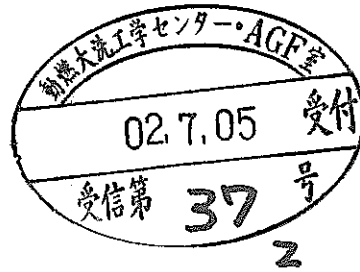


区 分 変 更	
変更後資料番号	111
決裁年月日	平成 13 年 7 月 31 日

高速炉炉心構成要素用
改良オーステナイト鋼 (PNC1520)
材料強度基準案 (暫定値)



1990年4月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

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)

配 布 限 定

PNC T&N9410 90-051

1 9 9 0 年 4 月



高速炉炉心構成要素用
改良オーステナイト鋼 (PNC1520)
材料強度基準案 (暫定値)

要 旨

本報告書は、高速炉の炉心構成要素に用いられる改良オーステナイト鋼 (PNC1520)について、各担当課室で策定された材料強度基準案 (暫定値) を取りまとめたものである。

策定された各項目の適用範囲、データベース及び策定方法については、解説編(1)~(4)を参照していただきたい。



LIMITED DISTRIBUTION

PNCT#N9410 90-051

April, 1990

The Tentative Materials Strength Standard
of Advanced Austenitic Stainless Steel
(PNC1520) for FBR's Core Components

Abstract

This report summarizes all the tentative materials strength standard of advanced austenitic stainless steel (PNC1520) for FBR core components.

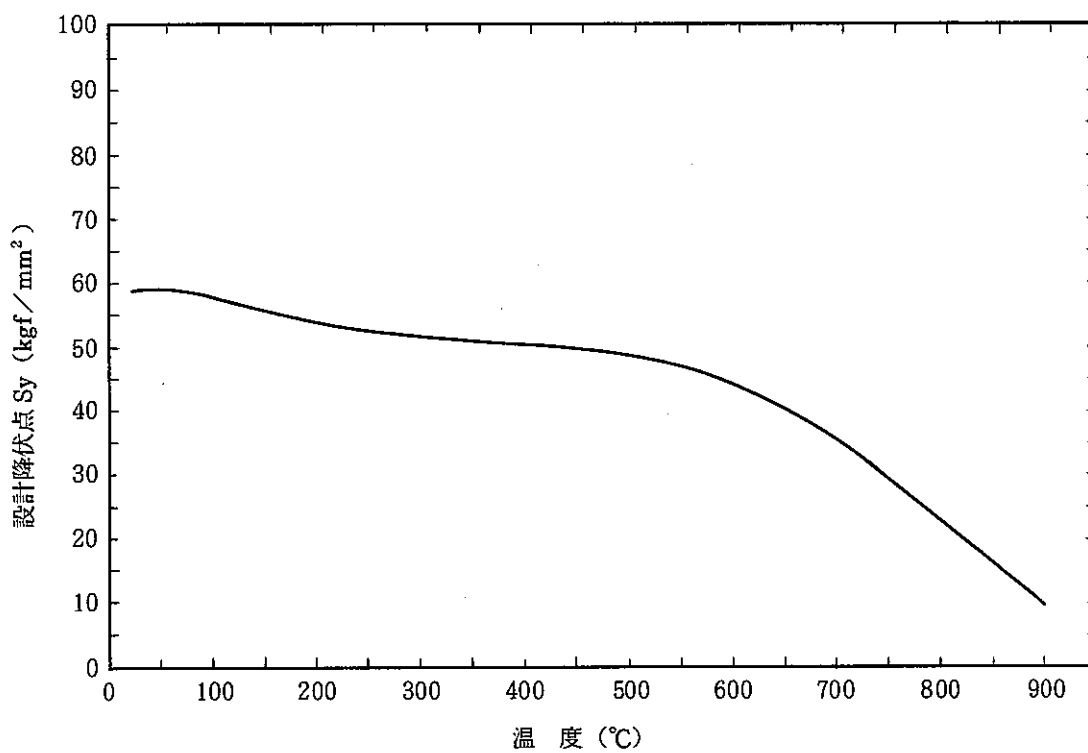
It would be helpful for understanding the application limits, the data base and the preparation process for each item to refer the supporting document No.1 to No.4.

材料強度基準案（暫定値）目次

1. 材料強度基準案（暫定値）	
1.1 設計降伏点 S_y	1
1.2 設計引張強さ S_u	3
1.3 設計クリープ破断応力強さ S_R	5
1.4 許容繰返し数 N_d	7
1.5 累積損傷制限値 D	9
1.6 縦弾性係数 E	10
1.7 ポアソン比 ν	12
2. 材料強度基準案（暫定値）付録	
2.1 応力-ひずみ関係	14
2.1.1 弾塑性応力-ひずみ関係式	14
2.1.2 熱クリープひずみ	17
2.2 環境効果	19
2.2.1 ナトリウム腐食量	19
2.2.2 内面腐食量	21
2.2.3 強度補正係数	23
(1) 短時間強度	23
(2) クリープ強度	26
2.2.4 短時間塑性ひずみ制限値	28
2.2.5 スエリング	30
2.2.6 照射クリープひずみ	32
3. 材料強度基準策定メンバー	34

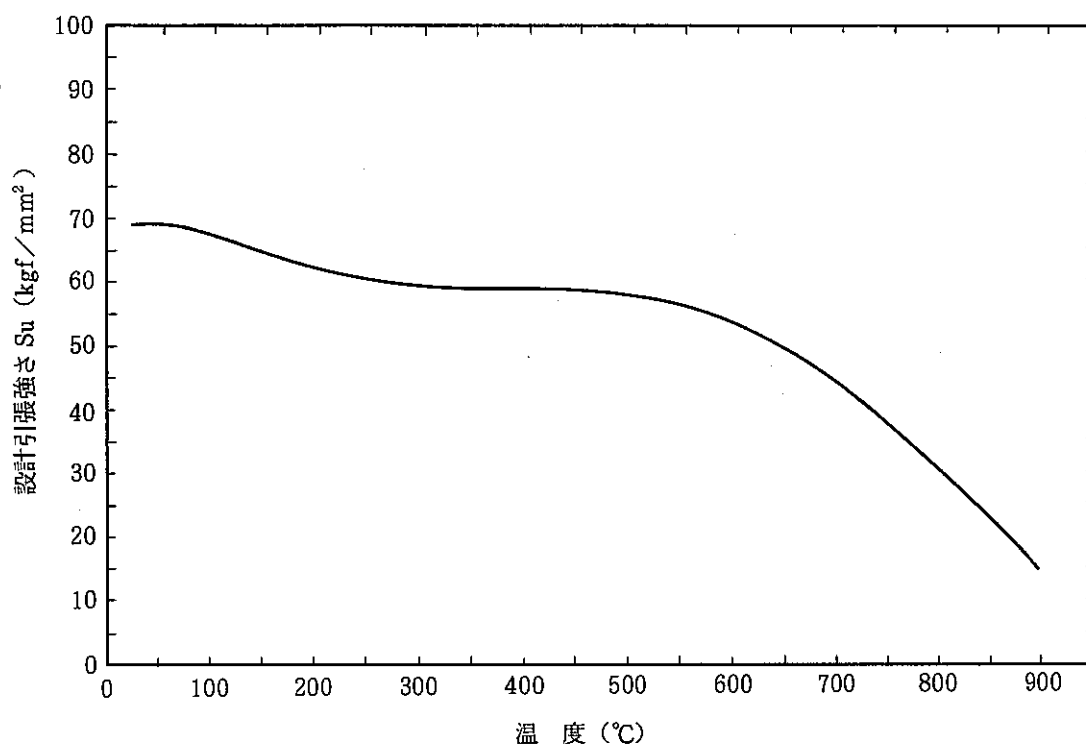
設計降伏点 S_y	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC1520)	1.1 (1/2)
設計降伏点 S_y	
温度 (°C)	S_y (kgf/mm ²)
20	58.7
100	57.6
125	56.6
150	55.7
175	54.8
200	53.9
225	53.2
250	52.5
275	52.0
300	51.5
325	51.1
350	50.8
375	50.5
400	50.3
425	50.0
450	49.7
475	49.2
500	48.6
525	47.9
550	46.9
575	45.6
600	44.1
625	42.3
650	40.2
675	37.9
700	35.2
725	32.4
750	29.4
775	26.0
800	22.6
825	19.3
850	16.2
875	13.1
900	10.2

設計降伏点 S_y	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	1. 1 (2/2)



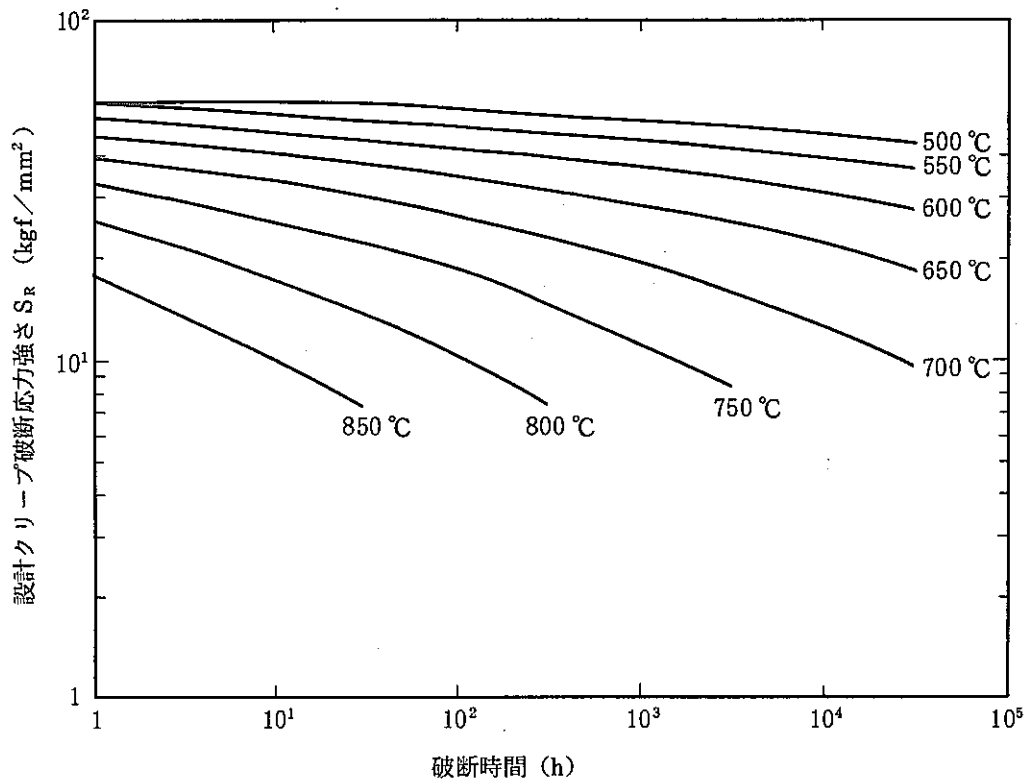
設計引張強さ S_u	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	1.2 (1/2)
設計引張強さ S_u	
温 度 (°C)	S_y (kgf/mm ²)
20	68.8
100	67.1
125	65.7
150	64.4
175	63.1
200	61.9
225	61.0
250	60.2
275	59.6
300	59.1
325	58.9
350	58.7
375	58.7
400	58.6
425	58.6
450	58.4
475	58.2
500	57.7
525	57.0
550	56.1
575	54.8
600	53.3
625	51.4
650	49.1
675	46.6
700	43.7
725	40.6
750	37.2
775	33.5
800	29.7
825	25.9
850	22.1
875	18.4
900	14.7

設計引張強さ S_u	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	1.2 (2/2)



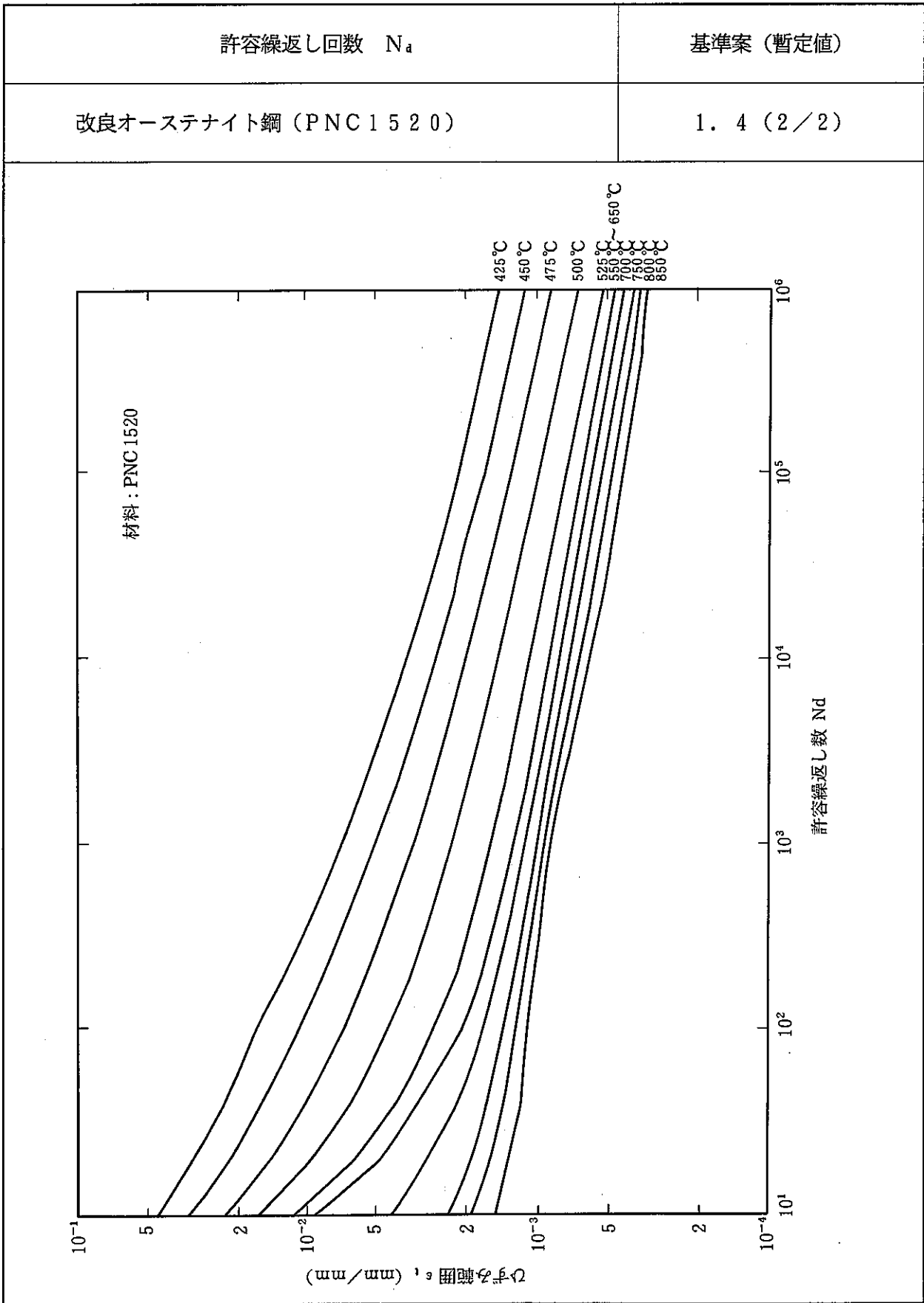
設計クリーブ破断応力強さ S_R								基準案 (暫定値)			
改良オーステナイト鋼 (PNC1520)								1.3 (1/2)			
相当応力 S_R (kgf/mm ²)											
温度 (°C)	時 間 (h)										
	1	3	10	30	10 ²	3×10 ²	10 ³	3×10 ³	10 ⁴	1.8×10 ⁴	3×10 ⁴
425	58.6	58.6	58.6	58.6	58.6	58.6	58.6	58.2	56.2	55.2	54.3
450	58.4	58.4	58.4	58.4	58.4	58.4	56.7	54.8	52.7	52.0	50.7
500	57.7	57.7	57.7	56.6	54.3	52.2	50.0	47.9	45.6	44.4	43.5
550	56.1	54.9	52.5	50.3	47.8	45.6	43.0	40.8	38.2	37.0	35.9
600	51.2	48.8	46.2	43.8	41.1	38.6	35.9	33.3	30.4	28.9	27.6
650	45.2	42.6	39.8	37.2	34.1	31.4	28.1	25.1	21.7	19.8	18.3
700	39.0	36.1	33.0	30.0	26.6	23.3	19.5	15.8	12.3	10.8	9.5
750	32.5	29.3	25.6	22.2	18.1	14.3	10.9	8.1			
800	25.4	21.7	17.4	13.6	10.1	7.4					
850	17.6	13.5	9.9	7.2							
適用範囲											
温度 425~850°C											
応力 7 kgf/mm ² 以上											

設計クリープ破断応力強さ S_R	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	1.3 (2/2)

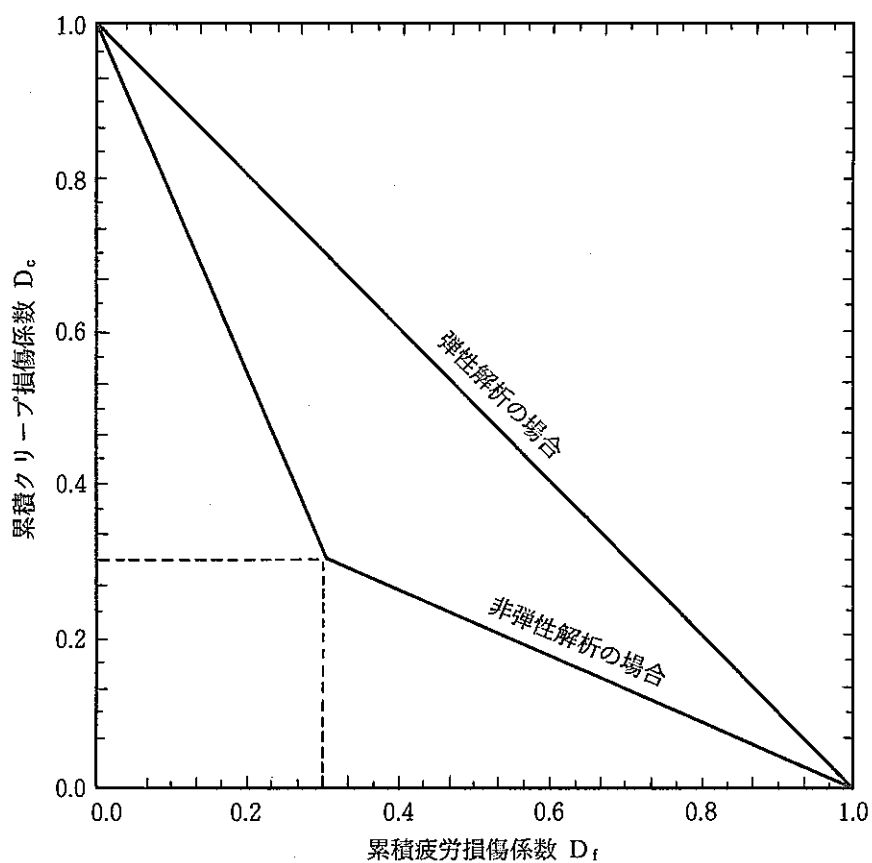


設計クリープ破断応力強さ S_R と破断時間の関係

許容繰返し回数 N_d							基準案 (暫定値)			
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)							1.4 (1/2)			
許容ひずみ範囲 ϵ_t (mm/mm)										
温度 繰返し 回数 N_d	-30~425	450	475	500	525	550~650	700	750	800	850
10^1	0.0448	0.0326	0.0228	0.0160	0.0112	0.00915	0.00420	0.0024	0.0019	0.0015
2×10^1	0.0318	0.0219	0.0144	0.00946	0.00614	0.00472	0.00295	0.0019	0.0016	0.00135
4×10^1	0.0231	0.0159	0.0102	0.00639	0.00408	0.00322	0.00219	0.00165	0.0014	0.00118
10^2	0.0168	0.0109	0.00690	0.00439	0.00278	0.00212	0.0017	0.0014	0.00125	0.00112
2×10^2	0.0125	0.00848	0.00548	0.00348	0.00223	0.00174	0.0015	0.00127	0.00115	0.00104
4×10^2	0.00956	0.00667	0.00446	0.00293	0.00192	0.00152	0.00132	0.00115	0.00106	0.000977
10^3	0.00711	0.00502	0.00345	0.00236	0.00161	0.00129	0.00115	0.00102	0.00095	0.000896
2×10^3	0.00576	0.00413	0.00290	0.00203	0.00141	0.00114	0.00104	0.000946	0.00087	0.000800
4×10^3	0.00476	0.00347	0.00248	0.00178	0.00127	0.00104	0.000926	0.000855	0.000776	0.000704
10^4	0.00376	0.00279	0.00206	0.00150	0.00110	0.000922	0.000829	0.000749	0.000676	0.000610
2×10^4	0.00316	0.00237	0.00179	0.00133	0.000988	0.000842	0.000753	0.000675	0.000605	0.000542
4×10^4	0.00269	0.00213	0.00159	0.00120	0.000899	0.000762	0.00068	0.000614	0.000551	0.000494
10^5	0.00224	0.00172	0.00132	0.00101	0.000771	0.000662	0.00060	0.000545	0.000495	0.000450
2×10^5	0.00196	0.00155	0.00118	0.000900	0.000693	0.000602	0.000545	0.000494	0.000448	0.000406
4×10^5	0.00176	0.00138	0.00106	0.000808	0.000625	0.000544	0.000494	0.00045	0.000410	0.000374
10^6	0.00151	0.00118	0.000903	0.000694	0.000545	0.000482	0.00044	0.00040	0.000375	0.000352



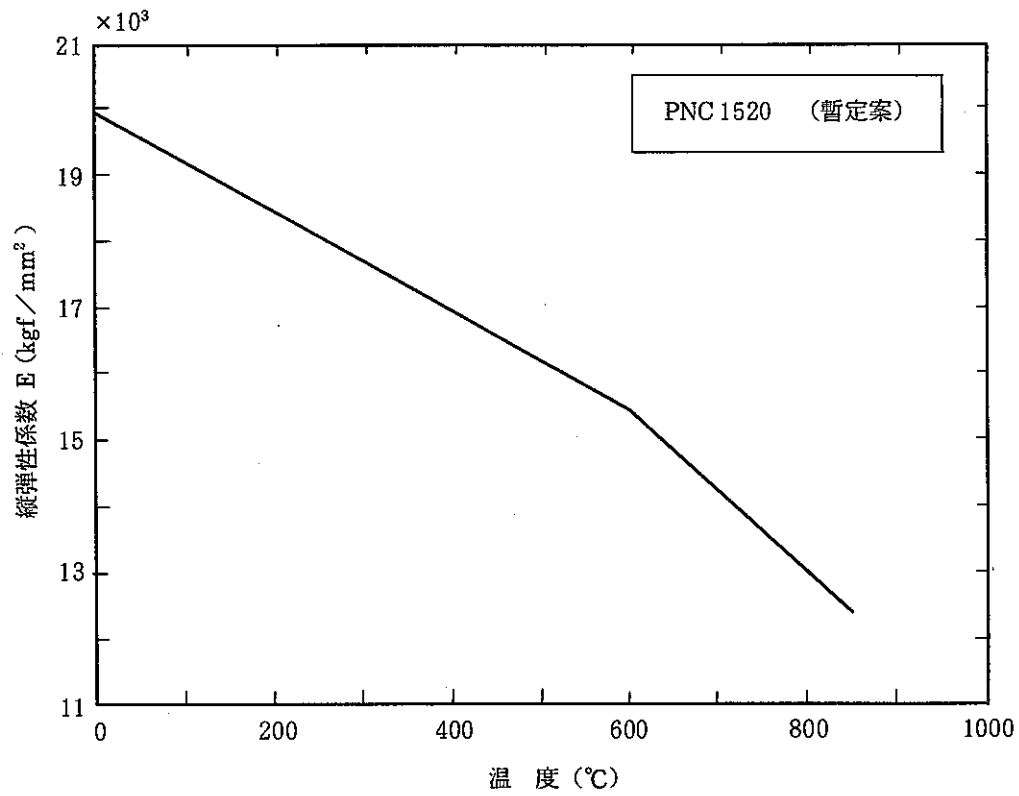
累積損傷制限値 D	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	1.5 (1/1)



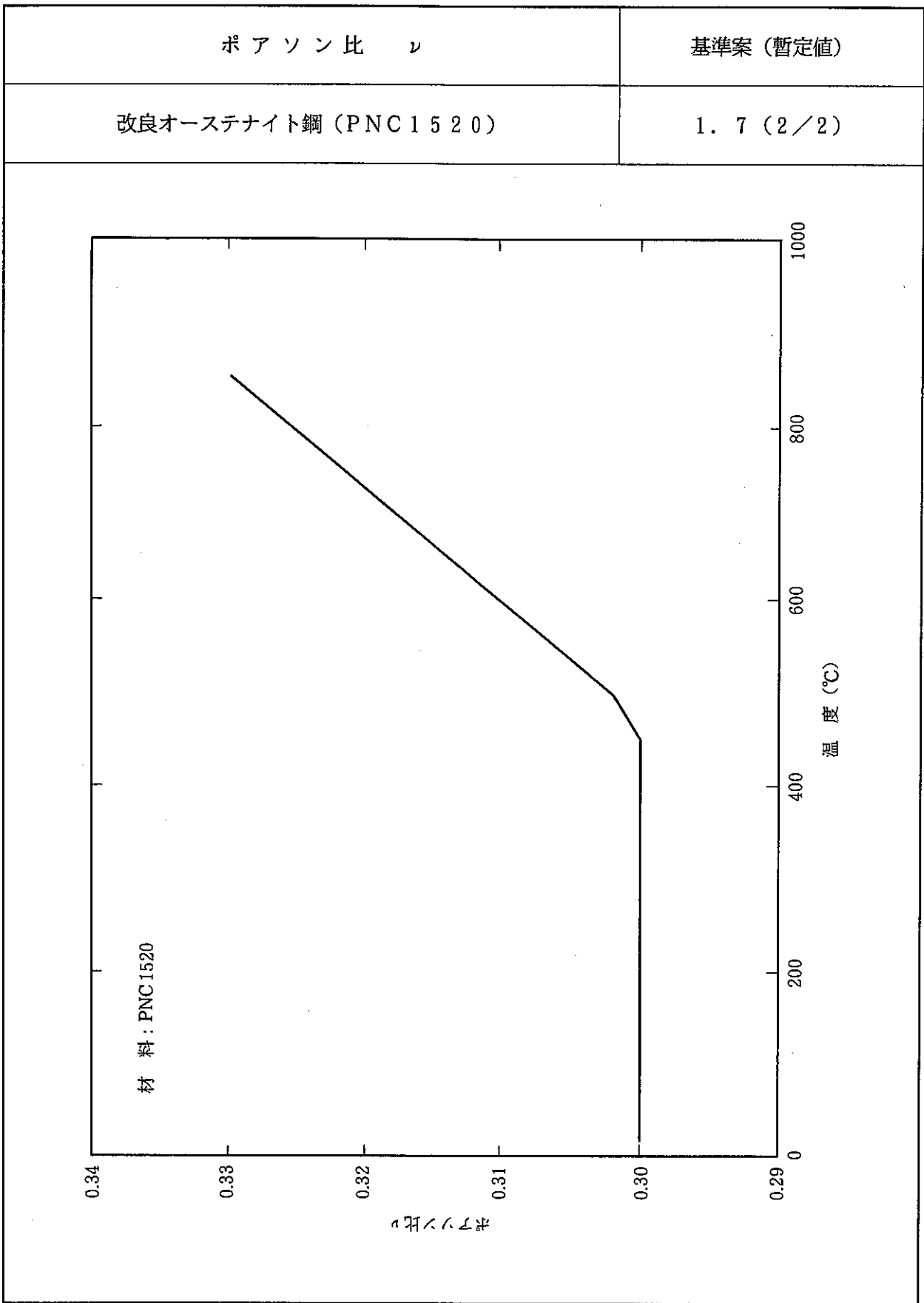
縦弾性係数 E		基準案 (暫定値)	
改良オーステナイト鋼 (PNC 1 5 2 0)		1. 6 (1 / 2)	

温度 (°C)	縦弾性係数 (kgf/mm ²)	温度 (°C)	縦弾性係数 (kgf/mm ²)
20	19800	450	16500
50	19500	475	16400
75	19400	500	16200
100	19200	525	16000
125	19000	550	15800
150	18800	575	15600
175	18600	600	15400
200	18400	625	15100
225	18200	650	14800
250	18000	675	14500
275	17900	700	14200
300	17700	725	13900
325	17500	750	13600
350	17300	775	13300
375	17100	800	13000
400	16900	825	12700
425	16700	850	12400

縦弾性係数 E	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	1.6 (2/2)



ポアソン比 ν	基準案 (暫定値)																																						
改良オーステナイト鋼 (PNC 1 5 2 0)	1. 7 (1/2)																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="492 501 738 577">温 度 (°C)</th> <th data-bbox="738 501 1064 577">ポアソン比 ν</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td data-bbox="492 577 738 654">20~425</td><td data-bbox="738 577 1064 654">0. 300</td></tr> <tr><td data-bbox="492 654 738 730">450</td><td data-bbox="738 654 1064 730">0. 300</td></tr> <tr><td data-bbox="492 730 738 806">475</td><td data-bbox="738 730 1064 806">0. 301</td></tr> <tr><td data-bbox="492 806 738 882">500</td><td data-bbox="738 806 1064 882">0. 302</td></tr> <tr><td data-bbox="492 882 738 958">525</td><td data-bbox="738 882 1064 958">0. 304</td></tr> <tr><td data-bbox="492 958 738 1034">550</td><td data-bbox="738 958 1064 1034">0. 306</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1034 738 1111">575</td><td data-bbox="738 1034 1064 1111">0. 308</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1111 738 1187">600</td><td data-bbox="738 1111 1064 1187">0. 310</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1187 738 1263">625</td><td data-bbox="738 1187 1064 1263">0. 312</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1263 738 1339">650</td><td data-bbox="738 1263 1064 1339">0. 314</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1339 738 1415">675</td><td data-bbox="738 1339 1064 1415">0. 316</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1415 738 1491">700</td><td data-bbox="738 1415 1064 1491">0. 318</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1491 738 1568">725</td><td data-bbox="738 1491 1064 1568">0. 320</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1568 738 1644">750</td><td data-bbox="738 1568 1064 1644">0. 322</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1644 738 1720">775</td><td data-bbox="738 1644 1064 1720">0. 324</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1720 738 1796">800</td><td data-bbox="738 1720 1064 1796">0. 326</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1796 738 1872">825</td><td data-bbox="738 1796 1064 1872">0. 328</td></tr> <tr><td data-bbox="492 1872 738 1948">850</td><td data-bbox="738 1872 1064 1948">0. 330</td></tr> </tbody> </table>		温 度 (°C)	ポアソン比 ν	20~425	0. 300	450	0. 300	475	0. 301	500	0. 302	525	0. 304	550	0. 306	575	0. 308	600	0. 310	625	0. 312	650	0. 314	675	0. 316	700	0. 318	725	0. 320	750	0. 322	775	0. 324	800	0. 326	825	0. 328	850	0. 330
温 度 (°C)	ポアソン比 ν																																						
20~425	0. 300																																						
450	0. 300																																						
475	0. 301																																						
500	0. 302																																						
525	0. 304																																						
550	0. 306																																						
575	0. 308																																						
600	0. 310																																						
625	0. 312																																						
650	0. 314																																						
675	0. 316																																						
700	0. 318																																						
725	0. 320																																						
750	0. 322																																						
775	0. 324																																						
800	0. 326																																						
825	0. 328																																						
850	0. 330																																						



弾塑性応力～ひずみ関係式	基準案（暫定値）
改良オーステナイト鋼（PNC1520）	2. 1. 1（1/3）
<p><u>応力～ひずみ関係式</u></p> $\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p$ <p>ここで、</p> <p>1) $\sigma < \sigma_p$</p> $\varepsilon_e = \sigma / E$ $\varepsilon_p = 0$ <p>2) $\sigma \geq \sigma_p$</p> $\varepsilon_e = \sigma / E$ $\varepsilon_p = \left(\frac{\sigma - \sigma_p}{k} \right)^{\frac{1}{n}}$ <p><u>使用単位</u></p> <p>σ : 応 力 (kgf/mm²)</p> <p>σ_p : 比 例 限 (kgf/mm²)</p> <p>E : 縦弾性係数 (kgf/mm²)</p> <p>ε : 全ひずみ (mm/mm)</p> <p>ε_e : 弾性ひずみ (mm/mm)</p> <p>ε_p : 塑性ひずみ (mm/mm)</p> <p>T : 温 度 (°C)</p>	

弾塑性応力～ひずみ関係式	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1 5 2 0)	2. 1. 1 (2/3)
<p><u>パラメータ</u></p> <p>E : 別表 1 による。</p> <p>$\sigma_p : \sigma_p = 0.57073 \sigma_y$</p> <p>ただし, σ_y : 0.2 % 耐力 (kgf/mm²)</p> <p>平均曲線</p> $\sigma_y = 65.950 + 4.7184 \times 10^{-2} T - 7.1138 \times 10^{-4} T^2$ $+ 2.5705 \times 10^{-6} T^3 - 3.9117 \times 10^{-9} T^4$ $+ 2.3885 \times 10^{-12} T^5 - 4.3683 \times 10^{-16} T^6$ <p>ただし, $RT \leq T \leq 40$ については, $\sigma_y = 66.6$</p> <p>最小曲線</p> <p>σ_y を材料強度基準 S_y の値で読み替える。</p> <p>$k = 5.0235 \sigma_y$</p> <p>$m = 0.39581$</p> <p><u>適用範囲</u></p> <p>$\epsilon_p \leq 0.01$</p> <p>$RT \leq T \leq 850$</p> <p>ひずみ速度 0.3%/min</p>	

弾塑性応力～ひずみ関係式	基準案（暫定値）
改良オーステナイト鋼（PNC1520）	2. 1. 1（3／3）

〔別表1〕 縦弾性係数

温度（℃）	縦弾性係数（kgf/mm ² ）	温度（℃）	縦弾性係数（kgf/mm ² ）
20	19800	450	16500
50	19500	475	16400
75	19400	500	16200
100	19200	525	16000
125	19000	550	15800
150	18800	575	15600
175	18600	600	15400
200	18400	625	15100
225	18200	650	14800
250	18000	675	14500
275	17900	700	14200
300	17700	725	13900
325	17500	750	13600
350	17300	775	13300
375	17100	800	13000
400	16900	825	12700
425	16700	850	12400

・簡易計算式として、

$$20^{\circ}\text{C} \leq T \leq 600^{\circ}\text{C} \quad E = 19917.9743 - 7.5086 \cdot T$$

$$600^{\circ}\text{C} < T \leq 850^{\circ}\text{C} \quad E = 22613.0293 - 12.0004 \cdot T$$

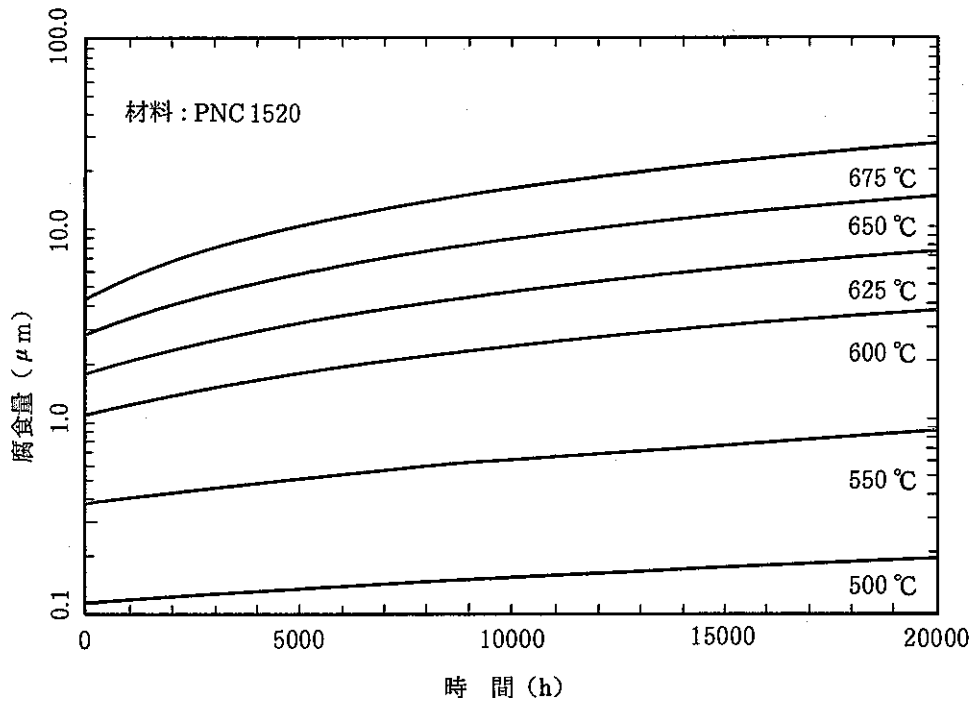
ここで、E：縦弾性係数，T：温度（℃）

熱クリープひずみ式	基準案 (暫定値)																								
改良オーステナイト鋼 (PNC1520)	2. 1. 2 (1/2)																								
<p><u>熱クリープひずみ式</u></p> $\varepsilon_c = \varepsilon_o + \varepsilon_T \{1 - \exp(-\gamma t)\} + \dot{\varepsilon}_s t$ <p>ここで,</p> <p>1) $0.01 \leq \sigma \leq 18.4$</p> $\varepsilon_o = \alpha_o \cdot \sigma / E$ $\varepsilon_T = \alpha_T \cdot \varepsilon_{T0}$ $\dot{\varepsilon}_s = \alpha_s \cdot \dot{\varepsilon}_{s0} \cdot t_R^{-k}$ $\gamma = \alpha_o \cdot t_R^{-1}$ $\log_{10} t_R = A_0 + A_1 \log_{10} \sigma_H + A_2 (\log_{10} \sigma_H)^2 + A_3 (\log_{10} \sigma_H)^3$ <p>ただし, $\sigma_H < 12.5$の場合</p> $\log_{10} t_R = B_0 + B_1 \log_{10} \sigma_H$ <p>ここに, $\sigma = \sqrt{3} / 2 \sigma_H$</p> <p>2) $0 \leq \sigma < 0.01$</p> $\varepsilon_o = \varepsilon_T = \dot{\varepsilon}_s = \gamma = 0$ <p><u>使用単位</u></p> <table> <tr> <td>ε_c : 相当クリープひずみ</td> <td>(mm/mm)</td> </tr> <tr> <td>ε_o : 初期ひずみ</td> <td>(mm/mm)</td> </tr> <tr> <td>ε_T : 1次クリープひずみ</td> <td>(mm/mm)</td> </tr> <tr> <td>$\dot{\varepsilon}_s$: 定常クリープひずみ速度</td> <td>(mm/mm/h)</td> </tr> <tr> <td>α_o : 初期ひずみのばらつき</td> <td>(-)</td> </tr> <tr> <td>α_T : 1次クリープひずみのばらつき</td> <td>(-)</td> </tr> <tr> <td>α_s : 定常クリープひずみ速度のばらつき</td> <td>(-)</td> </tr> <tr> <td>σ : 相当応力</td> <td>(kgf/mm²)</td> </tr> <tr> <td>E : 縦弾性係数</td> <td>(kgf/mm²)</td> </tr> <tr> <td>t : 時間</td> <td>(h)</td> </tr> <tr> <td>T : 温度</td> <td>(°C)</td> </tr> <tr> <td>t_R : 破断時間</td> <td>(h)</td> </tr> </table>		ε_c : 相当クリープひずみ	(mm/mm)	ε_o : 初期ひずみ	(mm/mm)	ε_T : 1次クリープひずみ	(mm/mm)	$\dot{\varepsilon}_s$: 定常クリープひずみ速度	(mm/mm/h)	α_o : 初期ひずみのばらつき	(-)	α_T : 1次クリープひずみのばらつき	(-)	α_s : 定常クリープひずみ速度のばらつき	(-)	σ : 相当応力	(kgf/mm ²)	E : 縦弾性係数	(kgf/mm ²)	t : 時間	(h)	T : 温度	(°C)	t_R : 破断時間	(h)
ε_c : 相当クリープひずみ	(mm/mm)																								
ε_o : 初期ひずみ	(mm/mm)																								
ε_T : 1次クリープひずみ	(mm/mm)																								
$\dot{\varepsilon}_s$: 定常クリープひずみ速度	(mm/mm/h)																								
α_o : 初期ひずみのばらつき	(-)																								
α_T : 1次クリープひずみのばらつき	(-)																								
α_s : 定常クリープひずみ速度のばらつき	(-)																								
σ : 相当応力	(kgf/mm ²)																								
E : 縦弾性係数	(kgf/mm ²)																								
t : 時間	(h)																								
T : 温度	(°C)																								
t_R : 破断時間	(h)																								

熱クリープひずみ式	基準案 (暫定値)																														
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	2. 1. 2 (2/2)																														
<p><u>パラメータ</u></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">$\epsilon_{T0} = 0.001411$</td> <td style="width: 50%;">$A_0 = 55867 / (T + 273.15) - 20.63$</td> </tr> <tr> <td>$\dot{\epsilon}_{s0} = 4.505 \times 10^{-5}$</td> <td>$A_1 = -71174 / (T + 273.15)$</td> </tr> <tr> <td>$k = -0.3261$</td> <td>$A_2 = 56403 / (T + 273.15)$</td> </tr> <tr> <td>$\gamma_0 = 0.5427$</td> <td>$A_3 = -15894 / (T + 273.15)$</td> </tr> <tr> <td>$\alpha_0 = 0.649 \sim 1.221$</td> <td>$B_0 = 28902 / (T + 273.15) - 20.63$</td> </tr> <tr> <td>$\alpha_T = 0.151 \sim 3.267$</td> <td>$B_1 = -3846 / (T + 273.15)$</td> </tr> <tr> <td>$\alpha_s = 0.368 \sim 3.347$</td> <td></td> </tr> </table> <p>平均値は, $\alpha_0 = \alpha_T = \alpha_s = 1$</p> <p><u>相当ひずみ・相当応力</u></p> <p>内圧クリープデータは単軸クリープデータとは応力状態が異なるが, Mises型の相当応力と相当ひずみを用いて, 単軸クリープデータに関連づけられる。</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">$\sigma_M^* = \sqrt{3}/2 \cdot \sigma_H$</td> <td style="width: 50%;">$\sigma_M^* = \sigma_U$</td> </tr> <tr> <td>$\epsilon_M^* = 2/\sqrt{3} \cdot \epsilon_t$</td> <td>$\epsilon_M^* = \epsilon_U$</td> </tr> </table> <p>ここで</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">σ_M^* : Mises型の相当応力</td> <td style="width: 50%;">(kgf/mm²)</td> </tr> <tr> <td>σ_H : 周応力 (内圧)</td> <td>(kgf/mm²)</td> </tr> <tr> <td>σ_U : 単軸応力</td> <td>(kgf/mm²)</td> </tr> <tr> <td>ϵ_M^* : Mises型の相当ひずみ</td> <td>(mm/mm)</td> </tr> <tr> <td>ϵ_t : 周ひずみ (内圧)</td> <td>(mm/mm)</td> </tr> <tr> <td>ϵ_U : 単軸ひずみ</td> <td>(mm/mm)</td> </tr> </table> <p><u>適用範囲</u></p> <p>$425 \leq T \leq 850$</p> <p>$0 \leq \sigma \leq 18.4$</p> <p>$t \leq 0.5t_R$</p>		$\epsilon_{T0} = 0.001411$	$A_0 = 55867 / (T + 273.15) - 20.63$	$\dot{\epsilon}_{s0} = 4.505 \times 10^{-5}$	$A_1 = -71174 / (T + 273.15)$	$k = -0.3261$	$A_2 = 56403 / (T + 273.15)$	$\gamma_0 = 0.5427$	$A_3 = -15894 / (T + 273.15)$	$\alpha_0 = 0.649 \sim 1.221$	$B_0 = 28902 / (T + 273.15) - 20.63$	$\alpha_T = 0.151 \sim 3.267$	$B_1 = -3846 / (T + 273.15)$	$\alpha_s = 0.368 \sim 3.347$		$\sigma_M^* = \sqrt{3}/2 \cdot \sigma_H$	$\sigma_M^* = \sigma_U$	$\epsilon_M^* = 2/\sqrt{3} \cdot \epsilon_t$	$\epsilon_M^* = \epsilon_U$	σ_M^* : Mises型の相当応力	(kgf/mm ²)	σ_H : 周応力 (内圧)	(kgf/mm ²)	σ_U : 単軸応力	(kgf/mm ²)	ϵ_M^* : Mises型の相当ひずみ	(mm/mm)	ϵ_t : 周ひずみ (内圧)	(mm/mm)	ϵ_U : 単軸ひずみ	(mm/mm)
$\epsilon_{T0} = 0.001411$	$A_0 = 55867 / (T + 273.15) - 20.63$																														
$\dot{\epsilon}_{s0} = 4.505 \times 10^{-5}$	$A_1 = -71174 / (T + 273.15)$																														
$k = -0.3261$	$A_2 = 56403 / (T + 273.15)$																														
$\gamma_0 = 0.5427$	$A_3 = -15894 / (T + 273.15)$																														
$\alpha_0 = 0.649 \sim 1.221$	$B_0 = 28902 / (T + 273.15) - 20.63$																														
$\alpha_T = 0.151 \sim 3.267$	$B_1 = -3846 / (T + 273.15)$																														
$\alpha_s = 0.368 \sim 3.347$																															
$\sigma_M^* = \sqrt{3}/2 \cdot \sigma_H$	$\sigma_M^* = \sigma_U$																														
$\epsilon_M^* = 2/\sqrt{3} \cdot \epsilon_t$	$\epsilon_M^* = \epsilon_U$																														
σ_M^* : Mises型の相当応力	(kgf/mm ²)																														
σ_H : 周応力 (内圧)	(kgf/mm ²)																														
σ_U : 単軸応力	(kgf/mm ²)																														
ϵ_M^* : Mises型の相当ひずみ	(mm/mm)																														
ϵ_t : 周ひずみ (内圧)	(mm/mm)																														
ϵ_U : 単軸ひずみ	(mm/mm)																														

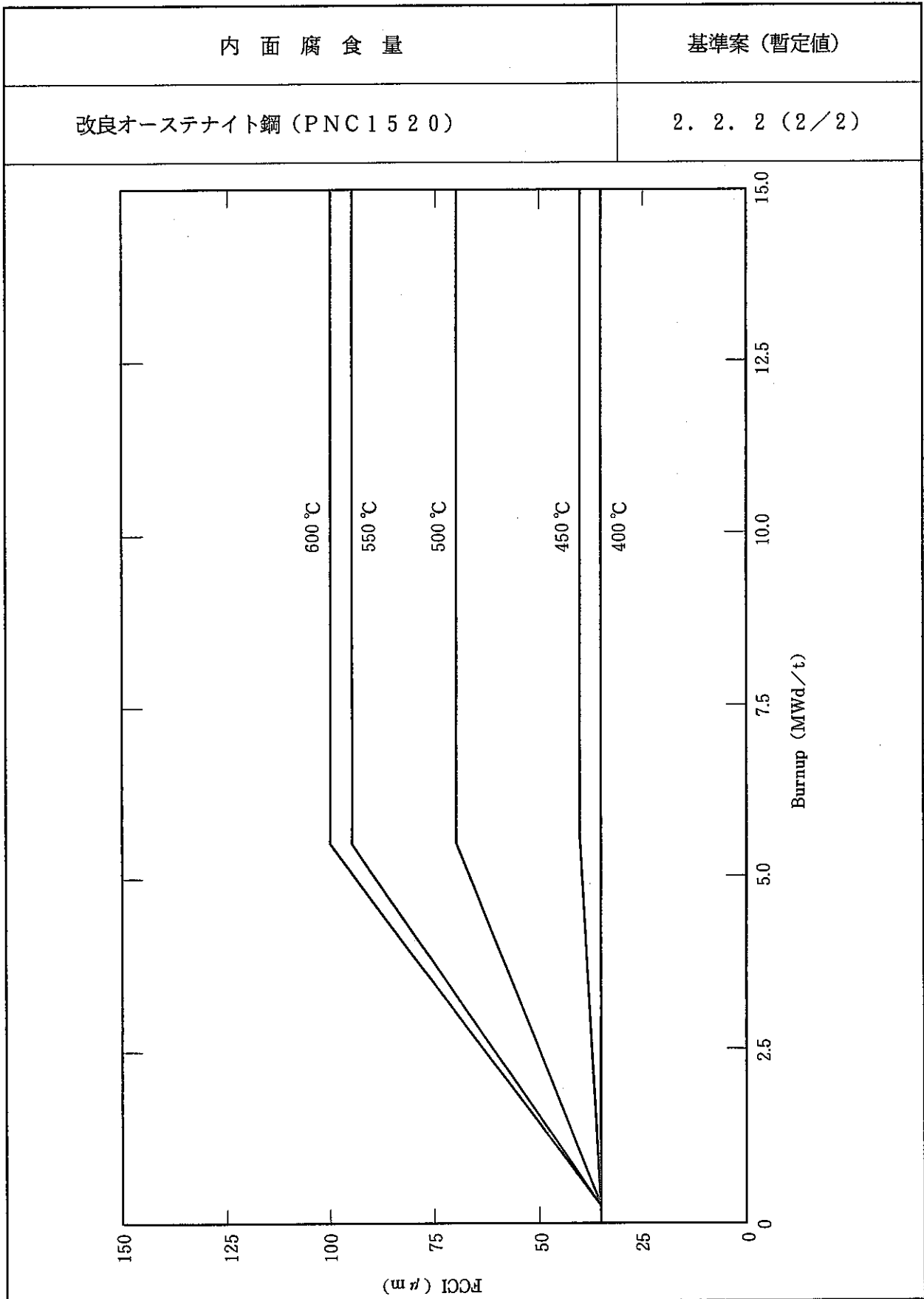
ナトリウム腐食量	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	2. 2. 1 (1/2)
<p>液体ナトリウムに接液する部材にあつては、評価計算式により定める腐食代C_{Na}をとるものとする。</p> $C_{Na}(\mu m) = [CR_1 + CR_2 \times ti] \cdot O_{x_i} \dots\dots\dots (1)$ <p>ここで、</p> <p>CR_1は接液面温度T_i、酸素濃度O_{x_i}における初期腐食量 (μm)</p> <p>CR_2は接液面温度T_i、酸素濃度O_{x_i}に対して定める定常腐食速度 ($\mu m/h$)</p> <p>tiは接液面温度T_i、酸素濃度O_{x_i}における使用時間 (h)</p> <p>O_{x_i}は酸素濃度 (ppm)</p> <p>CR_1およびCR_2は次の計算式により定めるものとする。</p> $\log_{10} CR_1 = 7.6036 - 6.6021 \times 10^3 / (T_i + 273) \dots\dots\dots (2)$ $CR_2 = 1.5175 \times 10^8 \cdot \exp [-2.4275 \times 10^4 / (T_i + 273)] \dots\dots\dots (3)$ <p>ここで、</p> <p>T_iは接液面温度 ($^{\circ}C$)</p> <p>適用範囲</p> <p>T_i : 400~700$^{\circ}C$</p> <p>O_{x_i} : 5 ppm以下</p>	

ナトリウム腐食量	基準案（暫定値）
改良オーステナイト鋼（PNC1520）	2. 2. 1（2/2）



各温度におけるナトリウム腐食量の評価例（酸素濃度 1 ppm）

内 面 腐 食 量	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	2. 2. 2 (1/2)
<p>燃料ペレットに接面する被覆材では、その内面に次の計算式により定めるくされ代C_{FP} (μm)をとるものとする。</p> <p>1) $0 < B \leq B_0$ $C_{FP} = 35$</p> <p>2) $B_0 < B \leq B_1$ $C_{FP} = K_1 (B - B_0) - (K_1/K_2) [1 - \exp \{-K_2(B - B_0)\}] + 35$</p> <p>3) $B_1 < B$ $C_{FP} = K_1 (B_1 - B_0) - (K_1/K_2) [1 - \exp \{-K_2(B_1 - B_0)\}] + 35$</p> <p>ここで、</p> <p>$B$: 局所燃焼度 (MWd/t) B_0 : 9000 (MWd/t) B_1 : 57500 (MWd/t) T : 被覆管内面温度 ($^{\circ}\text{K}$) $K_1 = 1.363 \times 10^{-3}$ $K_2 = 7.676 \times 10^8 \exp(-E/RT)$ $E = 47000(\text{cal/mol})$ $R = 1.987$</p> <p>適用範囲</p> <p>温 度 : $480^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 燃焼度 : $\sim 160,000\text{MWd/t}$</p>	

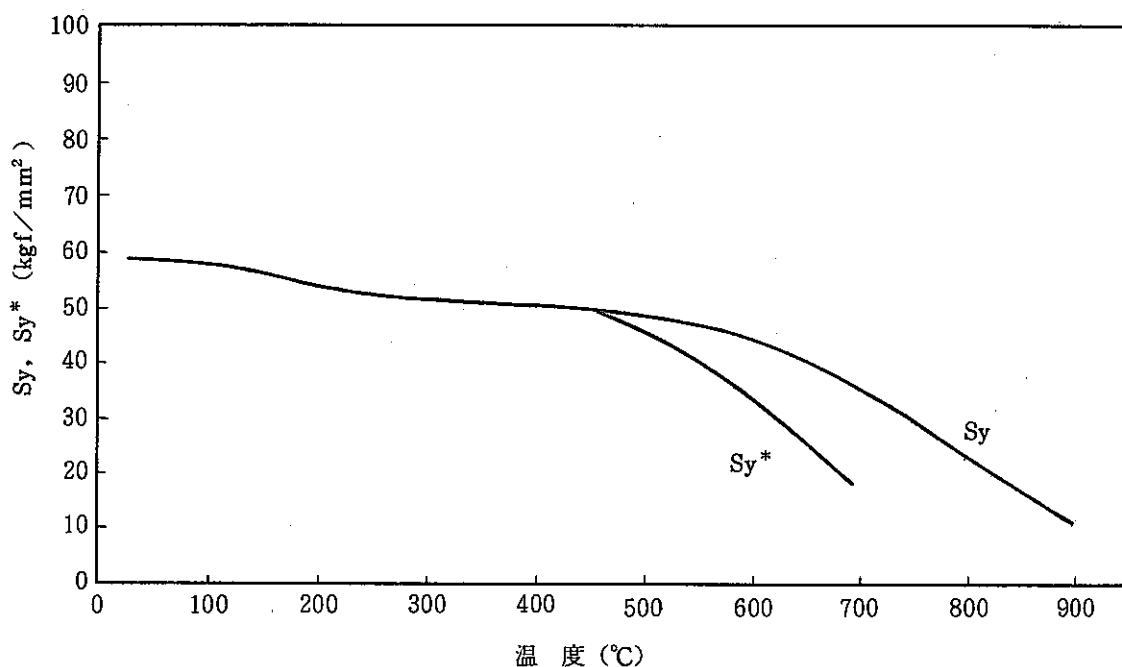


強度補正係数（短時間強度）	基準案（暫定値）
改良オーステナイト鋼（PNC1520）	2. 2. 3(1) (1/3)

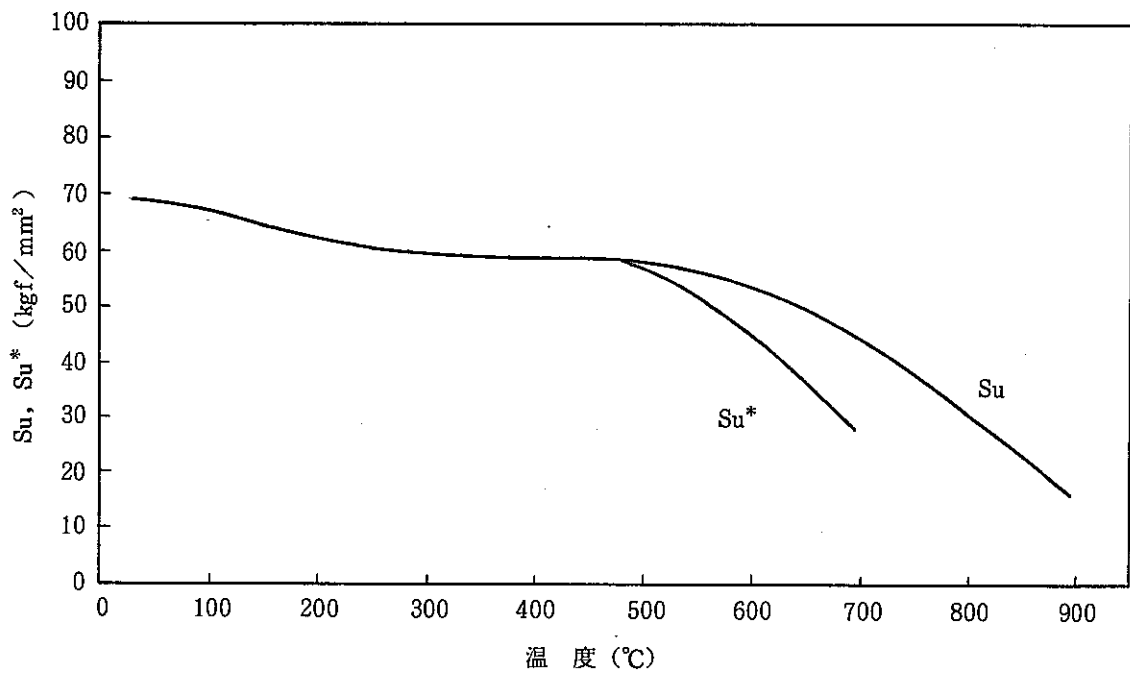
強度補正係数（短時間強度）

温度 (°C)	時間 (h)							
	1000		10000		18000		30000	
	γ_{sy}	γ_{su}	γ_{sy}	γ_{su}	γ_{sy}	γ_{su}	γ_{sy}	γ_{su}
475	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
500	1.00	1.00	0.97	0.99	0.95	1.00	0.95	1.00
525	1.00	1.00	0.92	0.97	0.89	0.96	0.87	0.95
550	0.95	0.97	0.86	0.92	0.84	0.91	0.82	0.90
575	0.90	0.92	0.81	0.88	0.79	0.86	0.77	0.85
600	0.85	0.88	0.76	0.83	0.74	0.82	0.72	0.81
625	0.80	0.84	0.71	0.79	0.69	0.78	0.67	0.78
650	0.76	0.80	0.66	0.76	0.64	0.75	0.62	0.74
675	0.71	0.76	0.62	0.72	0.59	0.72	0.57	0.71
700	0.66	0.73	0.57	0.69	0.54	0.68	0.52	0.67

<p>強度補正係数 (短時間強度)</p>	<p>基準案 (暫定値)</p>
<p>改良オーステナイト鋼 (PNC1520)</p>	<p>2. 2. 3(1) (2/3)</p>



<p>強度補正係数 (短時間強度)</p>	<p>基準案 (暫定値)</p>
<p>改良オーステナイト鋼 (PNC 1 5 2 0)</p>	<p>2. 2. 3(1) (3/3)</p>



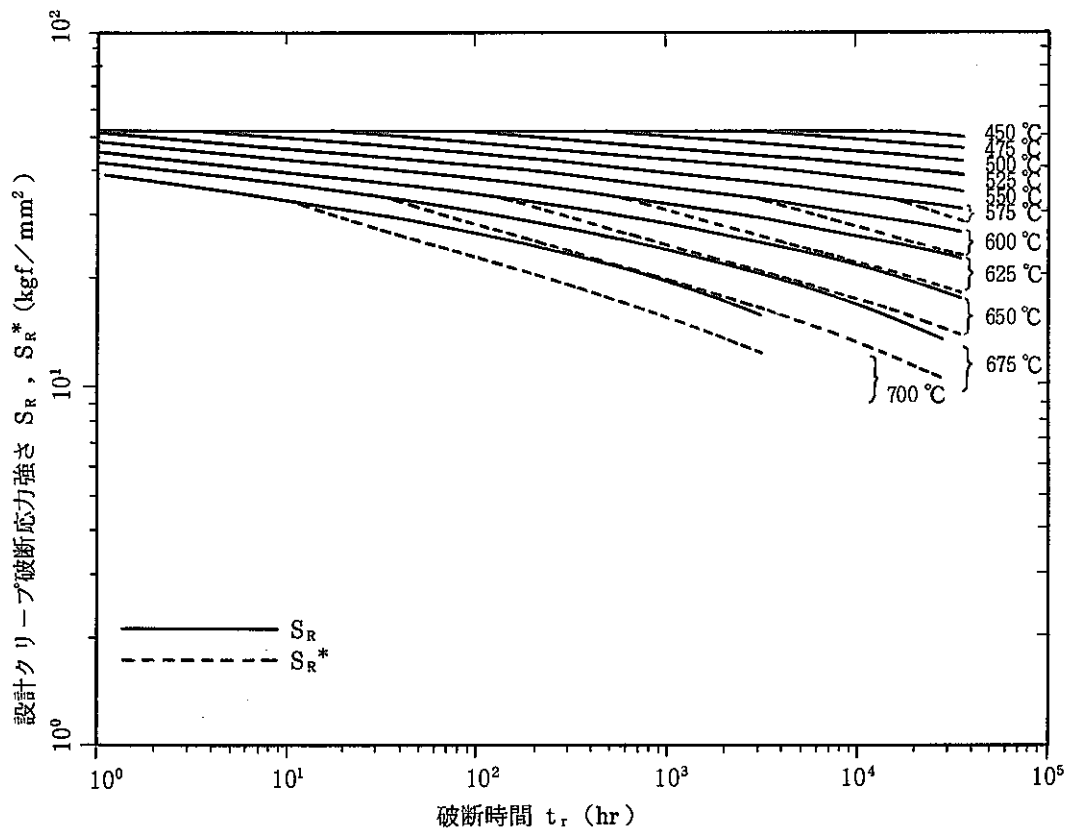
クリープ強度補正係数	基準案（暫定値）
改良オーステナイト鋼（PNC1520）	2. 2. 3(2) (1/2)

クリープ強度に及ぼす環境効果として、材料強度基準案（暫定値） S_R 値に、下表に示す値を乗じた値を用いるものとする。

改良オーステナイト鋼クリープ破断強さ（ S_R ）の補正係数

時間 (h) \ 温度 (°C)	1	3	10	30	100	300	1000	3000	10000	18000	30000	36000
425	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
450	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
475	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
500	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
525	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
550	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
575	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.981	0.947	0.936
600	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.992	0.914	0.885	0.863	0.856
625	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.959	0.894	0.844	0.826	0.814	0.810
650	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.941	0.875	0.833	0.804	0.794	0.788	0.786
675	1.0	1.0	1.0	1.0	0.921	0.864	0.823	0.799	0.783	0.777	—	—
700	1.0	1.0	0.992	0.913	0.853	0.817	0.793	0.781	—	—	—	—

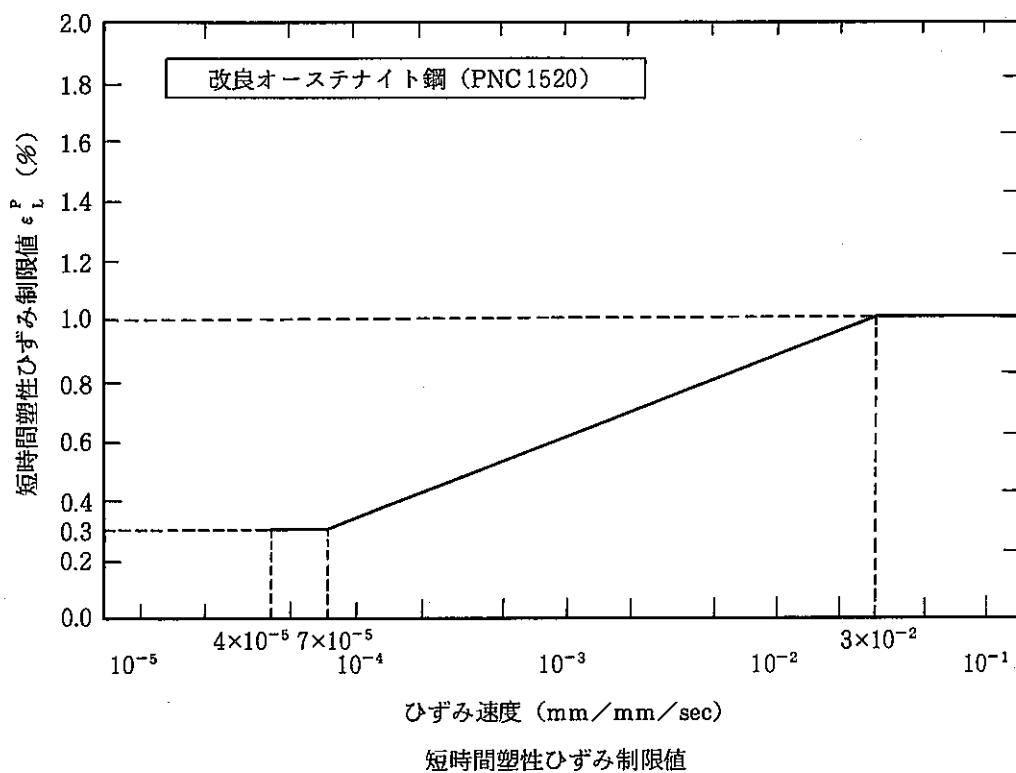
クリープ強度補正係数	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	2. 2. 3(2) (2/2)



設計クリープ破断応力強さ S_R に対する環境効果
 (S_R^* は強度補正係数を乗じたもの)

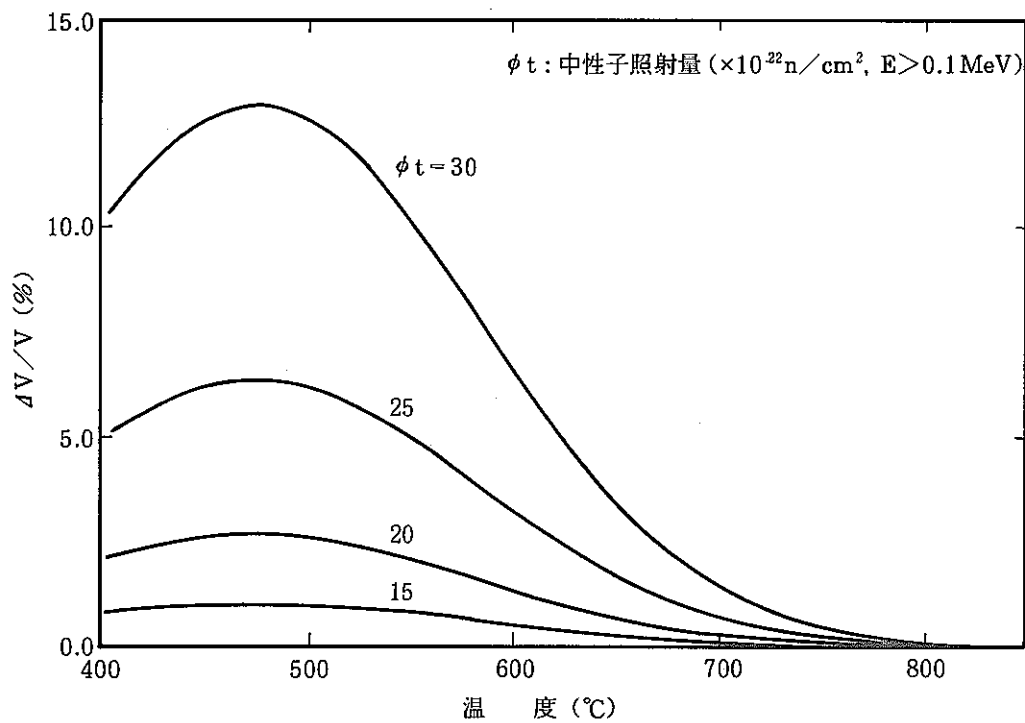
短時間塑性ひずみ制限値	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC1520)	2. 2. 4 (1/2)
<p><u>照射材における短時間塑性ひずみ制限値は以下の通りとする。</u></p> <p>1) $3 \times 10^{-2} < \dot{\epsilon} \leq 10^{-1}$ $\epsilon_L^P = 1.0$</p> <p>2) $7 \times 10^{-5} < \dot{\epsilon} \leq 3 \times 10^{-2}$ $\epsilon_L^P = 0.266 \log_{10} \dot{\epsilon} + 1.405$</p> <p>3) $4 \times 10^{-5} \leq \dot{\epsilon} \leq 7 \times 10^{-5}$ $\epsilon_L^P = 0.3$</p> <p>ここで, ϵ_L^P : 短時間塑性ひずみ制限値 (%) $\dot{\epsilon}$: ひずみ速度 (mm/mm/sec)</p> <p><u>適用範囲</u></p> <p>温度 : 400~750°C 照射量 : $0 \sim 2.3 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$ ($E > 0.1 \text{ MeV}$) ひずみ速度 : $4 \times 10^{-5} \sim 10^{-1}$ (mm/mm/sec)</p>	

短時間塑性ひずみ制限値	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	2. 2. 4 (2/2)



ス エ リ ン グ	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)	2. 2. 5 (1/2)
$\frac{\Delta V}{V} = R \left[\phi t + \frac{1}{\alpha} \ln \left\{ \frac{1 + \exp [\alpha (\tau - \phi t)]}{1 + \exp (\alpha \tau)} \right\} \right]$ $R = R_0 \exp \{A (T - T_p)^2\}$ $R_0 = 1.25 \sim 2.50$ $A = -4.34 \times 10^{-5}$ $T_p = 475 \pm 25$ $\alpha = 0.2 \sim 0.3$ $\tau = 27$ $\frac{\Delta V}{V} : \text{スエリング量 (Vol. \%)}$ $\phi t : \text{中性子照射量 (10}^{22}\text{n/cm}^2, E > 0.1\text{MeV)}$ $T : \text{温 度 (}^\circ\text{C)}$ $T_p : \text{ピークスエリング温度 (}^\circ\text{C)}$ $R : \text{定常スエリング速度 (\% \cdot (10}^{22}\text{n/cm}^2)^{-1})$ $R_0 : \text{ピークスエリング温度での定常スエリング速度 (\% \cdot (10}^{22}\text{n/cm}^2)^{-1})$ $A : \text{スエリング量の温度依存性を表すパラメータ}$ $\alpha : \text{曲 率}$ $\tau : \text{潜伏期間 (10}^{22}\text{n/cm}^2)$ 適用範囲 温 度 : 400~850°C 照射量 : 0 ~ 3.0 × 10 ²³ n/cm ² (E > 0.1MeV)	

ス エ リ ン グ	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC1520)	2. 2. 5 (2/2)



照射クリープひずみ	基準案 (暫定値)
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520) 20%CW	2. 2. 6 (1/2)
<p> $\varepsilon = B \cdot \phi t' \cdot \sigma^{1.3} + D \cdot S \cdot \sigma$ $400^{\circ}\text{C} \leq T \leq 500^{\circ}\text{C}$ $B = 9.482 \times 10^{-2} - 3.564 \times 10^{-4} T + 3.351 \times 10^{-7} T^2$ $500^{\circ}\text{C} \leq T \leq 850^{\circ}\text{C}$ $B = 0$ $\phi t' = \phi t + \ln \left\{ \frac{1 + \exp(\Omega - \phi t)}{1 + \exp(\Omega)} \right\}$ $\Omega = 0.185 \tau$ $\tau = 27$ $D = 1.32 \times 10^{-2}$ </p> <p> ε : 照射クリープひずみ (%) σ : 応力 (kgf/mm²) S : スエリング量 ($\Delta V/V$%) D : 材料定数 (% \cdot (kgf/mm²)⁻¹) ϕt : 中性子照射量 (10^{22}n/cm², E > 0.1MeV) T : 温度 (°C) B : 照射クリープ係数 (% \cdot (10^{22}n/cm²)⁻¹ \cdot (kgf/mm²)^{-1.3}) $\phi t'$: 有効中性子照射量 (10^{22}n/cm², E > 0.1MeV) Ω : 照射クリープの潜伏期間 (10^{22}n/cm²) τ : スエリングの潜伏期間 (10^{22}n/cm²) </p> <p>適用範囲</p> <p>温度 : 400~850°C</p> <p>応力 : 0~15kgf/mm²</p> <p>照射量 : 0~3.0×10^{23}n/cm² (E > 0.1MeV)</p>	

照射クリープひずみ		基準案 (暫定値)				
改良オーステナイト鋼 (PNC 1520)		2. 2. 6 (2/2)				
照射クリープひずみ						
応力=10kgf/mm ²						
温 度 (°C)	中性子照射量 ×10 ²² n/cm ² , E>0.1MeV					
	10	15	20	25	30	
400	6.01E-01	1.23E-00	1.94E-00	2.90E-00	4.26E-00	
450	2.48E-01	5.26E-01	9.18E-01	1.61E-00	2.80E-00	
500	5.77E-02	1.47E-01	3.49E-01	8.46E-01	1.85E-00	
550	5.40E-02	1.33E-01	3.03E-01	7.11E-01	1.53E-00	
600	4.86E-02	1.14E-01	2.37E-01	5.15E-01	1.06E-00	
650	4.39E-02	9.62E-02	1.79E-01	3.43E-01	6.45E-01	
700	4.09E-02	8.53E-02	1.43E-01	2.34E-01	3.83E-01	
750	3.94E-02	8.00E-02	1.25E-01	1.81E-01	2.58E-01	
800	3.89E-02	7.81E-02	1.18E-01	1.62E-01	2.11E-01	
850	3.87E-02	7.75E-02	1.17E-01	1.56E-01	1.97E-01	
応力=10kgf/mm ²						

改良オーステナイト鋼材料強度基準策定メンバー

項 目	担 当 者	担 当 者
スエリング	奥田隆成, 鶴飼重治, 野村茂雄	ADS
照射クリープひずみ	奥田隆成, 鶴飼重治, 野村茂雄	ADS
強度補正係数 (クリープ強度)	奥田隆成, 鶴飼重治, 野村茂雄	ADS
設計降伏点	小山真一, 加納洋一, 柴原 格	MMS
設計引張強さ	小山真一, 加納洋一, 柴原 格	MMS
設計クリープ破断強さ	加納洋一, 柴原 格	MMS
弾塑性応力ひずみ関係式	加納洋一, 柴原 格	MMS
熱クリープひずみ	加納洋一, 柴原 格	MMS
強度補正係数 (短時間強度)	小山真一, 加納洋一, 柴原 格	MMS
短時間塑性ひずみ制限値	加納洋一, 小山真一, 柴原 格	MMS
許容繰返し数	吉田英一	材料室
累積損傷制限値	吉田英一	材料室
縦弾性係数	吉田英一	材料室
ポアソン比	吉田英一	材料室
ナトリウム腐食量	吉田英一	材料室
内面腐食量	水田俊治, 桑島幸夫	AGS

とりまとめ ADS