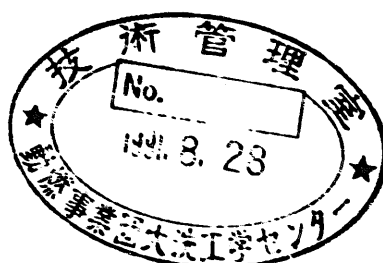


# 高速炉構造材料に関する疲労試験方法 の標準化に関する試験技術のまとめ



1991年2月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒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  
技術開発部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, OARAI Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita-machi, Oarai-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) 1991



## 高速炉構造材料に関する疲労試験方法の標準化に関する試験技術のまとめ

小峰 龍司\*、松本 好市\*\*、川島 成一\*\*

石上 勝夫\*\*、吉田 英一\*、和田 雄作\*

### 要 旨

従来疲労試験方法は、国内外において現状追認による規格化あるいは標準化が進められたため、ある程度の方法差を許容する結果、試験方法の違いによる疲労データの差が懸念されてきた。このような状況の中で近年国際的に疲労試験方法の詳細についても標準化しようとする動向があり、高速炉構造材料の疲労試験方法についても、その詳細な方法、条件を絞り、信頼性の高いデータを取得する必要が生じている。

本報告書は、これらの疲労試験方法の標準化の動向を踏まえ、当室に設置されている大気中並びにナトリウム中疲労試験装置における今までに培われてきた試験技術をまとめ、材料開発室としての標準的な疲労試験方法を定めたものであり、また、本成果は国際的な標準化の動きに対し、十分貢献できるものと期待される。

---

\* 大洗工学センター 機器構造開発部 材料開発室

\*\* 大洗工学センター 機器構造開発部 材料開発室常駐 常陽産業株式会社

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 疲労試験方法 .....	2
2-1 適用範囲 .....	2
2-2 試験片 .....	2
2-3 試験装置 .....	6
2-4 試験方法 .....	10
2-5 試験の記録と観察 .....	12
2-6 試験の終了 .....	12
2-7 試験装置中断の復帰方法 .....	13
2-8 試験結果の整理と報告 .....	13
3. おわりに .....	16
4. 参考文献 .....	17
Appendix	

## 表リスト

表 1 疲労試験装置仕様一覧 .....	6
----------------------	---

## 図リスト

図 1 大気中疲労試験片外觀図 .....	3
図 2 ナトリウム中ベローズ付き疲労試験片外觀図 .....	3
図 3 疲労試験片設計規定 .....	4
図 4 試験片平行部加工要領 .....	4
図 5 特殊疲労試験片の製作例 .....	5
図 6 試験片つかみ部の外觀図 .....	7
図 7 押し当て型ひずみ計の取り付け図 .....	8
図 8 アームショルダー型ひずみ計の取り付け図 .....	8
図 9 二重風防による試験精度の向上例 .....	9
図10 軸芯精度計測方法 .....	10
図11 試験片曲げ精度計測方法 .....	10
図12 大気中試験片温度測定制御方法 .....	11
図13 ナトリウム中疲労試験温度測定制御方法 .....	11
図14 試験片破断の定義 .....	13
図15 ヒステリシスループからのデータ計測方法 .....	14
図16 応力緩和挙動のデータ計測方法 .....	14

## Appendix

Appendix 1	試験片つかみ部の外観図	19
Appendix 2	ひずみ計の外観図	21
Appendix 3	小型計算機によるオンラインデータ収集システム接続概略図	23
Appendix 4	温度制御および温度分布測定方法	25
Appendix 5	疲労試験データ出力図例	27
Appendix 6	ナトリウム中ひずみ校正方法	31
Appendix 7	SMAT (FBR構造材料データ処理システム) 構成図	33
Appendix 8	用語説明表	35
Appendix 9	各試験方法の比較	37
Appendix 10	疲労試験機自主定期点検要領書	53

## 1. はじめに

高速炉用構造材料は、高温ナトリウムと長時間接し、同時に種々の繰り返し応力を受ける。このような条件下における機器の強度評価は、基本となるベースとして大気中高温疲労試験データを用いて行われている。

当室においては、昭和55、56年度の2ケ年で大気中高温強度試験設備の充実を図り、高速原型炉「もんじゅ」に対する構造材料の設計疲労線図の策定のためのクリープ疲労評価法開発のための試験等を実施し、これらの成果は「高速原型炉第一種機器の高温構造設計方針」および「高速原型炉高温構造設計方針 材料強度基準等」<sup>(1)</sup>の策定に反映された。その後現在までも設備の充実・整備を進めながら大型炉用構造材料の主としてクリープ疲労試験データの拡充を図ってきている。

このように高温疲労試験は、高速炉用構造材料の開発・設計において重要な役割を果たしてきている。しかしながら、その試験技術は国内外においてもまだ十分に標準化がなされているとは言えず、現状追認の形で可能な範囲での標準化がなされているに過ぎないため、試験方法の違いによるデータの差が生じることが懸念されている。米国では、ASTMにおいて標準低サイクル疲労試験方法についてASTM STANDARD S E606 があり、また、ASME Code case N-47 の設計疲労曲線や設計基準を確立するための高温疲労データの作成に関連し、クリープ温度域での疲労試験方法についてもHalfordによるクリープ疲労 $W/G$  主催のクリープ温度領域での標準疲労試験方法がある。また、我が国においては、標準的な疲労試験方法として、日本材料学会の高温強度部門委員会の熱疲労共通試験結果報告に基づく試験方法がある。こうした背景の中で、動燃事業団では、昭和54年度に高速炉構造材料に関する高温疲労試験方法の標準を日本溶接協会原子力研究委員会、設計許容応力評価検討小委員会(略P・FCI小委員会)に委託して取りまとめ、「もんじゅ」のための高温疲労試験に適用してきた。<sup>(2)</sup>

当室における高温低サイクル疲労試験技術は、このP・FCI小委員会の標準を基に行われており、試験方法に関しては本標準を適用して国内の特に高速炉開発関連研究機関等での統一を図ってきた。しかし、最近になって、(社)日本鉄鋼協会、高温強度研究委員会、高温熱疲労試験分科会において、国際的な疲労試験方法の確立を目指したVAMAS 低サイクル疲労ラウンドロビン試験の呼びかけに対応して、高温疲労試験法のための共同研究を進めているが、当室はこの委員会に参加し、従来の試験経験を十分反映できるよう積極的な協力をしてきている。<sup>(3)</sup>この中で従来十分に規定できなかった項目に関しても、データのばらつきを減らし信頼性の向上を図るべきものがいくつか指摘されている。

本報告書は、このような試験方法の標準化の動向に対応すべく、今までに蓄積された高温疲労試験技術およびその方法をまとめたものであり、さらに大気中高温疲労試験技術をベースとしたナトリウム環境下での疲労試験技術に関しても併せてまとめたものである。

## 2. 高温疲労試験方法

### 2-1 適用範囲

本章は材料開発室における大気中並びにナトリウム中高温疲労試験の技術およびその試験方法についてまとめたものである。

### 2-2 試験片

試験材料は、高速炉用構造材料の均一な金属組織を有する板、鍛造品、管および棒材等並びに、これらの溶接金属や継手材料等を対象とする。

#### 2-2-1 試験片形状

- (1) 当室にて一般的に用いている標準的な大気中疲労試験片の基本形状は、図-1の中実丸棒型の試験片である。しかし、試験の目的や素材の形状等によってはその限りではない。
- (2) ナトリウム環境中の試験片は図-2に示すように、大気中試験片(B)タイプにナトリウムの流れる配管と流速を得るためのスペーサ、試験片の伸び・縮みを吸収させるベローズを溶接した構造である。
- (3) 現在の高速炉構造材料の高温疲労試験要領<sup>(2)</sup>には、円柱形試験片の平行部の形状が図-3に示すように規定されている。当室では試験片の平行部直径を10φとして、これを標準とする。ただし、素材形状並びに負荷応力等によっては6φや8φのものも用いることができる。試験片の平行部標点間距離(GL)は2dを標準とし、10φの場合は20mm、6φの場合は12mmとする。試験片平行部の長さは3d以下とし、座屈が生じない範囲におさめることにしている。また試験片には、ひずみ集中を避けるために、平行部にひずみ検出用突起(ツバ)を設けない構造とする。



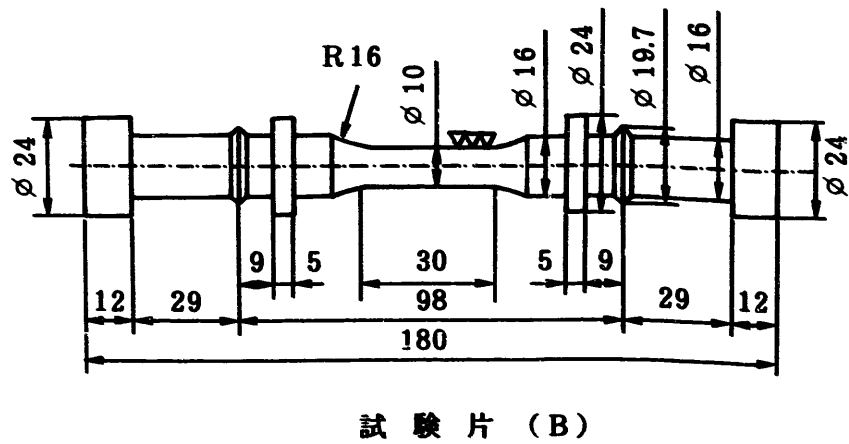
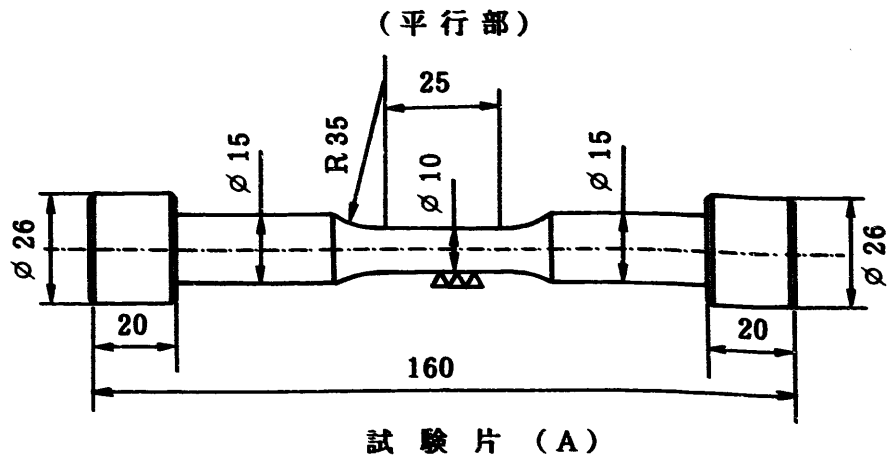


図1 大気中疲労試験片外観図

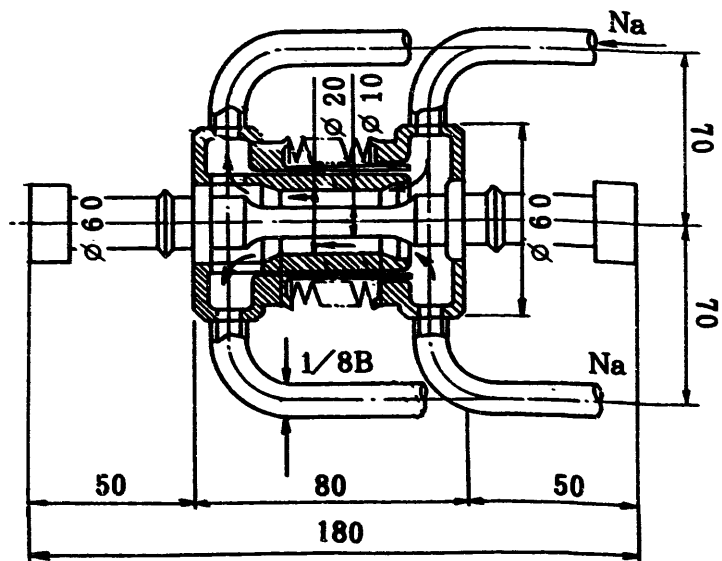


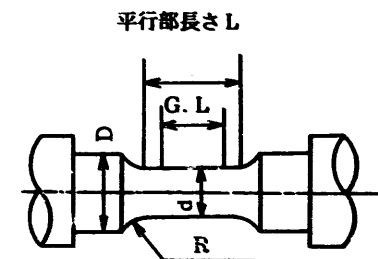
図2 ナトリウム中ペローズ付き疲労試験片外観図

2-2-2 採取位置

試験片を採取する位置は、素材が板の場合、仕上加工方向（ロール方向、押しだし方向）に平行または直角とする。当室の標準はロール方向に対して平行に試験片を採取している。また、鍛造品等の場合は、主鍛造方向に対する試験片採取位置・方向を試験の目的に応じて決めている。ただし、溶接金属や継手の材料の場合はこの限りではない。また、試験片を採取した位置・方向並びに加工方法については、明確にそのデータを記録しなければならない。

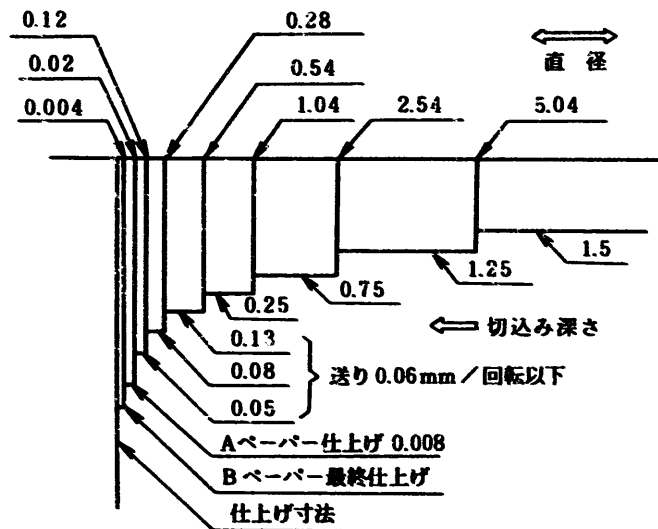
2-2-3 加工方法

- (1) 試験片の加工は、図-4に示す手順を目標とする。平行部外径の公差は0.02mm以下、かつ試験片は原則として同芯に製作されなければならない。
- (2) 試験片平行部の最終表面仕上げは軸方向に磨くこととし、400～600番のエメリー紙で仕上げた以上の滑らかさが望ましく、円周方向に鋭角な傷（旋盤傷）があってはならない。また、表面残留応力を最小にするため十分な冷却を行い浅くゆっくり加工する。最大主応力方向の表面あらさは0.2μm以下が望ましい。



- $d \geq 6 \text{ mm}$
  - $G.L \div d \geq 1$
  - $R \div d \geq 2$
- 注：R部で破断しないように決める
- $L \geq G.L + d$
- 注：バックリングしないように決める

図3 疲労試験片設計規定

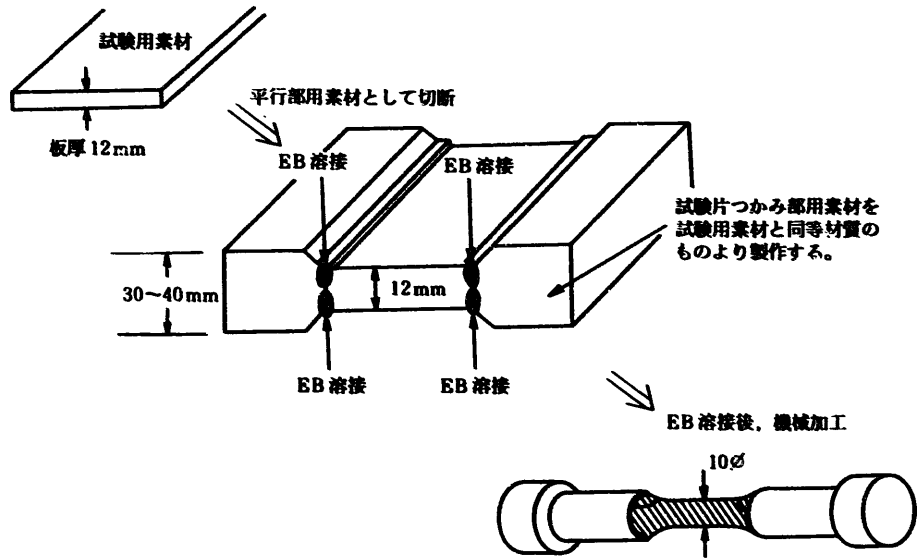


1. 旋盤による切込み深さ等は、上図にならうものとする。
2. 切込み深さ0.15からは両センターを用いて加工仕上げをする。
3. Aベーパー仕上げは #240 ベーパーで円周方向に磨き仕上げをする。
4. Bベーパー仕上げは #600 ベーパーで軸方向に磨き最終仕上げとする。円周方向のキズが認められないように注意すること。

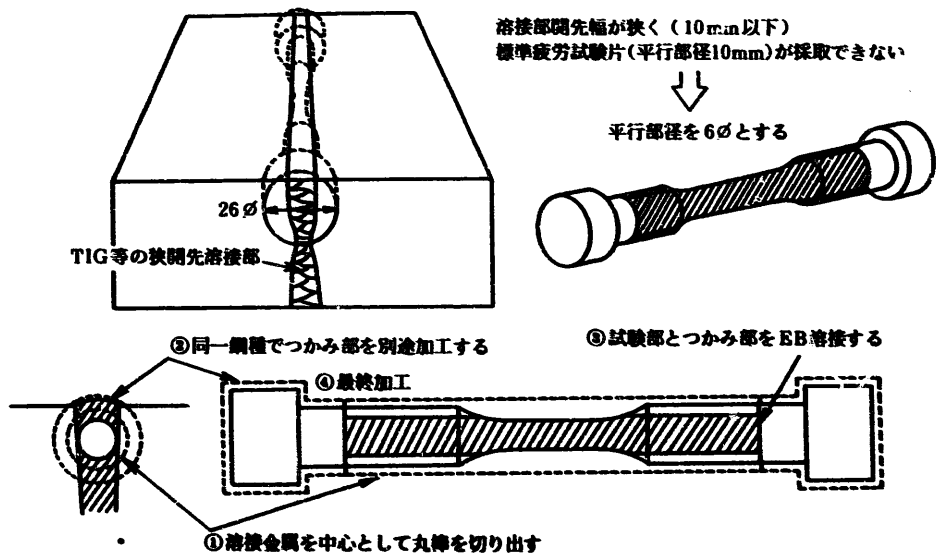
図4 試験片平行部加工要領

2-2-4 特殊試験片の製作

(1) 試験片の素材が小さく試験片寸法がとれない場合は、図-5に示したように平行部のR部を超えたところまでの部分と、試験片つかみ部として別材料（同材質）を溶接して製作する。その場合は平行部に熱ひずみ等の影響を与えない溶接方法（E.B.溶接（エレクトロビーム）およびTIG溶接等）を採用する。



・薄肉材より疲労試験片を採取する場合の電子ビーム溶接適用例



・狭開先溶接部よりの疲労試験片製作技術の開発

図 5 特殊疲労試験片の製作例

2-3 試験装置

当室に設置されている引張圧縮疲労試験機としては、閉ループ電気油圧サーボ制御方式並びにバックラッシュを少なくするように設計された電気サーボモータによるカム式、スクリュードライブ方式等の試験機が設置してある。これらは、荷重およびひずみが任意に制御できる構造になっている。

当室では、一般的に広く採用されている前者の電気油圧サーボ制御試験機を主として高温低サイクル疲労並びに短時間クリープ疲労試験装置として用いている。この試験機は高エネルギーを試験片に供給でき、大荷重、高速試験を可能にするとともに、高安定度、高精度の試験が可能である。また、電気サーボモータ式の疲労試験機は、長時間にわたる低ひずみ速度疲労試験や長時間クリープ疲労試験装置として用いている。

これらの疲労試験装置は、繰り返し荷重荷装置、加熱装置、ひずみ測定装置、荷重測定装置、計測制御装置等から構成されている。表-1に当室に設置されている疲労試験装置の仕様をまとめて示す。

表-1 疲労試験装置仕様一覧

	試験装置名	電気油圧サーボ制御方式		電気サーボモータ制御 スクリュードライブ方式	電気サーボモータ制御 偏心カム方式
繰り返し 負荷装置	1) 最大荷重	動的±5.0~±50.0ton		動的±5.0ton	動的±5.0ton
	2) 最大ストローク	±25mm~±50mm		±50mm	±3mm
	3) ロードセル	±5.0~50.0ton 精度±0.5%F.S		±5.0ton 精度±0.5%F.S	±5.0ton 精度±0.5%F.S
	4) 制御方式	荷重、ひずみ、ストローク		荷重、ひずみ	荷重、ひずみ
	5) 制御波形	サイン波、ランプ波、矩形波、ランダム波		ランプ波	ランプ波
	6) 負荷速度	10 <sup>-6</sup> Hz~10Hz		10 <sup>-6</sup> ~10 <sup>-4</sup> Hz	10 <sup>-6</sup> ~10 <sup>-4</sup> Hz
	7) 最大保持時間	4000時間		1000時間	50時間
	8) 試験片タイプ	ボタンタイプ		ボタンタイプ	ネジタイプ
	9) グリップ構造	ボタン上部締め付け型		袋ナット締め付け型	袋ナット締め付け型
ひずみ測定装置	1) ひずみ計サイクル 最大周波数	5Hz		10 <sup>-4</sup> Hz	10 <sup>-4</sup> Hz
	2) 測定範囲	±1.0mm 精度1%F.S		±0.5mm 精度1%F.S	±1.0mm 精度1%F.S
	3) 検出器	ひずみゲージ、LVDT		ひずみゲージ	ひずみゲージ
	4) 構造	石英棒平行部押し当て方式		石英棒平行部押し当て方式	石英棒平行部押し当て方式
加熱装置	1) 型式	高周波誘導加熱方式	半制御環状電気炉	半制御環状電気炉	半制御環状電気炉
	2) 最大出力	6~10KW	5.5~7KW	2.4KW	5KW
	3) 制御温度範囲	200℃~800℃	300℃~900℃	400℃~800℃	300℃~800℃
	4) 制御方式	PID制御	PID制御	PID制御	PID制御
試験回数		10基	10基	4基	4基

## 2-3-1 各部仕様

ここでは、一般的に広く使用されている電気油圧サーボ制御試験機の仕様を以下に示す。

## (1) 繰り返し荷重負荷装置 (アクチュエータ)

繰り返し荷重負荷装置は電気振動の信号を油圧に介して機械振動に変換するサーボ弁、機械振動する加振機、加振機ピストンの動作を検出する変位検出器等により構成されている。小型試験片レベルでの標準は $\pm 5 \text{ ton}$  ～ $\pm 10 \text{ ton}$  であり、アクチュエータのストロークは $\pm 25 \text{ mm}$  ～ $\pm 50 \text{ mm}$  である。

## (2) 試験片つかみ部 (チャック)

つかみ部は試験片の座屈を防止するため、試験片の軸芯を保証する形状であり、また装着時に過大なねじりモーメントを試験片に負荷しない構造としている。図-6に代表的な試験片つかみ部を示す。電気ヒータ加熱炉を使用する装置は、試験温度範囲内において長時間ゆるみなく引張圧縮の荷重負荷ができるつかみ具の材料を使用している。Appendix 1に当室で使用されている試験片つかみ部の外観図を示す。

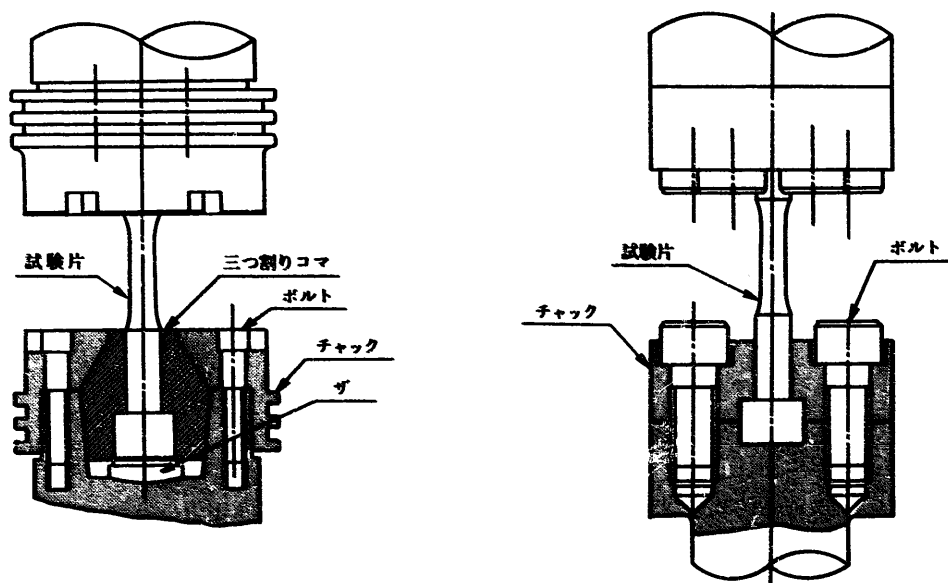


図 6 試験片つかみ部の外観図

## (3) ひずみ計

## ① 押し当て型ひずみ計

大気中疲労試験に使用する。試験片のひずみ測定は平行部の標点距離に直接石英棒（またはセラミック棒等）を押し当て、ひずみを検出している。検出器には、LVDT方式、ひずみゲージ方式等があり、ひずみ検出器から増幅アンプを介しての標準出力は $\pm 10 \text{ V}$ が一般的である。ひずみ検出器は昇温時および振動等にはずれ難い構造にするため図-7のように吊りスプリングや試験片抱き込み型等の改善を施す必要がある。

② アームショルダー型ひずみ計

ナトリウム中疲労試験に使用するアームショルダー型ひずみ計は、図-8に示したペローズ付き疲労試験片の外側に設けた変位検出用突起（ツバ）間の伸びを測定する。検出器はLVDT方式で増幅アンプを介しての標準出力は±10Vである。

Appendix 2に当室で使用しているひずみ計の外観図を示す。

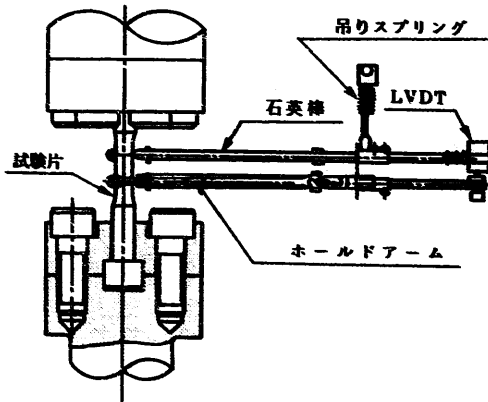


図7 押し当て型ひずみ計の取り付け図

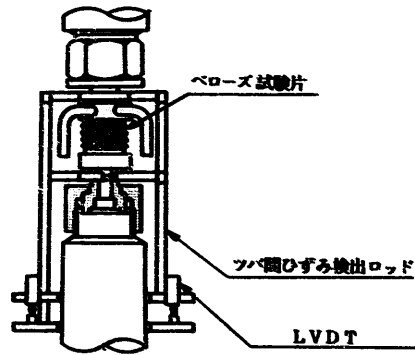


図8 アームショルダー型ひずみ計の取り付け図

(4) 加熱装置

加熱装置は試験片を試験目的に応じた試験温度まで高温加熱するためのものであり、その方式には電気ヒータ加熱炉方式と高周波誘導加熱方式を採用している。温度検出用熱電対は、直径 0.3φのPR熱電対(JIS 0.25 級)であり、温度制御はPID調節式が一般的である。

(5) 荷重検出器（ロードセル）

荷重検出には、弾性材料にストレインゲージを貼り、せん断ひずみを検出するロードセル方式である。この検出器を試験片の上部、または下部ロッドに取付け、増幅アンプを介しての標準出力は±10Vである。また、荷重検出器は、アクチュエータの負荷荷重と同一にするのが一般的である

(6) 記録装置

記録装置としては、X-T、X-Yレコーダ等のアナログ計測もしくは小型計算機によるオンライン計測を行っている。

① レコーダ

試験装置には、応力とひずみのヒステリシスループを記録するX-Yレコーダと応力、ひずみ、温度等の時間変化をモニターする温度記録計およびX-Tレコーダがある。

② オンラインデータ収集システム

このシステムは計算機と全疲労試験機がオンラインで結ばれ、試験機より応力-ひずみを時系列でサンプリングし、また、試験機の運転監視を行うためのリアルタイムシステムである。計測デー

データの編集およびファイルの作成機能もあり、必要な時にデータの解析を行うことができる。

Appendix 3にオンラインデータ収集監視システムの接続概略図を示す。

### 2-3-2 試験装置設置環境

試験装置および各種検出器はデータの信頼性、品質向上を得る目的で試験期間中、常に一定の環境に維持することが必要である。そのための方法として、試験室内の温度変動を $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内に調整し、かつ、試験機本体を2重のビニールで覆う構造として雰囲気温度変動を $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内に制御している。これらは図-9に示すように、空調設備による室内の温度変動および風によるひずみ計の微振動が、フィードバックにより大きく荷重の変動を生じさせてしまう。これらの影響によりクリープ疲労試験時の応力緩和挙動データの正確なデータを得ることができなかつた。これらの影響をなくするために試験機回りを二重のビニール風防で覆うことによりひずみ計回りの室内温度変動を極力小さくすることが可能となり、高精度な応力緩和挙動データを得ることができている

また、試験機の油圧ポンプ系に接続されている油圧ホースおよび高压配管は、定期的に管内外の劣化度を調査し、その状況によっては交換を行っている。また、冷却水は循環式を用いて温度と質の管理を行っており、冷却水による試験精度のばらつきを極力小さくしている。

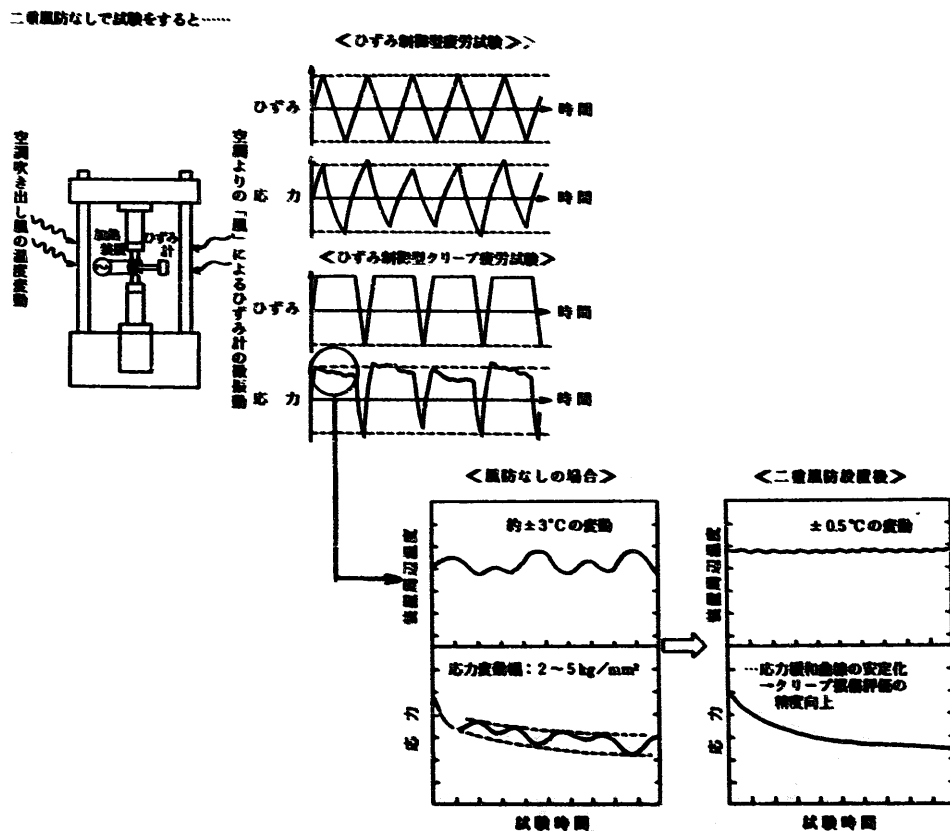


図9 二重風防による試験精度の向上例

2-4 試験方法

2-4-1 試験片取付方法

(1) 軸芯調整

試験片の取り付けは、試験中の座屈や曲げ変形を防止するために、負荷方向と試験片の中心が一直線になるように取り付け、試験片曲げ応力は軸応力の5%以下にするべきである。そのためには、軸芯の調整が必要であり、図-10 に示すように試験装置の固定された側のロッドとアクチュエータ側のロッド（上下ロッド間）を90°毎に1回転させ、ダイヤルゲージにてその偏心度を測定し、その装置の最小値まで軸芯を調整をしなければならない。また、固定ロッド側に試験片を装着し、同様に測定を行う。その時の軸芯量は約1/100 ~ 5/1000程度までの範囲に調整する。曲げ応力測定は、図-11 に示すように、その試験片にひずみゲージを90°方向に4枚を接着し、実負荷荷重を試験片に与えた時の曲げ偏心量を測定し、その時の曲げ精度を図中の式により換算する。

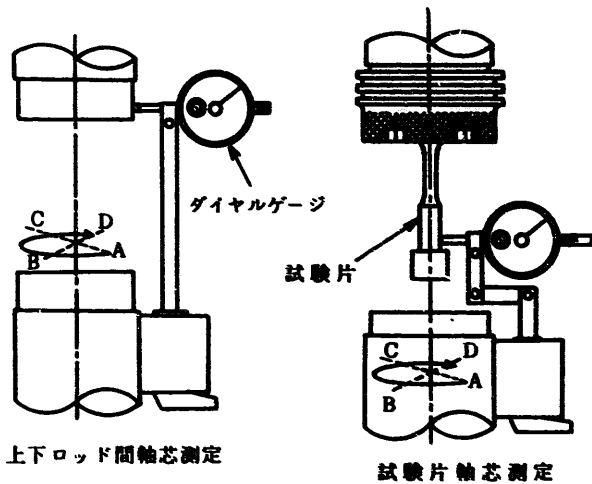
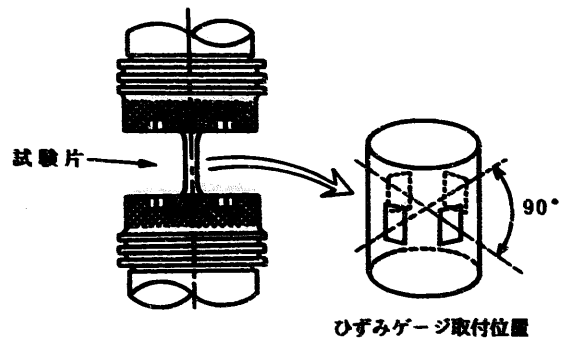


図10 軸芯精度計測方法



$$\Delta \epsilon_{av} = (\Delta \epsilon_1 + \Delta \epsilon_2 + \Delta \epsilon_3 + \Delta \epsilon_4) / 4$$

$$\sigma = \frac{\max(\Delta \epsilon_i - \Delta \epsilon_j)}{\Delta \epsilon_{av} / 2} \times 100$$

図11 試験片曲げ精度計測方法

(2) 試験片取り付け

試験片の取り付けに際しては、過大なひずみ負荷を防止するため、取り付けに必要な最小限の負荷荷重以外の負荷が試験片にかからないようにする。なお、つかみ部分は試験片の装着時に過大なねじりモーメントを試験片に負荷しない構造を採用している。

(3) ひずみ計取り付け方法

押し当て型ひずみ計を取り付ける場合は、試験中に外れたり、ずれたりしないように押し当てる力を調整する。また、平行部の昇温による自由膨張量を計算し、試験温度に達した時、標点距離付近になるようにひずみ計の取り付け時に調整する。



2-4-2 試験片加熱方法

(1) 大気中疲労試験

試験片の標点間内温度分布は電気ヒータ加熱炉で±5℃以内、高周波誘導加熱ではPeak to Peak10℃以内を目標とするため、試験前に温度分布を測定し、加熱装置の出力調整を行う。また、試験時は図-12に示すように熱電対を試験片のR部に点溶接してこれを制御し、標点間の温度は中心に1点を縛り付けて試験温度までをモニターする。昇温後、試験片を熱平衡状態にするために均熱時間をおくが、この均熱時間は高周波誘導加熱装置で約30分、電気ヒータ加熱炉で約3時間を標準とする。

また、熱電対の先端（温度検出部）は、球状よりも円盤状の方が温度誤差が少ないため、図-12に示すように、厚さ約0.3mm以下、直径約0.5~0.8mmのものを試験片表面に点溶接およびアスベスト紐等で縛りつけて、試験片の実体温度を計測制御するものとする。Appendix 4に高温試験の温度制御方法を示す。

(2) ナトリウム中疲労試験

ナトリウム中疲労試験の温度制御は、図-13に示すようにベローズ付き疲労試験片に取り付けられたウェル型K熱電対をナトリウムループの加熱器出口にフィードバックさせ、流体ナトリウムの温度を制御する。その場合、試験装置の加熱炉は、ベローズ試験片に流れているナトリウムの入口と出口の温度差が生じないように保温炉として使用する。試験片を熱平衡状態にするため、昇温後の均熱時間は約3時間とする。

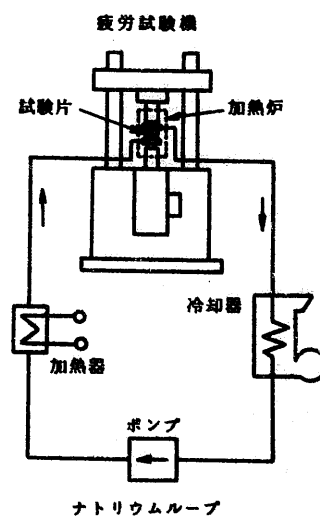
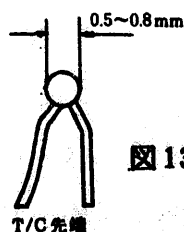
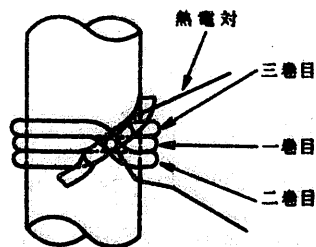
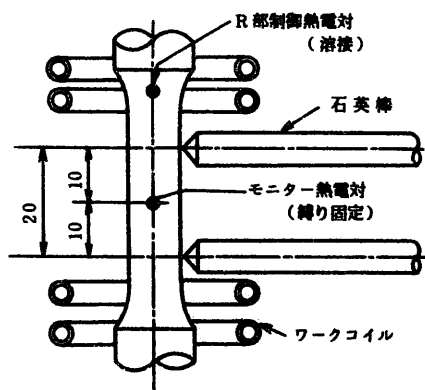


図13 ナトリウム中疲労試験温度測定制御方法

図12 大気中試験片温度測定制御方法

### 2-4-3 試験負荷方法

試験片取付後は試験片に荷重がかからない状態を維持するため、試験開始直前まで無負荷の荷重制御とする。試験片の加熱昇温時も、温度変化による自由膨張量が無負荷であることを確認したのち、均熱時間を利用して試験装置の調整を行う。記録装置を準備し、試験装置の条件設定後すみやかに試験制御に切り換え、負荷装置を作動させて試験を開始する。試験中、制御波形と出力波形の誤差は全制御量の±0.5%以下とする。

## 2-5 試験の記録と観察

### 2-5-1 ヒステリシスループの記録

- (1) 初期の10サイクルを連続測定記録する。
- (2) その後は対数的に増加させて記録する。その回数としては、20, 30, 50, 70, 100, 200, 300, 500, 700, 1000, 2000, 3000, 5000等とする。

### 2-5-2 応力範囲の記録と応力緩和挙動の記録

- (1) ひずみ制御試験の期間中、応力範囲と保持中の応力の時間変化を常時記録する。上記試験回数毎に記録する。

### 2-5-3 試験の監視

- (1) 試験開始直後の数10サイクル（試験の安定時）までは、試験片の座屈の有無やヒステリシスループの異常、特にひずみ計の滑り等の有無等を確認し、異常のないことを確認する。その後は定期的な監視を試験終了まで行う。
- (2) ナトリウム中試験の場合、疲労試験データの記録の他にナトリウムループの主要部温度、流量等の試験条件を記録し、常時ループ運転状態を監視・記録する。

## 2-6 試験の終了

試験片破断の定義としては、通常のひずみ制御試験の場合、試験素材の性質、特に繰り返し硬化材並びに繰り返し軟化材の場合によってそれぞれの機関で異なるが、当室の場合は、<sup>(1) (2)</sup> 図-14に示すように材料学会や溶接協会が規定している方法を採用し、引張側荷重値が最大値あるいは定常値の $3/4$  ( $N_{2/3}$ ) に低下した時点を破断と定義する。このために試験装置では余分に繰り返しを与えた後に停させることとし、その後チャート紙等から破断回数を決定する。

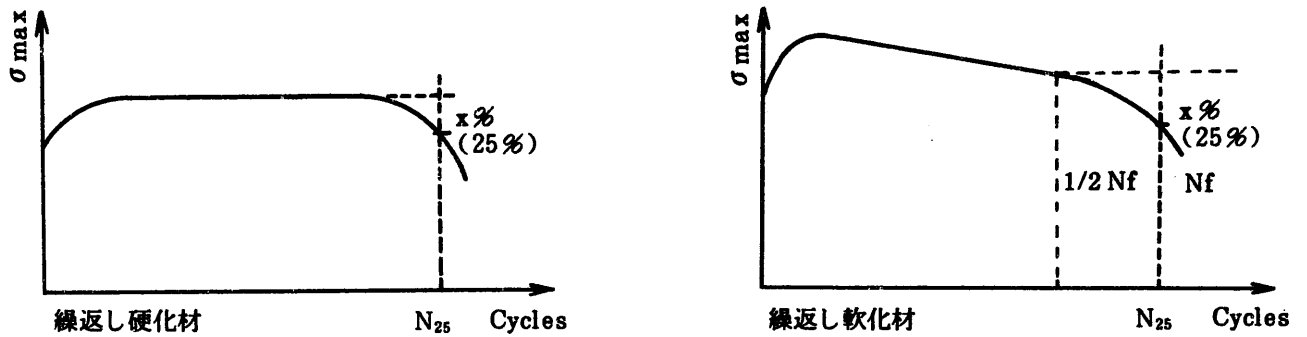


図 14 試験片破断の定義

2-7 試験装置異常中断の復帰方法

試験中何らかの異常により中断した場合は、その原因を除去し、試験片を中断前の状態に戻した後、すみやかに再復帰する。ただし、中断によるひずみ計の滑りが原因等で、制御（ひずみ）振幅のズレに伴う荷重の増減が生じた場合や試験片の変形（座屈）等が確認された場合は試験を中止する。このように油圧サーボ型疲労試験機の場合、様々な要因により異常が起こる可能性が多く、これらの異常により中断した現象は、試験データと共に報告する。

2-8 試験結果の整理と報告

2-8-1 ヒステリシスループの読み取り方法

図-15 に示すようにヒステリシスループから、 $\Delta \epsilon_t$ ,  $\Delta \epsilon_p$ ,  $\sigma_{max}$ ,  $\sigma_{min}$  を、クリープ疲労試験は応力緩和開始時の  $\sigma'_{max}$ 、応力緩和終了時の  $\sigma'_{min}$  も読み取る。

2-8-2 応力時間変化の読み取り方法

クリープ疲労試験の場合のみ、図-16 に示すように時間と応力の関係を読み取る。

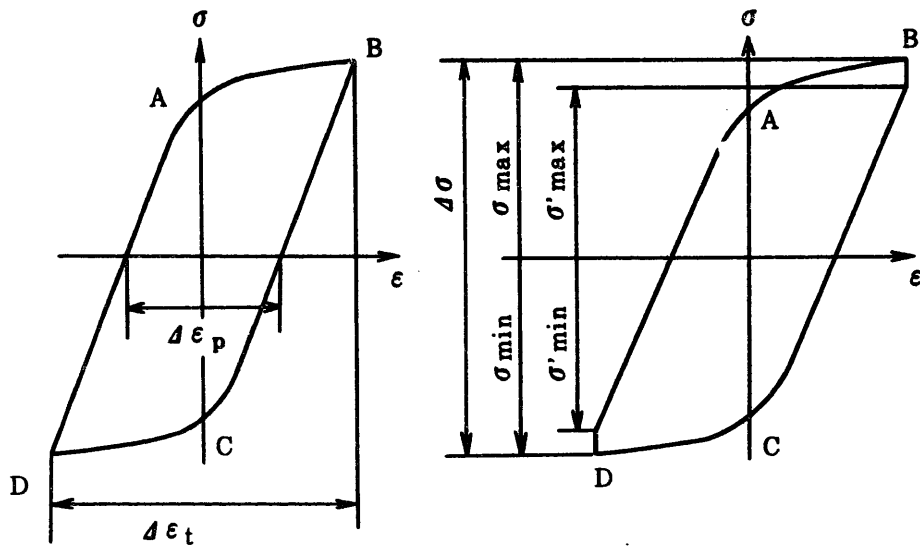


図15 ヒステリシスループからのデータ計測方法

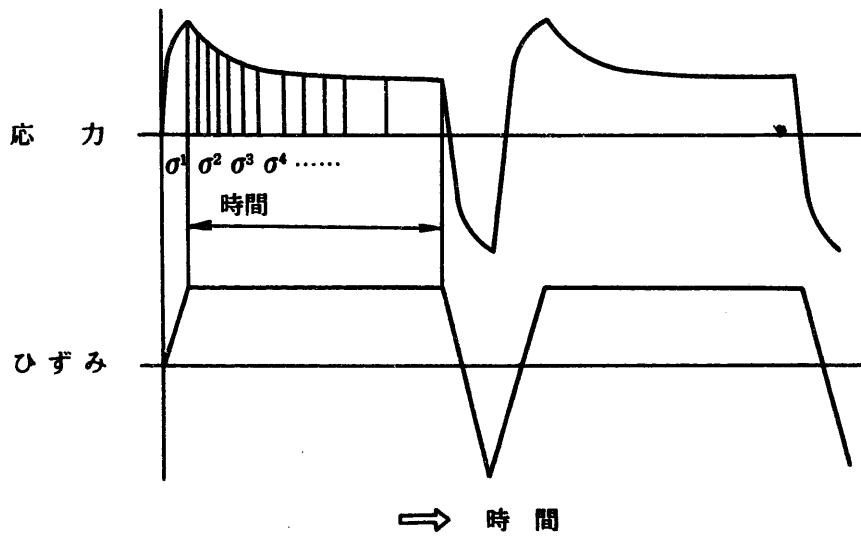


図16 応力緩和挙動のデータ計測方法

### 2-8-3 破断繰り返し数の決定

破断繰り返し数は、応力範囲の時間変化記録紙より引張側荷重値が最大値あるいは定常値の $3/4$ に低下した時点の回数とする。

### 2-8-4 試験におけるひずみ、応力等の代表値（強度データ）の決定

破断繰り返し数の $1/2$ 、またはその近傍の値とする。

### 2-8-5 試験結果の報告

当室における疲労試験データの報告事項を以下に示し、その代表的なフォーマットをAppendix 5に記載した。また、ナトリウム中試験の場合、ナトリウム中と大気中の疲労寿命を比較する必要がある。大気中試験では、平行部のひずみを直接測定（押し当て型ひずみ計）しているので問題はないが、ナトリウム中試験ではつば間のひずみ（アーム型ひずみ計）のみを測定しているため、その測定値を平行部のひずみに換算する必要がある。このため、ひずみ校正試験が必要となり、その方法をAppendix 6に示した。

以下に報告内容を示す。

- (1) 試験片の材質および形状（試験片の履歴を含む）
- (2) 試験装置の概略仕様
- (3) 試験条件や試験方法
- (4) 荷重負荷開始温度（試験温度）
- (5) 破断繰り返し数
- (6) 疲労寿命の $1/2$ 、またはその近傍の値  
（全ひずみ範囲、塑性ひずみ範囲、応力範囲）
- (7) 初期、安定期、 $1/2$ 寿命時のヒステリシスループ
- (8) 試験期間中の応力、ひずみの連続変化
- (9) その他、試験中の異常の有無や研究者が必要とする図表等

### 2-8-6 試験結果のデータベース化

当室で行われた試験結果は、全て当室で開発されたSMAT（FBR構造材料データ処理システム<sup>(4)</sup>）に構築され、広範囲にわたるデータの活用がなされている。Appendix 7にそのシステムの概要を記載した。また、これらのシステム(SMAT)を利用し、当室で得られた各材料強度データを適宜データシートとして報告している。

### 3. おわりに

本報告書は、疲労試験方法の標準化に向けての一つの資料として、材料開発室における疲労試験方法をまとめたものである。これらの試験方法は普遍的なものであり、今後、高温疲労試験方法を確立するためには、国内外の動向を考慮しつつ、さらに詳細な調査・実験・検討が必要である。また、高速炉用構造材料の設計に関しては、試験環境が大気中およびナトリウム環境だけではなく照射環境等でも行われており、材料開発室での試験方法が役立てられれば幸いである。

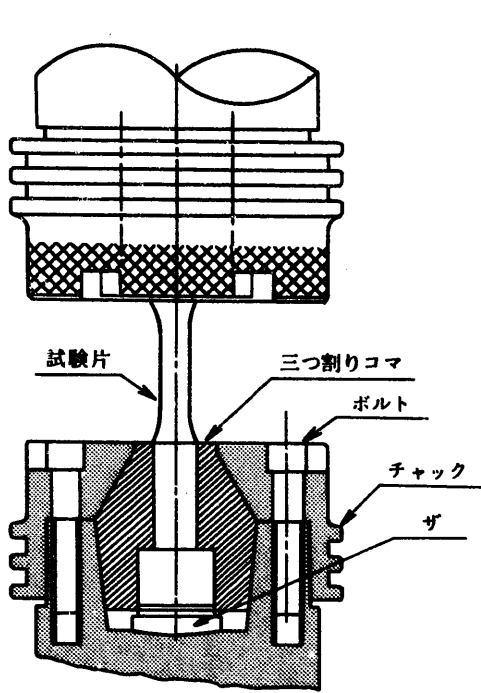
#### 4. 参考文献

- (1) 高速原型炉第 1 種機器の高温構造設計方針, 高速原型炉高温構造設計方針 材料強度基準等  
N241 81-25(1)(2) 1981
- (2) 高速炉構造材料の高温低サイクル疲労試験方法に関する研究成果報告書 社団法人 日本溶接協会  
原子力研究委員会 P・F C 小委員会 SJ225 80-05 JWES AE 8004
- (3) 高温疲労試験方法の現状と標準化のための共同研究 山口他 高温強度研究委員会シンポジウム 高  
温強度評価の現状と展望- II 発表論文 日本鉄鋼協会 高温強度研究委員会
- (4) 構造材料データ処理システム S M A T の開発、汎用大型計算機における関係データベースの構築 (そ  
の 1) 基本構想とシステム設計 ; 青砥他 PNC SN9440 90-001

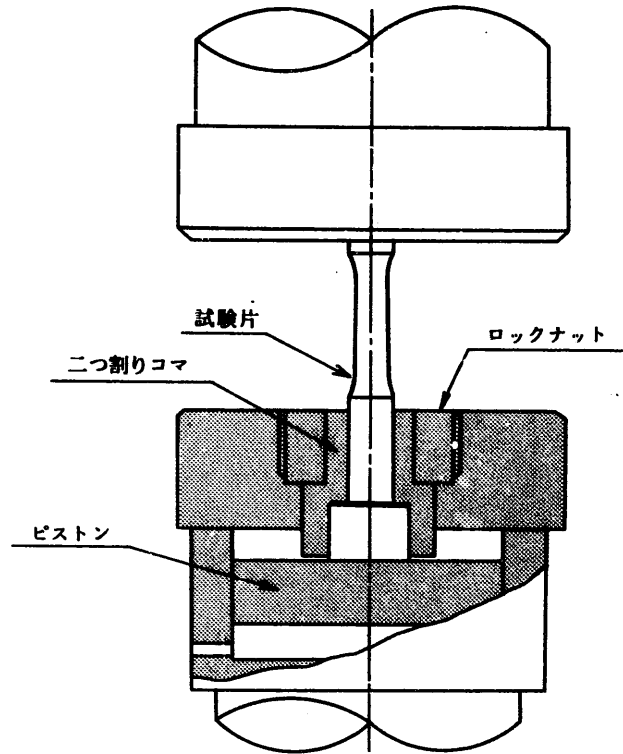
## Appendix

### Appendix 1 試験片つかみ部の外観図

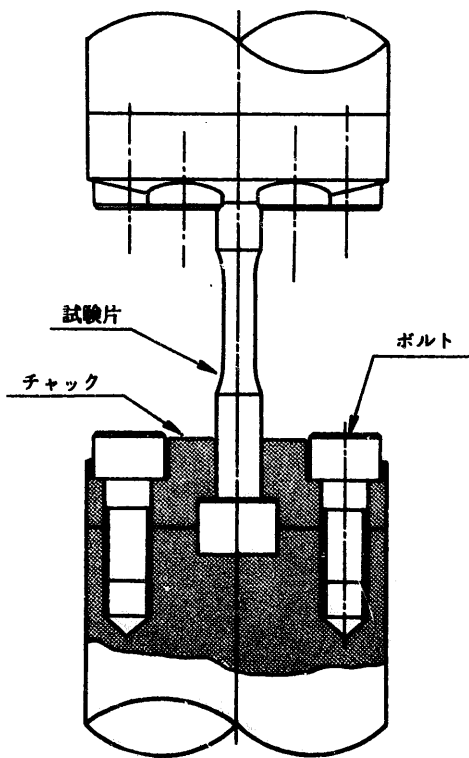




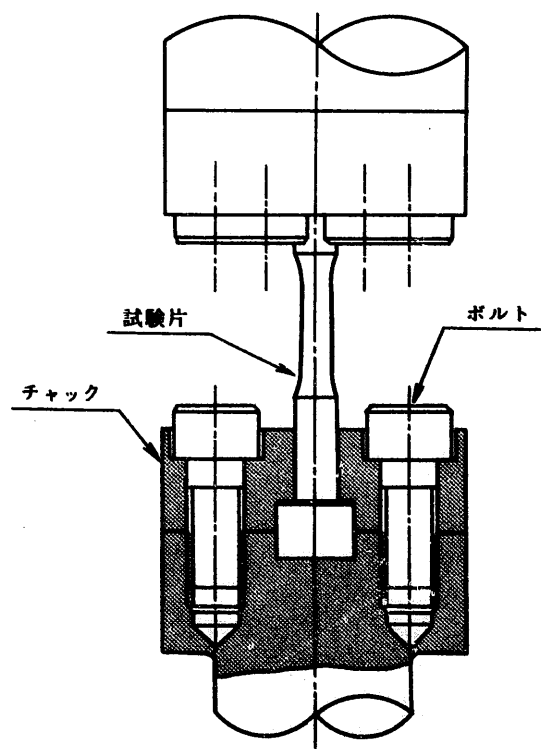
(a)



(b) (油圧式)



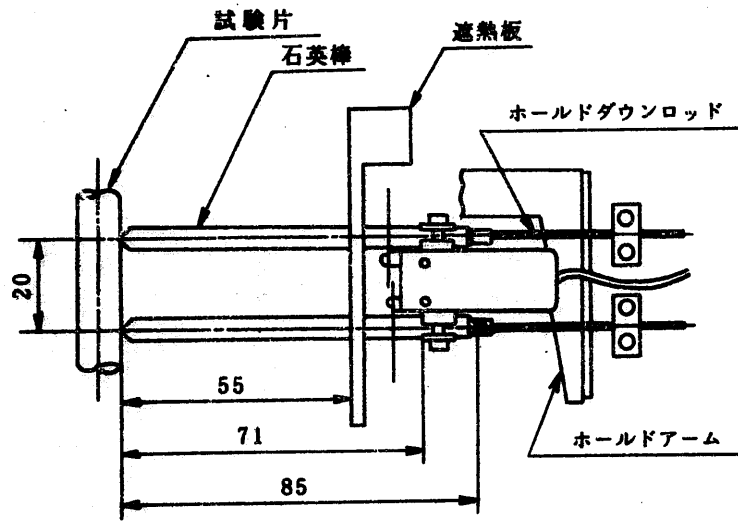
(c)



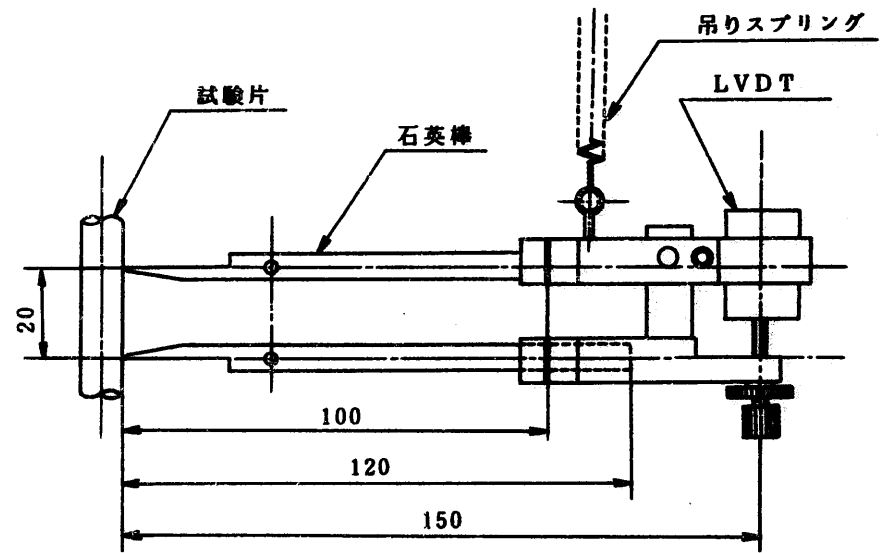
(d)

## Appendix

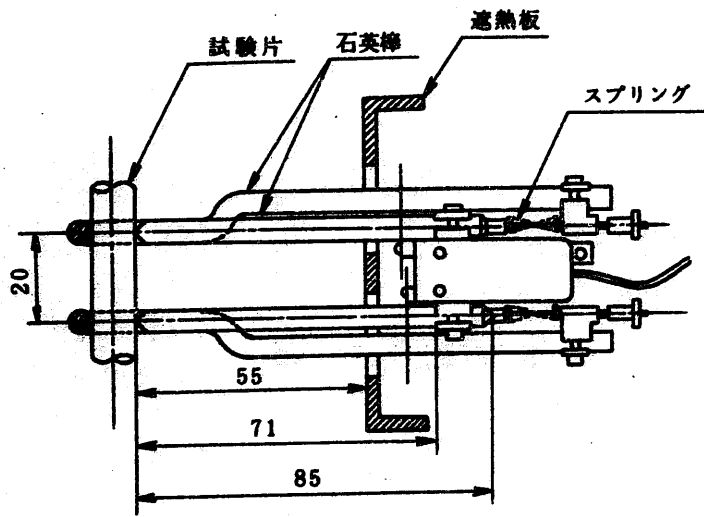
### Appendix 2 ひずみ計の外観図



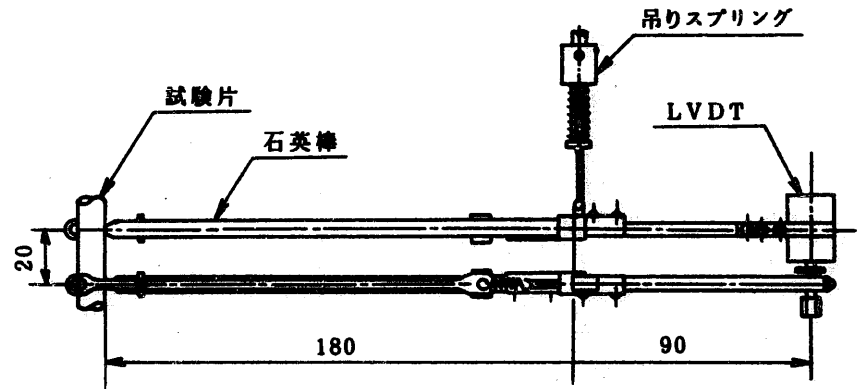
(a)



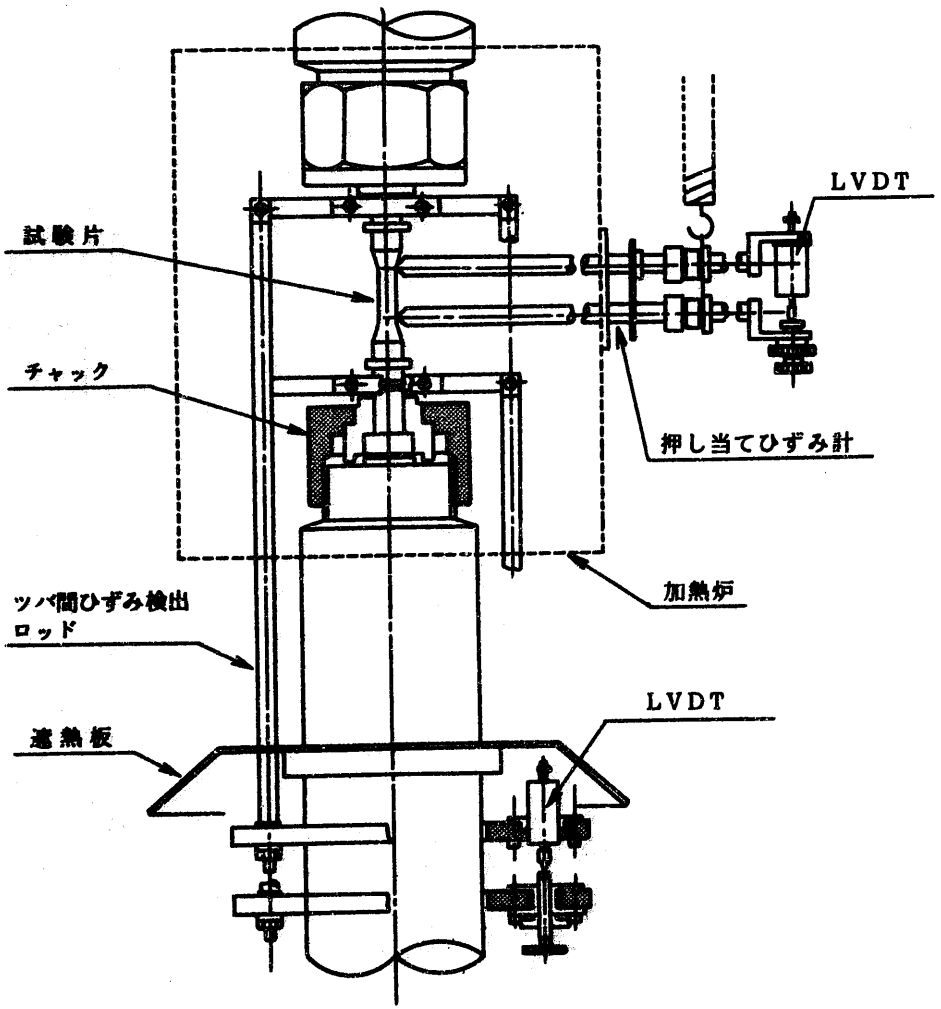
(c)



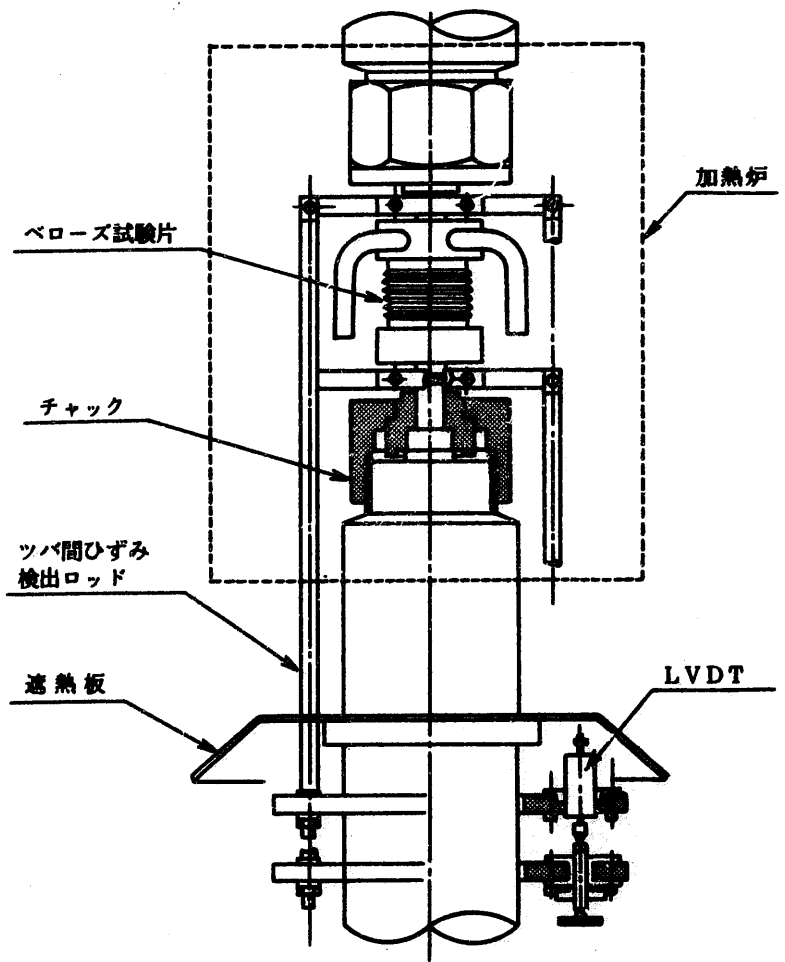
(b)



(d)



大気環境試験



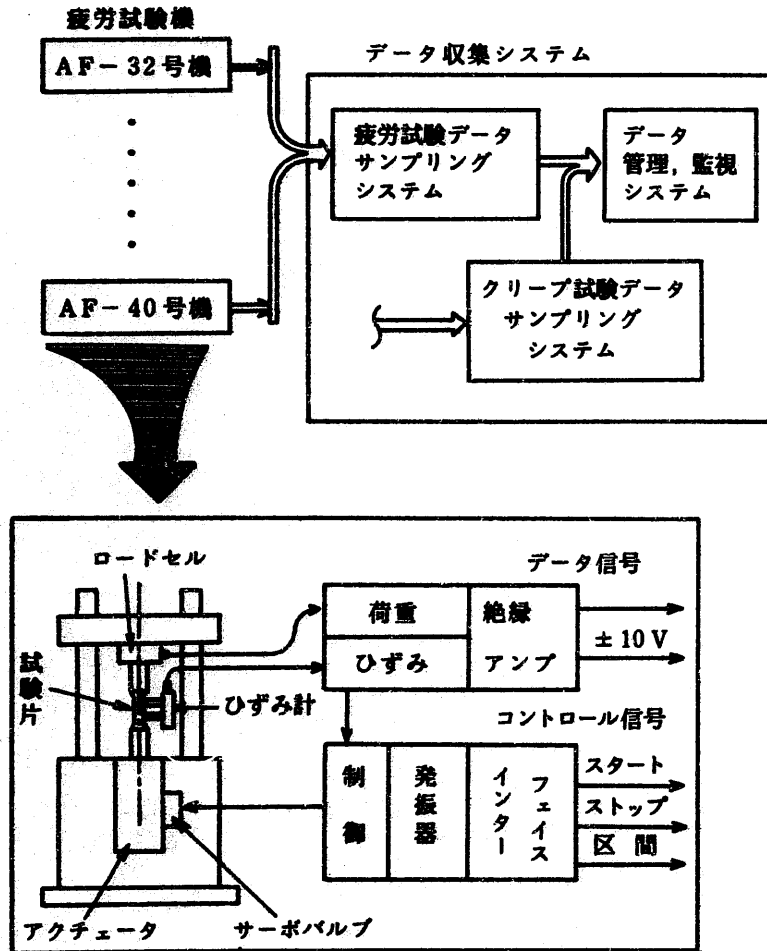
ナトリウム環境試験

## Appendix

### Appendix 3 小型計算機によるオンラインデータ収集システム接続概略図

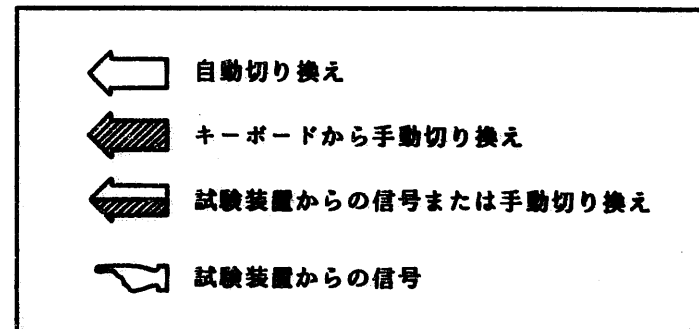
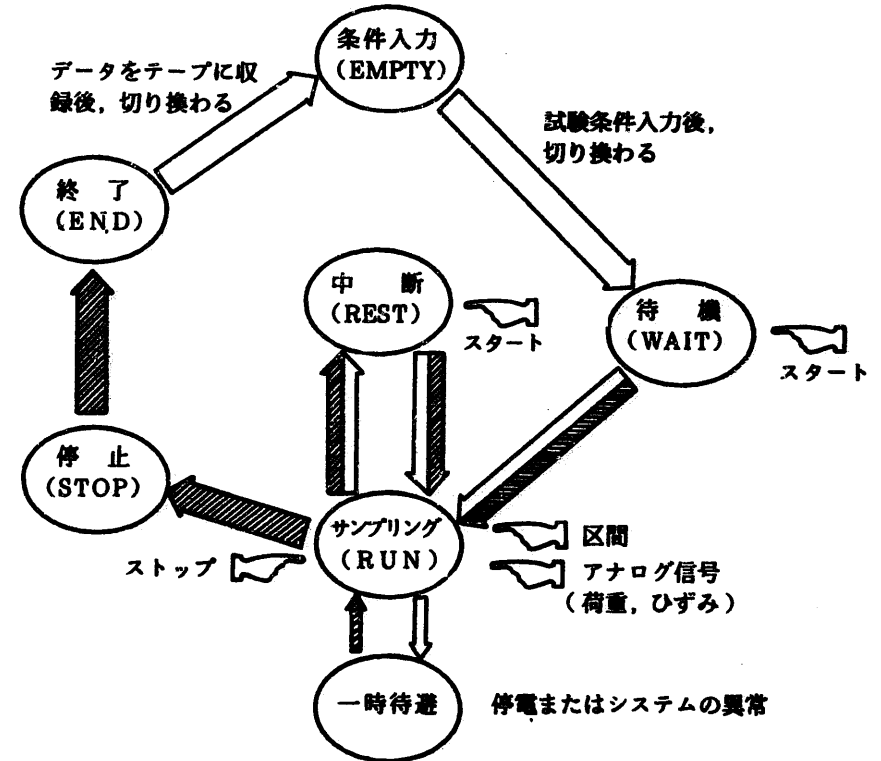
# オンラインデータ収集システム

## 1. 接続概略図



## 2. 疲労試験データサンプリングシステム運転モード

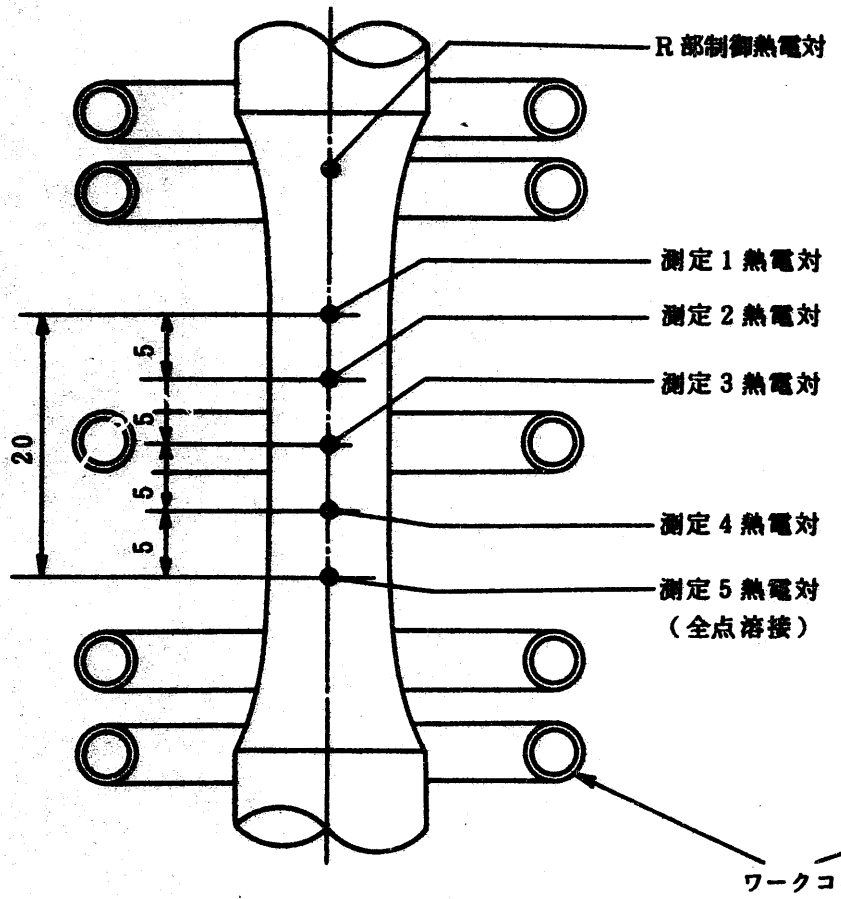
各試験装置とシステムの接続状態は下記の図に示すとおり、試験装置からの信号により、自動的に各モードに移行する。



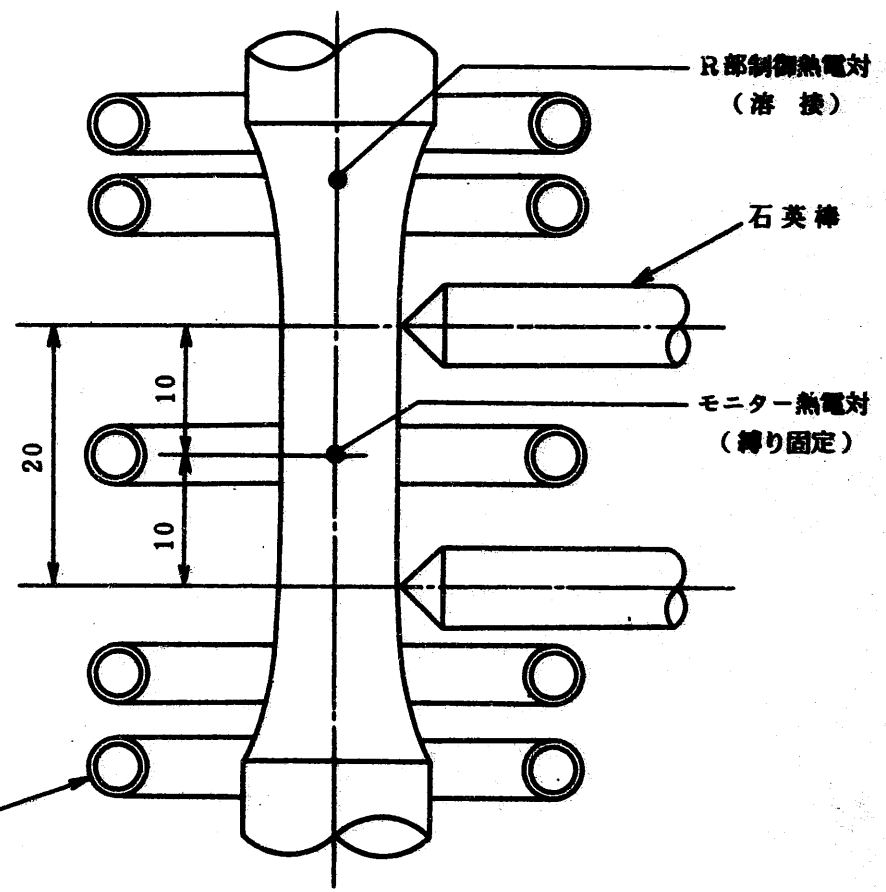
## Appendix

### Appendix 4 温度制御および温度分布測定方法

温度分布の測定方法  
(R部制御のGL内3~5点測定)



試験中の温度制御および温度モニター方法



温度制御および温度分布測定



## Appendix

### Appendix 5 疲勞試験データ出力図例

# 大気中クリープ疲労試験データシート

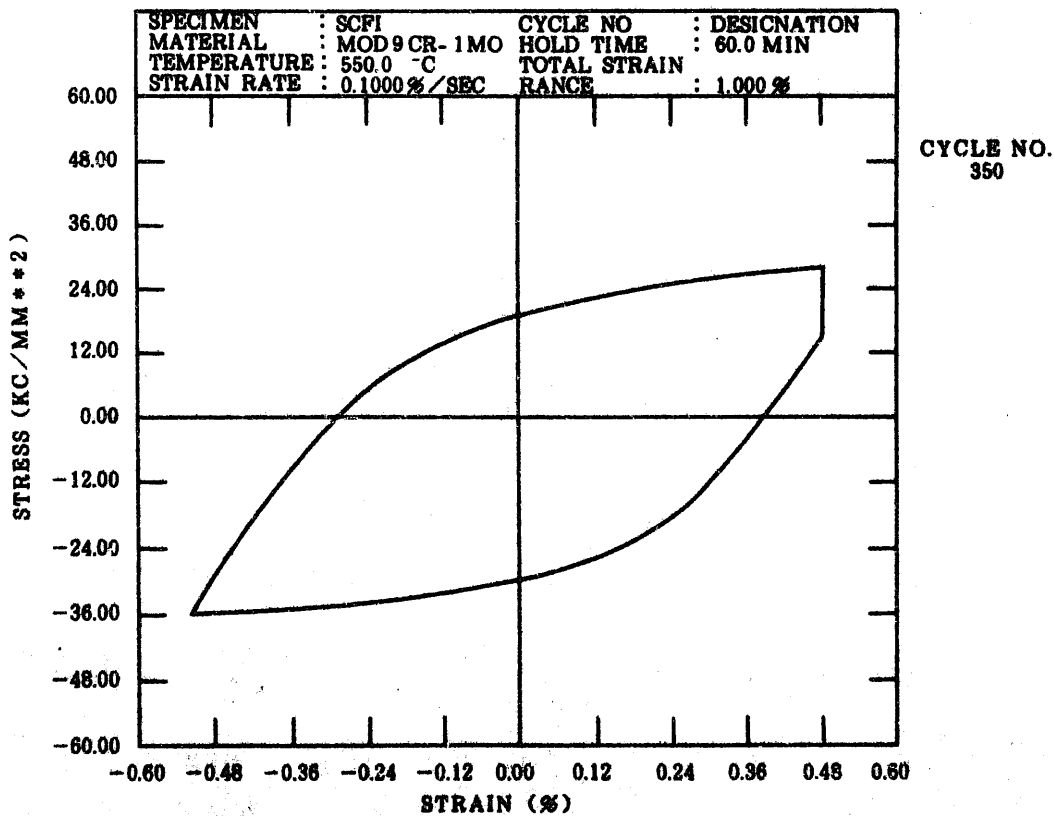
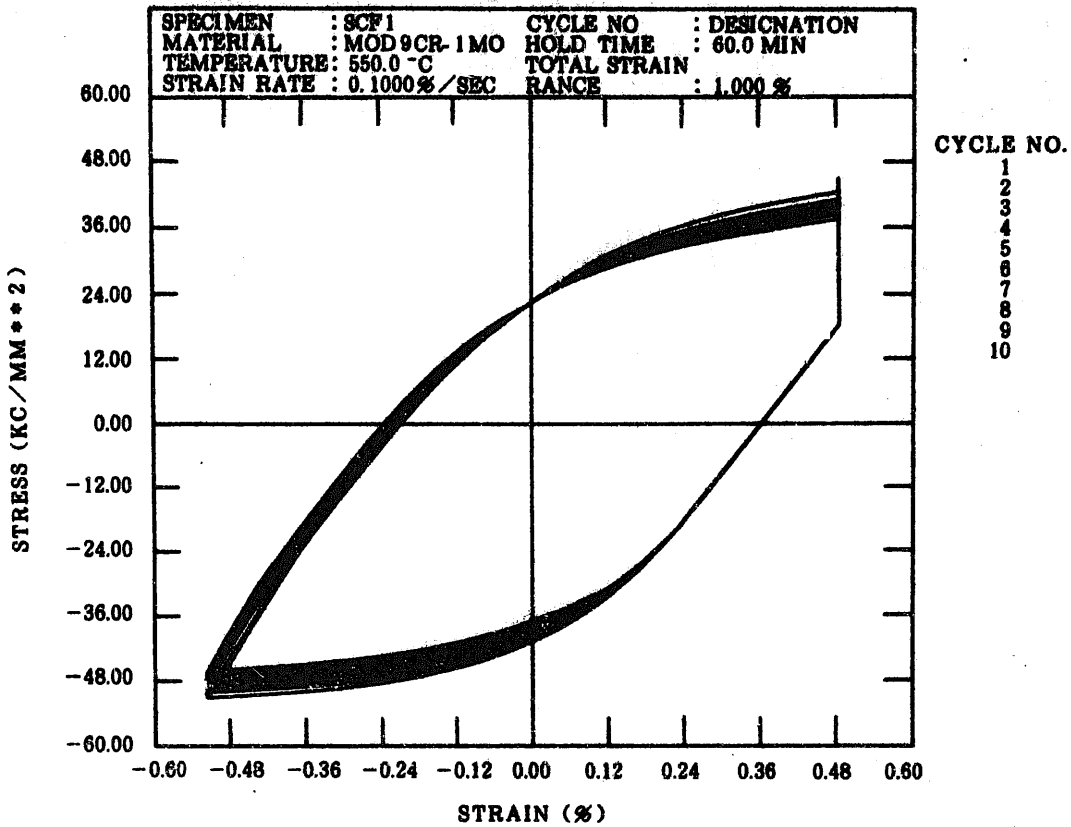
試験日/期間 : S . . . - S . . . 歪率 : 1.0000 (X)  
 試験機番号 : AF-39 歪速度 : 0.1000 (X/SEC)  
 試験片番号 : SCF1 試験回数(Nf) : 717 (Cycle)  
 試験温度 : 550 (C) 保持時間 : 60.0 (min)

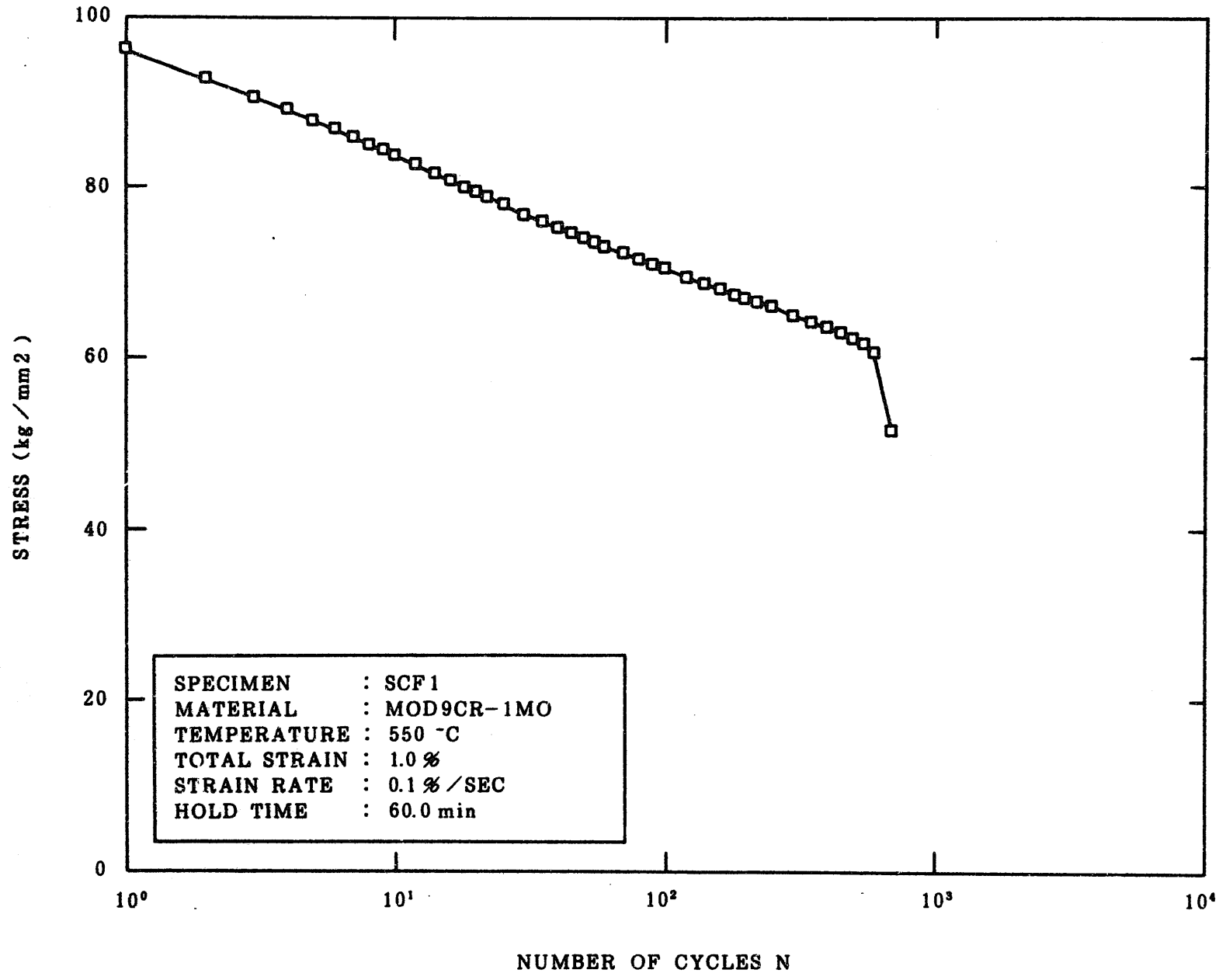
サイクル N	押し当て(x)		応力範囲 (Kg/mm)			
	$\Delta \epsilon t$	$\Delta \epsilon p$	$\sigma_{max}$	$\sigma'_{max}$	$\sigma_{min}$	$\sigma_{Range}$
1	0.999	0.563	45.267	18.891	50.999	96.266
2	1.001	0.572	42.548	18.214	50.173	92.721
3	1.000	0.580	41.236	18.262	49.396	90.632
4	0.998	0.583	40.458	18.360	48.718	89.175
5	0.998	0.587	39.730	18.602	48.133	87.864
6	1.004	0.589	39.293	18.505	47.599	86.892
7	1.001	0.591	38.710	18.505	47.113	85.824
8	1.000	0.595	38.273	18.700	46.676	84.949
9	1.002	0.596	37.933	18.797	46.385	84.318
10	1.001	0.601	37.593	18.554	46.093	83.686
12	1.000	0.602	37.059	18.700	45.462	82.521
14	1.001	0.604	36.622	18.748	44.878	81.501
16	1.001	0.607	36.185	18.748	44.480	80.675
18	1.002	0.611	35.796	18.505	44.053	79.849
20	1.000	0.612	35.505	18.505	43.782	79.287
22	1.000	0.612	35.262	18.651	43.470	78.732
25	0.999	0.616	34.775	18.408	43.082	77.858
30	1.002	0.619	34.096	18.354	42.499	76.595
35	1.000	0.621	33.802	18.165	42.013	75.915
40	1.000	0.627	33.562	18.408	41.625	75.187
45	0.998	0.626	33.271	18.214	41.285	74.555
50	0.999	0.628	32.979	18.020	40.993	73.972
55	1.000	0.631	32.785	18.068	40.702	73.487
60	0.999	0.632	32.493	17.874	40.410	72.904

# 大気中クリープ疲労試験データシート

試験日/期間 : S . . . - S . . . 歪率 : 1.0000 (X)  
 試験機番号 : AF-39 歪速度 : 0.1000 (X/SEC)  
 試験片番号 : SCF1 試験回数(Nf) : 717 (Cycle)  
 試験温度 : 550 (C) 保持時間 : 60.0 (min)

サイクル N	押し当て(x)		応力範囲 (Kg/mm)			
	$\Delta \epsilon t$	$\Delta \epsilon p$	$\sigma_{max}$	$\sigma'_{max}$	$\sigma_{min}$	$\sigma_{Range}$
70	1.002	0.641	32.202	17.631	40.022	72.224
80	1.000	0.642	31.862	17.582	39.633	71.495
90	1.000	0.645	31.571	17.291	39.390	70.981
100	1.001	0.648	31.328	17.048	39.089	70.427
120	1.000	0.653	30.794	16.951	38.613	69.407
140	1.001	0.655	30.502	16.562	38.176	68.678
160	0.998	0.657	30.114	16.514	37.933	68.047
180	1.000	0.660	29.774	16.368	37.593	67.367
200	0.999	0.662	29.578	16.222	37.350	66.930
220	1.000	0.666	29.336	15.882	37.156	66.493
250	1.002	0.670	29.142	15.785	36.913	66.055
300	1.000	0.675	28.559	15.202	36.379	64.936
350	1.000	0.675	28.171	14.765	36.039	64.210
400	0.999	0.683	27.734	14.425	35.796	63.530
450	1.001	0.683	27.442	13.891	35.408	62.850
500	1.000	0.685	27.054	13.405	35.165	62.218
550	0.999	0.677	26.616	13.260	34.873	61.490
600	1.000	0.679	25.836	12.920	34.533	60.470
700	1.002	0.654	20.611	10.005	31.231	51.242





## Appendix

### Appendix 6 ナトリウム中ひずみ較正方法

ナトリウム中ひずみ校正方法

ナトリウム中における構造材料の疲労強度を評価するためには、アーム型ひずみ計 (Appendix 2) で測定したつば間変位から試験片平行部のひずみを算定することが必要となる。大気中試験では、アーム型ひずみ計と押し当て型ひずみ計により、つば間変位と試験片平行部のひずみを併せて測定しており、この結果を用いて大気中とナトリウム中とで材料の応力-ひずみ挙動はほとんど変わらないこととし、以下の方法でナトリウム中でのひずみの校正を行った。

- (1) つば間の総変位 $\Delta L_T$ は、つば間の平行部および平行部以外のそれぞれの全変位 $\Delta L_G$ 、 $\Delta L_R$ によって次式のように表せる。

$$\Delta L_T^{Na} = \Delta L_G^{Na} + \Delta L_R^{Na} \quad (1)$$

$$\Delta L_T^{Air} = \Delta L_G^{Air} + \Delta L_R^{Air} \quad (2)$$

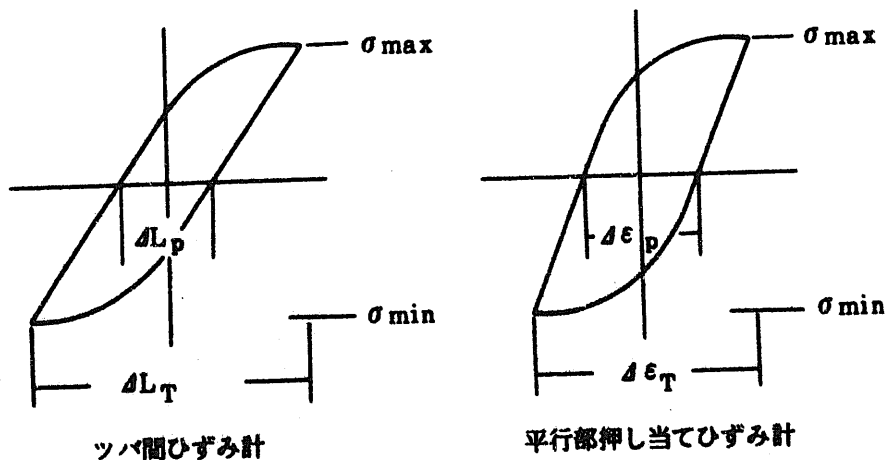
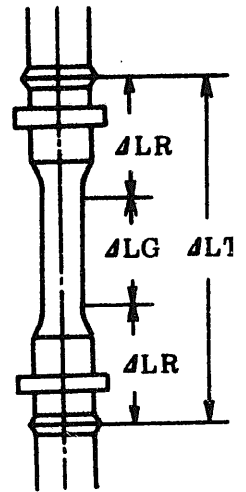
ここで、NaおよびAirはそれぞれナトリウム中および大気中での値を示す。

- (2) 試験片材料、温度および負荷条件が同一であれば、試験材の履歴は別として単に試験環境が、大気中とナトリウム中とで異なるだけならば、その応力-ひずみ挙動はほぼ同等であるため、一定のつば間変位 $\Delta L_T$ の繰り返しに対して、ナトリウム中と大気中の $\Delta L_G$ と $\Delta L_R$ は、それぞれほぼ同じ値にあると考えられる。 $(\Delta L_G^{Na} = \Delta L_G^{Air}, \Delta L_R^{Na} = \Delta L_R^{Air})$

- (3) これにより、大気中試験から得られた $\Delta L_{0.1}^{Air}$ と $\Delta L_{0.1}^{Na}$ の関係に対し、ナトリウム中試験における $\Delta L_T^{Na}$ を代入すれば、 $\Delta L_G^{Na}$ が求まる。

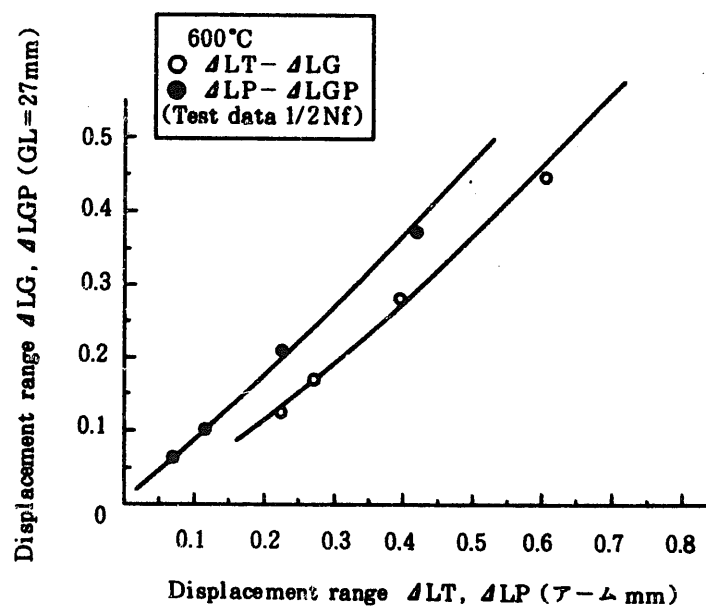
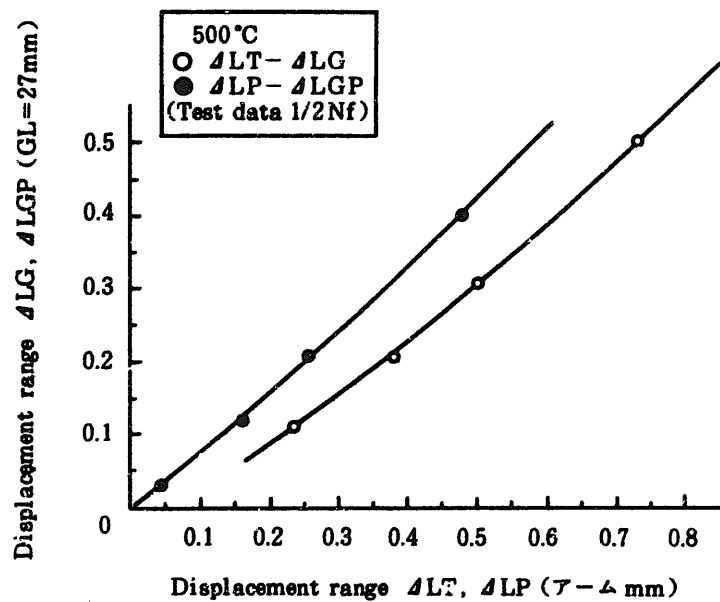
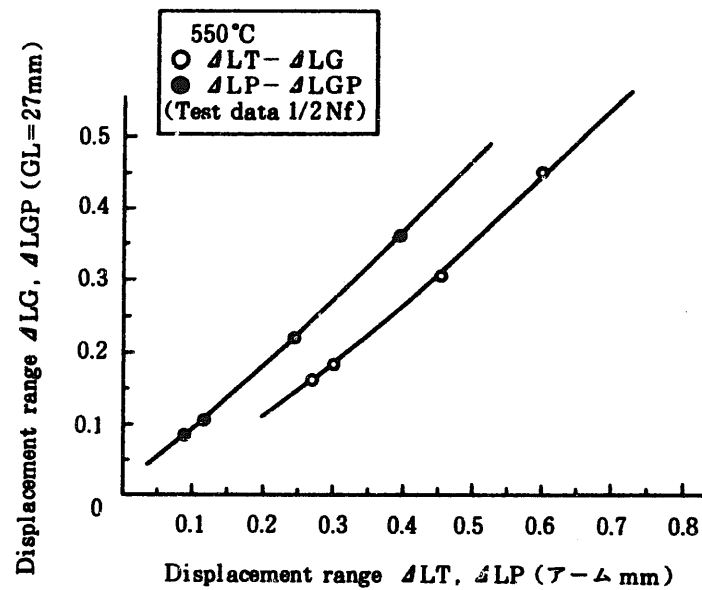
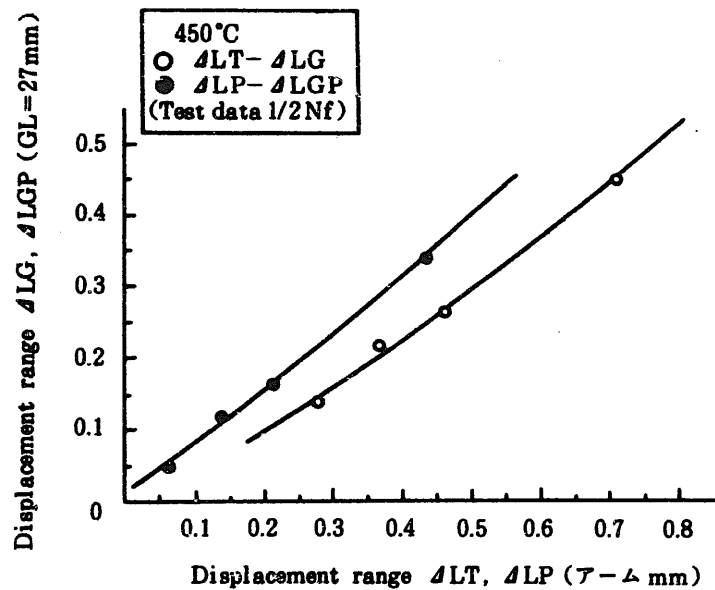
- (4) 平行部の塑性変位 $\Delta L_{GP}$ は、全ひずみの場合に準じてつば間の塑性変位 $\Delta L_P$ を用いて、大気中の $\Delta L_P - \Delta L_{GP}$ の関係に代入して求める。

これらの結果から、各鋼種の各温度別ひずみ校正曲線を作成している。



Appendix

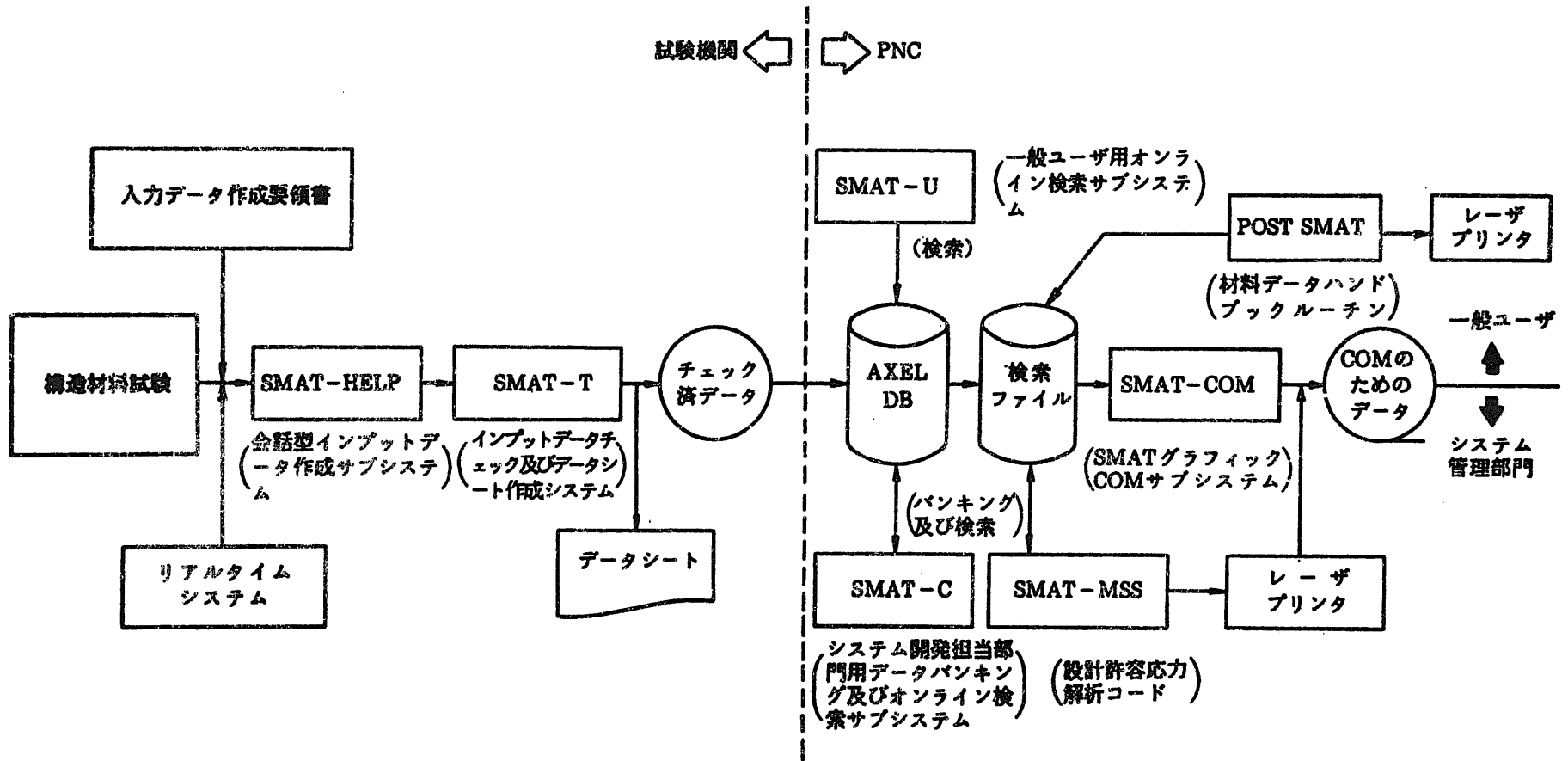
Mod 9Cr-1Mo 鋼ひずみ校正試験結果(例)



## Appendix

### Appendix 7 SMAT (FBR構造材料データ処理システム) 構成図

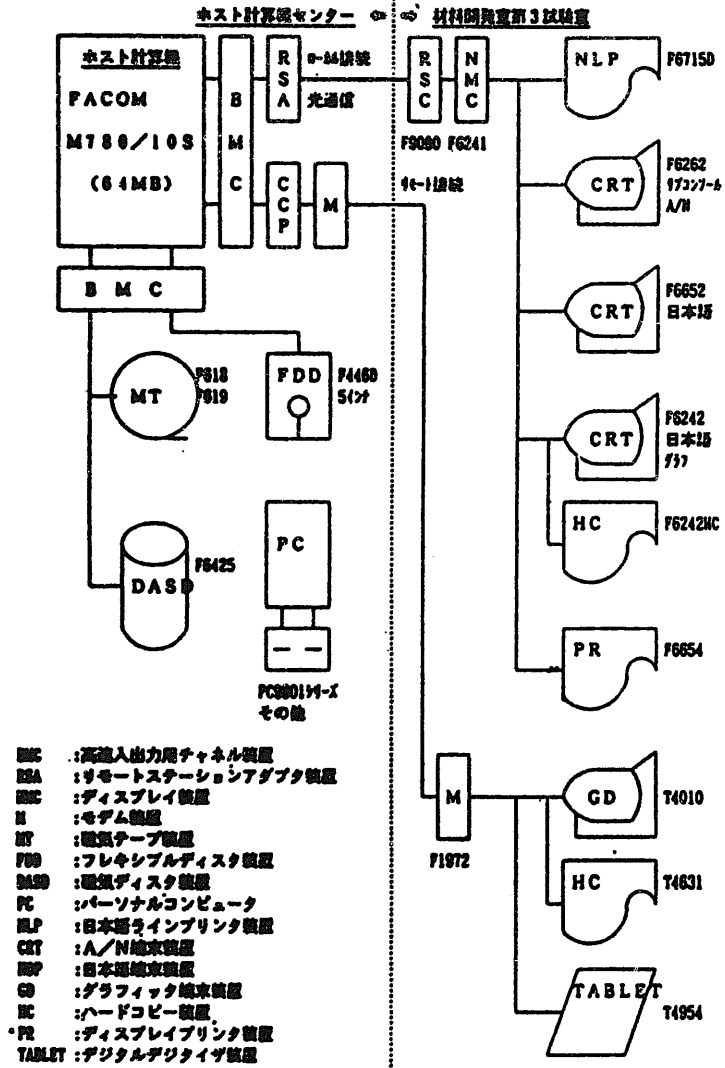




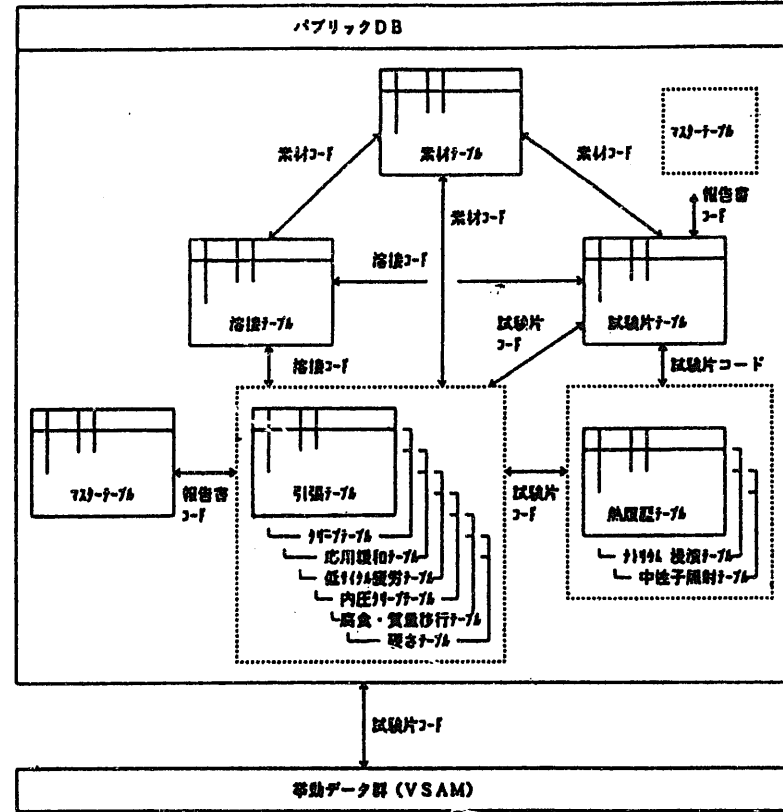
FBR構造材料データ処理システム (SMAT)

SMAT: Structural Materials Data-Processing System

大洗工学センター附属構造材料開発部材料開発室第3試験室の機器構成 (平成元年4月現在)



ハードウェア環境



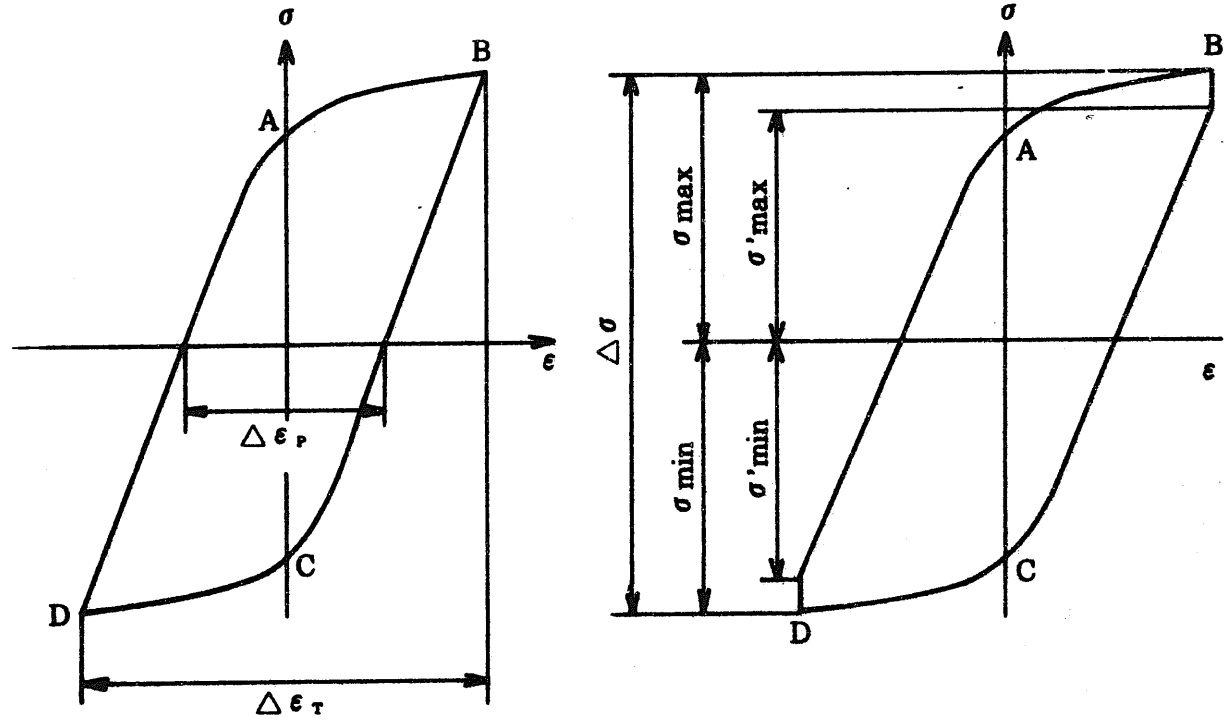
データテーブル間関係と関係キー

## Appendix

### Appendix 8 用語説明表

## 低サイクル疲労試験における用語の説明

No	用語	標準単位	説明
1	サイクル (Cycle)	-	制御するひずみ零の状態から、最大および最小のひずみ点を経て、再びひずみが零となる状態に至るまで (付図1のA→B→C→D→A)
2	繰り返し数 (Number of Cycles)	N (Cycles)	繰り返されたサイクルの数
3	ヒステリシスループ (Hysteresis Loop)	-	全ひずみの最大点を起点とし、最小点を経て、再び最大点に至るまでの応力とひずみの履歴曲線(付図1のB→C→D→A→B)。サイクルのとり方と異なるので注意。
4	ひずみ速度 (Strain Rate)	$\dot{\epsilon}$ (%/sec)	単位時間当りの全ひずみ変化量
5	周期 (Min. Per Cycle)	$\tau$ (min)	ひずみまたは応力波形における1サイクルの時間
6	ひずみ保持時間 (Strain Hold Time)	t <sub>h</sub> (min)	台形波形のひずみ制御試験における、1サイクル中のひずみ一定となる時間
7	全ひずみ範囲 (Total Strain Range)	$\Delta \epsilon_t$ (%)	試験片標点間の全変形量を標点間距離で除した値に100をかけたもの
8	塑性ひずみ範囲 (Plastic Strain Range)	$\Delta \epsilon_p$ (%)	1/2N、近傍における応力-ひずみヒステリシスループにおいて、応力が0の時のひずみの範囲 (付図1参照)
9	弾性ひずみ範囲 (Elastic Strain Range)	$\Delta \epsilon_e$ (%)	(全ひずみ範囲) - (塑性ひずみ範囲)
10	破壊繰り返し数 (Number of Cycles to Failure)	N <sub>f</sub> (Cycle)	ひずみ制御型疲労試験において引張側荷重値が最大値あるいは定常値3/4に減少した時の繰り返し数
11	破壊時間 (Time of failure)	t <sub>f</sub> (h)	負荷開始から破壊繰り返し数に至るまでの時間
12	最大、最小応力 (Max. Min. Stress)	$\sigma_{max}$ $\sigma_{min}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	各サイクルにおける最大(引張側)および最小(圧縮側)応力の絶対値(付図1参照)
13	緩和後の最大最小応力 (Max. Min. Stress after Relaxation)	$\sigma'_{max}$ $\sigma'_{min}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	ひずみ保持後の最大(引張側)および最小(圧縮側)応力の絶対値(付図1参照)
14	応力 (Stress)	$\sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	負荷荷重を試験前の試験片断面積で除した値
15	応力範囲 (Stress Range)	$\Delta \sigma$ (kg/mm <sup>2</sup> )	$\delta_{max} + \delta_{min}$
16	初期応力ひずみ曲線 (Initial Stress Strain Curve)	-	負荷開始から最初に最大のひずみ点もしくは最小ひずみ点に至るまでの応力ひずみ曲線 (monotonic Curve)



付図1 応力ひずみ波形図の模式的説明

## Appendix

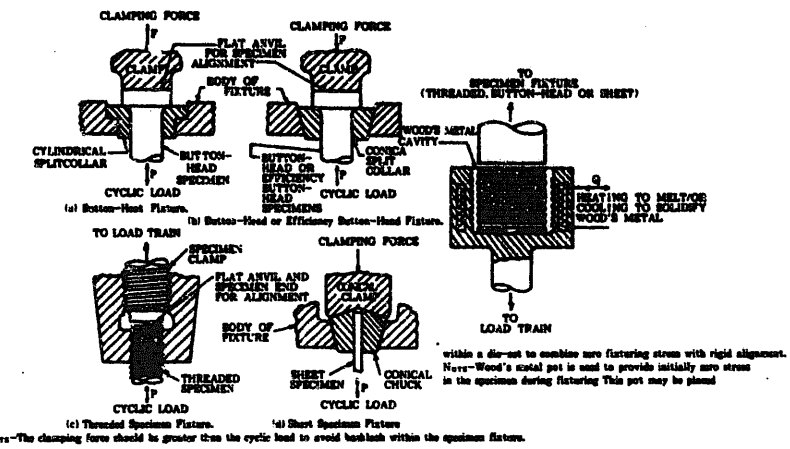
### Appendix 9 各試験方法の比較

各試験方法の比較調査

項目	ASTM E606-77T	Halford 提案の方法	材料学会	溶接協会 (原子力研究委員会)	Thomas 提案の方法
研究機関名	—	—	—	—	—
記入者名	—	必要性あり	—	—	—
試験片	<p>○試験片の形状の選択はひずみ量の大小による。直径 <math>d</math> は 6.35mm (0.25 in)</p> <p>○試験部直径の測定は 0.0005 in (0.0125mm) 以上の精度でコンパレータなどで測定し、表面に傷が付かないようにする。</p>	<p>○円柱試験片 (軸ひずみ制御) 横断面積のバラツキを標点間で 0.2% 以内にする。</p> <p>○砂時計試験片 (径ひずみ制御) <math>4 \leq R/d \leq 8</math> ただし、このタイプは異方性材料には適さない。</p>	<p>○中空円柱試験片 (外径13mm、壁厚1.5mm)</p> <p>○中実円柱試験片 (外径10mm、試験機容量の都合で8mmも可)</p> <p>○平行部の外径、壁厚の不同は0.03mm以下にする。</p>	<p>a. 試験片タイプ (砂時計又は円柱形) の選択</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○異方性のある材料を試験する場合は、円柱試験片を採用する。</li> <li>○ひずみ幅が大きくて座屈が生じる場合は、砂時計形試験片が適している。</li> <li>○円柱形試験片を採用する時は、標点間内の温度分布状態に特に注意を払わなければならない。</li> </ul> <p>b. 試験部直径 <math>d</math> の決定</p> <p>試験機の容量から試験片試験部の直径 <math>d</math> の最大値が決定され、最小値は、試験中の表面酸化の影響や表面加工の影響をできるだけ小さくするという考慮から最小値が決まる。一般的に <math>d</math> は 6mm 以上採用するのが望ましい。</p> <p>c. チャック部の形状</p> <p>試験片チャック部の形状はバックラッシュがないものにする。また、曲げひずみを最小にしなければならない。曲げ応力は軸応力の 5% 以下にすること。</p> <p>d. その他の試験片寸法の決定</p> <p>標準試験片形状を以下に示す。試験部直径 <math>d</math> を基準にする。円柱形試験片の場合、応力集中が小さくなるように <math>R</math> を決めなければならない。そして、破断は G、L 外、または伸び計取り付け部で破断は起こらないようにしなければならない。また、平行部の断面積のバラツキは G、L 内で 1% 以内の誤差とし、出来るだけ少なくする。</p>	<p>○円柱試験片 (軸ひずみ制御) 標点間距離は平行部の長さに近くする。試験部直径 <math>D</math> は 6~12mm。 <math>S \geq 2D</math> 試験部の直径の測定は 0.01mm 以上の精度でマイクロメータなどで測定し、表面に傷が付かないようにする。</p> <p>○つば付き円柱試験片 (軸ひずみ制御) 標点間距離はつば間距離以内とする。</p> <p>○砂時計試験片 (径ひずみ制御) 高いひずみ範囲の試験に適している。 ただし、異方性材料や結晶粒の大きい材料には適さない。<math>S \geq 4D</math></p>
標点間距離 G、L	試験片試験部直径 $d$ 以上	$2d \leq G, L \leq 4d$	$d \leq G, L \leq 2d$	$G, L/d \geq 1$	$2 < G, L < 4D$
片					

項目	ASTM E860-77T	Halford提案の方法	材料学会	溶接協会 (原子力研究委員会)	Thomas提案の方法	
試験片	表面仕上げ	<ul style="list-style-type: none"> <li>○0.125mmを残して機械加工。</li> <li>○0.1mmをグラインダー加工。1パス0.005mm以下で加工すること。</li> <li>○残りの0.025mmを縦方向に研く。</li> <li>○表面あらさは0.2μm以下にする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○荒削りで最終寸法より0.005~0.01in厚くする。</li> <li>○最終仕上げは機械加工や研磨によるが、表面残留応力を最小にするために十分な冷却をかけて強くゆっくり行う。最大主応力方向の0.2μm(8μin)の研磨が望ましい。</li> <li>○試験部直径は0.0001in(0.00254mm)以上の精度で測定記録。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○エメリー紙400番以上の仕上げが望ましい。その時の3点あらさH<sub>s</sub>(μm)は約0.6である。</li> <li>○中空円柱の内面の仕上げは特に注意する必要あり。</li> </ul>	<p>機械加工の影響を受けない加工法として、下記の順序で段階的に加工する方法を推奨する。これ以外の方法(例えば電解研磨等)で表面加工した時は、記録に残すものとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○荒削り加工 約0.1mmの削り代を表面に残すまで荒削りする。</li> <li>○仕上げ加工 機械加工や研磨による最終仕上げは表面層の冷間加工を最小にし、残留応力を最小にするために、残りの0.1mm(次の表面最終研磨分を残しておくこと。)を十分な冷却をかけて強くゆっくり行わなければならない。</li> <li>○表面最終研磨 400番以上のエメリー紙で、横方向の傷が完全になくなるまで軸方向に研磨する。 試験部直径の測定は0.1mm以上の精度で測定する。光学的測定法(コンパレータ等の使用)が最も良い。マイクロメータを使用する時は、表面に傷を付けないようにして測定しなければならない。 低温度、非腐食性環境に保存しておかななければならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○最終仕上げは、表面仕上げに敏感でない試験条件では、長手方向0.8μmの研磨が必要。</li> <li>○表面仕上げに敏感な材料や試験条件では0.2μmの研磨が必要。</li> </ul>
	最終洗浄	—	加熱直前に脱脂	—	試験を始める前に試験片を洗浄しなければならない。	—
試験機	型式	<ul style="list-style-type: none"> <li>○バックラッシュが最小になるように設計したもの。</li> <li>○繰返しひずみ硬化、及び軟化する材料を砂時計形試験片で試験する時は、アナログ、またはデジタルコンピュータで計算し制御するのが好ましい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○閉ループ、電気・油圧サーボコントロール試験機が最適(スクリュードライプ式でも、応力、ひずみを制御出来ればよい)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○従来は剛性の高い枠内に試験片を固定する両端固定式が、採用されたいが、上下限温度を固定した時に、ひずみを任意に設定できないため、引張・圧縮疲労試験機と組合せる方式が望ましい。</li> </ul>	<p>応力、ひずみを任意に制御できるような試験機で、引張、圧縮にバックラッシュが最小になるように設計されたものを使用しなければならない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○引張、圧縮試験ができる試験機で、圧縮負荷時のバックラッシュが最小になるように設計されたものでなければならない。</li> <li>○閉ループ、電気・油圧サーボコントロール機が一般的。(ひずみ制御)</li> </ul>
	台数	—	—	—	—	
	容量	45KN(4.6TON)以上 110KN(11.2TON)以下が一般的	—	—	—	20~250kNが一般的
	負荷方法	一定応力、一定ひずみが負荷出来ること。各波形間の誤差は、0.5%以下、全体を通して2%以下の安全性があること。	軸荷重試験法が最適で、応力、ひずみを直接、あるいは連続的に測定出来る唯一の方法である。ひずみ制御曲げ試験は、応力、非弾性ひずみ範囲の測定が要求されない場合のみ可。	温度サイクルと軸荷重サイクルの組合せ	一定応力、一定ひずみが負荷できる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>○一定温度で、定応力、定ひずみが負荷できる。</li> <li>○応力、ひずみ等の各波形間の誤差は0.5%以下、全体を通して2%以下の安定性が要求される。</li> </ul>
試験片取付	<ul style="list-style-type: none"> <li>○曲げひずみを最小にするために荷重方向と試験片の中心が一直線になるように取り付ける。</li> <li>○そして、各試験片間に対して違いが生じないようにすること。</li> <li>○曲げひずみは最小ひずみレンジの5%以下にすること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○最高ひずみレベルでのサイクル存在型座屈や最低弾性ひずみレベルでの有害な曲げ応力成分を防ぐようにすること。</li> <li>○曲げ応力は軸応力の5%以下にすべきである。</li> </ul>	<p>つかみ部分は試験片の装着時に過大なねじりモーメントを試験片に負荷しない構造になっていなければならない。</p>	<p>試験片の取付に関しては、最大ひずみレベルでのサイクル存在型座屈や、最小ひずみレベル(通常は弾性ひずみレベル)での有害な曲げ応力成分を防ぐようにすることが必要である。 曲げ応力は軸方向応力の5%以下にすべきである。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○つかみ部は、スケールの付着がないように洗浄しておかななければならない。</li> <li>○試験片をグリップに装着する時は、若干圧縮応力(塑性変形が起こす応力の1/2以下)を付加する。</li> <li>○曲げひずみは軸ひずみの5%以下にすべきである。</li> </ul>	

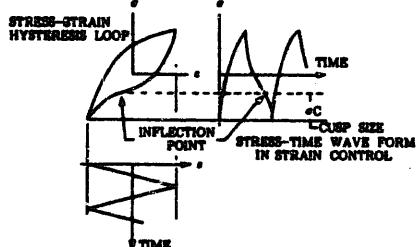
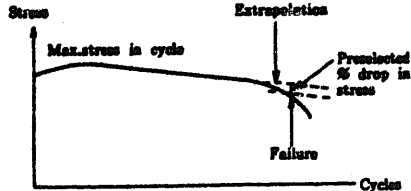
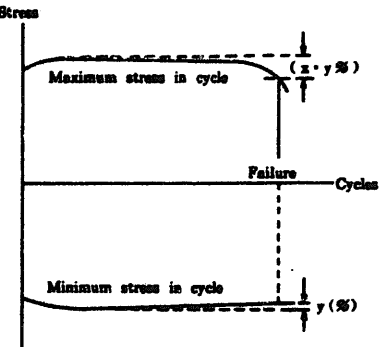
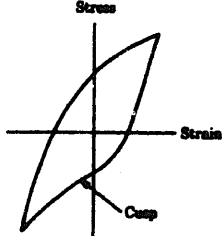


項目	ASTM E660-77T	Halford提案の方法	材料学会	溶接協会 (原子力研究委員会)	Thomas提案の方法	
試験機	試験片取付	ASTM E660-77Tによる試験取付方法例 				○ 試験前に、0.1%耐力の1/2以下の応力を付加してコントロール系や記録系のチェックをする。
	荷重計	測定最大荷重に対して1%以上の精度で測定	1%以上の精度で測定	最大荷重の±1%の精度で測定	軸方向荷重は1%以上の精度で測定	○ 最大荷重の1%以上の精度で測定
	容量	—	—	—	—	—
	レンジ	—	—	—	—	—
	荷重較正法	キャリブレーションは6ヶ月に1回以上行う。	—	—	—	—
伸び計	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 測定方法                             <ul style="list-style-type: none"> <li>a. LVDT (差動トランス型)</li> <li>b. ひずみゲージ型</li> <li>c. 光学的測定法</li> </ul> </li> <li>○ 測定誤差はひずみ振幅の±2.5%以下であること。</li> <li>○ 軸伸び計の場合、エッジをあてることになり、試験片表面に傷を付けないように注意すること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 円柱形試験片には軸伸び計、砂時計形試験片には径伸び計。</li> <li>○ 軸伸び計は取り付け場所が要注意。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 標点間のひずみを直接測定試験時、ひずみ範囲の±2%の精度で測定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般に円柱形試験片 (中空、中実円柱形試験片両方含む) には軸伸び計が用いられ、砂時計形試験片には径伸び計が用いられる。</li> <li>a. 伸び計の種類 作動トランス型、ひずみゲージ型、光学的測定法の3種類が一般に多く用いられる。</li> <li>b. キャリブレーション キャリブレーションは各試験シリーズの初めと終わりに行わなければならない。</li> <li>c. 測定誤差 測定誤差はひずみ振幅の±2.5%以下にしなければならない。</li> <li>d. 伸び計を取り付ける時の注意 試験片に伸び計のエッジを押し付ける時には、できるだけ試験片表面に傷をつけないように注意する。 径伸び計を取り付ける時、伸び計先端で試験片をはさみつける力は必要最小限にする。また、試験片最小直径部に伸び計を取り付けなければならない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 測定方法としてはひずみゲージ型またはLVDT (作動トランス型) が一般的である。</li> <li>○ ヒステリシスは、出力の0.1%以下であること。</li> <li>○ 軸伸び計の場合、エッジを当てることにより試験片表面を傷つけないこと。押し当て力は400~800g程度とする。</li> <li>○ 径伸び計では、押しつけ力をできるだけ小さくする。</li> </ul>	
試験機検出器	容量	—	—	—	—	—
	レンジ	—	—	—	—	—
	変位較正法	キャリブレーションは6ヶ月に1回以上行う。	—	—	—	—

項目		ASTM E660-77T	Halford提案の方法	材料学会	溶接協会 (原子力研究委員会)	Thomas提案の方法
試験機	制御波型	—	往復油圧加振機	—	—	—
	波型	三角波, 台形波が好ましい。	—	—	—	○ 三角波, 台形波にすべきである。
	油圧関係	—	—	—	—	—
	吐出流量	—	—	—	—	—
加熱	形式	○高周波誘導加熱 ○放射炉 ○高温不活性ガス等の高温中に浸す。	○環状炉, 直接通電加熱, 高周波誘導加熱, 管状試験片では管内部に発熱体を侵入する方法などがある。	○加熱冷却装置は規定しないが, 冷却用媒体としては気体を使用 ○直接通電加熱や高周波誘導加熱があるが前者は軸方向に温度差を生じやすく後者が望ましい。	加熱方式は次のいずれかの方法による。 a. 傍熱型環状炉方式 b. 放射型環状炉方式 c. 直接通電加熱方式 d. 高周波加熱方式 e. 雰囲気流体による加熱方式 f. 発熱体挿入方式 (中空円柱形試験片に適用)	○放射炉 (1000℃までの試験に適する。) ○直接通電加熱 (一般的でない) ○高周波誘導加熱 (径伸び計に相当)
	容量	—	—	—	—	—
	温度調節法	常温で試験する場合, 温度の上下差を±2℃以内にす。特に, くり返しにより試験片が発熱する場合は, 冷却方法を考える。	—	標点間において, 昇温, 降温サイクルを通じて温度差が軸方向, 円周方向とともに±10℃以下になるようにしなければならない。	—	○高温で試験する場合, 温度の上下差を以下のようにする。 ~ 60℃ : ±3℃ 600 ~ 800℃ : ±4℃ 800 ~ 1000℃ : ±6℃ ○クリープ疲労試験では, ひずみ保持中は温度の上下差を±1℃とする。
	温度検出用熱電対	—	温度の検出は試験片表面に直接熱電対を取り付けるのが望ましい。	○直径0.3mm以下のものが適当。(高温での劣化を考えると著しく細かいものを用いることはできないが, 線径が大きすぎると温度の追従性が悪くなるので要注意) ○650℃以上では, 白金, 白金ロジウム熱電対が望ましい。	○温度の検出には, 試験片表面に直接熱電対を取り付けるのを原則とする。 ○熱電対, またはそれに相当する出力を温度コントローラや出力調節器にフィードバックし, 温度を要求される一定の値に保つこと。 ○温度は試験中, 周期的にチェックすること。	—
装置	熱電対取付	—	○試験片の点溶接が望ましい。その際, 電流が高すぎたり低すぎたりしないように注意する。ただし炉で加熱する場合, 熱電対は試験片表面にきわめて接近して取り付ければよい (例えば結びつけるなど)。 ○砂時計試験片の場合は最小直径部には取り付けず Fig. 5.2.3のようにd/2の位置に取り付け, 最小直径部をキャリブレーションにより推定する。	○熱電対の先端を1mm以内に接近させて, 試験片表面に点溶接することが望ましい。 ○標点区域内で軸方向の中央部と両端部の計3ヶ所の温度を測定する。	○局部加熱の場合は, 熱電対を試験片表面に点溶接するのが望ましい。 ○試験片全体を加熱する炉の場合は, 熱電対は試験片にきわめて接近して (例えば何らかの方法で結びつける) 取りつけばよい。 ○円柱形試験片の場合, 熱電対をG, L内に取付けることを標準とする。しかし, 熱電対取付部から破壊が起こる場合は, 溶接部から破壊しないように熱電対を肩部に取付けることもありうる。 ○砂時計形試験片では, 最小断面からd/2 (dは最小試験片直径) だけ離れた位置に熱電対を取付けること。そして試験片最小断面部と測定点の温度差はキャリブレーションしておく。	○放射炉の場合, 熱電対の先端に直接放射熱が当たらないようにする。 ○高周波加熱の場合, 試験片に点溶接するのが望ましい。



項目	ASTM E360-77T	Halford提案の方法	材料学会	溶接協会 (原子力研究委員会)	Thomas提案の方法
加熱装置	±2℃以内 温度分布が±2℃以内に入らない場合は、温度分布を報告する。	○ 円柱試験においては標点間距離で±5℃、砂時計試験片においては上図の±d/2の区域内で±10℃以内でなければならない。 ○ 温度勾配と平均温度は記録すべきで平均温度を公称温度とする。	○ 温度サイクルの上限温度、下限温度の設定値からの偏差は±10℃以下でなければならない。	試験片表面の温度分布は次の値以下にすること。 ○ 円柱形試験片では標点間距離内で±5℃以内とする。 ○ 砂時計形試験片では、最小直径部を中央に、上、下最小直径の半長の距離内で±12℃以内とする。 試験片内部の温度分布は可能な限り小さくし、温度勾配と平均温度を検定用ダミー試験片にて測定記録すること。 ○ 円柱形試験片では標点間距離の体積内での平均温度を公称試験温度とする。 ○ 砂時計形試験片では最小断面での平均温度を公称試験温度とする。 公称試験温度の算出に当たって、温度分布は試験片軸に沿って半径方向には対称的であると仮定する。	○ 試験温度 ℃ ~ 600℃ : ±3℃ 600℃ ~ 800℃ : ±4℃ 800℃ ~ 1000℃ : ±6℃
記録	○ 初期の数シリーズ (サイクル) の軸応力と軸塑性ひずみのヒステリシスループを記録する。 ○ 疲労寿命が100サイクルを超えるものについては、10個以上のヒステリシスループを記録する。 ○ 試験中、応力振幅、ひずみ振幅の時間変化を記録すべきである。	○ ひずみ制御試験の期間中、応力範囲と引張応力振幅の変化を記録すべきである。 ○ 疲労寿命の1/2あるいはその近傍でのヒステリシスループを記録する。	○ ひずみ制御試験の期間中の応力範囲と引張応力の变化を0.8, 0.7, 0.8, 0.9 N <sub>i</sub> サイクルで記録。ただし、N <sub>i</sub> は疲労寿命。また、荷重制御試験では、ひずみ範囲、引張側ひずみを記録。 ○ 0.5N <sub>i</sub> におけるヒステリシスループ ○ 破壊に至った裂の発生場所、および他のき裂の状態 ○ 標点間距離内で軸方向の中央部と両端部計3ヶ所の上限、下限温度における温度	○ 試験中の連続記録として、比重、ひずみ、温度の時間的変化を記録しなければならない。これは、正しい試験が行われているかどうかチェックするため、破断寿命を決定する時に重要である。 ○ 荷重-ひずみとヒステリシスループは、繰返し数の対数ではほぼ等間隔に記録しておくことが望ましい。最低限、疲労寿命の1/2あるいはその近傍でのヒステリシスループを記録すること。	○ 初期の数サイクルの軸応力と軸塑性ひずみのヒステリシスループを記録する。 ○ 予想寿命の10%の周期でヒステリシスループを記録する。 ○ 試験 (軸ひずみ制御) 中、軸応力と軸塑性ひずみの時間変化を記録すべきである。
解	ひずみの求め方	「公称ひずみ」を推奨 (ひずみレベルが2%の範囲を超えることはほとんどないので、公称ひずみと真ひずみとの差は1%以内である。また引張側と圧縮側の誤差はほぼ等しいので、応力範囲、ひずみの範囲の値は影響を受けない)	—	応力とひずみの計算は累積さを避けるため、原則として室温での試験片寸法、標点間距離を用いることとする。 軸方向伸び計を用いる場合、軸方向全すびみ範囲は次式で与えられる。 $\Delta \epsilon = \frac{L}{t} \frac{G \cdot L \text{ の変化範囲}}{\text{標点間距離 } G \cdot L}$	—
解	熱膨張補正 (ひずみ)	補正は行わず、室温での試験片の寸法を基準にしている。(もし、室温で寸法を採用しない時、そのことを明記し熱膨張係数の値を示すべきである。)	—	—	—
解	応力の求め方	「公称応力」を推奨	—	—	—
解	熱膨張補正 (応力)	ひずみの場合と同様	—	—	—
析	径ひずみから軸ひずみへの換算	Halford提案の方法と同じ。 $\Delta \epsilon_t^L = (1-2\nu_e) \frac{\Delta \sigma_t^D}{E} + 2\epsilon_t^D$ $\Delta \epsilon_t^L = \text{全軸ひずみ範囲}$ $\Delta \sigma = \text{応力範囲}$ $\nu_e = \text{弾性ポアソン比}$ $E = \text{ヤング率}$ $\Delta \epsilon_t^D = \text{全径ひずみ範囲}$ 弾性ポアソン比は0.5と仮定している。	—	径伸び計を用いる時は、次式で軸方向全ひずみ範囲を計算する。 $\Delta \epsilon_t^L = (1-2\nu_e) \frac{\Delta \sigma_t^D}{E} + 2\Delta \epsilon_t^D$ ここに $\Delta \epsilon_t^D = \text{径方向全ひずみ範囲}$ $\Delta \sigma = \text{応力範囲}$ $\nu_e = \text{弾性ポアソン比}$ $E = \text{ヤング率}$ 上式では、弾性ポアソン比を0.5と仮定している。なお、径ひずみ制御でひずみ保持を行う場合には保持中の軸方向全ひずみは一定とはならないので注意を要する。径ひずみ保持中には応力緩和とともに 軸方向全ひずみも小さくなるので、一般に径ひずみ保持では軸ひずみ保持に比べて、見かけの応力緩和量が大きくなる。従って、ひずみ保持を行う場合には径換算コンピュータを装備した試験機を用いることが望ましい。 また、弾性・塑性ひずみ範囲 $\Delta \epsilon_e$ 、 $\Delta \epsilon_p$ 及びひずみ保持下のクリープひずみ範囲 $\Delta \epsilon_c$ は次式で求める。 $\Delta \epsilon_e = \Delta \sigma / E$ $\Delta \epsilon_p = \Delta \epsilon_t^L - \Delta \epsilon_e$ $\Delta \epsilon_c = \Delta \epsilon_t^L (\sigma_e - \sigma_p) / E$ ここに $\sigma_e = \text{保持開始時の初期応力}$ $\sigma_p = \text{保持終了時の残留応力}$	—
析	塑性ひずみ分離方法	—	—	—	—

項目	ASTM E860-77T	Halford提案の方法	材料学会	溶接協会 (原子力研究委員会)	Thomas提案の方法
解	<p>○試験片が2つに完全に分離した時 (注: 破断した場合は有効値としない。)</p> <p>○ひずみ制御の場合, 引張, 応力のピーク値の降下, 圧縮応力のピーク値の降下よりも前もって決めた一定比率以上大きくなった時。</p> <p>○荷重制御の場合, 引張ひずみのピーク値の増加, 圧縮ひずみのピーク値の増加よりも前もって決めた一定比率以上大きくなった時。</p> <p>○ひずみ制御の場合, ヒステリシスループの圧縮側で尖頭形状が前もって決めた一定値よりも大きくなった時 (Fig. 5.2.9 参照)。</p>  <p>○繰返し荷重範囲 (変形範囲) の変化率が前もって決めた一定値を越えた時</p> <p>○表面クラックの大きさが一定値以上になった時。</p>	<p>○ひずみ制御試験では, 荷重範囲で5%低下した時点</p> <p>○応力制御試験では, 試験片が完全に分離した時点</p>	<p>○ひずみ制御試験では, 引張側荷重値の3/4に低下した時点。</p> <p>○応力制御試験では, 引張側ひずみが最大値あるいは定常値の1.5倍に増加した時点。</p>	<p>ひずみ制御の低サイクル疲労の破断は, 以下のように定備する。</p> <p>① 引張側荷重範囲が定常状態の3/4に低下した繰返し数を破断繰返し数 <math>N_f</math> とする。</p> <p>② 引張側荷重範囲が定常状態より10%低下した繰返し数を <math>N_{10}</math> とする。</p> <p>上記の <math>N_f</math>, <math>N_{10}</math> とともに報告することが望ましい。又, 応力の定常状態が決めにくい場合には, 引張側応力範囲が圧縮側応力範囲の3/4, 90% (10%低下) になった繰返し数を各々 <math>N_f</math>, <math>N_{10}</math> としてもよい。また, 繰返し硬化材については最大応力範囲で代用してもよい。</p>	<p>○ひずみ制御の場合, 応力ピーク値の降下量が外挿によって予想されるピーク値より前もって決めた一定比率以上大きくなった時。 (Fig. 4参照)</p> <p>○ひずみ制御の場合, 引張応力のピーク値の降下が圧縮応力のピーク値の降下より前もって決めた一定比率以上大きくなった時。 (Fig. 5参照)</p> <p>○ひずみ制御の場合, ヒステリシスループの圧縮側で尖頭形状が現れた時。 (Fig. 6参照)</p>    <p>○表面ラックの大きさが一定値以上になった時。</p> <p>○電気抵抗の変化率が前もって決めた一定値を越えた時。</p> <p>○試験片が2つに完全に分離した時。 (破断した場合は有効値としない。)</p>
折	—	破断繰返し数の半分, またはその近傍	破断繰返し数の半分	破断繰返し数の半分, またはその近傍	<p>○破断繰返し数の半分</p> <p>○サイクリック変形特性が安定な時期</p>

項目	ASTM E600-77T	Bairford提案の方法	材料学会	海防協会(原子力研究委員会)	Thomas提案の方法
報告	<p>○最低報告書として必要なものは○を付ける。</p> <p>1. 試験の概要</p> <p>2. 試験片材料(製造過程を含む)の記述</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>機械的性質、降伏応力、降伏点、引張強さ、伸び、絞り、ポアソン比、ヤング率、真破断応力、真破断伸び、静的ひずみ硬化指数、静的硬化係数、硬さ、冷間加工度。</li> <li>一般的な材料特性</li> <li>科学組成、結晶粒サイズ、組織写真、試験片軸に対する結晶粒の方向性(等方向か、伸び性か)、第2相粒子、熱処理、写真</li> </ul> <p>3. 試験片について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○試験片形状</li> <li>○試験片加工法及び表面仕上げ</li> <li>○その他特記すること</li> </ul> <p>4. 試験装置について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○試験片の固定方法</li> <li>○試験機の仕様</li> <li>○検出器の仕様(荷重計測器、伸び計測器等)</li> <li>○記録装置の仕様</li> <li>○その他記述すること</li> </ul> <p>5. 試験環境の記述</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○気体、液体、真空雰囲気等及び、その科学組成</li> <li>○湿度</li> <li>○試験温度と温度制御方法</li> <li>○温度変化及び、温度分布</li> </ul> <p>6. 試験状況と過程</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○特記するもの</li> <li>○周波数(ひずみ速度)と波形</li> <li>○制御方式、荷重制御、ひずみ制御、径ひずみ制御、軸ひずみ制御等</li> <li>○軸ひずみ幅(最大と最小)の比と全軸ひずみ幅</li> <li>○一定軸ひずみ幅を維持する方法</li> <li>○初めの1/4サイクルのひずみの種類(引張か圧縮か)</li> </ul>	<p>○疲労寿命の1/4で各種の値。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○全軸ひずみ幅</li> <li>○非弾性軸ひずみ幅</li> <li>○弾性軸ひずみ幅</li> <li>○応力範囲、引張応力振幅</li> <li>○破断繰返し数</li> <li>○試験温度、環境、周波数、波形、繰返しひずみ速度、保持時間、全試験時間、試験片材料と試験片名、試験日時、ポアソン比とヤング率(計算に使用した値)、試験装置、破断外観。</li> <li>○材料購入先から提出された保証化学成分あるいは独自の分析による化学成分。</li> <li>○熱処理条件と製造工程での熱履歴の完全な記述。</li> <li>○250倍の光学顕微鏡写真で示された該当の金属組織(等軸結晶粒、維持組織etc.)。</li> <li>○降伏応力、引張強さ、絞り値における異方性の表示。</li> <li>○結晶粒度(Annual Book of ASTM Standard, Part 31, Method B112 に準拠)。</li> <li>○圧縮硬さ(ブリネル硬さが望ましい)</li> <li>○2, 3の試験による高温引張特性(降伏応力、引張強さ、4D伸び、ひずみ硬化指数、絞り、etc.)</li> <li>○板材や肉厚パイプ材から試験片を採取する場合、採取位置や材料の圧延方向に対する試験片軸の方向をスケッチ、記録する。</li> </ul>	<p>○制御されたひずみ範囲(あるいは応力範囲)、上降温度、下降温度及び破断繰返し数。</p> <p>○定ひずみ繰返し試験では、破断繰返し数<math>N_f</math>の0.5倍に相当する0.5N<sub>f</sub>における応力範囲(あるいは定応力試験では0.5N<sub>f</sub>におけるひずみ範囲)。</p> <p>○制御されたサイクルの波形、周波数、荷重負荷開始温度。</p> <p>○温度サイクルのみを与えた場合の伸縮率<math>\Delta L/L</math>。</p> <p>○試験終了時の試験片破点間距離内の最大外径、及び最小外径。</p> <p>○試験片の形状、寸法、表面あらさ</p> <p>○材料の名称、記号、化学成分、製造方法、熱処理</p> <p>○試験装置の概要</p> <p>○その他、上記「記録」の欄で記載した事項も付記する。</p>	<p>試験終了後、下記事項を報告する。</p> <p>① 結果を要にする場合、最小限下記の内容を含んでいなければならない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○試験条件 <ul style="list-style-type: none"> <li>○試験材料(製造履歴、化学成分、熱処理条件、圧延方向、製品内での位置)</li> <li>○試験片番号</li> <li>○試験温度</li> <li>○周波数または繰返しひずみ速度</li> <li>○保持時間</li> </ul> </li> <li>○疲労寿命の1/4またはその近傍での値 <ul style="list-style-type: none"> <li>○軸方向全ひずみ範囲(<math>\Delta \epsilon^L</math>)</li> <li>○軸方向非弾性ひずみ範囲(<math>\Delta \epsilon_{pl}</math>)</li> <li>○軸方向弾性ひずみ範囲+軸方向クリープひずみ範囲</li> <li>○軸方向塑性ひずみ範囲(<math>\Delta \epsilon_{pl}</math>, <math>\Delta \epsilon_{ps}</math>)</li> <li>○軸方向クリープひずみ範囲(<math>\Delta \epsilon_c</math>)</li> <li>○軸方向弾性ひずみ範囲(<math>\Delta \epsilon_e</math>)</li> <li>○応力範囲(<math>\Delta \sigma</math>)</li> <li>○引張応力振幅(<math>\sigma_{max}</math>)</li> <li>○圧縮応力振幅(<math>\sigma_{min}</math>)</li> <li>○引張及び圧縮緩和後応力(保持有りの場合)(<math>\sigma'_{max}</math>, <math>\sigma'_{min}</math>)</li> </ul> </li> <li>○破断繰返し数<math>N_f</math>, <math>N_{10}</math>, 全試験時間</li> </ul> <p>② ひずみ制御試験の間中は、繰返し数の関数として、応力範囲と引張応力振幅の変化を、また保持時間を有する場合は緩和時の応力変化をプロットする。疲労寿命/2あるいはその近傍での典型的なヒステリシスループも記載する。また、1~数サイクル目までのヒステリシスループも採ることが望ましい。</p> <p>③ 下記に示すような試験情報をも表にまとめる必要がある。</p> <p>環境、波形(ひずみ-時間の関係)の描写</p> <p>試験片形状、寸法、表面あらさ、最終仕上げ方法、素材からの試験片採取位置と方向</p> <p>試験機、試験者名、試験日時</p> <p>制御方法とひずみ測定方法</p> <p>ポアソン比とヤング率(計算に使われた値)</p> <p>試験装置(荷重負荷装置、荷重計、伸び計、加熱装置、温度調整器、熱電対、熱電対取付け方法)</p> <p>試験片軸方向温度分布</p> <p>破断外観</p> <p>④ 試験後の金属組織観察は、破断プロセスのメカニズムを知る上で役に立つ。粒内割れと粒界割れの相対的な割合についても示されるべきである。</p> <p>⑤ 下記項目の材料に関する情報をまとめることが望ましい。</p> <p>材料の製造工程と熱履歴、製品形状・寸法、熱処理条件</p> <p>化学成分(材料購入先提出の保証値あるいは独自の分析値)</p> <p>光学顕微鏡写真で示された金属組織</p> <p>結晶粒度、硬さ、FN(フェライトナンバー)</p> <p>室温及び高温引張特性(降伏応力、引張強さ、破断伸び、絞り、応力・ひずみ関係等)</p> <p>⑥ 結果を要にまとめる場合、最小限下記項目が必要である。</p> <p>ひずみ-疲労寿命の関係</p> <p>繰返しに伴う応力変化</p> <p>繰返し応力-ひずみの関係</p>	<p>○最低限必要なものは○を付ける。</p> <p>①. 試験の目的</p> <p>2. 試験片材料</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○製造履歴、光学顕微鏡写真で示された金属組織、機械的性質(降伏応力、耐力、引張強さ、伸び、絞り、ヤング率)</li> </ul> <p>3. 試験片について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○試験片形状</li> <li>○試験片加工法および表面仕上げ</li> <li>○表面粗さ</li> </ul> <p>4. 試験装置について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○試験機の仕様</li> <li>○伸び計測器</li> <li>○記録装置</li> </ul> <p>5. 試験環境について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○大気、真空雰囲気、その他</li> <li>○試験温度、温度制御方法と測定法</li> <li>○試験条件と過程</li> <li>○試験方法(荷重制御、軸ひずみ制御、径ひずみ制御、塑性軸ひずみ制御、その他)</li> <li>○軸ひずみ巾(最大と最小)の比、全軸ひずみ巾、</li> <li>○制御モード(連続、制限)</li> <li>○波形、ひずみ速度(荷重速度)</li> <li>○初めの1/4サイクルのひずみの種類(引張か圧縮か)</li> </ul> <p>7. 試験結果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○破断したサイクル数、破断定義によるサイクル数</li> <li>○初期、安定期、1/4寿命期の応力振巾、ひずみ振巾、ヒステリシスループ</li> <li>○ひずみ保持中の初期、最終の応力振巾、ひずみ振巾</li> </ul>



## **Appendix**

### **Appendix 10 疲勞試験機自主定期点検要領書**

疲労試験機自主点検要領書

点検対象機器	点検項目	点検内容	点検頻度	点検判定基準	点検方法	特記事項
1. 油圧ポンプ系	(1) 作動油交換 作動油：モービルDTE25 ・AF-22 95リットル ・AF-35, 36 144リットル ・AF-37, 38 144リットル ・HCF-31 306リットル ・AMP-31 144リットル	(1) 作動油抜取り (2) タンク内清掃 (3) 給油, 一次フラッシング (3) 油劣化度検査 (5) 必要に応じ二次フラッシング	1回/年	(1) 交換作業 (2) 目視確認 (3) 24時間以上 (4) 8級以上であること (5) 9級以下の場合	(1) 交換作業を行なう (2) タンク内の清掃は、灯油を使用しスポンジにて洗浄する (3) 系内を24時間210kg/cm <sup>2</sup> に保持する (4) コンディミナーにて油の分析を行う	
	(2) フィルタ交換 ・AF-22 100883-09 1ヶ ・AF-35, 36 100883-23 1ヶ ・AF-37, 38 100883-23 1ヶ ・HCF-31 114028-27 1ヶ ・AMP-31 100883-23 1ヶ	(1) フィルタ交換作業の実施	1回/年	(1) 交換作業	(1) フィルタ交換作業を行う	
	(3) リリーフ系	(1) リリーフ弁の動作検査 (2) 吐出圧力の調整 (3) 圧力計の動作検査	1回/年	(1) 動作確認 (2) 低・高時の圧力設定 ・低:30 kg/cm <sup>2</sup> ・高:210kg/cm <sup>2</sup> (3) 目視確認	(1) (2) (3) 油圧をONの状態ではリリーフ弁の開閉を行い正常動作するか確認し、低・高時の圧力に調整するその時、圧力計の針が振動していないか目視して確認する	
	(4) 冷却系統	(1) 熱交換器の分解洗浄 (2) 熱交換器の交換 (3) 水漏れ, 油漏れの確認	1回/5年 1回/年	(1) 分解洗浄 (2) 交換作業 (3) 目視確認	(1) 熱交換器を取り外し、薬品による洗浄と各パッキン等の交換を行う (2) 熱交換器内の酸化が著しい場合、必要に応じ交換する (3) 出入口継ぎ手部からの水漏れ, 油漏れ等の目視確認をする	
	(5) 動力系	(1) モーターケーブルの点検 (2) モーター動作検査 (3) モーターコイル部絶縁抵抗測定	1回/年	(1) 目視確認 (2) 目視確認 (3) 2MΩ以上	(1) モーターの外観及びケーブルの点検を行う (2) モーターの正常動作（異常音や異常振動が無いこと） (3) モーターコイル部の絶縁及び線間抵抗測定を行う	
	(6) 電気系	(1) 遮断機, リレー, フューズ等の検査 (2) 各種コネクタ, ケーブル等の検査 (3) 油温, 温度センサーの動作検査	1回/年	(1) 動作検査 (2) 目視検査 (3) 動作検査	(1) 正常に動作するか確認する (2) 劣化損傷等を確認し、端子類の増し締めを行う (3) 正常に動作するか確認する	



疲労試験機自主点検要領書

点検対象機器	点検項目	点検内容	点検頻度	点検判定基準	点検方法	特記事項	
2. ロードフレーム系	(1) ロードフレーム本体	(1) 外観検査 (2) 軸受け部の油漏れの有無 (3) ボルト部の緩みの有無	1回/年	(1) 目視確認 (2) 目視確認 (3) ボルト締め付け	(1) 本体の外観を目視にて確認する (2) 軸受け部の油漏れの有無を確認する (3) クランクシャフトの緩みを確認する締め付けは、中心より外側へ順次行い、最終的に規定トルクにて締め付ける		
	(2) クロスヘッド昇降装置	(1) 正常動作の確認 (2) 油圧ロック機構の確認 (3) 油圧ホースの劣化、継ぎ手 部検査 (4) 油漏れの有無	1回/年	(1) 動作確認 (2) 動作確認 (3) 目視確認 (4) 目視確認	(1) 昇降装置の正常動作を確認する (2) 油圧ロック機構の正常動作を確認する (3)(4)油圧ホース及び継ぎ手部の劣化、油漏れ等を目視にて確認する		
	(3) 加振機		(1) 油漏れの有無	1回/年	(1) 目視確認	(1) 各部の油漏れの有無を目視にて確認する (2) 0barの点検及び応答性を確認する (3) フィルタは、1000稼働時間毎に交換する (4) LOW/HIGH切り換え動作を確認する (5) 必要に応じて行う (6) 規定圧(P:1000PSI, R:100PSI)以下の時は、窒素ガスを補充する (7) ホースの油漏れ、損傷等を目視にて確認する	
			(2) シーパルプの交換・オーバーホール	1回/年	(2) ゼロバランス 応答性確認		
(3) 油圧フィルタの交換			1回/年	(3) 交換作業			
(4) リフトバルブの動作確認			1回/年	(4) 動作確認			
	(5) リフトバルブの分解洗浄	1回/年	(5) 必要に応じて	(6) 圧力測定充填			
	(6) アキュムレータの窒素ガス圧点検 補充	1回/年	(7) 目視確認				
	(7) 油圧ホース表面劣化等の確認	1回/年					
(4) 冷却水系統	(1) ヒートエクスチェンジャーの交換 (2) ロッド・グリップ内洗浄 (3) 水圧スイッチの動作確認	1回/年	(1) 交換作業 (2) 薬品洗浄 (3) 動作確認・分解洗浄	(1) 汚れ、劣化損傷等に応じ交換する (2) 汚れ、錆等を薬品等を用い洗浄する (3) 正常動作を確認する、また汚れ具合により分解洗浄を行う			

疲労試験機自主点検要領書

点検対象機器	点検項目	点検内容	点検頻度	点検判定基準	点検方法	特記事項
3. 加熱装置の点検	(1) 冷却水系統	(1) ヒートエクスチェンジャーの交換 (2) 継ぎ手部の交換	1回/年	(1) 交換作業 (2) 交換作業	(1) 汚れ、劣化損傷等に応じ交換する (2) 継ぎ手部からの水漏れ等により交換する	
	(2) 発信制御系統	(1) 冷却ファンの絶縁・動作確認 (2) ワークコイルの動作確認 (3) コネクター類の確認	1回/年	(1) 絶縁測定・動作検査 (2) 動作確認 (3) 目視確認	(1) 冷却ファンの絶縁測定及び動作を確認する (2) ワークコイル内の冷却水循環を確認する (3) 劣化、損傷等を目視にて確認する	
	(3) 計測制御系統	(1) コネクター類の確認 (2) PID温度制御器の性能確認検査 (3) 温度記録計の性能確認検査 (4) 熱電対の性能確認検査 (5) 昇温試験	1回/年	(1) 接触不良等目視確認 (2) 基準電圧により調整 (3) 基準電圧により調整 (4) 交換 (5) 精度確認	(1) 接触不良、劣化損傷等を目視にて確認する (2) 温調器の性能を基準電圧により確認、調整する (3) 温度記録計の性能を基準電圧により確認、調整する (4) (5) 設定温度での昇温試験を行う	
4. 計測制御系	(1) コントローラ系 (内部プログラマー含む)	(1) セットポイント、スパン信号の点検、調査 (2) 変位・荷重、伸びの励磁、帰還信号の点検、調整 リミット検出精度の点検、調整 (4) エラー検出機能、精度の点検、調整 (5) 基準電圧28V、15V、10Vの点検、調整 (6) 制御モード切替え機能の点検 (7) 表面ファン動作点検 (8) 表示ランプ点検、交換	1回/年	(1) セットポイント500を基準 (2) 零調整、基準電圧調整 (3) ±10V、インターロック (4) 零調整、±10V、 (5) 28V、15V、10V (6) 動作確認 (7) 動作確認 (8) ランプ切れ交換	(1) セットポイントは500(=0)を基準に、スパンは0~100%で信号の振幅を点検、調整する (2) 零調及び励磁電圧の点検、整備を行う (3) リミットディテクター及びインターロック性能の点検、調整を行う。調整範囲は基準電圧(±10V)の±1%以内 (4) エラーディテクター機能の点検、調整を行う調整範囲は(±10V)の±1%以内 (5) 基準電圧の点検、調整を行う コントローラ : ±28V コントローラ内各モジュール : ±15V リミットディテクター : ±10V	

疲労試験機自主点検要領書

点検対象機器	点検項目	点検内容	点検頻度	点検判定基準	点検方法	特記事項
					(6) モード(REMOTE/LOCAL)及び制御モード切替機能の動作確認、フィードバックの調整を行う (7) 裏面ファンの正常動作を確認する (8) 表示ランプの点検及び交換を行う	
	(2) プログラム発信器	(1) 発信出力波形の点検調整 (2) 発信出力電圧の点検調整	1回/年	(1) 動作確認 (2) 動作確認	(1)(2) オシロスコープ等で出力波形及び出力電力の点検、調整を行う	
	(3) マスターコントロール系	(1) 油圧起動動作確認 (2) プログラムRUN/STOP機能動作確認 (3) 非常停止機能動作確認 (4) 表示ランプ点検交換	1回/年	(1) 動作確認 (2) 動作確認 (3) 動作確認 (4) ランプ切れ交換	(1) 油圧LOW/HIGH及びOFF機能の正常動作を確認する (2) プログラムRUN/STOP機能の正常動作を確認する (3) 非常停止機能の正常動作を確認する (4) 非常点滅ランプの点検及び交換を行う	
	(4) デジタルインジケータ	(1) 表示ランプ機能動作確認 (2) 表示値確認調整	1回/年	(1) 基準電圧入力 (2) 動作確認	(1)(2) 基準電圧を入力し表示値と比較、調整する。表示値“0”調整は“+”、“-”表示が交互に現れるように調整する	
	(5) カウンタユニット	(1) カウント機能動作確認 (2) 表示値確認調整	1回/年	(1) 動作確認 (2) 動作確認	(1) カウンタが正常に動作を確認する (2) 表示値が正常に動作するか確認する	
	(6) コンピュータ系	(1) 診断プログラムにて異常の有無確認 (2) メルコムとの送受信確認 (3) CPU各種機器のハード機能	1回/年	(1) 診断プログラム (2) IT信号出力 (3) DEC定期検査による	(1) 診断プログラム(メーカー)にて異常の有無を確認する (2) IT信号出力等により、メルコムとの送受信を確認する (3) 機器の故障等はDECに連絡する	

疲労試験機自主点検要領書

PNC TN9440 91-004

点検対象機器	点検項目	点検内容	点検頻度	点検判定基準	点検方法	特記事項
	(7) その他	(1) コンソール下部冷却ファンの清掃・動作確認 (2) 電源部及び各パネル内配線コネクタ・ケーブル等の接触状態確認	1回/年	(1) 動作確認 (2) 目視確認	(1) コンソール下部冷却ファンの正常動作を確認する (2) 電源部及び各パネル内配線コネクタ・ケーブル等の接触状態を目視にて確認する	
5. 検出器	(1) 荷重検出器 (検定)	(1) ループ型荷重検出器による各レンジ制度確認調整	1回/年	(1) 各レンジF. S. の±0.5%以内	(1) ループ型荷重検出器を用い、各レンジ毎に実荷重を測定し、精度内に調整する	
	(2) 変位検出器	(2) ダイアルゲージによる各レンジストローク変位測定		(1) 各レンジF. S. の±1.0%以内	(1) ダイアルゲージを用い、各レンジ毎に実荷重を測定し精度内に調整する	
	(3) 伸び検出器 (検定)	(3) コンバータによる各レンジ精度確認調整	1回/年	(1) 各レンジF. S. の±0.5%以内	(1) コンバータを用い、各レンジ毎に実荷重を測定し精度内に調整する	
	(4) 軸芯測定 (検定)	(1) ダイアルゲージによるロード間軸芯測定調整 (2) 必要に応じ曲げ精度確認	1回/年	(1) 1/1000以下	(1) 上下グリップ間にダイアルゲージを取付、下部グリップを回転させて行う (2) 必要に応じ曲げ精度も確認する	
6. 総合機能検査	(1) 総合試験	(1) 昇温試験 (2) 出力波形及び電圧確認 (3) オンラインデータ確認 (4) 総合動作確認	1回/年	(1)~(4) 試験結果より判断	(1)~(4)ダミー試験片を用いて昇温し、予備試験を行う。その結果、温度波形(荷重、ひずみ、ヒステリシスループ)及びオンラインデータが正常であることを確認する	