

【新学術領域研究（研究領域提案型）】 理工系



研究領域名 **ミルフィーユ構造の材料科学**
-新強化原理に基づく次世代構造材料の創製-

東京大学・大学院工学系研究科・教授 **あべ 阿部** **えいじ 英司**

研究課題番号：18H05475 研究者番号：70354222

【本領域の目的】

現代社会が直面するエネルギー問題の解決、持続性社会の実現等を目指すに当たり、材料科学分野が担うべき重要課題として構造材料の高強度化・軽量化がある。本領域では、従来の常識を覆す高強度を示した LPSO 構造型 Mg 合金で発見された「キンク強化現象」を、微視的な硬質層・軟質層の相互積層により構築される「ミルフィーユ構造」全般へと適用可能な普遍的原理として確立し、新たな学問体系の構築へとつなげる。新しい「キンク強化原理」に基づき、Ti 系、Al 系を含む新規金属系、及び高分子系材料の開発へと結び付け、次世代構造材料の創製へと展開する（図 1）。

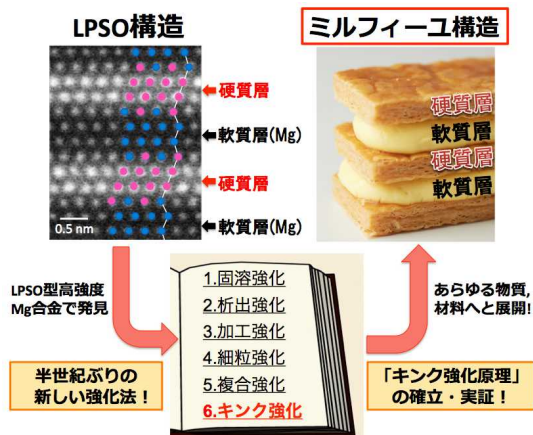


図1 ミルフィーユ構造キンク強化原理の構築

【本領域の内容】

キンク形成・強化は既存の固体変形論だけでは十分な理解ができないため、「ミルフィーユ構造の材料科学」の新学術領域構築には、従来の枠組みを超えた異分野連携が不可欠となる。本領域では、「物質・材料創製（ものづくり）」「メカニズム解明（基礎物性解明）」「理論構築（普遍原理・概念）」を柱として、これら課題達成に不可欠なあらゆる分野の精鋭研究者が一堂に会するオールジャパンの体制で臨み、我が国が世界を先導して新たな普遍的学術領域を創り出す（図 2）。

本領域には四つの研究項目がある。研究項目 A01 では、LPSO 型 Mg 合金をベースに、多様なミルフィーユ構造を有する新規 Mg 合金を創製する。研究項目 A02 では、力学実験、最先端計測実験、モデリング（計算）を実施し、キンクメカニズムの解明を目指す。研究項目 A03 では、材料・機械・物理・数学の異分野融合の下、キンク理論を構築する。研究

項目 A04 では、キンク理論に基づいた新規金属・高分子系ミルフィーユ材料の創製を図る。

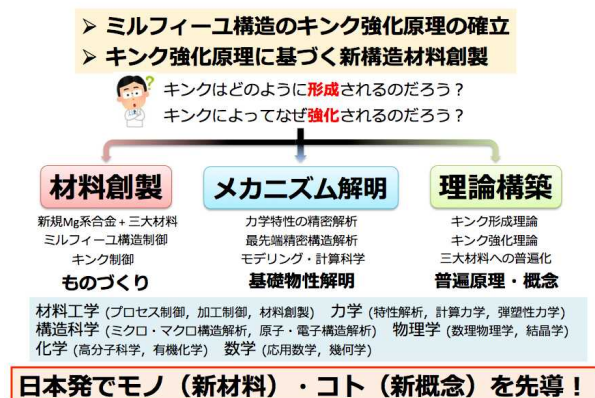


図2 本領域で実施する研究内容の3本柱

【期待される成果と意義】

- ① ミルフィーユ構造の強化原理の確立は、新規 Mg 系、Ti 系、Al 系を含む他の金属系材料、及び高分子系材料の更なる高強度化を可能とし、エネルギー問題の解決、持続性社会の実現に大きく寄与する。
- ② ミルフィーユ構造のキンク強化原理の確立・体系化は、新しい材料強化法として歴史に刻まれ、我が国の材料科学分野の世界的評価へとつながる。
- ③ キンク形成・強化メカニズムの解明は、原子レベル構造からメゾ変形組織までの階層構造科学に立脚した新しい幾何学理論・非線形弾性論へと飛躍的展開をもたらす。
- ④ 本領域の確立は、産業につながる工学分野の発展をもたらすのみならず、周辺の基礎学問分野にも大きな影響を与え、多岐かつ長期にわたって我が国の科学技術や学術水準の向上・強化に資する。

【キーワード】

ミルフィーユ構造：ミクロスケールで、原子同士が強く結合した硬質層と、比較的弱く結合した軟質層との積層構造。パイ生地層(硬質層)とクリーム層(軟質層)が積層した「ミルフィーユ洋菓子」に例えた。

【研究期間と研究経費】

平成 30 年度～34 年度
1,179,000 千円

【ホームページ等】

<http://www.mfs-materials.jp>
abe@material.t.u-tokyo.ac.jp

Science and Engineering



Title of project : Materials Science on mille-feuille structure
– Development of next-generation structural materials guided
by a new strengthen principle –

Eiji Abe

(The University of Tokyo, Graduate School of Engineering, Professor)

Research Project Number : 18H05475 Researcher Number : 70354222

【Purpose of the Research Project】

In order to solve the energy problem and realize a sustainable society, one of the prominent issues in materials science is to develop high-strength, light-weight structural materials. In our research project, we establish the “Kink strengthening phenomenon” as a universal strengthen principle, which has been firstly discovered in the LPSO-structured Mg alloy that revealed unusual high-strength beyond theoretical predictions. The LPSO structure can be generally viewed as “Mille-feuille structure”, in the sense that they are constructed by alternate stacking of microscopic hard- and soft-layer. Establishing a universal kink principle applicable to any mille-feuille structures will lead to a new academic, innovative area. Furthermore, based on the established “kink strengthening principle”, we will be able to design new alloys including Ti and Al alloys and further new polymer materials, providing an exciting opportunity for the development of next generation structural materials.

【Content of the Research Project】

Since kink formation and strengthening are not fully understood yet along with the existing solid deformation theory, it is indispensable to provide cross-disciplinary opportunities beyond the conventional frameworks, in order to establish a new academic field “Materials Science of a Mille-feuille structure”. In our research project, researchers participate across the wide research fields that are indispensable for the present tasks, the major three of which are “Materials synthesis (monozukuri)” “Solving the kink mechanism (elucidation of fundamental properties)” “Theory construction (universal principle/concept)”. We will be all together to form “Japan National Team” to tackle these challenging issues, creating a new universal academic field.

There are four research groups in our project. In **A01 group**, along the experiences with the LPSO-type Mg alloys, we will attempt to develop novel Mg alloys having various mill feuille structures. In **A02 group**, we will try to elucidate the kink mechanism by performing mechanical experiments, advances structural measurements and computation modeling. In **A03 group**, a kink

strengthening theory will be constructed under the effective collaborations between multiple fields including materials science, mechanics, physics and mathematics. In **A04 group**, we will try to develop and synthesize novel metal- and polymer-base Mille-feuille materials according to a proposed kink strengthening theory.

【Expected Research Achievements and Scientific Significance】

- ① Establishing a novel strengthening principle of the Millefeuille structure makes it possible to develop higher strength structural materials including new Mg, Ti and Al alloys, and further polymer based materials, contributing to an establishment of a energy-saving, sustainable society.
- ② Establishment of the systematic kink strengthening theory of the Millefeuille structure is engraved in history as a new material strengthening method, and hence leads to worldwide reputation in a material science field.
- ③ Elucidation of the kink strengthening mechanism, based on the hierarchical structure science from the atomic level to the mesoscopic structures, brings out a drastic extension into a new solid mechanics that includes novel geometry and non-linear elastic theory.
- ④ Establishment of a new academic field “Materials Science of a Mille-feuille Structure” brings a great influence on wide basic-research fields, as well as an effective growth of the engineering fields and the relevant industry.

【Key Words】

Mille-feuille Structure: A microscopic layered structure constructed by an alternate stack of hard-layer (strongly-bonded) and soft-layer (weakly-bonded). It is named after “Mille-feuille cake”, which is composed of a pie layer (hard layer) and a cream layer (soft layer).

【Term of Project】 FY2018-2022

【Budget Allocation】 1,179,000 Thousand Yen

【Homepage Address and Other Contact Information】

<http://www.mfs-materials.jp>
abe@material.t.u-tokyo.ac.jp