

## 課題目標・目的及び研究成果

| <p>研究開発課題名（研究機関名）：<br/> <span style="text-align: center;"><b>長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発</b></span><br/> <span style="text-align: right;">（独立行政法人日本原子力研究開発機構）</span></p>   |   |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
|--|---|-----------------------|-------------|----------------|-------------|----------------|---------------------|---------------|-------------------------------------|
| <p>研究開発の実施者</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構</td> <td style="width: 50%; border: none;">代表者氏名：青砥 紀身</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：国立大学法人東北大学</td> <td style="border: none;">代表者氏名：長谷川 晃</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：国立大学法人東京大学</td> <td style="border: none;">代表者氏名：阿部 弘亨（現 東北大学）</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">機関名：株式会社インテスコ</td> <td style="border: none;">代表者氏名：土岐沢 耕一（H18-19）/<br/>福島 文欧（H20）</td> </tr> </table> |   | 機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構 | 代表者氏名：青砥 紀身 | 機関名：国立大学法人東北大学 | 代表者氏名：長谷川 晃 | 機関名：国立大学法人東京大学 | 代表者氏名：阿部 弘亨（現 東北大学） | 機関名：株式会社インテスコ | 代表者氏名：土岐沢 耕一（H18-19）/<br>福島 文欧（H20） |
| 機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構  | 代表者氏名：青砥 紀身   |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| 機関名：国立大学法人東北大学   | 代表者氏名：長谷川 晃   |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| 機関名：国立大学法人東京大学   | 代表者氏名：阿部 弘亨（現 東北大学）   |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| 機関名：株式会社インテスコ  | 代表者氏名：土岐沢 耕一（H18-19）/<br>福島 文欧（H20）   |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| <p>研究期間及び予算額：平成18年度～平成20年度（3年計画）      349,696千円</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;">平成18年度</td> <td style="width: 40%;">140,148千円</td> </tr> <tr> <td>平成19年度</td> <td>151,185千円</td> </tr> <tr> <td>平成20年度</td> <td>58,363千円</td> </tr> </table>   |   | 平成18年度                | 140,148千円   | 平成19年度         | 151,185千円   | 平成20年度         | 58,363千円            |               |                                     |
| 平成18年度   | 140,148千円   |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| 平成19年度   | 151,185千円   |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| 平成20年度   | 58,363千円  |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| 項目   | 内容  |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |
| 1. 目的・目標   | <p>本事業は、炉容器や炉内構造物等比較的低放射線環境に長時間継続的に曝され、かつ寿命中交換が困難な鉄鋼材料構造物に関する設計評価、プラント稼働後の経年評価、保全管理に至るまで統一的に適用可能な照射損傷評価指標の開発並びに本指標に基づく損傷進行監視技術の開発を目標として実施した。対象材料は、次世代高速炉の候補構造材料である 316FR、SUS304、12Cr 鋼とした。また、想定適用範囲は、弾き出し損傷量及び He 生成量についてそれぞれ約 1 dpa、約 30 appm までの範囲とした。</p> <p>上記の目標を達成するために、以下の 4 つの研究開発項目を実施した。</p> <p><b>【研究開発項目（1）損傷指標の開発】</b><br/>         原子力機構に既存の照射試験データ及び本事業で取得する各種試験データを用いて、想定適用範囲内における指標の妥当性評価に必要な体系的かつ広範な照射損傷データベースを構築する。構築したデータベースに基づき、現状で有力な損傷指標（弾き出し損傷量、He 生成量、両者の比（He/dpa 比）、照射速度等）の妥当性評価を行う。評価結果に基づき、最適な損傷指標の選択、適切な組み合わせ、あるいは必要な改良を行い、損傷指標の設計評価への適用方法を提案する。</p> <p><b>【研究開発項目（2）損傷指標の妥当性確認のための試料の作製】</b><br/>         損傷指標の開発に必要な照射試料を体系的に取得するために、東京大学の HIT イオン加速器によるイオン照射実験、東北大学のサイクロトロンによる He 注入実験、原子力機構の高速実験炉「常陽」及び試験研究炉「JRR-3」による中性子照射試験を実施する。中性子照射試験では、各炉単独での照射試験に加え、先行例が希少な実炉の組合せ試験も実施する。ここで、He 注入実験の主目的は、純粋な He（生成）量の効果を把握すること、イオン照射実験の主目的は He/dpa 比の影響を把握すること、組み合わせ照射試験の主目的は、照射損傷の履歴効果を把握することである。</p> <p><b>【研究開発項目（3）損傷指標と照射による材料の機械的特性変化との相</b></p> |                       |             |                |             |                |                     |               |                                     |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>関性の評価】</p> <p>各種材料試験により、損傷指標と材料の機械的特性との相関を明らかにする。また、微小試験片を用いた破壊試験技術の開発、微小試験片用クリープ試験及びクリープ疲労試験装置の開発を並行して行う。</p> <p>【研究開発項目（４） 損傷指標に基づく照射損傷の非破壊評価技術の開発】</p> <p>損傷指標と磁気特性及び表面弾性波応答特性との相関を明らかにし、各特性変化を利用した損傷進行監視技術の原理を提案する。</p>   |
| <p>2. 研究成果</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 成果</li> <li>・ 副次的な成果</li> <li>・ 論文、特許等</li> </ul> | <p>【研究開発項目（１） 損傷指標の開発】</p> <p>[得られた成果]</p> <p>原子力機構に既存の照射試験データ及び本事業で各機関が取得する各種試験データをデータベース化した。照射損傷範囲は、実炉照射材については弾き出し損傷量：～9 dpa、He 生成量：～35 appm、HIT によるイオン照射材については弾き出し損傷量：～10 dpa、He 注入量：～100 appm、サイクロトロン及びイオン注入機による He 注入材については He 注入量：～100 appm であり、データ数の総数は 1411 項目（内、本公募事業での新規取得データ数 992 項目）である。このように、想定適用範囲内における指標の妥当性評価に必要な体系的かつ広範な照射損傷データベースを構築することができた。構築したデータベースに基づき、現状で有力な損傷指標として、弾き出し損傷量、He 生成量、両者(He/dpa)の比、及び照射速度（弾き出し損傷速度、He 生成速度）の妥当性評価を行った結果、以下のことを明らかにした。</p> <p>短時間機械特性については、弾き出し損傷量の増加に伴い、降伏応力が増加し、破断伸びが低下することが認められた。弾き出し損傷速度効果については、HIT によるイオン照射実験において、照射温度：550℃、弾き出し損傷量：3 dpa、He 生成量：3 appm の条件について照射速度を 0.64、2.15、6.45 dpa/h の 3 段階に変化させた照射試料の短時間強度試験データ、及び実炉照射試験データに基づく検討の結果、顕著な効果は認められなかった。He 生成量の有効性については、特にサイクロトロンによる He 注入実験に関するデータベースに基づき検討したが、50 appm までの範囲では認められなかった。He 生成（注入）速度についても、サイクロトロンによる He 注入実験において、注入温度：550℃、He 注入量：10 appm の条件について、He 注入速度を 0.3 appm/h と 1.7 appm/h に変化させた照射試料の短時間強度試験データ、及び実炉照射試験データに基づく検討の結果、顕著な効果は認められなかった。He/dpa 比についても、HIT によるイオン照射実験に関するデータ及び実炉照射試験データに基づく検討の結果、想定適用範囲（弾き出し損傷量：～1 dpa、He 生成量：～30 appm）内では有効性は認められなかった。</p> <p>長時間機械特性であるクリープ特性については、弾き出し損傷量の増加に対して、クリープ寿命の低下が認められた。一般的に、クリープ特性については He 生成量が影響すると考えられている。しかしながら、単純な He 生成量とクリープ特性との相関は認められなかった。クリープ特性に影響するのは、特に結晶粒界に偏析した He だと考えられる。計算科学手法による検討結果からも、結晶粒界への He の偏析は、粒界強度を著しく低下させることが示された。一方、サイクロトロンおよびイオン注入機による He 注入実験において、316FR について約 100 appm まで He 単独注入しても、注入後の He は特に結晶粒界に偏析することなく、粒内に留まっていることが明らかになった。また想定適用範囲内においては照射後の微細組織への</p> |

He/dpa 比の効果が顕著でないこともわかった。これらの結果より、少なくとも想定適用範囲内(He 生成量：～30 appm)においては、クリープ強度特性と総量としての He(生成)量とは直接的な相関を求めることは困難であると結論した。但し、ばらつきは大きいもののクリープ強度特性の劣化傾向は He 生成量増加に伴い増大することも認められており、今後実効的な He 量(例えば、結晶粒界への He 偏析量)などの検討が必要であるものと考えられる。

なお、サイクロトロンによる He 注入実験において、オーステナイト鋼である 316FR と比較して、フェライト鋼である 12Cr 鋼中の方が、He がクラスター構造を組織し易い傾向が認められた。計算科学手法による検討の結果、これは主に、両材料中での点欠陥の移動度の差に起因している可能性が示された。

以上の検討の結果、照射損傷による短時間及び長時間強度特性変化の評価に最適な損傷指標として、弾き出し損傷量を選択した。また、損傷指標を設計評価に適用するために、弾き出し損傷量に基づく引張破断伸び及びクリープ寿命の低下の考慮方法を提案した。

#### 【研究開発項目(2) 損傷指標の妥当性確認のための試料の作製】

[得られた成果]

常陽及び JRR-3 での単独照射試験、及び我が国初であり世界でも希少な実炉組合せ照射試験(常陽⇒JRR-3、JRR-3⇒常陽、(JMTR)⇒常陽)を実施した。なお、(JMTR)⇒常陽では、過去に JMTR で照射した試料を常陽にて再照射した。主要な候補損傷指標である He 生成量の効果を調べるために、JRR-3 照射において He を短時間で発生させる <sup>10</sup>B を添加した 316FR を作製し、照射試験に供した。照射損傷量及び照射温度を評価した結果、常陽での照射については、弾き出し損傷量：0.8～1.7 dpa、He 生成量：0.26～1.2 appm、照射温度：487～565℃であった。また JRR-3 での照射については、弾き出し損傷量：0.1～0.2 dpa、He 生成量：1.7～35 appm(316FR および 2 種類の <sup>10</sup>B 添加 316FR)、8.7～9.9 appm(12Cr 鋼)、1.3～1.5 appm(SUS304)、照射温度：441～579℃であった。

He 注入実験では、316FR 及び 12Cr 鋼を対象に、サイクロトロン及びイオン注入機を用いて、550℃で最大 100 appm までの He 注入試料を作製した。陽電子寿命測定の結果から、316FR では 30 appm 以上、12Cr 鋼では 10 appm 以上の He 注入で、原子空孔及び空孔型クラスターのサイズ、密度が増加することが示されたが、He 注入量測定装置や透過型電子顕微鏡を用いた分析を実施した結果、100 appm まで He を注入しても、粒界脆化を引き起こすような欠陥には成長しないことを把握した。

HIT によるイオン照射実験では、照射温度(500、550、600℃)及び He/dpa 比(0、1、10)をパラメータとしたイオン照射試料を作製した。316FR について、He 注入量を 10 appm とした場合、He/dpa 比が 10 では透過型電子顕微鏡観察でキャビティの形成が認められないのに対し、He/dpa 比が 1 ではキャビティが認められるなど He/dpa 比の効果が認められたが、想定適用範囲内では顕著な影響は認められなかった。

以上で作製した試料を、「損傷指標と照射による材料の機械的特性変化との相関性の評価」、「損傷指標に基づく照射損傷の非破壊評価技術の開発」で実施する試験に供した。

**【研究開発項目（3） 損傷指標と照射による材料の機械的特性変化との相関性の評価】**

未照射材について微小試験片(SS-3 試験片、SSS-3 試験片)と JIS 標準試験片の引張試験、クリープ試験結果を比較した結果、試験片形状の違いによる試験結果の補正の必要はないことを示した。

短時間機械特性と損傷指標の相関性を検討した結果、次のことを明らかにした。実炉照射試料における硬さ試験の結果では、弾き出し損傷量の増加に伴う照射硬化が確認された。また、引張試験においても弾き出し損傷量と硬化及び延性の低下に相関が認められた。550℃で約 50 appm までのサイクロトロンによる He 注入試料についても、硬さ、引張試験を実施したが、約 50 appm までの He 注入による変化の程度は小さかった。HIT によるイオン照射試料については、微小硬さ試験を実施した。その結果、弾き出し損傷量に依存して単調に照射硬化すること、想定適用範囲内では、He 注入量、He/dpa 比の影響は認められないことを示した。

長時間機械的特性については、微小試験片用クリープ/クリープ疲労試験装置を開発し、JMTR ホットラボ内のホットセル内に整備した。長時間機械特性と損傷指標の相関性を検討した結果、弾き出し損傷量に伴い、クリープ寿命が低下すること、He 生成量とクリープ寿命の間に単純な相関性は認められないことを明らかにした。

**【研究開発項目（4） 損傷指標に基づく照射損傷の非破壊評価技術の開発】**  
[得られた成果]

磁気特性に基づく評価については、磁束密度測定装置や遠隔操作式振動試料型磁力計等の磁気特性分析装置を用いて、受入れ材、熱時効材及び照射試料に対する磁気特性分析を実施した。なお、遠隔操作式振動試料型磁力計については、本事業において新たに開発した。磁気特性のうち、磁束密度と約 1 kOe 以上の磁場を印加した状態での磁化（磁場印加中磁化）が弾き出し損傷量と共に単調に増加すること、また保磁力は弾き出し損傷量が増加するにしたがって単調に減少することを明らかにし、これらの複数の磁気特性と弾き出し損傷量の良い相関性があることを示した。一方、He 生成量に関しては、いずれの磁気特性とも相関は認められなかった。磁気特性は、相変化や格子間隔の変化により変化することから、弾き出し損傷に伴う格子の乱れに関係して変化しているものと考えられる。

表面弾性波応答に基づく評価については、照射試料の測定が可能な表面弾性波測定装置を新たに開発し、同装置を用いて、照射試料について表面弾性波応答特性を計測した。HIT イオン照射材に関する表面弾性波伝播速度測定結果からは、損傷指標の想定適用範囲内において、表面弾性波伝播速度が弾き出し損傷量及び He 注入量とともに増加することを示した。サイクロトロンによる He 注入試料に関する表面弾性波伝播速度測定からは、He 注入量とともに表面弾性波伝播速度が増加することを確認した。また、表面弾性波励起用レーザーのパワーと励起された表面弾性波の振幅の関係を調べた結果、表面弾性波振幅のレーザー・パワーへの依存性が、He 注入量によって変化することを示した。以上のように、表面弾性波応答特性は、弾き出し損傷量と He 量のいずれとも相関することを明らかにした。

**【(1) 損傷指標の開発】**における検討の結果、弾き出し損傷量が損傷指標として選ばれた。そこで、磁気特性及び表面弾性波応答特性について得ら

れた知見に基づき、以下に示す弾き出し損傷量を対象とした照射損傷非破壊検知システム原理を提案した。提案するシステムでは、サーベイランス試験片に対して、まず遠隔操作式振動試料型磁力計による測定を実施し、磁場印加中磁化及び保磁力を用いて弾き出し損傷量を推定する。次に表面弾性波伝播速度測定を実施し、He 生成量からの寄与がないと仮定して、弾き出し損傷量を推定する。想定適用範囲内においては、He 生成量、弾き出し損傷量ともに表面弾性波伝播速度を増加させる効果があるため、He 生成量からの寄与がないと仮定することにより、弾き出し損傷量を保守的に推定することができる。最後に、両者の推定結果を比較することにより、複数の特性に基づいた信頼性の高い弾き出し損傷量の評価を行う。

#### 【事業全体】を通して

開発指標に基づき照射損傷設計評価法及び照射損傷非破壊検知システムの原理を提案した。なお前者については、代表プラントの評価を実施したうえで、その適用範囲及び課題を示した。データのさらなる蓄積やそれに基づく詳細分析が必要であるものの、設計評価、プラント稼働後の経年評価、保全管理に至るまで統一的に適用可能な照射損傷評価指標を開発できたことにより、プラント寿命管理の合理化が期待できる。

なお、実炉照射データ取得を含む照射損傷に対する設計指標を提案しようという研究主題に比して、本研究は3年度間という極めて短期的な計画であったこともあり、データ取得は母材に限定している。一方、長寿命革新炉用材料強度基準と設計基準を構築するためには、炉容器や炉内構造物に関する溶接構造部に対しても同様な評価が不可欠であり、溶接構造部を主対象とした合理的で安全性が高い構造設計基準作りを進める必要がある。

#### 【論文、特許等】

##### 受賞

- [1] 日本保全学会第6回学術講演会第3回産学協同セッション銀賞、高屋ら、「照射損傷評価のための遠隔操作式振動試料型磁力計の開発」(2009).

##### データベース化

- [1] 照射損傷データベース（既存照射試験データ及び公募での取得データをデータベース化、データ数：1411項目）

##### 投稿論文

- [1] 高屋ら、「照射損傷評価のための遠隔操作式振動試料型磁力計の開発」、日本保全学会誌、投稿中。
- [2] S. Takaya et al., “Nondestructive Evaluation of Neutron Irradiation Damage on Type 316 Stainless Steel by Measurement of Magnetic Properties”, Int. J. Appl. Electromag. Mech, submitted.

##### 口頭発表

- [1] 青砥ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発（1）プロジェクトの目的と計画概要」、日本原子力学会 2007年秋の大会（2007）G9.
- [2] 松井ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発（2）実炉組合照射（JRR-3⇔常陽）及びホット施設（WASTEF、JMTR-HL、MMF、FMF）作業の計画と実施」、日本原子力学会 2007年秋の大会（2007）G9.

|  |  |
|--|--|
|  | <p>[3] 野上ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (3) サイクロトロンによる He 注入実験と解析」、日本原子力学会 2007 年秋の大会 (2007) G10.</p> <p>[4] 岩井ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (4) 二重イオンビーム同時照射法によるヘリウム効果の評価」、日本原子力学会 2007 年秋の大会 (2007) G11.</p> <p>[5] 加藤ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (5) 微小試験片による未照射材料の強度試験」、日本原子力学会 2007 年秋の大会 (2007) G12.</p> <p>[6] 高屋ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (6) 磁気特性に基づく照射損傷非破壊評価」、日本原子力学会 2007 年秋の大会 (2007) G13.</p> <p>[7] 北澤ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (7) 表面弾性波応答による非接触非破壊照射損傷評価」、日本原子力学会 2007 年秋の大会 (2007) G14.</p> <p>[8] 山口ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (8) 第一原理計算による He 粒界脆化の研究」、日本原子力学会 2007 年秋の大会 (2007) G15.</p> <p>[9] 若井ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (9) 照射損傷指標と損傷進行監視技術の研究開発」、日本原子力学会 2007 年秋の大会 (2007) G16.</p> <p>[10] 山口ら、「第一原理計算による粒界脆化の研究」、第 17 回 CCSE ワークショップ (2008).</p> <p>[11] 青砥ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (1) プロジェクトの概要」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A19.</p> <p>[12] 松井ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (2) 実炉組合照射 (JRR-3⇔常陽) 及びホット施設 (WASTEF、JMTR-HL、MMF、FMF) 作業の報告」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A20.</p> <p>[13] 宇佐美ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (3) WASTEF を利用した JRR-3 再照射用キャプセルの組立・解体技術」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A21.</p> <p>[14] 高田ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (4) 遠隔操作型微小クリーブ試験による組合せ照射材の照射後試験」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A22.</p> <p>[15] 岩井ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (5) HIT による損傷指標評価」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A23.</p> <p>[16] 若井ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (6) 実炉中性子照射及びサイクロトロン He 注入等による照射損傷指標の評価」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A24.</p> <p>[17] 鈴木ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (7) ヘリウム-空孔型クラスター成長シミュレーション」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A25.</p> <p>[18] 永江ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (8) 各損傷指標と機械的特性」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A26.</p> <p>[19] 北澤ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (9) 非破壊検査技術 1 (表面弾性波応答測定)」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A27.</p> <p>[20] 高屋ら、「長寿命プラント照射損傷管理技術に関する研究開発 (10) 非破壊評価技術 2 (磁気特性に基づく評価)」、日本原子力学会 2009 年春の年会 (2009) A28.</p> |
|--|--|

|   |   |
|---|---|
|   | <p>[21] S. Takaya et al., “NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF NEUTRON IRRADIATION DAMAGE ON AUSTENITIC STAINLESS STEELS BY MEASUREMENT OF MAGNETIC FLUX DENSITY”, Proc. of the 17<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Engineering, (2009) ICONE17-75215.</p> <p>[22] 高屋ら、「照射損傷評価のための遠隔操作式振動試料型磁力計の開発」、日本保全学会第6回学術講演会(2009) pp.440-445.</p> <p>[23] S. Takaya et al., “Nondestructive Evaluation of Neutron Irradiation Damage on Type 316 Stainless Steel by Measurement of Magnetic Properties”, Proc. of 14<sup>th</sup> International Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (2009).</p> <p><u>報告書</u></p> <p>[1] A. Hasegawa et al., “Evaluation of Helium Effect on Candidate Structural Materials for Next Generation Long-life Nuclear Plant”, CYRIC (Cyclotron and Radioisotope Center) Annual Report 2006 (2007) pp.25-33.</p> |
| <p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実施計画の進捗</li> <li>・革新的なブレイクスルー</li> <li>・成果及び発展性</li> </ul> | <p><b>【実施計画の進捗】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画は順調に進捗し、大きな成果が得られている。さらに、実施中、外部コメントに対応して元々の計画になかった照射速度影響確認に関する追加実験も行い、成果を充実させた。</li> </ul> <p><b>【革新的なブレイクスルー】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FaCTの基本目標の内、「経済性」に関連の強い、構造材料照射損傷評価指標や照射監視技術に関して、有益な知見が得られた。</li> </ul> <p><b>【成果及び発展性】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・計画した検討内容に対して十分な成果が得られた。複数の炉型で照射を行う実炉組み合わせ試験技術の確立は、今後の将来炉向け照射データ取得に適用しうるもので、波及効果が期待される。</li> <li>・長寿命次世代炉の設計を行うにあたり有用な知見が得られ、将来炉の構造設計基準への反映が期待される。</li> </ul>  |
| <p>4. その他</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・実炉の組み合わせ照射を短時間に実施するなど照射技術手法等に大きな進展が見られる。今後は照射温度やスペクトルの違いなども取り入れた複雑な照射環境効果のシミュレーションも期待する。</li> </ul>   |