

令和 5 年 9 月 14 日現在

機関番号：11501

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05483

研究課題名(和文)新規金属・高分子系ミルフィーユ構造のキンク制御と材料創製

研究課題名(英文) Fabrication and Control for Kink Deformation With Mille-feuille Structures of New Metals and Polymers

研究代表者

伊藤 浩志 (Ito, Hiroshi)

山形大学・大学院有機材料システム研究科・教授

研究者番号：20259807

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 56,400,000円

研究成果の概要(和文)：ミルフィーユ構造のキンク強化発現機構をMg系合金以外へと展開させるために、層状の新規金属・セラミックス・高分子系ミルフィーユ構造「物質」に対して、独自の塑性加工法によりキンク形成・強化させることにより新規ミルフィーユ構造「材料」を創製した。その結果、高分子系では、特殊加工の一つである高圧プレスによって、キンク形成を確認できた。これらキンクを導入した材料では、強度向上も確認できた。したがって、キンク形成とキンク強化については、最適な条件を選定することで実現することを明らかにした。しかし、キンク強化の発現メカニズムの解明、ミルフィーユ条件およびキンク形成条件については十分な議論ができなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子材料における結晶ラメラや相状構造が変形によってキンク(折れ曲がり)形成が生じ、その折れ曲がり構造が力学特性へ与える影響については十分な議論がなされてこなかった。一般には、分子鎖が折れ曲がることで、力学特性は低下することが容易に予想されるが、金属分野で発見されたキンク形成による材料強度が高分子系やセラミックス系にも展開が可能かを調べた。その結果、高分子系においても分子鎖、結晶ラメラ、相状層間を最適に制御し、適度なキンク形態を付与することで力学特性(延性や強度)を向上させることを明らかにしたことは高分子材料学においても重要な知見を与えたものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to extend the kink strengthening mechanism of mille-feuille structures to materials other than Mg-based alloys, we have created new mille-feuille structure materials by kink formation and strengthening of layered new metal, ceramic, and polymer mille-feuille structure substances using a unique plastic forming method.

As a result, kink formation was confirmed in polymeric materials by high-pressure pressing, which is one of the special processing methods. In these kinked materials, strength improvement was also observed. Therefore, it was clarified that kink formation and kink strengthening can be realized by selecting the optimum conditions. However, we could not fully discuss the elucidation of the mechanism of kink strengthening, mille-feuille conditions, and kink formation conditions.

研究分野：高分子成形加工

キーワード：高分子系ミルフィーユ構造材料 金属系ミルフィーユ構造材料 特殊塑性加工法 多層共押し出成形 ポリマー共重合体 高圧プレス キンク形成

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

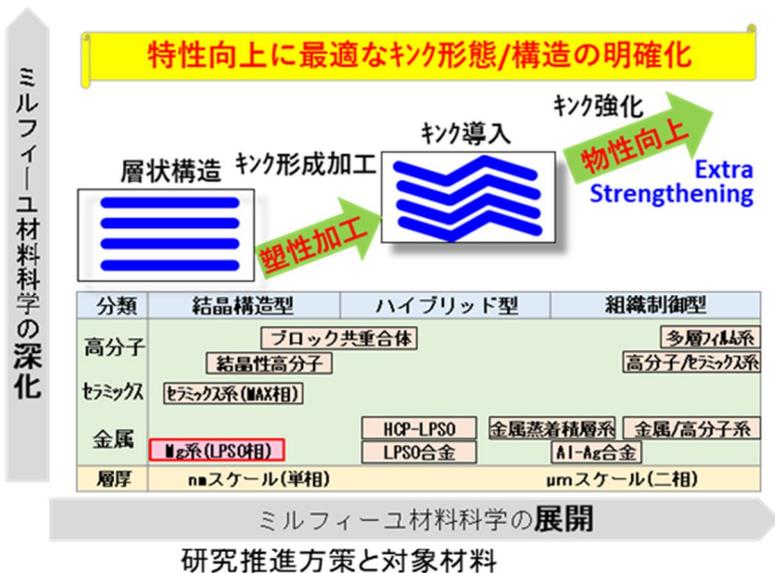
ミルフィーユ構造のキンク強化発現機構は、金属以外にも、金属結合と共有結合で構成される層状構造をユニットセルに有する Ti₃SiC₂ などの MAX 相セラミックスにおいて、圧縮変形に伴うキンク形成や可塑性の向上が報告されており、キンク制御はセラミックス材料の特性向上においても有効な手段と期待される。高分子系では、層面に対して平行方向への圧縮変形だけではなく、垂直方向に引張変形させることによるキンク形成がブロック共重合体等において知られており、多様なキンク形成能が確認されている。しかしながら、従来高分子系におけるキンク形成は、力学特性へと関連づけて議論されることがなく、積極的なキンク利用による強度向上を試みる研究例はほぼ皆無であった。しかしながら、本領域準備状況における予備実験により、高分子ブレンド結晶においてキンク強化現象が初めて見出された。そこで、金属・セラミックス・高分子系ミルフィーユ構造物質の特性（弾性率差、強度差、速度応答性、温度特性、層間サイズ）を考慮した最適な塑性加工法により、キンク制御による強化という新たな強化法を材料全般に展開することで、材料加工技術に革新もたらすことができると期待される。

2. 研究の目的

ミルフィーユ構造のキンク強化発現機構を Mg 系合金以外へと展開させるために、層状の新規金属・セラミックス・高分子系ミルフィーユ構造「物質」に対して、独自の塑性加工法によりキンク形成・強化させることにより新規ミルフィーユ構造「材料」を創製する。具体的には、新規金属系、セラミックス系においては高融点結晶材料に対応した汎用塑性加工法（圧延・押出）や特殊加工法（ARB・ECAP・HPT）により、高分子系においては汎用塑性加工法（冷延伸・圧延加工）や特殊加工法（固相押しせん断変形・ナノインプリント・超臨界流体加工など）により、キンク強化された新規ミルフィーユ構造「材料」を創製する。

3. 研究の方法

本計画研究は、新規金属・セラミックス・高分子系でミルフィーユ材料の創製を目指す A04 班に属し、A04-1 で創製される層状構造のミルフィーユ構造「物質群」に対して、塑性加工法を駆使しキンク導入を実施し、キンク強化された新規ミルフィーユ構造「材料群」の創製を担う位置づけにある。ここでは、「新規金属・セラミックス系」と「高分子系」に大別して、各材料系でのミルフィーユ構造の制御とキンク形成によって、その材料の力学試験を通じて、内部構造と力学特性の相関を詳細に調べた。各材料系の研究法は以下のとおりである。



< 新規金属・セラミックス系 >

種々の新規ミルフィーユ物質におけるキンク加工条件とミルフィーユ材料組織の関係明確化を重点的に進めた。汎用塑性加工法（圧延・押出）や特殊加工法（ARB・ECAP・HPT）により圧下率数%～99%に及ぶ広範囲な塑性ひずみを系統的に変化させ、種々の金属系の新規ミルフィーユ物質におけるキンク加工条件とミルフィーユ材料組織の関係の明確化を行った。組織評価では、ミルフィーユ構造の層厚、層間隔に代表される層状構造パラメータの整理、導入されるキンク体積、キンク形態などのキンクパラメータの整理を行った。また、キンク導入による「Extra Strengthening」の強化メカニズム解明に向け、層状構造とキンク導入を制御した金属系ミルフィーユ材料の力学解析を進めた。

< 高分子系 >

モデル物質として SBS ブロックコポリマーの相分離構造による多層構造の形成と、その構造に折れ曲がり（キンク状）構造の形成を行った。さらに知見を基に、より力学特性に優れる半結晶性高分子に注力した研究を行った。キンク形成加工条件とキンク形態の関係性の明確化に着

眼した研究を進めた。半結晶性高分子として、ポリプロピレン (PP) を用いて、硬質層のガラス転移温度 (T_g) 以下・以上・近傍の加工温度において、硬質層分子の緩和速度および層状構造の緩和速度を考慮した圧縮ひずみ速度で変形を与えた。その際の弾性率比、加工時間の因子も明確化した。また、多層押出成形を利用して、異種ポリマーにより形成される高分子多層材料においては、高分子結晶層の分子鎖の T_g および結晶融解温度 (T_m) を跨ぐ温度領域、層状構造の緩和速度を考慮した圧縮ひずみでの変形を負荷することでキंक制御を行った。また、キंक形成による「Extra Strengthening」の原理解明に向け力学解析も進めた。

4. 研究成果

<新規金属系>

(a) Al/Ag および Al/Zn ミルフィーユ構造:

Al-Ag 合金の圧縮試験で得られた応力-ひずみ曲線より、圧下率が高いほど、流動応力が高くなっていることが確認できた。これは、圧延による加工硬化によるものである。また、圧縮前後の SEM 組織を観察から、50% 圧延材の組織では未圧延の組織と比べ圧延方向にたいして析出物の向きがそろっているように見える。さらに、90% 圧延材では圧延方向と平行に析出物が並んでいるものの、析出物相は連続した層というよりも断続した形態を示した。Al-Zn 圧延接合材 (CRB さま) および圧延接合の後、12 サイクルの ARB を施して層厚を減少させた試料 (ARB-12c 加工) の圧縮試験を行った。応力-ひずみ曲線より、ARB 加工材の強度が高く、加工硬化や結晶粒微細化により強度が向上しているのが分かった。さらに、異種金属の接合、および複相組織の塑性加工によりミルフィーユ組織を形成することができた。また、塑性加工と時効処理を組み合わせでも形成に成功した。また、ミルフィーユ組織の層厚さにより、応力-ひずみ曲線が変化し、層厚さの減少にともない、Ortho 型のキंक帯形成が確認された。図 1 には、ミルフィーユ組織の層厚さと加工ひずみの関係、およびキंक帯導入の関係についてまとめた。その結果、キंक帯形成の有無はミルフィーユ組織の層厚さに依存することが明らかとなった。組織形成プロセスの違いにより、キंक帯形成が異なる。塑性加工によるミルフィーユ材料では約 $1\mu\text{m}$ 以下、熱処理 (時効処理) による場合は $3.5\mu\text{m}$ 以下で Ortho 型のキंक帯が形成された。

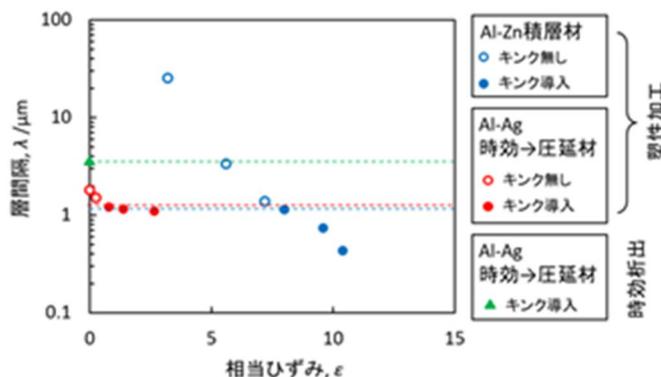


図 1 ミルフィーユ組織の層厚さと加工ひずみの関係、およびキंक帯導入の有無

(b) Ni-Co-Cu / Cu 積層材:

ここでは、Ni-Co-Cu/Cu 多層膜は電着により作製された。10 nm から 300 nm の層厚 (h) を有する Ni-Co-Cu/Cu 多層膜のピッカース硬度の層厚依存性を検討した結果、層厚 h 75 nm の範囲では、硬度は層厚の減少に伴って増加した。また、 $h \leq 75$ nm では、層厚の減少に伴い硬度が減少した。 $h=10$ nm では、硬度は 97HV に低下したが、 $h=75$ nm での局所最大値は 210HV であった。fcc (111) ピーク付近の X 線回折プロファイルでは、10 nm の多層膜は単一のピークを示したが、他の多層膜では Ni-Co-Cu 層と Cu 層に対応する 2 つのピークが検出された。図 2 には、ナノインデントレーション試験によって圧縮し、その後、多層膜での硬度を測定した結果を示す。この結果、キंक構造が観察され、また、その付近では硬度が局所的に増加することが確認された。

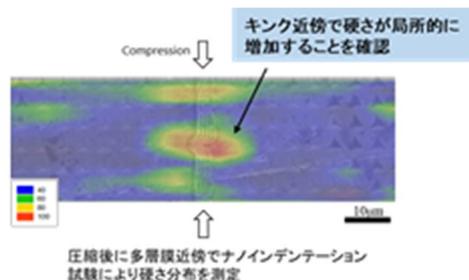


図 2 Ni-Co-Cu / Cu 積層膜の局所的硬度分布

<高分子系>

(a) 多層フィルム:

PS/PBT 系の 2 種交互 32 層フィルムへの一軸延伸によるキंक形成加工を行った。さらに、32 層フィルムを 10 枚積層し、熱プレスを実施することで超多層 PS/PBT フィルム (2 種交互 320 層) を作製した。作製したフィルムに圧延を行い、キंक導入加工を施した。圧延前後の試料の熱分析 (DSC) 測定の結果、圧延に伴う分子配向によって 晶が 晶へ転移した。また、結晶滑りによってキंकバンドが形成された可能性が示唆された (図 3)。さらに、力学特性を評価した結果、圧延によってタフネスが増加した (図 4)。しかし、タフネスは圧力依存性があり、必ずしも高圧では最大タフネスを示さなかった。最大タフネスを示す材料は、結晶化度と関係することも明

らかとなった。

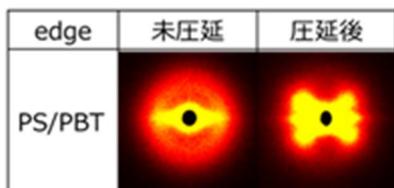


図3 PS/PBT 多層フィルムの圧延前後での SAXS 像 (圧延荷重 = 1000kN)

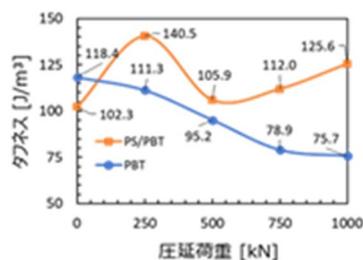


図4 PS/PBT 多層フィルムのタフネス変化

(b) 半結晶性高分子：

硬い結晶層と柔らかい非晶層が混在しているポリプロピレン材料を用いてプレス圧延加工を行った。図5に示すように圧延応力を増やすことにより最大強度が大きくなるのが分かった。圧縮方向に対して垂直方向から撮影を行った圧延後のPPの小角X線散乱画像を示す。その結果、4点パターンが現れた。これは圧延により、キंक構造が現れたということを示唆している。これまでの結果では、圧延によってラメラの折り曲がりのキंक構造が形成され、さらに最大応力(強度)は増加した。内部構造や結晶化度から、結晶化度の変化は小さいことからキंक強化は結晶化度とは異なる理由によって力学特性が変化している。この理由は未だ不明であるが、分子鎖の配向やラメラを結ぶタイ分子鎖の影響などが考えられる。

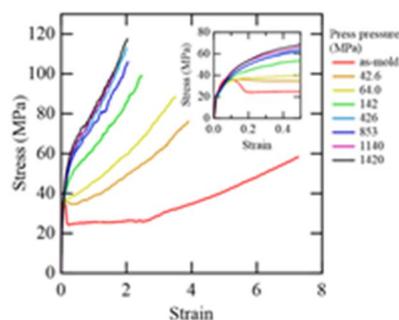


図5 PPシートの圧延荷重による応力-ひずみ曲線の変化

(c) ブロック共重合体高分子：

A04-1 班との連携により提供された規則性の高いサブミクロンオーダーのミルフィーユ構造を有するブロック共重合体高分子、スチレン・ブタジエン・スチレン(SBS)ブロックコポリマー、多層押出機を用いミクロンオーダーのミルフィーユ構造を有する2種交互32層のPS/SEBSのミルフィーユ構造材料に一軸延伸、固相押出装置などを用いて、任意の温度や変形速度下におけるキंक形成加工を行った。SBSブロックコポリマーにおいては、一軸延伸、固相押出、せん断変形の何れの変形様式においても層状構造が折れ曲がるキंकのような構造が確認された(図6)。多層フィルムにおいても、一軸延伸加工により試料内部にキंकのような層状構造の折り曲がり構造を一部確認した。

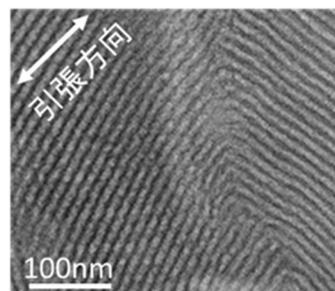


図6 SBS ブロックコポリマーの延伸後の折れ曲り構造

高分子系・金属系新規ミルフィーユ物質に対して、キंक強化の機構解明をさらに進めてきた。各種変形様式で幅広いのキंक形成加工を継続的に行い、加工条件とキंक形成の関係の整理、さらに力学特性解析を行ってきた。本研究を通じて、高分子系・金属系において、層構造の空間スケールの異なる硬質層と軟質層で形成されるミルフィーユ材料の創製とキंक形成の条件が明らかとなった。各種のキंक形成加工により得られたミルフィーユ物質が創製され、その機械特性の評価から一部の物質においては強化が実現された。特に、高分子系では、特殊加工の一つである高圧プレスによって、キंक形成を確認できた。これらキंकを導入した材料では、強度向上も確認できた。したがって、キंक形成とキंक強化については、最適な条件を選定することで実現することを明らかにした。

しかし、キंक強化の発現メカニズムの解明、ミルフィーユ条件およびキंक形成条件については十分な議論ができなかった。A02 班や A03 班とともに、金属材料や無機材料との共通内部構造やキंक機構などについて不十分な点もあり、これらの機構解明については今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Liu Cheng-Ying, Ishigami Akira, Kurose Takashi, Ito Hiroshi	4. 巻 215
2. 論文標題 Wear resistance of graphene reinforced ultra-high molecular weight polyethylene nanocomposites prepared by octa-screw extrusion process	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Composites Part B: Engineering	6. 最初と最後の頁 108810 ~ 108810
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compositesb.2021.108810	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Prasong Wattanachai, Ishigami Akira, Thumsorn Supaphorn, Kurose Takashi, Ito Hiroshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Improvement of Interlayer Adhesion and Heat Resistance of Biodegradable Ternary Blend Composite 3D Printing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 740 ~ 740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym13050740	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 迫優太郎, 黒瀬隆, 石神明, 伊藤浩志	4. 巻 85 (5)
2. 論文標題 アルミニウムフレーク充填エポキシ樹脂複合材料の力学特性に及ぼすフレーク表面処理の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 174-181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ishigami Akira, Watanabe Kazuki, Kurose Takashi, Ito Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Physical and Morphological Properties of Tough and Transparent PMMA-Based Blends Modified with Polyrotaxane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 1790 ~ 1790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym12081790	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Abe Yoshifumi, Kurose Takashi, Santos Marcelo, Kanaya Yota, Ishigami Akira, Tanaka Shigeo, Ito Hiroshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of Layer Directions on Internal Structures and Tensile Properties of 17-4PH Stainless Steel Parts Fabricated by Fused Deposition of Metals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 243 ~ 243
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14020243	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chuaponpat Natthapong, Ueda Tsubasa, Ishigami Akira, Kurose Takashi, Ito Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Morphology, Thermal and Mechanical Properties of Co-Continuous Porous Structure of PLA/PVA Blends by Phase Separation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 1083 ~ 1083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym12051083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hagiwara Hiroyuki, Nakamura Kohei, Kaneko Yoshihisa, Uchida Makoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Sliding-Wear Properties of Electro-Deposited Films with Cu and Pulse-Plated Ni Multi-Layers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1102 ~ 1108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2019330	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hagiwara Hiroyuki, Kaneko Yoshihisa, Uchida Makoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Fabrication and Enhanced Vickers Hardness of Electrodeposited Co?Cu Alloy Film with High Composition Gradient	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 801 ~ 804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2019334	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kurose Takashi, Abe Yoshifumi, Santos Marcelo V. A., Kanaya Yota, Ishigami Akira, Tanaka Shigeo, Ito Hiroshi	4. 巻 13
2. 論文標題 Influence of the Layer Directions on the Properties of 316L Stainless Steel Parts Fabricated through Fused Deposition of Metals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 2493 ~ 2493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma13112493	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hagiwara Hiroyuki, Kawakami Naofumi, Kaneko Yoshihisa, Uchida Makoto	4. 巻 60
2. 論文標題 Dependence of Vickers Hardness on Layer Thickness in Electrodeposited Ni?Co?Cu/Cu Multilayered Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2569 ~ 2575
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2019165	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Prasong Wattanachai, Muanchan Paritat, Ishigami Akira, Thumsorn Supaphorn, Kurose Takashi, Ito Hiroshi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Properties of 3D Printable Poly(lactic acid)/Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Blends and Nano Talc Composites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Nanomaterials	6. 最初と最後の頁 1 ~ 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/8040517	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Taki Kentaro, Sawa Keigo	4. 巻 31
2. 論文標題 Hybrid UV LED Device for Simulating Spectrum of High-Pressure Mercury Lamp: Evaluation in UV Curing Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 753 ~ 757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.31.753	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 KANEMOTO Hiroshi、KAWAMURA Toshinori、KANEKO Yoshihisa	4. 巻 70
2. 論文標題 Effects of Layer Thickness and Annealing on Vickers Hardness and Wear Resistance in Ni-P / Zn-Ni Multilayered Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of The Surface Finishing Society of Japan	6. 最初と最後の頁 115 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4139/sfj.70.115	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計61件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 W. Pasong, P. Muanchan, S. Thumsorn, T. Kurose, and H. Ito
2. 発表標題 Mechanical Properties and Surface Roughness of 3D Printing Biodegradable Ternary Blends and Its Composites
3. 学会等名 The 36th International Conference of the Polymer Processing Society (PPS-36) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Watanabe, K. Kano, A. Ishigami, S. Nishitsuji, T. Kurose, and H. Ito
2. 発表標題 New concept for mechanical strengthening for polymers prepared and controlled by millefeuille structure and kink deformation
3. 学会等名 Polymer Engineering and Science International (PESI) Conference 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤雪乃, 西辻祥太郎, 佐野博成, 井上隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 高圧プレス機を用いた圧延によるPPの高強度化
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第29回 (令和3年度) 秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 劉承穎, 小林豊, 石神 明, 依藤大輔, 谷藤眞一郎, 伊藤浩志
2. 発表標題 2軸および8軸スクリュかみ合い同方向回転押出機の数値解析研究
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第29回(令和3年度)秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部喜史, 小林豊, 黒瀬隆, 石神明, ヴェルネ マルセロ, 金谷陽太, 田中茂雄, 伊藤浩志
2. 発表標題 金属3D造形技術に用いる有機系バインダーシステムの成形性と3次元構造体への影響
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第29回(令和3年度)秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土門和暉, 石神明, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 貝殻真珠層構造を模倣した複合材料の作製と機械特性評価
3. 学会等名 公益社団法人高分子学会第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Kaneko, T. Kubomae, N. Kawakami, H. Hagiwara and M. Uchida
2. 発表標題 Layer-Thickness Dependence of Hardness and Local Buckling Behavior in Electrodeposited Ni-Co-Cu/Cu Multilayered Films
3. 学会等名 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials (THERMEC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石原歩樹, 兼子佳久
2. 発表標題 内部に孤立した積層構造を有する銅の圧縮変形
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 秋原 彰, 兼子 佳久, 内田 真
2. 発表標題 種々の傾斜組成を有するNi-Cu 合金めっき膜の成膜と硬さ
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 垣花 久遠, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 拡散接合された金属積層材の圧縮変形にともなうキンク状構造の形成
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中田海渡, 兼子佳久, 内田 真, 瀧健太郎, 藪浩
2. 発表標題 種々の金属/ 高分子系多層構造に形成される局所座屈変形の層厚さ依存性
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 兼子佳久, 窪前 友宏, 内田真
2. 発表標題 Ni-Co-Cu/Cu 積層膜の圧縮変形に及ぼす隣接する基板結晶の影響
3. 学会等名 日本金属学会2021年秋季(第169回)講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 垣花 久遠, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 拡散接合されたパルク状金属積層材の圧縮変形にともなうキンク状構造の形成
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第97期定時総会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中田海渡, 兼子佳久, 内田 真, 瀧健太郎, 藪浩
2. 発表標題 圧縮変形させた金属/高分子系積層構造の座屈発生と金属/高分子の界面強度評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第97期定時総会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 萩原彰, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 電気めっき法を用いたNi-CuおよびCo-Cu傾斜組成合金膜の成膜
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第97期定時総会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石原 歩樹, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 ナノ多層膜材料のキンク変形の層厚依存性
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第97期定時総会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田 陸, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 三価クロムめっきで成膜されたCr-Co合金膜の硬さに及ぼす組成および結晶構造の影響
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第97期定時総会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊裕貴, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 高分子多層フィルムにおけるキンク形成とその力学特性評価
3. 学会等名 第69回高分子学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加納航太, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 SBSトリブロック共重合体の一軸延伸によるラメラ構造の形態変化
3. 学会等名 2020年度繊維学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊裕貴, 加納航太, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 ミルフィーユ構造を有する高分子材料へのキンク形成とその力学特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期(第167回)講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 迫優太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 アルミニウムフレーク充填複合材料におけるフレーク表面処理の影響
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期(第167回)講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿部喜史, 黒瀬隆, M. V. A. Santos, 金谷陽太, 石神明, 田中茂雄, 伊藤浩志
2. 発表標題 熱溶融積層法を用いて作製した17-4PH鋼部品の工学的特性
3. 学会等名 日本金属学会2020年秋期(第167回)講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加納航太, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 SBSの射出成形及び熱処理条件がミクロ相分離構造形成に及ぼす影響
3. 学会等名 第69回高分子討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤浩志, パリタットムンチャン, 渡邊裕貴, 加納航太, 石神明, 黒瀬隆
2. 発表標題 高分子精密成形加工を用いた様々なナノ構造体の作製とその機能性
3. 学会等名 第69回高分子討論会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊裕貴, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 高分子多層フィルムにおけるキंक形成と機械特性の関係
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第28回 (令和2年度) 成形加工シンポジア '20
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西辻祥太郎, 伊藤雪乃, 井上隆, 伊藤浩志, 佐野博成, 矢野浩之
2. 発表標題 プレス圧延を用いた結晶性高分子の高強度化
3. 学会等名 第二回軽金属学会「LPSO/MFS構造材料研究部会」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小栗廉, 瀧健太郎, 藪浩, 加納航太, 石神明, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 ミルフィーユ構造を有するSBSブロック共重合体シートの圧縮せん断ひずみによる強化
3. 学会等名 軽金属学会第138回春期大会
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Sako, T. Kurose and H. Ito
2 . 発表標題 Preparation and Mechanical Properties of Metal Flake Particles/Epoxy Resin Composites
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Watanabe, A. Ishigami, S. Nishitsuji, T. Kurose and H. Ito
2 . 発表標題 Evaluation of the Relationship between Internal Structures and Mechanical Properties in Mulutilayer Films
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Kurose, Y. Sako and H. Ito
2 . 発表標題 Fabrication and Mechanical Properties of Metal Flake Particles/Epoxy Resin Composite
3 . 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Sako, T. Kurose and H. Ito
2 . 発表標題 Preparation and Mechanical Properties of Metal Flake Particles/resin Composite
3 . 学会等名 22nd International Conference on Composite Materials (ICCM) 2019 (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Watanabe, A. Ishigami, S. Nishituji, T. Kurose and H. Ito
2. 発表標題 Preparation and Mechanical Properties Evaluation of Multilayer Film having Mille-Feuille Structure
3. 学会等名 International Research Symposium on Engineering and Technology (IRSET) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納航太, 渡邊裕貴, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 高分子ミルフィーユ構造のキンク制御と材料創製
3. 学会等名 新学術領域研究 ミルフィーユ構造の材料科学令和元年度夏季研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊裕貴, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 高分子多層フィルムへのキンク形成とその機械特性評価
3. 学会等名 新学術領域研究 ミルフィーユ構造の材料科学令和元年度夏季研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加納航太, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 SBSトリブロック共重合体を用いた成形加工によるミルフィーユ構造の創製と物性・構造解析
3. 学会等名 新学術領域研究 ミルフィーユ構造の材料科学令和元年度夏季研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 捧大樹, 西辻祥太郎, 佐野博成, 井上隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 プレス圧延を用いた高分子材料の高性能化
3. 学会等名 新学術領域研究 ミルフィーユ構造の材料科学令和元年度夏季研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 迫優太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 金属フレーク粒子とエポキシ樹脂によるミルフィーユ複合材料の作製と力学特性評価
3. 学会等名 公益社団法人日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊裕貴, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 高分子ミルフィーユ材料におけるキンク形成とその力学特性評価
3. 学会等名 公益社団法人日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊裕貴, 石神明, 西辻祥太郎, 黒瀬隆, 伊藤浩志
2. 発表標題 ミルフィーユ構造を有する多層フィルムの作製とその力学特性評価
3. 学会等名 2019年度繊維学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺田大将, 松澤祐希, 杉野玄樹
2. 発表標題 Al-Ag合金における巨大ひずみ加工によるミルフィーユ構造とキンク制御
3. 学会等名 軽金属学会第137回秋期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺田大将, 杉野玄樹, 松澤祐希
2. 発表標題 巨大ひずみ加工法を利用したミルフィーユ材料へのキンク導入の試み
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兼子佳久, 窪前友宏, 内田真
2. 発表標題 種々の層厚さを有するNi-Co-Cu/Cu多層膜の圧縮変形
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 窪前友宏, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 Ni-Co-Cu/Cu多層膜の局所変形と基板方位との関係
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅田健司, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 ZK60Aマグネシウム合金の引張特性と疲労き裂形成に及ぼすECAP加工と熟処理の影響
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期(第165回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 窪前友宏, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 電気めっき法で作製したNi-Co-Cu/Cuナノ多層膜におけるキック変形
3. 学会等名 日本塑性加工学会2019年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兼子佳久, 川上直文, 萩原宏幸, 内田真
2. 発表標題 種々の層厚さを有するNi-Co-Cu/Cu多層膜のピッカース硬さ
3. 学会等名 日本機械学会M&M2019材料力学カンファレンス
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 兼子佳久
2. 発表標題 周期的傾斜糾成を有するめっき膜の構造と硬さ
3. 学会等名 日本金属学会第二回機能材料のアーキテクチャ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Kaneko, T. Kubonae, M. Uchid
2. 発表標題 Localized deformation of electrodeposited Ni-Co-Cu/Cu multilayered films subjected to compressive straining
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Hagiwara, N. Kawakami, Y. Kaneko, M. Uchid
2. 発表標題 Dependence of Vickers hardness on layer thickness in electrodeposited Ni-Co-Cu / Cu multilayered films
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 窪前友宏, 兼子佳久, 内田真
2. 発表標題 Ni-Co-Cu/Cu金屈ナノ多層膜に生じた局所座屈のEBSD解析
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第 95期定時総会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅田健司, 兼子佳久, 内田真, A. Vinogradov
2. 発表標題 ZK60A合金の引張特性と疲労き裂核形成に及ぼすECAP加工と熱処理の影響
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第 95期定時総会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Nishitsuji, T. Yuki, H. Ito, and T. Inoue
2. 発表標題 The improvement of the impact strength of PMMA by press molding method
3. 学会等名 LPSO 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Taki
2. 発表標題 Nanowrinkle structure as a candidate of kink
3. 学会等名 LPSO 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 寺田 大将
2. 発表標題 圧延および ARB によるミルフィーユ材料へのキンク導入の試み
3. 学会等名 日本金属学会秋期大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Hagiwara, Y. Kaneko and M. Uchida
2. 発表標題 Fabrication and Microstructure of Electrodeposited Cu-based Alloy Films Having High Composition Gradient
3. 学会等名 15th International Symposium on Functionally Graded Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兼子佳久, 窪前友宏、川上直文, 萩原宏幸, 内田真
2. 発表標題 電気めっき法で作製した金属多層膜におけるキンク変形観察の試み
3. 学会等名 日本金属学会2018年秋季(第163回)講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kaneko, T. Kubomae and M. Uchida
2. 発表標題 Deformed Structures of Multilayered Thin Films Fabricated by Electrodeposition
3. 学会等名 The 4th International Symposium on Long-Period Stacking Ordered Structure and Mille-feuille Structure (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兼子佳久
2. 発表標題 電気めっき法による金属ミルフィーユ構造の作製とその力学的特性
3. 学会等名 日本材料学会第99回高分子材料セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 黒瀬隆、迫優太郎、伊藤浩志
2. 発表標題 金属フレーク粒子とエポキシ樹脂によるミルフィーユ複合材料の作製と力学特性
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季(第164回)講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤浩志、石神明、西辻祥太郎、黒瀬隆
2. 発表標題 ミルフィーユ構造を有する高分子材料の作製とその靱性評価
3. 学会等名 軽金属学会第135回秋期大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兼子佳久
2. 発表標題 電気めっきした多層膜の相界面と機械的特性
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季(第164回)講演大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 石神明, 黒瀬隆, 伊藤浩志	4. 発行年 2021年
2. 出版社 S&T出版	5. 総ページ数 270
3. 書名 接着・接合の支配要因と最適化技術	

1. 著者名 橋本祥典, 伊藤浩志	4. 発行年 2020年
2. 出版社 R & D 支援センター	5. 総ページ数 206
3. 書名 高分子の延伸による分子配向・結晶化メカニズムと評価方法 / 173-184 (第3章)	

1. 著者名 西辻祥太郎, 石神明, 伊藤浩志	4. 発行年 2020年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 318
3. 書名 ポリマーの強靱化技術最前線 ~破壊機構 分子結合制御 しなやかタフポリマーの開発~/ 169-176 (第2編 第2章)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>山形大学高分子精密加工研究室 (伊藤・石神研究室) https://pep.yz.yamagata-u.ac.jp/index.html 千葉工業大学 寺田大将研究室 http://www.cit-materials.jp/intro/terada.html 金沢大学 瀧健太郎研究室 https://taki-lab.com/ 大阪公立大学 兼子佳久研究室 https://kyoiku-kenkyudb.omu.ac.jp/html/100000162_ja.html 山形大学高分子精密加工研究室 (伊藤・石神研究室) https://pep.yz.yamagata-u.ac.jp/index.html 千葉工業大学 寺田大将研究室 http://www.cit-materials.jp/intro/terada.html 金沢大学 瀧健太郎研究室 https://taki-lab.com/ 大阪市立大学 兼子佳久研究室 https://research-soran17.osaka-cu.ac.jp/html/100000620_ja.html 山形大学 伊藤浩志研究室 https://pep.yz.yamagata-u.ac.jp/ 千葉工業大学 寺田大将研究室 http://www.cit-materials.jp/intro/terada.html 金沢大学 瀧健太郎研究室 https://taki-lab.com/ 大阪市立大学 兼子佳久研究室</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	寺田 大将 (Terada Daisuke) (80432524)	千葉工業大学・工学部・准教授 (32503)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	兼子 佳久 (Kaneko Yoshihisa) (40283098)	大阪公立大学・工学研究科・教授 (24405)	
連携研究者	瀧 健太郎 (Taki Kentaro) (70402964)	金沢大学・理工研究域・教授 (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------