

本資料のうち、枠囲みの範囲は、営業秘密
又は防護上の観点から公開できません。

平成30年4月5日
日本原子力発電(株)

上部格子板の耐震安全性評価に用いる亀裂進展速度の検討

1. 概要

東海第二発電所「高経年化技術評価委託のうち耐震安全性評価」における、上部格子板の耐震安全性評価に用いた亀裂進展速度は、維持規格の表 添付 E-2-SA-1 を用いている。

一方、最近の研究により、照射誘起型応力腐食割れの進展試験に基づく傾向式が提案されていることから、維持規格の表 添付 E-2-SA-1 による評価結果と比較、検討する。

2. 関連図書

(1)平成28年度 軽水炉照射材料健全性評価研究 報告書 平成29年3月

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

(2)EPRI “Models of Irradiation-Assisted Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels in Light Water Reactor Environments” 2014 Technical Report

3. 検討の考え方と手順

照射誘起型応力腐食割れの亀裂進展は、材料、照射量、応力拡大係数、水質等がパラメータであり、亀裂進展速度 (da/dt) と応力拡大係数 (K) の関係式

$$da/dt = C \cdot K^n$$

における定数Cとnについて照射量等の影響を考慮する検討が行われ、関連図書(1)においても傾向式が提案されている。

なお、維持規格の表 添付 E-2-SA-1 においては、以下の式が規定されている。

$$da/dt = 7.8 \times 10^{-5} n^{3.6} (CK^4)^n$$

ここで、nは亀裂先端電流密度の変化に対する定数、Cは亀裂先端ひずみ速度の補正係数である。

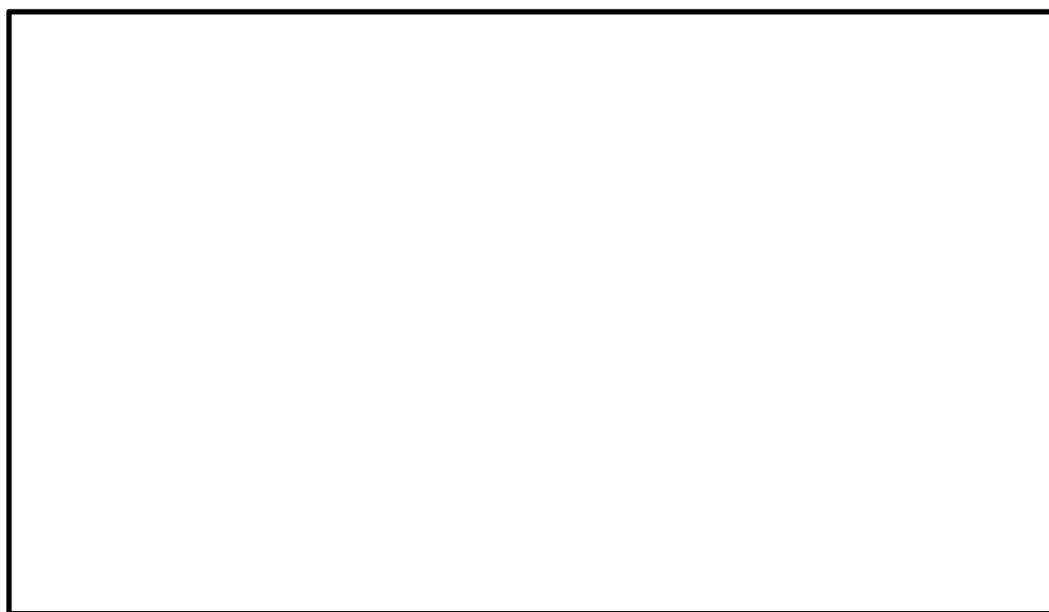
以上より、東海第二のグリッドプレートの想定欠陥から計算される応力拡大係数を、関連図書(1)に示される亀裂進展速度の傾向式に当てはめて計算し、維持規格の表 添付 E-2-SA-1 を用いた結果と比較、評価する。具体的には、以下の手順で行う。

- ①維持規格に基づく亀裂進展評価結果及び破壊評価結果の確認 (4項)
- ②比較評価する傾向式の検討 (5項)
- ③傾向式に基づく亀裂進展評価 (6項)
- ④まとめ(維持規格と傾向式の比較評価) (7項)

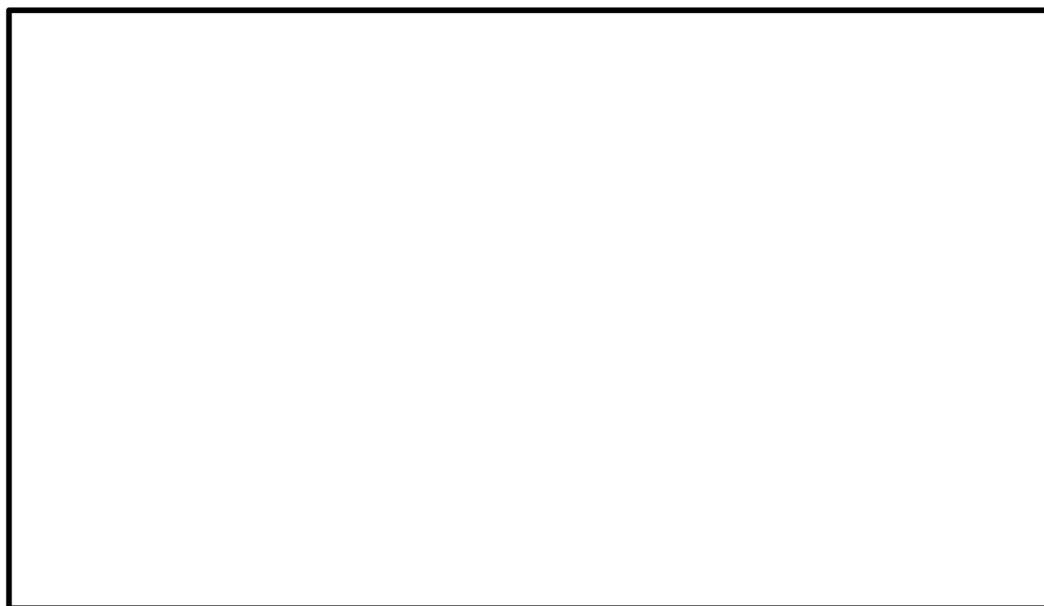
4. 維持規格に基づく亀裂進展評価結果及び破壊評価結果の確認

東海第二の上部格子板グリッドプレート下部のノッチ部に初期亀裂を想定した場合，維持規格の表 添付 E-2-SA-1 を用いて亀裂進展を評価した結果を図 1 及び表 1 に示す。

応力拡大係数については，初期亀裂長さ 25.45mm において約 $1.5 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ，60 年時点では亀裂長さ 30.93mm においても約 $1.6 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ と小さい値になっている。



(a) 亀裂長さと評価期間の関係



(b) 応力拡大係数と評価期間の関係

図 1 維持規格の表 添付 E-2-SA-1 を用いた亀裂進展評価結果

表 1 維持規格に基づく上部格子板の亀裂進展解析結果

| 評価部位 | 板厚 T [mm] | 初期亀裂長さ b _o [mm] | 評価期間 [EFPY] | 評価亀裂長さ b [mm] |
|--------------------|--------------|-------------------------------|----------------|------------------|
| 下側グリッドプレート ノッチ部 | | | 38.94 | |

*1 ノッチ部高さ (25.4 [mm]) を除く亀裂長さ

また、表 2 に示すように、想定した亀裂の 60 年時点における地震時の応力拡大係数 K_I は、照射ステンレス鋼の破壊靱性値 K_{IC} を下回っており、地震時に破壊が生じないことを確認した。

表 2 維持規格に基づく上部格子板の破壊評価結果

| 評価期間 [EFPY] | 亀裂長さ b [mm] | 応力拡大係数 K_I [MPa \sqrt{m}] | | 破壊靱性値 K_{IC} [MPa \sqrt{m}] |
|----------------|----------------|--------------------------------|---------|-------------------------------------|
| | | 安全率未考慮 | 安全率考慮*2 | |
| 38.94 | | 7.59 | 11.39 | 43.2 |

*2 応力拡大係数 (安全率未考慮) $\times 1.5$

5. 比較評価する傾向式の検討

(1) 選定対象とする傾向式

関連図書(1)によれば、国内データから有効性が判断できるデータに限定して選定し、亀裂進展速度と応力拡大係数のフィッティング式を紹介している。東海第二では水素注入 (HWC) を行っているが、保守的に通常水環境 (NWC) における式として、関連図書(1)674 頁から 676 頁に示された式のうち以下の 3 式について検討する。

$$\begin{aligned} \text{a 式 } da/dt &= 3.422 \times 10^{-10} \times 10^{[-5.272 \cdot \exp(-dpa/1.246)]} \cdot K^n \\ n &= 0.3921 + 1.767 \cdot \exp(-dpa/2.427) \\ sd &= 0.4072 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b 式 } da/dt &= 3.237 \times 10^{-11} \times 10^{[-4.307 \cdot \exp(-dpa/1.045)]} \cdot K^n \\ n &= 1.350 + 0.811 \cdot \exp(-dpa/1.868) \\ sd &= 0.4030 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c 式 } da/dt &= 6.676 \times 10^{-11} \times 10^{[-3.546 \cdot \exp(-dpa/0.8567)]} \cdot K^n \\ n &= 1.131 \text{ (一定)} \\ sd &= 0.4282 \end{aligned}$$

da/dt : 亀裂進展速度 [m/s]

K : 応力拡大係数 [$\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$]

dpa : 中性子照射量 (displacements per atom)

$$1 \text{ dpa} = 7 \times 10^{24} \text{ [n/m}^2\text{]} \text{ [E > 1MeV]}$$

sd : データに対する標準偏差

(2) 傾向式の選定

・関連図書(1)に示された傾向式3式の比較

a ~ c 式の標準偏差に大差はないことから、データのフィッティング性の観点で優越はない。

このうち、c 式は、n を一定としており、n が照射量に依存するという知見を考慮していない。一方、a 式及び b 式においては、n は照射量をパラメータとする変数としている。

a 式は、関連図書(1)の図 3.2.2-100 に示されるとおり、dpa=5 における進展速度よりも dpa=10 における亀裂進展速度が小さくなる。これは応力拡大係数 K の指数 n の照射量依存性が高いことによるもので、物理現象として説明性に乏しいと考えられる。一方、b 式では、関連図書(1)の図 3.2.2-104 に示されるとおり、dpa=5 以上で亀裂進展速度はほぼ包絡し、a 式のように照射量が大きくなるほど亀裂進展速度が顕著に小さくなることはない。

以上より、関連図書(1)に示される各傾向式の内容やその出力データの傾向から検討すると、照射誘起型応力腐食割れの亀裂進展評価には b 式を用いることが適切であると考えられる。

・応力拡大係数が小さいデータへのフィッティング性

4 項の維持規格に基づく亀裂進展評価結果によれば、60 年時点においても K は約 1.6 と小さい値になっていることから、3 式のうち、K が小さい場合にフィッティング性がよい式が評価には適している。しかし、関連図書(1)では K が 10 以上のデータしかない。

一方、関連図書(2)の Figure7-2 には、小さい K ($K=3.85 \text{ [MPa}\sqrt{\text{m}}]$) を含むデータを基にしたフィッティング曲線が紹介されている (図 2)。

この関連図書(2)に示された小さい K ($K=3.85 \text{ [MPa}\sqrt{\text{m}}]$) における亀裂進展速度を、a ~ c 式 3 つの傾向式を用いて計算グラフにプロットした (図 3)。各傾向式はすべてこのプロットした値よりも大きく、保守的な値 (試験データよりも大きい亀裂進展速度) が得られる。またこの中では b 式が最も近似できている。

以上より、今回の評価で用いる傾向式としては、b 式を用いることとする。

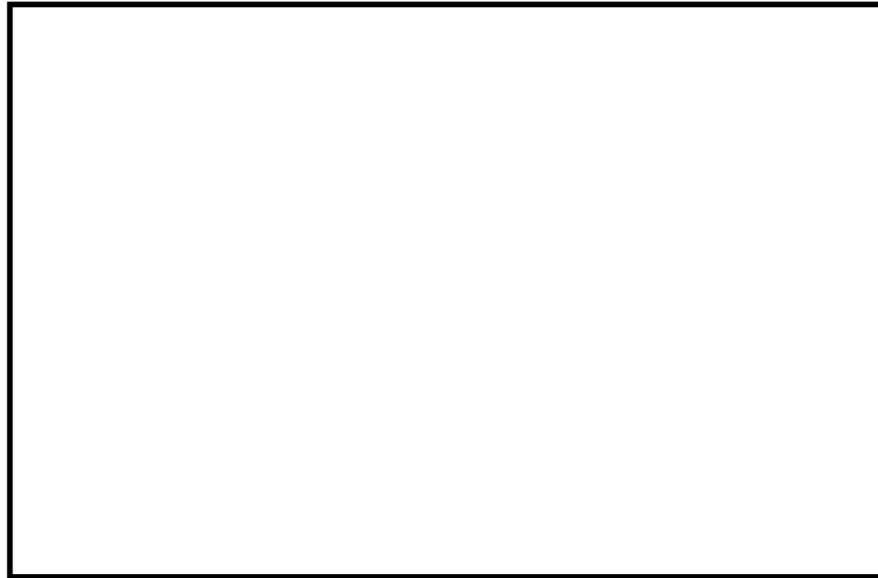


図2 関連図書(2) Figure 7-2 による, da/dt - K 相関図
 $dpa=3.5$ 。図中の●○を有効なデータと判断し, フィッティング曲線を設定している。

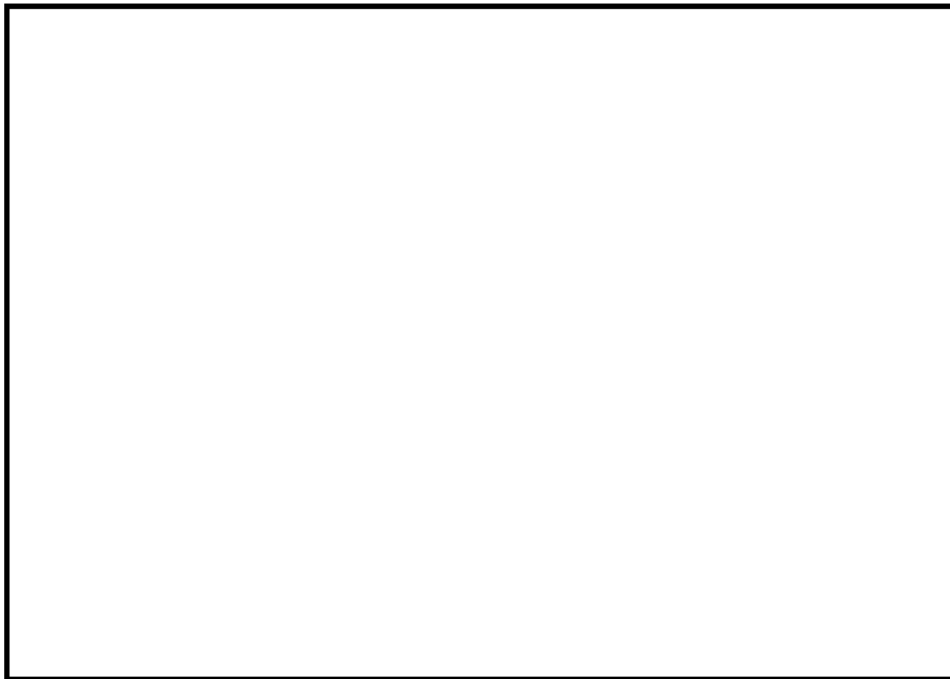


図3 関連図書(1)の3つの傾向式を用いて $dpa=3.5$ として計算したグラフに
関連図書(2) Figure 7-2 の $K=3.85$ [$MPa\sqrt{m}$]のデータをプロットした (図中●)。

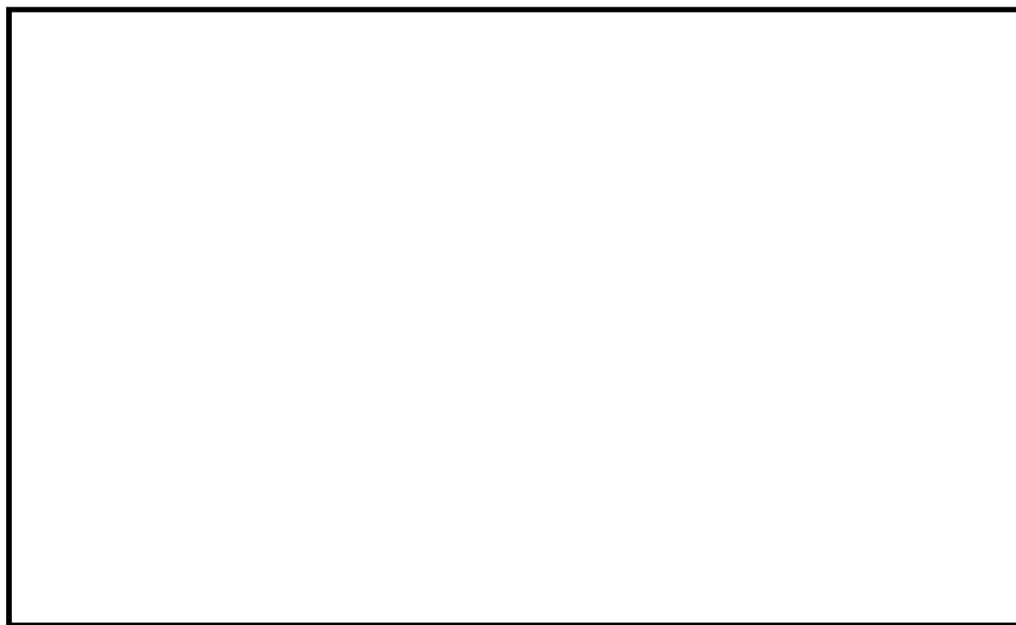
6. 傾向式に基づく亀裂進展評価

傾向式の内、b式を用いてき裂進展評価を実施した結果を図4及び表3に示す。

この評価では、4項の維持規格に基づく亀裂進展評価と同様の条件とし、中性子照射量がしきい照射量に到達した時点の6.74EFPYから（初期亀裂25.45mm）が進展を開始するものとして、時間刻み0.01EFPYで応力拡大係数、亀裂進展速度及び亀裂長さを繰り返し計算した。



(a) 亀裂長さ と 評価期間 の 関係



(b) 応力拡大係数 と 評価期間 の 関係

図4 関連図書(1)傾向式b式を用いた亀裂進展評価結果

表 3 関連図書(1)傾向式 b 式に基づく上部格子板の亀裂進展解析結果

| 評価部位 | 板厚 T [mm] | 初期亀裂長さ b _o [mm] | 評価期間 [EFPY] | 評価亀裂長さ b [mm] |
|--------------------|--------------|-------------------------------|----------------|------------------|
| 下側グリッドプレート ノッチ部 | □ | □ | 38.94 | □ |

*2 ノッチ部高さ (25.4 [mm]) を除く亀裂長さ

また、表 4 に示すように、想定した亀裂の 60 年時点における地震時の応力拡大係数 K_I は、照射ステンレス鋼の破壊靱性値 K_{IC} を下回っており、地震時に破壊が生じないことを確認した。

表 4 関連図書(1)傾向式 b 式に基づく上部格子板の破壊評価結果

| 評価期間 [EFPY] | 亀裂長さ b [mm] | 応力拡大係数 K_I [MPa \sqrt{m}] | | 破壊靱性値 K_{IC} [MPa \sqrt{m}] |
|----------------|----------------|--------------------------------|---------|-------------------------------------|
| | | 安全率未考慮 | 安全率考慮*3 | |
| 38.94 | □ | 12.79 | 19.19 | 43.2 |

*3 応力拡大係数 (安全率未考慮) $\times 1.5$



7. まとめ（維持規格と傾向式の比較評価）

維持規格に基づく破壊評価（4項表2）と傾向式に基づく破壊評価（6項表4）をまとめて表5に示す。

60年時点（38.94EFPY）の亀裂進展評価による亀裂長さは、傾向式の方が大きい値となった。またこれに伴い、地震時の応力拡大係数も傾向式の方が大きい値となっているが、破壊靱性値よりも十分低い。したがって、仮に中性子照射量がしきい照射量に達した時点で亀裂進展が生じたとしても、どちらの評価を用いても60年時点で地震による破壊は生じない結果となった。

なお、傾向式による評価は、5項（2）で述べたとおり、応力拡大係数に対する亀裂進展速度が試験データよりも大きい値となっていることから、保守的な評価になっていると考える。

表5 上部格子板の破壊評価結果

| | 評価期間 [EFPY] | 亀裂長さ b [mm] | 応力拡大係数 K_I [MPa \sqrt{m}] | | 破壊靱性値 K_{IC} [MPa \sqrt{m}] |
|------------------------|----------------|---|--------------------------------|---------|--|
| | | | 安全率未考慮 | 安全率考慮*4 | |
| 維持規格に基づく 評価 | 38.94 |  | 7.59 | 11.39 | 43.2 |
| 関連図書(1)傾向式 b式に基づく評価 | 同上 |  | 12.79 | 19.19 | 43.2 |

*4 応力拡大係数（安全率未考慮） $\times 1.5$

以上

関連図書(1) 平成28年度 軽水炉照射材料健全性評価研究 報告書 平成29年3月
国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

(6) IASCC進展

① 既存の傾向式

IASCC 進展の予測は、BWR 炉内構造物の健全性評価におけるシュラウド等での亀裂サイズの評価において不可欠であるため、IASCC 進展試験とデータに基づく検討が広く行われている。また、PWR においても厚板構造物である炉心その溶接部では BWR のシュラウドと同様な評価が行われる場合があるため、同様な進展試験とデータに基づく検討が行われているが BWR に比較して試験例は多くない。

IASCC 進展試験は、照射後試験として照射材の CT 試験片に応力を負荷し、ポテンシャルドロップ法によりオンラインで亀裂長さを計測する方法で行われている。また、同様な試験を試験炉の中で行う炉内試験も Halden 炉や JMTR で行われている。材料、照射量、負荷応力(応力拡大係数)、水質などがパラメータである。一般には、IGSCC の進展速度での取り扱いを拡張した取り扱いが行われ、亀裂進展速度(da/dt)と応力拡大係数(K)の関係式

$$da/dt = C \cdot K^n$$

における定数 C と K について照射量等の影響を考慮する検討が行われている。

国内では Takakura らが、原子力安全基盤機構の IASCC プロジェクトで得られた JMTR 照射材のデータに基づき、304LSS と 316LSS の亀裂進展速度式を定式化している[3.2.2-284], [3.2.2-285]。亀裂進展速度は低照射量では照射量に依存して増加しその後飽和するので、照射量(D)の依存項で補正した次の式を基本式とし、最小二乗法でデータにフィッティングして係数を決定している。

$$da/dt = C \cdot K^n \cdot D^m$$

BWR の通常水質 NWC(ECP > +140 mV_{SHH})に対して進展速度式を報告している。なお、単位は da/dt (m/s)、 K (MPa \sqrt{m})、 D (dpa)である。

316L:

$$da/dt = 4.60 \times 10^{-12} \cdot K^{1.23} \cdot D^{1.83} \quad (D < 4 \text{ dpa})$$

$$da/dt = 5.85 \times 10^{-11} \cdot K^{1.23} \quad (4 \text{ dpa} < D < 11 \text{ dpa})$$

304L:

$$da/dt = 8.13 \times 10^{-12} \cdot K^{1.22} \cdot D^{1.95} \quad (D < 2.1 \text{ dpa})$$

$$da/dt = 3.48 \times 10^{-11} \cdot K^{1.22} \quad (2.1 \text{ dpa} < D < 13 \text{ dpa})$$

適用範囲はフィッティングしたデータの範囲から決まっており、照射量の上限は 11~13 dpa、 $K=10\sim30$ MPa \sqrt{m} である。図 3.2.2-93 に 316LSS と 304LSS についてデータと進

展速度式の値の関係を示す。

また、国内で BWR の炉内構造物の評価に関して、日本機械学会の維持基準[3.2.2-286] や原子力安全推進協会の炉内構造物点検ガイドライン[3.2.2-287] で参照されてきたのは、発電設備技術検査協会が実施したプロジェクトで GE が作成したモデル式である [3.2.2-288]。照射による感受性の変化を、鋭敏化度と同様な耐食性の変化と照射硬化による機械的性質の変化として扱いモデル化したもので、亀裂先端電流密度の変化に対する定数 n と、亀裂先端ひずみ速度の補正係数 C を用いて次の式が用いられている。

$$da/dt = 7.8 \times 10^{-2} \cdot n^{3.6} \cdot (CK^4)^n$$

進展速度 da/dt は mm/s 単位、応力拡大係数 K は $\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 単位である。 C について、照射量 $F(\text{n/cm}^2, E>1 \text{ MeV})$ 単位) に対して次の式を与えている。

$$C = 4.1 \times 10^{-14} F < 1.4 \times 10^{23} \text{ n/cm}^2$$

$$C = 1.14 \times 10^{-13} \cdot \ln(F) - 4.98 \times 10^{-12} \quad 1.4 \times 10^{23} < F < 3 \times 10^{25} \text{ n/cm}^2$$

$$C = 6.59 \times 10^{-13} F > 3 \times 10^{25} \text{ n/cm}^2$$

n は腐食電位、導電率、照射量により複雑に変化し、図の形で示されている。

EPRI は様々な試験プロジェクトからのデータを収集するとともに、試験条件によるデータの質を詳細に検討して選別したデータに対して、亀裂進展の傾向線を作成している [3.2.2-289], [3.2.2-290]。BWR の NWC に相当する高 ECP と、BWR の HWC と PWR に相当する低 ECP の 2 種を対象として、適切な保守性を担保するためデータ分布の 75% が含まれるような 75% 傾向線を提案している。亀裂進展速度 $da/dt(\text{mm/s})$ の基本式は、温度 $T(^{\circ}\text{C})$ と応力拡大係数 $K(\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$ と照射後耐力 $\sigma_{0.2}(\text{MPa})$ をパラメータとした次の式である。

$$da/dt = C \cdot \exp[-Q/R \cdot (1/T - 1/T_{ref})] \cdot \sigma_{0.2}^v \cdot K^u$$

Q は活性化エネルギー、 R はガス定数、 T_{ref} は参照温度、 C 、 v 、 u は定数である。PWR と BWR で共通式とするため温度をパラメータとし、照射量の代わりに耐力をパラメータとしているのが特徴である。データフィッティングで得られた 75% 傾向線に対応する係数は表 3.2.2-29 のとおりである。表の値を用いて、288 $^{\circ}\text{C}$ での BWR の NWC と HWC の式、PWR でよく使われる 325 $^{\circ}\text{C}$ での式を計算した結果は以下のとおりである。

$$da/dt (\text{NWC}, 288^{\circ}\text{C}) = 2.84 \times 10^{-17} \cdot \sigma_{0.2}^{2.675} \cdot K^{2.486}$$

$$da/dt (\text{HWC}, 288^{\circ}\text{C}) = 1.35 \times 10^{-17} \cdot \sigma_{0.2}^{2.547} \cdot K^{2.504}$$

$$da/dt (\text{PWR}, 325^{\circ}\text{C}) = 4.73 \times 10^{-17} \cdot \sigma_{0.2}^{2.547} \cdot K^{2.504}$$

なお、材料は 300 シリーズのオーステナイトステンレス鋼で共通であり、耐力の推定には 5.1.1 節で紹介した EPRI の開発した耐力相関式が使われている [3.2.2-291]。図

3.2.2-94 は耐力を 700 MPa とした時の各式による傾向線とデータの関係を示している。データのばらつきが大きい、データの 75%を包絡するように傾向線が設定されていることがわかる。

ANL の Chopra は、NUREG-0313 に示された非照射のステンレス鋼の亀裂進展速度に関する次の式をベースに、照射による A の変化を検討している[3.2.2-292] [3.2.2-293]。

$$da/dt = A \cdot K^{2.161}$$

なお、非照射材では BWR における鋭敏化ステンレス鋼の高溶存酸素環境(8ppm)で $A = 2.1 \times 10^{-13}(\text{m/s})$ とされている。

照射材では図 3.2.2-95 に示されているようにしきい照射量を定め、それ以下では NUREG-0313 の値を用いるが、それ以上で照射量とともに進展速度が増加するとしている。BWR NWC ではしきい照射量は 0.45 dpa で A を与える式は、

$$A = 1.21 \times 10^{-12} + 2.65 \times 10^{-12} \cdot \log(\text{dpa})$$

BWR HWC ではしきい照射量は 2.7 dpa で A を与える式は、

$$A = 2.76 \times 10^{-12} + 6.82 \times 10^{-12} \cdot \log(\text{dpa})$$

が示されている。この式でデータの 75%が包絡されるとしている。PWR については BWR HWC のデータと合わせて整理されており、図 3.2.2-96 のように、しきい照射量は約 3 dpa で A を与える式として次の式が示されている。

$$A = -1.79 \times 10^{-9} + 4.42 \times 10^{-10} \cdot \log(\text{dpa})$$

以上の式はいずれも材料は 300 シリーズのオーステナイトステンレス鋼で共通である。照射量の代わりに照射材の耐力をパラメータとした傾向線も検討しており、BWR NWC では亀裂進展速度が増加し始めるしきい耐力は約 300 MPa で、A を与える式として、

$$A = -1.0 \times 10^{-9} + 4.3 \times 10^{-8} \cdot \log(\sigma_y)$$

BWR HWC ではしきい耐力は約 550 MPa で、A を与える式として、

$$A = -2.7 \times 10^{-8} + 1.0 \times 10^{-8} \cdot \log(\sigma_y)$$

が示されている。

② データの選定

今年度は収集した BWR 分野のデータの中からデータを選定し傾向式を検討した。進展データはばらつきが非常に大きいので、データ数を考慮しながら不確定要素の少ないデータを選択する必要がある。まず、データは大きく分けて炉外試験と炉内試験があるが、

データが比較的系統的にとられている炉外試験のデータから選定した。試験方法は CT 試験片を用いた定荷重の試験に限定し、定期除荷や繰返し荷重のデータは除いた。文献ではそれぞれの試験において、破壊力学的観点から平面ひずみ条件の適合性で validity が示されているとともに、進展速度の安定性、試験環境の安定性、速度を定義した試験時間の長さ、等の観点で有効性が示されている例もあるが、海外文献の場合は詳細な亀裂進展図(亀裂長さの時間変化)が例として少数のみ示されている場合が多く、データの有効性の判別がかなり困難である。したがって、ここでは国内データから有効性が判断できるデータに限定して選定した。

表 3.2.2-29 に選定したデータを示す。原子力安全基盤機構の IASCC プロジェクトの JMTR 照射材データ[3.2.2-284]、Ooki らの BWR 実機材のデータ[3.2.2-294]、Kaji らの JMTR 照射材のデータ[3.2.2-295] を選定した。IASCC プロジェクトのデータではプロジェクトにおいてスクリーニングで有効とされたデータを選定した(データシートのスクリーニングの欄参照)。データ数は IASCC プロジェクトデータが 57 データ、Ooki らのデータが 23 データ、Kaji らのデータが 9 データで合計 89 データである。水質条件に関して、NWC と HWC の区分は、NWC は 100mV 以上、HWC は 200mV 以下とした。ECP が示されていない場合は、溶存酸素 DO が 8ppm 以上は NWC、0.02ppm 以下は HWC として扱った。NWC データは 54 データ、HWC は 30 データであり、中間的な ECP でどちらにも入らないデータが 5 データである。

図 3.2.2-97 には選定したデータの照射量と K 値との関係を示した。NWC と HWC いずれも、照射量は最大 12~13 dpa で、K の範囲は 10~28 MPam^{0.5} である。高照射量の 10 dpa 付近では K の範囲は小さい。

図 3.2.2-98 には選定したデータの進展速度と照射量、K 値の関係を示す。照射量に対しては、進展速度の対数が飽和傾向をしめす。K 値に対しては顕著な依存性は見られず全体として高 K 値で進展速度がやや大きい傾向は見られるが、ばらつきが大きい。

③ 傾向式の検討

BWR 環境での SCC の進展速度は、応力に関する因子 A、材料に関する因子、環境に関する因子に依存するとされる。照射による IASCC 進展速度の増加の原因には定説はないが、これら 3 つの因子の照射による影響を考える必要がある。

材料に関しては、機械的性質の変化などと同様に照射量 F をパラメータとして飽和型の関数が適切と考えられるが、進展速度の場合は進展速度の対数が飽和する傾向がみられるので次の関数形を仮定した。

$$M(F) = 10^{a+b \cdot \exp(-F/c)}$$

環境に関しては、NWC と HWC に対してそれぞれ傾向式を検討することとし、環境をあらわす関数は使用しなかった。

応力に関しては、応力拡大係数 K をパラメータとして $S(K) = K^n$ の形が一般に用いられる。依存性を表す n の照射による変化については、変化の有無や変化の仕方については統一した見解はない。前述の EPRI の式では n の変化はないとしている。照射量とともに変化すると考える場合には、 $n = n(F)$ として関数化する必要があるが、照射により変化しない場合には n をある値に固定して検討する必要がある。ここでは、 n については以下の 3 つの場合を検討した。

- (a) $n(F)$ をデータから決定する場合
- (b) $n(F)$ と $M(F)$ と合わせてフィッティングする場合
- (c) n を一定値とする場合

④ 傾向式

a. $n(F)$ をデータから決定する場合

収集したデータの中から、ほぼ同一の照射量で K の範囲が比較的大きいデータを選びそれぞれの n を決定した。図 3.2.2-99 の上図にそのデータを示す。それらのデータは図 3.2.2-99 の下図のように照射量とともに減少して飽和する傾向を示す。この傾向を $A + B \cdot \exp(-F/C)$ の関数形を用いて最小 2 乗法でフィッティングすると次の式が得られる。なお、未照射データとして維持基準の進展式の 2.161 を用いている。

$$n(F) = 0.3921 + 1.7678 \cdot \exp(-dpa/2.427)$$

この $n(F)$ 式を固定した次の式で NWC と HWC のそれぞれの傾向式を検討した。

$$\begin{aligned} da/dt &= 10^{[A + B \cdot \exp(-F/C)]} \cdot K^{n(F)} \\ n(F) &= 0.3921 + 1.767 \cdot \exp(-F/2.427) \end{aligned}$$

フィッティングは傾向式の両辺の対数を取り次の式に対して最小 2 乗法により行った。最小 2 乗法には EXCEL の SOLVER を用い重みは使用しなかった。得られる標準偏差 sd は $\log(da/dt)$ に対する偏差となる。

$$\log(da/dt) = A + B \cdot \exp(-F/C) + n(F) \cdot K$$

得られた傾向式は次のとおりである。

NWC:

$$da/dt = 3.422 \times 10^{-10} * 10^{[-5.272 * \exp(-dpa/1.246)]} * K^n \quad sd=0.4072$$

HWC:

$$\begin{aligned} da/dt &= 2.615 \times 10^{-11} * 10^{[-3.496 * \exp(-dpa/2.553)]} * K^n \quad sd=0.5942 \\ n &= 0.3921 + 1.767 \cdot \exp(-dpa/2.427) \end{aligned}$$

NWCの傾向式について、図 3.2.2-100 に進展速度と照射量、K 値との関係を示す。また、図 3.2.2-101 には、データと傾向線による計算値の関係、偏差(データと計算値の差)と照射量、K 値の関係を示す。HWC については図 3.2.2-102 と図 3.2.2-103 に示す。

NWC の傾向式は照射量に対して飽和した後に若干減少しているが、これは照射量の増加とともに n が 2.161 から 0.5 以下に低下するため、 K^n の値が大きく減少するためである。HWC の傾向式は照射量と K 値に対して一定の傾向となっているがデータのばらつきが大きい。

b. $n(F)$ と $M(F)$ と合わせてフィッティングする場合

このケースでは $n(F)$ を単独で決定せず、 $M(F)$ とあわせて次の式で NWC と HWC のそれぞれの傾向式を検討した。

$$\begin{aligned} da/dt &= 10^{[A + B \cdot \exp(-F/C)]} \cdot K^{n(F)} \\ n(F) &= a + b \cdot \exp(-F/c) \end{aligned}$$

フィッティングの方法は(a)の場合と同じである。得られた傾向式は次のとおりである。なお、HWC 条件ではデータが少なく、小さい進展速度でばらつきが大きいので、 $n(F)$ については NWC で得られた関数を固定して用いた。

NWC:

$$da/dt = 3.237 \times 10^{-11} * 10^{[-4.307 * \exp(-dpa/1.045)]} * K^n \quad sd=0.4030$$

HWC:

$$\begin{aligned} da/dt &= 1.982 \times 10^{-12} * 10^{[-3.496 * \exp(-dpa/2.553)]} * K^n \quad sd=0.5971 \\ n &= 1.350 + 0.8111 \cdot \exp(-dpa/1.868) \end{aligned}$$

NWC の傾向式について、図 3.2.2-104 に進展速度と照射量、K 値との関係を示す。また、図 3.2.2-105 には、データと傾向線による計算値の関係、偏差(データと計算値の差)と照射量、K 値の関係を示す。HWC については図 3.2.2-106 と図 3.2.2-107 に示す。

K 依存性の式と図からわかるように、この傾向式の $n(F)$ はデータから決定する場合(n の飽和値は 0.392)に比べて、K 依存性の照射による変化が小さくなっており、 n は 1.35 に飽和している。このため進展速度は照射量に対して飽和後にはほとんど低下していない。HWC の同様である。

c. n を一定値とする場合

このケースでは n の値を一定に決定し、次の式で NWC と HWC のそれぞれの傾向式を検討した。 N の値として、図 3.2.2-99 に示した照射材の n の値の平均値である $n=1.131$ を用いた。

$$da/dt = 10^{[A + B \cdot \exp(-F/C)]} \cdot K^n$$

$$n = 1.131$$

フィッティングの方法はaの場合と同じである。得られた傾向式は次のとおりである。

NWC:

$$da/dt = 6.676 \times 10^{-11} * 10^{[-3.546 * \exp(-dpa/0.8567)]} * K^n \quad sd=0.4282$$

HWC:

$$da/dt = 3.497 \times 10^{-12} * 10^{[-1.357 * \exp(-dpa/2.860)]} * K^n \quad sd=0.5786$$

$$n = 1.131$$

NWCの傾向式について、図 3.2.2-108 に進展速度と照射量、K 値との関係を示す。また、図 3.2.2-109 には、データと傾向線による計算値の関係、偏差(データと計算値の差)と照射量、K 値の関係を示す。HWCについては図 3.2.2-110 と図 3.2.2-111 に示す。K を一定値としているので進展速度は照射量に対して完全に飽和する。

上記の3ケースのnを比較して図 3.2.2-112 に示すが、nの設定が大きく異なる。傾向線のデータに対する偏差は大きく異なっておらず、いずれの傾向式もデータの説明性は同程度である。K依存性としてどれが優れているかについては10 dpa以上でのデータの拡充が必要と考えられる。

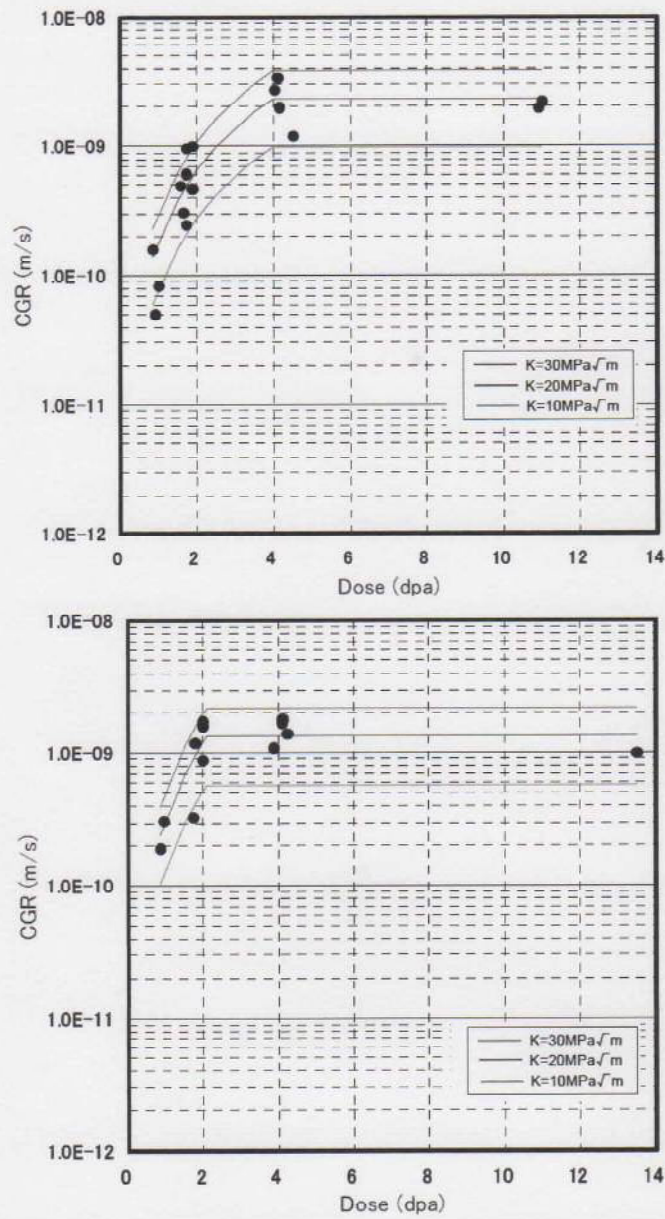


図 3.2.2-93 Takakura らによる BWR NWC における(上)316L と(下)304L の亀裂進展式 [3.2.2-285]

表 3.2.2-28 EPRI の亀裂進展傾向線の係数[3.2.2-289]

| Constant | NWC | Low-ECP HWC & PWR |
|--|------------------------|------------------------|
| Coefficient C for 75 th percentile of calibration data | 2.84×10^{-17} | 2.90×10^{-17} |
| Activation Energy Q (kJ/mol) | 72.20 | 94.61 |
| Gas constant, R (J/(mol-K)) | 8.314 | 8.314 |
| Reference Temperature, T_{ref} | 288°C | 310°C |
| Exponent u on K | 2.486 | 2.504 |
| Exponent v on $\sigma_{0.2}$ | 2.675 | 2.547 |

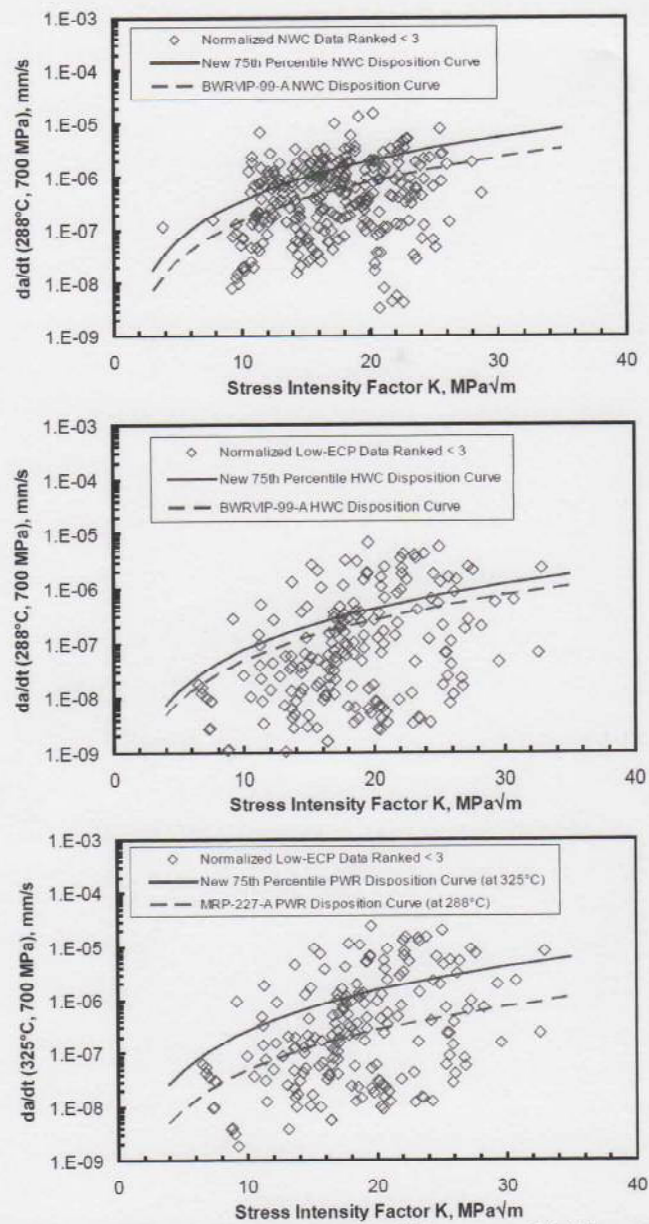


図 3.2.2-94 EPRI の 75% 亀裂進展傾向線 [3.2.2-290] (耐力 ~ 700 MPa)
 (上) BWR NWC, 288°C、(中) BWR HWC, 288°C、(下) PWR, 325°C

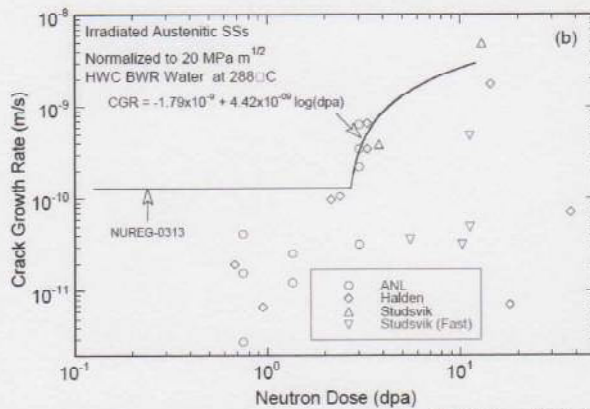
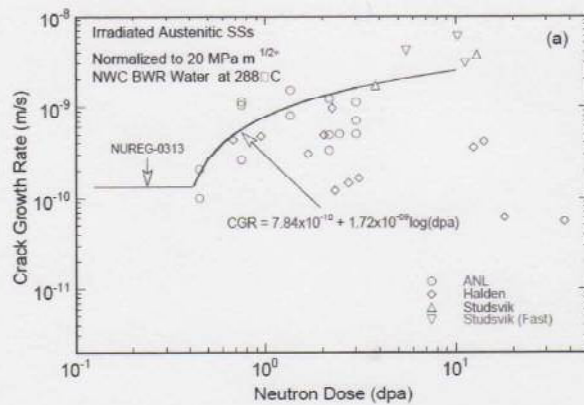


図 3.2.2-95 Chopra による BWR の亀裂進展傾向線 (上)NWC(下)HWC [3.2.2-293]

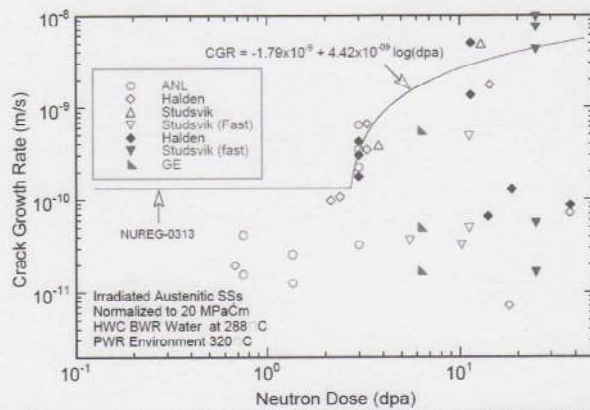


図 3.2.2-96 Chopra による PWR と BWR HWC の亀裂進展傾向線 [3.2.2-293]

表 3.2.2-29 IASCC 進展の傾向線の検討に用いたデータ(BWR 分野)

| No. | DB | 試験片 番号 | 照射炉 | 採取 部位 | 鋼種 | 照射量 (dpaへの換算を含む) | | 照射 温度 (°C) | 試験 温度 (°C) | 試験環境 | | ECP (mVSHE) | 試験片 形状 | 試験 時間 (hr) | 応力拡大係 数 (MPa√m) | き裂進展速度 (m/s) |
|-----|----------|-----------|-------|----------|------|------------------------------|-------|------------------|------------------|-------------|-------------|----------------|-----------|------------------|-----------------------|-----------------|
| | | | | | | (n/m ² E>1MeV) | (dpa) | | | DO (ppm) | DH (ppm) | | | | | |
| 1 | BIG-1-1 | A104 | JMTR | - | 316L | 5.93E+24 | 0.99 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 323 | 20.6 | 8.3E-11 |
| 2 | BIG-1-3 | A103 | JMTR | - | 316L | 5.16E+24 | 0.86 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 370 | 15.8 | 1.6E-10 |
| 3 | BIG-1-5 | A204 | JMTR | - | 316L | 1.03E+25 | 1.72 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 308 | 15.6 | 2.5E-10 |
| 4 | BIG-1-9 | A201 | JMTR | - | 316L | 9.91E+24 | 1.65 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 337 | 12.1 | 3.1E-10 |
| 5 | BIG-1-11 | A202 | JMTR | - | 316L | 9.35E+24 | 1.56 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 145 | 20.4 | 5.0E-10 |
| 6 | BIG-1-14 | A303 | JMTR | - | 316L | 2.42E+25 | 4.03 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 120 | 22.0 | 2.7E-09 |
| 7 | BIG-1-16 | A307 | JMTR | - | 316L | 2.47E+25 | 4.11 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 76 | 24.3 | 3.4E-09 |
| 8 | BIG-1-18 | A208 | JMTR | - | 316L | 1.13E+25 | 1.89 | 262-302 | 288 | 28 | - | 140 | 0.5TCT | 151 | 23.5 | 4.7E-10 |
| 9 | BIG-1-19 | A206 | JMTR | - | 316L | 1.13E+25 | 1.89 | 262-302 | 288 | 26 | - | 150 | 0.5TCT | 132 | 25.6 | 1.0E-09 |
| 10 | BIG-1-23 | A203 | JMTR | - | 316L | 1.00E+25 | 1.73 | 262-302 | 288 | 32 | - | 200 | 0.5TCT | 308 | 17.0 | 6.2E-10 |
| 11 | BIG-1-25 | A301 | JMTR | - | 316L | 2.71E+25 | 4.52 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 77 | 11.3 | 1.2E-09 |
| 12 | BIG-1-27 | A302 | JMTR | - | 316L | 2.49E+25 | 4.15 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 74 | 16.7 | 2.0E-09 |
| 13 | BIG-1-29 | A402 | JMTR | - | 316L | 6.53E+25 | 10.90 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 255 | 12.8 | 2.0E-09 |
| 14 | BIG-1-31 | A404 | JMTR | - | 316L | 6.61E+25 | 11.00 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 95 | 16.8 | 2.2E-09 |
| 15 | BIG-1-37 | A207 | JMTR | - | 316L | 1.03E+25 | 1.72 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 35 | 26.2 | 9.7E-10 |
| 16 | BIG-1-39 | H101 | JMTR | - | 304L | 5.62E+24 | 0.94 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 335 | 20.7 | 3.1E-10 |
| 17 | BIG-1-41 | H102 | JMTR | - | 304L | 5.22E+24 | 0.87 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 474 | 16.3 | 1.9E-10 |
| 18 | BIG-1-45 | H205 | JMTR | - | 304L | 1.04E+25 | 1.74 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 307 | 17.5 | 3.3E-10 |
| 19 | BIG-1-49 | H202 | JMTR | - | 304L | 1.19E+25 | 1.99 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 330 | 14.2 | 8.9E-10 |
| 20 | BIG-1-51 | H203 | JMTR | - | 304L | 1.07E+25 | 1.79 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 194 | 22.6 | 1.2E-09 |
| 21 | BIG-1-53 | H204 | JMTR | - | 304L | 1.19E+25 | 1.99 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 100 | 24.0 | 1.6E-09 |
| 22 | BIG-1-56 | H301 | JMTR | - | 304L | 2.45E+25 | 4.00 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 92 | 14.3 | 1.7E-09 |
| 23 | BIG-1-62 | H306 | JMTR | - | 304L | 2.32E+25 | 3.87 | 262-302 | 288 | 32 | - | 140 | 0.5TCT | 214 | 10.5 | 1.1E-09 |
| 24 | BIG-1-64 | H206 | JMTR | - | 304L | 1.19E+25 | 1.98 | 262-302 | 288 | 32 | - | 200 | 0.5TCT | 140 | 17.4 | 1.7E-09 |
| 25 | BIG-1-70 | H303 | JMTR | - | 304L | 2.54E+25 | 4.23 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 88 | 14.2 | 1.4E-09 |
| 26 | BIG-1-72 | H305 | JMTR | - | 304L | 2.50E+25 | 4.11 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 66 | 24.2 | 1.0E-09 |
| 27 | BIG-1-74 | H403 | JMTR | - | 304L | 8.11E+25 | 13.50 | 262-302 | 288 | 32 | - | 100 | 0.5TCT | 227 | 11.8 | 1.0E-09 |
| 28 | BIG-1-78 | R103 | JMTR | - | 304 | 3.70E+24 | 0.62 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 768 | 20.6 | 8.0E-11 |
| 29 | BIG-1-79 | R104 | JMTR | - | 304 | 4.30E+24 | 0.71 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 768 | 15.6 | 7.6E-11 |
| 30 | BIG-1-81 | R303 | JMTR | - | 304 | 2.41E+25 | 4.02 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 43 | 26.3 | 1.9E-09 |
| 31 | BIG-1-82 | R306 | JMTR | - | 304 | 2.10E+25 | 3.47 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 73 | 14.9 | 5.3E-10 |
| 32 | BIG-1-88 | R404 | JMTR | - | 304 | 5.18E+25 | 8.60 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 180 | 11.3 | 3.7E-10 |
| 33 | BIG-1-91 | R406 | JMTR | - | 304 | 5.55E+25 | 9.20 | 262-302 | 288 | 32 | - | 150 | 0.5TCT | 95 | 15.5 | 9.6E-10 |
| 34 | BIG-1-12 | A202 | JMTR | - | 316L | 9.35E+24 | 1.56 | 262-302 | 288 | 0.05 | - | -30 | 0.5TCT | 371 | 23.9 | 3.0E-10 |
| 35 | BIG-1-60 | H302 | JMTR | - | 304L | 2.35E+25 | 3.92 | 262-302 | 288 | 0.03 | - | -20 | 0.5TCT | 366 | 12.2 | 6.4E-10 |
| 36 | BIG-1-71 | H303 | JMTR | - | 304L | 2.54E+25 | 4.23 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -50 | 0.5TCT | 535 | 14.7 | 7.0E-11 |
| 37 | BIG-1-73 | H305 | JMTR | - | 304L | 2.50E+25 | 4.11 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -50 | 0.5TCT | 535 | 26.0 | 7.9E-10 |
| 38 | BIG-1-75 | H403 | JMTR | - | 304L | 8.11E+25 | 13.50 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -150 | 0.5TCT | 303 | 12.7 | 1.8E-10 |
| 39 | BIG-1-2 | A104 | JMTR | - | 316L | 5.93E+24 | 0.99 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -230 | 0.5TCT | 553 | 20.8 | < 7.2E-12 |
| 40 | BIG-1-4 | A103 | JMTR | - | 316L | 5.16E+24 | 0.86 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -240 | 0.5TCT | 120 | 16.1 | < 1.2E-11 |
| 41 | BIG-1-6 | A204 | JMTR | - | 316L | 1.03E+25 | 1.72 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -240 | 0.5TCT | 410 | 16.0 | < 9.4E-12 |
| 42 | BIG-1-20 | A208 | JMTR | - | 316L | 1.13E+25 | 1.89 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -230 | 0.5TCT | 142 | 27.1 | < 2.7E-11 |
| 43 | BIG-1-24 | A203 | JMTR | - | 316L | 1.00E+25 | 1.73 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 819 | 18.0 | < 1.0E-11 |
| 44 | BIG-1-26 | A301 | JMTR | - | 316L | 2.71E+25 | 4.52 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 458 | 11.7 | 1.9E-11 |
| 45 | BIG-1-28 | A302 | JMTR | - | 316L | 2.49E+25 | 4.15 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 412 | 18.2 | 5.7E-11 |
| 46 | BIG-1-32 | A404 | JMTR | - | 316L | 6.61E+25 | 11.00 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 215 | 18.5 | 9.8E-11 |
| 47 | BIG-1-38 | A207 | JMTR | - | 316L | 1.03E+25 | 1.72 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 1500 | 26.6 | < 3.0E-12 |
| 48 | BIG-1-40 | H101 | JMTR | - | 304L | 5.62E+24 | 0.94 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -240 | 0.5TCT | 526 | 20.7 | < 7.2E-12 |
| 49 | BIG-1-42 | H102 | JMTR | - | 304L | 5.22E+24 | 0.87 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -240 | 0.5TCT | 121 | 15.4 | < 1.2E-11 |
| 50 | BIG-1-46 | H205 | JMTR | - | 304L | 1.04E+25 | 1.74 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -240 | 0.5TCT | 420 | 18.0 | < 9.4E-12 |
| 51 | BIG-1-48 | H201 | JMTR | - | 304L | 1.07E+25 | 1.78 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -200 | 0.5TCT | 1654 | 27.4 | 5.0E-12 |
| 52 | BIG-1-54 | H204 | JMTR | - | 304L | 1.19E+25 | 1.99 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -240 | 0.5TCT | 190 | 25.2 | < 3.2E-11 |
| 53 | BIG-1-55 | H204 | JMTR | - | 304L | 1.19E+25 | 1.99 | 262-302 | 288 | 0.02 | - | -270 | 0.5TCT | 170 | 25.3 | < 2.4E-11 |
| 54 | BIG-1-65 | H206 | JMTR | - | 304L | 1.19E+25 | 1.98 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 730 | 19.4 | 1.0E-11 |
| 55 | BIG-1-80 | R303 | JMTR | - | 304 | 2.41E+25 | 4.02 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 138 | 28.3 | 1.8E-10 |
| 56 | BIG-1-89 | R404 | JMTR | - | 304 | 5.18E+25 | 8.60 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 216 | 11.6 | 5.4E-11 |
| 57 | BIG-1-90 | R406 | JMTR | - | 304 | 5.55E+25 | 9.20 | 262-302 | 288 | 0.01 | - | -200 | 0.5TCT | 215 | 16.2 | 5.5E-11 |
| 58 | BIG-2-2 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 2.40E+24 | 0.34 | - | 288 | 32 | - | - | 0.7TCT | - | 12.0 | < 2.0E-12 |
| 59 | BIG-2-3 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 3.20E+24 | 0.46 | - | 288 | 32 | - | - | 0.7TCT | - | 13.5 | < 2.0E-12 |
| 60 | BIG-2-4 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 4.40E+24 | 0.63 | - | 288 | 32 | - | - | 0.7TCT | - | 13.5 | < 2.0E-12 |
| 61 | BIG-2-5 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 5.20E+24 | 0.74 | - | 288 | 32 | - | - | 0.5TCT | - | 10.5 | < 2.0E-12 |
| 62 | BIG-2-6 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 5.20E+24 | 0.74 | - | 288 | 32 | - | - | 0.5TCT | - | 10.5 | < 2.0E-12 |
| 63 | BIG-2-8 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 2.30E+24 | 0.33 | - | 288 | 32 | - | - | 0.5TCT | - | 10.5 | < 2.0E-12 |
| 64 | BIG-2-9 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 2.30E+24 | 0.33 | - | 288 | 32 | - | - | 0.5TCT | - | 10.5 | < 2.0E-12 |
| 65 | BIG-2-17 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 5.10E+24 | 0.73 | - | 288 | 32 | - | - | 1TCT | - | 11.7 | 1.0E-10 |
| 66 | BIG-2-18 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 4.40E+24 | 0.63 | - | 288 | 32 | - | - | 0.7TCT | - | 12.4 | 5.6E-11 |
| 67 | BIG-2-19 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 1.50E+24 | 0.21 | - | 288 | 32 | - | - | 1TCT | - | 22.5 | 8.0E-12 |
| 68 | BIG-2-20 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 4.50E+24 | 0.64 | - | 288 | 32 | - | - | 1TCT | - | 23.3 | 2.5E-10 |
| 69 | BIG-2-21 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 1.60E+24 | 0.23 | - | 288 | 32 | - | - | 1TCT | - | 24.1 | 3.1E-11 |
| 70 | BIG-2-22 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 1.20E+25 | 1.71 | - | 288 | 32 | - | - | 0.5TCT | - | 22.5 | 4.4E-10 |
| 71 | BIG-2-23 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 1.20E+25 | 1.71 | - | 288 | 32 | - | - | 0.5TCT | - | 23.2 | 5.6E-10 |
| 72 | BIG-2-1 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 1.60E+24 | 0.23 | - | 288 | 0.002 | 0.02 | - | 1TCT | - | 10.5 | < 2.0E-12 |
| 74 | BIG-2-10 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 5.10E+24 | 0.73 | - | 288 | 0.002 | 0.02 | - | 1TCT | - | 11.0 | 5.6E-11 |
| 75 | BIG-2-11 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 1.90E+24 | 0.27 | - | 288 | 0.002 | 0.02 | - | 1TCT | - | 23.5 | 2.2E-12 |
| 76 | BIG-2-12 | - | 国内BWR | シュラウド | 304 | 1.60E+24 | 0.23 | - | 288 | 0.002 | 0.02 | - | 1TCT | - | 24.2 | 9.1E-12 |
| 73 | BIG-2-7 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 5.20E+24 | 0.74 | - | 288 | 0.002 | 0.04 | - | 0.5TCT | - | 12.8 | < 2.0E-12 |
| 77 | BIG-2-13 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 1.20E+25 | 1.71 | - | 288 | 0.02 | - | - | 0.5TCT | - | 23.0 | 3.6E-10 |
| 78 | BIG-2-14 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 1.20E+25 | 1.71 | - | 288 | 0.002 | 0.04 | - | 0.5TCT | - | 23.2 | 2.8E-11 |
| 79 | BIG-2-15 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 1.20E+25 | 1.71 | - | 288 | 0.02 | - | - | 0.5TCT | - | 24.0 | 6.3E-10 |
| 80 | BIG-2-16 | - | 国内BWR | 上部格子板 | 316 | 1.20E+25 | 1.71 | - | 288 | | | | | | | |

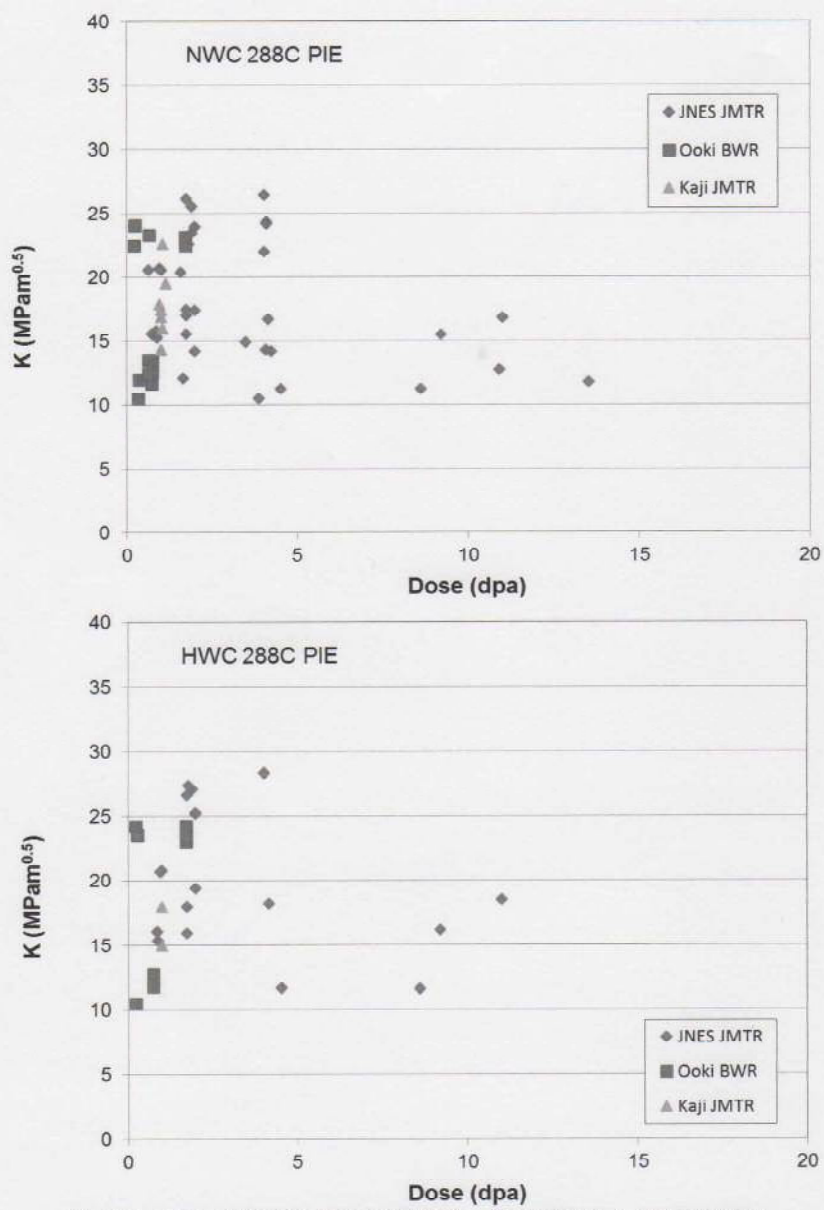


図 3.2.2-97 IASCC 進展の選定データの照射量と K 値の範囲
(上は NWC、下は HWC)

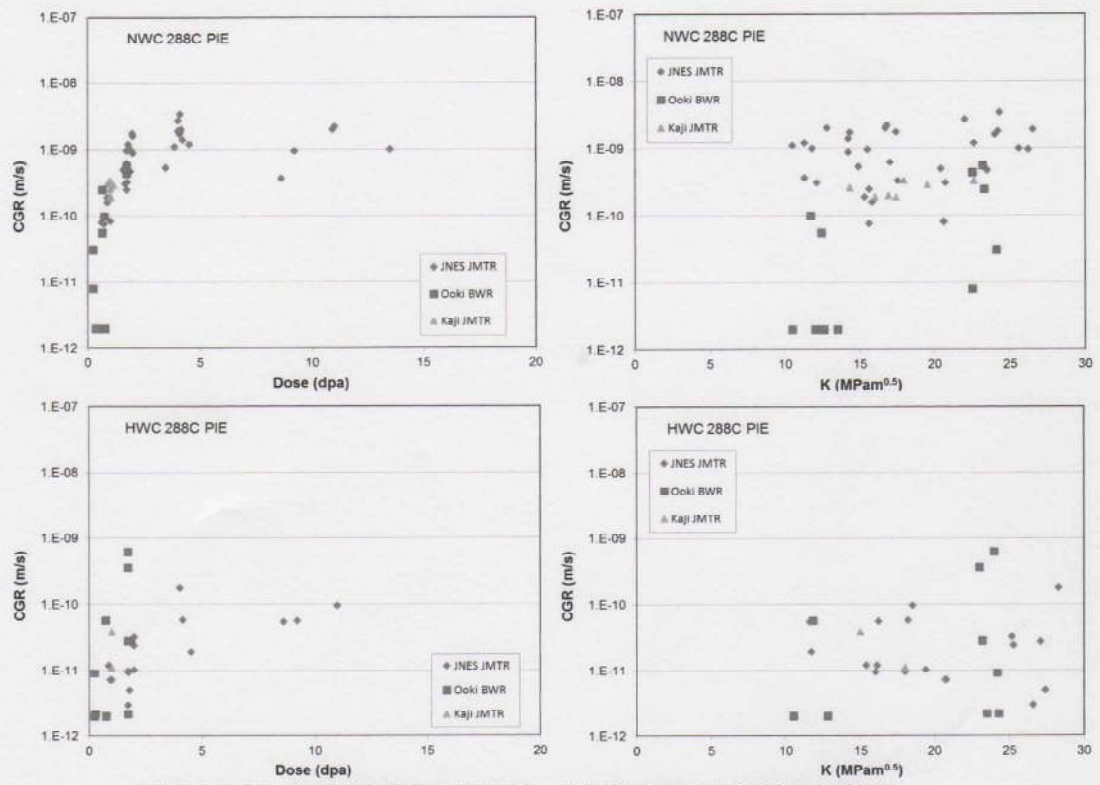


図 3.2.2-98 IASCC 進展の選定データと照射量および K 値の関係
(上は NWC、下は HWC)

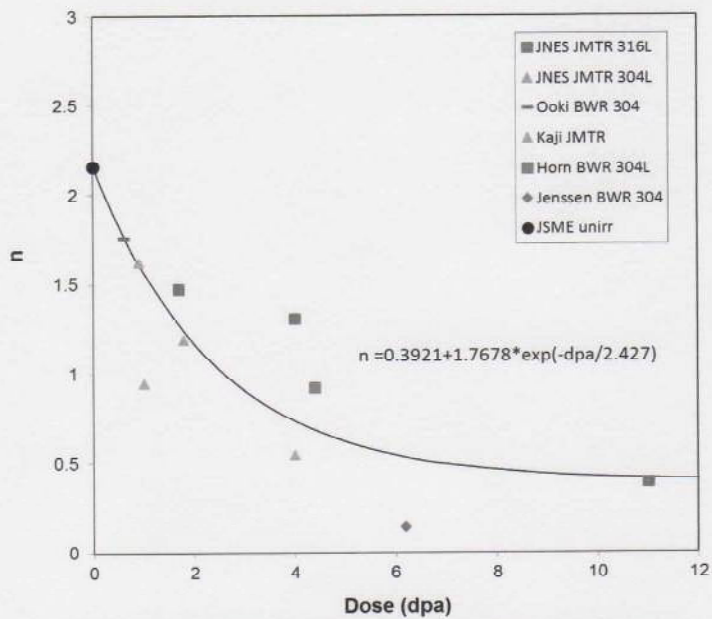
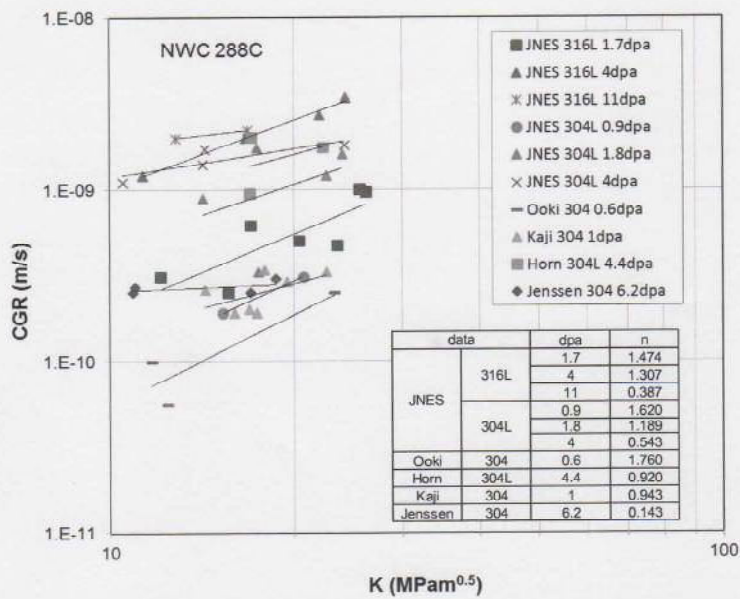


図 3.2.2-99 進展速度の K 値依存性の検討結果(NWC)

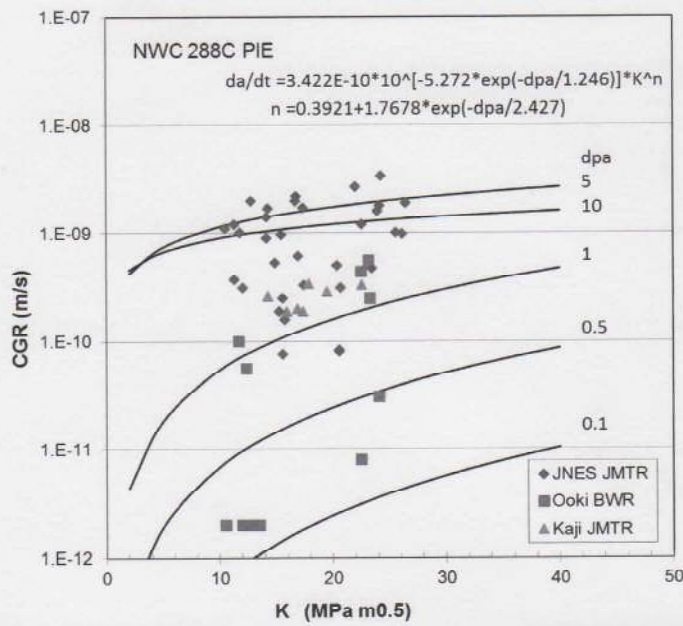
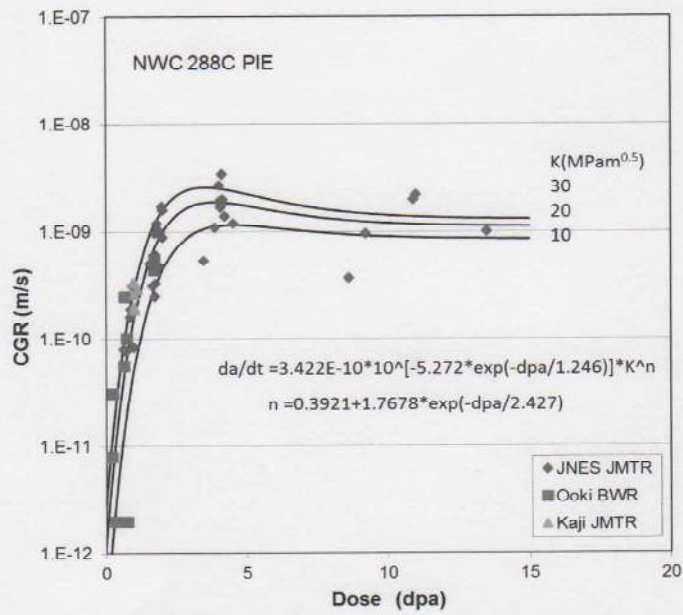


図 3.2.2-100 n(F)をデータから決定する場合の傾向式による進展速度と照射量およびK値との関係(NWC)

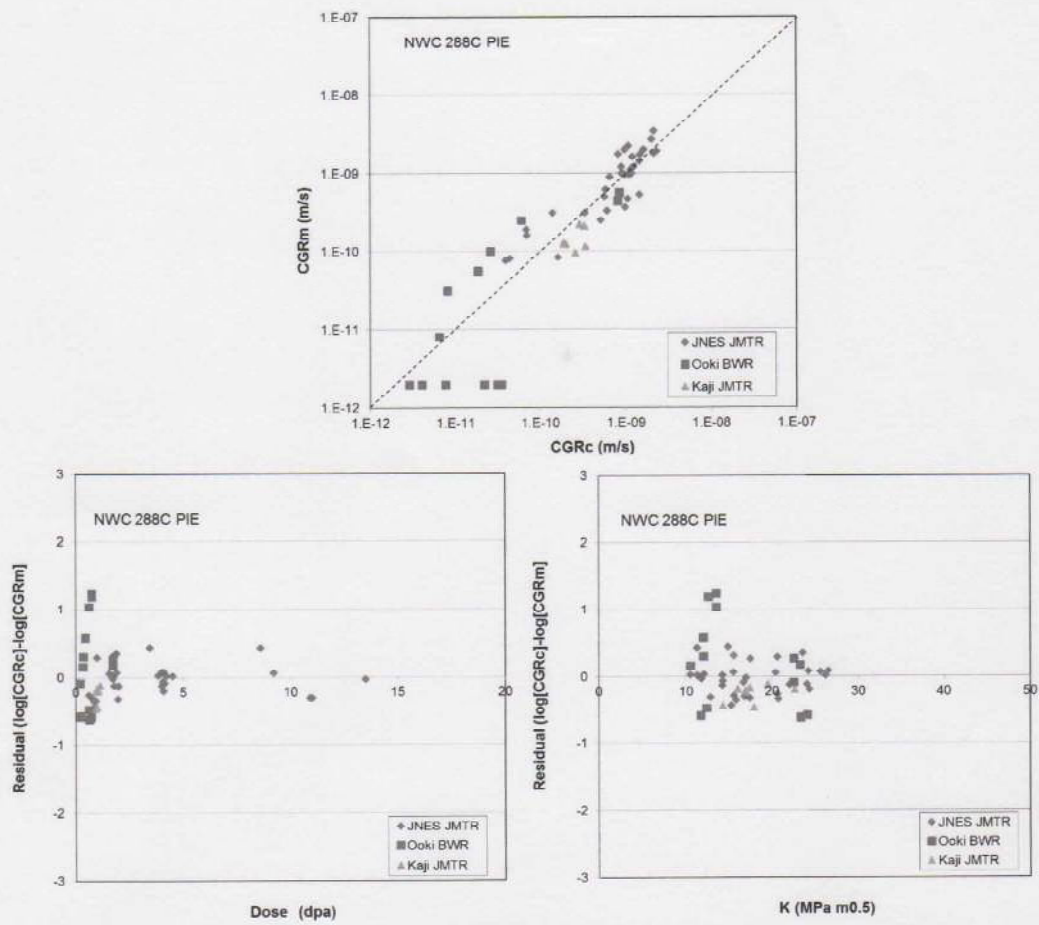


図 3.2.2-101 $n(F)$ をデータから決定する場合の傾向式による計算値とデータの関係 (NWC)

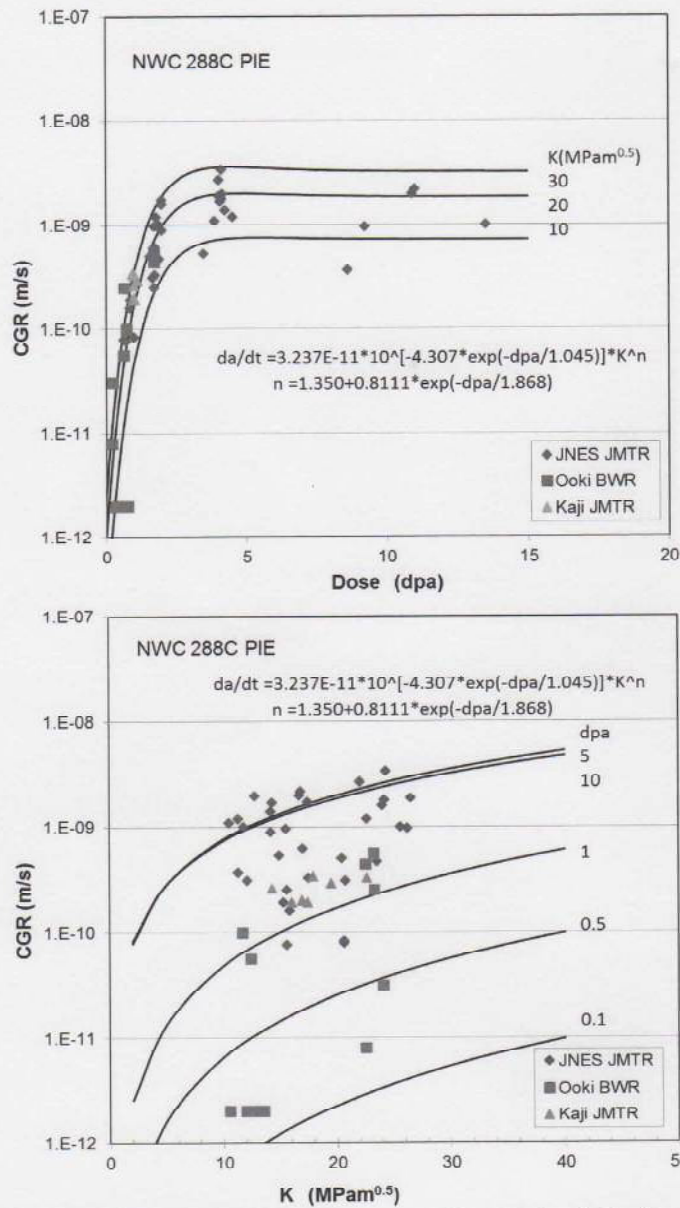


図 3.2.2-104 $n(F)$ と $M(F)$ と合わせてフィッティングする場合の傾向式による進展速度と照射量およびK値との関係(NWC)

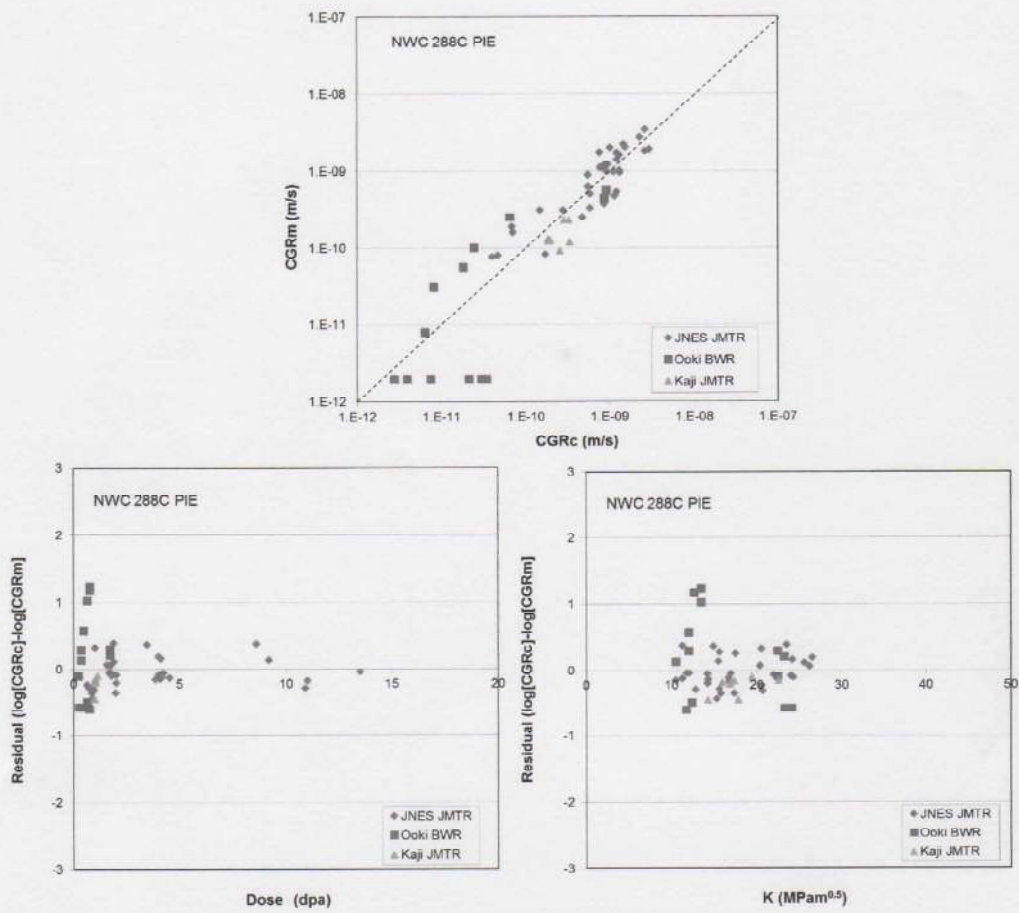


図 3.2.2-105 $n(F)$ と $M(F)$ と合わせてフィッティングする場合の傾向式による計算値とデータの関係(NWC)

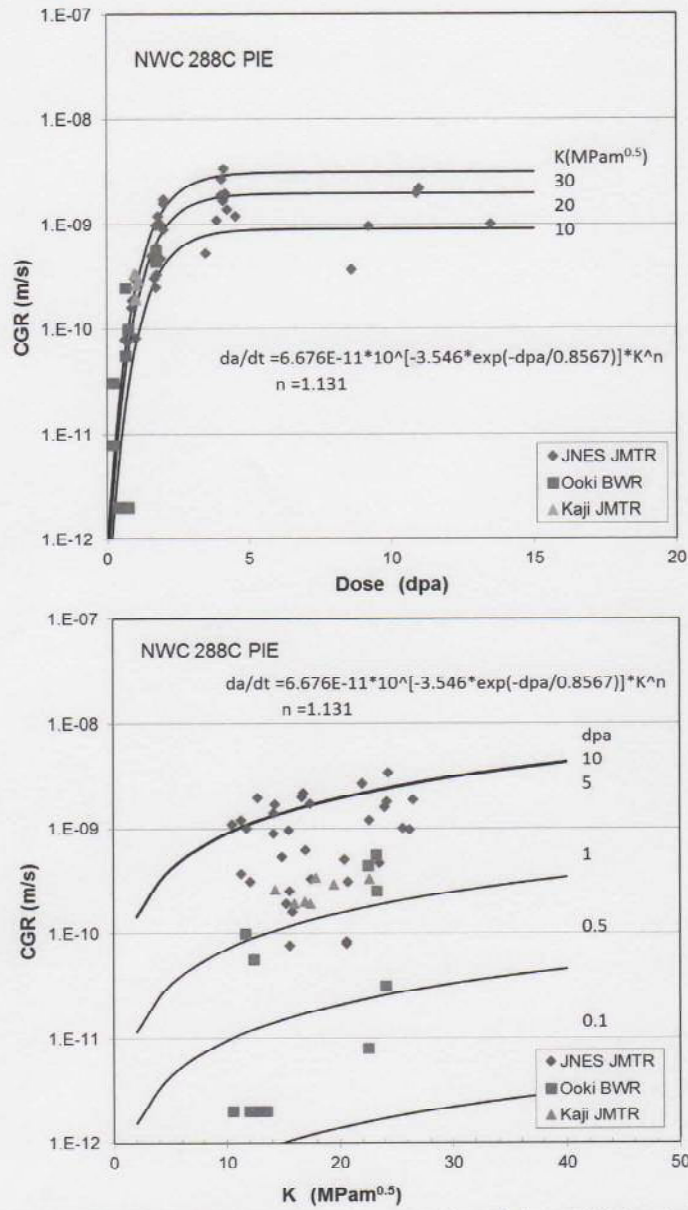


図 3.2.2-108 nを一定値とする場合の傾向式による進展速度と照射量およびK値との関係 (NWC)