

## 第 4 回材料技術評価検討会における外部専門家及び専門技術者の評価意見及びその回答

No.	安全研究プロジェクト	外部専門家・ 専門技術者	評価意見	回答
1	軽水炉照射材料健全性評価研究	笠原直人氏	2軸荷重に対する破壊力学評価に係る試験実施に関して、機械荷重による2軸荷重負荷試験、高速炉などで実施された熱過渡強度試験の知見はどのように活用されているのか。	<p>機械荷重による2軸荷重負荷試験を通じて、亀裂先端の拘束効果や高温予荷重効果が破壊に及ぼす影響評価を目的とした国外のプロジェクト(NESC-IVやVOCALIST：安全研究成果報告参考文献18-20)の成果として得られた、クラッド溶接を施した材料における浅い亀裂の拘束効果及び2軸単調負荷試験を、試験装置の製作や得られる試験値の当たりをつける際に参考とし、本研究では、クラッド溶接、亀裂形状及び多軸応力による拘束効果の違い、試験体への荷重負荷履歴(単調負荷及び熱衝撃負荷)が破壊に及ぼす影響評価を目的に試験を実施しました。</p> <p>高速炉などで実施された熱過渡強度試験については、本研究では材質及び環境の違いから、特に知見を取り入れることはしませんでした。</p>

2		笠原直人氏	<p>破壊靱性データについて、JEAC 等で民間で調査された知見とどのような補完関係にあるのか。例えば、参照温度 <math>T_0</math> に対する試験片の形状・寸法の影響は民間で調査されてなかった範囲なのか。また基礎的知見は学会発表などで民間と共有されているのか。</p>	<p>本研究では、既往の破壊靱性試験条件を検討した上で、より広範な上部棚吸収エネルギーや延性脆性遷移温度を有する中性子照射材等を対象に、参照温度 <math>T_0</math> に及ぼす試験片の寸法効果に関する試験及び解析的検討を行いました。</p> <p>得られた知見は委託先により学会等で発表済みであり、その一部は日本電気協会「フェライト鋼の破壊靱性参照温度 <math>T_0</math> 決定のための試験方法 (JEAC 4216-2015)」に参考文献として引用されており、民間と知見の共有はなされていると考えています。</p>
3		笠原直人氏	<p>熱衝撃試験は、多軸応力、冷却材環境、熱的境界条件など、多くの影響因子がある。それぞれ分離評価がなされているのか。熱的境界条件の確認に必要な試験体温度分布は計測されているのか。十字試験体への機械荷重はどのように設定したのか。</p>	<p>今回の試験は、試験実施前に PTS 評価の代表となる応力拡大係数と時間の関係を求めており、試験途中で計測している温度分布から応力を計算し、不足する荷重を求め機械的に負荷しています。</p> <p>熱的境界条件については、試験に先立ち温度分布を求めるための冷却試験を行い試験体中の温度分布を求め、確認しています。</p>

4		笠原直人氏	<p>最終的な照射材料健全性評価には様々なバラツキがあるため、それらを包含した JEAC 4206 のマスターカーブと比較して保守性を確認するだけでは、着目因子の影響度と重要性が分かりにくい。着目因子の感度やバラツキの程度を整理すると、評価精度の向上を図る上で、優先度を考え易くなると思われる。例えば、本研究で着目している多軸や溶存酸素の影響は他の要因に比較してどうであるのか。</p>	<p>今回実施した熱衝撃 2 軸荷重負荷試験では、破壊時の応力拡大係数 (K 値) に及ぼす因子として、多軸応力度、仮想欠陥深さやクラッド溶接による拘束効果を定性的に評価するための試験マトリクスを検討致しましたが、結果として十字型試験体を使った試験は試験体数が限られてしまいました。そのため、着目した因子の K 値に対する影響度や重要性の定量的評価のためには、今回得られた知見だけでは十分といえず、後継事業である「実機材料等を活用した経年劣化評価・検証に係る研究」において引き続き検討していきたいと思えます。</p>
5		笠原直人氏	<p>今後の展開において、保守性を確認する計画と述べられている。リスク情報活用とパフォーマンス評価を基本とする新検査制度に移行する中で、リスク低減や確率論的評価の観点に含めるべきと思われる。</p> <p>一般論であるが、民間で長期に亘り研究が行われている分野であることから、基礎研究と規制研究を分けて、前者については学協会において</p>	<p>研究計画の策定や研究の実施においては、学協会等の外部有識者や規制庁規制部門とのコミュニケーションにより、知見共有を図っています。今後もより一層、庁内外の関係者との意見交換に努めていきます。</p>

			十分な知見共有を図ることが重要と思われる。また効率的な技術評価のために、規制庁内での研究部門と規制部門との知見共有も有効であると思われる。	
6		松本 聡氏	<p>原子炉圧力容器の破壊力学に基づく2軸試験片に対する評価がなされ1軸試験片との比較検討がなされている。</p> <p>ただし、このような評価はほかの分野では検討例があると思われるが、資料には記載されていませんでした。</p> <p>低合金鋼ならびにステンレス鋼に対する中性子照射による脆化予測法を検討している。これらは従来にない知見であると思われる。</p>	<p>機械荷重による2軸荷重負荷試験を通じて、亀裂先端の拘束効果や高温予荷重効果が破壊に及ぼす影響評価を目的とした国外のプロジェクト(NESC-IVやVOCALIST:安全研究成果報告参考文献18-20)の成果として得られた、クラッド溶接を施した材料における浅い亀裂の拘束効果及び2軸単調負荷試験を、試験装置の製作や得られる試験値の当たりをつける際に参考とし、本研究では、クラッド溶接、亀裂形状及び多軸応力による拘束効果の違い、試験体への荷重負荷履歴(単調負荷及び熱衝撃負荷)が破壊に及ぼす影響評価を目的に試験を実施しました。</p>
7		松本 聡氏	<p>JMTRを用いた照射試験が中止となったが、これに代わる試験法が提案されておらず懸念が残されている。</p>	<p>JMTRを用いた照射試験中止の決定以降、先行プロジェクトで中性子照射した低合金鋼を供試材として、限定的ではあるが照射脆化データを拡充した。</p>

				引き続き、本研究で得られたデータと既往知見の詳細比較を進めるとともに、今後は、廃炉が決定した軽水炉の監視試験片や、廃炉工程で切り出された原子炉圧力容器鋼を活用する研究を計画しております。
8		望月正人氏	規制庁の職員も共著になった状態で規制委員会の安全研究としての責任および位置付けを強く念頭に置いたような発表も「別途」あれば望ましかったと思われる。	事業実施期間中に規制庁職員による論文等による成果の公表には至りませんでした。現在、規制庁職員が共著となった論文を執筆中です。今後は積極的に論文執筆に取り組み、安全研究の実施状況の透明性を確保するとともに、職員の専門性向上を図ります。
9		望月正人氏	当初予定していた JMTR での照射試験が実施できなかったことについては、早急に何らかの代替研究を検討し、さらなる知見の拡充を目指すことが望ましい。	材料試験炉 (JMTR) を用いた照射試験が中止となりましたが、代替研究として既往研究で照射した材料を活用する試験を実施し、目標とした知見を取得しました。
10	電気・計装設備用高分子材料の長期健全性評価に係る研究	笠原直人氏	ケーブルの経年劣化研究は、保安院や OECD/NEA で実施されてきたと思われる。これらの知見はどのように活用されているのか。	ケーブル劣化に関して、過去に以下の研究等が行われています。 ① 旧原子力安全・保安院「高経年化対策強化基盤整備事業」におけるケー

				<p>ブル劣化機構・状態監視技術に関する研究（平成14年度～22年度）</p> <p>② 旧原子力安全基盤機構「原子力プラントのケーブル経年変化評価技術調査研究」（平成14～20年度）など</p> <p>③ ケーブル経年劣化管理等に関する良好事例を抽出する国際プロジェクト OECD/NEA SCAP（2006～2010年）</p> <p>本研究では、②で策定した「ケーブル経年劣化評価試験ガイド」（JNES-RE-2013-2049）で示された経年劣化を模擬する加速劣化手法に関する知見を活用して、事前劣化処理を行った供試体を作製し、試験に用いております。また、①の劣化機構の研究結果及び③で調査された状態監視手法の情報も踏まえ、高分子絶縁材料の劣化特性に関する検討を行っています。</p>
11		笠原直人氏	<p>現象を理解するために、事前劣化とSAの影響を、それぞれを独立に分析した上で、その重畳を評価する必要はないか。</p>	<p>試験では、事前劣化を付与した供試体と事前劣化なしの供試体を用いて、SA試験を実施しております。SA試験結果から、事前劣化を付与した供試体の絶縁抵抗の方が事前劣化なしの供試体より低いことがわかりました。このことから、絶縁抵抗には事前劣化の影響</p>

				<p>があることが判明しています。劣化の状況については、さらに詳細に分析しているところで、今後論文等で公表していきたいと考えています。</p>
12		笠原直人氏	<p>放射線暴露試験と蒸気暴露試験も独立に実施されているように思えるが、相互作用は無いのか。今回の評価は、それぞれの効果を独立に評価して加算したのか。</p>	<p>実際の重大事故発生時には、ケーブルは、放射線と蒸気に同時に暴露されています。しかし、現在、これらを同時に暴露可能な試験設備が存在しません。このため、本研究では、放射線暴露の後に蒸気暴露を行う逐次暴露を行いました。</p> <p>逐次暴露(放射線照射の後に蒸気暴露)と同時暴露に有意な差がない、または逐次暴露が同時暴露よりも保守的であると評価されている研究調査文献*があることから、本評価では、それぞれの効果を独立に評価をして加算することはしていません。</p> <p>* NUREG/CR-6387, BNL-NUREG-52480  “Literature Review of Environmental Qualification of Safety-Related Electric Cables” Brookhaven National Laboratory, NRC, April 1996</p>

13		笠原直人氏	<p>BWR プラント用電気ペネの絶縁抵抗が PWR プラント用より低い原因は推定されているのか。</p>	<p>BWR プラント用電気ペネの SA 試験条件は、171℃、0.64MpaG で、PWR プラント用電気ペネの SA 試験条件 155℃、0.444MpaG より、試験温度、圧力とも高くなっています。ところが、BWR プラント用電気ペネのポッティング材に用いられている軟質エポキシ樹脂のガラス転移温度 Tg は-32℃であり、PWR プラント用電気ペネのエポキシ樹脂の 120℃より低い値となっております。このため、SA 試験条件では、樹脂は粘度が低下している可能性があります。これにより、ケーブル間の樹脂が流動し隙間ができやすくなり、この部分に蒸気が侵入したために絶縁抵抗の低下をもたらしたのではと推測しています。隙間については、電気ペネを切断して断面を観察したところ、見られております。今後、詳細に分析を行い、原因を明らかにしたいと思います。</p>
14		笠原直人氏	<p>電気ペネの健全性については、絶縁性能だけで圧力バウンダリ性能は含まれないのか。別研究テーマなのか。</p>	<p>本研究では、SA 時環境下での絶縁性能に係るデータ等を取得することを主眼として試験を行いました。このため、圧力バウンダリ性能については気</p>



				<p>密試験を行うことだけにとどめております。</p> <p>圧力バウンダリに関する研究は、旧財団法人原子力発電技術機構で高温、高圧下での電気ペネのシール材からの漏えいの可能性について研究が行われております。</p> <p>また、現在、規制庁で実施中の別の安全研究プロジェクトである「重大事故時等の原子炉格納容器の終局的耐力評価に関する研究」で、重大事故時の電気ペネトレーションからの漏えい等に対する終局的耐力の評価手法の検討と限界条件の把握を行っています。</p>
15		笠原直人氏	福島第一原子力発電所の電気ペネを調査する計画はあるのか。	現時点では、福島第一の電気ペネを使用する計画はありません。
16		望月正人氏	3年間の研究全体を通じて重大な観点の欠落のような問題点はないと思われる。本安全研究では、SA時環境下における絶縁性能裕度に関わる貴重なデータが取得できており、また、絶縁体の劣化メカニズムについての考察からも極めて有用な結論が得られている。これらを元に、本年	令和2年度から開始の「実機材料等を活用した経年劣化評価・検証事業」において知見を拡充するとともに、得られた知見については、十分に検討を加え、必要に応じて本研究で得られた結果についてもさらに検討を加えることといたします。

		<p>度からの後継プロジェクトにおいて、さらなる知見の拡充が期待できるが、その知見の内容によっては本安全研究の結果に立ち返ることも重要である。</p>	
--	--	---	--