

高機能ハイエントロピー合金の耐照射特性評価

Evaluation of Irradiation Resistance in High-performance High Entropy Alloy

山下 真一郎¹⁾Pham Hai¹⁾橋本 直幸²⁾岡 弘²⁾

Shinichiro YAMASHITA Hai Pham Naoyuki YASHIMOTO Hiroshi OKA

¹⁾原子力機構

²⁾北海道大学

(概要)

先進的高機能材料として原子力分野での応用が期待されている低放射化ハイエントロピー合金（HEA）の耐照射性に及ぼす核変換ガスの影響評価を最終の目標に据え、R7 年度は HEA の参照材である SUS316L に対して複合イオン同時照射を行い、複数の照射材に対して連続剛性（CSM*）測定を行った。これにより、イオン照射サンプル特有の照射表面から特定深さ位置での機械特性を把握し、硬さ値、ヤング率等の物性値の取得の他、異なる照射量での照射／非照射領域間の比較、イオン照射材における機械的特性の深さ分布に及ぼす照射量の影響、及び非照射領域を SUS316L の深さ方向機械特性を整理した。照射量 61 dpa 照射材（試料 1）と 6.1 dpa 照射材（試料 2）について、照射領域・非照射領域の硬さ値および弾性率を比較し、押込み深さの増加に伴う傾向、照射量差の影響、ならびに近傍領域への影響の可能性をまとめた。

（*）CSM：Continuous Stiffness Measurement

キーワード：低放射化ハイエントロピー合金、参照用 SUS316L、イオン照射、耐照射性、核変換ガス、連続剛性測定

1. 目的

低放射化ハイエントロピー合金（HEA）の耐照射性に及ぼす核変換ガスの影響を評価する前段階として、イオン照射した SUS316L（HEA の参照材として使用）に対する連続剛性（CSM）法の適用性の確認および HEA に対する参照データの取得を目的に、複合イオン同時照射試験、並びにイオン照射材を用いた CSM 測定を実施した。

2. 実施方法

対象試料は、QST 高崎研において 300℃でAu⁺イオンおよびHe⁺イオンを同時照射した SUS316L であり、61 dpa 照射材を試料 1、6.1 dpa 照射材を試料 2 とした。供試材のイオン照射条件と連続剛性法の測定条件を右表 1 に記す。

表1 供試材の照射条件と連続剛性法の測定条件

項目		内容
照射条件	照射条件（デュアルビーム照射）	Au ⁺ イオン（8 MeV） He ⁺ イオン（0.6 MeV）
	照射温度	300℃（目標）
	照射量	61 dpa（試料 1）、6.1 dpa（試料 2）
連続剛性の測定条件	動的周波数	100 Hz
	目標深さ	2100 nm
	ポアソン比	0.27
	熱ドリフト補正	有効
	接触剛性	200 N/m
	表面接近速度	100 nm/s
	ひずみ速度	0.5 s ⁻¹

3. 結果及び考察、今後の展開等

3.1 61 dpa（試料 1）における照射領域／非照射領域の比較（結果①）

図 1 および図 2 より、61 dpa の照射領域では、硬さ値は押込み深さ 0 付近から既に高い値を示し、深さが増しても高い水準を維持していた。表面近傍では接触状態や表面粗さ等の影響で硬さ値に変動がみられるが、一定深さ以降は硬さ値の変動が無くなり、比較的安定した値を示しながら高い状態へ移行した。一方、非照射領域は照射領域より低い値で推移するが、未照射母材と比較してやや高い値を示す傾向にあり、近傍影響が残存している可能性がある。また、弾性率の値は硬さ値の変化と類似の傾向を示した。

3.2 6.1 dpa（試料 2）における照射領域／非照射領域の比較（結果②）

図 3 および図 4 より、6.1 dpa 照射材（試料 2）でも照射領域の硬さの値は非照射領域より高く、6.1 dpa

でも照射硬化が明瞭に発現していた。ただし、61 dpa 照射材（試料 1）と比較すると硬化量上昇の程度は小さく、照射量の差が硬化量差として反映されていると考えられる。弾性率についても、非照射領域との差は認められるものの、61 dpa 照射材で見られた差ほどではなく、照射量依存的な増加傾向が示唆された。

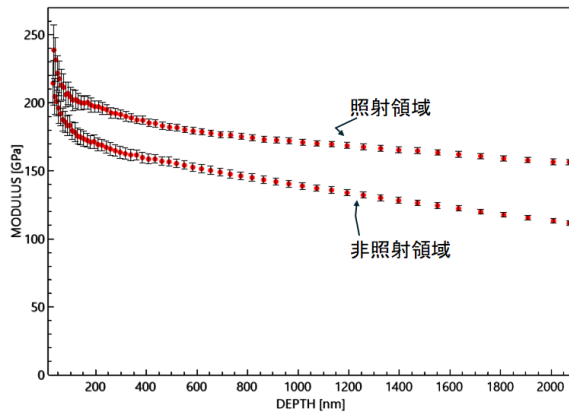


図 1 61 dpa（試料 1）の照射領域・非照射領域における弾性率の深さ依存性

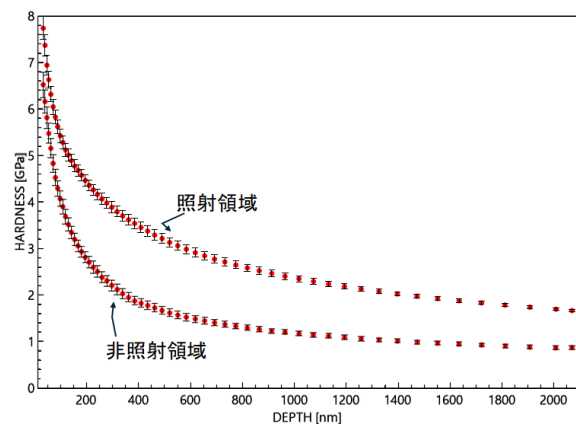


図 2 61 dpa（試料 1）の照射領域・非照射領域における硬さの深さ依存性

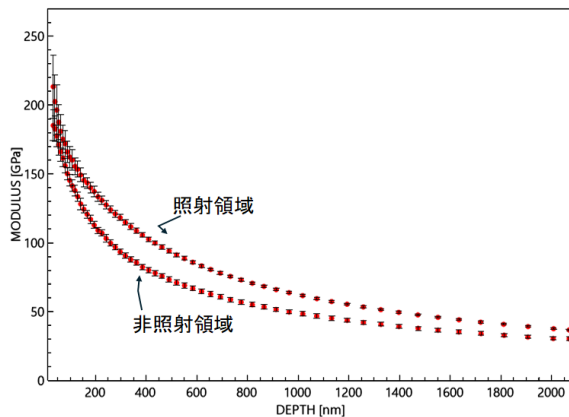


図 3 6.1 dpa（試料 2）の照射領域・非照射領域における弾性率の深さ依存性

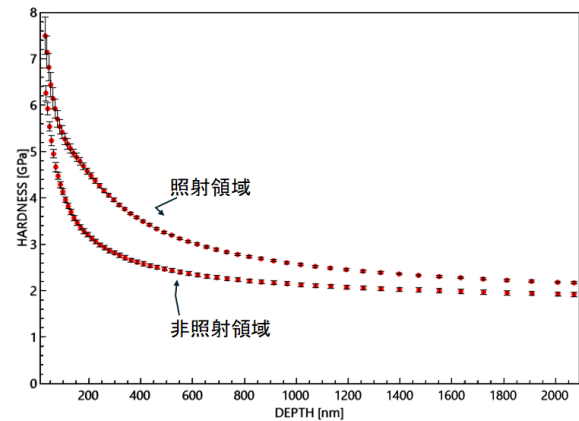


図 4 6.1 dpa（試料 2）の照射領域・非照射領域における硬さの深さ依存性

3.3 考察

CSM 法では、押し込み深さが深くなるにつれて、表面直下からより深い位置に至るまでの連続的な剛性・硬さ応答を把握できる。今回の結果では、両試料とも比較的浅い領域では多少のばらつきが認められるが、より深い位置では各照射条件に対応した傾向が安定的に現れた。61 dpa 照射材で見られた高い硬さ値は、照射により導入された照射欠陥クラスター等が転位運動をより強く阻害していることを示した結果と考えられる。一方、6.1 dpa 照射材は 61 dpa 照射材と同様の傾向を示しつつも、その程度は緩やかであり、照射量に依存して硬化が進んでいることが確認できる。また、弾性率は硬さ値ほど大きな差ではないものの、照射量および照射の有無に応じて曲線の位置や形状が変化している。したがって、照射による微細組織変化は塑性的応答に対してより敏感に現れる一方、弾性的応答にも一定の影響を及ぼしていると考えられる。さらに、非照射領域にも差が現れていることから、照射影響は測定対象の中心領域に限定されず、近傍へ広がる可能性が高い。

3.4 今後の展開

今後は、今回参照材（SUS316L）を用いて適用性が確認された CSM 測定により、イオン照射した各種 HEA に対して本手法を適用し、耐照射性に及ぼす核変換ガスの影響評価を実施していく予定である。

4. 引用(参照)文献等

- [1] N. A. P. K. Kumar et al., Acta Mater.113 (2016) 230-244.
- [2] C. Li et al., J. Nucl. Mater. 527 (2019) 151838.
- [3] W-Y Chen et al., J. Nucl. Mater. 539 (2020) 152324.
- [4] S. Li et al., Scripta Materialia 178 (2020) 245-250.