

原子力システム研究開発事業 ー基礎研究開発分野ー
若手対象型 事後評価総合所見公表用フォーマット

<p>研究開発課題名（研究機関名） 照射の複合作用を考慮した新しい材料損傷評価法の開発 （独立行政法人日本原子力研究開発機構）</p> <p>研究開発担当者 機関名：独立行政法人日本原子力研究開発機構 総括代表者：三輪 幸夫</p> <p>研究期間及び予算額 平成17年度～平成19年度（3年計画） 75,657 千円</p>	
項 目	要 約
<p>1. 当初の目的・目標</p>	<p>革新的高速炉の炉内構造材は、従来炉よりも厳しい照射環境で使用されるため、腐食による脆性的な破壊である照射誘起応力腐食割れ（IASCC）や照射下クリープ及びスエリングによる寸法変化を生じ、構造物としての健全性維持が困難となる可能性がある。</p> <p>IASCC や構造材の寸法変化等のマクロ的な材料損傷現象は、材料の弾き出し損傷に起因する照射硬化、照射誘起偏析、スエリング及び照射誘起応力緩和（照射クリープ）等のミクロな材料変化が複合した結果として生じる。照射硬化及び照射誘起偏析は照射量の増大と共に増加し、スエリングは照射量が一定の値を超えた後に急激な増加を開始するという個々に特徴のある照射量依存性を示す。また、マクロ的な材料損傷を生じさせるためには、ミクロな材料変化と共に、高い残留応力の存在が必要であるが、この残留応力は照射誘起応力緩和により経時的に低下する。これらの要素ごとの複雑な照射量依存性のため、照射量の増加と共に材料損傷を生じる確率が単調に高くなるという事には成らない。さらに、IASCC の支配要因の一つである腐食特性は、照射量のみならず、照射温度と残留応力の影響も受けることから、それらの複合作用の定量化が必要である。</p> <p>本研究開発事業では、水冷却型及び液体金属冷却型高速炉の構造材料（オーステナイト系ステンレス鋼）の材料劣化現象の時間依存性と複合作用を考慮した新しい材料損傷評価法を開発する。具体的には、残留応力存在下での照射硬化、照射誘起偏析、局所耐食性変化、照射誘起応力緩和及びスエリングの照射温度、照射量及び残留応力レベル依存性をイオン照射試験により定量評価し、これらの要素毎に劣化挙動をモデル化し、それらを統合し、原子炉構造物を模擬した構造モデルに対して材料損傷挙動をシミュレーションするコードを作成し、シミュレーションを行うことで新しい材料損傷評価法の概念を構築する。</p> <p>本事業は、以下の2つの項目について研究開発を実施した。</p> <p>【1. 照射劣化挙動の定量評価】</p> <p>①合金作製及び試験片加工</p> <p>革新的高速炉の炉内構造材料として考えられている SUS316 及び SUS316L 鋼ならびに照射効果の特異性を比較するモデル合金を作製し、引張強度、硬さ、ミクロ組織などの基礎データを取得する。</p> <p>②イオン照射試験</p>

	<p>塑性変形を拘束した条件下でイオン照射試験を行うための技術を開発する。開発した技術を用いて、革新的高速炉の照射条件である照射量（0～数 10dpa）、照射温度（330～550℃）及び残留応力付与条件（圧縮～引張）でイオン照射試験を行う。</p> <p>③マイクロ組織観察</p> <p>(ア)照射量及び照射温度依存性の影響評価 イオン照射試験片を用いて、照射硬化、照射誘起偏析及びスエリングの照射量及び照射温度依存性が残留応力レベルにより変化する挙動を定量化する。照射中の熱時効の影響を別途評価し、照射の影響のみを抽出する。</p> <p>(イ)残留応力の影響評価 イオン照射試験片を用いて、残留応力の照射誘起応力緩和におよぼす応力レベルと照射量及び照射温度依存性を定量化する。照射中の熱時効の影響を別途評価し、照射の影響のみを抽出する。</p> <p>(ウ)腐食特性に及ぼす照射・応力の複合作用の評価 イオン照射試験片を用いて、電気化学的腐食試験及び 330℃ 高温水中試験により腐食特性を定量化する。照射中の熱時効の影響を別途評価し、照射の影響のみを抽出する。</p> <p>【2. 照射劣化挙動モデルの統合による材料損傷挙動シミュレーションモデルの構築】</p> <p>①要素モデルの開発 残留応力がない条件で中性子照射された材料の文献データから、照射硬化、照射誘起偏析、照射誘起応力緩和及びスエリングのデータベースを作成する。 弾き出し損傷量と核変換生成 H 及び He の生成量を計算するコードを整備し、炉内構造物の照射損傷を供用時間スケールでモデル化する。</p> <p>②シミュレーションコードの開発 各要素モデルを統合した材料損傷挙動予測モデルを開発し、炉内構造物を模擬した形状の構造モデルについて IASCC による損傷挙動を供用期間スケールでシミュレーションできるプログラムを作成する。このシミュレーションにより新しい材料損傷評価法の概念を構築する。</p>
<p>2. 研究成果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・当初予定の成果 ・特筆すべき成果 ・副次的な成果 ・論文、特許等 	<p>【事業項目 1】照射劣化挙動の定量評価</p> <p>①合金作製及び試験片加工 イオン照射試験に用いる合金として、革新的高速炉の炉内構造材料として考えられている SUS316 及び SUS316L 鋼ならびに照射硬化を抑制し耐食性を向上させるために 0.7wt.% の Al を SUS316L に添加したモデル合金の 3 鋼種を作製した。これら合金を用いて、常温から高温での引張試験、ナノインデントによる硬さ試験、透過型電子顕微鏡（TEM）によるマイクロ組織観察、エネルギー分散型元素分析装置（EDS）付き TEM 及び 3 次元アトムプローブ（3DAP）による粒界などの局所化学組成分析</p>

を行い、3鋼種ともほぼ同様な機械的特性及びマイクロ組織・化学組成を有することを確認した。

②イオン照射試験

上記合金の薄板試験片を凹又は凸状に一定の曲率で曲げその変形を拘束するイオン照射試験用治具を開発した。この治具を用いて試験片に2%の圧縮ひずみ、ひずみ付与無し、2%及び7%の引張ひずみを与えることで-200、0、200及び300MPa程度の残留応力が付与されることを確認し、さらに室温及びイオン照射試験温度で時効後の残留応力測定により残留応力がイオン照射試験で予想される温度及び時間では回復しないことを確認した。

上記の3種の合金の圧縮又は引張残留応力を付与した試験片に、12MeVのNi³⁺イオンにて330、400及び550℃の温度で1、6、12及び45dpaの弾き出し損傷を与え、照射による材料劣化挙動を調べるための試験片とした。

③マイクロ組織観察

(ア)照射量及び照射温度依存性の影響評価

上記のイオン照射試験片を用いて、ナノインデントにより照射硬化挙動の照射温度及び照射量依存性に及ぼす残留応力の影響を定量評価した。SUS316鋼では残留応力が照射硬化挙動に及ぼす影響は小さいが、SUS316L鋼では330及び400℃照射で残留応力の存在により照射硬化が抑制され、一方550℃照射では照射硬化を促進することを明らかにした。Al添加合金は330℃照射で残留応力の有無によらず照射硬化を抑制すること、400℃照射で残留応力により45dpa照射後に照射硬化が促進し、550℃照射で残留応力により照射硬化が抑制されることを明らかにした。

また、イオン照射試験と同じ温度条件で熱時効した合金を用いて、熱時効が引張特性及び硬さに影響しないことを確認した。これらの硬さ変化挙動に及ぼすマイクロ組織の影響を明らかにするためTEMによる組織観察を行い、残留応力がない場合及び引張残留応力を付与した場合には、照射硬化は主に照射欠陥の形成に支配されていることを明らかにした。しかし、圧縮残留応力を付与した場合には、照射欠陥がほとんど観察されず、転位線密度が増加することが照射硬化の支配因子であることを明らかにした。圧縮応力の付与により、照射材特有のミクロ的塑性変形機構の発現を防止し、照射脆化を抑制できる可能性を発見した。これらにより、シミュレーションモデルで使用する照射硬化に関する要素モデル開発のためのデータを取得できた。

イオン照射試験片を用いて、3DAP及びEDS付きTEMにより照射誘起偏析に及ぼす残留応力の影響を定量評価した。この評価のために、イオン照射材のような数・mスケールの局所的損傷領域から3DAP観察用の試験片を作製する技術を開発した。そして、残留応力により照射欠陥の形成挙動が異なり、照射欠陥の周囲にてCr濃度が低下しNi及びSi濃度が増大する挙動も僅かに異なることを、3DAPにより明らかにした。さらに、照射誘起偏析量の違いを(ウ)に述べる電気化学的

腐食試験による結果と比較し、欠陥シンクでの僅かな偏析量の違いが腐食挙動に大きく影響していることを明らかにした。さらに、イオン照射試験と同じ温度条件で熱時効した合金を用いて、熱時効が局所的な合金元素の偏析を生じ無いことを EDS 付き TEM により確認した。これらの結果と (ウ)での電気化学的腐食試験結果を用いて、シミュレーションモデルで使用する照射誘起偏析に関する要素モデル開発のためのデータを取得できた。

イオン照射材を用いて、原子間力顕微鏡 (AFM) によりスエリングにより生じる照射部と非照射部の間の表面段差を測定し、スエリングに及ぼす残留応力、照射温度及び照射量の影響を定量評価した。スエリングは SUS304 及び SUS316L を 550°C で 45dpa まで照射した試験片で観察され、その他の条件では観察されなかった。このスエリング挙動に残留応力の影響が無いことを明らかにした。これらにより、シミュレーションモデルで使用するスエリングに関する要素モデル開発のためのデータを取得できた。

上記結果のように、炭素添加又はアルミ添加により照射の複合作用の挙動に大きな違いが生じた。これは、添加元素が初期予想通り点欠陥の生成・拡散に影響した結果と考えられた。C は Fe、Cr などと結合し易いためこれらの拡散を抑制し欠陥クラスターの核を形成し易くさせ、Al は Ni と結合し易いが拡散を抑制しないためシンクなどの析出を促進させたためと考える。これらクラスターは大きさが異なるため、外部からの引張・圧縮応力などで格子間距離変化することで、その拡散機構が変化することが考えられた。よって、相乗効果のような比較的単純な残留応力レベル依存性ではなく、複雑な照射挙動を示すことになったと考えられた。この知見は、これまでの照射損傷に関する知見では説明できず、学会等で追試の必要性や様々な議論をしていただいた。照射損傷に関する今後の基礎研究のトピックスの 1 つになると考える。

(イ) 残留応力の影響評価

イオン照射試験片の残留応力を X 線回折装置により測定し、残留応力の照射誘起応力緩和挙動の応力レベル依存性と照射温度及び照射量依存性を定量評価した。SUS316L 鋼を用いて -200~300MPa の残留応力レベル依存性を調べた結果、降伏応力程度の ±200MPa の残留応力は約 6dpa の照射後には消失することを明らかにした。300MPa の残留応力は、±200MPa の残留応力より応力緩和しにくい可能性が考えられた。残留応力の照射誘起応力緩和は、330 及び 550°C の照射温度よりも 400°C の照射温度で遅くなることを明らかにした。一方、アルミ添加合金では 1dpa の照射により残留応力が消失することを明らかにした。また、非照射材の熱応力緩和挙動をイオン照射試験片と同じ曲げ変形を拘束する条件及び単軸引張条件で測定し、熱による応力緩和を定量評価し、照射の影響のみを抽出した。これらにより、シミュレーションモデルで使用する照射誘起応力緩和に関する要素モデル開発のためのデータを取得できた。

照射の複合作用の合金種、照射温度、照射量及び残留応力レベルの違いによる複雑な挙動は、上記(ア)と同じマイクロ組織変化過程の複雑な相互作用の結果であり、このような挙動は本研究で発見したものである。従って、今後のより基礎的な研究により解明して行く必要がある。

(ウ)腐食特性に及ぼす照射・応力の複合作用の評価

イオン照射試験片を用いて、電気化学的腐食試験により耐食性劣化に及ぼす残留応力、照射温度及び照射量の影響を定量評価した。SUS316L 鋼では 330℃照射の場合、残留応力の存在により耐食性劣化が 6dpa までは抑制されることを明らかにした。SUS316 鋼では、各照射温度で残留応力が耐食性に与える影響は小さいことが分かった。Al 添加合金では 550℃で 12dpa 照射しても引張残留応力を付与した場合には、粒界腐食が起こらないことを明らかにした。一方、これら合金をイオン照射試験と同じ温度条件で熱時効した後、電気化学腐食試験を行い熱時効だけでは耐食性劣化は無視できるレベルであることを確認した。また、溶存酸素を 10ppm 含む 330℃の高温水中で材料にひずみを与えて腐食試験を行い、SUS316L 鋼では残留応力無しでイオン照射試験を行った試験片に比べ、残留応力を与えてイオン照射試験を行った試験片で粒界腐食が生じるようになることを明らかにした。これらにより、シミュレーションモデルで求める材料の劣化度と IASCC 感受性の関係が得られた。

照射の複合作用の合金種、照射温度、照射量及び残留応力レベルの違いによる複雑な挙動は、上記(ア)と同じマイクロ組織変化過程の複雑な相互作用の結果であり、このような挙動は本研究で発見したものである。従って、今後のより基礎的な研究により解明して行く必要がある。

【事業項目 2】照射劣化挙動モデルの統合による材料損傷挙動シミュレーションモデルの構築

①要素モデルの開発

イオン照射試験では、照射速度や一次弾き出し原子のエネルギースペクトルが中性子照射とは異なる。イオン照射実験の結果から中性子照射の場合での材料劣化挙動をモデル化するため、中性子照射試験データの文献調査を行い、そのデータを既存のデータベース (JMPD) に投入した。投入したデータは、照射硬化、照射誘起偏析、スエリング及び照射誘起応力緩和について文献数でそれぞれ 20、24、24 及び 10 件である。

従来の知見に基づき照射硬化、照射誘起偏析、スエリング及び照射誘起応力緩和挙動に対して機構論に基づいた要素モデルを作成し、残留応力無しでイオン照射した試験片のデータと上記データベースから抽出した中性子照射材のデータを比較し、モデルパラメーターのフィッティングを行った。また、残留応力の影響はイオン照射試験データの相对比较により要素モデルに取り込んだ。これらにより、照射の複合作用をシミュレーションするコードを開発するための要素モデルを開発した。

材料が使用される照射損傷環境を明らかにするため、弾き出し損傷量と核変換生成 H 及び He の生成量計算プログラムを整備した。そして、

公開文献に示された水冷却型及び液体金属冷却型高速炉の中性子エネルギースペクトルを用いて、炉内構造物の供用時間スケールで、弾き出し損傷量及び核変換 H 及び He 生成量を計算した。この計算結果から、対象とする原子炉の炉内構造物では弾き出し損傷が主であり、核変換 H 及び He の生成の影響は無視できることを確認した。これらによりシミュレーションモデルで計算に使用するモデルを決定できた。

②シミュレーションコードの開発

各要素モデルを統合する材料損傷挙動予測モデルを検討した。残留応力レベルが照射硬化、照射誘起偏析、スエリング及び照射誘起応力緩和挙動の照射温度及び照射量依存性に及ぼす複雑な影響を統合するため、有限要素法による計算コードを用いることとし、有限要素法を適用出来るように要素モデルを改良した。有限要素法による計算で最も重要となる応力-ひずみ曲線については、照射硬化により照射量に依存して複雑に変化する。しかし、各照射量において各照射温度の真応力-真ひずみ曲線を多くの条件で個別に与えることは困難である。そこで、280～550℃の温度範囲で 0～45dpa の弾き出し損傷範囲について 2 種類の式で真応力-真ひずみ関係を与えられるモデルを開発した。また、文献調査により、照射誘起応力腐食割れを生じる残留応力、照射硬化及び照射誘起偏析の関係をモデル化した。

シミュレーションを行う炉内構造物として拘束条件の異なるシュラウド及び炉内計装管を選択し、これらの形状を模擬した構造モデル要素プログラムを作成した。この構造モデルには、照射誘起応力腐食割れの発生条件の 1 つである溶接残留応力を与えた。また、上記のモデルを組み込んだ有限要素法による材料損傷挙動予測のシミュレーションプログラムを作成した。これらのプログラムの評価を行うため、残留応力無しと 200MPa 残留応力を与えイオン照射試験した試験片に約 200MPa の応力を負荷し 330℃の高温水中腐食試験した結果との比較を行った。しかし、高温水中試験結果はこれまでの知見から想定されるような挙動とはことなり、シミュレーションにて実験結果を再現することは出来なかった。従って、IASCC 発生には新たな因子の考慮が必要であり、それをモデル化する必要があることが分かった。シミュレーションは、これまでの知見に基づき照射硬化と照射誘起偏析の影響を考慮して行うことを選択した。そして、残留応力の照射誘起応力緩和と残留応力レベルにより材料劣化挙動の照射量依存性が変化することのお互いに影響しあう照射の複合作用をシミュレーションした。その結果、材料損傷挙動に及ぼす照射の複合作用がない場合には供用期間の初期に IASCC が生じる可能性が高くなり、照射の複合作用がある場合には供用期間初期の IASCC 発生確率が小さくなりかつ IASCC 発生確率が小さい期間が長くなることを明らかにした。また、構造物の複雑な熱応力分布や照射誘起応力緩和分布の存在及び残留応力の影響により照射硬化挙動が変化し応力が複雑に再分配することにより、材料損傷挙動が構造物の形状により複雑に変化する可能性があることを明らかにした。これらにより、材料の損傷を評価する場合には、照射の複合作用を取り入れた新しい材料損

傷評価法を用いた検討が重要であることを明らかにした。シオンモデルの構築

【事業全体】を通して

材料の照射による劣化挙動に及ぼす照射の複合作用を、革新的高速炉の候補材料 SUS316L などについて、実験により明らかにし、定量データを取得し、そのデータに基づき照射硬化、照射誘起偏析、スエリング及び照射誘起応力緩和挙動をモデル化した。この材料劣化挙動のモデルに加え、革新的高速炉の照射環境を求める計算コードを開発し、照射損傷を供用期間スケールでモデル化した。これらのモデルを材料損傷挙動モデルにまとめ、有限要素法による計算コードで炉内構造物を模擬した形状の構造モデルを用い、照射の複合作用のシミュレーションを実施した。その結果、実機炉内構造物のような複雑な形状の構造物が変形拘束、熱応力及び溶接残留応力を有している場合に、残留応力が照射誘起応力緩和の影響を受け、残留応力により照射硬化挙動が変化し、これらの変化により応力の再分配の挙動が変化し、それにより熱応力及び残留応力分布が変化すると言った相互に複雑に影響しあう現象が起こることを明らかにした。例えば、残留応力が高い場合には照射の複合作用を考慮しない場合に比べ照射の複合作用を考慮した場合の IASCC 発生時期が非安全側になること、残留応力が低い場合には逆になることがシミュレーションより明らかとなった。これを予測するためにはシミュレーションを行い、照射の複合作用による材料の損傷挙動を考慮した新しい材料損傷評価が重要であることを示した。

また、照射硬化の特異性を比較するために作製した SUS316L に Al を添加したモデル合金は、SUS316 及び SUS316L に比べて照射による材料劣化が小さくなり、照射誘起応力緩和により要因残留応力が消失することを明らかにした。これにより、Al 添加により照射による材料劣化を抑制できる可能性を示した。

論文、特許等については、以下のとおりである。

1. 論文発表

- Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering、H20 年 1 月 31 日、New evaluation method of material degradation considering synergetic effects of radiation damage、Y. Miwa, Y. Kaji, N. Okubo, K. Kondo, T. Tsukada
- 日本原子力研究開発機構が発行する高崎量子応用研究所研究年報への論文投稿、H20 年 12 月発行予定、Corrosion Behavior of Type 316L Stainless Steel Ion-irradiated under Strain Condition、K. Kondo, Y. Miwa, N. Okubo, Y. Kaji, T. Tsukada

2. 口頭発表

- 日本金属学会 2006 年秋期（第 139 回）大会、平成 18 年 9 月 17

	<p>日、ステンレス鋼の照射による硬化に及ぼす残留応力の影響、大久保成彰、三輪幸夫、近藤啓悦、加治芳行</p> <ul style="list-style-type: none"> • 日本原子力研究開発機構主催の第2回高崎量子応用研究シンポジウム、平成19年6月21日、塑性変形拘束下でイオン照射したSUS316L鋼の腐食特性評価、近藤啓悦、三輪幸夫、大久保成彰、加治芳行、塚田隆 • 13th Int. Conf. Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power、平成19年8月20日、THE EFFECTS OF RESIDUAL STRESS ON CORROSION BEHAVIOR OF ION IRRADIATED TYPE 316L STAINLESS STEEL、K. Kondo, Y. Miwa, N. Okubo, Y. Kaji, T. Tsukada • 日本原子力学会2007年秋の大会、平成19年9月19日、変形拘束下でイオン照射したステンレス鋼の腐食特性、近藤啓悦、三輪幸夫、大久保成彰、加治芳行、塚田隆 • IAEA主催のSecond International Symposium on Nuclear Power Plant Life Management、平成19年10月15-18日、Development of damage evaluation method considering radiation induced stress relaxation、Y. Kaji, Y. Miwa, N. Okubo, K. Kondo, T. Igarashi, T. Tsukada • 日本機化学会 M&M2007 材料力学カンファレンス、平成19年10月26日、照射の複合作用を考慮した新しい材料損傷評価法の開発、三輪幸夫、加治芳行、大久保成彰、近藤啓悦、塚田隆 • 13th Int. Conf. on Fusion Reactor Materials、H19年12月11日、Effect of residual stress on radiation hardening in stainless steels、N. Okubo, Y. Miwa, K. Kondo, Y. Kaji • 日本原子力学会2008年春の年会、平成20年3月27日、イオン照射したステンレス鋼の腐食特性に及ぼす変形拘束の影響、近藤啓悦、三輪幸夫、大久保成彰、加治芳行、塚田隆 • 保全学会第5回学術講演会、平成20年7月10-12日、炉内構造物の予防保全に向けた照射誘起応力腐食割れ挙動に与える残留応力の影響評価手法の検討、三輪幸夫、近藤啓悦、大久保成彰、加治芳行 • 日本原子力学会2008年秋の年会、平成20年9月4日、塑性変形下でイオン照射したSUS316L鋼の腐食特性、近藤啓悦、三輪幸夫、大久保成彰、加治芳行、塚田隆 • 日本原子力研究開発機構が主催する第3回高崎量子応用研究シンポジウム、H20年10月9-10日、ひずみ付与下でイオン照射したSUS316Lステンレス鋼の腐食特性、近藤啓悦、三輪幸夫、大久保成彰、加治芳行、塚田隆
--	---

<p>3. 事後評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目的・目標の設定の妥当性 ・研究計画設定の妥当性 ・研究費用の妥当性 ・研究の進捗状況 ・研究交流 ・研究者の研究能力 	<p>【目的・目標の設定の妥当性】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉の設計・運転管理においては、中性子照射、腐食等の複合的な実機使用環境を加味した構造材料の損傷評価が必要・不可欠であり、このような材料損傷評価法を開発しようとした本事業の目的・目標は適切である。 <p>【研究計画設定の妥当性、研究の進捗状況】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・たくさんの実験を精力的にこなしており、計画通りに進捗したと考える。 <p>【研究交流、人材育成、研究者の研究能力、成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・複雑な現象を統合化させるモデルを構築しようとする試みは挑戦的であり、評価できるが、複雑な現象を考えるあまり、モデルの検証が不十分であるように思われる。 ・たくさんの実験やデータ解析をこなしており、たくさんの成果を得ている。ただし、イオン照射のデータの分散が大きいため、データの信頼性についてさらに検討する余地があると考えられる。 ・本事業に従事した若手研究者による成果の外部発表は精力的に行われており、人材育成における成果があったといえる。
<p>4. その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・応力腐食割れ感受性に及ぼす照射影響を総合的・複合的な視野から調査することを目指した研究であり、得られた結果は今後の展開を大いに期待させる内容である。今後は、複合効果による耐食性劣化発現の抑制機構を明らかにする必要がある。照射による応力緩和や照射硬化、照射誘起偏析、スウェリングの照射量依存性と IASCC の照射量依存性の系統的な実験、および照射後焼鈍に伴う照射影響の回復に対応した IASCC 挙動変化の追跡は重要な実験となる。溶存水素など水化学の影響やポテンシャルも重要なファクターと考えられる。核変換ヘリウムバブルの粒界での析出に伴う粒界脆化との関わりは、ニッケルを多量に含むオーステナイト鋼においては最重要課題となる可能性も念頭に置き、高照射量域での損傷挙動予測のための研究を継続してもらいたい。
<p>5. 総合評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉内材料の照射・腐食環境による複合作用を加味した新規性のある材料損傷評価法を考案し、代表的な炉内構造モデルに対する損傷挙動シミュレーションコードを開発するなど、本事業で対象とした革新的高速炉のみならず、現在高経年化が進む軽水炉の炉内構造物の維持管理等への応用が今後期待される。 ・ただし、個々のデータとその評価については必ずしも十分でない点もあるので、個々のデータとその評価にもう少し工夫してもらいたい。今後、本モデルの実機条件での検証が期待される。

- | | |
|--|---|
| | <p>A) 想定以上の成果が得られ、今後が大いに期待できる。</p> <p>B) 想定通りの成果が得られ、今後が期待できる。</p> <p>C) 想定通りの成果が一部得られなかった。</p> <p>D) 想定通りの成果が全く得られなかった。</p> |
|--|---|