

本資料は 年 月 日付で登録区分、  
変更する。

2011. 7. 31

[技術情報室]

分置

J-225-76-1(4)

配付限定

昭和50年度動力炉・核燃料開発事業団委託調査  
高速原型炉用構造材料の溶接に  
関する研究開発の調査報告書

P4 G (主冷却系配管用継目無管および溶接管)

昭和 51 年 3 月

社団法人 日本溶接協会  
原子力研究委員会  
P F W 小委員会

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)

P F W P 4 G 報告書正誤表

頁	個 所	誤	正	備 考
3	上から9	保 温 機	保 温 材	訂 正
6	表3.1 製造可能寸法 範囲の海外肉厚	10~19 mm	1.0~19 mm	訂 正
17	上から12から 13にかけて	(訂正なし)	肉厚の..... 残留応力など までに( )をする	追 加 訂 正

## 1 はしがき

動力炉・核燃料開発事業団では高速増殖炉の開発を進めているが、高速実験炉に引続いて高速原型炉の建設が計画されている。

最近の高速増殖炉の開発動向は、世界各国ともに同炉の研究開発費用および建設費用の大幅なエスカレーションに腐心している。なかでも同炉の構造材料の選択は、溶接部の性能を含めて軽水炉より1グレード高い品質を保証しなければならないので、非常に重要な技術的課題である。また構造材料の性能の保証、溶接施工法の確立と、中性子およびナトリウム環境下における各種材料試験の展開は高速増殖炉の設計思想と健全性の評価に影響するところがきわめて大きいものと思われる。

日本溶接協会では高温構造安全技術研究組合の協力を得て、短期間に総力をあげて表記の課題を消化した。

本報告が有効に活用されて高速増殖炉の開発に役立てば幸いである。

ここに委員各位のご協力と動燃事業団より与えられた助言に感謝の意を表する次第である。

昭和51年3月

PFW小委員会主査

木原 博

## 2 調査の概要

### 2.1 問題

高速原型炉用構造材料の溶接に関する研究開発の調査

### 2.2 調査の目的

高速原型炉では高速実験炉よりさらに高温度のNa環境と高い中性子照射環境の影響を受けるので、特に溶接継手の性能低下が問題となる。本調査では、原子炉容器および炉内構造物、中間熱交換器および1次主冷却系配管、蒸気発生器、主冷却系配管用継目無管および溶材質などに関して使用材料の現状と問題点、溶接材料の現状と問題点、溶接施工法の現状と問題点、使用材料および溶接継手の環境効果を含めた高温特性の現状と問題点などについて調査を行ない、今後必要と思われる研究開発課題の取まとめを行なう。

### 2.3 調査範囲および内容

高速原型炉の原子炉容器および炉内構造物、中間熱交換器および1次主冷却系配管、蒸気発生器、主冷却系配管材用継目無管および溶接管の対象構造物に分けて、下記の調査を行った。

#### 2.3.1 使用材料および溶接材料の現状と問題点の調査

使用材料および溶接材料の現状を把握するため、国内材料メーカー各社の実績を集約するとともに、外国の実状についても調査を行い、現状と問題点を明らかにした。なお対象はステンレス鋼およびクロムモリブデン鋼とした。

### 2.3.2 溶接施工法の現状と問題点の調査

溶接施工法の現状を把握するため、ファブリーケーター各社の実績を集約するとともに、外国の実状についても調査を行い、現状と問題点を明らかにした。溶接法はサブマージアーク溶接、被覆アーク溶接、TIG溶接、MIG溶接、エレクトロンビーム溶接などを対象にした。なお材料はステンレス鋼およびクロムモリブデン鋼とした。

### 2.3.3 高温特性に関する現状と問題点の調査

対象材料およびその溶接継手の環境効果を含めた高温特性に関する内外のデータを集約し、問題点を明らかにした。

### 2.3.4 1次主冷却系配管材に溶接管を採用する場合の問題点の調査

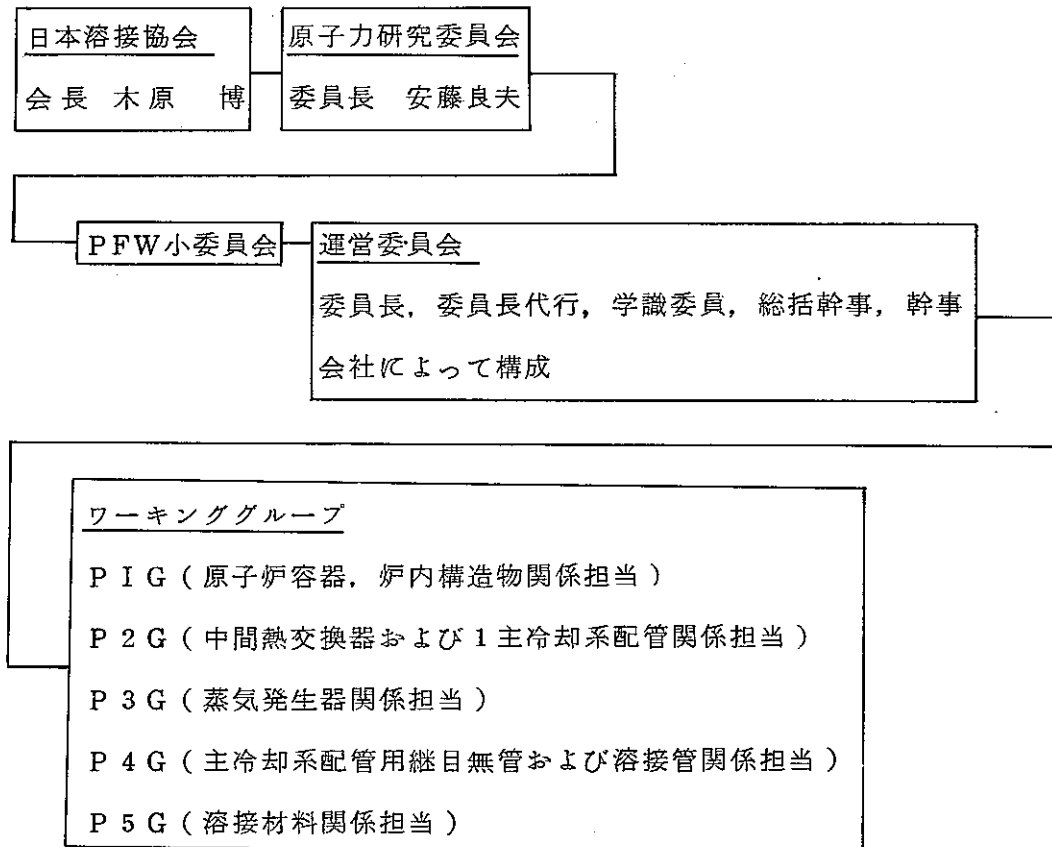
1次主冷却系配管材に溶接管を採用する場合の製造上の問題点、特に溶接継手性能、熱処理、試験および検査などについて、内外のデータを集約し問題点を明らかにした。

### 2.3.5 昭和51年度以降必要な研究開発課題の整理

2.3.1～2.3.4により現状の問題点を明らかにし、それに基づいて51年度以降実施する必要があると思われる研究開発課題についての提案を行った。

## 2.4 調査組織

本委託調査は社団法人日本溶接協会原子力研究委員会にPFW小委員会を設けて実施した。小委員会の組織は次のとおりである。



P F W 小委員会運営委員会名簿

	氏名	所属
主査	木原 博	日本溶接協会
主査代行	寺沢 一雄	高温構造安全技術研究組合
学識委員	安藤 良夫	東京大学教授 原子力工学科
〃	飯田 国広	東京大学教授 船舶工学科
〃	稲垣 道夫	金属材料技術研究所溶接研究部
〃	鶴戸口 英善	東京大学教授 機械工学科
〃	長谷川 正義	早稲田大学教授 理工学科
総括幹事	鈴木 和久	動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター・照射材料試験室
〃	藤村 理人	高温構造安全技術研究組合事務局
P 1 G 幹事	飯井 敏夫	三菱重工業(株)原子力技術部新型炉技術課
〃 副幹事	松村 誠	東京芝浦電機(株)原子力本部原子力機器製造部
P 2 G 幹事	紫藤 英造	(株)日立製作所日立工場原子力開発部
〃 副幹事	峰 久節治	日立造船(株)技術研究所堺研究室
P 3 G 幹事	羽田 幹夫	東京芝浦電気(株)原子力本部
〃 副幹事	松本 圭司	石川島播磨重工業(株)技術研究所原子力機器部
P 4 G 幹事	寺井 清	川崎重工業(株)溶接研究室
〃 副幹事	三好 滋	富士電機製造(株)原子力事業部
P 5 G 幹事	山香 誠	(株)神戸製鋼所溶接棒事業部技術本部
〃 副幹事	大岡 耕之	新日本製鉄(株)技術開発部
動燃団担当	市野 市郎	動力炉核燃料開発事業団高速増殖炉開発本部
	川島 俊吉	同 高速増殖炉開発本部
	鈴木 和久	同 大洗工学センター照射材料試験室
	安部 重一	同 高速増殖炉開発本部
	岡林 邦夫	同 高速増殖炉開発本部

P F W 小委員会  
ワーキング作業グループ名簿

氏 名 所 属

P 1 G

幹 事	飯 井 敏 夫	三菱重工業(株)原子力技術部新型炉技術課
副 幹 事	松 村 誠	東京芝浦電気(株)原子力本部原子力機器製造部
	松 本 圭 司	石川島播磨重工業(株)技術研究所原子力機器部
	寺 井 清	川崎重工業(株)溶接研究室
	西 正	新日本製鉄(株)生産技術研究所
	安 保 秀 雄	新日本製鉄(株)生産技術研究所
	今 泉 徹	住友重機械工業(株)平塚研究所
	杉 本 威 生	同 平塚研究所第 2 研究室
	福 井 清	東京芝浦電気(株)重電技術研究所金属技術グループ
	白 石 隆	日本鋼管(株)技術研究所鋼材研究室
	田 辺 潤 平	(株)日本製鋼所鉄鋼技術部
	大 西 敬 三	(株)日本製鋼所室蘭製作所研究所
	深 瀬 幸 重	日本冶金工業(株)川崎製造所研究部
	坂 口 安 英	パプコック日立(株)呉工場ボイラ原子力設計部
	佐々木 正 祥	(株)日立製作所日立工場原子力開発部
	三 好 滋	富士電機製造(株)原子力事業部技術部品質保証課

P 2 G

幹 事	柴 藤 英 造	(株)日立製作所日立工場原子力開発部
副 幹 事	峰 久 節 治	日立造船(株)技術研究所界研究室
	富 岡 靖 博	石川島播磨重工業(株)豊洲総合事務所新型炉部
	寺 井 清	川崎重工業(株)溶接研究室
	平 池 恂	川崎重工業(株)原子力部
	山 香 誠	(株)神戸製鋼所溶接棒事業部技術本部技術部
	浜 中 孝 通	同 溶接棒事業部技術本部技術部
	柴 田 雄	住友金属工業(株)東京技術部
	森 建 二	東京芝浦電気(株)原子力本部動力炉開発部第 1 課
	田 辺 潤 平	(株)日本製鋼所鉄鋼技術部
	白 石 隆	日本鋼管(株)技術研究所鋼材研究室
	大 西 敬 三	(株)日本製鋼所室蘭製作所研究所
	深 瀬 幸 重	日本冶金工業(株)川崎製造所研究部
	大 谷 浩 洋	(株)日立製作所電力事業本部 原子力技術本部開発部
	永 井 明	日立造船(株)技術研究所第 1 研究室
	田 村 友 彦	三井造船(株)千葉研究所原子力研究室

氏 名 所 属

P 3 G

幹 事	羽 田 幹 夫	東京芝浦電気(株)原子力本部
副 幹 事	松 本 圭 司	石川島播磨重工業(株)技術研究所原子力機器部
	笹 倉 一 剛	石川島播磨重工業(株)技術研究所原子力開発室
	平 池 恂	川崎重工業(株)原子力部
	寺 井 清	同 溶接研究室
	小 野 寛	川崎製鉄(株)技術研究所特殊鋼研究室課
	吉 田 照 雄	新日本製鉄(株)鋼管技術部
	三 輪 瑛 逸	同 上
	小 泉 勇	住友金属工業(株)中央技術研究所
	紫 田 雄	住友金属工業(株)東京技術部
	白 石 隆	日本鋼管(株)技術研究所鋼材研究室
	大 西 敬 三	(株)日本製鋼所室蘭製作所研究所
	田 辺 潤 平	(株)日本製鋼所鉄鋼技術部
	佐々木 武	パプコック日立(株)ボイラ原子力設計部
	河 原 愈	(株)日立製作所日立工場原子力開発部
	佐々木 正 祥	同 日立工場原子力開発部
	永 井 明	日立造船(株)技術研究所第 1 研究室
	小 関 安 史	三井造船(株)技術本部原子力事業室
	国 府 哲 郎	三菱重工業(株)神戸造船所原子力設計部新型炉計画課

P 4 G

幹 事	寺 井 清	川崎重工業(株)溶接研究室
副 幹 事	三 好 滋	富士電機製造(株)原子力事業部技術部品質保証課
	富 岡 靖 博	石川島播磨重工業(株)技術研究所原子力開発室
	清 水 茂 樹	川崎重工業(株)原子力部技術第 3 課
	加 瀬 勝 弘	同 原子力部技術第 1 課
	吉 田 照 雄	新日本製鉄(株)鋼管技術部
	三 輪 瑛 逸	同 上
	小 泉 勇	住友金属工業(株)中央技術研究所
	今 泉 徹	住友重機械工業(株)平塚研究所
	杉 本 威 生	住友重機械工業(株)平塚研究所第 2 研究室
	白 石 隆	日本鋼管(株)技術研究所鋼材研究室
	深 瀬 幸 重	日本冶金工業(株)川崎製造所研究部
	田 辺 潤 平	(株)日本製鋼所鉄鋼技術部



氏名	所 属
大西敬三	(株)日本製鋼所室蘭製作所研究所
伊藤吉保	(株)日立製作所日立研究所第3部
津田潤	同 日立工場原子力開発部
佐藤昭三	三菱重工(株)高砂研究所溶接研究室

P 5 G

主 査	稲垣道夫	金属材料技術研究所溶接研究所
幹 事	山香誠	(株)神戸製鋼所溶接棒事業部技術本部技術部
副 幹 事	大岡耕之	新日本製鉄(株)技術開発部
	谷岡慎一	石川島播磨重工業(株)溶接研究所第2実験部
	平池恂	川崎重工業(株)原子力部
	寺井清	川崎重工業(株)溶接研究室
	浜中孝通	(株)神戸製鋼所溶接棒事業部
	細木繁郎	新日本製鉄(株)技術開発部
	大野章	同 上
	有井満	東京芝浦電気(株)重電技術研究所金属技術グループ
	足立正博	日本ウエルディングロッド(株)技術研究所
	白石隆	日本鋼管(株)技術研究所鋼材研究室
	三好滋	富士電機製造(株)原子力事業部技術部品品質保証課
	幡谷文男	(株)日立製作所 日立研究所第5部
	森沢潤一	同 日立工場原子力製造部
	佐藤昭三	三菱重工業(株)高砂研究所溶接研究室

# 目 次

1. 緒 言	1
2. 調査対象機器の概要と仕様	2
3. 継目なし管の現状と問題点	3
4. 溶接管の現状と問題点	12
5. 環境効果	20
6. 今後必要な研究課題	21
7. 結 言	22

## 1. 緒 言

本調査報告書は高速原型炉の主冷却系配管用継目無し管および溶接管に関する現状と問題点について調査した結果をとりまとめたものである。

高速原型炉の一次主冷却系配管は、原子炉を循環する1次ナトリウムのバウンダリを構成する重要な配管であり、高温部は、529℃の高温にさらされる。配管材料としては、良好な高温性能を有するオーステナイト系ステンレス鋼が使用され、最も大きいものは、32B(外径812.8mm, 肉厚11.1mm)の大径薄肉管である。米国のFFTFでは、主冷却系配管に継目無しステンレス鋼管が採用されたが、我が国では、これまでこのように大径薄肉の継目無し管は、製造した実績がない。一方、石油化学など他プラントでは既に相当使用実績のある溶接管の採用が考えられるが、高速原型炉用として高温Na環境下で使用されるためには、とくに溶接部の高温特性が問題となる。

これらの問題点を解明するために、本ワーキング・グループでは、対象を高速原型炉の主冷却系配管に使用される材質・寸法範囲の配管及び要素(エルボ他)に限定し、継目無し管と溶接管の両者について、製造実績、製造可能範囲、製造方法、検査法、材料及び溶接部の高温特性等に関する内外のデータの収集に努めた。更に、これらの調査結果に基づいて主冷却系配管を製作する上で、昭和51年度以降実施する必要があると考えられる研究開発課題の提案を行なった。

## 2. 調査対象機器の概要と仕様

### 2. 1 主冷却系配管の概要と仕様

高速原型炉主冷却系の概要を図2. 1に示す。1次および2次主冷却系はそれぞれ3ループで構成されている。1次主冷却系ナトリウムは、原子炉出口ノズルを529°Cで流出し、主中間熱交換器の胴側を通り397°Cで原子炉容器下部に設けられた3個のノズルから流入し、3ループのナトリウムが混合される。総交換熱量は、1ループ当り約240MWtである。また1次主冷却系には、たて型1段遠心式の自由液面をもつ機械式ポンプが各ループに1基設けられている。ポンプ事故時、停止時に他ループからの逆流を防ぐためにポンプ吐出側には逆止弁が設けられている。1次主冷却系機器、配管は配管破損時に備え、安全上設定された最低レベル（システムレベル、通常運転時ナトリウム液面下3,300mm）以上に設置し、それ以下の機器、配管はすべてガードベッセル内に収納されている。

2次主冷却系は、たて型単段遠心式主循環ポンプ、蒸発器、過熱器、再熱器（1ループ当り各1基）等により構成されている。2次主冷却系のナトリウムは、主中間熱交換器上部中央ダウンカムより320°Cで流入し、下部プレナムで反転した後、管側を上昇し上部より510°Cで流出する。このナトリウムは流量配分に従って過熱器、再熱器に流入し、出口で合流した後、蒸発器を通り主循環ポンプを経て320°Cで主中間熱交換器に戻る。部分負荷時における蒸気条件の変動を押える方法として機械式ポンプ回転数制御を行なうとともに過熱器、再熱器入口に流量調節弁を設けて過熱器、再熱器への液量配分を変えている。また主冷却系のバックアップシステムとして機器据付位置は原子炉スクラム直後の崩壊熱を自然循環により除去できるようになっている。

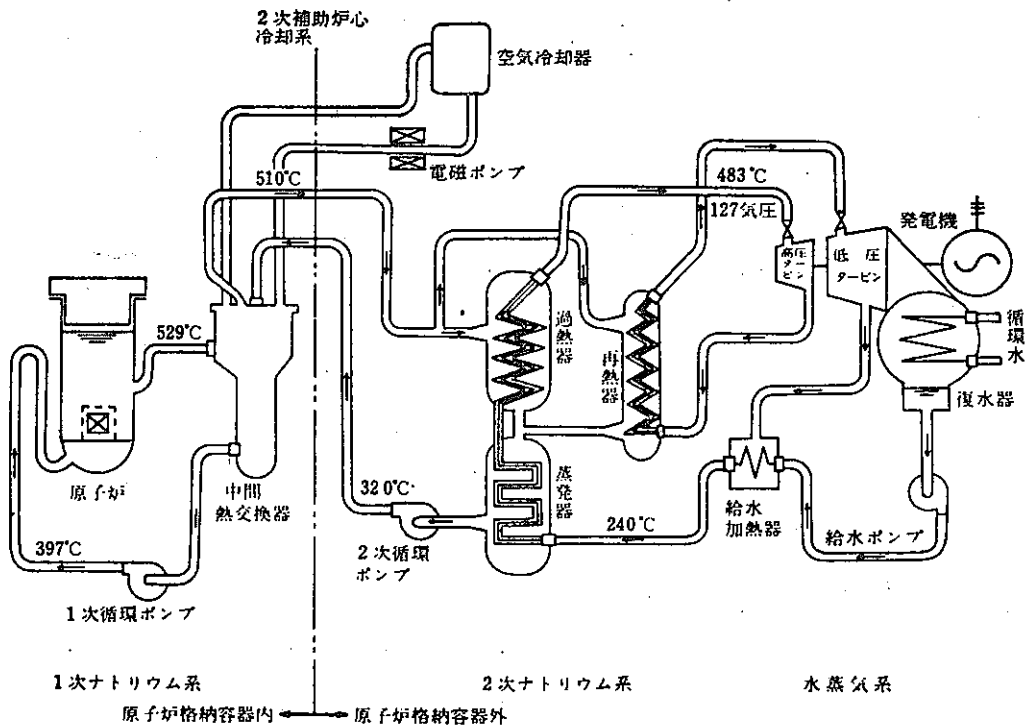


図2. 1 高速原型炉主冷却系概要図

## 2. 2. 1 次主冷却系配管

1 次主冷却系配管の設計基準，設計条件および一般配管要素の寸法を，表 2. 1 に示し，代表的な配管要素の形状を図 2. 2 に示す。

高速原型炉用 1 次主冷却系配管は，ホット・レグ配管において設計温度が  $550^{\circ}\text{C}$  と高く設計内圧が  $2.0 \text{ atg}$  と低圧である特徴を有しており，設計寿命 30 年間にわたって高い信頼性を有し更に厳しい過渡条件に耐えうる薄肉大径管でなければならない。

ホット・レグ配管は，クリープ強度の高い SUS316HTP 又は SUS304HTP 32<sup>B</sup> 管（外径  $812.8 \text{ mm}$ ，肉厚  $11.1 \text{ mm}$ ）によって構成され，コールドレグ配管は主中間熱交換器・主循環ポンプ・炉容器間を SUS304HTP24B 管（外径  $609.6 \text{ mm}$ ，肉厚  $9.5 \text{ mm}$ ）によって構成される。

これらの配管はいずれも一重管であり，その外表面には予熱ヒータ及び保温機が取付けられる。

## 2. 3. 2 次主冷却系配管

2 次主冷却系配管の設計基準，設計条件および一般配管要素の寸法を表 2. 1 に示し，代表的な配管要素の形状を図 2. 2 に示す。

高速原型炉用 2 次主冷却系配管は，ホットレグ配管において設計温度  $530^{\circ}\text{C}$ ，設計圧力  $12 \text{ Kg/cm}^2 \text{ g}$  となっており，これらの配管は，直管， $90^{\circ}$ ロングエルボ， $45^{\circ}$ ロングエルボ，T 継手及びレデューサにより構成される。これらの一般配管要素の他に，2 次主冷却系の特殊条件から格納容器貫通部構造物，アンカーポイント及びミキシングティが含まれる。

また，2 次主冷却系配管においては，より経済的な配管設計を行なうため，熱応力の最も厳しい部分とされているエルボは，直管部分 (Sch 20S 相当) より増厚 (Sch 60 相当) されており，施工上の経済性を高めるために，ネック付 (約  $150 \sim 200 \text{ mm}$ ) エルボの製作が期待されている。

なお，2 次主冷却系配管要素の材質は，すべて SUS304 相当である。

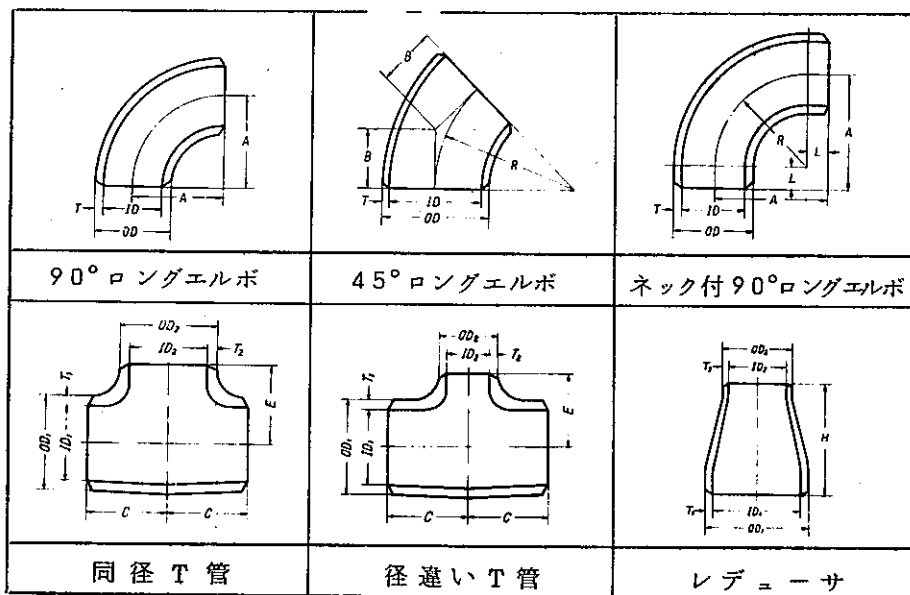


図 2. 2 配管要素の形状

表2. 1 1次および2次主冷却系配管の仕様

No.	項目		1次主冷却配管		2次主冷却配管		
			ホットレグ	コールドレグ	ホットレグ	ミドルレグ	コールドレグ
1	設計基準 <sup>1)</sup>		(1) 通産省告示 501号 (2) ASME B&PV Sec.Ⅲ (3) ASME C.C.1592		(1) 通産省告示 501号 (2) ASME B&PV Sec.Ⅲ (3) ASME C.C.1592		
2	容器種別 <sup>1)</sup>		通産省告示501号 第1種管		通産省告示501号 第2種管		
3	耐震種別 <sup>1)</sup>		Aクラス		Asクラス(格納容器内) Bクラス(格納容器外)		
4	設計 <sup>1)</sup> 条件	温度(°C)	550	420	530	470	340
		圧力(atg)	2.0	2.0(IHX~ポンプ) 1.00(ポンプ~炉容器)	1.2	1.1	1.0(EV~ポンプ) 1.4(ポンプ~IHX)
5	運転 <sup>1)</sup> 条件	温度(°C)	529	397	510	451	EV~ポンプ~IHX 3.20 3.20
		圧力(atg)	1.3	1.1, 9.0	3.6	2.4	1.5 5.1
6	Na純度 <sup>1)</sup>	O <sub>2</sub> (ppm)	<10ppm以下		<10ppm以下		
		H <sub>2</sub> (ppb)			<150ppb以下		
7	放射能レベル <sup>1)</sup>		約3.0×10 <sup>8</sup> mrem/hr				
8	耐用年数		30		30		
9	材料		SUS316HTP または、SUS304HTP	SUS304HTP	SUS304HTP		
10	寸法	管要素	炉容器~IHX~ポンプ	ポンプ~炉容器			
		直管	32 <sup>B</sup> (11.1 <sup>t</sup> )	24 <sup>B</sup> (9.5 <sup>t</sup> )	28 <sup>B</sup> (11.0 <sup>t</sup> ), 26 <sup>B</sup> (11.0 <sup>t</sup> ), 22 <sup>B</sup> (9.5 <sup>t</sup> ) 20 <sup>B</sup> (9.5 <sup>t</sup> ), 18 <sup>B</sup> (8.0 <sup>t</sup> ), 16 <sup>B</sup> (8.0 <sup>t</sup> )		
		エルボ	32 <sup>B</sup> (11.1 <sup>t</sup> )	24 <sup>B</sup> (9.5 <sup>t</sup> )	90°エルボ 28 <sup>B</sup> (28.6 <sup>t</sup> ), 26 <sup>B</sup> (26.2 <sup>t</sup> ), 22 <sup>B</sup> (23 <sup>t</sup> ) 20 <sup>B</sup> (20.6 <sup>t</sup> ), 18 <sup>B</sup> (19.1 <sup>t</sup> ), 16 <sup>B</sup> (16.7 <sup>t</sup> ) 45°エルボ 22 <sup>B</sup> (9.5 <sup>t</sup> ), 22 <sup>B</sup> (23 <sup>t</sup> )		
		T			22 <sup>B</sup> ×22 <sup>B</sup> ×16 <sup>B</sup> , 16 <sup>B</sup> 同径, 26 <sup>B</sup> 同径		
		レデュース			20 <sup>B</sup> ×16 <sup>B</sup> , 26 <sup>B</sup> ×20 <sup>B</sup>		
11	寸法の許容差		JIS規格による。		JIS規格による。		
12	試験検査		JIS規格および通産省技術基準による。		JIS規格および通産省技術基準による。		

注1) 今後の検討により変更はありうる。

2) 表中の IHX, EVはそれぞれ中間熱交換器, 蒸発器をあらわす。

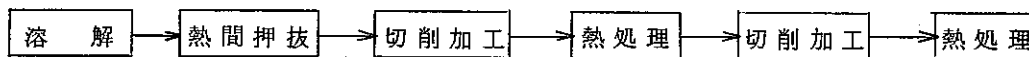
### 3. 継目無し管の現状と問題点

#### 3. 1 直 管

継目無し管の直管製造方法調査結果を表3. 1に示す。

##### 3. 1. 1 国内の状況

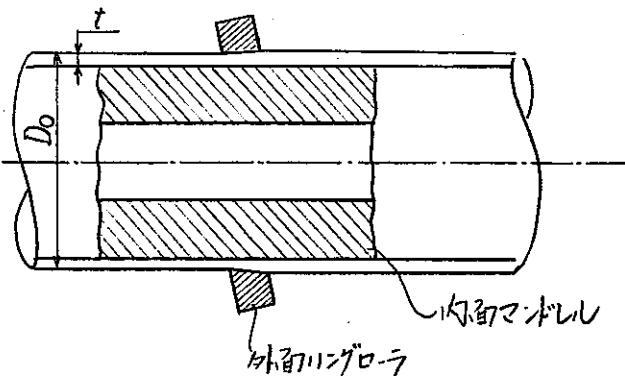
国内においては、大径継目無し管・直管は押し出し法で製造されている。しかし、高速原型炉1次および2次主冷却系配管の寸法である約600~800mm $\phi$ ×約8~11mm $t$ の大径薄肉継目無し管の製造実績はない。製造するとすれば、その製造工程は、下記のとおりである。



検査はJIS規格および通産省告示50-1号により超音波探傷試験と液体浸透探傷試験が行なわれる。切削加工は肉厚60mm程度のパイプから約8~11mmに薄肉切削するため、パイプの変形が考えられ、現時点での肉厚公差の保証は $\pm 2 \sim 3$ mmである。

##### 3. 1. 2 海外の状況

海外においては押し出し法および図3. 1に示すような圧延押し出し法がある。押し出し法は、製造方法その他、国内とほぼ同様である。圧延押し出し法は熱間押抜きした継目無し厚肉管を外側からロールを使って冷間圧延をして所定の寸法に仕上げ、固溶化熱処理を施すことにより目的の管を製作する。機械的性質は押し出し法に比し、ほぼ同等ないしはややすぐれている。冷間圧延するので結晶粒の粗大化は起らない。また寸法精度もよい。検査は、超音波探傷試験、液体浸透探傷試験、渦流探傷試験が行なわれている。



$$D_o/64 < t < D_o/8$$

図3. 2および図3. 3にFFTFの一次主冷却系配管に使用された継目無し管の高温特性の代表例を示す。

図3.1 米国における継目無し管の圧延押し出し法による製造法の一例

##### 3. 1. 3 問題点

継目無し管を製造する場合には、国内では圧延押し出し法による製造設備がないので、押し出し法によらざるを得ないが、この場合の問題点を列記すると下記のとおりである。

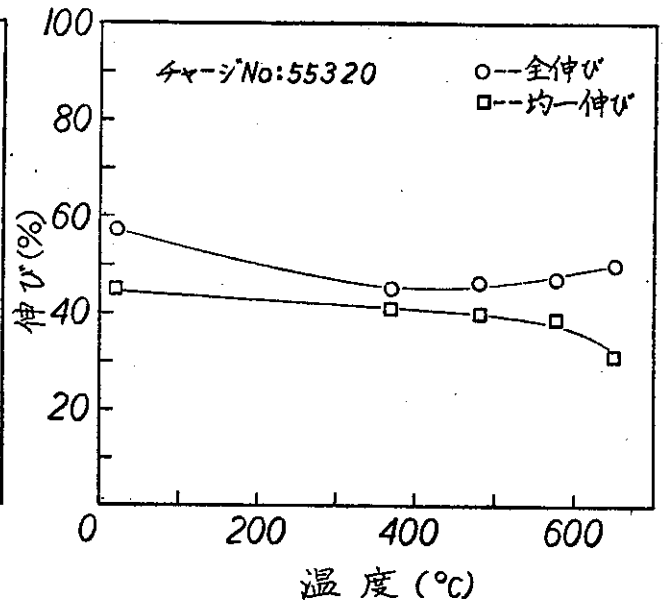
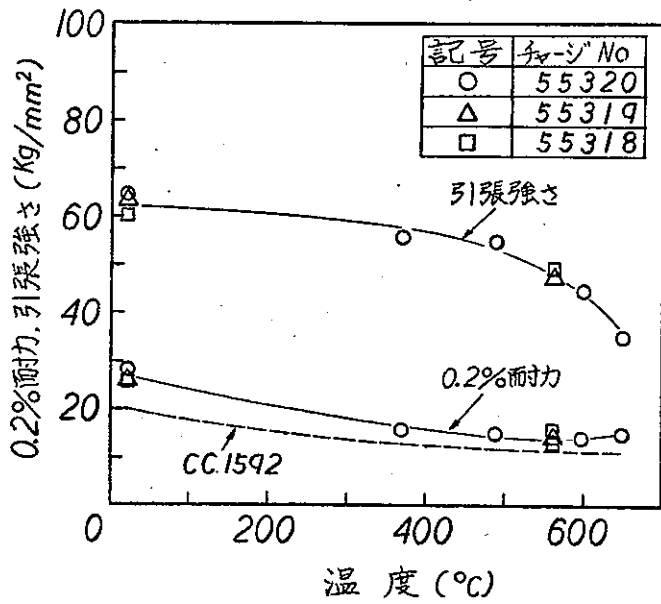
- (1) 製作する場合には、工具（マンドレル・ダイス等）の附帯設備の新設が必要である。
- (2) 肉厚60mm程度のパイプから薄肉切削するので、肉厚精度は $\pm 2 \sim 3$ mmである。
- (3) 実績がないので高温強度特性が不明である。
- (4) 溶接管に比較して大幅なコスト・アップが予想される。

表 3.1

継目無し直管製造方法調査結果

国内・海外の区別	素 材		製造可能寸法範囲	製 造 法			検査法	精 度	高温強度特性		出典												
	材質	種別		製造工程	成形法	熱処理			引張り	クリープ													
国内	SUS304 SUS316	押出し法による素管	単長は4m以下	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">溶解</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">熱間押抜</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">切削加工</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">熱処理</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">切削加工</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">熱処理</div>	押出し法 (エアハルト法)	固溶化 熱処理	JIS規格および通産省技術基準に基づくものとする。 1.超音波探傷試験 2.液体浸透探傷試験	JISG3459に基づく。 寸法公差(製作時) <table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>外径</td> <td>400</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>公差</td> <td>600<sup>φ</sup></td> <td>812.8<sup>φ</sup></td> </tr> <tr> <td>外径(%)</td> <td>±1.0</td> <td>±0.7</td> </tr> <tr> <td>肉厚(mm)</td> <td>±2~3</td> <td>±2~3</td> </tr> </table>	外径	400	600	公差	600 <sup>φ</sup>	812.8 <sup>φ</sup>	外径(%)	±1.0	±0.7	肉厚(mm)	±2~3	±2~3	資料T1	資料T1	P4G-T-21
外径	400	600																					
公差	600 <sup>φ</sup>	812.8 <sup>φ</sup>																					
外径(%)	±1.0	±0.7																					
肉厚(mm)	±2~3	±2~3																					
海外	SUS304	押出し法による素管	外径 203~1219mm <sup>φ</sup> 肉厚 25mm以上	同上	押出し法 (Extrusion)	固溶化 熱処理	1.超音波探傷試験 2.液体浸透探傷試験	16B, 18B管の寸法公差(仕様) 寸法公差 <table border="1" style="font-size: small;"> <tr> <td>内径</td> <td>±1/32"</td> </tr> <tr> <td>肉厚</td> <td>0.375"±12.5%</td> </tr> <tr> <td>真直度</td> <td>1/8"/10'</td> </tr> </table>	内径	±1/32"	肉厚	0.375"±12.5%	真直度	1/8"/10'	SUS316の566°CにおいてCC15Q2を満足し、破断伸びは約3000hで約50%の良好な値である。	P4G-F005 P4G-T-21							
	内径	±1/32"																					
肉厚	0.375"±12.5%																						
真直度	1/8"/10'																						
	SUS316	押出し法による素管	外径 19~4000mm <sup>φ</sup> 肉厚 10~19mm 単長 8m以下	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">溶解</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">熱間押抜</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ロール圧延</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">熱処理</div>	圧延押出し法 (Roll Extrusion) 図 3.1 参照	固溶化 熱処理	1.超音波探傷試験 2.液体浸透探傷試験 3.渦流探傷試験	同上															





(a) 0.2%耐力および引張強さ

(b) 伸び

図3.2 継目なし管の高温引張特性(SUS 316)

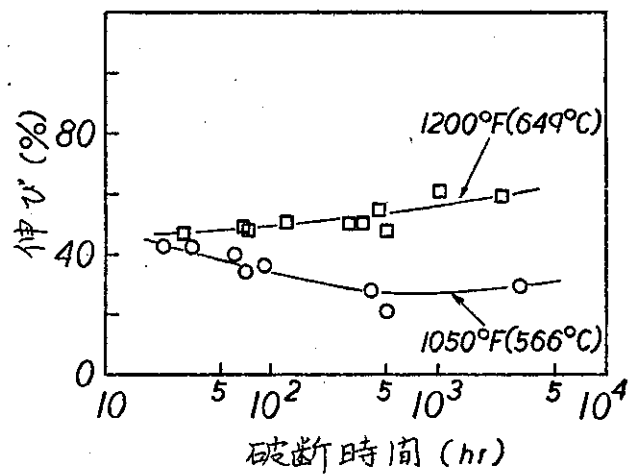
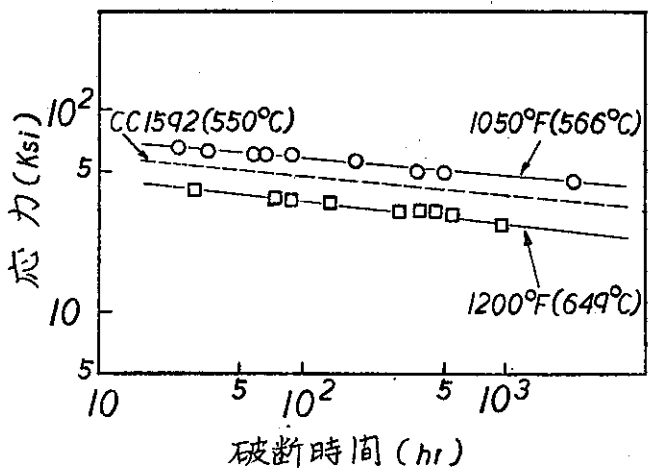


図3.3 継目なし管のクリープ破断特性(SUS 316)

### 3. 2 配管要素

高速原型炉の主冷却系配管に用いられる継目無し配管要素（エルボ， T， レデューサ）は，材質が SUS304H と SUS316H であり，寸法は表 3. 2 と表 3. 3 に示すように 16B から 32B にわたる Sch. 20 のものである。これは大径薄肉管であって国内実績はなく，製造はかなり困難であると考えられる。

国内および海外における継目無しエルボ， T， レデューサの製造方法について調査した結果をまとめて表 3. 4 および表 3. 5 に示す。

#### 3. 2. 1 国内の状況

##### (1) エルボ

国内では 2 ～ 3 社で 16B から 20B までは現在製造可能と推定され， 22B から 32B については将来製造が可能になるものと考えられる。2 次主冷却系配管用のネック付エルボの製造はむずかしい。

##### (2) T

エルボと同様， 20B までは製造可能と推定される。

表 3. 2 継目無しエルボの形状寸法

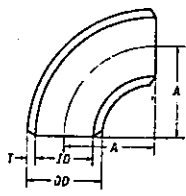
略 図	呼び径 寸法	32B	28B	26B	24B	22B	20B	18B	16B
			A	1219.2	1066.8	990.6	914.4	838.2	762
	OD	812.8	711.2	660.4	609.4	558.4	508	457.2	406.4
	T	11.1	11.0	11.0	9.5	9.5	9.5	8.0	8.0

表 3. 3 継目無し T の形状寸法

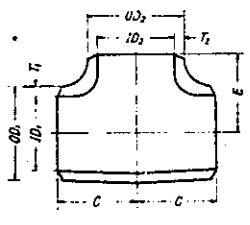
略 図	呼び径 寸法	22B×22B ×16B	16B 同径	26B 同径
			OD <sub>1</sub>	558.8
	T <sub>1</sub>	9.5	8.0	11.0
	E	381	304.7	495.3
	OD <sub>2</sub>	406.8	406.8	660.8
	T <sub>2</sub>	8.0	8.0	11.0
	C	419.1	304.7	495.3

表 3.4

継目なしエルボ製造方法調査結果

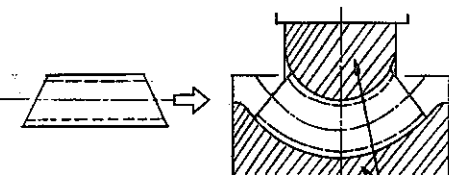
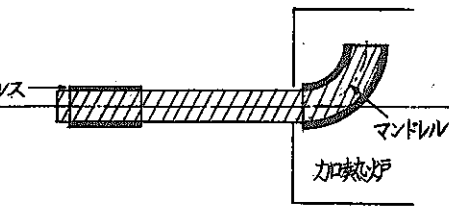
国内・海外の区別	素 材		製造可能 寸法範囲	製 造 法			検査法	精 度	高温強度特性		出典	
	材質	種別		製造工程	成 形 法	熱処理			引張り	クリープ		
国内	SUS304 SUS316	押し出し法 による素管	呼び径 (Sch20) 可否	直管 検査 (分析, UT, PT) 成形 熱処理 グラインディング 寸法検査 機械試験 開先加工 最終検査 (目視, 寸法, PT) マーキング	(1) 曲げ成形法   (2) マンドレル法  	特殊ダイス 固溶化熱処理 1100°C x 0.5h (水冷)	通産省技術基準に基づくものとする。	JIS B2304 に基づくものとする。	資料なし	資料なし	P4G-F-004 P4G-F-023 P4G-F-033	
			16B									○
			18B									○
			20B									○
			22B									△
			24B									△
			26B									△
			28B									△
			32B									△
			×製造可能 (推定) Δ53年以降製造可能 (予定)									
海外	SUS304 SUS316	押し出し法 による素管	呼び径 (Sch20) 可否	同 上	(1) 曲げ成形法 国内と同じ  (2) マンドレル法 国内と同じ	固溶化熱処理 (詳細不明)	詳細不明	詳細不明	資料なし	資料なし		
			16B									○
			18B									○
			20B									○
			22B									○
			24B									○
			26B									○
			28B									○
			32B									○
			×製造可能 (推定)									

表 3.5

継目無しT製造方法調査結果

国内海外の区別	素 材		製造可能 寸法範囲	製 造 工 程			検査法	精度	高温強度特性		出典									
	材質	種別		製 造 工 程	成形法	熱処理			引張り	クリープ										
国内	SUS304	押出し法 による素管	<table border="1"> <tr> <td>呼び径</td> <td>可否</td> </tr> <tr> <td>16B 同径</td> <td>○</td> </tr> <tr> <td>22B・22 B・16B</td> <td>△</td> </tr> <tr> <td>26B 同径</td> <td>△</td> </tr> </table> <p>XO製造可能 (推定) △53年以降 製造可能 (予定)</p>	呼び径	可否	16B 同径	○	22B・22 B・16B	△	26B 同径	△	バルジ成形法	<p>原管 → 分析材料試験 NDT</p> <p>切断 → 表面手入</p> <p>バルジ成形 → 開先加工</p> <p>熱処理 → 酸洗</p> <p>キャップ切断 → 完成検査 → 外観寸法 PT</p> <p>マーキング</p>			<p>JIS規格および通産省技術基準に基づくものとする。</p> <p>1. 化学分析</p> <p>2. 材料試験</p> <p>3. 寸法検査</p> <p>4. 外観検査</p> <p>5. 水圧試験</p> <p>6. 非破壊検査</p> <p>①超音波探傷試験</p> <p>②液体浸透探傷試験</p>	JIS B2304 に基づくものとする。	資料なし	資料なし	P4G-T-004 P4G-T-023 P4G-T-033
				呼び径	可否															
				16B 同径	○															
22B・22 B・16B	△																			
26B 同径	△																			
型入鍛造法	<p>溶解 → 分析</p> <p>造塊 → 端面機削り → UT</p> <p>荒地鍛造切断 → 試料採取</p> <p>型入鍛造 → 孔明け加工</p> <p>熱処理 → 開先加工</p> <p>表面手入 → 完成検査 → 寸法 PT</p> <p>マーキング</p>		固溶化熱処理 1100°Cx30' 水冷																	
圧縮成形法	<p>原管 → 分析材料試験 UT</p> <p>切断 → キャップ切断</p> <p>橋門圧縮 → 表面手入</p> <p>圧縮成形 → 開先加工</p> <p>熱処理 → 酸洗</p> <p>完成検査 → 外観寸法 PT</p> <p>マーキング</p>																			
海外	SUS304	押出し法 による素管	製造可能 (推定)	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし									

### 3. 2. 2 海外の状況

#### (1) エルボ

米国では、現在 16 B ~ 32 B まで Sch. 20 は製造可能であることがカタログなどより推定される。

#### (2) T

米国では、製造可能であると推定される。

### 3. 2. 3 問題点

- (1) 大径薄肉管なので加工がむずかしい。
- (2) 熱処理時の変形防止がむずかしい。
- (3) 製造実績がないので機械的性質，特に高温強度データが不明である。

## 4. 溶接管の現状と問題点

### 4. 1 直 管

溶接管の直管の製造方法の調査結果を表4. 1, 表4. 2および表4. 3に示す。

#### 4. 1. 1 国内の状況

溶接管・直管の実績としては、高速実験炉1次主冷却系配管ホットレグ部に外径508mm, 肉厚9.5mm, コールドレグ部に外径457.2mm, 肉厚7.9mmおよび外径318.5mm, 肉厚6.5mmのSUS304鋼製溶接管が用いられた。その他、原子炉用としての製造実績も十分にあるので、高速原型炉用主冷却系配管も製造可能な寸法範囲である。図4. 1にSUS304溶接管における溶接継手から採取した試験片による室温における溶接継手引張試験結果の実績例を示す。伸びの継手効率は、溶接方法により異なるが、約75%~90%程度である。次に、溶接管から直接採取した試験片の高温の機械的試験の結果例はほとんどなかったが、同板厚平板での溶接継手の機械的性質(または継手効率)は、図4. 2および図4. 3に参考例として示す如く、溶接部の伸びが低い値を示しており、高速原型炉用として用いる場合には、溶接部の高温特性の改善が必要である。図4. 4<sup>※1</sup>および図4. 5<sup>※2</sup>に電子ビーム溶接による溶接継手の高温における機械試験結果の参考例を示すが、電子ビーム溶接の場合は、試験片形状の影響もあるが、溶接のままでも伸びの継手効率はTIG溶接と比較してかなり高く、約85%確保されており、また0.2%耐力、引張強さともに満足できる値を示している。クリーブ破断特性についてはとくに破断伸びが従来の溶接法に比し、改善されていることが分る。したがって、高速原型炉用として用いられる溶接管に対しては新しい溶接法の開発により溶接継手の高温特性の改善が可能であるものと考えられる。また、後熱処理も溶接法との組合せにより今後検討すべき事項であろう。

#### 4. 1. 2 海外の状況

米国のデモプラントCRBRP(Clinch River Breeder Reactor Plant)では、1次主冷却系配管ホットレグ部に外径914.4mm(36in)の316SS製溶接管の直管を採用することで計画を進めているようであるが、その資料はほとんど得られなかった。

#### 4. 1. 3 問題点

- (1) 単長の限界は、メーカーにより異なるが、4~6m程度である。
- (2) 大径薄肉管であるため熱処理による変形防止が難しい。
- (3) 溶接部の高温特性についての試験結果は全くなく、かつ500℃以上の使用条件では溶接部のクリーブ破断伸びに問題のあることが推察されるので、高速原型炉用として考える場合には溶接部の改善を図ると共に、各種の試験を実施する必要がある。

※1 P5G-Ra-1より引用

※2 P5G-Da-004より引用

表 4.1

溶接管の直管製造方法調査結果

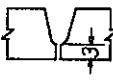
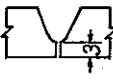
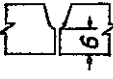
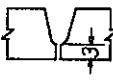
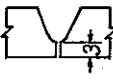
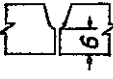
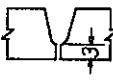
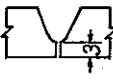
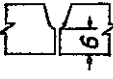
国内・海外の区別	素材		製造可能寸法範囲	製造法				検査法	精度	高温強度特性		出典												
	材質	種別		製造工程	成形法	溶接施行法				溶接後熱処理	引張り		クリープ											
国内	SUS304 SUS316	圧延鋼板	表 4.2 参照	ベンチンロール法の場合を下記に示す。 ステンレス鋼板 開先加工 プレス縁曲げ ロールベンチン 開先合せ 板付け 溶接 外面ビード仕上げ 脱脂 熱処理 矯正 端面仕上げ 酸洗 検査	1.ベンチンロール法 2.プレス成形法	<table border="1"> <tr> <th>溶接法</th> <th>開先形状</th> <th>溶接材料</th> </tr> <tr> <td>TIG* + MIG</td> <td></td> <td>TIG:溶加棒なし MIG:308 316</td> </tr> <tr> <td>TIG + 被覆アーク</td> <td></td> <td>TIG:溶加棒なし 被覆アーク: 308,316</td> </tr> <tr> <td>プラズマ + TIG</td> <td></td> <td>TIG:溶加棒使用</td> </tr> </table> *高速実験炉で採用	溶接法	開先形状	溶接材料	TIG* + MIG		TIG:溶加棒なし MIG:308 316	TIG + 被覆アーク		TIG:溶加棒なし 被覆アーク: 308,316	プラズマ + TIG		TIG:溶加棒使用	固溶化熱処理 JIS規格による (実例 1100°C)	JIS規格および通産省技術基準に基づく。 1.寸法検査 2.外観検査 3.水圧試験 4.非破壊検査 i)放射線透過試験 ii)液体浸透探傷試験 iii)超音波探傷試験 5.機械試験 i)引張試験 ii)扁平試験 iii)曲げ試験 6.フラット量測定* 7.漏洩試験* 8.高温機械試験* *法律上要求されない。	JISG3459に基づく。	資料なし	資料なし	P4G-F-003 ・ F-004 ・ F-012 ・ F-013 ・ F-014 ・ F-016 ・ F-019 ・ Rg-001 (訂1)
溶接法	開先形状	溶接材料																						
TIG* + MIG		TIG:溶加棒なし MIG:308 316																						
TIG + 被覆アーク		TIG:溶加棒なし 被覆アーク: 308,316																						
プラズマ + TIG		TIG:溶加棒使用																						
海外	SUS304 SUS316	圧延鋼板	資料なし	国内と概ね同様	1. プレス成形法	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし													

表 4.2 大径溶接鋼管製造可能範囲

外径	内厚	メーカー												
		3	4	10	12	16	18	20	30	40	60	80	100	120
6B	1652													
10	2674									B社				
12	3185	A社												
14	3556													
16	4064													
22	5588													
24	6096													
26	6604													
32	8128													
36	9144													
40	10160													
60	15240													
100	25400													

(単位: mm)

表 4.3 溶接管直管の寸法精度

項目	外 径	A社				B社
		16~18B	20~24B	28B	32B	750mm
真円度	%	0.75	0.75	0.75	1	$\frac{d_{max}}{d_{min}} = 1.010$
周 長	mm	±2.5	±3	±3	±4	—
肉 厚	mm	仕様による				64 $\begin{matrix} +3 \\ -0 \end{matrix}$
長 さ	mm	+15 -0	+15 -0	+15 -0	+20 -0	2310 $\begin{matrix} +5 \\ -0 \end{matrix}$
曲 り	mm/m	1	1	1	1	—
外 径	mm	—				750 ±3.7
備 考		作業基準				実 例

(注記) JISの寸法許容差 Ⅰ) 外径 ±1% (30mm以上)  
Ⅱ) 厚さ ±10% (2mm以上)  
Ⅲ) 偏肉

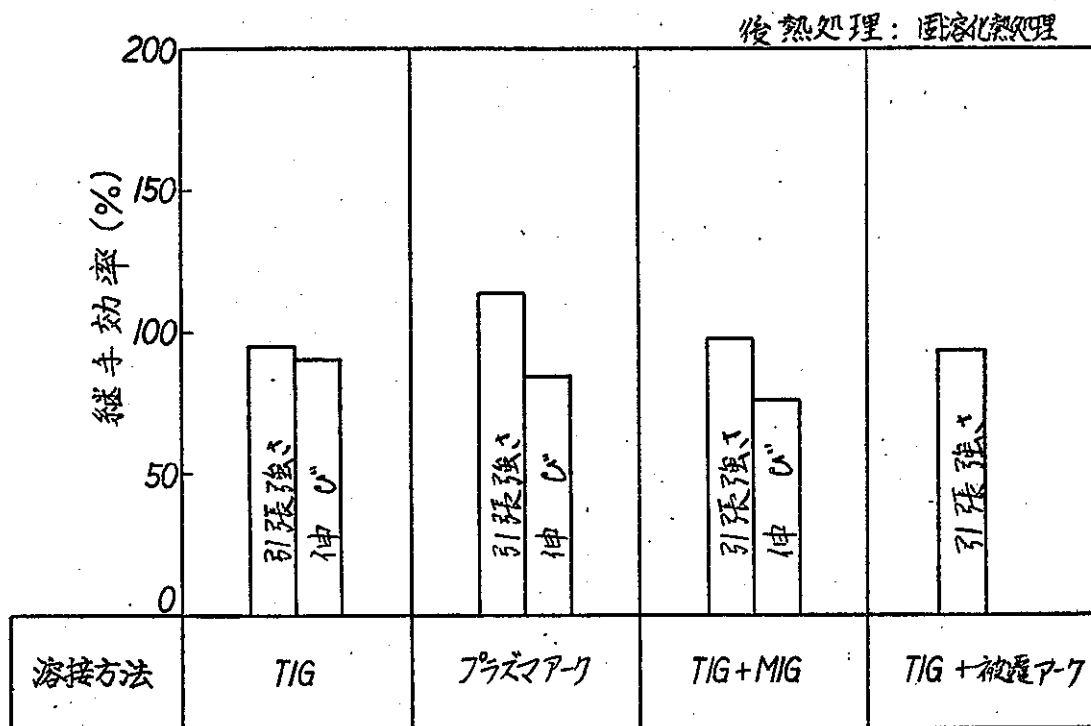


図 4.1 各種 SUS304 溶接継手の引張特性における継手効率(室温)



溶接方法: TIG+被覆アーク溶接

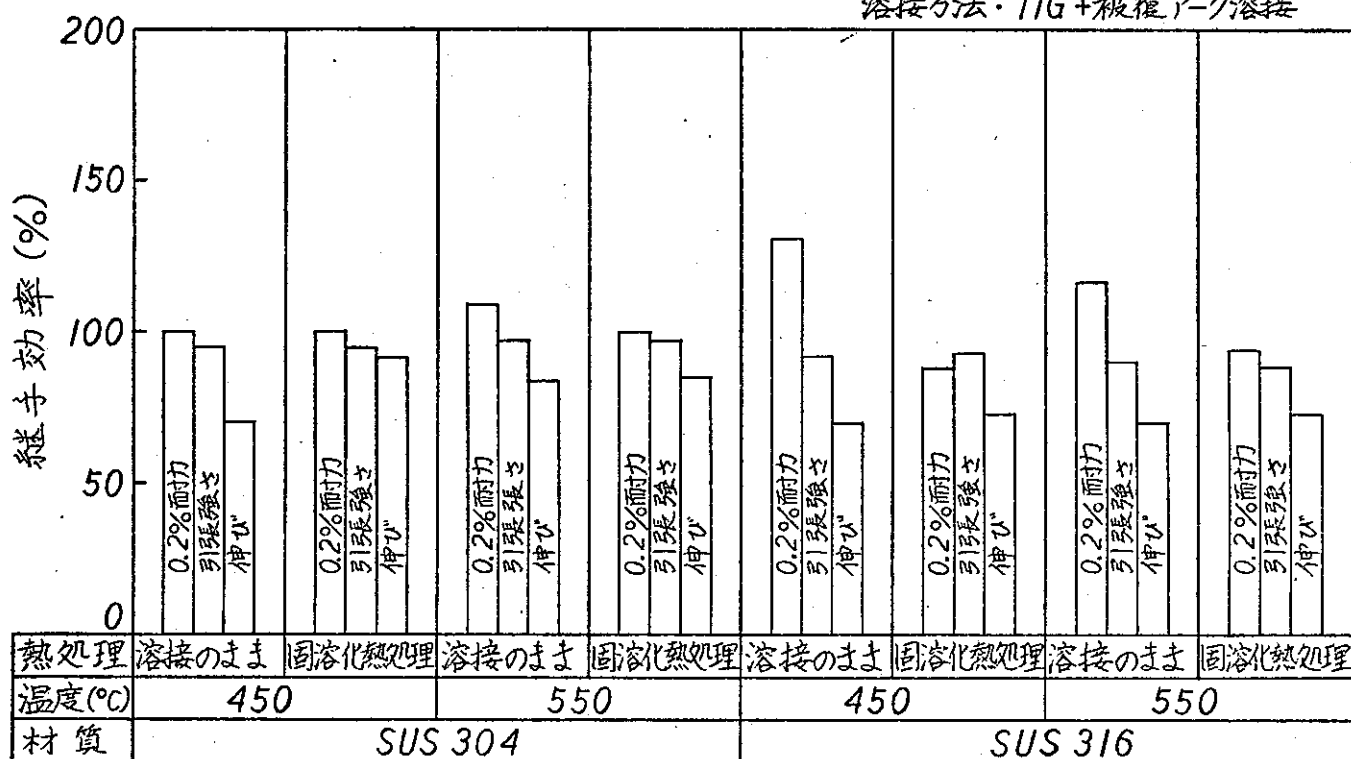


図4.2 SUS 304およびSUS 316溶接継手の高温引張特性における継手効率

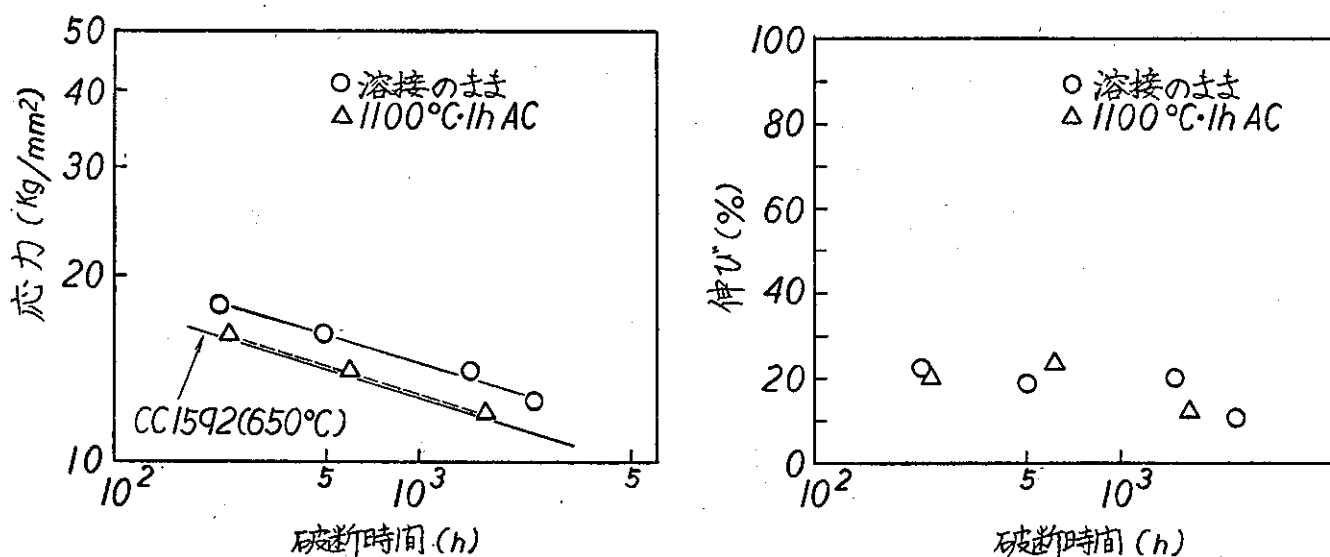


図4.3 SUS 316 溶接継手のクリープ破断特性(650°C)

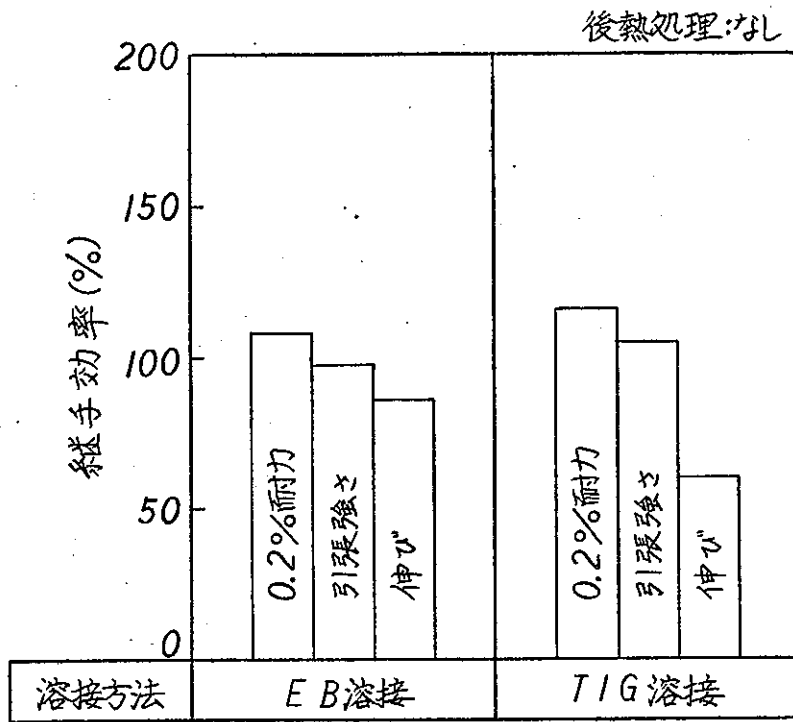


図4.4 SUS316 溶接継手の高温引張試験における継手効率(500°C)

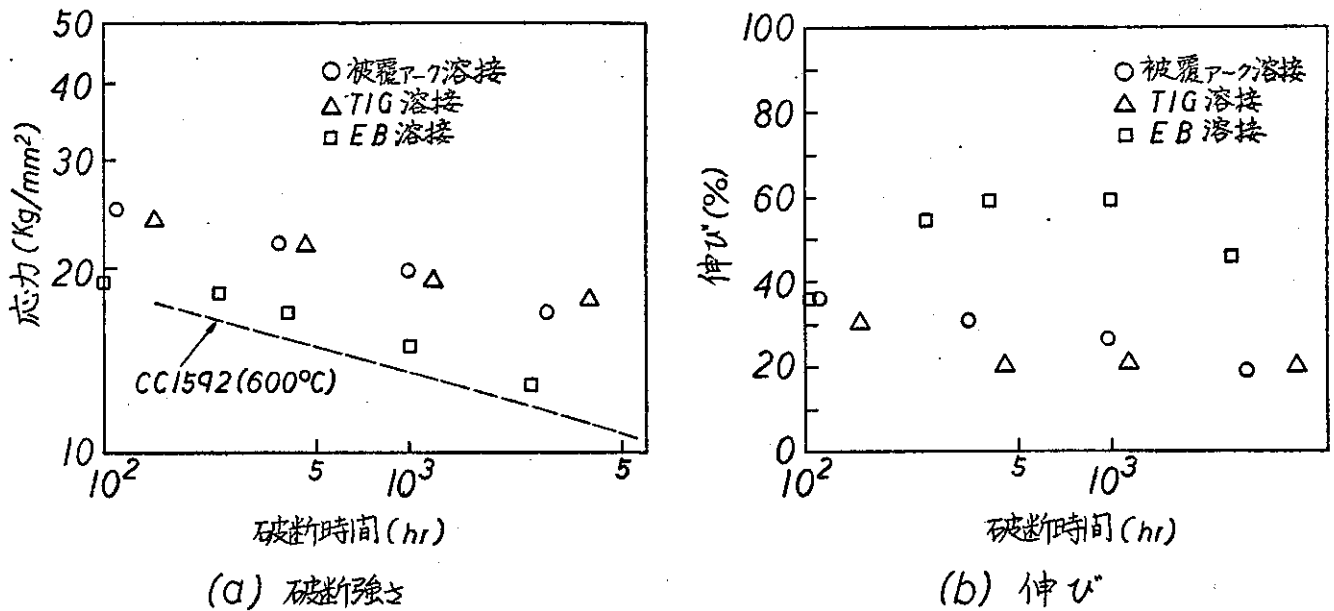


図4.5 SUS304 電子ビーム溶接継手のクリープ破断特性(600°C)

#### 4. 2 配管要素

溶接管の配管要素（エルボ，T，レデューサ）の製造方法に関する調査結果を表4. 5，表4. 6，表4. 7および表4. 8に示す。

##### 4. 2. 1 国内の状況

国内メーカー3社について溶接管の配管要素（エルボ，T，レデューサ）の製造方法を調査した結果，高速原型炉で使用される材質・寸法の配管要素は製造実績があり，2次系のネック付エルボを除いて，現在の設備で製造可能である。

###### (1) エルボ，T

プラズマ切断により切断した鋼板を800℃～1,000℃の熱間でプレス成形する。表4. 5中の図に示す通り，完成品の形状が溶接継手の位置に対して対称なもの（モナカ型）と，そうでないものと2種類あり，いずれも2シーム法で製作される。モナカ型は，プレス加工の金型が1種類で済むという利点はあるが，溶接線が屈曲しているので，溶接の自動化を図るのは困難である。また，T管では，プレス加工の方法によって枝管部の性能 肉厚のバラツキ，機械的性質，残留応力など に変化が生ずると考えられるので，十分な検討が必要である。溶接施工法の実績としては，プラズマ・アーク+被覆アーク溶接，サブマージアーク溶接，被覆アーク溶接などがあり，溶接後，固溶化熱処理（1,050℃～1,100℃）が施される。溶接継手の機械的性質を示すデータは，調査した範囲では全く無かった。

なお，2次冷却系での使用が検討されているネック付エルボは，一般には，通常のエルボに短管を溶接するという方法で製作されており，一体物で200mmの直管部を付けるのはかなりの困難が予想される。

###### (2) レデューサ

プラズマ切断により切断した鋼板を，冷間にてベンディング・ローラで，或いは熱間にてプレスで成形して，1シーム法で製作される。溶接施工法，後熱処理，試験および検査等は，エルボ，Tと同様である。

##### 4. 2. 2 海外の状況

今回の調査では，製造方法に関するデータは，入手できなかった。カタログによると，米国では，高速原型炉の主冷却系配管に使用される材質・寸法の配管要素は，製造実績があるようである。

##### 4. 2. 3 問題点

- (1) T管の枝管部などにかかなり大きな肉厚のバラツキ（減肉および増肉）が生ずる。
- (2) 固溶化熱処理による変形防止がむずかしい。
- (3) 溶接部の高温特性についての試験結果は全くなく，かつ500℃以上の使用条件では溶接部のクリープ破断伸びに問題のあることが推察されるので高速原型炉用として考える場合には溶接部の改善を図ると共に，各種の試験を実施する必要がある。

表 4.5

溶接管の配管要素(エルボ, T, レデュサー)製造方法調査結果


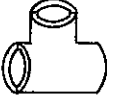

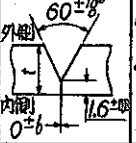

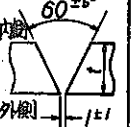
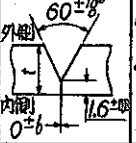

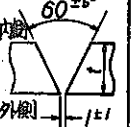
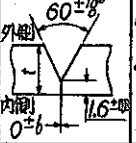

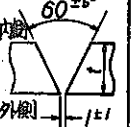
国内/海外の区別	素 材		製造可能 寸法範囲	製 造 法				検査法	精度	高温強度特性		出典												
	材質	種別		製造工程	成形法	溶 接 施 行 法				溶接後 熱処理	引張り		クリープ											
国内	SUS304 SUS316	圧延 鋼板	表 4.6 参照	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">厚板切断</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">成形</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">長手開先加工</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">酸洗</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">溶接</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">表面加工</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">熱処理</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">端部矯正</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">ショットブラスト</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">機械加工</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">酸洗</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">製品検査</div> </div>	<p>1. エルボ プレス成形 法(熱間)</p>  <p>2. T プレス成形 法(熱間)</p>  <p>3. レデュサー プレス成形 法(熱間)</p> <p>ベンディング ロール法 (冷間)</p> 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>溶接法</th> <th>開先形状</th> <th>溶接材料</th> </tr> <tr> <td>プラズマ アーク + 被覆アーク</td> <td>  </td> <td>1. 初層なし 2. 2層以降 NC38(304) NC36(316)</td> </tr> <tr> <td>サブマージ アーク</td> <td>  </td> <td>US308 PFS-1 (304) US316 PFS-1M (316)</td> </tr> <tr> <td>被覆アーク</td> <td>  </td> <td>NC 38 (32, 40%)</td> </tr> </table>	溶接法	開先形状	溶接材料	プラズマ アーク + 被覆アーク		1. 初層なし 2. 2層以降 NC38(304) NC36(316)	サブマージ アーク		US308 PFS-1 (304) US316 PFS-1M (316)	被覆アーク		NC 38 (32, 40%)	<p>固溶化熱 処理</p>	<p>JIS規格および通産省技術基準に基く のとする</p> <p>1. 寸法検査 2. 外観検査 3. 水圧試験 4. 非破壊検査 ①放射線透過 試験 ②液体浸透 探傷試験 5. 機械試験 ①引張試験 ②曲げ試験 6. 重量 測定 7. 漏洩試験 8. 高温機械 試験</p> <p>※法律上要 求されない</p>	JIS B2307 に基づく。 表 4.7 参照	資料なし	資料なし	P4G-7-008
溶接法	開先形状	溶接材料																						
プラズマ アーク + 被覆アーク		1. 初層なし 2. 2層以降 NC38(304) NC36(316)																						
サブマージ アーク		US308 PFS-1 (304) US316 PFS-1M (316)																						
被覆アーク		NC 38 (32, 40%)																						
海外	SUS304 SUS316	圧延 鋼板	資料なし	国内と概ね同様 と推察される	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし	資料なし														

表 4.6 溶接管配管要素の製造可能範囲 (国内)

外径	肉厚	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30	40	60	80	100
6 <sup>B</sup>	165.2			D社											
8	203.2														
10	267.4								C社						
12	318.5														
14	355.6														
16	406.4														
22	558.8														
24	609.6														
26	660.4														
32	812.8														
36	914.4														
50	1270.0														

(単位mm)

表4.7 ネック付エルボの製造可能範囲 (D社)

寸法 (仕様)		製造可能範囲	
呼び径	肉厚 (mm)	肉厚 (mm)	直管部 (mm)
16 <sup>B</sup>	16.7	32	60
18 <sup>B</sup>	19.1	45	100
20 <sup>B</sup>	20.6	32	100
22 <sup>B</sup>	23	32	100
26 <sup>B</sup>	26.2	32	150
28 <sup>B</sup>	28.6	25	150

表 4.8 溶接管配管要素の寸法精度

(単位mm)

要素	項目	D社1)				B, C社2)			
		10~18 <sup>B</sup>	20~24 <sup>B</sup>	26~30 <sup>B</sup>	32~36 <sup>B</sup>	10~18 <sup>B</sup>	20~24 <sup>B</sup>	26~30 <sup>B</sup>	32~36 <sup>B</sup>
エルボ	端部の外径	+2.4 -1.6	+3.2 -1.8	+3.2 -1.8	+3.2 -1.8	+4.0 -3.2	+6.4 -4.8	+6.4 -4.8	+6.4 -4.8
	T 端部の内径	+1.6 -0.8	+3.2 -1.8	+3.2 -1.8	+3.2 -1.8	±3.2	±4.8	±4.8	±4.8
レデュース	肉厚 (%)	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-12.5	-12.5	-12.5	-12.5
エルボ	中心から端面までの距離 (A,B)3)	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±3.2	±4.8
T	中心から端面までの距離 (C,M)3)	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±4.8	±4.8
レデュース	端面から端面までの距離 (H)3)	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±2.4	±4.8	±4.8

- 注1) 作業基準  
 2) JIS規格による  
 3) 図 2.2 参照

## 5. 環境効果

高速原型炉の主冷却系配管においては液体ナトリウムが循環し、このような環境下で使用されるオーステナイト系ステンレス鋼配管の設計にあたっては、ナトリウムによる環境効果を十分考慮しなければならない。そこで、米国における高速増殖炉の安全性と信頼性に関する報告<sup>※3</sup>は配管設計上の指針として参考となるため以下にその概要を述べる。

### (1) 腐食

高温側で生じる溶出による減肉については、図5.1<sup>※3</sup>に示す腐食代を考慮し、さらに10milを粒界腐食分として加える。このような溶出によって低温側に沈積する腐食生成物については、放射化されている場合にはシールドに対する考慮が必要になる。

高温側で生じる脱炭については、bimetallic systemの2¼Cr-1Mo鋼に比し無視できる程度のものであるが、EOL(End of Life)においては図5.2<sup>※4</sup>に示す通りである。

### (2) 機械的性質

長時間浸漬後の機械的性質については、衝撃値は未使用材の50%、0.2%耐力、引張強さ、10<sup>5</sup>hにおけるクリープ破断強さ、10<sup>3</sup>hにおいて0.01%の最小クリープ速度を生じる応力についてはそれぞれ低C材のレベルまで低下するものとする。

### (3) 溶接および検査

液体ナトリウムは溶接スラグや非金属介在物をアタックするので、ナトリウムと接触するところは滑かたで、欠陥があってはならない。また、配管とアタッチメントの溶接は完全溶込み溶接とする。

溶接部はすべて外観検査をし、ナトリウムと接触する部分は100%放射線透過試験を行ない、表面は磁粉探傷かPTを実施する。

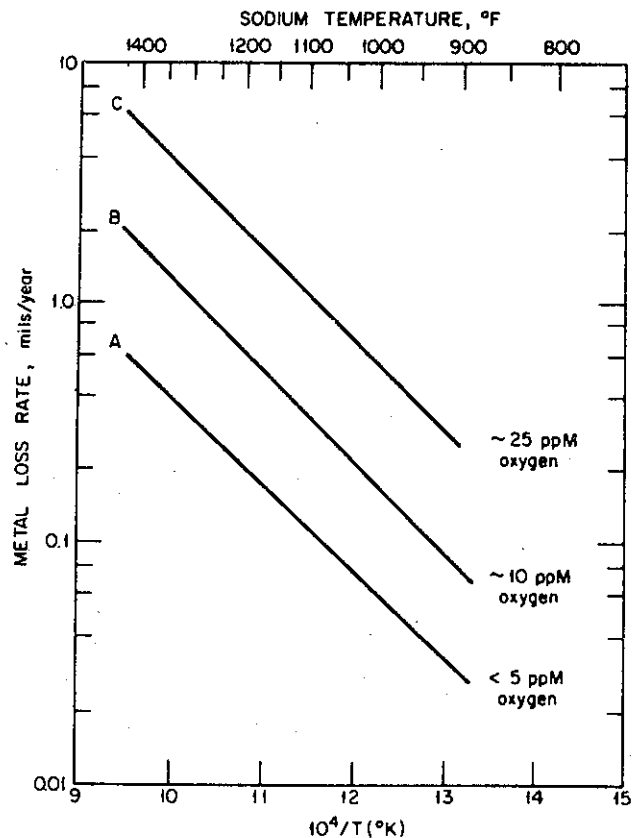


図5.1 ホットレグ配管における腐食代

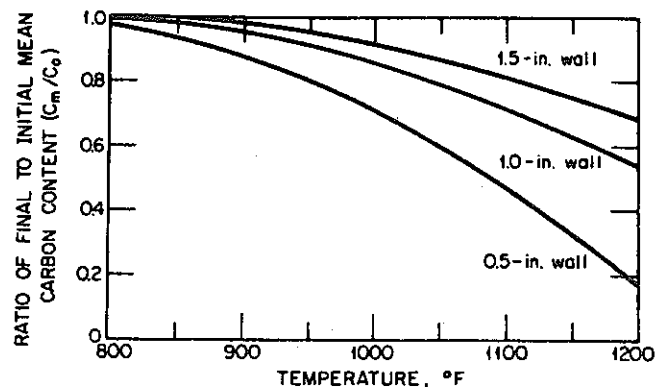


図5.2 30年後のホットレグ配管における脱炭

※3 米国のAEC(Atomic Energy Commissionの略称)により発表された10分冊(Report NQ WASH-1101-1110)よりなる中間報告の一部で、"Sodium Piping for the LMFBR" by E.M. Simonsより引用した。

※4 United Nuclear Corp., Piping Material for LMFBR Plants, Technical Report 228(Rev.1), Report CFB-4122-228, May 22, 1970

6. 今後必要な研究開発課題

高速原型炉の一次および二次主冷却系配管材に使用されるオーステナイト系ステンレス鋼継目なし管および溶接管の製造方法（溶接施工法含む）および高温強度特性などについて、内外の実情の調査を行ない、明らかになった問題点を集約し、今後必要な研究開発課題についてまとめると表6.1に示すとおりである。

表6.1 問題点及び今後必要な研究開発課題

分類	問題点	研究開発項目	試験内容
継目なし管	直管	SUS304 および SUS 316大径薄肉継目無し管（直管）の試作および各種性能試験	(1)試作 1) 工具・治具の試作 2) 製造方法の検討 3) 熱処理および歪防止法の検討 4) 寸法精度の検討 (2)母材試験 1) 化学分析 2) 組織試験 3) 室温および高温引張試験 4) 室温および高温疲労試験 5) クリープおよびクリープ破断試験
	配管要素	1) 大径薄肉管なので加工が困難 2) 熱処理による変形防止が困難 3) 実績がないので高温強度特性が不明	試作メーカーの検討
溶接管	直管	SUS304 および SUS 316大径薄肉溶接管（直管）の試作および各種性能試験	(1)溶接法の検討 （従来法および電子ビーム溶接） (2)試作 1) 製造方法の検討 2) 熱処理および歪防止法の検討 3) 寸法精度の検討 (3)溶接部の性能試験 1) 化学分析 2) 組織試験 3) 室温および高温引張試験 4) 室温および高温疲労試験 5) クリープおよびクリープ破断試験
	配管要素	1) T管の枝管部等にかなり大きな肉厚のバラツキが生ずる。 2) 熱処理による変形防止が困難 3) 溶接部の高温特性についての試験結果は全くなく、溶接部のクリープ破断伸びに問題のあることが推察されるので溶接部の改善を図ると共に、各種の試験を実施することが必要	(1)溶接法の検討 (2)試作 1) 製造方法の検討 2) 熱処理および歪防止法の検討 3) 寸法精度の検討 (3)溶接部の性能試験 1) 化学分析 2) 組織試験 3) 室温および高温引張試験 4) 室温および高温疲労試験 5) クリープおよびクリープ破断試験 6) 崩壊試験（エルボ）

## 7. 結 言

高速原型炉の一次および二次主冷却系配管用オーステナイト系ステンレス鋼配管の継目無し管および溶接管の製作に関して、直管および要素（エルボ、Tおよびレデューサ）ごとに製造方法（溶接施工法を含む）、高温強度特性（主として、引張特性およびクリープ破断特性）などについて内外の現状調査を行なった。その結果、継目無し管の製作については、海外においては実績があるが、実績のない国内の場合には、製作可能長さ、精度、および高温における機械的性質、などの問題の他、コスト、納期上の問題などによりかなりの困難が予想される。また、要素の場合には根本的に製造法の開発が必要と思われる。

いっぽう、溶接管の場合には海外の資料が入手できなかったために、国内の現状調査のみに留まったが、この場合にも製作長さの限界、精度などの問題の他、とくに溶接部の高温における諸特性の改善が必要であることが判った。

以上の問題点にしたがって昭和51年度以降必要な研究開発課題について提案したが、本調査の結果は今後の研究開発に十分に生かされるものと確信する次第である。