

力学機能のナノエンジニアリング  
2020年度採択研究代表者

2022年度  
年次報告書

柴田 暁伸

物質・材料研究機構 構造材料研究拠点  
グループリーダー

高強度鋼における水素脆性クラック伝播挙動のマルチスケール解析

## 研究成果の概要

本年度は、1.2GPa 級マルテンサイト鋼 (Fe-8Ni-0.1C, 焼入れままマルテンサイト鋼) の水素チャージ材 (水素濃度:0.42, 4.00 wt. ppm) について、除荷コンプライアンス試験を途中止めした試料のクラック伝播挙動を FIB-SEM シリアルセクションングにより調べた。未チャージ材の場合とは異なり、水素チャージ材のクラック先端は鈍化しておらず、ナノメートルオーダーの微小な非破壊リガメントが多く存在していることがわかった。このような微小な非破壊リガメントは未チャージ材ではほとんど観察されなかった。また同じ粒界面であってもクラックの開口変位量は一定ではなく、クラック先端は非常に不規則な形状をしていた。これはクラック伝播に各粒界セグメント性格が大きな影響をおよぼしていることを意味している。また、3D-EBSD 解析を実施した結果、非破壊リガメントは方位差の小さな粒界セグメントおよび  $\Sigma 3$  のような整合性の高いセグメントにおいて形成されていることがわかった。そのため、未チャージ材とは異なり、水素チャージ材では方位差が小さい数マイクロ程度の粒界セグメントであっても、クラック伝播の障害となると言える。さらに 3D-EBSD によって粒界クラック先端での局所塑性変形挙動について調べたところ、開口変位の大きいクラックの先端において、結晶粒の微細化が生じるほどの大きな塑性変形が局所的に生じていることが明らかとなった。このようなクラック先端での大きな局所塑性変形および粒内クラック伝播が、マイクロ組織由来の intrinsic な抵抗として働き、力学特性評価で確認された安定クラック伝播の要因の一つであると考えられる。

また、マルテンサイト組織と水素脆性クラック伝播挙動の相関を解明するために、マルテンサイトの内部微視組織や結晶学的特徴の精密なキャラクタリゼーションも実施し、従来ラス状と呼ばれていた最小組織単位のマルテンサイト晶は幅に対して厚さが著しく薄い板状の形態を呈していることなどを明らかにした。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) A. Shibata, I. Gutierrez-Urrutia, A. Nakamura, G. Miyamoto, Y. Madi, J. Besson, T. Hara, K. Tsuzaki: “Multi-scale three-dimensional analysis on local arrestability of intergranular crack in high-strength martensitic steel”, *Acta Materialia*, 234 (2022) 118053.
- 2) A. Shibata, G. Miyamoto, S. Morito, A. Nakamura, T. Moronaga, H. Kitano, I. Gutierrez-Urrutia, T. Hara, K. Tsuzaki: “Substructure and crystallography of lath martensite in as-quenched interstitial-free steel and low-carbon steel”, *Acta Materialia*, 246 (2023) 118675.