

## 研究部会紹介

## LPSO/MFS 構造材料研究部会

## The sectional meeting on LPSO and MFS light metals

河村 能人<sup>1\*</sup>・藤居 俊之<sup>2</sup>・君塚 肇<sup>3</sup>Yoshihito KAWAMURA<sup>1\*</sup>, Toshiyuki FUJII<sup>2</sup> and Hajime KIMIZUKA<sup>3</sup>

## 1. 研究部会発足の背景と目的

我が国で開発された長周期積層構造型マグネシウム合金 (Long Period Stacking Order; LPSO) の強化相である LPSO 相は、硬質層と軟質層が周期的に積層した構造を持ち、キンク強化される。最近、その積層が周期性を持たなくてもキンク強化されることが明らかにされ、このような硬質・軟質層状構造を「ミルフィーユ構造 (Mille-Feuille Structure; MFS)」と名付けた。MFS 構造は、マグネシウム合金のみならずアルミニウム合金やチタン合金においても形成される可能性が高く、軽金属材料に革新をもたらすことが期待される。

そこで、マグネシウム合金、アルミニウム合金、チタン合金を対象に、LPSO 構造や MFS 構造を持つ新しい軽金属物質の創製とキンク強化を試みることによって、「LPSO/MFS 構造のキンク強化法」の軽金属材料への展開可能性を明らかにすることを目的に、LPSO/MFS 構造材料研究部会 (令和元年度～令和4年度) を立ち上げた。本稿では、LPSO/MFS 構造材料研究部会の活動について中間報告を行う。

## 2. 部会構成

表1に令和3年度現時点の研究部会メンバーを示す。本研究部会は、18大学、3研究機関、6企業からの38名で構成されている。

## 3. 活動計画

本研究部会は、令和元年度に発足し、令和4年度までの4年間を活動期間として、以下の活動計画の下で研究部会の運営と研究に取り組んでいる。

## 3.1 運営に関する活動計画

- ① 研究部会の開催 (年3回)
- ② 講演大会テーマセッションの開催 (年1回)
- ③ LPSO/MFS 国際会議の開催 (2年目10月・4年目)
- ④ 活動報告書の作成 (5年目)
- ⑤ シンポジウムの開催 (4年目か5年目)
- ⑥ 軽金属学会誌「特集号」の企画 (4年目か5年目)

## 3.2 研究に関する活動計画

- ① LPSO/MFS 構造を持つマグネシウム合金の探索とキンク強化の調査

- ② LPSO/MFS 構造を持つアルミニウム合金の探索とキンク強化の調査

- ③ LPSO/MFS 構造を持つチタン合金の探索とキンク強化の調査

## 4. 活動実績

## 4.1 運営に関する実績

これまでの運営活動実績の概要は次の通りである。

## (1) 研究部会の開催

- ① 第1回研究部会  
(2019年7月26日, 東京工業大学田町キャンパス)  
テーマ: 研究部会の趣旨説明と研究動向 (依頼講演3件, 総合討論ならびに交流会)
- ② 第2回研究部会 (2019年11月1日, 東京農工大学小金井キャンパス)  
テーマ: 会員企業の会社紹介と要望 (企業講演5件, 研究室見学, 総合討論および交流会)
- ③ 第3回研究部会 (2020年3月21日)  
テーマ: キンク強化の研究最前線 (新型コロナウイルスのため中止)
- ④ 第4回研究部会 (2020年11月20日) オンライン開催  
テーマ: 金属系 MFS 構造物質の創製とキンク強化の可能性 (依頼講演4件と総合討論)
- ⑤ 第5回研究部会 (2021年1月19日) オンライン開催  
テーマ: セラミックス系と高分子系の MFS 構造の創製とキンク強化の可能性 (依頼講演3件と総合討論)
- ⑥ 第6回研究部会 (2021年3月29日) オンライン開催  
テーマ: ミルフィーユ構造物質におけるキンク形成とキンク強化の理論構築 (依頼講演3件と総合討論)

## (2) 講演大会におけるテーマセッションの開催

- ① 2019年秋期講演大会のテーマセッション  
「ミルフィーユ構造の材料科学Ⅲ」(講演15件)
- ② 2020年春期講演大会のテーマセッション  
「LPSO/MFS 構造の材料科学Ⅳ」(講演31件)
- ③ 2021年春期講演大会のテーマセッション  
「LPSO/MFS 構造の材料科学Ⅴ」(講演29件)

## (3) 国際会議の開催

LPSO/MFS に関する国際シンポジウム (LPSO2020) を2020

<sup>1</sup> 熊本大学 先進マグネシウム国際研究センター (〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1) Magnesium Research Center, Kumamoto University (2-39-1 Kurokami, Chuo-ku, Kumamoto 860-8555)

<sup>2</sup> 東京工業大学 物質理工学院 (東京都) School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology (Meguro-ku, Tokyo)

<sup>3</sup> 名古屋大学大学院工学研究科 (名古屋市) Graduate School of Engineering, Nagoya University (Nagoya-shi, Aichi)

\* 責任著者 E-mail: rivervil@gpo.kumamoto-u.ac.jp

受付日: 2021年7月21日

表1 令和3年度時点での研究部会メンバー

氏名	所属	備考
河村 能人	熊本大学	部会長 副部会長 幹事
藤居 俊之	東京工業大学	
君塚 肇	名古屋大学	
山崎 倫昭	熊本大学	
安藤 大輔	東北大学	
萩原 幸司	名古屋工業大学	
阿部 英司	東京大学	
相澤 一也	日本原子力研究開発機構	
板倉 充洋	日本原子力研究開発機構	
Stefanus Harjo	日本原子力研究開発機構	
増田 紘士	物質・材料研究機構	
稲邑 朋也	東京工業大学	
Cesana Pierluigi	九州大学	
江村 聡	物質・材料研究機構	
寺田 大将	千葉工業大学	
石川 和宏	金沢大学	
吉田 英弘	東京大学	
奥田 浩司	京都大学	
染川 英俊	物質・材料研究機構	
戸高 義一	豊橋技術科学大学	
湯浅 元仁	同志社大学	
鈴木 真由美	富山県立大学	
上栢 真之	高輝度光科学研究センター	
只野 裕一	佐賀大学	
眞山 剛	熊本大学	
中島 英治	九州大学	
光原 昌寿	九州大学	
三浦 誠司	北海道大学	
徳永 辰也	九州工業大学	
斎藤 拓	東京農工大学	
伊藤 浩志	山形大学	
江草 大佑	東京大学	
大河内 均	福田金属箔粉工業(株)	企業会員
津田 泰志	東邦金属(株)	企業会員
小柳 禎彦	大同特殊鋼(株)	企業会員
山浦 秀樹	日立金属(株)	企業会員
兒山 友香	(株)シマノ	企業会員
金子 信	日本電子(株)	企業会員

年11月11～14日に東京大学山上会館で開催するための準備を進めたが、新型コロナウイルスのため中止となった。そのほか、THERMEC'2020(2021年6月に延期されてオンライン開催)とMg2020(2021年6月に延期されたオンライン開催)において、LPSO/MFS構造のセッション(それぞれの講演数が28件と34件)を開催した。

## 4.2 研究に関する実績

### (1) マグネシウム合金

Mg<sub>98.62</sub>Zn<sub>0.38</sub>Y<sub>1</sub>(mol%)合金において、LPSO相を含まない $\alpha$ -Mg過飽和固溶体の作製に成功し、その時効熱処理によっ

て、L1<sub>2</sub>クラスターが配列した4原子層からなる硬質層(Cluster Arranged Layer; CAL)の分散度と厚さを制御できた。また、CALの析出を制御した時効処理材を押し出し加工することによって、キンクが形成されて強化することがわかった。CALの分散度が0.05 nm<sup>-1</sup>の時効処理材の押し出し加工材は、降伏強さ367 MPa、伸び9.9%を示し、合金添加量が半減したにもかかわらず、LPSO相を約26%含むLPSO型Mg<sub>97</sub>Zn<sub>1</sub>Y<sub>2</sub>合金と同等の降伏強さを示したことから、CALがLPSO構造のように局在化するよりも、母相に均一に分散したMFS構造が高強度化に有効であることが明らかとなった<sup>1)</sup>。

### (2) アルミニウム合金

一方向性凝固法を用いて、MFS構造を有するアルミニウム合金を探索した結果、Al/Al<sub>2</sub>Cu、Al/Si、Al/Ce、Al/Ge等を対象として、凝固組織が成長方向に平行に配列した共晶ラメラ組織からなるMFS材料を調製することに成功している。各合金をラメラ界面と平行に圧縮したところ、いくつかの合金内において、Mg基LPSO相中に見られるものと類似した変形帯が多数導入されることを確認した。SEM-EBSDによる解析により、変形帯形成に伴う回転角、回転軸は大きな任意性を示すことが認められ、この変形帯がキンク帯に該当することを突き止めた<sup>2)</sup>。

### (3) チタン合金

bcc構造の $\beta$ 相を主相とする $\beta$ 型Ti-12 mass% Mo合金において、溶体化処理および冷間軽圧延後に $\alpha+\beta$ 二相領域で時効処理(973 K, 180 ks)することで、hcp構造の $\alpha$ 相と $\beta$ 相が交互に析出したMFS構造を得ることに成功している<sup>3)</sup>。冷間軽圧延で導入された双晶界面に沿って $\alpha$ 相が析出することでMFS構造が得られたと理解される。さらに、時効した板材のTD面に対しピッカース硬さ試験機により圧痕を打ち込むと、圧痕先端近傍で層状構造に湾曲が生じることがわかり、MFS構造を持つチタン合金においても、塑性変形に伴ってキンク形成が生じる可能性があることが示された<sup>3)</sup>。

## 4. おわりに

マグネシウム合金、アルミニウム合金ならびにチタン合金においてMFS構造を持つ物質が見出され、塑性加工によってキンク変形することが明らかになった。今後、これらのMFS構造物質のキンク強化が明らかにされるものと思われる。LPSO/MFS構造とキンク強化という我が国発の新しい高強度材料の設計指針が軽金属にも広く適用され、世界展開することを期待する。

## 謝辞

本研究部会の活動では、科研費・新学術領域研究「ミルフィーユ構造の材料科学」(領域代表者:阿部英司 東京大学教授)の支援を得ている。

## 参考文献

- 1) 河村能人, 山形勇人, 井上晋一: 軽金属学会第140回春期大会講演概要, (2021), 101-102.
- 2) K. Hagihara, T. Tokunaga, K. Nishiura, S. Uemichi and S. Ohsawa: Mater. Sci. Eng. A, **825** (2021), 141849.
- 3) S. Emura and X. Ji: Mater. Trans., **61** (2020), 856-861.