

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

2019年度採択研究代表者

| |
|-----------------|
| 2020年度 年次報告書 |
|-----------------|

辻伸泰

京都大学 大学院工学研究科
教授

異種変形モードの核生成制御による高強度・高延性金属の実現

§ 1. 研究成果の概要

初年度の半年間の研究活動により構築した研究基盤をさらに発展させるとともに、それらを元に軟質相と硬質相からなる二相鋼の変形機構、および変形中に双晶(硬質相)が動的に生成する TWIP 鋼の変形機構に関する研究を実施した。二相鋼においては、独自の加工熱処理法によるバルクナノメタル化に成功した。DIC 法による局所ひずみ解析と変形中その場中性子回折実験を駆使し、優れた力学特性の理由を解明した。典型的な高延性型 TWIP 材料である 31Mn-3Al-3Si 鋼のバルクナノメタル化を試み、サブミクロンから数十 μm に至る種々の平均粒径の再結晶組織を有する試料を得た。それら試料の室温引張り試験を系統的に実施し、変形挙動の粒径依存性を実験的に明らかにした。チーム内の実験と計算・理論を横断した連携研究を実施して、結晶粒超微細化に伴い降伏挙動が通常連続降伏型から降伏点降下を伴う不連続降伏型に変化すること、超微細粒材では粒界からナノ変形双晶が多数生成することを、マクロな実験および電子顕微鏡内その場観察により明らかにし、それら実験結果をもとにした理論計算によってナノ双晶の核生成機構を解明した。これらは、本研究課題の目標である、異種変形モードの核生成挙動の解明を通じて優れた加工硬化をもたらすメカニズム解明にとっての大きな進歩である。並行して、TWIP 鋼においてマイクロピラー試験による変形双晶の核生成直視観察実験の基盤構築を終え、強度・延性を両立する最適組織の予測と力学特性の発現メカニズムを Multi-phase-field・転位-結晶塑性モデルによって解明する計算基盤を構築した。また、CREST「ナノ力学」プロジェクトにおける金属・セラミクス材料関係の研究テーマを紹介する特集が日本金属学会の「まてりあ」誌において企画・編集され、本研究課題の基礎概念を紹介することができた。

§ 2. 研究実施体制

(1)「辻」グループ

- ① 研究代表者:辻 伸泰 (京都大学工学研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・種々の粒径や硬質相分布状態を有する二相材料の創製
 - ・作製した二相材料のマクロ力学特性と変形機構の解明
 - ・種々の粒径を有する TRIP 材料・TWIP 材料の創製とマクロ力学挙動解明
 - ・粒界・界面からの硬質相の核生成のメソスケール直視観察

(2)「下川」グループ

- ① 主たる共同研究者:下川 智嗣 (金沢大学理工研究域、教授)
- ② 研究項目
 - ・種々の粒径や硬質相分布状態を有する二相材料の変形応答に関する力学シミュレーション
 - ・原子シミュレーションによる粒界・界面からの硬質相の核生成機構解明

(3)「志澤」グループ

① 主たる共同研究者:志澤 一之 (慶應義塾大学理工学部、教授)

② 研究項目

- ・二相材料の Phase-field・転位-結晶塑性解析による組織形成シミュレーション
- ・種々の粒径や硬質相分布状態を有する二相材料の変形応答に関する力学シミュレーション

(4)「村山」グループ

① 主たる共同研究者:村山 光宏 (九州大学先導物質化学研究所、教授)

② 研究項目

- ・粒界・界面からの硬質相の核生成のナノスケール直視観察と力学物性解析

【代表的な原著論文情報】

- 1) “異種変形モードの核生成制御による高強度・高延性金属の実現”, 辻 伸泰、下川智嗣、志澤一之、村山光宏, までりあ, 60, pp.8-12, 2021.
- 2) “Challenging ultra grain refinement of ferrite in low-C steel only by heat treatment”, M.Park, A.Shibata, N.Tsuji, Frontiers in Materials, 7, 604792, 2020.
- 3) “Tensile deformation of ultrafine-grained Fe-Mn-Al-Ni-C alloy studied by in-situ synchrotron radiation X-ray diffraction”, Si Gao, Takuma Yoshimura, Wenqi Mao, Yu Bai, Wu Gong, Myeong-heom Park, Akinobu Shibata, Hiroki Adachi, Nobuhiro Tsuji, Crystals, 10, 1115, 2020.
- 4) “Grain size altering yielding mechanisms in ultrafine grained high-Mn austenitic steel: advanced TEM investigations”, C.Y.Hung, Y.Bai, N.Tsuji, M.Murayama, Journal of Materials Science & Technology, 86, 192-203, 2021.