

(頂いたご意見)(抜粋)

(1) 拡散係数の次数について

電中研報告に述べられている計算は、拡散係数 $D$ の次数を誤って2として行ったものであることは明らかである。なお、「拡散係数 $D$ を2乗としてフィッティングした方が1乗とするよりもよく合う」と主張するのであれば、電中研報告の著者はそれを裏付けるデータを示すべきである、

(2) 原子力規格委員会及び原子力安全・保安院は、“JEAC4201-2007 予測法は、多数の実機監視試験データや材料試験炉データの関連温度移行量に対して一定の予測精度が確保されている”ことをもって、基本反応速度式に誤りがあるというわれわれの指摘を頭から否定する。この点について、以下の点を指摘したい。式 JEAC4201-2007 予測法は約20個のフィッティングパラメータを用いて、データとのフィッティングを行っている。多数のパラメータを用いれば、既存のデータの傾向を再現することは可能であろう。しかし、予測法に期待されるのは、フィッティングに用いなかったデータの予測である。JEAC4201-2007 が中性子照射量の高い領域での予測に失敗し、高照射領域のデータを加えてあらたにフィッティングパラメータの再設定を行うことになった。その結果、フィッティングパラメータの値は大きく変化した。これはモデルの脆弱性が露呈したことにほかならない。その原因のひとつとして、基本とする反応速度式の誤りが指摘されているのである。なぜその指摘を無視するのか？

なお、米国では予測式の妥当性を検証するために、以下のような方法を用いている\*という。

“監視試験データのうちおよそ10%をブラインドデータ(予測式の作成には使用しない)として保留し、予測式の完成後にその有効性を確認するために用いる。

“予測法”であるからには、当然このような方法を採用して、信頼性をたしかめるべきであると考えがどうか。

以上を要するに、JEAC4201-2007 予測法およびその[201X 年追補版] 制定案は、基本とする反応速度式に誤りがある。したがって、JEAC4201-2007 の廃止を含めて全面的に再検討する必要がある。

## 【JEAC4201-2007 [201X 年追補版] 制定案 に対する意見に対する回答】

頂いたご意見に対する検討結果を以下に示します。

結論としましては、制定案を公衆審査版から変更する必要はないものと判断致しました。

### (1) 脆化予測法の基本とする反応速度式に誤りがあるとの意見(2. (1))について

JEAC4201-2007 およびその201X 追補版に記載されている脆化予測法が採用している数式モデルの基本とする反応速度式に誤りがあると指摘されていますが、JEAC4201-2007 およびその201X 追補版における数式モデルの考え方について改めて原子力規格委員会、構造分科会および破壊靱性検討会で検討した結果、日本電気協会としての見解はJEAC4201-2007 における脆化予測モデルに対する認識を取りまとめた添付資料1の通りであり、反応速度式に誤りがあるとは考えていません。

### (2) モデルの脆弱性および予測法の確認方法に対する意見(2. (2))について

#### a) モデルの脆弱性について

JEAC4201-2007(201X 追補版)で採用した予測法(本脆化予測法)では、フィッティングパラメータを再設定した結果、JEAC4201-2007 版の予測法と比べて、パラメータの値に些細でない変化をしたものもありますが、これはフィッティングパラメータが相互に関連しているために生じたものであると考えられ、このことがモデルの脆弱性を意味するものではないと判断致します。

#### b) 予測法の確認方法について

E.D. Eason らが予測法を開発した際のように、対象とするデータの一部をブラインドデータとして予測法開発に使用せず、予測法の検証にそのブラインドデータを使用する方法は有効であると認識しています。しかしながら、本脆化予測法は、対象のデータ全体の傾向を精度よく予測するだけでなく、同一鋼材の照射脆化の傾向を把握することを目的として開発されています。同一鋼材に対しては、多くても4点程度のデータ数であることから、その一部をブラインドデータとして上述の方法を採用する代わりに、本脆化予測法の開発に用いていない米国監視試験材データにより本脆化予測法の汎用性を確認(制定案の「解説-SA-2120-1  $RT_{NDT}$  調整値」参照)しております。このような考え方から、本脆化予測法の開発手法には問題はないものと判断致します。

原子力発電所の安全性確保には、人と環境の防護の観点から、プラントシステムや機器・設備を体系的に保守・管理して信頼性を向上させていくことが重要です。国内の高経年化対応技術戦略マップでは、「技術情報基盤の整備」、「安全基盤研究の推進」、「規格基準類の整備」及び「国際協力の推進」を4大項目として、産業界、学术界、国・官界及び学協会が連携して原子力発電所の安全性確保のため保守・管理等の実績を踏まえ最新知見が反映

されるよう、継続的な取り組みが提示されてきました。日本電気協会は、このうち「規格基準類の整備」に対して重要な役割を担っており、関連研究の成果等を速やかに日本電気協会規格・指針へ反映することとしています。

原子炉圧力容器は、複雑な原子炉システムにおいて、炉心を取り囲み一次系耐圧バウンダリを構成するという重要な機能を有しており、高い安全性が要求される機器であります。このことから、原子炉圧力容器の照射脆化に対する保守・管理を行うための安全研究を含めた様々な取り組みが進められています。日本電気協会では、規格化の観点から、監視試験法、脆化予測法、および健全性評価手法の高度化等に取り組んでおり、このような安全研究の成果や国内外の最新の技術的知見を収集・分析し、JEAC4201 や JEAC4206 の規程に継続的に反映することで、原子炉圧力容器の照射脆化に対する健全性の信頼性向上に資することとしています。

## JEAC4201-2007 における脆化予測モデルの考え方について

原子炉圧力容器鋼の照射脆化に限らず、実機鋼材の機械特性挙動等のモデル化においては、いくつもの係数を含む複雑な数式モデルが用いられることが多い。数式モデルは、力学的、物理的な洞察のもとにいろいろな形が策定され得るが、理論の積み上げだけで現実の材料挙動を定量的に表現することは難しい。そこで、実際の材料挙動予測では、数式モデルの係数を実測値と合うようにフィッティングする作業、いわゆるパラメータフィッティングが行われる。また、このアプローチに際しては、数式モデルを精緻化することでパラメータフィッティングを容易にする方法と、簡便な数式モデルを用いてパラメータフィッティングを精緻に行う方法があり、両者の組み合わせにはある程度の自由度がある。したがって、材料挙動の定量的な予測法においては、数式モデルの1部分だけに着目して理論的に正確かという観点で議論するよりも、数式モデルと係数のパラメータフィッティングをセットで考え、目的とする巨視的材料挙動をうまく表現できているか、多数のデータ点に対してベストフィットカーブを適切に設定できるか、という観点で議論すべきである。

JEAC4201-2007 の脆化予測法は、

- 1) 溶質原子クラスターとマトリックス損傷が照射脆化に寄与すること
- 2) 溶質原子クラスターには銅を必ず含むものと(照射促進項)、必ずしも含まなくても良いもの(照射誘起項)の2種類があること
- 3) 溶質原子クラスター形成には照射速度が影響すること

など、照射脆化の機構に係る近年の知見を反映して策定されたものである。ここで用いられている数式モデルは、実用性も含めた工学的な観点から監視試験結果を適切に予測することを目的として作成されたものであり、照射脆化機構の厳密な理論モデルを記述するものではない。また、この数式モデルに対するパラメータフィッティングの結果導出された JEAC4201-2007 脆化予測法は、多数の実機監視試験データや材料試験炉データの関連温度移行量やマイクロ組織の変化に対して一定の予測精度が確保されている。

指摘事項である照射促進項は、クラスター形成の複雑なプロセス(照射脆化に寄与する溶質原子クラスターが形成されるまでの核形成、成長、分解、安定化などのプロセス)を簡単な「単一項」により近似することを目的に設定されたものである。当然のことながら、上述の複雑なプロセスを単一項で厳密に記述することは不可能であり、先に述べたような数式モデルとパラメータフィッティングの組合せによりクラスター形成の複雑なプロセスがモデル化されているものと理解している。したがって、素過程の議論に基づき照射促進項において拡散係数の1乗であるべきとの指摘は、JEAC4201-2007 脆化予測法で採用されているモデル化の方針とは基本的に異なる。

(追記)

学術体系として、「システム同定(System Identification)」という考え方があり、「システム同定」という観点からの問題設定と理解が大変重要になる。「システム同定」は大きく 3 つのアプローチがある。一つは「ホワイトボックスモデル」で、全てを完全に理論モデルのみで構築する方法である。それと対極にあるのが「ブラックボックスモデル」で、振る舞いに関する応答の理論を作れないので、完全に数学的モデルを作る。中間に「グレイボックスモデル」があり、部分的に既存のモデルが適用できる場合にはそれを使いつつ、不明な部分については数学的な対応を取る方法であり、この部分が基本的にパラメータフィッティングといわれる。現状では、照射脆化は「グレイボックスモデル」に対応する。「グレイボックスモデル」に関して、どのレベルでどのようなモデルを適用するかについては、いろいろなバリエーションがある。

## 【付帯要望事項に対する回答】

意見公告募集に関連して、以下の2項目を要望します。

### 1. 規格制定に際しての意見公募の方法について

学協会規格は公共性が高く、規格制定の際に意見公募を行う場合、国の行政機関が政令や省令を定める際の手続に準じて行うのが望ましい。行政手続法は、以下のように定めている。

- ・定めようとする命令等及び関連する資料をあらかじめ公示すること（第39条）、
- ・その公示は電子情報処理組織を使用する方法その他の情報通信の技術を利用する方法により行うものとする（第45条）

今回の“原子炉構造材の監視試験方法 JEAC4201-2007 [201X年追補版] 制定案”に関する意見受付公告では、関連資料入手について以下のように述べている、

一般社団法人日本電気協会にて規格の閲覧が可能です。また、郵送による資料の送付も行っておりますので、お問い合わせ下さい。

すなわち、「公示は電子情報処理組織を使用する方法その他の情報通信の技術を利用する方法」ではなく、非常に不便である。改善を望む。なお、日本原子力学会は標準原案をPDFで公開しており、行政手続法の規定に沿った運用をしている。

## 【回答】

日本電気協会原子力規格委員会は、公平性、公正性、公開性を持って学協会規格を策定しており、公衆審査につきましては、原子力規格委員会規約及び原子力規格委員会運営規約細則に則り実施しております。

行政手続法とは関係ませんが、他学会等の実施状況を踏まえ、公衆審査の実施方法につきましても適宜検討してまいります。

## 2. 会議資料のネット公開と議事録の早期公開

意見受付公告に応じて意見を述べる際、当該機関の委員会等の会議資料、議事録の入手閲覧が容易かつ迅速に可能であることが望まれる。

(1) 日本電気協会の関連会合の議事録は、次回の当該会合での承認後に公開されている。過去の記録を見ると、1年近くも議事録を見ることはできない場合もある。これは「公平・透明・中立性を確保する」という精神に照らしてきわめて不合理である。議事録は、当該会合終了後、速やかに公開すべきである。

(2) “公平性、公正性、公開性を確保すること”を標榜する各種の機関が開催する会議は“配布資料のネット上での公開”を実施（多くの場合、会議当日に）している。日本電気協会も実施すべきである。

### 【回答】

議事録は、次回の会議の場での委員の確認を経てから公開しております。ただし、会議後どの程度の期間を経て公開するかについては明確に決めていなかったため、前回お伝えしましたとおり、会議後の議事録公開時期の目安を定めることとしたいと考えております。

公平性、公正性、公開性を確保できるよう議事録を作成し公表していること、請求に応じて資料を郵送していること、また、委員会への傍聴参加を認めていることから、配布資料のネット上での公開については、従来通りといたします。