

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

2021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

前年度までの 1.5 年間の研究活動により構築した研究基盤と研究成果をもとに、変形中に双晶(硬質相)が動的に生成する TWIP 鋼の変形機構、および変形中にマルテンサイト(硬質相)が動的に生成する TRIP 鋼の変形機構に関する研究を、実験と理論・計算の両面で実行し、いずれも貴重な成果を得ることができた。また前年度に実施した二相鋼に関する実験結果を解析して軟質相(フェライト)と硬質相(マルテンサイト)の間の応力・ひずみ分配を定量的に解明するとともに、計算研究を行って二相間の力学的相互作用と硬質相の役割を明確化することに成功した。

TWIP 鋼に関しては、前年度に明らかにした Fe-31Mn-3Al-3Si 鋼の変形挙動に及ぼす結晶粒径の影響に関する成果を論文化した。その研究により、バルクナノメタル化した同材料では、従来の定説とは逆に多数の変形双晶が形成されることが明らかとなったが、本年度の研究において粒界からの変形双晶の核生成の様子を TEM によりその場観察することに成功した。得られた実験結果に対して結晶学・力学理論に基づく解析を行って、粒界からの双晶核生成機構を解明することができた。また生成するナノ双晶により母相結晶粒がさらに分断させることによって、マトリクスで活動した転位が急激に蓄積され、それによって加工硬化が促進され、塑性不安定の発現が抑制される結果、高強度と高延性が両立できることを明らかにした。

TRIP 鋼に関しては、準安定オーステナイト鋼に独自に開発した加工熱処理プロセスを適用してバルクナノメタル化に成功し、種々の平均粒径の試料のマクロ力学特性の測定を実施した。異種変形モードの順次核生成課題に対しても、実験・計算の両面から前倒しで準備を開始し、着実に研究環境を構築できつつある。

## § 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

- ・軟質相と硬質相から成る二相鋼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 鋼・TWIP 鋼の創製とマクロ力学挙動解明
- ・粒界・界面からの硬質相 (TWIP 鋼における変形双晶) 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
- ・TRIP 材料・TWIP 材料の変形に関する Phase-field・結晶塑性 FEM 解析

### (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) 辻 伸泰, 下川智嗣, 志澤一之, 村山光宏. “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”, まてりあ, 60 (2021), pp.8-12.

DOI: 10.2320/materia.60.8

2) “The Plaston Concept - Plastic Deformation in Structural Materials”, Edited by Isao Tanaka, Nobuhiro Tsuji, Haruyuki Inui, Springer, Singapore (2022) <Open Access Book>

DOI: 10.1007/978-981-16-7715-1

3) Grain size altering yielding mechanisms in ultrafine grained high-Mn austenitic steel: Advanced TEM investigations. Chang-Yu Hung\*, Yu Bai, Nobuhiro Tsuji, Mitsuhiro Murayama: Journal of Materials Science & Technology, 86 (2021), pp.192-203.

DOI : 10.1016/j.jmst.2021.01.031

- 4) Unique transition of yielding mechanism and unexpected activation of deformation twinning in ultrafine grained Fe-31Mn-3Al-3Si alloy. Yu Bai, Hiroki Kitamura, Si Gao, Yanzhong Tian, Nokeun Park, Myeong-heom Park, Hiroki Adachi, Akinobu Shibata, Masugu Sato, Mitsuhiro Murayama, Nobuhiro Tsuji.: Scientific Reports, 11 (2011) 15870.  
DOI: [10.1038/s41598-021-94800-6](https://doi.org/10.1038/s41598-021-94800-6)
- 5) A correlation between grain boundary character and deformation twin nucleation mechanism in coarse-grained high-Mn austenitic steel. Chang-Yu Hung, Yu Bai, Tomotsugu Shimokawa, Nobuhiro Tsuji, Mitsuhiro Murayama: Scientific Reports, 11 (2021), 8468.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87811-w>
- 6) Investigating the dislocation reactions on  $\Sigma 3\{111\}$  twin boundary during deformation twin nucleation process in an ultrafine-grained high-manganese steel. Chang-Yu Hung, Tomotsugu Shimokawa, Yu Bai, Nobuhiro Tsuji, Mitsuhiro Murayama: Scientific Reports 11 (2021) 19298.  
DOI: [10.1038/s41598-021-98875-z](https://doi.org/10.1038/s41598-021-98875-z)