



# 1次主冷却系配管体積試験用ISI装置の設計製作

1991年8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)

## 1次主冷却系配管体積試験用ISI装置の設計製作

秋山貴由輝\*，横山邦彦\*，荒 邦章\*

### 要 旨

もんじゅの1次主冷却系配管体積試験用ISI装置の開発を行った。

方法としては、実験及び要素試験等により、パラメータを振って比較検討を行った。

主な結果は以下の通り。

- (1) 探触子の振動子径，周波数及び屈折角の最適化を図った。
- (2) 制御の面から検査機の駆動輪を3輪配置にし，蛇行，上下及び左右傾きを各々補正する方式とした。
- (3) 作業員が2人で運搬できるように，検査機の軽量化を図り，重量は38kgまで軽量化し，かつ，2分割構造とした。
- (4) 着脱方式，駆動源等の検討を行い，保温を3分割にし，エアシリンダーで着脱する方式とした。

以上の結果より，得られた成果を以下に示す。

- (1) 80℃での体積試験が可能となり，また，接触媒質の供給・回収装置が不要となった。
- (2) もんじゅで実作業を実施するにあたり，作業内容の省力化，装置の簡略化が可能となり，さらに作業員の被ばく低減が大きく期待できる。

---

\* 大洗工学センター 機器構造開発部 機器システム開発室

Design Study of ISI System for MONJU Primary Cooling Piping

Takayuki Akiyama\*, Kunihiro Yokoyama\*, Kuniaki Ara\*

**Abstract**

We have been developing a inspection tool in order to apply for ISI of 32B sized elbow piping on MONJU primary cooling circuit.

Experiments and examination were carried out on design work to decide the design parameters.

We obtained the results as follows,

- (1) The design parameters of an ultrasonic probe, such as the ultrasonic element's diameter, frequency and refraction angle, were chosen as the most suitable for flaw detection.
- (2) It was confirmed that the most stable scanning of the scanner was achieved by the control of 3 driving wheels.
- (3) The scanner could be carried by 2 persons, it's weight was 38kg.
- (4) The handling mechanism for thermal insulator consist's of three divided pieces and it's driving source is pneumatic.

The conclusions of this study were as follows,

- (1) An equipments of the volumetric examination for large scale elbow piping was designed, and it could be use at 80°C without supplying and collecting apparatus for couplant.
- (2) This system must be contribute the reduction of human radiation dose.

---

\* Systems and components development section, O-arai engineering center

## 目 次

第1章 緒 言 .....	1
第2章 概 要 .....	2
2.1 開発目的 .....	2
2.2 開発経緯 .....	2
2.2.1 予備設計で抽出された課題 .....	3
2.2.2 実機用装置製作上の設計検討 .....	4
第3章 設計検討 .....	6
3.1 1次主冷却系配管体積試験装置 .....	6
3.1.1 設計上の要求事項 .....	6
3.1.2 設計要求事項に対する課題 .....	6
3.1.3 装置開発上の設計検討項目 .....	7
3.2 保温材着脱装置 .....	14
3.2.1 設計上の要求事項 .....	14
3.2.2 設計要求事項に対する課題 .....	14
3.2.3 装置開発上の設計検討項目 .....	14
3.3 総合機能試験装置 .....	16
第4章 納入後の不具合 .....	18
第5章 結 論 .....	19
第6章 謝 辞 .....	21
第7章 参考分献 .....	22
付 録 .....	60

図リスト

図 2. 1. 1	1 次主冷却系配管図	24
図 2. 2. 1	予備設計における設計検討フロー	26
図 2. 2. 2	1 次主冷却系配管体積試験用 I S I 装置設計検討フロー	32
図 3. 1. 1	スキャナの構造検討フロー	33
図 3. 1. 2	接触圧の影響 (3. 5Z10×10A45/5Z5N)	34
図 3. 1. 3	タイヤ型ノンプラント探触子	35
図 3. 1. 4	探触子の内部構造	36
図 3. 1. 5	表面波の発生原因	37
図 3. 1. 6	探触子押付け力による面内変形	38
図 3. 1. 7	探触子押付け力による面外変形	38
図 3. 1. 8	欠けたリングの面に直角な振動における $F(\alpha, EI'/GJ)$	39
図 3. 1. 9	駆動輪の配置	40
図 3. 1.10	2 輪走行 (速度制御)	41
図 3. 1.11	3 輪走行 (速度制御)	42
図 3. 1.12	4 輪走行 (速度制御)	43
図 3. 2. 1	水平 2 分割釣り上げ方式(1)	51
図 3. 2. 2	水平 2 分割釣り上げ方式(2)	52
図 3. 2. 3	垂直 2 分割水平移動方式	53
図 3. 2. 4	3 分割方式	54

## 表リスト

表 2.2.1	予備設計における検討項目及び検討結果	25
表 2.2.2	実機開発における検討課題	27
表 2.2.3	探触子設計検討項目	28
表 2.2.4	検査機本体設計検討項目	29
表 2.2.5	制御装置設計検討項目	30
表 2.2.6	保温材着脱装置設計検討項目	31
表 3.1.1	周方向駆動ユニットのバックラッシュ量	44
表 3.1.2	材料別の必要剛性	44
表 3.1.3	フレーム断面形状の検討結果	45
表 3.1.4	実機スキャナのフレーム構造検討結果	46
表 3.1.5	スキャナ軽量化の検討結果	47
表 3.1.6	要素試作試験結果	48
表 3.1.7	各駆動輪の制御方法	49
表 3.1.8	3輪配置走行試験結果	50
表 3.2.1	保温材着脱方式の検討	55
表 3.2.2	保温材(400mm)の自動着脱方法の検討	56
表 3.2.3	保温材(400mm)着脱方法の検討	57
表 4.1	体積試験装置不具合事項のまとめ	58
表 4.2	保温材着脱装置不具合事項のまとめ	59

付 録

1.1	1次主冷却系配管体積試験用 I S I 装置の概要	61
1.1.1	体積試験装置	61
1.1.2	保温材着脱装置	66
1.1.3	総合機能試験装置	68

図リスト

付-図1.1.1	1次主冷却系配管体積試験装置全体構成図	70
付-図1.1.2	タイヤ型ノンカプラント探触子	71
付-図1.1.3	スキャナ外形図	72
付-図1.1.4	1次主冷却系配管体積試験装置（検査機）	73
付-図1.1.5	対比試験片構造図	75
付-図1.1.6(a)	模擬保温構造図（1/2）	76
付-図1.1.6(b)	模擬保温構造図（2/2）	77
付-図1.1.7	バックル構造図	78
付-図1.1.8	保温材着脱装置構造図	79
付-図1.1.9	保温材着脱装置（400mm）構造図	80
付-図1.1.10	保温材着脱装置操作盤パネル図	81
付-図1.1.11	総合機能試験装置構造図	82
付-図1.1.12(a)	模擬配管構造図（1/3）	83
付-図1.1.12(b)	模擬配管構造図（2/3）	84
付-図1.1.12(c)	模擬配管構造図（3/3）	85
付-図1.1.13	昇温設備構造図	87

表リスト

付-表1.1.1	探傷データ出力図表一覧表	74
付-表1.1.2	各流体の音響インピーダンス	86



## 第 1 章 緒 言

1次主冷却系配管の体積試験を行うための供用期間中検査（In-Service Inspection, 以下「ISI」と記載）装置の開発を昭和63年から平成2年にかけて実施した。

この装置は、ISIセンサとしてタイヤ型のノンカプラント超音波探触子を採用し、検査機は32Bのレールを必要としない無軌道駆動方式の検査機という点で、他に実用化例のない装置であるため、設計・製作においては、探触子の耐熱性、超音波特性の最適化、検査機の軽量化、最適制御方式の設定等に代表される課題を解決しながら実施した。

本報告書は、これら設計・製作の中で行われた課題解決のための作業をまとめるとともに、今後の各種試験及び装置の改良を実施するにあたり、その作業に資することを目的に作成した。

## 第 2 章 概 要

### 2.1 開発目的

もんじゅにおける I S I の対象の 1 つとして、図 2.1.1 に示す 1 次主冷却系配管の I H X 入口 90° エルボ部の体積試験が計画されているが、本検査箇所は、I S I 実施時の配管表面温度が 80℃<sup>(1)</sup>、雰囲気温度が 55℃<sup>(2)</sup> と高温で配管口径が 32 B と大きく、かつ放射線環境下での作業であるため、本検査を行うための検査装置の開発が必要となった。

また、運転中は 1 次主冷却系配管には保温材が付いており、体積試験を行う場合には配管に付いている保温材を取り外す必要があるため、体積試験装置の実用化に加えて、保温材の遠隔・自動着脱装置を実用化するための開発が必要となった。

### 2.2 開発経緯

1 次主冷却系配管体積試験装置については、本設計・製作の前にプラント設計側で、昭和 61 年から 62 年にかけてもんじゅの配置、寸法、設計条件との調整を図った I S I 設備の設計及び実機関連設備との全体調整設計を行った「高速増殖炉もんじゅ発電所供用期間中検査詳細計画 主冷却系機器配管 I S I 設備の予備設計」（予備設計最終報告書；PNC ZJ2124 86-016 及び予備設計（Ⅱ）最終報告書；PNC ZJ2124 87-005 を引用）が実施されている。

その主な内容は、以下のとおりである。

#### (1) 探触子方式

探触子方式としては、マルチ型と一探型が考えられるが、0°、45°、60° の 3 角度での探傷を考えると、一探型探触子の場合、探触子の交換が必要となり、この場合検査を中断してスキャナを配管から取り外さなければならない。また、一探型探触子を組み合わせて使用することも考えられるが、この場合スキャナの機構が複雑となる。よって、スキャナへの着脱操作性、スキャナの機構の簡素化の観点からマルチ探触子を採用する。

#### (2) 駆動装置方式

駆動装置の方式としては、アーム押付方式、無軌道方式、R 型軌道方式、旋回軌道

方式が考えられ、各方式について、まず取付け、取外しや操作性の観点から検討を行った。

検討の結果、操作性を考えた場合、アーム押付方式、旋回軌道方式は時間がかかりすぎるため現場への適用が困難であり、無軌道方式、R型軌道方式のいずれかの方式を採用することで、次にこの2方式について現場への適用性の面から検討した。

検討の結果、R型軌道方式の場合は軌道の恒久装置が必要条件となり、軌道恒久設置の場合、対象配管部へ軌道を設置するため保温材のギャップが大きくなり、保温性の低下を招くのと、軌道の応力吸収構造等の問題があることから、駆動装置の方式としては無軌道方式を採用する。

### (3) 接触媒質

接触媒質として一般に使用されているものとしては、水、グリセリン、シリコンオイルがある。しかし、冷却材としてナトリウムを使用しているFBRプラントの場合は、水は使用できないため、グリセリンとシリコンオイルについて検討を行った。

検討の結果、グリセリンは、音響インピーダンスが大きいため、膜厚による感度変化が小さい等音響特性の点では優れているが、高温における粘性が小さいため使用量が多くなり、回収作業が大変である。また、可燃性であるため取り扱いに注意を要する。

これに対し、シリコンオイルは、音響特性はグリセリンに劣るが、オイル選択による粘性の調整により使用量の調整が可能であり、回収作業がグリセリンに比べて容易で難燃性であることから、接触媒質としてはシリコンオイルを使用する。

尚、上記(1)~(3)の他に、超音波探触子の耐熱性材質、駆動装置の制御方式、接触媒質の供給及び回収方式等を選定するための検討を行っており、上記(1)~(3)を含め、これらをまとめたものを「表2.2.1 予備設計における検討項目及び検討結果」に示す。また、図2.2.1に予備設計における設計フローを示す。

#### 2.2.1 予備設計で抽出された課題

予備設計において、実施可能な材料、方式の選定を行ったが、実機適用を考慮した場合に要求される仕様に対して検討すべき課題がある。主な内容としては、以下のとおりである。

(1) 探触子

① 耐熱性

探触子の耐熱性は、配管表面に接触するため、80℃に耐えることが必要である。常温におけるマルチ探触子は、BWRで実績があるが、高温（80℃）探傷用のマルチ探触子については、材質及びその構成の検討が必要である。

② 超音波特性

被検体である配管の板厚は、11.1mmと薄いため探傷ビーム路程が短くなり、エコーの不安定領域での探傷となる。

さらに、配管の材質がオーステナイト系SUS材であるため、溶接部における超音波の減衰が大きく、探傷感度が低い。また、材料異方性のため屈折角、入射点に変化する場合がある。

(2) 探触媒質

粘性の低い流体（水）での自動供給は実績としてあるが、粘性の高いシリコンオイルに対する自動供給の検討及び回収機構の検討が必要である。

(3) 駆動装置

8B配管の無軌道駆動装置は試作されているが、この装置を32B配管に適用させるために、以下の検討が必要である。

① 検査装置の大型化に対する軽量化及び構造の検討

② 装置の操作性及び装置にマッチングした制御方式の検討

表2.2.2に実機開発を考慮した場合の設計開始当初の技術レベル及び開発のための検討課題、確認内容を示す。

2.2.2 実機用装置製作上の設計検討

予備設計での検討内容を基に、実機用装置として、構造、機能、性能の各面から検討すべき事項、実現すべき事項を抽出し、設計検討項目として本設計・製作を進めた。表2.2.3～表2.2.6に各装置の設計検討項目を、図2.2.2に検討フローを示す。尚、検査機本体及び探触子については、試作機の製作を行い、構造、機能、性能を検証し、実機用装置を設計する上での反映事項の抽出を行った。

また、本設計・製作を進めていく過程で、予備設計で検討したものの仕様を一部見

直した。見直した内容とその理由を以下に示す。

(1) 超音波探触子

超音波探触子に要求される条件としては、

- ① 80℃まで使用可能な耐熱性を持っていること。
- ② 0°、45°、60°の3角度での探傷が可能なこと。<sup>(3)</sup>

であり、この他に、接触媒質を用いて探傷を行う場合の探傷後の接触媒質拭き取り作業時における、作業員の被ばく線量をいかに少なくするかの問題がある。

このため、上記問題を解決するために、探触子方式について見直しを行い、ノンカプラント超音波探触子を選定した。

以下に、その根拠を示す。

- ① 接触媒質を必要としないため、その拭き取り作業が不要である。
- ② ①の理由から接触媒質の供給・回収装置が不要となる。
- ③ 残存した接触媒質による検査機のすべりの問題がないため、検査機の位置精度が確保される。

(2) 保温材着脱装置

保温材着脱装置に要求される条件としては、

- ① 作業員の被ばく低減を考慮した構造であること。
- ② スキャナ取付けスペース及び走行スペースが確保できること。
- ③ 保温の取付け、取外しにおける作業所要時間は、移動を含み 5.4分<sup>(4)</sup>以内とする。

であり、このうち、予備設計での保温の着脱方式は、作業員が現場で保温を着脱する方式であるため、この作業における作業員の被ばく線量をいかに少なくするかが問題である。

このため、上記問題を解決するために、保温の着脱を遠隔・自動で行うことで見直しを行い、本設計・製作で保温の着脱方式について再度検討することとした。

## 第3章 設計検討

### 3.1 1次主冷却系配管体積試験装置

#### 3.1.1 設計上の要求事項

装置開発を行うにあたって、設計上の要求事項を以下に示す。

##### (1) 超音波探触子

- ① 屈折角度 :  $0^\circ$  ,  $45^\circ$  ,  $60^\circ$  の3角度での探傷が可能なこと。
- ② 欠陥検出性能 : 板厚 ( $t = 11.1\text{mm}$ ) の深さ10%  $t$  (目標5%  $t$ ) のスリット欠陥をS/N比エコー振幅6 dB以上で検出できること。
- ③ カップリング状態 :  
斜角 $45^\circ$  で板厚 ( $t = 11.1\text{mm}$ ) の深さ10%  $t$  のスリット欠陥をエコー振幅6 dBで検出した場合に、溶接部を除く底面平坦部で垂直探傷した底面エコー振幅が目標40 dB以上で得られるようにカップリング状態が保持できること。
- ④ 探傷方法 : 垂直と斜角の同時探傷が可能なこと。

##### (2) スキャナ

- ① 位置再現精度 : 軸・周方向共  $\pm 5\text{mm}$  以内
- ② 概略重量 : 作業員2人で運搬可能な重量として30kg以下  
(超音波探触子含む)

##### ③ 取付け、取外し時間 :

それぞれ約5分<sup>(5)</sup> (装置搬出入の時間を含む) 以内

#### 3.1.2 設計要求事項に対する課題

本装置を開発するにあたり、その設計要求事項を達成するためには、以下の課題がある。

- (1) ノンプラント探触子を配管用として実用化するために、探触子の性能について十分な検討が必要である。
- (2)  $0^\circ$  ,  $45^\circ$  ,  $60^\circ$  の探傷ができるように、探触子の構造の検討が必要である。
- (3) 配管の口径が大きいために検査機も大型となるが、作業員が2人で運搬すること

を考慮し極力軽量化し、その場合の検査機の剛性、材質、構造等の検討が必要である。

### 3.1.3 装置開発上の設計検討項目

装置開発において、前項の課題を解決するために、探触子については押付け力及び性能の検討、スキャナについては剛性、フレーム形状、軽量化、構造等の検討を行った。その検討内容を以下に示す。

また、図3.1.1にスキャナに係わる検討の全体フローを示す。

#### (1) ノンカプラント探触子の押付け力の検討

ノンカプラント探触子は、ゴム層を介して超音波を被検面に入射するため、入射効率を得るためにある程度の接触圧力を必要とする。

図3.1.2にノンカプラント探触子(3.5Z10×10A45/5Z5N)の接触圧とエコー高さの関係を示す。図3.1.2に示すように、接触圧力が10kg以上であればエコー高さはほぼ一定している。探触子押付け圧力は、検査機本体の剛性の観点から言えば小さい方が良いが、エコーの不安定領域での探傷を避ける目的から、押付け圧力としては10kgとした。

#### (2) ノンカプラント探触子の性能の検討

試作したノンカプラント探触子の基本性能を、以下の項目について確認した。

- ① 入射点
- ② 屈折角
- ③ STBA 2  $\phi 4 \times 4$  に対するS/N比
- ④ A1感度
- ⑤ 不感帯

図3.1.3にタイヤ型ノンカプラント探触子の構造を示す。

本探触子を配管用として実用化するための探触子性能として、以下の課題がある。

- ① 探触子内部構造が層状構造となっているために、各々の層からの反射エコーが発生し、それが不感帯となっており、その不感帯領域が大きい。
- ② タイヤ型であるために線接触となり、特に60°用の探触子に表面波が発生する。

実機探傷用探触子は、上記対策として以下の事項を実施した。

- ① 垂直探触子の不感帯低減対策として、60°用に組み込まれた垂直振動子の径をφ5からφ10に変更し、感度を向上させることにより不感帯領域の低減を図った。さらに、周波数を5 MHzから7 MHzに変更し、分解能の向上も図った。

但し、45°用に組み込まれた垂直振動子については、振動子径をφ10に変更することが不可能なため、底面付近のみを監視するカップリングチェック用とし、改善を加えた60°用に組み込まれた垂直振動子については、今後実施する試験の結果により使用方法を決定することとした。

図3.1.4に探触子の内部構造を示す。

- ② 表面波発生の原因としては、図3.1.5に示すように、タイヤ型探触子の特性上被検面との接触が線接触となり、一部の入射角が超音波ビームの臨界屈折角を越え、それが表面波となって発生している。これは、タイヤの外径が小さい程顕著である。

上記対策としては、

- (a) 指向性の観点から、入射超音波ビームを絞るために曲面振動子を用いる。
- (b) 超音波ビームの入射角を小さくする。
- (c) タイヤの外径寸法を大きくする。

が考えられたが、(c)についてはタイヤの外径を大きくすることは、スキャナ重量の増加につながるため、(a)、(b)を採用することとし、このうち(b)については、表面波が探傷上の障害とならない屈折角を選び55°とした。

上記屈折角の変更については、参考として、軽水炉のISIにおける超音波探傷試験指針であるJEAG 4207では、斜角法の屈折角の選定において、2角度の差が10°以上あればよいと規定されているため、45°、55°の屈折角で運用上の問題はないと判断した。<sup>(6)</sup>

- (3) スキャナ剛性の検討

スキャナは、走行性及び位置再現性を確保するために、十分な剛性を有していることが必要である。

そのためには、探触子押付け力によるフレームの変形がスキャナの走行性に問題がなく、また、制御系の共振周波数と共振しない剛性を持つスキャナフレームとし



なければならない。

以下に、探触子押付け力による必要剛性及び制御周波数による必要剛性について検討した内容を示す。

尚、本検討に用いた計算式は、「機械工学便覧」を引用し、ここでは計算結果の値のみを記載する。

① 探触子押付け力による必要剛性

探触子押付け力によるフレーム曲げ変形の許容値は、ラック及びピニオンの最大バックラッシュ量より小さく、また、位置再現性の観点から上下傾き制御の限界量以内に抑える必要があるため、その変形量について検討した。

(a) 探触子押付けによる変形量（面内変形）

探触子押付け力を約10kgとして想定した場合の変形量を図3.1.6に示すモデルで検討した。

図3.1.6に示すモデルの変形量 $D_x$ 、 $D_y$ をラック及びピニオンの最大バックラッシュ量以内としなければならないため、表3.1.1より、最大バックラッシュ量を0.575mm、スキャナ半径=600mm、探触子押付け力=10kgとしてスキャナフレームの必要剛性を求めた。

(b) 探触子押付け力による変形量（面外変形）

探触子は、フレームに対してオフセット量 $L$ をもって取り付くため、図3.1.7に示すような面外変形が生じる。

この時の最大たわみ $\delta_{max}$ を上下傾き制御限界量である1.5mmとしてスキャナフレームの必要剛性を求めた。

上記に基づき求めた、探触子押付け力による必要剛性の値を以下に示す。

(a) 面内変形に対する必要剛性

$$E I_x = 5.56 \times 10^8 \text{ (kg} \cdot \text{mm}^2)$$

(b) 面外変形に対する必要剛性

$$E I_y = 1.48 \times 10^6 L \text{ (kg} \cdot \text{mm}^2)$$

$E$  : ヤング率

$I_x$ ,  $I_y$  : 断面2次モーメント

$L$  : 探触子オフセット量

## ② 制御性を確保する上での必要剛性

スキャナは、駆動系により加減速制御されているため荷重変動を受け、この荷重変動に対してスキャナが共振しない剛体とする必要がある。

そのためには、制御系自体の固有振動数に対し、フレームが受ける強制振動数を出来るだけ大きくすれば良いが、この強制振動数が固有振動数の3倍以上であれば共振は殆どしないことから、軽量化の観点からフレームの共振周波数が制御系の共振周波数の3倍以上となるようにし、制御系の共振周波数は、駆動系で10 Hz程度と推定されることから、フレームの共振周波数が30Hz以上となるようなスキャナフレーム剛性を検討した。

スキャナフレームの振動モードは、面内振動モード及び面外振動モードが考えられ、各々に対する必要剛性を求めた。

### (a) 面内振動モードに対する必要剛性

$$E I_x / r A = 1.96 \times 10^{11} \text{ (mm}^3\text{)}$$

### (b) 面外振動モードに対する必要剛性

$$F(\alpha, E I_y / G J) E I_y / r A \quad I_x, I_y : \text{断面2次モーメント}$$

$$= 1.41 \times 10^{12} \text{ (mm}^3\text{)}$$

E : ヤング率

r : 比重量

A : 断面積

$\alpha$  : 切欠き角度

G J : ねじり剛性

ここで、 $F(\alpha, E I_y / G J)$  は、図3.1.8に示す値である。

以上述べた必要剛性を材料別に比較したものを表3.1.2に示す。表3.1.2に示す結果より、探触子押付け力に対する必要剛性より制御周波数による必要剛性の方が大きいため、制御周波数による必要剛性値にてスキャナフレームを設計する。

## (4) スキャナフレーム断面形状の検討

表3.1.2に示す必要剛性から、スキャナフレームの断面形状を軽量化の観点から検討した。表3.1.3に検討結果を示す。

表3.1.3に示す結果より、軽量化を考えた場合のフレームの断面形状としては、T型断面及びL型断面が良いことがわかった。

(5) 実機スキャナフレームの形状及び材料の選定

実機スキャナの形状及び材料を表3.1.3の結果をもとに、製作性、重量、走行性及び制御性等、総合的に検討した結果を表3.1.4に示す。

表3.1.4に示す結果より、軽量化の観点からスキャナ径及び幅を小さく、走行性の観点から探触子のオフセット量を小さくできるT型断面のフレームとし、フレームの材料は、加工性が良く、フレームを小さくできるA1合金を使用することとした。

(6) スキャナ軽量化の検討

スキャナの軽量化については、(4)の「スキャナフレーム断面形状の検討」でも検討したが、ここではさらにスキャナ構成部品全体での検討を行った。以下に、検討した項目を示す。

- ① 余肉等不要部分の削除
- ② 小型化
- ③ ギャボックス等のカバーに薄板を使用
- ④ カバー等に樹脂材料を使用
- ⑤ ボルトの座グリ穴を多くし、ボルトを短かくする
- ⑥ シャフトを一部中空シャフトとする
- ⑦ 余肉部のヌキ穴加工をする

また、上記検討の他に、さらに以下に示す検討も行ったが、本検討の結果では約342gの軽量化にしかならず、強度的に問題があるため採用しないこととした。

- ① モーターカバー等を全面的に樹脂製のカバーとする
- ② ケーブル押え、カバー取付ねじを全面的に樹脂材料とする

表3.1.5にスキャナの軽量化検討結果を示す。

(7) スキャナの構造及び制御方式の検討

スキャナの構造及び制御方式は、無軌道駆動式スキャナの主要構成要素である軸方向走行体について要素試験を実施し、決定した。

① 要素試作試験の目的

- (a) 駆動輪数の決定

(b) 決定した駆動輪数とした場合のスキヤナの制御方式の決定

② 駆動輪数の検討

(a) 要素試作試験の内容

軸方向走行体の駆動輪数を2輪，3輪，4輪とした場合の走行試験を実施し，姿勢変化の大きさ及び制御性の面から検討を行い，駆動輪数を決定した。

走行試験は，駆動輪の構成を決定するため，各駆動輪に直管，曲管走行のための速度を与え，直管～曲管～直管部を蛇行補正，傾き補正なしで往復走行を繰り返し実施し，その時の蛇行量，傾き量をペンレコーダーに記録した。

図3.1.9に要素試作試験で実施した，2輪，3輪，4輪とした場合の駆動輪の配置，姿勢検出及び姿勢制御させるためのセンサ，駆動ユニット等の配置を示す。

(b) 試験結果

図3.1.10～図3.1.12に2輪，3輪，4輪配置の走行試験結果を示す。また，走行試験結果から，各駆動輪配置とした場合の検討結果を表3.1.6に示す。

表3.1.6より，駆動装置の安定走行の点では4輪配置が最も良いが，1つの操舵輪で蛇行，傾き量を制御しようとした場合，4輪配置では走行する際に他の駆動輪の拘束が大きいため，制御に要する時間が大幅に長くなり，実際には制御することが殆ど不可能である。これに対し，3輪配置は，1つの操舵輪で蛇行，傾き量を容易に制御でき，蛇行量を制御することで全体の傾き量を仰制できるので，3輪配置とし，そのうち1輪を操舵輪とした。

③ 3輪配置とした場合のスキヤナの制御方式の検討

②の結果より，3輪配置とした場合のスキヤナの制御方式を検討し，実機を想定した走行試験を実施した。

(a) 制御の基本的考え方

② 検討対象が32Bのエルボ配管で，同一形状であることから，スキヤナの各駆動輪が常に配管に倣って走行するように制御を行う方式とする。

① 姿勢制御としては，姿勢の変動を蛇行（駆動装置の周方向への回転），上下の傾き，左右の傾きの3つに分け，各々補正を行い姿勢制御するものとする。

る。

(b) 制御方法

表3.1.7に各駆動輪の制御方法を示す。

制御方法としては、M1、M2、M3に直管、曲管部走行のための倣い速度を与え、走行中の蛇行センサ、上下傾きセンサ及びロータリエンコーダの値をコンピュータで監視して、M2、M3、M4により補正を行うものとした。

(c) 予備試験

㊸ 操舵制御及び上下傾き補正試験

上記制御方式により、操舵制御のみで走行試験を実施した場合と、上下傾き補正を追加した場合の上下の傾き、駆動輪位置の傾き、蛇行量を測定した。

㊹ 模擬負荷試験

駆動装置のリングの水平方向片側に、探触子ユニット片側分の重量（4kg）を模擬した状態で走行試験を実施し、各傾き、蛇行量を測定した。

㊺ 繰り返し走行試験

直管、曲管部を含めた2500mmと、直管部での300mmを各々20回往復走行させて各傾き、蛇行量を測定した。

表3.1.8に上記各種走行試験の結果を示す。

(d) 走行試験結果

表3.1.8に示す結果より、操舵制御及び上下傾き補正を実施した測定値は小さい値であり、また、往復走行試験においても傾き量及び蛇行量の大きさはあまり変わっていないため、本制御方式を採用することとした。

また、本走行試験と併せて原点セット試験として、駆動装置を予め50mm程度周方向に回転させた状態で直管部に取付け、200mmの往復走行を実施し、操舵輪を使用してどの程度で駆動装置が真上位置になるかを測定した。

測定の結果、試作機の重量38kg、操舵角 $\pm 7^\circ$ の設定において、50mmの周方向のずれ量が、約4400mmの走行距離で補正できることがわかり、実際の作業においては、水準器により検査機を配管に取付けるため、50mmも周方向がずれることはないが、仮に50mmずれたとしても原点セットは可能である。

### 3.2 保温材着脱装置

#### 3.2.1 設計上の要求事項

装置開発を行うにあたって、設計上の要求事項を以下に示す。

- (1) スキャナの取付けスペースとして400mm及び走行スペースとして250mmを確保できること。
- (2) 保温の取付け、取外しがそれぞれ約5分以内でできること。また、作業員の被ばく低減の観点から、保温の着脱を遠隔・自動で行えること。
- (3) プラントの30年運転における1次主冷却系配管の経年的な熱変位に追従できること。また、常設となるために、プラント運転中における1次主冷却系配管の熱変位を拘束しない構造であること。

#### 3.2.2 設計要求事項に対する課題

本装置を開発するにあたり、その設計要求事項を達成するためには、以下の課題がある。

- (1) 本装置の設置場所は、他の配置物として隣接しており、限られたスペースの中で保温の着脱を行わなければならないため、保温の着脱方法について十分な検討が必要である。
- (2) 遠隔で保温の着脱をするために、その駆動源について検討が必要である。
- (3) 作業時間の短縮化から、保温の結合方法について検討が必要である。

#### 3.2.3 装置開発上の設計検討項目

装置開発において、前項の課題を解決するために、着脱方式、駆動源選定、保温の結合方法について検討を行った。その検討内容を以下に示す。

##### (1) 着脱方式の検討

着脱方式については、検査機の取付けスペース及び走行スペースを確保でき、遠隔着脱化が可能な方式を検討した。図3.2.1～図3.2.4に着脱方式の検討図を、表3.2.1に検討結果を示す。

表3.2.1より、第1案～第4案のうち、実機の主要機器に対するインパクトが最も少ない第4案の3分割方式を採用した。

(2) 駆動源選定の検討

着脱装置の駆動源としては、モーター、エアーシリンダー、油圧シリンダーが考えられるが、モーターは1次主冷却系室内の空間線量及び熱条件では常設は不可能であり、油圧シリンダーは油の耐放射線性の問題がある。よって、エアーシリンダーを使用する。

(3) 検査機取付け部（400mm）の保温着脱方法の検討

保温を全て前述の着脱方式で取り外そうとすると、検査機を1次主冷却系配管に取り付けることができないため、検査機の取付けスペースを確保する上から上・下部の保温のうちI H X側の400mmを別に取り外す必要がある。

着脱方法としては、表3.2.2に示すように自動化が成立しないため、手動による取り外しとし、その検討結果を表3.2.3に示す。

以下に、自動及び手動の着脱方法案の概要を示す。

① 自動着脱方法案

- (a) 第1案：2台のシリンダーを使用して、1台で保温を手前に引き、残りの1台で1台目のシリンダーのベース自体を移動して取り外す方法
- (b) 第2案：シリンダーを水平部保温側に設置し、滑車を介して保温を上へ吊り上げる方法
- (c) 第3案：ラック及びピニオンを介して、保温をシリンダーで手前に引きながら回転させて取り外す方法
- (d) 第4案：パッケージ保温の上部とヒンジで連結して、パッケージ保温上部と同時に400mm保温を取り外す方法

② 手動着脱方法案

- (a) 第1案：ギヤトロリー付のチェーンブロックを操作床の天井に設置し、保温を手前に引いた後回転させて取り外す方法
- (b) 第2案：400mm保温の付近にL型のポストを設置し、ポスト上部にギヤトロリー付のチェーンブロックを設置し、保温を手前に引いた後回転させて取り外す方法
- (c) 第3案：チェーンブロックを操作床の天井に設置し、保温を上へ吊り上げる

#### 方法

- (d) 第4案：400mm保温を2分割にし，上部保温は，自動着脱方法の第4案と同様に取り外し，下部保温を手動で取り外す方法

検討の結果，表3.2.3に示す第1案～第4案とも，作業時間には余り差がないが，第1案及び第3案はチェーンブロックが高所に取り付くためメンテナンス性に問題があり，第4案は一部手動で取り外す必要があるためこれの運搬が問題となり，また下部保温を置くスペースが確保できない。よって，第2案を採用した。

#### (4) 保温の結合方法の検討

保温の結合方法としては，バックル方式，バンド方式，ピン方式が考えられるが，信頼性の面からバックル方式を採用した。

バックルの着脱方法としては，自動方式，手動方式が考えられるが，作業環境が狭い場所であり，全体の作業量，作業時間及び作業員の被ばく量から評価すると自動化が成立しないため，方式の選定としては手動方式とした。

また，バックル構造は，作業員の被ばく量低減の観点からバックル取付け，取外し作業の時間短縮を図り，各バックルをユニバーサルジョイントで連結した，連動バックル構造を検討した。

この連動バックル構造について，バックル位置，強度，耐久性，作業時間の検討を行い，実機保温結合方法としての成立性の目度があったため，本方式を採用した。

### 3.3 総合機能試験装置

本装置は，検査機，保温材着脱装置の機能・性能を評価する上で必要な，もんじゅでの体積試験対象箇所の作業環境を模擬するために，模擬範囲について検討を行った。その検討内容を以下に示す。

#### (1) 実機模擬範囲の検討

1次主冷却系配管体積試験用 I S I 装置の総合機能試験装置として，実機模擬範囲を①開発装置の性能の検証に係わるもの，②実機作業を考慮した場合の作業性能に係わるもの，の2つの観点から検討を行い，以下を模擬するものとする。



① 開発装置の性能の検証に係わるもの

(a) 32Bエルボ配管

検査機の走行性能，探触子の欠陥検出性能を考慮し，実機と同一の材質，寸法，据付け（勾配1/75）とした。

(b) 配管温度

配管温度が検査機の走行性，耐久性，探触子の検出性に影響するため，実機の検査時の温度が模擬できるように昇温設備を設ける。

(c) 配管変位

配管変位が保温着脱性能に係わるため，配管変位が可能を装置とする。

(d) FFD架構（一部）

保温材，着脱範囲，検査機走行スペースに影響するため，FFD架構の一部を模擬する。

(e) 保温材，重量，内部構造

保温材着脱装置の性能，耐久性検証のため，実機と同一の保温材を用いる。

② 作業性能に係わるもの

(a) 60°昇降階段及び架台高さ

検査機取付けのために，検査機を持って階段を上がるという作業性の検証のため，60°階段，架台高さを模擬する。

(b) 小口径配管，サポート類

検査時に，配管に近寄って作業するという作業性の検証及びメンテナンス作業の検証のため，小口径配管，サポート類を模擬する。

(c) 手摺り等

実機作業範囲を模擬するために，作業範囲を限定する手摺り等を模擬し，作業性を検証する。

## 第4章 納入後の不具合

装置の設計製作を平成2年3月に終了し、その後各種試験等を実施しているが、これまで種々の不具合が発生している。

表4.1, 表4.2に発生した不具合とその原因及びもんじゅにおける対策を示す。

## 第 5 章 結 論

1 次主冷却系配管の体積試験を行うための I S I 装置の開発を行い、得られた成果を以下に示す。

(1) タイヤ型ノンカプラント探触子の実用化

- ① 高温（80℃）での体積試験が可能となった。
- ② タイヤ型としたために、ノンカプラント探触子での自動探傷が可能となった。
- ③ 接触媒質の供給・回収装置が不要となった。
- ④ 上記装置の着脱作業及び接触媒質の拭き取り作業の不要化により、作業時間の迅速化と作業員の被ばく低減が大きく期待できる。

(2) 32B無軌道検査機の実用化

- ① レールの取付け作業が不要となった。
- ② 検査機の着脱は検査開始・終了時のみであるため、検査機の着脱作業が簡略化された。
- ③ ②により、作業員の被ばく低減が図られた。

(3) 保温着脱の遠隔・自動の実用化

- ① 作業員の被ばく低減が図られた。
- ② 保温の着脱時間の迅速化が図られた。

尚、本報告書における試験は、予備的なものであり、もんじゅ実機における耐久性、作業性等未検証部分については、今後大洗で実施する実証試験にて確認するものとする。以下に、実証試験の主な内容を示す。

(1) 単体性能試験

- ① 検査機本体
  - (a) 傾き補正可能最大量の確認
  - (b) 傾き補正及び走行時における位置再現性の確認
  - (c) 探傷走査時における位置再現性の確認
- ② ノンカプラント探触子
  - (a) 屈折角

(b) 感 度

(c) 分解能

(2) 探触子・検査機組合せ試験

① 探傷時における探触子のカップリング状態の確認

② 耐久性の確認

(3) 探傷試験

① 同一模擬欠陥に対する欠陥エコー高さ、欠陥検出位置再現性の確認

② 検出可能欠陥の確認

(4) 保温材着脱装置

① 保温の着脱操作性の確認

② 着脱装置の配管変位に対する追従性の確認

③ 耐久性の確認

## 第 6 章 謝 辞

本 I S I 装置の開発に対して御協力頂いた、株式会社日立製作所及び関連会社の方々に感謝いたします。

## 第7章 参 考 文 献

- (1) P5-25, PNC ZJ2124 87-005  
高速増殖炉もんじゅ発電所供用期間中検査詳細計画  
主冷却系機器配管 I S I 設備の予備設計 (Ⅱ) 最終報告書 (昭和62年6月)
- (2) P189, PNC ZJ2124 86-016  
高速増殖炉もんじゅ発電所供用期間中検査詳細計画  
主冷却系機器配管 I S I 設備の予備設計 最終報告書 (昭和61年6月)
- (3) P196, PNC ZJ2124 86-016  
高速増殖炉もんじゅ発電所供用期間中検査詳細計画  
主冷却系機器配管 I S I 設備の予備設計 最終報告書 (昭和61年6月)
- (4) P161, PNC ZJ2124 86-016  
高速増殖炉もんじゅ発電所供用期間中検査詳細計画  
主冷却系機器配管 I S I 設備の予備設計 最終報告書 (昭和61年6月)
- (5) P12, 621M133  
もんじゅ供用期間中検査装置の開発  
1次主冷却系配管体積試験用 I S I 装置 契約仕様書 (昭和63年3月)
- (6) エンジニアリングシート  
MJH-UT-E051 探触子の問題点及び実機での対策
- (7) PNC ZJ2124 86-016  
高速増殖炉もんじゅ発電所供用期間中検査詳細計画  
主冷却系機器配管 I S I 設備の予備設計 最終報告書 (昭和61年6月)
- (8) PNC ZJ2124 87-005  
高速増殖炉もんじゅ発電所供用期間中検査詳細計画  
主冷却系機器配管 I S I 設備の予備設計 (Ⅱ) 最終報告書 (昭和62年6月)
- (9) 本 I S I 装置の開発にあたり、株式会社日立製作所との契約の中で提出された技術資料  
例えば

- ① MJH-UT-E021 要素試作試験結果（第1回報告）
  - ② MJH-UT-E027 要素試作試験結果（第2回報告）
  - ③ MJH-UT-E097 スキャナフレーム形状及び材料選定根拠
- ⑩ 機械工学便覧（1987新版発行），日本機械学会編

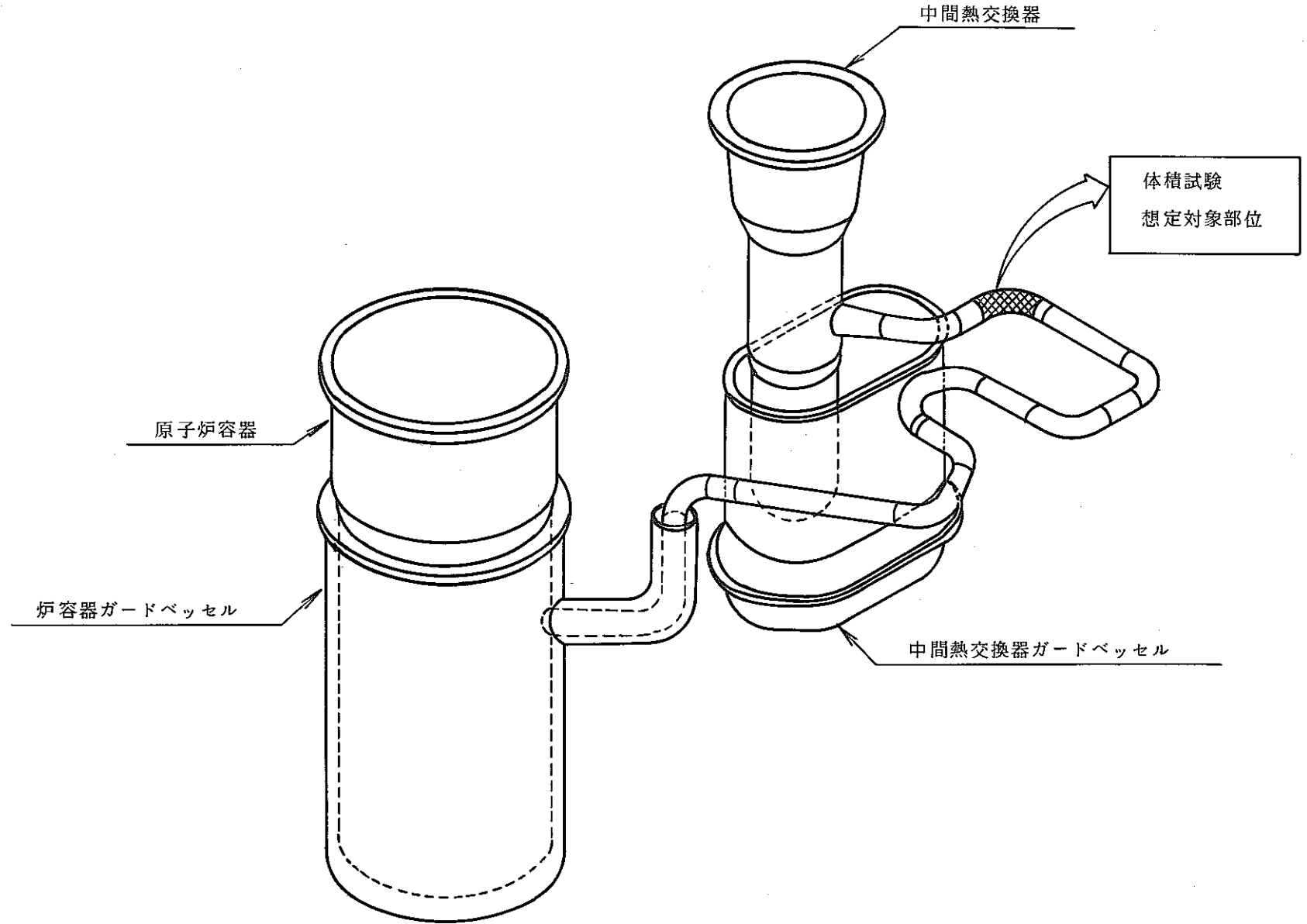
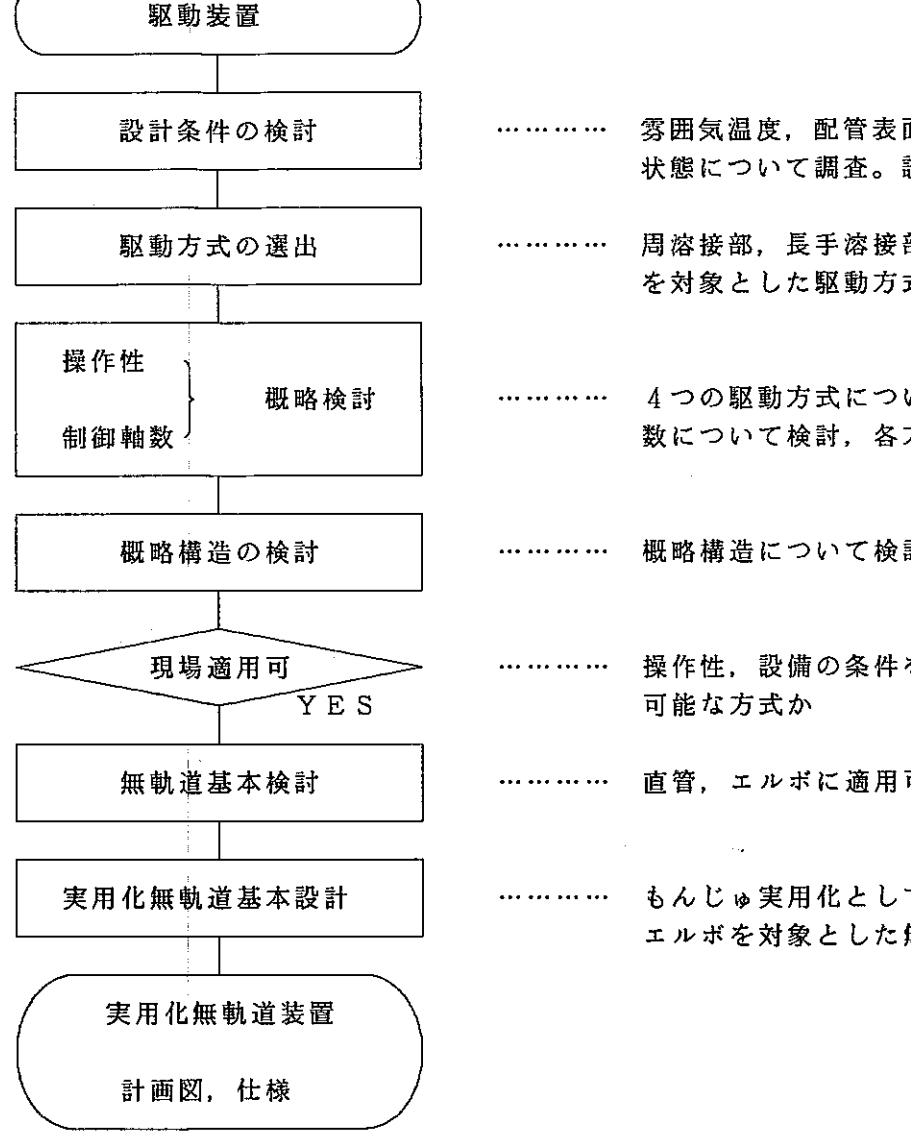


図 2.1.1 1次主冷却系配管図



検討項目	検討案	採用方式	検討結果(採用理由)	
探触子方式	マルチ探触子	マルチ探触子	駆動装置への着脱操作性, 機構の簡素化を考慮し, マルチ式を採用する。	
	一探型探触子			
振動子材質	水晶, 硫酸リチウム, ニオブ酸リチウム, チタン酸バリウム, ジルコンチタン酸鉛, ニオブ酸鉛	ジルコンチタン酸鉛	ジルコンチタン酸鉛は耐熱性300℃位であり, 配管表面温度80℃を満足する。	
くさび材質	銀, ポリイミド, ポリスチロール, アクリル	ポリイミド	耐熱性を考慮し, ポリイミドを採用する。	
振動子接着材	接着剤(エポキシ系)による結合	接着剤(エポキシ系)	硬化剤の選定により耐熱性260℃~310℃のものが可能であり, 結合性の面から接	
	接触媒質(シリコングリス)による結合			を採用
パッキング材	エポキシ系+硬化剤	エポキシ系(アミン系, カルボン酸無水化物, レゾール樹脂)	エポキシ系樹脂の耐熱性は硬化剤の種類により300℃付近の温度まで可能	
コネクタ	レモ, マイクロドット, B/VC型, G型	レモ	ワンタッチ装着性を考慮し, レモを採用する。	
探触子の冷却	冷却式	非冷却式	上記の材料を選定することにより, 配管表面温度80℃を満足するため非冷却式と	
	非冷却式			
駆動装置方式	アーム押付方式	無軌道方式	現場における操作性を考慮すると, R型軌道方式, または無軌道方式が有利であ	
	駆動装置方式			軌道方式は軌道の恒久設置の問題があるため, 無軌道方式を採用する。
	R型軌道方式			
	旋回軌道方式			
制御方式	姿勢制御方式	外輪, 内輪制御方式	直管エルボ配管のうち, もんじゅ適用配管は32B水平配管であるため機能を限定	
	外輪内輪制御方式			の外側, 内側の駆動輪走行距離を制御する方式とする。
駆動輪	3輪	4輪	32B配管用駆動装置の大きさ, 重量を考慮し, 駆動輪を4つとする。	
	4輪			
位置検出	駆動輪検出	検出輪検出	シリコンオイルによるすべり誤差が生じぬよう駆動系と検出系を分ける方式を採	
	検出輪検出			
駆動源	DCモーター	TG付DCモーター	スムーズな動作をさせるため, タコジェネレータ付DCモーターによる速度制御を	
	TG付DCモーター			
接触媒質	グリセリン	シリコンオイル	回収作業性, 難燃性を考慮し, シリコンオイルとする。	
	シリコンオイル			
供給方式	細管供給方式	細管供給方式	実績のある細管供給方式を採用する。	
	フレキシブルシュ方式			
	循環方式	循環方式	シリコンオイルの適性供給量を確認し, 循環方式, または回収廃棄方式のいずれ	

子	
検討	..... 配管表面温度，溶接部表面状態調査 設備要求事項調整
比較 マルチ	..... マルチ探触子，一探型探触子比較
抽出	..... 耐熱性，冷却等についての検討項目抽出
性検討	..... 振動子，くさび材，振動子接着材，パッキン材，コネクタについて耐熱性調査
方式比較 非冷却	..... 設計条件見直しによる冷却，非冷却の比較選定
設計	..... 非冷却方式による探触子基本設計
面図	
検討	..... 配管表面温度調査 設備要求事項調整
比較 シリコンオイル	..... シリコンオイル，グリセリンについて比較検討
式調査	..... BWR自動供給・回収について調査
式検討	..... もんじゅにおける供給・回収基本方針の決定
方針	



..... 雰囲気温度，配管表面状態について調査。計

..... 周溶接部，長手溶接部を対象とした駆動方式

..... 4つの駆動方式について軸数について検討，各

..... 概略構造について検討

..... 操作性，設備の条件可能な方式か

..... 直管，エルボに適用可

..... もんじゅ実用化としてエルボを対象とした

表 2.2.2 実機開発における検討課題

検討対象	現状技術	検討課題	確認内容
1. 探触子	(1) 常温でのマルチ探触子は実用化している。 (2) 高温用としての検討要。	(1) 高温用としての材質構成の検討 (2) SUS材に対する超音波特性の検討	(1) 探触子構成及び耐熱材質の温度に対する影響の確認 (2) シリコンオイルの接触媒質としての特性の確認
2. 接触媒質供給回収	(1) 水の供給、回収装置は実用化している。 (2) 粘性の高い媒質に対する検討要。	(1) シリコンオイルに対する自動供給、回収装置の検討	(1) シリコンオイルの供給性及び供給量の確認 (2) 回収シリコンの再循環性の確認
3. 駆動装置	(1) 要素検討として、8インチ用の無軌道装置の試作により、基本的な確認は行ったが、実機サイズでの適用検討を要する。	(1) 実機適用型とするために ①大型化に対する軽量化の検討 ②重量増大に伴う駆動系の検討 ③大型化に伴う支持構造の検討 ④操作性、耐熱性を考慮した装置構造の検討 ⑤装置にマッチングした制御装置の検討	(1) 装置の走行性、位置検出性の確認 (2) 探触子の接触性、追従性の確認 (3) 装置の操作性の確認

表 2. 2. 3 探触子設計検討項目

検 討 対 象	検 討 項 目	検 討 内 容
探 触 子	1. 構造の検討	(1) 超音波入射安定性の検討 (2) 走査安定性の検討 (3) 小型化の検討 (4) 耐久性の検討
	2. 性能の検討	(1) 不感帯低減の検討 (2) 感度向上の検討 (3) S / N比の向上 (4) 欠陥検出性能の向上 (5) 温度特性の検討
	3. 耐熱性の検討	(1) 耐熱性部品の選定 (2) 劣化防止の検討

表 2. 2. 4 検査機本体設計検討項目

検 討 対 象	検 討 項 目	検 討 内 容
検 査 機 本 体	1. 構造の検討	(1) 検査機大型化の検討, 評価 (2) 駆動輪配置の検討 (3) 検出輪, センサの構成及び配管の検討 (4) 分割構造の検討 (5) 剛性の検討 (6) 軽量化の検討 (7) 検査機取付け性の検討
	2. 走行性の検討	(1) 駆動輪の材質の選定 (2) 駆動輪の走行性の検討
	3. 探傷方法の検討	(1) 探触子ならい性の検討 (2) 探触子押付機構の検討
	4. 耐熱性の検討	(1) 耐熱性を考慮した部品の選定 (2) 構成部品の耐熱性の検討
	5. 精度の検討	(1) 軸方向走行性 (姿勢, 蛇行), 周方向走行性の検討

表 2.2.5 制御装置設計検討項目

検 討 対 象	検 討 項 目	検 討 内 容
制 御 装 置	1. 制御方式の検討	(1) 安定走行のための制御方式の検討 (2) 位置検出についての検出センサの仕様，位置算出法の検討 (3) 蛇行及び傾きの検出法の検討 (4) 蛇行及び傾きの補正方法の検討
	2. 制御系の検討	(1) 各駆動軸のサーボ系の構成の検討 (2) 軸走行駆動輪数とサーボ系の構成の検討 (3) 速度情報，位置情報のフィードバック法の検討
	3. 探傷方法の検討	(1) 探傷に必要な動作モードの検討 (2) 小動作のための必要機能の検討
	4. 制御装置機能仕様の検討	(1) 探傷作業フローを考慮した制御装置の構成，機能の検討 (2) 操作性を考慮した構造，構成の検討

表 2.2.6 保温材着脱装置設計検討項目

検 討 対 象	検 討 項 目	検 討 内 容
保 温 材 着 脱 装 置	1. 構造の検討	(1) 分割構造, 着脱機構の検討 (2) 検査機走行スペース確保の検討
	2. 着脱方法の検討	(1) 駆動源の検討 (2) 結合方式の検討 (3) 経年変化に対応できる着脱方法及び機構の検討
	3. 保温材の構造の検討	(1) 保温性の検討 (2) 熱電対, ヒーター端子等の配置の検討 (3) 耐久性の検討
	4. 耐熱性及び耐放射線性の検討	(1) 装置のメンテナンス性を考慮した配置の検討 (2) 部品等の耐久性の検討

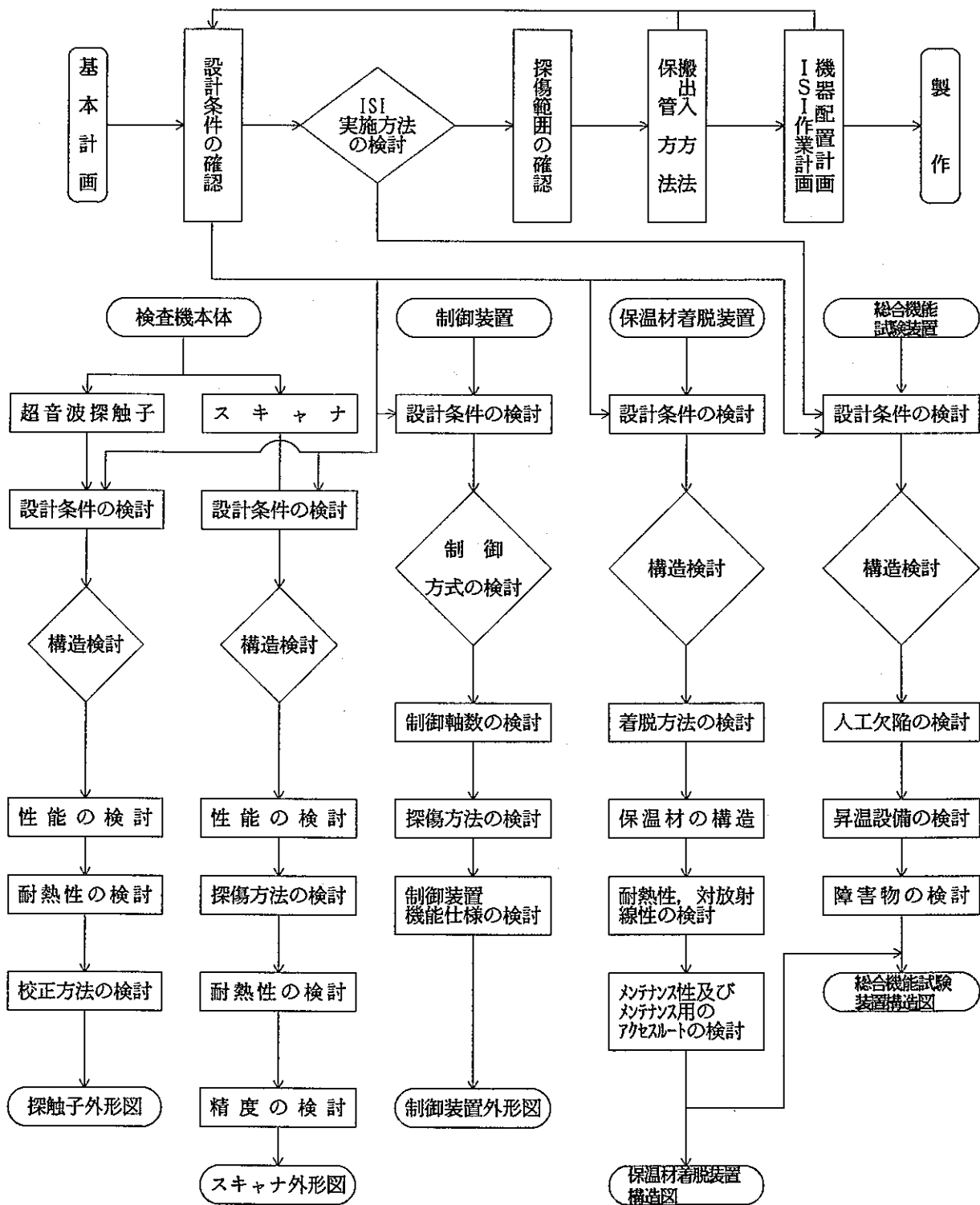
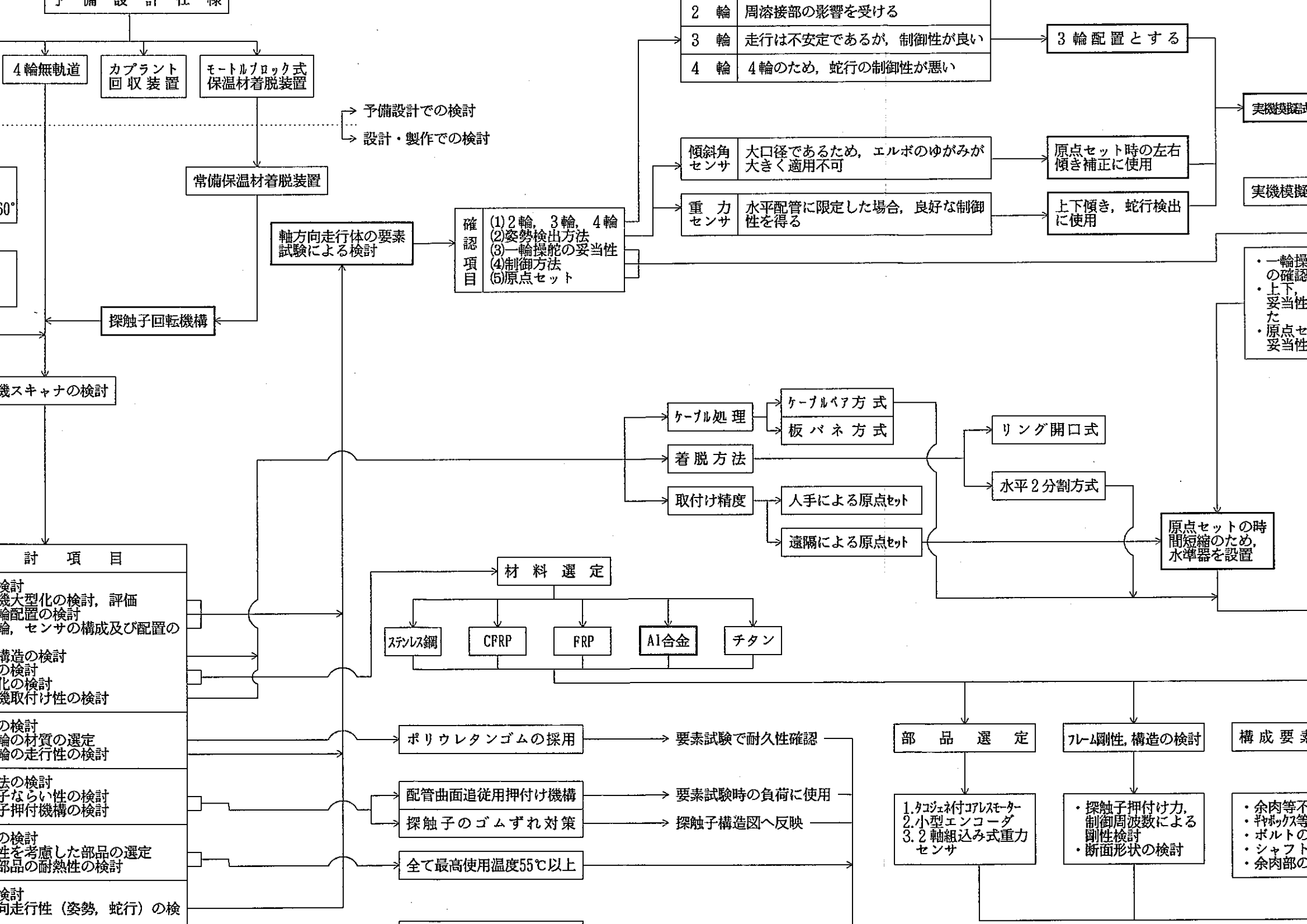
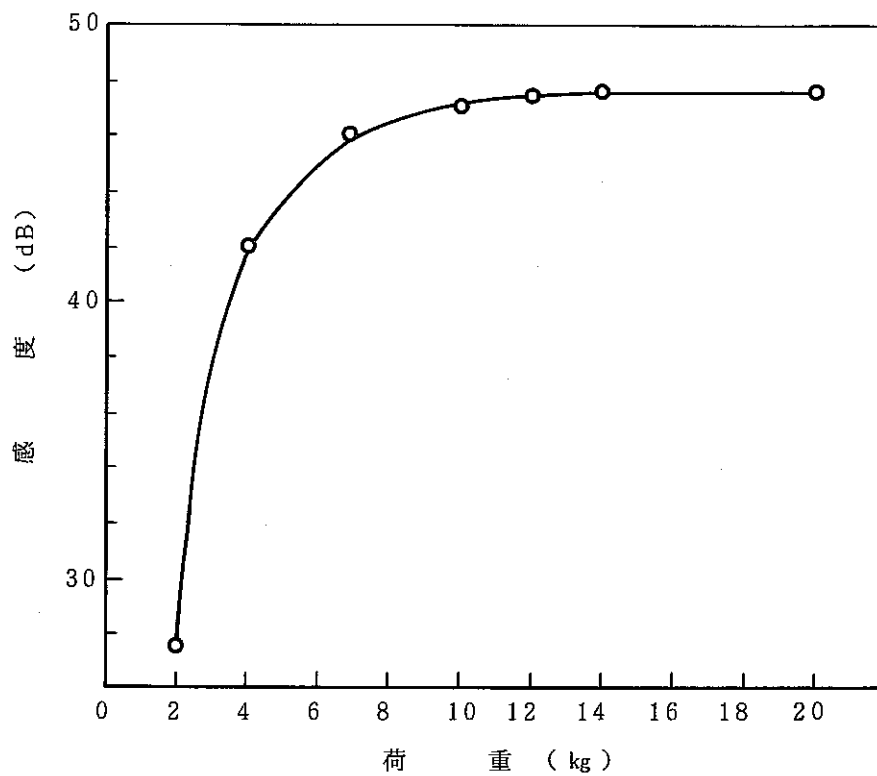


図 2.2.2 1次主冷却系配管体積試験用ISI装置設計検討フロー







※試験方法：A 2 試験片  $\phi 4 \times 4$  を 1.0 S で検出し，探触子  
接触圧の変化による感度変化を測定した。

図 3.1.2 接触圧の影響 (3.5Z10×10A45/5Z5N)

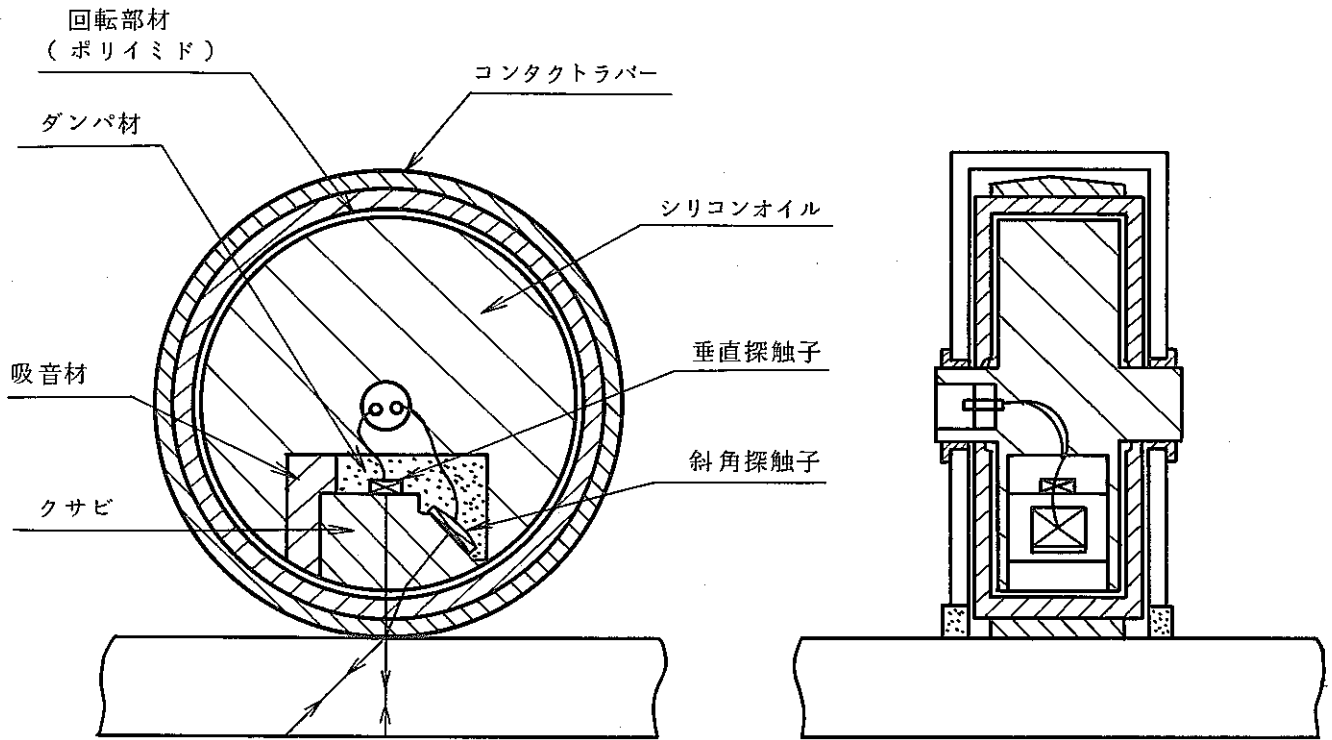


図3.1.3 タイヤ型ノンカプラント探触子

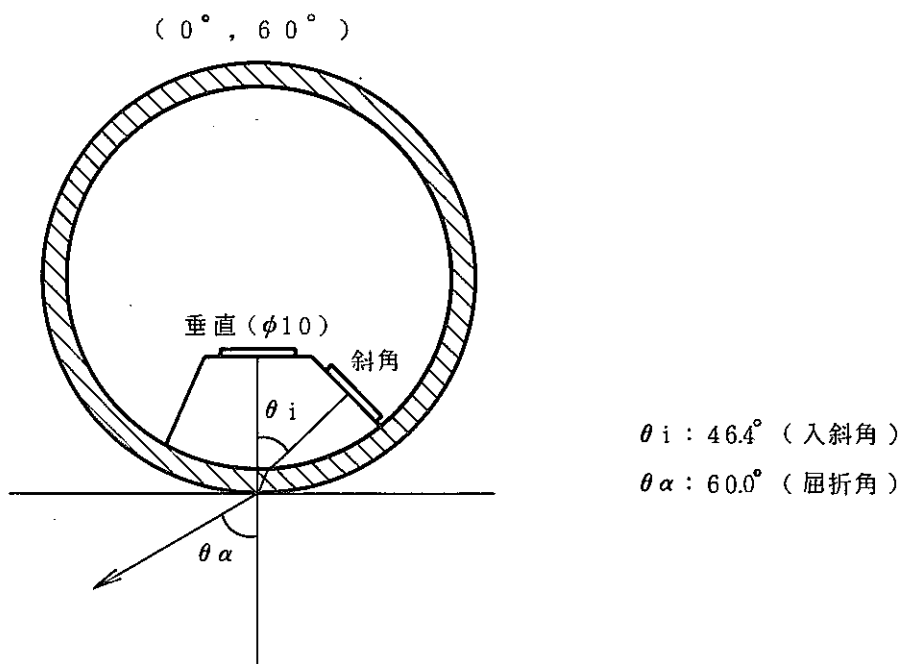
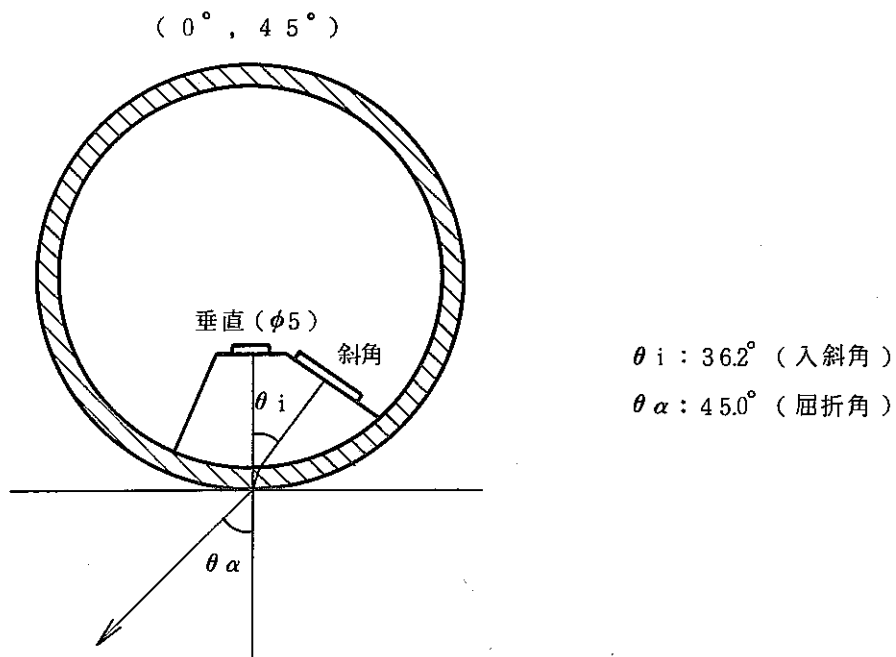


図 3. 1. 4 探触子の内部構造

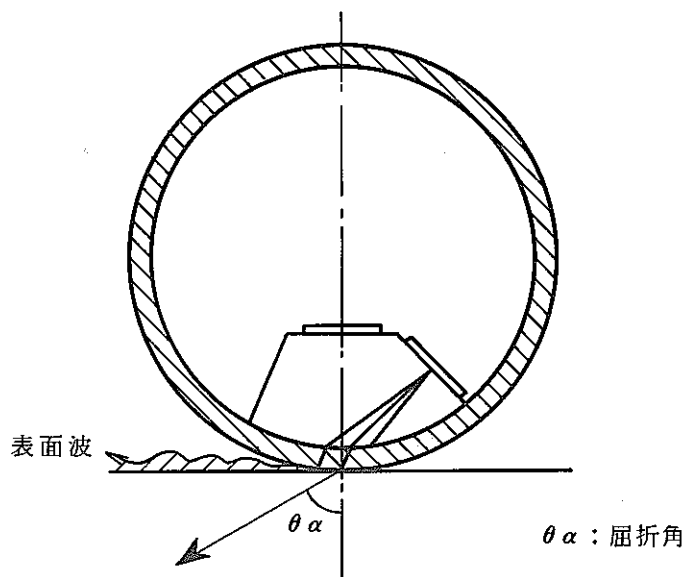


図 3.1.5 表面波の発生原因

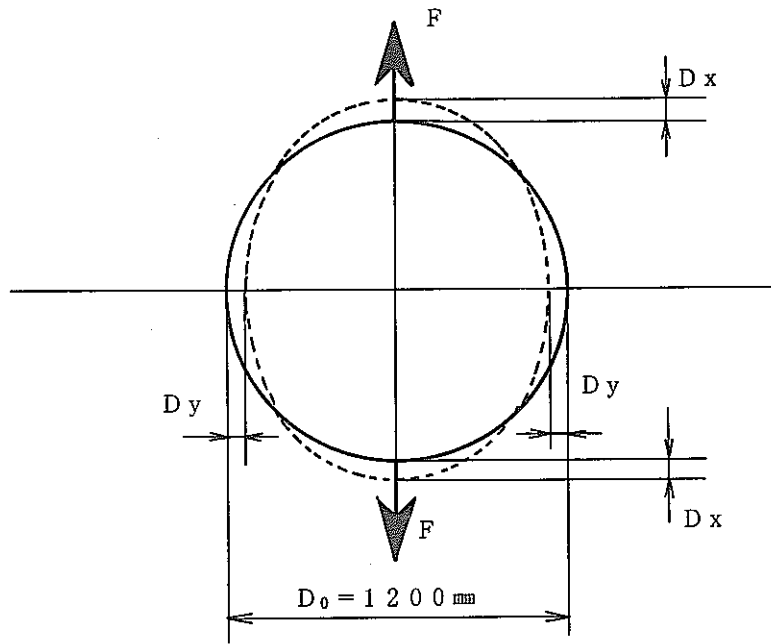


図3.1.6 探触子押付け力による面内変形

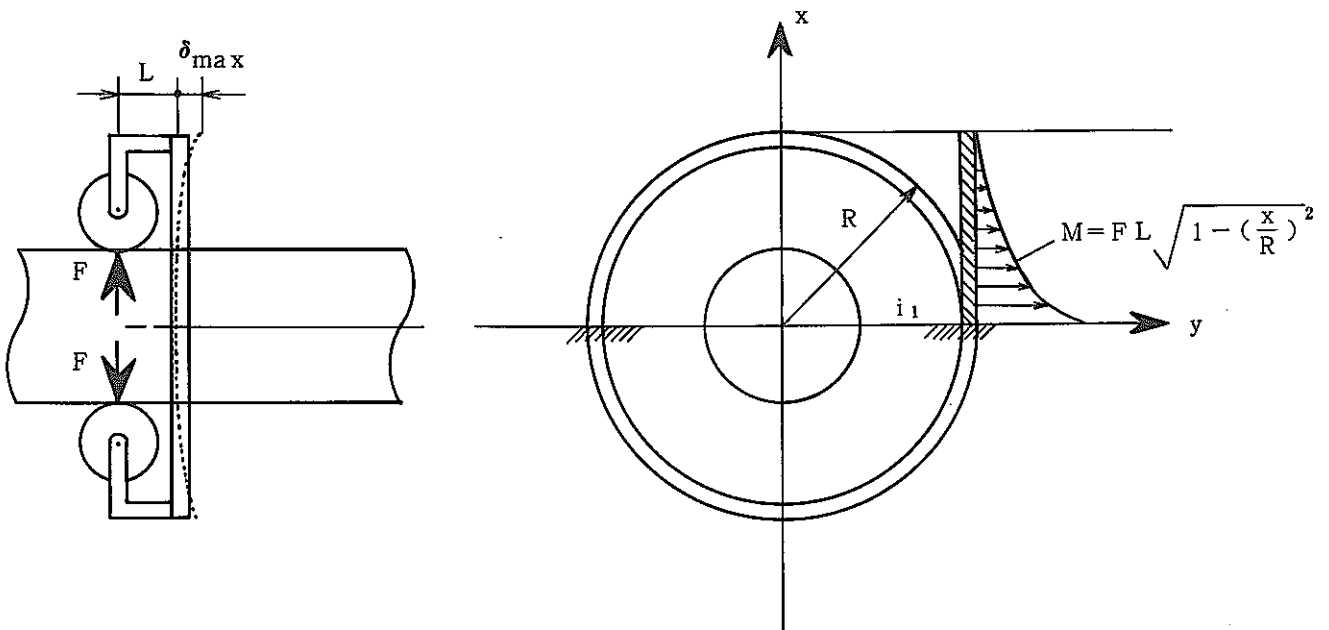


図3.1.7 探触子押付け力による面外変形

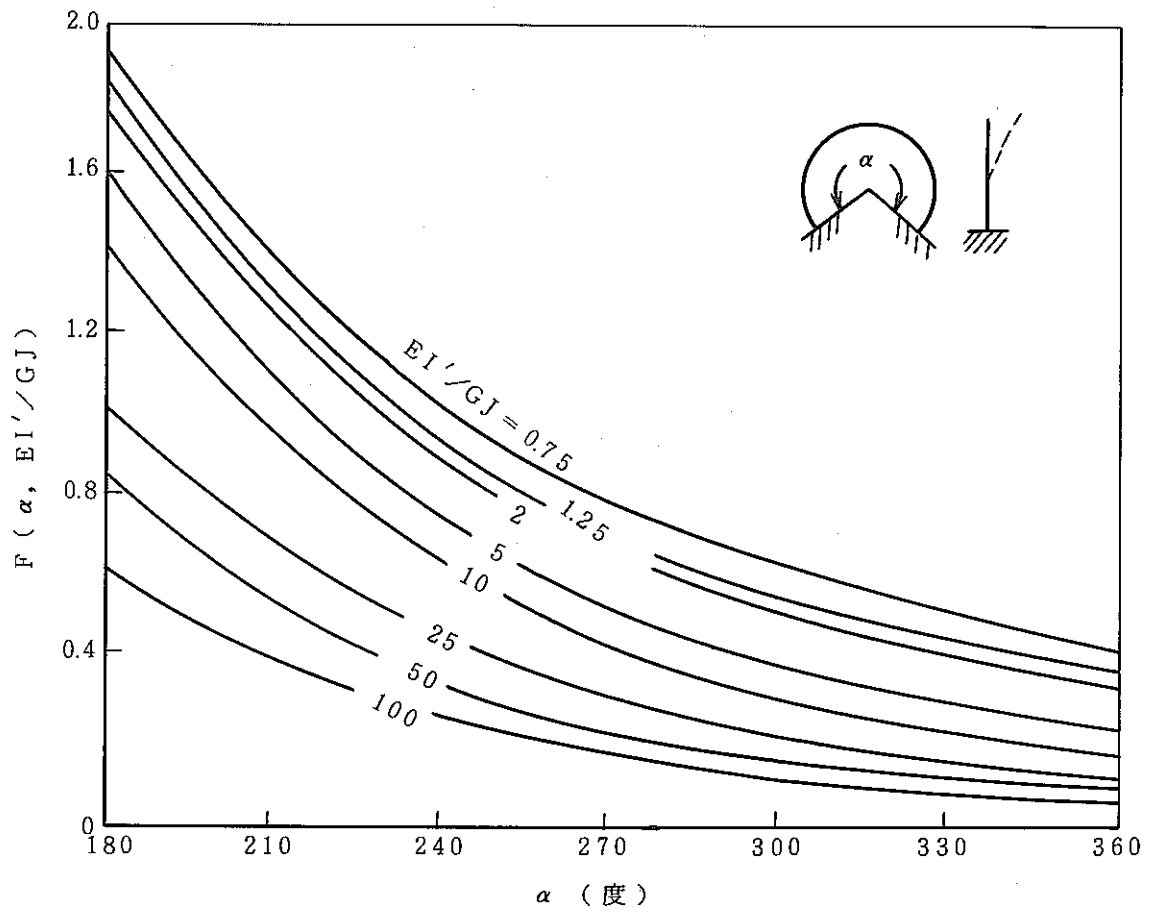
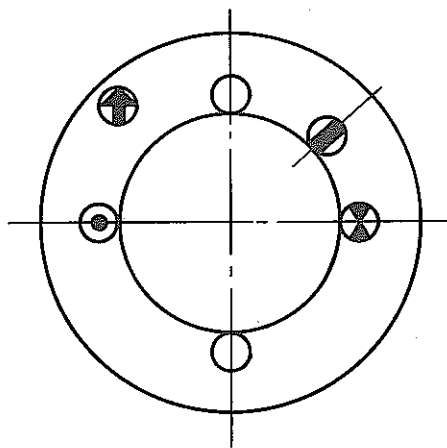
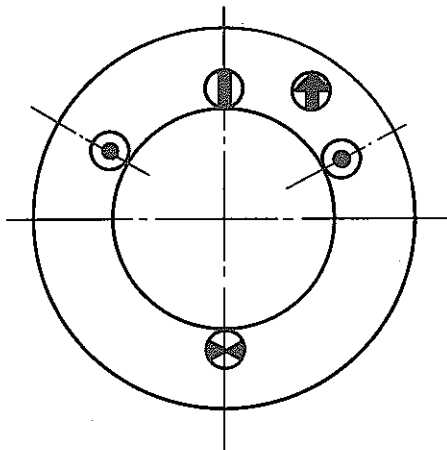


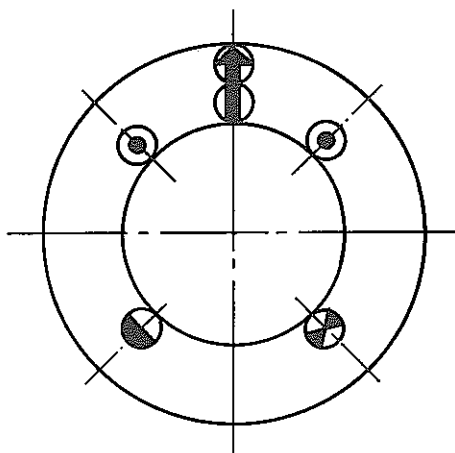
図3.1.8 欠けたリングの面に直角な振動における  $F(\alpha, EI'/GJ)$   
 (機械工学便覧抜粋)



(a) 2 輪配置



(b) 3 輪配置



(c) 4 輪配置

記号説明







- 
 ; 軸方向駆動ユニット  
 軸方向距離検出センサ  
 及び姿勢検出センサを含む
- 
 ; 操蛇駆動ユニット  
 軸方向距離検出センサ  
 及び蛇行機構を含む
- 
 ; 軸方向駆動ユニット  
 軸方向距離検出センサを含む
- 
 ; 軸方向距離検出輪
- 
 ; 蛇行検出センサ  
 及び傾き検出センサ
- 
 ; ガイドローラ

図 3.1.9 駆動輪の配置



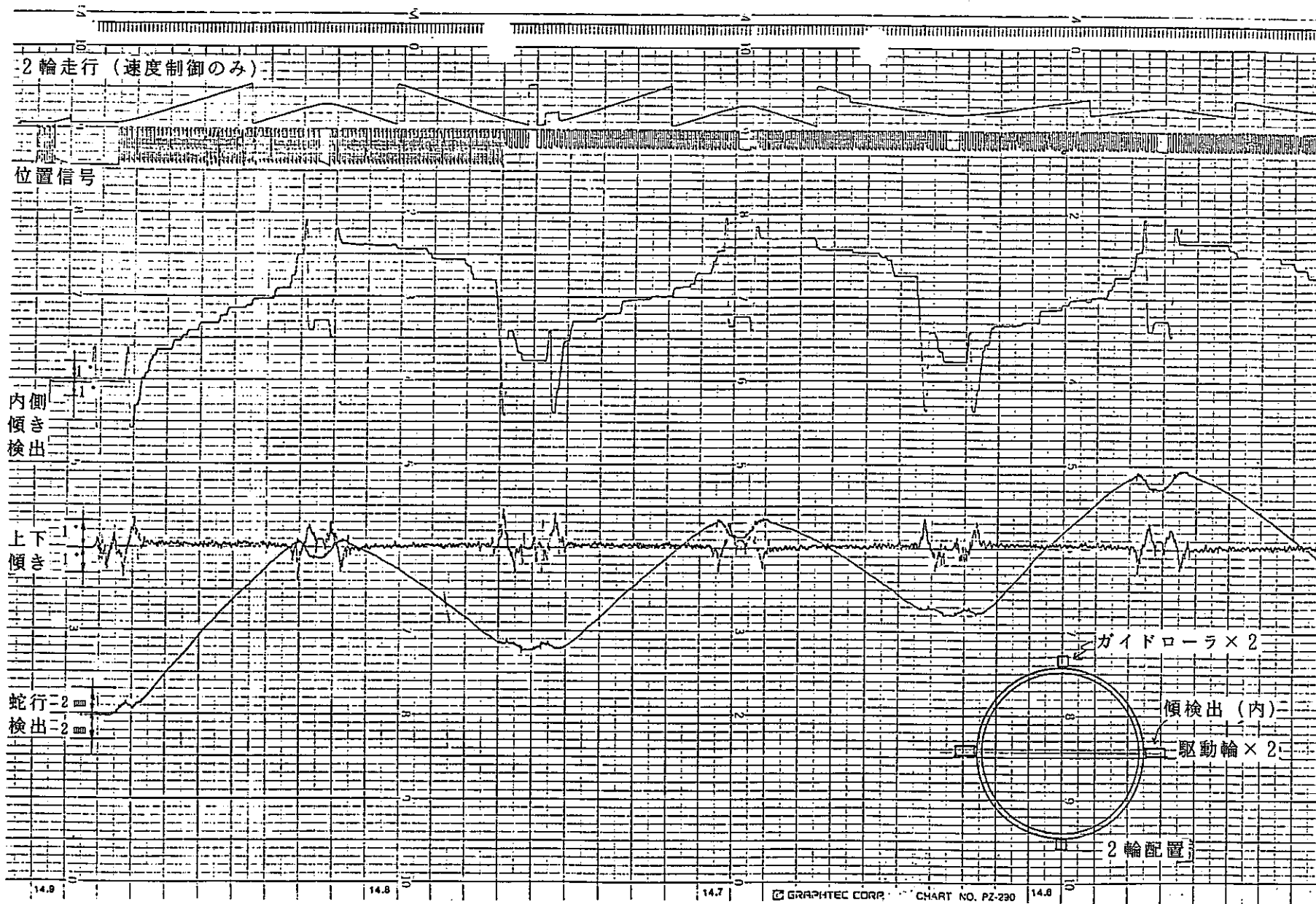


図3.1.10 2輪走行 (速度制御)

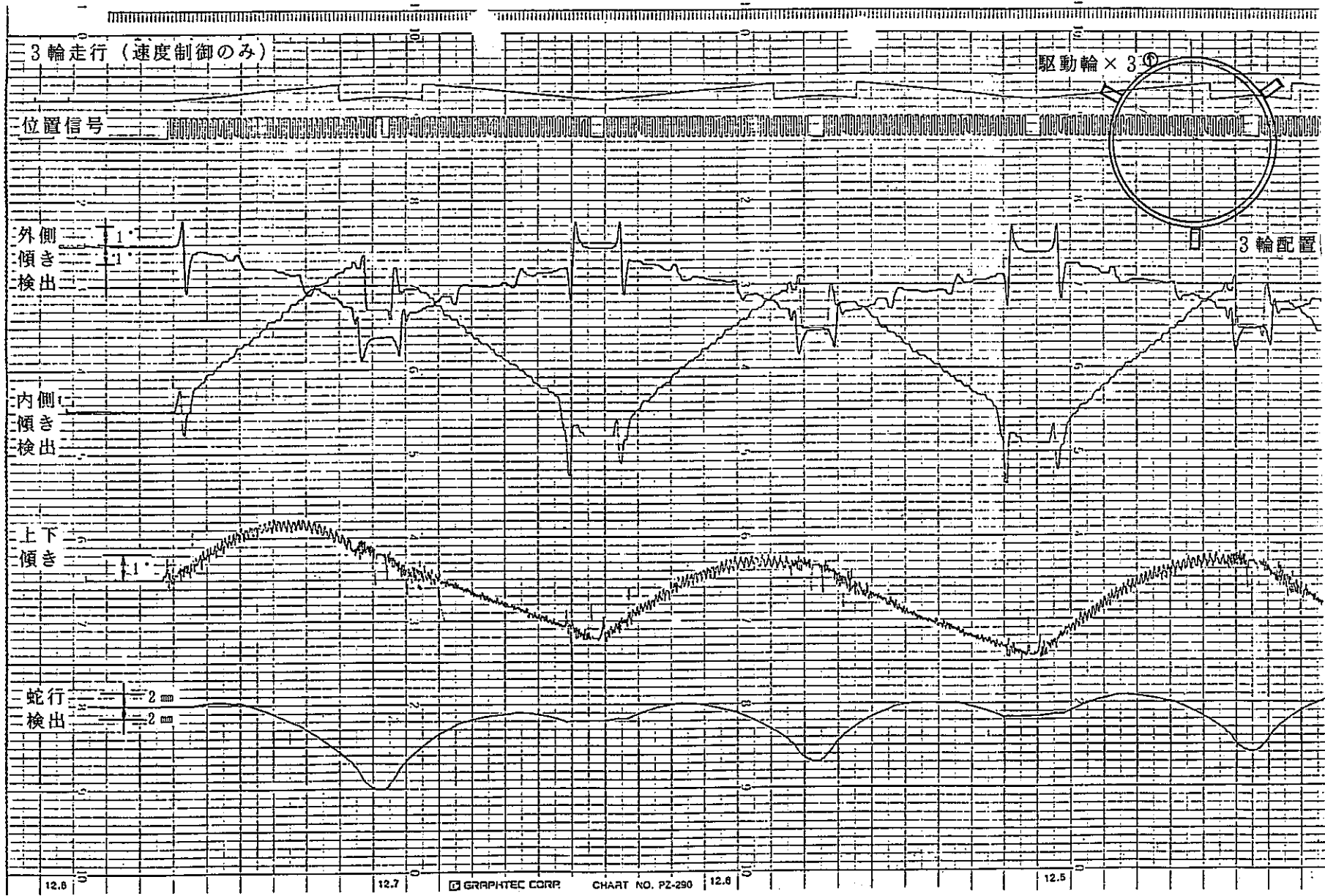


図 3.1.11 3輪走行 (速度制御)

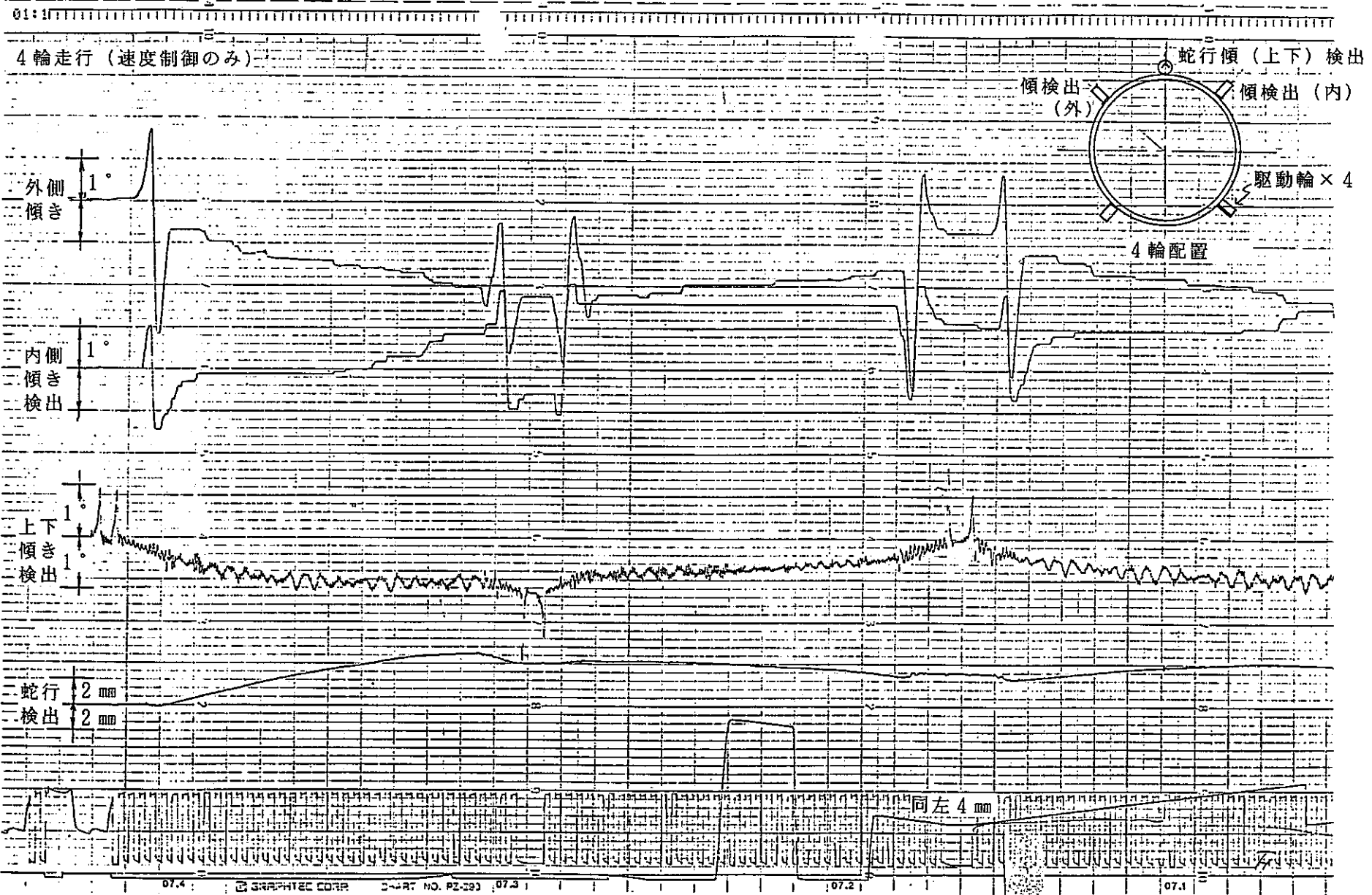


図 3.1.12 4輪走行 (速度制御)

表 3.1.1 周方向駆動ユニットのバックラッシュ量

バックラッシュ	周方向駆動歯車	周方向軌道	組み合わせ
最小値 (mm)	0.035	0.111	0.146
最大値 (mm)	0.130	0.445	0.575

注 1 : 上記バックラッシュ値は、歯車の加工精度を JIS 4 級とした場合の値である。

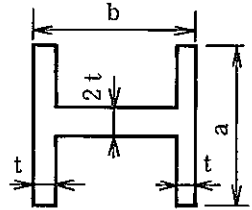
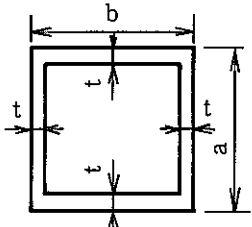
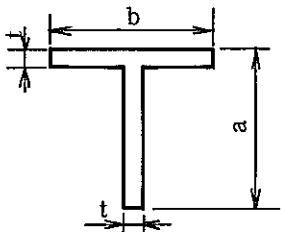
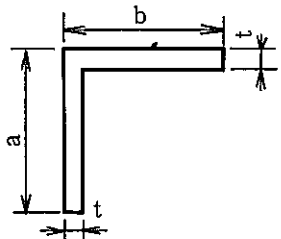
表 3.1.2 材料別の必要剛性

材 質		SUS	CFRP	FRP	Al 合金	チタン
項 目						
ヤング率 E (kg/mm <sup>2</sup> )		20400	2700	1300	8200	10500
比 重 $\gamma$		PNC TN9410 91-169		..7	2.69	4.51
探触子押付け力による剛性 (mm <sup>4</sup> )	I <sub>x</sub>	27300	206000	428000	67800	53000
	I <sub>y</sub> *1	11000	82200	171000	27000	21000
制御周波数による剛性 (mm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> /A	75000	112000	257000	64000	85000
	I <sub>y</sub> /A*2	135000	201000	463000	116000	153000

注 1 : \*1の値は、探触子オフセット量 L = 150mmとして計算した。

注 2 : \*2の値は、 $F(\alpha, EIy/GJ) = 2$ として計算した。

表 3.1.3 フレーム断面形状の検討結果

項目	断面形状	使用材料	主要寸法 (mm)			フレーム重量 (kg)	材料別重量評価	形状評価
			a	b	t			
H 型 断 面		SUS	39.4	57.2	8	39	×	×
		A1合金	36.4	52.9	8	12	△	
		CFRP	48.2	70.4	8	10	○	
		チタン	42.0	61.1	8	24	×	
□ 型 断 面		SUS	32.5	57.2	8	35	×	△
		A1合金	30.1	52.9	8	11	△	
		CFRP	39.8	70.4	8	9	○	
		チタン	34.7	61.1	8	22	×	
T 型 断 面		SUS	46.0	73.8	8	27	×	○
		A1合金	42.5	68.2	8	8	△	
		CFRP	56.1	90.0	8	6	○	
		チタン	48.4	77.7	8	16	×	
L 型 断 面		SUS	46.0	73.8	8	27	×	○
		A1合金	42.5	68.2	8	8	△	
		CFRP	56.1	90.0	8	6	○	
		チタン	48.4	77.7	8	16	×	

構造案	使用材料	剛性上の評価	断面形状評価	加工性	製作性	組立性	走行性及び制御
	SUS	×	×	良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレームは小型となる</li> <li>・フレーム重量は重い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周方向駆動部を探索子の幅が狭くなる必要のない構造（着脱装置との干渉）</li> <li>・ケーブル処理スペースを確保するために径が大きいケーブルが使用される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・駆動輪に対する探触子のオフセット量が大きい</li> <li>・オフセット部の傾きの音波の増大に起因する</li> </ul>
	Al合金	△		良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは小型となる</li> </ul>		
	CFRP	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>・異方性があり、かつ、ぜい性材料であるため、加工性が悪い（放電加工等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは大型となる</li> </ul>		
	チタン	×		<ul style="list-style-type: none"> <li>・かたいため、加工性が悪い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレームは大型となる</li> <li>・フレーム重量は重い</li> </ul>		
	SUS	×	△	良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレームは小型となる</li> <li>・フレーム重量は重い</li> </ul>	同上	同上
	Al合金	△		良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは小型となる</li> </ul>		
	CFRP	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>・異方性があり、かつ、ぜい性材料であるため、加工性が悪い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは大型となる</li> </ul>		
	チタン	×		<ul style="list-style-type: none"> <li>・かたいため、加工性が悪い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレームは大型となる</li> <li>・フレーム重量は重い</li> </ul>		
	SUS	×	○	良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレームは小型となる</li> <li>・フレーム重量は重い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブル径を小さくするスペースを確保する必要がある</li> <li>・スキヤナの幅をせまくできる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・探触子のオフセット量が大きい</li> <li>・探触子の超音波の増大に起因する</li> </ul>
	Al合金	△		良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは小型となる</li> </ul>		
	CFRP	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>・異方性があり、かつ、ぜい性材料であるため、加工性が悪い（放電加工等）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは大型となる</li> </ul>		
	チタン	×		<ul style="list-style-type: none"> <li>・かたいため、加工性が悪い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレームは大型となる</li> <li>・フレーム重量は重い</li> </ul>		
	SUS	×	○	良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フレームは小型となる</li> <li>・フレーム重量は重い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブル径を小さくするスペースを確保する必要がある</li> <li>・スキヤナの幅をせまくできる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・探触子のオフセット量が大きい</li> <li>・探触子の超音波の増大に起因する</li> </ul>
	Al合金	△		良	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは小型となる</li> </ul>		
	CFRP	○		<ul style="list-style-type: none"> <li>・異方性があり、かつ、ぜい性材料であるため、加工性が悪い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・軽量である</li> <li>・フレームは大型となる</li> </ul>		

表 3.1.5 スキャナ軽量化の検討結果

ユ ニ ッ ト	機 能	軽量化実施項目及び重量 (kg)		軽量化後の重量 (kg)		追加軽量化の重量 (g)	
				上 部	下 部	樹脂カバー	樹脂ねじ
探 触 子 ユ ニ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> <li>探触子方向回転</li> <li>探触子押付</li> <li>探触子倣い機構</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>探触子回転の小型化</li> <li>台車の余肉削除</li> <li>薄板カバー, 中空シャフト</li> </ul>	-1.8	7.3 (2ユニット)	-	-22	-18
軸 方 向 駆 動 ユ ニ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸方向駆動</li> <li>位置検出 (0.1mm/p)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ギヤボックスの余肉削除</li> <li>機構の小型化</li> <li>薄板カバー, 中空シャフト</li> </ul>	-1.3	3.2 (2ユニット)	-	-90	-21
操 舵 駆 動 ユ ニ ッ ト	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸方向駆動</li> <li>操舵</li> <li>駆動輪押付</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ギヤの余肉削除</li> <li>中空シャフト</li> <li>薄板カバー</li> </ul>	-1.1	-	2.9	-83	-11
フ レ ー ム	<ul style="list-style-type: none"> <li>各駆動輪取付</li> <li>周方向用ラック付</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フレームの余肉削除</li> <li>フレームの小型化</li> <li>フレームのヌキ穴加工</li> </ul>	-7.7	9.5	6.3	-	-11
周 方 向 駆 動 ユ ニ ッ ト (連結フレーム含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2探触子(180° 対向)の周方向駆動 (1モーター)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周方向駆動を1つとする</li> <li>台車の余肉削除</li> <li>薄板カバー</li> </ul>	-2.3	2.7	-	-60	-17
姿 勢 検 出 真 上 セ ン サ	<ul style="list-style-type: none"> <li>前後, 左右の傾き 検出</li> <li>蛇行量の検出</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ヌキ穴加工</li> <li>薄板カバー</li> <li>余肉削除</li> </ul>	-0.8	0.7	-	-	-5
コネクタ, ケーブル等 (探触子含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>周方向ケーブル処 理</li> <li>ケーブルの着脱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軽量化のケーブル処理</li> </ul>	-1	4	2	-	-4
合 計	—	—	-16kg	27.4kg	11.2kg	-255g	-87g
				38.6kg			

表 3.1.6 要素試作試験結果

駆動輪配置	走行試験結果		検討結果
2 輪配置	上下の傾き	1.5°	(1)上下方向に発生する傾きは、制御不可能である。 (2)ガイドローラが溶接部の変形を直接受ける。
	駆動輪位置の傾き	1.5°	
	蛇行量	19mm	
3 輪配置	上下の傾き	9.2°	(1)蛇行量、上下の傾きは大きいですが、蛇行量を制御することで、上下の傾き量を小さくすることが可能である。 (2)上下及び水平の傾きによって蛇行が発生しているため、蛇行量を制御することで傾きを抑制できる。
	駆動輪位置の傾き	2.0°	
	蛇行量	13mm	
4 輪配置	上下の傾き	1.2°	(1)蛇行、傾き量は小さいが、蛇行及び傾き補正の効果は駆動輪の関係で小さい。 (2)水平方向の傾きは、蛇行の発生とは関係ないため、制御不可能である。
	駆動輪位置の傾き	1.1°	
	蛇行量	4.2mm	



表 3.1.7 各駆動輪の制御方法

駆動輪	名 称	制 御 方 法
M 1	軸方向駆動用 モータ	基準輪とし、位置の検出、加減速のタイミングを決める
M 2	軸方向駆動用 モータ	基準輪位置に対応した位置（計算値）となるよう加減速を行い、装置左右方向の傾き補正を行う
M 3	軸方向駆動用 モータ	傾き（上下）センサ出力をサーボアンプにフィードバックすることにより加減速を行い、装置上下方向の傾き補正を行う
M 4	操舵用モータ	蛇行センサ出力をコンピュータで検出し、M 4サーボアンプを駆動して舵取りを行うことにより、蛇行補正を行う

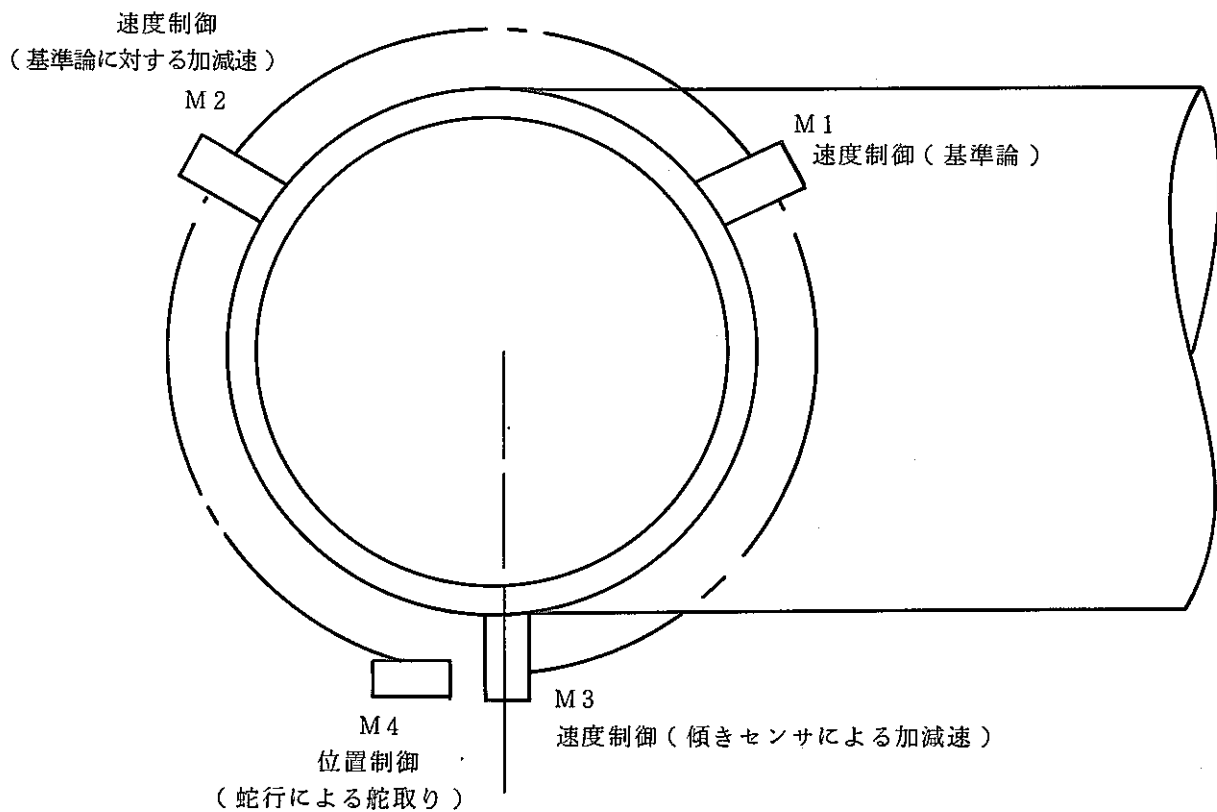
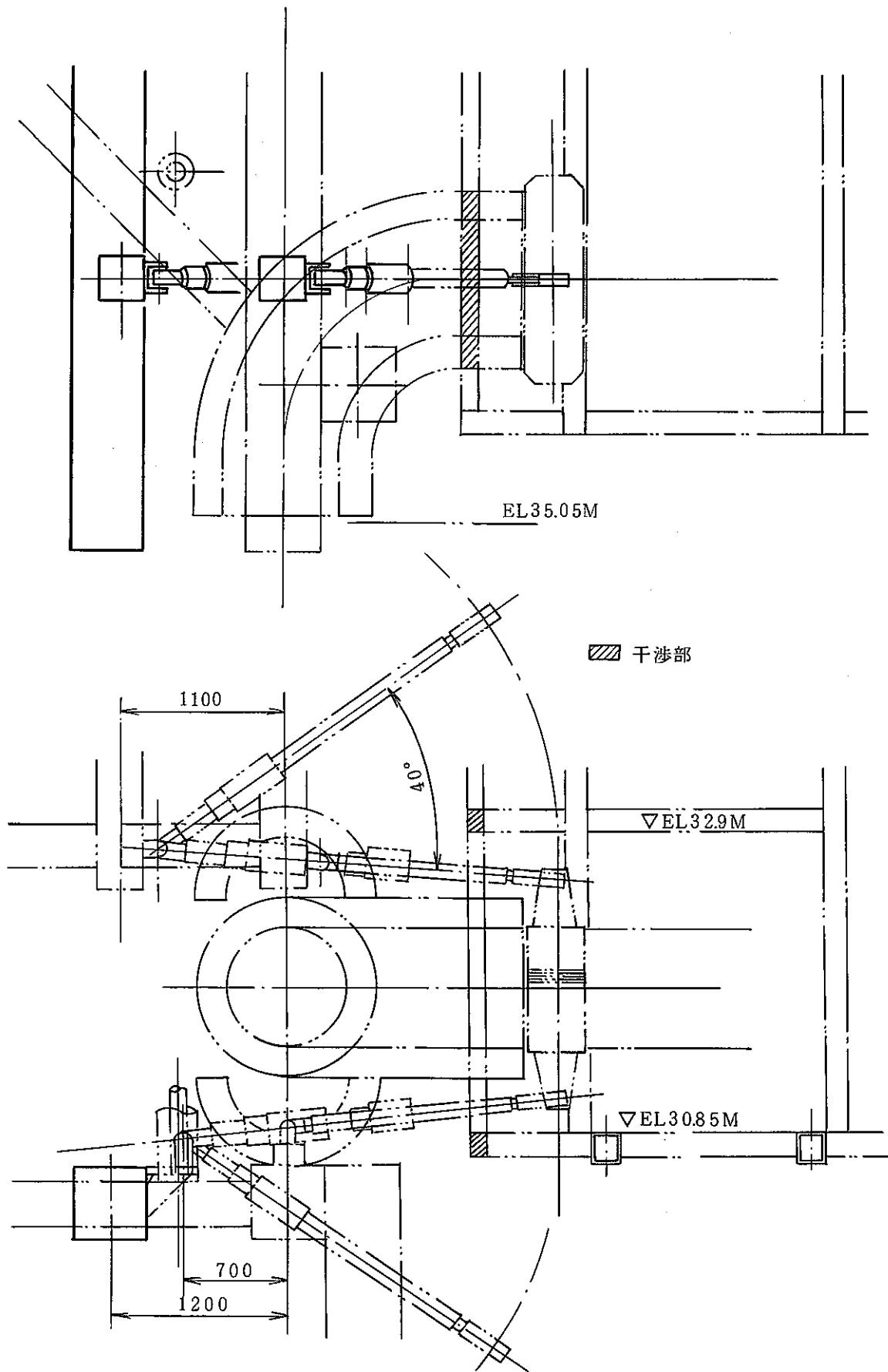


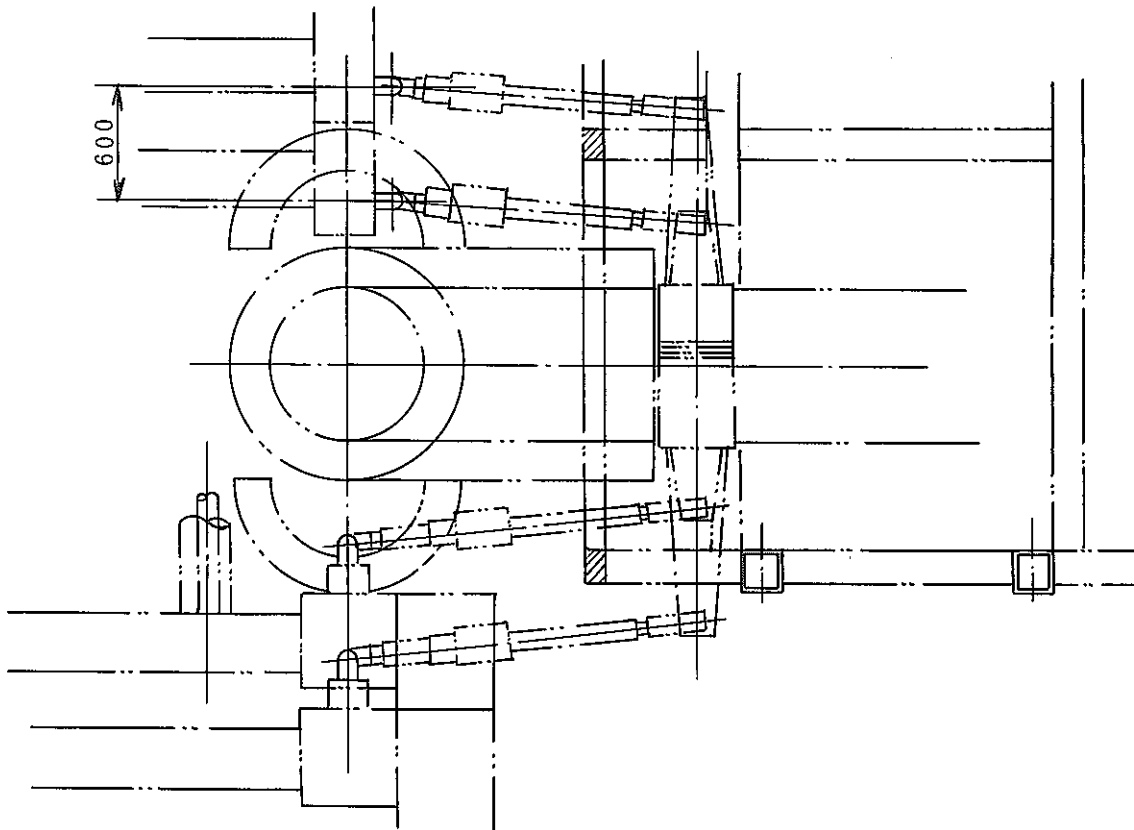
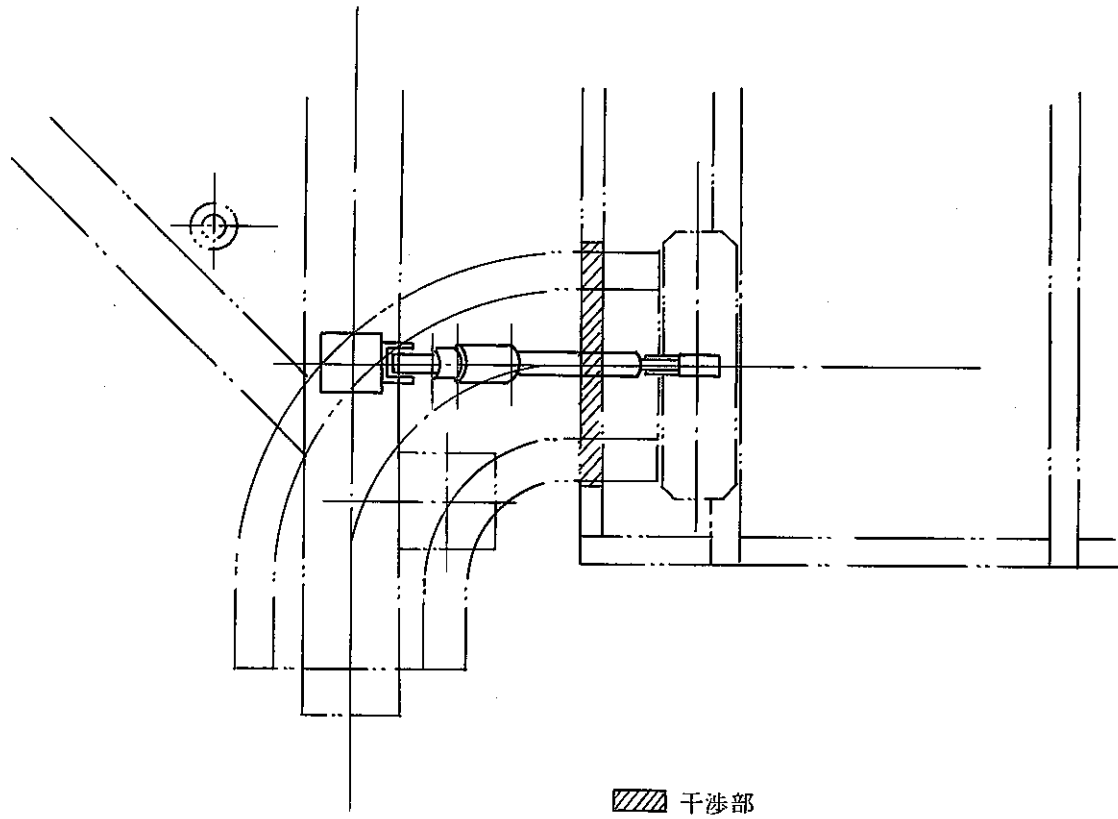
表 3.1.8 3 輪配置走行試験結果

試験項目	制御内容			測定結果		
	位置補正	操舵制御	上下傾き制御	上下の傾き	駆動輪の傾き	蛇行量
操舵制御試験	○	○	-	1.5°	0.2°	0.3mm
上下傾き補正試験	○	○	○	0.3°	0°	0.3mm
模擬負荷試験	○	○	○	0.5°	-	2mm
繰り返し走行試験 (2500mm×20回)	○	○	○	0.5°	-	1mm
繰り返し走行試験 (300mm×20回)	○	○	○	0.3°	-	1mm

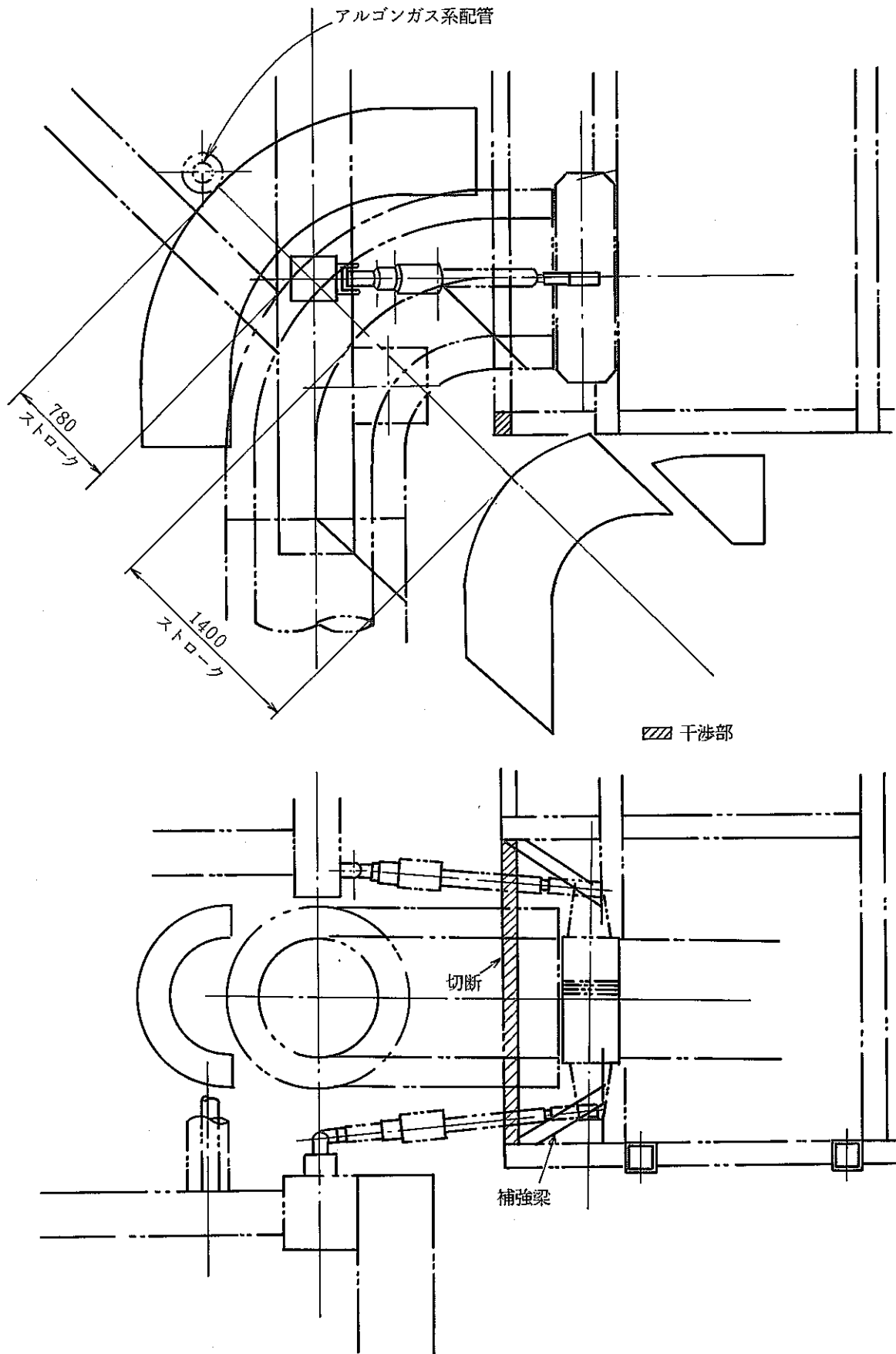


第1案

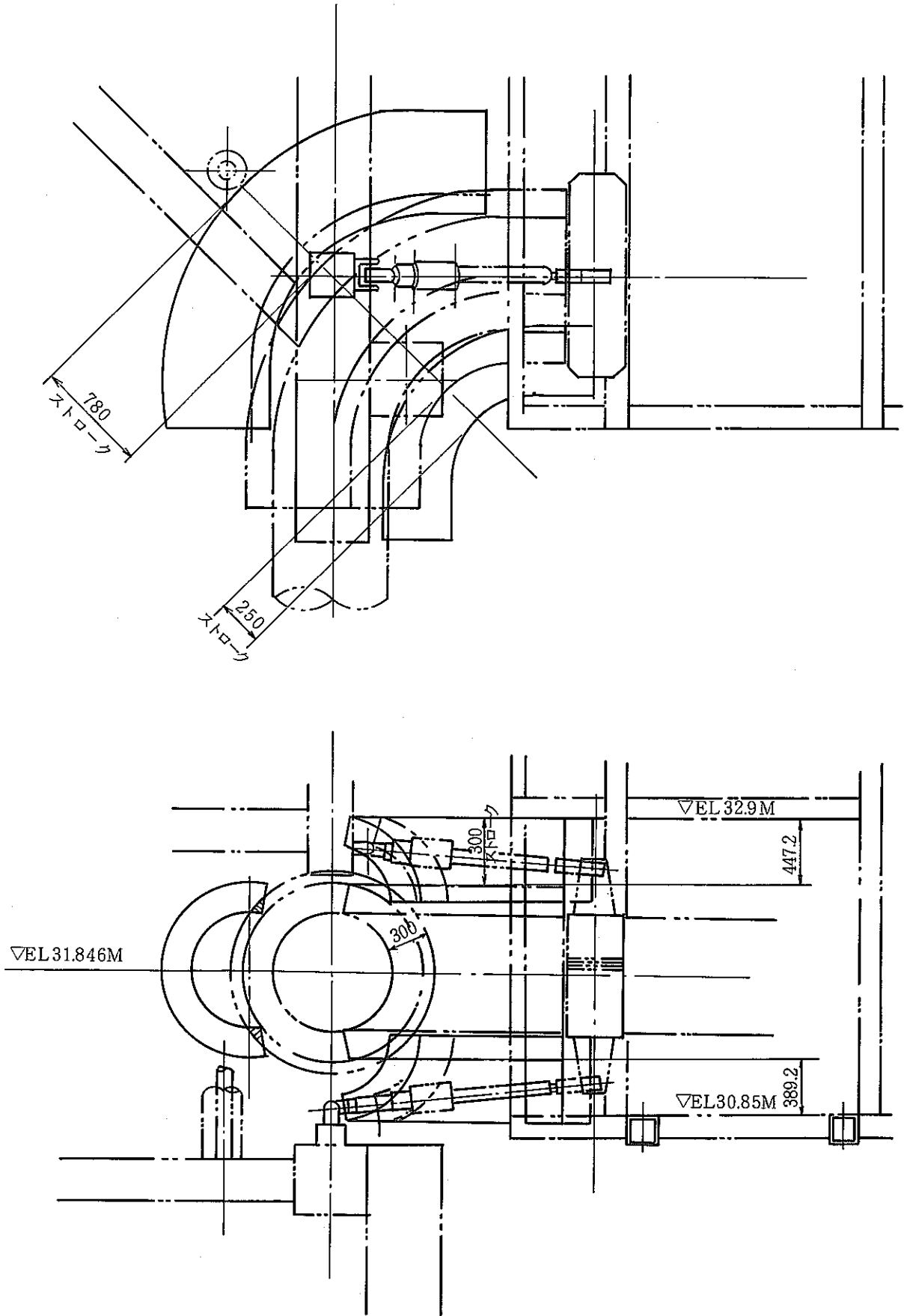
図3.2.1 水平2分割釣り上げ方式(1)



第 2 案  
图 3.2.2 水平 2 分割釣り上げ方式(2)



第3案  
図3.2.3 垂直2分割水平移動方式



第 4 案  
図 3. 2. 4 3 分割方式

表 3.2.1 保温材着脱方式の検討

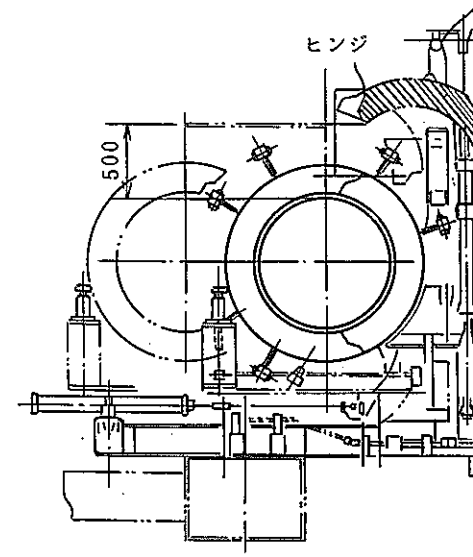
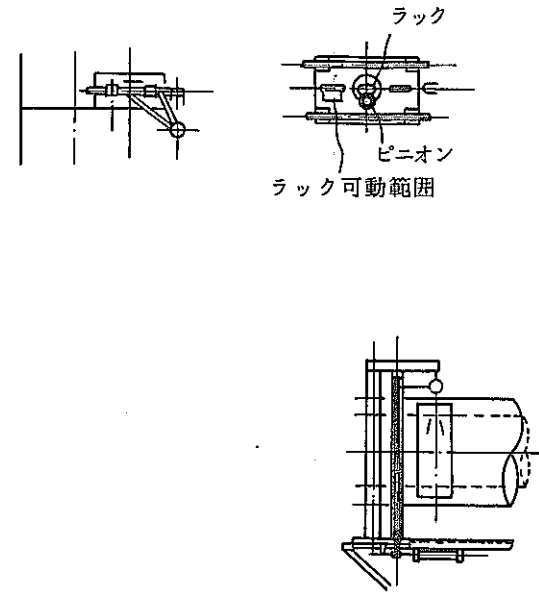
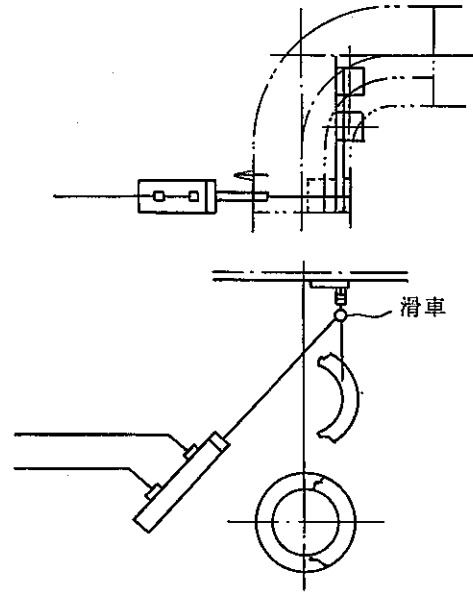
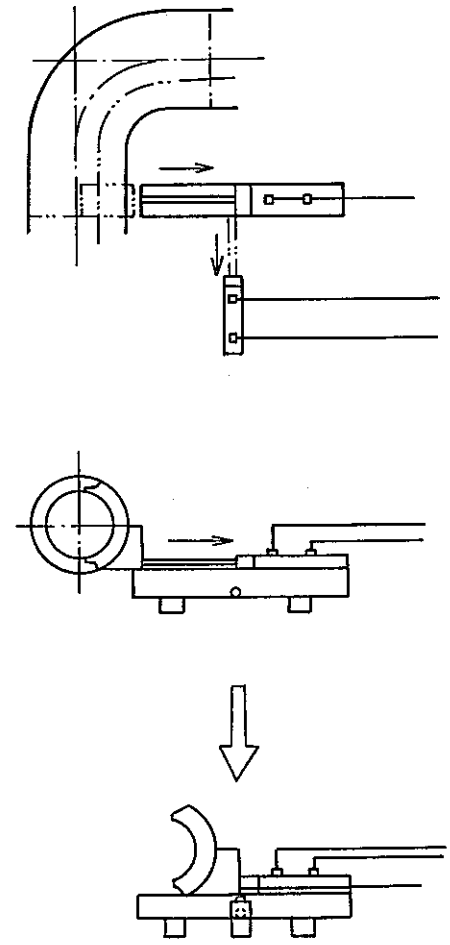
ケース	保温材着脱方式	サポート取外し	電気品取外し	遠隔化	問題点	解決策	検討課題
第1案	水平2分割 釣り上げ方式(1) (図3.2.1参照)	要 (軸方向サポ ート2本)	不 要	遠隔化可能 (但し, サポー ト取外しは手動)	(1)サポートの取外し 方法 (2)サポート架溝との 干渉 (3)FFD架溝との干渉	(1)~(2): サポート架溝 を移動し, サ ポートロッド を延長し, サ ポート配管側 のピンを取り 外す (3)FFD架溝の改造	(1)~(2): 配置的 対応 (3)FFD架溝の改 造は, 設工認 変更も含めて 調整要
第2案	水平2分割 釣り上げ方式(2) (図3.2.2参照)	要 (軸方向サポ ート2本)	不 要	遠隔化可能 (但し, サポー ト取外しは手動)	(1)~(3) 同 上	(1)~(2): サポートバン ドを大きくし, サポートを主 冷却系配管よ り離す (3)FFD架溝の改造	同 上
第3案	垂直2分割 水平移動方式 (図3.2.3参照)	不 要	不 要	遠隔化可能	(1)FFD架溝との干渉 (2)周辺機器との干渉	(1)FFD架溝の改造 (2)配置調整	(1)FFD架溝の改 造は, 設工認 変更も含めて 調整する
第4案	3分割方式 (図3.2.4参照)	不 要	不 要	遠隔化可能	同 上	同 上	・保温材の移動 量を極力小さ くし, 干渉を 回避する

第1案 (シリンダー移動)

第2案 (保温材吊り上げ)

第3案 (クランク移動)

第4案 (滑車吊り上げ)



エアーストック4本の継ぎ込み  
ミットスイッチ用ケーブル4本の継ぎ込

(1) エアーストック2本の継ぎ込み  
(2) 保温材の取付けは手動

(1) エアーストック2本の継ぎ込み  
(2) 保温材の取付けは手動

配管への接近性の阻害

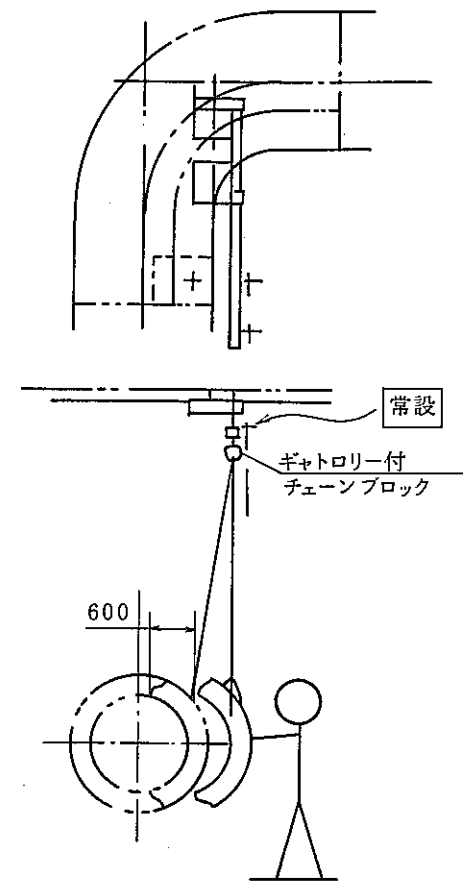
(1) エアーストックの設置場所がない

(1) 充填ドレン系配管と干渉

(1) 上部保温材の移動量が決まってい



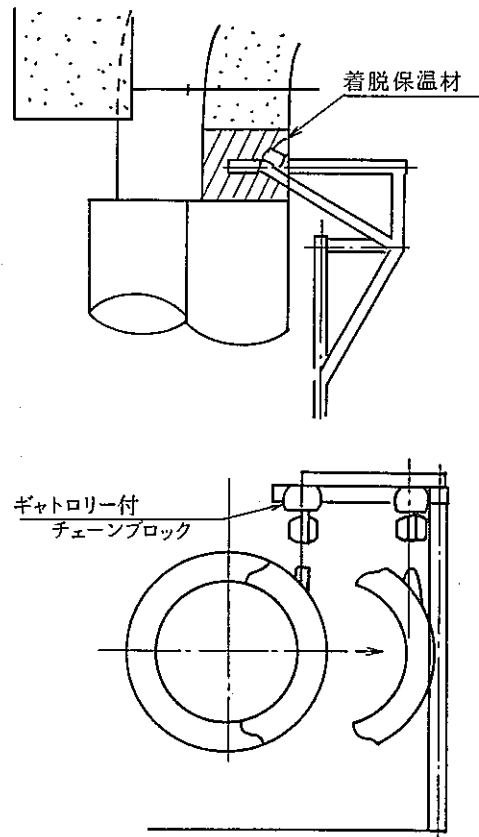
第1案 (一体型チェーンブロック吊り上げ案)



保温材引き出し 10秒  
ギャトロリー移動 15秒

チェーンブロックのメンテナンス性  
（ギャトロリー付タイプ）

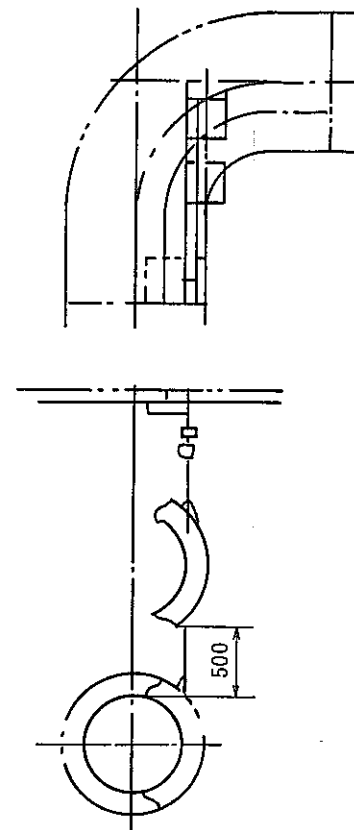
第2案 (一体型水平移動案)



(1)チェーンブロック引き上げ 10秒  
(2)保温材引き出し移動 10秒

(1)保温材移動時の足場スペースの検討

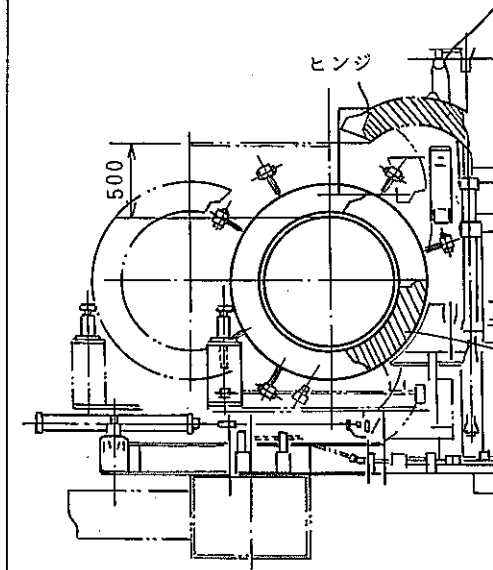
第3案 (一体型チェーンブロック吊り上げ案)



(1)チェーンブロック巻き上げ 30秒  
(約2m巻き上げ)

(1)チェーンブロックのメンテナンス性

第4案 (2分割上部移動, 下部手動)



(1)下部保温材手動取外し 15秒  
(保温材は、取外し後操作床の上に設置)

(1)下部保温材置場追加検討

表 4. 1 体積試験装置不具合事項のまとめ

発生した不具合	不具合の原因	実機の対策
1. 超音波探傷試験時に、超音波探傷器にノイズ（Aスコープ画面上で最大100%以上）が発生した。	1. 無停電電源装置のインバータ信号。	1. 無停電電源装置内にコンデンサーを追加し、ノイズ低減確認試験を実施した所、ノイズが30%以下に減少した。
2. スキャナ取付けの都度、ケーブルベアが外れるため作業性が悪い。	2. 上部スキャナと下部スキャナを連結する際に、ケーブルベアを下部スキャナに入れようと少し曲げると簡単に外れる。	2. ケーブルベアの構造及び材質を再検討する必要有り。
3. スキャナの傾き補正を実施した所、操舵輪が舵を取りながら前後に何回となく走行を繰り返す、そのうち「重力センサ異常」の警報が出た。	3. 手探傷を実施した時に、配管に溶剤が付着しており、そのため操舵輪が滑って傾き補正が出来なかった。	3. 実機においては、溶剤等を使用することがないので、この不具合は生じないものと考えられる。

表 4.2 保温材着脱装置不具合事項のまとめ

発生時期	発生した不具合	不具合の原因	実機の対策
試験開始前	水平部保温のIHX側上部の角部がブラケット部と干渉し、保温外板がめくれを起こした。	水平部保温の変形。	水平部保温角部にアールを取り、溶接止めとする。
	水平部保温背部の滑り防止用ストッパーが溶接されている外板が、保温の自重により曲がりを起こしている。	ストッパーが溶接されている外板に自重を支える強度がない。	滑り止め金具取付け部に補強板を追加する。
	水平移動台車と水平部保温の接触部が摩耗している。	水平移動台車は、保温をこすりながら装着される。	水平部保温内部にリブを入れて強度を上げ、保温の変形を防止し過度のこすれを防止する。
	水平部保温のリミットスイッチ案内棒が跳ね上がり、リミットスイッチに引っ掛かり、動作しなくなる。	案内棒の分割構造の調整位置が不良。	リミットスイッチの案内棒の上部にスプリングを入れて、跳ね上がりを防止する。
試験中	連動バックルの雄側が破損した。	変位を与えたため、接合部の口が開いてバックルに負担がかかった。	雄側の幅を大きくし、バックルの強度を上げる。
	上部保温の連動バックルが配管変位を与えるとFPD架台と干渉を起こす。	FPD架台とのクリアランスが無い。	実機FPD架構は、クリアランスがプラス側に据え付けられていることを確認済みである。
	水平部保温の両端が自重のため垂れ下がりを起こしている。	保温を取り外した時に、水平移動台車の2箇所のみで支えているため、両端部が自重で垂れ下がる。	保温内部に補強リブを入れて強度を上げている。
	水平部リミットスイッチの案内棒が分解し、リミットスイッチを破損した。	案内棒の結合部のネジが緩み、分解した。	案内棒の位置調整が終了した後、溶接により固定する。
	調整された位置でも400mm保温が入らない場合が起こる。	400mm保温に余裕が無い。	保温施工時にIHX側の幅に余裕を持たせて施工する。
	保温合わせ部のカバー金物に変形し、保温装着時に引っ掛かりを起こす。	保温合わせ口の熱逃げ防止用カバー金物が干渉しやすい。	合わせ部の熱逃げ防止用カバーの端部を丸くする。

## 付 録

「参考のために設計製作した装置の主要仕様や特徴を記す。」

## 付 録

### 1.1 1次主冷却系配管体積試験用ISI装置の概要

本ISI装置は、体積試験対象部位である1次主冷却系配管エルボ部の超音波探傷試験を行う体積試験装置と、超音波探傷試験を実施する場合に配管に取り付いている保温を取り外す保温材着脱装置、そして検査機及び保温材着脱装置の機能、性能を評価するため、実機の作業環境を模擬した総合機能試験装置から構成される。

#### 1.1.1 体積試験装置

本装置は、付一図1.1.1に示すように、検査機本体（超音波探触子、スキャナ）、制御装置、超音波探傷装置、データ収録装置、データ処理装置等で構成されており、制御装置からの信号により遠隔で検査機本体を動かし、探触子からの信号はプリアンプパルサーを経由して超音波探傷装置に入り、探傷データはデータ収録装置に取り込まれる。データ収録装置により取り込まれた探傷データは、オフラインでデータ処理装置により処理される。

##### (1) 検査機本体

検査機本体は、超音波探傷を行う超音波探触子と、超音波探触子を実装し、配管を軌道なしで走行するスキャナより構成される。

##### ① 超音波探触子

超音波探触子は、作業員の被ばく低減の目的から油や水等の接触媒体を必要としないノンカプラント探触子で、連続的な探傷ができるようにタイヤ型をしている。付一図1.1.2にタイヤ型ノンカプラント探触子の構造を示す。

付一図1.1.2に示すように、タイヤは軟質のゴムでできており、その中に垂直用と斜角用の探触子が入っている。このため、垂直と斜角の探傷が同時に行えるようになっており、さらに45°用と60°用の探触子がスキャナの真横に180°の間隔で付いているため、45°と60°の斜角探傷も同時に行えるようになっている。

以下に、探触子の仕様を示す。

(a) 型式：タイヤ型ノンカプラント探触子

(b) 屈折角：0°，45°（60°）

(c) 周波数：垂直 7 MHz，斜角 3.5MHz

② スキャナ

スキャナは、配管軸方向に走行する軸方向走行部と超音波探触子を周方向に回転走行させる周方向走行部より構成される。付一図 1.1.3，付一図 1.1.4 にスキャナの構造を示す。

付一図 1.1.3 及び付一図 1.1.4 に示すように、軸方向走行部には、上部に2つの駆動輪及び走行距離検出用のエンコーダと下部に操舵輪が設置されており、姿勢、方向の制御を行う。また、操舵輪には押し付け機構も付いており、これにより駆動輪の押し付けを行う。

周方向走行部には、2つのタイヤ型ノンカプラント探触子及び探触子押し付け機構、さらに探触子を探傷方向に回転させる探触子回転機構が付いている。

スキャナは、リング状になっており、配管に取り付ける際には上部と下部の2分割に分けて取り付け、連結レバーにより上部と下部を連結する。

スキャナの材質は、アルミニウム合金を使用しており、重量は上部が27kg、下部が11kgであり、人手で容易に取付けられるようになっている。

スキャナの姿勢制御は、スキャナの周方向のずれ及び前後の倒れを検出する真上センサ（重力センサ）と、スキャナの左右の倒れを検出する姿勢検出ローラ（重力センサ）で行う。走行制御は、制御装置のプログラムにより直管は直管走行、エルボ部は曲管走行（駆動輪の内輪と外輪が、予め定められた速度で移動するようにプログラムされている）をできるように制御される。

検査機の走行速度（探傷速度）は、軸・周方向とも最大で50mm/secである。

以下に、スキャナの仕様を示す。

- (a) 雰囲気温度 : 55℃ (max)
- (b) 雰囲気湿度 : 20~80%
- (c) 配管表面温度 : 80℃ (max)
- (d) 空間線量率 : 約 1 R/H
- (e) 配管表面線量率 : 約 1.5 R/H
- (f) スキャナ外径 :  $\phi 1,154\text{mm}$

- (g) スキャナ重量 : 38kg (超音波探触子含む)
- (h) 走査速度 : 0~50mm/sec (軸・周とも)

## (2) 制御装置

### ① 制御装置

本装置は、検査機の走行を遠隔で制御するもので、ISI時はオペフロ上に設置される。

本装置の機能は、探傷開始点に検査機を移動する目標点移動機能、探傷方向(軸・周)を選択する走査モード切替、探触子回転機能、駆動輪及び探触子押付け機能等を有しており、探傷時の設定項目として、探傷ストローク、探傷ピッチ、探傷長さ、探傷速度を設定できるようになっている。また、制御装置には、検査機の現在位置が表示されるようになっている。

さらに制御装置には、定期的に検査機の位置補正を行うために原点補正機能が付いており、これにより最初に原点セットした位置へ検査機が移動し、その位置で位置補正を行うものである。

以下に、制御装置の仕様を示す。

- (a) 走査モード : 自動及び手動
- (b) 制 御 : 遠隔制御方式
- (c) 走査範囲 : 周方向 0~380.0° (20° オーバーラップ)  
長手方向 0~約2,600mm (軸中心)
- (d) 速度コントロール : 0~50mm/sec (5段切替)

### ② リモートボックス

本装置は、最初の原点セットを行うために、現場(1次主冷却系室内)で操作するもので、駆動輪及び探触子押付け機能、傾き補正機能、原点セット機能を有している。

以下に、リモートボックスの仕様を示す。

- (a) 走査モード : 手動 (インチング)
- (b) 制 御 : X軸, Y軸, Z軸 (探触子押付)

## (3) 超音波探傷装置

本装置は、検査機本体に取付けられた超音波探触子からの超音波エコーを受信し、CRT上にAスコープとして表示するとともに、データ収録装置に超音波信号としてビーム路程及びエコー高さの信号を送る装置である。また、本装置には、自動での超音波探傷を可能とするため、距離振幅補正（DAC）装置が付いている。

## ① 超音波探傷器

本探傷器は、使用する探触子が垂直と斜角の2角度の振動子を有することから、超音波データの混信を防ぐため時分割駆動方式のアンプを採用しており、超音波探傷器と探触子間の超音波信号へのノイズの混入を防止するため、プリアンプを設けている。プリアンプには、作業現場にて波形の確認ができるようにAスコープモニターが付いている。また、本装置には、垂直、45°、60°用の3角度分のゲートがかけられるようになっており、垂直ゲートには、探傷用及びカップリングチェック用のゲートとして使用できるようにゲート回路を2回路設けている。

以下に、超音波探傷器の仕様を示す。

## (a) 超音波探傷器本体（Aスコープモニター付）

- ㉑ 増幅直線性 : JIS 1級
- ㉒ 時間軸直線性 : JIS 2%以内
- ㉓ 分解能 : JIS A級
- ㉔ チャンネル数 : 3チャンネル
- ㉕ 増幅度 : 約80dB

## (b) モニター付プリアンプ

- ㉖ チャンネル数 : 3チャンネル
- ㉗ 増幅度 : 約20dB

## ② DAC装置

本装置は、通常作業員が作成するDACカーブを自動で作成するもので、垂直、45°、60°のそれぞれの角度について最大10点まで取れるようになっている。また、1度作成したDACカーブのデータは、データ収録装置のフロッピーディスクに登録し、再使用できるようになっている。



以下に、DAC装置の仕様を示す。

- (a) チャンネル数 : 3チャンネル
- (b) 補正範囲 : 約30dB
- (c) DACカーブ : 取込点直線近似(取込点最大10点)

(4) データ収録装置

本装置は、制御装置からの探触子位置及び超音波探傷装置からの超音波信号をコンピュータ処理し、フロッピーディスクに記録する装置で、軌跡表示装置、リアルタイム表示装置を具備している。

① 軌跡表示装置

本装置は、検査機の走行した位置の軌跡を、5インチのモニターに表示するものである。

② リアルタイム表示装置

本装置は、超音波探傷の検査状況をリアルタイムでモニターに表示するもので、断面、平面、側面からの表示ができるようになっている。また、欠陥らしきエコーを検出するとブザーが鳴るとともに、階調が4段階に変化する。

(5) データ処理装置

本装置は、データ処理ターミナル、グラフィックディスプレイ、CPU、ハードコピー等より構成され、データ収録装置で収録した超音波探傷データをオフラインで処理するもので、探傷結果として付一表1.1.1に示す図表を出力する。

また、本装置は、蒸気発生器伝熱管の体積試験用と共用で使用することができるように、データ処理能力、処理時間等考慮している。

(6) 付帯設備

体積試験装置には、以上説明した装置の他に、付帯設備として無停電電源装置、AVR、検査機の駆動輪、探触子押付用及び保温材着脱装置操作用の空気供給装置、検査機及びケーブル保管・運搬用の保管庫、探触子校正用の試験片、現場作業員との連絡用の通信装置がある。

試験片には、探触子の入射点及び屈折角校正用の標準試験片と、探触子の感度校正用の対比試験片があり、対比試験片には、もんじゅでの超音波探傷を考慮した人

工欠陥が付いており、さらに常温から80℃まで昇温できるように昇温装置が設置されている。付一図1.1.5に対比試験片の構造を示す。

### 1.1.2 保温材着脱装置

本装置は、1次主冷却系配管に付いている保温をエアの圧力で遠隔・自動で取付け、取外しを行う装置で、以下のもので構成される。また、本装置は、もんじゅに常設となるため、プラント運転中における1次主冷却系配管の熱変位を拘束しないような構造としている。

- ① 模擬保温（水平部保温，上部保温，下部保温，400mm保温）
- ② 水平移動部
- ③ 上下移動部
- ④ 400mm保温着脱部（吊上げ用ポストクレーン含む）
- ⑤ 保温材着脱装置操作盤

#### (1) 模擬保温

保温は、3分割構造のパッケージ型で、水平部，上部，下部の3方向に外れるようになっている。実機と同じ仕様となっている。

保温は、この3分割構造の他に、検査機取付けスペースの確保からIHX側の上・下部保温のうち400mmは、ポストクレーンに付いているチェーンブロックにより手で保温の取付け、取外しを行う。

また、保温は、運転中はバックルで固定されており、体積試験時にはこのバックル（連動バックル，単独バックル）を外した後、保温材着脱装置にてパッケージ保温を取り外す。

付一図1.1.6に模擬保温，付一図1.1.7にバックルの構造を示す。

#### (2) 保温材着脱装置の構造

着脱装置には、パッケージ保温を水平部，上部，下部に移動するための台車が付いているが、この台車を初めから保温に付けておくと1次主冷却系配管の熱膨張変位を拘束するため、保温の着脱時のみ取り付ける構造としている。ただし、上部の台車については、あとから台車を取り付ける方式とすると、上部保温をつかむ機構が必要となり、装置が複雑になることから保温と接続された状態にし、熱膨張変位

を拘束しないようにシリンダー構造の継手で接続している。

また、配管変位に追従できるように、保温材着脱装置のベースが2重になっており、ボルトで締め付けることにより保温材着脱装置のベースを前後、左右に移動してベースの位置を調整できるようになっている。

付一図1.1.8に保温材着脱装置の構造を示す。

#### ① 水平移動部

保温を水平移動する場合は、まず、エアーシリンダーにより水平部移動用の台車を保温に取り付け、水平移動部の背側に付いているピンを保温側の穴に挿入し、台車を移動することにより保温を移動する。また、配管の水平方向の変位に対しては着脱装置のベースの位置を調整し、上下方向の変位に対しては台車の下部に付いている球面コロにより吸収できるようになっている。さらに、水平移動部には、プラント運転中に台車が動くことがないようにストッパーが付いている。

#### ② 上下移動部

保温の上下移動は、水平移動部と同様にエアーシリンダーにより行い、保温を取り外す場合、上部は上部移動部に連結されている継手により、下部は保温の自重により取り外す。また、配管の水平方向の変位に対しては水平移動部と同様に着脱装置のベースの位置を調整し、上下方向の変位に対してはエアーシリンダーの支持自体を移動して追従できるようになっている。

#### (3) 400mm保温着脱部の構造

保温の着脱は、(2)の保温材着脱装置の他に、IH側の上・下部保温のうち400mm部分を着脱をする装置により行われる。

本装置は、この400mm保温を手動で取付け、取外しを行うもので、IH側の保温付近にL形のポストが設置されており、それにチェーンブロックが付いている。ポストは回転するようになっていて、チェーンブロックはL形の上部を前後に動くようになっている。

保温を取り外す場合は、このポストを保温側に回転させ、チェーンブロックを動かして保温側の治具にフックをかけ、保温を手前に引き寄せた後回転させて配管から逃がす。

付－図 1. 1. 9 に 400mm 部分の保温材着脱装置の構造を示す。

#### (4) 保温材着脱装置操作盤

本装置は、保温材着脱装置の取付け、取外し操作を遠隔・自動で行うもので、保温の取付け、取外しの状況がランプで表示され、操作状況が一目でわかるようになっている。

付－図 1. 1. 10 に保温材着脱装置操作盤の操作パネル図を示す。

### 1. 1. 3 総合機能試験装置

本装置は、検査機、保温材着脱装置の機能・性能を評価するために、もんじゅでの体積試験対象箇所作業環境を原寸大で模擬したもので、模擬配管、昇温設備、架台・基礎、その他障害物等で構成されており、もんじゅにおける 1 次主冷却系配管の熱変位を模擬できるように配管変位用のハンドルを設けている。また、もんじゅの模擬物とそうでない物が一目でわかるように、塗装の色を変えて区別している。

付－図 1. 1. 11 に総合機能試験装置の構造を示す。

#### (1) 模擬配管

模擬配管は、実機と同一の大きさ、材質、施工法、溶接処理、表面仕上げとなっており、検査機の性能を評価するために人工欠陥が付いている。また、模擬配管には、長手方向 20mm ピッチ、周方向 3° ピッチで目盛が付いている。

以下に、模擬配管の仕様を示す。

##### ① 配管寸法：32B sch20

(外径 812.8mm ± 15mm, 厚さ 11.1mm)

##### ② 材質：SUS304 冷間加工材

##### ③ 溶接仕様：位置 周方向及び長手方向

開先、施工要領、仕上げ方法は実機と同様

##### ④ 人工欠陥：付－図 1. 1. 12 参照

#### (2) 昇温設備

昇温設備は、ISI 時の配管表面温度を模擬するために模擬配管を昇温するもので、もんじゅの ISI 時の配管表面温度を模擬できるように昇温範囲を設定している。

配管を昇温するためのヒーターは、マイクロヒーターを使用しており、ヒーター

を配管の内部に直接取り付けると超音波探傷時にノイズとなり探傷に影響があるため、配管を2重管とし、内側の配管の表面にヒーターを巻き付け、内管の温度により制御する方式をとっており、配管の片側に付いているファンにより配管内の空気を循環させ、ヒーターで昇温する。

配管の中を流す内部流体として空気を使用しているのは、もんじゅのISI時には配管内部にアルゴンガスが満たされているため、付一表1.1.2に示すようにアルゴンガスと同様の音響インピーダンスを有しているためである。

温度制御用の熱電対は、内管エルボ部の中央の位置に90°間隔で4箇所付いており、内管の表面温度を監視して制御する。また、同位置にはヒーター表面温度監視用の熱電対も付いており、内管表面温度と併せてどちらかの温度がある温度に達するとヒーターが切れるようになっている。

熱電対は、この他、空気温度監視用がファン側（入口側）に90°間隔で4箇所と、反対側（出口側）に同じく4箇所付いており、入口側、出口側の空気温度をそれぞれ1箇所指示計で監視できるようになっている。さらに、外管表面温度監視用の熱電対が、検査機の走行の障害とならない位置（IHX側のフランジ近傍）に上下2箇所付いている。

付一図1.1.13に昇温設備の構造を示す。

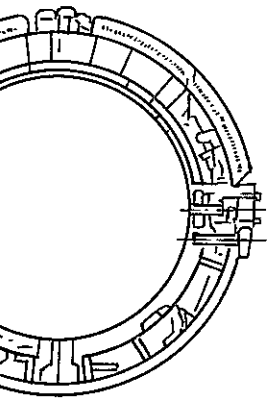
また、外管表面温度を任意の位置で把握できるように、昇温設備の電源盤に外部入力端子を設けて、制御用と切換えで使用できるようになっている。

さらに、配管（外管）表面温度のバラツキを小さくするために雰囲気温度補正器を設けており、昇温時の雰囲気温度をヒーターの制御回路に入れて温度制御に補正をかけている。

以下に、昇温設備の仕様を示す。

- ① 昇温・保温範囲 : 常温～150℃
- ② 昇温速度 : 40℃/h以上
- ③ 温度制御精度 : ±2℃
- ④ 内部流体 : 空気

スキャナ



原点補正

リモートボックス

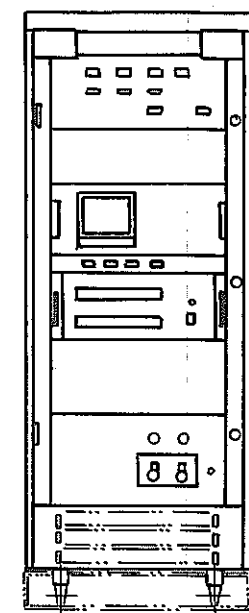
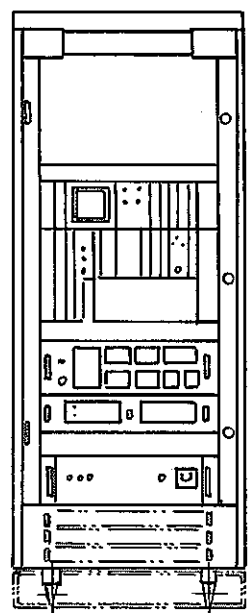
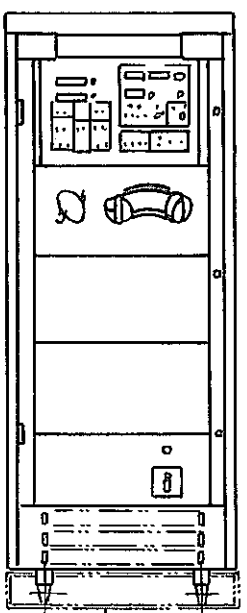
中継ボックス

制御ケーブル(100m)

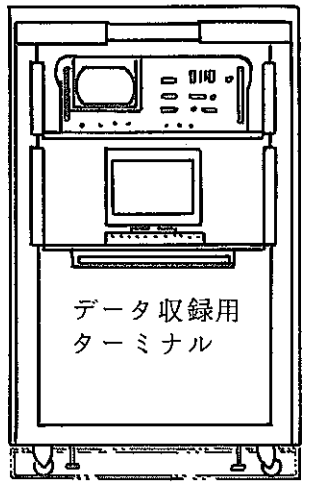
超音波ケーブル (100m)

通信用ケーブル

プリアンプパルサー

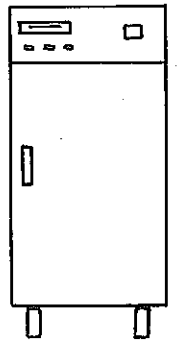


データ収録ターミナル

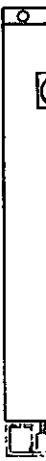


データ収録用ターミナル

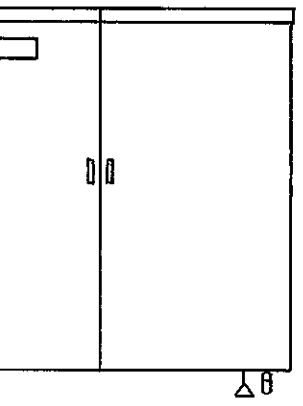
リアルタイム表示装置  
CVCF



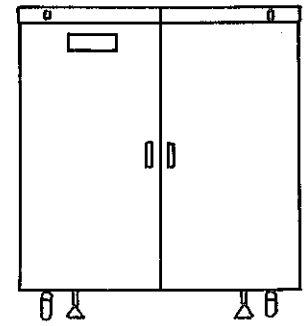
データ収録ターミナル



保管庫



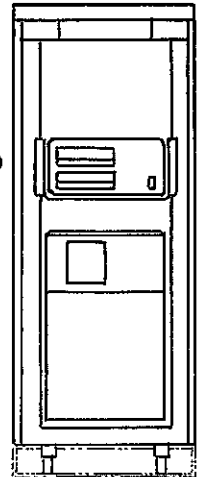
保管庫×4



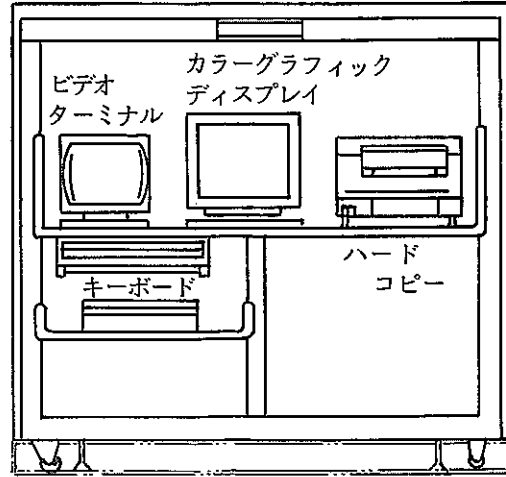
データ処理装置

F/D

コンピュータ



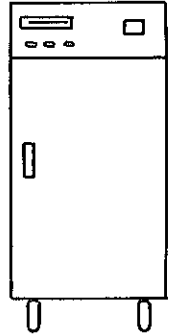
データ処理ターミナル



ビデオターミナル  
カラーグラフィックディスプレイ

ハードコピー

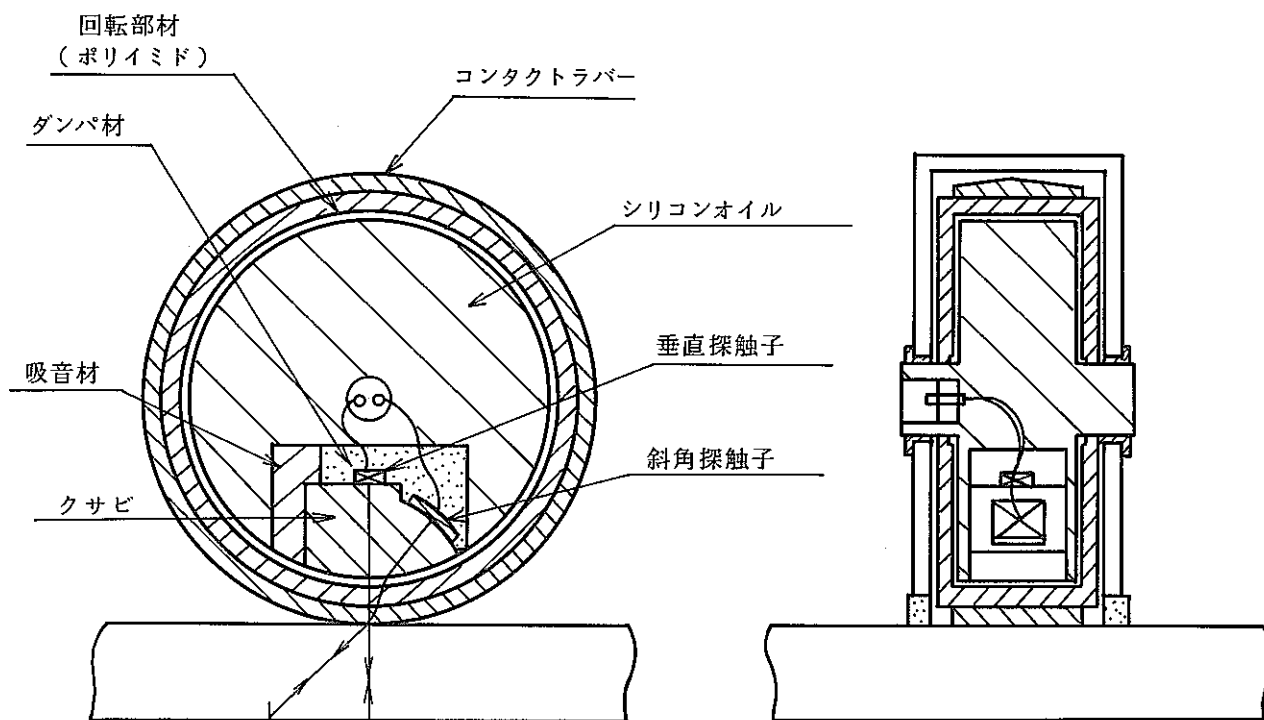
CVCF



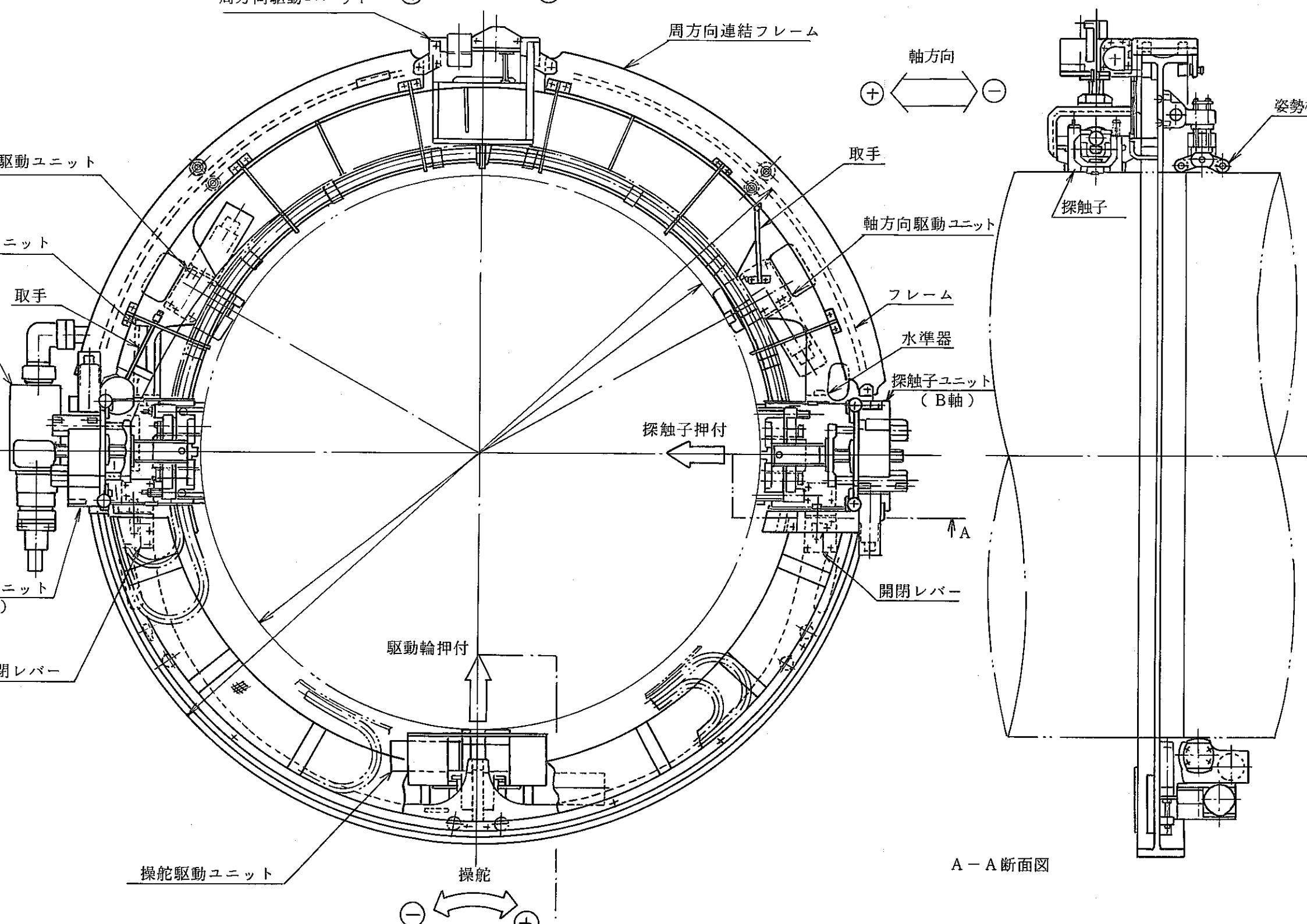
データ収録ターミナル  
AVR (3)



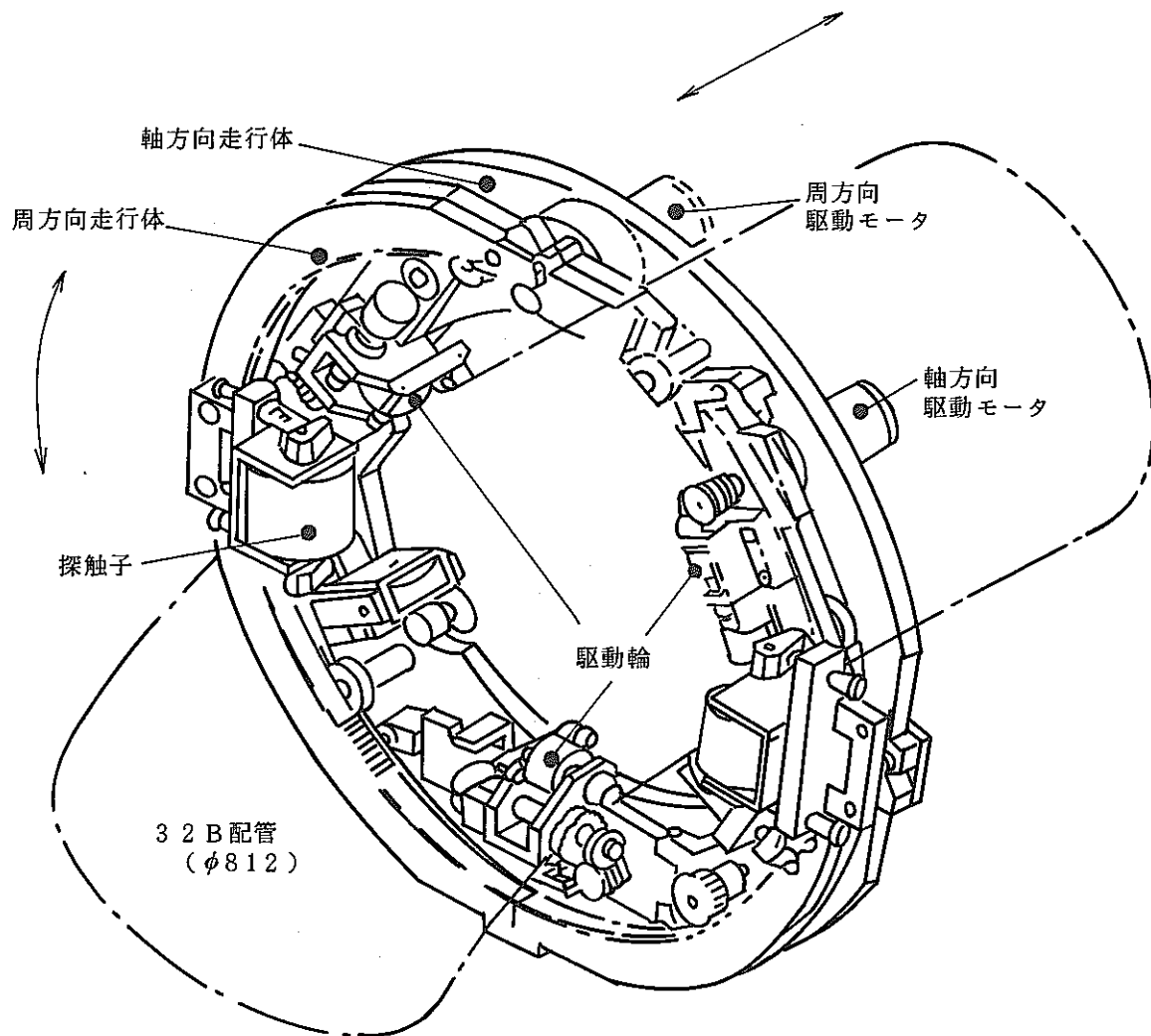
ケーブル, 探触子, スキャナ, 予備品収納用



付-図 1.1.2 タイヤ型ノンカプラント探触子



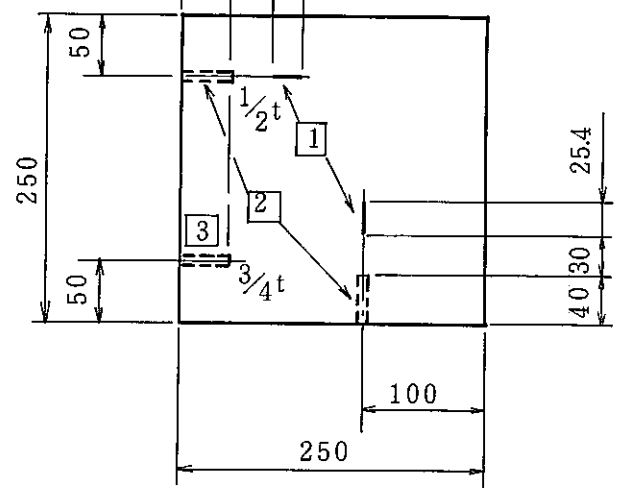
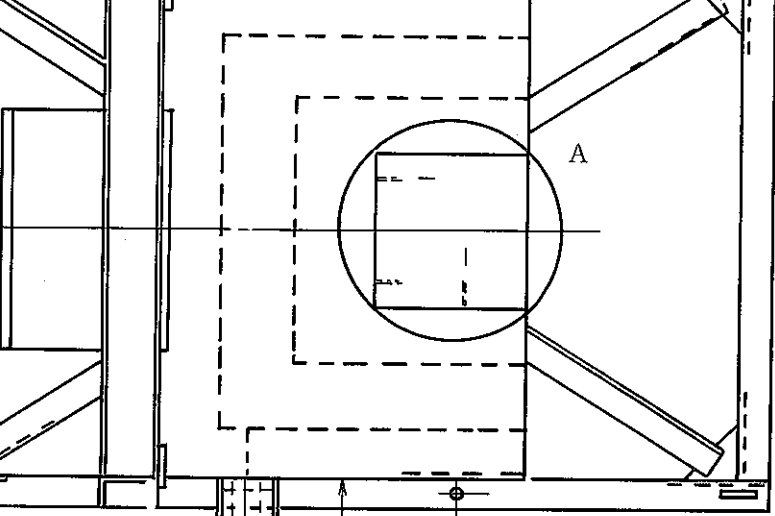




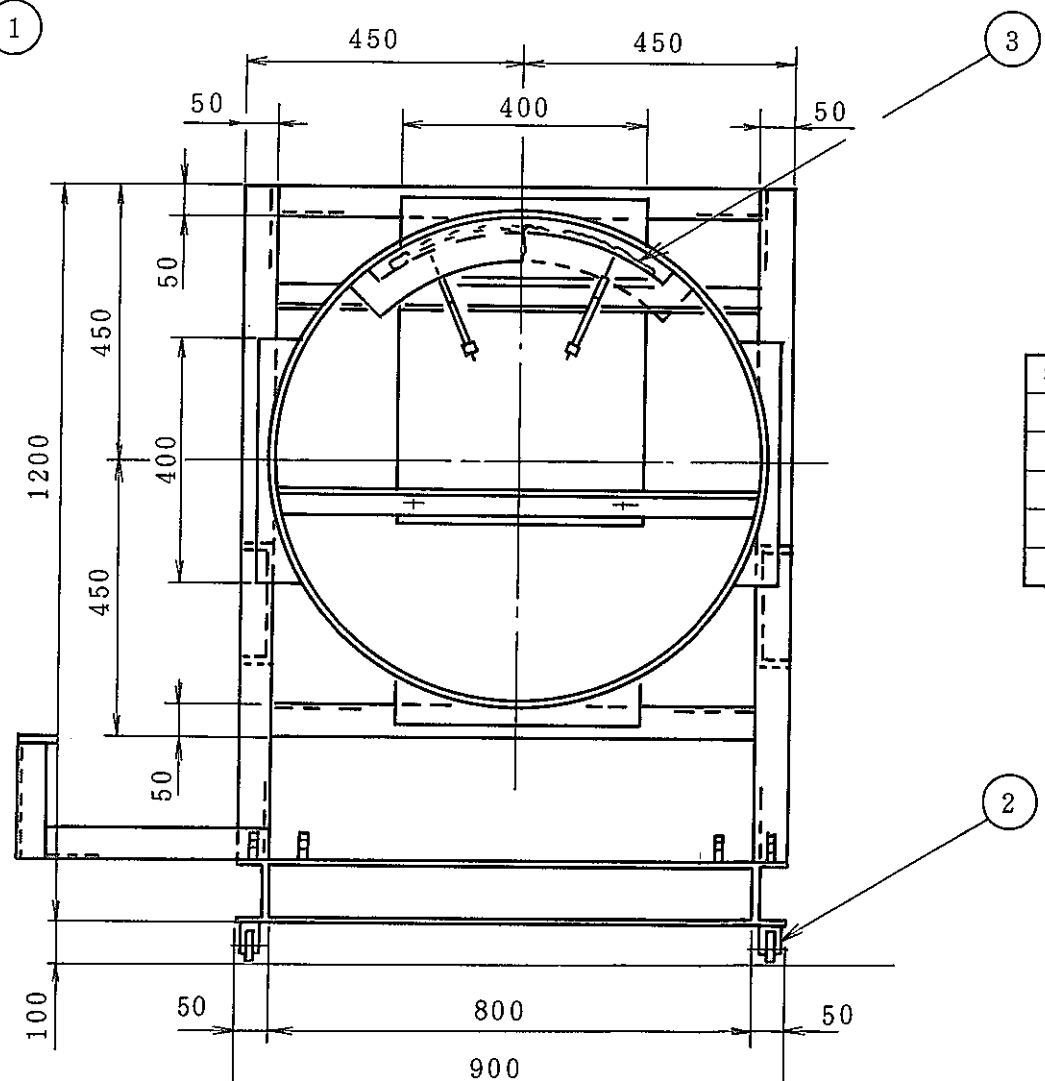
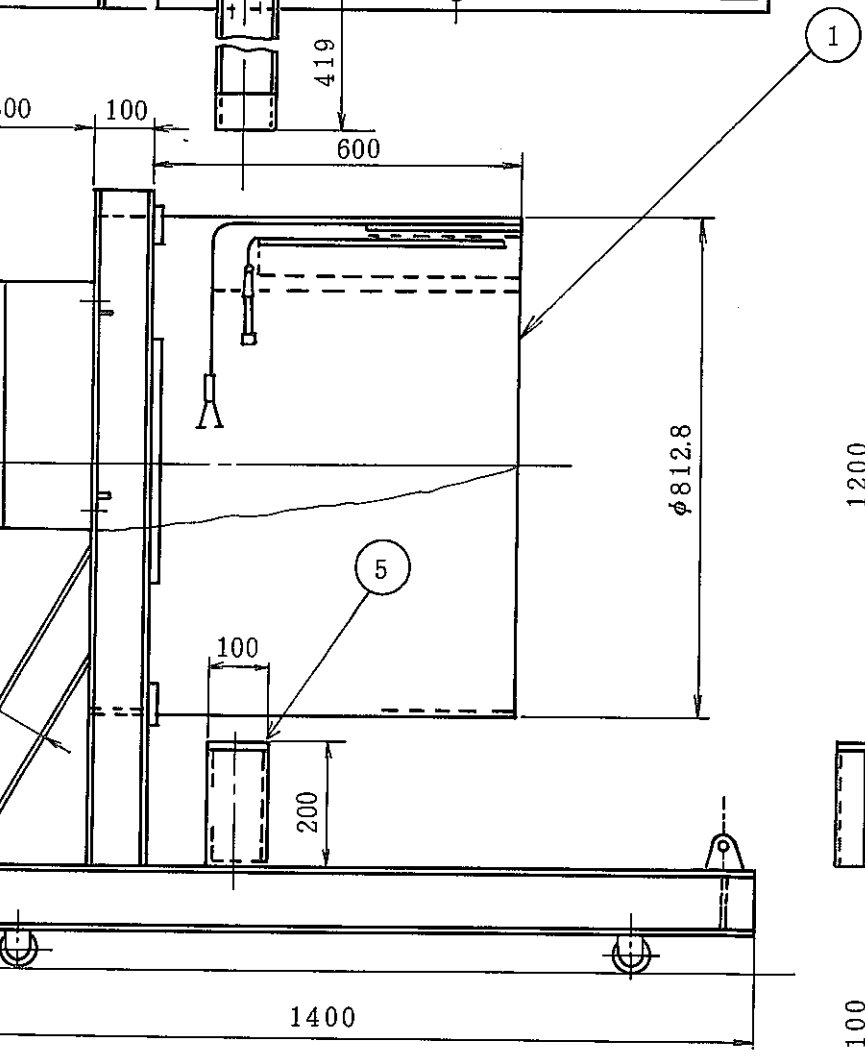
付-図1.1.4 1次主冷却系配管体積試験装置(検査機)

付一表 1.1.1 探傷データ出力図表一覧表

No.	出力図	内 容
1	探傷条件リスト	探傷条件の一覧表
2	DACLレベルチェックリスト	DACデータの一覧表
3	走査軌跡図	探触子の走査軌跡を探傷面に示した図
4	平面展開図	反射体を探傷面投影して示した図
5	波高断面図	溶接線に平行な任意断面におけるエコー高さ分布を示した図
6	平行透視断面図	反射体を溶接線に平行な一断面に投影して示した図
7	直角断面図	反射体を溶接線に直角な一断面に投影して示した図
8	評価リスト	反射体の大きさを推定した一覧表
9	ベーシックデータリスト	ビーム入射点位置の一覧表
10	単一反射体マップ	反射体位置を3方向から示した図
11	極座標図	管形の被検体におけるエコー高さ分布を極座標で示した図
12	反射体解析図	直角断面図にビーム路程の軌跡を示した図

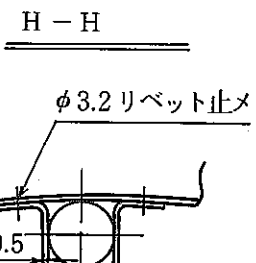
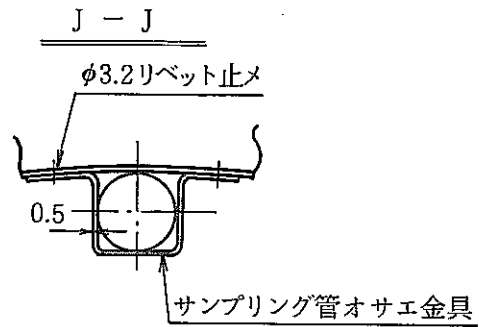
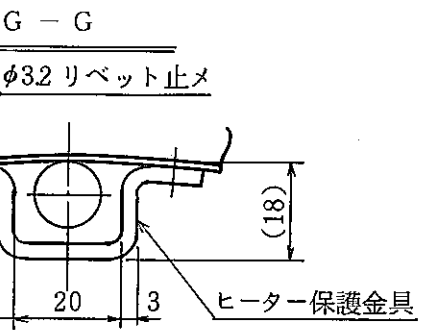
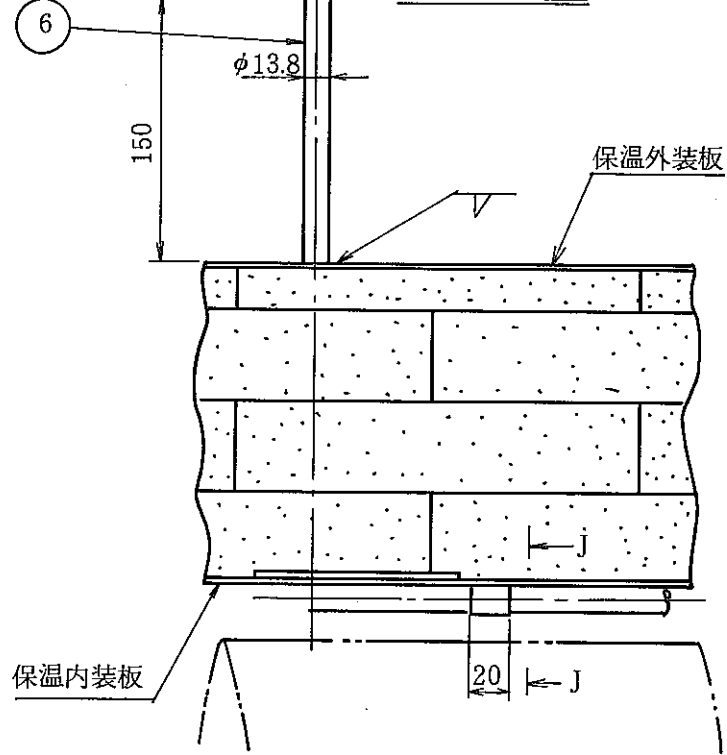
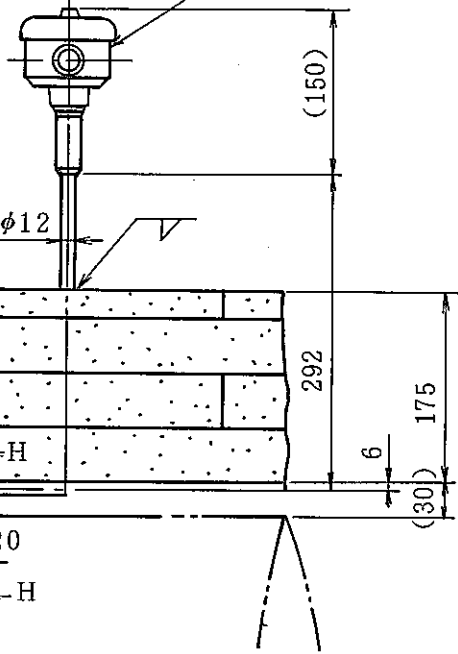


模 擬 欠 陥	
番号	仕
1	8.3 (H) × 0.5 (W)
2	φ2.4, 深さ 1 / 2 t
3	φ2.4, 深さ 3 / 4 t

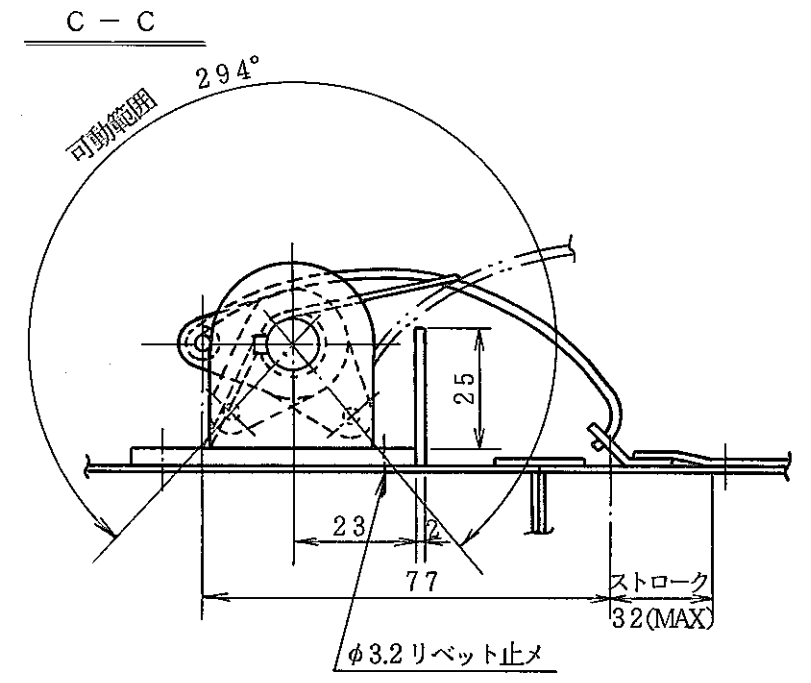
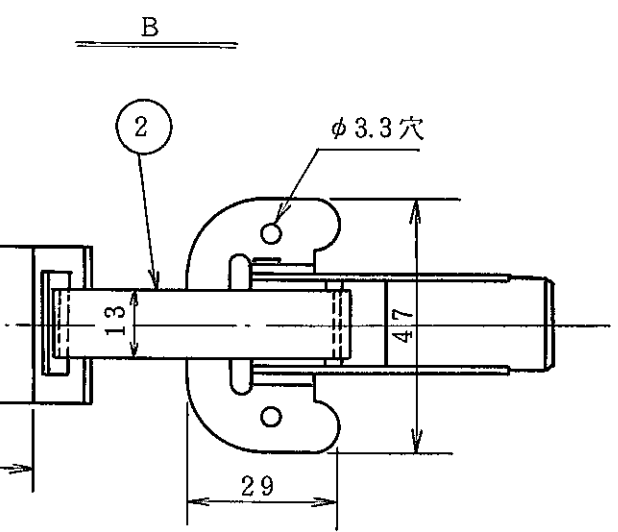
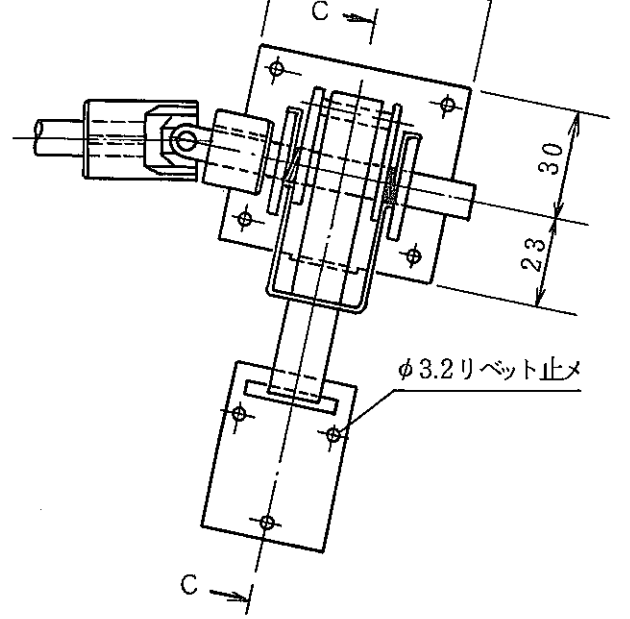
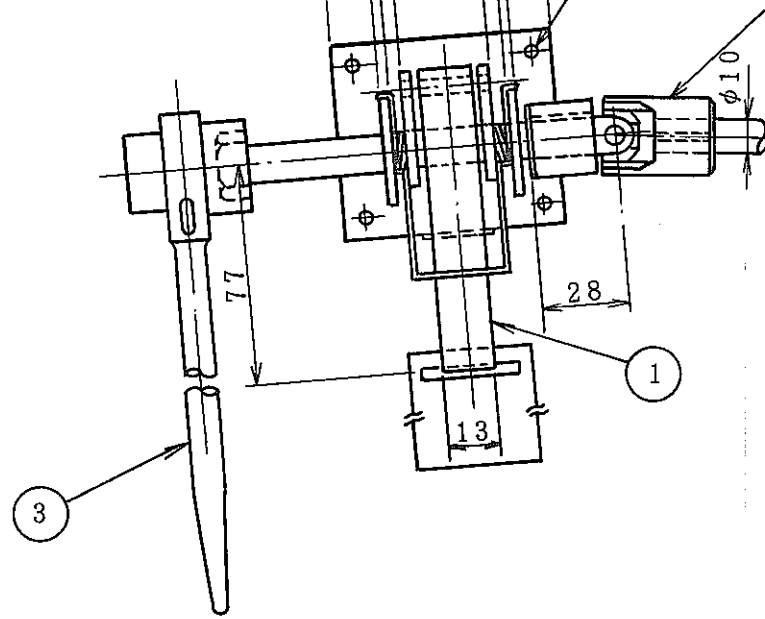
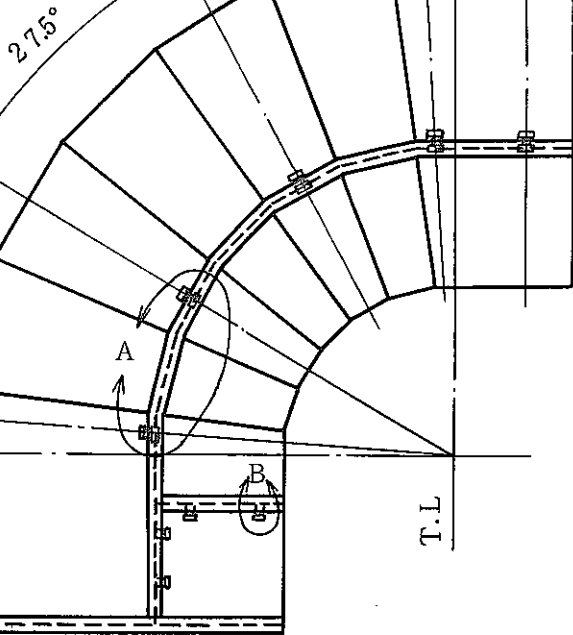


番号	名 称
1	管 (32B × 11.1)
2	キャスター
3	保温装置
4	昇温装置
5	原点補正センサー取付





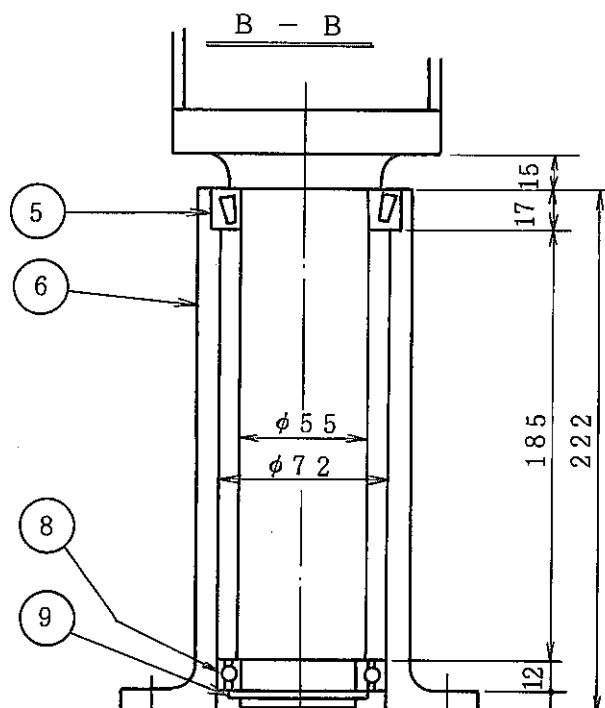
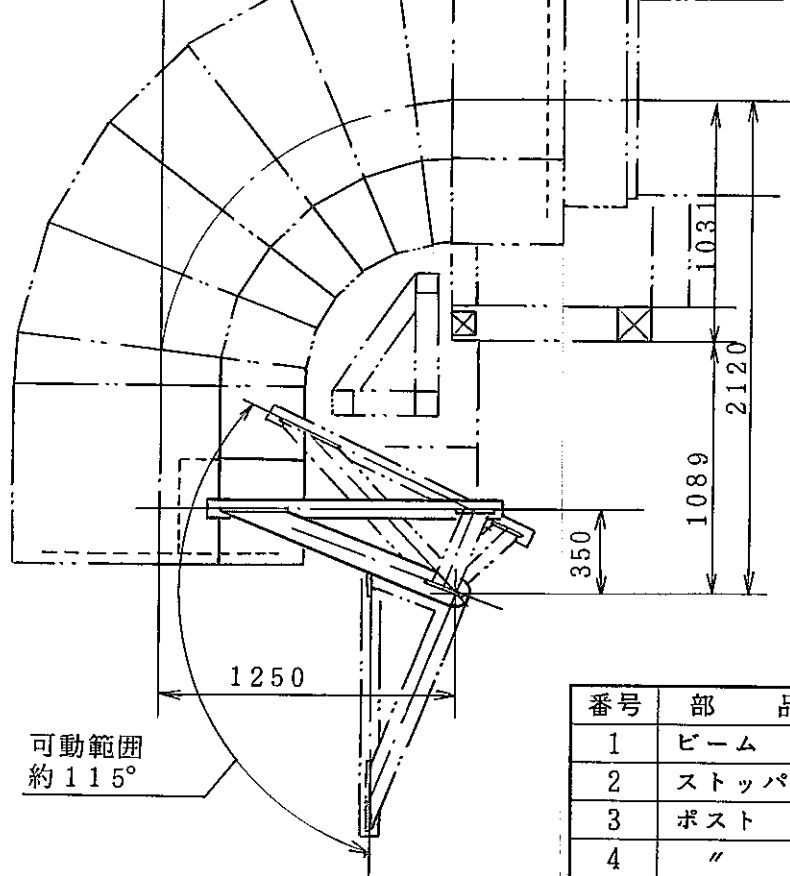
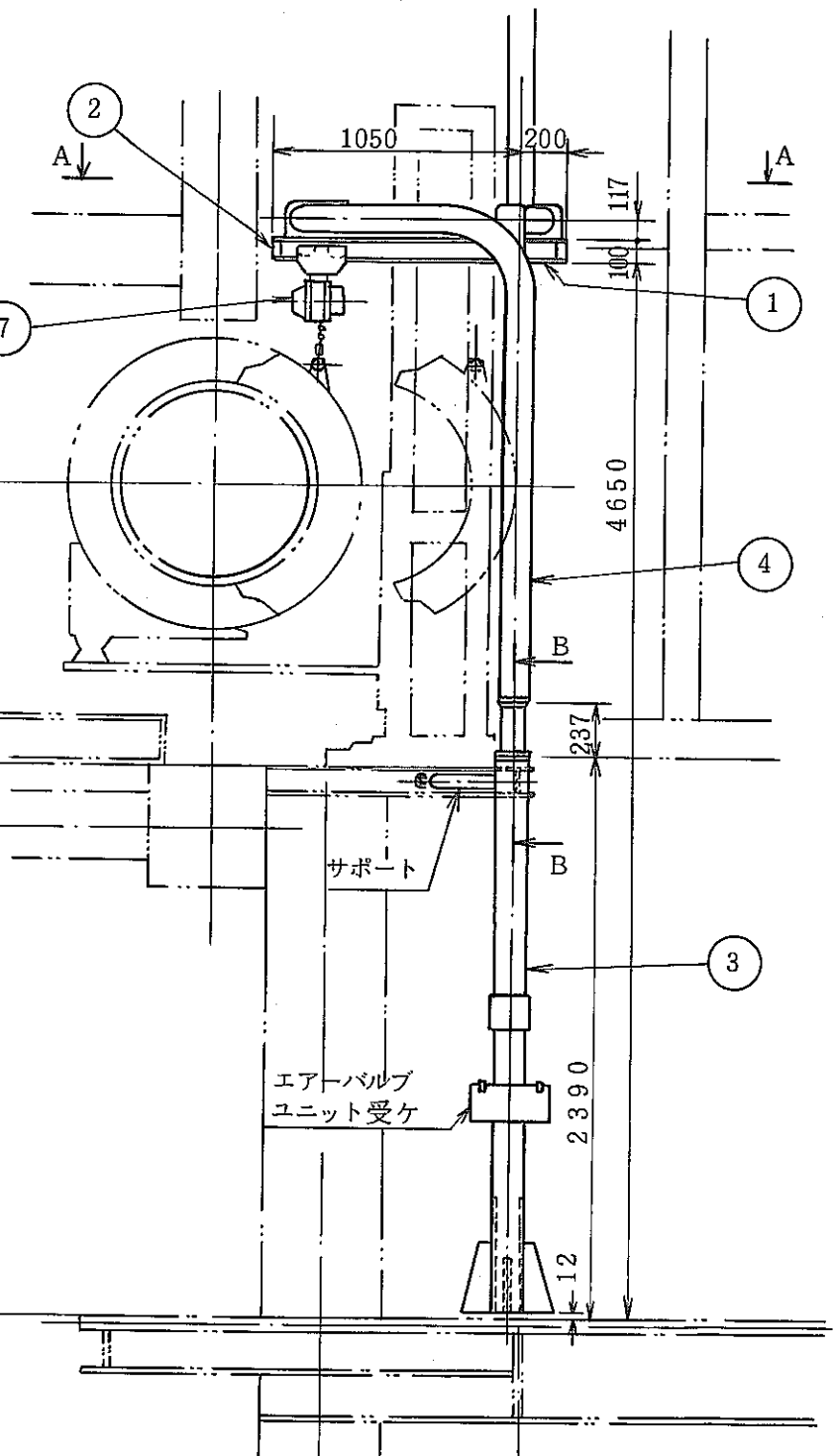
番号	部 品 名	員数	材
1	保温材 (水平部)	1	ロックウール,
2	" (上部)	1	"
3	" (下部)	1	"
4	ヒ ー タ ー	7	SUS304
5	温 度 計	1	ADC, SUS3
6	ナトリウム漏洩検出用 サンプリング管	1	SUS304
7	保温材 (400mm)	1	ロックウール,



番号	部品名	員数	材質
1	連動バックル	3式	SK-5 SPCC, SUS30
2	単独バックル	8	SK-5 SPCC
3	ラチェットレンチ	1	炭素鋼

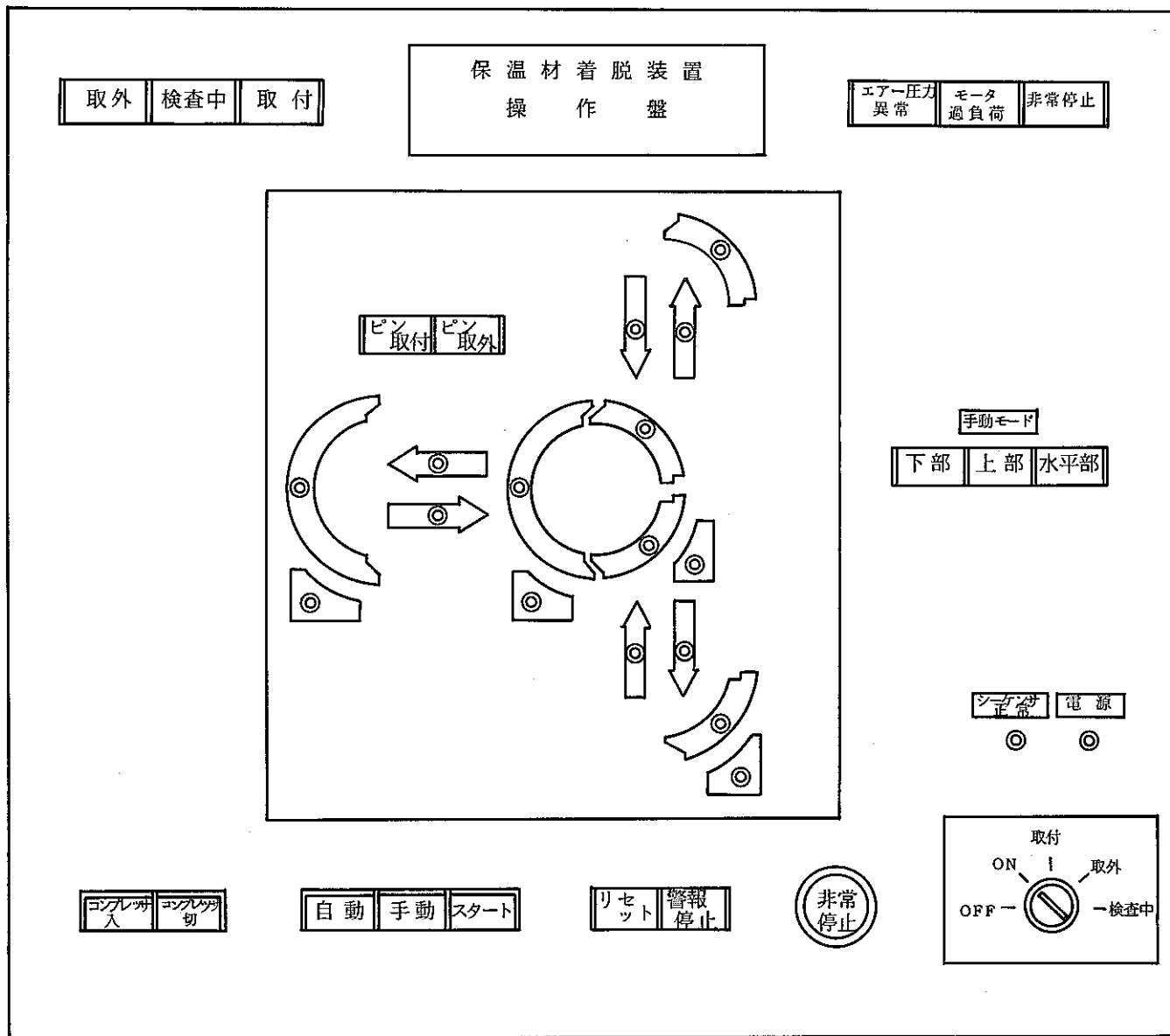




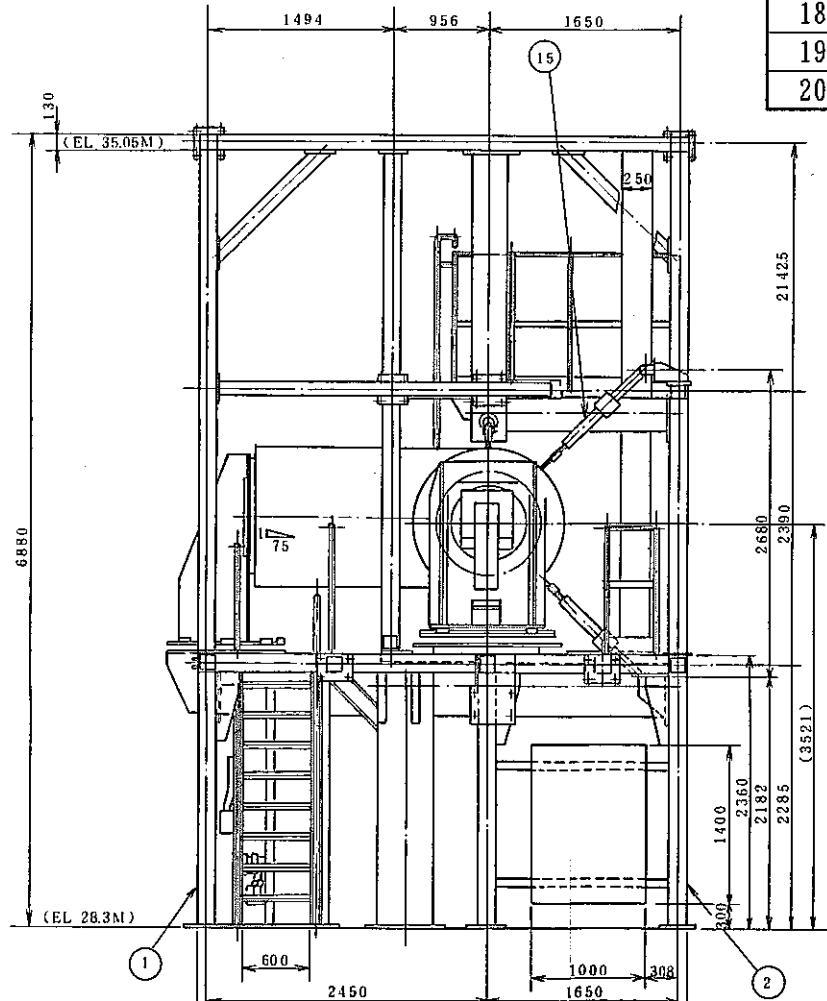
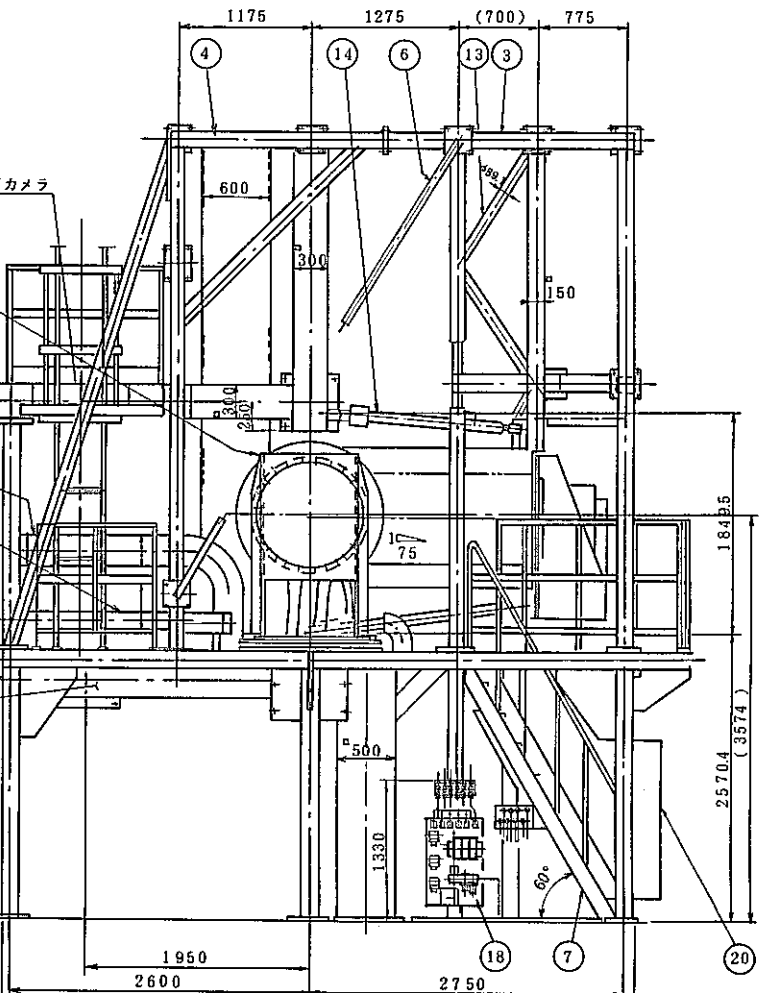
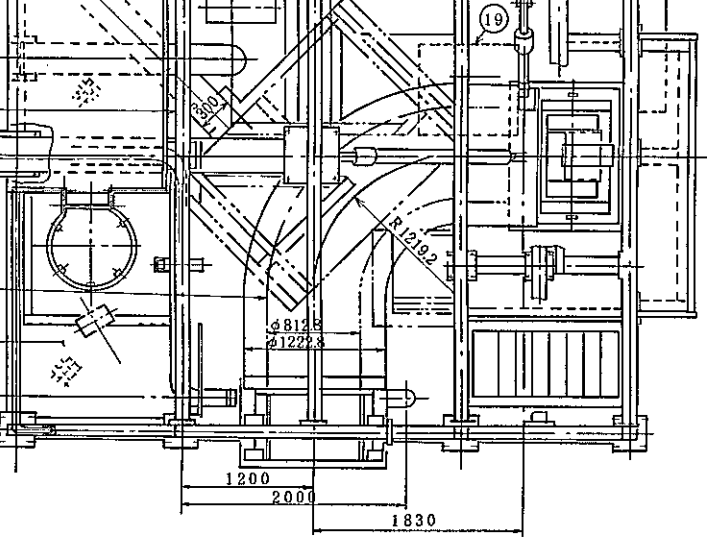


番号	部品名	員数	材質	備
1	ビーム	1	SS41相当品	
2	ストッパー	4	"	
3	ポスト	1	"	
4	"	1	"	
5	ベアリング	1		
6	ベアリングウケ	1	SS41相当品	
7	チェーンブロック	1		キヤトリ-
8	ベアリング	1		
9	トメワ	1		

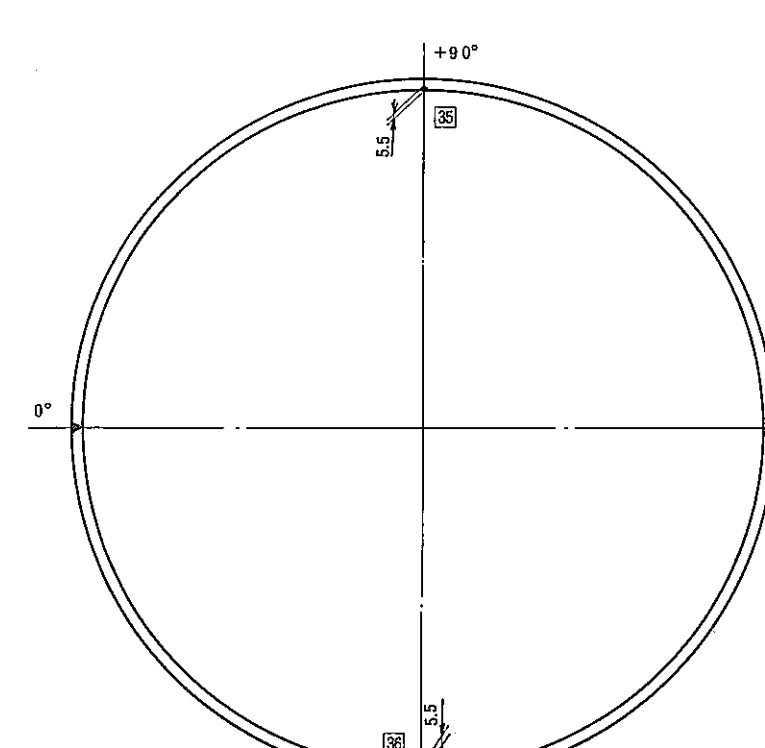
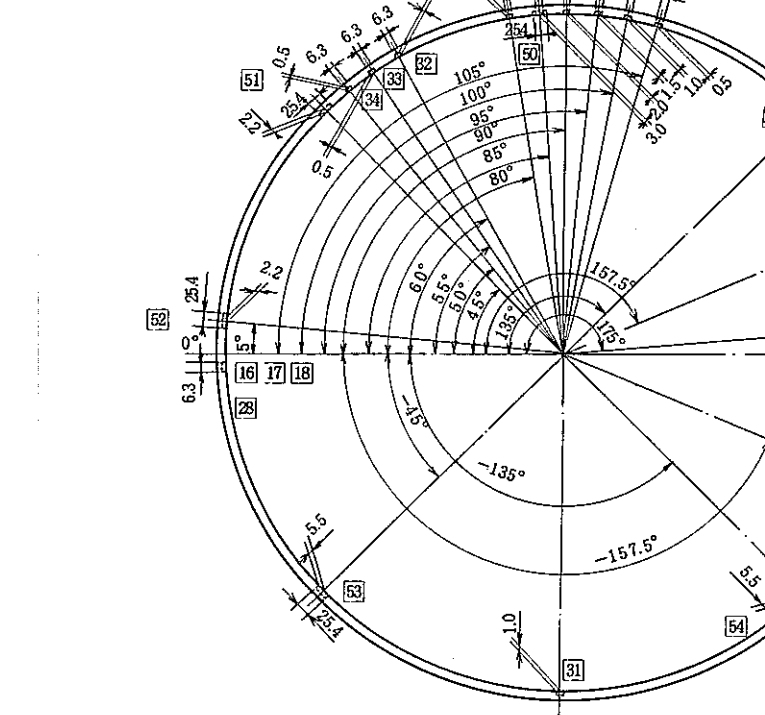
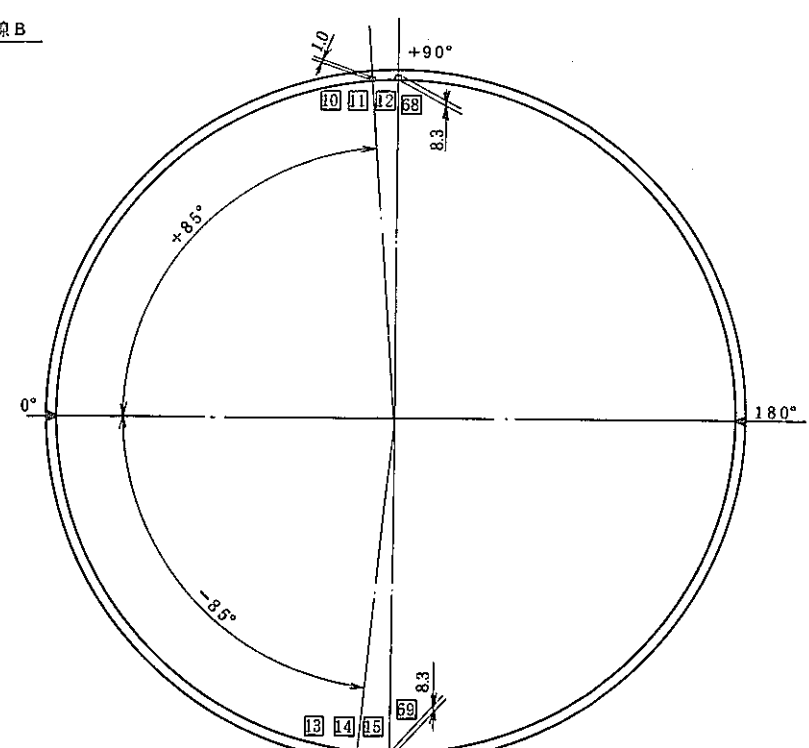
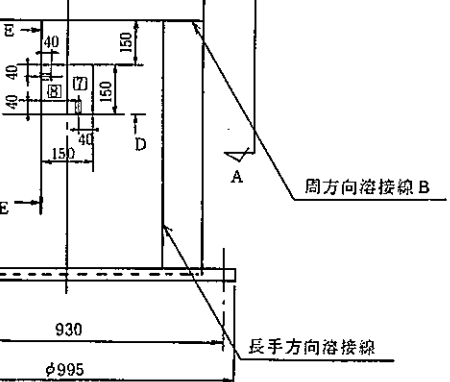
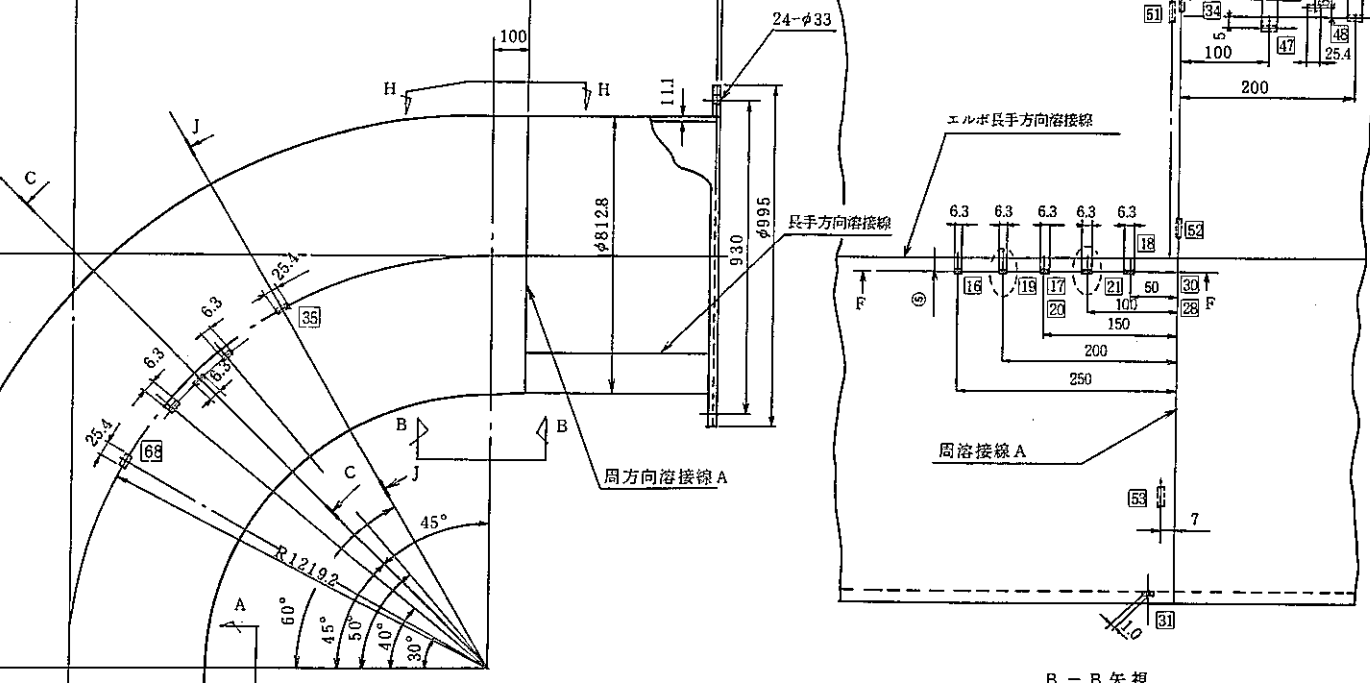




付-図 1.1.10 保温材着脱装置操作盤パネル図

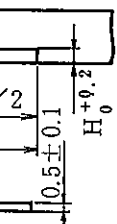


4	架台	台	〃
5	リブ	ブ	〃
6	リブ	ブ	SS34相当
7	階段	段	〃
8	床板	板	〃
9	昇温設備		
10	ブラケット		SS34相当
11	架台		STKR4
12	架台		〃
13	減速しゃへい体 支持構造物		STKR4 SGP
14	模擬メカスナ		SS41
15	模擬メカスナ		〃
16	アルゴンガス配管		SGP
17	充填ドレン系配管		〃
18	バルブスタンド		
19	エアークOMPレッサ		
20	電源盤		





模擬欠陥位置



欠陥形状  
(周方向)

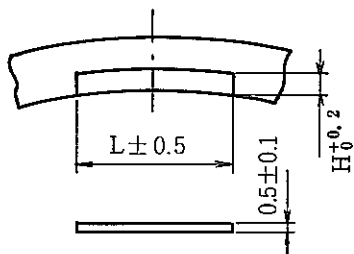


図2 - b スリット欠陥形状  
(周方向)

模擬欠陥位置



模擬欠陥位置

番号	欠陥形状 H×W×L (mm)	欠陥位置	
1	0.5×0.5×25	周溶接部より150mm	
2	"	周溶接部より300mm	
3	"	図1 による	+90°
4	"		-5°
5	"		-95°
6	"		-100° (外表面)
7	φ2.4×40	周溶接線より300mm, 深さ5.55mm	
8	"	" 190mm, 深さ5.55mm	
9	1.0×0.5×25	+5°	
10	0.5×0.5×6.3	エルボ長手方向40° の位置+85°	
11	1.0×0.5×6.3	" 45° の位置+85°	
12	1.5×0.5×6.3	" 50° の位置+85°	
13	0.5×0.5×6.3	" 40° の位置-85°	
14	1.0×0.5×6.3	" 45° の位置-85°	
15	1.5×0.5×6.3	" 50° の位置-85°	
16	1.0×0.5×6.3	図1 による	周溶接部より250mm
17	2.0×0.5×6.3		" 150mm
18	5.0×0.5×6.3		" 50mm
19	0.5×0.5×6.3		" 200mm
20	1.5×0.5×6.3		" 150mm
21	3.0×0.5×6.3		" 100mm
22	0.5×0.5×6.3		+105°
23	1.0×0.5×6.3		+100°
24	1.5×0.5×6.3		+95°
25	2.0×0.5×6.3		+90°
26	3.0×0.5×6.3		+85°
27	5.0×0.5×6.3		+80°
28	1.0×0.5×6.3		0°
29	"		+90°
30	"	+180°	
31	"	-90°	
32	"	周溶接線より10mm, +60°	
33	"	" 5mm, +55°	
34	"	" 0mm, +50°	

番号	欠陥形状 H×W×L (mm)	欠陥	
35	5.5×0.5×25.4	エルボ長手方向60°	
36	"	" 60°	
37	1.1×0.5×25.4	図4 による	周溶接部より150mm
38	2.2×0.5×25.4		
39	5.5×0.5×25.4		
40	"		
41	1.1×0.5×25.4	図4 による	
42	2.2×0.5×25.4		
43	5.5×0.5×25.4		
44	"		
45	1.1×0.5×25.4	図3 a による	
46	2.2×0.5×25.4		
47	5.5×0.5×25.4		
48	"		
49	"		
50	2.2×0.5×25.4	図3 a による	
51	"		
52	"		
53	5.5×0.5×25.4	図3 c による	
54	"		
55	2.2×0.5×25.4	図3 b による	
56	"		
57	1.1×0.5×25.4		
58	2.2×0.5×25.4	図3 b による	
59	5.5×0.5×25.4		
60	2.2×0.5×25.4		
61	1.1×0.5×25.4	図3 b による	
62	2.2×0.5×25.4		
63	"		
64	5.5×0.5×25.4		
65	7.4×0.5×25.4		
66	"		周溶接部より150mm
67	"		"
68	8.3×0.5×25.4	エルボ長手方向30°	
69	"	" 30°	

付一表 1.1.2 各流体の音響インピーダンス

流 体 名	音響インピーダンス ( $\times 10^8 \text{kg/m}^2 \text{s}$ )
アルゴンガス	0.0052
空 気	0.0041
マシン油	1.3
グリセリン	2.4
水	1.5

