

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

2022 年度  
年次報告書

2019 年度採択研究代表者

戸田 裕之

九州大学 大学院工学研究院  
教授

ナノ～マクロを繋ぐトモグラフィー: 界面の半自発的剥離

主たる共同研究者:

佐々木 泰祐 (物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点 主  
幹研究員)

濱田 繁 (九州大学 大学院工学研究院 教授)

平山 恭介 (京都大学 工学研究科 助教)

松田 健二 (富山大学 学術研究部 教授)

山口 正剛 (日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター 研究主  
幹)

## 研究成果の概要

$\eta$ 相がアルミニウムの強化に用いられるのに対し、同じ析出物でも、T相はこれまで注目されていない。T相内には高いトラップエネルギーを持つ水素トラップサイトが高密度にあり、強化だけでなく強力な水素脆化防止効果をも併せ持つ。本年度は、T相の効果を純3元系合金だけでなく実用合金でも確認した。また、合金設計により粒内破壊と粒界破壊の両方を抑制できることも確認した。

この他、アルミニウム高強度化の障害となる応力腐食割れ(SCC)を実験・解析両面から評価し、SCC発現機構を解明した。SCC発現については外部水素の影響が強いが、内部水素の効果も無視できない。外部水素侵入により水素濃度勾配ができ、破壊基準を超えた領域でSCC破壊が生じる様子を明らかにした。この様に、SCCにおいてもナノ損傷基準とマクロ破壊挙動を結び付けることができた。

現象の物理的理解の面では、半整合界面の半自発的剥離の第一原理計算を実現し、多重水素トラップエネルギーと剥離エネルギー計算を行った。そして、水素濃化で凝集エネルギーが大きく低下する析出物-アルミニウムの方位関係を見出した。これは、半自発的剥離という仮説を支持するものである。この他、アルミニウム中の水素の振る舞い理解のため、第一原理計算とミュオンスピンドル緩和実験を組み合わせ、水素-空孔-金属クラスターに関する新奇知見が得られた。また、APTによる水素偏在の直接可視化にも成功し、これまで捉えにくかった材料中の水素の挙動の理解が深まった。この他、変形解析と水素拡散解析の連成によりシミュレーションを実施し、力学的観点からもナノとマクロを繋ぐ解析が得られつつある。

これらの知見をさらに応用し、高圧ねじり(HPT)法により最大900MPaまで超高強度化したアルミニウムを試作し、水素脆化防止が開発法で可能であることを示し、アルミニウムのさらなる高強度化への道筋を拓くことができた。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Yafei Wang, Hiroyuki Toda, Yuantao Xu, Kazuyuki Shimizu, Kyosuke Hirayama, Hiro Fujihara, Akihisa Takeuchi, Masayuki Uesugi, "In-situ 3D observation of hydrogen-assisted particle damage behavior in 7075 Al alloy by synchrotron X-ray tomography", 277 (2022) 117658
- 2) Yuantao Xu, Hiroyuki Toda, Kazuyuki Shimizu, Yafei Wang, Baptiste Gault, Wei Li, Akihisa Takeuchi, Masayuki Uesugi, "Suppressed hydrogen embrittlement of high-strength Al alloys by Mn-rich intermetallic compound particles", Acta Materialia, 236 (2022), 118110
- 3) Yafei Wang, Bhupendra Sharma, Yuantao Xu, Kazuyuki Shimizu, Hiro Fujihara, Kyosuke Hirayama, Akihisa Takeuchi, Masayuki Uesugi, Guangxu Cheng, Hiroyuki Toda, "Switching nanoprecipitates to resist hydrogen embrittlement in high-strength aluminum alloys", Nature Communications, 13 (2022) 6860