

「JEAC4201 改訂に関する質問」に対する回答

No.	質問	回答
	<p>4月18日の第80回破壊靱性検討会を傍聴し、質問をさせていただきました。日本溶接協会小委員会への検討依頼の経緯とJEAC4201-2007で採用されている反応速度式の誤りについての対処法についてのお尋ねです。</p> <p>後者についてのご返答のなかで、改定案では、拡散係数が出てくるような反応速度式は用いず、アトムプローブによるマイクロ組織観察をベースとして脆性遷移温度上昇予測式を導く方式になっているとの説明がありました。</p> <p>改定案そのものを拝見していないので、その具体的な方法は分かりませんが、「JEAC4201改訂に係る中間報告について」（構造分科会、原子力規格委員会平成31年3月28日 資料No. 70-7-1）の9ページ目に「照射脆化予測法の改定に向けた基本的考え方」が記され、「マイクロ組織変化予測」に関しては、「APTデータの予測性を重視した相関式の策定」、「マトリックス損傷については、現行の式をベースにしつつも化学組成の影響等について見直し」、「規格ユーザーの使い勝手向上のため、微分方程式形式とされない定式化を検討」とあります。</p> <p>質問へのご返答と併せて考えると、溶質原子クラスタの数量についてはAPT（アトムプローブ）のデータをもとに算出し、マトリックス損傷（点欠陥クラスタ）については従来通りの式をベースに算定する、微分方程式（反応速度式）形式でない定式化をする、という考え方のように思われます。</p>	<p>JEAC4201の予測法は、原子炉圧力容器鋼材の照射に伴うマイクロ組織変化の厳密な物理現象を記述することを目的とするものではなく、実用性も含めた工学的な観点から、得られている知見を踏まえて策定した簡易な数式により、鋼材の照射脆化に伴う巨視的な材料挙動（遷移温度の上昇）を適切に予測することを目的として定めているものです。</p> <p>今回の改定検討は、2007年版の基本モデル式を照射脆化に関する最新知見と整合した式に見直すという趣旨で進めております。</p>

1	<p>マイクロ組織の硬化原因としては、銅などの溶質原子の集合体（銅クラスターなど）による硬化と照射により生成された点欠陥の集合体（空孔クラスターや転移ループなど）による硬化とがあることが知られています。ご存知のように、アトムプローブで観察できるのは前者の溶質原子集合体のみで、後者の点欠陥集合体はまったく観測にかかりません。そのほかの観察手段（電子顕微鏡や陽電子消滅法など）と合わせて解析するのでなければ、マイクロ組織の変化を実験的に解明することはできないのではないかと思います。「APT データの予測性」とは何を意味するのでしょうか。</p>	<p>APT データの予測性とは、APT 測定により得られた「全クラスター体積率」、「クラスター体積」、「クラスター数密度」及び「固溶している Cu 濃度」の 4 つの指標に対する予測性のことを意味します。</p> <p>本規程は、現状知見に照らして遷移温度の上昇量を工学的に予測可能な式を規定することを目的としています。今回の改定に際しては、遷移温度上昇量と溶質原子クラスターの体積率の 1/2 乗との間に良好な線形の相関が確認されたことから、この溶質原子クラスターの体積率の予測性を向上させるという方針の下で予測式の策定を進めております。尚、照射によるマイクロ組織変化を機構論的に解明することは目的とはしていません。</p>
2	<p>点欠陥クラスター（マトリックス損傷）については現行の式をベースにするとあります。現行の式では、点欠陥クラスターの形成は反応速度式で示されていて、その式には溶質原子クラスターである照射誘起クラスターの形成の項が入っています。つまり、溶質原子クラスターについても反応速度式を適用しなければ点欠陥クラスターの数量は求められないという関係になっていると考えられます。反応速度式を使うということになりませんか。</p>	<p>現行の予測式では照射誘起クラスターの形成については連立微分方程式で定式化しています。今回の改定ではこの照射誘起クラスターの式を連立微分方程式でない式に見直す方針であり、連立微分方程式を適用しなければ点欠陥クラスター（マトリックス損傷）を求められないということはありません。</p> <p>点欠陥クラスター（マトリックス損傷）の形成については、照射速度、Ni 濃度、照射温度の影響を考慮した式としております。</p>
3	<p>「規格ユーザーの使い勝手向上のため、微分方程式形式とらない定式化を検討」とありますが、それはどのような定式でしょうか。JEAC4201-2007 のもとになった反応速度式において、拡散係数が 1 乗で入るべきところ 2 乗になっているという間違いは、ど</p>	<p>今回の改定では、溶質原子クラスターを予測する式にはアトムプローブデータの予測性向上に重要な化学成分、照射量、中性子束及び照射温度を用いて求めた近似式を JEAC4201 の次回改定に採用する予測式とする方針としています。</p>

	<p>のように訂正されるのでしょうか。</p>	<p>その開発状況については、(一財)電力中央研究所により国際会議等にて報告されていますが、現時点では破壊靱性検討会としては式を確定させた段階にはありません。</p> <p>なお、現行の予測式の拡散係数の次数に関するご指摘については既に回答した通りです。</p> <p>https://nusc.jp/jeac/4201/jeac4201-2013addpc.pdf</p>
<p>4</p>	<p>前回議事録を拝見すると、アトムプローブの測定の正確さと溶質原子クラスタの体積率の精度について、委員からの質問があります。その回答を読むと、データはすべて電中研で測定したものであること、同じ条件で実施しているのでデータは一貫しているが、いろいろな機関で比べると結果が変わるかもしれない、体積率の精度は難しいがデータとしては一貫している、などの驚きの説明があります。果たして客観的なデータとして規程に使えるのでしょうか。</p>	<p>第79回破壊靱性検討会議事録についてご指摘いただいた箇所は、測定データの処理方法が機関により異なるとの趣旨の議論です。アトムプローブ測定の精度に関するものではありません。</p> <p>同議事録にもあるように、アトムプローブ測定を同一機関が統一化された方法で試験解析し、所定の溶質原子クラスタ一個数以上のデータを、予測式策定に用いるデータベースに採用しています。</p>
<p>5</p>	<p>アトムプローブ法に関しては、東北大学金属材料研究所や物質・材料研究機構(NIMS)において優れた研究がなされてきています。これらの研究をリードしてきた第一人者の研究者たちの協力を得ることやそのpeer reviewを受けることは、測定結果の信頼性と解釈の妥当性を担保するうえで不可欠であると思われる。原子力規制委員会は、このような事情を背景に、これら研究者が属する日本金属学会などの学協会と協議することを求めたと思われます。なぜこれらの学協会でなく、日本溶接協会に検討を依頼されたのでしょうか。その小委員会ではどのような議論がなされ、どのように規格作成に反映されるのでしょうか。</p>	<p>日本電気協会が、予測式の検討に関して日本溶接協会に対して協議を依頼した事実はありません。</p> <p>日本溶接協会では、原子力を含めた様々な研究分野の専門家が集い、専門部会や研究委員会を実施してきた実績があります。</p> <p>日本溶接協会原子力研究委員会 IET 小委員会では、日本原子力学会や日本金属学会等に所属する研究者やアトムプローブ法に関する研究者を含む幅広い専門家と、脆化予測式の策定に携わる関係者が集まり、照射脆化メカニズムに照らした脆化予測式に関する意見交換が行われております。</p> <p>日本電気協会としては、IET 小委員会の成果が公開され次</p>

		第、審議の上 JEAC4201 の改定に反映してまいりたいと考えています。
	ご回答のなかで、破壊靱性検討会の守備範囲を超える問題とのご発言もあったように思います。ぜひ、構造分科会や原子力規格委員会に上記の質問をお伝えいただき、ご検討いただくことをお願いいたします。	—

2019/7/25