

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 24 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01343

研究課題名(和文) サブミクロンガラス繊維によるCFRTPの機械的特性、耐久性向上とそのメカニズム

研究課題名(英文) Improvement in mechanical properties and fatigue life of CFRTP due to an addition of sub-micron glass fibers and their mechanisms

研究代表者

藤井 透 (Fujii, Toru)

同志社大学・研究開発推進機構・嘱託研究員

研究者番号：20156821

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：種々の形態のC-SMCに対する微細ガラス繊維(sGF)添加効果を再確認した。しかし、衝撃特性を除き、機械的特性が常に向上する訳ではなかった。同じ構造を持つ高い分子量の熱可塑性(TP)エポキシ(EP)では、熱硬化(TS)-EPに匹敵する性能のCFRTPが得られた。同材料の性能はCF/EP界面の接着特性がカギである。PPにsGFを3%添加したCFPP-UDテープと同テープを用いた積層板を開発した。sGF添加によりCFPPの衝撃特性を顕著に向上させる。半球形の成形品がその特性を強く引き出せる。TP-EPを用いたCFRTPではCAI強度が顕著に向上した。これはsGFによる多数の破壊起点の導入による。

研究成果の学術的意義や社会的意義

C-SMCの母材にsGFを添加することで、耐衝撃性能のみが確実に向上したが、短繊維CF強化のC-SMCでは、その価値は高い。熱可塑性と熱硬化樹脂を同一樹脂で比べた研究は無く、樹脂の特性が異ならないなら、界面接着特性がPMCの性能を支配することが改めて確認できた。PPを母材とするCFPPでは、sGF添加一方向CFPPテープおよびこれを使った積層板が開発できた。sGF添加は積層板の機械的特性の中で、衝撃強度を顕著に向上させる。そのメカニズムを基に、その特性を生かす成形品形状も見出した。TP-EPを用いたFRTPでは、sGF添加により、耐久性、特にCAIが顕著に高まること、そのメカニズムを解明した。

研究成果の概要(英文)：First, the effect of submicron glass fiber (sGF) addition to the VE matrix of C-SMC having various chopped carbon fibers was investigated. However, except for the impact strength, stable performance improvement of mechanical characteristics including fatigue life was not obtained due to sGF addition. High molecular weight thermos-plastic epoxy (TP-EP) having almost the same basic molecular structure as the thermosetting epoxy (TS-EP), CFRTP whose mechanical performance is comparable to TS-EP CFRP was obtained. The key to the performance of this material is the adhesive strength in CF/EP interface. We have developed a FRTP unidirectional tape with 3% sGF added to PP and a laminated board using this tape. In CFPP, the addition of sGF significantly improves impact resistance. The hemispherical molded product can bring out its maximum characteristics. CFRTP using TP-EP significantly improved the CAI strength. This is due to an introduction of many fracture origins by sGF.

研究分野：材料力学

キーワード：微細ガラス繊維 炭素繊維 CFRTP CFRP 熱可塑性エポキシ樹脂 SMC 耐衝撃性 ポリプロピレン

1. 研究開始当初の背景

熱硬化性エポキシ樹脂(TS-EP)に CNF や CNT などの微細繊維を微量添加すると、平織り炭素繊維(CF)などの強化材を用いた CFRP の引張り疲労荷重下での寿命も顕著に伸びる。サブミクロンガラス繊維(sGF)でも同様な効果が得られた。微細繊維の母材中での分散によって見かけの接着強度が増す。これは、微細繊維端で熱硬化樹脂の3次元架橋の一部が分断され、ナノクレース→ナノボイドにより樹脂の応力が緩和されるためであると推測された(写真1)。

一般に、母材樹脂が熱可塑性樹脂(TP)であるCFRTPでは、母材とカーボン繊維間の接着性能が低い。そのため、CFRPほど高い性能が得られない。そこで、上述の知見を基に、TPについてもsGFを少量添加すれば、CFと樹脂間のCompatibilityが改善され、CFRTP全体の機械的特性、さらには耐久性向上も期待できる。

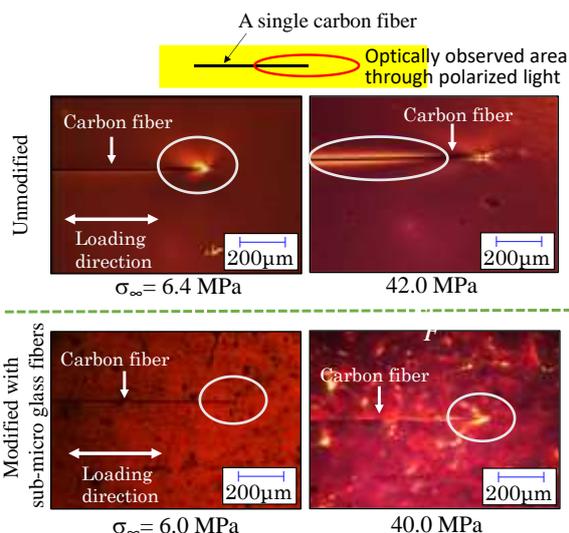


写真1 カーボン繊維先端からのき裂の発生、成長に及ぼす母材樹脂(VE)のsGF混入(物理的変性)効果(上:未変性、下:sGF変性)

2. 研究の目的

はじめに、CFRTPのTP母材にsGFを微量添加することにより「CFRTPの機械的特性が高まるか?」、並びにその実用性を明らかにする。また、TPへのsGF添加の効果/影響メカニズムについて明らかにする。コスト面と易成形性から熱可塑母材としてポリプロピレン(PP)およびCFの性能を生かすとともに、熱硬化と熱可塑の違いを見る観点から熱可塑性エポキシ樹脂(TP-EP)を母材として用いる。

3. 研究の方法

(1)「母材への微量のsGF添加により、常にC-SMCの性能向上が図れるか」、の検証

短CF繊維を用いたC-SMC(Sheet Molding Compound)では、低い負荷段階からCF端でき裂が発生、繊維/母材界面の剥離が成長し、強度面でCFの高い性能が発揮できない。母材ビニルエステル樹脂(VE)にsGFを微量添加すると、炭素繊維先端での応力集中緩和と界面はく離が抑制され、C-SMCの特性が向上する可能性が示された。しかし、常にその性能向上が図れるか、確認されていない。はじめに、sGF添加によりVEを用いたC-SMCの高性能化が安定的に達成できるか、調べる。

①材料

- ・炭素繊維: 25mm長のチョップドCF・3Kヤーンマット **A**, 1, 3, 25mm長のチョップドCF・12Kヤーン **B**
- ・母材VE: 汎用および高じん化VE
- ・サブミクロンガラス繊維: 直径0.3~2 μm(日本無機制)(写真2)

②C-SMC試験片作成法

予め、VEに必要な硬化助剤を加えた後、所定の量のsGFを加え、プロセスホモジナイザーで混合、攪拌する。

A. VaRTMにより試験片板を作成……C-SMC試験片 **A**

B. ポット中でVEをCFに十分馴染ませた後、離型剤を塗布したアルミ平板上に展開し、ホットプレスにて成形……C-SMC試験片 **B**



写真2 sGF

③試験方法

実験室環境下、静的引張り試験、曲げ試験、Izod衝撃試験、疲労試験等を行った。

(2)母材が熱可塑性樹脂であるか、熱硬化性樹脂であるかにより、CF高分子系複合材料の機械的特性がどのように影響されるか、を検証

少量のsGFをTPに添加することによる効果を明確にするため、CFRPとCFRTPの強度特性の違いについて、言わば同じ土俵で評価した例はない。そこで、主剤の骨格構造が同じ熱可塑および熱硬化エポキシ樹脂を用い、同じCF強化材(平織CF布)を用いたCFRPおよびCFRTPの特性の違いを明らかにする。

母材は、基本骨格が同じ①熱硬化エポキシ樹脂(TS-EP)、②熱可塑エポキシ樹脂(TP-EP、アミン系硬化剤)を用いた。CF複合材料に及ぼす熱可塑/熱硬化の違いを明確化するため、ここでは、sGFは添加しない。

本研究では、実験室環境下、室温で次の試験を行った。

- ・マイクロドロプレット法による界面せん断接着強度測定
- ・引張り試験
- ・層間 Mode I および Mode II 破壊じん性値測定
- ・ショートビーム法による層間せん断強度試験
- ・Izod 衝撃試験(エッジワイズ方向に打撃)

(3)sGF添加CFRTPスタンパブルシートの開発とその活用

①材料

- 炭素繊維:T700 12K ヤーン
- 母材: ブロック PP およびマレイン酸変性 PP (MAPP)
- sGF: **A**公称直径 0.28 μm , **B**公称直径 0.69 μm

②試験片作成方法

<Step1> sGF 添加 PP ペレットの造粒

図1に sGF 添加改質 PP ペレット造粒方法の概略を示す. PP に対する sGF の含有率を精度良く保つため, sGF **A**, あるいは sGF **B** を PP 不織布に所定の量の **A**, または **B** を包み込んだストラップを予め作製する. 二軸混練押出機の本機から PP ペレットと MAPP ペレットを投入し, sGF の重量含有率が PP/MAPP ペレットの重量に対して 3.0 wt%となるようにサイドフィーダから上記のストラップを投入することで sGF 添加 PP ペレットを作製した.

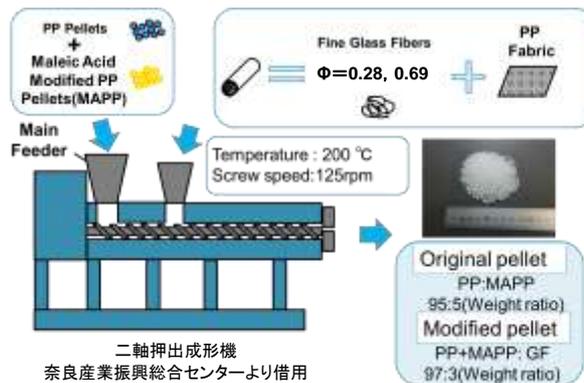


図1 微細ガラス繊維添加 PP ペレットの造粒方法

<Step2> PP フィルムの作製

Step1で造粒したペレットを用い, Tダイ押出成形により厚さ 50 μm 幅 200-250mm のフィルム状に製膜した後, スリット加工により, 幅 30mm のフィルムを得た.

<Step3> CFPP テープの作製

CF 強化 PP テープ作製方法の概略を図2に示す. CF ヤーンを解繊し, Step2で作製した PP フィルムで上下に挟み, CF がテープ長手方向に並んだ一方炭素繊維強化 PP (UD-CFPP) テープを作製した. 超音波開繊・含浸装置を用いて, CF の更なる開繊と樹脂の含浸を行った. CF の体積含有率 V_f は約 30%であった.

<Step4> チョップド CF テープ (CUT: Chopped UD-CFPP Tape) を用いた短 CF ランダム配向 PP 積層板の作製

本研究の重要なゴールである CUT を用いた短 CF ランダム配向(R-CUT)PP 積層板の作製手順を図3に示す. UD-CFPP テープを長さ 25-30mm に切断し, 短冊状の CUT を得る. この CUT を金型内にランダムに投入する. その後, 上型を閉じて, ホットプレスで UD-CUT PP 積層板 (写真3) を得る.

(4) CFRTP の機械的特性に及ぼす TP 母材の sGF 変性による効果とそのメカニズムの解明

上記課題を達成するため, PP に代えて CF との接着性が高い TP-EP を用いて一連の実験を行うこととした. 当初計画では, ポリアミド樹脂 (PA) を用いる考えであった. しかし, PA ではサイジング処理された CF との接着性が悪い. 同じ CF を用いる観点から PA に代えて, 3. (2)節で用いた TP-EP を用い, TP 母材への sGF 混入効果, さらには, 効果発現のメカニズムを調べることにした. TP-EP に合わせ, 母材 TP に対して sGF の含有率は 0.3wt%とした.

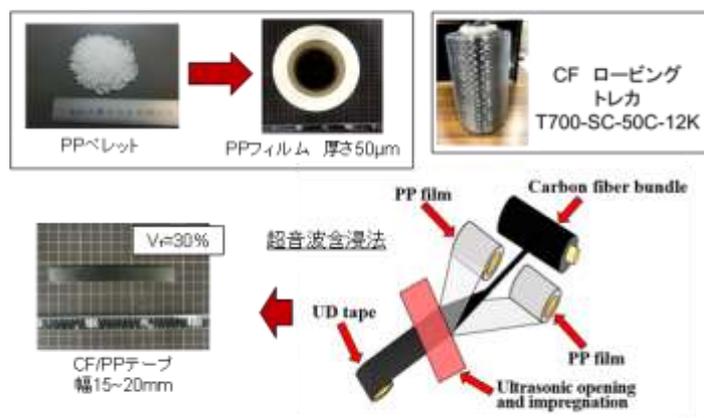


図2 sGF 添加 PP を用いた CF 強化 PP テープ製造法

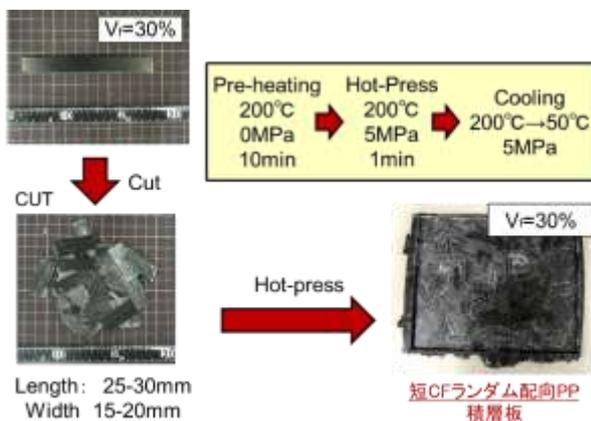


図3 CUT を用いた短 CF ランダム配向積層板作成法

4. 研究成果

(1) 母材樹脂に sGF を微量添加することにより, 高強度 C-SMC が実現できるか, の検証

①強化材として CF ランダム配向マット **A** を用いた C-SMC では, sGF を母材の 0.3wt%添加するだけで C-SMC の特性が顕著に増す. 耐久性についても sGF 添加の顕著な効果が認められた.

②母材のみに対しては, 含有率が~0.6%の間で VE の曲げ強度に明瞭な sGF 添加効果は認められない. また, モード I 破壊じん性値 G_{Ic} についても sGF 効果はない. Izod 衝撃値についても sGF 添加の影響は明瞭でない. ただ, いずれの特性も低下する傾向が認められることもある. しかし, 繰り返し引張り荷重下での疲労に関しては, sGF 混入により, VE の耐久性は高まるようだ. すなわち, sGF 添加は低



写真3 短 CF ランダム配向積層板

応力下で樹脂中の疲労き裂の進展を抑制する効果がある。マイクロドロプレット試験より、VE と CF 間の界面せん断強度に sGF 添加は殆ど影響しないことがわかった。③Bの CF を用いた C-SMC では、期待した結果が得られなかった。CF 繊維長が 3, 25mm では母材への sGF の混入はかえって C-SMC の引張り、曲げなどの機械的特性を悪くする。1 mm CF 繊維長で曲げ強度に対する sGF 効果が認められるが、全般に CF マット A を用いた場合とは異なる結果となった。成形方法(C-SMC 中で CF が湾曲する)、CF ヤーン(3K/12K)の形態の違いなど、幾つか理由が考えられるが、C-SMC への sGF 適用に当たっての今後の課題である。なお、図4に示すように、いずれの CF 繊維長の C-SMC も高サイクル疲労寿命は母材への sGF 添加により延びると認められる。この点、sGF 添加により VE 中の疲労き裂成長が抑制されるとの結果と対応している。

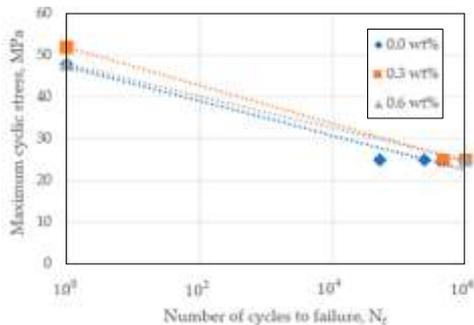


図4 C-SMC の繰り返し引張り荷重下での疲労寿命曲線

(2)母材が熱可塑か、熱硬化であるかの違いにより、CF 高分子系複合材料の機械的特性がどのように影響されるか、を検証

図5は引張り特性に及ぼす母材の TP/TS の違いの影響を示す。図より、引張り特性に関して、両者の違いはほとんど見られない。同じ性能を示す母材の CF との界面せん断強度は TP-EP が TS-EP に比べてやや高いが、樹脂/繊維間の接着強度の違いは、必ずしも CF 複合材料の静的特性と強い相関があるとは言えないことを示している。

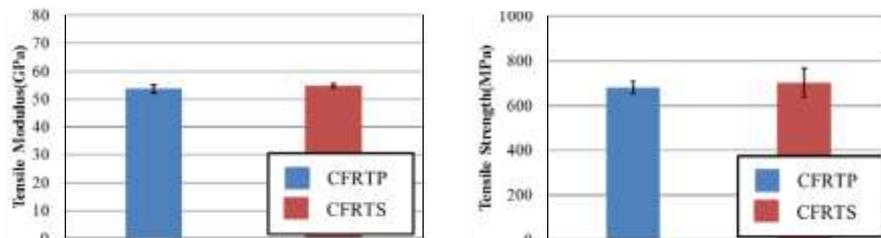


図5 CF 複合材料の引張り強度と剛性に及ぼす母材の熱可塑/熱硬化の影響

一方 sGF 添加は、破壊じん性値には母材の違いが強く影響する。母材が TP であれば、層間 Mode I はく離破壊じん性値は TS の場合の2倍以上にもなる。他方、層間せん断強度では、TP/TS の違いによる影響は小さくなるが、両者に 20%程度の差がある。Izod 衝撃値も同様で、母材が TP であることにより、エネルギー吸収能が増し、TS よりも 20%以上高くなる。図6は CF/EP 複合材料の機械的特性に関して、母材が TP であるか、TS であるかによる特性の違いを示したレーダチャートである。連続 CF を補強材とする複合材料では、樹脂/CF 間の界面接着強度が等しい場合、樹脂のじん性が高く、伸びの大きい TP の方が、破壊じん性値、衝撃値が高いことがわかる。炭素繊維強化高分子系複合材料では、これらの点に留意し、母材の TP 化、樹脂選択を行うべきことが示唆される。

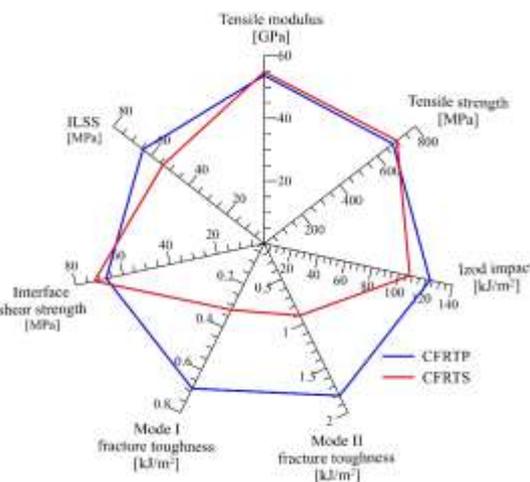


図6 CF/EP 複合材料の静的/衝撃特性に及ぼす母材の熱可塑/熱硬化の影響

(3)sGF 改質した熱可塑性樹脂を母材として用いた UD-CFRPP テープ短冊をランダムに配向、積層成形したスタンパブルシートの開発とその活用

sGF を 3%添加した PP の曲げ試験を行ったところ、いずれの繊維径(0.2 μ m, 0.69 μ m)であっても曲げ強度は未添加に比べて sGF 添加により 8, 13%低下した。また、 G_{IC} も同じ傾向を示す。この点 VE と異



図7 CF/PP 間の界面せん断強度に及ぼす sGF 繊維径の影響

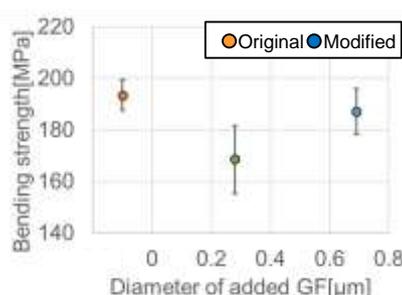


図8 CFPP の曲げ強度に及ぼす sGFs 繊維径の影響(3点曲げ試験による)

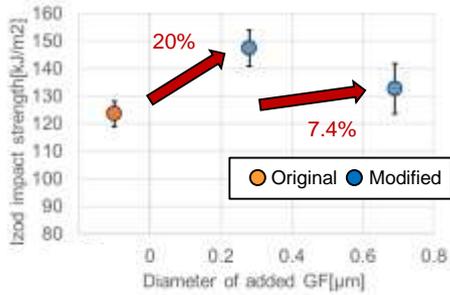


図9 CFPPのIzod衝撃値に及ぼすsGFの添加効果

みられ、エネルギー吸収能の高いことが示唆された。そこで、CFPPの衝撃吸収能に注目した。図9はIzod衝撃値とsGF繊維径の関係をします。sGF A、Bとも衝撃値は高まるが、特にAでは20%の増加した。CFPPでは、衝撃エネルギー吸収能を高めることも強く求められているので、PP母材へのsGF添加は有効である。なお、0.68μmのsGF Bでもその含有率を5%まで高めると、衝撃値は17%増す。ただし、PP成膜が困難となる。sGFはCFPPの耐衝撃性を高めるのに極めて有効である。疲労についても、sGFはCFに沿うき裂の成長を遅らせる効果があり(図略)、今後CFPPの耐久性向上のカギとなり得る。

破断試験片の側面解析(写真4)から、CFPPの衝撃吸収は主にテープ層間でのせん断破壊による。sGF添加により、 G_{IIC} は低下するものの層間せん断強度は高まり、破壊直前sGFが起点となって微細なき裂がPP中に生じ、破壊面積が増すからだと考えられる。耐衝撃性を増すためには、層間せん断応力が大きくなるようにすればよい。そこで平面ではなく、アーチ状にすればその可能性のあることが解析からわかった。写真5にCFPP湾曲試験片の製造方法を示す。図10は各種湾曲試験片のエネルギー吸収能を示す。図より、sGF未添加CFPPに比べ、sGF①を3%添加し、半球アーチにしたCFPPの場合、エネルギー吸収能は30%以上も高まることがわかり、自動車などのバンパーやサイドフレームへの活用の可能性が示された。

(4)CFRTPの機械的特性に及ぼすTP母材のsGF変性による効果/影響とそのメカニズムの解明

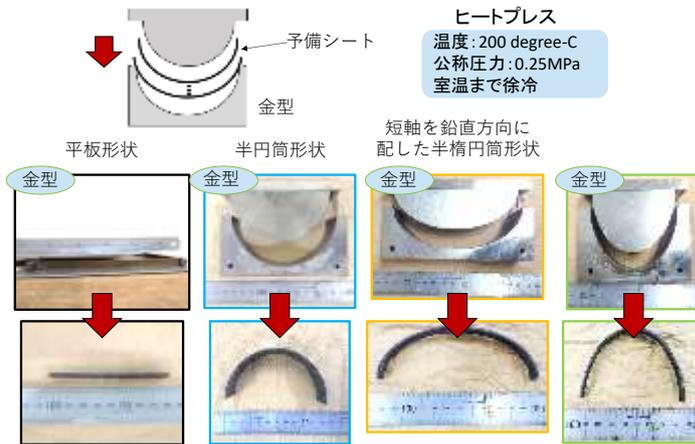


写真5 湾曲試験片の作製方法

の分子量のTP-EPについても曲げ強度および疲労試験等の特性が低下する結果が得られた。破面から未処理ガラス繊維とのはく離接着性が悪いことがこれらの要因であることが示唆された。一方、耐衝撃性についてIzod衝撃値はいずれの分子量でもsGF添加による明瞭な効果が認められた。耐衝撃性についてはPPで期待できる結果が得られていたことから、平織CF強化材であることも考慮し、鋼球落錘衝撃による損傷後の圧縮強度、CAIにフォーカスして結果を示す。図11から、特に低分子量のTP-EPで効果が顕著である。これは、sGFにより、損傷の範囲が限定されたことによるが、これも微細繊維による多数のき裂発生誘導が寄与している。TPでは、この観点からsGFを活用するのが適切である。

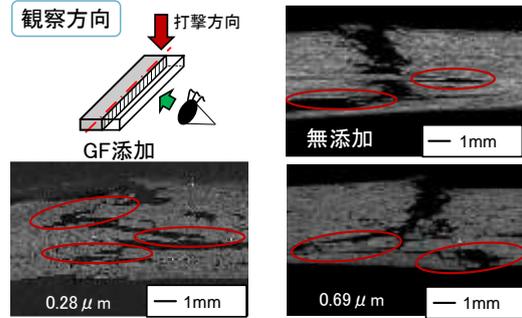


写真4 衝撃試験後の試験片内部の損傷状態(CTスキャナによる断面観察)

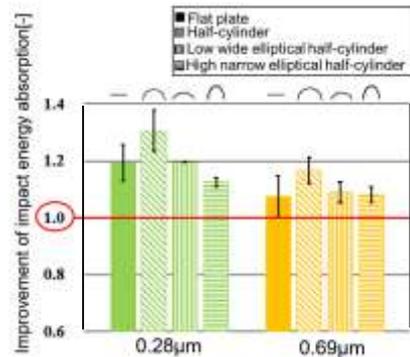


図10 衝撃吸収エネルギーの向上率の比較 (sGF未変性材の値で無次元化)

TS-EPを用いたCFRPでは、sGF添加は、特に耐久性向上に効果があった。しかしTP-EPの場合、sGFを0.3wt%添加したCFRTPでは、いずれ

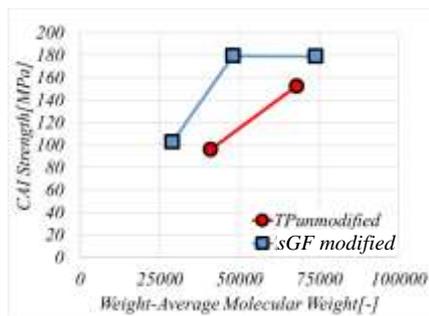


図11 落錘衝突後の圧縮強度(CAI)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 13件）

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 -
1. 著者名 Kenta Hayashi, Kazuya Okubo Kiyotaka Obnai	4. 巻 21
2. 論文標題 Improvement of Interfacial Adhesion Strength and Mechanical Properties of CFRP by Fabricated with Modified Matrix by Adding Nano Fibers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Adhesion and Interface	6. 最初と最後の頁 72-79
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 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 fibres	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Composite Structures	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compstruct.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, Ou Shibata, Hidehiko Tomokuni	4. 巻 60
2. 論文標題 Mechanical Characteristics of Composite Reinforced by Short and Plain Woven Carbon Fiber with Vinyl Ester Matrix Modified by Submicron Glass Fiber	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 THE HARRIS SCIENCE REVIEW OF DOSHISHA UNIVERSITY	6. 最初と最後の頁 13-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14988/pa.2019.0000000445	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 Nhan T. T. Nguyen, 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) 10.5539/jmsr.v8n4p21	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 藤井 透	4. 巻 15
2. 論文標題 2019年中国国際複合材料展示会報告 - 炭素繊維は幅広く利用されるか、自動車用途へのFRPの展開は、FRTPはどこまで使われるか、リサイクルはどうなる? 日本でFRPはどう生かすか? -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 強化プラスチック協会誌	6. 最初と最後の頁 523-528
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 Nhan Thi Thanh Nguyen, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo, Ou Shibata	4. 巻 9
2. 論文標題 Effects of submicron glass fiber addition on mechanical property of short carbon fiber reinforced vinyl ester resin	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 Hironori Nishida, Soichiro Imagawa, Valter Carvelli, Toru Fujii, Kazuya Okubo	4. 巻 1
2. 論文標題 Impact tolerance of thermoplastic and thermoset epoxy carbon textile composites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of International Conf. on Composite Materials 22nd	6. 最初と最後の頁 726-733
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 該当する

1. 著者名 Soichiro Imagawa, Hironori Nishida, Kazuya Okubo, Toru Fujii	4. 巻 406
2. 論文標題 Improvement of mode-II interlaminar fracture toughness of carbon textile composites with modified matrix of thermoplastic and thermoset epoxy -addition of glass fibers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering/ Proc. of 13th International Conference on Textile Composites	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) 10.1088/1757-899X/406/1/012045	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 Kenta Matsuoka; Kazuya Okubo; Toru Fujii; Chihiro Nakamura; Yushi Fujishita; Fuko Kusu; Masato Matsushita; Ryota Yoshihara	4. 巻 10596
2. 論文標題 Evaluation of oil-leakage of multi-layered resin-hose clamped with metal nipple and sleeve	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings Volume 10596, Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials and Composites XII	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) 10.1117/12.2286239	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 Kazuya Okubo, Toru Fujii, Tsubasa Kondo	4. 巻 406
2. 論文標題 Effect of addition of fine sub-micron sized and thick glass fibers into epoxy matrix on fatigue life of plain-woven textile carbon fiber composite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering/ Proc. of 13th International Conference on Textile Composites	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) 10.1088/1757-899X/406/1/012035	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, Toru Fujii, Kazuya Okubo	4. 巻 52
2. 論文標題 The effect of microfibrils cellulose modified epoxy on the quasi-static and fatigue behaviour of open hole carbon textile composites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Composite Materials	6. 最初と最後の頁 3365-3380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/0021998318765623	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 Hironori Nishida, Valter Carvelli, Toru Fujii, Kazuya Okubo	4. 巻 406
2. 論文標題 Thermoplastic vs. thermoset epoxy carbon textile composites	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering/ Proc. of 13th International Conference on Textile Composites	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) 10.1088/1757-899X/406/1/012045	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 Hironori Nishida, ValterCarvelli,ToruFujii, Kazuya Okubo	4. 巻 144
2. 論文標題 Quasi-static and fatigue performance of carbon fibre reinforced highly polymerized thermoplastic epoxy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Composites Part B: Engineering	6. 最初と最後の頁 163-170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.compositesb.2018.03.002	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 HAYASHI Kenta, OKUBO Kazuya, OBUNAI Kiyotaka	4. 巻 54
2. 論文標題 Improvement of Interfacial Adhesion Strength and Mechanical Properties of CFRP by Fabricated with Modified Matrix by Adding Nano Fibers	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of The Adhesion Society of Japan	6. 最初と最後の頁 402 ~ 409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11618/adhesion.54.402	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 西田 裕紀,、大窪和也、藤井透	4. 巻 58
2. 論文標題 熱可塑性エポキシ母材の高分子量化による平織炭素繊維複合材料の疲労寿命の向上に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 同志社大学ハリス理化学研究報告	6. 最初と最後の頁 195, 2018-01
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 OKUBO Kazuya, FUJII Toru, ITOKAWA Koki	4. 巻 67
2. 論文標題 Breakages of Recycled Carbon Fibers Extracted from Waste Prepreg at Pelletizing with PP - Its Influence on Strength of Molded Composite -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Materials Science, Japan	6. 最初と最後の頁 424 ~ 429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.67.424	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10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件)

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シェル之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) (日本複合材料学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taiki Ueda, Kazuya Okubo, Kiyotaka Obunai, 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 (ICCMME2021) (国際学会)
4. 発表年 2021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 2020年度自動車技術会秋季大会, 111 (講演番号) 自動車技術会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nguyen TT Nhan, Kiyotaka Obunai, Kazuya Okubo, Yuko Fujita
2. 発表標題 Effects of submicron glass fiber addition on mechanical property of short carbon fiber reinforced vinyl ester resin
3. 学会等名 International Conf. on Composite Materials 22 (国際学会)
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 強化プラスチック協会
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 International Conf. on Composite Materials 22 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤井 透
2. 発表標題 2019年中国国際複合材料展示会報告
3. 学会等名 強化プラスチック協会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoto Miyakita, Kazuya Okubo, Kiyotaka Obunail, Kazuya Yamagata
2. 発表標題 Effective diameter of added glass fiber into matrix of carbon fiber reinforced thermo-plastics for improving mechanical properties
3. 学会等名 17th US-Japan Conference on Composite Materials, File44 ASC 33rd Annual Technical Conference & 18th US-Japan Conference on Composite Materials (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤 涼大, 藤井 透
2. 発表標題 炭素繊維強化複合材料を用いた円盤形状の構造物の変形抑制, 接着特性に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 関西支部第93期定時総会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toru FUJII
2. 発表標題 What is the right application for nano-fibers? - Effect of nano fibers addition to polymer matrix on the fatigue life improvement of textile carbon fiber/epoxy composites -
3. 学会等名 13th International Conference on Textile Composites (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 藤井透、大窪和也(分筆)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 217
3. 書名 セルロースナノファイバー製造・利用の最新動向	

1. 著者名 藤井透、大窪和也（分筆）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 情報機構	5. 総ページ数 266
3. 書名 セルロースナノファイバー	

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）	

1. 著者名 藤井透、大窪和也（分筆）	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 500
3. 書名 樹脂/繊維複合材料の 界面制御、成形加工と評価	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>https://ansel.doshisha.ac.jp/ 新型コロナによる緊急事態宣言等により、当初予定の「結晶性熱可塑性樹脂，ポリプロピレン母材に対するサブミクロンガラス繊維 (sGF) の結晶形成への影響」について明確にできなかった。しかし，CNF (Cellulose Nano Fiber) と PLA との関係では，PLA の耐熱性向上に CNF が寄与することが分かったので，sGF についても PP の結晶化に影響することは十分推察される。ただ，結晶化促進，あるいは結晶化阻止が CFPP の性能向上にどのように影響するかは未解明である。また，現有の X 線 CT 装置では，CFRTP 中の sGF の 3 次元的配置を明確に確認できなかった。CF ヤーン中には入り込み，ファイバーブリッジングできない可能性もあり，ヤーンの解繊と sGF の侵入を可能とする技術も開発する必要がある。</p> <p>他方，熱可塑性 EP 母材を用いた CFRTP について，落球衝撃試験を新たに行うことができた。これにより，TP-EP への sGF 添加により，CFRTP 内の衝撃ダメージを限定し，CAI 級度が顕著に高まる知見が得られ，sGF の有効活用の道が得られた。なお，TP に応じた sGF の表面処理が今後の課題であることも見出した。</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	小武内 清貴 (Obunai Kiyotaka) (30614367)	同志社大学・理工学部・准教授 (34310)	
研究 分 担 者	大窪 和也 (Okubo Kazuya) (60319465)	同志社大学・理工学部・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1件

国際研究集会	開催年
13th International Conference on Textile Composites (TEXCOMP-13)	2018年～2018年

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