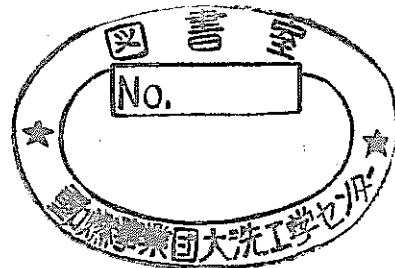


区分変更	
変更後資料番号	75-01
決裁年月日	平成 13 年 7 月 31 日

1次主冷却系配管材

— サーベイランス試験計画書 —



1975年8月

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
S	N908 75-01
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

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)



1次主冷却系配管材サーベイランス試験計画書

実施責任者	鈴木和久*
報告者	小杉久夫**
	三輪秀泰***
	井上達也****
	古平清****
	柚原俊一*****
	西田隆*
	谷賢*

要 旨 高速実験炉「常陽」では、主要部材の健全性を確認し、原子炉の安全性を確保するために、約20年間にわたって、サーベイランス試験を行うことが義務づけられている。本報は、そのうちの1次主冷却系配管材についての試験計画をとりまとめたものである。内容は1次主冷却系配管材の仕様、試験片製作要領、確認試験要領、ナトリウム浸漬要領、サーベイランス試験要領、試験結果のまとめかたとなっている。本報により試験片符号と対象部材、ナトリウム浸漬位置、取出年度など必要事項の対応が容易につき、また20年間にわたり、試験方法、データの評価方法が統一されることが期待される。

-
- * 大洗工学センター 燃料材料試験部 照射材料試験室
 - ** 大洗工学センター 高速実験炉部 部付
 - *** 大洗工学センター 高速実験炉部 原子炉第1課
 - **** 大洗工学センター 高速実験炉部 技術課
 - ***** 大洗工学センター ナトリウム技術部 ナトリウム技術開発室

目 次

1. ま え が き	1
2. 1次主冷却系配管の仕様	2
2-1) 1次主冷却系配管の概要	2
2-2) 1次主冷却系フローシートと構成材料	2
2-3) 構成材料の製造履歴と化学成分	5
2-4) 1次主冷却系配管の溶接施行法	6
3. 試験片製作要領	8
3-1) 試験片形状	8
3-2) 母材試験片	8
3-3) 継手試験片	8
3-4) 試験片符号	8
4. 確認試験要領	14
4-1) 引張試験	14
4-2) クリープ試験	15
4-3) 金相試験	15
4-4) 試験片の管理	15
5. ナトリウム浸漬要領	16
5-1) 試験片組込要領	16
5-2) 試験片取出要領	16
5-3) 試験片取出しスケジュール	16
6. サーベイランス試験要領	20
6-1) 引張試験	20
6-2) クリープ試験	20
6-3) 金相試験	21
6-4) 試験片の管理	21
7. 試験結果のまとめかた	22
7-1) 引張試験	22
7-2) クリープ試験	23
7-3) 金相試験	24
7-4) 試験結果の総合的な評価	24
8. あと が き	28
9. 参 考 文 献	29

1. ま え が き

高温のナトリウム中における材料の挙動については、未知の分野が多く、重要な問題としてクローズアップされている。高速実験炉「常陽」では、その安全性を確認するために、サーベイランス試験が義務づけられており、約20年間にわたって定期的に試験片を取出し、ナトリウム浸漬後の試験を実施することになっている。

本報は、「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針⁽¹⁾（昭和47年3月）の付4.1材料のナトリウム効果に関するサーベイランス計画にもとずき、その内容をさらに具体的に記述したものである。

内容は、1次主冷却系配管材の仕様、試験片製作要領、確認試験要領、ナトリウム浸漬要領、サーベイランス試験要領、試験結果のまとめかたとなっている。

2 1次主冷却系配管の仕様

2-1) 1次主冷却系配管の概要

1次主冷却系設備は、炉心で発生した熱を主中間熱交換器を通して2次系へ伝えるものである。配管は大別して炉容器～主中間熱交換器，主中間熱交換器～主循環ポンプ，主循環ポンプ～炉容器，の3部分からなる。配管は全て2重管となっており，管中を放射化されている高温の液体金属ナトリウムが流れている。そしてこれらの配管は窒素ガス雰囲気中に据付けられる。

なお，炉容器～主中間熱交換器間をホットレグ，主中間熱交換器～ポンプ～炉容器間をコールドレグと称する。

2-2) 1次主冷却系フローシートと構成材料

1次主冷却系フローシート；原子炉で発生した熱は，主中間熱交換器に運ばれここで2次冷却材に伝えられる。1次系および2次系の冷却材である液体金属ナトリウムは機械式ポンプで循環される。原子炉冷却系のフローシートを第1図に示す。図中太線部分の配管が1次主冷却系の配管である。

構成材料；1次主冷却系配管材は内外管とも設計圧力，設計温度および荷重条件に対して十分な機械的強度をもち，使用流体が液体金属ナトリウムであることから生ずる腐食，質量移行などを考慮し，従来より用いられているオーステナイト系ステンレス鋼を使用する。

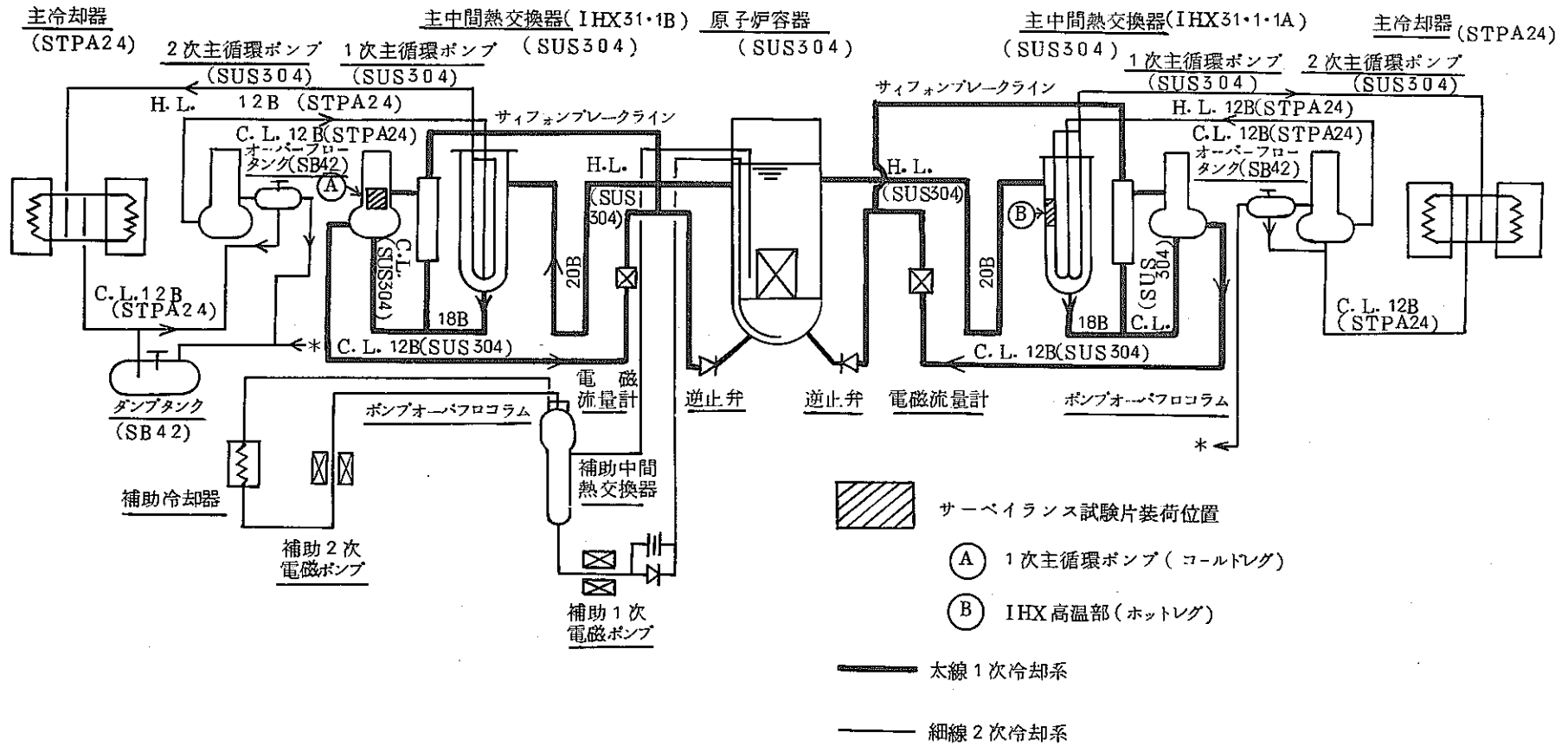
なお，第1表に定格運転時の設計及び使用温度条件，第2表に使用条件の詳細を示す。

第1表 定格運転時(50MWt, 100MWt)の設計及び使用温度条件

	出力	1次主冷却系		2次主冷却系		2次冷却系 ダンプタンク
		ホットレグ	コールドレグ	ホットレグ	コールドレグ	
運転 条件	50 MWt	435℃ (炉心出口)	370℃ (炉心入口)	420℃ (IHX入口)	355℃ (IHX出口)	250℃ (充填・ドレン時)
	100 MWt	500℃	370℃	470℃	340℃	
設計 条件	50 MWt & 100 MWt	550℃	450℃	520℃	400℃	400℃

次に，サーベイランス試験片が取付けられる主循環ポンプと主中間熱交換器の圧力，温度条件を示す。

内圧	吸込側	0.073 Kg/cm ² ・g
	吐出側	6.78 Kg/cm ² ・g



第1図 「常陽」原子炉冷却系統図とサーベイランス試験片装荷位置

第2表 1次系配管の使用条件 (100MWt)

				炉容器～ 主中間熱交換器	主中間熱交換器 ～主循環ポンプ	主循環ポンプ ～炉容器	
設計条件	圧力	内 圧		1.0 Kg/cm ²	1.0 Kg/cm ²	7.2 Kg/cm ²	
		外 圧	内 管	1.0 "	1.0 "	1.0 "	
			外 管	0.0 "	0.0 "	0.0 "	
	温度	内圧負荷時			550℃	450℃	450℃
外圧負荷時				250"	250"	250"	
運 転	通常運転条件	圧力	内 圧	0.6 Kg/cm ²	0.664 Kg/cm ²	5.21 Kg/cm ²	
			外 圧	0.005 "	0.005 "	0.005 "	
	温度	内圧負荷時			500～250℃	370～250℃	370～250℃
		外圧負荷時			250～150℃	250～150℃	250～150℃
	熱過渡条件 (主冷却系全域)			通常運転起動 250回 50℃/hr 通常運転停止 250回 -50℃/hr スクラム後起動 250回 50℃/hr			
	異常運転条件	圧力	内 圧	0.6 Kg/cm ²	0.664 Kg/cm ²	5.21 Kg/cm ²	
			外 圧	0.005 "	0.005 "	0.005 "	
		温度		500～250℃	370～250℃	370～150℃	
		熱過渡条件	中性子束高	40回	-3℃/sec × 50 sec	1℃/sec × 30 sec	
			電源喪失	100回	-1.3℃/sec × 75 sec	-0.2℃/sec × 60 sec	
その他のスクラム			155回	-3℃/sec × 50 sec	1℃/sec × 30 sec		
調整棒一斉挿入	180回		-3℃/sec × 50 sec	1℃/sec × 30 sec			
条 件	緊急条件	圧力	内 圧	0.6 Kg/cm ²	0.664 Kg/cm ²	5.21 Kg/cm ²	
			外 圧	0.005 "	0.005 "	0.005 "	
	熱過渡条件	1次系1ループポンプ スティック (10回)	最高 502℃		最高 370℃		
		1ループ1次2次系の同時 ポンプトリップ (3回)	最高 502℃		最高 370℃		
		2次系1ループポンプトリップ (10回)	最高 500℃		最高 470℃		
		冷却器1ループ 全数停止 (2回)	最高 503℃		最高 447℃		
損傷条件	圧力	内 圧	0.6 Kg/cm ²	0.664 Kg/cm ²	5.21 Kg/cm ²		
		外 圧	0.005 "	0.005 "	0.005 "		
	熱過渡条件	2次系1ループ破断 (1回)	550℃ × 500 hr		550℃ × 500 hr		
1次系1ループポンプ スティック (1回)		550℃ × 500 hr		550℃ × 500 hr			
自重	管 自 重 Kg/m		117	87.5	50		
	液体ナトリウム "		178	145	65		
	保 温 材 "		78	60	51		
	外 管 "		43	37	31		
主要目	数 量		2組/2ループ	2組/2ループ	2組/2ループ		
	形 式		2重管	2重管	2重管		
	概略寸法内管(外管)		20B(22B)	18B(20B)	12B(16B)		
	全 長		約30m	約24m	約30m		
	肉厚内管(外管)		9.5mm(3.0mm)	7.9mm(3.0mm)	6.5mm(3.0mm)		

温度	内圧負荷時	370 ~ 250 ℃
	外圧負荷時	230 ~ 150 ℃

主中間熱交換器（運転条件）

1次側内圧		0.433Kg/cm ² ・g
温度	1次ナトリウム入口側	250 ~ 500 ℃
	1次ナトリウム出口側	250 ~ 370 ℃

2-3) 構成材料の製造履歴と化学成分

1次主冷却系配管の製造履歴は下記の通りである。

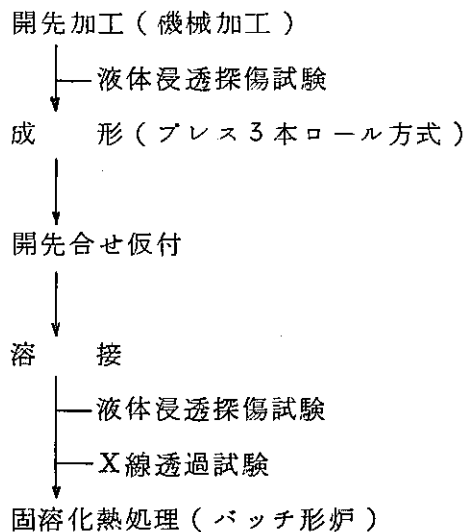
(1) 素材板製造履歴 (SUS304, 7.9t, 9.5t)

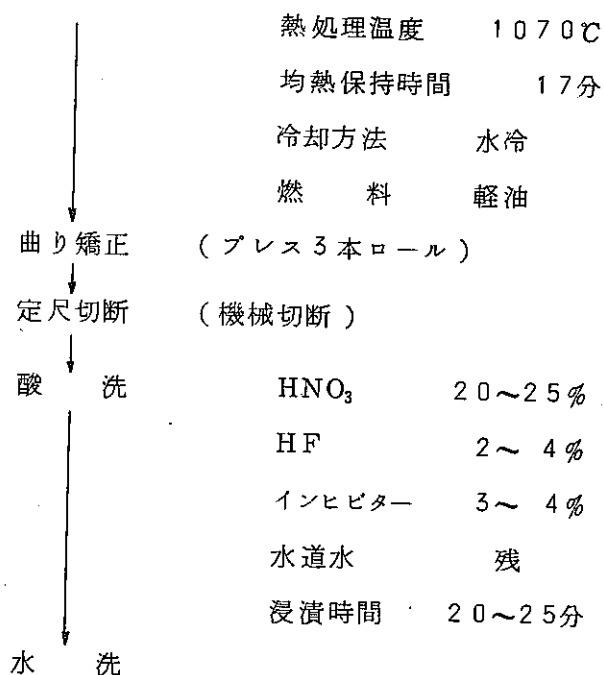
溶	製	大気弧光式電気炉
↓	塊	
分		ロッシー式鋼用一連式連続鑄造機（パーティカルカッティング方式）
↓	塊	
手	入	自動研削機
↓	れ	
圧	延	4段逆転式160"プレートミル（熱間圧延）
↓		
熱	処	6帯ハースローラ式連続熱処理炉と加圧水冷装置
↓	理	
表面	仕上げ	硝酸酸溶液に浸漬後、水洗またはグラインダー仕上げ

(2) 超音波探傷試験（素材板）

探傷器	東京計器製スペリー式UM721
周波数	5 MHz
検査成績	欠陥波なし

(3) 素管製造履歴 (SUS304 457.2φ×7.9t, 508.0φ×9.5t)





第3表にサーベイランス対象部材ミルシートを示す。

2-4) 1次主冷却系配管の溶接施行法

1次主冷却系配管の溶接は、施行法試験により確認された溶接施行法および技量試験に合格した溶接士により、管理された状態において行なう。溶接方法は、溶接箇所により異なるが、サーベイランス試験の対象となる主配管の内管については、以下の通りである。

長手継手	TIG溶接+被覆アーク溶接
周継手(炉容器~IHX~ポンプ間)	同 上
周継手(ポンプ~炉容器)	TIG溶接

1次主冷却系配管について、工事の工程に従い、つぎの各項の試験検査を行なう。なおこれらの試験検査は、通商産業省令81号および通商産業省告示501号等に準拠して行なう。

試験項目(サーベイランス試験対象部材について)

- (1) 材料試験 素材メーカーに於て化学成分分析、機械試験および非破壊検査を行なう。
- (2) 溶接部試験 開先寸法検査、機械試験、液体浸透探傷試験および放射線透過試験を行なう。
- (3) 寸法検査 仕上外形寸法の検査を行なう。
- (4) 耐圧試験 設計圧力に安全係数をかけた圧力で、耐圧試験を行なう。
- (5) 漏洩試験 ヘリウムリーク試験を行なう。

なお、サーベイランス試験対象部材の溶接要領の詳細は、3-3)継手試験片の項の第4表継手試験片溶接要領と同一であるので、ここでは省略する。

第3表 サーベイランス対象部材ミルシート

試料装荷位置	材質		化 学 成 分 (%)								引張強さ (Kg/mm ²)	硬 さ H _R B	備 考
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co			
—	SUS304	規格値	0.06 0.08	≤0.75	≤2.00	≤0.04	≤0.03	8.00 11.00	18.00 21.00	≤0.25	≤52	≤90	—
ホットレグ (IHX内)	SUS304	リード分析	0.06	0.51	1.55	0.027	0.006	9.10	18.40	0.21	56.2	80	日本冶金製 チャージNo.21237 外径508φ 肉厚9.5t
		チェック分析	0.059	0.51	1.59	0.029	0.006	9.06	18.46	0.21			
コールドレグ (主循環ポンプ内)	SUS304	リード分析	0.06	0.51	1.55	0.027	0.006	9.10	18.40	0.21	57.3	76	日本冶金製 チャージNo.21237 外径457.2φ 肉厚7.9t
		チェック分析	0.059	0.51	1.59	0.029	0.006	9.06	18.46	0.21			
		リード分析	0.08	0.49	1.64	0.029	0.007	9.10	18.42	0.20	55.5	78	日本冶金製 チャージNo.32454 外径457.2φ 肉厚7.9t
		チェック分析	0.06	0.52	1.58	0.031	0.006	9.06	18.45	0.21			

3 試験片製作要領

3-1) 試験片形状

1次主冷却系サーベイランス試験片は、放射化されたナトリウムなどが付着して、放射能を持つ恐れがあるので、試験がホットラボで行なえるように、試験片のつかみ部を原子炉構造材のサーベイランス試験片と同一形状とする。

第2図に試験片形状と試験片符号の刻印要領を示す。

3-2) 母材試験片

母材試験片は、実機と同一ロット、同一製造履歴の部材から切り出し、その切出方向はすべて長手方向とする。試験片採取要領を第3図に示す。引張試験片、クリープ試験片については、つかみ部に肉盛溶接を行なった後、機械加工する。

3-3) 継手試験片

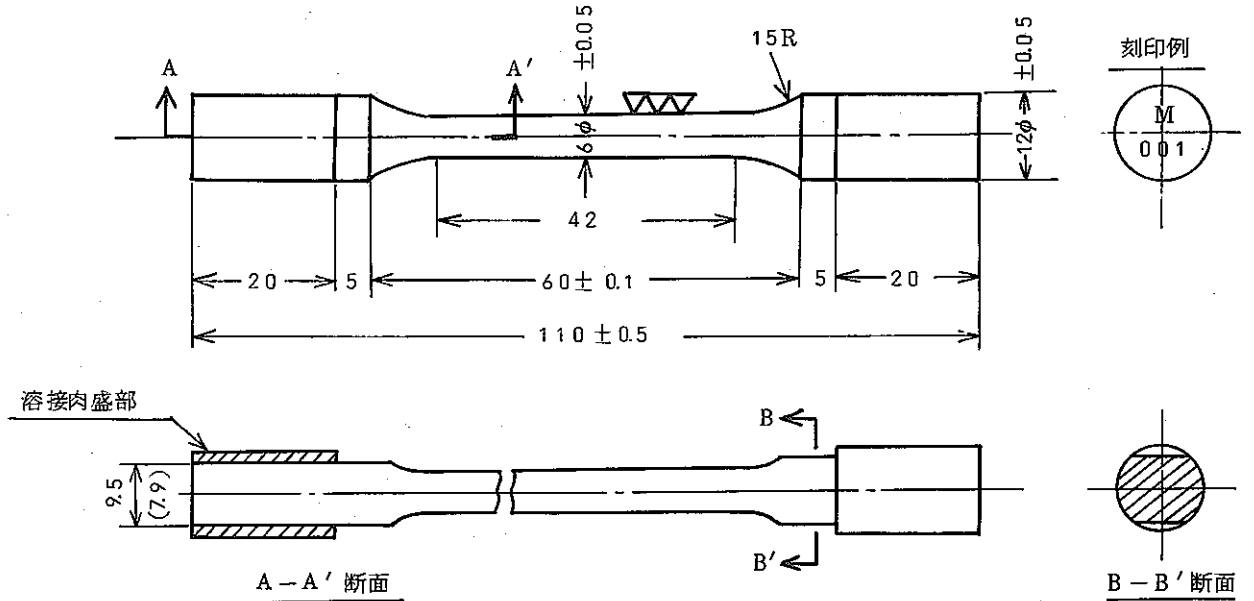
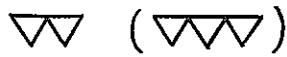
原則として周継手より試験片を採取するが、金相試験片については、長手継手からも採取する。試験片採取要領は母材と全く同じである。

第4表に溶接要領を示す。

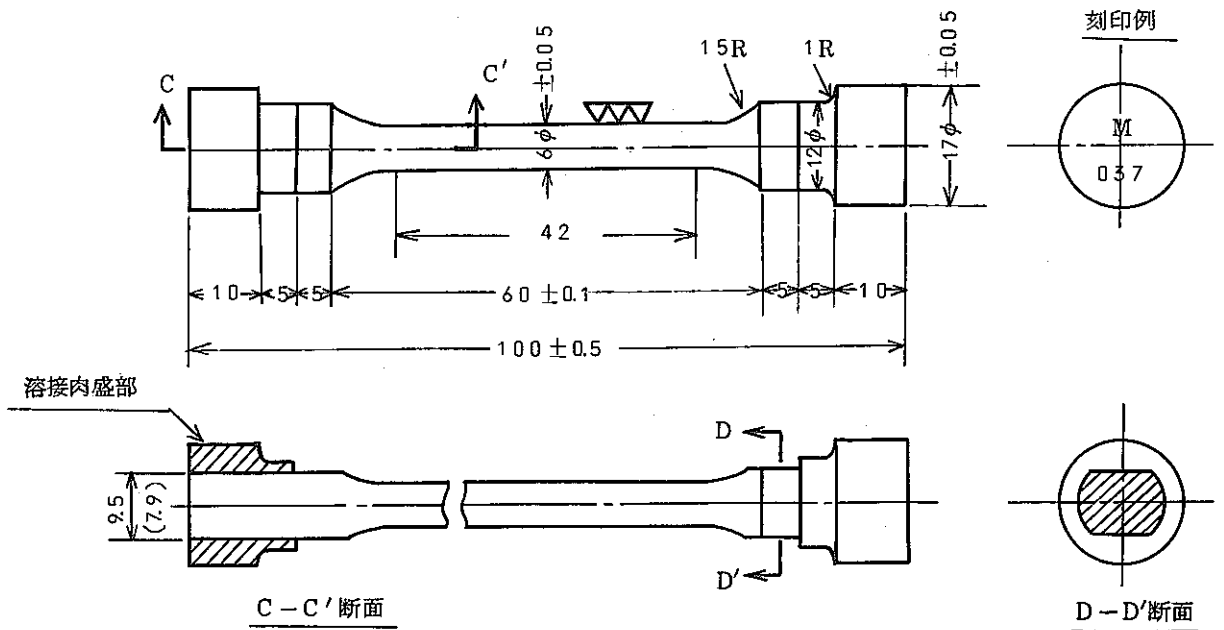
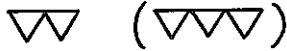
3-4) 試験片符号

試験片符号は英文字(1字)と数字(3字)で表わすものとする。英文字は材種を示し、数字は試験片種類を示す。すなわち、Lは母材、Mは周継手、Nは長手継手を示し、001~099は引張、201~399はクリープ、501~599は金相試験片を示す。第5表に試験片符号を一覧表で示す。

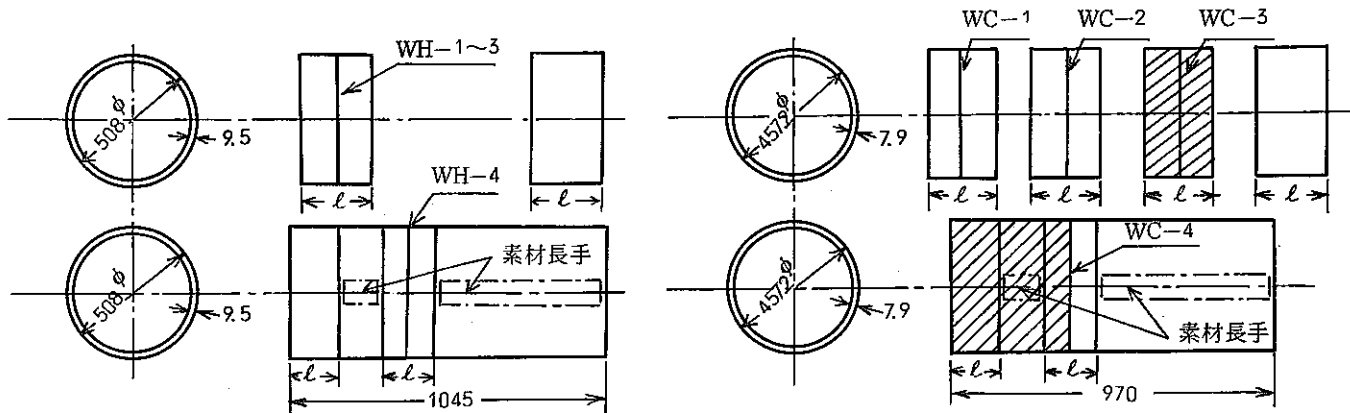
① 室温引張試験片



② 高温引張試験片



第2図(A) 試験片形状



ℓ	継手番号	試験片名称
130	—	母材部室温引張試験片
120	—	母材部高温引張試験片
80	—	母材部クリープ試験片
130	WH-2	周継手部室温引張試験片
120	WH-1	周継手部高温引張試験片
80	WH-3	周継手部クリープ試験片
40	—	母材部 金相試験片
40	WH-4	周継手部 金相試験片
—	素材長手	素材継手部 金相試験片

ホットレグ

ℓ	継手番号	試験片名称
130	—	母材部室温引張長試験片
120	—	母材部高温引張試験片
80	—	母材部クリープ試験片
130	WC-2	周継手部室温引張試験片
120	WC-1	周継手部高温引張試験片
80	WC-3	周継手部クリープ試験片
40	—	母材部 金相試験片
40	WC-4	周継手部 金相試験片
—	素材長手	素材継手部 金相試験片

コールドレグ

第3図 試験片採取要領 (斜線部はチャージ№32454, その他はチャージ№21237)

第4表 継手試験片溶接要領

		周 継 手 試 験 片								長 手 継 手 試 験 片												
開先形状																						
溶接要領		<p>1, 2パス ティグ溶接 3 パス 被覆アーク溶接 層間温度 100℃以下</p>								<p>1パス ティグ溶接 2パス 被覆アーク溶接 層間温度 常温</p>												
溶接条件		溶接方法	溶接材料	パスNo.	棒径 (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (J/cm)	溶接方法	溶接材料	パスNo.	棒径 (mm)	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱量 (J/cm)					
		ティグ溶接	TG-308	1	1.6	100	13	90	8,700	ティグ溶接	—	1		230	20	180	15,300					
		被覆アーク溶接	WEL-308	2	2.4	110	15	100	9,900	被覆アーク溶接	WEL MIG 308	2	1.2	230	32.5	125	35,900					
備考		全溶着金属の化学成分								全溶着金属の化学成分												
		溶接材料	棒径 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cr/Ni	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	溶接材料	棒径 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
		TG-308	1.6	0.042	0.42	1.71	0.026	0.016	19.81	9.85	2.01	61.0	43.0	WEL MIG 308	1.2	0.041	0.30	1.79	0.020	0.011	20.05	9.32
		WEL-308	2.4	0.04	0.45	1.68	0.026	0.013	19.90	9.48	2.11	61.0	43.5									
	WEL-308	3.2	0.054	0.40	1.59	0.030	0.007	20.26	9.80	2.07	61.5	54.2										

第5表 試験片符号

材 種	試験種類	試験 条件	サーベイランス試験片		確 認 試 験 片	予 備
			ホットレグ	コールドレグ		
SUS304 母 材 L	引 張	室温	L001~L018(18本)	L019~L036(18本)	L073~L078(6本)	L085~L087(3本)
		高温	L037~L054(18本)	L055~L072(18本)	L079~L084(6本)	L088~L090(3本)
	クリープ		L201~L260(60本)	L261~L320(60本)	L321~L340(20本)	L341~L343(3本)
	金 相		L501~L518(18本)	L519~L536(18本)	L537~L539(3本)	—————
SUS304 周継手 M	引 張	室温	M001~M018(18本)	M019~M036(18本)	M073~M078(6本)	—————
		高温	M037~M054(18本)	M055~M072(18本)	M079~M084(6本)	—————
	クリープ		M201~M260(60本)	M261~M320(60本)	M321~M340(20本)	—————
	金 相		M501~M518(18本)	M519~M536(18本)	M537~M539(3本)	M540 (1本)
SUS304 長手継手 N	金 相		N501~N518(18本)	N519~N536(18本)	N537~N539(3本)	—————

4 確認試験要領

確認試験の目的は、サーベイランス試験結果と対比するために、Na浸漬前の機械的性質をあらかじめ確認しておくことにある。したがって、この試験片は、サーベイランス試験片と同一の製造履歴で、同一の試験片形状のものを、同一の試験条件で試験されねばならない。したがって試験機もサーベイランス試験とそろえる必要があるので、全て照射材料試験室で実施する。第6表に確認試験要領を一覧表にして示す。

第6表 確認試験要領一覧表

試験種類	繰り返し数	材種数	温度条件数	合計数	試験条件
室温引張	2	2	1	4	室温
高温引張	2	2	3	12	450, 550, 650℃
クリーブ	4	2	3	40*	550, 600, 650℃, $\sim 3 \times 10^3$ hr
金相	3	3	1	9	一般金属組織

* うち16本は予備

4-1) 引張試験

母材および周継手材について引張試験を実施する。

ホットレグ設計温度が550℃、コールドレグ設計温度が450℃、定常運転時の使用温度が370~500℃であることを考慮して、試験温度は室温、450、550℃とするほか、参考として650℃でも試験を行なう。試験片本数は各温度について2本づつとする。室温引張には容量10トンのインストロン型引張試験機、高温引張には容量5トンの同型機を用いる。室温引張試験、高温引張試験ともJISG0567に準拠して行なう。すなわち引張速度は、降伏点までは0.01cm/min、(0.33%/min)、降伏点以降は0.3cm/min(10%/min)とする。またG.L.は30mmとし、ポンチによりG.L.をマーキングする。

試験要領は、室温引張については、付属の伸び計を使用し、荷重-伸び曲線から0.2%耐力、引張強さ、一様伸びを求める。一様伸びは最大荷重時の永久伸びをG.L.で割った値とする。

また破断後つきあわせにより、全伸びを測定する。

高温引張は、付属の高温炉で、試験温度に30分保持したのち行なう。荷重-伸び曲線から、0.2%耐力、引張強さを求める。

0.2%耐力は、平行部長さ42mmの0.2%すなわち0.084mmの永久伸びに対応する応力とする。また破断後つきあわせにより、全伸びを測定する。一様伸びは次式により求める。

$$\text{一様伸び} = \text{全伸び} - \frac{(\text{チャートから求めた最大荷重通過後の永久伸び})}{G.L.}$$

なお、破断状況を観察するため、代表的な試料について、破面のマクロ観察、光学顕微鏡観察を行ない、必要に応じ走査型電子顕微鏡観察も行なう。

4-2) クリープ試験

母材および周継手材について、クリープ試験を実施する。ホットレグ設計温度が550°Cであることと、常陽運転時間が131,500hrであることを考慮して、ラルソン・ミラーパラメータを用いて長時間側への外挿が可能となるような試験条件を選択する。すなわち550°C, 600°C, 650°Cで3,000hrまでのクリープ破断試験を行なう。試験は遠隔操作式単軸クリープ試験機(容量3,000Kg)を用いて行なう。付属の伸び計によりクリープ速度を測定する。

破断後代表的な試料について、断面のマクロおよびミクロ観察を行なう。また必要に応じ、破面の走査型電子顕微鏡観察を行なう。

4-3) 金相試験

金相試験は、母材、周継手材および長手継手材について行なう。金相試験の研磨条件およびエッチング条件は予備実験により決定する。

光学顕微鏡観察には、遠隔操作式光学顕微鏡(倍数63~1,600倍)またはオリンパスPMG-II型(倍率35~2,000倍)を使用する。光学顕微鏡写真の標準倍率は100倍とし、特に問題がある部分については、400倍で撮影することとする。

母材については析出物の状況、結晶粒度に着目し、溶接部材については、溶着金属部、溶接境界、熱影響部の組織変化と欠陥の有無に着目する。

なお断面のX線マイクロアナライザによる分析や、硬度測定も必要に応じて行なう。

また代表的な破断後の試験片の写真を、ペリスコープにより撮影する。倍率は1倍とする。

4-4) 試験片の管理

試験後の試験片は必要最小限のもの(金相試料および代表的な破断試験片)を、サーベイランス試験完了まで照射材料試験室で保管する。これは将来試験上、問題が生じた場合に比較検討するためである。

なお必要があれば保管材から試験片を切り出して、追加試験を実施する。

5 ナトリウム浸漬要領

5-1) 試験片組込要領

試験片は、高温ナトリウム浸漬用として主中間熱交換器(A)に、低温ナトリウム浸漬用として1次冷却系主循環ポンプ(B)に組込まれる。(機器名に付した符号(B)は、Bループに設置される機器であることを表わす。)各試験片は取出しを考慮し、取出し計画毎の6枚の組込み板に分割し取付けられている。

尚、主中間熱交換器(A)には、1次主冷却系配管材サーベイランス試験片に含め、原子炉構造材サーベイランス試験片の熱履歴試験片が組込まれている。

① 主中間熱交換器装荷

1次ナトリウム入口ノズル下部、外側シュラウド外周に、6枚の組込み板により取付けられている。試験片は原子炉出力100MW時、500°Cの攪拌ナトリウム(胴側)に接する。試験片組込み位置並びに組込み板形状を第4図に示す。

② 1次冷却系主循環ポンプ装荷

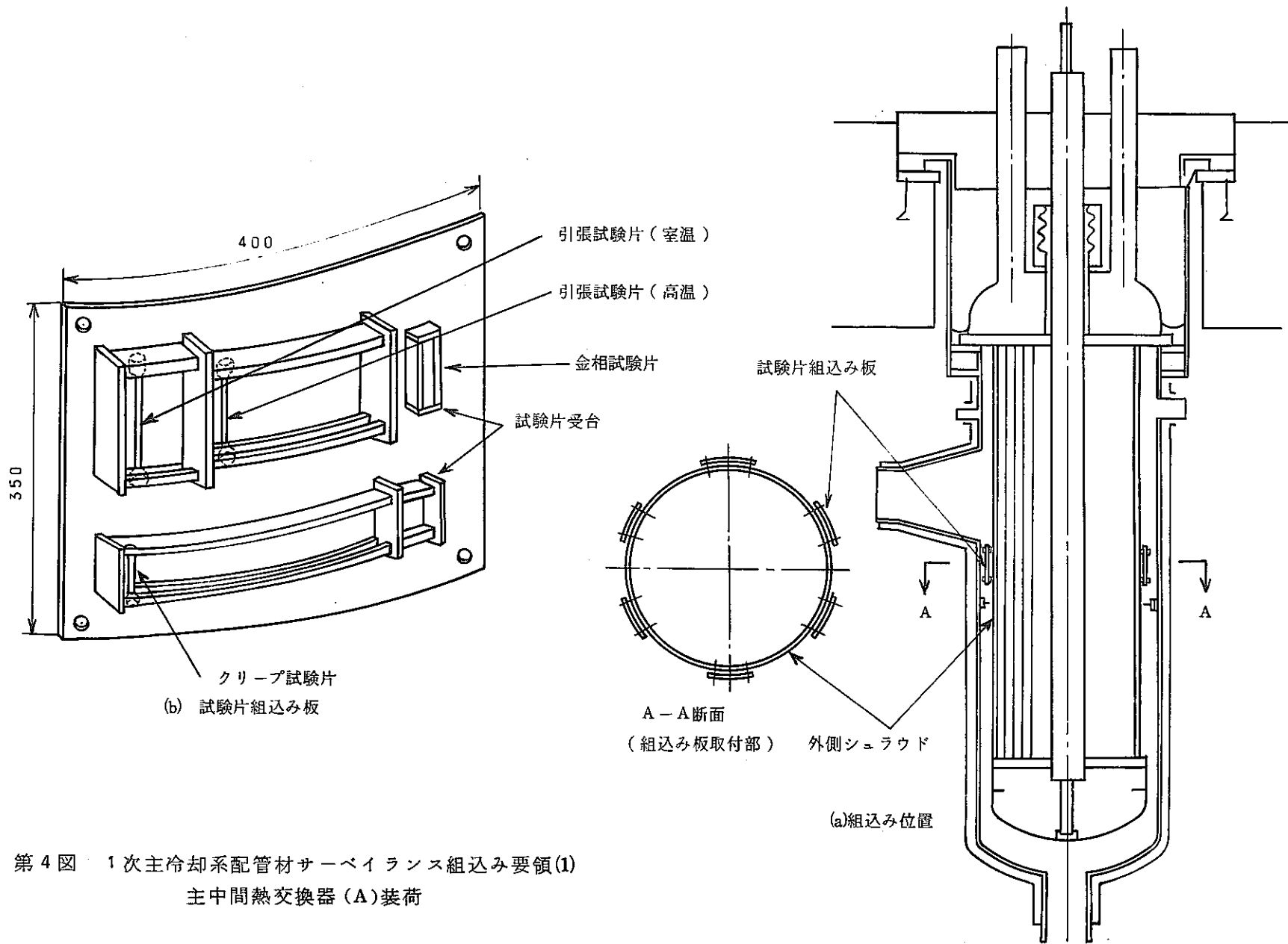
ポンプ・インナーケーシングのコーン部外周に、同様に、6枚の組込み板により取付けられている。試験片は原子炉出力100MW時、370°Cの攪拌ナトリウムに接する。試験片組込み位置並びに組込み板形状を第5図に示す。

5-2) 試験片取出要領

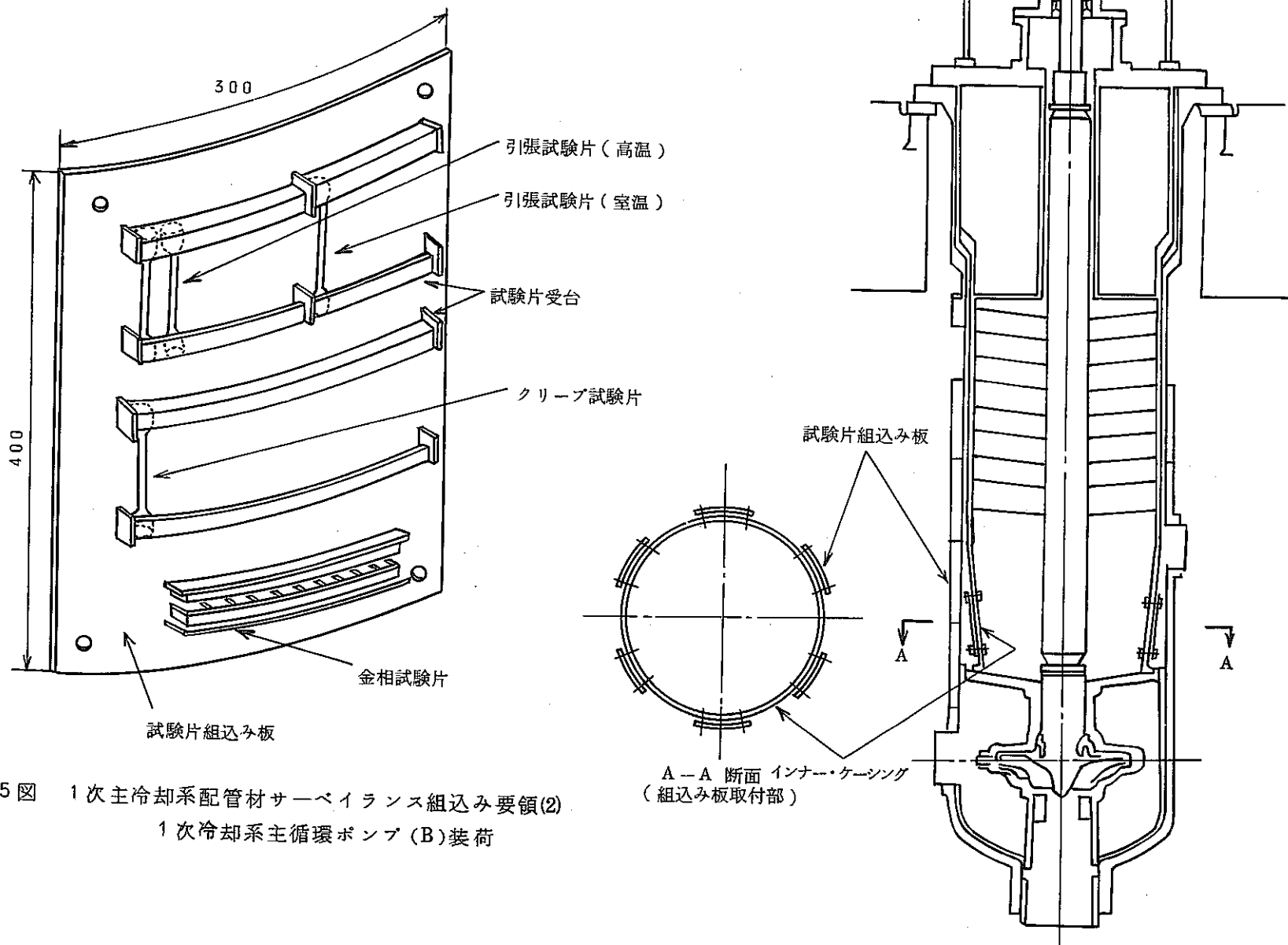
主中間熱交換器外側シュラウド並びにポンプ・インナーケーシングコーン部に取付けられた試験片組込み板は、それぞれ、拔出しが可能な構造となっている管東部(主中間熱交換器の場合)、インナーケーシング(1次冷却系主循環ポンプの場合)を拔出すことにより、取外すことが出来る。従って、試験片の取出しは、メンテナンス・キャスクを用い、管東部或いはインナーケーシングを拔出し、ナトリウム洗浄の後、組込み板を取外し、試験片受台を解体することにより行なう。

5-3) 試験片取出しスケジュール

第7表に試験片取出しスケジュールを一覧表にして示す。ただし主中間熱交換器に組み込んだ試験片は特に問題が予測されない限り取出さない。



第4図 1次主冷却系配管材サーベイランス組込み要領(1)
主中間熱交換器(A)装荷



第5図 1次主冷却系配管材サーベイランス組込み要領(2)
1次冷却系主循環ポンプ(B)装荷

第7表 「常陽」1次主冷却系サーベイランス用試験片の種類及び取出しスケジュール
コールドレグ(1次主循環ポンプ)

試験種類	材種及び試験条件		目標年次*						小計
			1	2.5	5	10	15	20	
引張試験	SUS 304 管材・母材	室温	3	3	3	3	3	3	18
		高温	3	3	3	3	3	3	18
	SUS 304 管材・周継手	室温	3	3	3	3	3	3	18
		高温	3	3	3	3	3	3	18
クリープ試験	SUS 304 管材・母材		10	10	10	10	10	10	60
	SUS 304 管材・周継手		10	10	10	10	10	10	60
金相試験	SUS 304 管材・母材		3	3	3	3	3	3	18
	SUS 304 管材・周継手		3	3	3	3	3	3	18
	SUS 304 管材・長手継手		3	3	3	3	3	3	18

* 目標年次は、運転稼働率に応じてスライドする。

ホットレグ(IHX高温部)

試験種類	材種及び試験条件		小計	備考
引張試験	SUS 304 管材・母材	室温	18	特に問題が予測されない 限り取出さない。
		高温	18	
	SUS 304 管材・周継手	室温	18	
		高温	18	
クリープ試験	SUS 304 管材・母材		60	
	SUS 304 管材・周継手		60	
金相試験	SUS 304 管材・母材		18	
	SUS 304 管材・周継手		18	
	SUS 304 管材・長手継手		18	

6 サーベイランス試験要領

サーベイランス試験では、浸漬する場所の関係上、試験片の本数が制限されるので、確認試験ほど試験条件に変化をもたせることはできない。従って設計温度での試験を中心にして、数少ない試験片からできるだけ多くの情報を得られるような試験条件を選定した。試験片形状、試験機などは、全て確認試験の場合と同一とする。第8表にサーベイランス試験要領を一覧表にして示す。

第8表 サーベイランス試験要領一覧表

対象部材	試験種類	繰り込 し 数	材種数	温 度 条 件 数	合 計 本 数	試 験 条 件	備 考
コールドレグ	室温引張	2	2	1	*1 6	室 温	*1 残りは予備
	高温引張	*2 2 & 1	2	2	6	450, 550℃	*2 設計温度の450℃で 2本, 550℃で1本
	クリープ	3	2	2	*1 20	550, 650℃, ~10 ³ hr	
	金 相	3	3	1	9	一般金属組織	*3 設計温度の550℃で 2本, 450℃で1本
*4 ホットレグ	室温引張	2	2	1	*1 6	室 温	
	高温引張	*3 2 & 1	2	2	6	450, 550℃	*4 特に問題が予測されな い限り取り出さない。
	クリープ	3	2	2	*1 20	550, 650℃, ~10 ³ hr	
	金 相	3	3	1	9	一般金属組織	

6-1) 引張試験

母材および周継手について引張試験を実施する。室温と設計温度では2本、参考温度では1本の試験を行う。その他の試験要領は確認試験と同一とする。

代表的な試料について破面のマクロおよびミクロ観察を行い、必要に応じ走査型電子顕微鏡観察も実施する。

6-2) クリープ試験

母材および周継手材について、クリープ試験を実施する。ホットレグ設計温度が550℃であることと、常陽運転時間が131,500 hrであることを考慮して、ラルソン・ミラーパラメータを用いて長期間側への外挿が可能となるような試験条件を選択する。すなわち550℃と650℃で1000hrまでのクリープ破断試験を行う。

破断後代表的な試料について、断面のマクロおよびミクロ観察を行う。また必要に応じ、破面の走査型電子顕微鏡観察を行う。

6-3) 金相試験

金相試験片としては、母材、周継手材および長手継手材について各3個用意されている。

表面については光学顕微鏡観察を実施するほか、必要に応じ表面の走査型電子顕微鏡観察およびX線マイクロアナライザーによる分析も行う。ナトリウムによる表面の腐食状況を把握することを目的とする。断面については、光学顕微鏡観察を行うほか、必要に応じX線マイクロアナライザーによる腐食生成物の元素分析と、母材および溶接部材の断面硬度測定も行う。ナトリウムによる断面の腐食状況、質量移行、結晶粒度の変化の有無に着目する。光学顕微鏡写真の標準倍率は100倍とし、特に問題がある部分については、400倍で撮影することとする。なお必要に応じて確認試験片と比較して、Na浸漬による変化の有無を確認する。また代表的な破断後の試験片の写真をペリスコープにより撮影する。倍率は1倍とする。

6-4) 試験片の管理

試験後の試験片は、必要最小限のもの（金相試料および代表的な破断試験片）をサーベイランス試験完了まで保管する。これは後日問題が生じた時に、再度取り出して検討するためである。保管場所は照射材料試験室の貯蔵セルピット内とする。

7 試験結果のまとめかた

7-1) 引張試験

引張試験から得られる情報としては、0.2%耐力、引張強さ、全伸び、一様伸びなどがある。各試験温度について、これらを縦軸とし、ナトリウム浸漬時間を横軸とするグラフを作成し、強度および延性変化傾向を把握する。また金相試験結果から、強度および延性が変化する原因を把握するよう努める。

「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針⁽¹⁾（以後「常陽」指針と略称する）および現在のところ最も新しい設計基準であるASME-Section III-Case 1592⁽²⁾による時間に依存しない許容応力強さ（Sm）のクライテリアを比較して下表に示す。

「常陽」構造設計指針	Case 1592
a 室温での引張強さの 1/3	a' 室温での引張強さの 1/3
b 高温での引張強さの 1/3	b' 高温での引張強さの 1/3 × 1.10
c 室温での降伏強さの 2/3	c' 室温での降伏強さの 2/3
d 高温での降伏強さの 90%	d' 高温での降伏強さの 90%

両者を比較してみると、「常陽」指針のほうがCase 1592より厳しいので、「常陽」指針とサーベイランス試験の結果とを比較すればよい。

オーステナイトステンレス鋼では、c、dの制約のほうが、a、bより厳しく、従ってナトリウム中での降伏強さが問題となる。これを第9表に示す。

第9表 SUS304の降伏強さ（Kg/mm²）（「常陽」指針による）

材料 \ 温度℃	-30~40	75	100	150	200	250	300	350	400
SUS304	21.0	18.8	17.4	15.8	14.7	13.8	13.1	12.6	12.2

材料 \ 温度℃	450	500	550	600	650	700	750	800
SUS304	11.7	11.3	10.8	10.3	9.9	9.3	8.4	7.4

第9表から時間に依存しない許容応力強さ（Sm）は、コールドレグ（設計温度450℃）で、 $11.7 \times 0.9 = 10.5 \text{ Kg/mm}^2$ 、ホットレグ（設計温度550℃）で $10.8 \times 0.9 = 9.7 \text{ Kg/mm}^2$ であることがわかる。従って横軸にNa浸漬時間ととり、縦軸にa、b、c、dをとったグラフに結果を整理し、これら4本の推定カーブのいずれもがSmを下回らないことを確認すればよい。

伸びについては、はっきりした規格はないが、母材についてJIS規格との比較を行う。

7-2) クリープ試験

クリープ特性は「常陽」指針でも考慮されており、Case 1592でも重要な設計基準とされている。

「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針およびASME - Section III - Case 1592による時間に依存する設計応力強さ (St) のクライテリアを比較して下表に示す。

「常陽」構造設計指針	Case 1592
(a) クリープ破断応力の最小値の2/3	(a)' クリープ破断応力の最小値の2/3
(b) 1%全ひずみが生じる応力の最小値	(b)' 1%全ひずみが生じる応力の最小値
	(c)' 三次クリープ開始応力の最小値の80%

第10表にSUS304の設計応力強さを示す。

第10表 SUS304の設計応力強さ (Kg/mm²)

(運転時間を131,500hrとする)

温度℃	-30~40	75	100	150	200	225	250	275	300	325	350
設計応力強さ	14.1	14.1	14.1	14.0	13.2	12.8	12.4	12.1	11.7	11.5	11.3
温度℃	375	400	425	450	475	500	525	550			
設計応力強さ	11.2	10.9	10.7	10.5	10.3	10.2	9.9	7.8			

他のR&D関係の試験により、設計応力強さを決めるのは(a)項であることが確認されている。従ってサーベイランス試験結果を以下の手順によって整理し、設計応力強さと比較して評価する。

- (1) サーベイランス試験結果を、ラルソン・ミラーパラメータを用いて整理し、主クリープ破断曲線を作成する。第6図に例を示す。
- (2) 第6図から設計温度における131,500hrでの時間強度を読みとる。
- (3) 横軸にNa浸漬時間を取り、縦軸に131,500hrでの時間強度の2/3をとったグラフ(第7図参照)を作成し、推定カーブが第10表に示した設計応力強さを下回らないことを確認する。

なお、ラルソン・ミラーパラメータを用いて、長時間側の推定を行なう場合には、かなりの誤差が生じるので、注意が必要である。

以上の解析手法を、母材および溶接材の両方に適用する考えであるが、試験条件が限定されており、溶接材についてはデータのバラツキ巾が大きくなることが予測されるため、これらの試験結果の評価に際しては、関連試験結果および他のR&D結果等を参照して行なうものとする。

第8図に「常陽」設計応力強さ算出の根拠となったクリーブ破断強度データ，第9図に Case 1592による SUS304 の St の値を参考のため示す。

7-3) 金相試験

金相試験は義務づけられたものではなく，参考試験である。断面のナトリウムにおかされた層については，光学顕微鏡観察結果および必要に応じて実施する X線マイクロアナライザーによる分析および硬さ試験結果を総合して，ナトリウム腐食の影響を検討する。

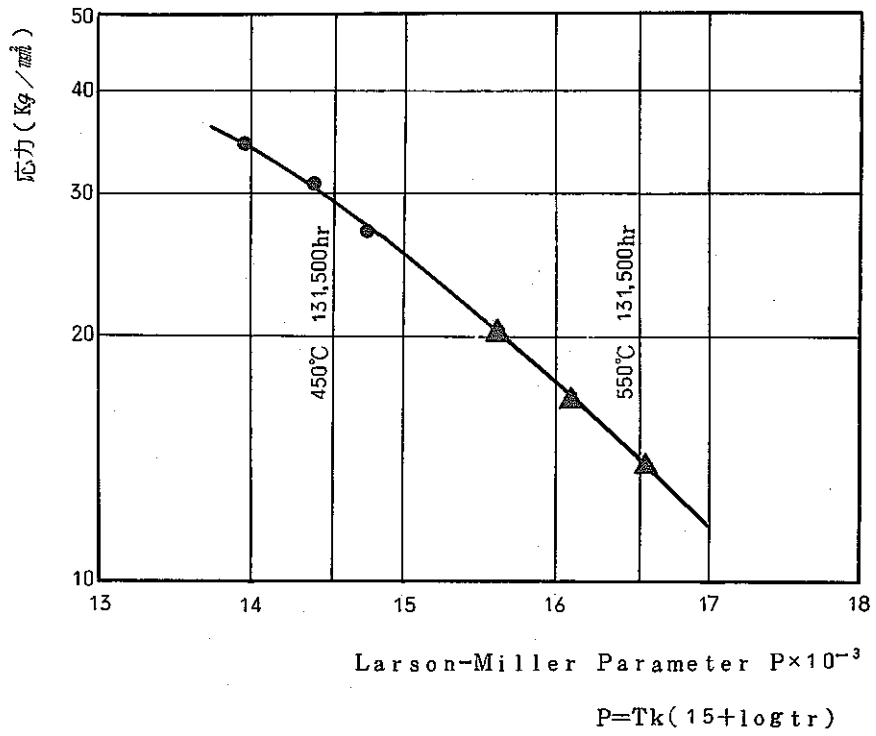
また断面のナトリウムにおかされていない部分の光学顕微鏡観察結果および必要に応じて実施する X線マイクロアナライザーによる分析および硬さ試験結果などから，長時間加熱による結晶粒度の変化および炭化物などの析出物の形成状況を把握する。また金相試験結果は，機械的性質の変化の原因を解析するために利用される。

7-4) 試験結果の総合的な評価

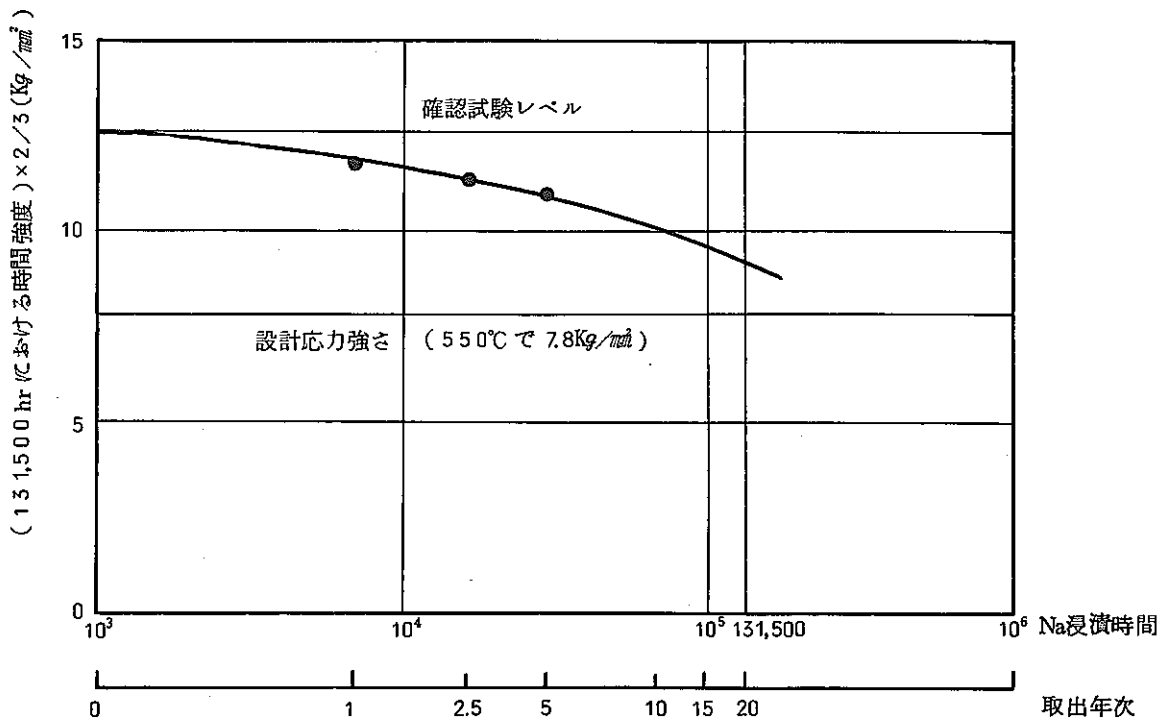
サーベイランス試験の第一の目的は，原子炉の運転を続けても安全かどうかの判定を下すことである。本試験計画書では「常陽」指針および現時点で最も新しい設計基準である Case 1592を判定基準としたが，設計に関する考え方の進歩にともなって，「常陽」指針とともに，常に最新の信頼できる設計基準とも比較検討し評価する必要がある。

サーベイランス試験のデータは少ないが，大洗工学センターに設置されているナトリウムループを利用した R & D 試験結果および海外，国内の最新のデータも活用して，少なくとも次のサーベイランス試験片取出時期までの予測は行なわなければならない。

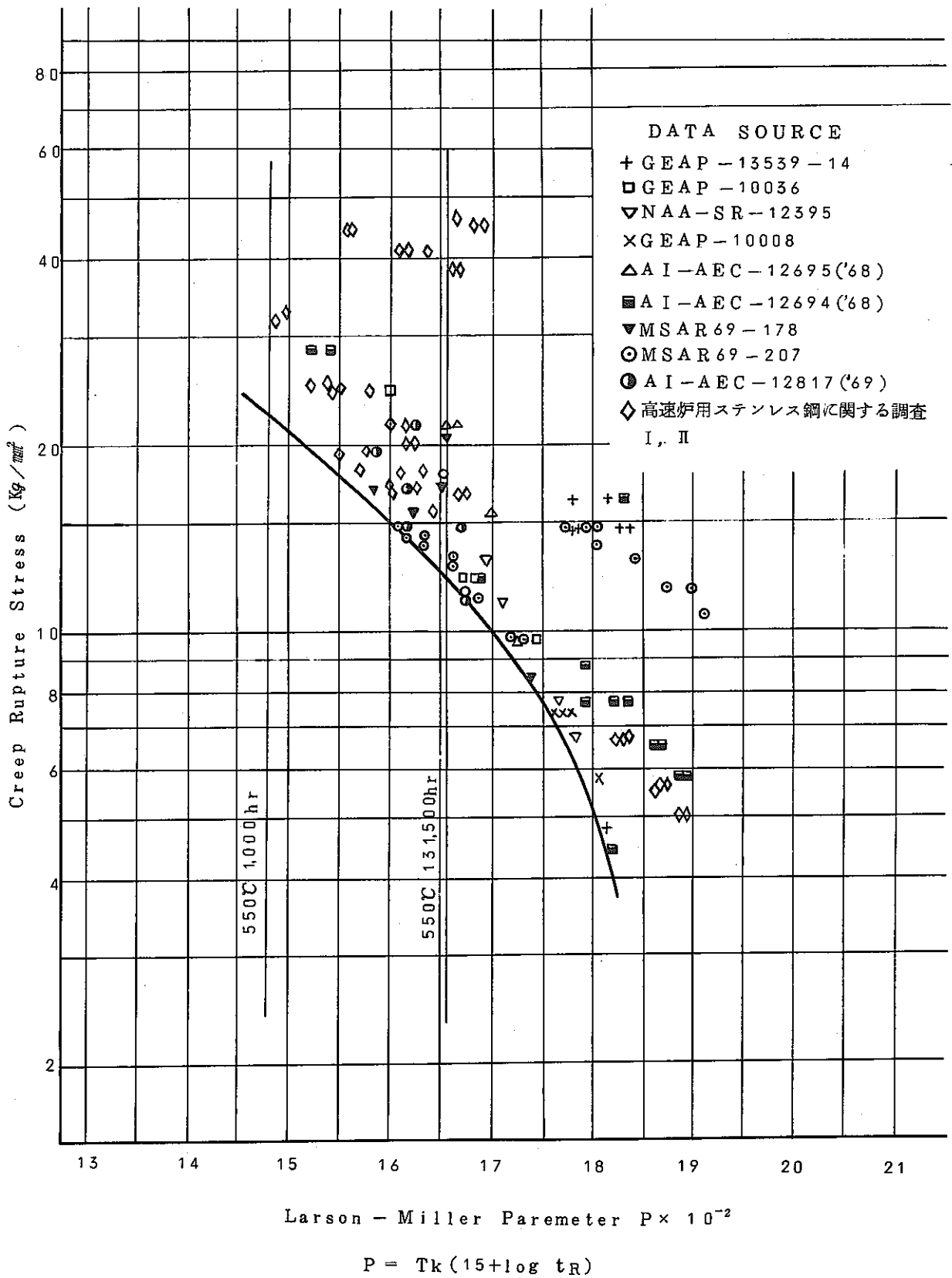
なお，ある推定値が設計値を下回る恐れが生じた場合には，その推定値の信頼性について改めて慎重に検討するとともに，その場合に原子炉の安全性が確保されるかどうかについて，各方面の専門家による総合的な検討にあわせて行なう必要がある。



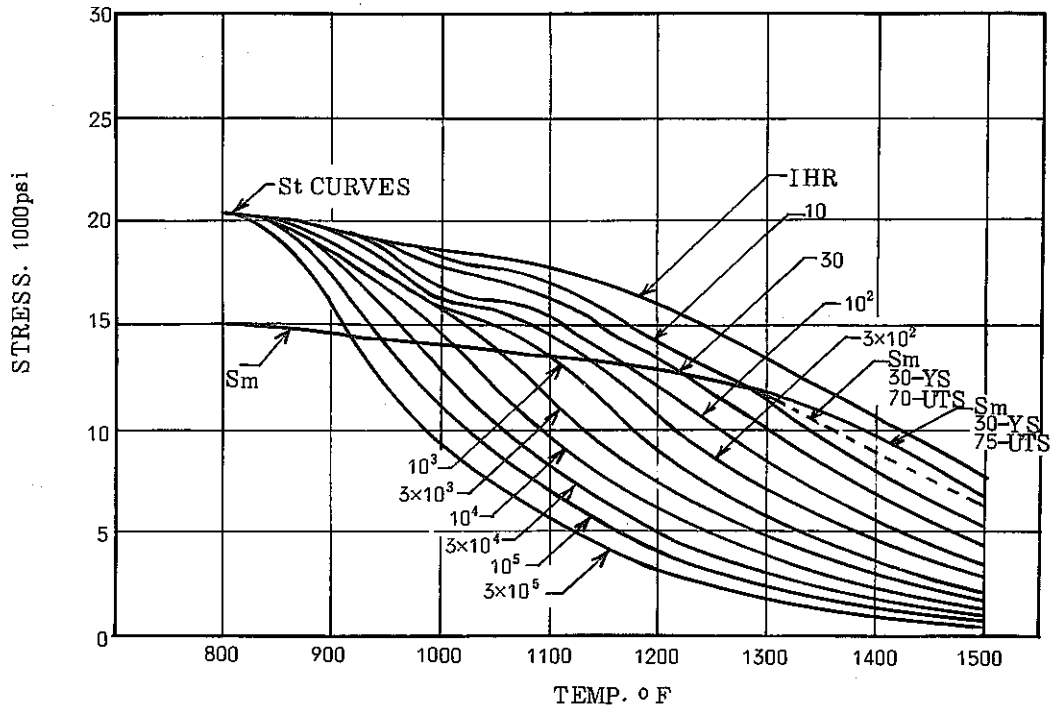
第6図 主クリープ破断曲線の作成例



第7図 550°Cにおける設計応力強度との比較例



第8図 高温ナトリウム中におけるSUS304のクリープ破断強度データ



第9図 許容応力強さ (Case-1592. Type 304SS)

8 あ と が き

本報では、一次主冷却系配管について、サーベイランス試験要領をとりまとめた。原子炉構造材、二次主冷却系機器配管材、安全容器構造材についても、別途試験計画書を作成しており、これらに基づいて、サーベイランス試験が円滑に実施され、有用なデータが得られるよう期待する。

最後に本試験計画をまとめるにあたり、助言をいただいたFBR本部、燃料・材料グループの西川副主任研究員、安全性グループの岡林副主任研究員、大洗工学センター、ナトリウム技術部、ナトリウム技術開発室厚母室長、大和田室長代理をはじめとする関係各位の方に感謝の意を表す。

9 参 考 文 献

- (1) 「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針 N252-71-01
- (2) CASE1592 of ASME Boiler and Pressure Vessel Code
- (3) 原子炉構造材サーベイランス試験計画書 SN942 74-05