

ベイズ推計を活用した低放射化フェライト鋼F82Hの材料基準強度の分析 Assessment of Reference Strength Standard of Reduced Activation Ferritic/Martensitic Steel F82H Using Bayesian Estimation

野澤 貴史
NOZAWA Takashi

量研
QST

背景及び目的

構造部材の設計で広く採用されている決定論的アプローチでは、安全係数を定義することで構造物の設計限界を体系的に（多くの場合経験的に）定義する。しかし、構造物は実際の環境下で様々な荷重を受けるため、決定論的アプローチは過度に安全な評価を与える可能性があり、必ずしも適切ではない。そのため、最近では材料強度分布を取り入れたより厳密な確率論的アプローチによる構造設計が主流である。このとき設計基準の決定のため、材料強度の確率密度関数が基本的な入力情報となる。

照射によって特性変化が避けられない核融合炉材料において、構造設計のために照射前後の統計的特性を把握することは重要な課題である。この点では、まず一般的なアプローチに従って、材料データをどのような確率関数で記述するかを明らかにすることが有効である。しかし、少ない原子炉照射データ点では、データ平均が母集団平均と等しいことを保証することは困難であり、特に照射データの分布が正規分布であると結論づけるのは早計で、照射後のデータの多くは脆化により分散が大きくなる傾向があることから、非正規分布によるモデルを含め、幅広く検討を行うことが肝要である。

本研究は、少ない既存データから統計的性質を予測しなければならないため、モンテカルロシミュレーションに基づくベイズ推計に着目し、統計的信頼性を考慮した材料基準値の決定に係る手法とその有効性について検討した。

ベイズ推計による材料基準強度の分析

照射による材料特性分布の変化を表す統計パラメータの線量依存性を推定するため、例えば引張試験における0.2%耐力と全伸びが「正規分布」に従う場合と「ワイブル分布」に従う場合を想定し、分析モデルの妥当性を評価した。そのうえで、それぞれの統計モデルの指標が照射損傷量 (dpa)

の「べき乗」または「対数」の関数で表現できるものとしてモデルを仮定し、分析モデルの妥当性を評価した。一連の評価は、公開コードR（バージョン4.1.3）を用いて実施した。

300°Cで照射された低放射化フェライト鋼F82Hの引張強度特性の照射損傷量依存性と95%ベイズ推計予測範囲を図1に示す。0.2%耐力では「正規分布」により良い予測が得られた一方で、全伸びデータの分布は「正規分布」と「ワイブル分布」の両モデルで同等の基準を与え得ることが明らかとなった。また、0.2%耐力と全伸びともに、統計パラメータの照射量依存性を表す関数モデルとしては、「べき乗則」が良い予測を与えた。

$$Normal(X|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

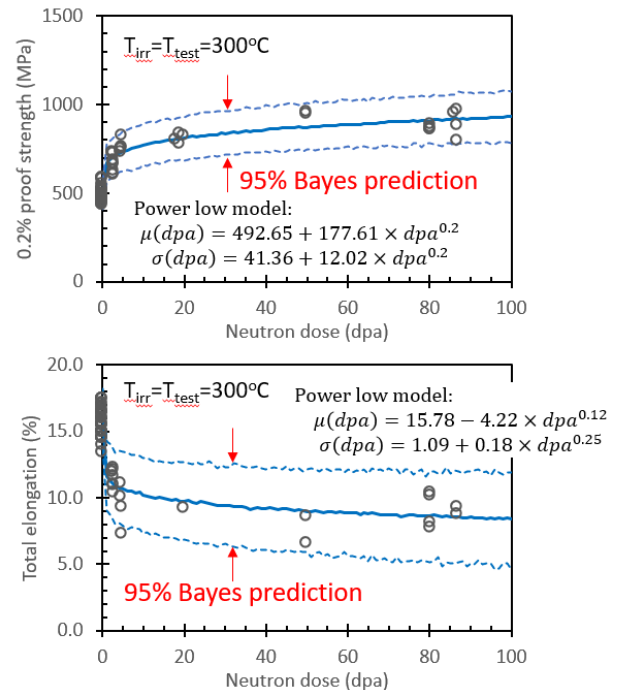


図1 ベイズ推計による低放射化フェライト鋼F82Hの引張特性の照射損傷量依存性の評価例（「正規分布」・「べき乗則」）