

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 8日現在

機関番号：33302
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760100
 研究課題名（和文） 地球環境に優しいグリーンコンポジットの加水分解挙動制御・設計方法の確立
 研究課題名（英文） Development of Control and Design Method for Hydrolytic Behavior of Green Composites Friendly to Global Environment
 研究代表者
 田中 基嗣（TANAKA MOTOTSUGU）
 金沢工業大学・工学部・准教授
 研究者番号：30346085

研究成果の概要（和文）：

光解離性保護基導入生分解性樹脂のフィルム状試験片を作製し、使用時の分解・劣化の抑制および廃棄時の分解促進が可能であることを示した。また、光解離性保護基導入により、加水分解にともなうポリ乳酸のクリープ破断時間の低下が抑制されること、加水分解制御が界面近傍での選択的分解・劣化挙動に影響を及ぼすことがわかった。さらに、ケナフ繊維のランダムマットと光解離性保護基導入生ポリ乳酸を複合化したフィルム状試験片を作製し、その破壊特性に及ぼす光解離性保護基導入の影響を評価した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, film specimens of photolabile-protecting-group-introduced biodegradable resin were prepared. First, it was demonstrated that the suppression of degradation during usage and the acceleration of degradation after disposal are possible. The hydrolysis control by the introduction of photolabile protecting groups suppressed the hydrolytic decrease in creep fracture time of PLA, and affected the selective hydrolysis behavior at interface between fibers and matrix in green composites. Finally, the effect of the introduction of photolabile protecting groups on the fracture properties was evaluated and discussed for film specimens composed of kenaf random-mats and photolabile-protecting-group-introduced biodegradable resin.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：材料力学・複合材料学・バイオマテリアル

科研費の分科・細目：機械工学 機械材料・材料力学

キーワード：グリーンコンポジット，加水分解制御，生分解性樹脂，界面メゾメカニクス

1. 研究開始当初の背景

炭素繊維強化樹脂基複合材料（Carbon Fiber Reinforced Plastic: CFRP）やガラス繊維強化樹脂基複合材料（Glass Fiber Reinforced Plastic: GFRP）等の「軽くて強い」高分子系先進複合材料は、航空機・船舶・風力発電の風車といった軽量化・高性能化が不可欠な大型構造物の構造材料をはじめとする先端分野への適用が進んでいる。近年では、自動車の燃費向上を目指して、CFRPの適用による自動車構造軽量化技術の開発・研究が盛んに実施さ

れている。独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「革新的温暖化対策技術プログラム」として、「自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発」プロジェクトが平成15年度～19年度まで実施され、成形サイクルの高速化、異種材料（スチールやアルミ等）との接合技術、衝突時のエネルギー吸収特性設計技術、リサイクル技術（樹脂と異種材料の分離技術やCFRPの再利用技術）などの開発・研究がなされた。これらの成果を受けて、平成20年度からは、「省

エネルギー技術開発プログラム」および「革新的部材産業創出プログラム」として、「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」プロジェクトが実施されている。このように、CFRP や GFRP の適用範囲が飛躍的に広がるようとしている状況において、昨今の地球環境汚染や化石燃料枯渇といった問題を考慮すると、廃棄時に環境を汚染しない循環型材料の開発を指向する必要がある。すなわち、加水分解・酵素分解によって最終的に水と二酸化炭素にまで分解される生分解性樹脂を高強度天然繊維で強化した地球環境に優しい複合材料 (Green Composite: GC) の高性能化・高機能化が求められている。

そのため、国内では、同志社大学・日本大学・山口大学・神戸大学・福島大学・京都工芸繊維大学・徳島大学・神奈川大学など、国外では、ロンドン大学インペリアルカレッジ (英国)・ソウル大学 (韓国)・金鳥工科大学 (韓国) といった諸機関において、天然繊維/生分解性樹脂複合材料等の GC の開発・研究が、これまでに多数なされてきた。これらの研究においては、成形プロセスの改良や樹脂の改質、繊維の表面処理等により、高強度な GC を得ることを主目的としている。しかしながら、生分解性を有する複合材料においては、空気中の水分等を原因として使用中に分解・劣化が進むのを防ぐことと、廃棄時に速やかに分解されることを、本質的に両立しなければならない。一般的に、生分解性樹脂においては、結晶化度を高めることにより力学特性を改善することができるが、過度に結晶化度を向上させると分子鎖の運動性が低下し材料内部に水分子が拡散しにくい状況となり、「廃棄時に速やかに分解される」という要求を達成することが困難である。一方、PLA の加水分解 (エステル結合の切断) は、アモルファス領域に存在するカルボキシル基末端から生じ、カルボキシル基が自己触媒となって進行する。このような観点から、岡本らは、生分解性樹脂であるポリ乳酸 (Poly lactic acid: PLA) のカルボキシル基末端に、ジイソシアネート縮合系プラスチックであるカルボジイミド (重量比 1 wt%) を保護基として結合させ、ポリ乳酸の加水分解・劣化を抑制した。保護基の導入量を増やすことでさらに加水分解・劣化を抑制できると期待されるが、廃棄時に保護基を除去 (脱保護) 可能であることが求められる。また、楠本らは、脱保護可能であるアルキニルメチル基を PLA のカルボキシル基末端に導入した。この場合、 $\text{CO}_2(\text{CO})_8$ の金属錯体または金属の存在下でトリフルオロ酢酸などの強酸と作用させることで脱保護可能であるが、強酸の使用は地球環境に優しいとは言えない。これらのアイデアは、「使用時の分解・劣化の抑制」と「廃棄時の分解促進」の両立にチャレンジ

した斬新なトライアルである。次のステップとして、GC における「使用時の分解・劣化の抑制」と「廃棄時の分解促進」の両立、すなわち加水分解挙動制御を、地球環境に優しい方法で達成することが望まれる。

2. 研究の目的

申請者は、これまでに、繊維強化複合材料における微視的損傷の発生・進展・集積とそれともなう巨視的破壊特性発現メカニズムについて、実験・解析の両面から取り組んできた。最近では、モデル試験片を用いた超高速その場観察により、樹脂き裂と界面はく離の力学的相互作用の定量化を試みている。また、ケナフ繊維/PLA 複合材料の衝撃損傷評価にも取り組んでおり、GC を含む繊維強化複合材料のメゾメカニクスを専門としている。加えて、GC と同じ生分解性樹脂を用いた複合材料である骨再生医療用ハイドロキシアパタイト (HAp) /PLA 複合材料の変形・破壊特性に及ぼす微視構造制御と加水分解挙動について、先駆的・系統的な研究をおこなっており、生分解性樹脂の分子構造と加水分解挙動の関係に精通している。これらの研究経験を活かして GC における加水分解挙動制御方法を模索するうち、ドラッグ・デリバリー・システムにおける選択的内包物放出過程でも用いられる光解離性保護基をカルボキシル基末端に導入することで、使用時にはカルボキシル基の自己触媒作用を抑制し、廃棄時には弱い紫外線を当てることで脱保護し分解を促進する着想を得るに至った。

本研究では、1) 生分解性樹脂への光解離性保護基の最適導入条件を定める、2) 光解離性保護基の導入が加水分解挙動制御に有効か評価する、3) モデル試験片のその場観察により GC 内部の繊維/樹脂界面への水分子の拡散が光解離性保護基導入による加水分解挙動制御に及ぼす影響を評価する、4) 光解離性保護基を導入した生分解性樹脂を用いて天然繊維と複合化するプロセスを確立する、5) 以上の知見を組み合わせる光解離性保護基導入量に対応した GC の分解・劣化挙動を記述・予測できる数理モデルを構築する、6) 構築した数理モデルを用いて予測・設計した加水分解挙動制御 GC を試作し本研究の手法の妥当性を検証する、ことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) PLA への光解離性保護基導入方法

まず、刻んだ PLA をジクロロメタンに攪拌しながら少しずつ入れ、PLA が完全に溶けたら、混合液をエタノール中に注ぎ込み、沈殿させた。上澄み液を除去し、残った PLA を 0.03 [MPa] に減圧した真空装置に入れて 24 [h] 乾燥させ、続いて 313 [K] に保った恒温槽

で5[h]乾燥させた。このようにして得たPLAより、フットポンプ式小型ホットプレス（テクノサプライ（株）製，G-12）を用いてPLAシートを成形した。まず，ステンレス製の金型およびスペーサに離型剤を塗布し，細かく切断したPLAをスペーサ中央に重ねて配置した。次に，スペーサをカプトンシート（110[mm]四方，厚さ0.05[mm]）で上下から挟み，その上から金型で挟んだ。成形板をホットプレスで0~0.6[MPa]の圧力を加えて挟み，473[K]で600[s]保持した。その後，圧力を7.2[MPa]に増大させて300[s]保持し，保冷剤を用いて急冷することで，PLAシートを得た。以上の条件は，試行錯誤的な探索の結果，最適と考えられたものである。なお，PLAの加水分解は非晶領域から始まる。本研究では，加水分解制御の影響を増幅させるため，急冷することで，非晶領域をできるだけ多くすることを狙った。成形したPLAシートの結晶化度を高感度示差走査熱量計（Differential Scanning Calorimetry：DSC，（株）リガク製DSC8230）で測定（基準物質：アルミナ粉末）したところ約0.8[%]となり，非晶領域が十分確保されていた。

次に，光解離性保護基をカルボキシル基末端に導入する方法について説明する。本研究では，光解離性保護基として，o-nitrobenzyl alcoholを使用した。なお，加水分解挙動制御のモデルを創製することを目的としているため，o-nitrobenzyl alcoholの環境適合性についてはここでは問わない。上述のPLAシート成形手順のうち，ジクロロメタンにPLAを投入し十分に溶かした後に，2~3[wt%]の光解離性保護基を投入・攪拌した。これにより，光解離性保護基をカルボキシル基に導入し，カルボキシル基の自己触媒反応を不活性化してPLAの加水分解を抑制することを狙った。また，光解離性保護基の紫外線照射で脱保護できるという特徴を活かし，廃棄時に脱保護することで加水分解の促進を狙った。

（2）光解離性保護基導入の加水分解挙動制御に対する有効性の評価

まず，光解離性保護基の導入がPLAの強度に与える影響を評価するため，加水分解・脱保護した試料について，引張試験をJISK7113に準拠しておこなった。幅5[mm]，長さ50[mm]に切り出した試料を，343[K]の蒸留水中に浸漬し，加水分解させた。一定時間の浸漬後に試験片を取り出し，恒温槽で315[K]の条件で5[h]乾燥させた。また，光解離性保護基の脱保護は， 365×10^{-9} [m]の波長の紫外線を1800[s]照射することでおこなった。なお，PLAそのものに対して本研究の紫外線照射をおこなったところ，紫外線照射そのものによるPLAの劣化はほとんど観察されなかった。チャック部での破壊が起こらないよう，厚さ1[mm]のガラス繊維強化プラスチック

製のタブを接着した。試験には，油圧サーボ式試験機（島津製作所（株）製，EHF-EB5KN-10LAL，ロードセル容量5[kN]）を使用し，試験速度は 1.67×10^{-5} [m/s]とした。

次に，引張強度の80%の応力を継続的に付与する引張クリープ試験を行って，保護基導入の耐久性に及ぼす影響について調べた。クリープ試験は，試験片におもりを吊るした簡易的な試験を行った。装置を設置している床には少なからず振動が必ずあるため，装置の下に除振台を敷くことで振動を防いだ。引張試験を行った試験片寸法では加える荷重が大きいため，断面積を小さくすることで（引張試験時は10[mm]であった幅を3[mm]にする），おもりを軽くした。

（3）繊維強化生分解性樹脂複合材料における加水分解制御の界面近傍での選択的分解・劣化挙動に対する影響の評価

生分解性樹脂を用いたFRPの加水分解による界面特性の変化を解明するために，界面はく離の観察に特化したGCモデル試験片を作製した。繊維方向引張破壊過程における界面はく離挙動のその場観察結果から，界面での局所的な加水分解挙動を明らかにすることを目的とした。ここでは，強化材としてガラスロッド（Glass Rod：GR）を用いた。GRは，直径6[mm]のガラス棒（ケニス株式会社製）をガスバーナーで加熱し，直径が280~300[μm]になるように引き伸ばしたものである。また，ポリブチレンサクシネート/アジペート（Polybutylene Succinate Adipate：PBSA，昭和高分子株式会社製，ピオレーノ#3020）を母材として用いた。厚さ0.5[mm]のスペーサの中に，フィルム状にしたPBSAを1.5[g]と，長さ30[mm]のGRを1本入れ，カプトンフィルム（東レ・デュポン株式会社製，300V）を敷いた成形板で挟んだ。成形板（アルミ製の平板）の上下からホットプレスを用いて120[°C]，0[MPa]で60[s]加熱してPBSAを溶解させた後，120[°C]，10[MPa]で30[s]加圧し，すぐに取り出して常温の鉄板に挟み冷却した。GRが中心となるように幅10[mm]，長さ40[mm]にサークルカッターを用いて切り出し，試験片の片側にGRに対して垂直に2[mm]の切欠きを入れた。その後，エポキシ系接着剤（ハンツマン・アドバンスト・マテリアルズ株式会社製，アラルダイトAR-S30）を用いて幅15[mm]，長さ25[mm]，厚さ1[mm]のガラス繊維強化プラスチック（Glass Fiber Reinforced Plastics：GFRP）製のタブを接着し，デシケーター内で24[h]乾燥させた。なお，試験片端部においてGRは樹脂で覆われており，界面への直接的な吸水は起こらず，樹脂内の拡散によってのみ界面に水分子が到達できるようにした。また，PBSAの加水分解による劣化を確認するために，PBSAのみの試験片も同様に作成した。

PBSA および GC モデル試験片の加水分解は、30 [°C]の蒸留水に浸すことでおこなった。このとき、5 [h]の蒸留水への浸漬によって飽和吸水に達し、その後は徐々に重量が減少したことから、1 [day]ではすでに加水分解が充分開始されていると判断した。また、加水分解後、加水分解時に吸水した水分を除去するために、デシケータ内で 24 [h]乾燥させた。なお、乾燥開始後 12 [h]にて重量の変化が飽和したため、24 [h]の乾燥により水分の除去がほぼ完全にできていると判断した。

GC モデル試験片の引張破壊過程をその場観察するために、油圧サーボ試験機（島津製作所製、EHF-FB5KN-10LA）に容量 5 [kN]のロードセルを取り付け、変位速度 8.3×10^{-9} [m/s]で引張試験をおこなった。破壊過程は、40 倍のレンズを取り付けたデジタルマイクロスコープ（キーエンス製、VHX-500）を使用し録画した。試験片を後方からライトで照らし、界面はく離による光の屈折の変化を利用することで、界面はく離が進展する様子を見やすくした。その場観察において、界面はく離は黒く影となり観察することができる。

(4) 加水分解にともなう GC 破壊特性変化に及ぼす光解離性保護基導入の影響の評価
ここでは、GC モデル試験片の材料に、強化材である繊維としてケナフ靱皮繊維（株式会社ユニバックス社製）を、母材として PLA（Nature Works 製、IngeoTM Biopolymer 2003D）を使用した。保護基には、o-nitrobenzyl alcohol（和光純薬（株）製）を用いた。ケナフ靱皮繊維はとても細いため、複合材料を作製する際に繊維の量に偏りが生じてしまい、繊維含有率の平均化が難しいと考えられる。そのため、試験片ごとに大きな差を生じてしまう可能性がある。よって繊維を均一に配置するためにケナフ単線維ランダムマットを作製した。まず、ケナフ繊維を 10[mm]の長さに切り、目標とする量の半分の量のケナフ繊維を均一にスペーサの中に配置した。ローラーを使って繊維に圧力をかけた後、ケナフ繊維が少ない部分に残りの繊維を配置した。その後、前述の PLA フィルム試験片作製と同様のホットプレス成形過程により、ケナフ/PLA 複合材料シートを作製した。予備検討の結果、加水分解条件は、60[°C]の蒸留水中で 0,1,2,4,7[day]とした。分解中は、試験片の両端をステンレス製のバネで固定した。加水分解には恒温水槽（サーマクス、アズワン（株）製、TM-1）を使用した。

引張試験には、油圧サーボ式試験機（島津製作所製、EHT-FB5KN-10LA）に容量 5[kN]のロードセルとチャック（島津製作所（株）製、SCG-5kNA）を取付けたものを使用した。試験速度は 0.5[mm/min]とした。また、試験片は、幅 10[mm]、長さ 40[mm]、厚さ 0.5[mm]のサイズに切り出したものに GFRP 製のタブ

をエポキシ系接着剤（ハンツマン・アドバンスト・マテリアルズ（株）製、アラルダイト AR-S30）を用いて接着し、試験をおこなった。なお、タブ付け後は、12[h]乾燥させた。

4. 研究成果

(1) 光解離性保護基導入の確認

光解離性保護基が PLA のカルボキシル基末端に導入されているかどうか確認するために、フーリエ変換赤外分光光度計（Fourier transform infrared spectrophotometer : FTIR, 堀場製作所（株）製 FT-720）を用いて、赤外吸収スペクトルの変化を調べた。光解離性保護基の導入により、エステル結合 ($1000 \text{ [cm}^{-1}] \sim 1500 \text{ [cm}^{-1}]$) のスペクトル強度が低くなった。また、カルボキシル基 ($1700 \text{ [cm}^{-1}] \sim 1900 \text{ [cm}^{-1}]$) およびメチル基 ($3000 \text{ [cm}^{-1}]$ 付近) のスペクトル強度が低下した。これらより、保護基を導入することで PLA 高分子と保護基が接合し、PLA 高分子同士がエステル結合を形成できず、エステル結合量が少なくなったことが要因であると考えられる。一方、水酸基 ($3500 \text{ [cm}^{-1}]$) のスペクトル強度は、保護基の導入により高くなった。また、微小ではあるが、ニトロ基 ($1500 \text{ [cm}^{-1}]$ 付近) のスペクトル強度も高くなった。これらは、保護基に含まれる水酸基およびニトロ基を検出したものと考えられる。

以上より、光解離性保護基導入 PLA において、PLA と光解離性保護基が化学的に結合していることがわかった。特に、カルボキシル基のスペクトル強度が低下したことから、加水分解の自己触媒として働くカルボキシル基末端の一部に光解離性保護基を導入できたと考えられる。しかし、光解離性保護基は、メチル基や水酸基とも接合していたことから、現状ではカルボキシル基末端のみへの選択的な導入は出来ていないと考えられる。

(2) 引張強度・耐久性に及ぼす保護基導入・脱保護の影響

保護基導入が変形・破壊特性に及ぼす影響について調べるために、未浸漬試験片の引張試験結果について整理すると、PLA および保護基導入 PLA の弾性率は、それぞれ約 2.2[GPa]および約 1.7[GPa]となった。このように、保護基導入により弾性率が低下したが、この原因は現状では不明である。一方、PLA および保護基導入 PLA の引張強度は、それぞれ約 40[MPa]および約 42[MPa]となった。このことから、本研究の保護基導入が引張強度に与える影響はほぼないといえる。

次に、浸漬期間の増加にともなう引張強度の変化を評価した。いずれの試験片においても、浸漬期間の増加とともに加水分解が徐々に進行し、引張強度が減少する傾向を示した。PLA と保護基導入 PLA とを比較すると、保護基導入 PLA の方が加水分解に対する引張

強度の低下が抑制された。特に、48 [h]浸漬した試験片では、未浸漬の場合からの引張強度低下率が約 54 [%]と、PLA (約 90 [%]) と比較して加水分解にともなう劣化挙動が大きく抑制された。以上より、本研究で試みた光解離性保護基導入による「使用時の分解・劣化の抑制」が可能であることが示唆された。

本研究で用いた保護基の脱保護が引張強度に及ぼす影響について調べるために、保護基導入 PLA を蒸留水に 24 [h]浸漬した後に紫外線照射をおこなった。紫外線照射後、再び蒸留水に 24 [h]浸漬した後に乾燥・試験をした場合の引張強度は、対応する 48 [h]浸漬 (脱保護なし) 後の保護基導入 PLA の引張強度 (約 19 [MPa]) と PLA の引張強度 (約 4 [MPa]) の中間となった。PLA 分子鎖自体に対しては本研究の紫外線照射が大きく影響を及ぼさなかったことから、紫外線照射により光解離性保護基の脱保護が生じて、加水分解挙動が促進されるモードとなったことが示唆される。以上より、本研究で試みた光解離性保護基の脱保護による「廃棄時の分解促進」が可能であることが示唆された。

さらに、引張クリープ試験の結果、PLA および保護基導入 PLA とともに、加水分解期間の増加にともない耐久性が低下することがわかった。また、保護基導入 PLA と導入していない PLA を比較すると、破断ひずみにあまり差はないものの、加水分解期間の増加とともに破断時間の低下に差が生じた。また、この傾向は、加水分解期間が長くなるにつれて大きくなることがわかった。このことから、保護基の脱保護時に PLA 主鎖にも損傷が生じていることが示唆される。つまり、保護基の脱保護には加水分解を助ける作用があることが示唆される。

(3) 繊維強化生分解性樹脂複合材料における加水分解制御の界面近傍での選択的分解・劣化挙動に対する影響

加水分解をしていない GC モデル試験片について、試験時刻 $t = 64$ [s] に切欠き前方で界面はく離の発生が確認できた。界面はく離発生時の平均引張応力は、およそ 13.75 [MPa] であった。次に、加水分解を 1 [day] ~ 3 [week] おこなった GC モデル試験片について、界面はく離発生時の平均引張応力は、9.86 [MPa] から 7.47 [MPa] まで徐々に単調減少した。以上より、界面はく離発生時の平均引張応力は、加水分解の開始とともに急激に低下し、1 [week] 程度の加水分解後は低下が飽和することがわかった。PBSA 単体においては、3 [week] 程度の加水分解では、力学特性はほとんど変化しなかったことから、GC モデル試験片では、界面そのものもしくは界面近傍の樹脂から選択的・集中的に加水分解が進んでいることがわかった。以上より、加水分解制御により、界面での選択的・集中的な加水分

解を制御可能であることが示唆された。

(4) 加水分解にともなう GC 破壊特性変化に及ぼす光解離性保護基導入の影響の

引張試験は保護基未導入ケナフ/PLA 複合材 (Kenaf / PLA composite : K/P)、保護基導入済みケナフ/PLA 複合材 (Kenaf / modified PLA composite : K/mP) の 2 種類の試験片を用いておこなった。各加水分解期間の引張試験後の試験片を観察した結果、引張荷重に対しほぼ直角に向いた繊維に沿って破断しているものが多くみられた。また、加水分解後の試験片では、加水分解前の試験片よりもケナフ繊維の引き抜け長さが長いことがわかった。これは、加水分解によって界面強度が低下したためであると考えられる。つまり、ケナフ/PLA 複合材を加水分解することによって界面で加水分解が促進したと考えられる。

次に、PLA 単体と K/P、K/mP の引張強度を比較した。加水分解前ではほぼ同じ強度であったが、加水分解をおこなうと K/P、K/mP の強度が PLA に比べ大幅に低下した。さらに K/P と K/mP の引張強度を比較すると、強度には大きな差はなかった。つまり、ケナフ/PLA 複合材に保護基を導入しても、界面で促進される加水分解を抑制することができていないと考えられる。以上の結果の原因のひとつとして、ほとんどの試験片で負荷方向に対しほぼ直角な繊維で破断したことから、加水分解が僅かでも抑制できていない点があるとその点を起点として破断してしまうと考えられる。今後、加水分解制御ができていない点から破断が発生する可能性を考慮し、加水分解制御を完全に行うため、分子レベルでの加水分解制御が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 田中基嗣, 大田一希, 南出裕矢, 齊藤博嗣, 金原勲, モデル試験片を用いたグリーンコンポジット界面での加水分解促進挙動のその場観察, 査読有, 31 巻, 2013, 31-36
- ② HOJO MASAKI, YUKINOBU MATSUSHIA, MOTOTSUGU TANAKA, TAIJI ADACHI, Interfacial Fatigue Crack Propagation in Microscopic Model Composite Using Bifiber Shear Specimens, Composites, A, Vol.43, 2012, 239-246

[学会発表] (計 6 件)

- ① 田中基嗣, 渥美公太, 齊藤博嗣, 金原勲, 加水分解によるポリ乳酸の破壊特性変化に及ぼす光解離性保護基導入の影響, 日

本機械学会第 20 回機械材料・材料加工技術講演会, 2012 年 12 月 2 日, 大阪工業大学大宮キャンパス

研究者番号 : 30346085

- ② 田中基嗣, 安田涼平, 金原勲, ハイブリッド界面制御による HAp/PLA 複合材料の破壊特性の改善, 第 56 回日本学術会議材料工学連合講演会, 2012 年 10 月 30 日, 京都テルサ
- ③ 田中基嗣, 究極の自己修復複合材料創製に向けたマイクロカプセルへの繰返し核材漏出機能の付与, 日本材料学会 2012 年度 JCOM 若手シンポジウム, 2012 年 9 月 1 日, 下呂交流会館
- ④ MOTOTSUGU TANAKA, TOMOKI HAMA, HIDEAKI KUSANO, YOSHIYASU HIRANO, YUICHIRO AOKI, HIROSHI SAITO, ISAO KIMPARA, Ultra-High-speed In-situ Observation of Effect of Interface on Tensile Fracture Process in Model UD Composites, The 17th Composites Durability Workshop, 2012 年 6 月 13 日, Sao Jose Dos Campos, Brazil
- ⑤ TOMOKI HAMA, YASUHISA SETO, MOTOTSUGU TANAKA, HIDEAKI KUSANO, YOSHIYASU HIRANO, YUICHIRO AOKI, HIROSHI SAITO, ISAO KIMPARA, Study on Ultra-high-speed In-situ Observation Method of Interfacial Debonding in Tensile Fracture Behavior of UD Model Composite, The 12th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition, 2011 年 11 月 11 日, 東京ファッションタウンビル
- ⑥ 田中基嗣, 渥美公太, 齊藤博嗣, 金原勲, 光解離性保護基導入によるポリ乳酸の加水分解制御の試み, 日本複合材料学会第 36 回複合材料シンポジウム, 2011 年 10 月 21 日, フォレスト仙台

(2) 研究分担者 : 無し

(3) 連携研究者 : 無し

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等 : 無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 基嗣 (TANAKA MOTOTSUGU)
金沢工業大学・工学部・准教授