



JAEA-Technology

2025-010

DOI:10.11484/jaea-technology-2025-010

# 簡易粘弾性評価モデルを用いた炉内黒鉛構造物の 応力挙動の解析的検討

Analytical Study on Stress Behavior of Core Graphite Components Using  
Simplified Viscoelastic Evaluation Model

西條 友章 島崎 洋祐 石原 正博

Tomoaki SAIJO, Yosuke SHIMAZAKI and Masahiro ISHIHARA

大洗原子力工学研究所

高温工学試験研究炉部

Department of HTTR

Oarai Nuclear Engineering Institute

December 2025

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートはクリエイティブ・コモンズ 表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。  
本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の  
条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）  
より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課  
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).

Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under  
the same terms and conditions as CC-BY.

For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section,  
Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

簡易粘弾性評価モデルを用いた炉内黒鉛構造物の応力挙動の解析的検討

日本原子力研究開発機構  
大洗原子力工学研究所 高温工学試験研究炉部

西條 友章、島崎 洋祐、石原 正博

(2025 年 9 月 8 日受理)

HTTR (高温工学試験研究炉) の運転中には、黒鉛構造物に熱応力が発生する。また、黒鉛材料は中性子照射により収縮挙動を示すとともに、クリープ現象が発生するため、原子炉停止時には黒鉛構造物に残留応力が発生する。そこで、HTTR 炉心黒鉛構造物の設計においては、有限要素法応力解析コード「VIENUS」を用いた黒鉛構造物の応力解析を行ってきた。

HTTR の黒鉛構造物は配置場所によって照射される温度域が 400°C から 1200°C と大きく異なるため、材料物性値や照射収縮などの照射挙動も黒鉛構造物ごとに異なる。一方、VIENUS コードは熱流動・熱伝導解析結果を解析条件として入力し応力を評価する解析コードであるため、温度条件や材料物性値をパラメータとした検討には向かない。そこで、本報告書では VIENUS コードよりもパラメータスタディを効率的に実施できる 2 本のはり要素からなる簡易粘弾性評価モデルを用いて、400°C から 1200°C の温度域にある黒鉛構造物の照射挙動が応力挙動に与える影響を解析し、運転時応力は黒鉛構造物の照射収縮の影響により、照射温度 800°C を境に 2 つの異なる挙動を示すことを明らかにした。また、原子炉停止時の残留応力は熱応力に漸近するため、照射収縮が大きくなった場合でも過度に大きくならないことがわかった。さらに、簡易粘弾性評価モデルと VIENUS の応力解析結果を比較した結果、応力挙動の傾向が一致し、簡易粘弾性評価モデルは応力挙動の把握に有用であることが明らかとなった。

Analytical Study on Stress Behavior of Core Graphite Components  
Using Simplified Viscoelastic Evaluation Model

Tomoaki SAIJO, Yosuke SHIMAZAKI and Masahiro ISHIHARA

Department of HTTR, Oarai Nuclear Engineering Institute,  
Japan Atomic Energy Agency  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received September 8, 2025)

During the operation of the High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR), thermal stress is generated in the graphite components. In addition, graphite exhibits dimensional shrinkage and creep deformation under neutron irradiation. As a result, residual stress remains in the graphite components during reactor shutdown. Therefore, in the design of the HTTR core graphite structures, stress analyses of the graphite components have previously been performed using the finite element analysis code VIENUS.

In the HTTR, the graphite components are exposed to a wide range of temperature, from approximately 400°C to 1200°C, depending on their location. Consequently, irradiation-induced behaviors such as material property changes and irradiation shrinkage vary among the graphite components. On the other hand, since VIENUS code evaluates stress based on thermal fluid and heat conduction analysis results, it is not suitable for parametric studies. In this study, the influence of irradiation behavior on the stress behavior of graphite components in the wide temperature range (400°C–1200°C) was analyzed using simplified viscoelastic evaluation model, consisting of two beam elements, to conduct efficient parametric studies. Operational stress exhibits two distinct patterns depending on whether the irradiation temperature is below or above 800 °C, due to irradiation shrinkage. Residual stress approaches the thermal stress, preventing excessive increase even when irradiation shrinkage is large. Moreover good agreement in stress behavior trends was observed between the stress analysis results by the simplified viscoelastic evaluation model and VIENUS code. These results indicate that the simplified viscoelastic evaluation model is beneficial in simulating stress behavior.

Keywords: IG-110 Graphite, Stress Analysis, Young's Modulus, Thermal Expansion Coefficient, Irradiation Dimensional Changes, Residual Stress, Creep Deformation, Viscoelastic Stress Analysis, Thermal Stress



## 目次

1. はじめに .....	1
2. 簡易粘弾性評価モデル .....	2
2.1 変形モデル .....	2
2.2 応力解析方法 .....	3
3. 黒鉛構造物の応力挙動 .....	5
3.1 簡易粘弾性評価モデルによる解析 .....	5
3.2 簡易粘弾性評価モデルと VIENUS コードの比較 .....	10
4. まとめ .....	12
謝辞 .....	13
参考文献 .....	14
付録 1 ケース 1 の解析結果 .....	57
付録 2 ケース 2 の解析結果 .....	65
付録 3 ケース 3 の解析結果 .....	73
付録 4 ケース 4 の解析結果 .....	81
付録 5 ケース 5 の解析結果 .....	89
付録 6 ケース 6 の解析結果 .....	97
付録 7 ケース 7 の解析結果 .....	105
付録 8 ケース 2 とケース 7 のパラメータ解析 .....	113
付録 9 最大引張応力の解析結果 (F1L3C00) .....	121
付録 10 最大引張応力の解析結果 (F4L3C00) .....	122
付録 11 最大引張応力の解析結果 (F5L3C00) .....	123
付録 12 最大引張応力の解析結果 (F1L5C00) .....	124
付録 13 最大引張応力の解析結果 (F4L5C00) .....	125
付録 14 最大引張応力の解析結果 (F5L5C00) .....	126

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Simplified viscoelastic evaluation model .....	2
2.1 Deformation model .....	2
2.2 Stress analysis procedure .....	3
3. Stress behaviors of graphite component .....	5
3.1 Analysis by simplified viscoelastic evaluation model .....	5
3.2 Comparison between simplified viscoelastic evaluation model and VIENUS code .....	10
4. Conclusion .....	12
Acknowledgements .....	13
References .....	14
Appendix 1 Analysis results in case1 .....	57
Appendix 2 Analysis results in case2 .....	65
Appendix 3 Analysis results in case3 .....	73
Appendix 4 Analysis results in case4 .....	81
Appendix 5 Analysis results in case5 .....	89
Appendix 6 Analysis results in case6 .....	97
Appendix 7 Analysis results in case7 .....	105
Appendix 8 Parametric analysis in case2 and case7 .....	113
Appendix 9 Analysis results of maximum tensile stress in F1L3C00 .....	121
Appendix 10 Analysis results of maximum tensile stress in F4L3C00 .....	122
Appendix 11 Analysis results of maximum tensile stress in F5L3C00 .....	123
Appendix 12 Analysis results of maximum tensile stress in F1L5C00 .....	124
Appendix 13 Analysis results of maximum tensile stress in F4L5C00 .....	125
Appendix 14 Analysis results of maximum tensile stress in F5L5C00 .....	126

## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構(JAEA)の HTTR(高温工学試験研究炉:High Temperature engineering Test Reactor)は、原子炉出口冷却材温度(冷却材にはヘリウムガスを使用)が最高 950℃であり、炉内構造材には耐熱性に優れる黒鉛が用いられている<sup>1), 2)</sup>。原子炉運転中は、黒鉛構造物に生じる温度分布により熱応力が発生する。また、2000℃以上の高温で観測される黒鉛のクリープ現象が、中性子照射下では 400℃程度の温度域から生じる<sup>3), 4)</sup>。そのため、原子炉運転中の熱応力はクリープ現象により緩和され低下する(以下、「運転時応力」と呼ぶ)。一方、黒鉛材料は中性子照射により収縮挙動を示す。クリープひずみ及び照射収縮による照射ひずみは、残留ひずみとして黒鉛構造物内部に中性子照射に伴って蓄積される。このため、原子炉停止時に黒鉛構造物の温度が低下し熱ひずみが解放されると残留ひずみに起因する応力が発生する(以下、「炉停止時応力」と呼ぶ)。また、黒鉛の物性値(縦弾性係数や熱膨張係数)や照射ひずみなどの照射挙動は、中性子照射時の黒鉛構造物の温度により異なる<sup>4), 5)</sup>。このため、HTTR 炉心黒鉛構造物の構造設計において、中性子環境下での物性値変化、熱ひずみ、クリープひずみ及び照射ひずみを考慮できる有限要素法応力解析コード「VIENUS」を開発し、これを用いて様々な解析・検討を行ってきた<sup>6), 7)</sup>。

黒鉛構造物は配置場所によって照射される温度域が約 400℃から 1200℃と大きく異なるため、材料物性値や照射ひずみなどの照射挙動も黒鉛構造物ごとに異なる。しかし、これらの違いが応力挙動にどのような影響を及ぼすかの報告例は見あたらない。一方、VIENUS コードは温度分布や応力集中による局所的な応力解析に対応できるため詳細解析に適しているが、熱流動・熱伝導解析結果を解析条件として入力し応力を評価する解析コードであるため、温度条件や材料物性値をパラメータとした検討には向かない。そこで、簡易にパラメータ検討ができる簡易粘弾性評価モデルを提案した<sup>8)</sup>。本モデルは、高温側と低温側の 2 つのはり要素で構成され、ひずみ拘束型の二次応力を扱う。2 つのはり要素は、黒鉛の熱ひずみ、クリープひずみ及び照射ひずみといった主要なひずみ挙動に加え、材料物性値の温度及び中性子照射による変化を考慮している。このため、本モデルは、温度条件や材料物性値を容易に変更することができるため、VIENUS コードよりも効率的なパラメータサーベイが可能となる。これにより、黒鉛構造物の応力挙動の把握が容易となり、また今後長寿命化に資する適切な運転温度の検討や、残留ひずみの除去を目的としたアニーリング運転の有効性評価に活用されることが期待できる。

本報告書では、簡易粘弾性評価モデルを用いて 400℃から 1200℃の温度域にある黒鉛構造物の照射挙動が応力挙動に与える影響を検討する。また、簡易粘弾性評価モデルと VIENUS コードの応力解析結果を比較し、本モデルの有用性を検討する。

2. 簡易粘弾性評価モデル<sup>8)</sup>

Fig.2.1(1)に示す HTTR の六角柱状の燃料体ブロックでは、相対的に中央の高温領域が熱膨張により延びる一方、周囲の低温領域は収縮するため、典型的なひずみ拘束型の熱応力が発生する。その結果、中央の高温領域は圧縮応力、周辺の低温領域は引張応力となる。簡易粘弾性評価モデルは、このひずみ拘束型の応力について、2 本のはりモデルで定式化し、黒鉛のひずみ挙動や材料物性値の中性子照射による変化を考慮して運転時応力及び炉停止時応力の挙動を解析できる<sup>8)</sup>。

Fig.2.1(2)に示すはりモデルでは、高温領域と低温領域の 2 本のはりの間で生じる熱ひずみ差がつり合い点で保たれるため、高温領域に圧縮ひずみ、低温領域に引張ひずみが生じる。運転時の応力解析では、2 つのはりを熱変形、クリープ変形及び照射変形させ、それぞれのはりに生じる応力変化を解析する。一方、炉停止時の応力解析では、残留ひずみとして蓄積されるクリープひずみ及び照射ひずみを求め、原子炉を停止して熱応力が解放された時の応力変化を解析する。

## 2.1 変形モデル

2 本のはりに適用する変形モデルを Fig.2.2 に示す。ここで各種物性値は HTTR の黒鉛構造設計方針<sup>4)</sup>で規定されている値を用いる。弾性ひずみは縦弾性係数の中性子照射温度及び中性子照射量の影響を考慮して解析する。クリープひずみは、定常クリープひずみ及び遷移クリープひずみにより解析する。クリープひずみ  $\varepsilon^c(\gamma)$  は、応力が Fig.2.3(1)のようにステップ状に変化する場合は Eq.(1)、Fig.2.3(2)のように連続的に変化する場合 Eq.(2)により解析する<sup>10)</sup>。

$$\varepsilon^c(\gamma) = \Delta\sigma_1\varphi(t-t_1) + \Delta\sigma_2\varphi(t-t_2) + \Delta\sigma_3\varphi(t-t_3) + \dots \quad (1)$$

$$\varepsilon^c(\gamma) = \int_{-\infty}^{\gamma} \varphi(\gamma-\gamma_i) \frac{d\sigma(\gamma_i)}{d\gamma_i} d\gamma_i \quad (2)$$

ここで、

$\gamma$  : 中性子照射量 [ $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ ]

$\varphi(\gamma)$  : クリープ関数 [ $\text{MPa}^{-1}$ ]

$\sigma$  : 応力 [ $\text{MPa}$ ]

なお、 $\varphi(\gamma)$  は黒鉛構造設計方針<sup>4)</sup>で規定された下式を用いる。

$$\varphi(\gamma) = M^S \gamma + a[1 - \exp(-b\gamma)] \quad (3)$$

ここで、

$M^S$  : 定常クリープ係数 [ $(\text{MPa} \times 10^{25}\text{n/m}^2)^{-1}$ ]

$a, b$  : 遷移クリープパラメータ

$a = 1.0 \times 10^{-4} [\text{MPa}^{-1}]$

$b = 4.5 \times 10 [(\times 10^{25}\text{n/m}^2)^{-1}]$

また、熱ひずみ及び照射ひずみは、中性子照射温度及び中性子照射量の影響を考慮して解析する。これらについても、黒鉛構造設計方針<sup>4)</sup>において値が規定されている。

## 2.2 応力解析方法

Fig.2.4(1)～(3)は、はりモデルを用いた応力解析の概要を示したものである。図中、高温領域を下付き添え字 H、低温領域を C で示す。また、熱ひずみを上付き添え字 Th、クリープひずみを C、照射ひずみを I で示す。

### (1) 初期熱応力

Fig.2.4(1)は、中性子照射量  $0\text{n/m}^2$  のときに発生する高温領域及び低温領域の初期熱ひずみの状態を示したものである。図のように、単一長さで単一断面積のはりの熱ひずみ ( $\epsilon_H^{\text{Th}}$ ,  $\epsilon_C^{\text{Th}}$ ) が、荷重  $P_H$  と  $P_C$  が等しくなるつりあい点 (Balance Point) でバランスしているものとする、高温領域及び低温領域の初期熱応力は次式で与えられる<sup>8)</sup>。

$$\sigma_H^{\text{Th}} = \frac{\epsilon_C^{\text{Th}} - \epsilon_H^{\text{Th}}}{1 + E_H/E_C} \cdot E_H \quad (4)$$

$$\sigma_C^{\text{Th}} = \frac{\epsilon_H^{\text{Th}} - \epsilon_C^{\text{Th}}}{1 + E_C/E_H} \cdot E_C \quad (5)$$

ここで、

$E_H$ : 高温側はりの縦弾性係数

$E_C$ : 低温側はりの縦弾性係数

である。

### (2) 運転時応力

Fig.2.4(2)は、運転時ひずみの状態を示したものである。運転時には、高温領域では初期熱ひずみ ( $\epsilon_H^{\text{Th}}$ ) が圧縮変形によるクリープひずみ ( $\epsilon_C^{\text{Th}}$ ) と照射収縮による照射ひずみ ( $\epsilon_H^{\text{I}}$ ) により縮められ、拘束がなければ図中の自由点 (Free point) の位置となる。一方、低温領域では、初期熱ひずみ ( $\epsilon_C^{\text{Th}}$ ) が引張変形によるクリープひずみ ( $\epsilon_C^{\text{C}}$ ) により延ばされるとともに照射収縮による照射ひずみ ( $\epsilon_C^{\text{I}}$ ) により縮められ、拘束がなければ図中の自由点の位置となる。これら高温はり及び低温はりがつりあい点で拘束されているものとする、高温領域及び低温領域の運転時応力は次式で与えられる<sup>8)</sup>。

$$\sigma_H = \frac{(\epsilon_C^{\text{Th}} + \epsilon_C^{\text{C}} + \epsilon_C^{\text{I}}) - (\epsilon_H^{\text{Th}} + \epsilon_H^{\text{C}} + \epsilon_H^{\text{I}})}{1 + E_H/E_C} \cdot E_H \quad (6)$$

$$\sigma_C = \frac{(\epsilon_H^{\text{Th}} + \epsilon_H^{\text{C}} + \epsilon_H^{\text{I}}) - (\epsilon_C^{\text{Th}} + \epsilon_C^{\text{C}} + \epsilon_C^{\text{I}})}{1 + E_C/E_H} \cdot E_C \quad (7)$$

### (3) 炉停止時応力

Fig.2.4(3)は、原子炉停止により燃料体ブロックの温度が低下し、熱ひずみが開放され残留ひずみが発生した状態を示したものである。高温領域の残留ひずみは、初期熱ひずみ ( $\epsilon_H^{\text{Th}}$ ) の圧縮変形によるクリープひずみ ( $\epsilon_H^{\text{C}}$ ) と照射収縮による照射ひずみ ( $\epsilon_H^{\text{I}}$ ) で、拘束がなければ図中の自由点の位置となる。一方、低温領域の残留ひずみは、初期熱ひずみ ( $\epsilon_C^{\text{Th}}$ ) の引張変形によるクリープひずみ ( $\epsilon_C^{\text{C}}$ ) と照射収縮による照射ひずみ ( $\epsilon_C^{\text{I}}$ ) で、拘束がなければ図中の自由点の位置となる。これら高温はり及び低温は

りがつりあい点で拘束されているものとする、高温領域及び低温領域の炉停止時応力は次式で与えられる<sup>8)</sup>。

$$\sigma_H = \frac{(\varepsilon_C^C + \varepsilon_C^I) - (\varepsilon_H^C + \varepsilon_H^I)}{1 + E_H/E_C} \cdot E_H \quad (8)$$

$$\sigma_C = \frac{(\varepsilon_H^C + \varepsilon_H^I) - (\varepsilon_C^C + \varepsilon_C^I)}{1 + E_C/E_H} \cdot E_C \quad (9)$$

#### (4) 解析フロー

運転時応力と炉停止時応力の解析フローを Fig.2.5 に示す。まず、温度や材料物性値などの値を設定後、初期熱応力  $\Delta \sigma_1$  を Eq.(4)～(5)より求める。初期熱応力に対して中性子照射量を  $0.01 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$  ずつ増加させて J=1 から J=I までのクリープひずみを Eq.(1)により解析する。運転時応力と炉停止時応力は中性子照射による物性値の変化を考慮して Eq.(6)～(9)によりステップごとに求める。最終的に黒鉛構造設計方針で規定する最大照射量  $3 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$  までの応力挙動を解析する。

### 3. 黒鉛構造物の応力挙動

#### 3.1 簡易粘弾性評価モデルによる解析

##### 3.1.1 解析ケース

Fig.3.1 に示すように HTTR の炉心は燃料体ブロック、可動反射体ブロック及び制御棒案内ブロックで構成されている。HTTR 運転中の照射温度はブロックによって異なり、おおよそ 400°C～1200°C の範囲に分布する。そこで、黒鉛ブロック内の高温領域と低温領域の温度差を 200°C とし、Table 3.1 に示す温度域で 7 種類を解析ケース(ケース 1～7)とした。実際の黒鉛ブロックにおける温度差は 200°C よりも小さいものの、温度による応力応答の傾向を明確化するため、本解析では温度差を 200°C に設定した。また、中性子照射量は、材料物性値の照射変化について高温工学試験研究炉の黒鉛構造設計方針<sup>4)</sup>で規定されている範囲 ( $0 \sim 3 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$ ) とした。

解析で使用する材料特性値(縦弾性係数、熱膨張係数、照射ひずみ)の温度及び照射変化を黒鉛構造設計方針<sup>4)</sup>で規定されている近似式により算出し、Fig.3.2～Fig.3.6 にそれぞれ示す。なお、縦弾性係数、熱膨張係数及び照射ひずみの照射効果を表す近似式について、黒鉛構造設計方針に記載されていない温度のパラメータ( $a_i$ )は、既存のパラメータを線形内挿して得られた値を用いた。縦弾性係数は、Fig.3.2 及び Fig.3.3 に示すように温度と中性子照射に伴い増加しており、照射温度が低いほど増加量は大きくなっている。平均熱膨張係数は、Fig.3.4 に示すように温度の上昇に伴い増加し、Fig.3.5 に示すように中性子照射とともに増加後、減少に転じる。照射ひずみは、Fig.3.6 に示すように照射温度の 800°C で最も小さく、800°C 以下では温度が下がるほど、800°C 以上では温度が上がるほど照射ひずみが大きくなっている。

##### 3.1.2 解析結果

ケース 1～7 の運転時応力の解析結果を Fig.3.7(1)～3.13(1)、炉停止時応力の解析結果を Fig.3.7(2)～3.13(2)に示す。また、運転時応力、運転時ひずみ、炉停止時応力及び炉停止時ひずみについて、各ステップでの値を Appendix1～Appendix7 に添付する。

##### (1) 運転時応力の挙動

運転時応力は 800°C を境として挙動が大きく異なっている。具体的には、800°C 以下のケース 1～3 では、運転時応力はクリープ変形による応力緩和で初期熱応力から減少しゼロに漸近している。ただし、ケース 1 (400/600°C) のみ、中性子照射初期の急激な応力低下の後、一旦増加して再度減少する複雑な挙動を示した。一方、800°C 以上のケース 4～7 では、運転時応力は初期熱応力から減少したのちに応力の方向(引張/圧縮)が反転している。ここで、応力がゼロに漸近する挙動を示すケースを「順モード」と呼び、応力が反転する挙動を示すケースを「反転モード」と呼ぶ。

順モードと反転モードごとに各解析ケースの運転時応力挙動(低温領域)を比較した図を Fig.3.14 に示す。いずれのケースでも初期熱応力が運転時応力の最大値を示しており、温度が高いほど初期熱応力は大きい。Fig.3.15 に示した初期熱応力と平均温度(高温領域と低温領域の平均温度)との関係より、順モード及び反転モードに関係なく、平均温度が増加するほど初期熱応力が高くなることがわかる。また、初期熱応力が大きいほど応力緩和の速度も大きい。これは、Eq.(1)に示すクリープひずみ



の式より、発生する応力が大きいほどクリープひずみは大きくなり、結果として応力緩和が促進されるためである。反転モードでの応力反転後の挙動に着目すると、温度が高いケースほど反転後の圧縮応力の最大値は大きい。

## (2) 炉停止時応力の挙動

炉停止時応力は、すべてのケースで照射初期に急激に上昇後、緩やかに増加し極大値を示したあとに減少している。順モードと反転モードごとに各解析ケースの炉停止時応力挙動(高温領域)を比較した図を Fig.3.16 に示す。順モードと反転モードの炉停止時応力の挙動に明確な違いは見られないが、解析ケースの平均温度が高いほど最大応力を示す中性子照射量はより小さな値で現れている。

炉停止時応力の最大値に着目し、Fig.3.17 に最大炉停止時応力と平均温度(高温領域と低温領域)との関係を示した。近似直線にフィッティングした結果、決定係数は  $R^2=0.0197$  と低い値を示した。したがって、平均温度と最大の炉停止時応力との間には有意な相関性は確認されなかった。ただし、順モードのケースに限定すると、平均温度が高いほど最大炉停止時応力が低下する傾向が見られる。

## 3.1.3 応力挙動に対する材料物性値の影響

本節では 3.1.2 節で示した発生応力の挙動に対する、物性値や照射ひずみなど照射挙動の影響を検討する。なお、参考として、順モードのケース 2 と反転モードのケース 7 について、パラメータ解析を行った結果を Appendix8 に示す。

### (1) 運転時応力の反転に対する照射ひずみの影響

照射温度 800°C を境に運転時応力が反転する挙動は、Fig.3.6 に示したように照射ひずみの挙動が照射温度 800°C を境に変化するためである。すなわち、800°C 以下では照射温度が低いほど照射ひずみ(照射収縮)が大きくなるが、800°C 以上では逆に照射温度が高いほど照射ひずみが大きくなっている。このため、Fig.3.18 に示す初期熱ひずみと照射ひずみの関係より、照射温度が 800°C 以下の順モードでは、照射ひずみが熱ひずみの差を増大させる方向に働き、運転時ひずみの方向は反転せず、応力も反転しない。800°C 以上の反転モードでは、照射ひずみが熱ひずみの差を減少させる方向に働き、途中で運転時ひずみの方向が反転し、それに伴い応力も反転する。温度が高いほど、反転後の応力の最大値(高温領域では引張応力/低温領域では圧縮応力)が大きくなるのも、照射温度 800°C 以上では照射温度が高いほど照射ひずみも大きくなるためである。この順/反転の両モードについて、照射ひずみの影響を明確にするためにクリープ変形を考慮しない場合の運転時ひずみを Fig.3.19 に模式的に示す。順モードでは、Fig.3.19(1)に示すようにクリープ変形を除いた運転時ひずみは増加するのみである。一方、Fig.3.19(2)に示す反転モードでは、熱ひずみが照射ひずみにより打ち消されると正/負反転した運転時ひずみとなり、負の方向に増大する。

### (2) ケース 1 の運転時応力挙動に対する縦弾性係数の影響

Fig.3.7(1)に示すケース 1 (400/600°C) の運転時応力は、照射とともに急激に低下した後、中性子照射量  $0.05 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$  で一旦増加してから、 $0.31 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$  で再び減少する複雑な挙動となっている。この複雑な運転時応力の挙動を検討するため、運転時のひずみ挙動を調べた。ひずみの挙動は、



Fig.3.20 に示すように急激な低下の後の増加はみられず、急激な減少から緩やかな減少へと変化している。応力はひずみと縦弾性係数の積となるため、Fig.3.7(1)の運転時応力の複雑な挙動は、縦弾性係数の照射による変化が影響しているものと考えられる。

運転時応力は Eq.(6)より、

$$\sigma_H = \frac{(\varepsilon_C^{Th} + \varepsilon_C^C + \varepsilon_C^L) - (\varepsilon_H^{Th} + \varepsilon_H^C + \varepsilon_H^L)}{1 + E_H/E_C} \cdot E_H = \varepsilon_H \cdot E_H \quad (10)$$

ここで、応力  $\sigma$  は中性子照射量  $\gamma$  の関数とすると、以下のように表せる。

$$\sigma(\gamma) = \varepsilon(\gamma) \cdot E(\gamma) \quad (11)$$

応力  $\sigma(\gamma)$  の変化率は、積の微分法則より、

$$\frac{d\sigma}{d\gamma} = \frac{d\varepsilon}{d\gamma} E(\gamma) + \varepsilon(\gamma) \frac{dE}{d\gamma} \quad (12)$$

応力  $\sigma$  が増加するときは、 $\frac{d\sigma}{d\gamma} > 0$  であるため、

$$\frac{d\varepsilon}{d\gamma} E(\gamma) + \varepsilon(\gamma) \frac{dE}{d\gamma} > 0 \quad (13)$$

したがって、応力が増加する条件は、

$$\frac{dE}{d\gamma} \cdot \frac{1}{E(\gamma)} > -\frac{d\varepsilon}{d\gamma} \cdot \frac{1}{\varepsilon(\gamma)} \quad (14)$$

となり、縦弾性係数の相対変化率  $(\frac{dE}{d\gamma} \cdot \frac{1}{E(\gamma)})$  がひずみの負の相対変化率  $(-\frac{d\varepsilon}{d\gamma} \cdot \frac{1}{\varepsilon(\gamma)})$  を上回ると応力が増加することとなる。

ケース 1 の低温領域での縦弾性係数とひずみの相対変化率を比較したグラフ Fig.3.21 に示す。図より、運転時応力が増加している  $0.05 \sim 0.31 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$  の範囲で縦弾性係数の相対変化率がひずみの相対変化率を上回っている。以上より、Fig.3.3 で示した縦弾性係数の照射変化のうち、照射初期での急激な上昇が応力増加の要因であり、照射温度  $400^\circ\text{C}$  のときが最も照射初期での増加率が大きいため、ケース 1 でのみ複雑な応力挙動を示したと考えられる。

### (3) 最大運転時応力に対する縦弾性係数及び熱膨張係数の影響

3.1.2(1) 項で示したとおり、最大運転時応力は初期熱応力に等しい。Fig.3.15 に示した初期熱応力と平均温度（高温領域と低温領域の平均温度）との関係から、平均温度が高いほど初期熱応力は大きくなっている。これは、熱応力を決定する因子である縦弾性係数 (Fig.3.2) と平均熱膨張係数 (Fig.3.4) が温度上昇に伴って増加するためである。このため、高温領域と低温領域の温度差が同じであっても、平均温度が高い場合ほど熱応力は大きくなる。したがって、黒鉛ブロックの健全性を評価するにあたっては、運転中の初期熱応力、特に高温側での熱応力解析が重要となる。

### (4) 炉停止時応力挙動に対する照射ひずみの影響

炉停止時応力は、すべてのケースで照射初期に急激に上昇後、緩やかに増加し極大値を示したあと減少している。炉停止時応力の挙動は炉停止時ひずみの挙動と相関があり、炉停止時ひずみはクリ

ープひずみと照射ひずみにより決定される。Fig.3.22(1)～Fig.3.28(1)に各ケースの高温側の炉停止時ひずみ、クリープひずみ及び照射ひずみの比較図を示す。図より、順モードではクリープひずみは引張方向に、照射ひずみは圧縮方向に働いていることがわかる。一方、反転モードではクリープひずみは引張方向から圧縮方向に転じ、照射ひずみは引張方向に働いている。運転初期(中性子照射量が比較的少ないとき)はクリープひずみの寄与が大きい、運転が進み中性子照射量が増加すると、Fig.3.22(1)～Fig.3.28(1)に示すようにクリープひずみを打ち消す方向に照射ひずみが増加してくるため、炉停止時ひずみは低下に転ずる。ここで、この炉停止時応力が低下に転じる挙動の定量的な検討を行う。Eq.(8)の炉停止時応力を求める式より、炉停止時のひずみは、

$$\epsilon_H = \frac{\sigma_H}{E_H} = \frac{(\epsilon_C^C - \epsilon_H^C) + (\epsilon_C^I - \epsilon_H^I)}{1 + E_H/E_C} \quad (15)$$

ここで、 $\epsilon_C^C - \epsilon_H^C = \Delta\epsilon_{C-H}^C$ 、 $\epsilon_C^I - \epsilon_H^I = \Delta\epsilon_{C-H}^I$ と記述し、炉停止時ひずみを中性子照射量  $\gamma$  の関数とすると、

$$\epsilon_H(\gamma) = \frac{\Delta\epsilon_{C-H}^C(\gamma) + \Delta\epsilon_{C-H}^I(\gamma)}{1 + E_H(\gamma)/E_C(\gamma)} = f_C(\gamma) + f_I(\gamma) \quad (16)$$

ここで、 $f_C(\gamma) = \frac{\Delta\epsilon_{C-H}^C(\gamma)}{1 + E_H(\gamma)/E_C(\gamma)}$ 、 $f_I(\gamma) = \frac{\Delta\epsilon_{C-H}^I(\gamma)}{1 + E_H(\gamma)/E_C(\gamma)}$  である。

$\epsilon_H(\gamma)$ の傾きは、 $\Delta\gamma$  が十分小さいとき、

$$\frac{d(\epsilon_H(\gamma))}{d\gamma} \approx \frac{\epsilon_H(\gamma + \Delta\gamma) - \epsilon_H(\gamma)}{\Delta\gamma} = \frac{f_C(\gamma + \Delta\gamma) - f_C(\gamma)}{\Delta\gamma} + \frac{f_I(\gamma + \Delta\gamma) - f_I(\gamma)}{\Delta\gamma} \quad (17)$$

である。そこで、 $\Delta\gamma = 0.01 \times 10^{25} \text{ n/m}^2$  のステップ幅で Eq.(17)を用いてクリープひずみ及び照射ひずみを解析した。各ケースの解析したクリープひずみの変化率(= $(f_C(\gamma + \Delta\gamma) - f_C(\gamma))/\Delta\gamma$ )、照射ひずみの変化率(= $(f_I(\gamma + \Delta\gamma) - f_I(\gamma))/\Delta\gamma$ )及びこれらを加算した炉停止時ひずみの変化率の比較を Fig.3.22(2)～Fig.3.28(2)に示す。これらの図から、炉停止時ひずみの変化率は正から負への変化がみられ、変化率がゼロとなる中性子照射量で炉停止時ひずみの極大値が現れる。炉停止時ひずみの変化率はクリープひずみと照射ひずみの変化率の和であるため、両者の変化率が互いに打ち消し合うときに炉停止時ひずみの極大値を示すことがわかる。

#### (5) 最大炉停止時応力に対する照射ひずみの影響

炉停止時応力は黒鉛ブロック内部に蓄積する残留ひずみにより発生するため、その一要因である照射ひずみの影響を検討する。高温領域及び低温領域の照射ひずみの差( $\epsilon_H^I - \epsilon_C^I$ )を Fig.3.29 に示す。図からわかるように、照射温度が 800°C 以下の順モード(ケース 1～3)では、照射温度が高くなるほど照射ひずみ差が小さくなる。この効果により、Fig.3.17 で示した順モードの「平均温度が高いほど最大炉停止時応力が低下する傾向」が理解される。

一方、照射温度が 800°C 以上の反転モード(ケース 4～7)では、照射温度が高くなるほど照射ひずみ差(絶対値)は大きくなるため、平均温度の上昇により最大炉停止時応力は増加することが予想される。しかし、実際には Fig.3.17 で示したように反転モードでは温度上昇に伴って炉停止時応力は増加していない。この要因について、次節の「(6) 最大炉停止時応力に対する熱ひずみの影響」にて検討する。

(6) 最大炉停止時応力に対する熱ひずみの影響

本節では、引張応力(正の応力)となる低温領域の運転時応力及び高温領域の炉停止時応力を対象とし、熱ひずみの影響を検討する。運転時ひずみ $\epsilon_C^{Op}$ 及び炉停止時ひずみ $\epsilon_H^{Sd}$ は、次式で表される。

$$\epsilon_C^{Op} = \frac{(\epsilon_H^{Th} + \epsilon_H^C + \epsilon_H^I) - (\epsilon_C^{Th} + \epsilon_C^C + \epsilon_C^I)}{1 + \frac{E_C}{E_H}} = \frac{\Delta\epsilon_C^{Th} + \Delta\epsilon_C^C + \Delta\epsilon_C^I}{1 + \frac{E_C}{E_H}} \quad (18)$$

$$\epsilon_H^{Sd} = \frac{(\epsilon_C^C + \epsilon_C^I) - (\epsilon_H^C + \epsilon_H^I)}{1 + \frac{E_H}{E_C}} = \frac{\Delta\epsilon_H^C + \Delta\epsilon_H^I}{1 + \frac{E_H}{E_C}} \quad (19)$$

運転(中性子照射)とともにクリープ変形し、Fig.3.7～3.13 の(1)で示される傾向から、運転時のひずみ $\epsilon_C^{Op}$ がゼロに漸近するものとする、Eq.(18)より、

$$\frac{\Delta\epsilon_C^{Th} + \Delta\epsilon_C^C + \Delta\epsilon_C^I}{1 + \frac{E_C}{E_H}} = 0 \quad (20)$$

Eq.(20)の分母は縦弾性係数であるため、物理的にゼロにはならない。したがって、Eq.(20)がゼロに漸近するためには、分子 $(\Delta\epsilon_C^{Th} + \Delta\epsilon_C^C + \Delta\epsilon_C^I)$ がゼロに漸近する必要があるため、Eq.(20)は以下のように表される。

$$\Delta\epsilon_C^{Th} + \Delta\epsilon_C^C + \Delta\epsilon_C^I = 0 \quad (21)$$

したがって、クリープひずみは、

$$\Delta\epsilon_C^C = -(\Delta\epsilon_C^{Th} + \Delta\epsilon_C^I) \quad (22)$$

で表され、熱ひずみと照射ひずみを合算したひずみと逆方向にクリープ変形を生じていることがわかる。 $\Delta\epsilon_H^C = -\Delta\epsilon_C^C = \Delta\epsilon_C^{Th} + \Delta\epsilon_C^I$ ,  $\Delta\epsilon_H^I + \Delta\epsilon_C^I = 0$  より、これを Eq.(19)に代入すると、

$$\epsilon_H^{Sd} = \frac{\Delta\epsilon_C^{Th} + \Delta\epsilon_C^I + \Delta\epsilon_H^I}{1 + \frac{E_H}{E_C}} = \frac{\Delta\epsilon_C^{Th}}{1 + \frac{E_H}{E_C}} \quad (23)$$

で表され、高温領域の炉停止時ひずみは低温領域の熱ひずみに漸近することがわかる。

以上より、応力はひずみと縦弾性係数の積であるため、高温領域の炉停止時応力も炉停止時ひずみと同様に低温領域の熱応力に漸近するといえる。Fig.3.30(1)～(7)は炉停止時応力と熱応力の照射挙動を示したものである。これらの図から Case4(700/900℃)と Case5(800/1000℃)は炉停止時応力が熱応力にかなり漸近しているのがわかる。Case4 から Case7 の反転モードでは、炉停止時応力よりも小さい熱応力に漸近する影響で炉停止時応力は低下する方向に働くため、照射ひずみ差が大きくなった場合でも最大炉停止時応力は過度に増加しない。

炉停止時の応力は、運転中に蓄積された残留ひずみ(クリープひずみと照射ひずみ)に起因する。Eq.(22)より、運転中に発生するクリープひずみは、熱ひずみと照射ひずみによって生じる応力を打ち消す方向に発生する。そのため、原子炉が停止して熱ひずみが消失すると、残された照射ひずみとクリープひずみはほぼ打ち消し合い、結果として元の熱ひずみ程度のひずみが残留する。これは黒鉛構造物の健全性を保つうえで有利に働くメカニズムである。

### 3.2 簡易粘弾性評価モデルと VIENUS コードの比較

本節では、中性子照射を受ける黒鉛構造物の運転時及び炉停止時応力の詳細解析用に JAEA が開発した VIENUS コード<sup>6), 7)</sup>(2次元粘弾性有限要素法解析コード)による燃料体ブロックの詳細応力解析結果<sup>11)</sup>に対して、簡易粘弾性評価モデルで解析した結果を比較する。

#### 3.2.1 解析ケース

解析ケースは、Fig.3.1 に示した 3 種類のカラム(F1、F4 及び F5)の、3 段目と 5 段目の燃料体ブロックの 6 ケースとした(F1L3C00～F5L5C00)。Table 3.2 に解析ケースの一覧を示す。VIENUS コードによる解析では、熱流動解析及び熱伝導解析により得られた燃料体ブロック内温度分布を用いて、熱・照射応力解析を行っている。応力解析では Fig.3.31 に示すように対象性を考慮して、六角柱状の燃料体ブロック断面の 1/2 をメッシュ分割し、42～44 か所の応力評価断面を設定している。また、運転時応力及び炉停止時応力の解析結果から、各評価断面に対して膜応力成分、ポイント応力(膜応力+曲げ応力成分)及びピーク応力成分を評価している。一方、簡易粘弾性評価モデルでは、詳細な分割はなく高温領域及び低温領域の 2 領域のみを扱っているため、VIENUS コードによる評価断面での膜応力成分と比較する。

Fig.3.32(1)～(6)に熱伝導解析により得られた各解析ケースの 660 日運転時の温度分布を示す。この温度分布から、簡易粘弾性評価モデルの高温領域と低温領域の代表温度を算出した。具体的には、高温領域と低温領域の面積が等しくなる等温線を境界として分割し、温度分布の偏りを考慮するために 2 つの領域ごとの加重平均温度を代表温度として設定した。例えば、Fig.3.32(1)の F1L3C00 では、884℃の等温線を境界として、891～884℃の領域を高温領域、880～851℃の領域を低温領域とした。各領域内の面積は画像処理ソフト ImageJ<sup>12)</sup>により算出した。高温領域と低温領域の加重平均温度は以下の Eq.(24)から算出した。

$$T = \frac{\sum_i T_i \cdot A_i}{\sum_i A_i} \quad (24)$$

ここで、

$T$  : 加重平均温度

$T_i$  : 等温線間の温度

$A_i$  : 等温線間の面積

Table 3.3 に各解析ケースの高温領域及び低温領域の温度条件を示す。参考として Fig.3.32(1)～(6)で示した各温度分布の最高温度と最低温度の差を示した。なお、高温領域及び低温領域の温度はいずれも 800℃以上であるため、3.1 節で述べた「反転モード」に対応している。また、各解析ケースの中性子照射量を Table 3.4 に示す。なお、中性子照射量は VIENUS コードによる解析<sup>11)</sup>で用いたものである。

#### 3.2.2 解析結果

各解析ケースの各ステップでの最大引張応力を Appendix9～Appendix14 に添付する。

##### (1) 運転時最大応力及び炉停止時最大応力

Table 3.5 に各解析ケースの VIENUS コード及び簡易粘弾性評価モデルによる初期熱応力、最大運転時応力及び最大炉停止時応力を示す。両モデルにおいて、初期熱応力は最大運転時応力と等し

い。また、最大運転時応力の比(簡易粘弾性評価モデル)/(VIENUS コード)は、F4L3C00 のみ 0.57 と簡易粘弾性評価モデルの方が低く、その他のケースでは 1.2~2.4 と全体的には簡易粘弾性評価モデルの方が高い傾向を示している。一方、最大炉停止時応力の簡易モデルとの比(簡易粘弾性評価モデル)/(VIENUS コード)は、0.44~0.59 となり、簡易モデルの方が低い傾向を示している。

## (2) 運転時引張応力及び炉停止時引張応力の挙動

解析ケース F1L3C00 の簡易粘弾性評価モデルによる解析結果として応力挙動を Fig.3.33 に示す。低温領域の運転時応力は、初期引張熱応力から減少し正負反転して圧縮応力となっている。高温領域の運転時応力はその逆で、初期圧縮応力から減少し、正負反転して引張応力となっている。したがって、応力評価上重要な運転時引張応力の挙動にのみ着目すると、初期引張熱応力から減少し、ゼロに漸近した後、高温領域からの正負反転した応力により、引張応力が増加する。この低温領域から高温領域への評価ポイントの移動は、後述のとおり VIENUS コードによる運転時引張応力の解析でも最大応力を示す評価断面が移動することで現れる。例えば、F1L3C00 ケースの最大運転時応力の評価断面は Fig.3.31(1)で示す「44」から「6」へと高温側へ移動する。一方、炉停止時引張応力は、高温領域で応力がゼロから増加し引張応力の極大値を示した後減少しており、運転時引張応力のように評価断面の移動を生じない。また、低温領域では、その逆の炉停止時圧縮応力の挙動となっている。したがって、炉停止時の黒鉛ブロックの健全性評価では、高温領域の引張応力挙動が重要となる。

運転時引張応力及び炉停止時引張応力の挙動について、VIENUS コード及び簡易粘弾性評価モデルによる解析結果を Fig.3.34 に比較して示す。Fig.3.34 では、応力挙動の相対的な変化を比較するために、応力最大値で規格化している。中性子照射初期の運転時応力の急激な減少または炉停止時応力の急激な増加や、その後の緩やかな応力増加(減少)といった一連の挙動はいずれのケースでも両者の解析結果で現れている。運転時応力での高温領域から低温領域への評価断面の移動は、Fig.3.34(1)~(5)では両者の解析結果にて現れており、現れる中性子照射量はほぼ一致している。一方で、Fig.3.34(6)の F5L5C00 ケースでは、VIENUS コードの解析結果では評価断面の移動が現れているが、簡易粘弾性評価モデルの解析結果では評価断面の移動が確認できない。これは F5L5C00 ケースで規定する中性子照射量では、評価断面の移動が生じる照射量に達していないと考えられる。即ち、評価断面の移動が生じる中性子照射量が VIENUS コードより簡易モデルの方が大きい。F4L5C00 では、運転時応力の規格値に大きな差があり、VIENUS コードの方が大きくなっている。これは簡易モデルの初期熱応力が VIENUS コードの 2.31 倍であり(Table 3.5)、検討ケースの中で最も大きな差が生じているため、最大値で規格化している Fig.3.34(5)では大きな差が生じる。

以上より、VIENUS コードと簡易粘弾性評価モデルの比較検討の結果、応力挙動の傾向は一致しているため、簡易粘弾性評価モデルは応力挙動の傾向を評価することが可能であるといえる。VIENUS コードの応力値は応力集中や温度分布など様々な要因に影響して決定される。そのため、Table 3.5 に示したように簡易粘弾性評価モデルの応力値は、VIENUS コードの応力値とは一致しなかった。しかし、簡易粘弾性評価モデルは VIENUS コードと比較してパラメータサーベイを行いやすく、多数のケースを短時間で解析することができる。そのため、例えば黒鉛構造物の長寿命化を実現するためのアニーリング処理の検討において、まずは簡易粘弾性評価モデルで発生応力を低減させる最適条件の候補を探索し、その後 VIENUS コードで詳細な応力を評価するという段階的なアプローチが可能と考える。



#### 4. まとめ

本報告書では、簡易粘弾性評価モデルを用いて400℃から1200℃の温度域にある黒鉛構造物の運転時応力及び炉停止時応力の挙動を解析し、物性値や照射ひずみ等の照射挙動の影響を検討した結果、以下の知見が得られた。

- ・運転時応力は照射温度が約 800℃を境に、2 つの異なる挙動を示す。照射温度 800℃ 以下の場合、運転時応力はクリープ変形による応力緩和で初期熱応力から減少し、ゼロに漸近する(順モード)。照射温度 800℃以上の場合、運転時応力は初期熱応力から減少したのちに応力の方向(引張/圧縮)が反転する(反転モード)。
- ・照射温度 800℃を境に応力挙動が異なるのは、照射ひずみの挙動が照射温度 800℃を境に変化することに起因する。照射温度 800℃以下では、照射温度が高いほど照射ひずみが小さくなり、照射温度 800℃以上では照射温度が高いほど照射ひずみが大きくなるためである。
- ・運転時応力の最大値は初期熱応力に等しい。熱応力を決定する因子である縦弾性係数と平均熱膨張係数は温度上昇に伴い増加するため、温度が高いほど初期熱応力は大きくなる。そのため、運転時の黒鉛ブロックの健全性評価では、高温側での初期熱応力解析が重要となる。
- ・炉停止時応力は熱応力に漸近するため、黒鉛構造物内の照射ひずみ差が大きくなった場合でも最大炉停止時応力は過度に増加しない。

また、簡易粘弾性評価モデルと VIENUS の応力解析結果を比較した結果、以下の知見が得られた。

- ・VIENUS コードの応力値は応力集中や温度分布など様々な要因に影響して決定されるため、簡易粘弾性評価モデルの応力値は VIENUS コードとは一致しない。しかし、両モデルでの応力挙動の傾向(応力の急激な変化、その後の緩やかな推移、評価断面の移動など)はよく一致した。
- ・簡易粘弾性評価モデルは VIENUS コードよりもパラメータサーベイが容易であり、応力挙動の把握に有用である。このため、黒鉛構造物の長寿命化のためのアニーリング処理の検討に活用できることが期待される。

謝辞

本報告書をまとめるにあたり、高温工学試験研究炉部 堀直彦 次長に貴重なご意見を頂いた。以上、記して謝意を表します。

# 参考文献

- 1) 角田淳弥, “HTTR 炉心の初装荷 IG-110 黒鉛の特性値”, JAEA-Technology 2006-048, (2006), 19p.
- 2) T. Takeda et al., “High Temperature Gas-cooled Reactors”, JSME Series in Thermal and Nuclear Power Generation, Volume 5, Elsevier publications, (2001), 464p.
- 3) T. Oku et al., “Irradiation creep properties and strength of a fine-grained isotropic graphite”, Journal of Nuclear Materials 172, (1990), pp.77-84.
- 4) 石原正博他, “高温工学試験研究炉・炉心黒鉛構造設計方針における設計用データの解説”, JAERI-M 91-153, (1991), 51p.
- 5) 日本原子力研究所, “第 1 回高温ガス炉研究会報告書”, JAERI-M 90-078, (1990), pp.76-101.
- 6) T. Iyoku et al., “Development of Thermal/Irradiation Stress Analysis Code “VIENUS” for HTTR Graphite Block”, Journal of Nuclear Science and Technology, 28:10, (1991), pp.921-931.
- 7) 伊与久達夫他, “黒鉛ブロックの熱・照射応力解析コード VIENUS の検証”, JAERI-M 92-019, (1992), 64p.
- 8) 西條友章他, “原子炉級黒鉛の照射挙動解明のための簡易モデルの提案”, JAEA-Technology 2024-002, (2024), 96p.
- 9) 大洗研究所高温工学試験研究炉設計室他, “高温工学試験研究炉の黒鉛構造設計方針”, JAERI-M 89-006, (1989), 37p.
- 10) 畑中元弘, 高橋宏直, “応用力学(Ⅱ)”, 彰国社, (1970), pp.348-349.
- 11) 塙悟史他, 私信.
- 12) M. D. Abràmoff et al., “Image Processing with ImageJ”, Biophotonics International, (2004), 7p.



Table 3.1 Analysis conditions for stress behavior using simplified viscoelastic evaluation model

Analysis case	Temperature	Position of graphite blocks
Case 1	400°C / 600°C	Replaceable reflector block (at side or upper)
Case 2	500°C / 700°C	Fuel block (at first and second layer)
Case 3	600°C / 800°C	
Case 4	700°C / 900°C	Fuel block (at third and forth layer)
Case 5	800°C / 1000°C	
Case 6	900°C / 1100°C	Fuel block (at fifth layer)
Case 7	1000°C / 1200°C	

Table 3.2 Comparison case between simplified viscoelastic evaluation model and VIENUS code

Comparison case	Position of fuel graphite blocks
F1L3C00	F1 column 3 <sup>rd</sup> layer
F4L3C00	F4 column 3 <sup>rd</sup> layer
F5L3C00	F5 column 3 <sup>rd</sup> layer
F1L5C00	F1 column 5 <sup>th</sup> layer
F4L5C00	F4 column 5 <sup>th</sup> layer
F5L5C00	F5 column 5 <sup>th</sup> layer

Table 3.3 Temperature conditions for analysis by simplified viscoelastic evaluation model

Analysis case	Temp(°C)		$\Delta T(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T(^{\circ}\text{C})$
	Hot	Cold	(Hot-Cold)	(within block)
<b>F1L3C00</b>	<b>889</b>	<b>872</b>	<b>17</b>	<b>40</b>
<b>F4L3C00</b>	<b>892</b>	<b>863</b>	<b>29</b>	<b>81</b>
<b>F5L3C00</b>	<b>889</b>	<b>844</b>	<b>45</b>	<b>83</b>
<b>F1L5C00</b>	<b>1040</b>	<b>1032</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
<b>F4L5C00</b>	<b>1011</b>	<b>956</b>	<b>55</b>	<b>114</b>
<b>F5L5C00</b>	<b>996</b>	<b>918</b>	<b>78</b>	<b>139</b>

Table 3.4 Fluence of neutron irradiation for each analysis case

Analysis case	Operation time	Fluence
	(days)	( $\times 10^{25}\text{n}/\text{m}^2$ )
<b>F1L3C00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>330</b>	<b>0.61</b>
	<b>660</b>	<b>1.22</b>
<b>F4L3C00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>330</b>	<b>0.27</b>
	<b>660</b>	<b>0.54</b>
<b>F5L3C00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>330</b>	<b>0.54</b>
	<b>660</b>	<b>1.09</b>
<b>F1L5C00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>330</b>	<b>0.24</b>
	<b>660</b>	<b>0.47</b>
<b>F4L5C00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>330</b>	<b>0.48</b>
	<b>660</b>	<b>0.96</b>
<b>F5L5C00</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	<b>330</b>	<b>0.21</b>
	<b>660</b>	<b>0.42</b>

Table 3.5 Initial thermal stress and maximum stress for each analysis case

Analysis case	Initial thermal stress (MPa)	Maximum Operational stress (MPa)	Maximum Shutdown stress (MPa)
F1L3C00	0.37※ <sup>1</sup> /0.22※ <sup>2</sup>	0.37/0.22	0.64/1.2
	(1.7※ <sup>3</sup> )	(1.7)	(0.53)
F4L3C00	0.63/1.1	0.63/1.1	1.1/2.5
	(0.57)	(0.57)	(0.44)
F5L3C00	0.98/0.55	0.98/0.55	1.7/3.2
	(1.8)	(1.8)	(0.53)
F1L5C00	0.18/0.15	0.18/0.15	0.24/0.41
	(1.2)	(1.2)	(0.59)
F4L5C00	1.2/0.49	1.2/0.49	1.8/3.5
	(2.4)	(2.4)	(0.51)
F5L5C00	1.7/1.4	1.7/1.4	2.4/5.4
	(1.2)	(1.2)	(0.44)

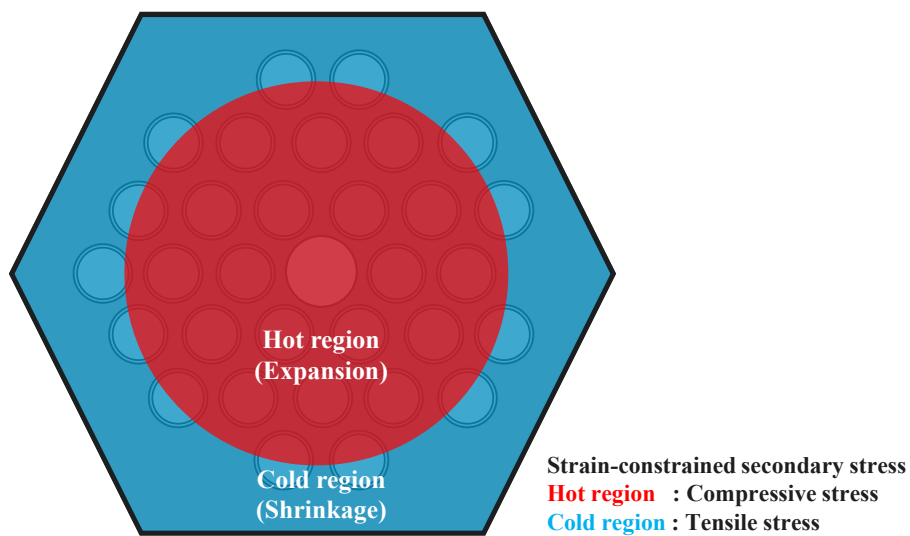
※1 Simple model result

※2 VIENUS result

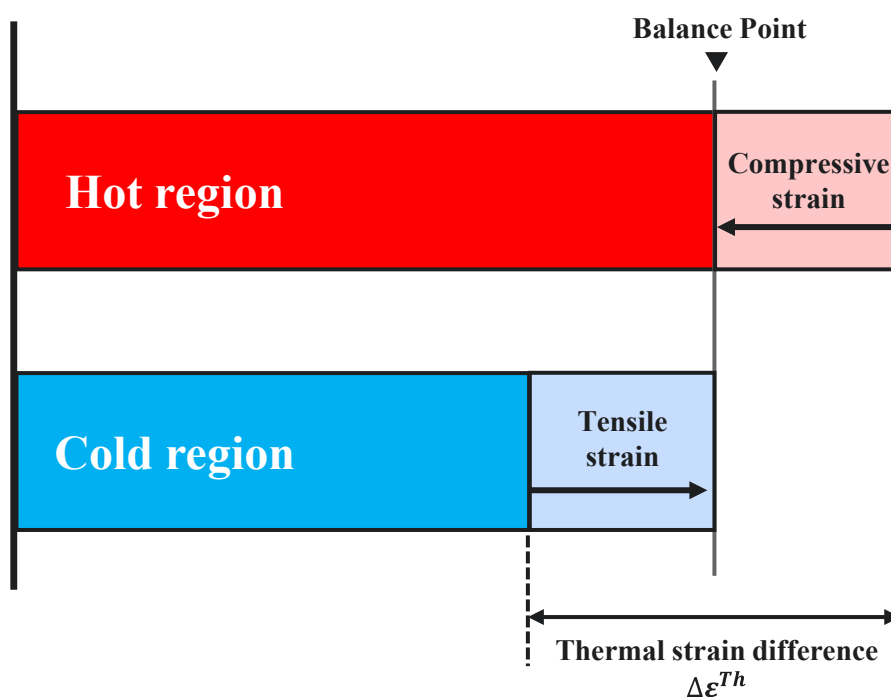
※3 Ratio of simple model result to VIENUS result

—Average of maximum Operational stress ratios→1.5

—Average of maximum Shutdown stress ratios→0.51



(1) Top view of hexagonal fuel block



(2) Simple beam model

Fig.2.1 Simple beam model for secondary stress evaluation<sup>8)</sup>

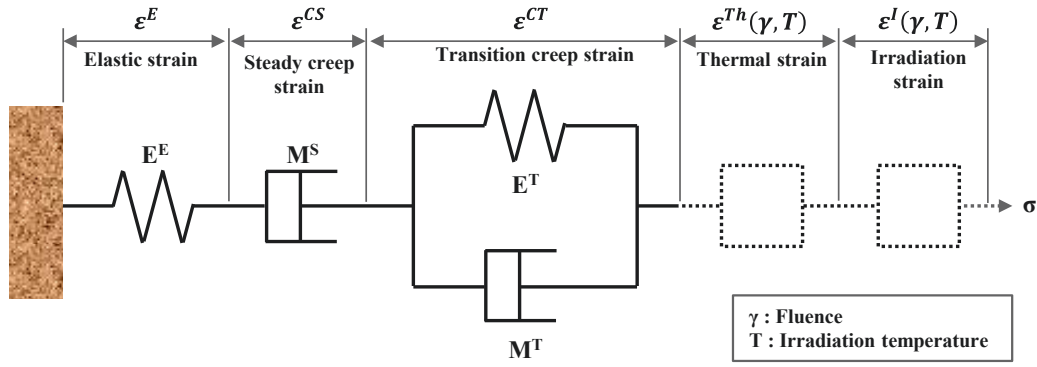


Fig.2.2 Deformation model of graphite<sup>8)</sup>

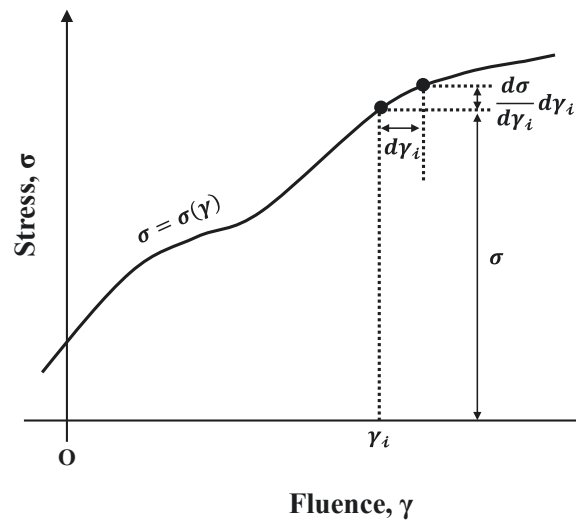
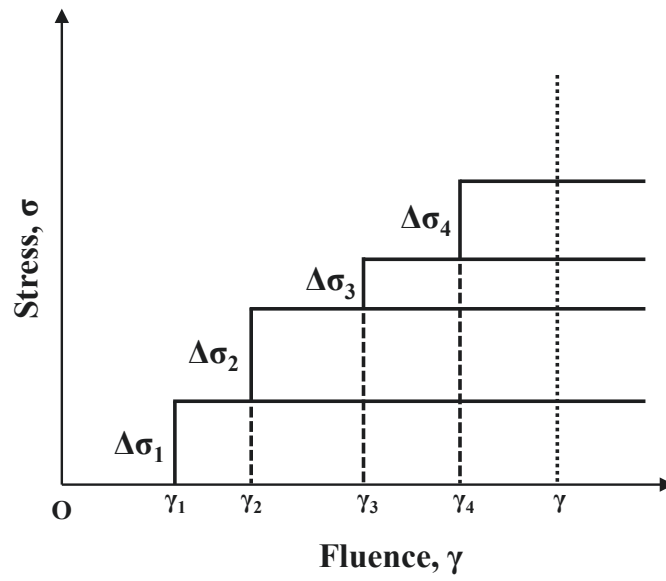
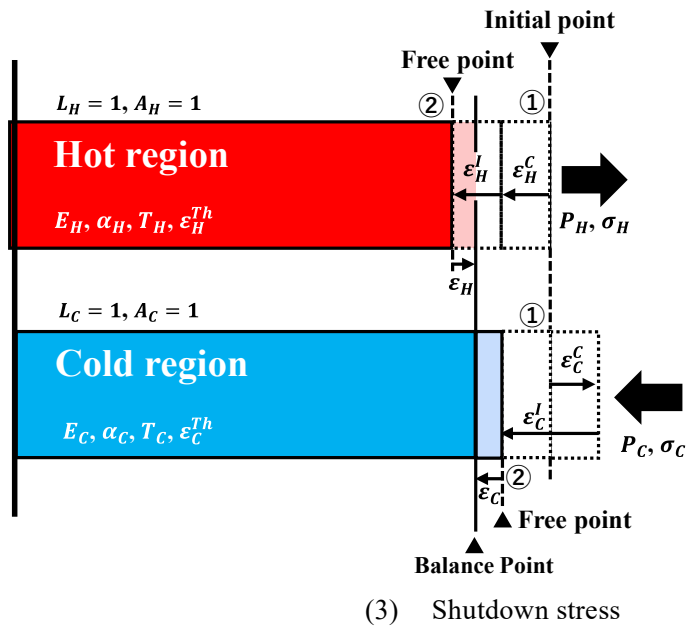
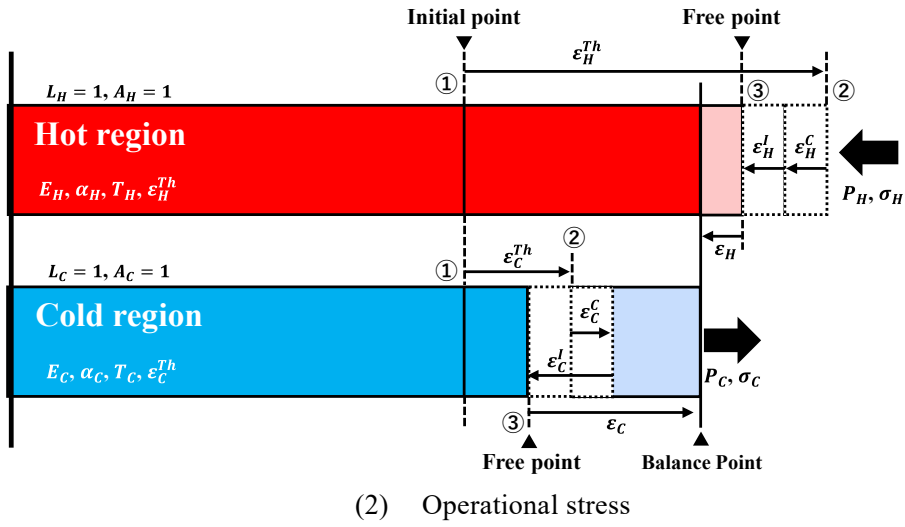
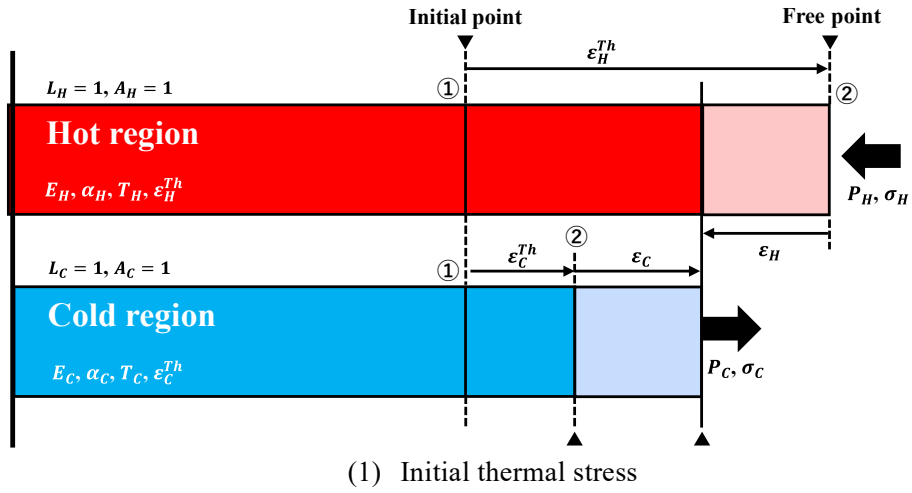


Fig.2.3 Creep strain analysis <sup>10)</sup>


 Fig.2.4 Stress evaluation using beam model <sup>8)</sup>

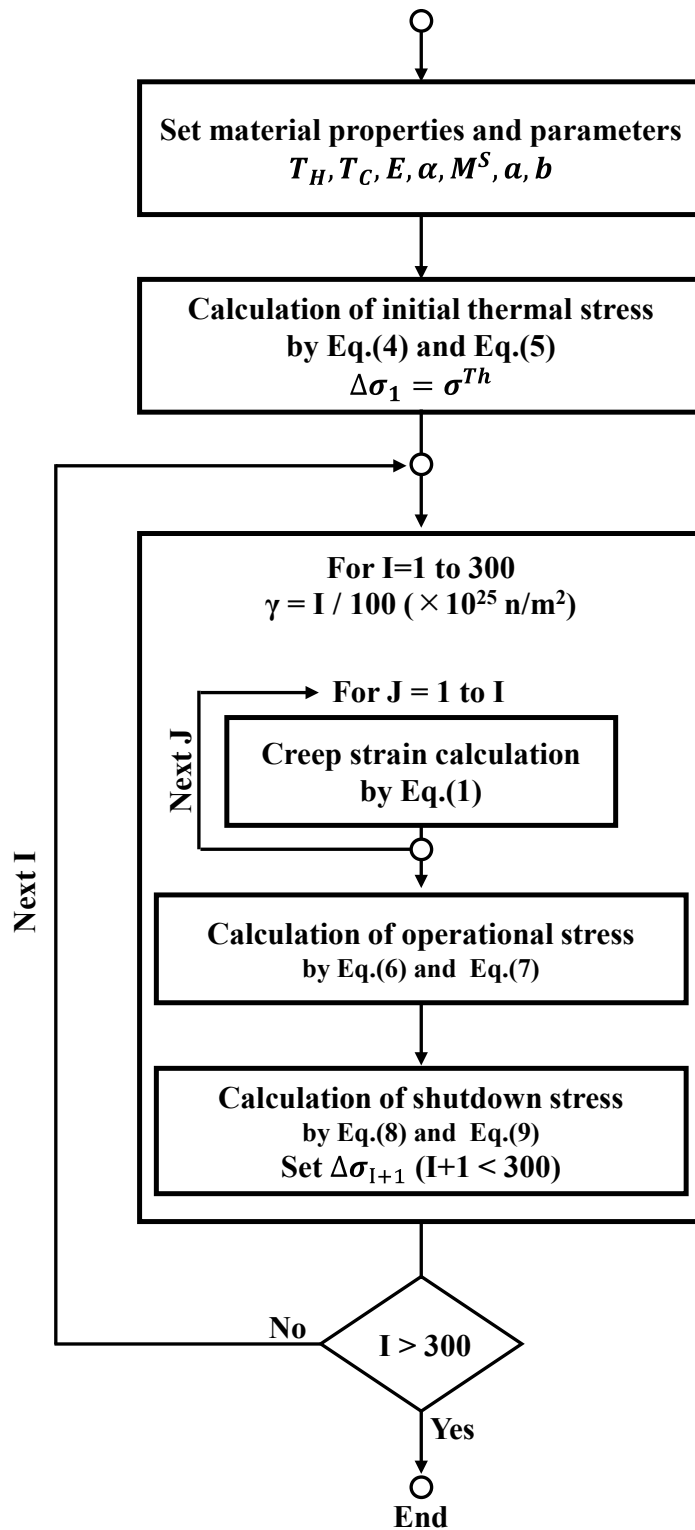


Fig.2.5 Analysis flow of stress <sup>8)</sup>

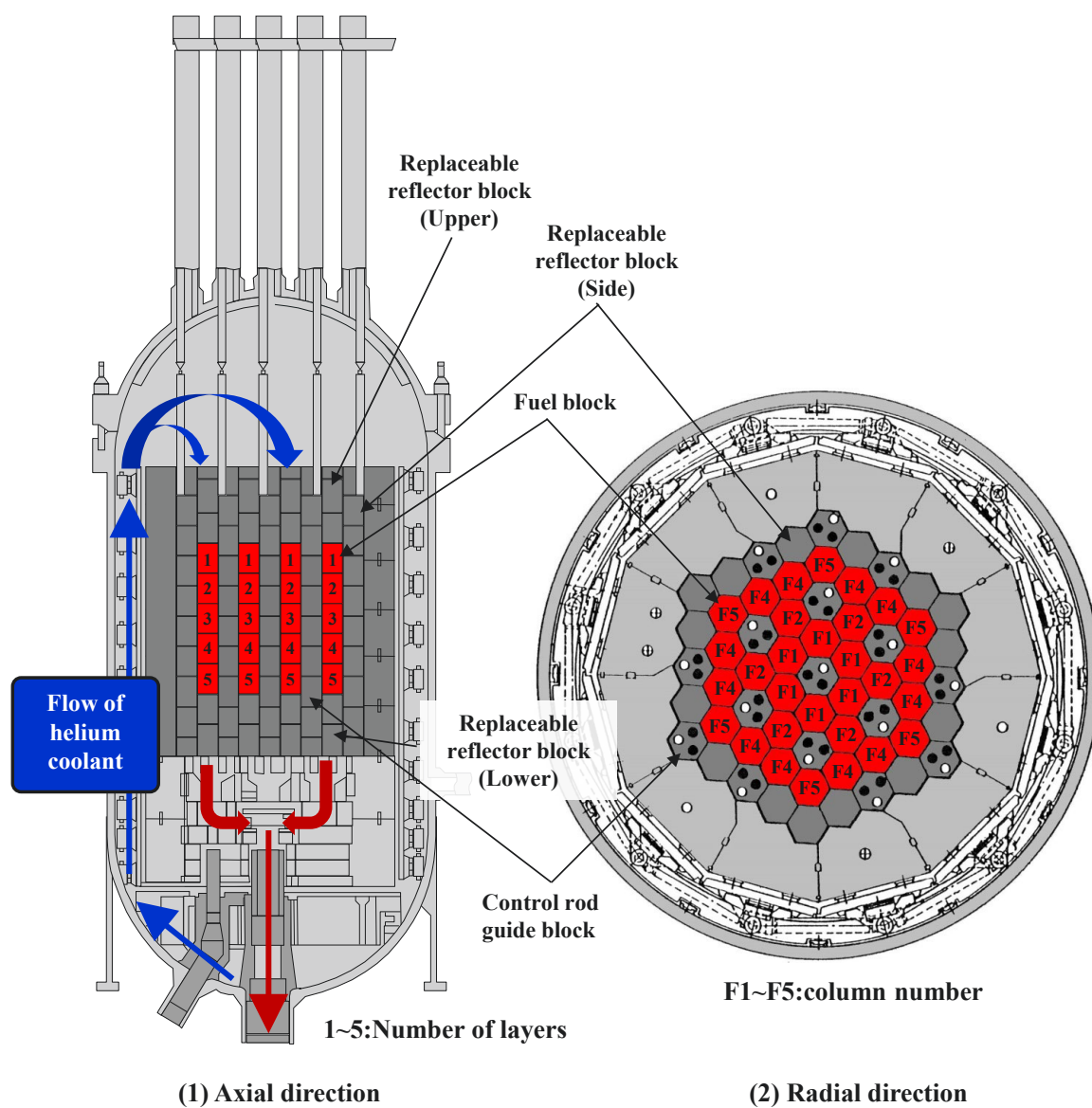


Fig.3.1 Arrangement of graphite blocks in the HTTR



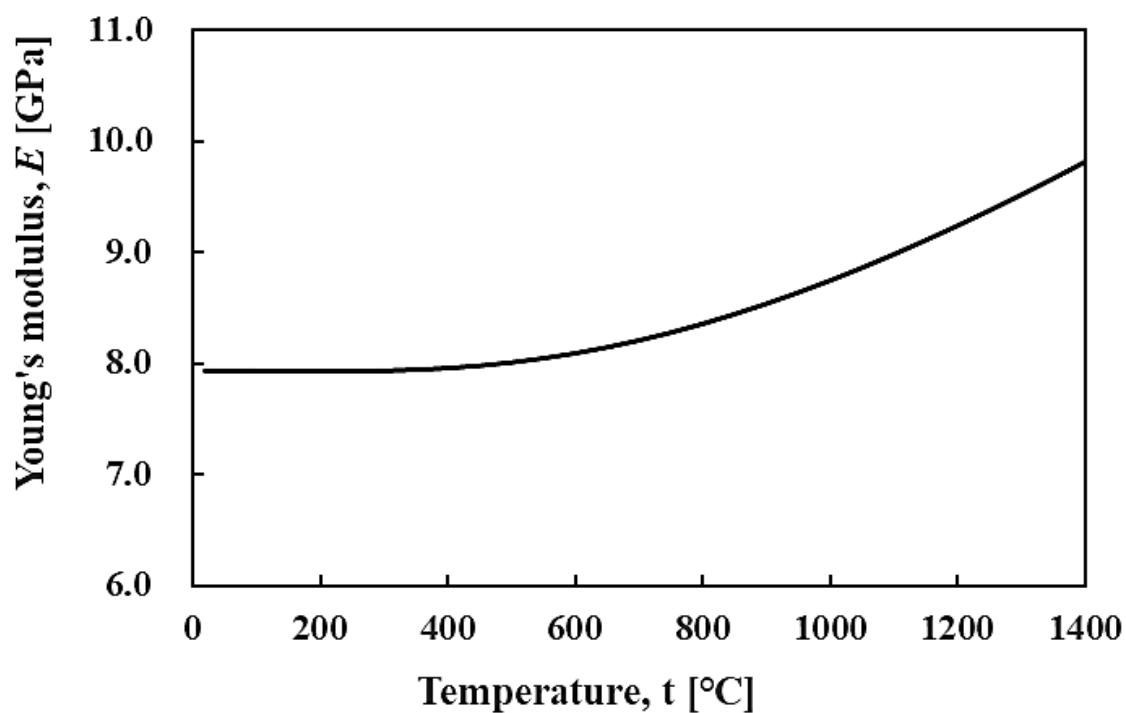


Fig.3.2 Temperature effect on Young's modulus

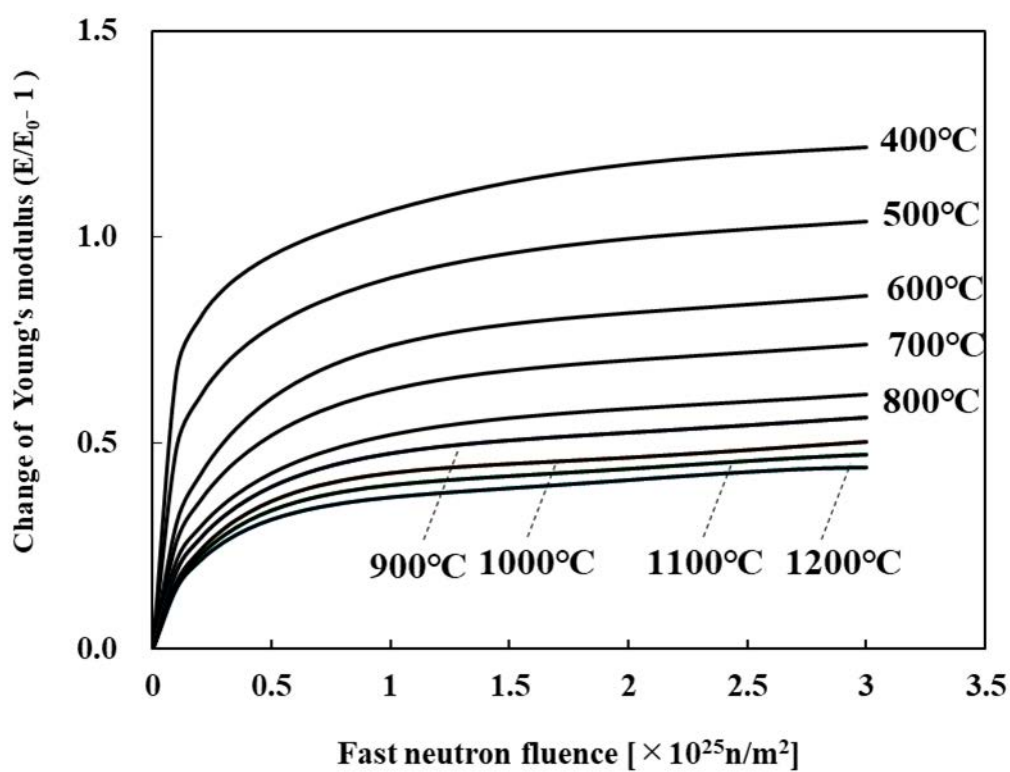


Fig.3.3 Irradiation effect on Young's modulus

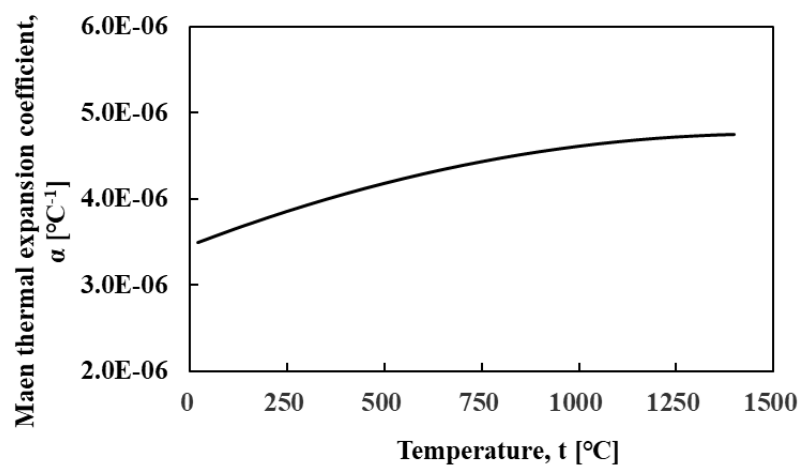


Fig.3.4 Temperature effect on mean thermal expansion coefficient

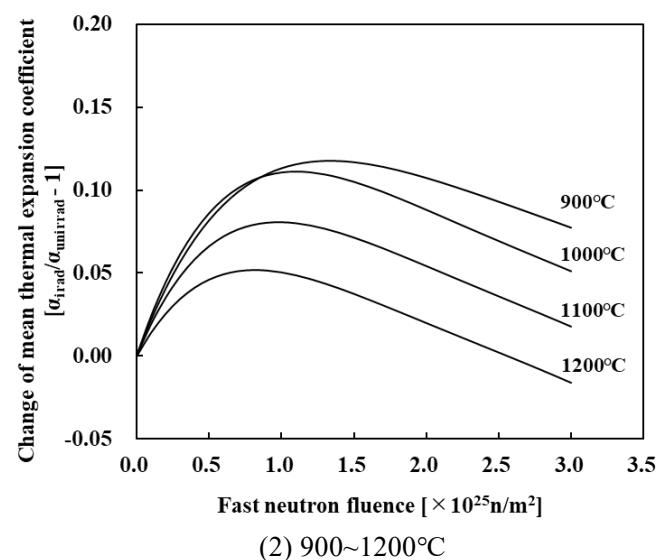
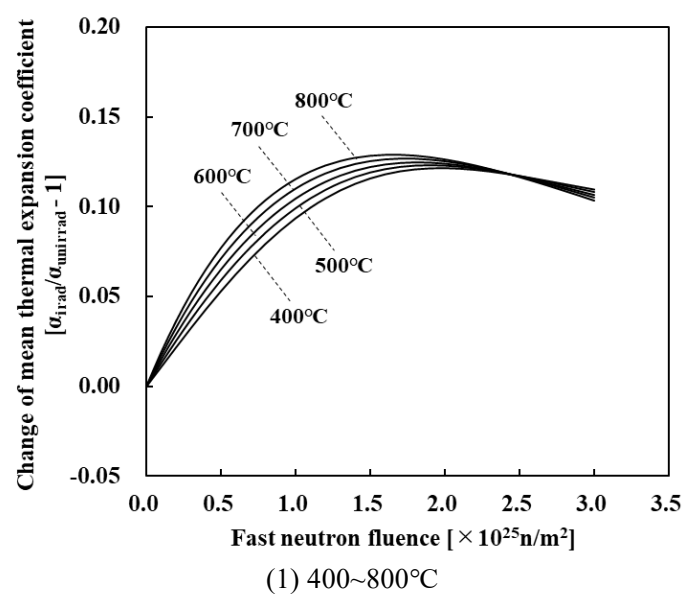
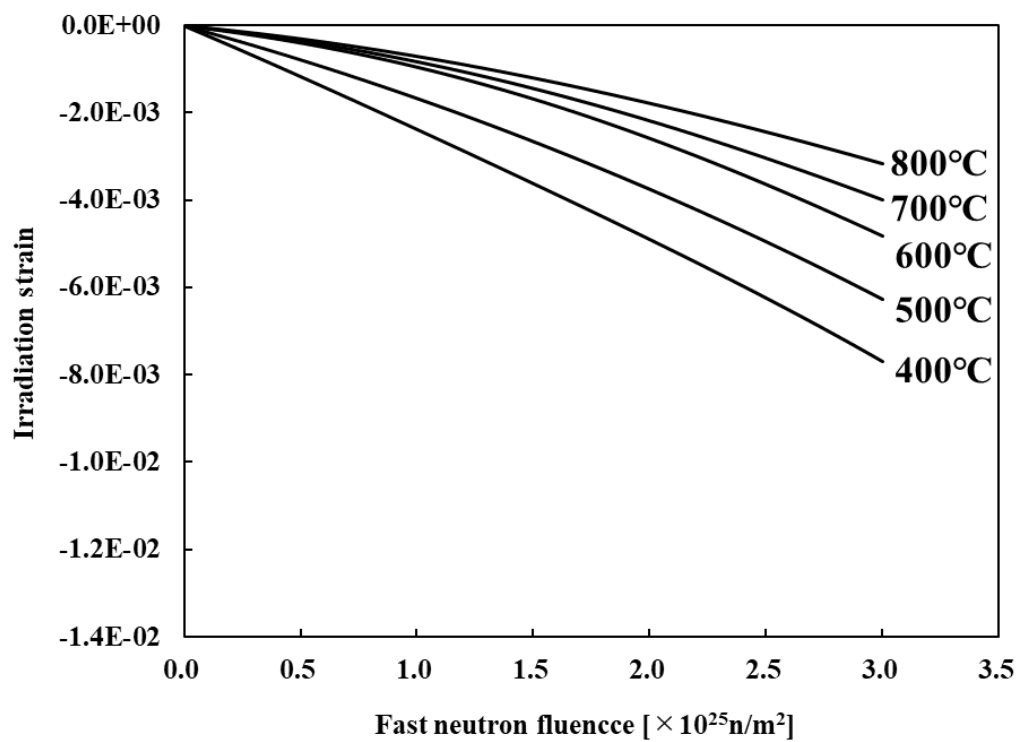
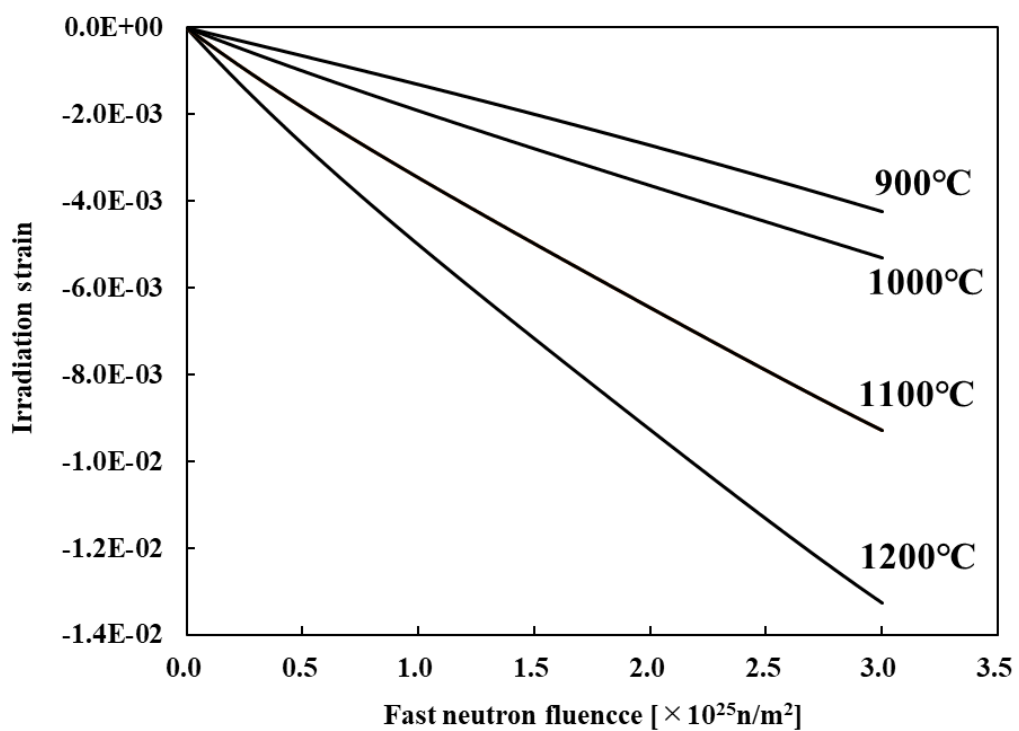


Fig.3.5 Irradiation effect on mean thermal expansion coefficient

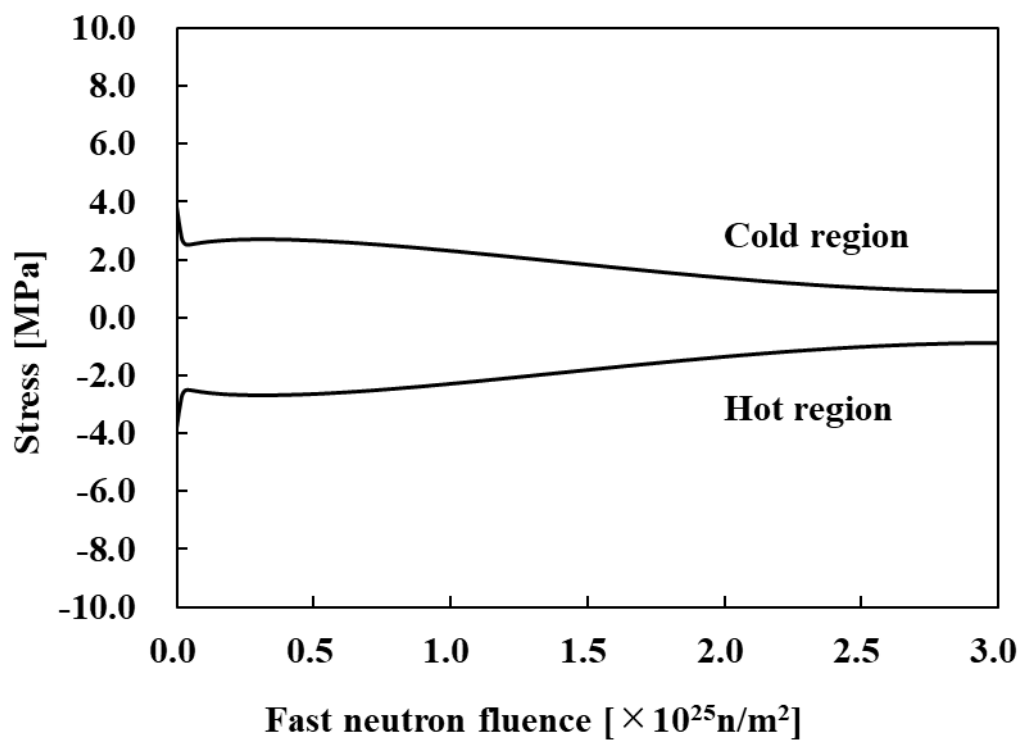


(1) 400~800°C

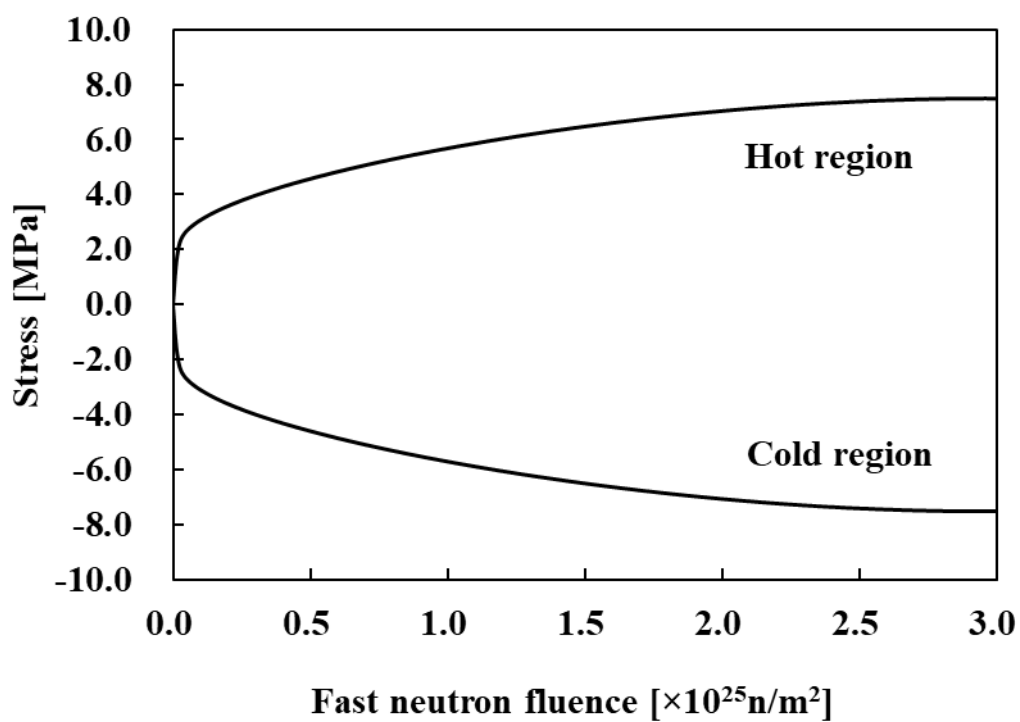


(2) 900~1200°C

Fig.3.6 Irradiation strain change with temperature

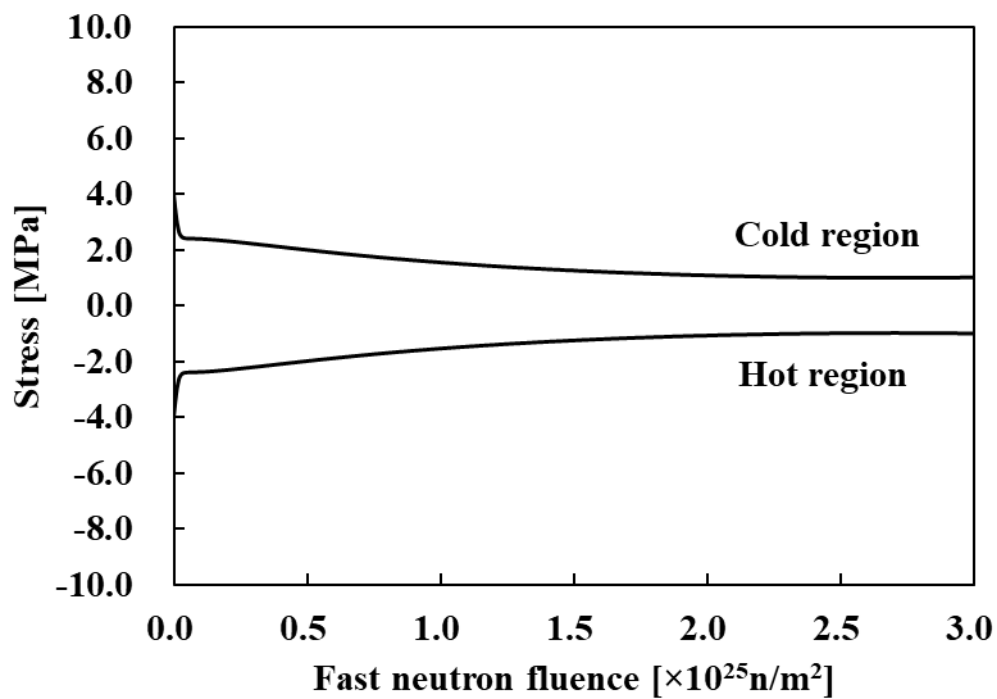


(1) Operational stress

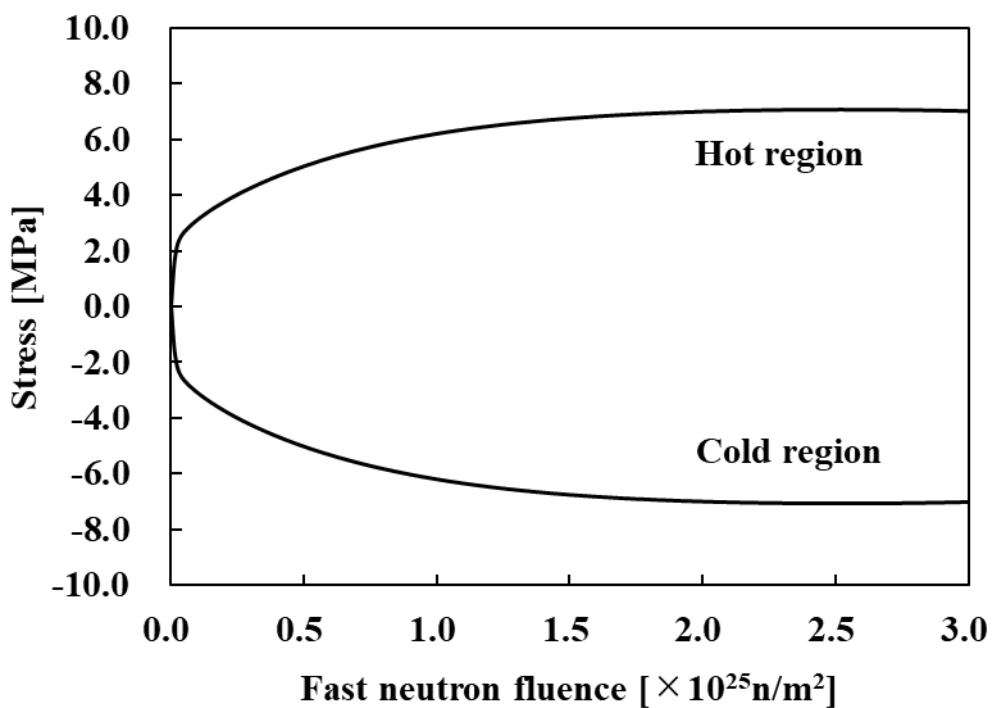


(2) Shutdown stress

Fig.3.7 Stress behaviors of case 1 (400/600°C)

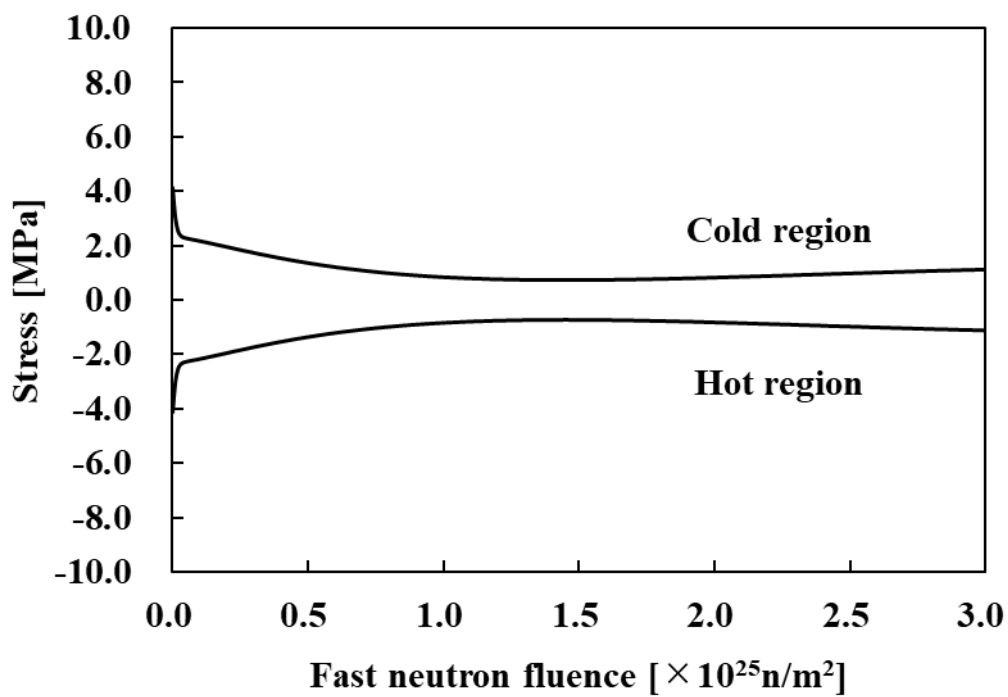


(1) Operational stress

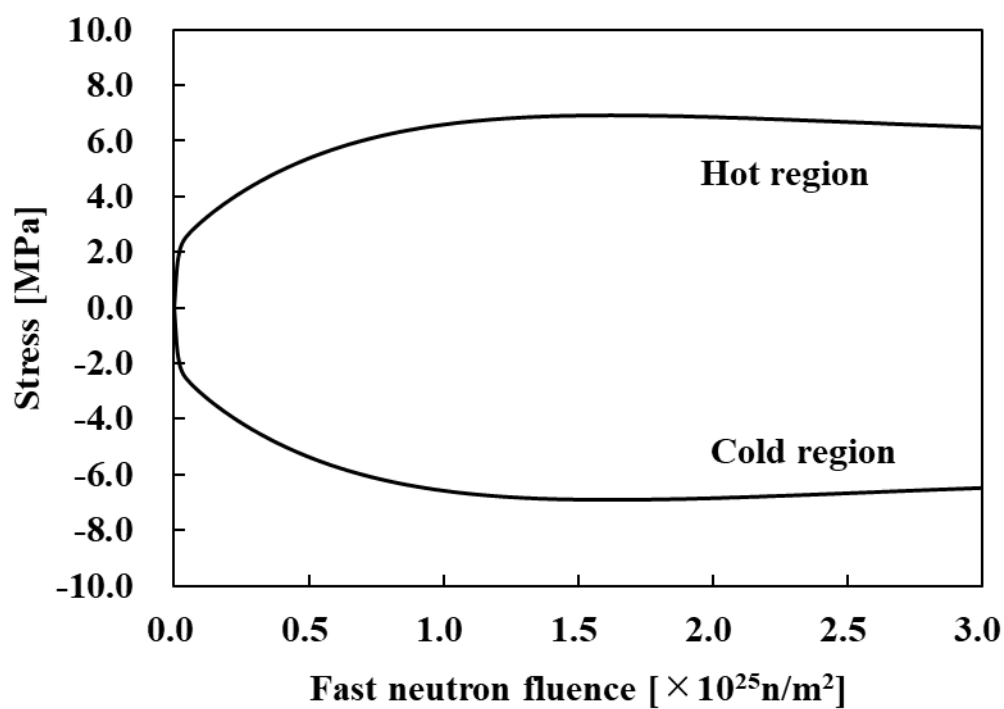


(2) Shutdown stress

Fig.3.8 Stress behaviors of case 2 (500/700°C)

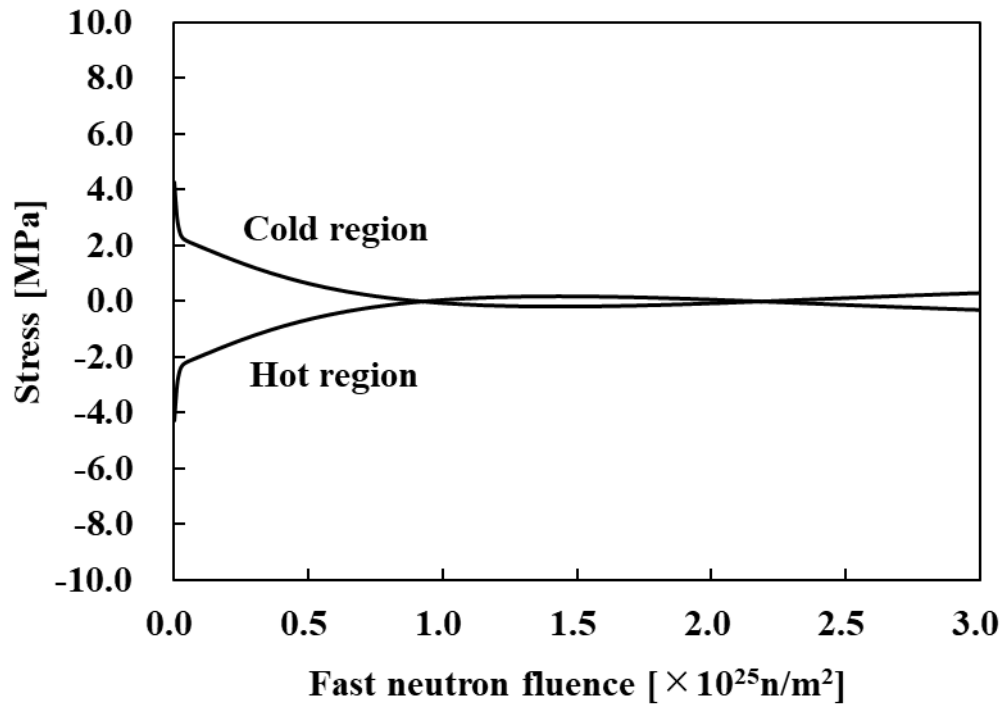


(1) Operational stress

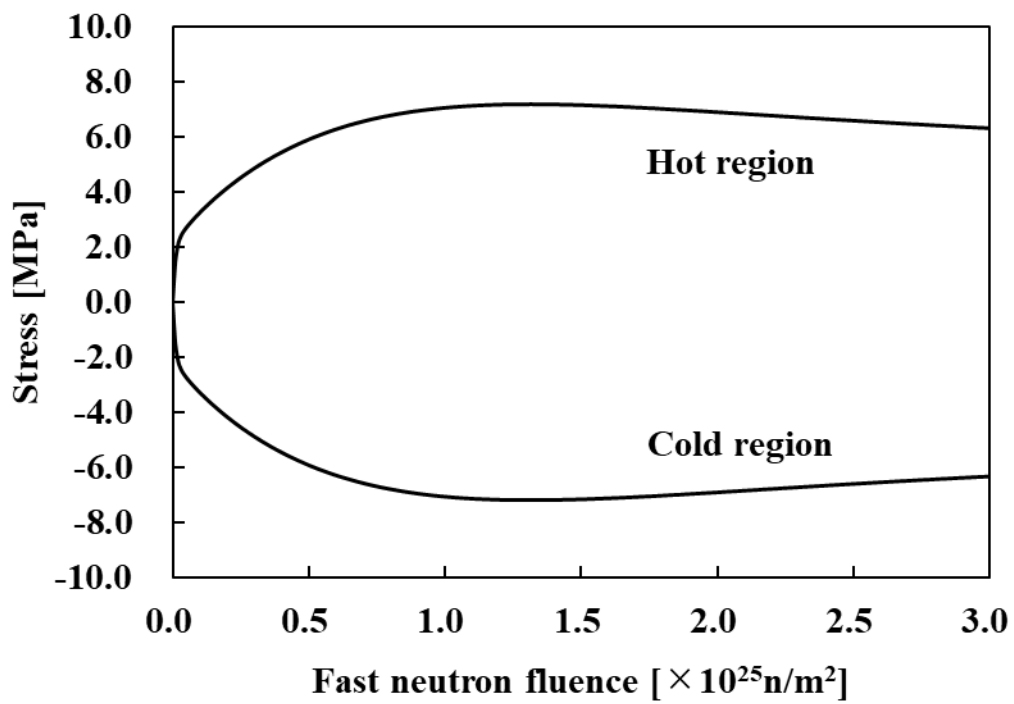


(2) Shutdown stress

Fig.3.9 Stress behaviors of case 3 (600/800°C)

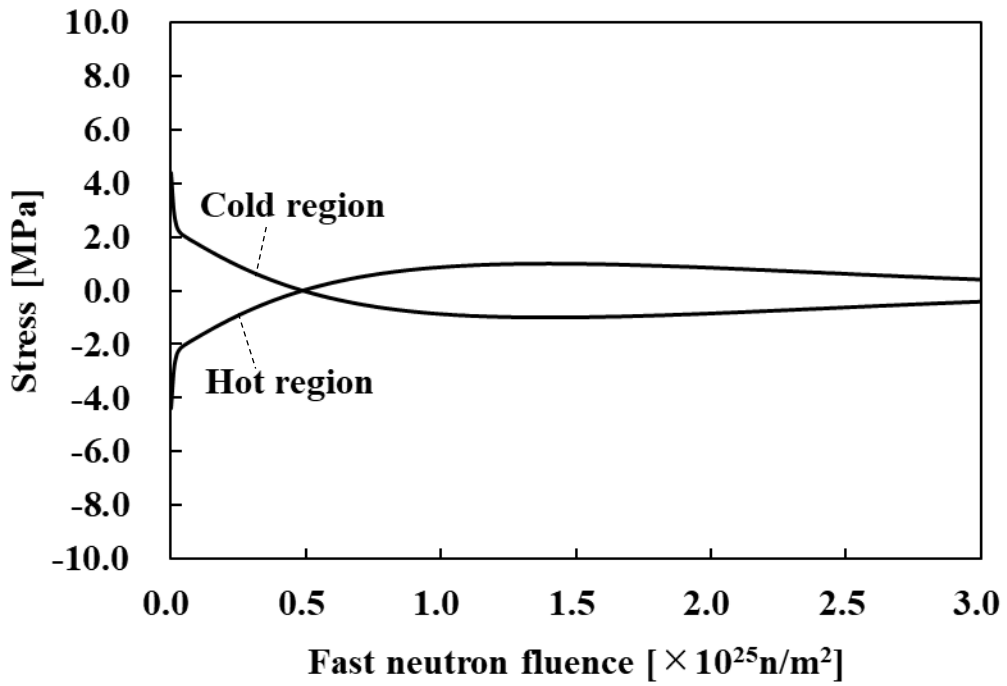


(1) Operational stress

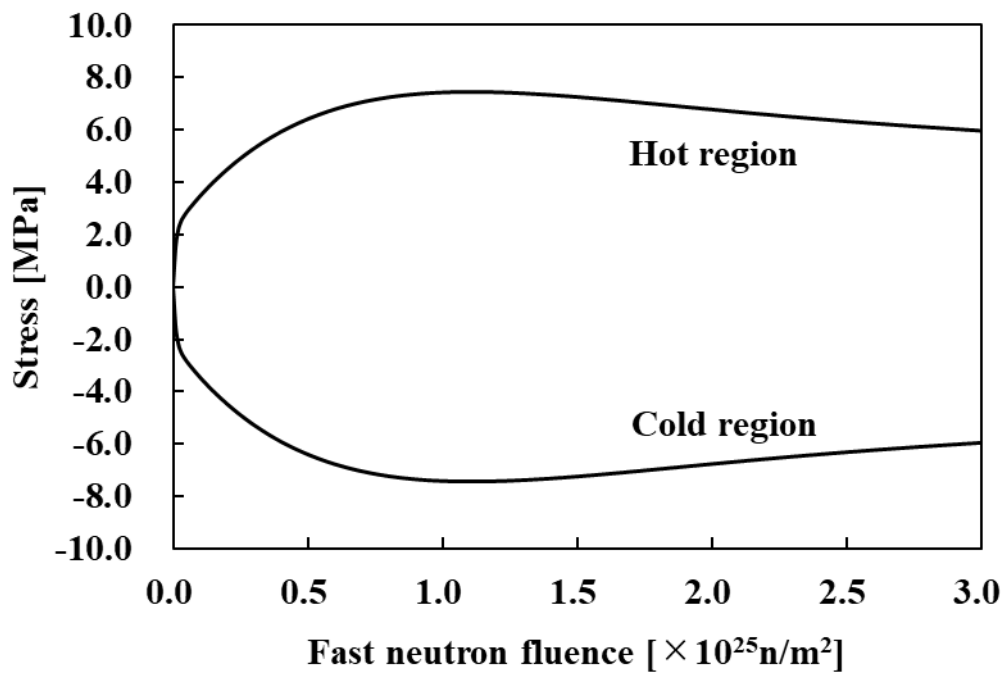


(2) Shutdown stress

Fig.3.10 Stress behaviors of case 4 (700/900°C)



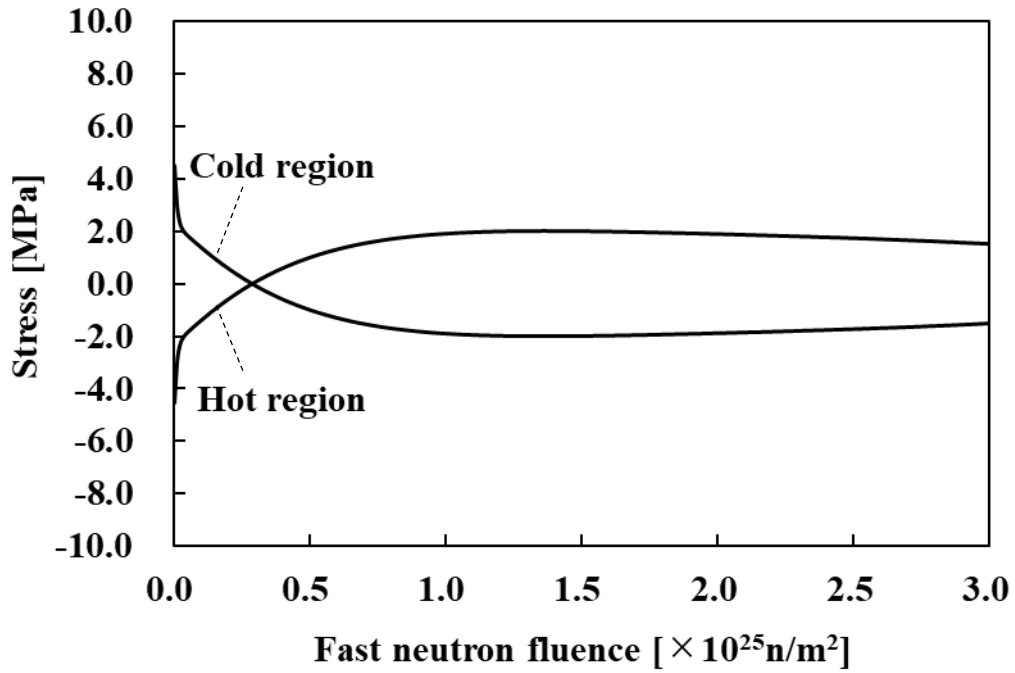
(1) Operational stress



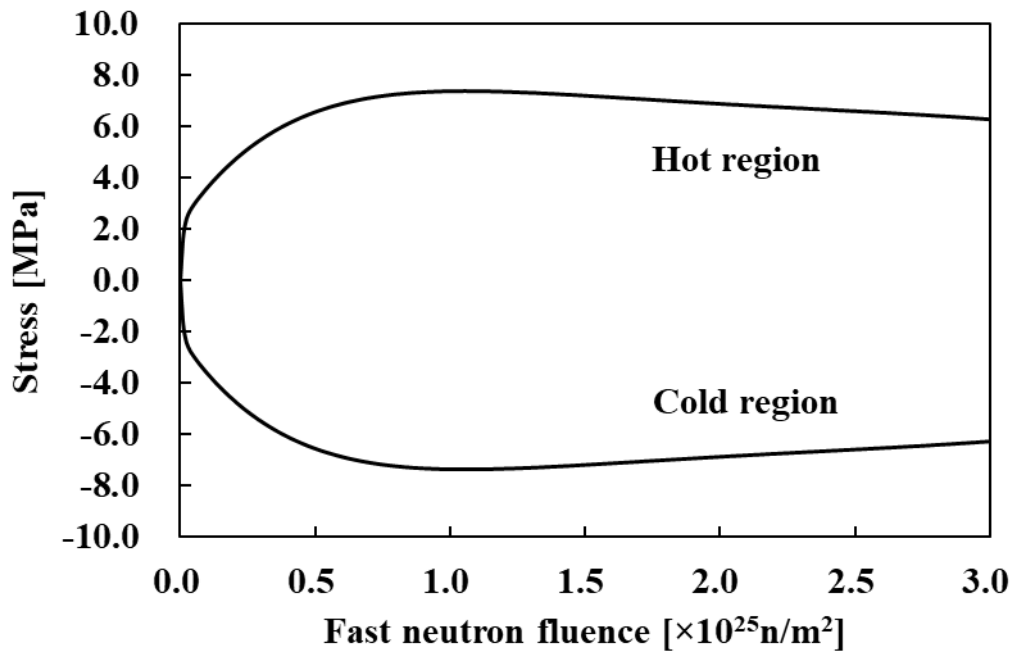
(2) Shutdown stress

Fig.3.11 Stress behaviors of case 5 (800/1000°C)



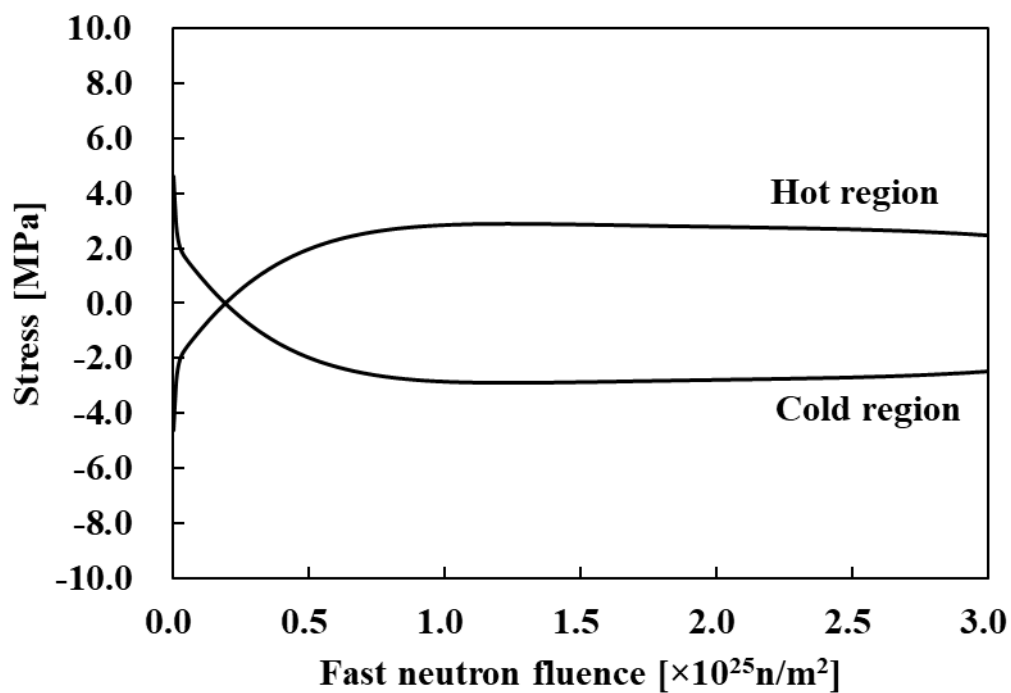


(1) Operational stress

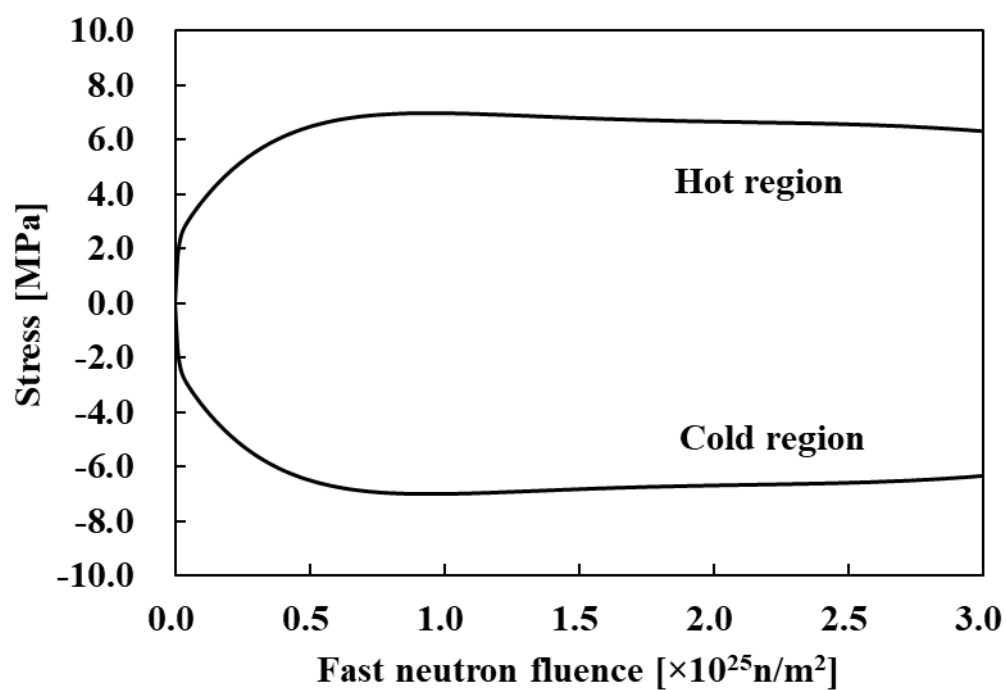


(2) Shutdown stress

Fig.3.12 Stress behaviors of case 6 (900/1100°C)

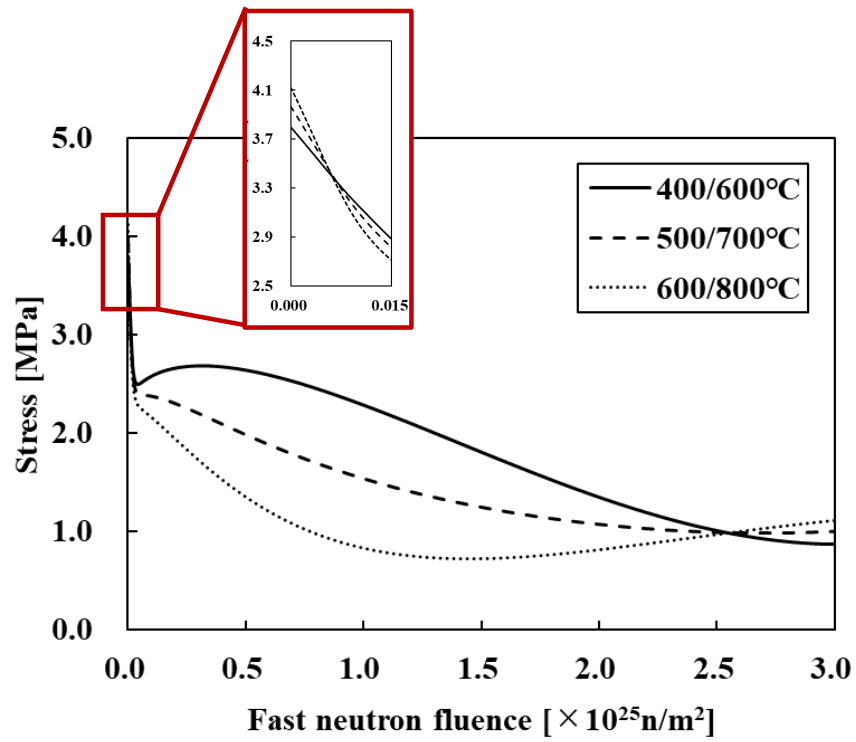


(1) Operational stress

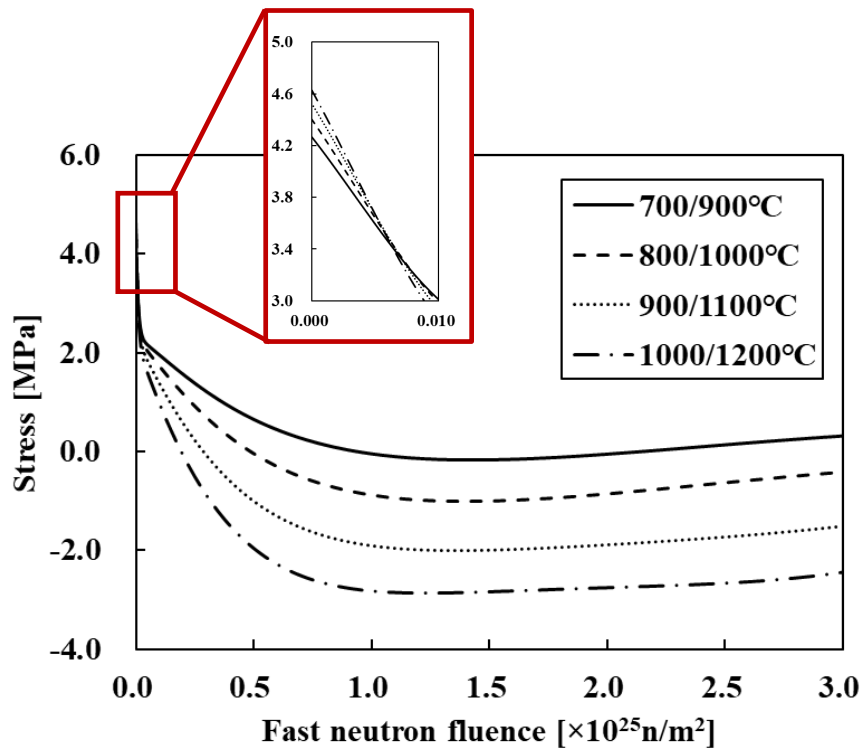


(2) Shutdown stress

Fig.3.13 Stress behaviors of case 7 (1000/1200°C)



(1) Forward mode



(2) Reverse mode

Fig.3.14 Comparison of operational stress behaviors

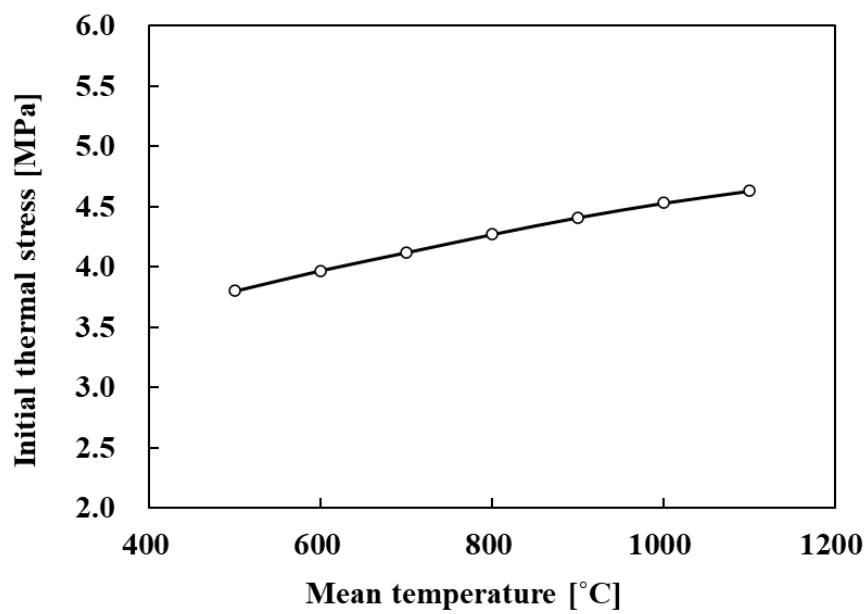
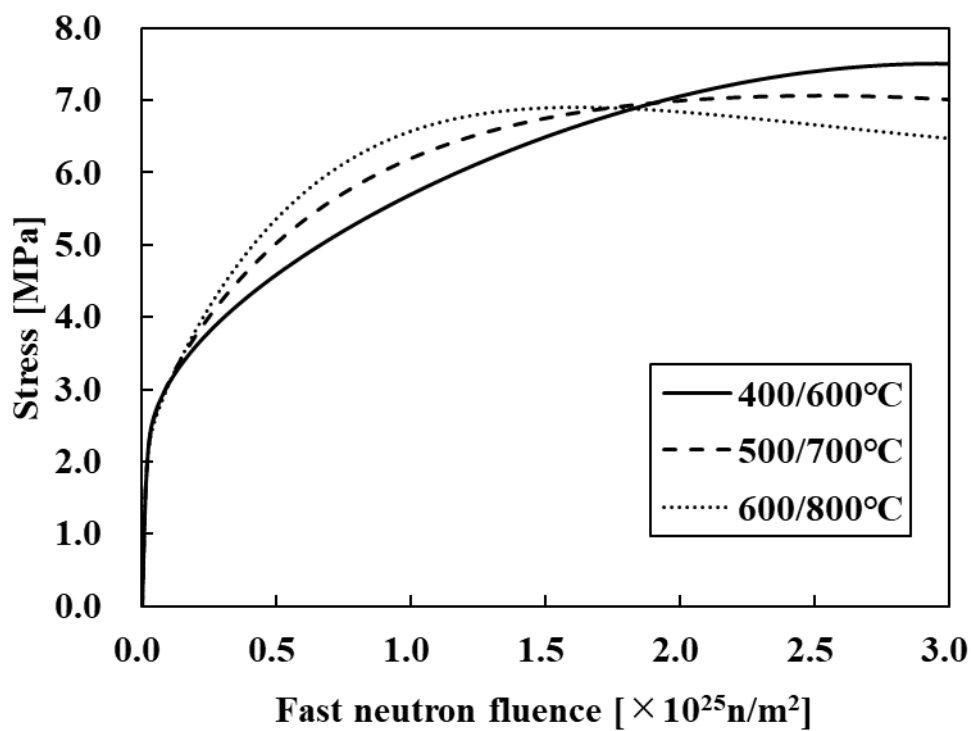
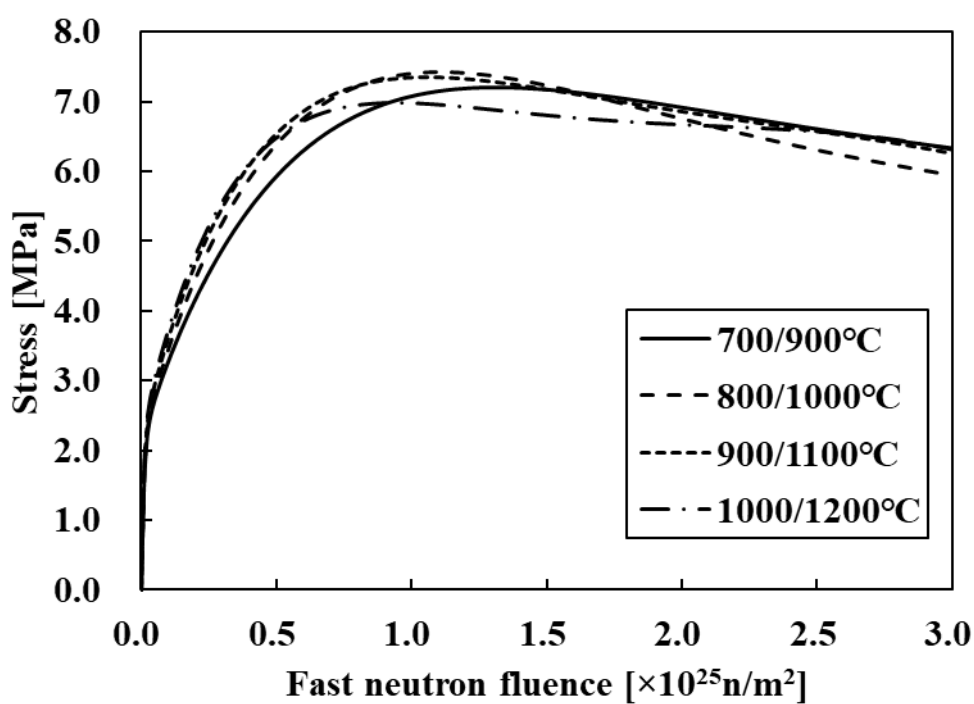


Fig.3.15 Change in initial thermal stress with mean temperature



(1) Forward mode



(2) Reverse mode

Fig.3.16 Comparison of shutdown stress behaviors

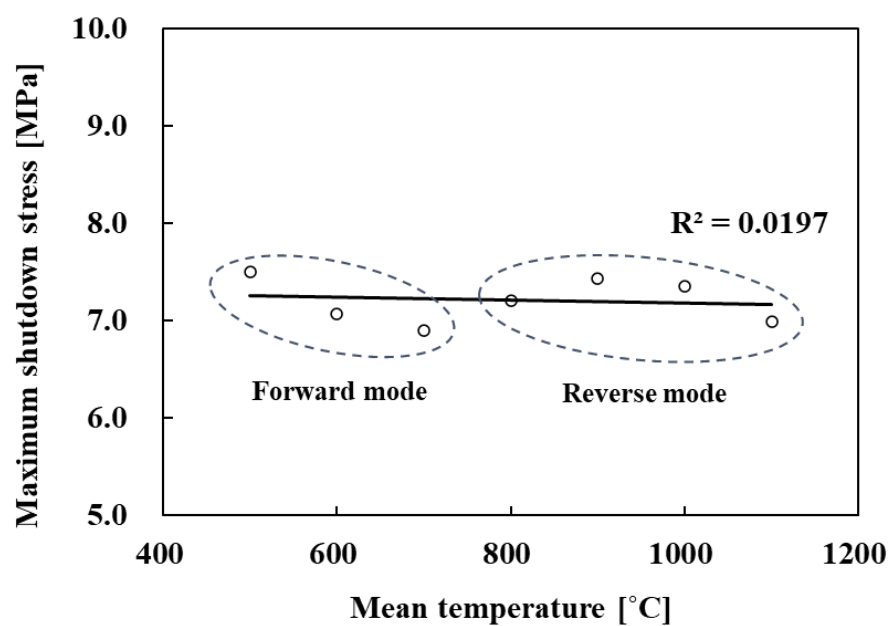
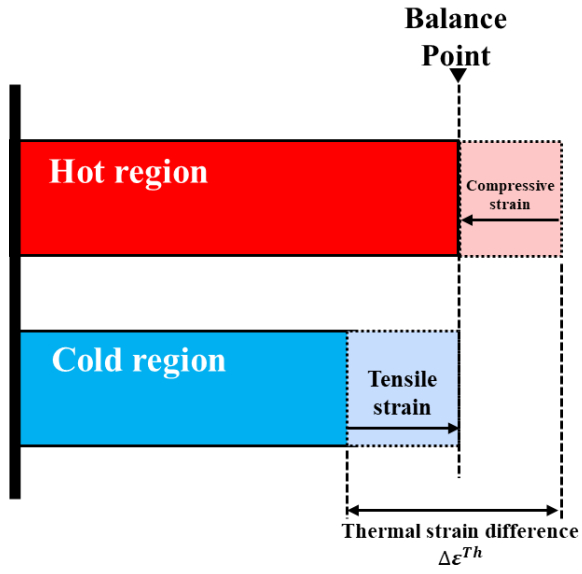
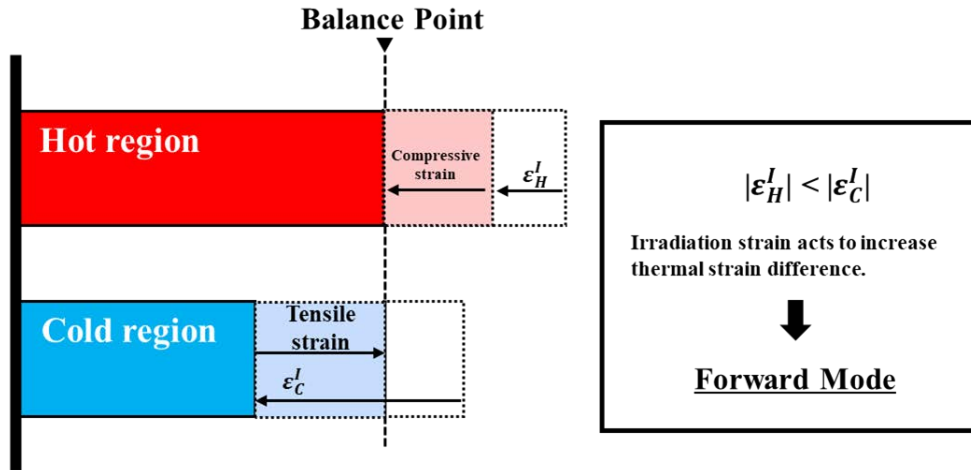


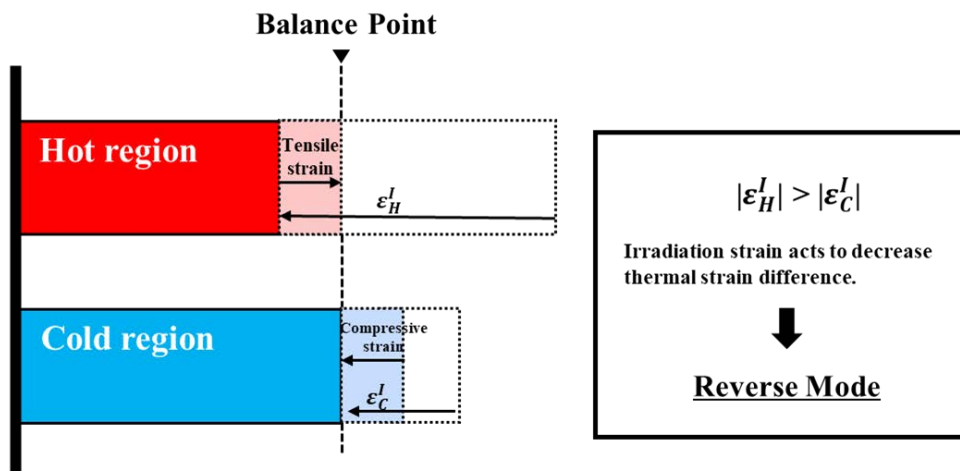
Fig.3.17 Change in maximum shutdown stress with mean temperature



(1) Initial thermal strain

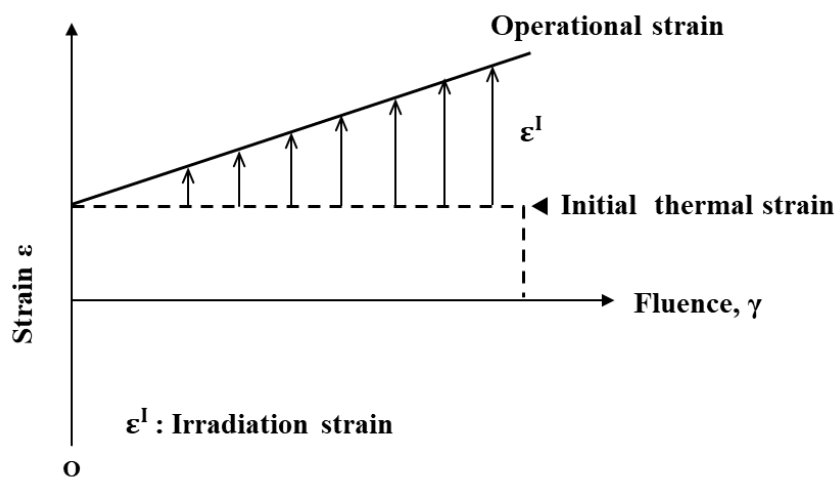


(2) Irradiation strain (Irradiation temperature  $\leq 800^\circ\text{C}$ )

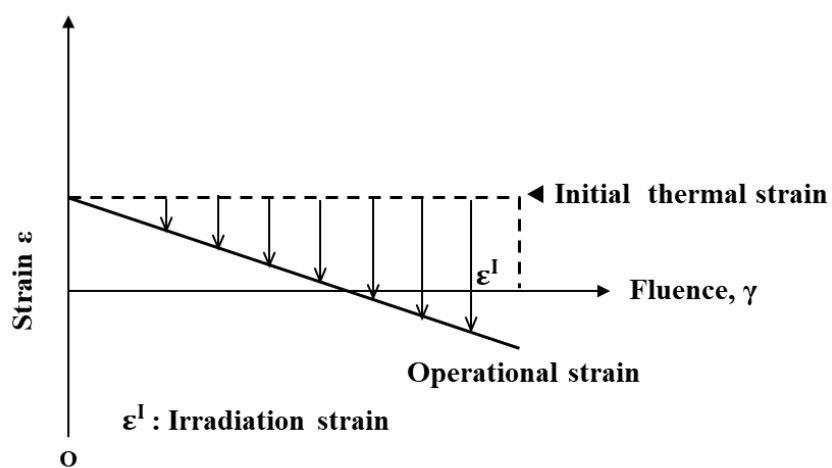


(3) Irradiation strain (Irradiation temperature  $\geq 800^\circ\text{C}$ )

Fig.3.18 Relationship between initial thermal strain and irradiation strain



(1) Forward mode



(2) Reverse mode

Fig.3.19 Schematic diagram of operational strain excluding creep to clarify irradiation strain contribution



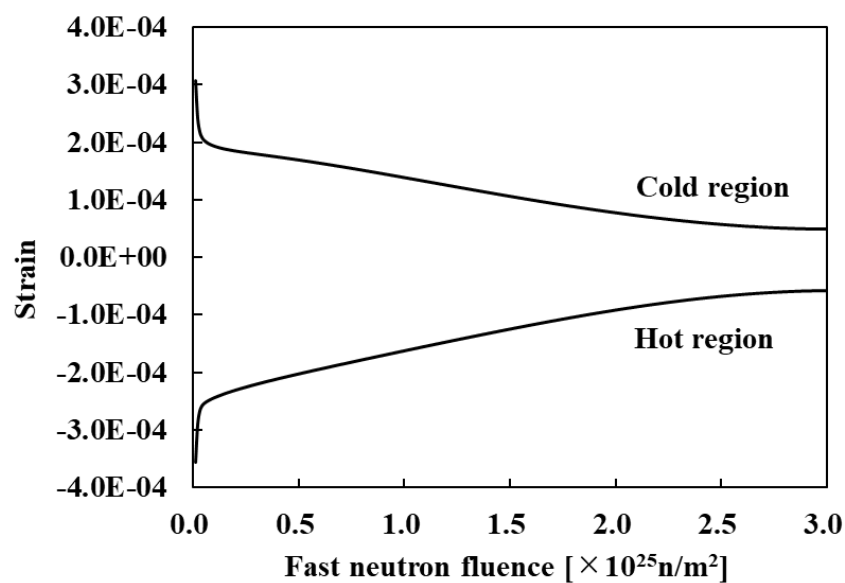


Fig.3.20 Operational strain of case 1 (400°C/ 600°C)

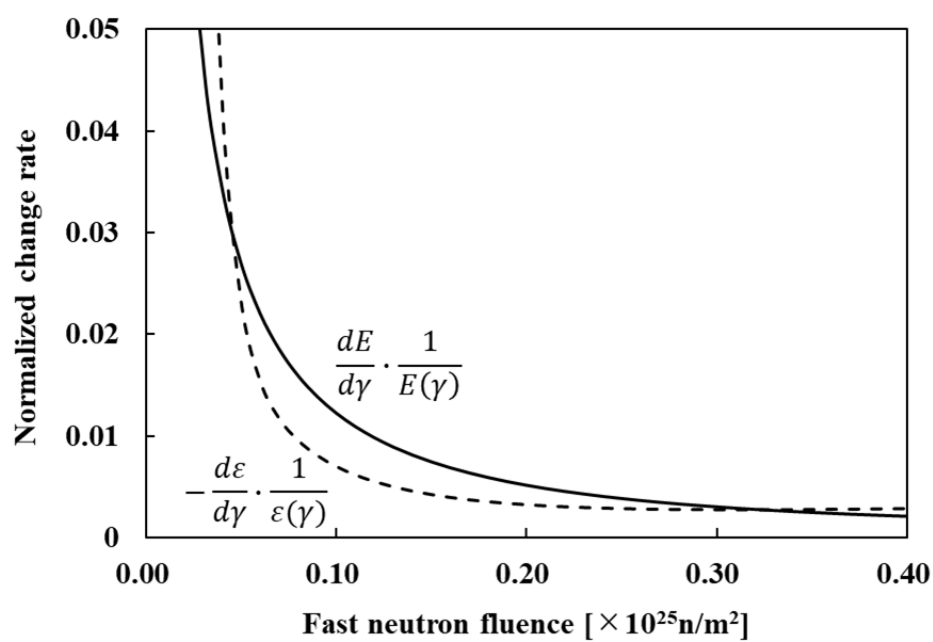
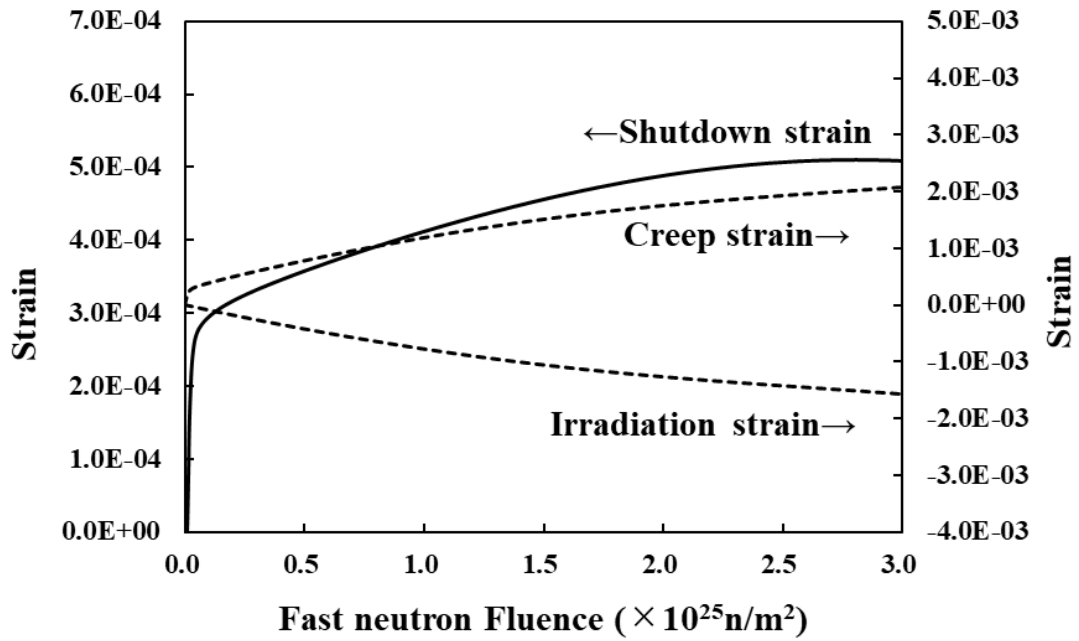
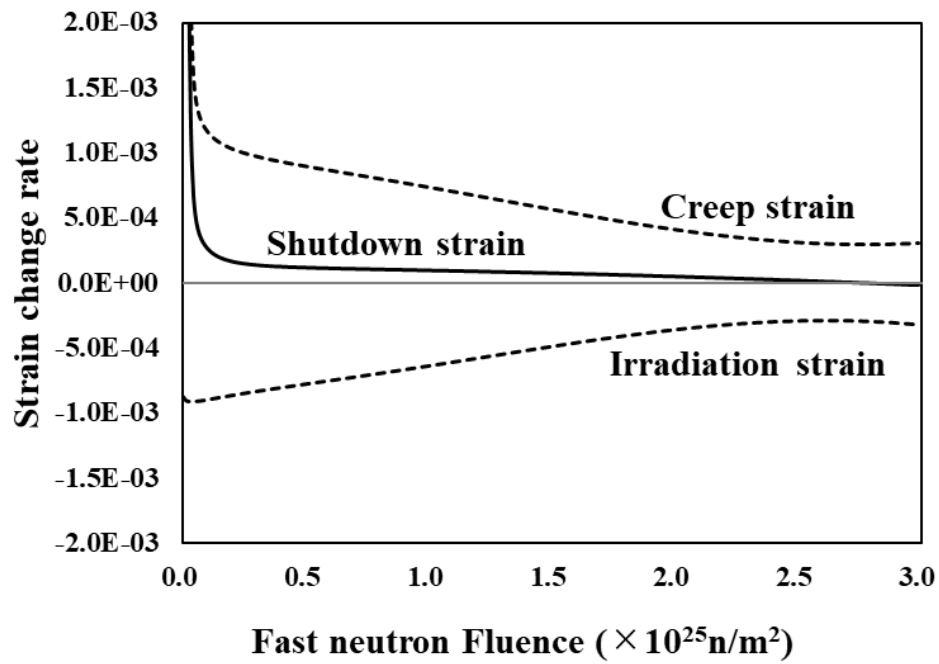


Fig.3.21 Comparison of relative changes in Young's modulus and operational strain in case 1

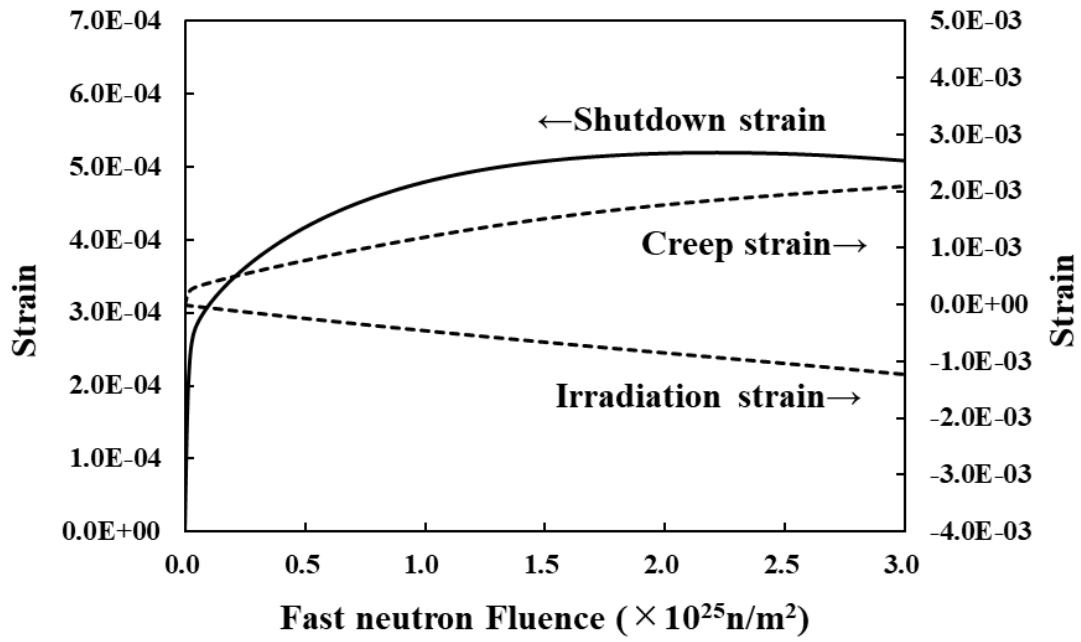


(1) Strain in hot region

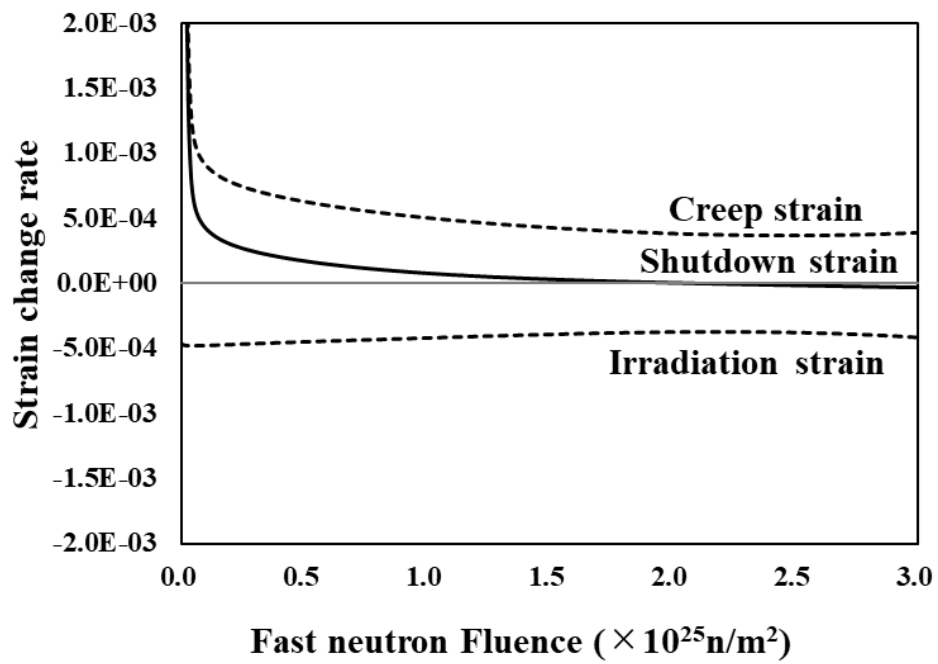


(2) Strain change in hot region

Fig.3.22 Strain and strain change rate of case 1 (400°C/600°C)

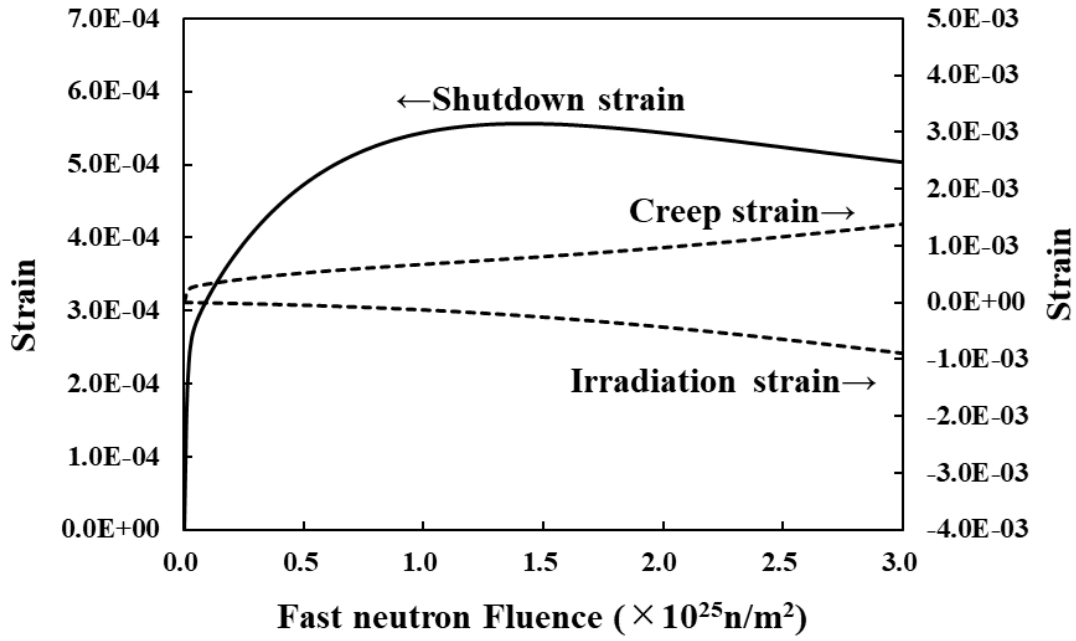


(1) Strain in hot region

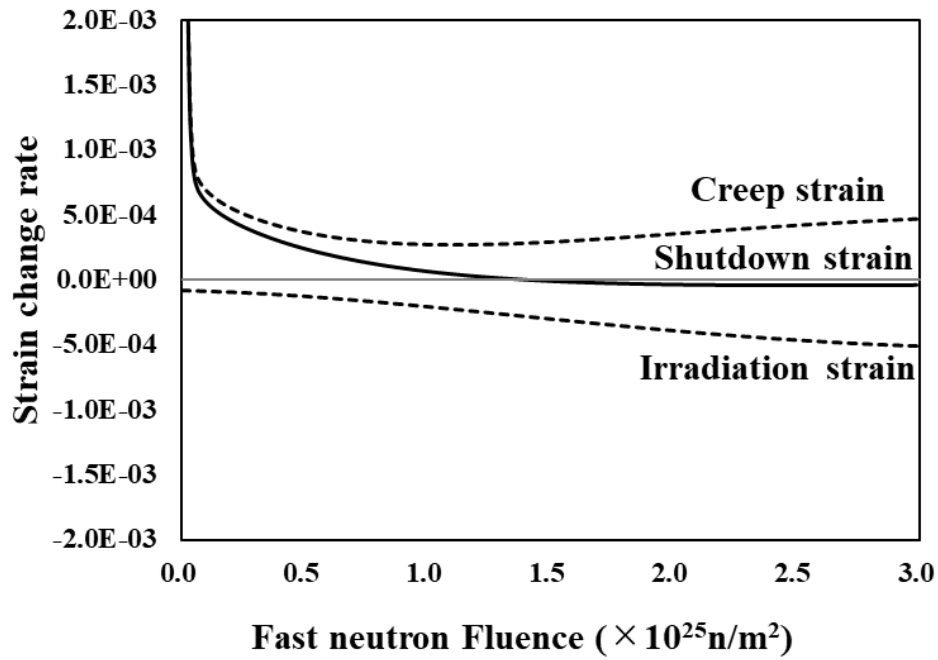


(2) Strain change rate in hot region

Fig.3.23 Strain and strain change rate of case 2 (500°C/700°C)

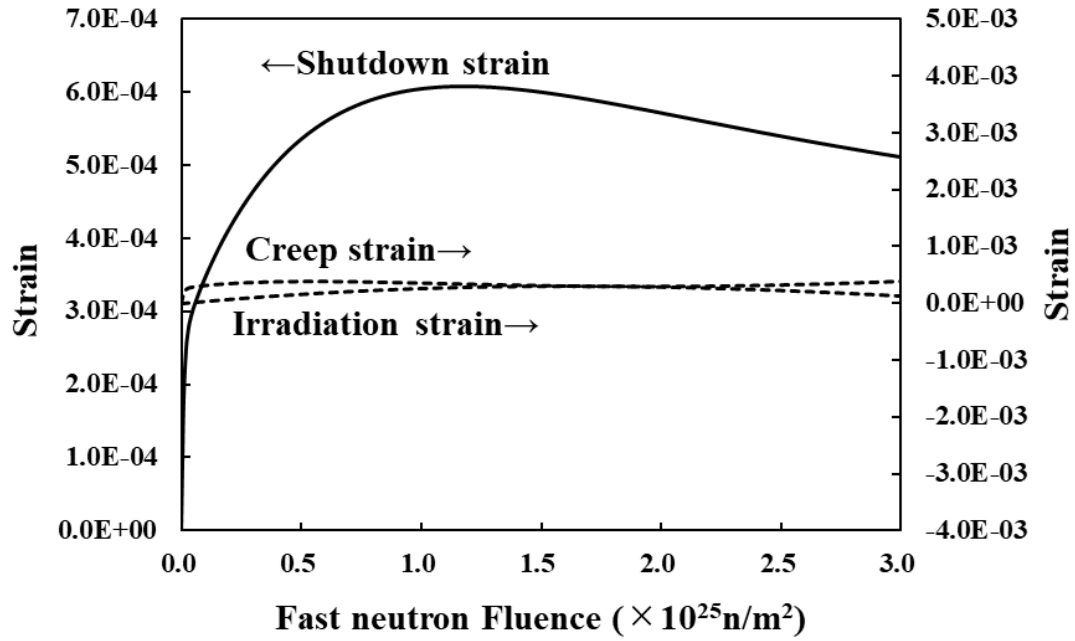


(1) Strain in hot region

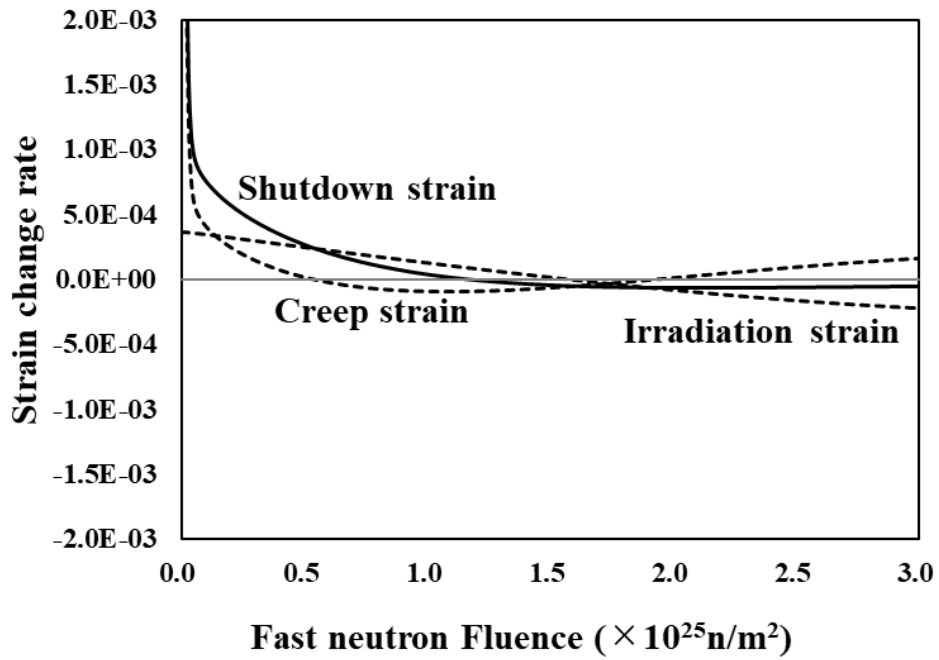


(2) Strain change rate in hot region

Fig.3.24 Strain and strain change rate of case 3 (600°C/800°C)

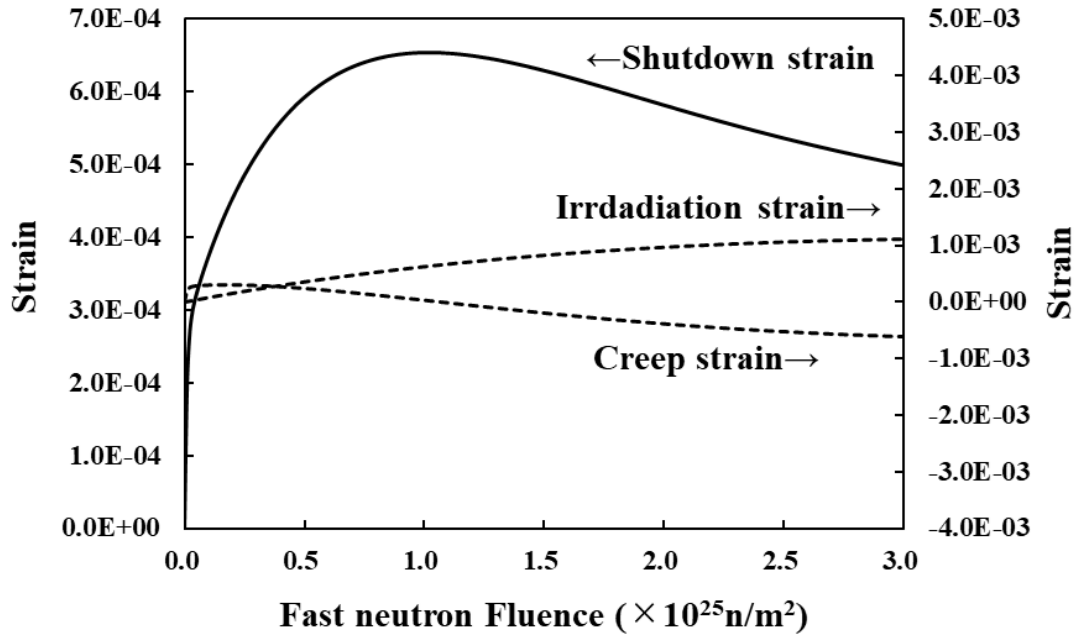


(1) Strain in hot region

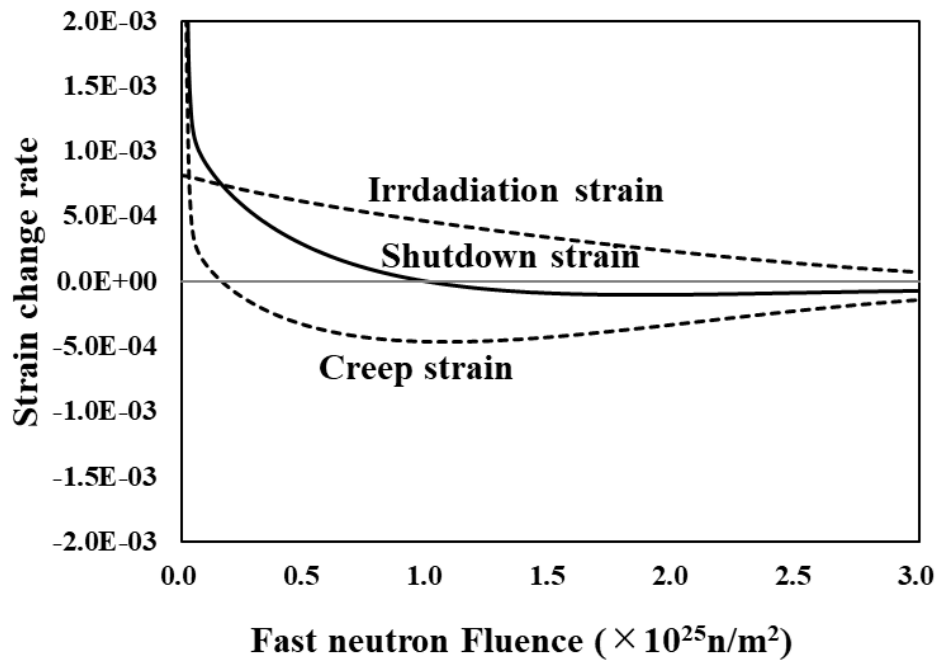


(2) Strain change rate in hot region

Fig.3.25 Strain and strain change rate of case 4 (700°C/900°C)

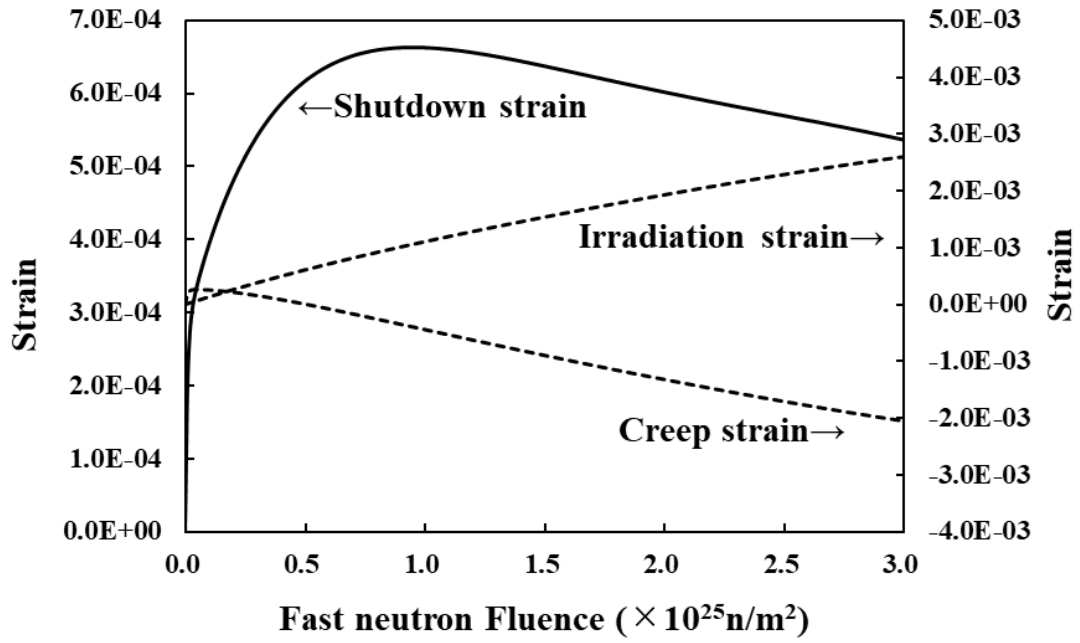


(1) Strain in hot region

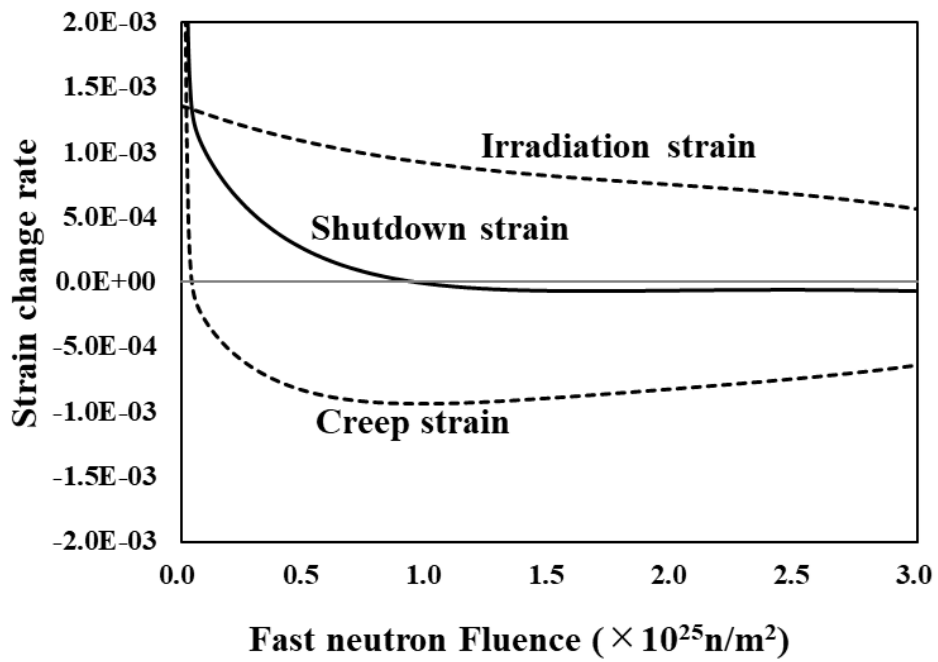


(2) Strain change rate in hot region

Fig.3.26 Strain and strain change rate of case 5 (800°C/1000°C)

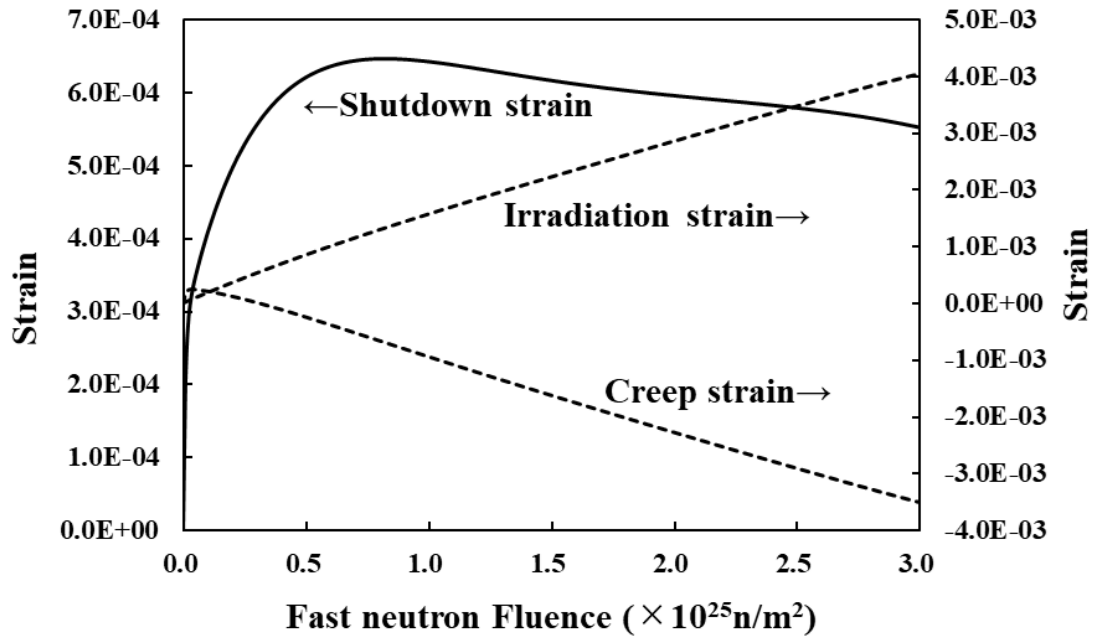


(1) Strain in hot region

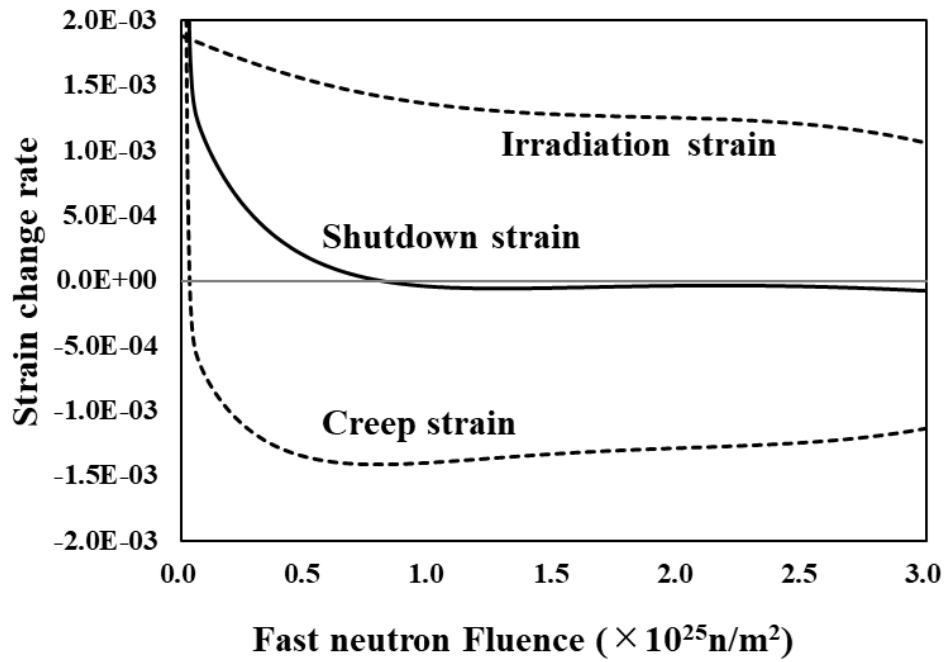


(2) Strain change rate in hot region

Fig.3.27 Strain and strain change rate of case 6 (900°C/1100°C)



(1) Strain in hot region



(2) Strain change rate in hot region

Fig.3.28 Strain and strain change rate of case 7 ( $1000^\circ\text{C}/1200^\circ\text{C}$ )



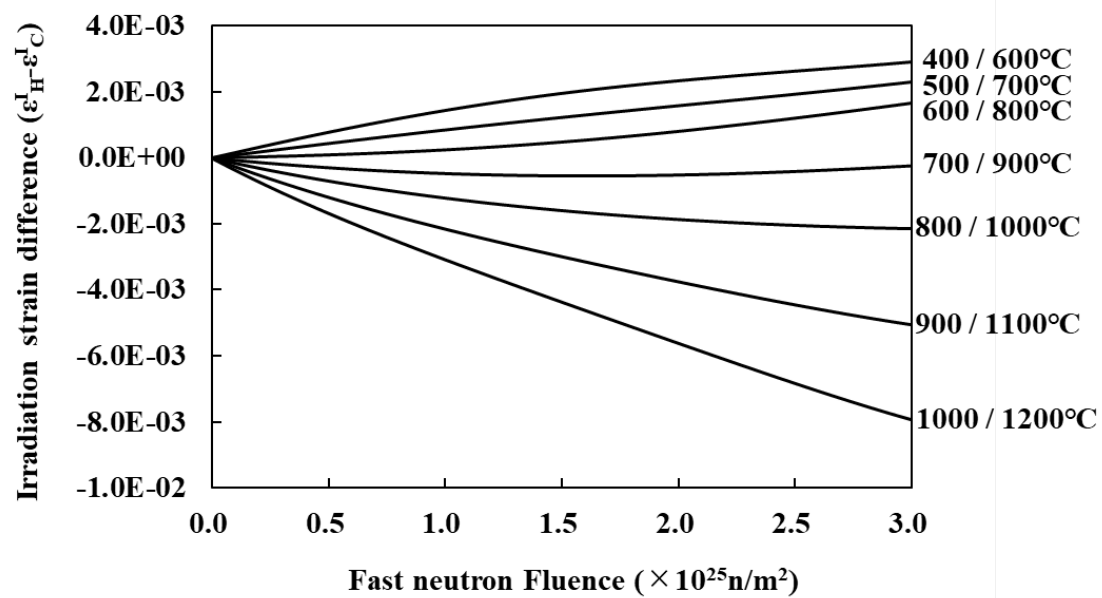


Fig.3.29 Irradiation strain difference of each analysis cases

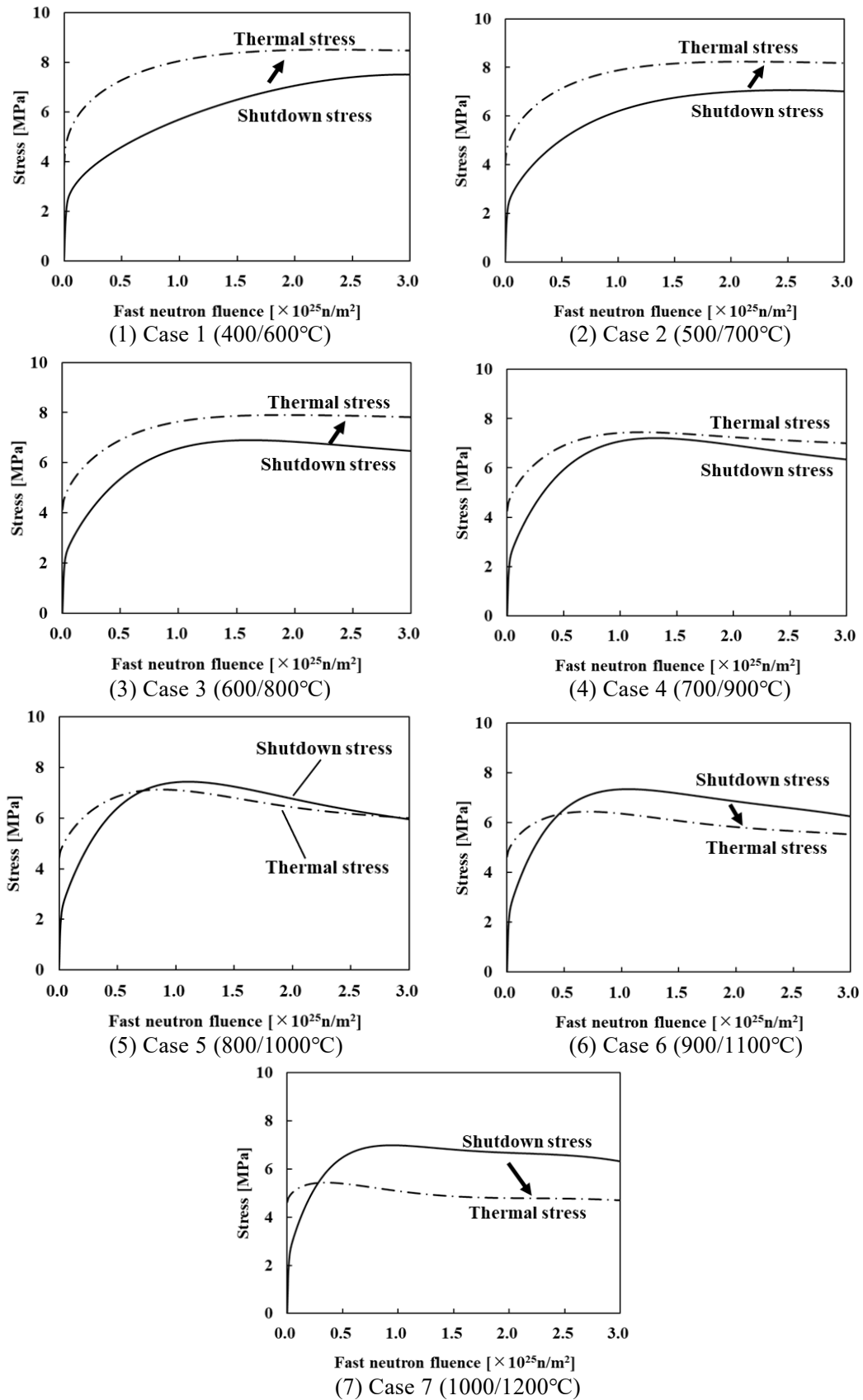
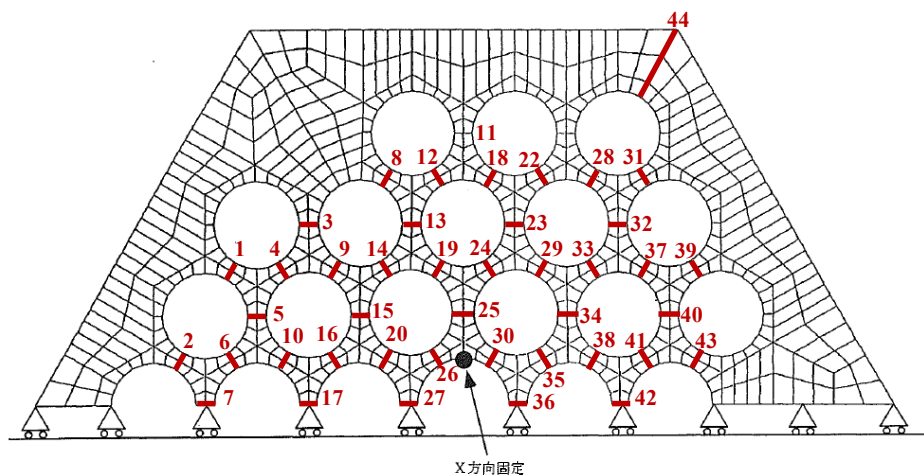
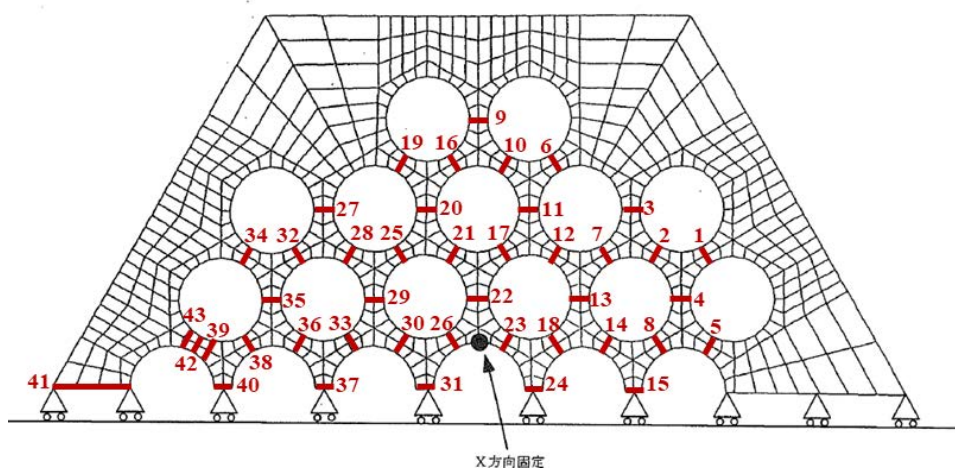


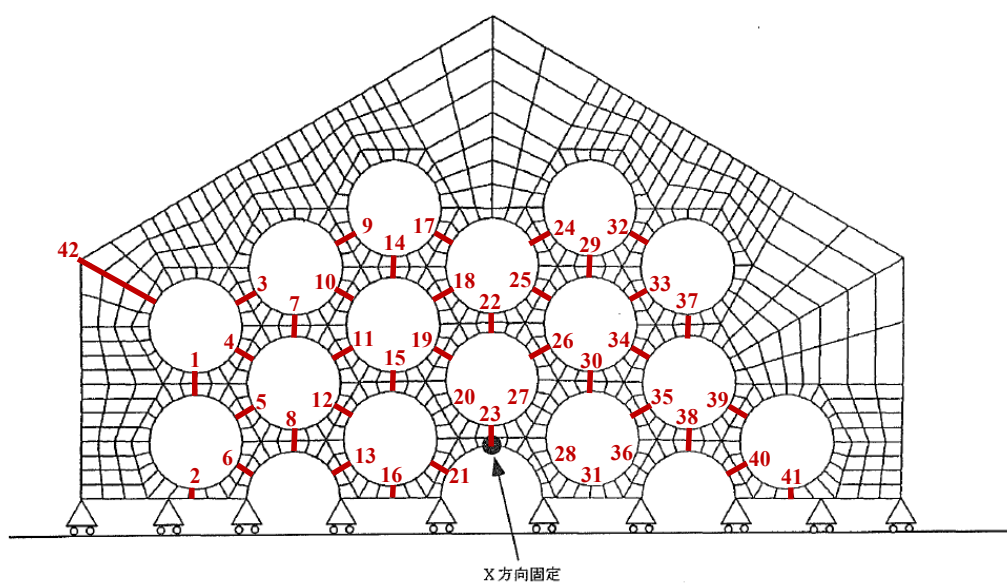
Fig.3.30 Behaviors of shutdown stress and thermal stress



(1) F1 column

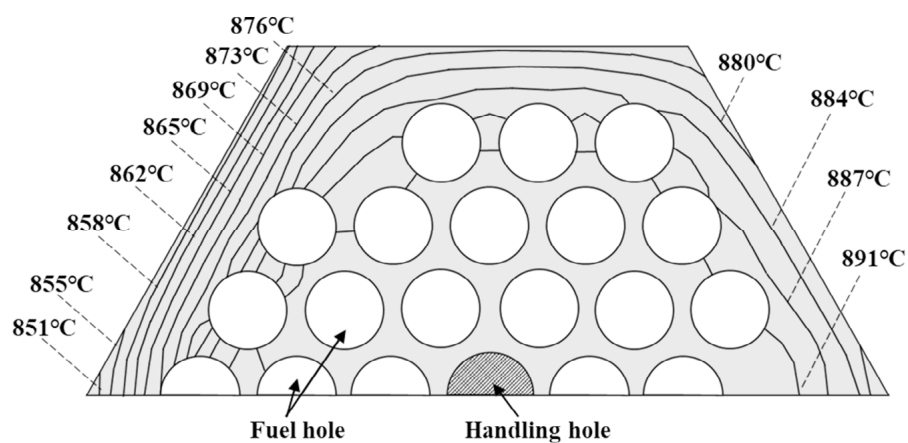


(2) F4 column

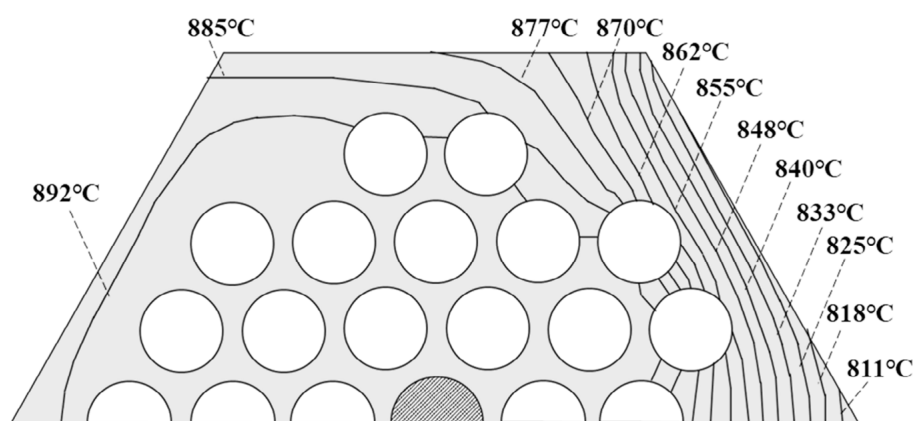


(3) F5 column

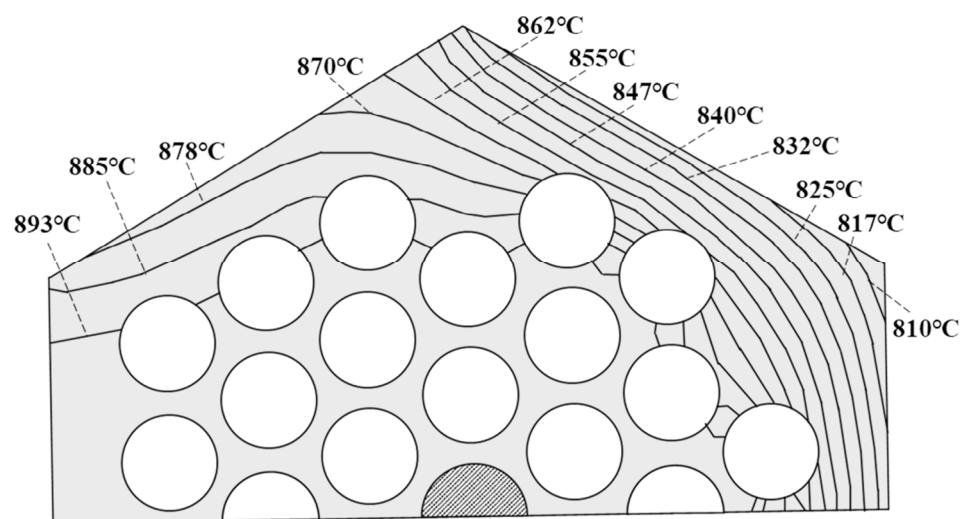
Fig.3.31 Cross section of stress evaluation by VIENUS code<sup>11)</sup>



(1) F1L3C00

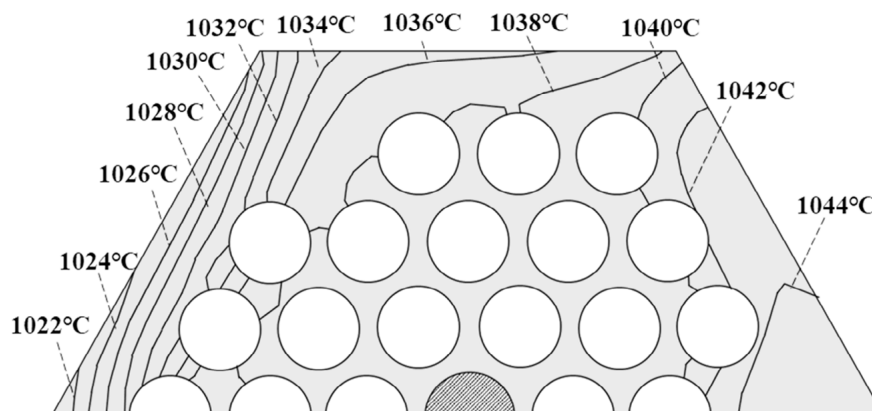


(2) F4L3C00

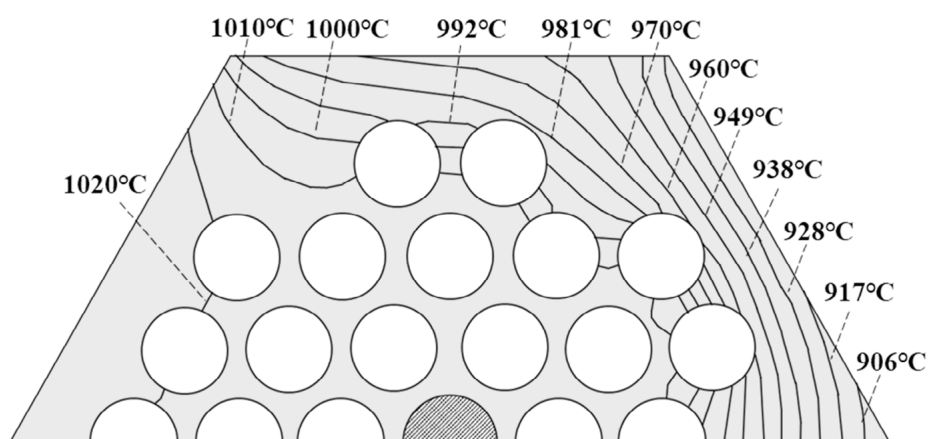


(3) F5L3C00

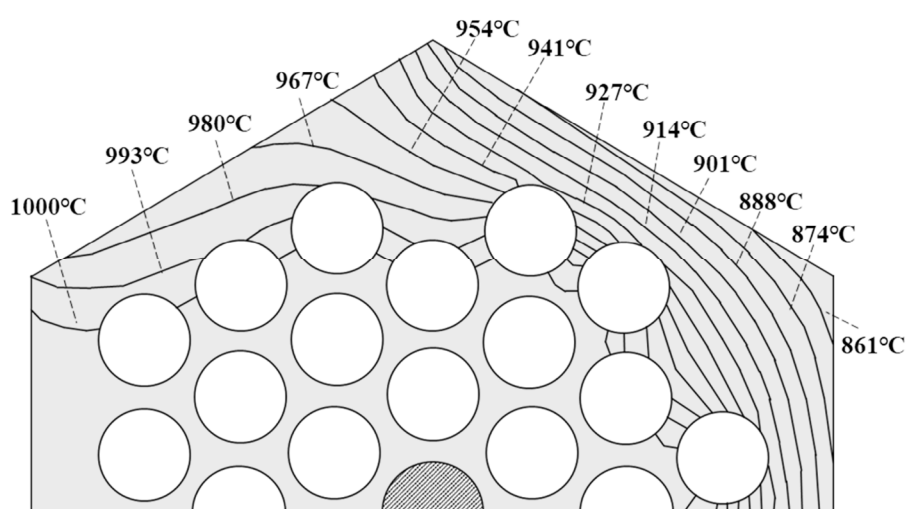
Fig.3.32 Temperature distribution in the cross-section of the fuel block (1/2)<sup>11)</sup>



(4) F1L5C00

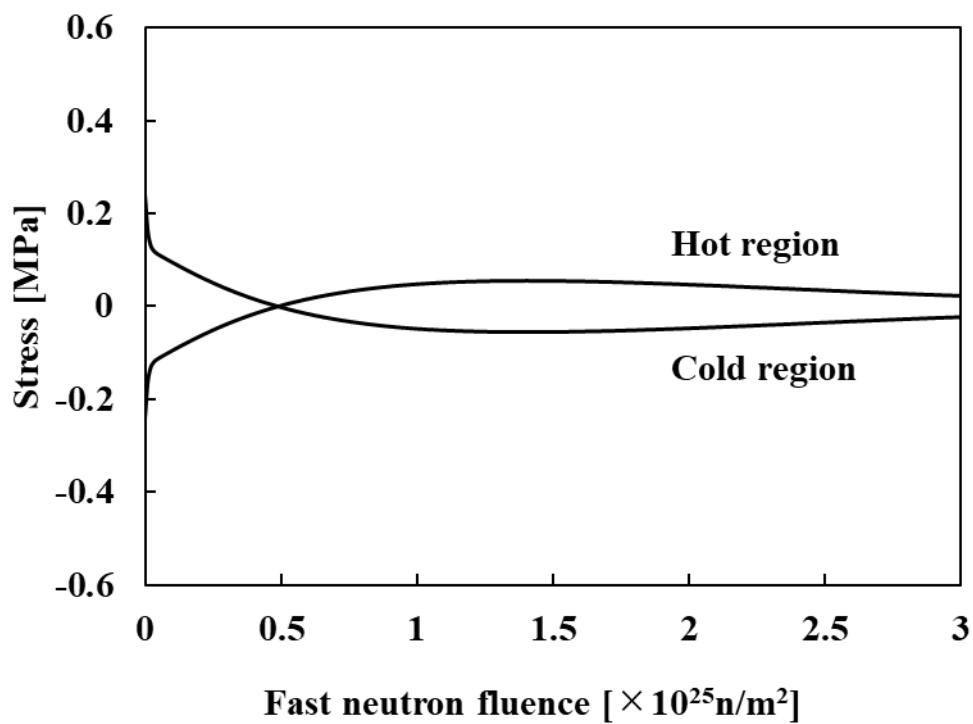


(5) F4L5C00

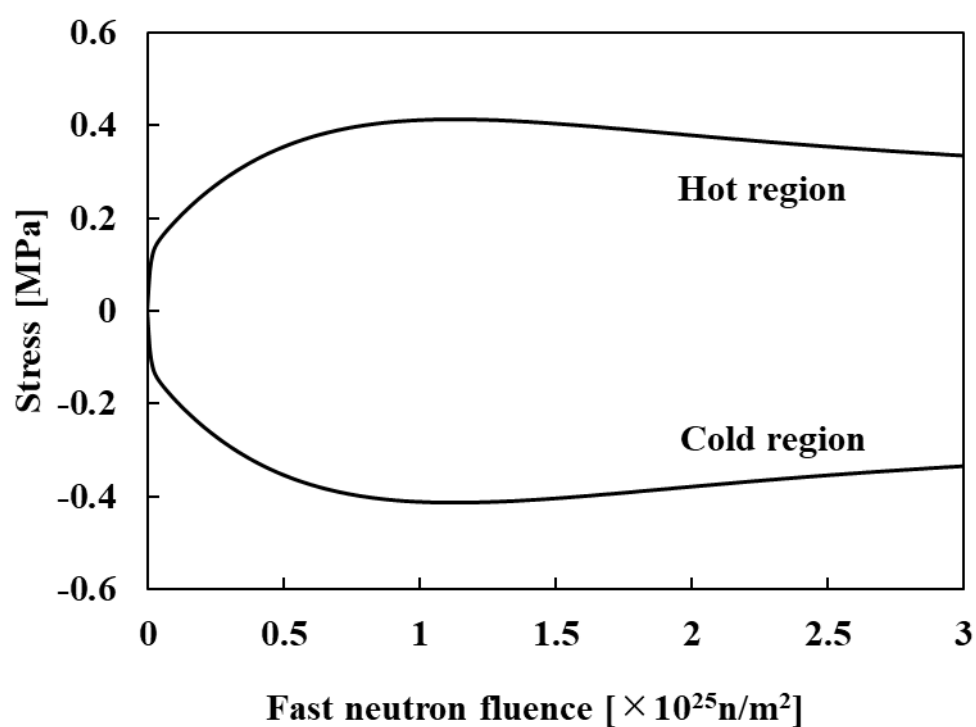


(6) F5L5C00

Fig.3.32 Temperature distribution in the cross-section of the fuel block (2/2) <sup>11)</sup>



(1) Operational stress



(2) Shutdown stress

Fig.3.33 Operational stress and shutdown stress of F1L3C00 by simplified viscoelastic evaluation model

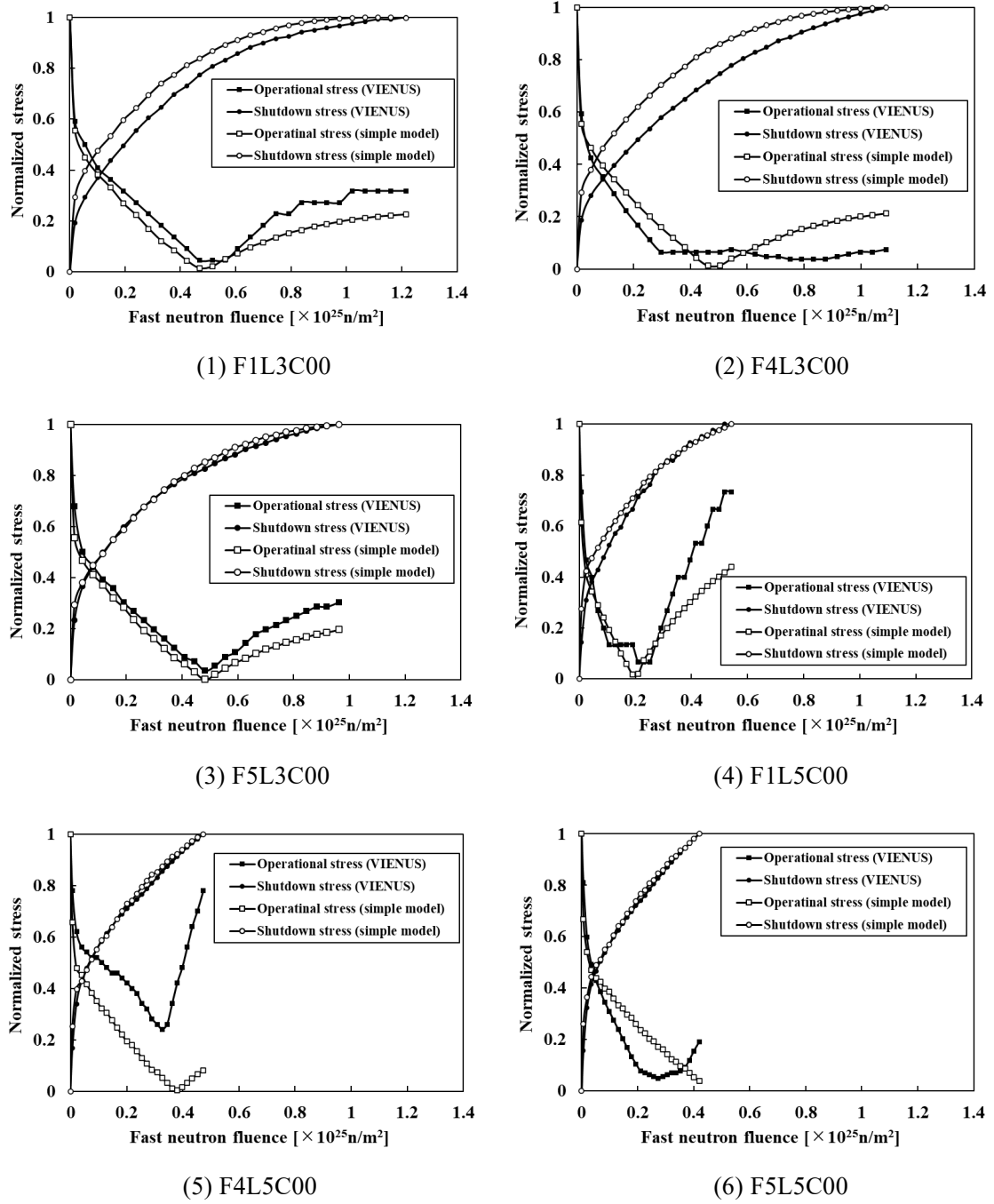


Fig.3.34 Normalized stress behaviors of VIENUS and simplified viscoelastic evaluation model

This is a blank page.



## Appendix

- Appendix 1 Analysis results in case1
- Appendix 2 Analysis results in case2
- Appendix 3 Analysis results in case3
- Appendix 4 Analysis results in case4
- Appendix 5 Analysis results in case5
- Appendix 6 Analysis results in case6
- Appendix 7 Analysis results in case7
- Appendix 8 Parametric analysis in case2 and case7
- Appendix 9 Analysis results of maximum tensile stress in F1L3C00
- Appendix 10 Analysis results of maximum tensile stress in F4L3C00
- Appendix 11 Analysis results of maximum tensile stress in F5L3C00
- Appendix 12 Analysis results of maximum tensile stress in F1L5C00
- Appendix 13 Analysis results of maximum tensile stress in F4L5C00
- Appendix 14 Analysis results of maximum tensile stress in F5L5C00

This is a blank page.

Appendix 1 Analysis results in case1 (1/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.00	-3.80	3.80	0.00	0.00	-4.69E-04	4.77E-04	0.00E+00	0.00E+00
0.01	-3.16	3.16	1.34	-1.34	-3.56E-04	3.07E-04	1.54E-04	-1.31E-04
0.02	-2.67	2.67	2.08	-2.08	-2.90E-04	2.42E-04	2.30E-04	-1.89E-04
0.03	-2.52	2.52	2.40	-2.40	-2.67E-04	2.18E-04	2.59E-04	-2.08E-04
0.04	-2.50	2.50	2.58	-2.58	-2.58E-04	2.09E-04	2.72E-04	-2.16E-04
0.05	-2.51	2.51	2.70	-2.70	-2.54E-04	2.04E-04	2.79E-04	-2.20E-04
0.06	-2.52	2.52	2.79	-2.79	-2.52E-04	2.01E-04	2.84E-04	-2.23E-04
0.07	-2.54	2.54	2.87	-2.87	-2.49E-04	1.98E-04	2.88E-04	-2.25E-04
0.08	-2.55	2.55	2.95	-2.95	-2.47E-04	1.97E-04	2.91E-04	-2.28E-04
0.09	-2.57	2.57	3.02	-3.02	-2.46E-04	1.95E-04	2.95E-04	-2.30E-04
0.10	-2.58	2.58	3.09	-3.09	-2.44E-04	1.94E-04	2.97E-04	-2.32E-04
0.11	-2.59	2.59	3.15	-3.15	-2.42E-04	1.92E-04	3.00E-04	-2.34E-04
0.12	-2.60	2.60	3.21	-3.21	-2.41E-04	1.91E-04	3.02E-04	-2.36E-04
0.13	-2.61	2.61	3.26	-3.26	-2.40E-04	1.90E-04	3.05E-04	-2.38E-04
0.14	-2.62	2.62	3.31	-3.31	-2.38E-04	1.89E-04	3.07E-04	-2.40E-04
0.15	-2.63	2.63	3.37	-3.37	-2.37E-04	1.89E-04	3.09E-04	-2.42E-04
0.16	-2.64	2.64	3.41	-3.41	-2.36E-04	1.88E-04	3.11E-04	-2.44E-04
0.17	-2.65	2.65	3.46	-3.46	-2.34E-04	1.87E-04	3.13E-04	-2.46E-04
0.18	-2.65	2.65	3.51	-3.51	-2.33E-04	1.87E-04	3.15E-04	-2.48E-04
0.19	-2.66	2.66	3.55	-3.55	-2.32E-04	1.86E-04	3.16E-04	-2.49E-04
0.20	-2.66	2.66	3.60	-3.60	-2.31E-04	1.85E-04	3.18E-04	-2.51E-04
0.21	-2.67	2.67	3.64	-3.64	-2.30E-04	1.85E-04	3.20E-04	-2.53E-04
0.22	-2.67	2.67	3.68	-3.68	-2.29E-04	1.84E-04	3.21E-04	-2.55E-04
0.23	-2.67	2.67	3.72	-3.72	-2.28E-04	1.84E-04	3.23E-04	-2.56E-04
0.24	-2.68	2.68	3.76	-3.76	-2.27E-04	1.83E-04	3.24E-04	-2.58E-04
0.25	-2.68	2.68	3.80	-3.80	-2.26E-04	1.83E-04	3.26E-04	-2.60E-04
0.26	-2.68	2.68	3.84	-3.84	-2.25E-04	1.82E-04	3.27E-04	-2.61E-04
0.27	-2.68	2.68	3.87	-3.87	-2.23E-04	1.81E-04	3.29E-04	-2.63E-04
0.28	-2.68	2.68	3.91	-3.91	-2.23E-04	1.81E-04	3.30E-04	-2.64E-04
0.29	-2.69	2.69	3.94	-3.94	-2.22E-04	1.80E-04	3.32E-04	-2.66E-04
0.30	-2.69	2.69	3.98	-3.98	-2.21E-04	1.80E-04	3.33E-04	-2.67E-04
0.31	-2.69	2.69	4.01	-4.01	-2.20E-04	1.79E-04	3.35E-04	-2.69E-04
0.32	-2.69	2.69	4.05	-4.05	-2.19E-04	1.79E-04	3.36E-04	-2.71E-04
0.33	-2.69	2.69	4.08	-4.08	-2.18E-04	1.78E-04	3.37E-04	-2.72E-04
0.34	-2.69	2.69	4.11	-4.11	-2.17E-04	1.78E-04	3.39E-04	-2.74E-04
0.35	-2.68	2.68	4.15	-4.15	-2.16E-04	1.77E-04	3.40E-04	-2.75E-04
0.36	-2.68	2.68	4.18	-4.18	-2.15E-04	1.77E-04	3.41E-04	-2.76E-04
0.37	-2.68	2.68	4.21	-4.21	-2.14E-04	1.76E-04	3.43E-04	-2.78E-04
0.38	-2.68	2.68	4.24	-4.24	-2.13E-04	1.76E-04	3.44E-04	-2.79E-04
0.39	-2.68	2.68	4.27	-4.27	-2.12E-04	1.75E-04	3.45E-04	-2.81E-04
0.40	-2.68	2.68	4.30	-4.30	-2.11E-04	1.75E-04	3.46E-04	-2.82E-04

Appendix 1 Analysis results in case1 (2/8)

Fluence ( $\times 10^{25}$ n/m <sup>2</sup> )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.41	-2.67	2.67	4.33	-4.33	-2.10E-04	1.74E-04	3.48E-04	-2.84E-04
0.42	-2.67	2.67	4.36	-4.36	-2.10E-04	1.74E-04	3.49E-04	-2.85E-04
0.43	-2.67	2.67	4.39	-4.39	-2.09E-04	1.73E-04	3.50E-04	-2.86E-04
0.44	-2.66	2.66	4.42	-4.42	-2.08E-04	1.73E-04	3.51E-04	-2.88E-04
0.45	-2.66	2.66	4.45	-4.45	-2.07E-04	1.72E-04	3.53E-04	-2.89E-04
0.46	-2.66	2.66	4.48	-4.48	-2.06E-04	1.72E-04	3.54E-04	-2.90E-04
0.47	-2.65	2.65	4.50	-4.50	-2.05E-04	1.71E-04	3.55E-04	-2.92E-04
0.48	-2.65	2.65	4.53	-4.53	-2.04E-04	1.71E-04	3.56E-04	-2.93E-04
0.49	-2.65	2.65	4.56	-4.56	-2.04E-04	1.70E-04	3.58E-04	-2.94E-04
0.50	-2.64	2.64	4.59	-4.59	-2.03E-04	1.70E-04	3.59E-04	-2.95E-04
0.51	-2.64	2.64	4.61	-4.61	-2.02E-04	1.69E-04	3.60E-04	-2.97E-04
0.52	-2.63	2.63	4.64	-4.64	-2.01E-04	1.69E-04	3.61E-04	-2.98E-04
0.53	-2.63	2.63	4.66	-4.66	-2.00E-04	1.68E-04	3.62E-04	-2.99E-04
0.54	-2.62	2.62	4.69	-4.69	-1.99E-04	1.68E-04	3.63E-04	-3.00E-04
0.55	-2.62	2.62	4.72	-4.72	-1.99E-04	1.67E-04	3.65E-04	-3.02E-04
0.56	-2.61	2.61	4.74	-4.74	-1.98E-04	1.66E-04	3.66E-04	-3.03E-04
0.57	-2.61	2.61	4.77	-4.77	-1.97E-04	1.66E-04	3.67E-04	-3.04E-04
0.58	-2.60	2.60	4.79	-4.79	-1.96E-04	1.65E-04	3.68E-04	-3.05E-04
0.59	-2.60	2.60	4.82	-4.82	-1.95E-04	1.65E-04	3.69E-04	-3.06E-04
0.60	-2.59	2.59	4.84	-4.84	-1.94E-04	1.64E-04	3.70E-04	-3.08E-04
0.61	-2.59	2.59	4.87	-4.87	-1.94E-04	1.64E-04	3.72E-04	-3.09E-04
0.62	-2.58	2.58	4.89	-4.89	-1.93E-04	1.63E-04	3.73E-04	-3.10E-04
0.63	-2.57	2.57	4.92	-4.92	-1.92E-04	1.62E-04	3.74E-04	-3.11E-04
0.64	-2.57	2.57	4.94	-4.94	-1.91E-04	1.62E-04	3.75E-04	-3.12E-04
0.65	-2.56	2.56	4.96	-4.96	-1.90E-04	1.61E-04	3.76E-04	-3.13E-04
0.66	-2.56	2.56	4.99	-4.99	-1.90E-04	1.61E-04	3.77E-04	-3.14E-04
0.67	-2.55	2.55	5.01	-5.01	-1.89E-04	1.60E-04	3.78E-04	-3.16E-04
0.68	-2.54	2.54	5.03	-5.03	-1.88E-04	1.59E-04	3.79E-04	-3.17E-04
0.69	-2.54	2.54	5.06	-5.06	-1.87E-04	1.59E-04	3.81E-04	-3.18E-04
0.70	-2.53	2.53	5.08	-5.08	-1.86E-04	1.58E-04	3.82E-04	-3.19E-04
0.71	-2.52	2.52	5.10	-5.10	-1.85E-04	1.58E-04	3.83E-04	-3.20E-04
0.72	-2.51	2.51	5.12	-5.12	-1.85E-04	1.57E-04	3.84E-04	-3.21E-04
0.73	-2.51	2.51	5.15	-5.15	-1.84E-04	1.56E-04	3.85E-04	-3.22E-04
0.74	-2.50	2.50	5.17	-5.17	-1.83E-04	1.56E-04	3.86E-04	-3.23E-04
0.75	-2.49	2.49	5.19	-5.19	-1.82E-04	1.55E-04	3.87E-04	-3.24E-04
0.76	-2.49	2.49	5.21	-5.21	-1.82E-04	1.55E-04	3.88E-04	-3.25E-04
0.77	-2.48	2.48	5.23	-5.23	-1.81E-04	1.54E-04	3.89E-04	-3.26E-04
0.78	-2.47	2.47	5.26	-5.26	-1.80E-04	1.53E-04	3.90E-04	-3.27E-04
0.79	-2.46	2.46	5.28	-5.28	-1.79E-04	1.53E-04	3.91E-04	-3.28E-04
0.80	-2.46	2.46	5.30	-5.30	-1.78E-04	1.52E-04	3.92E-04	-3.29E-04

Appendix 1 Analysis results in case1 (3/8)

Fluence ( $\times 10^{25} \text{ n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.81	-2.45	2.45	5.32	-5.32	-1.78E-04	1.51E-04	3.93E-04	-3.30E-04
0.82	-2.44	2.44	5.34	-5.34	-1.77E-04	1.51E-04	3.94E-04	-3.31E-04
0.83	-2.43	2.43	5.36	-5.36	-1.76E-04	1.50E-04	3.96E-04	-3.32E-04
0.84	-2.42	2.42	5.38	-5.38	-1.75E-04	1.50E-04	3.97E-04	-3.33E-04
0.85	-2.42	2.42	5.40	-5.40	-1.74E-04	1.49E-04	3.98E-04	-3.34E-04
0.86	-2.41	2.41	5.42	-5.42	-1.74E-04	1.48E-04	3.99E-04	-3.35E-04
0.87	-2.40	2.40	5.44	-5.44	-1.73E-04	1.48E-04	4.00E-04	-3.36E-04
0.88	-2.39	2.39	5.46	-5.46	-1.72E-04	1.47E-04	4.01E-04	-3.37E-04
0.89	-2.38	2.38	5.48	-5.48	-1.71E-04	1.46E-04	4.02E-04	-3.38E-04
0.90	-2.37	2.37	5.50	-5.50	-1.70E-04	1.46E-04	4.03E-04	-3.39E-04
0.91	-2.37	2.37	5.52	-5.52	-1.70E-04	1.45E-04	4.04E-04	-3.40E-04
0.92	-2.36	2.36	5.54	-5.54	-1.69E-04	1.44E-04	4.05E-04	-3.40E-04
0.93	-2.35	2.35	5.56	-5.56	-1.68E-04	1.44E-04	4.06E-04	-3.41E-04
0.94	-2.34	2.34	5.58	-5.58	-1.67E-04	1.43E-04	4.07E-04	-3.42E-04
0.95	-2.33	2.33	5.60	-5.60	-1.67E-04	1.42E-04	4.08E-04	-3.43E-04
0.96	-2.32	2.32	5.62	-5.62	-1.66E-04	1.42E-04	4.09E-04	-3.44E-04
0.97	-2.31	2.31	5.64	-5.64	-1.65E-04	1.41E-04	4.10E-04	-3.45E-04
0.98	-2.31	2.31	5.66	-5.66	-1.64E-04	1.41E-04	4.11E-04	-3.46E-04
0.99	-2.30	2.30	5.68	-5.68	-1.63E-04	1.40E-04	4.12E-04	-3.47E-04
1.00	-2.29	2.29	5.69	-5.69	-1.63E-04	1.39E-04	4.13E-04	-3.47E-04
1.01	-2.28	2.28	5.71	-5.71	-1.62E-04	1.39E-04	4.14E-04	-3.48E-04
1.02	-2.27	2.27	5.73	-5.73	-1.61E-04	1.38E-04	4.15E-04	-3.49E-04
1.03	-2.26	2.26	5.75	-5.75	-1.60E-04	1.37E-04	4.16E-04	-3.50E-04
1.04	-2.25	2.25	5.77	-5.77	-1.60E-04	1.37E-04	4.17E-04	-3.51E-04
1.05	-2.24	2.24	5.78	-5.78	-1.59E-04	1.36E-04	4.18E-04	-3.52E-04
1.06	-2.23	2.23	5.80	-5.80	-1.58E-04	1.35E-04	4.19E-04	-3.52E-04
1.07	-2.22	2.22	5.82	-5.82	-1.57E-04	1.35E-04	4.20E-04	-3.53E-04
1.08	-2.22	2.22	5.84	-5.84	-1.56E-04	1.34E-04	4.20E-04	-3.54E-04
1.09	-2.21	2.21	5.86	-5.86	-1.56E-04	1.33E-04	4.21E-04	-3.55E-04
1.10	-2.20	2.20	5.87	-5.87	-1.55E-04	1.33E-04	4.22E-04	-3.56E-04
1.11	-2.19	2.19	5.89	-5.89	-1.54E-04	1.32E-04	4.23E-04	-3.56E-04
1.12	-2.18	2.18	5.91	-5.91	-1.53E-04	1.31E-04	4.24E-04	-3.57E-04
1.13	-2.17	2.17	5.92	-5.92	-1.53E-04	1.31E-04	4.25E-04	-3.58E-04
1.14	-2.16	2.16	5.94	-5.94	-1.52E-04	1.30E-04	4.26E-04	-3.59E-04
1.15	-2.15	2.15	5.96	-5.96	-1.51E-04	1.29E-04	4.27E-04	-3.60E-04
1.16	-2.14	2.14	5.98	-5.98	-1.50E-04	1.29E-04	4.28E-04	-3.60E-04
1.17	-2.13	2.13	5.99	-5.99	-1.50E-04	1.28E-04	4.29E-04	-3.61E-04
1.18	-2.12	2.12	6.01	-6.01	-1.49E-04	1.27E-04	4.30E-04	-3.62E-04
1.19	-2.11	2.11	6.02	-6.02	-1.48E-04	1.27E-04	4.31E-04	-3.63E-04
1.20	-2.10	2.10	6.04	-6.04	-1.47E-04	1.26E-04	4.32E-04	-3.63E-04

Appendix 1 Analysis results in case1 (4/8)

Fluence ( $\times 10^{25} \text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.21	-2.09	2.09	6.06	-6.06	-1.47E-04	1.25E-04	4.32E-04	-3.64E-04
1.22	-2.08	2.08	6.07	-6.07	-1.46E-04	1.25E-04	4.33E-04	-3.65E-04
1.23	-2.07	2.07	6.09	-6.09	-1.45E-04	1.24E-04	4.34E-04	-3.65E-04
1.24	-2.06	2.06	6.11	-6.11	-1.44E-04	1.23E-04	4.35E-04	-3.66E-04
1.25	-2.05	2.05	6.12	-6.12	-1.43E-04	1.23E-04	4.36E-04	-3.67E-04
1.26	-2.05	2.05	6.14	-6.14	-1.43E-04	1.22E-04	4.37E-04	-3.68E-04
1.27	-2.04	2.04	6.15	-6.15	-1.42E-04	1.21E-04	4.38E-04	-3.68E-04
1.28	-2.03	2.03	6.17	-6.17	-1.41E-04	1.21E-04	4.39E-04	-3.69E-04
1.29	-2.02	2.02	6.18	-6.18	-1.40E-04	1.20E-04	4.40E-04	-3.70E-04
1.30	-2.01	2.01	6.20	-6.20	-1.40E-04	1.19E-04	4.40E-04	-3.70E-04
1.31	-2.00	2.00	6.21	-6.21	-1.39E-04	1.19E-04	4.41E-04	-3.71E-04
1.32	-1.99	1.99	6.23	-6.23	-1.38E-04	1.18E-04	4.42E-04	-3.72E-04
1.33	-1.98	1.98	6.24	-6.24	-1.37E-04	1.18E-04	4.43E-04	-3.72E-04
1.34	-1.97	1.97	6.26	-6.26	-1.37E-04	1.17E-04	4.44E-04	-3.73E-04
1.35	-1.96	1.96	6.27	-6.27	-1.36E-04	1.16E-04	4.45E-04	-3.74E-04
1.36	-1.95	1.95	6.29	-6.29	-1.35E-04	1.16E-04	4.45E-04	-3.74E-04
1.37	-1.94	1.94	6.30	-6.30	-1.35E-04	1.15E-04	4.46E-04	-3.75E-04
1.38	-1.93	1.93	6.32	-6.32	-1.34E-04	1.14E-04	4.47E-04	-3.76E-04
1.39	-1.92	1.92	6.33	-6.33	-1.33E-04	1.14E-04	4.48E-04	-3.76E-04
1.40	-1.91	1.91	6.35	-6.35	-1.32E-04	1.13E-04	4.49E-04	-3.77E-04
1.41	-1.90	1.90	6.36	-6.36	-1.32E-04	1.12E-04	4.50E-04	-3.78E-04
1.42	-1.89	1.89	6.38	-6.38	-1.31E-04	1.12E-04	4.50E-04	-3.78E-04
1.43	-1.88	1.88	6.39	-6.39	-1.30E-04	1.11E-04	4.51E-04	-3.79E-04
1.44	-1.87	1.87	6.40	-6.40	-1.29E-04	1.10E-04	4.52E-04	-3.80E-04
1.45	-1.86	1.86	6.42	-6.42	-1.29E-04	1.10E-04	4.53E-04	-3.80E-04
1.46	-1.85	1.85	6.43	-6.43	-1.28E-04	1.09E-04	4.54E-04	-3.81E-04
1.47	-1.84	1.84	6.45	-6.45	-1.27E-04	1.09E-04	4.54E-04	-3.81E-04
1.48	-1.83	1.83	6.46	-6.46	-1.26E-04	1.08E-04	4.55E-04	-3.82E-04
1.49	-1.82	1.82	6.47	-6.47	-1.26E-04	1.07E-04	4.56E-04	-3.83E-04
1.50	-1.81	1.81	6.49	-6.49	-1.25E-04	1.07E-04	4.57E-04	-3.83E-04
1.51	-1.80	1.80	6.50	-6.50	-1.24E-04	1.06E-04	4.57E-04	-3.84E-04
1.52	-1.79	1.79	6.51	-6.51	-1.24E-04	1.05E-04	4.58E-04	-3.84E-04
1.53	-1.78	1.78	6.53	-6.53	-1.23E-04	1.05E-04	4.59E-04	-3.85E-04
1.54	-1.77	1.77	6.54	-6.54	-1.22E-04	1.04E-04	4.60E-04	-3.86E-04
1.55	-1.76	1.76	6.55	-6.55	-1.21E-04	1.04E-04	4.60E-04	-3.86E-04
1.56	-1.75	1.75	6.57	-6.57	-1.21E-04	1.03E-04	4.61E-04	-3.87E-04
1.57	-1.74	1.74	6.58	-6.58	-1.20E-04	1.02E-04	4.62E-04	-3.87E-04
1.58	-1.73	1.73	6.59	-6.59	-1.19E-04	1.02E-04	4.63E-04	-3.88E-04
1.59	-1.72	1.72	6.60	-6.60	-1.19E-04	1.01E-04	4.63E-04	-3.88E-04
1.60	-1.72	1.72	6.62	-6.62	-1.18E-04	1.01E-04	4.64E-04	-3.89E-04

Appendix 1 Analysis results in case1 (5/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.61	-1.71	1.71	6.63	-6.63	-1.17E-04	9.99E-05	4.65E-04	-3.90E-04
1.62	-1.70	1.70	6.64	-6.64	-1.17E-04	9.93E-05	4.66E-04	-3.90E-04
1.63	-1.69	1.69	6.65	-6.65	-1.16E-04	9.87E-05	4.66E-04	-3.91E-04
1.64	-1.68	1.68	6.67	-6.67	-1.15E-04	9.81E-05	4.67E-04	-3.91E-04
1.65	-1.67	1.67	6.68	-6.68	-1.14E-04	9.75E-05	4.68E-04	-3.92E-04
1.66	-1.66	1.66	6.69	-6.69	-1.14E-04	9.69E-05	4.68E-04	-3.92E-04
1.67	-1.65	1.65	6.70	-6.70	-1.13E-04	9.63E-05	4.69E-04	-3.93E-04
1.68	-1.64	1.64	6.71	-6.71	-1.12E-04	9.57E-05	4.70E-04	-3.93E-04
1.69	-1.63	1.63	6.73	-6.73	-1.12E-04	9.51E-05	4.70E-04	-3.94E-04
1.70	-1.62	1.62	6.74	-6.74	-1.11E-04	9.45E-05	4.71E-04	-3.94E-04
1.71	-1.61	1.61	6.75	-6.75	-1.10E-04	9.39E-05	4.72E-04	-3.95E-04
1.72	-1.60	1.60	6.76	-6.76	-1.10E-04	9.34E-05	4.72E-04	-3.95E-04
1.73	-1.59	1.59	6.77	-6.77	-1.09E-04	9.28E-05	4.73E-04	-3.96E-04
1.74	-1.58	1.58	6.78	-6.78	-1.08E-04	9.22E-05	4.74E-04	-3.96E-04
1.75	-1.57	1.57	6.80	-6.80	-1.08E-04	9.16E-05	4.74E-04	-3.97E-04
1.76	-1.56	1.56	6.81	-6.81	-1.07E-04	9.11E-05	4.75E-04	-3.97E-04
1.77	-1.56	1.56	6.82	-6.82	-1.06E-04	9.05E-05	4.76E-04	-3.98E-04
1.78	-1.55	1.55	6.83	-6.83	-1.06E-04	8.99E-05	4.76E-04	-3.98E-04
1.79	-1.54	1.54	6.84	-6.84	-1.05E-04	8.94E-05	4.77E-04	-3.99E-04
1.80	-1.53	1.53	6.85	-6.85	-1.04E-04	8.88E-05	4.78E-04	-3.99E-04
1.81	-1.52	1.52	6.86	-6.86	-1.04E-04	8.82E-05	4.78E-04	-4.00E-04
1.82	-1.51	1.51	6.87	-6.87	-1.03E-04	8.77E-05	4.79E-04	-4.00E-04
1.83	-1.50	1.50	6.88	-6.88	-1.03E-04	8.71E-05	4.79E-04	-4.01E-04
1.84	-1.49	1.49	6.89	-6.89	-1.02E-04	8.66E-05	4.80E-04	-4.01E-04
1.85	-1.48	1.48	6.90	-6.90	-1.01E-04	8.60E-05	4.81E-04	-4.02E-04
1.86	-1.47	1.47	6.91	-6.91	-1.01E-04	8.55E-05	4.81E-04	-4.02E-04
1.87	-1.47	1.47	6.92	-6.92	-1.00E-04	8.49E-05	4.82E-04	-4.03E-04
1.88	-1.46	1.46	6.93	-6.93	-9.93E-05	8.44E-05	4.82E-04	-4.03E-04
1.89	-1.45	1.45	6.94	-6.94	-9.87E-05	8.39E-05	4.83E-04	-4.04E-04
1.90	-1.44	1.44	6.95	-6.95	-9.81E-05	8.33E-05	4.84E-04	-4.04E-04
1.91	-1.43	1.43	6.96	-6.96	-9.75E-05	8.28E-05	4.84E-04	-4.04E-04
1.92	-1.42	1.42	6.97	-6.97	-9.69E-05	8.23E-05	4.85E-04	-4.05E-04
1.93	-1.41	1.41	6.98	-6.98	-9.63E-05	8.17E-05	4.85E-04	-4.05E-04
1.94	-1.40	1.40	6.99	-6.99	-9.56E-05	8.12E-05	4.86E-04	-4.06E-04
1.95	-1.40	1.40	7.00	-7.00	-9.50E-05	8.07E-05	4.86E-04	-4.06E-04
1.96	-1.39	1.39	7.01	-7.01	-9.44E-05	8.02E-05	4.87E-04	-4.07E-04
1.97	-1.38	1.38	7.02	-7.02	-9.38E-05	7.97E-05	4.87E-04	-4.07E-04
1.98	-1.37	1.37	7.03	-7.03	-9.33E-05	7.92E-05	4.88E-04	-4.07E-04
1.99	-1.36	1.36	7.04	-7.04	-9.27E-05	7.87E-05	4.88E-04	-4.08E-04
2.00	-1.35	1.35	7.05	-7.05	-9.21E-05	7.82E-05	4.89E-04	-4.08E-04



Appendix 1 Analysis results in case1 (6/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.01	-1.35	1.35	7.06	-7.06	-9.15E-05	7.77E-05	4.89E-04	-4.09E-04
2.02	-1.34	1.34	7.07	-7.07	-9.09E-05	7.72E-05	4.90E-04	-4.09E-04
2.03	-1.33	1.33	7.08	-7.08	-9.03E-05	7.67E-05	4.90E-04	-4.09E-04
2.04	-1.32	1.32	7.09	-7.09	-8.98E-05	7.62E-05	4.91E-04	-4.10E-04
2.05	-1.31	1.31	7.09	-7.09	-8.92E-05	7.57E-05	4.91E-04	-4.10E-04
2.06	-1.31	1.31	7.10	-7.10	-8.86E-05	7.52E-05	4.92E-04	-4.11E-04
2.07	-1.30	1.30	7.11	-7.11	-8.81E-05	7.47E-05	4.92E-04	-4.11E-04
2.08	-1.29	1.29	7.12	-7.12	-8.75E-05	7.43E-05	4.93E-04	-4.11E-04
2.09	-1.28	1.28	7.13	-7.13	-8.70E-05	7.38E-05	4.93E-04	-4.12E-04
2.10	-1.27	1.27	7.14	-7.14	-8.64E-05	7.33E-05	4.94E-04	-4.12E-04
2.11	-1.27	1.27	7.15	-7.15	-8.59E-05	7.29E-05	4.94E-04	-4.12E-04
2.12	-1.26	1.26	7.15	-7.15	-8.53E-05	7.24E-05	4.95E-04	-4.13E-04
2.13	-1.25	1.25	7.16	-7.16	-8.48E-05	7.19E-05	4.95E-04	-4.13E-04
2.14	-1.24	1.24	7.17	-7.17	-8.43E-05	7.15E-05	4.96E-04	-4.13E-04
2.15	-1.24	1.24	7.18	-7.18	-8.38E-05	7.10E-05	4.96E-04	-4.14E-04
2.16	-1.23	1.23	7.18	-7.18	-8.32E-05	7.06E-05	4.96E-04	-4.14E-04
2.17	-1.22	1.22	7.19	-7.19	-8.27E-05	7.02E-05	4.97E-04	-4.15E-04
2.18	-1.21	1.21	7.20	-7.20	-8.22E-05	6.97E-05	4.97E-04	-4.15E-04
2.19	-1.21	1.21	7.21	-7.21	-8.17E-05	6.93E-05	4.98E-04	-4.15E-04
2.20	-1.20	1.20	7.21	-7.21	-8.12E-05	6.89E-05	4.98E-04	-4.15E-04
2.21	-1.19	1.19	7.22	-7.22	-8.07E-05	6.84E-05	4.98E-04	-4.16E-04
2.22	-1.19	1.19	7.23	-7.23	-8.02E-05	6.80E-05	4.99E-04	-4.16E-04
2.23	-1.18	1.18	7.24	-7.24	-7.97E-05	6.76E-05	4.99E-04	-4.16E-04
2.24	-1.17	1.17	7.24	-7.24	-7.92E-05	6.72E-05	5.00E-04	-4.17E-04
2.25	-1.16	1.16	7.25	-7.25	-7.87E-05	6.68E-05	5.00E-04	-4.17E-04
2.26	-1.16	1.16	7.26	-7.26	-7.82E-05	6.64E-05	5.00E-04	-4.17E-04
2.27	-1.15	1.15	7.26	-7.26	-7.78E-05	6.60E-05	5.01E-04	-4.18E-04
2.28	-1.14	1.14	7.27	-7.27	-7.73E-05	6.56E-05	5.01E-04	-4.18E-04
2.29	-1.14	1.14	7.28	-7.28	-7.68E-05	6.52E-05	5.01E-04	-4.18E-04
2.30	-1.13	1.13	7.28	-7.28	-7.64E-05	6.48E-05	5.02E-04	-4.19E-04
2.31	-1.12	1.12	7.29	-7.29	-7.59E-05	6.44E-05	5.02E-04	-4.19E-04
2.32	-1.12	1.12	7.30	-7.30	-7.55E-05	6.40E-05	5.02E-04	-4.19E-04
2.33	-1.11	1.11	7.30	-7.30	-7.50E-05	6.36E-05	5.03E-04	-4.19E-04
2.34	-1.11	1.11	7.31	-7.31	-7.46E-05	6.33E-05	5.03E-04	-4.20E-04
2.35	-1.10	1.10	7.32	-7.32	-7.42E-05	6.29E-05	5.03E-04	-4.20E-04
2.36	-1.09	1.09	7.32	-7.32	-7.37E-05	6.25E-05	5.04E-04	-4.20E-04
2.37	-1.09	1.09	7.33	-7.33	-7.33E-05	6.22E-05	5.04E-04	-4.20E-04
2.38	-1.08	1.08	7.33	-7.33	-7.29E-05	6.18E-05	5.04E-04	-4.21E-04
2.39	-1.08	1.08	7.34	-7.34	-7.25E-05	6.15E-05	5.04E-04	-4.21E-04
2.40	-1.07	1.07	7.34	-7.34	-7.21E-05	6.11E-05	5.05E-04	-4.21E-04



Appendix 1 Analysis results in case1 (7/8)

Fluence ( $\times 10^{25} \text{ n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.41	-1.06	1.06	7.35	-7.35	-7.16E-05	6.08E-05	5.05E-04	-4.21E-04
2.42	-1.06	1.06	7.35	-7.35	-7.12E-05	6.04E-05	5.05E-04	-4.22E-04
2.43	-1.05	1.05	7.36	-7.36	-7.09E-05	6.01E-05	5.05E-04	-4.22E-04
2.44	-1.05	1.05	7.37	-7.37	-7.05E-05	5.98E-05	5.06E-04	-4.22E-04
2.45	-1.04	1.04	7.37	-7.37	-7.01E-05	5.95E-05	5.06E-04	-4.22E-04
2.46	-1.04	1.04	7.38	-7.38	-6.97E-05	5.91E-05	5.06E-04	-4.22E-04
2.47	-1.03	1.03	7.38	-7.38	-6.93E-05	5.88E-05	5.06E-04	-4.23E-04
2.48	-1.03	1.03	7.39	-7.39	-6.90E-05	5.85E-05	5.07E-04	-4.23E-04
2.49	-1.02	1.02	7.39	-7.39	-6.86E-05	5.82E-05	5.07E-04	-4.23E-04
2.50	-1.02	1.02	7.39	-7.39	-6.82E-05	5.79E-05	5.07E-04	-4.23E-04
2.51	-1.01	1.01	7.40	-7.40	-6.79E-05	5.76E-05	5.07E-04	-4.23E-04
2.52	-1.01	1.01	7.40	-7.40	-6.76E-05	5.73E-05	5.07E-04	-4.24E-04
2.53	-1.00	1.00	7.41	-7.41	-6.72E-05	5.71E-05	5.08E-04	-4.24E-04
2.54	-1.00	1.00	7.41	-7.41	-6.69E-05	5.68E-05	5.08E-04	-4.24E-04
2.55	-0.99	0.99	7.42	-7.42	-6.66E-05	5.65E-05	5.08E-04	-4.24E-04
2.56	-0.99	0.99	7.42	-7.42	-6.62E-05	5.62E-05	5.08E-04	-4.24E-04
2.57	-0.98	0.98	7.42	-7.42	-6.59E-05	5.60E-05	5.08E-04	-4.24E-04
2.58	-0.98	0.98	7.43	-7.43	-6.56E-05	5.57E-05	5.08E-04	-4.25E-04
2.59	-0.97	0.97	7.43	-7.43	-6.53E-05	5.54E-05	5.09E-04	-4.25E-04
2.60	-0.97	0.97	7.44	-7.44	-6.50E-05	5.52E-05	5.09E-04	-4.25E-04
2.61	-0.96	0.96	7.44	-7.44	-6.47E-05	5.50E-05	5.09E-04	-4.25E-04
2.62	-0.96	0.96	7.44	-7.44	-6.44E-05	5.47E-05	5.09E-04	-4.25E-04
2.63	-0.96	0.96	7.45	-7.45	-6.41E-05	5.45E-05	5.09E-04	-4.25E-04
2.64	-0.95	0.95	7.45	-7.45	-6.39E-05	5.42E-05	5.09E-04	-4.25E-04
2.65	-0.95	0.95	7.45	-7.45	-6.36E-05	5.40E-05	5.09E-04	-4.26E-04
2.66	-0.95	0.95	7.46	-7.46	-6.33E-05	5.38E-05	5.09E-04	-4.26E-04
2.67	-0.94	0.94	7.46	-7.46	-6.31E-05	5.36E-05	5.09E-04	-4.26E-04
2.68	-0.94	0.94	7.46	-7.46	-6.28E-05	5.34E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.69	-0.93	0.93	7.46	-7.46	-6.26E-05	5.32E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.70	-0.93	0.93	7.47	-7.47	-6.23E-05	5.30E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.71	-0.93	0.93	7.47	-7.47	-6.21E-05	5.28E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.72	-0.93	0.93	7.47	-7.47	-6.19E-05	5.26E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.73	-0.92	0.92	7.47	-7.47	-6.17E-05	5.24E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.74	-0.92	0.92	7.48	-7.48	-6.15E-05	5.22E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.75	-0.92	0.92	7.48	-7.48	-6.13E-05	5.21E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.76	-0.91	0.91	7.48	-7.48	-6.11E-05	5.19E-05	5.10E-04	-4.26E-04
2.77	-0.91	0.91	7.48	-7.48	-6.09E-05	5.17E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.78	-0.91	0.91	7.48	-7.48	-6.07E-05	5.16E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.79	-0.91	0.91	7.49	-7.49	-6.05E-05	5.14E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.80	-0.90	0.90	7.49	-7.49	-6.03E-05	5.13E-05	5.10E-04	-4.27E-04

Appendix 1 Analysis results in case1 (8/8)

Fluence ( $\times 10^{25}$ n/m <sup>2</sup> )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.81	-0.90	0.90	7.49	-7.49	-6.02E-05	5.12E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.82	-0.90	0.90	7.49	-7.49	-6.00E-05	5.10E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.83	-0.90	0.90	7.49	-7.49	-5.98E-05	5.09E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.84	-0.89	0.89	7.49	-7.49	-5.97E-05	5.08E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.85	-0.89	0.89	7.50	-7.50	-5.96E-05	5.07E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.86	-0.89	0.89	7.50	-7.50	-5.94E-05	5.06E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.87	-0.89	0.89	7.50	-7.50	-5.93E-05	5.05E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.88	-0.89	0.89	7.50	-7.50	-5.92E-05	5.04E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.89	-0.89	0.89	7.50	-7.50	-5.91E-05	5.03E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.90	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.90E-05	5.02E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.91	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.89E-05	5.01E-05	5.10E-04	-4.27E-04
2.92	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.88E-05	5.00E-05	5.09E-04	-4.27E-04
2.93	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.87E-05	5.00E-05	5.09E-04	-4.27E-04
2.94	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.86E-05	4.99E-05	5.09E-04	-4.27E-04
2.95	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.85E-05	4.98E-05	5.09E-04	-4.26E-04
2.96	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.85E-05	4.98E-05	5.09E-04	-4.26E-04
2.97	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.84E-05	4.98E-05	5.09E-04	-4.26E-04
2.98	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.84E-05	4.97E-05	5.09E-04	-4.26E-04
2.99	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.83E-05	4.97E-05	5.09E-04	-4.26E-04
3.00	-0.88	0.88	7.50	-7.50	-5.83E-05	4.97E-05	5.08E-04	-4.26E-04

Appendix 2 Analysis results in case2 (1/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.00	-3.97	3.97	0.00	0.00	-4.83E-04	4.95E-04	0.00E+00	0.00E+00
0.01	-3.11	3.11	1.38	-1.38	-3.49E-04	3.25E-04	1.61E-04	-1.46E-04
0.02	-2.61	2.61	2.07	-2.07	-2.85E-04	2.58E-04	2.33E-04	-2.07E-04
0.03	-2.45	2.45	2.38	-2.38	-2.61E-04	2.34E-04	2.62E-04	-2.29E-04
0.04	-2.41	2.41	2.55	-2.55	-2.52E-04	2.23E-04	2.76E-04	-2.38E-04
0.05	-2.40	2.40	2.67	-2.67	-2.46E-04	2.17E-04	2.84E-04	-2.44E-04
0.06	-2.39	2.39	2.78	-2.78	-2.42E-04	2.12E-04	2.91E-04	-2.49E-04
0.07	-2.39	2.39	2.87	-2.87	-2.39E-04	2.08E-04	2.96E-04	-2.52E-04
0.08	-2.39	2.39	2.96	-2.96	-2.36E-04	2.05E-04	3.02E-04	-2.56E-04
0.09	-2.38	2.38	3.04	-3.04	-2.33E-04	2.02E-04	3.06E-04	-2.60E-04
0.10	-2.38	2.38	3.11	-3.11	-2.30E-04	1.99E-04	3.11E-04	-2.63E-04
0.11	-2.38	2.38	3.19	-3.19	-2.27E-04	1.97E-04	3.15E-04	-2.66E-04
0.12	-2.37	2.37	3.26	-3.26	-2.25E-04	1.94E-04	3.19E-04	-2.70E-04
0.13	-2.36	2.36	3.33	-3.33	-2.22E-04	1.92E-04	3.23E-04	-2.73E-04
0.14	-2.36	2.36	3.39	-3.39	-2.20E-04	1.90E-04	3.27E-04	-2.76E-04
0.15	-2.35	2.35	3.46	-3.46	-2.17E-04	1.88E-04	3.31E-04	-2.79E-04
0.16	-2.34	2.34	3.52	-3.52	-2.15E-04	1.86E-04	3.34E-04	-2.82E-04
0.17	-2.33	2.33	3.58	-3.58	-2.13E-04	1.84E-04	3.38E-04	-2.84E-04
0.18	-2.32	2.32	3.64	-3.64	-2.11E-04	1.82E-04	3.41E-04	-2.87E-04
0.19	-2.32	2.32	3.69	-3.69	-2.09E-04	1.80E-04	3.44E-04	-2.90E-04
0.20	-2.31	2.31	3.75	-3.75	-2.06E-04	1.78E-04	3.47E-04	-2.93E-04
0.21	-2.30	2.30	3.81	-3.81	-2.04E-04	1.77E-04	3.50E-04	-2.95E-04
0.22	-2.29	2.29	3.86	-3.86	-2.02E-04	1.75E-04	3.53E-04	-2.98E-04
0.23	-2.28	2.28	3.91	-3.91	-2.01E-04	1.73E-04	3.56E-04	-3.01E-04
0.24	-2.27	2.27	3.96	-3.96	-1.99E-04	1.72E-04	3.59E-04	-3.03E-04
0.25	-2.26	2.26	4.01	-4.01	-1.97E-04	1.70E-04	3.62E-04	-3.05E-04
0.26	-2.25	2.25	4.06	-4.06	-1.95E-04	1.69E-04	3.65E-04	-3.08E-04
0.27	-2.24	2.24	4.11	-4.11	-1.93E-04	1.67E-04	3.67E-04	-3.10E-04
0.28	-2.23	2.23	4.16	-4.16	-1.91E-04	1.66E-04	3.70E-04	-3.13E-04
0.29	-2.22	2.22	4.21	-4.21	-1.90E-04	1.64E-04	3.73E-04	-3.15E-04
0.30	-2.21	2.21	4.25	-4.25	-1.88E-04	1.63E-04	3.75E-04	-3.17E-04
0.31	-2.19	2.19	4.30	-4.30	-1.86E-04	1.62E-04	3.78E-04	-3.19E-04
0.32	-2.18	2.18	4.34	-4.34	-1.85E-04	1.60E-04	3.80E-04	-3.22E-04
0.33	-2.17	2.17	4.39	-4.39	-1.83E-04	1.59E-04	3.82E-04	-3.24E-04
0.34	-2.16	2.16	4.43	-4.43	-1.82E-04	1.58E-04	3.85E-04	-3.26E-04
0.35	-2.15	2.15	4.47	-4.47	-1.80E-04	1.56E-04	3.87E-04	-3.28E-04
0.36	-2.14	2.14	4.51	-4.51	-1.78E-04	1.55E-04	3.89E-04	-3.30E-04
0.37	-2.13	2.13	4.55	-4.55	-1.77E-04	1.54E-04	3.92E-04	-3.32E-04
0.38	-2.12	2.12	4.59	-4.59	-1.75E-04	1.53E-04	3.94E-04	-3.34E-04
0.39	-2.11	2.11	4.63	-4.63	-1.74E-04	1.51E-04	3.96E-04	-3.36E-04
0.40	-2.10	2.10	4.67	-4.67	-1.73E-04	1.50E-04	3.98E-04	-3.38E-04

Appendix 2 Analysis results in case2 (2/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.41	-2.09	2.09	4.71	-4.71	-1.71E-04	1.49E-04	4.00E-04	-3.40E-04
0.42	-2.07	2.07	4.75	-4.75	-1.70E-04	1.48E-04	4.02E-04	-3.42E-04
0.43	-2.06	2.06	4.79	-4.79	-1.68E-04	1.47E-04	4.04E-04	-3.44E-04
0.44	-2.05	2.05	4.82	-4.82	-1.67E-04	1.46E-04	4.06E-04	-3.45E-04
0.45	-2.04	2.04	4.86	-4.86	-1.66E-04	1.45E-04	4.08E-04	-3.47E-04
0.46	-2.03	2.03	4.89	-4.89	-1.64E-04	1.43E-04	4.10E-04	-3.49E-04
0.47	-2.02	2.02	4.93	-4.93	-1.63E-04	1.42E-04	4.12E-04	-3.51E-04
0.48	-2.01	2.01	4.96	-4.96	-1.62E-04	1.41E-04	4.14E-04	-3.52E-04
0.49	-2.00	2.00	5.00	-5.00	-1.61E-04	1.40E-04	4.16E-04	-3.54E-04
0.50	-1.99	1.99	5.03	-5.03	-1.59E-04	1.39E-04	4.17E-04	-3.56E-04
0.51	-1.98	1.98	5.06	-5.06	-1.58E-04	1.38E-04	4.19E-04	-3.57E-04
0.52	-1.97	1.97	5.10	-5.10	-1.57E-04	1.37E-04	4.21E-04	-3.59E-04
0.53	-1.96	1.96	5.13	-5.13	-1.56E-04	1.36E-04	4.23E-04	-3.60E-04
0.54	-1.95	1.95	5.16	-5.16	-1.55E-04	1.35E-04	4.24E-04	-3.62E-04
0.55	-1.94	1.94	5.19	-5.19	-1.54E-04	1.34E-04	4.26E-04	-3.63E-04
0.56	-1.93	1.93	5.22	-5.22	-1.53E-04	1.33E-04	4.28E-04	-3.65E-04
0.57	-1.92	1.92	5.25	-5.25	-1.51E-04	1.32E-04	4.29E-04	-3.66E-04
0.58	-1.91	1.91	5.28	-5.28	-1.50E-04	1.31E-04	4.31E-04	-3.68E-04
0.59	-1.90	1.90	5.31	-5.31	-1.49E-04	1.31E-04	4.32E-04	-3.69E-04
0.60	-1.89	1.89	5.34	-5.34	-1.48E-04	1.30E-04	4.34E-04	-3.71E-04
0.61	-1.88	1.88	5.37	-5.37	-1.47E-04	1.29E-04	4.35E-04	-3.72E-04
0.62	-1.87	1.87	5.40	-5.40	-1.46E-04	1.28E-04	4.37E-04	-3.73E-04
0.63	-1.86	1.86	5.42	-5.42	-1.45E-04	1.27E-04	4.38E-04	-3.75E-04
0.64	-1.85	1.85	5.45	-5.45	-1.44E-04	1.26E-04	4.40E-04	-3.76E-04
0.65	-1.84	1.84	5.48	-5.48	-1.43E-04	1.25E-04	4.41E-04	-3.77E-04
0.66	-1.83	1.83	5.50	-5.50	-1.42E-04	1.25E-04	4.43E-04	-3.78E-04
0.67	-1.82	1.82	5.53	-5.53	-1.41E-04	1.24E-04	4.44E-04	-3.80E-04
0.68	-1.81	1.81	5.55	-5.55	-1.40E-04	1.23E-04	4.45E-04	-3.81E-04
0.69	-1.80	1.80	5.58	-5.58	-1.39E-04	1.22E-04	4.47E-04	-3.82E-04
0.70	-1.79	1.79	5.60	-5.60	-1.38E-04	1.21E-04	4.48E-04	-3.83E-04
0.71	-1.78	1.78	5.63	-5.63	-1.37E-04	1.20E-04	4.49E-04	-3.85E-04
0.72	-1.77	1.77	5.65	-5.65	-1.36E-04	1.20E-04	4.51E-04	-3.86E-04
0.73	-1.76	1.76	5.68	-5.68	-1.36E-04	1.19E-04	4.52E-04	-3.87E-04
0.74	-1.75	1.75	5.70	-5.70	-1.35E-04	1.18E-04	4.53E-04	-3.88E-04
0.75	-1.74	1.74	5.72	-5.72	-1.34E-04	1.17E-04	4.54E-04	-3.89E-04
0.76	-1.74	1.74	5.75	-5.75	-1.33E-04	1.17E-04	4.56E-04	-3.90E-04
0.77	-1.73	1.73	5.77	-5.77	-1.32E-04	1.16E-04	4.57E-04	-3.91E-04
0.78	-1.72	1.72	5.79	-5.79	-1.31E-04	1.15E-04	4.58E-04	-3.92E-04
0.79	-1.71	1.71	5.81	-5.81	-1.30E-04	1.15E-04	4.59E-04	-3.93E-04
0.80	-1.70	1.70	5.83	-5.83	-1.30E-04	1.14E-04	4.60E-04	-3.94E-04

Appendix 2 Analysis results in case2 (3/8)

Fluence ( $\times 10^{25} \text{ n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.81	-1.69	1.69	5.85	-5.85	-1.29E-04	1.13E-04	4.61E-04	-3.95E-04
0.82	-1.68	1.68	5.88	-5.88	-1.28E-04	1.12E-04	4.62E-04	-3.96E-04
0.83	-1.68	1.68	5.90	-5.90	-1.27E-04	1.12E-04	4.63E-04	-3.97E-04
0.84	-1.67	1.67	5.92	-5.92	-1.27E-04	1.11E-04	4.65E-04	-3.98E-04
0.85	-1.66	1.66	5.94	-5.94	-1.26E-04	1.10E-04	4.66E-04	-3.99E-04
0.86	-1.65	1.65	5.96	-5.96	-1.25E-04	1.10E-04	4.67E-04	-4.00E-04
0.87	-1.64	1.64	5.98	-5.98	-1.24E-04	1.09E-04	4.68E-04	-4.01E-04
0.88	-1.63	1.63	5.99	-5.99	-1.23E-04	1.08E-04	4.69E-04	-4.02E-04
0.89	-1.63	1.63	6.01	-6.01	-1.23E-04	1.08E-04	4.70E-04	-4.02E-04
0.90	-1.62	1.62	6.03	-6.03	-1.22E-04	1.07E-04	4.71E-04	-4.03E-04
0.91	-1.61	1.61	6.05	-6.05	-1.21E-04	1.07E-04	4.72E-04	-4.04E-04
0.92	-1.60	1.60	6.07	-6.07	-1.21E-04	1.06E-04	4.73E-04	-4.05E-04
0.93	-1.59	1.59	6.09	-6.09	-1.20E-04	1.05E-04	4.73E-04	-4.06E-04
0.94	-1.59	1.59	6.10	-6.10	-1.19E-04	1.05E-04	4.74E-04	-4.07E-04
0.95	-1.58	1.58	6.12	-6.12	-1.19E-04	1.04E-04	4.75E-04	-4.07E-04
0.96	-1.57	1.57	6.14	-6.14	-1.18E-04	1.04E-04	4.76E-04	-4.08E-04
0.97	-1.56	1.56	6.15	-6.15	-1.17E-04	1.03E-04	4.77E-04	-4.09E-04
0.98	-1.56	1.56	6.17	-6.17	-1.17E-04	1.02E-04	4.78E-04	-4.10E-04
0.99	-1.55	1.55	6.19	-6.19	-1.16E-04	1.02E-04	4.79E-04	-4.10E-04
1.00	-1.54	1.54	6.20	-6.20	-1.15E-04	1.01E-04	4.80E-04	-4.11E-04
1.01	-1.54	1.54	6.22	-6.22	-1.15E-04	1.01E-04	4.80E-04	-4.12E-04
1.02	-1.53	1.53	6.23	-6.23	-1.14E-04	1.00E-04	4.81E-04	-4.12E-04
1.03	-1.52	1.52	6.25	-6.25	-1.13E-04	9.96E-05	4.82E-04	-4.13E-04
1.04	-1.51	1.51	6.26	-6.26	-1.13E-04	9.90E-05	4.83E-04	-4.14E-04
1.05	-1.51	1.51	6.28	-6.28	-1.12E-04	9.85E-05	4.84E-04	-4.14E-04
1.06	-1.50	1.50	6.29	-6.29	-1.12E-04	9.80E-05	4.84E-04	-4.15E-04
1.07	-1.49	1.49	6.31	-6.31	-1.11E-04	9.75E-05	4.85E-04	-4.16E-04
1.08	-1.49	1.49	6.32	-6.32	-1.10E-04	9.69E-05	4.86E-04	-4.16E-04
1.09	-1.48	1.48	6.34	-6.34	-1.10E-04	9.64E-05	4.87E-04	-4.17E-04
1.10	-1.47	1.47	6.35	-6.35	-1.09E-04	9.59E-05	4.87E-04	-4.18E-04
1.11	-1.47	1.47	6.36	-6.36	-1.09E-04	9.54E-05	4.88E-04	-4.18E-04
1.12	-1.46	1.46	6.38	-6.38	-1.08E-04	9.49E-05	4.89E-04	-4.19E-04
1.13	-1.45	1.45	6.39	-6.39	-1.08E-04	9.45E-05	4.89E-04	-4.19E-04
1.14	-1.45	1.45	6.40	-6.40	-1.07E-04	9.40E-05	4.90E-04	-4.20E-04
1.15	-1.44	1.44	6.42	-6.42	-1.07E-04	9.35E-05	4.91E-04	-4.20E-04
1.16	-1.43	1.43	6.43	-6.43	-1.06E-04	9.30E-05	4.91E-04	-4.21E-04
1.17	-1.43	1.43	6.44	-6.44	-1.05E-04	9.26E-05	4.92E-04	-4.21E-04
1.18	-1.42	1.42	6.45	-6.45	-1.05E-04	9.21E-05	4.93E-04	-4.22E-04
1.19	-1.42	1.42	6.46	-6.46	-1.04E-04	9.16E-05	4.93E-04	-4.22E-04
1.20	-1.41	1.41	6.48	-6.48	-1.04E-04	9.12E-05	4.94E-04	-4.23E-04

Appendix 2 Analysis results in case2 (4/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.21	-1.40	1.40	6.49	-6.49	-1.03E-04	9.07E-05	4.95E-04	-4.23E-04
1.22	-1.40	1.40	6.50	-6.50	-1.03E-04	9.03E-05	4.95E-04	-4.24E-04
1.23	-1.39	1.39	6.51	-6.51	-1.02E-04	8.99E-05	4.96E-04	-4.24E-04
1.24	-1.39	1.39	6.52	-6.52	-1.02E-04	8.94E-05	4.96E-04	-4.25E-04
1.25	-1.38	1.38	6.53	-6.53	-1.01E-04	8.90E-05	4.97E-04	-4.25E-04
1.26	-1.37	1.37	6.54	-6.54	-1.01E-04	8.86E-05	4.97E-04	-4.26E-04
1.27	-1.37	1.37	6.55	-6.55	-1.01E-04	8.82E-05	4.98E-04	-4.26E-04
1.28	-1.36	1.36	6.56	-6.56	-1.00E-04	8.77E-05	4.98E-04	-4.27E-04
1.29	-1.36	1.36	6.58	-6.58	-9.96E-05	8.73E-05	4.99E-04	-4.27E-04
1.30	-1.35	1.35	6.59	-6.59	-9.91E-05	8.69E-05	4.99E-04	-4.27E-04
1.31	-1.35	1.35	6.60	-6.60	-9.87E-05	8.65E-05	5.00E-04	-4.28E-04
1.32	-1.34	1.34	6.60	-6.60	-9.82E-05	8.61E-05	5.01E-04	-4.28E-04
1.33	-1.34	1.34	6.61	-6.61	-9.78E-05	8.57E-05	5.01E-04	-4.29E-04
1.34	-1.33	1.33	6.62	-6.62	-9.74E-05	8.53E-05	5.01E-04	-4.29E-04
1.35	-1.33	1.33	6.63	-6.63	-9.69E-05	8.50E-05	5.02E-04	-4.29E-04
1.36	-1.32	1.32	6.64	-6.64	-9.65E-05	8.46E-05	5.02E-04	-4.30E-04
1.37	-1.31	1.31	6.65	-6.65	-9.61E-05	8.42E-05	5.03E-04	-4.30E-04
1.38	-1.31	1.31	6.66	-6.66	-9.57E-05	8.38E-05	5.03E-04	-4.30E-04
1.39	-1.30	1.30	6.67	-6.67	-9.53E-05	8.35E-05	5.04E-04	-4.31E-04
1.40	-1.30	1.30	6.68	-6.68	-9.49E-05	8.31E-05	5.04E-04	-4.31E-04
1.41	-1.29	1.29	6.69	-6.69	-9.44E-05	8.27E-05	5.05E-04	-4.31E-04
1.42	-1.29	1.29	6.70	-6.70	-9.41E-05	8.24E-05	5.05E-04	-4.32E-04
1.43	-1.28	1.28	6.70	-6.70	-9.37E-05	8.20E-05	5.05E-04	-4.32E-04
1.44	-1.28	1.28	6.71	-6.71	-9.33E-05	8.17E-05	5.06E-04	-4.32E-04
1.45	-1.28	1.28	6.72	-6.72	-9.29E-05	8.13E-05	5.06E-04	-4.33E-04
1.46	-1.27	1.27	6.73	-6.73	-9.25E-05	8.10E-05	5.07E-04	-4.33E-04
1.47	-1.27	1.27	6.74	-6.74	-9.21E-05	8.07E-05	5.07E-04	-4.33E-04
1.48	-1.26	1.26	6.74	-6.74	-9.17E-05	8.03E-05	5.07E-04	-4.34E-04
1.49	-1.26	1.26	6.75	-6.75	-9.14E-05	8.00E-05	5.08E-04	-4.34E-04
1.50	-1.25	1.25	6.76	-6.76	-9.10E-05	7.97E-05	5.08E-04	-4.34E-04
1.51	-1.25	1.25	6.76	-6.76	-9.06E-05	7.93E-05	5.09E-04	-4.34E-04
1.52	-1.24	1.24	6.77	-6.77	-9.03E-05	7.90E-05	5.09E-04	-4.35E-04
1.53	-1.24	1.24	6.78	-6.78	-8.99E-05	7.87E-05	5.09E-04	-4.35E-04
1.54	-1.23	1.23	6.79	-6.79	-8.96E-05	7.84E-05	5.10E-04	-4.35E-04
1.55	-1.23	1.23	6.79	-6.79	-8.92E-05	7.81E-05	5.10E-04	-4.35E-04
1.56	-1.23	1.23	6.80	-6.80	-8.89E-05	7.78E-05	5.10E-04	-4.36E-04
1.57	-1.22	1.22	6.81	-6.81	-8.86E-05	7.75E-05	5.10E-04	-4.36E-04
1.58	-1.22	1.22	6.81	-6.81	-8.82E-05	7.72E-05	5.11E-04	-4.36E-04
1.59	-1.21	1.21	6.82	-6.82	-8.79E-05	7.69E-05	5.11E-04	-4.36E-04
1.60	-1.21	1.21	6.82	-6.82	-8.76E-05	7.66E-05	5.11E-04	-4.37E-04



Appendix 2 Analysis results in case2 (5/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.61	-1.20	1.20	6.83	-6.83	-8.72E-05	7.63E-05	5.12E-04	-4.37E-04
1.62	-1.20	1.20	6.84	-6.84	-8.69E-05	7.60E-05	5.12E-04	-4.37E-04
1.63	-1.20	1.20	6.84	-6.84	-8.66E-05	7.57E-05	5.12E-04	-4.37E-04
1.64	-1.19	1.19	6.85	-6.85	-8.63E-05	7.55E-05	5.13E-04	-4.37E-04
1.65	-1.19	1.19	6.85	-6.85	-8.60E-05	7.52E-05	5.13E-04	-4.38E-04
1.66	-1.19	1.19	6.86	-6.86	-8.57E-05	7.49E-05	5.13E-04	-4.38E-04
1.67	-1.18	1.18	6.87	-6.87	-8.54E-05	7.46E-05	5.13E-04	-4.38E-04
1.68	-1.18	1.18	6.87	-6.87	-8.51E-05	7.44E-05	5.14E-04	-4.38E-04
1.69	-1.17	1.17	6.88	-6.88	-8.48E-05	7.41E-05	5.14E-04	-4.38E-04
1.70	-1.17	1.17	6.88	-6.88	-8.45E-05	7.39E-05	5.14E-04	-4.38E-04
1.71	-1.17	1.17	6.89	-6.89	-8.42E-05	7.36E-05	5.14E-04	-4.39E-04
1.72	-1.16	1.16	6.89	-6.89	-8.39E-05	7.33E-05	5.14E-04	-4.39E-04
1.73	-1.16	1.16	6.90	-6.90	-8.36E-05	7.31E-05	5.15E-04	-4.39E-04
1.74	-1.16	1.16	6.90	-6.90	-8.34E-05	7.28E-05	5.15E-04	-4.39E-04
1.75	-1.15	1.15	6.91	-6.91	-8.31E-05	7.26E-05	5.15E-04	-4.39E-04
1.76	-1.15	1.15	6.91	-6.91	-8.28E-05	7.24E-05	5.15E-04	-4.39E-04
1.77	-1.15	1.15	6.92	-6.92	-8.25E-05	7.21E-05	5.16E-04	-4.40E-04
1.78	-1.14	1.14	6.92	-6.92	-8.23E-05	7.19E-05	5.16E-04	-4.40E-04
1.79	-1.14	1.14	6.92	-6.92	-8.20E-05	7.16E-05	5.16E-04	-4.40E-04
1.80	-1.14	1.14	6.93	-6.93	-8.18E-05	7.14E-05	5.16E-04	-4.40E-04
1.81	-1.13	1.13	6.93	-6.93	-8.15E-05	7.12E-05	5.16E-04	-4.40E-04
1.82	-1.13	1.13	6.94	-6.94	-8.12E-05	7.10E-05	5.16E-04	-4.40E-04
1.83	-1.13	1.13	6.94	-6.94	-8.10E-05	7.07E-05	5.17E-04	-4.40E-04
1.84	-1.12	1.12	6.95	-6.95	-8.07E-05	7.05E-05	5.17E-04	-4.40E-04
1.85	-1.12	1.12	6.95	-6.95	-8.05E-05	7.03E-05	5.17E-04	-4.41E-04
1.86	-1.12	1.12	6.95	-6.95	-8.03E-05	7.01E-05	5.17E-04	-4.41E-04
1.87	-1.11	1.11	6.96	-6.96	-8.00E-05	6.99E-05	5.17E-04	-4.41E-04
1.88	-1.11	1.11	6.96	-6.96	-7.98E-05	6.97E-05	5.17E-04	-4.41E-04
1.89	-1.11	1.11	6.97	-6.97	-7.96E-05	6.95E-05	5.18E-04	-4.41E-04
1.90	-1.10	1.10	6.97	-6.97	-7.93E-05	6.93E-05	5.18E-04	-4.41E-04
1.91	-1.10	1.10	6.97	-6.97	-7.91E-05	6.91E-05	5.18E-04	-4.41E-04
1.92	-1.10	1.10	6.98	-6.98	-7.89E-05	6.89E-05	5.18E-04	-4.41E-04
1.93	-1.10	1.10	6.98	-6.98	-7.87E-05	6.87E-05	5.18E-04	-4.41E-04
1.94	-1.09	1.09	6.98	-6.98	-7.84E-05	6.85E-05	5.18E-04	-4.41E-04
1.95	-1.09	1.09	6.99	-6.99	-7.82E-05	6.83E-05	5.18E-04	-4.41E-04
1.96	-1.09	1.09	6.99	-6.99	-7.80E-05	6.81E-05	5.18E-04	-4.42E-04
1.97	-1.09	1.09	6.99	-6.99	-7.78E-05	6.79E-05	5.18E-04	-4.42E-04
1.98	-1.08	1.08	6.99	-6.99	-7.76E-05	6.77E-05	5.19E-04	-4.42E-04
1.99	-1.08	1.08	7.00	-7.00	-7.74E-05	6.75E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.00	-1.08	1.08	7.00	-7.00	-7.72E-05	6.74E-05	5.19E-04	-4.42E-04

Appendix 2 Analysis results in case2 (6/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.01	-1.08	1.08	7.00	-7.00	-7.70E-05	6.72E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.02	-1.07	1.07	7.01	-7.01	-7.68E-05	6.70E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.03	-1.07	1.07	7.01	-7.01	-7.66E-05	6.68E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.04	-1.07	1.07	7.01	-7.01	-7.64E-05	6.67E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.05	-1.07	1.07	7.01	-7.01	-7.62E-05	6.65E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.06	-1.06	1.06	7.02	-7.02	-7.60E-05	6.63E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.07	-1.06	1.06	7.02	-7.02	-7.59E-05	6.62E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.08	-1.06	1.06	7.02	-7.02	-7.57E-05	6.60E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.09	-1.06	1.06	7.02	-7.02	-7.55E-05	6.59E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.10	-1.05	1.05	7.03	-7.03	-7.53E-05	6.57E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.11	-1.05	1.05	7.03	-7.03	-7.52E-05	6.56E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.12	-1.05	1.05	7.03	-7.03	-7.50E-05	6.54E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.13	-1.05	1.05	7.03	-7.03	-7.48E-05	6.53E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.14	-1.05	1.05	7.03	-7.03	-7.47E-05	6.51E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.15	-1.04	1.04	7.04	-7.04	-7.45E-05	6.50E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.16	-1.04	1.04	7.04	-7.04	-7.43E-05	6.49E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.17	-1.04	1.04	7.04	-7.04	-7.42E-05	6.47E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.18	-1.04	1.04	7.04	-7.04	-7.40E-05	6.46E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.19	-1.04	1.04	7.04	-7.04	-7.39E-05	6.45E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.20	-1.03	1.03	7.04	-7.04	-7.37E-05	6.43E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.21	-1.03	1.03	7.05	-7.05	-7.36E-05	6.42E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.22	-1.03	1.03	7.05	-7.05	-7.35E-05	6.41E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.23	-1.03	1.03	7.05	-7.05	-7.33E-05	6.40E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.24	-1.03	1.03	7.05	-7.05	-7.32E-05	6.38E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.25	-1.03	1.03	7.05	-7.05	-7.31E-05	6.37E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.26	-1.02	1.02	7.05	-7.05	-7.29E-05	6.36E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.27	-1.02	1.02	7.05	-7.05	-7.28E-05	6.35E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.28	-1.02	1.02	7.06	-7.06	-7.27E-05	6.34E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.29	-1.02	1.02	7.06	-7.06	-7.25E-05	6.33E-05	5.20E-04	-4.42E-04
2.30	-1.02	1.02	7.06	-7.06	-7.24E-05	6.32E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.31	-1.02	1.02	7.06	-7.06	-7.23E-05	6.31E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.32	-1.02	1.02	7.06	-7.06	-7.22E-05	6.30E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.33	-1.01	1.01	7.06	-7.06	-7.21E-05	6.29E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.34	-1.01	1.01	7.06	-7.06	-7.20E-05	6.28E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.35	-1.01	1.01	7.06	-7.06	-7.19E-05	6.27E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.36	-1.01	1.01	7.06	-7.06	-7.18E-05	6.26E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.37	-1.01	1.01	7.06	-7.06	-7.16E-05	6.25E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.38	-1.01	1.01	7.07	-7.07	-7.15E-05	6.24E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.39	-1.01	1.01	7.07	-7.07	-7.15E-05	6.23E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.40	-1.01	1.01	7.07	-7.07	-7.14E-05	6.22E-05	5.19E-04	-4.42E-04



Appendix 2 Analysis results in case2 (7/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.41	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.13E-05	6.22E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.42	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.12E-05	6.21E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.43	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.11E-05	6.20E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.44	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.10E-05	6.19E-05	5.19E-04	-4.42E-04
2.45	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.09E-05	6.19E-05	5.19E-04	-4.41E-04
2.46	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.08E-05	6.18E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.47	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.08E-05	6.17E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.48	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.07E-05	6.17E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.49	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.06E-05	6.16E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.50	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.05E-05	6.15E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.51	-1.00	1.00	7.07	-7.07	-7.05E-05	6.15E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.52	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.04E-05	6.14E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.53	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.04E-05	6.14E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.54	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.03E-05	6.13E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.55	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.02E-05	6.13E-05	5.18E-04	-4.41E-04
2.56	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.02E-05	6.12E-05	5.17E-04	-4.41E-04
2.57	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.01E-05	6.12E-05	5.17E-04	-4.40E-04
2.58	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.01E-05	6.12E-05	5.17E-04	-4.40E-04
2.59	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.00E-05	6.11E-05	5.17E-04	-4.40E-04
2.60	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.00E-05	6.11E-05	5.17E-04	-4.40E-04
2.61	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-7.00E-05	6.10E-05	5.17E-04	-4.40E-04
2.62	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-6.99E-05	6.10E-05	5.17E-04	-4.40E-04
2.63	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-6.99E-05	6.10E-05	5.16E-04	-4.40E-04
2.64	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-6.98E-05	6.10E-05	5.16E-04	-4.40E-04
2.65	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-6.98E-05	6.09E-05	5.16E-04	-4.40E-04
2.66	-0.99	0.99	7.07	-7.07	-6.98E-05	6.09E-05	5.16E-04	-4.39E-04
2.67	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.98E-05	6.09E-05	5.16E-04	-4.39E-04
2.68	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.09E-05	5.16E-04	-4.39E-04
2.69	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.09E-05	5.15E-04	-4.39E-04
2.70	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.15E-04	-4.39E-04
2.71	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.15E-04	-4.39E-04
2.72	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.15E-04	-4.39E-04
2.73	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.15E-04	-4.39E-04
2.74	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.15E-04	-4.38E-04
2.75	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.14E-04	-4.38E-04
2.76	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.14E-04	-4.38E-04
2.77	-0.99	0.99	7.06	-7.06	-6.97E-05	6.08E-05	5.14E-04	-4.38E-04
2.78	-0.99	0.99	7.05	-7.05	-6.97E-05	6.08E-05	5.14E-04	-4.38E-04
2.79	-0.99	0.99	7.05	-7.05	-6.97E-05	6.08E-05	5.14E-04	-4.38E-04
2.80	-0.99	0.99	7.05	-7.05	-6.97E-05	6.08E-05	5.13E-04	-4.38E-04

Appendix 2 Analysis results in case2 (8/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.81	-0.99	0.99	7.05	-7.05	-6.97E-05	6.09E-05	5.13E-04	-4.37E-04
2.82	-0.99	0.99	7.05	-7.05	-6.97E-05	6.09E-05	5.13E-04	-4.37E-04
2.83	-0.99	0.99	7.05	-7.05	-6.97E-05	6.09E-05	5.13E-04	-4.37E-04
2.84	-0.99	0.99	7.05	-7.05	-6.98E-05	6.09E-05	5.13E-04	-4.37E-04
2.85	-0.99	0.99	7.04	-7.04	-6.98E-05	6.09E-05	5.12E-04	-4.37E-04
2.86	-0.99	0.99	7.04	-7.04	-6.98E-05	6.10E-05	5.12E-04	-4.37E-04
2.87	-0.99	0.99	7.04	-7.04	-6.98E-05	6.10E-05	5.12E-04	-4.36E-04
2.88	-0.99	0.99	7.04	-7.04	-6.99E-05	6.10E-05	5.12E-04	-4.36E-04
2.89	-1.00	1.00	7.04	-7.04	-6.99E-05	6.11E-05	5.11E-04	-4.36E-04
2.90	-1.00	1.00	7.04	-7.04	-6.99E-05	6.11E-05	5.11E-04	-4.36E-04
2.91	-1.00	1.00	7.03	-7.03	-7.00E-05	6.11E-05	5.11E-04	-4.36E-04
2.92	-1.00	1.00	7.03	-7.03	-7.00E-05	6.12E-05	5.11E-04	-4.35E-04
2.93	-1.00	1.00	7.03	-7.03	-7.01E-05	6.12E-05	5.10E-04	-4.35E-04
2.94	-1.00	1.00	7.03	-7.03	-7.01E-05	6.13E-05	5.10E-04	-4.35E-04
2.95	-1.00	1.00	7.03	-7.03	-7.02E-05	6.13E-05	5.10E-04	-4.35E-04
2.96	-1.00	1.00	7.03	-7.03	-7.02E-05	6.14E-05	5.10E-04	-4.35E-04
2.97	-1.00	1.00	7.02	-7.02	-7.03E-05	6.14E-05	5.09E-04	-4.34E-04
2.98	-1.00	1.00	7.02	-7.02	-7.03E-05	6.15E-05	5.09E-04	-4.34E-04
2.99	-1.00	1.00	7.02	-7.02	-7.04E-05	6.15E-05	5.09E-04	-4.34E-04
3.00	-1.01	1.01	7.02	-7.02	-7.05E-05	6.16E-05	5.09E-04	-4.34E-04

Appendix 3 Analysis results in case3 (1/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.00	-4.12	4.12	0.00	0.00	-4.93E-04	5.09E-04	0.00E+00	0.00E+00
0.01	-3.02	3.02	1.41	-1.41	-3.38E-04	3.40E-04	1.66E-04	-1.62E-04
0.02	-2.53	2.53	2.03	-2.03	-2.75E-04	2.75E-04	2.33E-04	-2.25E-04
0.03	-2.36	2.36	2.32	-2.32	-2.52E-04	2.49E-04	2.61E-04	-2.50E-04
0.04	-2.29	2.29	2.48	-2.48	-2.41E-04	2.37E-04	2.75E-04	-2.62E-04
0.05	-2.26	2.26	2.60	-2.60	-2.35E-04	2.30E-04	2.84E-04	-2.69E-04
0.06	-2.24	2.24	2.71	-2.71	-2.30E-04	2.24E-04	2.92E-04	-2.76E-04
0.07	-2.22	2.22	2.81	-2.81	-2.25E-04	2.18E-04	2.99E-04	-2.81E-04
0.08	-2.20	2.20	2.90	-2.90	-2.21E-04	2.13E-04	3.06E-04	-2.86E-04
0.09	-2.18	2.18	2.99	-2.99	-2.17E-04	2.09E-04	3.12E-04	-2.91E-04
0.10	-2.16	2.16	3.07	-3.07	-2.13E-04	2.04E-04	3.19E-04	-2.96E-04
0.11	-2.14	2.14	3.16	-3.16	-2.09E-04	2.00E-04	3.24E-04	-3.01E-04
0.12	-2.12	2.12	3.24	-3.24	-2.05E-04	1.96E-04	3.30E-04	-3.06E-04
0.13	-2.10	2.10	3.32	-3.32	-2.02E-04	1.92E-04	3.36E-04	-3.10E-04
0.14	-2.08	2.08	3.39	-3.39	-1.98E-04	1.89E-04	3.41E-04	-3.14E-04
0.15	-2.06	2.06	3.47	-3.47	-1.95E-04	1.85E-04	3.47E-04	-3.19E-04
0.16	-2.03	2.03	3.54	-3.54	-1.92E-04	1.82E-04	3.52E-04	-3.23E-04
0.17	-2.01	2.01	3.61	-3.61	-1.89E-04	1.78E-04	3.57E-04	-3.27E-04
0.18	-1.99	1.99	3.69	-3.69	-1.85E-04	1.75E-04	3.62E-04	-3.31E-04
0.19	-1.97	1.97	3.75	-3.75	-1.82E-04	1.72E-04	3.66E-04	-3.34E-04
0.20	-1.95	1.95	3.82	-3.82	-1.79E-04	1.69E-04	3.71E-04	-3.38E-04
0.21	-1.92	1.92	3.89	-3.89	-1.76E-04	1.66E-04	3.76E-04	-3.42E-04
0.22	-1.90	1.90	3.95	-3.95	-1.74E-04	1.63E-04	3.80E-04	-3.45E-04
0.23	-1.88	1.88	4.02	-4.02	-1.71E-04	1.60E-04	3.84E-04	-3.49E-04
0.24	-1.86	1.86	4.08	-4.08	-1.68E-04	1.57E-04	3.89E-04	-3.52E-04
0.25	-1.84	1.84	4.14	-4.14	-1.65E-04	1.54E-04	3.93E-04	-3.55E-04
0.26	-1.81	1.81	4.20	-4.20	-1.63E-04	1.52E-04	3.97E-04	-3.59E-04
0.27	-1.79	1.79	4.26	-4.26	-1.60E-04	1.49E-04	4.01E-04	-3.62E-04
0.28	-1.77	1.77	4.32	-4.32	-1.58E-04	1.47E-04	4.05E-04	-3.65E-04
0.29	-1.75	1.75	4.37	-4.37	-1.55E-04	1.44E-04	4.09E-04	-3.68E-04
0.30	-1.73	1.73	4.43	-4.43	-1.53E-04	1.42E-04	4.12E-04	-3.71E-04
0.31	-1.71	1.71	4.49	-4.49	-1.50E-04	1.40E-04	4.16E-04	-3.74E-04
0.32	-1.69	1.69	4.54	-4.54	-1.48E-04	1.37E-04	4.20E-04	-3.77E-04
0.33	-1.67	1.67	4.59	-4.59	-1.46E-04	1.35E-04	4.23E-04	-3.80E-04
0.34	-1.65	1.65	4.64	-4.64	-1.44E-04	1.33E-04	4.27E-04	-3.82E-04
0.35	-1.63	1.63	4.70	-4.70	-1.41E-04	1.31E-04	4.30E-04	-3.85E-04
0.36	-1.61	1.61	4.75	-4.75	-1.39E-04	1.29E-04	4.33E-04	-3.88E-04
0.37	-1.59	1.59	4.79	-4.79	-1.37E-04	1.27E-04	4.37E-04	-3.90E-04
0.38	-1.57	1.57	4.84	-4.84	-1.35E-04	1.25E-04	4.40E-04	-3.93E-04
0.39	-1.55	1.55	4.89	-4.89	-1.33E-04	1.23E-04	4.43E-04	-3.95E-04
0.40	-1.53	1.53	4.94	-4.94	-1.31E-04	1.21E-04	4.46E-04	-3.98E-04

Appendix 3 Analysis results in case3 (2/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.41	-1.51	1.51	4.98	-4.98	-1.29E-04	1.19E-04	4.49E-04	-4.00E-04
0.42	-1.49	1.49	5.03	-5.03	-1.27E-04	1.17E-04	4.52E-04	-4.02E-04
0.43	-1.47	1.47	5.07	-5.07	-1.25E-04	1.15E-04	4.55E-04	-4.05E-04
0.44	-1.46	1.46	5.12	-5.12	-1.24E-04	1.14E-04	4.57E-04	-4.07E-04
0.45	-1.44	1.44	5.16	-5.16	-1.22E-04	1.12E-04	4.60E-04	-4.09E-04
0.46	-1.42	1.42	5.20	-5.20	-1.20E-04	1.10E-04	4.63E-04	-4.11E-04
0.47	-1.40	1.40	5.24	-5.24	-1.18E-04	1.09E-04	4.65E-04	-4.13E-04
0.48	-1.39	1.39	5.28	-5.28	-1.17E-04	1.07E-04	4.68E-04	-4.15E-04
0.49	-1.37	1.37	5.32	-5.32	-1.15E-04	1.05E-04	4.70E-04	-4.17E-04
0.50	-1.35	1.35	5.36	-5.36	-1.14E-04	1.04E-04	4.73E-04	-4.19E-04
0.51	-1.34	1.34	5.40	-5.40	-1.12E-04	1.02E-04	4.75E-04	-4.21E-04
0.52	-1.32	1.32	5.43	-5.43	-1.10E-04	1.01E-04	4.78E-04	-4.23E-04
0.53	-1.31	1.31	5.47	-5.47	-1.09E-04	9.96E-05	4.80E-04	-4.25E-04
0.54	-1.29	1.29	5.51	-5.51	-1.07E-04	9.82E-05	4.82E-04	-4.27E-04
0.55	-1.28	1.28	5.54	-5.54	-1.06E-04	9.68E-05	4.84E-04	-4.28E-04
0.56	-1.26	1.26	5.58	-5.58	-1.05E-04	9.55E-05	4.87E-04	-4.30E-04
0.57	-1.25	1.25	5.61	-5.61	-1.03E-04	9.42E-05	4.89E-04	-4.32E-04
0.58	-1.23	1.23	5.64	-5.64	-1.02E-04	9.29E-05	4.91E-04	-4.34E-04
0.59	-1.22	1.22	5.68	-5.68	-1.00E-04	9.16E-05	4.93E-04	-4.35E-04
0.60	-1.21	1.21	5.71	-5.71	-9.92E-05	9.04E-05	4.95E-04	-4.37E-04
0.61	-1.19	1.19	5.74	-5.74	-9.79E-05	8.92E-05	4.97E-04	-4.38E-04
0.62	-1.18	1.18	5.77	-5.77	-9.67E-05	8.80E-05	4.99E-04	-4.40E-04
0.63	-1.17	1.17	5.80	-5.80	-9.54E-05	8.69E-05	5.00E-04	-4.41E-04
0.64	-1.15	1.15	5.83	-5.83	-9.42E-05	8.58E-05	5.02E-04	-4.43E-04
0.65	-1.14	1.14	5.86	-5.86	-9.31E-05	8.47E-05	5.04E-04	-4.44E-04
0.66	-1.13	1.13	5.89	-5.89	-9.19E-05	8.36E-05	5.06E-04	-4.45E-04
0.67	-1.12	1.12	5.92	-5.92	-9.08E-05	8.26E-05	5.07E-04	-4.47E-04
0.68	-1.10	1.10	5.94	-5.94	-8.97E-05	8.16E-05	5.09E-04	-4.48E-04
0.69	-1.09	1.09	5.97	-5.97	-8.86E-05	8.06E-05	5.11E-04	-4.49E-04
0.70	-1.08	1.08	6.00	-6.00	-8.76E-05	7.96E-05	5.12E-04	-4.51E-04
0.71	-1.07	1.07	6.02	-6.02	-8.66E-05	7.86E-05	5.14E-04	-4.52E-04
0.72	-1.06	1.06	6.05	-6.05	-8.56E-05	7.77E-05	5.15E-04	-4.53E-04
0.73	-1.05	1.05	6.07	-6.07	-8.46E-05	7.68E-05	5.17E-04	-4.54E-04
0.74	-1.04	1.04	6.10	-6.10	-8.37E-05	7.59E-05	5.18E-04	-4.55E-04
0.75	-1.03	1.03	6.12	-6.12	-8.27E-05	7.51E-05	5.19E-04	-4.56E-04
0.76	-1.02	1.02	6.14	-6.14	-8.18E-05	7.42E-05	5.21E-04	-4.57E-04
0.77	-1.01	1.01	6.17	-6.17	-8.09E-05	7.34E-05	5.22E-04	-4.59E-04
0.78	-1.00	1.00	6.19	-6.19	-8.01E-05	7.26E-05	5.23E-04	-4.60E-04
0.79	-0.99	0.99	6.21	-6.21	-7.92E-05	7.18E-05	5.25E-04	-4.61E-04
0.80	-0.98	0.98	6.23	-6.23	-7.84E-05	7.11E-05	5.26E-04	-4.62E-04

Appendix 3 Analysis results in case3 (3/8)

Fluence ( $\times 10^{25} \text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.81	-0.97	0.97	6.25	-6.25	-7.76E-05	7.03E-05	5.27E-04	-4.62E-04
0.82	-0.96	0.96	6.27	-6.27	-7.68E-05	6.96E-05	5.28E-04	-4.63E-04
0.83	-0.95	0.95	6.29	-6.29	-7.60E-05	6.89E-05	5.29E-04	-4.64E-04
0.84	-0.94	0.94	6.31	-6.31	-7.53E-05	6.82E-05	5.30E-04	-4.65E-04
0.85	-0.94	0.94	6.33	-6.33	-7.45E-05	6.75E-05	5.31E-04	-4.66E-04
0.86	-0.93	0.93	6.35	-6.35	-7.38E-05	6.68E-05	5.32E-04	-4.67E-04
0.87	-0.92	0.92	6.37	-6.37	-7.31E-05	6.62E-05	5.33E-04	-4.68E-04
0.88	-0.91	0.91	6.38	-6.38	-7.25E-05	6.56E-05	5.34E-04	-4.68E-04
0.89	-0.90	0.90	6.40	-6.40	-7.18E-05	6.50E-05	5.35E-04	-4.69E-04
0.90	-0.90	0.90	6.42	-6.42	-7.12E-05	6.44E-05	5.36E-04	-4.70E-04
0.91	-0.89	0.89	6.44	-6.44	-7.05E-05	6.38E-05	5.37E-04	-4.71E-04
0.92	-0.88	0.88	6.45	-6.45	-6.99E-05	6.33E-05	5.38E-04	-4.71E-04
0.93	-0.88	0.88	6.47	-6.47	-6.93E-05	6.27E-05	5.39E-04	-4.72E-04
0.94	-0.87	0.87	6.48	-6.48	-6.88E-05	6.22E-05	5.40E-04	-4.73E-04
0.95	-0.86	0.86	6.50	-6.50	-6.82E-05	6.17E-05	5.40E-04	-4.73E-04
0.96	-0.86	0.86	6.51	-6.51	-6.77E-05	6.12E-05	5.41E-04	-4.74E-04
0.97	-0.85	0.85	6.53	-6.53	-6.71E-05	6.07E-05	5.42E-04	-4.74E-04
0.98	-0.85	0.85	6.54	-6.54	-6.66E-05	6.02E-05	5.43E-04	-4.75E-04
0.99	-0.84	0.84	6.55	-6.55	-6.61E-05	5.97E-05	5.43E-04	-4.76E-04
1.00	-0.83	0.83	6.57	-6.57	-6.56E-05	5.93E-05	5.44E-04	-4.76E-04
1.01	-0.83	0.83	6.58	-6.58	-6.52E-05	5.89E-05	5.45E-04	-4.77E-04
1.02	-0.82	0.82	6.59	-6.59	-6.47E-05	5.85E-05	5.45E-04	-4.77E-04
1.03	-0.82	0.82	6.60	-6.60	-6.43E-05	5.80E-05	5.46E-04	-4.78E-04
1.04	-0.81	0.81	6.62	-6.62	-6.38E-05	5.77E-05	5.47E-04	-4.78E-04
1.05	-0.81	0.81	6.63	-6.63	-6.34E-05	5.73E-05	5.47E-04	-4.79E-04
1.06	-0.80	0.80	6.64	-6.64	-6.30E-05	5.69E-05	5.48E-04	-4.79E-04
1.07	-0.80	0.80	6.65	-6.65	-6.26E-05	5.66E-05	5.48E-04	-4.79E-04
1.08	-0.80	0.80	6.66	-6.66	-6.23E-05	5.62E-05	5.49E-04	-4.80E-04
1.09	-0.79	0.79	6.67	-6.67	-6.19E-05	5.59E-05	5.49E-04	-4.80E-04
1.10	-0.79	0.79	6.68	-6.68	-6.15E-05	5.56E-05	5.50E-04	-4.80E-04
1.11	-0.78	0.78	6.69	-6.69	-6.12E-05	5.52E-05	5.50E-04	-4.81E-04
1.12	-0.78	0.78	6.70	-6.70	-6.09E-05	5.49E-05	5.51E-04	-4.81E-04
1.13	-0.78	0.78	6.71	-6.71	-6.06E-05	5.47E-05	5.51E-04	-4.82E-04
1.14	-0.77	0.77	6.72	-6.72	-6.03E-05	5.44E-05	5.51E-04	-4.82E-04
1.15	-0.77	0.77	6.73	-6.73	-6.00E-05	5.41E-05	5.52E-04	-4.82E-04
1.16	-0.77	0.77	6.74	-6.74	-5.97E-05	5.39E-05	5.52E-04	-4.82E-04
1.17	-0.76	0.76	6.74	-6.74	-5.94E-05	5.36E-05	5.52E-04	-4.83E-04
1.18	-0.76	0.76	6.75	-6.75	-5.92E-05	5.34E-05	5.53E-04	-4.83E-04
1.19	-0.76	0.76	6.76	-6.76	-5.89E-05	5.32E-05	5.53E-04	-4.83E-04
1.20	-0.76	0.76	6.77	-6.77	-5.87E-05	5.29E-05	5.53E-04	-4.83E-04



Appendix 3 Analysis results in case3 (4/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.21	-0.75	0.75	6.77	-6.77	-5.85E-05	5.27E-05	5.54E-04	-4.84E-04
1.22	-0.75	0.75	6.78	-6.78	-5.82E-05	5.25E-05	5.54E-04	-4.84E-04
1.23	-0.75	0.75	6.79	-6.79	-5.80E-05	5.23E-05	5.54E-04	-4.84E-04
1.24	-0.75	0.75	6.79	-6.79	-5.78E-05	5.22E-05	5.54E-04	-4.84E-04
1.25	-0.74	0.74	6.80	-6.80	-5.77E-05	5.20E-05	5.55E-04	-4.84E-04
1.26	-0.74	0.74	6.80	-6.80	-5.75E-05	5.18E-05	5.55E-04	-4.84E-04
1.27	-0.74	0.74	6.81	-6.81	-5.73E-05	5.17E-05	5.55E-04	-4.85E-04
1.28	-0.74	0.74	6.82	-6.82	-5.72E-05	5.15E-05	5.55E-04	-4.85E-04
1.29	-0.74	0.74	6.82	-6.82	-5.70E-05	5.14E-05	5.55E-04	-4.85E-04
1.30	-0.74	0.74	6.83	-6.83	-5.69E-05	5.13E-05	5.55E-04	-4.85E-04
1.31	-0.73	0.73	6.83	-6.83	-5.67E-05	5.11E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.32	-0.73	0.73	6.84	-6.84	-5.66E-05	5.10E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.33	-0.73	0.73	6.84	-6.84	-5.65E-05	5.09E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.34	-0.73	0.73	6.84	-6.84	-5.64E-05	5.08E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.35	-0.73	0.73	6.85	-6.85	-5.63E-05	5.07E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.36	-0.73	0.73	6.85	-6.85	-5.62E-05	5.07E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.37	-0.73	0.73	6.86	-6.86	-5.61E-05	5.06E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.38	-0.73	0.73	6.86	-6.86	-5.61E-05	5.05E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.39	-0.73	0.73	6.86	-6.86	-5.60E-05	5.04E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.40	-0.73	0.73	6.87	-6.87	-5.59E-05	5.04E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.41	-0.73	0.73	6.87	-6.87	-5.59E-05	5.03E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.42	-0.73	0.73	6.87	-6.87	-5.58E-05	5.03E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.43	-0.73	0.73	6.87	-6.87	-5.58E-05	5.03E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.44	-0.73	0.73	6.88	-6.88	-5.58E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.45	-0.73	0.73	6.88	-6.88	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.46	-0.73	0.73	6.88	-6.88	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.47	-0.73	0.73	6.88	-6.88	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.48	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.49	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.50	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.51	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.52	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.57E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.53	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.58E-05	5.02E-05	5.56E-04	-4.85E-04
1.54	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.58E-05	5.03E-05	5.55E-04	-4.85E-04
1.55	-0.73	0.73	6.89	-6.89	-5.58E-05	5.03E-05	5.55E-04	-4.84E-04
1.56	-0.73	0.73	6.90	-6.90	-5.59E-05	5.03E-05	5.55E-04	-4.84E-04
1.57	-0.73	0.73	6.90	-6.90	-5.59E-05	5.04E-05	5.55E-04	-4.84E-04
1.58	-0.73	0.73	6.90	-6.90	-5.60E-05	5.04E-05	5.55E-04	-4.84E-04
1.59	-0.73	0.73	6.90	-6.90	-5.60E-05	5.05E-05	5.55E-04	-4.84E-04
1.60	-0.73	0.73	6.90	-6.90	-5.61E-05	5.05E-05	5.55E-04	-4.84E-04

Appendix 3 Analysis results in case3 (5/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.61	-0.74	0.74	6.90	-6.90	-5.62E-05	5.06E-05	5.54E-04	-4.84E-04
1.62	-0.74	0.74	6.90	-6.90	-5.63E-05	5.07E-05	5.54E-04	-4.83E-04
1.63	-0.74	0.74	6.90	-6.90	-5.63E-05	5.07E-05	5.54E-04	-4.83E-04
1.64	-0.74	0.74	6.90	-6.90	-5.64E-05	5.08E-05	5.54E-04	-4.83E-04
1.65	-0.74	0.74	6.90	-6.90	-5.65E-05	5.09E-05	5.54E-04	-4.83E-04
1.66	-0.74	0.74	6.90	-6.90	-5.66E-05	5.10E-05	5.54E-04	-4.83E-04
1.67	-0.74	0.74	6.90	-6.90	-5.67E-05	5.11E-05	5.53E-04	-4.83E-04
1.68	-0.75	0.75	6.90	-6.90	-5.68E-05	5.11E-05	5.53E-04	-4.82E-04
1.69	-0.75	0.75	6.89	-6.89	-5.69E-05	5.12E-05	5.53E-04	-4.82E-04
1.70	-0.75	0.75	6.89	-6.89	-5.70E-05	5.13E-05	5.53E-04	-4.82E-04
1.71	-0.75	0.75	6.89	-6.89	-5.71E-05	5.14E-05	5.52E-04	-4.82E-04
1.72	-0.75	0.75	6.89	-6.89	-5.72E-05	5.15E-05	5.52E-04	-4.82E-04
1.73	-0.75	0.75	6.89	-6.89	-5.74E-05	5.16E-05	5.52E-04	-4.81E-04
1.74	-0.76	0.76	6.89	-6.89	-5.75E-05	5.18E-05	5.52E-04	-4.81E-04
1.75	-0.76	0.76	6.89	-6.89	-5.76E-05	5.19E-05	5.51E-04	-4.81E-04
1.76	-0.76	0.76	6.89	-6.89	-5.77E-05	5.20E-05	5.51E-04	-4.81E-04
1.77	-0.76	0.76	6.89	-6.89	-5.79E-05	5.21E-05	5.51E-04	-4.80E-04
1.78	-0.76	0.76	6.88	-6.88	-5.80E-05	5.22E-05	5.51E-04	-4.80E-04
1.79	-0.77	0.77	6.88	-6.88	-5.82E-05	5.24E-05	5.50E-04	-4.80E-04
1.80	-0.77	0.77	6.88	-6.88	-5.83E-05	5.25E-05	5.50E-04	-4.80E-04
1.81	-0.77	0.77	6.88	-6.88	-5.85E-05	5.26E-05	5.50E-04	-4.79E-04
1.82	-0.77	0.77	6.88	-6.88	-5.86E-05	5.28E-05	5.50E-04	-4.79E-04
1.83	-0.77	0.77	6.88	-6.88	-5.88E-05	5.29E-05	5.49E-04	-4.79E-04
1.84	-0.78	0.78	6.87	-6.87	-5.89E-05	5.31E-05	5.49E-04	-4.79E-04
1.85	-0.78	0.78	6.87	-6.87	-5.91E-05	5.32E-05	5.49E-04	-4.78E-04
1.86	-0.78	0.78	6.87	-6.87	-5.93E-05	5.33E-05	5.48E-04	-4.78E-04
1.87	-0.78	0.78	6.87	-6.87	-5.94E-05	5.35E-05	5.48E-04	-4.78E-04
1.88	-0.79	0.79	6.87	-6.87	-5.96E-05	5.36E-05	5.48E-04	-4.78E-04
1.89	-0.79	0.79	6.86	-6.86	-5.98E-05	5.38E-05	5.47E-04	-4.77E-04
1.90	-0.79	0.79	6.86	-6.86	-5.99E-05	5.40E-05	5.47E-04	-4.77E-04
1.91	-0.79	0.79	6.86	-6.86	-6.01E-05	5.41E-05	5.47E-04	-4.77E-04
1.92	-0.80	0.80	6.86	-6.86	-6.03E-05	5.43E-05	5.46E-04	-4.76E-04
1.93	-0.80	0.80	6.85	-6.85	-6.05E-05	5.44E-05	5.46E-04	-4.76E-04
1.94	-0.80	0.80	6.85	-6.85	-6.07E-05	5.46E-05	5.46E-04	-4.76E-04
1.95	-0.80	0.80	6.85	-6.85	-6.08E-05	5.48E-05	5.45E-04	-4.75E-04
1.96	-0.81	0.81	6.85	-6.85	-6.10E-05	5.49E-05	5.45E-04	-4.75E-04
1.97	-0.81	0.81	6.84	-6.84	-6.12E-05	5.51E-05	5.45E-04	-4.75E-04
1.98	-0.81	0.81	6.84	-6.84	-6.14E-05	5.53E-05	5.44E-04	-4.75E-04
1.99	-0.82	0.82	6.84	-6.84	-6.16E-05	5.55E-05	5.44E-04	-4.74E-04
2.00	-0.82	0.82	6.83	-6.83	-6.18E-05	5.56E-05	5.44E-04	-4.74E-04

Appendix 3 Analysis results in case3 (6/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.01	-0.82	0.82	6.83	-6.83	-6.20E-05	5.58E-05	5.43E-04	-4.74E-04
2.02	-0.82	0.82	6.83	-6.83	-6.22E-05	5.60E-05	5.43E-04	-4.73E-04
2.03	-0.83	0.83	6.83	-6.83	-6.24E-05	5.62E-05	5.43E-04	-4.73E-04
2.04	-0.83	0.83	6.82	-6.82	-6.26E-05	5.63E-05	5.42E-04	-4.73E-04
2.05	-0.83	0.83	6.82	-6.82	-6.28E-05	5.65E-05	5.42E-04	-4.72E-04
2.06	-0.84	0.84	6.82	-6.82	-6.30E-05	5.67E-05	5.42E-04	-4.72E-04
2.07	-0.84	0.84	6.81	-6.81	-6.32E-05	5.69E-05	5.41E-04	-4.72E-04
2.08	-0.84	0.84	6.81	-6.81	-6.34E-05	5.71E-05	5.41E-04	-4.71E-04
2.09	-0.84	0.84	6.81	-6.81	-6.36E-05	5.73E-05	5.40E-04	-4.71E-04
2.10	-0.85	0.85	6.80	-6.80	-6.38E-05	5.75E-05	5.40E-04	-4.71E-04
2.11	-0.85	0.85	6.80	-6.80	-6.41E-05	5.76E-05	5.40E-04	-4.70E-04
2.12	-0.85	0.85	6.80	-6.80	-6.43E-05	5.78E-05	5.39E-04	-4.70E-04
2.13	-0.86	0.86	6.79	-6.79	-6.45E-05	5.80E-05	5.39E-04	-4.70E-04
2.14	-0.86	0.86	6.79	-6.79	-6.47E-05	5.82E-05	5.38E-04	-4.69E-04
2.15	-0.86	0.86	6.79	-6.79	-6.49E-05	5.84E-05	5.38E-04	-4.69E-04
2.16	-0.87	0.87	6.78	-6.78	-6.51E-05	5.86E-05	5.38E-04	-4.69E-04
2.17	-0.87	0.87	6.78	-6.78	-6.53E-05	5.88E-05	5.37E-04	-4.68E-04
2.18	-0.87	0.87	6.78	-6.78	-6.56E-05	5.90E-05	5.37E-04	-4.68E-04
2.19	-0.87	0.87	6.77	-6.77	-6.58E-05	5.92E-05	5.37E-04	-4.68E-04
2.20	-0.88	0.88	6.77	-6.77	-6.60E-05	5.94E-05	5.36E-04	-4.67E-04
2.21	-0.88	0.88	6.77	-6.77	-6.62E-05	5.96E-05	5.36E-04	-4.67E-04
2.22	-0.88	0.88	6.76	-6.76	-6.64E-05	5.98E-05	5.35E-04	-4.67E-04
2.23	-0.89	0.89	6.76	-6.76	-6.67E-05	6.00E-05	5.35E-04	-4.66E-04
2.24	-0.89	0.89	6.76	-6.76	-6.69E-05	6.02E-05	5.35E-04	-4.66E-04
2.25	-0.89	0.89	6.75	-6.75	-6.71E-05	6.04E-05	5.34E-04	-4.66E-04
2.26	-0.90	0.90	6.75	-6.75	-6.73E-05	6.06E-05	5.34E-04	-4.65E-04
2.27	-0.90	0.90	6.74	-6.74	-6.76E-05	6.08E-05	5.33E-04	-4.65E-04
2.28	-0.90	0.90	6.74	-6.74	-6.78E-05	6.10E-05	5.33E-04	-4.64E-04
2.29	-0.91	0.91	6.74	-6.74	-6.80E-05	6.12E-05	5.33E-04	-4.64E-04
2.30	-0.91	0.91	6.73	-6.73	-6.82E-05	6.14E-05	5.32E-04	-4.64E-04
2.31	-0.91	0.91	6.73	-6.73	-6.84E-05	6.16E-05	5.32E-04	-4.63E-04
2.32	-0.92	0.92	6.73	-6.73	-6.87E-05	6.18E-05	5.31E-04	-4.63E-04
2.33	-0.92	0.92	6.72	-6.72	-6.89E-05	6.20E-05	5.31E-04	-4.63E-04
2.34	-0.92	0.92	6.72	-6.72	-6.91E-05	6.22E-05	5.30E-04	-4.62E-04
2.35	-0.93	0.93	6.71	-6.71	-6.93E-05	6.24E-05	5.30E-04	-4.62E-04
2.36	-0.93	0.93	6.71	-6.71	-6.96E-05	6.26E-05	5.30E-04	-4.62E-04
2.37	-0.93	0.93	6.71	-6.71	-6.98E-05	6.28E-05	5.29E-04	-4.61E-04
2.38	-0.93	0.93	6.70	-6.70	-7.00E-05	6.30E-05	5.29E-04	-4.61E-04
2.39	-0.94	0.94	6.70	-6.70	-7.02E-05	6.32E-05	5.28E-04	-4.60E-04
2.40	-0.94	0.94	6.70	-6.70	-7.05E-05	6.34E-05	5.28E-04	-4.60E-04



Appendix 3 Analysis results in case3 (7/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.41	-0.94	0.94	6.69	-6.69	-7.07E-05	6.36E-05	5.28E-04	-4.60E-04
2.42	-0.95	0.95	6.69	-6.69	-7.09E-05	6.38E-05	5.27E-04	-4.59E-04
2.43	-0.95	0.95	6.68	-6.68	-7.11E-05	6.40E-05	5.27E-04	-4.59E-04
2.44	-0.95	0.95	6.68	-6.68	-7.14E-05	6.42E-05	5.26E-04	-4.59E-04
2.45	-0.96	0.96	6.68	-6.68	-7.16E-05	6.44E-05	5.26E-04	-4.58E-04
2.46	-0.96	0.96	6.67	-6.67	-7.18E-05	6.46E-05	5.26E-04	-4.58E-04
2.47	-0.96	0.96	6.67	-6.67	-7.20E-05	6.48E-05	5.25E-04	-4.58E-04
2.48	-0.97	0.97	6.66	-6.66	-7.22E-05	6.50E-05	5.25E-04	-4.57E-04
2.49	-0.97	0.97	6.66	-6.66	-7.25E-05	6.52E-05	5.24E-04	-4.57E-04
2.50	-0.97	0.97	6.66	-6.66	-7.27E-05	6.54E-05	5.24E-04	-4.56E-04
2.51	-0.98	0.98	6.65	-6.65	-7.29E-05	6.56E-05	5.23E-04	-4.56E-04
2.52	-0.98	0.98	6.65	-6.65	-7.31E-05	6.58E-05	5.23E-04	-4.56E-04
2.53	-0.98	0.98	6.64	-6.64	-7.33E-05	6.60E-05	5.23E-04	-4.55E-04
2.54	-0.99	0.99	6.64	-6.64	-7.36E-05	6.62E-05	5.22E-04	-4.55E-04
2.55	-0.99	0.99	6.64	-6.64	-7.38E-05	6.64E-05	5.22E-04	-4.55E-04
2.56	-0.99	0.99	6.63	-6.63	-7.40E-05	6.66E-05	5.21E-04	-4.54E-04
2.57	-0.99	0.99	6.63	-6.63	-7.42E-05	6.68E-05	5.21E-04	-4.54E-04
2.58	-1.00	1.00	6.63	-6.63	-7.44E-05	6.70E-05	5.21E-04	-4.53E-04
2.59	-1.00	1.00	6.62	-6.62	-7.46E-05	6.72E-05	5.20E-04	-4.53E-04
2.60	-1.00	1.00	6.62	-6.62	-7.49E-05	6.73E-05	5.20E-04	-4.53E-04
2.61	-1.01	1.01	6.61	-6.61	-7.51E-05	6.75E-05	5.19E-04	-4.52E-04
2.62	-1.01	1.01	6.61	-6.61	-7.53E-05	6.77E-05	5.19E-04	-4.52E-04
2.63	-1.01	1.01	6.61	-6.61	-7.55E-05	6.79E-05	5.18E-04	-4.52E-04
2.64	-1.02	1.02	6.60	-6.60	-7.57E-05	6.81E-05	5.18E-04	-4.51E-04
2.65	-1.02	1.02	6.60	-6.60	-7.59E-05	6.83E-05	5.18E-04	-4.51E-04
2.66	-1.02	1.02	6.59	-6.59	-7.61E-05	6.85E-05	5.17E-04	-4.51E-04
2.67	-1.03	1.03	6.59	-6.59	-7.63E-05	6.87E-05	5.17E-04	-4.50E-04
2.68	-1.03	1.03	6.59	-6.59	-7.65E-05	6.88E-05	5.16E-04	-4.50E-04
2.69	-1.03	1.03	6.58	-6.58	-7.67E-05	6.90E-05	5.16E-04	-4.49E-04
2.70	-1.03	1.03	6.58	-6.58	-7.69E-05	6.92E-05	5.16E-04	-4.49E-04
2.71	-1.04	1.04	6.57	-6.57	-7.71E-05	6.94E-05	5.15E-04	-4.49E-04
2.72	-1.04	1.04	6.57	-6.57	-7.73E-05	6.96E-05	5.15E-04	-4.48E-04
2.73	-1.04	1.04	6.57	-6.57	-7.75E-05	6.98E-05	5.14E-04	-4.48E-04
2.74	-1.05	1.05	6.56	-6.56	-7.77E-05	6.99E-05	5.14E-04	-4.48E-04
2.75	-1.05	1.05	6.56	-6.56	-7.79E-05	7.01E-05	5.13E-04	-4.47E-04
2.76	-1.05	1.05	6.56	-6.56	-7.81E-05	7.03E-05	5.13E-04	-4.47E-04
2.77	-1.05	1.05	6.55	-6.55	-7.83E-05	7.05E-05	5.13E-04	-4.47E-04
2.78	-1.06	1.06	6.55	-6.55	-7.85E-05	7.06E-05	5.12E-04	-4.46E-04
2.79	-1.06	1.06	6.54	-6.54	-7.87E-05	7.08E-05	5.12E-04	-4.46E-04
2.80	-1.06	1.06	6.54	-6.54	-7.89E-05	7.10E-05	5.11E-04	-4.45E-04

Appendix 3 Analysis results in case3 (8/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.81	-1.07	1.07	6.54	-6.54	-7.91E-05	7.11E-05	5.11E-04	-4.45E-04
2.82	-1.07	1.07	6.53	-6.53	-7.93E-05	7.13E-05	5.11E-04	-4.45E-04
2.83	-1.07	1.07	6.53	-6.53	-7.95E-05	7.15E-05	5.10E-04	-4.44E-04
2.84	-1.07	1.07	6.53	-6.53	-7.97E-05	7.17E-05	5.10E-04	-4.44E-04
2.85	-1.08	1.08	6.52	-6.52	-7.99E-05	7.18E-05	5.09E-04	-4.44E-04
2.86	-1.08	1.08	6.52	-6.52	-8.00E-05	7.20E-05	5.09E-04	-4.43E-04
2.87	-1.08	1.08	6.51	-6.51	-8.02E-05	7.21E-05	5.09E-04	-4.43E-04
2.88	-1.08	1.08	6.51	-6.51	-8.04E-05	7.23E-05	5.08E-04	-4.43E-04
2.89	-1.09	1.09	6.51	-6.51	-8.06E-05	7.25E-05	5.08E-04	-4.42E-04
2.90	-1.09	1.09	6.50	-6.50	-8.08E-05	7.26E-05	5.07E-04	-4.42E-04
2.91	-1.09	1.09	6.50	-6.50	-8.09E-05	7.28E-05	5.07E-04	-4.42E-04
2.92	-1.10	1.10	6.50	-6.50	-8.11E-05	7.29E-05	5.07E-04	-4.41E-04
2.93	-1.10	1.10	6.49	-6.49	-8.13E-05	7.31E-05	5.06E-04	-4.41E-04
2.94	-1.10	1.10	6.49	-6.49	-8.15E-05	7.33E-05	5.06E-04	-4.40E-04
2.95	-1.10	1.10	6.48	-6.48	-8.16E-05	7.34E-05	5.05E-04	-4.40E-04
2.96	-1.11	1.11	6.48	-6.48	-8.18E-05	7.36E-05	5.05E-04	-4.40E-04
2.97	-1.11	1.11	6.48	-6.48	-8.20E-05	7.37E-05	5.05E-04	-4.39E-04
2.98	-1.11	1.11	6.47	-6.47	-8.21E-05	7.39E-05	5.04E-04	-4.39E-04
2.99	-1.11	1.11	6.47	-6.47	-8.23E-05	7.40E-05	5.04E-04	-4.39E-04
3.00	-1.12	1.12	6.47	-6.47	-8.25E-05	7.42E-05	5.03E-04	-4.38E-04

Appendix 4 Analysis results in case4 (1/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.00	-4.27	4.27	0.00	0.00	-5.00E-04	5.20E-04	0.00E+00	0.00E+00
0.01	-3.01	3.01	1.48	-1.48	-3.35E-04	3.39E-04	1.77E-04	-1.73E-04
0.02	-2.49	2.49	2.12	-2.12	-2.70E-04	2.71E-04	2.48E-04	-2.39E-04
0.03	-2.29	2.29	2.41	-2.41	-2.44E-04	2.44E-04	2.77E-04	-2.66E-04
0.04	-2.21	2.21	2.59	-2.59	-2.32E-04	2.31E-04	2.93E-04	-2.80E-04
0.05	-2.16	2.16	2.73	-2.73	-2.23E-04	2.21E-04	3.04E-04	-2.90E-04
0.06	-2.11	2.11	2.85	-2.85	-2.16E-04	2.14E-04	3.14E-04	-2.98E-04
0.07	-2.07	2.07	2.96	-2.96	-2.10E-04	2.07E-04	3.23E-04	-3.06E-04
0.08	-2.03	2.03	3.07	-3.07	-2.04E-04	2.01E-04	3.31E-04	-3.13E-04
0.09	-1.99	1.99	3.18	-3.18	-1.98E-04	1.94E-04	3.39E-04	-3.20E-04
0.10	-1.95	1.95	3.28	-3.28	-1.92E-04	1.89E-04	3.47E-04	-3.27E-04
0.11	-1.91	1.91	3.38	-3.38	-1.87E-04	1.83E-04	3.55E-04	-3.34E-04
0.12	-1.87	1.87	3.47	-3.47	-1.82E-04	1.78E-04	3.62E-04	-3.40E-04
0.13	-1.83	1.83	3.57	-3.57	-1.76E-04	1.72E-04	3.69E-04	-3.47E-04
0.14	-1.79	1.79	3.66	-3.66	-1.72E-04	1.67E-04	3.76E-04	-3.53E-04
0.15	-1.76	1.76	3.75	-3.75	-1.67E-04	1.62E-04	3.83E-04	-3.59E-04
0.16	-1.72	1.72	3.84	-3.84	-1.62E-04	1.58E-04	3.89E-04	-3.64E-04
0.17	-1.68	1.68	3.92	-3.92	-1.57E-04	1.53E-04	3.96E-04	-3.70E-04
0.18	-1.64	1.64	4.01	-4.01	-1.53E-04	1.49E-04	4.02E-04	-3.75E-04
0.19	-1.60	1.60	4.09	-4.09	-1.49E-04	1.44E-04	4.08E-04	-3.81E-04
0.20	-1.56	1.56	4.17	-4.17	-1.44E-04	1.40E-04	4.14E-04	-3.86E-04
0.21	-1.53	1.53	4.25	-4.25	-1.40E-04	1.36E-04	4.20E-04	-3.91E-04
0.22	-1.49	1.49	4.32	-4.32	-1.36E-04	1.32E-04	4.25E-04	-3.96E-04
0.23	-1.45	1.45	4.40	-4.40	-1.32E-04	1.28E-04	4.31E-04	-4.01E-04
0.24	-1.42	1.42	4.47	-4.47	-1.28E-04	1.24E-04	4.36E-04	-4.05E-04
0.25	-1.38	1.38	4.54	-4.54	-1.25E-04	1.20E-04	4.41E-04	-4.10E-04
0.26	-1.35	1.35	4.62	-4.62	-1.21E-04	1.17E-04	4.46E-04	-4.14E-04
0.27	-1.31	1.31	4.68	-4.68	-1.17E-04	1.13E-04	4.51E-04	-4.18E-04
0.28	-1.28	1.28	4.75	-4.75	-1.14E-04	1.10E-04	4.56E-04	-4.23E-04
0.29	-1.24	1.24	4.82	-4.82	-1.10E-04	1.06E-04	4.61E-04	-4.27E-04
0.30	-1.21	1.21	4.88	-4.88	-1.07E-04	1.03E-04	4.65E-04	-4.31E-04
0.31	-1.18	1.18	4.95	-4.95	-1.04E-04	9.99E-05	4.70E-04	-4.35E-04
0.32	-1.14	1.14	5.01	-5.01	-1.01E-04	9.68E-05	4.74E-04	-4.38E-04
0.33	-1.11	1.11	5.07	-5.07	-9.75E-05	9.37E-05	4.78E-04	-4.42E-04
0.34	-1.08	1.08	5.13	-5.13	-9.45E-05	9.08E-05	4.82E-04	-4.46E-04
0.35	-1.05	1.05	5.19	-5.19	-9.15E-05	8.79E-05	4.86E-04	-4.49E-04
0.36	-1.02	1.02	5.25	-5.25	-8.86E-05	8.50E-05	4.90E-04	-4.53E-04
0.37	-0.99	0.99	5.30	-5.30	-8.58E-05	8.23E-05	4.94E-04	-4.56E-04
0.38	-0.96	0.96	5.36	-5.36	-8.30E-05	7.96E-05	4.98E-04	-4.59E-04
0.39	-0.93	0.93	5.41	-5.41	-8.03E-05	7.70E-05	5.02E-04	-4.62E-04
0.40	-0.90	0.90	5.46	-5.46	-7.77E-05	7.44E-05	5.05E-04	-4.65E-04

Appendix 4 Analysis results in case4 (2/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.41	-0.88	0.88	5.52	-5.52	-7.51E-05	7.19E-05	5.09E-04	-4.68E-04
0.42	-0.85	0.85	5.57	-5.57	-7.26E-05	6.95E-05	5.12E-04	-4.71E-04
0.43	-0.82	0.82	5.62	-5.62	-7.01E-05	6.71E-05	5.15E-04	-4.74E-04
0.44	-0.80	0.80	5.66	-5.66	-6.77E-05	6.48E-05	5.19E-04	-4.77E-04
0.45	-0.77	0.77	5.71	-5.71	-6.54E-05	6.25E-05	5.22E-04	-4.80E-04
0.46	-0.74	0.74	5.76	-5.76	-6.31E-05	6.03E-05	5.25E-04	-4.82E-04
0.47	-0.72	0.72	5.80	-5.80	-6.08E-05	5.81E-05	5.28E-04	-4.85E-04
0.48	-0.69	0.69	5.85	-5.85	-5.86E-05	5.60E-05	5.31E-04	-4.87E-04
0.49	-0.67	0.67	5.89	-5.89	-5.65E-05	5.39E-05	5.34E-04	-4.90E-04
0.50	-0.65	0.65	5.93	-5.93	-5.44E-05	5.19E-05	5.36E-04	-4.92E-04
0.51	-0.62	0.62	5.97	-5.97	-5.24E-05	5.00E-05	5.39E-04	-4.94E-04
0.52	-0.60	0.60	6.01	-6.01	-5.04E-05	4.80E-05	5.42E-04	-4.96E-04
0.53	-0.58	0.58	6.05	-6.05	-4.85E-05	4.62E-05	5.44E-04	-4.99E-04
0.54	-0.56	0.56	6.09	-6.09	-4.66E-05	4.43E-05	5.47E-04	-5.01E-04
0.55	-0.54	0.54	6.13	-6.13	-4.47E-05	4.26E-05	5.49E-04	-5.03E-04
0.56	-0.52	0.52	6.16	-6.16	-4.29E-05	4.08E-05	5.51E-04	-5.05E-04
0.57	-0.50	0.50	6.20	-6.20	-4.11E-05	3.91E-05	5.54E-04	-5.07E-04
0.58	-0.48	0.48	6.23	-6.23	-3.94E-05	3.75E-05	5.56E-04	-5.08E-04
0.59	-0.46	0.46	6.27	-6.27	-3.77E-05	3.59E-05	5.58E-04	-5.10E-04
0.60	-0.44	0.44	6.30	-6.30	-3.61E-05	3.43E-05	5.60E-04	-5.12E-04
0.61	-0.42	0.42	6.33	-6.33	-3.45E-05	3.28E-05	5.62E-04	-5.14E-04
0.62	-0.40	0.40	6.36	-6.36	-3.29E-05	3.13E-05	5.64E-04	-5.15E-04
0.63	-0.38	0.38	6.39	-6.39	-3.14E-05	2.98E-05	5.66E-04	-5.17E-04
0.64	-0.36	0.36	6.42	-6.42	-2.99E-05	2.84E-05	5.68E-04	-5.18E-04
0.65	-0.35	0.35	6.45	-6.45	-2.84E-05	2.70E-05	5.70E-04	-5.20E-04
0.66	-0.33	0.33	6.48	-6.48	-2.70E-05	2.56E-05	5.71E-04	-5.21E-04
0.67	-0.31	0.31	6.51	-6.51	-2.56E-05	2.43E-05	5.73E-04	-5.23E-04
0.68	-0.30	0.30	6.54	-6.54	-2.43E-05	2.30E-05	5.75E-04	-5.24E-04
0.69	-0.28	0.28	6.56	-6.56	-2.30E-05	2.18E-05	5.76E-04	-5.25E-04
0.70	-0.27	0.27	6.59	-6.59	-2.17E-05	2.06E-05	5.78E-04	-5.27E-04
0.71	-0.25	0.25	6.61	-6.61	-2.05E-05	1.94E-05	5.79E-04	-5.28E-04
0.72	-0.24	0.24	6.64	-6.64	-1.92E-05	1.82E-05	5.81E-04	-5.29E-04
0.73	-0.22	0.22	6.66	-6.66	-1.81E-05	1.71E-05	5.82E-04	-5.30E-04
0.74	-0.21	0.21	6.68	-6.68	-1.69E-05	1.60E-05	5.84E-04	-5.31E-04
0.75	-0.19	0.19	6.70	-6.70	-1.58E-05	1.49E-05	5.85E-04	-5.32E-04
0.76	-0.18	0.18	6.73	-6.73	-1.47E-05	1.39E-05	5.86E-04	-5.33E-04
0.77	-0.17	0.17	6.75	-6.75	-1.36E-05	1.29E-05	5.87E-04	-5.34E-04
0.78	-0.16	0.16	6.77	-6.77	-1.26E-05	1.19E-05	5.89E-04	-5.35E-04
0.79	-0.14	0.14	6.79	-6.79	-1.16E-05	1.09E-05	5.90E-04	-5.36E-04
0.80	-0.13	0.13	6.81	-6.81	-1.06E-05	1.00E-05	5.91E-04	-5.37E-04

Appendix 4 Analysis results in case4 (3/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.81	-0.12	0.12	6.82	-6.82	-9.63E-06	9.10E-06	5.92E-04	-5.38E-04
0.82	-0.11	0.11	6.84	-6.84	-8.70E-06	8.22E-06	5.93E-04	-5.38E-04
0.83	-0.10	0.10	6.86	-6.86	-7.79E-06	7.36E-06	5.94E-04	-5.39E-04
0.84	-0.09	0.09	6.88	-6.88	-6.91E-06	6.53E-06	5.95E-04	-5.40E-04
0.85	-0.08	0.08	6.89	-6.89	-6.06E-06	5.72E-06	5.96E-04	-5.41E-04
0.86	-0.07	0.07	6.91	-6.91	-5.23E-06	4.93E-06	5.97E-04	-5.41E-04
0.87	-0.06	0.06	6.92	-6.92	-4.42E-06	4.17E-06	5.97E-04	-5.42E-04
0.88	-0.05	0.05	6.94	-6.94	-3.63E-06	3.43E-06	5.98E-04	-5.42E-04
0.89	-0.04	0.04	6.95	-6.95	-2.87E-06	2.71E-06	5.99E-04	-5.43E-04
0.90	-0.03	0.03	6.97	-6.97	-2.13E-06	2.01E-06	6.00E-04	-5.44E-04
0.91	-0.02	0.02	6.98	-6.98	-1.41E-06	1.33E-06	6.00E-04	-5.44E-04
0.92	-0.01	0.01	6.99	-6.99	-7.18E-07	6.76E-07	6.01E-04	-5.45E-04
0.93	0.00	0.00	7.00	-7.00	-4.28E-08	4.03E-08	6.02E-04	-5.45E-04
0.94	0.01	-0.01	7.02	-7.02	6.12E-07	-5.76E-07	6.02E-04	-5.45E-04
0.95	0.02	-0.02	7.03	-7.03	1.25E-06	-1.17E-06	6.03E-04	-5.46E-04
0.96	0.02	-0.02	7.04	-7.04	1.86E-06	-1.75E-06	6.03E-04	-5.46E-04
0.97	0.03	-0.03	7.05	-7.05	2.45E-06	-2.31E-06	6.04E-04	-5.47E-04
0.98	0.04	-0.04	7.06	-7.06	3.03E-06	-2.85E-06	6.04E-04	-5.47E-04
0.99	0.05	-0.05	7.07	-7.07	3.58E-06	-3.37E-06	6.05E-04	-5.47E-04
1.00	0.05	-0.05	7.08	-7.08	4.12E-06	-3.88E-06	6.05E-04	-5.47E-04
1.01	0.06	-0.06	7.09	-7.09	4.64E-06	-4.37E-06	6.06E-04	-5.48E-04
1.02	0.06	-0.06	7.10	-7.10	5.14E-06	-4.84E-06	6.06E-04	-5.48E-04
1.03	0.07	-0.07	7.10	-7.10	5.63E-06	-5.29E-06	6.06E-04	-5.48E-04
1.04	0.08	-0.08	7.11	-7.11	6.10E-06	-5.73E-06	6.07E-04	-5.48E-04
1.05	0.08	-0.08	7.12	-7.12	6.55E-06	-6.15E-06	6.07E-04	-5.48E-04
1.06	0.09	-0.09	7.13	-7.13	6.98E-06	-6.56E-06	6.07E-04	-5.49E-04
1.07	0.09	-0.09	7.13	-7.13	7.40E-06	-6.95E-06	6.07E-04	-5.49E-04
1.08	0.10	-0.10	7.14	-7.14	7.80E-06	-7.33E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.09	0.10	-0.10	7.15	-7.15	8.19E-06	-7.69E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.10	0.11	-0.11	7.15	-7.15	8.56E-06	-8.04E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.11	0.11	-0.11	7.16	-7.16	8.91E-06	-8.37E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.12	0.12	-0.12	7.16	-7.16	9.25E-06	-8.69E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.13	0.12	-0.12	7.17	-7.17	9.58E-06	-8.99E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.14	0.13	-0.13	7.17	-7.17	9.89E-06	-9.28E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.15	0.13	-0.13	7.18	-7.18	1.02E-05	-9.56E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.16	0.13	-0.13	7.18	-7.18	1.05E-05	-9.83E-06	6.08E-04	-5.49E-04
1.17	0.14	-0.14	7.18	-7.18	1.07E-05	-1.01E-05	6.08E-04	-5.49E-04
1.18	0.14	-0.14	7.19	-7.19	1.10E-05	-1.03E-05	6.08E-04	-5.49E-04
1.19	0.14	-0.14	7.19	-7.19	1.13E-05	-1.06E-05	6.08E-04	-5.49E-04
1.20	0.15	-0.15	7.19	-7.19	1.15E-05	-1.08E-05	6.08E-04	-5.48E-04



Appendix 4 Analysis results in case4 (4/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.21	0.15	-0.15	7.19	-7.19	1.17E-05	-1.10E-05	6.08E-04	-5.48E-04
1.22	0.15	-0.15	7.20	-7.20	1.19E-05	-1.12E-05	6.08E-04	-5.48E-04
1.23	0.15	-0.15	7.20	-7.20	1.21E-05	-1.13E-05	6.08E-04	-5.48E-04
1.24	0.16	-0.16	7.20	-7.20	1.23E-05	-1.15E-05	6.08E-04	-5.48E-04
1.25	0.16	-0.16	7.20	-7.20	1.25E-05	-1.17E-05	6.08E-04	-5.48E-04
1.26	0.16	-0.16	7.20	-7.20	1.26E-05	-1.18E-05	6.08E-04	-5.47E-04
1.27	0.16	-0.16	7.20	-7.20	1.28E-05	-1.20E-05	6.08E-04	-5.47E-04
1.28	0.16	-0.16	7.20	-7.20	1.29E-05	-1.21E-05	6.08E-04	-5.47E-04
1.29	0.17	-0.17	7.20	-7.20	1.30E-05	-1.22E-05	6.07E-04	-5.47E-04
1.30	0.17	-0.17	7.21	-7.21	1.32E-05	-1.23E-05	6.07E-04	-5.47E-04
1.31	0.17	-0.17	7.21	-7.21	1.33E-05	-1.24E-05	6.07E-04	-5.46E-04
1.32	0.17	-0.17	7.21	-7.21	1.34E-05	-1.25E-05	6.07E-04	-5.46E-04
1.33	0.17	-0.17	7.20	-7.20	1.35E-05	-1.26E-05	6.06E-04	-5.46E-04
1.34	0.17	-0.17	7.20	-7.20	1.35E-05	-1.27E-05	6.06E-04	-5.45E-04
1.35	0.17	-0.17	7.20	-7.20	1.36E-05	-1.27E-05	6.06E-04	-5.45E-04
1.36	0.17	-0.17	7.20	-7.20	1.37E-05	-1.28E-05	6.06E-04	-5.45E-04
1.37	0.18	-0.18	7.20	-7.20	1.37E-05	-1.28E-05	6.05E-04	-5.44E-04
1.38	0.18	-0.18	7.20	-7.20	1.38E-05	-1.29E-05	6.05E-04	-5.44E-04
1.39	0.18	-0.18	7.20	-7.20	1.38E-05	-1.29E-05	6.05E-04	-5.44E-04
1.40	0.18	-0.18	7.20	-7.20	1.38E-05	-1.29E-05	6.04E-04	-5.43E-04
1.41	0.18	-0.18	7.20	-7.20	1.38E-05	-1.29E-05	6.04E-04	-5.43E-04
1.42	0.18	-0.18	7.19	-7.19	1.38E-05	-1.29E-05	6.04E-04	-5.43E-04
1.43	0.18	-0.18	7.19	-7.19	1.38E-05	-1.29E-05	6.03E-04	-5.42E-04
1.44	0.18	-0.18	7.19	-7.19	1.38E-05	-1.29E-05	6.03E-04	-5.42E-04
1.45	0.18	-0.18	7.19	-7.19	1.38E-05	-1.29E-05	6.03E-04	-5.42E-04
1.46	0.18	-0.18	7.19	-7.19	1.38E-05	-1.29E-05	6.02E-04	-5.41E-04
1.47	0.18	-0.18	7.18	-7.18	1.38E-05	-1.29E-05	6.02E-04	-5.41E-04
1.48	0.18	-0.18	7.18	-7.18	1.37E-05	-1.28E-05	6.01E-04	-5.40E-04
1.49	0.18	-0.18	7.18	-7.18	1.37E-05	-1.28E-05	6.01E-04	-5.40E-04
1.50	0.18	-0.18	7.17	-7.17	1.36E-05	-1.27E-05	6.01E-04	-5.39E-04
1.51	0.17	-0.17	7.17	-7.17	1.36E-05	-1.27E-05	6.00E-04	-5.39E-04
1.52	0.17	-0.17	7.17	-7.17	1.35E-05	-1.26E-05	6.00E-04	-5.39E-04
1.53	0.17	-0.17	7.16	-7.16	1.34E-05	-1.25E-05	5.99E-04	-5.38E-04
1.54	0.17	-0.17	7.16	-7.16	1.33E-05	-1.25E-05	5.99E-04	-5.38E-04
1.55	0.17	-0.17	7.16	-7.16	1.33E-05	-1.24E-05	5.98E-04	-5.37E-04
1.56	0.17	-0.17	7.15	-7.15	1.32E-05	-1.23E-05	5.98E-04	-5.37E-04
1.57	0.17	-0.17	7.15	-7.15	1.31E-05	-1.22E-05	5.97E-04	-5.36E-04
1.58	0.17	-0.17	7.15	-7.15	1.30E-05	-1.21E-05	5.97E-04	-5.36E-04
1.59	0.17	-0.17	7.14	-7.14	1.28E-05	-1.20E-05	5.96E-04	-5.35E-04
1.60	0.16	-0.16	7.14	-7.14	1.27E-05	-1.19E-05	5.96E-04	-5.35E-04

Appendix 4 Analysis results in case4 (5/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.61	0.16	-0.16	7.13	-7.13	1.26E-05	-1.18E-05	5.95E-04	-5.34E-04
1.62	0.16	-0.16	7.13	-7.13	1.25E-05	-1.16E-05	5.95E-04	-5.34E-04
1.63	0.16	-0.16	7.12	-7.12	1.23E-05	-1.15E-05	5.94E-04	-5.33E-04
1.64	0.16	-0.16	7.12	-7.12	1.22E-05	-1.14E-05	5.94E-04	-5.33E-04
1.65	0.16	-0.16	7.12	-7.12	1.21E-05	-1.13E-05	5.93E-04	-5.32E-04
1.66	0.15	-0.15	7.11	-7.11	1.19E-05	-1.11E-05	5.93E-04	-5.32E-04
1.67	0.15	-0.15	7.11	-7.11	1.18E-05	-1.10E-05	5.92E-04	-5.31E-04
1.68	0.15	-0.15	7.10	-7.10	1.16E-05	-1.08E-05	5.92E-04	-5.31E-04
1.69	0.15	-0.15	7.10	-7.10	1.14E-05	-1.07E-05	5.91E-04	-5.30E-04
1.70	0.15	-0.15	7.09	-7.09	1.13E-05	-1.05E-05	5.90E-04	-5.30E-04
1.71	0.14	-0.14	7.09	-7.09	1.11E-05	-1.04E-05	5.90E-04	-5.29E-04
1.72	0.14	-0.14	7.08	-7.08	1.09E-05	-1.02E-05	5.89E-04	-5.29E-04
1.73	0.14	-0.14	7.08	-7.08	1.07E-05	-1.00E-05	5.89E-04	-5.28E-04
1.74	0.14	-0.14	7.07	-7.07	1.06E-05	-9.85E-06	5.88E-04	-5.27E-04
1.75	0.13	-0.13	7.07	-7.07	1.04E-05	-9.67E-06	5.88E-04	-5.27E-04
1.76	0.13	-0.13	7.06	-7.06	1.02E-05	-9.49E-06	5.87E-04	-5.26E-04
1.77	0.13	-0.13	7.05	-7.05	9.98E-06	-9.31E-06	5.86E-04	-5.26E-04
1.78	0.13	-0.13	7.05	-7.05	9.78E-06	-9.12E-06	5.86E-04	-5.25E-04
1.79	0.12	-0.12	7.04	-7.04	9.57E-06	-8.93E-06	5.85E-04	-5.25E-04
1.80	0.12	-0.12	7.04	-7.04	9.37E-06	-8.73E-06	5.85E-04	-5.24E-04
1.81	0.12	-0.12	7.03	-7.03	9.15E-06	-8.54E-06	5.84E-04	-5.24E-04
1.82	0.12	-0.12	7.03	-7.03	8.94E-06	-8.34E-06	5.83E-04	-5.23E-04
1.83	0.11	-0.11	7.02	-7.02	8.72E-06	-8.13E-06	5.83E-04	-5.22E-04
1.84	0.11	-0.11	7.02	-7.02	8.50E-06	-7.92E-06	5.82E-04	-5.22E-04
1.85	0.11	-0.11	7.01	-7.01	8.27E-06	-7.71E-06	5.82E-04	-5.21E-04
1.86	0.10	-0.10	7.00	-7.00	8.05E-06	-7.50E-06	5.81E-04	-5.21E-04
1.87	0.10	-0.10	7.00	-7.00	7.81E-06	-7.29E-06	5.80E-04	-5.20E-04
1.88	0.10	-0.10	6.99	-6.99	7.58E-06	-7.07E-06	5.80E-04	-5.20E-04
1.89	0.10	-0.10	6.99	-6.99	7.34E-06	-6.85E-06	5.79E-04	-5.19E-04
1.90	0.09	-0.09	6.98	-6.98	7.10E-06	-6.62E-06	5.78E-04	-5.19E-04
1.91	0.09	-0.09	6.97	-6.97	6.86E-06	-6.40E-06	5.78E-04	-5.18E-04
1.92	0.09	-0.09	6.97	-6.97	6.62E-06	-6.17E-06	5.77E-04	-5.17E-04
1.93	0.08	-0.08	6.96	-6.96	6.37E-06	-5.94E-06	5.77E-04	-5.17E-04
1.94	0.08	-0.08	6.96	-6.96	6.12E-06	-5.71E-06	5.76E-04	-5.16E-04
1.95	0.08	-0.08	6.95	-6.95	5.87E-06	-5.47E-06	5.75E-04	-5.16E-04
1.96	0.07	-0.07	6.94	-6.94	5.61E-06	-5.23E-06	5.75E-04	-5.15E-04
1.97	0.07	-0.07	6.94	-6.94	5.36E-06	-4.99E-06	5.74E-04	-5.14E-04
1.98	0.07	-0.07	6.93	-6.93	5.10E-06	-4.75E-06	5.73E-04	-5.14E-04
1.99	0.06	-0.06	6.93	-6.93	4.84E-06	-4.51E-06	5.73E-04	-5.13E-04
2.00	0.06	-0.06	6.92	-6.92	4.57E-06	-4.26E-06	5.72E-04	-5.13E-04

Appendix 4 Analysis results in case4 (6/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.01	0.06	-0.06	6.91	-6.91	4.31E-06	-4.02E-06	5.71E-04	-5.12E-04
2.02	0.05	-0.05	6.91	-6.91	4.04E-06	-3.77E-06	5.71E-04	-5.12E-04
2.03	0.05	-0.05	6.90	-6.90	3.77E-06	-3.52E-06	5.70E-04	-5.11E-04
2.04	0.05	-0.05	6.89	-6.89	3.50E-06	-3.26E-06	5.69E-04	-5.10E-04
2.05	0.04	-0.04	6.89	-6.89	3.23E-06	-3.01E-06	5.69E-04	-5.10E-04
2.06	0.04	-0.04	6.88	-6.88	2.96E-06	-2.76E-06	5.68E-04	-5.09E-04
2.07	0.03	-0.03	6.88	-6.88	2.68E-06	-2.50E-06	5.68E-04	-5.09E-04
2.08	0.03	-0.03	6.87	-6.87	2.40E-06	-2.24E-06	5.67E-04	-5.08E-04
2.09	0.03	-0.03	6.86	-6.86	2.13E-06	-1.98E-06	5.66E-04	-5.07E-04
2.10	0.02	-0.02	6.86	-6.86	1.85E-06	-1.72E-06	5.66E-04	-5.07E-04
2.11	0.02	-0.02	6.85	-6.85	1.56E-06	-1.46E-06	5.65E-04	-5.06E-04
2.12	0.02	-0.02	6.84	-6.84	1.28E-06	-1.20E-06	5.64E-04	-5.06E-04
2.13	0.01	-0.01	6.84	-6.84	1.00E-06	-9.32E-07	5.64E-04	-5.05E-04
2.14	0.01	-0.01	6.83	-6.83	7.14E-07	-6.66E-07	5.63E-04	-5.05E-04
2.15	0.01	-0.01	6.83	-6.83	4.29E-07	-4.00E-07	5.62E-04	-5.04E-04
2.16	0.00	0.00	6.82	-6.82	1.42E-07	-1.33E-07	5.62E-04	-5.03E-04
2.17	0.00	0.00	6.81	-6.81	-1.46E-07	1.36E-07	5.61E-04	-5.03E-04
2.18	-0.01	0.01	6.81	-6.81	-4.34E-07	4.05E-07	5.60E-04	-5.02E-04
2.19	-0.01	0.01	6.80	-6.80	-7.24E-07	6.75E-07	5.60E-04	-5.02E-04
2.20	-0.01	0.01	6.79	-6.79	-1.01E-06	9.45E-07	5.59E-04	-5.01E-04
2.21	-0.02	0.02	6.79	-6.79	-1.31E-06	1.22E-06	5.58E-04	-5.01E-04
2.22	-0.02	0.02	6.78	-6.78	-1.60E-06	1.49E-06	5.58E-04	-5.00E-04
2.23	-0.02	0.02	6.78	-6.78	-1.89E-06	1.76E-06	5.57E-04	-4.99E-04
2.24	-0.03	0.03	6.77	-6.77	-2.18E-06	2.03E-06	5.57E-04	-4.99E-04
2.25	-0.03	0.03	6.76	-6.76	-2.48E-06	2.31E-06	5.56E-04	-4.98E-04
2.26	-0.04	0.04	6.76	-6.76	-2.77E-06	2.58E-06	5.55E-04	-4.98E-04
2.27	-0.04	0.04	6.75	-6.75	-3.06E-06	2.86E-06	5.55E-04	-4.97E-04
2.28	-0.04	0.04	6.74	-6.74	-3.36E-06	3.13E-06	5.54E-04	-4.97E-04
2.29	-0.05	0.05	6.74	-6.74	-3.65E-06	3.41E-06	5.53E-04	-4.96E-04
2.30	-0.05	0.05	6.73	-6.73	-3.95E-06	3.68E-06	5.53E-04	-4.95E-04
2.31	-0.06	0.06	6.73	-6.73	-4.25E-06	3.96E-06	5.52E-04	-4.95E-04
2.32	-0.06	0.06	6.72	-6.72	-4.54E-06	4.24E-06	5.51E-04	-4.94E-04
2.33	-0.06	0.06	6.71	-6.71	-4.84E-06	4.51E-06	5.51E-04	-4.94E-04
2.34	-0.07	0.07	6.71	-6.71	-5.14E-06	4.79E-06	5.50E-04	-4.93E-04
2.35	-0.07	0.07	6.70	-6.70	-5.43E-06	5.06E-06	5.50E-04	-4.93E-04
2.36	-0.08	0.08	6.69	-6.69	-5.73E-06	5.34E-06	5.49E-04	-4.92E-04
2.37	-0.08	0.08	6.69	-6.69	-6.03E-06	5.62E-06	5.48E-04	-4.92E-04
2.38	-0.08	0.08	6.68	-6.68	-6.32E-06	5.89E-06	5.48E-04	-4.91E-04
2.39	-0.09	0.09	6.68	-6.68	-6.62E-06	6.17E-06	5.47E-04	-4.90E-04
2.40	-0.09	0.09	6.67	-6.67	-6.91E-06	6.45E-06	5.46E-04	-4.90E-04



Appendix 4 Analysis results in case4 (7/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.41	-0.09	0.09	6.66	-6.66	-7.21E-06	6.72E-06	5.46E-04	-4.89E-04
2.42	-0.10	0.10	6.66	-6.66	-7.51E-06	7.00E-06	5.45E-04	-4.89E-04
2.43	-0.10	0.10	6.65	-6.65	-7.80E-06	7.28E-06	5.45E-04	-4.88E-04
2.44	-0.11	0.11	6.65	-6.65	-8.10E-06	7.55E-06	5.44E-04	-4.88E-04
2.45	-0.11	0.11	6.64	-6.64	-8.39E-06	7.83E-06	5.43E-04	-4.87E-04
2.46	-0.11	0.11	6.63	-6.63	-8.69E-06	8.10E-06	5.43E-04	-4.87E-04
2.47	-0.12	0.12	6.63	-6.63	-8.98E-06	8.38E-06	5.42E-04	-4.86E-04
2.48	-0.12	0.12	6.62	-6.62	-9.28E-06	8.65E-06	5.41E-04	-4.86E-04
2.49	-0.13	0.13	6.62	-6.62	-9.57E-06	8.93E-06	5.41E-04	-4.85E-04
2.50	-0.13	0.13	6.61	-6.61	-9.86E-06	9.20E-06	5.40E-04	-4.84E-04
2.51	-0.13	0.13	6.60	-6.60	-1.02E-05	9.47E-06	5.40E-04	-4.84E-04
2.52	-0.14	0.14	6.60	-6.60	-1.04E-05	9.74E-06	5.39E-04	-4.83E-04
2.53	-0.14	0.14	6.59	-6.59	-1.07E-05	1.00E-05	5.38E-04	-4.83E-04
2.54	-0.15	0.15	6.59	-6.59	-1.10E-05	1.03E-05	5.38E-04	-4.82E-04
2.55	-0.15	0.15	6.58	-6.58	-1.13E-05	1.06E-05	5.37E-04	-4.82E-04
2.56	-0.15	0.15	6.58	-6.58	-1.16E-05	1.08E-05	5.37E-04	-4.81E-04
2.57	-0.16	0.16	6.57	-6.57	-1.19E-05	1.11E-05	5.36E-04	-4.81E-04
2.58	-0.16	0.16	6.56	-6.56	-1.22E-05	1.14E-05	5.35E-04	-4.80E-04
2.59	-0.16	0.16	6.56	-6.56	-1.25E-05	1.16E-05	5.35E-04	-4.80E-04
2.60	-0.17	0.17	6.55	-6.55	-1.28E-05	1.19E-05	5.34E-04	-4.79E-04
2.61	-0.17	0.17	6.55	-6.55	-1.30E-05	1.22E-05	5.34E-04	-4.79E-04
2.62	-0.18	0.18	6.54	-6.54	-1.33E-05	1.24E-05	5.33E-04	-4.78E-04
2.63	-0.18	0.18	6.53	-6.53	-1.36E-05	1.27E-05	5.32E-04	-4.78E-04
2.64	-0.18	0.18	6.53	-6.53	-1.39E-05	1.30E-05	5.32E-04	-4.77E-04
2.65	-0.19	0.19	6.52	-6.52	-1.42E-05	1.32E-05	5.31E-04	-4.77E-04
2.66	-0.19	0.19	6.52	-6.52	-1.45E-05	1.35E-05	5.31E-04	-4.76E-04
2.67	-0.19	0.19	6.51	-6.51	-1.47E-05	1.37E-05	5.30E-04	-4.75E-04
2.68	-0.20	0.20	6.51	-6.51	-1.50E-05	1.40E-05	5.29E-04	-4.75E-04
2.69	-0.20	0.20	6.50	-6.50	-1.53E-05	1.43E-05	5.29E-04	-4.74E-04
2.70	-0.21	0.21	6.50	-6.50	-1.56E-05	1.45E-05	5.28E-04	-4.74E-04
2.71	-0.21	0.21	6.49	-6.49	-1.58E-05	1.48E-05	5.28E-04	-4.73E-04
2.72	-0.21	0.21	6.48	-6.48	-1.61E-05	1.50E-05	5.27E-04	-4.73E-04
2.73	-0.22	0.22	6.48	-6.48	-1.64E-05	1.53E-05	5.27E-04	-4.72E-04
2.74	-0.22	0.22	6.47	-6.47	-1.67E-05	1.55E-05	5.26E-04	-4.72E-04
2.75	-0.22	0.22	6.47	-6.47	-1.69E-05	1.58E-05	5.25E-04	-4.71E-04
2.76	-0.23	0.23	6.46	-6.46	-1.72E-05	1.61E-05	5.25E-04	-4.71E-04
2.77	-0.23	0.23	6.46	-6.46	-1.75E-05	1.63E-05	5.24E-04	-4.70E-04
2.78	-0.24	0.24	6.45	-6.45	-1.77E-05	1.65E-05	5.24E-04	-4.70E-04
2.79	-0.24	0.24	6.45	-6.45	-1.80E-05	1.68E-05	5.23E-04	-4.69E-04
2.80	-0.24	0.24	6.44	-6.44	-1.83E-05	1.70E-05	5.23E-04	-4.69E-04

Appendix 4 Analysis results in case4 (8/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.81	-0.25	0.25	6.44	-6.44	-1.85E-05	1.73E-05	5.22E-04	-4.68E-04
2.82	-0.25	0.25	6.43	-6.43	-1.88E-05	1.75E-05	5.21E-04	-4.68E-04
2.83	-0.25	0.25	6.42	-6.42	-1.90E-05	1.78E-05	5.21E-04	-4.67E-04
2.84	-0.26	0.26	6.42	-6.42	-1.93E-05	1.80E-05	5.20E-04	-4.67E-04
2.85	-0.26	0.26	6.41	-6.41	-1.96E-05	1.83E-05	5.20E-04	-4.66E-04
2.86	-0.26	0.26	6.41	-6.41	-1.98E-05	1.85E-05	5.19E-04	-4.66E-04
2.87	-0.27	0.27	6.40	-6.40	-2.01E-05	1.87E-05	5.19E-04	-4.65E-04
2.88	-0.27	0.27	6.40	-6.40	-2.03E-05	1.90E-05	5.18E-04	-4.65E-04
2.89	-0.27	0.27	6.39	-6.39	-2.06E-05	1.92E-05	5.18E-04	-4.64E-04
2.90	-0.28	0.28	6.39	-6.39	-2.08E-05	1.94E-05	5.17E-04	-4.64E-04
2.91	-0.28	0.28	6.38	-6.38	-2.11E-05	1.97E-05	5.16E-04	-4.64E-04
2.92	-0.28	0.28	6.38	-6.38	-2.13E-05	1.99E-05	5.16E-04	-4.63E-04
2.93	-0.29	0.29	6.37	-6.37	-2.16E-05	2.01E-05	5.15E-04	-4.63E-04
2.94	-0.29	0.29	6.37	-6.37	-2.18E-05	2.03E-05	5.15E-04	-4.62E-04
2.95	-0.29	0.29	6.36	-6.36	-2.20E-05	2.06E-05	5.14E-04	-4.62E-04
2.96	-0.30	0.30	6.36	-6.36	-2.23E-05	2.08E-05	5.14E-04	-4.61E-04
2.97	-0.30	0.30	6.35	-6.35	-2.25E-05	2.10E-05	5.13E-04	-4.61E-04
2.98	-0.30	0.30	6.35	-6.35	-2.28E-05	2.12E-05	5.13E-04	-4.60E-04
2.99	-0.31	0.31	6.34	-6.34	-2.30E-05	2.15E-05	5.12E-04	-4.60E-04
3.00	-0.31	0.31	6.34	-6.34	-2.32E-05	2.17E-05	5.12E-04	-4.59E-04

Appendix 5 Analysis results in case5 (1/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.00	-4.41	4.41	0.00	0.00	-5.03E-04	5.27E-04	0.00E+00	0.00E+00
0.01	-2.99	2.99	1.56	-1.56	-3.29E-04	3.35E-04	1.89E-04	-1.83E-04
0.02	-2.43	2.43	2.20	-2.20	-2.61E-04	2.65E-04	2.61E-04	-2.52E-04
0.03	-2.21	2.21	2.50	-2.50	-2.34E-04	2.36E-04	2.92E-04	-2.81E-04
0.04	-2.11	2.11	2.69	-2.69	-2.20E-04	2.21E-04	3.09E-04	-2.97E-04
0.05	-2.03	2.03	2.83	-2.83	-2.10E-04	2.11E-04	3.23E-04	-3.09E-04
0.06	-1.97	1.97	2.97	-2.97	-2.01E-04	2.02E-04	3.34E-04	-3.20E-04
0.07	-1.91	1.91	3.10	-3.10	-1.93E-04	1.93E-04	3.45E-04	-3.30E-04
0.08	-1.85	1.85	3.22	-3.22	-1.85E-04	1.85E-04	3.55E-04	-3.40E-04
0.09	-1.79	1.79	3.34	-3.34	-1.77E-04	1.78E-04	3.65E-04	-3.49E-04
0.10	-1.73	1.73	3.45	-3.45	-1.70E-04	1.70E-04	3.74E-04	-3.58E-04
0.11	-1.67	1.67	3.56	-3.56	-1.63E-04	1.63E-04	3.83E-04	-3.66E-04
0.12	-1.61	1.61	3.67	-3.67	-1.56E-04	1.56E-04	3.92E-04	-3.75E-04
0.13	-1.56	1.56	3.78	-3.78	-1.50E-04	1.50E-04	4.00E-04	-3.83E-04
0.14	-1.50	1.50	3.89	-3.89	-1.43E-04	1.43E-04	4.09E-04	-3.91E-04
0.15	-1.44	1.44	3.99	-3.99	-1.37E-04	1.37E-04	4.17E-04	-3.98E-04
0.16	-1.39	1.39	4.09	-4.09	-1.31E-04	1.31E-04	4.25E-04	-4.06E-04
0.17	-1.33	1.33	4.19	-4.19	-1.25E-04	1.25E-04	4.32E-04	-4.13E-04
0.18	-1.28	1.28	4.28	-4.28	-1.19E-04	1.19E-04	4.39E-04	-4.20E-04
0.19	-1.23	1.23	4.37	-4.37	-1.14E-04	1.14E-04	4.47E-04	-4.27E-04
0.20	-1.17	1.17	4.46	-4.46	-1.08E-04	1.08E-04	4.54E-04	-4.34E-04
0.21	-1.12	1.12	4.55	-4.55	-1.03E-04	1.03E-04	4.60E-04	-4.40E-04
0.22	-1.07	1.07	4.64	-4.64	-9.78E-05	9.78E-05	4.67E-04	-4.46E-04
0.23	-1.02	1.02	4.73	-4.73	-9.28E-05	9.28E-05	4.73E-04	-4.52E-04
0.24	-0.97	0.97	4.81	-4.81	-8.79E-05	8.79E-05	4.80E-04	-4.58E-04
0.25	-0.92	0.92	4.89	-4.89	-8.32E-05	8.32E-05	4.86E-04	-4.64E-04
0.26	-0.88	0.88	4.97	-4.97	-7.85E-05	7.86E-05	4.92E-04	-4.70E-04
0.27	-0.83	0.83	5.05	-5.05	-7.40E-05	7.40E-05	4.97E-04	-4.75E-04
0.28	-0.78	0.78	5.12	-5.12	-6.97E-05	6.97E-05	5.03E-04	-4.80E-04
0.29	-0.74	0.74	5.20	-5.20	-6.54E-05	6.54E-05	5.08E-04	-4.86E-04
0.30	-0.69	0.69	5.27	-5.27	-6.12E-05	6.12E-05	5.14E-04	-4.90E-04
0.31	-0.65	0.65	5.34	-5.34	-5.72E-05	5.71E-05	5.19E-04	-4.95E-04
0.32	-0.61	0.61	5.41	-5.41	-5.32E-05	5.32E-05	5.24E-04	-5.00E-04
0.33	-0.56	0.56	5.47	-5.47	-4.94E-05	4.93E-05	5.28E-04	-5.05E-04
0.34	-0.52	0.52	5.54	-5.54	-4.56E-05	4.56E-05	5.33E-04	-5.09E-04
0.35	-0.48	0.48	5.60	-5.60	-4.19E-05	4.19E-05	5.38E-04	-5.13E-04
0.36	-0.44	0.44	5.67	-5.67	-3.84E-05	3.83E-05	5.42E-04	-5.18E-04
0.37	-0.40	0.40	5.73	-5.73	-3.49E-05	3.48E-05	5.47E-04	-5.22E-04
0.38	-0.36	0.36	5.79	-5.79	-3.15E-05	3.15E-05	5.51E-04	-5.26E-04
0.39	-0.33	0.33	5.84	-5.84	-2.82E-05	2.81E-05	5.55E-04	-5.29E-04
0.40	-0.29	0.29	5.90	-5.90	-2.50E-05	2.49E-05	5.59E-04	-5.33E-04

Appendix 5 Analysis results in case5 (2/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.41	-0.25	0.25	5.96	-5.96	-2.18E-05	2.18E-05	5.63E-04	-5.37E-04
0.42	-0.22	0.22	6.01	-6.01	-1.88E-05	1.87E-05	5.66E-04	-5.40E-04
0.43	-0.18	0.18	6.06	-6.06	-1.58E-05	1.57E-05	5.70E-04	-5.43E-04
0.44	-0.15	0.15	6.11	-6.11	-1.29E-05	1.28E-05	5.74E-04	-5.47E-04
0.45	-0.12	0.12	6.16	-6.16	-1.00E-05	1.00E-05	5.77E-04	-5.50E-04
0.46	-0.09	0.09	6.21	-6.21	-7.26E-06	7.24E-06	5.80E-04	-5.53E-04
0.47	-0.05	0.05	6.26	-6.26	-4.56E-06	4.55E-06	5.84E-04	-5.56E-04
0.48	-0.02	0.02	6.30	-6.30	-1.93E-06	1.93E-06	5.87E-04	-5.59E-04
0.49	0.01	-0.01	6.35	-6.35	6.27E-07	-6.25E-07	5.90E-04	-5.61E-04
0.50	0.04	-0.04	6.39	-6.39	3.12E-06	-3.11E-06	5.93E-04	-5.64E-04
0.51	0.07	-0.07	6.43	-6.43	5.56E-06	-5.53E-06	5.95E-04	-5.67E-04
0.52	0.09	-0.09	6.48	-6.48	7.93E-06	-7.89E-06	5.98E-04	-5.69E-04
0.53	0.12	-0.12	6.51	-6.51	1.02E-05	-1.02E-05	6.01E-04	-5.72E-04
0.54	0.15	-0.15	6.55	-6.55	1.25E-05	-1.24E-05	6.03E-04	-5.74E-04
0.55	0.18	-0.18	6.59	-6.59	1.47E-05	-1.46E-05	6.06E-04	-5.76E-04
0.56	0.20	-0.20	6.63	-6.63	1.68E-05	-1.67E-05	6.08E-04	-5.78E-04
0.57	0.23	-0.23	6.66	-6.66	1.89E-05	-1.88E-05	6.11E-04	-5.80E-04
0.58	0.25	-0.25	6.70	-6.70	2.09E-05	-2.08E-05	6.13E-04	-5.82E-04
0.59	0.28	-0.28	6.73	-6.73	2.29E-05	-2.28E-05	6.15E-04	-5.84E-04
0.60	0.30	-0.30	6.76	-6.76	2.48E-05	-2.47E-05	6.17E-04	-5.86E-04
0.61	0.32	-0.32	6.79	-6.79	2.67E-05	-2.65E-05	6.19E-04	-5.88E-04
0.62	0.35	-0.35	6.82	-6.82	2.85E-05	-2.83E-05	6.21E-04	-5.89E-04
0.63	0.37	-0.37	6.85	-6.85	3.03E-05	-3.01E-05	6.23E-04	-5.91E-04
0.64	0.39	-0.39	6.88	-6.88	3.20E-05	-3.18E-05	6.25E-04	-5.93E-04
0.65	0.41	-0.41	6.91	-6.91	3.37E-05	-3.35E-05	6.27E-04	-5.94E-04
0.66	0.43	-0.43	6.94	-6.94	3.54E-05	-3.51E-05	6.28E-04	-5.96E-04
0.67	0.45	-0.45	6.96	-6.96	3.70E-05	-3.67E-05	6.30E-04	-5.97E-04
0.68	0.47	-0.47	6.99	-6.99	3.85E-05	-3.82E-05	6.32E-04	-5.98E-04
0.69	0.49	-0.49	7.01	-7.01	4.00E-05	-3.97E-05	6.33E-04	-5.99E-04
0.70	0.51	-0.51	7.03	-7.03	4.15E-05	-4.11E-05	6.34E-04	-6.01E-04
0.71	0.53	-0.53	7.06	-7.06	4.29E-05	-4.25E-05	6.36E-04	-6.02E-04
0.72	0.54	-0.54	7.08	-7.08	4.43E-05	-4.39E-05	6.37E-04	-6.03E-04
0.73	0.56	-0.56	7.10	-7.10	4.57E-05	-4.52E-05	6.38E-04	-6.04E-04
0.74	0.58	-0.58	7.12	-7.12	4.70E-05	-4.65E-05	6.40E-04	-6.05E-04
0.75	0.59	-0.59	7.14	-7.14	4.83E-05	-4.78E-05	6.41E-04	-6.06E-04
0.76	0.61	-0.61	7.16	-7.16	4.95E-05	-4.90E-05	6.42E-04	-6.06E-04
0.77	0.62	-0.62	7.17	-7.17	5.07E-05	-5.01E-05	6.43E-04	-6.07E-04
0.78	0.64	-0.64	7.19	-7.19	5.19E-05	-5.13E-05	6.44E-04	-6.08E-04
0.79	0.65	-0.65	7.21	-7.21	5.30E-05	-5.24E-05	6.45E-04	-6.09E-04
0.80	0.67	-0.67	7.22	-7.22	5.41E-05	-5.35E-05	6.46E-04	-6.09E-04

Appendix 5 Analysis results in case5 (3/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.81	0.68	-0.68	7.24	-7.24	5.52E-05	-5.45E-05	6.46E-04	-6.10E-04
0.82	0.69	-0.69	7.25	-7.25	5.63E-05	-5.55E-05	6.47E-04	-6.10E-04
0.83	0.71	-0.71	7.26	-7.26	5.73E-05	-5.65E-05	6.48E-04	-6.11E-04
0.84	0.72	-0.72	7.28	-7.28	5.82E-05	-5.75E-05	6.49E-04	-6.11E-04
0.85	0.73	-0.73	7.29	-7.29	5.92E-05	-5.84E-05	6.49E-04	-6.12E-04
0.86	0.74	-0.74	7.30	-7.30	6.01E-05	-5.93E-05	6.50E-04	-6.12E-04
0.87	0.76	-0.76	7.31	-7.31	6.10E-05	-6.01E-05	6.50E-04	-6.13E-04
0.88	0.77	-0.77	7.32	-7.32	6.19E-05	-6.10E-05	6.51E-04	-6.13E-04
0.89	0.78	-0.78	7.33	-7.33	6.27E-05	-6.18E-05	6.51E-04	-6.13E-04
0.90	0.79	-0.79	7.34	-7.34	6.35E-05	-6.26E-05	6.52E-04	-6.13E-04
0.91	0.80	-0.80	7.35	-7.35	6.43E-05	-6.33E-05	6.52E-04	-6.13E-04
0.92	0.81	-0.81	7.36	-7.36	6.51E-05	-6.40E-05	6.53E-04	-6.14E-04
0.93	0.82	-0.82	7.37	-7.37	6.58E-05	-6.47E-05	6.53E-04	-6.14E-04
0.94	0.83	-0.83	7.37	-7.37	6.65E-05	-6.54E-05	6.53E-04	-6.14E-04
0.95	0.84	-0.84	7.38	-7.38	6.72E-05	-6.61E-05	6.53E-04	-6.14E-04
0.96	0.85	-0.85	7.39	-7.39	6.79E-05	-6.67E-05	6.54E-04	-6.14E-04
0.97	0.85	-0.85	7.39	-7.39	6.85E-05	-6.73E-05	6.54E-04	-6.14E-04
0.98	0.86	-0.86	7.40	-7.40	6.91E-05	-6.79E-05	6.54E-04	-6.14E-04
0.99	0.87	-0.87	7.40	-7.40	6.97E-05	-6.85E-05	6.54E-04	-6.14E-04
1.00	0.88	-0.88	7.41	-7.41	7.03E-05	-6.90E-05	6.54E-04	-6.14E-04
1.01	0.88	-0.88	7.41	-7.41	7.08E-05	-6.95E-05	6.54E-04	-6.14E-04
1.02	0.89	-0.89	7.41	-7.41	7.14E-05	-7.00E-05	6.54E-04	-6.13E-04
1.03	0.90	-0.90	7.42	-7.42	7.19E-05	-7.05E-05	6.54E-04	-6.13E-04
1.04	0.91	-0.91	7.42	-7.42	7.24E-05	-7.10E-05	6.54E-04	-6.13E-04
1.05	0.91	-0.91	7.42	-7.42	7.28E-05	-7.14E-05	6.54E-04	-6.13E-04
1.06	0.92	-0.92	7.42	-7.42	7.33E-05	-7.19E-05	6.54E-04	-6.12E-04
1.07	0.92	-0.92	7.43	-7.43	7.37E-05	-7.23E-05	6.54E-04	-6.12E-04
1.08	0.93	-0.93	7.43	-7.43	7.41E-05	-7.26E-05	6.54E-04	-6.12E-04
1.09	0.93	-0.93	7.43	-7.43	7.45E-05	-7.30E-05	6.53E-04	-6.11E-04
1.10	0.94	-0.94	7.43	-7.43	7.49E-05	-7.34E-05	6.53E-04	-6.11E-04
1.11	0.94	-0.94	7.43	-7.43	7.53E-05	-7.37E-05	6.53E-04	-6.11E-04
1.12	0.95	-0.95	7.43	-7.43	7.56E-05	-7.40E-05	6.53E-04	-6.10E-04
1.13	0.95	-0.95	7.43	-7.43	7.60E-05	-7.43E-05	6.52E-04	-6.10E-04
1.14	0.96	-0.96	7.43	-7.43	7.63E-05	-7.46E-05	6.52E-04	-6.09E-04
1.15	0.96	-0.96	7.43	-7.43	7.66E-05	-7.49E-05	6.52E-04	-6.09E-04
1.16	0.97	-0.97	7.42	-7.42	7.68E-05	-7.51E-05	6.51E-04	-6.09E-04
1.17	0.97	-0.97	7.42	-7.42	7.71E-05	-7.54E-05	6.51E-04	-6.08E-04
1.18	0.97	-0.97	7.42	-7.42	7.74E-05	-7.56E-05	6.51E-04	-6.07E-04
1.19	0.98	-0.98	7.42	-7.42	7.76E-05	-7.58E-05	6.50E-04	-6.07E-04
1.20	0.98	-0.98	7.41	-7.41	7.78E-05	-7.60E-05	6.50E-04	-6.06E-04



Appendix 5 Analysis results in case5 (4/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.21	0.98	-0.98	7.41	-7.41	7.80E-05	-7.62E-05	6.49E-04	-6.06E-04
1.22	0.98	-0.98	7.41	-7.41	7.82E-05	-7.64E-05	6.49E-04	-6.05E-04
1.23	0.99	-0.99	7.40	-7.40	7.84E-05	-7.65E-05	6.48E-04	-6.05E-04
1.24	0.99	-0.99	7.40	-7.40	7.86E-05	-7.67E-05	6.48E-04	-6.04E-04
1.25	0.99	-0.99	7.40	-7.40	7.87E-05	-7.68E-05	6.47E-04	-6.03E-04
1.26	0.99	-0.99	7.39	-7.39	7.88E-05	-7.69E-05	6.47E-04	-6.03E-04
1.27	1.00	-1.00	7.39	-7.39	7.90E-05	-7.70E-05	6.46E-04	-6.02E-04
1.28	1.00	-1.00	7.38	-7.38	7.91E-05	-7.71E-05	6.46E-04	-6.01E-04
1.29	1.00	-1.00	7.38	-7.38	7.92E-05	-7.72E-05	6.45E-04	-6.01E-04
1.30	1.00	-1.00	7.37	-7.37	7.93E-05	-7.73E-05	6.44E-04	-6.00E-04
1.31	1.00	-1.00	7.37	-7.37	7.94E-05	-7.73E-05	6.44E-04	-5.99E-04
1.32	1.00	-1.00	7.36	-7.36	7.94E-05	-7.74E-05	6.43E-04	-5.99E-04
1.33	1.00	-1.00	7.36	-7.36	7.95E-05	-7.74E-05	6.42E-04	-5.98E-04
1.34	1.00	-1.00	7.35	-7.35	7.95E-05	-7.74E-05	6.42E-04	-5.97E-04
1.35	1.00	-1.00	7.35	-7.35	7.96E-05	-7.75E-05	6.41E-04	-5.96E-04
1.36	1.01	-1.01	7.34	-7.34	7.96E-05	-7.75E-05	6.40E-04	-5.96E-04
1.37	1.01	-1.01	7.33	-7.33	7.96E-05	-7.75E-05	6.40E-04	-5.95E-04
1.38	1.01	-1.01	7.33	-7.33	7.96E-05	-7.75E-05	6.39E-04	-5.94E-04
1.39	1.01	-1.01	7.32	-7.32	7.96E-05	-7.74E-05	6.38E-04	-5.93E-04
1.40	1.01	-1.01	7.31	-7.31	7.96E-05	-7.74E-05	6.37E-04	-5.92E-04
1.41	1.01	-1.01	7.31	-7.31	7.96E-05	-7.74E-05	6.37E-04	-5.92E-04
1.42	1.01	-1.01	7.30	-7.30	7.95E-05	-7.73E-05	6.36E-04	-5.91E-04
1.43	1.01	-1.01	7.29	-7.29	7.95E-05	-7.73E-05	6.35E-04	-5.90E-04
1.44	1.01	-1.01	7.28	-7.28	7.94E-05	-7.72E-05	6.34E-04	-5.89E-04
1.45	1.00	-1.00	7.28	-7.28	7.94E-05	-7.71E-05	6.33E-04	-5.88E-04
1.46	1.00	-1.00	7.27	-7.27	7.93E-05	-7.71E-05	6.33E-04	-5.87E-04
1.47	1.00	-1.00	7.26	-7.26	7.92E-05	-7.70E-05	6.32E-04	-5.87E-04
1.48	1.00	-1.00	7.25	-7.25	7.91E-05	-7.69E-05	6.31E-04	-5.86E-04
1.49	1.00	-1.00	7.24	-7.24	7.90E-05	-7.68E-05	6.30E-04	-5.85E-04
1.50	1.00	-1.00	7.24	-7.24	7.89E-05	-7.67E-05	6.29E-04	-5.84E-04
1.51	1.00	-1.00	7.23	-7.23	7.88E-05	-7.65E-05	6.28E-04	-5.83E-04
1.52	1.00	-1.00	7.22	-7.22	7.87E-05	-7.64E-05	6.28E-04	-5.82E-04
1.53	1.00	-1.00	7.21	-7.21	7.86E-05	-7.63E-05	6.27E-04	-5.81E-04
1.54	1.00	-1.00	7.20	-7.20	7.85E-05	-7.61E-05	6.26E-04	-5.80E-04
1.55	0.99	-0.99	7.19	-7.19	7.83E-05	-7.60E-05	6.25E-04	-5.79E-04
1.56	0.99	-0.99	7.18	-7.18	7.82E-05	-7.59E-05	6.24E-04	-5.79E-04
1.57	0.99	-0.99	7.18	-7.18	7.80E-05	-7.57E-05	6.23E-04	-5.78E-04
1.58	0.99	-0.99	7.17	-7.17	7.79E-05	-7.55E-05	6.22E-04	-5.77E-04
1.59	0.99	-0.99	7.16	-7.16	7.77E-05	-7.54E-05	6.21E-04	-5.76E-04
1.60	0.98	-0.98	7.15	-7.15	7.75E-05	-7.52E-05	6.20E-04	-5.75E-04

Appendix 5 Analysis results in case5 (5/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.61	0.98	-0.98	7.14	-7.14	7.73E-05	-7.50E-05	6.19E-04	-5.74E-04
1.62	0.98	-0.98	7.13	-7.13	7.72E-05	-7.48E-05	6.19E-04	-5.73E-04
1.63	0.98	-0.98	7.12	-7.12	7.70E-05	-7.46E-05	6.18E-04	-5.72E-04
1.64	0.98	-0.98	7.11	-7.11	7.68E-05	-7.44E-05	6.17E-04	-5.71E-04
1.65	0.97	-0.97	7.10	-7.10	7.66E-05	-7.42E-05	6.16E-04	-5.70E-04
1.66	0.97	-0.97	7.09	-7.09	7.64E-05	-7.40E-05	6.15E-04	-5.69E-04
1.67	0.97	-0.97	7.08	-7.08	7.61E-05	-7.38E-05	6.14E-04	-5.68E-04
1.68	0.97	-0.97	7.07	-7.07	7.59E-05	-7.36E-05	6.13E-04	-5.68E-04
1.69	0.96	-0.96	7.06	-7.06	7.57E-05	-7.34E-05	6.12E-04	-5.67E-04
1.70	0.96	-0.96	7.06	-7.06	7.55E-05	-7.31E-05	6.11E-04	-5.66E-04
1.71	0.96	-0.96	7.05	-7.05	7.52E-05	-7.29E-05	6.10E-04	-5.65E-04
1.72	0.95	-0.95	7.04	-7.04	7.50E-05	-7.27E-05	6.09E-04	-5.64E-04
1.73	0.95	-0.95	7.03	-7.03	7.48E-05	-7.24E-05	6.08E-04	-5.63E-04
1.74	0.95	-0.95	7.02	-7.02	7.45E-05	-7.22E-05	6.07E-04	-5.62E-04
1.75	0.95	-0.95	7.01	-7.01	7.43E-05	-7.19E-05	6.06E-04	-5.61E-04
1.76	0.94	-0.94	7.00	-7.00	7.40E-05	-7.17E-05	6.05E-04	-5.60E-04
1.77	0.94	-0.94	6.99	-6.99	7.37E-05	-7.14E-05	6.04E-04	-5.59E-04
1.78	0.94	-0.94	6.98	-6.98	7.35E-05	-7.11E-05	6.03E-04	-5.58E-04
1.79	0.93	-0.93	6.97	-6.97	7.32E-05	-7.09E-05	6.02E-04	-5.57E-04
1.80	0.93	-0.93	6.96	-6.96	7.29E-05	-7.06E-05	6.01E-04	-5.56E-04
1.81	0.93	-0.93	6.95	-6.95	7.27E-05	-7.03E-05	6.00E-04	-5.55E-04
1.82	0.92	-0.92	6.94	-6.94	7.24E-05	-7.01E-05	5.99E-04	-5.54E-04
1.83	0.92	-0.92	6.93	-6.93	7.21E-05	-6.98E-05	5.98E-04	-5.53E-04
1.84	0.92	-0.92	6.92	-6.92	7.18E-05	-6.95E-05	5.97E-04	-5.53E-04
1.85	0.91	-0.91	6.91	-6.91	7.15E-05	-6.92E-05	5.96E-04	-5.52E-04
1.86	0.91	-0.91	6.90	-6.90	7.12E-05	-6.89E-05	5.95E-04	-5.51E-04
1.87	0.91	-0.91	6.89	-6.89	7.09E-05	-6.86E-05	5.94E-04	-5.50E-04
1.88	0.90	-0.90	6.88	-6.88	7.06E-05	-6.83E-05	5.93E-04	-5.49E-04
1.89	0.90	-0.90	6.87	-6.87	7.03E-05	-6.80E-05	5.92E-04	-5.48E-04
1.90	0.89	-0.89	6.86	-6.86	7.00E-05	-6.77E-05	5.91E-04	-5.47E-04
1.91	0.89	-0.89	6.85	-6.85	6.97E-05	-6.74E-05	5.90E-04	-5.46E-04
1.92	0.89	-0.89	6.84	-6.84	6.94E-05	-6.71E-05	5.90E-04	-5.45E-04
1.93	0.88	-0.88	6.83	-6.83	6.91E-05	-6.68E-05	5.89E-04	-5.44E-04
1.94	0.88	-0.88	6.82	-6.82	6.87E-05	-6.65E-05	5.88E-04	-5.43E-04
1.95	0.88	-0.88	6.81	-6.81	6.84E-05	-6.62E-05	5.87E-04	-5.42E-04
1.96	0.87	-0.87	6.80	-6.80	6.81E-05	-6.59E-05	5.86E-04	-5.41E-04
1.97	0.87	-0.87	6.79	-6.79	6.78E-05	-6.56E-05	5.85E-04	-5.40E-04
1.98	0.86	-0.86	6.78	-6.78	6.74E-05	-6.52E-05	5.84E-04	-5.40E-04
1.99	0.86	-0.86	6.77	-6.77	6.71E-05	-6.49E-05	5.83E-04	-5.39E-04
2.00	0.86	-0.86	6.76	-6.76	6.68E-05	-6.46E-05	5.82E-04	-5.38E-04

Appendix 5 Analysis results in case5 (6/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.01	0.85	-0.85	6.75	-6.75	6.64E-05	-6.43E-05	5.81E-04	-5.37E-04
2.02	0.85	-0.85	6.74	-6.74	6.61E-05	-6.39E-05	5.80E-04	-5.36E-04
2.03	0.84	-0.84	6.73	-6.73	6.57E-05	-6.36E-05	5.79E-04	-5.35E-04
2.04	0.84	-0.84	6.72	-6.72	6.54E-05	-6.33E-05	5.78E-04	-5.34E-04
2.05	0.83	-0.83	6.71	-6.71	6.51E-05	-6.29E-05	5.77E-04	-5.33E-04
2.06	0.83	-0.83	6.70	-6.70	6.47E-05	-6.26E-05	5.76E-04	-5.32E-04
2.07	0.83	-0.83	6.69	-6.69	6.44E-05	-6.23E-05	5.75E-04	-5.31E-04
2.08	0.82	-0.82	6.68	-6.68	6.40E-05	-6.19E-05	5.74E-04	-5.31E-04
2.09	0.82	-0.82	6.67	-6.67	6.37E-05	-6.16E-05	5.73E-04	-5.30E-04
2.10	0.81	-0.81	6.66	-6.66	6.33E-05	-6.12E-05	5.72E-04	-5.29E-04
2.11	0.81	-0.81	6.65	-6.65	6.29E-05	-6.09E-05	5.71E-04	-5.28E-04
2.12	0.80	-0.80	6.64	-6.64	6.26E-05	-6.06E-05	5.70E-04	-5.27E-04
2.13	0.80	-0.80	6.63	-6.63	6.22E-05	-6.02E-05	5.69E-04	-5.26E-04
2.14	0.80	-0.80	6.62	-6.62	6.19E-05	-5.99E-05	5.68E-04	-5.25E-04
2.15	0.79	-0.79	6.62	-6.62	6.15E-05	-5.95E-05	5.67E-04	-5.24E-04
2.16	0.79	-0.79	6.61	-6.61	6.11E-05	-5.92E-05	5.66E-04	-5.24E-04
2.17	0.78	-0.78	6.60	-6.60	6.08E-05	-5.88E-05	5.65E-04	-5.23E-04
2.18	0.78	-0.78	6.59	-6.59	6.04E-05	-5.85E-05	5.64E-04	-5.22E-04
2.19	0.77	-0.77	6.58	-6.58	6.01E-05	-5.81E-05	5.64E-04	-5.21E-04
2.20	0.77	-0.77	6.57	-6.57	5.97E-05	-5.78E-05	5.63E-04	-5.20E-04
2.21	0.76	-0.76	6.56	-6.56	5.93E-05	-5.74E-05	5.62E-04	-5.19E-04
2.22	0.76	-0.76	6.55	-6.55	5.90E-05	-5.71E-05	5.61E-04	-5.19E-04
2.23	0.75	-0.75	6.54	-6.54	5.86E-05	-5.67E-05	5.60E-04	-5.18E-04
2.24	0.75	-0.75	6.53	-6.53	5.82E-05	-5.63E-05	5.59E-04	-5.17E-04
2.25	0.75	-0.75	6.52	-6.52	5.79E-05	-5.60E-05	5.58E-04	-5.16E-04
2.26	0.74	-0.74	6.51	-6.51	5.75E-05	-5.56E-05	5.57E-04	-5.15E-04
2.27	0.74	-0.74	6.50	-6.50	5.71E-05	-5.53E-05	5.56E-04	-5.14E-04
2.28	0.73	-0.73	6.50	-6.50	5.67E-05	-5.49E-05	5.55E-04	-5.14E-04
2.29	0.73	-0.73	6.49	-6.49	5.64E-05	-5.46E-05	5.54E-04	-5.13E-04
2.30	0.72	-0.72	6.48	-6.48	5.60E-05	-5.42E-05	5.53E-04	-5.12E-04
2.31	0.72	-0.72	6.47	-6.47	5.56E-05	-5.38E-05	5.53E-04	-5.11E-04
2.32	0.71	-0.71	6.46	-6.46	5.52E-05	-5.35E-05	5.52E-04	-5.10E-04
2.33	0.71	-0.71	6.45	-6.45	5.49E-05	-5.31E-05	5.51E-04	-5.10E-04
2.34	0.70	-0.70	6.44	-6.44	5.45E-05	-5.28E-05	5.50E-04	-5.09E-04
2.35	0.70	-0.70	6.43	-6.43	5.41E-05	-5.24E-05	5.49E-04	-5.08E-04
2.36	0.69	-0.69	6.43	-6.43	5.38E-05	-5.20E-05	5.48E-04	-5.07E-04
2.37	0.69	-0.69	6.42	-6.42	5.34E-05	-5.17E-05	5.47E-04	-5.06E-04
2.38	0.69	-0.69	6.41	-6.41	5.30E-05	-5.13E-05	5.46E-04	-5.06E-04
2.39	0.68	-0.68	6.40	-6.40	5.26E-05	-5.10E-05	5.46E-04	-5.05E-04
2.40	0.68	-0.68	6.39	-6.39	5.23E-05	-5.06E-05	5.45E-04	-5.04E-04



Appendix 5 Analysis results in case5 (7/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.41	0.67	-0.67	6.38	-6.38	5.19E-05	-5.03E-05	5.44E-04	-5.03E-04
2.42	0.67	-0.67	6.37	-6.37	5.15E-05	-4.99E-05	5.43E-04	-5.03E-04
2.43	0.66	-0.66	6.37	-6.37	5.11E-05	-4.95E-05	5.42E-04	-5.02E-04
2.44	0.66	-0.66	6.36	-6.36	5.08E-05	-4.92E-05	5.41E-04	-5.01E-04
2.45	0.65	-0.65	6.35	-6.35	5.04E-05	-4.88E-05	5.40E-04	-5.00E-04
2.46	0.65	-0.65	6.34	-6.34	5.00E-05	-4.85E-05	5.40E-04	-4.99E-04
2.47	0.64	-0.64	6.33	-6.33	4.97E-05	-4.81E-05	5.39E-04	-4.99E-04
2.48	0.64	-0.64	6.33	-6.33	4.93E-05	-4.77E-05	5.38E-04	-4.98E-04
2.49	0.63	-0.63	6.32	-6.32	4.89E-05	-4.74E-05	5.37E-04	-4.97E-04
2.50	0.63	-0.63	6.31	-6.31	4.85E-05	-4.70E-05	5.36E-04	-4.96E-04
2.51	0.62	-0.62	6.30	-6.30	4.82E-05	-4.67E-05	5.35E-04	-4.96E-04
2.52	0.62	-0.62	6.29	-6.29	4.78E-05	-4.63E-05	5.35E-04	-4.95E-04
2.53	0.62	-0.62	6.29	-6.29	4.74E-05	-4.60E-05	5.34E-04	-4.94E-04
2.54	0.61	-0.61	6.28	-6.28	4.71E-05	-4.56E-05	5.33E-04	-4.94E-04
2.55	0.61	-0.61	6.27	-6.27	4.67E-05	-4.53E-05	5.32E-04	-4.93E-04
2.56	0.60	-0.60	6.26	-6.26	4.63E-05	-4.49E-05	5.31E-04	-4.92E-04
2.57	0.60	-0.60	6.25	-6.25	4.60E-05	-4.46E-05	5.31E-04	-4.91E-04
2.58	0.59	-0.59	6.25	-6.25	4.56E-05	-4.42E-05	5.30E-04	-4.91E-04
2.59	0.59	-0.59	6.24	-6.24	4.52E-05	-4.39E-05	5.29E-04	-4.90E-04
2.60	0.58	-0.58	6.23	-6.23	4.49E-05	-4.35E-05	5.28E-04	-4.89E-04
2.61	0.58	-0.58	6.22	-6.22	4.45E-05	-4.32E-05	5.27E-04	-4.89E-04
2.62	0.57	-0.57	6.22	-6.22	4.41E-05	-4.28E-05	5.27E-04	-4.88E-04
2.63	0.57	-0.57	6.21	-6.21	4.38E-05	-4.25E-05	5.26E-04	-4.87E-04
2.64	0.57	-0.57	6.20	-6.20	4.34E-05	-4.21E-05	5.25E-04	-4.86E-04
2.65	0.56	-0.56	6.19	-6.19	4.31E-05	-4.18E-05	5.24E-04	-4.86E-04
2.66	0.56	-0.56	6.19	-6.19	4.27E-05	-4.14E-05	5.23E-04	-4.85E-04
2.67	0.55	-0.55	6.18	-6.18	4.24E-05	-4.11E-05	5.23E-04	-4.84E-04
2.68	0.55	-0.55	6.17	-6.17	4.20E-05	-4.07E-05	5.22E-04	-4.84E-04
2.69	0.54	-0.54	6.16	-6.16	4.17E-05	-4.04E-05	5.21E-04	-4.83E-04
2.70	0.54	-0.54	6.16	-6.16	4.13E-05	-4.01E-05	5.20E-04	-4.82E-04
2.71	0.53	-0.53	6.15	-6.15	4.10E-05	-3.97E-05	5.20E-04	-4.82E-04
2.72	0.53	-0.53	6.14	-6.14	4.06E-05	-3.94E-05	5.19E-04	-4.81E-04
2.73	0.53	-0.53	6.13	-6.13	4.03E-05	-3.91E-05	5.18E-04	-4.80E-04
2.74	0.52	-0.52	6.13	-6.13	3.99E-05	-3.87E-05	5.17E-04	-4.80E-04
2.75	0.52	-0.52	6.12	-6.12	3.96E-05	-3.84E-05	5.17E-04	-4.79E-04
2.76	0.51	-0.51	6.11	-6.11	3.92E-05	-3.81E-05	5.16E-04	-4.78E-04
2.77	0.51	-0.51	6.11	-6.11	3.89E-05	-3.77E-05	5.15E-04	-4.78E-04
2.78	0.50	-0.50	6.10	-6.10	3.85E-05	-3.74E-05	5.14E-04	-4.77E-04
2.79	0.50	-0.50	6.09	-6.09	3.82E-05	-3.71E-05	5.14E-04	-4.76E-04
2.80	0.49	-0.49	6.08	-6.08	3.79E-05	-3.67E-05	5.13E-04	-4.76E-04

Appendix 5 Analysis results in case5 (8/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.81	0.49	-0.49	6.08	-6.08	3.75E-05	-3.64E-05	5.12E-04	-4.75E-04
2.82	0.49	-0.49	6.07	-6.07	3.72E-05	-3.61E-05	5.12E-04	-4.74E-04
2.83	0.48	-0.48	6.06	-6.06	3.69E-05	-3.58E-05	5.11E-04	-4.74E-04
2.84	0.48	-0.48	6.06	-6.06	3.65E-05	-3.55E-05	5.10E-04	-4.73E-04
2.85	0.47	-0.47	6.05	-6.05	3.62E-05	-3.51E-05	5.09E-04	-4.73E-04
2.86	0.47	-0.47	6.04	-6.04	3.59E-05	-3.48E-05	5.09E-04	-4.72E-04
2.87	0.47	-0.47	6.04	-6.04	3.55E-05	-3.45E-05	5.08E-04	-4.71E-04
2.88	0.46	-0.46	6.03	-6.03	3.52E-05	-3.42E-05	5.07E-04	-4.71E-04
2.89	0.46	-0.46	6.02	-6.02	3.49E-05	-3.39E-05	5.07E-04	-4.70E-04
2.90	0.45	-0.45	6.02	-6.02	3.46E-05	-3.36E-05	5.06E-04	-4.69E-04
2.91	0.45	-0.45	6.01	-6.01	3.43E-05	-3.33E-05	5.05E-04	-4.69E-04
2.92	0.45	-0.45	6.00	-6.00	3.39E-05	-3.30E-05	5.04E-04	-4.68E-04
2.93	0.44	-0.44	6.00	-6.00	3.36E-05	-3.27E-05	5.04E-04	-4.67E-04
2.94	0.44	-0.44	5.99	-5.99	3.33E-05	-3.24E-05	5.03E-04	-4.67E-04
2.95	0.43	-0.43	5.98	-5.98	3.30E-05	-3.21E-05	5.02E-04	-4.66E-04
2.96	0.43	-0.43	5.98	-5.98	3.27E-05	-3.18E-05	5.02E-04	-4.66E-04
2.97	0.43	-0.43	5.97	-5.97	3.24E-05	-3.15E-05	5.01E-04	-4.65E-04
2.98	0.42	-0.42	5.96	-5.96	3.21E-05	-3.12E-05	5.00E-04	-4.64E-04
2.99	0.42	-0.42	5.96	-5.96	3.18E-05	-3.09E-05	5.00E-04	-4.64E-04
3.00	0.41	-0.41	5.95	-5.95	3.15E-05	-3.06E-05	4.99E-04	-4.63E-04

Appendix 6 Analysis results in case6 (1/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.00	-4.53	4.53	0.00	0.00	-5.04E-04	5.30E-04	0.00E+00	0.00E+00
0.01	-2.94	2.94	1.64	-1.64	-3.15E-04	3.26E-04	1.99E-04	-1.96E-04
0.02	-2.32	2.32	2.29	-2.29	-2.44E-04	2.52E-04	2.73E-04	-2.68E-04
0.03	-2.07	2.07	2.60	-2.60	-2.14E-04	2.21E-04	3.04E-04	-2.98E-04
0.04	-1.93	1.93	2.79	-2.79	-1.97E-04	2.03E-04	3.23E-04	-3.15E-04
0.05	-1.83	1.83	2.95	-2.95	-1.84E-04	1.89E-04	3.37E-04	-3.29E-04
0.06	-1.73	1.73	3.09	-3.09	-1.73E-04	1.77E-04	3.50E-04	-3.41E-04
0.07	-1.64	1.64	3.23	-3.23	-1.62E-04	1.66E-04	3.61E-04	-3.52E-04
0.08	-1.55	1.55	3.36	-3.36	-1.52E-04	1.55E-04	3.73E-04	-3.63E-04
0.09	-1.46	1.46	3.49	-3.49	-1.42E-04	1.45E-04	3.83E-04	-3.73E-04
0.10	-1.37	1.37	3.61	-3.61	-1.32E-04	1.35E-04	3.94E-04	-3.83E-04
0.11	-1.28	1.28	3.73	-3.73	-1.23E-04	1.25E-04	4.04E-04	-3.92E-04
0.12	-1.20	1.20	3.85	-3.85	-1.14E-04	1.16E-04	4.13E-04	-4.01E-04
0.13	-1.12	1.12	3.96	-3.96	-1.05E-04	1.07E-04	4.23E-04	-4.10E-04
0.14	-1.03	1.03	4.07	-4.07	-9.68E-05	9.87E-05	4.32E-04	-4.19E-04
0.15	-0.95	0.95	4.18	-4.18	-8.86E-05	9.04E-05	4.40E-04	-4.27E-04
0.16	-0.87	0.87	4.28	-4.28	-8.08E-05	8.23E-05	4.49E-04	-4.35E-04
0.17	-0.79	0.79	4.39	-4.39	-7.31E-05	7.45E-05	4.57E-04	-4.43E-04
0.18	-0.72	0.72	4.48	-4.48	-6.57E-05	6.70E-05	4.65E-04	-4.50E-04
0.19	-0.64	0.64	4.58	-4.58	-5.86E-05	5.96E-05	4.72E-04	-4.57E-04
0.20	-0.57	0.57	4.67	-4.67	-5.16E-05	5.25E-05	4.80E-04	-4.64E-04
0.21	-0.50	0.50	4.77	-4.77	-4.49E-05	4.57E-05	4.87E-04	-4.71E-04
0.22	-0.43	0.43	4.86	-4.86	-3.83E-05	3.90E-05	4.94E-04	-4.77E-04
0.23	-0.36	0.36	4.94	-4.94	-3.20E-05	3.25E-05	5.00E-04	-4.84E-04
0.24	-0.29	0.29	5.03	-5.03	-2.58E-05	2.62E-05	5.07E-04	-4.90E-04
0.25	-0.22	0.22	5.11	-5.11	-1.98E-05	2.01E-05	5.13E-04	-4.96E-04
0.26	-0.16	0.16	5.19	-5.19	-1.40E-05	1.42E-05	5.19E-04	-5.01E-04
0.27	-0.10	0.10	5.26	-5.26	-8.37E-06	8.51E-06	5.25E-04	-5.07E-04
0.28	-0.03	0.03	5.34	-5.34	-2.90E-06	2.95E-06	5.31E-04	-5.12E-04
0.29	0.03	-0.03	5.41	-5.41	2.40E-06	-2.44E-06	5.36E-04	-5.17E-04
0.30	0.09	-0.09	5.48	-5.48	7.56E-06	-7.67E-06	5.41E-04	-5.22E-04
0.31	0.14	-0.14	5.55	-5.55	1.26E-05	-1.27E-05	5.47E-04	-5.27E-04
0.32	0.20	-0.20	5.62	-5.62	1.74E-05	-1.77E-05	5.51E-04	-5.32E-04
0.33	0.26	-0.26	5.69	-5.69	2.21E-05	-2.24E-05	5.56E-04	-5.36E-04
0.34	0.31	-0.31	5.75	-5.75	2.67E-05	-2.71E-05	5.61E-04	-5.41E-04
0.35	0.36	-0.36	5.81	-5.81	3.11E-05	-3.16E-05	5.65E-04	-5.45E-04
0.36	0.41	-0.41	5.87	-5.87	3.55E-05	-3.59E-05	5.70E-04	-5.49E-04
0.37	0.46	-0.46	5.93	-5.93	3.96E-05	-4.02E-05	5.74E-04	-5.53E-04
0.38	0.51	-0.51	5.99	-5.99	4.37E-05	-4.43E-05	5.78E-04	-5.56E-04
0.39	0.56	-0.56	6.04	-6.04	4.76E-05	-4.82E-05	5.82E-04	-5.60E-04
0.40	0.61	-0.61	6.09	-6.09	5.15E-05	-5.21E-05	5.86E-04	-5.63E-04

Appendix 6 Analysis results in case6 (2/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.41	0.65	-0.65	6.15	-6.15	5.52E-05	-5.58E-05	5.89E-04	-5.67E-04
0.42	0.70	-0.70	6.20	-6.20	5.88E-05	-5.95E-05	5.93E-04	-5.70E-04
0.43	0.74	-0.74	6.24	-6.24	6.23E-05	-6.30E-05	5.96E-04	-5.73E-04
0.44	0.78	-0.78	6.29	-6.29	6.57E-05	-6.64E-05	6.00E-04	-5.76E-04
0.45	0.82	-0.82	6.34	-6.34	6.90E-05	-6.97E-05	6.03E-04	-5.79E-04
0.46	0.86	-0.86	6.38	-6.38	7.22E-05	-7.29E-05	6.06E-04	-5.82E-04
0.47	0.90	-0.90	6.42	-6.42	7.53E-05	-7.60E-05	6.09E-04	-5.84E-04
0.48	0.94	-0.94	6.47	-6.47	7.83E-05	-7.90E-05	6.12E-04	-5.87E-04
0.49	0.97	-0.97	6.51	-6.51	8.12E-05	-8.20E-05	6.14E-04	-5.89E-04
0.50	1.01	-1.01	6.54	-6.54	8.40E-05	-8.48E-05	6.17E-04	-5.92E-04
0.51	1.04	-1.04	6.58	-6.58	8.68E-05	-8.75E-05	6.19E-04	-5.94E-04
0.52	1.08	-1.08	6.62	-6.62	8.94E-05	-9.02E-05	6.22E-04	-5.96E-04
0.53	1.11	-1.11	6.65	-6.65	9.20E-05	-9.28E-05	6.24E-04	-5.98E-04
0.54	1.14	-1.14	6.69	-6.69	9.45E-05	-9.53E-05	6.26E-04	-6.00E-04
0.55	1.17	-1.17	6.72	-6.72	9.69E-05	-9.77E-05	6.29E-04	-6.02E-04
0.56	1.20	-1.20	6.75	-6.75	9.93E-05	-1.00E-04	6.31E-04	-6.04E-04
0.57	1.23	-1.23	6.78	-6.78	1.02E-04	-1.02E-04	6.33E-04	-6.06E-04
0.58	1.26	-1.26	6.81	-6.81	1.04E-04	-1.05E-04	6.35E-04	-6.07E-04
0.59	1.29	-1.29	6.84	-6.84	1.06E-04	-1.07E-04	6.36E-04	-6.09E-04
0.60	1.32	-1.32	6.87	-6.87	1.08E-04	-1.09E-04	6.38E-04	-6.10E-04
0.61	1.34	-1.34	6.89	-6.89	1.10E-04	-1.11E-04	6.40E-04	-6.12E-04
0.62	1.37	-1.37	6.92	-6.92	1.12E-04	-1.13E-04	6.41E-04	-6.13E-04
0.63	1.39	-1.39	6.94	-6.94	1.14E-04	-1.14E-04	6.43E-04	-6.15E-04
0.64	1.42	-1.42	6.97	-6.97	1.16E-04	-1.16E-04	6.44E-04	-6.16E-04
0.65	1.44	-1.44	6.99	-6.99	1.17E-04	-1.18E-04	6.46E-04	-6.17E-04
0.66	1.46	-1.46	7.01	-7.01	1.19E-04	-1.20E-04	6.47E-04	-6.18E-04
0.67	1.48	-1.48	7.03	-7.03	1.21E-04	-1.21E-04	6.48E-04	-6.19E-04
0.68	1.50	-1.50	7.05	-7.05	1.22E-04	-1.23E-04	6.49E-04	-6.20E-04
0.69	1.52	-1.52	7.07	-7.07	1.24E-04	-1.24E-04	6.51E-04	-6.21E-04
0.70	1.54	-1.54	7.09	-7.09	1.25E-04	-1.26E-04	6.52E-04	-6.22E-04
0.71	1.56	-1.56	7.11	-7.11	1.27E-04	-1.27E-04	6.53E-04	-6.23E-04
0.72	1.58	-1.58	7.12	-7.12	1.28E-04	-1.29E-04	6.54E-04	-6.23E-04
0.73	1.60	-1.60	7.14	-7.14	1.30E-04	-1.30E-04	6.55E-04	-6.24E-04
0.74	1.62	-1.62	7.15	-7.15	1.31E-04	-1.31E-04	6.55E-04	-6.25E-04
0.75	1.63	-1.63	7.17	-7.17	1.32E-04	-1.33E-04	6.56E-04	-6.25E-04
0.76	1.65	-1.65	7.18	-7.18	1.33E-04	-1.34E-04	6.57E-04	-6.26E-04
0.77	1.67	-1.67	7.20	-7.20	1.35E-04	-1.35E-04	6.58E-04	-6.26E-04
0.78	1.68	-1.68	7.21	-7.21	1.36E-04	-1.36E-04	6.58E-04	-6.27E-04
0.79	1.70	-1.70	7.22	-7.22	1.37E-04	-1.37E-04	6.59E-04	-6.27E-04
0.80	1.71	-1.71	7.23	-7.23	1.38E-04	-1.38E-04	6.59E-04	-6.28E-04



Appendix 6 Analysis results in case6 (3/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.81	1.72	-1.72	7.24	-7.24	1.39E-04	-1.39E-04	6.60E-04	-6.28E-04
0.82	1.74	-1.74	7.25	-7.25	1.40E-04	-1.40E-04	6.60E-04	-6.28E-04
0.83	1.75	-1.75	7.26	-7.26	1.41E-04	-1.41E-04	6.61E-04	-6.29E-04
0.84	1.76	-1.76	7.27	-7.27	1.42E-04	-1.42E-04	6.61E-04	-6.29E-04
0.85	1.78	-1.78	7.28	-7.28	1.43E-04	-1.43E-04	6.62E-04	-6.29E-04
0.86	1.79	-1.79	7.29	-7.29	1.43E-04	-1.43E-04	6.62E-04	-6.29E-04
0.87	1.80	-1.80	7.29	-7.29	1.44E-04	-1.44E-04	6.62E-04	-6.29E-04
0.88	1.81	-1.81	7.30	-7.30	1.45E-04	-1.45E-04	6.62E-04	-6.29E-04
0.89	1.82	-1.82	7.31	-7.31	1.46E-04	-1.46E-04	6.63E-04	-6.30E-04
0.90	1.83	-1.83	7.31	-7.31	1.46E-04	-1.46E-04	6.63E-04	-6.30E-04
0.91	1.84	-1.84	7.32	-7.32	1.47E-04	-1.47E-04	6.63E-04	-6.30E-04
0.92	1.85	-1.85	7.32	-7.32	1.48E-04	-1.48E-04	6.63E-04	-6.30E-04
0.93	1.86	-1.86	7.33	-7.33	1.48E-04	-1.48E-04	6.63E-04	-6.29E-04
0.94	1.87	-1.87	7.33	-7.33	1.49E-04	-1.49E-04	6.63E-04	-6.29E-04
0.95	1.87	-1.87	7.34	-7.34	1.50E-04	-1.49E-04	6.63E-04	-6.29E-04
0.96	1.88	-1.88	7.34	-7.34	1.50E-04	-1.50E-04	6.63E-04	-6.29E-04
0.97	1.89	-1.89	7.34	-7.34	1.51E-04	-1.50E-04	6.63E-04	-6.29E-04
0.98	1.90	-1.90	7.35	-7.35	1.51E-04	-1.51E-04	6.63E-04	-6.29E-04
0.99	1.90	-1.90	7.35	-7.35	1.52E-04	-1.51E-04	6.63E-04	-6.29E-04
1.00	1.91	-1.91	7.35	-7.35	1.52E-04	-1.52E-04	6.63E-04	-6.28E-04
1.01	1.92	-1.92	7.35	-7.35	1.53E-04	-1.52E-04	6.63E-04	-6.28E-04
1.02	1.92	-1.92	7.35	-7.35	1.53E-04	-1.53E-04	6.62E-04	-6.28E-04
1.03	1.93	-1.93	7.35	-7.35	1.53E-04	-1.53E-04	6.62E-04	-6.28E-04
1.04	1.93	-1.93	7.35	-7.35	1.54E-04	-1.53E-04	6.62E-04	-6.27E-04
1.05	1.94	-1.94	7.36	-7.36	1.54E-04	-1.54E-04	6.62E-04	-6.27E-04
1.06	1.95	-1.95	7.36	-7.36	1.55E-04	-1.54E-04	6.61E-04	-6.27E-04
1.07	1.95	-1.95	7.36	-7.36	1.55E-04	-1.54E-04	6.61E-04	-6.26E-04
1.08	1.95	-1.95	7.35	-7.35	1.55E-04	-1.55E-04	6.61E-04	-6.26E-04
1.09	1.96	-1.96	7.35	-7.35	1.55E-04	-1.55E-04	6.61E-04	-6.25E-04
1.10	1.96	-1.96	7.35	-7.35	1.56E-04	-1.55E-04	6.60E-04	-6.25E-04
1.11	1.97	-1.97	7.35	-7.35	1.56E-04	-1.55E-04	6.60E-04	-6.25E-04
1.12	1.97	-1.97	7.35	-7.35	1.56E-04	-1.56E-04	6.60E-04	-6.24E-04
1.13	1.97	-1.97	7.35	-7.35	1.56E-04	-1.56E-04	6.59E-04	-6.24E-04
1.14	1.98	-1.98	7.35	-7.35	1.57E-04	-1.56E-04	6.59E-04	-6.23E-04
1.15	1.98	-1.98	7.34	-7.34	1.57E-04	-1.56E-04	6.58E-04	-6.23E-04
1.16	1.98	-1.98	7.34	-7.34	1.57E-04	-1.56E-04	6.58E-04	-6.22E-04
1.17	1.99	-1.99	7.34	-7.34	1.57E-04	-1.56E-04	6.57E-04	-6.22E-04
1.18	1.99	-1.99	7.34	-7.34	1.57E-04	-1.57E-04	6.57E-04	-6.21E-04
1.19	1.99	-1.99	7.33	-7.33	1.58E-04	-1.57E-04	6.56E-04	-6.21E-04
1.20	1.99	-1.99	7.33	-7.33	1.58E-04	-1.57E-04	6.56E-04	-6.20E-04

Appendix 6 Analysis results in case6 (4/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.21	2.00	-2.00	7.33	-7.33	1.58E-04	-1.57E-04	6.55E-04	-6.20E-04
1.22	2.00	-2.00	7.32	-7.32	1.58E-04	-1.57E-04	6.55E-04	-6.19E-04
1.23	2.00	-2.00	7.32	-7.32	1.58E-04	-1.57E-04	6.54E-04	-6.19E-04
1.24	2.00	-2.00	7.32	-7.32	1.58E-04	-1.57E-04	6.54E-04	-6.18E-04
1.25	2.00	-2.00	7.31	-7.31	1.58E-04	-1.57E-04	6.53E-04	-6.17E-04
1.26	2.00	-2.00	7.31	-7.31	1.58E-04	-1.57E-04	6.53E-04	-6.17E-04
1.27	2.00	-2.00	7.30	-7.30	1.58E-04	-1.57E-04	6.52E-04	-6.16E-04
1.28	2.01	-2.01	7.30	-7.30	1.58E-04	-1.57E-04	6.52E-04	-6.16E-04
1.29	2.01	-2.01	7.30	-7.30	1.58E-04	-1.57E-04	6.51E-04	-6.15E-04
1.30	2.01	-2.01	7.29	-7.29	1.58E-04	-1.57E-04	6.50E-04	-6.14E-04
1.31	2.01	-2.01	7.29	-7.29	1.58E-04	-1.57E-04	6.50E-04	-6.14E-04
1.32	2.01	-2.01	7.28	-7.28	1.58E-04	-1.57E-04	6.49E-04	-6.13E-04
1.33	2.01	-2.01	7.28	-7.28	1.58E-04	-1.57E-04	6.49E-04	-6.12E-04
1.34	2.01	-2.01	7.27	-7.27	1.58E-04	-1.57E-04	6.48E-04	-6.12E-04
1.35	2.01	-2.01	7.27	-7.27	1.58E-04	-1.57E-04	6.47E-04	-6.11E-04
1.36	2.01	-2.01	7.26	-7.26	1.58E-04	-1.57E-04	6.47E-04	-6.10E-04
1.37	2.01	-2.01	7.26	-7.26	1.58E-04	-1.57E-04	6.46E-04	-6.10E-04
1.38	2.01	-2.01	7.25	-7.25	1.58E-04	-1.57E-04	6.45E-04	-6.09E-04
1.39	2.01	-2.01	7.24	-7.24	1.58E-04	-1.57E-04	6.45E-04	-6.09E-04
1.40	2.01	-2.01	7.24	-7.24	1.58E-04	-1.57E-04	6.44E-04	-6.08E-04
1.41	2.01	-2.01	7.23	-7.23	1.58E-04	-1.57E-04	6.43E-04	-6.07E-04
1.42	2.01	-2.01	7.23	-7.23	1.58E-04	-1.57E-04	6.43E-04	-6.07E-04
1.43	2.01	-2.01	7.22	-7.22	1.58E-04	-1.57E-04	6.42E-04	-6.06E-04
1.44	2.01	-2.01	7.22	-7.22	1.58E-04	-1.56E-04	6.41E-04	-6.05E-04
1.45	2.01	-2.01	7.21	-7.21	1.58E-04	-1.56E-04	6.41E-04	-6.04E-04
1.46	2.01	-2.01	7.20	-7.20	1.57E-04	-1.56E-04	6.40E-04	-6.04E-04
1.47	2.00	-2.00	7.20	-7.20	1.57E-04	-1.56E-04	6.39E-04	-6.03E-04
1.48	2.00	-2.00	7.19	-7.19	1.57E-04	-1.56E-04	6.39E-04	-6.02E-04
1.49	2.00	-2.00	7.19	-7.19	1.57E-04	-1.56E-04	6.38E-04	-6.02E-04
1.50	2.00	-2.00	7.18	-7.18	1.57E-04	-1.56E-04	6.37E-04	-6.01E-04
1.51	2.00	-2.00	7.17	-7.17	1.57E-04	-1.56E-04	6.37E-04	-6.00E-04
1.52	2.00	-2.00	7.17	-7.17	1.57E-04	-1.55E-04	6.36E-04	-6.00E-04
1.53	2.00	-2.00	7.16	-7.16	1.57E-04	-1.55E-04	6.35E-04	-5.99E-04
1.54	2.00	-2.00	7.15	-7.15	1.56E-04	-1.55E-04	6.34E-04	-5.98E-04
1.55	1.99	-1.99	7.15	-7.15	1.56E-04	-1.55E-04	6.34E-04	-5.98E-04
1.56	1.99	-1.99	7.14	-7.14	1.56E-04	-1.55E-04	6.33E-04	-5.97E-04
1.57	1.99	-1.99	7.14	-7.14	1.56E-04	-1.55E-04	6.32E-04	-5.96E-04
1.58	1.99	-1.99	7.13	-7.13	1.56E-04	-1.55E-04	6.32E-04	-5.95E-04
1.59	1.99	-1.99	7.12	-7.12	1.56E-04	-1.54E-04	6.31E-04	-5.95E-04
1.60	1.99	-1.99	7.12	-7.12	1.55E-04	-1.54E-04	6.30E-04	-5.94E-04

Appendix 6 Analysis results in case6 (5/8)

Fluence ( $\times 10^{25}$ n/m <sup>2</sup> )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.61	1.99	-1.99	7.11	-7.11	1.55E-04	-1.54E-04	6.29E-04	-5.93E-04
1.62	1.98	-1.98	7.10	-7.10	1.55E-04	-1.54E-04	6.29E-04	-5.93E-04
1.63	1.98	-1.98	7.10	-7.10	1.55E-04	-1.54E-04	6.28E-04	-5.92E-04
1.64	1.98	-1.98	7.09	-7.09	1.55E-04	-1.53E-04	6.27E-04	-5.91E-04
1.65	1.98	-1.98	7.08	-7.08	1.55E-04	-1.53E-04	6.27E-04	-5.91E-04
1.66	1.98	-1.98	7.08	-7.08	1.54E-04	-1.53E-04	6.26E-04	-5.90E-04
1.67	1.97	-1.97	7.07	-7.07	1.54E-04	-1.53E-04	6.25E-04	-5.89E-04
1.68	1.97	-1.97	7.07	-7.07	1.54E-04	-1.53E-04	6.24E-04	-5.89E-04
1.69	1.97	-1.97	7.06	-7.06	1.54E-04	-1.53E-04	6.24E-04	-5.88E-04
1.70	1.97	-1.97	7.05	-7.05	1.54E-04	-1.52E-04	6.23E-04	-5.87E-04
1.71	1.97	-1.97	7.05	-7.05	1.53E-04	-1.52E-04	6.22E-04	-5.86E-04
1.72	1.96	-1.96	7.04	-7.04	1.53E-04	-1.52E-04	6.22E-04	-5.86E-04
1.73	1.96	-1.96	7.03	-7.03	1.53E-04	-1.52E-04	6.21E-04	-5.85E-04
1.74	1.96	-1.96	7.03	-7.03	1.53E-04	-1.51E-04	6.20E-04	-5.84E-04
1.75	1.96	-1.96	7.02	-7.02	1.53E-04	-1.51E-04	6.19E-04	-5.84E-04
1.76	1.95	-1.95	7.01	-7.01	1.52E-04	-1.51E-04	6.19E-04	-5.83E-04
1.77	1.95	-1.95	7.01	-7.01	1.52E-04	-1.51E-04	6.18E-04	-5.82E-04
1.78	1.95	-1.95	7.00	-7.00	1.52E-04	-1.51E-04	6.17E-04	-5.82E-04
1.79	1.95	-1.95	6.99	-6.99	1.52E-04	-1.50E-04	6.16E-04	-5.81E-04
1.80	1.95	-1.95	6.99	-6.99	1.51E-04	-1.50E-04	6.16E-04	-5.80E-04
1.81	1.94	-1.94	6.98	-6.98	1.51E-04	-1.50E-04	6.15E-04	-5.80E-04
1.82	1.94	-1.94	6.97	-6.97	1.51E-04	-1.50E-04	6.14E-04	-5.79E-04
1.83	1.94	-1.94	6.97	-6.97	1.51E-04	-1.50E-04	6.14E-04	-5.78E-04
1.84	1.94	-1.94	6.96	-6.96	1.51E-04	-1.49E-04	6.13E-04	-5.78E-04
1.85	1.93	-1.93	6.96	-6.96	1.50E-04	-1.49E-04	6.12E-04	-5.77E-04
1.86	1.93	-1.93	6.95	-6.95	1.50E-04	-1.49E-04	6.11E-04	-5.76E-04
1.87	1.93	-1.93	6.94	-6.94	1.50E-04	-1.49E-04	6.11E-04	-5.76E-04
1.88	1.93	-1.93	6.94	-6.94	1.50E-04	-1.48E-04	6.10E-04	-5.75E-04
1.89	1.92	-1.92	6.93	-6.93	1.49E-04	-1.48E-04	6.09E-04	-5.74E-04
1.90	1.92	-1.92	6.92	-6.92	1.49E-04	-1.48E-04	6.09E-04	-5.74E-04
1.91	1.92	-1.92	6.92	-6.92	1.49E-04	-1.48E-04	6.08E-04	-5.73E-04
1.92	1.92	-1.92	6.91	-6.91	1.49E-04	-1.47E-04	6.07E-04	-5.73E-04
1.93	1.91	-1.91	6.91	-6.91	1.48E-04	-1.47E-04	6.07E-04	-5.72E-04
1.94	1.91	-1.91	6.90	-6.90	1.48E-04	-1.47E-04	6.06E-04	-5.71E-04
1.95	1.91	-1.91	6.89	-6.89	1.48E-04	-1.47E-04	6.05E-04	-5.71E-04
1.96	1.90	-1.90	6.89	-6.89	1.48E-04	-1.46E-04	6.04E-04	-5.70E-04
1.97	1.90	-1.90	6.88	-6.88	1.47E-04	-1.46E-04	6.04E-04	-5.69E-04
1.98	1.90	-1.90	6.88	-6.88	1.47E-04	-1.46E-04	6.03E-04	-5.69E-04
1.99	1.90	-1.90	6.87	-6.87	1.47E-04	-1.46E-04	6.02E-04	-5.68E-04
2.00	1.89	-1.89	6.86	-6.86	1.47E-04	-1.45E-04	6.02E-04	-5.67E-04

Appendix 6 Analysis results in case6 (6/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.01	1.89	-1.89	6.86	-6.86	1.46E-04	-1.45E-04	6.01E-04	-5.67E-04
2.02	1.89	-1.89	6.85	-6.85	1.46E-04	-1.45E-04	6.00E-04	-5.66E-04
2.03	1.88	-1.88	6.84	-6.84	1.46E-04	-1.45E-04	6.00E-04	-5.66E-04
2.04	1.88	-1.88	6.84	-6.84	1.46E-04	-1.45E-04	5.99E-04	-5.65E-04
2.05	1.88	-1.88	6.83	-6.83	1.45E-04	-1.44E-04	5.98E-04	-5.64E-04
2.06	1.88	-1.88	6.83	-6.83	1.45E-04	-1.44E-04	5.98E-04	-5.64E-04
2.07	1.87	-1.87	6.82	-6.82	1.45E-04	-1.44E-04	5.97E-04	-5.63E-04
2.08	1.87	-1.87	6.82	-6.82	1.45E-04	-1.43E-04	5.96E-04	-5.62E-04
2.09	1.87	-1.87	6.81	-6.81	1.44E-04	-1.43E-04	5.96E-04	-5.62E-04
2.10	1.86	-1.86	6.80	-6.80	1.44E-04	-1.43E-04	5.95E-04	-5.61E-04
2.11	1.86	-1.86	6.80	-6.80	1.44E-04	-1.43E-04	5.94E-04	-5.61E-04
2.12	1.86	-1.86	6.79	-6.79	1.44E-04	-1.42E-04	5.94E-04	-5.60E-04
2.13	1.86	-1.86	6.79	-6.79	1.43E-04	-1.42E-04	5.93E-04	-5.59E-04
2.14	1.85	-1.85	6.78	-6.78	1.43E-04	-1.42E-04	5.92E-04	-5.59E-04
2.15	1.85	-1.85	6.77	-6.77	1.43E-04	-1.42E-04	5.92E-04	-5.58E-04
2.16	1.85	-1.85	6.77	-6.77	1.42E-04	-1.41E-04	5.91E-04	-5.58E-04
2.17	1.84	-1.84	6.76	-6.76	1.42E-04	-1.41E-04	5.90E-04	-5.57E-04
2.18	1.84	-1.84	6.76	-6.76	1.42E-04	-1.41E-04	5.90E-04	-5.56E-04
2.19	1.84	-1.84	6.75	-6.75	1.42E-04	-1.41E-04	5.89E-04	-5.56E-04
2.20	1.83	-1.83	6.75	-6.75	1.41E-04	-1.40E-04	5.88E-04	-5.55E-04
2.21	1.83	-1.83	6.74	-6.74	1.41E-04	-1.40E-04	5.88E-04	-5.55E-04
2.22	1.83	-1.83	6.73	-6.73	1.41E-04	-1.40E-04	5.87E-04	-5.54E-04
2.23	1.83	-1.83	6.73	-6.73	1.41E-04	-1.40E-04	5.86E-04	-5.53E-04
2.24	1.82	-1.82	6.72	-6.72	1.40E-04	-1.39E-04	5.86E-04	-5.53E-04
2.25	1.82	-1.82	6.72	-6.72	1.40E-04	-1.39E-04	5.85E-04	-5.52E-04
2.26	1.82	-1.82	6.71	-6.71	1.40E-04	-1.39E-04	5.85E-04	-5.52E-04
2.27	1.81	-1.81	6.71	-6.71	1.39E-04	-1.38E-04	5.84E-04	-5.51E-04
2.28	1.81	-1.81	6.70	-6.70	1.39E-04	-1.38E-04	5.83E-04	-5.50E-04
2.29	1.81	-1.81	6.70	-6.70	1.39E-04	-1.38E-04	5.83E-04	-5.50E-04
2.30	1.80	-1.80	6.69	-6.69	1.39E-04	-1.38E-04	5.82E-04	-5.49E-04
2.31	1.80	-1.80	6.68	-6.68	1.38E-04	-1.37E-04	5.81E-04	-5.49E-04
2.32	1.80	-1.80	6.68	-6.68	1.38E-04	-1.37E-04	5.81E-04	-5.48E-04
2.33	1.79	-1.79	6.67	-6.67	1.38E-04	-1.37E-04	5.80E-04	-5.48E-04
2.34	1.79	-1.79	6.67	-6.67	1.37E-04	-1.37E-04	5.79E-04	-5.47E-04
2.35	1.79	-1.79	6.66	-6.66	1.37E-04	-1.36E-04	5.79E-04	-5.46E-04
2.36	1.78	-1.78	6.66	-6.66	1.37E-04	-1.36E-04	5.78E-04	-5.46E-04
2.37	1.78	-1.78	6.65	-6.65	1.37E-04	-1.36E-04	5.78E-04	-5.45E-04
2.38	1.78	-1.78	6.65	-6.65	1.36E-04	-1.35E-04	5.77E-04	-5.45E-04
2.39	1.77	-1.77	6.64	-6.64	1.36E-04	-1.35E-04	5.76E-04	-5.44E-04
2.40	1.77	-1.77	6.63	-6.63	1.36E-04	-1.35E-04	5.76E-04	-5.43E-04



Appendix 6 Analysis results in case6 (7/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.41	1.77	-1.77	6.63	-6.63	1.35E-04	-1.35E-04	5.75E-04	-5.43E-04
2.42	1.76	-1.76	6.62	-6.62	1.35E-04	-1.34E-04	5.74E-04	-5.42E-04
2.43	1.76	-1.76	6.62	-6.62	1.35E-04	-1.34E-04	5.74E-04	-5.42E-04
2.44	1.76	-1.76	6.61	-6.61	1.35E-04	-1.34E-04	5.73E-04	-5.41E-04
2.45	1.75	-1.75	6.61	-6.61	1.34E-04	-1.33E-04	5.73E-04	-5.41E-04
2.46	1.75	-1.75	6.60	-6.60	1.34E-04	-1.33E-04	5.72E-04	-5.40E-04
2.47	1.75	-1.75	6.60	-6.60	1.34E-04	-1.33E-04	5.71E-04	-5.39E-04
2.48	1.74	-1.74	6.59	-6.59	1.33E-04	-1.32E-04	5.71E-04	-5.39E-04
2.49	1.74	-1.74	6.58	-6.58	1.33E-04	-1.32E-04	5.70E-04	-5.38E-04
2.50	1.74	-1.74	6.58	-6.58	1.33E-04	-1.32E-04	5.69E-04	-5.38E-04
2.51	1.73	-1.73	6.57	-6.57	1.32E-04	-1.32E-04	5.69E-04	-5.37E-04
2.52	1.73	-1.73	6.57	-6.57	1.32E-04	-1.31E-04	5.68E-04	-5.36E-04
2.53	1.72	-1.72	6.56	-6.56	1.32E-04	-1.31E-04	5.67E-04	-5.36E-04
2.54	1.72	-1.72	6.56	-6.56	1.31E-04	-1.31E-04	5.67E-04	-5.35E-04
2.55	1.72	-1.72	6.55	-6.55	1.31E-04	-1.30E-04	5.66E-04	-5.35E-04
2.56	1.71	-1.71	6.55	-6.55	1.31E-04	-1.30E-04	5.66E-04	-5.34E-04
2.57	1.71	-1.71	6.54	-6.54	1.31E-04	-1.30E-04	5.65E-04	-5.34E-04
2.58	1.71	-1.71	6.53	-6.53	1.30E-04	-1.29E-04	5.64E-04	-5.33E-04
2.59	1.70	-1.70	6.53	-6.53	1.30E-04	-1.29E-04	5.64E-04	-5.32E-04
2.60	1.70	-1.70	6.52	-6.52	1.30E-04	-1.29E-04	5.63E-04	-5.32E-04
2.61	1.69	-1.69	6.52	-6.52	1.29E-04	-1.28E-04	5.62E-04	-5.31E-04
2.62	1.69	-1.69	6.51	-6.51	1.29E-04	-1.28E-04	5.62E-04	-5.31E-04
2.63	1.69	-1.69	6.51	-6.51	1.29E-04	-1.28E-04	5.61E-04	-5.30E-04
2.64	1.68	-1.68	6.50	-6.50	1.28E-04	-1.27E-04	5.61E-04	-5.29E-04
2.65	1.68	-1.68	6.49	-6.49	1.28E-04	-1.27E-04	5.60E-04	-5.29E-04
2.66	1.67	-1.67	6.49	-6.49	1.28E-04	-1.27E-04	5.59E-04	-5.28E-04
2.67	1.67	-1.67	6.48	-6.48	1.27E-04	-1.26E-04	5.59E-04	-5.28E-04
2.68	1.67	-1.67	6.48	-6.48	1.27E-04	-1.26E-04	5.58E-04	-5.27E-04
2.69	1.66	-1.66	6.47	-6.47	1.27E-04	-1.26E-04	5.57E-04	-5.26E-04
2.70	1.66	-1.66	6.46	-6.46	1.26E-04	-1.25E-04	5.57E-04	-5.26E-04
2.71	1.65	-1.65	6.46	-6.46	1.26E-04	-1.25E-04	5.56E-04	-5.25E-04
2.72	1.65	-1.65	6.45	-6.45	1.26E-04	-1.25E-04	5.55E-04	-5.24E-04
2.73	1.65	-1.65	6.45	-6.45	1.25E-04	-1.24E-04	5.55E-04	-5.24E-04
2.74	1.64	-1.64	6.44	-6.44	1.25E-04	-1.24E-04	5.54E-04	-5.23E-04
2.75	1.64	-1.64	6.43	-6.43	1.24E-04	-1.24E-04	5.53E-04	-5.23E-04
2.76	1.63	-1.63	6.43	-6.43	1.24E-04	-1.23E-04	5.53E-04	-5.22E-04
2.77	1.63	-1.63	6.42	-6.42	1.24E-04	-1.23E-04	5.52E-04	-5.21E-04
2.78	1.62	-1.62	6.41	-6.41	1.23E-04	-1.23E-04	5.51E-04	-5.21E-04
2.79	1.62	-1.62	6.41	-6.41	1.23E-04	-1.22E-04	5.51E-04	-5.20E-04
2.80	1.62	-1.62	6.40	-6.40	1.23E-04	-1.22E-04	5.50E-04	-5.19E-04

Appendix 6 Analysis results in case6 (8/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.81	1.61	-1.61	6.39	-6.39	1.22E-04	-1.21E-04	5.49E-04	-5.19E-04
2.82	1.61	-1.61	6.39	-6.39	1.22E-04	-1.21E-04	5.49E-04	-5.18E-04
2.83	1.60	-1.60	6.38	-6.38	1.22E-04	-1.21E-04	5.48E-04	-5.17E-04
2.84	1.60	-1.60	6.38	-6.38	1.21E-04	-1.20E-04	5.47E-04	-5.17E-04
2.85	1.59	-1.59	6.37	-6.37	1.21E-04	-1.20E-04	5.47E-04	-5.16E-04
2.86	1.59	-1.59	6.36	-6.36	1.20E-04	-1.20E-04	5.46E-04	-5.15E-04
2.87	1.58	-1.58	6.36	-6.36	1.20E-04	-1.19E-04	5.45E-04	-5.15E-04
2.88	1.58	-1.58	6.35	-6.35	1.20E-04	-1.19E-04	5.45E-04	-5.14E-04
2.89	1.57	-1.57	6.34	-6.34	1.19E-04	-1.18E-04	5.44E-04	-5.13E-04
2.90	1.57	-1.57	6.33	-6.33	1.19E-04	-1.18E-04	5.43E-04	-5.13E-04
2.91	1.56	-1.56	6.33	-6.33	1.18E-04	-1.18E-04	5.43E-04	-5.12E-04
2.92	1.56	-1.56	6.32	-6.32	1.18E-04	-1.17E-04	5.42E-04	-5.11E-04
2.93	1.55	-1.55	6.31	-6.31	1.18E-04	-1.17E-04	5.41E-04	-5.11E-04
2.94	1.55	-1.55	6.31	-6.31	1.17E-04	-1.16E-04	5.41E-04	-5.10E-04
2.95	1.54	-1.54	6.30	-6.30	1.17E-04	-1.16E-04	5.40E-04	-5.09E-04
2.96	1.54	-1.54	6.29	-6.29	1.16E-04	-1.16E-04	5.39E-04	-5.09E-04
2.97	1.53	-1.53	6.28	-6.28	1.16E-04	-1.15E-04	5.38E-04	-5.08E-04
2.98	1.53	-1.53	6.28	-6.28	1.16E-04	-1.15E-04	5.38E-04	-5.07E-04
2.99	1.52	-1.52	6.27	-6.27	1.15E-04	-1.14E-04	5.37E-04	-5.06E-04
3.00	1.52	-1.52	6.26	-6.26	1.15E-04	-1.14E-04	5.36E-04	-5.06E-04

Appendix 7 Analysis results in case7 (1/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.00	-4.63	4.63	0.00	0.00	-5.01E-04	5.29E-04	0.00E+00	0.00E+00
0.01	-2.85	2.85	1.72	-1.72	-2.98E-04	3.14E-04	2.09E-04	-2.08E-04
0.02	-2.18	2.18	2.37	-2.37	-2.24E-04	2.35E-04	2.83E-04	-2.82E-04
0.03	-1.90	1.90	2.68	-2.68	-1.92E-04	2.01E-04	3.15E-04	-3.13E-04
0.04	-1.73	1.73	2.88	-2.88	-1.72E-04	1.80E-04	3.34E-04	-3.32E-04
0.05	-1.59	1.59	3.04	-3.04	-1.56E-04	1.64E-04	3.49E-04	-3.46E-04
0.06	-1.46	1.46	3.19	-3.19	-1.42E-04	1.49E-04	3.63E-04	-3.59E-04
0.07	-1.33	1.33	3.34	-3.34	-1.29E-04	1.34E-04	3.75E-04	-3.71E-04
0.08	-1.21	1.21	3.47	-3.47	-1.16E-04	1.21E-04	3.87E-04	-3.83E-04
0.09	-1.09	1.09	3.60	-3.60	-1.03E-04	1.08E-04	3.98E-04	-3.94E-04
0.10	-0.97	0.97	3.73	-3.73	-9.15E-05	9.54E-05	4.09E-04	-4.04E-04
0.11	-0.86	0.86	3.85	-3.85	-8.01E-05	8.34E-05	4.20E-04	-4.14E-04
0.12	-0.74	0.74	3.97	-3.97	-6.90E-05	7.19E-05	4.30E-04	-4.24E-04
0.13	-0.63	0.63	4.09	-4.09	-5.84E-05	6.07E-05	4.40E-04	-4.33E-04
0.14	-0.52	0.52	4.20	-4.20	-4.81E-05	5.00E-05	4.49E-04	-4.42E-04
0.15	-0.42	0.42	4.31	-4.31	-3.81E-05	3.96E-05	4.58E-04	-4.50E-04
0.16	-0.31	0.31	4.41	-4.41	-2.85E-05	2.96E-05	4.66E-04	-4.58E-04
0.17	-0.21	0.21	4.52	-4.52	-1.93E-05	2.00E-05	4.75E-04	-4.66E-04
0.18	-0.11	0.11	4.61	-4.61	-1.03E-05	1.07E-05	4.83E-04	-4.74E-04
0.19	-0.02	0.02	4.71	-4.71	-1.62E-06	1.68E-06	4.90E-04	-4.81E-04
0.20	0.08	-0.08	4.80	-4.80	6.76E-06	-7.00E-06	4.98E-04	-4.88E-04
0.21	0.17	-0.17	4.89	-4.89	1.49E-05	-1.54E-05	5.05E-04	-4.94E-04
0.22	0.26	-0.26	4.98	-4.98	2.27E-05	-2.35E-05	5.11E-04	-5.01E-04
0.23	0.34	-0.34	5.06	-5.06	3.03E-05	-3.13E-05	5.18E-04	-5.07E-04
0.24	0.43	-0.43	5.14	-5.14	3.76E-05	-3.88E-05	5.24E-04	-5.13E-04
0.25	0.51	-0.51	5.22	-5.22	4.47E-05	-4.61E-05	5.30E-04	-5.18E-04
0.26	0.59	-0.59	5.29	-5.29	5.15E-05	-5.32E-05	5.36E-04	-5.24E-04
0.27	0.67	-0.67	5.37	-5.37	5.81E-05	-6.00E-05	5.42E-04	-5.29E-04
0.28	0.75	-0.75	5.44	-5.44	6.45E-05	-6.65E-05	5.47E-04	-5.34E-04
0.29	0.82	-0.82	5.51	-5.51	7.07E-05	-7.29E-05	5.52E-04	-5.39E-04
0.30	0.89	-0.89	5.57	-5.57	7.67E-05	-7.90E-05	5.57E-04	-5.43E-04
0.31	0.96	-0.96	5.64	-5.64	8.25E-05	-8.49E-05	5.62E-04	-5.48E-04
0.32	1.03	-1.03	5.70	-5.70	8.81E-05	-9.07E-05	5.66E-04	-5.52E-04
0.33	1.10	-1.10	5.76	-5.76	9.35E-05	-9.62E-05	5.71E-04	-5.56E-04
0.34	1.16	-1.16	5.81	-5.81	9.87E-05	-1.02E-04	5.75E-04	-5.60E-04
0.35	1.23	-1.23	5.87	-5.87	1.04E-04	-1.07E-04	5.79E-04	-5.63E-04
0.36	1.29	-1.29	5.92	-5.92	1.09E-04	-1.12E-04	5.83E-04	-5.67E-04
0.37	1.34	-1.34	5.97	-5.97	1.13E-04	-1.16E-04	5.87E-04	-5.70E-04
0.38	1.40	-1.40	6.02	-6.02	1.18E-04	-1.21E-04	5.90E-04	-5.73E-04
0.39	1.46	-1.46	6.07	-6.07	1.22E-04	-1.26E-04	5.94E-04	-5.76E-04
0.40	1.51	-1.51	6.12	-6.12	1.27E-04	-1.30E-04	5.97E-04	-5.79E-04

Appendix 7 Analysis results in case7 (2/8)

Fluence ( $\times 10^{25} \text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.41	1.56	-1.56	6.16	-6.16	1.31E-04	-1.34E-04	6.00E-04	-5.82E-04
0.42	1.61	-1.61	6.20	-6.20	1.35E-04	-1.38E-04	6.03E-04	-5.85E-04
0.43	1.66	-1.66	6.25	-6.25	1.39E-04	-1.42E-04	6.06E-04	-5.87E-04
0.44	1.71	-1.71	6.28	-6.28	1.42E-04	-1.46E-04	6.08E-04	-5.90E-04
0.45	1.76	-1.76	6.32	-6.32	1.46E-04	-1.49E-04	6.11E-04	-5.92E-04
0.46	1.80	-1.80	6.36	-6.36	1.49E-04	-1.53E-04	6.13E-04	-5.94E-04
0.47	1.85	-1.85	6.39	-6.39	1.53E-04	-1.56E-04	6.16E-04	-5.96E-04
0.48	1.89	-1.89	6.43	-6.43	1.56E-04	-1.59E-04	6.18E-04	-5.98E-04
0.49	1.93	-1.93	6.46	-6.46	1.59E-04	-1.62E-04	6.20E-04	-6.00E-04
0.50	1.97	-1.97	6.49	-6.49	1.62E-04	-1.65E-04	6.22E-04	-6.02E-04
0.51	2.00	-2.00	6.52	-6.52	1.65E-04	-1.68E-04	6.24E-04	-6.03E-04
0.52	2.04	-2.04	6.55	-6.55	1.68E-04	-1.71E-04	6.26E-04	-6.05E-04
0.53	2.08	-2.08	6.57	-6.57	1.70E-04	-1.74E-04	6.27E-04	-6.06E-04
0.54	2.11	-2.11	6.60	-6.60	1.73E-04	-1.76E-04	6.29E-04	-6.08E-04
0.55	2.14	-2.14	6.62	-6.62	1.75E-04	-1.79E-04	6.31E-04	-6.09E-04
0.56	2.18	-2.18	6.65	-6.65	1.78E-04	-1.81E-04	6.32E-04	-6.10E-04
0.57	2.21	-2.21	6.67	-6.67	1.80E-04	-1.84E-04	6.33E-04	-6.11E-04
0.58	2.24	-2.24	6.69	-6.69	1.82E-04	-1.86E-04	6.35E-04	-6.13E-04
0.59	2.27	-2.27	6.71	-6.71	1.84E-04	-1.88E-04	6.36E-04	-6.14E-04
0.60	2.29	-2.29	6.73	-6.73	1.86E-04	-1.90E-04	6.37E-04	-6.14E-04
0.61	2.32	-2.32	6.75	-6.75	1.88E-04	-1.92E-04	6.38E-04	-6.15E-04
0.62	2.35	-2.35	6.77	-6.77	1.90E-04	-1.94E-04	6.39E-04	-6.16E-04
0.63	2.37	-2.37	6.79	-6.79	1.92E-04	-1.96E-04	6.40E-04	-6.17E-04
0.64	2.40	-2.40	6.80	-6.80	1.94E-04	-1.97E-04	6.41E-04	-6.18E-04
0.65	2.42	-2.42	6.82	-6.82	1.96E-04	-1.99E-04	6.42E-04	-6.18E-04
0.66	2.44	-2.44	6.83	-6.83	1.97E-04	-2.01E-04	6.42E-04	-6.19E-04
0.67	2.46	-2.46	6.84	-6.84	1.99E-04	-2.02E-04	6.43E-04	-6.19E-04
0.68	2.48	-2.48	6.86	-6.86	2.00E-04	-2.04E-04	6.44E-04	-6.20E-04
0.69	2.50	-2.50	6.87	-6.87	2.02E-04	-2.05E-04	6.44E-04	-6.20E-04
0.70	2.52	-2.52	6.88	-6.88	2.03E-04	-2.06E-04	6.45E-04	-6.21E-04
0.71	2.54	-2.54	6.89	-6.89	2.04E-04	-2.08E-04	6.45E-04	-6.21E-04
0.72	2.56	-2.56	6.90	-6.90	2.06E-04	-2.09E-04	6.46E-04	-6.21E-04
0.73	2.58	-2.58	6.91	-6.91	2.07E-04	-2.10E-04	6.46E-04	-6.21E-04
0.74	2.59	-2.59	6.92	-6.92	2.08E-04	-2.11E-04	6.46E-04	-6.22E-04
0.75	2.61	-2.61	6.93	-6.93	2.09E-04	-2.12E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.76	2.62	-2.62	6.93	-6.93	2.10E-04	-2.13E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.77	2.64	-2.64	6.94	-6.94	2.11E-04	-2.14E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.78	2.65	-2.65	6.95	-6.95	2.12E-04	-2.15E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.79	2.66	-2.66	6.95	-6.95	2.13E-04	-2.16E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.80	2.68	-2.68	6.96	-6.96	2.14E-04	-2.17E-04	6.47E-04	-6.22E-04



Appendix 7 Analysis results in case7 (3/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
0.81	2.69	-2.69	6.96	-6.96	2.15E-04	-2.18E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.82	2.70	-2.70	6.97	-6.97	2.16E-04	-2.19E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.83	2.71	-2.71	6.97	-6.97	2.16E-04	-2.19E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.84	2.72	-2.72	6.98	-6.98	2.17E-04	-2.20E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.85	2.73	-2.73	6.98	-6.98	2.18E-04	-2.21E-04	6.47E-04	-6.22E-04
0.86	2.74	-2.74	6.98	-6.98	2.18E-04	-2.21E-04	6.47E-04	-6.21E-04
0.87	2.75	-2.75	6.98	-6.98	2.19E-04	-2.22E-04	6.47E-04	-6.21E-04
0.88	2.76	-2.76	6.99	-6.99	2.20E-04	-2.23E-04	6.47E-04	-6.21E-04
0.89	2.77	-2.77	6.99	-6.99	2.20E-04	-2.23E-04	6.47E-04	-6.21E-04
0.90	2.78	-2.78	6.99	-6.99	2.21E-04	-2.24E-04	6.47E-04	-6.21E-04
0.91	2.78	-2.78	6.99	-6.99	2.21E-04	-2.24E-04	6.46E-04	-6.20E-04
0.92	2.79	-2.79	6.99	-6.99	2.21E-04	-2.25E-04	6.46E-04	-6.20E-04
0.93	2.80	-2.80	6.99	-6.99	2.22E-04	-2.25E-04	6.46E-04	-6.20E-04
0.94	2.80	-2.80	6.99	-6.99	2.22E-04	-2.25E-04	6.46E-04	-6.19E-04
0.95	2.81	-2.81	6.99	-6.99	2.23E-04	-2.26E-04	6.45E-04	-6.19E-04
0.96	2.82	-2.82	6.99	-6.99	2.23E-04	-2.26E-04	6.45E-04	-6.19E-04
0.97	2.82	-2.82	6.99	-6.99	2.23E-04	-2.26E-04	6.45E-04	-6.18E-04
0.98	2.83	-2.83	6.99	-6.99	2.24E-04	-2.27E-04	6.44E-04	-6.18E-04
0.99	2.83	-2.83	6.99	-6.99	2.24E-04	-2.27E-04	6.44E-04	-6.17E-04
1.00	2.83	-2.83	6.99	-6.99	2.24E-04	-2.27E-04	6.43E-04	-6.17E-04
1.01	2.84	-2.84	6.99	-6.99	2.24E-04	-2.27E-04	6.43E-04	-6.17E-04
1.02	2.84	-2.84	6.98	-6.98	2.25E-04	-2.28E-04	6.43E-04	-6.16E-04
1.03	2.85	-2.85	6.98	-6.98	2.25E-04	-2.28E-04	6.42E-04	-6.16E-04
1.04	2.85	-2.85	6.98	-6.98	2.25E-04	-2.28E-04	6.42E-04	-6.15E-04
1.05	2.85	-2.85	6.98	-6.98	2.25E-04	-2.28E-04	6.41E-04	-6.15E-04
1.06	2.86	-2.86	6.98	-6.98	2.25E-04	-2.28E-04	6.41E-04	-6.14E-04
1.07	2.86	-2.86	6.97	-6.97	2.25E-04	-2.28E-04	6.40E-04	-6.14E-04
1.08	2.86	-2.86	6.97	-6.97	2.26E-04	-2.28E-04	6.40E-04	-6.13E-04
1.09	2.86	-2.86	6.97	-6.97	2.26E-04	-2.29E-04	6.39E-04	-6.13E-04
1.10	2.87	-2.87	6.97	-6.97	2.26E-04	-2.29E-04	6.39E-04	-6.12E-04
1.11	2.87	-2.87	6.96	-6.96	2.26E-04	-2.29E-04	6.38E-04	-6.12E-04
1.12	2.87	-2.87	6.96	-6.96	2.26E-04	-2.29E-04	6.38E-04	-6.11E-04
1.13	2.87	-2.87	6.96	-6.96	2.26E-04	-2.29E-04	6.37E-04	-6.11E-04
1.14	2.87	-2.87	6.95	-6.95	2.26E-04	-2.29E-04	6.37E-04	-6.10E-04
1.15	2.87	-2.87	6.95	-6.95	2.26E-04	-2.29E-04	6.36E-04	-6.10E-04
1.16	2.87	-2.87	6.95	-6.95	2.26E-04	-2.29E-04	6.36E-04	-6.09E-04
1.17	2.88	-2.88	6.94	-6.94	2.26E-04	-2.29E-04	6.35E-04	-6.09E-04
1.18	2.88	-2.88	6.94	-6.94	2.26E-04	-2.29E-04	6.35E-04	-6.08E-04
1.19	2.88	-2.88	6.94	-6.94	2.26E-04	-2.29E-04	6.34E-04	-6.08E-04
1.20	2.88	-2.88	6.93	-6.93	2.26E-04	-2.29E-04	6.34E-04	-6.07E-04

Appendix 7 Analysis results in case7 (4/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.21	2.88	-2.88	6.93	-6.93	2.26E-04	-2.29E-04	6.33E-04	-6.07E-04
1.22	2.88	-2.88	6.92	-6.92	2.26E-04	-2.29E-04	6.33E-04	-6.06E-04
1.23	2.88	-2.88	6.92	-6.92	2.26E-04	-2.29E-04	6.32E-04	-6.06E-04
1.24	2.88	-2.88	6.92	-6.92	2.26E-04	-2.28E-04	6.32E-04	-6.05E-04
1.25	2.88	-2.88	6.91	-6.91	2.26E-04	-2.28E-04	6.31E-04	-6.05E-04
1.26	2.88	-2.88	6.91	-6.91	2.26E-04	-2.28E-04	6.30E-04	-6.04E-04
1.27	2.88	-2.88	6.90	-6.90	2.25E-04	-2.28E-04	6.30E-04	-6.04E-04
1.28	2.88	-2.88	6.90	-6.90	2.25E-04	-2.28E-04	6.29E-04	-6.03E-04
1.29	2.88	-2.88	6.90	-6.90	2.25E-04	-2.28E-04	6.29E-04	-6.03E-04
1.30	2.87	-2.87	6.89	-6.89	2.25E-04	-2.28E-04	6.28E-04	-6.02E-04
1.31	2.87	-2.87	6.89	-6.89	2.25E-04	-2.28E-04	6.28E-04	-6.02E-04
1.32	2.87	-2.87	6.88	-6.88	2.25E-04	-2.28E-04	6.27E-04	-6.01E-04
1.33	2.87	-2.87	6.88	-6.88	2.25E-04	-2.28E-04	6.27E-04	-6.01E-04
1.34	2.87	-2.87	6.88	-6.88	2.25E-04	-2.27E-04	6.26E-04	-6.00E-04
1.35	2.87	-2.87	6.87	-6.87	2.24E-04	-2.27E-04	6.26E-04	-6.00E-04
1.36	2.87	-2.87	6.87	-6.87	2.24E-04	-2.27E-04	6.25E-04	-5.99E-04
1.37	2.87	-2.87	6.86	-6.86	2.24E-04	-2.27E-04	6.24E-04	-5.99E-04
1.38	2.87	-2.87	6.86	-6.86	2.24E-04	-2.27E-04	6.24E-04	-5.98E-04
1.39	2.87	-2.87	6.86	-6.86	2.24E-04	-2.27E-04	6.23E-04	-5.98E-04
1.40	2.87	-2.87	6.85	-6.85	2.24E-04	-2.27E-04	6.23E-04	-5.97E-04
1.41	2.86	-2.86	6.85	-6.85	2.24E-04	-2.26E-04	6.22E-04	-5.97E-04
1.42	2.86	-2.86	6.84	-6.84	2.23E-04	-2.26E-04	6.22E-04	-5.96E-04
1.43	2.86	-2.86	6.84	-6.84	2.23E-04	-2.26E-04	6.21E-04	-5.96E-04
1.44	2.86	-2.86	6.84	-6.84	2.23E-04	-2.26E-04	6.21E-04	-5.95E-04
1.45	2.86	-2.86	6.83	-6.83	2.23E-04	-2.26E-04	6.20E-04	-5.95E-04
1.46	2.86	-2.86	6.83	-6.83	2.23E-04	-2.26E-04	6.20E-04	-5.94E-04
1.47	2.86	-2.86	6.82	-6.82	2.22E-04	-2.25E-04	6.19E-04	-5.94E-04
1.48	2.85	-2.85	6.82	-6.82	2.22E-04	-2.25E-04	6.19E-04	-5.93E-04
1.49	2.85	-2.85	6.82	-6.82	2.22E-04	-2.25E-04	6.18E-04	-5.93E-04
1.50	2.85	-2.85	6.81	-6.81	2.22E-04	-2.25E-04	6.18E-04	-5.92E-04
1.51	2.85	-2.85	6.81	-6.81	2.22E-04	-2.25E-04	6.17E-04	-5.92E-04
1.52	2.85	-2.85	6.81	-6.81	2.22E-04	-2.25E-04	6.17E-04	-5.92E-04
1.53	2.85	-2.85	6.80	-6.80	2.21E-04	-2.24E-04	6.16E-04	-5.91E-04
1.54	2.84	-2.84	6.80	-6.80	2.21E-04	-2.24E-04	6.16E-04	-5.91E-04
1.55	2.84	-2.84	6.80	-6.80	2.21E-04	-2.24E-04	6.15E-04	-5.90E-04
1.56	2.84	-2.84	6.79	-6.79	2.21E-04	-2.24E-04	6.15E-04	-5.90E-04
1.57	2.84	-2.84	6.79	-6.79	2.21E-04	-2.24E-04	6.14E-04	-5.89E-04
1.58	2.84	-2.84	6.78	-6.78	2.20E-04	-2.24E-04	6.14E-04	-5.89E-04
1.59	2.84	-2.84	6.78	-6.78	2.20E-04	-2.23E-04	6.13E-04	-5.89E-04
1.60	2.83	-2.83	6.78	-6.78	2.20E-04	-2.23E-04	6.13E-04	-5.88E-04



Appendix 7 Analysis results in case7 (5/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
1.61	2.83	-2.83	6.77	-6.77	2.20E-04	-2.23E-04	6.12E-04	-5.88E-04
1.62	2.83	-2.83	6.77	-6.77	2.20E-04	-2.23E-04	6.12E-04	-5.87E-04
1.63	2.83	-2.83	6.77	-6.77	2.19E-04	-2.23E-04	6.11E-04	-5.87E-04
1.64	2.83	-2.83	6.76	-6.76	2.19E-04	-2.22E-04	6.11E-04	-5.87E-04
1.65	2.83	-2.83	6.76	-6.76	2.19E-04	-2.22E-04	6.10E-04	-5.86E-04
1.66	2.82	-2.82	6.76	-6.76	2.19E-04	-2.22E-04	6.10E-04	-5.86E-04
1.67	2.82	-2.82	6.76	-6.76	2.19E-04	-2.22E-04	6.09E-04	-5.85E-04
1.68	2.82	-2.82	6.75	-6.75	2.18E-04	-2.22E-04	6.09E-04	-5.85E-04
1.69	2.82	-2.82	6.75	-6.75	2.18E-04	-2.22E-04	6.09E-04	-5.85E-04
1.70	2.82	-2.82	6.75	-6.75	2.18E-04	-2.21E-04	6.08E-04	-5.84E-04
1.71	2.82	-2.82	6.74	-6.74	2.18E-04	-2.21E-04	6.08E-04	-5.84E-04
1.72	2.81	-2.81	6.74	-6.74	2.18E-04	-2.21E-04	6.07E-04	-5.84E-04
1.73	2.81	-2.81	6.74	-6.74	2.18E-04	-2.21E-04	6.07E-04	-5.83E-04
1.74	2.81	-2.81	6.74	-6.74	2.17E-04	-2.21E-04	6.06E-04	-5.83E-04
1.75	2.81	-2.81	6.73	-6.73	2.17E-04	-2.20E-04	6.06E-04	-5.83E-04
1.76	2.81	-2.81	6.73	-6.73	2.17E-04	-2.20E-04	6.06E-04	-5.82E-04
1.77	2.81	-2.81	6.73	-6.73	2.17E-04	-2.20E-04	6.05E-04	-5.82E-04
1.78	2.80	-2.80	6.73	-6.73	2.17E-04	-2.20E-04	6.05E-04	-5.81E-04
1.79	2.80	-2.80	6.72	-6.72	2.16E-04	-2.20E-04	6.04E-04	-5.81E-04
1.80	2.80	-2.80	6.72	-6.72	2.16E-04	-2.20E-04	6.04E-04	-5.81E-04
1.81	2.80	-2.80	6.72	-6.72	2.16E-04	-2.19E-04	6.04E-04	-5.80E-04
1.82	2.80	-2.80	6.72	-6.72	2.16E-04	-2.19E-04	6.03E-04	-5.80E-04
1.83	2.80	-2.80	6.71	-6.71	2.16E-04	-2.19E-04	6.03E-04	-5.80E-04
1.84	2.79	-2.79	6.71	-6.71	2.15E-04	-2.19E-04	6.03E-04	-5.80E-04
1.85	2.79	-2.79	6.71	-6.71	2.15E-04	-2.19E-04	6.02E-04	-5.79E-04
1.86	2.79	-2.79	6.71	-6.71	2.15E-04	-2.19E-04	6.02E-04	-5.79E-04
1.87	2.79	-2.79	6.70	-6.70	2.15E-04	-2.18E-04	6.01E-04	-5.79E-04
1.88	2.79	-2.79	6.70	-6.70	2.15E-04	-2.18E-04	6.01E-04	-5.78E-04
1.89	2.79	-2.79	6.70	-6.70	2.15E-04	-2.18E-04	6.01E-04	-5.78E-04
1.90	2.78	-2.78	6.70	-6.70	2.14E-04	-2.18E-04	6.00E-04	-5.78E-04
1.91	2.78	-2.78	6.70	-6.70	2.14E-04	-2.18E-04	6.00E-04	-5.77E-04
1.92	2.78	-2.78	6.69	-6.69	2.14E-04	-2.18E-04	6.00E-04	-5.77E-04
1.93	2.78	-2.78	6.69	-6.69	2.14E-04	-2.17E-04	5.99E-04	-5.77E-04
1.94	2.78	-2.78	6.69	-6.69	2.14E-04	-2.17E-04	5.99E-04	-5.76E-04
1.95	2.78	-2.78	6.69	-6.69	2.13E-04	-2.17E-04	5.99E-04	-5.76E-04
1.96	2.77	-2.77	6.69	-6.69	2.13E-04	-2.17E-04	5.98E-04	-5.76E-04
1.97	2.77	-2.77	6.68	-6.68	2.13E-04	-2.17E-04	5.98E-04	-5.76E-04
1.98	2.77	-2.77	6.68	-6.68	2.13E-04	-2.16E-04	5.98E-04	-5.75E-04
1.99	2.77	-2.77	6.68	-6.68	2.13E-04	-2.16E-04	5.97E-04	-5.75E-04
2.00	2.77	-2.77	6.68	-6.68	2.12E-04	-2.16E-04	5.97E-04	-5.75E-04

Appendix 7 Analysis results in case7 (6/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.01	2.77	-2.77	6.68	-6.68	2.12E-04	-2.16E-04	5.96E-04	-5.74E-04
2.02	2.77	-2.77	6.67	-6.67	2.12E-04	-2.16E-04	5.96E-04	-5.74E-04
2.03	2.76	-2.76	6.67	-6.67	2.12E-04	-2.16E-04	5.96E-04	-5.74E-04
2.04	2.76	-2.76	6.67	-6.67	2.12E-04	-2.15E-04	5.95E-04	-5.74E-04
2.05	2.76	-2.76	6.67	-6.67	2.12E-04	-2.15E-04	5.95E-04	-5.73E-04
2.06	2.76	-2.76	6.67	-6.67	2.11E-04	-2.15E-04	5.95E-04	-5.73E-04
2.07	2.76	-2.76	6.67	-6.67	2.11E-04	-2.15E-04	5.95E-04	-5.73E-04
2.08	2.76	-2.76	6.66	-6.66	2.11E-04	-2.15E-04	5.94E-04	-5.72E-04
2.09	2.75	-2.75	6.66	-6.66	2.11E-04	-2.15E-04	5.94E-04	-5.72E-04
2.10	2.75	-2.75	6.66	-6.66	2.11E-04	-2.14E-04	5.94E-04	-5.72E-04
2.11	2.75	-2.75	6.66	-6.66	2.11E-04	-2.14E-04	5.93E-04	-5.72E-04
2.12	2.75	-2.75	6.66	-6.66	2.10E-04	-2.14E-04	5.93E-04	-5.71E-04
2.13	2.75	-2.75	6.66	-6.66	2.10E-04	-2.14E-04	5.93E-04	-5.71E-04
2.14	2.75	-2.75	6.65	-6.65	2.10E-04	-2.14E-04	5.92E-04	-5.71E-04
2.15	2.75	-2.75	6.65	-6.65	2.10E-04	-2.14E-04	5.92E-04	-5.70E-04
2.16	2.74	-2.74	6.65	-6.65	2.10E-04	-2.13E-04	5.92E-04	-5.70E-04
2.17	2.74	-2.74	6.65	-6.65	2.09E-04	-2.13E-04	5.91E-04	-5.70E-04
2.18	2.74	-2.74	6.65	-6.65	2.09E-04	-2.13E-04	5.91E-04	-5.70E-04
2.19	2.74	-2.74	6.65	-6.65	2.09E-04	-2.13E-04	5.91E-04	-5.69E-04
2.20	2.74	-2.74	6.64	-6.64	2.09E-04	-2.13E-04	5.90E-04	-5.69E-04
2.21	2.74	-2.74	6.64	-6.64	2.09E-04	-2.13E-04	5.90E-04	-5.69E-04
2.22	2.73	-2.73	6.64	-6.64	2.08E-04	-2.12E-04	5.90E-04	-5.68E-04
2.23	2.73	-2.73	6.64	-6.64	2.08E-04	-2.12E-04	5.89E-04	-5.68E-04
2.24	2.73	-2.73	6.64	-6.64	2.08E-04	-2.12E-04	5.89E-04	-5.68E-04
2.25	2.73	-2.73	6.63	-6.63	2.08E-04	-2.12E-04	5.89E-04	-5.68E-04
2.26	2.73	-2.73	6.63	-6.63	2.08E-04	-2.12E-04	5.88E-04	-5.67E-04
2.27	2.73	-2.73	6.63	-6.63	2.08E-04	-2.11E-04	5.88E-04	-5.67E-04
2.28	2.72	-2.72	6.63	-6.63	2.07E-04	-2.11E-04	5.88E-04	-5.67E-04
2.29	2.72	-2.72	6.63	-6.63	2.07E-04	-2.11E-04	5.87E-04	-5.66E-04
2.30	2.72	-2.72	6.63	-6.63	2.07E-04	-2.11E-04	5.87E-04	-5.66E-04
2.31	2.72	-2.72	6.62	-6.62	2.07E-04	-2.11E-04	5.87E-04	-5.66E-04
2.32	2.72	-2.72	6.62	-6.62	2.07E-04	-2.10E-04	5.86E-04	-5.65E-04
2.33	2.71	-2.71	6.62	-6.62	2.06E-04	-2.10E-04	5.86E-04	-5.65E-04
2.34	2.71	-2.71	6.62	-6.62	2.06E-04	-2.10E-04	5.86E-04	-5.65E-04
2.35	2.71	-2.71	6.62	-6.62	2.06E-04	-2.10E-04	5.85E-04	-5.65E-04
2.36	2.71	-2.71	6.61	-6.61	2.06E-04	-2.10E-04	5.85E-04	-5.64E-04
2.37	2.71	-2.71	6.61	-6.61	2.06E-04	-2.09E-04	5.85E-04	-5.64E-04
2.38	2.70	-2.70	6.61	-6.61	2.05E-04	-2.09E-04	5.84E-04	-5.64E-04
2.39	2.70	-2.70	6.61	-6.61	2.05E-04	-2.09E-04	5.84E-04	-5.63E-04
2.40	2.70	-2.70	6.60	-6.60	2.05E-04	-2.09E-04	5.84E-04	-5.63E-04



Appendix 7 Analysis results in case7 (7/8)

Fluence ( $\times 10^{25} \text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.41	2.70	-2.70	6.60	-6.60	2.05E-04	-2.09E-04	5.83E-04	-5.63E-04
2.42	2.70	-2.70	6.60	-6.60	2.04E-04	-2.08E-04	5.83E-04	-5.62E-04
2.43	2.69	-2.69	6.60	-6.60	2.04E-04	-2.08E-04	5.83E-04	-5.62E-04
2.44	2.69	-2.69	6.60	-6.60	2.04E-04	-2.08E-04	5.82E-04	-5.61E-04
2.45	2.69	-2.69	6.59	-6.59	2.04E-04	-2.08E-04	5.82E-04	-5.61E-04
2.46	2.69	-2.69	6.59	-6.59	2.04E-04	-2.07E-04	5.81E-04	-5.61E-04
2.47	2.68	-2.68	6.59	-6.59	2.03E-04	-2.07E-04	5.81E-04	-5.60E-04
2.48	2.68	-2.68	6.59	-6.59	2.03E-04	-2.07E-04	5.81E-04	-5.60E-04
2.49	2.68	-2.68	6.58	-6.58	2.03E-04	-2.07E-04	5.80E-04	-5.60E-04
2.50	2.68	-2.68	6.58	-6.58	2.03E-04	-2.06E-04	5.80E-04	-5.59E-04
2.51	2.67	-2.67	6.58	-6.58	2.02E-04	-2.06E-04	5.80E-04	-5.59E-04
2.52	2.67	-2.67	6.57	-6.57	2.02E-04	-2.06E-04	5.79E-04	-5.58E-04
2.53	2.67	-2.67	6.57	-6.57	2.02E-04	-2.06E-04	5.79E-04	-5.58E-04
2.54	2.67	-2.67	6.57	-6.57	2.02E-04	-2.05E-04	5.78E-04	-5.58E-04
2.55	2.66	-2.66	6.56	-6.56	2.01E-04	-2.05E-04	5.78E-04	-5.57E-04
2.56	2.66	-2.66	6.56	-6.56	2.01E-04	-2.05E-04	5.78E-04	-5.57E-04
2.57	2.66	-2.66	6.56	-6.56	2.01E-04	-2.05E-04	5.77E-04	-5.56E-04
2.58	2.65	-2.65	6.55	-6.55	2.01E-04	-2.04E-04	5.77E-04	-5.56E-04
2.59	2.65	-2.65	6.55	-6.55	2.00E-04	-2.04E-04	5.76E-04	-5.55E-04
2.60	2.65	-2.65	6.55	-6.55	2.00E-04	-2.04E-04	5.76E-04	-5.55E-04
2.61	2.65	-2.65	6.54	-6.54	2.00E-04	-2.03E-04	5.75E-04	-5.55E-04
2.62	2.64	-2.64	6.54	-6.54	1.99E-04	-2.03E-04	5.75E-04	-5.54E-04
2.63	2.64	-2.64	6.54	-6.54	1.99E-04	-2.03E-04	5.75E-04	-5.54E-04
2.64	2.64	-2.64	6.53	-6.53	1.99E-04	-2.02E-04	5.74E-04	-5.53E-04
2.65	2.63	-2.63	6.53	-6.53	1.99E-04	-2.02E-04	5.74E-04	-5.53E-04
2.66	2.63	-2.63	6.53	-6.53	1.98E-04	-2.02E-04	5.73E-04	-5.52E-04
2.67	2.62	-2.62	6.52	-6.52	1.98E-04	-2.01E-04	5.73E-04	-5.52E-04
2.68	2.62	-2.62	6.52	-6.52	1.98E-04	-2.01E-04	5.72E-04	-5.51E-04
2.69	2.62	-2.62	6.51	-6.51	1.97E-04	-2.01E-04	5.72E-04	-5.51E-04
2.70	2.61	-2.61	6.51	-6.51	1.97E-04	-2.00E-04	5.71E-04	-5.50E-04
2.71	2.61	-2.61	6.50	-6.50	1.97E-04	-2.00E-04	5.71E-04	-5.50E-04
2.72	2.61	-2.61	6.50	-6.50	1.96E-04	-2.00E-04	5.70E-04	-5.49E-04
2.73	2.60	-2.60	6.49	-6.49	1.96E-04	-1.99E-04	5.70E-04	-5.49E-04
2.74	2.60	-2.60	6.49	-6.49	1.96E-04	-1.99E-04	5.69E-04	-5.48E-04
2.75	2.59	-2.59	6.48	-6.48	1.95E-04	-1.99E-04	5.69E-04	-5.47E-04
2.76	2.59	-2.59	6.48	-6.48	1.95E-04	-1.98E-04	5.68E-04	-5.47E-04
2.77	2.58	-2.58	6.47	-6.47	1.95E-04	-1.98E-04	5.68E-04	-5.46E-04
2.78	2.58	-2.58	6.47	-6.47	1.94E-04	-1.97E-04	5.67E-04	-5.46E-04
2.79	2.58	-2.58	6.46	-6.46	1.94E-04	-1.97E-04	5.67E-04	-5.45E-04
2.80	2.57	-2.57	6.46	-6.46	1.94E-04	-1.97E-04	5.66E-04	-5.45E-04

Appendix 7 Analysis results in case7 (8/8)

Fluence ( $\times 10^{25}\text{n/m}^2$ )	Operational stress (MPa)		Shutdown stress (MPa)		Operational strain		Shutdown strain	
	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region	Hot region	Cold region
2.81	2.57	-2.57	6.45	-6.45	1.93E-04	-1.96E-04	5.65E-04	-5.44E-04
2.82	2.56	-2.56	6.45	-6.45	1.93E-04	-1.96E-04	5.65E-04	-5.43E-04
2.83	2.56	-2.56	6.44	-6.44	1.92E-04	-1.95E-04	5.64E-04	-5.43E-04
2.84	2.55	-2.55	6.44	-6.44	1.92E-04	-1.95E-04	5.64E-04	-5.42E-04
2.85	2.55	-2.55	6.43	-6.43	1.92E-04	-1.95E-04	5.63E-04	-5.41E-04
2.86	2.54	-2.54	6.42	-6.42	1.91E-04	-1.94E-04	5.62E-04	-5.41E-04
2.87	2.54	-2.54	6.42	-6.42	1.91E-04	-1.94E-04	5.62E-04	-5.40E-04
2.88	2.53	-2.53	6.41	-6.41	1.90E-04	-1.93E-04	5.61E-04	-5.39E-04
2.89	2.52	-2.52	6.40	-6.40	1.90E-04	-1.93E-04	5.61E-04	-5.39E-04
2.90	2.52	-2.52	6.40	-6.40	1.89E-04	-1.92E-04	5.60E-04	-5.38E-04
2.91	2.51	-2.51	6.39	-6.39	1.89E-04	-1.92E-04	5.59E-04	-5.37E-04
2.92	2.51	-2.51	6.38	-6.38	1.88E-04	-1.91E-04	5.59E-04	-5.36E-04
2.93	2.50	-2.50	6.38	-6.38	1.88E-04	-1.91E-04	5.58E-04	-5.36E-04
2.94	2.50	-2.50	6.37	-6.37	1.88E-04	-1.90E-04	5.57E-04	-5.35E-04
2.95	2.49	-2.49	6.36	-6.36	1.87E-04	-1.90E-04	5.57E-04	-5.34E-04
2.96	2.48	-2.48	6.35	-6.35	1.87E-04	-1.89E-04	5.56E-04	-5.33E-04
2.97	2.48	-2.48	6.35	-6.35	1.86E-04	-1.89E-04	5.55E-04	-5.33E-04
2.98	2.47	-2.47	6.34	-6.34	1.86E-04	-1.88E-04	5.54E-04	-5.32E-04
2.99	2.46	-2.46	6.33	-6.33	1.85E-04	-1.87E-04	5.54E-04	-5.31E-04
3.00	2.46	-2.46	6.32	-6.32	1.85E-04	-1.87E-04	5.53E-04	-5.30E-04

## Appendix 8 Parametric analysis in case2 and case7

## 1. 解析ケース

順モードとしてケース 2(500/700°C)、反転モードとしてケース 7(1000/1200°C)のパラメータ解析を行い、パラメータ変化が順モードと反転モードでどのように影響するかを比較・検討した。Table A8-1 に解析条件を示す。Table A8-1 において、E と  $\alpha$  の Const は初期温度での値で一定、Variable は中性子照射による変化を考慮することを表している。クリープひずみ  $\epsilon^c$  と照射ひずみ  $\epsilon^l$  の Yes は変形を考慮し、No は変形を考慮しないことを表している。

## 2. 解析結果の比較

## 2.1 解析ケース A

解析ケース A は、縦弾性係数 E と平均熱膨張係数  $\alpha$  を一定値とし、かつクリープひずみ  $\epsilon^c$  及び照射ひずみ  $\epsilon^l$  を考慮していない。解析結果を Fig.A8-1 に示す。順モードと反転モードのどちらも、クリープひずみと照射ひずみが発生しないため、残留ひずみの黒鉛ブロック内に残留ひずみが蓄積されず、炉停止時応力は発生しない。また、縦弾性係数と平均熱膨張係数が一定値であるため、運転時応力は一定に保たれている。ただし、運転時応力は反転モードの方が高い。これは「3.1.3(3) 最大運転時応力に対する縦弾性係数及び熱膨張係数の影響」で述べたように縦弾性係数と平均熱膨張係数は温度上昇に伴って大きくなるためであり、温度が高い反転モードの方が熱応力は大きくなる。

## 2.2 解析ケース A-1

解析ケース A-1 は、クリープひずみの影響を調べるために、縦弾性係数 E、平均熱膨張係数  $\alpha$  を一定値とし照射ひずみ  $\epsilon^l$  は考慮せず、クリープひずみ  $\epsilon^c$  のみ考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-2 に示す。どちらのモードでも運転時応力はクリープひずみにより中性子照射とともに緩和され、ゼロに漸近している。また、クリープひずみが残留ひずみとして黒鉛ブロック内部に蓄積されるため、炉停止時応力が生じている。この炉停止時応力は中性子照射初期での急激な増加を経て、緩やかな増加に転じ、熱応力値に漸近している。ただし、反転モードでは、順モードと比較して、熱応力と炉停止時応力の差が大きい。これは、反転モードの方が運転時と炉停止時の縦弾性係数の差が大きくなるためである。Fig.3.2 の縦弾性係数の温度効果のグラフで示したように、縦弾性係数は約 600°C 以上から著しく増加する。このため、順モードでは運転時(500°C/700°C)と炉停止時(20°C)での縦弾性係数の比は 1.04(8.2GPa/7.9GPa)であるのに対し、反転モードでの運転時(1200°C/1000°C)と炉停止時(20°C)での縦弾性係数の比は 1.16(9.2GPa/7.9GPa)となり、反転モードの方が顕著となる。

## 2.3 解析ケース A-2

解析ケース A-2 は、照射ひずみの影響を調べるために、縦弾性係数 E、平均熱膨張係数  $\alpha$  が一定値とし、クリープひずみ  $\epsilon^c$  は考慮せず、照射ひずみ  $\epsilon^l$  のみを考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-3 に示す。順モードでは、照射ひずみが熱ひずみの差を拡大させる方向に働くため、運転時応力は中性子照射に伴って初期熱応力から増加する。運転中にクリープひずみは発生しないため、残留ひずみは照射ひずみのみ中性子照射に伴って蓄積される。このため、炉停止時応力も中性子照射に

伴ってゼロから増加する。一方、反転モードでは照射ひずみが熱ひずみの差を減少させる方向に働くため、運転時応力は中性子照射に伴って初期熱応力から減少し、応力の方向(引張/圧縮)が反転する。また、炉停止時応力は中性子照射に伴って増大する。ただし、運転中に応力の方向が反転しているため、高温領域と低温領域で発生する炉停止時応力の方向は順モードと逆転している。本ケースではクリープひずみを考慮していないため、応力は線形的な挙動を示す。

## 2.4 解析ケース A-3

解析ケース A-3 は、照射ひずみ及びクリープひずみの影響を調べるために、縦弾性係数  $E$ 、平均熱膨張係数  $\alpha$  を一定値とし、クリープひずみ  $\epsilon^c$  及び照射ひずみ  $\epsilon^l$  を考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-4 に示す。順モードでは、運転時応力は中性子照射初期の急激な緩和を経た後、緩やかに減少する挙動に転じている。また、炉停止時応力は、クリープひずみと照射ひずみによる残留ひずみが蓄積されるため、中性子照射初期の急激な増加を経た後、緩やかに増加する挙動に転じている。また、グラフから読み取ることは困難であるが、運転時応力は中性子照射量  $2.99 \times 10^{25} \text{n/m}^2$  で減少挙動から増加挙動に転じ、炉停止時応力は  $2.71 \times 10^{25} \text{n/m}^2$  で増加挙動から減少挙動に転じている。一方、反転モードでは、運転時応力は中性子照射に伴って減少し、応力の方向が反転する。炉停止時応力は中性子照射初期の急激な増加を経た後、緩やかに増加する挙動に転じている。また、順モードと同様に中性子照射末期で運転時応力及び炉停止時応力は増加挙動から減少挙動に転じている。これらの増減挙動の反転は、「3.1.3(4)炉停止時応力挙動に対する照射ひずみの影響」で述べたように、クリープひずみと照射ひずみに起因する。

## 2.5 解析ケース B

解析ケース B は、縦弾性係数の影響を調べるために、平均熱膨張係数  $\alpha$  を一定値とし、クリープひずみ  $\epsilon^c$  及び照射ひずみ  $\epsilon^l$  は考慮せず、縦弾性係数  $E$  の中性子照射による変化を考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-5 に示す。運転時応力は縦弾性係数の照射変化に対応して初期熱応力から増加している。クリープひずみと照射ひずみは考慮していないため、炉停止時応力は発生しない。反転モードでも順モードと同様の応力挙動を示す。ただし、Fig.3.3 に示すように照射温度が高い程縦弾性係数  $E$  の変化率は小さいため、最大運転時応力は反転モードの方が小さい。

## 2.6 解析ケース C

解析ケース C は、平均熱膨張係数の影響を調べるために、縦弾性係数  $E$  を一定値とし、クリープひずみ  $\epsilon^c$  及び照射ひずみ  $\epsilon^l$  は考慮せず、平均熱膨張係数  $\alpha$  の中性子照射による変化を考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-6 に示す。運転時応力は初期熱応力からわずかに増加し、極大値を示した後に減少に転じている。これは、Fig.A8-7 の(1)に示した  $500/700^\circ\text{C}$  の熱ひずみ差の照射挙動に対応している。一方、反転モードでは、運転時応力は中性子照射とともに減少している。これは、Fig.A8-7 の(2)に示した  $1000/1200^\circ\text{C}$  の熱ひずみ差の照射挙動に対応している。また、いずれのモードでも、クリープひずみ及び照射ひずみは考慮していないため、炉停止時応力は発生しない。

## 2.7 解析ケース D

解析ケース D は、縦弾性係数及び平均熱膨張係数の影響を調べるために、クリープひずみ  $\epsilon^c$  及び照射ひずみ  $\epsilon^l$  は考慮せず、縦弾性係数  $E$ 、平均熱膨張係数  $\alpha$  の照射変化を考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-8 に示す。順モードと反転モードでも、運転時応力は解析ケース B (Fig.A8-5) と解析ケース C (Fig.A8-6) でそれぞれ示した縦弾性係数と平均熱膨張係数の影響を合算した挙動に等しい。また、クリープひずみ及び照射ひずみは考慮していないため、炉停止時応力は発生しない。

## 2.8 解析ケース D-1

解析ケース D-1 は、クリープひずみの影響を調べるケースで、縦弾性係数  $E$ 、平均熱膨張係数  $\alpha$  が中性子照射により変化し、照射ひずみ  $\epsilon^l$  は考慮せず、クリープひずみ  $\epsilon^c$  を考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-9 に示す。運転時応力は、中性子照射とともに減少しゼロに漸近している。また、炉停止時応力は、中性子照射初期の急激な増加を経て、緩やかな増加挙動に転じている。反転モードでも順モードと同様の挙動を示している。ただし、縦弾性係数の照射変化量が順モードの場合よりも小さいため、炉停止時応力は順モードよりも小さい。

## 2.9 解析ケース D-2

解析ケース D-2 は、照射ひずみの影響を調べるケースで、縦弾性係数  $E$ 、平均熱膨張係数  $\alpha$  が中性子照射により変化し、クリープひずみ  $\epsilon^c$  は考慮せず、照射ひずみ  $\epsilon^l$  を考慮したケースである。解析結果を Fig.A8-10 に示す。両モードでも  $E$ 、 $\alpha$  を一定値とした解析ケース A-2 (Fig.A8-3) と同様な挙動となっている。ただし、運転時応力及び炉停止時応力の値は、 $E$ 、 $\alpha$  の照射による増加が考慮されている解析ケース D-2 の方が大きくなっている。

## 2.10 解析ケース D-3

解析ケース D-3 は、パラメータをすべて考慮したケースであり、解析結果を Fig.A8-11 に示す。順モードは Fig.3.8、反転モードは Fig.3.13 と同じ結果である。



Table A8-1 Analysis condition of parametric analysis

Parameter	E	$\alpha$	$\varepsilon^C$	$\varepsilon^I$
A	Constant	Constant	No	No
A-1	Constant	Constant	Yes	No
A-2	Constant	Constant	No	Yes
A-3	Constant	Constant	Yes	Yes
B	Variable	Constant	No	No
C	Constant	Variable	No	No
D	Variable	Variable	No	No
D-1	Variable	Variable	Yes	No
D-2	Variable	Variable	No	Yes
D-3*	Variable	Variable	Yes	Yes

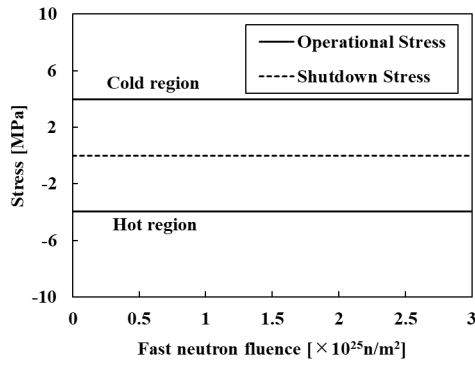
E : Young's modulus

$\alpha$  : Mean temperature expansion coefficient

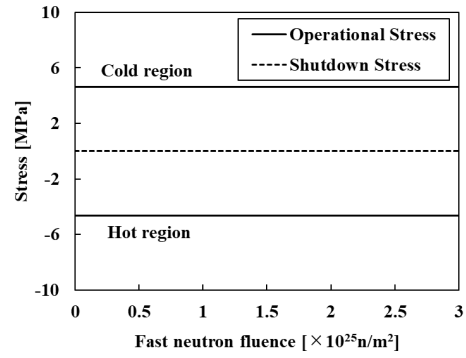
$\varepsilon^C$  : Creep strain

$\varepsilon^I$  : Irradiation strain

\* : Same as case 7

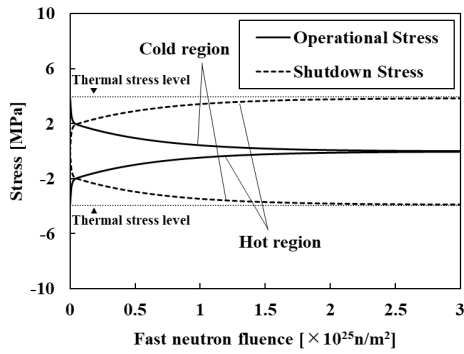


(1) Forward mode

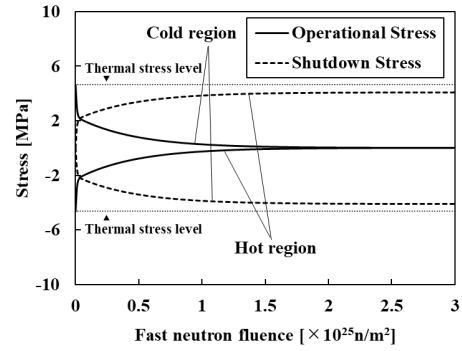


(2) Reverse mode

Fig.A8-1 Stress behaviors of case A

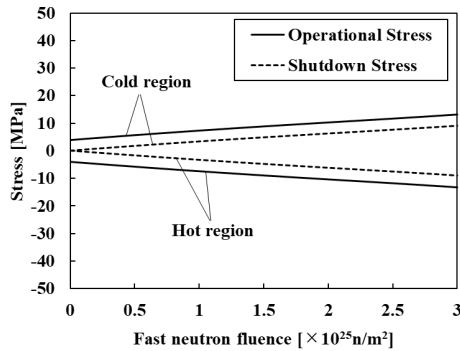


(1) Forward mode

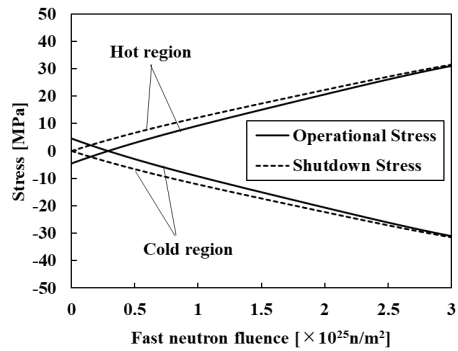


(2) Reverse mode

Fig.A8-2 Stress behaviors of case A-1

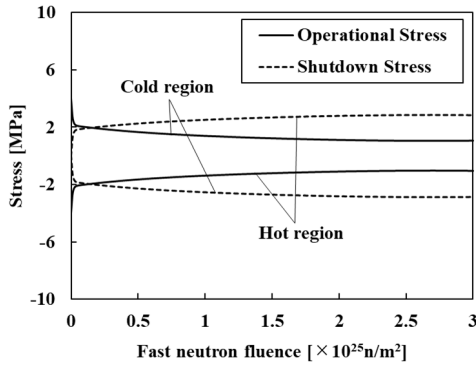


(1) Forward mode

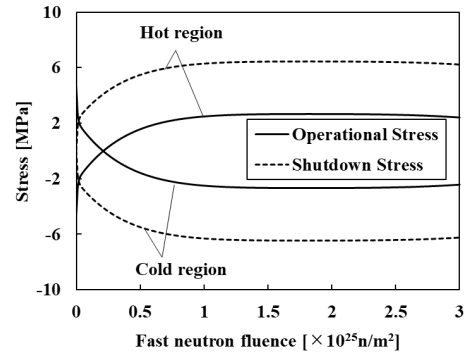


(2) Reverse mode

Fig.A8-3 Stress behaviors of case A-2

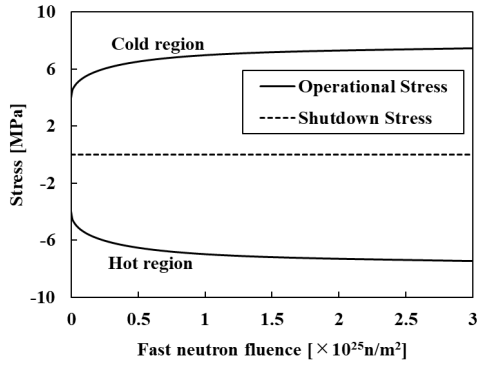


(1) Forward mode

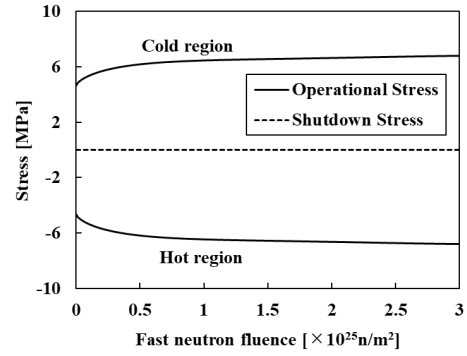


(2) Reverse mode

Fig.A8-4 Stress behaviors of case A-3

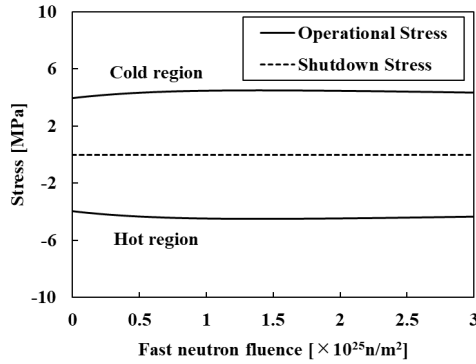


(1) Forward mode

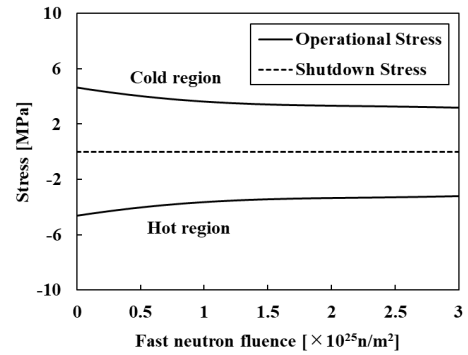


(2) Reverse mode

Fig.A8-5 Stress behaviors of case B



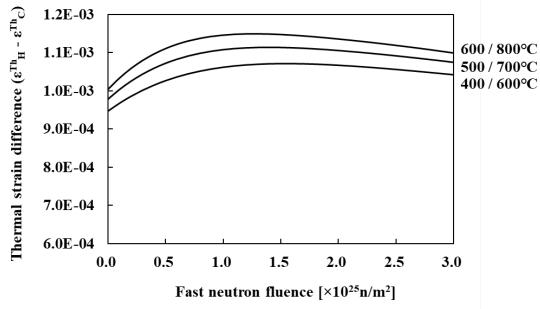
(1) Forward mode



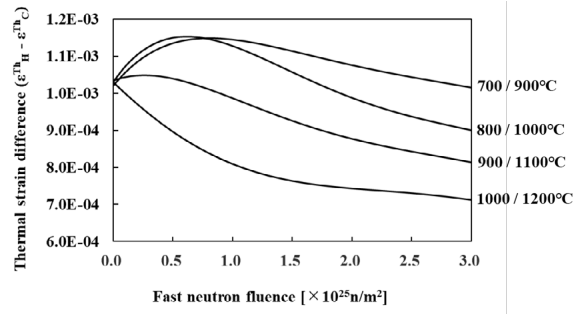
(2) Reverse mode

Fig.A8-6 Stress behaviors of case C



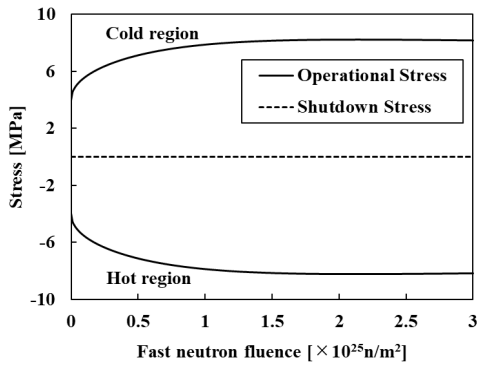


(1) Forward mode

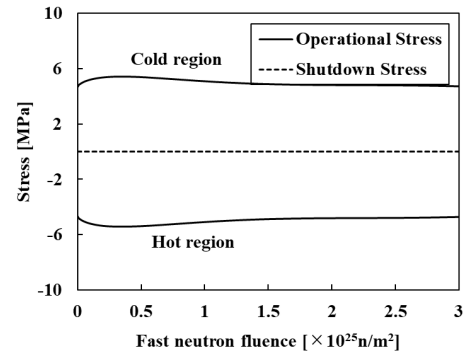


(2) Reverse mode

Fig.A8-7 Thermal strain difference

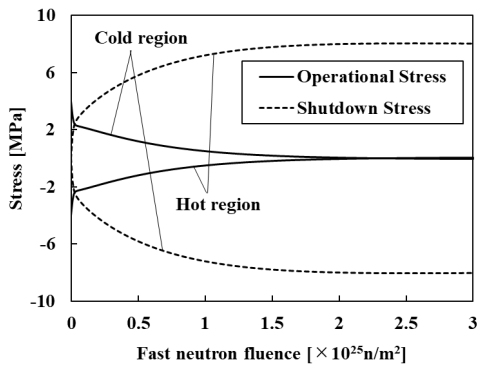


(1) Forward mode

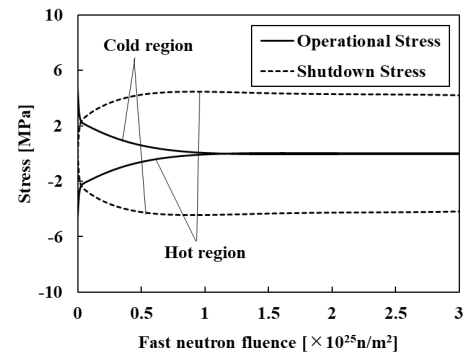


(2) Reverse mode

Fig.A8-8 Stress behaviors of case D

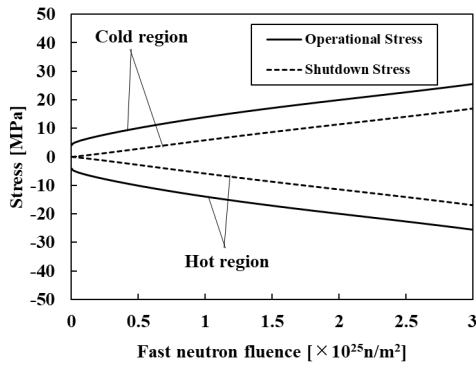


(1) Forward mode

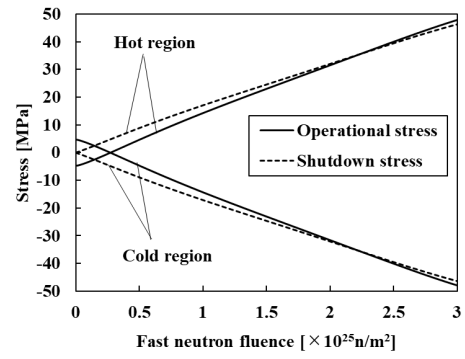


(2) Reverse mode

Fig.A8-9 Stress behaviors of case D-1

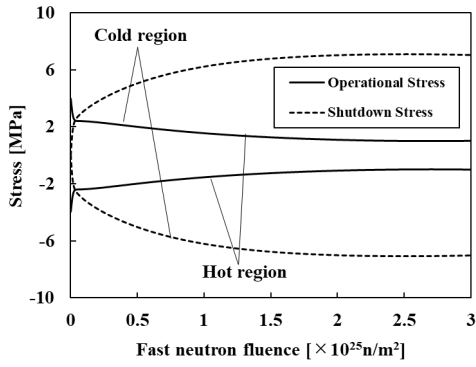


(1) Forward mode

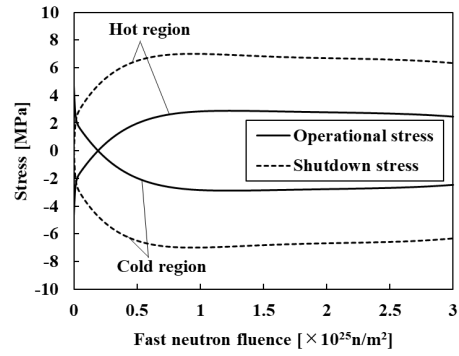


(2) Reverse mode

Fig.A8-10 Stress behaviors of case D-2



(1) Forward mode



(2) Reverse mode

Fig.A8-11 Stress behaviors of case D-3

Appendix 9 Analysis results of maximum tensile stress in F1L3C00

Time  (Day)	Fluence  ( $\times 10^{25}$ n/m <sup>2</sup> )	Operational stress (maximum tensile stress)				Shutdown stress (maximum tensile stress)				
		VIENUS <sup>1)</sup>		Simple model		VIENUS <sup>1)</sup>		Simple model		
		Calculated value (MPa)	- Normalized value	Evaluation section	Calculated value (MPa)	- Normalized value	Calculated value (MPa)	Evaluation section	Calculated value (MPa)	- Normalized value
0	0.00	0.22	1.00	44	0.37	1.00	0.00	6	0.00	0.00
10	0.02	0.13	0.59	44	0.21	0.55	0.23	6	0.19	0.29
30	0.06	0.11	0.50	44	0.17	0.45	0.34	6	0.29	0.40
55	0.10	0.09	0.41	44	0.14	0.38	0.43	6	0.37	0.48
80	0.15	0.08	0.36	44	0.12	0.33	0.51	6	0.44	0.53
105	0.19	0.07	0.32	44	0.10	0.27	0.58	6	0.50	0.60
130	0.24	0.06	0.27	44	0.08	0.22	0.65	6	0.55	0.64
155	0.29	0.05	0.23	44	0.06	0.17	0.71	6	0.61	0.69
180	0.33	0.04	0.18	44	0.04	0.12	0.75	6	0.65	0.74
205	0.38	0.03	0.14	44	0.03	0.08	0.81	6	0.70	0.77
230	0.42	0.02	0.09	44	0.02	0.04	0.85	6	0.73	0.81
255	0.47	0.01	0.05	44	0.01	0.01	0.90	6	0.77	0.84
280	0.52	0.01	0.05	44	0.01	0.02	0.94	6	0.81	0.87
305	0.56	0.01	0.05	17	0.02	0.05	0.97	6	0.83	0.89
330	0.61	0.02	0.09	17	0.03	0.07	1.00	6	0.86	0.91
355	0.65	0.03	0.14	17	0.04	0.10	1.03	6	0.88	0.93
380	0.70	0.04	0.18	17	0.04	0.11	1.05	6	0.90	0.94
405	0.75	0.05	0.23	17	0.05	0.13	1.07	6	0.92	0.96
430	0.79	0.05	0.23	17	0.06	0.15	1.08	6	0.92	0.97
455	0.84	0.06	0.27	17	0.06	0.16	1.10	6	0.94	0.98
480	0.88	0.06	0.27	17	0.07	0.18	1.11	6	0.95	0.98
505	0.93	0.06	0.27	17	0.07	0.19	1.12	6	0.96	0.99
530	0.98	0.06	0.27	6	0.07	0.20	1.13	6	0.97	0.99
555	1.02	0.07	0.32	6	0.08	0.20	1.14	6	0.97	1.00
580	1.07	0.07	0.32	6	0.08	0.21	1.15	6	0.98	1.00
605	1.11	0.07	0.32	6	0.08	0.22	1.16	6	0.99	1.00
630	1.16	0.07	0.32	6	0.08	0.22	1.16	6	0.99	1.00
660	1.22	0.07	0.32	6	0.08	0.22	1.17	6	1.00	1.00

Appendix 10 Analysis results of maximum tensile stress in F4L3C00

Time (Day)	Fluence ( $\times 10^{25} \text{ n/m}^2$ )	Operational stress (maximum tensile stress)					Shutdown stress (maximum tensile stress)				
		VIENUS <sup>1D</sup>			Simple model		VIENUS <sup>1D</sup>			Simple model	
		Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section	Calculated value (MPa)	Normalized value -	Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section	Calculated value (MPa)	Normalized value -
0	0.00	1.06	1.00	41	0.63	1.00	0.00	0.00	4	0.00	0.00
10	0.02	0.63	0.59	41	0.35	0.55	0.47	0.19	4	0.32	0.29
30	0.05	0.45	0.43	41	0.29	0.46	0.71	0.28	4	0.41	0.38
55	0.09	0.37	0.35	41	0.25	0.40	0.86	0.34	4	0.50	0.46
80	0.13	0.30	0.29	41	0.22	0.34	1.00	0.40	4	0.56	0.52
105	0.17	0.24	0.22	41	0.19	0.29	1.13	0.45	4	0.62	0.57
130	0.21	0.18	0.17	41	0.16	0.25	1.24	0.49	4	0.67	0.62
155	0.26	0.12	0.11	41	0.13	0.20	1.35	0.54	4	0.72	0.66
180	0.30	0.07	0.06	41	0.10	0.16	1.46	0.58	4	0.77	0.70
205	0.34	0.07	0.06	41	0.08	0.12	1.55	0.61	4	0.80	0.74
230	0.38	0.07	0.06	41	0.05	0.08	1.64	0.65	4	0.84	0.77
255	0.42	0.07	0.06	41	0.03	0.04	1.72	0.68	4	0.88	0.81
280	0.46	0.07	0.06	41	0.01	0.01	1.80	0.72	4	0.91	0.84
305	0.50	0.07	0.06	41	0.01	0.01	1.88	0.75	2	0.94	0.86
330	0.54	0.08	0.07	41	0.02	0.04	1.96	0.78	2	0.96	0.88
355	0.59	0.07	0.06	41	0.04	0.06	2.03	0.81	2	0.98	0.90
380	0.63	0.06	0.06	41	0.05	0.08	2.09	0.83	2	1.00	0.92
405	0.67	0.05	0.05	41	0.06	0.10	2.14	0.85	2	1.01	0.93
430	0.71	0.05	0.05	41	0.08	0.12	2.20	0.87	2	1.03	0.95
455	0.75	0.04	0.04	41	0.09	0.14	2.23	0.89	2	1.04	0.96
480	0.79	0.04	0.04	41	0.10	0.15	2.28	0.91	2	1.05	0.97
505	0.83	0.04	0.04	41	0.10	0.16	2.32	0.92	2	1.06	0.98
530	0.87	0.04	0.04	15	0.11	0.17	2.36	0.94	2	1.07	0.98
555	0.92	0.05	0.05	15	0.12	0.18	2.40	0.95	2	1.07	0.99
580	0.96	0.06	0.06	15	0.12	0.19	2.43	0.96	2	1.08	0.99
605	1.00	0.07	0.06	15	0.13	0.20	2.46	0.98	2	1.08	1.00
630	1.04	0.07	0.06	15	0.13	0.21	2.49	0.99	2	1.09	1.00
660	1.09	0.08	0.07	15	0.14	0.21	2.52	1.00	2	1.09	1.00

Appendix 11 Analysis results of maximum tensile stress in F5L3C00

Time (Day)	Fluence ( $\times 10^{25} \text{ n/m}^2$ )	Operational stress (maximum tensile stress)				Shutdown stress (maximum tensile stress)			
		VIENUS <sup>(1)</sup>			Simple model	VIENUS <sup>(1)</sup>			Simple model
		Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section		Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section	
0	0.00	0.55	1.00	42	0.98	0.00	0.00	40	0.00
10	0.01	0.37	0.68	42	0.55	0.74	0.23	40	0.49
30	0.04	0.27	0.50	42	0.46	1.18	0.37	40	0.64
55	0.08	0.25	0.45	42	0.40	1.41	0.44	40	0.75
80	0.12	0.22	0.39	42	0.36	1.60	0.50	40	0.83
105	0.15	0.20	0.36	42	0.31	1.76	0.55	40	0.92
130	0.19	0.17	0.30	42	0.28	1.92	0.60	40	0.99
155	0.23	0.15	0.27	42	0.23	2.05	0.64	40	1.06
180	0.26	0.13	0.23	42	0.19	2.18	0.68	40	1.14
205	0.30	0.11	0.20	42	0.16	2.28	0.71	40	1.19
230	0.34	0.09	0.16	42	0.12	2.37	0.74	40	1.25
255	0.37	0.07	0.13	42	0.08	2.46	0.77	40	1.30
280	0.41	0.05	0.09	42	0.06	2.54	0.79	40	1.34
305	0.45	0.04	0.07	42	0.03	2.60	0.81	40	1.39
330	0.48	0.02	0.04	42	0.00	2.66	0.83	40	1.43
355	0.52	0.03	0.05	31	0.02	2.72	0.85	40	1.46
380	0.55	0.05	0.09	36	0.04	2.78	0.87	40	1.50
405	0.59	0.06	0.11	36	0.07	2.83	0.88	40	1.53
430	0.63	0.08	0.14	36	0.08	2.90	0.90	40	1.55
455	0.66	0.10	0.18	36	0.10	2.94	0.91	40	1.58
480	0.70	0.11	0.20	36	0.12	2.98	0.93	40	1.60
505	0.74	0.12	0.21	36	0.13	3.03	0.94	40	1.61
530	0.77	0.13	0.23	36	0.14	3.07	0.95	40	1.63
555	0.81	0.14	0.25	36	0.15	3.10	0.96	40	1.64
580	0.85	0.15	0.27	36	0.16	3.14	0.98	40	1.65
605	0.88	0.16	0.29	36	0.17	3.17	0.98	40	1.67
630	0.92	0.16	0.29	36	0.18	3.19	0.99	40	1.67
660	0.96	0.17	0.30	36	0.19	3.21	1.00	40	1.68

Appendix 12 Analysis results of maximum tensile stress in FIL5C00

Time  (Day)	Fluence  ( $\times 10^{25}$ n/m <sup>2</sup> )	Operational stress (maximum tensile stress)				Shutdown stress (maximum tensile stress)				
		VIENUS <sup>(1)</sup>		Simple model		VIENUS <sup>(1)</sup>		Simple model		
		Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section	Calculated value (MPa)	Normalized value -	Calculated value (MPa)	Evaluation section	Calculated value (MPa)	Normalized value -
0	0.00	0.15	1.00	40	0.18	1.00	0.00	7	0.00	0.00
10	0.01	0.11	0.73	40	0.11	0.61	0.06	7	0.07	0.28
30	0.02	0.07	0.47	40	0.08	0.41	0.13	7	0.10	0.42
55	0.05	0.06	0.40	40	0.06	0.34	0.16	7	0.11	0.47
80	0.07	0.04	0.27	40	0.05	0.29	0.18	7	0.12	0.51
105	0.09	0.03	0.20	40	0.04	0.24	0.20	7	0.13	0.55
130	0.11	0.02	0.13	40	0.04	0.19	0.22	7	0.14	0.59
155	0.13	0.02	0.13	44	0.03	0.15	0.24	7	0.15	0.62
180	0.15	0.02	0.13	44	0.02	0.10	0.25	7	0.16	0.65
205	0.17	0.02	0.13	44	0.01	0.06	0.26	7	0.16	0.68
230	0.19	0.02	0.13	44	0.00	0.02	0.27	7	0.17	0.71
255	0.21	0.01	0.07	44	0.00	0.02	0.29	7	0.18	0.73
280	0.23	0.01	0.07	44	0.01	0.07	0.30	7	0.19	0.77
305	0.25	0.01	0.07	44	0.02	0.11	0.31	7	0.19	0.79
330	0.27	0.02	0.13	7	0.03	0.14	0.33	7	0.20	0.81
355	0.29	0.03	0.20	7	0.03	0.17	0.34	7	0.20	0.83
380	0.31	0.04	0.27	7	0.04	0.20	0.35	7	0.21	0.85
405	0.33	0.05	0.33	7	0.04	0.23	0.35	7	0.21	0.87
430	0.35	0.06	0.40	7	0.05	0.25	0.36	7	0.21	0.89
455	0.37	0.06	0.40	7	0.05	0.28	0.37	7	0.22	0.90
480	0.39	0.07	0.47	7	0.06	0.30	0.38	7	0.22	0.92
505	0.42	0.08	0.53	7	0.06	0.32	0.38	7	0.22	0.93
530	0.44	0.08	0.53	7	0.06	0.34	0.39	7	0.23	0.94
555	0.46	0.09	0.60	7	0.07	0.36	0.39	7	0.23	0.96
580	0.48	0.10	0.67	7	0.07	0.38	0.40	7	0.23	0.97
605	0.50	0.10	0.67	7	0.07	0.40	0.40	7	0.24	0.98
630	0.52	0.11	0.73	7	0.08	0.42	0.41	7	0.24	0.99
660	0.54	0.11	0.73	7	0.08	0.44	0.41	7	0.24	1.00

Appendix 13 Analysis results of maximum tensile stress in F4L5C00

Time  (Day)	Fluence  ( $\times 10^{25} \text{ n/m}^2$ )	Operational stress (maximum tensile stress)					Shutdown stress (maximum tensile stress)					
		VIENUS <sup>(1)</sup>			Simple model		VIENUS <sup>(1)</sup>			Simple model		
		Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section	Calculated value (MPa)	Normalized value -	Calculated value (MPa)	Evaluation section	Calculated value (MPa)	Normalized value -	Calculated value (MPa)	Evaluation section
0	0.00	0.49	1.00	41	1.24	1.00	0.00	2	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.01	0.38	0.78	41	0.81	0.66	0.60	4	0.44	0.17	0.44	0.25
30	0.02	0.30	0.62	41	0.59	0.48	1.21	4	0.70	0.34	0.70	0.40
55	0.04	0.27	0.56	41	0.56	0.45	1.52	4	0.75	0.43	0.75	0.43
80	0.06	0.26	0.54	41	0.52	0.42	1.70	4	0.83	0.48	0.83	0.47
105	0.08	0.25	0.52	41	0.48	0.38	1.83	4	0.90	0.52	0.90	0.51
130	0.09	0.25	0.52	41	0.44	0.35	1.96	4	0.96	0.55	0.96	0.55
155	0.11	0.25	0.50	41	0.40	0.32	2.07	4	1.03	0.58	1.03	0.59
180	0.13	0.24	0.48	41	0.38	0.31	2.18	4	1.06	0.61	1.06	0.60
205	0.15	0.23	0.46	41	0.34	0.28	2.27	4	1.12	0.64	1.12	0.64
230	0.16	0.23	0.46	41	0.31	0.25	2.36	4	1.17	0.67	1.17	0.67
255	0.18	0.22	0.44	41	0.27	0.22	2.44	4	1.22	0.69	1.22	0.70
280	0.20	0.21	0.42	41	0.24	0.19	2.52	4	1.27	0.71	1.27	0.73
305	0.22	0.20	0.40	41	0.22	0.18	2.59	4	1.30	0.73	1.30	0.74
330	0.24	0.19	0.38	41	0.19	0.15	2.65	4	1.35	0.75	1.35	0.77
355	0.25	0.17	0.34	41	0.16	0.13	2.71	4	1.39	0.77	1.39	0.79
380	0.27	0.16	0.32	41	0.13	0.11	2.79	4	1.43	0.79	1.43	0.82
405	0.29	0.14	0.28	41	0.10	0.08	2.87	4	1.47	0.81	1.47	0.84
430	0.31	0.13	0.26	41	0.09	0.07	2.95	4	1.49	0.83	1.49	0.85
455	0.33	0.12	0.24	41	0.06	0.05	3.03	4	1.53	0.85	1.53	0.87
480	0.34	0.13	0.26	15	0.04	0.03	3.10	4	1.56	0.87	1.56	0.89
505	0.36	0.17	0.34	15	0.01	0.01	3.17	4	1.60	0.89	1.60	0.91
530	0.38	0.21	0.42	15	0.00	0.00	3.23	4	1.61	0.91	1.61	0.92
555	0.40	0.24	0.48	15	0.02	0.02	3.30	4	1.64	0.93	1.64	0.94
580	0.42	0.27	0.56	15	0.04	0.03	3.36	4	1.67	0.95	1.67	0.96
605	0.43	0.31	0.64	15	0.06	0.05	3.42	4	1.70	0.96	1.70	0.97
630	0.45	0.34	0.70	15	0.08	0.07	3.48	4	1.73	0.98	1.73	0.99
660	0.47	0.38	0.78	15	0.10	0.08	3.55	4	1.75	1.00	1.75	1.00



Appendix 14 Analysis results of maximum tensile stress in F5L5C00

Time (Day)	Fluence ( $\times 10^{25}$ n/m <sup>2</sup> )	Operational stress (maximum tensile stress)				Shutdown stress (maximum tensile stress)			
		Simple model			VIENUS <sup>11)</sup>	Simple model			VIENUS <sup>11)</sup>
		Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section		Calculated value (MPa)	Normalized value -	Evaluation section	
0	0.00	1.39	1.00	42	1.00	0.00	0.00	40	0.00
10	0.01	1.13	0.81	42	0.67	0.84	0.16	40	0.26
30	0.02	0.83	0.60	42	0.54	1.73	0.32	40	0.36
55	0.04	0.69	0.49	42	0.47	2.22	0.41	40	0.44
80	0.05	0.60	0.43	42	0.44	2.50	0.47	40	0.49
105	0.07	0.54	0.39	42	0.43	2.70	0.50	40	0.51
130	0.08	0.48	0.35	42	0.40	2.88	0.54	40	0.55
155	0.10	0.43	0.31	42	0.39	3.06	0.57	40	0.57
180	0.11	0.38	0.27	42	0.36	3.20	0.60	40	0.61
205	0.13	0.33	0.24	42	0.33	3.35	0.63	40	0.64
230	0.15	0.28	0.20	42	0.32	3.50	0.65	40	0.66
255	0.16	0.24	0.17	42	0.30	3.63	0.68	40	0.69
280	0.18	0.19	0.13	42	0.28	3.74	0.70	40	0.71
305	0.19	0.15	0.11	42	0.26	3.86	0.72	40	0.74
330	0.21	0.11	0.08	3	0.24	3.97	0.74	40	0.77
355	0.23	0.10	0.07	3	0.23	4.08	0.76	40	0.78
380	0.24	0.09	0.06	3	0.20	4.20	0.78	40	0.81
405	0.26	0.08	0.06	3	0.19	4.32	0.81	40	0.82
430	0.27	0.07	0.05	6	0.17	4.44	0.83	40	0.85
455	0.29	0.08	0.06	6	0.16	4.55	0.85	40	0.86
480	0.31	0.09	0.06	6	0.14	4.66	0.87	40	0.88
505	0.32	0.10	0.07	6	0.12	4.77	0.89	40	0.90
530	0.34	0.10	0.07	6	0.11	4.87	0.91	40	0.91
555	0.35	0.11	0.08	6	0.10	4.97	0.93	40	0.94
580	0.37	0.13	0.09	21	0.09	5.07	0.95	40	0.95
605	0.39	0.17	0.12	31	0.07	5.16	0.96	40	0.96
630	0.40	0.22	0.15	31	0.05	5.25	0.98	40	0.98
660	0.42	0.26	0.19	31	0.04	5.36	1.00	40	1.00



