



MFS
MATERIALS

MFS MATERIALS NEWS

ミルフィーユ構造の材料科学



2018～2022年度 文部科学省科学研究費助成事業 新学術領域研究（研究領域提案型）

vol. **04**

オンラインで加速する 領域融合

さまざまな物質でのキंकのありように迫る

CONTENTS

p2 Interview / スペシャル座談会

山崎 倫昭（熊本大学）、薮 浩（東北大学）、
染川 英俊（物質・材料研究機構）、君塚 肇（名古屋大学）
垂水 竜一（大阪大学）

p6 Latest News / 最新研究ニュース

白岩 隆行（東京大学）、奥田 浩司（京都大学）、
眞山 剛（熊本大学）、染川 英俊（物質・材料研究機構）
君塚 肇（名古屋大学）、藤森 厚裕（埼玉大学）
垂水 竜一（大阪大学）、伊藤 浩志（山形大学）

p8 第二期公募研究、Topics、編集後記



Interview / スペシャル座談会

さまざまな物質での キンクのありように迫る

この座談会では、金属・高分子・セラミックスなどさまざまな物質におけるキンク形成過程を実験的・理論的に追っている先端の研究者がオンラインを活用してその知見を交換し、物質間の相違点や類似点をあぶり出す一助となることを期待しています。

今回のファシリテーター

A04-1 研究代表者
情報発信・知財部会長
三浦 誠司
北海道大学 教授



2013年から現職。専門は金属組織学・合金状態図。領域内ではA04-1班に所属し、結晶構造が異なる硬軟二相から形成される組織制御型ミルフィーユ構造の探索とその変形過程に関する研究を進めている。

A03-1 研究分担者
垂水 竜一
大阪大学 教授

2018年から現職。専門は固体力学。現在は微分幾何学を用いた弾性理論の一般化に関する研究を進めている。領域内ではA03班に所属し、主に転位論を用いたキンク変形のモデリングと大規模数値解析を進めている。



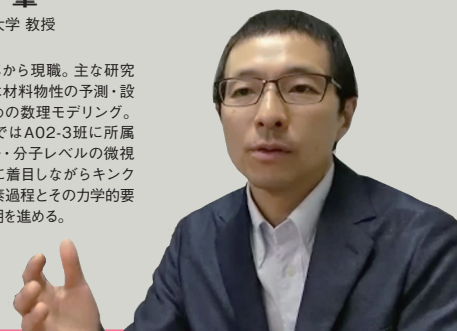
A01 研究代表者
山崎 倫昭
熊本大学 教授

2019年から現職。主な研究テーマは不均一組織制御による材料創製。領域内ではA01班に所属し、新規マグネシウム基ミルフィーユ構造物質の創製を目指すとともに、経験的ミルフィーユ条件の精密化に取り組む。



A02-3 研究代表者
君塚 肇
名古屋大学 教授

2020年から現職。主な研究テーマは材料物性の予測・設計のための数値モデリング。領域内ではA02-3班に所属し、原子・分子レベルの微視的因子に着目しながらキンク形成の素過程とその力学的要件の解明を進める。



三浦：お集まり頂きありがとうございます。今回はWeb座談会となりましたが、新学術研究も半ばにさしかかり、先生方のご研究の現状や展望、内外との連携に向けてのお考えなどを幅広くお聞かせ頂ければと存じます。

高分子材料にも、キンクはできるのか？

山崎：三浦先生が昨年秋の金属学会で、ナノメートルスケールの結晶構造型ミルフィーユ、マイクロメートルスケールの組織制御型ミルフィーユという、スケールの違うミルフィーユ構造について定義されたのが非常に印象に残っています。すでに組織制御型ミルフィーユ構造がMgやMg以外の金属でもできており、キンク形成もしているようです。一方、キンク強化の検討はまさにこれからだと思います。キンク強化が結晶構造型ミルフィーユから組織制御型ミルフィーユにトランススケールで拡張できるかどうか。もしそれができれば、転位という概念がない高分子材料などにも、展開できるのではないかなというように考えているところです。

君塚：私は、結局キンクってなんだろうと悩みながら参加しています。金属、LPSOでは転位が並ぶことで回転・回位構造が生まれる。一方で、スケールが異なる高分子やセラミックス、地層の方もいらっしゃる中で、転位に対応するものがあるのだろうか。それとも、ただ回転・回位構造というものがあるだけなのか。幾何学的には回転がなされたものを回位と定義しようというのはもちろんですが、そこではやはり、なにか原子の集団が、幾何学的な関係以外の理由、例えば自由エネルギーの低いところに勝手に彼らは賢く動くといった理由があるのではないかと。ですから、通常だと回位というのは、理論的にはありえてもなかなか検出できませんが、LPSOだとかどうやらキンクという形で出ているようで、ではキンクが出ている組織制御型ミルフィーユとか、高分子で見られるキンクとの間にどういう幾何学的・エネルギー的な普遍性がある、どこから違うのかということをもう一度考えないといけないなと思っています。さらに、キンク形成を強化まで考えようとなったら、これはなかなか見通しは長そうだななんて、そう思っています。そういう意味では、実験の方々の



A01-2 研究代表者

染川 英俊物質・材料研究機構
グループリーダー

2016年から現職。主な研究テーマは、非鉄金属材料の組織制御と力学特性。領域内ではA01班に所属し、多様な塑性加工法を駆使し、①Mg系LPSO材へのキンク導入と、②キンク形態と構造制御を担当し、キンク強化発現に効果的な組織様相の提案を目指す。

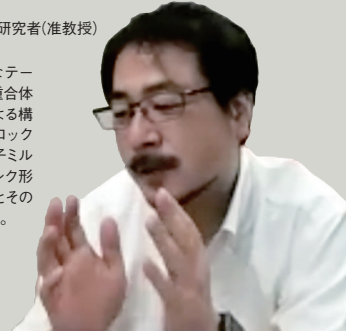


A04-1 研究分担者

藪 浩

東北大学 ジュニア主任研究者(准教授)

2016年から現職。主なテーマは機能性ブロック共重合体の合成と自己組織化による構造形成。A04-1班でブロック共重合体を用いた高分子ミルフィーユ構造およびキンク形成による力学特性変化とそのメカニズム解明を目指す。



見たままの知見といいますか、感触を伝えて頂けると、こんなモデルはどうだろう、あんなモデルはどうだろうというような接点が出てくると思います。ざっくりばらんに、情報交換というか、雑談するというのが重要なかなと思っています。

垂水: 私は連続体力学の立場から欠陥のモデリングをしています。その立場から、実験の側からの問題意識に我々が理論的にどれだけ迫れるか、まだだいぶギャップがあるように感じています。連続体力学という、マクロな立場からキンク変形をモデリングしていますが、そこで問題になるのは、格子欠陥記述のための従来の弾性理論が使えない点です。キンクの正しい解析のためには、金属学の解析に使われていた従来の理論を、一旦つくり直さなくてはいけないですね。そこで、理論的にもう一段高めた形でモデリングしたいと思い、微分幾何学を使って個々の転位や回位を表現することを目指して、そのための理論や数値計算方法がちょうど今できつつあるところなんです。

染川: 僕はLPSO型Mg合金が公表された時はまだ学生で、河村先生が金属学会で発表されていたことも非常によく覚えています。実際今回のプロジェクトで初めてご一緒させて頂きましたが、組織制御の難しさを痛切に感じました。従来(市販)のMg合金の塑性加工も難しいですが、ことLPSO型Mg合金については、希土類が添加されているので加工温度が高く、非常に組織制御が難しいです。また、塑性加工による組織制御には、多くのパラメータがありますので、何が支配的で、何を優先的に制御するのか、試行錯誤しなければいけません。時間がかかりますが地道に最適解を見つける必要があるなと感じています。

藪: 高分子の立場から、形から入る、すなわちミルフィーユ構造をつくり、キンクを導入したときにどういう力学応答が出るのかということを検討しています。これまでに金属の先生方が言われていた、緩和すると強化が起こりにくいようなことがあるというのはすごく印象的でした。というのは、高分子は基本的には緩和します。それを前提とした時に、理想的な力学強化につながるようなキンクというのはどういうものなのか、高分子で実現するにはどうしたらいいのかについては、非常に示唆的だと思いました。

キンクの必然性・成立要件について

山崎: 稲邑先生がRank-1接続^{*1}から、キンク界面で囲まれたキンクバンドが連続性を保つためには、必ず回位が必要と結論されています。回位というものが、転位の置き換えにとどまるものなのか、そうじゃないのかという議論が行われてきていますが、稲邑先生が計算で出されたように、回位そのものは転位を基本とする構造として存在する必要は全くなくて、そこに回転成分としてなにかしらのものが存在していればいいと考えるのであれば、転位ではない他の欠陥、例えばフリーボリュームみたいなものがそこに存在し、弾性場が形成される。転位と回位を1対1で対応させなくても、そこになにかしらの回転成分が導入されれば、結果として強化となるのかなと思うんですね。Mg合金におけるLPSO構造は再結晶しにくくて、むしろ再結晶しているところを見つけて観察上難しいですね。そういう、再結晶しにくいという条件が、回転成分を含むような大きな意味でのひずみを蓄えることで、キンク形成やさらには強化に寄与しているのではないかなと思っています。

君塚: モデリングという立場から申し上げますと、キンクをどのようにモデリングするかということをいつも考えています。さまざまに形態が違うキンクがありますが、そこに共通して普遍的に存在するものは何か。稲邑先生のご説明は、その形をとったときにそこに回位があるであろうということで、分かりやすい整理の仕方です。そして材料を強化させるためには、次には力学が必要になってきて、私が貢献できるのはそういうところかなと思います。キンクによる応力場が通常の格子欠陥と違ってどういう特徴を備えているのか。回転が欠陥というのは、通常の金属材料の中にはなかなかないですから、このような特徴的な欠陥が、マクロにどういう応力場を発生させるのか。それが強度にどうつながっていくのか。そういったところは力学を使う必要があるんです。ただ、そのときにどの組織にターゲットを絞るのかということが問題になって、なぜその組織なのか、なぜそこに注目してモデリングするのかというのを、ミルフィーユ組織やキンク構造を見ながらいつも考えています。

染川: 経験的ミルフィーユ条件の実験的検証は、LPSO型Mg合金だけを扱っていると、答えが出ないんじゃないかと思うんです。例えば構成層の一方の剛性率を変えられますかというのと、おそらく変えられないでしょう。あとは、組織に起因した大きさであったり、層構造の間隔であったり、そういうところしかないのかなと。ただ、加工の温度を調整することによって、キンクサイズが変えられるという感触はつかめていますので、「温度」というのが、これからの2年で注力することかなと思っています。加工温度を下げることによってナノサイズのキンク形成することが、東北大の安藤先生との共同研究で分かってきました。軟質相と硬質相の捉え方のスケール感が少し異なりますが、バルク化した時の硬さの違いは、そういうところに原因があるのかも知れません。LPSO型Mg合金は、組成によって α -Mg相の体積率が異なります。緩和機構をLPSO相で生じるキンクではなく、 α -Mg相にできる変形双晶に持たせることも、塑性加工時の組織制御のひとつかとも考えています。考え方が金属に凝り固まっていますので、A04-2班の方々とお話できれば、今までにないアプローチができるのではと期待しています。

垂水: よく、キンク変形と双晶変形の類似性が指摘されると思うんですが、例えばひとつの材料の中で、ある部分はキンク、ある部分は双晶、それぞれお互いにマクロな変形を緩和しているという状況があったときに、そこに質的な違いがあるのかというのが、実験から見えてくると、もうひとつ理解が深まるのかなという感じがしました。キンクと双晶がひとつの材料の中で両方起こるとするのは、すごく面白いような気がしたんですが、そういう切り口でなにか理解が深まるとか、そういう可能性はどうでしょうか。

山崎: キンクは回転角度を任意に選べるといったこともあるので、その点ではキンクのほうが、与えられたひずみに対して連続的に対応できるのではないかと思います。ですので、できたものについては類似性があるかもしれませんが、

緩和の仕方は大きく違います。

垂水: 自由度としてはキンクのほうが高いけれども、高い自由度のキンク変形が起こると、今度は結晶対称性が崩れてしまうという、内部エネルギー的に損失な気がするのと、どちらを選ぶのかというのは、材料も苦渋の選択をしているんだろうなとは思いますが。材料の中でキンク→双晶が移り変わっていくようなところが見られたら、すごく面白そうな気がします。

さまざまな物質におけるキンクの形態的な類似性に関して

藪: ドメインバウンダリーを突き抜けるぐらい大きなサイズのキンクができるという話がありました。高分子のシェブロン構造^{*2}はもうちょっとミクロなスケールで、それと比べるとだいぶサイズの差があり、キンクが周期長に対してどのぐらいの大きさにあるのかというのは、結構大事なパラメータではないかと感じました。

垂水: 力学的に私が面白いと思うのは、キンクの大きさですね。ミルフィーユの総幅、例えばLPSOでしたら、ミルフィーユ構造の周期性はナノメートルオーダーですが、それと比べて、最終的にできたキンクバンドは数ミクロンで、3桁くらい大きなものが、しかも他の結晶にまで入っているようなところもありますよね。だから、イニシエーションにはすべり系活動という拘束があると思うんですが、一旦、小さい核みたいなのができたときには、マルテンサイトのように自発的に成長してしまう。それが材料全体に広がっていくのは、かなり面白い特徴と感じています。一方、それを局所的な転位や回位の存在だけでモデリングするのは難しいのかもしれないですね。山崎先生がマルチスケール、トランススケールとおっしゃったんですが、そういった観点も入れて、理解していかなければいけないと感じました。

藪: シェブロン構造みたいなものは、ミルフィーユ構造と同じくらいの周期長のものを見ているんですが、やっぱり両者は違いがあ



るんだというのが、今日のお話を聞いて非常によくわかりました。一方で、キンクのテンプレートをつくって、そこに合わせる形でミルフィーユ物質をつくってやることで、無理矢理キンクを入れてやるというような実験からのアプローチができたりしないかなと、思いました。理想形をつくって検討していったほうが実は研究の上で効率がいいのかもしれないなど。

山崎: Mg系LPSO合金の一方向凝固材では、例えば、400℃～450℃くらいまで温度を上げると、LPSOでも柱面<a>すべりが活発になり、大きな試料の端から端まで到達するような、いわゆるキンクバンドと言われる構造が入ってしまいます。それに対して、温度が低い状態は底面<a>すべりしか起こらず、小さいキンクがたくさん入る。この差は多分、底面<a>から柱面<a>への交差すべり*3といった機構の活動が鍵で、そうなればひとつのキンクからずっと継続して成長するような現象が起こりうるのではないか。そのような環境にすると、緩和という側面が如実に出て、一方、温度が低い状態でキンクを入れようとする、交差すべりが難しくなり、細かいキンクがたくさん入って、そこにひずみため込むような動きをしているんじゃないかと、実験データを見てなんとなくそう思っています。

君塚: 大きなキンクバンドと小さなキンクで、その後の強化は変わってくるものなのでしょうか。

山崎: キンクによってここまで強化しましたよということを評価するすべが、今のところまだ十分とは言えないような気がしています。ですから、マクロなサンプル全体を突っ切ってしまうような大きなキンクが良いのか、細かいキンクが良いのかについては、まだ正直分らないです。

垂水: でも、どのすべり系がどのように活動するかに応じてキンク形態や大きさが変わるというのは分かりやすいですね。逆に言えばキンクがどういった形態で、どういったメカニズムで出てきているかを客観的に説明するひとつの材料になるような気がしますね。

キンク研究の広がりについて

藪: これまで、ミルフィーユ構造やキンク形成というものをいろんな分野の先生方、例えば地質の先生のお話を伺う機会がありました。バイオでも、タマムシやハンミョウの翅などはミルフィーユ構造があるんですけど、ものによってはぼこぼこしていて、まさに、ミルフィーユの中にキンクが入っているような構造をしているものも見たことがあって、力学以外の機能も持たせている。非常に硬い層の間にタンパク質が入ってできている貝殻の研究なども、視野に入るかもしれません。

垂水: 金属系やセラミックス系に関してはやはり、極限まで解像度を上げていったときに、キンクの先端に何があるのか。回位があるのか、いないのか。もしいるんだとしたら、どのくらいのフランクベクトル*4になっているのか、ひずみになっているのか。それを追及して頂きたいなというのは正直あります。やはり回位

がそこにあるのかないのかは、大きい気がするんですね。もしあるんだとしたら見てみたいという純粋な興味なんですけど、期待しております。

山崎: 界面をずっと追いかけていくと、結局はターミネーティングバウンダリーみたいになると思うんですが、その終端に近づくほど、角度が緩やかになっていって、自然消滅するというのが、キンク界面の厄介なところだと思います。そういった、先端に行くほど界面間の角度が小さくなっていて、最終的にはよくわからなくなるということであっても、マクロスコピックには回位として存在するんですね。どこで閉じているのかがよくわからないようになっているのは、金属が緩和してしまうことによるものなんだと思います。

垂水: 緩和された構造ができるという点はむしろ、ポリマーとの接点が出やすいのかもしれないなと思いました。キンクの先端から離れたところでは、回位起源の応力場というのはそもそも小さいと思うんですね。そのため緩和に伴う構造変化が起きにくく、そのままの構造が残っている。一方、先端の部分はどうしても応力集中が起こるから、緩和する。その緩和のメカニズムはそれぞれの材料特有だと思いますが、そこで起こっていることは、ある種ポリマーの中で起こっていることと近いかもしれないように思われますね。

三浦: 実験や計算の立場から、回位の存在と緩和の発生は強度発現に大きく関わり、電子顕微鏡によるさらなる観察や、第一原理計算も含めた計算科学などで追求すべきである、という共通認識が得られたように思われます。後半の研究の進展を楽しみにしたいと思います。

◆用語解説

*1 Rank-1 接続

相異なる均一な変形が発生した2つの領域を、変形の連続性を損なうことなく(物体が破壊しないために)接続するための幾何学的な必要十分条件のこと。Rank-1という呼び名は、領域間の変形勾配の差を表現するテンソルの階数(rank)が1でなくてはならないことに由来する。

*2 シェブロン構造

山形模様。高分子二層構造が平板ではなく折れ曲がった形態を取る場合の記述に用いられる。



*3 交差すべり

転位すべりにおいて、転位が活動するひとつのすべり面から、これと交差する別のすべり面へ連続的に乗り移ること。らせん転位は、転位線方向とバーガースベクトルが平行なのですべり面に対する制約がなく、交差すべりを起こし得る。

*4 フランクベクトル

回転型の格子欠陥である回位が持つ回転ベクトルのこと。ベクトルの向きが回転軸を、ベクトルの大きさが回転角を表現する。転位でいうところのバーガースベクトルに相当する。回位を初めて“Disclination”と表現したF. C. Frankの偉業を称えて名付けられた。

Latest News / 最新研究ニュース



A02-1 研究協力者

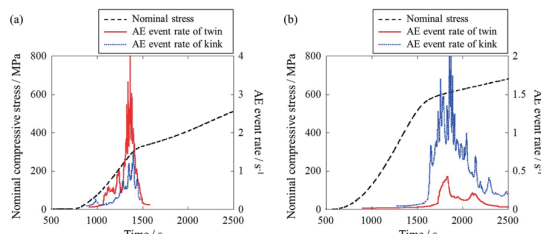
東京大学講師

AE法によるキンク・双晶変形挙動の解析

Analysis of Kinking and Twinning Behavior in Extruded Mg-Y-Zn Alloys by Acoustic Emission Method with Supervised Machine Learning Technique, Materials Science and Engineering A, 768, 138473 (2019), DOI: 10.1016/j.msea.2019.138473

白岩 隆行

長周期積層 (LPSO) 相の体積分率が異なるMg-Y-Zn押出材の変形挙動をアコースティック・エミッション (AE) 法により解析した。従来のAE解析では事象と物理現象の対応づけに、研究者の推測が入らざるを得なかったが、本研究では、観測データに基づくAE信号の分類を試みた。モデル材 (純MgとMg₈₅Zn₆Y₉一方向凝固材) において、高速度カメラと同時に取得した双晶およびキンク帯生成時のAE信号を教師データとした教師あり機械学習によりMg-Y-Zn押出材圧縮試験中のAE信号を双晶とキンクの2つのクラスに分類した。これら2つのAEクラスの挙動は、表面観察の結果や中性子回折法による報告に一致した。その結果、試験初期では双晶変形がキンク変形よりも早く活動を開始することが示された。また、AE信号のポアソン分布による独立性検定から、キンク帯の生成は非ポアソン過程であり過去の現象に依存して引き起こされる変形であることが示唆された。

図 (a) Mg₉₇Zn₃Y₂押出材および (b) Mg₈₉Zn₄Y₆押出材の圧縮試験におけるAE信号の分類結果A02-3 研究協力者
公募研究代表者

眞山 剛

熊本大学准教授

LPSO鑄造材における顕著な非線形除荷挙動の発現機構

Enhanced Non-Linearity during Unloading by LPSO Phase in As-Cast Mg-Zn-Y Alloys and Slip-Dominated Non-Linear Unloading Mechanism, Materials Science & Engineering A, 790, 139679 (2020), DOI: 10.1016/j.msea.2020.139679

本研究では、LPSO鑄造材が除荷過程において著しい非線形挙動を示すことを実験的に確認すると共に、その発現機構を結晶塑性有限要素解析により明らかにした。図1は、実験結果と数値解析結果の比較を示しており、除荷過程における非線形挙動が数値的に再現されていることがわかる。さらに解析結果より、図2に示すように除荷過程において巨視的応力とは逆向きの応力状態を持つ領域が存在し、その局所的な逆応力が除荷過程における底面すべり系の活動を引き起こし、非線形挙動が発現することがわかった。なお本研究は、本領域A01-1班メンバー (山崎倫昭, 河村能人) との共同研究により得られた領域内連携研究の成果である。

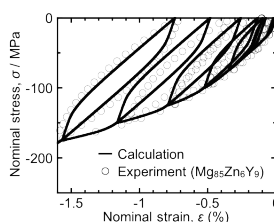


図1 圧縮-除荷挙動 (実験と解析の比較)

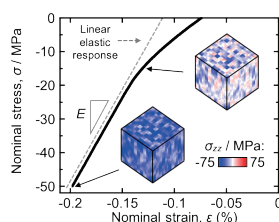


図2 除荷中の荷重軸方向応力分布



A01-1 研究分担者

奥田 浩司

京都大学教授

Mg-Y-Zn系LPSO構造形成過程における構造相変態と拡散相変態の関係

Structural and Diffusional Phase Transformations in Liquid-Quenched Mg₈₅Y₉Zn₆ Ribbons below the Bifurcation Temperature, Acta Materialia, 194, 587-593 (2020), DOI: 10.1016/j.actamat.2020.05.048

本研究では放射光によるその場測定により、Mg-Y-Zn合金のLPSO組織制御法を設計するために必要な相転移過程の支配因子を明らかにした。LPSO構造形成過程での積層欠陥形成とクラスタリングの関係は熱処理工程設計の基礎的知見を与える。等速昇温過程では、アモルファスの結晶化により形成されたhcp過飽和固溶体中でYZnクラスターは徐々に成長し、いわゆるL1₂クラスターサイズ到達と同時に大量の積層欠陥が導入される。この温度 (分岐温度、Bifurcation Temperature, T_{bif}) より低温での相転移キネティクスの温度依存性を検討するため、LPSO構造の体積分率がほぼ1となる組成で等温過程における変態過程を調べた。等速昇温過程ではあたかも構造相転移温度のように観測されたT_{bif}でのhcp結晶への積層欠陥の大量導入は60K以上低温でも、アレニウス型温度依存性を示して進み、LPSO単相組成であっても一旦形成された非周期 (短範囲) 積層秩序は準安定であることが示された。これらは希薄領域での非周期LPSO構造形成の熱処理経路設計に有用な情報である。

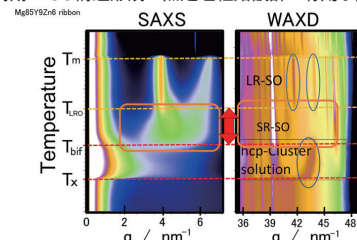


図 定速昇温過程での小角 (SAXS: クラスタ分布) と高角 (WAXD: 結晶構造) 変化



A01-2 研究代表者

染川 英俊

物質・材料研究機構
グループリーダー

低温展伸加工Mg-Y-Zn合金の微細組織と力学特性

Microstructure and Mechanical Properties of Low-Temperature Wrought-Processed Mg-Y-Zn Alloy Containing LPSO Phase, Materialia, 12, 100786 (2020), DOI: 10.1016/j.mtl.2020.100786

本研究では、α-Mg相とLPSO相を内包する二相Mg-Y-Zn合金を対象に、低温・高温 (100℃と475℃) 溝口ロール圧延材の内部微細組織と室温力学特性について調査した。圧延温度に関係なく、パス数を制御することで、内部欠陥が少なくキンク導入されたバルク材の創製に成功した。微細組織と力学特性は、展伸加工温度に影響を受け、圧延温度の低温化にともないα-Mg相内に変形双晶が高密度に発生し、強度および硬度が向上することを確認した。また、100℃溝口ロール圧延材に関する三次元微細組織観察より、変形双晶の存在に起因し、キンク界面が、塑性変形によって生じるき裂の進展、伝播経路になりにくいことを明確にした。

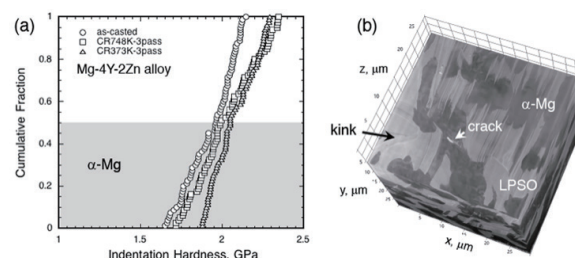


図 (a) 溝口ロール圧延材の硬度特性と (b) 100℃溝口ロール圧延材の三次元微細組織様相

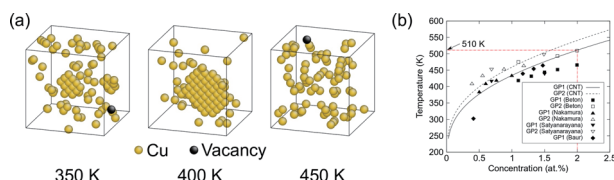


A02-3 研究代表者
君塚 肇
名古屋大学教授

動的モンテカルロ法と古典核生成理論によるAl-Cu合金における溶質クラスターの形成キネティクス の解明

Temperature-dependent Nucleation Kinetics of Guinier-Preston Zones in Al-Cu Alloys: An Atomistic Kinetic Monte Carlo and Classical Nucleation Theory Approach, *Acta Materialia*, 179, 262-272 (2019), DOI: 10.1016/j.actamat.2019.08.032

金属系ミルフィーユ構造における溶質クラスターの核生成キネティクスの温度依存性を明らかにすることを目標として、一般的な置換型合金中のナノ析出物形成の時間発展を記述することができる速度論的解析の枠組みを構築した。今回は第一原理計算に基づいてAl-Cu合金の初期時効過程において重要な役割を果たす単原子層Cuクラスター(GPゾーン)の核生成と成長過程を解析した。GPゾーン形成の時間発展と臨界核サイズを動的モンテカルロ計算により評価したところ、ゾーン成長のための最適温度(ノーズ温度)が400 K付近に存在することがわかった(図(a))。また、古典核生成理論モデルによる解析の結果、GPゾーンの臨界核サイズは250~450 Kの範囲では5~16原子と見積もられる一方、温度の上昇とともに急峻に増加することが明らかになった。さらに、GPゾーン形成の臨界温度の溶質濃度依存性(溶解度線)を予測したところ、実験結果と首尾よく一致することを確認した(図(b))。これらにより、構築したモデルの妥当性を評価するとともに、温度と濃度に依存するGPゾーンの核生成と成長過程の原子描像を明らかにした。



A04 公募研究代表者
藤森 厚裕
埼玉大学准教授

延伸によるフッ素系ポリマー/ホスホン酸修飾針状ナノフィラー複合材に対する一軸配向の影響

Influence of Uniaxial Orientation of Fluorinated Polymer/Phosphonate-Modified Needle-Like Nanofiller Composite by Drawing, *Polymer Composites*, 41, 3062-3073 (2020), DOI: 10.1002/PC.25598

針状ナノ粒子と結晶性フッ素ポリマーとのナノ複合体を調整し、更に一軸延伸配向を施すことで、ミルフィーユ状の粒子層状配列を高分子マトリックス中に形成させ、その力学物性増強挙動を評価した。得られたナノ複合材は5倍延伸でミルフィーユ状となり、更に7倍延伸以上では、そのラメラ配列がキंक状のヘリングボーン状に転移した。応力-歪み曲線から算出されたヤング率はほぼ4倍に増加し、同時に結晶化度と結晶化温度の向上も確認された。



研究概要の模式図

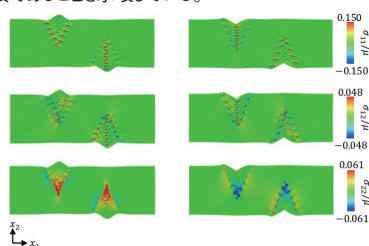


A03-1 研究分担者
垂水 竜一
大阪大学教授

連続体力学に基づくキंक変形・強化機構の解析

Dislocation-Based Modeling and Numerical Analysis of Kink Deformations on the Basis of Linear Elasticity, *Materials Transactions*, 61, 862-869 (2020), DOI: 10.2320/matertrans.MT-MM2019006

連続分布転位論と数値計算を組み合わせることによって、連続体力学の立場からキंक構造の形態と内部応力場の解析を行った。キंक構造のモデリングにはHess-Barrettモデルを用いた。具体的には、Peierls-Nabarroモデルを用いて表された正負の刃状転位対を同一すべり面上に対向配置し、異なるすべり面上の転位対を所定の位置に配列させ、これを数値計算の初期構造とした。この二次元転位配列に対してアイソジオメトリック解析を行い、キंकによる変位場と内部応力場を検証した。その結果、本モデルがOrtho型およびRidge型のキंक形態を定性的に再現していることが明らかとなった。また、得られた内部応力場を比較すると、その多くは転位芯近傍に集中するものの、一部のRidge型キंकではキंकバンド内部でのブロードな応力分布が確認され、キंकの形態によって内部応力場に質的な違いが生じることが明らかとなった。これらの結果は、キंक変形・強化機構の解明には運動学的に解釈されるキंक形態だけでなく、その内部に形成される力学場の理解が必要であることを示唆している。

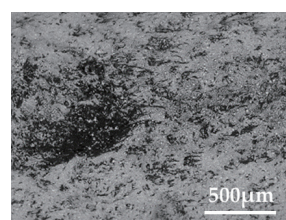


A04-2 研究代表者
伊藤 浩志
山形大学教授

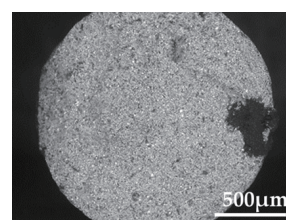
金属樹脂溶融堆積法により作製された316Lステンレス鋼部品の特性に対する積層方向の影響

Influence of the Layer Directions on the Properties of 316L Stainless Steel Parts Fabricated through Fused Deposition of Metals, *Materials*, 13, 2493 (2020), DOI: 10.3390/ma13112493

本研究では、316Lステンレス鋼粒子と有機バインダーで構成されたフィラメントを使用して、金属溶融積層技術(FDMet)によって金属試験片を作製した。本プロセスは、低コストの積層造形プロセスとしての可能性があり、本研究の目的は、金属部品の機械的特性と収縮特性に及ぼす加工条件の影響を調査することである。試験片は3種の異なる層方向に印刷した。層方向が引張方向と直交するように印刷した試験片では、453 MPaの極限強度と48%の破断ひずみを得られた。一方、引張方向に平行な層方向に印刷した試験片では、機械的特性が劣っていた。このような特性の異方性の原因をSEM観察により体系的に検討した。その結果、フィラメント中に偏析したバインダードメインが存在することが明らかになった。バインダードメインは積層と直交する方向に配向しており、焼結後も配向したボイドとして残存することが示唆された。このボイドは応力集中の原因となる欠陥として作用し、機械的特性を低下させることが明らかになった。



(a) 金属/樹脂複合材料



(b) 複合材料フィラメント

第二期公募研究：2020年9月より募集！

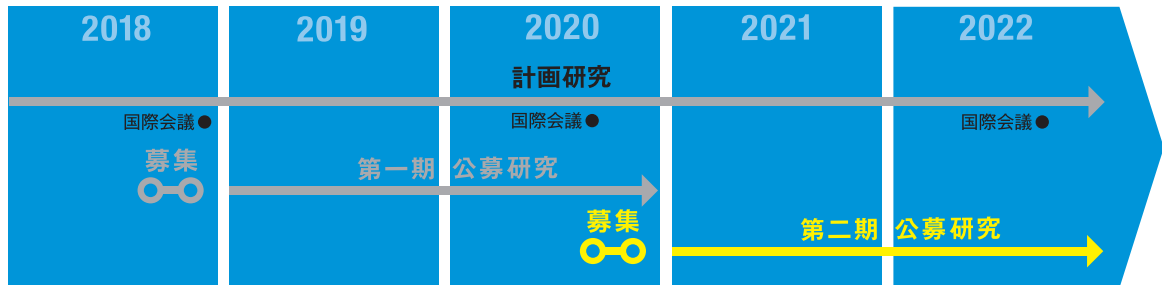
知の結集による学問領域の確立 異分野融合による三大材料への展開

「ミルフィーユ構造」「キンク強化」をテーマに
2021年度より実験系・理論系合わせて20件を予定

- ◆ 実験系：金属・高分子・セラミックスの幅広い材料へ展開
500万円／年度×2件を含む13件程度を想定
- ◆ 理論系：応用数学・統計力学・地質学をはじめ多様な分野を期待
300万円／年度×2件を含む7件程度を想定

計画研究	公募研究例
A01 新規Mg合金創製	極限環境利用による材料創製
A02 キンクメカニズム解明	キンクダイナミクスの動的測定
A03 キンク理論構築	微分幾何学によるキンク解析
A04 金属・高分子系材料創製	セラミックス系材料創製

若手研究者のチャレンジ歓迎!!



国立研究開発法人 科学技術振興機構（JST）公募詳細

https://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/hojyo/boshu/1394561.htm



当研究領域 公募詳細

<https://www.mfs-materials.jp/application-guidelines/>

Topics 2020~2021

【これまでの活動】

2020

- ◆ 3/6-3/7:2019年度 年次報告会（紙上開催）
- ◆ 3/16-3/19:日本物理学会年次大会（紙上開催）
- ◆ 3/17-3/19:日本金属学会講演大会（紙上開催）
- ◆ 5/22-5/24:軽金属学会春期大会（紙上開催）
- ◆ 5/27:高分子学会年次大会（紙上開催）
- ◆ 6/17-6/19:日本顕微鏡学会学術講演会（紙上開催）
- ◆ 9/16-9/18:日本金属学会講演大会（Web開催）

【今後の活動】

2020

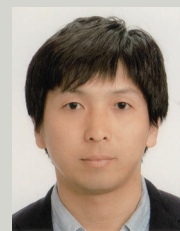
- ◆ 10月:科研費公募(第二期)説明会
- ◆ 11/6-11/8:軽金属学会秋期大会（Web開催）
- ◆ 日程未定:LPSO/MFS2020（東京大学）(2022年にも開催予定)

2021

- ◆ 5月:THERMEC'2021（ウィーン）

編集後記

本号は世界的なコロナ禍の影響で、このNews Letterの編集会議もすべてweb開催とし、試行錯誤の中で企画・編集を行うという初めての経験となりました。この新学術領域研究の実施期間は折り返しに入り、第二期の公募研究の募集もはじまるということで、Web上で各班の代表者に集まっていたいただき、MFS研究でこれまでに分かったこと、今後の方針、公募でどんな研究を期待するかについて座談会を開催しました。オンラインを活用することで、これまでと比較しても加速したスピードで研究が進んでいることに驚かされました。この初めての企画が公募研究募集で新たな力が加わる助力になれば幸いです。



A01-2 研究協力者
公募研究代表者



安藤 大輔
東北大学助教



編集長／ 情報発信・知財部会長
三浦 誠司（北海道大学）

編集委員／ 江村 聡（NIMS）
小川 由希子（NIMS）
藪 浩（東北大学）
安藤 大輔（東北大学）
瀧 健太郎（金沢大学）
光原 昌寿（九州大学）
江草 大佑（東京大学）

プロデューサー／ 磯部 志保（スタジオエル）
クリエイティブ・ディレクター／ 森 葉子（スタジオアール）
デザイナー／ 山崎 健悟（スタジオアール）
取材・記事／ スタジオエル & スタジオアール
制作／ スタジオエル & スタジオアール

発行／ 2020年10月
編集発行／ MFS事務局

<http://www.mfs-materials.jp>

MFS事務局：九州大学大学院総合理工学府内 中島・光原研究室
MFS@mms.kyushu-u.ac.jp 092-583-7619

