

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2001. 6. -6

[技術情報室]

高速増殖炉燃料被覆管の引張性質に及ぼす歪速度 および試験温度の影響

1973年8月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

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

閉
ス
限

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

高速増殖炉燃料被覆管の引張性質に及ぼす
歪速度および試験温度の影響



実施責任者	三 浦	信 (技術部検査開発課)
報 告 者	永 木	裕 (")
	川 崎	道 隆 (")
	田 中	康 正 (")
	椎 名	定 (")

期 間 1973年4月1日～1973年6月30日

目 的 オーステナイト系ステンレス鋼薄肉管の引張性質に及ぼす歪速度および試験温度の影響を調べた。

要 旨 高速増殖炉燃料被覆管 (SUS316) を用いて室温および高温 (650℃) で引張性質 (引張強さ, 0.2%耐力および伸び) に及ぼす歪速度の影響を調べた。同時に室温～100℃までの種々の温度で引張試験を行ない, 試験温度の影響も調べた。その結果650℃では歪速度が増加するにつれて引張強さおよび0.2%耐力は大きくなり伸びは逆に小さくなる。室温～100℃での試験では, 試験温度の上昇につれて引張強さ, 0.2%耐および伸びともに小さくなる。

目 次

1. はじめに	1
2. 試験方法	6
3. 試験結果	12
(1) 歪速度の影響 (650°C)	12
(2) 歪速度の影響 (室温)	12
(3) 中温試験	17
4. 検 討	17
(1) 歪速度の影響 (650°C)	17
(2) 歪速度の影響 (室温)	20
(3) 中温試験	20
5. ま と め	21
6. 参 考 文 献	21

1. はじめに

ラブソディー1および2照射用被覆管(SUS316)を用いて照射前引張試験を行なったところメーカーによるミルシート値とフランスにおける試験値の引張性質と著しい相違が見られた⁽¹⁾⁽²⁾。これは試験片形状や試験方法、たとえば引張速度、試験機などの相違によるものと考えられる。


オーステナイト系ステンレス鋼の引張性質は歪速度によって影響されることは知られているが薄肉管を用いて試験された例はほとんどない。オーステナイト系ステンレス鋼を用いて行われた同種類の実験によると⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾

- 引張強さおよび0.2%耐力は室温では変化しないが高温になると歪速度の増加につれて大きくなる。
- 伸びはほぼ歪速度の増加につれて減少する。

そこで今回は室温および高温(650°C)で、種々の引張速度で試験を行ない、その引張性質に及ぼす影響を調べることにした。試験に供した被覆管は表2に示すラブソディー2照射に使用したものと同一ロットとし、メーカー、フランスおよびPNC間の相違点を推察してみることにした。

オーステナイト系ステンレス鋼の引張性質のうち伸びは約300°Cまでは温度とともに低下し、それ以上になると増加することが知られている。特に室温から100°Cまでのデータは少なく、どの程度伸び低下が見られるか、はっきりしていないので合わせて実験してみることにした。(以下この室温~100°Cにおける試験を中温試験と称する。)なお試験に供した被覆管は表3および表4に示す常陽本番用の被覆管である。

表 1. ラブソディー 1 照射用被覆管のミルシート

 **KOBE STEEL LTD. Certificate of Test Results**

NORTH CHOFU PLANT
2. MINATOMACHI, CHOFU, SHIMONOSKI
YAMAGUCHI-PREF. JAPAN
HEAD OFFICE

No. S-70-01

36-1, 1-CHOME WAKINOHAMA-CHO, FUKIAI-KU, KOBE

CABLE ADDRESS

KOBE STEEL KOBE DATE '70.1.7

CUSTOMER 動力炉核燃料開発事業団		KIND OF MATERIAL Stainless Steel Seamless Tubes, Bar for Nuclear Reactor	
CUST. SPEC ASTM A450	GRADE AISI 316	CONDITION 冷間加工材	SHIPPING DATE '69.12.21
Manufacture No. SV41072	Charg No.	Lot No.	Size mm 6.30 O.D x 0.35 t x 1,000 L
			Pieces 100
			Weight kg 5.15
			Remarks

CHEMICAL ANALYSIS					MECHANICAL PROPERTIES				
	Spec.	*	製品(1)	製品(2)	Lot Position	Spec.	(1)	(2)	
C%		0.045	0.047	0.047	Tensile	Temp.R.T			
Si	≦ 0.75	0.60	0.67	0.64	UTS	Kg/mm ²	≧ 60	73.0	72.1
Mn	≦ 2.00	1.68	1.68	1.59	YS	0.2% offset	Kg/mm ²	≧ 45	60.6
P	≦ 0.03	0.014	0.019	0.019	Elongation	% in mm	≧ 25	31.4	34.0
S	≦ 0.03	0.011	0.013	0.013					
Ni	11.00~ 14.00	12.53	12.57	12.69	Flare	60 % OD Expansion	≧ 21	*48	*51
Cr	16.00~ 18.00	16.81	16.73	16.66	Flatten	% of OD	H ≧ 2.6	** 1.2	** 1.2
Co	≦ 0.10	0.03	0.035	0.035	Burst	Kg/cm ²	≧ 800	980	995
Mo	2.00~ 3.00	2.69	2.34	2.29	Y.S.	Kg/cm ²	≧ 650	913	913
B	≦ 0.001	0.0003	0.0018	0.0017	Grain Size	ASTM No.	≧ 6	9.5	9.5
N	≦ 0.035	0.030	0.028	0.029	表面検査			全数合格	
Sn	—	—	0.065	0.065	Surface Roughness	(外)	≦ 6S	1.3	1.2
Ti	—	—	0.025	0.025		(内)	≦ 6S	1.6	1.4
As		0.009	0.007		Surface Appearance				

SUPPLEMENTAL INFORMATION

- *ピレットによるチェック分析値
- 高温引張 (650°C.)

U.T.S	≧ 30 kg/mm ²	(1) 43.6	(2) 45.4
Y.S	≧ 20 kg/mm ²	34.3	37.9
E	≧ 15 %	29.0	21.0
- 介在物

管材	B系列 HEAVY	1.5
製品	(1) B系列 THIN	1.0
	(2) B系列 THIN	1.0
- 分析値

	製品(1)	製品(2)
V	0.026	0.026
Cu	0.070	0.070
Nb	tr	tr

CORROSION TESTS

Lot Position	hours	°C	kg/cm ²	Rou No.
Gain				
Appearance				
Intercrystalline Corrosion				

NON DESTRUCTIVE TEST

Ultrasonic	全数合格
Hydrostatic	全数合格
螢光探傷	全数合格

REMARKS

5. 粒界腐食 合格 (写真は別紙参照)
6. 腐食試験 (1) 0.00200 ipm
(2) 0.00190 ipm

表 2. 歪速度の影響を調べたラブソディ-2 照射用被覆管のミルシート

版 31192-1

SN841-73-21

Lot No.	I T M	目 的	耐 圧 区 分	数 量	Tube No.		納 期	メ-カ-コード	受注 版	発注 版	納入期日	
					Start No.	End No.						
1	A		C	1	256	K5001	K5256	710515		31192	A.0284	

Lot No.	I T M	Material		Heat No.	外 径	肉 厚	長 さ	Cold Work	Anneal Temp	Anneal Time
		Code	Type							
1	B	SS	316	363	6.3	0.35	2000	10	1000	240

Lot No.	I T M	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	N	B
1	C	0.04	0.75	2.00	0.03	0.03	11.0	16.0	2.0	0.10	0.035	0.0010
1	D	0.08					14.0	18.0	3.0			
1	E	0.06	0.53	1.54	0.02	0.01	12.9	16.4	2.3	0.04	0.022	0.0003
1	F	0.05	0.55	1.57	0.02	0.01	13.1	16.5	2.3	0.03	0.023	0.0010
1	G	0.05	0.54	1.53	0.02	0.01	12.9	16.4	2.3	0.04	0.021	0.0010

Lot No.	I T M	Hardness	
		I	II
1	H	246	252

Burst Test	Pressure		Yield	
	I	II	I	II
Spec	800		650	
測定値	1030	1050	940	950

Lot No.	I T M	Tensile Test	Temp.	RT					High Temp							
				σ_B		σ_y		ϵ	Temp.	σ_B		σ_y		ϵ		
1	I	Spec	RT	60		40		25	650	30		20		15		
		測定値	RT	76.5	77.2	62.1	63.9	38.0	34.0	65.0	38.2	35.1	36.7	33.2	29.0	30.2

Lot No.	I T M	Grain Size			Inclusion								Corrosion		Roughness								
		Spec	I	II	A		B		C		D		I	II	Spec	Outside		Inside					
1	J	6.0	8.5	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	1.0	G	G	3.0	1.5	1.5	0.8	0.8

株式会社 神戸製鋼所長府北工場

F R R 炉心燃料被覆管

SUS-32

表3. 中温試験に用いた常陽本番用被覆管(S材)のミルシート

ミルシート板 S-0002

SN841-73-21

製造元 S	LOT # 007	SEQ 01	区分コード				製造年月日 年 月 日 48 01 09	製造コード		仕様板	
			部材検査 コード C, L, S, J	炉名 ①本番 Red	②炉心 3 炉心	③区分 A		④新規 2 追加修正	製造 # OTTJ0005	ヒート # 280002	製造元仕様 # AN0236-B

SEQ 02	数量	製品(リール) #		加工条件			試料板 - 1						試料板 - 2	
	0123	開始 # 0498	終了 # 0620	温度 0980	時間 04	加工度 12	(1) 592	(2) 620	(3) 592	(4) 620	(5) 592	(6) 620	インゴット # 280002	素管 # SJE000172

SEQ 03 04 05	化学成分 %																取鍋 製品 製品
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	B	N	Al	As	Cu	Nb+Ta	V	
	0.04-0.08	≤ 0.75	1.50-2.00	≤ 0.03	≤ 0.03	11.00-14.00	16.00-18.00	2.00-3.00	≤ 0.10	≤ 0.001	≤ 0.035	-	-	-	-	-	
	0.07	0.50	1.71	0.020	0.009	13.05	16.90	2.30	0.01	0.0002	0.0305	-	-	0.2300	-	-	
0.07	0.50	1.75	0.018	0.008	13.11	16.80	2.37	0.01	0.0002	0.0281	0.0010	0.0020	0.2300	0.0020	0.0030		
0.07	0.50	1.74	0.019	0.007	13.14	16.80	2.38	0.01	0.0002	0.0280	0.0020	0.0020	0.2300	0.0020	0.0030		

SEQ 06	非金属材料															
	素管								製品							
	A		B		C		D		A		B		C		D	
	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
2.0	0.5	1.5	0.0	2.0	0.0	1.5	1.0	1.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	

SEQ 07	金相	粒界腐食	結晶粒度 (板より細粒)	硬さ Hv (平均値) ≤ 290	蛍光浸透	扁平	押抜け
	(1) (2)	(1) (2)	1. 2.	1. 2.	(1) (2)	(1) (2)	(1) (2)
	① ① 合格 2 2 不合格	① ① 合格 2 2 不合格	A・周 B・軸 A・周 B・軸 9.0 9.0 9.0 9.0	平均値 MAX MIN 平均値 MAX MIN 261 267	① ① 合格 2 2 不合格	① ① 合格 2 2 不合格	① ① 合格 2 2 不合格

SEQ 08	常温引張試験											
	(1)						(2)					
	抗張力	0.2%耐力	伸び	位置	抗張力	0.2%耐力	抗張力	0.7%耐力	伸び	位置	抗張力	0.2%耐力
79.7	65.0	29	A			79.7	66.2	27	B			

SEQ 09	内圧破壊試験					
	(1)			(2)		
	破裂圧力	0.2%耐力	伸び	破裂圧力	0.2%耐力	伸び
1050	930	-	1050	970	-	

SEQ 09	高温引張試験 (650℃)											
	(1)						(2)					
	抗張力	0.2%耐力	伸び	位置	抗張力	0.2%耐力	抗張力	0.2%耐力	伸び	位置	抗張力	0.2%耐力
44.8	37.5	25	B			44.8	37.5	25	B			

表 4. 中温試験に用いた常陽本番用被覆管 (K材) のミルシート

製造元 K	Lot No 2	SEQ 0.1	区分コード			製造年月日				製造コード		仕 様	
			部材コード C, L	検査名 K	炉名 J	年 47	月 06	日 20	製造 No SV, 55021	ヒート No THC, 0363	製造元仕様 No 72-D008	PNC 仕様 No FEI-1203	

SEQ 0.2	数量 0.498	製品 (リール) No		加工条件			資料 No - 1						試料 No - 2	
		開始 No 0501	終了 No 1000	温度 C 1010	時間 02	加工度 10	(1) 0501	(2) 0750	(3)	(4)	(5)	(6)	インゴット No 3	素管 No 3

SEQ 0.3 0.4 0.5	化 学 成 分 %															
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	B	N	Al	As	Cu	Nb+Ta	V
	0.04-0.08	≦0.75	1.50-2.00	≦0.03	≦0.03	11.40-14.00	16.00-18.00	2.00-3.00	≦0.10	≦0.001	≦0.035	-	-	-	-	-
	0.04-0.08	≦0.75	1.50-2.00	≦0.03	≦0.03	11.40-14.00	16.00-18.00	2.00-3.00	≦0.10	-	-	-	-	-	-	-
	0.06	0.53	1.54	0.017	0.010	12.92	16.56	2.32	0.04	0.0003	0.0224	-	-	-	-	取鍋

SEQ 0.6	非 金 属 介 在 物															
	製 品				製 品				製 品				製 品			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D

SEQ 0.7	金 相	粒界腐食	硫酸腐食	結晶粒度 (No.6より細粒)				硬さ Hv ≦ 290		蛍光浸透	(原管)扁平	押弧げ	巻付
	(1)(2) 合格	(1)(2) 合格	≦ 5.5g/	A・周 B・軸 A・周 B・軸				平均値 平均値		(1)(2) 合格	(1)(2) 合格	(1)(2) 合格	合格

SEQ 0.8	常 温 引 張 試 験											
	(1)						(2)					
	抗張力	0.2%耐力	伸び位置	抗張力	0.2%耐力	伸び位置	抗張力	0.2%耐力	伸び位置	抗張力	0.2%耐力	伸び位置

SEQ 0.9	内 圧 破 壊 試 験					
	(1)			(2)		
	破裂圧力	0.2%耐力	伸び	破裂圧力	0.2%耐力	伸び

SEQ 0.9	常 温 引 張 試 験											
	(1)						(2)					
	抗張力	0.2%耐力	伸び位置	抗張力	0.2%耐力	伸び位置	抗張力	0.2%耐力	伸び位置	抗張力	0.2%耐力	伸び位置

2. 試験方法

室温および650℃での歪速度の影響を調べるために、オートグラフ（IS-5000）を用いて引張試験を行なった。

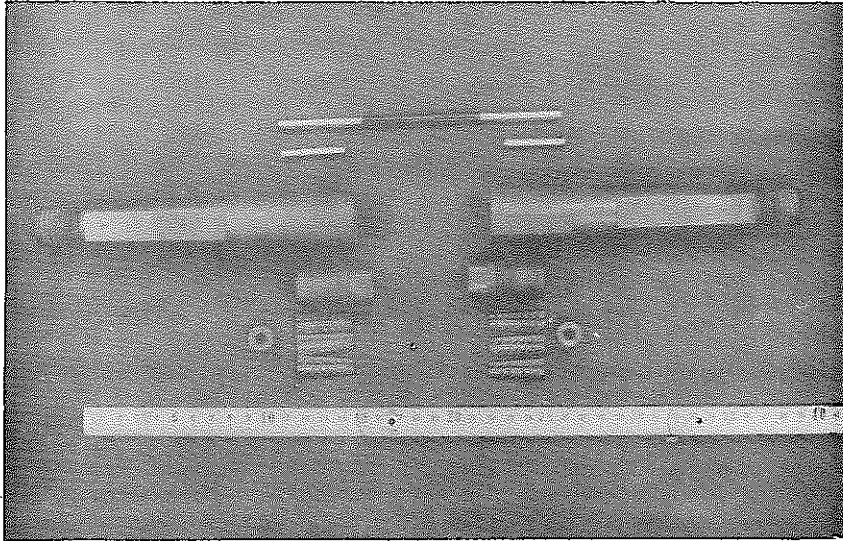


写真1 試験片セット前

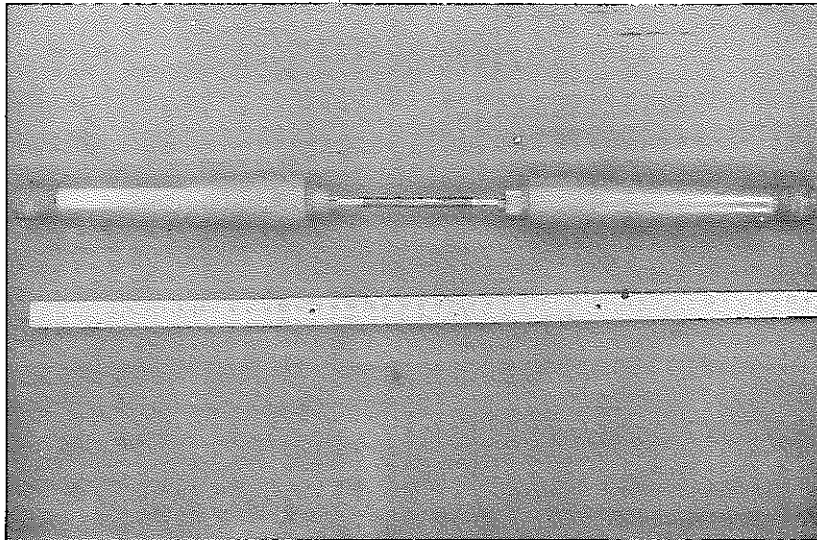


写真2 試験片セット後

まず写真1および2に示すように特殊な割り爪を用いて試料をチャッキングした。このチャッキングによると高温における試験でも供試材の全長は150mmと短くなり、かつ試験時の試験片とブルロッドとの差も少なくてよい。なお被覆管は所定の長さに切断し、管状のまま試験に供した。

室温および650℃での試験とも0.2%耐力付近の荷重までは試験片の標点距離部分にとりつけた差動トランスで伸びを検出し、それによって自動歪速度制御をしながら引張った。

(strain paced test) それ以降はクロスヘッドの移動速度はチャック間の長さに対する増加割合として引張った。(cross-head paced test)

引張速度は0.3, 1, 5, 10および30%/min. に指定し、チャック間距離(90mm)から計算して近似的に0.25, 1, 5, 10および30mm/min. とした。

伸びは試験前にあらかじめケガいておいた標点距離($G\ell = 50\text{mm}$)を破断後につき合わせ、ノギスにて測定した。

650℃での試験は、試験片を写真3に示す開閉式の環状ニクロム炉で加熱し、所定の温度に達してから10分間保持し、その後引張った。なお温度測定は標点内の3点に直接白金-白金・ロジウム熱電対のビード球を結びつけパイロメーターにて測定した。

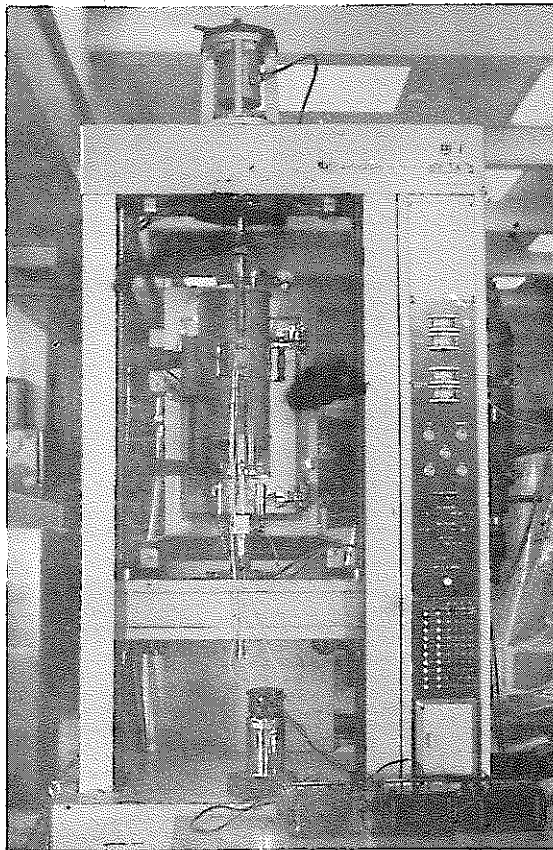


写真3 オートグラフおよび
付属の電気炉

中温試験は室温，50，70および100℃に指定し，オートグラフ付属の恒温槽中にて行なった。写真4に示すように試験片を取り付け，目標温度に達してから30分間保持し，その後以下の方法で引張った。0.2%耐力付近の荷重までは引張速度0.3%/min.（近似的に0.25mm/min.となる）で前述のstrain paced testで行ない，それ以降は7.5±2.5%/min.（近似的に5mm/min.とする。）に切り換え，cross-head paced testで行なった。なお恒温槽の精度は±1℃であり，30分間保持すれば試料自身も同一温度になることを予備試験の結果から確認した。

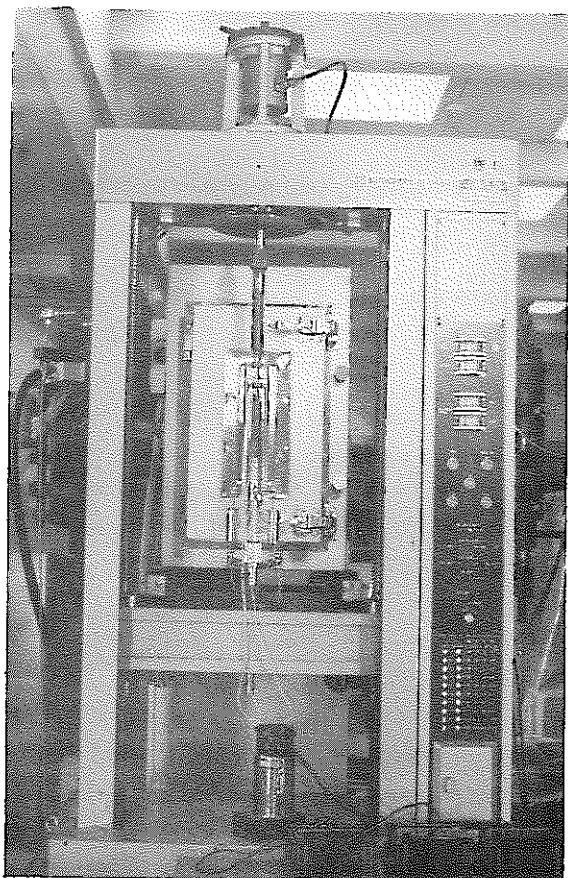


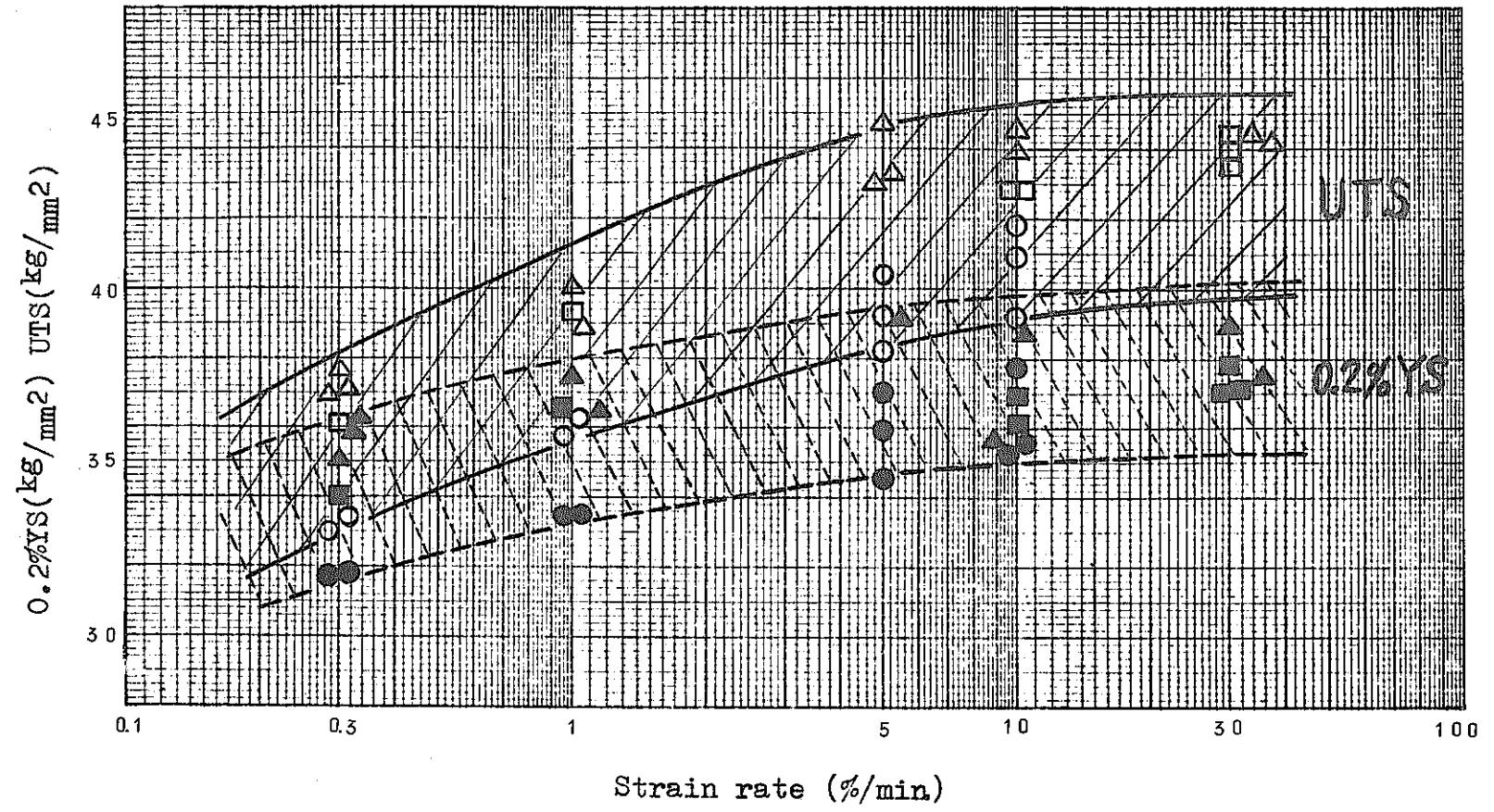
写真4 オートグラフおよび
付属の恒温槽

表5. ラブソディー2 照射用被覆管の歪速度の違いによる引張性質の変化

試験温度 650℃

引張速度 引張性質	0.3%/min	1%/min	5%/min	10%/min	30%/min	試験管番号
U T S (Kg/mm ²)	33.0 33.4	36.3 35.7	40.4 39.2 38.2	39.2 40.9 41.8	/	第1回 (K5001)
0.2%YS (Kg/mm ²)	31.7 31.8	33.4 33.5	37.0 35.9 34.5	35.3 35.6 37.7		
Elong (%)	(B) (A) 34.2 30.6	(B) (A) 29.4 35.6	(B) (A) (A) 24.4 29.1 24.0	(B) (C) (C) 24.0 — —		
U T S (Kg/mm ²)	36.1	39.3	/	42.8 42.8	43.5 44.0 44.4	第2回 (K5006)
0.2%YS (Kg/mm ²)	34.0	36.5		36.9 36.1	37.0 37.1 37.8	
Elong (%)	(B) 31.9	(A) 32.0		(A) (B) 22.6 19.6	(B) (B) (B) 14.9 17.6 15.6	
U T S (Kg/mm ²)	37.0 37.7 37.2	40.1 38.9	44.7 43.0 43.4	44.6 44.0	44.3 44.5	第3回 (K5004)
0.2%YS (Kg/mm ²)	36.3 35.9 35.1	37.5 36.5	— 39.2 —	35.7 38.8	39.0 37.6	
Elong (%)	(A) (A) (A) 38.3 32.3 36.6	(C) (A) — 33.7	(C) (B) (B) — 22.4 25.6	(A) (B) 25.9 20.1	(A) (C) 19.7 —	

* 伸び (ε) 欄の () 内は破断位置を示す。



图·1 Effect of strain rate on UTS and 0.2%YS at 650°C

- ● tube No. K5001
- ■ tube No. K5006
- △ ▲ tube No. K5004

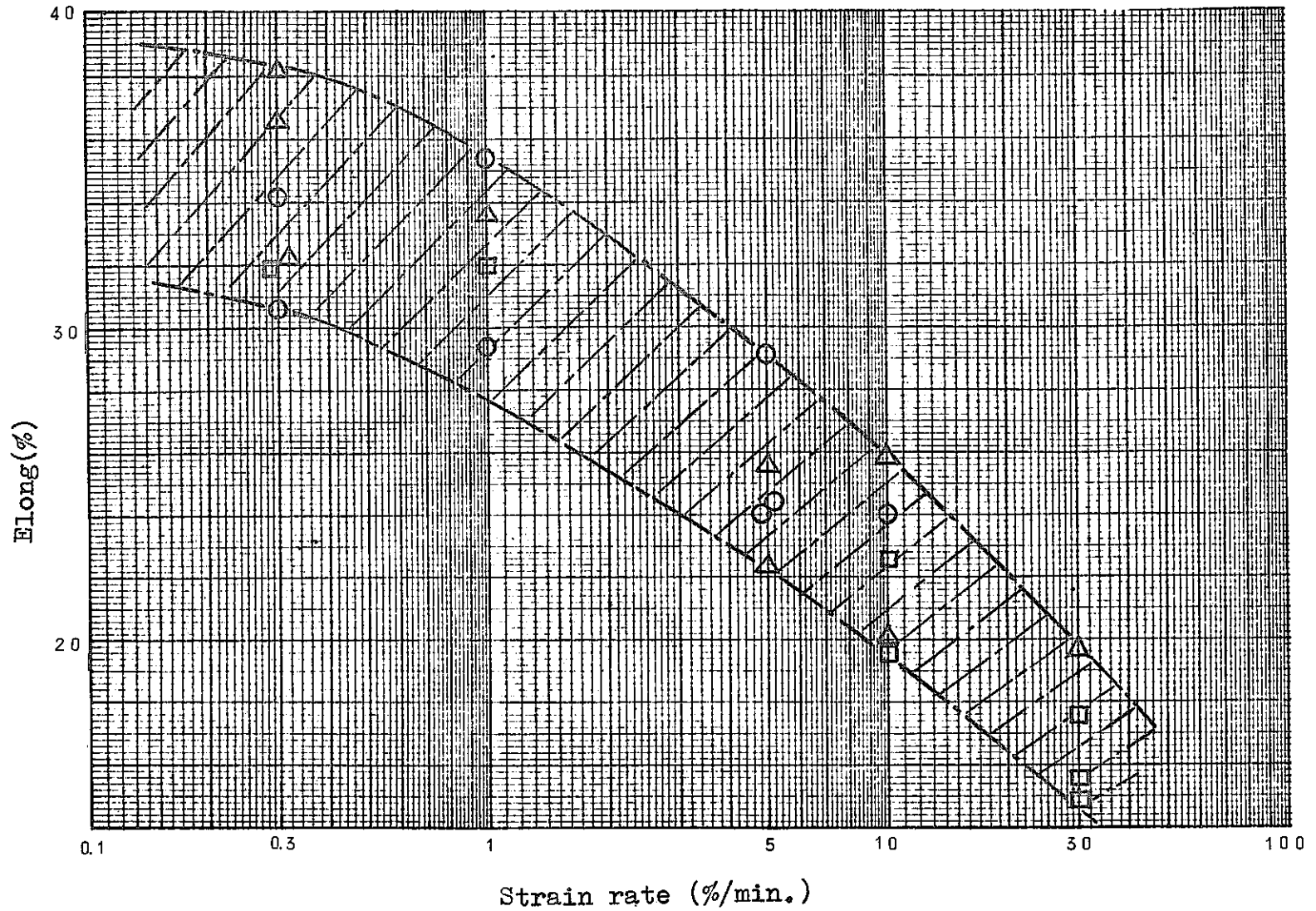


图 2 Effect of strain rate on Elongation at 650 °C

(○ tube No. K5001)
 (□ tube No. K5006)
 (△ tube No. K5004)

3. 試験結果

(1) 歪速度の影響 (650℃)

試験結果を表5に、引張性質と歪速度との関係を図1および2に示す。それぞれ別個に比較してみると、

- 0.2%耐力：歪速度が増加するにつれて0.2%耐力も増加する。その割合は、歪速度が10倍になると0.2%耐力は約 $3\text{Kg}/\text{mm}^2$ 増加する。但し歪速度が $10\%/ \text{min}$.以上になると増加割合は緩慢となる。この場合、図1に見られるように同一ロット内でも管それぞれによってかなりのバラツキが見られる。
- 引張強さ：0.2%耐力と同じ傾向を示すが片対数目盛でプロットした場合、0.2%耐力に比べて傾きが大きく、歪速度が10倍になると引張強さは約 $5\text{Kg}/\text{mm}^2$ 増加する。つまり歪速度の影響は0.2%耐力よりも顕著に現われる。管番号によるバラツキは0.2%耐力と同じ傾向を示す。
- 伸び：同じ番号の管でもかなりのバラツキが見られるが歪速度が増加すると伸びは減少する傾向にある。

(2) 歪速度の影響 (室温)

試験結果を表6に、引張性質と歪速度との関係を図3に示す。

表6 ラブソディー2照射用被覆管の歪速度の違いによる引張性質の変化

試験温度 常温

引張速度 引張性質	0.3%/min	5%/min	1.0%/min	3.0%/min	試験管番号
UTS (Kg/mm^2)	73.7 71.5	72.3 71.9	72.4 72.6	72.2 72.4	第1回 (K5003)
0.2%YS (Kg/mm^2)	62.8 60.8	62.3 61.9	62.6 62.6	62.6 63.1	
Elong (%)	39.5 33.9	28.0 28.2	26.4 25.4	23.4 24.9	
UTS (Kg/mm^2)	72.1 73.9	74.8 74.6	74.3 75.3	74.0 73.0	第2回 (K5005)
0.2%YS (Kg/mm^2)	60.0 61.6	63.1 61.4	62.7 66.1	63.2 62.6	
Elong (%)	35.6 34.8	31.3 32.9	24.9 24.3	19.8 22.3	

それぞれ別個にして、比較してみると、

- 引張強さおよび0.2%耐力：歪速度が増加してもほとんど変らない。
- 伸び：歪速度が増加するにつれて伸びは片対数目盛で直線的に減少する。

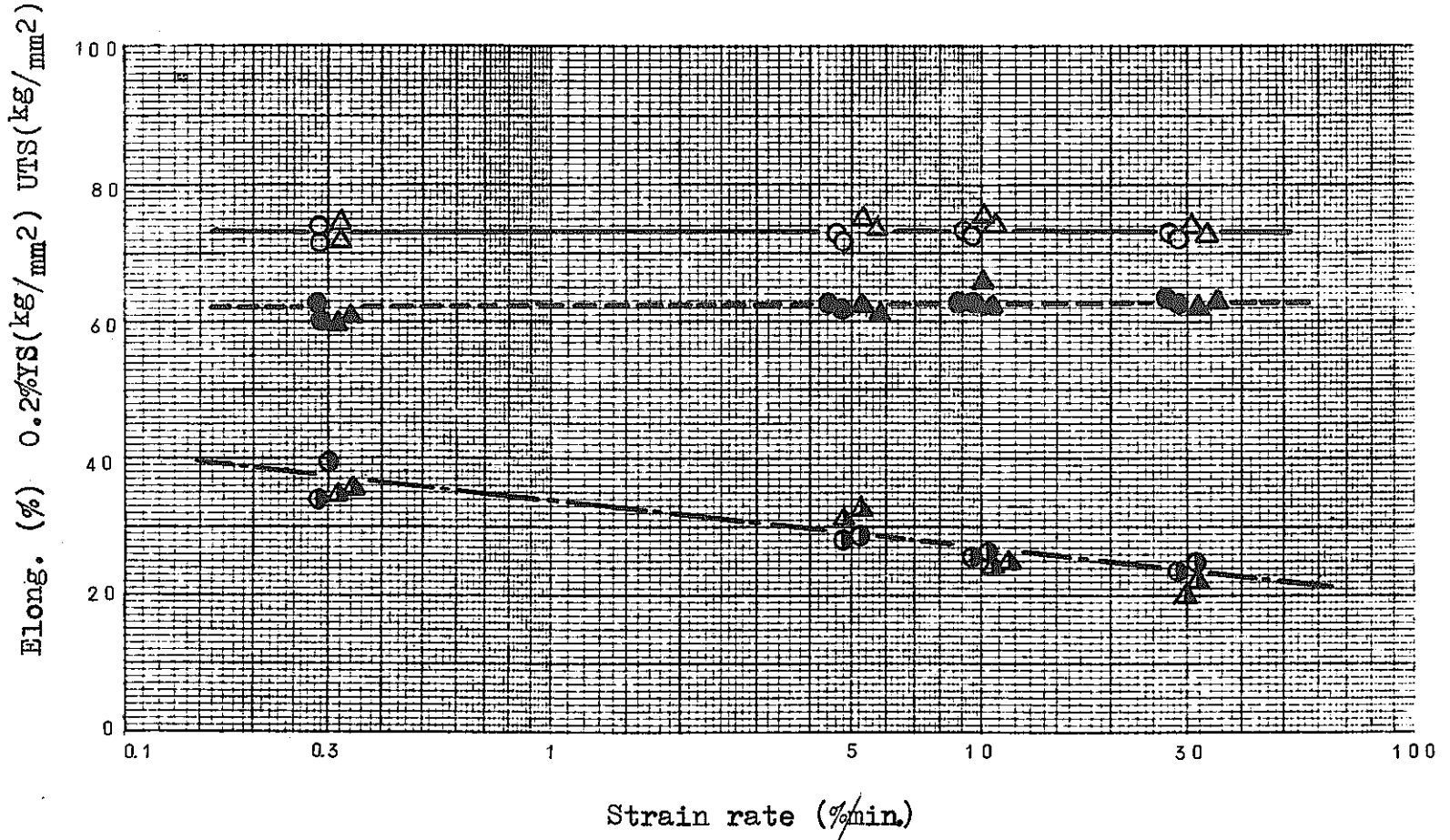


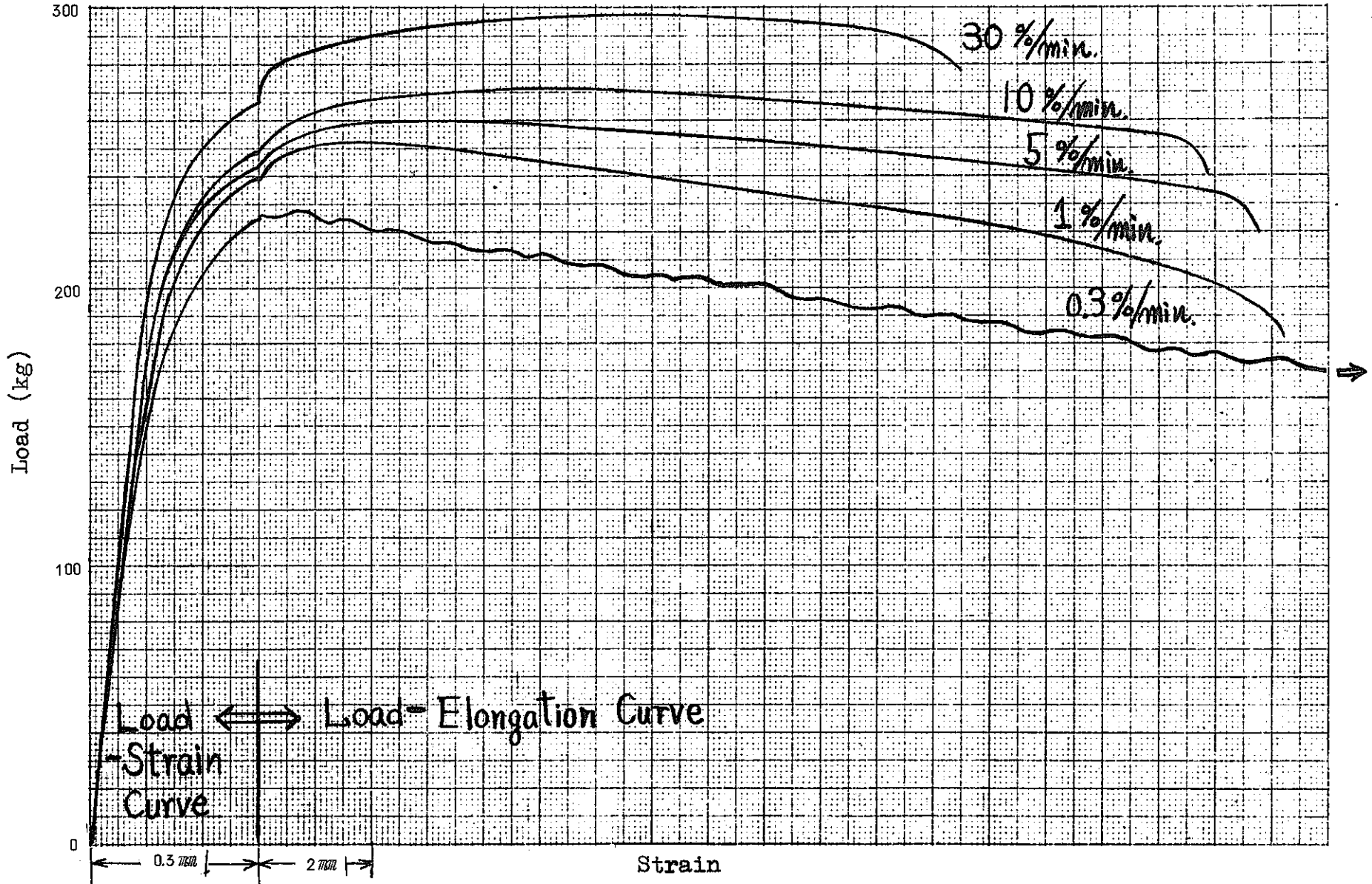
图 3 Effect of strain rate on tensile properties at room temperature.

(○ ● ⊙ tube No. K5003)
 (△ ▲ ▴ tube No. K5005)

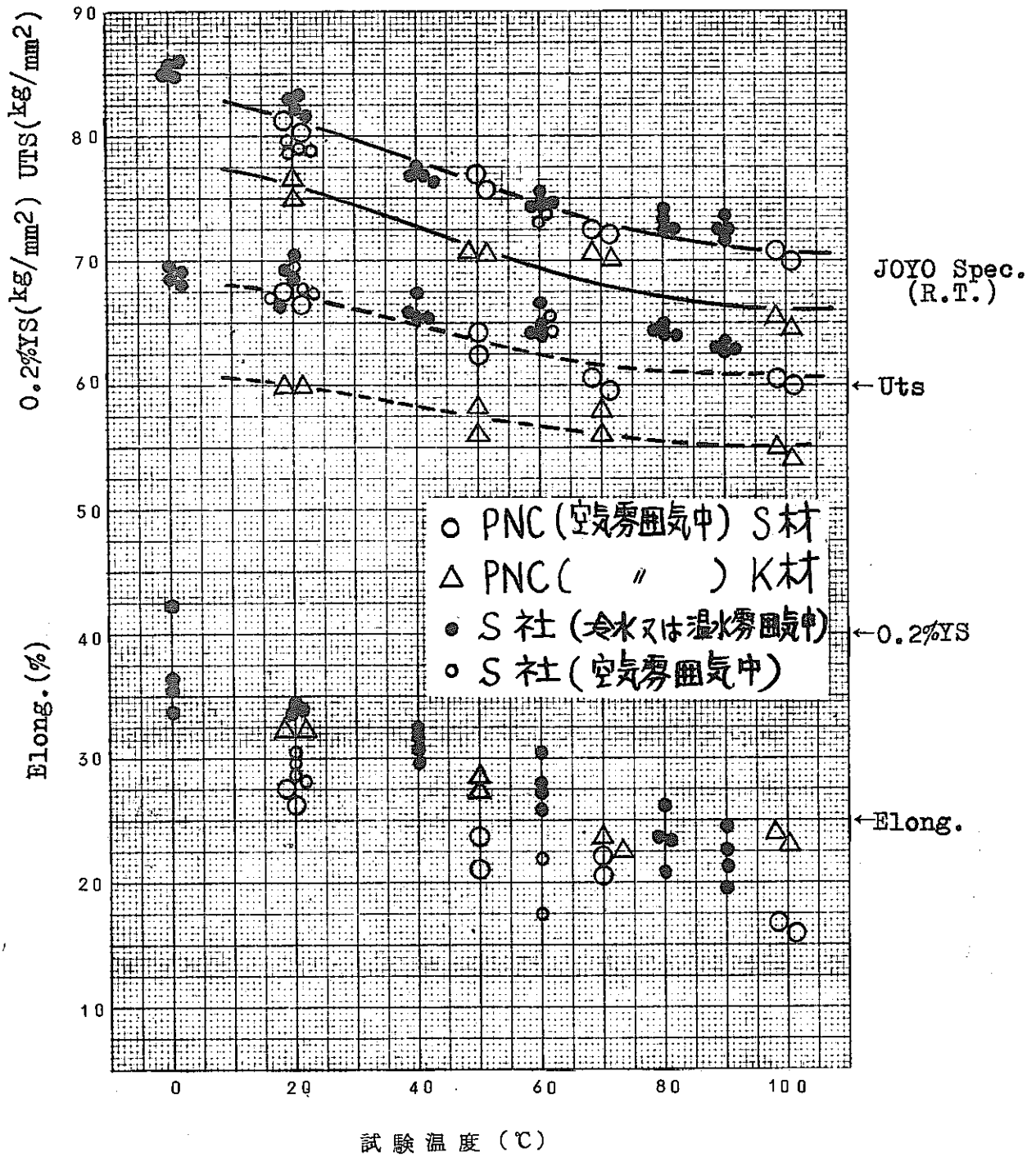
表7. 引張性質に及ぼす試験温度の影響 (中温試験)

供試材 No	試験温度 引張性質	20℃		50℃		70℃		100℃		ミルシート(常温)		常温 Spec.
S0549	UTS(Kg/mm ²)	81.2	80.2	76.9	75.3	72.5	72.2	69.8	70.9	79.7	79.7	>60
	0.2%YS(Kg/mm ²)	67.2	66.0	64.3	62.2	60.5	59.5	60.5	60.0	65.0	66.2	>40
	Elong(%)	(B) 26.1	(A) 27.4	(B) 20.9	(B) 23.8	(A) 22.0	(A) 20.4	(A) 16.7	(A) 16.0	(A) 29	(B) 27	>25
K0651	UTS(Kg/mm ²)	76.3	75.2	70.7	70.6	70.1	70.7	65.5	64.6	78.8	78.3	>60
	0.2%YS(Kg/mm ²)	60.0	60.1	58.1	56.3	56.0	57.9	54.9	54.3	66.1	65.7	>40
	Elong(%)	(A) 32.2	(B) 32.2	(A) 28.5	(A) 27.7	(B) 22.2	(A) 23.3	(A) 24.1	(A) 23.2	(A) 32	(B) 32	>25

* 伸び欄の()内は破断位置を行す。



図・4 歪速度のちがいによる荷重-歪曲線の変化(650℃)



図・5 引張性質に及ぼす試験温度の影響

(3) 中温試験

試験結果を表7に、引張性質と温度との関係を図5に示す。これを見ても明らかなように引張強さおよび0.2%耐力が減少するばかりでなく、伸びも温度の上昇につれて減少し、100℃になると20℃での値より約10%低くなる。なお、強さの低下は引張強さの方が顕著に現われる。

4. 検 討

(1) 歪速度の影響(650℃)

同一ロット内のパイプの間で引張性質に差がないという仮定をおいてメーカー(K社)、フランスおよびPNC間のデータを比較してみる。K社の試験機は、RH-30(油圧式)であり、引張速度は2.5 mm/50 mm/min. (=5%/min.)で0.2%耐力測定後も切替えていない。⁽⁷⁾表8を見るとK社の引張強さはPNCの値^{*}とほぼ同じであるが、0.2%耐力はPNCに比べて大きい。これは切替なしで行なったPNCの5%/min.の値に相当する。(表5, 図1)PNCとK社の差の主たる原因は引張速度によるものと考えられる。

次にフランスとの比較であるがフランス側の試験方法がはっきりしないので直接比較はできない。フランス側の報告書⁽⁸⁾の中にTensile speed 5%minuteとあるが、これを5%/min.のミスプリントと考えるとK社同様歪速度はPNCに比べて速いので0.2%耐力は高く出ている。しかし引張強さはK社がPNCと変わらないのに比べ、同じ歪速度のはずのフランスのそれははるかに大きい。(表8)この相違は試験機、歪取り出し方法などの歪速度以外の因子にも原因する様に思われる。なおラプソディ1についてはフランス側は0.166%/min.の一定の歪速度で行なったと報告している。⁽⁹⁾

表8 PNC, メーカーおよびフランスの試験結果の比較(650℃)

	tensile properties	PNC			KOBE(ミルシート)		FRANCE
Rapsodie-1	UTS (Kg/mm ²)	43.0	43.8	41.4	43.6	45.4	38.7
	0.2%YS (Kg/mm ²)	33.4	34.3	32.4	34.3	37.9	37.1
	Elong (%)	29.3	24.4	33.2	20.0	21.0	27.4
Rapsodie-2	UTS (Kg/mm ²)	37.8	36.3		38.2	35.1	47.0
	0.2%YS (Kg/mm ²)	30.5	29.0		36.7	33.2	39.5
	Elong (%)	31.5	29.8		29.0	30.2	22

表9. PNC, メーカーおよびフランスの試験結果の比較(室温)

	Tensile properties	PNC*		KOBE(ミルシート)		FRANCE
Rapsodie-1	UTS(Kg/mm^2)	71.3	71.7	73.0	72.1	79.3
	0.2%YS(Kg/mm^2)	53.8	54.9	60.6	58.9	64.3
	Elong(%)	27.7	25.9	31.4	34.0	32.7
Rapsodie-2	UTS(Kg/mm^2)	72.4	70.3	76.5	77.2	81
	0.2%YS(Kg/mm^2)	60.1	58.1	62.1	63.9	58
	Elong(%)	31.2	31.1	38.0	34.0	29.7

* 0.2%耐力測定まで0.3%/min. 以後破断まで7.5±2.5%/min. で引張った。

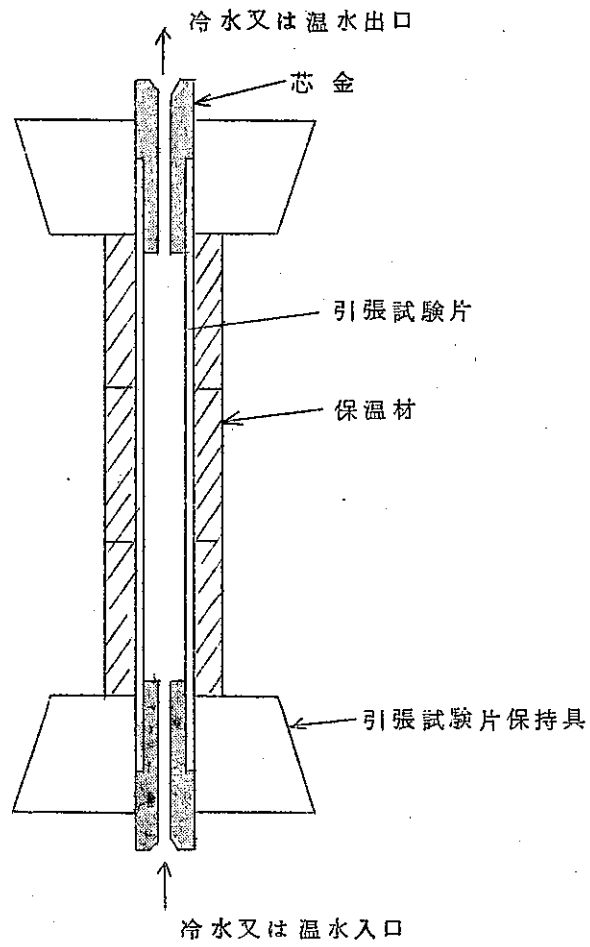


図6. 引張試験片保持状態 (S社)

K社，フランスおよび今回の実験の様に試験開始から破断まで歪速度を変えずに行なった場合は，0.2%耐力以降歪速度を切換えて行なった場合に比べて引張強さと0.2%耐力の値が接近してくるのが認められる。具体的にはK社： $\sigma_{0.2}/\sigma_B \approx 0.95$ フランス（Rap.1） ≈ 0.96 PNC ≈ 0.94 PNC（0.2耐力以降切り換えた場合） ≈ 0.80 である。

今までの実験結果⁽⁸⁾⁽⁴⁾にも見られる様に引張強さは0.2%耐力までの歪速度に影響されないとされている。それ故，今回は『耐力までとそれ以降を区別して比較する。』という前提で行なった。

図4に650℃で試験したときの荷重一伸び曲線を示す。最大荷重までの伸びを均一伸びとすると，歪速度の減少につれて均一伸びも減少するようである。

また図4に見られるように0.3%/min.の一定の歪速度で引張ったとき荷重一伸び曲線にセレーションが現われた。これは引張速度，試験温度および炭素量に依存する⁽¹⁰⁾とされている。今後，各因子について検討が必要と思われる。

(2) 歪速度の影響（室温）

文献⁽⁸⁾によると室温付近における0.2%耐力は歪速度に大きく影響されると述べているが今回の結果を見ると図3に示すように歪速度に影響されないことがわかった。また室温での試験の場合，試験日時のちがいによる試験方法の微妙な差および管のちがいによる差は結果に現われないこともわかった。

次にK社，フランスおよびPNC間のデータを比較してみると表9に示すように引張強さおよび0.2%耐力ともPNCの値が低く，逆に伸びは大きく出ている。これは歪速度が変わっても引張強さおよび0.2%耐力は変わらないという本実験の結果と矛盾する。この伸びの相違の原因の一つと考えられるのは標点距離が等しくないことであろう。（フランスでは $G\ell = 1.00 \text{ mm}$ PNCでは $G\ell = 5.0 \text{ mm}$ である。）

(3) 中温試験

S社で行なった結果とPNCのS材の値を比較してみをと図5のようになる。S社の試験方法がPNCと異なる点は，

- 図6に示すように冷水あるいは温水を管内に通して温度保持を行なう。
- 引張速度は $2.5 \text{ mm} / 50 \text{ mm} / \text{min.}$ （ $= 5\% / \text{min.}$ ）一定で行なう。（PNCでは $0.25 \text{ mm} / \text{min.} \rightarrow 5 \text{ mm} / \text{min.}$ ）
- 試験片長さおよび伸び取り出し方法は不明である。

引張性質のうち，引張強さおよび0.2%耐力はPNCの値がやや低い程度でほとんど同じ傾向を示す。伸びは図5に見られるようにS社の空気雰囲気中での結果とPNCの値が一致する。

またPNCにて同様の方法で行なったK材の値についても図5に並記する。これを見るとS材に比べて引張強さおよび0.2%耐力は約 $5 \text{ Kg} / \text{mm}^2$ 低いのが逆に伸びは約6%高く出ている。しかし傾向としてはS材と同様で，引張強さ0.2%耐力および伸びとも試験温度が高く

なるにつれて低くなる。

以上より考えて室温引張試験においても何らかの方法で被覆管が加熱され、室温以上になると引張強さおよび0.2%耐力はSpec.以上で合格でも伸びはSpec.以下となり不合格になる可能性が強いと考えられる。

5. ま と め

今回の試験で明らかになったことを列記してみると、

- 高温(650℃)での引張強さおよび0.2%耐力は、歪速度の増加につれて大きくなる。その割合は歪速度が10倍になると引張強さは約 5 Kg/mm^2 , 0.2%耐力は約 3 Kg/mm^2 増加する。つまり引張強さの方が歪速度に対してより敏感である。
- 室温では歪速度が変化しても引張強さおよび0.2%耐力は変わらない。
- 伸びは高温および室温での試験とも、歪速度の増加につれて減少する。室温での伸びは片対数目盛でプロットした場合、歪速度に反比例する。
- 室温～100℃までの中温試験では試験温度が上昇するにつれて引張強さおよび0.2%耐力ばかりでなく伸びも減少する。その割合は、100℃になると20℃での値より約10%も低くなる。

高温引張りにおいて引張性質に影響を及ぼす因子は歪速度だけではないが、歪速度のみを考えてもその影響力は大きく複雑である。また高温引張りに限らず室温における引張試験についても前述のような結果が得られ、歪速度の効果を無視するわけにはいかない。

室温での引張りの場合、温度管理という点については、今まであまり注意深く行なわれなかったが、今回の結果から考えてより厳密に行なわなければならないと考えられる。

6. 参 考 文 献

- (1) ラブソディー1照射用被覆管の照射前試験結果
(フランスにおける照射後試験結果に対するコメント)
検査開発課資料 (1973. 2)
- (2) ラブソディーPNC2照射用被覆管検査報告書に対するコメント
検査開発課資料 (1972. 1. 31)
- (3) 第2回共通高温引張試験の結果について
平 修二: 鉄と鋼, 55(1969)10, p. 68
- (4) 理論・設計“金属材料の高温強度”
平 修二編: 養賢堂発行(1968)P. 325
- (5) High Strain Rate Mechanical Properties of Types 304 and 316 Stainless Steel.
J. M. Steichen: HEDL-TME71-164

SN841-73-21

- (6) The Effect of Strain Rate on the Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steels.

J. M. Steichen et al : HEDL-TME71-56

- (7) 神戸製鋼所立会メモ (高温引張試験法について)

- (8) DDEC/SDECR/GET72-34 "Cladding Inspection for PNC2 Irradiation".

- (9) J. M. Dupouy から H. Mizuta への手紙

- (10) 合金の析出 幸田 成康監修 : 丸善発行 (1972)