

委 員 会 報 告

ク リ ー プ 委 員 会 報 告*

第 2 回 共 通 高 温 引 張 試 験 の 結 果 に つ い て

669.14:620.172.251.2 平

修 二**

The 2nd Report of Comparative High Temperature Tensile Testing of Steels

Shuji TAIRA

1. は じ め に

周知のとおり、わが国においても最近、鉄鋼材料の高温引張試験方法に関する規格 (JIS G 0567—1966) が制定された。本規格原案は、鉄鋼協会のクリープ委員会クリープ試験分科会において審議作製されたものであつて、この規格の特徴は、試験中の引張速度をある範囲に規定している点にある。

本規格の内容が実際に適当であるかどうかを検討するために、試験方法の規格化とほぼ平行して、昭和41年末よりクリープ試験分科会において共通高温引張試験を実施した。その結果についてはすでに報告した[†]が、そこで結論として得られたことは、

(1) JIS に準拠して試験を行なえば各試験機関のデータはほぼそろふこと。

(2) JIS に規定されたひずみ速度許容範囲においても 0.2%耐力、引張強さ、伸びおよび絞に対してかなりのひずみ速度効果が認められる場合のあること、

(3) できる限り少ない労力で試験を行ない、データのバラツキを小さくするためには、適当な自動制御装置を有する専用高温引張試験機を製作することが望ましいこと、

などであつた。ただし、対象とした試験材料が低炭素鋼 (S 15 C)、2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼および 18-8 ステンレス鋼 (SUS 27) の 3 鋼種に限られ、試験温度もそれぞれ 450, 600, 700°C の 1 段階に限定された点に不十分さがある。

そこで、さらに多種類の鉄鋼材料に対して、より広範囲の温度下で引張試験を実施し、その機械的諸性質に及ぼすひずみ速度の影響をより明確にし、試験方法の検討を深めるとともに、高温引張試験のデータを集収するための基礎を確立することを目的として、昭和43年7月より数カ月にわたつて、表記の第2回共通高温引張試験が実施された。実施計画は、前回の共通高温引張試験の結果および昭和42年度に通産省より応用研究補助金を受けた「高温圧力容器用耐熱材料の高温特性に関する研究」の結果にもとづいて、当クリープ試験分科会において立案された。試験鋼種は、低炭素鋼 (SB42, SM41C)、低合金鋼 ($\frac{1}{2}$ Mo 鋼, 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼)、ステンレス鋼 (18-8 Mo, 18-8Ti) の 6 種類であり、試験温度は室温から高温に至るまでの計 10 段階である。本共通試験の結果はすでにクリープ委員会において報告されたが、これを広く公にして大方の参考になれば幸いと思い、ここに取りまとめて報告する。

2. 試験材料および試験方法

2.1 試験材料

試験材料に関する詳細は下記のとおりがある。

(1) 炭素鋼

鋼種 S B 42 (富士製鉄株式会社製造)

S M 41 C (川崎製鉄株式会社製造)

化学成分 (レードル分析値, %), 熱処理など

鋼 種	化 学 成 分						熱 処 理	試験材の原寸法
	C	Si	Mn	P	S	Sol. Al		
S B 42	0.15	0.25	0.60	0.008	0.005	—	880°C × 1hr → AC	900 × 1800 × 22 t
S M 41 C	0.14	0.27	0.94	0.014	0.019	0.032	930°C × 43 min → AC	1500 × 3640 × 22 t

[†] 平 修二: 鉄と鋼, 54 (1968) 1, p. 87

* 昭和44年3月14日

** クリープ委員会試験分科会主査 京都大学工学部 工博

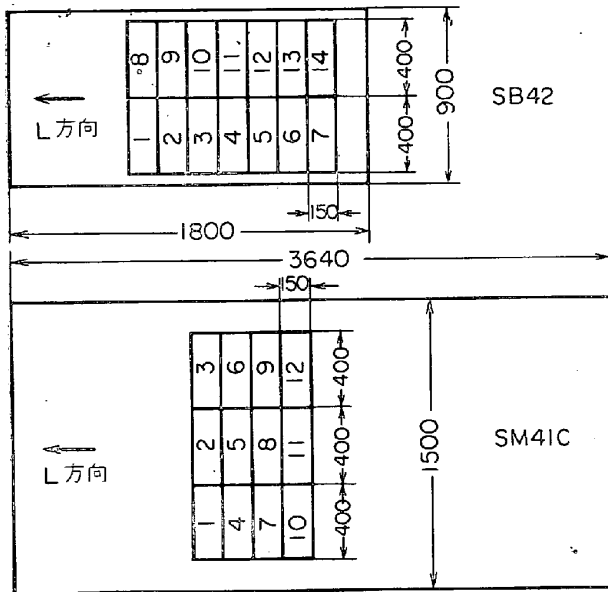


図1 炭素鋼試験材採取位置図

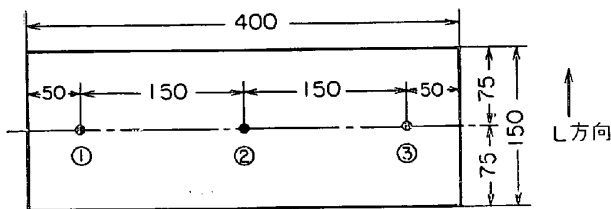


図2 炭素鋼試験材の硬さ測定位置

試験材の採取位置 (図1)

試験片はその軸方向が試験材 (400×150) の方向に一致するようにとる。

試験材の硬さ試験 (ロックウェルB)

各試験材について2図に示す3カ所 (①, ②, ③) の硬さを測定。その結果は上右表のとおりである。

鋼種	試験材番号	測定箇所			平均値
		①	②	③	
S B 42	1	69.9	69.9	71.6	70.5
	2	71.0	71.0	70.8	70.9
	3	70.5	70.4	70.6	70.5
	4	69.4	69.8	69.3	69.5
	5	70.6	70.0	70.0	70.2
	6	70.7	70.5	70.5	70.6
	7	67.7	71.0	70.4	69.7
	8	70.9	70.8	71.3	70.7
	9	70.4	72.4	70.1	71.0
	10	69.8	70.4	69.6	69.9
	12	68.6	68.5	70.0	69.0
	13	71.2	71.4	71.2	71.3
	14	69.8	70.0	70.0	69.9
SM41C	10	71.5	71.7	71.1	71.4
	11	71.4	72.7	72.9	72.3
	12	72.1	72.0	70.6	71.6

試験材の常温機械的性質

鋼種		引張試験 (JIS 1号)			曲げ試験	衝撃値 (kgm/cm ²)
		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)		
S B 42	Top	28	46	30	良	
	Bottom	28	46	32		
SM41C		33	47	34	良	E ₀ 11.8

(2) 低合金鋼

鋼種 ½Mo 鋼 (株式会社日本製鋼所製造)

2¼Cr-1Mo 鋼 (住友会属工業株式会社製造)

化学成分 (%)

鋼種		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Total Al	Total N
½Mo	レードル	0.23	0.30	0.68	0.015	0.009	0.23	0.19	0.26	0.48	0.010	—
	チェック	0.24	0.30	0.71	0.014	0.010	0.24	0.19	0.27	0.50	0.010	0.012
2¼Cr-1Mo	レードル	0.09	0.41	0.49	0.013	0.006	0.04		2.19	0.97		
	チェック	0.09	0.40	0.50	0.012	0.006	0.04		2.18	0.97		

製造履歴, 熱処理, 試験材採取位置など

鋼種	溶解炉	製造履歴	熱処理	試験材寸法 試験片採取方向
½Mo	塩基性電気炉	インゴット (6.8 t) → 圧延 34 mm 板	920°C × 2hr → AC 660°C × 1½/hr → AC	34 mm 板 (20 × 150 × 34 t) の top 側 圧延 方向
2¼Cr-1Mo	塩基性電気炉	インゴット → 圧延 135 mm φ → 鍛造 22 mm φ	930°C × 1hr → 100°C/hr FC	—

試験材の常温機械的性質 (JIS 4号)

鋼 種	降 伏 点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	絞 り (%)	破断位置	硬 さ (HrB)
$\frac{1}{2}$ Mo	42.6 43.2	57.2 57.5	32.2 31.0	59.9 59.0	A A	
2 $\frac{1}{4}$ Cr1Mo	24.8*	50.9	34	75		78.5~82.1

* 0.2% 耐力

(3) ステンレス鋼

鋼種 18-8Mo (山陽特殊製鋼株式会社製造)

18-8Ti (株式会社神戸製鋼所製造)

化学成分 (%)

鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti
18-8 Mo	0.044	0.55	1.72	0.031	0.016	16.91	13.75	2.15	—
18-8 Ti	0.04	0.62	1.59	0.032	0.014	17.84	10.52	—	0.33

熱処理および試験材寸法

鋼 種	熱 処 理	試 験 材
18-8Mo	110°C × 15 min → WQ	22 mm ϕ 鍛造
18-8Ti	1100°C × 1hr → WQ	22 mm ϕ 鍛造

2.2 試験条件

試験ひずみ速度については、ひずれの鋼種についても下記の3段階のひずみ速度をとることとした。ここで、耐力までのひずみ速度は自動制御装置によつて調節し、それ以後のひずみ速度は、試験片平行部分のひずみ速度が規定の値になるようになるべく一定の速度で引張るものである。ただし、自動制御装置をもたない試験機関では、耐力までのひずみ速度を JIS により 0.3%/min 以下に設定して試験がなされた。

種 類	設定ひずみ速度 (%/min)	
	0.2% 耐力まで	耐力以後
1	0.03 (最低速度)	3.0
2	0.3	7.5
3	3.0	20.0

試験温度については、鋼種によつて異なるが、いずれも室温から高温に至る 10 段階をとる。

2.3 試験機関および試験本数

試験機関は、炭素鋼グループ 5 機関 (SB 42 : 3, SM 41 C : 2), 低合金鋼グループ 6 機関 ($\frac{1}{2}$ Mo 鋼 : 3, 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼 : 3), ステンレス鋼グループ 5 機関 (18-8Mo 鋼 : 2, 18-8Ti 鋼 : 3) の合計 16 機関である。試験本数は、各温度段階に対して上述の 3 種類のひずみ速度の下でそ

れぞれ繰返し数 1 の試験を行なうことを原則とし、計 30 本のデータを得る。

3. 試験結果

3.1 0.2% 耐力および引張強さとひずみ速度の関係

図 3~8 に 6 鋼種に関する 0.2% 耐力および引張強さとひずみ速度との関係を各温度ごとに片対数線図で示している。多くの場合、データ数が限られているために、耐力とひずみ速度あるいは引張強さとひずみ速度の間には明確な相関関係が見い出せないが、比較的是つきりした傾向の認められる場合については線図上にデータを代表する直線を付記した。

0.2% 耐力および引張強さに対するひずみ速度の効果は表 1 に示すとおりである。まず、0.2% 耐力についてみると、いずれの鋼種についてもひずみ速度効果は正もしくは零であつて、負となる場合はまずないといつてよい。本共通試験では、炭素鋼が最も明確なひずみ速度効果を示した。SB 材と SM 材とで多少異なるが、室温付近ではひずみ速度が増加するとともに降伏点も増加し、その効果は高温におけるより顕著である。250°C から 400°C の範囲ではほとんど効果がないかあるいはわずかに正の効果をもつが、450°C 以上の高温では再び明確な正の効果を示している。

低合金鋼およびステンレス鋼の 0.2% 耐力については炭素鋼のそれほどひずみ速度の影響は大きくない。 $\frac{1}{2}$ Mo 鋼は炭素鋼に類似の傾向を示すが、2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼ではあらゆる温度においてほとんど影響が認められない。ステンレス鋼では、室温から 200°C 程度の比較的低温域において正の効果が認められ、それより高温ではひずみ速度に影響されないようである。

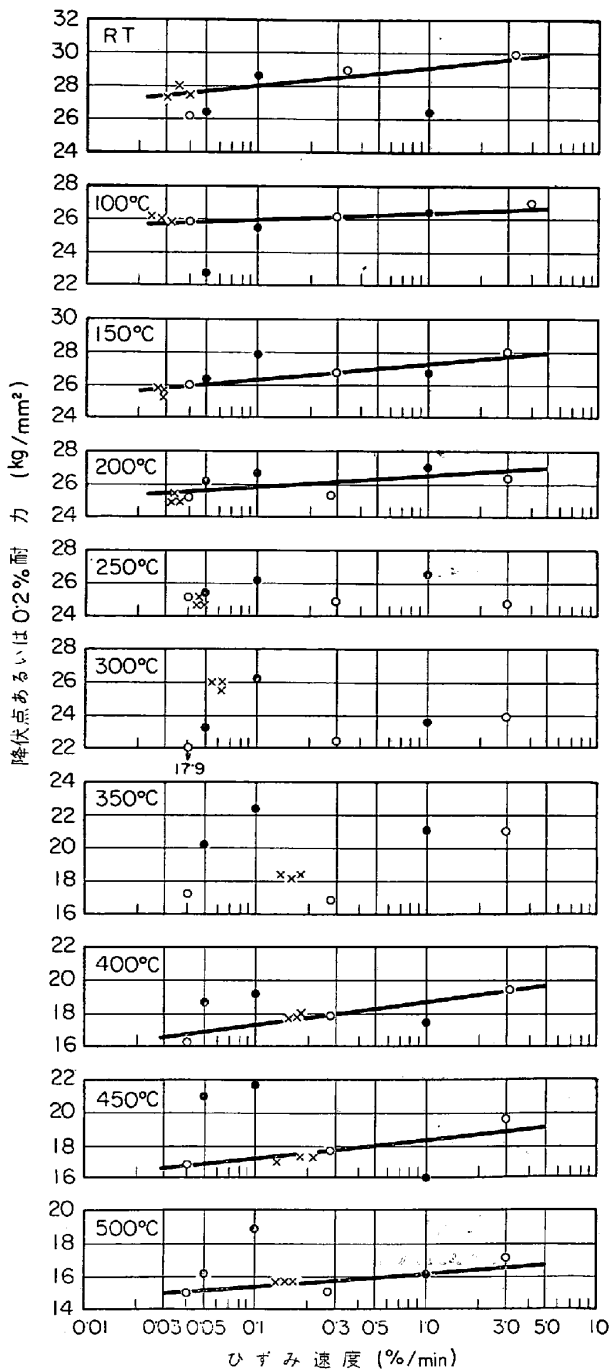


図 3-1 降伏点あるいは0.2%耐力におよぼすひずみ速度の影響
(S B42, 試験機関: ○ a, ● b, × c)

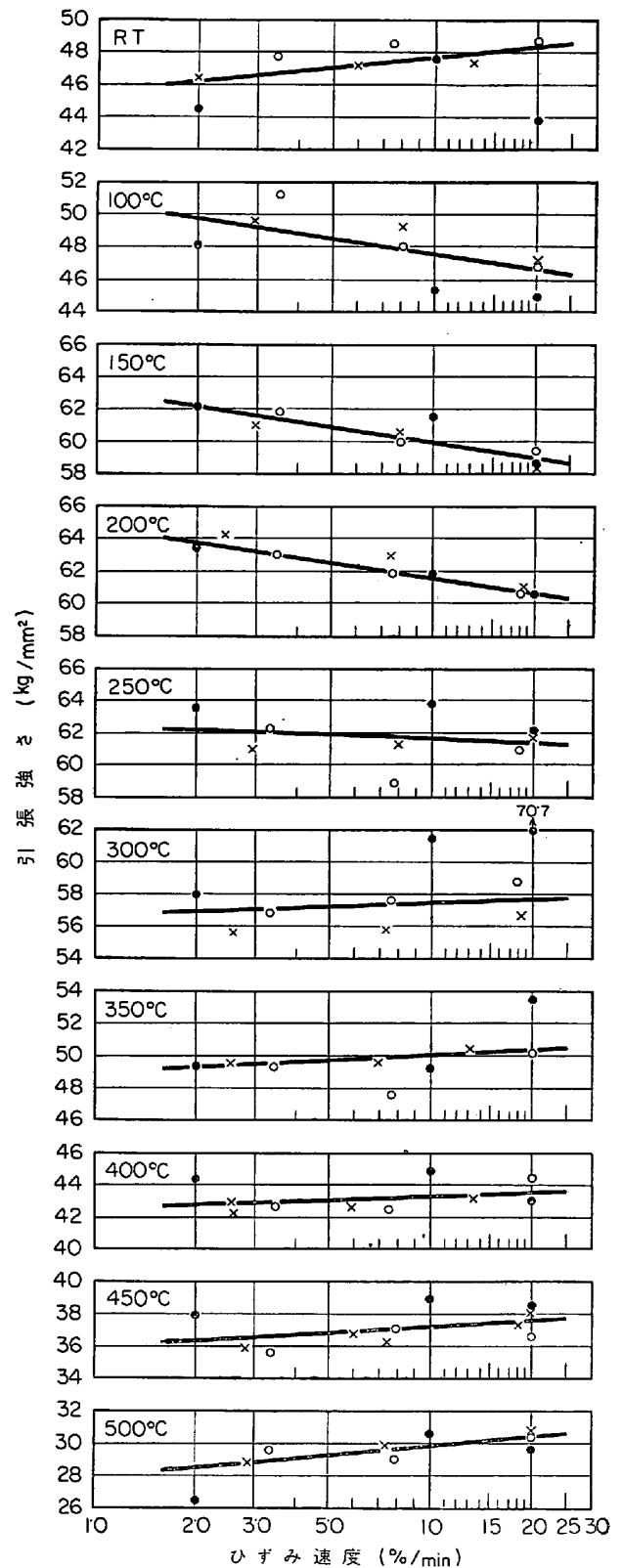


図 3-2 引張強さにおよぼすひずみ速度の影響
(S B42, 試験機関: ○ a, ● b, × c)

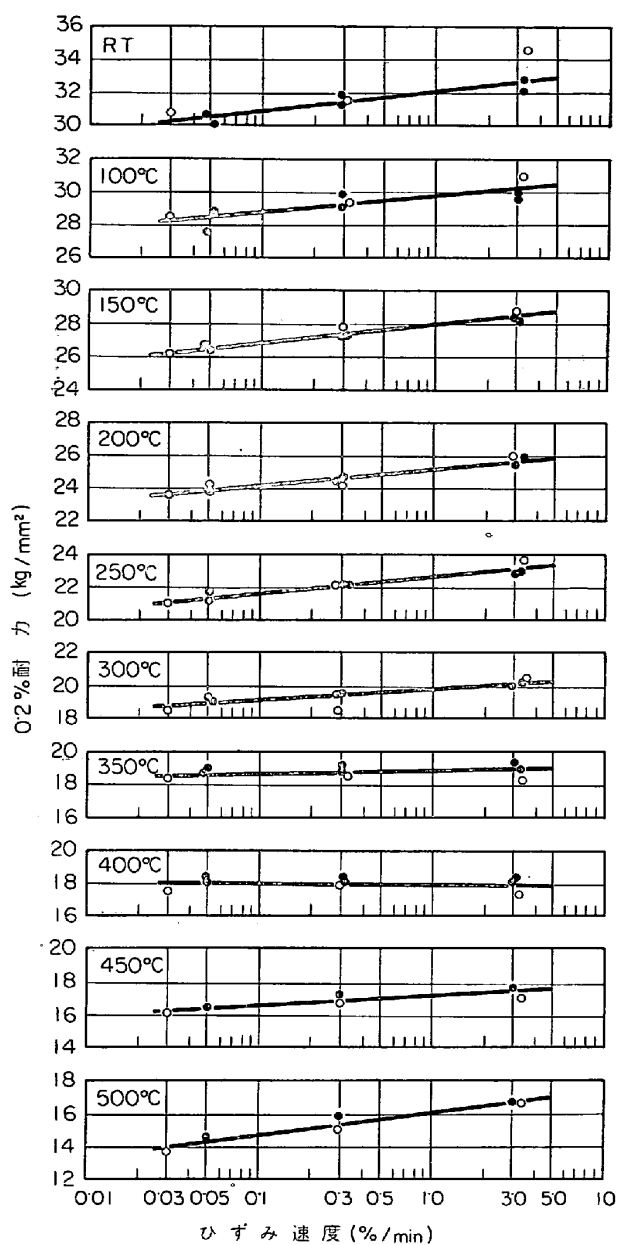


図 4-1 0.2% 耐力におよぼすひずみ速度の影響
(SM41C, 試験機関: ○d, ●e)

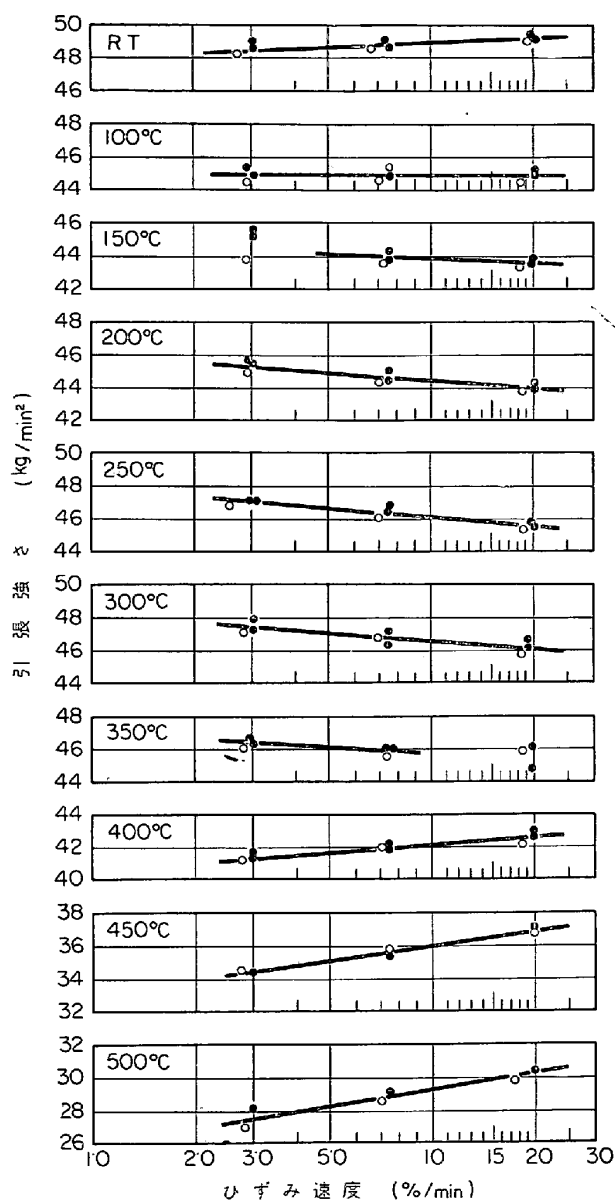


図 4-2 引張強さにおよぼすひずみ速度の影響
(SM41C, 試験機関: ○d, ●e)

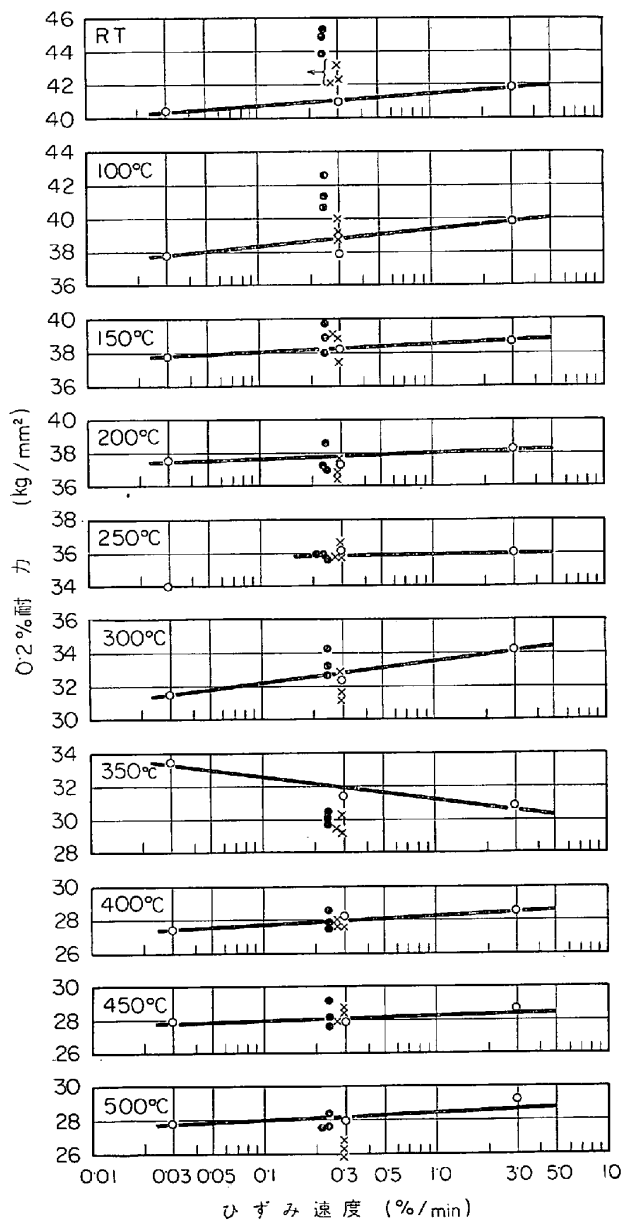


図 5-1 0.2% 耐力におよぼすひずみ速度の影響
($\frac{1}{2}$ Mo 鋼, 試験機関: ○ a, ● b, × c)
ただし, 試験機関 c のひずみ速度は 0.3%/min 以下

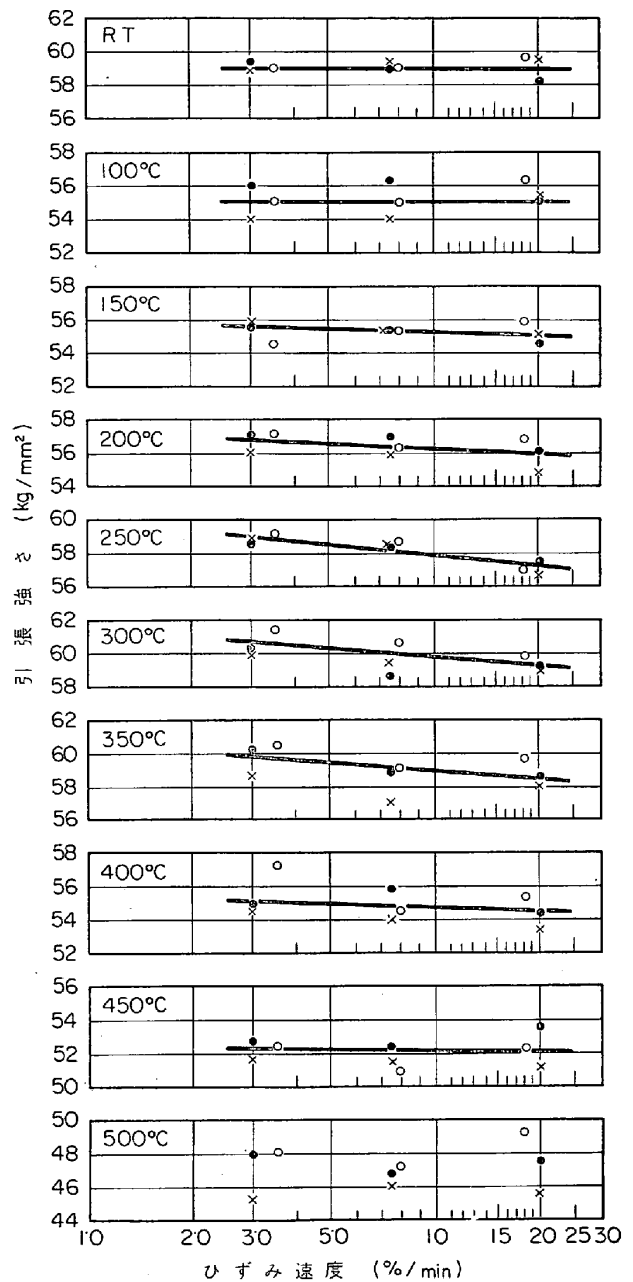


図 5-2 引張強さにおよぼすひずみ速度の影響
($\frac{1}{2}$ Mo 鋼, 試験機関: ○ a, ● b, × c)

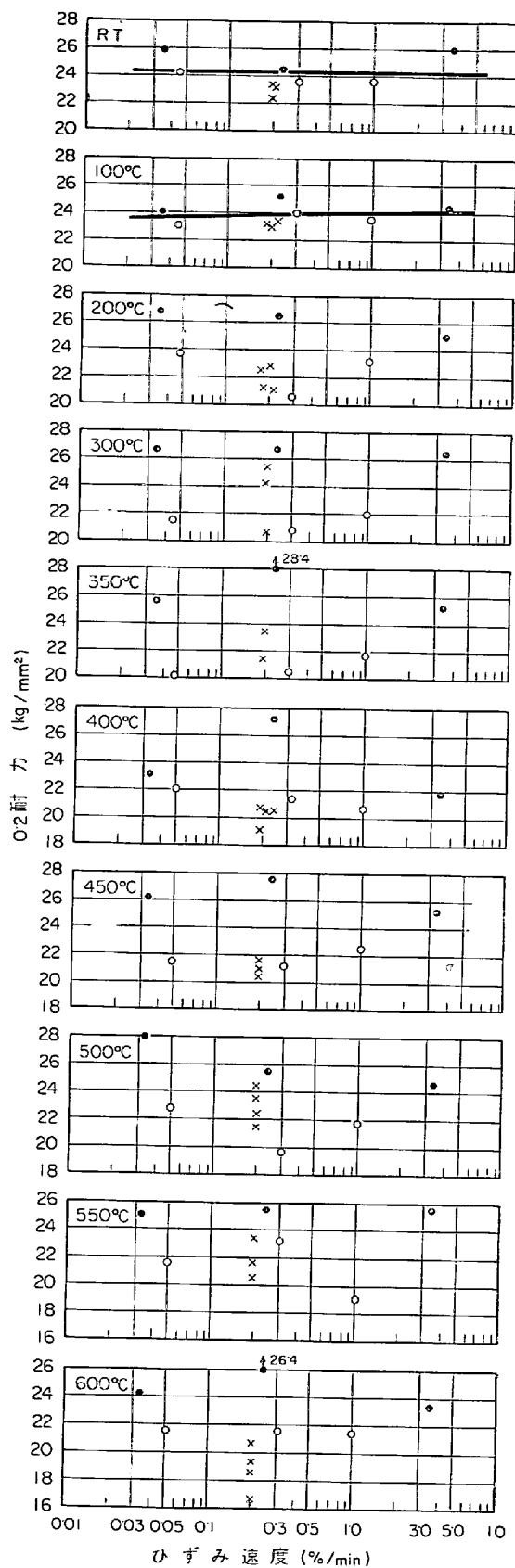


図 6-1 0.2% 耐力におよぼすひずみ速度の影響
(24Cr-1Mo 鋼, 試験機関: $\circ$ d, $\bullet$ e, $\times$ f) ただし試験機関 f のひずみ速度は
0.1~0.3%/min

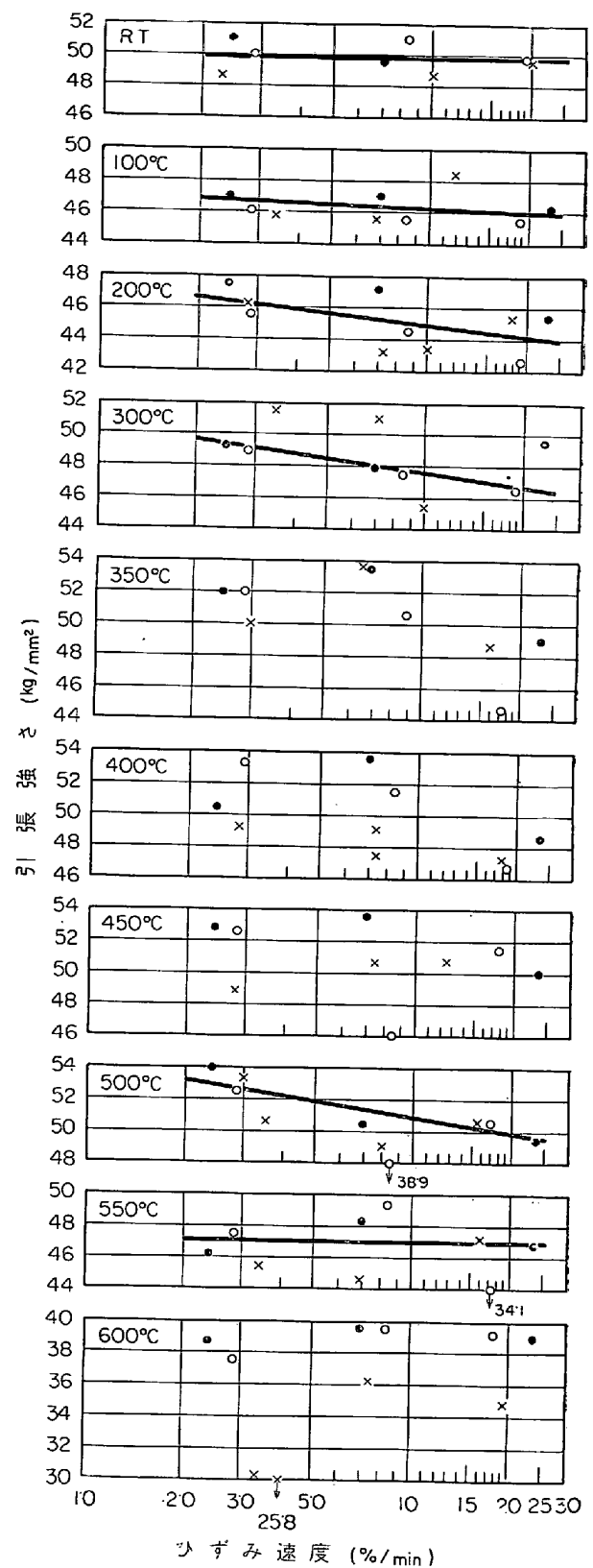


図 6-2 引張強さにおよぼすひずみ速度の影響
(24Cr-1Mo 鋼, 試験機関: $\circ$ d, $\bullet$ e, $\times$ f)

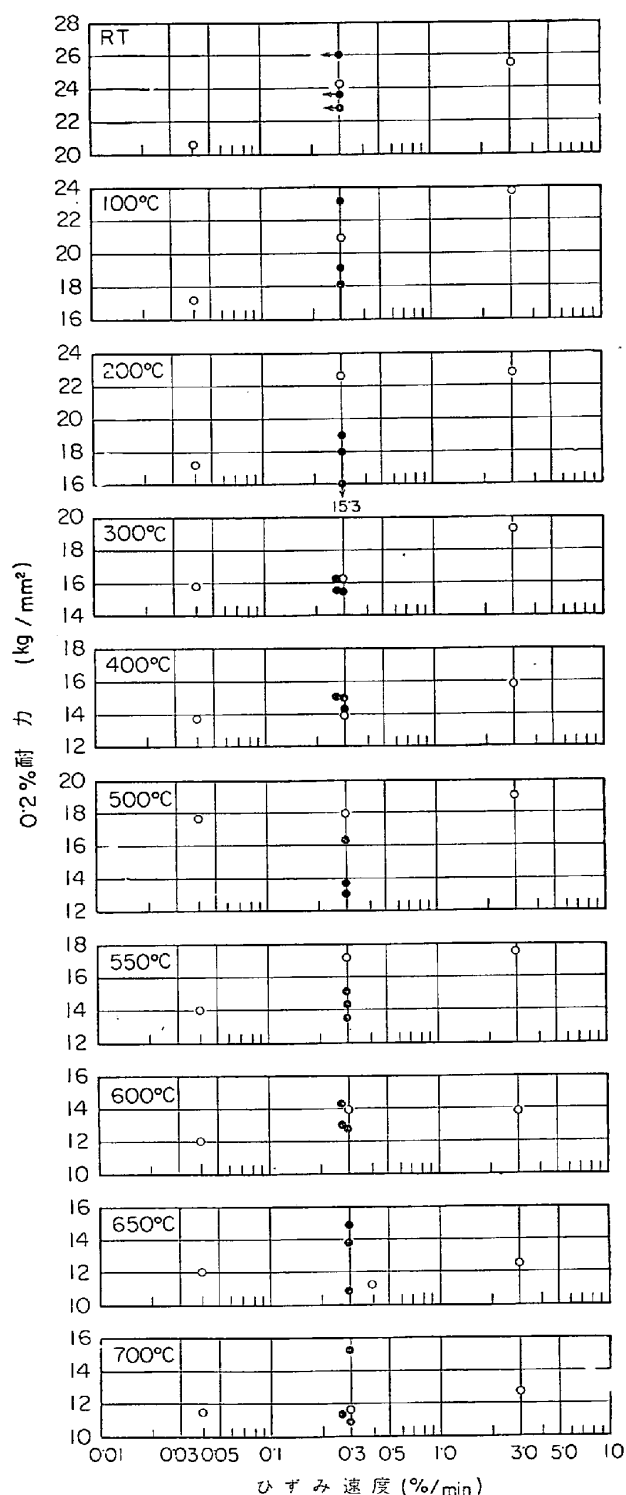


図 7-1 0.2% 耐力におよぼすひずみ速度の影響
(18-8Mo, 試験機関: ○ a, ● b)
ただし, 試験機関 b のひずみ速度は
0.3%/min 以下

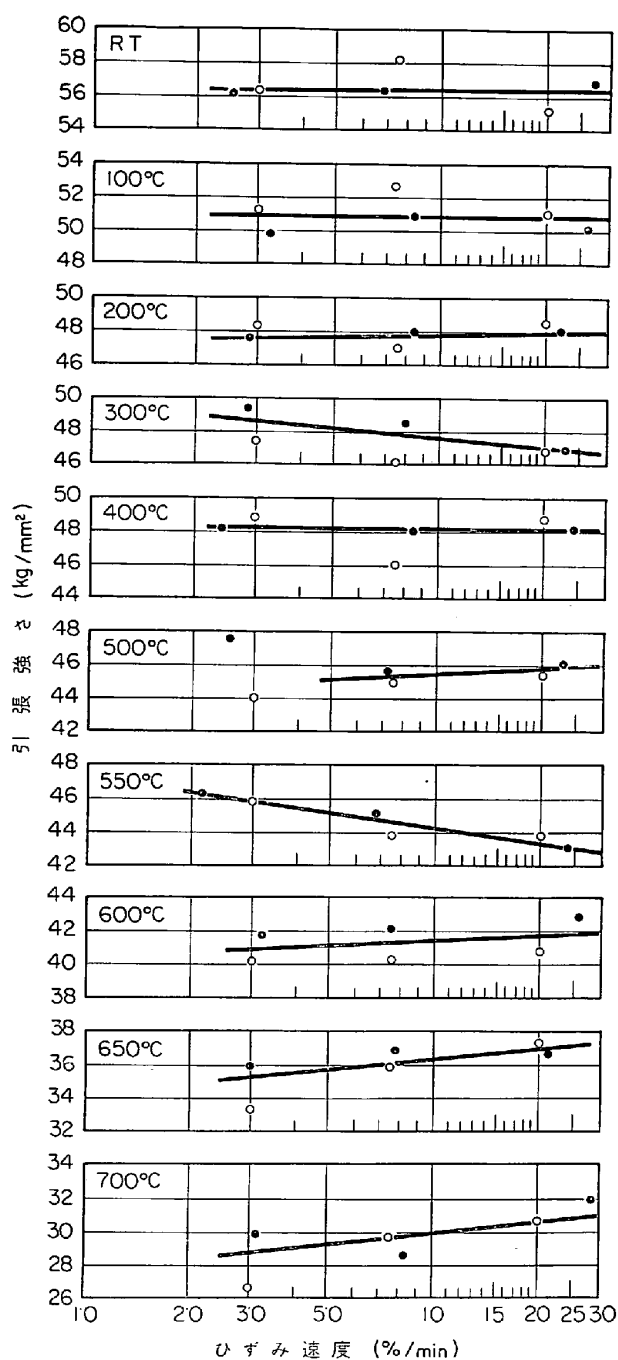


図 7-2 引張強さにおよぼすひずみ速度の影響
(18-8Mo, 試験機関: ○ a, ● b)

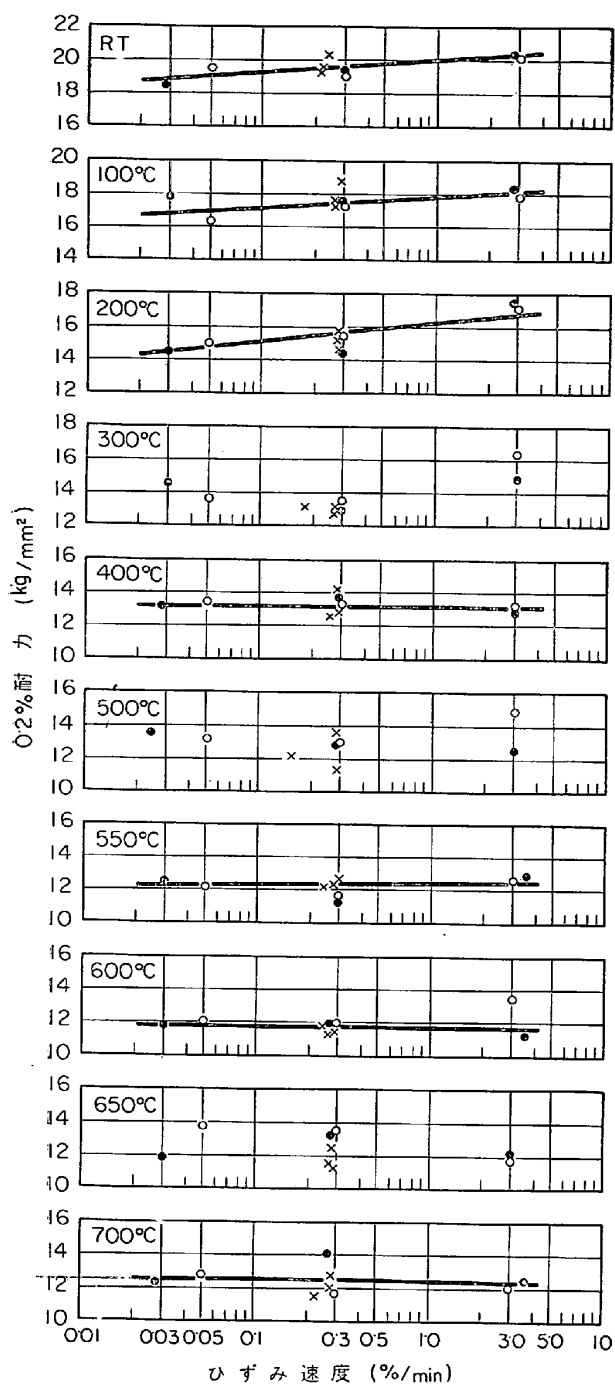


図 8-1 0.2%耐力におよぼすひずみ速度の影響
(18-8Ti, 試験機関: ○ c, ● d, × e)

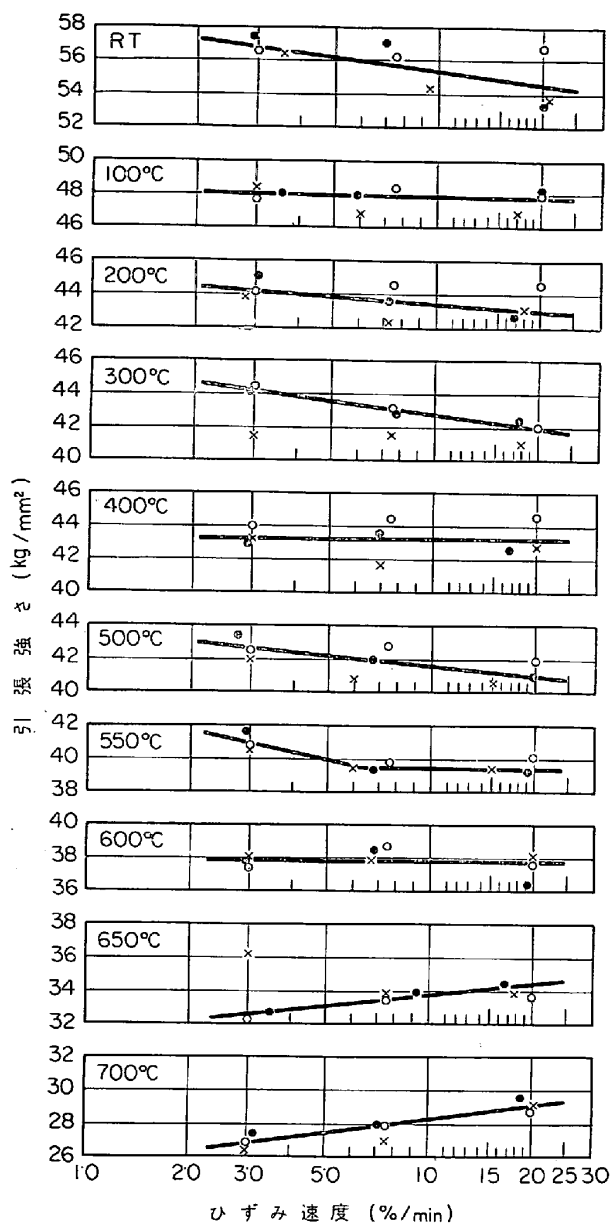


図 8-2 引張強さにおよぼすひずみ速度の影響
(18-8Ti, 試験機関: ○ c, ● d, × e)

表 1 機械的性質におよぼすひずみ速度の影響

(1) 炭素鋼

試験温度 (°C)	0.2% 耐力		引張強さ		伸 び		絞 り	
	S B 材	S M 材	S B	S M	S B	S M	S B	S M
R T	++	++	+	+	0	0	0	0
100	+	++	--	0	+	(0)	+	0
150	+	++	--	-	+	0	++	0
200	+	+	--	-	(0)	0	(0)	(+)
250	0	+	(0)	-	(0)	(0)	(0)	0
300	(0)	+	(+)	-	(+)	-	(0)	-
350	(+)	0	+	0	(0)	--	0	-
400	(+)	0	+	+	++	-	+	-
450	+	+	+	++	(+)	--	++	-
500	+	++	+	++	(++)	(--)	++	++

(2) 低合金鋼

試験温度 (°C)	0.2% 耐 力		引張強さ		伸 び		絞 り	
	$\frac{1}{2}$ Mo	$2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	$\frac{1}{2}$ Mo	$2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	$\frac{1}{2}$ Mo	$2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo	$\frac{1}{2}$ Mo	$2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo
R T	(+)	0	0	0	0	0	0	0
100	(+)	+	0	-	+	0	0	(+)
150	(+)		0		-		-	
200	(0)	(0)	-	-	0	0	(0)	+
250	(0)		--		0		0	
300	(+)	(0)	-	(--)	(-)	0	(0)	+
350	(-)	(0)	-	(-)	0	0	(0)	0
400	(+)	(-)	(-)	-	+	0	0	(0)
450	(+)	(0)	0	(0)	(+)	0	0	(-)
500	(+)	(-)	(0)	-	0	0	(0)	(0)
550		(0)		0		-		-
600		(0)		0		-		(0)

(3) ステンレス鋼

試験温度 (°C)	0.2% 耐 力		引張強さ		伸 び		絞 り	
	18-8Mo	18-8Ti	18-8Mo	18-8Ti	18-8Mo	18-8Ti	18-8Mo	18-8Ti
R T	(++)	+	0	(--)	--	--	0	0
100	(++)	+	0	0	(0)	-	-	-
200	(+)	++	0	-	0	0	0	-
300	(+)	(0)	-	--	(0)	-	0	+
400	(+)	0	0	0	-	0	(0)	(-)
500	(0)	(0)	(+)	-	(0)	-	(-)	(+)
550	(+)	0	--	(-)	-	(0)	(0)	+
600	(0)	0	+	0	(-)	0	-	0
650	(0)	(0)	++	+	-	(+)	+	++
700	(0)	0	++	++	(-)	++	(0)	(++)

(注) ++: ひずみ速度の増加とともに増加する場合 (ひずみ速度効果が正の場合)

-: ひずみ速度の増加とともに減少する場合 (ひずみ速度効果が負の場合)

0: ひずみ速度の影響が全くないかあるいはほとんどない場合 (ひずみ速度効果が零の場合)

(): ひずみ速度効果が明確でない場合, あるいはデータ数の不足やデータのバラツキのために効果が明確でない場合

++, --: ひずみ速度効果が特に大きな場合, すなわち, ひずみ速度を10倍にしたとき 0.2% 耐力については 1.0kg/mm^2 以上, 引張強さについては 2.0kg/mm^2 伸びおよび絞りについては5%以上の増加あるいは減少のある場合

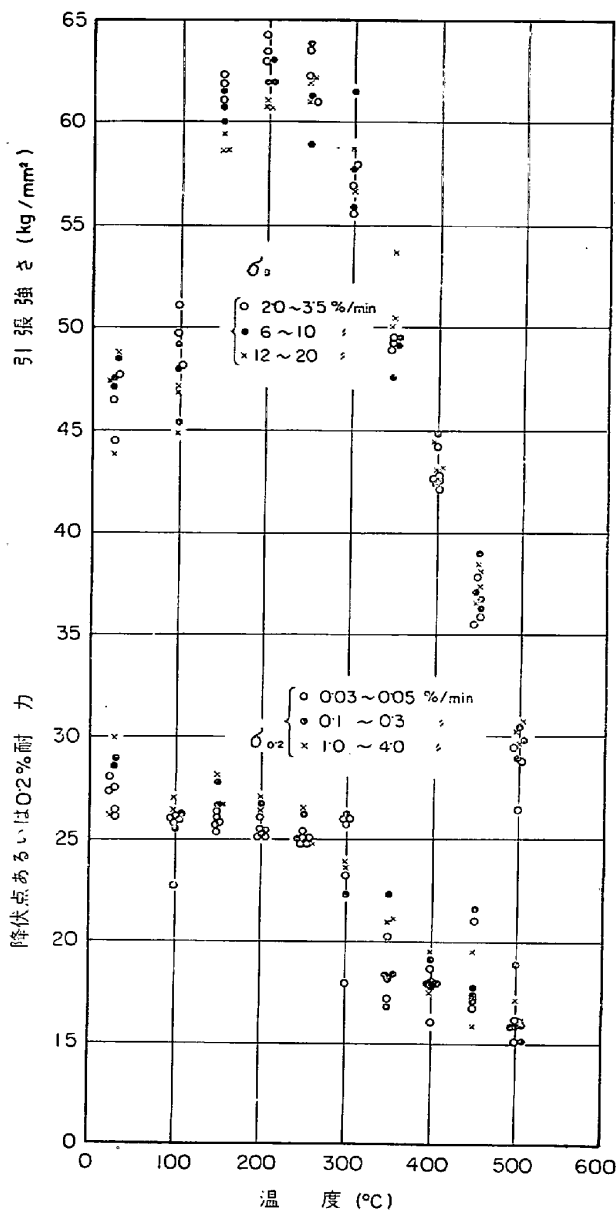


図9 下降伏点あるいは0.2%耐力および引張強さと温度の関係 (S B 42)

次は、引張強さについてみると、材料およびある温度領域で負のひずみ速度効果が認められる。炭素鋼やMo鋼では100°Cから350°Cの範囲でそれが認められるがこれは青熱ぜい性の温度範囲と対応しており、この温度範囲で引張強さの大きなS B材ではひずみ速度効果も大きい。このひずみ速度効果はその材料における動的ひずみ時効と密接な関係にあると思われる。炭素鋼ではほぼ400°C以上、ステンレス鋼では650°C以上のいわゆるクリープが顕著となる高温においては、引張強さに対して正のひずみ速度効果が認められるようになる。その程度は、ひずみ速度を10倍にすればほぼ2 kg/mm²以上の引張強さの増大がある。ただし、低合金鋼についてはそのような傾向が認められていない。

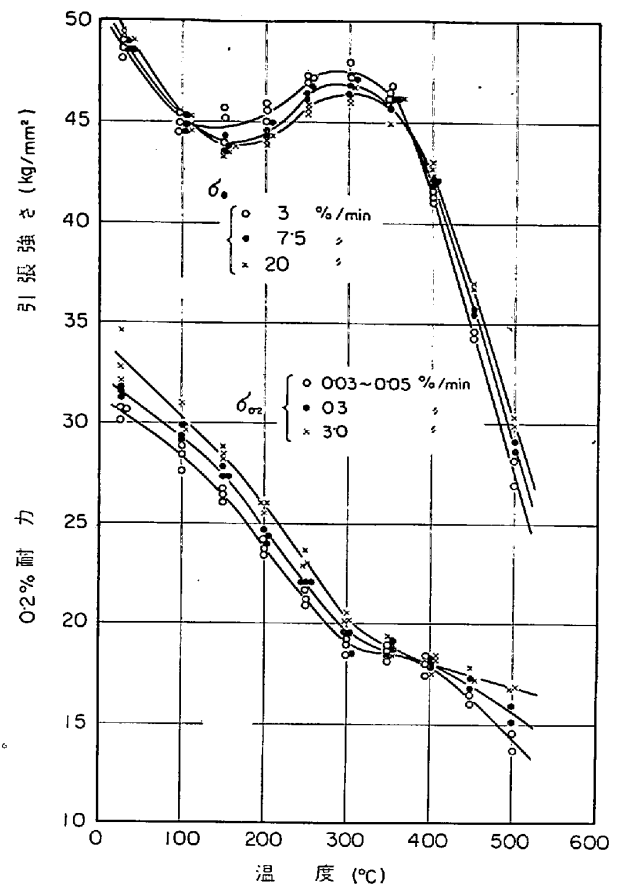


図10 0.2%耐力および引張強さと温度の関係 (S M 41 C)

図9～14に各鋼種に対する0.2%耐力および引張強さと温度の関係を示す。

3.2 伸びおよび絞りとひずみ速度の関係

伸びおよび絞りに対するひずみ速度の効果は降伏点あるいは耐力および引張強さに対するそれほど明確ではない。結果を一覧表にして示したものが表1である。

炭素鋼では、S B材については主として正の効果が認められるのに対して、S M材においては300°Cから450°Cの範囲で負の効果がある。これは引張強さに対するひずみ速度効果とあまり対応がなさそうに思われる。しかし、室温では影響がなく、500°C付近では正の効果のある点は共通した性質である。

低合金鋼については、伸びおよび絞りとともにあらゆる温度に対してひずみ速度効果がほとんどないことが特徴的である。

ステンレス鋼については全く不明確である。ただ、室温における伸びが負の効果を示す。

各鋼種に対する伸びおよび絞りとの温度の関係を示したものが図15～20である。伸びおよび絞りの低下する温度範囲と青熱ぜい性温度範囲とが対応しており、S B材のように、引張強さが増大している山の大きいものほど伸びおよび絞りの低下する程度が著しい。18-8 ステンレス鋼は他の鋼種と比較して伸びおよび絞りの温度によ

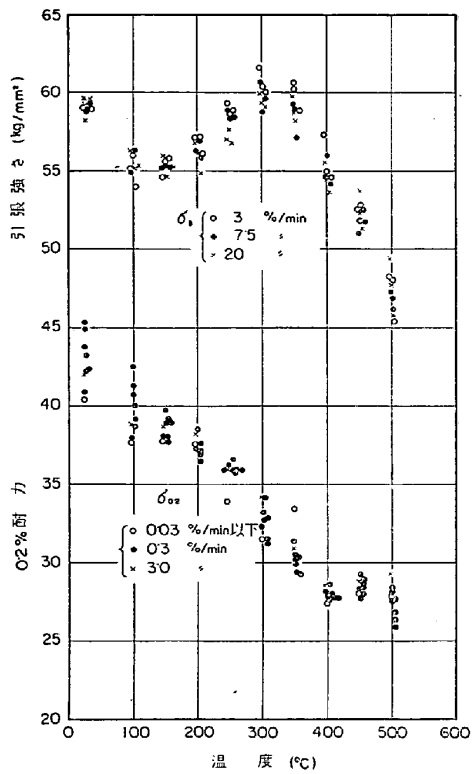


図11 0.2% 耐力および引張強さと温度の関係
($\frac{1}{2}$ Mo 鋼)

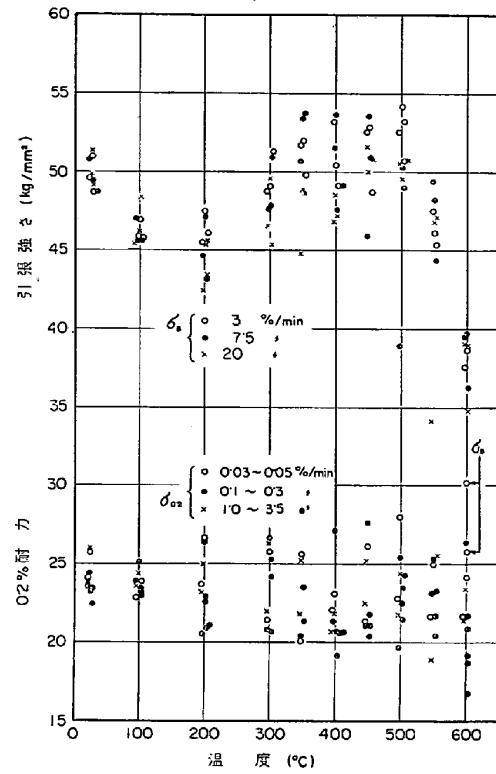


図12 0.2% 耐力および引張強さと温度の関係
($2\frac{1}{2}$ Cr-1Mo 鋼)

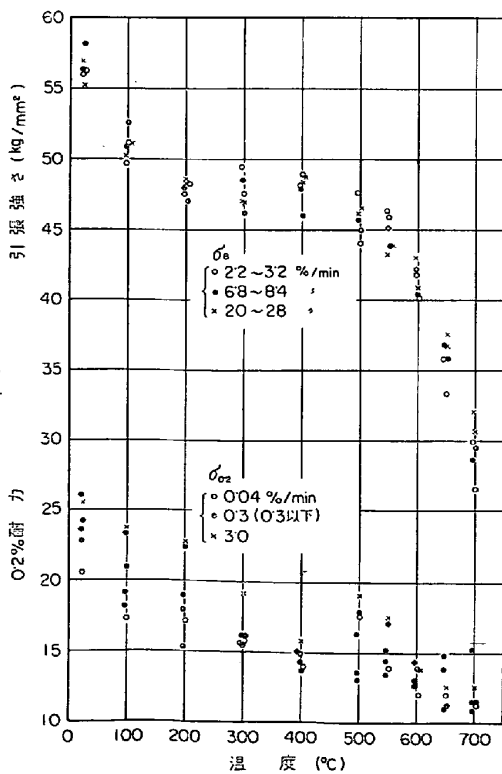


図13 0.2% 耐力および引張強さと温度の関係
(18-8Mo 鋼)

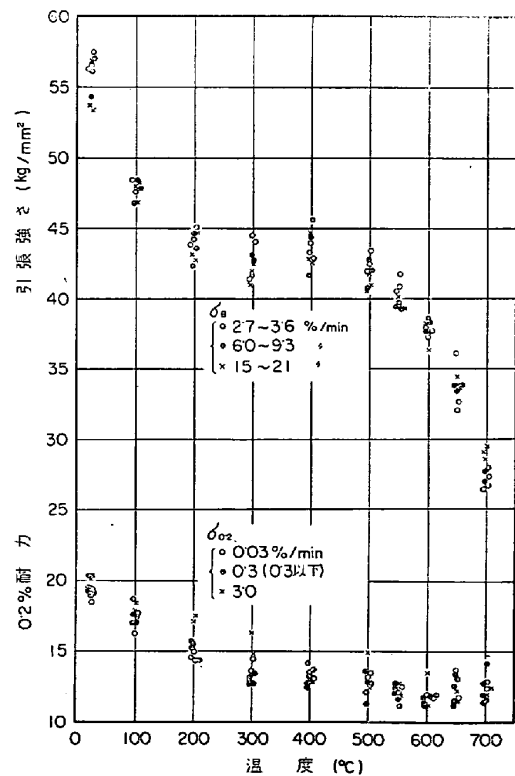


図14 0.2% 耐力および引張強さと温度の関係
(18-8Ti 鋼)

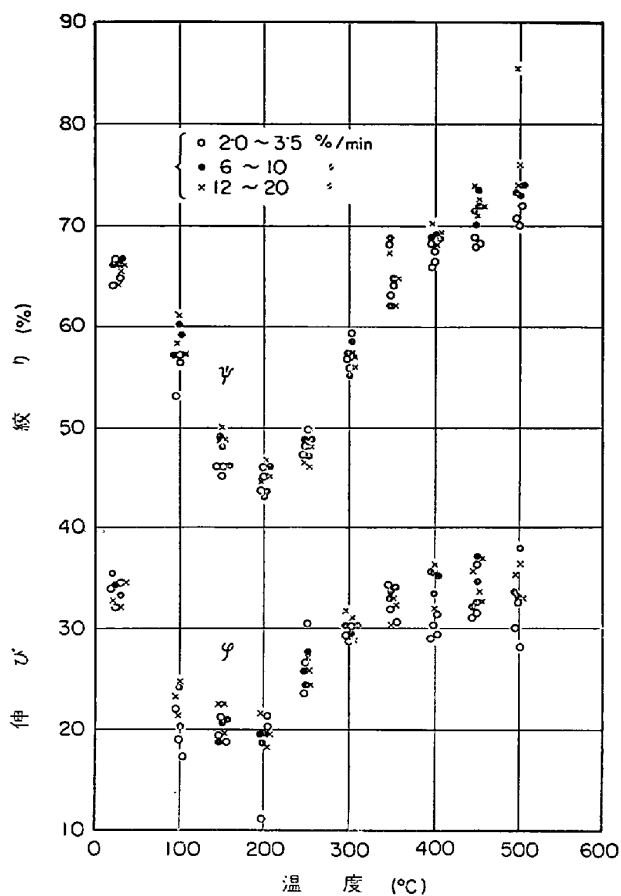


図15 伸びおよび絞りと温度の関係(S B 42)

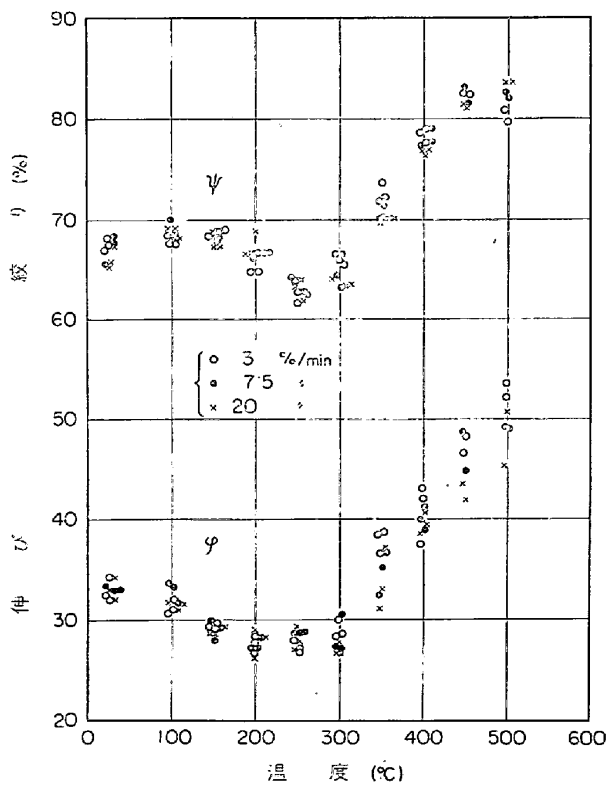


図16 伸びおよび絞りと温度の関係(SM41C)

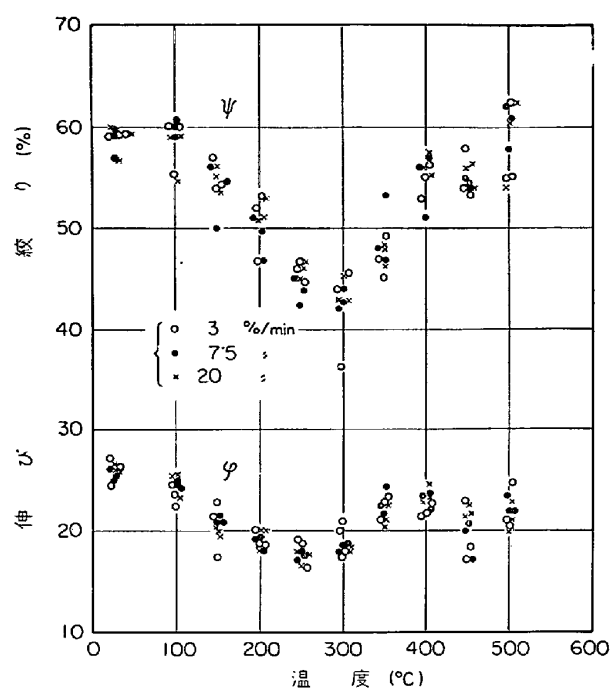


図17 伸びおよび絞りと温度の関係(1/2Mo 鋼)

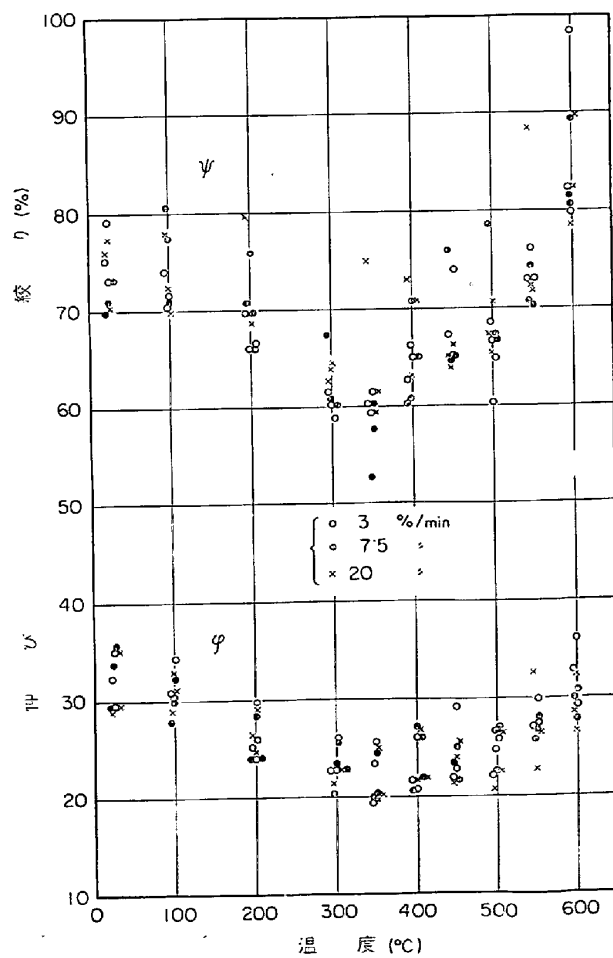


図18 伸びおよび絞りと温度の関係(2 1/4Cr-1Mo 鋼)

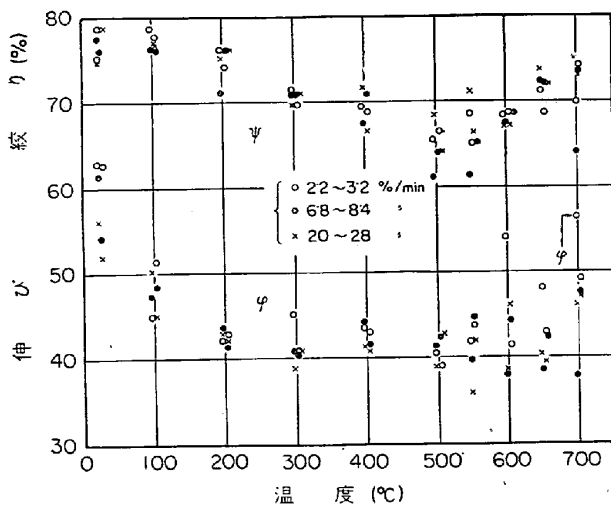


図19 伸びおよび絞りと温度の関係(18-8Mo 鋼)

る変化が小さい。また、高温になるほどデータのバラツキが大きいように思われる。

4. お わ り に

炭素鋼 (S B42, S M41C), 低合金鋼 $\frac{1}{2}$ Mo, $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo), ステンレス鋼 (18-8Mo, 18-8Ti) の計6鋼種についてそれぞれ10段階の試験温度, 3種類のひずみ速度の下で高温引張試験が実施された。試験実施期間や参加機関の数が限られている点もあつて, 鉄鋼全体に対する高温引張性質のひずみ速度の効果を明らかにするにはまだ不十分なものであつたが, おおよその傾向はつかめたように思われる。特に, 本共通試験の結果から結論される点で興味ある問題の一つは, 炭素鋼やステンレス鋼の室温近傍における降伏点あるいは0.2%耐力に対してひずみ速度の影響が大きいことである。したがつてこのことより, 高温引張試験に限らず, 通常の室温における材料試験においても, ひずみ速度の効果を無視する訳にはいかないことを注意すべきであろう。

最後に, この度, 本共通試験に参加された下記の関係機関ならびデータの取りまとめをされた幹事各位に対して謝意を表するとともに, 今後もこの方面の問題に関心を持たれる方々の広範囲のご協力を期待する次第である。

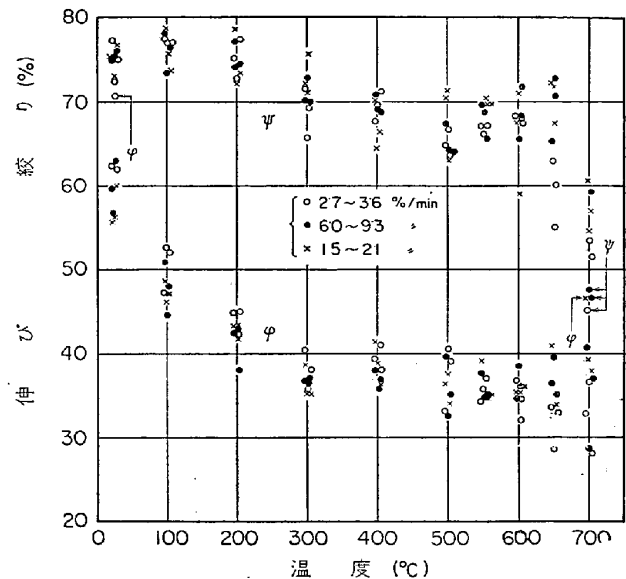


図20 伸びおよび絞りと温度の関係(18-8Ti 鋼)

本共通試験参加機関名 (順不同)

京都大学工学部機械工学第2学教室

日本鋼管(株)技術研究所

富士製鉄(株)中央研究所

八幡製鉄(株)東京研究所

川崎製鉄(株)技術研究所

三菱重工業(株)神戸研究所

東京芝浦電気(株)中央研究所

(株)日本製鋼所室蘭製作所研究所

住友金属工業(株)中央技術研究所

川崎重工業(株)技術研究所

(株)日立製作所日立研究所

山陽特殊製鋼(株)技術部

日本冶金工業(株)川崎製造所研究部

立命館大学理学部機械工学教室

(株)神戸製鋼所中央研究所

岡野バルブ製造(株)

データ取りまとめ幹事 (敬称略)

岡部 律男 (川崎製鉄)

太田 洲彦 (住友金属)

太田 定雄 (神戸製鋼)