

材料部会セッション

材料照射研究の次の10年に向けたアクションプラン
Action plan for the next decade of material irradiation research

(3) 原子炉圧力容器の照射影響評価の現状と展望

(3) Current status and prospects of irradiation effect evaluation of reactor pressure vessel

*野本 明義¹¹電力中央研究所**1. 緒言**

原子炉圧力容器は運用中に中性子の照射を受けることで靱性が低下する（照射脆化）。照射脆化は原子炉の構造健全性に直結する照射影響事象であり、原子力プラントの長期運転には照射脆化の理解と適切な評価が重要となる。ここでは圧力容器の照射脆化研究と健全性評価の現状と展望について述べる。

2. 圧力容器鋼の照射脆化

圧力容器鋼では中性子照射により鋼材中に生じるナノメートルスケールの金属組織変化が脆化に寄与することが知られており、現在では、溶質原子クラスターやマトリックス損傷（転位ループ、点欠陥と添加元素の複合体など）の形成が照射脆化の主要因と考えられている。照射脆化機構の理解が進むに伴い、以前は照射脆化データの統計分析に基づく手法が主流であった脆化予測法開発にも脆化機構が反映されるようになり、米国やフランスで規格等に採用されている。日本においては日本電気協会技術規程 JEAC4201で脆化機構を考慮した予測法が採用されている。照射脆化研究は長期運転を見据えた高照射量における脆化評価・予測を行う上で今後も重要であり、欧米、日本を中心に継続的に研究が行われている。最近では、高照射量域において析出するとの指摘があるいわゆる Late Blooming 相の形成機構に関する議論等、より詳細な脆化機構に踏み込んだ研究が進みつつある。このような議論の検証には詳細な金属組織観察・分析が不可欠であり、近年中心的に活用されてきたアトムプローブに加えて、今後は STEM 等の先端の実験技術や計算機シミュレーションの活用が重要になると考えられる。

3. 圧力容器の脆化評価・健全性評価

圧力容器内には実機と同じ材料で作られた試験片が装荷され、これを計画的に取り出し脆化評価を行う（監視試験）ことが JEAC4201 に定められているが、国の運転期間延長認可制度において追加の監視試験が要求されるようになり、限られた試験片を有効に活用できる小型試験技術に期待が寄せられている。小型試験には例えば小型シャルピー衝撃試験等が挙げられるが、中でも小型 C(T)試験片を用いた破壊靱性評価は破壊靱性評価規格である日本電気協会の JEAC4216 や米国 ASTM E1921 の最新版に盛り込まれており、今後、実機適用に向けた検討が期待される。圧力容器の健全性評価においては、評価手法を規定した JEAC4206 が 2016 年に改訂され、最新知見を踏まえた破壊力学評価が可能となった。今後は現在考慮されていない評価裕度、例えば容器板厚方向の材料特性や照射量の分布の影響等を把握することが重要と考えられる。このような実機圧力容器の破壊靱性の実力値を把握し評価裕度を明確にする目的において廃炉材は極めて有用な材料であり、国内外の廃炉材の活用が期待される。また、評価裕度を定量的に評価するための手法として、現行規程における亀裂、破壊靱性等を保守的に設定する決定論的破壊力学評価に対して、破壊現象に影響する種々のパラメータに確率的な分布を与えて評価する確率論的破壊力学の活用が期待されている。

4. 結言

原子炉圧力容器は原子力プラントの主要構造物であり、その健全性の確保は原子力プラント運用上不可欠である。今後も圧力容器の主要な照射影響事象である照射脆化の機構解明と評価手法の高度化を国内外のリソースを活用して継続的に実施していくことが重要である。

*Akiyoshi Nomoto¹¹Central Research Institute of Electric Power Industry