

2 次 冷 却 系 機 器 配 管 材

—サーベイランス試験計画書—

1975年3月

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor
and Nuclear Fuel Development Corporation 4002, Narita O-arai-machi Higashi-
Ibaraki-gun, Ibaraki, 311-14, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation)

1975年 4月

2次冷却系機器配管材

サーベイランス試験計画書

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

要旨

高速実験炉「常陽」では原子炉の安全性を確保するために、その全供用期間にわたって主要部材の健全性を確認するためのサーベイランス試験を行うことを計画している。サーベイランス試験計画は

- 1) 原子炉構造材サーベイランス試験計画
- 2) 安全容器サーベイランス試験計画
- 3) 1次冷却系機器配管材サーベイランス試験計画
- 4) 2次冷却系機器配管材サーベイランス試験計画

からなり、本稿はこのうちの2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験計画をとりまとめたものであり、長期間にわたる試験の試験方法、データの評価方法等の統一を目的としたものである。

* 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 ナトリウム技術部 ナトリウム技術開発室

*** 大洗工学センター 高速実験炉部 原子炉第1課

目 次

1. ま え が き	1
2. 2次冷却系機器配管材の仕様	2
2.1 2次冷却系フローシートと構成材料	2
2.2 構成材料の製造履歴と化学成分	4
2.3 構成機器・配管の溶接施行法	8
3. 試験片製作要領	11
3.1 素材および保管材	11
3.2 試験片の形状および加工要領	11
3.3 試験片番号とその刻印要領	13
4. 確認試験要領	28
4.1 引張試験	28
4.2 衝撃試験	29
4.3 クリープ試験	29
4.4 金相試験	29
4.5 試験片の管理	30
5. 試験片の組み込みおよび取出要領	33
5.1 試験片の組み込み要領およびナトリウム浸漬条件	33
5.2 試験片の取出要領および洗浄	33
5.3 取出しスケジュール	33
6. サーベイランス試験要領	35
6.1 引張試験	35
6.2 衝撃試験	35
6.3 クリープ試験	35
6.4 金相試験	35
6.5 試験片の管理	36
7. 試験結果のまとめ方	41
7.1 引張試験	41
7.2 衝撃試験	44
7.3 クリープ試験	44
7.4 金相試験	46

7.5	試験結果の総合的な評価	46
8.	あ と が き	50
9.	参 考 文 献	51
添付資料	2次冷却系サーベイランス試験片寸法のきめ方	53

1. ま え が き

2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験は、原子炉の運転にともなって、その材料強度特性がどのように変化して行くかを調査し、(1)運転を継続しても2次冷却系が安全であることを確認し、(2)配管の使用寿命を予測するために行なわれるものである。

2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験では、配管材そのものが置かれている特徴的な同一環境条件下に、着脱が容易な構造のサーベイランス試験片を装荷する。これらの試験片を定期的に抜き出し、ナトリウム浸漬前の試験データ（本報告では確認試験データと称する）および常陽の設計応力値など^{1) 2) 3)}と比較し、上記(1)、(2)の目的を達成するため、材料強度ならびに腐食に関する試験を行なうものである。

本報告は「常陽」2次冷却系機器配管材のサーベイランス試験計画の内容についてのべたものである。

2. 2次冷却系機器配管材の仕様

2次主冷却系機器配管材としてサーベイランス試験の対象とされているのは、(1)2次主冷却系ホットレグ部配管、(2)2次主冷却系コールドレグ部配管、(3)2次系ダンプタンクの3つである。

2次主冷却系配管は、主中間熱交換器～主冷却器、主冷却器～2次主冷却系循環ポンプ、2次主冷却系循環ポンプ～主冷却器の主配管と、その他の付属配管よりなる。本系統は非放射性で、主中間熱交換器と格納容器を結ぶ経路を除き、格納容器外に設置され全て一重管である。

ダンプタンクは、横置円筒サドル支持型で2次系の冷却材として使用されるナトリウムを充填前に保持し、またドレン時に貯蔵する目的で設置されている。

サーベイランス個所と対応する試験片装荷位置は下記の通りである。

- (i) 2次主冷却系ホットレグ部配管……………2次主配管(ホットレグ)内
- (ii) 2次主冷却系コールドレグ部配管………2次冷却系オーバーフロータンク内
- (iii) 2次冷却系ダンプタンク……………2次冷却系ダンプタンク内

2.1 2次冷却系フローシートと構成材料

第1図に「常陽」原子炉冷却系フローシートとサーベイランス試験片装荷位置を示す。図中の太線が2次冷却系である。

2次主冷却系機器配管材はSTPA 24(12B, Sch 40)鋼が使用されており、2次系ダンプタンクおよびオーバーフロータンクにはSB 42(14mmtおよび9mmt)鋼が使用されている。

第1表に「常陽」定格運転時(50MWt, 100MWt)の設計および使用温度条件、第2表に2次冷却系の使用条件を示す。

第1表 定格運転時(50MWt, 100MWt)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 (炉心出口)	コールドレグ (炉心入口)	ホット・レグ (IH×出口)	コールドレグ (IH×入口)	
運転 条件	50MWt	435℃	370℃	420℃	355℃	250℃ (充填ドレン 時)
	100MWt	500℃	370℃	470℃	340℃	
設計 条件	50MWt &100MWt	550℃	450℃	520℃	400℃	400℃

第2表 2次主冷却系配管及びダンプタンク使用条件(100MWt)

		設計条件		運転条件(通常状態)		
		圧力 (kg/cm ² ・g)	温度 (℃)	圧力 (kg/cm ² ・g)	温度 (℃)	熱サイクル
ホットレグ配管	主中間熱交換器～ 主冷却器	内圧 4.5 外圧 1.35	内圧負荷時 520 外圧負荷時 520	内圧 3.27 外圧 1.0	内圧負荷時 470～250 外圧負荷時 250～150	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 500回, 50℃/hr
	主冷却器 ～循環ポンプ	内圧 2.0 外圧 1.35	内圧負荷時 400 外圧負荷時 400	内圧 1.27 外圧 1.0	内圧負荷時 340～250 外圧負荷時 250～150	
コールドレグ配管	循環ポンプ ～主冷却器	内圧 5.0 外圧 1.35	内圧負荷時 400 外圧負荷時 400	内圧 3.54 外圧 1.0	内圧負荷時 340～250 外圧負荷時 250～150	
ダンプタンク		内圧 1.9 外圧 1.0	内圧負荷時 400 外圧負荷時 250	1.5	340	—

2.2 構成材料の製造履歴と化学成分

サーベイランス対象部材の製造履歴は下記の通りである。

(1) 2次主冷却系配管

(1.1) 製造履歴

溶製	塩基性転炉
熱間製管	公称容量 70トン/チャージ
冷間抽伸	マンネスマンプラグミル製管機
熱処理	200トン/水圧抽伸機
非破壊検査	焼ならし 焼戻し
超音波探傷試験	(台車式バッチ炉)
マクロエッチ試験	探傷器 SPERRY UR-/C
マイクロ組織試験	周波数 2.25MHZ
	検査成績 欠陥波なし
	正常
	正常

(2) ダンプタンク

(2.1) 製造履歴

溶製

純酸素上吹転炉

公称容量 ; 70 ton/ch

鋼塊 ; 20 ton

分塊

熱間圧延 (スラブ厚さ 150mm)

手入れ

ホットスカーフィング又はグラインダー

圧延

160 二重逆転式粗圧延機

170 四重逆転式仕上ロール

非破壊検査

Head Plate 用素材についてのみ超音波探傷検査を行ない、その要領は下記による。

探傷装置 海上電機(株) F-1型パルス反射式

探触子 " T-19D-3

垂直非分割 10mmφ

周波数 5MHz

探傷箇所 素材100mm マス目の交点

検査成績 欠陥波なし

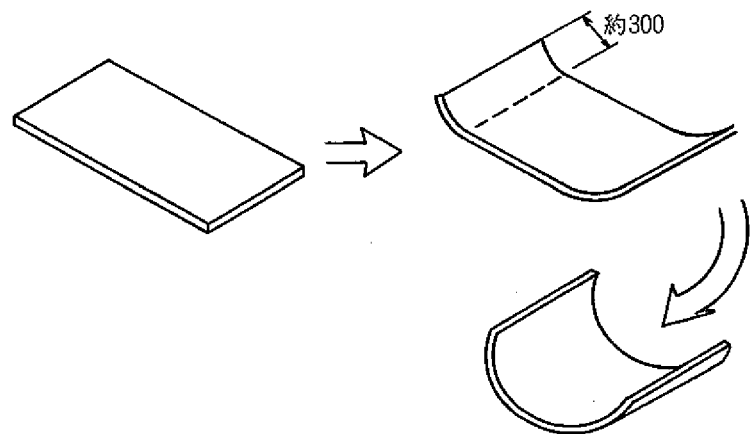
(2.2) 加工履歴

曲げ加工

胴板 (板厚 14mm t)

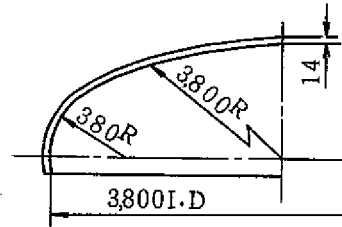
平板を所要寸法に切断の後、平板両端の約300mmをプレスにて1,900mmRに曲げ加工を行なう。

上記、加工後ベンディングローラにて3,800mmφに曲げ加工を行なう。

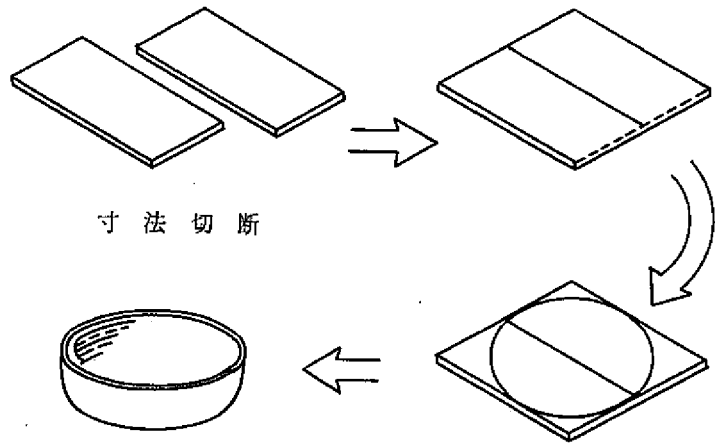


鏡板

1. 平板を所要寸法に切断の後、継手溶接を行なう。
2. 2板継板を鏡板プラングダイアにて切断する。
3. プレス加工後、熱間スピニング加工にて下図の様に加工する。



鏡板形状

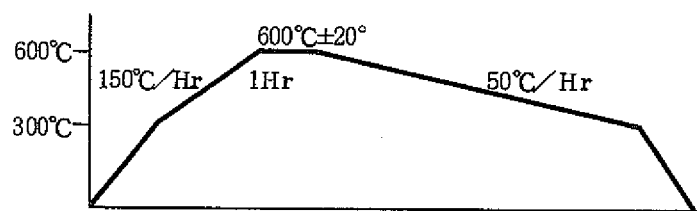


寸法切断

ケガキ切断

熱処理

鏡板の成型加工後行ない、熱処理温度は下図に依る。



表面仕上げ

製品内面の溶接線についてのみグラインダー（120#砥石）にて仕上げを行なう。

サーベイランス対象部材の化学成分については、第3表「サーベイランス対象部材ミルシート」に詳細を示す。

第3表 サーパーバイランス対象部材ミルシート

	化学成分 (%)											引張試験			備考
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Co	-	耐力 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	
	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	規格値	
2 次冷却系材料	STPA24 (配管材)	≤0.15	≤0.50	0.30~ 0.60	≤0.030	≤0.030	-	-	-	-	-	≥21	≥42	≥30	
	STPT42 (配管材)	0.10	0.37	0.46	0.020	0.016	-	-	0.99	-	-	37	53	36	
2 次冷却系材料	STPA24 (配管材)	0.11	0.36	0.48	0.019	0.015	-	-	0.95	-	-	33	53	37	
	STPT42 (配管材)	≤0.30	0.10~ 0.35	0.30~ 1.00	≤0.035	≤0.035	≤0.20	-	-	-	-	≥25	≥42	≥25	
2 次冷却系材料	SB42 (タンク材)	0.16	0.30	0.47	0.012	0.018	0.03	-	-	-	-	32	47	64	
	SB42 (タンク材)	≤0.24	0.15~ 0.30	≤0.80	≤0.035	≤0.040	-	-	-	-	-	≥23	42~50	≥23	
2 次冷却系材料	SB42 (タンク材)	0.17	0.27	0.68	0.022	0.007	-	-	-	-	-	28	45	27	
	SB42 (タンク材)	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.040	≤0.030	-	-	-	-	-	28	45	29	
2 次冷却系材料	SUS304 (配管材)	0.06	0.55	1.70	0.022	0.005	-	-	-	0.24	-	-	-	-	
	SUS304 (配管材)	0.06	0.56	1.71	0.022	0.006	-	-	-	0.24	-	23	57	68	

2.3 構成機器配管の溶接施行法

2次主冷却系機器，配管の溶接は，科学技術庁又は通商産業省に認可された溶接施行法及び溶接士により行なわれている。

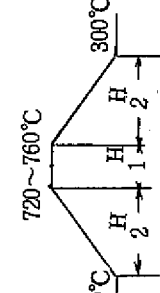
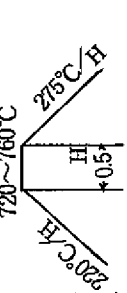
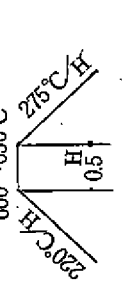
溶接は，全溶込貫通溶接でJ I S 1級以上の検査に合格するものである。これらの試験・検査は通商産業省令81号及び告示501号等に準拠して行なわれた。

試験項目

- (1) 材料試験……………耐圧部の材料は，素材メーカーの発行する材料成績表（ミルシート）により該当する規格通りの化学成分，機械強度であることを確認する。
- (2) 溶接部試験……………溶接部は(1)開先寸法検査，(2)機械試験，(3)液体浸透探傷試験及び(4)放射線透過試験で確認する。
- (3) 耐圧試験……………耐圧溶接部は，設計圧力の1.25倍の気圧，または1.5倍の水圧で耐圧試験を行ないこれに耐えかつ漏洩のないことを確認する。
- (4) 漏洩試験……………主要溶接部は，He漏洩試験を行ない1溶接線当りの漏洩量が常温において 1×10^{-6} Acc/sec以下であることを確認する。
- (5) 外観寸法検査……………機器，配管完成後目視により外観検査を行ない，外観寸法の測定，各継手位置，方向を確認する。

溶接施行法一覧表を第4表に，また，開先形状を第2図に示す。

第4表 溶接施行法一覽表

*1 継手 種別	材 質	*2 溶接方法	*3 姿勢	溶着金属	予熱温度 (℃以上)	*4 被覆棒	溶接機			溶接機	層数	応力除去, 焼鈍
							自動, 半自動	心棒	フラックスまたは シールドガス			
							材 料					
							TIG, MIG	シールドガス	裏ガス 保護			
I	STPA 24	T _F +M	A	クロム・モ リブデン鋼	T _F =50 M=250	CMA -106	—	—	行なう	DC &AC	多層	720~760℃ 
II	STPA 24 SUS 304	T _F +M	A	インコネル	なし	NIC -70A	—	—	行なう	DC &AC	多層	720~760℃ リング後の応力除去 
III	STPA 24 STPT 42	T _F +M	A	クロム・モ リブデン鋼	T _F =50 M=250	BL76	—	—	行なう	DC &AC	多層	600~650℃ 
IV	SB42	M	F	炭素鋼	—	LB 52U	—	—	—	AC	多層	

*1: 開先形状は、第2図に示す。
 *2: T_Fは初回テイク溶接, Mは被覆アーク溶接を示す。
 *3: Aは全姿勢溶接, Fは下向き姿勢溶接を示す。
 *4: CMA-106はJIS:DT2416, NIC-70AはAWS:ENiCr-Fe-1, BL76はJIS:D5016, LB52UはJIS:D4316相当品である。
 *5: TGS-Mは0.5%Mo鋼用, TGS-2CMは2.25%Cr-1Mo鋼用溶加材

第2図 開先形状詳細図

継手種別	開先形状
I	
II	
III	
VI	

3. 試験片製作要領

2次冷却系装荷サーベイランス試験片は放射化されないことから、冷却系から取り出した後、コールド・エーリアで試験および機械加工等を行なう。従って、装荷試験片は、(イ)実機の挙動を確認できる。(ロ)実機に装荷しやすい、(ハ)浸漬後各種の試験片製作が可能である等という点を考慮して第5表(1)に示すような実機から切り出した実寸の円弧型試験片もしくは平板試験片形状を採用する。

さらに参考試験用として、(1)腐食の影響を敏感にキャッチする、(2)溶接部の目違いや、余盛などの形状効果によるデータのバラツキをより正確に評価する目的で第1次の試験片取出後、その取付部に、JIS規格に準拠した形状の引張試験片(円型断面)およびクリーブ破断試験片(同)、衝撃試験片(角型断面)を各サーベイランス試験片装荷部に挿入する。以下、これらを参考試験片と呼ぶ。

3.1 素材および保管材

サーベイランス試験の素材は、①STPA 24 母材、②STPA 24 STPA 24 継手部材、③STPA 24--SUS 304 継手部材、④SB 42 母材、⑤STPT 42--STPA 24 継手部材の5種類ある。

2次主冷却系配管材については、ホットレグに装荷(2次主冷却器入口配管内)するものは、実機のホットレグ配管の残材から、また、コールドレグに装荷(オーバーフロータンク内)するものは、実機のコールドレグ配管の残材から採取する。

タンク材については、実機のダンプタンク残材より採取する。また、継手部材②、③、⑤は、実機と同一仕様の溶接で、実機と同一の試験検査に合格したものより採取する。

なお、サーベイランス装荷試験片の他に、将来、追加試験等の必要が生じた場合に備え、保管材を準備している。これも又、実機の残材より採取したものである。

第5表にサーベイランス装荷試験片及び保管材の形状・寸法を示す。

3.2 試験片の形状および加工要領

2次冷却系サーベイランス装荷試験片は、管長手方向およびロール方向(SB 42材)から切り出す。

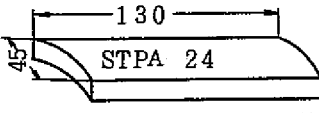
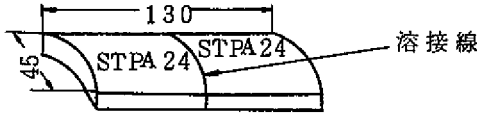
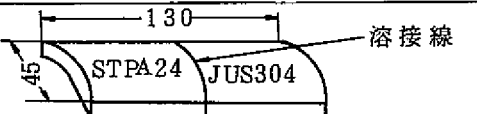
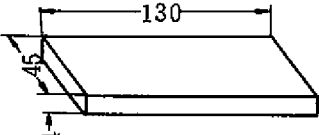
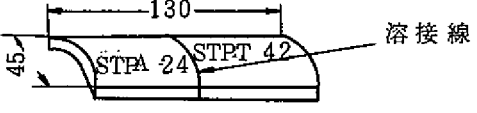
サーベイランス装荷試験片の長手断面表面の1部は、腐食観察のため、鏡面仕上げをしている。

サーベイランス装荷試験片からのサーベイランス試験片切り出しは、すべて管長手方向およびロール方向とする。また、衝撃試験片のノッチはすべて管径方向につけるものとする。

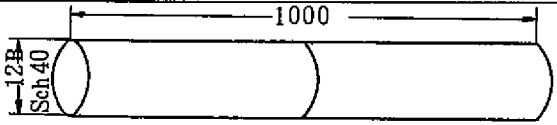
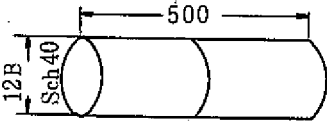
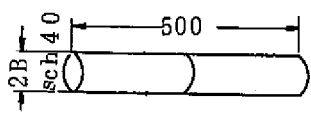
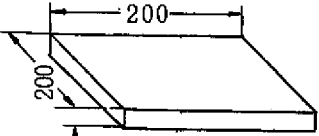
サーベイランス装荷試験片から切り出される試験片(以下、サーベイランス試験片と称する)

第 5 表 「常陽」 2 次主冷却系装荷サーベイランス試験片 および保管材形状
一覧表

(1) 2 次主冷却系装荷サーベイランス試験片

STPA 24 管材の 母材試験片	 12B Sch40の管材より切り出す
STPA 24 管材の 継手試験片	 12B Sch40の管材より切り出す
STPA24-SUS304管 材の継手試験片	 12B Sch40の管材より切り出す
SB42 板材の母材 試験片	
STPA24-STPT42 管 材の継手試験片	 12B Sch40の管材より切り出す

(2) 保管材形状

保 管 材	形 状	個 数
STPA 24 管材の 同材溶接		1
STPA 24-SUS 304 管 材の異材溶接		1
STPA 24-STPT42 管 材の異材溶接		6
SB 42 板材の母材		1

の形状を第3, 4, 5, 6, 7, 8図に, 参考試験片形状を第9, 10, 11, 12, 13図に示す。

3.3 試験片番号とその刻印要領

2次冷却系サーベイランス装荷試験片は, 2次主冷却系ホット・レグ(主冷却器入口配管)内, コールド・レグ(オーバーフロータンク)内, 及びダンプタンク内に素材(円弧状および板状試験片)の形で装荷されている。各装荷場所での試験片には, 番号が刻印されており, その番号に従って取出し, 材料試験が行なわれる。次に試験片の装荷位置, 取出し年次, 試験片番号ならびに試験の種類を第6, 7, 8表に示す。

素材の刻印要領は, 下図に示す通り, 素材片端面A, B, Cの個所に刻印する。そして, 一素材から採取する試験片の数の違いにより,

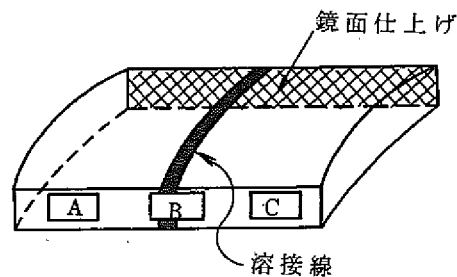
1素材から1本の試験片の採取の時……………Bの位置

1素材から2本の試験片の採取の時……………A, Cの位置

1素材から3本の試験片の採取の時……………A, B, Cの位置

にそれぞれ刻印する。

なお, 素材に鏡面仕上げの指示あるものは, 刻印端と反対側端面が鏡面仕上げになっている。



同様に参考試験片の装荷位置, 取出し年次, 試験片番号ならびに試験の種類を第6, 7, 8表に示す。

参考試験片の刻印要領は, 第9~13図中に示す通り, 試験片端面に刻印する。

第6表 ホットレグ内試験片番号(2次主冷却器入口配管内)

目標取 出年次	材料試験	試験片番号						
		サーベイランス試験片				参考試験片		
		素材 No	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24-SUS 304 継手	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24- SUS 304 継手
1	引張試験	1	R001,R002	S001,S002	T001,T002	-	-	-
		2	R003,R004	S003,S004	T003,T004	-	-	-
	衝撃試験	3	R101 ~R103	S101 ~S103	T101 ~T103	-	-	-
		4 5 6	R201,R202 R203,R204 R205,R206	S201,S202 S203,S204 S205,S206	T201,T202 T203,T204 T205,T206	-	-	-
腐食,金相,硬度	7	R301 ~R303	S301 ~S303	T301 ~T303	-	-	-	
2.5	引張試験	8	R005,R006	S005,S006	T005,T006	AR001	AS001	AT001
		9	R007,R008	S007,S008	T007,T008	~AR004	~AS004	~AT004
	衝撃試験	10	R104 ~R106	S104 ~S106	T104 ~T106	AR101 ~AR103	AS101 ~AS103	AT101 ~AT103
		11 12 13	R207,R208 R209,R210 R211,R212	S207,S208 S209,S210 S211,S212	T207,T208 T209,T210 T211,T212	AR201 ~AR206	AS201 ~AS206	AT201 ~AT206
腐食,金相,硬度	14	R304 ~R306	S304 ~S306	T304 ~T306	-	-	-	
5	引張試験	15	R009,R010	S009,S010	T009,T010	AR005	AS005	AT005
		16	R011,R012	S011,S012	T011,T012	~AR008	~AS008	~AS008
	衝撃試験	17	R107 ~R109	S107 ~S109	T107 ~T109	AR104 ~AR106	AS104 ~AS106	AT104 ~AT106
		18 19 20	R213,R214 R215,R216 R217,R218	S213,S214 S215,S216 S217,S218	T213,T214 T215,T216 T217,T218	AR207 ~AR212	AS207 ~AS212	AT207 ~AT212
腐食,金相,硬度	21	R307 ~R309	S307 ~S309	T307 ~T309	-	-	-	
10	引張試験	22	R013,R014	S013,S014	T013,T014	AR009	AS009	AT009
		23	R015,R016	S015,S016	T015,T016	~AR012	~AS012	~AT012
	衝撃試験	24	R110 ~R112	S110 ~S112	T110 ~T112	AR107 ~AR109	AS107 ~AS109	AT107 ~AT109
		25 26 27	R219,R220 R221,R222 R223,R224	S219,S220 S221,S222 S223,S224	T219,T220 T221,T222 T223,T224	AR213 ~AR218	AS213 ~AS218	AT213 ~AT218
腐食,金相,硬度	28	R310 ~R312	S310 ~S312	T310 ~T312	-	-	-	
15	引張試験	29	R017,R018	S017,S018	T017,T018	AR013	AS013	AT013
		30	R019,R020	S019,S020	T019,T020	~AR016	~AS016	~AT016
	衝撃試験	31	R113 ~R115	S113 ~S115	T113 ~T115	AR110 ~AR112	AS110 ~AS112	AT110 ~AT112
		32 33 34	R225,R226 R227,R228 R229,R230	S225,S226 S227,S228 S229,S230	T225,T226 T227,T228 T229,T230	AR219 ~AR224	AS219 ~AS224	AT219 ~AT224
腐食,金相,硬度	35	R313 ~R315	S313 ~S315	T313 ~T315	-	-	-	

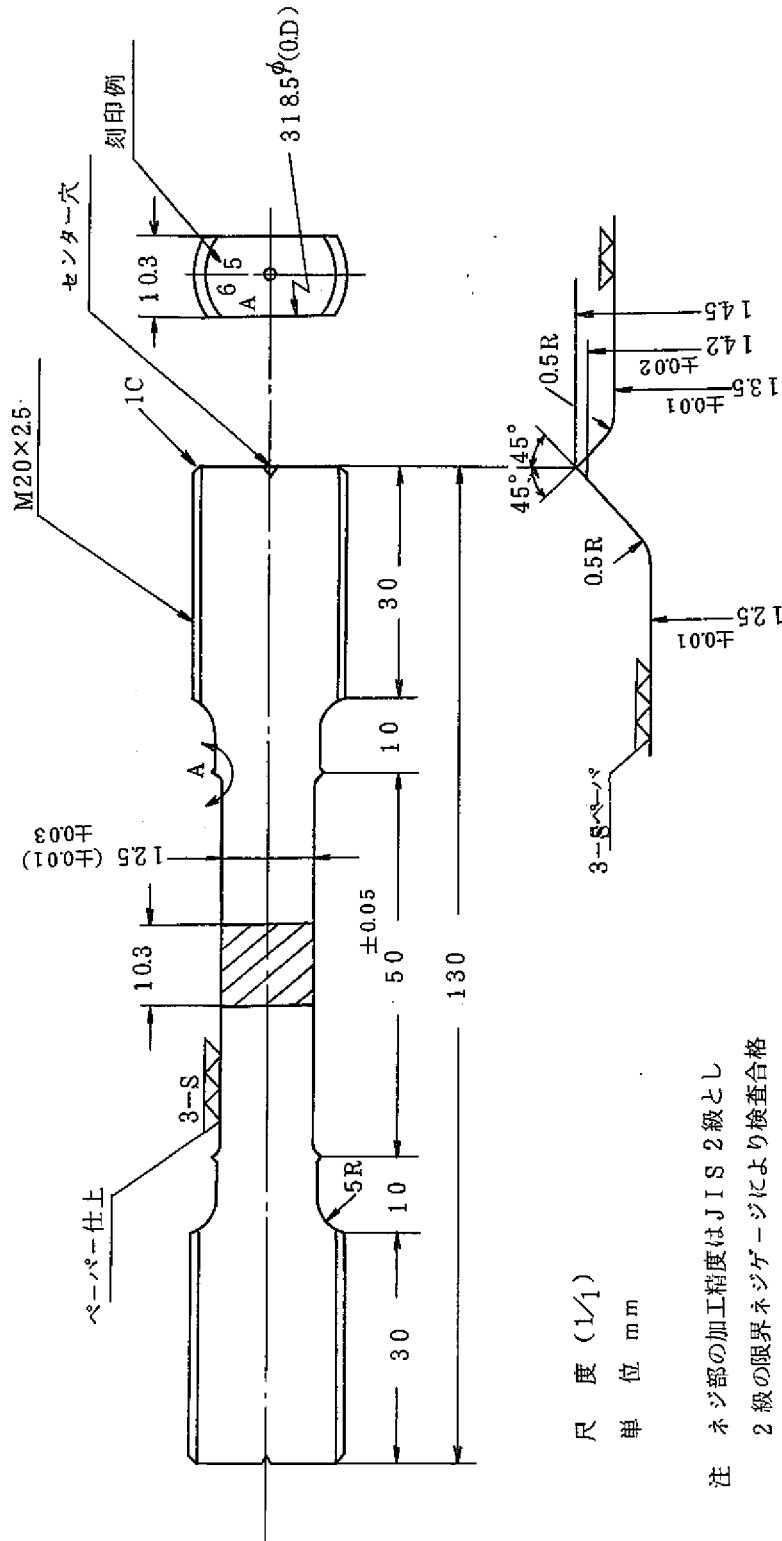
第7表 コールド・レグ内試験片番号(オーバフロータンク内)

目標取 出年次	材料試験	試験片番号						
		サーベイランス試験片				参考試験片		
		素材 No	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24-SUS 304 継手	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24- SUS304 継手
1	引張試験	1	R021,R022	S021,S022	T021,T022	--	--	--
		2	R023,R024	S023,S024	T023,T024	--	--	--
	衝撃試験	3	R116 ~R118	S116 ~S118	T116 ~T118	--	--	--
		4	R316 ~R318	S316 ~S318	T316 ~T318	--	--	--
		5	予備材	同左	同左	--	--	--
2.5	引張試験	6	R025,R026	S025,S026	T025,T026	AR017	AS017	AT017
		7	R027,R028	S027,S028	T027,T028	~AR020	~AS020	~AT020
	衝撃試験	8	R119 ~R121	S119 ~S121	T119 ~T121	AR113 ~AR115	AS113 ~AS115	AT113 ~AT115
		9	R319 ~R321	S319 ~S321	T319 ~T321	--	--	--
		10	予備材	同左	同左	--	--	--
5	引張試験	11	R029,R030	S029,S030	T029,T030	AR021	AS021	AT021
		12	R031,R032	S031,S032	T031,T032	~AR024	~AS024	~AT024
	衝撃試験	13	R122 ~R124	S12 ~S124	T122 ~T124	AR116 ~AR118	AS116 ~AS118	AT116 ~AT118
		14	R322 ~R324	S322 ~S324	T322 ~T324	--	--	--
		15	予備材	同左	同左	--	--	--
10	引張試験	16	R033,R034	S033,S034	T033,T034	AR025	AS025	AT025
		17	R035,R036	S035,S036	T035,T036	~AR028	~AS028	~AT028
	衝撃試験	18	R125 ~R127	S125 ~S127	T125 ~T127	AR119 ~AR121	AS119 ~AS121	AT119 ~AT121
		19	R325 ~R327	S325 ~S327	T325 ~T327	--	--	--
		20	予備材	同左	同左	--	--	--
15	引張試験	21	R037,R038	S037,S038	T037,T038	AR029	AS029	AT029
		22	R039,R040	S039,S040	T039,T040	~AR032	~AS032	~AT032
	衝撃試験	23	R128 ~R130	S128 ~S130	T128 ~T130	AR122 ~AR124	AS122 ~AS124	AT122 ~AT124
		24	R328 ~R330	S328 ~S330	T328 ~T330	--	--	--
		25	予備材	同左	同左	--	--	--

第 8 表 ダンプタンク内試験片番号 (ダンプタンク内)

目標取 出年次	材料試験	試 験 片 番 号				
		サーベイランス試験片			参 考 試 験 片	
		素材 No	SB42 母材	STPA24- STPT42 継手	SB42 母材	STPA24- STPT42 継手
1	引張試験	1	X001	Y001		
		2	X002	Y002		
		3	X003	Y003	-	-
4		X004	Y004			
	衝撃試験	5	X101~X103	Y101~Y103	-	-
	腐食, 金相, 硬度	(注1)	X301~X303	Y301~Y303	-	-
2.5	引張試験	6	X005	Y005		
		7	X006	Y006		
		8	X007	Y007	AX001~AX004	AY001~AY004
		9	X008	Y008		
	衝撃試験	10	X104~X106	Y104~Y106	AX101~AX103	AY101~AY103
	腐食, 金相, 硬度	(注1)	X304~X306	Y304~Y306	-	-
5	引張試験	11	X009	Y009		
		12	X010	Y010		
		13	X011	Y011	AX005~AX008	AY005~AY008
		14	X012	Y012		
	衝撃試験	15	X107~X109	Y107~Y109	AX104~AX106	AY104~AY106
	腐食, 金相, 硬度	(注1)	X307~X309	Y307~Y309	-	-
10	引張試験	16	X013	Y013		
		17	X014	Y014		
		18	X015	Y015	AX009~AX012	AY009~AY012
		19	X016	Y016		
	衝撃試験	20	X110~X112	Y110~Y112	AX107~AX109	AY107~AY109
	腐食, 金相, 硬度	(注1)	X310~X312	Y310~Y312	-	-
15	引張試験	21	X017	Y017		
		22	X018	Y018		
		23	X019	Y019	AX013~AX016	AY013~AY016
		24	X020	Y020		
	衝撃試験	25	X113~X115	Y113~Y115	AX110~AX112	AY110~AY112
	腐食, 金相, 硬度	(注1)	X313~X315	Y313~Y315	-	-

注 1…腐食, 金相, 硬度試験は, 衝撃試験片切出し後の残材を使用。



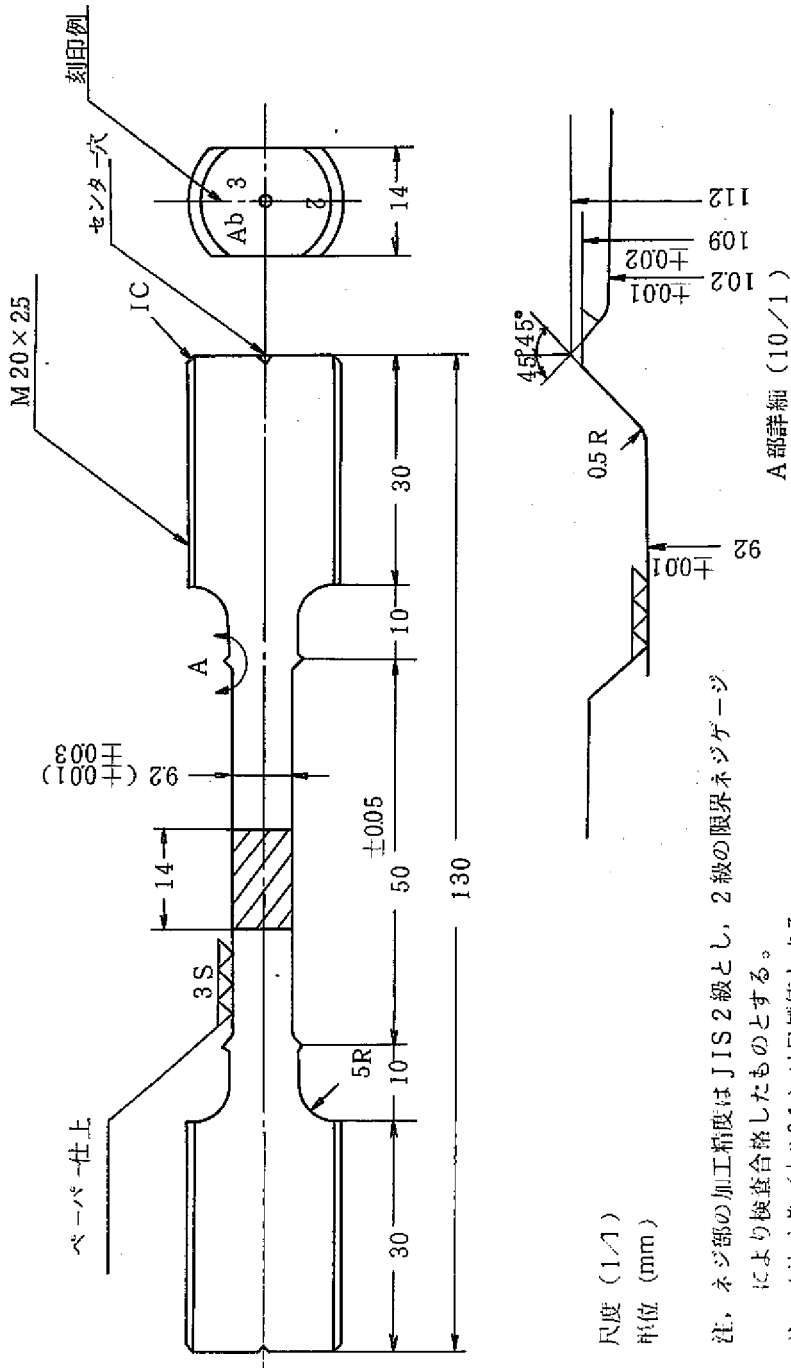
尺度 (1/1)
単位 mm

注 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし
2級の限界ネジゲージにより検査合格
したものとす。

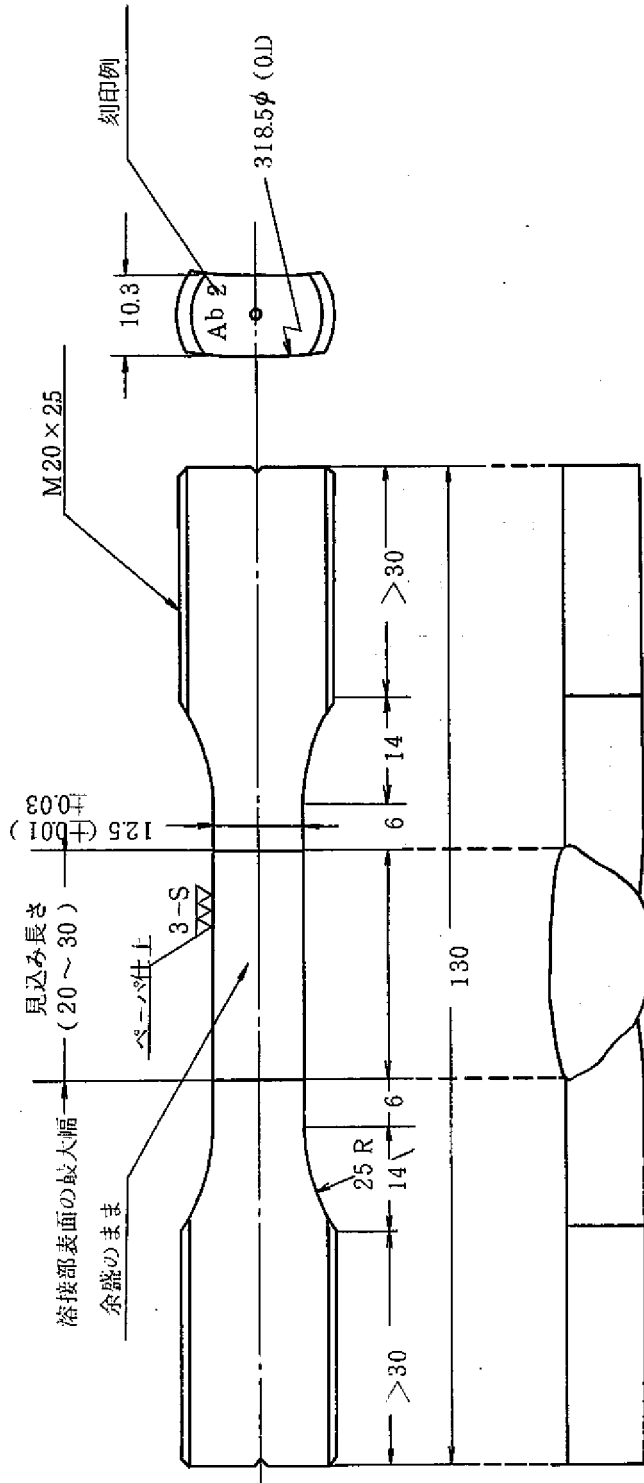
注 平行部公差(±0.01)は目標値とする。

A部詳細 (10/1)

第3図 室温および高温引張用サーベイランス試験片その1 (STPA 24母材)



第4図 室温および高温引張用サーベイランス試験片 その2 (SB42母材)



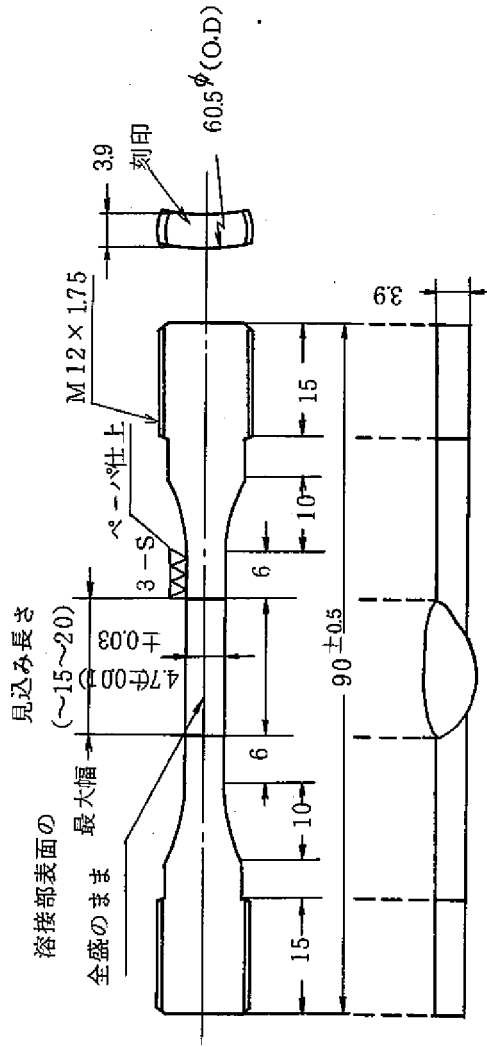
尺度 (1/1)

単位 (mm)

注, ネジ部の加工精度は J I S 2 級とし, 2 級の限界ネジゲージにより検査合格したるものとする。

注, 寸法公差 (±0.01) は目標値とする。

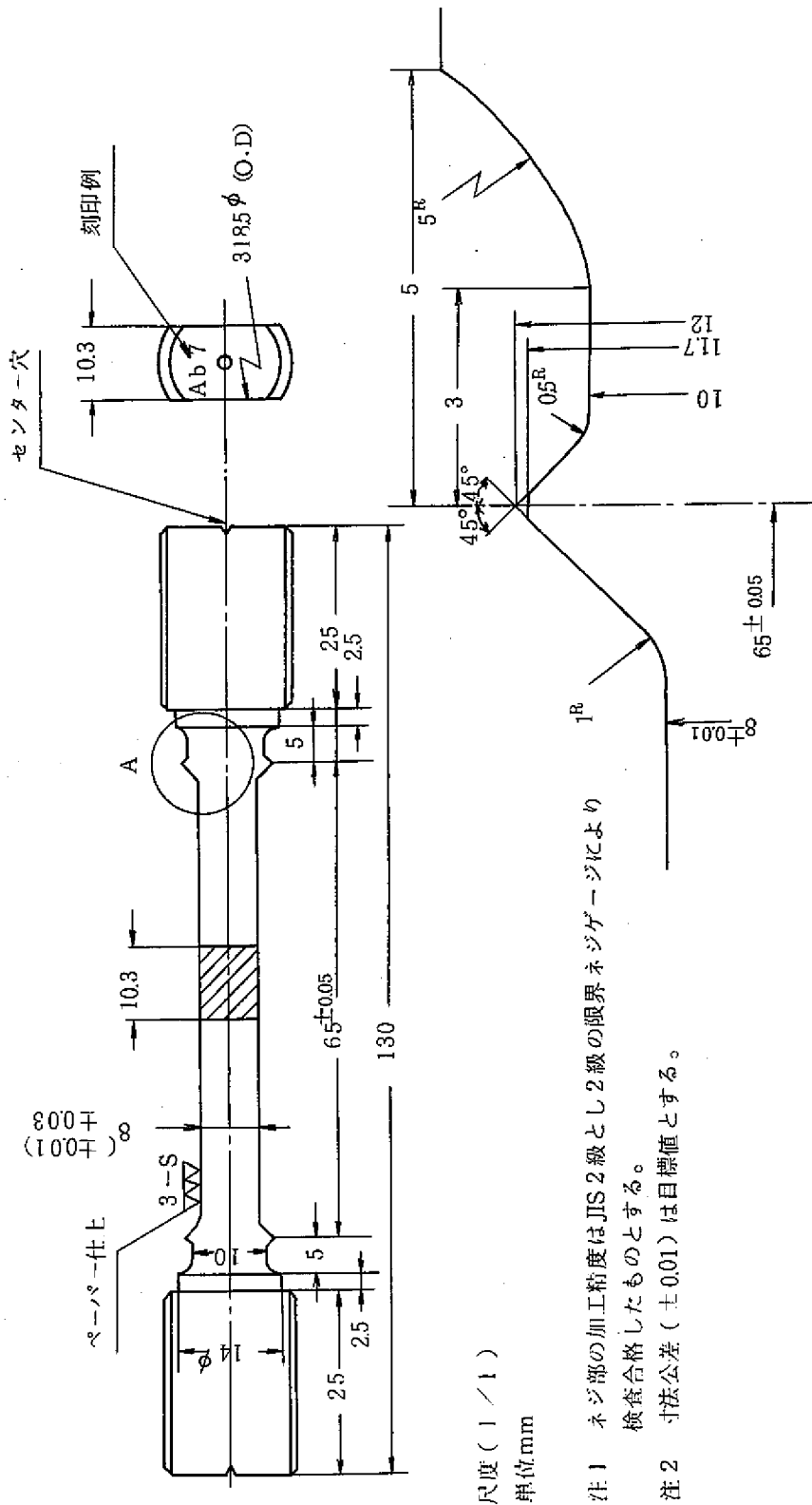
第 5 図 室漏および高温引張用サーベイランス試験片 その 3 (STPA 24 継手, STPA 24-SUS 304 継手)



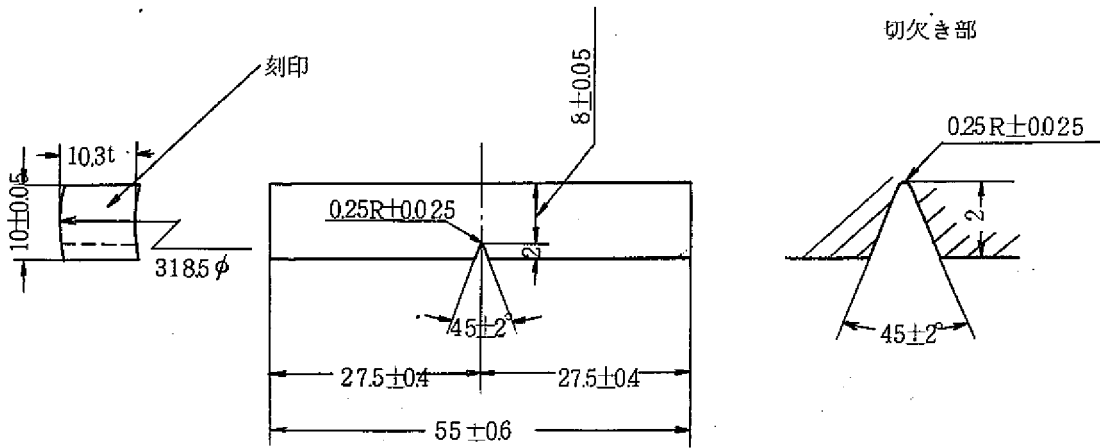
尺度 (1/1)
単位 (mm)

- 注 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし、2級の限界ネジゲージにより検査合格したるものとする。
- 注 寸法公差 ± 0.01 は目標値とする。

第6図 室温および高温引張用サーペイランス試験片その4 (STPA 24-STPT 42継手)



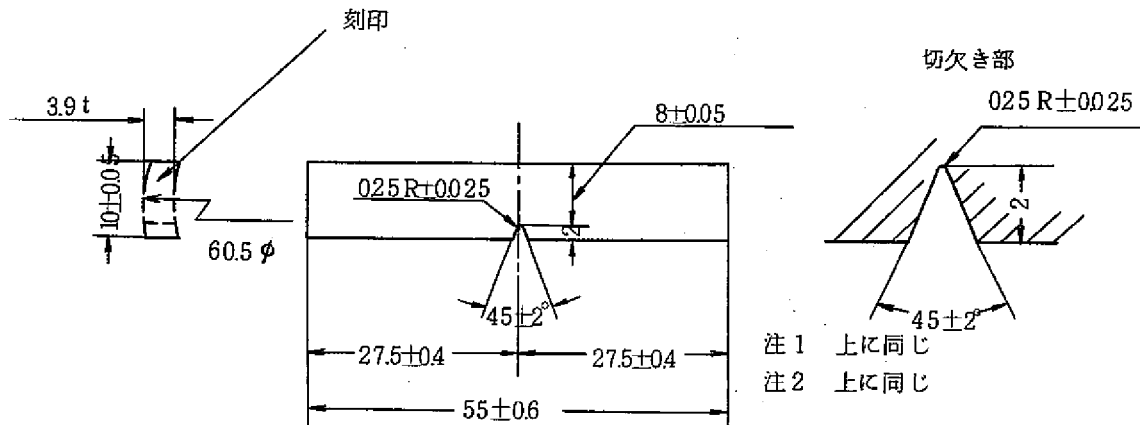
第7図 クリープ破断用サーベイランス試験片その5
(STPA 24母材, STPA 24継手, STPA 24-SUS 304継手)



注1 ノッチはすべて径方向にいれる。

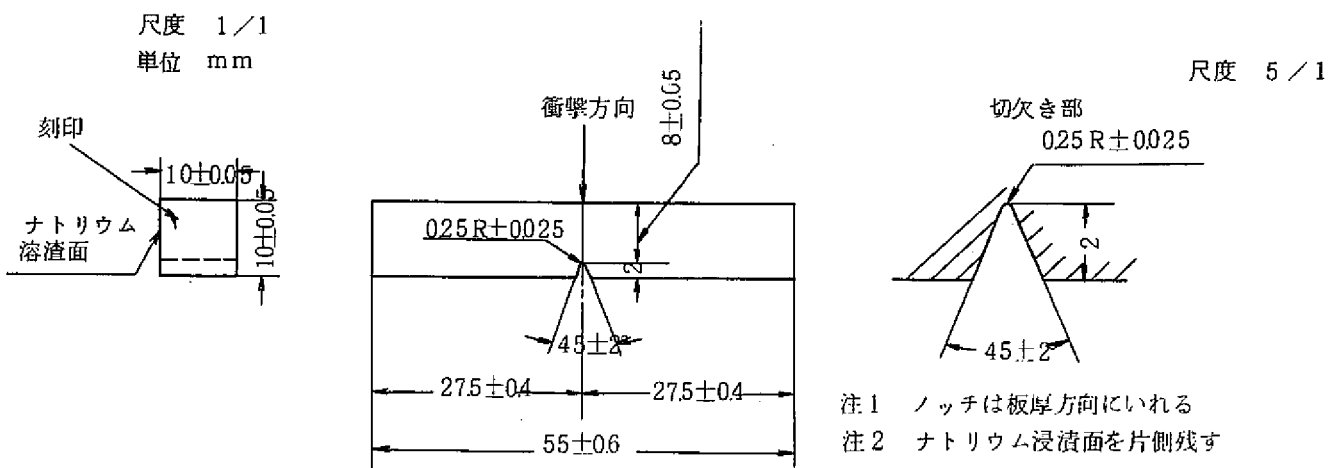
注2 継手材のノッチ位置は、本文4.2項および6.2項を参照する。

(a) 衝撃用サーベイランス試験片 その6-1 (STPA24 母材, STP24 継手, STPA24-SUS304 継手)



注1 上に同じ
注2 上に同じ

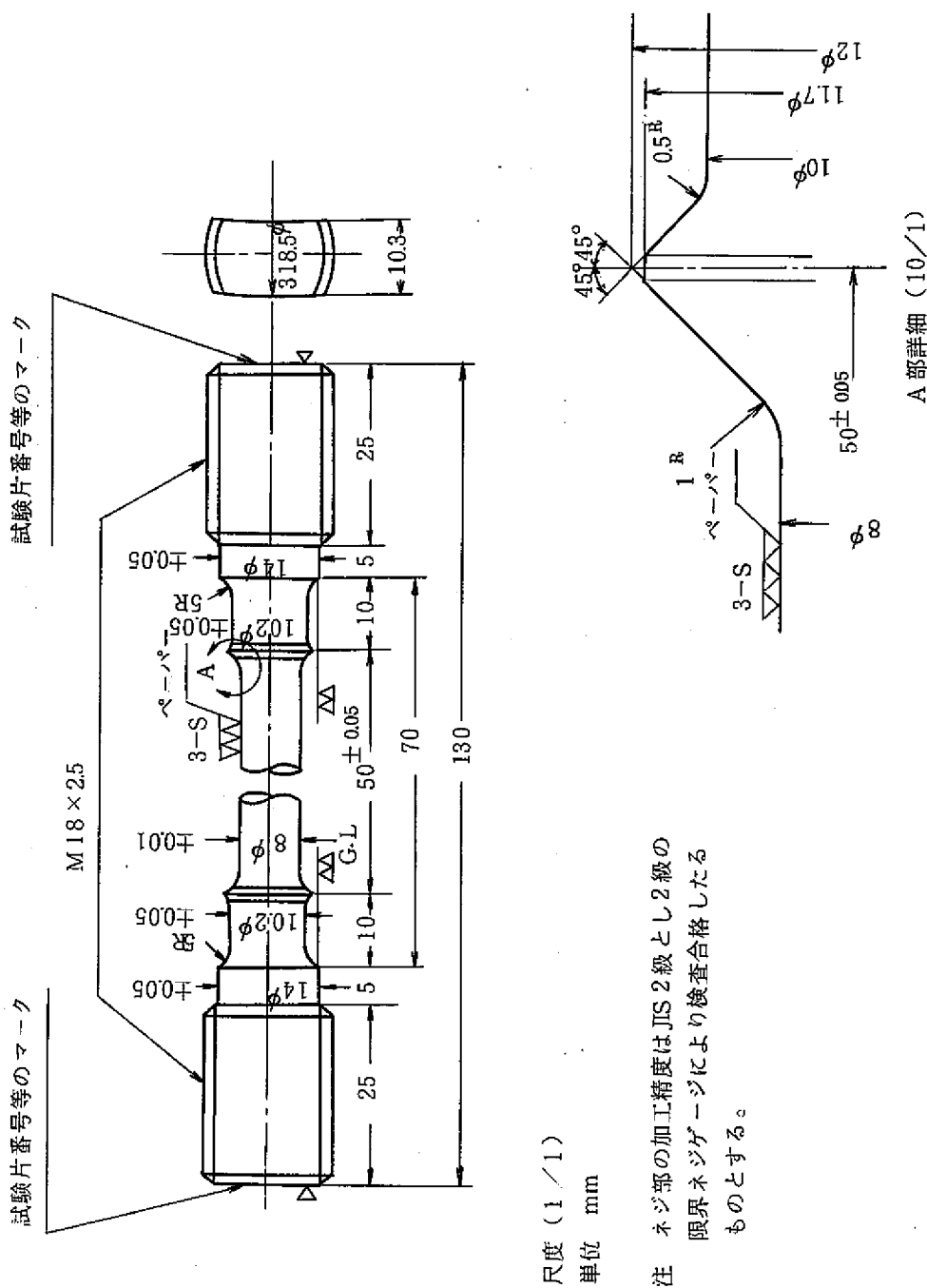
(b) 衝撃用サーベイランス試験片 その6の2 (STPA24-STPT42 継手)



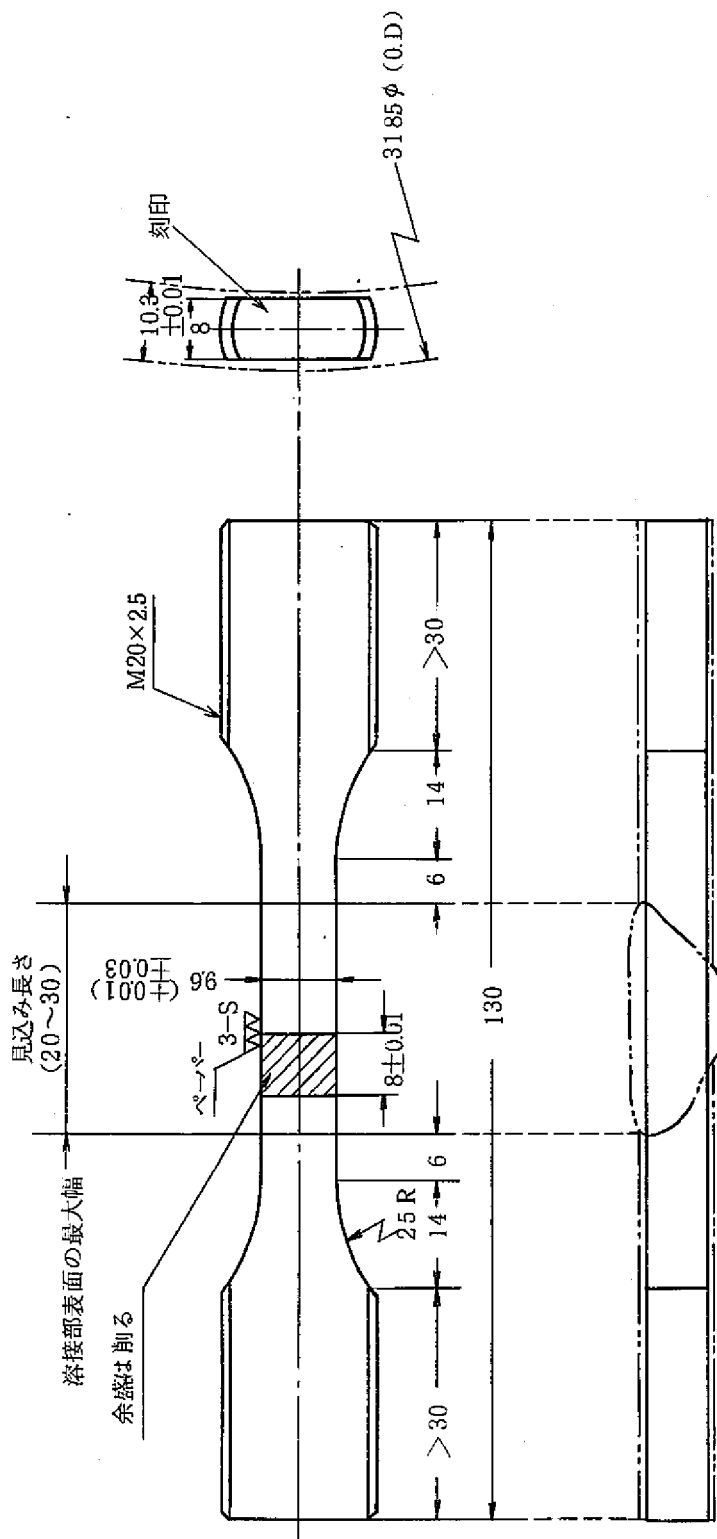
注1 ノッチは板厚方向にいれる
注2 ナトリウム浸漬面を片側残す

(c) 衝撃用サーベイランス試験片 その6-3 (SB42 母材)

第8図 衝撃用サーベイランス試験片 その6



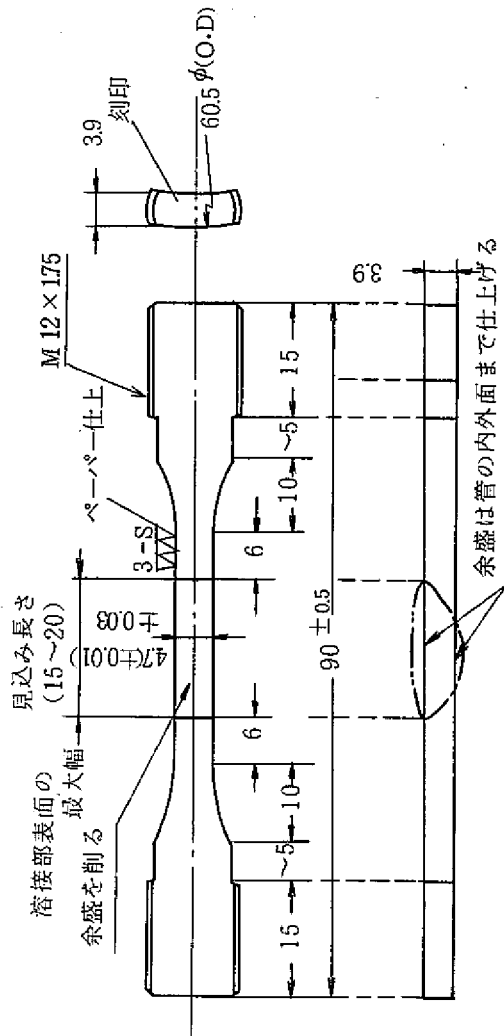
第9図 室温および高温引張用参考試験片その1 (STPA 24母材, SB 42母材)



注、ネジ部の加工精度はJIS2級とし2級の限界ネジゲージにより検査合格したものとする。

注、寸法公差 (± 0.01) は目標値とする。

第10図 室温および高温引張用参考試験片 その2 (STPA24継手, STPA24-SUS304継手)

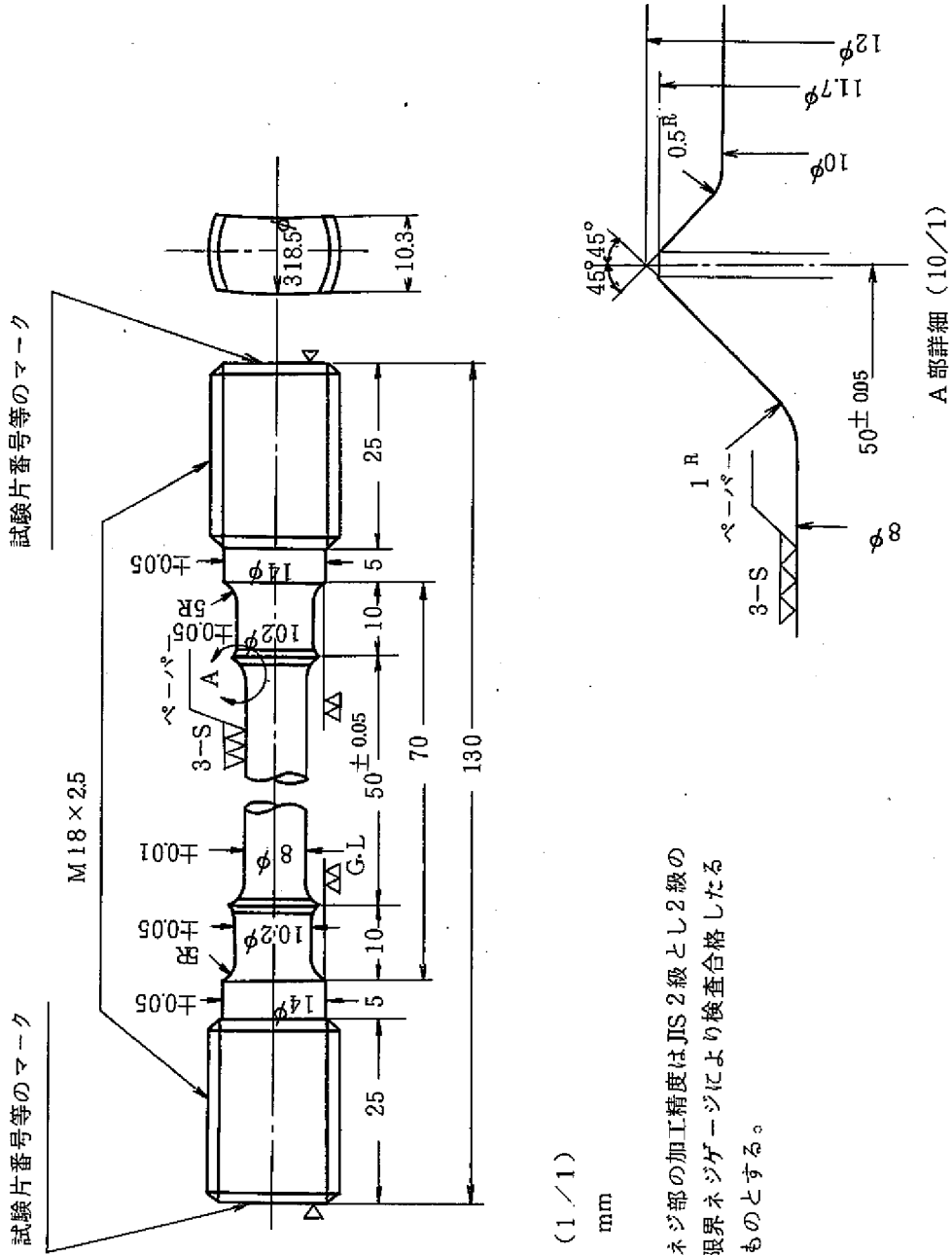


尺度 (1/1)
 単位 (mm)

注 ネジ部の加工精度は JIS 2 級とし、2 級の限界ネジゲージにより
 検査合格したるものとする。

注 寸法公差 (±0.01) は目標値とする。

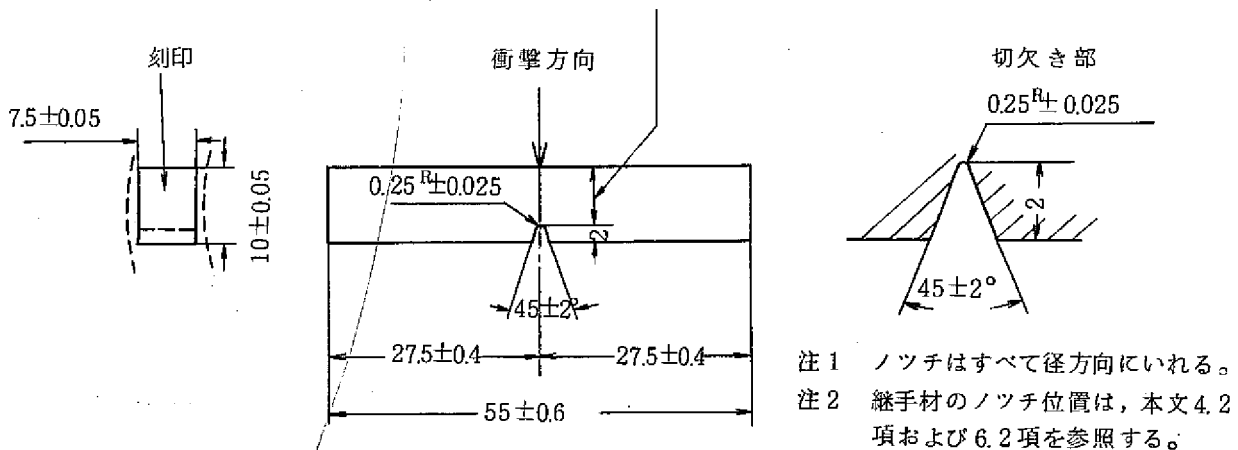
第 11 図 室温および高温引張用参考試験片その 3 (STPA 24-STPT 42 継手)



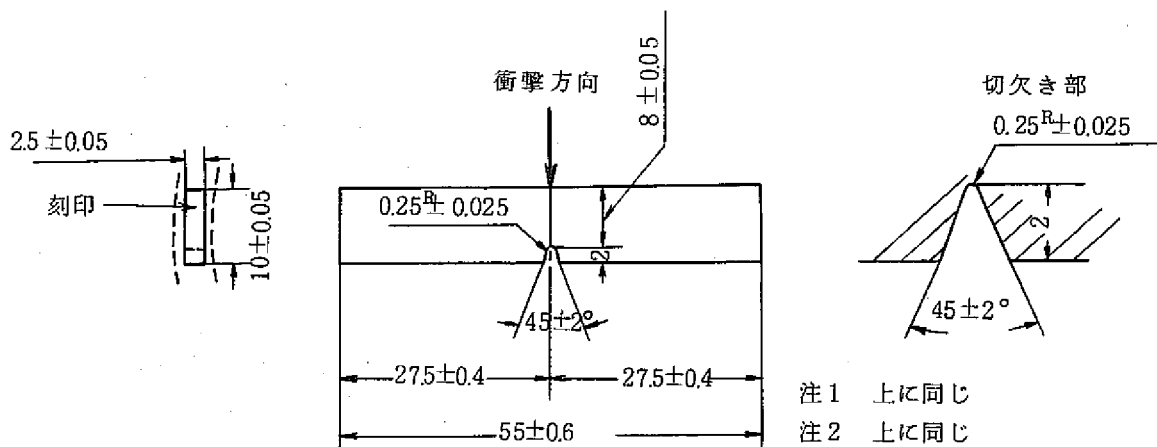
尺度 (1/1)
単位 mm

注 ネジ部の加工精度はJIS 2級とし2級の
限界ネジゲージにより検査合格したる
ものとする。

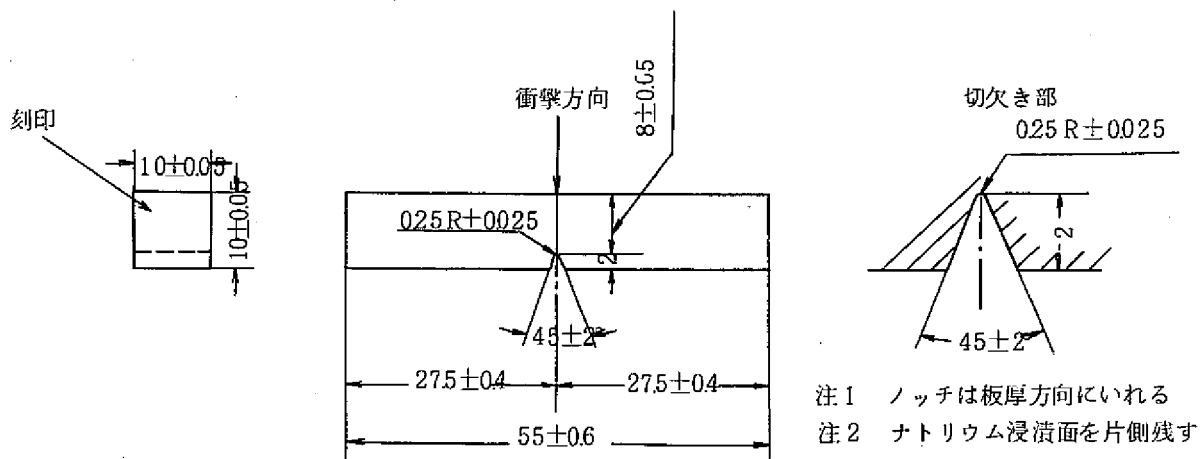
第12図 クリープ破断用参考試験片 (STPA 24母材, STPA 24継手, STPA 24-SUS 304継手)



(a) 衝撃用参考試験片その4-1 (STPA 24母材, STPA 24継手STPA 24-SUS 304 継手)



(b) 衝撃用参考試験片その4-2 (STPA 24-STPT 42 継手)



(c) 衝撃用参考試験片その4-3 (SB42母材)

第13図 衝撃用参考試験片その4

4. 確認試験要領

確認試験は、実機の2次冷却系機器配管から切り出された素材そのものの材料強度データを得るために行なうもので、その試験結果は、今後、行なわれるサーベイランス試験結果を解析するための基準データとなるものである。なお、確認試験は、サーベイランス試験の予備試験の性格を有し、試験方法を確立するためにも重要である。

確認試験は以下の5項目、(i)引張試験、(ii)金相試験、(iii)衝撃試験、(iv)かたさ試験、(v)クリープ試験について行なう。

第9表に確認試験条件を、また第10表に試験片番号を一覧表にして示す。

4.1 引張試験

対象部材は、2次主冷却系配管(STPA 24母材、STPA 24継手、STPA 24とSUS 304との継手)、2次系ダンプ・タンク材(SB 42母材、STPA 24とSTPT 24との接継手)である。設計温度520℃、400℃および定常運転(100MWt)時の使用温度340～470℃を考慮して、試験温度は、室温、400℃、520℃とする。1試験条件に対する試験片本数は2本とする。

引張試験方法は、JIS規格JIS-Z 2241およびJIS-GO 567に準拠する。

試験片の引張歪み速度は降伏点をこえるまでは0.3%/min以下とし、降伏点をこえたあとの速度は5～10%/minとする。

引張試験により求めるデータは、(i)0.2%オフセット耐力、(ii)引張強さ、(iii)一様伸び、(iv)破断伸び、(v)絞りとする。

これらのデータのうち、(i)、(ii)、(iii)は試験機に付属する記録計上の荷重-伸び曲線から求める。一様伸びはチャートから求めた最大荷重時の永久伸びとする。破断伸びはコンパレーターにより測定した突き合せ伸びとする。

絞りは、投影器上で破断面を突き合せにより測定した絞り部の最小外径(直交する2方向)の平均値より求める。

なお、破断後の外観写真を撮影すると共に、代表的試料について、金相試験を行なう。SEM観察は必要に応じて行なう。

4.2 衝撃試験

試験対象材は、主冷却系配管材（STPA 24 母材，STPA 24 継手，STPA 24 と SUS 304 の継手），ダンプ・タンク材（SB 42 母材，STPA 24 と STPT 42 の継手）である。管材から採取する試験片はすべて管長手方向より切り出し、ノッチは管径方向に切り込むものとする。

衝撃試験方法は金属材料衝撃試験方法（JIS・Z・2242）に準拠する。試験に使用する衝撃試験機は、30 kg・m シャルピー衝撃試験機である。試験は室温にて行ない、その温度を記録する。溶接継手材の試験は、溶接金属および熱影響部について行なう（異材継手については2個所の熱影響部について行なう）。

衝撃試験により求めるデータは、(i)シャルピー吸収エネルギー、(ii)シャルピー衝撃値、(iii)破断後外観写真とする。脆性破面率、横膨脹率等は参考値として、必要に応じて求めるものとする。

4.3 クリープ試験

試験対象材は、主冷却ホット・レグ部配管材（STPA 24 母材，STPA 24 継手，STPA 24 と SUS 304 継手）である。試験温度は、500℃，550℃ および 600℃ とする。目標破断時間は、各温度において、300，1000，3000，5000 の各時間（目標 10000 時間の試験も必要に応じて行なう）とする。

試験片は原則として、1 温度 1 応力条件につき 1 本とする。

試験方法、試験機は JIS・Z・2272 に準拠する。求めるデータは、(i)破断時間、(ii)破断伸び、(iii)断面収縮率、(iv)破断個所（継手材のみ）、(v)破断後外観写真である。(ii)、(iii)の測定方法は、4.1 節の方法による。クリープ破断後、代表的な試験片について、組織観察、破面観察を行なう。

4.4 金相試験

試験対象材は、主冷却系配管材（STPA 24，STPA 24 継手，SUS 304 と STPA 24 の継手），ダンプ・タンク材（SB 42 母材，STPA 24 と STPA 42 継手）である。金相試験方法は予備試験により決定する。光学顕微鏡写真は 100 倍および 400 倍で撮影する。

母材については、析出物の状況、結晶粒度、継手材については、溶接金属部、溶接部境界、熱影響部の組織変化に着目する。

材料試験後の金相試験は、特徴的な変形組織等について着目して行なう。

かたさ試験についても、同様な対象材について行なう。試験は、微小硬さ計によるピッカー

ス硬さ試験とし、試験方法は、JIS・Z・2244に準拠して行なう。なお、かたさ荷重は300 gramとする。かたさ試験は、母材の表層部および中心部のかたさ、溶接継手の溶接金属部および熱影響部のかたさの変化に着目し、かたさの分布を測定する。

XMA試験、表面SEM観察、成分の化学分析は必要に応じて行なう。

4.5 試験片の管理

試験終了後の試験片は、サーベイランス試験が終了するまで保管される。保管材についても同様とする。保管は、サーベイランス試験実施の過程において、再試験、追加試験、試験片検討の必要が生じた場合を考慮して行なうものである。

保管材および試験片は、ナトリウム技術開発室にて保管される。保管にさいしては、錆防錆等を考慮する。

第9表 2次冷却系材確認試験条件

対象部材	試験種類	確認試験				試験条件	備考	
		繰返し数(本)	材種数	温度条件数	TOTAL本数			
2次主冷却系 配管 コールド・レグ部 (STPA 24母材 STPA 24継手 STPA 24-SUS 304継手)	室温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	R. T	() 内数字は参考試験片に対するものである。	
	高温引張	2 (2) (2)	3 (3) (3)	2 (2) (3)	12 (12) (18)	400℃, 520℃ 500℃, 550℃, 600℃		
	クリープ	5 (5)	3 (3)	3 (1)	45 (15)	500℃, 550℃, 600℃		
	衝撃	3 (8)	3 (3)	1 (1)	9 (24)	R. T		
	腐食, 金相, 硬度	3 個	3	1	9 個	一般金属組織 SEM, XMA, 硬度		
2次主冷却系 配管 コールド・レグ部 (STPA 24母材 STPA 24継手 STPA 24-SUS 304継手)	室温引張	※-1						※-1 ホット・レグ部の試験により代 行する。
	高温引張							
	衝撃							
	腐食, 金相, 硬度							
2次系ダンプ タンク部 (SB 42母材 STPA 24-SUS 42継手)	室温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	R. T		
	高温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	400℃		
	衝撃	3 (4)	2 (2)	1 (1)	6 (12)	R. T		
	腐食, 金相, 硬度	3 個	2	1	6	一般金属組織 SEM, XMA, 硬度		

第10表 確認試験片番号

材料試験	試験片番号																			
	サベライオンズ試験片						試験片													
	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24-SUS 304 継手	SB42 母材	STPA24- STPT42継手	STPA24 母材	STPA24 継手	STPA24- SUS304継手	SB42 母材	STPA24- SUS304継手	SB42 母材	STPA24- SUS304継手								
引張試験	R041 }	S041 }	T041 }	X021 }	Y021 }	AR033 }	AS033 }	AT033 }	AX017 }	AY017 }	AR046	S046	T046	X024	Y024	AR044	AS044	AT044	AX020	AY020
	R131 }	S131 }	T131 }	X116 }	Y116 }	AR125 }	AS125 }	AT125 }	AX113 }	AY113 }	R133	S133	T133	X118	Y118	AR127	AS130	AT139	AX115	AY121
クリープ試験	R231 }	S231 }	T231 }	-	-	AR225 }	AS225 }	AT225 }	-	-	AR236	AS236	AT236	-	-	-	-	-	-	-
	R245	S245	T245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
腐食, 金相, 硬度試験	R331 }	S331 }	T331 }	X316 }	Y316 }	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	R333	S333	T333	X318	Y318	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5. 試験片の組み込みおよび取出要領

5.1 試験片の組込要領およびナトリウム浸漬条件

(1) 試験片の組込要領

2次冷却系サーベイランス試験片は、①2次主冷却器入口配管内（ホット・レグ）、②オーバフロータンク内、③ダンプタンク内にそれぞれ装荷され、各装荷位置の試験片は試験片ホルダーの中に取り出し年次毎に1つのアセンブリーに組込まれている。

なお、各装荷位置に於る試験片配置、および試験片ホルダー、アセンブリー形状の詳細は、添付図面1～3に示す。

(2) ナトリウム浸漬条件

サーベイランス試験片の各装荷位置に於るナトリウム浸漬条件（通常運転時）を次に示す。

装 荷 場 所	Na 温度	Na 流速	Na 純度
2次主冷却器入口配管 (2次主冷却系ホットレグ)	470℃	1246m/hr (約5m/sec)	酸素濃度 20ppm
オーバフロータンク (2次主冷却系コールドレグ)	340℃	主循環ポンプをオーバフローしたNa(340℃)が常時流入している。	
ダンプタンク	340℃	オーバフロータンクからNaが流れ込み、また、ダンプからは、2次純化系統へ、Naが吸み上げられている。	

5.2 試験片の取出要領および洗浄

2次冷却系サーベイランス試験片の取出しは、系統内へ空気が混入しないよう十分注意して行なう。各装荷位置からの試験片の取出しは、キャスクを用いて行なう。

キャスクは、各試験片取出し部に取付け、取付け後キャスク内をアルゴンガス雰囲気にしその中で試験片の取出しを行なう。取出した試験片は、アルコール漬けにしNa技術開発室へ搬入し、アルコール超音波洗浄、試験片加工をした後、各種材料試験を行なう。

5.3 取出しスケジュール

「常陽」の使用期間中、2次系配管サーベイランス試験片については、5回の取出しを行な

う。それぞれの取出目標年次は、「常陽」の出力上昇後、1年、2.5年、5年、10年、15年の各年後とする。目標年次は、運転出力、稼働率に応じて、100MWt等価時間で考慮し、定検時期に合わせてスライドする。各年次のサーベイランス試験に対する基本的な考え方としては、どの年次（15年次以降の試験は除く）に行なわれるサーベイランス試験でも、要求される最小限の情報としては、その次の次の年次のサーベイランス試験結果が得られるまでの間について「常陽」の材料強度上の健全性ならびに安全性を評価するために必要なデータを得ることを目標とする。

第11、12、13表に、「常陽」2次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類と取出スケジュールを示す。

6. サーベイランス試験要領

サーベイランス試験条件を第14表に示す。

サーベイランス試験における対象部は、2次主冷却系ホット・レグ部と同コールド・レグ部および2次系ダンプ・タンク部の3箇所である。

サーベイランス試験温度条件としては、設計温度もしくはそれに近い温度および室温を選定している。

6.1 引張試験

対象材としては、2次冷却系配管ホット・レグ部およびコールド・レグ部材、2次系ダンプ・タンク材である。対象材の詳細は第11表、第12表、および第13表に示した通りである。

試験は、それぞれの部材について、設計温度および室温にて実施する。

6.2 衝撃試験

対象材は引張試験の場合と同一である。室温にて各3本の試験を行なう。溶接部の試験は、確認試験により得られたデータから判断して、最も低い衝撃値を示すノッチ部について行なう。その他の試験要領は確認試験と同一とする。

6.3 クリープ試験

対象部は2次主冷却系配管ホット・レグ部で、STPA 24母材、STPA 24継手、STPA 24とSUS 304との継手材について試験を行なう。

試験条件は550℃で、目標破断時間は、300、1000、3000、5000の各時間（目標10000時間の試験も必要に応じて行なう^{*}）とする。

その他の試験要領ならびに採取するデータは確認試験の場合と同一とする。

6.4 金相試験

対象材としては、2次冷却系配管ホット・レグ部およびコールド・レグ部の各配管材、2次系ダンプ・タンク材である。

表面観察

光学顕微鏡およびSEM観察を行なう。ナトリウム浸漬表面の腐食形態、一般腐食、粒界腐食および局部腐食の有無、腐食生成物の沈着状況などに着目する。さらにXMAにより、必要箇所については、成分元素の変化を調べる。

* 10000時間の試験については、データ解析上、必須でなくなる場合には省略することもある。

断面観察

母材および溶接材について、表層部および中心部の組織観察を光学顕微鏡により、脱炭状態析出物、粒界腐食の有無などに着目して行なう。断面についても、必要があればXMA試験を行なう。

かたさ測定

表面のかたさ、断面のかたさ分布の測定を行ない、脱炭現象も含めた腐食によるかたさ変化を検出する。

材料試験後の金相試験は、必要に応じて行ない、特徴的な変形組織などに着目する。

化学分析

成分分析を炭素元素などについて行なう。

その他の試験要領は確認試験の場合と同一である。

6.5 試験片の管理

確認試験片の場合と同様に、サーベイランス試験が終了するまで保管する。

第 1 1 表 2 次冷却系サーベライランス装荷試験片の種類および取出しスケジュール (装荷位置 A)

試験種類	材種および試験条件	目 標 取 出 年 次						小 計	備 考
		1	2.5	5	10	15			
* 1 引張試験	STPA24 母材	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	* 1 ハット橋型試験片から各 2 本の試験片を製作 * 2 ハット橋型試験片から各 3 本の試験片を製作 () 内数字は、参考試験片本数を示す。
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24 継手	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24-SUS304 継手	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
* 1 クリープ試験	STPA24 母材	6	6 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)	30 (24)		
	STPA24 継手	6	6 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)	30 (24)		
	STPA24-SUS304 継手	6	6 (6)	6 (6)	6 (6)	6 (6)	30 (24)		
	STPA24 母材	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)		
* 2 衝撃試験	STPA24 継手	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)		
	STPA24-SUS304 継手	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)		
	STPA24 母材	3	3	3	3	3	15		
* 2 腐食, 金相 硬度, 試験	STPA24 継手	3	3	3	3	3	15		
	STPA24-SUS304 継手	3	3	3	3	3	15		
	STPA24 母材	3	3	3	3	3	15		

第12表 2次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類および取出しスケジュール（装荷位置B）

試験種類	材種および試験条件	目 標 取 出 年 次					小 計	備 考
		1	2,5	5	10	15		
*1 引張試験	STPA24 母材	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	*1. ハッ橋型試験片から各2本の試験片を製作 *2. ハッ橋型試験から各3本の試験片を製作 予備試験片はハッ橋型試験片1個 () 内数字は参考試験片本数を示す。
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24 継手	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24-SUS304継手	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
*2 衝撃試験	STPA24 母材	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)	
	STPA24 継手	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)	
	STPA24-SUS304 継手	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)	
	STPA24 母材	3	3	3	3	3	15	
*2 腐食, 金相 硬度, 試験	STPA24 継手	3	3	3	3	3	15	
	STPA24-SUS304 継手	3	3	3	3	3	15	

第 13 表 2 次冷却系サーベイランス装荷試験片の種類および取出しスケジュール（装荷位置 C）

試験種類	材種および試験条件	目 標 取 出 年 次					小 計	備 考
		1	2.5	5	10	15		
* 1 引張試験	SB 42 母材	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	* 1. 装荷試験片から各 1 本の試験片を製作 * 2. 装荷試験片から各 3 本の試験片を製作 * 3. 衝撃試験片切出し後の残材を使用 () 内数字は参考試験片本数を示す。
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
	STPA24-STPT42 継手	室温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
		高温	2 (2)	2 (2)	2 (2)	2 (2)	10 (8)	
* 2 衝撃試験	SB 42 母材	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)	
	STPA24-STPT42 継手	3	3 (3)	3 (3)	3 (3)	3 (3)	15 (12)	
* 3 腐食, 金相 硬度試験	SB 42 母材	3	3	3	3	3	15	
	STPA24-STPT42 継手	3	3	3	3	3	15	

第14表 2次冷却系サーパーバイランス試験条件

対象部材	試験種類	サーパーバイランス試験				備考
		試験条件				
		繰返し数	材種数	温度条件数	TOTAL本数	
2次主冷却系配管 (STPA 24) ホット・レグ部	室温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	R. T
	高温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	520℃
	クリーブ	6 (6)	3 (3)	1 (1)	18 (18)	550℃
	衝撃	3 (3)	3 (3)	1 (3)	9 (9)	R. T
	腐食, 金相, 硬度	3 個	3	1	9	一般金属組織 SEM, XMA, 硬度
	室温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	R. T
	高温引張	2 (2)	3 (3)	1 (1)	6 (6)	400℃
	衝撃	3 (3)	3 (3)	1 (1)	9 (9)	R. T
	腐食, 金相, 硬度	3 個	3	1	9	一般金属組織 SEM, XMA, 硬度
2次系ダンプ・タンク部 (SB 42)	室温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	R. T
	高温引張	2 (2)	2 (2)	1 (1)	4 (4)	400℃
	衝撃	3 (3)	2 (2)	1 (1)	6 (6)	R. T
	腐食, 金相, 硬度	3 個	2	1	6	一般金属組織 SEM, XMA, 硬度

7. 試験結果のまとめ方

どの年次（第5回目の試験を除いて）に行なわれるサーベイランス試験に於ても、要求される最小限の情報は、その次の次の年次のサーベイランス試験が得られるまでの間、常陽の材料強度上の健全性並びに安全性を評価するために十分なものでなければならない。

常陽の2次冷却系は、SUS 304とSTPA 24とのバイメタリック・ループを構成しているため、一般的には、SUS 304とSTPA 24の炭素活量の差により、STPA 24側で脱炭が起り、SUS 304側で浸炭が起ることが予想される。さらに、Naにさらされている配管内面からの成分元素のほゞ一様な溶出とみなされる一般腐食や、高温長時間保持による熱履歴による2次系材料の材質変化が起ることが考えられる。

従って、2次冷却系主配管等材料の一般腐食、脱炭および熱履歴効果による材料強度の劣化の度合、その相互関連性を明らかにすることが、サーベイランス試験の解析評価の主たる目的となる。

7.1 引張試験

(i) 機械的性質の使用時間に対する変化傾向

各母材については、0.2%耐力、引張強さ、全伸びについてのサーベイランス試験データ値と確認試験データ値との比を縦軸にとり、横軸にNa浸漬時間をとって、機械的性質の使用時間に対する変化傾向を把握する。

(ii) クリープ領域以下の温度における設計応力値^{d)}との比較

「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針¹⁾（以下「常陽」指針と称する。）が採用しているクリープ領域以下の温度における設計応力強さおよび許容応力は、フェライト鋼（STPA 24, STPA 42, SB 42）は以下の基準に従って定めている。

設計応力強さ

- (1) 室温での引張強さの1/3
- (2) 高温での引張強さの1/3
- (3) 室温での降伏強さ（0.2%耐力）の2/3
- (4) 高温での降伏強さ（0.2%耐力）の2/3

許容応力

- (1) 室温での引張強さの1/4
- (2) 高温での引張強さの1/4
- (3) 室温での降伏強さ（0.2%耐力）の5/8
- (4) 高温での降伏強さ（0.2%耐力）の5/8

サーベイランス・データを上記の基準に従って整理し、これらの最小値とその条件における「常陽」指針に示された設計応力強さおよび許容応力と比較する。「常陽」指針¹⁾に示された各温度での設計応力強さおよび許容応力の値を第 15 表および第 16 表に示す。

第 15 表 STPA24 (2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo)の時間に依存しない設計応力強さ (kg/mm²)

材料 \ 温度	-30	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	520
	~40											
STPA24	11.8	11.8	11.8	11.8	11.5	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	9.8	9.4

第 16 表 STPA24 (2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo)およびSB42, STPT42の時間に依存しない許容応力 (kg/mm²)

材料 \ 温度	-30	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	520
	~40											
STPA24	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	8.7	8.7	5.9	4.6
SB42 STPT42									6.7			

(ただし、ナトリウム機器配管に対して定められる値)

(iii) 強度劣化と脱炭量

6.4 で測定する脱炭量と強度劣化の関係を相対的な比率 (確認データとの比) で整理し、従来、提案されている "Adjustment Factor"⁴⁾ と比較する。Goldmann⁴⁾ が提案した Adjustment Factor の値を第 17 表に示す。さらに縦軸にこれらの機械的性質の値をとり、横軸に炭素分量をとり、脱炭量に対するこれらの性質の変化傾向に注目する。

(iv) その他、STPA-24 材については、現時点で最も新しい設計基準である ASME の CASE1592 が与えている時間に依存しない設計応力強さとの比較も行なう。CASE1592 の設計応力強さは以下の基準によっている。

- (1) 室温での最小引張強さの 1/3
- (2) 高温での引張強さの 1/3
- (3) 室温での最小降伏強さ (0.2%耐力) の 2/3
- (4) 高温での降伏強さ (0.2%耐力) の 2/3

第 17 表 STRESS LIMIT ADJUSTMENT FACTORS FOR SODIUM EXPOSURE⁴⁾

Material	Location	Type of System	Change	Carbon Content, (%)	UTS	YS	SR	CR	Fatigue	Impact
2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	Hot and cold leg	Bimetallic	Decarburization	0.01	0.60	0.60	0.60	0.39	1.0	1.0
				0.03	0.68	0.68	0.68	0.49	1.0	1.0
				0.05	0.75	0.75	0.75	0.61	1.0	1.0
				0.07	0.83	0.83	0.83	0.72	1.0	1.0
				0.09	0.90	0.90	0.90	0.83	1.0	1.0
				0.11	0.97	0.97	0.97	0.94	1.0	1.0
			>0.12	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
304SS	Hot leg	Monometallic	Decarburization	<0.04	L	L	L	L	L	L
304SS	Hot leg	Bimetallic	Carburization	>0.10	1.0	1.0	1.0	0.65	1.0	0.5
316 SS	Hot leg	Monometallic	Decarburization	<0.04	L	L	L	L	L	L
316SS	Hotleg	Bimetallic	Carburization	>0.10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5

UTS: ultimate tensile strength CR: stress for secondary creep rate of 0.01% in 1000 hr
 YS: 0.2% offset yield strength L: use low-carbon-grade values
 SR: stress-to-rupture in 100,000 hr

比較は上記(III)と同様に行なう。CASE 1592⁵⁾が与えている 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の設計応力強さを第 18 表に示す。

第 18 表 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の時間に依存しない設計応力強さ (CASE 1592)⁵⁾

温度	700 °F	750	800	850	900	950	1000
材料	(371.1 °C)	(398.9)	(426.7)	(454.4)	(482.2)	(510.0)	(537.8)
STPA24 (2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo)	17.9 kg (12.6) kg/mm ²	17.9 (12.6)	17.9 (12.6)	17.6 (12.4)	17.2 (12.1)	16.7 (11.7)	15.9 (11.2)

V) 伸び値

STPA24, STPT42, SB42 母材の室温全伸び値については, JIS規格との比較を行なう。

溶接継手については, 引張強さのみを対象として(i), (ii), (iv)の評価を行なう。さらに, 破断形態および破断部と強度との関係について注目する。

7.2 衝撃試験

衝撃性質の使用時間に対する変化傾向

衝撃値および吸収エネルギー^{*}について, 7.1節と同様な方法で使用時間に対する変化傾向を把握する。さらに脆性破面率の時間的な変化についても注目する。

7.3 クリープ試験

(i) 確認試験データの Larson-Miller パラメータ法による整理

確認試験の結果を Larson-Miller パラメータを用い, 統計的な手法で^{例えば6)}整理する。得られたクリープ曲線から常陽2次系設計最高温度520℃以下の温度領域でのクリープ制限応力 St (A temperature and time dependent stress in tension) を「常陽」指針¹⁾が採用している次のクライテリオン^{*}により求める。

「荷重作用時間(131500時間)でのクリープ・ラプチャの最小値の66.7%」

このようにして実験的に求められた制限応力強さ St と「常陽」指針の値と比較する。第19表に「常陽」指針に記載されている St 値を示す。

* 形状効果については, サーベイランス確認試験の結果により補正する。

* 「常陽」指針では次の基準によることを定めている。

クリープ特性基準

荷重作用時間を131500時間とし, これにナトリウムの効果を考慮した材料データより次のように定める。

- a. 荷重作用時間でのクリープ・ラプチャの最小値の66.7%
- b. クリープ歪率が1/荷重作用時間〔%/hr〕となる最小値。

これらの2つの基準により求められた値のうちより低い応力値がクリープ制限応力となる。他のR&D関係の試験⁷⁾により, クリープ制限応力を決定するのはa項であることが確認されている。

第 19 表 STPA24 (2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo) の時間と温度に依存する設計応力強さ (kg/mm²)

温度 (°C)	400	425	450	475	500	520
材料						
STPA24	10.4	10.3	10.2	8.4	5.9	4.6

(ii) サーベイランス・データの Larson-Miller パラメータ法による整理

サーベイランス試験により得られた各の応力-破断時間データを、「常陽」荷重作用時間での Larson-Miller パラメータ, P に次のようにしておきかえる。

$$P = T (C + \log_{10} t_r) = A_0 + A_1 \log_{10} \sigma + A_2 (\log_{10} \sigma)^2 + \dots \dots \dots (1)$$

$$T_e = \frac{T (C + \log_{10} t_r)}{C + \log_{10} 131500} \dots \dots \dots (2)$$

ここで, T は絶対温度 (K), C はパラメータ定数, t_r は破断時間, (hr), A₀, A₁, A₂, ... は定数, σ は応力 (kg/mm²) である。C, A₀, A₁, A₂, ... はサーベイランス確認データから求めた値である。T_e はサーベイランス試験データを常陽荷重作用時間, 131500hr に対応させた場合の相当温度である。この置換された相当温度での応力値の 66.7%, すなわち制限応力値を, 横軸に温度をとり縦軸に対数応力をとったグラフ上にプロットする。このグラフ上で, サーベイランス試験データから変換された相当温度での制限応力値と確認試験データから求められた St および「常陽」指針¹⁾の設計応力強さ S_{mt} と比較する。このグラフ上に整理されたサーベイランス試験データのバラツキの中で長時間側に外挿した場合の傾向についても注目する。第 14 図に温度に対する 131500 時間制限応力強さ St を示す。さらに主クリープ破断曲線上で, 確認試験データとサーベイランス試験データとの比較を行なう。このグラフ (主クリープ破断曲線) から, 次の次の取出年次までの使用時間の St 値を求め, この値が「常陽」指針¹⁾の設計応力強さを下まわらないことを確認する。この場合, その時点での脱炭の進行による影響も考慮する。

(iii) クリープ破断特性の使用時間に対する変化傾向

サーベイランス試験温度 550°C でのクリープ・ラプチャデータを同温度での確認材データと応力-破断時間曲線で比較し, 1000hr, 3000hr 時間破断強度の比を求め, 使用時間に対する変化傾向を把握する。さらに, サーベイランスの応力-破断時間曲線と CASE 1592 の 100% 最小クリープ破断曲線と比較する。第 15 図に CASE 1592 の 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼 (焼なまし材, C (w/o) = 0.07~0.15) の 100% 最小クリープ破断強度を示す。

(iv) クリープ破断強度と脱炭量

6.4で測定する脱炭量と1000時間および3000時間破断強度の劣化との関係を相対的な比率(確認データとの比)で整理し、従来、提案されている"Adjustment Factor"⁴⁾と比較する(7.1の第17表参照)。

上記のクリープに関する解析手法を、母材および継手部材の両者に適用する考えであるが試験条件が限定されており、特に継手については、データのバラツキ巾が大きくなることも予測されるため、これらの試験結果の評価にさいしては、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。

7.4 金相試験

金相試験ではナトリウム浸漬前後における炭素成分、金属組織および変形挙動の材質的な変化を解析し、材質の健全性および劣化の傾向を材料強度に関する性質の変化との関連において把握することを狙う。以下の要領で行なう。

- (i) 脱炭層とその分布を成分分析により評価する。
- (ii) 全肉厚平均についての脱炭量から、Krankota⁶⁾等が提案している脱炭速度定数を求め、第16図に示すような従来データとの比較を行なうと共に、脱炭量の予測を行なう。
- (iii) 脱炭層を金属組織的に評価する。
- (iv) かたさ試験によるかたさ分布と(i), (iii)の比較を行なう。
- (v) 材料試験を行なった後の金相試験では、破断形態、浸漬表面におけるクラック分布とその挙動、析出物と変形挙動の関連などを評価する。

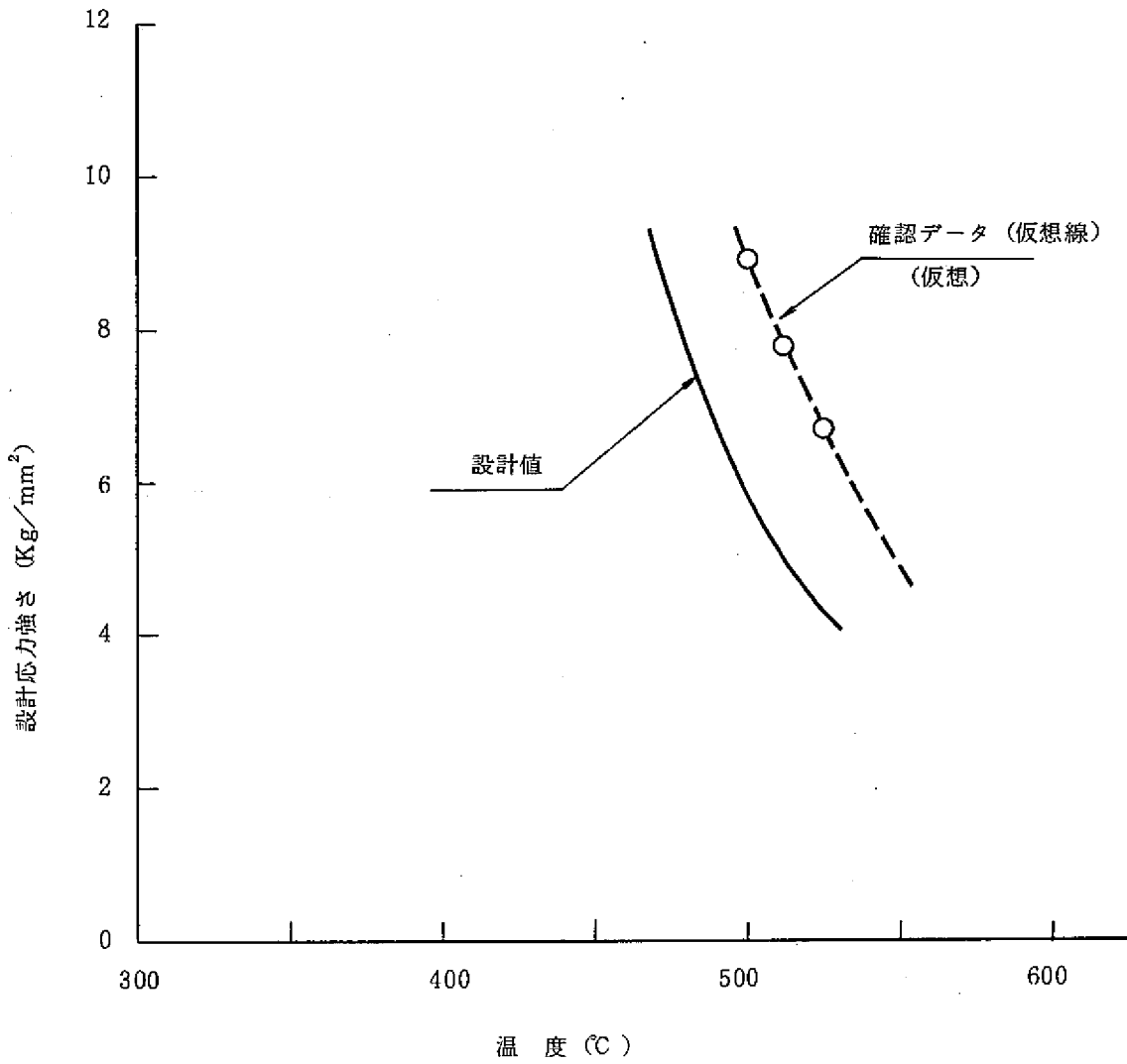
以上の解析評価の他に必要に応じて、X.M.Aによる成分変化の分析およびSEM観察などを行ない、ミクロな挙動を評価する。

7.5 試験結果の総合的な評価

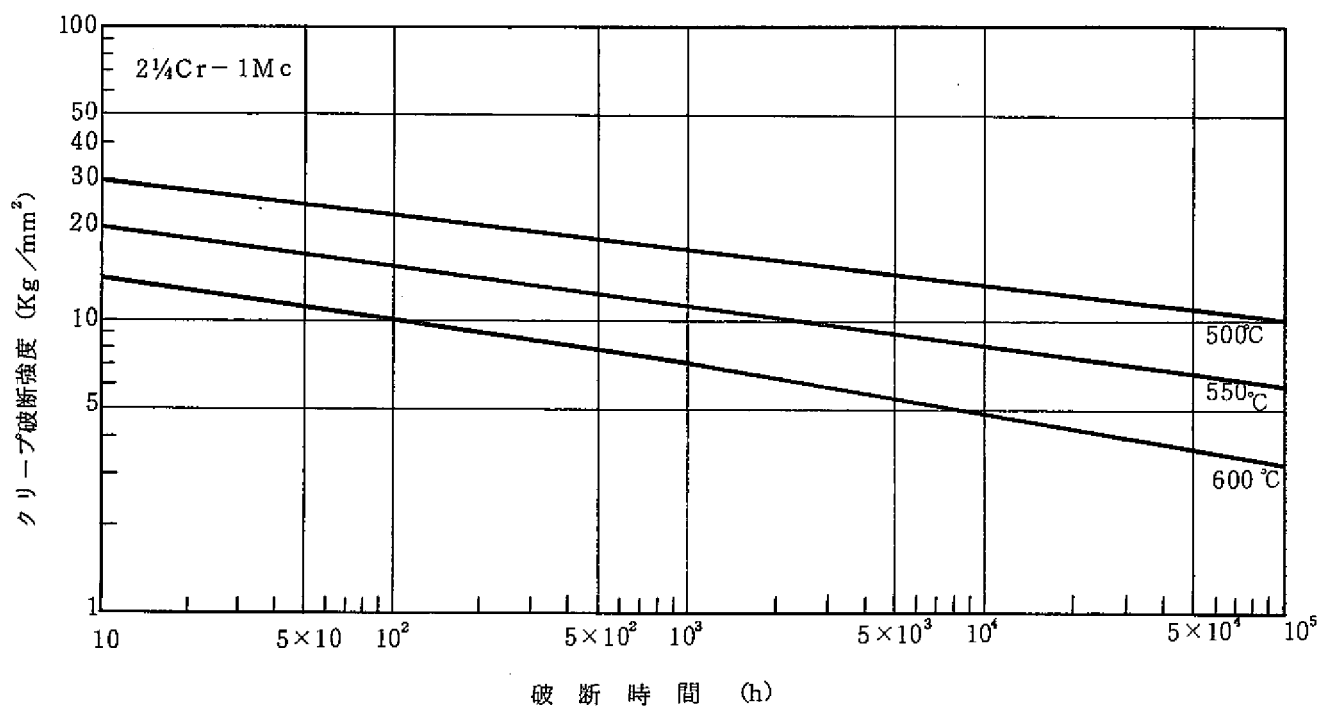
2次冷却系配管類のサーベイランス試験の主要な目的は、(1)その材料強度に関する性質が、運転を継続するのに危険なほどには劣化していないことを確認し、(2)配管類の使用寿命を予測することにある。

この目的を達成するため、本試験計画ではサーベイランス試験結果の評価のための第一の基準としては「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針が使用される。さらに、評価には現時点で最も新しい設計基準であるCASE 1592⁵⁾等も併せて用いた。しかし、設計に関する考え方の進歩に伴って、「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。

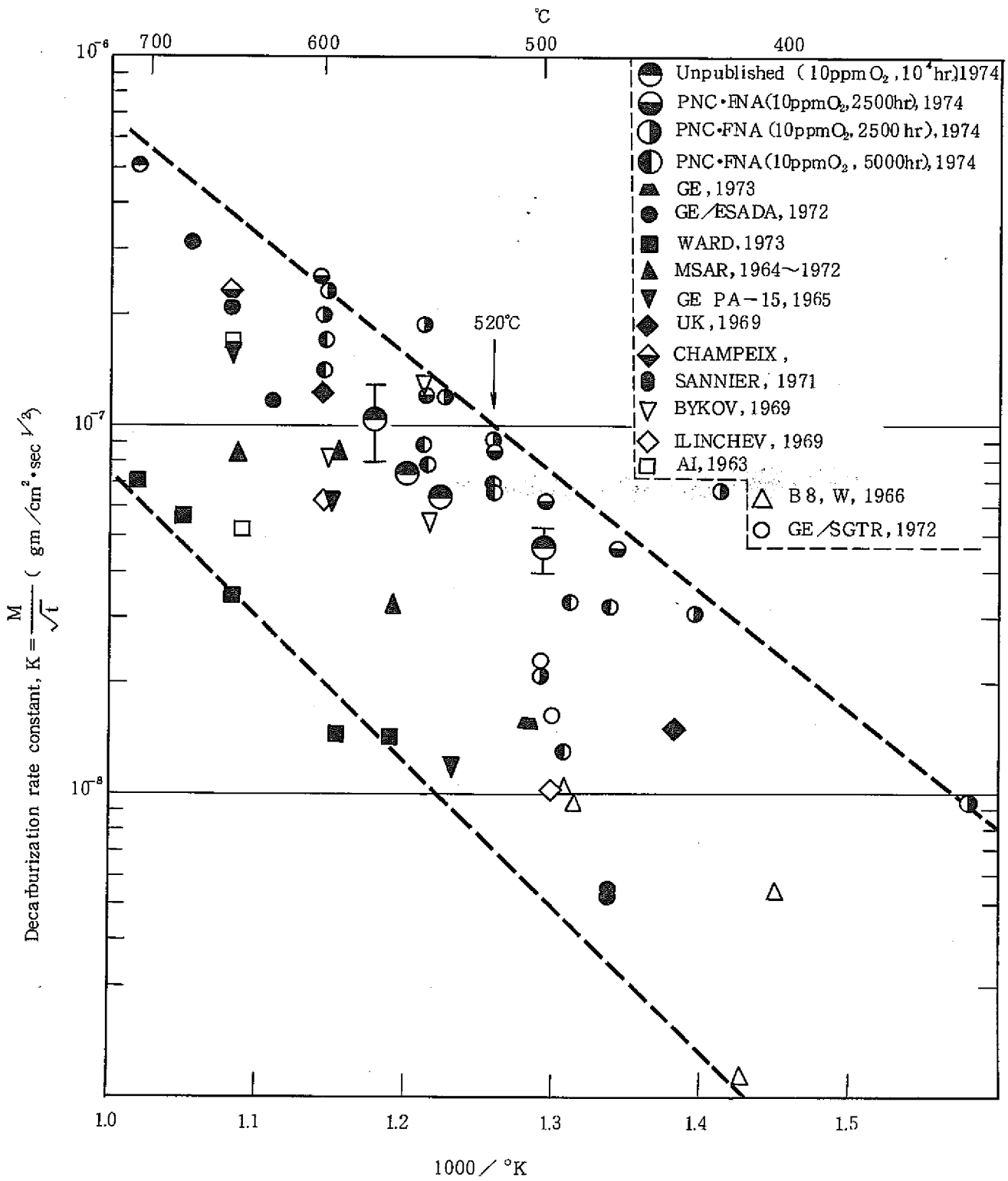
これらのサーベイランス試験の評価の結果は、In service inspectionの結果ならびに



第14図 131500時間制限応力強さ St (設計値) と確認試験データおよびサーベイランスデータの比較 (例)



第15図 CASE 1592 の 2 1/4Cr-1Mo 鋼 (焼きなまし材, C (w/o) = 0.07~0.15) の 100%最小クリープ破断強度⁵⁾



第16図 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の温度に対する脱炭速度定数

常陽の運転結果などと併せて、上記の(1)運転継続、(2)使用寿命の予測のための総合的な評価がなされなければならない。

なお、すべてのサーベイランス用装荷試験片が、必ずしも原子炉系の最も苛酷な条件下におかれているとは限らないこと（例えば荷重は負荷されない）を、評価のさいには考慮する必要がある。さらには、この常陽サーベイランス試験結果が、文珠→実用炉に反映できるよう、試験ならびに評価のさいには留意して行なうことが望まれる。

8. あとがき

「常陽」主冷却系サーベイランス試験の内容は、冷却系に組み込まれる試験片の浸漬条件、装荷個所および試験片の数量等が「常陽」冷却系の構造および運転条件等から制限を受けるため、必ずしも十分なものではないが、これらのサーベイランス試験を補足するための試験およびさらに苛酷な条件下での材料強度および腐食に関する試験が、大洗工学センターに設置された材料試験ループ等により行なわれている。

また、常陽の100MW定格出力条件と同一の条件で、ループ構成材の耐久試験が常陽2次冷却系を模擬した耐久試験ループにより、すすめられている。

サーベイランス試験と、これらのR&D試験を有機的に行なうことによって、「常陽」のサーベイランスの目的は充分達成しうるものと考えられる。

最後に、種々の討論と検討を加えられた大洗工学センターNa技術開発室の厚母室長ならびに常陽サーベイランス委員会（仮称）に参加された方々（燃材西川副主研，岡林副主研他）に感謝の意を表します。また、常々、本サーベイランス業務の推進を計られたFBR本部川島俊吉主任研究員に謝意を表します。

9. 参 考 文 献

- (1) 「常陽」ナトリウム機器の構造設計指針，動燃事業団技術資料番号 N 252-71-01.
 - (2) 「常陽」へのフェライト鋼使用に関する検討，高速実験炉参考資料，昭和45年11月。
動燃事業技術資料番号，N 241-71-11 .
 - (3) 「常陽」へのフェライト鋼使用に関する検討-そのII，動燃事業団技術資料番号
S N 241 75-01
 - (4) Environmental design factors for sodium-cooled fast reactors components, K. Goldmann, UNC, Monaco Conf., IAEA-SM-130/62, (1970).
 - (5) Cases of ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Case 1592, (1974).
 - (6) Decarburization Kinetics of Low Alloy Ferritic Steels in sodium,
J. L. Krankota and J. S. Armijo, Met. Trans., Vol. 3, September(1972).
 - (7) 高温ナトリウム中における高速炉用 $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$ 鋼のクリープ特性
動燃事業団技術資料番号 N 941 74-62 .
- 例えば，6) 学振123，委員会，田中他，Vol. 11, No 2, 218. (1970) .

添付資料

2次冷却系サーベイランス試験片寸法のきめ方

1. 基本的考え方

- (1) 当初計画の円弧状あるいは平板状の試験片から切り出した材料試験片により、主たるデータを得る。
- (2) ナトリウム浸漬表面を可能な範囲で最大限残す。
- (3) 円弧状、あるいは平板状の炉内装荷試験片（ $130\text{ mm } L \times 45\text{ mm } W \times t\text{ mm}$ ）から2本の材料試験片（衝撃の場合は3本）を切り出す。

2. 試験片寸法詳細のきめ方

(1) 引張試験片共通

(イ) ナトリウムの影響について、相似形状で比較するため W/t を原則として同一にする。

(ロ) JIS になるべく準拠

(2) クリープ破断試験片

(イ) ナトリウム浸漬面をなるべく残す。

(ロ) $G.L/A$ を同一にする。

(ハ) 最大荷重容量 3 t

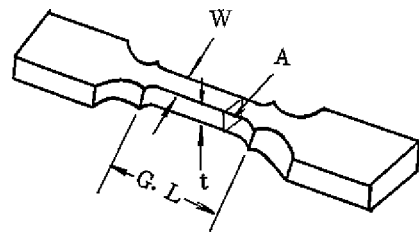
(ニ) ネジ部径 M 18×2.5

(ホ) 継手のサーベイランス試験片については、クラックの発生、拡大進展挙動等に主として注目する。

(3) 衝撃試験片

(イ) ナトリウム浸漬面をなるべく残す。

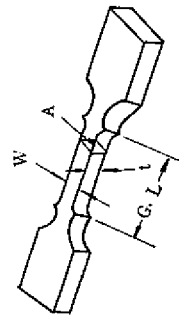
(ロ) 参考試験片は標準のサブ・クイズ試験片を装荷する。



G.L : ゲージ長さ
 W : 平行部幅
 t : 平行部板厚
 A : 平行部断面積

2次冷却系サーベライランス試験片および同参考試験片に関するメモ-1

種別	対象部材	サーベライランス試験片				参考試験片				備考		
		規格など	平行部 断面形状	形状因子		規格など	平行部 断面形状	形状因子				
				G-L (mm)	W/t			G-L/A	全長 (mm)		G-L (mm)	W/t
室温および 高温引張試験 (母材)	2次主冷却系配管 STPA 24 母材 12BSch 40 (318.5 ^φ 0.0.D × 10.3 mmnt)	JIS 13B 号棒軸	円弧型	50	1.2	4.4	130	8 ^φ	50	-	7.1	130
	ダンブタンク材 SB 42 (14 mmnt)		角型	50	0.66	4.4	130					
同 (継手)	2次冷却系配管 STPA 24 継手 SUS 304-STPA 24 継手 12BSch 40 (318.5 ^φ 0.0.D × 10.3 mmnt)	JIS Z 2121 号 棒軸 (余盛のまゝ)	円弧型	~	1.2	~	130	板状	-	1.2	-	130
	STPA 24-SPTT 42 継手 2BSch 40 (60.5 ^φ 0.0.D × 3.9 mmnt)	JIS Z 3121 号 棒軸 (余盛のまゝ)	円弧型	~	1.2	~	90	円弧型	-	1.2	-	90



G.L : ゲージ長さ t : 平行部板厚
W : 平行部幅 A : 平行部断面幅

2次冷却系サーベイランス試験片および同参考試験片に関するメモ-2

種別	対象部材	サーベイランス試験片				参考試験片				備考				
		規格など	平行部 断面形状	形状因子		規格など	平行部断面 形状など	形状因子						
				G・L(mm)	w/t			G・L/A	全長(mm)		G・L(mm)	w/t	G・L/A	全長(mm)
クリープ破断 試験片	2次冷却系主配管		円弧型	65	0.7%	7.2	130	8 ϕ	50	-	7.1	130		
	STPA24母材													
	12BSch 40													
	318.5 ϕ (0.D)×103mm(t)													
衝撃試験片	同上		円弧型	65	0.7%	7.2	130	8 ϕ	50	-	7.1	130		
	STPA24継手													
	STPA24-SUS 304継手													
	2次冷却系配管		円弧型 (55×10.3×10)					JIS 4号に準拠	55×10×7.5					
	STPA24母材													
	12BSch 40													
	318.5 ϕ (0.D)×103mm(t)		JIS 4号に準拠											
	2次冷却系配管		円弧型					JIS 4号に準拠	55×10×7.5					
	STPA24-SUS 304継手													
	12BSch 40													
318.5 ϕ (0.D)×103mm(t)														
ダンブタノック部	STPA24-SIPT 42継手		円弧型					JIS 4号に準拠	55×10×2.5					
	2BSch 40													
	60.5 ϕ (0.D)×39mm t													
同部SB 42			55×10×10 ^{※-1}					JIS 4号に準拠	55×10×10					
	13mm t													

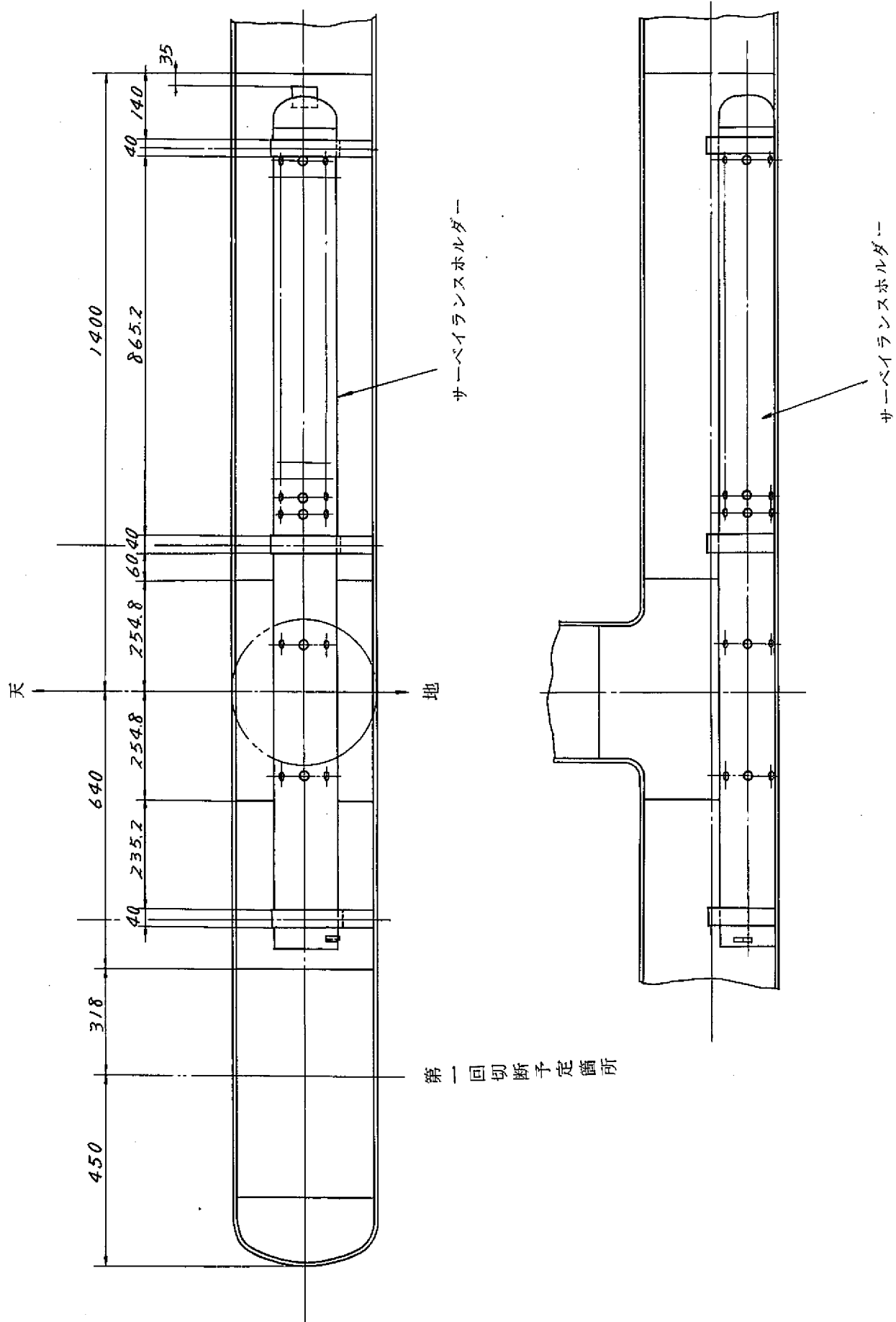
添 付 資 料

第 1 図 2 次冷却系主配管内 (ホットレグ) サーベイランス
試験片組込図 (その 1)

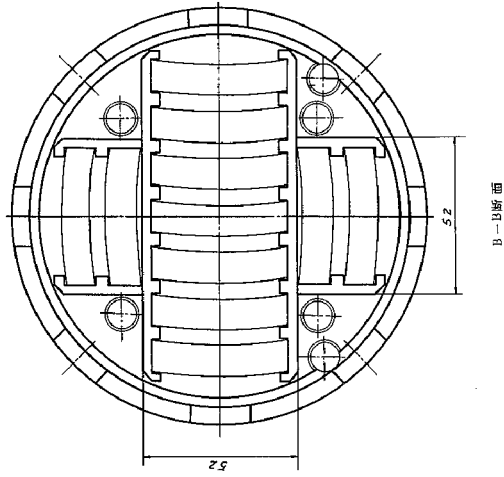
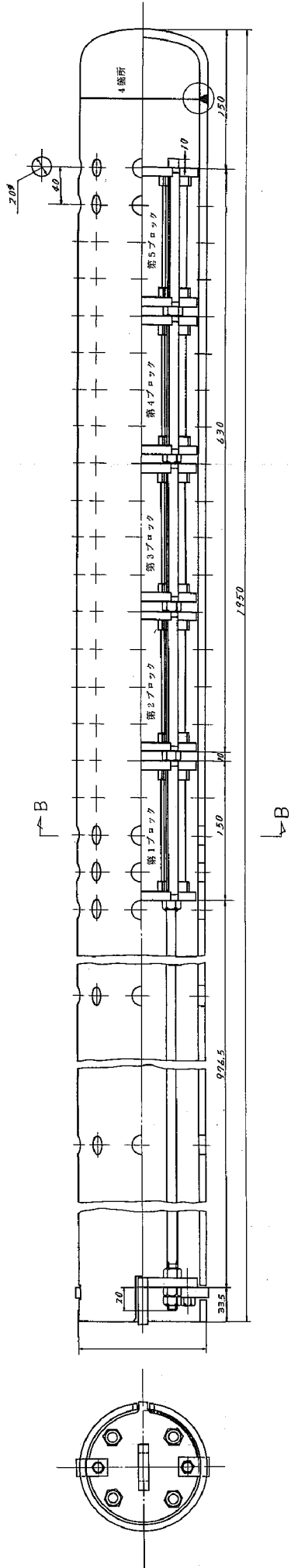
第 2 図 2 次冷却系主配管内 (ホットレグ) サーベイランス
試験片組込図 (その 2)

第 3 図 2 次冷却系オーバーフロータンク内 (コールドレグ)
サーベイランス試験片組込図

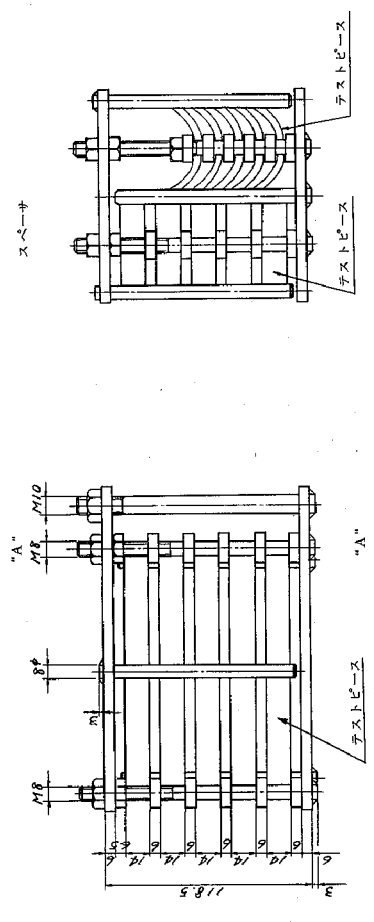
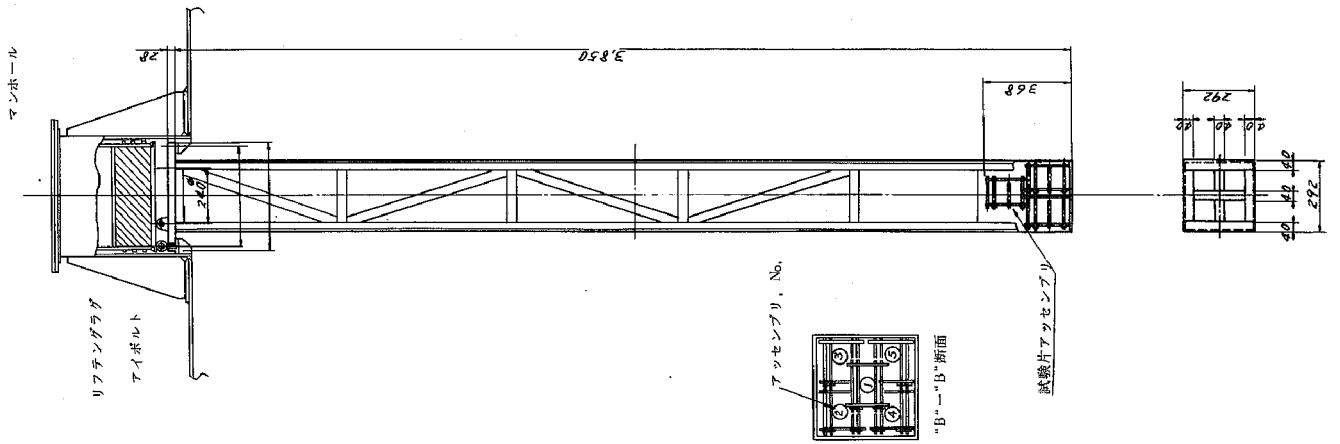
第 4 図 2 次冷却系ダンプタンク内サーベイランス
試験片組込図



第1図 2次冷却系主配管内(ホットレグ)サーベイランス試験片組込図(その1)

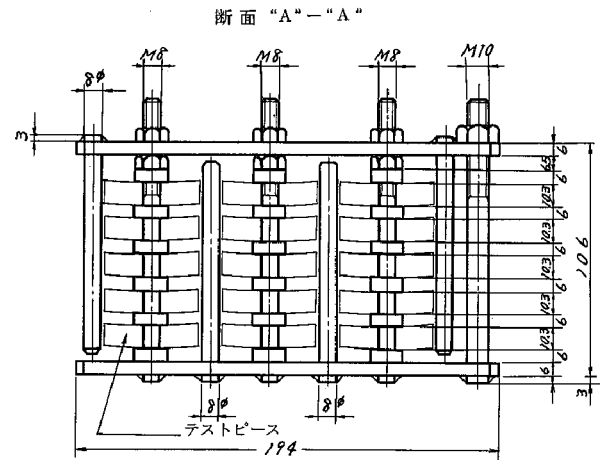
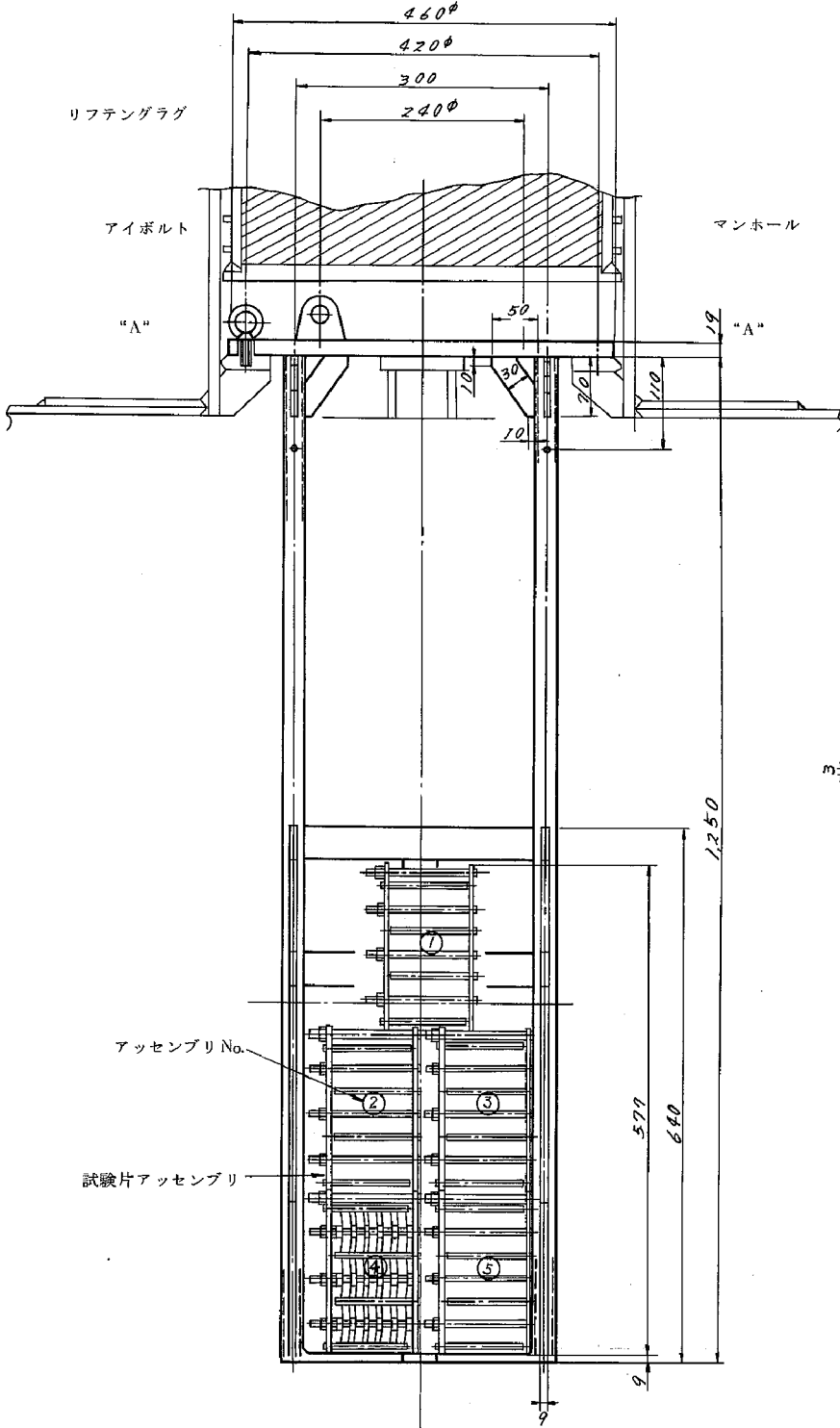


第2図 2次冷却系主配管内(コールドレグ)サーベイランス試験片組込図(その2)

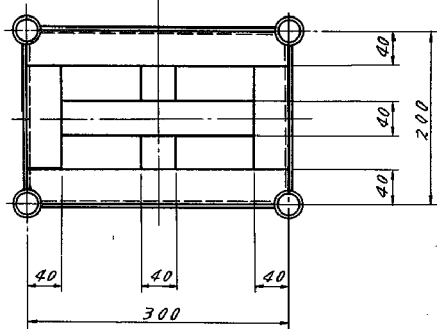


試験片アッセンブリ

第4図 2次系ダンプタンク内カーバイライランス試験片組込図



試験片アッセンブリ



第3図 2次冷却系オーバーフロータンク内(コールドレグ)サーベイランス試験片組込図