

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]

高速炉燃料被覆管のクリープ試験 (第6次)

Creep Test of Fuel Cladding Tube for Fast Breeder Reactor
(6th Program)

昭和52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

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



高速炉燃料被覆管のクリープ試験（第6次）

実施責任者：三 浦 信（技術部検査開発課）
 報告者：大 森 拓 郎（ ” ）
 神 谷 和 明（ ” ）
 小 幡 真 一（ ” ）
 椎 名 定（ ” ）
 広 瀬 郁 朗（ ” ）
 小 原 勝 昭（計画管理部）

実施期間：1976年2月26日～1977年8月20日

要 旨： 49年度に試作された高速原型炉炉心燃料被覆管（もんじゅ試作品）と常陽照射炉心燃料被覆管（常陽マークⅡ試作品）について高温引張試験，高温内圧バースト試験，そして内圧クリープ破断試験を行なった。49年度の試作材は結晶粒度とホウ素含量がクリープ強度に及ぼす影響を検討する目的からA材（K社製）は溶体化処理条件を変えて結晶粒の大きさを換え，一方B材（S社製）はホウ素の添加量を変えて製造したものである。試験で得られた結果を次に示す。

- (1) もんじゅ試作品，常陽マークⅡ試作品，共に高温引張強度はA材の方がB材を上回っている。しかし伸びは同程度である。またA材は650℃以下の温度で強度に差があり，溶体化処理温度の低いA3材がA1材よりも高い値を示す。
- (2) もんじゅ試作品の内圧破裂強度はA材の方がB材よりも高い。A材ではA3材の方がA1材よりも700℃以下の温度で強度が高くなっている。
常陽マークⅡ試作品はA材とB材の破裂強度に大きな差はない。
- (3) もんじゅ試作品A，B材の650℃と800℃におけるクリープ破断強度はほぼ同程度であるが800℃の長時間側ではA材の強度が高くなると思われる。A材では結晶粒の大きいA1材がA3材よりも若干クリープ破断強度が高い様である。第5次クリープ試験の結果と比較するとA，B材共，第5次クリープ材の強度を上回っている。

一方常陽マークⅡ試作品のA材は650℃の長時間側で第5次クリープ材の強度を上回るがB材は650℃，800℃の両温度共下回っている。

目 次

1	ま え が き	1
2	供 試 材	1
3	試 験 方 法	1
3-1	高温引張試験	1
3-2	内圧バースト試験	2
3-3	内圧クリーブ破断試験	2
3-4	内圧クリーブ破断試験後の試験片の検査	3
4	試 験 結 果	3
4-1	高温引張試験結果	3
4-2	内圧バースト試験結果	3
4-3	内圧クリーブ破断試験結果	4
4-4	内圧クリーブ破断試験後の試験片の検査結果	5
5	あ と が き	5

表 . 図 . 写真リスト

表 1.	高速炉燃料被覆管のクリーブ試験 (第6次) 試験素材 (1) もんじゅ試作品	.....	6
表 2.	#	(2) 常陽マークⅡ試作品	..... 6
表 3.	もんじゅ試作品・クリーブ試験素材の諸性質 (ミルシート値)		..... 7
表 4.	常陽マークⅡ試作品・クリーブ試験素材の諸性質 (ミルシート値)		..... 8
表 5.	内圧クリーブ破断試験供試材の試験前硬さ		..... 16
表 6.	内圧クリーブ破断試験計画		..... 19
表 7.	高温引張試験結果	もんじゅ試作品 A 1 材	..... 20
表 8.	#	もんじゅ試作品 A 3 材	..... 21
表 9.	#	もんじゅ試作品 B 1 材	..... 22
表 10.	#	もんじゅ試作品 B 3 材	..... 23
表 11.	#	常陽マークⅡ試作品 A 2 材	..... 24
表 12.	#	常陽マークⅡ試作品 A 3 材	..... 25
表 13.	#	常陽マークⅡ試作品 B 1 材	..... 26
表 14.	高温内圧バースト試験結果	もんじゅ試作品 A 1 材	..... 41
表 15.	#	もんじゅ試作品 A 3 材	..... 42
表 16.	#	もんじゅ試作品 B 1 材	..... 43
表 17.	#	もんじゅ試作品 B 3 材	..... 44
表 18.	#	常陽マークⅡ試作品 A 2 材	..... 45
表 19.	#	常陽マークⅡ試作品 A 3 材	..... 46
表 20.	#	常陽マークⅡ試作品 B 1 材	..... 47
表 21.	内圧クリーブ破断試験結果		..... 34
表 22.	内圧クリーブ破断試験後の硬さ測定結果		..... 67
図 1.	内圧クリーブ破断試験片の形状		..... 17
図 2.	内圧クリーブ破断試験装置のフローシート		..... 18
図 3.	高温引張性質	もんじゅ試作品 A 1 材	..... 27
図 4.	#	もんじゅ試作品 A 3 材	..... 28
図 5.	#	もんじゅ試作品 B 1 材	..... 29
図 6.	#	もんじゅ試作品 B 3 材	..... 30
図 7.	#	常陽マークⅡ試作品 A 2 材	..... 31
図 8.	#	常陽マークⅡ試作品 A 3 材	..... 32
図 9.	#	常陽マークⅡ試作品 B 1 材	..... 33

図 1 0.	内圧破裂強度	もんじゅ試作品	.....	4 8
図 1 1.	"	常陽マークⅡ試作品	.....	4 9
図 1 2.	内圧クリープ破断試験結果	もんじゅ試作品	.....	3 5
図 1 3.	"	常陽マークⅡ試作品	.....	3 6
図 1 4.	平均径の式によるフープ応力と破断時間の関係	もんじゅ試作品 A 材	.....	3 7
図 1 5.	"	もんじゅ試作品 B 材	.....	3 8
図 1 6.	"	常陽マークⅡ試作品 A 材	.....	3 9
図 1 7.	"	常陽マークⅡ試作品 B 材	.....	4 0
図 1 8.	内圧クリープ破断後の外径伸び,	もんじゅ試作品	.....	5 4
図 1 9.	"	"	.....	5 5
図 2 0.	"	"	.....	5 6
図 2 1.	"	"	.....	5 7
図 2 2.	"	"	.....	5 8
図 2 3.	"	"	.....	5 9
図 2 4.	"	"	.....	6 0
図 2 5.	"	"	.....	6 1
図 2 6.	"	"	.....	6 2
図 2 7.	"	常陽マークⅡ試作品	.....	6 3
図 2 8.	"	"	.....	6 4
図 2 9.	"	"	.....	6 5
図 3 0.	"	"	.....	6 6
写真 1.	供試材の試験前の結晶粒度と金属組織	もんじゅ試作品 A 1 材	.....	9
写真 2.	"	もんじゅ試作品 A 3 材	.....	1 0
写真 3.	"	もんじゅ試作品 B 1 材	.....	1 1
写真 4.	"	もんじゅ試作品 B 3 材	.....	1 2
写真 5.	"	常陽マークⅡ試作品 A 2 材	.....	1 3
写真 6.	"	常陽マークⅡ試作品 A 3 材	.....	1 4
写真 7.	"	常陽マークⅡ試作品 B 1 材	.....	1 5
写真 8.	内圧クリープ破断試験片の外観,	もんじゅ試作品 A 1 材	.....	5 0
写真 9.	"	もんじゅ試作品 A 3 材	.....	5 0
写真 1 0.	"	もんじゅ試作品 B 1 材	.....	5 1
写真 1 1.	"	もんじゅ試作品 B 3 材	.....	5 1
写真 1 2.	"	"	.....	5 2

写真 1 3.	内圧クリーブ破断試験片の外観，常陽マークⅡ試作品 B 1 材	.....	5 3
写真 1 4.	" "	.....	5 3
写真 1 5.	内圧クリーブ破断試験後の組織，もんじゅ試作品 A 1 材	.....	6 8
写真 1 6.	" "	.....	6 9
写真 1 7.	" もんじゅ試作品 A 3 材	.....	7 0
写真 1 8.	" "	.....	7 1
写真 1 9.	" もんじゅ試作品 B 1 材	.....	7 2
写真 2 0.	" もんじゅ試作品 B 3 材	.....	7 3
写真 2 1.	" "	.....	7 4
写真 2 2.	" 常陽マークⅡ試作品 A 3 材	.....	7 5
写真 2 3.	" 常陽マークⅡ試作品 B 1 材	.....	7 6
写真 2 4.	" "	.....	7 7

1. ま え が き

国内のK. S 2社で製造された高速原型炉炉心燃料被覆管(もんじゅ試作品)と高速実験炉照射炉心燃料被覆管(常陽マークⅡ試作品)の49年度試作材について高温引張試験, 高温内圧バースト試験, そして主として650℃と800℃の内圧クリーブ破断試験を行ない, その高温における機械的強度特性を検討した。内圧クリーブ破断試験片については試験後の金相試験も行なった。

本試験は第6次クリーブ試験のうち動燃担当分について実施したものであり総合的な評価検討は「第6次クリーブ試験報告書」(大洗工学センターMMFにてとりまとめ)でなされるからここでは単に試験結果の報告にとどめた。

2. 供 試 材

供試材の概要を表1, 表2に示す。被覆管の種類はもんじゅ試作品(SUS316, 公称寸法: 外径6.5mm×肉厚0.45mm)がA1, A3, B1, B3の4種類, 常陽マークⅡ試作品(SUS316, 公称寸法: 外径5.5mm×肉厚0.35mm)はA2, A3, B1の3種類である。ここでA材はK社製, B材はS社製である。

49年度の試作材では結晶粒度と微量元素のホウ素含量がクリーブ強度に及ぼす影響を検討するためA材は溶体化処理条件を変えて結晶粒の大きさを変え, 一方B材はホウ素の添加量を変えて, それぞれ製造されている。

ミルシートに報告された供試材の緒性質を表3と表4に示す。また写真1~7に供試材の金属組織と結晶粒度を, 表5に硬さ試験の結果を示す。

7種類の被覆管の硬度は溶体化処理条件もそれぞれ異なるので多少は違いが大きな値の差はみられない。しかし常陽マークⅡ試作品A3材の結晶粒度はASTM No. 10.5~11.0とミルシート値よりも1.5~2.0ほど細粒となっている。

3. 試 験 方 法

3-1 高温引張試験

供試材のもんじゅ試作品4種類と常陽マークⅡ試作品3種類の被覆管から調整した長さ150mmの管を試験片として高温引張試験を行なった。試験にはインストロン型(島津オートグラフIS-5000, 荷重容量: 5トン)の引張試験機を使用し, 繰返し2回の試験を行なった。試験条件を次に示す。

- (1) 試験温度 ; 常温, 400℃, 500℃, 600℃, 650℃, 700℃, 750℃, 800℃
- (2) 引張速度 ; 0.2%耐力まで50mmのGLに対して0.3%/min以下, 耐力以降は7.5%/min±2.5%/minに相当するクロスヘッド速度で行なった。
なお歪の変化はD・T・Fにより測定した。

3-2 内圧バースト試験

もんじゅ試作品4種類と常陽マークII試作品3種類について常温から800℃までの内圧バースト試験を行なった。

常温試験には水圧バースト試験装置(日本高圧製)を, 400~800℃の試験にはアルゴン加圧の高温バースト試験装置(新坂下製作所製)を使用した。

各供試材から調整した長さ150mmの管の一端に圧力封入端栓をTIG溶接して試験片とした。試験に際しては試験片の他の一端をスエージロックを介して装置に接続し加圧した。試験圧力は電気抵抗歪ゲージ利用の圧力変換器と自動平衡記録計で測定記録した。試験条件を次に示す。

- (1) 試験温度 ; 常温, 400℃, 500℃, 600℃, 650℃, 700℃, 750℃, 800℃
- (2) 加圧速度 ; 160~200 Kg/cm²・min⁻¹ (目標175 Kg/cm²・min⁻¹)

なお試験繰返し数は各条件で2回とした。

3-3 内圧クリープ破断試験

各供試材から200mmの長さに調整した管の一端に圧力封入端栓を他の一端には導圧管を介して加圧端栓をTIG溶接して試験片とした。その形状を図1に示す。

試験に際しては溶接部からの破断をさけるためにビード部及び熱影響部に針金(SUS304, 0.5φ)を巻いて拘束した。

図2に試験装置のフローシートを示す。装置は蓄圧部, 圧力制御部, 加圧部から成り, 高圧コンプレッサーで昇圧されたアルゴンガスは圧力制御部を経て電気炉内にセットされた試験片に加圧される。電気炉は堅型管状の抵抗線加熱炉でチャンパー内には2本の試験片と1本のダミーをセットすることが出来る。

試験は大気中で行ない, 試験温度はダミーに取付けた3本の熱電対により間接测温し記録される。

試験片への加圧は試験温度に達してから12~15時間後に行なった。加圧時の圧力測定は圧力変換器と自動平衡記録計で行ない, 試験中の圧力は下限接点付ブルドン管圧力計で測定, 監視した。内圧クリープ破断試験の試験計画を表6に示す。

3-4 内圧クリープ破断試験後の試験片の検査

内圧クリープ破断試験後の試験片について外観写真の撮影と管長手方向のふくれ分布を測定した。さらに各供試材の試験温度毎に長時間で破断したものについて組織観察と硬さ測定を行なった。

試験片長手方向のふくれ分布は管の外径を10mmの間隔で45度毎に4方向について測定し、その平均値と試験前の外径平均値から次式により外径伸びとして求めた。そして分布の最大値をその試験片の最大ふくれ値とした。

$$\frac{D - D_0}{D_0} \times 100 (\%)$$

D_0 ; 試験前の外径 (平均値)
 D ; 試験後の外径 (平均値)

組織観察は試験片破断部の横断面と破断部裏側の縦断面、および横断面について行なった。一方硬さの測定は組織を観た破断部裏側の縦断面と横断面についてマイクロビッカース硬度計 (荷重500g) でそれぞれ5点ずつ測定し、その平均値を求めた。

4. 試験結果

4-1 高温引張試験結果

高温引張試験の結果を表7～表13に示す。また温度と引張性質の関係を図3～図9に示す。

もんじゅ試作品、A、B材の高温引張性質を比較すると、常温から800℃までの引張強さと耐力の値はA材の方がB材よりも高い。伸びは600℃以上でそれぞれ異なった増加傾向を示すが値に有意差はみられない。

A材の引張強さは各温度で、また耐力はとくに500℃で溶体化処理温度の低いA3材がA1材を僅かに上回る。伸びはほとんど同じ値を示す。B材は600℃以下でB3材の耐力がB1材のそれを僅かに下回るだけで引張性質はほとんど変らない。一方常陽マークⅡ試作品は溶体化処理温度の低いA3材の方が600℃以下の引張強さと耐力でA2材の値を上回るが伸びはA2材の方が700℃と800℃で大きくなっている。B1材は700℃での伸びが小さい以外はA2材と同じ様な引張性質を示す。

4-2 内圧バースト試験結果

内圧バースト試験の結果を表14～表20に示す。また温度と破裂圧の関係を図10、図11に示す。

もんじゅ試作品の破裂強度はA材の方がB材よりも高い。A材の内ではA3材の方がA1材

よりも常温から750℃の温度範囲で高い破裂強度を示す。しかしA3材は700℃以上で強度の低下が大きく800℃ではA1材の値を下まわる。これは溶体化処理温度の低いA3材の方がより再結晶の影響をうけるためと考えられる。

B材では各温度でホウ素量の多いB3材の方がB1材よりも僅かではあるが一様に破裂強度が高くなっている。

一方常陽マークⅡ試作品はA材とB材で破裂強度の差はあまりないが600℃以上でB材の強度はA材を下回る。

溶体化処理温度が低いA3材はA2材よりも700℃以上で破裂強度の低下が大きくもんじゅ試作品と同様の傾向を示す。

4-3 内圧クリープ破断試験結果

内圧クリープ破断試験の結果を表21に示す。

表中()内は試験計画にはなく追加試験として実施したものである。機関分担試験なので短時間から長時間試験まで一連した圧力水準がとれないために、もんじゅ試作品のB3材以外は破断圧力の設定が不十分でほとんどの試験は目標とした破断時間からはずれた結果となっている。

図12, 図13に破断圧力と破断時間の関係を示す。もんじゅ試作品, A材(A1, A3)とB材(B1, B3)の650℃と800℃の両試験温度におけるクリープ破断強度はほぼ同程度であるが, 800℃の長時間側でA材の強度が高くなると思われる。

A材についてみると結晶粒の大きいA1材(平均粒度ASTM μ 8.0)の方がA3材(平均粒度ASTM μ 9.0)よりも650℃, 800℃のクリープ強度が若干高い様である。

常陽マークⅡ試作品はA材の試験点が少ないのでA, B材のクリープ強度を比較することは出来ない。

破断圧力を平均径の式を用いて換算したフープ応力と破断時間の関係を第5次クリープ試験(48年度試作材)の結果と比較して図14~図17に示す。もんじゅ試作品A, B材の650℃と800℃におけるクリープ破断強度は共に48年度試作品を上回っており, とくに結晶粒を大きくしたA材の強度が高くなっている。

一方常陽マークⅡ試作品, A材のクリープ破断強度は650℃の長時間側で48年度試作品よりも高くなると思われる。B材は650℃, 800℃とも48年度試作品の強度を下回っているが, これはB1材の結晶粒度(ASTM μ 7.5~8.0)が48年度試作品(ASTM μ 7.0~7.5)よりも細粒なためと考えられる。

4-4 内圧クリーブ破断試験後の試験片の検査

内圧クリーブ破断後の試験片の外観を写真8～写真14に示す。

各試験片の破断状況は、もんじゅ、常陽マークⅡ両試作管とも650℃で試験したもののほとんどは開口形破断であり、700℃、800℃で試験したものはピンホール、またはクラック状破断である。

試験片長手方向の外径伸びの分布を図18～図30に示す。

管のふくれの傾向は650℃の試験片がその全長にわたりほぼ均一にふくらんでいるのに対して800℃の試験片は破断部でのふくれが局部的に大きくなっている。

650℃、700℃および800℃の各温度で破断した試験片の組織を写真15～写真24に示す。また同じ試験片の横断面と縦断面について行なった硬さ測定の結果を表22に示す。

800℃の試験温度ではもんじゅ、常陽マークⅡ試作管とも炭化物と σ 相の析出が認められる。 σ 相の析出は長時間ほど多くなっているが、A材とB材の析出状態の違いは明らかでない。一方650℃、約1100時間（もんじゅA1材）では析出していない炭化物、 σ 相も約2600時間（もんじゅB3材）でわずかに認められる様になることから650℃における炭化物や σ 相の析出はおよそ2000時間前後で起るものと思われる。

クリーブ破断試験後の硬さは試験前と比較すると650℃よりも800℃の方が、また長時間試験のものほど値の低下は大きくなっている。

しかし常陽マークⅡA3材は650℃で7426時間と長時間試験の割には硬さ値がHv. 287→262へとあまり低下していない。

5. あとがき

高速原型炉炉心燃料被覆管と高速実験炉照射炉心燃料被覆管の49年度試作材について高温引張試験、高温内圧バースト試験、および内圧クリーブ破断試験を行ない、高温における機械的強度特性を検討した。

49年度試作の原型炉炉心燃料被覆管（もんじゅ試作品）のA材とB材の650℃と800℃における内圧クリーブ破断強度はほぼ同程度であり、共に48年度試作材の強度を上回っている。特に結晶粒を粗くしたA材の強度上昇は大きく、結晶粒度がクリーブ強度に大きく影響することを示している。

なお本試験を実施するにあたり被覆管の切断加工、端栓溶接作業に多くの協力を頂いた照沼宏明、鈴木善四郎、坪茂、吉村光彦の各氏をはじめとする関係者に感謝致します。

表 1

高速炉燃料被覆管のクリープ試験 (第 6 次) 試験素材

(1) もんじゅ試作品 (6.5 OD × 5.6 ID × 0.45 T × 3000 L)

	A1	A3	B1	B3
製造元	神戸製鋼		住友金属	
契約番号 (契約日)	49-1-A-66 (S49.11.25)		49-1-A-66 (S49.11.25)	
入荷日	S50.9.30	S50.9.30	S50.6.10	S50.6.10
ミルシート番号	S-75-4	S-75-4	MS-RD-0007	MS-RD-0007
管番号	K4001 ~ K4057 (56本)	K4066 ~ K4500 (431本)	S5001 ~ S5089 (89本)	S5184 ~ S5288 (105本)
供試本数	5	5	1	5
備考	Grain Size 大 V. D. M 1120℃×3minST 20%CW	Grain Size 中 V. D. M 1085℃×3minST 20%CW	Low B V. D. M 1020℃×2minST	High B V. D. M 1020℃×1.5minST

表 2

(2) 常陽マークⅡ試作品 (5.5 OD × 4.8 ID × 0.35 T × 1500 L)

	A2	A3	B1
製造元	神戸製鋼		住友金属
契約番号 (契約日)	49-1-A-66 (S49.11.25)		49-1-A-66 (S49.11.25)
入荷日	S50.10.20	S50.10.20	S50.5.7
ミルシート番号	S-75-6	S-75-6	JS-RD-0003
管番号	K1091 ~ K1200 (110本)	K1201 ~ K1400 (200本)	S1001 ~ S1400 (400本)
供試本数	13	13	13
備考	Grain Size 大 V. D. M 1120℃×3minST 21%CW	Grain Size 中 V. D. M 1090℃×3minST 20%CW	Low B V. D. M 1020℃×1.5minST

表3 もんじゅ試作品・クリーブ試験素材の諸性質（ミルシート値）

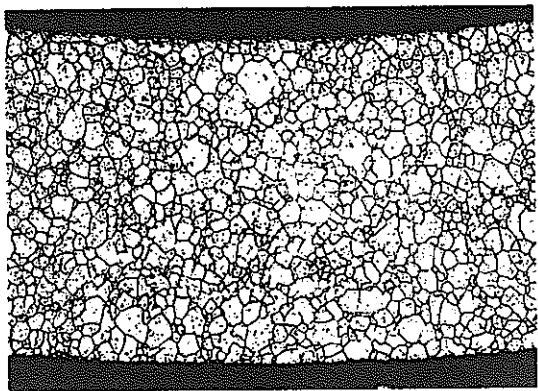
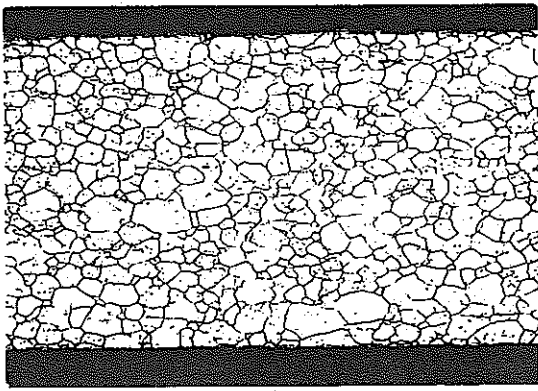
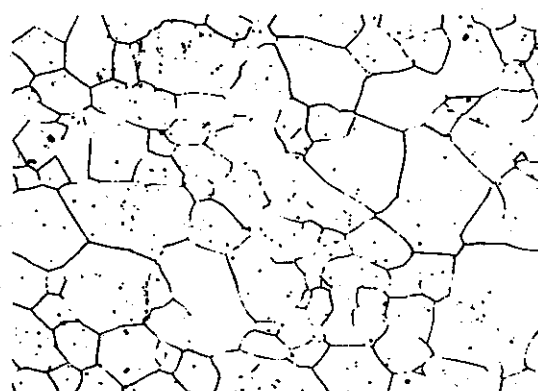
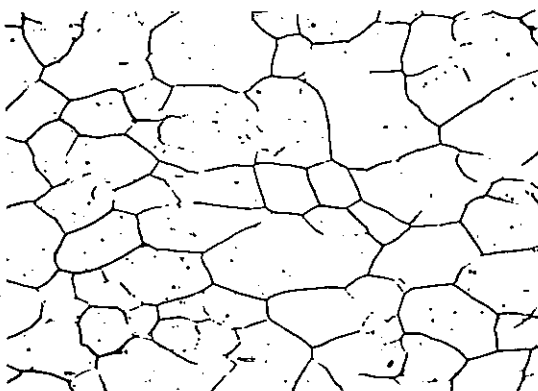


		A1 (K)		A3 (K)		B1 (S)		B3 (S)			
		ヒ-№ L0788 ミルシート№ S-75-4		ヒ-№ L0961 ミルシート№ S-75-4		ヒ-№ V2092 ミルシート№ MS-RD-0007		ヒ-№ V2106 ミルシート№ MS-RD-0007			
ロット番号（管番号）		Lot1 (4001~4057)		Lot3 (4066~4500)		Lot1 (5001~5089)		Lot3 (5184~5288)			
焼鈍温度 × 焼鈍時間		1125℃ × 3min		1085℃ × 3min		1020℃ × 20min		1020℃ × 15min			
冷間加工度		20%		20%		20%		20%			
		レードル	チェック	レードル	チェック	レードル	チェック	レードル	チェック		
化学組成 (Wt%) レードル上段はTOP 下段はBottom	C (0.035 ~0.064)	0.058 0.054	0.056	0.057 0.058	0.058	0.046 0.042	0.046	0.047 0.043	0.046		
	Si (≤0.75)	0.46 0.47	0.49	0.51 0.51	0.48	0.50 0.50	0.50	0.59 0.59	0.56		
	Mn (1.50 ~2.00)	1.50 1.63	1.56	1.84 1.87	1.79	1.52 1.52	1.52	1.59 1.59	1.57		
	P (≤0.03)	0.010 0.009	0.010	0.007 0.006	0.004	0.019 0.018	0.019	0.019 0.019	0.018		
	S (≤0.01)	0.005 0.005	0.006	0.006 0.005	0.005	0.007 0.005	0.008	0.007 0.007	0.008		
	Ni (12.00 ~14.00)	13.49 13.49	13.68	13.90 13.85	13.81	13.15 13.01	13.07	13.20 13.10	13.07		
	Cr (17.00 ~18.00)	16.91 16.84	16.78	16.78 16.68	16.88	17.45 17.30	17.55	17.50 17.60	17.55		
	Mo (2.00 ~3.00)	2.45 2.46	2.49	2.32 2.30	2.41	2.50 2.54	2.48	2.52 2.53	2.47		
	Co (≤0.10)	0.05 0.05	0.08	0.01 0.01	0.02	0.01 0.01	0.01	0.03 0.03	0.01		
	B (≤0.0010) *	0.0004 0.0004	0.0008	0.0004 0.0005	0.0007	0.0001 0.0001	0.0001	0.0014 0.0013	0.0010		
	N (≤0.010)	0.0047 0.0046	0.0064	0.0066 0.0057	0.0047	0.0058 0.0054	0.0080	0.0046 0.0046	0.0074		
引張 性質 650℃	常温	σ_B (Kg/mm ²) (≥75)		84.5 • 84.9		87.5 • 88.7		83.6 • 83.1		81.0 • 80.9	
		$\sigma_{0.2}$ (Kg/mm ²) (≥60)		74.9 • 75.4		78.5 • 81.9		75.4 • 75.2		69.2 • 69.3	
		ϵ (%) (≥10)		16 • 16		15 • 14		19 • 19		21 • 22	
		σ_B (Kg/mm ²) (≥40)		55.2 • 55.8		60.6 • 60.2		45.4 • 46.4		44.5 • 47.3	
		$\sigma_{0.2}$ (Kg/mm ²) (≥30)		48.8 • 48.0		54.0 • 54.4		40.7 • 42.6		40.6 • 42.3	
	ϵ (%) (≥7)		9 • 10		8 • 8		15 • 17		19 • 15		
バースト 性質	P_5 (Kg/cm ²)										
	$P_{0.2}$ (Kg/cm ²)										
結晶粒度 (6 ~ 9)		8.0 • 8.3		9.0 • 9.0		7.5 • 7.5		7.5 • 7.5			
硬 さ (Hv)		276 • 279		271 • 287		276 • 284 • 277 • 281		266 • 267 • 266 • 267			

* ただしS材High B材については0.0005~0.0015

表4 常陽マークII 試作品・クリープ試験素材の諸性質(ミルシート値)

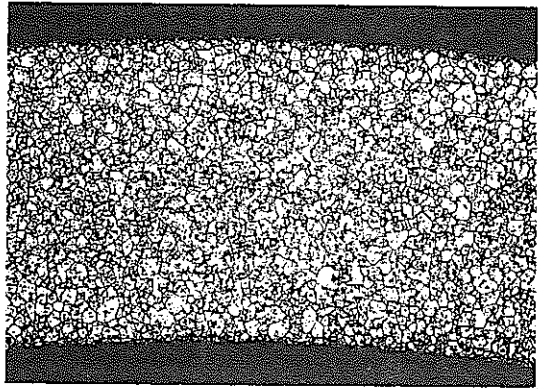
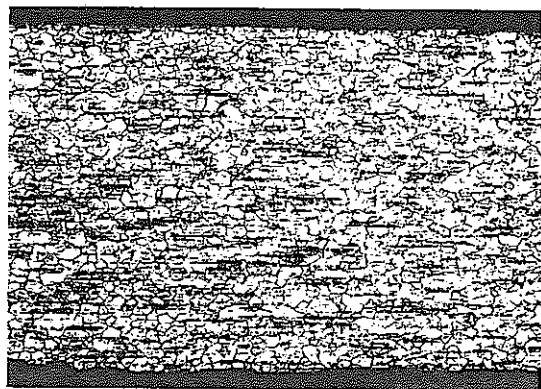
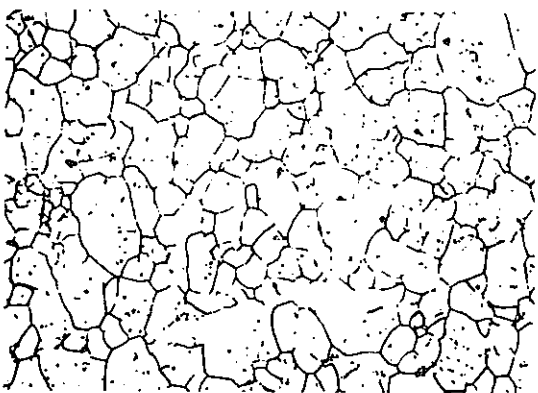
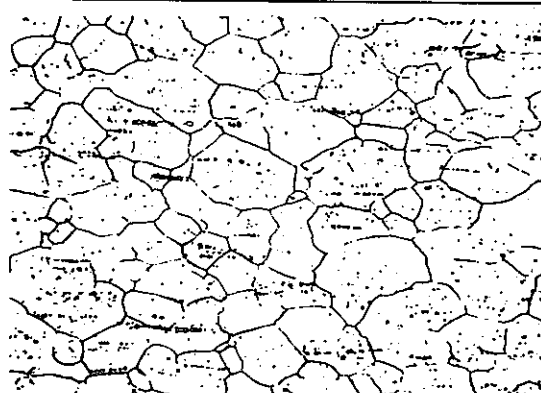


		A2 (K)		A3 (K)		B1 (S)		
		ヒート № L0788 ミルシート № S-75-6		ヒート № L0961 ミルシート № S-75-6		ヒート № V2092 ミルシート № JS-RD-0003		
ロット番号(管番号)		Lot2(1091~1200)		Lot3(1201~1400)		Lot1(1001~1400)		
焼鈍温度 × 焼鈍時間		1020℃ × 3 min		1090℃ × 3 min		1020℃ × 15 min		
冷間加工度		21%		20%		21%		
		レードル	チェック	レードル	チェック	レードル	チェック	
化学組成 (Wt%)	C (0.035 ~0.064)	0.058 0.054	0.062	0.057 0.058	0.057	0.046 0.042	0.050	
	Si (≤0.75)	0.46 0.47	0.48	0.51 0.51	0.47	0.50 0.50	0.49	
	Mn (1.50 ~2.00)	1.50 1.63	1.51	1.84 1.87	1.73	1.52 1.52	1.53	
	P (≤0.03)	0.010 0.009	0.011	0.007 0.006	0.005	0.019 0.018	0.019	
	S (≤0.01)	0.005 0.005	0.006	0.006 0.005	0.006	0.007 0.005	0.007	
	Ni (12.00 ~14.00)	13.49 13.49	13.55	13.90 13.85	13.88	13.15 13.01	13.08	
	Cr (17.00 ~18.00)	16.91 16.84	16.85	16.78 16.68	16.75	17.45 17.30	17.60	
	Mo (2.00 ~3.00)	2.54 2.46	2.48	2.32 2.30	2.35	2.50 2.54	2.42	
	Co (≤0.10)	0.05 0.05	0.07	0.01 0.01	0.01	0.01 0.01	0.01	
	B (≤0.0010) *	0.0004 0.0004	0.0004	0.0004 0.0005	0.0007	0.0001 0.0001	0.0001	
Bottom	N (≤0.010)	0.0047 0.0046	0.0074	0.0066 0.0057	0.0051	0.0058 0.0054	0.0080	
引張性質	常温	$\sigma_B (Kg/mm^2) (\geq 75)$	82.8 • 82.6		85.4 • 85.0		80.5 • 81.0	
		$\sigma_{0.2} (Kg/mm^2) (\geq 60)$	69.7 • 70.2		74.6 • 74.1		74.7 • 75.9	
		$\epsilon (\%) (\geq 10)$	17 • 20		16 • 16		20 • 19	
	650℃	$\sigma_B (Kg/mm^2) (\geq 40)$	50.2 • 51.4		52.3 • 54.9		48.5 • 51.2	
		$\sigma_{0.2} (Kg/mm^2) (\geq 30)$	41.4 • 43.7		44.7 • 46.2		43.7 • 45.2	
		$\epsilon (\%) (\geq 7)$	18 • 19		11 • 14		13 • 10	
バースト性質	$P_B (Kg/cm^2)$							
	$P_{0.2} (Kg/cm^2)$							
結晶粒度 (6~9)		8.0 • 7.5		9.0 • 9.0		8.0 • 7.5		
硬さ (Hv)		282 • 272		280 • 281		273 • 285 • 283 • 280		

* ただし、S材High B材については0.0005~0.0015

	横 断 面 ASTM № 8.0	縦 断 面 ASTM № 7.5
結 晶 粒 度	 × 100	 × 100
	 × 400	 × 400
金 属 組 織	 × 400	 × 400

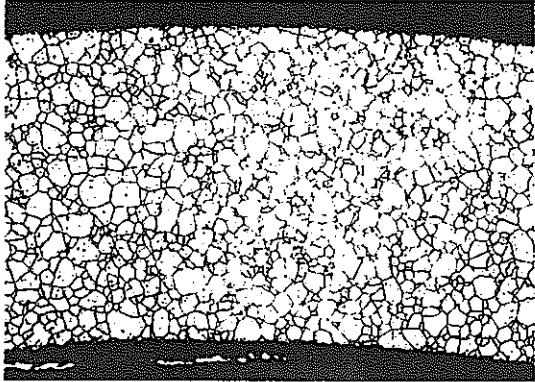
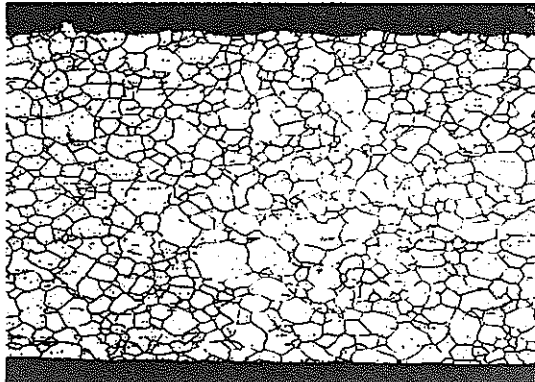
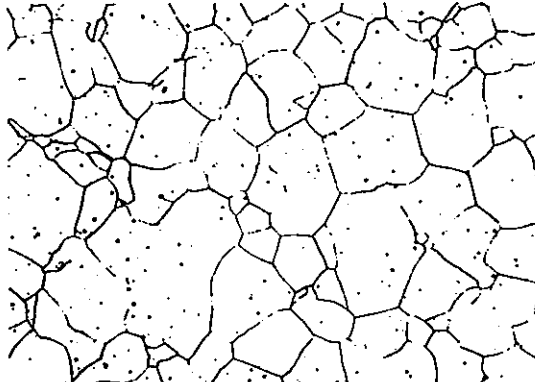
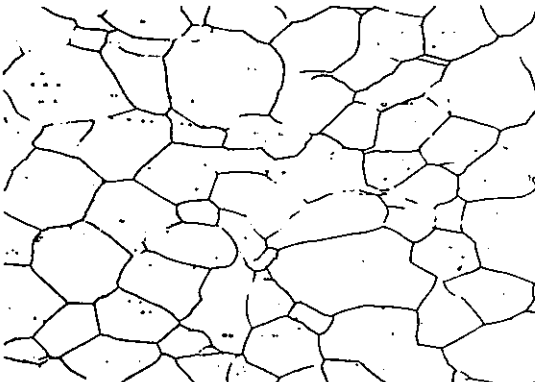

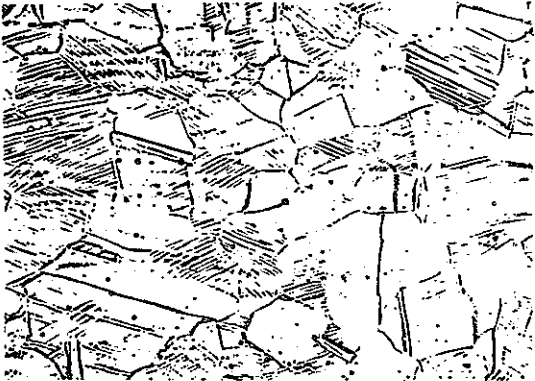
もんじゅ試作品 A 1 材 (K 4 0 1 5)

写真 1 供試材の試験前の結晶粒度と金属組織

	<p>横断面 ASTM № 10.0</p>  <p>× 100</p>	<p>縦断面 ASTM № 8.5</p>  <p>× 100</p>
結晶粒 度	 <p>× 400</p>	 <p>× 400</p>
金属組 織	 <p>× 400</p>	 <p>× 400</p>

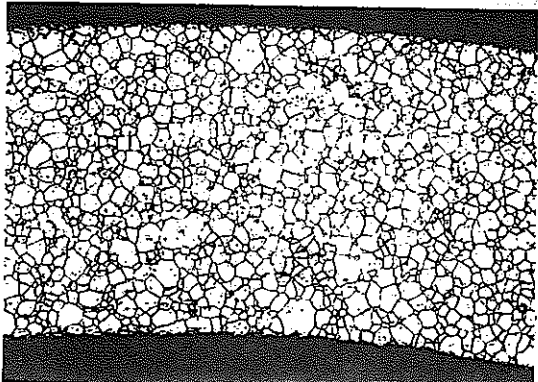
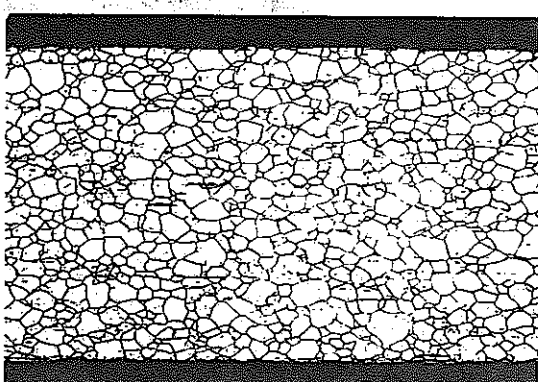
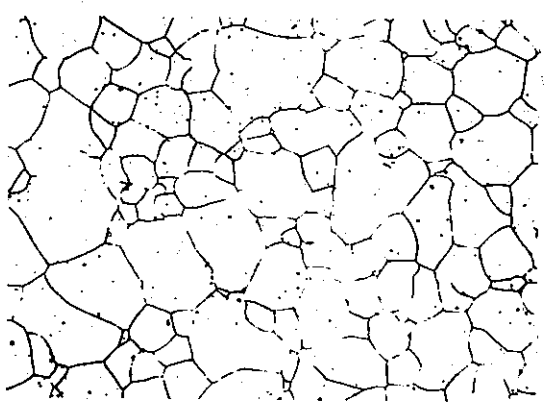
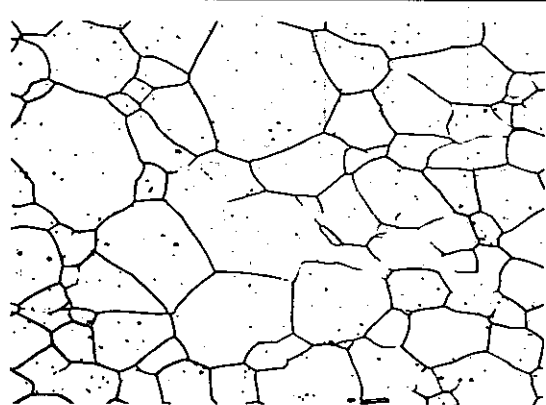


もんじゅ試作品A3材(K4069)

写真2 供試材の試験前の結晶粒度と金属組織

	横断面 ASTM № 8.0	縦断面 ASTM № 7.5
結晶粒 度	 <p style="text-align: center;">× 100</p>	 <p style="text-align: center;">× 100</p>
	 <p style="text-align: center;">× 400</p>	 <p style="text-align: center;">× 400</p>
金属組 織	 <p style="text-align: center;">× 400</p>	 <p style="text-align: center;">× 400</p>

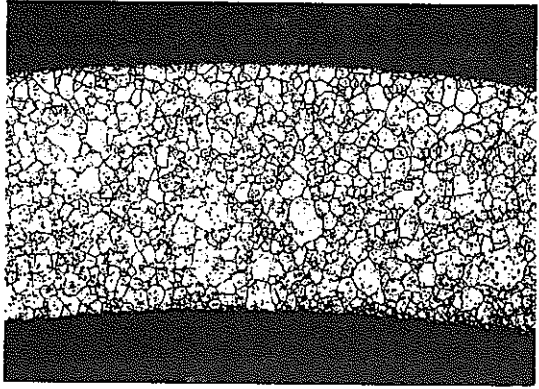
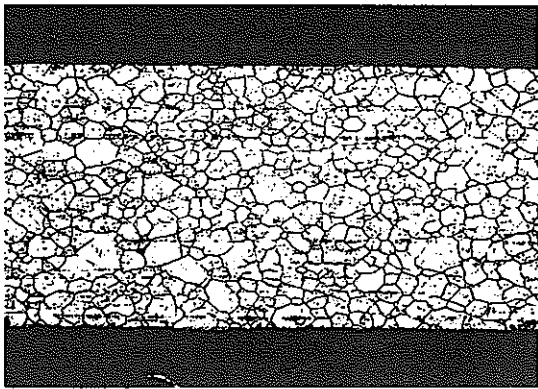
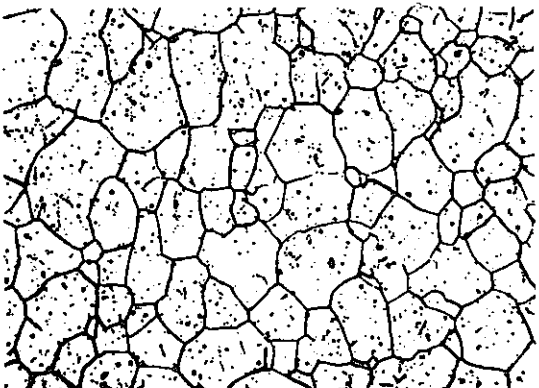
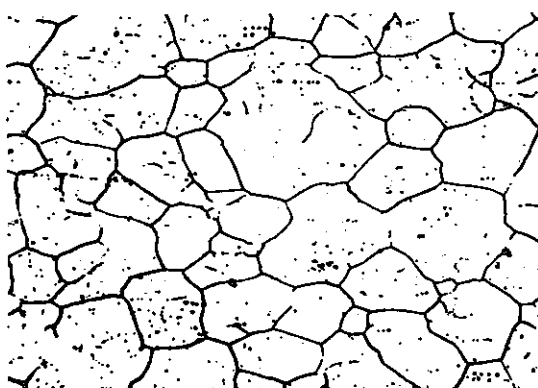


もんじゅ試作品B1材 (S5029)

写真3 供試材の試験前の結晶粒と金属組織

	横 断 面 ASTM № 8.5	縦 断 面 ASTM № 8.0
結 晶 粒 度	 × 100	 × 100
	 × 400	 × 400
金 属 組 織	 × 400	 × 400

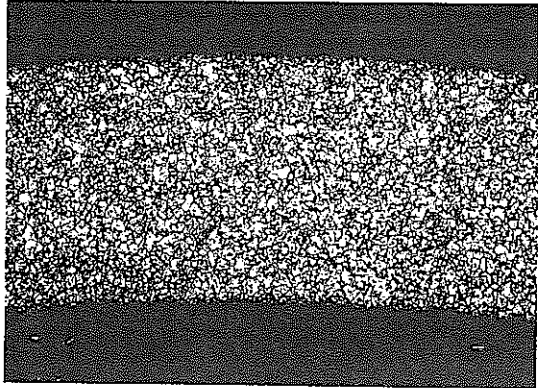
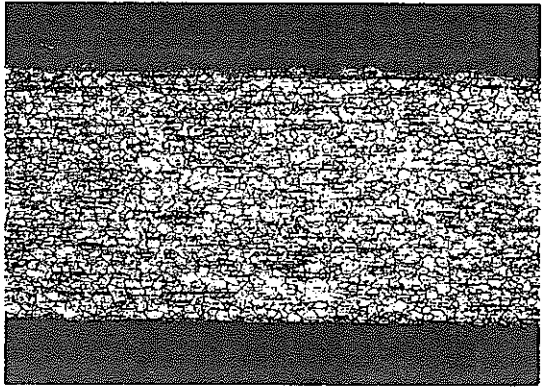
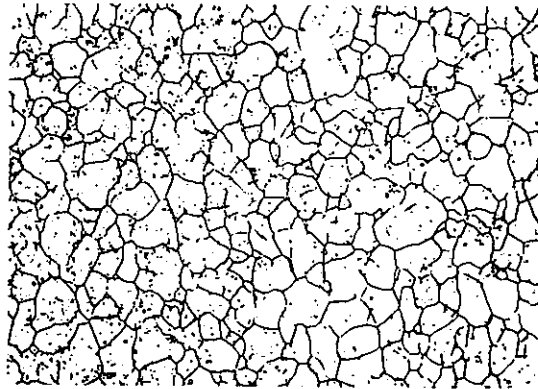



もんじゅ試作品B3材 (S5216)

写真4 供試材の試験前の結晶粒度と金属組織

	横 断 面 ASTM № 8.5	縦 断 面 ASTM № 8.0
結 晶 粒 度	 × 100	 × 100
	 × 400	 × 400
金 属 組 織	 × 400	 × 400

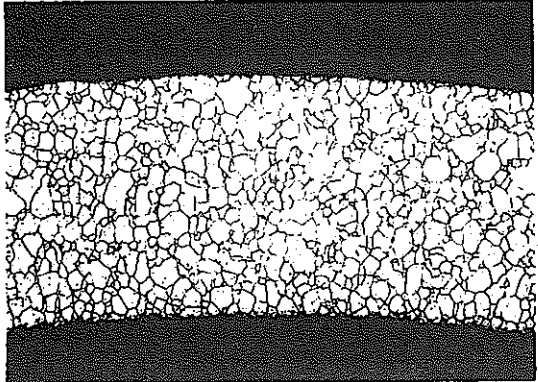
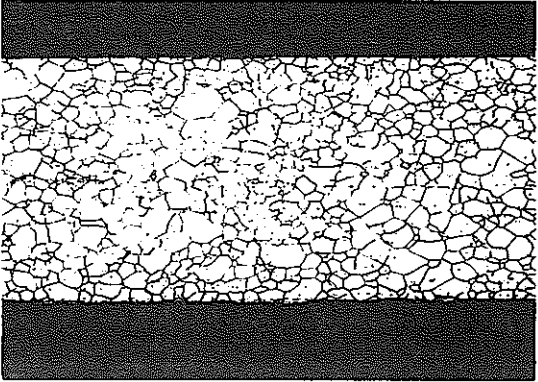
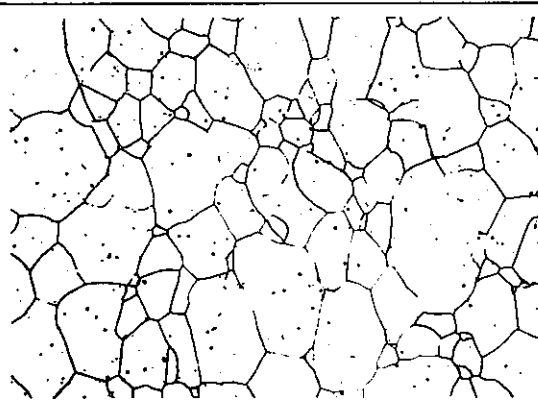
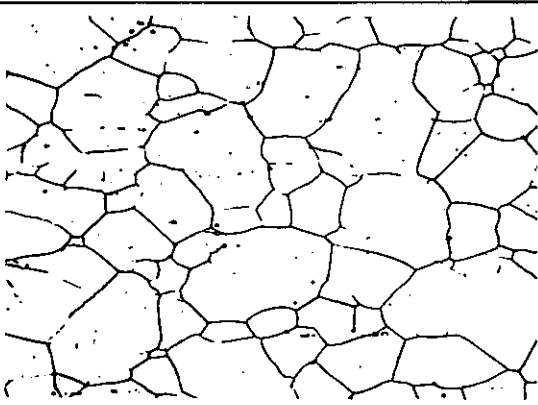


常陽マークⅡ試作品A2材(K1118-7)

写真5 供試材の試験前の結晶粒度と金属組織

	<p style="text-align: center;">横 断 面 ASTM № 11.0</p>	<p style="text-align: center;">縦 断 面 ASTM № 10.5</p>
結 晶 粒 度	 <p style="text-align: center;">× 100</p>	 <p style="text-align: center;">× 100</p>
	 <p style="text-align: center;">× 400</p>	 <p style="text-align: center;">× 400</p>
金 属 組 織	 <p style="text-align: center;">× 400</p>	 <p style="text-align: center;">× 400</p>

常陽マークⅡ試作品A3材(K1243-8)

写真6 供試材の試験前の結晶粒度と金属組織

	横 断 面 ASTM № 8.5	縦 断 面 ASTM № 8.0
結 晶 粒 度	 × 100	 × 100
	 × 400	 × 400
金 属 組 織	 × 400	 × 400

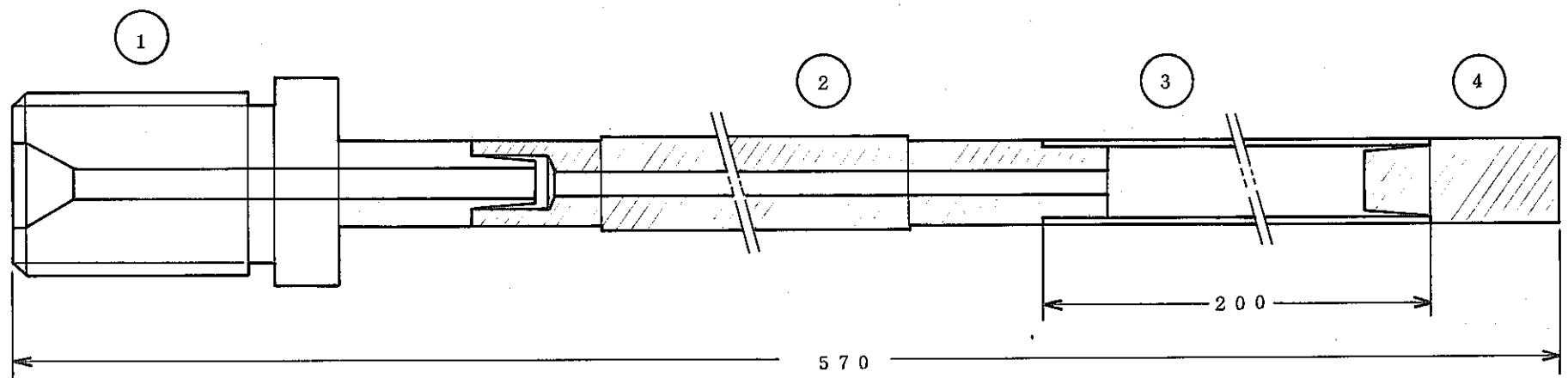
常陽マークⅡ試作品B1材 (S1067-5)

写真7 供試材の試験前の結晶粒度と金属組織

表 5 内圧クリーブ破断試験供試材の試験前硬さ

供 試 材		Hv: 500g	
		横 断 面	縦 断 面
もんじゅ 試 作 品	A1 (K4015)	276	275
	A3 (K4069)	281	289
	B1 (S5029)	273	268
	B3 (S5216)	269	272
常陽マークⅡ 試 作 品	A2 (K1118-7)	270	269
	A3 (K1243-8)	286	288
	B1 (S1067-5)	282	288

5点測定の平均値



- 1 加圧端栓
- 2 圧力導管
- 3 被覆管
- 4 圧力封入端栓

図1 内圧クリープ破断試験片の形状

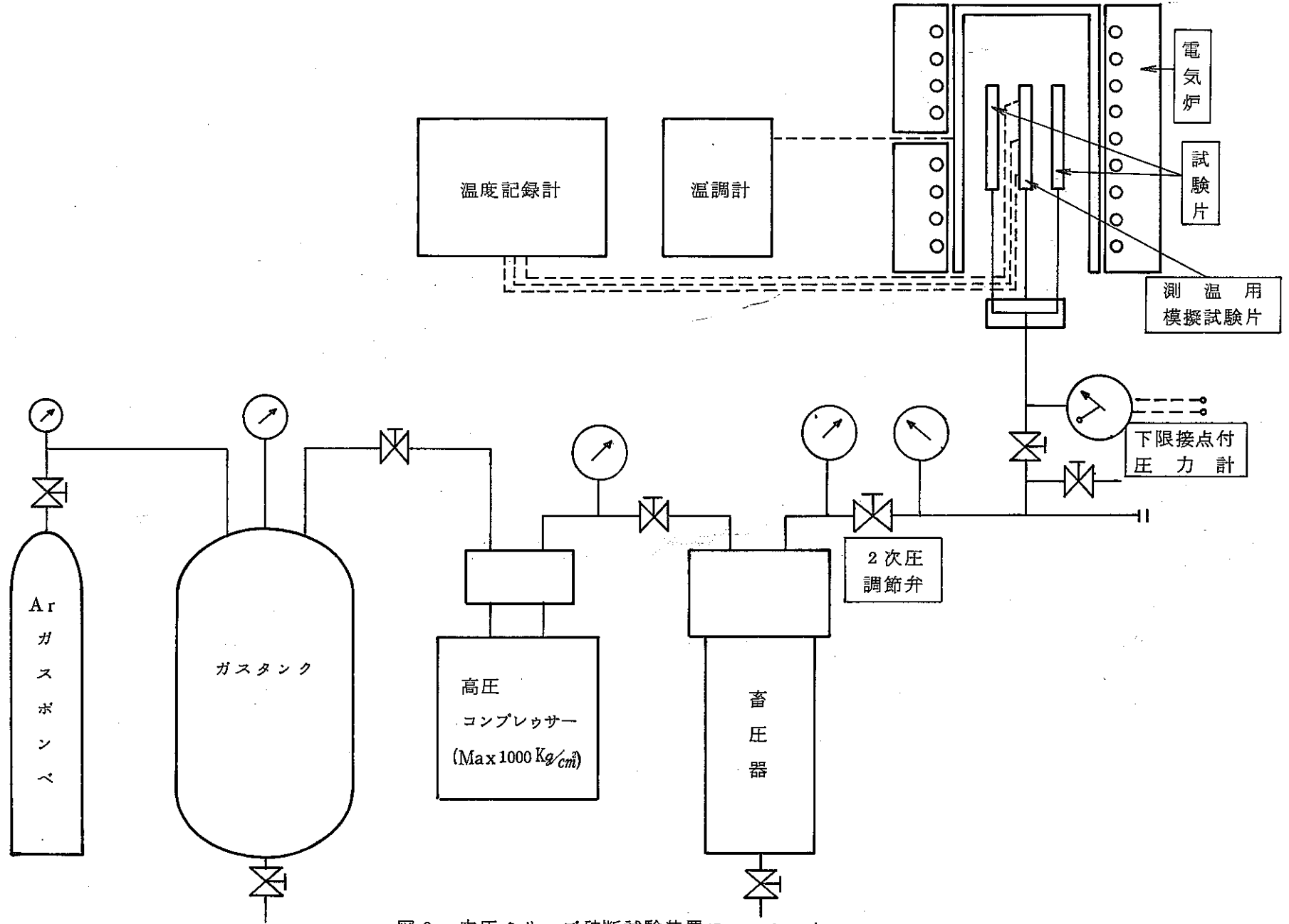


図2 内圧クリープ破断試験装置フローシート

表 6 内圧クリープ破断試験計画

供試材種別		温 度 (℃)	目 標 破 断 時 間 (h r)				
			1 0 0	3 0 0	1 0 0 0	3 0 0 0	6 0 0 0
もんじゅ 試作品	A1	650		○			
		800		○		○	
	A3	650		○			
		800		○		○	
	B1	700				○	
	B3	650	○	○	○	○	
		800	○	○	○	○	
	常陽 マークII 試作品	A2	650				
A3		650					○
B1		650					○
		800	○	○	○		

表7 高温引張試験結果 もんじゅ試作品, A1材

試験温度 (°C)	試験片番号	引張強さ (Kg/mm ²)	0.2%耐力 (Kg/mm ²)	伸び (%)
R. T	K4022-14	83.5	71.1	16.9 (B)
	K4028-16	83.9	72.5	17.4 (A)
400	K4015-10	69.2	60.9	5.7 (A)
	K4022-12	69.1	60.5	5.8 (B)
500	K4017-13	65.2	55.6	— (-)
	K4004-9	64.4	56.4	— (-)
600	K4015-11	58.6	48.5	9.3 (B)
	K4022-15	59.1	51.0	9.0 (A)
650	K4057-3	50.9	40.6	12.0 (A)
	K4004-10	—	—	— (-)
700	K4017-9	41.2	32.7	23.5 (A)
	K4028-14	42.7	33.8	24.0 (A)
750	K4004-8	35.0	26.7	39.0 (A)
	K4015-7	35.2	27.1	40.3 (A)
800	K4004-13	29.0	21.3	45.4 (A)
	K4015-12	29.1	20.9	45.4 (A)

表 8 高温引張試験結果 もんじゅ試作品, A 3 材

試験温度 (°C)	試験片番号	引張強さ (Kg/mm ²)	0.2%耐力 (Kg/mm ²)	伸び (%)
R. T	K4073-13	88.0	74.6	14.8 (A)
	K4084-13	87.8	75.5	14.9 (A)
400	K4083-15	70.8	59.6	5.4 (A)
	K4073-8	72.8	64.9	5.7 (A)
500	K4084-15	67.9	61.6	4.7 (A)
	K4073-14	69.0	61.3	4.5 (A)
600	K4088-15	61.9	49.0	9.2 (A)
	K4084-7	62.4	52.7	9.3 (A)
650	K4073-10	52.7	41.6	13.4 (A)
	K4083-13	53.0	42.2	13.8 (A)
700	K4069-10	44.1	33.0	26.7 (A)
	K4083-11	43.1	31.5	31.6 (A)
750	K4084-12	37.3	27.0	34.0 (A)
	K4069-13	36.3	27.0	36.1 (A)
800	K4083-12	29.4	20.4	47.9 (A)
	K4088-13	30.4	21.7	40.3 (A)

表9 高温引張試験結果 もんじゅ試作品, B1材

試験温度 (℃)	試験片番号	引張強さ (Kg/mm ²)	0.2%耐力 (Kg/mm ²)	伸び (%)
R. T	S5023-12	81.5	72.6	19.4 (A)
	S5025-16	82.1	71.1	21.0 (A)
400	S5023-11	65.9	58.1	4.8 (B)
	S5025-3	65.3	59.1	5.2 (A)
500	S5023-19	63.3	58.3	5.2 (A)
	S5025-17	63.6	57.6	4.7 (B)
600	S5023-17	54.7	48.0	9.6 (A)
	S5025-14	55.6	48.5	9.8 (A)
650	S5023-10	46.6	39.0	17.2 (A)
	S5025-13	46.7	37.5	16.2 (A)
700	S5023-6	38.9	29.8	27.3 (A)
	S5025-6	38.7	29.4	29.5 (A)
750	S5023-3	32.3	23.5	37.1 (A)
	S5025-11	32.7	23.8	40.2 (A)
800	S5023-7	26.6	18.3	48.8 (A)
	S5025-18	26.5	18.3	59.1 (A)

表10 高温引張試験結果 もんじゅ試作品, B3材

試験温度 (℃)	試験片番号	引張強さ (Kg/mm ²)	0.2%耐力 (Kg/mm ²)	伸び (%)
R. T	S5199-7	80.4	69.2	20.8 (B)
	S5216-14	80.0	66.9	22.7 (B)
400	S5218-14	64.4	54.9	4.3 (A)
	S5199-8	65.3	57.6	5.7 (A)
500	S5194-7	61.7	54.1	4.2 (A)
	S5216-11	61.9	55.0	- (-)
600	S5216-15	54.3	46.9	12.9 (A)
	S5215-8	54.3	46.1	12.3 (A)
650	S5218-13	47.0	38.1	16.7 (A)
	S5199-9	46.7	36.4	16.4 (A)
700	S5216-8	38.3	28.7	31.4 (A)
	S5194-15	38.2	29.4	33.4 (A)
750	S5215-15	31.5	22.3	38.7 (A)
	S5199-12	32.3	23.7	40.5 (A)
800	S5216-10	26.5	18.5	46.1 (A)
	S5194-12	26.7	17.8	47.8 (A)

表 11 高温引張試験結果 常陽マークⅡ試作品, A2材

試験温度 (℃)	試験片番号	引張強さ (Kg/mm)	0.2%耐力 (Kg/mm)	伸び (%)
R. T	K1123-5	80.4	69.1	20.6 (B)
	K1126-9	81.9	69.7	16.6 (B)
400	K1118-9	66.7	58.3	6.7 (B)
	K1123-8	66.2	57.0	7.5 (A)
500	K1123-7	63.0	55.0	4.8 (B)
	K1131-6	64.2	54.9	6.9 (B)
600	K1126-8	55.1	47.4	9.7 (A)
	K1131-7	56.0	46.5	10.6 (A)
650	K1120-3	48.8	37.3	14.9 (B)
	K1156-4	47.2	37.4	16.7 (A)
700	K1126-3	38.7	29.6	36.3 (A)
	K1131-9	40.2	31.0	36.2 (B)
750	K1118-3	32.7	24.3	42.8 (A)
	K1118-8	32.5	24.0	39.7 (A)
800	K1126-5	26.3	18.2	51.3 (B)
	K1154-7	26.8	18.7	48.3 (A)

表12 高温引張試験結果 常陽マークII試作品, A3材

試験温度 (℃)	試験片番号	引張強さ (Kg/mm)	0.2%耐力 (Kg/mm)	伸び (%)
R. T	K1217-4	84.6	73.7	17.1 (B)
	K1255-5	82.5	71.7	19.5 (A)
400	K1206-6	68.0	60.8	6.9 (A)
	K1217-5	68.6	60.5	6.7 (A)
500	K1233-4	67.5	60.6	5.0 (B)
	K1233-9	68.0	61.0	5.5 (A)
600	K1240-9	58.9	50.9	9.8 (A)
	K1243-7	58.1	50.8	10.0 (A)
650	K1217-9	49.2	38.7	15.9 (A)
	K1255-3	47.7	37.7	18.8 (A)
700	K1206-3	39.9	30.0	29.9 (B)
	K1206-5	40.2	29.5	26.3 (B)
750	K1222-4	34.6	24.3	39.8 (A)
	K1240-8	37.8	23.5	40.9 (A)
800	K1233-6	27.3	18.8	41.7 (A)
	K1255-6	26.7	18.0	40.3 (A)

表13 高温引張試験結果 常陽マークII試作品, B1材

試験温度 (℃)	試験片番号	引張強さ (Kg/mm)	0.2%耐力 (Kg/mm)	伸び (%)
R. T	S1037-9	833	68.9	19.7 (A)
	S1046-7	83.9	70.1	16.1 (A)
400	S1046-5	66.8	56.6	— (C)
	S1084-7	66.6	57.5	5.0 (A)
500	S1037-3	64.8	55.4	4.3 (B)
	S1052-5	62.6	57.3	5.7 (B)
600	S1033-6	54.9	47.1	9.4 (A)
	S1037-4	56.0	44.5	8.5 (A)
650	S1049-8	46.3	33.5	15.2 (A)
	S1067-6	44.7	33.2	19.1 (A)
700	S1046-6	39.5	28.7	— (C)
	S1084-6	39.3	29.4	24.2 (A)
750	S1049-4	31.8	22.4	44.3 (A)
	S1049-9	31.9	22.1	39.6 (A)
800	S1033-4	26.3	17.1	49.2 (B)
	S1084-9	26.5	17.5	49.9 (A)

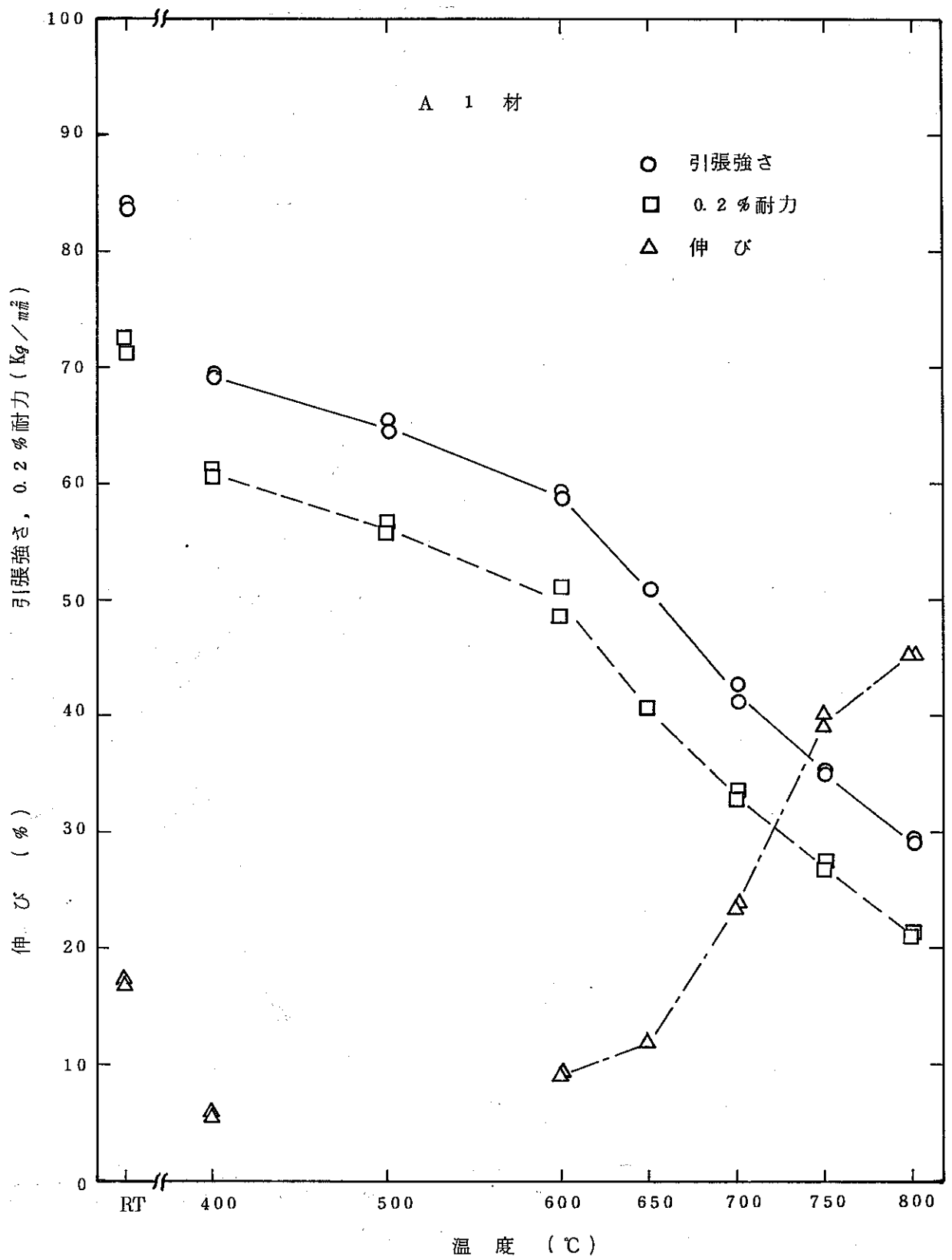


図3 高温引張性質，もんじゅ試作品 A 1 材

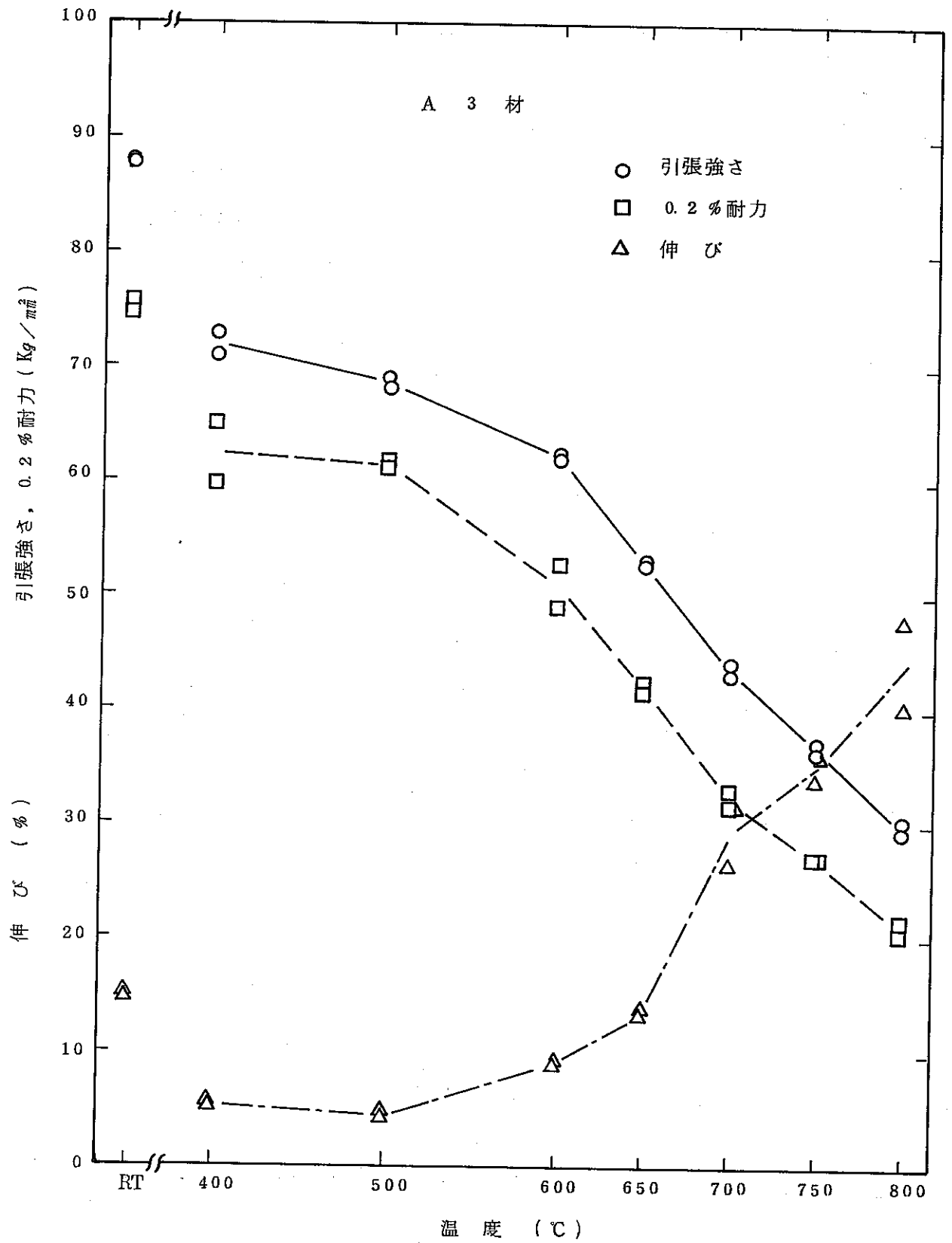


図4 高温引張性質，もんじゅ試作品A3材

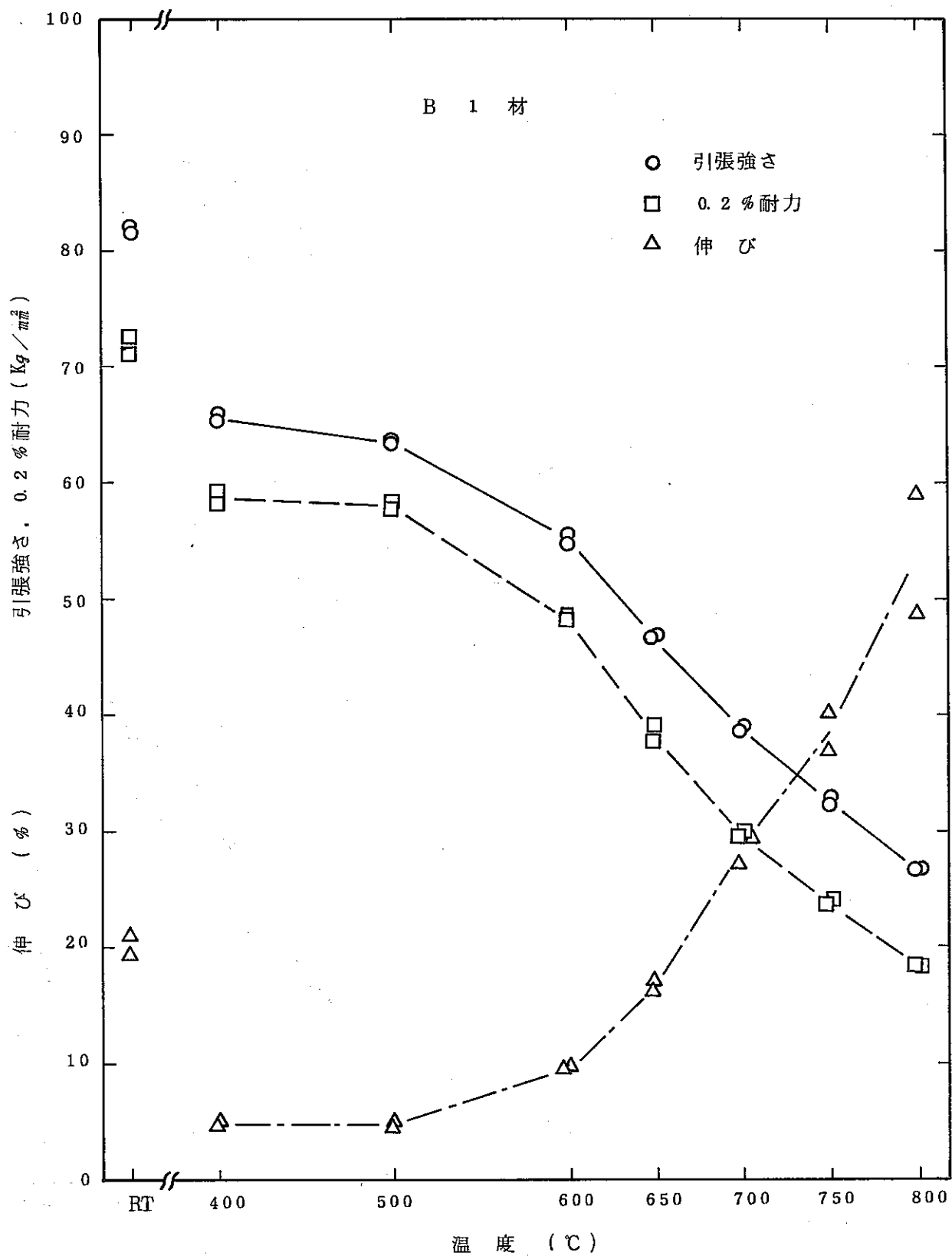


図5 高温引張性質，もんじゅ試作品B1材

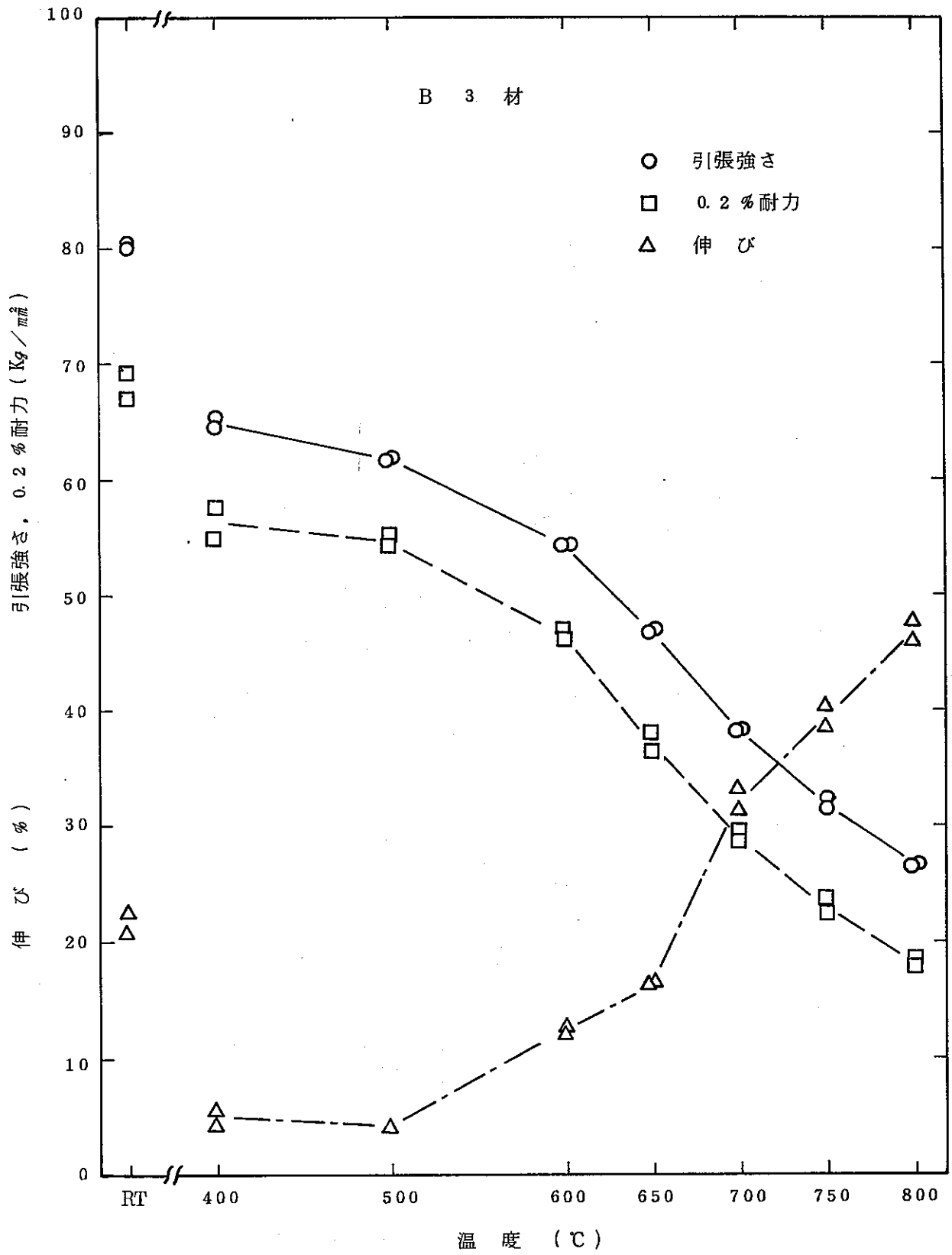


図6 高温引張性質，もんじゅ試作品B3材

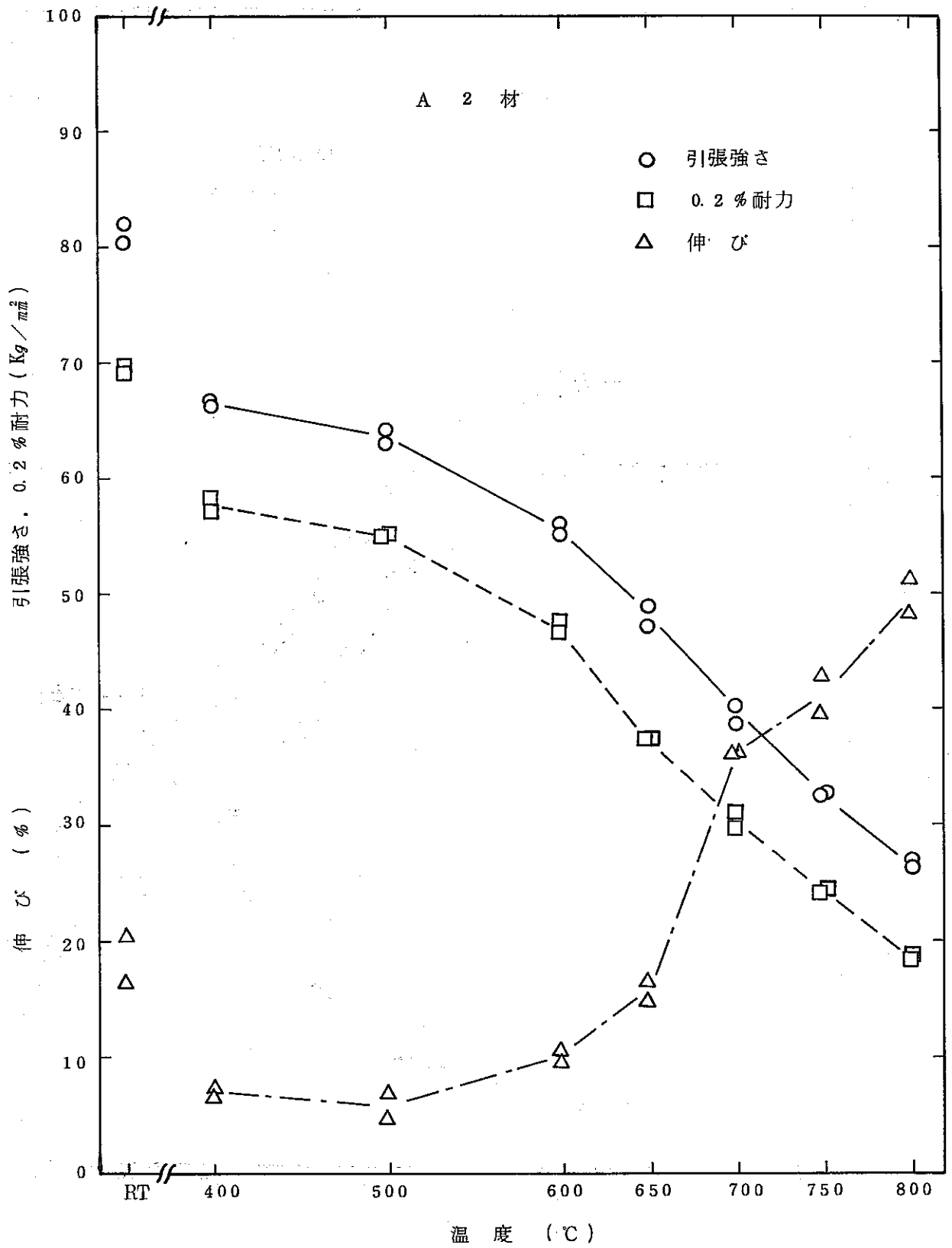


図7 高温引張性質，常陽マークⅡ試作品A2材

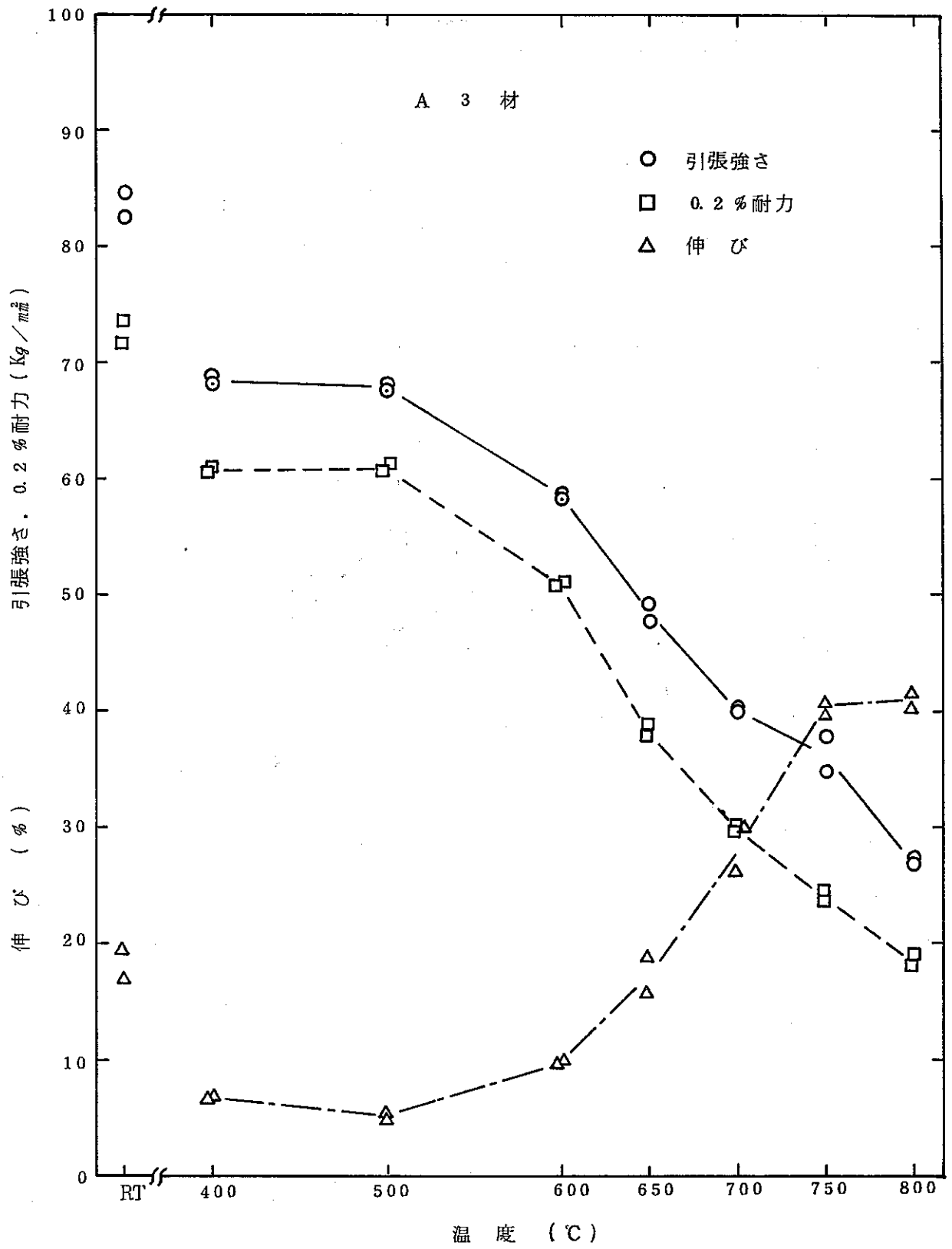


図 8 高温引張性質，常陽マークⅡ試作品 A 3 材

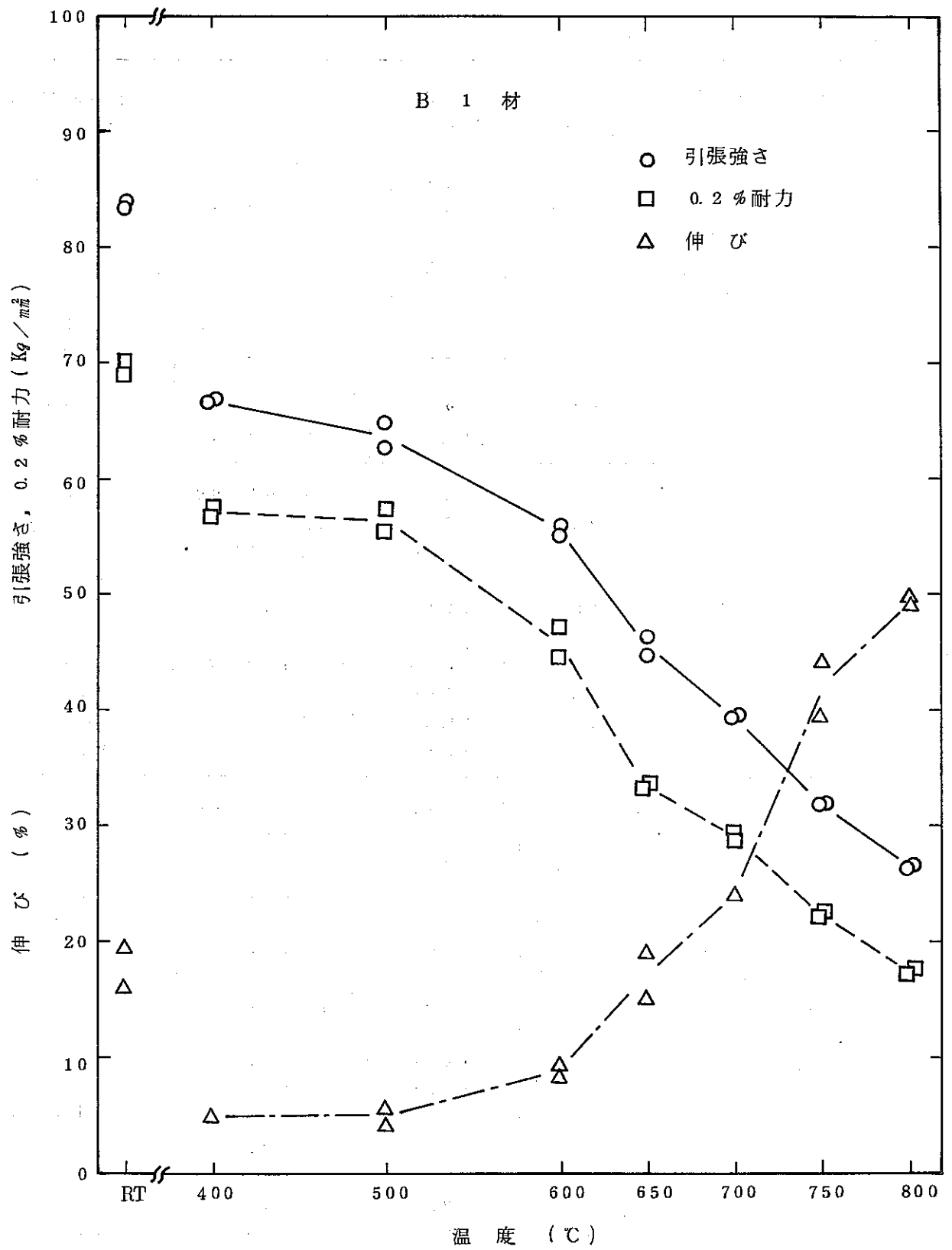


図9 高温引張性質，常陽マークII試作品B1材

表 21 内圧クリープ破断試験結果

供試材	種類	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	圧力 (Kg/cm^2)	フープ応力 (Kg/mm^2)	試験片番号	破断時間 (hr)
もんじゅ 試作品	A1	650	330 (280)	22.2 (18.8)	K4004-2 (K4022-4)	1100.2 (1985.6)
		750	(90)	(6.0)	(K4028-4)	(2568.1)
		800	55 40	3.7 2.7	K4015-2 K4022-3	1375.5 4780.7
	A3	650	330 (250)	22.2 (16.8)	K4069-2 (K4083-4)	724.4 (1843.0)
		800	55 30	3.7 2.0	K4073-6 (K4088-6) K4083-3	702.3 (3315.1)
			B1	700	180	12.1	S5024-4	778.7
	B3	650	420	28.3	S5194-3	121.5
			350	23.6	S5194-4	478.0
			300	20.2	S5215-6	1524.5
			250	16.8	S5218-6	2607.3
800	120	8.1	S5194-6	87.8		
	90	6.1	S5199-3	216.9		
	50	3.4	S5218-4	1364.1		
	30	2.0	S5218-5	3127.9		
常陽 マークII 試作品	A2	650	135	9.9	K1123-1	
	A3	650	135	9.9	K1268-3	7426.0
	B1	650	200	14.7	S1110-2	1785.3
			150	11.0	S1140-3	4534.0
		800	120	8.8	S1033-2	51.8
			90	6.6	S1046-1	58.7
40 35	2.9 2.6		S1147-2 S1052-1	525.2 3029.4		

図 12 内圧クリープ破断試験結果（もんじゅ試作品）

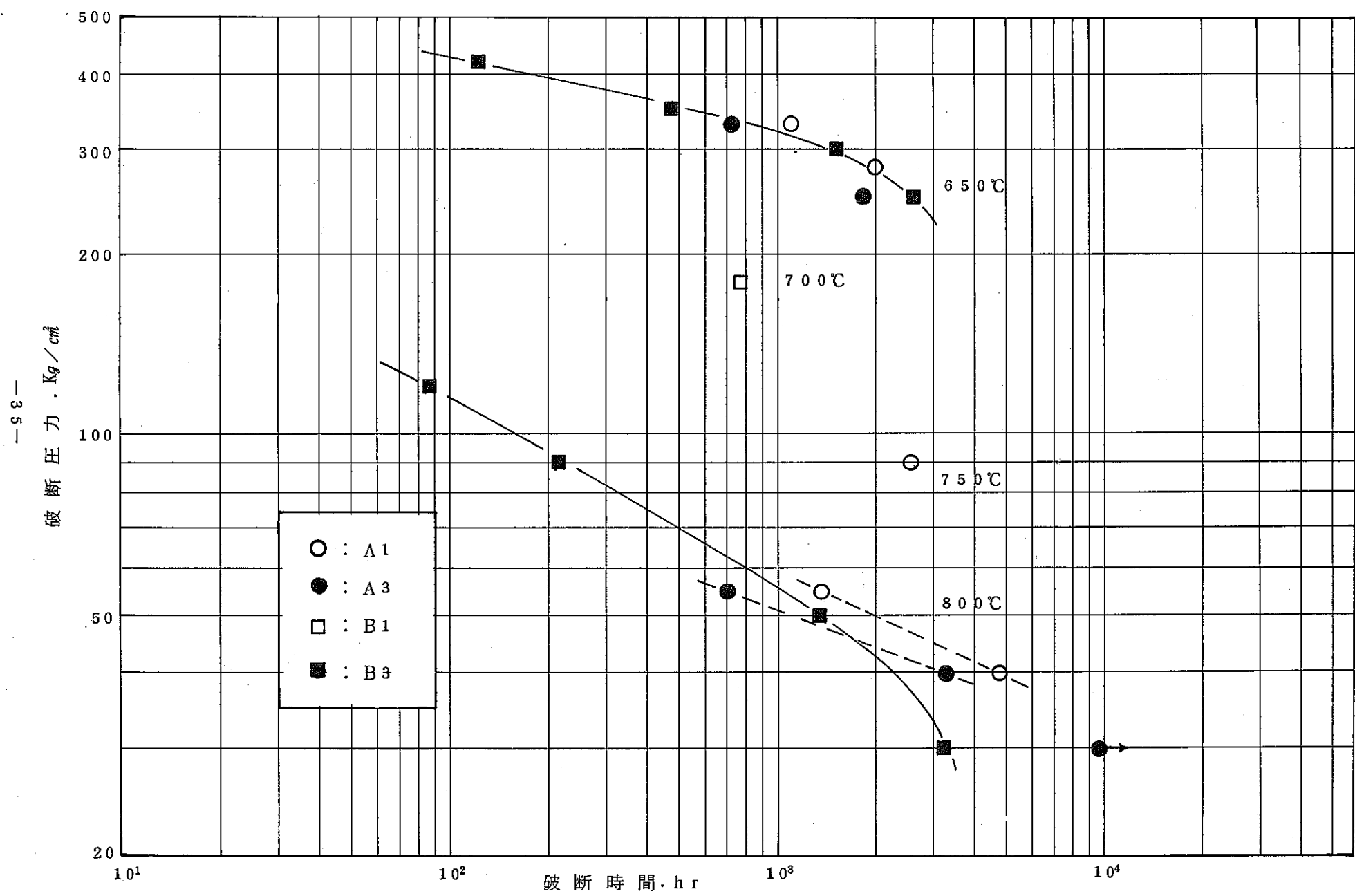


図 13 内圧クリープ破断試験結果 (常陽マークⅡ試作品)

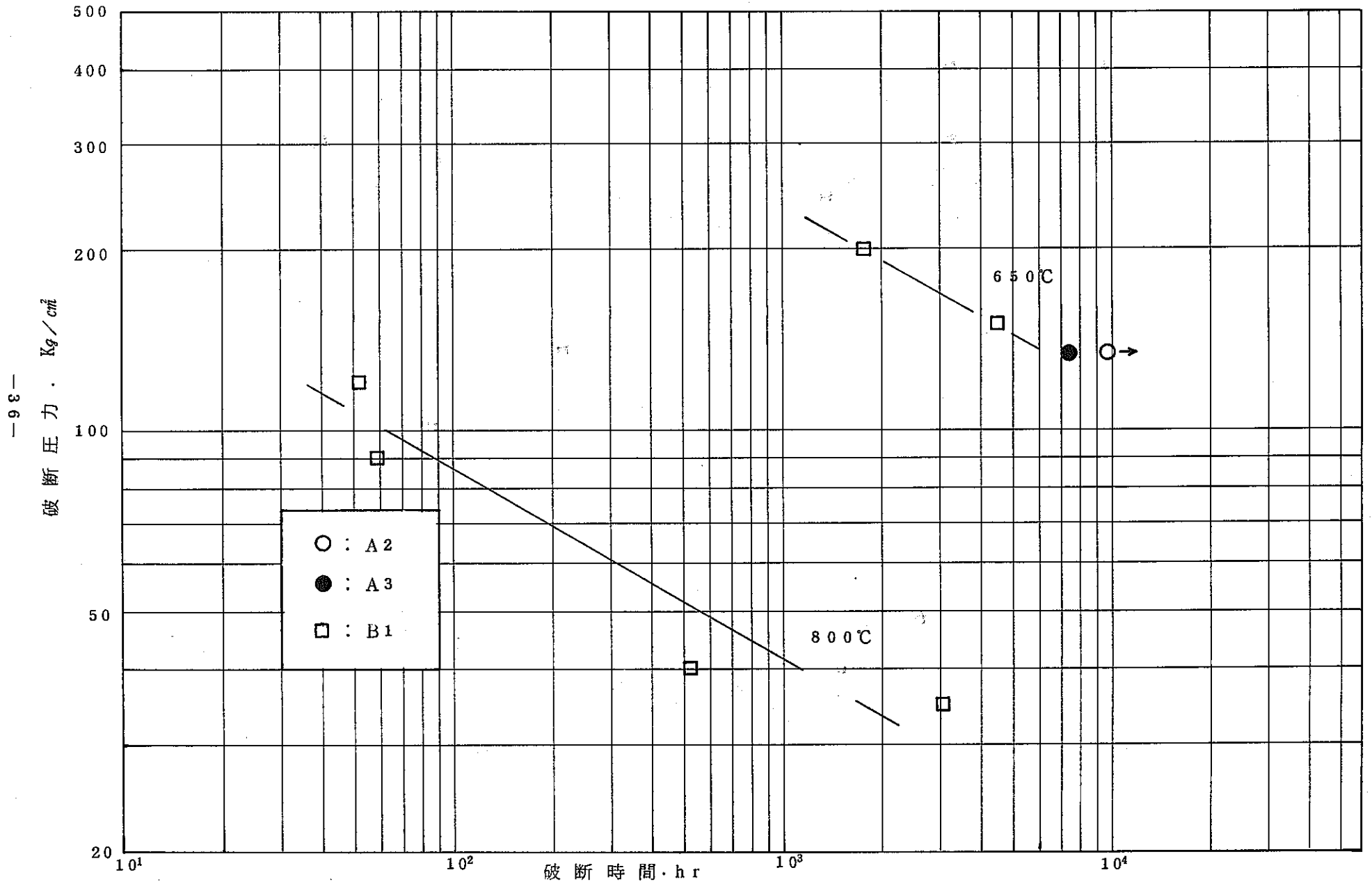


図 14 平均径の式によるフープ応力と破断時間の関係

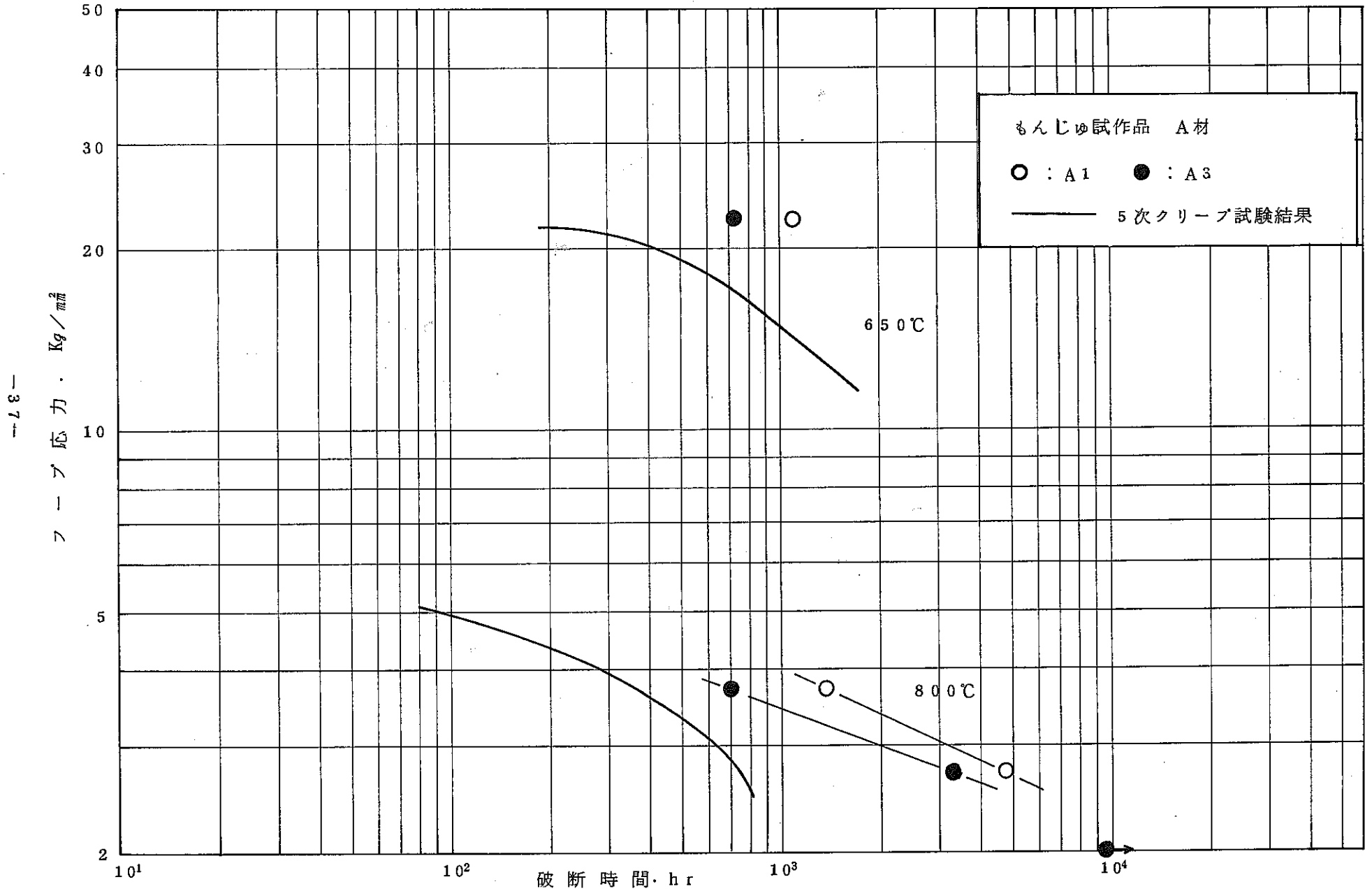


図 15 平均径の式によるフープ応力と破断時間の関係

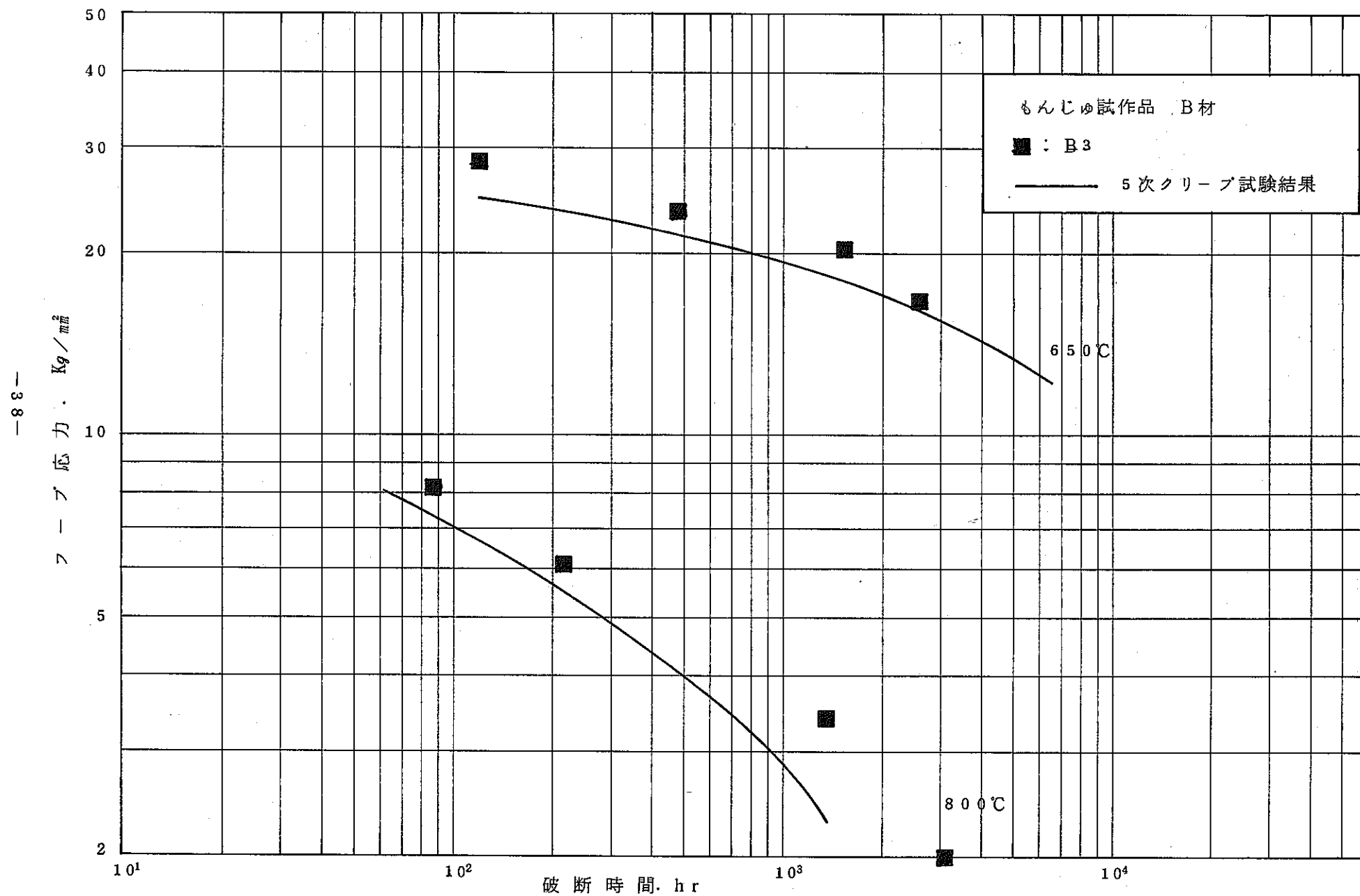


図 16 平均径の式によるフープ応力と破断時間の関係

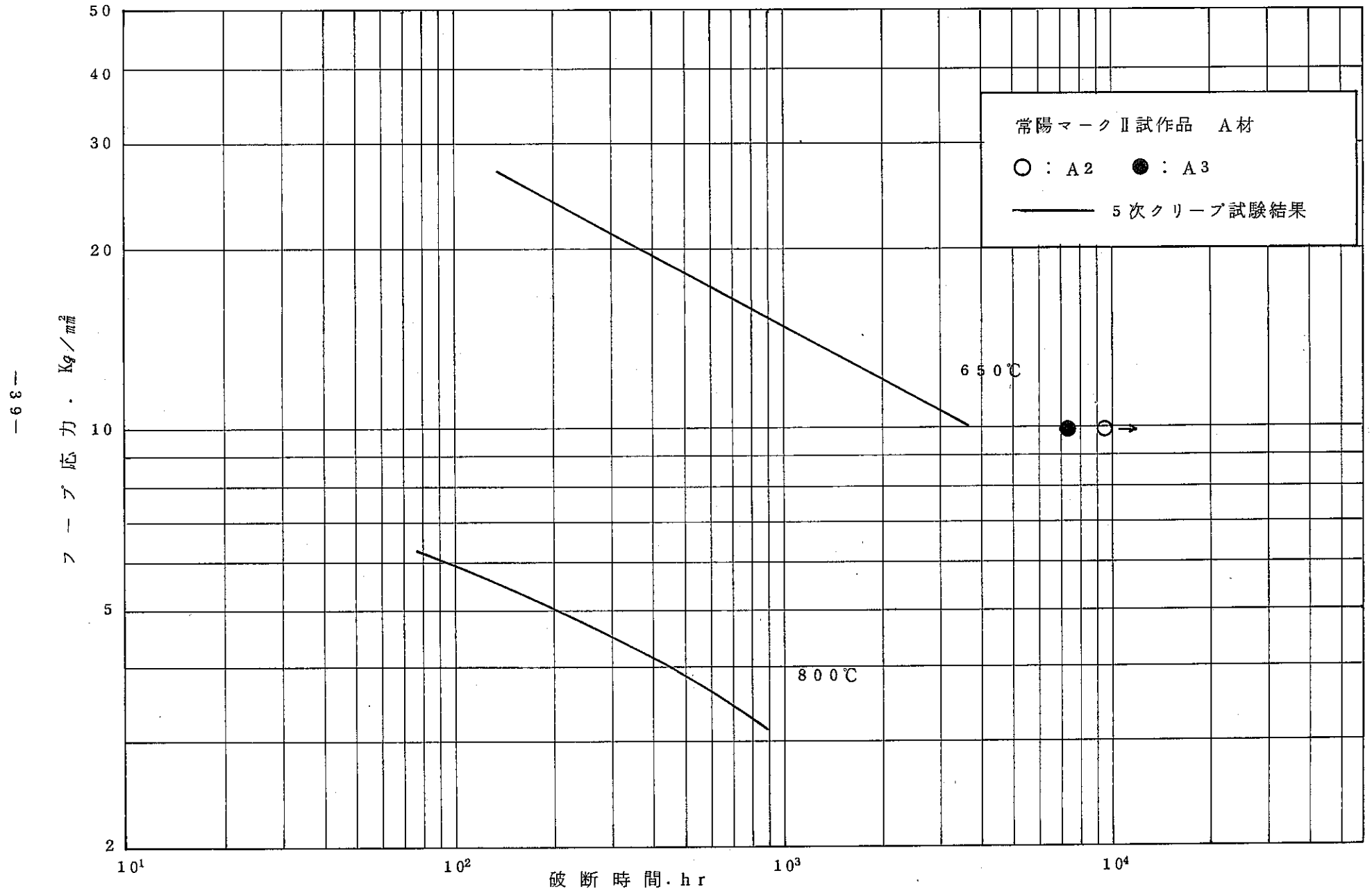


図 17 平均径の式によるフープ応力と破断時間の関係

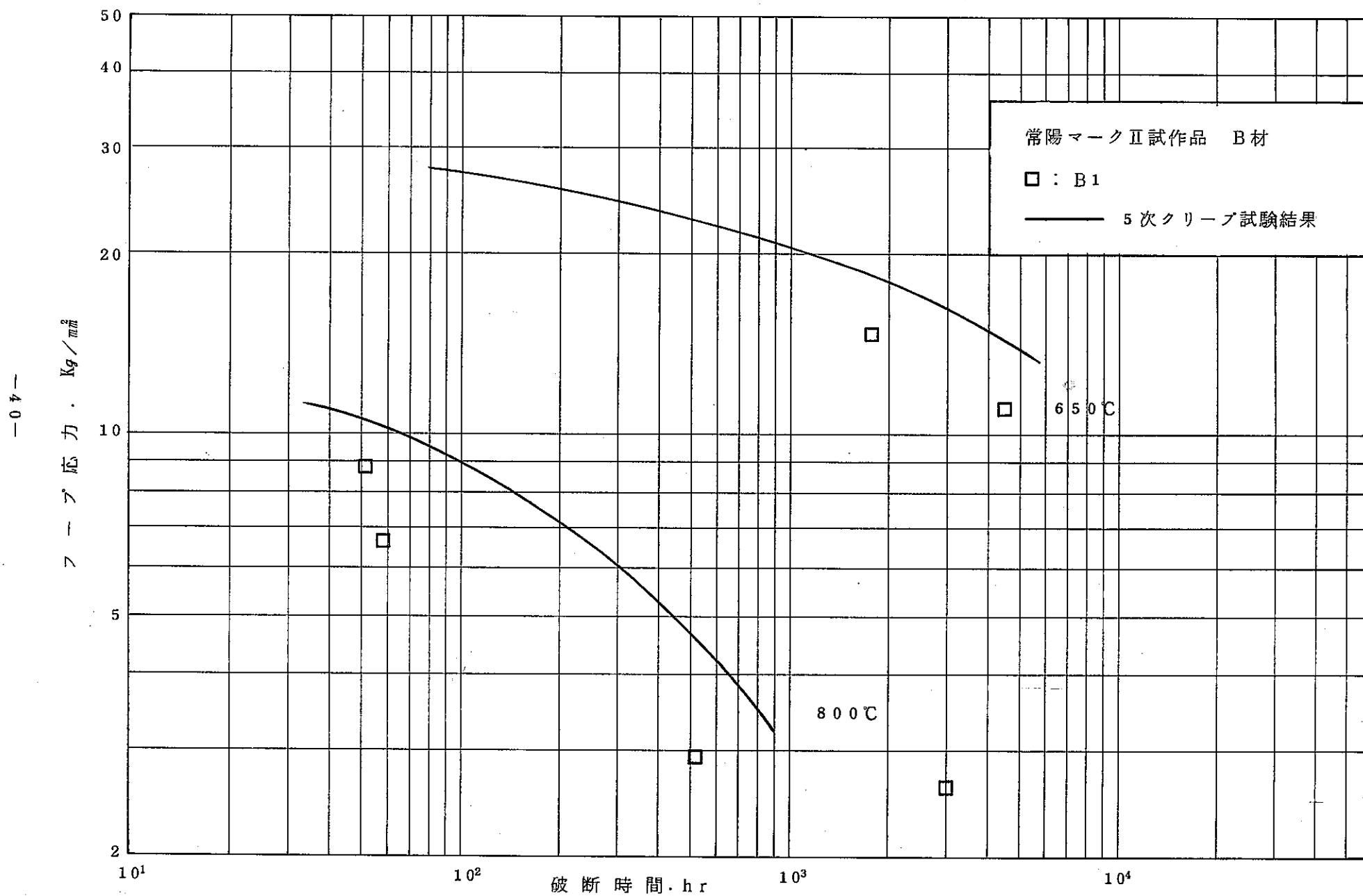


表 14 高温内圧バースト試験結果 もんじゅ試作品, A1材

試験温度 (℃)	試験片番号	破断圧力 (Kg/cm ²)	0.2%耐圧 (Kg/cm ²)	破断周応力 (Kg/mm ²)	周伸び (%)	加圧速度 (Kg/cm ² ・min ⁻¹)
R. T	K4004-7	1500	1410	101.0	4.4	164
	K4015-8	1521	1419	102.4	3.9	160
400	K4017-8	1178	—	79.3	—	176
	K4022-13	1199	—	80.7	—	174
500	K4017-14	1134	—	76.3	—	175
	K4028-13	1145	—	77.1	—	176
600	K4015-14	1017	—	68.4	—	176
	K4017-10	965	—	64.9	—	175
650	K4022-10	858	—	57.7	—	176
	K4028-15	864	—	58.1	—	175
700	K4017-15	756	—	50.9	—	175
	K4057-2	746	—	50.2	—	175
750	K4022-9	653	—	43.9	—	175
	K4057-4	653	—	43.9	—	175
800	K4004-15	563	—	37.9	—	175
	K4017-12	563	—	37.9	—	178

表 15 高温内圧バースト試験結果 もんじゅ試作品, A 3 材

試験温度 ($^{\circ}\text{C}$)	試験片番号	破断圧力 (Kg/cm^2)	0.2% 耐圧 (Kg/cm^2)	破断周応力 (Kg/mm^2)	周伸び (%)	加圧速度 ($\text{Kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)
R. T	K4069-7	1560	1470	105.0	6.9	164
	K4073-7	1599	1499	109.2	2.5	178
400	K4083-7	1266	—	85.2	—	176
	K4084-8	1278	—	86.0	—	176
500	K4069-9	1200	—	80.8	—	176
	K4088-14	1206	—	81.2	—	175
600	K4073-9	1065	—	71.7	—	175
	K4084-14	1062	—	71.5	—	175
650	K4084-9	933	—	62.8	—	175
	K4088-16	927	—	62.4	—	176
700	K4069-11	789	—	53.1	—	175
	K4073-11	795	—	53.5	—	175
750	K4083-14	666	—	44.8	—	174
	K4073-15	651	—	43.8	—	175
800	K4069-14	558	—	37.6	—	175
	K4084-11	551	—	37.1	—	176

表 16 高温内圧バースト試験結果 もんじゅ試作品, B1材

試験温度 (℃)	試験片番号	破断圧力 (Kg/cm ²)	0.2%耐圧 (Kg/cm ²)	破断周応力 (Kg/mm ²)	周伸び (%)	加圧速度 (Kg/cm ² .min ⁻¹)
R. T	S5023-2	1440	1325	96.9	4.9	180
	S5025-1	1427	1320	96.0	2.0	180
400	S5023-4	1143	—	76.9	—	176
	S5025-2	1140	—	76.7	—	176
500	S5023-5	1086	—	73.1	—	175
	S5025-4	1092	—	73.5	—	176
600	S5023-8	927	—	62.4	—	176
	S5025-7	929	—	62.5	—	177
650	S5023-9	800	—	53.8	—	174
	S5025-10	801	—	53.9	—	176
700	S5023-13	698	—	47.0	—	174
	S5025-12	699	—	47.0	—	173
750	S5023-15	600	—	40.4	—	175
	S5025-15	603	—	40.6	—	176
800	S5023-16	504	—	33.9	—	175
	S5025-19	495	—	33.3	—	176

表 17. 高温内圧バースト試験結果 もんじゅ試作品, B3材

試験温度 ($^{\circ}\text{C}$)	試験片番号	破断圧力 (Kg/cm^2)	0.2%耐圧 (Kg/cm^2)	破断周応力 (Kg/mm^2)	周伸び (%)	加圧速度 ($\text{Kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$)
R. T	S5194-8	1448	1370	97.5	6.9	177
	S5199-10	1446	1338	97.3	3.4	181
400	S5215-7	1146	—	77.1	—	177
	S5216-7	1145	—	77.1	—	175
500	S5194-9	1092	—	73.5	—	176
	S5218-15	1098	—	73.9	—	175
600	S5199-11	935	—	62.9	—	176
	S5215-10	923	—	62.1	—	176
650	S5216-12	807	—	54.3	—	177
	S5218-16	816	—	54.9	—	175
700	S5194-10	720	—	48.5	—	176
	S5199-13	725	—	48.8	—	176
750	S5215-11	615	—	41.4	—	175
	S5216-13	612	—	41.2	—	175
800	S5194-14	525	—	35.3	—	176
	S5199-15	513	—	34.5	—	176

表 18 高温内圧バースト試験結果 常陽マークⅡ試作品，A 2 材

試験温度 (℃)	試験片番号	破断圧力 (Kg/cm ²)	0.2%耐圧 (Kg/cm ²)	破断周応力 (Kg/mm ²)	周伸び (%)	加圧速度 (Kg/cm ² .min ⁻¹)
R. T	K11118-4	1345	1230	99.0	9.88	195
	K1120-6	1376	1230	101.3	4.68	173
400	K1123-4	1097	—	80.7	—	176
	K1126-4	1100	—	81.0	—	177
500	K1131-4	1046	—	77.0	—	177
	K1154-5	1051	—	77.4	—	177
600	K1118-5	925	—	68.1	—	175
	K1156-3	916	—	67.4	—	175
650	K1120-7	823	—	60.6	—	176
	K1123-6	806	—	59.3	—	177
700	K1126-6	712	—	52.4	—	175
	K1131-5	724	—	53.3	—	175
750	K1154-8	650	—	47.8	—	184
	K1156-6	635	—	46.7	—	176
800	K1120-9	539	—	39.7	—	176
	K1156-8	538	—	39.6	—	174

表 19 高温内圧バースト試験結果 常陽マークⅡ試作品, A3材

試験温度 (℃)	試験片番号	破断圧力 (Kg/cm ²)	0.2%耐圧 (Kg/cm ²)	破断周応力 (Kg/mm ²)	周伸び (%)	加圧速度 (Kg/cm ² .min ⁻¹)
R. T	K1206-4	1417	1281	104.3	3.71	175
	K1217-3	1418	1295	104.4	3.01	174
400	K1222-3	1163	—	85.6	—	181
	K1233-3	1163	—	85.6	—	179
500	K1240-3	1056	—	77.7	—	176
	K1243-6	1044	—	76.8	—	176
600	K1206-7	923	—	67.9	—	176
	K1255-4	901	—	66.3	—	174
650	K1217-8	853	—	62.7	—	176
	K1222-8	845	—	62.2	—	175
700	K1233-7	746	—	54.9	—	176
	K1240-6	728	—	53.6	—	176
750	K1240-7	646	—	47.5	—	175
	K1255-7	622	—	45.8	—	176
800	K1206-8	526	—	38.7	—	176
	K1222-9	521	—	38.3	—	177

表 20 高温内圧バースト試験結果 常陽マークⅡ試作品, B1材

試験温度 (℃)	試験片番号	破断圧力 (Kg/cm ²)	0.2%耐圧 (Kg/cm ²)	破断周応力 (Kg/mm ²)	周伸び (%)	加圧速度 (Kg/cm ² ・min ⁻¹)
R. T	S1033-3	1376	1231	101.3	2.95	174
	S1037-5	1396	1292	102.7	3.13	176
400	S1046-3	1136	—	83.6	—	175
	S1049-5	1100	—	81.0	—	179
500	S1052-7	1054	—	77.6	—	176
	S1067-4	1082	—	79.6	—	176
600	S1033-7	905	—	66.6	—	176
	S1084-3	878	—	64.6	—	176
650	S1037-6	805	—	59.2	—	176
	S1046-9	806	—	59.3	—	176
700	S1049-6	700	—	51.5	—	176
	S1052-9	682	—	50.2	—	174
750	S1067-8	605	—	44.5	—	178
	S1084-5	595	—	43.8	—	174
800	S1033-9	503	—	37.0	—	177
	S1037-8	512	—	37.7	—	176

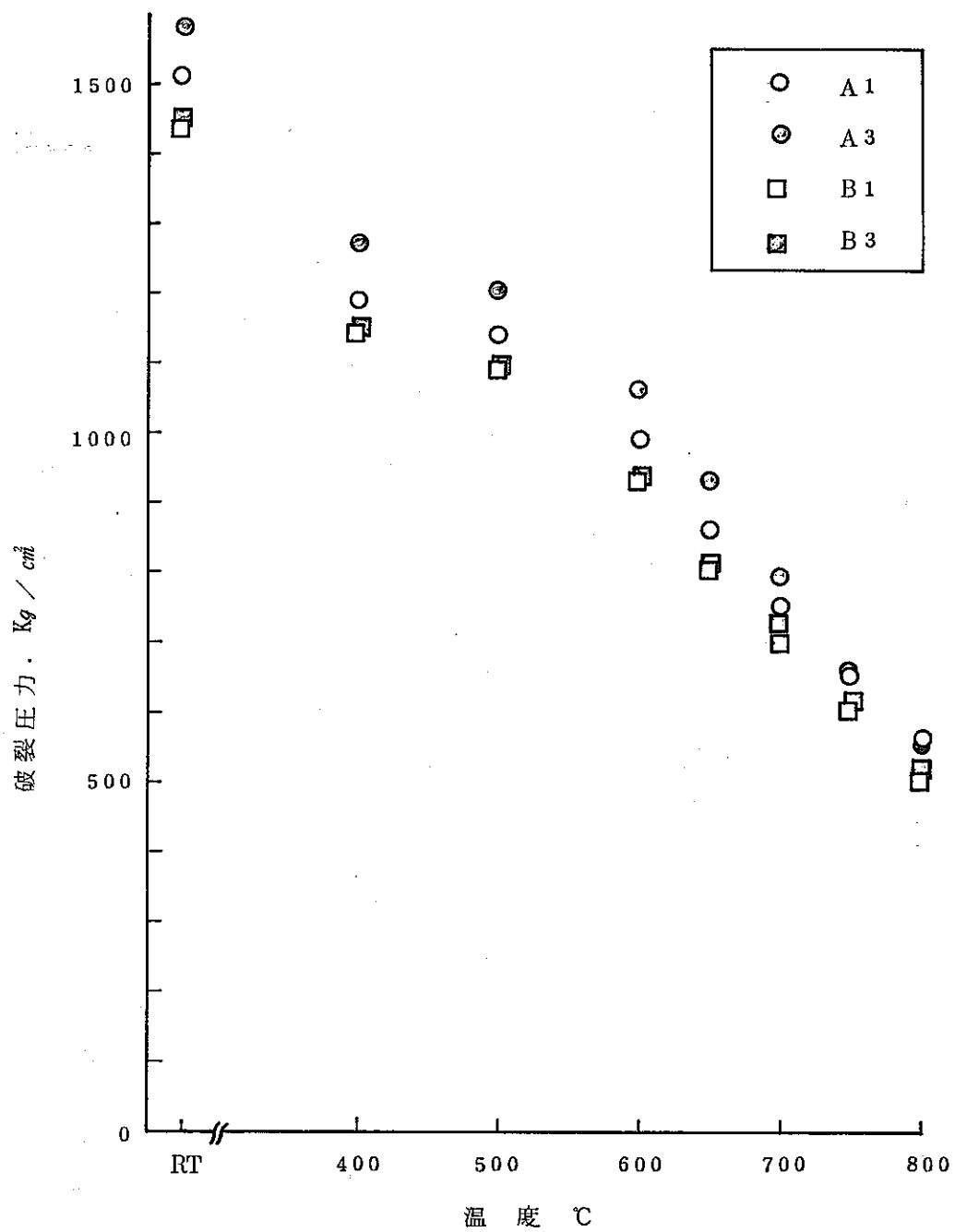


図 10 内圧破裂強度，もんじゅ試作品

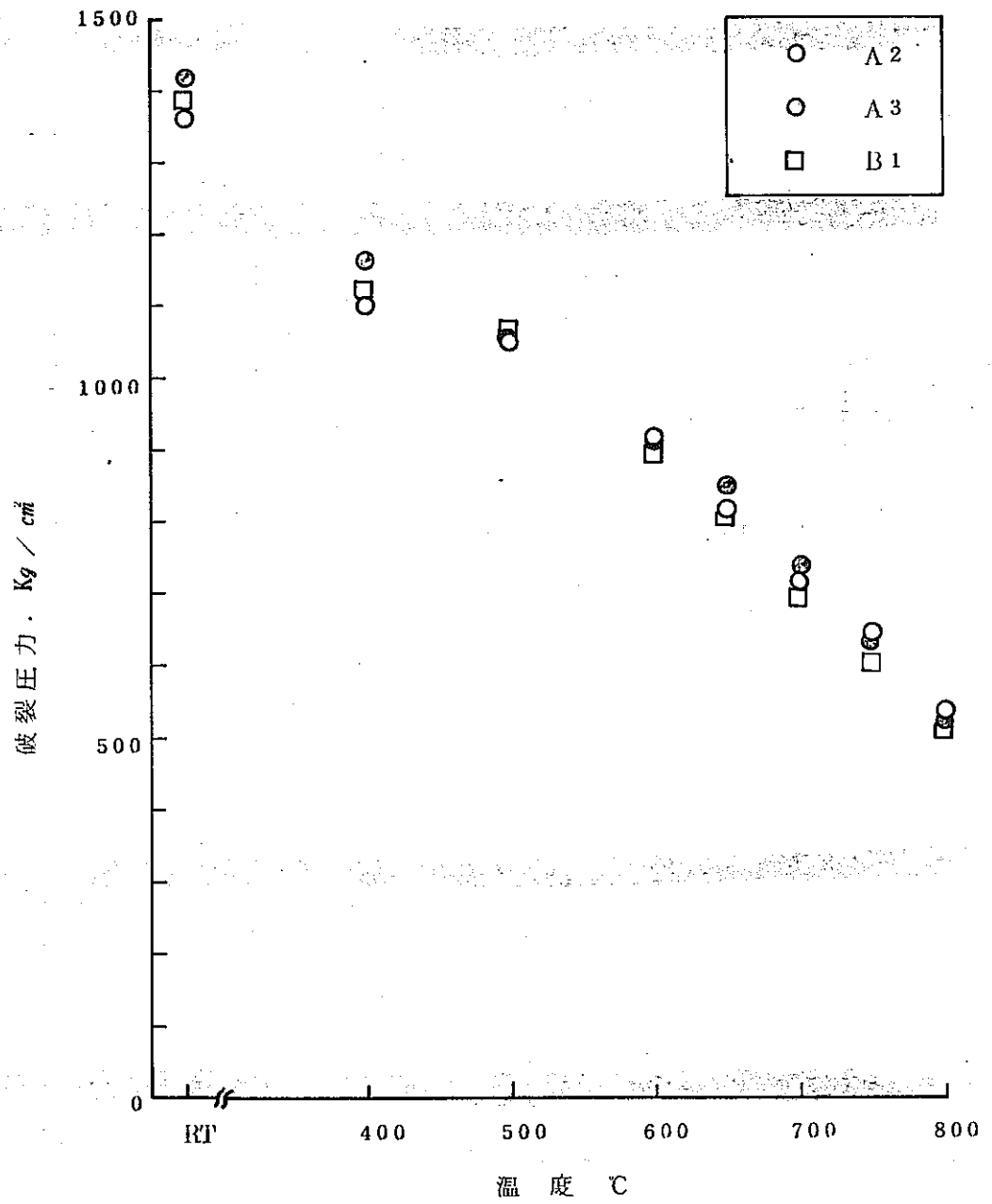


図 11 内圧破裂強度，常陽マークⅡ試作品



K4004-2 650°C 330Kg/cm² 1100.2hr



K4015-2 800°C 55Kg/cm² 1375.5hr



K4022-3 800°C 40Kg/cm² 4780.7hr

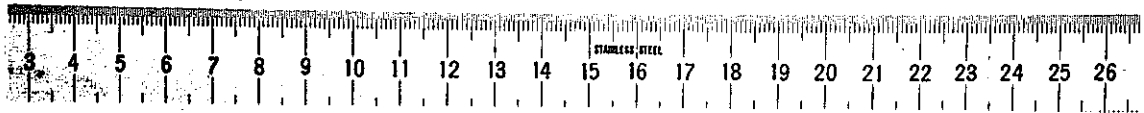


写真8 内圧クリーブ破断試験片の外観（もんじゅ試作品A1材）



K4069-2 650°C 330Kg/cm² 724.4hr



K4073-6 800°C 55Kg/cm² 702.3hr



写真9 内圧クリーブ破断試験片の外観（もんじゅ試作品A3材）



S5024-4 700°C 180Kg/cm² 778.7hr

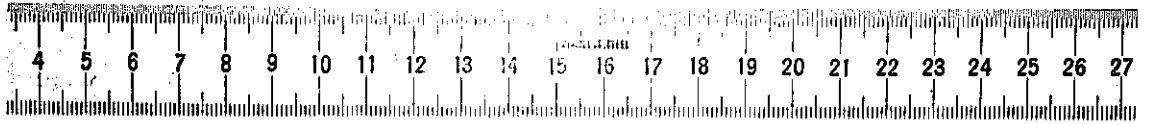


写真 10 内圧クリーブ破断試験片の外観 (もんじゅ試作品 B 1 材)



S5194-3 650°C 420Kg/cm² 121.5hr



S5194-4 650°C 350Kg/cm² 478.0hr



S5215-6 650°C 300Kg/cm² 1524.5hr



S5218-6 650°C 250Kg/cm² 2607.3hr

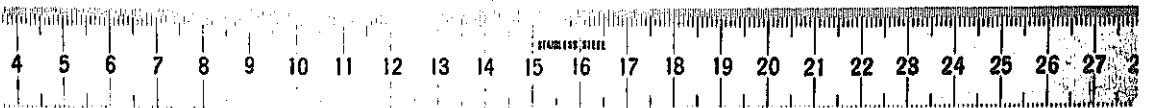


写真 11 内圧クリーブ破断試験片の外観 (もんじゅ試作品 B 3 材)



S5194-6 800°C 120Kg/cm² 87.8hr



S5199-3 800°C 90Kg/cm² 216.9hr



S5218-4 800°C 50Kg/cm² 1364.1hr



S5218-5 800°C 30Kg/cm² 3127.9hr



写真12 内圧クリープ破断試験片の外観（もんじゅ試作品B3材）



S1110-2 650°C 200Kg/cm² 1785.3hr



S1140-3 650°C 150Kg/cm² 4534.0hr



写真13 内圧クリープ破断試験片の外観（常陽マークⅡ試作品B1材）



S1033-2 800°C 120Kg/cm² 51.8hr



S1046-1 800°C 90Kg/cm² 58.7hr



S1147-2 800°C 40Kg/cm² 525.2hr



S1052-1 800°C 35Kg/cm² 3039.4hr



写真14 内圧クリープ破断試験片の外観（常陽マークⅡ試作品B1材）

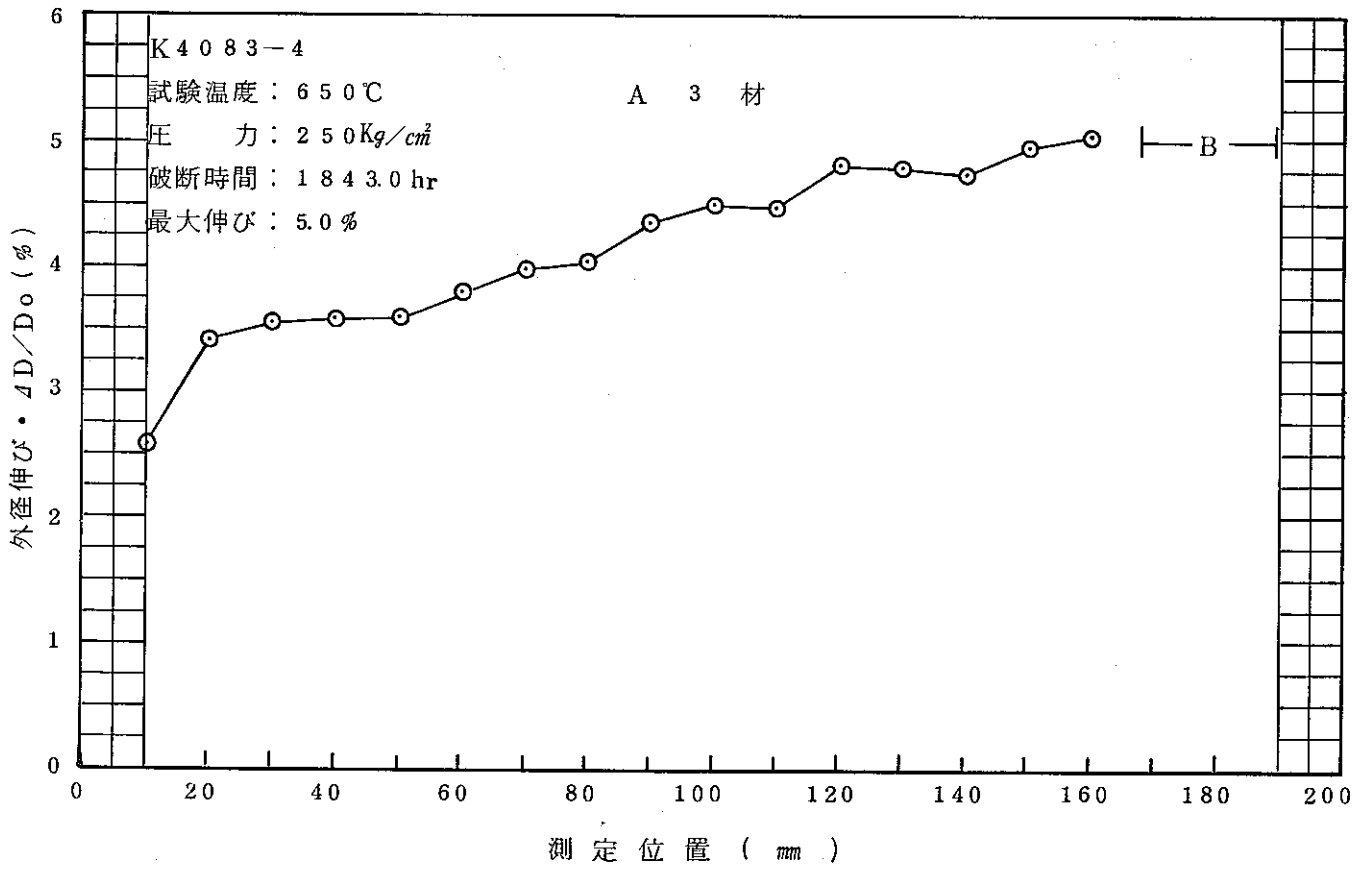
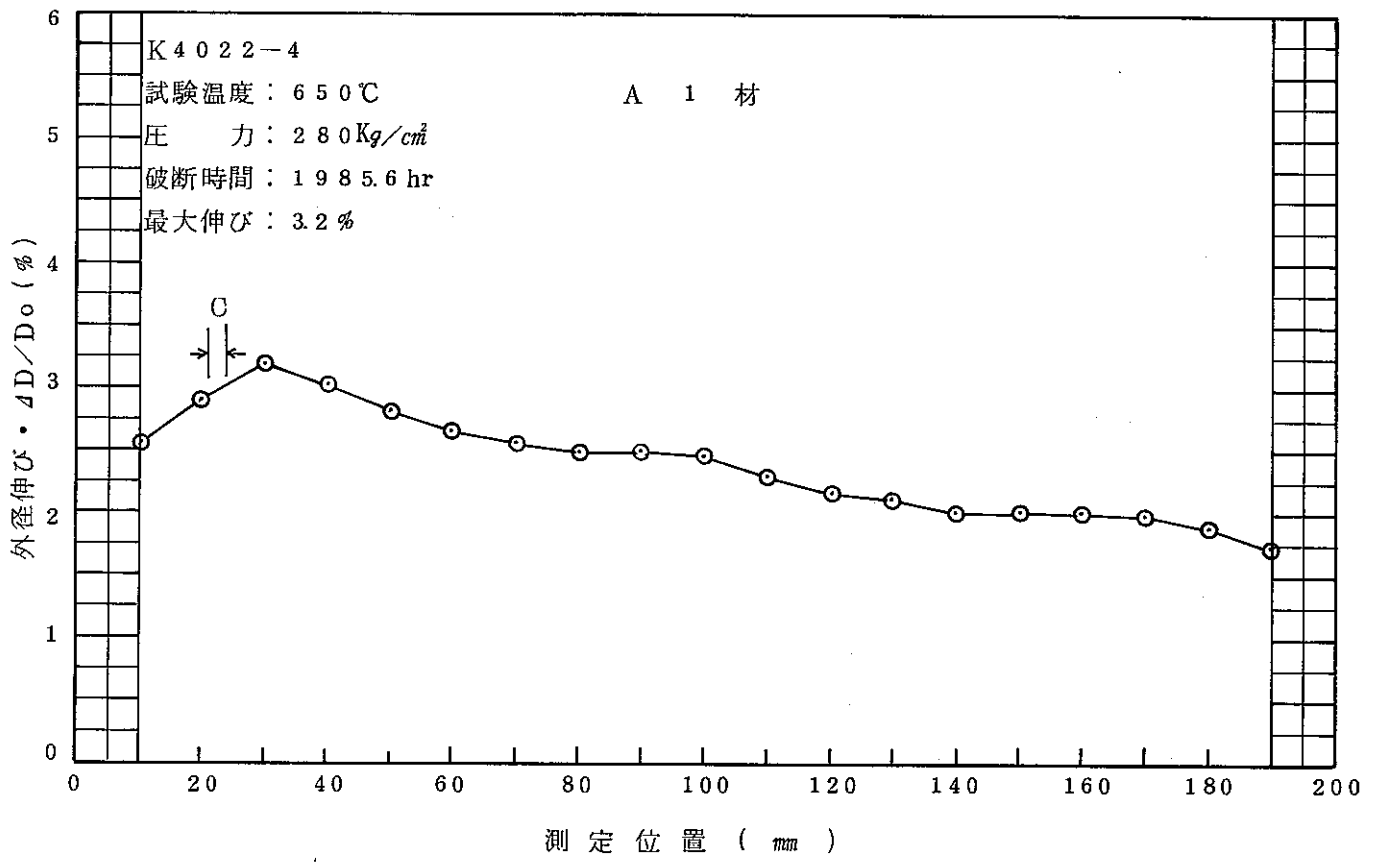


図 18 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

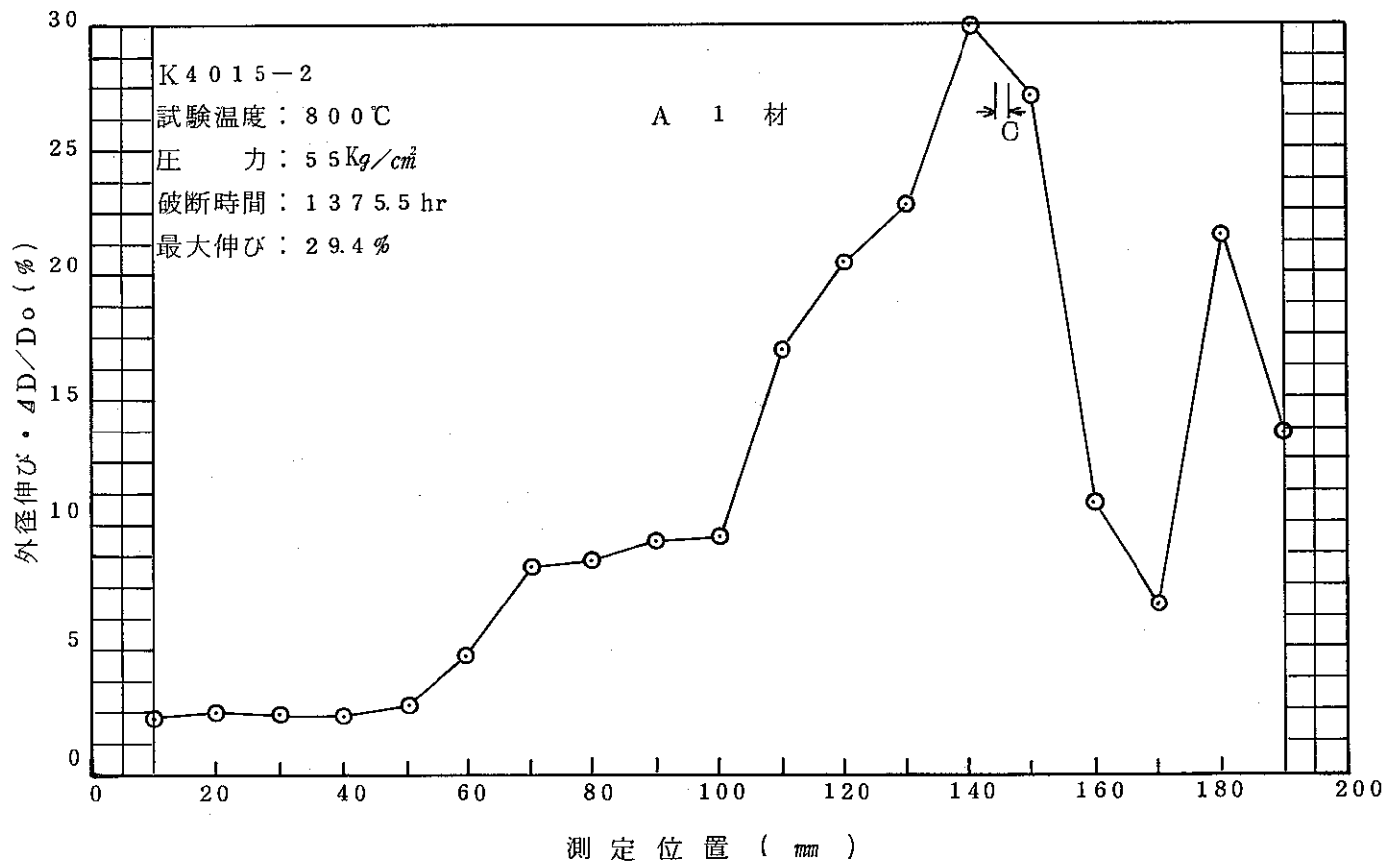
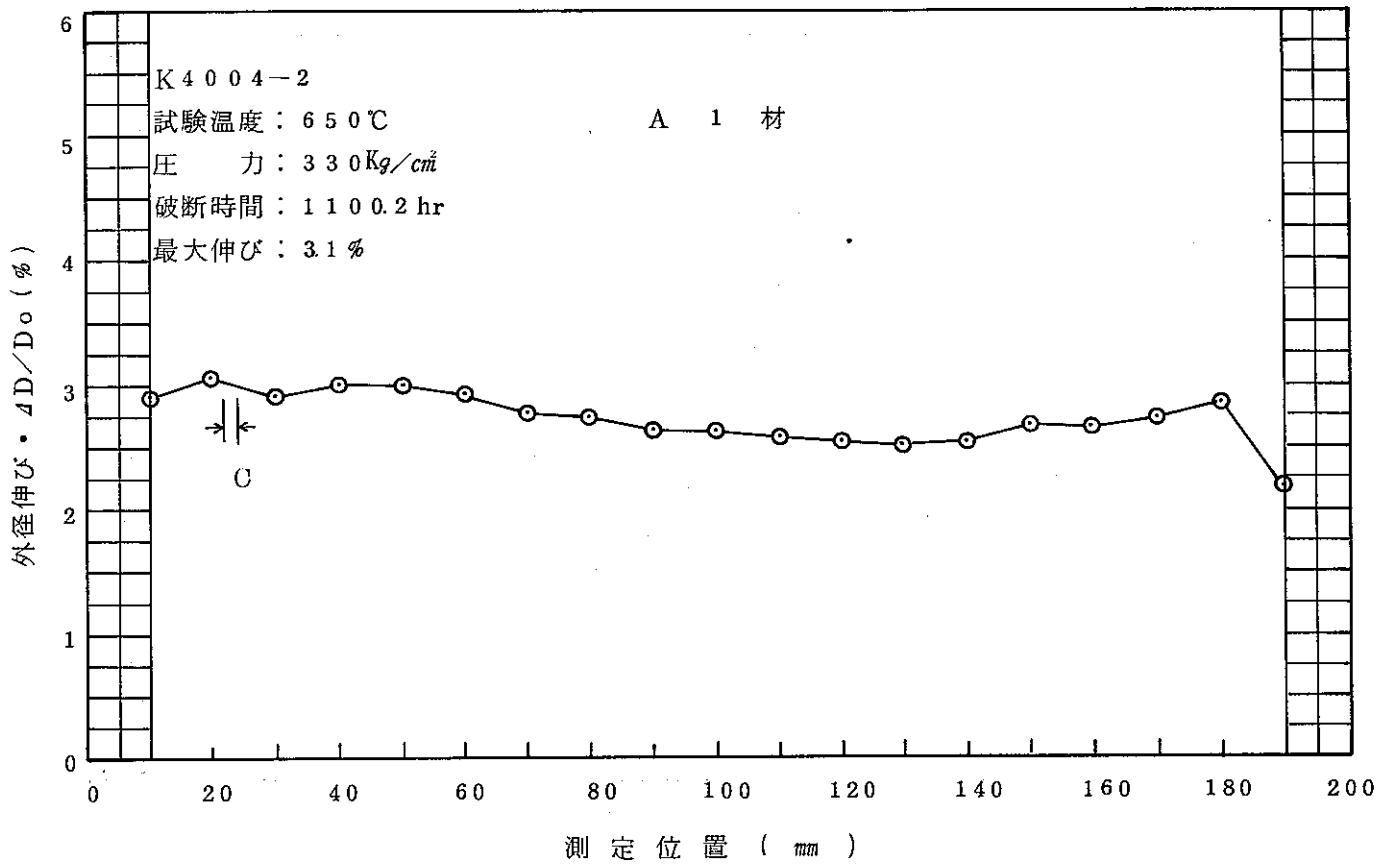


図 19 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

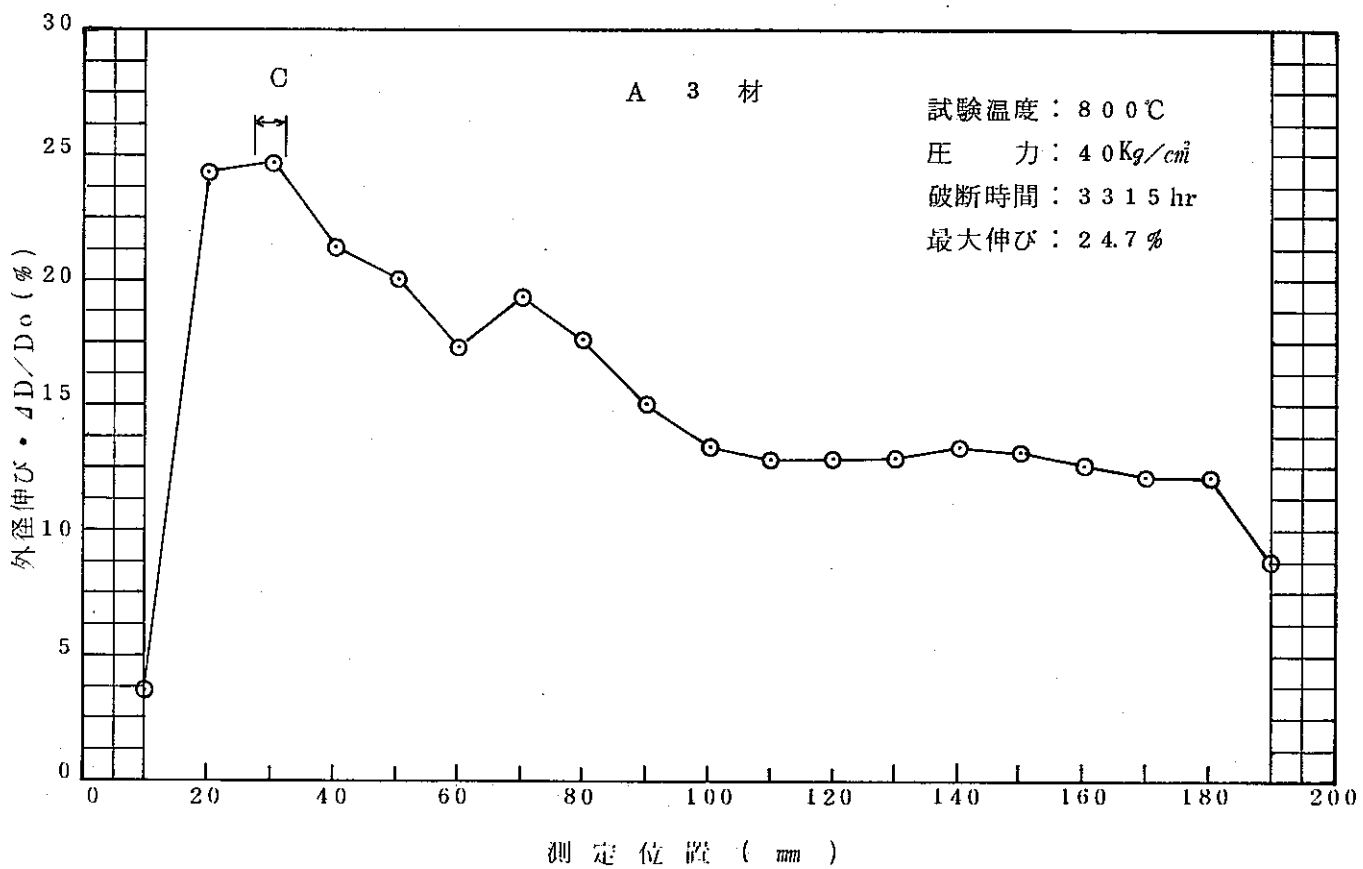
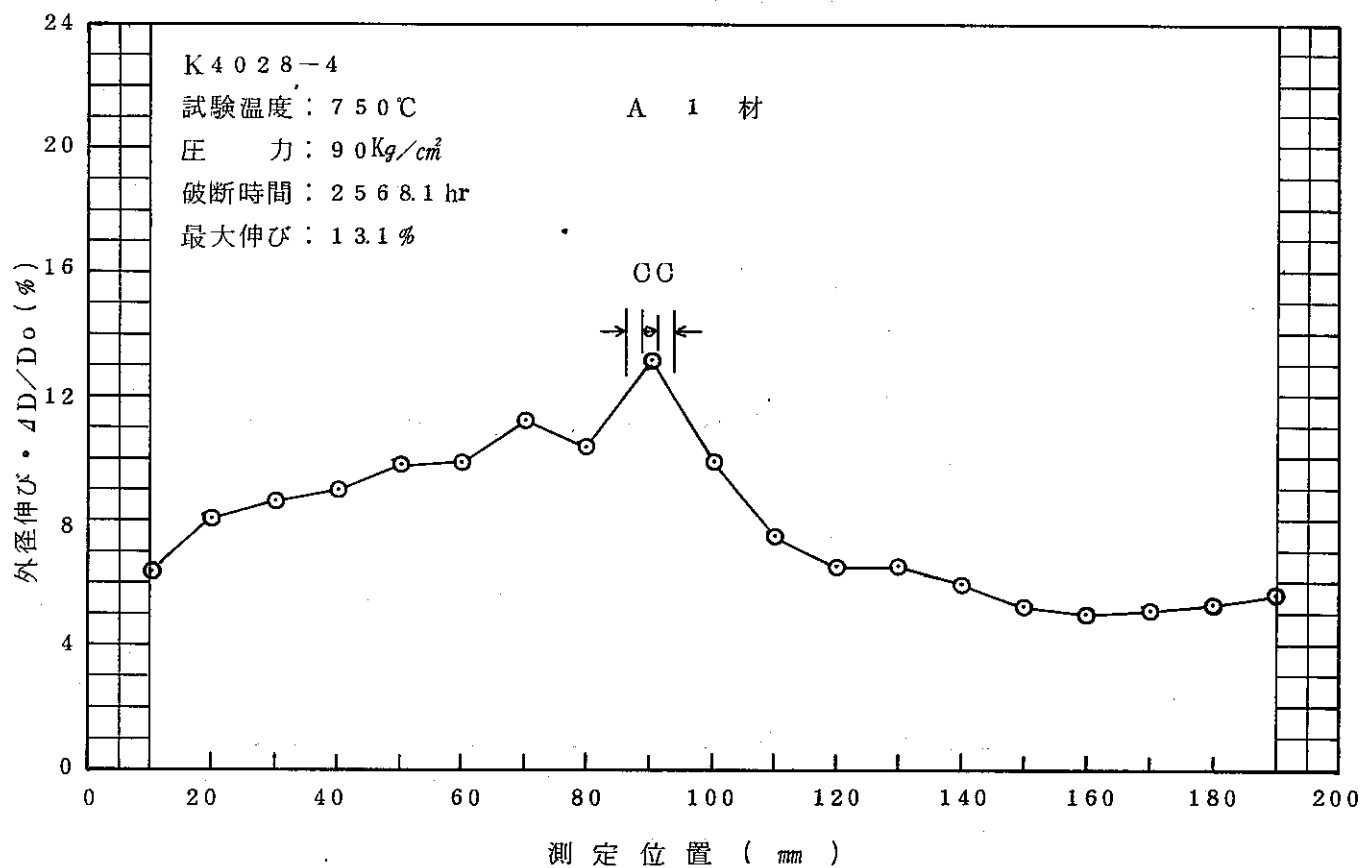


図 20 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

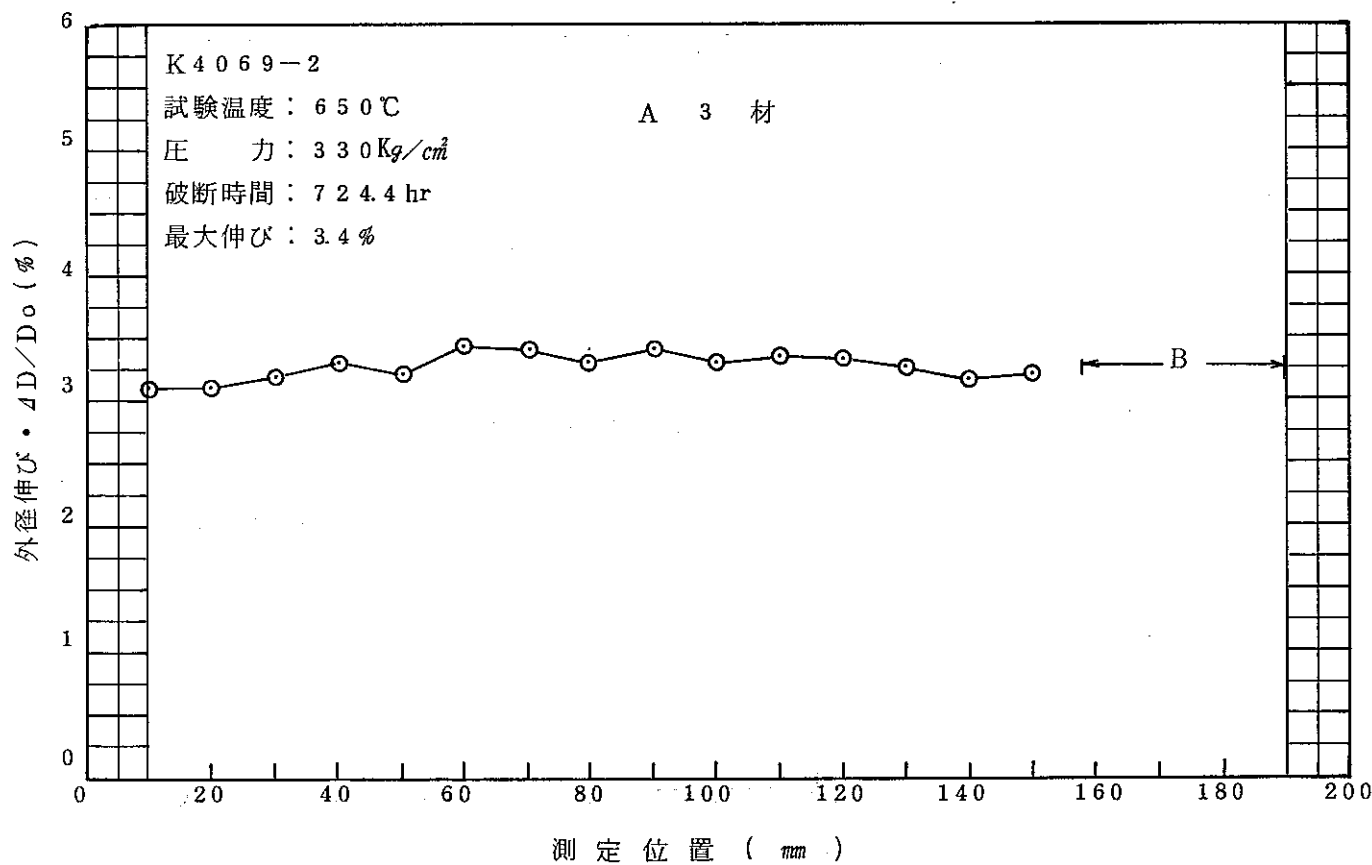
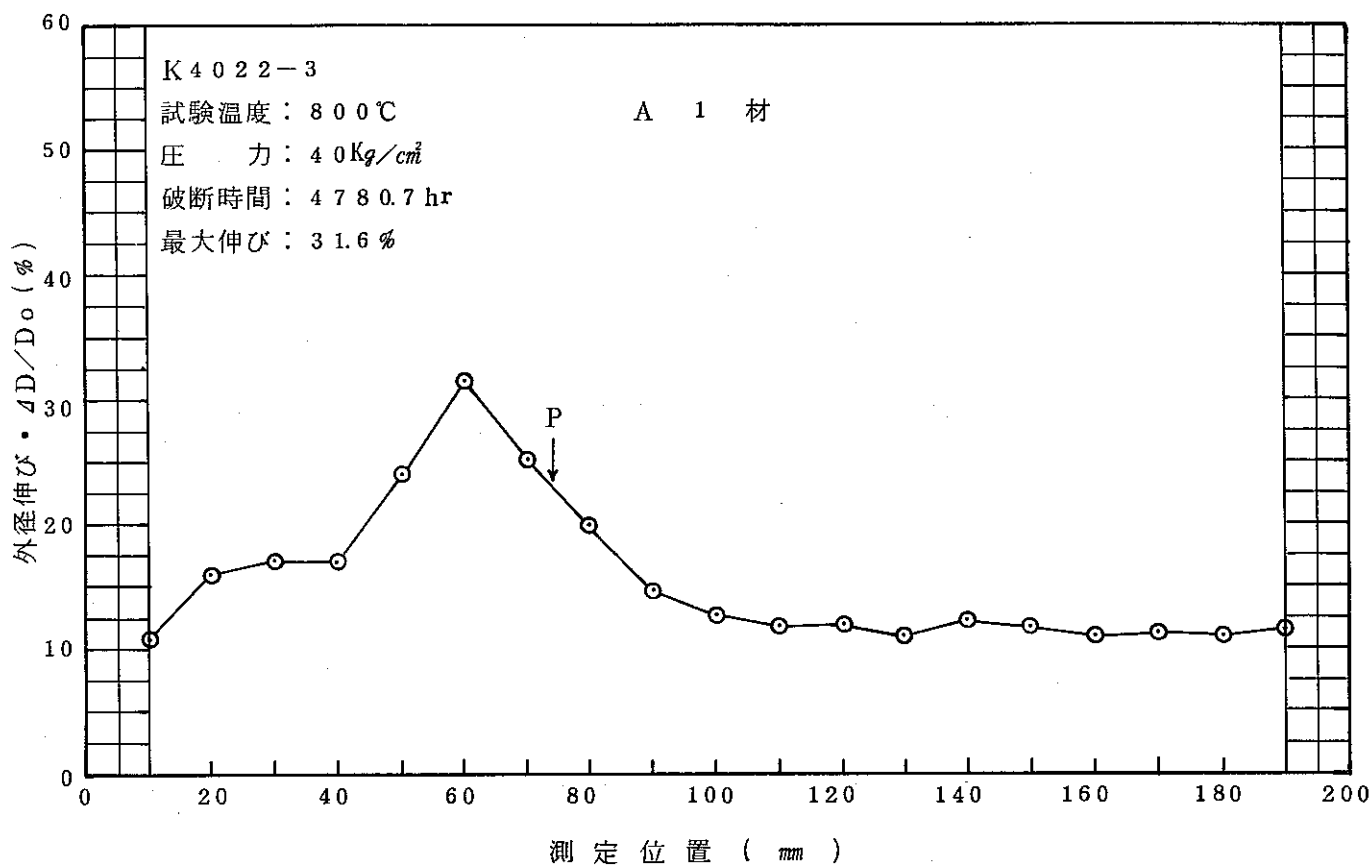


図 21 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

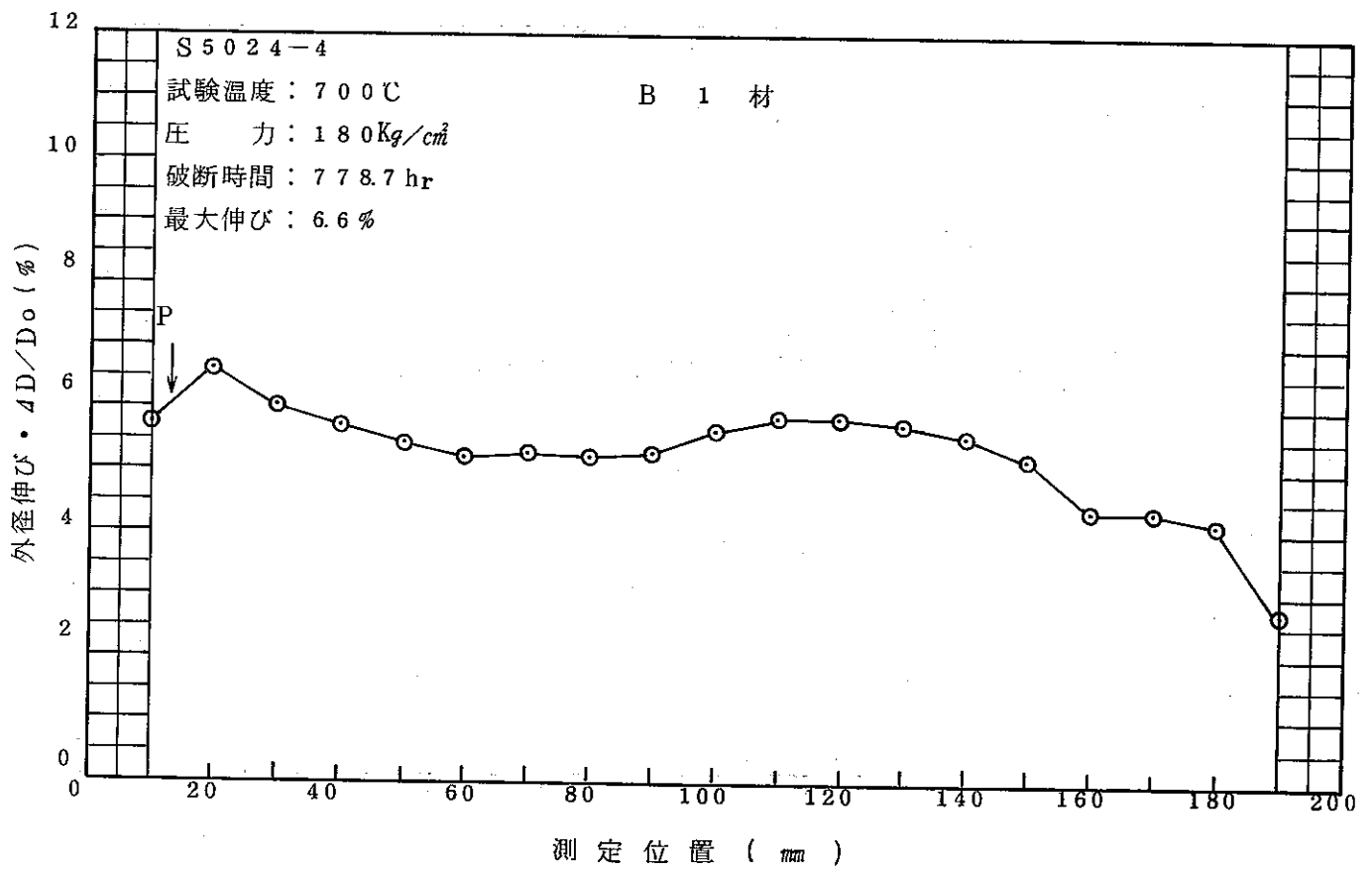
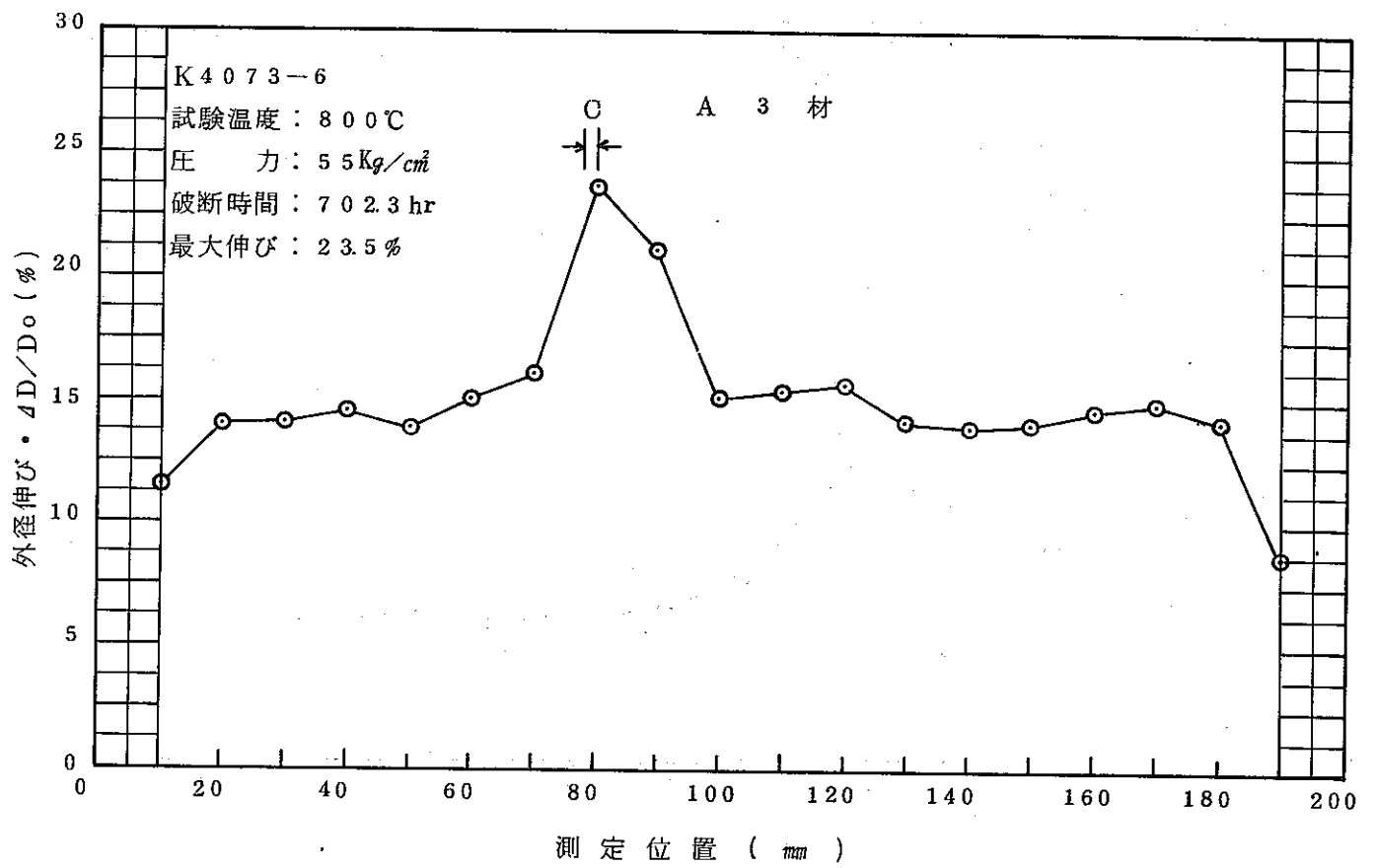


図 22 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

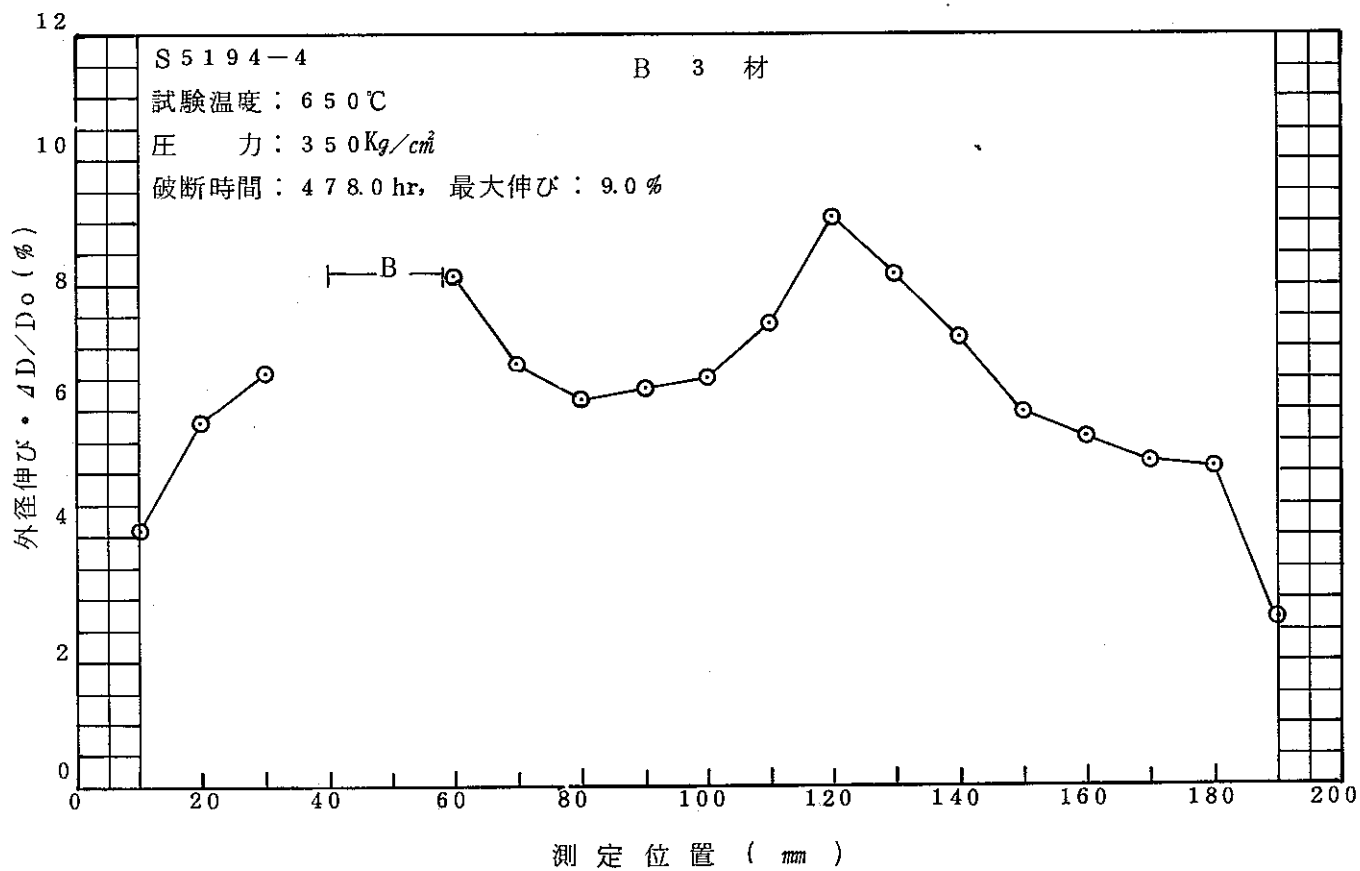
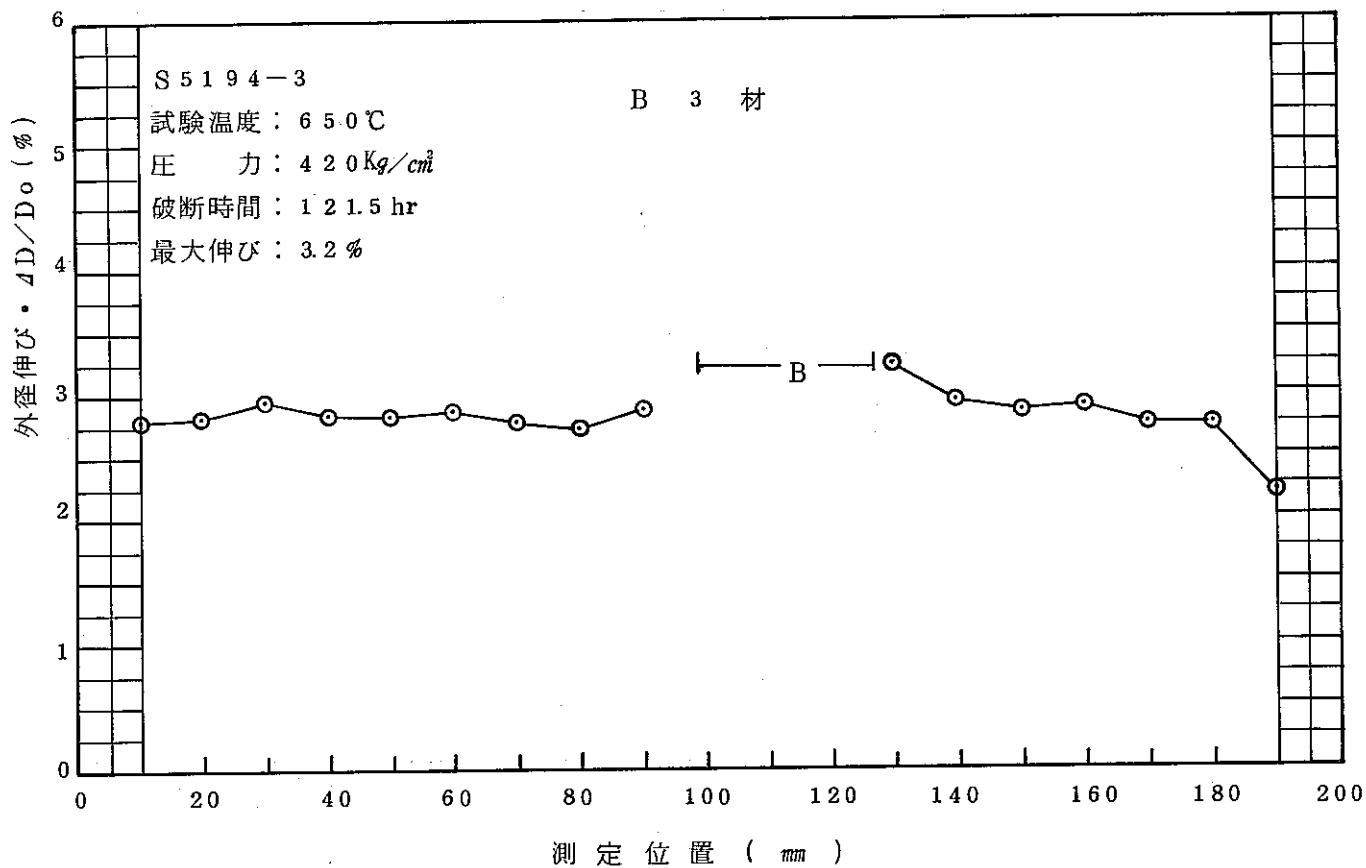


図 23 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

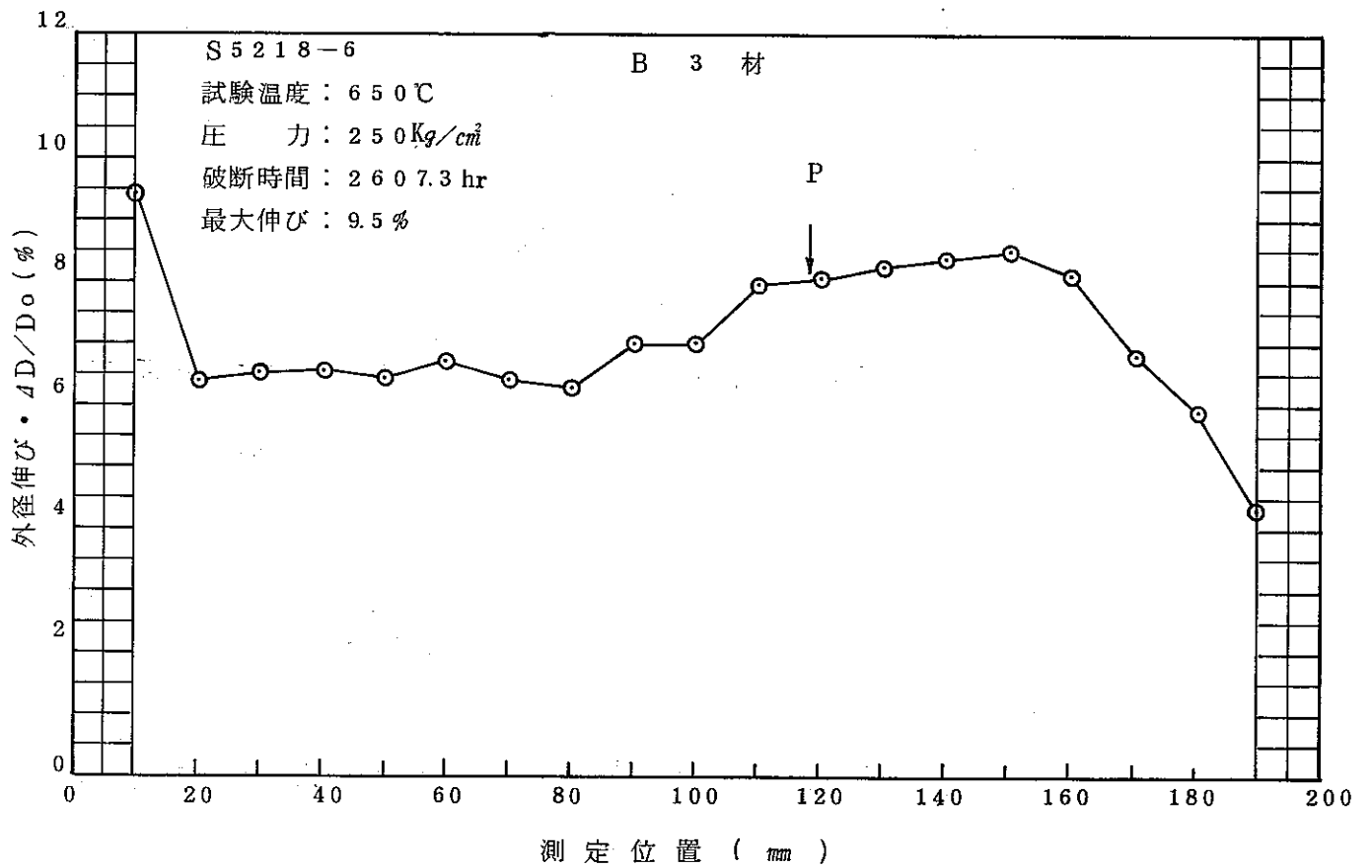
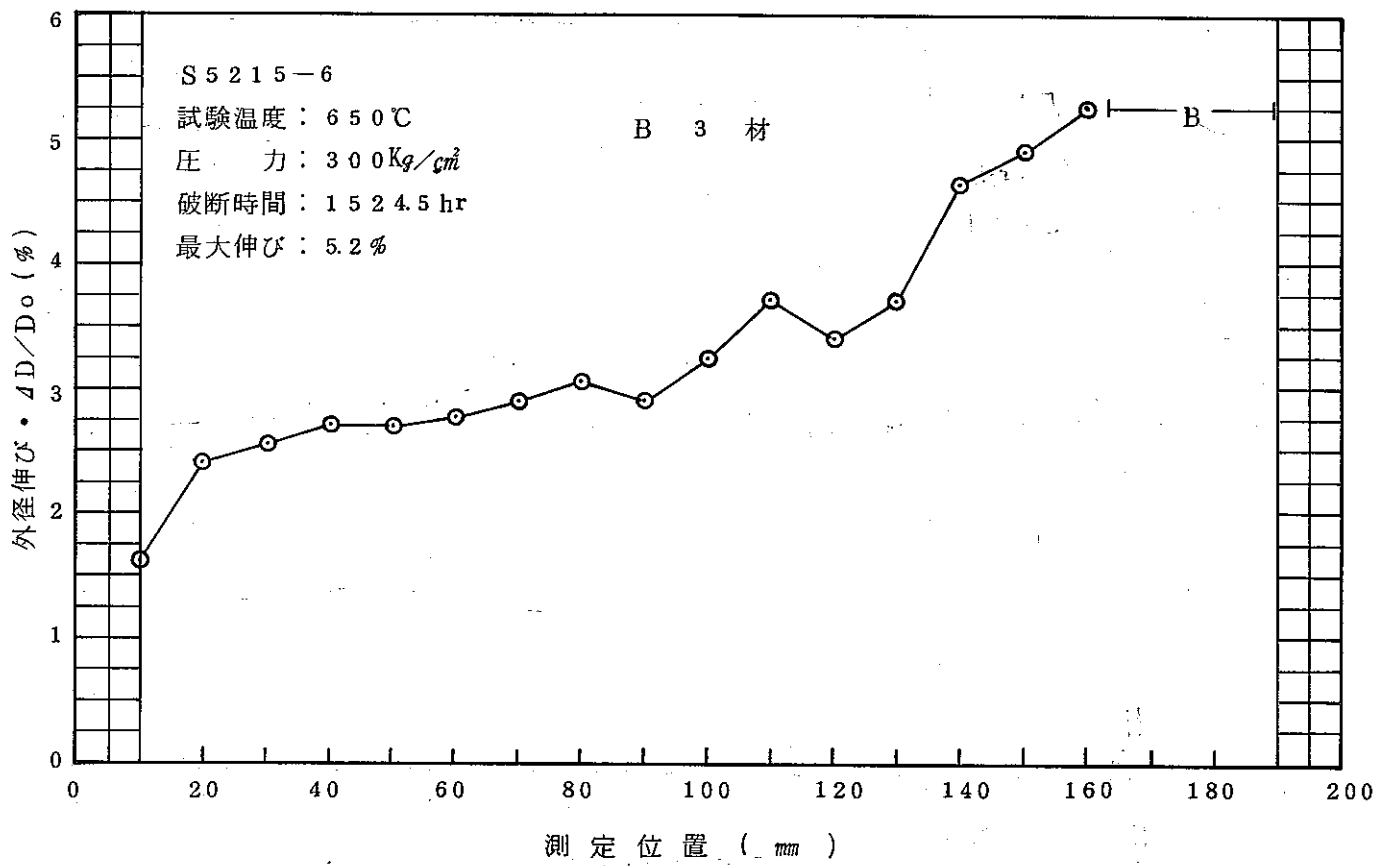


図 24 内圧クリーブ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

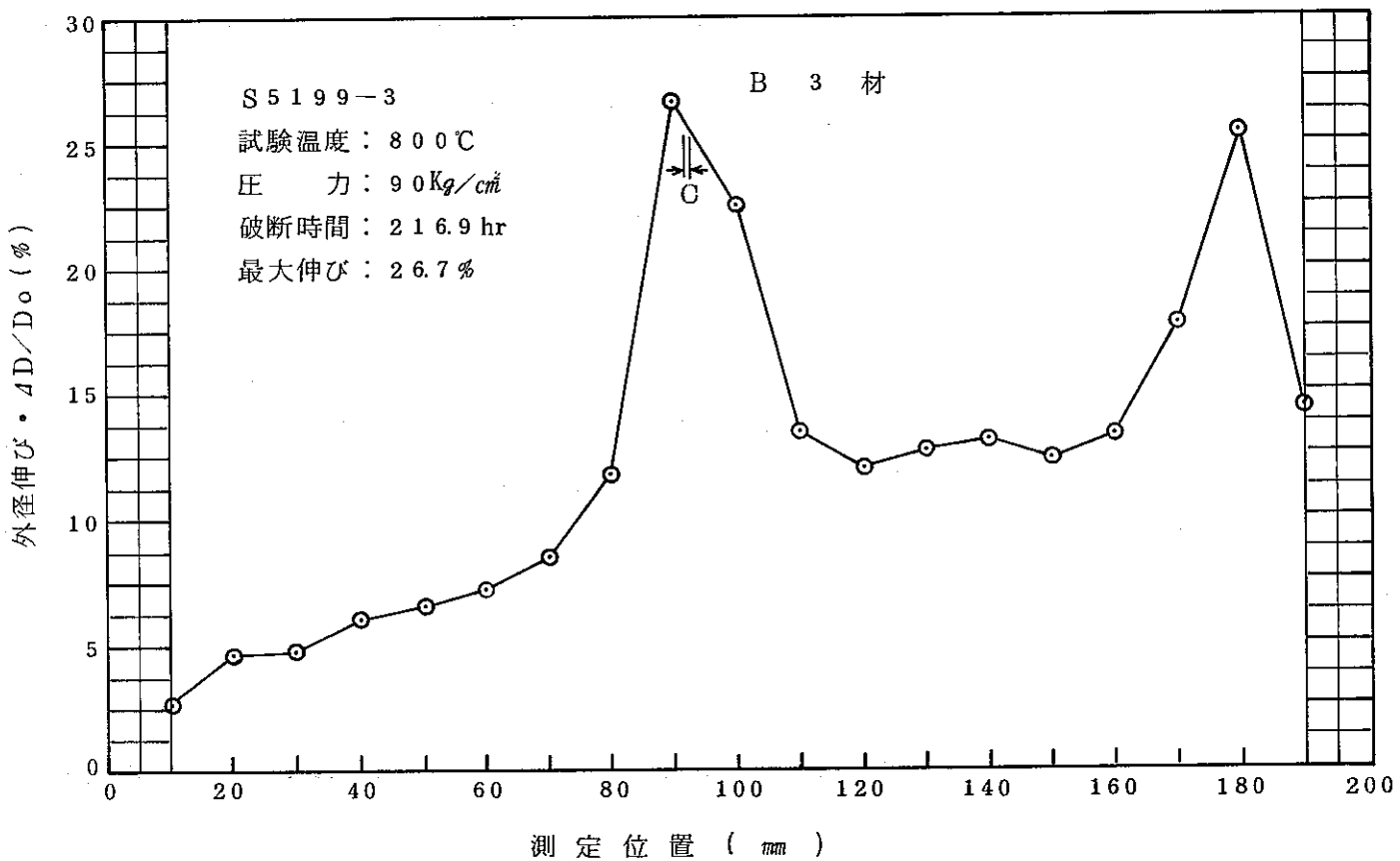
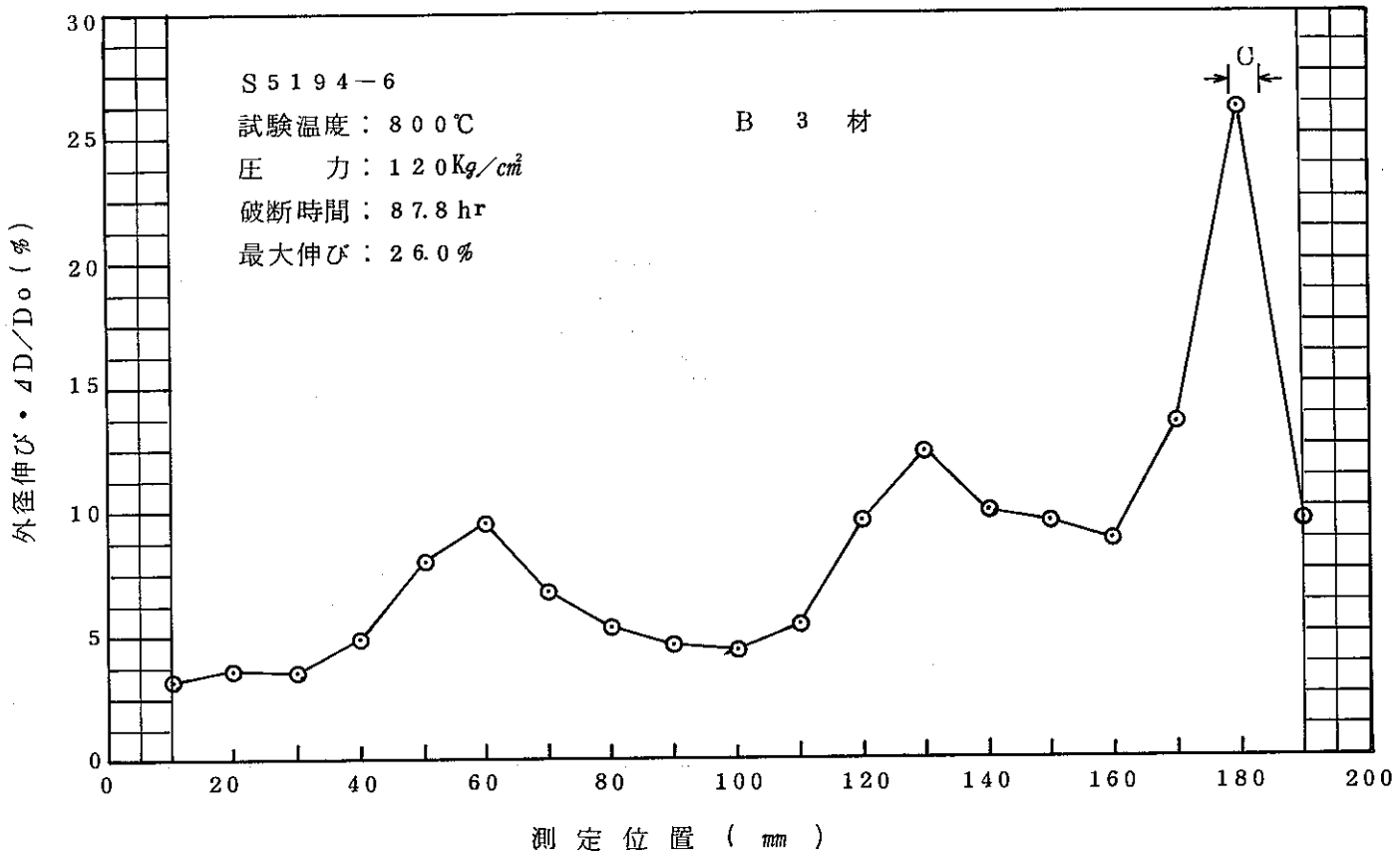


図 25 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

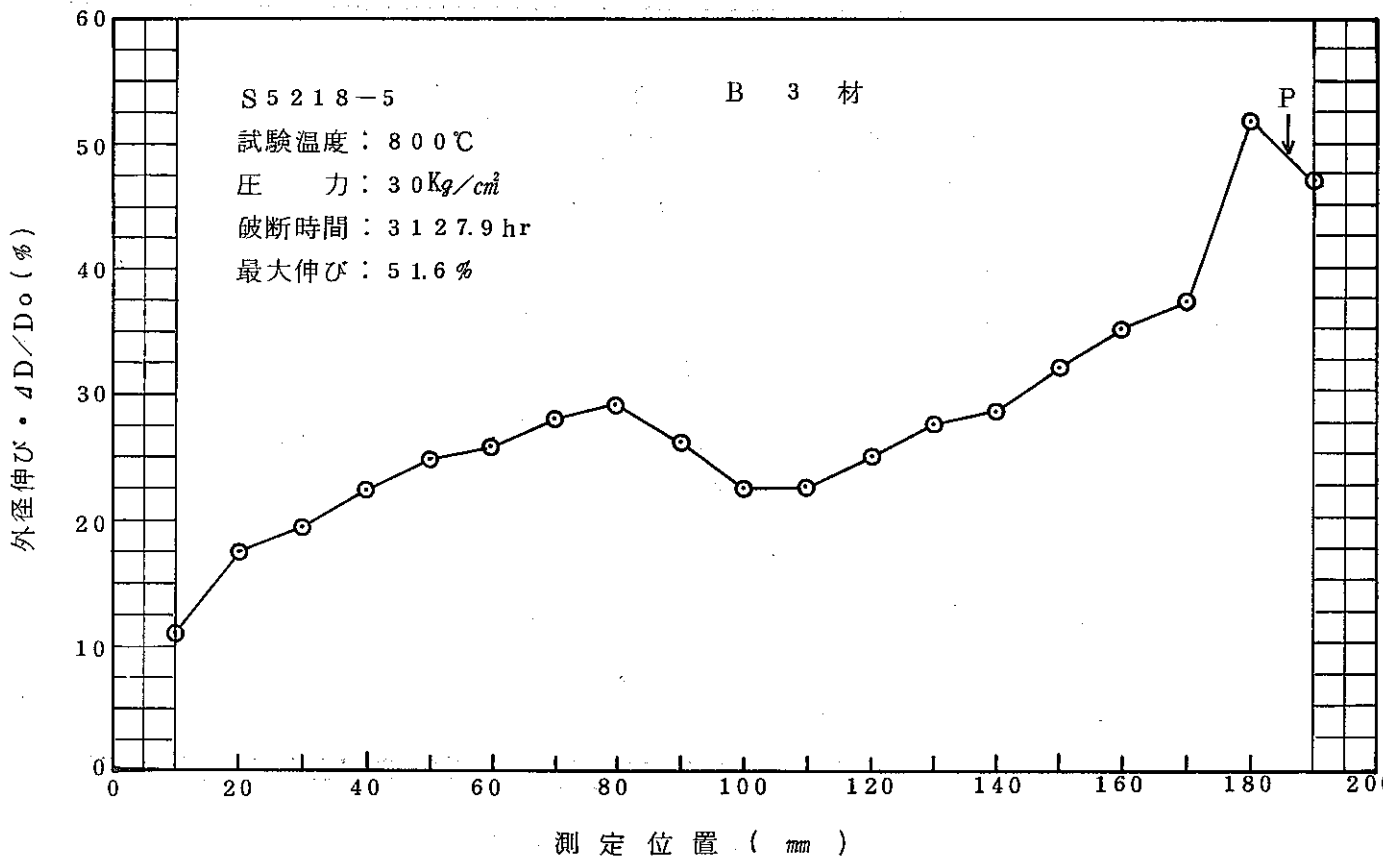
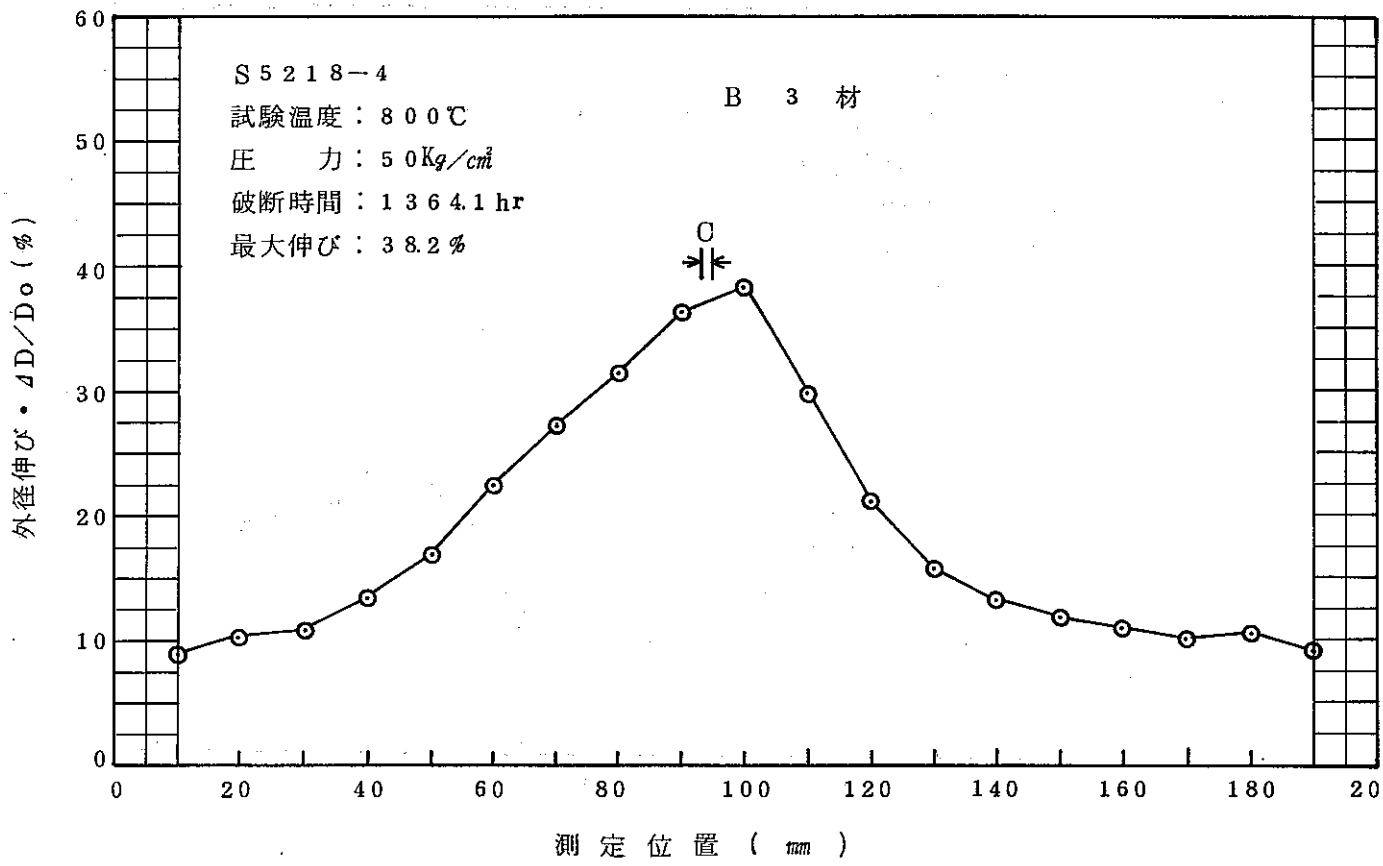


図 26 内圧クリープ破断後の外径伸び (もんじゅ試作品)

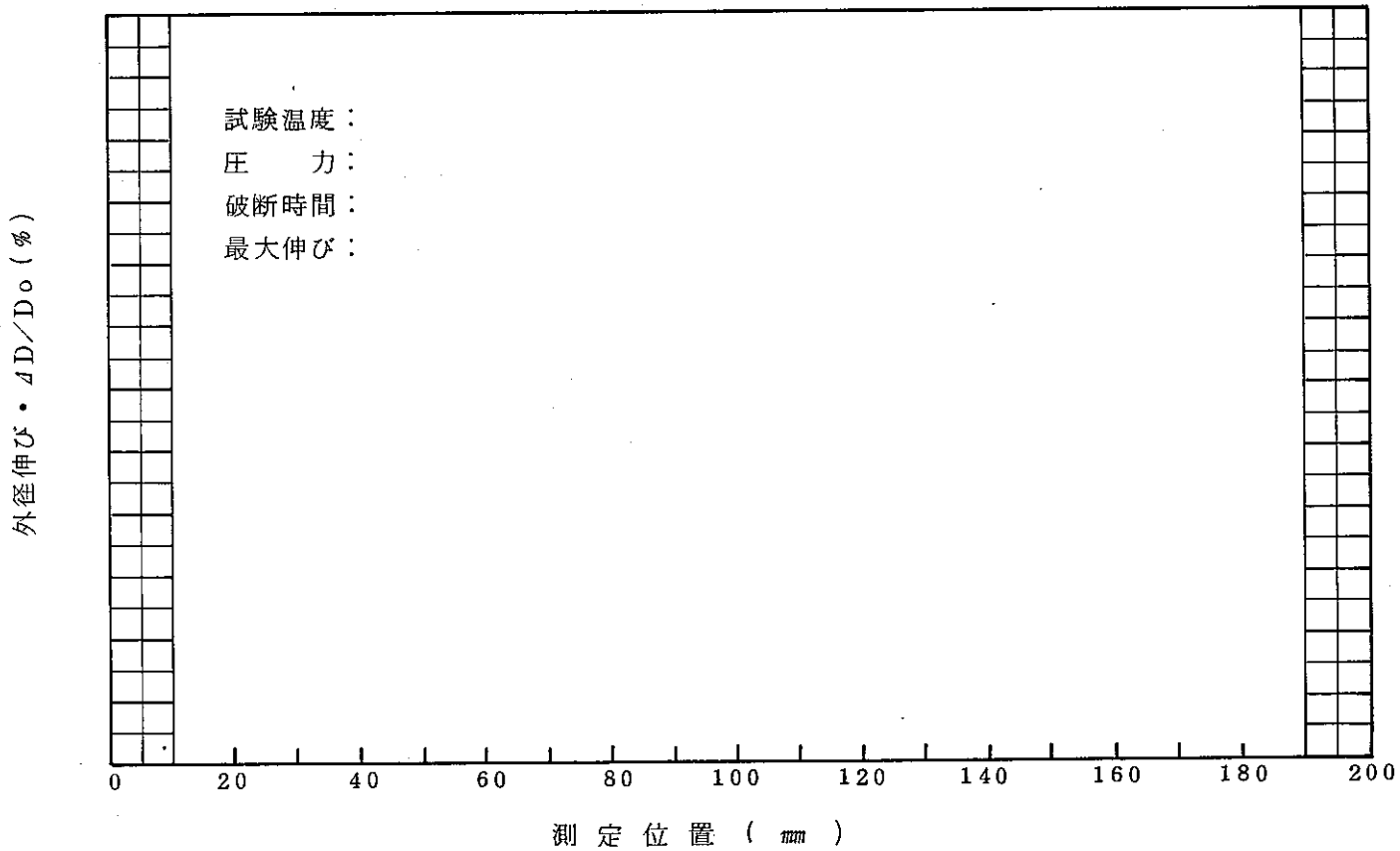
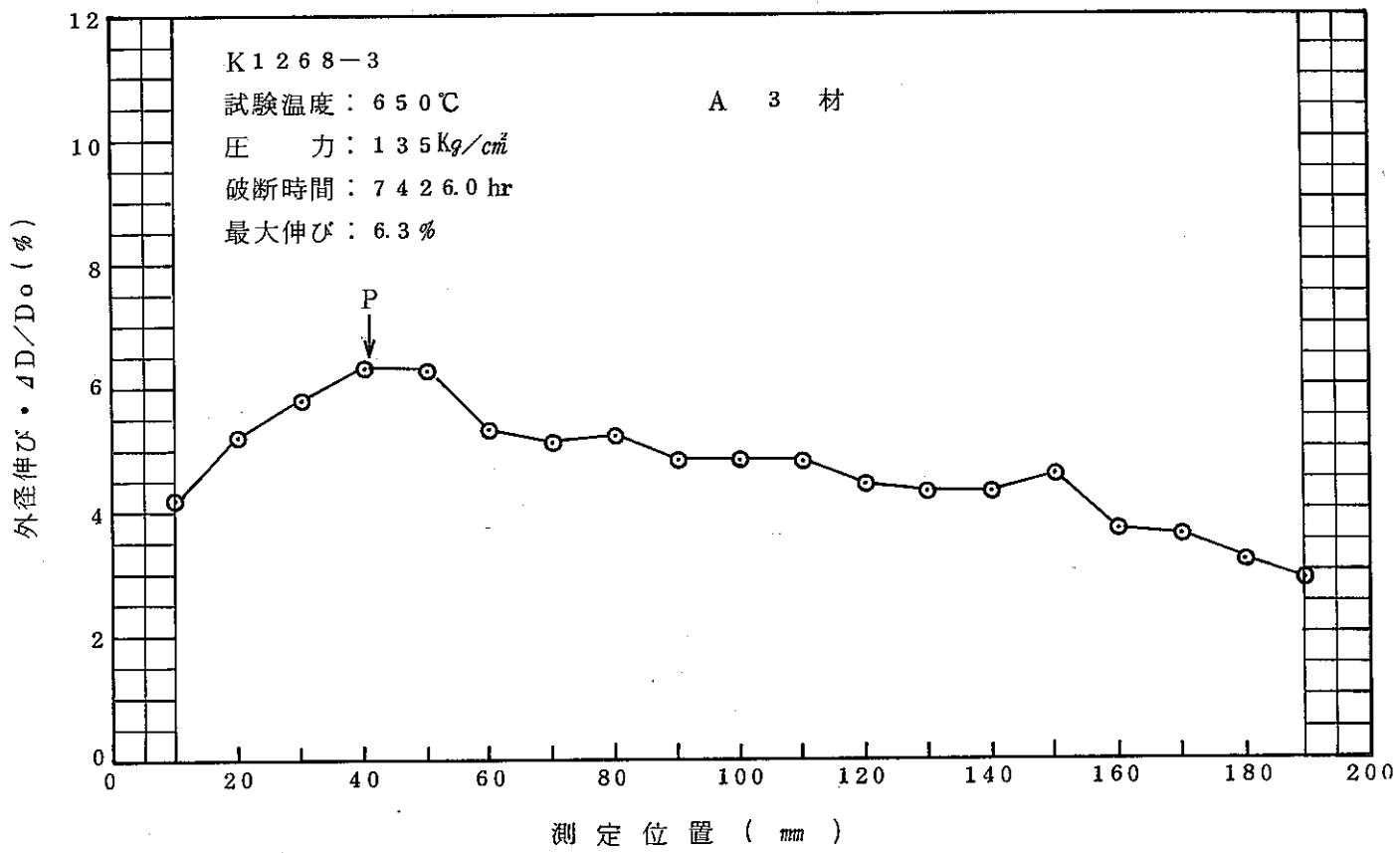


図 27 内圧クリープ破断後の外径伸び (常陽マークⅡ試作品)

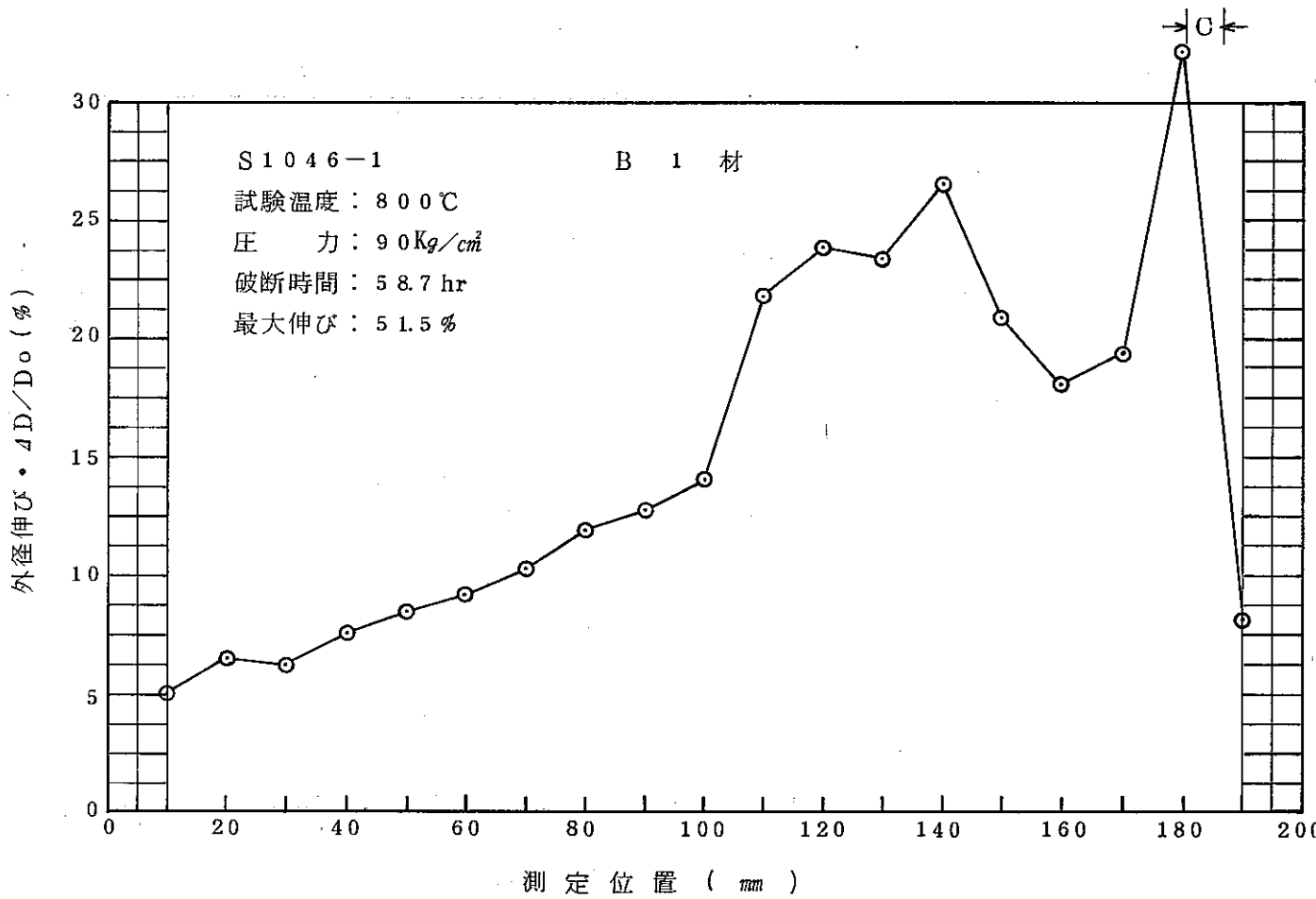
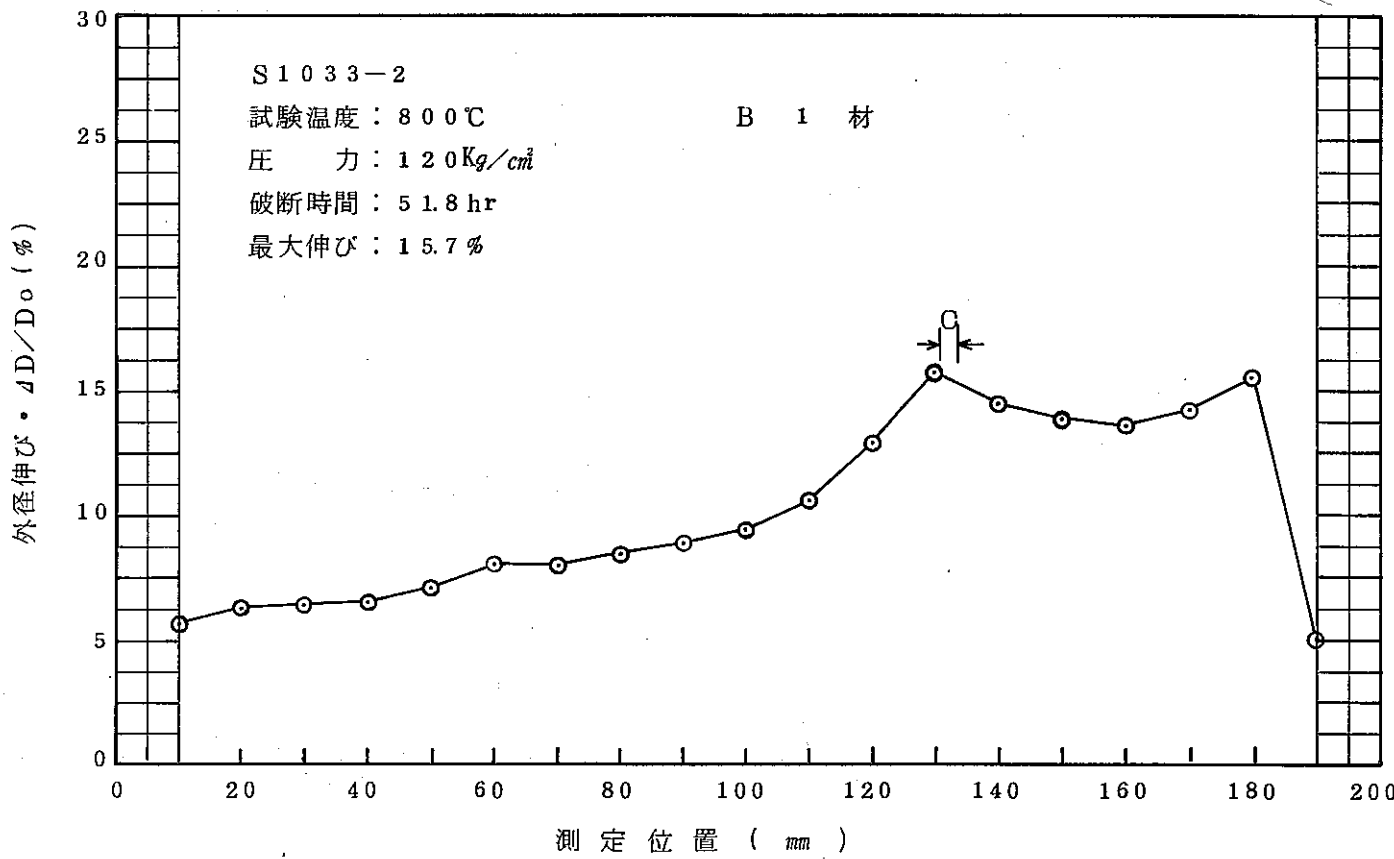


図 28 内圧クリープ破断後の外径伸び (常陽マークⅡ試作品)

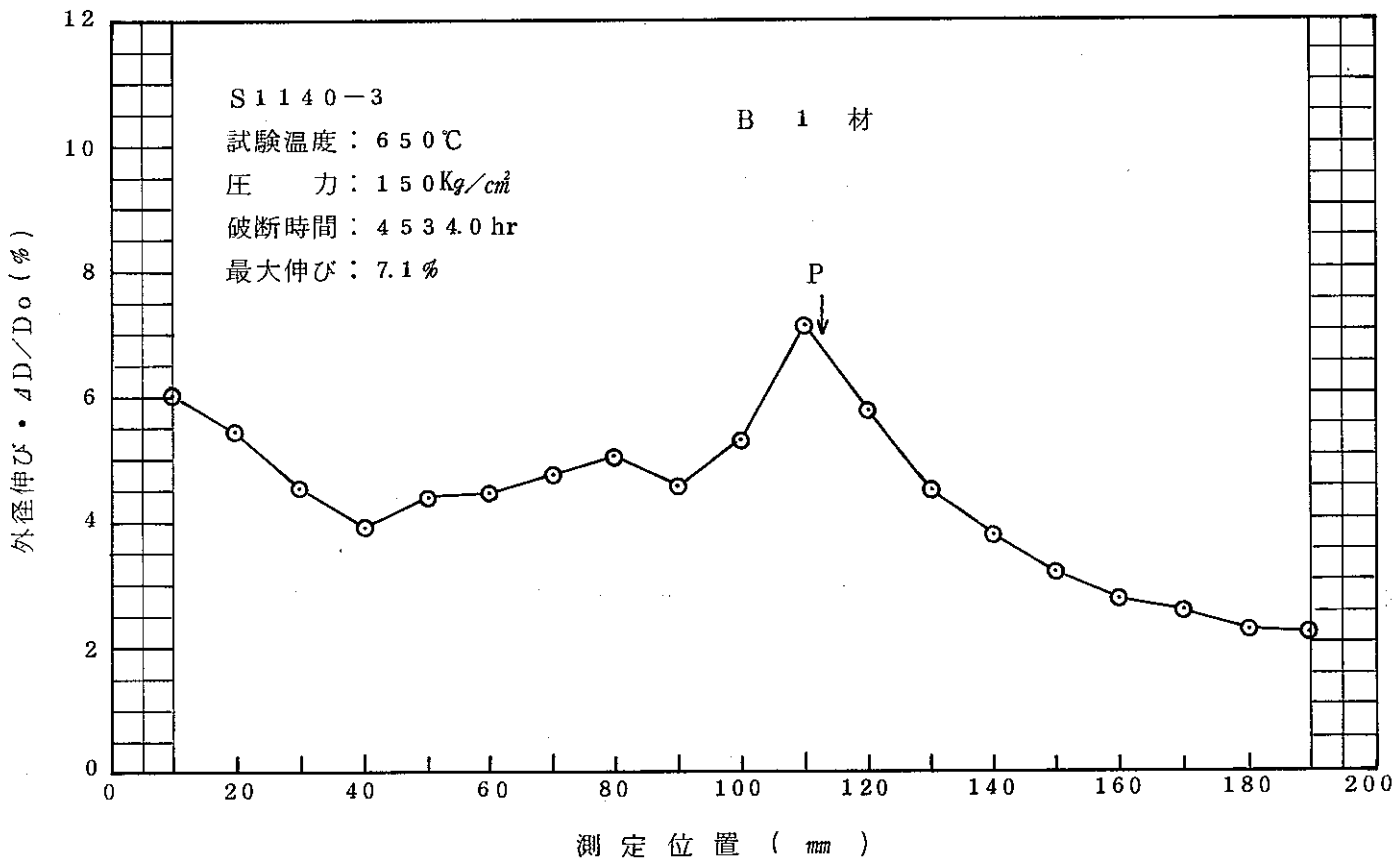
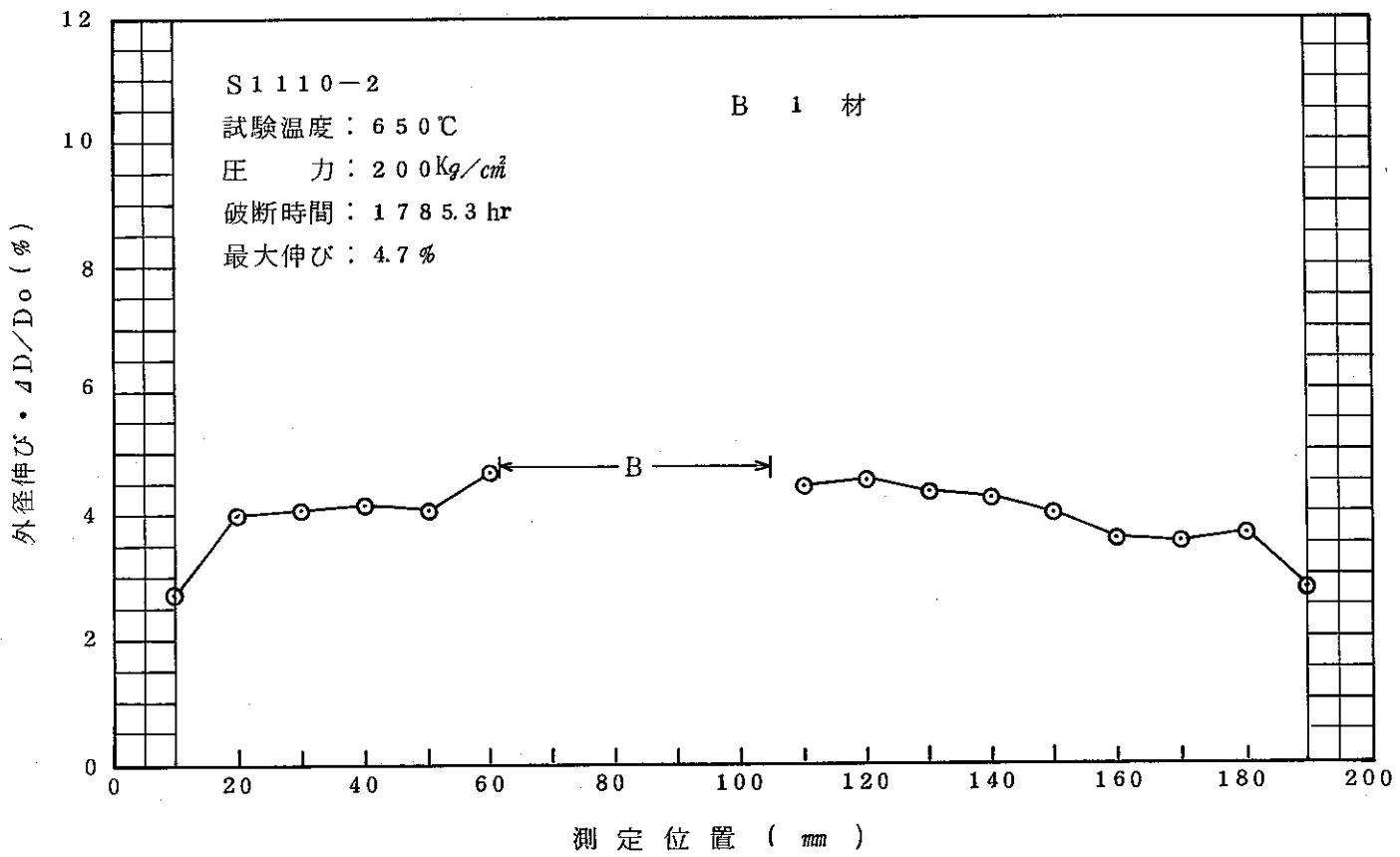


図 29 内圧クリープ破断後の外径伸び (常陽マークⅡ試作品)

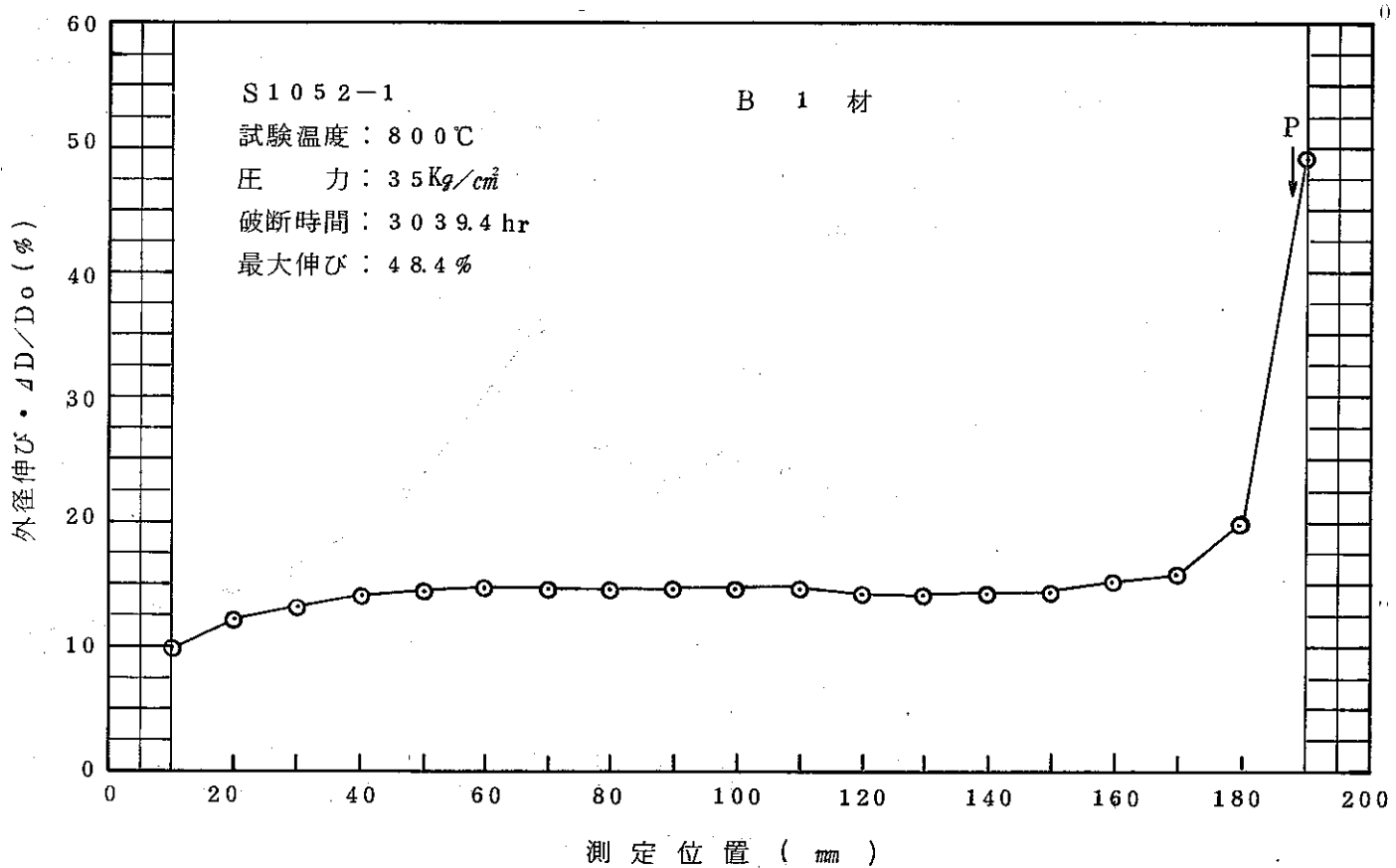
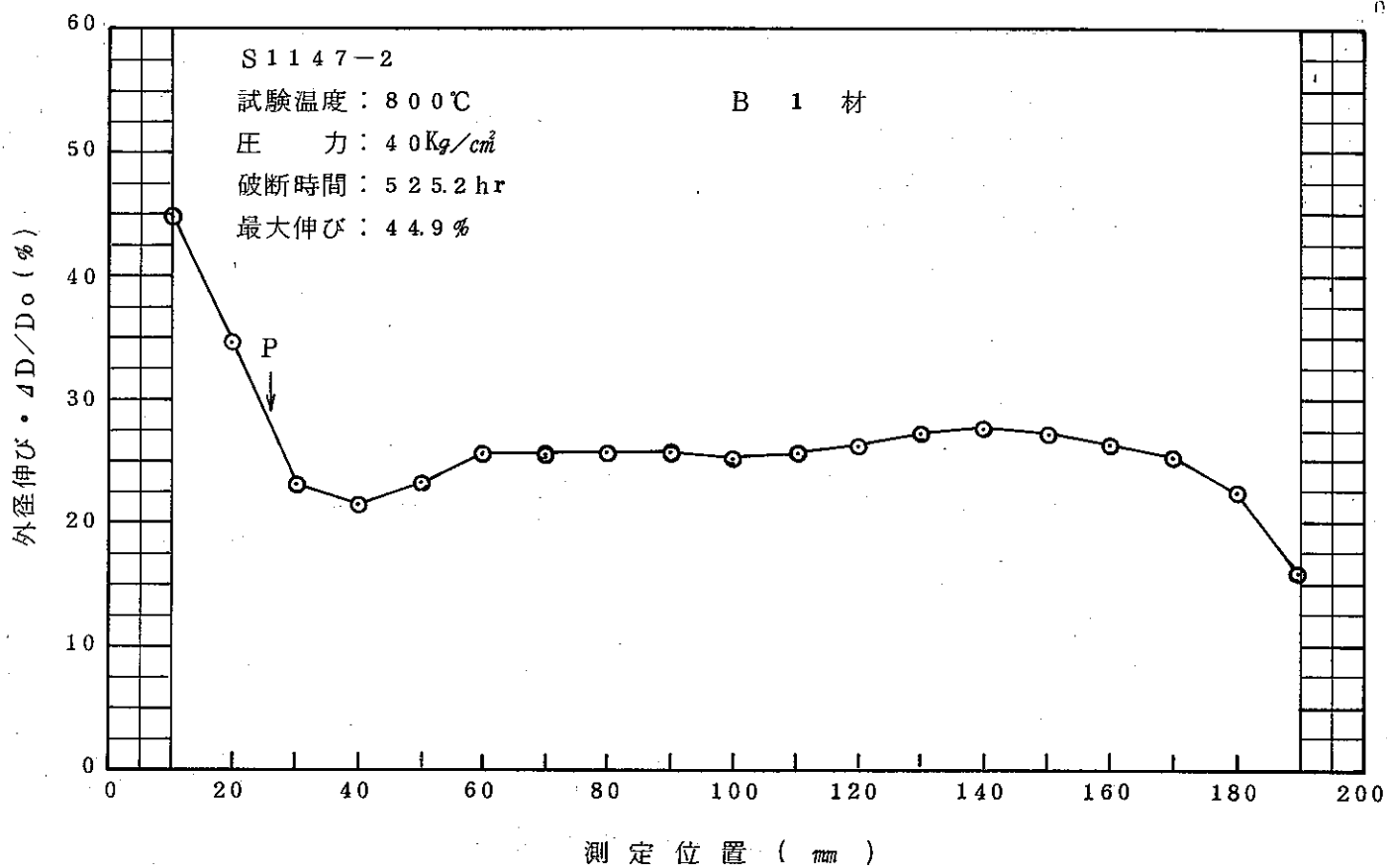
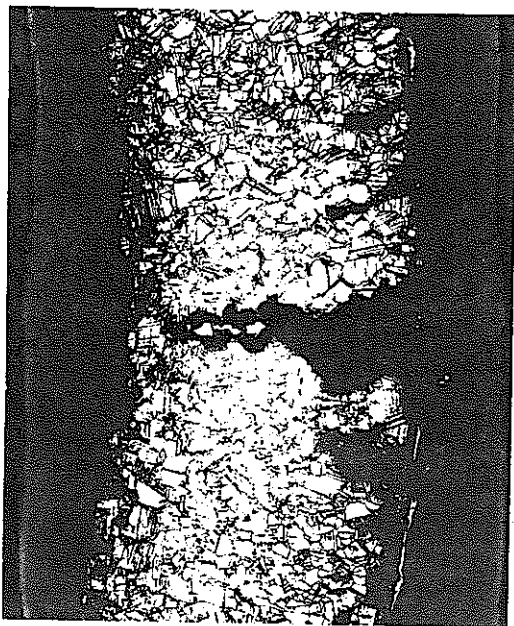


図 30 内圧クリープ破断後の外径伸び (常陽マークⅡ試作品)

表 22 内圧クリープ破断試験後の硬さ測定結果

種 別		試験片番号	硬 さ (Hv. 500g)	
			横 断 面	縦 断 面
もんじゅ 試 作 品	A1	K4004-2	242	250
		K4022-3	193	189
	A3	K4069-2	255	258
		K4073-6	200	209
	B1	S5024-4	218	211
	B3	S5218-6	228	232
		S5218-5	205	190
	常陽マークⅡ 試 作 品	A3	K1268-3	262
B1		S1140-3	219	233
		S1052-1	189	190

5点測定の平均値



× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

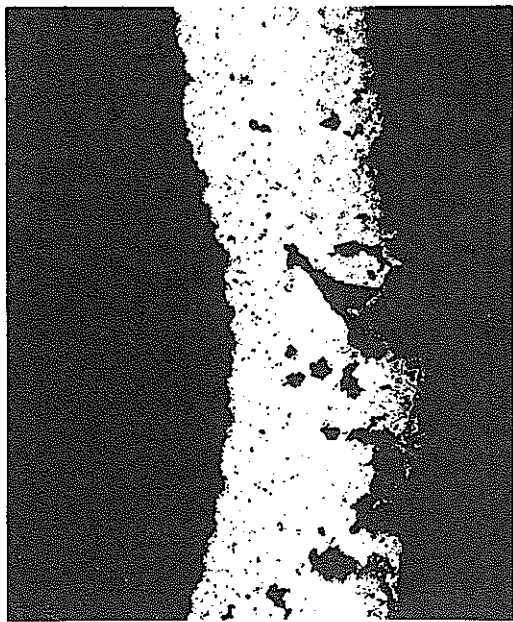
破断部横断面



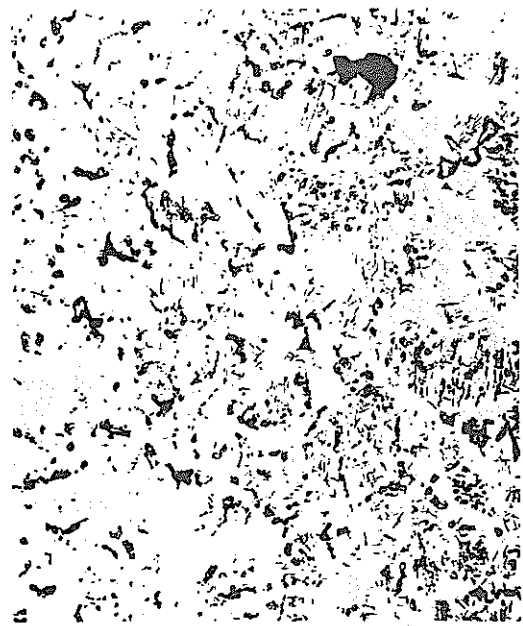
× 400

破断部裏側縦断面

写真 15 内圧クリープ破断試験後の組織, もんじゅ A1 材
(K4004-2, 650°C, 330Kg/cm², 1100.2hr)

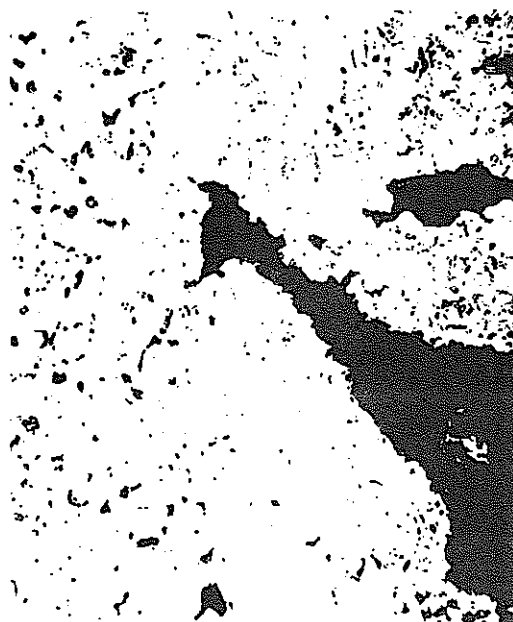


× 100



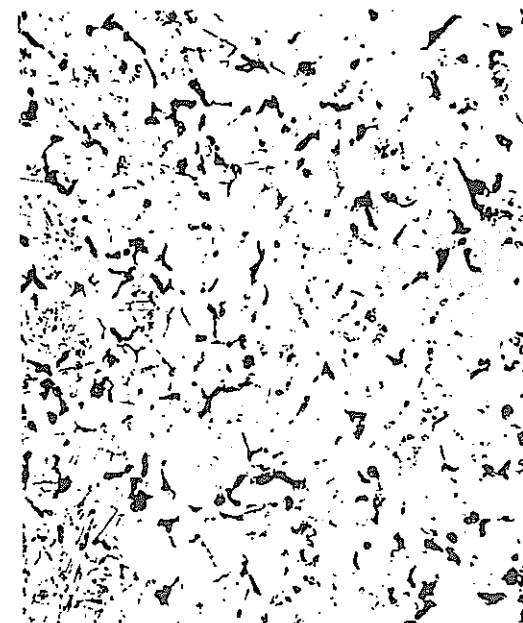
× 400

破断部裏側横断面



× 400

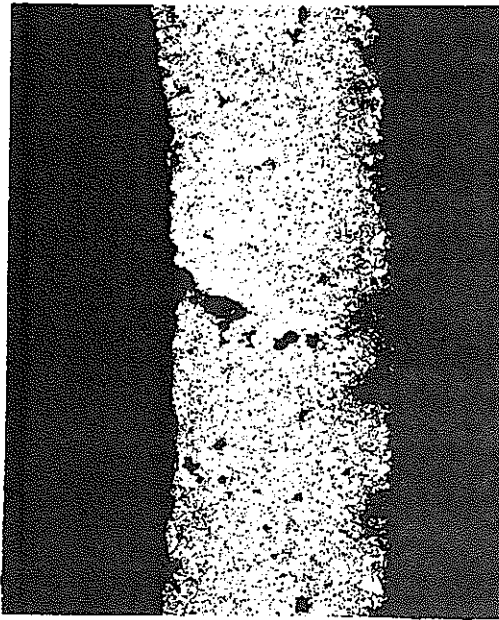
破断部横断面



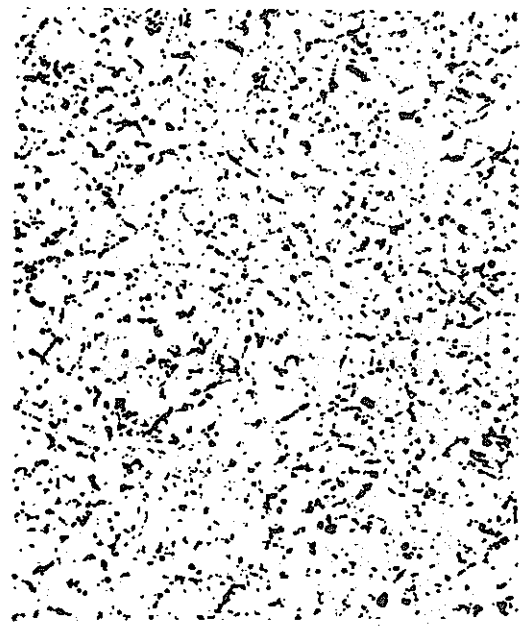
× 400

破断部裏側縦断面

写真16 内圧クリープ破断試験後の組織, もんじゅA1材
(K4022-3, 800°C, 40Kg/cm², 4780.7hr)

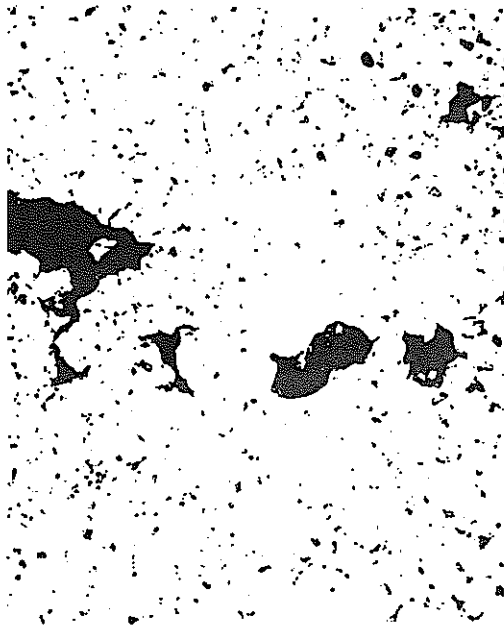


× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

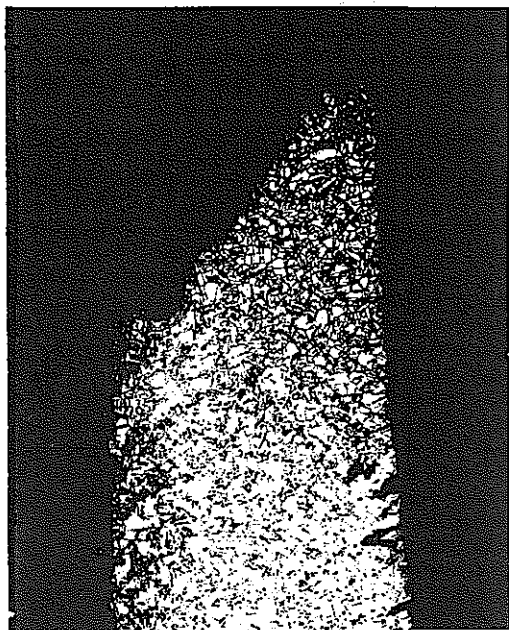
破断部横断面



× 400

破断部裏側縦断面

写真17 内圧クリープ破断試験後の組織, もんじゅA3材
(K4073-6, 800℃, 55Kg/cm², 7023hr)



× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

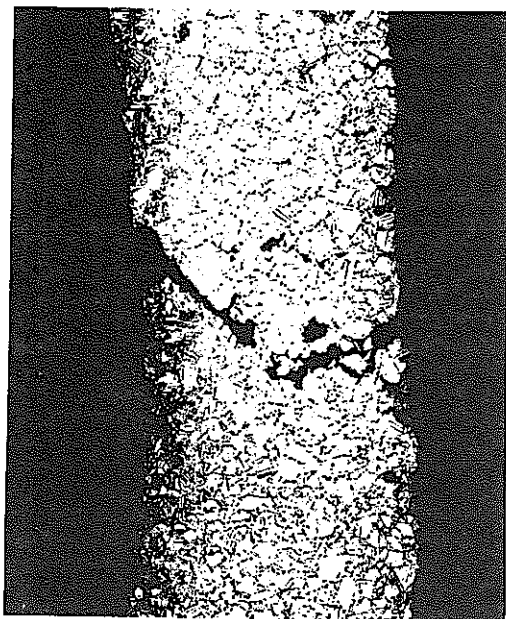
破断部横断面



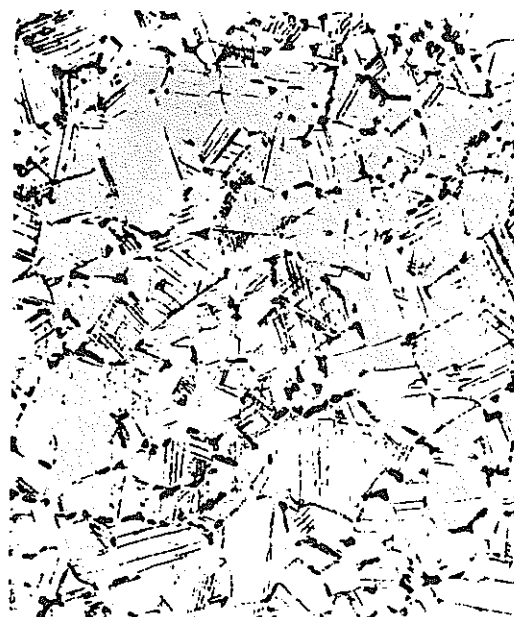
× 400

破断部裏側縦断面

写真18 内圧クリープ破断試験後の組織, もんじゅA3材
(K4069-2, 650℃, 330Kg/cm², 724.4hr)

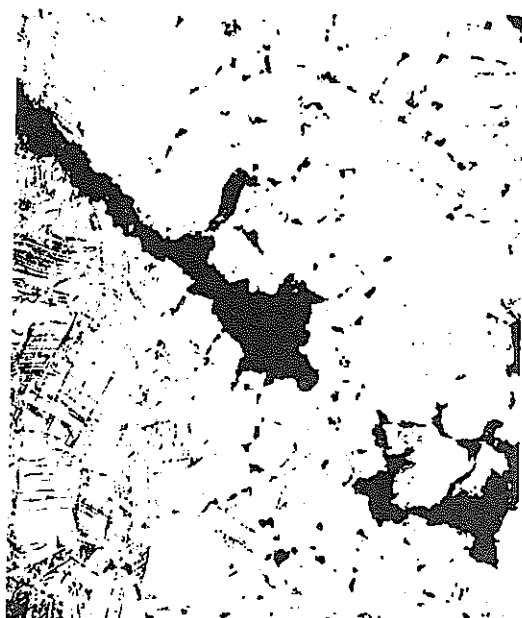


× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

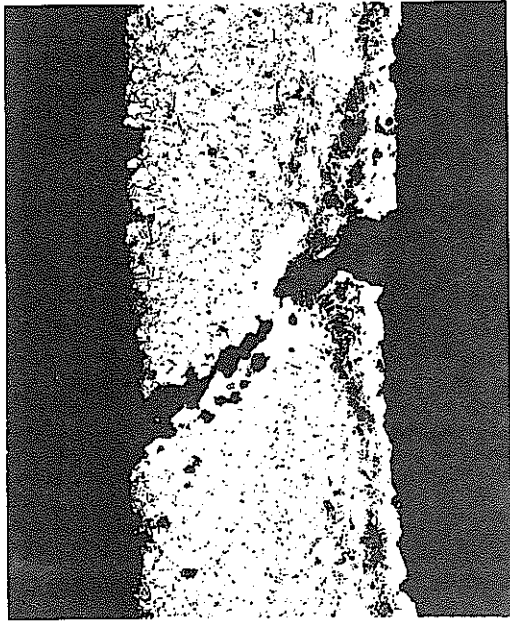
破断部横断面



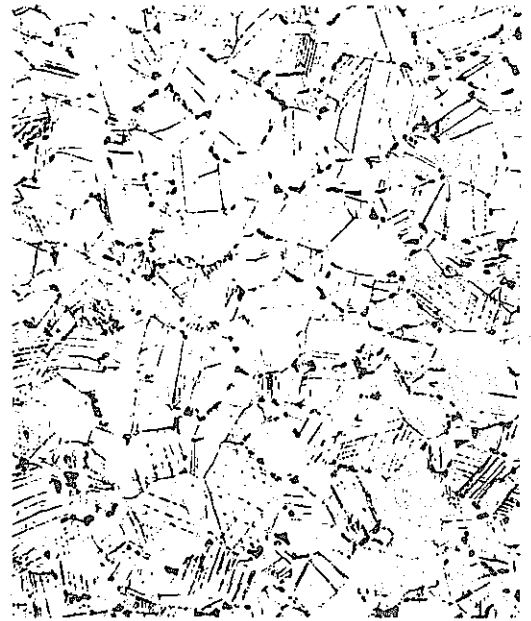
× 400

破断部裏側縦断面

写真19 内圧クリープ破断試験後の組織, もんじゅB1材
(S5024-4, 700℃, 180Kg/cm², 778.7hr)

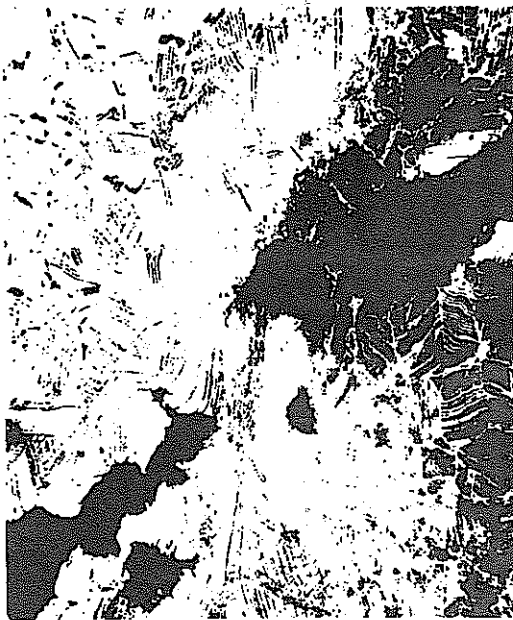


× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

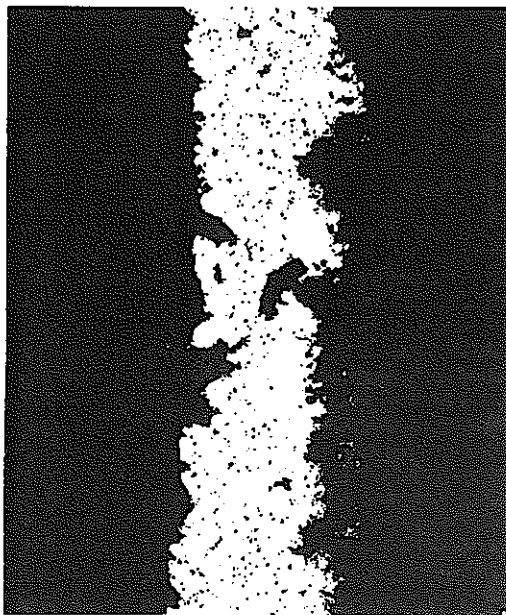
破断部横断面



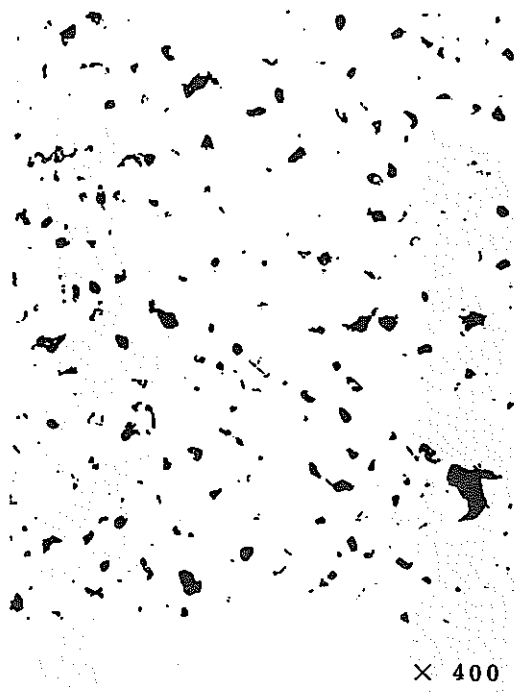
× 400

破断部裏側縦断面

写真 20 内圧クリープ破断試験後の組織，もんじゅ B 3 材
(S5218-6, 650℃, 250Kg/cm², 2607.3hr)

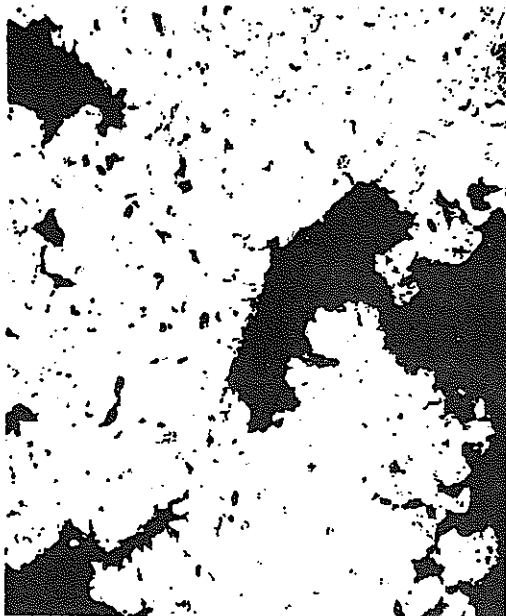


× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

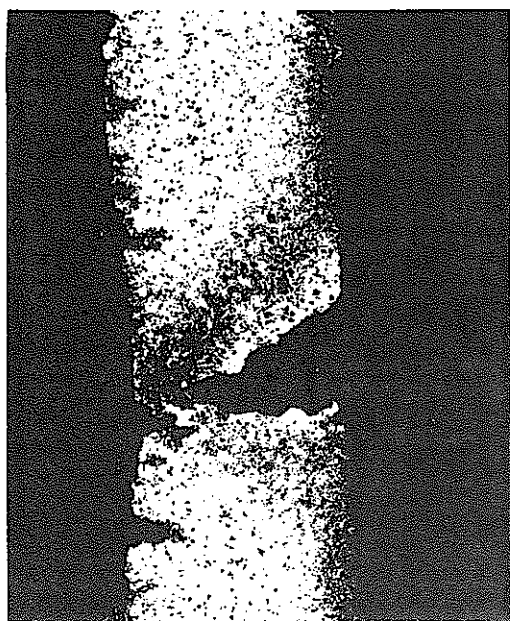
破断部横断面



× 400

破断部裏側縦断面

写真 21 内圧クリープ破断試験後の組織, もんじゅ B 3 材
(S5218-5, 800°C, 30Kg/cm², 3127.9hr)

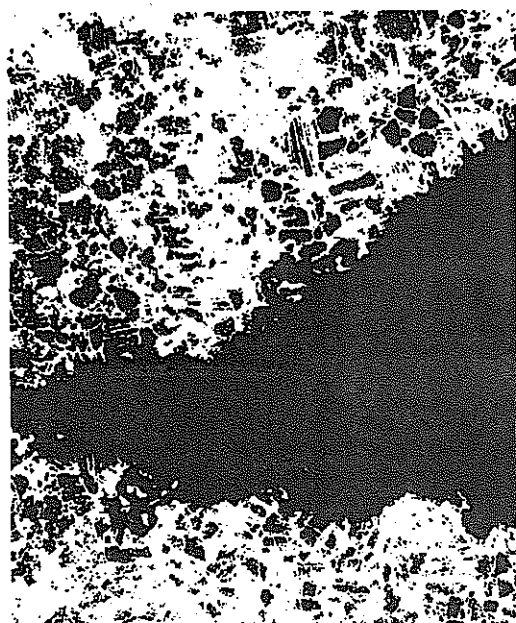


× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

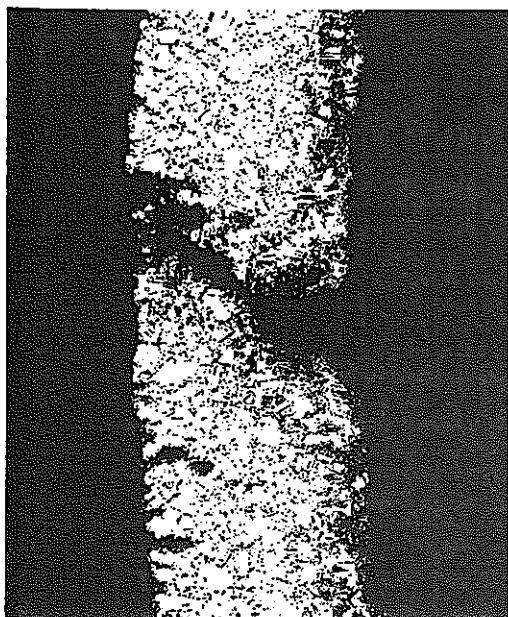
破断部横断面



× 400

破断部裏側縦断面

写真 22 内圧クリープ破断試験後の組織，常陽マークⅡA3材
(K1268-3, 650℃, 135Kg/cm², 7426.0hr)



× 100



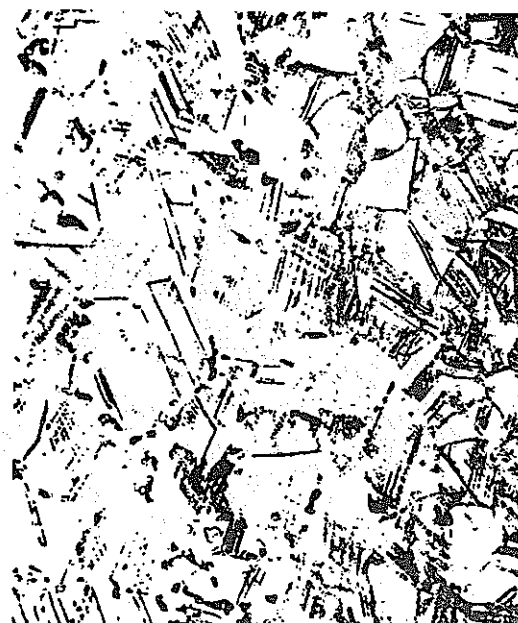
× 400

破断部裏側横断面



× 400

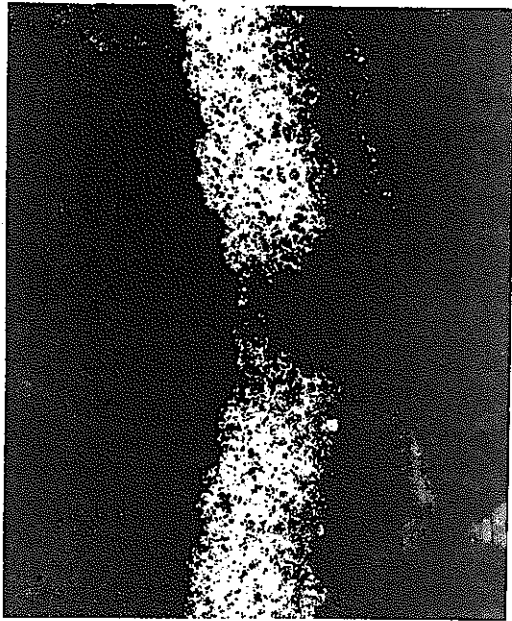
破断部横断面



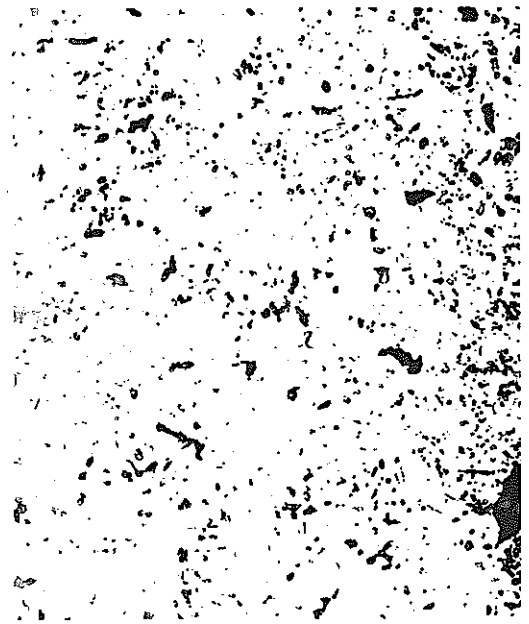
× 400

破断部裏側縦断面

写真23 内圧クリープ破断試験後の組織，常陽マークⅡB1材
(S1140-3, 650℃, 150Kg/cm², 45340hr)

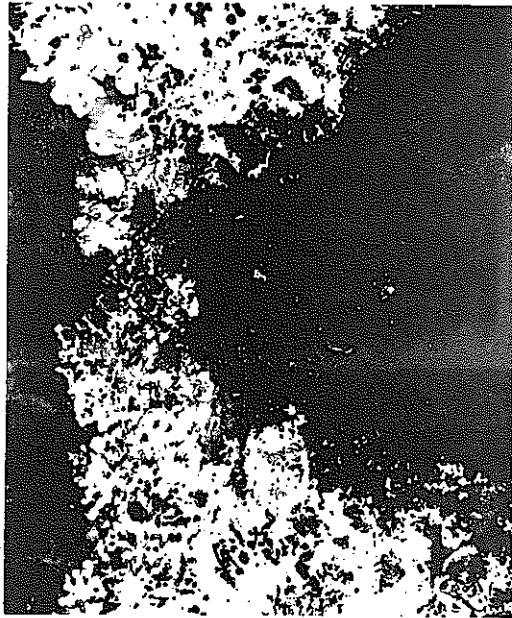


× 100



× 400

破断部裏側横断面



× 400

破断部横断面



× 400

破断部裏側縦断面

写真 24 内圧クリープ破断試験後の組織，常陽マークⅡB1材
(S1052-1, 800℃, 35Kg/cm², 3039.4hr)