

Recent progress of R&D on reduced-activation ferritic/martensitic steel F82H:
analysis by attribute guides and evaluation of technology readiness levels野澤 貴史、渡辺 淑之、安堂 正己、中島 基樹、谷川 博康
NOZAWA Takashi, WATANABE Yoshiyuki, ANDO Masami, NAKAJIMA Motoki,
TANIGAWA Hiroyasu量研
QST

1. 背景及び目的

低放射化フェライト鋼F82Hを中心に、アクションプランに従い原型炉構造材料の開発が進む。第2回チェックアンドレビュー（C&R）後の工学設計段階では、特に照射を受けた炉内機器の構造健全性評価が課題となる。ここでは照射データベースが必須だけでなく、原子から構造体規模までのマルチスケールの構造解析手法の導入が重要である。

本講演では、BA活動を中心とした研究開発の現状を整理した上で、属性ガイドによる課題分析を行い、技術成熟度（TRL）評価に関連付けることで、原型炉に向けた構造材料開発の全貌を示す。

2. 技術成熟度の定義と評価

F82H鋼を対象に、原理実証段階（TRL 1~3）、工学実証段階（TRL 4~6）、原型炉段階（TRL 7~9）での一般定義を定めたうえで、以下の4つの項目に分類し、研究開発の状況を整理した。

材料仕様（製作性・加工性・接合性・検査性）：BA活動での最大20トン規模での大型溶解実績や接合・検査技術開発の進展を基盤（TRL 3）とし、現在はITER-TBM開発に軸足を移し、調達仕様案をもとに実機製作のための再現性確認を目的とした溶解と部材試作を進めている（TRL 4~5）。

データベース・ハンドブック：IEAラウンドロビン試験でのスクリーニング評価（TRL 2）、BA活動での基本物性評価（TRL 3）に加え、米国HFIRでの80dpaレベルまでの照射データ取得（TRL3）を進め、第1回中間C&R項目の「核融合と類似の中性子照射環境における試験に供する材料の確定」を達成した。現在は、核融合中性子照射効果発現条件（20dpa想定）までの設計対応データの取得を進めている（TRL 4）。この段階では溶接部のデータ整備が課題である。

核融合中性子照射効果モデリング・シミュレーション：BA活動を中心とした継続的な検討を行い、同フェーズII活動では照射場相関、He/H効果の検討に加え、体積スエリングの予測を具体的な目標に据えモ

デリングの改良を進めている（TRL 4）。

規格・基準：BA活動を中心に、構造健全性評価のための多軸負荷による寿命評価、脆性/延性破壊評価の検討が進展する。また、仏国RCC-MRxに基づくマテリアルファイルの整備を開始した。さらに、微小試験片技術については、IAEA事業において国際ガイドライン策定が進む。いずれの場合も、外部有識者を交えて、早期に規格化・標準化に向けた議論に着手（TRL 4）する必要がある。

3. 属性ガイドによる課題分析

技術開発で重要なことは、実用化を阻害する要因（showstopper）と称される重要課題の抽出である。属性ガイドを用いた手法は、技術の現状から実用化までのギャップを総合的に俯瞰することが可能（開発課題に重要度の見える化）である。材料データ整備の例（表1）では、磁気特性や疲労試験の重要性が示された。また、TRL 4を完了するために、統計解析によるデータの信頼性評価が重要課題となる。本講演では、TRLの4つの分類に着目し、属性ガイドに基づき実施した分析の詳細について報告する。

表1 材料データ取得に係る属性ガイドによる分析

	Non-irradiated	Reactor irradiation (T _m =300, 400, 500°C)			14MeV neutron	
	0dpa	~5dpa (N=1~3)	~80dpa (N=1~3)	~20dpa (N>10)	~20dpa and more (N>10)	
Physical properties	Thermal expansivity	(green)	(orange)	(blue)	(blue)	(red)
	Young's modulus	(green)	(orange)	(orange)	(blue)	(red)
	Poisson's ratio	(green)	(orange)	(orange)	(blue)	(red)
	Density	(green)	(blank)	(blank)	(blank)	(blank)
	Thermal conductivity	(green)	(blank)	(blank)	(blank)	(blank)
	Electrical resistivity	(green)	(orange)	(blue)	(blue)	(red)
	Magnetic properties	(orange)	(red)	(red)	(red)	(red)
	Swelling	n/a	(orange)	(blue)	(blue)	(red)
	Tensile	(green)	(orange)	(orange)	(orange)	(red)
	Fatigue	(green)	(red)	(red)	(red)	(red)
Mechanical properties	Thermal ageing	(green)	n/a	n/a	n/a	n/a
	Creep	(green)	n/a	n/a	n/a	(red)
	Fatigue-creep	(orange)	n/a	n/a	n/a	(red)
	Relaxation	(orange)	n/a	n/a	n/a	(blank)
	Ratchet	(blank)	n/a	n/a	n/a	(blank)
Mechanical properties	Toughness	(orange)	(orange)	(orange)	(blue)	(red)
	Impact properties	(green)	(orange)	(blank)	(blank)	(blank)
	Irradiation creep	n/a	(orange)	(orange)	(blue)	(red)

(*) color code :
 ✓ White (blank) for properties not addressed, lack of data
 ✓ Black : potential showstopper identified
 ✓ Red : lack of data and potentially challenging
 ✓ Blue : lack of data, NOT challenging
 ✓ Orange : data available, results not good enough, further optimization needed
 ✓ Green : data available, results are good, concept is mature
 n/a : not applicable