

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

2001. 7. 31

[技術情報室]

材料特性データ集

—高強度フェライト/マルテンサイト鋼の大気中およびナトリウム中内圧クリープ特性—

No.Q01

1992年6月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。ついでには複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問合せは下記に願います。

〒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

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

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

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

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



材料特性データ集(PNC IN9450 92-004)の正誤表

ページ番号	正	誤	備考
2	(kgf/mm ²)	(kg/mm ²)	周応力, σ_H の単位が一部脱け
6~9	(kgf/mm ²)	(kgf/)	周応力の単位が一部脱け
11および13	(kgf/mm ²)	(kg/mm ²)	縦軸の単位が一部脱け
15および16	(kgf/cm ²) <u>12.24</u> kgf/mm ²	(kg/cm ²) 120 kg/mm ²	試験圧力の単位が一部脱け フープ応力の誤記
17	(kgf/cm ²) <u>20.39</u> kgf/mm ²	(kg/cm ²) 200 kg/mm ²	試験圧力の単位が一部脱け フープ応力の誤記
18~27	(kgf/mm ²)	(kg/mm ²)	フープ応力の単位が一部脱け
31	(kgf/mm ²) 1.0kgf/mm ² <u>0.10197</u> kgf/mm ²	(kg/mm ²) 1.0kg/cm ² 0.10197kg/cm ²	計算式の符号説明のフープ応力 および参考値の単位の誤記

アンダーライン部の訂正

材 料 特 性 デ ー タ 集

高強度フェライト/マルテンサイト鋼の大気中およびナトリウム中内圧クリープ特性

No. Q01



木村 重人* 青木 昌典* 桜井 方**
柳林 清司** 吉田 英一* 和田 雄作*

要 旨

本報告は、耐照射スエリング特性に優れ、FBR大型炉用炉心材料として適用が予定されている高強度フェライト/マルテンサイト鋼について、材料開発室で取得した大気中およびナトリウム中内圧クリープ特性データをまとめたものである。

今回報告する内容は、

- (1) 材 料 : 高強度フェライト/マルテンサイト鋼
燃料被覆管形状 ($\phi 6.5 \times 0.47\text{mm}^t$)
- (2) 試験環境 : 大気中およびナトリウム中
- (3) 試験温度 : 600, 650 °C
- (4) フープ応力 : 9.48~32.43 kgf/mm²
- (5) データ点数 : 13点

なお、材料特性データは、「FBR構造材料データ処理システム S M A T」のデータ様式に従い作成したものである。

* 大洗工学センター 機器構造開発部 材料開発室

** 常陽産業(株) (大洗工学センター 機器構造開発部 材料開発室 常駐)



OFFICIAL USE ONLY
PNC PN9450 92-004
JUNE, 1992

MATERIALS PROPERTIES DATA SHEET (No. Q 01)
Internal Pressure Creep properties data on
High Strength Ferritic/Martensitic Steel in air and in sodium

Shigeto KIMURA *, Masanori AOKI*, Tadashi SAKURA**
Kiyoshi YANAGIBAYASHI**, Eiichi YOSHIDA*, Yusaku WADA*

ABSTRACT

High Strength Ferritic/Martensitic Steel is one of the candidate core materials for largescale FBR because of excellent resistance to swelling. This report are presented about the internal pressure creep of High Strength Ferritic /Martensitic Steel based on the R&D results obtained through the activities of material tests.

Contents of the data sheet are as follows;

- (1) Material :High Strength Ferritic/Martensitic Steel
Fuel cladding tube ($\phi 6.5 \times 0.47 \text{mm}^t$)
- (2) Environment :In Air and In Sodium
- (3) Test temperature :600 and 650°C
- (4) Hoop stress :9.48~32.43 kgf/mm²
- (5) Number of data :13 points

* Materials Development Section, Systems and Components Division, OEC/PNC

** Joyo Industry Co. Ltd.



目 次

1. 高強度フェライト／マルテンサイト鋼の内圧クリープ試験概要	1
2. F B R 金属材料データシート	3
3. 高強度フェライト／マルテンサイト鋼の内圧クリープ特性	10
4. 高強度フェライト／マルテンサイト鋼の寸法測定データ	14
5. 付 録	28

図 表 リ ス ト

表 1	F B R 金属材料試験データシート (B 1)	4
表 2	F B R 金属材料試験データシート (B 2)	5
表 3	F B R 金属材料試験データシート (J 1 : 大気中)	6~7
表 4	F B R 金属材料試験データシート (J 1 : N a 中)	8~9
図 1	内圧クリープ破断特性	11
図 2	内圧クリープ破断伸び	12
図 3	内圧クリープ破断特性 - 設計クリープ破断応力強さ (暫定値) との比較	13

1. 高強度フェライト／マルテンサイト鋼の
内圧クリープ試験概要

高強度フェライト/マルテンサイト鋼の内圧クリープ試験総括表

データ集 発行 Vol. No.	試験片形状	出展番号 または 室内計画番号	試験片番号	試験温度 (°C)	注) 周応力 (Kg/mm ²)	試験圧力 (ゲージ圧) (Kg/cm ² ・G)	目標時間 (h)	試験本数 (本)	試験環境	試験機番号	試験機関
No. Q 01	管形状 6.5φ×0.47 ^t mm	91-21G	FS1011-3	600	20.39	318	10000	1	大気中	AIC-1	材料室
		"	FS1011-1,2	650	12.24	191	5000	2	"	AIC-2	"
		90-23G	61S-13	600	22.94	358	1000	1	ナトリウム中	SIC-1	材料室
		"	61S-14	"	21.62	337	3000	"	"	"	"
		"	61S-15	"	21.01	327	5000	"	"	"	"
		"	61S-16	"	20.39	318	10000	"	"	"	"
		"	61S-17	650	15.30	238	1000	"	"	SIC-3	"
		"	61S-18	"	13.77	215	3000	"	"	"	"
		"	61S-19	"	12.75	199	5000	"	"	"	"
		"	61S-20,22	"	11.73	183	10000	2	"	"	"
		"	61S-21	"	9.48	148	20000	1	"	"	"

注) $\sigma_H(\text{kg/mm}^2) = P \times \left(\frac{D_o}{2t} - 0.5 \right)$ より算出. ここで, σ_H は周応力, P は圧力(kg/mm²), D_o は初期外径(mm), t は肉厚(mm)である.

2. F B R 金属材料データシート

高強度フェライト／マルテンサイト鋼

F B R 金属材料試験データシート (B 1)

B 1 : 素材 (1 / 2)

①素材種類		②製品区分		素 材 寸 法 (mm)				製 造 者 名		製 造 年 月 日		ミルシートNo.		ヒートNo.						
11		4		0.47 t × 6.5 (b, φ or 0.D) 3000 ℓ				SUMITOMO METAL		87 年 4 月 27 日		SZX4790		E690528						
材料適用規格		規格分類記号		鍛錬・圧延比		結 晶 粒 度 No.		フェライト量 (%)		非 金 属 介 在 物 量 (*10 ³ %)										
PNC ORIGINAL						A 9.88 F				A 0.0		B 0.0		C 0.0		Total 3.0				
炉 型 式				溶 解 方 法				脱 酸 方 法				鑄 込 方 法				保 管 場 所				
No.	③ 熱 處理	温 度 (°C)		保 持 時 間 (hr)		④ 冷 却 方 法	No.	③ 熱 處理	温 度 (°C)		保 持 時 間 (hr)		④ 冷 却 方 法	No.	③ 熱 處理	温 度 (°C)		保 持 時 間 (hr)		④ 冷 却 方 法
(1)	ST	1100		0.17		AC	(2)	T	780		1		AC	(3)						
(4)							(5)							(6)						
素 材 識 別 番 号	61FS																			

①素材種類	②製品区分	③熱処理	④冷却方法
1: SUS304 2: SUS316 3: SUS321 4: 2.25Cr-1Mo 5: INCONEL 718 6: 9Cr-1Mo 7: Mod. 9Cr-1Mo 8: 9Cr-1Mo-Nb.V 9: 9Cr-2Mo 10: 9Cr-2Mo-Nb.V 11: Others (PNC-FMS)	1: Hot Rolled 2: Cold Rolled 3: Forged 4: Tube 5: Equivalent Tube 6: Pipe 7: Bar 8: Casting 9: Ring 10: Others ()	Q : Quench N : Normalize T : Temper ST : Solution Treatment STT: Stabilizing Treatment IA : Isothermal Anneal FA : Full Anneal A : Anneal SR : Stress Relief 0 : Others ()	AC: Air Cool FC: Furnace Cool WQ: Water Quench OQ: Oil Quench BC: Blast Cool MC: Mist Cool

F B R 金属材料試験データシート (B 2)

B 2 : 素材 (2 / 2)

機械的特性
(ミルシート記載値)

引 張 試 験								硬 さ 試 験									
①試験片規格	号数	応力除去熱処理の有無	試験温度 (°C)	0.2%耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	破断伸び (%)	絞り (%)	②試験方法	硬さ								
			650	21.2	27.9	12.5		HV	235.3								
衝 撃 試 験					③ そ の 他 の 材 料 試 験												
①試験片規格	号数	試験温度 (°C)	吸収材料 (kgf-m)	切欠形状	切欠寸法 (mm)	P T	U T	R T	M T	V T	Bend	Dimer	Flar	Flat	Hydre	M. Etc	O. M
						NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	YES	NO	NO	NO
化 学 成 分 L a d l e (wt%)																	
分 析 場 所		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr									
Mo	Cu	V	Co	Ti	Nb+Ta	W	B ⁷	B ¹⁰									
As	Al sol	Al total	N sol	N total	O												
化 学 成 分 C h e c k (wt%)																	
分 析 場 所		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr									
SUMITOMO METAL		0.10	0.07	0.54	0.002	0.002	0.32	11.05									
Mo	Cu	V	Co	Ti	Nb+Ta	W	B ⁷	B ¹⁰									
0.45	0.01	0.21	0.004		0.055	1.89											
As	Al sol	Al total	N sol	N total	O												
				0.044													

①試験片規格	②硬さ試験方法	③その他の材料試験	
J: JIS A: ASTM O: Others ()	HB: Brinell HV: Vickers HS: Shore HRB: Rockwell B HRC: Rockwell C	PT: 浸透探傷試験 UT: 超音波探傷試験 RT: 放射線透過試験 MT: 磁粉探傷試験 VT: 外観検査	Bend.: 曲げ試験 Dimen.: 寸法試験 Flar.: 押し広げ試験 Flat.: 偏平試験 Hydro.: 水圧試験 M. Etc: マクロチェック O. M: 光学顕微鏡観察

F B R 金属材料試験データシート (J 1)

J 1 : 内圧クリープ (1 / 2)

① 試験雰囲気		加圧ガスの種類		試験機番号		試験温度 (°C)		内圧 (Kgf/cm ²)		負荷完了までの時間 (min)		負荷完了時周方向ひずみ (%)	
1		Ar		AIC-1		600							
試験片番号	破断時間 (hr)	周方向破断ひずみ 平均値 (%)	周応力 (kgf/)	②破断位置	③破損形態	試験中断回数	平均クリープ 速度(%/h)	二次クリープ			三次クリープ		
								一次クリープ ひずみ(%)	ひずみ(%)	開始時間(h)	ひずみ(%)	開始時間(h)	
FS1011-3	3178.8	5.443	20.39	A	F		1.712*10 ⁻³						

①～③については、下の記号表を参照して下さい。

①試験雰囲気	②破断位置	③破損形態
1: In Air 6: In He 2: In Stagnant Na 7: In N ₂ 3: In Flowing Na 8: In Ar 4: In Hot Lab. 9: Others 5: In Vacuum ()	i) 母材、溶金試験片の場合 A: 管部 B: その他 ii) 継手試験片の場合 BM WM Bond HAZ	V: Violent Type F: Fissure Type P: Pin Hole Type

F B R 金属材料試験データシート (J 1)

J 1 : 内圧クリープ (1 / 2)

① 試験雰囲気		加圧ガスの種類		試験機番号		試験温度 (°C)		内圧 (Kg/cm ²)		負荷完了までの時間 (min)		負荷完了時周方向ひずみ (%)	
1		A r		AIC-2		6 5 0							
試験片番号	破断時間 (hr)	周方向破断ひずみ 平均値 (%)	周応力 (kgf/)	②破断位置	③破損形態	試験中断回数	平均クリープ 速度(%/h)	一次クリープ		二次クリープ		三次クリープ	
								ひずみ(%)	開始時間(h)	ひずみ(%)	開始時間(h)	ひずみ(%)	開始時間(h)
FS1011-1	3607.1	4.593	12.24	A	F		1.273*10 ⁻³						
FS1011-2	4016.4	4.691	12.24	A	F		1.168*10 ⁻³						

①～③については、下の記号表を参照して下さい。

①試験雰囲気	②破断位置	③破損形態
1: In Air 6: In He 2: In Stagnant Na 7: In N ₂ 3: In Flowing Na 8: In Ar 4: In Hot Lab. 9: Others 5: In Vacuum ()	i) 母材、溶金試験片の場合 A:管部 B:その他 ii) 継手試験片の場合 BM WM Bond HAZ	V: Violent Type F: Fissure Type P: Pin Hoie Type

F B R 金属材料試験データシート (J 1)

J 1 : 内圧クリープ (1 / 2)

① 試験雰囲気		加圧ガスの種類	試験機番号	試験温度 (°C)	内圧 (Kgf/cm ²)	負荷完了までの時間 (min)	負荷完了時周方向ひずみ (%)					
3		A r	SIC-1	6 0 0								
試験片番号	破断時間 (hr)	周方向破断ひずみ 平均値 (%)	周応力 (kgf/)	②破断位置	③破損形態	試験中断回数	平均クリープ 速度(%/h)	二次クリープ			三次クリープ	
								一次クリープ ひずみ(%)	ひずみ(%)	開始時間(h)	ひずみ(%)	開始時間(h)
61S-13	2182.3	5.036	22.94	A	V		2.309*10 ⁻³					
61S-14	3727.6	1.861	21.62	A	V		4.990*10 ⁻⁴					
61S-15	5306.7	2.645	21.01	A	V		4.983*10 ⁻⁴					
61S-16	7783.8	2.850	20.39	A	V		3.662*10 ⁻⁴					

①～③については、下の記号表を参照して下さい。

①試験雰囲気	②破断位置	③破損形態
1: In Air 6: In He 2: In Stagnant Na 7: In N ₂ 3: In Flowing Na 8: In Ar 4: In Hot Lab. 9: Others 5: In Vacuum ()	i) 母材、溶金試験片の場合 A: 管部 B: その他 ii) 継手試験片の場合 BM WM Bond HAZ	V: Violent Type F: Fissure Type P: Pin Hoie Type

F B R 金属材料試験データシート (J 1)

J 1 : 内圧クリープ (1 / 2)

① 試験雰囲気		加圧ガスの種類		試験機番号		試験温度 (°C)		内圧 (Kgf/cm ²)		負荷完了までの時間 (min)		負荷完了時周方向ひずみ (%)		
3		Ar		SIC-3		650								
試験片番号	破断時間 (hr)	周方向破断ひずみ 平均値 (%)	周応力 (kgf/)	②破断位置	③破損形態	試験中断回数	平均クリープ 速度(%/h)	一次クリープ			二次クリープ		三次クリープ	
								ひずみ (%)	ひずみ (%)	開始時間 (h)	ひずみ (%)	開始時間 (h)		
61S-17	480.8	2.882	15.30	A	V		5.998*10 ⁻³							
61S-18	967.9	3.145	13.77	A	V		3.258*10 ⁻³							
61S-19	1442.5	3.586	12.75	A	V		2.484*10 ⁻³							
61S-20	1623.9	3.236	11.73	A	F		2.055*10 ⁻³							
61S-22	1872.3	3.420	11.73	A	V		1.829*10 ⁻³							
61S-21	2990.2	5.158	9.48	A	F		1.725*10 ⁻³							

①~③については、下の記号表を参照して下さい。

①試験雰囲気	②破断位置	③破損形態
1: In Air 6: In He 2: In Stagnant Na 7: In N ₂ 3: In Flowing Na 8: In Ar 4: In Hot Lab. 9: Others 5: In Vacuum ()	i) 母材、溶金試験片の場合 A:管部 B:その他 ii) 継手試験片の場合 BM WM Bond HAZ	V: Violent Type F: Fissure Type P: Pin Hole Type

3. 高強度フェライト／マルテンサイト鋼の
内圧クリープ特性

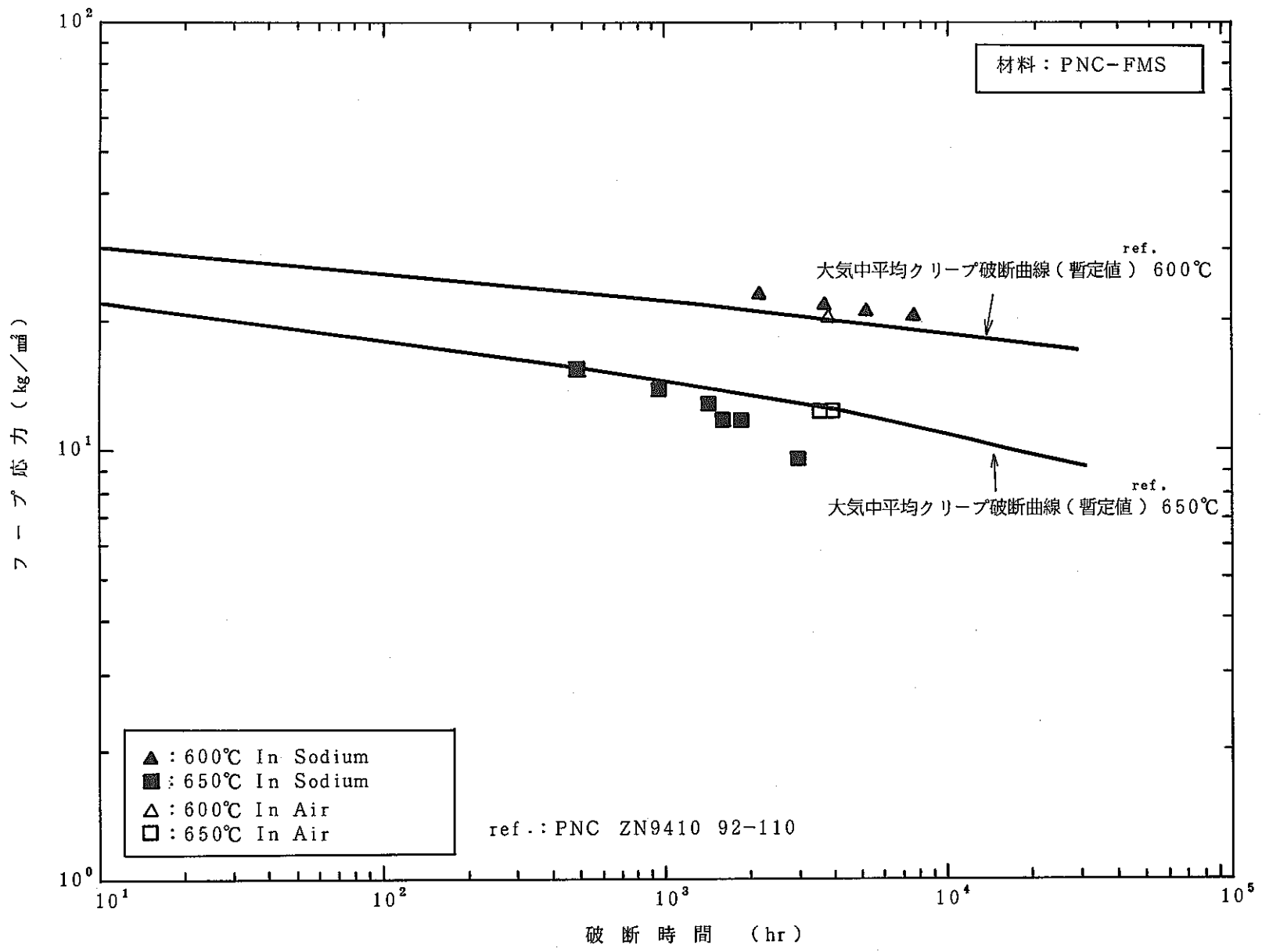


図1 内圧クリープ破断特性

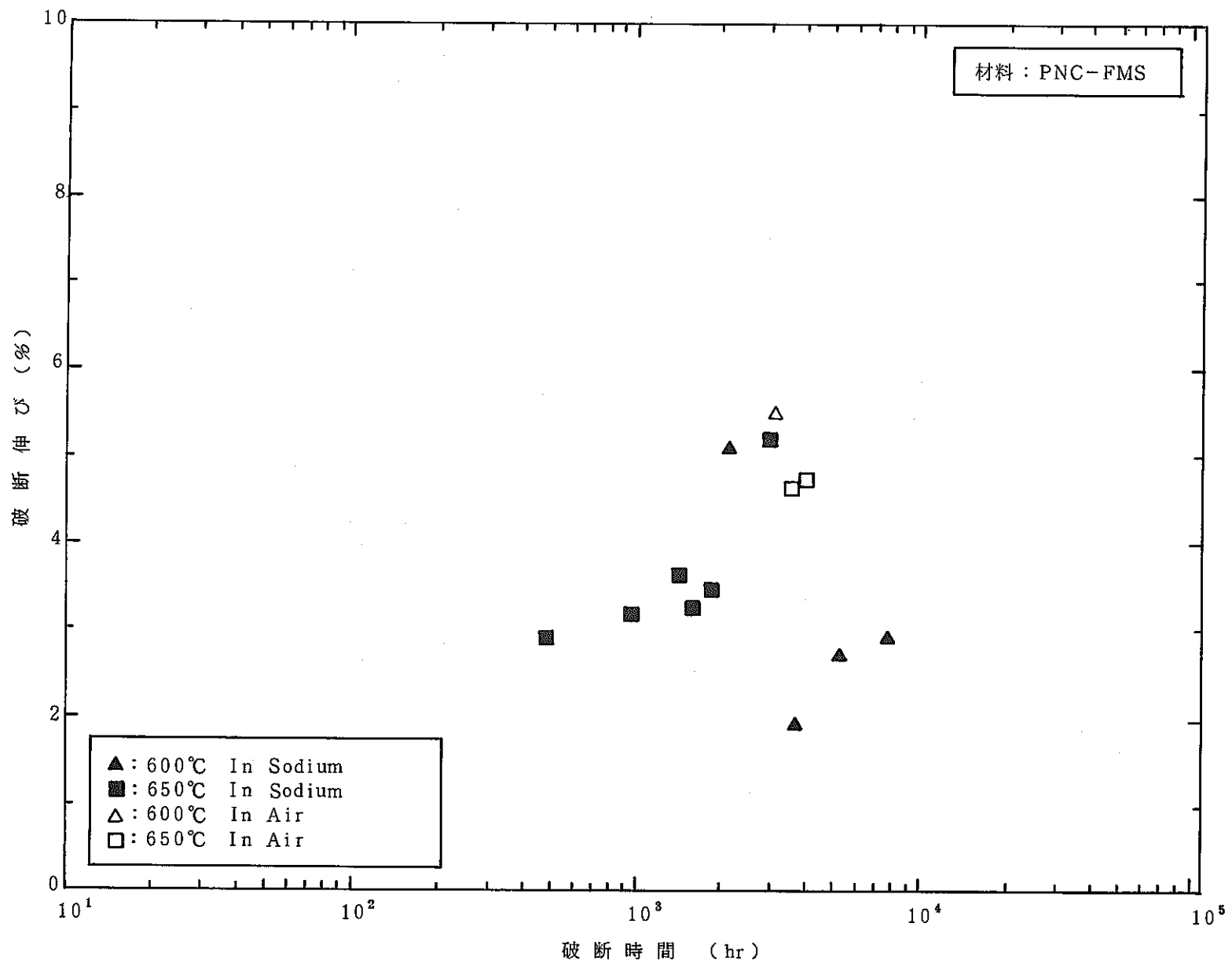


図2 内圧クリープ破断伸び

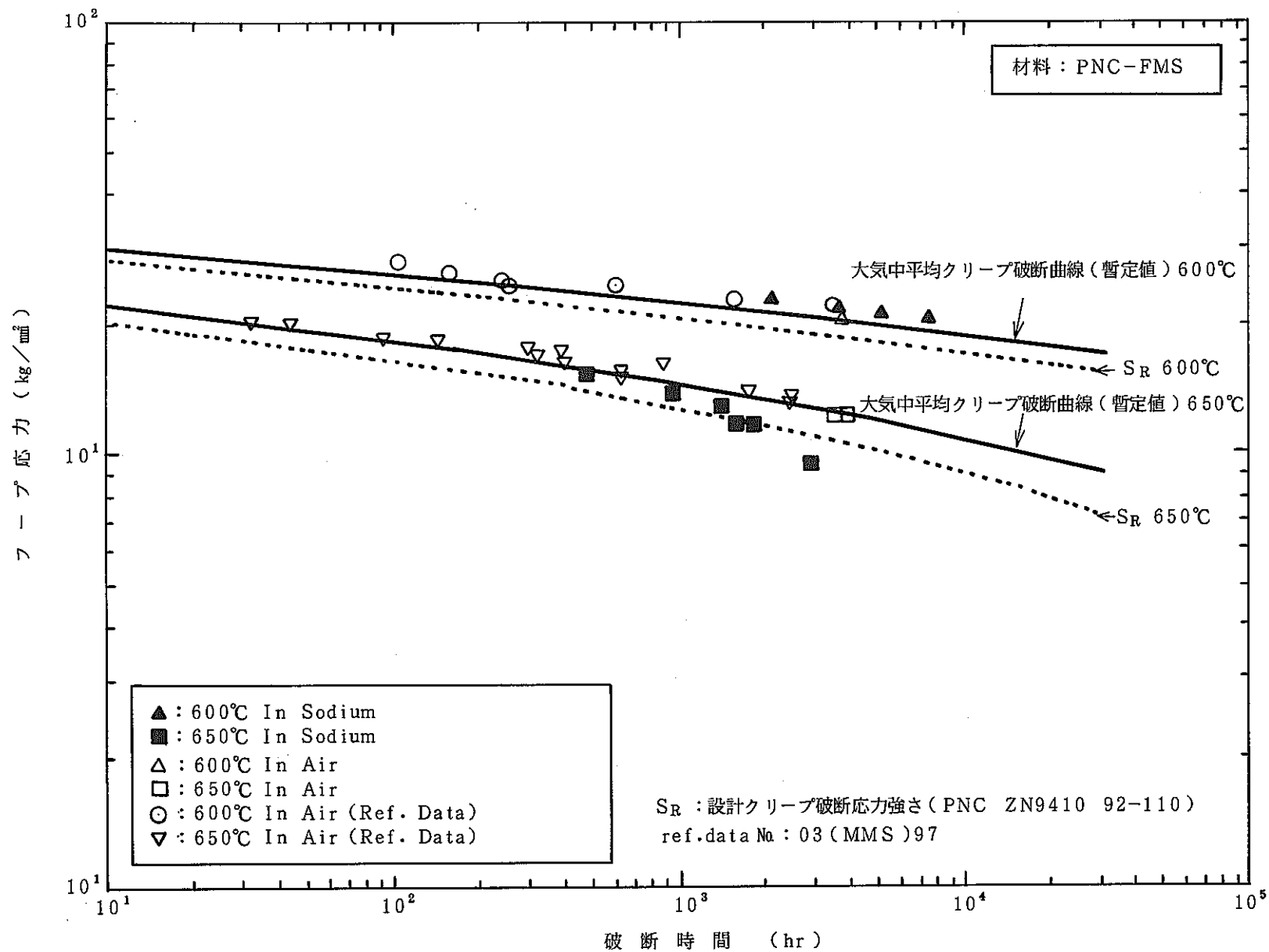


図3 内圧クリープ破断特性 — 設計クリープ破断応力強さ（暫定値）との比較

4. 高強度フェライト／マルテンサイト鋼の
寸法測定データ

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
FS1011-1	650 °C	191 kg/cm ²	120 kg/mm ²	3607.1 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
AIC-2		91/05/29	91/11/17	A-B	F				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
5000 hr.									
試験前	測定日		91/05/23			Note			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.498	6.498	6.496	6.499	6.496	6.499	6.496	6.496	6.497
b-b'	6.497	6.496	6.497	6.498	6.499	6.497	6.498	6.496	6.497
c-c'	6.497	6.498	6.496	6.495	6.496	6.497	6.500	6.498	6.497
d-d'	6.499	6.497	6.497	6.499	6.498	6.498	6.499	6.498	6.497
Av.	6.498	6.497	6.497	6.498	6.497	6.498	6.498	6.497	6.497
試験後	測定日		91/11/22			Note			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.873	6.830	6.767	6.759	6.784	6.807	6.827	6.785	6.738
b-b'	6.834	6.854	6.765	6.755	6.785	6.810	6.824	6.787	6.741
c-c'	6.840	6.860	6.766	6.753	6.794	6.804	6.824	6.784	6.737
d-d'	6.813	6.876	6.771	6.757	6.792	6.800	6.816	6.790	6.747
Av.	6.840	6.855	6.767	6.756	6.789	6.805	6.823	6.787	6.741
ε %	5.267	5.506	4.168	3.974	4.487	4.732	4.994	4.456	3.752
Av. ε %	4.593								

160

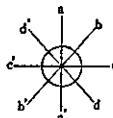
20 15 15 15 15 15 15 15 15 20

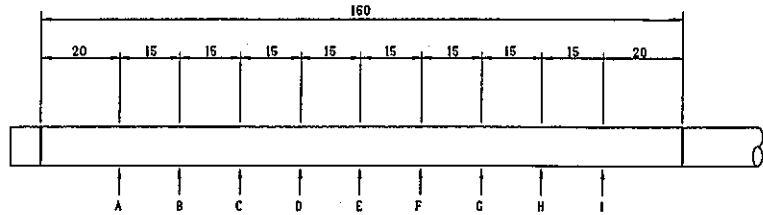
A B C D E F G H I

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
FS1011-2	650 °C	191 kg/cm ²	120 kg/mm ²	4016.4 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
AIC-2		91/05/29	91/10/30	A-C	F				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
5000 hr.									
試験前	測定日		91/05/23			Note			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.498	6.498	6.498	6.497	6.499	6.498	6.496	6.495	6.497
b - b'	6.497	6.498	6.497	6.497	6.498	6.496	6.495	6.497	6.496
c - c'	6.493	6.494	6.494	6.494	6.495	6.496	6.497	6.496	6.495
d - d'	6.495	6.497	6.495	6.494	6.496	6.495	6.495	6.496	6.496
Av.	6.496	6.497	6.496	6.496	6.497	6.496	6.496	6.496	6.496
試験後	測定日		91/11/22			Note			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.894	6.904	6.877	6.778	6.764	6.764	6.761	6.756	6.743
b - b'	6.920	6.883	6.821	6.774	6.747	6.762	6.755	6.749	6.739
c - c'	6.954	6.878	6.813	6.777	6.760	6.771	6.770	6.762	6.749
d - d'	6.941	6.899	6.811	6.767	6.755	6.770	6.763	6.756	6.743
Av.	6.927	6.891	6.831	6.774	6.757	6.767	6.762	6.756	6.744
ε %	6.643	6.068	5.149	4.288	3.994	4.164	4.103	3.999	3.810
Av. ε %	4.691								

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度		試験圧力		フープ応力		破断時間		試験片肉厚
FS1011-3	600 °C		218 kg/cm ²		200 kg/mm ²		3178.8 hr.		0.47mm
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日		試験終了日		破断位置		破断形態	
AIC-1		91/05/29		91/10/09		H-I		F	
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)		Note					
10000 hr.									
試験前	測定日			91/05/23		Note			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.494	6.494	6.495	6.496	6.494	6.495	6.496	6.493	6.496
b-b'	6.497	6.495	6.495	6.495	6.494	6.497	6.498	6.495	6.496
c-c'	6.498	6.494	6.494	6.495	6.498	6.496	6.495	6.495	6.495
d-d'	6.495	6.494	6.493	6.495	6.493	6.493	6.493	6.494	6.494
Av.	6.496	6.494	6.494	6.495	6.495	6.495	6.496	6.494	6.495
試験後	測定日			91/11/22		Note			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.814	6.851	6.879	6.840	6.808	6.820	6.899		6.898
b-b'	6.812	6.852	6.886	6.841	6.801	6.839	6.902		6.888
c-c'	6.811	6.850	6.878	6.836	6.806	6.830	6.896		6.871
d-d'	6.812	6.849	6.873	6.839	6.801	6.811	6.885		6.877
Av.	6.812	6.851	6.879	6.839	6.804	6.825	6.896		6.884
ε %	4.868	5.486	5.924	5.292	4.762	5.077	6.158		5.977
Av. ε %	5.443								

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
61S-13	600 °C	358 kg/cm ²	22.97 kg/mm ²	2182.3 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
SIC-1		90/07/03	90/02/03	I	V				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
1000 hr.									
試験前	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.474	6.472	6.471	6.473	6.470	6.473	6.472	6.473	6.471
b-b'	6.473	6.473	6.473	6.473	6.475	6.475	6.473	6.474	6.471
c-c'	6.474	6.472	6.473	6.473	6.474	6.474	6.473	6.473	6.473
d-d'	6.472	6.471	6.472	6.473	6.473	6.472	6.472	6.472	6.472
Av.	6.473	6.472	6.472	6.473	6.473	6.474	6.473	6.473	6.472
試験後	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.755	6.762	6.767	6.798	6.842	6.816	6.822	6.851	
b-b'	6.751	6.755	6.773	6.789	6.829	6.821	6.828	6.848	
c-c'	6.745	6.759	6.782	6.793	6.812	6.796	6.820	6.849	
d-d'	6.747	6.760	6.778	6.796	6.830	6.811	6.818	6.859	
Av.	6.750	6.759	6.775	6.794	6.828	6.811	6.822	6.852	
ε %	4.268	4.434	4.678	4.959	5.488	5.214	5.400	5.851	
Av. ε %	5.036								





データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
61S-14	600 °C	337 kg/cm ²	21.62 kg/mm ²	3727.6 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
SIC-1		90/07/03	90/12/06	I	V				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
3000 hr.									
試験前	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.467	6.468	6.472	6.467	6.468	6.471	6.470	6.471	6.471
b - b'	6.470	6.472	6.468	6.470	6.472	6.472	6.468	6.470	6.472
c - c'	6.468	6.471	6.472	6.468	6.470	6.470	6.470	6.471	6.471
d - d'	6.468	6.469	6.470	6.471	6.471	6.471	6.470	6.470	6.471
Av.	6.468	6.470	6.471	6.469	6.470	6.471	6.470	6.471	6.471
試験後	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	91/05/16								
a - a'	6.570	6.576	6.583	6.583	6.591	6.601	6.604	6.628	
b - b'	6.567	6.579	6.582	6.581	6.587	6.598	6.605	6.631	
c - c'	6.568	6.577	6.581	6.582	6.585	6.591	6.600	6.625	
d - d'	6.569	6.577	6.579	6.582	6.586	6.591	6.601	6.628	
Av.	6.569	6.577	6.581	6.582	6.587	6.595	6.603	6.628	
ε %	1.550	1.658	1.712	1.747	1.808	1.920	2.056	2.434	
Av. ε %	1.861								

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
6IS-15	600 °C	327 kg/cm ²	20.98 kg/mm ²	5306.7 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
SIC-1		90/07/03	91/05/14	I	V				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
5000 hr.									
試験前	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.473	6.472	6.473	6.473	6.473	6.473	6.472	6.472	6.473
b - b'	6.472	6.472	6.473	6.472	6.471	6.472	6.472	6.472	6.472
c - c'	6.472	6.473	6.473	6.472	6.472	6.471	6.470	6.471	6.472
d - d'	6.471	6.472	6.472	6.473	6.472	6.471	6.472	6.472	6.471
Av.	6.472	6.472	6.473	6.473	6.472	6.472	6.472	6.472	6.472
試験後	測定日		Note						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.610	6.622	6.638	6.647	6.661	6.657	6.649	6.670	
b - b'	6.609	6.621	6.636	6.646	6.657	6.646	6.646	6.679	
c - c'	6.608	6.624	6.636	6.645	6.651	6.646	6.646	6.676	
d - d'	6.611	6.622	6.642	6.653	6.652	6.650	6.650	6.678	
Av.	6.610	6.622	6.638	6.648	6.655	6.650	6.648	6.676	
ε %	2.125	2.318	2.553	2.708	2.831	2.750	2.723	3.152	
Av. ε %	2.645								

160

20 15 15 15 15 15 15 15 15 20

A B C D E F G H I

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
61S-16	600 °C	318 kg/cm ²	20.4 kg/mm ²	7783.8 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
SIC-1		90/07/03	91/11/18	I	Y				
破断予定時間	テータ入力 (試験前)	テータ入力 (試験後)	Note						
10000 hr.									
試験前	測定日				Note				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.473	6.473	6.472	6.472	6.474	6.473	6.472	6.473	6.472
b - b'	6.473	6.471	6.470	6.471	6.472	6.470	6.470	6.472	6.472
c - c'	6.473	6.472	6.473	6.473	6.475	6.473	6.470	6.470	6.473
d - d'	6.472	6.473	6.473	6.470	6.473	6.473	6.471	6.473	6.472
Av.	6.473	6.472	6.472	6.472	6.474	6.472	6.471	6.472	6.472
試験後	測定日				Note				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.658	6.648	6.648	6.646	6.654	6.659	6.684		
b - b'	6.659	6.649	6.648	6.648	6.652	6.663	6.690		
c - c'	6.652	6.644	6.644	6.644	6.649	6.656	6.692		
d - d'	6.661	6.644	6.645	6.648	6.652	6.662	6.686		
Av.	6.658	6.646	6.646	6.647	6.652	6.660	6.688		
ε %	2.854	2.688	2.692	2.704	2.754	2.901	3.357		
Av. ε %	2.850								

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
6IS-17	650 °C	238 kg/cm ²	15.27 kg/mm ²	480.8 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
SIC-3		90/06/28	90/07/18	I	V				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
1000 hr.									
試験前	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.469	6.468	6.467	6.467	6.466	6.465	6.468	6.465	6.467
b-b'	6.468	6.466	6.468	6.466	6.467	6.467	6.466	6.468	6.465
c-c'	6.466	6.467	6.468	6.465	6.467	6.465	6.465	6.466	6.468
d-d'	6.467	6.467	6.469	6.467	6.465	6.466	6.467	6.466	6.467
Av.	6.468	6.467	6.468	6.466	6.466	6.466	6.467	6.466	6.467
試験後	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.601	6.614	6.628	6.646	6.668	6.687	6.715		
b-b'	6.598	6.614	6.630	6.646	6.662	6.685	6.702		
c-c'	6.604	6.621	6.635	6.656	6.670	6.688	6.740		
d-d'	6.603	6.618	6.623	6.650	6.672	6.687	6.724		
Av.	6.602	6.617	6.629	6.650	6.668	6.687	6.720		
ε %	2.072	2.316	2.489	2.834	3.120	3.418	3.924		
Av. ε %	2.882								

160
20 15 15 15 15 15 15 15 15 20
A B C D E F G H I

デ ー タ シ ー ト (連 続 法)									
試 験 片 番 号	試 験 温 度	試 験 圧 力	フ ー プ 応 力	破 断 時 間	試 験 片 肉 厚				
61S-18	650 °C	215 kg/cm ²	13.79 kg/mm ²	967.9 hr.	0.47mm				
試 験 機 番 号	ゲ ー ジ 番 号	試 験 開 始 日	試 験 終 了 日	破 断 位 置	破 断 形 態				
SIC-3		90/06/28	90/08/08	I	V				
破 断 予 定 時 間	テ ー タ 入 力 (試 験 前)	テ ー タ 入 力 (試 験 後)	N o t e						
3000 hr.									
試 験 前	測 定 日				N o t e				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.478	6.477	6.477	6.476	6.478	6.477	6.478	6.478	6.477
b - b'	6.477	6.474	6.475	6.476	6.475	6.475	6.477	6.477	6.475
c - c'	6.474	6.475	6.474	6.474	6.477	6.475	6.476	6.477	6.476
d - d'	6.478	6.477	6.474	6.477	6.477	6.474	6.474	6.474	6.474
A v.	6.477	6.476	6.475	6.476	6.477	6.475	6.476	6.477	6.476
試 験 後	測 定 日				N o t e				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.654	6.662	6.668	6.668	6.680	6.712	6.752		
b - b'	6.648	6.652	6.658	6.658	6.675	6.710	6.746		
c - c'	6.653	6.659	6.662	6.662	6.676	6.703	6.729		
d - d'	6.656	6.658	6.664	6.668	6.678	6.691	6.726		
A v.	6.653	6.658	6.663	6.664	6.677	6.704	6.738		
ε %	2.717	2.810	2.903	2.907	3.096	3.533	4.046		
A v. ε %	3.145								

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
61S-19	650 °C	199 kg/cm ²	12.77 kg/mm ²	1442.5 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
SIC-3		90/06/28	90/08/27	I	V				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
5000 hr.									
試験前	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.470	6.471	6.472	6.472	6.470	6.472	6.472	6.471	6.471
b - b'	6.469	6.469	6.470	6.469	6.470	6.472	6.470	6.472	6.471
c - c'	6.470	6.471	6.472	6.470	6.472	6.471	6.472	6.470	6.472
d - d'	6.471	6.470	6.471	6.471	6.471	6.471	6.471	6.472	6.472
Av.	6.470	6.470	6.471	6.471	6.471	6.472	6.471	6.471	6.472
試験後	測定日			Note					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.639	6.653	6.677	6.713	6.730	6.725	6.742	6.772	
b - b'	6.642	6.650	6.674	6.720	6.725	6.711	6.740	6.768	
c - c'	6.639	6.654	6.675	6.711	6.720	6.712	6.736	6.761	
d - d'	6.636	6.646	6.676	6.700	6.727	6.712	6.748	6.758	
Av.	6.639	6.651	6.676	6.711	6.726	6.715	6.742	6.765	
ε %	2.612	2.790	3.156	3.717	3.937	3.763	4.176	4.535	
Av. ε %	3.586								

160

20 15 15 15 15 15 15 15 15 20

A B C D E F G H I

a a'

b b'

c c'

d d'

データシート (連続法)

試験片番号	試験温度	試験圧力	フープ応力	破断時間	試験片肉厚				
61S-20	650 °C	183 kg/cm ²	11.74 kg/mm ²	1623.9 hr.	0.47mm				
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日	試験終了日	破断位置	破断形態				
SIC-3		90/06/28	90/09/07	A	F				
破断予定時間	データ入力 (試験前)	データ入力 (試験後)	Note						
10000 hr.									
試験前	測定日		Note						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.471	6.469	6.473	6.469	6.472	6.470	6.469	6.469	6.469
b - b'	6.469	6.473	6.473	6.471	6.468	6.471	6.471	6.471	6.467
c - c'	6.470	6.473	6.472	6.469	6.471	6.471	6.469	6.470	6.471
d - d'	6.471	6.470	6.469	6.472	6.471	6.471	6.470	6.470	6.468
Av.	6.470	6.471	6.472	6.470	6.471	6.471	6.470	6.470	6.469
試験後	測定日		Note						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.675	6.680	6.672	6.677	6.667	6.703	6.706	6.711	6.739
b - b'	6.647	6.673	6.665	6.675	6.662	6.693	6.705	6.710	6.738
c - c'	6.650	6.663	6.662	6.664	6.660	6.684	6.708	6.714	6.730
d - d'	6.660	6.662	6.668	6.669	6.666	6.689	6.706	6.712	6.740
Av.	6.658	6.670	6.667	6.671	6.664	6.692	6.706	6.712	6.737
ε %	2.902	3.064	3.013	3.107	2.987	3.423	3.655	3.736	4.143
Av. ε %	3.337								

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度		試験圧力		フープ応力		破断時間		試験片肉厚
61S-21	650 °C		148 kg/cm ²		9.49 kg/mm ²		2990.2 hr.		0.47mm
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日		試験終了日		破断位置		破断形態	
SIC-3		90/06/28		90/10/31		H-I		F	
破断予定時間		データ入力 (試験前)		データ入力 (試験後)		Note			
20000 hr.									
試験前		測定日			Note				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.474	6.472	6.470	6.473	6.469	6.472	6.472	6.469	6.470
b-b'	6.471	6.469	6.471	6.472	6.470	6.471	6.471	6.470	6.470
c-c'	6.470	6.470	6.471	6.472	6.469	6.470	6.471	6.469	6.469
d-d'	6.471	6.472	6.472	6.472	6.470	6.472	6.470	6.469	6.469
Av.	6.472	6.471	6.471	6.472	6.470	6.471	6.471	6.469	6.470
試験後		測定日			Note				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a-a'	6.717	6.888	6.854	6.778	6.772	6.770	6.740	6.840	6.887
b-b'	6.715	6.896	6.856	6.784	6.766	6.762	6.747	6.881	6.870
c-c'	6.684	6.917	6.857	6.777	6.747	6.767	6.779	6.805	6.868
d-d'	6.688	6.907	6.862	6.795	6.743	6.758	6.749	6.906	6.830
Av.	6.701	6.902	6.857	6.784	6.757	6.764	6.754	6.858	6.864
ε %	3.546	6.665	5.969	4.809	4.444	4.528	4.370	6.009	6.094
Av. ε %	5.159								

160
20 15 15 15 15 15 15 15 15 20
A B C D E F G H I

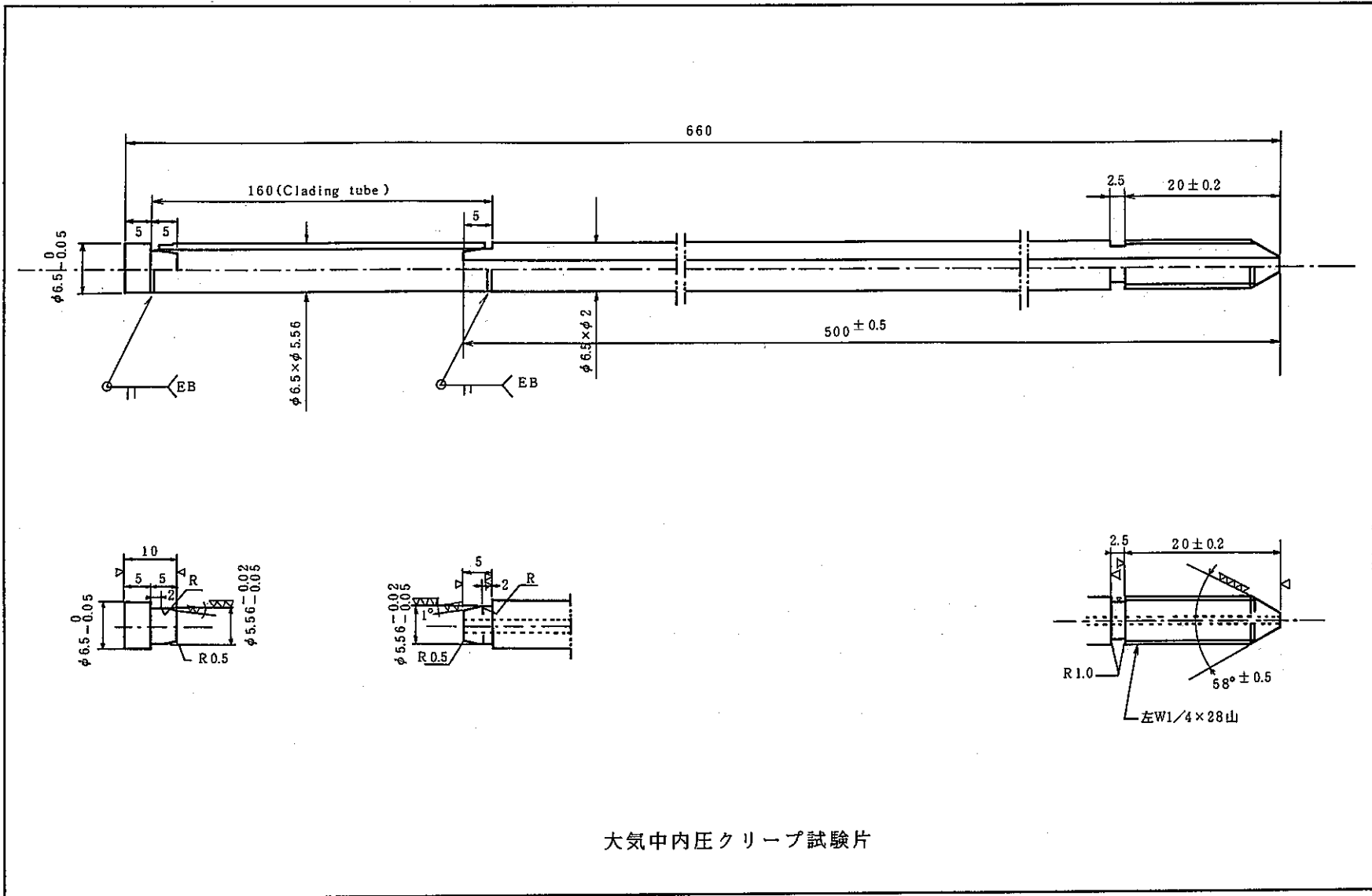
a
b
c
d
a'
b'
c'
d'

データシート (連続法)									
試験片番号	試験温度		試験圧力		フープ応力		破断時間		試験片肉厚
61S-22	650 °C		183 kg/cm ²		11.74 kg/mm ²		1872.3 hr.		0.47mm
試験機番号	ゲージ番号	試験開始日		試験終了日		破断位置		破断形態	
SIC-3		90/06/28		90/09/14		G		V	
破断予定時間		データ入力 (試験前)		データ入力 (試験後)		Note			
10000 hr.									
試験前		測定日			Note				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.468	6.467	6.469	6.469	6.466	6.467	6.468	6.465	6.463
b - b'	6.465	6.467	6.465	6.465	6.466	6.466	6.465	6.468	6.463
c - c'	6.469	6.469	6.465	6.469	6.465	6.467	6.465	6.467	6.463
d - d'	6.467	6.466	6.469	6.469	6.466	6.466	6.466	6.467	6.465
Av.	6.467	6.467	6.467	6.468	6.466	6.467	6.466	6.467	6.464
試験後		測定日			Note				
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
a - a'	6.592	6.615	6.640	6.640	6.662	6.888			6.843
b - b'	6.591	6.612	6.631	6.632	6.655	6.798			6.857
c - c'	6.591	6.609	6.629	6.629	6.660	6.778			6.851
d - d'	6.592	6.613	6.636	6.634	6.668	6.868			6.856
Av.	6.592	6.612	6.634	6.634	6.661	6.833			6.852
ε %	1.921	2.242	2.582	2.563	3.024	5.668			6.007
Av. ε %	3.429								

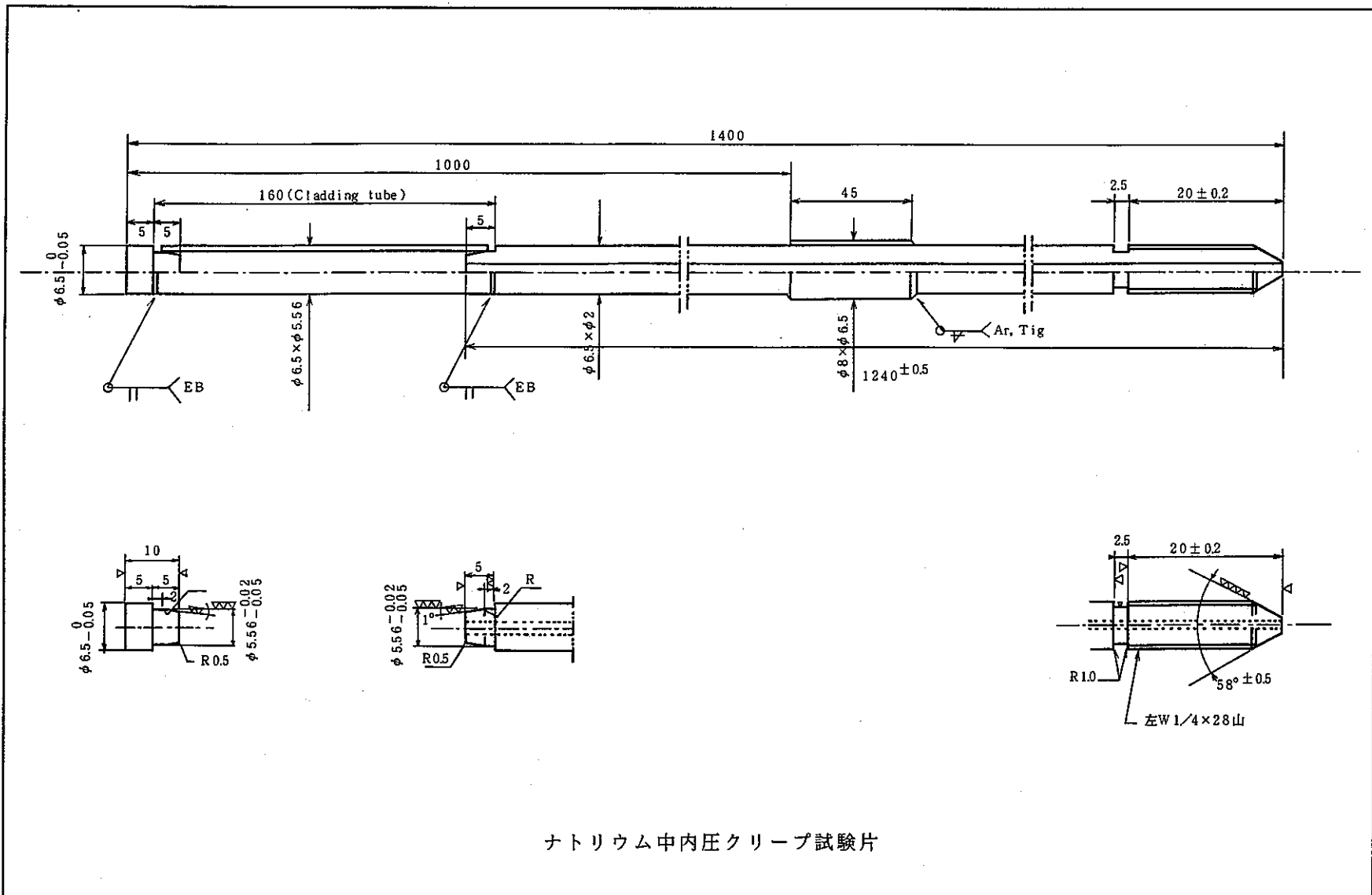
5. 付 録

- 付録 1 内圧クリープ試験片形状(大気中およびNa中)
- 付録 2 内圧クリープ試験要領
- 付録 3 内圧クリープ試験機等点検要領
- 付録 4 材料特性データ集発行一覧
- 付録 5 材料特性データ集の発行について

付録 1 大気中内圧クリープ試験片形状



(続き) Na中内圧クリープ試験片形状



ナトリウム中内圧クリープ試験片

付録2 大気中内圧クリープ試験要領

1. 試験前準備

長さ160mmのTIGまたはEBで端栓が溶接された試験片を電気炉内に挿入する前に以下の作業を行う。

- (1) 試験片の端栓溶接部あるいは熱影響部での破断防止の観点から、それらの部分はニクロム線の巻き付けやカラーを取り付ける等適切な補強を行う。
- (2) 試験片の表面は、アルコールまたはアセトンで清浄する。
- (3) 試験片の寸法測定は、下記項目4.のとおりとする。

2. 昇温方法

- (1) 試験温度までの昇温時間は、1時間以上で実施する。試験温度以上の加熱は極力避けるものとする。
- (2) 試験温度まで昇温後は、均熱時間を20～24時間内で実施し、この時間内に最終温度調節を行う。
- (3) 試験中の許容温度範囲は、試験温度が600℃以上800℃以内であれば±4℃とする。
- (4) 試験温度は、自動温度記録計で連続的に記録するとともに、校正された電圧計により原則として1回/日以上測定する。
- (5) 試験中における試験片の温度が低下するような断続的な試験は可能とする。ただし、試験温度より10℃以下になる場合の時間は積算しない。また、試験温度より10℃および3時間以上経過した試験は中止として試験データとしない。

3. フープ応力および内圧（試験圧力）の計算式

$$\sigma = P \times \left(\frac{D}{2t} - 0.5 \right) \times \frac{1}{100}$$

$$P = \frac{\sigma}{\left(\frac{D}{2t} - 0.5 \right) \times \frac{1}{100}}$$

ここで σ : フープ応力 (kg/mm²)

P : 内圧 (kg/cm²)

t : 肉厚 (mm)

D : 外径 (mm)

参考値 (kg ⇄ MPa の換算計数)

1.0kg/cm² = 9.80665MPa

1.0MPa = 0.10197kg/cm²

4. 試験片の寸法測定

- (1) 試験開始前および試験開始後に、試験片の外径寸法を測定する。測定位置は、試験片の軸方向を10等分し、横断面を45度間隔で4方向測定し、平均値を求める。また、最大値および最小値を記録しておく。なお、破断部近傍（破断部の端部より5mm以内）の測定値は平均値の計算には入れない。
- (2) 外径寸法は、 $(D - D_0) / D_0$ を百分率で表す。ただし、 D_0 は試験前の平均外径とし、 D は軸方向の各測定箇所における試験後の外径（横断面4方向）の平均値とする。
- (3) 測定用のマイクロメータは、測定範囲0～25mm、最小目盛り1/1000mmのブレードマイクロメータとする。

5. その他

ナトリウム中内圧クリープ試験に関しては大気中内圧クリープ試験方法に準拠する。

引用文献

- (1) N252 80-02 1980年8月
「高速炉燃料被覆管のナトリウム中内圧クリープ破断試験要領」

付録3 内圧クリープ試験機点検要領

1. 加熱炉

- (1) あらかじめ加熱炉の温度分布（勾配）を測定して試験片中央部の温度を保証する温度測定法の場合、試験の都度試験前にダミー試験片を用いて検定する。
- (2) 上記(1)の場合、当該試験温度において、加熱炉の均熱部分が200mm以上であることをダミー試験片の3測定点以上の温度測定により、保証しなければならない。
- (3) 加熱炉の均熱部分は、当該試験温度において、600℃以上800℃以下の試験の許容温度範囲は±4℃以内にななければならない。

2. 熱電対

- (1) 使用する熱電対は、検定に合格した標準熱電対を用い、JIS C 1602「熱電対」に規定された比較法により、1回／年以上定期点検を行う。ただし、使用上問題があると思われるものについては臨時に検定を行う。
- (2) 使用熱電対の起電力の誤差は、JIS C 1602「熱電対」に規定された許容差の範囲にななければならない。
- (3) 当該試験温度において比較法により検定する場合は、標準熱電対により定められた使用熱電対の熱起電力値を当該試験温度の熱起電力値として試験温度の測定を行ってもよい。

3. 電圧計

- (1) 電圧計は、検定に合格した標準直流電圧電流発生器により、1回／年以上の定期点検を行う。
- (2) 電圧計の電圧誤差は、下表の許容差以内でなければならない。

電圧指示値 (mV)	許容差 (μV)
4	2.0
5	2.5
6	2.9
7	3.4
8	3.8

4. そ の 他

ナトリウム中内圧クリープ試験機の点検要領は大気中内圧クリープ試験機点検要領に準拠する。

引用文献

(1) N252 80-02 1980年 8月

「高速炉燃料被覆管のナトリウム中内圧クリープ破断試験要領」

付録4 材料特性データ集発行一覧

No.	報告書 No.	データ集 発行 No.	発行年月	材料特性データ発行件名	対象鋼種	材料特性データ集概要	備考
1	PN9450 91-004	No. F 01	1991/7	Mod. 9Cr-1Mo鋼 (SR) の 大気中およびナトリウム中疲労特性	Mod. 9Cr- 1Mo鋼	温度：450℃～650℃ 環境：大気中, Na中 試験：低サイクル疲労試験	
2	PN9450 91-008	No. B 01	1991/9	高速炉構造用SUS316 (母材) の引張特性	SUS316FR	温度：RT～750℃ 試験前処理：受入まま データ数：64点	
3	PN9450 91-010	No. F 02	1991/10	Mod. 9Cr-1Mo鋼のクリープ特性 (母材)	Mod. 9Cr- 1Mo鋼	温度：450℃～650℃ 環境：大気中, Na中 試験：クリープ試験	
4	PN9450 92-004	No. Q 01	1992/6	高強度フェライト/マルテンサイト鋼の 大気中およびナトリウム中内圧クリープ特性	高強度F/M鋼	温度：600, 650℃ 環境：大気中, Na中 データ点数：13点	
5							
6							

付録5 材料特性データ集の発行について

本データ集は、動力炉・核燃料開発事業団において作成された研究開発計画に基づき行われた、材料強度試験結果を材料鋼種ごとに整理まとめたものである。今後、これらのデータ集を随時発行して行く予定であり、材料強度基準および高温強度特性評価の高度化等に役立てられることを期待するものである。

以下に、データ集発行要領を示す。

1. 材料特性データ集の発行管理番号登録

動力炉・核燃料開発事業団の成果報告書とは別に、材料特性データ集としての管理番号の登録を受けるものとする。

(1) 管理番号の登録区分

登録区分は材料種別と特性試験項目別によって行う。材料種別は、データ集の管理番号で区別判断が可能であり、材料の製品形状や製作メーカ、および材料ヒート等は材料特性データ集の中で区別し、管理番号上には示さない。

① 材料区分

材料区分	材 料 鋼 種	材料区分	材 料 鋼 種
A	SUS304	O	改良SUS316(PNC316)
B	SUS316	P	改良オーステナイト鋼
C	SUS321	Q	フェライト/マルテンサイト鋼
D	2 ¼Cr-1Mo	R	酸化物分散強化型フェライト鋼
E	INCONEL718	S	セラミックス
F	Mod. 9Cr-1Mo	T	表面硬化材
G	9Cr-1Mo-Nb-V	U~Y	
H	9Cr-2Mo	Zその他	サーベランス材
I	9Cr-2Mo-Nb-V		
J~N			

② 特性試験項目（データ集の管理番号としての区分はされない）

・引張特性	・ナトリウム中腐食特性
・クリープ特性	・アルカリ腐食・応力腐食割れ特性
・疲労特性	・水／蒸気中腐食疲労特性
・クリープ疲労特性	・トライボロジ特性
・衝撃特性	・物性的・化学的性質
・き裂進展特性（クリープ／疲労含む）	・その他

(2) 管理番号の登録

材料特性データ集の管理番号登録は、発行部署が管理する。また、データの追加等による訂正版の追加発行は、管理番号に従い、適宜材料特性データ集の改訂版として発行していく。

No. F 0 1 R1

