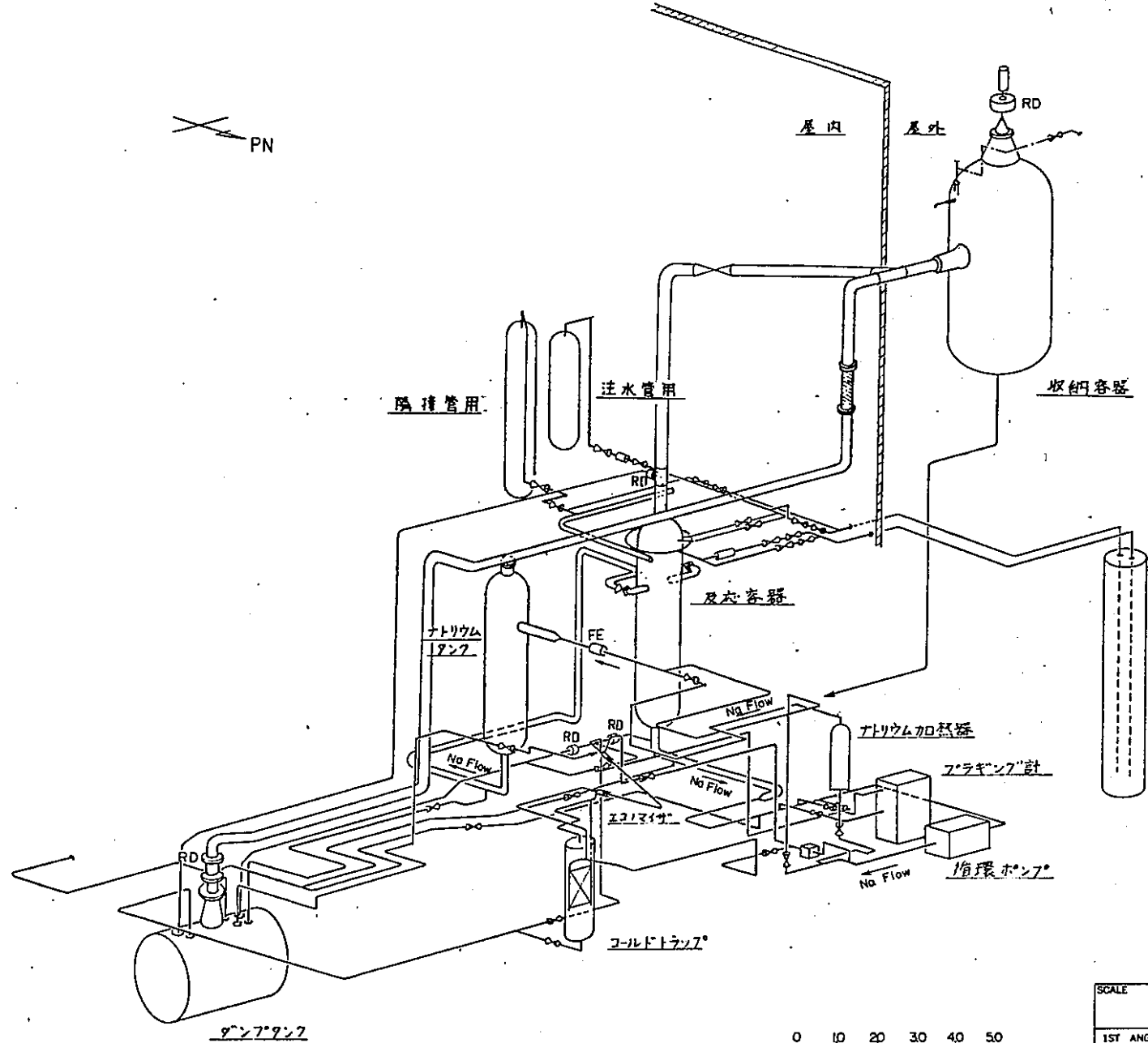
反応容器管束部のNa流速として、高温ラプチャに対して厳しいと考えられる30%出力運転時流速を与えられるものとする。

⑥ 音響検出系

音響検出器の設置位置（導波棒位置）と点数は、基本的にはリーク位置を考慮の上、余裕をもたせた設計とする。

MARK	PARTICULARS	MATERIAL	NO. REQUIRED		MASS(kg)		REMARKS
			WORKING	SPARE	PER ONE	TOTAL	

記号説明 RD: 破損板
FE: 流量計



Toshiba 株式会社 東芝
TOSHIBA CORPORATION
TOKYO JAPAN

SCALE	動力炉・核燃料開発事業団	機器、配管アイソメ図	
1ST ANGLE PROJECTION	SWAT-3 基本設計		
3RD ANGLE PROJECTION			
IHI 開発プラント設計部 原子力事業部		JOB NO. 5535-349 DRAWING NO. 411K021	06CA0866 REV. 0.1

図 7. 1 - 1 0 SWAT - 3 全体図

0 10 20 30 40 50
Scale (m)

7.1.4 要素試験項目の抽出

S G の N a - 水反応に関する基盤研究としては、S W A T - 3 を用いた全体実証試験とは別に、下記要素試験が必要である。

(1) 高温ラプチャ評価手法の確立

高温ラプチャ現象では、注水量と反応領域の大きさ、反応ジェットによる伝熱管の加熱状況、同じく損耗状況、伝熱管内水による冷却状況／加圧・減圧状況並びに伝熱管の超高温短時間クリープ破断特性等が影響するため、これらを組み込み総合的に評価する手法を確立する必要がある。

(2) 反応ジェットによる伝熱管の損耗データの整備

伝熱管材料が、原型炉用 S G と異なる一体貫流型 S G 材料としての Mod. 9Cr-1Mo 鋼となるため、反応ジェットによる伝熱管の損耗データ（特に中リーク域を整備する必要がある。

(3) 反応ジェットに及ぼすナトリウム圧力、モル比の効果

ナトリウム圧力並びにモル比が、反応ジェットの温度、領域広さに及ぼす効果を S W A T - 1 等の要素試験で体系的に整備する必要がある。

(4) 伝熱管の超高温短時間クリープ破断強度

高温ラプチャ現象を要因別に分解した場合、800℃以上に曝される Mod. 9Cr-1Mo 鋼伝熱管の短時間（数秒～数分）クリープ破断強度は、材料試験的に採取可能であるとともに、基本的な要因であるため、これを体系的に整備しておき評価体系に反映する必要がある。

(5) 音響検出計の開発

高温ラプチャが懸念される中リークに対しては、S G 内にて発生する漏洩音を検出する音響検出計が有効である。従来は、この音響センサーとして極低周波と高周波のセンサーしかなかった。このため数 KHz から数十 KHz の比較的低周波帯域を検出対象とした直付けが可能な耐高温音響センサーの開発を行う事により、高 S / N 比の検出が可能となる音響検出センサーの開発を進める必要がある。

7.2 音響検出計設置検討

(1) 概 要

音響検出計はその検出方式によりパッシブ法とアクティブ法に分類されるが、いずれの方式にも開発課題があると同時に中リーク規模での有力な検出手段としてその性能が期待されている。ここでは、改造SWAT-3の試験によりそれぞれの検出方式を念頭に置いて音響検出計開発にあたって有効となるデータを採取することを検討する。

(2) 音響検出計試験における評価項目の検討

パッシブ法及びアクティブ法のそれぞれの検出方式に対して、改造SWAT-3による音響検出計試験において評価すべき項目について検討した結果を以下に示す。

a. パッシブ法に対する評価項目

パッシブ法は、伝熱管破損時の水リーク音を検出することによりリーク判定を行う方法であるが、検出対象とする周波数領域によって下記特徴がある。

・低周波領域におけるSG水リーク音響検出上の特徴

- ① SG水リーク音響の減衰が小さい。
- ② SG内部を伝熱管の存在を無視した均質媒体とみなせる。
- ③ 胴壁の運動が慣性支配となる。

・高周波領域におけるSG水リーク音響検出上の特徴

- ① SG水リーク音響検出上の障害要因となるバックグラウンドノイズのレベルが小さい。
- ② リーク位置同定精度を高くできる。
- ③ SG内部の反響を無視することが可能である。(内部構造物による共鳴周波数より高い周波数帯域を利用。)

現段階では検出対象とする最適な周波数領域は明確になっていないが、本試験において評価すべき項目について以下にまとめる。

(a) 水リーク音特性

パッシブ法においては、水リーク音の検出感度を向上させるために検出信号の時系列波形に対して時間相関処理等の統計的な処理が必要になる。よって、

水リーク音の特性を把握することが重要であり、本試験において広範囲の周波数領域を対象とした水リーク音検出信号の時系列波形を採取してその特性を評価するものとする。

(b) 水リーク音伝播特性

水リーク音がSG内部構造物あるいは発生する水素ガス気泡の影響を受けてどのように伝播するかを評価することも重要である。

よって、リーク位置に対して広範囲の位置における検出信号の時系列波形を採取しその強度と周波数特性を把握するものとする。

図7.2-1に示すSG体系での音響シミュレーション例^{*1}（50kHz以下のホワイトノイズを音源にした場合）によるとSGの内部構造による共鳴が10～20kHz以下の低周波領域に発生することがわかる。このため、水リーク検出のための相関処理を行う場合には10～20kHzより高い周波数領域のリーク音を利用した方が検出精度が向上すると思われる。

従って、音響検出計試験では、リーク位置でのリーク音を直接測定することにより周波数特性を把握し、20kHz以上の高周波成分がリーク音としてどの程度の強度で含まれるのかを確認するとともに、リーク発生時において下胴の外表面（または導波棒の表面）の広範囲の位置における検出信号の時系列波形を採取しその強度と周波数特性を把握することが重要である。

水リーク音を直接計測する音響検出器としては、リーク点近傍のナトリウム中に設置する必要があることから、耐熱性に優れたニオブ酸リチウムの単結晶を用いた音響検出器を使用するものとする。現状開発されているニオブ酸リチウムの単結晶を用いた音響検出器の構造及び温度耐久性試験結果を図7.2-2及び図7.2-3に示す。同検出器の耐熱性は500℃の高温大気中で1年以上の耐久性を有することが確認済みであるが、共振周波数が約500kHzであり数十kHzから200kHz程度の周波数領域を測定するためには、より共振周波数を下げる等の改良が必要である。

注(*1) SG胴外面における離れた2点間の計測点における加速度信号の相関処理結果であり、2点の計測点とリーク点の経路差に相当する 2.5×10^4

[sec]の位置にピークが現れている。

(c) バックグラウンドノイズ特性

バックグラウンドノイズは、パッシブ法によるSG水リーク音響検出を行うにあたっての阻害要因となるものであり、SG内部の水・蒸気あるいはナトリウムの流動音、水の沸騰音を始め多くの要因が上げられる。これらは、プラントの運転中に長期間にわたるデータ採取を行い評価することが必要であるが、本試験においては改造SWAT-3におけるバックグラウンドノイズが水リーク音検出特性に与える影響を評価するため、広範囲の周波数領域を対象としたバックグラウンドノイズの時系列波形を採取するものとする。

(d) 検出器設置及び信号処理方法

上記(a)～(c)にて得られた知見をベースにして、実証炉蒸気発生器における中リーク規模の水リーク検出をパッシブ法により精度よく実施可能とするための検出器の設置個数・位置及び信号処理方法等についての検討を行う。

b. アクティブ法に対する評価項目

アクティブ法は蒸気発生器内部に対して常時音響信号を発信し、伝熱管破損時のNa-水反応により発生する水素ガス気泡による音響信号の減衰を検出することによりリーク判定を行う方式である。音響信号の発信器と受信器の設置については図7.2-4に示した概念ケースが考えられているが、本試験にて評価すべき項目について以下にまとめる。

(a) 発信音透過特性

アクティブ法では、発信器からの音響信号が蒸気発生器内部を通過し検出器で観測されるまでの透過特性を明確に把握することが水リーク検出にあたっての前提条件になる。これは、実証炉蒸気発生器を対象としてその特性を評価することが必要であるが、本試験では上記概念ケースを想定した発信器と受信器の組み合わせに対して透過特性を評価する基礎データを採取するものとする。

このために、発信音透過特性試験に先だって音響シミュレーションによる透

過特性の評価を行い、透過効率及び水リーク検出性能上から最適な周波数領域を予想することにより発信音透過特性試験で使用する音響検出器（発信用と受信用）の周波数を設定するものとする。

音響シミュレーションの結果に基づき設定された異なる周波数の複数の音響検出器（発信用と受信用）を用意し、透過効率及び水リーク検出性能上から最適な周波数を評価するものとする。

尚、発信用の音響検出器へ印加する信号としては、以下に示すようにM系列信号と単一周波数の連続信号を使用する2種類の方式を行い比較評価するものとする。

① M系列信号を使用する方式

M系列信号は非常に長周期のランダム信号列であり、M系列信号を一定周期で発信し、その都度受信信号との間で相関処理を行うことにより感度向上を図ることが可能となる。このため、SGの内部構造や温度ゆらぎ等による音波強度の減衰に対して非常に効果的であると考えられる。

M系列信号による相関処理では、図7.2-5に示すように、処理結果として単一パルスが超音波の伝播時間だけ遅れた位置に立ち上がるため、パルスのピーク値を周期的に観察することにより水リークで発生した気泡による透過波の減衰を確認することができる。また、他にも以下に示す特長を有している。

- 超音波信号の伝播時間の計測ができるため、超音波の透過信号の同定が可能となりSG内の構造物等による反射波等によるノイズの除去が容易にできる。
- M系列信号データ長を大きくすることにより透過信号の感度向上を図ることができる。

② 単一周波数の連続信号を使用する方式

単一周波数の連続信号を使用する場合も、M系列信号の場合と同じ相関処理を行うことが可能である。この場合は処理結果が連続的な単一周波数の連続波となるため、その振幅値を連続的に観察することにより水リークで発生した気泡による透過波の減衰を確認することができ、以下に示す特長がある。

- 連続信号による測定が可能となるため透過特性の経時変化が評価しやすい

い。

- 発信信号が単純であるため周波数変更等の対応が比較的容易にできる。

試験にあたっては、①のM系列信号を使用する方式と②の単一周波数の連続信号を使用する方式の2種類の方式について発信音透過特性の比較評価を行い、適用性の評価を行うものとする。

尚、本試験は水リーク発生前に採取するため、Na-水反応試験とは切り離して実施する。

(b) 水リーク発生時発信音減衰特性

上述した発信音透過特性と同様に①のM系列信号を使用する方式と②の単一周波数の連続信号を使用する方式の2種類の方式に対して水リーク発生時に発・受信の音響検出器間の音響信号の減衰特性を評価することにより発信信号に使用するM系列信号長または単一周波数連続信号の最適条件（周波数、発信データ長、計測位置等）を検討評価する。

(c) バックグラウンドノイズ特性

アクティブ法による検出方式の特徴のひとつは発信音の周波数を任意に選定できる点にあり（但し、音響検出器は変更する必要がある）、上述した発信音透過特性が良好でありかつバックグラウンドノイズの影響がより少ない周波数領域をサーベイする必要がある。バックグラウンドノイズは、パッシブ法と同様にプラント運転中のデータを採取し評価することが重要であるが、ここでは改造SWAT-3におけるバックグラウンドノイズデータを参考データとして採取することにより、シミュレーション結果と合わせて最適周波数を設定するものとする。

(d) 検出器設置及び信号処理方法

上記(a)～(c)にて得られた知見をベースにして、実証炉蒸気発生器における中リーク規模の水リーク検出をアクティブ法により精度よく実施可能とするための検出器設置個数・位置及び信号処理方法等についての検討を行う。

(3) 音響検出系試験システム構成の検討

a. 試験実施に当たっての検出器設置について

改造SWAT-3での試験実施にあたって、パッシブ法及びアクティブ法のそれぞれの評価項目に対して有効なデータを採取するために検討した検出器設置位置案を図7.2-6,7に示す。本検討の実施にあたって特記すべき事項を以下にまとめる。

(a) パッシブ法データ採取に対する検出器設置

- ① 対象とする周波数領域により音響の減衰特性は異なってくるが、図7.2-1に示す音響シミュレーション結果によると相関処理結果として得られるピークの幅は、ピークの50%レベルで規定すれば100 μ sec程度となり、この100 μ secに相当する伝播距離が約23cmとなる。

以上の結果より、検出器の間隔をピークの時間幅幅に相当する23cmの2倍以上とすれば、検出器位置の違いによる音波の伝播距離を確実に識別できると考えられるため、SGコイル部軸方向の検出器間隔は従来通り50cmとすることとした。

- ② コイル部軸方向の検出器配置

リーク音伝播の障害要因となるSG内部構造物が検出器までの伝播経路に存在することは好ましくない。よって、伝播経路におけるSG内部構造物を可能な限り少なくするために、注水位置に対して伝熱管支持構造物に挟まれたセクタに対応して軸方向の位置に検出器を配列するものとする。

具体的には、コイル部3000mmに対応した位置に500mmおきに7個を設置し、リーク音がSG内部構造物の影響を受けてどのように伝播するかを確認可能とするため、SG上部（コイル部の上部におけるナトリウム液面の上部と下部に各1箇所）の2箇所とSG下部（コイル部の下部）に1箇所の計10箇所に設置する。

- ③ 注水レベルの径方向の検出器配置

リーク音が伝熱管支持構造物の影響を受けてどのように伝播するかを確認可能とするために管束上部の注水レベルの周方向にも検出器3個追加するものとする。

④ S G内の検出器配置

リーク音源の周波数特性を把握することは、パッシブ法の最適化を行う上で確認すべき重要なデータであるためリーク音を直接計測する音響検出器を注水位置の近傍に2個（1個は予備）設置するものとする。

以上の検討結果より本試験におけるパッシブ法データ採取にあたっては、高／低周波領域のそれぞれに対して検出器設置個数は約15個程度設置することが必要となる。

しかしながら、試験スケジュール及びコストの観点から全ての音響検出器を設置することが不可能であるため、図7.2-6の斜線で示すようにリークレベル近傍の3点に高周波と低周波の計6個の検出器を設置し、詳細評価は音響シミュレーションに同検出器で計測したリーク音とバックグラウンドノイズデータを取り込み評価するものとする。

但し、音響伝播に対する構造物の影響等の評価については水中試験、水リーク音の直接計測による特性評価については、SWAT-1等の小形設備を使用して別途実施する必要がある。

(b) アクティブ法データ採取に対する検出器設置

① 図7.2-4に示した各概念ケースに対する評価を実施可能となるように検出器配列を検討するものとする。

② 注水位置に対して伝熱管支持構造物に挟まれたセクタの軸方向にはパッシブ法と同様の配置で検出器（使用周波数が異なるため、パッシブ法とは別の検出器）を配列するものとする。

以上の検討結果より本試験におけるアクティブ法データ採取にあたっては、図7.2-7に示す位置に14個の検出器を設置することが必要となる。

しかしながら、試験スケジュール及びコストの観点から全ての音響検出器を設置することが不可能であるため、図7.2-7の斜線で示すように図7.2-4に示すケースのうちリーク検出までの遅れ時間が大きくなると考えられるケース②⑤を除外したケース①③④に限定し、6個程度の検出器を設置するものとする。

但し、多様なケースや試験条件を評価するためには、水中試験を別途実施する必要がある。

b. 計測システム

(a) 要求仕様

本試験実施にあたっての計測システムへの要求事項を以下にまとめる。

- ① パッシブ法におけるリーク音特性、リーク音伝播特性及びバックグラウンドノイズ特性を評価するために必要となるデータの採取及び解析が実施できること。
- ② アクティブ法における発信音透過特性、発信音減衰特性及びバックグラウンドノイズ特性を評価するために必要となるデータの採取及び解析が実施できること。また、感度向上のために音響検出器の共振周波数を最高周波数としたM系列信号と単一周波数連続信号が発信可能であり、受信信号との相関処理を高速に行える機能を有すること。
- ③ 試験実施にあたって検出信号RMS値等のモニタが行えること。
- ④ 信号処理方法及び検出特性向上方策等の検討が得られたデータより効率よく実施できること。

(b) 高速デジタル信号処理システム

本試験の実施にあたって、上記要求事項を満足させるための計測システムとして以下のシステム構成及び機能を有する高速デジタル信号処理システムを採用することが非常に有効であると考ええる。

① システム構成

本試験に適用することが有効であると考えられる高速デジタル信号処理システムのシステム構成を図7.2-8に示す。本システムは以下の要素より構成される。

- ・ 信号発・受信器（高速D/A変換器、高感度信号アンプ、大容量電源アンプ）
- ・ A/D変換ボード（大容量メモリ内蔵）
- ・ 並列CPUボード（時間相関処理 他）
- ・ CPUボード（表示処理、マンマシンインタフェース 他）
- ・ VMEシステムラック
- ・ EWS*及び周辺機器

* 波形解析アプリケーションソフトウェアを組み込むものとする。

② 生データ測定・保存機能

広範囲の周波数領域に対して検出信号を高速サンプリングして測定し、波形解析アプリケーションソフトウェアにてデータ解析を行うためのフォーマットに変換して保存可能とする。

・ A/Dコンバータ分解能 10bit

・ サンプル周波数 200KHz/2.5MHz (可変)

③ 高速時間相関処理機能

パッシブ法におけるリーク音検出特性の向上のためには、検出信号の時系列波形に対する時間相関処理等の統計処理に関する評価が重要になる。また、アクティブ法における発信は、信号発・受信器により行うものとし、音の減衰特性はM系列発信信号または単一周波数連続信号と受信信号間の時間相関処理結果に基づく透過エネルギー減衰量により評価することが非常に有効であると考えられる。

時間相関処理は、計算量が膨大になることから数百個のCPUを内蔵した並列CPUボードを使用することにより瞬時に相関処理が可能な構成とする。

本システムでは時間相関処理をデータ測定とあわせてオンラインで実施でき、波形解析アプリケーションソフトウェアにてデータ解析を行うためのフォーマットに変換して保存可能とする。

④ RMS値モニタ機能

各チャンネルへ入力される検出信号のRMS値をEWS画面上に約1秒の更新周期で表示する。

⑤ データ解析機能

保存された生データあるいは時間相関処理データに対して、波形解析アプリケーションソフトウェアにより各種データ解析を実施可能とする。

(4) 音響検出計試験ケースの検討

「試験条件の整理」では実証炉蒸気発生器の伝熱管水リーク時における破損伝播挙動（高温ラプチャ発生の有無を含む）を考慮して選定された設計基準水リーク率（DBL）が妥当であることを試験により総合的に確認するために、運転条件、注水位置・規模、注水継続時間及び接液型ラプチャディスクの有無を試験パラメータとして試験ケースを選定している。

音響検出計試験としては、上記試験の中で注水位置・規模についてのパラメータが有効になると考えられるため（運転条件についてはバックグラウンドノイズに差を与える可能性があるため試験データの採取にあたっては考慮する必要があるが、注水継続時間及び接液型ラプチャディスクの有無については音響検出計試験のパラメータとして影響を与えることはないと考えられる。）、「試験条件の整理」において記載した試験ケースに対応してパッシブ法及びアクティブ法の音響検出計試験として実施するデータ採取について表7.2-1にまとめた。

尚、音響検出計は中リーク規模の水リークの全範囲における破損伝播開始前までの検出が要求されていることから、音響検出計開発にあたって有効となる試験データを数多く採取するために、表7.2-1に示した試験条件の他に10g程度の本来音響検出系に期待されている中リークでのリーク率での試験を追加することが必要である。

但し、リーク率及び注水位置をパラメータとした試験については、水中試験等によって別途実施することが必要である。

(5) 音響伝播特性解析について

パッシブ法及びアクティブ法のそれぞれにおいて、SG水リーク音あるいは発信音がSG内部の構造物や水リーク時に発生した水素ガス気泡の影響をどのように受けながら検出器まで伝播するかについての音響伝播特性の把握は、複雑な構造を有するSGにおけるあらゆる箇所で発生した中リーク規模のリークを検出可能とするために重要である。これは、試験で得られたデータによる評価が必要不可欠であるが、解析的な検討を実施する事も音響伝播特性の体系だった理論的裏付けを得ることができ、さらに外挿性評価技術をサポートする上でも有効であると考えられる。

ここでは、改造SWAT-3による音響検出計試験実施にあたっての音響伝播特性解析について検討した結果を示す。

a. 解析コード及び特徴

パッシブ法及びアクティブ法ともに音響伝播特性解析は時系列的な評価を行うことが必要である。以下に本評価を行うために有効となる解析コード及びその特長の概略に示す。

(a) 解析コード：時系列信号に対する3次元音源重畳法解析コード

(b) 特長：一般的な音響伝播特性解析コードでは複雑な体系に適用した場合マトリックス数が非常に多くなり、さらに時系列的な評価を実施しようとすると膨大な計算時間が必要になる。本解析コードでは下記観点より上述した問題点を回避可能となり、SGのような複雑な体系の音響伝播特性解析を従来より大幅に計算時間を短縮して実施可能となる。

① 境界要素法に比較してマトリックス数を削減可能。

② 任意の時刻での解を初期値より重ね上げなくとも直接導出することが可能。

b. 解析評価（案）

上記解析コードに改造SWAT-3反応容器をモデル化して組み込み、音響伝播特性解析評価を実施する案を以下に示す。

① 試験条件と同等な条件で音響伝播特性解析を実施し、検出器で観測される音響信号を予測評価する。

② 試験で得られたデータと解析結果を比較評価し、必要に応じて解析コードへのフィードバックを行う。

③ 実証炉SGへの外挿及びバックグラウンドノイズデータ等の試験で考慮していないパラメータを反映した解析評価を実施し、実証炉SGの中リーク規模の水リーク検出にあたっての検出特性向上方策を検討する。

表7.2-1 音響検出計試験ケース一覧（案）

ケースNO	水リーク率	注水位置	データ採取
1	約1kg/s	管束上部	パッシブ法（低周波領域）
2	約1kg/s	管束上部	パッシブ法（高周波領域）
3	約0.3kg/s	管束上部	アクティブ法（概念ケース1）
4	約3kg/s	管束上部	アクティブ法（概念ケース2）
5	約1kg/s	管束上部	ケースNO.1～4の試験結果に基づいて設定する。
6	約1kg/s	管束上部	
7	約1kg/s	管束上部	
8	未定		
9	未定		
10	未定		

注） ケースNOは表2.1-3に示した試験ケース及び試験条件に対応するものとする。

S G 胴外面加速度間の相関

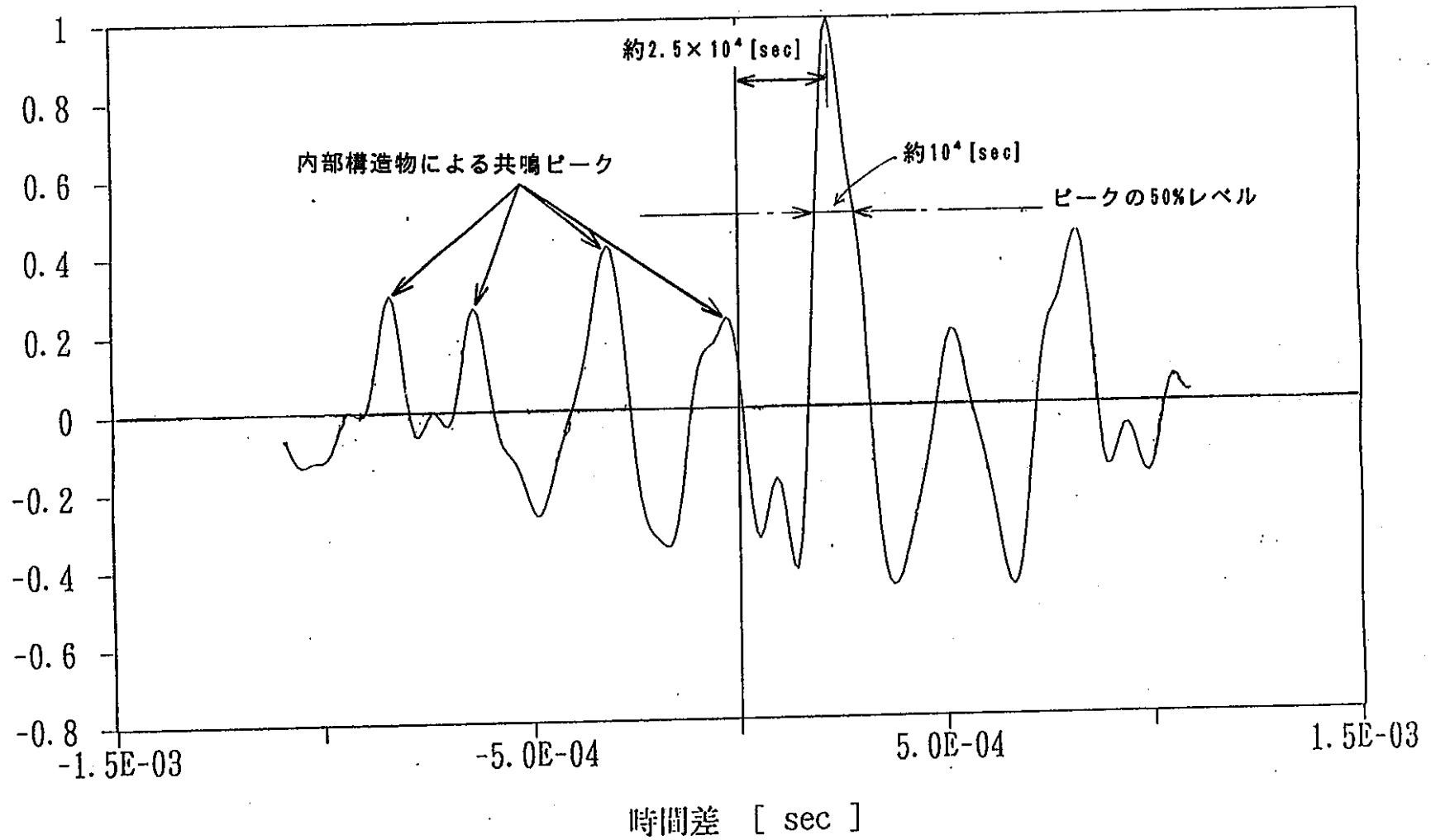


図7.2-1 S G体系での音響シミュレーション結果例

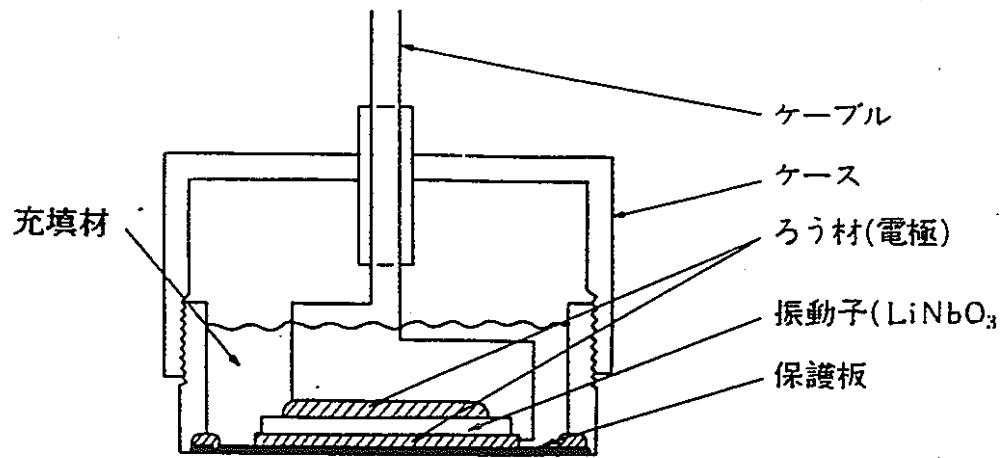


図7.2-2 耐熱性音響検出器の構造例

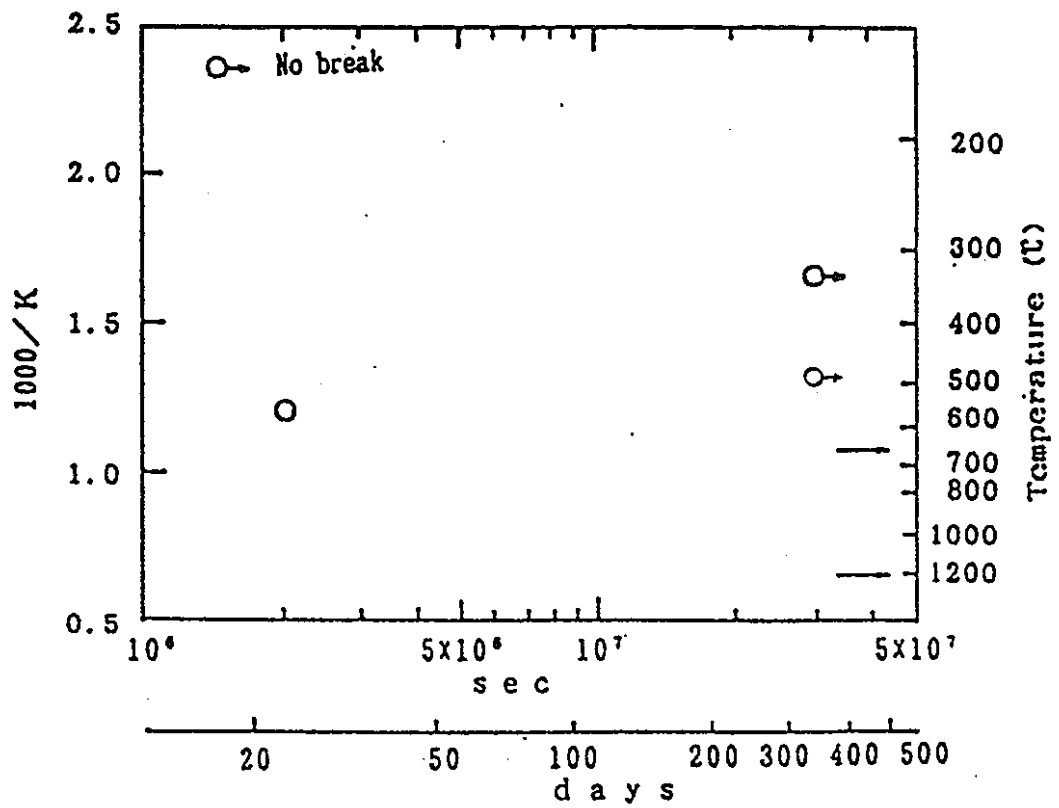


図7.2-3 耐熱性音響検出器の高温耐久性試験結果

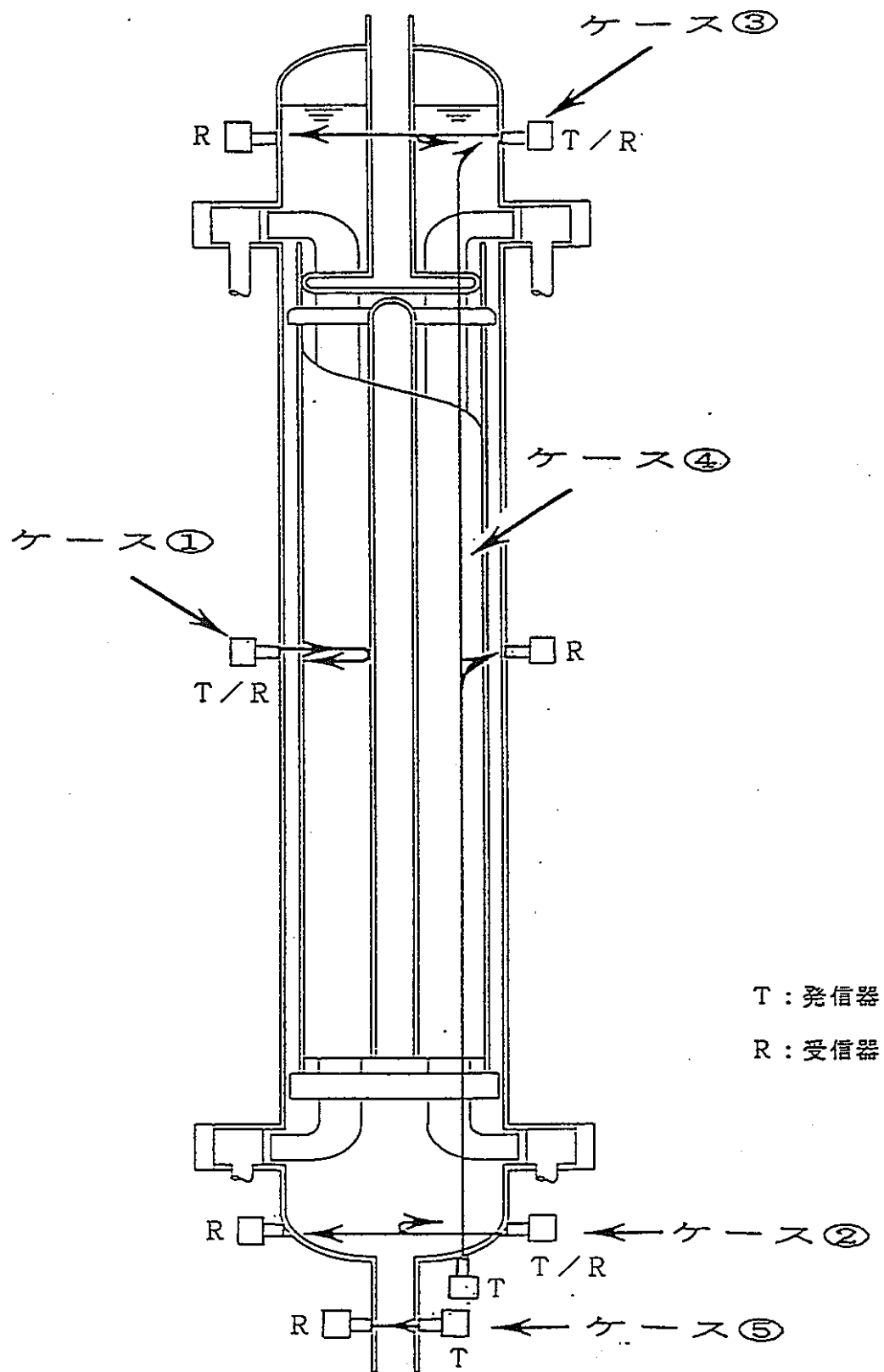
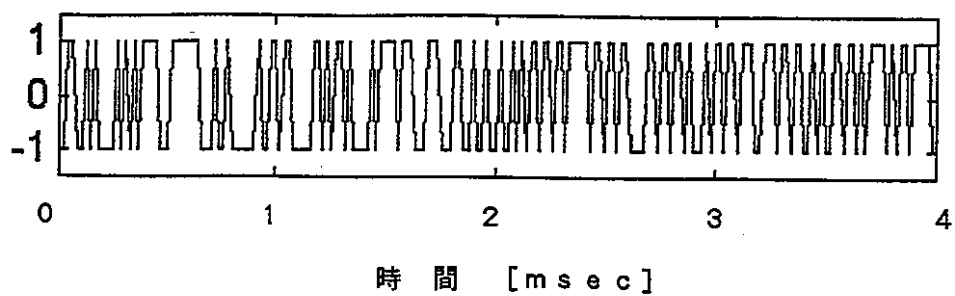
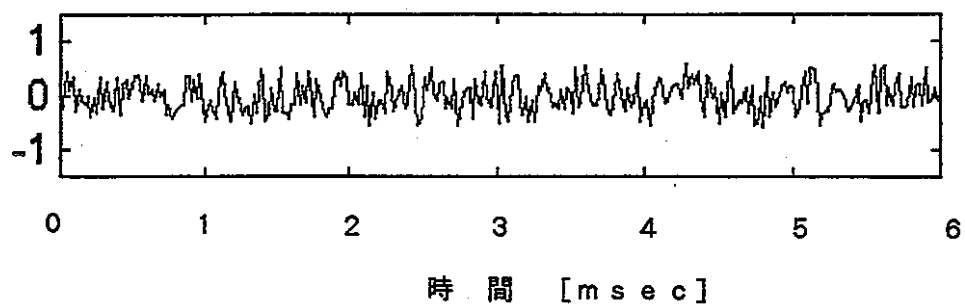


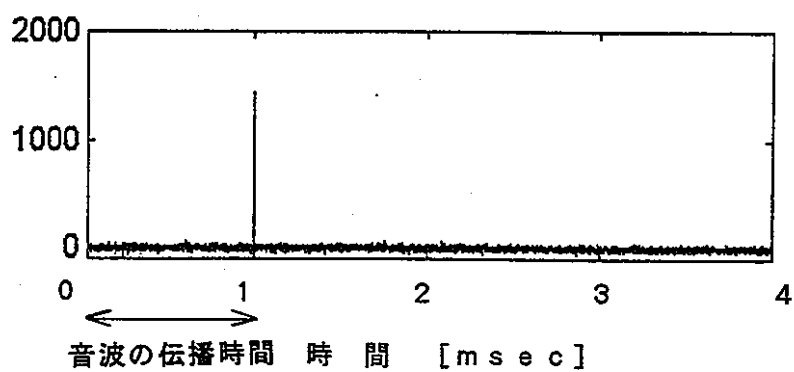
図7.2-4 音響検出系アクティブ法概念ケース



(a) M系列発信波形



(b) 受信検出器での波形例



(c) 時間相関処理結果

図7.2-5 M系列信号による相関処理例

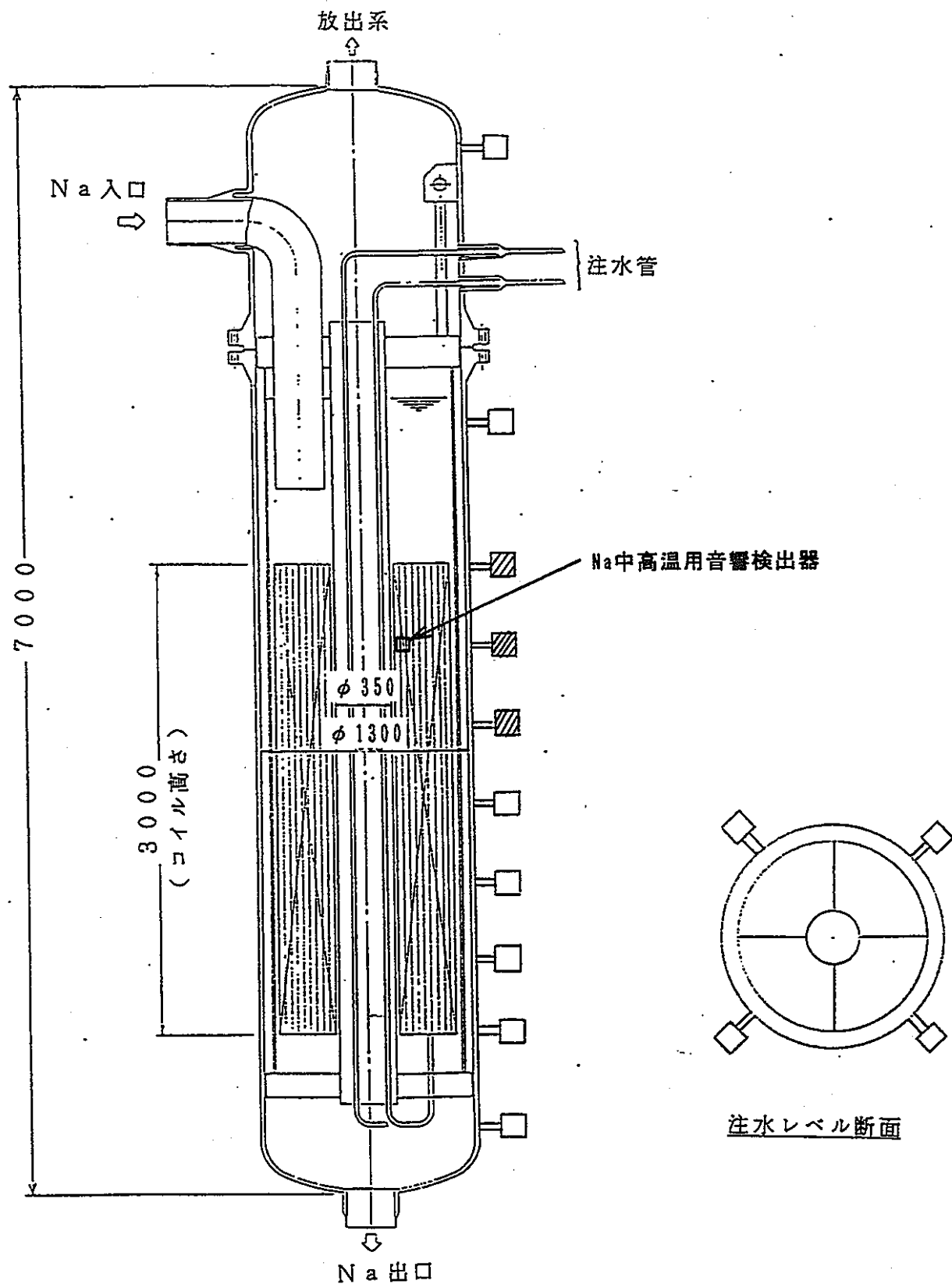


図7.2-6 反応容器への音響検出器設置案(パッシブ法)

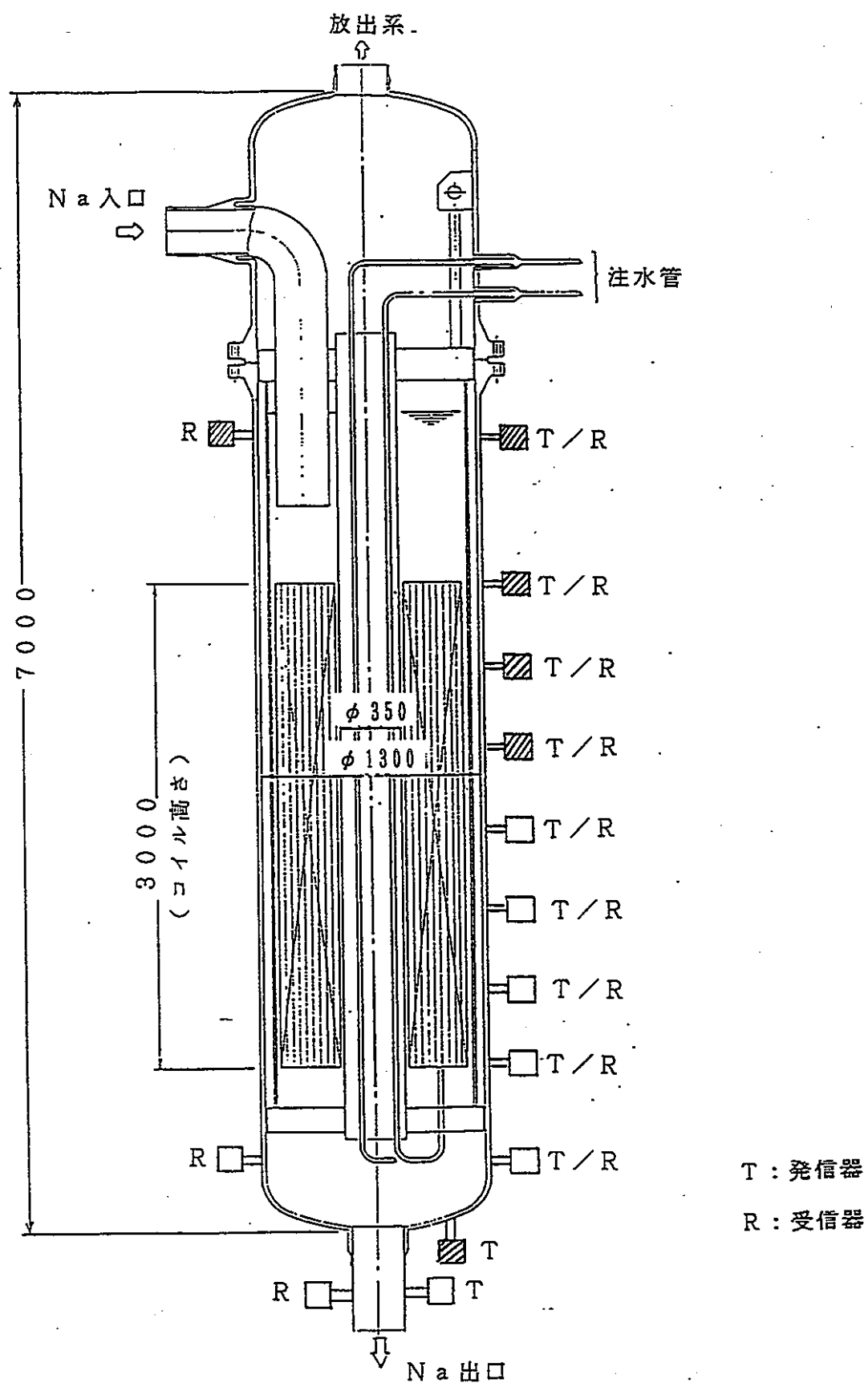


図7.2-7 反応容器への音響検出器設置案(アクティブ法)

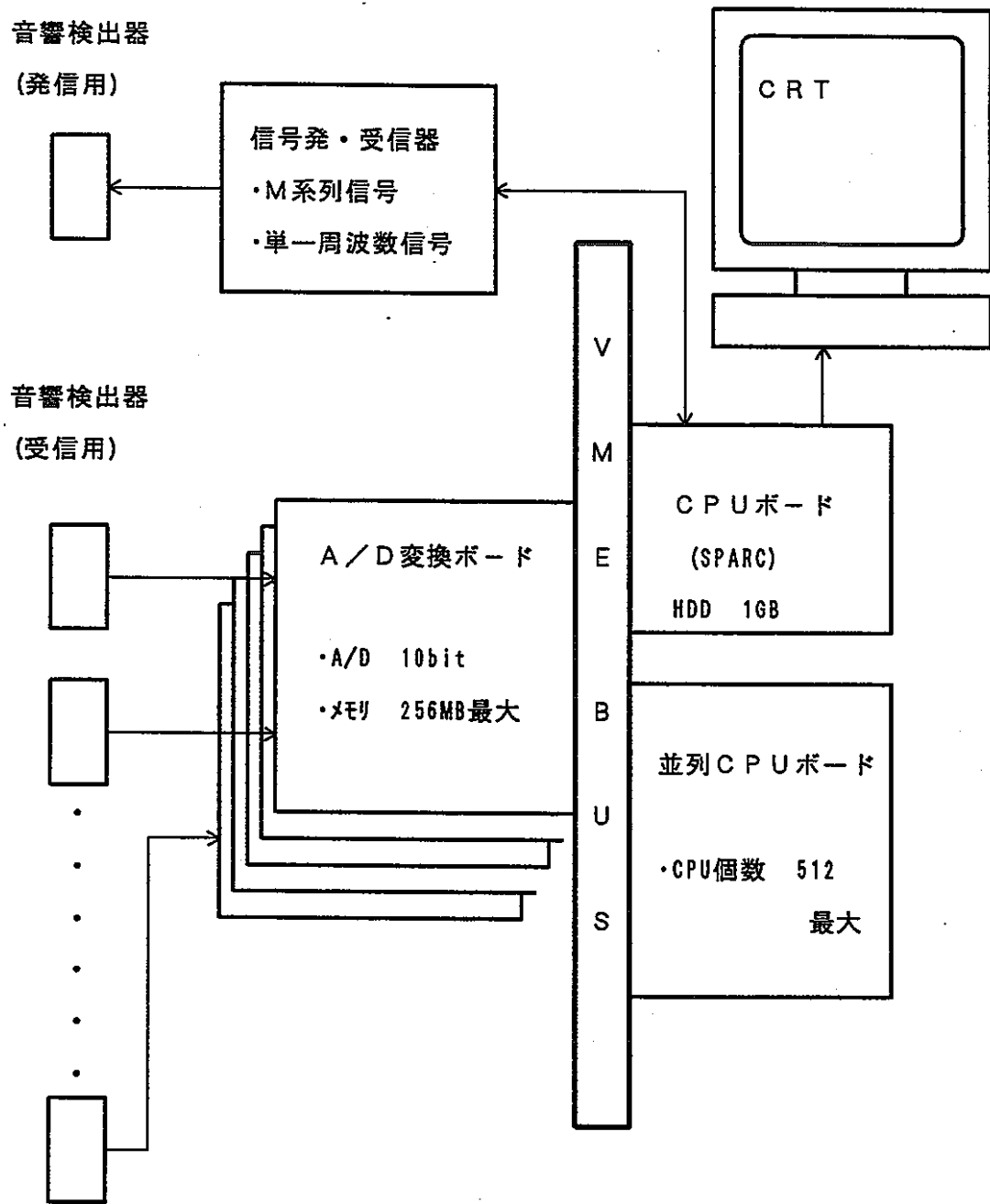


図7.2-8 高速デジタル信号処理システム構成案

8. リストの作成

改造範囲の機器・配管類に関する、配管リスト、弁リスト、及び計装品リストを以下にまとめる。

8. 1 配管リスト

主要配管部の設計条件を表 8. 1 - 1 (1 / 5) ~ (5 / 5) に示す。また、主要配管図を図 8. 1 - 1 に示す。

(1) 主循環系

反応容器の最高使用温度が 535 °C から 555 °C となったことを反映し、新設配管の設計条件温度は 555 °C とした。

(2) 注水管用注水系

注水は飽和蒸気とし、サブクール水の注水は考慮しない、という観点から飽和水供給ラインを廃止した。また、水加熱器(WT)の最高使用温度及び最高使用圧力の変更にともない、設計条件温度を 400 °C、設計条件圧力を 230kg/cm²g とした。

(3) 隣接管用注水系

注水管用注水系と同様、飽和水供給ラインを廃止し、設計条件温度及び設計条件圧力を変更した。また、隣接管用水加熱器数を 2 基から 1 基とした。

(4) 放出系

反応容器カバーガス部からの放出ライン(601) のラプチャーディスク手前より直接収納容器(RT)にバイパスするライン(605) を新設した。

8. 2 弁リスト

改造に伴う弁リストを表 8. 2-1 (1/2 ~ 2/2) に示す。

(1) 主循環系 (100)

反応容器の最高使用温度が535 °Cから555 °Cに上昇したのに伴い、V101~V103の最高使用温度を555 °Cとした。

(2) 注水管用給水系 (400)

水加熱器加圧用ラインの廃止に伴い、水加熱器加圧用止め弁を削除した。また、注水管ブローラインの追加によりV410及びV411を設けた。各弁の最高使用温度及び最高使用圧力を水加熱器に従って変更した。(最高使用温度：500→400°C、最高使用圧力：220→230kg/cm²g) なお、現状では飽和水供給ラインは廃止するものとするが、将来的に大リーク試験を行うためのサブクール水供給ラインが必要となる場合を考慮し、水加熱器下部の水出入口管に止め弁を設けるものとする。

(3) 隣接管用給水系 (500)

隣接管用水加熱器基数を2基から1基としたことから、隣接管用水加熱器安全弁は1個とした。また、水加熱器加圧用ラインの廃止、飽和水供給止め弁の設置、及び最高使用温度・圧力の変更は注水管用給水系と同様である。V523~V546及びV552の最高使用温度は反応容器の最高使用温度に合わせ、555 °Cとした。

(4) N a - 水反応生成物放出系 (600)

現状では接液ラプチャーディスクからの反応生成物の放出は考慮しない方針であるが、反応容器下部放出系に止め弁(V601)を設置し、将来的に試験可能なものとする。また、反応容器のカバーガス空間を実証炉のものと合わせるために設置する反応容器カバーガス空間からの放出系バイパスラインに止め弁(V603)を設ける。収納容器放出のラプチャーディスクバイパスには流量調整弁(V604)を設け、開度を反応容器カバーガス圧力信号により制御するものとする。

8. 3 計装品リスト

改造に伴う計装品リストを表 8. 3 - 1 (1 / 5 ~ 5 / 5) に示す。

(1) 主循環系 (100) 及び充填ドレン系 (200)

反応容器最高使用温度の上昇に従い、各計装品の最高使用温度を 535 °C から 555 °C とした。

(2) 注水管用注水系 (400) 及び隣接管用注水系 (500)

各計装品の最高使用温度及び最高使用圧力を水加熱器及び反応容器に併せて変更した。(最高使用温度: 500 → 400 °C、535 °C → 555 °C、最高使用圧力: 220 → 230 kg/cm²g) また、隣接管水加熱器基数を 2 基から 1 基としたため、隣接管用飽和水温度用及び飽和水蒸気温度用温度計、隣接管用水加熱器用圧力計及び液位計をそれぞれ 1 個ずつとした。

(3) 放出系 (600)

最高使用温度を反応容器に従い 555 °C とした。

(4) 反応容器 (800)

反応容器内温度測定用温度計 (熱電対) は、伝熱管の N a 側熱伝達率測定用のものであり、員数を 96 とする。また伝熱管温度測定用温度計 (熱電対) 数は 68 とする。熱電対員数は、反応容器の設計検討に従うものとする。音響計員数は 12 個とする。

表 8. 1-1 (1/5) 配管リスト

系 統 名		主 循 環 系 (100)												
位置	No	反応容器 胴 注水管	トリウム タンク	SH	EMP	(101)	(102)	(103)	(104)	(105)	(106)	(107)	(108)	(109)
	From					反応容器	RED	EMP	RED	SH	RED	RED	ST	(109)
	To					RED	EMP	RED	SH	RED	RED	ST	反応容器	(106)
液 体		Na 水	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na
設計条件	温度 °C	555	555	535	555	535	555	555	535	535	555	555	555	555
	圧力 kg/cm ² g	20 230	20	20	10	20	20	20	10	10	20	20	20	20
材 質		Mod. 9Cr-1Mo	SUS304	SUS304	SUS316	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304
形状	径 (B)	1300φ	1300φ	800φ	520φ	8B	4B	4B	2B	2B	4B	8B	8B	4B
	厚さ (SCH)	7590H	6000H	4000H	2210H	20S	40	40	40	40	40	20S	20S	40
予熱温度	定格 °C	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	最高 °C	400	400	400	—	400	—	—	—	—	—	—	400	—

表 8. 1-1 (2/5) 配管リスト

系 統 名		純 化 系 (200)										充 填 ド レ ン 系 (300)						
位置	No	CT	EC	(201)	(202)	(203)	(204)	(205)	(206)	(207)	(208)	DT	(301)	(302)	(303)	(304)	(305)	(306)
	From			(103)	V-201	EC, V203	CT	V-202	(201)	(102)	EC		(102)	(108)	RT	CT	(208)	(304, 305)
	To			V-201	EC	CT	EC	(102)	V-203	PM	V-202		DT	DT	DT	(306)	(306)	DT
液 体		Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Na
設計条件	温度 °C	535	535	555	535	535	535	555	535	555	535	555	555	555	555	535	535	555
	圧力 kg/cm ² g	5	5	20	5	5	5	20	20	20	5	20	20	20	20	5	5	20
材 質		SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304
形状	径 (B)	750φ	100φ	2B	2B	2B	2B	2B	2B	1/2B	2B	2700φ	2B	2B	2B	12B	2B	2B
	厚さ (SCH)	2200H	6000L	40	40	40	40	40	40	40	40	4300L	40	40	40	40	40	40
予熱温度	定格 °C	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	最高 °C	400	400	400	400	400	400	400	400	—	400	400	400	400	400	400	400	400

表 8. 1-1 (3/5) 配管リスト

系 統 名		注 水 管 用 注 水 系 (400)				
位置	No	WH (注入管用)	(401)	(402)	(403-1~2)	(404)
	From		WH	V-401	ハツタ	ハツタ
	To		V-401	ハツタ	反応容器	(508)
液 体		水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂
設計条件	温度 °C	400	400	400	400	400
	圧力kg/cm ² g	230	230	230	230	230
材 質		SCMV4	STPA24	STPA24	STBA24	SUS304
形状	径 (B)	1000φ	4B	4B	2B	4B
	厚さ(SCH)	4400H	160	160	160	160
予熱温度	定格 °C	370	370	370	370	370
	最高 °C	—	—	—	—	—

表 8. 1-1 (4/5) 配管リスト

系 統 名		隣 接 管 用 注 入 系 (500)									
位置	No	WH (隣接管用)	回収タンク	(501)	(502)	(503-1~20)	(504-1~20)	(505)	(506)	(507)	(508)
	From			WH	V-501	ハツタ	反応容器	ハツタ	V-544	(505)	ハツタ
	To			V-501	ハツタ	反応容器	ハツタ	V-544	回収タンク	(506)	回収タンク
液 体		水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂	水蒸気N ₂
設計条件	温度 °C	400	100	400	400	400	555	555	555	555	400
	圧力kg/cm ² g	230	1	230	230	230	220	210	210	210	230
材 質		SCMV4	STPY400	STPA24	STPA24	STBA24	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304	SUS304
形状	径 (B)	1000φ	1371.4φ	4B	4B	1B	1B	4B	4B	4B	4B
	厚さ(SCH)	6570H	6500H	160	160	160	160	160	160	160	160
予熱温度	定格 °C	400	—	370	370	370	500	500	500	500	370
	最高 °C	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 8. 1-1 (5/5) 配管リスト

系 統 名		放 出 系 (600)						ガス封入伝熱管窒素ガス供給系(700)
位置	N o	R T	(601)	(602)	(603)	(604)	(605)	(701-1~38)
	F r o m		反応容器	(101)	DT	RT	(601)	ガス封入伝熱管用ヘッダ
	T o		DT	DT	RT	点火器	RT	RT
液 体		Na, H ₂ , N ₂	Na, H ₂ , Ar	Na, H ₂ , Ar	Na, H ₂ , Ar	Na, H ₂ , Ar	Na, H ₂ , Ar	N ₂
設計条件	温度 °C	535	555	555	555	535	555	300
	圧力kg/cm ² g	20	20	20	20	20	20	185
材 質			STPA24	STPA24	STPA24	STPA24	STPA24	CS
形状	径 (B)	3000φ	12B	8B	12B	10B	12B	1B
	厚さ(SCH)	6000H	40	40	40	40	40	160
予熱温度	定格 °C	250	250	250	250	250	250	—
	最高 °C	400	—	—	—	—	—	—

表 8. 2-1 (1/2) 弁 リ ス ト

弁 番 号	弁 名 称	形 式	操 作 方 法	シ ー ル 方 法	内 部 流 体	呼 び 径 (B)	弁 箱 材 質	最高使用		備 考
								温 度 (℃)	圧 力 (kg/ cm ²)	
主 循 環 系 (100)										
V101	反応容器入口止め弁(1)	G1	M	BS	Na	8	SS	555	20	
V102	反応容器入口止め弁(2)	G1	M	BS	Na	8	SS	555	20	
V103	ナトリウム加熱器バイパス弁	G1	M	BS	Na	4	SS	555	20	
注 水 管 用 給 水 系 (400)										
V401	注水管用飽和蒸気供給止め弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	
V402	注水管用圧力調整弁	D	D	—	H ₂ O	4	CS	400	230	
V403	注水管用反応容器入口止め弁(1)	G1	Ha	GS	H ₂ O	2	CS	400	230	
V404	注水管用反応容器入口止め弁(2)	G1	Ha	GS	H ₂ O	2	CS	400	230	
V405	注水管用反応容器入口逆止弁(1)	C	—	—	H ₂ O	2	CS	400	230	
V406	注水管用反応容器入口逆止弁(2)	C	—	—	H ₂ O	2	CS	400	230	
V407	注水管パージ用ガス供給止め弁	G1	A	GS	N ₂	2	CS	400	230	
V408	注水管用水加熱器安全弁	Sa	SD	—	H ₂ O	φ 32	CS	400	230	
V409	注水管用供給ヘッダ安全弁	Sa	SD	—	H ₂ O	φ 32	CS	400	230	
V410	注水管入口ブロー用止め弁	G1	Ha	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	
V411	注水管入口ブロー弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	
V412	注水管用飽和水供給止め弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	

弁リスト記号

形 式		操 作 方 法		シ ー ル 方 法		内 部 流 体		弁 箱 材 質	
D	ダイヤフラム弁	A	空気作動	BS	ベローズシール	H ₂ O	水／蒸気	CS	炭素鋼
G1	玉型弁	D	空気作動	GS	グランドシール	Na	ナトリウム	SS	ステンレス鋼
SA	安全弁, 逃し弁	Ha	手動			N ₂	窒素		
C	逆止弁	SD	自力式						
		M	モータ作動						

表 8. 2-1 (2/2) 弁 リ ス ト

弁 番 号	弁 名 称	形 式	操 作 方 法	シ ー ル 方 法	内 部 流 体	呼 び 径 (B)	弁 箱 材 質	最高使用		備 考
								温 度 (℃)	圧 力 (kg/ cm ²)	
隣 接 管 用 給 水 系 (500)										
V501	隣接管用飽和蒸気供給止め弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	
V502	隣接管用圧力調整弁	D	D	—	H ₂ O	4	CS	400	230	
V503～V522	隣接管用反応容器入口止め弁(1)～(20)	G1	Ha	GS	H ₂ O	1	CS	400	230	
V523～V542	隣接管用反応容器出口止め弁(1)～(20)	G1	Ha	GS	H ₂ O	1	CS	555	230	
V543	隣接管回収タンク用入口止め弁	G1	Ha	GS	H ₂ O	4	CS	555	210	
V544	隣接管回収タンク用入口弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	555	210	
V545	隣接管出口ブロー用止め弁	G1	Ha	GS	H ₂ O	4	CS	555	210	
V546	隣接管出口ブロー弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	555	210	
V547	隣接管入口ブロー用止め弁	G1	Ha	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	
V548	隣接管入口ブロー弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	
V549	隣接管入口側パージ用ガス供給止め弁	G1	A	GS	N ₂	2	CS	400	230	
V550	隣接管用水加熱器安全弁	Sa	SD	—	H ₂ O	φ 32	CS	400	230	
V551	隣接管出口側パージ用ガス供給止め弁	G1	A	GS	N ₂	2	CS	555	210	
V552	隣接管用供給ヘッダ安全弁	Sa	SD	—	H ₂ O	φ 32	CS	400	230	
V553	隣接管用出口ヘッダ安全弁	Sa	SD	—	H ₂ O	φ 32	CS	555	210	
V554	隣接管用飽和水供給止め弁	G1	A	GS	H ₂ O	4	CS	400	230	
N a - 水 反 応 生 成 物 放 出 系 (600)										
V601	反応容器下部放出系止め弁	G1	Ha	BS	Na	8	SS	555	20	
V602	反応容器下部放出系ラプチャディスクバイパス弁	G1	Ha	BS	Na	2	SS	555	20	
V603	反応容器上部放出系バイパス止め弁	G1	A	BS	Na	12	SS	555	20	
V604	サイクロンセパレータラプチャディスク流量調整弁	D	D	BS	Na	10	SS	555	20	
ガス封入伝熱管窒素ガス供給系 (700)										
V701～V738	ガス封入伝熱管入口止め弁(1)～(38)	G1	Ha	GS	N ₂	1	CS	300	185	
V739	ガス封入伝熱管用ヘッダ安全弁	Sa	SD	—	N ₂	1	CS	300	185	
V740	ガス封入伝熱管用ヘッダドレン弁	G1	Ha	GS	N ₂	2	CS	300	185	

表8.3-1 (1/5) 計 装 品 リ ス ト

計 器 番 号	員数	使 用 先	測定対象	最 高 使 用		測 定 範 囲 (定常値)	用 途				計 器 形 式	備 考
				圧 力 kg/cm ²	温 度 ℃		調節	インター ロック	警報	計算機 入 力		
主 循 環 系 (100)												
T101	1	反応容器入口温度	Na	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T102	1	電磁ポンプダクト温度	メタル	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T103	1	電磁ポンプコイル温度	コイル	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T104	1	ナトリウムタンク温度	Na	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T105	1	反応容器出口温度	Na	20	555	0~600℃				○	熱電対	
P101	1	電磁ポンプ出口圧力	Na	20	555	-1~25kg/cm ² g				○	N a k 封入式	
L101	1	ナトリウムタンク液位	Na	20	555	NL-1500, +500mm				○	連続式	
F101	1	主循環系N a 流量	Na	20	555	0~2m ³ /min				○	電磁流量計	
充 填 ド レ ン 系 (300)												
T301	1	ダンプタンク (収納容器) 温度	Na	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T302	1	ダンプタンク (収納容器) カバー ガス温度	Ar	20	555	0~600℃				○	熱電対	
P301	1	ダンプタンク (収納容器) 圧力	Na, Ar, H ₂	20	555	-1~25kg/cm ² g				○	Nak封入管	
L301	1	ダンプタンク (収納容器) 内液位	Na	20	555	1300~3300				○	連続式	

表8.3-1 (2/5) 計 装 品 リ ス ト

計 器 番 号	員数	使 用 先	測定対象	最 高 使 用		測 定 範 囲 (定常値)	用 途				計 器 形 式	備 考
				圧 力 kg/cm ²	温 度 ℃		調節	インター ロック	警報	計算機 入 力		
注 水 管 用 給 水 系 (400)												
T401	1	注水管用飽和水温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T402	1	注水管用飽和蒸気温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T403	1	注水管供給用止め弁出口温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T404	1	注水管用圧力調整弁出口温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T405	1	注水管用反応容器入口温度(1)	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T406	1	注水管用反応容器入口温度(2)	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
P401	1	注水管用水加熱器圧力	水／蒸気	230	400	0～250kg/cm ² g				○	半導体式	
P402	1	注水管用供給ヘッダ圧力	水／蒸気	230	400	0～250kg/cm ² g	○			○	半導体式	
L401	1	注水管用水加熱器液位	水／蒸気	230	400	500～2500mm				○	差圧式	
F401	1	注水管用供給流量	水／蒸気	230	400	0～2kg/s				○	差圧式	

表8.3-1 (3/5) 計装品リスト

計器番号	員数	使　　用　　先	測定対象	最高使用		測　定　範　囲 (定常値)	用　　　　途				計　器　形　式	備　　考
				圧 力 kg/cm ²	温 度 ℃		調 節	インター ロック	警 報	計算機 入 力		
隣 接 管 用 給 水 系 (500)												
T501	1	隣接管用飽和水温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T502	1	隣接管用飽和蒸気温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T503	1	隣接管供給用止め弁出口温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T504	1	隣接管用圧力調整弁出口温度	水／蒸気	230	555	0～600℃				○	熱電対	
T505	1	隣接管冷却水回収タンク温度(1)	水／蒸気	230	555	0～600℃				○	熱電対	
T506	1	隣接管冷却水回収タンク温度(2)	水／蒸気	230	555	0～600℃				○	熱電対	
T507～526	20	隣接管反応容器入口温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
T527～546	20	隣接管反応容器出口温度	水／蒸気	230	400	0～600℃				○	熱電対	
P501	1	隣接管用水加熱器圧力	水／蒸気	230	400	0～250kg/cm ² g				○	半導体式	
P502	1	隣接管用供給ヘッダ圧力	水／蒸気	230	400	0～250kg/cm ² g	○			○	半導体式	
P503	1	隣接管用回収ヘッダ圧力	水／蒸気	210	555	0～250kg/cm ² g				○	半導体式	
P504	1	回収タンク圧力	水／蒸気	230	555	0～250kg/cm ² g				○	半導体式	
L501	1	隣接管用水加熱器液位	水／蒸気	230	400	500～2500mm				○	差圧式	
F501	1	隣接管用回収ヘッダ出口流量	水／蒸気	210	555	0～2kg/s				○	差圧式	

表8.3-1(4/5) 計 装 品 リ ス ト

計 器 番 号	員数	使 用 先	測定対象	最 高 使 用		測 定 範 囲 (定常値)	用 途				計 器 形 式	備 考
				圧 力 kg/cm ²	温 度 ℃		調節	インター ロック	警報	計算機 入 力		
放 出 系 (600)												
T601	1	反応容器上部放出系配管温度	Na, Ar, H ₂	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T602	1	反応容器下部放出系配管温度	Na, Ar, H ₂	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T603	1	収納容器出口放出系配管温度(1)	Na, Ar, H ₂	20	555	0~600℃				○	熱電対	
T604	1	収納容器出口放出系配管温度(2)	Na, Ar, H ₂	20	555	0~600℃				○	熱電対	
P601	1	反応容器上部放出系配管圧力	Na, Ar, H ₂	20	555	-1~25kg/cm ² g				○	Nak封入式	
P602	1	反応容器下部放出系配管圧力	Na, Ar, H ₂	20	555	-1~25kg/cm ² g				○	Nak封入式	
P603	1	収納容器出口放出系配管圧力	Na, Ar, H ₂	20	555	-1~25kg/cm ² g				○	Nak封入式	
LD601	1	反応容器下部放出系ラプチャディ スクNaリーク検出	Na	20	555	—			○			
RDD601	1	反応容器上部放出系ラプチャディ スク破裂検出(1)	Na, Ar, H ₂	20	555	—		○	○			
RDD602	1	反応容器上部放出系ラプチャディ スク破裂検出(2)	Na, Ar, H ₂	20	555	—		○	○			
RDD603	1	反応容器下部放出系ラプチャディ スク破裂検出(1)	Na, Ar, H ₂	20	555	—		○	○			
RDD604	1	反応容器下部放出系ラプチャディ スク破裂検出(2)	Na, Ar, H ₂	20	555	—		○	○			

表 8. 3-1 (5/5) 計 装 品 リ ス ト

計 器 番 号	員数	使 用 先	測定対象	最 高 使 用		測 定 範 囲 (定常値)	用 途				計 器 形 式	備 考
				圧 力 kg/cm ²	温 度 ℃		調節	インター ロック	警報	計算機 入 力		
ガス封入伝熱管窒素ガス供給系 (700)												
P701	1	ガス封入伝熱管用ヘッダ圧力	N ₂	185	300	0~200kg/cm ² g					半導体式	
反 応 容 器 (800)												
T801	1	反応容器カバーガス温度(1)	Ar	20	555	0~1000℃				○	熱電対	
T802	1	反応容器カバーガス温度(2)	Ar	20	555	0~1000℃				○	熱電対	
T803-1~96	96	反応容器内温度	Na	20	555	0~1000℃				○	熱電対	
T804-1~68	68	反応容器内伝熱管外表面温度	メタル	20	555	0~1000℃				○	熱電対	
P801	1	反応容器カバーガス圧力	Ar	20	555	-1~25kg/cm ² g				○	Nak封入式	
L801	1	反応容器内Na液位(1)	Na	20	555	NL-1500, +500mm				○	連続式	
L802	1	反応容器内Na液位(2)	Na	20	555	NL-1500, +500mm				○	連続式	
HD801	1	反応容器出口Na中水素濃度	Na	20	555	0~500ppb			○	○	水素計	
ALD801~815		反応容器内音響レベル	Na	20	555					○	音響計	

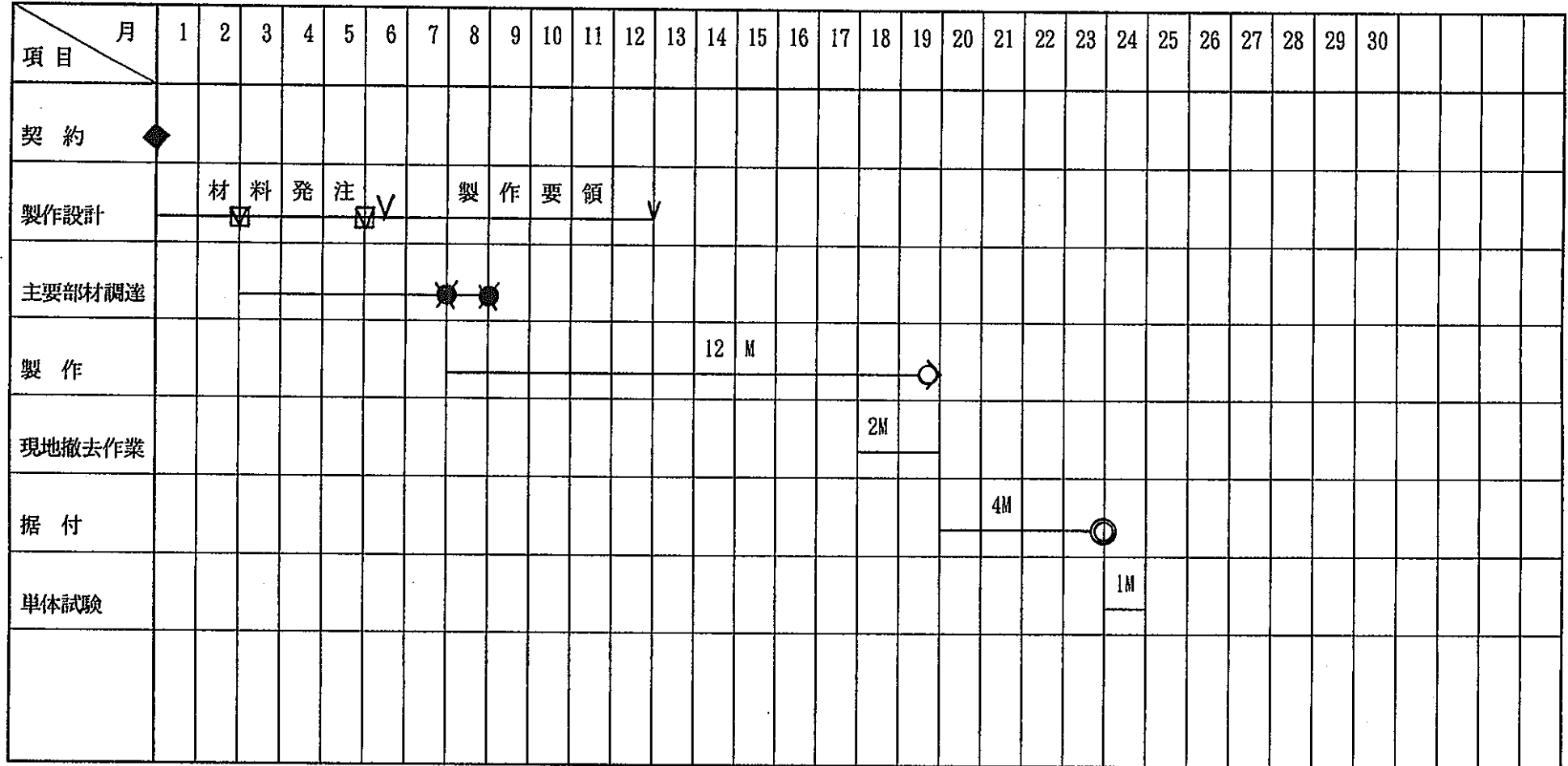
9. 改造工程の検討

表9-1に改造SWAT-3の工事工程を示す。

なお、ダンプタンクのみ先行的に製作する場合の工程を表9-2に示す。ダンプタンクの設計・製作・据付期間は契約後1年間とし、現ダンプタンク横への仮設までを範囲とする。基礎工事は含まないものとする。ダンプタンクの構造設計・解析開始後、据付（仮設）までには1年間は必要であり、本工程を平成7年度中に終了するには、平成7年度計画を早急に立ち上げ、構造設計を進める必要がある。

表9-1 SWAT-3工事工程表

注文主：動力炉・核燃料開発事業団殿
 工事名称：SWAT-3試験装置改造
 数量：1 式



◆御下命 ⊠仕様決定 ①材料準備 ⊠注文要領 V出図 ∨承認図提出 ▼承認図返却 鋼材 購入品 —製作期間 ○製作完 >先方着 =据付期間 ◎現場工事完 ⇨試運転完

表 9 - 2 SWAT - 3 ダンプタンク改造工程

契約後 (月)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
項 目												
構造設計・解析												
客先承認												
材料手配												
製作要領			先行手配作業	手配作業								
部品製作／組立／検査												
輸送												
現地既設撤去 (PNC殿)												
現地整備 (PNC殿)												
据付け												

10. まとめ

実証炉DBLの妥当性を、ナトリウム－水反応事象を模擬した総合的な試験により確認するため、既設のSWAT-3の適用性及び改造内容に関し、基本検討を行い、以下の結果を得た。

(1) 試験条件・方法の検討

高温ラプチャに影響を及ぼす要因の整理を行い、試験条件の優先順位を検討した。

この結果、注水時間及び注水率、注水ノズル方向、ブローダウン時間及び注水状態との結果を得た。これを基に、昨年度設定した試験ケース及び条件の見直しを行った。また、注水管及び隣接管の注水方法、注水ノズル方向及び伝熱管配列の見直しを行った。注水ノズル方向及び伝熱管配列については、1つの反応容器で2回の試験を計画しているため、出来る限りコイル配列に近い条件となるように配慮した。

(2) 機器設計仕様の確認

Na－水反応熱の影響を確認するため、SWAC13Eによる温度解析を実施し、機器設計評価に反映した。また、発生圧力についてもSWAC13Eと同一の解析モデルで再評価を行い、ダンプタンクの設計検討に反映した。

a. 反応容器については、前述のように注水ノズル方向及びコイル配列の変更を行った。また、引き抜き性を考慮して、反応容器の胴フランジは2箇所とした。

計装品については、試験時の温度挙動を詳細に測定するため、伝熱管温度測定用に68点、Na及びNa側熱伝達測定用に96点の熱電対を設置した。

b. ダンプタンクの型式は、実証炉設計との整合性及び現SWAT-3設備との整合性を考慮して、予備設計と同様縦置円筒型とした。また、Na－水反応解析結果を基に、タンク内での気液分離性能について検討し、気液の粗分離は可能との結果を得た。

c. 水加熱器については、試験条件の見直しより必要注水量が増加したため、容量の見直しを行った。見直しの結果、予備設計条件では機器容量が増加するため、飽和蒸気条件の見直し（蒸気圧力 $210\text{kg/cm}^2 \rightarrow 220\text{kg/cm}^2$ ）を行い、容量の合理化を図った。基数については、隣接管用水加熱器の2基を1基にまとめ、合理化を行った。また、設計条件の変更として、前述した蒸気圧力の変更に伴い、最高使用圧力を 230kg/cm^2 に、一方メインヒータの設置範囲を保有水の部分に限定することにより最高使用温度は 400°C に合理化した。

d. 反応容器及び配管の耐震評価を行い、設定地震力に対し、各部応力は許容値を満足しており、構造健全性は確保されることを確認した。また、配管の耐熱評価を行い、熱膨張応力は許容値を満足することを確認した。

(3) 試験ループの検討

今年度検討した機器設計及び配管配置に基づき、機器・配管改造範囲及び機器搬出・搬入計画について検討した。この結果、ダンプタンクを除いて建屋クレーンを使用出来る見通しを得た。

架台については、F I N A S による全体応力評価を行い、水加熱器設置部分を補強することにより、評価を満足することを確認した。

(4) 電気計装制御設備の改造検討

S W A T - 3 に係わる電気計装制御設備を全面的に更新することを前提に、電気計装制御システム及び設備の具体化を図った。

(5) 合理化項目の検討

改造基本設計に当たり、水加熱器、ダンプタンク及び放出系について合理化項目を摘出・検討し、設計に反映した。

(6) 改造 S W A T - 3 での試験項目及び計画の検討

改造 S W A T - 3 試験装置で確認する項目を摘出し、これらの項目に対する試験計画についてまとめた。また、試験計画を基に、試験装置への要求条件及び要素試験項目について検討した。

音響検出系の検討では、音響検出計試験における評価項目及びシステム構成の詳細化を図った。また、アクティブ法及びパッシブ法における反応容器への検出器設置基数について見直しを行い、各々 6 個設置するものとした。

(7) リストの作成

今年度の検討結果を反映し、配管リスト、弁リスト及び計装品リストの見直しを行った。

(8) 改造工程の検討

改造 S W A T - 3 全体工程及びダンプタンク改造工程を作成した。

謝 辞

本研究実施に際し、動力炉核燃料開発事業団 大洗工学センター 安全工学部プラント安全工学室、田辺 裕美 室長殿、浜田 広次 副主研殿、栗原 成計 研究員殿には、適切なご指導、ご助言を賜りました。

ここに深く感謝の意を表します。