

領域略称名：シンクロ LPSO
領域番号：2308

平成25年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

シンクロ型LPSO構造の材料科学
— 次世代軽量構造材料への革新的展開 —

(領域設定期間)

平成23年度～平成27年度

平成25年 6月

領域代表者

熊本大学・先進マグネシウム国際研究センター・教授・河村能人

目 次

1. 研究領域の目的及び概要	3
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	5
3. 研究の進展状況	8
4. 若手研究者の育成に関する取組状況	12
5. 研究費の使用状況（設備の有効活用，研究費の効果的使用を含む）	14
6. 総括班評価者による評価	16
7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	18
8. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧，ホームページ，公開發表等）	22
9. 今後の研究領域の推進方策	28
10. 組織変更等の大幅な計画変更がある場合は当該計画	31

1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

研究領域名: シンクロ型 LPSO 構造の材料科学 一次世代軽量構造材料への革新的展開—

研究期間: H23 年度～H27 年度

領域代表者所属・職・氏名: 熊本大学 先進マグネシウム国際研究センター・センター長／教授・河村能人

補助金交付額(各年度の研究領域全体の直接経費):

年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度	H26 年度	H27 年度
交付額	254,700,000 円	210,110,000 円	207,025,000 円	223,000,000 円	221,600,000 円
備考	追加配分含む	公募研究含む	公募研究含む	予定額	予定額

(1) 領域の目的

本領域の目的は、日本で開発された超高強度マグネシウム合金の中に初めて見出された、濃度変調と構造変調が同期したシンクロ型 LPSO 構造を対象に、①そのユニークな構造、②形成メカニズム、③常識を覆す力学特性と新しい材料強化原理を、最先端の研究手法や世界トップクラスの大型量子線施設を駆使してオールジャパンの異分野融合体制で世界に先駆けて明らかにし、我が国が主導して、この構造に潜む新たな材料科学の学術領域を打ち立てることである。

(2) 領域の特徴

本領域の大きな特徴は、下記の 2 点である。

- ① 物理・化学・材料・機械を専門とするナノ計測分野、理論計算分野、材料プロセス分野等の知的・技術的資源を結集し、最先端の実験手法と計算科学を用いた組織的な異分野融合研究を推進する。
- ② J-PARC や SPring-8 等の大型量子線施設を活用した高精度構造解析の「その場実験」をコアにした連携研究を推進する。

(3) 我が国の学術水準の向上・強化における本領域の意義

21 世紀の軽量化構造材料として世界が開発競争を繰り広げているマグネシウム合金（以下 Mg 合金という）の分野で、常識を覆すような高強度を示す合金が我が国で開発され、世界的に注目されている（図 1）。この合金の強化相は、濃度変調と構造変調が同期した新奇な長周期積層型規則構造（シンクロ型 LPSO 構造 “Synchronized Long-Period Stacking Ordered Structure”）を有している（図 2）。この新奇な構造については、形成メカニズムや力学特性・強化原理といった根本的なことが未解明のままである。

そこで本領域では、可能性を秘めたシンクロ型 LPSO 構造そのものを材料科学における飛躍的な発展のエンブリオと位置付け、最先端の知的・技術的資源を結集して組織的に研究することを立案した。異分野の多様な研究者が連携して取り組むことにより、シンクロ型 LPSO 構造の本質的解明が初めて可能になり、我が国が高い国際競争力を有する材料科学分野の飛躍的な発展をもたらすことができる。

(4) 研究の学術的背景

合金中に見られる規則構造には、特定の面内における周期的な溶質濃度の変化が生ずる長周期規則構造や最密面の規則的な積層変化が生ずる長周期積層構造などがある。前者は金属組織中でしばしば観察され、殆どが Cu_3Au 型 fcc 構造を基本とした 1 次元的規則性を示す（図 3 (a)）。このような周期的な溶質濃度の変化は濃度変調と定義される。一方、後者は原子配列の規則性ではなく、最密面の規則的な積層変化が生じており、このような積層変化は構造変調と定義される（図 3 (b)）。一般的には、濃度変調や構造変調は独立して生ずる現象であり、両方が同時に観察されることは無かった。しかし、これらが同期して生ずる新奇な長周期構造が、本領域代表者らによって Mg-TM-RE 系

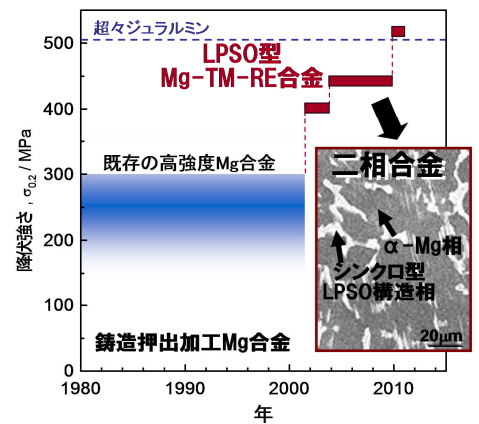


図1 我が国で開発された革新的LPSO型Mg合金

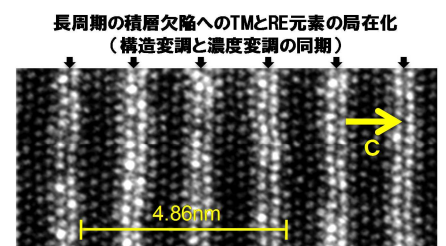


図2 シンクロ型LPSO構造 (HAADF-STEM像)

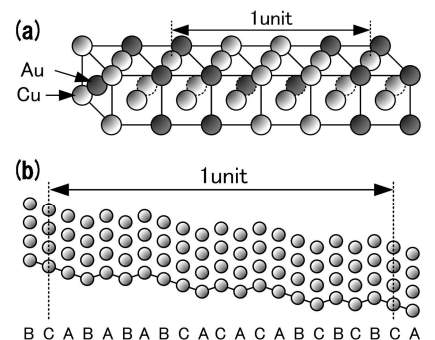


図3 (a)長周期規則構造 (Cu_3Au) (b)長周期積層構造 (18R)

Mg 合金(TM:遷移金属元素, RE:希土類元素)において発見された。

この構造の特徴は、**図 2** の高分解能電子顕微鏡像で示したように、TM と RE が濃化した 2 原子層が hcp 構造底面に一定の間隔で存在し、c 軸方向に周期的な積層構造を持つ点である。このような異種原子の積層が、凝固時あるいは熱処理によって自然に形成される自己組織化過程を示すことがこの構造の大変興味深い点であり、シンクロ型 LPSO 構造と名付けられた所以でもある。これに対して従来の長周期規則構造や長周期積層構造は、濃度変調と構造変調が同期していないという意味で非シンクロ型 LPSO 構造と言える。また、このシンクロ型 LPSO 構造が注目されるもう一つの理由は、**図 4** に示すように、加工によりキンクバンド(以降キンク帯)が導入されて機械的性質が従来材に比べて著しく改善することである。キンク帯とは異方性の強い層状物質にみられる挫屈形態であり、岩石の褶曲においてもしばしば観察される。特にシン

クロ型 LPSO 構造では、その原子配列に起因して非底面すべりや双晶変形が抑制されるため、キンク帯の形成による塑性変形(以後キンク変形)は重要な塑性変形機構となる。さらにその一方で、一旦形成されたキンク帯は hcp 金属など層状物質に特有の底面すべりに対する大きな抵抗となるため、機械的性質の劇的な向上がもたらされると考えられている。

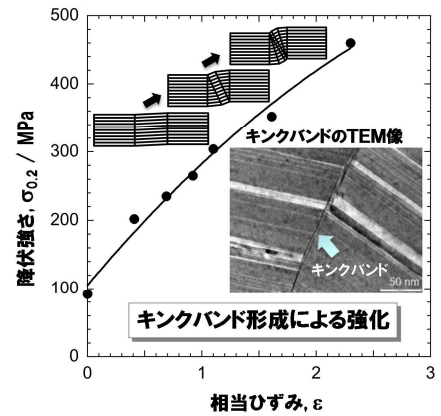


図4 シンクロ型LPSO構造の降伏強さの加工率依存性

(5) 応募領域の着想に至った経緯

シンクロ型 LPSO 構造相を強化相にした合金は、革新的な構造用材料としての可能性を無限に秘めているものの、その形成や強化メカニズムの本質は未解明である。Al 合金の室温時効の発見によって、ジュラルミンをはじめとする高強度 Al 合金が開発されたが、当時の観察技術の未熟さゆえにその原因は永い間特定できず、新合金は試行錯誤的に開発されてきた経緯がある。資源やエネルギーをめぐって熾烈な競争を繰り返している現代においては、このような新現象の本質解明のわずかな遅れは、我が国の国際競争力の著しい低下をもたらす恐れがある。そこで物理・化学・材料・機械を専門とするナノ計測分野、理論計算分野、材料プロセス分野等の研究者が一体となった研究チームを組織し、最先端の実験手法と計算科学を用いた組織的な異分野融合研究を推進することによって、希土類元素を添加しない高強度 Mg 合金、hcp 基チタン合金をはじめとする他の材料でも、シンクロ型 LPSO 構造を強化相として応用した新材料の創成が可能になると考えた。

(6) 該当する公募領域の「対象」と、領域の発展方法と取組み方法

本領域は、「異なる学問分野の研究者が連携して行う共同研究等の推進により、当該研究領域の発展を目指すもの」に該当する。本領域の参画研究者は、計画研究の研究代表者 9 名、分担研究者 16 名、連携研究者 16 名に加えて、H24 年度から新たに加わった公募研究の研究代表者 8 名であり、総勢 49 名の研究者が 24 研究機関から結集したオールジャパンの体制となっている。目的を達成するために必要な研究分野の研究者を集めた結果、LPSO 構造や Mg 合金の研究に初めて携わる研究者が約 70%で、しかも領域代表者と面識のなかった研究者が 50%にのぼり、正しく異分野が融合した研究組織となっている。また、平均年齢が 45.4 歳 (H25 年 6 月現在)と新進気鋭の研究者が中心であることから、次世代の材料科学分野を担うことができる若手人材育成を通して本領域の持続的な発展と幅広い分野への展開を図ることが期待できる。

(7) 領域の発展が学術水準の向上・強化に及ぼす効果

- ① 本領域の発展は、我が国で開発された超高強度軽量 LPSO 型 Mg 合金の実用化に資することが期待できる。この材料が実用化された暁には、環境・エネルギー問題の解決に大きく寄与し、高度に持続可能な社会の実現をもたらすものと期待される。
- ② 形成メカニズムの解明は、シンクロ型 LPSO 構造を強化相にした希土類レスの高強度 Mg 合金や高強度 Ti 合金等の開発に展開できる可能性が高い。また、有益な工学的特性を有しながら形成機構が未解明のまま残されている Ti-Si-C 系セラミックの MAX Phase、鉄鋼材料の Z Phase、高温超伝導材料のペロブスカイト化合物に代表される長周期物質の形成機構の解明にも大きく寄与できる。
- ③ シンクロ型 LPSO 構造で見出された「キンク強化」の体系化は、固溶強化、析出強化、加工強化、結晶粒微細化強化、複合強化に次ぐ第6番目の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高い評価に繋がるものと期待される。また、キンク変形に関して得られる新規な知見は、MAX Phase 等で稀に観察される延性発現機構(強化しない)の解明をもたらす、高延性セラミック材料の開発等に資することが期待される。
- ④ このように、シンクロ型 LPSO 構造の新学術領域の確立は、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・強化に資するものである。

2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

(1) 領域内の研究組織と領域において設定している研究項目との関係

本領域が5年間の研究期間内に明らかにしようとする研究項目は、シンクロ型LPSO構造の三大基本課題に対応した以下の三点であり、それぞれの課題に対応した計画研究班を設置するとともに、公募研究班によりその研究を強化するように組織化している。本領域には、計画研究の研究代表者(9名)、研究分担者(16名)、連携研究者(16名)、および公募研究の研究代表者(8名)の総勢49名が24研究機関から結集している。

- ① 最先端の構造解析と計算科学の融合によるLPSO構造科学の構築（A01班）
- ② 形成メカニズム解明によるLPSO構造の濃度・構造変調設計原理の確立（A02班）
- ③ 観察・計測と計算力学によるLPSO構造の変形ダイナミクスの解明と新強化原理の確立（A03班）

これらの研究項目を組織的に取組むためには、高輝度放射光などの大規模その場実験を利用した構造解析と、品質が安定した共通試料ならびに情報の共有化が不可欠である。そこで、本領域研究は、①J-PARC（中性子）やSpring-8（放射光）等の大型量子線施設を活用した「その場実験」をコアにした連携研究、②共通試料の作製・配布、③研究成果データベース（DB）構築による最新成果の共有化によって領域を推進する。これらの領域共通の項目は、研究支援活動として総括班が担って進めている。

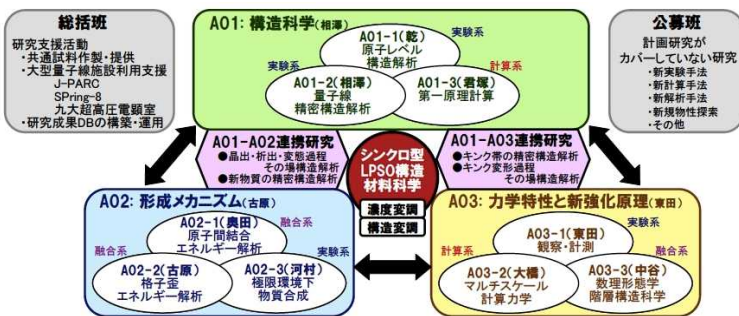


図5 本領域の研究体制

(2) 研究項目の組織と研究内容

1) A01 班: 最先端の構造解析と計算科学の融合による LPSO 構造科学の構築 [相澤・JAEA]

シンクロ型 LPSO 構造の形成メカニズムと力学特性発現の起源を解明するには、マルチスケールで原子配列及び電子密度分布を解明する必要がある。A01 班では、3つの計画研究と1つの公募研究により最先端の構造解析実験と計算科学を融合させて LPSO 構造の精密決定・物性予測を行っている。

A01-1 原子レベル構造解析による LPSO 構造の構造物性発現機構の解明（実験系）

研究代表者: 乾(京大), 研究分担者: 永井(東北大), 阿部(東大), 連携研究者: 岸田(京大)

A01-2 量子線を用いた精密構造解析による LPSO 構造の材料特性発現機構の解明（実験系）

研究代表者: 相澤(JAEA), 研究分担者: 木村(JASRI), 連携研究者: 神山(KEK)

A01-3 第一原理に基づく計算科学による LPSO 構造の電子論と構造科学の構築（計算系）

研究代表者: 君塚(阪大), 研究分担者: 山口(JAEA), 松中(阪大), 連携研究者: 尾方(阪大), 志賀(JAEA), 板倉(JAEA), 蕪木(JAEA)

公募研究 放射光マイクロビーム微小単結晶構造解析によるシンクロ型 LPSO 構造の原子配列解明

研究代表者: 安田(JASRI)

2) A02 班: 形成メカニズム解明によるLPSO構造の濃度・構造変調設計原理の確立 [古原・東北大]

濃度変調と構造変調がシンクロした特異なLPSO構造を制御して、力学特性の高機能化を図るためには、種々の条件下でのLPSO構造の形成メカニズムの解明が必要である。A02班では、3つの計画研究と3つの公募研究により、LPSO構造における濃度・構造変調の設計原理の確立を行っている。

A02-1 原子間結合エネルギー解析によるシンクロ型LPSO構造形成メカニズムの解明（融合系）

研究代表者: 奥田(京大), 研究分担者: 三浦(北大), 飯久保(九工大), 連携研究者: 大谷(東北大), 大出(NIMS)

A02-2 格子歪エネルギー解析によるシンクロ型LPSO構造形成メカニズムの解明（融合系）

研究代表者: 古原(東北大), 研究分担者: 木口(東北大), 連携研究者: 西谷(関学大), 小山(名工大)

A02-3 極限環境下物質合成によるシンクロ型 LPSO 構造物質群の拡大（実験系）

研究代表者: 河村(熊大), 研究分担者: 山崎(熊大), 松下(愛媛大), 連携研究者: 糸井(千葉大), 山田(大阪府大)

公募研究 超高強度マグネシウム合金の相変態挙動に基づく LPSO 構造形成メカニズムの解明

研究代表者: 徳永(鹿児島大)

公募研究 走査トンネル顕微鏡による LPSO 合金の破断面の超高分解能観察

研究代表者: 黒川(京大)

公募研究 シンクロ型 LPSO マグネシウム合金の水素化と水素貯蔵・透過材料への展開

研究代表者: 石川(金沢大)

3) A03 班: 観察・計測と計算力学によるLPSO構造の変形ダイナミクスの解明と新強化原理の確立 [東田・九大]

LPSO構造の変形機構の解明と新たな材料強化原理の確立には、実験と計算の融合による原子レベルから連続体レベルに至る階層的の研究が必須である。A03班では、3つの計画研究と4つの公募研究を有機的に連携させ、LPSO構造の変形ダイナミクスの解明と新たな材料強化原理の確立を行っている。

A03-1 観察・計測によるシンクロ/非シンクロ型LPSO構造の変形機構と強化原理の比較解明

研究代表者: 東田(九大), 研究分担者: 萩原(阪大), 藤原(日大), 森川(九大), 連携研究者: 鈴木(富山県大)

A03-2 マルチスケール計算力学によるLPSO構造の変形と力学特性の解明

研究代表者: 大橋(北見工大), 研究分担者: 志澤(慶応大), 松本(京大), 連携研究者: 眞山(熊大)

A03-3 数理形態学と階層構造科学の融合による積層構造体の力学特性発現機構の解明

研究代表者:中谷(阪大), 研究分担者:中島(九大), 連携研究者:池田(九大), 土井(阪大)

公募研究 長周期積層型規則構造を有する高強度マグネシウム合金における四次元応力解析

研究代表者:諸岡(横国大)

公募研究 力学系および組織形成シミュレーションに不可欠な LPSO 相単相の単結晶弾性率の解明

研究代表者:多根(阪大)

公募研究 マイクロ材料試験による Mg-Zn-Y 合金中に形成される LPSO 相の強化機構の解明

研究代表者:高島(熊大)

公募研究 フェーズフィールド法による LPSO 型マグネシウム合金の強化機構の解明

研究代表者:高木(京都工芸繊維大)

(3) 有機的な連携研究の成果

本領域の目的達成のために必要な専門分野の研究者を集めた結果、約 70%の研究者が LPSO 構造や Mg 合金の研究に初めて着手するという状況になった。しかし、有機的な連携研究を組織的に推進した結果、領域研究を着実に進めることができた。このことは、学術論文 (LPSO 構造と直接関係)、国内・国際学会発表ならびに受賞の 30~37%が連携研究による成果であることから裏付けられる。

(4) 班内の連携状況

1) A01 班内連携による構造解析

電子線・陽電子による原子レベル構造解析 (A01-1)と中性子・放射光による精密構造解析 (A01-2),そして第一原理計算による構造決定因子解明 (A01-3)を連携して行うことで、LPSO 相の構造解析における解析初期値としての STEM 直接観察結果や、計算実験から得られた溶質規則化の支配因子に関する電子論的情報といった基礎的かつ重要な知見の蓄積が順調に進んでいる。なかでも、Mg-Zn-Y 系 18R 型 LPSO 相および Mg-Al-Gd 系 18R 型 LPSO 相の原子配置モデルを構築した点は特筆すべき連携研究の成果である。また、放射光マイクロビームを用いた微小単結晶構造解析 (公募研究担当)を計画研究と連携して進めることで、シンクロ型 LPSO 構造解析の精度を高めることが可能になっている。

2) A02 班内連携による形成メカニズム解明

量子線を利用した凝固過程その場構造解析 (A02-1)から得られる高温からの冷却時の熱歪・変態歪を評価 (A02-2)し、シンクロ型 LPSO 構造中の濃度変調から生じる弾性歪エネルギー解析、積層周期と局所弾性歪の HRTEM 解析の結果からマイクロメカニクス解析で検討すべき弾性歪を抽出して解析に反映する手法の確立を行うことで、シンクロ型 LPSO 構造の形成メカニズムの解明が順調に進んでいる。また、フェーズフィールドのパラメータに熱力学的解析の結果を直接応用することで、これまで報告されていないようなスピノーダル分解の兆候を捉えるといった連携研究による大きな前進があった。上記の計画研究と STM を用いた LPSO 相の規則構造の評価 (公募研究)、高温 X 線回折および熱分析で LPSO 構造の関与する相変態の評価 (公募研究)が連携することで、シンクロ型 LPSO 構造形成過程を計算と実験の観点から明らかにしつつある。また、新奇物質の探索と超高压下での相安定性調査 (A02-3)ならびに極限環境 (高温高压の水素雰囲気) 下での LPSO 構造変化調査 (公募研究)によって、様々な環境下での相安定性に関する知見の蓄積が進んでいる。

3) A03 班内連携による強化メカニズム解明

シンクロ型 LPSO 構造の強化原理に関する実験 Gr (A03-1)の成果を基に、マルチスケール計算力学 (A03-2)による原子レベルから連続体に至る変形シミュレーションが行われ、強化機構の最大の要となるキック変形とそれに伴う顕著な強度増加の再現に成功するなど、実験・計算 Gr の強固な連携で大きな成果を挙げている。さらに数理形態学と階層構造科学の融合を目指した研究 Gr (A03-3)ではキック帯の構造や形成過程に関する観察 (A03-1)を基に「回位モデル」の構築が着実に進んでいる。中性子回折による四次元応力解析 (公募)、マイクロ試験による強化機構解明 (公募)による実験的成果も理論モデル構築に大きく貢献している。

(5) 班同士の連携状況

1) A01-A02連携研究

【晶出・析出・変態過程その場構造解析】①原子間結合エネルギー (A02-1)の観点から、量子線を用いた精密構造解析 (A01-2)の協力で放射光その場散乱実験の高度化を行い、凝固時のシンクロ型 LPSO 構造の晶出過程の解明が順調に進捗している。②格子歪エネルギー (A02-2)の観点から、実験および理論に基づく原子構造解析 (A01)の情報を LPSO 構造形成メカニズムのシナリオ構築に反映させることを試みている。

【新物質の精密構造解析】①シンクロ型 LPSO 構造物質群の探索 (A02-3)により得られた新奇物質の原子レベル構造解析 (A01-1)が順次行なわれ、これまでに Mg-Al-Gd 系 Order-Disorder 化合物型新規構造物質の精密構造解析や Mg-Co-Y 系 15R 型新規シンクロ LPSO 構造物質の構造解析で大きな進展を得た。②新



たに発見された物質の組成情報に基づいた熱力学計算および第一原理計算によってシンクロ型LPSO構造物質の最安定構造を解明する研究が連携して行なわれている。

2) A01-A03 連携研究

【**キンク帯の精密構造解析**】 極微小単結晶マイクロピラー圧縮試験で導入された変形帯の原子レベル構造解析が A03-1 と A01-1 の連携により進行しており, Mg-Al-RE 系 LPSO 相の変形モードが明らかにされた。

【**キンク変形その場構造解析**】 中性子による変形その場観察が A03-1 と A01-2 の連携により進行しており, Mg-Zn-Y 系 LPSO 相の降伏強度の格子面依存性が明らかになりつつある。

【**物性値精密測定**】 第一原理計算により Mg-Zn-Y 系 LPSO 単結晶モデルの弾性定数の全成分を明らかにすることで弾性定数の実測 (A03 公募研究) 結果に対する理論的支持を与えるとともに, 当該バリエーションの結晶対称性に関する直接的な考察を可能としている。

3) A02-A03 連携研究

【**高温高圧下における積層構造形成過程その場観察**】 応力付加時の積層構造形成過程のその場観察実験のための連携研究が進行している。

【**高温高圧下におけるキンク変形過程の観察**】 ①Mg-Ni-Y系シンクロ型LPSO構造物質 (A02-3) の高温クリープと高温下での活動すべり系の検討 (A03公募研究) が進んでいる。②高温高圧下で変形させた Mg-Zn-Y系シンクロ型LPSO構造物質 (A02-3) のキンク帯形成に関する結晶幾何学考察 (A03-1) が進み, キンク帯を格子回転軸で整理する幾何学的分類法が新たに提案されるに至っている。

(6) 総括班の組織と連携推進活動

1) 総括班の組織

【**研究代表者・研究分担者・連携研究者**】 河村能人 (研究代表者), 相澤一也, 古原忠, 東田賢二, 大橋鉄也, 中谷彰宏, 萩原幸司, 中島英治, 木村滋, 乾晴行, 若塚肇, 奥田浩司 (研究分担者), 神山崇, 大谷博司 (連携研究者)

【**外部評価委員**】 増本健 (電気磁気材料研究所理事長, 非平衡物質科学), 藤井保彦 (総合科学研究機構副理事長, 構造科学), 富田佳宏 (福井工業大学教授, 材料力学)

【**外部研究推進委員**】 小紫正樹 (JRCM 専務理事), 小原久 (日本マグネシウム協会専務理事), 細谷佳弘 (特殊金属エクセル 執行役員), 塚本修 (東京理科大学特任教授, 元経済産業省審議官), 外部評価委員 (兼任)

【**事務局+6 部会体制**】 「事務局」の他に, 「領域企画・運営部会」, 「研究支援活動部会」, 「領域内交流推進部会」, 「広報・交流推進部会」, 「若手人材育成部会」, 「図書出版・知財部会」を設置して組織的に領域を運営している。

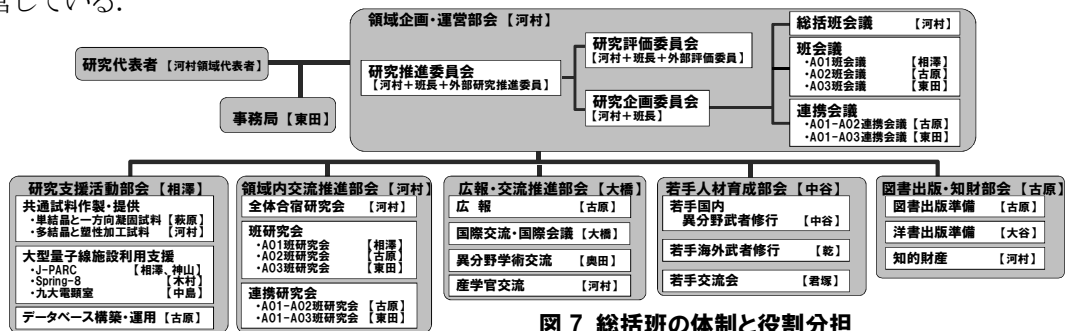


図 7 総括班の体制と役割分担

2) 研究支援活動部会による連携研究の推進

【**共通試料の提供**】 総括班を通じて共通試料を提供することで, 領域全体で統制のとれた研究を効率的に推進することが可能になっている。H25年6月20日現在までに, 共通標準試料13種類計95試料, オーダーメイド試料34種類34試料の提供実績を持っている。特に, オーダーメイド試料については, 総括班とA02班が連携して良質なモデル合金を選定しており, 統制のとれた領域研究が可能になっている。

【**大型量子線施設利用の支援**】 大型量子線施設利用支援によって, A01-A02 連携研究と A01-A03 連携研究が活性化されており, 特に, 熱処理中あるいは応力下での LPSO 構造形成および変形その場観察の実験に効果を発揮し始めている。

【**DBの構築・運用**】 データベース (DB) の構築・運用を通じた最新情報の共有化によって, 連携研究が効率よく進められている。

3) その他の部会活動による連携研究の推進

下記の部会活動によって, 有機的連携研究が活発に進められている。

- ① 「領域企画・運営部会」による各種会議の開催
- ② 「領域内交流促進部会」による各種研究会等の開催
- ③ 「若手人材育成部会」による若手研究会の開催

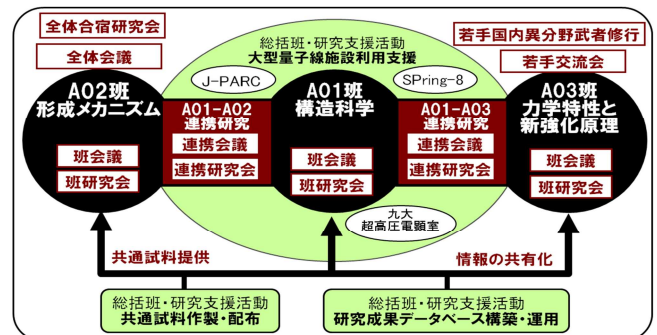


図 8 有機的な連携研究の推進法

3. 研究の進展状況〔設定目的に照らし、研究項目又は計画研究毎に整理する〕（3 ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在どこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究毎に記述してください。

【応募時に研究領域として設定した研究の対象】

「異なる学問分野の研究者が連携して行う共同研究等の推進により当該研究領域の新たな展開を目指すもの」

(1) 領域全体の順調な進展状況

総括班は、本領域研究を戦略的かつ効果的に推進することを目的に、6つの部会と事務局(事務局本部と研究支援活動用の3つのサテライト事務局)を設置して領域運営と研究支援活動を組織的に行ってきた。外部評価委員からは従来にない特徴的な取り組みとして高く評価されている。

【領域企画・運営部会活動】「研究企画委員会」、「研究推進委員会」、「研究評価委員会」ならびに「全体会議」、「総括班会議」、「班会議」、「連携会議」の開催(表1)を通して、研究計画の企画・調整・立案、審議、連絡・周知徹底ならびに評価を行うことによって、領域の企画・運営を効果的かつ円滑に実施できた。

【領域内交流推進部会】「合宿研究会」、「成果報告会」、「班研究会」、「連携研究会」、「領域キックオフシンポジウム」、「公募キックオフシンポジウム」等を開催(表2)することによって、領域内のベクトル合わせと情報の共有化を図ることができ、異分野の研究者が連携して行う共同研究を推進することができた。特に、「サマースクール」や「施設見学会」を開催(表3)することによって、初めてMg合金を扱う研究者(領域の約70%に相当)の支援や大型量子線施設を活用した領域内交流の推進を図ることができた。

【研究支援活動部会】①大型量子線施設の活用支援を通じた連携研究の推進、②実験結果の整合性を確保するための品質が安定した共通試料やオーダーメイド試料の提供、③参画研究者のベクトル合わせと最新情報の共有化を図るための研究成果DBの構築・運用を、組織的かつ戦略的に推進した結果、早い段階で領域研究を軌道に乗せることができた。

【広報・交流推進部会】日本金属学会、日本機械学会、日本物理学会、日本放射光学会等でシンクロ型LPSO構造やそれに関連したシンポジウム等を企画・開催することによって、異分野学術交流の推進を図ることができた。さらに、領域ホームページの運営やニュースレターの発行・配布によって、本領域の全国に向けた発信を実施することができた。また、領域主催の国際会議LPSO2012を開催するとともに、領域メンバーが実行委員等として多くの国際会議の開催に係わり、本領域の世界に向けた情報発信や国際交流を推進することができた。さらに、熊本大学がH15年から運営している「高性能Mg合金創成加工研究会」(8回分)を共催することによって、超高強度Mg合金の実用化を期待している応用分野の研究者や技術者との交流を推進することができた。これらを通して、本領域の新たな展開を目指した基盤形成を国内外で着実に進めることができた。(参照:「8. 研究成果の公表の状況」の表10～表13、図28と図29)

【若手人材育成部会】後述するように、「若手研究会」を企画・開催(表4)することによって、本領域の55%を占める若手研究者の交流を活発にすることができ、若手研究者を主体にした異分野融合の連携研究の活性化に繋げることができた。また、「若手国内異分野武者修行」や「若手海外武者修行」のプログラムに対して、現実に即した制度改革を行うことによって、本プログラムを軌道に乗せることができた。

【図書出版・知財部会】成果報告会において、国際特許事務所の弁理士による知財掘り起こしを実施した結果、特許申請の検討が数件行われるなど、知財確保に向けた活動を着実に実施することができた。またMaterials Transactionsに”Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (I)”を特集号(13編収録)として発刊できた。さらに、Materials Science & Engineering: R (Impact Factor: 19.75)として、編集委員の推薦で”Innovation of Magnesium Alloys by Synchronized LPSO Structure”というテーマの特集号の企画が決まった。他の学術雑誌からもReview特集号の企画が持ち込まれており、現在その対応を協議中である。

表1 領域会議・委員会の実施状況

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
H23	H23.9.23	総括班会議、班会議(3班)、連携会議(2連携)、全体会議	スター研修センター小伝馬町・東京	
	H24.3.23	研究評価委員会、研究推進委員会、研究企画委員会、総括班会議、班会議(3班)、連携会議(2連携)、全体会議	キャンパスイノベーションセンター・東京	
H24	H24.5.12	総括班会議、班会議(3班)、連携会議(2連携)、全体会議	エッサム神田ホール・東京	
	H24.10.1	総括班会議、班会議(3班)、連携会議(3班合同)、全体会議	札幌コンベンションセンター・札幌	
H25	H25.3.19	研究評価委員会、研究推進委員会、研究企画委員会、総括班会議、班会議(3班)、連携会議(3班合同)、全体会議	軽井沢プリンスホテル・軽井沢	
	H25.6.15	総括班会議	エッサム神田ホール・東京	
H25	H25.10.1	研究評価委員会、研究推進委員会、研究企画委員会、総括班会議、班会議(3班)、連携会議(3班合同)、全体会議	ラフォーレ琵琶湖・守山	予定
	H26.3	研究評価委員会、研究推進委員会、研究企画委員会、総括班会議、班会議(3班)、連携会議(3班合同)、全体会議	軽井沢プリンスホテル・軽井沢	予定

表2 領域研究会の実施状況

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
H23	H23.9.5	A02班研究会	愛媛大学・松山	
	H23.9.23	領域キックオフシンポジウム	スター研修センター小伝馬町・東京	
H23	H23.12.27	A03班研究会	キャンパスイノベーションセンター・東京	
	H24.2.23	A01、A02、A03班連携研究会	熊本大学・熊本	
H24	H24.2.24	A01班研究会	東京大学・東京	
	H24.3.6	A03班研究会	大阪大学・大阪	
H24	H24.3.23	平成23年度成果報告会	キャンパスイノベーションセンター・東京	
	H24.4.10	A01班研究会	東京大学・東京	
H24	H24.5.12	公募キックオフシンポジウム	エッサム神田ホール・東京	
	H24.11.5	A01、A02、A03班連携研究会	SPRING-8・佐用	
H24	H24.12.27	A02班研究会	名古屋工業大学・名古屋	
	H25.3.4	A03班研究会	大阪大学・大阪	
H25	H25.3.9-11	A01、A03班連携研究会	北見工業大学・北見	
	H25.3.18-19	平成24年度成果報告会	軽井沢プリンスホテル・軽井沢	
H25	H25.4.25	A01班研究会	東京大学・東京	
	H25.7.26	A03班研究会	エッサム神田ホール・東京	予定
H25	H25.7	A02班研究会	熊本大学・熊本	予定
	H25.9.29-10/1	平成25年度合宿研究会	ラフォーレ琵琶湖・守山	予定
H25	H26.3	平成25年度成果報告会	軽井沢プリンスホテル・軽井沢	予定

表3 サマースクール/見学会の実施状況

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
H23	H24.3.15	J-PARC見学会	J-PARC・東海村	
	H24.9.25-27	熊大MRCサマースクール	熊本大学・熊本	
H24	H24.11.5	SPring-8見学会	SPring-8・佐用	
	H24.12.4	LPSO型マグネシウム合金・溶解鋳造および塑性加工施設見学会	熊本大学および不二ライオン・熊本	
H25	H25.9.24-25	熊大MRCサマースクール	熊本大学・熊本	予定

表4 若手交流会・特別講演会の実施状況

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
H23	H23.11.24-25	第1回若手交流会・特別講演会	ホテル阪急エキスポパーク・大阪	
	H24.9.20-21	第2回若手交流会・特別講演会	愛媛大学・松山	
H24	H24.12.3	第3回若手交流会・特別講演会	熊本大学・熊本	
H25	H25.9.20	第4回若手交流会・特別講演会	金沢勤労者プラザ・金沢	予定

(2) A01 班「構造科学」の順調な進展状況

本領域内で、A01 班は、最先端の構造解析手法と計算科学を融合させることにより、新奇な構造を有する LPSO 構造に関して、その構造の観点から、力学特性等の物性発現の解明及び物性予測を可能とする「LPSO 構造科学」の構築を目的としている。現在、電子線・陽電子等を用いた原子レベル構造解析 (A01-1, 実験系) と中性子・放射光を用いた精密構造・組織解析 (A01-2, 実験系) により LPSO 構造を精密に決定し、構造に由来する諸特性の解明と第一原理計算を用いた構造決定因子の解明 (A01-3, 計算系) に取り組んでいる。実験系 2 グループ、計算系 1 グループが密接に連携を取りながら、研究を進めており、その結果、現時点で、①LPSO 相における規則-不規則 (OD: Order-Disorder) 構造と LPSO 構造の解明、②LPSO 構造物質の原子配列の形成エネルギー予測評価法の確立、③大型量子線施設利用に関しては、LPSO 構造物質に適用するためのその場観察実験法の確立等の順調な成果を上げている。

また、本班の特徴として、得られた構造情報、物性値を他班に積極的に提供して領域内研究を活性化している。以下に特筆すべき成果・進展状況を記述する。

1) 化学的秩序と積層秩序の相関の決定

電子顕微鏡観察により、Mg-Zn(Al)-RE 系 LPSO 相の積層方向への化学的秩序と積層秩序は、常に同期したシンクロ型であると共に、構造多形が存在することを明らかにした。

2) OD 構造と LPSO 構造の解明

電子顕微鏡観察により、以下のことを明らかにした。

① Mg-Al-Gd 系 LPSO 相は、従来の報告とは異なり Al と Gd が濃縮する濃縮層は 2 層ではなく 4 層であり、濃縮 4 重層内において $L1_2$ 型構造と同様の原子配列を持つクラスターを形成している。このクラスターは、Mg-Al-Gd ブロック内 (面内) で長周期にわたって規則配列し、濃縮 4 原子層を含む 6 原子層が構造ブロックとなっている。一方、この構造ブロックの積層は積層方向に特定の周期性はなく、一次元積層不整を伴う。この構造は、規則-不規則 (OD: Order-Disorder) 構造として記述できる。焼鈍が不十分の場合は、OD 構造が出現し、十分な焼鈍を行うことにより、構造ブロックの積層に規則性を伴う最安定構造が出現する。

② Mg-Zn-Y 系 LPSO 相においても濃縮相は 4 層であり、同様の TM_6RE_8 クラスターを形成するが、クラスターの面内配列秩序が低い。また一次元積層不整を伴う。この構造が、LPSO 構造であることが結論される。

現在、電子顕微鏡観察により提案された構造モデルに基づいて、量子線精密結晶構造解析による結晶構造パラメータ (格子定数、原子座標、サイト占有率、規則度等) の決定を進めている。

3) 第一原理計算による LPSO 構造物性評価

LPSO 構造発現因子を原子・電子レベルから特定することを目的に、電子顕微鏡により提案された構造モデルを元にして、Mg-Al-Gd 系と Mg-Zn-Y 系 LPSO 構造の結合・変形特性 (溶質原子の結合・偏析エネルギー、一般化積層欠陥エネルギー、弾性定数等) を評価した。さらに原子配列モデリング手法の構築を進めた結果、Mg-TM-RE 系構造における多様な原子配列の形成エネルギーを予測評価することが可能となった。この手法を電子顕微鏡による構造モデル構築に適用することによって、電子・原子構造解析における理論的支持を与えた。このようにして評価した原子配列構造や物性値を他班に提供して領域内研究を推進している。

4) 大型量子線施設利用

大型量子線施設利用に関しては、J-PARC, SPring-8 共に LPSO 構造物質の特徴である数 nm におよぶ長周期構造 (通常物質の周期構造は、0.1nm オーダー) に適用するためのその場実験手法を確立して、精密結晶構造解析や応力応答評価を進めた。本領域の目的である LPSO 構造そのものの特性解明の一環として、18R 単相 LPSO 合金の結晶構造レベルでの応力応答を調べ、c 軸方向に硬い異方性があることを初めて明らかにすると共に、力学特性基礎データとなる回折弾性定数の評価に成功した。更に、実用上重要な二相合金 (LPSO 相+Mg 母相) では、LPSO 相が強度を担うという決定的な証拠を初めて捉えることができた。

今後は、確立した手法を基に、両施設に導入した低温から高温までの温度制御が可能な構造解析用変形ステージを活用しながら A02 班 (形成メカニズム) や A03 班 (力学特性と新強化原理) との多重外場環境下その場実験をコアとした連携研究を進展・加速させていく。

以上、これまでの構造解析と理論研究によって、LPSO 構造に関する結晶構造や力学基本特性の定量的評価が着実に進捗しており、新規 LPSO 構造物質を含めた精密構造解析・理論計算及び他班との連携研究を通じて、「LPSO 構造科学」が構築されるものと思われる。

(3) A02 班「形成メカニズム解明」の順調な進展状況

A02 班は、LPSO 構造の濃度・構造変調設計原理の確立を目指して、原子間結合エネルギー解析および格子歪エネルギー解析の両面からシンクロ型 LPSO 構造形成メカニズム解明にアプローチするとともに、極限環境物質合成によるシンクロ型 LPSO 構造物質群の拡大にも取り組んでいる。

1) 原子間結合エネルギー解析

原子間結合エネルギー解析では、計算状態図および実験状態図の両面からの安定構造・安定性の評価を行うとともに、その知見をベースに偏析と積層欠陥のシンクロ性、形成機構から相形成を明らかにする量子線による相・組織形成の評価、状態図の自由エネルギーをベースに液相からの相・組織の出現シーケンスのフェーズフィールドシミュレーションを連携させることにより、複数のエネルギー差の小さな構造間での構造選択および構造変調と組成変調がシンクロする過程とエネルギー的条件を明らかにすることを目的としている。現在は Type I の Mg-Zn-Y 系状態図の精密評価より、その形状が従来の報告とは異なることがわかっており、相安定性への温度・組成の効果について計算状態図的検討を進めるとともに、Type II さらに RE フリーや Ti 系への拡張にも取り組み始めている。量子ビームの組織解析法の確立に加えて、当初実験的困難が予想されていた液相の関与するその場測定も技術的目処が立っている。新規手法としての走査トンネル顕微鏡による LPSO 合金 (A03-1 グループ提供) の破断面の超高分解能観察により、Mg の (0001) 面内の合金元素の規則クラスターの配列をとらえることに初めて成功しており、現在 A01-1, A02-1 グループでの構造情報も参考にして、STM 像の詳細な解釈および熱処理や組成によるクラスター配列の変化の観察を進めている。凝固過程のフェーズフィールドモデリングの手法もすでに確立されており、今後状態図と量子ビームによるキネティック情報のブリッジングによる統合的理解の進展が期待される。

2) 格子歪エネルギー解析

格子歪エネルギー解析では、LPSO 構造が関与する各種構造相変態における変態歪場およびエネルギーの評価と歪緩和解析、濃度・構造変調に起因するエネルギー変化の電子論的評価、2種類の変調がシンクロする相変態のフェーズフィールドモデリングの観点から、LPSO 構造生成への格子歪の影響を実験、理論的に検討している。Mg-Zn-Y 合金の HAADF-STEM および HRTEM 解析からは、前駆段階での hcp 中のゾーン型の元素濃化に伴う構造ユニットの形成とレッジ機構による成長が素過程として示唆され、第一原理計算キネティックモンテカルロシミュレーションからは、積層欠陥に濃化した溶質原子がさらに周囲の溶質原子を引きつけ、次の積層欠陥の導入を助長することが示唆された。LPSO 構造形成時の歪エネルギーのマイクロメカニクス解析では、歪の拡散緩和が十分起こりえないこと、構造ユニット間の弾性相互作用を考慮すると H 構造は R 構造より歪みエネルギーが小さいことが明らかになった。フェーズフィールドモデリングでは、Mg-Zn-Y 合金の相分離初期では、純 Mg コーナーでの準安定スピノーダル分解の発現、積層欠陥領域への溶質元素の偏析に駆動された積層欠陥の拡張を見出している。以上、Mg-Zn-Y 系に集中した多くの側面からの検討により、今まで不明であった LPSO 構造の形成過程について、hcp 中の積層欠陥の形成と hcp 中の相分離が重畳して fcc 構造ユニットの生成につながり、弾性的と思われる相互作用が LPSO 構造の形成過程に深く関与することが明らかになりつつある。

3) 極限環境での物質合成

極限環境での物質合成では、通常環境場、超高压環境場、急冷場での新物質探索の研究を通して、①シンクロ型 LPSO 構造の新物質 (新規合金成分と新規積層構造) の発見と同定、②発見されたシンクロ型 LPSO 構造物質の体系的分類、③シンクロ型 LPSO 構造を形成する合金元素の精密なクライテリアの提案、④シンクロ型 LPSO 構造形成のプロセス条件の確立、を目的として研究を行っている。

合金系拡大による新物質探索では、新たに Mg-Ni-Sm 合金での 18R 構造、Mg-Co-Y 系では 15R 構造 (従来と異なる新規構造!) を見出し、超急冷場プロセスによる新物質探索では、急速凝固 Mg₉₇Co₁Sm₂ 系合金においてはこれまでに報告の無い底面内クラスター配置を持つ新規相の発見に至っている。また、超高压高温下でのその場 X 線回折実験より、Mg-Zn-Y 系 LPSO 相は通常環境下よりも不安定化すること、高温高压下での水素化処理で MgH₂ 他の水素化物の生成などが明らかになっており、物質群の拡大および新機能探索の研究は着実に進んでいる。

以上より、現在までの研究成果より、形成メカニズムについて根本的な考えはまとまりつつあり、その場観察と極限環境の効果的な利用、班内/班外との連携研究および情報共有により、さらに理解が進みシンクロ型 LPSO 構造の設計原理が確立されるものと思われる。

(4) A03 班「力学特性解明と新強化原理の構築」の順調な進展状況

A03 班では、シンクロ型 LPSO 構造で見出された特異な変形機構の解明と、それを基にした新たな強化原理の確立を目指している。特に最大の眼目となる「キンク帯」と呼ばれる塑性変形過程で顕在化する組織について、その構造、形成機構、そして高強度化への寄与を明確化する。これを基盤として LPSO 型合金が有する極めて優れた力学物性の起源を明らかにし、新学術として新たな強化法の学理を構築することを目的とする。この目的に向かって、観察・計測を主体とした実験 Gr、マルチスケールな手法を有する計算力学 Gr、そしてキンク帯の回位モデルに焦点を絞った理論・実験融合 Gr が他班も含め強く連携して研究を進め、順調な成果を挙げ

ている。

1) キンク帯による高強度化の実証

キンク帯による高強度化実証の研究ではまず、キンク導入に伴う強度上昇の実験的証拠を得ることが目的である。これについては Mg 系シンクロ型 LPSO 合金において常温から 300°C にわたる温度域で、キンク帯導入により底面すべりの変形抵抗が4倍上昇することが見出されただけでなく、キンク帯の間隔の-1/2 乗に比例して強度が増加することが明らかとなった。これは常温強度だけでなく高温強度に及ぼすキンク帯強化の寄与を定量的に示す重要な成果であり、強化メカニズムの解明に本質的な貢献を果たすと期待される。また計算 Gr では、結晶塑性 FEM でキンク帯の存在をモデリングし、降伏強度の増加に関して実験結果を定量的に再現することに成功している。

2) 特異な変形機構の解明

特異な変形機構解明に関する研究では、キンク帯の形成過程とその構造の解明が焦点となるが、ここでは特に計算 Gr の研究が順調に推移している。まず結晶塑性 FEM でキンク変形の再現に成功し、その結果、キンク帯のエンブリオとその発達箇所として、構造上の初期結晶方位の揺らぎ等の初期不整や構造全体の弾性ひずみエネルギーが最小化される部位であることなど固体力学上の問題が解明された。さらに分子動力学シミュレーションにより、2H 構造に対し LPSO 構造では双晶変形が抑制されること、その一方で底面に先立ち非底面すべりが生じ、これをトリガとして底面に大量の転位が供給されキンク変形が開始、高密度の底面転位群の配列で鋭いキンク界面の形成が再現された。一方実験系では、シンクロ型 LPSO 構造においてキンク変形が何故促進されるのか、非シンクロ型として濃度変調を有しない Ni 基 LPSO 相や 2H 構造を有する純 Zn 結晶を比較材として研究が行われた。その結果 Mg 基シンクロ型 LPSO では 18R、14H 構造の違いによらず、底面すべり、キンク変形が主変形機構を担うのに対して、非シンクロ型ではすべり面の選択性により高い自由度が見いだされた。これはシンクロ型でのキンク帯形成が他構造に比べ促進される有力な理由となる。さらに Mg 系シンクロ型 LPSO 合金で、レンズ状に高速に成長するキンク帯の動的様相をその場観察で捉えた。また nm オーダーの微細マーカー法によりキンク帯発生に伴う塑性歪み分布を定量的に捉え、それが双晶変形と異なる変形モードであることが実証された。

3) 新強化原理の確立

新強化原理の確立では、キンク帯の構造解明とそのモデル化の推進が基盤となるが、前者については超高压電子顕微鏡や EBSD 解析によりキンク帯の回転軸や角度、界面のモルフォロジー等、キンク帯のメゾ構造解析が着実に進展している。また高分解能電顕法 HAADF-STEM, STEM-EDX による構造解析も精力的に進められている。特にキンク帯先端の原子構造解析は、その近傍の大きな歪み場の存在が観察の障害となるが、適切な方位選定等により着実な進展が期待される。またキンク帯を如何なる物理的モデルとして捉えるかという議論が計算 Gr を中心に領域全体で活発に展開されている。そこではキンク帯を、飽くまで転位集合体と見做すか、或は、より高次の欠陥としての回位と見做すか2つの立場からアプローチが行われている。後者のアプローチでは、離散転位塑性論の枠組みを拡張した回位モデルによる高次の離散欠陥塑性論の定式化が行われ、キンク変形の回位によるモデル化が進められており、今後、新たな強化原理の確立に繋がりたいと考えている。

以上、これまでのシンクロ型 LPSO 構造の塑性変形機構と強度に関する実験・理論的研究から、キンク帯の強化機構としての重要性が定量的に実証されると共に、その理論化・モデル化が着実に進展している。今後、他班の構造解析 Gr とさらに強く連携すると共に、実験 Gr と理論 Gr の融合を進め、シンクロ型 LPSO 構造の新奇な力学的挙動の理解を進展させ、それを基に新たな普遍的強化原理の確立を図って行く。

4. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ程度）

領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

本領域における若手研究者

本領域の研究者（計画研究の研究代表者、研究分担者、連携研究者と公募研究の研究代表者）は総勢 49 名であり、その内訳は 30 代 13 名、40 代 18 名、50 代 14 名、60 代 4 名である。平均年齢は H25 年 6 月時点で 45.4 歳であるので、本領域では 45 歳以下の研究者を若手研究者とした。若手研究者数は 27 名であり、領域研究者の約 55%に相当する。なお、若手研究者のうち 2 名が女性研究者である。

(1) 総括班:若手人材育成部会の設置とその活動

総括班の中に「若手人材育成部会」を設置し、若手研究者の啓発および連携促進を行うとともに、人材育成を通じて若手研究者からのボトムアップによる領域研究全体の活性化にも結びつけることを目指してユニークな取組を行っている。本領域の研究活動を通じて材料科学・材料工学を基軸とする日本の学術の将来のさらなる発展を担う優秀な研究者・技術者を養成するための具体的な施策を実施することを目的とし、シンクロ型 LPSO 構造の材料科学を横糸に、領域の学術研究活動の一環として研究分野の枠を越えた開放的な研究の場の提供と交流推進を行う活動を行っている。

具体的には「若手国内異分野武者修行」、「若手海外武者修行」、「若手交流会」の3つの活動を、報告会・滞在記などの共有と情報交換などの面で相互に部会内で連携をとりながら実施している。若手国内異分野武者修行・若手海外武者修行プログラムでは、研究活動に対する幅広い視野と見識の獲得による啓発、研究内容のさらなる高度化・醸成を目的とした研究課題を募集し、本領域総括班審査委員会による厳格な評価を経て旅費等を援助している。また若手交流会では特別講演・見学会・チュートリアルに加えて、異分野を横断するテーマ討論により専門性と学問領域の広がり両立できる人材の育成を目指している。

(2) 若手人材育成部会の若手研究者育成に係る取組状況

1) 若手国内異分野武者修行・若手海外武者修行

若手国内異分野武者修行プログラムに 3 件採択し、若手海外武者修行プログラムに 2 件採択した（うち 1 件は渡航準備中）。

2) 若手研究会・若手特別講演会

若手交流会・特別講演会を開催し、領域内の若手研究者の情報交換の場の提供と啓発活動を行った。

【第 1 回交流会・特別講演会】（H23 年 11 月 24 日、25 日、於:ホテル阪急エキスポパーク(吹田市)）

特別講演(2 件)、参加者による自己紹介および研究話題提供(8 件)、参加者間の自由議論を実施した。総参加者 20 名。

【第 2 回交流会・特別講演会】（H24 年 9 月 20 日、21 日、於:愛媛大学）

特別講演(4 件)、チュートリアル講演(1 件)、新規参加者による自己紹介および研究話題提供(12 件)、参加者間の自由議論を行った。総参加者 30 名(うち領域研究者 16 名、学生 9 名、その他 5 名)。

【第 3 回交流会・特別講演会】（H24 年 12 月 3 日、4 日、於:熊本大学）

「高性能 Mg 合金創成加工研究会」との共催で、特別講演(4 件)および見学会(熊大&不二ライトメタル)を実施した。総参加者 100 名(うち領域研究者 8 名、学生 21 名、共催研究会会員 18 名、その他 53 名)。

(3) 若手人材育成の成果

1) 若手研究者・学生の受賞

以下のとおり、領域研究開始から 2 年間で若手研究者(27 件)と学生(49 件)に多数の賞が授けられており、国内外の専門分野で客観的に高い評価を得ているものと判断できる。

①日本金属学会まてりあ論文賞(H24 年:2 件)、②IMS 2011 International Metallographic Contest, First Place, Class 3、③LPSO2012 (Best Poster Award:2 件、論文賞:1 件)、④2012 MRS Fall Meeting, Poster Award、⑤日本機械学会第 25 回計算力学講演会(CMD2012)優秀講演表彰、⑥日本計算工学会第 17 回計算工学講演会ベストペーパーアワード(H24 年)、⑦ACM Gordon Bell Prize Special Achievements in Scalability and Time-to-Solution 2011 年ゴードンベル賞・特別賞、⑧日本機械学会賞(論文)(H23 年)、⑨ICPA-16 ポスター賞(H24 年)、⑩日本金属学会村上奨励賞(H25 年秋)、⑪軽金属学会軽金属希望の星賞(H24 年)、⑫日本材料学会第 18 回分子動力学シンポジウム MD 賞(H25 年)、⑬第 62 回塑性加工連合講演会優秀論文講演奨励賞、⑭日本高圧力学会奨励賞(H24 年)、⑮CALPHAD Scholarship for Students(H23 年)など

表 5 若手研究者・学生の受賞

受賞	受賞数	平均
若手研究者	27件	1件/人
学生	49件	—
合計	76件	—

2) 若手研究者・学生の国内・国際学会発表ならびに基調・招待講演

若手研究者や学生の研究成果公表(H23 年度以降)は, 下表のように予想以上に活発に行われている。若手研究者の国内学会の発表件数は 145 件(平均 5.3 件)であり, 国際学会の発表件数は 119 件(平均 4.4 件)である。そのうち基調・招待講演の件数は, 国内学会で 39 件(平均 1.4 件), 国際学会で 41 件(平均 1.5 件)にのぼり, 国内外の専門分野で高く評価されているものと判断できる。一方, 学生の国内学会の発表件数は 191 件で, 国際学会の発表件数は 50 件であり, 研究者の卵も着実に育っている。

表 6 若手研究者・学生の受賞

学会発表	一般発表		基調・招待講演		基調・招待講演割合	小計
	発表数	平均	発表数	平均		
国内学会						
若手研究者(27名)	106件	3.9件/人	39件	1.4件/人	27%	145件
学 生	191件	—	—	—	—	191件
小 計	297件	—	39件	—	—	336件
国際学会						
若手研究者(27名)	78件	2.9件/人	41件	1.5件/人	34%	119件
学 生	50件	—	—	—	—	50件
小 計	128件	—	41件	—	—	169件

(4) 若手人材育成部会で実施するプログラムと若手研究者の連携・共同研究の促進との関連

【若手交流会】 交流会を通じて若手研究者どうしの連携が深まり, 基礎資料・文献の情報交換から共同研究, 共著発表に有機的に結びついている。具体的には LPSO 結晶構造に関する班や研究項目の枠組みを越えた情報の共有が行われている。また, 共通試料の提供機関では試料の提供のみならず学術交流のハブ的な拠点としての役割を担っている。走査型プローブ顕微鏡や透過型電子顕微鏡, アトムプローブ法など異なる解析手法・材料特性評価法が相補的に用いられて新奇な構造の理解が進んでいる。また, 実験グループ・第一原理計算グループの若手研究者から高次モデルを扱う理論研究者へ基礎データの提供が行われ, それに基づいた理論予測やメカニズム解明が進められている。

【若手国内異分野武者修行プログラム】 武者修行プログラムを利用して, 理論計算と高圧合成実験グループの大学間共同研究がスタートしている。理論計算を専門とする研究者が試料合成を体験・習得し, その経験を計算を用いた物質開発にフィードバックしつつある。

【若手海外武者修行プログラム】 H24 年度は海外の研究機関に所属する研究者と連携して学生の研究指導を行う環境が整えられた。このような取組みが LPSO 材料科学の発展への貢献にも強く結びついていくと考えられる。

5. 研究費の使用状況（設備の有効活用，研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

(1) 領域予算の概要

【領域全体予算の内訳】 本領域の5カ年間の予算内訳は，計画研究が54.6%，公募研究が17%，総括班が28.4%である。研究支援活動を中心とした総括班の予算が多いのが特徴となっており，プロジェクト研究として領域研究を効果的かつ効率的に進めることが可能となっている。

【総括班予算の内訳】 総括班の5カ年間の予算内訳は，研究活動支援経費が75.2%，若手人材育成経費が6.7%，国際会議開催経費が1.5%，その他の運営経費が16.6%である。本領域研究では，領域内に品質が安定した共通試料の配布が領域研究推進に不可欠である。また，連携研究のコアとなる J-PARC や SPring-8 等の大型量子線施設の利用を支援することが領域研究推進に不可欠である。さらに，領域研究を組織的に推進するためにはデータベース(DB)の運用による情報の共有化が必要である。これらの研究支援活動を総括班が担当しているため，研究支援活動経費の割合が多くなっている。

(2) 設備等の有効活用

【共通試料作製設備の導入と効果的な運用】 一方向凝固試料作製装置を阪大に，多結晶試料の加工装置を熊大に初年度に導入し，H24 年度より本格的な共通試料配布を開始している。現在までに，一方向凝固材と多結晶材を合わせて129本滞りなく供給し，計画研究と公募研究を支援している。

【大型量子線施設の整備と効果的な活用】 「その場観察」をコアにした連携研究に不可欠である「中性子構造解析用変形ステージ」と「放射光構造解析用変形ステージ」を独自に設計して J-PARC と SPring-8 に導入した。H23 年度に仕様の策定を行い，H24 年度初期に作製に取り掛かり，中旬にはリースにより導入し運用を開始している。現在までに J-PARC と SPring-8 を延べ20日間利用した連携研究を実施することにより，シンクロ型 LPSO 構造の精密構造が明らかになりつつある。

【各計画研究実施のための設備導入と効果的な活用】 各計画研究においても当初計画に従い，必要な設備のみを速やかに導入し，直ちに運用を開始している。リースによる設備導入経費を除き，設備は初年度にほぼ導入を完了しており，H24 年度からは導入した設備を活用して研究を効果的に実施している。

(3) 人件費の有効活用

本領域では，下記のように，事務補佐員を各1名配置した4つの本部・サテライト事務局を設置して，領域運営全般と研究支援活動を組織的に行っている（図9）。特に，共通試料作製を担当している阪大と熊大，大型量子線施設利用支援を担当している J-PARC，SPring-8 ならびに九大超高压電子顕微鏡室，DB 構築・運用を担当している東北大金研に技術補佐員を各1名配置して，研究支援活動を組織的に進めている。このような事務局ならびに研究支援体制の構築によって，領域運営全般と研究支援活動が効果的かつ円滑に行われているのみならず，領域研究者が研究に専念できる環境が整えられている。

- ① 新学術 LPSO 本部事務局（九州大学）
- ② 共通試料サテライト事務局（熊本大学）
- ③ 大型量子線施設利用サテライト事務局（J-PARC）
- ④ 広報・DB サテライト事務局（東北大学）

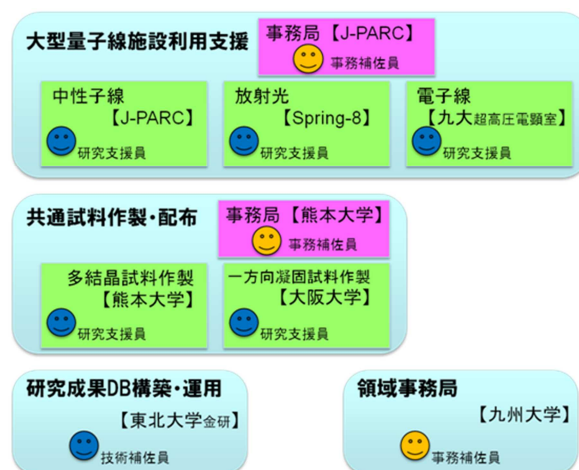


図9 総括班の組織的な研究支援体制

(4) 若手人材育成経費の有効活用

本領域の持続的発展のためには，異分野の融合・連携推進の観点に立った若手人材育成が重要である。そこで，下記の3項目を実施している。

- ① 「若手国内異分野武者修行」として領域内の異分野研究室に若手研究者を派遣し，異分野融合研究をスタートさせている。
- ② 「若手海外武者修行」として海外の先端研究機関へ若手研究者を派遣し，国際共同研究が推進されている。
- ③ 「若手研究会」を年2回開催し，若手研究者同士の異分野交流を推進している。この研究会をきっかけとした共同研究が複数スタートしており，新たな学術領域の創出が期待できる。

若手研究者の国内・国際学会発表数(平均9.7件)，基調・招待講演数(平均2.9件)や受賞数(平均1.0件)が多いことから，若手人材育成経費が有効に活用されていると判断される。

(5) その他, 研究費の効果的な使用

【**領域の企画・運営**】「研究企画委員会」,「研究評価委員会」,「研究推進委員会」,「全体会議」,「総括班会議」,「班会議」,「連携会議」を開催するとともに,各種報告書や評価書を印刷・配布することにより,領域研究の企画・調整・立案,審議,連絡・周知徹底ならびに研究評価を実施することができ,領域の効果的かつ円滑な企画・運営を行うことができた。

【**国際会議の開催**】H24年10月1～3日にシンクロ型LPSO構造に関する国際会議(LPSO2012)を札幌で開催した。LPSO2012では,材料科学や固体力学分野における先駆的な研究者8名による基調講演と本領域で得られた最新の研究成果の発表による活発な学術交流により,今後の研究推進指針が得られた。また,研究成果の世界発信と国際交流の推進を図ることができた。

【**広報活動**】ホームページを運用することにより本領域研究活動とその成果を公表するとともに,ニュースレターを発行し,本領域の取組み内容を広く発信することができた。

【**領域内交流の推進**】合宿研究会,研究成果報告会,班研究会,連携研究会,サマースクール,施設見学会を開催することによって,領域内の交流を活性化させることができた。

【**異分野学術交流の推進**】日本金属学会,軽金属学会,日本機械学会,日本物理学会,日本放射光学会等で本領域に係わるシンポジウムや特別セッションを企画・開催することによって,異分野交流を推進することができた。また,本領域の内容を広く周知させることができた。

【研究支援活動】

・**共通試料の作製・配布** 上述の研究支援員と事務補佐員を配置するとともに,原料費や消耗品の予算を配分することによって,共通試料作製・配布を円滑に進めることができた。

・**大型量子線施設利用の支援** 上述の研究支援員と事務補佐員を配置するとともに,観察・計測に必要な消耗品の予算を配分することによって,「その場観察」をコアにした連携研究を効果的に進めることができた。

・**DBの構築と運用** DBを構築・運用を通して,最新の研究成果に関する情報を共有化することによって領域研究を効果的に推進することができた。なお,構築したDBは,利便性の点からインターネット上で共有する一方で,メンバー限定のセキュリティを付与して情報の流出にも配慮している。

6. 総括班評価者による評価（2 ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

(1) 総括班の評価体制

1) 「研究評価委員会」による評価

総括班の「領域企画・運営部会」に、「内部評価委員」と「外部評価委員」で構成される「研究評価委員会」を設置して、領域の研究の評価を行っている。「内部評価委員」は、領域代表者と3名の班長で構成されており、リーダーの立場から各計画研究や公募研究を評価している。一方、「外部評価委員」には、本領域で中心となる3つの分野（金属工学、構造科学、材料力学）で指導的な立場にある、材料科学分野の増本健先生、構造科学分野の藤井保彦先生、材料力学分野の富田佳宏先生の3名に就任いただいて、各専門分野における研究指導者としての豊富な経験に基づいた客観的な評価をお願いしている。

なお、「研究評価委員会」とは別に「研究推進委員会」を設置して、領域の企画・運営内容の審議・承認を行っている。「研究推進委員会」は「内部研究推進委員」と「外部研究推進委員」で構成されており、「外部研究推進委員」は、3名の外部評価委員の他に、金属系材料研究開発センターの小紫正樹・専務理事、日本マグネシウム協会の小原久・専務理事、経済産業省の非鉄金属課長・審議官を務められた塚本修・東京理科大学特命教授、JFE スチールの主幹であった細谷佳弘・特殊金属エクセル執行役員に就任いただいて、学術界の他に産業界からの助言を仰いでいる。

2) 評価方法

評価委員は合宿研究会・研究成果報告会ならびに総括班会議・全体会議に出席して、個々の計画研究や公募研究のみならず、班単位と領域全体としての研究内容や総括班の活動内容を採点・評価している。H24年度から、評価委員による評点ならびに評価コメントを冊子にして配布することによって、評価結果を領域研究者にフィードバックしている。また、高い評価を得た研究者を表彰することによって、領域研究者のモチベーション向上に努めている。

3) 外部評価委員

① 増本 健（公益財団法人 電磁材料研究所・理事長）[専門分野:金属工学・材料科学]

- ・東北大学名誉教授、文化功労者、Acta Materialia Gold Medal
- ・日本学術会議会員、文部科学省国際局科学官・国際局理工系審査会委員長、内閣府総合科学技術会議専門調査会委員、日本金属学会会長、日本 MRS 会長等を歴任

② 藤井 保彦（一般財団法人 総合科学研究機構 東海事業センター・センター長）[専門分野:構造科学]

- ・元東京大学物性研究所中性子散乱研究施設長
- ・日本学術会議連携会員・結晶学研究連絡委員会委員長、文部科学省日米科学技術協力事業「中性子散乱」日本側代表、日本放射光学会評議員、日本結晶学会評議員、日本中性子科学会会長等を歴任

③ 富田 佳宏（福井工業大学 工学部機械工学科・教授）[専門分野:材料力学・計算力学]

- ・神戸大学名誉教授、日本機械学会フェロー、アメリカ合衆国機械学会フェロー
- ・学術審議会専門委員、NEDO 技術評価委員、日本材料学会会長、理化学研究所客員主管研究員等を歴任

(2) 外部評価委員による中間評価用の評価コメント

1) 外部評価委員の評価コメントの概要

3名の外部評価委員からの評価コメントにおいては、広い学問分野からなる研究者間の連携によって、すでに先駆的研究成果が発信されていること、高品質でよく制御された共通試料を用いて試料間の不確定性や任意性を排除する努力を行っていることなどの研究面と、領域内研究推進、広報・交流推進、若手人材育成において機動性をもたせた組織運営が行われている点において特に高い評価をいただいていることが共通している。

2) 増本 健外部評価委員の評価コメント

本新学術領域研究は、研究代表者によって発見され、実用化が進んでいる新規な強力 Mg 合金の基礎研究に関する研究プロジェクトであり、わが国発の次世代金属材料の開拓として大いに期待している。また、主題である濃度変調と構造変調が同時に発現するという「シンクロ型 LPSO 構造」の発見は、材料強化の新たな機構として注目され、その根本的解明が待たれている。本研究プロジェクトは、シンクロ型 LPSO 構造と形成メカニズムの解明およびその強化機構の解明を目的として、3つの計画研究と公募研究によって行われている。

中間評価として指摘したい点は、本研究プロジェクトでは、1)物理・化学・工学の広い分野からなる研究者間の連携によって、既に幾つかの先駆的研究成果を挙げていること、2)それらの研究成果を著名なジャーナル誌に数多く発表し、また主題の国際会議を独自に開催して世界に発信する努力をしていること、3)頻繁に国内会議を開催して、研究グループ内の有機的連携を図る努力をしていること、4)積極的に若い研究者の

採用と育成に努力していること、5) 全般的に組織運営が上手く行われていること、など順調にプロジェクトが進行しており、現段階では高く評価する。

後半の研究期間においては、構造解析・理論計算と材料開発プロセスとを融合して得られた材料設計指針を構築して、今後の材料開発に対してブレークスルーを与える成果を期待したい。そのために、今後も一層のグループ間の連携を深めて、構成員一体となって「シンクロ型 LPSO 構造」という新たな材料科学の構築に向かって邁進し、新たな学問領域として定着させることを期待したい。また、現在既に実施されている Mg 合金の開発研究に研究成果を反映させる努力を行なって、わが国発の新しい Mg 合金として実用化を進めることを期待したい。

3) 藤井 保彦外部評価委員の評価コメント

本「シンクロ型 LPSO」新学術領域研究は、河村領域代表の強力なイニシアティブの下に、明快な組織的枠組みを構築して戦略的に推進されている。この種の実験的研究において問題となる試料の違いによる不確実性や任意性を排除するため、最初から高品質でよく制御された共通試料を提供する拠点(熊本大, 阪大)を整備しているが、研究の進展に伴う研究者からの新しい要望にも対応している。この共通試料提供は、研究支援活動部会の一つのアクティビティであるが、この他、領域内研究推進、広報・交流推進、若手人材育成、図書出版・知財などの部会を設置しており、プロジェクト推進に機動性を持たせている。このような縦横の支援体制の下で、A01, A02, A03 研究班が各班会議・研究会、班横断的な連携会議・総括班会議などを通じて、プロジェクト研究としての新学術領域の創生を目指している。

研究班は、A01 班(構造科学)、A02 班(形成メカニズム)、A03 班(力学特性と新強化原理)からなり、さらに各班は複数のグループから構成されている。H24 年度成果報告会に参加して、各班・グループからきりと光る成果が発信されており今後の発展を大いに期待する。放射光・中性子の大型施設の戦略的な利用を行うこともこのプロジェクトの特色であるが、施設の整備が整ったところであり後半の成果に期待する一方、STEM やアトムプローブによる優れた実験成果が挙げられている。しかし、優れた情報が班間・グループ間で十分共有されていないこと、グループ内の切磋琢磨すべき個別研究のいくつかについては相互の厳しい建設的な議論が不足しているのではないかと感じた。このプロジェクトのために構築したフレームワークを十分に活用して、裾野を広げる横断的な情報交換と、ピークを目指す研究推進に期待したい。

4) 富田 佳宏外部評価委員の評価コメント

本研究は、環境負荷が少ない省エネルギー社会を構築する上で不可欠な高強度・軽量材の開発に関連して、シンクロ型 LPSO 構造を強化相としたマグネシウム合金が呈する高強度・高延性などをもたらす長周期積層構造の形成メカニズムや力学特性・強化原理を解明し、新たな材料科学の構築と実用化に必要な基盤の確立を目指しつつ我が国が必要とする国際競争力を有する人材の育成にも力を入れている。

具体的には、構造解析と計算科学の融合による LPSO 構造科学の構築、LPSO 構造の濃度・構造変調設計原理の確立ならびに LPSO 構造の変形ダイナミクスの解明と新強化原理の確立を目標とし、自然科学、材料科学、計測学における最高の研究者と研究に必要な我が国が保有する最高の実験、計算資源を組織的に融合し、革新的な研究を推進している。

本研究の成果は、我が国で開発された超高強度 LPSO 型マグネシウム合金の実用化に資するものであり、環境・エネルギー問題の解決に大きく寄与するとともに軽金属材料の開発に革新的展開をもたらす材料の力学物性研究に未踏の領域を形成することに大きな期待がもたれる。ものづくり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、我が国の科学技術や学術水準の向上・強化に資するものと期待される。

研究会主催の H23, 24 年度報告会への参加を通じて承知した研究成果(詳細は H23, 24 年度研究成果報告書にあり)から、所期の目的を達成するために着実に研究が推進され多くの成果があげられていることが確認できた。実用化を期待している多くの研究者ならび技術者を擁する学協会を含む内外の数多くの学会において、本研究課題の成果を積極的に公表することは、関連分野の研究者、技術者の注目を集め、新材料の将来の実用化に向けて望ましい。これらは、総括班の指揮のもと各研究班に所属する多くの研究者が連携を図りつつ研究を推進した証であると高く評価できる。各班の所期の目的に対する達成度、その研究全体に対する寄与度などわかりやすい形で表現されると、研究の進捗状況がより明確になり研究方針がより明確になるものと考えられる。将来の実用化に向けた研究も視野にあり、実用化を期待している分野の研究者や技術者からも理解しやすい表現による説明が必要であろう。もちろん、最終年度まで十分な時間があるので、今すぐの課題ではないが、意識されることを期待する次第である。

7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）〔研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理する〕

（3 ページ程度）

現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

（1）A01 班「構造科学」の主な研究成果

【A01-1】原子レベル構造解析による LPSO 構造の構造物性発現機構の解明

18R 型積層を有する Mg-Al-Gd 系 LPSO 相の STEM 直接観察により、従来報告とは異なり希土類元素 (Gd) が濃縮されるのが積層欠陥部の 2 層ではなく 4 層であり、濃縮 4 重層内において、希土類元素 (Gd) と Al が $L1_2$ 型構造と同様の原子配列をもつ Al_6Gd_8 クラスタを形成し、それがブロック内で長周期にわたって規則配列していることを明らかにした (図 10)。この濃縮 4 原子層を含む 6 原子層を構造ブロックとして、その構造ブロックの積層構造として結晶構造が記述できることを明らかにした。これらにより、シンクロ型 LPSO 構造の原子配列が完全に解明された。シンクロ型 LPSO 構造の材料科学の学理構築を目指す上で、LPSO 構造物質の原子配列を解明することは、形成メカニズムや変形メカニズムを明らかにする上で最も重要な情報を与えるものであり、本領域の研究を推進するうえで、最も基礎的かつ重要な研究成果を得ることができた。

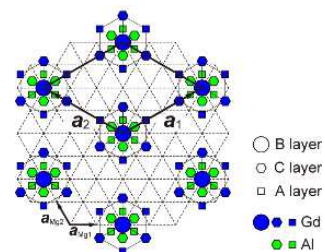


図 10 Mg-Al-Gd 系 LPSO 相における Al_6Gd_8 クラスタの規則配列

【A01-2】量子線を用いた精密構造解析による LPSO 構造の材料特性発現機構の解明

J-PARC の中性子回折による研究では、力学特性に関する知見を得る目的で、中性子の高物質透過性を活用して可能となるバルクスケール材の機械的性質と結晶構造レベルでの応力応答の相関を、初めて明らかにした。図 11 に 18R 単相 LPSO $Mg_{85}Zn_6Y_9$ 合金鋳造材の引張応力挙動を示す。LPSO 単相の微視的レベルでの応力応答には異方性があり c 軸方向が硬いことが判る。LPSO 合金は長周期構造を有するため、通常金属材料に対する中性子回折応力測定解析が適用できるか不明であったが、MLF 施設で開発した構造解析ソフトウェアを適用し解析に成功した。本データは、LPSO 合金の強化機構解明において基礎データとなるもので取得が望まれていたものである。また予想以上に研究が進展し、単相試料の比較として、鋳造及び押し出二相合金(LPSO 相+Mg 母相)の引張応力挙動の測定に成功し、LPSO 相が強度を担うという決定的な証拠を捉えることに成功した。

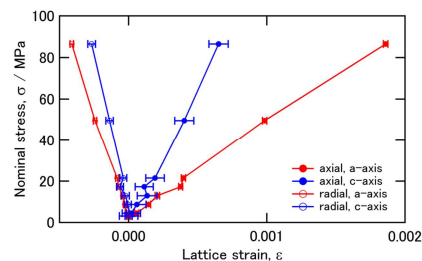


図 11 単相 LPSO 材の引張挙動

【A01-3】第一原理に基づく計算科学による LPSO 構造の電子論と構造科学の構築

本研究は、定量的な物性予測が可能な第一原理解析とそれを包含する計算科学手法により、LPSO 構造の特異な構造特性発現を引き起こす支配因子を原子・電子レベルから特定し、LPSO 構造の原子配列構造を解明、更には LPSO 構造の形成に関わる指導原理を獲得することを目的としている。これまで、密度汎関数理論に基づく電子状態解析により Mg-Al-Gd/Mg-Zn-Y 系 LPSO 構造の結合・変形特性を明らかにするとともに、本系の短範囲規則構造を支配する多体相互作用を明確化した上で、この効果を取り入れた新規の原子配列モデリング手法を構築してきた (図 12)。これにより、当該系の格子構造における多様な原子配列の形成エネルギーを予測的に評価することが可能となり、添加元素組成の異なる LPSO 構造中の典型的な規則構造を効率的に探索できるようになった。

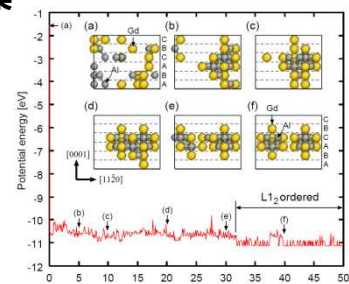


図 12 原子配列モデリング手法による溶質クラスター形成の再現

【A01-公募・安田】放射光マイクロビーム微小単結晶構造解析によるシンクロ型 LPSO 構造の原子配列解明

本研究では SPring-8 の高輝度集光 X 線を利用して、シンクロ型 LPSO 構造マグネシウム合金の結晶構造と原子配列を解明することを目標としている。SPring-8 BL02B1 および BL40XU ビームラインを用いて LPSO Mg 合金の一つである $Mg_{29}Al_3Gd_4$ 単結晶の X 線回折データの測定を行い、Gd と Al の元素濃縮による特徴的な Al_6Gd_8 原子クラスター構造をもつ結晶構造の解析に成功した (図 13)。X 線回折による原子レベルの詳細な構造データが得られたのは初めてであり、この結晶学的データは計算科学の研究班へ入力データとして提供され、LPSO 構造や特性の発現メカニズムの解明に有効活用されるものである。また、 $MgZn_3Y_7$ および $MgZn_6Y_9$ など複数のマグネシウム合金の X 線回折データも得られており、構造の解析を着実に進めている。

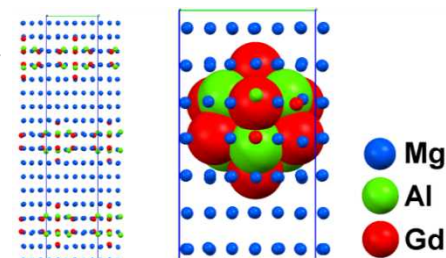


図 13 単結晶 X 線構造解析によって得られた $Mg_{29}Al_3Gd_4$ 試料の結晶構造

(2) A02班「形成メカニズム解明」の主な研究成果

【A02-1】原子間結合エネルギー解析によるシンクロ型 LPSO 構造形成メカニズム解明

計算状態図, 実験状態図ともに TypeIの代表的合金系である Mg-Zn-Y 合金に関して高温での積層欠陥構造の安定化の考察や従来報告とは異なる LPSO 構造の安定組成領域の実験的決定(図 14)など, 着実な成果を挙げており, さらに合金系の拡張に取り組んでいる. 放射光測定では定量的な組織変化が捉えられることを示し, 長範囲の LPSO ドメインが形成されていても面内規則化では微小なドメイン構造を持ち, その成長は遅いことなどを明らかにした. 現在状態図上重要な, 液相が関与する温度域での LPSO 形成過程に取り組んでいる. これらの解釈に必要なフェーズフィールド計算は本合金系に最適化した計算手法の実装を完了し, これから状態図 Gr の新知見に対応した熱力学関数の取り込みにかかる段階に達した.

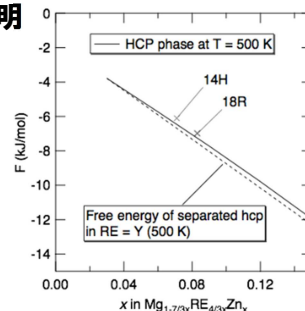


図 14 計算状態図法による相分離傾向と LPSO 構造の安定性の検討

【A02-2】格子歪エネルギー解析によるシンクロ型 LPSO 構造形成メカニズム解明

LPSO 構造形成時の局所歪場のエネルギー評価/歪緩和解析, 濃度・構造変調に起因するエネルギー変化の電子論的評価, 変調がシンクロする相変態のフェーズフィールドモデリング, の観点から, LPSO 構造形成への格子歪の影響を実験, 理論的に検討し, hcp 中の積層欠陥形成と相分離が重畳して LPSO 構造中の fcc 構造ユニットが生成すること, ユニット間の弾性的相互作用が LPSO 構造形成に大きく関与することを初めて明らかにした.

図 15 は, 転位の拡張を考慮して, 積層欠陥形成と濃度場相分離を同時に扱うフェーズフィールドモデルを初めて開発し, 組織形成ダイナミクスのシミュレーションを行ったものである. 積層欠陥領域への溶質元素の偏析に駆動されて, さらなる積層欠陥の拡張が起こること, 積層欠陥が当初不均一に分布しても, 時効過程で特定の周期の LPSO 構造に置き換わること, を明らかにした.

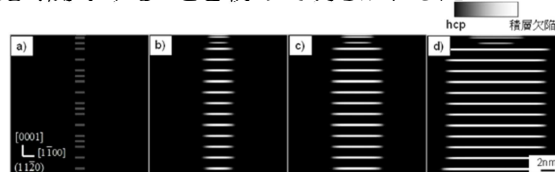


図 15 組織形成ダイナミクスのシミュレーション結果

【A02-3】極限環境下物質合成によるシンクロ型 LPSO 構造物質群の拡大

シンクロ型 LPSO 構造物質群の拡大を目指して, 常圧場, 超高压場, 超急冷場を駆使した物質探索を行うことで, 三つの大きな発見に至った. ① Mg-Al-RE 系において新奇な Order-Disorder (OD) 型 LPSO 構造を, ② Mg-Co-Y 系において新奇な 15R-LPSO 構造(図 16)を, ③ Mg-Co-Sm 系において新奇な底面内クラスター配置を持つ LPSO 構造を初めて見出した. Mg-Al-Gd 系 OD 型 LPSO 構造は A01 班における溶質元素の原子配列決定に重要な役割を果たした. Mg-Co-Y 系 15R-LPSO 構造と Mg-Co-Sm 系新奇 LPSO 構造は, 従来の LPSO 構造に見られる $L1_2$ クラスターとは異なるクラスターから構成されていることから, 今後のシンクロ型 LPSO 構造物質の体系的分類とクライテリアの精密化に重要な知見を与えるものである.

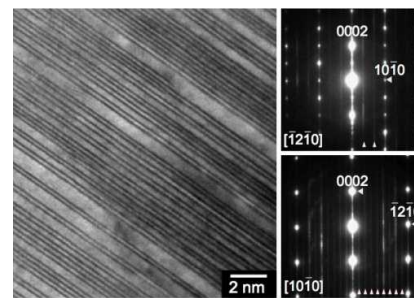


図 16 Mg-Co-Y 系急冷合金に観察された新奇シンクロ型 LPSO 構造

【A02-公募・徳永】超高強度マグネシウム合金の相変態挙動に基づく LPSO 構造形成メカニズムの解明

LPSO 構造形成・変化メカニズムの解明に資する知見を得るため, $Mg_{85}Zn_6Y_9$ 铸造多結晶合金の示差走査熱量測定 (DSC) と X 線回折 (XRD) 測定を行い, 以下の成果を得た (A02-1 との連携). DSC 加熱曲線において, 490°C および 535°C 付近に熱的变化が確認された. 上記のうち 490°C の熱的变化と原子配列との相関を調べるために, DSC による試料溶融後, 400°C で種々の時間熱処理した試料を XRD 測定した結果, 熱処理時間が長くなるにつれて 18R 構造中の Zn と Y が濃化した原子面 (001) に関する回折ピークの強度が増大することが分かった (図 17). これから, 490°C の熱的变化は, Zn や Y の (001) 面における濃縮度合いあるいは規則化に起因し, LPSO 構造形成に対応している可能性が示唆された.

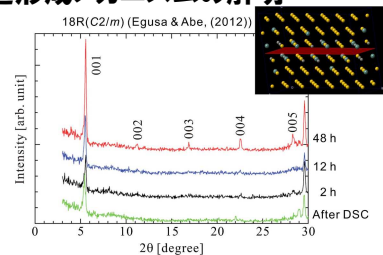


図 17 $Mg_{85}Zn_6Y_9$ 铸造多結晶合金の 400°C 熱処理に伴う XRD パターン変化

【A02-公募・黒川】走査トンネル顕微鏡による LPSO 合金の破断面の超高分解能観察

本研究は, 走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて, LPSO 相の原子構造を明らかにし, さらにそこから LPSO 相の形成メカニズムに関する知見を得ることを目的としている. STM は表面第 1 層のみに感度のある顕微鏡であるので, 試料内の局所的な構造の評価にその真価を発揮する. これまでに, STM 観察に適した試料表面作製技術の開発に成功し, Mg-Zn-Y 系 LPSO 相内の Zn-Y クラスターの配列を初めて明らかにした (図 18). 具体的には, クラスター配列に非常に頻繁に“欠陥”が導入される事実を明らかにした. さらに, クラスターが配列せず, ランダムに分布する領域が試料中に存在することも見出し, Mg-Zn-Y 系 LPSO 相内のクラスター配列の詳細を明らかにした.

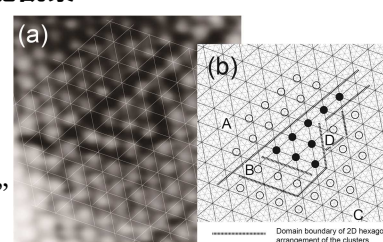


図 18 (a) STM 像. (b) Y-Zn クラスター配列の解析結果

【A02-公募・石川】 シンクロ型 LPSO マグネシウム合金の水素化と

水素貯蔵・透過材料への展開

LPSO構造物質の水素貯蔵合金としての可能性を明らかにすることを目的に、LPSO単相 $Mg_{85}Zn_6Y_9$ 合金の水素貯蔵特性を調べた。図19に示すとおり、400°Cでは約1.3MPaで圧力プラトーが観察され、4MPaでの水素貯蔵量は約5wt%と高い値を示すことがわかった。しかし、完全に水素を放出しないことも判明した。測定後の試料のX線回折図形より、Yの水素化物が生成していることが明らかとなった。測定温度を350°Cに低下させると、プラトー圧は低下した。しかし300°Cでは水素化が十分に進行しないため、水素貯蔵量は見かけ上低下した。プラトー圧と温度の関係をキッシンジャー法により整理したところ、LPSO水素化物の生成エンタルピーは約72kJ/molであった。これは $Mg-MgH_2$ 反応とほぼ同等の値であり、LPSO合金の水素貯蔵は、Mgの水素化によることがわかった。

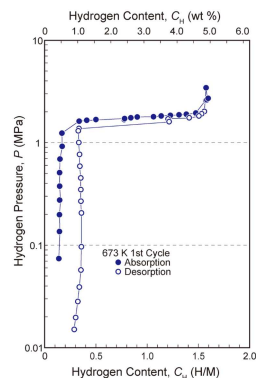


図 19 LPSO 単相 $Mg_{85}Zn_6Y_9$ 合金の水素貯蔵特性

(3) A03班「力学特性解明と新強化原理の構築」の主な研究成果

【A03-1】 観察・計測によるシンクロ/非シンクロ型 LPSO 構造の変形機構と強化原理の比較解明

キンク帯が LPSO 強化の要となる定量的証拠を得た。図 20 に示すようにキンク帯導入は、底面すべり進行の障害として寄与することで、その強度は最大 2 倍以上もの上昇を示した。またキンク帯密度と強度との関係は常温から 573K に渡る温度域で実験的に定量化され、キンク帯強化の定量的指針の導出につながる大きな成果が得られた。キンク帯のメソスケール構造解析も進展し、その幾何学的特徴と共に、その場観察によるレンズ状のキンク境界対の高速進展の様相が捉えられた。ナノスケールマーカで剪断歪みを定量化した結果、通常の Mg 合金で一般的な双晶変形では決まっていなかったことが判明した。これらはキンクの回位モデルを示唆する重要な観察結果である。さらに Ni 系非シンクロ型 LPSO 構造との比較から、濃度変調の同期が非底面すべり挙動に大きく影響することも明らかになった。

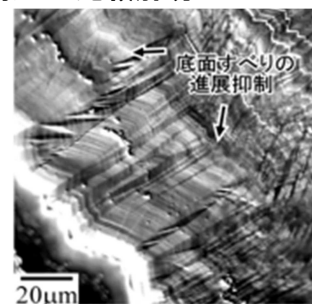


図 20 キンク帯導入による底面すべり抑制

【A03-2】 マルチスケール計算力学による LPSO 構造の変形と力学特性の解明

A03-2 グループでは LPSO 構造の変形と力学に関するマルチスケール解析を主要な課題とし、LPSO 相に観察されるキンク変形現象の詳細を明らかにすることなどを目的としている。LPSO 単結晶試料の圧縮負荷に関する結晶塑性解析では、キンク変形に伴う転位などの結晶欠陥群の蓄積と結晶方位回転の過程などが明らかになった。また原子シミュレーションでは、変形初期に非底面すべりが生じ、これが底面に大量の転位を供給し、キンク変形をもたらす現象などを捉えることができた。図 21 は 4 種の LPSO および hcp, fcc 構造の単結晶試料の圧縮変形の結果をまとめたものである。結晶方位に偏りのある LPSO 試料では、多くの場合キンク変形が支配的であることが明らかになった。

α	Strain rate ($\dot{\epsilon}^T$ 1/s)	LPSO (10H)	LPSO (18R)	LPSO (14H)	LPSO (24R)	HCP (2H)	FCC (3C)
0	10^0	Non-basal 120 ps	Twin 80 ps	Non-basal 120 ps	Non-basal 120 ps	Twin 80 ps	(Basal) 80 ps
	10^8	Non-basal 1.6 ns	Non-basal 1.6 ns	Non-basal 1.6 ns	Twin 1.04 ns	Twin 0.8 ns	(Basal) 1.2 ns
4	10^0	Kink 240 ps	Kink 240 ps	Twin 160 ps	Kink 160 ps	Twin 160 ps	(Basal) 200 ps
	10^8	Kink 2.0 ns	Kink 2.0 ns	Kink 2.0 ns	Twin 1.04 ns	Twin 0.8 ns	(Basal) 1500

図 21 様々な結晶構造をもつ単結晶の圧縮変形に関する原子シミュレーション結果

【A03-3】 数形形態学と階層構造科学の融合による積層構造体の力学特性発現機構の解明

実験観察と理論解析・計算の融合研究と A03-1 班との連携研究によりキンク構造の形成機構の解明を目的として研究を実施した。 $Mg_{97}Zn_1Y_2$ 合金押出材の LPSO 相内に形成されるキンク帯近傍の微細構造に対し HAADF-STEM 法 (図 22 (a)) ならびに STEM-EDX 法による観察・元素分析を行った結果、キンク帯は母相よりも硬質な金属間化合物近傍で顕著に形成され、キンク境界における溶質濃化領域の解消に伴うキンク帯の不動化が強化に寄与するメカニズムが明らかになった (図 22 (b))。一方、離散転位塑性論によるキンク構造の力学解析 (図 22 (c)) を行い、転位分布の局在化がキンク境界を形成することを明らかにした。さらに格子のゆがみや回転を伴う増分境界値問題を精度よく解析するために有限変形理論に基づく新たな計算力学モデルを構築し、キンク変形の記述に初めて成功した (図 22 (d))。

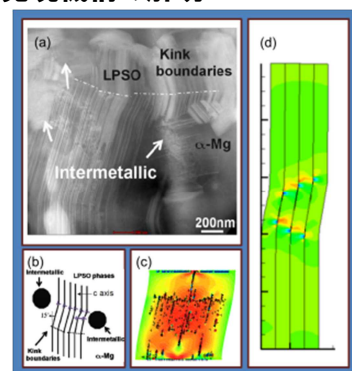


図 22 キンク構造の観察と離散転位モデリング

【A03-公募・諸岡】長周期積層型規則構造を有する高強度マグネシウム合金における四次元応力解析

中性子回折により LPSO 相の強化機構への寄与の実証を目的とする。図 23 は、 $Mg_{97}Zn_1Y_2$ 合金における引張変形中の引張軸方向に対して垂直な面に配向した LPSO 結晶粒群と、同じく平行な面に配向した結晶粒群の格子ひずみの形成を示す。格子ひずみは、弾性ひずみ成分であることから、この曲線は応力—ひずみ曲線と同等に考えることができる。黒線は、供試材の弾性ひずみ(理論値)と巨視的ひずみの関係である。弾性域は、外力の増加に伴い、Hooke 則に従って直線的に増加する。その傾きは、結晶粒群ごとに異なることから、弾性異方性が存在することを意味する。また、それぞれの結晶粒群は、理論値より大きな格子ひずみを担うことから、LPSO 相自体が二相マグネシウム合金の硬質相として働き、変形応力を上昇させる駆動力となることが実証された。

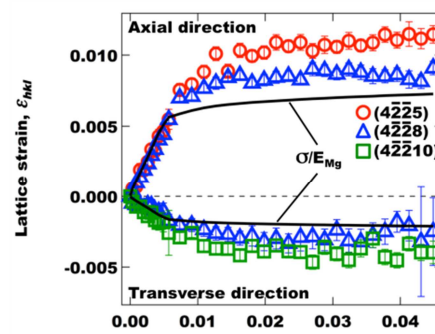


図 23 格子歪と付加歪の関係

【A03-公募・多根】力学系および組織形成シミュレーションに不可欠な LPSO 相単相の単結晶弾性率の解明

LPSO 相単相の単結晶弾性率の解明を目的として、結晶方位が制御された集合組織を有する多結晶の弾性率から、単結晶の弾性率を算出する Inverse Voigt-Reuss-Hill 近似を新たに考案した。この方法を用いて、A03 班の萩原と連携し Mg-Zn-Y 合金の LPSO 相単相・単結晶の弾性率を世界で初めて決定した。これにより、図 24 に示すように LPSO の異方的な結晶構造を反映したヤング率の異方性を明らかにした。また、A01 班の君塚と連携し、第一原理計算を用いた解析により、LPSO 相の弾性特性に及ぼす「長周期積層構造」および「溶質原子の積層欠陥への濃化」の影響を明らかにした。本研究は、若手研究者の有機的な連携により実施されたことを強調したい。

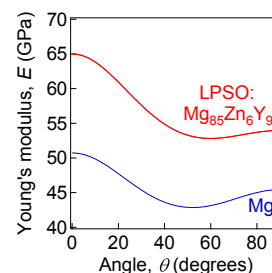


図 24 LPSO 相と Mg のヤング率の結晶方位依存性。θ は <0001> 方向からの角度。

【A03-公募・高島】マイクロ材料試験による Mg-Zn-Y 合金中に形成される LPSO 相の強化機構の解明

Mg-Zn-Y 合金中に形成される LPSO 相の機械的性質は、これまで明らかになっていない。本研究では、一方向凝固 (DS) 材の 1 つの LPSO 結晶粒から、マイクロ単結晶試験片を切り出し、引張試験を行うことで変形挙動を調べた。また、LPSO 相中にキックを含む試験片も準備し、機械的性質に及ぼす LPSO 相中のキック帯の影響を調査した。LPSO 相単相では LPSO 相の主すべりである底面すべりのみが活動することにより、非常に大きい伸びを示した。一方、LPSO 相中にキックを導入した試験片では降伏応力、加工硬化率ともに増加した(図 25)。これらの結果は、LPSO 相中に存在するキック帯が、強度増加に寄与することを示しており、本領域で目指している LPSO 相による新しい強化原理の確立に大きく貢献するものである。

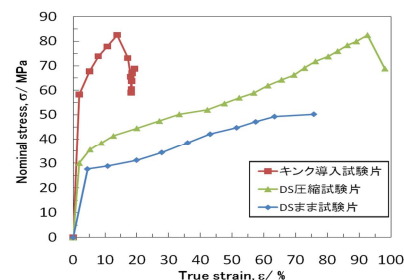


図 25 LPSO 単結晶マイクロ試験片における応力—歪曲線

【A03-公募・高木】フェーズフィールド法による LPSO 型マグネシウム合金の強化機構の解明

LPSO 型マグネシウム合金の強化機構の一つである、塑性加工時の LPSO 相に挟まれた α -Mg 相の動的再結晶現象を再現する数値モデルを構築することを目的として研究を行った。ここで、マクロな変形挙動を大変形弾塑性有限要素法により、ミクロな動的再結晶粒成長をマルチフェーズフィールド法により評価する熱間加工マルチスケールモデルを構築した。また、構築したモデルを用いることで、円筒の不均一圧縮シミュレーションを行い、場所および時間によって変化するミクロ組織を反映したマクロな力学特性を表現可能であることを確認した。今後、LPSO 相を考慮した硬化相誘起動的再結晶モデルの構築を進める。

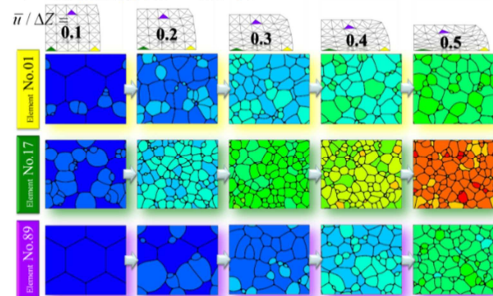


図 26 構築したモデルによる円筒の圧縮シミュレーション時のマクロ変形とミクロ組織の変化

8. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧，ホームページ，公開発表等）（5 ページ程度）

現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文，書籍，ホームページ，主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合，計画研究・公募研究毎に順に記載し，研究代表者には二重下線，研究分担者には一重下線，連携研究者には点線の下線を付し，corresponding author には左に*印を付してください。また，一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

(1) 学術的研究成果の公表の状況

1) 学術的成果公表状況の概要

領域研究開始からこれまでの2年間に得た学術的成果の数を下表に示す。

- ① **学術論文について**：学術論文は総数 394 編であるが，その内，シンクロ型 LPSO 構造に直接関連する学術論文（直接関連論文）は 78 編で，本領域研究に間接的に一部関連する論文（間接関連論文）は 316 編である。本領域研究は異分野融合のプロジェクト研究であり，約 70%の研究者が LPSO 構造や Mg 合金の研究に初めて着手するという状況であったので，当然ながら学術論文として投稿できるような研究成果を出すのに時間がかかっていたが，現在では学術論文が着々と投稿されている。
- ② **領域内連携研究の成果について**：領域内の複数の研究室間の連携研究によって生まれた成果は，LPSO 構造と直接関係する学術論文の 37%，国内・国際学会発表の 35%，さらに受賞の 30%にのぼり，連携研究が着実に進められている。

表 9 これまでの学術的成果

業績種別		件数	領域内の複数の研究室間の連携研究(内数)
学術論文	直接関連論文	78編	29編 (37%)
	間接関連論文	325編	
解説・総説		32編	
著書		24件	
学会発表 (一般講演・ポスター発表)	国際	197件	68件 (35%)
	国内	477件	114件 (30%)
基調・招待講演	国際	96件	
	国内	110件	
受賞		92件	28件 (30%)
特許		13件	

2) 学術論文（LPSO に直接的に関連する論文 78 編と間接的に関連する論文 325 編，LPSO に直接的に関連する論文のうち領域内の複数の研究室間の連携研究成果 29 編：以下主要 50 編を示す）

【A01-1】

- [1] 【連携・若手】 “Enrichment of Gd and Al atoms in the quadruple close packed planes and their in-plane long-range ordering in the long period stacking-ordered phase in the Mg-Al-Gd system”, H. Yokobayashi, *K. Kishida, H. Inui, M. Yamasaki, Y. Kawamura, Acta Mater., 59 (2011), 7287-7299.
- [2] 【連携・若手】 “The crystal structure of the LPSO phase of the 14H-type in the Mg-Al-Gd alloy system”, *K. Kishida, H. Yokobayashi, H. Inui, M. Yamasaki, Y. Kawamura, Intermetallics, 31 (2012), 55-64.
- [3] 【若手】 “The most stable crystal structure and the formation processes of an order-disorder (OD) intermetallic phase in the Mg-Al-Gd ternary system”, *K. Kishida, H. Yokobayashi, H. Inui, Philos. Mag., (2013), in press.
- [4] 【連携・若手】 “Polytypes of long-period stacking structures synchronized with chemical order in a dilute Mg-Zn-Y alloy”, *E. Abe, A. Ono, T. Itoi, M. Yamasaki, Y. Kawamura, Philos. Mag. Lett., 91 (2011), 690-696.
- [5] 【若手】 “The structure of long period stacking/order Mg-Zn-RE phases with extended non-stoichiometry ranges”, D. Egusa, *E. Abe, Acta Mater., 60 (2012), 166-178.
- [6] 【連携・若手】 “Micro-kinking of the long-period stacking/order (LPSO) phase in a hot-extruded Mg97Zn1Y2 alloy”, D. Egusa, M. Yamasaki, Y. Kawamura, E. Abe*, Mater. Trans., 54 (2013) 698-702.

【A01-2】

- [7] 【連携】 “In-situ neutron diffraction study on tensile behavior of LPSO Mg-Zn-Y alloys”, *K. Aizawa, W. Gong, S. Harjo, J. Abe, T. Iwahashi, T. Kamiyama, Mater. Trans., (2013), in press.
- [8] 【連携・若手】 “Neutron diffraction on LPSO structure in Mg-Zn-Y alloys”, *W. Gong, K. Aizawa, S. Harjo, J. Abe, T. Iwahashi, T. Kamiyama, Mater. Trans., 54 (2013), 974-976.
- [9] 【外部共研】 “System of laser pump and synchrotron radiation probe microdiffraction to investigate optical recording process”, N. Yasuda, Y. Fukuyama, *S. Kimura, K. Ito, Y. Tanaka, H. Osawa, T. Matsunaga, R. Kojima, K. Hisada, A. Tsuchino, M. Birukawa, N. Yamada, K. Sekiguchi, K. Fujiie, O. Kawakubo, M. Takata, Rev. Sci. Instrum., 84 (2013), 063902-1-063902-5.
- [10] 【外部共研】 “Development of a cryogenic load frame for the neutron diffractometer at Takumi in Japan Proton Accelerator Research Complex”, *X. Jin, T. Nakamoto, S. Harjo, T. Hemmi, T. Umeno, T. Ogitsu, A. Yamamoto, M. Sugano, K. Aizawa, J. Abe, W. Gong, T. Iwahashi, Rev. Sci. Instrum., 84 (2013) pp. 063106-1 - 063106-4.
- [11] 【外部共研】 “Novel monolayer shields of a neutron powder diffractometer SPICA at BL09 of J-PARC”, *M. Kawai, M. Yonemura, S. Torii, T. Muroya, K. Mori, T. Fukunaga, K. Okuno, K. Takeda, K. Niita, T. Kamiyama, Progress in Nuclear Science and Technology, (2013), in press.

【A01-3】

- [12] 【連携・若手】 “Effect of periodic enrichment of Zn and Y atoms synchronized with a long-period stacking ordered structure on elastic properties of a Mg-Zn-Y alloy single crystal”, *M. Tane, Y. Nagai, H. Kimizuka, K. Hagihara, Y. Kawamura, Acta Materialia, (2013), in press.
- [13] 【若手】 “Predicting atomic arrangement of solute clusters in dilute Mg alloys”, *H. Kimizuka, S. Ogata, Mater. Res. Lett., under review.
- [14] 【若手】 “Effect of alloying elements on in-plane ordering and disordering of solute clusters in Mg-based long-period stacking ordered structures: a first-principles analysis”, *H. Kimizuka, M. Fronzi, S. Ogata, Scripta Mater., under review.
- [15] 【若手】 “Multi-replica molecular dynamics modeling”, *A. Ishii, H. Kimizuka, S. Ogata, Comp. Mater. Sci., 54 (2012), 240-248.

【A02-1】

- [16] 【若手】 “Phase stability of long-period stacking structures in Mg-Y-Zn: a first-principles study”, *S. Iikubo, K. Matsuda, H. Ohtani, Phys. Rev. B86, (2012), 054105.
- [17] 【連携】 “Development of microstructures of long-period stacking ordered structures in Mg₉₅Y₅Zn₀ alloys annealed at 673 K examined by small-angle X-ray scattering”, *H. Okuda, T. Horiuchi, T. Maruyama, M. Yamasaki, Y. Kawamura, H. Hagihara, S. Kohara, Metall. Mater. Trans. A, (2013), in press (Editor's choice として無償 OpenAccess 予定)
- [18] 【外部共研】 “Experimental study on phase equilibria in the vicinity of X, W and H phases in the Mg-Zn-Y ternary system”, *A. Hamaya, T. Horiuchi, Y. Oohira, S. Minamoto, S. Miura, Mater. Trans., 54 (2013), 641-646.

[19] 【若手】“Thermodynamic analysis of the Mg-RE-Zn (RE = Y, La) ternary hcp phase using the cluster variation”, *S. Iikubo, S. Hamamoto, H. Ohtani, Mater. Trans., 54 (2013), accepted

[20] 【連携】“Evolution of long-period stacking order structures on annealing as-cast $Mg_{85}Y_9Zn_6$ alloy ingot observed by synchrotron radiation small-angle scattering”, *H. Okuda, T. Horiuchi, T. Tsukamoto, S. Ochiai, M. Yamasaki, Y. Kawamura, Scripta Mater., 68 (2013), 575.

【A02-2】

[21] “Discussion on strain accommodation associated with formation of LPSO structure”, *T. Furuhara, X. Gu, Mater. Trans., 54 (2013), 675-679.

[22] “Variant selection of lenticular martensite by ausforming”, *T. Chiba, G. Miyamoto, T. Furuhara, Scripta Mater., 67 (2012), 324-327.

[23] 【若手】“Structural and compositional modulation in transformation of LPSO structure in $Mg_{97}Zn_1Y_2$ cast alloys”, *T. Kiguchi, Y. Ninomiya, K. Shimmi, K. Sato, T.J. Konno, Mater. Trans., 54 (2013), 668-674.

[24] “First principles calculations of solute ordering in Mg-Zn-Y alloys”, *Y. Yamamoto, Y. Sakamoto, Y. Masaki, R. Nishitani, Mater. Trans., 54 (2013), 656-660.

[25] “Phase-field simulation of spinodal decomposition on metastable hexagonal close-packed phase in magnesium-yttrium-zinc alloy”, *K. Narita, T. Koyama, Y. Tsukada, Mater. Trans., 54 (2013), 661-667.

【A02-3】

[26] 【連携・若手】“Crystallographic classification of kink bands in an extruded Mg-Zn-Y alloy using intragranular misorientation axis analysis”, *M. Yamasaki, K. Hagihara, S. Inoue, J. Hadorn, Y. Kawamura, Acta Mater., 61 (2013), 2065-2076.

[27] 【連携・若手】“Microstructure and mechanical properties of Mg-Zn-Y alloy sheet prepared by hot-rolling”, *T. Itoi, T. Inazawa, M. Yamasaki, Y. Kawamura, M. Hirohashi, Mater. Sci. Eng. A, 560 (2013), 216-223.

[28] 【連携・若手】“Effect of LPSO phase-stimulated texture evolution on creep resistance of extruded Mg-Zn-Gd alloys”, Y. Jono, *M. Yamasaki, Y. Kawamura, Mater. Trans., 54 (2013), 703-712.

[29] 【連携・若手】“Effect of multimodal microstructure evolution on mechanical properties of Mg-Zn-Y extruded alloy”, *M. Yamasaki, K. Hashimoto, K. Hagihara, Y. Kawamura, Acta Mater., 59 (2011), 3646-3658.

[30] 【外部共研・若手】“Influence of rare earth elements on microstructure and mechanical properties of $Mg_{97}Zn_1Y_1RE_1$ alloys”, *J. Kim, Y. Kawamura, Mater. Sci. Eng. A, 573 (2013), 62-66.

[31] 【外部共研・若手】“Corrosion and Passivation Behavior of Mg-Zn-Y-Al Alloys Prepared by Cooling Rate-controlled Solidification”, *M. Yamasaki, S. Izumi, Y. Kawamura, H. Habazaki: Appl. Surf. Sci., 257 (2011), 8258-8267.

【A03-1】

[32] 【連携・若手】“Microstructural factors affecting the deformation behavior of $Mg_{12}ZnY$ LPSO-phase alloys”, *K. Hagihara, A. Kinoshita, Y. Fukusumi, M. Yamasaki, Y. Kawamura, Mater. Sci. Forum, 706-709 (2012), 1158-1163.

[33] 【連携・若手】“High-temperature compressive deformation behavior of $Mg_{97}Zn_1Y_2$ extruded alloy containing a long-period stacking ordered (LPSO) phase”, *K. Hagihara, A. Kinoshita, Y. Fukusumi, M. Yamasaki, Y. Kawamura, Mater. Sci. Eng. A, 560 (2013), 71-79.

[34] 【連携・外部共研・若手】“Non-basal slip systems operative in $Mg_{12}ZnY$ long-period stacking ordered (LPSO) phase with 18R and 14H structures”, *K. Hagihara, Y. Fukusumi, M. Yamasaki, T. Nakano, Y. Kawamura, Mater. Trans., 54 (2013), 693-697.

[35] 【外部共研・若手】“Effect of grain boundaries on fracture toughness in ultrafine-grained metals by atomic-scale computational experiments”, *T. Shimokawa, M. Tanaka, K. Higashida, Mater. Sci. Forum, 706-709 (2012), 1841-1846.

[36] 【若手】“押込み試験とモデリングによるベキ乗則材料の単軸クリープに関する構成式の予測”, 高木秀有, 道明, 藤原雅美, 日本金属学会誌, 76 (2012), 597-606.

[37] 【外部共研・若手】“Long-period ordered superstructures that appear in an (Al,Ga)-rich (Al,Ga)Ti system”, T. Nakano, K. Hagihara, S. Hata, H. Shigyo, H. Nakashima, Y. Umakoshi, A. Arya, U. D. Kulkarni, Phil. Mag., 93 (2013), 22-37.

【A03-2】

[38] 【外部共研・若手】“Crystal plasticity analysis of texture development in magnesium alloy during extrusion”, *T. Mayama, M. Noda, R. Chiba, M. Kuroda, Int. J. Plasticity, 27 (2011), 1916-1935.

[39] 【若手】“Molecular dynamics analyses of deformation behavior of long-period-stacking-ordered structures”, *R. Matsumoto, M. Uranagase, N. Miyazaki, Mater. Trans., 4 (2013), 686-692.

[40] 【若手】“Activation free energy of nucleation of a dislocation pair in magnesium”, *M. Uranagase, S. Kamigaki, R. Matsumoto, N. Miyazaki, Mater. Trans., 54 (2013), 680-685.

[41] 【外部共研・連携・若手】“Application of mixture rule to finite element analysis for forging of cast Mg-Zn-Y alloys with long period stacking ordered structure”, *R. Matsumoto, M. Otsu, M. Yamasaki, T. Mayama, H. Utsunomiya, Y. Kawamura, Mater. Sci. Eng. A, 548 (2012), 75-82.

[42] 【外部共研・若手】“双晶の組織形成を考慮したHCP結晶に対する転位-結晶塑性モデリングおよびシミュレーション”, 近藤藤歩, 只野裕一, 志澤一之, 日本機械学会論文集A編, 78 (2012), 1157-1172.

【A03-3】

[43] 【連携・若手】“Microstructures of long-period stacking ordered phase of Mg-Zn-Y alloy”, *H. Gao, K. Ikeda, T. Morikawa, K. Higashida, H. Nakashima, Mater. Trans., 54 (2013), 632-635.

[44] 【若手】“Modulational instability of zone boundary mode and band edge modes in two-dimensional nonlinear lattices”, *Y. Doi, A. Nakatani, J. Phys. Soc. Jpn, 81 (2012), 124402.

[45] 【若手】“Intrinsic localized mode as in-plane vibration in two-dimensional Fermi-Pasta-Ulam lattices”, *Y. Doi, A. Nakatani, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 3 (2012), 67-76.

[46] “Analysis of interaction between dislocation and grain boundary by using a lattice defect model”, *A. Nakatani, Procedia Engineering, 10 (2011), 1047-1052.

【公募班】

[47] “Microfracture behaviour of extruded Mg-Zn-Y alloys containing long-period stacking ordered structure at room and elevated temperatures”, *Y. Mine, H. Yoshimura, M. Matsuda, K. Takashima, Y. Kawamura, Mater. Sci. Eng. A, 570 (2013), 63-69.

[48] 【連携・若手】“Thermodynamic study of phase equilibria in the Mg-Al-Ho ternary system”, *T. Tokunaga, H. Kominato, S. Iikubo, H. Ohtani, Mater. Trans., 54 (2013), 647-655.

[49] 【若手】“An attempt to image chemical ordering in close-packed layer of Mg-Zn-Y 18R long-period stacking-ordered structure by scanning tunneling microscopy”, *S. Kurokawa, A. Yamaguchi, A. Sakai, Mater. Trans., (2013), in press.

[50] “Multiscale modeling of hot-working with dynamic recrystallization by coupling microstructure evolution and macroscopic mechanical behavior”, T. Takaki, C. Yoshimoto, A. Yamanaka, Y. Tomita, Inter. J. Plasticity, (2012), submitted.

3) 解説・総説 (総数 32 件: 以下主要 10 件を示す)

[1] “相反定理に基づく環状視野STEM結像の考察”, 阿部英司, 石川 亮, 顕微鏡 (日本顕微鏡学会誌), 47 (2012), 211-215.

[2] 差差補正透過電子顕微鏡の進展と材料研究応用への展望, 阿部英司, 林泰輔, 幾原雄一, ふえらむ, Vol. 17, No. 2 (2012), 90-95.

[3] “バルス中性子で何が出来るか-蓄電池”, 神山崇, 米村雅雄, 鳥居周輝, 長尾美紀, 石川喜久, 放射線 (応用物理学会放射線分科会誌), (2013) 印刷中.

[4] “MLF 中性子実験装置の震災と復旧”, 神山崇, 相澤一也, 神原理, 篠原武尚, 波紋 (日本中性子科学会誌), 22 (2012) 220-227.

[5] “長周期積層構造型マグネシウム合金”, 河村能人, 工業材料, 日刊工業出版プロダクション, 59 (2011), 29-35.

[6] “沸騰が始まっても発火しない KUMADAI 不燃マグネシウム合金 (KUMADAI Non-flammable Alloys)”, 河村能人, アルトピア, 42 (2012), 9-13.

[7] “希土類金属添加合金, マグネシウム合金の先端的基盤技術とその応用展開”, 日刊工業出版プロダクション, 河村能人, 3 (2012), 13-21.

[8] 【若手】“粒界強化型マグネシウム基合金の高温クリープ強度と組織”, 鈴木真由美, アルミ情報, 1364 (2011), 8-9.

[9] “微細マーカー法による塑性変形挙動解析”, 森川龍哉, 東田賢二, 軽金属, (2013), in press.

[10] “金属材料における変形組織の不均質性 -キック帯を中心にして-, 東田賢二, 森川龍哉, 塑性と加工, (2013), in press.

4) 著書 (総数 24 件: 以下主要 10 件を示す)

[1] “(放射光を用いた) X線反射率法”, 木村滋, 坂田修身, 「薄膜の評価技術ハンドブック」第4章第3節第1項, 150-152, テクノシステム, 東京, (2013).

[2] “J-PARC MLF BL08:粉末中性子回折装置”, 神山崇, 鳥居周輝, PF News 30, 35 (2013).

[3] “Time resolved investigation of fast phase-change phenomena in rewritable optical recording media”, S. Kimura, Y. Tanaka, S. Kohara, M. Takata, Materials Science and Technology, edited by Prof. S. Hutagalung, ISBN: 978-953-51-0193-2, Chapter 11, 259-274, InTech, (Croatia, 2012).

[4] “キラキラ光るDVDにどうやってデータを記録するの?”, 木村滋, 「放射光が解き明かす驚異のナノの世界」ブルーバックス B-1737 第3章, 125-127, 講談社, 東京, (2011).

[5] “材料組織弾性学と組織形成”, 小山敏幸, 塚田祐貴, 内田老鶴園, (2012).

[6] “材料設計計算工学 計算組織学編—フェーズフィールド法による組織形成解析”, 小山敏幸, 内田老鶴園, (2011).

[7] “マグネシウム合金の先端的基盤技術とその応用展開, 第2章 希土類金属添加合金”, 河村能人, 株式会社シーエムシー出版, (2012), 13-21.

[8] 【若手】“マグネシウム合金の先端的基盤技術とその応用展開, 第8章 マグネシウムの腐食”, 山崎倫昭, 株式会社シーエムシー出版, (2012), 131-140.

[9] 【若手】“Thermal stability and mechanical properties of extruded Mg-Zn-Y alloys with a long-period stacking order phase and plastic deformation”, M. Noda, Y. Kawamura, T. Mayama, K. Funami, New Features on Magnesium Alloys (edited by Waldemar Alfredo Monteiro), ISBN 978-953-51-0668-5.

[10] 機械実用便覧 改訂第7版, 中谷彰宏 (日本機械学会編, 分担), 丸善, 総1109ページ, (2011), 13-25.

5) 国内・国際学会発表（総数 674 件，基調講演・招待講演含まず： 詳細省略）

6) 基調講演・招待講演（総数 206 件，うち若手研究者によるもの 80 件： 以下主要 50 件を示す）

- [1] 【招待講演・連携・若手】 “Crystal structure of long period stacking ordered phases in the Mg-Al-Gd system”, *K. Kishida, H. Yokobayashi, H. Inui, M. Yamasaki, Y. Kawamura, THERMEC 2011, Quebec city convention centre, Quebec, Canada, 2011.8.1-5.
- [2] 【招待講演】 “Long-period stacking & ordered Mg-Zn-Y phases : unique atomic structure and kink-deformation mechanism”, *E. Abe, THERMEC 2011, Quebec city convention centre, Quebec, Canada, 2011.8.1-5.
- [3] 【招待講演】 “Microscopic mechanism of kink-deformation of long-period stacking/order structure during a warm-extrusion of Mg₉₇Zn₁Y₂ alloy”, *E. Abe, 4th Asian Symposium on Magnesium Alloys (ASMA4), Paradise hotel, Busan, Korea, 2011.10.2-4.
- [4] 【招待講演】 “Crystal structure and deformation of long period stacking ordered intermetallic phases in the Mg-Al-Gd system”, *H. Inui, K. Kishida, H. Yokobayashi, A. Takahashi, Materials Science Engineering (MSE 2012), TU darmstadt, Darmstadt, Germany, 2012.9.25-27.
- [5] 【招待講演】 “Synchronized long-range stacking/order structures in Mg-Zn-RE alloy”, *E. Abe, The 7th Pan-Yellow Sea Rim International Symposium on Magnesium Alloys (YSR7), Chinese academy of science, Shenyang, China, 2012.10.14-16.
- [6] 【招待講演・若手】 “Crystal structure and plastic deformation of long-period stacking-ordered phases in the Mg-TM-RE ternary systems”, *K. Kishida, H. Yokobayashi, A. Inoue, H. Inui, 2012 MRS Fall Meeting, Hynes convention center, Boston, MA, USA, 2012.11.25-30.
- [7] 【招待講演・若手】 “Prediction of solute-atom clusters segregated in Mg-based ternary alloys from first-principles”, H. Kimizuka, M. Fronzi, S. Ogata, THERMEC 2013, Las Vegas, USA, 2013.12.2-6.
- [8] 【招待講演・若手】 “Atomistic monte carlo modeling of concentrated Mg-TM-RE alloys based on first-principles calculations”, H. Kimizuka, M. Fronzi, S. Ogata, The 8th Pacific Rim International Congress on Advanced Materials and Processing (PRICM-8), Hawaii, USA, 2013.8.4-9.
- [9] 【招待講演・若手】 “Atomistic study on controlling factors of local chemical order in Mg-based LPSO structures”, H. Kimizuka, M. Fronzi, K. Matsubara, S. Ogata, 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials (ISAEM-2012), Toyohashi, Japan, 2012.11.5-8.
- [10] 【招待講演】 “Resonant GISAXS in 1.8-2.1keV region”, H. Okuda, T. Yamamoto, S. Sakurai, M. Hirai, Y. Kitajima, H. Ogawa, GISAS2012 Kyoto, 2nd Satellite Conference of the International Conference on Small-Angle Scattering, SAS2012, on GISAS.
- [11] 【招待講演・連携】 “Microstructure evolution of LPSO structures in Mg-Y-Zn alloys examined by in-situ SAXS”, H. Okuda, T. Horiuchi, M. Yamasaki, Y. Kawamura, S. Kohara, TMS2013, San antonio, USA, 2013.3.3-7.
- [12] 【招待講演】 “Experimental study on phase diagram in the vicinity of X or W phase in the Mg-Zn-Y ternary system”, T. Horiuchi, H. Ikee, A. Hamaya, S. Minamoto, S. Nomoto, S. Miura, THERMEC 2011, Quebec city convention centre, Quebec, Canada, 2011.8.1-5.
- [13] 【招待講演】 “Phase-field simulation of metastable spinodal decomposition in Mg-Y-Zn alloy”, T. Koyama, K. Narita, Y. Tsukada, The 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials (ISAEM-2012), Toyohashi, Japan, 2012.11.5-8.
- [14] 【招待講演】 “Systematic materials design combining phase-field modeling of microstructure changes and image-based calculation of materials properties”, T. Koyama, KIM-JIM Symposium 2012, Changwon exhibition convention center, Changwon, Korea, 2012.10.25.
- [15] 【招待講演】 “Approaches to bridge phase-field microstructure modeling and image-based calculations of materials properties”, T. Koyama, NIMS Conference 2012, TS-4 Advanced Microstructural Characterization and Modeling -Present Situation and Future Perspectives-Microstructure Formation from Computational Modeling, Tsukuba, Japan, 2012.6.4-6.
- [16] 【基調講演】 “High Strength Magnesium Alloys Strengthened by Synchronized LPSO Phase”, Y. Kawamura, TMS Mg Workshop, Madrid, Spain, 2013.5.21-24.
- [17] 【基調講演】 “High Strength Magnesium Alloys Strengthened by LPSO Phase”, Y. Kawamura, The 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials (ISAEM-2012), Toyohashi, Japan, 2012.11.5-8.
- [18] 【基調講演】 “Materials Science on Synchronized LPSO Structure”, International Symposium on Long Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2012), Y. Kawamura, Sapporo Convention Center, Japan, 2012.10.1-3.
- [19] 【基調講演】 “High Strength Magnesium Alloys Strengthened by Synchronized LPSO Phase”, Y. Kawamura, The International Union of Materials Research Society - International Conference in Asia 2012 (IUMRS-ICA-2012)BEXCO, Busan, Korea, 2012.8.26-31.
- [20] 【基調講演】 “High Strength Magnesium Alloys Strengthened by Synchronized LPSO Phase”, Y. Kawamura, International Symposium on Role of Electron Microscopy in Industry, Nagoya, Japan, 2012.1.19.
- [21] 【招待講演】 “Mg-M-RE Alloys Containing LPSO Structures with Synchronization of Stacking and Chemical Modulations”, Y. Kawamura, 2012 TMS Annual Meeting & Exhibition, Orlando, Florida, USA, 2012.3.11-15.
- [22] 【招待講演・連携・若手】 “Effect of Multimodal Microstructure Evolution on Mechanical Properties of Mg-Zn-Y Extruded Alloys”, M. Yamasaki, K. Hagihara, Y. Kawamura, MagNET Workshop on Deformation Mechanisms in Magnesium Alloys, University of Waterloo, Canada, 2011.8.1.
- [23] 【招待講演・若手】 “Effect of solute-segregated stacking faults on creep resistance of cast and extruded Mg-Zn-Gd alloys”, M. Yamasaki, Y. Jono, Y. Kawamura, THERMEC’2011, International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials, Quebec City, Canada, 2011.8.1-5.
- [24] 【招待講演・連携・若手】 “Evolution of Intragranular Misorientation during Hot-Extrusion of Mg-Zn-Y alloys with LPSO Phase”, M. Yamasaki, K. Hagihara, Y. Kawamura, 9th International Conference on Magnesium Alloys and their Applications (MG2012), Vancouver, Canada, 2012.7.8-12.
- [25] 【基調講演・連携・若手】 “Crystallographic Features of Kink Bands in M-Zn-Y Alloys”, M. Yamasaki, K. Hagihara, Y. Kawamura, 7th Pan Yellow-Sea Rim International Symposium on Magnesium Alloys (YSR7), Shenyang, China, 2012.10.14-17.
- [26] 【招待講演・連携・若手】 “Multimodal microstructure evolution of Mg-Zn-Y wrought alloys with high strength and increased ductility”, M. Yamasaki, K. Hagihara, Y. Kawamura, 4th Asian Symposium on Magnesium Alloys (ASMA4), Busan, Korea, 2011.10.2-4.
- [27] 【招待講演】 “Nanocrystalline Mg-Zn-Y-Al alloys with long period stacking ordered structure”, Y. Kawamura, International Symposium on materials Science and Innovation for Sustainable Society, Eco-materials and Eco-innovation for Global Sustainability (ECO-MATES 2011), Osaka, Japan, 2011.11.28-30.
- [28] 【基調講演】 “シンクロ型 LPSO 構造の科学と工学”, 河村能人, 日本金属学会第 152 回春期大会, 東京都, 2013.3.27-29.
- [29] 【基調講演】 “Mg 基 LPSO 合金の組織と強度”, 河村能人, 日本物理学会第 68 回(春)次大会領域 10 シンポジウム, 東広島市, 2013.3.26-29.
- [30] 【特別講演】 “シンクロ型 LPSO 構造の材料科学”, 河村能人, 新学術領域研究「シンクロ型 LPSO 構造の材料科学」第 3 回若手交流会・特別講演会, 第 47 回高性能 Mg 合金創成加工研究会講演会「マグネシウム合金の塑性緩和機構」, 熊本市, 2012.12.3-4.
- [31] 【特別講演】 “長周期積層構造型マグネシウム合金の研究開発動向”, 河村能人, 軽金属学会 60 周年記念シンポジウム(九州支部主催), 第 42 回高性能 Mg 合金創成加工研究会定期講演会, 熊本市, 2011.10.22.
- [32] 【特別講演】 “我が国で開発された LPSO 型マグネシウム合金”, 河村能人, 軽金属学会 60 周年記念事業記念講演大会(中国四国支部主催), 松山市, 2011.9.12-13.
- [33] 【依頼講演・若手】 “LPSO 型 Mg 合金の合金設計:これまでの知見と今後の研究への期待”, 山崎倫昭, 新学術領域研究「シンクロ型 LPSO 構造の材料科学」第 2 回若手交流会・特別講演会, 松山市, 2012.9.20.
- [34] 【招待講演・若手】 “Mg-Zn-Y 系 LPSO 構造におけるキック変形帯の変形挙動と幾何学的特徴”, 山崎倫昭, 井上晋一, 河村能人, 第 46 回高性能 Mg 合金創成加工研究会講演会「マグネシウム合金の力学特性 -従来 Mg 合金と LPSO 型 Mg 合金-」, 熊本市, 2012.8.9.
- [35] 【招待講演】 “Inhomogeneous deformation behaviors analyzed by high precision markers in a warm-extruded magnesium alloy with LPSO phase”, T. Morikawa, J. Hirotani, K. Higashida, THERMEC 2011, Quebec city convention centre, Quebec, Canada, 2011.8.1-5.
- [36] 【招待講演・若手】 “Creep behavior and microstructures in grain boundary strengthened Mg-Al-Ca thixomolded[®] alloys”, M. Suzuki, A. Shibata, K. Maruyama, THERMEC 2011, Quebec city convention centre, Quebec, Canada, 2011.8.1-5.
- [37] 【招待講演・若手】 “Fabrication of wrought magnesium alloys with high aluminum contents by using strip casting technology”, H. Watari, T. Nagumo, M. Suzuki, T. Haga, N. Koga, THERMEC 2011, Quebec city convention centre, Quebec, Canada, 2011.8.1-5.
- [38] 【招待講演】 “Inhomogeneous deformation behaviors analyzed by high precision markers in a warm-extruded magnesium alloy with LPSO phase”, T. Morikawa, S. Higuchi, J. Hirotani, K. Higashida, 6th Pan-Yellow Sea Rim International Symposium on Magnesium Alloys and their Applications (YSR6), together with the 6th KITECH-KUMAMOTO International Symposium on Bulk Metallic Glasses and Advanced Materials (KI-KU Symposium), Sejong hotel, Seoul, Korea, 2011.11.23.
- [39] 【招待講演】 “Crack tip dislocations revealed by high voltage electron microscopy and their shielding effect on fracture toughness”, K. Higashida, Micromechanics of Advanced Structural Materials - Professor Toshio Mura Memorial Symposium -, Tsukuba international congress center, Epochal tsukuba, Japan, 2012.5.7.
- [40] 【招待講演】 “Dislocation substructures and high temperature creep strength in binary Mg-Y and ternary Mg-Y-Zn alloys”, M. Suzuki, K. Maruyama, 12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2012), Kyoto terra, Kyoto, Japan, 2012.5.27-31.
- [41] 【招待講演】 “Understanding of brittle-to-ductile transition based on crack-dislocation interaction”, K. Higashida, NIMS Conference 2012, Tsukuba international congress center, Epochal tsukuba, Japan, 2012.6.5.
- [42] 【基調講演】 “Deformation microstructures in magnesium alloy with long-period stacking order phase”, T. Morikawa, J. Hirotani, K. Higashida, The 7th Pan-Yellow Sea Rim International Symposium on Magnesium Alloys (YSR7), Institute metal research, Shenyang, China, 2012.10.16.
- [43] 【招待講演】 “Crack-tip dislocations analyzed by HVEM and their shielding effect on fracture toughness”, K. Higashida, 4th International Workshop on Remote Electron

- Microscopy and In Situ Studies, Lisbon, Portugal, 2013.5.22.
- [44] 【招待講演】 A Continuum Mechanic Approach to Slip Deformation and Dislocation Accumulation in Metal Microstructures, T. Ohashi, KSME-JSME Joint Symposium on CM & CAE 2012, Kanazawa University, Kanazawa, Japan, 2012.9.12.
- [45] 【招待講演・若手】 A Simulation for Deformation Twinning Based on Crystal Plasticity and Phase-field Models, R. Kondo, Y. Tadano, K. Shizawa, The 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials (ISAEM-2012), Toyohashi, Japan, 2012.11.5-8.
- [46] 【招待講演・若手】 "Atomistic Study of Kinking Deformation and Dislocation Activities in Long-Period Stacking Ordered Phases", R. Matsumoto, S. Kamigaki, M. Uranagase, N. Miyazaki, The 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials (ISAEM-2012), Toyohashi, Japan, 2012.12.3.
- [47] 【招待講演・若手】 Crystal plasticity analysis of intergranular misorientation development in magnesium alloy with suppression of twinning, T. Mayama, T. Ohashi, Y. Tadano, Plasticity 2013, Nassau, Bahama, 2013.1.3-8.
- [48] 【招待講演】 "Analysis of kink deformation by using discrete defect model", *A. Nakatani, M. Akita, 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials, the 3rd International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structural Metallic and Inorganic Materials (ISAEM-2012/AMDI-3), Hotel nikko toyohashi, Aichi, Japan, 2012.11.5-8
- [49] 【招待講演】 "Plasticity of crystal rotation based on a disclination theory", A. Nakatani, 2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics (ASEM'11+), Seoul, Korea, 2011.9.21.
- [50] 【招待講演】 "Application of multi-scale modeling to deformation of metal under uniaxial torsion", T. Ogawa, H. Liu, A. Nakatani, International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation 2011 (DS'11), Univ. of Hyogo, Kobe, Japan, 2011.9.18.

7) 受賞（総数92件, うち若手研究者の受賞27件, 学生の受賞49件: 以下主要 20 件を示す）

- [1] 日本金属学会第 11 回功労賞, 東田賢二, 2013.9.17.
- [2] 日本金属学会第 10 回村上奨励賞, 萩原幸司, 2013.9.17.
- [3] 日本機械学会材料力学部門業績賞, 大橋鉄也, 2012.9.23.
- [4] 日本顕微鏡学会 第 57 回 学会賞 (瀬藤賞), 阿部英司.
- [5] 科学技術への顕著な貢献 2012 (研究部門) ナイスステップな研究者 (科学技術政策研究所), "温室効果ガス低減に寄与する不燃性マグネシウム合金開発に貢献", 河村能人, 2012.12.21.
- [6] 第 10 回本多フロンティア賞 (財団法人本多記念会), "長周期積層構造型マグネシウム合金の開発", 河村能人, 2013.2.8.
- [7] 【連携・若手】 IMS 2011 International Metallographic Contest, First Place, Class 3 Electron Microscopy - Transmission and Analytical, "Ordering of Gd Atoms in the Quadruple Gd-enriched Layers in the Ternary Mg-Al-Gd LPSO Phase", *K. Kishida, H. Yokobayashi, H. Inui, M. Yamasaki, Y. Kawamura.
- [8] 【若手】 4th Asian Symposium on Magnesium Alloys (ASMA4), Best Poster Award, "Ideal models of long-period stacking/order structures in Mg-Zn-RE alloys", *Daisuke Egusa and Eiji Abe.
- [9] 【連携・若手】 International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2012), Best Poster Award, "Compression of Micro-pillars of a Mg-Zn-Y LPSO Phase", *Inoue, H. Yokobayashi, K. Kishida, H. Inui, K. Hagihara.
- [10] 【連携・若手】 2012 MRS Fall Meeting - Symposium II - Intermetallic-Based Alloys - Science, Technology and Applications, Poster Award, "Compression of Micro-Pillars of a Long-Period Stacking-Ordered Phase in the Mg-Zn-Y System", *H. Inoue, K. Kishida, H. Yokobayashi, H. Inui, K. Hagihara.
- [11] 【連携・若手】 The 16th International Conference on Positron Annihilation (ICPA-16), Best Poster Award, "Positron annihilation study of the Mg-Zn-Y alloys with long period stacking ordered (LPSO) phases", *H. Xu, K. Inoue, Y. Nagai, T. Toyama, Y. Matsukawa, A. Kuramoto, D. Egusa, E. Abe.
- [12] 【連携・若手】 2012 India-Japan Symposium on Symposium on Frontiers in Science & Technology, Best Poster Award, "Local order at Zn/Gd-enriched stacking faults in a Mg₇Zn₂Gd₂ alloy", *Kosuke Kawaguchi, Daisuke Egusa, Michiaki Yamasaki, Yoshihito Kawamura, Eiji Abe.
- [13] 【若手】 International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2012), Best Poster Award, "Relaxation Behaviors of Local Clusters in Various Mg-TM-RE LPSO Phases Studied by First-principles Calculations and STEM", *Daisuke Egusa, Marek Mihalovic, Eiji Abe.
- [14] 【若手】 日本材料学会学術奨励賞, 君塚肇, 2012.5.
- [15] 【若手】 日本物理学会若手奨励賞 (領域 10), 君塚肇, 2012.3.
- [16] 【若手】 2012 年度日本高圧力学会奨励賞受賞 (日本高圧力学会), 山田幾也, 2012.11.8.
- [17] 【連携・若手】 International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2012), Poster Award, "Microstructures of long period stacking ordered structure of Mg-Zn-Y alloy", *H. Gao, K. Ikeda, T. Morikawa, K. Higashida and H. Nakashima, 2012.10.2.
- [18] 【連携・若手】 日本金属学会 2011 秋期大会, 優秀ポスター賞, Mg-Zn-Y 合金一方向凝固材における長周期積層構造相のマイクロスケール引張試験, 小田浩明, 山崎倫昭, 河村能人, 大津雅亮, 高島和希, 東田賢二, 2011.11.7.
- [19] 【若手】 平成 25 年度日本鉄鋼協会・日本金属学会・軽金属学会九州支部合同学術講演大会 優秀ポスター賞, LPSO 型 Mg 合金の不均一変形挙動, 野口量介, 徳永尚史, 樋口成起, 森川龍哉, 東田賢二, 2013.6.8.
- [20] 【若手】 日本材料学会分子動力学部門 第 18 回分子動力学シンポジウム MD 賞, "LPSO 構造中に生じる転位運動の原子モデル解析", 松本龍介, 浦長瀬正幸, 宮崎則幸, 2013.5.17.

8) 特許（総数13件: 以下主要 5 件を示す）

- [1] 特願 2011-221330, マグネシウム合金及びその製造方法, 山崎倫昭, 河村能人
- [2] 特願 2011-081570, マグネシウム合金の製造方法, 河村能人, 野田雅史
- [3] 特願 2012-034450, マグネシウム合金材の製造方法, 河村能人, 野田雅史
- [4] 特願 2012-157715, 浴湯内の介在物の除去方法及び濾過用フィルター, 河村能人, 池秀治, 上田祐規
- [5] 特願 2013-084866, 難燃マグネシウム合金及びその製造法, 河村能人, 金鍾鉉

9) 報道など（総数 61 件, うち新聞発表 42 件, TV 番組 5 件, WEB2 件, 機関誌 7 件, 一般雑誌 5 件: 以下主要 15 件を示す）

- [1] 【新聞】 研究成果を共有 長周期積層構造で国際進歩, 日刊工業新聞, 2012.9.24.
- [2] 【新聞】 科学技術振興・普及に貢献 河村氏 (熊本教授) ら 11 人選定, 日刊工業新聞, 2012.12.26.
- [3] 【新聞】 熊本から世界へ "KUMADAI マグネシウム合金" 誕生, 朝日新聞, 2013.1.1.
- [4] 【新聞】 米航空局燃焼試験クリア 熊本マグネシウム合金 航空機材実用化へ期待大, 毎日新聞, 2013.4.19.
- [5] 【新聞】 熊本開発のマグネシウム合金・狙うは次世代航空機, 日本経済新聞, 2013.5.3.
- [6] 【TV】 「夢の扉+」ドリームメーカー 熊本大学 河村能人さん 世界が目！ついに実現“強くて燃えない”マグネシウム合金～航空機も鉄道も・・・産業界に革命を！夢の次世代新合金～, TBS テレビ, 2012.6.10.
- [7] 【TV】 「モーニングサテライト」次世代の戦略素材, BS ジャパン, 2013.2.5.
- [8] 【TV】 「ぐっ！ジョブ」KUMADAI が世界を変える！熊本大学工学部未来への挑戦！！, TVQ 九州放送, 2012.8.18.
- [9] 【TV】 「世界一の九州が始まる」世界一！軽くて強いマグネシウム合金, RKK 熊本放送, 2012.4.22.
- [10] 【Web】 「JST サイエンスニュース」2012 年 8 月 “マグネシウム新時代”, 科学技術振興機構, 2012.8.
- [11] 【機関紙】 国大協 JANU27 号 p.8-10 Opinion 「宮崎美子」インタビューコメント 「地元のためにがんばる大学を誇りを持って応援したい」記事内, 国立大学協会, 2013.1.
- [12] 【機関紙】 文部科学省・文京速報, 山中文科審議官が熊大を訪問 先進マグネシウム国際研究センターを視察, 2013.2.18.
- [13] 【雑誌】 日経デザイン 2012 年 8 月号 “燃えないマグネシウム” が開く可能性-KUMADAI 不燃マグネシウム合金一, 日経 BP 社, 2012.7.24.
- [14] 【雑誌】 東海道新幹線月刊誌 「WEDGE」 p.82-84. 人にやさしい技術 強くて軽く燃えないマグネシウム, ウェッジ編集部, 2013.2.26.
- [15] 【雑誌】 工業材料 2013 年 7 月号 p.1-5. Interview 熊本大学先進マグネシウム国際研究センター センター長 河村能人氏, 日刊工業新聞社, 2013.2.27.

(2) 領域の公開・広報活動

1) 領域のホームページとニュースレター

・領域ホームページ

日本語版：<http://www.mg-lpso.org/>
 英語版：<http://www.mg-lpso.org/eng/index.html>



図 28 領域ホームページ

・ニュースレター

第 1 号 2012 年 12 月発行



図 29 ニュースレター第1号

2) 論文特集号 (2 件)

- [1] Materials Transactions, Vol.54, No.5 (2013), Special Issue on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (I). (13 編収録)
- [2] Materials Science and Engineering R: Report (IF 19.75), Innovation of Magnesium Alloys by Synchronized LPSO Structure. Y. Kawamura, E. Abe, H. Ohtani and K. Higashida. (依頼受諾済・執筆中)

3) 異分野学術交流を目指した国内学会・シンポジウムなど (総数 16 件)

表 10 シンクロ型 LPSO 構造を主なテーマとするシンポジウム等

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
H23	H24.3.19	JSPS加工プロセスによる材料新機能発現 第176委員会 第20回研究会「高強度Mg合金の力学特性と変形機構」	東京理科大学・東京	企画
	H24.9.11	日本機械学会2012年度年次大会ワークショップ「シンクロ型LPSO構造の力学特性と高強度Mg合金の変形機構」	金沢大学・金沢	企画
	H24.11.10	日本軽金属学会第123回秋季大会テーマセッション「シンクロ型LPSO構造の材料科学」	千葉工業大学・千葉	企画
H24	H25.1.12	日本放射光学会年会 放射光科学合同シンポジウムJSR13企画講演「新しい軽量Mg合金研究の放射光による展開-構造・特性・機能」	名古屋大学・名古屋	企画
	H25.1.28	日本金属学会・分科会シンポジウム「シンクロ型LPSO構造の材料科学-次世代軽量構造材料へのイノベーション-」	京都大学東京オフィス・京都	企画
	H25.3.26	日本物理学会 領域10シンポジウム「Mg基LPSO構造における面欠陥と溶質原子の相互作用」	広島大学・広島	企画
	H25.3.27-29	日本金属学会2013年第152回春季講演大会 公募シンポジウム「シンクロ型LPSO構造の科学と工学」	東京理科大学・東京	企画
H25	H25.9.8-11	日本機械学会2013年度年次大会ワークショップ「シンクロ型LPSO構造の力学特性と高強度Mg合金の変形機構(その2)」	岡山大学・岡山	予定・企画

表 11 シンクロ型 LPSO 構造に関連するシンポジウム等

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
H23	H24.1.19-20	第3回MLFシンポジウム	いばらき量子ビーム研究センター・茨城	実行委員
	H24.9.22-24	日本機械学会M&M2012材料力学カンファレンス オーガナイズドセッション「HCP金属の実験力学と変形機構」	愛媛大学・松山	企画
H24	H25.3.26	GISAS2012(第15回小角散乱国際会議サテライト会議) 微小角入射小角散乱法(GISAS), 国際ワークショップ	京都工機大・京都	企画
	H25.3.27-29	日本金属学会2013年第152回春季講演大会 公募シンポジウム「プラスチックの材料科学」	東京理科大学・東京	企画
	H25.7.9	構造材料元素戦略研究拠点シンポジウム「構造材料研究プロジェクトの新展開」	京都大学・京都	予定・共催
H25	H25.10.11-14	日本機械学会M&M2013材料力学カンファレンス オーガナイズドセッション「HCP金属の実験力学と変形機構」	岐阜大学・岐阜	予定・企画
	H25.11.25-26	日本学術会議材料工学連合講演会OS「常識を覆す新しい構造用金属材料の科学」	京都テルサ・京都	予定・企画
	H26.3	日本金属学会・分科会シンポジウム「金属材料における特異な変形~キック変形, 回位, ナノ結晶の変形など~」	未定	予定・企画

4) 国際交流を目指した国際会議など (総数13件, うち主催2件, 共催 1 件)

表 12 国際交流

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
	H23.8.8	MagNET Workshop on Deformation Mechanisms in Magnesium Alloys	University of Waterloo, Waterloo, Canada	実行委員
	H23.10.2-4	4th Asian Symposium on Magnesium Alloys (ASMA4)	Paradise Hotel, Busan, Korea	実行委員
H23	H23.11.22-24	YSR6 & 7th KITECH-KU symposium on BMG and Advanced Materials	Sejong Hotel, Seoul, Korea	実行委員
	H23.11.28-30	International Symposium on Materials Science and Innovation for Sustainable Society (ECO-Mates 2011)	Osaka University, Osaka, Japan	実行委員
	H24.3.1	International Symposium for Kick-off of Magnesium Research Center (MRC) in Kumamoto University	Kumamoto University, Kumamoto, Japan	共催
	H24.3.11-15	TMS Symposium in Memory of Patrick Veyssiere: Understanding the Mechanisms Controlling Plastic Flow	Walt Disney World, Orlando, USA	実行委員
	H24.5.27-31	12th International Conference on Creep and Fracture of Engineering Materials and Structures (Creep 2012)	Kyoto TERRSA, Kyoto, Japan	実行委員
H24	H24.10.1-3	International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2012)	Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan	主催
	H24.10.14-17	The 7th Pan-Yellow Sea Rim (YSR7) International Symposium on Magnesium Alloys	IMR CAS, Shenyang, China	実行委員
	H25.8.4-9	The 8th Pacific Rim International Congress on Advanced Materials and Processing (PRICM-8)	Hilton Waikoloa, Waikoloa, Hawaii	予定
H25	H25.10.6-8	5th Asian Symposium on Magnesium Alloys (ASMA5)	Toki Messe, Nagata, Japan	予定
	H25.11.10-14	Electron Microscopy & Multiscale Modeling (EMMM2013)	Kyoto University, Kyoto, Japan	予定・協賛
H26	H24.11	2nd International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Its Related Materials (LPSO2014)	Kumamoto, Japan	予定・主催

5) 産学官交流を目指した研究会など (総数 9 件)

表 13 高性能マグネシウム(Mg)合金創成加工研究会講演会の開催

年度	開催日	実施内容	開催場所	備考
	H23.10.22	第42回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「軽金属学会60周年記念シンポジウム」	熊本大学・熊本	共催
H23	H23.11.16	第43回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「次世代耐熱マグネシウム合金の基盤技術開発」	熊本テルサ・熊本	共催
	H24.1.20	第44回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「マグネシウム合金の双晶変形」	熊本大学・熊本	共催
	H24.6.21	第45回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「不燃性・難燃性マグネシウム合金の研究開発動向」	熊本大学・熊本	共催
H24	H24.8.9	第46回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「マグネシウム合金の力学特性-従来Mg合金とLPSO型Mg合金-」	熊本大学・熊本	共催
	H24.12.3	第47回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「マグネシウム合金の塑性緩和機構」	熊本大学・熊本	共催
	H25.3.14	第48回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「生体材料としてのマグネシウム合金」	熊本大学・熊本	共催
H25	H25.4.22	第49回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「次世代の航空宇宙産業と新材料」	メルバルク熊本・熊本	共催
	H25.7.25	第50回高性能Mg合金創成加工研究会講演会「マグネシウム合金の溶接」	熊本大学・熊本	予定・共催

(3) 一般向けアウトリーチ活動

1) 一般向けシンポジウムの開催など (3件)

- [1] 熊本県地域結集型研究開発プログラム「次世代耐熱マグネシウム合金の基盤技術開発」最終成果報告会, ホテル熊本テルサ, 2011.11.16.
- [2] International Kick-off Symposium for Magnesium Research Center in Kumamoto University, 熊本大学, 2012.3.1.
- [3] 先進マグネシウム国際研究センターシンポジウム「次世代の航空宇宙産業と新材料」, メルパルク熊本, 2013.4.22.

2) 展示会などへの出展 (8件: 以下主要5件を示す)

- [1] “次世代耐熱マグネシウム合金の基盤技術開発”, イノベーション・ジャパン 2011, 東京国際フォーラム, 2011.9.21-22.
- [2] “KUMADAI マグネシウム活用面談会”, 2012 くまもと産業ビジネスフェア, グランメッセ熊本, 2012.2.16-17.
- [3] “熊本大学先進マグネシウム国際研究センターと KUMADAI マグネシウム合金の紹介”, 第4回 国際マグネシウム展, 東京ビッグサイト, 2012.5.30-6.1.
- [4] “シンクロ型長周期積層構造を持つ高強度マグネシウム合金”, イノベーション・ジャパン 2012, 東京国際フォーラム, 2012.9.27-28.
- [5] “KUMADAI 耐熱マグネシウム合金と KUMADAI 不燃マグネシウム合金の紹介”, スマートコミュニティ Japan 2013, 東京ビッグサイト, 2013.5.29-31.

3) 学術分野以外での依頼講演 (総計18件: 以下主要10件を示す)

- [1] “長周期積層型マグネシウム合金”, 日本マグネシウム協会技術講演会「国家プロジェクトにおける研究目標と研究動向について」, 江戸東京博物館, 2012.1.17.
- [2] “軽量構造材料としての KUMADAI 不燃マグネシウム合金”, 「グリーンフロンティア構想研究会」第5回状況報告会, 野村證券アーバンネット, 2012.5.30.
- [3] “Muddle Through と材料研究～KUMADAI マグネシウム合金の開発～”, 熊本県下商工会議所役員議員大会 記念講演会, 熊本ホテルキャッスル, 2012.7.24.
- [4] “KUMADAI マグネシウム合金の研究開発と今後の展望”, 平成24年度熊本県立工業関係高等学校教務主任・生徒指導主事・進路指導主事・工業科主任合同会議, 水前寺共催会館, 2012.8.17.
- [5] “KUMADAI マグネシウム合金の研究開発～グリーンイノベーションを目指して～”, 北海道立総合研究機構 平成24年度製造技術高度化研修, 北海道大学, 2012.11.15.
- [6] “くまもとから世界へ～KUMADAI マグネシウム合金の可能性～”, くまもと県民カレッジ『世界へ発信』コース(後期), 熊本県生涯学習推進センター, 2012.11.26.
- [7] “熊本から世界へ羽ばたく KUMADAI マグネシウム合金”, 熊本県教育委員会・平成24年度ドリームサイエンス・プログラム「理数教育指導者育成講座」, 火の国ハイム, 2012.12.7.
- [8] “イノベーションをもたらす KUMADAI マグネシウム合金”, NPO 法人 ITAC テクノカフェ大阪 平成24年度 第6回定例会, 大阪科学技術センター, 2012.12.14.
- [9] “新材料の研究と大学・大学院教育～KUMADAI マグネシウム合金の研究開発を通して～”, 平成25年度熊本県高等学校教育研究会理化学部会総会, 水前寺共催会館, 2013.5.15.
- [10] “KUMADAI マグネシウム合金の開発～軽量化材料の革新に向けて～”, 科学技術政策研究所シンポジウム「近未来への招待状～ナイスステップな研究者 2012 からのメッセージ」, 文部科学省, 2013.5.31.

4) 一般向け施設見学の受け入れ (6件)

- [1] 熊本大学オープンキャンパス, 113名受け入れ, 熊本大学, 2011.8.10.
- [2] 熊本大学ホームカミングデー, 13名受け入れ, 熊本大学, 2011.11.5.
- [3] 熊本大学オープンキャンパス, 160名受け入れ, 熊本大学, 2012.8.10.
- [4] 熊本大学ホームカミングデー, 37名受け入れ, 熊本大学, 2012.11.3.
- [5] 熊本大学オープンキャンパス, 熊本大学, 2013.8.10. (予定)
- [6] 熊本大学ホームカミングデー, 熊本大学, 2013.11.3. (予定)

9. 今後の研究領域の推進方策（2ページ程度）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募班での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

(1) 研究領域の推進方策

1) 領域推進に当たってのビジョン

- ① **Made in Japan を目指して:** 「シンクロ型 LPSO 構造」に特化した基礎研究を世界に先駆けて推進し、我が国で開発された超高強度 LPSO 型 Mg 合金を名実ともに日本発の新材料にする。
- ② **The Right Stuff による強力な研究推進:** 本領域の目的達成に必要な不可欠な専門分野から結集している研究者達が、その能力をいかんなく発揮できるプロジェクト研究を推進する。
- ③ **Vibrant Discussion による知の創造:** 参画研究者の全員がワクワクしながら真剣に議論と研究を進め、楽しみながら新しい学理を探究する。

2) 領域推進に当たっての基本方針

- ① **VPDSC サイクルによる改善:** Vision-Plan-Do-See-Check のための、戦略・企画、評価、進捗把握、討論の場の設定を行う。
- ② **ベクトルの統一:** 研究者個人の興味本位の研究ではなく、学理探求のプロジェクト研究であることを周知徹底するとともに、本音で議論できる合宿研究会等を通して、参画研究者のベクトル合わせを行う。その一方で、研究者相互の知的交流が活発で刺激的な環境づくりを心掛ける。
- ③ **異分野交流推進と若手人材育成:** 異分野間の積極的な交流ならびに若手研究者・女性研究者の育成を図ることによって、次世代に対応した物質・材料研究のネットワークの基礎を構築する。
- ④ **戦略的知財確保:** 強力な特許は基礎研究から生まれるので、進歩国際特許事務所に委託して本領域研究の成果の中から有望な特許の掘り起こしを行うとともに、テックマネッジ(株)(元(株)リクルート TMD 室)にエイジェントを委託して戦略的な知的財産の確保に努め、国益を守る。

3) 研究項目毎の研究の推進方策

【A01 班: 構造科学】 現在までに得られた構造に関する知見を元に、次のステップとして LPSO 構造形成、外場応答に着目して、動的構造に関する解明を進める。以下に注力する項目及びその方策を示す。

- ① **構造解析:** TM-RE クラスタに着目して、電子顕微鏡等を用いた LPSO 相の析出極初期における TM-RE クラスタの形成過程の原子直視解析と、TM-RE クラスタの配列秩序に注目した LPSO 相多形の安定構造・多形間相転移の解明、ならびに量子線精密構造解析を用いたクラスタの詳細な原子配列の解明を A02 班と連携して行う。また、すべり面に着目した転位の観察、キンク先端部の歪み解析、その場観察を用いた各結晶格子面の応力挙動解析を行い、A02 班と連携してキンク変形機構の解明に取り組む。
- ② **理論計算:** Mg 母相に添加する TM 及び RE 元素を変化させた種々の溶質元素の組合せに対して、電子構造・原子構造に基づく各種物性評価を系統的に行うとともに原子配列モデリング手法の深化を図る。得られた各種物性パラメータ及び構築した原子モデリング手法を用いて、LPSO 構造安定性評価及び原子配列構造の解明を行い、LPSO 構造物質における特異な長周期構造に対する原理的説明に取り組む。

【A02 班: 形成メカニズム】 現在までの研究成果より、hcp 中の積層欠陥の形成と濃度場の相分離が重畳して形成された fcc 構造ユニットが、主として弾性的と思われる相互作用により周期的な配列を取って LPSO 構造が形成されることが明らかになりつつある。しかしながら、特定の周期が導入される必然性の有無は明確ではない。今後、LPSO 構造形成の前駆段階である積層欠陥の核生成挙動の解明および現在の知見の一般性の検証が重要と考えられる。以下の各項目に特に注力すべき課題と方策を挙げる。

- ① **原子間結合エネルギー解析:** 量子ビーム応用による加熱冷却過程のその場観察が大きな柱である。J-PARC 利用が現在困難な状況であることから、特に A01-2 の放射光利用により傾注することが当面必要である。また、新規な系における状態図の理論/実験両面での検討を集中的に行う。
- ② **格子歪エネルギー解析:** 組織観察あるいは理論解析からの知見は、初期積層欠陥がある程度不均一に分布し、時効に伴う組織形成過程で特定の周期の LPSO 構造に置き換わることを示唆している。そこで、熱処理時の組織変化のその場観察を A01 班と連携して実施し、積層欠陥のパターン形成と母相中の初期転位下部組織との関係を調査する。
- ③ **極限環境物質合成:** 合金組成探索における課題は、構造設計のクライテリアの確立とレアアース使用の低減である。これに関しては A02-1 の状態図研究グループの電子論および熱力学的計算の進捗に合わせた合金設計のトライアルと極限環境下のその場観察が重要となり、他班とも連携しながら研究を進める。

【A03 班: 力学特性と新強化原理】 順調に動いていると考えられるが、今後は下記の3点に注力して、LPSO 構造の変形機構と強化機構の要となる、キンク帯の研究を加速して進める。

- ① **キンク帯のナノ構造解析の推進:** これまでキンク帯の結晶回転角度や回転軸などメゾスケールでの構造解析が進んだ。今後はキンク帯の原子スケールでの構造解析を進める。キンク帯を高次の格子欠陥として捉えうるか、強化メカニズムの理解に転位論と回位論のいずれが適切かを判断する上で、キンク帯先端の

弾性的特異点としての歪み場の有無や、何らかの緩和構造の有無を解明することが重要である。そこで、A01 班の原子スケール構造解析技術を結集し、キンク帯先端の構造解析と応力・歪み場解析を推進する。

② **キンク帯の転位と回位によるモデルの比較化とそれに基づく強度論の展開：** キンク帯による強化メカニズムを構築するに際して、飽くまでキンク帯を転位集合体と見なし、転位-転位相互作用として強度論を展開する立場と、キンク帯を回位として捉え、回位-転位相互作用や回位-回位相互作用として強度を捉える立場がある。強化機構を担当する理論計算グループは、A01 班との連携研究により得られる構造解析結果を基に、両モデルの立場に基づいた強度計算を実行して比較する事で、その理論的適正を見定める。

③ **キンク強化の実用材への応用：** これまで、キンク帯が強化機構として大きく寄与していることが定性的に確認されるとともに、硬度値がキンク帯の平均間隔の-1/2 乗に比例することが判明するなど、定量的解析も進んだ。これらの結果は、実用材へのキンク強化の応用を期待させるものであり、金属材料だけでなく、MAX フェーズなどセラミックス材料の強靱化の基本メカニズムになり得る。以上のことに鑑み、キンク強化の Mg 合金やセラミックスなど実用材への展開を試み、その基本特許取得を視野に入れて研究を進める。

4) 組織的かつ戦略的な運営による有機的な領域内連携の推進

① 総括班の大型量子線施設利用支援によって、J-PARC や SPring-8 等を活用する「その場実験」をコアにした連携研究を推進する。

② 総括班の共通試料提供によるデータ互換性確保と、研究成果 DB 運用による研究成果の共有化を図る。

③ 「全体会議」、「班会議」、「連携会議」の開催によって連携研究の企画・調整を図るとともに、「班研究会」、「連携研究会」、「若手研究会」ならびに「全体合宿研究会」の開催を通して有機的で緊密な連携を図る。

④ 本領域の多数を占める若手研究者を本領域内の異分野研究室に短期間修行に出す「若手国内異分野武者修行」プログラムや「若手交流会」を通じた人材交流によって異分野連携を図る。

5) 本領域研究後の展開を目指した若手人材の育成

同一の問題が、異分野の専門家からどのように見え、どのように把握されるのかを知ることを通じて、各々の研究者が示唆に富む知見や新たな刺激を得て相互理解を深めつつある。本来、このような新学術の醸成プロセスは時間がかかることのように思われるが、「4. 若手研究者の育成に係る取組状況」に記したとおり、新学術領域がスタートしていなければ交流する機会がなかったであろう研究者同士がすでにネットワークを作りはじめており、予想をはるかに上回る共同研究が芽生えている。今後は学びの段階から相互批判の段階を経てさらに深いレベルでの異分野共同研究が進むようにテーマ別の討論会やなどを計画している。また領域外とのジョイント交流会も検討している。本領域研究で培われた経験が次の世代の学術振興に大きく貢献できるように計画を推進する。

6) 本領域研究後の展開を目指した異分野学術交流の推進

① 異分野学術交流活動を推進することによって、幅広い分野との学術交流を深め、本領域研究の深化を図るとともに、異分野融合型の材料研究ネットワークを構築する。

② H26 年に第二回 LPSO 国際会議を開催し、本領域の研究成果を世界に発信するとともに、国際ネットワークの構築を図る。

③ これらの活動を通して、本領域を発展させるのみならず、新しい学術領域に展開できる下地を構築し、我が国の材料科学分野の発展ならびに学術振興に貢献する。

(2) 領域研究を推進する上での問題点とその対応策

① 目的を達成するために必要な研究分野の研究者を集めた結果、LPSO 構造や Mg 合金の研究に初めて携わる研究者が全体の約 70%にのぼり、当然ながら領域研究が軌道に乗るのに少し時間がかかった。現在は、参画研究者のベクトル合わせと情報の共有化を積極的に図ってきたために、順調に領域研究が進展している。今後は、さらに連携を強化して領域研究を進めて行く予定である。

② 第一次公募研究の募集に際して、異分野への広報活動を十分に行う時間が不足し、また公募研究の採択件数が申請件数の 30%以下という新しい規則が公募終了後にできたために、予定していた件数の公募研究を採択することができなかった。現在、第二次公募研究の募集に向けて、各学会等で広報活動を開始している。今後は、異分野学術交流を積極的に進めるとともに、パンフレット等を作成・配布して、広報活動を積極的に行う予定である。

③ J-PARC においては、H23 年 3 月 11 日の東日本大震災で MLF 施設が甚大な被害を被ったが、研究代表者、連携研究者が施設復旧を主導し完遂させた。これにより当初絶望的であった年度内利用運転再開を実現し、H24 年度当初から実験を集中して進めることが可能となり、研究進捗を挽回した。また、H25 年 5 月 23 日のハドロン実験施設放射性物質漏えい事故により、現在、J-PARC 全体が停止しているが、MLF 施設に関しては、年度内早期運転再開に向けた方策を強力に加速させており、研究進展の遅れは生じないと考えている。

(3) 公募班での重点的な補充について

計画研究がカバーしていない下記研究を中心に補充して、領域研究の強化を図る。

① 斬新な実験手法や計算手法による構造・形成メカニズム・力学特性の解明

- ② 新しい実験・解析手法ならびに新しい理論・計算手法によるキンク強化原理の解明
- ③ セラミックのキンク変形挙動の調査
- ④ 新しい実験・解析手法ならびに新しい理論・計算手法の構築
- ⑤ 機能物性探査(磁気物性, 電子物性等)

(4) 他事業との連携や国際共同研究による本領域研究の強化 (基礎研究)

1) 他事業との連携

下記の3事業とは連携することをH25年5月に合意している. 今後は, さらに連携を密にして, 本領域研究を強化するとともに, 材料研究ネットワークを構築し, 日本の材料科学の発展に貢献する.

- ① 「構造材料元素戦略研究拠点(ESISM)」(京都大学 田中功)
- ② 「新学術領域研究 ハルクナノメタル」(京都大学 辻伸泰)
- ③ 「計算物質科学イニシアティブ(CMRI)」(東北大学金属材料研究所 毛利哲雄)

既に, 上記事業とは下記の共同シンポジウムや勉強会を共同企画している.

- ① 構造材料元素戦略研究拠点シンポジウム「構造材料研究プロジェクトの新展開」H25年7月9日
- ② 日本学術会議材料工学連合講演会 OS「常識を覆す新しい構造用金属材料の科学」H25年11月25日
- ③ 日本金属学会公募シンポジウム「金属材料における特異な変形～キンク変形, 回位, ナノ結晶の変形など～」H26年3月21～23日中旬

2) 国際共同研究と国際ネットワークの構築

下記の4つの研究領域を中心に, 既に国際交流(招聘, 討論, セミナー開催)を開始しており, 今後は国際共同研究を推進するとともに国際ネットワークを構築して, シンクロ型 LPSO 構造の材料科学研究を世界的規模で強力に推進する. なお, 技術流出が起これないように, 知的財産を確保する等の配慮をして交流する.

- ① LPSO 構造の構造研究を進めている欧米の研究者・研究グループとの連携
オーストラリア Monash University (Prof. Jian-Feng Nie) 等
- ② LPSO 構造の形成機構研究を進めている欧米の研究者・研究グループとの連携
カナダ NSTC MagNET (Prof. In-Ho Jung, McGill University), 米国 Northeastern University (Prof. Chris Wolverton) 等
- ③ キンク変形で先駆的研究を進めている欧米の研究者・研究グループとの連携
米国 Drexel University (Prof. Michael W. Barsoum), 米国 University of Virginia (Prof. Sean R. Agnew)
ロシア Ioffe Physical-Technical Institute (Prof. Alexey E. Romanov) 等
- ④ LPSO 型 Mg 合金に係わる実用化研究を進めている欧米・東アジアの研究者・研究グループとの連携
スペイン Institute of IMDEA Materials, ドイツ Helmholtz Zentrum Geesthacht
中国国立マグネシウム材料技術研究所 (CCMg), 中国上海交通大学, 中国北京大学, 中国科学院金属材料研究所
韓国 Seoul National University, 韓国金属材料研究所 (KIMM), 韓国生産技術研究院 (KITECH) 等

10. 組織変更等の大幅な計画変更がある場合は当該計画（研究代表者の変更は真にやむを得ない場合に限る）（2～5ページ程度）【非公開】※本欄に記載の計画研究については、全て3年度目の審査の対象となります。

領域内の計画研究の研究代表者の交替や組織体制に大幅な変更がある場合（新しく計画研究を追加する場合や既存の計画研究を廃止する場合、領域全体の交付予定額の範囲内で各計画研究の研究経費を変更する場合（計画研究に係る経費を減額し、公募研究に係る経費を増額する場合等））には必ず記入してください。その際、以下の点を含めてください。

- ・計画研究を追加する場合は、追加の必要性、その計画研究が領域内で果たす役割、他の計画研究への影響等
- ・計画研究を廃止する場合は、廃止の理由、当該計画研究を廃止しても領域として支障がないことの説明等
- ・研究代表者の交替の場合は、交替の必要性、新旧の研究組織の異なる点（組織構成、領域内で果たす役割等）、新たに研究代表者になろうとする者が、旧研究代表者に替わって研究を実施できることの根拠、妥当性及びその者の研究業績等
- ・計画研究に係る経費と公募研究に係る経費の額の変更については、その必要性、1回目の公募研究の応募・採択状況等（公募研究に係る経費を減額して計画研究に係る経費を増額する変更は真にやむを得ない場合に限る。また、公募研究の規模に係る最低基準を下回らないこと。）
- ・以上の各変更に伴う他の計画研究の研究経費の変更及びその妥当性等

該当しない。