

本資料は 〇/年 〇月 〇/日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

高速炉構造用SUS316の クリープ試験およびクリープ疲労試験データ

1991年3月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

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

本資料についての問合せは下記に願います。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

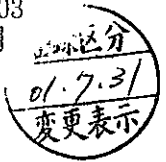
技術開発推進部・技術管理室

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

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

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

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



高速炉構造用SUS316の クリープ試験およびクリープ疲労試験データ

木村英隆*¹ 菅谷 全*² 加藤猛彦*²

川崎弘嗣*¹ 青砥紀身*¹ 和田雄作*¹

要 旨

高速炉構造用SUS316の高温強度特性やNa環境効果および中性子線照射効果等の試験が進展している。この結果、本鋼は優れた各種特性を有することが確認されてきており現在実証炉以降の炉容器、配管、中間熱交換器等の構造材料として採用される方向で作業が進んでいる。

今後、本鋼を採用したプラントの検討や実際の設計では、本鋼のクリープ破断式とクリープひずみ式、および材料の損傷等を見積もるのに用いる材料評価法が必要となる。現在これらの特性式や評価法の策定に関して検討が行われており、暫定基準が策定されてきている。

本報告では、今後必要となる本鋼の特性式や評価法の再検討・再策定に資するように、昨年クリープ破断式とクリープひずみ式の暫定基準策定に用いたクリープ破断データと、現在までに入手できた高温疲労およびクリープ疲労試験データをまとめた。

*1：材料開発室
*2：常陽産業(株)

目次

まえがき	1
参考文献	2
収集データの素材の化学成分（表1）	3
収集したクリープ破断試験データ点数（表2）	4
収集した高温疲労およびクリープ疲労データ点数（表3）	5
高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果（表4～表11）	7～14
高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果（図1～図8）	15～22
高速炉構造用SUS316の高温疲労試験 およびクリープ疲労試験結果（表12, 表13）	24～25
高速炉構造用SUS316の高温疲労試験 およびクリープ疲労試験結果（図9～表11）	26～28

まえがき

本報告は、クリープ破断式やクリープひずみ式、材料評価法の今後の最適化検討や策定に資することを目的とし、以下の2つの観点から、本鋼のクリープ試験および高温疲労試験とクリープ疲労試験のデータシートとして作成した。

- ① 本鋼のクリープ破断式やクリープひずみ式の90年度暫定基準を策定した¹⁾時に実際に用いたクリープ試験結果（三菱重工(株)および(株)日立製作所から貸与されたデータを含む）を記載した。
- ② 現在までに入手できた本鋼の高温疲労試験結果およびクリープ疲労試験結果として動燃内部実施試験、委託試験^{2), 3), 4), 5), 6), 7)} データおよびKOM/MMS 対応で新日本製鐵(株)から貸与⁸⁾されたデータ、さらに参考として(株)電力中央研究所実施データを記載した。

なお、本報告より前に吉田らが同様な目的でデータシートを報告⁸⁾している。本報告と吉田らの報告との違いは以下の4点である。

- 1) 本報告はクリープ試験およびクリープ疲労試験結果のみを記載したが、吉田らの報告ではクリープ試験やクリープ疲労試験のみならず、短時間引張試験および応力緩和試験結果も含んでいる。
- 2) 本報告は実機製造材のみのデータを記載したが、吉田らの報告では実機製造材だけでなくラボヒート材も含んでいる。
- 3) 本報告では、高速炉構造用SUS316はJIS SUS316の成分規格範囲内で、 $C \leq 0.2\text{wt.}\%$ 、 $0.06\text{wt.}\% \leq N \leq 0.10\text{wt.}\%$ 、 $0.02\text{wt.}\% \leq P \leq 0.03\text{wt.}\%$ に成分制御した鋼としたが、吉田らの報告では、現在は高速炉構造用SUS316として認められないP量の低いチャージも含んでいる。
- 4) 本報告は、クリープ試験結果およびクリープ疲労試験結果の最近までに入手したデータを記載しているため、吉田らの報告よりも新しいデータを含む。

〔参考文献〕

- 1) 木村ら, PNC SN9410 90-139, 「高速炉構造用SUS316の設計クリープ破断強さ S_R (90年度暫定基準) の策定, (1990).
- 2) 西田ら, PNC SJ9216 88-002, 「改良316 鋼の高温強度試験 (I)」, (1988).
- 3) 古藤ら, PNC SJ9216 89-002, 「改良316 鋼の高温強度試験 (II)」, (1989).
- 4) 山下ら, PNC SJ9068 89-001, 「Mod. 9Cr-1Mo 鋼の高温強度試験およびSUS304鋼のき裂進展試験 (I)」, (1989).
- 5) 山下ら, PNC SJ9068 90-001, 「Mod. 9Cr-1Mo 鋼の高温強度試験およびSUS304鋼のき裂進展試験 (II)」, (1990).
- 6) 福田ら, PNC SJ9124 89-004, 「Mod. 9Cr-1Mo 鍛鋼品の高温強度試験 (II) 及び改良316 鋼溶接部の高温強度試験 (I)」, (1989).
- 7) 福田ら, PNC SJ9124 90-005, 「Mod. 9Cr-1Mo 鍛鋼品異材溶接継手の高温強度試験 (I) 及び改良316 鋼溶接部の高温強度試験 (II)」, (1991).
- 8) 吉田ら, PNC I9410 89-025, 「高速炉構造用改良SUS316 (低炭素-窒素添加) の高温強度特性データ集」, (1989).

表1. 収集データの素材の化学成分 Chemical compositions of the plates and pipe used (wt.%)

SMAT No.	PNC No.	Maker	Heat No.	Size (mm)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Al	N	GSN	@
JM6-01	B7(MF)	NSC	N9490	50-t	0.012	0.52	0.86	0.024	0.004	10.59	16.58	2.14	0.010	0.08	6	①
JM6-02B	B8	SMI	50492	40-t	0.012	0.47	1.04	0.024	0.001	12.24	17.56	2.46	—	0.10	5.0	①
JM6-02C	JA	SMI	50492	50-t	0.012	0.47	1.04	0.024	0.001	12.24	17.56	2.46	—	0.10	—	②
JM6-03	MC	NSC	N9911	24-t	0.011	0.47	0.83	0.026	0.005	11.0	16.5	2.07	0.005	0.0681	5.0	③
JM6-04	MD	NSC	N9908	100-t	0.009	0.47	0.82	0.029	0.003	11.1	16.7	2.06	0.020	0.0695	2	③
JM6-05	ME	NSC	N9911	40-t	0.011	0.47	0.85	0.028	0.0057	11.07	16.64	2.14	0.003	0.0679	4	③
JM6-06	MG	NSC	N9490	100-t	0.011	0.56	0.82	0.026	0.0043	10.77	16.38	2.13	0.011	0.0823	5	③
JM6-07	MI	NSC	N9490	25-t	0.012	0.56	0.81	0.024	0.0044	10.67	16.39	2.11	0.011	0.0808	5	③
JM6-08	S6F	SMI	D880901	8.6t, 114.3OD	0.011	0.45	1.60	0.025	0.004	12.60	17.25	2.48	—	0.100	—	④
—	—	NSC	—	50-t	0.009	0.57	0.86	0.025	0.005	11.25	16.85	2.06	—	0.0766	—	⑤

* SMAT : PNC data base (Structural materials test data processing system)

NSC : Nippon Steel Corp.

SMI : Sumitomo Metal Industries Ltd.

GSN : JIS Grain Size No., t : Thickness, OD : Outside Diameter

@ : ① ; Mill sheet data

② ; JM-02C has no mill sheet data but it is the same heat of JM6-02B.

③ ; Reported data by Mitsubishi Heavy Industries Ltd. to PNC

④ ; Reported data by Hitachi Ltd. to PNC

⑤ ; Reported data by Central Research Institute of Electric Power Industry to PNC

表2. 収集したクリープ破断試験データ点数 Number of collected creep rupture data

SMAT No.	PNC No.	Maker	Heat No.	Size (mm) & Shape	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C	800°C	Data source
JM6-01	B7(MF)	NSC	N9490	50-t Plate		5	6	6	4	4	3	PNC
JM6-01	B7(MF)	NSC	N9490	50-t Plate		8	6	3				MHI
JM6-02B	B8	SMI	50492	40-t Plate	4	9	6	5	4	4	3	PNC
JM6-02C	JA	SMI	50492	50-t Plate		3	3	3				PNC-SMI
JM6-03	MC	NSC	N9911	24-t Plate		9	6	7	5	3		MHI
JM6-04	MD	NSC	N9908	100-t Plate		4	3					MHI
JM6-05	ME	NSC	N9911	40-t Plate		7	6	3				MHI
JM6-06	MG	NSC	N9490	100-t Plate		5	5					MHI
JM6-07	MI	NSC	N9490	25-t Plate		2	3					MHI
JM6-08	S6F	SMI	D880901	8.6-t, 114.3-OD Pipe	1	4	4	5	1			HITACHI
収集データ合計 Sum of collected data					5	53	45	29	14	11	6	Total: 163

* SMAT : PNC data base (Structural materials test data processing system)

HITACHI : Hitachi Ltd.

MHI : Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

NSC : Nippon Steel Corp.

PNC : Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp.

SMI : Sumitomo Metal Industries Ltd.

PNC-SMI : Collaboration by PNC and SMI.

t : Thickness

OD : Outside Diameter

表3. 収集した高温疲労およびクリープ疲労データ点数
Number of collected low cycle fatigue and creep fatigue data at elevated temperatures

SMAT No.	PNC No.	Maker	Heat No.	Size (mm) & Shape	t _H (min)	500°C	550°C	600°C	Data source
JM6-01	B7(MF)	NSC	N9490	50-t Plate	0		5	5	PNC
					6		1		
					10		1	(1)	
					60		1	1	
					180		(1)	(1)	
					360		1	1	
JM6-02B	B8	SMI	50492	40-t Plate	0	5	5		PNC
					10	2	3		
					60		1	1	
JM6-03	MC	NSC	N9911	24-t Plate	0		5		NSC
—	—	NSC	—	50-t Plate	60		1	1	CRIEPI
					180		1		

* SMAT : PNC data base (Structural materials test data processing system)

CRIEPI : Central Research Institute of Electric Power Industry

NSC : Nippon Steel Corp.

PNC : Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp.

SMI : Sumitomo Metal Industries Ltd.

t : Thickness

(): Broken out of gage length

<高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果>

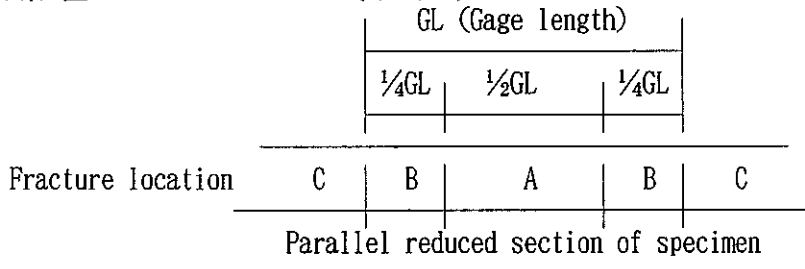
— 設計クリープ破断式（90年度暫定基準）の策定に用いた試験結果 —

Creep test results of FBR grade SUS316

— Results used for determination of the 90's interim standard of design creep rupture equation —

*用語英訳 Translation of the used words in the tables into English

素材 : Material
 温度 : Temperature
 応力 : Stress
 破断時間 : Time to rupture
 破断延性 : Rupture elongation
 破断延性 : Rupture reduction of area
 定常クリープ速度 : Steady state creep rate
 破断位置 : Fracture location (A, B, C)



試験片No. : Test specimen No.
 データソース : Data source
 新日鉄 : NSC (Nippon Steel Corporation)
 住金 : SMI (Sumitomo Metal Industry Ltd.)
 ヒートNo : Heat No.
 委託試験 : Entrusted test by PNC to the other companies
 日立製作所 : Hitachi Ltd.
 三菱重工 : Mitsubishi Heavy Industry Ltd.
 東芝 : Toshiba Ltd.
 動燃内部実施試験 : Tests done by PNC's own facilities
 動燃-住友金属共研 : Collaboration by PNC and SMI

表4. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素材	温度 (°C)	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クリープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	データ ソース
JM6-01 新日鉄 ヒト No N9490 50mm-t G. S. No 6.0	550	39.0	303.1	45.0	68	2.63×10^{-2}	A	M01	PNC M
		37.0	547.7	40.3	61	1.62×10^{-2}	A	M02	PNC M
		37.0	441	44.5	61.4	—	A	MF01	三菱重工
		37.0	312	56.2	65.8	—	A	MF09	三菱重工
		36.0	607	49.0	54.3	—	A	MF02	三菱重工
		36.0	456	50.4	61.6	—	B	MF10	三菱重工
		35.0	1262.6	32.3	51	5.78×10^{-3}	B	M03	PNC M
		35.0	1709	44.3	67.5	—	A	MF03	三菱重工
		34.9	1918	48.9	54.4	—	A	MF11	三菱重工
		34.0	1272.0	30.0	48	5.62×10^{-3}	B	M04	PNC M
		33.1	4482	37.2	49.2	—	B	MF04	三菱重工
		33.0	3900.6	30.0	41	1.21×10^{-3}	A	M05	PNC M
	33.0	4572	38.8	46.2	—	B	MF12	三菱重工	
	600	30.0	218.6	50.5	67	7.05×10^{-2}	A	M06	PNC M
		29.8	238	63.2	58.5	—	A	MF13	三菱重工
		29.0	209	65.8	67.7	—	A	MF05	三菱重工
		28.0	282.6	33.5	61	5.63×10^{-2}	B	M07	PNC M
		27.0	559	59.2	57.5	—	A	MF06	三菱重工
		27.0	314	67.9	68.9	—	A	MF14	三菱重工
		26.0	1042.7	47.3	63	1.08×10^{-2}	A	M08	PNC M
		25.0	1494.6	38.5	59	8.29×10^{-3}	B	M09	PNC M
		25.0	2629	43.6	57.5	—	A	MF07	三菱重工
		24.9	1545	66.0	56.8	—	B	MF15	三菱重工
		23.0	3686.2	44.8	56	3.63×10^{-3}	A	M10	PNC M
22.0		8116.4	48.4	58.6	1.74×10^{-3}	B	FMF8B2	PNC P	

* PNC H: 委託試験 (日立), PNC M: 委託試験 (三菱重工),
PNC P: 動燃内部実施試験, PNC T: 委託試験 (東芝)
PNC-住金: 動燃-住友金属共研 (動燃内部実施試験)

表5. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素 材	温 度 (°C)	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	デー タ ソ ース
JM6-01 新日鉄 ヒート No N9490 50mm-t G. S. No 6.0	650	24.0	60.7	52.0	70	3.77×10^{-1}	B	M11	PNC M
		22.1	104	67.6	66.8	—	A	MF08	三菱重工
		22.0	127.0	52.0	72	2.21×10^{-1}	B	M12	PNC M
		22.0	93	81.8	69.8	—	A	MF16	三菱重工
		20.0	353.4	55.3	73	6.32×10^{-2}	B	M13	PNC M
		19.9	292	83.7	70.8	—	A	MF17	三菱重工
		18.0	806.7	54.0	67	2.85×10^{-2}	B	M14	PNC M
		16.0	2551.4	58.8	64	6.81×10^{-3}	A	M15	PNC M
		15.0	3279.9	60.0	63.6	4.27×10^{-3}	A	FMF8B6	PNC P
	700	17.0	48.3	92.6	77.8	6.04×10^{-1}	A	FMF8A7	PNC P
		15.0	147.8	94.9	79.7	2.32×10^{-1}	A	FMF8A8	PNC P
		12.0	685.2	107.2	73.5	3.90×10^{-2}	A	FMF8A9	PNC P
		11.0	1116.2	90.3	65.8	1.77×10^{-2}	A	FMF8B0	PNC P
	750	11.0	89.3	139.5	85.1	4.26×10^{-1}	A	FMF8A0	PNC P
		9.0	281.0	97.4	84.6	9.26×10^{-2}	B	FMF8A1	PNC P
		7.0	1001.2	100.4	76.7	2.53×10^{-2}	A	FMF8A4	PNC P
		5.0	5977.4	66.0	45.1	2.02×10^{-3}	B	FMF8A5	PNC P
	800	8.0	56.4	134.4	88.3	7.13×10^{-1}	A	FMF8A6	PNC P
		5.0	641.7	106.8	87.1	5.17×10^{-2}	B	FMF8A2	PNC P
		3.5	3214.2	61.4	44.5	7.66×10^{-3}	A	FMF8A3	PNC P

表6. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素材	温度 (°C)	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クリープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	データ ソース
JM6-02 B 住金 ヒート No 50492 40mm-t G. S. No 5.0	500	43.0	5254.3	53.8	62.7	6.18×10^{-4}	A	8	PNC H
		42.5	8503.2	43.8	53.1	3.10×10^{-4}	A	11	PNC H
		42.0	6052.2	48.2	60.3	3.25×10^{-4}	A	7	PNC H
		41.0	8492.7	42.6	48.2	3.35×10^{-4}	A	10	PNC H
	550	38.0	487.3	46.3	70.2	1.44×10^{-2}	B	LC10	PNC T
		37.0	811.0	43.4	61.4	7.43×10^{-3}	A	1	PNC H
		35.0	2025.7	36.6	51.7	2.58×10^{-3}	B	LC06	PNC T
		34.0	2295.4	36.1	48.1	4.08×10^{-3}	A	2	PNC H
		33.0	2354.8	33.6	48.1	3.23×10^{-3}	B	3	PNC H
		31.0	8308.9	22.6	31.1	3.80×10^{-4}	A	4	PNC H
	600	28.0	726.2	46.6	67.7	1.15×10^{-2}	A	FNF8B2	PNC P
		26	1175.5	53.3	62.4	1.35×10^{-2}	A	LC09	PNC T
		24	2893.9	48.9	56.7	3.84×10^{-3}	B	LC04	PNC T
	650	18	1172.9	81.3	70.5	1.81×10^{-2}	A	LC05	PNC T
		16	2651.5	57.8	70.8	5.30×10^{-3}	B	LC08	PNC T
	700	17.0	70.7	126.3	80.6	3.18×10^{-1}	A	FNF8A8	PNC P
		15.0	199.8	106.7	80.4	1.35×10^{-1}	A	FNF8A9	PNC P
		12.0	843.9	110.7	79.5	2.99×10^{-2}	A	FNF8B0	PNC P
		11.0	1390.4	130.7	78.4	1.87×10^{-2}	A	FNF8B1	PNC P
	750	11.0	104.4	132.2	85.3	3.08×10^{-1}	A	FNF8A0	PNC P
		9.0	331.8	106.5	88.9	1.01×10^{-1}	B	FNF8A1	PNC P
		7.0	1147.5	134.6	83.3	2.46×10^{-2}	A	FNF8A6	PNC P
		5.0	5461.1	113.5	72.3	2.01×10^{-3}	A	FNF8A7	PNC P
	800	8.0	65.9	128.4	91.5	5.93×10^{-1}	B	FNF8A3	PNC P
		5.0	636.1	138.2	85.4	5.78×10^{-2}	B	FNF8A4	PNC P
		3.5	3102.3	123.9	71.3	1.00×10^{-2}	A	FNF8A5	PNC P

表7. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素 材	温 度 (°C)	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	デー タ ソ ース
JM6-02 C 住金 ヒート No 50492 50mm-t	550	38.0	42.6	33.4	73.4	4.08×10^{-2}	B	JA9L1	PNC-住金
		35.0	385.9	29.3	65.5	1.83×10^{-2}	B	JA9L2	PNC-住金
		32.0	1660.2	25.4	61.1	3.45×10^{-3}	B	JA9L3	PNC-住金
	600	28.0	250.7	38.4	68.9	5.68×10^{-2}	B	JA9M1	PNC-住金
		25.5	786.2	38.3	68.8	1.80×10^{-2}	B	JA9M2	PNC-住金
		23.5	1948.5	29.2	62.9	5.74×10^{-3}	B	JA9M3	PNC-住金
	650	20.0	493.8	61.5	73.8	4.24×10^{-2}	A	JA9N1	PNC-住金
		18.0	1278.9	64.4	75.2	1.68×10^{-2}	A	JA9N2	PNC-住金
		15.5	2840.7	63.4	74.2	7.01×10^{-3}	B	JA9N3	PNC-住金

表8. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素 材	温 度 (°C)	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クリープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	データ ソース
JM6-03 新日鉄 ヒート No N9911 24mm-t G. S. No 5. 0	550	39.0	214	47	74	—	A	MC01	三菱重工
		37.0	361	47	46	—	A	MC02	三菱重工
		35.2	3032	43	72	—	A	MC03	三菱重工
		35.0	1590	35	69	—	A	MC04	三菱重工
		33.2	9293	36	52	—	A	MC05	三菱重工
		33.0	5184.4	27.8	52	5.7×10^{-4}	A	MC23	三菱重工
		31.8	17684	32	44	—	B	MC24	三菱重工
		31.1	17346	32	41	—	A	MC25	三菱重工
		30.1	17237	34	40	—	A	MC26	三菱重工
	600	30.0	108	60	67	—	B	MC06	三菱重工
		28.0	588	58	64	—	B	MC07	三菱重工
		25.1	4824	49	48	—	A	MC08	三菱重工
		24.9	4282	51	66	—	B	MC09	三菱重工
		22.1	22487	52	61	—	B	MC27	三菱重工
		22.1	18706	49	62	—	A	MC28	三菱重工
	650	24.0	129	69	69	—	A	MC10	三菱重工
		22.0	320	69	72	—	A	MC11	三菱重工
		20.0	1253	49	66	—	A	MC12	三菱重工
		19.9	775	84	71	—	A	MC13	三菱重工
		17.0	2890	76	78	—	A	MC14	三菱重工
15.0		7002	70	69	—	B	MC15	三菱重工	
14.9		7057	70	76	—	B	MC29	三菱重工	
700	17.9	72	91	70	—	B	MC16	三菱重工	
	15.9	234	96	78	—	A	MC17	三菱重工	
	14.0	533	86	85	—	B	MC18	三菱重工	
	12.1	1443	104	74	—	A	MC19	三菱重工	
	10.0	3541	107	72	—	A	MC20	三菱重工	

表9. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素材	温度 (°C)	応力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クリープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	データ ソース
JM6-03 N9911 24mm-t G. S. No 5.0	750	12.0	64	130	84	—	B	MC21	三菱重工
		10.0	177	146	86	—	A	MC22	三菱重工
		8.0	606	142	79	—	B	MC30	三菱重工
JM6-04 新日鉄 ヒート No N9908 100mmt G. S. No 2	550	33.3	1165	60	72	—	B	MD01	三菱重工
		33.1	2860	51	70	—	A	MD05	三菱重工
		31.2	13716	52	59	—	A	MD06	三菱重工
		31.1	13736	38	48	—	B	MD02	三菱重工
	600	25.2	2076	60	68	—	B	MD07	三菱重工
		25.1	1209	55	64	—	A	MD03	三菱重工
		22.1	7870	55	46	—	A	MD04	三菱重工

表10. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素 材	温 度 (°C)	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クリープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	データ ソース
JM6-05 新日鉄 ヒート No N9911 40mm-t G. S. No 4	550	37.0	204	52.2	74.8	—	A	ME01	三菱重工
		37.0	1537	41.7	65.5	—	A	ME10	三菱重工
		36.0	655	50.4	74.3	—	A	ME02	三菱重工
		36.0	2279	42.8	60.9	—	A	ME11	三菱重工
		35.0	556	46.7	74.0	—	A	ME03	三菱重工
		35.0	4925	44.6	55.6	—	A	ME12	三菱重工
		33.0	5455	47.1	54.9	—	A	ME04	三菱重工
	600	29.0	176	69.3	68.4	—	A	ME05	三菱重工
		29.0	455	53.2	63.4	—	A	ME13	三菱重工
		27.0	454	52.5	68.1	—	A	ME06	三菱重工
		27.0	1149	50.8	62.4	—	B	ME14	三菱重工
		25.0	1677	54.5	55.6	—	A	ME07	三菱重工
		25.0	4967	52.3	54.9	—	A	ME15	三菱重工
	650	22.1	107	74.5	66.5	—	A	ME08	三菱重工
		22.0	217	70.0	69.6	—	A	ME16	三菱重工
19.1		625	72.3	70.4	—	A	ME09	三菱重工	
JM6-06 新日鉄 ヒート No N9490 100mmt G. S. No 5	550	35.0	2128	39.2	42.5	—	A	MG07	三菱重工
		34.0	1746	38.0	50.3	—	A	MG01	三菱重工
		32.9	4904	27.5	39.9	—	A	MG08	三菱重工
		31.9	5082	36.1	50.5	—	B	MG02	三菱重工
		30.9	7688	34.0	42.2	—	A	MG03	三菱重工
	600	29.0	246	43.4	64.2	—	B	MG09	三菱重工
		27.9	316	62.4	64.1	—	A	MG04	三菱重工
		25.0	1696	52.5	56.4	—	A	MG10	三菱重工
		23.9	2598	49.3	53.0	—	B	MG05	三菱重工
		21.9	7166	41.1	59.0	—	B	MG06	三菱重工

表11. 高速炉構造用SUS316のクリープ試験結果
Creep test results of FBR grade SUS316

素 材	温 度 (°C)	応 力 (kgf/mm ²)	破断時間 (h)	破断伸び (%)	破断絞り (%)	定常クリープ 速度(%/h)	破断 位置	試験片 No.	データ ソース
JM6-07 新日鉄 ヒート No N9490 25mm-t G. S. No 5	550	34.9	2378	38.5	44.4	—	A	MI01	三菱重工
		31.9	8500	40.5	44.4	—	A	MI02	三菱重工
	600	27.9	531	59.7	64.9	—	A	MI03	三菱重工
		26.0	1233	58.2	67.4	—	B	MI04	三菱重工
		23.9	5607	53.6	55.5	—	B	MI05	三菱重工
JM6-08 住金 ヒート No D- 880901 8.6mmt 114.3 mm-O. D	500	45.0	5748.7	39.0	61.5	5.2×10^{-4}	A	S6F09	日立
	550	43.0	46.9	41.7	77.0	9.4×10^{-2}	A	S6F14	日立
		40.0	343.9	43.7	70.7	2.99×10^{-2}	A	S6F16	日立
		35.0	2831.2	35.7	56.6	2.04×10^{-3}	B	S6F15	日立
		30.0	21460.7	41.7	59.8	2.7×10^{-4}	A	S6F17	日立
	600	33.0	95.9	53.0	73.6	1.91×10^{-1}	A	S6F20	日立
		30.0	438.0	51.0	71.9	3.16×10^{-2}	A	S6F21	日立
		25.0	3060.2	47.3	68.6	3.86×10^{-3}	A	S6F22	日立
		20.0	17859.4	48.7	58.2	7.7×10^{-4}	B	S6F23	日立
	650	25.0	67.8	58.3	77.5	—	A	S6F25	日立
		21.0	419.1	59.3	75.7	4.55×10^{-2}	A	S6F26	日立
		18.0	1427.8	58.0	70.9	1.3×10^{-2}	A	S6F27	日立
		15.0	4521.7	51.0	60.3	3.3×10^{-3}	A	S6F28	日立
		12.0	12306.9	47.3	49.6	7.9×10^{-4}	A	S6F29	日立
	700	13.0	548.4	82.3	63.7	4.3×10^{-2}	A	S6F07	日立

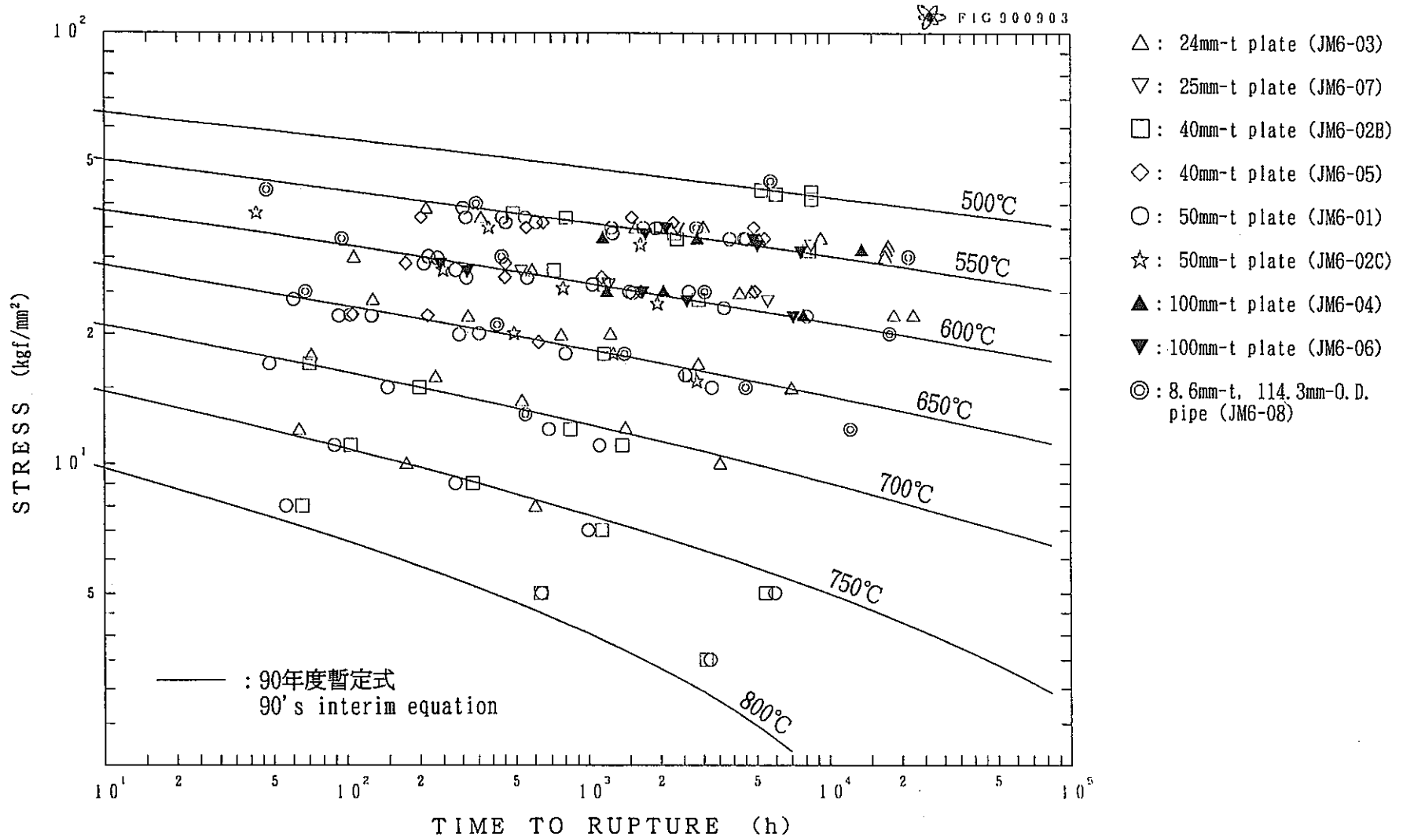


図1. 高速炉構造用 SUS316 のクリープ破断強度
Creep rupture strength of FBR grade SUS316

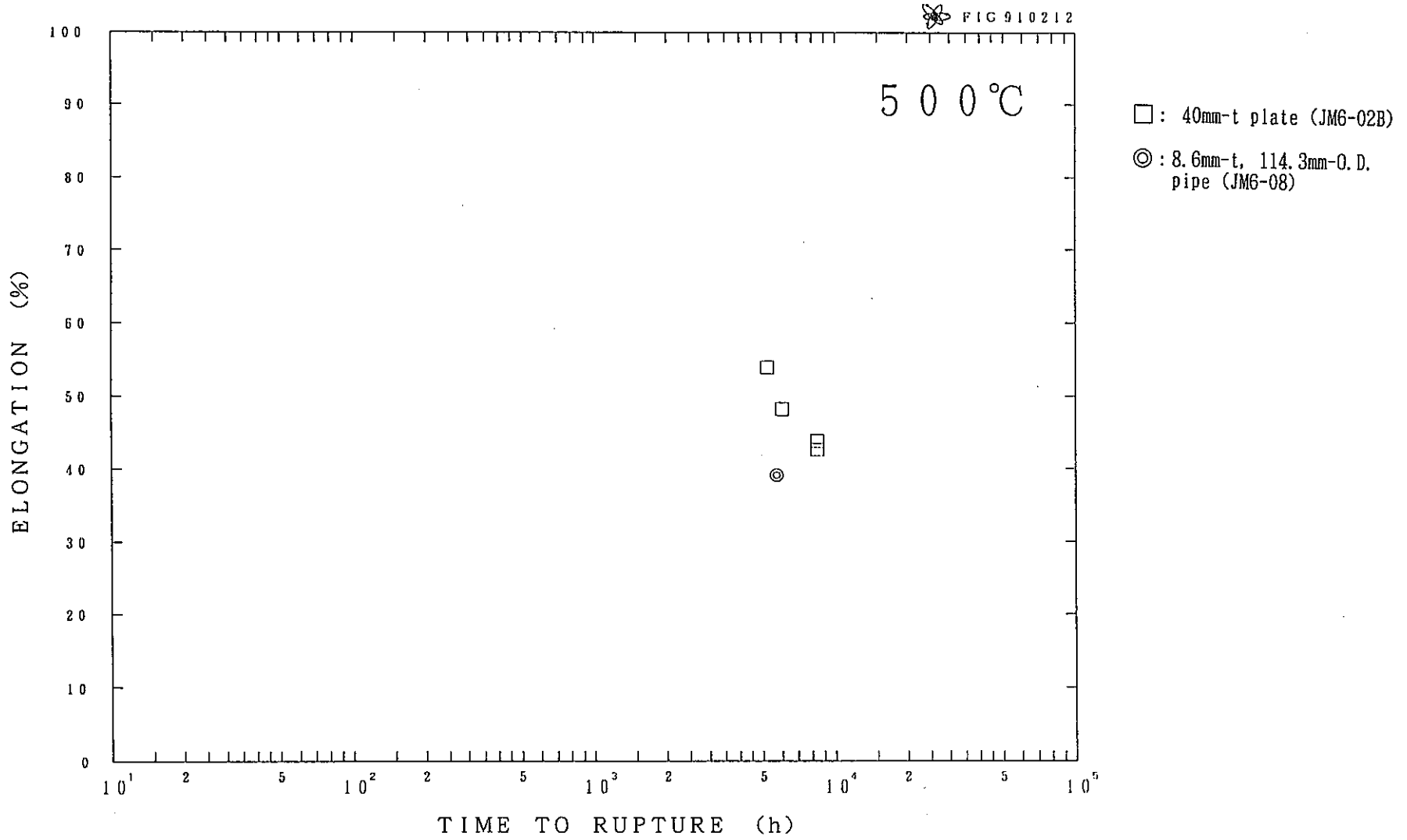


図2. 高速炉構造用SUS316のクリープ破断延性 (500°C)
 Creep rupture elongation of FBR grade SUS316 at 500°C

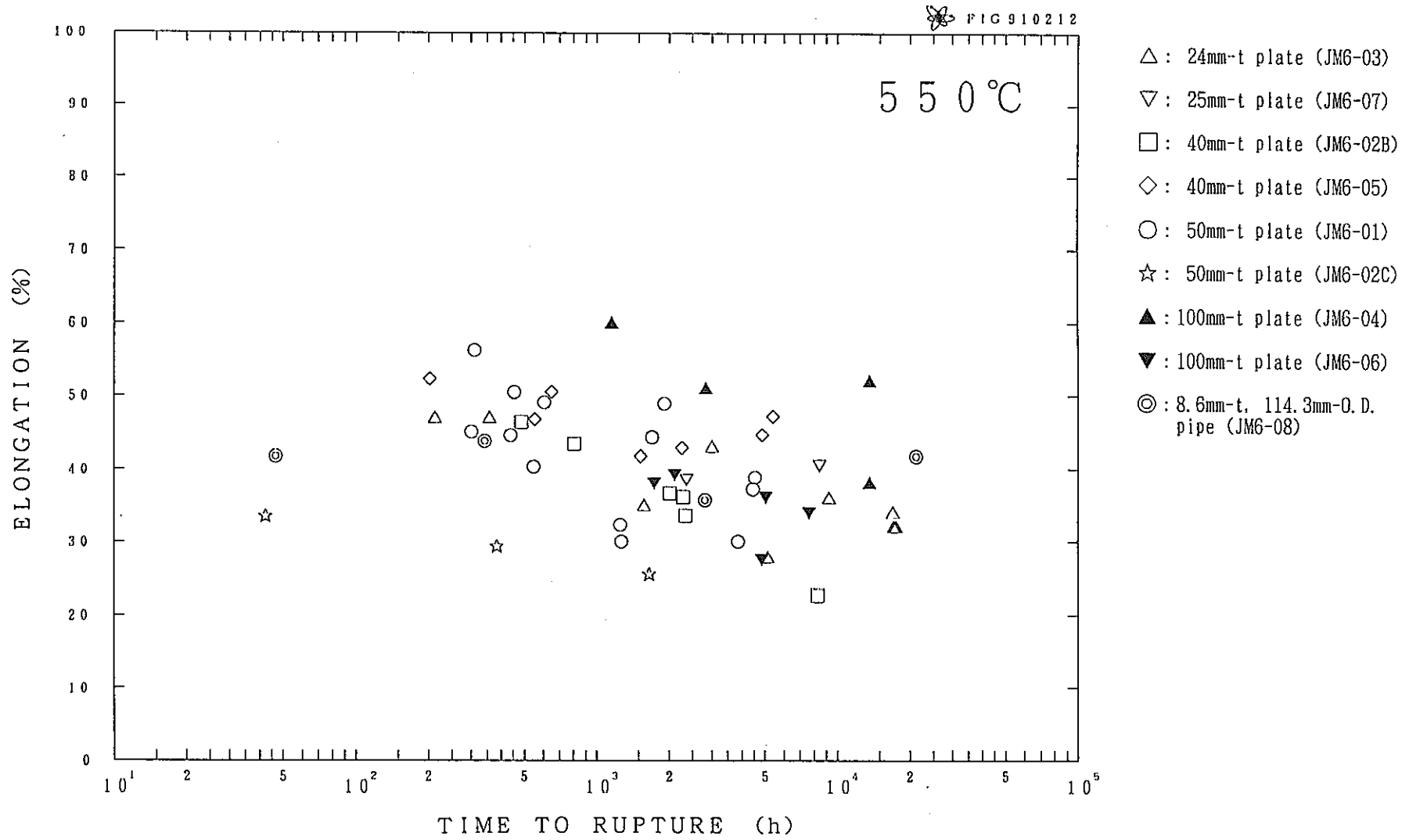


図3. 高速炉構造用SUS316のクリープ破断延性 (550°C)
 Creep rupture elongation of FBR grade SUS316 at 550°C

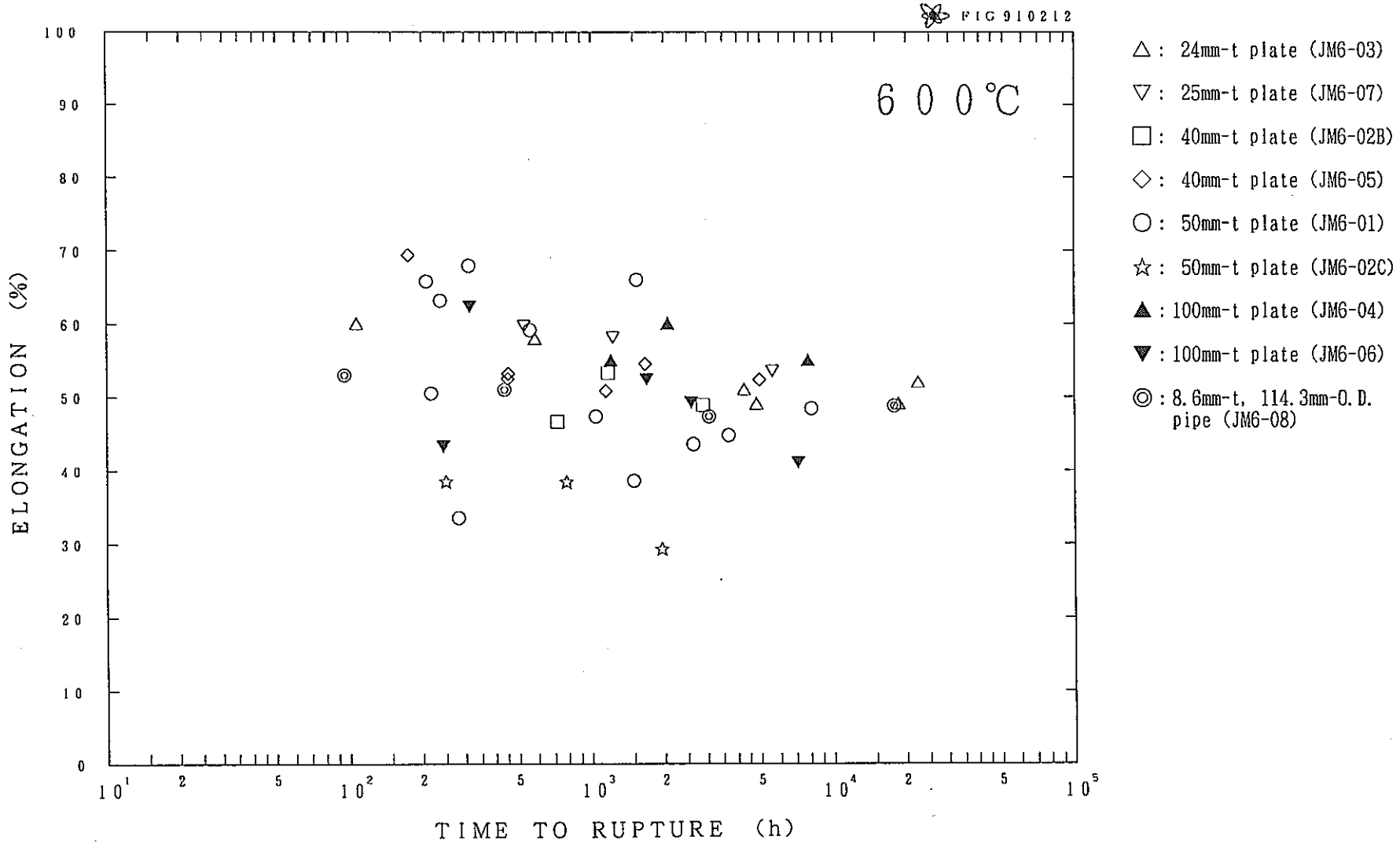


図4. 高速炉構造用SUS316のクリープ破断延性 (600°C)
Creep rupture elongation of FBR grade SUS316 at 600°C

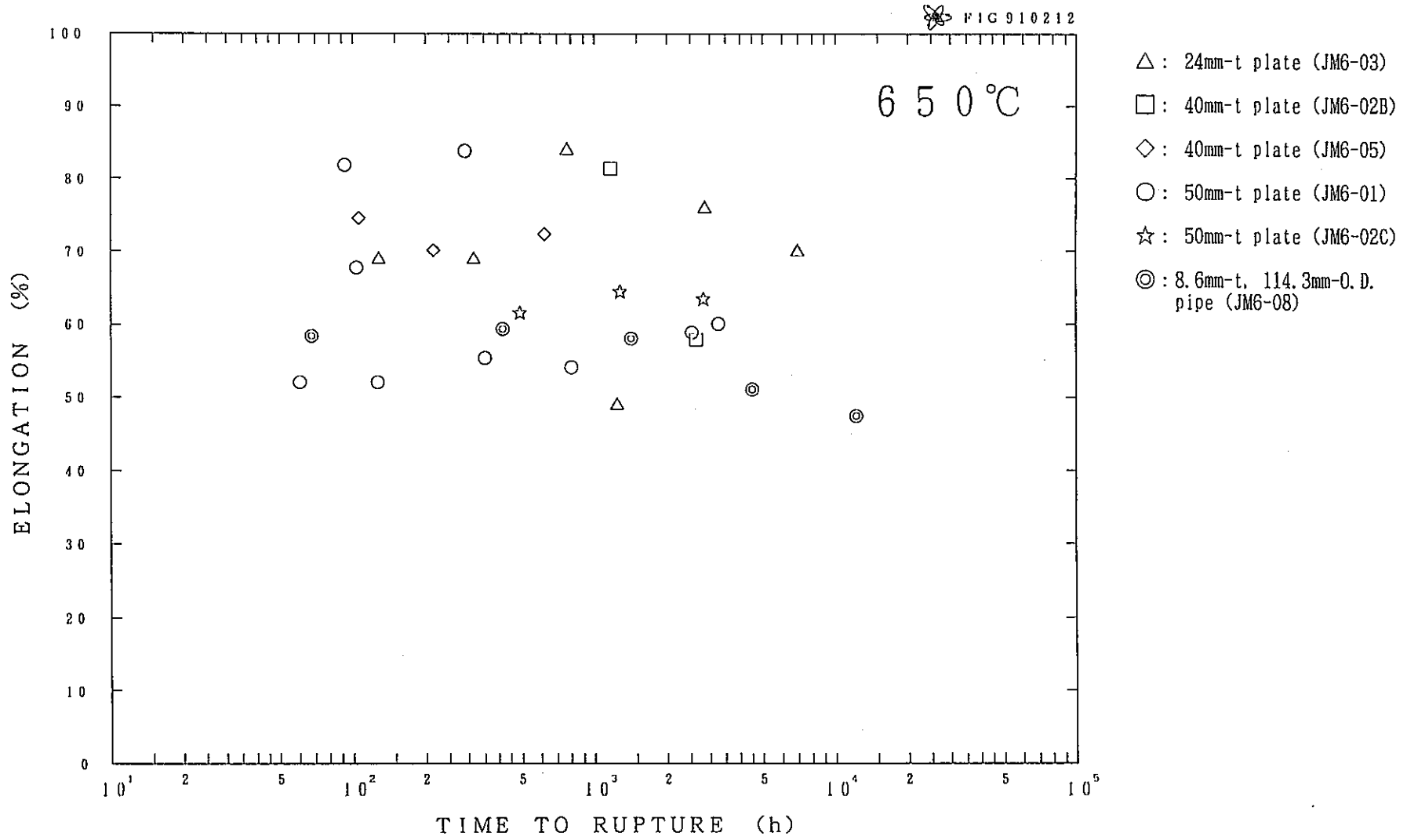


図5. 高速炉構造用SUS316のクリープ破断延性 (650°C)
 Creep rupture elongation of FBR grade SUS316 at 650°C

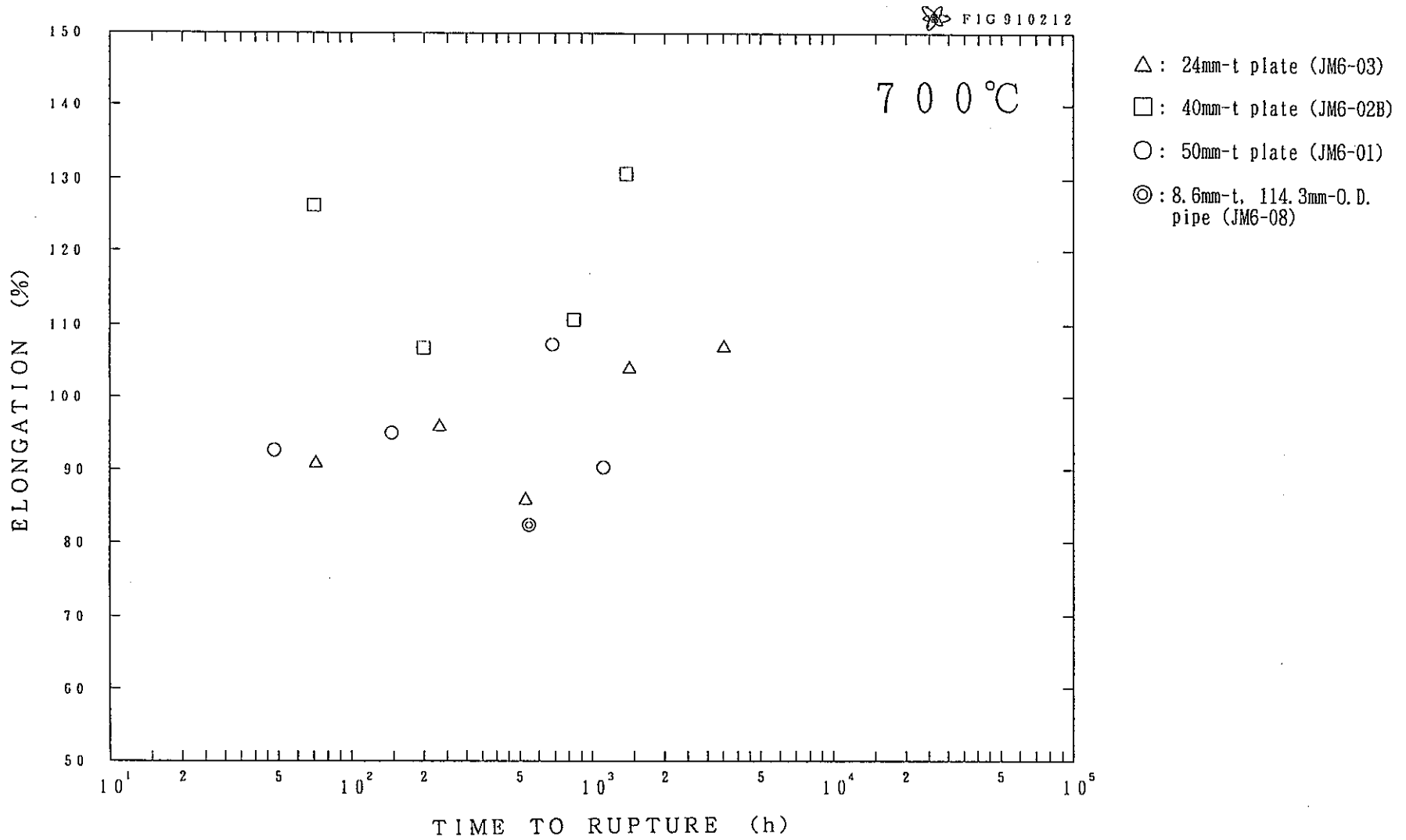


図6. 高速炉構造用SUS316のクリープ破断延性 (700°C)
 Creep rupture elongation of FBR grade SUS316 at 700°C

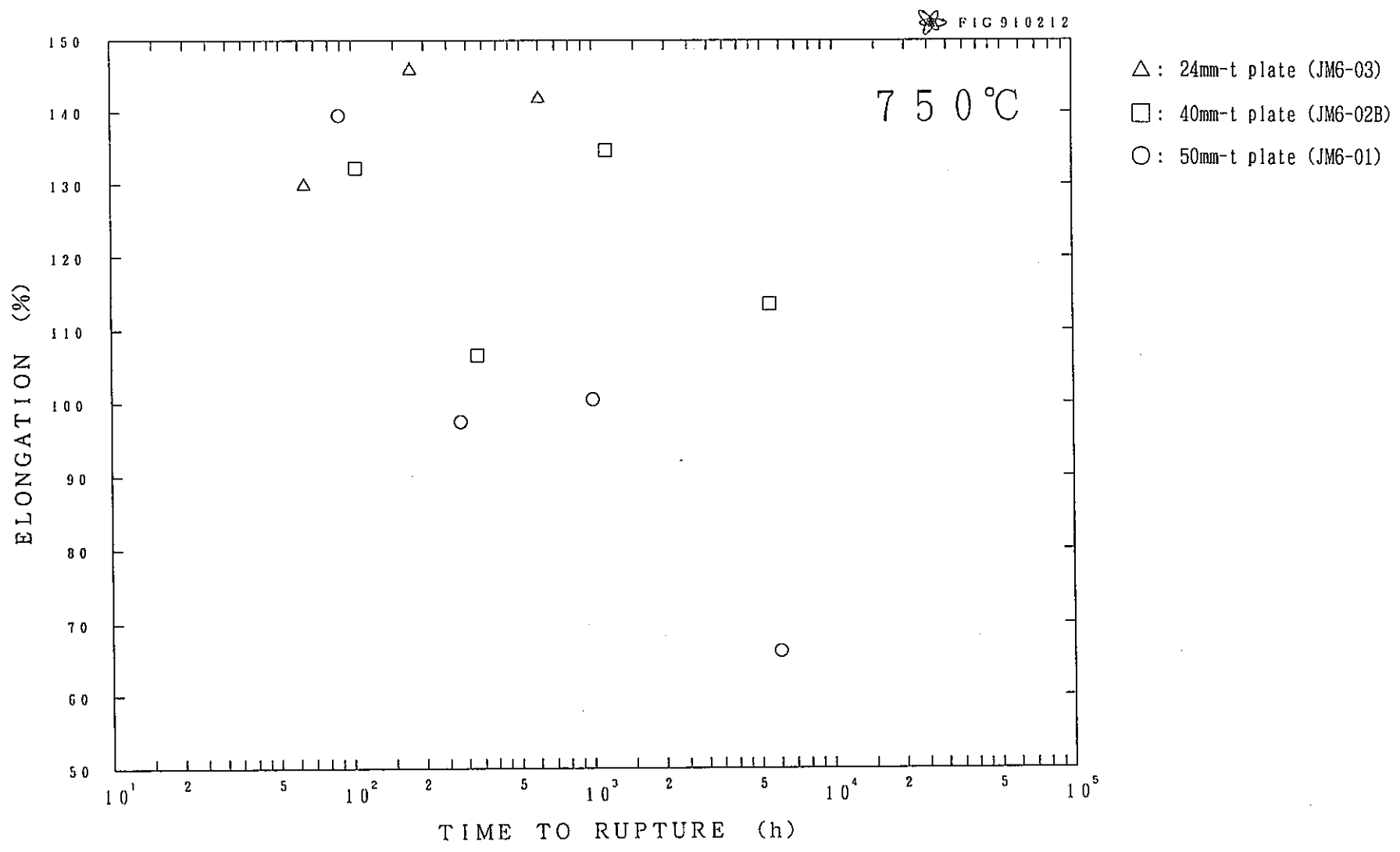


図7. 高速炉構造用SUS316のクリープ破断延性 (750°C)
Creep rupture elongation of FBR grade SUS316 at 750°C

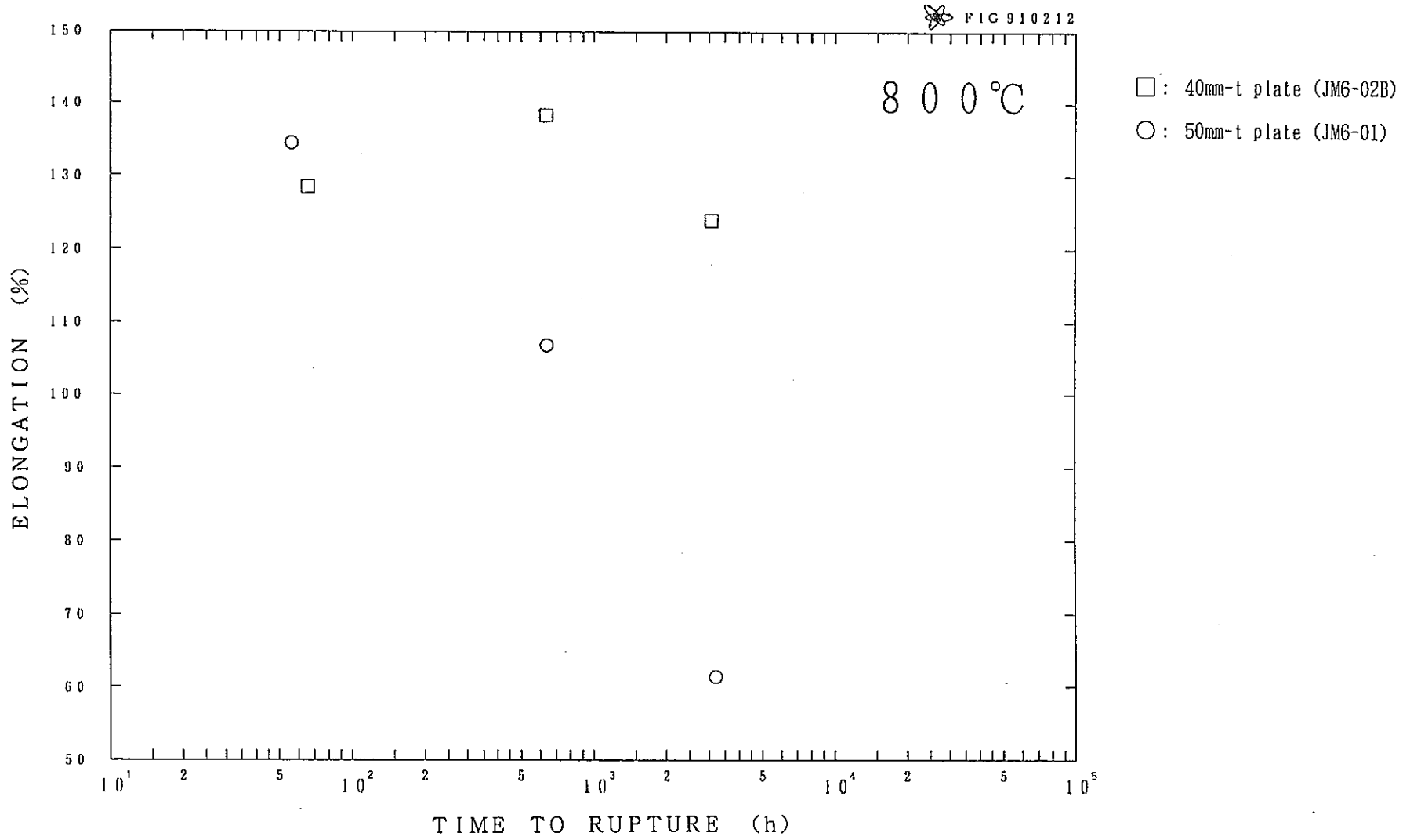


図8. 高速炉構造用 SUS316 のクリープ破断延性 (800°C)
Creep rupture elongation of FBR grade SUS316 at 800°C

＜高速炉構造用SUS316の高温疲労試験 およびクリープ疲労試験結果＞

Fatigue test and creep fatigue test results of FBR grade SUS316

*用語英訳 Translation of the used words in the tables into English

素材 : Material

温度 : Temperature

歪み速度 : Strain rate

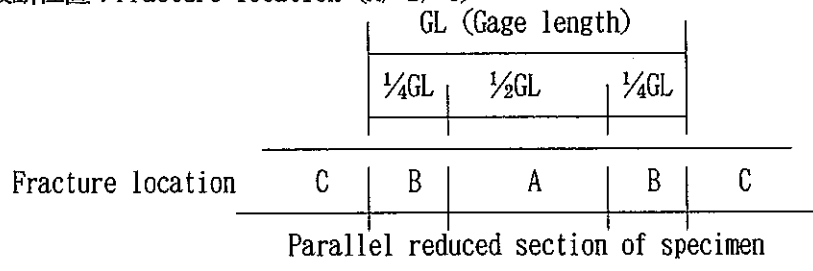
全ひずみ範囲 : Total strain range

保持時間 : Hold Time

破損繰り返し数 : Number of cycles to failure

N_r : The cycles making the tensile-side stress 75% of the peak

破断位置 : Fracture location (A, B, C)



試験片No. : Test specimen No.

データソース : Data source

新日鉄 : NSC (Nippon Steel Corporation)

住金 : SMI (Sumitomo Metal Industry Ltd.)

ヒートNo : Heat No.

弾性追従 : Elastic follow-up (Cam gear holding)

委託試験 : Entrusted test by PNC to the other companies

富士電機 : Fuji Electric Ltd.

日立製作所 : Hitachi Ltd.

三菱重工 : Mitsubishi Heavy Industry Ltd.

電中研 : CRIEPI (Central Research Institute of Electric Power Industry)

動燃内部実施試験 : Tests done by PNC's own facilities

納入材 : Supplied material

表12. 高速炉構造用SUS316の高温疲労およびクリープ疲労試験結果
 Low cycle fatigue and creep fatigue test results of FBR grade SUS316

素材	温度 (°C)	歪み速度 (%/s)	全ひずみ 範囲 (%)	保持時間 (min)	破損繰り返し 数 N_f (cycles)	破断 位置	試験片 No.	データ ソース	
JM6-01 新日鉄 ヒート No. N9490 50mm-t G. S. No. 6.0	550	0.1	1.52	0	704	B	—	PNC M	
			1.25	0	1099	A	—	PNC M	
			1.03	0	1334	A	—	PNC M	
			1.05	10	1502	A	—	PNC M	
			0.72	0	3604	A	—	PNC M	
			0.51	0	180828	A	—	PNC M	
			0.495	6	8822	AorB	HMH8A8	PNC P	
			0.2 弾性追従	1.06	60	2480	A	—	PNC M
			0.96	180	1160	C	—	PNC M	
	1.02	360	942	B	—	PNC M			
	600	0.1	1.53	0	564	B	—	PNC M	
			1.22	0	796	B	—	PNC M	
			1.02	0	1064	B	—	PNC M	
			0.70	0	3891	A	—	PNC M	
			0.52	0	35184	A	—	PNC M	
		0.05	1.0	10	710	C	—	PNC M	
			1.0	60	710	B	—	PNC M	
			1.0	180	615	C	—	PNC M	
1.0			360	590	A	—	PNC M		
JM6-03 新日鉄 ヒート No. N9911 24mm-t G. S. No 5.0	550	0.1	1.5	0	590	B	—	NSC	
			0.9	0	1800	B	—	NSC	
			0.6	0	5200	A	—	NSC	
			0.5	0	18221	—	—	NSC	
			0.4	0	99000	A	—	NSC	

* N_f : 引張側の応力がピーク時の 75%になった時の回数
 *PNC M: 委託試験 (三菱重工), PNC P: 動燃内部実施試験,
 NSC: 新日鉄より KOM-MMS対応で貸与されたデータ

表13. 高速炉構造用SUS316の高温疲労およびクリープ疲労試験結果
 Low cycle fatigue and creep fatigue test results of FBR grade SUS316

素材	温度 (°C)	歪み速度 (%/s)	全ひずみ範囲 (%)	保持時間 (min)	破損繰り返し数N _r (cycles)	破断位置	試験片 No.	データソース
JM6-02B 住金 ヒート No. 50492 40mm-t G. S. No. 5.0	500	0.1	1.20	0	1441	AorB	6-06	PNC H
			1.00	0	2932	AorB	6-07	PNC H
			0.972	0	2519	B	HFB816	PNC F
			1.0	10	2853	C	6-11	PNC H
			0.996	10	3372	B	HFB817	PNC F
			0.70	0	5232	AorB	6-08	PNC H
			0.50	0	19200	C	6-14	PNC H
	550	0.1	1.20	0	1110	AorB	6-05	PNC H
			1.000	0	2210	A	HFB804	PNC F
			1.00	0	2105	AorB	6-01	PNC H
			1.000	10	2248	A	HFB806	PNC F
			1.00	10	3399	AorB	6-09	PNC H
			0.993	60	1202	A	HFB812	PNC F
			0.70	0	3448	# A	6-02	PNC H
			0.690	10	4987	A	HFB813	PNC F
600	0.1	1.001	60	1017	A	HFB818	PNC F	
新日鉄 50mm-t 電中研 納入材	550	0.1	1.0	60	973	—	—	電中研
		0.1	1.0	180	511	—	—	電中研
	600	0.1	1.0	60	732	—	—	電中研

* PNC F : 委託試験 (富士電機), PNC H : 委託試験 (日立製作所)

* # : 平行部中央の熱電対溶着部よりき裂発生し、破断。

Cracked and ruptured from the weld-junction point between the thermocouple and the specimen at the center of the parallel reduced section.

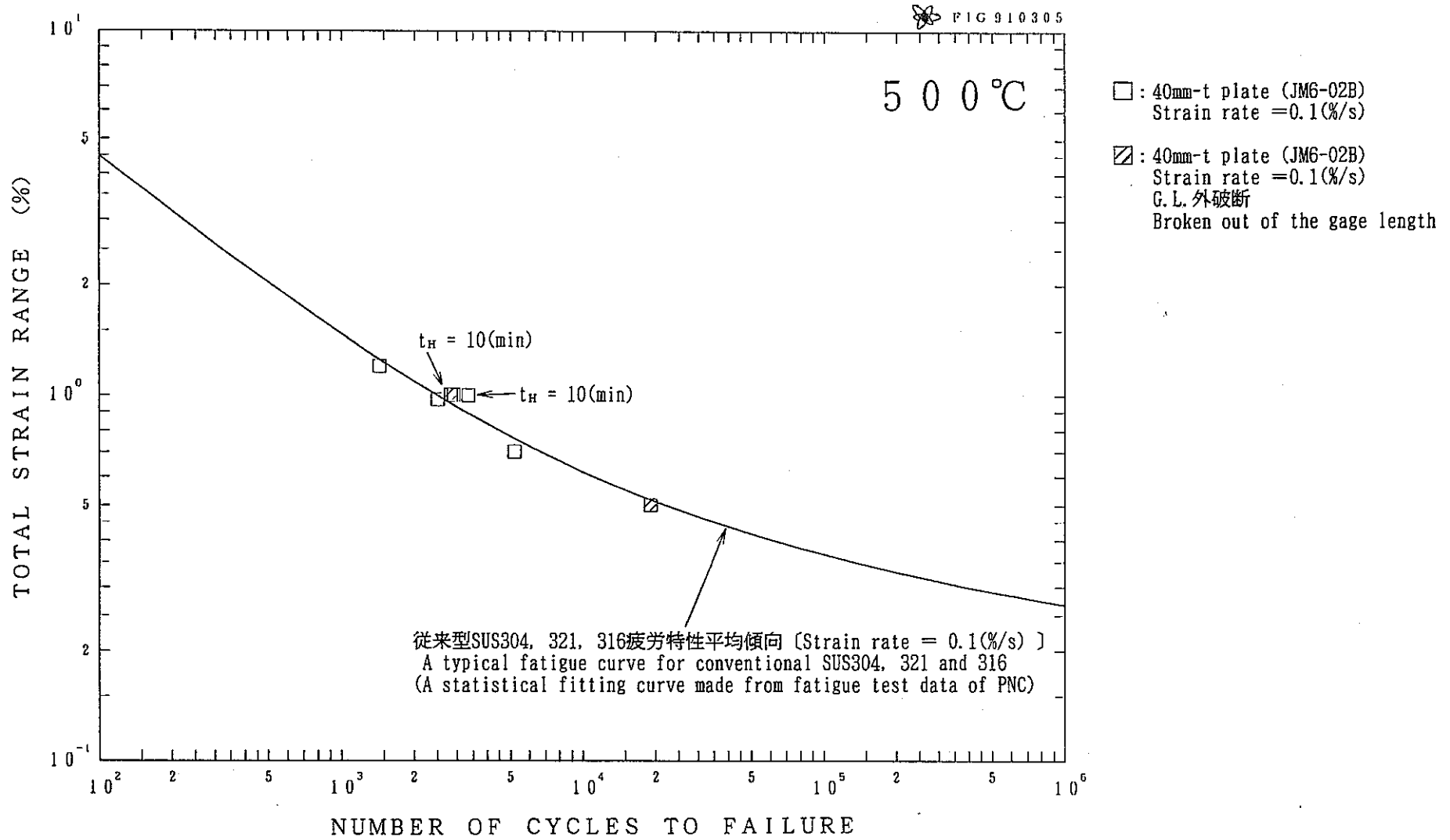


図9. 高速炉構造用SUS316の高温疲労およびクリープ疲労試験結果 (500°C)
Low cycle fatigue and creep fatigue test results of FBR grade SUS316 at 500°C

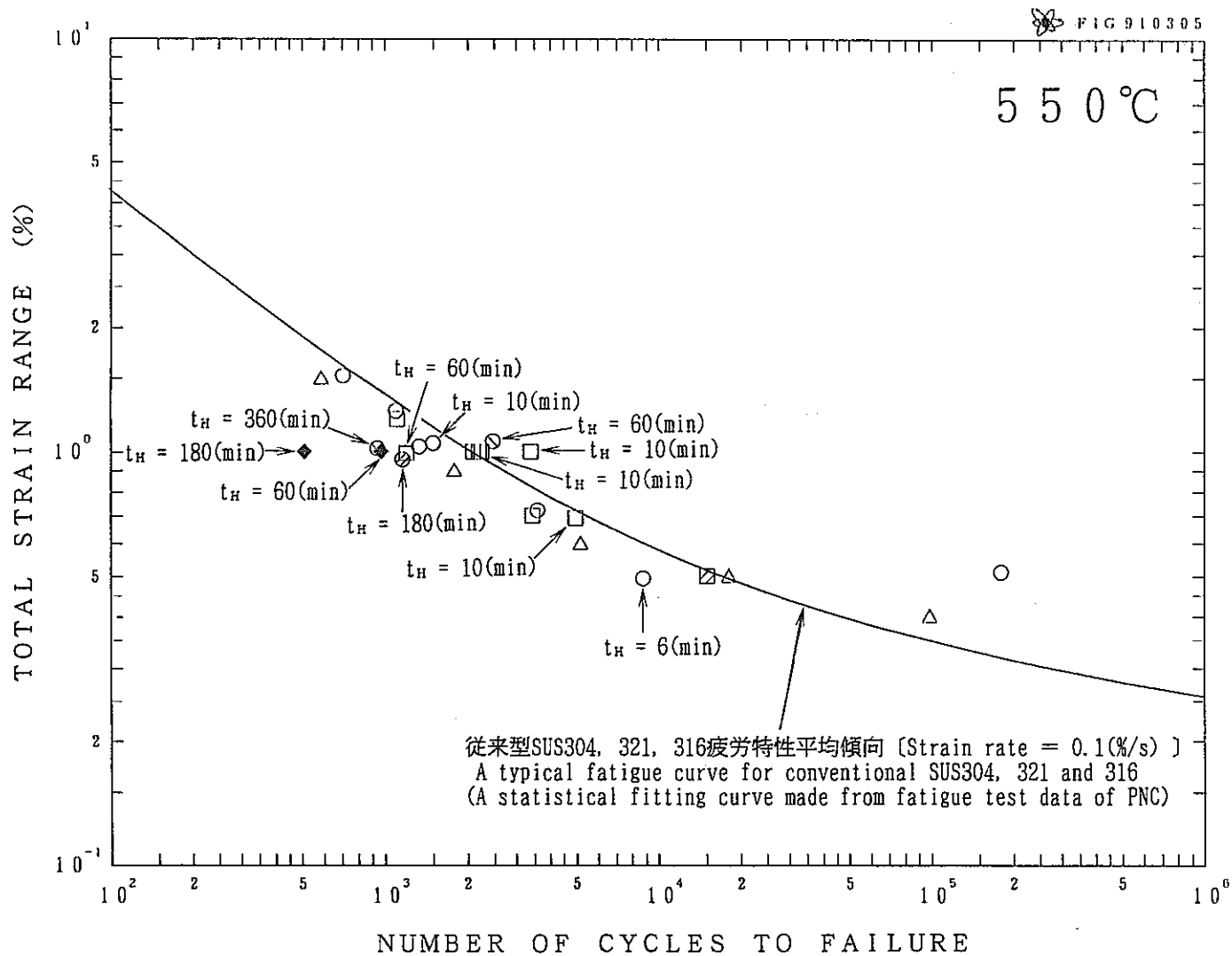


図10. 高速炉構造用SUS316の高温疲労およびクリープ疲労試験結果 (550°C)
 Low cycle fatigue and creep fatigue test results of FBR grade SUS316 at 550°C

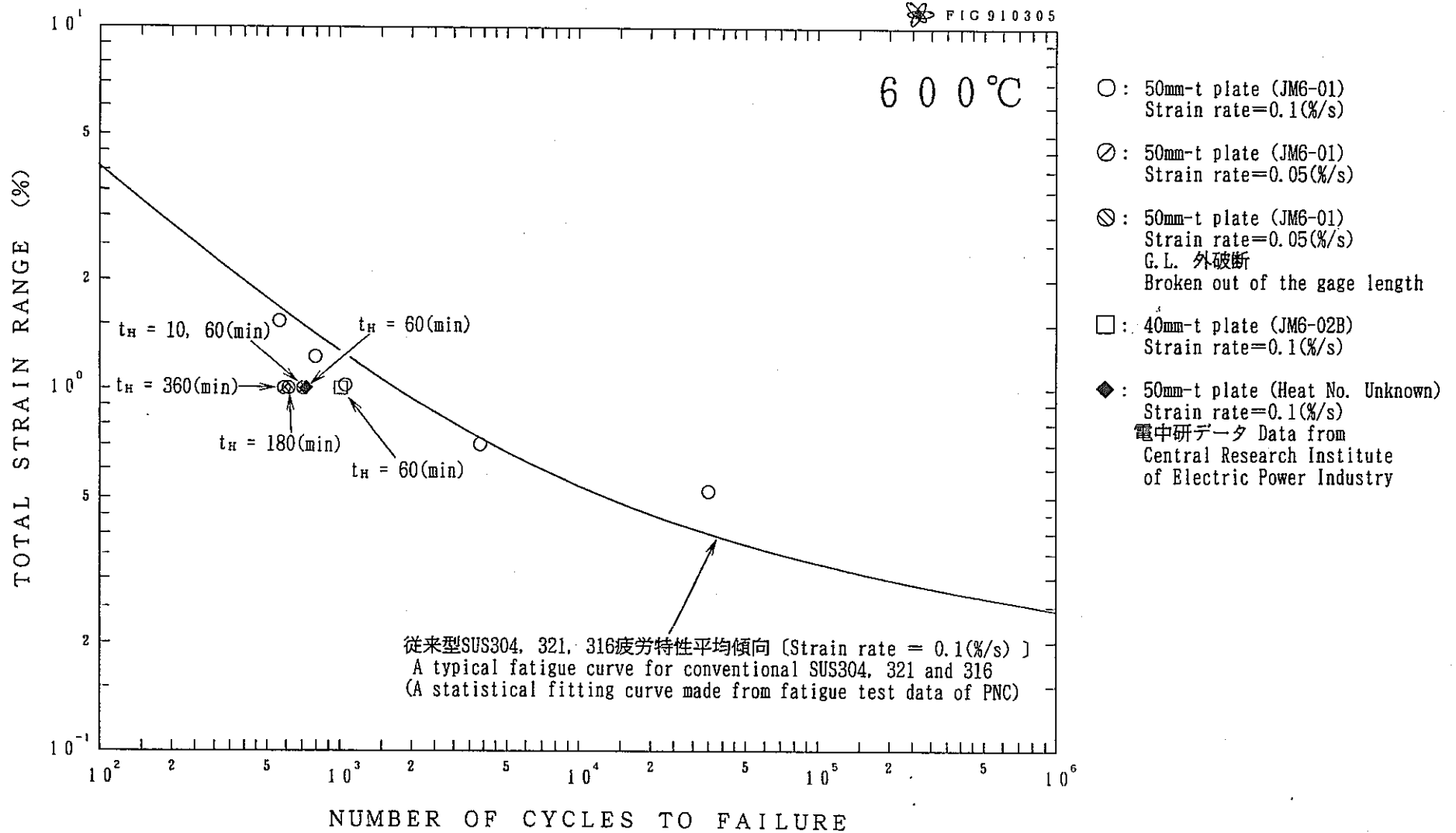


図11. 高速炉構造用SUS316の高温疲労およびクリープ疲労試験結果 (600°C)
 Low cycle fatigue and creep fatigue test results of FBR grade SUS316 at 600°C