

1. 制定/改正の別

改正

2. 産業標準案の番号及び名称

規格番号 JIS Z 2271

規格名称 金属材料のクリープ及びクリープ破断試験方法

3. 主務大臣

経済産業大臣

4. 制定・改正の内容等に関する事項**(1) 制定改正の必要性及び期待効果****【必要性】**

Z 2271は、クリープ試験の方法及びその試験によって得られる金属材料の特性の測定方法、特に、規定された温度でのクリープ伸び及びクリープ破断時間の測定について、規定したものであり、ノッチ付き試験片を用いた応力破断試験についても、適用が可能である。今回、対応国際規格であるISO 204が2023年に改訂されことを受け、整合性を維持及び向上させるため改正する。

【期待効果】

試験の信頼性の向上が期待され、円滑な取引を促進すること、規格利用者の利便性の向上などが期待できる。

(2) 制定の場合は規定する項目を、改正の場合は改正点

主な改正項目は次のとおり。

1) 全体

・適用範囲（箇条1）～結果の表示及び外挿法（附属書E）を対応国際規格に整合した内容とした。

2) 個別

① 適用範囲（箇条1）

・不連続（interrupted）クリープ試験を対応国際規格に整合して適用範囲に追加した。

② 原理（箇条5）

・対応国際規格では序文に記載していた内容を注記として記載した。

③ 試験片（箇条7）

・附属書JAを引用するため、安定した特性値を得る試験片（7.1.3）を追加した。

④ 報告（箇条12）

・試験規格共通の結果の報告の記載に修正した。

⑤ 編集上の校正

・JIS Z 8301に整合した記載とした。

(3) 制定・改正の主旨**① 利点がある場合にその項目（コード等一覧参照）**

ア、イ

② 欠点があるとする項目に該当しないことを確認（コード等一覧参照）

確認

③ 国が主体的に取り組む分野に該当しているか、又は市場適合性を有しているか。

国が主体的に取り組む分野

④ 国が主体的に取り組む分野に該当する場合の内容

幅広い関係者が活用する統一的な方法を定める規格及び強制法規技術基準に引用される規格

⑤ 市場適合性を有している場合の内容**⑥ 市場適合性を明らかにする根拠、理由等（定量的なデータ等）**

コード等一覧

産業標準化の利点があると認める場合

- ア. 品質の改善若しくは明確化、生産性の向上又は産業の合理化に寄与する。
- イ. 取引の単純公正化又は使用若しくは消費の合理化に寄与する。
- ウ. 相互理解の促進、互換性の確保に寄与する。
- エ. 効率的な産業活動又は研究開発活動の基盤形成に特に寄与する。
- オ. 技術の普及発達又は国際産業競争力強化に寄与する。
- カ. 消費者保護、環境保全、安全確保、高齢者福祉その他社会的ニーズの充足に寄与する。
- キ. 国際貿易の円滑化又は国際協力の促進に寄与する。
- ク. 中小企業の振興に寄与する。
- ケ. 基準認証分野等における規制緩和の推進に寄与する。
- コ. その他、部会又は専門委員会が認める工業標準化の利点

産業標準化の欠点があると認める場合

- ア. 著しく用途が限定されるもの又は著しく限られた関係者間で生産若しくは取引されるものに係るものである。
- イ. 技術の陳腐化、代替技術の開発、需要構造の変化等によってその利用が縮小しているか、又はその縮小が見込まれる。
- ウ. 標準化すべき内容及び目的に照らし、必要十分な規定内容を含んでいない。また、含んでいる場合であっても、その規定内容が現在の知見からみて妥当な水準となっていない。
- エ. 当該案の内容及び既存のJISとの間で著しい重複又は矛盾がある。
- オ. 対応する国際規格が存在する場合又はその仕上がりが目前である場合であって、当該国際規格等との整合化について、適切な考慮が行われていない。
- カ. 対応する国際規格が存在しない場合、当該JISの制定又は改正の輸入への悪影響について、適切な考慮が行われていない。
- キ. 原案中に特許権等を含む場合であって、特許権等による非差別的かつ合理的条件での実施許諾を得ることが明らかに困難である。
- ク. 原案が海外規格(ISO及びIECが制定した国際規格を除く)その他他者の著作物を基礎とした場合、著作権に関する著作権者との調整が行われていない。
- ケ. 技術が未成熟等の理由で、JISとすることが新たな技術開発を著しく阻害する恐れがある。
- コ. 強制法規技術基準・公共調達基準との関係について、適切な考慮が行われていない。
- サ. 工業標準化法の趣旨に反すると認められるとき。

国が主体的に取り組む分野に該当する場合

1. 基礎的・基盤的な分野
2. 消費者保護の観点から必要な分野
3. 強制法規技術基準、公共調達基準等に引用される規格
4. 国の関与する標準化戦略等に基づき国際規格提案を目的としている規格

市場適合性を有している場合

1. 国際標準をJIS化するなどの場合
2. 関連する生産統計等によって、市場におけるニーズが確認できる場合、又は将来において新たな市場獲得が予想される場合
3. 民間における第三者認証制度に活用されることが明らかな場合
4. 各グループ [生産者等及び使用・消費者又はグループを特定しにくいJIS(単位、用語、製図、基本的試験方法等)にあっては中立者] の利便性の向上が図られる場合

目 次

ページ

序文	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 用語及び定義	2
4 記号及び内容	6
5 原理	7
6 試験装置	8
6.1 試験機	8
6.2 伸び計	8
6.3 加熱装置, 温度測定装置及び校正	9
7 試験片	12
7.1 形状及び寸法	12
7.2 試験片の調製	13
7.3 原断面積の決定	14
7.4 原標点距離 (Lo) の表示	14
7.5 基準長さ (Lr) の決定	14
8 試験方法	15
8.1 試験片の加熱	15
8.2 試験力の負荷	15
8.3 試験の中断	16
8.4 温度及び伸びの記録	16
9 試験結果	17
10 試験の有効性	17
11 結果の正確さ	17
11.1 結果の表示	17
11.2 試験結果の不確かさ	18
12 報告	18
附属書 A (参考) 熱電対のドリフトに関する情報	23
附属書 B (参考) 熱電対の校正方法に関する情報	26
附属書 C (規定) V 又は鈍角なノッチのある試験片を用いたクリープ試験	27
附属書 D (参考) ISO “不確かさの表現のガイド” (GUM) に従った測定の不確かさの 評価方法	31
附属書 E (参考) 結果の表示及び外挿法	37
附属書 JA (規定) 安定した特性値を得る試験片	48
附属書 JB (参考) JIS と対応国際規格との対比表	53

まえがき

この規格は、産業標準化法第 16 条において準用する同法第 14 条第 1 項の規定に基づき、認定産業標準作成機関である一般社団法人日本鉄鋼連盟（JISF）から、産業標準の案を添えて日本産業規格を改正すべきとの申出があり、経済産業大臣が改正した日本産業規格である。これによって、**JIS Z 2271:2019** は改正され、この規格に置き換えられた。

この規格は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この規格の一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。経済産業大臣は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について、責任はもたない。

JIS DRAFT 2025/07/23

金属材料のクリープ及びクリープ破断試験方法

Metallic materials-Uniaxial creep testing in tension-Method of test

序文

この規格は、2023年に第4版として発行されたISO 204を基とし、技術的内容を変更して作成した日本産業規格である。

なお、この規格で、箇条番号及び細分箇条番号の後に“A”から始まるラテン文字の大文字を付記した箇条及び細分箇条並びに**附属書 JA**は、対応国際規格にはない事項である。また、側線又は点線の下線を施してある箇所は、対応国際規格を変更している事項である。技術的差異の一覧表にその説明を付けて、**附属書 JB**に示す。

1 適用範囲

この規格は、次の試験方法を規定する。

- 伸び計伸びの連続的な監視による連続（uninterrupted）クリープ試験（以下、クリープ試験という。）
- 伸びの定期的な測定による不連続（interrupted）クリープ試験（以下、不連続クリープ試験という。）
- 通常、クリープ破断時間だけを測定する応力破断試験
- クリープ伸びを報告しない、所定の応力の下で所定時間を超えることが可能であることを検証する試験

注記 1 クリープ試験は、破断が発生するまで継続することも、破断前に中止することも可能である。

注記 2 この規格の対応国際規格及びその対応の程度を表す記号を、次に示す。

ISO 204:2023, Metallic materials-Uniaxial creep testing in tension-Method of test (MOD)

なお、対応の程度を表す記号“MOD”は、ISO/IEC Guide 21-1に基づき、“修正している”ことを示す。

警告 この規格に基づいて試験を行う者は、通常の試験室での作業に精通していることを前提とする。この規格は、その使用に関連して起こる全ての安全上の問題を取り扱おうとするものではない。この規格の利用者は、各自の責任において安全及び健康に対する適切な措置をとらなければならない。

2 引用規格

次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、その一部又は全部がこの規格の要求事項

を構成している。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS B 7741 一軸試験に使用する伸び計システムの校正方法

JIS G 0202 鉄鋼用語（試験）

JIS G 0567 鉄鋼材料及び耐熱合金の高温引張試験方法

JIS Z 2241 金属材料引張試験方法

JIS Z 8401 数値の丸め方

ISO 7500-2, Metallic materials-Verification of static uniaxial testing machines-Part 2:Tension creep testing machines -Verification of the applied force

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、**JIS G 0202**による。

3.1

基準長さ, L_r (reference length)

伸び (%) 又は伸び計伸び (%) のいずれかの計算に用いる場合に基準とする長さ

注釈 1 この規格では、数種類の異なる標点距離及び基準長さを規定している。これらの距離は、各国の異なる試験所で実際に用いられているものである。クリープ伸びの測定に用いる適切な長さを決めるために、ある場合には、この距離は、試験片の上に線又はつばのような物理的な印で示すか、他の場合には、計算に基づく仮想長さとするところがある。ある試験片では、 L_r 、 L_o 、及び/又は L_e が同じ長さとなるところがある。

注釈 2 この値の計算方法は、7.5に示す。

3.2

原標点距離, L_o (original gauge length)

試験前に室温で測定した試験片上の標点間の距離

注釈 1 通常、 $L_o \geq 5D$

3.3

伸び計の標点距離, L_e (extensometer gauge length)

伸び計の測定点間の距離

3.4

平行部の長さ, L_c (parallel length)

試験片の長手方向に対し平行に縮小加工した同一断面部分の長さ

3.5

破断後の最終標点距離, L_u (final gauge length after fracture)

破断後に室温で、二つの試験片をその軸が一直線になるように注意深く突き合わせ測定した標点間の長さ

3.6

原断面積, S_o (original cross-sectional area)

試験前に室温で測定した、平行部の断面積

3.7

破断後の最小断面積, S_u (minimum cross-sectional area after fracture)

破断後に室温で、二つの試験片をその軸が一直線になるように注意深く突き合わせて、測定した平行部の最小断面積

3.8

初期応力, R_0 (initial stress)

規定の荷重を試験片の原断面積 (S_0) で除すことによって求まる試験の応力

3.9

伸び計伸び, ΔL_{et} (extension)

時間 t 及び試験温度における、伸び計標点距離 L_e の増分

注釈 1 伸び計伸びは、伸び計を用いて試験片の長さの増分を連続的に測定するクリープ試験で用いられる。

注釈 2 詳細情報は、6.2 参照。

3.10

伸び, ΔL_{ot} (elongation)

時間 t における、原標点距離 L_0 の増分

注釈 1 伸びは、試験片の長さの増分を手動で測定する不連続クリープ試験で主に用いられる。

注釈 2 詳細情報は、6.2 参照。

3.11

伸び計伸び (%), e (percentage extension)

試験温度における式(1)によって求まる、基準長さ L_r に対する伸び計に示された伸びの割合 (百分率)

$$e = \frac{\Delta L_{et}}{L_r} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

注釈 1 図 1 参照。

3.12

伸び (%), A (percentage elongation)

式(2)によって求まる、基準長さ L_r に対する伸びの割合 (百分率)

$$A = \frac{\Delta L_{ot}}{L_r} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

3.13

弾性伸び計伸び (%), e_e (percentage elastic extension)

試験温度における、初期応力 R_0 に比例する基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合 (百分率)

注釈 1 この値は、試験力負荷中の応力-伸び計伸び (%) から求めることが可能である。8.4.2 参照。

注釈 2 図 1 参照。

3.14

初期全伸び計伸び (%), e_{ti} (percentage initial total extension)

試験温度及び初期応力 R_0 を負荷終了した時点における、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合（百分率）

注釈 1 図 1 参照。

3.15

初期塑性伸び計伸び (%), e_i (percentage initial plastic extension)

試験温度及び初期応力 R_0 を負荷終了した時点における、式(3)によって初期全伸び計伸び e_{ti} と弾性伸び計伸び e_e との差から求まる、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合（百分率）

$$e_i = e_{ti} - e_e \quad \dots\dots\dots (3)$$

注釈 1 図 1 参照。

注釈 2 この値は、試験力負荷中の、塑性伸び計伸び (%) を表す。

3.16

全伸び計伸び (%), e_t (percentage total extension)

試験力、時間 t 及び試験温度における、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合（百分率）

注釈 1 図 1 参照。

3.17

塑性伸び計伸び (%), e_p (percentage plastic extension)

時間 t 及び試験温度における、式(4)によって全伸び計伸び e_t と弾性伸び計伸び e_e との差から求まる、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合（百分率）

$$e_p = e_t - e_e \quad \dots\dots\dots (4)$$

注釈 1 図 1 参照。

3.18

極限全伸び計伸び (%), **クリープ破断時間における全伸び計伸び**, e_u (percentage total ultimate extension)

クリープ破断時及び試験温度における、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合（百分率）

3.19

クリープ伸び計伸び (%), e_f (percentage creep extension)

初期応力に対する全試験力負荷時及び試験温度における、式(5)によって塑性伸び計伸び e_p と初期塑性伸び計伸び e_i との差から求まる、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合（百分率）

$$e_f = e_p - e_i \quad \dots\dots\dots (5)$$

注釈 1 図 1 参照。

注釈 2 添字 f は、クリープのフランス語“fluage”に由来している。

3.20

非弾性伸び計伸び (%), e_k (percentage anelastic extension)

試験力除荷終了時の試験温度における、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合（百分率）

注釈 1 図 1 及び 8.4 参照。

3.21

永久伸び計伸び (%), e_{per} (percentage permanent extension)

試験力除荷終了時及び試験温度における、式(6)によって全伸び計伸び (%) e_t と、弾性伸び計伸び (%) e_e 及び非弾性伸び計伸び (%) e_k の合計との差から求まる、基準長さ L_r に対する伸び計で示された伸びの割合 (百分率)

$$e_{\text{per}} = e_t - (e_e + e_k) \quad \dots\dots\dots (6)$$

注釈 1 $e_k \approx 0$ の場合、 $e_{\text{per}} \approx e_p$ としてもよい。

注釈 2 図 1 参照。

3.22

永久伸び (%), A_{per} (percentage permanent elongation)

試験力除荷終了時及び室温における、基準長さ L_r に対する伸びの割合 (百分率)

3.23

クリープ破断伸び (%), A_u (percentage elongation after creep fracture)

式(7)によって求まる、基準長さ L_r に対する破断後の永久伸び ($L_u - L_0$) の割合 (百分率)

$$A_u = \frac{L_u - L_0}{L_r} \times 100 \quad \dots\dots\dots (7)$$

注釈 1 記号 A_u は、摂氏単位の規定温度 T を上付き添字とし、及びメガパスカル単位の初期応力 R_0 を下付き添字としてもよい (表 1 例参照)。

3.24

クリープ破断絞り (%), Z_u (percentage reduction of area after creep rupture)

式(8)によって求まる、原断面積 S_0 に対する破断後に測定した断面積の最大変化量 ($S_0 - S_u$) の割合 (百分率)

$$Z_u = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

注釈 1 記号 Z_u は、摂氏単位の規定温度 T を上付き添字、及びメガパスカル単位の初期応力 R_0 を下付き添字としてもよい (表 1 例参照)。

3.25

クリープ伸び計伸び時間, t_{tr} (creep extension time)

規定の温度 T 及び初期応力 R_0 における、試験片が規定のクリープ伸び計伸び x を示すのに要する時間

例 $t_{10.2}$

3.26

塑性伸び計伸び時間, t_{px} (plastic extension time)

規定の温度 T 及び初期応力 R_0 における、試験片が規定の塑性伸び計伸び (%) x を示すのに要する時間

注釈 1 例として、図 E.2 の a) における t_{p1} は ($R_0 = 120 \text{ MPa}$ 時の $e_p = 1\%$ に相当する $t_{p1} = 100\,000 \text{ h}$) となる。

3.27

クリープ破断時間, t_u (creep rupture time)

規定の温度 T 及び初期応力 R_0 に維持し、試験片が破断するまでに要する時間

注釈 1 記号 t_u は、摂氏単位の規定温度 T を上付き添字、及びメガパスカル単位の初期応力 R_0 を下付き

添字としてもよい (表 1 例参照)。

3.28

単式試験機 (single test piece machine)

一度に 1 本の試験片にだけ、ひずみをかけられる試験機

3.29

複式試験機 (multiple test piece machine)

同じ温度で 2 本以上の試験片に、同時にひずみをかけられる試験機

4 記号及び内容

記号及び対応する内容を、表 1 に示す。

表 1—記号及び内容

記号 ^{a)}	単位	内容
a	mm	正方形又は長方形断面試験片の平行部の厚さ [図 2 b)参照]
A_{per}	%	永久伸び <small>注記</small> 記号は、次の例のように全項目を記入オス可能である <small>例</small> $A_{per50/5000}^{375}$: 初期応力 50 MPa 及び規定温度 375 °C で、5 000 h 後の永久伸び (%)
A_u	%	クリーブ破断伸び [式(7)参照] <small>注記</small> 記号は、次の例のように全項目を記入オス可能である <small>例</small> A_{u50}^{375} : 初期応力 50 MPa 及び規定温度 375 °C のクリーブ破断伸び (%)
b	mm	正方形又は長方形断面試験片の平行部の幅
D	mm	円形断面試験片の平行部の直径
d	mm	ノッチありなし混合試験片のノッチ部以外の標点距離の径
D_n	mm	ノッチを含む標点距離の径
d_n	mm	円周ノッチ部の底の径 (図 C.1 参照) ノッチありなし混合試験片では、 $d = d_n$
e	%	伸び計伸び (%)
e_e	%	弾性伸び計伸び (%)
e_f	%	クリーブ伸び計伸び (%) [式(5)参照] <small>注記</small> 記号は、次の例のように全項目を記入オス可能である <small>例</small> $e_{f50/5000}^{375}$: 初期応力 50 MPa 及び規定温度 375 °C で、5 000 h 後のクリーブ伸び計伸び (%)
e_{fu}	%	クリーブ破断時間におけるクリーブ伸び計伸び (%)
e_i	%	初期塑性伸び計伸び (%)
e_k	%	非弾性伸び計伸び (%)
e_p	%	塑性伸び計伸び (%)
e_{per}	%	永久伸び計伸び (%)
e_{pu}	%	クリーブ破断時間における塑性伸び計伸び (%)
e_t	%	全伸び計伸び (%)
e_{ti}	%	初期全伸び計伸び (%)
e_u	%	極限全伸び計伸び (%) 又はクリーブ破断時間における全伸び計伸び (%)
L_c	mm	平行部の長さ
L_e	mm	伸び計の標点距離

表 1—記号及び内容 (続き)

記号 ^{a)}	単位	内容
ΔL_{et}	mm	伸び計伸び
L_n	mm	ノッチを含む試験片の平行部の長さ
L_o	mm	原標点距離
ΔL_{ot}	mm	伸び
L_r	mm	基準長さ
L_u	mm	破断後の最終標点距離
n	—	ノートン則における応力指数 (Norton creep exponent)
r_n	mm	ノッチ底の半径
R_o	MPa	初期応力
r_t	mm	肩部の半径
S_o	mm ²	平行長さ部の原断面積
S_u	mm ²	破断後の最小断面積
t	h	荷重負荷完了からの経過時間
T	°C	規定温度
T_c	°C	補正後の測定温度
t_{fx}	h	クリープ伸び計伸び時間
t_{px}	h	塑性伸び計伸び時間
t_u	h	クリープ破断時間 注記 記号は、次の例のように全項目を記入することは可能である。 例 t_{u50}^{375} : 初期応力 50 MPa 及び規定温度 375 °C で試験した場合のクリープ破断時間 (h)
t_{un}	h	ノッチ付き試験片を使用した場合のクリープ破断時間
x	%	規定のクリープ伸び計伸び又は塑性伸び計伸び
Z_u	%	クリープ破断絞り (%) [式(8)参照] 注記 記号は、次のように全項目を記入してもよい。 例 Z_{u50}^{375} : 初期応力 50 MPa 及び規定温度 375 °C で試験した場合のクリープ破断絞り (%)
注記 1 記号 t は、例えば time, total 又は transition のように表示が違う意味を持つ場合がある。		
注記 2 この規格におけるクリープ試験の目的に対して、破壊 (fracture) 及び破断 (rupture) は、互換性があり試験片が破壊された時を説明するために用いられている。		
注 ^{a)} 記号の主な下付き文字 (r, o 及び u) は、次のように使用する。 r : 基準 (reference) に対応する。 o : 原 (original) に対応する。 u : 最終 (破断後) [ultimate (after fracture)] に対応する。		

5 原理

この試験は、規定された温度に試験片を加熱し、試験片の長手方向に一定の試験力又は一定の引張応力 (**注記**参照) で試験片にひずみを与え、次のいずれかの項目を測定する。

- 連続的に測定するクリープ伸び計伸び (クリープ試験)
- 全試験期間中の適切な間隔での永久伸びの値 (不連続クリープ試験)
- クリープ破断時間 (クリープ試験及び不連続クリープ試験)

注記 1 ISO 204 の序文には“さまざまな材料のクリープ特性に対するオフ軸荷重又は曲げの影響に関

する情報は、依然として求められている。将来的に定量データが入手可能になった場合、最大曲げ量を規定する必要があるかどうかの検討及び適切な較正手順の推奨を行うことが可能である。この決定は、定量データの入手可能性に基づく必要がある^[1]。"という記載がある。

注記 2 “一定の応力 (constant stress)” 又は “真応力 (true stress)” とは、実断面積に対する試験力の比を試験期間中、一定に保つことを意味する。一定応力と一定試験力とによって得られる試験結果は、一般的に異なる^[2]。

6 試験装置

6.1 試験機

試験機は、試験片への偶発的な曲げ又はねじれを最小限にするように保ち、試験片の軸方向に沿って試験力を加える。試験前に、試験機を目視検査し、荷重棒 (loading bar)、つかみ部、ユニバーサルジョイント及び付帯設備の整備の状態がよいことを確認することが望ましい。

試験力は、衝撃のないように試験片に加える。

試験機は、外部からの振動及び衝撃を受けないようにすることが望ましい。試験機は、試験片が破断した場合に、衝撃を可能な限り小さくするような装置を装備していることが望ましい。

試験機は、検証され、少なくとも ISO 7500-2 の等級 1 級の要求を満足していなければならない。

6.2 伸び計

6.2.1 伸び計

クリープ試験では、伸び計伸びは、JIS B 7741 の等級 1 級以上の性能要求事項を満たす伸び計を用いることによって、又は試験の中断なしで同等の正確さを保証する他の方法で測定しなければならない。試験片に直接取り付け方式か、又は非接触の伸び計を用いることが可能である (例えば、非接触型光学式、レーザー式伸び計)。

伸び計は、予想されるクリープひずみを基に適切な範囲にわたって校正されることが望ましい。

試験期間が、3 年を超えない限り、伸び計の校正は、3 年を超えない期間に行わなければならない。試験期間が、伸び計の校正期間を超えることが予想される場合は、クリープ試験の開始前に再校正を行う。

伸び計の標点距離は、10 mm 以上でなければならない。

伸び計は、試験片の片側の伸びの測定が可能なものを用いる。両側の伸びが測定可能なものが望ましい。

使用した伸び計の種類 (例えば、片側、両側、軸、直径) を報告することが望ましい。両側を測定した場合には、平均伸びを報告することが望ましい。

試験片のつかみ部に取り付けた伸び計で伸びを測定する場合には、測定された伸びが、試験片の基準長さの内側で完全に起きてるとみなされるような試験片両端部の形状及び寸法でなければならない。クリープ伸び (%) は、 L_r に対して測定する。

測定の正確さを改善するために、可能な限り標点間距離を用いることが望ましい。

ニッケル基合金の伸び計を使用した場合に、見かけのネガティブクリープを防ぐように留意することが望ましい。A Code of Practice for the Use of Ni-base Alloy Extensometers. Materials at High Temperatures^[3]参照。

短い標点距離の試験片に対して、低クリープひずみ、例えば、1%以下のひずみの場合には、測定装置が、使用範囲において十分な分解能及び正確さをもっていることを保証するように注意深く配慮するのがよい。

注記 1 クリープ試験に使用するトランスデューサの長期安定性の情報及び認証に関する事項は、参考文献[4]、[5]を参照。

注記 2 クリープ破断伸び(%)、又は規定の試験期間のクリープ伸び(%)だけを測定する場合は、伸び計を通常使用しない。

6.2.2 伸び測定装置

不連続クリープ試験の場合には、定期的に試験片を除荷し、室温に冷却し、適切な装置を用いて、標点距離に対する永久伸びを測定する。この装置の精度は、 $0.01 \Delta L_r$ 又は 0.01 mm のいずれか大きい方を適用する。この測定後、試験片をはじめに再加熱し、次に試験力を負荷してもよい。

6.3 加熱装置、温度測定装置及び校正

6.3.1 許容温度差

加熱装置は、規定の温度 T に試験片を加熱できるものでなければならない。補正後の測定温度 T_c と規定温度 T との間の許容温度差、及び試験片内の許容最大温度差を表2に示す。

表2—補正後の測定温度(T_c)と規定温度(T)との間の許容温度差及び試験片内の許容最大温度差

規定温度 (T) ℃	T_c と T との 許容温度差 ℃	試験片内の許容最大温度差 ℃
$T \leq 600$	±3	3
$600 < T \leq 800$	±4	4
$800 < T \leq 1\,000$	±5	5
$1\,000 < T \leq 1\,100$	±6	6

規定温度が $1\,100 \text{ }^\circ\text{C}$ を超える場合、許容温度差は、ドリフトも含み受渡当事者間による協定によって規定する。

補正後の測定温度 T_c は、試験片の平行部の表面で測定される温度であり、ドリフト(附属書A参照)を含み、すべての要因からの誤差を考慮し、かつ、あらゆる系統的誤差の補正をされたものである。

試験片に関する表2に規定された許容差を満足することが示されれば、個々の試験片の表面温度を測定する代わりに、炉の各加熱ゾーンの温度を間接的に測定することで差し支えない。

伸び計を使用する場合は、加熱装置の周囲の空気の温度変化が、伸び計の長さの変化の測定に影響のないように、加熱装置の外部の装置部を設計し保護しなければならない。

試験装置の周囲の空気の温度変化は、 $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ を超えないことが望ましい。

不連続クリープ試験の場合には、標点距離を測定する全期間を通して室温の変化は、 $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ を超えない

ことが望ましい。この範囲を超える場合は、室温変化による補正を行う。

6.3.2 温度測定装置

6.3.2.1 一般事項

温度指示器の分解能は、少なくとも $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下とする。温度測定装置は、 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内の精度のものを用いる。

熱電対において、冷接点補償を備えた測定器がない場合、冷接点温度は、通常 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ であるが、 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内で測定しなければならない。

多くの実験室では、冷接点は周囲温度以上に保たれている。その温度がどのようなものであっても、安定した状態を維持し、熱電対によって測定する温度を決定するために適切な補償を適用しなければならない。

注記 熱電対のドリフトに関する情報は、**附属書 A** に、熱電対の校正方法は**附属書 B** に記載がある。

パイロメーター、サーマルカメラ又は抵抗技術などの間接的な温度測定法については、温度測定の SI 単位へのトレーサビリティが提供され、精度及び分解能に関する上記の基準を達成可能であることを示さなければならない。

6.3.2.2 温度測定装置の校正

温度測定装置（ケーブル、接続部、冷接点、指示器又は記録器、データラインなどを含む）の校正は、温度国際単位（SI）にトレーサブルな方法で実施しなければならない。

可能であれば、この校正は、装置を用いて測定する温度範囲に対して毎年実施することが望ましく、その測定値を校正報告書に記載しなければならない。

6.3.2.3 単式試験機

単式試験機では、平行部長さが 50 mm 以下の試験片に対しては 2 個以上の熱電対を使用することが望ましい。平行部長さが 50 mm を超える試験片に対しては 3 個以上の熱電対を使用することが望ましい。全ての場合において、熱電対は、試験片平行部の両端に取り付け、3 個目の熱電対がある場合には、試験片平行部の中央に取り付けることが望ましい。

試験片の温度変化が **6.3.1** で規定する許容差を超えないことが立証されている加熱装置及び試験片の条件の場合には、熱電対の数は、一つにまで減らしてもよい。

6.3.2.4 複式試験機

複式試験機では、各々の試験片に熱電対を適用するのが望ましい。熱電対が 1 個使用される場合は、試験片平行部の中央に取り付ける。ただし、炉の中の適切な位置に熱電対を取り付けることによって、全試験片における温度が **6.3.1** の要求事項を満たしていることが立証するデータがある場合には、3 個の熱電対だけの使用が許容される。

間接的に温度を測定する場合には、それぞれの加熱帯の熱電対と特定の加熱帯内の多数の試験片との間の温度差を確認するために定常的な管理方法が要求される。温度差のばらつきは、 $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下に対しては $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、及び $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 超えに対しては $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ を超えてはならない。

6.3.2.5 ノッチ付き試験片

ノッチ付き試験片の温度測定は、6.3.2.3又は6.3.2.4に従って行わなければならない。ノッチ付き試験片では、熱電対の1個はノッチ近傍に取り付けることが望ましい。

注記 ノッチ付き試験片の試験方法の詳細は、附属書Cに記載がある。

6.3.3 熱電対

熱電対の測定接点は、試験片の表面と熱的によく接触し、熱源からの放熱を避けるように適切に遮へい（蔽）しなければならない。熱電対のその他の炉内の部分は熱的に遮へいされ電氣的に絶縁しなければならない。

熱電対の汚れ及び物理的損傷を最小限に抑えるために注意が必要である。また、汚染を最小限に抑え短絡を防止するために、絶縁体及び／又は絶縁材を良好な状態に維持する必要がある。

様々な種類の熱電対に関する情報は、JIS C 1602^[6]に記載されている。

白金系熱電対（B型、R型及びS型）、特にS型又はR型の使用は、400℃以上の温度が推奨される^[7]。

K型熱電対は、400℃未満の温度で使用するか、高温での使用時間が1000h未満の場合にだけ使用することが推奨される。また、露出したワイヤーを切り詰めて再校正を行わない限り、再利用しないことが推奨される。

N型熱電対は、600℃未満の温度で使用するか、高温であれば3000h未満の使用が推奨されるが、再利用は推奨されない。N型熱電対は、760℃を超える温度での使用は許容されない^[7]。

校正期間内にドリフトが次の値を超えた場合、校正頻度を増やすこと、又は熱電対が示す温度に補正を適用することが推奨される。詳細は附属書Aおよび参考文献[8]、[9]、[10]、[11]及び[12]を参照。

— $T \leq 600 \text{ }^\circ\text{C}$: $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$

— $600 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 800 \text{ }^\circ\text{C}$: $\pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$

— $800 \text{ }^\circ\text{C} < T$: $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

ドリフトの記録は作成し、要求に対して対応可能でなければならない。

注記1 熱電対のドリフトは、使用する熱電対の種類および温度での暴露時間に依存する（附属書A参照）。

注記2 ASTM E633^[13]を参照することが可能である。

注記3 この箇条は、間接的な温度測定に適用可能ではない。

注記4 他の型の熱電対の利用は、可能である。しかし、将来それらの適切性が示されると思われる。

6.3.4 熱電対の校正

注記1 熱電対の校正に関する詳細情報は、附属書B参照。

短時間試験（特に通常500h以下）に繰り返し使用する白金系熱電対は、13か月を超えて校正してはならない。それ以外の場合は、校正期間は次による。

— $T \leq 600 \text{ }^\circ\text{C}$: 4年ごと

— $600 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq 800 \text{ }^\circ\text{C}$: 2年ごと

— $800\text{ }^{\circ}\text{C} < T : 1\text{ 年ごと}$

白金系以外 (N 型, K 型, E 型, J 型, T 型及び C 型) の熱電対の再利用に関しては, 各試験後に再校正を行わずに使用することを認めてない。ただし, 経験によって, ドリフトによる誤差が該当する試験条件において **6.3.3** の限界を超えないことが示されている場合は, **500 h** を超えない使用間隔で校正することが可能である。

試験の期間が上記の校正期間を超える場合, 試験終了後に熱電対を校正しなければならない。

試験に使用された熱電対の誤差が試験温度で確認されているか, 又は試験温度を含む範囲で典型的なものであることを示さなければならない。1 $^{\circ}\text{C}$ を超える誤差を示す熱電対は, 適切な補正を行う場合に限り使用することが可能である。

熱電対が再溶接された場合, 使用前に熱電対を再校正しなければならない。

白金系以外の熱電対は, 露出した導線を切除して短くする場合があるが, その場合, 使用前に再校正することが望ましい。

7 試験片

7.1 形状及び寸法

7.1.1 平滑試験片の形状及び寸法

通常, 円形断面の試験片を使用する。図 2 参照。

一般的に, 平滑 (ノッチのない) 試験片は, 機械切削加工した円形断面の比例試験片 ($L_{r0} = k\sqrt{S_0}$) である (図 2 参照)。k の値は, 5.65 以上 (すなわち, $L_r \geq 5D$) が望ましい, 使用した値は, 試験報告書に記録しなければならない。

特殊な場合には, 試験片の断面は, 正方形, 長方形又は他の形状でもよい。円形断面の試験片の規定を, これらの特殊試験片に, 適用する。

一般的に, 円形断面の試験片は, L_r は, L_c を 10% 以上超えないこと, 若しくは, 正方形又は長方形の試験片の場合は, 15% を超えないことが望ましい。

平行部は, 試験機のつかみ部まで肩部の曲線によってつながっていなければならない。試験片のつかみ部は, 試験機のつかみ部に適するどのような形状でもよい。肩部の半径 (r_f) は, 円形断面試験片に対して $0.25D \sim 1D$, 長方形又は正方形断面の試験片に対しては $0.25b \sim 1b$ であることが望ましい。

注記 しかし, 場合によっては, 特にもろい材料の場合は, 肩部又はつかみ部近傍での破壊を避けるために, $1D$ より大きい肩部の半径を使用することが有利であることが証明されている。

供試材の寸法が制限されない限りは, 原断面積 (S_0) は, 7 mm^2 以上とする。

平行部に伸び計を付けるつば (collar) の付いている試験片を用いる場合には, つばの肩部半径は, $0.25d$ よりも小さくてよい。標点距離内で起きる破断に対してつば部の影響を最小とするように, 肩部の半径を選択することが望ましい。検査時にアンダーカットの形跡がないことが望ましい。つば付きの試験片につ

いては、つば部とつかみ部との径は、標点距離の径の10%まで大きくしてよい。これは、破断が標点距離内で起きることを確実にするために望ましい。

試験片のつかみ部は、次の同軸度公差内で平行部と同じ軸でなければならない。

- 円形断面試験片の場合：0.005 D 又は 0.03 mm の大きい方
- 正方形又は長方形断面試験片の場合：0.005 b 又は 0.03 mm の大きい方

酸化が重要な因子である場合、より大きな原断面積 (S_0) をもった試験片を使用することが望ましい。

原基準長さを測定する場合の測定の不確かさは、 $\pm 1\%$ 以内でなければならない。最終基準長さを測定する場合の測定の不確かさは、 $\pm 1\%$ 以内が望ましい。

7.1.2 ノッチ試験片の形状及び寸法

ノッチ試験片を使用する場合は、形状及びノッチ位置を受渡当事者間の協定及び**附属書 C**の規定による。

7.1.3 安定した特性値を得る試験片

安定した特性値を得る試験片は、**附属書 JA**による。

7.2 試験片の調製

試験片は、残留変形又は表面欠陥を極力少なくするような方法で、機械切削加工をしなければならない。

試験片形状の許容差は、円形断面試験片に対して**表 3**を、正方形及び長方形断面試験片に対して**表 4**を満足しなければならない。

表 3—円形断面試験片形状の許容差

単位 mm	
公称直径 D	形状許容差 ^{a)}
$3 < D \leq 6$	0.02
$6 < D \leq 10$	0.03
$10 < D \leq 18$	0.04
$18 < D \leq 30$	0.05
注 ^{a)} 試験片の平行部全体に沿って測定した断面方向寸法の測定間の最大偏差 ^[14]	

表 4—正方形又は長方形断面試験片形状の許容差

単位 mm	
公称幅 b	形状許容差 ^{a)}
$3 < b \leq 6$	0.02
$6 < b \leq 10$	0.03
$10 < b \leq 18$	0.04
$18 < b \leq 30$	0.05
注 ^{a)} 試験片の平行部全体に沿って測定した幅方向寸法の測定間の最大偏差 ^[14]	

最小の原断面積は、平行部の長さ又は基準長さのいずれか小さい方の中央 2/3 の内側にあることが望ましい。

注記 標点距離の端部に近い位置で破断が発生することを避けるために、標点距離の中央に向かって試験片にテーパを付ける際に、形状公差の半分を利用することが適切な場合がある。

試験片にノッチがあるときには、その形状が関連する製品規格で規定した許容差を確実に満足していることを検査し、及び**附属書 C**による手順を用いなければならない。

7.3 原断面積の決定

原断面積 (S_0) は、平行部内の適切な寸法の測定から求める。それぞれの寸法は、 $\pm 0.1\%$ 又は 0.01 mm のいずれか大きい方の測定の不確かさの範囲内で測定しなければならない。

試験片の寸法は、標点距離に沿って 3 か所を測定しなければならない。更に断面積の最小計算値を規定応力に対する試験力の決定に用いなければならない。

7.4 原標点距離 (L_0) の表示

原標点距離の両端は、細い印、けがき線又はその他の方法で表示しなければならない。ただし、早期破断の原因となるようなノッチは、使用してはならない。

原標点距離は、 $\pm 1\%$ の精度で表示しなければならない。

注記 試験片上に、標点距離に沿って描かれた軸方向に対して平行な線を描くのが有効な場合がある。

L_0 の印は、小さなつば付き試験片を使用する場合には、不要である [図 2 c)及び d)参照]。

7.5 基準長さ (L_r) の決定

この文書では、様々な伸び計伸び (%) 及び伸び率 (%) (3.11 から 3.22 参照) が、基準長さ (L_r) に対する割合として表されている。基準長さは、試験片の形状及び用いられる伸び計のタイプに依存する。次の 2 つのケースが区別される必要がある。

Case 1—平行長さ (L_c) 内の原標点距離 (L_0) 及び／又は伸び計の標点距離 (L_0)

このケースでは、図 2 の a)及び b)に示されるように、原標点距離及び伸び計の標点距離内で試験片の直径は、一定である。(例えば、原標点距離の適切な位置に従った印又は試験片の平行長さ内だけに取り付けられた伸び計。) 基準長さ (L_r) は、伸び率の計算において式(9)から求める。

$$L_r = L_0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

同様に、伸び率の計算に用いる基準長さ (L_r) は、式(10)から求める。

$$L_r = L_c \quad \dots\dots\dots (10)$$

Case 2—平行長さ (L_c) 外の原標点距離 (L_0) 及び／又は伸び計の標点距離 (L_0)

このケースでは、図 2 の c)及び d)に示されるように、(試験片の肩部や伸び計の取り付け用つばのように) 変化する直径を持った試験片部分が、原標点距離及び伸び計の標点距離の一部を構成する。基準長さ (L_r) は、伸び計伸び (%) 又は伸び (%) の計算において、肩部又はつばのひずみの寄与を考慮するため式(11)から求めることが望ましい (図 2 参照)。

$$L_r = L_c + 2 \sum_i \left[\left(\frac{D}{d_i} \right)^{2n} l_i \right] \dots\dots\dots (11)$$

ここで、
 n : 評価中の材料に対する試験温度における
 応力指数 (stress exponent)。(不明の場合は、 $n=5$ とする。)
 l_i : 肩部の長さ増加量。(経験的には、この計算には、0.1 mm の値が適切である。)
 d_i : 各長さ増分 l_i における中央断面の試験片直径

例えば、長方形又は中空断面の場合、式(12)によって求めるのが望ましい。

$$L_r = L_c + 2 \sum_i \left[\left(\frac{S_o}{S_i} \right)^n l_i \right] \dots\dots\dots (12)$$

ここで、
 S_o : 平行長さ部の原断面積
 S_i : 各長さ増分 l_i における試験片の断面積

この計算は、それぞれの試験片の形状に対して行わなければならない。試験片の寸法は、7.1 及び 7.2 で規定された許容差内であるならば、作製したそれぞれの試験片ごとに形状に合わせて再計算をする必要はない。反対に再計算が必要になるのは、異なった材料を試験する、又は初期応力及び試験温度を超えた範囲で試験をするいずれかの原因によって、関連する応力指数 (n) の変化が生じたときである。

8 試験方法

8.1 試験片の加熱

試験片を規定温度 (T) に加熱する。試験片、つかみ装置及び伸び計を、熱平衡状態にする。

製品規格に他の規定がない限り、試験片に試験力を負荷する前に、最低 1 h 以上この状態を保持する。クリープ試験では、試験力を加える前の試験温度での保持時間は、24 h を超えてはならない。不連続クリープ試験では、この保持時間は、3 h を超えることは望ましくない。また、除荷した後、試験温度で、試験力の負荷されていない状態の時間は、1 h を超えないことが望ましい。

加熱期間中、試験片の温度は、常に規定温度 (T) の許容差を超えないようにすることが望ましい。超えた場合には、試験報告書に記録する。

伸び計を用いたクリープ試験では、小さな予荷重 (試験力の 10 %未満) を、試験片加熱中 (すなわち、 $t=0$ の前)、荷重軸とのアライメントを保持するために試験片に加えてもよい。

8.2 試験力の負荷

試験力は、試験片の曲げ及びねじれが最小になるような方法で試験軸の方向に負荷する。

負荷する試験力は、最低±1%の精度で行う。ただし、クリープ試験は、最低±0.5%の精度で行う。試験力は、衝撃が加わらないように負荷する。かつ、可能な限り速やかに負荷するのが望ましい。

柔らかい面心立方格子（FCC）材料の負荷中には、非常に低い試験力又は室温でクリープを示す可能性があるため、特別の考慮を払うことが望ましい。

クリープ試験及びクリープ伸びの測定の開始は、試験片に初期応力に対する全試験力が加えられた時点（ $t=0$ ）とする（図 1 参照）。

8.3 試験の中断

8.3.1 計画された試験の中断

計画された定期的な中断の回数は、伸びのデータを得るために十分であることが望ましい。

注記 8.4.2 の例を参照。

8.3.2 一列に数個の試験片を試験中の複式試験機

一つの試験片が破断した後、試験片を取り替えるために一連の試験片を取り除かなければならない。試験の再開は、8.1 及び 8.2 に従って行う。

8.3.3 複合試験

試験は、一次クリープが完了するまで、初めに連続したひずみ測定を行いながら実施する。必要に応じて、試験片を不連続クリープ試験として継続するため別の試験機に移動してもよい。また、8.4.2、附属書 E 及び参考文献[15][16]参照。

8.3.4 試験の偶然の中断

加熱の不具合、停電などの事故による試験の中断後の試験再開状態は、試験報告書に記録する。負荷装置の部品の収縮に起因する試験片への試験力の過負荷が生じないようにする。

注記 初期試験力は、このような試験中断中も伸び計への影響を最小とするため維持することが可能である。必要に応じて、停電時には、荷重を減らし、電源が復旧して試験温度に到達した際に再び荷重を加えることが可能である。荷重の伝達系が正常な位置を保つよう、最低 10%の力を維持することが賢明である。

8.4 温度及び伸びの記録

8.4.1 温度

全試験期間を通して、温度条件が 6.3.1 の要求事項を満足していることを立証するために、十分な試験片温度の記録実施が重要である。

8.4.2 伸び及び伸び計伸び

伸び計伸びの連続的な記録又は十分な回数の伸びの記録を、クリープ曲線を描くことが可能となるように試験を通して行われなければならない（図 3 参照）。

規定の期間に対するクリープ伸び計伸び（%）だけを測定する場合、クリープ曲線をプロットすることは、不要である。試験の始めと最後の測定だけ行う。

不連続クリープ試験の場合は、伸びの測定に対する定期的な中断の回数は、クリープ曲線から補間法によって、時間と永久伸びとの関係を十分な精度で決定可能となるように選定する。

例 長時間試験の場合の中断ひずみ測定を行う一連の時間間隔の例は、100 h, 250 h, 1 000 h, 2 500 h, 5 000 h, 以降 40 000 h まで 5 000 h ごと、それ以降は、10 000 h ごとに行う。3 000 h 以下の試験には、50 h を追加し、1 000 h 以下の試験には、更に 25 h を追加すべきである。

クリープ試験の場合は、初期塑性伸び計伸び (%) e_i を測定する。

初期塑性伸び計伸びを求める際には、弾性伸び計伸びを差し引く必要がある。弾性伸び計伸びは、荷重を負荷している間に段階的に測定する手順によって決定することが望ましい。又は、JIS G 0567 に適合した高温での引張試験から得た値を使用することが可能である。弾性伸び計伸びは、塑性伸び計伸びが 1 % 未満である場合、荷重直後に部分的な除荷手順によって代替的に求めることが可能である。

不連続クリープ試験の場合における初期塑性伸び (%) e_i を測定するため、各クリープ試験温度で JIS G 0567 及び JIS Z 2241 に適合した高温での引張試験を追加して実施しなければならない。ただし、JIS G 0567 における許容として、ひずみ速度はクリープ試験で用いられる荷重速度と同等であることが望ましい。

8.4.3 伸び-時間曲線 (elongation-time curve) 又は伸び計伸び-時間曲線 (extension-time curve)

時間と伸び又は伸び計伸びの記録から、伸び-時間曲線又は伸び計伸び-時間曲線をそれぞれ作成することが可能である (図 3 参照)。

9 試験結果

試験の結果は、箇条 3 に示す定義を使用して測定記録から求める。

10 試験の有効性

試験片が、平行部の外側で破断した場合、又は伸び計の標点の外側で破断した場合、試験結果が製品規格又は注文者の要求に適合しない限り、破断伸び (%) を無効とする。

11 結果の正確さ

11.1 結果の表示

結果の値は、次に示す項目及び規定する内容を表示する。数値の丸めは、JIS Z 8401 の規則 A による。

- 規定温度 (T) : 1 °C
- 試験片の直径 (D) : 0.01 mm
- L_r/D の比 : 小数点第 1 位
- 基準長さ (L_r) : 0.1 mm
- 初期応力 (R_o) : 有効数字 3 けた
- 時間 (t_{fx} , t_{px}) : 有効数字 3 けた

- 時間 (t_u , t_{un}) : 時間単位 (h) [ただし, 時間 (t_u , t_{un}) が 100 h 未満の場合は, 0.1 h 単位]
- 伸び計伸び (%) (e_c , e_i , e_{ti} , e_f , e_{fu} , e_k , e_p , e_{per} 及び e_{pu}) : 有効数字 3 けた
- 永久伸び (%) (A_{per}) : 有効数字 3 けた
- クリープ破断伸び (%) (A_u) : 有効数字 2 けた
- クリープ破断絞り (%) (Z_u) : 有効数字 2 けた

11.2 試験結果の不確かさ

試験結果の不確かさは、試験する材料の特性及び試験条件によるものであるため、不確かさの精確な値を得ることは、不可能である。

幾つかの材料の不確かさの見積りの例を、**附属書 D** に示す。

12 報告

12.1 製品規格で規定していない報告事項については、12.2 又は 12.2 及び 12.3 に従って報告する。結果の表し方及び図による外挿法については、**附属書 E** 参照。

12.2 試験報告書は、必要な場合に提出する。試験報告書に次の項目を記載する。ただし、受渡当事者間の協定によって、次のうちから選択してもよい。

- この規格 (すなわち JIS Z 2271) によって試験した旨の表示
- 試験の種類 (クリープ試験又は不連続クリープ試験)
- 材料及び試験片の識別
- 試験片のタイプ及び形状寸法 (比例係数 k の値及び基準長さを含む。)
- 規定温度及び補正測定温度 (許容温度差の範囲外の場合)
- 初期応力
- 一定の試験力又は一定応力
- 試験結果
- 破断位置 (平行部の中央の 2/3 から外側の場合)
- 初期塑性伸び (%)
- 試験の偶然の中断及び再開の条件
- 試験の結果に影響を及ぼす可能性のある事項、例えば、規定許容差からの外れ

12.3 適切な場合には、注文時の要求によって利用可能とする項目に次のものを含んでもよい。

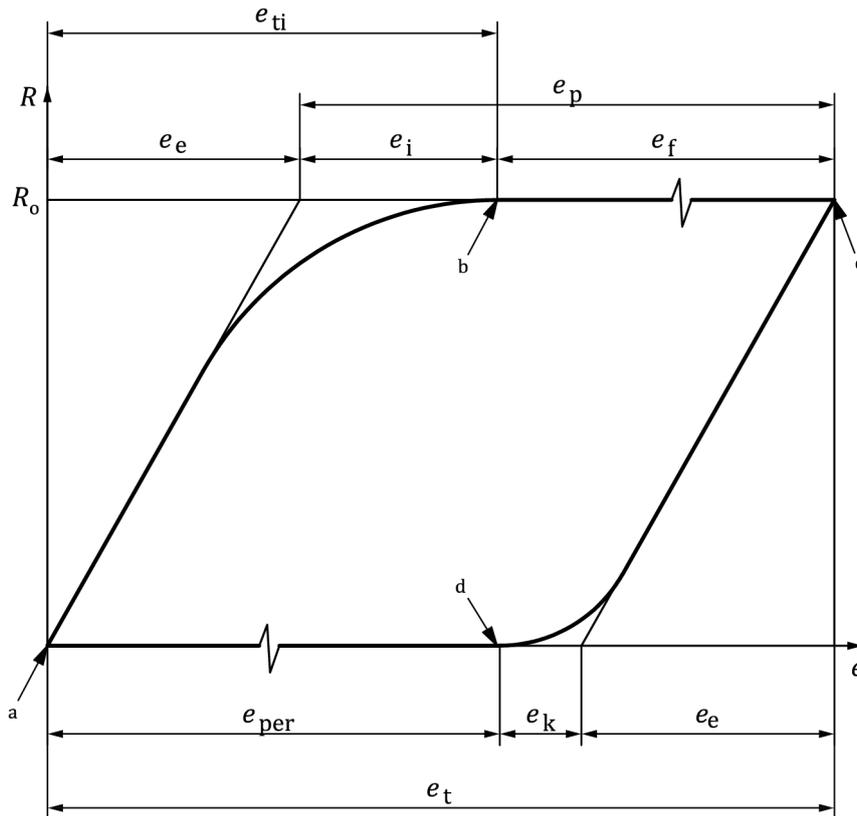
- 試験機の種類 (単式試験機、複式試験機など)
- 試験力の負荷時間
- 曲線を精確に作成するのに十分な記録をもった伸び、又は伸び計伸び—時間曲線
- 試験力の負荷による弾性伸び (%) 又は伸び計伸び (%) (**8.4.2** 参照)
- 除荷及び除荷時間による弾性及び非弾性伸び (%) 又は伸び計伸び (%) (**8.4.2** 参照)
- **6.3.1** に規定された許容温度限界値から外れた表示温度の経過を記録した値に関する情報
- 伸び計の種類

ー 全試験期間中の熱電対のドリフトの値

ー 供試材に関する推奨追加情報については、E.6 参照

12.4 この規格で規定する試験条件及び許容値は、注文者による特別な指示のない限り、測定の不確かさによって調整してはならない（附属書 D 参照）。

12.5 注文者による特別な指示のない限り、見積もられた測定の不確かさを試験結果と組み合わせて、製品規格への適合性を評価してはならない（附属書 D 参照）。



記号説明

R : 応力

R_0 : 初期応力

e : 伸び計伸び (%)

e_t : 全伸び計伸び (%)

e_e : 弾性伸び計伸び (%)

e_p : 塑性伸び計伸び (%)

e_f : クリープ伸び計伸び (%)

e_{ti} : 初期全伸び計伸び (%)

e_i : 初期塑性伸び計伸び (%)

e_k : 非弾性伸び計伸び (%)

e_{per} : 永久伸び計伸び (%)

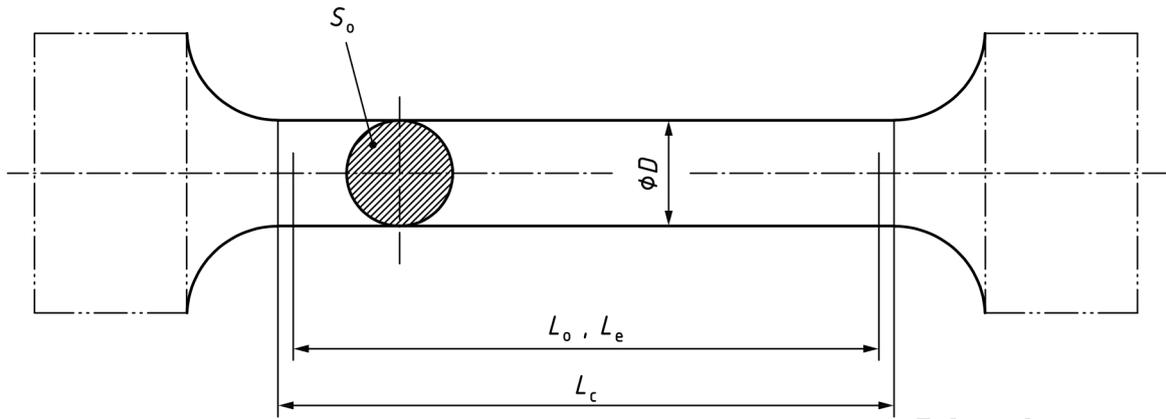
a : 負荷の開始

b : 負荷の終わり

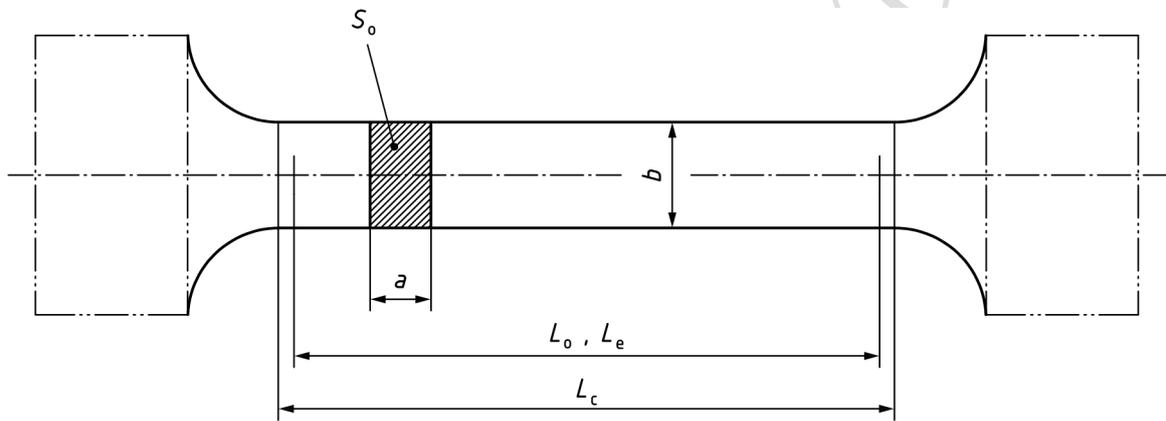
c : 除荷の開始

d : 除荷の終わり

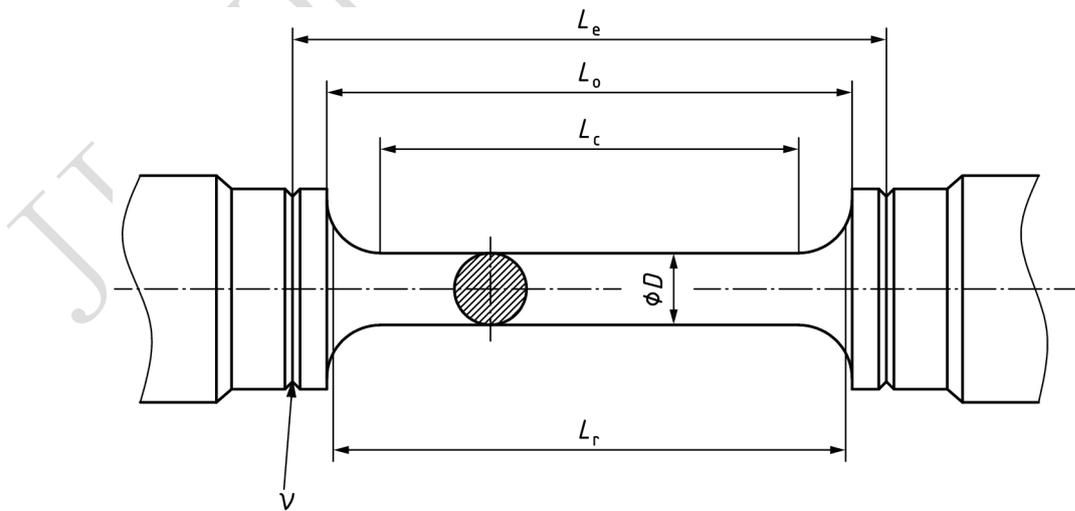
図 1—応力—伸び曲線略図



a) 肩部があり，平行部の内側に標点距離をもつ円形断面試験片

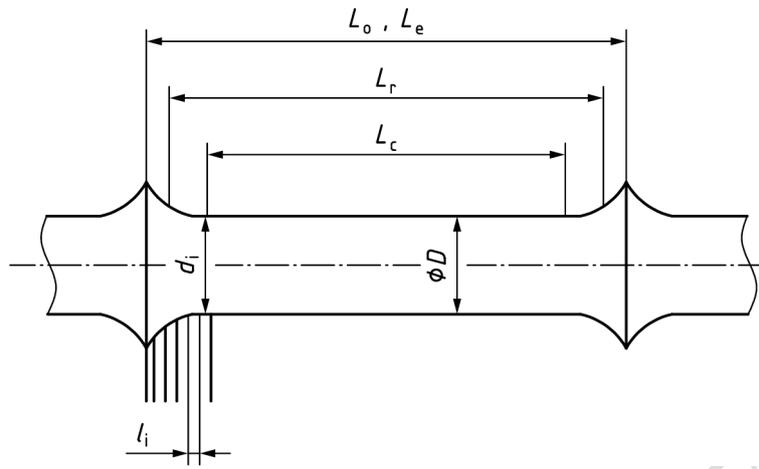


b) 肩部があり，平行部の内側に標点距離をもつ正方形又は長方形断面試験片



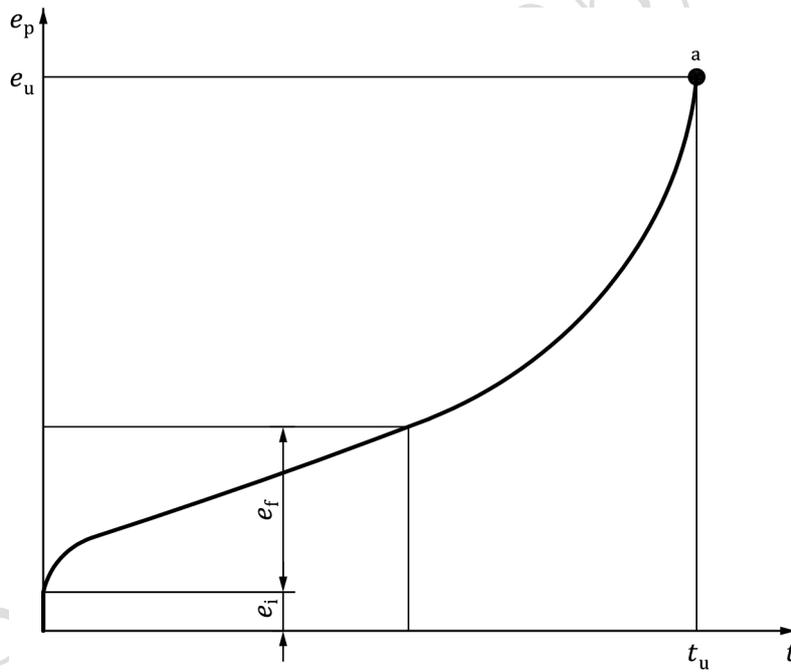
c) 肩部があり，平行部の外側に標点距離をもつ試験片

図 2—試験片の例



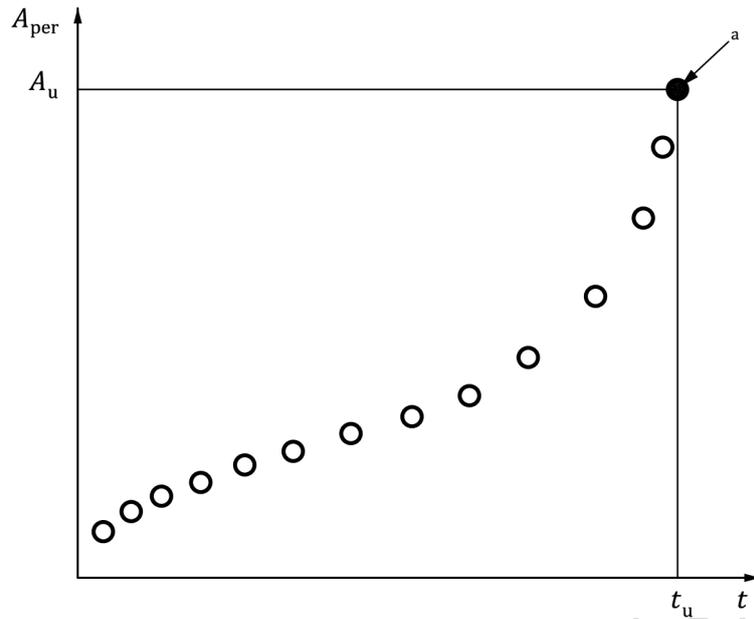
d) つば付き試験片

図 2-試験片の例 (続き)



a) クリープ伸び計伸び-時間曲線

図 3-クリープ曲線



b) クリープ伸び-時間曲線

記号説明

 e_p : 塑性伸び計伸び (%) e_u : 極限全伸び計伸び (%) 又はクリープ破断時間における全伸び計伸び (%) e_i : 初期塑性伸び計伸び (%) e_f : クリープ伸び計伸び (%) A_{per} : 永久伸び (%) A_u : クリープ破断伸び (%) t_u : クリープ破断時間 (h)

a : 破断

図3-クリープ曲線 (続き)

附属書 A (参考)

熱電対のドリフトに関する情報

A.1 一般

熱電対によって生じる起電力（以下、emf という。）は、高温で長期間のさらされることによって変化する可能性があり、この挙動は俗に“ドリフト”として知られている。

特定の熱電対のドリフト特性が、指定されたクリープ試験温度で既知である場合、その情報を用いて時間の経過に伴いクリープ試験機の炉温を調整し、試験が表 2 に示す限界内に維持されるようにすることは差し支えない。なお、不確かさの要因には複数の寄与があり、その中でもドリフトが大きな要素の一つとなる場合があることに留意することが望ましい。

A.2 ドリフトの影響

約 20 年前まで、多くのクリープ試験室では、試験片の温度を熱電対で監視しながら、クリープ炉の温度を白金抵抗温度計（以下、PRT という。）を用いて制御していた。一般に、PRT はドリフトが起きにくいいため、クリープ試験温度は試験規格に指定された許容範囲内で安定していた。

現在実施されているほとんどのクリープ試験では、炉温は試験片に取り付けられた熱電対によって制御されている。そのため、制御用熱電対の emf がドリフトによって低下すると、温度制御装置の電子回路が emf の低下を検知し、炉の電力を自動的に増加させて、指示された emf を設定値に戻すように動作する。その結果、熱電対の出力が低い方にドリフトする場合、クリープ試験の真の温度は、実際には系統的に上昇する。ドリフトの大きさによって、試験が試験規格で指定された許容範囲外に外れる場合がある。

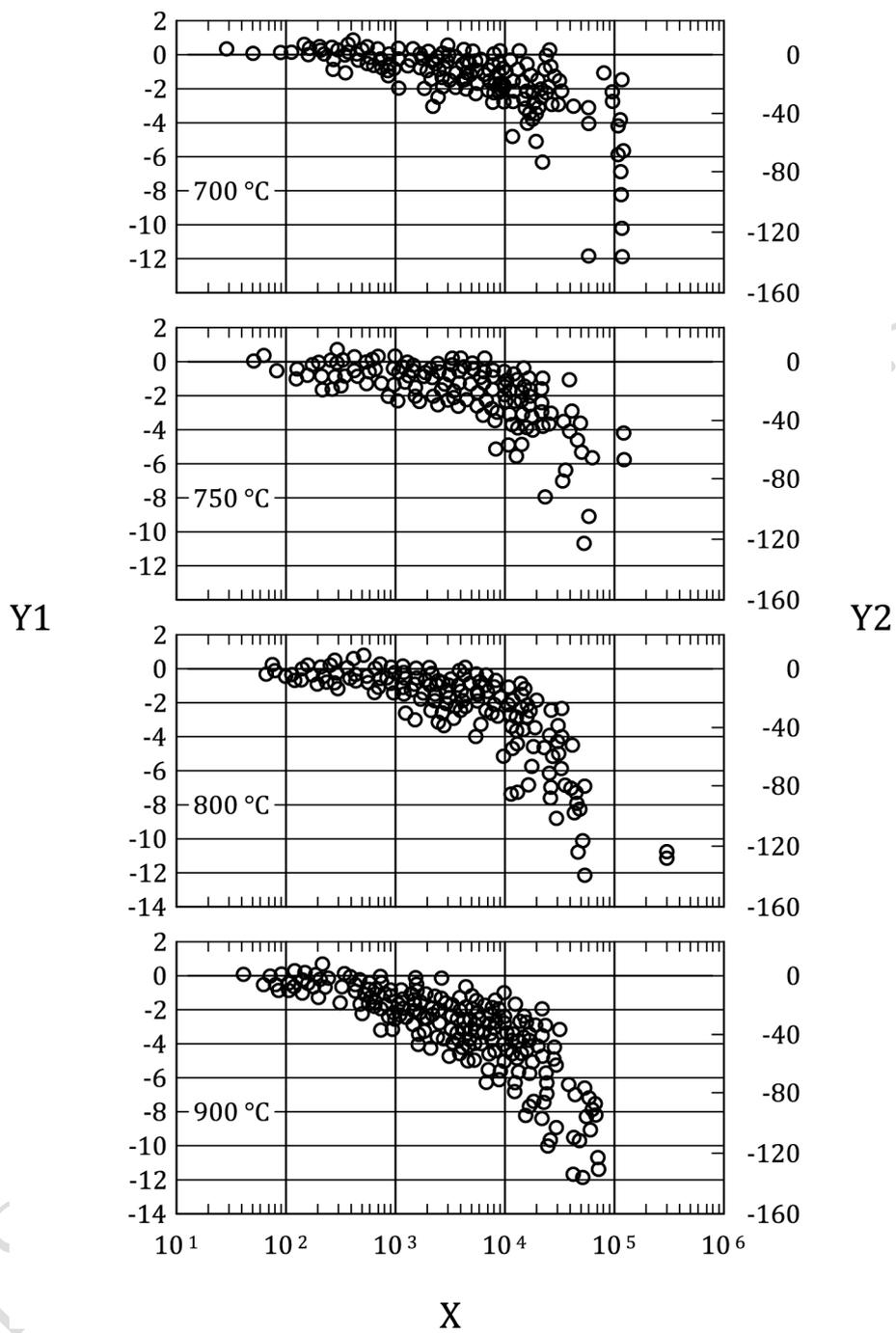
試験温度が継続的に上昇することによる結果は、一定温度で試験を行った場合よりも測定されるクリープ寿命が短くなり、クリープ速度も高くなる。したがって、一般的に、クリープデータは保守的であり、安全上重要な部品の設計に用いられるようなデータは、安全側に偏ることになる。

A.3 ドリフトのデータ

1960 年代から 1970 年代において、クリープ試験室は熱電対のドリフトによって、試験が規格で指定された温度許容範囲を満足しない結果となりえることを理解し始めた。そのため、クリープ試験完了後にそのままの状態でも熱電対を再校正することが一般的な方法となった。ヨーロッパでは、1960 年代に K 型（クロメル/アルメル）熱電対は、重大なドリフトを起こしやすいことが認められたため、長期にわたるクリープ試験での使用は、ほとんど推奨されなくなった^{[17][18]}。

400 °C から 850 °C クリープ試験温度範囲における、R 型熱電対のクリープ試験後の校正データがイギリスで報告された^[17]。データが大きなばらつきを示しているが、600 °C において概ね (-3 ± 2) °C のドリフトの低下傾向が示された。さらに日本では、R 及び S 型熱電対について同様のデータが記録されている^{[19][20][21][22]}。日本の金属材料技術研究所〔現、独立法人物質・材料研究機構（以下、NIMS という。）〕におけるクリープデータシート（以下、CDS という。）プロジェクトは現在も進行中であり、500 °C から 900 °C のクリープに対する使用後の PR 型熱電対（Pt-Pt 12.8%Rh）¹⁾ と R 型の熱起電力の変化の最新データが 2005 年の ECCC 会議で発表された^[20]。図 A.1 にグラフの例を示すが、いくつかの結果が 100 000 h を超える寿命に対して有効であることがわかる。最大 12 °C のドリフト値が報告された。

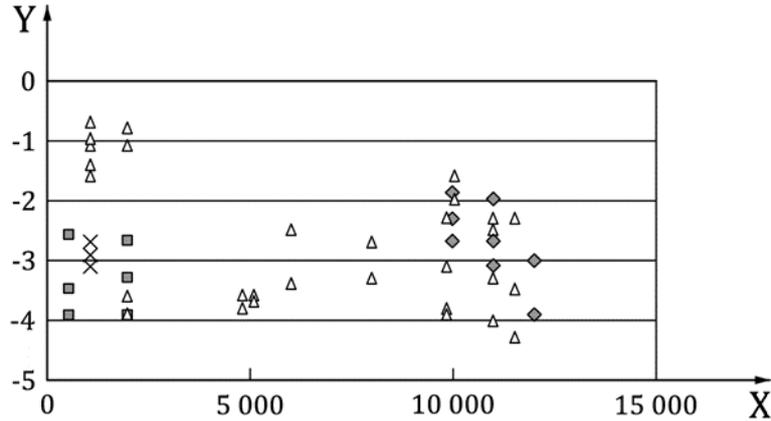
注 PR 型熱電対は、JIS C 1602 において廃止されている。



記号説明

- X : クリープ試験時間 (h)
- Y1 : ドリフト計算値 (°C)
- Y2 : ドリフト計算値 (μV)

図 A.1—PR 型熱電対のクリープ試験後のドリフト値^[20]



記号説明

X : クリープ試験時間 (h)

Y : ドリフト計算値 (°C)

◆ : 750 °C

■ : 800 °C

▲ : 850 °C

× : 900 °C

図 A.2—クリープ試験後に測定された R 型熱電対のドリフト値 [12]

加えて、The National Physical Laboratory (英国, 以下, NPL という。)におけるクリープ試験後に行われた R 型熱電対の再校正後のドリフトデータに関する限定的なデータが公開されている [12]。図 A.2 参照。

N 型熱電対は、現在、プラント監視及びクリープ試験に広く使用されているが、クリープ試験に使用される温度範囲における体系的なドリフトデータは、まだ公開されていない。このデータ欠如に対応するため、高温機械試験委員会は、シース付き N 型熱電対のドリフト測定を開始し、初期測定を 650 °C を EDF Gloucestershire 及び 750 °C を NPL において実施した。

EDF Energy で行われ、約 25 000 h にわたり実施された等温測定の予備結果によれば、~2 °C のドリフトが確認可能であり、K 型熱電対で測定された値と比べて有意に小さいものではない。

クリープ試験に使用される熱電対の性能に関する情報は、その他の文献 [16] [23] [24] [25] にも示されている。

A.4 結論に関する所見

一般に、クリープ試験温度が高くなるほどドリフトが大きくなる傾向があり、ドリフトを許容しない限り、多くのクリープ試験が表 2 に規定された許容値に適合しないことは、明らかである。

多くの研究機関がクリープ試験後のドリフトデータを測定しているが、その情報を公開していない。このような情報が公開され利用可能になれば有効となるであろう。

附属書 B

(参考)

熱電対の校正方法に関する情報

熱電対の校正に関しては、二つの手段を推奨することが可能である。両者の目的は、校正温度において熱電対によって示される emf が (必要に応じてすべての系統誤差を補正した上で)、適切な JIS C 1602^[6] の参考表のその温度に規定している emf と可能な限り近づけることである。二つの手段は、国家標準に直接トレーサビリティがある基準熱電対 (reference thermocouple) を使用する。事前条件として、新しい熱電対の校正許容差は、JIS C 1602^[6] のクラス 1 か又は同等のものに準拠していることである。温度測定装置の校正は、熱電対の校正と別に、又は熱電対の校正中に行うことが可能である。

手段 1 は、熱電対のその場での校正、すなわち、実際の炉か校正用の炉に同じ深さに挿入し、熱電対ワイヤに沿って同じ温度こう (勾) 配をもつようにした熱電対校正を基にする。その場での校正中に測定された誤差は、熱電対の規定温度の補正に用いる。誤差が、挿入深さによる不確かさの限界を超える場合には、熱電対を廃棄する。実際の炉及び校正用の炉での測定中 (active and passive service) の挿入深さの変化による基準熱電対のドリフトを調査し、最小限にするのが望ましい。

手段 2 は、試験炉内の熱電対と同等の挿入深さをもった校正用炉内で熱電対の校正を行うものである。校正において、挿入深さの影響も含め試験室の許容差を超えている場合は、熱電対を切り詰めて高温接点で再溶接する。及び/又は、焼なましてから再校正を行う。再校正後、試験室許容差を超えている場合は、その熱電対を廃棄する。

附属書 C (規定)

V 又は鈍角なノッチのある試験片を用いたクリープ試験

C.1 一般

円周上にノッチを付けた試験片は、次のことを提供する引張クリープ試験に用いてよい。

- a) 顕著に応力集中を起こさせる特徴，例えば，ねじの溝のような部品の一部の鋭い変化に対する材料の応答性
- b) 多軸応力下における材料の応答性

前者 a) は，C.2 による V ノッチ形状を使用して評価してもよい。一方後者 b) は，C.3 による鈍角又は半円状のノッチを使用してもよい。

C.2 V ノッチ試験片

円周 V ノッチ試験片は，部品のねじ山のような特徴に対する材料の応答を評価するために引張試験及びクリープ試験の両方において長い期間使用されてきた。多くの場合，同じ試験片のより大きな径の部分に機械加工されたノッチのスロート部断面が，平行軸部と同じ断面積をもつ混合試験片形状として使用された（図 C.1 参照）。このような試験片は，主に，材料の“ノッチ強化”，すなわち平行軸部で最初に破断するのか，又は“ノッチぜい（脆）化”，すなわち，ノッチに沿って破断するのか判定するために使用してきた。明らかに，ノッチ強化又はぜい（脆）弱化的程度は，混合試験片の形状を使用して定量化することは，できなかつた。そのような情報が必要な場合は，同じ正味断面応力下で，ノッチのない試験片とノッチのある試験片とを，別々に試験する必要がある。

表 C.1—弾性応力集中係数 ($K_t=4.5\pm 0.5$) の円周断面のノッチをもつ試験片の例^[26]

単位 mm			
溝部の直径, d_n 許容差 ± 0.02	軸部の直径, D_n 許容差 ± 0.1	ノッチ半径, r_n	r_n に対する許容差
$3 < d_n \leq 6$	$4 < D_n \leq 8$	$0.07 < r_n \leq 0.14$	± 0.02
$6 < d_n \leq 10$	$8 < D_n \leq 13.3$	$0.14 < r_n \leq 0.24$	± 0.03
$10 < d_n \leq 18$	$13.3 < D_n \leq 23.9$	$0.24 < r_n \leq 0.43$	± 0.05
$18 < d_n \leq 30$	$23.9 < D_n \leq 40$	$0.43 < r_n \leq 0.72$	± 0.09

表 C.1 から逸脱した寸法の場合，試験片は， D_n/d_n を 1.33～1.34 及び d_n/r_n を 38～46 の範囲内，更に半径 $r_n \pm 12.5\%$ の許容範囲内で製造することが可能である。

応力集中係数に関する追加情報は，参考文献[27]および[28]を参照。

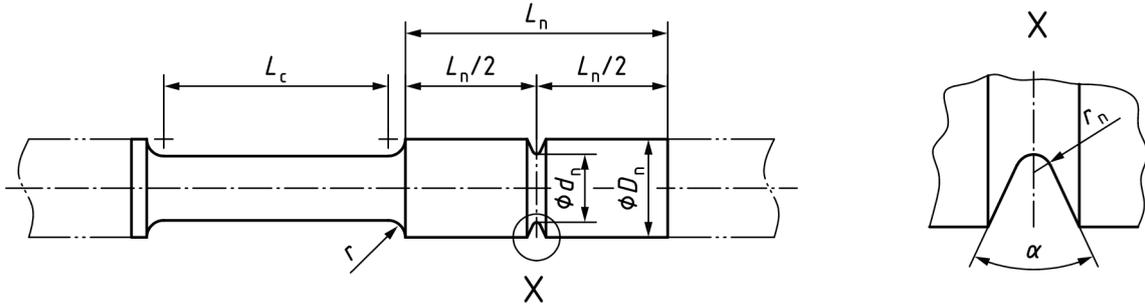
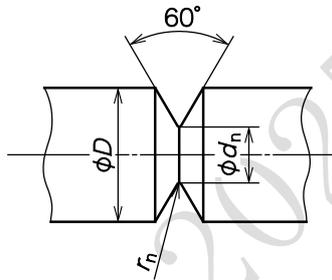


図 C.1—ノッチありなし混合試験片

初期の規格は、ノッチ形状の詳細が異なっていた。しかし、欧州共同クリープ委員会（ECCC）の支援のもとで実施された研究調査によると、図 C.2 に示すタイプ E の形状が、ノッチ強化又はぜい化の評価に適していると考えられる^[29]。



形状	試験片タイプ		
	DIN	BS	E
D_n/d_n	1.25	1.41	$\sqrt{1.25 \times 1.41} = 1.33$
d_n/r_n	50	35	$\sqrt{50 \times 35} = 42$

図 C.2—試験片タイプ DIN, BS, E の形状

弾性応力集中係数^[26]は、式(C.1)によって求める。

$$K_t = 1 + \left[\frac{1}{2} \times \frac{\frac{r_n}{d_n}}{\frac{D_n}{d_n} - 1} + 2 \times \frac{r_n}{d_n} \times \left(1 + 2 \times \frac{r_n}{d_n} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(C.1)$$

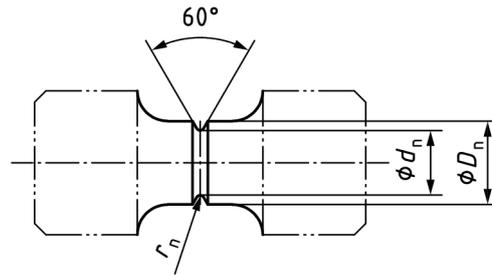


図 C.3—円形断面を有するノッチ付き試験片の概略図

C.3 鈍角な円周ノッチ

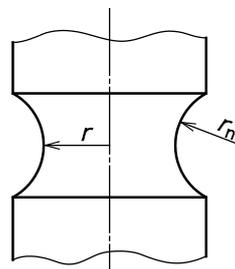
鈍角な円周ノッチの加工を引張クリープ試験片に施すことは、使用条件下における多くの工業的な部品が受ける条件と同様の多軸応力状態下での材料の挙動を評価する単純でコスト効率の良い方法である。

このようなノッチの試験片は、1952年、Bridgman^[30]によって初めて提唱された。ノッチ付き試験片のクリープ破断試験実施基準“Code of Testing Practice for Creep Rupture Testing”は、高温機械試験委員会 (HTMTC) のワーキンググループによって1990年代の初めに作成された^[31]。この後の文書は、EU Funded Project^[33]を基に、更新された^[32]。

クリープひずみ測定を範囲に含める実践基準 (Code of Practice) の追加改正が行われた結果、軸方向又は直径方向伸び計 (axial or diametral extensometer)^[34]を使用したクリープひずみ測定の実施が許容されている。さらに、ノッチ付きクリープ試験片に対する直径方向ひずみの測定に関する情報^[35]、^[36]及び直径方向の伸び計の校正に関する情報^[37]も発行された。

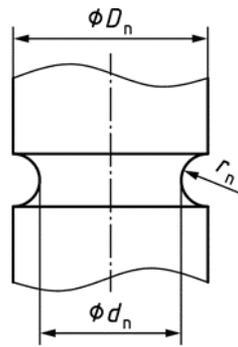
V ノッチよりも、3軸引張応力状態のより広い範囲で、また、このような環境下でどのようにクリープひずみが蓄積されるかを示す材料のクリープ特性の研究が、産業界からのニーズとしてある。ノッチバー引張試験は、この目的を達成する最も簡便な試験方法であり、特に広い範囲の応力状態をノッチ形状の変化によってノッチスロート部の断面に発生させることが可能である。三つの一般的なノッチ形状を、図 C.3 に示す。

このようなノッチを使用して得たデータの解釈は、複雑で、Webster らの文献^[34]に詳細が述べられている。

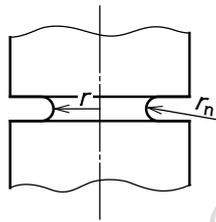


a) 鈍角 (Blunt)

図 C.4—Bridgman ノッチの三つの可能性のある試験片タイプ^[34]



b) 半円 (Semi-circular)



c) 平行端面 (parallel sided)

図 C.4—Bridgman ノッチの三つの可能性のある試験片タイプ^[34] (続き)

附属書 D (参考)

ISO “不確かさの表現のガイド” (GUM) に従った測定の不確かさの 評価方法

D.1 一般

測定の不確かさの分析は、測定結果の不整合の主原因を識別するのに有用である。この規格及び以前の規格を基にした製品規格及び材料の特性データは、測定の不確かさを内在したものである。したがって、測定の不確かさによって更に調整することは、不適切であるし、適合した製品を不合格とする危険性がある。この理由のため、次の手順に従った不確かさの見積りは、注文者の指定がない限り、参考情報である。

D.2 目的

この附属書は、クリープ特性が既知の材料を用いて、この規格に従って実行する測定の不確かさの評価方法のガイドを示すものである。しかし、材料に依存し及び材料から独立して寄与する不確かさがあるので、この試験方法に対する不確かさの絶対的な記述を与えることは、不可能であることを考慮すべきである。したがって、測定の不確かさの計算が可能になる前に、温度及び応力に対する材料のクリープ特性の事前の知識が必要である。

この試験規格に適合していることを評価するために、欧州クリープ標準物質 (the European Creep Certified reference Material) BCR 425^[38]を使い、測定の不確かさの見積方法をも示す。

D.3 不確かさの記述

D.3.1 背景

認定された試験室を使用する注文者は、ときどき試験結果の正確さの不確かさの総合的な見積りを要求する。このことは、ISO 及び CEN/ECISS の宣言された指針 (試験技術にかかわるすべての新規規格は、不確かさの記述を含むか、又は関連する規格に規定された許容値を基に試験方法の精度の計算の方法を含むことが望ましい。) に従ったものである。同様に、ほとんどの品質保証システムが、測定の不確かさの評価を要求している (JIS Q 17025^[39]参照)。

さらに、二つの重要な文書が、ISO 規格委員会 (ISO Standard Committee) から提出された。これらは、ISO 5725 シリーズ^[40]及び ISO の“不確かさの表現のガイド (Guide to the express of uncertainty in measurement)” である。これらの文書は、大部分 VIM, 1993^[41]に示される項目や用語を使用している。

注¹⁾ VIM, 1993 は ISO/IEC Guide 99:2007, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM) に改訂された。

1995 年に“不確かさの表現のガイド”が、幾つかの権威ある標準化団体すなわち、BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP 及び OIML によって共同で発行された (以下、GUM という)。2008 年に GUM は、ISO/IEC Guide 98-3^[42]として、軽微な修正とともに再発行された。GUM は、幾つかの要因の不確かさの総和に対する厳格な統計的方法を基にした包括的な文書である。その複雑さのため、多くの機関によって GUM の簡易版を作成することとなった。例えば、アメリカ合衆国の “National Institute of Science and

Technology (NIST)”^[43], イギリスの “United Kingdom Accreditation Service (UKAS)”^[44], 及び “British Measurement and Testing Association (BMTA)^[45]” がある。これらの文書はすべて, “不確かさバジェット” の概念を基に測定の不確かさの評価の方法のガイドを与えるものである。更なる情報は, “A Beginners Guide”^[46]及び “Estimating Uncertainty in testing”^[47]を参照することによって得ることが可能である。ここで適用する引張試験の不確かさバジェット^[48]は, クリープ標準物質 CRM425 を使用したクリープ試験の不確かさバジェット, CRM BCR425^{[49][50]}と同様のものである。不確かさの包括的な記述は, EU の出資プロジェクト “Uncert”^[51]の一部として現在発行されたところである。さらに, 追加文献として CEN に承認された技術作業協定 [Technical Workshop Agreement, CWA 15261-1 (これは, ISO/TR 1561-3 として利用可能になる。)]^[52]が, クリープの不確かさを記載して発行された。

注²⁾ ISO/AWI TR 15264 として開発中である。

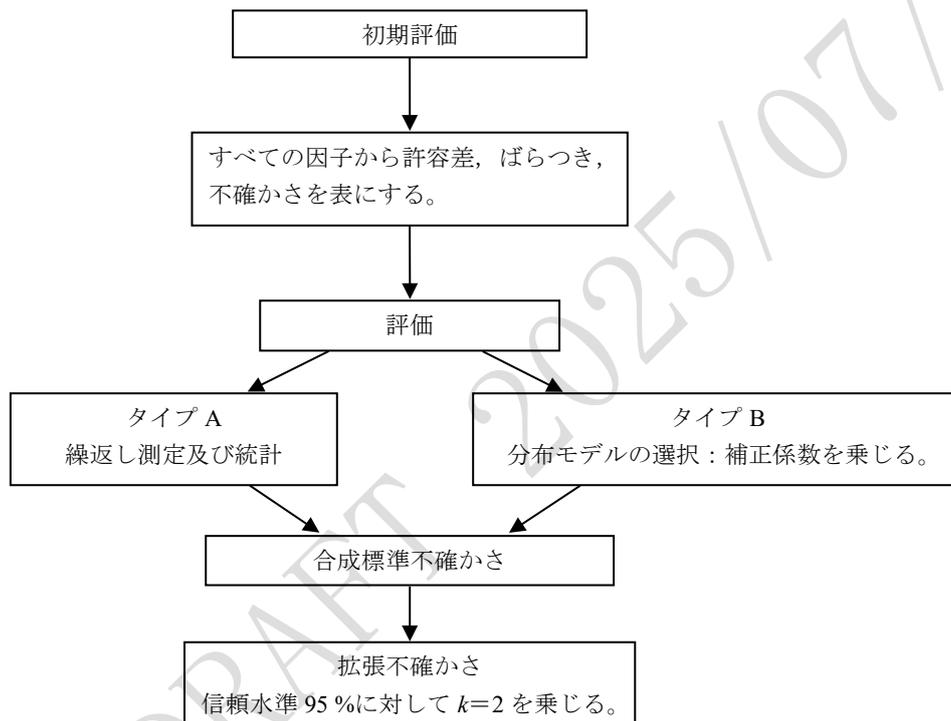


図 D.1—不確かさの評価の手順概要

次の分析は, GUM の概念を基礎に, クリープ試験の不確かさの評価に対する簡略化した方法である。図 D.1 に概要を示す。測定の総合不確かさは, 適切な方法によって寄与するすべての因子を合計することによって求める。すべての寄与を定量化すること, 及び評価の初期の段階で, どの寄与が無視可能か, その後の計算に含める必要がないかを決定することが必要である。材料分野における最も実地的な測定に対しては, 最大の成分の 1/5 より小さい成分は, 無視してもよい。GUM の分類では, 二つの不確かさの評価方法としてタイプ A 及び B がある。タイプ A は, 繰り返し観測によって得られるもので, 十分な測定回数, 例えば 10 回以上, が得られる場合, 古典的な統計分析を用いて標準偏差求めることが可能である。

タイプ B の評価は, タイプ A 以外の手段によって行われる。例えば, 規格に規定している許容値, 測定データ, 製造者の仕様, 校正証明書及びほとんどの場合, 多様な成分間の関係の簡単なモデル及び成分の考えられる分布モデルの知識である。例えば, 規格で規定された許容値が $\pm a$ の場合, 他の知見がない場合, く (矩) 形分布モデルとみなすことが適切としてよい。その場合, 不確かさは, $u_s = a/\sqrt{3}$ となる。

よりよい知見が利用可能な場合, 三角分布がより適切としてよく, その場合 $u_s = a/\sqrt{6}$ となる (GUM 参

照)。次の手順は、通常、二乗和平方根を用いて、標準不確かさを合計することによって、合成標準不確かさ u_c を求める。拡張不確かさ U_E は、包含係数 k を u_c に乗じることによって求める。95%信頼水準の場合、 $k=2$ のため $U_E=2u_c$ となる。図 D.2 にこの手順の概要を示す。

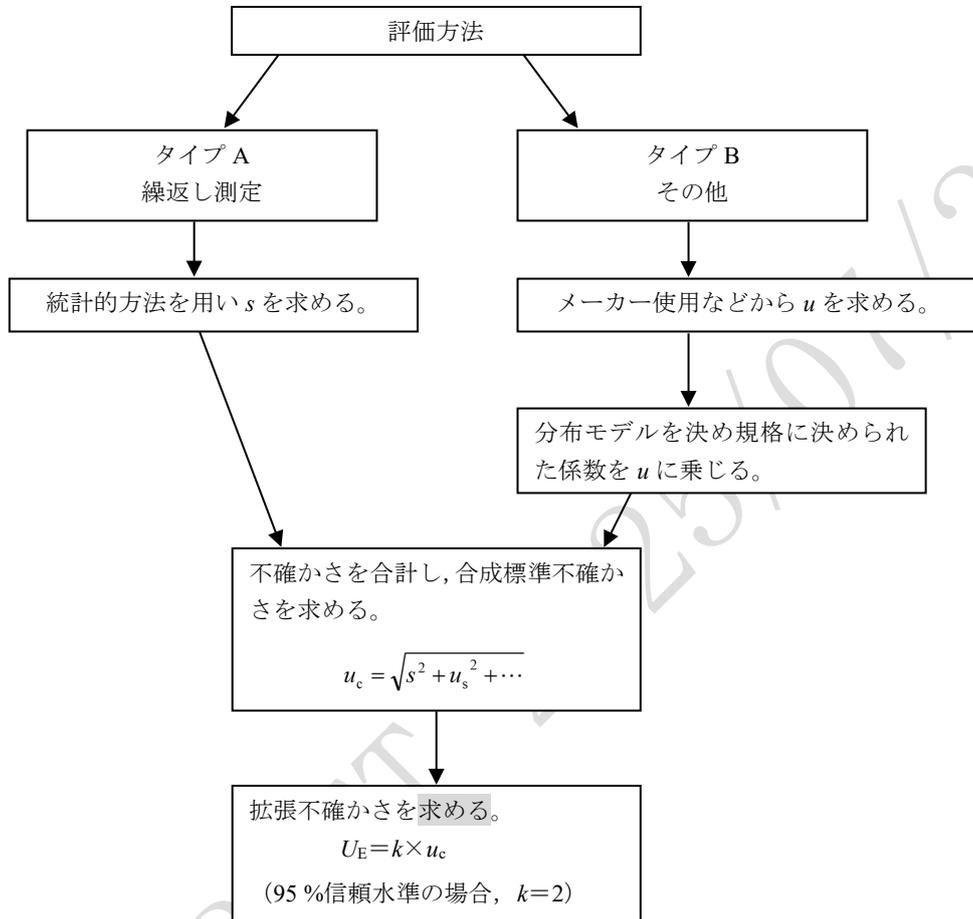


図 D.2—GUM に従った不確かさ評価の詳細手順

D.3.2 不確かさの記述：クリーブ試験

ほとんどの金属材料の場合、応力限界範囲内で最小クリーブ速度 $\dot{\epsilon}_{\min}$ は、負荷応力 σ 及び温度 T に関するとしてよく、式(D.1)による。

$$\dot{\epsilon}_{\min} = A \sigma^n \exp(-Q/RT) \dots\dots\dots (D.1)$$

- ここで、
- A : 材料定数
 - n : ノートンクリーブ則の応力指数
 - Q : 活性化エネルギー
 - R : ガス定数

注記 附属書 D の目的のため、上記記号が使われるが、表 1 の同じ定義ではない。

ほとんどの材料で、一次近似で、破断時間 t_b は、最小クリーブ速度の逆数に直接比例する。 t_b 及び $\dot{\epsilon}_{\min}$ の誤差は、式(D.1)の二つの独立した成分 σ 及び T の誤差に起因すると考えることが可能である。 σ 及び T の許容値は、試験規格に規定される。しかしパラメータ n 及び Q は、材料によるものであるため、この規格に

従って試験をするすべての材料に適用可能な総括的な不確かさの値として用いることが不可能である。

式(D.1)を使用して、クリープ活性化エネルギー、 $Q=345 \text{ kJmol}^{-1}$ 、応力指数 $n=6$ 、とし、温度と応力許容値をこの規格として、固溶ニッケル基合金、Nimonic 75³⁾ (CRM BCR425) の95%信頼水準の拡張測定不確かさ $U_E=20.2\%$ であることが、他の文献^[49]に示されている。

注³⁾ Nimonic 75 は、Special Metals 社が提供する製品の商標である。この情報はこの規格利用者の便宜のために提供するものであり、記載された製品を ISO が推奨することを意味するものではない。

同じように、Granacher 及び Holdsworth^[53]は、特に不連続クリープ試験及びクリープ試験の0.2%及び1%塑性ひずみに達するまでの時間の測定の不確かさを評価するために、ひずみ測定システムの精度に対する全体の不確かさへの寄与を含んだ不確かさバジェットをまとめている。二つのフェライト鋼 (500 °C : 2-1/4Cr-1Mo 及び 550 °C : 1Cr-1Mo-0.5Ni-0.25V)、一つのマルテンサイト鋼 (600 °C : 12Cr-1Mo-0.3V) 及び一つのオーステナイト鋼 (600 °C : 17Cr-13Ni-2Mo-0.2N) を試験した。時間は、通常、30 000 h の範囲で行った。許容値は、く形分布をすることで測定の不確かさの評価のまとめは、GUM に従って信頼水準 95 % で、表 D.1 に示す。

表 D.1— $t_{p0.2}$ 及び t_{p1} の不確かさの範囲

不連続クリープ試験 %	クリープ試験 %
27~38	27~32

加えて、試験片の曲がり又は試験片のつかみの方法などの他の因子がクリープ特性の測定に影響する可能性がある。しかし、これらの影響については、利用可能な十分な量の定量的なデータがなく、現状では不確かさバジェットにこれらを含めることができない。この不確かさバジェットの方法は、測定技術に対する不確かさの評価だけを与えるもので、材料の不均一に起因する試験結果の固有のばらつきに対する許容量を作成するものではない。

ここで記述する不確かさバジェットは、この規格に従って試験を実施した試験室に対する測定の不確かさの上限とみなすことが可能である。

D.4 クリープ試験の標準物質

D.4.1 一般事項

最近、機械試験の分野で認証標準物質 (CRM) の使用の利点が認識されてきた。Community Bureau of Reference (BCR) の支援を受けて、クリープ試験の標準物質の開発が進められてきた^[50]。表 D.2 参照。

表 D.2—Nimonic 75 CRM BCR 425 標準物質の認証値

特性 ^{a)}	認証値 ^{b)}	不確かさ ^{c)}
400 h でのクリープ速度	$71.8 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$	$5 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$
t_{p2}	278 h	16 h
t_{p4}	557 h	30 h
注^{a)} 試験条件： $T=600 \text{ }^\circ\text{C}$ ， $\sigma_0=160 \text{ MPa}$ 注^{b)} この値は，認証された特性の 5 の別々の測定をした九つの試験室の結果の非重み付け平均である。 注^{c)} 不確かさは， 注^{b)} で決められた平均値の 95 %信頼区間の半分とみなした。		

Nimonic 75 CRM BCR 425 は，European Commission, Joint Research Centre (JRC), Directorate F - Health, Consumers and Reference Materials, Retieseweg 111, 2440, Geel, Belgium から入手可能である。

D.4.2 不確かさ評価への Nimonic 75 CRM BCR 425 の使用

Nimonic 75 CRM BCR 425 に関しては，この規格に適合した $600 \text{ }^\circ\text{C}$ で行った試験で，温度許容差 $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ，応力測定の許容差 ($\pm 1 \%$) のときの予測される総合不確かさは，GUM に適合した計算では， $\sim 20.2 \%$ となる (D.3.2 参照)。試験の許容差を，二乗和平方根を用いて認証値の不確かさに加える場合は，表 D.3 に示すように，一つの試験で得られたデータが含まれると予測してよい範囲内で総合誤差帯を求めることが可能である。

表 D.3—Nimonic 75 CRM BCR 425 を使用したクリープ試験の許容データ範囲

パラメータ	認証値	信頼水準 95 % の不確かさ	試験の許容差 ^{a)} ($\pm 20.2 \%$)	総合不確かさ $\sim 21 \%$	
				値	範囲
400 h のクリープ速度 (10^{-6} h^{-1})	72	5	± 14.5	± 15.3	56.7~87.3
t_{p2} (h)	278	16	± 56.2	± 58.4	219.6~336.4
t_{p4} (h)	557	30	± 112.5	± 116.4	440.6~673.4
注^{a)} $\Delta T = \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ， $\Delta \sigma = 1 \%$ ，応力指数 $n=6$ ，及びクリープ活性化エネルギー $Q=345 \text{ kJmol}^{-1}$ とする。					

D.5 単結晶ニッケル基スーパーアロイの $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ でのクリープ試験の不確かさ

超高温での先進的なガスタービンの操業の必要性がある。ガスタービンに使用する材料のクリープ特性を，高温で評価及び検証する必要がある。この意味で， $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ を超える温度での使用に対するクリープ試験方法の確立が重要である。

$1000 \text{ }^\circ\text{C}$ を超える温度でスーパーアロイのクリープ破断特性を求める試験方法を確立するために，ラウンドロビン試験 (RRT) をニューマテリアルセンター (NMC) 高温クリープ及びクリープ破断試験規格委員会によって準備されたプログラムのもとで実施した。九つの研究機関及び会社が，このプログラムに参加した。試験した供試材は，NIMS の高温材料 21 プロジェクトで開発された新ニッケル基単結晶スーパーアロイ (指定名称：TMS-82+；表 D.4 参照) である。 137 MPa 及び $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ の条件で，五つの試験室において 3 回の TMS-82+ に対する繰返しクリープ破断試験が行われた。この試験条件での，以前に報告されているクリープ破断時間は， 340 h であった。GUM に従い， $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ クリープ試験の結果の不確かさの評価を行った。 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ を超える温度での単結晶スーパーアロイのクリープ及びクリープ破断特性に対するガイドラインは，他の文献で報告された RPT によった (参考文献[54]，[55]及び[56]参照)。

表 D.4—試験した合金の化学成分

材料	単位 %									
	Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Ta	Hf	Re	Ni
TMS-82+	7.8	4.9	1.9	8.7	5.3	0.5	6.0	0.1	2.4	残部

固溶化処理 1 300 °C, 1 h→1 320 °C, 5 h, Ar ガスによるファン空冷

二段時効処理 1 100 °C, 4 h, Ar ガスによるファン空冷, 870 °C, 20 h, Ar ガスによるファン空冷

表 D.5—5 試験室で報告されたクリープ破断試験の合計

特性	データ範囲	平均値	総合不確かさ
破断時間 (h)	238.6~460.8	333.9	±59
伸び (%)	6.3~13.4	10.3	±5.2
絞り (%)	24.7~38.9	33.7	±8.2

95 %信頼水準を求めるために、包含係数 2 を標準不確かさに適用することが望ましい。

附属書 E (参考) 結果の表示及び外挿法

E.1 一般

この附属書は、規格利用者が必要に対して適した試験方法（すなわち、クリープ試験、不連続クリープ試験又は複合試験）を選択し、European Creep Collaborative Committee^[57]で開発された規定の方法を適用する際に参考とすべき重要な情報をまとめたものである。

E.2 強度値及び計算に関する記号

E.2.1 ひずみ (Strain)

ほとんどの場合、非弾性伸び計伸び e_k は、無視可能で、塑性伸び計伸び e_p 及び永久伸び計伸び e_{per} との間に差はない。

E.2.2 クリープ破断強度 (Creep rupture strength)

温度 T のクリープ破断強度は、一定の引張試験力のもとで、ある試験期間（クリープ破断時間 t_u ）後に破断に至る負荷応力 R_o である。

クリープ破断強度には、記号 R_u を用いる。2 番目の下付き記号にはクリープ破断時間 t_u を時間単位で、及び 3 番目の下付き記号に試験温度 T を℃単位で用いる。

例 クリープ破断時間 $t_u=100\ 000\ \text{h}$ 及び試験温度 $T=550\ \text{°C}$ の場合のクリープ破断強度の短縮した記号の例を次に示す。

$$R_{u100\ 000/550}$$

E.2.3 規定塑性ひずみ応力 (Stress-to-specific-plastic-strain)

規定塑性ひずみ応力は、温度 T 及び一定の試験力のもとで、ある試験時間（規定塑性ひずみに達するまでの時間 t_{px} ）後に事前に決められた塑性ひずみ x に至る負荷応力 R_o である。

規定塑性ひずみ応力には、記号 R_p を用いる。2 番目の下付き記号には、塑性ひずみ x の最大値を%単位で、3 番目の下付き記号に規定塑性ひずみに達するまでの時間 t_{px} を時間単位で、及び 4 番目の下付き記号に、試験温度 T を℃単位で用いる。

例 $T=650\ \text{°C}$ 、最大塑性ひずみ $x=0.2\ \%$ 、及び規定塑性ひずみに達するまでの時間 $1\ 000\ \text{h}$ の場合の規定塑性ひずみ応力の短縮した記号を次に示す。

$$R_{p0.2\ 1\ 000/650}$$

E.3 単式試験機及び／又は複式試験機でのクリープ試験

連続的なクリープ試験モード^[7]では、通常、連続的な伸び計伸びの測定を行う単式試験機を用い、又は、不連続クリープ試験モード^[7]では、通常複式試験機を用いて滑らかな（ノッチなしの）試験片を用いたクリープ試験を実施してよい。

不連続クリープ試験モードでは、伸び測定のために、試験片を試験機から取り外し、冷却を行う。その後、試験片を再度装着し、再び加熱及び負荷を行う。

その代わりに、試験片ごとに連続的な伸び計伸び測定機能を持つ複式試験機でクリープ試験を実施してよい。

一次クリープに関する十分な情報を得るため、試験片を単式試験機で連続的かつ高解像度の伸び測定を実施し、一定のひずみに達した後、不連続モードで破断まで試験を行うために複式試験機に移動してよい。

ノッチ部の局所応力が塑性変形による応力再配分を引き起こす事実があるため、一次クリープ情報は、必要である。高温では、重ね合わせられたクリープ変形が応力再配分に寄与する。ノッチ部における応力再配分を再計算するには、一次及び二次クリープ領域を考慮したクリープ方程式の使用が望ましい。

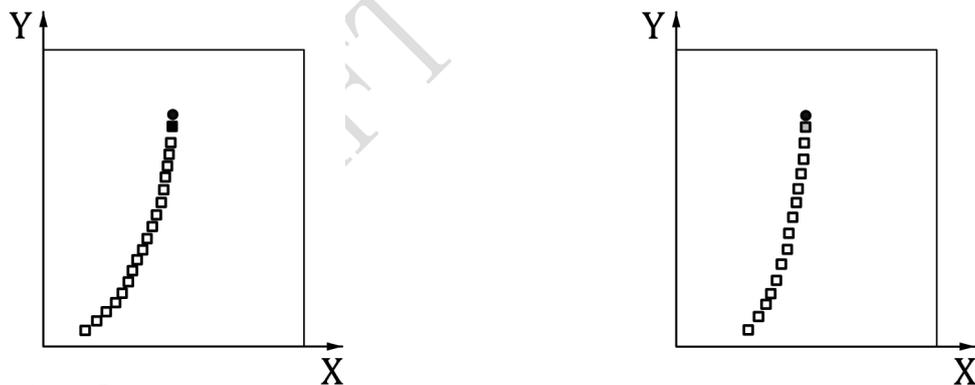
不連続モードでのクリープ試験結果は、通常、塑性伸び計伸び (%) - 時間対数曲線 [図 E.1 a)] 及び/又はクリープ伸び計伸び (%) - 時間対数曲線 [図 E.1 b)] で示す。

不連続モードでのクリープ試験結果は、通常、永久伸び (%) - 時間対数曲線 [図 E.1 c)] で示す。

複合試験方法の試験結果は、図 E.1 d) に従って示す。

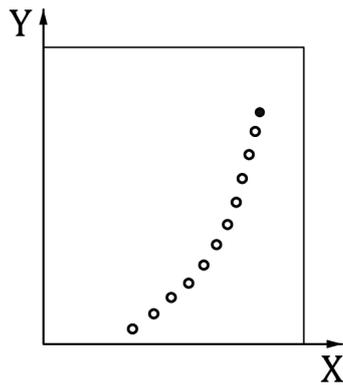
クリープ破断時間における塑性伸び計伸び (%) e_{pu} は、連続測定から得られたクリープ破断時間 t_u での長さの増加から求めてよい。対応する値 e_{fu} は、クリープ破断時間におけるクリープ伸び計伸び (%) から求めてよい。

注記 試験片は、一次クリープが完了したと評価するまで、単式試験機から複式試験機に移動しない。

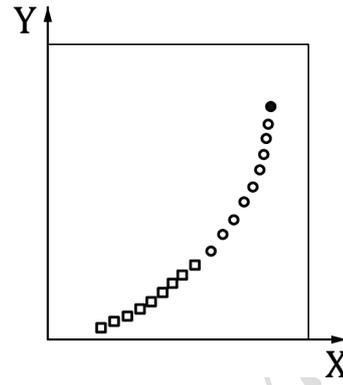


a) 連続クリープ試験モードで生成されたクリープ曲線の表示例 b) 連続クリープ試験モードで生成されたクリープ曲線の表示例

図 E.1-クリープ曲線の表示例



c) 不連続クリープ試験



d) 不連続クリープ試験モードで開始し、不連続クリープ試験として継続するクリープ試験

記号説明

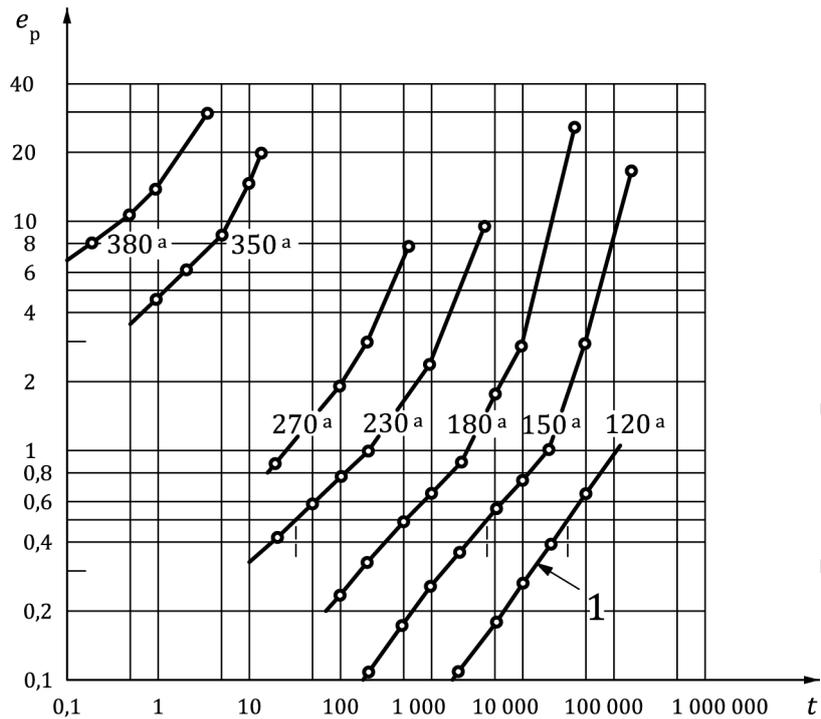
X	: $\log t$
Y	: $\log e, \log A$
●	: A_u
■	: e_{pu}
□	: e_{fu}
○	: A_{per}
◻	: e_p

図 E.1—クリープ曲線の表示例（続き）

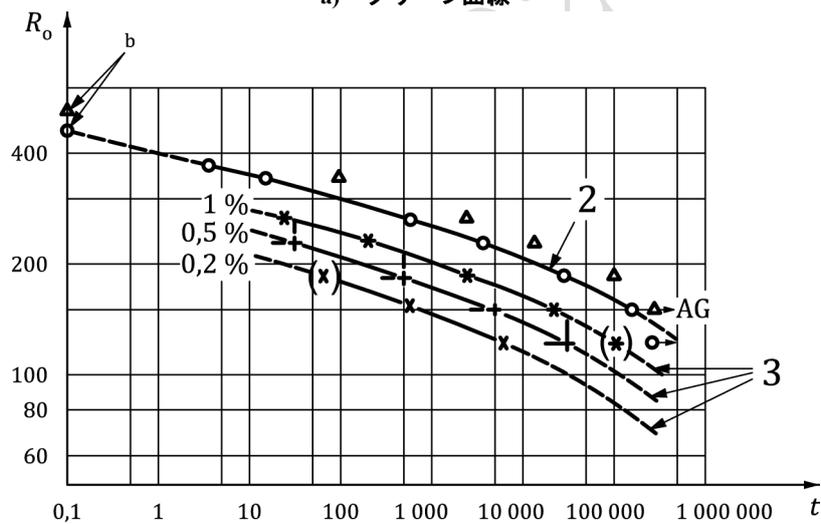
E.4 評価

E.4.1 一般

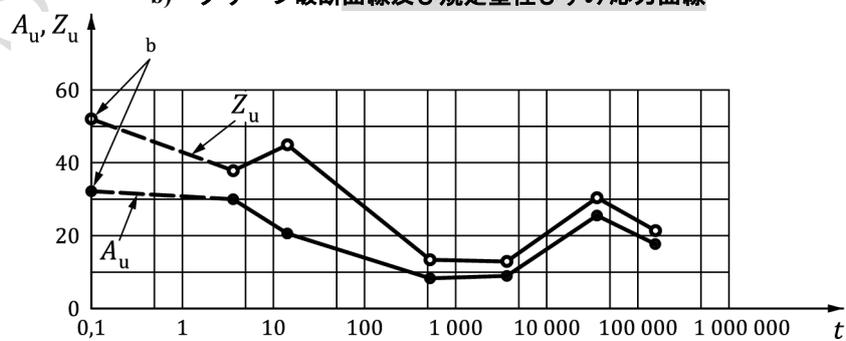
一つの温度に対する個々の材料の試験結果は、多くの曲線によって表して評価することが可能である（図 E.2 及び図 E.3 参照）。これらの曲線の中の外挿曲線は、外挿した点を括弧で示し、外挿線は、破線で示すことが望ましい。E.5 にデータの外挿に対する所見を示す。



a) クリープ曲線



b) クリープ破断曲線及び規定塑性ひずみ応力曲線



c) クリープ破断変形曲線

図 E.2—一定温度及び一定引張力での試験結果の表現例

記号説明

1	: クリープ曲線	○→AG	: 破断前試験中止
2	: クリープ破断曲線	○→	: 試験中
3	: 規定塑性ひずみ応力曲線	△→AG	: 破断前試験中止
○	: つばなし試験片 (破断)	△→	: 試験中
△	: ノッチ付き試験片 (破断)	--	: 外挿
a	: 初期応力 (Mpa)		
b	: 高温引張試験からのデータ		

注記 1 ()内の点は、外挿データに基づいている。

注記 2 横軸は、時間 t (h) を表す。

注記 3 縦軸は、塑性伸び計伸び (%) e_p 、初期応力 R_0 (MPa)、クリープ破断伸び (%) A_u 、及びクリープ破断絞り (%) Z_u を表す。

図 E.2—一定温度及び一定引張力での試験結果の表現例 (続き)**E.4.2 対数クリープ曲線**

クリープ曲線を表示するために、塑性伸び計伸び (%) e_p 又は永久伸び (%) A_{per} を、両対数で時間 t に対応してプロットしてよい [図 E.2 a)参照]。

クリープ曲線は、滑らかに又は測定データを結んだ直線のつながりとして表示可能である。ある特定の塑性ひずみまでの時間 t_{px} が、このような線図から求めることが可能である。

E.4.3 クリープ破断曲線

クリープひずみ曲線を作成するために、所定のひずみ値になるまでの時間 (例えば、 $t_{p0.2}$) を、対数目盛で初期応力 R_0 に応じてプロットする [図 E.2 b)参照]。曲線は、滑らかにすることが望ましい。このクリープひずみ曲線から、規定塑性ひずみ応力 $R_{px/tT}$ が求められる。

クリープ破断曲線を作成するために、破断時間 t_b を同じ曲線の中に滑らかに初期応力 R_0 に応じてプロットする。

このクリープ破断曲線から、クリープ破断強度 $R_{w/tT}$ が求められる。

高温引張試験から求めた破断強さ及び規定塑性ひずみ応力を、このプロットの中に、ある時間 (例えば、0.1 h) の点で示す可能性がある。この場合、これを図の中に、適切に示さなければならない。

さらに、ノッチ付き試験片の初期応力 R_0 による破断時間を、このプロットの手引きとしてプロットすることが可能である。材料挙動の追加の判断は、この方法で行うことが可能である。

E.4.4 クリープ破断—伸び曲線

この曲線 (図 E.2 参照) では、クリープ破断伸び (%) A_u 及びクリープ破断後の絞り (%) Z_u を、クリープ破断時間 t_b の対数に対してプロットする。

高温引張試験から求めた破断伸び (%) 及び絞り (%) を手引きとして、ある時間 (例えば、0.1 h) にプロットすることが可能である。この場合、これは、図の中に適切に示さなければならない。

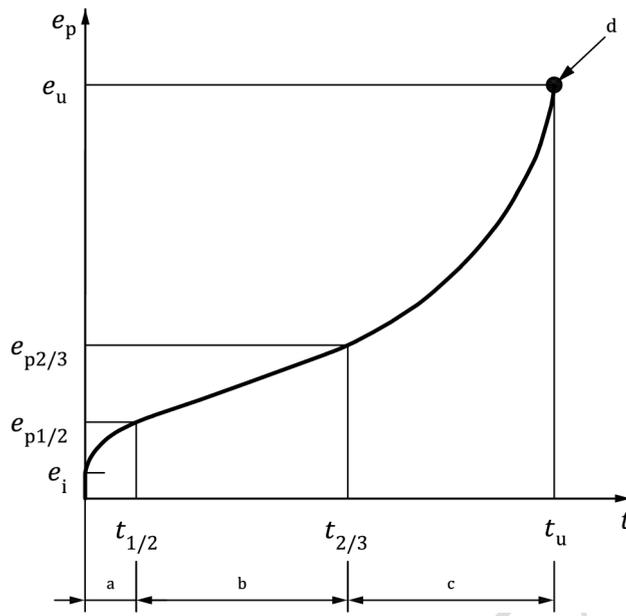
E.4.5 線形目盛スケールクリープ曲線

クリープ曲線を表すために、塑性伸び計伸び (%) e_p を両軸とも線形目盛で時間 t に対してプロットする

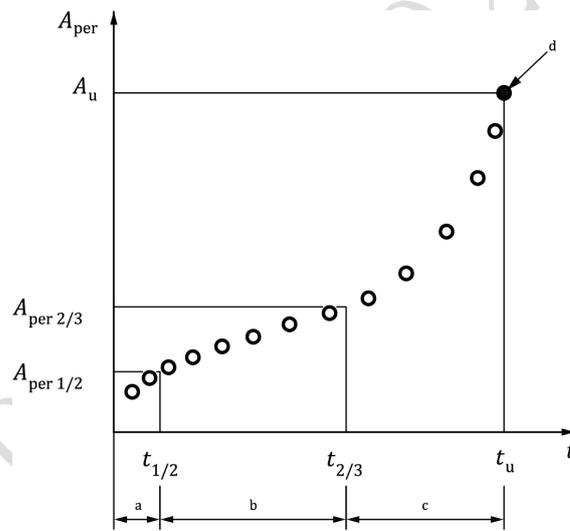
[図 E.3 a)参照]。永久伸び (%) A_{per} の場合は、[図 E.3 b)参照]。クリープ曲線は、滑らかに又は測定データを結んだ直線のつながりとして表示可能である。

この曲線の傾きから時間増分 Δt に依存するクリープ速度 $\Delta e_p / \Delta t$ [図 E.3 a)参照] は、全最小クリープ速度 $\Delta e_p / \Delta t_{min}$ と同じように求めることが可能である。永久伸び (%) A_{per} の場合、クリープ速度は $\Delta A_{per} / \Delta t$ で求める。遷移時間 $t_{1/2}$ 及び $t_{2/3}$ は、第一次から第二次クリープへの遷移 ($t_{1/2}$) 及び第二次から第三次への遷移 ($t_{2/3}$) を示すものとして、この曲線から求めることが可能である。すべての線形目盛クリープ曲線が、第一次、第二次及び第三次の区別を示すと限らない。

JIS DRAFT 2025/07/23



a) 線形目盛伸び計伸び-時間曲線



b) 線形目盛伸び-時間曲線

記号説明

- a : 第一次クリープ (遷移クリープ) 段階
- b : 第二次クリープ (定常クリープ) 段階
- c : 第三次クリープ (加速クリープ) 段階
- d : 破断

図 E.3-線形目盛クリープ曲線 (概要)

E.5.1 一般

クリープデータを評価する際、ファクター $q_c = t_{1c}/t_1$ [図 E.4 a)参照] によって、最も長い試験時間を超えるクリープ破断強度又は規定塑性ひずみ応力の値を求める必要がある場合がある。このファクター q_c は、外挿時間比として知られており3を超えないことが望ましい。

常に外挿時間比 q_c を示すこと、及び同じ材料に対して外挿クリープ強度が最低初期応力レベル R_{omin} より低くなる場合には、そのことを明記することが望ましい。この場合、外挿の不確かさは、通常大きくなる。

外挿するときには、時間及び/又は試験温度に依存するマイクロ組織又はクリープ破断変形値の変化を考慮することが望ましい。外挿の手順を示しておくことが望ましい。

E.5.2 外挿及びクリープ破断曲線

しばしば、外挿は、クリープ破断曲線及び/又はクリープ応力曲線の図の延長として行われる。同じ試験温度の隣合うクリープ曲線間 [図 E.4 b)参照] 又は別の望ましくはより高温の比較可能なクリープ曲線 [図 E.4 c)参照] を、外挿する手がかりとして使用することは可能である。同じことが、クリープひずみ曲線の延長によっても実施することが可能である。更なる助言は、ECCC^[58]が利用可能である。

隣接する曲線を使用して図の外挿を行った場合、小さな外挿時間比 q_c を示すことがある [図 E.4 b)又はc)参照]。

E.5.3 時間-温度パラメータを用いた外挿

応力 R_c の対数を、試験温度及びクリープ破断時間又はひずみ到達時間から求めた時間-温度パラメータに対してプロットすることが多い。これらのデータ点は、マスターカーブと呼ばれるものによって合わせる。

試験結果に合うように、最適化した時間及び試験温度に依存する時間-温度パラメータを使用することが望ましい。さらに、曲線近似においては、より長時間の試験が、重みを持つことが望ましい。データの小さなばらつきが、外挿の精度を保証するものでないことを記載しておくことが望ましい。

マスターカーブから個々に得られた所定のクリープ破断強度又は規定塑性ひずみ応力に対して、外挿は、所定の試験温度で行うことが可能である。外挿の質を改善するため、外挿値をクリープひずみ(破断)曲線にプロットし、測定値と比較することが望ましい。評価、外挿及び試験の事後評価に関する更なる指針は、参考文献[57]及び[58]で見ることが可能である。

E.5.4 その他の外挿方法

その他の新しい高度な評価方法は、パラメトリック又は代数的マスターカーブに基づいている。ECCC^{[58][59][60]}参照。

E.6 試験報告及び推奨する追加情報

試験報告には、推奨されるクリープデータの作成に関する ECCC 許容基準^[57]を満たすために、次の追加情報を含むことが望ましい。

- 供試材の材料に関する情報
- 材料及び材料の番号

- － 溶解番号，溶解質量
- － 製鋼工程，製造工程^[61]
- － 供試材（ブロック／ピース）の質量
- － 特記すべき測定事項，半製品形状
- － 供試材（ブロック／ピース）の中の試験片の位置
- － 化学成分，熱処理
- － 常温での引張試験結果
- － 衝撃試験のデータ（シャルピー，アイゾットなど）
- － 高温引張試験結果
- － 硬さ
- － ミクロ組織
- － 適切な場合，外挿手順及び外挿時間比

JIS DRAFT 2025/07/23

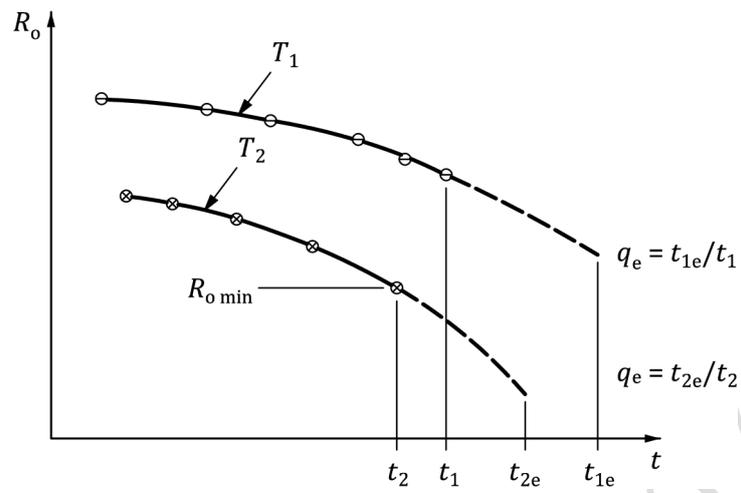
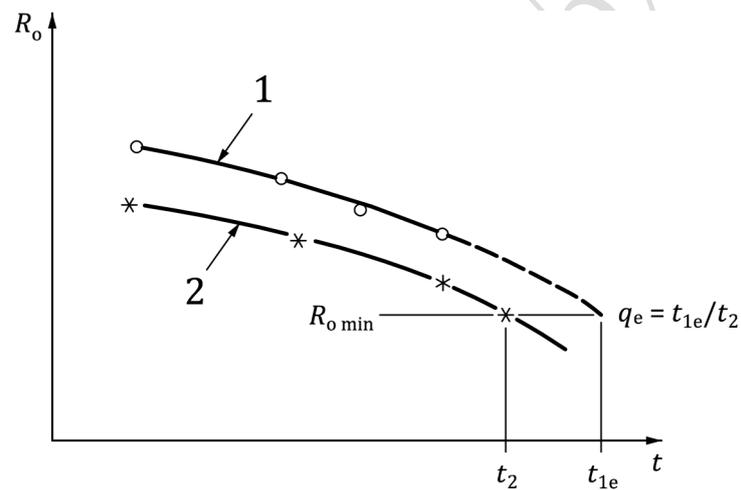
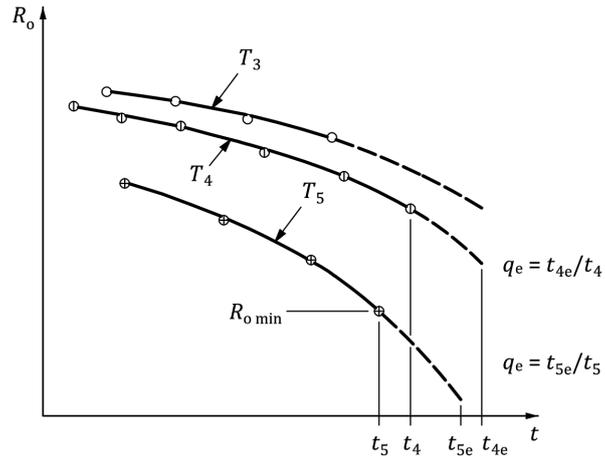
a) クリープ破断曲線, $T_1 < T_2$ b) クリープ破断及びクリープひずみ曲線, $T = \text{一定}$

図 E.4—クリープひずみ（又は破断）曲線の外挿の例



c) クリープ破断曲線, $T_3 < T_4 \ll T_5$

記号説明

- 1: クリープ破断曲線
- 2: 規定塑性ひずみまでの到達応力曲線
- e: 外挿

図 E.4—クリープひずみ（又は破断）曲線の外挿の例（続き）

附属書 JA (規定) 安定した特性値を得る試験片

JA.1 一般

安定した試験結果が得られている試験片の形状及び寸法について規定する。

JA.2 試験片

試験片は、次による。

- a) **引張クリープ試験片** 試験片は、平行部の直径が 10 mm の円形断面とし、直径 6 mm、8 mm 又は 12 mm を使用してもよい。
- b) **クリープ破断試験片** 試験片は、平行部の直径が 6 mm の円形断面とし、直径 4 mm、8 mm、10 mm 又は 12 mm を使用してもよい。
- c) **標点距離** 標点距離は、直径の 5 倍とするが、その長さがとれない場合には、原断面積の平方根の 5 倍以上でもよい (図 JA.1～図 JA.3 参照)。

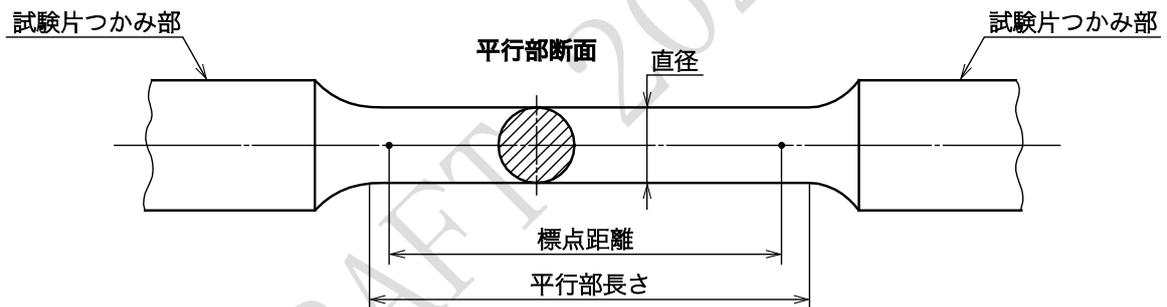
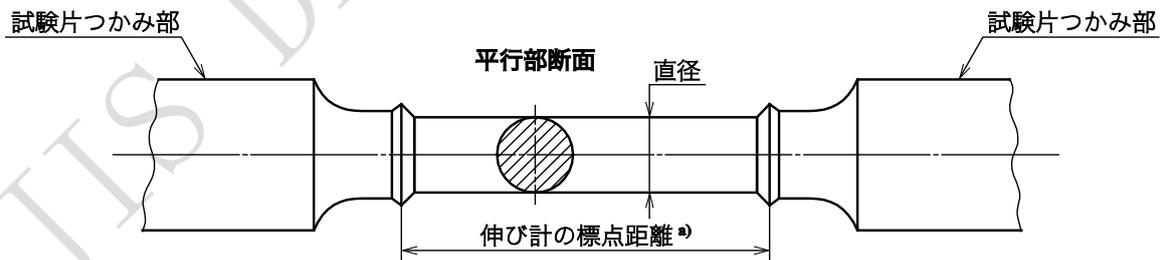
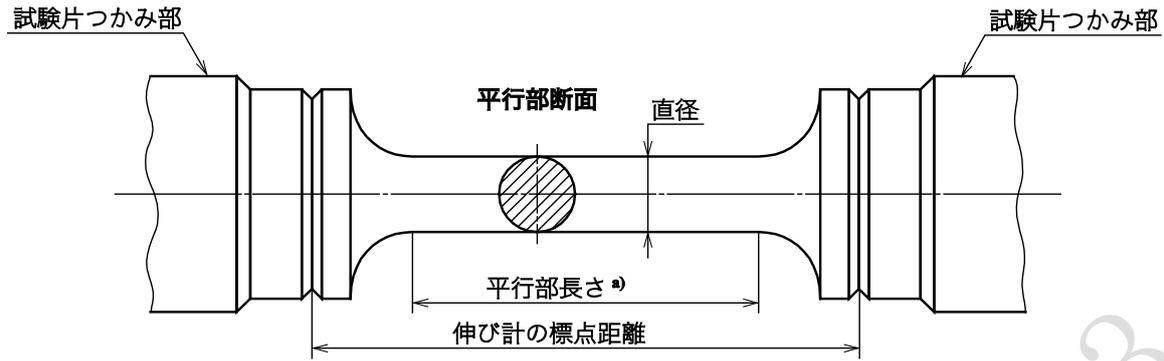


図 JA.1—円形断面試験片の例



注 a) 伸び計標点距離は、試験片の標点距離と同一とみなす。

図 JA.2—つば付き円形断面試験片の例



注 a) 平行部の長さは、試験片の標点距離と同一とみなす。

図 JA.3-V ノッチ付き円形断面試験片の例

参考文献

- [1] LOVEDAY M.S. Creep testing standards and the influence of Bending. *Materials at High Temperatures*. 2008 December, 25 (4) pp. 277–286
- [2] LOVEDAY M.S., DYSON B.F. Constant Stress Creep Testing: When is it Necessary? *Proc. 4th Int. Conf. on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures*. Ed. B Wilshire and R W Evans, 1990, pp. 941–950
- [3] LOVEDAY M.S., GIBBONS T.B. Measurement of Creep Strain: a) The Influence of Order-Disorder Transformations in Ni-Cr-base Alloys and b) A Code of Practice for the Use of Ni-base Alloy Extensometers. *Materials at High Temperatures*. 2007, 24 (2) pp. 113–118
- [4] FERRERO C. ANOVA Statistical Procedure to Verify Transducers Metrological Characteristic Long Term Stability, IMG C Technical Report, Torino, Italy, 2005
- [5] FERRERO C. The interlaboratory comparison to recognize the equivalence in accreditation. In: *Advances in Experimental Mechanics*. McGraw-Hill, 2004, pp. 572
- [6] JIS C 1602:2015. 熱電対
- [7] EUROPEAN CREEP COLLABORATIVE COMMITTEE. Data Validation Assessment Procedures, Edition 2, ECCC-WG1 Recommendation Volume 3 (Issue 3), Acceptability Criteria for Creep, Creep Rupture, Stress Rupture and Stress Relaxation Data, Pub. ERA Technology Ltd, Leatherhead, Surrey, England, 1996
- [8] DESVAUX M.P.E. The practical realisation of temperature measurement standards in high temperature mechanical testing. In: *Measurement of high temperature mechanical properties of materials*, (LOVEDAY M.S.,

- DAY M.F., DYSON B.F., eds.). HMSO London, 1982
- [9] BROOKES C., CHANDLER T.R.D., CHU B. Nicrosil-nisil: a new high stability thermocouple for the industrial user. *Measurement and Control*. 1985, 18 pp. 245–248
- [10] RUSBY R.L., CARTER D.F., BESWICK A. An evaluation of sheathed Nicrosil/Nisil thermocouples up to 1 300 °C. *Materials at High Temperatures*. 1992, 10 (3) pp. 193–300
- [11] COGGIOLA G., CROVINI L., MANGANO A. Behaviour of KP, KN, Nicrosil and Nisil thermoelectric wires between 0 °C and 750 °C. *High Temp. High Press.* 1988, 20 pp. 419–432
- [12] LOVEDAY M.S. A short note concerning the ‘drift’ of thermocouples during creep testing. *The FESI Bulletin*, Vol. 7 No. 1, Spring 2013, pp. 26-30, <https://www.fesi.org.uk/fesipublishing/bulletin/>
- [13] **ASTM E633**, Standard Guide for Use of Thermocouples in Creep and Stress-Rupture Testing to 1 800 °F (1 000 °C) in Air
- [14] **ISO 286-2**, Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes — Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts
- [15] GRANACHER J., OEHL M., PREUSSLER T. Comparison of interrupted and uninterrupted creep rupture tests. *Steel Res.* 1992, 63 pp. 39–45
- [16] GRANACHER J., SCHOLZ J. Über die langzeitige Temperaturgenauigkeit von Zeitstandprüfanlagen. *Materialprüf.* 1973, 15 pp. 116–123
- [17] DESVAUX M.P.E. The practical realization of temperature measurement standards in high temperature mechanical testing. Chapter 7, 1982, pp. 91- 112. *Measurement of high temperature mechanical properties of materials*. Ed: M S Loveday, M F Day & B F Dyson. HMSO, London. ISBN 0 11 480049 9
- [18] Hacon J., Murray J.D., Developments in equipment and techniques for creep-rupture testing. *Metallurgia*, May 1968, pp. 221-227
- [19] ITOH H., EGASHIRA M., MIYAZAKI H., MONMA Y., YOKOI S. Drift of PR Thermocouples in Long-term Creep Testing. *Tetsu To Hagane*. 1986, 72 pp. 1944–1951
- [20] MIYAZAKI H., KIMURA K. Degradation of Type PR and R Thermocouples during Long Term Creep Test. pp. 314-325, *Proc ECCC Creep Conference*, London Sept 2005, in *Creep & Fracture in High Temperature Components: Design & Life Assessment Issue* edited by I. A. Shibli, S. R. Holdsworth, G. Merckling Pub: DEStech Publications, Lancaster, Pennsylvania, USA. ISBN 1 932078-49-5
- [21] MONMA Y., ITOH H., EGASHIRA M., BABA E., MIYAZAKI H., TANAKA C. Origin of Drift in PR Thermocouples after Long-term Creep Testing. *Tetsu To Hagane*. 1989, 75 pp. 665–672
- [22] YOKOI S., ITOH H., MURATA T., EGASHIRA M., MIYAZAKI H. Calibration drift of Pt13 thermocouples during long time creep testing. *Trans ISIJ*. 1980, 20 (6) p. 243
- [23] GRANACHER J., IfW, TH Darmstadt, Report on Creep, Creep Rupture and Stress Rupture Testing Standards and Practices, Appendix 1 to Vol. 3, prepared for ECCC - WG 1, 5524/WG1/105 [Issue 1] 23.08.1994
- [24] GRANACHER J., IfW, TH Darmstadt, Temperature measurement and thermocouple calibration system for type S thermocouples for creep rupture testing in the high temperature test division of IfW and new proposal for footnote 7 of Vol. 3, 01.04.1996
- [25] SCHOLZ A., SCHEIN M., MUELLER F. Drift Measurement Results — Comparison of available data. IfW, Technische Universitaet Darmstadt, 2016
- [26] PETERSEN C. *Forsch.-. Ing. Wes.* 1951, 17 (1) pp. 16–20
- [27] KLOOS K.H., DIEHL H., Einfluss der Kerbgeometrie auf das Zeitstandverhalten des Stahls 21CrMoV5 7 in

- unterschiedlichen Wärmebehandlungszuständen, Arch. Eisenhüttenwes. 50, 1979, Nr. 6, pp. 255-260
- [28] FILIPPINI M. Stress gradient calculations at notches. Int. J. Fatigue. 2000, 22 pp. 397–409
- [29] SCHOLZ A., SCHWIENHEER M., MORRIS P.F., European Notched Test Piece for Creep Rupture Testing. Proc. of Tagung Werkstoffpruefung 2003, Bad Neuenahr, 2003, pp. 308-314
- [30] BRIDGMAN P.W. Studies in large plastic flow and fracture. McGraw Hill, New York, 1952
- [31] WEBSTER G.A., APLIN P.F., CANE B.J., DYSON B.F., LOVEDAY M.S. A Code of Practice for Notched Bar Creep Rupture Testing: Procedures and Interpretation of Data for Design — Chapter 15, pp. 295-330. In: Harmonisation of Testing Practice for High Temperature Material (Eds. Loveday, M.S. and Gibbons. T.B.), Elsevier Applied Science, 1992
- [32] WEBSTER G.A., HOLDSWORTH S.R., LOVEDAY M.S., PERRIN I.J., PURPER H. A Code of Practice for Conducting Notched Bar Creep Rupture Tests and for Interpretation of the Data. ESIS P10-02, ISBN 1616-2129, 2001
- [33] AL-ABED B., TIMMINS R., WEBSTER G.A., LOVEDAY M.S. Validation of a Code of Practice for Notched Bar Creep Rupture Testing: Procedures and Interpretation of Data for Design. Materials at High Temperatures. 1999, 16 (3) pp. 143–158
- [34] WEBSTER G.A., HOLDSWORTH S.R., LOVEDAY M.S., NIKBIN K., PERRIN I.J., PURPER H. et al. A Code of Practice for Conducting Notched Bar Creep Tests and for Interpreting the Data. Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. 2004, 27 (4) pp. 319–342
- [35] LOVEDAY M.S. Considerations on the Measurement of Creep Strain in Bridgman Notches. Materials at High Temperatures. 2004, 21 (3) pp. 169–174
- [36] KERR D.C., NIKBIN K.M., WEBSTER G.A., WALTERS D.J. Creep Strain Determination Across the Root of a Notch. In: 'Local Strain and Temperature Measurements in Non-Uniform Fields at Elevated Temperatures. (Eds. J. Ziebs, J. Bressers, H. Frenz, D.R. Hayhurst, H. Klingelhofer and S. Forrest), pp. 263-273, Proc Symp. held in Berlin, 14-15 March 1996. Pub: Woodhead, Cambridge, UK, 1996
- [37] LOVEDAY M.S., RODGER G. Calibration and Traceability of Notch Creep Strain Measurements. Materials at High Temperatures. 2004, 21 (3) pp. 161–167
- [38] The Certification of Nimonic 75 alloy as Creep Reference Material CRM 425. D Gould & M S Loveday, 1990, EUR 13076. Commission of the European Community. <https://crm.jrc.ec.europa.eu/p/40455/By-material-matrix/BCR-425-NIMONIC-75-FOR-CREEP-TESTING/BCR-425>
- [39] **JIS Q 17025**, 試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項
- [40] **ISO 5725** (all parts), Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results
- [41] **ISO/IEC Guide 99**, International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [42] **ISO/IEC Guide 98 3**, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [43] TAYLOR B.N., KUYATT C.E., Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results. NIST Technical Note 1297, 1993
- [44] **M 3003**, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement for Calibrations. Pub. UKAS, Third Edition, 2012
- [45] BMTA, Estimating Uncertainties in Testing. Pub. British Measurement and Testing Association, PO Box 101, Middlesex, TW11 0NQ, 1994

- [46] BELL S. A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement. Measurement Good Practice Guide No. 11, issue 2, ISSN 1386-6550, Pub: National Physical Laboratory, Teddington, TW11 0LW. March 2001, <https://www.npl.co.uk/resources/gpgs/all-gpgs>
- [47] BIRCH K. Estimating Uncertainties in Testing. Measurement Good Practice Guide No. 36, Pub: British Measurement and Testing Association/National Physical Laboratory, Teddington, TW11 0LW, UK. ISSN 1368-6550, March 2001
- [48] LOVEDAY M.S. Room Temperature Tensile Testing: A Method for Estimating Uncertainty of Measurement. CMMT (MN) 048. National Physical Laboratory, UK, 1999
- [49] LOVEDAY M.S. Creep Testing: Reference Materials and Uncertainty of Measurement. In: The Donald McLean Symposium "Structural Materials: Engineering Applications Through Scientific Insight". (Eds. Hondros, E.D. and McLean, M.), Pub. Inst. of Materials, London, 1996, pp. 277-293
- [50] KANDIL F.A., LORD J.D., BULLOUGH C.K., GEORGISSON P., LEGENDRE L., MONEY G. et al. The UNCERT Manual of Codes of Practice for the Determination of Uncertainties in Mechanical Tests on Metallic Materials, CD-ROM, available from NPL, ISBN 0-0946754-41-1, 2000
- [51] CWA 15261-3:2005, Measurement uncertainties in mechanical tests on metallic materials — The evaluation of uncertainties in creep testing
- [52] Acceptability Criteria for Creep, Creep Rupture, Stress Rupture and Stress Relaxation Data. (Eds. Granacher J., Holdsworth S.R.), European Collaboration Creep Committee — Working Group 1, Volume 3, Pub. ERA Technology, 1994
- [53] GOULD D., LOVEDAY M.S. A Reference Material for Creep Testing, Chapter 6, Harmonisation of Testing Practice for High Temperature Materials, (Eds. Loveday, M.S. and Gibbons, T.B.), Chapman and Hall, London (formerly published by Elsevier Applied Science), 1992, pp. 85-109
- [54] HINO T., KOBAYASHI T., KOIZUMI Y., HARADA H., YAMAGATA T. In: Development of a New Single Crystal Superalloy for Industrial Gas Turbines, Superalloys 2000. (POLLOCK T.M. et al., eds.). TMS, 2000, pp. 729–36.
- [55] YAMAZAKI M., YAGI K., TANAKA R., Creep rupture properties of single crystal nickel-base superalloy at 1 100 °C, A report on a Round Robin test in Japan, Uncert 2003 Conference Oxford, 2003, pp. 1-4
- [56] YAMAZAKI M., YAGI K., TANAKA R. Uncertainties in creep testing of single crystal nickel-base superalloy at 1 100 °C, Uncert-AM conference Session III. MPA Stuttgart, 2003
- [57] SPINDLER M.W., ed. European Creep Collaborative Committee, ECCC Recommendations, Volume 1, Issue 7, Creep Data Validation and Assessment Procedures Overview, ECCC-Document, 5/5/14, 2014, <https://www.eccc-creep.com/eccc-recommendations-volumes>
- [58] SPINDLER M.W., ed. European Creep Collaborative Committee, ECCC Recommendations, Volume 5, Part 1a. Issue 6, Generic Recommendations and Guidance for the assessment of full size creep rupture data sets, ECCC-Document 7/5/14, 2014 <https://www.eccc-creep.com/eccc-recommendations-volumes>
- [59] WILSHIRE B., SCHARNING P.J., HURST R. A new approach to creep data assessment. Mater. Sci. Eng. A. 2009, 510–511 pp. 3–6
- [60] LINN S., SCHOLZ A., MICHELFEIT S., SCHWIENHEER M., OECHSNER M., KLENK A. Evaluation of Extrapolation Methods for Creep and Creep Rupture Data, ECCC Creep & Fracture 2014, 3rd International ECCC Conf., 5–7 May, 2014, Rome, Italy, Proceedings CD-ROM, contribution No 4
- [61] ISO/TS 4949, Steel names based on letter symbols

附属書 JB
(参考)
JIS と対応国際規格との対比表

JIS Z 2271		ISO 204:2023, (MOD)		
a) JIS の 箇番号	b) 対応国 際規格 の対応 する箇 条番号	c) 箇条 ごとの 評価	d) JIS と対応国際規格との技術的差異の 内容及び理由	e) JIS と対応国際規格 との技術的差異に 対する今後の対策
3	3	追加	ISO 規格では、3.18 において e_0 の用語を極限全伸び計伸び (%) としているが、 箇条 4 ではクリープ破断時間における全伸び計伸びとしている。規格利用者の利便性を考慮し、JIS では両方を記載した。	ISO への提案を検討する。
3	3	変更	ISO 規格では、3.27 の注釈では “can” を用い “可能である” としているが、JIS では他の用語の注釈では “may” を用いていることから “してもよい” とした。	ISO への提案を検討する。
4	4	追加	ISO 規格では、 e_0 の用語をクリープ破断時間における全伸び計伸びとしているが、 箇条 3 では極限全伸び計伸び (%) としている。規格利用者の利便性を考慮し、JIS では両方を記載した。	ISO への提案を検討する。
4	4	追加	ISO 規格では、 注記 において例を説明しているが、JIS では例と表記しわかりやすくした。技術的に差異はない。	—
5	5	追加	ISO 規格では、序文にある内容を JIS では 注記 として“ISO 204 の序文には “さまざまな材料のクリープ特性に対するオフ軸荷重又は曲げの影響に関する情報は、依然として求められている。将来的に定量データが入手可能になった場合、最大曲げ量を規定する必要があるかどうかの検討及び適切な校正手順の推奨を行うことが可能である。この決定は、定量データの入手可能性に基づく必要がある ^[1] 。”という記載がある。”と追記した。技術的に差異はない。	—
8	8	変更	ISO 規格では、クリープ試験及びクリープ破断試験ともに負荷する試験力は、±1% だが、JIS では精度を維持するため±0.5% とした。	日本独自の規定として維持する。
7	7	追加	附属書 JA を引用するため、7.1.3 を追加した。	日本独自の規定として維持する。

a) JIS の 簡番号	b) 対応国際規格 の対応する簡 条番号	c) 簡条 ごとの評 価	d) JISと対応国際規格との技術的差異の 内容及び理由	e) JIS と対応国際規格 との技術的差異に 対する今後の対策
11	11	変更	ISO 規格では、“数値の丸めの規則に関連して”と記載しているが、JIS では“数値の丸めは、JIS Z 8401 の規則 A による。”とした。技術的に差異はない。	—
12	12	追加	JIS では、国内実態に合わせ試験規格共通の規定として、“試験報告書は、必要な場合に提出する。”及び“ただし、受渡当事者間の協定によって、次のうちから選択してもよい。”を追加した。	日本独自の規定として維持する。
12	12	追加	ISO 規格では、図 2 の b) を“肩部があり、平行部の外側に標点距離をもつ長方形断面試験片”しているが、JIS では表 1 と整合させるために“肩部があり、平行部の外側に標点距離をもつ正方形又は長方形断面試験”とした。技術的に差異はない。	—
A.3	A.3	追加	PR 型熱電対は、IEC 規格及び JIS C 1602 では廃止されているが、ISO 規格ではそれに関する記載がない。規格利用者の誤解を避けるため、JIS では、注として廃止されていることを記載した。技術的な差異は無い。	—
附属書 JA	—	追加	附属書 JA “安定した特性値を得る試験片”を JIS に追加した。	日本独自の規定として維持する。
<p>注記 1 簡条ごとの評価欄の用語の意味を、次に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> — 追加：対応国際規格にない規定項目又は規定内容を追加している。 — 変更：対応国際規格の規定内容又は構成を変更している。 <p>注記 2 JIS と対応国際規格との対応の程度の全体評価の記号の意味を、次に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> — MOD：対応国際規格を修正している。 — NEQ：IDT 及び MOD に相当していない。 				