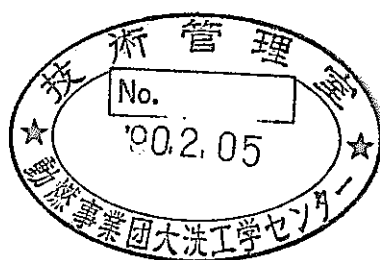


# 「常陽」MK-II 反射体 (SMIR - 5,6) で照射した 構造材料の照射後試験

第5報 SUS304鋼圧延材、鍛造材、インコネル718材の引張試験



1989年11月

動力炉・核燃料開発事業団  
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒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 システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## 「常陽」MK-II 反射体 (SMIR - 5,6) で照射した 構造材料の照射後試験

第 5 報 SUS304 鋼圧延材、鍛造材、インコネル 718 材の引張試験

酒向 博\*，久木田真平\*，芳中一行\*

秋山 隆\*，新谷聖法\*\*，柴原 格\*

### 要 旨

高速原型炉「もんじゅ」の設計基準の確認をするとともに、実証炉以降の高速炉設計に必要な構造材料の照射データを拡充する目的で R & D 試験が策定されている。これらの試験の一環として、高速実験炉「常陽」MK-II 炉心の構造材料照射用反射体を用いて SUS304 鋼圧延材、鍛造材、インコネル 718 材の材料強度試験片を照射した。照射後の試験片について引張試験を実施した結果、以下のことが明らかになった。

#### 1) SUS304 鋼圧延材及びリング状鍛造材

- ・ 0.2% 耐力及び引張強さは「もんじゅ」構造設計方針の材料強度基準に示されている設計降伏強さ ( $S_y$ ) 及び設計引張強さ ( $S_u$ ) を上回り、破断伸びは延性材料の目安である 10% を満足していた。
  - ・ 照射量依存性については、照射量が  $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) を超えると 0.2% 耐力及び引張強さは増加し、破断伸びは低下する傾向を示していた。また、電顕観察の結果、金属組織内にはフランクループの形成が認められた。
- 鍛造材の引張特性は圧延材の照射挙動と一致した傾向が得られた。
- ・ 「もんじゅ」構造設計方針に示される破断伸びの下限值 10% に対応する限界照射量については、現行のデータからみて限界照射量を引き上げることが可能であるという見通しが得られた。

#### 2) インコネル 718 材

- ・ 0.2% 耐力及び引張強さは、照射により高温側 (500℃ 以上) で強度の増加が認められ、破断伸びについては低下が認められた。

---

\* 大洗工学センター 燃料材料開発部 照射材料試験室

\*\* 大洗工学センター 燃料材料開発部 照射燃料集合体試験室

## 目 次

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1. まえがき .....            | 1  |
| 2. 試験方法 .....            | 2  |
| 2.1 供試材及び試験片 .....       | 2  |
| 2.2 照射試験 .....           | 2  |
| 2.3 照射後試験 .....          | 3  |
| 2.3.1 外観試験 .....         | 3  |
| 2.3.2 引張試験 .....         | 3  |
| 2.3.3 金相観察及び硬さ測定 .....   | 4  |
| 2.3.4 SiC温度モニタ測定 .....   | 5  |
| 3. 試験結果及び検討 .....        | 6  |
| 3.1 照射条件の評価 .....        | 6  |
| (1) 照射温度 .....           | 6  |
| (2) 中性子照射量 .....         | 6  |
| 3.2 照射後試験結果及び検討 .....    | 6  |
| 3.2.1 外観検査 .....         | 6  |
| 3.2.2 引張試験 .....         | 7  |
| (1) SUS304鋼圧延材 .....     | 7  |
| (2) SUS304鋼リング状鍛造材 ..... | 9  |
| (3) インコネル718材 .....      | 10 |
| 3.2.3 金相観察及び硬さ試験 .....   | 10 |
| 4. まとめ .....             | 12 |
| 5. 参考文献 .....            | 14 |

## List of Tables

|         |                                                                                                                                    |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 1 | Chemical Composition and Mechanical Properties of Type 304<br>Stainless Steel Rolled Plate .....                                   | 15 |
| Table 2 | Chemical Composition and Mechanical Properties of Type 304<br>Stainless Steel Forged Plate .....                                   | 16 |
| Table 3 | Chemical Composition and Mechanical Properties of<br>Inconel 718 Plate .....                                                       | 17 |
| Table 4 | Irradiation Temperature of SMIR-5, 6 .....                                                                                         | 18 |
| Table 5 | Fluence of Measured Dosimeter (SMIR-6) .....                                                                                       | 19 |
| Table 6 | Tensile Properties of Irradiated Type 304 Stainless Steel<br>(Rolled Plate, Forged Plate) and Inconel 718 Plate (SMIR-5) .....     | 20 |
| Table 7 | Tensile Properties of Irradiated Type 304 Stainless Steel<br>(Rolled Plate, Forged Plate) and Inconel 718 Plate (SMIR-6) .....     | 21 |
| Table 8 | Tensile Properties of Unirradiated Type 304 Stainless Steel<br>Forged Plate and Inconel 718 Plate .....                            | 22 |
| Table 9 | Hardness of Irradiated Type 304 Stainless Steel (Rolled Plate<br>Forged Plate) and Inconel 718 Plate Tested at Room Temperature .. | 23 |

## List of Figures

|         |                                                                                                                                                                                                      |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1  | Dimension of Tensile Specimen .....                                                                                                                                                                  | 24 |
| Fig. 2  | Sampling of Specimens (Type 304 Stainless Steel Rolled Plate) .....                                                                                                                                  | 24 |
| Fig. 3  | Sampling of Specimens (Type 304 Stainless Steel Forged Plate) .....                                                                                                                                  | 25 |
| Fig. 4  | Sampling of Specimens (Inconel 718 Plate) .....                                                                                                                                                      | 25 |
| Fig. 5  | In-reactor Location of the Irradiation Rig .....                                                                                                                                                     | 26 |
| Fig. 6  | Neutron Fluence Profiles in SMIR-5,6 Rig .....                                                                                                                                                       | 27 |
| Fig. 7  | Structure of Test Piece Capsule .....                                                                                                                                                                | 28 |
| Fig. 8  | Difference between Irradiation Temperature and Design Temperature ..                                                                                                                                 | 29 |
| Fig. 9  | 0.2% Proof Stress and Tensile Strength of Irradiated and<br>Unirradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate .....                                                                                 | 30 |
| Fig. 10 | Uniform Elongation, Rupture Elongation and Reduction of Area of<br>Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate ..                                                              | 31 |
| Fig. 11 | The Effect of Fast Neutron Fluence on 0.2% Proof Stress, Tensile<br>Strength, Rupture Elongation and Reduction of Area of Irradiated<br>and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate ..... | 32 |
| Fig. 12 | The Effect of Fast Neutron Fluence on Rupture Elongation of<br>Irradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate .....                                                                                | 33 |
| Fig. 13 | 0.2% Proof Stress and Tensile Strength of Irradiated and<br>Unirradiated Type 304 Stainless Steel Forged Plate .....                                                                                 | 34 |
| Fig. 14 | Uniform Elongation, Rupture Elongation and Reduction of Area of<br>Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Forged Plate ..                                                              | 35 |
| Fig. 15 | The Effect of Fast Neutron Fluence on 0.2% Proof Stress, Tensile<br>Strength, Rupture Elongation and Reduction of Area of Irradiated<br>and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Forged Plate ..... | 36 |
| Fig. 16 | 0.2% Proof Stress and Tensile Strength of Irradiated and<br>Unirradiated Inconel 718 Plate .....                                                                                                     | 37 |

Fig.17 Uninform Elongation, Rupture Elongation and Reduction of Area of  
Irradiated and Unirradiated Inconel 718 Plate ..... 38

Fig.18 The Effect of Fast Neutron Fluence on Hardness of Irradiated  
Type 304 Stainless Steel (Rolled Plate, Forged Plate) ..... 39

## List of Photos

|          |                                                                                                                                                                              |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Photo. 1 | View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-5) .....                                                                                                               | 40 |
| Photo. 2 | View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-5),<br>Continued .....                                                                                                 | 41 |
| Photo. 3 | View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-6) .....                                                                                                               | 42 |
| Photo. 4 | View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-6),<br>Continued .....                                                                                                 | 43 |
| Photo. 5 | Growth of Frank-Loop Induced the Irradiation .....                                                                                                                           | 44 |
| Photo. 6 | Micrographs of Longitudinal Section after the Ruptured Tensile<br>Specimens Tested at Room Temperature and 500°C<br>(Irradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate) ..... | 45 |
| Photo. 7 | Micrographs of Longitudinal Section after the Ruptured Tensile<br>Specimens Tested at 450°C (Irradiated Type 304 Stainless Steel<br>Rolled Plate and Forged Plate) .....     | 46 |
| Photo. 8 | Micrographs of Tensile Specimen Grip Position Tested at Room<br>Temperature (Irradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate and<br>Forged Plate) .....                     | 47 |
| Photo. 9 | Micrographs of the Rupture and Grip Position Tensile Specimens<br>(Irradiated Inconel 718 Plate) .....                                                                       | 48 |



## 1. まえがき

高速原型炉「もんじゅ」では、中性子照射を受ける原子炉構造材料の寿命末期までの健全性を確認するために、サーベイランス試験及びサーベイランス・バックアップ試験が計画されている。これらの試験データの補完、設計基準の確認及び将来炉への基礎データの拡充を図るために「常陽」MK-II炉心の反射体領域の一部を利用して中性子環境効果に関するR & D試験<sup>(1)(2)(3)</sup>が計画されている。

本報は、第1期R & D試験計画の一環として、「常陽」MK-II炉心で照射された構造材料照射用反射体（Structural Material Irradiation Rig：以下SMIRと略称し、末尾にリグの番号を付する）SMIR-5（「常陽」MK-II炉心で1サイクル照射）及びSMIR-6（1サイクル照射）について、SUS304鋼圧延材、「もんじゅ」の炉容器相当材（SUS304鋼リング状鍛造材）、炉上部機構に使用される相当材（インコネル718材）の引張試験を実施した。

## 2. 試験方法

### 2.1 供試材及び試験片

供試材としてはTable 1～3に示す化学成分及び機械的性質を有するSUS304熱間圧延板材 ( $w1000\text{mm} \times \ell 1000\text{mm} \times t40\text{mm}$ ), 「もんじゅ」炉容器相当材のリング状鍛造材 ( $\phi 800\text{mm} \times 250\text{mm} \times t40\text{mm}$ ), インコネル718板材 ( $w200\text{mm} \times \ell 1000\text{mm} \times t26\text{mm}$ ) を用いた。引張試験片の形状はFig. 1に示すように平行部長さ30mm, 平行部径6mmの丸棒試験片であり, 試験時の伸びを測定するためにツバ付タイプを用いた。

Fig. 2～4に各供試材からの試験片の採取方法を示す。圧延材の試験片はFig. 2に示すように, 供試材板厚の $1/4 t$ 及び $3/4 t$ の位置から試験片長手方向と主圧延方向を平行に採取した。リング状鍛造材の試験片はFig. 3に示すように, 供試材を円中心から中心角 $3^\circ$ で切断し, その切断部の $1/4 t$ 及び $3/4 t$ の位置から試験片長手方向と主圧延方向を平行に採取した。インコネル718材の試験片はFig. 4に示すように, 供試材板厚の $1/2 t$ の位置から試験片長手方向と主圧延方向を平行に採取した。

### 2.2 照射試験

試験片を組み込んだ各リグの照射はSMIR-5 (照射時間: 「常陽」MK-IIで100MWt相当: 約1102hr, 炉内装荷位置: 5C4) 及びSMIR-6 (約1065hr, 7F7) で行われた。照射期間については, SMIR-5が第8運転サイクル (S60.12.2～S61.1.21) 及びSMIR-6が第7運転サイクル (S60.2.11～S60.3.31) であった。また, 照射リグの炉内装荷位置をFig. 5に示す。

照射温度の設定は試験片を収納したキャプセル内に充填したHeガスとArガスの混合組成を変えることにより行われた。試験片の積算中性子照射量は反射体領域における中性子軸方向分布の2次元輸送計算コード (「DOT3.5」) により算出し, 最大中性子照射量 ( $E > 0.1\text{MeV}$ ) はSMIR-5で $5.2 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ , SMIR-6で $1.2 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ であった。Fig. 6にSMIR 5, 6の軸方向積算中性子照射量を示す。

照射温度の評価は直径1mm, 長さ15mmのSiC温度モニタを用い, Fig. 7に示す試験片キャプセル内の試験片固定用スリーブに組込んで, 照射した後モニタの格子定数測定を

行った。

中性子照射量分布の評価はドシメータセットキャプセルを軸心管に3箇所装荷し、照射した後ドシメータの放射化量及び反応率を測定を行った。それぞれのドシメータセットキャプセル内にはFe, Cu, Ni, Ti, Nb, Ta-Al, Co-Al, U-235のドシメータが収納されている。

## 2.3 照射後試験

SMIR-5, 6の照射後試験の実施時期について、SMIR-5は照射燃料集合体試験施設（以下、FMPと称す）で検査、解体作業をS 61.2に実施し、照射材料試験施設（以下、MMFと称す）で引張、金相試験をS 61.6～S 63.10に実施した。また、SMIR-6はFMPでS 60.4～S 60.5に実施し、MMFでS 60.9～S 62.2に実施した。

### 2.3.1 外観試験

「常陽」で照射したSMIR-5, 6はFMPへ搬入され、ナトリウム洗浄前後の外観検査及びX線ラジオグラフィーを実施した後、リグを解体した。各コンパートメント及び軸心管から取出した試験片キャプセルとリグ内の装荷位置を確認した後、MMFに搬入した。搬入された試験片キャプセルの端部を遠隔操作型切断機で切断し、引張試験片及びSiC温度モニタ等を取出した。取出した試験片はローディングセルのペリスコープを用いて外観観察を行った。

### 2.3.2 引張試験

引張試験はMMF試験セル内の遠隔操作型引張試験機（インストロン社製、最大荷重容量5トン）を用いて、JIS G 0567及びJIS Z 2241に準拠して行った。すなわち、引張速度は平行部ひずみ量が約1%（平行部長さ30mm×0.01=0.3mm）までは0.1mm/min（ひずみ速度：0.33%/min），1%以降は3mm/min（ひずみ速度：10%/min）で実施した。

0.2%耐力までは標点間距離の変位量、それ以降は試験機のクロスヘッドの移動量を記録し、荷重－伸び曲線を得た。なお、標点間距離の変位量の測定は試験片ツバ部に伸び取出し装置を取付け、その変位をストレインゲージ式伸び計で測定した。

試験温度は室温及びSiC温度モニタによる測定結果に基づく照射温度近傍の温度で

実施した。室温試験については $20 \pm 3$ ℃で試験し、高温試験については付属の電気炉を用い試験温度に昇温させ試験片温度 $\pm 3$ ℃の範囲に30分間保持した後試験を開始した。

採取データは0.2%耐力、引張強さ、一様伸び、破断伸び及び破断絞りであり、以下にその算出方法を示す。

0.2%耐力 ( $\sigma_{0.2}$ ) は標点間距離に対して塑性ひずみが0.2% ( $30\text{mm} \times 0.002 = 0.06\text{mm}$ ) に対応する応力を荷重-伸び曲線よりオフセット法で求め算出した。引張強さ ( $\sigma_B$ ) は引張試験時の最大荷重を荷重-伸び曲線より求め算出した。一様伸び ( $\epsilon_U$ ) は最大荷重時の塑性変形量を元の標点間距離で除した値を用いた。破断伸び ( $\delta$ )、破断絞り ( $\phi$ ) 及び破断位置は破断後の突合せ写真より求めた。すなわち、破断伸びは破断後の標点間距離より元の標点間距離を引いたものを元の標点間距離で除して求めた。破断絞りは原断面積より最小断面積を引いたものを原断面積で除して求めた。

以下に算出式を記述する。

|        |                |                                      |                           |
|--------|----------------|--------------------------------------|---------------------------|
| 0.2%耐力 | $\sigma_{0.2}$ | $= P_{0.2} / A_0$                    | (kg f / mm <sup>2</sup> ) |
| 引張強さ   | $\sigma_B$     | $= P_{\max} / A_0$                   | (kg f / mm <sup>2</sup> ) |
| 一様伸び   | $\epsilon_U$   | $= (L_m / L_0) \times 100$           | (%)                       |
| 破断伸び   | $\delta$       | $= \{ (L - L_0) / L_0 \} \times 100$ | (%)                       |
| 破断絞り   | $\phi$         | $= \{ (A_0 - A) / A_0 \} \times 100$ | (%)                       |

$P_{0.2}$  : 0.2%の塑性ひずみ時の荷重 (kg f)

$P_{\max}$  : 最大引張荷重 (kg f)

$A_0$  : 試験片平行部の破断前断面積 (mm<sup>2</sup>)

$L_m$  : 最大引張荷重までの塑性変形量 (mm)

$L_0$  : 元の標点間距離 (mm)

$L$  : 破断後の標点間距離 (mm)

$A$  : 破断後の最小断面積 (mm<sup>2</sup>)

### 2.3.3 金相観察及び硬さ測定

引張試験後の代表的な試験片について、主圧延方向と平行な断面の金属組織観察を

実施した。埋込んだ試料は研磨後、その研磨面を10%過硫酸アンモニウム水溶液中で電解腐食した。観察位置は破断部近傍及びつかみ部を観察した。

硬さ測定は室温引張試験片のつかみ部について、遠隔操作型ビッカース硬さ計（明石製作所製）を用いて行った。圧子の押付け荷重は500g，押付け時間は30秒，測定箇所は5点を実施し、その平均を硬さ値として求めた。

#### 2.3.4 SiC温度モニタ測定

スリーブから取出したSiC温度モニタ（ $\phi 1\text{ mm} \times$ 長さ15mm）を粉砕し、この粉末に標準試料としてシリコン（Si）粉末を混合し、X線回折装置（理学電機製，RAD-ⅢA）を用い、ディフラクトメータ法より格子定数を測定した。格子定数の測定は照射したままの状態及び室温から順次高温へ焼鈍を行い、 $2\theta = 80 \sim 140^\circ$ に入る5つの回折ピークを測定し、格子定数を求めた。これを焼鈍温度の関数として整理し、焼鈍が顕著な折れ曲りを示すところを回復開始温度（ $T_{\text{SiC}}$ ）として、その値から下記の校正式に基づき照射温度（ $T_c$ ）を求めた。

$$T_c = 0.988 \times T_{\text{SiC}} - 13.2$$

### 3. 試験結果及び検討

#### 3.1 照射条件の評価

##### (1) 照射温度

Table 4 に SMIR-5, 6 の SiC 温度モニタの測定結果を示す。また, Fig. 8 に SiC 温度モニタ装荷位置における設計温度と照射温度との差の関係を示す。照射温度は設計温度と比較すると, 炉中心より下側では低く, 逆に上側では高い傾向がみられた。

構造材料の照射後試験を評価する上で, 照射中に受ける熱影響は重要な因子であるため, 今後 SMIR 照射での目標設計温度を達成できるように, 装荷する位置に対するナトリウム冷却材の温度上昇及び He, Ar ガスの混合比による  $\gamma$  発熱量等を考慮した温度設定精度の向上を検討する必要がある。

##### (2) 中性子照射量

SMIR-5, 6 の引張試験片が受けた中性子照射量は, 2 次元輸送計算コード「DOT3.5」による計算値で, 高速中性子照射量 ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) は,  $0.5 \sim 5.2 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  (SMIR-5),  $0.2 \sim 1.2 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  (SMIR-6), 熱中性子照射量 ( $E < 0.4 \text{ MeV}$ ) は,  $0.1 \sim 8.2 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$  (SMIR-5),  $2.1 \sim 5.9 \times 10^{17} \text{ n/cm}^2$  (SMIR-6) であった。ドシメータによる照射量の評価に関しては, SMIR-5 については現在技術課で測定中であるが, SMIR-6 については中性子照射量算出が終了し, Table 5 にその結果を示す。これから, SMIR-6 の中性子照射量 ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) を評価した場合, ドシメータ結果と DOT3.5 の比は 0.6 であり, DOT3.5 の方が過大評価の傾向である。なお, 反射体領域での中性子照射量の補正については, 現在ドシメータ評価によるデータ数が少ないため, DOT3.5 による計算値を暫定的に用いて評価しているが, 今後ある程度のデータ数が蓄積された時点で総合的に評価を行う。

#### 3.2 照射後試験結果及び検討

##### 3.2.1 外観検査

FMP で実施された SMIR-5, 6 のすべての集合体において有害な膨れ, 損傷等の異常は認められず, 炉内での健全な照射が確認された。また, SMIR-6 に関してナトリウム洗

浄を実施したが、Naドレン性及び洗浄性は良好な結果が得られた。

解体性については、本集合体以前に取り出された集合体（SMIR-1～4）の軸心管上部ネジのロックナットを緩める時に軸心管のネジ部が折れ、曲がり等の異常が認められた。そこで、本集合体から軸心管上部ネジの径及びロックピンの形状等の改良<sup>(4)</sup>を実施した結果、ネジ部の折れ、曲がり等の異常は認められず、改良の効果を確認した。また、軸心管にすり傷、変色等が認められたが、これらは軽微のものであるためリグの健全性の評価に影響を及ぼすものでない。更に、試験片収納キャプセルの装荷位置、刻印は製造時の検査データと一致していた。

FMFからMMPに搬入された試験片収納キャプセルはMMFの切断機を用いてキャプセル内から試験片を取り出し、試験片の外観を観察した結果、変形、変色、損傷等の有害な異常は認められなかった。また、金属組織観察により試験結果に影響を及ぼすような腐食あるいは応力腐食割れ等の欠陥は認められなかった。

### 3.2.2 引張試験

Table 6にSMIR-5、Table 7にSMIR-6の引張試験結果を示す。また、Table 8に同一供試材で実施した非照射材（SUS304鋼リング状鍛造材、インコネル718材）の引張試験結果を示す。

また、Photo. 1～4にSMIR-5、6の引張試験片の破断後の突合せ写真を示す。試験片の破断位置は室温及び高温試験片ともに平行部内であった。

#### (1) SUS304鋼圧延材

Fig. 9に0.2%耐力及び引張強さと試験温度との関係を示す。0.2%耐力及び引張強さは非照射材と比較すると、室温、高温試験ともに照射によって増加していた。また、照射材の0.2%耐力及び引張強さは「もんじゅ」高温構造設計方針の材料強度基等<sup>(5)</sup>（以下、「もんじゅ」設計方針と称す）の設計降伏強さ（ $S_y$ ）及び設計引張強さ（ $S_u$ ）を満足していた。

Fig. 10に一樣伸び、破断伸び及び破断絞りと試験温度との関係を示す。一樣伸び、破断伸び及び破断絞りは非照射材と比較すると、室温、高温試験ともに低下していたが、破断伸びについては「もんじゅ」設計方針に示される延性材料の目安である10%を満足し、延性材料としての特性を維持していた。またデータにバラツキが認

められるが、これは照射量の差による影響であり、中性子照射量が高いものほど低下していた。

Fig. 11に照射温度が434～504℃内の引張特性（0.2%耐力、引張強さ、破断伸び及び破断絞り）の結果を用い、中性子照射量依存性を調べた。また、比較のため同等の照射条件でのSMIR-1～4の報告結果<sup>(6) (7)</sup>も示した。

0.2%耐力及び引張強さは室温及び高温試験ともに中性子照射量が $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) までは有意な差は認められないが、それを超えると増加する傾向を示し、その影響は0.2%耐力の方が顕著であった。このことはPhoto. 5に示した電顕観察結果より、中性子照射量が $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) 超えると金属組織内に照射欠陥であるフランクグループが形成されていることから、これが照射による引張強度増加の原因の一つであると考えられる。また、逆に破断伸び及び破断絞りは室温及び高温試験ともに中性子照射量が $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) を越えると低下する傾向を示した。

Fig. 12に照射温度と試験温度が同一条件における破断伸びと中性子照射量の関係を「もんじゅ」設計方針の作成に用いられたデータと比較して示す。現在「もんじゅ」設計方針に示される破断伸びの下限值（95%信頼下限）10%の累積高速中性子照射限界値は、当初国産材の照射データが少ないことから米国の高速実験炉「FFTF」のデータを用いて評価している。これに「常陽」で照射したSMIR-1～4及び今回のデータをプロットし、データを比較すると各試験温度ともに「FFTF」のデータ値の平均線を上回り、データのバラツキも少ない。更に、「常陽」で得られたデータを用いて破断伸びの中性子照射量依存性について回帰分析を行い、95%信頼下限で破断伸び10%に対応する限界照射量（ $E > 0.1 \text{ MeV}$ ）を外挿して求めると、試験温度が450℃で約 $1.5 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ 、500℃で約 $1.5 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$ 及び550℃で約 $8.0 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ となった。データ数が少ないこと及び $1.0 \times 10^{22} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) オーダーの高照射量については外挿していることを考慮しても、「もんじゅ」設計方針に示される破断伸びの10%に対応する限界照射量（ $E > 0.1 \text{ MeV}$ ）（試験温度が450℃で $5.0 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ 、500℃で $6.0 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ 及び550℃で約 $4.0 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ ）と比較して、約2倍の値となっている。この相違については照射炉も異なることが考え



られるが、SMIR-1～6で照射した国産材の特性が優れていると判断され、「もんじゅ」設計方針に示される限界照射量の合理化が可能であるという見通しが得られた。

したがって、今後は高照射量データの拡充を図るとともに照射場を異にしたスペクトル効果の影響を評価し、限界照射量の合理化を追求する価値があると考えられる。

## (2) SUS304鋼リング状鍛造材

Fig. 13に0.2%耐力及び引張強さと試験温度との関係を示す。0.2%耐力及び引張強さは非照射材と比較すると、室温、高温試験とも照射による影響は認められず、今回得られた $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) までの0.2%耐力及び引張強さは「もんじゅ」設計方針の設計降伏強さ ( $S_y$ ) 及び設計引張強さ ( $S_u$ ) を満足していた。

Fig. 14に一樣伸び、破断伸び及び破断絞りと試験温度との関係を示す。一樣伸び及び破断伸びは非照射材と比較すると、室温、高温試験ともに照射による影響は認められず、破断伸びについては「もんじゅ」設計方針に示される延性材料の目安である10%を満足し、延性材料としての特性を維持していた。また破断絞りは非照射材と比較すると、室温では有意な差は認められないが、高温では照射量の高いものほどわずかに低下する傾向にあった。

Fig. 15に照射温度が434～495℃内の引張特性（0.2%耐力、引張強さ、破断伸び及び破断絞り）の結果を用い、中性子照射量依存性を調べた。

今回得られた $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) までの引張特性の照射挙動については、破断絞りの高温でわずかに低下する傾向が認められるが、それ以外、有意な差は認められなかった。このことから、「もんじゅ」原子炉容器が受ける寿命末期 {30年：照射量  $2 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) } に対し、十分な裕度を有していることが確認された。

また、鍛造材と圧延材を比較すると、室温試験の引張強さについては圧延材の方がわずかに高い値を示しているが、それ以外の室温及び高温試験での引張特性については一致する傾向が得られた。なお、鍛造材についてはSMIR-7, 8の試験計画において  $3 \sim 8 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) の照射データが得られることから、今

後圧延材との照射挙動の相違に注目したい。

### 3) インコネル718材

Fig. 16に0.2%耐力及び引張強さと試験温度との関係を示す。0.2%耐力及び引張強さは非照射材と比較すると、試験温度が500℃を越えたものについては上回る傾向にあったが、それ以外は有意な差は認められなかった。また、今回のデータは米国の基準データから暫定的に策定されたインコネル718材の「もんじゅ」設計基準値<sup>(8)</sup>の設計降伏強さ ( $S_y$ ) 及び設計引張強さ ( $S_u$ ) と比較しても上回っていた。

Fig. 17に一樣伸び、破断伸び及び破断絞りと試験温度との関係を示す。一樣伸び及び破断伸びは非照射材と比較すると、室温、高温試験とも照射量が  $3 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) では同等な値を示していたが、  $5 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) 高温で下回り、伸び量も10%近傍の値を示していた。また、破断絞りは照射による影響は認められなかった。

インコネル718材はサーマルストライピング現象（温度ゆらぎ）を受ける「もんじゅ」の炉上部機構で使用されるものであり、十分留意する必要がある。この点は今回得られた  $5 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) のデータからも、照射により破断伸びが低下するものの、延性材料の条件である10%近傍の値が確認されている。「もんじゅ」炉上部機構では寿命末期までに約  $2.8 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ) の中性子照射量を受けることから、この照射量の領域でのインコネル718材の引張特性については延性材料の目安である10%以上を満足できると考えられる。

#### 3.2.3 金相観察及び硬さ試験

Photo. 6に圧延材の同一照射条件 ( $9 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ), 500℃) で試験温度が室温及び500℃の破断近傍部の断面組織を示す。いずれの試験片も結晶粒は引張方向に変形し、変形量は500℃より室温の方が大きい。また、破壊形態は粒内型の破壊が支配的である。サブクラックについては平行部及び内部とも観察されなかったが、素材の主圧延方向と平行に $\delta$ -フェライトが観察された。なお、 $\delta$ -フェライトは製造時の凝固偏析に起因するものであると考えられるが、これによる破壊への影響は認められない。

Photo. 7 に圧延材と鍛造材の同一照射条件 ( $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ ),  $470^\circ\text{C}$ ) 及び試験条件 ( $450^\circ\text{C}$ ) における破断近傍部の断面組織を示す。いずれの試験片も塑性変形をともなった粒内型の破壊を示している。また, Photo. 8 に圧延材及び鍛造材の室温試験片のつかみ部の断面組織をみると, 結晶粒の形状に有意な差は認められないが, 圧延材で観察された  $\delta$ -フェライトの析出物は鍛造材では認められなかった。

Photo. 9 にインコネル718材の破断近傍部及びつかみ部の断面組織を示す。破断近傍部の組織はSUS304鋼と異なり結晶粒が小さく, 引張方向に対する変形量も少ない。また, 破壊形態は粒内型の破壊が支配的であり, サブクラックについては平行部及び内部とも観察されなかった。

Table. 9 にSUS304鋼圧延材, 鍛造材及びインコネル718材の室温引張試験片つかみ部の硬さ測定結果を示す。また, Fig. 18に圧延材及び鍛造材の中性子照射量と硬さの関係を示す。今回得られた硬さについて鍛造材は圧延材の照射挙動と比較してわずかに低い傾向を示しているが, 中性子照射量の増加にともなう影響は認められない。また, インコネル718材の硬さについては照射による影響は認められず, SUS304鋼と比較して約3倍の硬さを有していた。

#### 4. まとめ

「常陽」MK-II 定格出力100MW運転中に構造材料照射用反射体（SMIR-5, 6）を用いて照射されたSUS304圧延材，SUS304リング状鍛造材，インコネル718材）の照射後引張試験を行い，以下のことが明らかになった。

- 1) SiC温度モニタ測定の結果，照射温度と設計温度を比較すると，炉中心より下側では低く，炉中心より上側では高い傾向がみられた。
- 2) 照射リグ及び試験片の外観検査の結果，中性子照射によるリグの膨れ，伸び，曲がり等の形状変化は認められず，炉内での健全な照射が確認された。

- 3) SUS304鋼圧延材及びリング状鍛造材の引張試験結果

- ・ 0.2%耐力及び引張強さは「もんじゅ」構造設計方針の材料強度基準に示されている設計降伏強さ（ $S_y$ ）及び設計引張強さ（ $S_u$ ）を上回り，破断伸びは延性材料の目安10%を満足していた。
- ・ 照射量依存性については，照射量が $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$ （ $E > 0.1 \text{ MeV}$ ）を越えると0.2%耐力及び引張強さは増加し，破断伸びは低下する傾向を示していた。また，電顕観察の結果，金属組織内にはフランクグループの形成が認められた。  
鍛造材の引張特性は圧延材の照射挙動と一致した傾向が得られた。
- ・ 「もんじゅ」構造設計方針に示される破断伸びの下限值10%に対する限界照射量については，現行のデータからみて限界照射量を引き上げることが可能であると考えられる。

- 4) インコネル718材の引張試験結果

0.2%耐力及び引張強さは照射により高温側（500℃以上）での強度の増加が認められ，破断伸びについては延性の低下が認められた。

- 5) 金相観察の結果，圧延材及び鍛造材は塑性変形をともなった粒内型の破壊が支配的であったが，鍛造材では圧延材に比べ素材中の $\delta$ -フェライトの析出物は観察されなかった。また，インコネル718材は圧延材及び鍛造材と比べ結晶粒が小さく，引張方向に対する変形量も少なかった。

- 6) 硬さ測定の結果，SUS304鋼鍛造材の硬さは圧延材と比べわずかに低い傾向を示して

いたが、照射による影響は認められなかった。また、インコネル718材は照射による影響は認められなかった。

## 5. 参考文献

- (1) 中性子照射環境における構造材料試験の現状と今後の計画  
PNC SN241 81-17 (1981)
- (2) 岡裕, 他: 中性子照射環境における構造材料試験の試験計画  
—SPICA (スパイカ) 計画—  
PNC SN241 85-01 (1985)
- (3) 阿部康弘, 他: 「常陽」MK-II 炉心で照射される構造材料の照射後試験実施計画の  
検討  
PNC SN908 84-01 (1984)
- (4) 構造材料照射用反射体 (PRS050) の照射後試験結果報告  
燃材部テクニカル・レポート 86 (FMS) 23 (1986)
- (5) 原型炉高温構造設計方針 材料強度基準等  
PNC SN241 85-08 (1985)
- (6) 阿部康弘, 他: 「常陽」MK-II 反射体 (SMIR-4) で照射した構造材料の照射後試験  
第2報 SUS304圧延鋼の引張試験及びクリープ試験  
PNC 19410 87-018 (1987)
- (7) 酒向博, 他: 「常陽」MK-II 反射体 (SMIR-1, 2, 3) で照射した構造材料の照射後試験  
第3報 SUS304圧延鋼の引張試験及びクリープ試験  
PNC 19410 88-032 (1988)
- (8) 高速原型炉のサーマルストライピングに関する試験計画  
—構造物試験及び材料試験計画—  
PNC SN241 83-17 (1983)

Table 1 Chemical Composition and Mechanical Properties of Type 304 Stainless Steel Rolled Plate

| Analysis | Chemical Composition (Wt.%) |      |      |       |       |      |      |       |      |      |        |       |        |
|----------|-----------------------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|------|------|--------|-------|--------|
|          | C                           | Si   | Mn   | P     | S     | Cu   | Ni   | Cr    | Co   | V    | B      | Al    | N      |
| Check    | 0.05                        | 0.60 | 0.87 | 0.026 | 0.002 | 0.09 | 8.94 | 18.59 | 0.12 | 0.05 | 0.0005 | 0.015 | 0.0220 |

| Grain<br>Size<br>No. | Heat<br>Treatment                | Tensile Properties |                                     |                                    |                   | Hardness<br>(HB) | Place<br>Thickness<br>(mm) | Remarks                                                               |
|----------------------|----------------------------------|--------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                      |                                  | Temp.<br>(°C)      | 0.2% Y.S.<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | U. T. S.<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Elongation<br>(%) |                  |                            |                                                                       |
| 4.5                  | Annealed,<br>100°C ×<br>48min. : | RT                 | 23                                  | 64                                 | 63                | 135              | 40                         | Manufactured<br>by Nippon Steel<br>Corporation<br>Heat No.<br>N. 9482 |
|                      | Water<br>Quenched                | 550                | 12                                  | 39                                 | 40                |                  |                            |                                                                       |

Table 2 Chemical Composition and Mechanical Properties of Type 304 Stainless Steel Forged Plate

| Heat Number   | Chemical Composition (Wt.%) |                   |       |       |        |        |                    |                     |       |      |       |       |      |       |         |       |       |         |         |
|---------------|-----------------------------|-------------------|-------|-------|--------|--------|--------------------|---------------------|-------|------|-------|-------|------|-------|---------|-------|-------|---------|---------|
|               | Elements                    | C                 | Si    | Mn    | P      | S      | Ni                 | Cr                  | Co    | Cu   | As    | Sn    | V    | Al    | B       | Nb    | Ti    | N       | O (ppm) |
| 84V87<br>-1-4 | Spec.<br>Heat &<br>Produce  | 0.04<br>/<br>0.08 | ≤1.00 | ≤2.00 | ≤0.040 | ≤0.030 | 8.00<br>/<br>11.00 | 18.00<br>/<br>20.00 | ≤0.25 | —    | —     | —     | —    | —     | —       | —     | —     | —       | —       |
|               | Heat                        | 0.054             | 0.60  | 1.52  | 0.023  | 0.003  | 9.95               | 18.09               | 0.07  | —    | —     | —     | —    | —     | —       | —     | —     | —       | —       |
|               | Prod. (CAL)                 | 0.053             | 0.57  | 1.54  | 0.024  | 0.003  | 9.91               | 18.04               | 0.08  | 0.06 | 0.009 | 0.008 | 0.04 | 0.009 | <0.0003 | <0.01 | <0.01 | <0.0279 | 32      |

| Grain Size No. | Solution Heat Treatment                                  | Tensile Properties |                                   |                                 |                |                       | Hardness (HB)<br><187 | Thickness (mm) | Remarks                                                          |
|----------------|----------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|----------------|------------------------------------------------------------------|
|                |                                                          | Temp. (℃)          | 0.2% Y. S. (kgf/mm <sup>2</sup> ) | U. T. S. (kgf/mm <sup>2</sup> ) | Elongation (%) | Reduction of Area (%) |                       |                |                                                                  |
| 2.5            | Annealed<br>1040—1053℃<br>×2hrs.20min:<br>Water Quenched | R. T Spec.         | ≥21                               | ≥53                             | ≥45            | ≥50                   | 143                   | 40             | Manufacture by<br>The Japan Steel<br>Works. LTD<br>MURORAN Plant |
|                |                                                          | R. T               | 21.1                              | 55.1                            | 70.0           | 78.5                  |                       |                |                                                                  |
|                |                                                          |                    | 21.5                              | 55.5                            | 68.5           | 78.1                  |                       |                |                                                                  |
|                |                                                          | 550 Spec.          | ≥10.8                             | ≥35.3                           | —              | —                     |                       |                |                                                                  |
|                |                                                          | 550                | 10.8                              | 36.8                            | 43.1           | 78.4                  |                       |                |                                                                  |
|                |                                                          |                    | 11.0                              | 37.1                            | 41.8           | 77.0                  |                       |                |                                                                  |



Table 3 Chemical Composition and Mechanical Properties of Inconel 718 Plate

| Heat<br>Number | Chemical Composition (Wt.%) |       |       |       |        |        |                |                |              |       |                |       |        |              |            |              |             |              |                |      |
|----------------|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|----------------|----------------|--------------|-------|----------------|-------|--------|--------------|------------|--------------|-------------|--------------|----------------|------|
|                | Elements                    | C     | Si    | Mn    | P      | S      | Ni+Co          | Cr             | Mo           | Cu    | N <sub>2</sub> | Co    | B      | Ti           | V<br>(ppm) | Nb+Ta        | As<br>(ppm) | Al           | O <sub>2</sub> | Fe   |
| N-6144         | Spec.                       | ≤0.08 | ≤0.35 | ≤0.35 | ≤0.015 | ≤0.015 | 50.00<br>55.00 | 17.00<br>21.00 | 2.80<br>3.30 | ≤0.30 | —              | ≤1.00 | ≤0.006 | 0.65<br>1.15 | —          | 4.75<br>5.50 | —           | 0.20<br>0.80 | —              | Bal. |
|                | Ladle                       | 0.06  | 0.14  | 0.11  | 0.003  | 0.001  | 52.81          | 19.25          | 3.00         | 0.03  | —              | 0.00  | 0.003  | 0.96         | —          | 5.26         | —           | 0.61         | —              | Bal. |
|                | Check(*T)                   | 0.06  | 0.13  | 0.12  | 0.003  | 0.001  | 53.16          | 19.29          | 2.96         | 0.03  | 0.0015         | 0.00  | 0.003  | 0.96         | 17         | 5.26         | <10         | 0.59         | 0.0006         | Bal. |
|                | Check(*B)                   | 0.06  | 0.16  | 0.12  | 0.003  | 0.001  | 53.23          | 19.00          | 2.98         | 0.04  | 0.0029         | 0.00  | 0.003  | 0.96         | 14         | 5.25         | <10         | 0.62         | 0.0004         | Bal. |

\*T : Top side

B : Bottom side

| Specimen No | Tensile Properties at R.T            |                                    |                | Tensile Properties at 649℃           |                                    |                | **Creep Rupture Properties |                | Grain Size No | Solution Heat Treatment  | Aging Treatment          | Hardness (H <sub>R</sub> C) | Thickness (mm) | Remarks        |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
|             | 0.2% Y. S.<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | U. T. S.<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Elongation (%) | 0.2% Y. S.<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | U. T. S.<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | Elongation (%) | Time to Rupt.<br>(hr)      | Elongation (%) |               |                          |                          |                             |                |                |
| Spec.       | ≥105.5                               | ≥126.6                             | ≥12            | ≥84.4                                | ≥102.0                             | ≥5             | ≥23.0                      | ≥4             | ≥6            | 950℃×<br>1.2hrs<br>A. C. | 720℃×<br>8.0hrs<br>F. C. | Spec.<br>≥36                | 26             | Manufactured   |
| T-1         | 118.0                                | 142.4                              | 18.0           | 97.8                                 | 115.1                              | 24.8           | 40.4                       | 18.0           |               |                          | +                        | 43.0                        |                | by TOSHIBA     |
| T-2         | 118.1                                | 142.9                              | 18.1           | 98.5                                 | 115.5                              | 28.0           | 46.6                       | 28.0           |               |                          |                          |                             |                | Corporation    |
| B-1         | 112.5                                | 141.6                              | 22.0           | 98.0                                 | 114.8                              | 23.2           | 66.8                       | 29.0           |               |                          | 624℃×<br>8.2hrs<br>A. C. | 43.5                        |                | YOKOHAMA Metal |
| B-2         | 112.8                                | 141.9                              | 22.4           | 99.5                                 | 116.5                              | 26.0           | 89.9                       | 37.2           |               |                          |                          |                             |                | Works.         |

\*\*Temp. 644℃  
Stress. 70.3kg f/mm<sup>2</sup>

Table 4 Irraidation Temperature of SMIR-5, 6

| Rig No. | Compartment No. | Distance from Compartment Bottom. (mm) | SiC No (Specimen No.) | Measured Temperature |
|---------|-----------------|----------------------------------------|-----------------------|----------------------|
| SMIR-5  | 1               | 208                                    | 96A2204 (T0XV)        | 495℃                 |
|         | 1               | 312                                    | 96A2205 (T09R)        | 494℃                 |
|         | 1               | 520                                    | 96A2094 (T11V)        | 454℃                 |
|         | 1               | 624                                    | 96A0150 (T09J)        | 434℃                 |
|         | 1               | 728                                    | 96A2017 (T0UH)        | 459℃                 |
|         | 1               | 1144                                   | 96A2078 (T0A0)        | 552℃                 |
|         | 1               | 1352                                   | 96A2080 (T0PV)        | 476℃                 |
| SMIR-6  | 7               | 400                                    | 88B0321 (T0UG)        | 487℃                 |
|         | 1               | 624                                    | 88A0011 (T0W9)        | 464℃                 |
|         | 4               | 624                                    | 88A0191 (T0WC)        | 497℃                 |
|         | 1               | 1144                                   | 88A0031 (T0W5)        | 436℃                 |
|         | 7               | 1445                                   | 88A0371 (T0WM)        | 464℃                 |

Table 5 Fluence of Measured Dosimeter (SMIR-6)

| Dosimeter No | Distance from<br>Core Center<br>(mm) | Fluence of measured<br>Dosimeter<br>(n/cm <sup>2</sup> , E>0.1MeV) | Fluence of "DOT 3.5"<br>(n/cm <sup>2</sup> , E>0.1MeV) | Dosimeter/ "DOT 3.5" |
|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|
| DS061        | -709                                 | $8.9 \times 10^{19}$                                               | $1.5 \times 10^{20}$                                   | 0.6                  |
| DS062        | 112                                  | $7.5 \times 10^{20}$                                               | $1.3 \times 10^{21}$                                   | 0.6                  |
| DS063        | 673                                  | $7.0 \times 10^{19}$                                               | $1.2 \times 10^{20}$                                   | 0.6                  |

Table 6 Tensile Properties of Irradiated Type 304 Stainless Steel  
(Rolled Plate, Forged Plate) and Inconel 718 Plate (SMIR-5)

| Materials                 | Specimen No | Irradiation Condition |                 |         | Test Temp. (°C) | 0.2% Proof Stress |       | Tensile Strength |       | Uniform Elongation (%) | Rupture Elongation (%) | Reduction of Area (%) | Ruptured Position |
|---------------------------|-------------|-----------------------|-----------------|---------|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
|                           |             | Irrad. Temp. (°C)     | Fluence (n/cm²) |         |                 | (kgf/mm²)         | (MPa) | (kgf/mm²)        | (MPa) |                        |                        |                       |                   |
|                           |             |                       | E>0.1MeV        | E<0.4eV |                 |                   |       |                  |       |                        |                        |                       |                   |
| SUS304<br>Rolled<br>Plate | 96T09J      | 434                   | 4.4E+21         | 1.7E+16 | 20              | 27.8              | 272   | 70.3             | 689   | 63                     | 69                     | 73                    | A                 |
|                           | 96T09K      | 434                   | 4.4E+21         | 1.7E+16 | 20              | 29.2              | 286   | 70.3             | 689   | 62                     | 69                     | 73                    | A                 |
|                           | 96T09L      | 434                   | 4.4E+21         | 1.7E+16 | 400             | 24.3              | 238   | 46.9             | 460   | 31                     | 38                     | 65                    | B                 |
|                           | 96T09M      | 434                   | 4.4E+21         | 1.7E+16 | 400             | 24.3              | 238   | 47.2             | 463   | 30                     | 37                     | 71                    | A                 |
|                           | 96T09N      | 434                   | 4.4E+21         | 1.7E+16 | 450             | 24.2              | 237   | 46.1             | 452   | 31                     | 38                     | 68                    | A                 |
|                           | 96T09P      | 434                   | 4.4E+21         | 1.7E+16 | 450             | 23.5              | 230   | 44.9             | 440   | 27                     | 35                     | 63                    | B                 |
|                           | 96T09R      | 494                   | 9.1E+20         | 8.2E+17 | 20              | 24.1              | 246   | 65.8             | 645   | 66                     | 73                     | 74                    | A                 |
|                           | 96T09S      | 494                   | 9.1E+20         | 8.2E+17 | 20              | 23.6              | 231   | 65.1             | 638   | 68                     | 76                     | 76                    | A                 |
|                           | 96T09T      | 494                   | 9.1E+20         | 8.2E+17 | 450             | 13.9              | 136   | 43.6             | 427   | 38                     | 45                     | 66                    | A                 |
|                           | 96T09U      | 494                   | 9.1E+20         | 8.2E+17 | 450             | 14.0              | 137   | 43.6             | 427   | 37                     | 44                     | 67                    | A                 |
|                           | 96T09V      | 494                   | 9.1E+20         | 8.2E+17 | 500             | 14.0              | 137   | 43.1             | 422   | 38                     | 41                     | 66                    | A                 |
|                           | 96T09W      | 494                   | 9.1E+20         | 8.2E+17 | 500             | 14.1              | 138   | 42.5             | 417   | 34                     | 41                     | 71                    | A                 |
|                           | 96T09X      | 494                   | 9.1E+20         | 8.2E+17 | 550             | 13.7              | 134   | 39.6             | 388   | 34                     | 41                     | 67                    | A                 |
|                           | 96T09Y      | 454                   | 2.6E+21         | 4.6E+17 | 450             | 17.0              | 167   | 43.7             | 428   | 33                     | 40                     | 65                    | A                 |
|                           | 96T09Z      | 454                   | 2.6E+21         | 4.6E+17 | 450             | 17.5              | 172   | 43.4             | 425   | 35                     | 42                     | 68                    | A                 |
|                           | 96T0A0      | 552                   | 2.3E+21         | 1.4E+17 | 20              | 24.1              | 236   | 68.0             | 666   | 51                     | 59                     | 65                    | A                 |
|                           | 96T0A1      | 552                   | 2.3E+21         | 1.4E+17 | 500             | 18.7              | 183   | 41.0             | 402   | 23                     | 29                     | 58                    | A                 |
|                           | 96T0A2      | 552                   | 2.3E+21         | 1.4E+17 | 550             | 17.3              | 170   | 38.4             | 376   | 27                     | 34                     | 60                    | A                 |
|                           | 96T0A3      | 552                   | 2.3E+21         | 1.4E+17 | 550             | 16.6              | 163   | 39.0             | 382   | 30                     | 37                     | 64                    | A                 |
|                           | 96T0A4      | 552                   | 2.3E+21         | 1.4E+17 | 600             | 16.7              | 164   | 36.1             | 354   | 28                     | 36                     | 69                    | A                 |
|                           | 96T0A5      | 552                   | 2.3E+21         | 1.4E+17 | 600             | 16.9              | 166   | 36.1             | 354   | 25                     | 32                     | 64                    | A                 |
|                           | 96T0PV      | 476                   | 5.9E+20         | 2.2E+17 | 20              | 23.6              | 231   | 64.5             | 632   | 68                     | 77                     | 81                    | A                 |
|                           | 96T0PW      | 476                   | 5.9E+20         | 2.2E+17 | 20              | 22.8              | 223   | 65.0             | 637   | 68                     | 77                     | 80                    | A                 |
|                           | 96T0PX      | 476                   | 5.9E+20         | 2.2E+17 | 400             | 13.9              | 136   | 44.7             | 438   | 37                     | 44                     | 68                    | A                 |
|                           | 96T0PY      | 476                   | 5.9E+20         | 2.2E+17 | 450             | 13.0              | 127   | 43.4             | 425   | 35                     | 44                     | 65                    | A                 |
|                           | 96T0PZ      | 476                   | 5.9E+20         | 2.2E+17 | 450             | 13.4              | 131   | 43.4             | 425   | 36                     | 43                     | 70                    | A                 |
|                           | 96T0R0      | 476                   | 5.9E+20         | 2.2E+17 | 500             | 13.6              | 133   | 43.1             | 422   | 35                     | 42                     | 66                    | A                 |
|                           | 96T0R1      | 476                   | 5.9E+20         | 2.2E+17 | 500             | 13.3              | 130   | 43.0             | 421   | 33                     | 41                     | 69                    | A                 |
| Inconel 718<br>Plate      | 96T0UH      | 459                   | 5.2E+21         | 1.0E+16 | 20              | 111.7             | 1095  | 146.3            | 1434  | 16                     | 20                     | 37                    | A                 |
|                           | 96T0UJ      | 459                   | 5.2E+21         | 1.0E+16 | 450             | 96.9              | 950   | 131.2            | 1286  | 15                     | 17                     | 33                    | A                 |
|                           | 96T0UK      | 459                   | 5.2E+21         | 1.0E+16 | 500             | 101.3             | 993   | 129.2            | 1266  | 11                     | 13                     | 26                    | A                 |
|                           | 96T0UL      | 459                   | 5.2E+21         | 1.0E+16 | 550             | 105.3             | 1032  | 133.3            | 1306  | 10                     | 12                     | 19                    | A                 |
|                           | 96T0UM      | 459                   | 5.2E+21         | 1.0E+16 | 550             | 93.0              | 911   | 128.7            | 1261  | 11                     | 13                     | 18                    | B                 |
|                           | 96T0UN      | 459                   | 5.2E+21         | 1.0E+16 | 600             | 105.3             | 1032  | 128.6            | 1260  | 7                      | 11                     | 22                    | A                 |
| SUS304<br>Forged<br>Plate | 96T0XV      | 495                   | 5.1E+20         | 7.6E+17 | 20              | 23.7              | 232   | 61.8             | 606   | —                      | 73                     | 83                    | A                 |
|                           | 96T0XW      | 495                   | 5.1E+20         | 7.6E+17 | 20              | 23.6              | 231   | 61.6             | 604   | 65                     | 76                     | 83                    | A                 |
|                           | 96T0XX      | 495                   | 5.1E+20         | 7.6E+17 | 450             | 13.9              | 136   | 43.0             | 421   | 37                     | 44                     | 74                    | A                 |
|                           | 96T0XY      | 495                   | 5.1E+20         | 7.6E+17 | 500             | 13.5              | 132   | 42.6             | 417   | 34                     | 42                     | 73                    | A                 |
|                           | 96T0XZ      | 495                   | 5.1E+20         | 7.6E+17 | 500             | 15.0              | 147   | 42.8             | 419   | 36                     | 44                     | 76                    | A                 |
|                           | 96T0YO      | 495                   | 5.1E+20         | 7.6E+17 | 550             | 12.2              | 120   | 38.4             | 376   | 34                     | 42                     | 78                    | A                 |

Table 7 Tensile Properties of Irradiated Type 304 Stainless Steel  
(Rolled Plate, Forged Plate) and Inconel 718 Plate (SMIR-6)

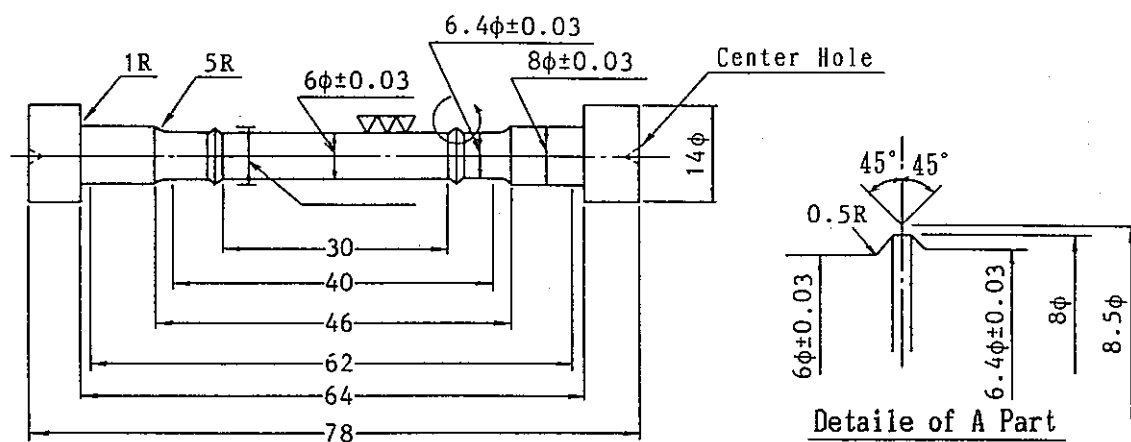
| Materials              | Specimen No | Irradiation Condition |                 |         | Test Temp. (°C) | 0.2% Proof Stress |       | Tensile Strength |       | Uniform Elongation (%) | Rupture Elongation (%) | Reduction of Area (%) | Ruptured Position |
|------------------------|-------------|-----------------------|-----------------|---------|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
|                        |             | Irrad. Temp (°C)      | Fluence (n/cm²) |         |                 | (kgf/mm²)         | (MPa) | (kgf/mm²)        | (MPa) |                        |                        |                       |                   |
|                        |             |                       | E>0.1MeV        | E<0.4eV |                 |                   |       |                  |       |                        |                        |                       |                   |
| SUS304<br>Rolled Plate | 88T094      | 490                   | 8.5E+20         | 4.5E+17 | 500             | 13.3              | 130   | 40.7             | 399   | 39                     | 46                     | 62                    | A                 |
|                        | 88T095      | 471                   | 1.1E+21         | 5.0E+17 | 450             | 14.3              | 140   | 42.4             | 416   | 39                     | 46                     | 66                    | A                 |
|                        | 88T096      | 490                   | 8.5E+20         | 4.5E+17 | 500             | —                 | —     | 40.5             | 397   | —                      | 46                     | 68                    | A                 |
|                        | 88T097      | 471                   | 1.1E+21         | 5.0E+17 | 450             | —                 | —     | 42.4             | 416   | —                      | 47                     | 68                    | A                 |
| Inconel 718<br>Plate   | 88T09B      | 450                   | 3.7E+20         | 3.3E+17 | 600             | 108.9             | 1067  | 131.5            | 1289  | 13                     | 18                     | 19                    | A                 |
|                        | 88T09C      | 450                   | 3.7E+20         | 3.3E+17 | 550             | 109.5             | 1073  | 128.8            | 1262  | 16                     | 19                     | 19                    | A                 |
|                        | 88T09D      | 450                   | 3.0E+20         | 2.9E+17 | 550             | —                 | —     | 127.2            | 1247  | —                      | 21                     | 19                    | A                 |
|                        | 88T09E      | 487                   | 5.1E+20         | 5.3E+17 | 20              | 122.8             | 1203  | 150.7            | 1477  | 17                     | 20                     | 19                    | A                 |
|                        | 88T09F      | 487                   | 5.1E+20         | 5.3E+17 | 500             | 104.3             | 1022  | 127.3            | 1248  | 16                     | 20                     | 28                    | A                 |
|                        | 88T09G      | 487                   | 5.1E+20         | 5.3E+17 | 500             | 107.2             | 1051  | 126.5            | 1240  | 16                     | 22                     | 19                    | A                 |
| SUS304<br>Forged Plate | 88T0W5      | 436                   | 8.5E+20         | 4.5E+17 | 20              | 25.6              | 251   | 61.3             | 601   | 69                     | 80                     | 81                    | A                 |
|                        | 88T0W6      | 436                   | 8.5E+20         | 4.5E+17 | 20              | 24.8              | 243   | 61.4             | 602   | 69                     | 81                     | 83                    | A                 |
|                        | 88T0W7      | 436                   | 8.5E+20         | 4.5E+17 | 400             | 15.6              | 153   | 44.0             | 431   | 41                     | 49                     | 73                    | A                 |
|                        | 88T0W8      | 436                   | 8.5E+20         | 4.5E+17 | 400             | 15.1              | 148   | 43.9             | 430   | 42                     | 50                     | 77                    | A                 |
|                        | 88T0W9      | 464                   | 1.2E+21         | 5.9E+17 | 450             | 16.9              | 166   | 42.3             | 415   | 45                     | 52                     | 75                    | A                 |
|                        | 88T0WA      | 464                   | 1.2E+21         | 5.9E+17 | 450             | 16.1              | 158   | 41.9             | 427   | 39                     | 47                     | 77                    | A                 |
|                        | 88T0WB      | 464                   | 1.2E+21         | 5.9E+17 | 500             | 15.9              | 156   | 40.0             | 392   | 38                     | 45                     | 73                    | A                 |
|                        | 88T0WC      | 464                   | 1.2E+21         | 5.9E+17 | 500             | 15.7              | 154   | 40.2             | 394   | 39                     | 46                     | 70                    | A                 |
|                        | 88T0WD      | 464                   | 1.2E+21         | 5.9E+17 | 550             | —                 | —     | 37.8             | 370   | —                      | 46                     | 70                    | A                 |
|                        | 88T0WE      | 464                   | 1.2E+21         | 5.9E+17 | 550             | 15.5              | 152   | 38.5             | 377   | 37                     | 45                     | 70                    | A                 |
|                        | 88T0WF      | 464                   | 2.1E+20         | 2.4E+17 | 20              | 24.9              | 244   | 61.3             | 601   | 71                     | 80                     | 80                    | A                 |
|                        | 88T0WG      | 464                   | 2.1E+20         | 2.4E+17 | 400             | 14.3              | 140   | 43.5             | 426   | 43                     | 51                     | 75                    | A                 |
|                        | 88T0WH      | 464                   | 2.1E+20         | 2.4E+17 | 400             | 14.7              | 144   | 43.8             | 429   | 41                     | 48                     | 73                    | A                 |
|                        | 88T0WJ      | 464                   | 2.1E+20         | 2.4E+17 | 450             | 13.0              | 127   | 41.9             | 411   | 41                     | 48                     | 78                    | A                 |
|                        | 88T0WK      | 464                   | 2.1E+20         | 2.4E+17 | 450             | 13.0              | 127   | 41.7             | 409   | 41                     | 49                     | 70                    | A                 |
|                        | 88T0WL      | 464                   | 2.1E+20         | 2.4E+17 | 500             | 12.9              | 126   | 40.7             | 399   | 40                     | 48                     | 80                    | A                 |
|                        | 88T0WN      | 464                   | 1.7E+20         | 2.1E+17 | 500             | 12.7              | 124   | 40.3             | 395   | 39                     | 48                     | 73                    | A                 |

Table 8 Tensile Properties of Unirradiated Type 304 Stainless Steel  
Forged Plate and Inconel 718 Plate

| Materials                 | Specimen No. | Test Temp. (°C) | 0.2% Proof Stress      |       | Tensile Strength       |       | Uniform Elongation (%) | Rupture Elongation (%) | Reduction of Area (%) | Ruptured Position |
|---------------------------|--------------|-----------------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|
|                           |              |                 | (kgf/mm <sup>2</sup> ) | (MPa) | (kgf/mm <sup>2</sup> ) | (MPa) |                        |                        |                       |                   |
| SUS304<br>Forged<br>Plate | Z8026W       | 20              | 20.8                   | 204   | 59.2                   | 580   | 67                     | 79                     | 83                    | A                 |
|                           | Z8026X       | 20              | 21.9                   | 215   | 59.1                   | 579   | 68                     | 78                     | 81                    | A                 |
|                           | Z8026Y       | 400             | 13.3                   | 130   | 43.0                   | 421   | 41                     | 49                     | 78                    | A                 |
|                           | Z8026Z       | 400             | 14.8                   | 145   | 43.1                   | 422   | 40                     | 48                     | 74                    | A                 |
|                           | Z80270       | 450             | —                      | —     | 42.7                   | 418   | —                      | 48                     | 77                    | A                 |
|                           | Z80271       | 450             | 13.0                   | 127   | 42.5                   | 417   | 42                     | 50                     | 77                    | A                 |
|                           | Z80272       | 500             | 11.3                   | 111   | 41.0                   | 402   | 40                     | 47                     | 80                    | A                 |
|                           | Z80273       | 500             | 12.4                   | 122   | 41.1                   | 403   | 36                     | 43                     | 77                    | A                 |
|                           | Z80274       | 550             | 13.6                   | 133   | 38.2                   | 374   | 37                     | 45                     | 80                    | A                 |
|                           | Z80275       | 550             | 13.3                   | 130   | 37.2                   | 365   | 36                     | 46                     | 79                    | A                 |
|                           | Z80276       | 600             | 14.5                   | 142   | 34.3                   | 336   | 37                     | 48                     | 76                    | A                 |
|                           | Z80277       | 600             | 12.4                   | 122   | 34.3                   | 336   | 40                     | 50                     | 76                    | A                 |
| Inconel 718<br>Plate      | Z80264       | 20              | 109.8                  | 1076  | 144.8                  | 1419  | 18                     | 21                     | 36                    | A                 |
|                           | Z8026M       | 20              | 121.2                  | 1188  | 152.8                  | 1497  | 16                     | 19                     | 30                    | A                 |
|                           | Z80268       | 450             | 107.6                  | 1054  | 127.0                  | 1245  | 15                     | 18                     | 29                    | A                 |
|                           | Z8026A       | 500             | 109.2                  | 1070  | 129.9                  | 1273  | 16                     | 19                     | 33                    | A                 |
|                           | Z8026B       | 500             | 107.5                  | 1054  | 131.5                  | 1289  | 14                     | 17                     | 23                    | A                 |
|                           | Z8026D       | 550             | —                      | —     | 125.1                  | 1226  | —                      | 20                     | 28                    | A                 |
|                           | Z8026F       | 600             | 96.9                   | 950   | 122.1                  | 1197  | 16                     | 23                     | 45                    | A                 |
|                           | Z8026G       | 600             | —                      | —     | 126.6                  | 1241  | —                      | 24                     | 45                    | A                 |
|                           | Z8026H       | 650             | 95.1                   | 932   | 114.6                  | 1123  | 11                     | 35                     | 62                    | A                 |
|                           | Z8026J       | 650             | 96.9                   | 950   | 115.3                  | 1130  | 9                      | 33                     | 61                    | A                 |

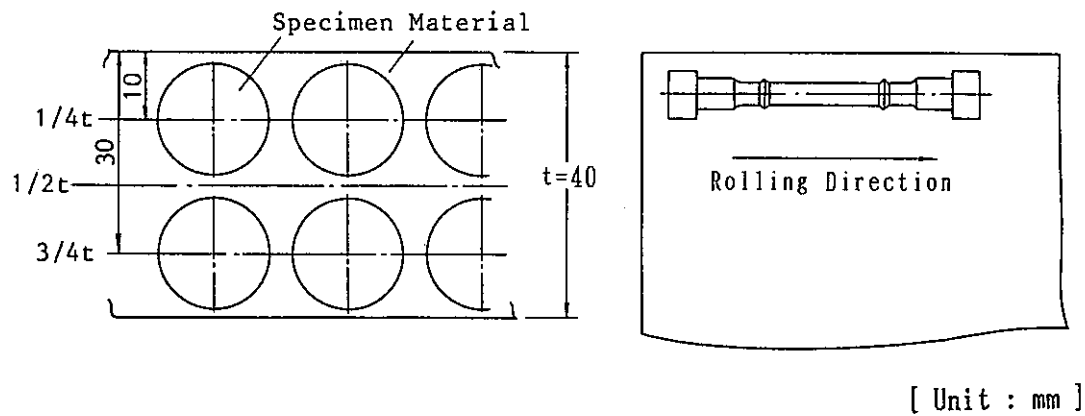
Table 9 Hardness of Irradiated Type 304 Stainless Steel (Rolled Plate Forged Plate) and Inconel 718 Plate Tested at Room Temperature

| Rig No. | Materials           | Specimen No. | Irrad. Temp. (°C) | Fluence (E>0.1MeV) (n/cm <sup>2</sup> ) | Hardness (Hv)                   | Average Hardness (Hv) |
|---------|---------------------|--------------|-------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| SMIR-5  | SUS304 Rolled Plate | 96T09R       | 494               | $9.1 \times 10^{20}$                    | 157<br>160<br>156<br>156<br>154 | 157                   |
|         | SUS304 Forged Plate | 96T0XV       | 495               | $5.1 \times 10^{20}$                    | 155<br>158<br>151<br>156<br>159 | 156                   |
|         | Inconel 718 Plate   | 96T0UH       | 459               | $5.2 \times 10^{21}$                    | 436<br>435<br>443<br>440<br>443 | 439                   |
| SMIR-6  | SUS304 Forged Plate | 88T0WF       | 464               | $2.1 \times 10^{20}$                    | 164<br>152<br>147<br>139<br>139 | 148                   |
|         |                     | 88T0W5       | 436               | $8.5 \times 10^{20}$                    | 166<br>153<br>159<br>155<br>156 | 158                   |
|         | Inconel 718 Plate   | 88T0UE       | 487               | $5.1 \times 10^{20}$                    | 433<br>464<br>427<br>460<br>436 | 444                   |



[ Unit : mm ]

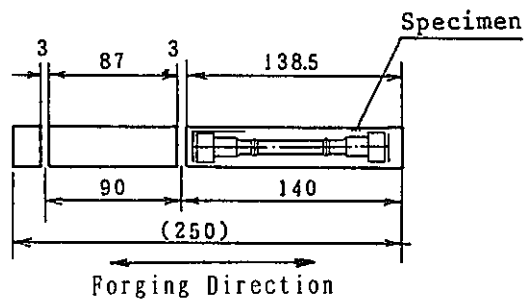
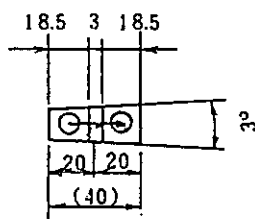
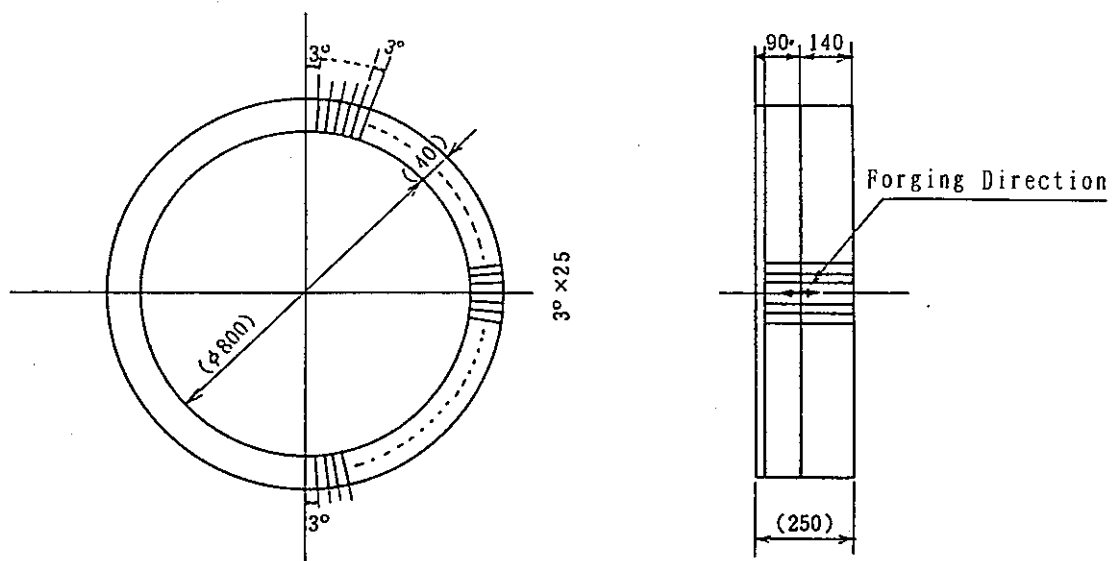
Fig. 1 Dimension of Tensile Specimen



[ Unit : mm ]

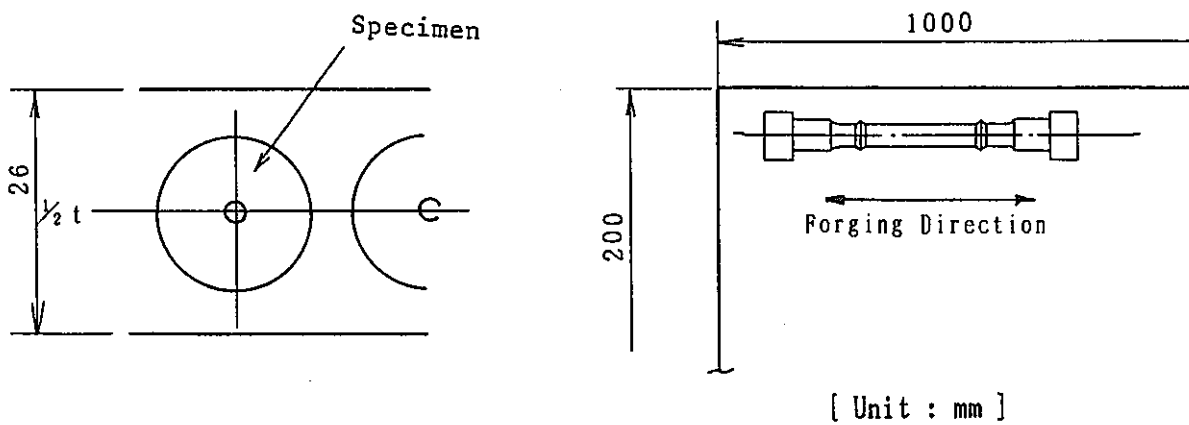
Fig. 2 Sampling of Specimens (Type 304 Stainless Steel Rolled Plate)





[ Unit : mm ]

Fig. 3 Sanpling of Specimens (Type 304 Stainless Steel Forged Plate)



[ Unit : mm ]

Fig. 4 Sanpling of Specimens (Inconel 718 Plate)

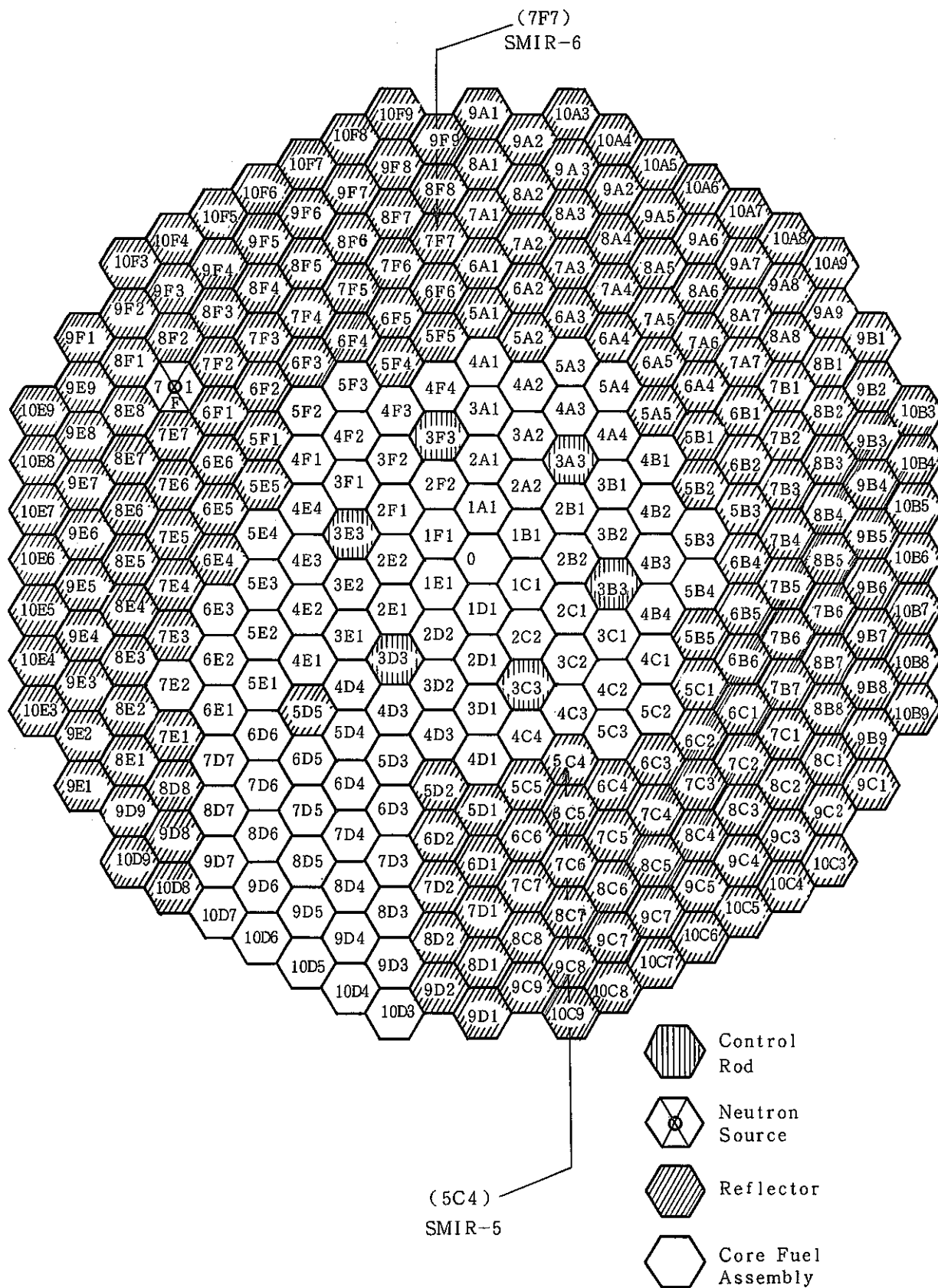


Fig. 5 In-reactor Location of the Irradiation Rig

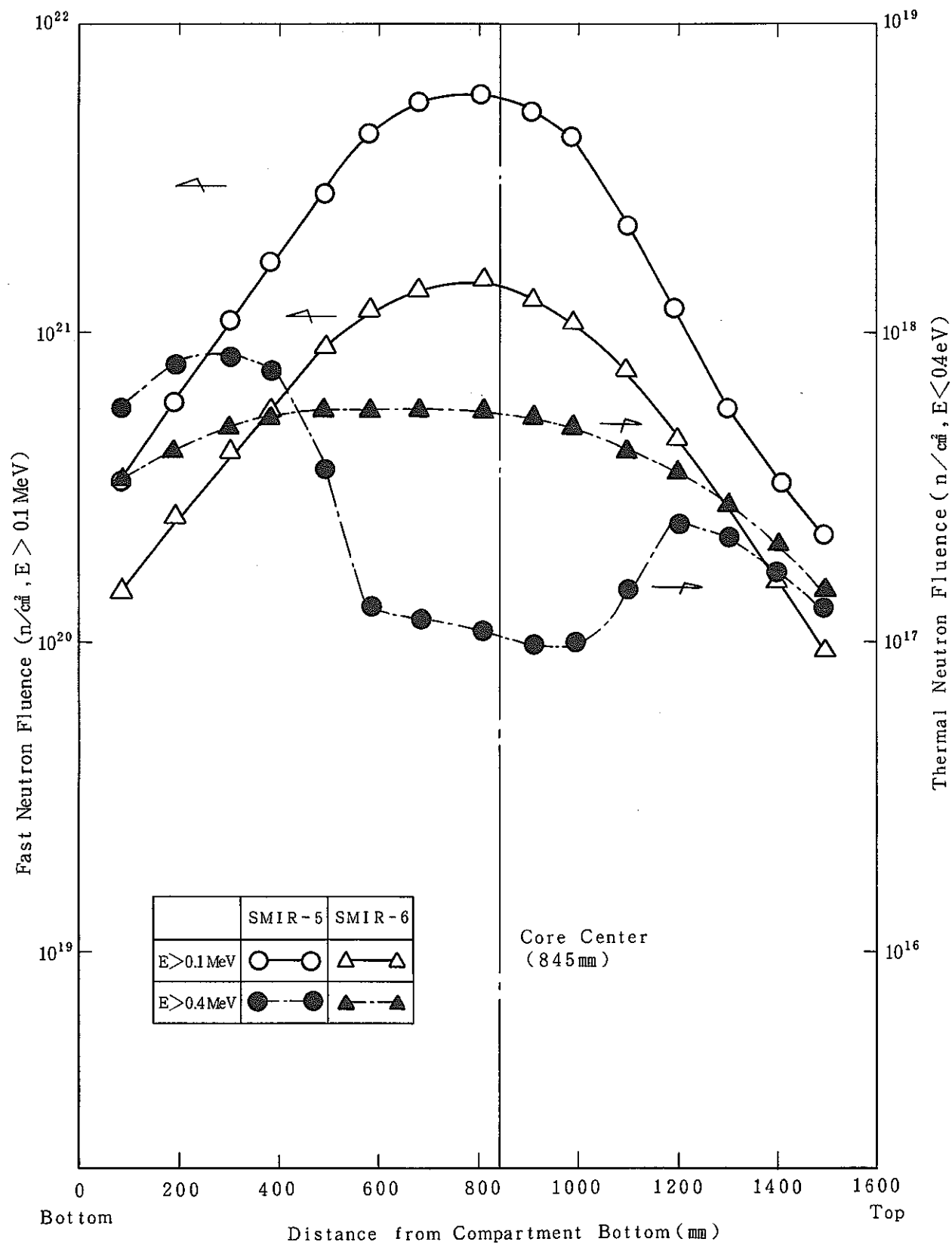
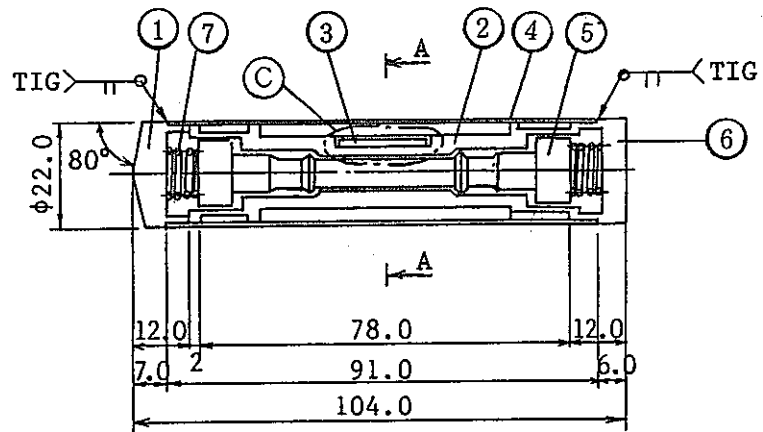
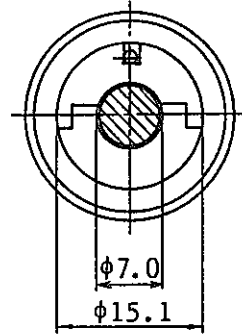


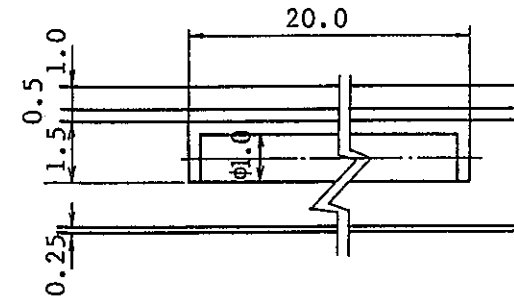
Fig. 6 Neutron Fluence Profiles in SMIR-5,6 Rig



1) Tensile Specimen Capsule



Section A-A



Detail of C Part

[ Unit : mm ]

| No. | Item         | Quantity | Material        |
|-----|--------------|----------|-----------------|
| 1   | Top Plug     | 1        | SUS 304         |
| 2   | Sleeve       | 1        | SUS 304         |
| 3   | SiC          | 1        | SiC             |
| 4   | Capsule Tube | 1        | SUS 304         |
| 5   | Specimen     | 1        | SUS 304         |
| 6   | Bottom Plug  | 1        | SUS 304         |
| 7   | Spring       | 1        | Inconel<br>X750 |

Fig. 7 Structure of Test Piece Capsule

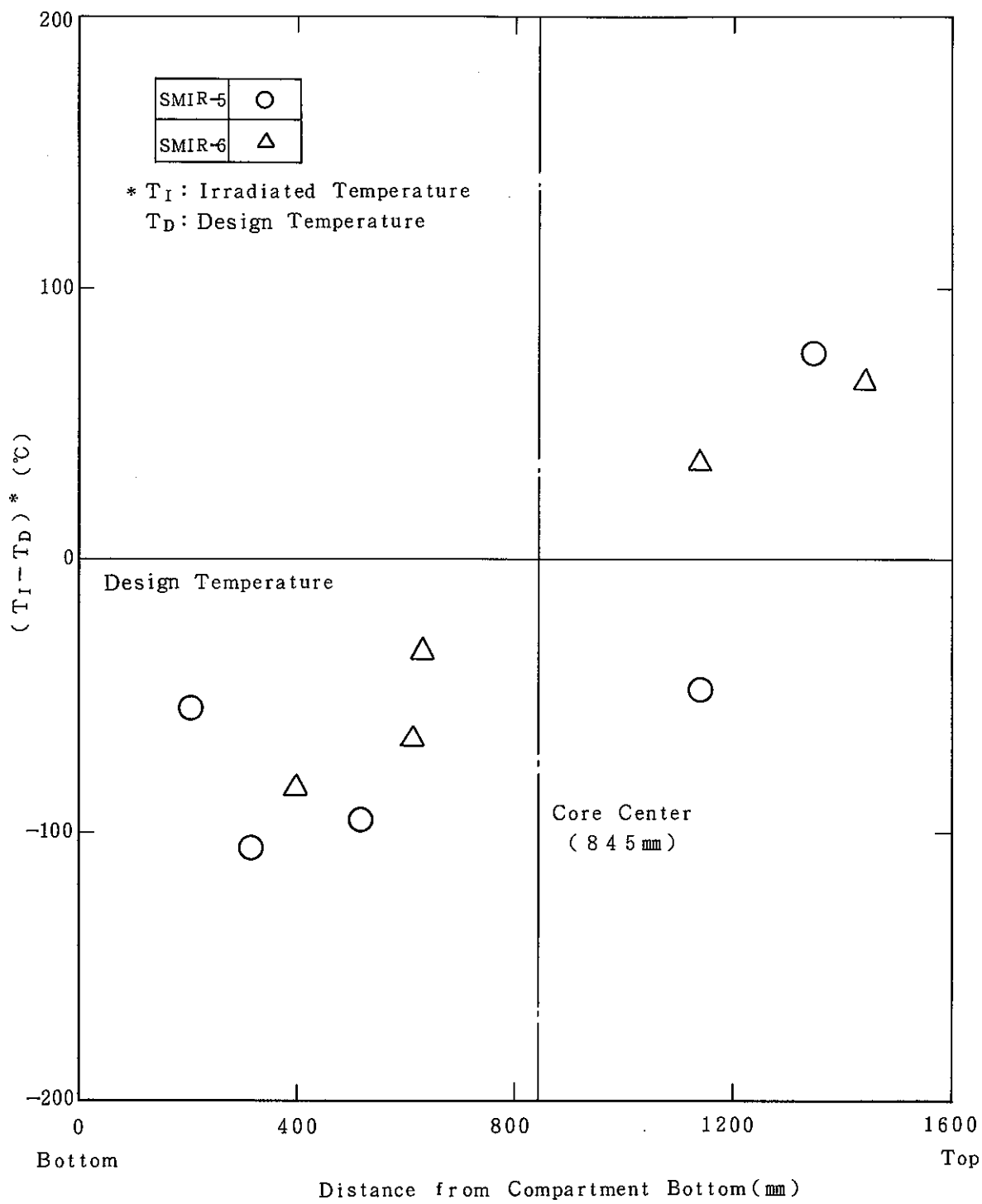


Fig. 8 Difference between Irradiation Temperature and Design Temperature

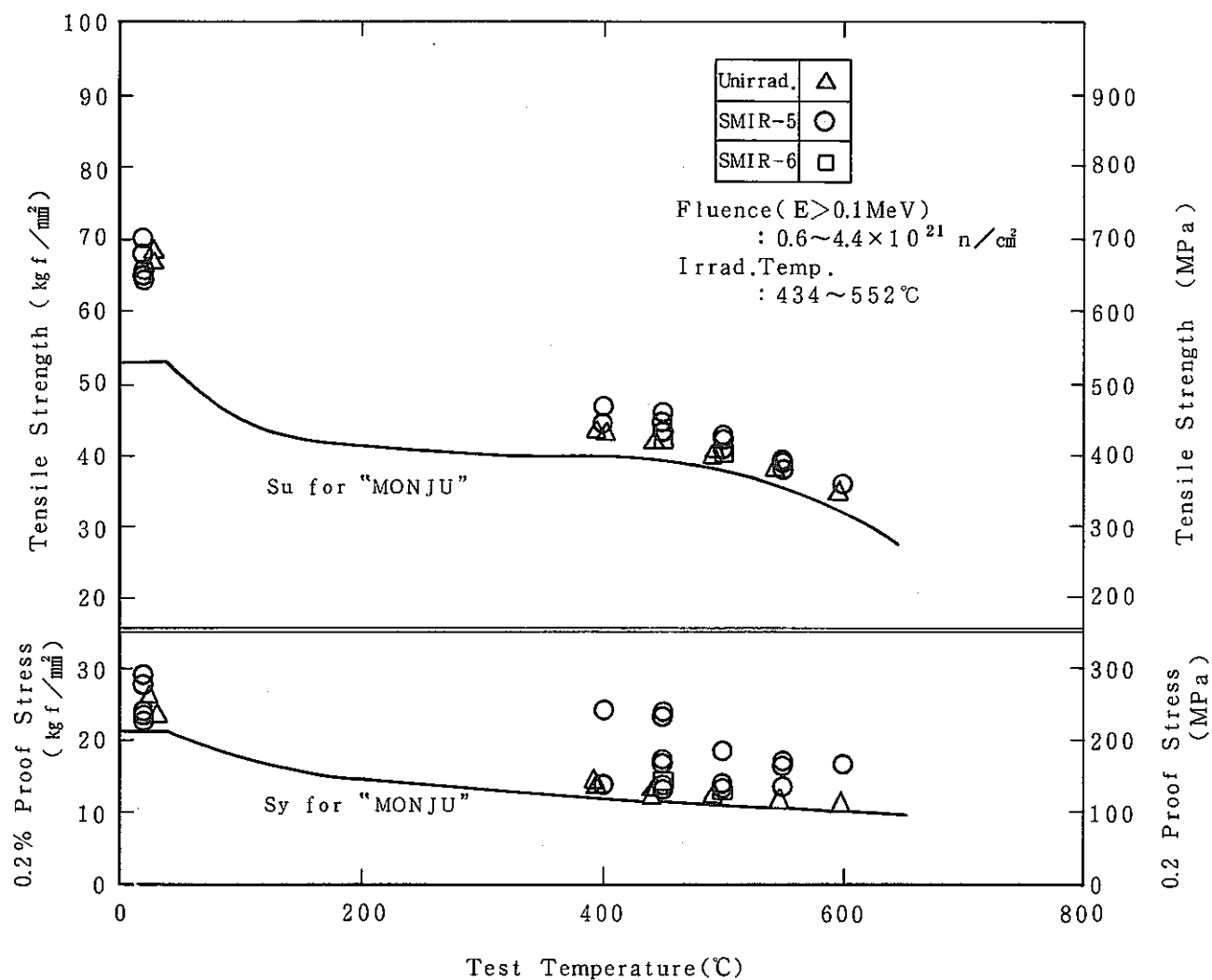


Fig. 9 0.2% Proof Stress and Tensile Strength of Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate

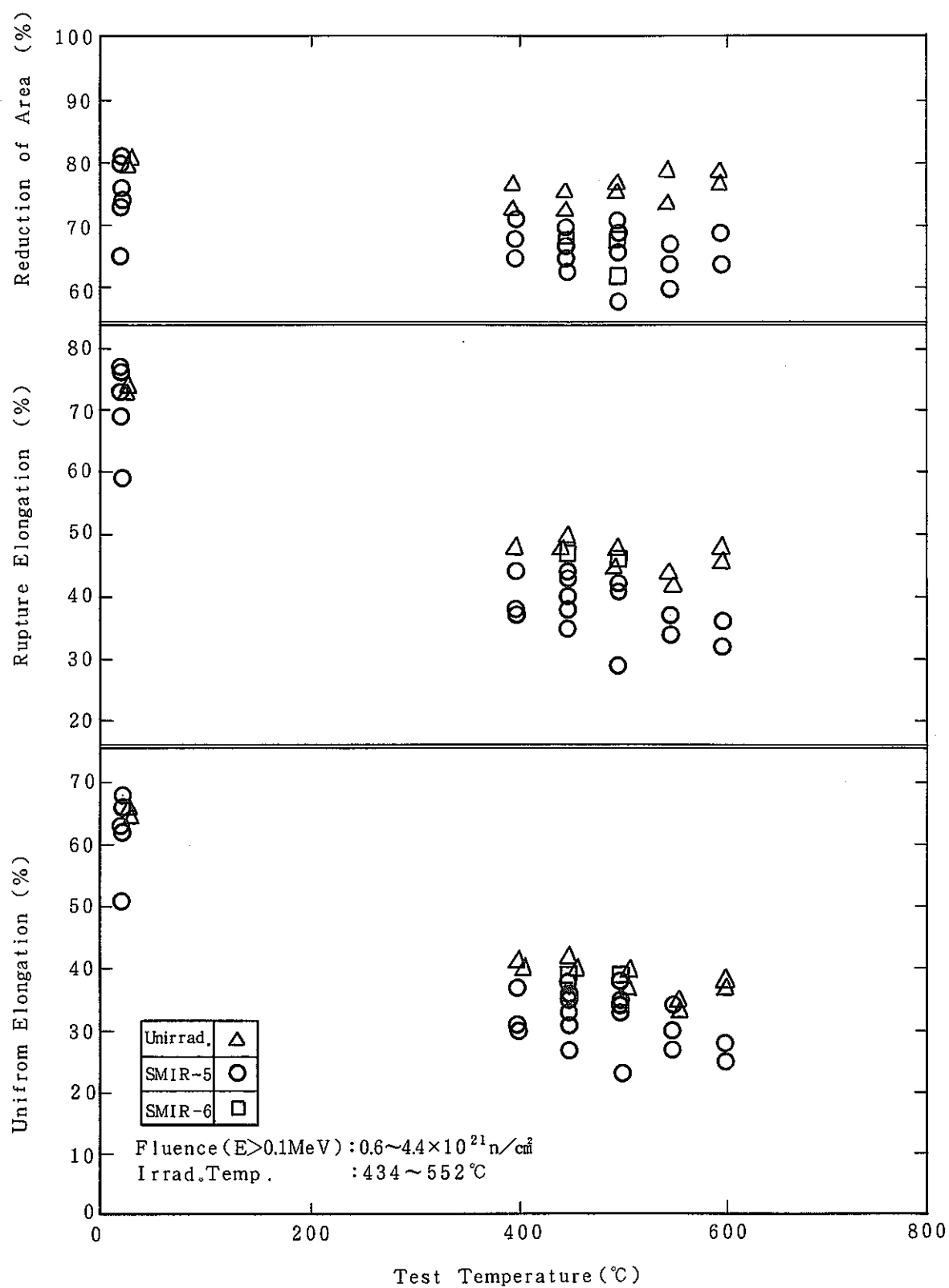


Fig.10 Uniform Elongation, Rupture Elongation and Reduction of Area of Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate

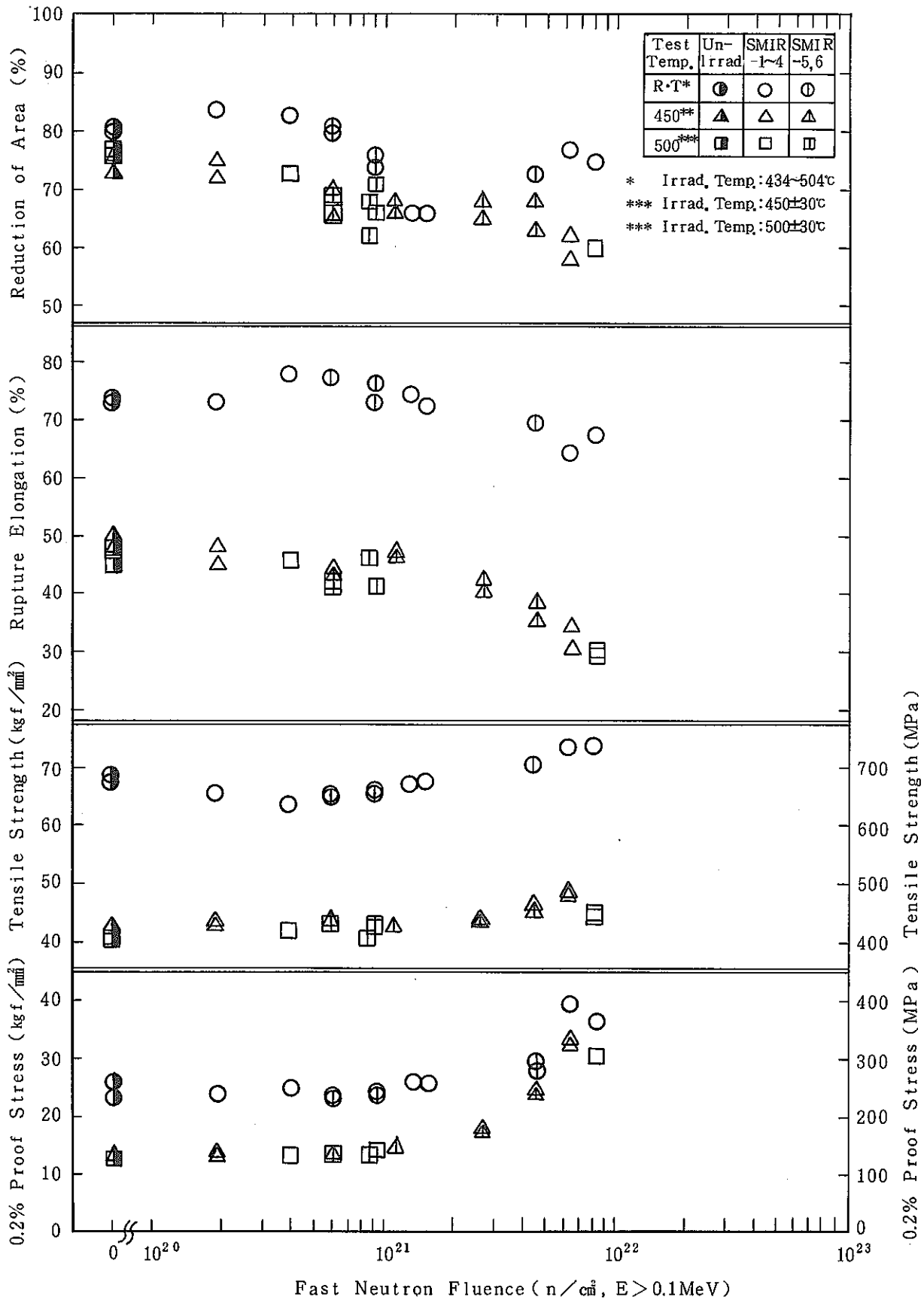


Fig. 11 The Effect of Fast Neutron Fluence on 0.2% Proof Stress, Tensile Strength, Rupture Elongation and Reduction of Area of Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate



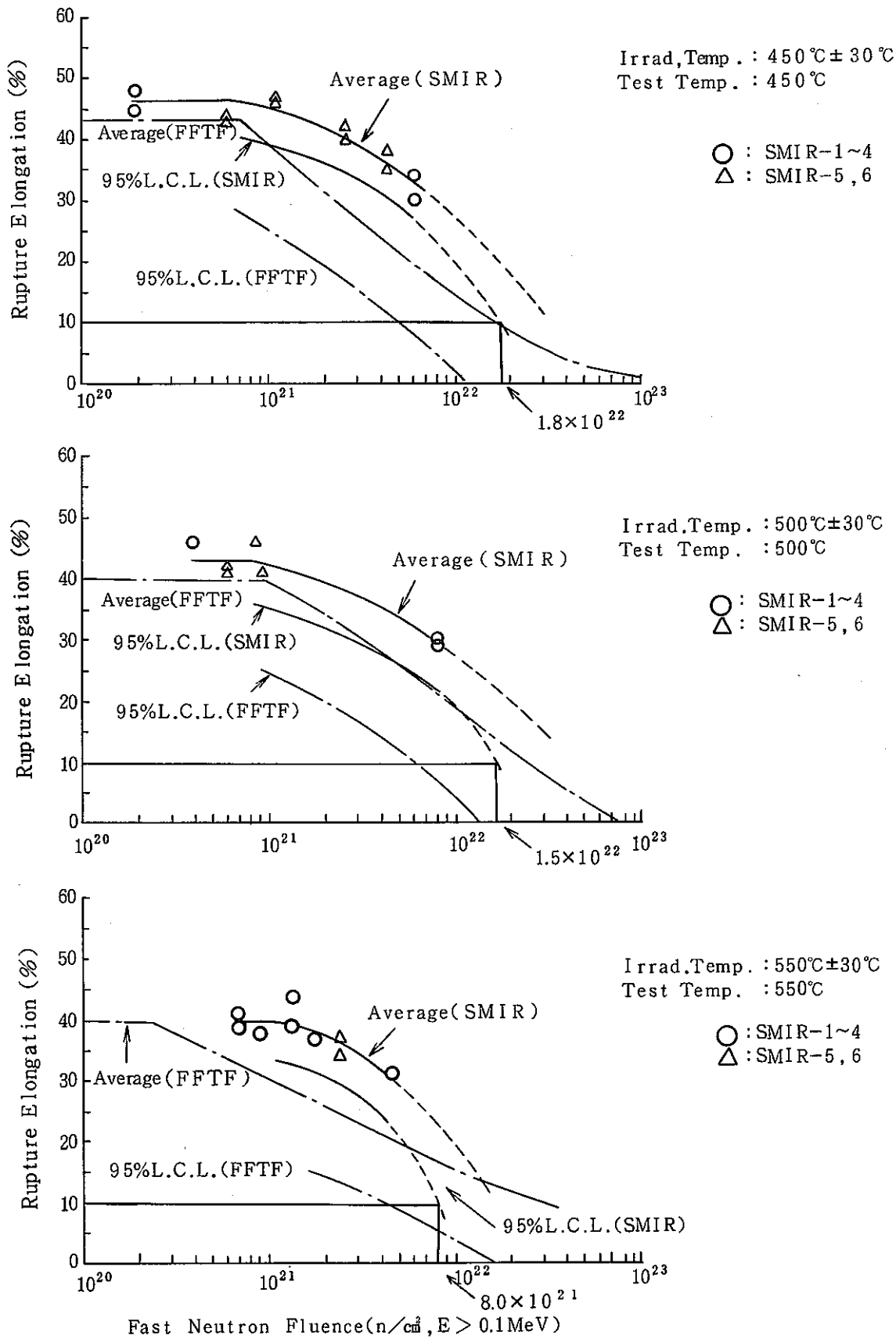


Fig. 12 The Effect of Fast Neutron Fluence on Rupture Elongation of Irradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate

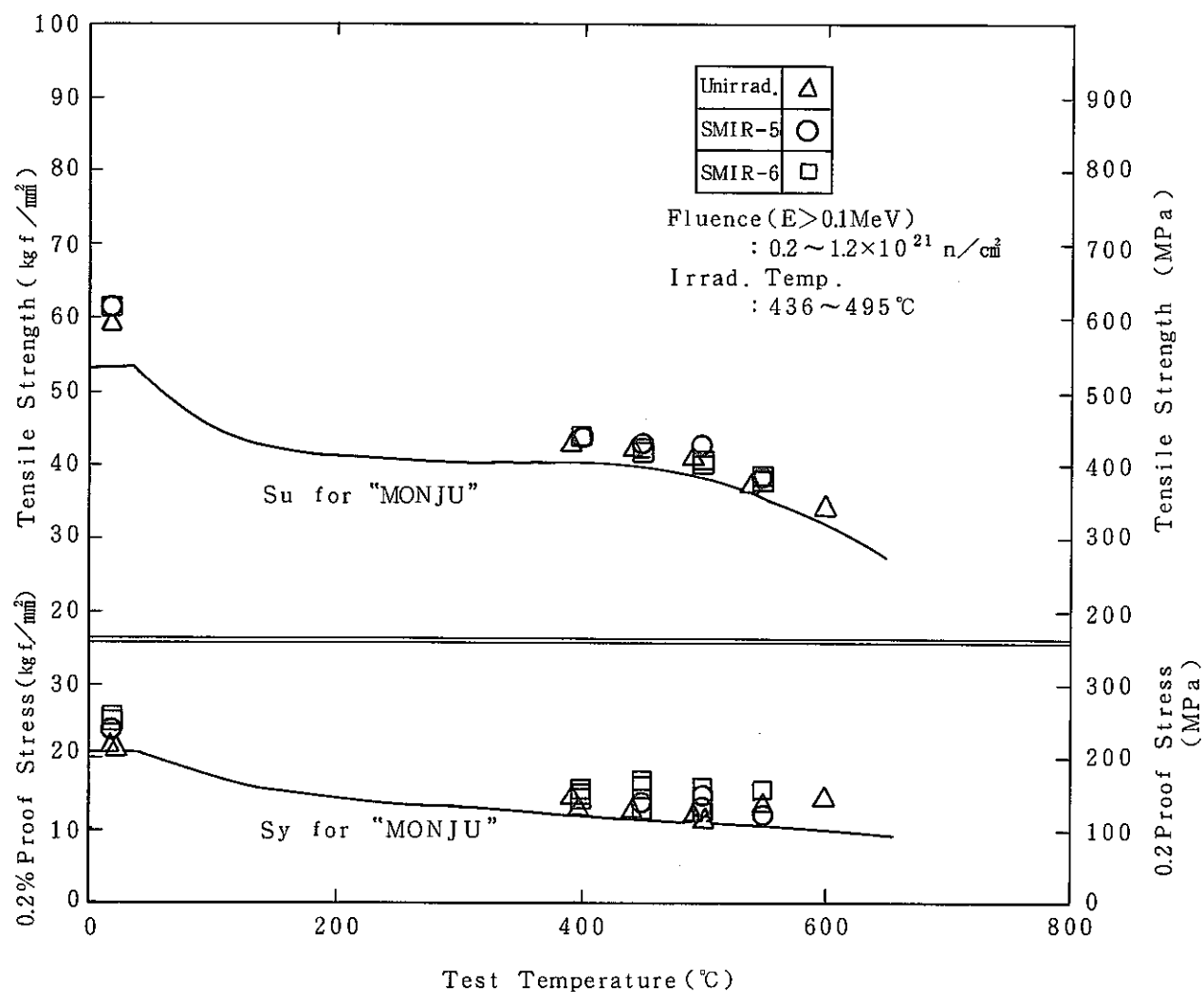


Fig. 13 0.2% Proof Stress and Tensile Strength of Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Forged Plate

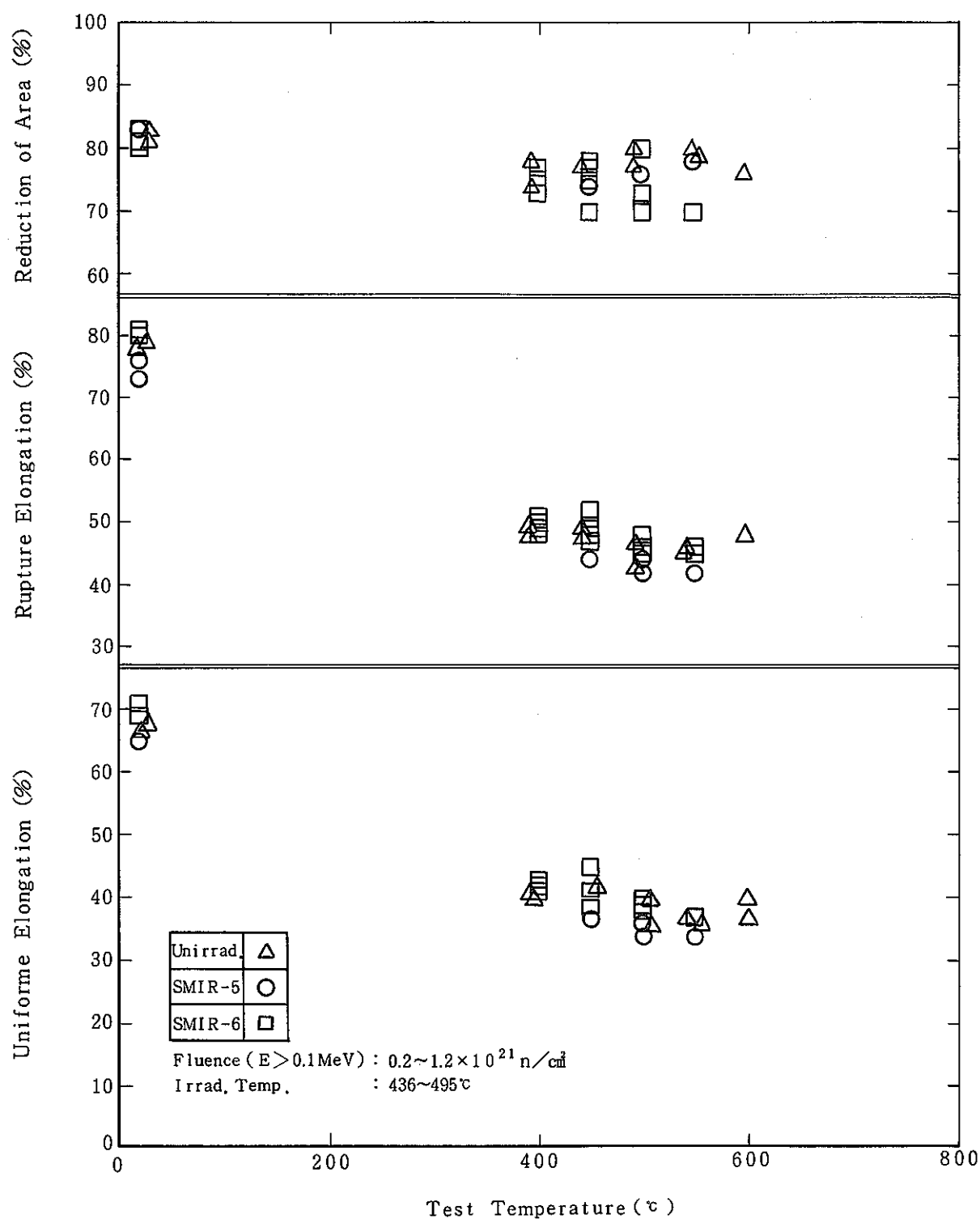


Fig.14 Uniform Elongation, Rupture Elongation and Reduction of Area of Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Forged Plate

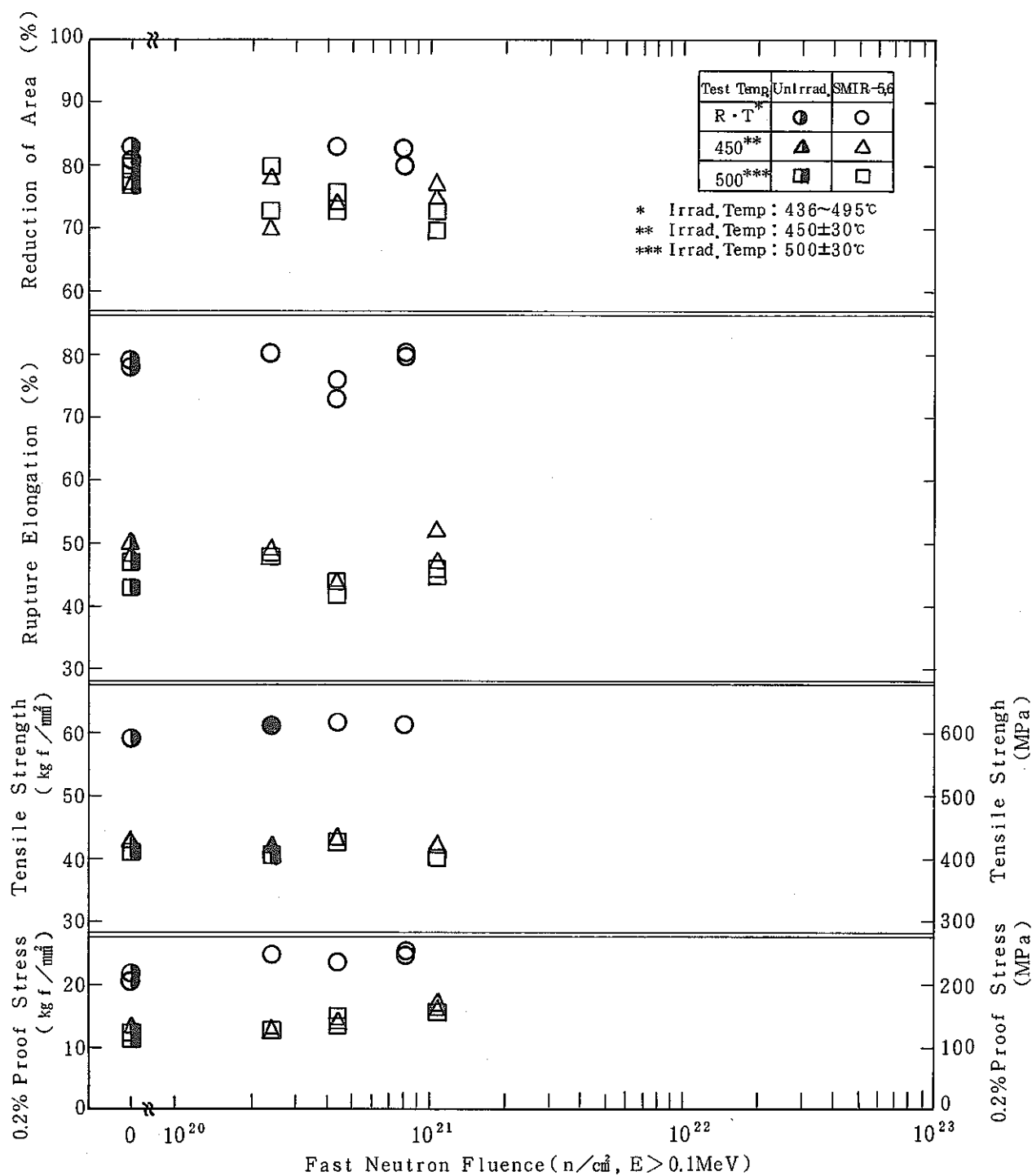


Fig. 15 The Effect of Fast Neutron Fluence on 0.2% Proof Stress, Tensile Strength, Rupture Elongation and Reduction of Area of Irradiated and Unirradiated Type 304 Stainless Steel Forged Plate

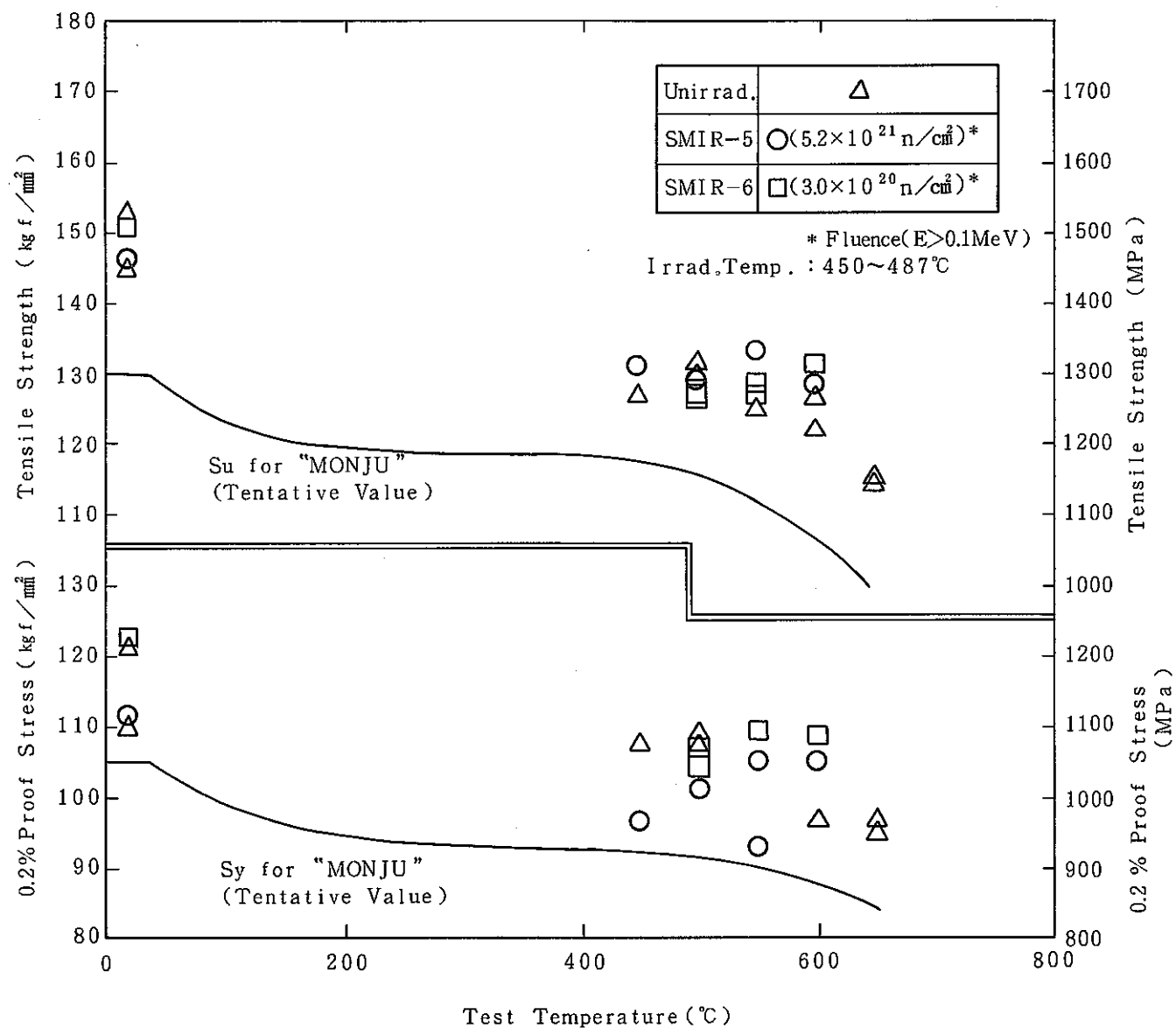


Fig. 16 0.2% Proof Stress and Tensile Strength of Irradiated and Unirradiated Inconel 718 Plate

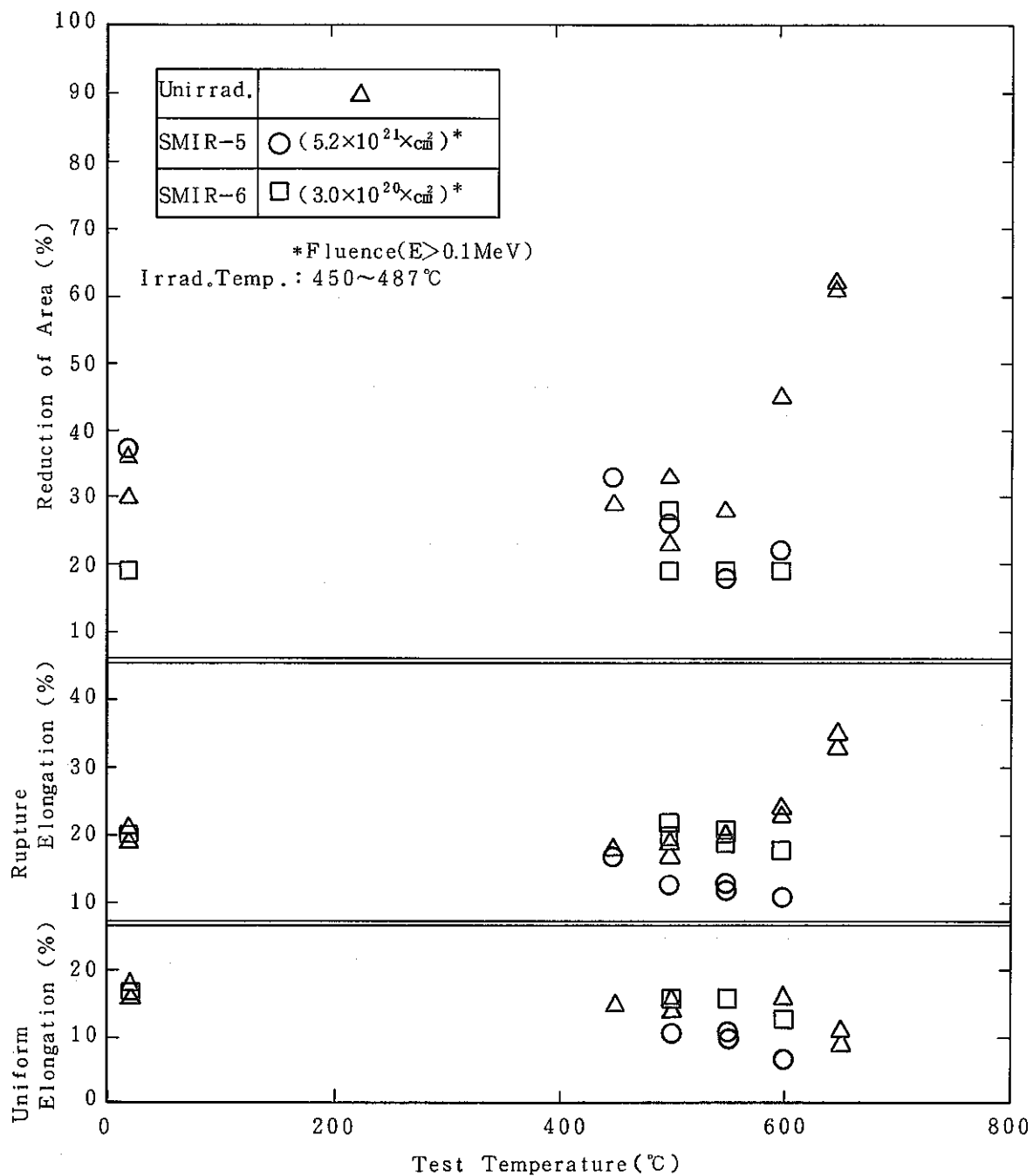


Fig.17 Uniform Elongation, Rupture Elongation and Reduction of Area of Irradiated and Unirradiated Inconel 718 Plate

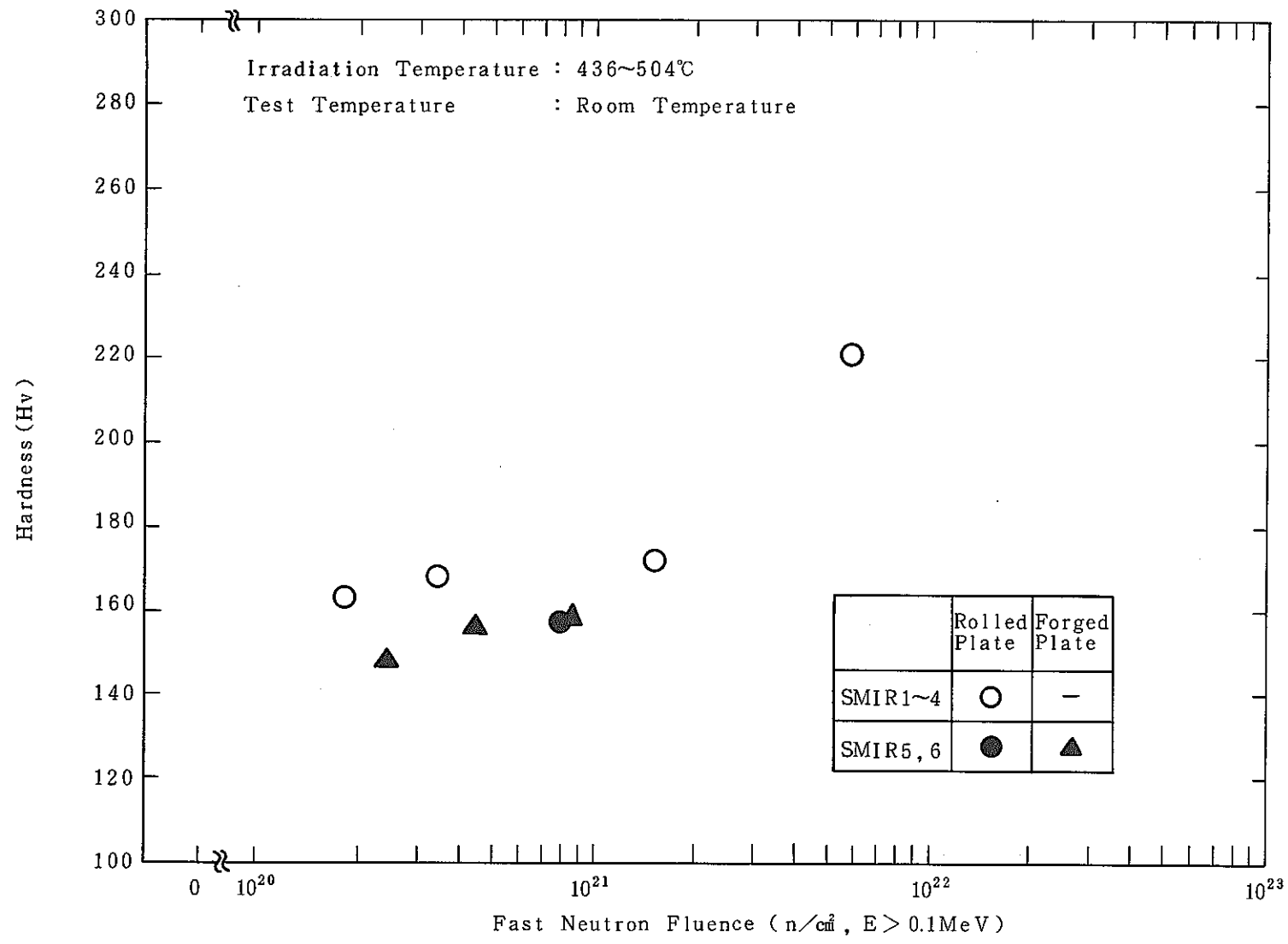


Fig.18 The Effect of Fast Neutron Fluence on Hardness of Irradiated Type 304 Stainless Steel (Rolled Plate, Forged Plate)

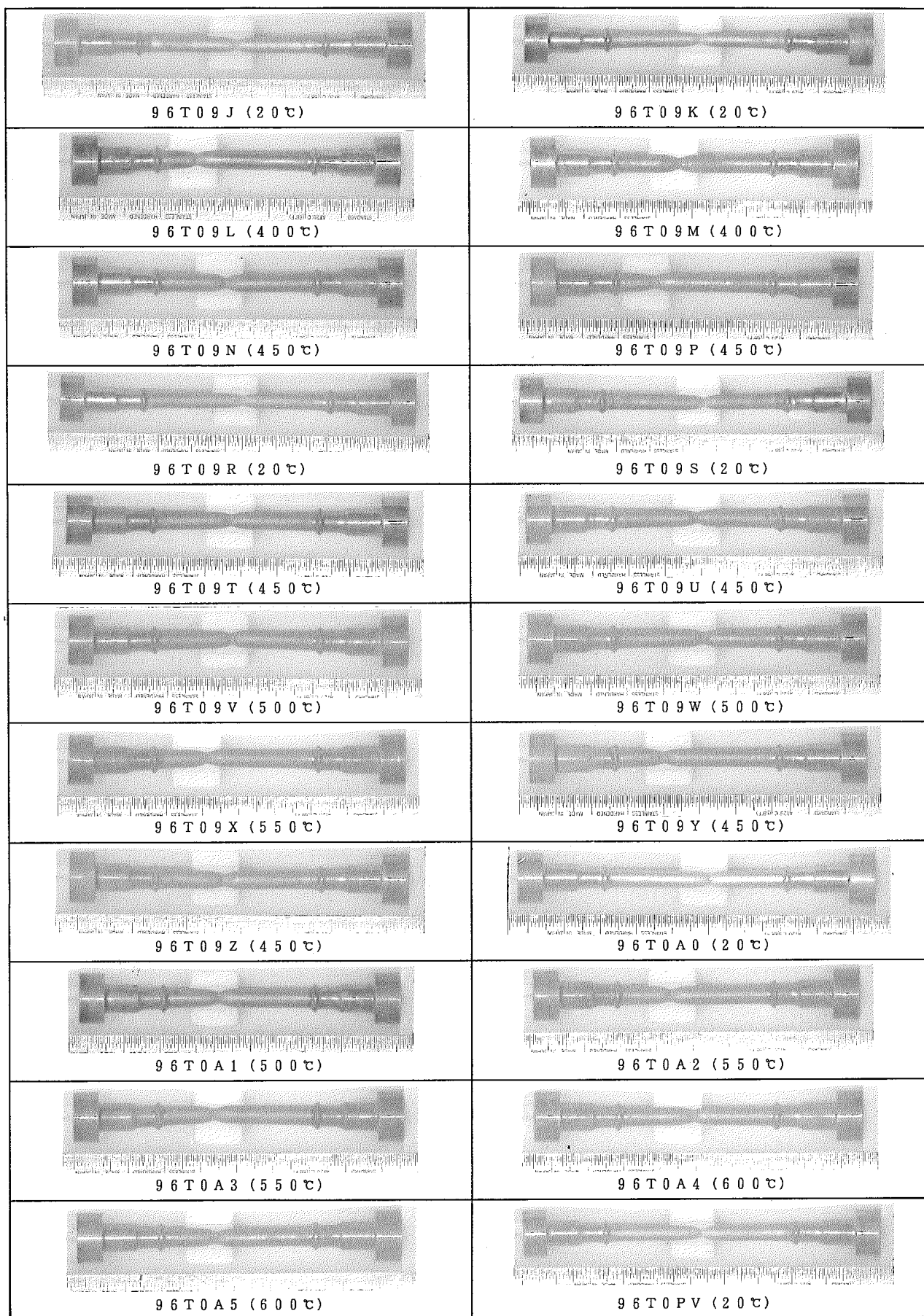


Photo. 1 View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-5)



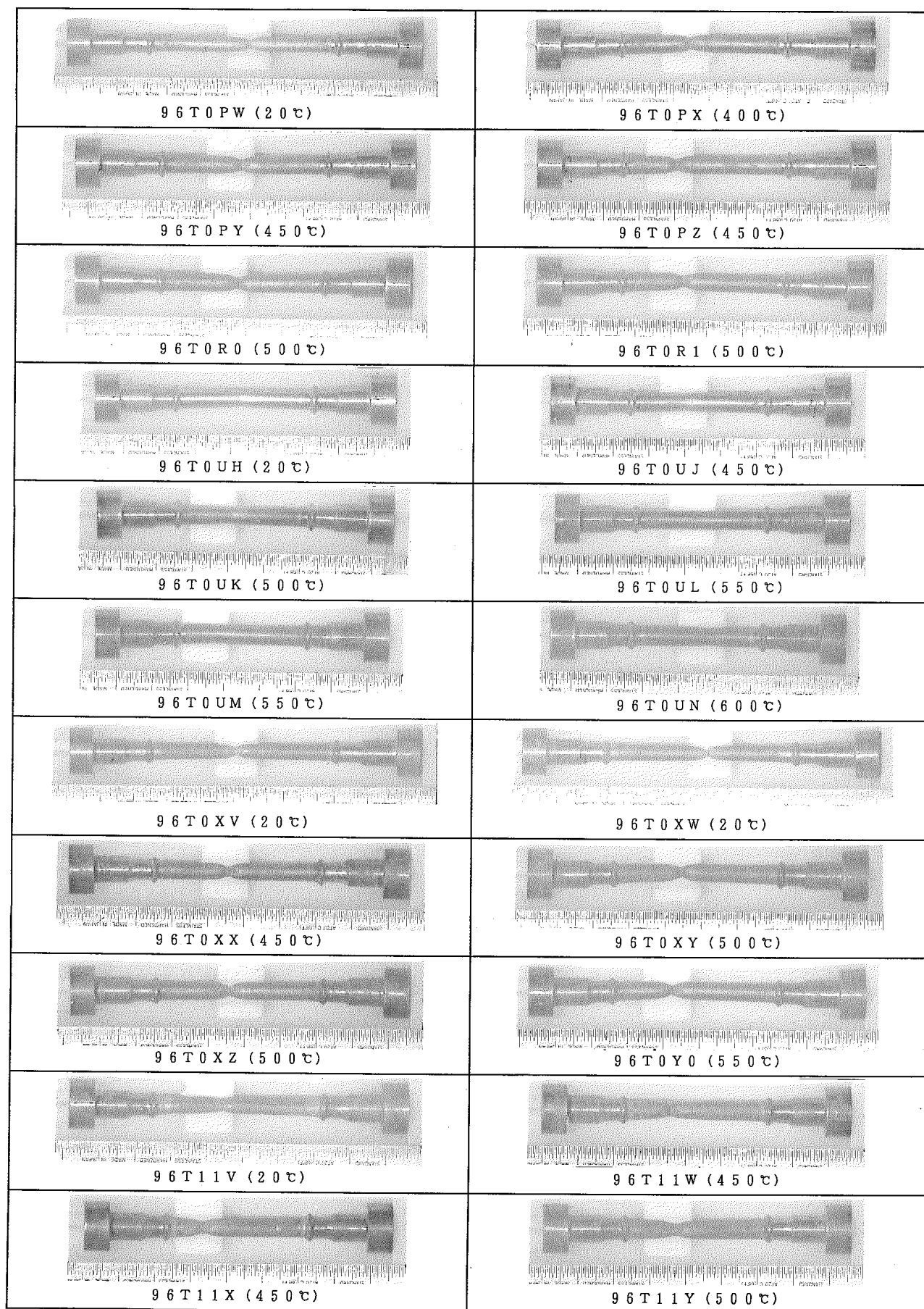


Photo. 2 View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-5), Continued

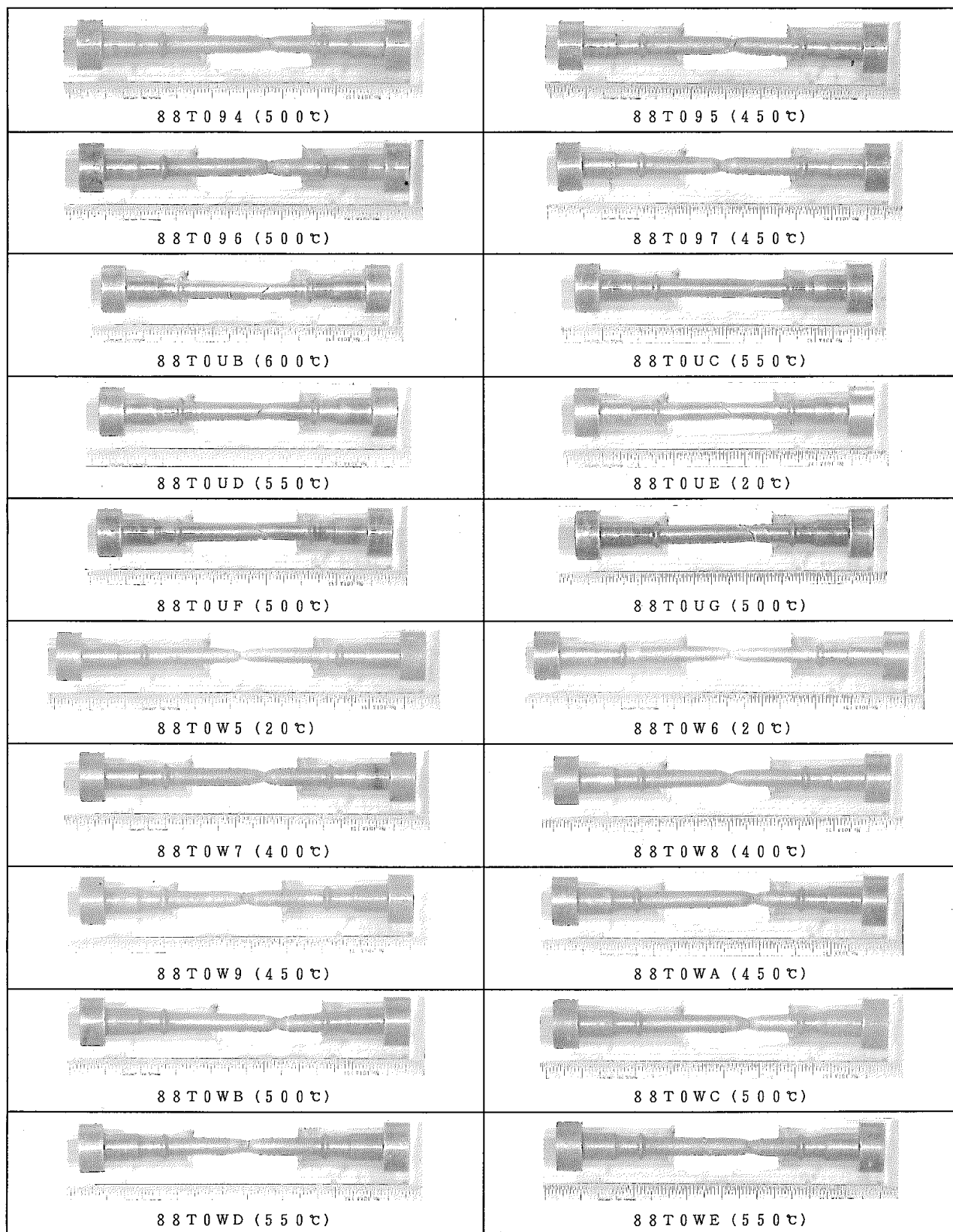


Photo. 3 View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-6)

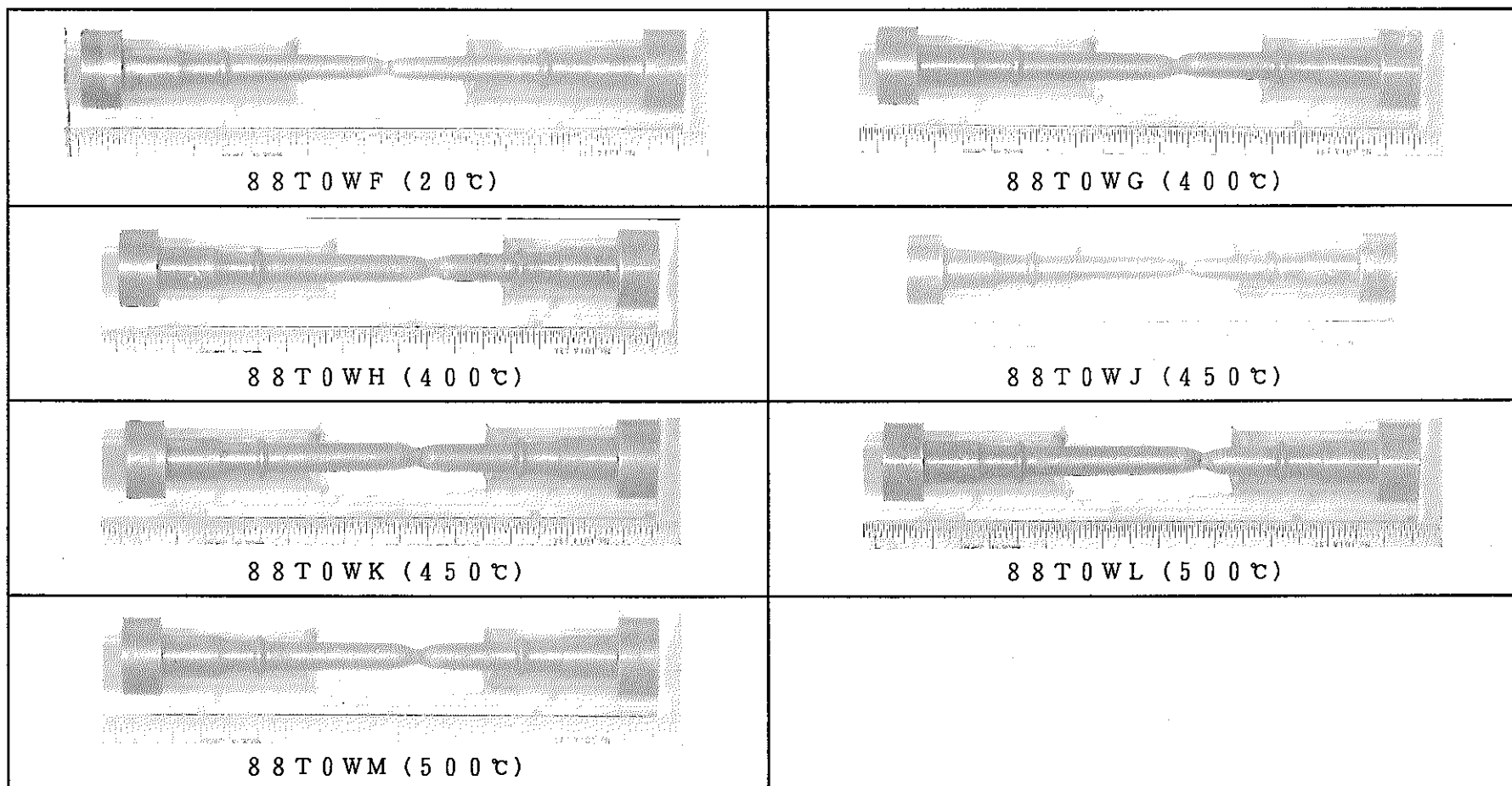
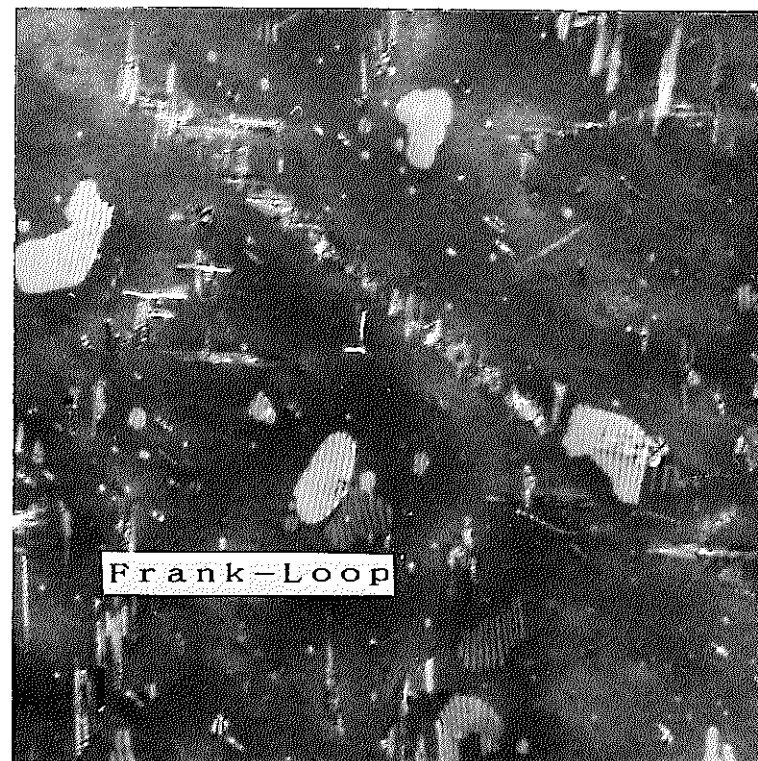


Photo. 4 View of Irradiated Specimens after Tensile Test (SMIR-6), Continued



Fluence :  $1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  0.2  $\mu\text{m}$   
 (E > 0.1 MeV)

Irrad. Temp. : 500 °C



Fluence :  $5 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  0.2  $\mu\text{m}$   
 (E > 0.1 MeV)

Irrad. Temp. : 500 °C

Photo. 5 Growth of Frank-Loop Induced the Irradiation

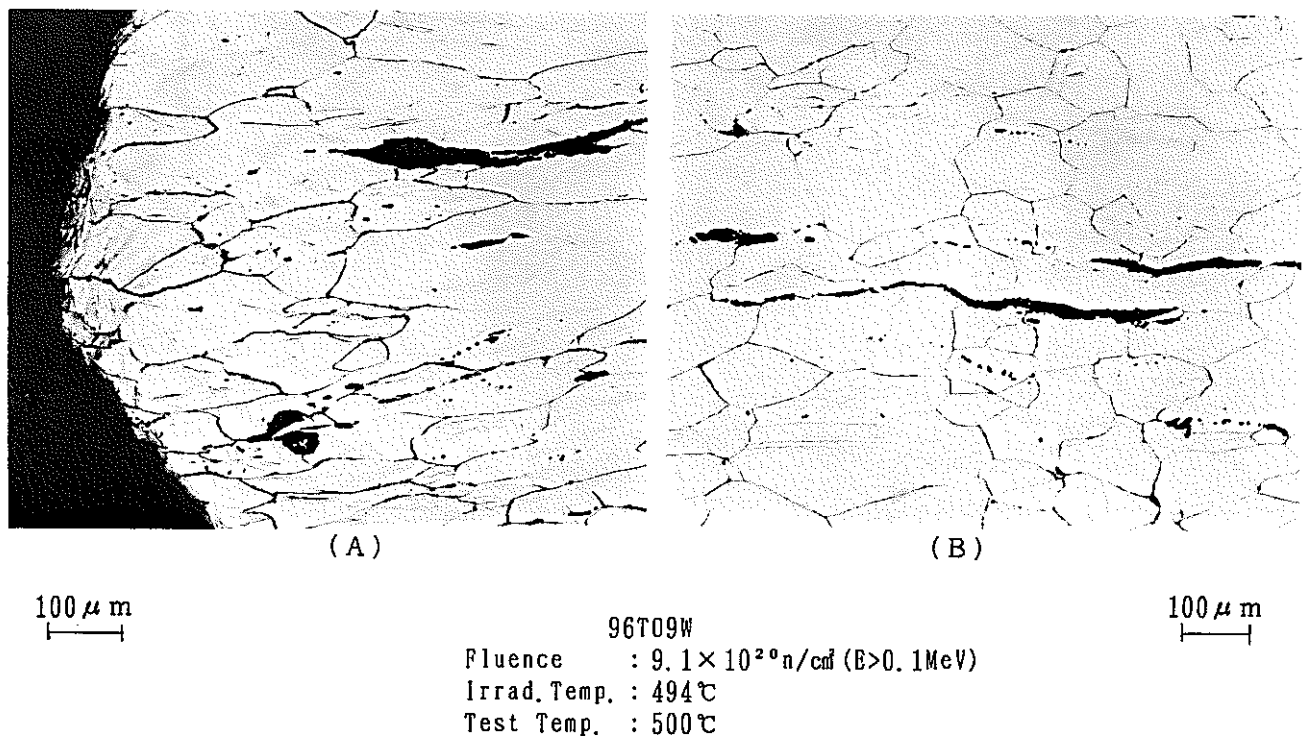
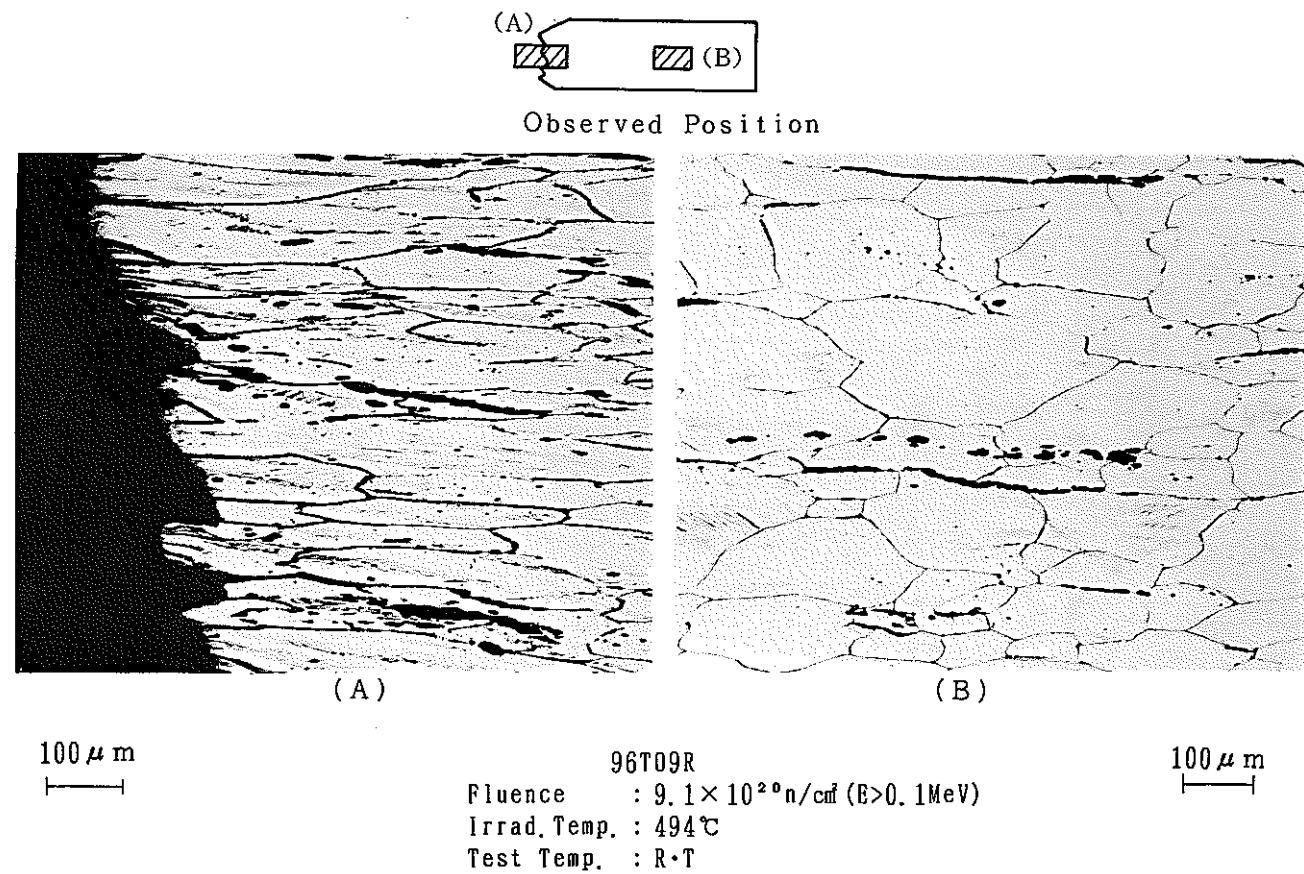
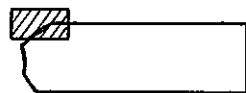
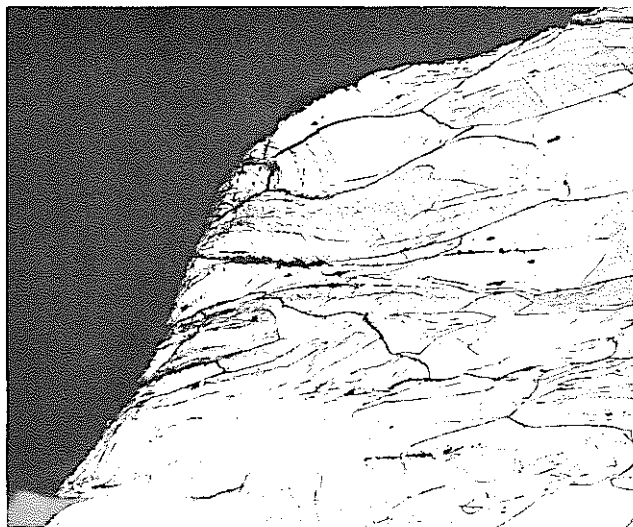


Photo. 6 Micrographs of Longitudinal Section after the Ruptured Tensile Specimens Tested at Room Temperature and 500°C (Irradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate)





Observed Position

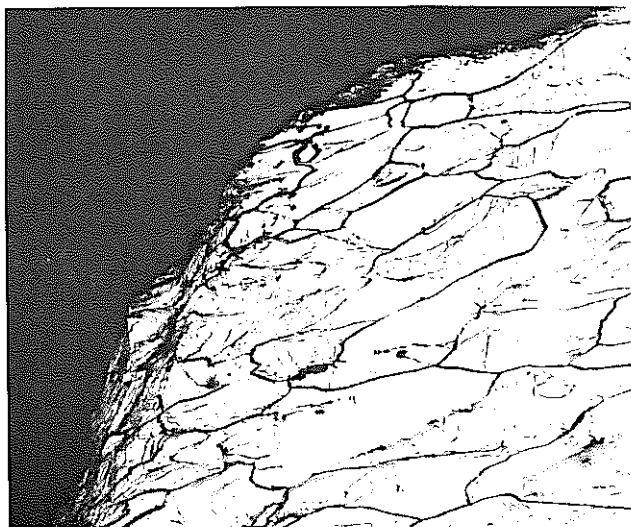


100 μm

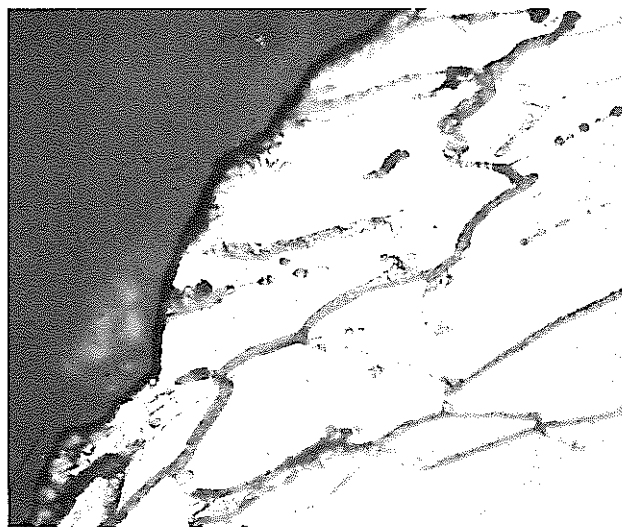


25 μm

88T095 (Rolled Plate)  
Fluence :  $1.1 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ )  
Irrad. Temp. : 471°C



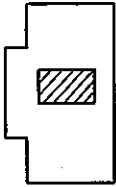
100 μm



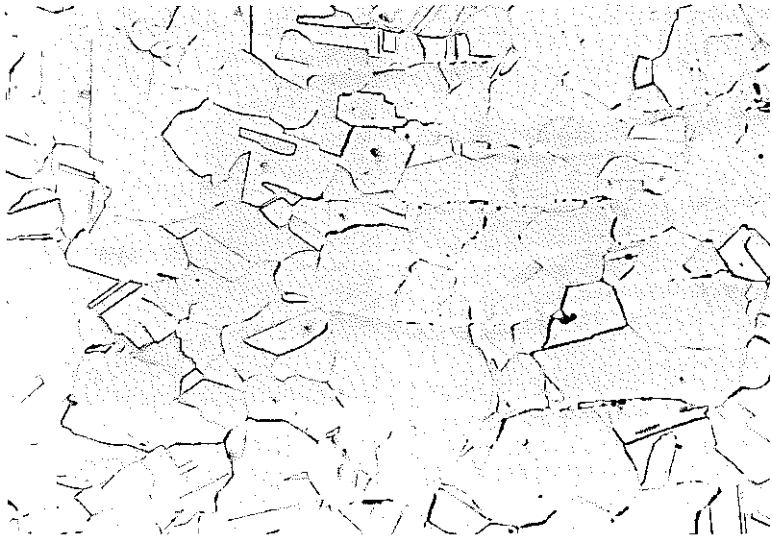
25 μm

88T0W5 (Forged Plate)  
Fluence :  $1.2 \times 10^{21} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ )  
Irrad. Temp. : 464°C

Photo. 7 Micrographs of Longitudinal Section after the Ruptured Tensile Specimens Tested at 450°C  
(Irradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate and Forged Plate)

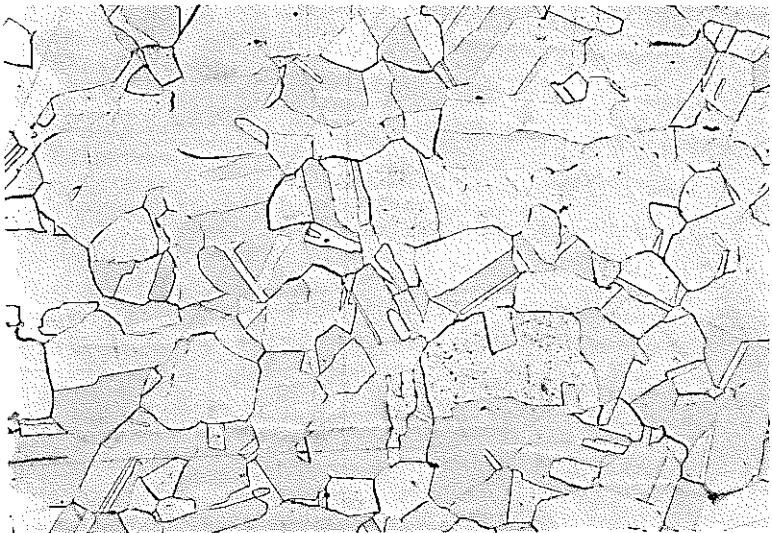


Observed Position



96T09R (Rolled Plate)  
Fluence :  $9.1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ )  
Irrad. Temp. : 494°C

100  $\mu\text{m}$



96T0XV (Forged Plate)  
Fluence :  $5.1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ )  
Irrad. Temp. : 495°C

100  $\mu\text{m}$

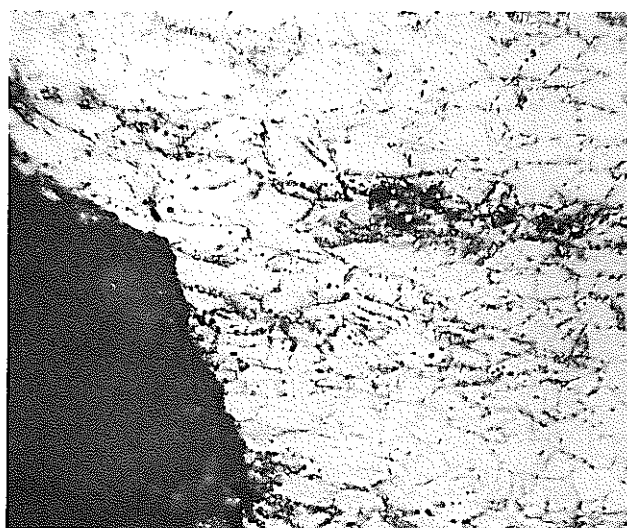
Photo. 8 Micrographs of Tensile Specimen Grip Position Tested at Room Temperature  
(Irradiated Type 304 Stainless Steel Rolled Plate and Forged Plate)



Observed Position



100 μm



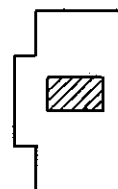
25 μm

88TOUF (Ruptured Position)  
 Fluence :  $5.1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ )  
 Irrad. Temp. : 487°C  
 Test Temp. : 500°C



25 μm

88TOUE (Grip Position)  
 Fluence :  $5.1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$  ( $E > 0.1 \text{ MeV}$ )  
 Irrad. Temp. : 487°C  
 Test Temp. : R.T



Observed Position

Photo. 9 Micrographs of the Rupture and Grip Position Tensile Specimens  
 (Irradiated Inconel 718 Plate)