

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02039

研究課題名(和文) 電着樹脂含浸法を用いたCFRPのラティス構造の製造法とその応用基盤技術の開発

研究課題名(英文) Development of the manufacturing method of CFRP lattice structure by using electrodeposition resin impregnation method and its application technology

研究代表者

片桐 一彰 (Katagiri, Kazuaki)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：70521277

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円

研究成果の概要(和文)：炭素繊維強化複合材料によるラティス(=格子)構造は、炭素繊維の剛性と強度を最大限に活用した軽量・高強度構造である。しかし、ラティス構造の製造には制約が多く、実用例はほとんどない。本研究では、自動車塗装に使われる電着液に炭素繊維を浸漬し、電流を流して繊維表面に樹脂を析出させて含浸する、独自の電着樹脂含浸法を適用し、(A) 任意形状のラティス構造の製造法を開発した。また、(B) 持続可能な資源で、強度に優れたセルロースナノファイバーを添加し、ラティス構造を強靱化する手法を示した。更に、(C) 軽量で高性能なCFRPヒートシンクの実現に向け、樹脂含浸と同時に蓄熱材を複合化する手法の開発を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CFRPは、炭素“繊維”という一次元材料と強度が低い樹脂の複合材料である以上、炭素繊維の強度と剛性を最大限に活用するラティス構造が最も洗練された構造となるが、現在のCFRPの製造法でラティス構造を製造するには多くの制約があった。そこで、自動車ボディの電着塗装を元にした樹脂含浸法を適用した製造手法を提示することができた。また、セルロースナノファイバーを添加すればCFRPの衝撃強度が向上することも示した。更に、電子機器の急激発熱対策として、CFRPの筐体に蓄熱材を複合化する手法の開発を試みた。

研究成果の概要(英文)：The lattice structure made of carbon fiber-reinforced composite material is a lightweight, high-strength structure that takes full advantage of the stiffness and strength of carbon fiber. However, there are many restrictions on manufacturing lattice structures. In this research, we applied a unique electrodeposition resin impregnation method in which carbon fibers are immersed in an electrodeposition solution used for automobile painting, and a current is applied to deposit and impregnate the fiber surface with resin. (A) We have developed a manufacturing method for the lattice structure. In addition, (B) we demonstrated a method to strengthen the lattice structure by adding cellulose nanofibers, which are sustainable resources and have excellent strength. Furthermore, (C) we progressed with the development of a method to combine heat storage material with resin impregnation at the same time as realizing a lightweight, high-performance CFRP heat sink.

研究分野：複合材料

キーワード：CFRP 電着 航空機構造 ラティス構造 セルロースナノファイバー 蓄熱材 ヒートシンク 衝撃強度

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

炭素繊維強化樹脂 (Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP) は、軽量性と高い強度を兼ね備えた材料で日本発の技術である。今から 50 年以上前に釣り竿に応用されて以来、ゴルフクラブ、航空機の部材など、その応用範囲は急激に広がってきた。しかし、CFRP の製造、成形や加工は、今でも、決して容易なプロセスとはいえない。複雑な形状を有する CFRP 部材は普及しておらず、自動車用など、低コストがカギとなる部材への CFRP の適用はほとんど進展していないといっても過言ではない。

CFRP の製造法としては、プリプレグの積層や樹脂を加圧して注入する加圧含浸法、樹脂を真空圧で吸引する真空含浸法などが提案されている。こういった製法における技術的課題は、炭素繊維間への樹脂含浸の困難さである。正確にいうと、直径約 7 ミクロンの炭素繊維フィラメントの間に樹脂をしっかりと含浸させる必要があるが、形状が複雑になるほど、ポイドや樹脂欠損が生じやすい。また、成形性にも課題が多く、従来は熱硬化性樹脂を母材とする CFRP が主流であったが、熱可塑性樹脂を母材とする CFRP の開発が盛んになっている。言うまでもなく、CFRP には金属のように冷間加工は全く適用できず、成形プロセスには樹脂を軟化させるための加熱工程が不可欠であるため、一般に金属加工よりも、多くの二酸化炭素排出量が排出されることになる。ただ、当然のことながら、炭素繊維は変形せず、樹脂を流動させ変形させなければならぬため、加工性には必ずと制限があって、任意形状への加工技術は確立されていない。

今後、CFRP の製造方法に関する研究開発を加速させることが極めて重要で、多くの方法が提案されている。しかし、CFRP の製造技術や加工方法の研究においては、その方向性、すなわち、目標とする CFRP の部材形状をある程度定める必要がある。本研究では、CFRP によるラティス (=格子) 構造に着目し、その製造方法の大幅な改善を目指した。その理由は、CFRP は、炭素“繊維”という一次元材料と強度が低い樹脂の複合材料である以上、炭素繊維の強度と剛性を最大限に活用するラティス構造が最も洗練された構造であるからである。つまり、まずは、最も理にかなった CFRP の利用法であるラティス構造の製造方法について研究を進めたいとの考えからである。

これまで、ラティス構造の特性を解析した論文は数多く出されているが、ラティス構造の製造に関する研究報告は多くはない。円筒など中空状のラティス構造は、プリプレグや加圧/真空含浸法で製作できるものの、CFRP 部材を曲線化したラティス構造やラティス構造の内部に部材を通す場合などは、適用可能な製造法はないといってもよい。CFRP を製造する 3 次元プリンタも開発されているが、積層面の面外方向に炭素繊維を配向させることは困難で、ラティス構造の製作には不向きである。例えば、航空機の翼構造をラティス構造とした研究もあるが、格子の最小単位(立方格子や三角柱などのピース)を大量に製作し、接着・接合している[1]。実際、CFRP のラティス構造の実用例はほとんどなく、かご状のラティス構造がロケットの一部に使われている程度で、生活に密着した製品への適用例は見当たらないといってもよい。

さらに、多数のラティス構造が組み合わせられた構造物の全体の強度特性を考える必要があり、静強度のみならず、耐衝撃性など動的な荷重に対する構造強度が要求される場合が多い。本研究では、炭素繊維自体の耐衝撃性、強靱化には立ち入らず、母材となる樹脂の耐衝撃性を向上させ、かつ、炭素繊維との界面強度の向上を図ることで、ラティス全体としての衝撃特性の改善を考えた。そのため、CFRP によるラティス構造の製造方法の開発に加え、セルローズナノファイバーに着目し、それを CFRP に添加することを試みた。セルローズナノファイバーは、木材などの植物性資源から精製可能なナノレベルの物質で、強度が高いため、樹脂及び界面強度の向上にも繋がる可能性が高い。さらに、ラティス構造の応用基盤技術を構築するうえで、ヒートシンクのラティス状伝熱面の形成法、つまり、CFRP 製ヒートシンクへの応用を念頭に、研究開発を推進することとした。

2. 研究の目的

本研究では、独自に開発を進めてきた電着樹脂含浸法を CFRP のラティス構造の製造法に適用し、社会実装に向けた応用基盤技術を構築することを目的とした。電着樹脂含浸法の着想経緯と本研究への適用を図 1 に示す。自動車のボディの塗装はスプレーによる吹きつけではなく、ボディを電着液と呼ばれる樹脂微粒子が分散した電着液の槽に浸漬し、電気泳動によって樹脂膜である塗膜を形成する電着塗装と呼ばれる手法が用いられている。具体的に本研究の目的を述べると、次の三点となる。

- (i) ラティス構造を構成する CFRP の製造方法の開発、
- (ii) セルローズナノファイバーの添加による CFRP の衝撃強度の向上、
- (iii) 軽量で高性能な CFRP のラティス・ヒートシンクの創製

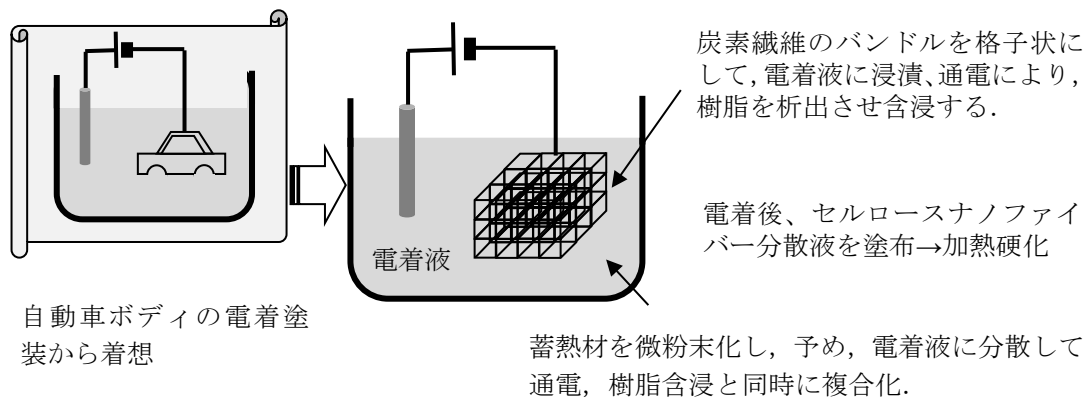


図1 電着含浸法を適用したラティス構造の製造法

まず、電着樹脂含浸法の原理とそれを適用した CFRP の試作品を図2に示す。炭素繊維プリフォームを電着液に浸漬し、印加電流を制御することにより、樹脂が繊維表面に析出させ、含浸する。電着液は、イオン性エポキシ基を持ったポリマー微粒子が分散した液で、電着塗装用として一般に流通しているが、CFRP の樹脂として適切な電着液を選択する必要があるため、本研究では、熱硬化性エポキシ樹脂の電着液や熱可塑性ウレタン樹脂の電着液などを使用した。この方法では、電着時の化学反応で樹脂と炭素繊維が強固に化学結合するため、界面強度が高く、引張弾性率: 100 GPa, 引張強度: 1 GPa 以上(=高強度に分類される CFRP)となることを明らかにしている[2]-[3]。この手法の特長として、炭素繊維の表面に樹脂を析出させるため、炭素繊維を真空袋で包み、樹脂を吸引する必要がない。

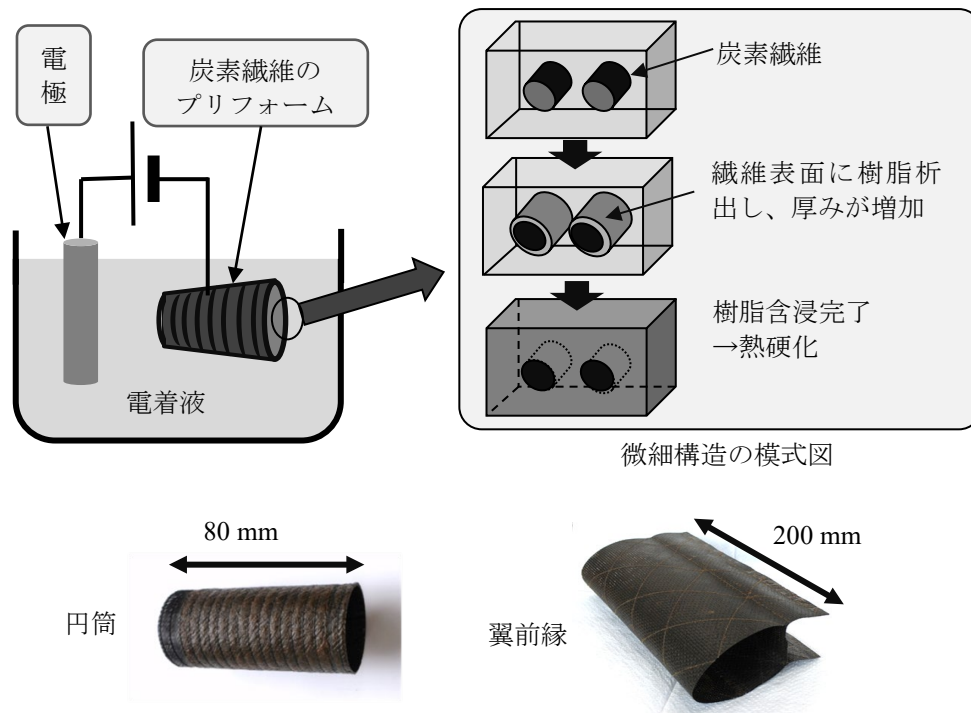


図2 電着を用いた樹脂含浸による CFRP の製造/立体成形の原理と成形例

本研究での課題は、炭素繊維をどのようにしてラティス構造にするか、そして、どのようにして樹脂を含浸するかにある。炭素繊維プリフォームは自動縫付機で立体的に織ることができ、繊維の曲線化も容易であることは、一般的ではないものの、既に確立されている。しかしながら、ラティス状、格子状の炭素繊維の織物あるいはプリフォームという、ほとんどない。そのため、最初に、ジグを使って炭素繊維をラティス状に組み、それを電着液の中に浸漬、通電することにより、樹脂を含浸する手法について検討した。そして、セルロースナノファイバーを塗布する手法、さらに、ヒートシンクのラティス状伝熱面の形成法に関する検討を行った。その際、北海道

大学において開発されている固相蓄熱材料を CFRP に組み込む技術についても検討した。

3. 研究の方法

電着樹脂含浸法を適用したラティス構造の製造方法については、まず、炭素繊維バンドル（炭素繊維フィラメントが数千本束になったもの）をラティス状に組むための成型型を専用に製作した。そして、それを電着液に浸漬し、通電により、樹脂を含浸した。その後、加熱硬化し、成型型から外すことによって、CFRP によるラティス構造とした。ラティス構造の一例として、無人機の翼構造を選び、試作した。その無人機の翼構造の変形特性（翼に曲げやねじりの荷重が入った場合を想定）を確認し、座屈についても検討を行った。

また、セルロースナノファイバーの添加による CFRP の耐衝撃性の向上に関しては、セルロースナノファイバーを水性電着液に分散し、電着直後の樹脂が含浸した炭素繊維プリフォームに塗布する方法やプリプレグ間にセルロースナノファイバーと水性電着液の分散液を塗布する方法など、様々な手法を検討した。セルロースナノファイバーは水性であることから、樹脂に分散させるために疎水化処理が施される場合が多いが、本研究では水性電着液、つまり、水性樹脂溶液を用いることとし、高コストで様々な薬品を使用する疎水化処理は施さなかった。これらの手法を用いてセルロースナノファイバーを複合化した CFRP 試験片を製作し、計装化シャルピー試験を行って衝撃力の波形を取得し、耐衝撃性を検討した。

そして、ラティス構造を有する CFRP 製ヒートシンクへの応用を目指し、まず、CFRP への蓄熱材の複合化を試みた。固相で結晶構造が変化して蓄熱する固相蓄熱材を精製し、それを微粒子化することで電着液に分散し、塗布する方法、セルロースナノファイバーを増粘剤として利用し、固相蓄熱材料を均一に CFRP に塗布する方法などについて、検討を行った。なお、固相蓄熱材には“trans-1,4-Polybutadiene”を用いた。

4. 研究成果

本研究では、CFRP のラティス構造を試作した。その一つの応用例として、無人機用の翼端部構造を試作した（図 3 参照）[4]-[6]。炭素繊維バンドルを成型型に沿って組み、電着液に浸漬、最適な電流を印加して、樹脂を繊維表面に析出させ、含浸させることで製作することができた。これまで、ラティス構造の内部に CFRP 部材を通すことは困難であったが、本研究で提案した手法では容易であった。また、樹脂の回り込み不足やボイドが残留する心配がなく、製作性、量産性も十分である。



図 3 電着樹脂含浸法を適用して試作したラティス構造の応用例
(無人機翼端部構造)

さらに、この無人機用の翼端部構造に関し、曲げ試験、ねじり試験を行って桁構造の最適化を行った。つまり、図3に示す平行桁の他に、三角形桁などをいくつかの翼端部構造を試作し、曲げ試験及びねじり試験を行って荷重-変位関係を取得した。その結果、非線形特性を確認したが、飛行時に想定される荷重下において座屈は見られず、強固な翼構造が製作できることを確認した。

また、セルロースナノファイバーを複合化したCFRPの衝撃特性に関しては、まず、添加するセルロースナノファイバーの量を決めて、計装化シャルピー衝撃試験を行った[7]-[9]。その結果、セルロースナノファイバーを添加することにより、衝撃吸収特性が大きく変化することを確認した。衝撃力と時間の関係、すなわち、衝撃力の波形をみると、セルロースナノファイバーを添加した場合と添加しなかった場合に顕著な差異が見られた。前者の衝撃力の波形は、後者のそれに比べて、第一波の高さが低く、第二波の高さは高くなる傾向にあって、衝撃吸収エネルギーの増加が認められた。セルロースナノファイバー層をCFRPの積層構造のどこに挿入するか(積層構成)についても検討を行ったところ、打撃面の表層直下(表層はCFRP)に挿入することが最も望ましいということが分かった。なお、セルロースナノファイバーの形態(直径や長さなど)の影響についても検討を行い、その影響が衝撃吸収特性に現れることを確認した。

最後に、ラティス構造を応用したヒートシンクの創製であるが、固相蓄熱材をCFRPに複合化することに成功し、固相蓄熱材の添加量と蓄熱量(吸熱量)の関係に相関性があることを確認した。

参考文献

- [1] B. Jenett, S. Calisch, D. Cellucci, N. Cramer, N. Gershenfeld, S., Swei, K. C. Cheung, Digital morphing wing: active wing shaping concept using composite lattice-based cellular structures, *Soft robotics* 4.1, 33-48, 2017.
- [2] K. Katagiri, K. Sasaki, S. Honda, et. al., Resin molding by using electro-activated deposition for efficient manufacturing method of CFRP, *Composite Structures*, Vol. 182, pp. 666-673, 2017
- [3] K. Katagiri, K. Sasaki, S. Honda, H. Nakashima, S. Yamaguchi, et. al., CFRP manufacturing method using electrodeposition resin molding for curvilinear fiber arrangements, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Vol. 102, pp. 108-116, 2017
- [4] K. Katagiri, S. Yamaguchi, S. Kawakita, S. Honda, K. Sasaki, N. Kogiso, M. Tamayama, Fabrication of the twist morphing wing for the UAV by CFRP with applying the electrodeposition resin molding method. In: *AIAA SCITECH 2020 Forum*, 0883, 2020
- [5] K. Katagiri, C. S. Park, S. Kawakita, D. Kim, M. Tamayama, S. Honda, K. Sasaki, M. Yamazaki, Mechanical properties of the skeletal structure for UAV morphing wing by using CFRP with applying the electrodeposition resin molding method. In: *AIAA SCITECH 2022 Forum*, 0865, 2022
- [6] K. Katagiri, C. S. Park, S. Kawakita, M. Tamayama, S. Honda, K. Sasaki, Optimization of CFRP skeletal structure of morphing wings and manufacturing by electrodeposition resin molding method. In: *AIAA SCITECH 2023 Forum*, 1708, 2023
- [7] Katagiri, K., Okumura, T., Kawakita, S., Sonomura, H., Honda, S., Sasaki, K., Enhancement of impact properties of CFRP by inserting the non-hydrophobized cellulose nanofiber dispersion layer using an aqueous solution of epoxy resin. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 29.26: 5350-5359, 2022
- [8] K. Katagiri, N. Kishimoto, H. Yamaguchi, T. Okumura, S. Kawakita, S. Honda, K. Sasaki, Effects of cellulose nanofiber content on impact properties of carbon fiber reinforced epoxy composites with the cellulose nanofiber dispersion layer. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 29.27: 6087-6095, 2022
- [9] K. Katagiri, N. Kishimoto, H. Yamaguchi, T. Okumura, S. Kawakita, S. Honda, K. Sasaki, Effects of stacking sequences of non-hydrophobic cellulose nanofiber dispersion layer on impact properties of carbon fiber/cellulose nanofiber reinforced epoxy composite. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 30.3: 582-591, 2023

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14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 0件）

1. 著者名 Katagiri Kazuaki, Kishimoto Naoko, Yamaguchi Haruna, Okumura Toshihiko, Kawakita Sonomi, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Impact properties of carbon fiber/cellulose nanofiber reinforced epoxy composite using asymmetric stacking sequence of non-hydrophobic cellulose nanofiber dispersion layer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 1~14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2022.2085828	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 Honda Shinya, Takisawa Hiraku, Takeda Ryo, Sasaki Katsuhiko, Katagiri Kazuaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Estimation of damping characteristics and optimization of curvilinear fiber shapes for composites fabricated by electrodeposition resin molding	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2022.2095063	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 Katagiri Kazuaki, Park Choong Sik, Kawakita Sonomi, Tamayama Masato, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimization of CFRP skeletal structure of morphing wings and manufacturing by electrodeposition resin molding method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of AIAA Science and technology forum 2023	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2514/6.2023-1708	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 Katagiri Kazuaki, Kim Daekwi, Park Choong Sik, Kawakita Sonomi, Tamayama Masato, Kayano Koki, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko, Yamazaki Makoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Manufacturability and Deformation Performances of CFRP Twist Morphing Wing Structure with Applying the Electrodeposition Resin Molding Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Proceedings of the 2021 Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT 2021)	6. 最初と最後の頁 879~891
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-19-2689-1_67	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 Katagiri Kazuaki, Kishimoto Naoko, Yamaguchi Haruna, Okumura Toshihiko, Kawakita Sonomi, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 30
2. 論文標題 Effects of stacking sequences of non-hydrophobic cellulose nanofiber dispersion layer on impact properties of carbon fiber/cellulose nanofiber reinforced epoxy composite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 582 ~ 591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.2018743	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 Katagiri Kazuaki, Kishimoto Naoko, Okumura Toshihiko, Kawakita Sonomi, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 29
2. 論文標題 Effects of cellulose nanofiber content on impact properties of carbon fiber reinforced epoxy composites with the cellulose nanofiber dispersion layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 6087 ~ 6095
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.1972369	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 Katagiri Kazuaki, Okumura Toshihiko, Kawakita Sonomi, Sonomura Hirosuke, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 29
2. 論文標題 Enhancement of impact properties of CFRP by inserting the non-hydrophobized cellulose nanofiber dispersion layer using an aqueous solution of epoxy resin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 5350 ~ 5359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.1954270	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 Katagiri Kazuaki, Honda Shinya, Okumura Toshihiko, Yamaguchi Shimpei, Kawakita Sonomi, Kume Kazuhiro, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 29
2. 論文標題 Enhancement method of CFRP with the non-hydrophobized cellulose nanofibers using aqueous electrodeposition solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 4631 ~ 4638
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.1934760	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 片桐一彰	4. 巻 42
2. 論文標題 電着樹脂含浸法による CFRP 成形加工技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 機能材料	6. 最初と最後の頁 30 ~ 37
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 無
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 Katagiri Kazuaki, Honda Shinya, Nakaya Shota, Kimura Takahiro, Yamaguchi Shimpei, Sonomura Hirotsuke, Ozaki Tomoatsu, Kawakita Sonomi, Takemura Mamoru, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 143
2. 論文標題 Tensile strength of CFRP with curvilinearly arranged carbon fiber along the principal stress direction fabricated by the electrodeposition resin molding	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Composites Part A: Applied Science and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 106271 ~ 106271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compositesa.2021.106271	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 Katagiri Kazuaki, Honda Shinya, Okumura Toshihiko, Yamaguchi Shimpei, Kawakita Sonomi, Kume Kazuhiro, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhancement method of CFRP with the non-hydrophobized cellulose nanofibers using aqueous electrodeposition solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.1934760	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 Katagiri Kazuaki, Okumura Toshihiko, Kawakita Sonomi, Sonomura Hirotsuke, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhancement of impact properties of CFRP by inserting the non-hydrophobized cellulose nanofiber dispersion layer using an aqueous solution of epoxy resin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.1954270	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 Katagiri Kazuaki, Kishimoto Naoko, Okumura Toshihiko, Kawakita Sonomi, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of cellulose nanofiber content on impact properties of carbon fiber reinforced epoxy composites with the cellulose nanofiber dispersion layer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.1972369	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 Katagiri Kazuaki, Kishimoto Naoko, Yamaguchi Haruna, Okumura Toshihiko, Kawakita Sonomi, Honda Shinya, Sasaki Katsuhiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of stacking sequences of non-hydrophobic cellulose nanofiber dispersion layer on impact properties of carbon fiber/cellulose nanofiber reinforced epoxy composite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mechanics of Advanced Materials and Structures	6. 最初と最後の頁 1~10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15376494.2021.2018743	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 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 才脇武, 本田真也, 片桐一彰, 佐々木克彦, 武田量
2. 発表標題 シェル構造に向けた曲線状強化繊維複合材の振動最適化手法
3. 学会等名 Dynamics & Design Conference 2022, 145
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本田真也, 瀧澤拓, 片桐一彰, 佐々木克彦, 武田量
2. 発表標題 曲線状強化繊維を有する複合材の減衰特性同定と最適化
3. 学会等名 理論応用力学講演会 講演論文集 第 66 回理論応用力学講演会, 163
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuaki Katagiri , Shinya Honda , Shota Nakaya , Toshihiko Okumura , Shimpei Yamaguchi , Katsuhiko Sasaki
2. 発表標題 Fabrication of a cylindrical lattice structure by using the electrodeposition resin molding method and its compression properties
3. 学会等名 Proceedings of ICCS23 - 23rd International Conference on Composite Structures & MECHCOMP6 - 6th International Conference on Mechanics of Composites (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐一彰
2. 発表標題 電着樹脂含浸法を用いたCFRPの製造方法と UAV用モーフィング翼の試作
3. 学会等名 日本機械学会年次大会2020 先端技術フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐一彰, 朴忠植, 山口真平, 本田真也, 佐々木克彦, 玉山雅人
2. 発表標題 電着樹脂含浸法を適用したCFRPIによる UAV用モーフィング翼構造の製作と変形試験
3. 学会等名 日本航空宇宙学会第58回飛行機シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片桐一彰, 奥村 俊彦, 道志 智, 山口 真平, 陶山 剛, 本田 真也, 佐々木 克彦
2. 発表標題 セルロースナノファイバーで強化したCFRPの 静強度と衝撃特性
3. 学会等名 日本複合材料学会 複合材料シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 KATAGIRI KAZUAKI、PARK CHOONG SIK、YAMAGUCHI SHIMPEI、KAWAKITA SONOMI、DAEKWI KIM、HONDA SHINYA、SASAKI KATSUHIKO、TAMAYAMA MASATO
2. 発表標題 MANUFACTURING METHOD OF THE MORPHING WING STRUCTURE FOR UAV BY CFRP WITH APPLYING THE ELECTROFORMED RESIN MOLDING METHOD
3. 学会等名 アメリカ複合材料学会（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Katagiri Kazuaki、Park Choong Sik、Kawakita Sonomi、Kim Daekwi、Tamayama Masato、Honda Shinya、Sasaki Katsuhiko、Yamazaki Makoto
2. 発表標題 Mechanical properties of the skeletal structure for UAV morphing wing by using CFRP with applying the electrodeposition resin molding method
3. 学会等名 アメリカ航空宇宙学会（国際学会）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	戸谷 剛 (Totani Tsuyoshi) (00301937)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	
研究分担者	陶山 剛 (Suyama Takeshi) (00712928)	地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・研究員 (84431)	
研究分担者	奥村 俊彦 (Okumura Toshihiko) (10359408)	地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・主任研究員 (84431)	

6. 研究組織（つづき）

	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	磯野 拓也 (Isono Takuya) (70740075)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	
研究分担者	本田 真也 (Honda Shinya) (90548190)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	

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