

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02448

研究課題名（和文）炭素繊維強化複合材料の接合部の面内外荷重に対する設計規準の確立と耐久性の改善

研究課題名（英文）Formulation of design criteria and improvement of durability of carbon fiber reinforced composite joint subjected to in-plane and out of plane loading.

研究代表者

大窪 和也（OKUBO, Kazuya）

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：60319465

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：研究計画調書に従い、CFRTP（炭素繊維強化熱可塑プラスチック）と金属材料との接合構造の強度改善技術を社会に提唱する事を目的とした。微細ガラス繊維を内部に含有させた締結カラーの併用効果を利用する技術開発を行った。研究の結果、締結カラーに添加するガラス繊維の繊維長と添加率や、被締結材に一旦挿入した熱可塑性樹脂カラーの再熔融温度、および厚み方向の加圧の最適条件を検討する事によりいわゆる線形ニーポイント後の耐性を改善し、本研究の条件ではボルト締結板の引張せん断破損荷重を、カラーを用いず切削加工のみにより開孔したボルト穴を用いる場合のそれに比べて、最大73%向上させる事ができる技術を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では対象とした接合構造の数値上の強度改善を得ただけではなく、その改善を得た技術的根拠を明らかにした。すなわち本手法ではカラーに添加したガラス繊維が被締結部に適切に干渉し、ボルト穴の機械的切削加工時に生じた微細き裂を起点とするき裂の進展を抑制すると共に、たとえ被締結部が脆性的であっても、面圧破壊後に生じた厚み方向のき裂開口変位を抑制する事で隣接する位置での新たなき裂の発生を防止し、締結部が線形性を失った後にも反力を増加させ、部材全体としての変形能を改善させる事を明らかにした。今後に応用できるこの知見の提示を研究成果の学術的意義とし、改善効果を期待できる点で技術社会的意義を有すると考える。

研究成果の概要（英文）： The purpose of study was to develop novel technique to modify the designing aspect for mechanical joint of CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) and metal plate fastened with conventional bolt.

According to the research plan, the effect of the insertion of the modified cylindrical thermo-resin collar of which short glass fibers previously added into the resin to the strength of the joint was investigated by lots of experiments. Most effective conditions of the fiber length, fiber fraction, temperature at the insertion and the pressure in thickness direction were shown by detailed tests. This study proposed a novel technique, where the endurance on the load-deformation response after the linear knee-point was obtained remarkably and then the nominal load at the final fracture of the joint were also improved about 73% in maximum under tensile-shear loading to the plate material fastened by conventional bolt, compared with that of the plate with mechanically drilled hole.

研究分野：材料力学、複合材料力学

キーワード：炭素繊維強化複合材料 接合 面内および面外荷重 微細繊維 き裂進展 じん性 応力緩和現象 設計規準

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究の学術的背景、研究課題の核心をなす学術的「問い」

密度に比べて高い機械的特性を有する炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastics, 以下 CFRP と記載する)は、近年では炭素繊維の価格が以前に比べて廉価になった事もあり、その用途は航空機や高価なスポーツ用品などに限定される事なく、各種多様な可能性を持つ一般材料に変化しつつある。しかし特に高強度な炭素繊維を使う板形状の CFRP では、厚み方向の特性と繊維方向(長手方向)の特性とが大きく異なる。すなわち繊維方向(長手方向)には炭素繊維により強化された高い機械的特性が実現されているが、厚み方向には一般に強化繊維は配されず、相対的に極めて低い機械的特性を有する。

このような CFRP と金属部材とを合理的に締結または接合するためには CFRP を用いる構造物に特化した設計手法が必要である。しかしながら特にボルトや接着材を用いて締結や接合を行う場合には、これまでの伝統的、かつ慣習的な設計手法があり、一見、締結自体が問題無く行えるように見える事も影響して、CFRP を用いる部材の締結設計法の考え方に既存の金属材料を用いる部材の締結法の考え方がそのまま取り入れようとしている(図1参照)。

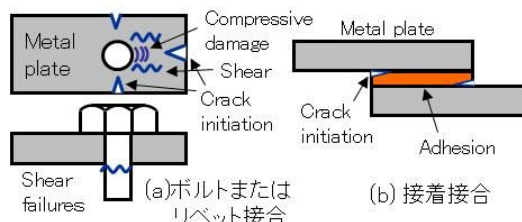


図1 従来の金属材料の部材接合の設計手法

具体的には、CFRP の強化繊維の機械的特性は、ガラス繊維を用いる強化プラスチックのそれに比べて相対的に高いので、締結部付近の強度を支配する現象は、ほとんどの場合、繊維破壊ではなく界面破壊となる。すなわち、どのような接合形態をとっても

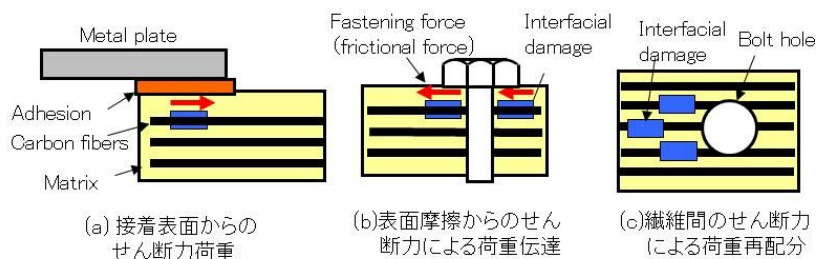


図2 CFRP材を金属部材に締結する際に課題となる界面特性の重要性

CFRP の接合部では強化繊維が切断される事になるので、荷重伝達は界面を介してなされる事になる(図2参照)。特にボルトを用いて CFRP を締結すると、材料の主強度を担っている強化炭素繊維をボルト穴により切断してしまうため、その切断された炭素繊維付近での局所的な界面破壊が締結強度を支配する事になる。かと言ってこれまでの金属材料に対する締結設計手法の考え方のように、ボルトの座面を介した摩擦締結の考え方を持ち込むと、CFRP の表面であるプラスチック部分(母材部)から締結力を伝達する事になり、表面部と内部に存在する炭素繊維とのせん断内力を介した荷重伝達とその再配分に対する設計手法が必要になる。さらに CFRP の実際の広範囲にわたる産業用途を考えると、締結部材には単純な引っ張り力や、あるいは引きはがし型の引っ張りせん断力だけではなく、引っ張りと曲げの同時作用や、あるいは圧縮座屈や、構造物全体のねじり作用による面外方向のせん断力が作用する事を考えた設計手法が必要である。このような CFRP の用途に今以上の汎用性を与えるような接合構造の設計技術がこれまでにはなかった。従って、従来の2次元的な平板の締結の考え方だけではなく、多現象を想定した CFRP の締結設計規準の確立が必要であり、これを学術的「問い」とした。

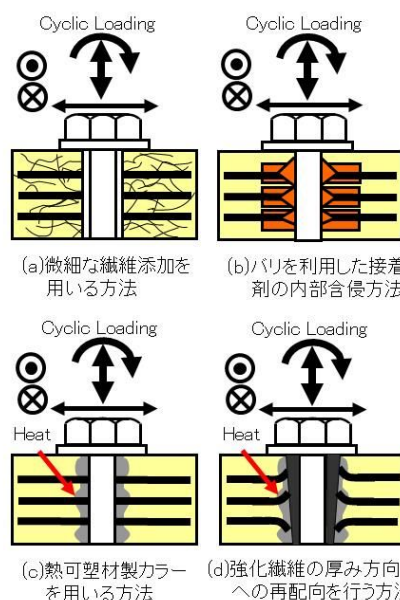


図3 CFRPの接合部の特性を変更する手法案の例

2. 研究の目的

本研究では、平板を用いた2次元的に単純な継手構造だけではなく、CFRP を用いた実用的で広範囲な種別の接合構造を想定し、その全般を含むような接合構造の強度設計手法とその設計規準を社会に提唱すると共に、CFRP の接合部の長期使用に対する疲労耐久性を高めるため

の新技术を社会に提供し、当該の学術・産業分野に貢献する事を目的とした。

本研究の独自技術として、CFRP 内部の界面強度、および破壊力学を進展させる概念である材料内部の界面じん性値と締結部の全体強度との関係を誘導し、実験測定と共に汎用的な定式化を行う。具体的には現在実施している基盤研究(C)15K06471「ボルト締結した炭素繊維強化複合材料の耐久性の改善と設計規準の確立」で得られている知見を実用レベルに進展させ、3次元構造を有しかつ面外荷重、を受ける接合構造部に、継手部本体と微細繊維を一体化させる独自の強化機構を設ける研究を行った(図3参照)。

特に研究代表者は、図4に示すようなナノサイズに近い各種の微細繊維を用いて、複合材料の界面付近での損傷を抑制する技術の研究を行ってきた事を進展させ、CFRPの接合部での信頼性を改善する技術開発を行った。

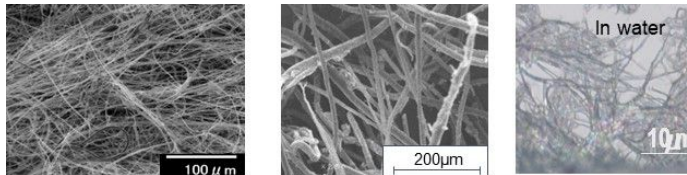


図4 研究代表者がこれまで使用した微細繊維の事例 (左:ガラス微細繊維, 中央:微細竹繊維, 右:セルロースナノファイバー)

3. 研究の方法

(1) 素材

本研究では被締結材となる CFRP の母材に汎用のマレイン酸変性ポリプロピレン (PP) を使用し、強化材には汎用の炭素繊維 (TR50S: 三菱ケミカル製) を使用した。CFRP の積層構成を、2 年目までの研究では汎用性を考えて $[0/90]_{4s}$ とし、3 年目以降には現象をシンプル化してより研究の成果を明確化するために 1 方向強化複合材 (いわゆる $[0]_{12}$ 材) とした。いずれの場合でも被締結材の厚みを約 2mm とした。成型には汎用ヒートプレス機 (神藤金属工業所) を使用し、温度 200℃、圧力 8MPa の状態で 7 分間の熱プレスを行い成型を行った。成形後、室温条件下で徐冷を行った。この方法により積層板中の繊維の体積含有率 (V_f) を 47.5% とした。

(2) 試験片形状および負荷方式

図5に示すようなダブルラップ状とした。被締結材の CFRP 板の形状を長さ 200mm、幅 38mm の短冊形状とし、これに締結用のボルトの穴あけ加工を行う際には、直径 6mm の CFRP 用ドリル (NACHI: DCDCF0600) を用いた。この際のドリルの回転数を 1000 rpm とした。その加工後、直径 6.00 のリーマ (F. P. tools) を用いて、ボルト穴仕上げ加工を行った。

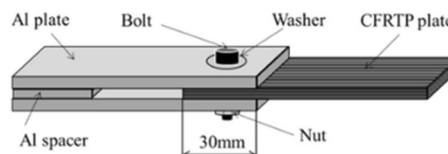


図5 試験片形状

ボルト穴にカラーを挿入する際には、これらの工具の直径を 10mm とした。その樹脂カラーの材質には、ポリプロピレン樹脂 (プライムポリマー: プライムポリプロ J-700GP) を用い、さらにその樹脂カラーを改質する際には、ガラス繊維 (セントラルグラスファイバー: ERS2200-820, 図6) をそのカラー用樹脂材料に予め添加した。その樹脂カラーへのガラス繊維の添加率を、0wt%、15wt% および 30wt% と変化させた。樹脂カラーの成型には、自作の円筒容器状の小型金型および汎用射出成型機を用いて行った。射出温度を、220℃、金型温度を 90℃ とした。円筒状カラーの寸法を、外径 10 mm、内径 6 mm、高さを 2.1 mm とした (図7)。締結用のボルトサイズを汎用の M6 サイズ、締結トルクを 10Nm とした。

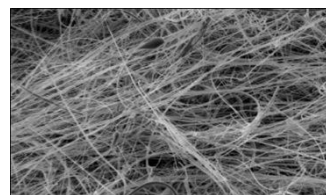


図6 改質のためにカラーに添加したガラス繊維

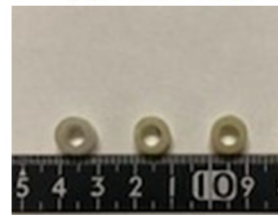


図7 ボルト穴に装着したカラーの外観

(3) 負荷方式

いずれの場合にも負荷形式をボルトに対する引張せん断式とし、試験環境を実験室環境下とした。静的負荷を行う場合には、万能材料試験機 (島津製作所 オートグラフ 定格荷重 100 kN) を用いた。JIS K 7080 に準拠し、引張せん断試験を変位制御下で行った。試験片のチャック間距離を 150 mm、試験速度を 1.5mm/min、 n 数を 5 以上とした。

繰り返し疲労負荷を行う場合には、電気油圧式材料試験機 (島津製作所、サーボバルサ、定格荷重 50 kN) を用いた。荷重制御により引張 - 引張疲労試験を行った。繰り返し負荷の周波数を 5 Hz、波形を正弦波、繰り返し応力比を 0.1、及び打ち切り回数を 10^6 サイクルとした。

4. 研究成果

1 年目には平板を用いた 2 次元的に単純な継手構造だけではなく、CFRP (炭素繊維強化プラスチック) を用いた実用的に広範囲な種別の接合構造を想定し研究を開始した。この初年度においては、研究開始の前年度まで行って来た研究課題 (「ボルト締結した炭素繊維強化複合材料の耐久性の改善と設計規準の確立」: 基盤研究(C), 課題番号: 15K06471) を進展させ、bite

plate(ダイス状の突起をその表面に有する金属板, 図8)を利用する手法を応用し, 疲労耐久性の改善検証を行った。研究の結果, ボルト穴近傍での初期損傷(図9)の存在を仮定し, 疲労耐久性寿命の指標となる臨界エネルギー解放率の変化をコンプライアンス法により測定したところ, 臨界エネルギー解放率と継手効率との間には正の相関関係が存在することを確認した。また疲労進展状態の違いを詳細に把握し, Bite plateと改質フィルムを併用すると, き裂進展面付近での炭素繊維上の樹脂の残存量が多くまたは覆われた状態を維持できる事を明らかにした。また適切な条件でBite plateを溶融併用すると, Bite plateを適用した領域内での局所的な炭素繊維と樹脂の接着性が改善され, 疲労き裂の進展抑制に寄与する事も明らかにした。

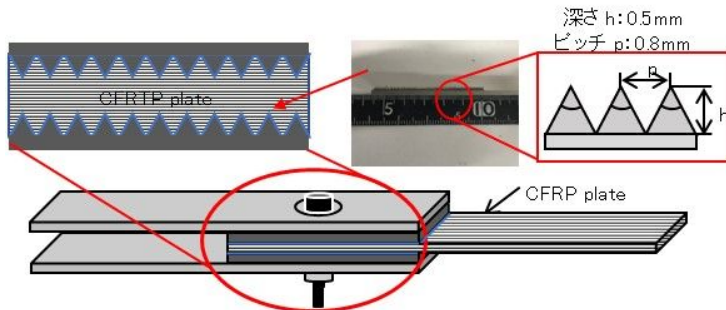


図8 溶融併用したBite plateの利用図

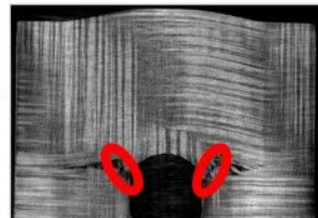


図9 基本的な破損形態(破壊起点)

2年目においては, 初年度において行った汎用的なM6サイズのボルトを用いた締結の際に, マイクロミリメートルサイズの微細ガラス繊維を内包するPP製フィルムとbite plate(ダイス状の突起を表面に有する金属板)を併用する締結方法の考え方を発展させ, 比較的シンプルな構造を持ち, 将来の実用時に比較的平易に導入できると予想できるボルト穴面へのPP製の弾性カラーに微細ガラス繊維を添加する手法の効果を実験的に調査した。その結果, 適切な微細ガラス繊維の添加率および添加方法を採用すると, 最大約20%程度の強度改善率が得られる事がわかった。さらに実用条件に負荷条件である繰り返し疲労負荷の条件下では疲労寿命は10倍以上増加し(図10), またある疲労損傷後の残留強度(いわゆる残存強度)の維持率も改善できる事を明らかにした。さらに研究における諸データの蓄積や諸現象の観察を通じて, 締結部周辺での粘弾性クリープに伴う応力緩和現象がボルトを用いたCFRTP材の締結の信頼性を確保する上で無視できない現象である事を把握した。具体的にはボルトによるCFRTP板の厚み方向の締結力は時間と共に下に凸の指数関数状に低下し, 常用される車輛等で起こりうる温度条件の100程度の温度条件でも最大約20%の低下が生じる事がわかった。この低下により限界時には相対的に円孔縁での耐久性の確保の寄与度が増加する事も明らかにした。

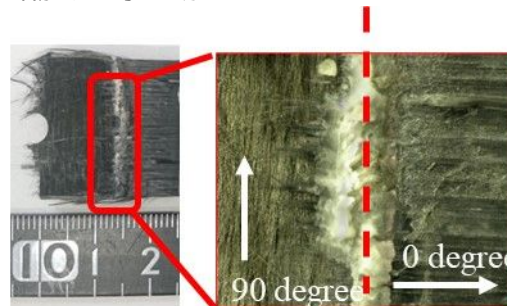
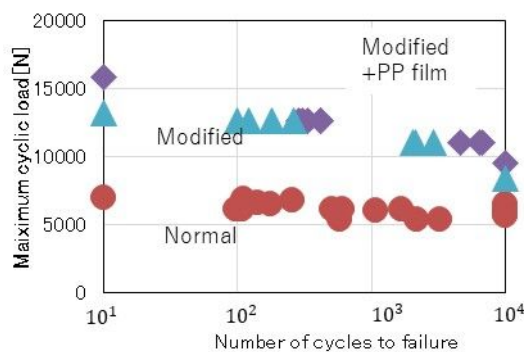


図10 PP製フィルムとbite plateを併用する締結方法を採用した場合の疲労寿命の改善結果を示すS-Nデータおよび状態写真

3年目においても昨年度までの研究結果を発展させ, 微細繊維を内部に含有させた締結用の弾性カラー(以下, 締結カラーと記載)の併用効果や, 締結部のボルト孔付近での再溶融の効果, および締結後の再度の応力分配の考え方を利用して, その接合部分の静的強度と疲労耐久性を向上させるための技術開発を行った。また添加する微細ガラス繊維の添加率を変更した場合の改善効果の増減を調査すると共に, 疲労寿命の改善効果を左右する内部の損傷進展機構の解明に注力した。その結果, 本件のボルト締結接手の疲労信頼性は, CFRTPの強化繊維自体の破断や継手部付近にあるCFRTP表面の摩擦力による摩滅等ではなく, ボルト締結用の円孔部の周縁部にある強化繊維の局所的な座屈の発生の有無に支配される事を明らかにした。具体的には, 締結カラーを併用しない場合には, 初期の締結トルクを適切に与えた場合でも, 特に繰り返し疲労荷重下では締結力が低下し, ボルトのネジ山の先端からの長手方向の圧縮力を受ける円孔縁面付近で強化繊維の局所的な座屈が生じ, それが起点となって継手の信頼性を著しく低下させるが, 締結カラーを併用するとこの局所座屈の発生が抑制されると共に, さらにその締結カラーに微細繊維を添加した場合には, 一旦, 微細な局所座屈が発生してもそれを起点とする開口き裂の変位を適切に力学架橋し, 損傷の増大化を遅延できる事がわかった, この効果により, 継手としての静的および疲労耐久寿命の両者を向上できる事がわかった(図11, 12)。

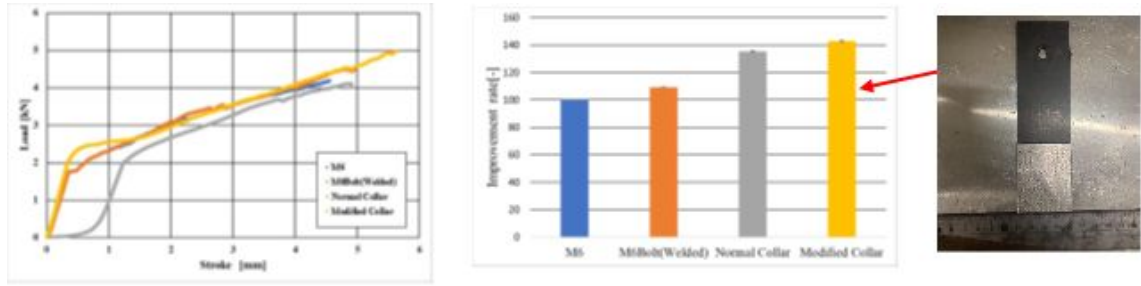


図11 静的強度の改善結果を示す荷重-変位線図, 改善率比較, および状態写真

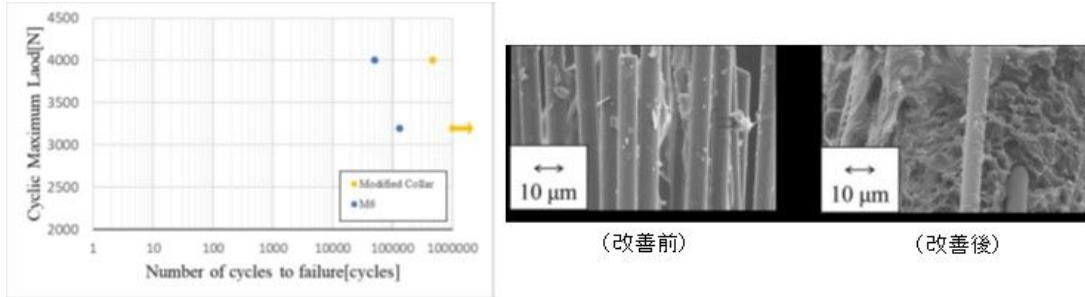


図12 改質カラーを併用する締結方法を用いた場合の疲労寿命の改善結果を示すS-Nデータおよび状態写真

4年目においては特に昨年度の研究成果を進展させ、3年目に検討した微細ガラス繊維を内部に含有させた締結カラーの併用効果の技術を進展させるために、その際のボルト孔付近での再溶融の効果、および締結後の再応力分配の考え方を活用する技術開発を行った。現象をシンプル化するために被締結材の種別を1方向強化複合材とし、母材には熱可塑性ポリプロピレンを用いた。締結カラーの材質も母材と同材質とし、既存のボルト穴にも適合するように円筒形とした。なお、カラーの再溶融と厚み方向の加圧を実現するために、部分的に溶融したカラー樹脂をボルト穴内に保持しながら圧力を維持する事ができる適切な空間寸法を有する独自のジグを開発し(図13)、これを応用した。

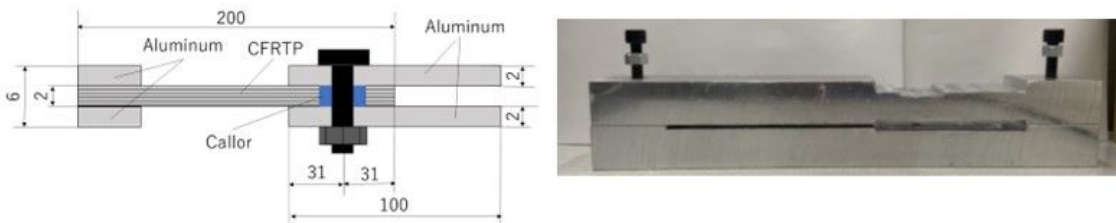


図13 カラーの再溶融と厚み方向の加圧を実現するための接合部のジグ構造

研究の結果、締結カラーに添加するガラス繊維の繊維長と添加率や、被締結材に一旦挿入した熱可塑性樹脂カラーの再溶融温度、および厚み方向の加圧の最適条件を検討する事により、これを用いたボルト締結板の引張せん断破壊荷重を、カラーを用いず切削加工のみにより開孔したボルト穴を用いる場合のそれに比べて、最大73%向上させる事ができた(図14)。この改善は、カラーに添加したガラス繊維が被締結部に適切に干渉し、ボルト穴の機械的切削加工時に生じた微細き裂を起点とするき裂の進展を抑制すると共に、面圧破壊後に生じた厚み方向のき裂開口変位を抑制する事で隣接する位置での新たなき裂の発生を防止し、部材全体としての変形能を改善させる事により得られる事がわかった。具体的には、たとえ被締結部が脆性的であっても、ボルト締結部において一旦いわゆるニーポイントを生じて線形性を失った後にも反力を増加させ、外部から見えずに耐性を維持したまま最終破壊を遅延させる構造に変更できる事を本研究により明らかにした。この知見の提示を研究成果の意義とし、今後に応用できる重要性を有する知見とした。

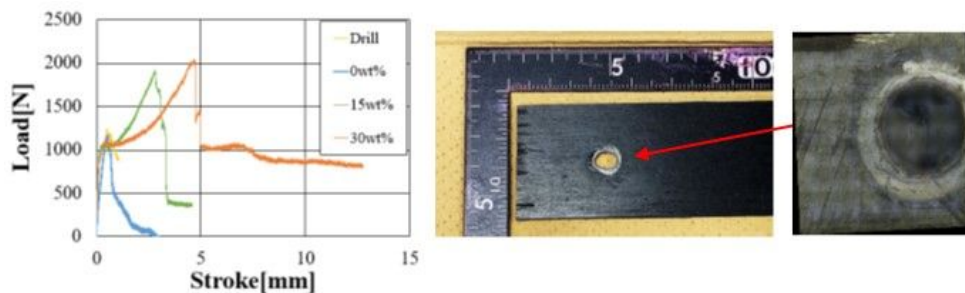


図14 改質カラーの再溶融手法を用いた場合の荷重変位線図および状態写真

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 村山凌太郎, 小武内清貴, 大窪和也	4. 巻 59
2. 論文標題 炭素繊維 / 樹脂間の界面接着せん断強度に及ぼす繊維表面のサイジング処理効果の負荷ひずみ速度の違いによる変化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本接着学会誌	6. 最初と最後の頁 65-72
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 Ryotaro Murayama, Kiyotaka Obunai and Kazuya Okubo	4. 巻 10
2. 論文標題 Effect of sub-micron glass fiber addition on CAI strength of UD-CFRP	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements	6. 最初と最後の頁 271-281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2495/cmcm-v10-n3-271-281	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 Kazuki Terasaki, Kiyotaka Obunai and Kazuya Okubo	4. 巻 1067
2. 論文標題 Influence of Bending-Twisting Coupling Deformation on Pure Bending Strength and Fracture Morphology of CFRP Angle-Ply Laminate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 99-105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/p-4n4c90	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 Valter Carvelli, Kazuya Okubo, Toru Fujii	4. 巻 224
2. 論文標題 Fatigue damage characterization and percolation in plain-weave carbo fiber-epoxy composites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Composite Part B	6. 最初と最後の頁 109225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compositesb.2021.109225	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 該当する

1. 著者名 Ryotaro Murayama, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo, Li Bao	4. 巻 11
2. 論文標題 Improvement in Impact Energy Absorption of UD-CFRP by Sub-micron Glass Fiber into Its Matrix	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Open Journal of Composite Materials	6. 最初と最後の頁 pp.82-93
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ojcm.2021.114007	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 Taiki Ueda, Kazuya Okubo, Kiyotaka Obunai, Li Bao	4. 巻 889
2. 論文標題 Improvement of Impact Energy Absorption of Curved Thin Chopped Tape CFRP Shell by Adding Submicron Glass Fiber into Matrix	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 pp.59-642021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/KEM.889.59	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 野村知正, 小武内清貴, 大窪和也	4. 巻 47
2. 論文標題 母材へのセルロースナノファイバ (CNF) 添加によるCFRPの振動減衰特性の改善 添加するCNFのアスペクト比の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本複合材料学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.131-136
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 Nguyen Thi Thanh Nhan, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo, Toru Fujii, Ou Shibata, Hidehiko Tomokuni and Yukiko Fujita	4. 巻 4
2. 論文標題 Effect of Submicron Glass Fiber Modification on Mechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite with Different Fiber Length	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Composites Science	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcs4010005	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 該当する

1. 著者名 Akihito Itami, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo and Hiroyuki Takei	4. 巻 859
2. 論文標題 Effect of Heating Process on Flexural Strength and Toughness of CFRTP Molded by Multi-layer Press -Investigation on Effect of Residual Stress	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 12015
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 小武内清貴, 大窪和也, 林研太	4. 巻 65
2. 論文標題 セルロースナノファイバの添加による平織CFRP 積層板の疲労寿命改善とそのメカニズム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 351-357
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 Nguyen Thi Thanh Nhan, Naoto Miyakita, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo	4. 巻 8
2. 論文標題 Impact Improvement of Tape Carbon Fiber Composite Modified by Submicron Glass Fiber	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science Research	6. 最初と最後の頁 21-29
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nguyen Thi Thanh Nhan, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo, Ou Shibata, Hidehiko Tomokuni, Yukiko Fujita	4. 巻 9
2. 論文標題 Mechanical Properties of Submicron Glass Fiber Reinforced Vinyl Ester Composite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Open Journal of Composite Materials	6. 最初と最後の頁 365-377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/ojcm.2019.94023	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 塩谷 渉, 小武内清貴, 大窪和也	4. 巻 45
2. 論文標題 食込プレートと改質PPフィルムとの併用によるCFRTPボルト接合継手の静的および疲労耐久性の向上	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本複合材料学会誌	6. 最初と最後の頁 230-235
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 Valter Carvelli, Hironori Nishida, Toru Fujii, Kazuya Okubo	4. 巻 236
2. 論文標題 Low velocity impact and CAI of woven carbon fibre reinforced highly polymerized thermoplastic epoxy modified with submicron diameter glass	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Composite Structures	6. 最初と最後の頁 111835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compositesb.2019.111835	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 該当する

1. 著者名 Nhan Thi Thanh Nguyen, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo, Toru Fujii, Ou Shibata, Yukiko Fujita	4. 巻 4
2. 論文標題 Effect of Submicron Glass Fiber Modification on Mechanical Properties of Short Carbon Fiber Reinforced Polymer Composite with Different Fiber Length	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Composite Science	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/jcs4010005	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56件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 三浦幹太, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 平面型スーパーキャパシタを用いた構造化キャパシタの創製とその電気特性の評価
3. 学会等名 日本機械学会関西支部 第98期定時総会講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宇賀神友康, 小武内清貴, 大窪和也, 小倉孝太, 大坪雅之, 峯村淳
2. 発表標題 母材へのセルローズナノファイバ(CNF)添加によるCFRP積層板のボルト軸力保持率の改善
3. 学会等名 第14回 日本複合材料会議(JCCM-14)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 眞田一輝, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 同軸押出ノズルを用いて積層造形したPLA/PETG複合造形品の機械的特性
3. 学会等名 第14回自動車用途コンポジットシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦幹太, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 ポリイミドフィルム上へのレーザ誘起グラフェンの合成と平面型スーパーキャパシタへの応用
3. 学会等名 第14回自動車用途コンポジットシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南梨子, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 摩擦回転により穿孔された炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)板のボルト継ぎ手強度
3. 学会等名 66th FRP CON-EX 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦幹太, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 SUS304ワイヤにより強化したPLA樹脂複合フィラメントの機械的特性 -芯線への表面処理の効果-
3. 学会等名 機械学会2022年度年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南梨子, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 エポキシにより接着された鋼接着継手の衝撃および疲労特性 -接着材へのコアシェルゴム粒子の添加の影響-
3. 学会等名 日本接着学会 第60回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宇賀神友康, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 セルロースナノファイバーを添加したエポキシ系接着剤を用いた接着継手の衝撃強度
3. 学会等名 材料学会第71期学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村山 凌太郎, 小武内 清貴, 大窪 和也
2. 発表標題 UD-CFRPのCAI強度に及ぼす微細ガラス繊維の添加の影響
3. 学会等名 第13回 日本複合材料会議 (JCCM-13)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Sanada , Kiyotaka Obunai , Kazuya Okubo
2. 発表標題 Mechanical Characteristics of Composites Specimen with Multi-Material Gradient Structure Fabricated by FDM type 3D Printer
3. 学会等名 14th International Conference on Materials and Manufacturing Technologies (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tadaaki Asada , Kiyotaka Obunai , Kazuya Okubo
2. 発表標題 Effects of Addition of Fine Particles on Preventions of Reductions of Film Thickness and Gloss of Natural Lacquer Coating
3. 学会等名 The 11th International Conference on Green Composites (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuya Okubo , Kiyotaka Obunai , Tomomasa Nomura
2. 発表標題 Improvement of Damping Properties of Carbon Fiber Reinforced Plastic Modified with Natural Cellulose Nano Fibers - Influence of Aspect Ratio -
3. 学会等名 The 11th International Conference on Green Composites (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryotaro Murayama , Kiyotaka Obunai , Kazuya Okubo
2. 発表標題 Effect of sub-micron glass fiber addition on CAI strength of UD-CFRP
3. 学会等名 HPSM/OPTI/SUSI2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takumi Shimano , Kiyotaka Obunai , Kazuya Okubo , Yukiko Fujita
2. 発表標題 Influence of Mechanical Properties of Matrix on Bending Strength of Uni-directional Vinyl Ester Composite
3. 学会等名 20th European Conference on Composite Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kazuki Terasaki , Kiyotaka Obunai , Kazuya Okubo
2. 発表標題 Influence of Bending Bending-Twisting Coupling Deformation on Pure Bending Strength and Fracture Morphology of CFRP Angle - Ply Laminate
3. 学会等名 6th International Conference on Material Engineering and Manufacturing (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ueda Taiki , Kazuya Okubo , Kiyotaka Obunai and Bao Li
2. 発表標題 Improvement of impact energy absorption of curved thin Chopped tape CFRP shell by adding submicron glass fiber into matrix
3. 学会等名 The 6th International Conference on Composite Materials and material Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuya Okubo , Kiyotaka Obunai . Rikiya Yoshikawa
2. 発表標題 Improvement of Fatigue Life of CFRTP-METAL Bolted Joint by Additional Heat Pressing after Fatigue Damage
3. 学会等名 ICFC 8 - the Eighth International Conference on Fatigue of Composites (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山 凌太郎, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 繊維/樹脂間の見掛けの界面せん断強度に及ぼす負荷ひずみ速度および繊維表面のサイジング処理の影響
3. 学会等名 日本材料学会 第70期通常総会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島野拓実, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 一方向性炭素繊維強化ビニルエステル複合材料の曲げ強度に及ぼす樹脂の機械的特性の影響
3. 学会等名 第13回自動車用途コンポジットシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 眞田一輝, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 熱溶解積層造形に用いる金属ワイヤ/熱可塑性樹脂複合押出機の試作と複合フィラメントの機械的特性
3. 学会等名 第13回自動車用途コンポジットシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩澤亮, 大窪和也, 小武内清貴
2. 発表標題 微細ガラス繊維樹脂カラーを用いた炭素繊維強化熱可塑性樹脂ボルト継手の静的および疲労耐久性の向上
3. 学会等名 第13回自動車用途コンポジットシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 島野拓実, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 ビニルエステルを母材とする一方向性CFRPの曲げ強度に及ぼす樹脂の機械的特性の影響
3. 学会等名 日本機械学会山梨講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 向井瑞希, 小武内清貴, 大窪和也, 舞鶴展祥, 中嶋伸匡
2. 発表標題 コアシェルゴム粒子が添加されたエポキシ系接着材を用いる突合せ継手の衝撃特性
3. 学会等名 第20回産官学接着若手フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山 凌太郎, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 UD-CFRPのCAI強度に及ぼす微細ガラス繊維の添加の影響
3. 学会等名 第13回 日本複合材料会議 JCCM-13
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 眞田一輝, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 熱溶融積層造形に用いるSUS304 ワイヤ/PLA樹脂複合フィラメントの機械的特性
3. 学会等名 第13回日本複合材料会議 JCCM-13
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 浅田傳明, 小武内清貴, 大窪和也, 堤卓也
2. 発表標題 漆塗膜の光沢度に対する水系成分の高分散化の効果
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 2021年

1. 発表者名 Akihito Itami, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo and Hiroyuki Takei
2. 発表標題 Effect of Heating Process on Flexural Strength and Toughness of CFRTP Molded by Multi-layer Press -Investigation on Effect of Residual Stress-
3. 学会等名 The 5th International Conference on Manufacturing, Material and Metallurgical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ueda Taiki, Kazuya Okubo, Kiyotaka Obunai and Bao Li
2. 発表標題 Improvement of impact energy absorption of curved thin Chopped tape CFRP shell by adding submicron glass fiber into matrix
3. 学会等名 The 6th International Conference on Composite Materials and material Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村山 凌太郎, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 繊維 - 樹脂間の見掛けの界面せん断強度に及ぼす負荷ひずみ速度の影響
3. 学会等名 日本材料学会 第69期通常総会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田貴大, 小武内清貴, 大窪和也, 佐々喜紀, 石川健
2. 発表標題 ボルト締結された平織りCFRP積層板の厚み方向の応力緩和特性
3. 学会等名 日本複合材料学会 第45回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺崎和樹, 小武内清貴, 大窪和也, 河村奈緒
2. 発表標題 直交積層CFRP のエポキシ母材の高極性化による界面特性および疲労寿命の改善 - モデル試験片を用いたき裂進展評価 -
3. 学会等名 日本材料学会 第6回材料WEEK材料シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田泰輝, 大窪和也, 小武内清貴, 包理
2. 発表標題 母材への微細ガラス繊維の添加による湾曲状CFRPシェル板の面外衝撃吸収エネルギーの改善
3. 学会等名 自動車技術会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田貴大, 小武内清貴, 大窪和也, 佐々喜紀, 石川健
2. 発表標題 平織りCFRP積層板の厚み方向の応力緩和に伴うボルト締結力の変化およびばね座金の併用による抑制効果
3. 学会等名 第12回自動車用途コンジットシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺崎和樹, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 炭素繊維複合材料板を用いた固定翼型マルチコプターの設計 翼構造に生じる空力弾性効果の曲げ ねじり連成変形による抑制
3. 学会等名 日本機械学会 第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村知正, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 セルロースナノファイバー(CNF)添加による平織り布CFRPの振動特性の改善
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会 第28回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田泰輝, 大窪和也, 小武内清貴, 包理
2. 発表標題 湾曲形状チョップドテープCFRP シェルの母材への微細ガラス繊維の添加による面外衝撃吸収エネルギーの改善
3. 学会等名 第12回日本複合材料会議 JCCM-12
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村知正, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 母材へのセルロースナノファイバ(CNF)添加によるCFRPの振動減衰特性の改善 添加するCNFのアスペクト比の影響
3. 学会等名 第12回日本複合材料会議 JCCM-12
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 沖村拓磨, 小武内清貴, 大窪和也, 藤田幸子
2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチック (CFRP)の層間破壊じん性値に及ぼす母材樹脂の高じん化の影響
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第96期定期総会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 永井玲旺, 大窪和也, 小武内清貴
2. 発表標題 エポキシ系接着材を用いた接着継手の引張せん断試験中のき裂進展挙動
3. 学会等名 日本機械学会関西支部第96期定期総会講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nhan, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo
2. 発表標題 Mechanical Characteristics of Composite Reinforced by Short and Plain Woven Carbon Fiber with Vinyl Ester Matrix Modified by Submicron Glass Fiber
3. 学会等名 The 22th International Conference on Composite Materials (ICCM-22) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironori Nishida, Soichiro Imagawa, Valter Carvelli, Toru Fujii, Kazuya Okubo
2. 発表標題 Impact tolerance of thermoplastic and thermoset epoxy carbon textile composites
3. 学会等名 The 22th International Conference on Composite Materials (ICCM-22) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo, Kenta Hayashi
2. 発表標題 Effect of Cellulose Nano Fiber Addition on Fatigue Properties of Carbon Fiber Reinforced Plastics
3. 学会等名 1st Russia-Japan Joint Workshop on Composite Materials (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tasuku Ishino, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo
2. 発表標題 Effect of addition of CNF into bamboo fiber composite with honeycomb structure on its thermal conductivity and compressive strength
3. 学会等名 Mini-Symposium on Green Composit (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林研太, 大窪和也, 小武内清貴
2. 発表標題 カーボンナノチューブの利用による樹脂/炭素繊維間の界面強度の改善 -存在位置および樹脂種別による改善効果の違い
3. 学会等名 第10回日本複合材料会議JCCM-10
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林研太, 大窪和也, 小武内清貴
2. 発表標題 母材ヘセルロースナノファイバー (CNF) を添加した平織り布CFRPの疲労寿命-添加したCNF による力学的効果
3. 学会等名 第10回日本複合材料会議JCCM-10,
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田遼亮, 渡辺賢一, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の母材部への極性付与による母材/繊維間の界面特性の改善
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第94期定時総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊丹章人, 小武内清貴, 大窪和也, 西田裕紀, 竹井宏行
2. 発表標題 MX ナイロンを母材とするCFRTP の界面強度の低下抑制 - 成形時の雰囲気および温度条件の検討
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第94期定時総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉川力也, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 繰り返し曲げ負荷を受ける金属-CFRTP ボルト締結継手への熱圧着の併用による疲労寿命の向上
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第94期定時総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 カーボンミルドファイバを添加した CFRP の疲労特性
3. 学会等名 日本材料学会第68期総会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口一輝, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 プラスチック製の汎用空圧チューブのクリープ特性の代替予測 - 同一シート材の応力緩和データを用いた評価
3. 学会等名 日本材料学会第68期総会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村知正, 大窪和也, 小武内清貴
2. 発表標題 セルロースナノファイバ(CNF)を添加した樹脂 / 炭素繊維間の接着強度 - 添加するCNFの繊維長の影響 -
3. 学会等名 日本接着学会第57回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田遼亮, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 CFRPのエポキシ母材への極性付与によるき裂進展抑制および疲労寿命の改善-モデル試験片を用いたき裂連結の評価
3. 学会等名 第44回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田泰輝, 大窪和也, 小武内清貴, 包理
2. 発表標題 平板形状および湾曲形状に成形したチョップドテープCFRPの曲げ強度の改善-母材へ添加する微細ガラス繊維のアスペクト比の影響
3. 学会等名 64th FRP CON-EX 2019,
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 村山凌太郎, 小武内清貴, 大窪和也
2. 発表標題 母材にカーボンミルドファイバ (CMF) を添加したCFRPの疲労寿命の向上-磁場印加による添加材の配向変化
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 石田貴大, 小武内清貴, 大窪和也, 佐々喜紀, 石川健
2. 発表標題 一方向, 平織, 綾織およびチョップドランダム配向の強化形態を有するCFRP板のボルト締結時の厚み方向の応力緩和
3. 学会等名 第11回自動車用途コンポジットシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田遼亮, 小武内清貴, 大窪和也, 河村奈緒
2. 発表標題 [0/90/0/90/0/90/0] s積層CFRP板のエポキシ母材の高極性化による衝撃特性の改善
3. 学会等名 第11回自動車用途コンポジットシンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 藤井透, 大窪和也, 他 (分筆)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 681
3. 書名 SDGsの経営戦略への導入と研究開発テーマの発掘、進め方	

1. 著者名 藤井透, 大窪和也	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 623
3. 書名 炭素繊維およびその繊維複合材料における分析試験, 評価解析に関する最新事例集(分筆). 第4章第1節 (CFRP(炭素繊維強化FRP)の疲労破壊と破壊じん性評価)	

1. 著者名 藤井透, 大窪和也	4. 発行年 2019年
2. 出版社 (株)シーエムシー出版	5. 総ページ数 239
3. 書名 機能性セルロース次元材料の開発と応用《普及版》(分筆). 第8章5節非木材系セルロースナノファイ バーコンポジットの開発	

〔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	小武内 清貴 (OBUNAI Kiyotaka) (30614367)	同志社大学・理工学部・准教授 (34310)	

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
---------	---------