

革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構
の解明

2020年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書

澄川貴志

京都大学 大学院エネルギー科学研究科
教授

ナノ・マイクロ疲労学理の開拓と超高疲労強度金属の実現

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、マクロ材とは大きく異なることが予測されるナノ～マイクロ寸法の金属材料の疲労メカニズムを解明して「ナノ・マイクロ疲労学」を構築することを目的とし、加えて超高疲労耐性材料および新奇機能材料の開発を目指す。

2021 年度では、①マイクロ疲労試験の実施、②ナノ疲労試験システム開発、③ナノ疲労基礎メカニズムの解明のための分子動力学シミュレーション、④パラメータ逆解析手法の実装：人工ニューラルネットワーク(ANN)モデルの導入、及び、⑤ナノ金属試料中の転位に対する表面効果の理論推算、を目標とした。

①については、寸法が異なり単一すべり方位を有するマイクロサイズのニッケル(Ni)試験片を用いて疲労試験を行い、試験後の内部観察を行った結果、表面近傍ではマクロ材で見られる疲労転位組織が存在せず、試験片寸法の減少に伴って表面の効果が試験片全体を占有していくことを明らかにした。また、二重すべり方位を有する試験片の複雑な疲労挙動も明らかにした。②については、ナノサイズの試験片を対象とした引張圧縮繰り返し負荷試験装置の基本設計を完了した。③については、転位が表面から受ける鏡像力の影響範囲の見積もりを行うとともに、ナノロッドの引張りおよび疲労解析より、断面形状が及ぼす転位発生挙動への顕著な影響や、転位の相互作用によって生じた空孔列が転位の発生源になり得るというナノ領域に特有の疲労機構を示唆する結果を得た。④については、転位組織形成を記述する反応拡散モデル(WA モデル)を対象として、パラメータから転位組織構造の特徴量へのマッピングを実現する ANN モデルを構築することで、パラメータ逆解析手法の実装を行った。⑤については、ナノ金属の塑性変形を担うと予想される表面近傍の刃状転位に注目し、転位のすべり面と試料表面が任意の相対角をなす場合に対して、応力場の空間分布の理論解を導出した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 澄川グループ

- ① 研究代表者: 澄川 貴志 (京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・マイクロ疲労試験の実施
 - ・ナノ疲労試験システム開発

(2) 梅野グループ

- ① 主たる共同研究者: 梅野 宜崇 (東京大学生産技術研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・ナノ疲労基礎メカニズムの解明のための分子動力学シミュレーション
 - ・パラメータ逆解析手法の実装: 人工ニューラルネットワーク(ANN)モデルの導入

(3) 島グループ

- ① 主たる共同研究者: 島 弘幸 (山梨大学大学院総合研究部 教授)
- ② 研究項目
 - ・ナノ金属試料中の転位に対する表面効果の理論推算

【代表的な原著論文情報】

- 1) H. Shima, Y. Umeno, and T. Sumigawa, “Analytic formulation of elastic field around edge dislocation adjacent to slanted free surface”, Royal Society Open Science (2022) in press (doi: 10.1098/rsos.220151).