

本資料は 〇/ 年 〇月 〇〇日付けで登録区分、  
変更する。

[技術情報室]

分置

# 微調整棒駆動機構地震時機能維持試験 試験後分解検査報告書

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

昭和60年12月

株式会社 日立製作所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

覧，複製，転載，引用等には事業団の承認が必要です。

## 微調整棒駆動機構地震時機能維持試験

河 島 弘 明 \* 城土井 崇 \*  
佐 藤 春 夫 \* 古 満 豊 \*  
原 田 清 \* 佐 藤 一 夫 \*  
斉 藤 晟 \*

### 要 旨

本分解検査は、高速増殖原型炉「もんじゅ」用微調整棒駆動機構（以下「実機」と略す）のR & Dとして試作された、微調整棒駆動機構（微調整棒を含む）に関して、地震時機能維持試験（以下、振動試験と略す）後、分解された構成部品等进行检查して異常（不具合）の有無を確認し、この検査結果の検討評価を行うと共に得たデータを「実機」設計に反映させることを目的として実施したものである。

本分解検査においては、次の検査、調査及び試験を行った。

- (1) 外観検査
- (2) 寸法検査
- (3) ねじ部のゆるみ等の異常調査
- (4) シール部の漏洩試験
- (5) 電気品絶縁劣化の有無調査

また、振動試験中において発生した不具合に対する「実機」対応策についても検討した。この結果、以下のことが確認できた。

- (1) 試験後の分解検査にて、CRDの機能上影響を及ぼすような顕著な異常は確認されなかった。
- (2) 加振試験前後の静的スクラム特性には、ほとんど差はなかった。
- (3) 実機における微調整棒集合体、微調整棒駆動機構の機能上の信頼性向上を計るために、
  - 1) スプリングケーブルガイドロッド
  - 2) ラッチモータブレーキ用整流回路
  - 3) 制御棒連結軸

の改良案について検討した。

---

本報告書は、株式会社日立製作所が動力炉・核燃料開発事業団の委託によって行なった研究の成果である。

\* 株式会社 日立製作所 日立工場



Fine Control Rod Drive Seismic Scramability Test  
Post-Test Disassembling and Inspection Report

Hiroaki Kawashima\* Takashi Jodoi\*

Haruo Satoh\* Yutaka Furumitsu\*

Kiyoshi Harada\* Kazuo Satoh\*

Akira Saitoh\*

Abstract

A prototype fine control rod drive (FCRD), which was fabricated for the Prototype Fast Breeder "MONJU" was disassembled after a seismic scramability test at the PNC MONJU CRD vibration test facility.

This report describes the evaluations of the post-test inspection of the disassembled FCRD and the Fine Control Rod (FCR).

The inspection test comprises the following items.

- (1) Appearance inspection test
- (2) Dimensional inspection test
- (3) Check-up of threaded parts
- (4) Leak test of sealing parts

---

This work performed under contracts between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp. (PNC) and Hitachi, Ltd.

\* Hitachi works, Hitachi, Ltd.

(5) Megger test of electrical parts

The damages due to severe seismic excitations was reviewed and evaluated for the MONJU FCRD and FCR plant unit.

Main results are shown as follows.

- (1) No remarkable damages which affect the fundamental FCR and FCRD functions were observed.
- (2) No measurable difference of the non-seismic scram drop characteristic data both before and after the seismic tests was recorded.
- (3) The improvements of the following damaged parts were reviewed and evaluated to enhance the reliability of the MONJU plant unit FCR and FCRD.
  - 1) Guide rods for spring coil
  - 2) Rectifier circuit for gripper-actuating motor brake
  - 3) Connecting rod of FCR

# 目 次

	頁
1. まえがき .....	1
2. 試験体及び試験装置 .....	2
2.1 概 要 .....	2
2.2 微調整棒駆動機構 .....	2
2.3 微調整棒 .....	8
2.4 調整棒下部案内管 .....	10
2.5 主要な改造項目 .....	12
2.6 実機との主要な相異点 .....	16
2.7 試験装置 .....	21
3. 試験中の点検及び補修 .....	27
4. 試験後分解検査 .....	71
4.1 概 要 .....	71
4.2 外観検査 .....	71
4.3 寸法検査 .....	104
4.4 ネジ部のゆるみ等の異常調査 .....	109
4.5 シール部漏洩試験 .....	113
4.6 電気品絶縁劣化の有無検査 .....	114
5. 試験前後の動作特性 .....	115
6. 評価及び考察 .....	119
6.1 概 要 .....	119
6.2 試験後分解検査の評価及び考察 .....	119
6.3 試験前後の動作特性の評価及び考察 .....	121
6.4 実機の改良 .....	121
7. あとがき .....	132
8. 謝 辞 .....	133
9. 参考文献 .....	134

# 表 リ ス ト

## List of Tables

表 2.1	主要改造項目 (1/3)~(3/3) .....	13~15
表 2.2	実機との主要な相異点 (1/4)~(4/4) .....	17~20
表 3.1	上限用リミットスイッチの不具合 .....	28
表 3.2	上限用リミットスイッチの検査結果 .....	29
表 3.3	マグネットリンク機構作動不具合 (1/2), (2/2) .....	33, 34
表 3.4	ラッチモータ作動不具合 .....	37
表 3.5	整流器破損原因調査結果 (1/2), (2/2) .....	38, 39
表 3.6	上限用リミットスイッチ異常位置動作 .....	44
表 3.7	微調整棒連結軸の切損 .....	47
表 3.8	オネジ付根亀裂先端部 $K_I$ 値 (計算) .....	60
表 3.9	最大荷重繰返し回数 の推定 .....	63
表 3.10	加振スクラム特性試験荷重パターン推定評価ケース .....	64
表 3.11	荷重計算式 .....	67
表 4.1	主要部品外観検査結果 (1/2), (2/2) .....	78, 79
表 4.2	摺動部外観検査結果 .....	93
表 4.3	シール部外観検査結果 .....	103
表 4.4	ねじ部のゆるみ等の異常調査結果 (1/2), (2/2) .....	111, 112
表 4.5	シール部漏洩試験結果 .....	113
表 4.6	電気品絶縁劣化の有無検査結果 .....	114
表 5.1	静的スクラム特性試験結果 .....	116
表 5.2	静的スクラム特性試験結果 .....	117
表 5.3	静的スクラム特性試験結果 .....	118
表 6.1	実機信頼性向上改良対策 .....	122
表 6.2	応力計算式 .....	128
表 6.3	応力計算結果 .....	129
表 6.4	累積疲労損傷の制限評価結果 .....	129
表 6.5	応力評価結果 .....	131

## 図 リ ス ト

### List of Figures

図 2.1	微調整棒駆動機構 .....	7
図 2.2	微調整棒 .....	9
図 2.3	微調整棒案内管 .....	11
図 2.4	試験体据付図 .....	24
図 2.5	制 御 盤 .....	25
図 2.6	ガスユニット .....	26
図 3.1	上限用リミットスイッチの動的接触抵抗測定結果 .....	31
図 3.2	上限用リミットスイッチの動作確認結果 .....	32
図 3.3	ロードセル取付部 .....	35
図 3.4	マグネットリンク機構作動不具合説明図 .....	36
図 3.5	ラッチモータ操作回路 .....	43
図 3.6	CR連結軸ネジ締結部破断対策検討作業手順 .....	50
図 3.7	CR連結軸ネジ締結部構造 .....	51
図 3.8	CR連結軸ネジ締結部廻止め用隅肉溶接部亀裂進展速度－ 亀裂深さ測定結果 .....	54
図 3.9	CR連結軸ネジ締結部オネジ部亀裂進展速度－ 亀裂深さ測定結果 .....	55
図 3.1 0	SUS 304 の亀裂進展速度 .....	57
図 3.1 1	オネジ付根部解析モデル .....	59
図 3.1 2	SUS 304 の室温でのCyclic Stress Strain Curve データ .....	61
図 3.1 3	亀裂発生寿命 $N_{c 0.05}$ と疲労設計曲線との比較 .....	62
図 3.1 4	振動試験荷重パターン計算モデル .....	66
図 3.1 5	正弦波同時加振（試験 № 4 ）時の最大荷重（計算値） .....	68
図 3.1 6	正弦波二次モード加振（試験 № 16 ）時の最大荷重（計算値） .....	68
図 4.1	微調整棒駆動機構主要部品外観検査箇所 .....	73
図 4.2	ボールスクリュアッセンブリー外観検査箇所 .....	74
図 4.3	マグネットリンク機構外観検査箇所 .....	75



図 4. 4	微調整棒主要部品外観検査箇所	76
図 4. 5	微調整棒案内管主要部品外観検査箇所	77
図 4. 6	ピストン（駆動延長軸）外観検査結果	80
図 4. 7	駆動延長軸（ボールラッチ機構部）外観検査結果	83
図 4. 8	駆動延長軸の下部とグリッパー部外観検査結果	84
図 4. 9	ラッチ棒の中間部外観検査結果	88
図 4. 1 0	ピストン部シール部外観検査箇所	101
図 4. 1 1	シリンダ部シール部外観検査箇所	101
図 4. 1 2	ベローズアッセンブリーシール部検査箇所	102
図 4. 1 3	サポートシール部検査箇所	102
図 4. 1 4	微調整棒駆動機構寸法検査結果（1/2），（2/2）	105, 106
図 4. 1 5	微調整棒寸法検査結果	107
図 4. 1 6	微調整棒案内管寸法検査結果	108
図 4. 1 7	ネジ部のゆるみ等の異常調査箇所	110
図 6. 1	微調整棒連結軸ネジ締結部構造図	127
図 6. 2	許容繰返し回数（Nd）	130

# 写 真 リ ス ト

## List of Photographs

写真 3. 1	上限用リミットスイッチモールド部カケ状態 .....	30
写真 3. 2	ラッチモータ用整流器ダイオード外観検査 .....	40
写真 3. 3	ラッチモータ用整流器ダイオード破壊部 (1/2) .....	41
写真 3. 4	ラッチモータ用整流器ダイオード破壊部 (2/2) .....	42
写真 3. 5	上限用リミットスイッチとスプリングケーブルの干渉 .....	45
写真 3. 6	スプリングケーブルとガイドロッドの干渉 .....	46
写真 3. 7	微調整棒の連結軸切損部 .....	48
写真 3. 8	破断面のSEM写真 (CR連結軸ネジ締結隅内廻り止め溶接部) .....	52
写真 3. 9	破断面のSEM写真 (CR連結軸オネジ付根部) .....	53
写真 4. 1	駆動延長軸の最上部 (マグネットリンク機構部) .....	81
写真 4. 2	上部案内管の最下部 .....	82
写真 4. 3-A	グリッパー部 (ハウジング部) .....	85
写真 4. 3-B	グリッパー部 (ラッチフィンガー) .....	86
写真 4. 3-C	グリッパー部 (ラッチ棒ヘッド) .....	87
写真 4. 4	微調整棒ハンドリングヘッド及び連結軸 .....	89
写真 4. 5	微調整棒の保護管 .....	90
写真 4. 6	微調整棒案内管ハンドリングヘッド .....	91
写真 4. 7	微調整棒駆動機構ダッシュボット .....	94
写真 4. 8	微調整棒駆動機構ダッシュラム (上部) .....	95
写真 4. 9	微調整棒駆動機構ダッシュラム (下部) .....	96
写真 4. 1 0	微調整棒のダッシュラム .....	97
写真 4. 1 1	微調整棒の流力振動抑止機構 .....	98
写真 4. 1 2	微調整棒案内管のダッシュボット .....	99

## 1. ま え が き

現在、動力炉・核燃料開発事業団が開発を進めている高速増殖原型炉「もんじゅ」(以下「もんじゅ」と略します)の制御棒駆動機構は、

- (1) 微調整棒駆動機構 ————— 3台
- (2) 粗調整棒駆動機構 ————— 10台
- (3) 後備炉停止棒駆動機構 ————— 6台

の計19台から構成されている。

本報告書は、「もんじゅ」用微調整棒駆動機構(以下、「実機」と略す)のR&Dとして試作された微調整棒駆動機構(微調整棒等を含む)の、地震時機能維持試験(以下、振動試験と略す)後に実施した分解検査に関するものである。

振動試験は、三菱重工業株式会社高砂研究所において、昭和60年10月から同年11月<sup>1)</sup>まで、三菱重工業株式会社殿によって実施された。

本分解検査は、微調整棒駆動機構、微調整棒及び調整棒下部案内管の、分解された構成部品等を検査して異常(不具合)の有無を確認し、この検査結果の検討評価を行うと共に、これによって得られたデータを「実機」設計に反映させることを目的として実施したものである。

本分解検査においては、次の検査、調査及び試験を行った。

- (1) 外観検査
- (2) 寸法検査
- (3) ねじ部のゆるみ等の異常調査
- (4) シール部漏洩試験
- (5) 電気品絶縁劣化の有無検査

また、振動試験中において発生した不具合に対する「実機」対応策について検討した。

## 2. 試験体及び試験装置

### 2.1 概 要

本試験体は、基本的には水中試験時と変わっていないが、試験装置との取合上一部、部品の追加及び改造を行った。

試験体は、次の各機器から構成されている。

- (1) 微調整棒駆動機構 ————— 1 基
- (2) 微調整棒 ————— 1 基
- (3) 調整棒下部案内管 ————— 1 基

また、試験装置は、次の各装置及び機器から構成されている。

- (1) 試験装置本体（既設） ————— 1 式
- (2) 模擬炉心上部機構（既設） ————— 1 基
- (3) 模擬炉心支持構造物（既設） ————— 1 式
- (4) 模擬燃料集合体（既設） ————— 4 体
- (5) サポートロッド（既設） ————— 1 式
- (6) 模擬支持筒 ————— 1 基
- (7) 模擬管台 ————— 1 基
- (8) 調整台 ————— 1 基
- (9) 制御盤 ————— 1 面
- (10) ガスユニット ————— 1 基

### 2.2 微調整棒駆動機構

#### 2.2.1 仕 様

- (1) 形 式 極数変換三相誘導モータ  
駆動ツインスクリュ密閉ハウジング形
- (2) ストローク 1000mm
- (3) 駆動速度 60, 120mm/min (2段変換) (50Hz)
- (4) スクラム方式 マグネット消磁後ガス圧加速制御棒，駆動延長軸一体落下形
- (5) スクラム時間 原子炉トリップ遮断器開後，全ストロークの85%挿入まで1.2S以下

- (6) 主要材質 SUS 304 , SUS 316
- (7) 極数変換三相誘導モータ (電磁ブレーキ, 減速機付)
- モータ極数 4, 8
- モータ出力 200W (4 P, 1500 rpm) (50 Hz)
- 100W (8 P, 750 rpm) (50 Hz)
- モータ周囲温度 60℃ (通常時)
- 85℃ (事故時, 保持時間 2 時間以内)
- (8) 制御棒ラッチ・デラッチ機構
- ラッチモータ平歯車ボールスクリュ上下動方式, ラッチモータは電磁ブレーキ (OFF ブレーキ) 減速機付
- (9) 駆動部, 上部案内管延長部着脱方式
- ストローク下限でのモータのオーバトラベルによるボールラッチ機構作動
- (10) シール方式 溶接ペローズ, Oリング等
- (11) 位置検出系
- (a) 近接スイッチ
- (i) 形式 リードスイッチ
- (ii) 設置位置 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 85% (ダッシュポット突入点) 及び 90% 挿入位置
- (12) リミットスイッチ
- (a) CR 駆動部位置
- (i) 上限 2 個
- (ii) 下限上 40 mm 2 個
- (iii) 下限 2 個
- (iv) 結合切離位置 2 個
- (b) ラッチモータ駆動位置
- (i) スクラムロック 2 個
- (ii) 通常位置 2 個
- (iii) 駆動機構結合位置 2 個
- (iv) 調整棒切離位置 2 個

(c) マグネットリンク機構

(i) アーマチュア切離位置 1 個

(ii) スクラム位置 1 個

(d) スクラム時間測定用

(i) スクラム完了 2 個

(13) スクラムロック

ラッチモータの通常停止位置から 15 mm 上方オーバーストローク動作による。

(14) スクラム時の平行心ずれの最大許容偏心量 55 mm

## 2.2.2 構造及び機能

### (1) 概要

微調整棒駆動機構は、主駆動電動機として極数変換三相誘導モータを採用し、減速機を介して、ツインのボールスクリュにより微調整棒を上下動させる。

スクラムは、ガス加速、制御棒・駆動延長軸一体落下方式で、スクラムストローク途中での緩衝は、ダッシュポットにより行う。

上部案内管と駆動延長軸の間及び駆動延長軸とラッチ棒の間のストローク動作軸シールとして溶接ベローズを使用する。

ラッチ、デラッチ作動は、ラッチモータの回転を、減速歯車、平歯車を介してボールスクリュにより上下動に変換し、ラッチ棒を上下動させることにより行う。メンテナンス性を考慮して、主駆動電動機によるストローク下限でのオーバーストローク及びボールラッチ機構を作動させることにより、駆動部と上部案内管延長部を着脱できる。

### (2) 駆動部

図 2.1 「微調整棒駆動機構」に示すように、極数変換三相誘導モータの回転は、過負荷防止用のトルクリミッター、平歯車を介してボールスクリュに伝えられて、ボールスクリュが回転すると、ラッチ機構及びマグネットリンク機構を含めた被駆動部は、上下動する。

マグネットリンク機構は、ホールドマグネットとアーマチュアの吸着あるいは切り離れにより作動する 3 個の爪によって駆動延長軸を保持している。駆動延長軸は、グリッパーを介して微調整棒と連結している。何らかの原因で駆動機構に引っかかりを生じ、極数変換三相誘導モータにトルクリミッター設定値

以上の過負荷がかかった場合、トルクリミッターがすべり、極数変換三相誘導モータを保護する。また、極数変換三相誘導モータ上部には、OFFブレーキタイプの電磁ブレーキを設置している。なお、大気中駆動試験時等スクラム落下を防止する必要がある場合は、ストロークの任意の位置にてラッチモータ通常停止位置から15mm 上方オーバーストロークさせることにより、スクラムロック爪で駆動延長軸上端をロックできる。この機構は燃交時にはホールドマグネットの電源が切離されるため、スクラム動作を防止するために使用される。

駆動部と上部案内管延長部の着脱は、下記のとおりボールラッチ機構による。ストローク下限位置で極数変換三相誘導モータがオーバーストロークすると、ラッチモータ下部フランジが押下げられ、それに直結するボールラッチ作動桿が押下げられて、スライダを介して、ボールラッチ部のバネを圧縮するとボールラッチ部の内部のボールが同上スライダの外側の溝にはまり込み、ボールラッチ作動桿の外側の上部ラッチ軸と下部ラッチ軸の結合を解き上部ラッチ軸下端の溝にボールラッチの外部のボールが嵌込み、デラッチ動作が完了する。この状態のまま駆動部を持ち上げることにより切離は完了する。また駆動軸と上部案内管延長部の再結合には、主駆動モータ及びラッチモータの運動により行う。

### (3) 制御棒ラッチ・デラッチ機構

グリッパーは、ラッチフィンガーをラッチ棒によつて、微調整棒上端のハンドリングヘッドの溝に押付けて結合する方式である。デラッチ時にはレバシブルのラッチモータを回転させ、減速機、平歯車を介してボールスクリュを回転して、ボールラッチロッドそしてコイルバネにより持ち上げられているラッチ棒を押下げ、ラッチフィンガーを閉じることにより、デラッチ動作を完了する。

逆にラッチ時には、ラッチフィンガーが閉じた状態のグリッパーを微調整棒のハンドリングヘッド内に挿入し、モータを逆転することにより、ラッチ棒がコイルバネにより持ち上がり、ラッチフィンガーが微調整棒のハンドリングヘッドの溝に押付けられ、ラッチ動作を完了する。ラッチモータ上部には、電磁ブレーキ（OFFブレーキ）を取り付けている。

### (4) スクラム機構

スクラムは、ホールドマグネットを消磁することにより、リンク及び爪がデ

ラッチし、そしてガス圧加速により微調整棒と駆動延長軸が一体で落下し、ストローク下端まで確実に挿入される。

ストローク途中ではダッシュポットと調整棒下部案内管のダッシュポットによりスムーズに減速される。尚、スクラム加速用のガスシリンダーの圧力がスクラムの際ガスが断熱膨張して急激に加速力を減ずることを緩和するためガスシリンダーの外側には、アキュムレータを設置している。

スクラム時間は、マグネットリンク機構のアーマチュア切離リミットスイッチ、リードスイッチ及びスクラム完了リミットスイッチにより測定する。

スクラム落下の際の加速度は駆動延長軸に取り付けてある加速度変換器により測定する。

#### (5) シール部

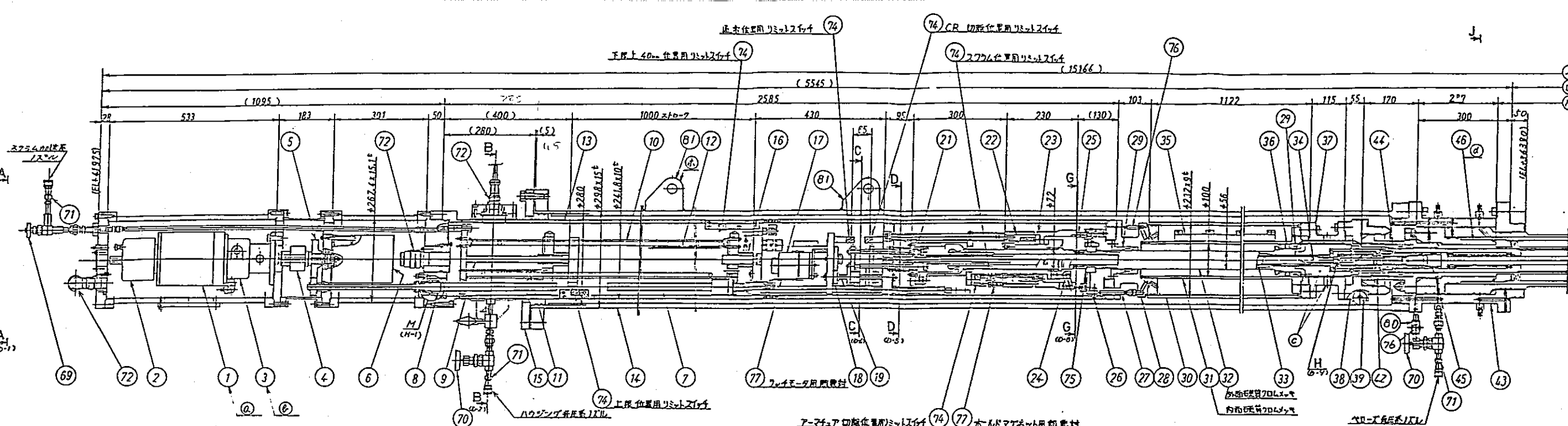
上部案内管と駆動延長軸間には、長ストローク用溶接ベローズ、駆動延長軸とラッチ棒間にはグリッパ着脱用溶接ベローズを設置してある。

一方、ベローズ内部には、ガスが供給されていてベローズを含めたシール部の監視ができる。

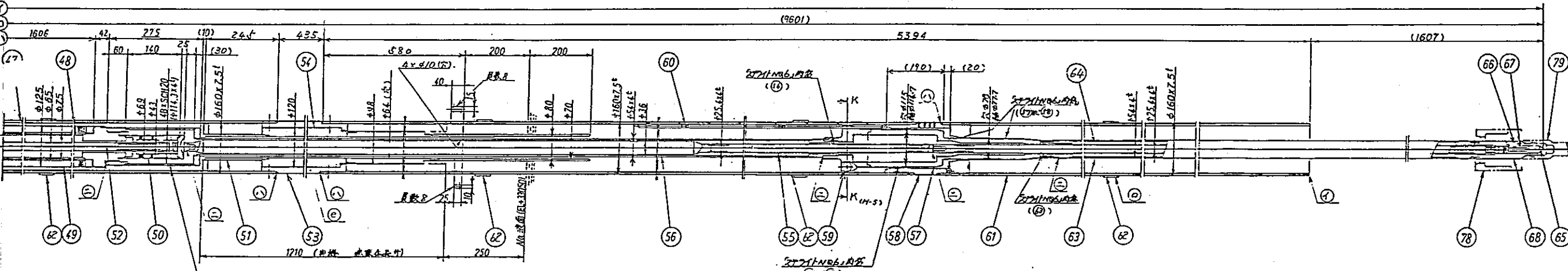
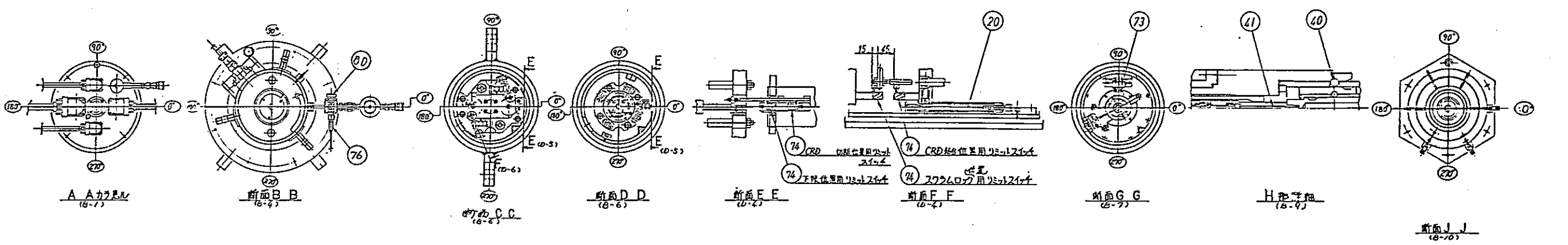
#### (6) 位置検出器

独立2系統の位置検出機構を設けており、一系統はシンクロ発信器によりモータの回転より検出し、他の一系統はリードスイッチにより駆動延長軸の実位置を検出できるようになっている。



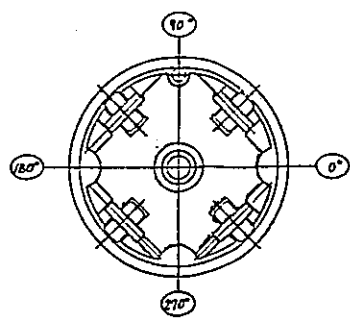


81	ナット	1	輸入品
80	スプリング	2	輸入品
79	調整棒駆動機構	1	—
78	調整棒	1	—
77	調整棒	2	輸入品
76	調整棒	3	(P60-C)
75	調整棒	1	—
74	調整棒	15	—
73	調整棒	7	—
72	調整棒	25	—
71	調整棒	3	—
70	調整棒	2	—
69	調整棒	1	輸入品
68	調整棒	1	調整棒
67	調整棒	3	—
66	調整棒	3	—
65	調整棒	1	調整棒
64	調整棒	1	調整棒
63	調整棒	1	—
62	調整棒	6	—
61	調整棒	1	SUS304
60	調整棒	1	調整棒
59	調整棒	4	調整棒
58	調整棒	1	調整棒
57	調整棒	1	SUS304
56	調整棒	1	SUS304
55	調整棒	1	—
54	調整棒	1	—
53	調整棒	1	—
52	調整棒	1	—
51	調整棒	1	調整棒
50	調整棒	1	調整棒
49	調整棒	1	調整棒
48	調整棒	1	調整棒
47	調整棒	1	—
46	調整棒	1	調整棒
45	調整棒	1	調整棒
44	調整棒	1	調整棒
43	調整棒	1	調整棒
42	調整棒	1	調整棒
41	調整棒	1	調整棒
40	調整棒	1	調整棒
39	調整棒	4	調整棒
38	調整棒	1	調整棒
37	調整棒	1	調整棒
36	調整棒	1	調整棒
35	調整棒	1	調整棒
34	調整棒	1	調整棒
33	調整棒	1	調整棒
32	調整棒	1	調整棒
31	調整棒	1	調整棒
30	調整棒	1	調整棒
29	調整棒	1	調整棒
28	調整棒	1	調整棒
27	調整棒	1	調整棒
26	調整棒	1	調整棒
25	調整棒	1	調整棒
24	調整棒	1	調整棒
23	調整棒	1	調整棒
22	調整棒	1	調整棒
21	調整棒	1	調整棒
20	調整棒	1	調整棒
19	調整棒	1	調整棒
18	調整棒	1	調整棒
17	調整棒	1	調整棒
16	調整棒	1	調整棒
15	調整棒	1	調整棒
14	調整棒	1	調整棒
13	調整棒	1	調整棒
12	調整棒	1	調整棒
11	調整棒	1	調整棒
10	調整棒	1	調整棒
9	調整棒	1	調整棒
8	調整棒	1	調整棒
7	調整棒	1	調整棒
6	調整棒	1	調整棒
5	調整棒	1	調整棒
4	調整棒	1	調整棒
3	調整棒	1	調整棒
2	調整棒	1	調整棒
1	調整棒	1	調整棒



81	ナット	1	輸入品
80	スプリング	2	輸入品
79	調整棒駆動機構	1	—
78	調整棒	1	—
77	調整棒	2	輸入品
76	調整棒	3	(P60-C)
75	調整棒	1	—
74	調整棒	15	—
73	調整棒	7	—
72	調整棒	25	—
71	調整棒	3	—
70	調整棒	2	—
69	調整棒	1	輸入品
68	調整棒	1	調整棒
67	調整棒	3	—
66	調整棒	3	—
65	調整棒	1	調整棒
64	調整棒	1	調整棒
63	調整棒	1	—
62	調整棒	6	—
61	調整棒	1	SUS304
60	調整棒	1	調整棒
59	調整棒	4	調整棒
58	調整棒	1	調整棒
57	調整棒	1	SUS304
56	調整棒	1	SUS304
55	調整棒	1	—
54	調整棒	1	—
53	調整棒	1	—
52	調整棒	1	—
51	調整棒	1	調整棒
50	調整棒	1	調整棒
49	調整棒	1	調整棒
48	調整棒	1	調整棒
47	調整棒	1	—
46	調整棒	1	調整棒
45	調整棒	1	調整棒
44	調整棒	1	調整棒
43	調整棒	1	調整棒
42	調整棒	1	調整棒
41	調整棒	1	調整棒
40	調整棒	1	調整棒
39	調整棒	4	調整棒
38	調整棒	1	調整棒
37	調整棒	1	調整棒
36	調整棒	1	調整棒
35	調整棒	1	調整棒
34	調整棒	1	調整棒
33	調整棒	1	調整棒
32	調整棒	1	調整棒
31	調整棒	1	調整棒
30	調整棒	1	調整棒
29	調整棒	1	調整棒
28	調整棒	1	調整棒
27	調整棒	1	調整棒
26	調整棒	1	調整棒
25	調整棒	1	調整棒
24	調整棒	1	調整棒
23	調整棒	1	調整棒
22	調整棒	1	調整棒
21	調整棒	1	調整棒
20	調整棒	1	調整棒
19	調整棒	1	調整棒
18	調整棒	1	調整棒
17	調整棒	1	調整棒
16	調整棒	1	調整棒
15	調整棒	1	調整棒
14	調整棒	1	調整棒
13	調整棒	1	調整棒
12	調整棒	1	調整棒
11	調整棒	1	調整棒
10	調整棒	1	調整棒
9	調整棒	1	調整棒
8	調整棒	1	調整棒
7	調整棒	1	調整棒
6	調整棒	1	調整棒
5	調整棒	1	調整棒
4	調整棒	1	調整棒
3	調整棒	1	調整棒
2	調整棒	1	調整棒
1	調整棒	1	調整棒

主要仕様	
スリット方式	調整棒駆動機構 調整棒駆動機構 調整棒駆動機構
スリット口径	φ24mm
ストローク	1000mm
最高使用温度 (調整棒駆動機構)	調整棒駆動機構: 550°C 調整棒駆動機構: 60°C
最高使用圧力	調整棒駆動機構: 7.5kg/cm² 調整棒駆動機構: 2kg/cm² 調整棒駆動機構: 0.5kg/cm² 調整棒駆動機構: 2kg/cm²
主要材料	調整棒駆動機構: SUS304 調整棒駆動機構: SUS316
製作年度	調整棒駆動機構: 1974年12月 調整棒駆動機構: 1975年1月



注記  
1. 調整棒 調整棒駆動機構 100% 挿入状態  
2. 調整棒 調整棒駆動機構 100% 挿入状態

部位	項目	内容
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒

調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒
調整棒	調整棒	調整棒

図 2.1 微調整棒駆動機構

## 2.3 微調整棒

### 2.3.1 仕 様

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| (1) 微調整棒 1 体当りの制御要素数 | 19 本                 |
| (2) 制御要素             |                      |
| 吸 収 材                | 重量を模擬したもの            |
| 各部構造寸法               | 端栓部等を模擬したもの          |
| (3) 全 長              | 約 3088 mm            |
| (4) 保護管外径            | 94 mm                |
| (5) 重 量              | 約 60 kg (dry weight) |
| (6) 主要材質             | SUS 316, SUS 304     |

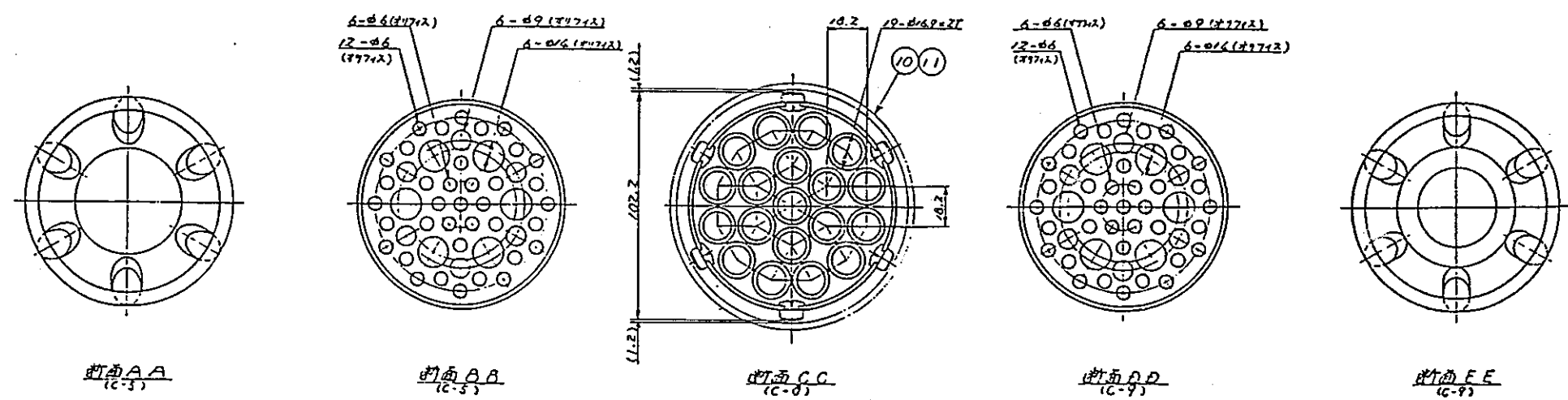
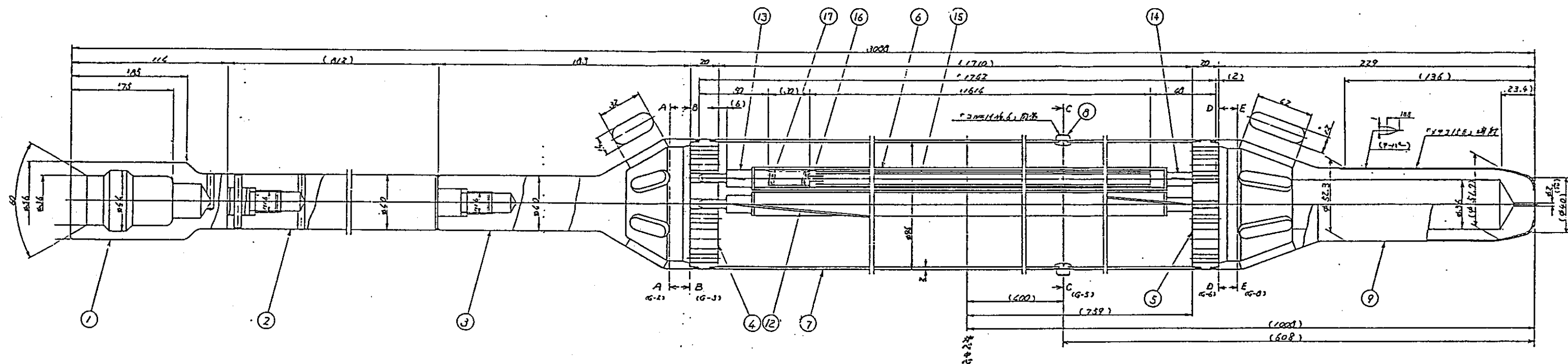
### 2.3.2 構造及び機能

制御要素は、中性子吸収材の代わりに重量を模擬したものを被覆管中に密封したもので、端栓部構造は実機を模擬している。

19本の制御要素は、上部グリッド板、下部グリッド板及びワイヤスペーサーにより等間隔に保護管中に収納され、微調整棒を形成している。

微調整棒の下部には、ダッシュラムを設け、調整棒下部案内管のダッシュポットと組み合わせてスクラムの際の緩衝作用を行うようになっている。

微調整棒の構造を図 2.2 に示す。



注 記  
 1. 当に基し標準寸法に示す。  
 (1) : 今回設計用材料  
 (2) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (3) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (4) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (5) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (6) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (7) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (8) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (9) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (10) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (11) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (12) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (13) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (14) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (15) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (16) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料  
 (17) : 第二水準作時「51D」用材料、かつ  
 汎用品として、今回設計用材料

17	ワイヤスプリング	19	SUS 316	(C)
16	ワイヤスプリング	19	〃	(C)
15	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
14	調整ねじ	19	SUS 304	(B)
13	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
12	ワイヤスプリング	19	SUS 304	(B)
11	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
10	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
9	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
8	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
7	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
6	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
5	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
4	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
3	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
2	調整ねじ	19	SUS 316	(C)
1	調整ねじ	19	SUS 316	(C)

図 2.2 微調整棒

## 2.4 調整棒下部案内管

### 2.4.1 仕様

- |                |                       |
|----------------|-----------------------|
| (1) 数量         | 1本                    |
| (2) 全長         | 4200mm                |
| (3) 外径         |                       |
| (a) 案内管        | $\phi 110.6\text{mm}$ |
| (b) パッド部(最大径)  | $\phi 130\text{mm}$   |
| (4) 重量         | 約70kg                 |
| (5) 主要材質       | SUS304                |
| (6) ハンドリングヘッド部 |                       |

部分的に実機を模擬している。

#### (7) パッド部

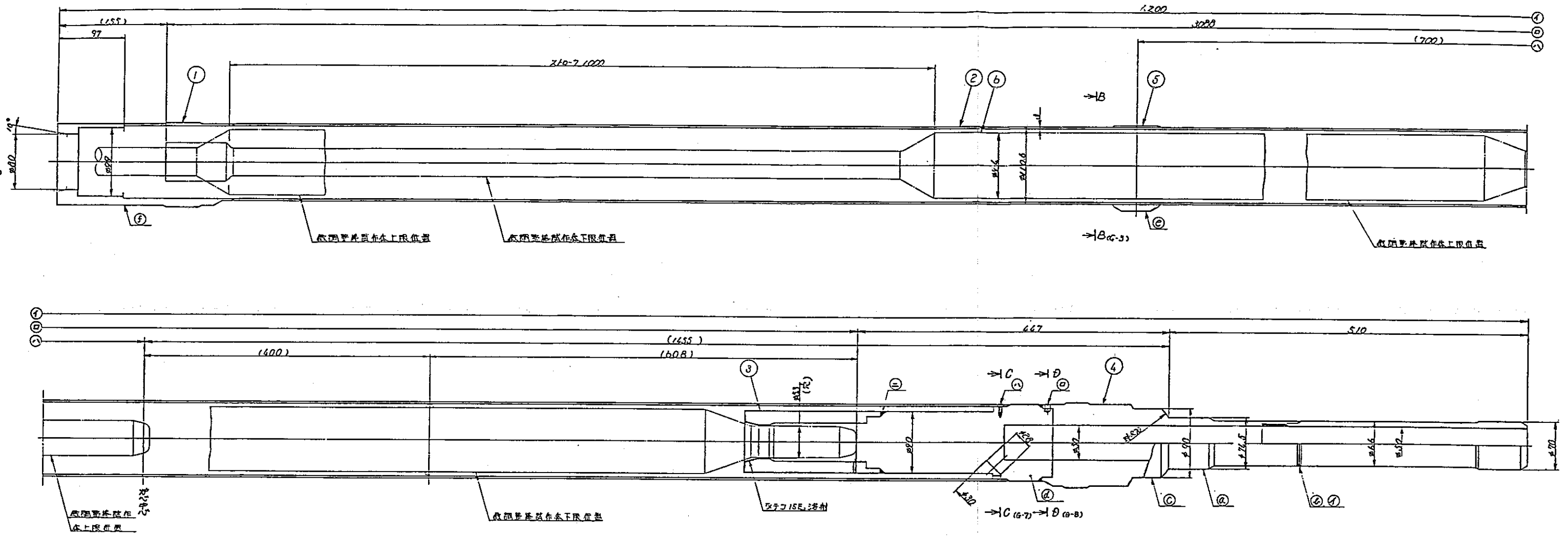
上, 中, 下パッド部より構成され, 実機を模擬している。

### 2.4.2 構造及び機能

調整棒下部案内管は, 円径断面のラップ管, エントランスノズル及びハンドリングヘッドから構成され, 実機を模擬している。

また, 調整棒下部案内管は, 実機微調整棒に必要な, 流量を確保できるように各部流路設計されたものである。また, 調整棒下部案内管の下部には, 微調整棒のスクラムの際, 緩衝するためのダッシュポットを設けてある。

調整棒下部案内管の構造を図2.3に示す。

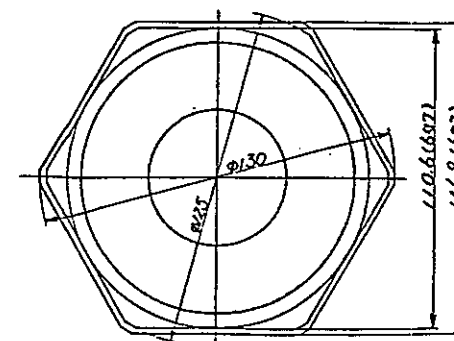
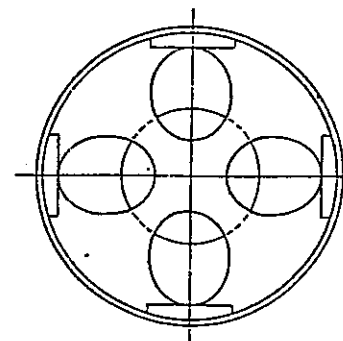
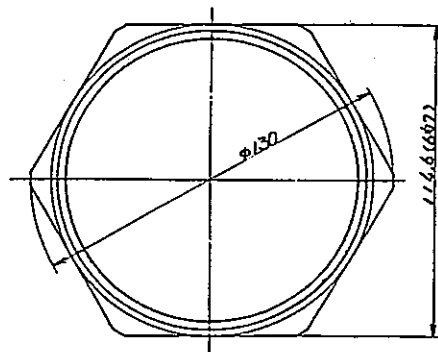
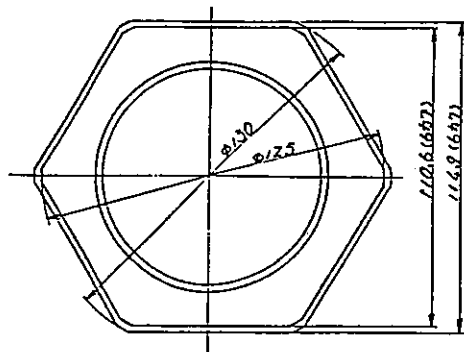


変更上の相違点

部位	項目	変更内容
(a)	1155/210-7/1022部	六角15E溶射
(b)	700/3220部	六角15E溶射
(c)	溶射体部	六角15E溶射
(d)	溶射体部	六角15E溶射
(e)	六角15E溶射	六角15E溶射
(f)	六角15E溶射	六角15E溶射

改修項目

部位	内容	備考
(1)	六角15E溶射	六角15E溶射
(2)	六角15E溶射	六角15E溶射
(3)	六角15E溶射	六角15E溶射
(4)	六角15E溶射	六角15E溶射



部位	品名	数量	材質	備考
b	六角15E溶射	—	—	—
5	中間バンド	1	SUS316	—
4	エンドワッシャー	1	SUS316	—
3	ワッシャー	1	SUS304	—
2	ナット	1	SUS316	—
1	バンドリングヘッド	1	SUS316	—

図 2.3 微調整棒案内管

## 2.5 主要な改造項目

### 2.5.1 概 要

昭和60年度実施の動力炉・核燃料開発事業団殿R & D「微調整棒駆動機構の改造整備」（改造整備及び水中試験）からの主要な改造内容について示す。

改造は、(1)振動試験装置との取合、(2)実機構造に準じたピン結合等の、溶接結合へ変更が基本となっている。

表2.1(1/3)～表2.1(3/3)に主要な改造内容を示す。

表 2.1 主要改造項目 (1/3)

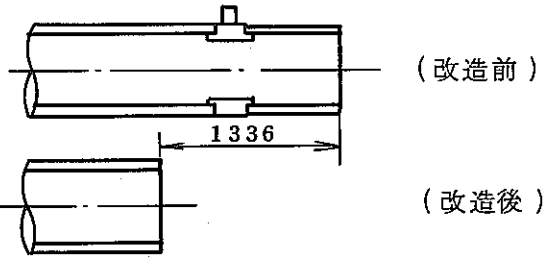
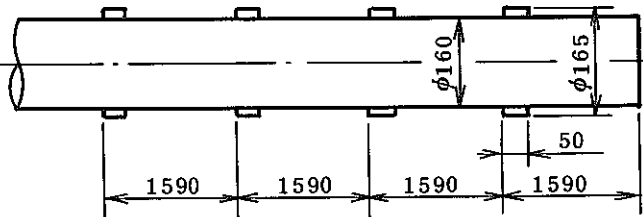
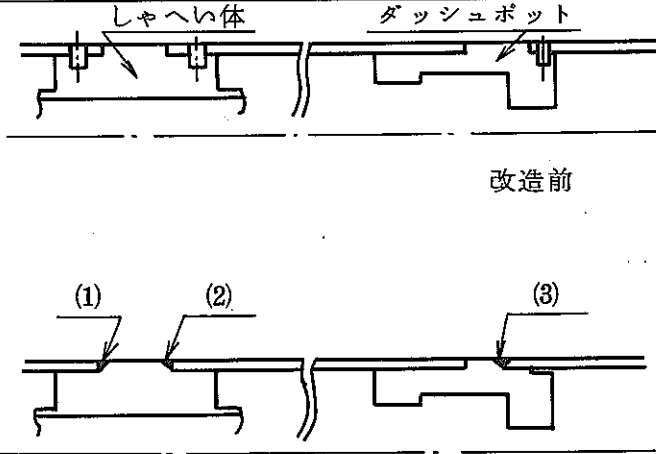
品名	№	改造部位	内容	略図
微調整棒駆動機構  (図 2.1 参照)	1	CRD案内管下端	振動試験装置との取合上, 下端から 1336mm 短縮	
	2	CRD上部案内管 外径	UCSのCRD用案内管内径と, CRD 上部案内管との直径ギャップが6mmと なるようCRD上部案内管にパッドの取 付け (実機取合すきまを模擬)	
	3	(1) CRD上部案内管 + 遮蔽体上部  (2) 遮蔽体下部 + CRD上部案内管  (3) ダッシュポット + CRD上部案内管	ピン結合構造を溶接構造 (実機構造に準じる)	

表 2.1 主要改造項目 (2/3)

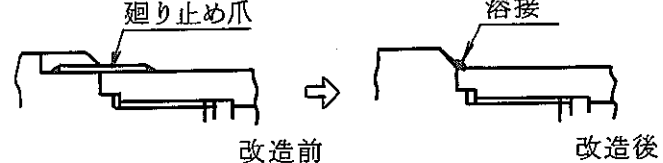


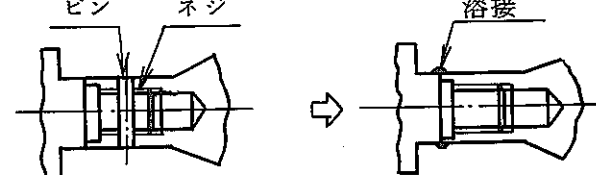
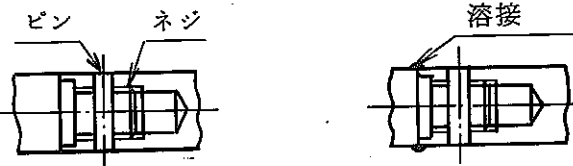
品名	No.	改造部位	内容	略図
微調整棒駆動機構  (図 2.1 参照)	4	(1) ストロークベローズ下側フランジ部	ネジ+廻り止め爪構造をネジ締め後溶接 (実機構造に準じる)	
		(2) 駆動延長軸 + ダッシュラム上部	同上	
		(3) ダッシュラム下部 + 駆動延長軸	ネジ+ピン構造を ネジ+ピン打ち後溶接 (実機構造に準じる)	
		(4) ラッチ軸遮蔽ロッド上部	ネジ+ピン構造をネジ締め後溶接 (実機構造に準じる)	
		(5) ラッチ軸連結部	ネジ+ピン構造を ネジ+ピン打ち後溶接 (実機構造に準じる)	
	5	模擬支持筒	サポート用ハンガー取付	図 2.1 及び図 2.4 に示す。



表 2.1 主要改造項目 (3/3)

品名	№	改造部位	内 容	略 図
調整棒下部 案内管 (図 2.2 参照)	1	エントランスノズル部	ネジ構造をネジ締め後溶接構造 (実機では一体構造)	
	2	エントランスノズル シャヘい体部	ピン構造を溶接構造 (実機構造に準じる)	
	3	エントランスノズル部 と案内管の結合部	同 上	
	4	エントランスノズル シャヘい体部とダッ シュポットの結合部	同 上	

## 2.6 実機との主要な相異点

実機との主要な相異点を表 2.2 (1/4)～表 2.2 (4/4) に示す。

表 2.2 実機との主要な相異点 (1/4)

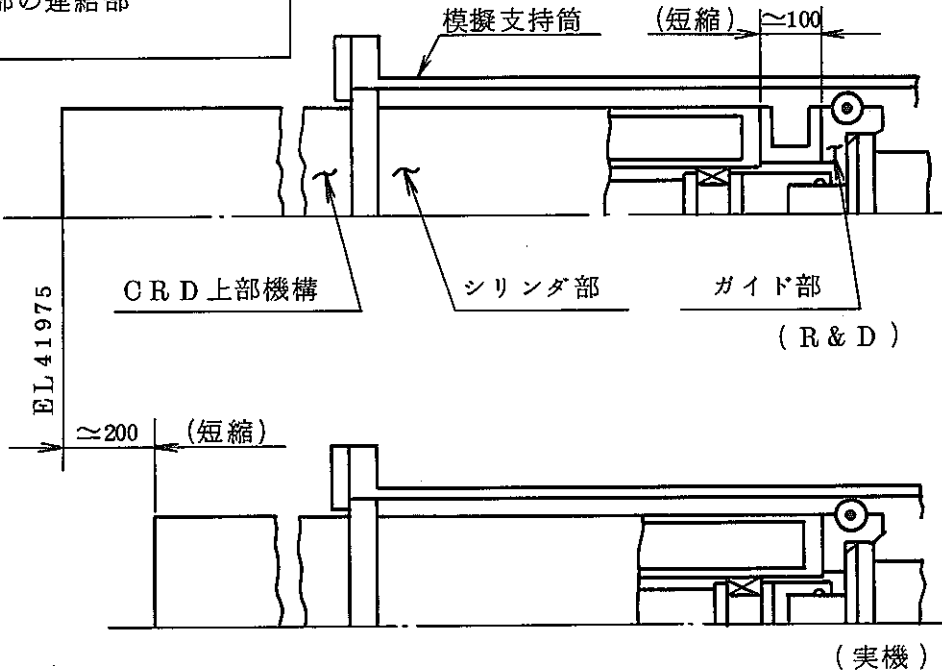
品名	記号	部位	内容	対応
微調整棒駆動機構	a	駆動モータ部	三相交流モータ (R & D) →ステップモータ (実機)	別途実施の社内試作で健全性を確認
	b	減速機部	上記モータに合せ変更	
	c	シリンダ部とガイド部の連結部	<p>実機では、シリンダ部とガイド部が直結され、CRD 上部機構高さ短縮</p> 	<p>実機では CRD 上部機構は次紙 d に示すストロークベローズ取付プラグ①の短縮化とあいまって、約 200mm 上面のレベルが低下する。しかし、R &amp; D と実機では CRD 上部機構が (模擬) 支持筒によって支持されるレベルが同一であり、CRD 上部機構全体の振動特性 (固有振動数) は、ほとんど変わらない。従って評価上問題なし。</p>

表 2.2 実機との主要な相異点 (2/4)

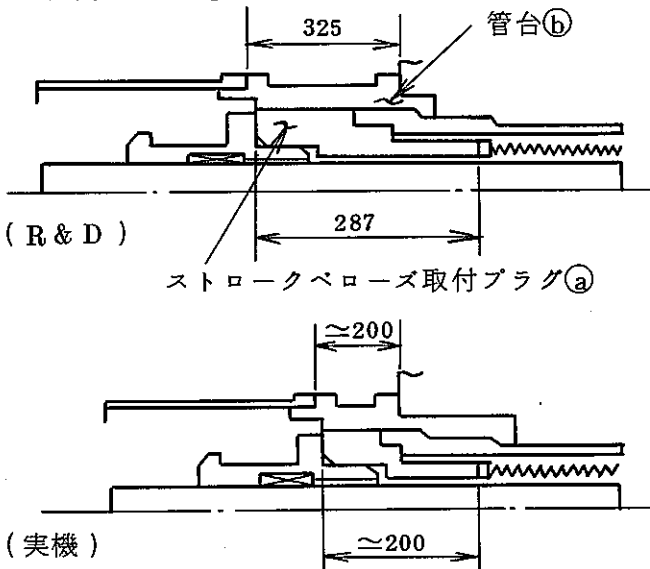
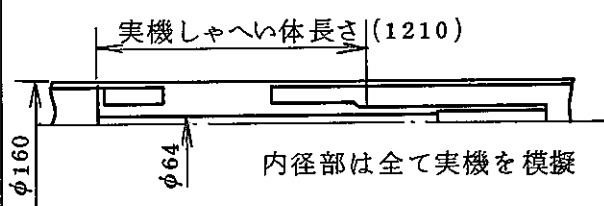
品名	記号	部位	内容	対策
微調整棒駆動機構	d	ストロークベローズ取付プラグ部	<p>実機では取付プラグ①が短縮され、管台②の高さも低くなる。</p>  <p>(R &amp; D)</p> <p>ストロークベローズ取付プラグ①</p> <p>管台②</p> <p>(実機)</p>	<p>ストロークベローズに比較し、取付プラグは剛であり、健全性評価上問題なし。</p>
	e	シャフト体部	<p>実機では長さ 1210mm</p>	<p>駆動延長軸の干渉等の面から内径(φ64)部は実機を模擬した構造になっており、挿入性評価上問題なし。</p>  <p>実機シャフト体長さ(1210)</p> <p>φ160</p> <p>φ64</p> <p>内径部は全て実機を模擬</p>

表 2.2 実機との主要な相異点 (3/4)

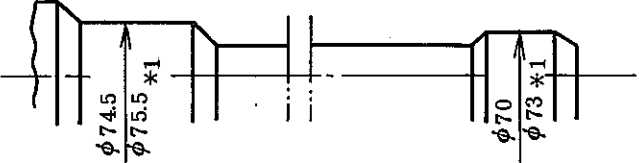
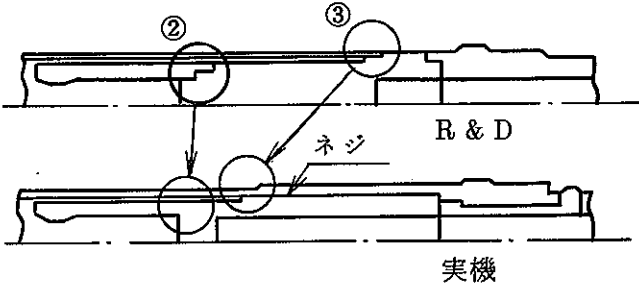
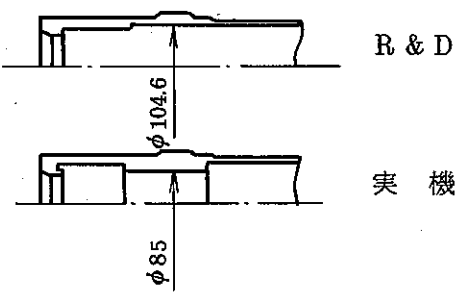
品名	記号	部位	内容	対応
調整棒下部案内管	a	エントランスノズル部	<p>第2次試作機の流用のため連結管との取合径が異なる。 *1寸法は実機寸法</p> 	評価上問題なし。
	b	エントランスノズル部	<p>ネジ+溶接構造 (R &amp; D) → 一体構造 (実機)</p>	強度上実機が剛であり, R & Dでは, 保守側の評価となり問題なし。
	c	シャヘい体部	実機ではラッチ爪有り	ラッチ爪の設計は PNC SJ 20184-08 「制御棒案内管ラッチ機構の評価」に基づき行うものとする。
	d	シャヘい体部	<p>① シャヘい体構造, シャヘい体とダッシュポット, ② ③ CR案内管との接続方法が異なる。</p> 	<p>① 強度上十分剛な構造であり, クリテカルとならない。</p> <p>② ダッシュポット部は一体構造 (実機) となり R &amp; D は十分保守側の評価となる。</p> <p>③ 接続方法 (全周溶接) は同一であり, 強度評価上の差異なし。</p>

表 2.2 実機との主要な相異点 (4/4)

品 名	記号	部 位	内 容	対 応
調整棒下部案内管	e	中間バット部	中間バット部はCR案内管と溶接結合 (R & D) → 一体構造 (実機)	健全性評価上, 実機一体構造の方が剛であり, 問題なし。
	f	ハンドリングヘッド部	内部構造が異なる。  	同 上

## 2.7 試験装置

本試験装置のうち弊社の試験装置分は次の装置及び機器から成っている

### (1) 模擬支持筒

#### (a) 仕様

全長	3840 mm
最大外径	φ425 mm
材質	SUS304

#### (b) 構造

本模擬支持筒は、炉心上部機構のCRD案内筒の一部を模擬したものである。

また、サポートロッド取り付け用のラグが取り付けられている。

構造を図2.1に示す。

### (2) 模擬管台

#### (a) 仕様

高さ	420 mm
最大外径	約360 mm
材質	SUS304

#### (b) 構造

本模擬管台は、炉心上部機構の管台の一部を模擬したものである。

構造を、図2.1に示す。

### (3) 調整台

#### (a) 仕様

全長	1040 mm
最大幅	655 mm
材質	炭素鋼

#### (b) 構造

本調整台は、既設の試験装置本体との取合い部と成るものであり、上部加振台に取付けられる。

構造を図2.4に示す。

#### (4) 制御盤

##### (a) 仕様

外形寸法	800W×680L×1650H
盤筐体	自立閉鎖型前面裏面開閉扉付
入力電源	AC100V, AC200V
塗装色	マンセル色 半ツヤ

##### (b) 機能

本制御盤はマニュアルモードによる各駆動パターン操作ができ、また表示器及びモックアップ性能に関するデータを採取する外部信号取出用端子を有するものである。

外観を図 2.5 に示す。

#### (5) ガスユニット

ガスユニットは、ハウジング背圧系、ベローズ背圧系及びスクラム加速系から構成される。外観を図 2.6 に示す。

##### (a) ハウジング背圧系

###### (i) 仕様

設計圧力	2 kg/cm <sup>2</sup> G
使用圧力	0.5～0.8 kg/cm <sup>2</sup> G

###### (ii) 機能

本ハウジング背圧系は、微調整棒駆動機構のハウジング及び模擬支持筒の内部にガスを加圧供給するガス系である。

##### (b) ベローズ背圧系

###### (i) 仕様

設計圧力	内外差圧 0.5 kg/cm <sup>2</sup> (ただし、内圧高)
使用圧力	0.15～0.45 kg/cm <sup>2</sup> G

###### (ii) 機能

本ベローズ背圧系は、微調整棒駆動機構のベローズ、上部案内管、駆動延長軸、ラッチ棒及びバックアップシールにより閉じられた空間にガスを加圧供給し、ベローズの健全性を確認するためのガス系である。



(c) スクラム加速系

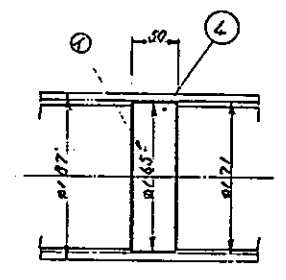
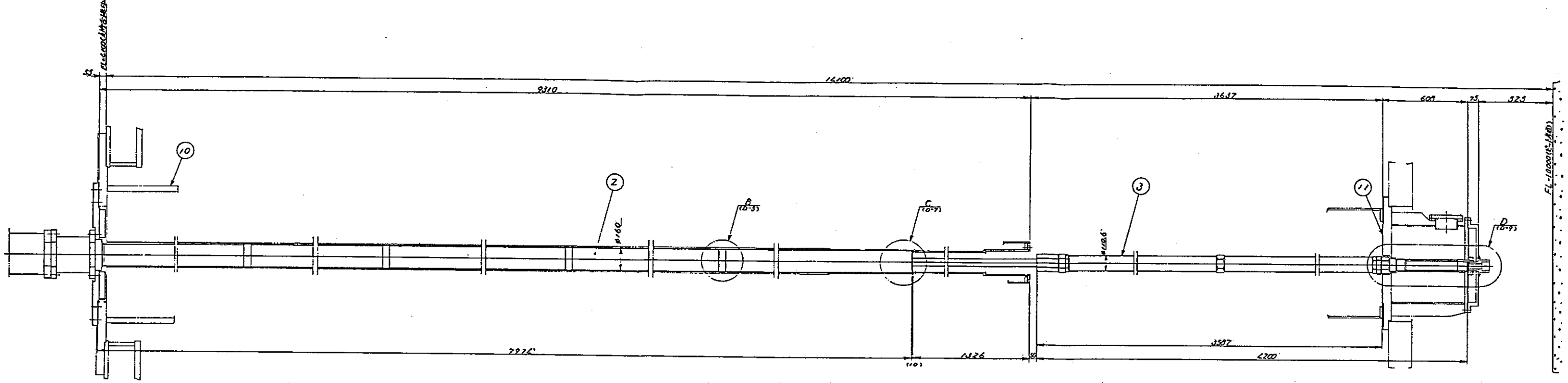
(i) 仕様

設計圧力 7.5 kg/cm<sup>2</sup> G

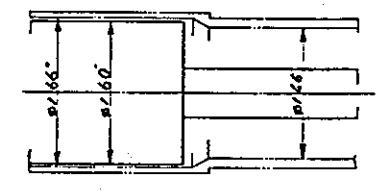
使用圧力 0, 1.4, 2.8 kg/cm<sup>2</sup> G

(ii) 機能

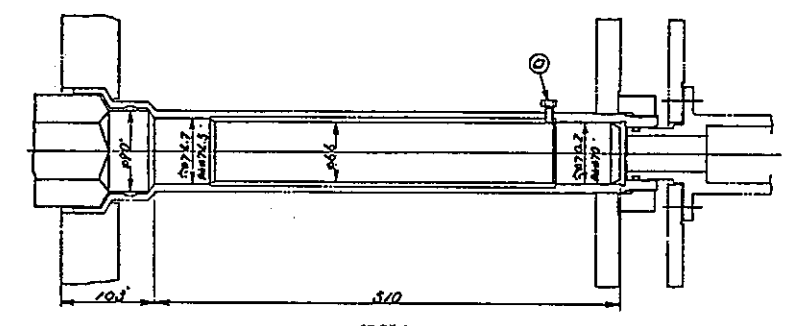
本スクラム加速系は、微調整棒駆動機構の加速シリンダ及びアキュムレータにガスを加圧供給するガス系である。



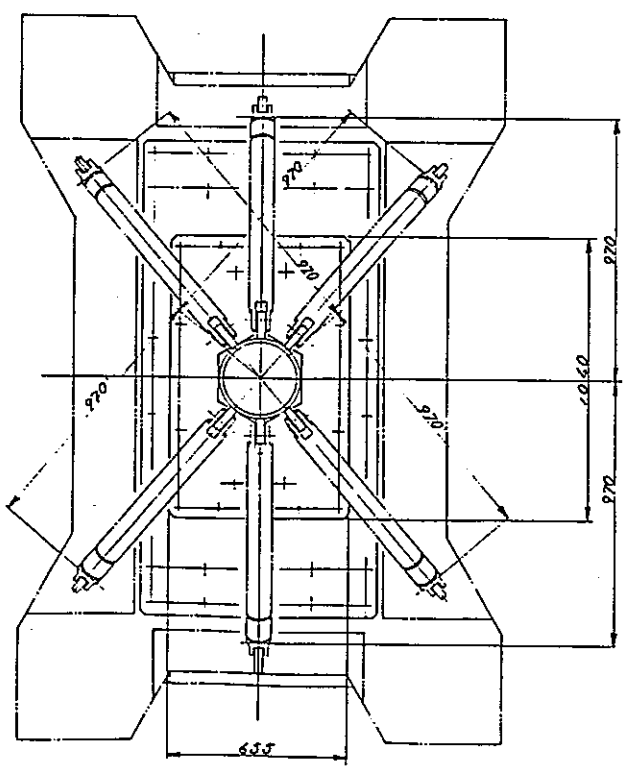
B部詳細(10)  
(10-9)



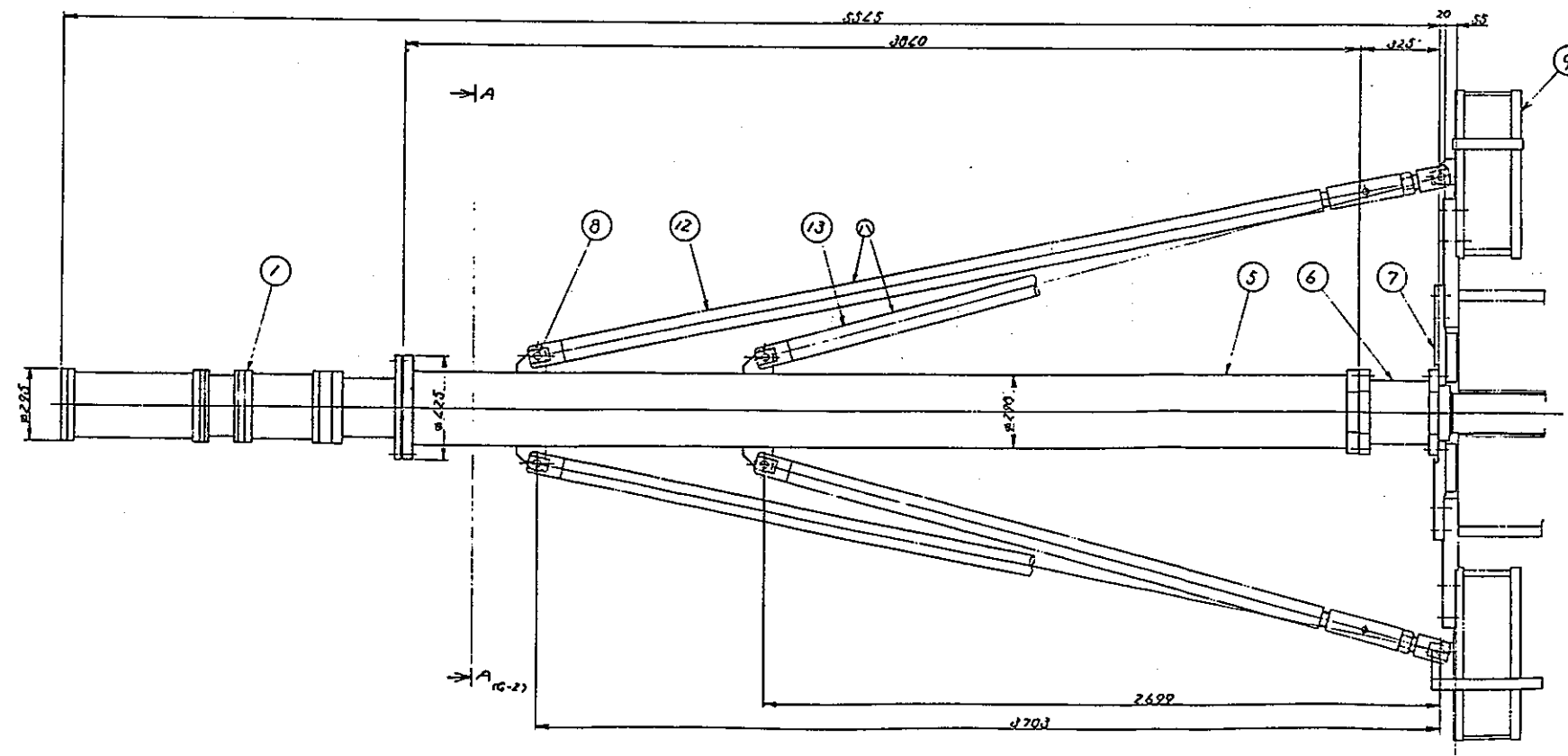
C部詳細(10)  
(10-7)



D部詳細(10)  
(10-7)



断面A-A  
(10-6)



表機上の相違点

部位	項目	実機構造
①	UCS CRDの制御方式	制御方式はUCS-CRDの制御方式に準拠
②	制御方式の制御方式	実機は、FANの構造
③	CRDの制御方式	実機は、FANの制御方式に準拠

13	ボルトロ-フ(10)	—	改 更
12	ボルトロ-フ(10)	—	・
11	ボルトロ-フ(10)	—	・
10	ボルトロ-フ(10)	—	・
9	支持台	—	改 更
8	ボルトロ-フ(10)	6	ボルト
7	ボルトロ-フ(10)	1	ボルト
6	ボルトロ-フ(10)	1	ボルト
5	ボルトロ-フ(10)	1	ボルト
4	ボルトロ-フ(10)	1	ボルト
3	ボルトロ-フ(10)	1	ボルト
2	ボルトロ-フ(10)	1	ボルト
1	ボルトロ-フ(10)	1	ボルト

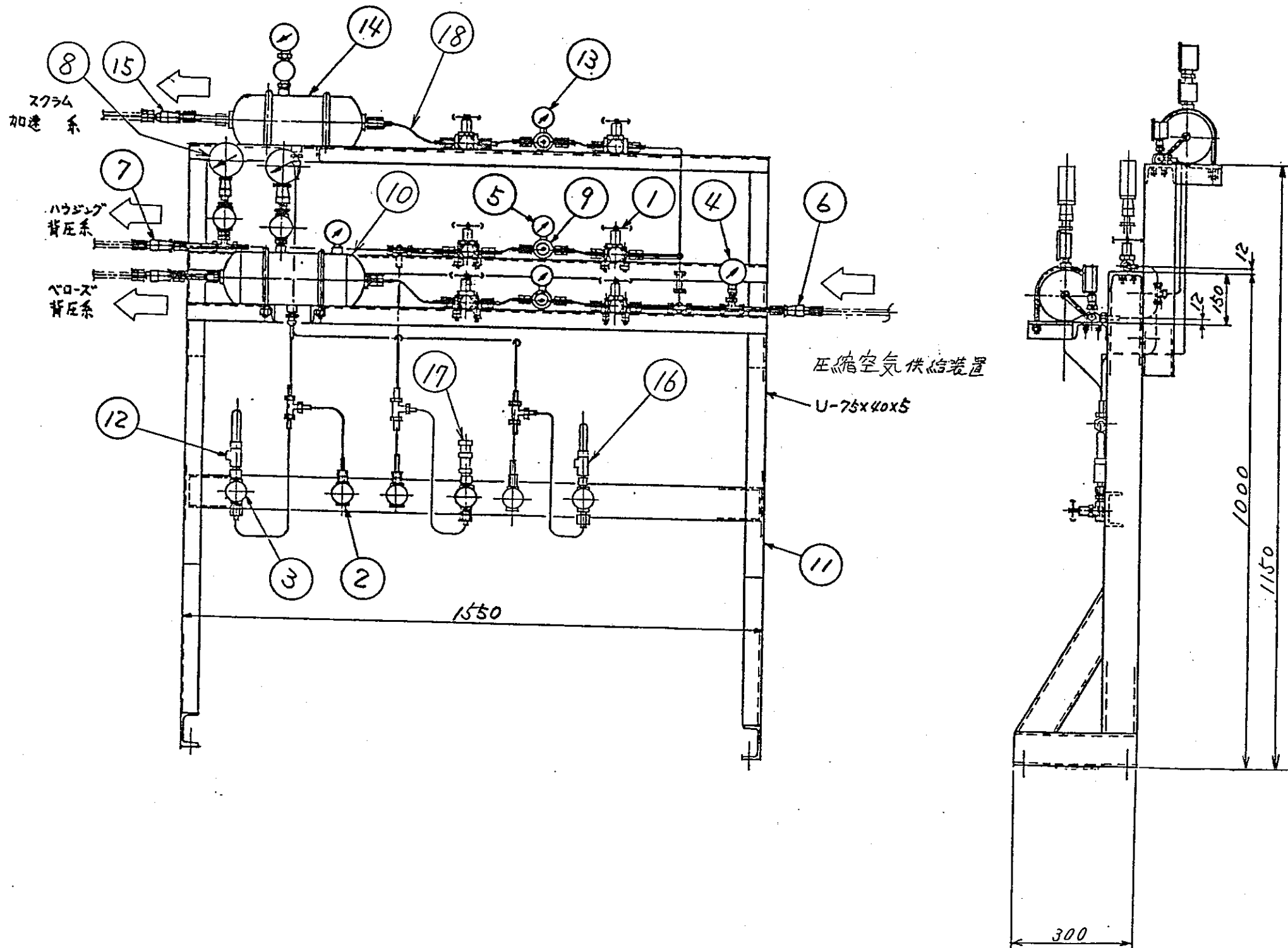
図 2.4 試験体据付図



注記

1. 本ガスユニットは「そんじゅ」R&D契約件名  
「微調整棒駆動機構」改造整備ニオケル  
水中試験ニ使用スルモノテス。

ナオ本ガス系ユニットハ、第2次試作時ノ  
「調整棒駆動機構 振動試験」ニオケテ  
使用シタモノテス。



番号	品名	員数	材質	備考
18	配管	1式	8FCuT	
17	安全弁	1	FC20	ハウジング背圧系
16	安全弁	1	FC20	スクラム加速系
15	ホースカップリング	1	BsBM	
14	ヘッダー	1	SUS304	
13	圧力計	1	BsT	
12	安全弁	1	FC20	ベローズ背圧系
11	架台	1	普通鋼	
10	ヘッダー	1	SUS304	
9	減圧弁	3	BsBM	
8	圧力計	2	BsT	
7	ホースカップリング	2	BsBM	
6	ホースカップリング	1	BsBM	
5	圧力計	2	BsT	
4	圧力計	3	BsT	
3	ニードル弁	3	BC6	
2	ストップ弁	3	BsBH	
1	ストップ弁	9	BsBH	

図 2.6 ガスユニット

### 3. 試験中の点検及び補修

振動試験中に発生した不具合に関し、その現象、原因及び対策を表 3.1～表 3.7，写真 3.1～写真 3.7 及び図 3.1～図 3.5 に示す。

表 3.1 上限用リミットスイッチの不具合

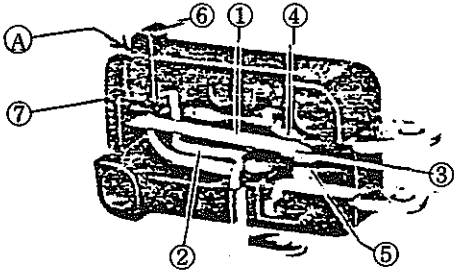
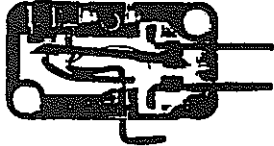
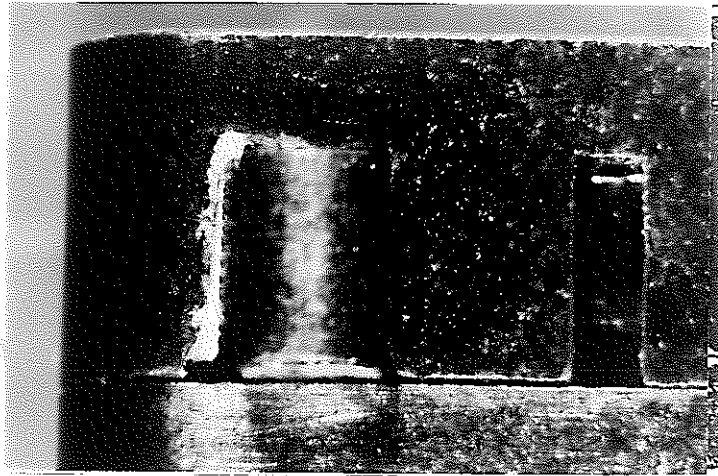
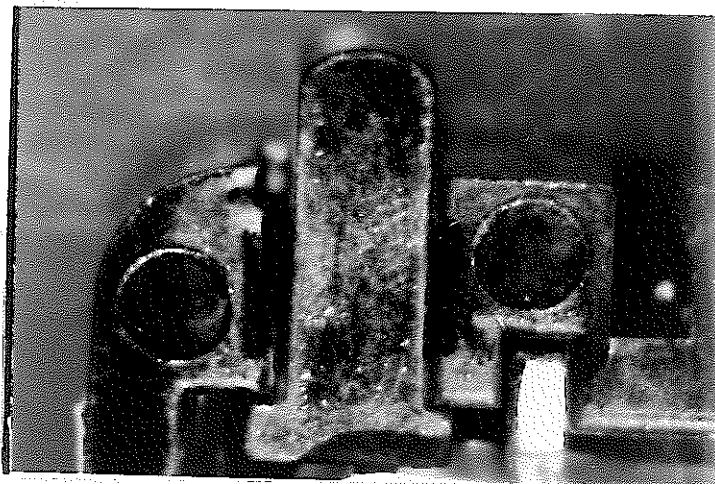
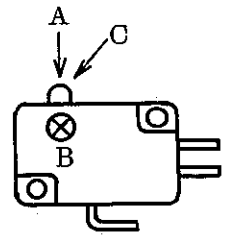
件名	上限用リミットスイッチの不具合		
発生日	昭和 60 年 10 月 7 日	修理期間	10 月 8 日～10 月 10 日
<p>1. 現象</p> <p>試験開始のため、制御盤の電源を投入したら、下限ランプと上限ランプが同時に点灯し、引抜駆動も挿入駆動もできなくなった。</p> <p>2. 原因</p> <p>上限位置リミットスイッチが半動作状態で加振され、リミットスイッチの一部損傷した。</p> <p>損傷したリミットスイッチに関する検査結果を表 3.2 に示す。</p> <p>3. 対策</p> <p>当該リミットスイッチを予備品（新品）と交換した。</p> <p>併せて、加振時の上限位置リミットスイッチの状態を下記のとおりにして試験を実施頂くことにした。</p> <p>加振時の CR 位置は 98% 位置としリミットスイッチ不作動状態として頂いた。</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <p>①可動ばね</p> <p>②受金</p> <p>③可動接点</p> <p>④固定接点 b</p> </div> <div style="width: 50%;"> <p>⑤固定接点 a</p> <p>⑥押ボタン</p> <p>⑦ケース</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin: 20px 0;">  </div> <p>上記リミットスイッチ構造に対し、          ①が欠けており、その破片が押ボタン⑥とケース⑦との間に入り込みリミットスイッチの接点が動作したままの状態になったものと推定される。</p>		

表 3.2 上限用リミットスイッチの検査結果

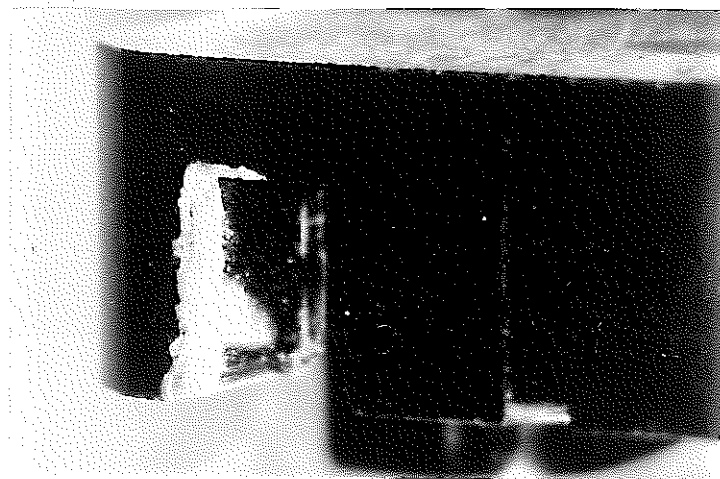
<p>1. 外観特性</p> <p>1) COM, MO 端子にネジ締めによるリード線結線の痕跡が認められた。</p> <p>2) ケースの押ボタン摺動部にあたるモールドのカケが認められた。 (写真 3.1 モールド部カケ状態参照)</p>																															
<p>2. 動作特性</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>動作に必要な力</th> <th>もどりの力</th> <th>動作までの動き</th> <th>動作後の動き</th> <th>応差の動き</th> <th>自由位置</th> <th>動作位置</th> <th>接点間抵抗</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MAX 300g</td> <td>MIN 56g</td> <td>MAX 1.2mm</td> <td>MIN 1.0mm</td> <td>MAX 0.5mm</td> <td></td> <td>1.43~ 15.1mm</td> <td>MAX 15mΩ</td> </tr> <tr> <td>172</td> <td>94</td> <td>1.18</td> <td>1.29</td> <td>0.32</td> <td>15.76</td> <td>14.58</td> <td>7~6</td> </tr> </tbody> </table>								動作に必要な力	もどりの力	動作までの動き	動作後の動き	応差の動き	自由位置	動作位置	接点間抵抗	MAX 300g	MIN 56g	MAX 1.2mm	MIN 1.0mm	MAX 0.5mm		1.43~ 15.1mm	MAX 15mΩ	172	94	1.18	1.29	0.32	15.76	14.58	7~6
動作に必要な力	もどりの力	動作までの動き	動作後の動き	応差の動き	自由位置	動作位置	接点間抵抗																								
MAX 300g	MIN 56g	MAX 1.2mm	MIN 1.0mm	MAX 0.5mm		1.43~ 15.1mm	MAX 15mΩ																								
172	94	1.18	1.29	0.32	15.76	14.58	7~6																								
<p>3. スイッチ内 X 線透視</p> <p>スイッチ内の X 線透視結果は右写真に示すように各構成部品の変形, 脱落は確認できなかった。</p> 																															
<p>4. 動的接触抵抗およびくり返し動作確認 (50 回)</p> <p>双方の確認とも高抵抗, フラツキ, および復帰不良現象は認められなかった。</p> <p>動的接触抵抗データ 図 3.1 を参照</p> <p>くり返し動作確認 図 3.2 を参照</p>																															
<p>5. スイッチ内部確認</p> <p>3 項 X 線透視結果より今回の不具合は, 振動試験にともなうレバーの共振もしくはレバーのストローク過多によって, レバー末端部がモールド部へのあたりカケが発生, 押ボタン摺動部へ介在し復帰不具合を生じたものと判断する。</p>																															



スイッチ上面写真 ( A 方向 )



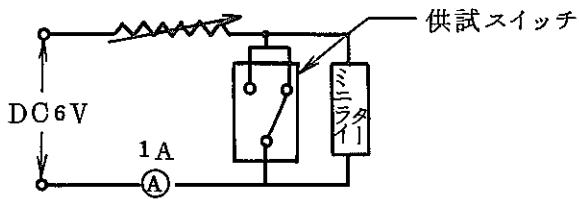
カバー取付プレ側面写真 ( B 方向 )



押ボタン取付プレ上面写真 ( C 方向 )

写真 3.1 上限用リミットスイッチモールド部カケ状態





測定器：渡辺測機製ミニライタ  
 チャートスピード： 2 mm/sec  
 アクチュエータ操作スピード： 5 mm/min  
 ミニライタ-Range： 10 mV/cm  
 LotNo.： 01Y8R

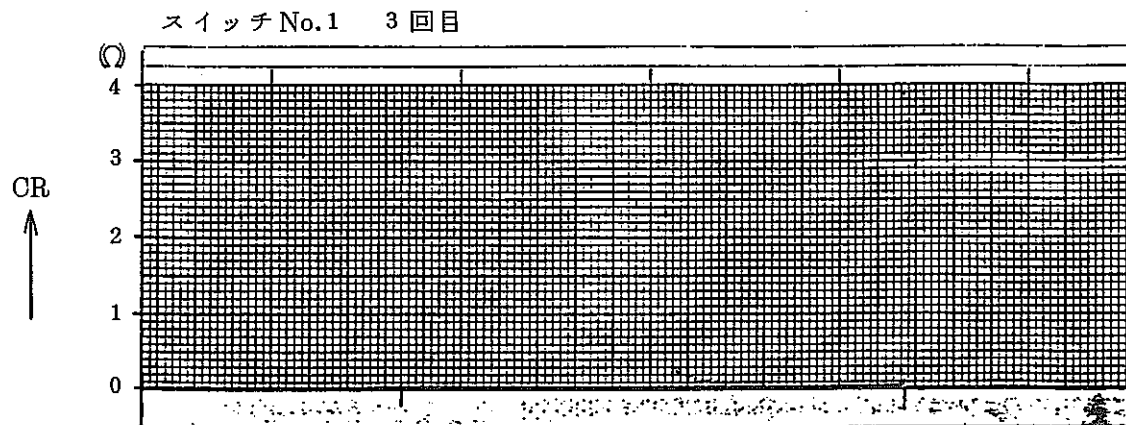
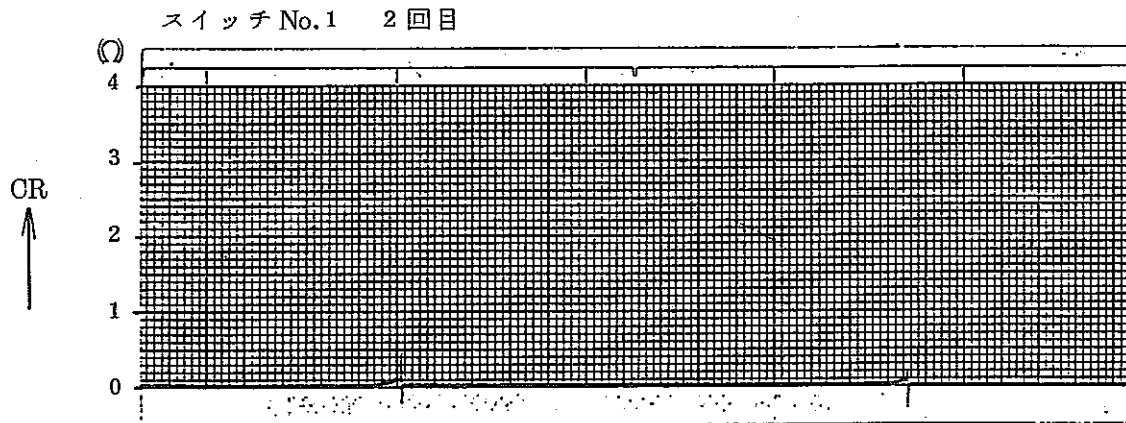
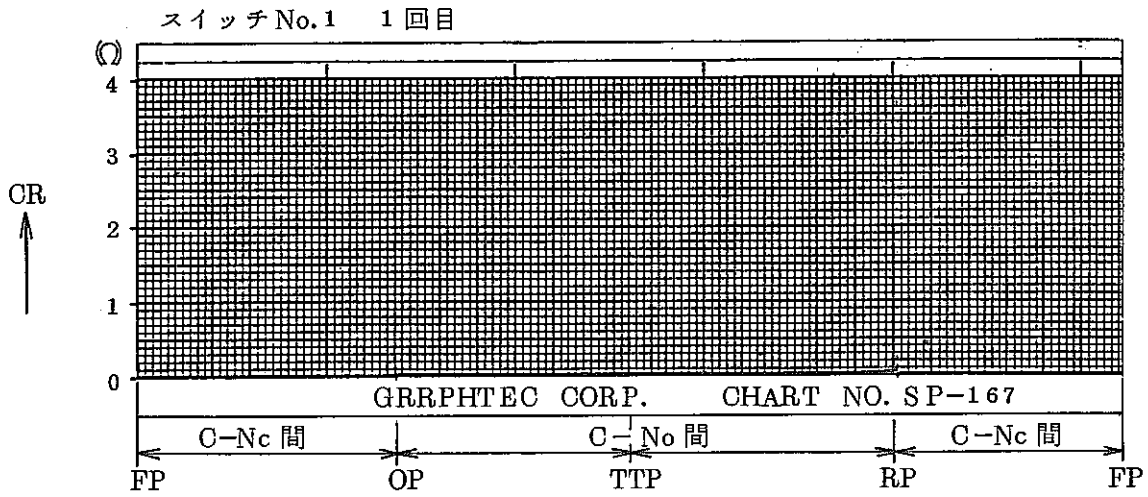
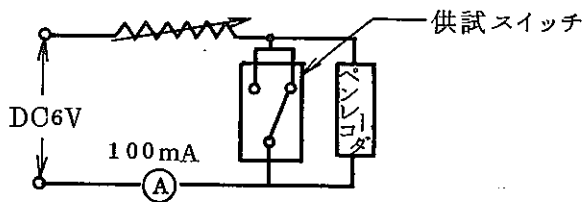


図 3.1 上限用リミットスイッチの動的接触抵抗測定結果



測定器：(株)横河電機 SS 製 TYPE3066 ペンレコーダ  
 チャートスピード： 6 cm/h  
 アクチュエータ操作スピード： 5 mm/min  
 Range： 25 mV/cm  
 供試スイッチ：形 V-10-1B84  
 Lot No. 01Y8R

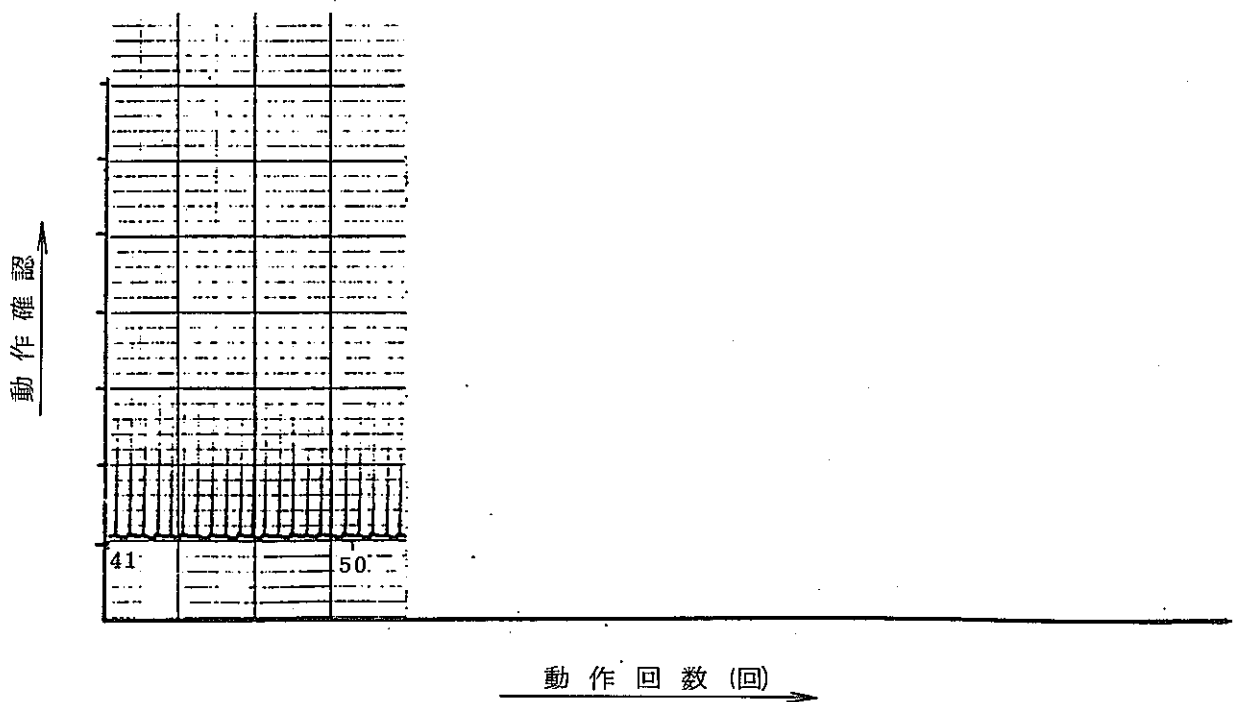
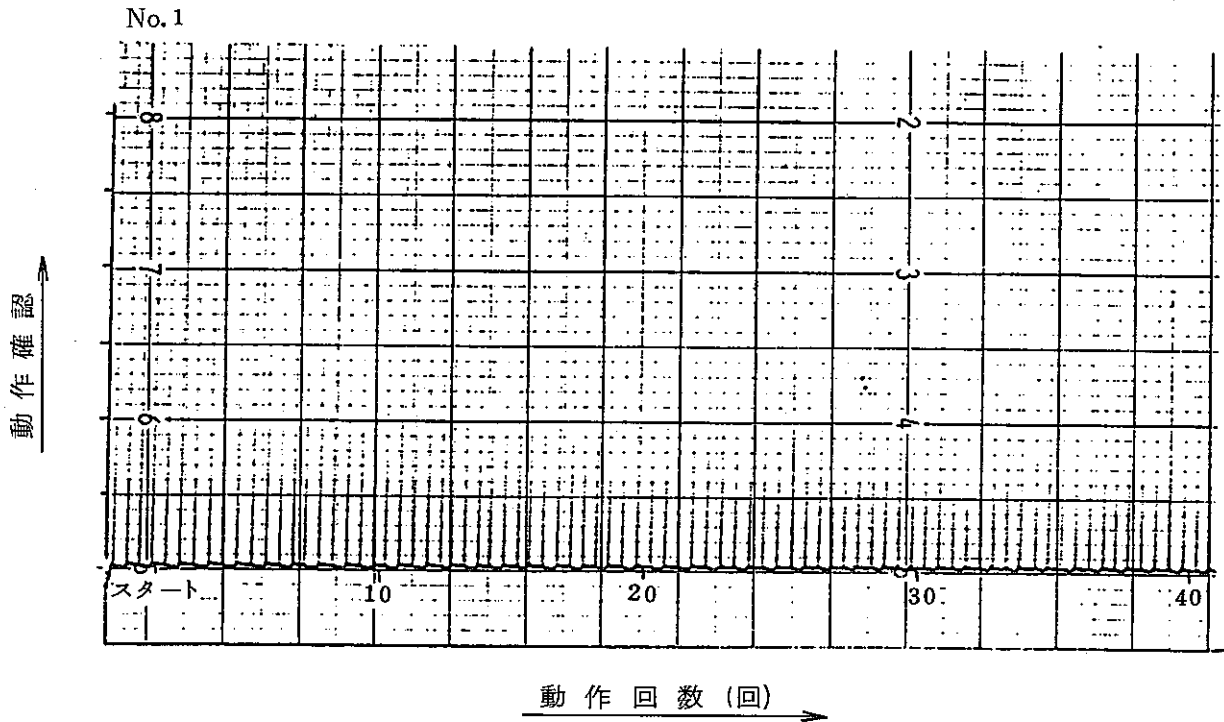


図 3.2 上限用リミットスイッチの動作確認結果

表 3.3 マグネットリンク機構作動不具合 (1/2)

件 名	マグネットリンク機構作動不具合		
発 生 日	昭和60年10月30日	修理期間	10月31日～11月3日
<p>1. 現 象</p> <p>加振スクラム試験（試験ケースNo.2～4，正弦波LGT及びUCS同時加振）中において，スクラム後，駆動延長軸を掴むため，CR駆動部（ラッチ機構及びマグネットリンク機構）を挿入したが，CR位置指示計で1.5～2%（CR全挿入位置は0%であるが，当時は0.5%であった。）の位置で下限ランプが点灯して停止したため，駆動延長軸を掴むことができなかった。</p> <p>このため，CR駆動部を一度引き抜いて再度挿入したところ，正規下限位置（当時は，同指示計で約0.5%位置）近くまで挿入することができ，マグネットリンク機構が作動して駆動延長軸を掴むことができた。</p> <p>10月30日は，このような現象が計7回発生した。</p> <p>また，10月31日の本不具合調査試験時においては，次の現象が発生した。</p> <p>駆動延長軸を掴みにいった際，同指示計で1.5%（CR全挿入状態では，0.5%であった。）位置でCR駆動部が停止し，下限ランプが点灯するが，停止と同時あるいは数秒後に同ランプが消灯した。このため，CR駆動部を正規下限位置近くまで挿入することができ，マグネットリンク機構が作動し，駆動延長軸を掴むことができた。</p> <p>本不具合調査試験後，微調整棒駆動機構の駆動部を取り外して点検した結果，</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) ロードセル取付部のナット（図3.3参照）が4個共ゆるんでいた。</li> <li>(2) 落下体加速度測定のための，加速度変換器用ケーブルが，ハウジング外表面に位置するケーブルクランプで切断し，そして，切断した加速度変換器側のケーブルの途中がマグネットリンク機構のアーマチュア下面とアーマチュア用ストッパー上面との間にはさまっていた。（図3.4参照）</li> </ol> <p>が認められた。</p>			

表 3.3 マグネットリンク機構作動不具合(2/2)

## 2. 原因

CR 駆動部の挿入時，CR 駆動部全体がロードセル取付部のゆるみにより傾いていたため及び加速度変換器用ケーブルが，アーマチュアと同ストッパーとの間へ，はさみ込まれていたことより，マグネットリンク機構が傾いていたため，マグネットリンク機構の駆動延長軸貫通穴部に駆動延長軸が片当りした状態で挿入された。

マグネットリンク機構は，スライダロックがアンロック状態となる正規下限上約 10mm 位置から正規下限位置までは，自重のみで挿入される。

このため，マグネットリンク機構と駆動延長軸との摺動部の，この正規下限上約 10mm 位置とほぼ同じである，CR 位置指示計の 1.5～2% 位置（当時，正規下限位置が同指示計で約 0.5% であったため，実際には 1～1.5%，あるいは 10～15 mm である。）で軽いスティックが生じ，本不具合が発生した。

## 3. 対策

- (1) ロードセル取付部のナットに，回り止めのためのロックタイトを塗布した。
- (2) 加速度変換器用ケーブルをすべて取り外した。

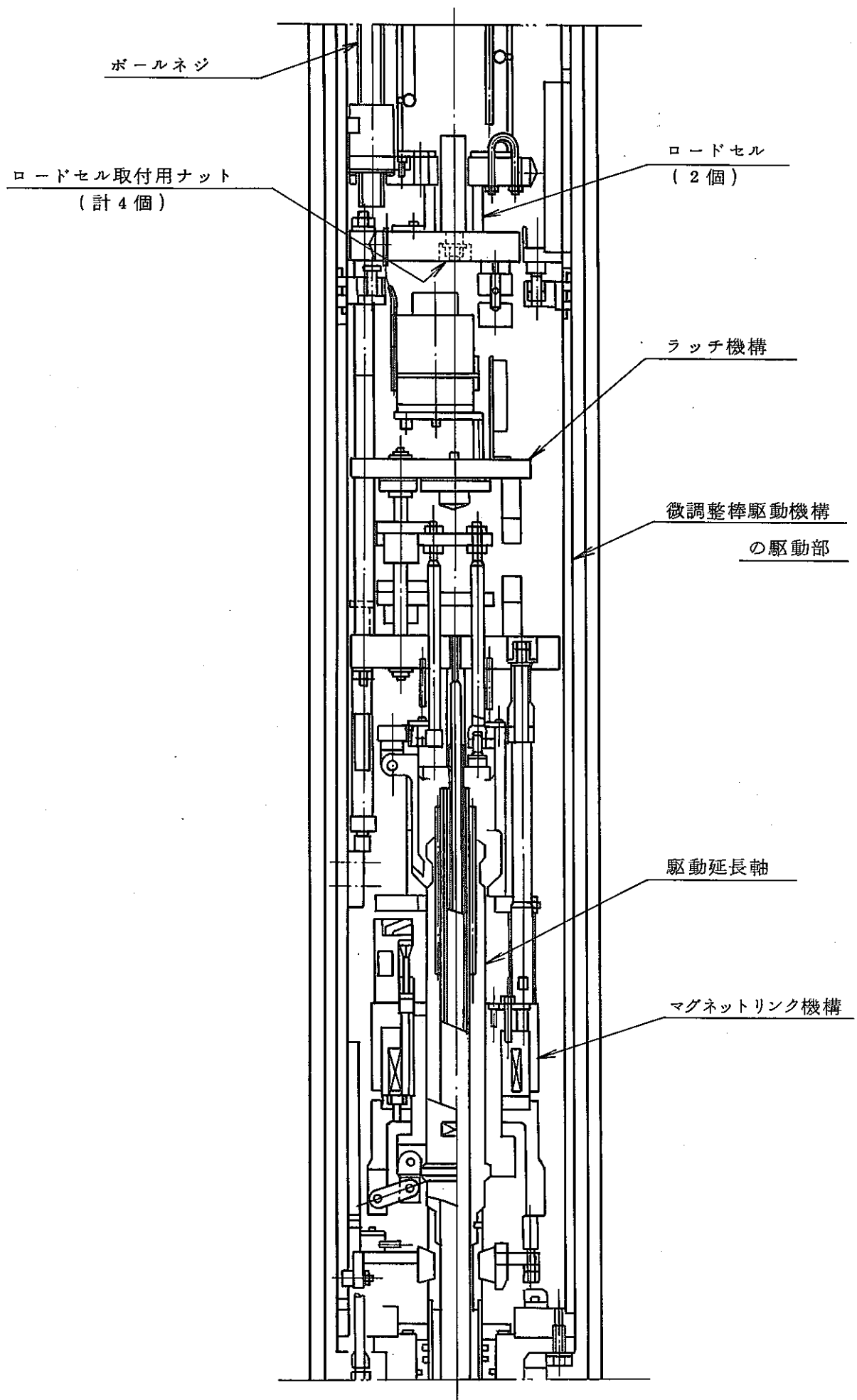
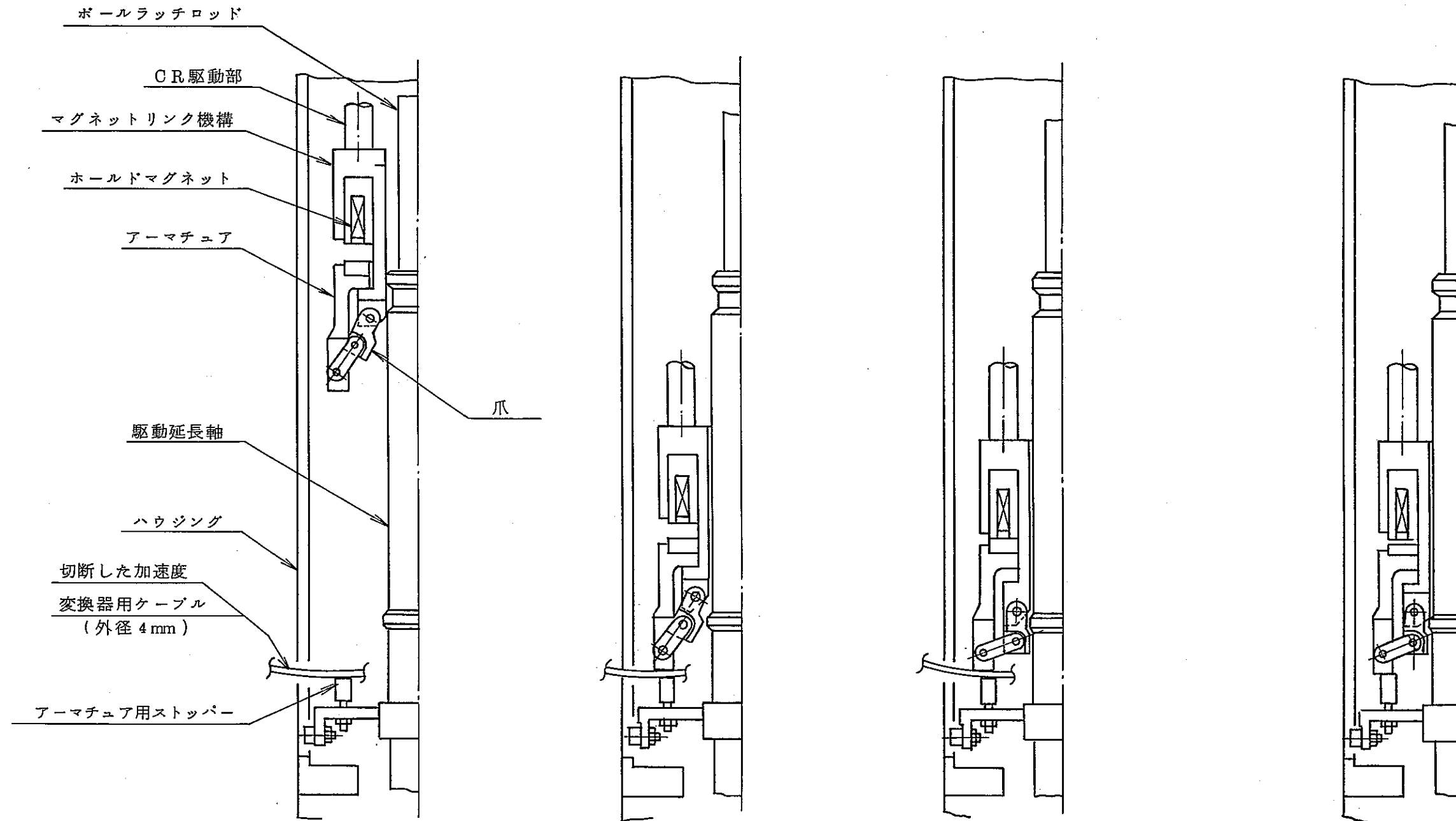


図 3.3 ロードセル取付部



スクラム後における、  
CR 駆動部 (マグネット  
リンク機構等) の挿入途  
中の状態

CR 駆動部が、CR 位  
置指示計で 1.5 ~ 2 % 位  
置で停止した状態 (下限  
ランプ点灯)

CR 駆動部が、正規下  
限位置近くまで挿入され  
た状態 (マグネットリン  
ク機構が作動し、駆動延  
長軸を掴むことができる。)

CR 駆動部が正規下限  
位置まで挿入された状態

図 3.4 マグネットリンク機構作動  
不具合説明図

表 3.4 ラッチモータ作動不具合

件 名	ラッチモータ作動不具合		
発 生 日	昭和60年11月4日	修理期間	11月4日～11月9日
<p>1. 現 象</p> <p>マグネットリンク機構作動不具合の対策後に実施した微調整棒駆動機構作動確認試験の内、CRD結合切離試験の第2回目の結合操作中、ラッチモータがCRD結合位置から、ロック方向、アンロック方向共動かなくなった。</p> <p>2. 原 因</p> <p>ラッチモータ用電磁ブレーキ（OFFブレーキ）の回路に使用していた整流器が破損したため、電磁ブレーキが解放できなくなり、ラッチモータが動かなくなった。</p> <p>整流器の破損原因調査結果を、表3.5(1/2)及び表3.5(2/2)に示す。</p> <p>この結果から、整流器は、ラッチモータをアンロック方向あるいはロック方向に駆動させるコンタクターを、操作した瞬間に発生する過電圧の繰り返しによって破損したものと考えられる。</p> <p>3. 対 策</p> <p>3.1 振動試験時</p> <p>(1) 整流器及びラッチモータ（整流器は、ラッチモータと一体となっている。）を、別のものと交換した。</p> <p>(2) 電磁ブレーキの制御盤側回路を、図3.5に示すとおり改造した。</p> <p>3.2 実機対策案</p> <p>(1) 整流器の設置場所を、微調整棒駆動機構から制御盤側へ変える。</p> <p>(2) 整流器の回路に、過電圧に対する保護回路（コンデンサー及び抵抗）を追加する。</p>			

表 3.5 整流器破損原因調査結果 (1/2)

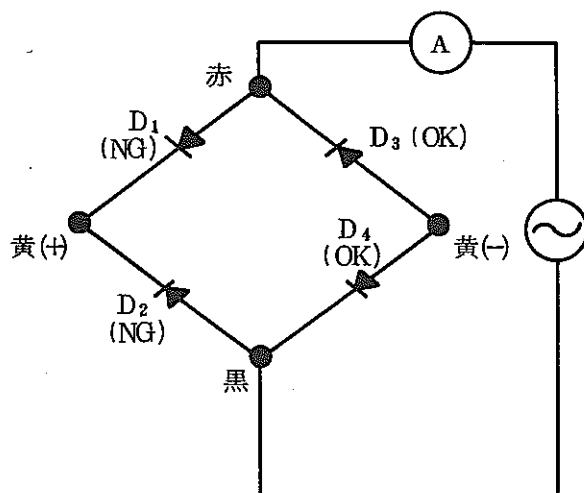
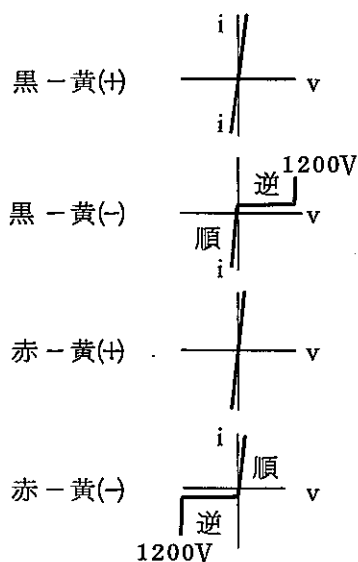
1. 外観検査

ダイオードモールドの一部にスポット的に焼跡が確認された。写真 3.2 にダイオードモールドの外観を示す。

2. 破損整流器特性確認試験

下右図に示す回路で電圧(v) - 電流(i)特性を測定した。結果は下左図に示す通りで、これより  $D_1$ ,  $D_2$  が破損していると推定される。

また、ブリッジ形整流器においては、整流素子(ダイオード)が同じパスで破損している場合は、過電流が原因であり、また、違うパスで破損している場合は、過電圧が原因であることから、今回の場合は、過電圧が破損の原因と推定される。



3. 分解調査

(1)  $D_2$  (上記の回路図参照) は、ダイオードチップにスポット的に溶解した跡がみられる。過電圧でも過電流でも生じるが、スポット的なことから過電圧の可能性が高い。

(2)  $D_1$  はダイオードチップにスポット的な溶解跡と共に、クラックも発生しておりこの原因を(a)過電圧 or 過電流で溶解しクラック発生。(b) 2次モールド成型時の熱応力等によりクラック発生し過電圧で溶解の2種類の可能性が考えられる。

今回の場合、焼損まで長期間作動していたことより(b)の熱応力によるクラック発生は考えにくく、(a)の過電圧 or 過電流で溶解しクラック発生が原因と考えられる。

写真 3.3 及び写真 3.4 にダイオード破壊部の状態を示す。



表 3.5 整流器破損原因調査結果 (2/2)

4. 関連部品の仕様

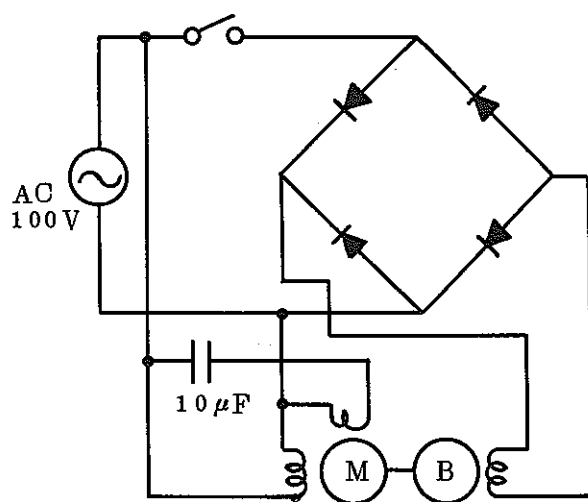
(1) 整流器

- (a) 形式 G I 社製 W10 型
- (b) 最大尖頭逆耐電圧 1000 V
- (c) 最大サージ電流 50 A
- (d) 平均整流電流 1.5 A

(2) 電磁ブレーキ

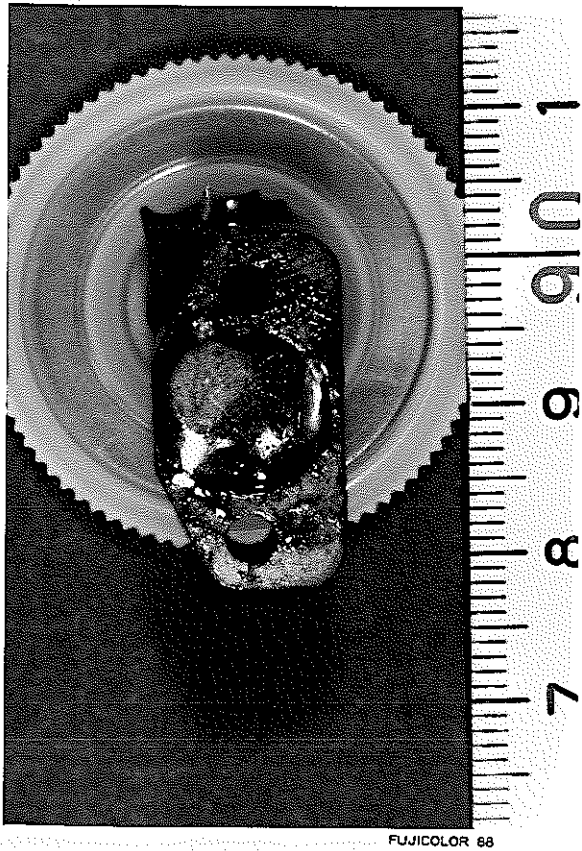
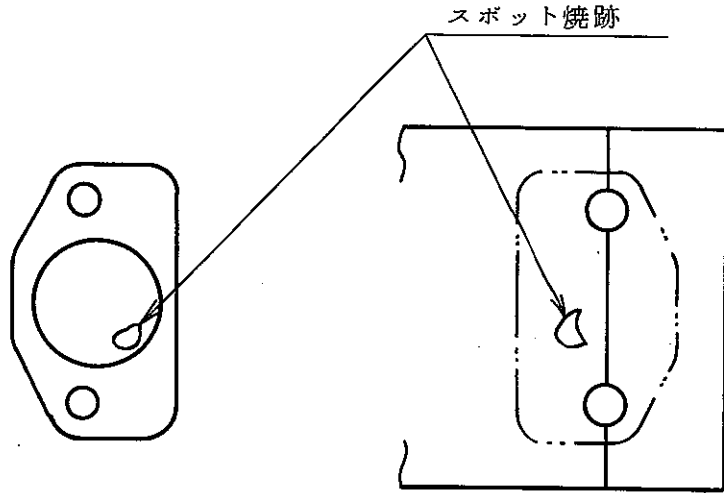
- (a) 定格電流 0.12 A
  - (b) 直流抵抗 2 K $\Omega$
  - (c) インダクタンス 3.2 H
- } 測定値

5. 過電圧発生の原因調査

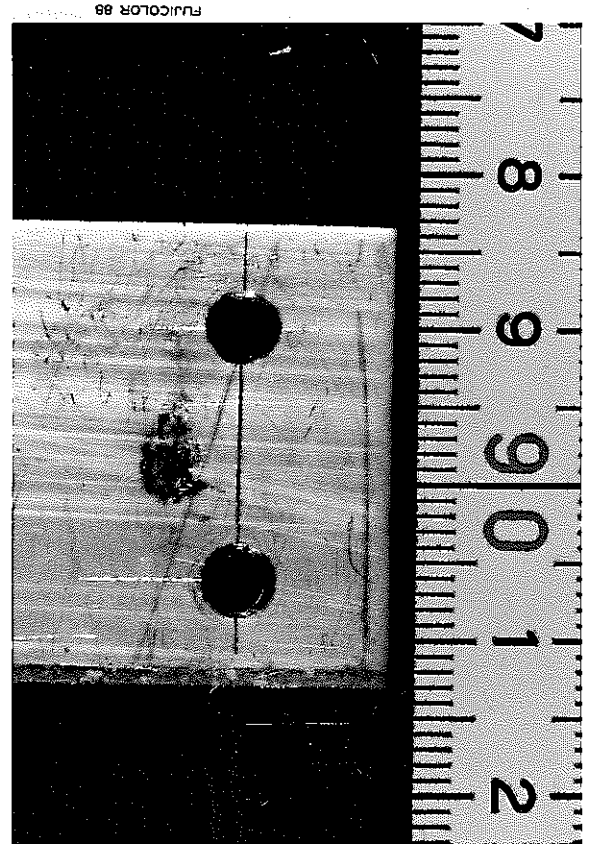


今回使用していたものと同じ形式の整流器（新品）と、今回の不具合時に使用していたラッチモータ及び電磁ブレーキを用いた左記回路において、スイッチを ON・OFF させ、このとき、各整流素子前後の電圧を、シンクロスコープにより測定した。

測定の結果、素子に流れる逆電圧の過電圧は、約 1000V 以上に達する。この電圧は、今回使用した素子（G I 社 W10）の逆耐電圧 1000V にほぼ等しく、このスイッチングによる過電圧の発生が、素子破損の原因と考えられる。



ダイオードモールド



ダイオード取付台

写真 3.2 ラッチモータ用整流器ダイオード外観検査

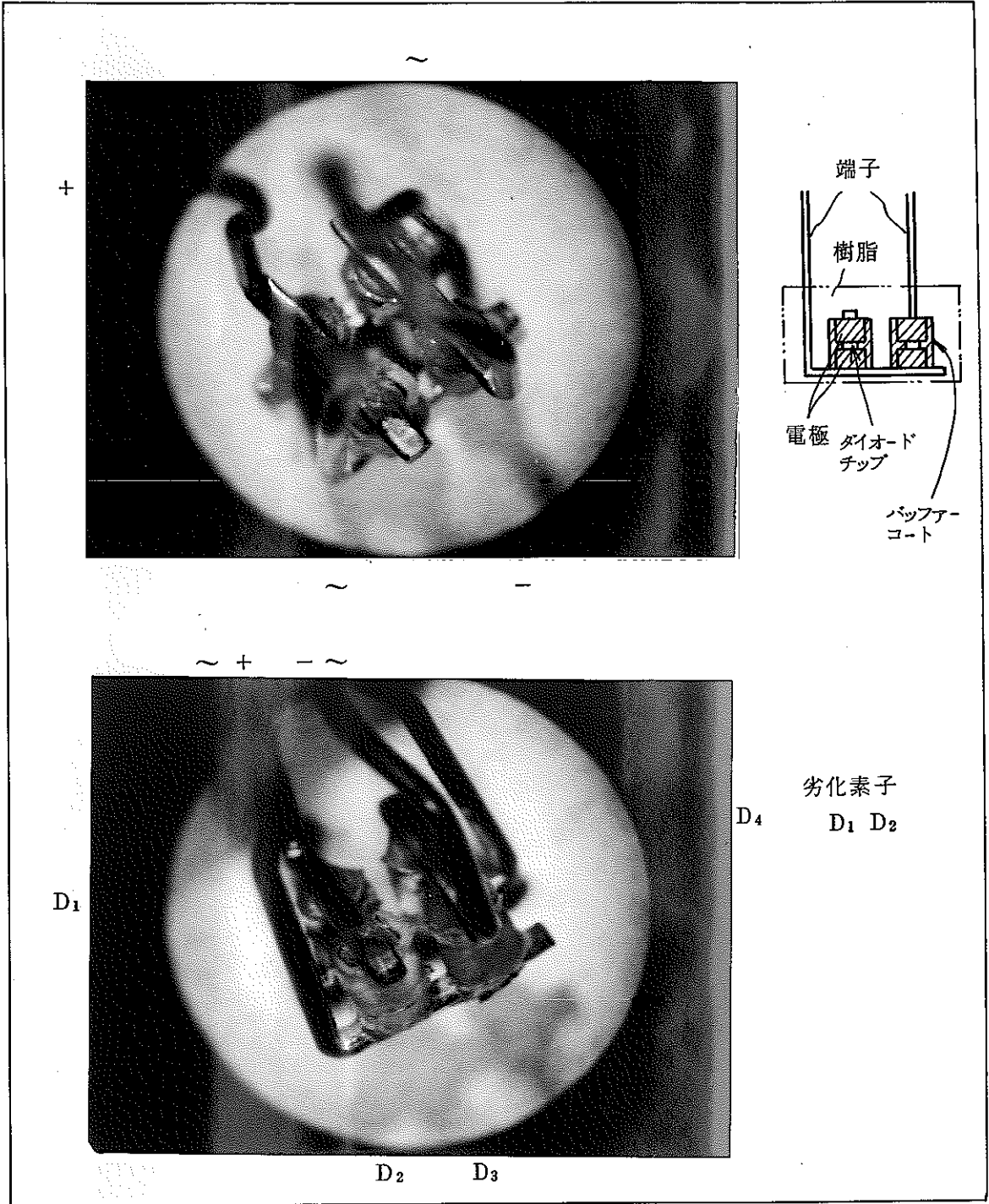


写真 3.3 ラッチモータ用整流器ダイオード破壊部 (1/2)

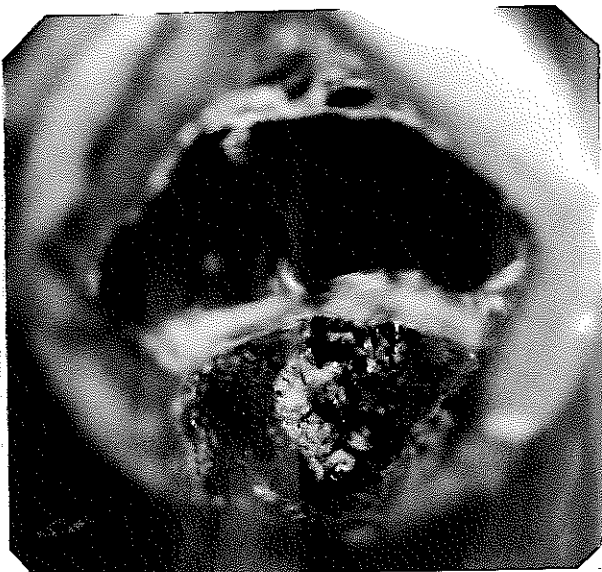
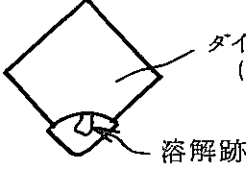
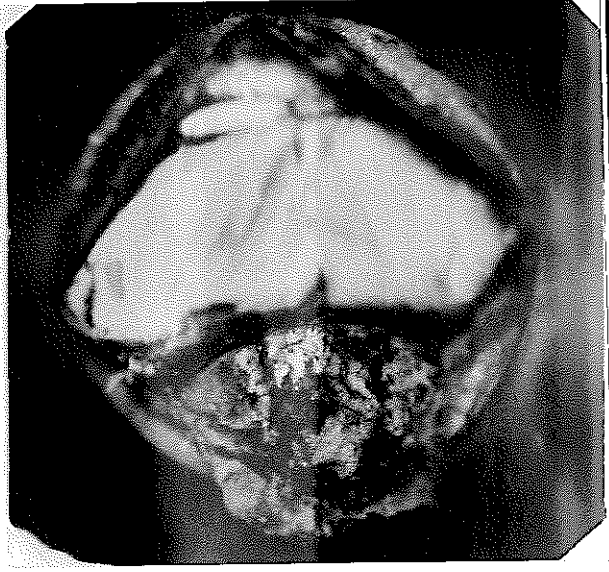
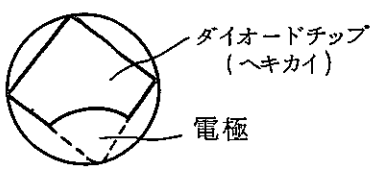
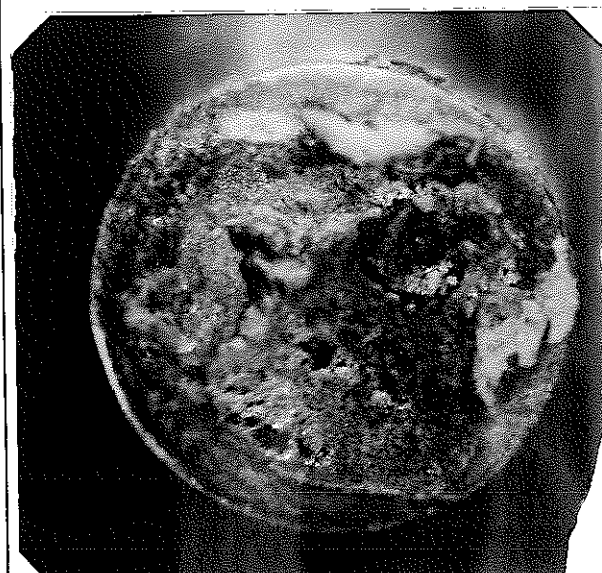

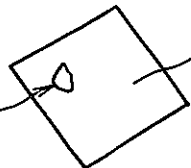
	+ 端子 側	~ 端子 側
D <sub>1</sub>	  <p>ダイオードチップ (ヘキカイ) 溶解跡</p>	  <p>ダイオードチップ (ヘキカイ) 電極</p>
D <sub>2</sub>	 <p>電 極 面</p>	  <p>ダイオードチップ 溶解跡</p>

写真 3.4 ラッチモータ用整流器ダイオード破壊部 (2/2)

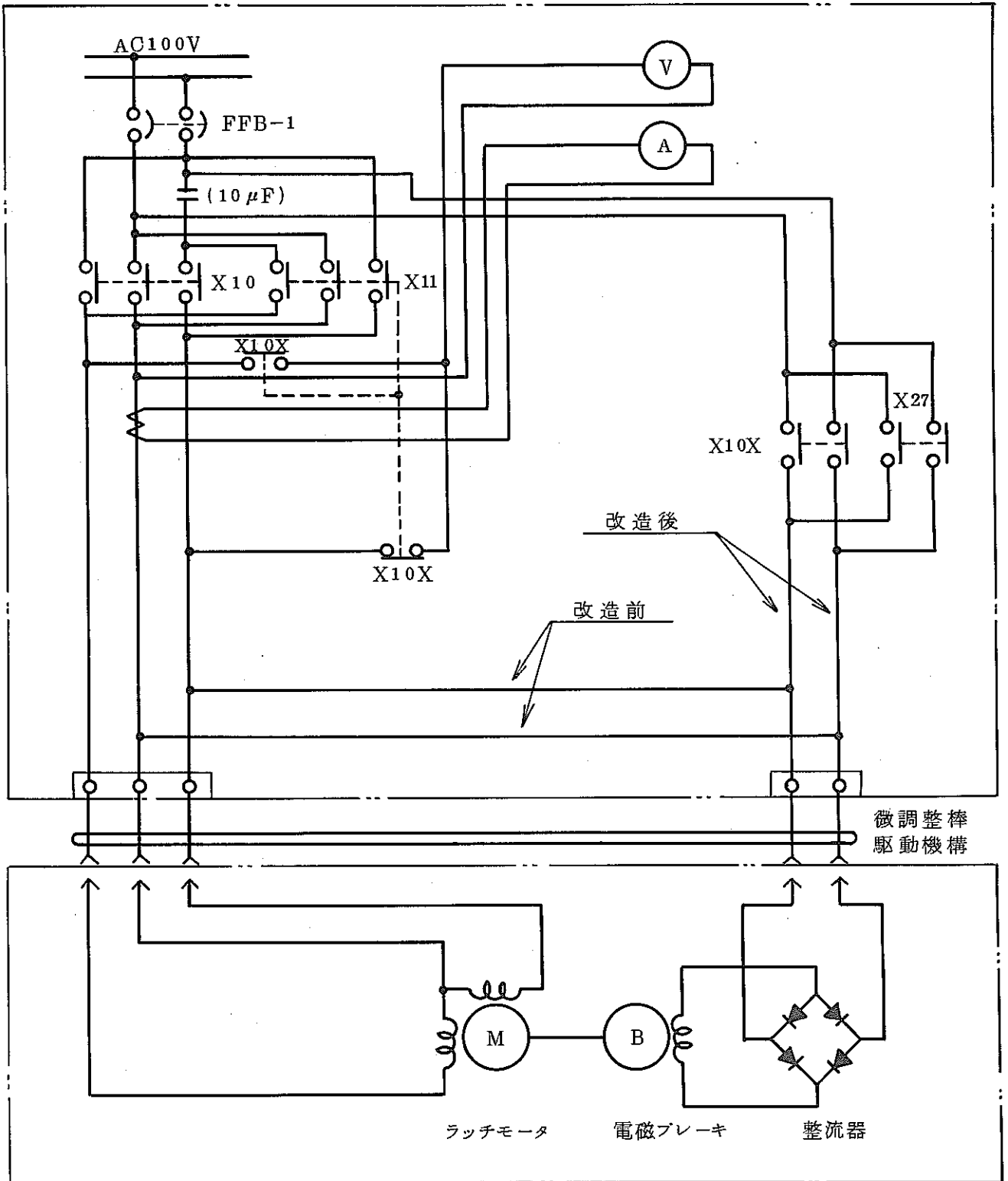
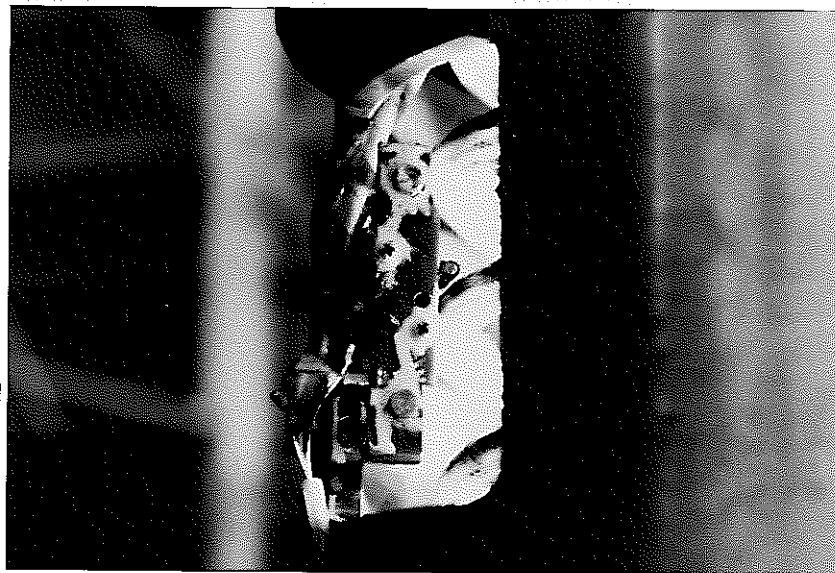
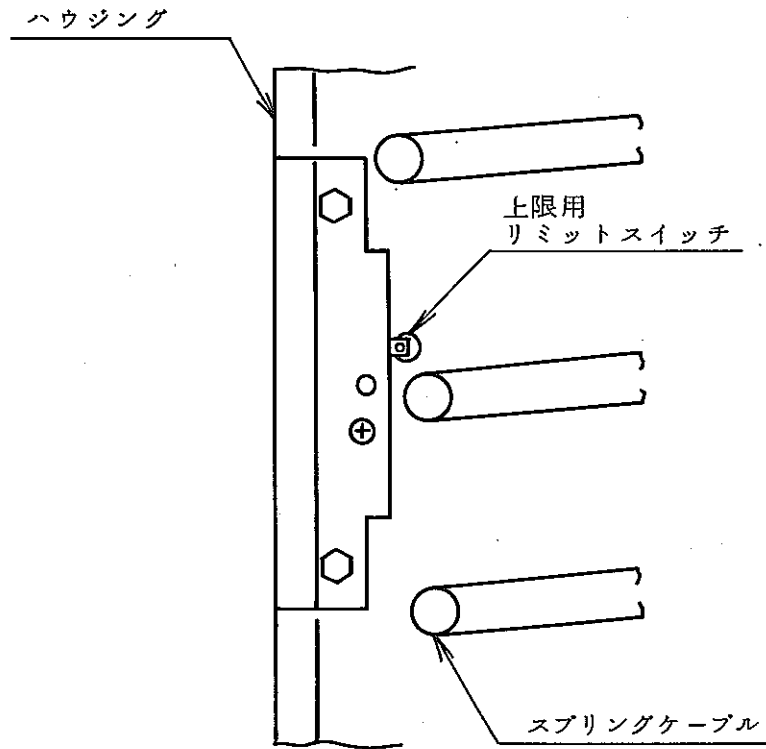


図 3.5 ラッチモータ操作回路

表 3. 6 上限用リミットスイッチ異常位置動作

件 名	上限用リミットスイッチ異常位置動作		
発 生 日	昭和 60 年 11 月 13 日	修 理 期 間	11 月 14 日～11 月 18 日
<p>1. 現 象</p> <p>スクラム動作後、駆動部挿入マグネットを励磁し、次の試験のため引抜駆動した際、約 70%位置にて上限ランプが点灯し、それ以上引抜不可となった。</p> <p>2. 原 因</p> <p>スプリングケーブル用ガイドが駆動部上限位置において加振される際、下部の貫通穴に差し込まれる構造になっているが振動により一部変形後この穴に入らなくなり、フランジ面と干渉し曲がった。この曲がったガイドがスプリングケーブル圧縮（駆動部上昇）に伴い、スプリングケーブルを反対側に押し付け上限用リミットスイッチを動作させた。</p> <p>写真 3. 5 に上限リミットスイッチとスプリングケーブルの干渉を、写真 3. 6 にスプリングケーブルとガイドロッドの干渉を示す。</p>			
<p>3. 対 策</p> <p>(1) 曲がったスプリングケーブルガイドを真直ぐに修正した。</p> <p>(2) 上限位置引抜状態でも、下部フランジ面と干渉しないように、スプリングケーブルガイドを短縮した。</p> <p>注) (1) 上記調査、対策時下部側のスプリングケーブルガイド 2 本が溶接部より切損し、外れていたが、復旧時作動試験において、スプリングケーブルに座屈が生じないことを確認し取外したままとした。</p> <p>(2) 上記略図に示すスプリングケーブルと干渉を起したガイド以外にも曲がっているガイドがあったが、上記対策どおり真直ぐに修正するとともにガイドを短縮した。</p>			



FUJICOLOR 88

写真 3.5 上限用リミットスイッチとスプリングケーブルの干渉

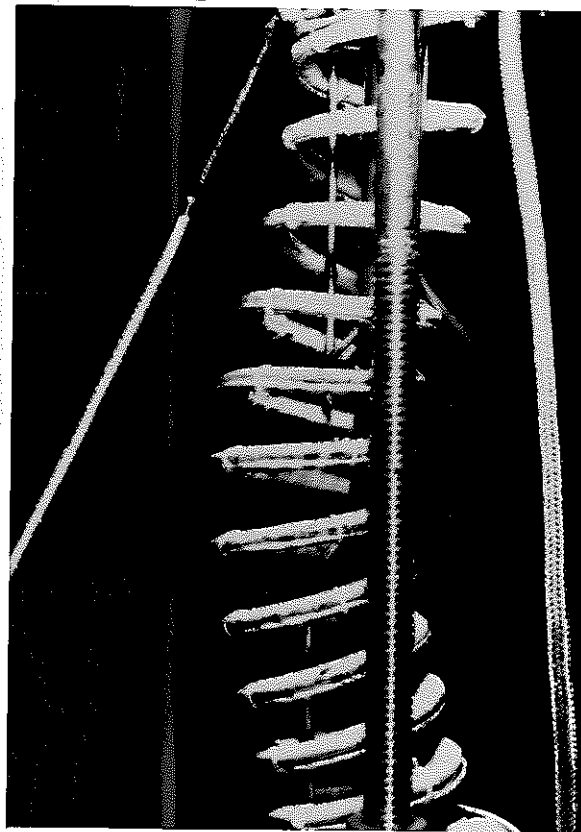
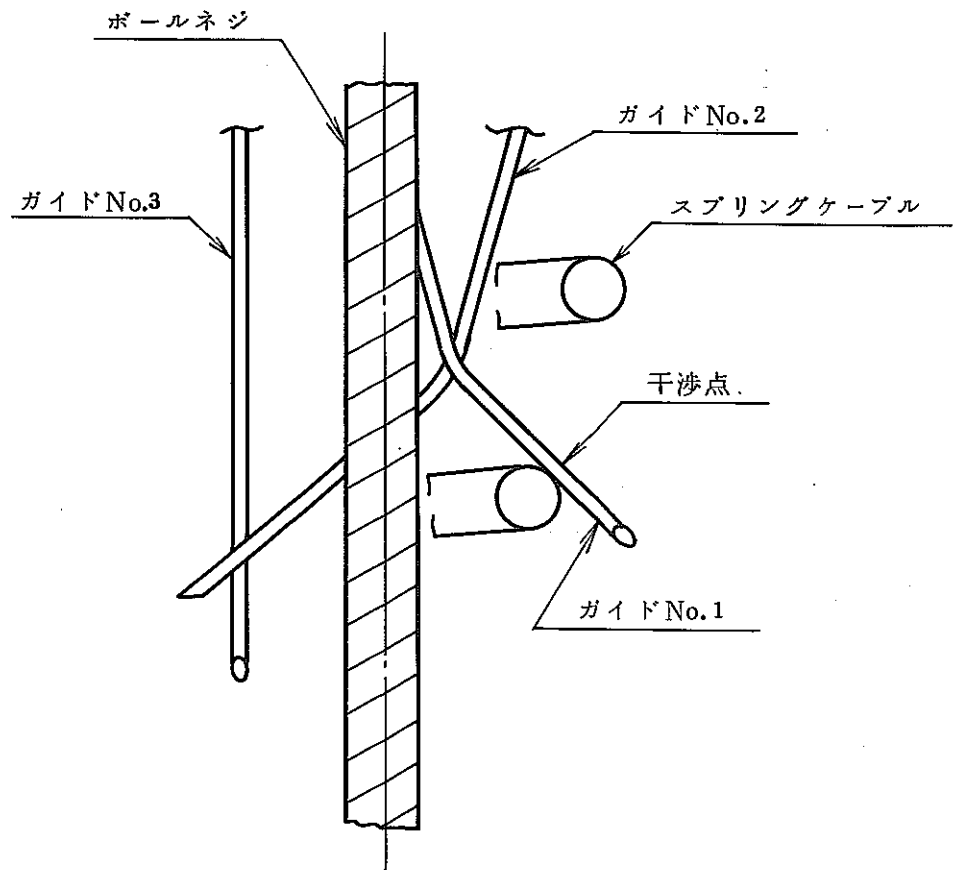
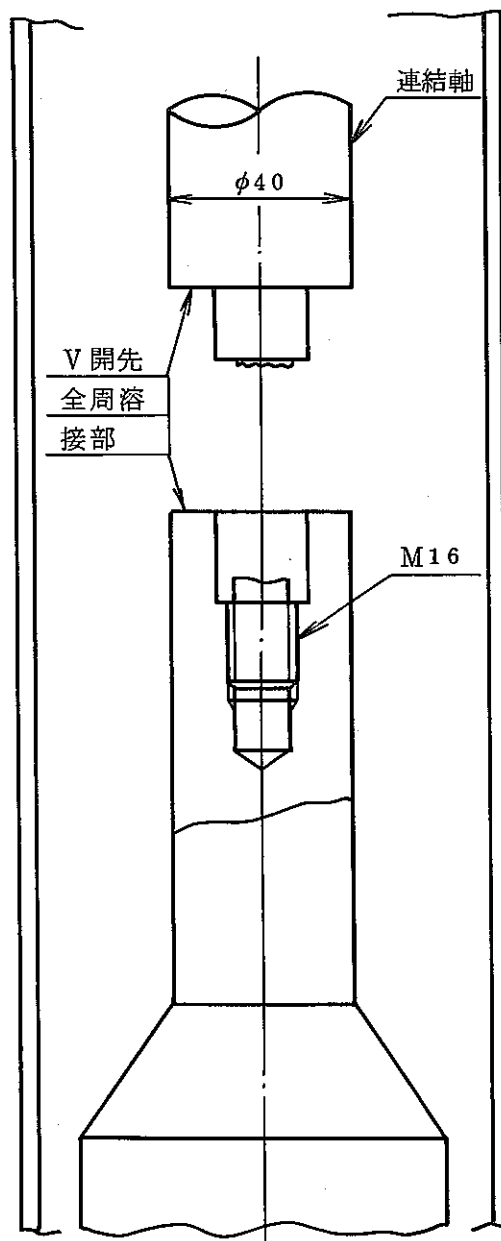


写真 3.6 スプリングケーブルとガイドロッドの干渉



表 3.7 微調整棒連結軸の切損

件 名	微調整棒連結軸の切損		
発 生 日	昭和 60 年 11 月 19 日	修 理 期 間	—
<p>1. 現 象</p> <p>試験ケース No.16 (正弦波二次モード) の試験実施時, 3 回のデータのうち後 2 回のデータに異常値 (85% 挿入スクラム時間が早い。) 及び 90% 挿入位置よりスクラム完了までの所要時間が 6 秒以上要した。</p> <p>調査の結果, 右記略図の如く連結軸の下部のネジ締結部 (V 開先全周溶接部と M16 のオネジの逃げ部) が切損していた。</p> <p>切損部の外観を, 写真 3.7 に示す。</p> <p>2. 原 因</p> <p>49 ページからの「微調整棒連結軸破断原因究明報告」に示す。</p> <p>3. 対 策</p> <p>6.4 項に示す。</p>			



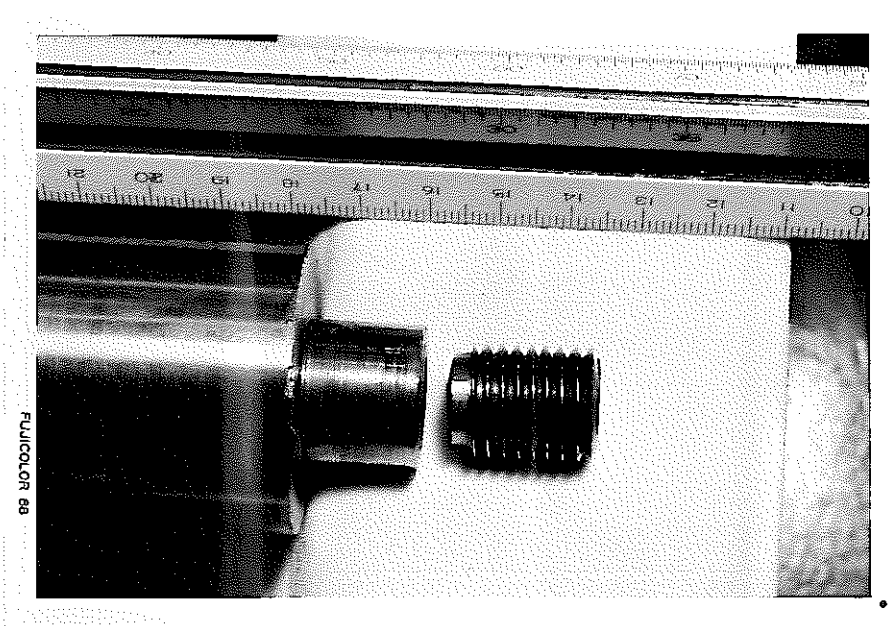


写真 3.7 微調整棒の連結軸切損部

## 微調整棒連結軸切損原因究明報告

### 1. 主 旨

CR連結軸ネジ締結部破断の原因を検討する。実機対策については別途 6.4 節に記す。  
検討作業フローを図 3.6 に示す。

#### 1.1 破断面の観察

CR連結軸ネジ締結部の構造を図 3.7 に示す。破断は連結軸(SUS304  $\phi 40$ )  
外周の隅肉溶接部がまず全面破断したと考えられる。全面破断よりネジの廻り止め  
機能を喪失して、ネジに微小なゆらみが発生して第1次破断面のネジ締付による面  
接触がなくなる。その結果上下軸が印ろうギャップ(片側最大 0.065mm)範囲で相  
対的に動けるようになる。外力により上下軸が相対的に印ろうギャップ分偏心させ  
られることにより印ろう、オネジ部に単独に外力が加わる。最もピーク応力の発生  
し易い印ろうとネジ逃げ部の結合部(R0.5)に亀裂が発生し、最終的に連結軸ネジ  
締結部の全面破断に至ったものと推察される。

破壊メカニズムを考察するため、隅肉溶接部およびオネジ付根部破断面をSEM  
にて観察した。それぞれのSEM写真を写真3.8と写真3.9に示す。

写真3.8の隅肉溶接部拡大写真(倍率 $\times 100$ )の黒い部分は上下軸の相対的偏心  
動作により破断の生肌がこすりとられている。その以外の白い部分には、 $\textcircled{A}$ 部写真  
のようなストライエーションの残存箇所が観察される。亀裂はストライエーション  
の方向より、内側より進展したことが観察されるが、これは溶接構造として内側に  
切欠効果により最大応力集中部が生じることと符合する。

写真3.9に示すとおり、オネジ付根部の破断面には、引張力によると考えられる  
最終破断部(幅はほぼ 0.2mm)があり、拡大写真によると延性破断としてのデイン  
(亀裂進展速度)  
ブルが集中している。表面近傍には、 $\textcircled{A}$ 部写真のようにストライエーション間隔は  
密であるが、亀裂進展深さが増すとともに、次第にその間隔は漸増して、ほぼ一定  
幅の部分がみられる。さらに亀裂が進展して最終破断部に近づいた $\textcircled{B}$ 部写真ではや  
やストライエーション間隔は少なく密となる傾向を示している。

図 3.8 と図 3.9 に隅肉溶接部およびオネジ付根部それぞれの亀裂進展速度と亀裂  
発生表面からの亀裂深さを測定して示す。

図 3.8 の隅肉溶接部では破断の生肌がこすりとられて亀裂進展の全体プロフィール

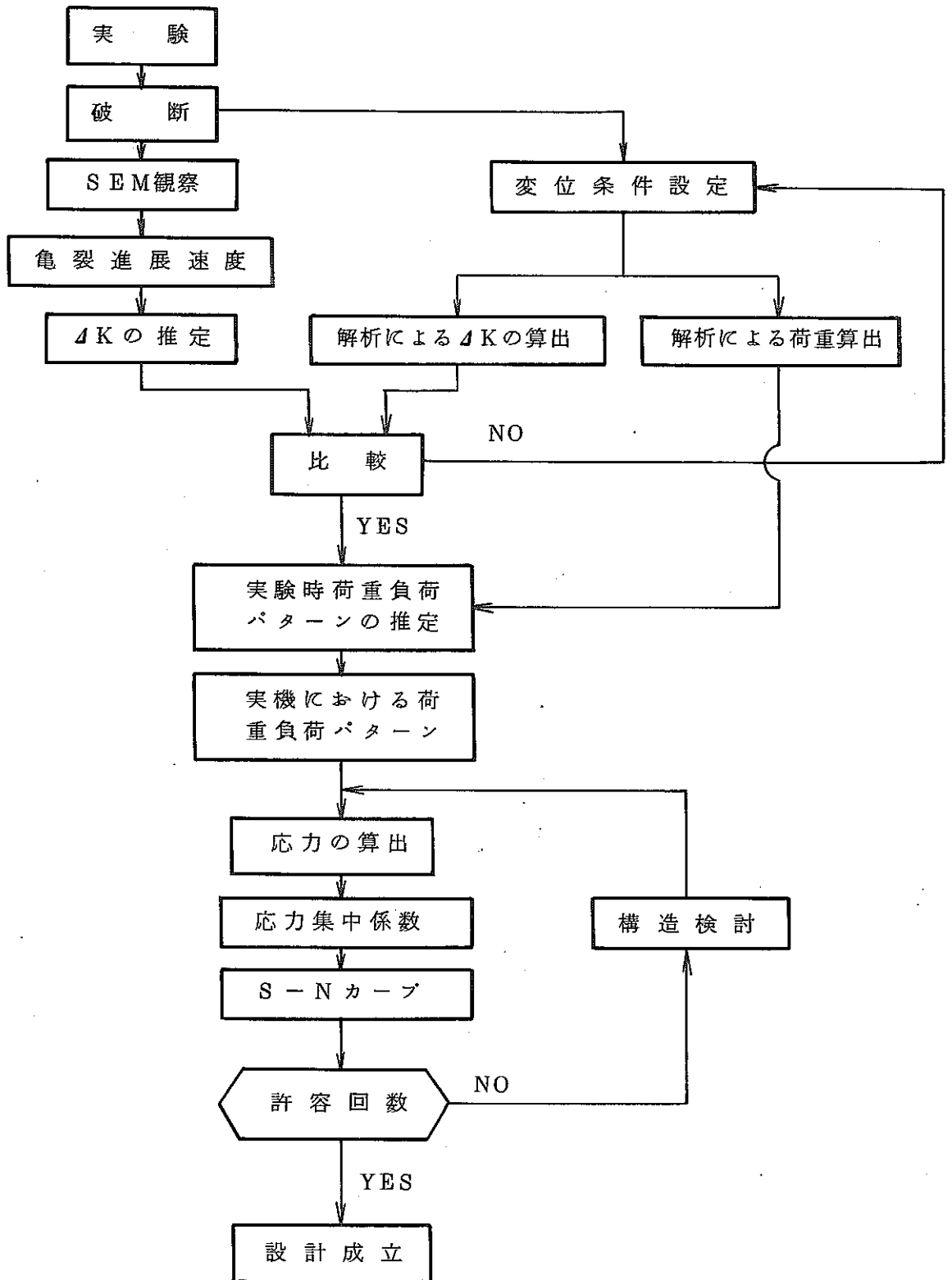


図 3.6 CR 連結軸ネジ締結部破断対策検討作業手順

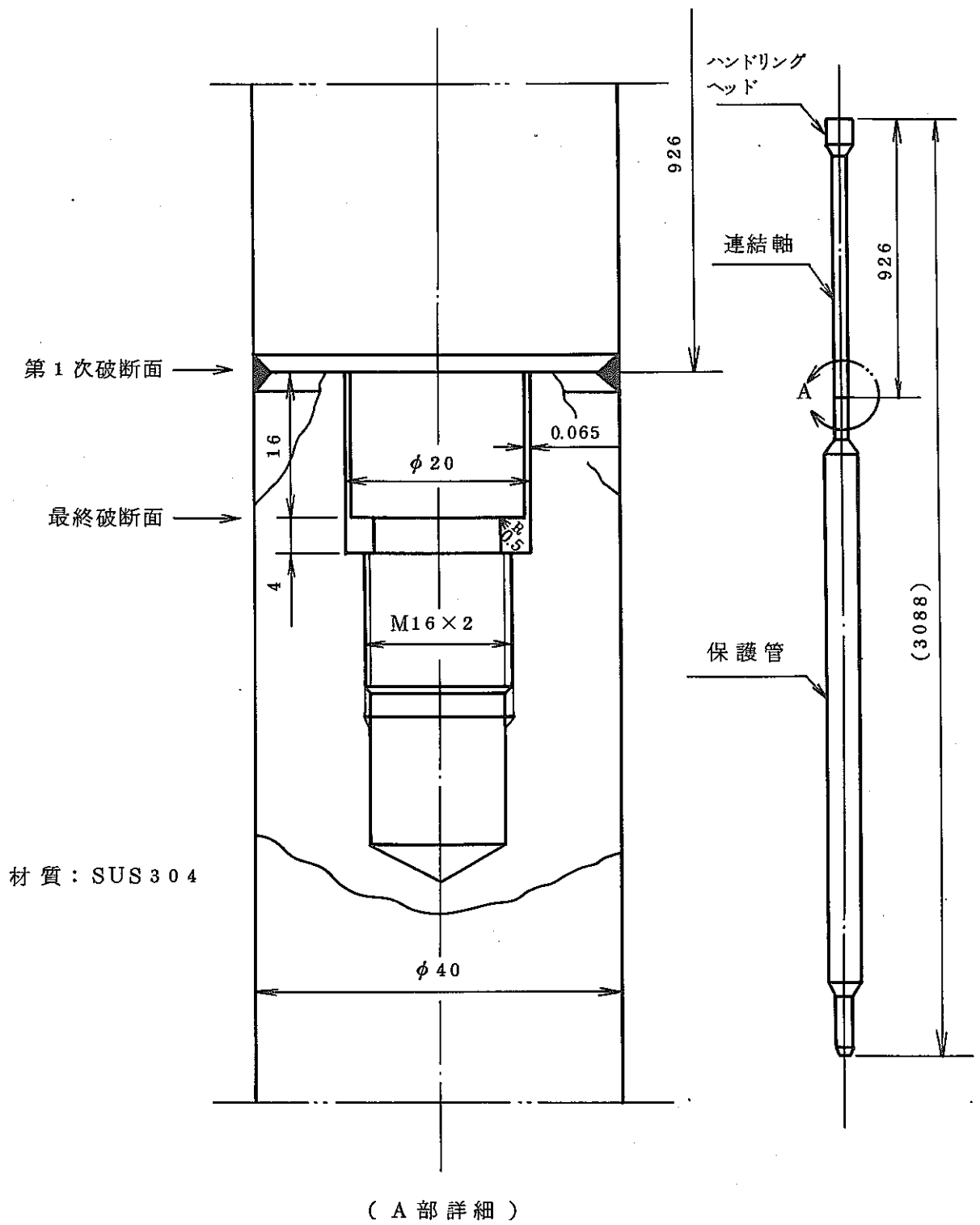


図 3.7 CR 連結軸ネジ締結部構造

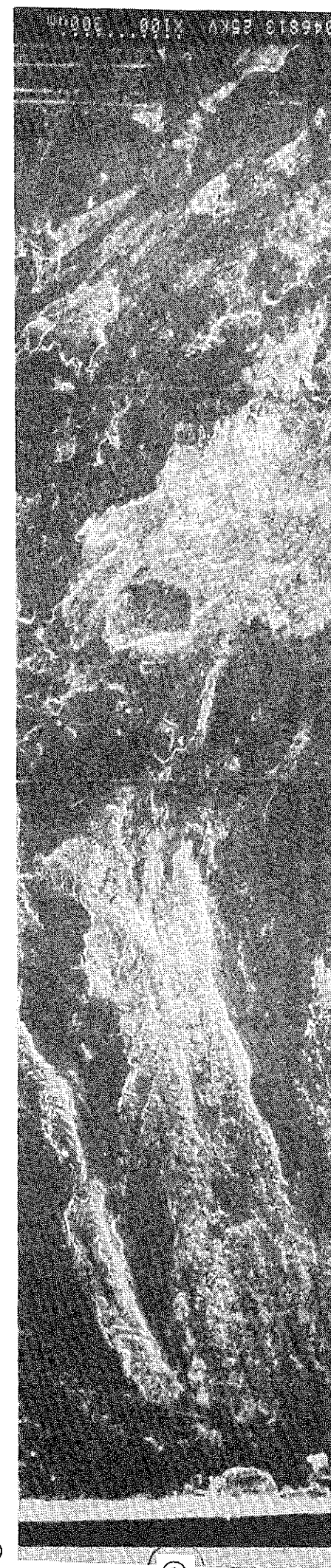
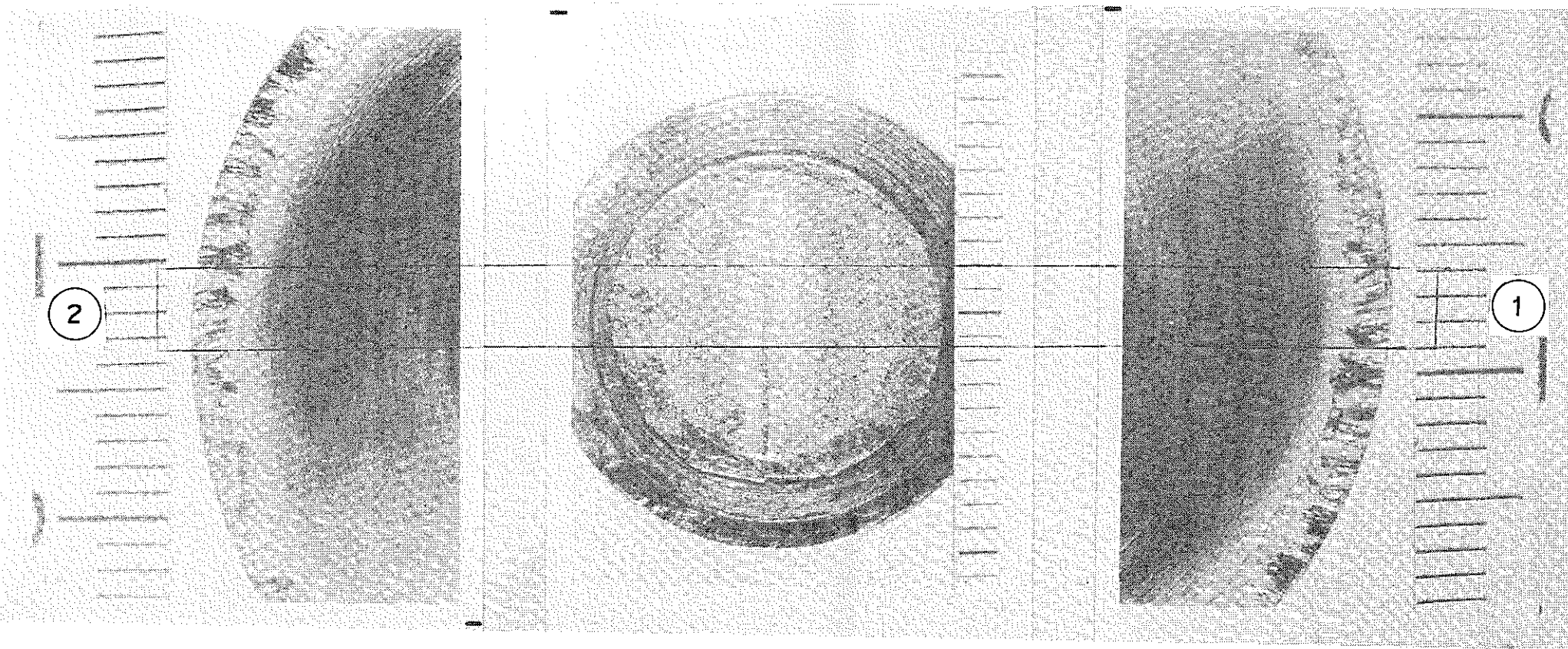
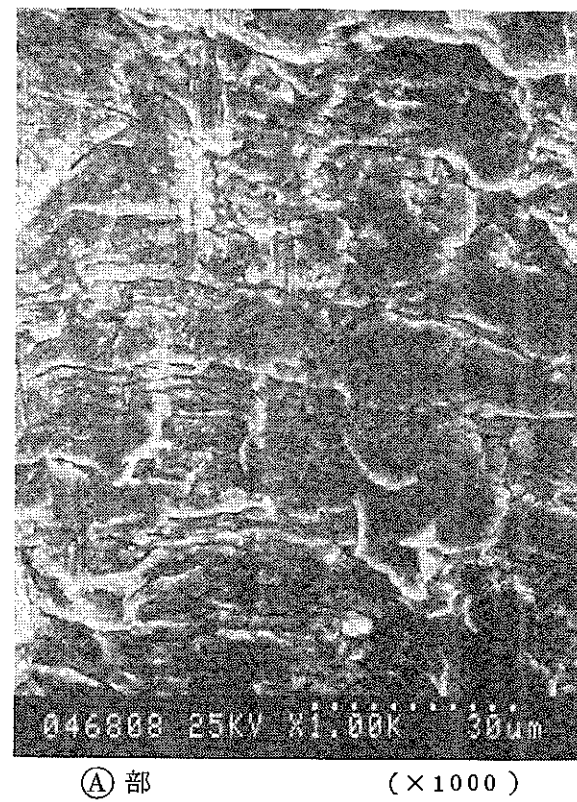
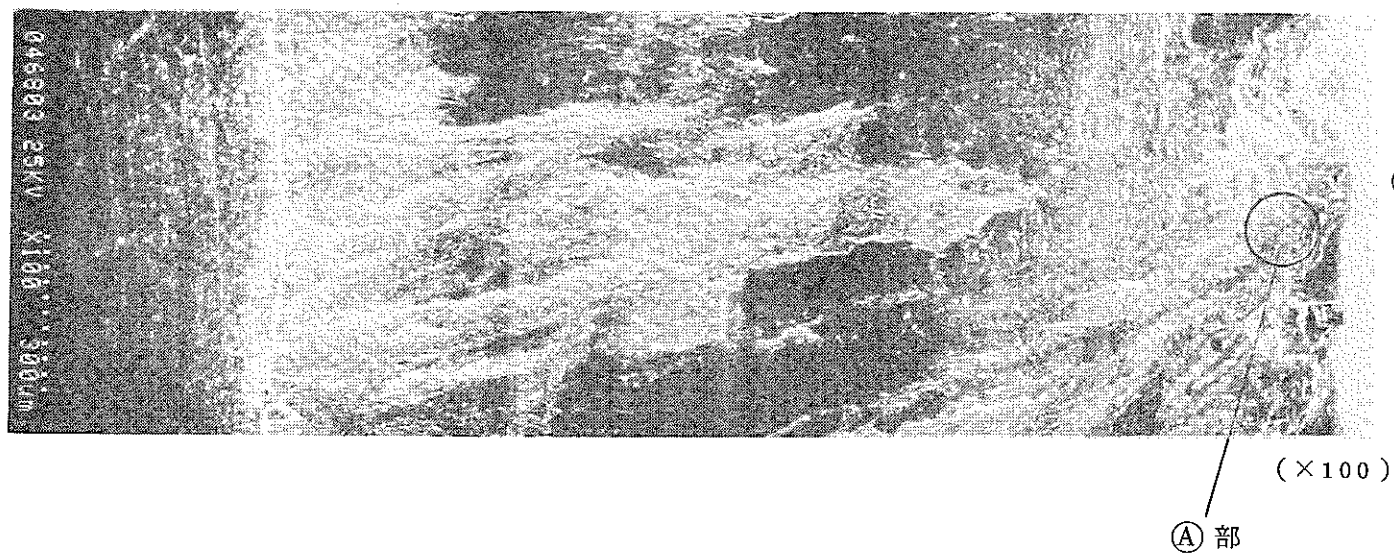
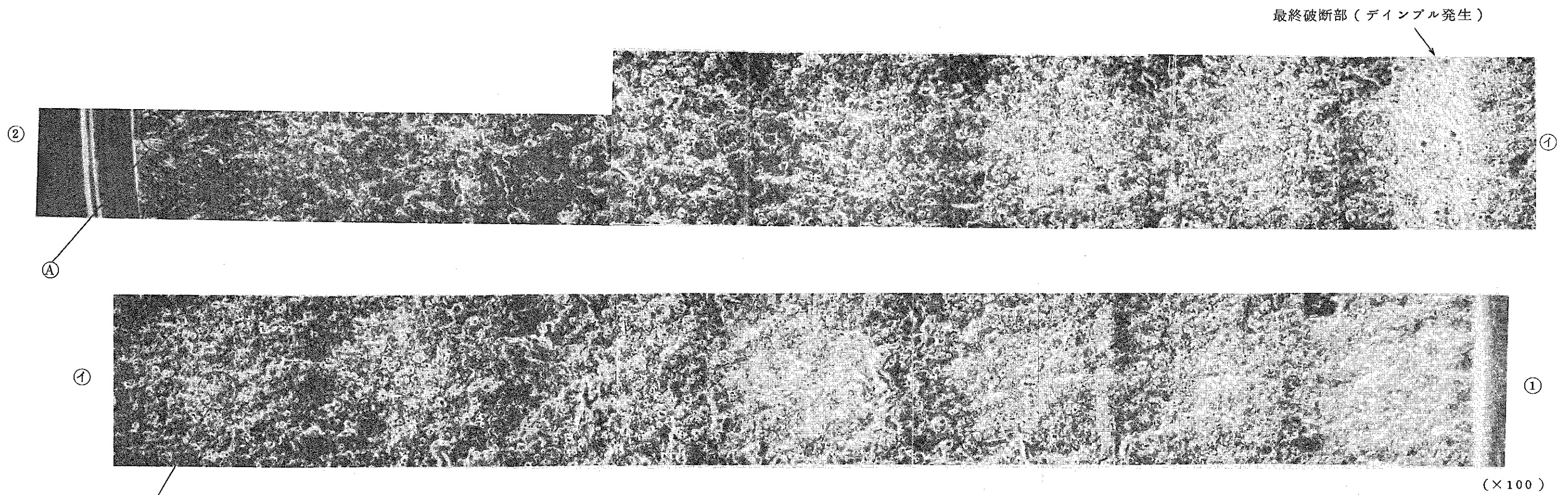


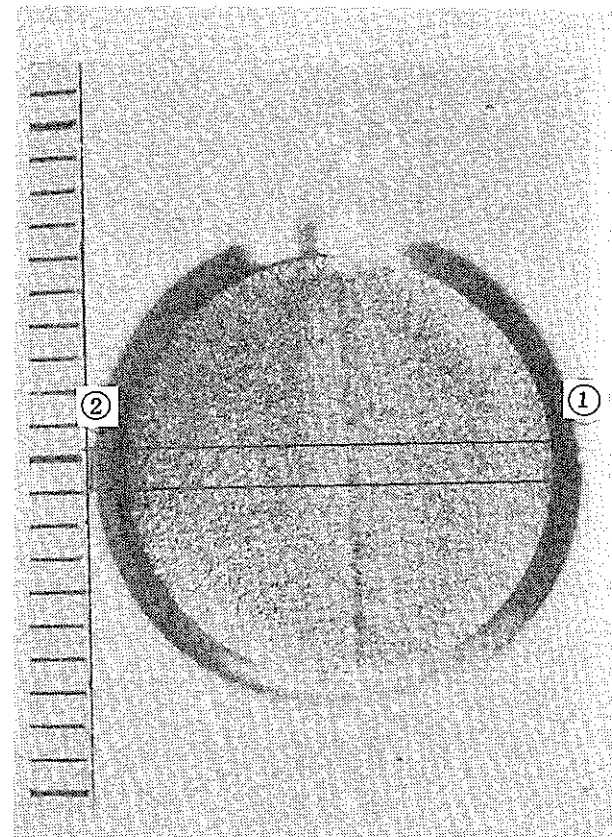
写真 3.8 破断面のSEM写真 (CR連結軸ネジ締結隅肉廻り止め溶接部)

(x100)





③



③ 部  
(×1000)



④ 部  
(×1000)

写真 3.9 破断面の SEM 写真 (CR 連結軸 オネジ付根部)

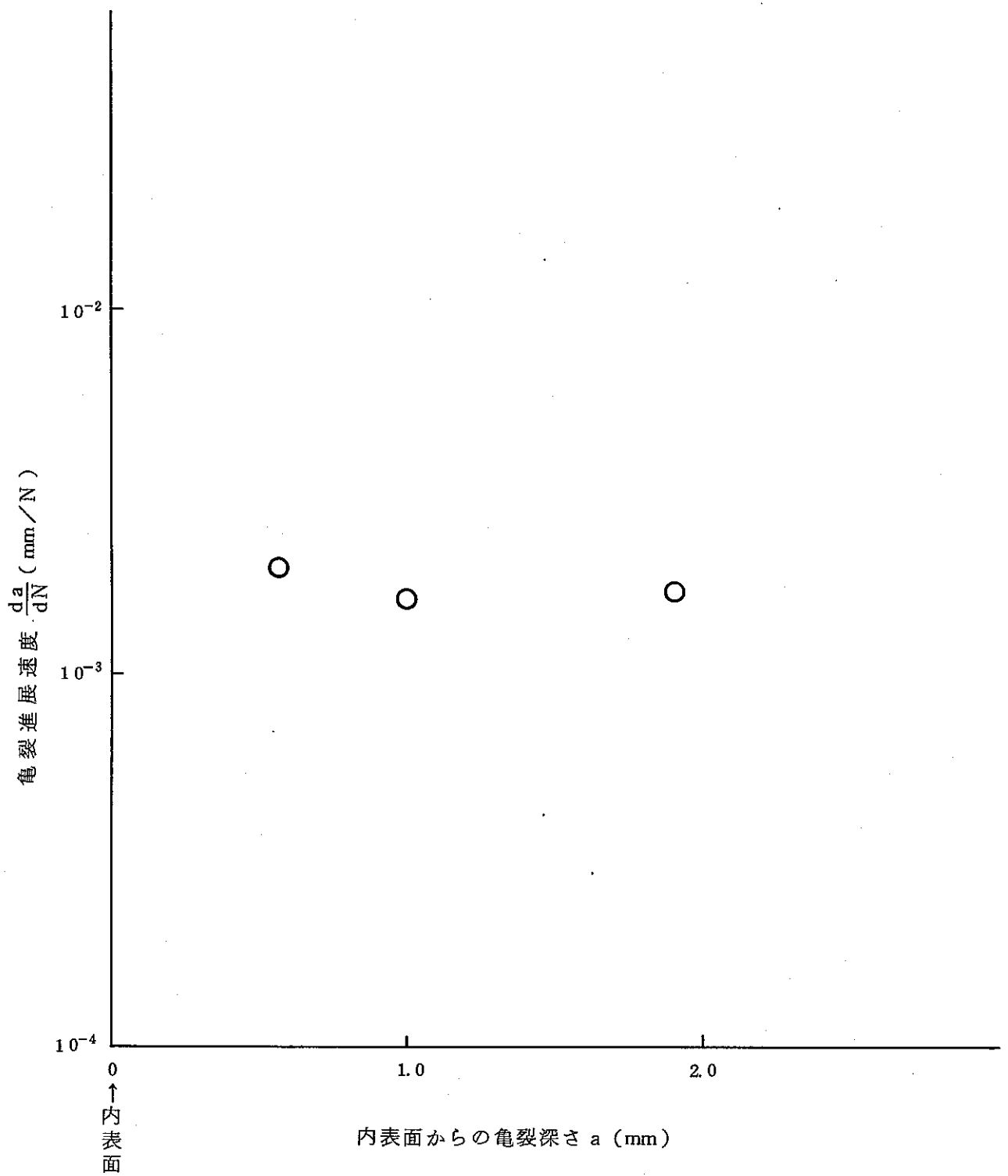


図 3.8 CR 連結軸ネジ締結部廻止め用隅肉溶接部  
亀裂進展速度－亀裂深さ測定結果



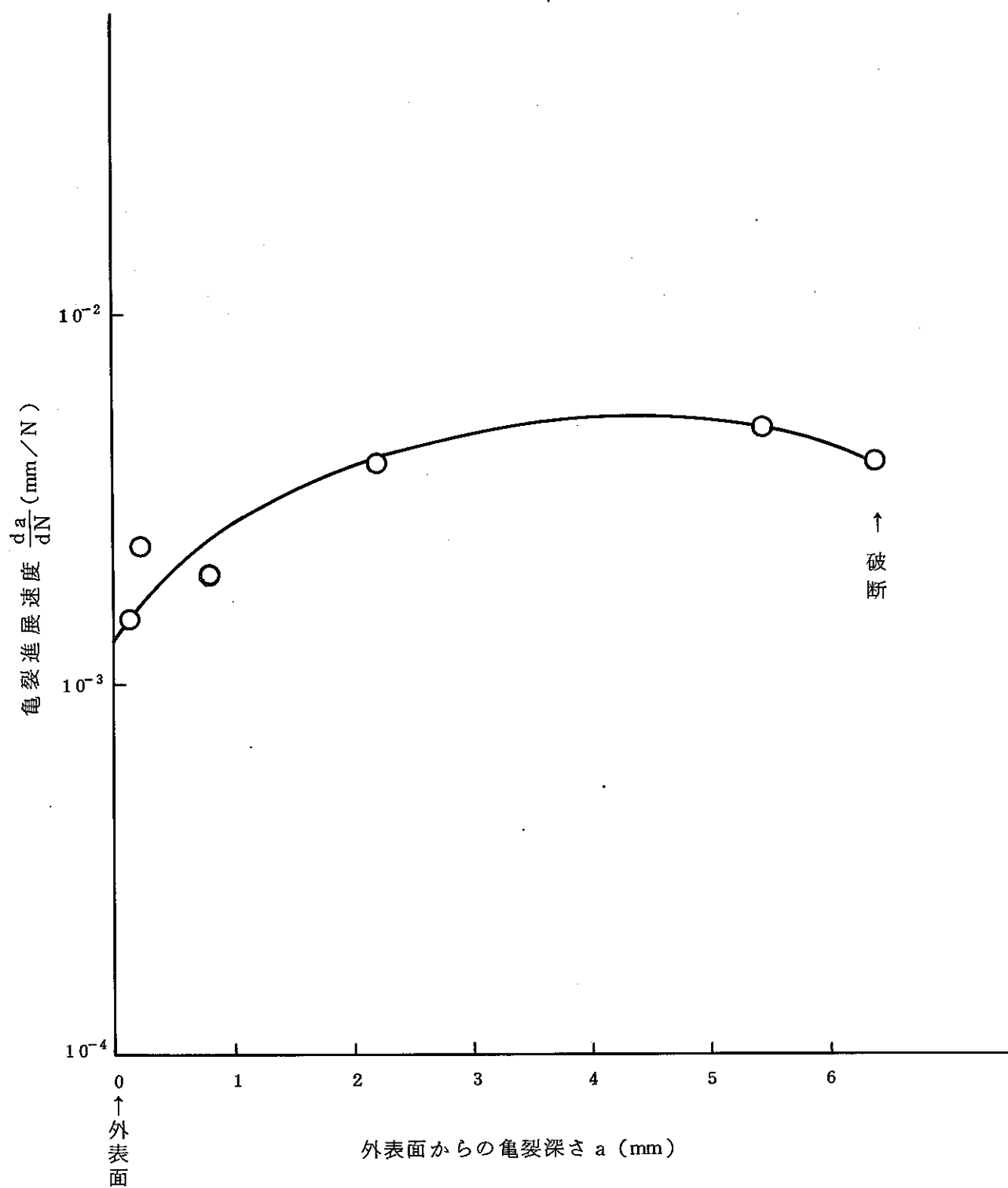


図 3.9 CR 連結軸ネジ締結部オネジ部  
亀裂進展速度 - 亀裂深さ測定結果

ルはつかめないが、ストライエーション残存部分から平均として亀裂進展速度 $\left(\frac{da}{dN}\right)$ は $1.8 \times 10^{-3}$  (mm/N)程度と考えられる。円環状溶接部(平均幅2mm)を貫通する繰返回数は、

$$2.0 \div (1.8 \times 10^{-3}) = 1100 \text{ (回)}$$

である。亀裂が内表面から進展する際、亀裂発生点をはさんで左右に幅広く亀裂線は広がり、一箇所貫通破断が生じる回数と全断面破断に達するまでの回数には有意な差は生じないと判断される。

隅肉溶接部材質はSUS304であり、図3.10のSUS304母材の亀裂進展速度 $\left(\frac{da}{dN}\right)$ と $K_I$ の関係の実験データ<sup>4)</sup>より、亀裂進展の際発生した $K_I$ 値を推定する。この破断面の平均亀裂進展速度 $\left(\frac{da}{dN}\right)$ は $1.8 \times 10^{-3}$  (mm/N)で、 $K_I$ 値 $57.5$  (MPa $\sqrt{m}$ ) $=185$  (kgf $\cdot$ mm $^{\frac{3}{2}}$ )となる。SUS304の室温での疲労亀裂進展限界値( $\Delta K_{Ith}$ )は $20 \sim 30$  (kgf $\cdot$ mm $^{\frac{3}{2}}$ )であり、このレベルの荷重に対して初回より亀裂発生したものと推定できる。

一方、オネジ付根部は外径 $\phi 13$ で、最終の延性破断部幅0.2 (mm)を除くと全疲労亀裂深さは6.4 (mm)である。図3.9の亀裂進展速度 $\left(\frac{da}{dN}\right)$ と亀裂深さ(a)の関係より、6.4 (mm)のSUS304丸棒を亀裂が進展する回数は、1600回程度と推定できる。

図3.9および図3.10のSUS304母材データより外表面からの亀裂深さ(a)1.0 (mm)および2.0 (mm)の箇所について $K_I$ 値を推定すると下表のとおりとなる。

No.	外表面からの亀裂深さ a (mm)	亀裂進展速度 $\frac{da}{dN}$ (mm/N)	$K_I$ (kgf $\cdot$ mm $^{\frac{3}{2}}$ )
1	1.0	$2.7 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^2$
2	2.0	$3.9 \times 10^{-3}$	$2.3 \times 10^2$

## 1.2 解析検討

オネジ付根部に着目して応力拡大係数( $K_I$ )を推定する。

### (1) 解析プログラムおよび手法

MARCの歪エネルギー差分よりJ積分算定するオプション計算(使用プログラム名 MARC REV. K-1)を行なう。

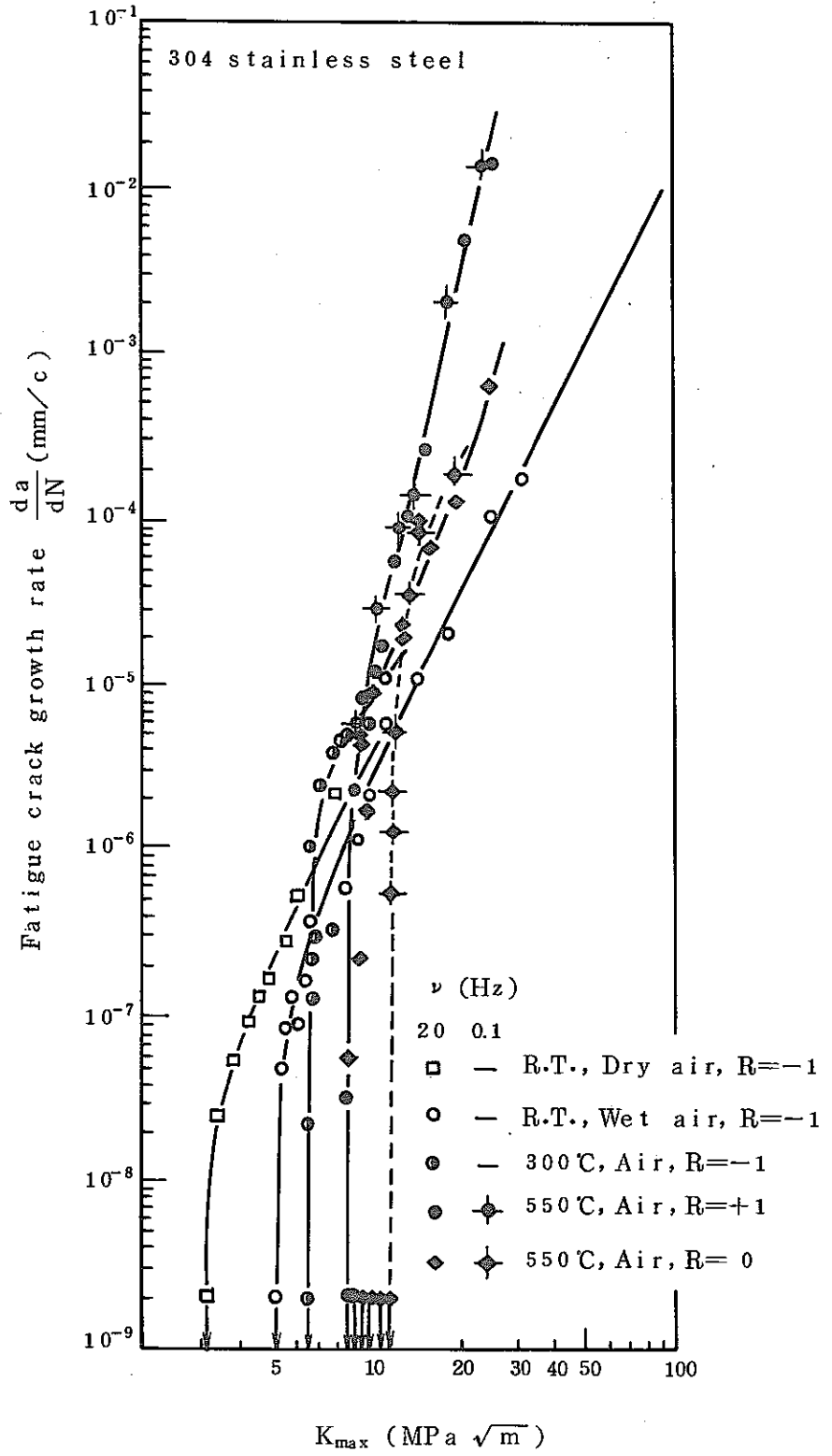


図 3.10 SUS304 の亀裂進展速度<sup>4)</sup>

$K_I$  は次の式より算出する。

$$J = 2 \Delta u / \Delta l$$

$$K_I = \sqrt{\frac{E}{1-\nu^2}} \times J$$

$\Delta l$  : 節点移動量

$\Delta u$  : ひずみエネルギー差分

$$E = 19800 \text{ (kgf/mm}^2\text{)}$$

$$\nu = 0.266$$

## (2) 解析モデル

図 3.11 に解析モデルと解析ケースを示す。構造物は軸対称体であるが、図に示す如く荷重が非軸対称であるため、ここでは簡単のため平面ひずみ要素としてモデルする。

図 3.7 に示すとおり、 $\phi 20$  の印ろう部は半径ギャップが 0.065 (mm) であり、第 1 次破断面位置においてオネジ軸の変位( $\delta$ )を 0.065, 0.1, 0.13, 0.2 (mm) のパラメータで振って解析する。外表面からの亀裂深さ( $a$ )は SEM 観察結果と対比するため、1.0, 2.0 (mm) のケースとする。

またオネジ部のモーメント荷重 ( $M$ ) を推定するため、亀裂発生無についても、構造上変位( $\delta$ )が大きく拘束されると考えられる  $\delta = 0.13$  (mm) の 1 ケースを実施する。

## (3) 解析結果

変位( $\delta$ ),  $K_I$  値の解析結果について表 3.8 に示す。またオネジ部に加わるモーメント荷重 ( $M$ ) は  $3.0 \times 10^4$  (kg $\cdot$ mm) と算定される。

## (4) 考 察

図 3.7 に示されるとおりオネジ部は、印ろう部の穴と軸の曲げ剛性比が 15 倍と一桁以上差異もあり、印ろう部で大きく変位が拘束されると見做される。ネジ部 (M16,  $p=2$ ) の微小遊びもあり、印ろう部の軸は直径ギャップ 0.13 (mm) まで変位が許容されると考えられる。

表 3.8 の解析から求めた  $K_I$  値と 1.1 節の SEM 観察による  $K_I$  値を対比すると、 $K_I$  値の実験値は  $\delta = 0.13$  (mm) で亀裂深さ  $a$  1.0 (mm) および 2.0 (mm) の両箇所ともほぼ同じ値を示す。この結果からもオネジ部は印ろう部の直径ギャップ目一杯 0.13 (mm) 変位したものと推定される。

また変位  $\delta$  がほぼ 0.13 (mm) 推定されることからオネジ部には上記解析結果に示すとおり、 $3.0 \times 10^4$  (kg $\cdot$ mm) モーメント荷重が加わったと推定される。

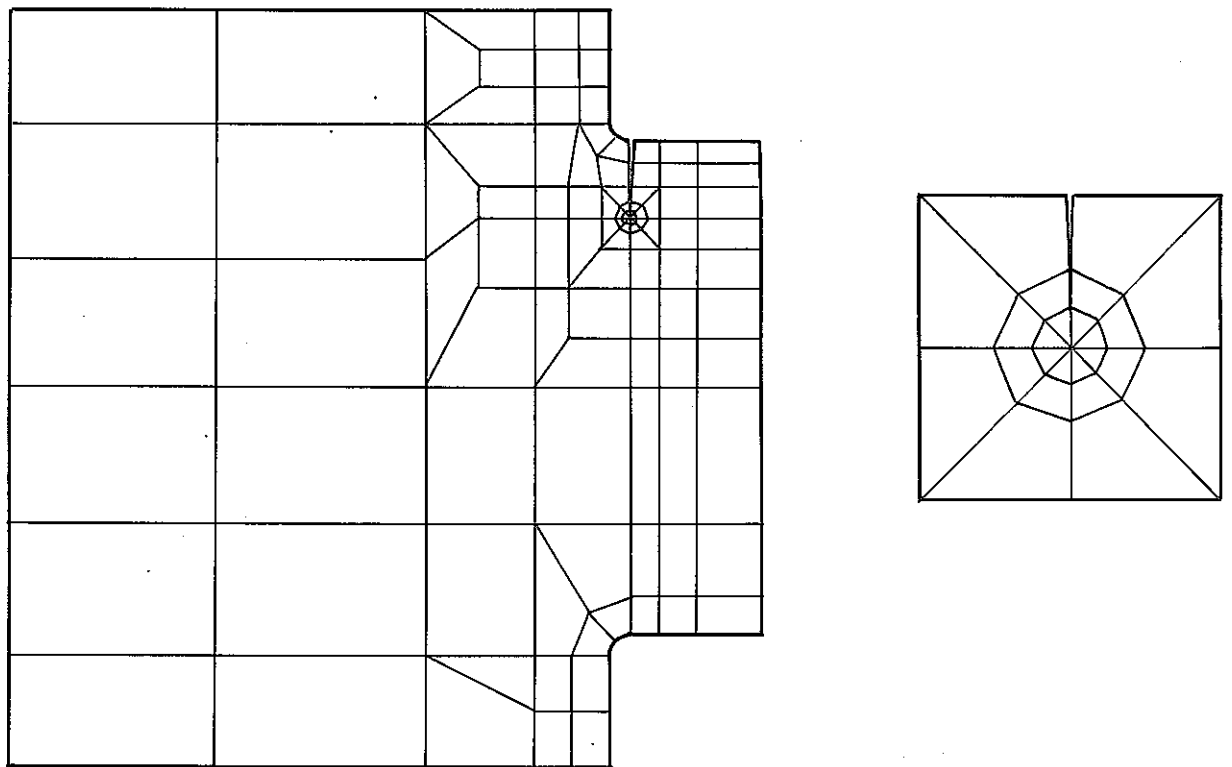
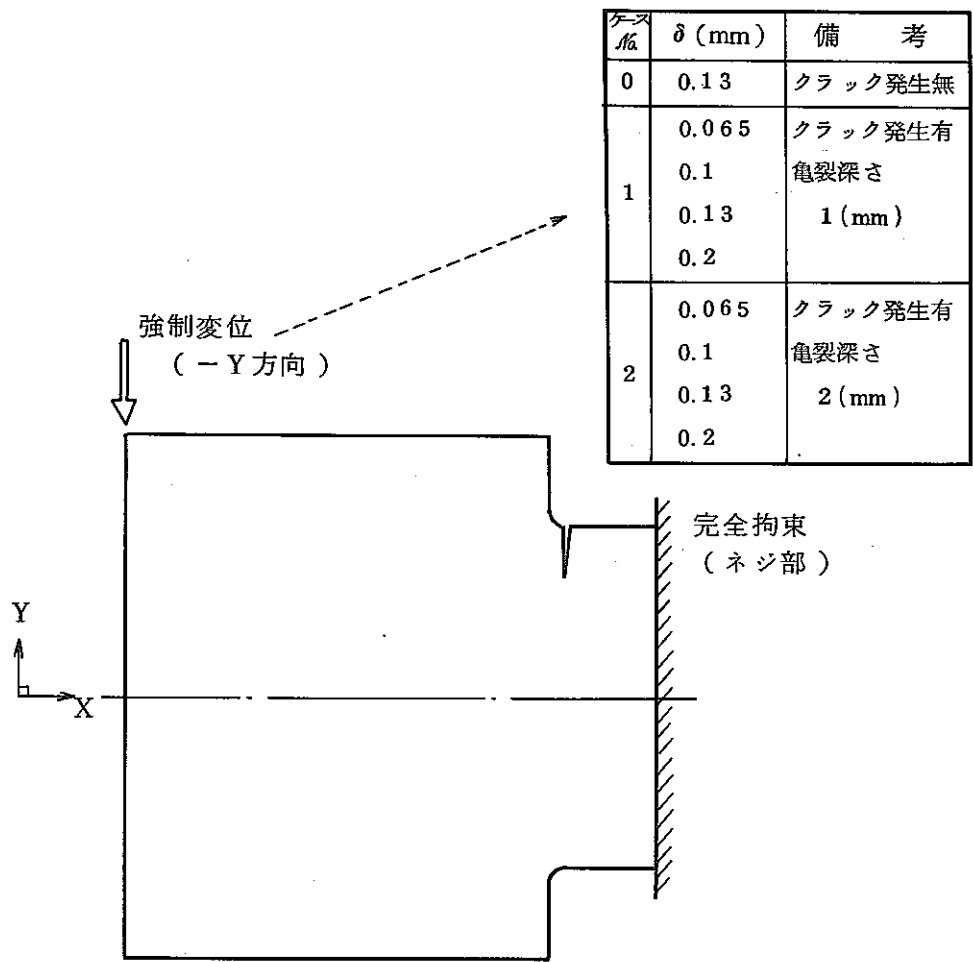


図 3.11 オネジ付根部解析モデル

表 3.8 オネジ付根亀裂先端部 $K_I$  値 (計算)

ケース $N_a$	亀裂深さ a (mm)	オネジ部強制変位 $\delta$ (mm)	応力拡大係数 $K_I$ ( $\text{kg}\cdot\text{mm}^{\frac{3}{2}}$ )
1	1.0	0.065	115
		0.1	178
		0.13	230
		0.2	355
2	2.0	0.065	122
		0.1	188
		0.13	244
		0.2	375

オネジ部付根 R 部切欠効果発生部のピーク成分も含んだ最大応力強さ ( $\Delta\sigma_{\max}$ ), 歪 ( $\Delta\varepsilon_{\max}$ ) (弾性解析値) はそれぞれ  $174 (\text{kg}/\text{mm}^2)$ ,  $0.780 \times 10^{-3}$  である。ここでは局部ひずみ振幅 ( $\Delta\varepsilon$ ) を推定するのに, 上記弾性解析を基にして, Neuber 則を使用する方法を採用する。使用する SUS304 の Cyclic Stress Strain Curve を図 3.12<sup>5)</sup> に示す。Neuber 則より, 局部歪 ( $\Delta\varepsilon_L$ ), 局部応力 ( $\Delta\sigma_L$ ) は図 3.12 の  $\Delta\sigma - \Delta\varepsilon$  曲線と  $\Delta\sigma \cdot \Delta\varepsilon = \Delta\sigma_{\max} \times \Delta\varepsilon_{\max}$  の曲線 (両対数グラフ上) の交点として求める。図より  $\Delta\varepsilon_L = 2.4 \times 10^{-2}$  と推定される。

オネジ付根部外表面に微小クラックが発生するまでの繰返し回数 (N) は図 3.13<sup>5)</sup> より,  $\Delta\varepsilon_L = 2.4 \times 10^{-2}$  に対して, 亀裂発生繰返し回数は 100 回程度を推定される。

これと上述の SEM 写真より推定される亀裂進展繰返し回数と合わせて考慮すると, OR 連結軸ネジ締結部の最初の亀裂発生から全断面破断までの有意な応力の総繰返し回数は 3000 回程度と推定される。最大荷重の繰返し回数の推定を表 3.9 にまとめて示す。

• Multiple Step法による実験値

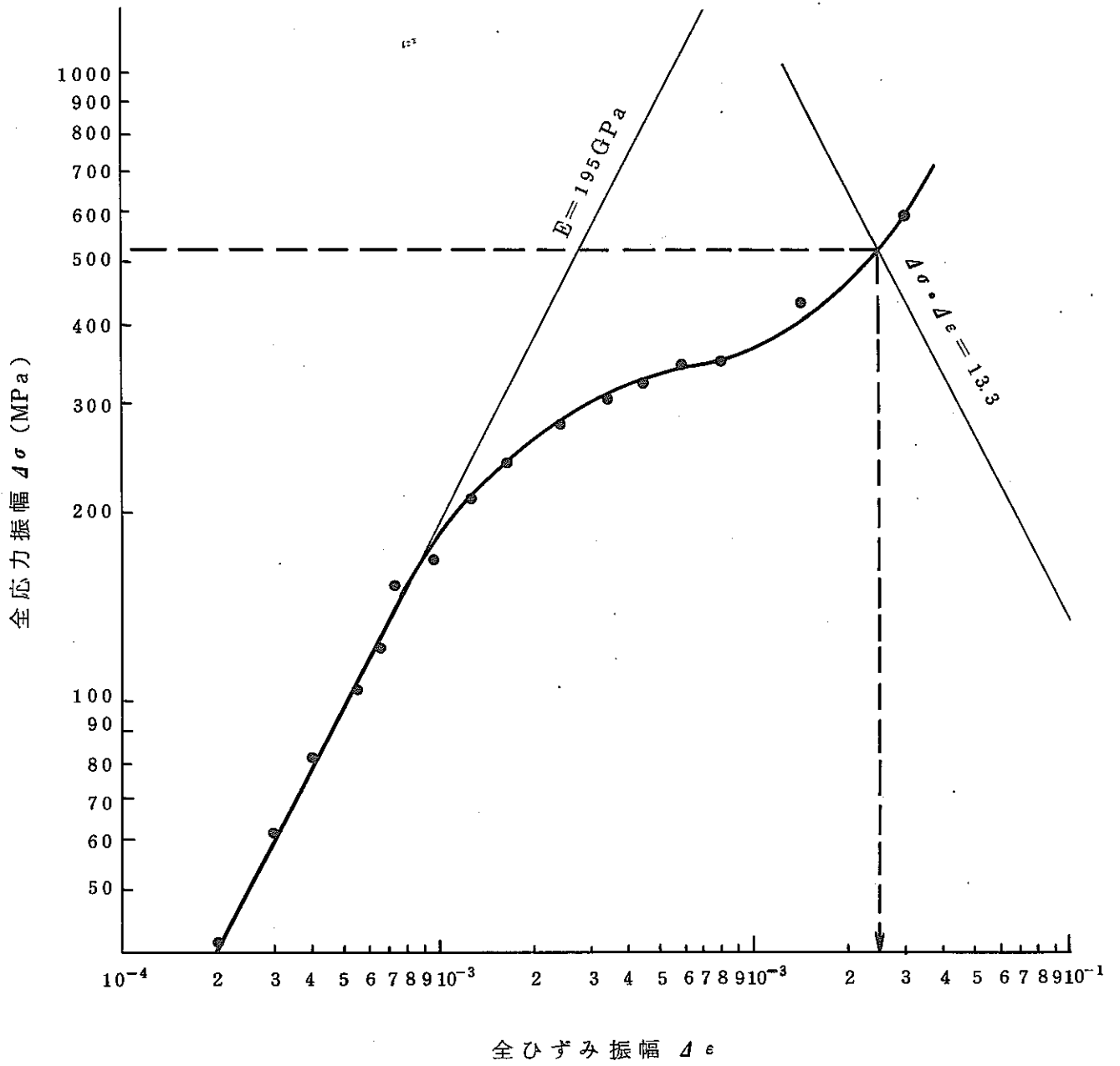


図 3.12 SUS304 の室温での Cyclic Stress Strain Curve  
データ<sup>5)</sup>

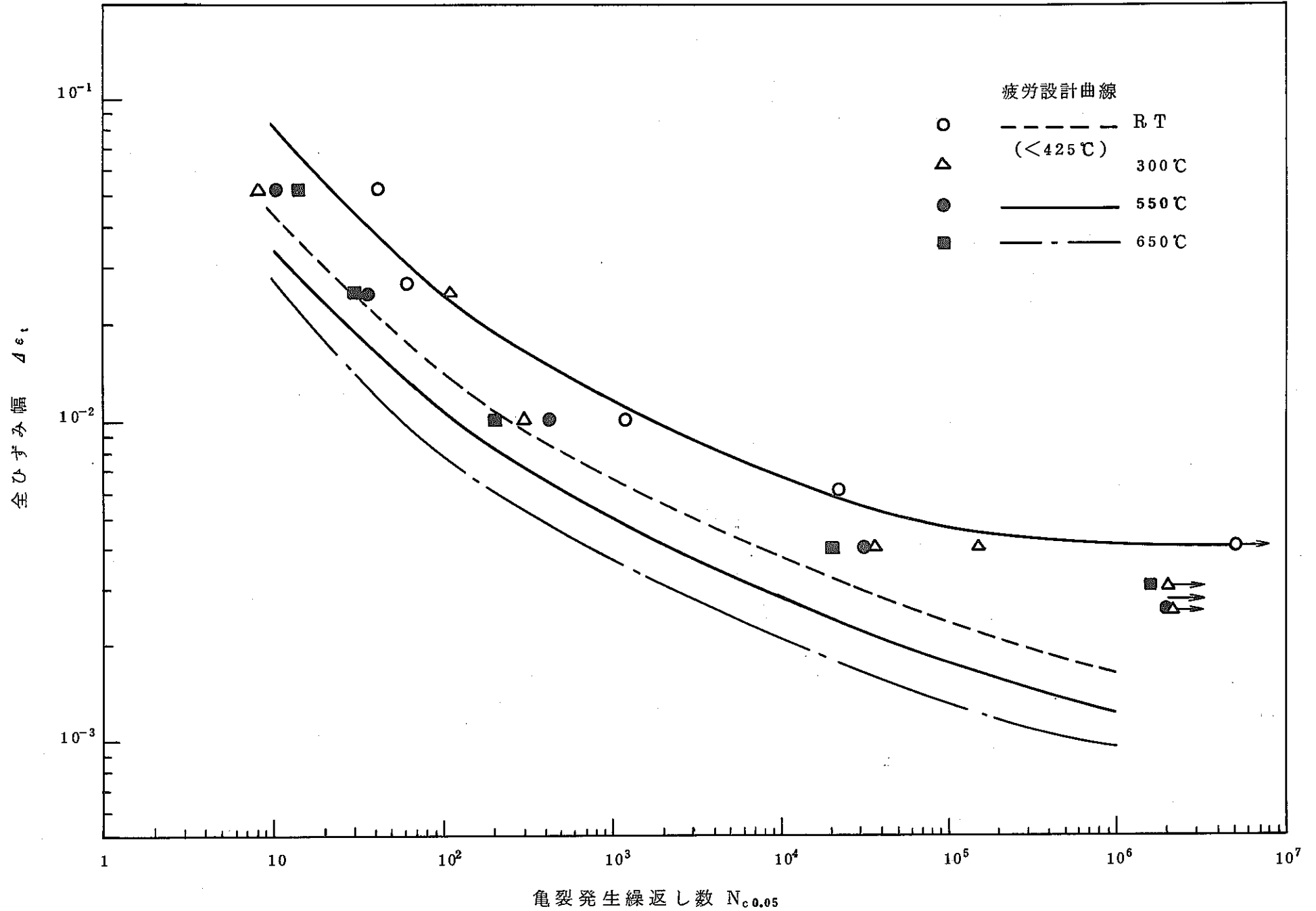


図 3.13 亀裂発生寿命  $N_{c,0.05}$  と疲労設計曲線との比較<sup>5)</sup>



表 3.9 最大荷重繰返し回数の推定

№	部 位	最大荷重繰返し回数(回)	判 定 方 法
1	隅 肉	亀裂発生まで $\approx 0$	構造上隅肉溶接内側は初期よりクラックありとみなす。
2	溶接部	亀裂発生から破断まで $\approx 1100$	破断面SEM分析により
3	オネジ	亀裂発生まで $\approx 100$	Neuber 則による局部ひずみ振幅の推定
4	付根部	亀裂発生から破断まで $\approx 1600$	破断面SEM分析により

### 1.3 実験時荷重パターンの推定

加振スクラム特性試験時荷重パターンの推定を試験装置、供試体形状、寸法および加振条件より行なう。

#### (1) 代表試験ケース

表 3.10 の 2 ケースを代表として評価する。試験ケース № 4 は代表的試験ケースの中でも最大相対変位が 60 (mm) で最大であり最も大きな変形を発生すると考えられる場合の一つである。また試験ケース № 16 は CR 案内管二次曲がりモードとして唯一のケースであり、正弦波加振ケースより CR, CRD スクラム挿入系に最も大きな変形を生じると考えられる。なお正弦波加振ケースは、定常加振であるため地震波加振より厳しい応力サイクルの繰返し回数が大幅に上廻るためと推定され、代表評価に適切と考えた。

表 3.10 加振スクラム特性試験荷重パターン推定評価ケース<sup>1)</sup>

ケース No.	加振波	加振振動数(Hz)		先端加速度(gal)		先端変位(mm)		初期 変位 (mm)	最大 相対変位 (mm)	回数			選 定 理 由
		UCS	G/T	UCS	G/T	UCS	G/T			スクラム加速ガス圧力(kg/cm <sup>2</sup> )			
										2.8	1.4	0	
4	正弦波 同時加振	7.1	2.8	4680	1120	24	36	0	60	3	3	3	正弦波加振ケースで最大相対変位の最大ケース
16	正弦波 二次モード	7.1	17.7	3900		20	11	24	55	1	0	0	二次モードとして唯一のケース

(2) 計算モデルと計算式

計算モデルを図 3.14 に、計算式を表 3.11 に示す。

(3) 模擬炉心上部機構，CR案内管の変形モード

三菱殿作成の振動試験報告書<sup>1)</sup>に基づく。

a) 模擬炉心上部機構一次モード

同上報告書図 11-4 の一次振動モード<sup>1)</sup>を参考とする。

b) CR案内管一次モード

同上報告書図 11-5 の一次振動モード<sup>1)</sup>を参考とする。

c) CR案内管二次モード

同上報告書図 14-1 の二次振動モード<sup>2)</sup>を参考とする。

(4) CR挿入率評価ケース

次の 3 ケースを検討する。

a) 98 % 引抜位置

b) 100 % 挿入位置

c) 33.5 % 挿入位置（実機の定格出力運転時最大挿入深度位置）

(5) スクラム加振時発生最大荷重計算結果

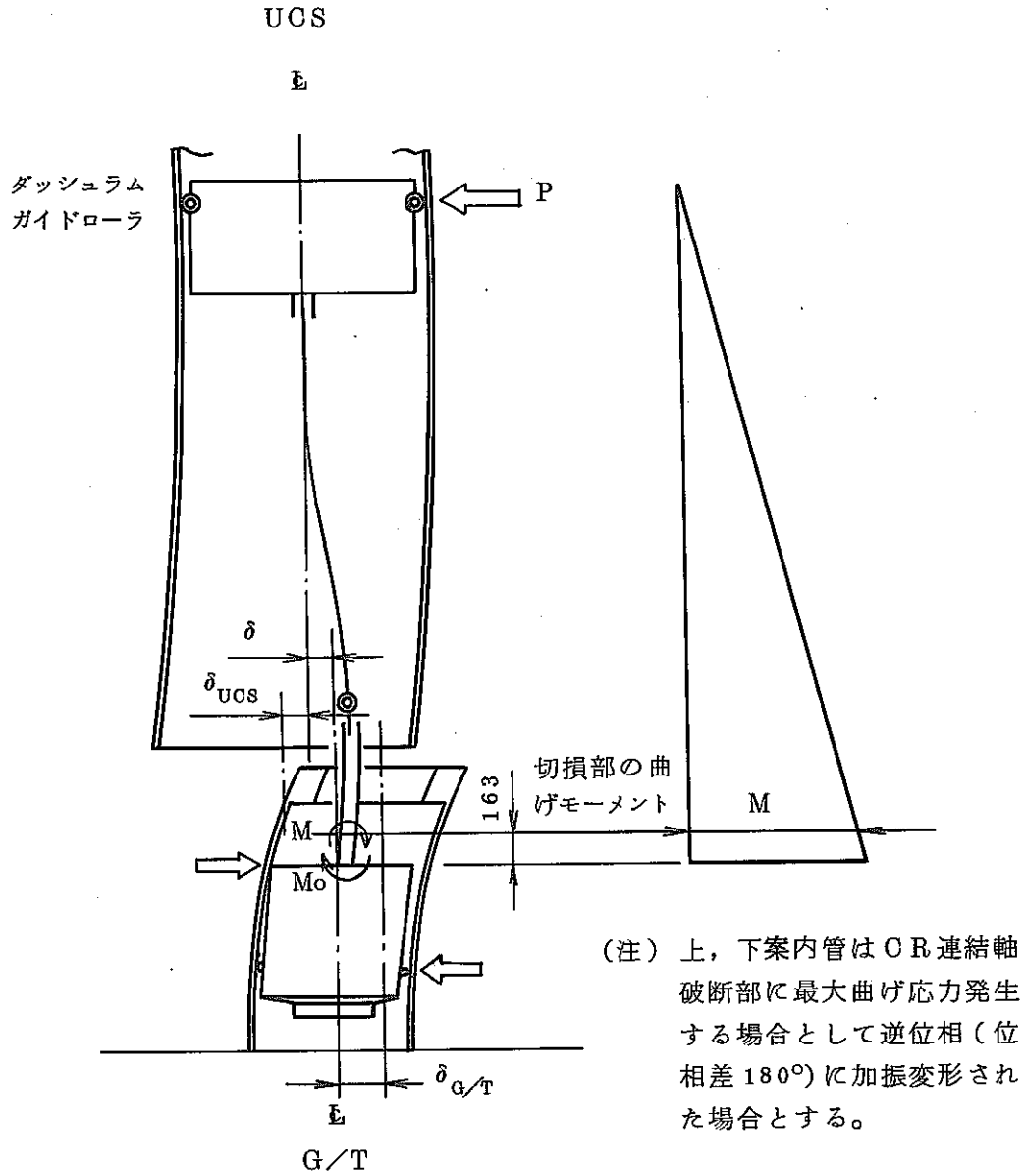
正弦波同時加振（試験 № 4）加振時と正弦波二次モード（試験 № 16）加振時の最大発生曲げモーメントと応力値を、それぞれ図 3.15 および図 3.16 に示す。二次モード加振の方は、98 % 引抜（2 % 挿入）位置、33.5 % 挿入位置では正弦波同時加振時より応力の最大値はやや大きい。しかし 100 % 挿入位置では逆に正弦波同時加振の方が大きい。正弦波加振のケースでは応力の最大値の変化は、二次モード加振ケースと比較して変化が小さい。そして 98 % 引抜位置と 100 % 挿入位置での最大値はほぼ同じ値を示し、中間位置ではやや低目の値を示している。

一方、二次モード加振時は挿入度が増加するに従い最大値は減少し、98 % 引抜位置に対して 100 % 挿入位置では半分程度の最大値となっている。

図 3.15 および図 3.16 の各 CR 挿入位置ごとモーメント（応力）値の棒グラフの上限値および下限値はそれぞれ次の条件として求めた。

a) 上限値：CR案内管上端変位方向とCRの倒れ方向が逆の場合

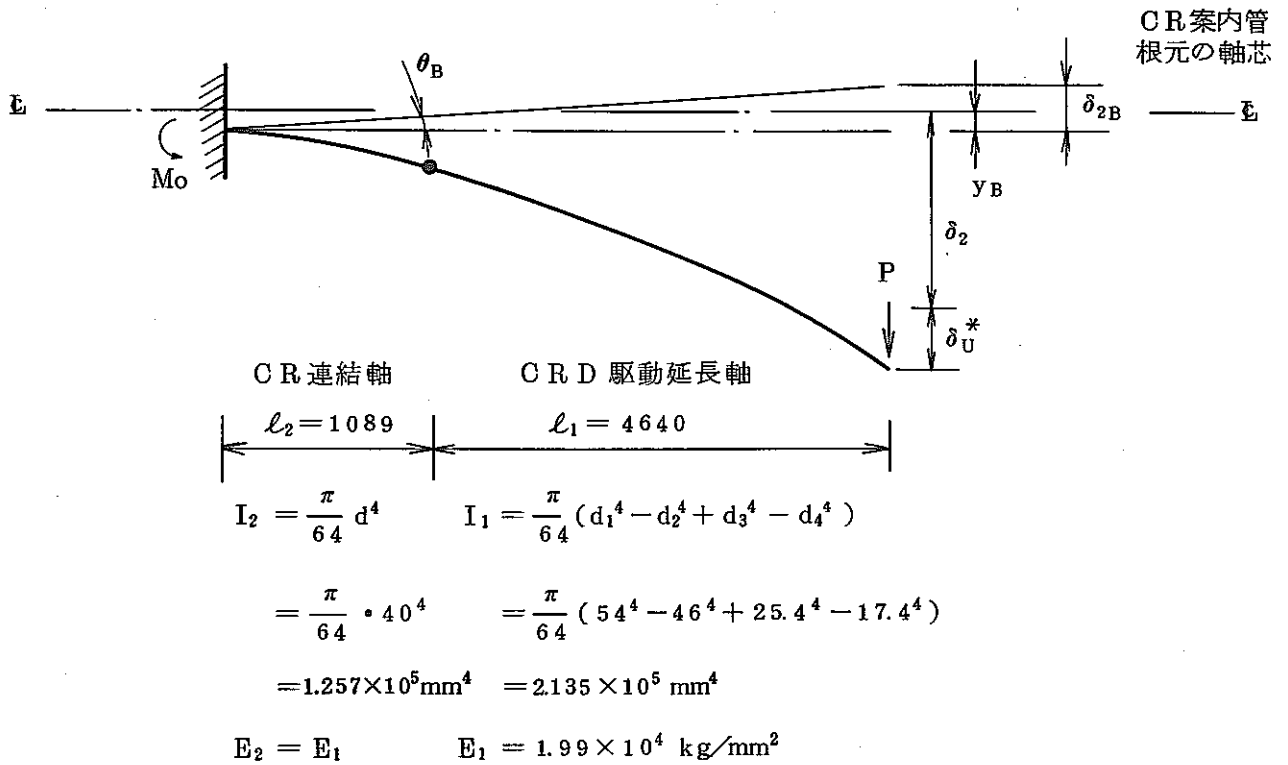
b) 下限値：CR案内管上端変位方向とCRの倒れ方向が同じ場合



- $\delta$  : 初期変位
- $\delta_{UCS}$  : UCSの先端変位
- $\delta_{G/T}$  : G/Tの先端変位
- $M$  : CR連結軸破断部の曲げモーメント
- $M_o$  : CR連結軸下端付根部の曲げモーメント

図 3.14 振動試験荷重パターン計算モデル

表 3.11 荷重計算式



- $d$  : CR連結軸外径 :  $\phi 40$        $\theta_B$  : CR連結軸根元でのたわみ角  
 $d_1$  : CRD駆動延長軸外径 :  $\phi 54$        $\delta_{2B}$  :  $\theta_B$ による変位 =  $\theta_B (l_1 + l_2)$   
 $d_2$  : CRD駆動延長軸内径 :  $\phi 46$        $y_B$  : CR連結軸根元の芯ずれ量  
 $d_3$  : ラッチ軸外径 :  $\phi 25.4$        $\delta_2$  : 初期変位  
 $d_4$  : ラッチ軸内径 :  $\phi 17.4$        $\delta_U^*$  : CRDダッシュラム位置の芯ずれ量

反力	$P = K_T (\delta_{2B} - y_B + \delta_2 + \delta_U^*)$ $\frac{1}{K_T} = \frac{l_1^3}{3E_1 I_1} + \frac{l_2}{3E_2 I_2} (l_2^2 + 3l_1 l_2 + 3l_1^2)$
モーメント	$M_o = P (l_1 + l_2)$
曲げ応力	$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{M}{\frac{\pi}{32} d^4}$

注) 記号は上図を参照

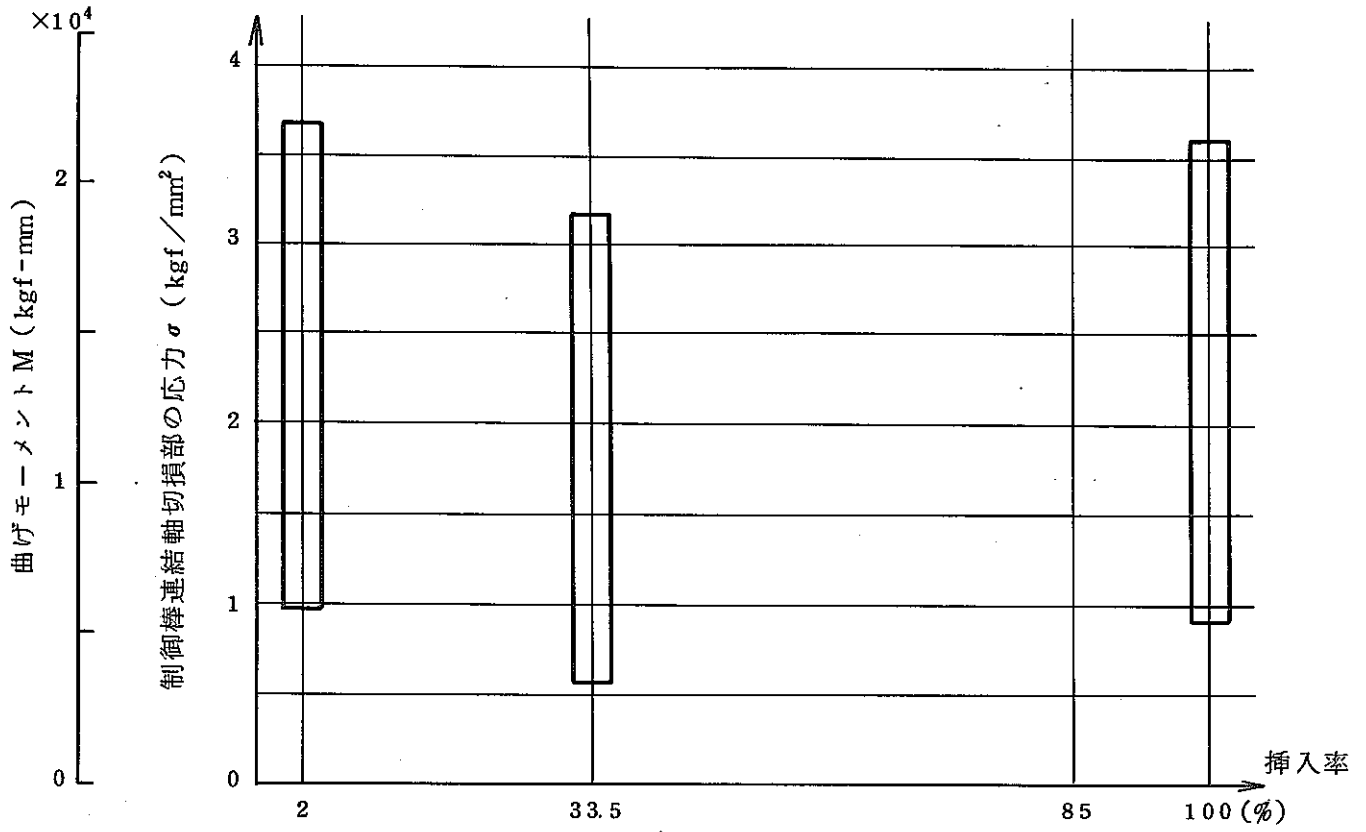


図 3.15 正弦波同時加振 (試験 № 4) 時の最大荷重 (計算値)

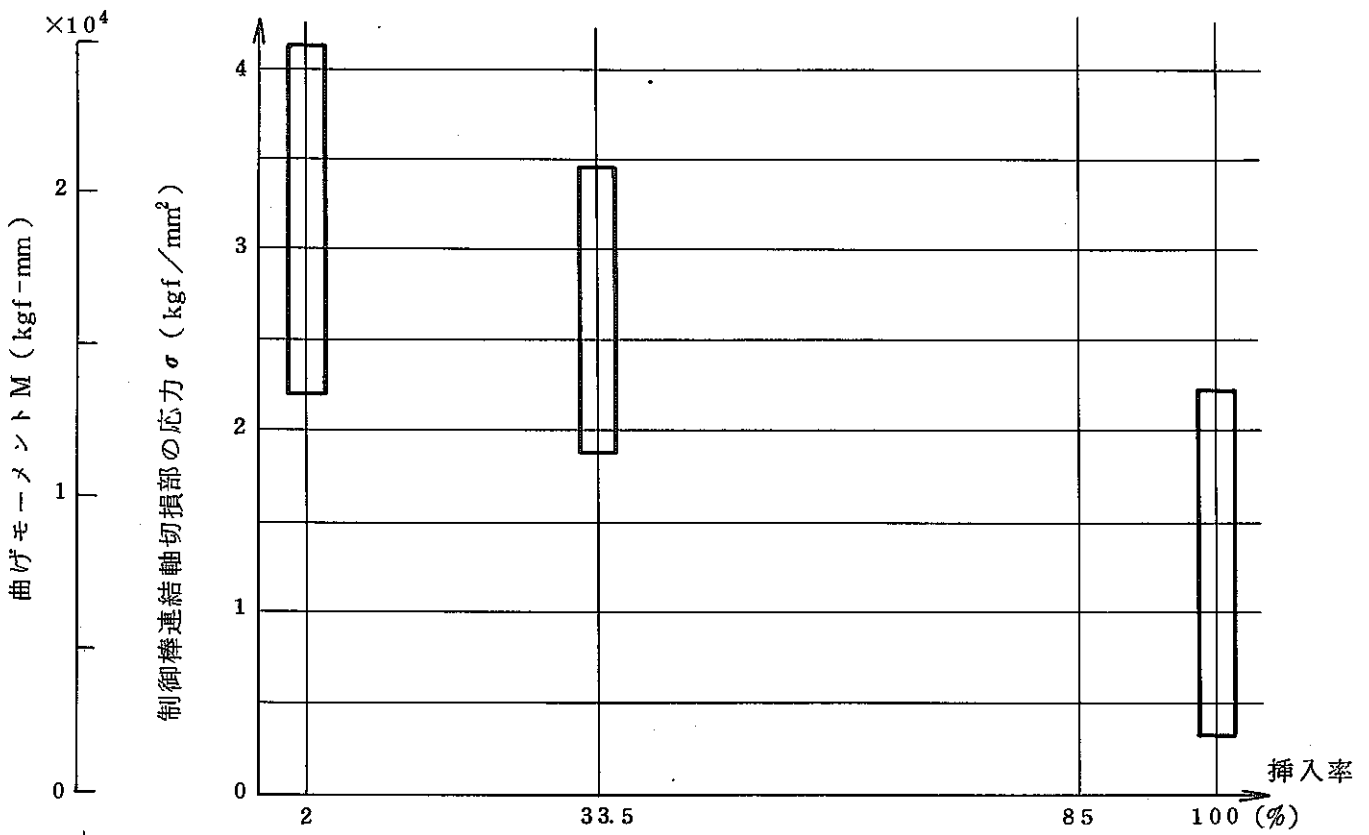


図 3.16 正弦波 (二次モード) 加振 (試験 № 16) 時の最大荷重 (計算値)

静的変形では b) は生じることはないと考えられるが動的加振時には a) と b) はどちらの変形モードも発生していると考えられる。

(6) 実験時荷重パターンの推定

a) 加振時間

各試験ケースごとの加振時間はほぼ次のとおりと推定される。(予備加振時間を含む)

- i) 正弦波同時加振 : 90 (s/回)
- ii) 正弦波単独加振 : 40 (s/回)
- iii) 地震波同時加振 : 30 (s/回)
- iv) 正弦波二次モード加振 : 小計 450 (s)

b) 荷重パターンの推定

UCS および OR 案内管加振振動数をそれぞれ  $f_u$  と  $f_c$  とすると、荷重パターン上、最大相対変位を生じて、最も厳しい変形モードの発生周波数( $f$ )は、 $f = |f_u - f_c|$  で算出される。各試験ケースごと最も厳しい変形モードの繰返回数下表のとおりと推定される。

\*...算定上仮定

試験 №	加 振 波	発生周波数 $f$ (Hz)	繰 返 回 数
2 ~ 4	正弦波同時加振	4.3	10,450
5 ~ 7	正弦波単独加振	7.1	6,530
8 ~ 10		2.8	2,350
11	正弦波 振動数 依存性調査 加 振	7.1	1,700
12		1.1	2,200
13		5	600
14		4.3	1,160
15		6	1,620
16	正弦波二次モード	10.6	4,770
17 ~ 19	地震波加振	(4.3)*	1,550
	計		32,930

上表では静的スクラム試験および駆動部単独加振ケースは変形モード上顕著な応力を発生しないので除外した。

図 3.15 および図 3.16 の最大曲げモーメント(応力)は、CR案内管の変位方向とCRの変位が $180^\circ$  逆位相の場合発生する。上表に示すとおり最大相対変位を生じる最も厳しい、上・下案内管の変形モードの繰返回数は約 33,000 回と推定されるが、上述 1.2 節に記したとおり断面に対する有意な応力の繰返し回数約 3000 回と推定され、回数として $\frac{1}{10}$  程度となっている。加振下での変形において、最大相対変位が生じる変形において、CR案内管の変位方向とCRの倒れ方向が逆となるケースが $\frac{1}{10}$  程度あったかと推定される。

CR案内管振動特性試験結果(加振加速度 $50\text{ cm/s}^2$ の場合)では、1次モードとして $2.7(\text{Hz})$ および $3.6(\text{Hz})$ に分離して2つの接近した値の固有値を有することが、素因の一つとして働いているかもしれないと考えられる。



## 4. 試験後分解検査

### 4.1 概要

本試験後分解検査においては、次の検査を行った。

- (1) 外観検査
- (2) 寸法検査
- (3) ネジ部のゆるみ等の異常調査
- (4) シール部漏洩試験
- (5) 電気品絶縁劣化の有無検査

### 4.2 外観検査

#### (1) 主要部品外観検査

本検査においては、試験体の、分解された主要構成部品の外観を目視により検査して、表面の傷、変色等の異常の有無及び状態を確認した。

また、写真撮影及びスケッチを行った。

検査箇所は、次のとおりである。

#### (a) 微調整棒駆動機構

- |                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| (i) 主駆動モータ部                    | (図 4.1 参照)         |
| (ii) ボールスクリュアアッセンブリー           | (図 4.1, 図 4.2 参照)  |
| (iii) スプリングケーブル                | (図 4.2 参照)         |
| (iv) ボールラッチロッド                 | (図 4.2 参照)         |
| (v) ハウジング                      | (図 4.1 参照)         |
| (vi) マグネットリンク機構                | (図 4.1 ~ 図 4.3 参照) |
| (vii) ピストン (駆動延長軸)             | (図 4.1 参照)         |
| (viii) 駆動延長軸の最上部 (マグネットリンク機構部) | (図 4.1 参照)         |
| (ix) 案内管の最下部                   | (図 4.1 参照)         |
| (x) 駆動延長軸 (ボールラッチ機構部)          | (図 4.1 参照)         |
| (xi) 駆動延長軸の下部                  | (図 4.1 参照)         |
| (xii) グリッパ部                    | (図 4.1 参照)         |
| (xiii) ラッチ棒の中間部                | (図 4.1 参照)         |

(b) 微調整棒

(i) ハンドリングヘッド (図 4.4 参照)

(ii) 連結軸 (図 4.4 参照)

(iii) 保護管 (図 4.4 参照)

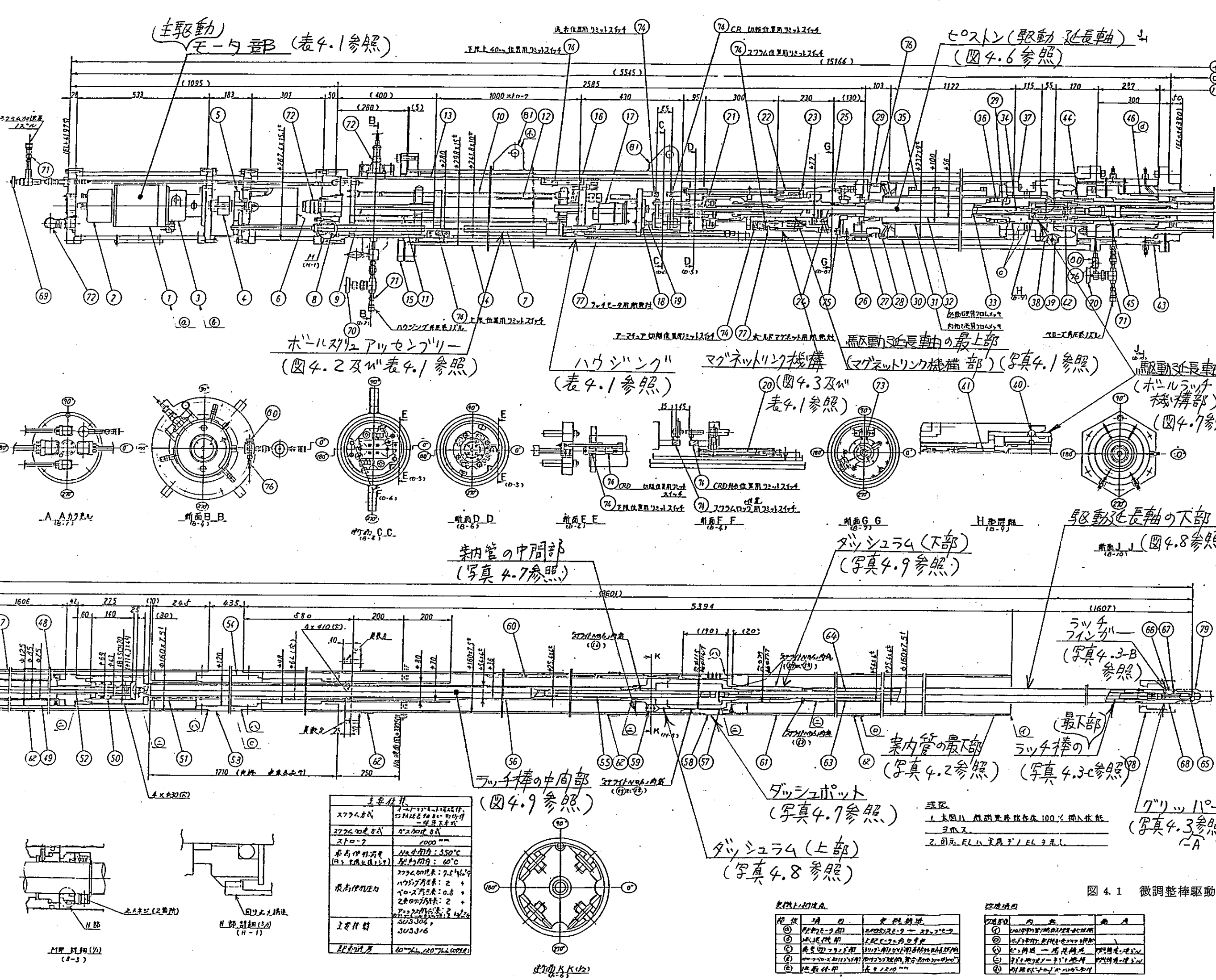
(c) 微調整棒案内管

(i) ハンドリングヘッド (図 4.5 参照)

(ii) ラップ管 (図 4.5 参照)

(iii) エントランスノズル (図 4.5 参照)

検査結果を、表 4.1 (1/2)、表 4.1 (2/2)、図 4.6～図 4.9 及び写真 4.1～写真 4.6 に示す。



部品番号	品名	数量	材料	規格	備考
80	ハウジング	2	SUS304		
79	マグネットリンク機構	2	鋼材		
78	駆動延長軸	1			
77	マグネットリンク機構	2	鋼材		
76	マグネットリンク機構	3	鋼材		
75	マグネットリンク機構	1			
74	マグネットリンク機構	16			
73	マグネットリンク機構	2			
72	マグネットリンク機構	74			
71	マグネットリンク機構	3			
70	マグネットリンク機構	1			
69	マグネットリンク機構	2			
68	マグネットリンク機構	1			
67	マグネットリンク機構	3			
66	マグネットリンク機構	3			
65	マグネットリンク機構	1			
64	マグネットリンク機構	1			
63	マグネットリンク機構	1			
62	マグネットリンク機構	6			
61	マグネットリンク機構	1			
60	マグネットリンク機構	1			
59	マグネットリンク機構	6			
58	マグネットリンク機構	1			
57	マグネットリンク機構	1			
56	マグネットリンク機構	1			
55	マグネットリンク機構	1			
54	マグネットリンク機構	1			
53	マグネットリンク機構	1			
52	マグネットリンク機構	1			
51	マグネットリンク機構	1			
50	マグネットリンク機構	1			
49	マグネットリンク機構	1			
48	マグネットリンク機構	1			
47	マグネットリンク機構	1			
46	マグネットリンク機構	1			
45	マグネットリンク機構	1			
44	マグネットリンク機構	1			
43	マグネットリンク機構	1			
42	マグネットリンク機構	1			
41	マグネットリンク機構	1			
40	マグネットリンク機構	1			
39	マグネットリンク機構	6			
38	マグネットリンク機構	1			
37	マグネットリンク機構	1			
36	マグネットリンク機構	1			
35	マグネットリンク機構	1			
34	マグネットリンク機構	1			
33	マグネットリンク機構	1			
32	マグネットリンク機構	1			
31	マグネットリンク機構	1			
30	マグネットリンク機構	1			
29	マグネットリンク機構	1			
28	マグネットリンク機構	1			
27	マグネットリンク機構	1			
26	マグネットリンク機構	2			
25	マグネットリンク機構	3			
24	マグネットリンク機構	3			
23	マグネットリンク機構	1			
22	マグネットリンク機構	1			
21	マグネットリンク機構	1			
20	マグネットリンク機構	2			
19	マグネットリンク機構	2			
18	マグネットリンク機構	1			
17	マグネットリンク機構	1			
16	マグネットリンク機構	1			
15	マグネットリンク機構	1			
14	マグネットリンク機構	1			
13	マグネットリンク機構	1			
12	マグネットリンク機構	1			
11	マグネットリンク機構	1			
10	マグネットリンク機構	1			
9	マグネットリンク機構	1			
8	マグネットリンク機構	2			
7	マグネットリンク機構	2			
6	マグネットリンク機構	1			
5	マグネットリンク機構	1			
4	マグネットリンク機構	1			
3	マグネットリンク機構	1			
2	マグネットリンク機構	1			
1	マグネットリンク機構	1			

図 4.1 微調整棒駆動機構主要部品外観検査箇所

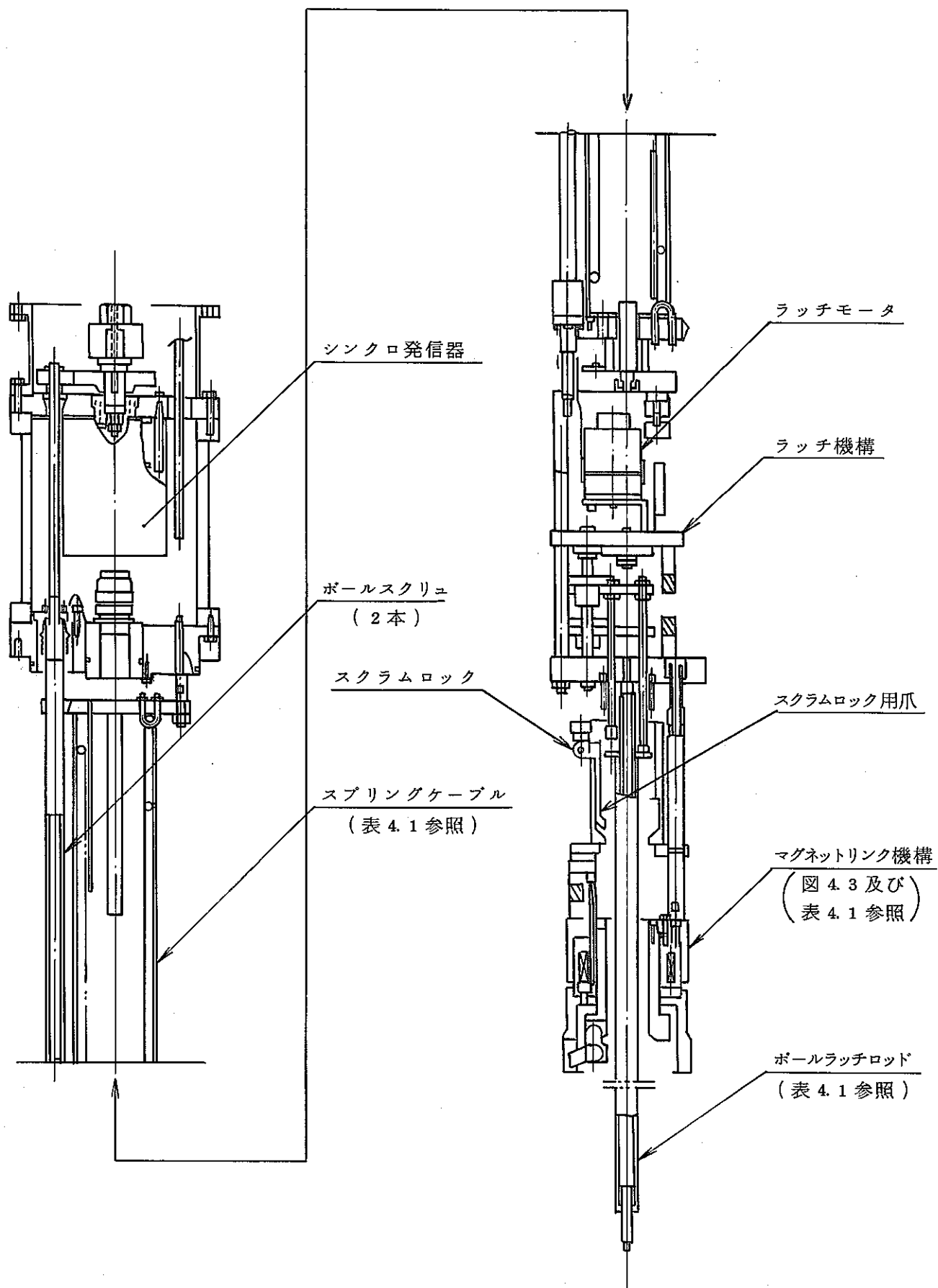


図 4.2 ボールスクリュアッセンブリ-外觀検査箇所

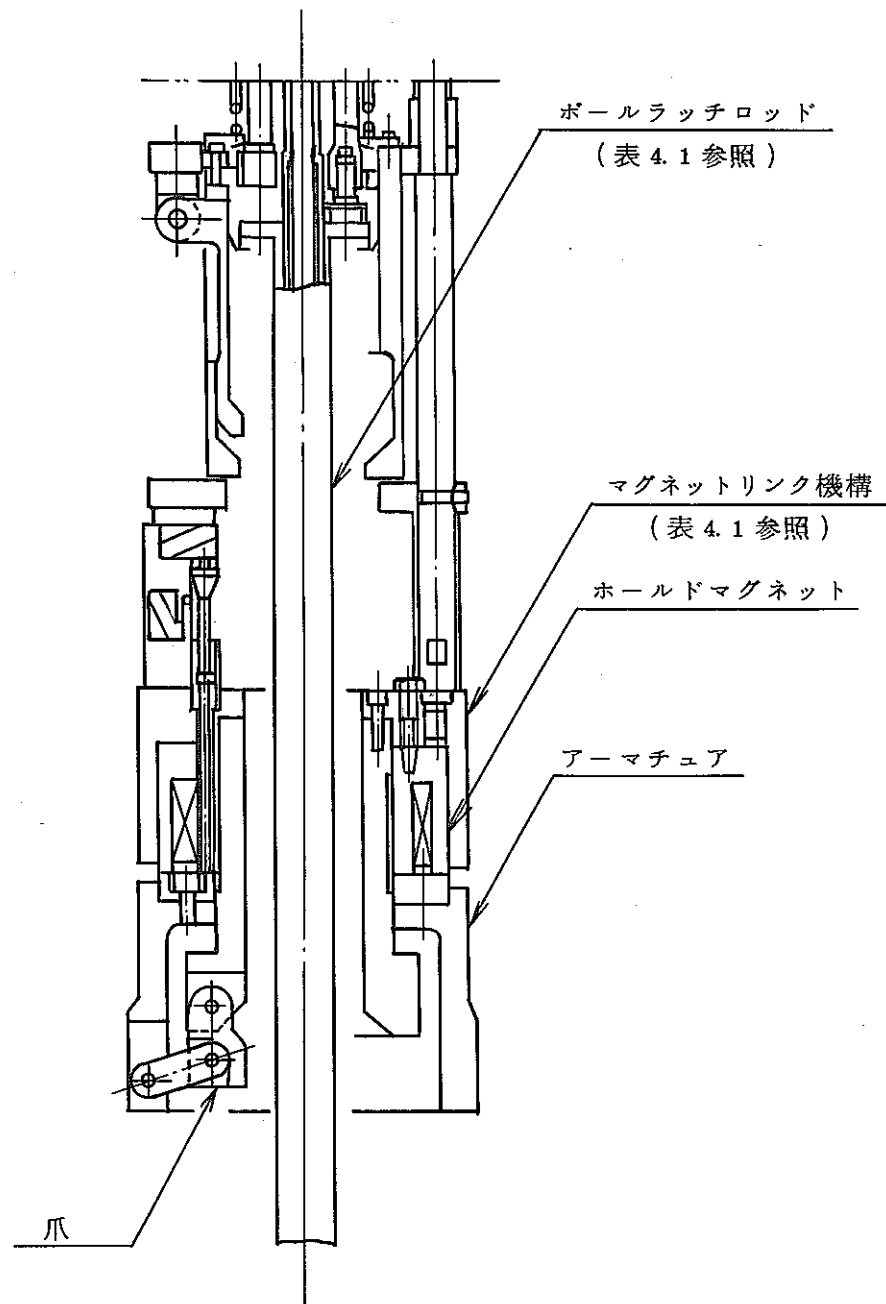
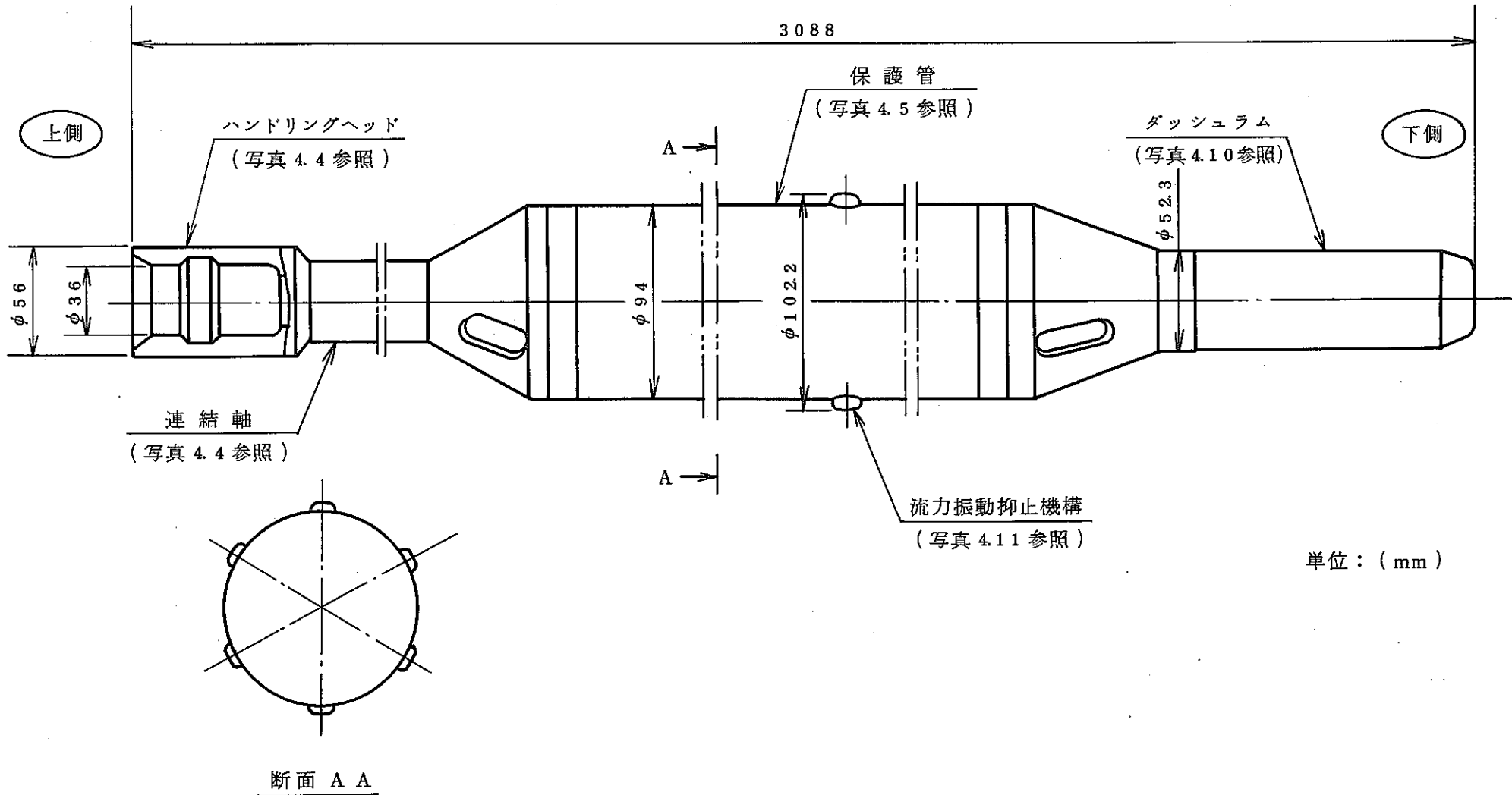


図 4.3 マグネットリンク機構外観検査箇所



単位：(mm)

図 4.4 微調整棒主要部品外観検査箇所

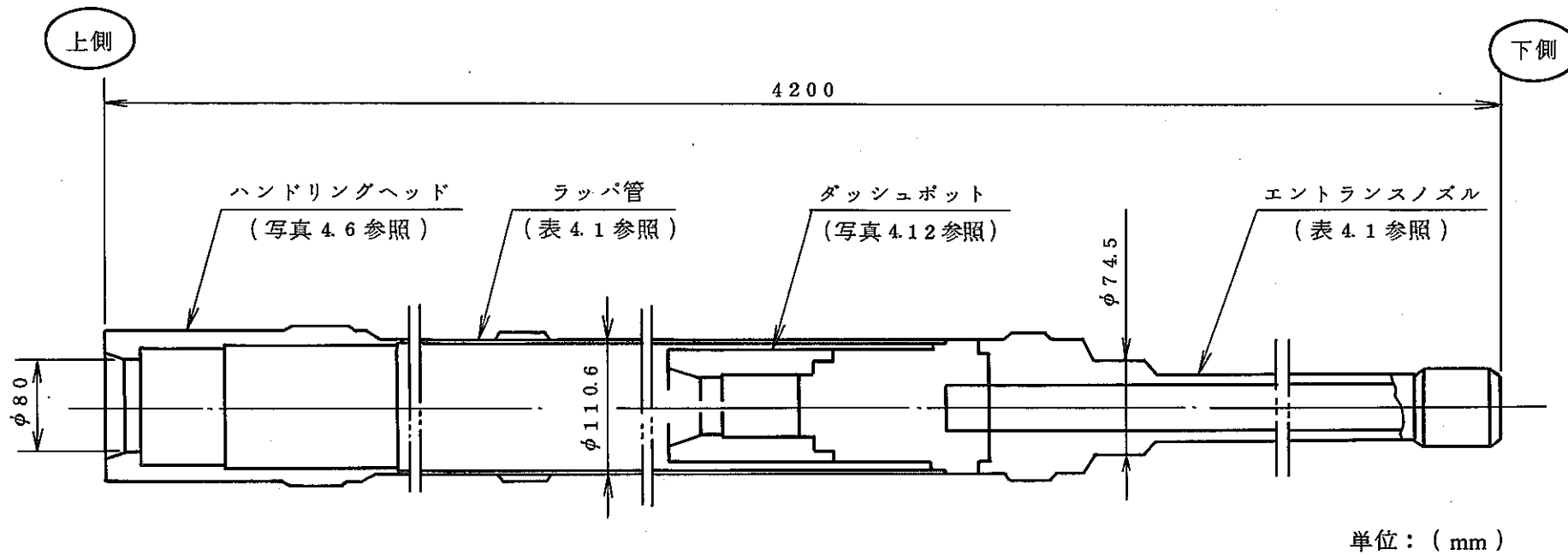


図 4.5 微調整棒案内管主要部品外観検査箇所

表 4.1 主要部品外観検査結果 (1/2)

機器名	No.	品名	員数	検査結果		備考
				内容	写真, 図	
微調整棒 駆動機構 駆動部	1	主駆動モータ部	1式	異常なし。	—	図 4.1 参照
	2	ボールスクリュアッセンブリー	1式	異常なし。	—	図 4.2 参照
	3	スプリングケーブル	1	ボールネジ及びスプリングケーブルガイドとの接触傷あり。	—	図 4.2 参照
	4	ボールラッチロッド	1	外表面に軸方向摺動傷あり。 (深さ 0.05 mm 以下)	—	図 4.2 参照
	5	ハウジング	1	異常なし。	—	図 4.1 参照
	6	マグネットリンク機構	1式	爪に圧こん及び軸方向摺動傷あり。	—	図 4.3 参照
	7	ピストン (駆動延長軸)	1	カップリングの溝部に圧こんあり。	図 4.6	図 4.1 参照
	8	駆動延長軸の最上部 (マグネットリンク機構部)	1	圧こん及び摺動傷あり。	写真 4.1	図 4.1 参照
微調整棒 駆動機構 上部案内管	9	案内管の最下部	1	内面に軸方向摺動傷あり。	写真 4.2	図 4.1 参照
	10	駆動延長軸 (ボールラッチ機構部)	1	駆動延長軸外面に軸方向摺動傷, ボールラッチ機構のボールに圧こんあり。	図 4.7	図 4.1 参照



表 4.1 主要部品外観検査結果 (2/2)

機器名	No	品名	員数	検査結果		備考
				内容	写真, 図	
微調整棒 駆動機構 上部案内管	11	駆動延長軸の下部	1	約180°反対方向に軸方向摺動傷が計2箇所あり。	図 4.8	図 4.1 参照
	12	グリッパー部	1式	軸方向摺動傷, 振動接触による傷あり。	図 4.8 写真 4.3 - A ~ C	図 4.1 参照
	13	ラッチ棒の中間部	1	圧こん, 振動接触による傷あり。	図 4.9	図 4.1 参照
微調整棒	14	ハンドリングヘッド	1	圧こん, 軸方向摺動傷, 振動接触による傷あり。	写真 4.4	図 4.4 参照
	15	連結軸	1	圧こん, 軸方向摺動傷あり。	写真 4.4	図 4.4 参照
	16	保護管	1	上端部と下端部に軸方向摺動傷あり。	写真 4.5	図 4.4 参照
調整棒 下部案内管	17	ハンドリングヘッド	1	圧こん, 軸方向摺動傷あり。	写真 4.6	図 4.5 参照
	18	ラッパ管	1	内面に軸方向摺動傷あり。	—	図 4.5 参照
	19	エントランスノズル	1	模擬炉心支持構造物との取合部に振動接触による傷あり。	—	図 4.5 参照

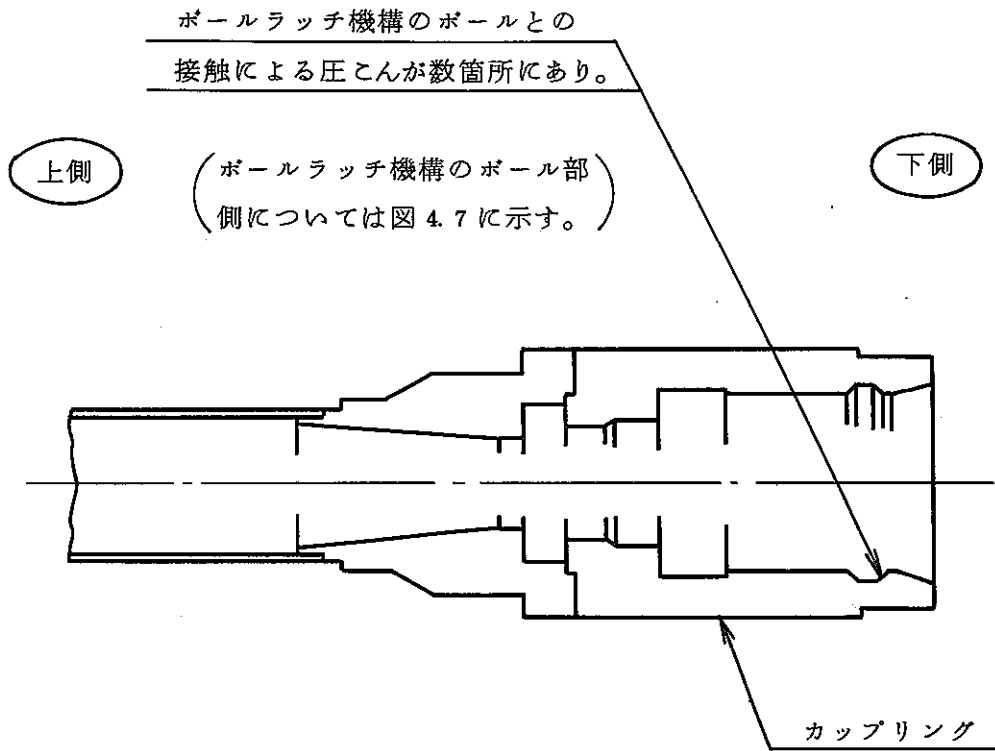


図 4.6 ピストン (駆動延長軸) 外観検査結果

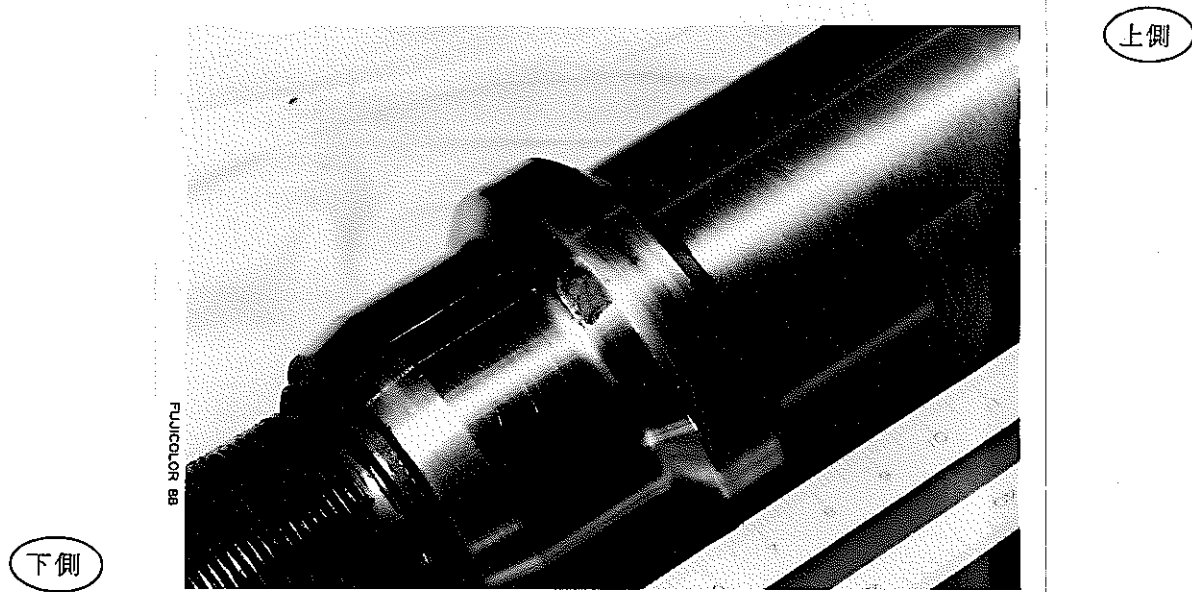
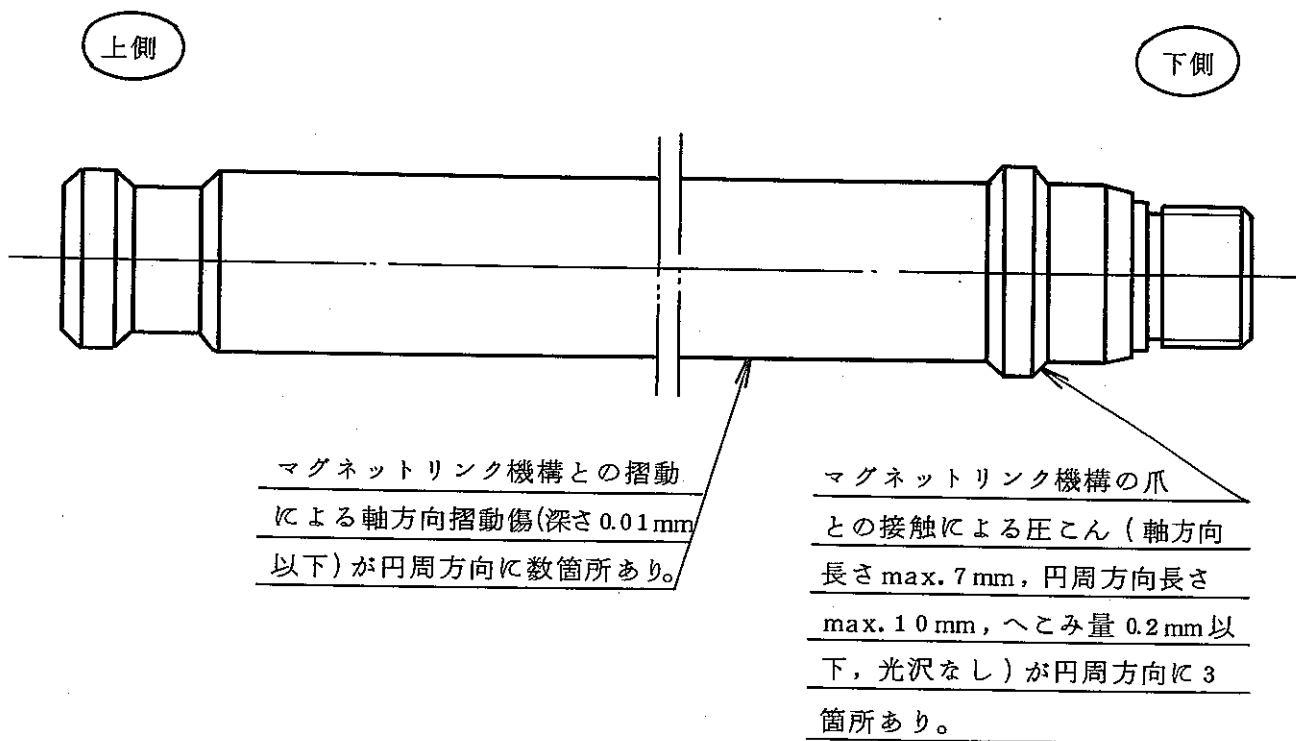
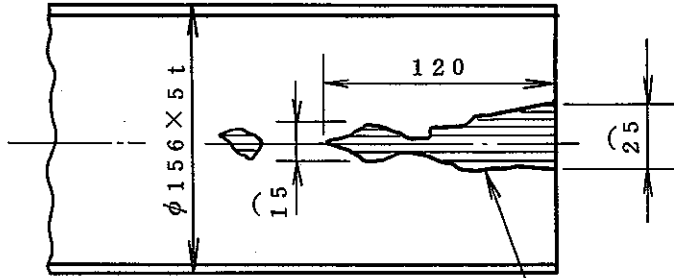


写真 4.1 駆動延長軸の最上部(マグネットリンク機構部)

上側

下側

単位：( mm )



駆動延長軸との摺動による軸方向摺動傷  
(深さ 0.03 mm 以下, 先端近くは, ざらざらしているが, それ以外は, 滑らかである。)

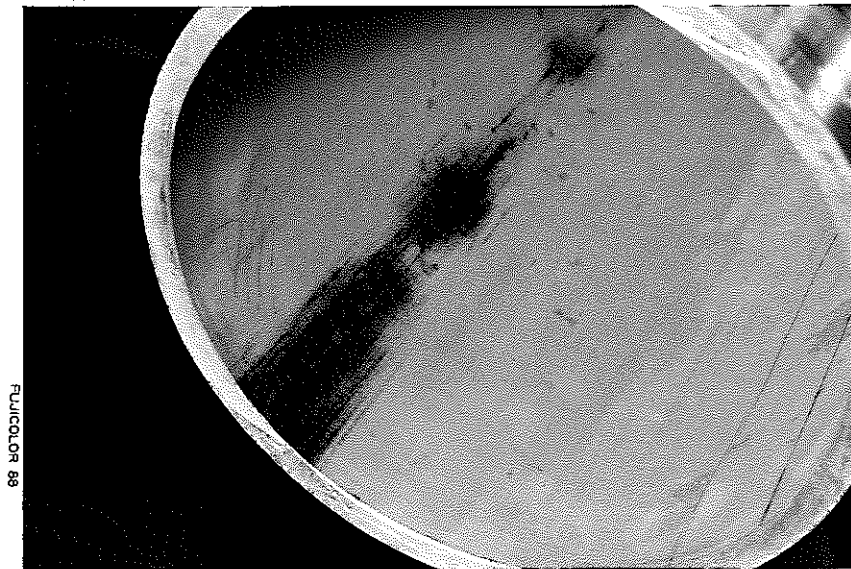


写真 4.2 上部案内管の最下部

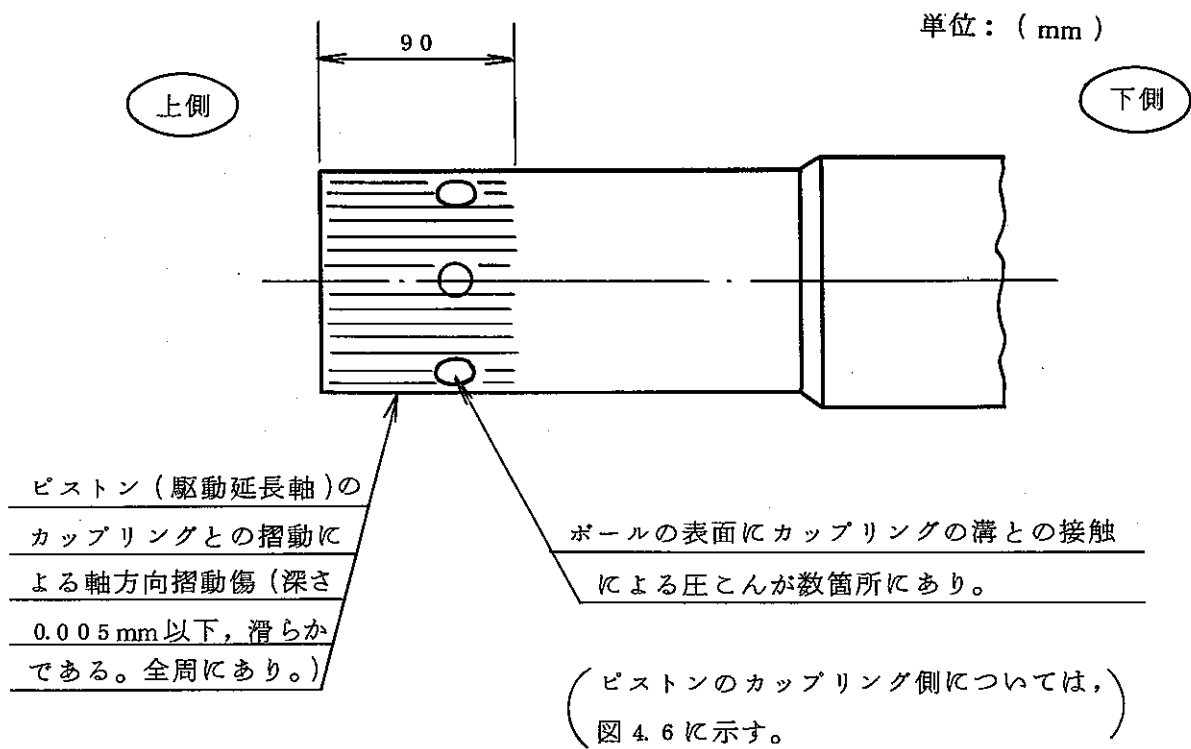


図 4.7 駆動延長軸（ボールラッチ機構部）外観検査結果

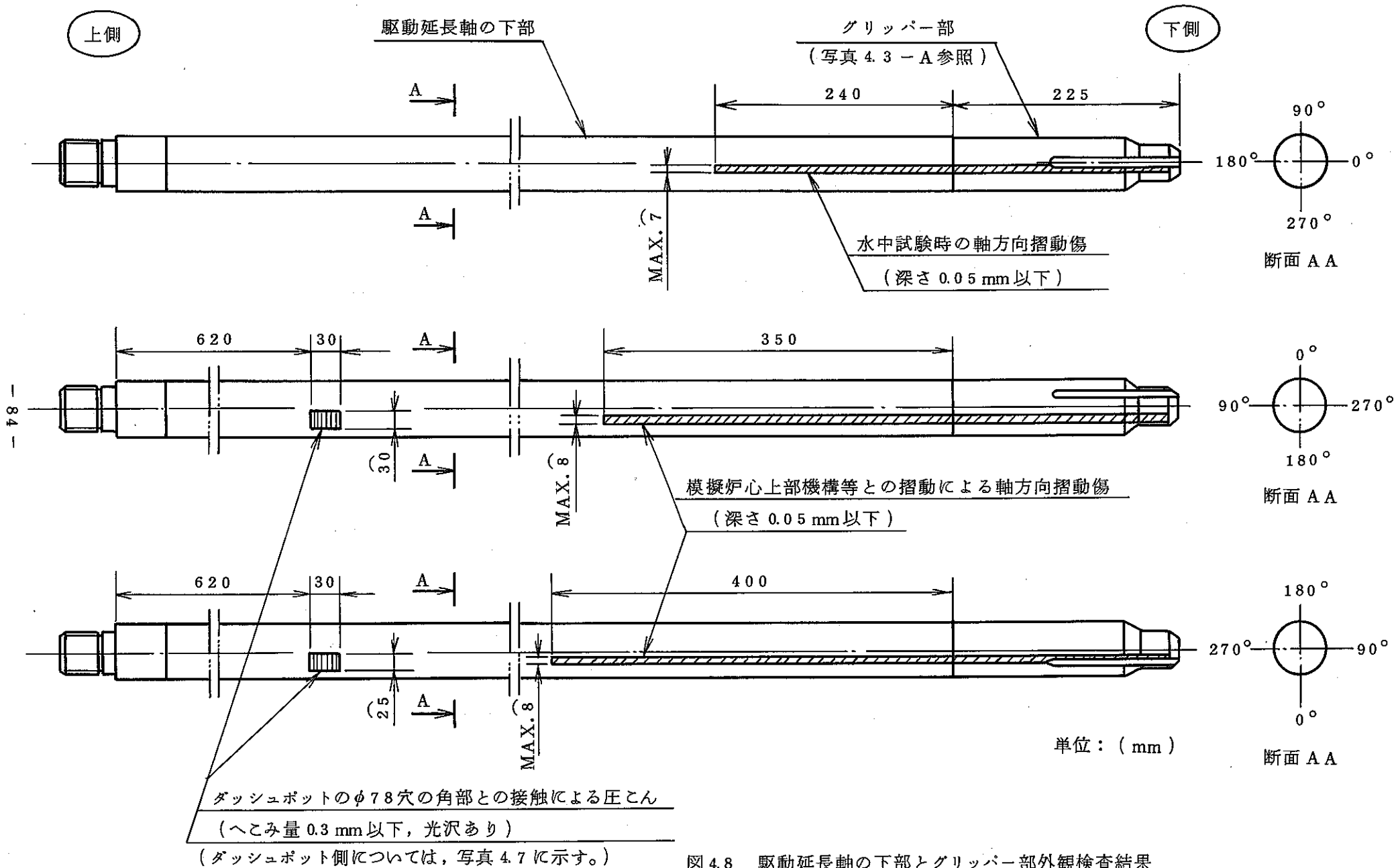
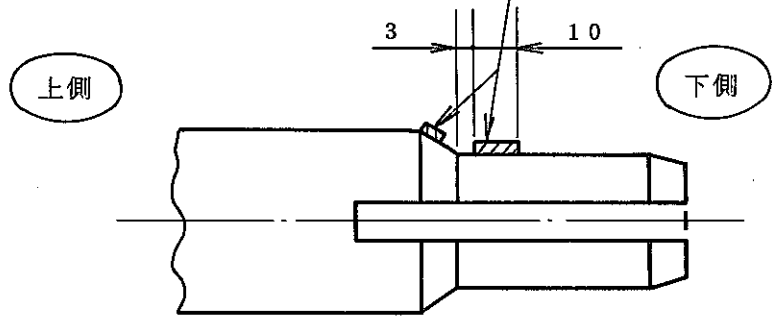


図 4.8 駆動延長軸の下部とグripper部外観検査結果

微調整棒のハンドリングヘッドとの振動

接触による傷（深さ 0.015 mm 以下，錆肌状，  
全周にあり。）

（微調整棒のハンドリングヘッドを写真 4.4 に示す。）



単位：( mm )

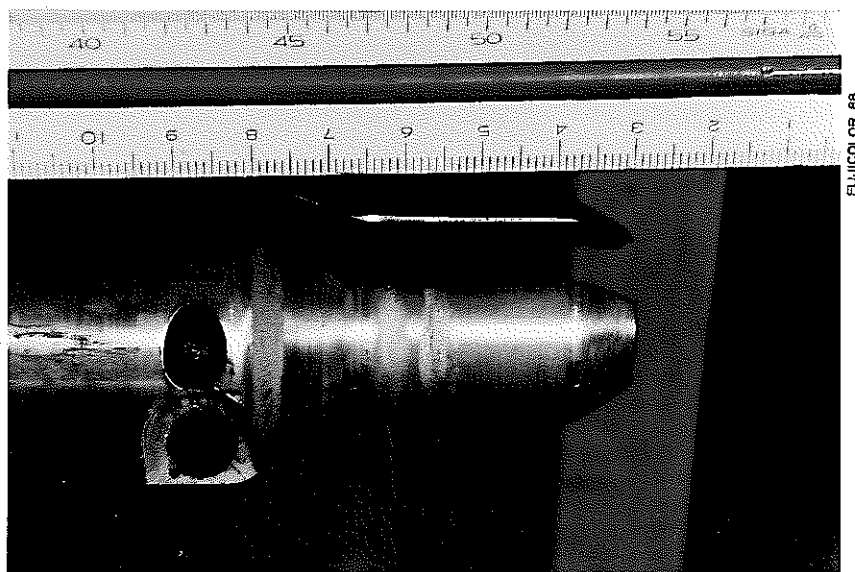


写真 4.3 - A グリッパー部（ハウジング部）

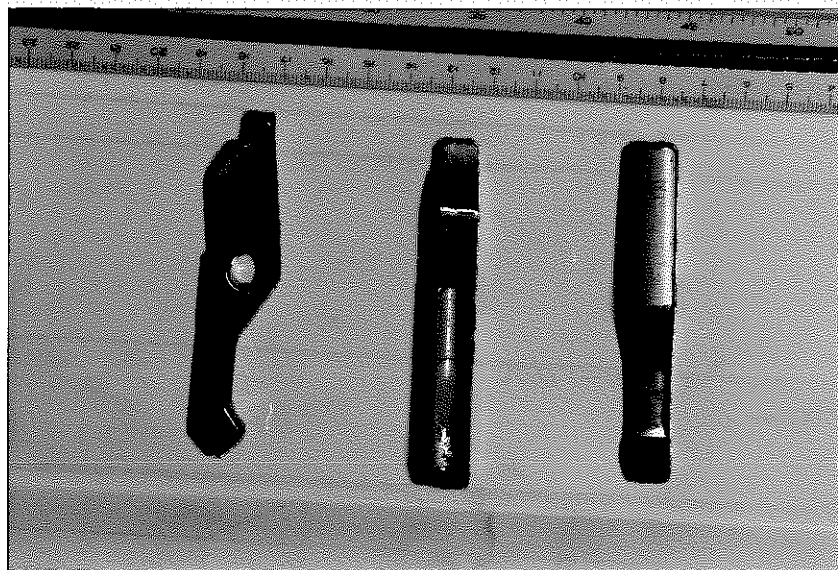
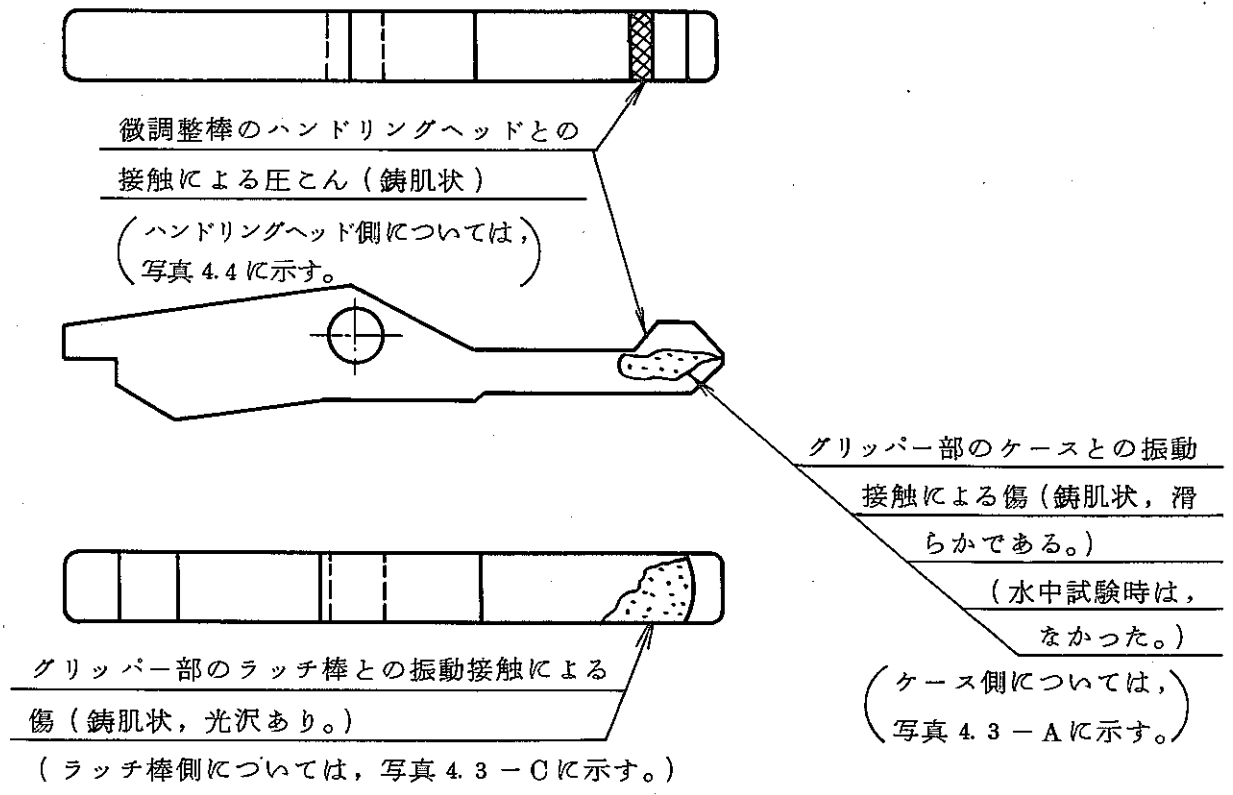
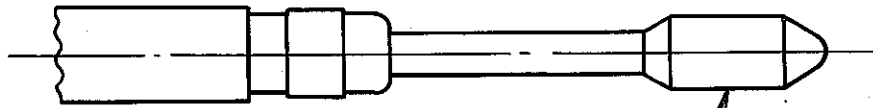


写真4.3-B グリッパー部（ラッチフィンガー）



上側

下側



グリップ部のラッチフィンガー及びケースとの振動接触による傷（錆肌状，滑らかである。）

（ ケース側については，写真4.3-A に，ラッチフィンガー側については，写真4.3-Bに示す。

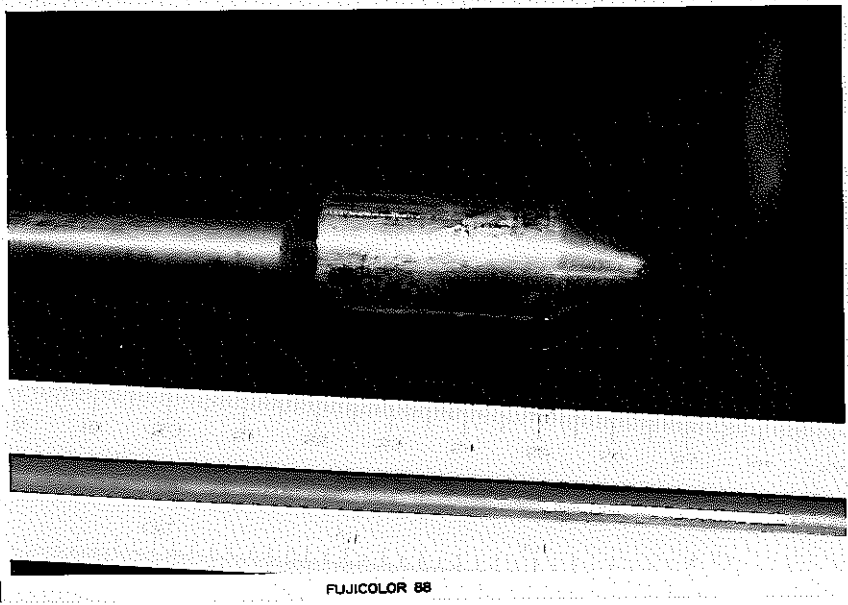


写真4.3-C グリッパー部（ラッチ棒ヘッド）

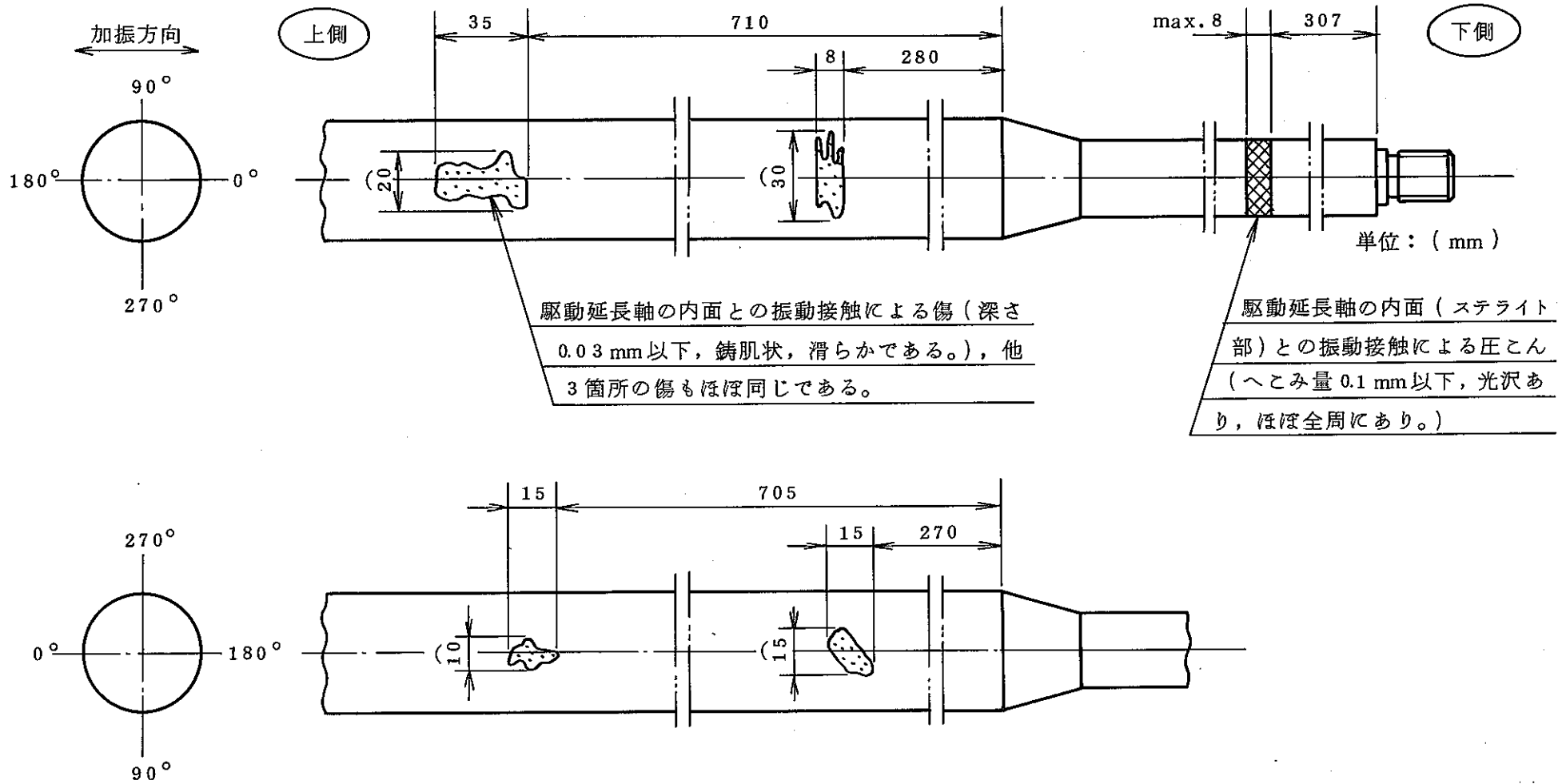
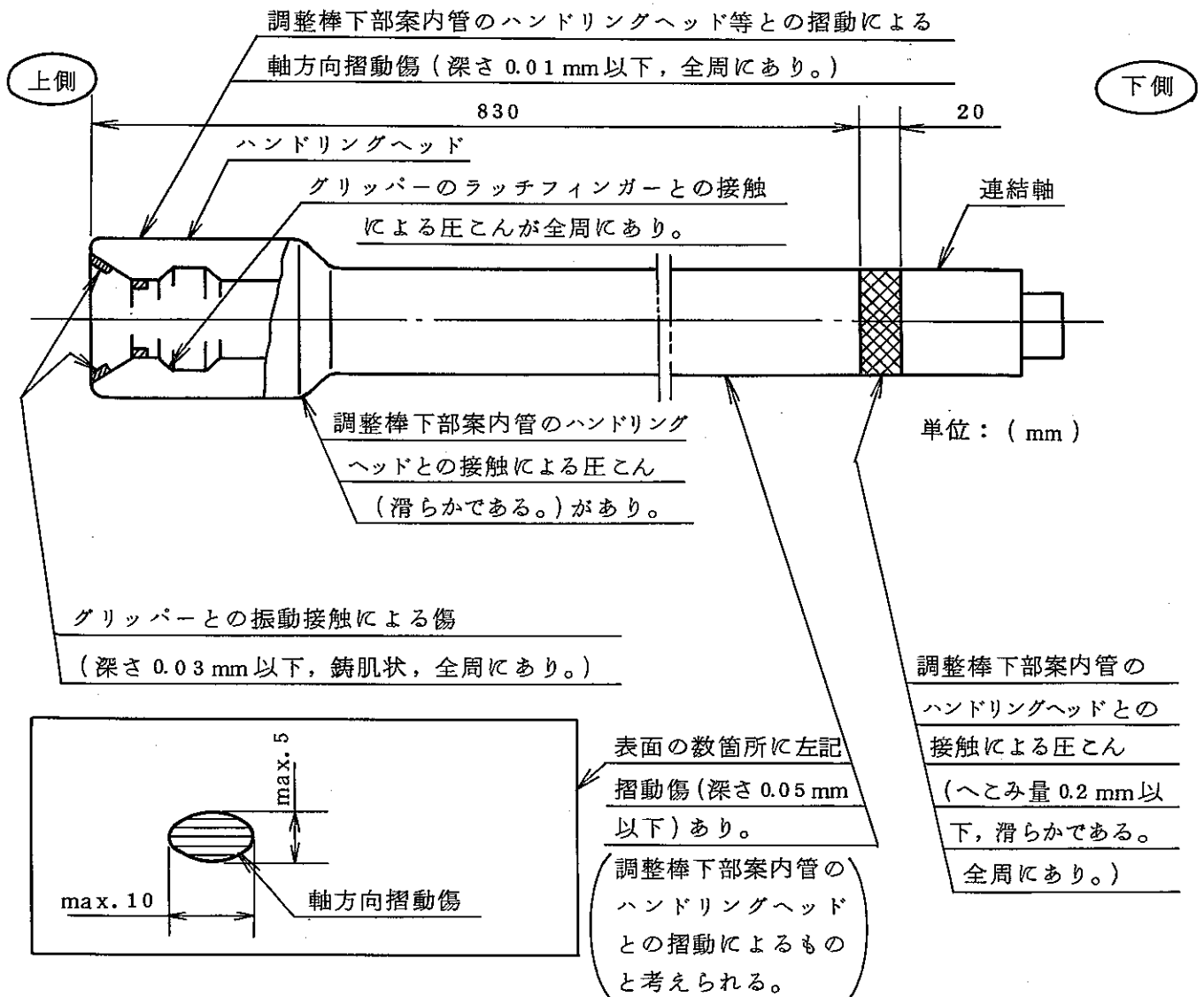


図 4.9 ラッチ棒の中間部外観検査結果



(グリッパー側については、写真 4.3 に、調整棒下部案内管のハンドリングヘッド側については、  
写真 4.6 に示す。)

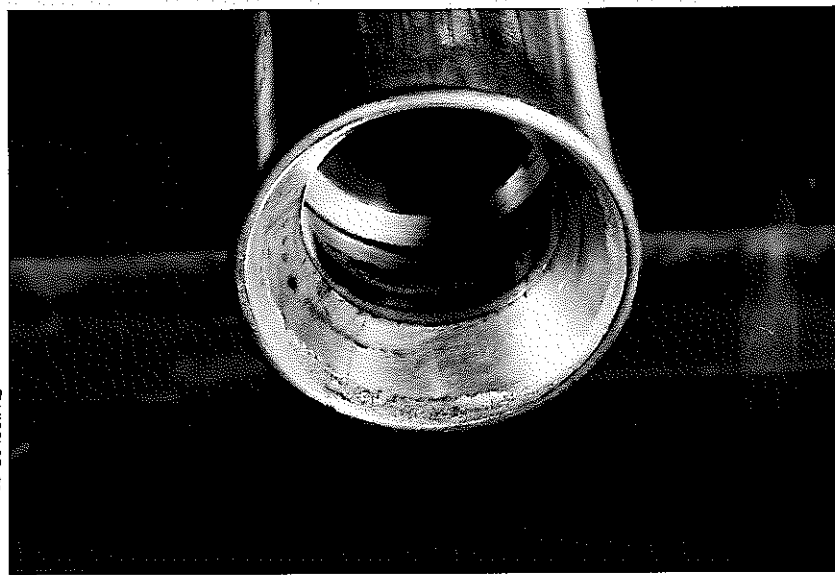
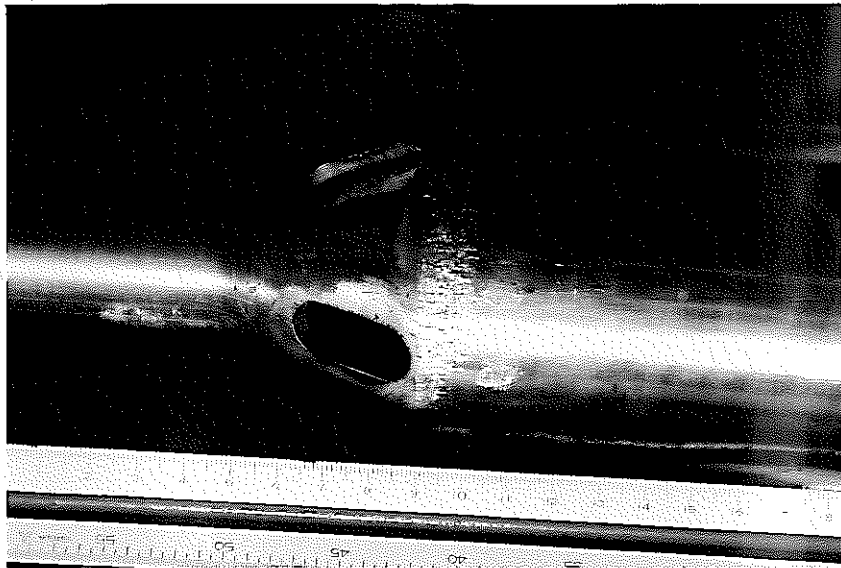


写真 4.4 微調整棒ハンドリングヘッド及び連結軸

上側



下側

(上部) 表面に調整棒下部案内管の内面との摺動による軸方向摺動傷  
(深さ 0.07 mm 以下, ざらざらしている。)

上側



下側

(下部) 表面に軸方向摺動傷  
(深さ 0.03 mm 以下, ざらざらしている。)

写真 4.5 微調整棒の保護管

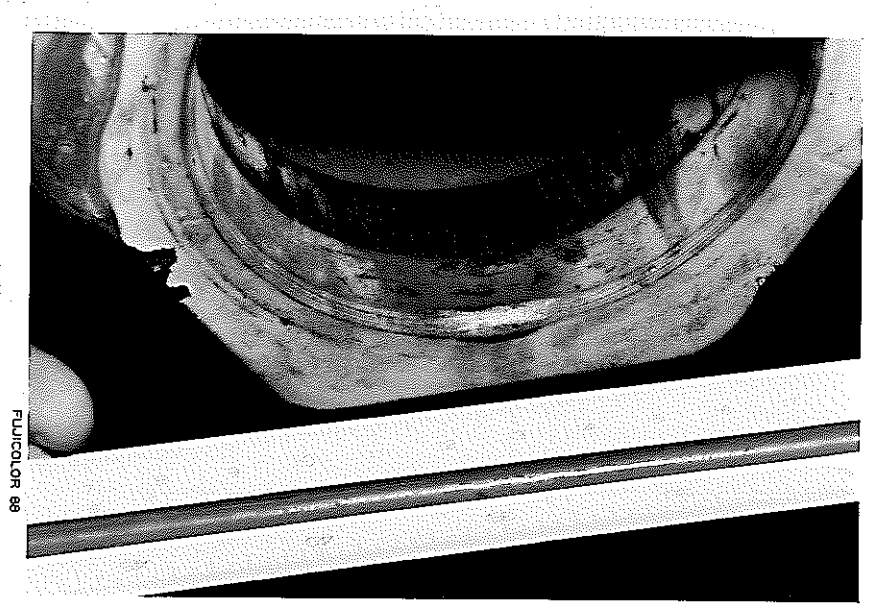
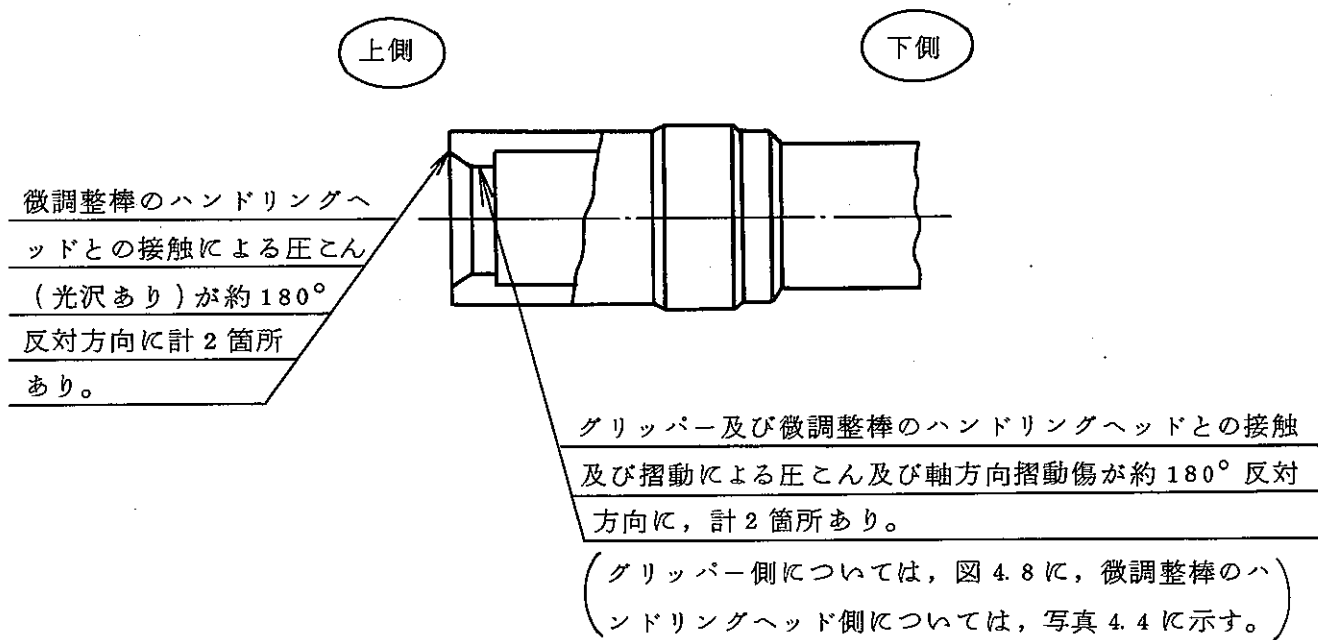


写真 4.6 微調整棒案内管ハンドリングヘッド

## (2) 摺動部外観検査

本検査においては、試験体の、分解された構成部品の摺動部の外観を目視により検査し、摺動傷の有無及び状態を確認した。

また、写真撮影及びスケッチを行った。

検査箇所は、次のとおりである。

### (a) 微調整棒駆動機構

(i) ダッシュポット (図 4.1 参照)

(ii) ダッシュラム (図 4.1 参照)

(iii) 駆動延長軸ガイドローラ (図 4.1 参照)

(iv) 案内管の中間部 (図 4.1 参照)

### (b) 微調整棒

(i) ダッシュラム (図 4.4 参照)

(ii) 流力振動抑止機構 (図 4.4 参照)

### (c) 調整棒下部案内管

(i) ダッシュポット (図 4.5 参照)

(ii) ラップ管 (図 4.5 参照)

検査結果を、表 4.2 及び写真 4.7 ～写真 4.12 に示す。

表 4.2 摺動部外観検査結果

機器名	No.	品名	員数	検査結果		備考
				内容	写真, 図	
微調整棒 駆動機構	1	ダッシュポット	1	軸方向摺動傷, 圧こんあり。	写真 4.7	図 4.1 参照
	2	ダッシュラム	1	軸方向摺動傷, 圧こんあり。	写真 4.8 写真 4.9	図 4.1 参照
	3	駆動延長軸ガイドローラ	4	4 個共, 摺動こん(黒くなっている)あり。	写真 4.8	図 4.1 参照
	4	案内管の中間部	1	内面の円周方向の 4 箇所, 駆動延長軸ガイドローラとの摺動による軸方向摺動傷あり。	写真 4.7	図 4.1 参照
微調整棒	5	ダッシュラム	1	先端のテーパ面に軸方向摺動傷あり。	写真 4.10	図 4.4 参照
	6	流力振動抑止機構	6	ラッパ管との摺動面に, 軸方向摺動傷あり。(6 箇所共)	写真 4.11	図 4.4 参照
調整棒 下部案内管	7	ダッシュポット	1	軸方向摺動傷あり。	写真 4.12	図 4.5 参照
	8	ラッパ管	1	内面に, 軸方向摺動傷あり。	—	図 4.5 参照

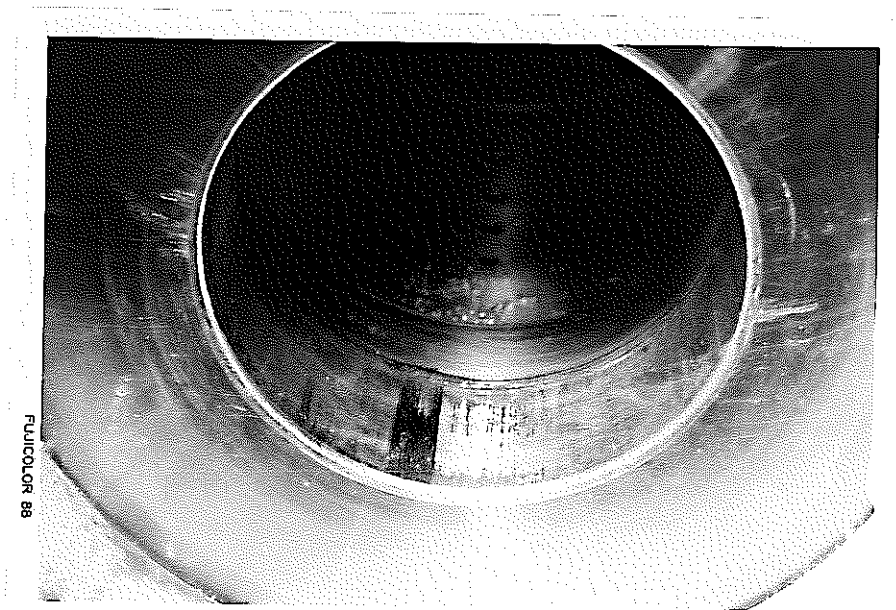
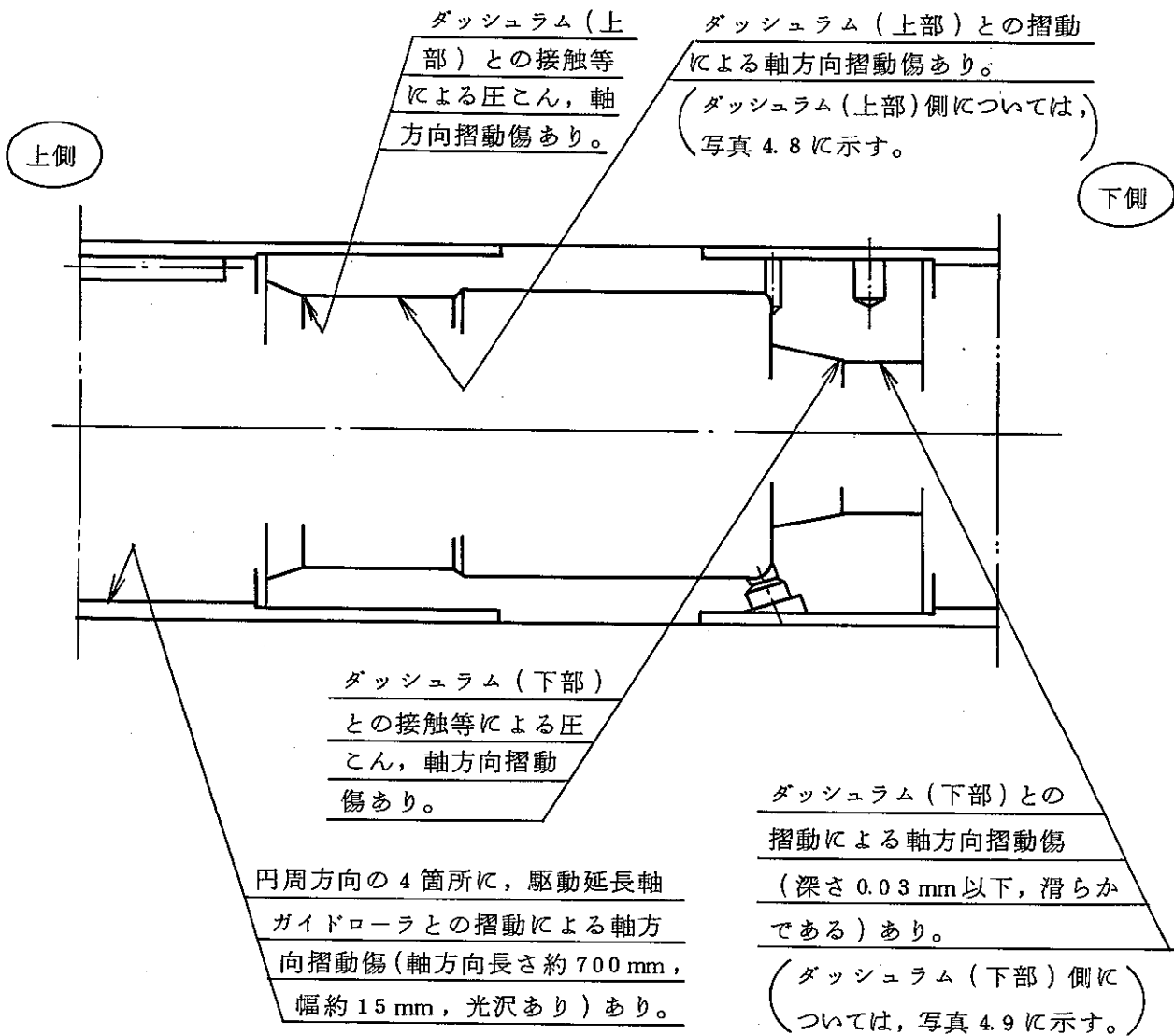


写真 4.7 微調整棒駆動機構ダッシュポット



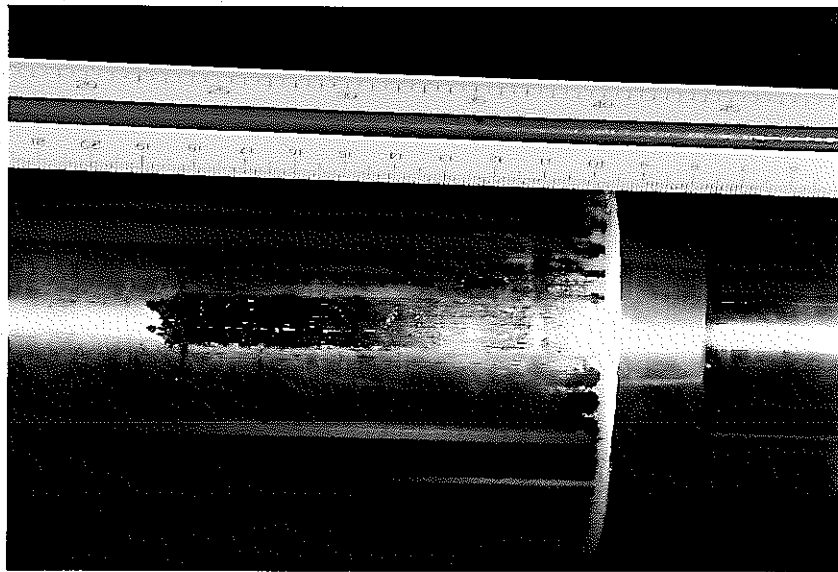
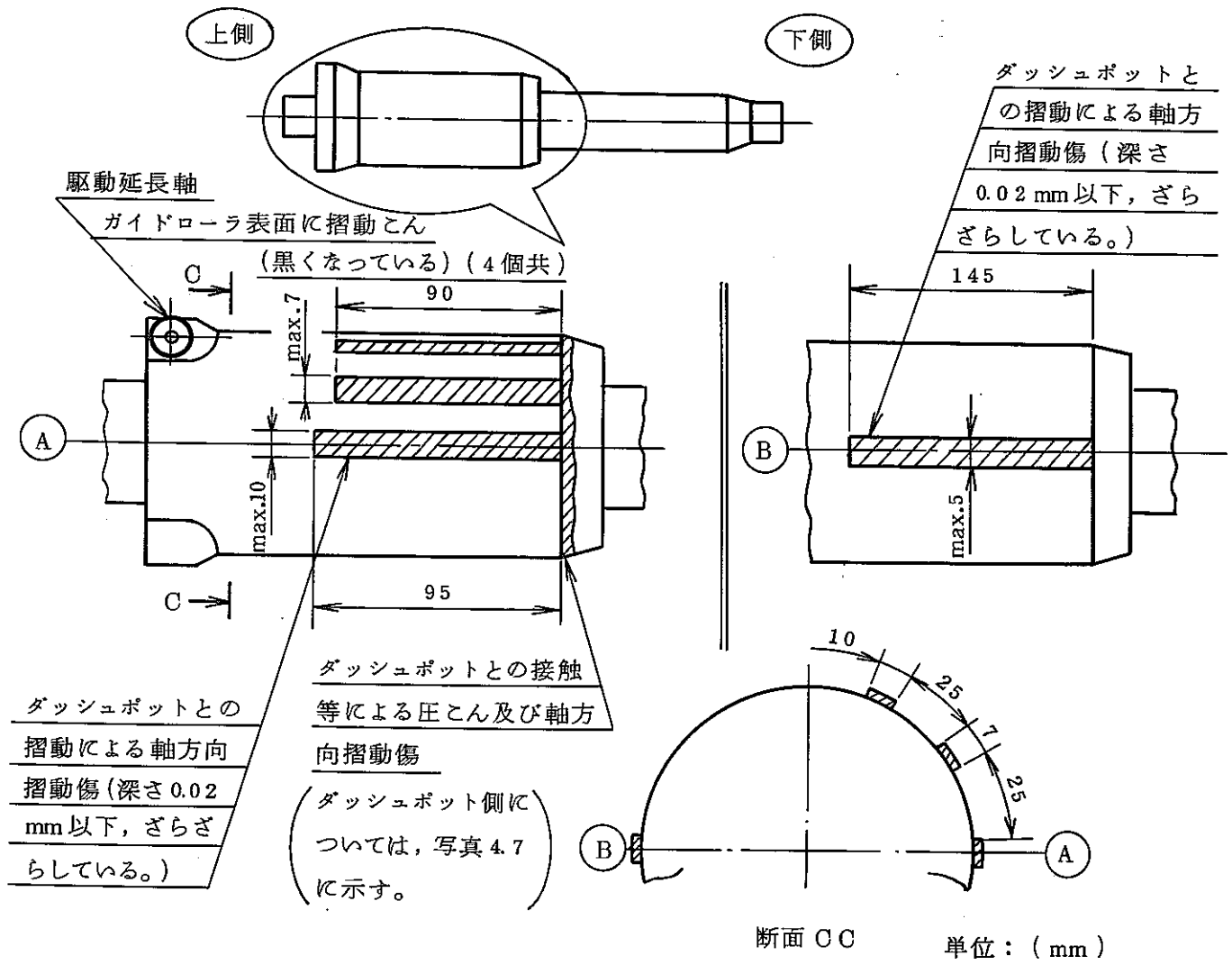


写真 4.8 微調整棒駆動機構ダッシュラム (上部)

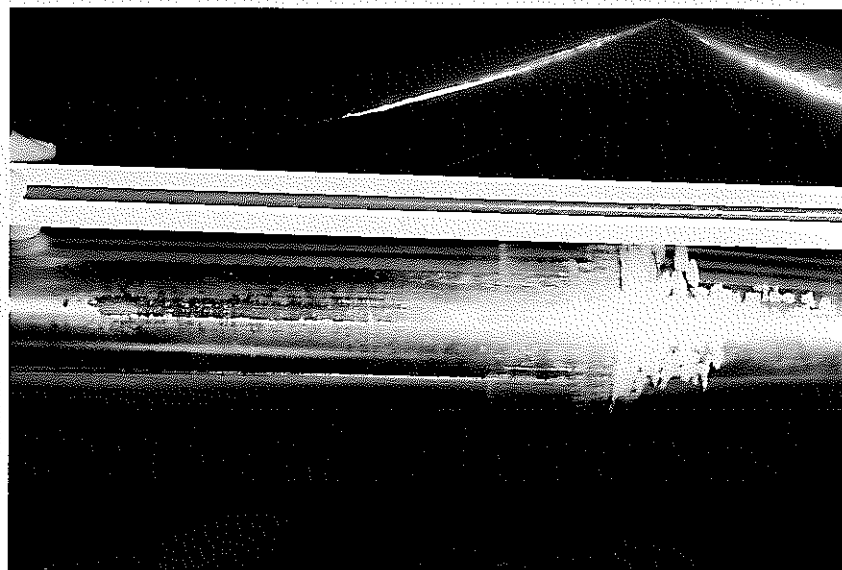
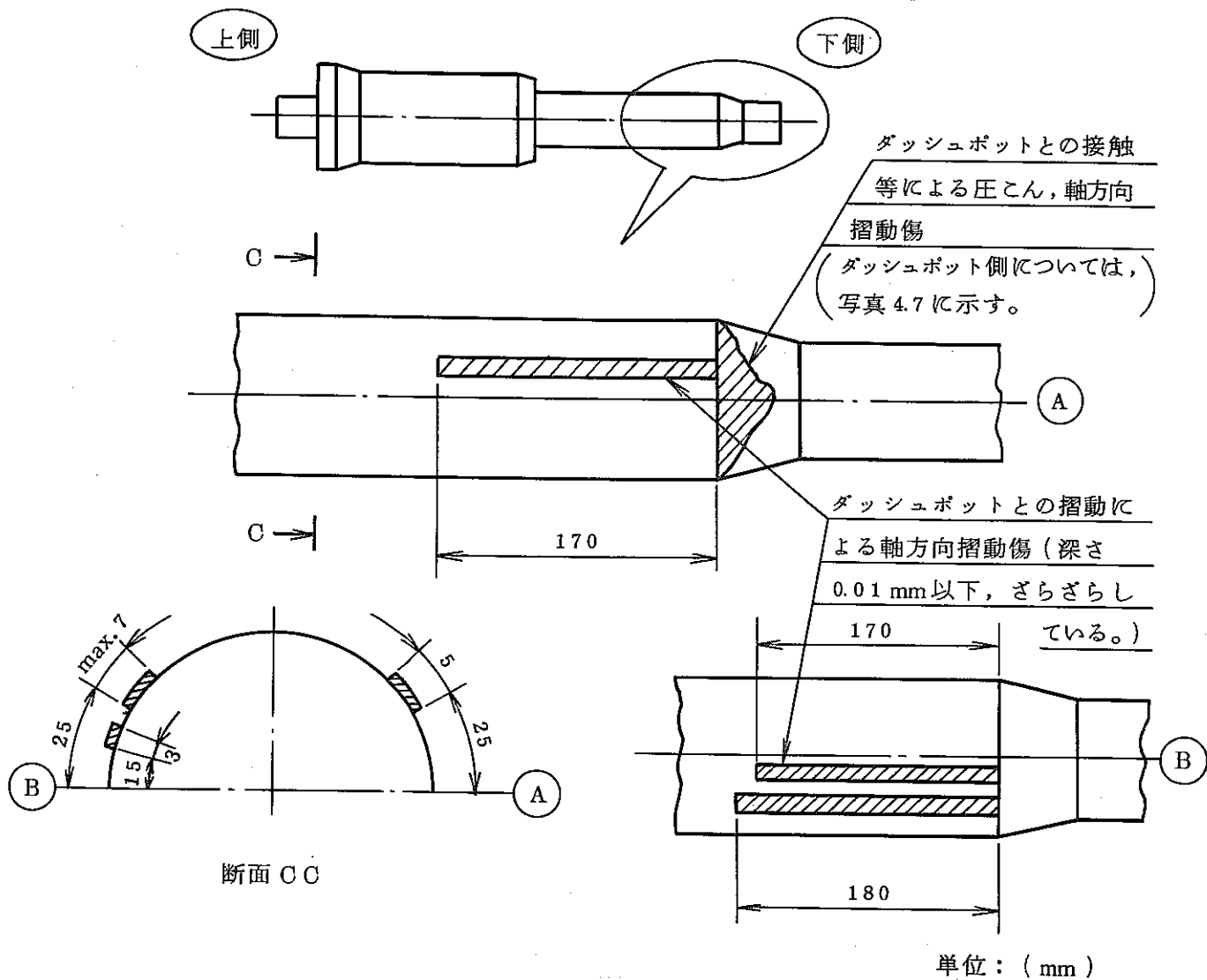
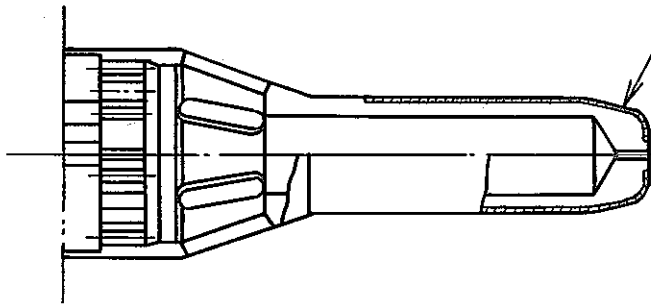


写真 4.9 微調整棒駆動機構ダッシュラム (下部)

上側

下側



微調整棒下部案内管の  
ダッシュポットとの摺  
動による軸方向摺動傷  
(深さ 0.005 mm 以下、  
滑らかである) あり。

(ダッシュポット側に  
ついては、写真 4.12  
に示す。)

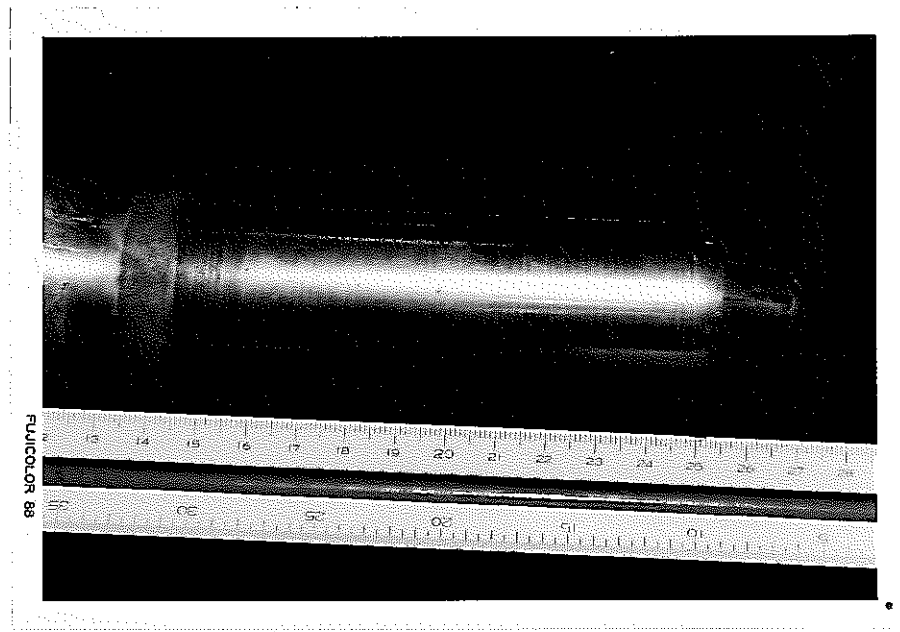
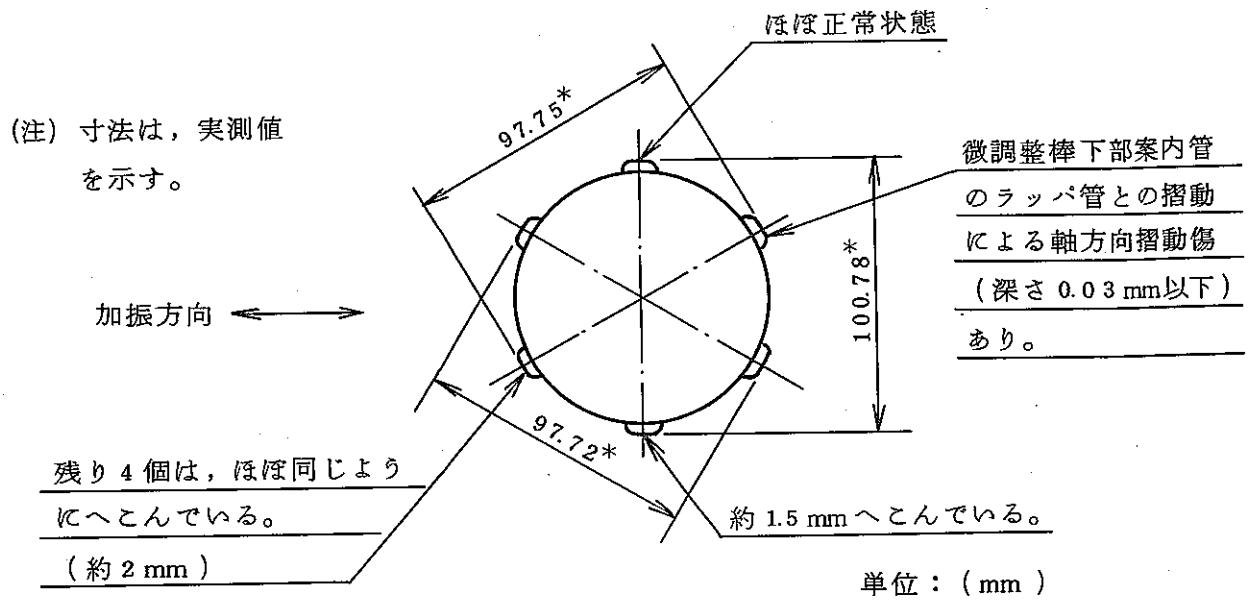


写真 4.10 微調整棒のダッシュラム



\* 試験前、後の寸法については、図 4.15 を参照。

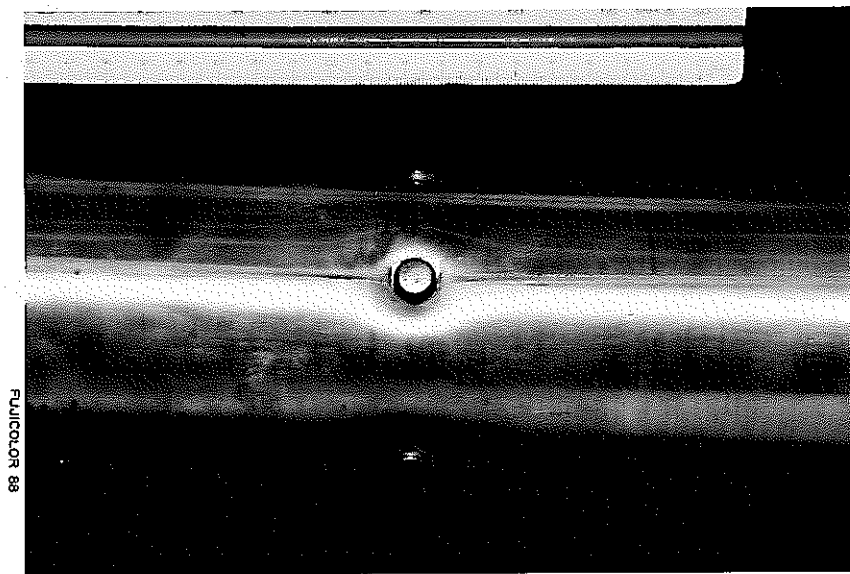
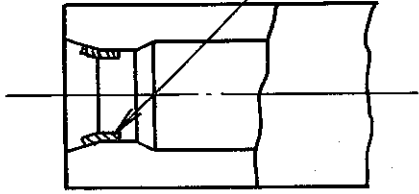


写真 4.11 微調整棒の流力振動抑止機構

微調整棒のダッシュラムとの摺動による軸方向  
摺動傷（深さ 0.01 mm 以下，滑らかである。）



（ダッシュラム側については，  
写真 4.10 に示す。）

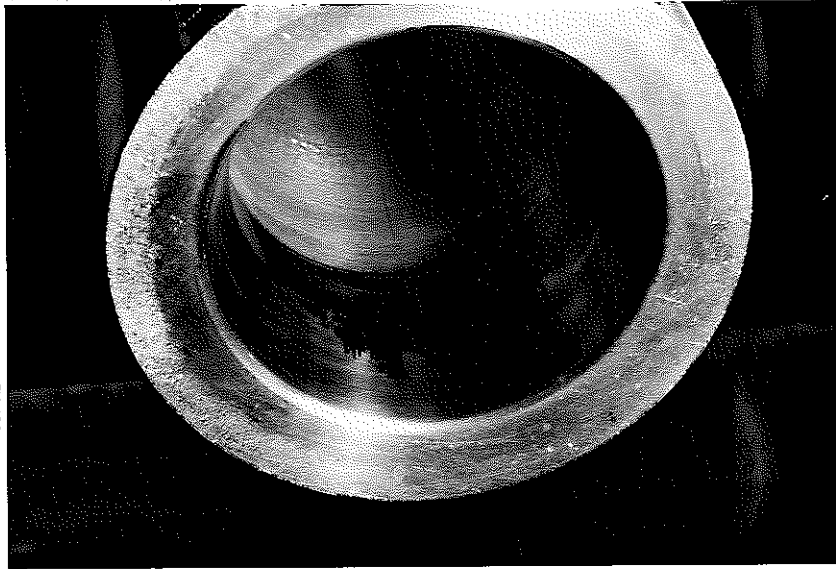


写真 4.12 微調整棒案内管のダッシュポット

(3) シール部外観検査

微調整棒駆動機構のスクラム加速系，ハウジング背圧系，及びベローズ背圧系のシールバウンダリ部の外観を目視により検査し，異常の有無を確認した。

検査箇所は，次のとおりである。

(a) スクラム加速系

(i) ピストン部 (図 4.10 参照)

(ii) シリンダー部 (図 4.11 参照)

(b) ハウジング背圧系

(i) 模擬支持筒 (図 4.1 参照)

(ii) 模擬管台 (図 4.1 参照)

(iii) ハウジング (図 4.1 参照)

(c) ベローズ背圧系

(i) ストロークベローズ (図 4.12 参照)

(ii) ラッチベローズ (図 4.12 参照)

(iii) サポートの O リング取付部 (図 4.13 参照)

(iv) 駆動延長軸用バックアップシールの取付部 (図 4.13 参照)

(v) サポートの O リングとのシール部 (図 4.12 参照)

(vi) 駆動延長軸用バックアップシールとのシール部 (図 4.12 参照)

検査結果を，表 4.3 に示す。

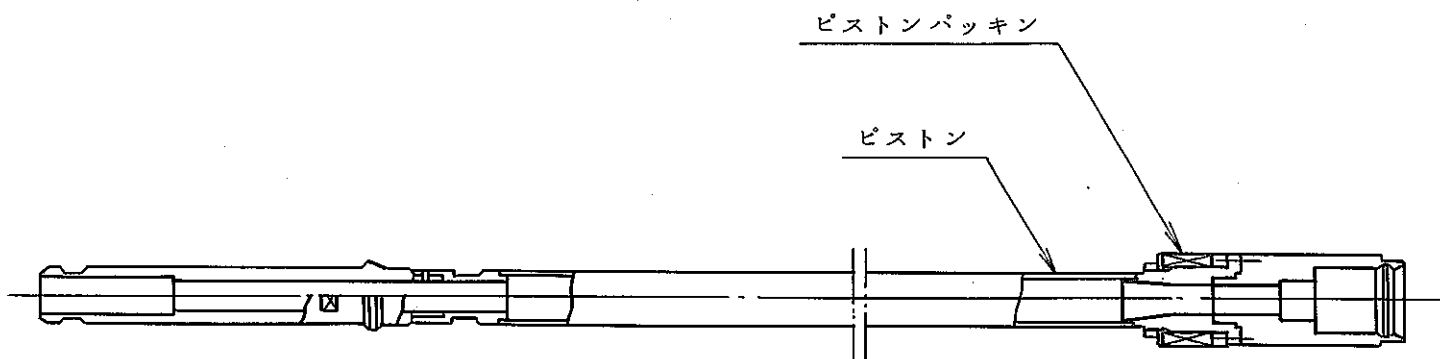


図 4.10 ピストン部シール部外観検査箇所

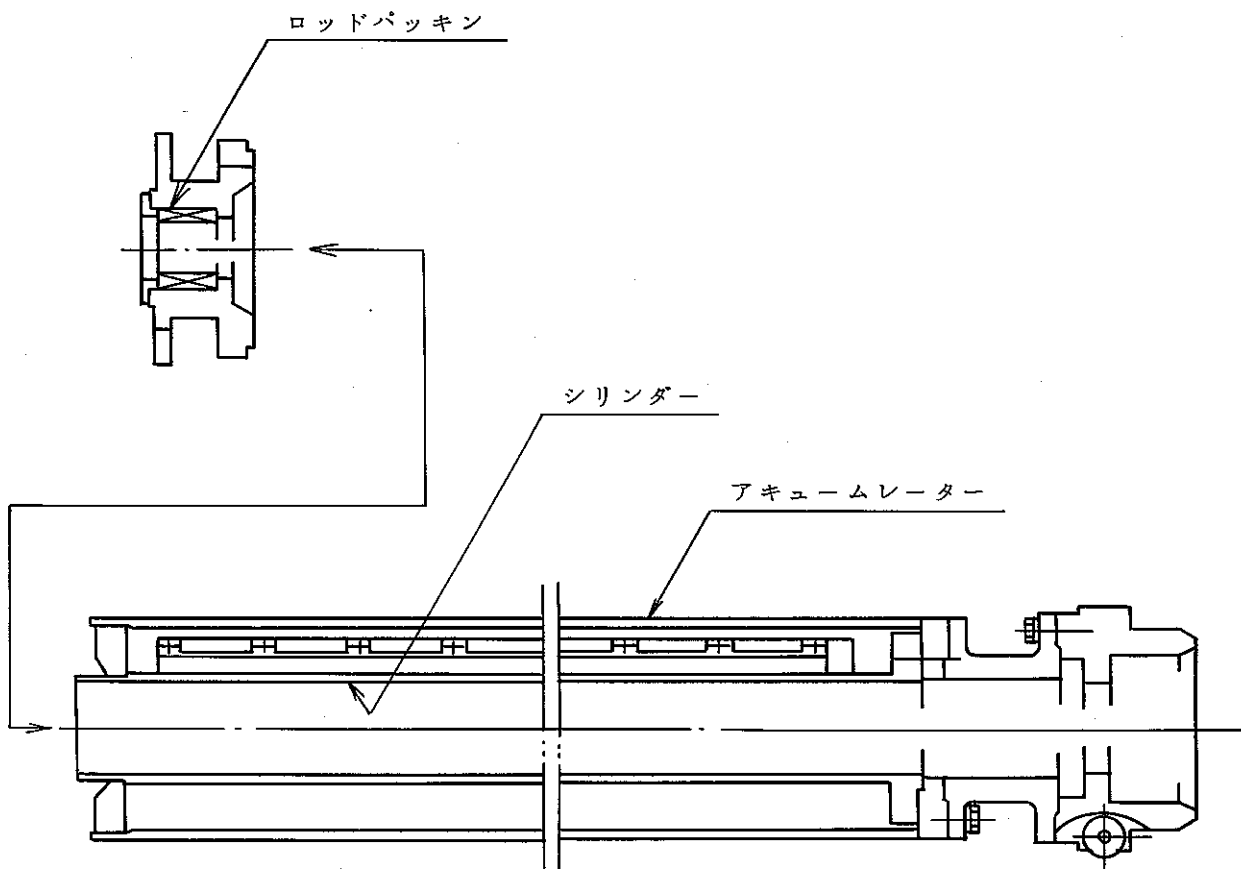


図 4.11 シリンダー部シール部外観検査箇所

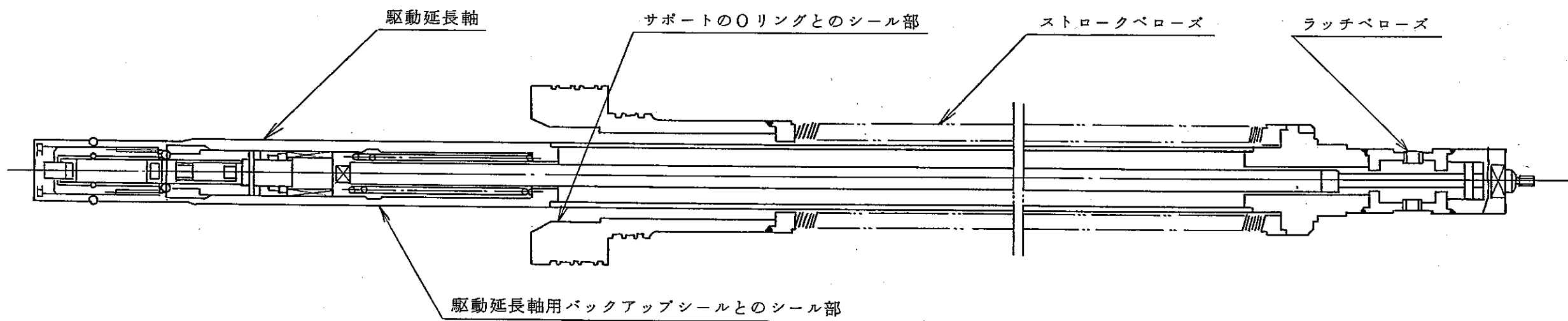


図 4.12 ベローズアッセンブリシール部検査箇所

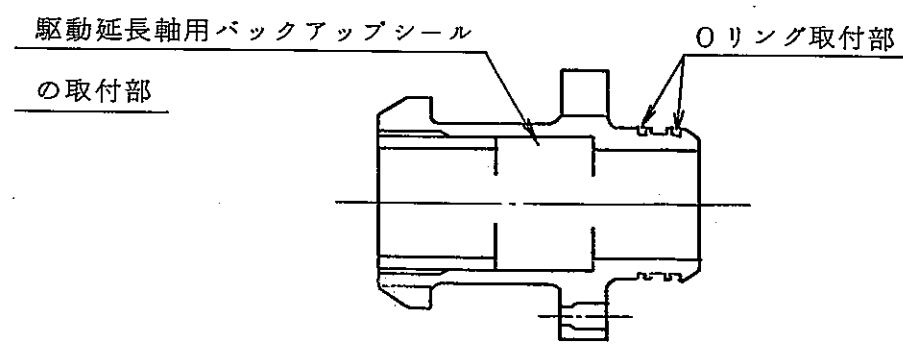


図 4.13 サポートシール部検査箇所



表 4.3 シール部外観検査結果

機器名	№	品名	員数	検査結果	備考
微調整棒 駆動機構	1	ピストン部	1式	ピストンパッキンに摺動摩耗あり。	図 4.10 参照
	2	シリンダー部	1式	ロッドパッキンに摺動摩耗あり。	図 4.11 参照
	3	模擬支持筒	1	異常なし。	図 4.1 参照
	4	模擬管台	1	異常なし。	図 4.1 参照
	5	ハウジング	1	異常なし。	図 4.1 参照
	6	ストロークベローズ	1	異常なし。	図 4.12 参照
	7	ラッチベローズ	1	異常なし。	図 4.12 参照
	8	サポートのOリング取付部	1	異常なし。	図 4.13 参照
	9	駆動延長軸用バックアップシールの取付部	1	異常なし。	図 4.13 参照
	10	サポートのOリングとのシール部	1	異常なし。	図 4.12 参照
	11	駆動延長軸用バックアップシールとのシール部	1	異常なし。	図 4.12 参照

#### 4.3 寸法検査

本検査においては、微調整棒駆動機構、微調整棒及び、微調整棒案内管について、摺動部、公差の厳しい部分（部品）及び機能上重要な部分の寸法を、巻尺、スケール、ノギス、マイクロメータ等により測定し、測定結果を試験前の検査記録及び設計寸法と比較して異常の有無を確認した。

検査箇所及び検査結果を、図 4.14 (1/2)、図 4.14 (2/2)、図 4.15 及び図 4.16 に示す。

No.	品名	寸法検査箇所	寸法検査結果				
1	案内管下部		試験後		試験前		
			設計寸法	x	y	x	y
			① $\phi 160 \pm 1.6$	160.0	159.95	159.90	159.90
		② $\phi 160 \pm 1.6$	159.95	159.85	159.90	159.80	
2	駆動延長軸下部		試験後		試験前		
			設計寸法	x	y	x	y
			① $\phi 114.7 - 0.05$	114.67	114.64	114.68	114.68
		② $\phi 77.7 - 0.05$	77.72	77.70	77.70	77.70	
3	遮蔽体アッセンブリ		試験後		試験前		
			設計寸法	x	y	x	y
			① $\phi 80 \pm 0.5$	80.2	80.2	80.2	80.3
		② $\phi 70 \pm 0.5$	69.6	69.6	69.5	69.6	
4	駆動延長軸上部		試験後		試験前		
			設計寸法	x	y	x	y
			① $\phi 54 \pm 0.54$	54.00	54.10	54.10	54.10
		② $\phi 27.5 + 0.3$	27.55	27.60	27.56	27.62	
5	ラッチ棒		試験後		試験前		
			設計寸法	x	y	x	y
			① $\phi 36 \pm 0.5$	36.00	36.00	36.10	35.80
			② $\phi 25.4 \pm 0.3$	25.35	25.35	25.38	25.41
		③ $\phi 22.5 - 0.2$	22.45	22.45	22.51	22.52	
6	案内管上部		試験後		試験前		
			設計寸法	x	y	x	y
			① $\phi 160 \pm 1.6$	160.36	159.58	159.95	159.95

図 4.1.4 微調整棒駆動機構寸法検査結果 (1/2)

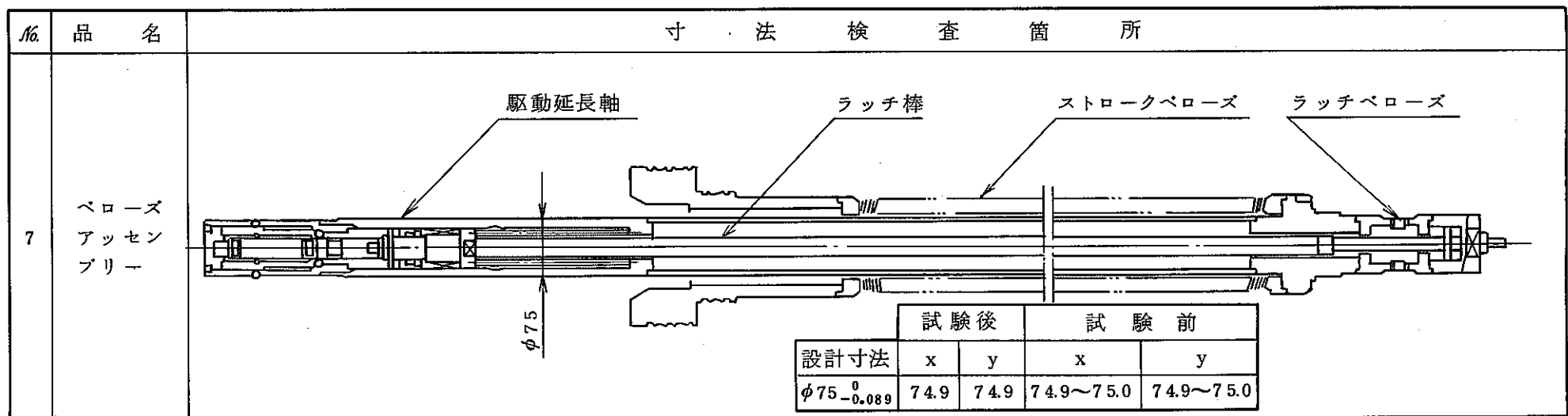
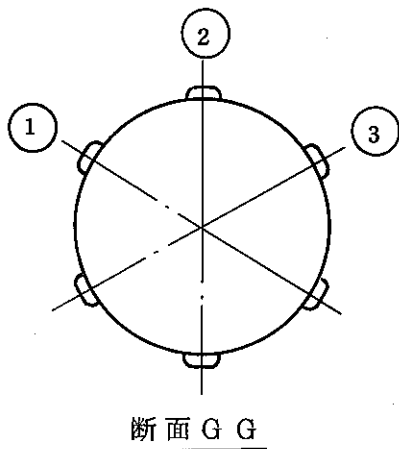
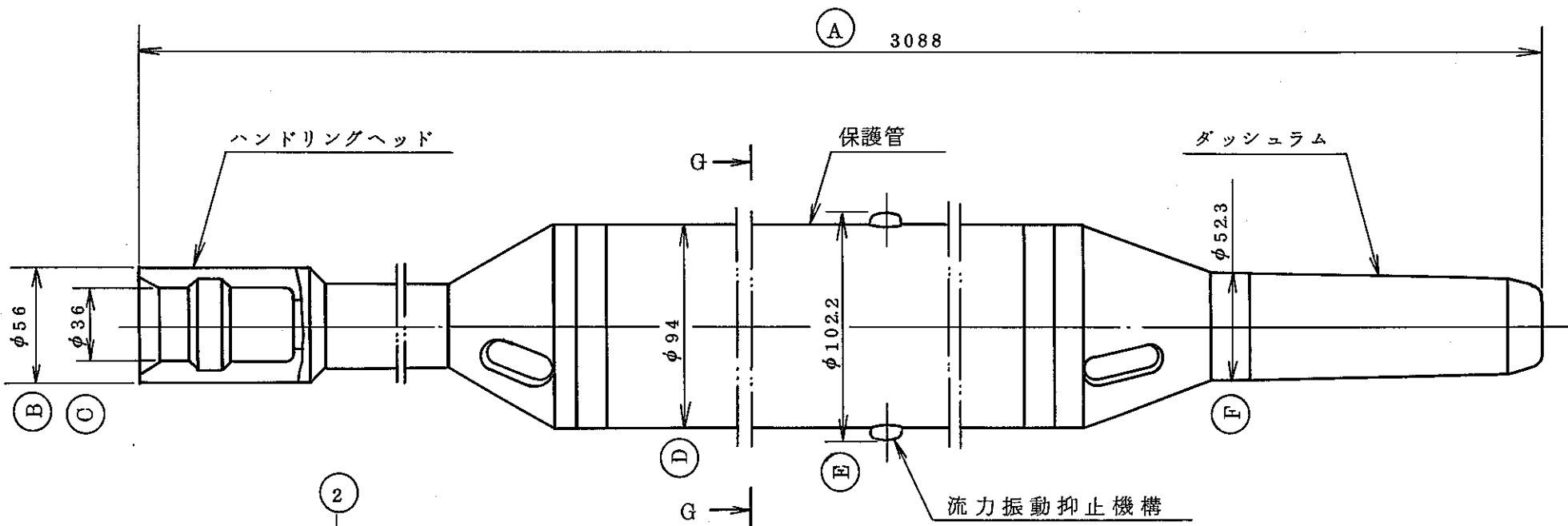


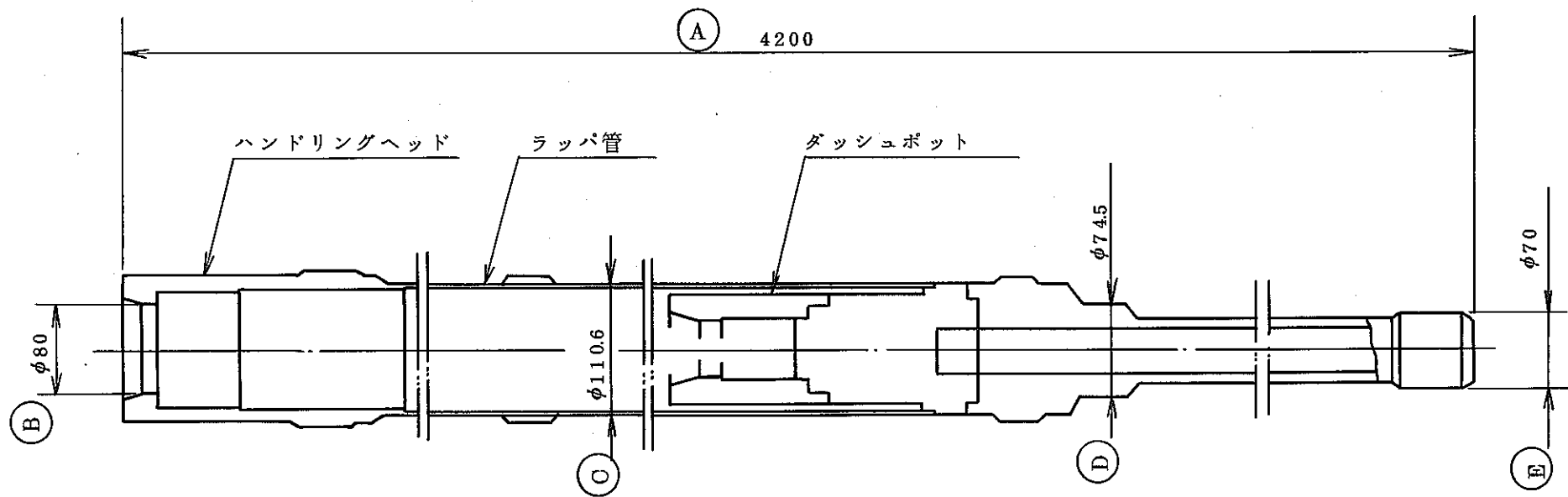
図 4.1.4 微調整棒駆動機構寸法検査結果 (2/2)



設計寸法	試 験 後				試 験 前							
Ⓐ 3088 $^{+4}_0$	3091.5 *				3091							
Ⓑ $\phi 56 \pm 0.5$	x	56.2	y	56.0	x	56.07	y	56.06				
Ⓒ $\phi 36 \pm 0.3$	x	36.0	y	36.0	x	36.10	y	36.00				
Ⓓ $\phi 94 \pm 1$	x	94.1	y	93.5	93.6 ~ 94.3							
Ⓔ $\phi 102.2 \begin{smallmatrix} +0.05 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$	1	97.72	2	100.78	3	97.75	1	102.2	2	102.3	3	102.1
Ⓕ $\phi 52.3 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.05 \end{smallmatrix}$	x	52.3	y	52.3	x	52.27	y	52.27				

\* 連結軸切損のため組合せた状態で示した。

図 4.1.5 微調整棒寸法検査結果



設計寸法	試験後		試験前	
	x	y	x	y
Ⓐ $4200 \pm 5$	4196		4199	
Ⓑ $\phi 80 \pm 0.5$	798	798	799	799
Ⓒ $\phi 110.6 \pm 1.2$	110.0	110.1	110.03	110.12
Ⓓ $\phi 74.5 \begin{matrix} -0.05 \\ -0.10 \end{matrix}$	74.42	74.34	74.41	74.41
Ⓔ $\phi 70 \begin{matrix} -0.05 \\ -0.10 \end{matrix}$	69.98	69.98	69.92	69.94

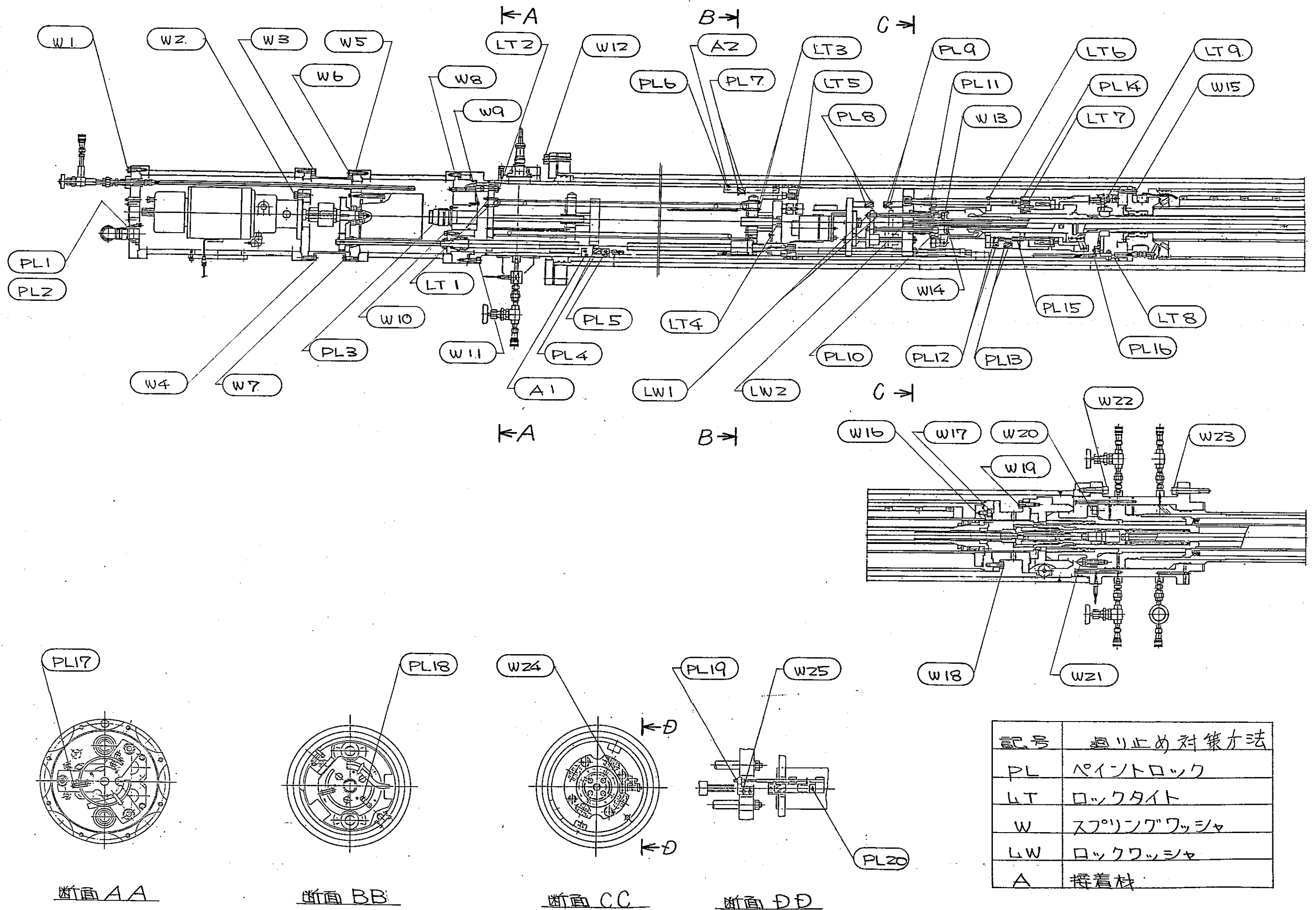
図 4.1.6 微調整棒案内管寸法検査結果

#### 4.4 ねじ部のゆるみ等の異常調査

微調整棒駆動機構の駆動部のねじ部を、目視により調査し、ゆるみ等の異常の有無を確認した。

調査箇所を、図 4.17 に示す。

調査結果を、表 4.4 (1/2) ~ 表 4.4 (2/2) に示す。



記号	廻り止め対策方法
PL	ペイントロック
LT	ロックタイト
W	スプリングワッシャ
LW	ロックワッシャ
A	接着材

図 4.17 ネジ部のゆるみ等の異常調査箇所



表 4.4 ねじ部のゆるみ等の異常調査結果 (1/2)

機器名	品名	図 4.17 における記号	結果	備考
微調整棒駆動機構	主駆動モータ部	W 1	異常なし	
		W 2	異常なし	
		W 3	異常なし	
		W 4	異常なし	
		PL 1	異常なし	
		PL 2	異常なし	
	ボールネジ部	W 5	異常なし	
		W 6	異常なし	
		W 7	異常なし	
		W 8	異常なし	
		W 9	異常なし	
		W 10	異常なし	
		W 13	異常なし	
		W 14	異常なし	
		W 24	異常なし	
		W 25	異常なし	
		PL 3	異常なし	
		PL 8	異常なし	
		PL 9	異常なし	
		PL 10	異常なし	
		PL 11	異常なし	
		PL 12	異常なし	
		PL 13	異常なし	
		PL 14	異常なし	
		PL 17	異常なし	
		PL 18	異常なし	
PL 19	異常なし			
PL 20	異常なし			

(注) 図 4.17 に示す他の箇所も同様に異常なかった。

W = スプリングワッシャ      PL = ペイントロック

表 4.4 ねじ部のゆるみ等の異常調査結果 (2/2)

機器名	品 名	図 4.17 における記号	結 果	備 考
微調整棒駆動機構	ボールネジ部	LT 1	異常なし	
		LT 2	異常なし	
		LT 3	異常なし	
		LT 4	異常なし	11/1~11/3の点検時ゆるみ確認されたため、ロックタイトを塗布した。分解時にゆるみ確認されず。
		LT 5	異常なし	
		LT 6	異常なし	
		LT 7	異常なし	
	サポ ー ト	LW 1	異常なし	
		W 2 0	異常なし	
	模 擬 管 台	W 2 1	異常なし	
		W 2 2	異常なし	
		W 2 3	異常なし	

(注) 図 4.17 に示す他の箇所も同様に異常なかった。

LT = ロックタイト      LW = ロックワッシャ      W = スプリングワッシャ

#### 4.5 シール部漏洩試験

振動試験後において、スクラム加速系、ハウジング背圧系及びベローズ背圧系について漏洩試験を行い、漏洩の有無を確認した。

試験結果を、表 4.5 に示す。

表 4.5 シール部漏洩試験結果

No.	試験系統	試験圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	保持時間 (分)	試験結果
1	ガスユニット及びCRDのスクラム加速系	3.0	30	0.1 kg/cm <sup>2</sup> 降下
2	ガスユニット及びCRDのハウジング背圧系	2.0	30	漏洩なし
3	ガスユニット及びCRDのベローズ背圧系	0.5	30	漏洩なし

#### 4.6 電気品絶縁劣化の有無検査

本検査においては、微調整棒駆動機構の主要電気品の絶縁抵抗を、絶縁抵抗計 (DC 500V) により測定し、異常の有無を確認した。

検査結果を、表 4.6 に示す。

表 4.6 電気品絶縁劣化の有無検査結果

電気品品名	コネクタのピン記号	絶縁抵抗 (MΩ)	備 考
主駆動モータ	A	100 以上	
	B	100 以上	
	C	100 以上	
	F	100 以上	
	G	100 以上	
	H	100 以上	
シンクロ発信器	S ~ W 間	100 以上	CNF-4
	AB ~ AD ~ AF 間	100 以上	
	AC ~ AE ~ AG 間	100 以上	
リミットスイッチ		100 以上	上限
		100 以上	下限上 40mm
		100 以上	下限
		100 以上	CRD 結合切離
		100 以上	アーマチュア結離
		100 以上	スクラム位置
		100 以上	スクラムロック
		100 以上	通常位置
		100 以上	CRD 結合位置
		100 以上	CR 切離位置
リードスイッチ		100 以上	CNF-4
ラッチモータ	A	100 以上	CNF-12
	B	100 以上	
	C	100 以上	

## 5. 試験前後の動作特性

振動試験を実施したことによるスクラム特性への影響を調べるため、振動試験前後に非加振状態でのスクラム試験を実施し、スクラム時間を測定した。

測定結果を、表 5.1 ～表 5.3 に示す。

但し、

表 5.1：（60年10月11日）

（注）上限リミットスイッチ交換工事復旧後データ採取。

この時点まで加振状態でのスクラム試験は実施せず。

表 5.2：（60年11月9日）

（注）ホールドマグネットリセット不具合，ラッチモータ作動不具合対策工事復旧後データ採取。

表 5.3：（60年11月18日）

（注）上限用リミットスイッチ異常位置動作対策工事復旧後データ採取。

尚，60年11月19日 制御棒案内管二次モード加振試験実施中に制御棒連結軸切損事故が発生したため，振動試験全終了時点でのスクラム特性試験は実施していない。

表 5.1 静的スクラム特性試験結果

試験年月日：S60.10.11

試験条件

循環水量	0.57 m <sup>3</sup> /min
偏心量	0 mm
CRストローク	100%

No.	測定時間	判定基準	測定結果			備考
			1回目	2回目	3回目	
1	デラッチ時間 (sec)	0.12 以下	0.064	0.061		
2	マグネットOFF後 調整棒落下位置に対 する所要時間 (sec)	10% 挿入	0.322 以下	0.191	0.194	
		20% 挿入	0.405 以下	0.251	0.254	
		30% 挿入	0.470 以下	0.299	0.301	
		40% 挿入	0.524 以下	0.343	0.345	
		50% 挿入	0.572 以下	0.382	0.384	
		60% 挿入	0.615 以下	0.420	0.420	
		70% 挿入	0.655 以下	0.454	0.455	
		80% 挿入	0.691 以下	0.489	0.489	
		85% 挿入	0.709 以下	0.503	0.505	
		90% 挿入	—	0.552	0.554	
		スクラム完了	1.42 以下	0.848	0.851	
3	CRD部加速度 (G)	—	35	42		
4	最終速度 (m/sec)	0.6 以下	0.34	0.34		
5	上限時荷重 (kg)	—	330	360		
6	スクラム加速ガス圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	2.8	2.8		
7	ハウジング背圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	0.74	0.70		
8	ベローズ背圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	0.39	0.39		
9	マグネット電流 (A)	—	1.4	1.4		
10	マグネット電圧 (V)	—	24	24		

表 5.2 静的スクラム特性試験結果

試験年月日：S60.11.9

試験条件

循環水量	0.57 m <sup>3</sup> /min
偏心量	0 mm
CRストローク	100%

No.	測定時間	判定基準	測定結果			備考
			1回目	2回目	3回目	
1	デラッチ時間 (sec)	0.12 以下	0.055	0.053		
2	マグネットOFF後 調整棒落下位置に対 する所要時間 (sec)	10% 挿入	0.322 以下	0.185	0.183	
		20% 挿入	0.405 以下	0.245	0.245	
		30% 挿入	0.470 以下	0.293	0.294	
		40% 挿入	0.524 以下	0.338	0.336	
		50% 挿入	0.572 以下	0.377	0.375	
		60% 挿入	0.615 以下	0.416	0.414	
		70% 挿入	0.655 以下	0.451	0.450	
		80% 挿入	0.691 以下	0.485	0.486	
		85% 挿入	0.709 以下	0.500	0.501	
		90% 挿入	—	0.550	0.550	
	スクラム完了	1.42 以下	0.855	0.855		
3	CRD部加速度 (G)	—	—	—		
4	最終速度 (m/sec)	0.6 以下	0.33	0.33		
5	上限時荷重 (kg)	—	365	380		
6	スクラム加速ガス圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	2.8	2.8		
7	ハウジング背圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	0.70	0.70		
8	ベローズ背圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	0.36	0.37		
9	マグネット電流 (A)	—	1.47	1.47		
10	マグネット電圧 (V)	—	24	24		

表 5.3 静的スクラム特性試験結果

試験年月日：S 60.11.18

試験条件

循環水量	0.57 m <sup>3</sup> /min
偏心量	0 mm
CRストローク	100%

No	測定時間	判定基準	測定結果			備考	
			1回目	2回目	3回目		
1	デラッチ時間 (sec)	0.12 以下	0.060	0.058	0.060		
2	マグネットOFF後 調整棒落下位置に対 する所要時間 (sec)	10% 挿入	0.322 以下	0.190	0.188	0.189	
		20% 挿入	0.405 以下	0.253	0.249	0.250	
		30% 挿入	0.470 以下	0.303	0.299	0.299	
		40% 挿入	0.524 以下	0.348	0.342	0.342	
		50% 挿入	0.572 以下	0.384	0.380	0.380	
		60% 挿入	0.615 以下	0.422	0.417	0.419	
		70% 挿入	0.655 以下	0.458	0.453	0.455	
		80% 挿入	0.691 以下	0.493	0.487	0.490	
		85% 挿入	0.709 以下	0.508	0.503	0.505	
		90% 挿入	—	0.558	0.553	0.555	
	スクラム完了	1.42 以下	0.877	0.870	0.870		
3	CRD部加速度 (G)	—	—	—	—		
4	最終速度 (m/sec)	0.6 以下	0.31	0.32	0.32		
5	上限時荷重 (kg)	—	370	370	370		
6	スクラム加速ガス圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	2.75	2.80	2.80		
7	ハウジング背圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	0.70	0.70	0.70		
8	ベローズ背圧力 (kg/cm <sup>2</sup> G)	—	0.36	0.38	0.36		
9	マグネット電流 (A)	—	1.5	1.5	1.5		
10	マグネット電圧 (V)	—	24	24	24		



## 6. 評価及び考察

### 6.1 概要

本章では、4章で述べた試験後分解検査、5章の試験前後の動作特性について評価した。また3章で述べた、振動試験中において発生した不具合に対する「実機」対応策についても検討した。

### 6.2 試験後分解検査の評価及び考察

#### (1) 外観検査

微調整棒駆動機構のダッシュポットについては表4.2、写真4.7に示すとおり、ダッシュポット入口のコーナ部を過ぎた位置から摺動傷が認められた。この摺動傷は、写真4.8、写真4.9に示すダッシュラムの摺動傷から推察すると、偏心状態或いは加振状態におけるスクラム時の摺動によるものと考えられる。また、上部案内管の内面にガイドローラとの摺動痕が約700mmに渡って認められることより、加振時、ガイドローラが駆動延長軸ダッシュラム部を約700mmの間支持していたことが確認できる。

上部案内管の下部と駆動延長軸の下部に認められた摺動傷は、静的、或いは加振による偏心スクラム試験時において、上部案内管と駆動延長軸とが接触し、摺動したために発生したのと考えられる。図4.8に示すように、駆動延長軸先端の摺動傷の長さは水中試験のそれが約465mmに対し、振動試験のそれは約575mm～約625mmとなっており、炉心上部機構模擬体のCRD用案内管短縮化の影響が現われている。

グripper用爪の摺動傷(写真4.3-B)は、ラッチ棒の爪開閉用ロッド(写真4.3-C)との摺動によるものであり、ラッチ棒の通常駆動により発生したのと考えられる。

また爪の圧こんは、微調整棒のハンドリングヘッドとの接触によるものであり、スクラム時の衝撃によって発生したのと考えられる。なお、この摺動傷及び圧こんは、水中試験時においても発生しており、傷及び圧こんの程度もほぼ同じであった。

駆動延長軸のプッシュと摺動するラッチ軸表面の摺動傷(図4.9)については、プッシュ側が表面硬化材、ラッチ軸がSUS生材の組合せのため、硬さの低いラッチ軸側に摺動傷が発生したのと考えられる。水中試験時発生した摺動傷も同じ程度であった。

制御棒保護管のコーナ部摺動傷は、保護管上部と下部との傷の位置がほぼ180°反対側になっており、特に偏心試験時において集中的に発生したものと考えられる(写真4.5)。

制御棒流力振動防止突起部は、保護管が半径で約2.2mmくぼんでいた(写真4.11)。これは実機レベルをこえる過酷な加振条件によるものであると考えられる。振動試験前に実施した水中での静的偏心(相対変位57mm)下スクラム試験(2回)後の分解時点ではへこみは認められなかった。R&Dで保護管材がSUS316STで比較的低い応力レベルで塑性することと、振動試験時荷重が静的条件より大きく、繰返回数が桁はずれに大きいことが重なり、塑性変形が蓄積されたことによると推定される。

## (2) 寸法検査

検査結果を、図4.14～図4.16に示すとおり、微調整棒保護管の流力振動防止突起部位のへこみを除けば、微調整棒駆動機構、微調整棒及び調整棒下部案内管とも、機能上影響を及ぼすような顕著な変化は認められなかった。

流力振動防止突起部位のへこみは、半径ギャップで0.76mm～2.24mmであったが、これは実機条件をはるかにこえる加振条件で加振したためと推定される。実機の場合、保護管材質がSUS316CW材で、R&DのSUS316STに対して降伏点が4倍以上(450℃で、SUS316CWの $S_y = 49 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$ ; SUS316ST =  $12 \text{ (kg/mm}^2\text{)}$ )もあり、地震時たとえ塑性変形が生じたとしても有意なへこみまでは到らないか考える。

尚、微調整棒の全長(図4.15)は、3章で述べたように振動試験中切損したため、組合せた状態で測定したが、全長は試験前3,091mmに対し試験後3,091.5mmであり、この0.5mmの差は測定誤差に含まれると考えられ、寸法上の不具合はないものと考えられる。

## (3) ネジ部のゆるみ等の調査

検査結果は表4.4に示すとおり異常は認められなかった。尚、昭和60年11月1日～3日点検時に確認されたロードセル固定用ナットも、点検時にロックタイトによる廻り止め対策を行ったため、分解検査時には異常は認められなかった。

(4) シール部漏洩試験

検査結果は表 4.5 に示すとおりで、振動試験前と比較して、顕著な差は認められなかった。尚CRDスクラム加速ガス系は、ガス圧  $3 \text{ kgf/cm}^2\text{G}$  で30分間保持で  $0.1 \text{ kgf/cm}^2$  の微小リークが測定されたが、振動試験前同一条件で  $0.08 \text{ kgf/cm}^2$  のリーク量に対して異常は認められないと考えられる。

(5) 電気品絶縁劣化の有無検査

検査結果は表 4.6 に示すとおり異常は認められなかった。

6.3 試験前後の動作特性の評価及び考察

スクラム時間の測定結果は表 5.1～表 5.3 に示したとおりである。85% 挿入時間で比較すれば、昭和60年10月11日：0.504秒（2回の平均）、昭和60年11月9日：0.501秒（2回の平均）、昭和60年11月18日：0.505秒（3回の平均）となっており、試験初期、中間、終了前で有意な差は認められなかった。

6.4 実機の改良

4章の試験後分解検査の結果発見された摺動傷、圧こん等は、過酷な加振力によるものであり、機能上大きく影響を与えるものではなかった。また、3章に述べた試験中の点検調整時に発見された異常事象に対しては、いずれも過酷な加振力による事象であったが、地震時機能の信頼性を向上させる意味で、表 6.1 に示す改良を実施する方針で検討する。

表 6.1 実機信頼性向上改良対策

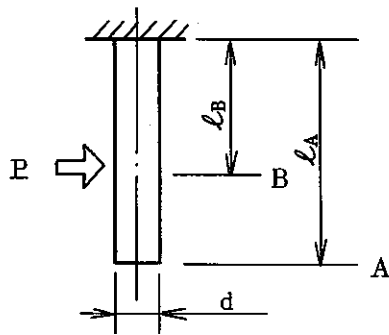
No.	項 目	現地応急対策	実 機 対 策	検 討
1	リミットスイッチ動作不良	交 換	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 定格運転時 CR は, 約 335 mm 挿入された状態にあり, リミットスイッチは働いていないため, 破損の可能性はない。</li> </ul>	—
2	マグネットリンク機構動作不具合	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 巻き込んだ加速度計ケーブルを全面撤去</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 加速度計は実験用計装であり, 実機には取付けず。</li> </ul>	—
3	ラッチモータ作動不具合	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 予備モータと交換</li> <li>◦ ブレーキ回路変更</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ メンテナンス容易性からブレーキ電源整流回路を制御盤側に設置</li> <li>◦ 整流素子に過電圧保護回路を追加</li> </ul>	—
4	上限用リミットスイッチ異常位置動作	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ スプリングケーブル用ガイドを真直ぐに修正</li> <li>◦ スプリングケーブル用ガイドの短縮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ スプリングケーブル用ガイド下側フランジ板厚の増加</li> <li>◦ スプリングケーブル用ガイド短縮, 直径の増加</li> </ul>	6.4-1
5	CR 連結軸破損	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 連結部応力低減のための小径軸の直径増加</li> <li>◦ 応力集中回避のためのコーナ部 R の増加</li> </ul>	6.4-2
6	CR 保護管突起部変形	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 突起部の変形は過大な加振力によるものである。実機では加振力は小さく, また SUS316CW 材使用による変形は生じないと考えられる。</li> </ul>	—

#### 6.4.1 改良大径化スプリングケーブルガイドロッドの強度評価

##### (1) 概要

ガイドロッドを大径化（ $\phi 6 \rightarrow \phi 13$ ）することで、ガイドロッドの変形によるトラブルの発生を回避できることを確認する。

##### (2) モデル



$d$  : ガイドロッド径 :  $\phi 13$  mm

$l_A$  : ガイドロッド長 : 205 mm

$l_B$  : 荷重点までの距離 : 128 mm

(スプリングケーブルの中間位置)

$P$  : 加振によってガイドロッドが受ける荷重

##### (3) 荷重

$$P \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot \alpha$$

$W$  : スプリングケーブル重量 : 1.8 kg

$g$  : 重力加速度 : 1 G

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{1.8}{1} \cdot 1.89$$

$\alpha$  : スプリングケーブルの受ける加振力 :

最大 1.89 G<sup>2)</sup>

$$= 1.7 \text{ [kg]}$$

1) スプリングケーブル重量のうち両端部分はスプリング自体が受け持つので、ガイドロッドにかかる実質荷重を保守側に $\frac{1}{2}$ とした。

2) R & D 試験中、駆動部の最大加振力は、駆動部頂部の値 2.5 G、駆動部ベースの値 0.84 G である。評価部位は CRD 上端より約 $\frac{1}{4}$ の場所であるので、1次モード変形として内挿した加振力。尚、駆動部頂部 2.5 G は実機解析結果、1,314 gal (S2XS) に対し充分保守側となっている。

##### (4) 設計応力強さ : $S_m$ (SUS 304, 60℃)

$$S_m = 14.0 \text{ kg/mm}^2$$

(5) 強度計算

つけ根部曲げ応力： $\sigma$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M}{Z} \\ &= \frac{P \cdot \ell_B}{\pi d^3 / 32} \\ &= \frac{1.7 \cdot 128}{\pi \cdot 13^3 / 32} \\ &= 1.0 \quad [\text{kg/mm}^2]\end{aligned}$$

(6) 結論

$$\sigma (= 1.0) < 1.5 S_m (= 1.5 \times 14.0)$$

よって発生曲げ応力は許容値より充分小さく、問題となる塑性変形は生じない。

6.4.2 連結軸の連結方法の改良

(1) 概要

微調整棒連結軸の連結方法に関し、応力集中を回避するための改良について、疲労評価を行い問題なきことを確認する。

(2) 構造改良方針

図 6.1 に改良構造を示す。

本構造は、下記項目に注目して連結方法としてより適切な構造としたものである。

- 1) 段付部の径を増加し、曲げモーメントによる応力を低減。
- 2) 段付部コーナのRを大にして、応力集中を回避。

(3) 構造強度評価

a. 荷重条件

連結軸連結部の評価においては、以下の因子を考慮する。

- |       |       |                        |
|-------|-------|------------------------|
| 1) 自重 | 連結部下部 | $W_1 = 60 \text{ kg}$  |
|       | 連結部上部 | $W_2 = 170 \text{ kg}$ |

- 2) スクラム荷重  $K = 10 \text{ g}$   
 注1) 2)  
 3) 地震荷重：最大発生モーメント  $M = 3 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{mm}$   
 ( $S_1$ 又は $S_2$ ) 等価繰返し数  $n = 120$  サイクル  
 4) 連結ネジ部締付荷重  $P = 600 \text{ kg}$

注1) 表3.7及びその説明で述べたように、振動試験時連結部に加わった曲げモーメントの最大値を $S_2$ 地震の荷重として設定した。振動試験時の荷重を用いることは、その試験条件が実系 $S_2$ 地震レベルより保守側に設定されていることより安全側である。また、 $S_1$ 地震に関しては安全側に $S_2$ レベルと同等として評価を行う。

推定根拠	最大曲げモーメント
破面分析結果	$3.0 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{mm}$
正弦波同時加振	$2.3 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{mm}$
正弦波二次モード加振	$2.6 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{mm}$
$S_1$ 又は $S_2$ 地震条件	$3.0 \times 10^4 \text{ kg}\cdot\text{mm}$

注2) 地震荷重の等価繰返し数はMJ-203「設計用地震力設定に関する方針書」によった。

b. 評価部位

評価部位を図6.1の構造図に示す。

評価部位は下記の3点である。

- Ⓐ：ネジののど部，振動試験時切損部相当  
 Ⓑ内：連結用ネジ部のオネジ側  
 Ⓑ外：連結用ネジ部のメネジ側

c. 評価条件

- 1) 評価温度  $460 \text{ }^\circ\text{C}$   
 2) 物性値<sup>注1)</sup>  
 縦弾性係数  
 SUS316  $1.658 \times 10^4 \text{ kg}/\text{mm}^2$  ( $460 \text{ }^\circ\text{C}$ )  
 インコネル718  $1.756 \times 10^4 \text{ kg}/\text{mm}^2$  ( $460 \text{ }^\circ\text{C}$ )

3) 材料強度 (460℃)<sup>注1)</sup>

材 料	記 号	強 度 (kg/mm <sup>2</sup> )
SUS 316	設計応力強さ $S_m$	1 2.0
	設計引張強さ $S_u$	4 3.5
インコネル 718	設計応力強さ $S_m$	5 7.3
	設計引張強さ $S_u$	1 1 4.3

4) 評価基準

高速原型炉炉心構成要素構造設計方針案（制御棒集合体），同解説案に準じて評価を行った。

注 1) 高速原型炉炉心構成要素材料強度基準案による。

d. 応力計算

応力計算式を表 6.2 にまとめて示す。

尚，ピーク応力算出のための応力集中係数は，表 6.2 備考に記載の文献によった。

表 6.3 に応力計算結果，表 6.4 に累積疲労損傷の制限についてまとめて示す。

e. 応力評価

応力評価結果を表 6.5 に示す。

いずれの評価部位においても許容応力を満足しており，また疲労評価においても，疲れ累積係数が 0.1 程度であり本構造は強度上安全である。



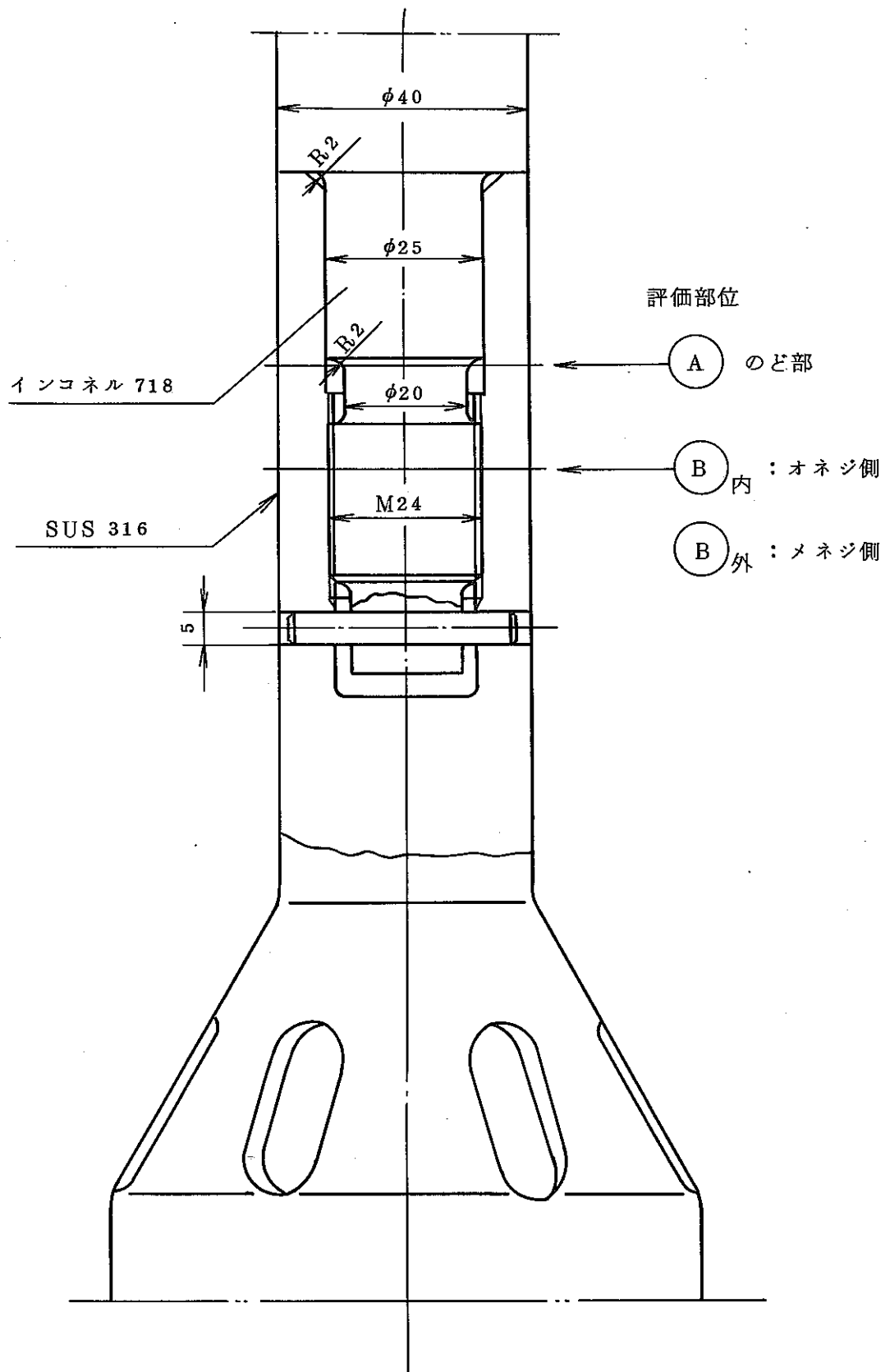


図 6.1 微調整棒連結軸ネジ締結部構造図

表 6.2 応力計算式

評価部位	A 部	B内 部	B外 部	備 考
自重による応力	$\sigma = \frac{W_1}{A_A}$ $= 0.2 \text{ kg/mm}^2$	$\sigma = \frac{W_1}{A_{B1}}$ $= 0.2 \text{ kg/mm}^2$	$\sigma = \frac{W_1}{A_{B2}}$ $= 0.1 \text{ kg/mm}^2$	$A_A$ : A 部断面積 : $\frac{\pi}{4} d_A^2 \text{ mm}^2$ $A_{B1}$ : B内部断面積 : $\frac{\pi}{4} d_{B1}^2 \text{ mm}^2$ $A_{B2}$ : B外部断面積 : $\frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_{B2}^2) \text{ mm}^2$
スクラム荷重による応力	$\sigma = -\frac{KW_2}{A_A}$ $= -5.4$	$\sigma = -\frac{KW_2}{(A_{B1} + A_{B2})}$ $= -1.5$	$\sigma = -\frac{KW_2}{(A_{B1} + A_{B2})}$ $= -1.5$	$d_A$ : A 部外径 : 20 mm $d_{B1}$ : オネジ谷径 : 20.752 mm $d_{B2}$ : メネジ谷径 : 24 mm
ネジ部締付力による応力	$\sigma = \frac{P}{A_A}$ $= 1.9$	$\sigma = \frac{P}{A_{B1}}$ $= 1.8$	$\sigma = -\frac{P}{A_{B2}}$ $= -1.3$	$Z_A$ : A 部断面係数 : $\text{mm}^3$ $Z_{B1}$ : B内部断面係数 : $\text{mm}^3$ $Z_{B2}$ : B外部断面係数 : $\text{mm}^3$
地震荷重による応力	$\sigma = \frac{M}{Z_A}$ $= \frac{M}{\frac{\pi}{32} d_A^3}$ $= 38.2$	$\sigma = \frac{M}{Z_{B1}}$ $= \frac{M}{\frac{\pi}{32} (d_0^4 - d_{B2}^4 + d_{B1}^4) / d_{B1}}$ $= 2.6$	$\sigma = \frac{M}{Z_{B2}}$ $= \frac{M}{\frac{\pi}{32} (d_0^4 - d_{B2}^4 + d_{B1}^4) / d_{B2}}$ $= 3.0$	6) 西田：応力集中：森北出版 (フイレット部を持つ丸棒が湾曲) (モーメントを受ける場合) 7) 渡辺：ねじ締付機構設計のポイント：日本規格協会 (ボルトに曲げモーメントが付加) (する場合の疲れ限度)
応力集中係数	$\alpha = 1.64$ <sup>6)</sup>	$\alpha = 1.0$ <sup>7)</sup>	$\alpha = 1.0$ <sup>7)</sup>	

表 6.3 応力計算結果 (kg/mm<sup>2</sup>)

評価断面	荷重	1次膜応力 P <sub>m</sub> (P <sub>ℓ</sub> )	1次曲応力 P <sub>b</sub>	ピーク応力 F
A	自重	0.2	—	—
	スクラム荷重	-5.4	—	—
	ネジ締付力	1.9	—	—
	S <sub>1</sub> 又はS <sub>2</sub> 地震	—	38.2	24.4
B内	自重	0.2	—	—
	スクラム荷重	-1.5	—	—
	ネジ締付力	1.8	—	—
	S <sub>1</sub> 又はS <sub>2</sub> 地震	—	2.6	23.4
B外	自重	0.1	—	—
	スクラム荷重	-1.5	—	—
	ネジ締付力	-1.3	—	—
	S <sub>1</sub> 又はS <sub>2</sub> 地震	—	3.0	27.0

表 6.4 累積疲労損傷の制限評価結果

評価断面	荷重	回数 n	応力強さ S <sub>e</sub> (kg/mm <sup>2</sup> )	歪振幅 ε <sub>t</sub>	許容繰返し回数 <sup>1)</sup> N <sub>d</sub>	$\frac{n}{N_d}$
A	S <sub>1</sub> 又はS <sub>2</sub>	120	62.6	7.2 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>3</sup>	0.12
B内	S <sub>1</sub> 又はS <sub>2</sub>	120	26.0	3.0 × 10 <sup>-3</sup>	1 × 10 <sup>3</sup>	0.00
B外	S <sub>1</sub> 又はS <sub>2</sub>	120	30.0	3.6 × 10 <sup>-3</sup>	8.5 × 10 <sup>2</sup>	0.14

1) 図 6.2 参照

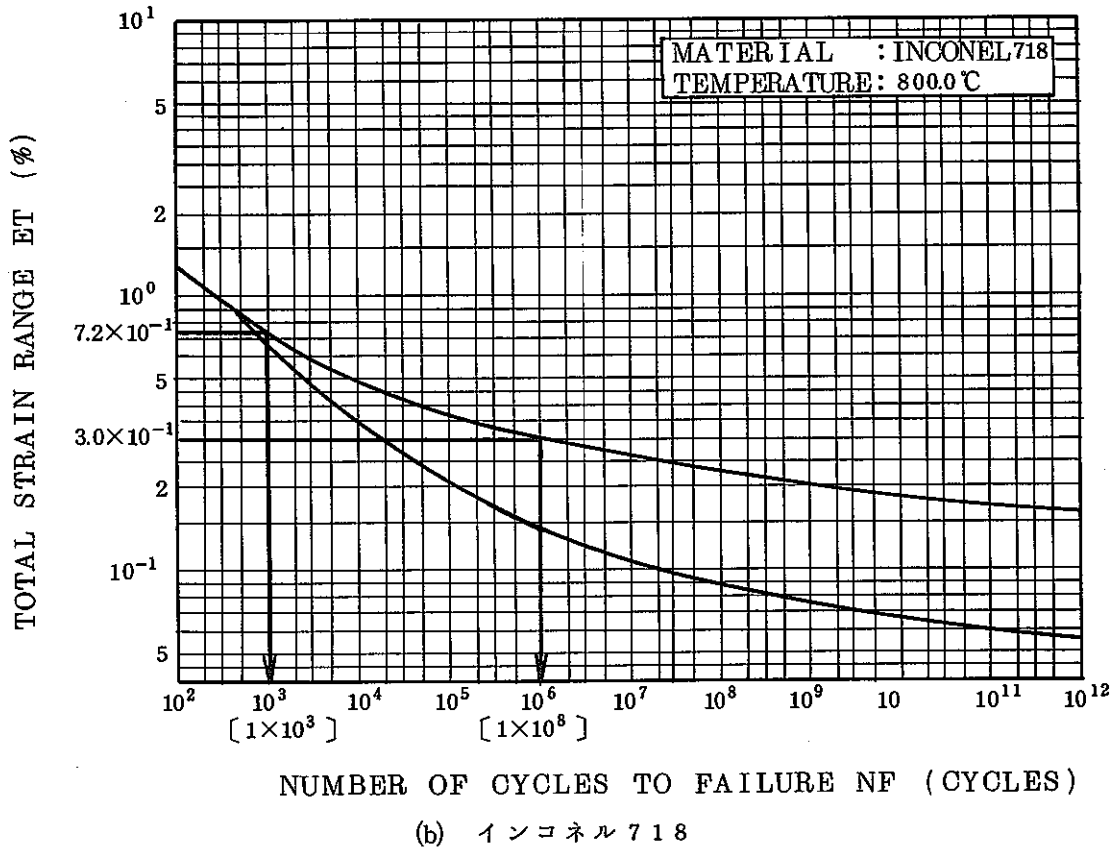
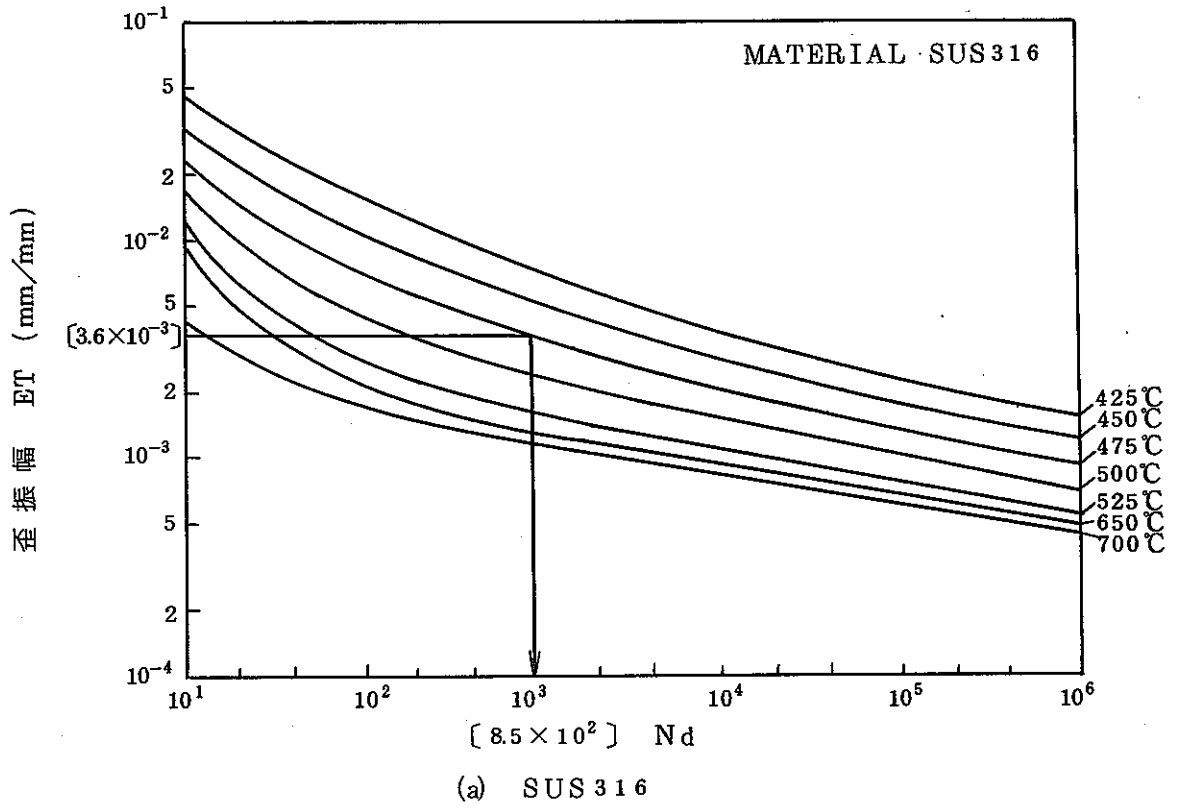


図 6.2 許容繰返回数 (Nd)

表 6.5 応力評価結果

(応力: kg/mm<sup>2</sup>)

評価部位	1 次 応 力 の 制 限				1 次+ピーク応力の制限
	Ⅲ <sub>AS</sub>		Ⅳ <sub>AS</sub>		Ⅲ <sub>AS</sub>
	$P_m + P_m^*$ ( $1.5 S_m$ )	$P_\ell + P_\ell^* + P_b + P_b^*$ ( $2.25 S_m$ )	$P_m + P_m^*$ $\text{Min} \{ \frac{2}{3} S_u, 2.4 S_m \}$	$P_\ell + P_\ell^* + P_b + P_b^*$ $\text{Min} \{ S_u, 3.6 S_m \}$	$\sum n / N_d$ ( $\leq 1$ )
A	3.3 (7.6.2) <sup>1)</sup>	4.1.5 (1.1.4.3) <sup>1)</sup>	3.3 (7.6.2)	4.1.5 (1.1.4.3)	0.1.2 (1)
B内 <sup>2)</sup>	2.0 (7.6.2) <sup>1)</sup>	4.6 (1.1.4.3) <sup>1)</sup>	2.0 (7.6.2)	4.6 (1.1.4.3)	0.0.0 (1)
B外	2.7 (1.8.0)	5.7 (2.7.0)	2.7 (2.8.2)	5.7 (4.3.2)	0.1.4 (1)

注1) インコネル718材の場合,  $1.5 S_m (86.0 \text{ kg/mm}^2) > \frac{2}{3} S_u (76.2 \text{ kg/mm}^2)$  となるため,  $1.5 S_m$  は  $\frac{2}{3} S_u$ ,  $2.25 S_m$  は  $S_u$  とそれぞれ置き換えて評価した。

2) スクラム荷重 ( $P_m$ ) は,  $P_m$  成分が厳しくなる事象に重ね合わせた。

## 7. あとがき

本微調整棒駆動機構地震時機能維持試験 試験後分解検査において得られた結果の要約は、次のとおりである。

- (1) 試験後の分解検査にて、CRDの機能上影響を及ぼすような顕著な異常は確認されなかった。
- (2) 加振試験前後の静的スクラム特性には、ほとんど差はなかった。
- (3) 実機における微調整棒集合体、微調整棒駆動機構の機能上の信頼性の向上を図るために、
  - 1) スプリングケーブルガイドロッド
  - 2) ラッチモータのブレーキ用整流回路
  - 3) 微調整棒の連結軸の改良案について検討した。

## 8. 謝 辞

本微調整棒駆動機構地震時機能維持試験の試験後分解検査の実施において、動力炉・核燃料開発事業団の動力炉研究開発部プラント技術開発グループの天田研究員、動力炉建設運転本部機械課・大貫研究員及び大洗工学センターの関係者の方々に多大の御指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

## 9. 参 考 文 献

- 1) 三菱重工㈱：微調整棒駆動機構地震時機能維持試験，SJ 222 85-12  
(昭和60-11)
- 2) 動力炉・核燃料開発事業団：高速原型炉炉心構成要素構造設計方針（制御棒集合体）  
—含解説書SN 241 85-24 (1), (2) (昭和60-4)
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団：高速原型炉炉心構成要素の構造設計方針材料強度基準  
SN 241 85-25 (1) (昭和60-12)
- 4) S. Usami, Y. Fukuda, S. Shida: Micro-Crack Initiation, Propagation  
and Threshold in Elevated Temperature Inelastic Fatigue, A.S.M.E  
83-PVP-97 (1983)
- 5) ㈱日立製作所自社データ (昭和56)
- 6) 西田：応力集中（増補版），森北出版㈱（昭和51-7）
- 7) 日本規格協会（渡辺，山本）：JIS 使い方シリーズ，ねじ締付機構設計のポイント  
(昭和48-11)