

令和 6 年 9 月 27 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04673

研究課題名（和文）高分子接合の基礎知見に基づく超音波による高分子/金属接合技術の開発

研究課題名（英文）Development of ultrasonic polymer/metal bonding technology based on basic knowledge of polymer bonding

研究代表者

宮田 剣（MIYATA, KEN）

山形大学・大学院有機材料システム研究科・准教授

研究者番号：60333994

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：接着剤を用いない高分子の接合に関する基礎知見を基盤として高分子/金属接合基盤技術の開発を行った。金属/高分子の接合のメカニズムはよくわかっていない。本研究の目的は、高分子の接合に関する基礎知見を基盤に接合困難とされる高分子材料の相互接合や金属/高分子の接合を実現することであり、接合のメカニズムを明らかにすることである。超音波接合による高分子とアルミニウムの接合試験では、ポリ乳酸が最も高い接合強度を示した。適度に高い弾性率と低い熔融粘度のためである。接合特性には弾性率及び熔融粘度等の物性等が関係していることが考察された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、高分子の接合に関する基礎知見を基盤に接合困難とされる高分子材料の相互接合や金属/高分子の接合を実現することである。さらに接合のメカニズムを明らかにすることである。本研究の成果は、実用的にも同種・異種のプラスチック部材相互接合の可能性を大きく展開できる。また、高分子/各種繊維強化複合材料においても界面接着性を向上させることなどへの応用展開も可能となり、直接的にも工業的応用が期待できるものである。

研究成果の概要（英文）：Based on the basic knowledge of adhesive-free joining of polymers, we have developed a polymer/metal joining technology. The mechanism of metal/polymer bonding is not well understood. The purpose of this study is to realize intermolecular joining of polymer materials and metal/polymer joining, which are considered to be difficult, based on the basic knowledge of polymer joining, and to elucidate the joining mechanism. In ultrasonic welding tests between polymers and aluminum, polylactic acid showed the highest bonding strength. This is due to its moderately high elastic modulus and low melt viscosity. It is considered that properties such as elastic modulus and melt viscosity are related to bonding properties.

研究分野：高分子包装要素技術

キーワード：高分子 金属 超音波接合 接合技術 界面 サーモグラフィ

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

申請者は、接着剤を用いない高分子の接合に関する基礎知見を有する。第1にエネルギーを加え2つの部材を一体化する。第2にエネルギーの剥奪により安定状態を得るものである。しかし、高融点・高ガラス転移点の高分子材料は接合困難とされる。金属/高分子の接合も容易ではなく、それらのメカニズムはよくわかっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高融点・高ガラス転移点の高分子材料及び高分子/金属材料の相互接合技術の確立とメカニズムの解明である。具体的には、超音波による高融点・高ガラス転移点高分子材料の相互接合：接合強度に及ぼす超音波の接合条件、局所加熱点の位置、接合層の厚さの影響を明らかにする。超音波による高分子/金属材料の相互接合：接合強度に及ぼす金属の表面処理、超音波の接合条件、局所加熱点の位置、接合層の厚さの影響を明らかにする。以上により、高分子同種材料、異種材料の界面制御の学術的基礎を明らかにできると考える。

3. 研究の方法

【超音波による高融点・高ガラス転移点の材料の相互接合】(令和3年度)

スーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれる高融点・高ガラス転移点の材料は相互接続できないとされる。本提案では分子レベルでの局所加熱により少ないエネルギーの供与・剥奪による瞬時に接合する技術を完成させ、そのメカニズムを明らかにする。具体的には以下の項目となる。高融点・高ガラス転移点の材料の接合：接合強度との相関(宮田) 局所加熱プロセスの観察による加熱点の特定と制御(宮田) X線散乱や透過型電子顕微鏡観察による最適な接合条件制御(宮田・西辻) 接着層の厚さ評価：接合強度との相関(宮田・西辻)

【超音波による高分子/金属材料の相互接合】(令和4～5年度)

超音波により金属と高融点・高ガラス転移点高分子を瞬時に接合する技術を確立する。本提案では金属表面の物理化学処理と適切な官能基の導入を行い、超音波接合により接合できるメカニズムを明らかにする。具体的には以下の項目となる。金属表面の物理化学処理、官能基の導入：接合強度との相関(宮田) 局所加熱プロセスの観察による加熱点の特定と制御(宮田) X線散乱や透過型電子顕微鏡観察による最適な接合条件制御(宮田・西辻) 接着層の厚さ評価：接合強度との相関(宮田・西辻)

4. 研究成果

令和3年度

本研究の目的である高融点・高ガラス転移点の高分子材料及び高分子/金属材料の相互接合技術の確立とメカニズムの解明に向け以下のことを明らかにした。

超音波による高融点・高ガラス転移点の材料の相互接合について研究を行った。本年度は分子レベルでの局所加熱により少ないエネルギーの供与・剥奪により瞬時に接合する技術及びそのメカニズムについて検討した。具体的には、ポリスチレンやポリエチレンテレフタレート等の高融点・高ガラス転移点の材料の接合技術について検討し、接合強度との相関を検討した。超音波によりこれらの材料はポリエチレンやポリプロピレン等の軟質の材料と比較すると著しく高速に加熱されることがわかった。さらに局所加熱プロセスの2次元挙動をサーモグラフィ観察により加熱点の特定と制御の関連性を検討した。それにより接合界面が選択的に高速に加熱される挙動が明らかになった。高分子/金属材料の相互接合においては、ポリ塩化ビニルなど特定の高分子は超音波接合法により比較的容易に接合できることが明らかになり、高分子材料の種類による依存性が大きいことがわかった。X線散乱や透過型電子顕微鏡観察による最適な接合条件制御技術に関する検討を行った。接合に寄与する接着層の厚さ評価を行った。

令和4年度

本研究の目的である高融点・高ガラス転移点の高分子材料及び高分子/金属材料の相互接合技術の確立とメカニズムの解明に向け以下のことを明らかにした。

超音波による高融点・高ガラス転移点の材料の相互接合について研究を行った。本年度は本研究の最終目的である高分子/金属材料の相互接合に重点を置いた。高分子/金属材料の相互接合では特に高分子材料の種類による依存性が大きいことがわかった。最重要な項目とし、接合加工を行う常温でガラス状態であることが必要である。具体的には、ポリスチレン、ポリカーボネート、ポリ乳酸、ポリエチレンテレフタレートを中心に共重合体であるABS等がその候補となった。それらの接合性の評価を行った。金属についてはアルミニウムを用いた。超音波接合によるこれらの高分子とアルミニウムの接合試験の結果、ポリ乳酸が最も高い接合強度を示した。適度に高い弾性率と低い溶融粘度のためであると考えられる。接合特性には弾性率及び溶融粘度等の物性等が関係していることが考察された。X線散乱や透過型電子顕微鏡観察による最適な接合条件制

御技術に関する検討を行った。接合に寄与する接着層の厚さ評価を行った。また今年度はマイクロ X 線 CT による接合面の密着性の観察を行い、ポイドの存在についても観察を行い、接合強度と微細構造には強い相関関係があることが明らかとなった。

令和 5 年度の研究概要

本研究の目的である高融点・高ガラス転移点の高分子材料及び高分子/金属材料の相互接合技術の確立とメカニズムの解明に向け以下のことを明らかにした。超音波による高融点・高ガラス転移点の材料の相互接合について研究を行った。本年度は本研究の最終目的である高分子/金属材料の相互接合に重点を置いた。高分子/金属材料の相互接合では特に高分子材料の種類による依存性が大きいことがわかった。最重要な項目とし、接合加工を行う常温でガラス状態であることが必要である。具体的には、ポリスチレン、ポリカーボネート、ポリ乳酸、ポリエチレンテレフタレートを中心に共重合体である ABS 等がその候補となった。それらの接合性の評価を行った。金属についてはアルミニウムを用いた。超音波接合によるこれらの高分子とアルミニウムの接合試験の結果、ポリ乳酸が最も高い接合強度を示した。適度に高い弾性率と低い溶融粘度のためであると考えられる。接合特性には弾性率及び溶融粘度等の物性等が関係していることが考察された。X 線散乱や透過型電子顕微鏡観察による最適な接合条件制御技術に関する検討を行った。接合に寄与する接着層の厚さ評価を行った。また今年度はマイクロ X 線 CT による接合面の密着性の観察を行い、ポイドの存在についても観察を行い、接合強度と微細構造には強い相関関係があることが明らかとなった。しかし、超音波溶着による高分子の発熱のメカニズムについては未だ不明な部分も多く残されており、今後も研究を継続することによりさらに詳しい知見を得られるものと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ishida Katsunori、Nishitsuji Shotaro、Miyata Ken	4. 巻 38
2. 論文標題 Effect of temperature and pressure on the interfacial morphology and bond strength of thermally laminated glycol-modified polyethylene terephthalate/styrene-co-butadiene block copolymer films and comparison with coextruded (polyethylene terephthalate/styrene-co-butadiene block copolymer/polyethylene terephthalate) and polyethylene terephthalate/styrene-co-butadiene block copolymer/polyethylene	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Plastic Film & Sheeting	6. 最初と最後の頁 263 ~ 277
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/87560879211046188	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田平一成、宮田剣
2. 発表標題 ポリ乳酸の結晶化度とジョイントデザインが超音波溶着性へ与える影響
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第30回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡部純平、宮田剣、加藤隆之
2. 発表標題 ポリメタクリル酸メチル/ポリロタキサン複合材料の力学特性における環構造のスライド効果
3. 学会等名 プラスチック成形加工学会第30回秋季大会
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	西辻 祥太郎 (Nishitsuji Shotaro) (00564858)	山形大学・大学院有機材料システム研究科・准教授 (11501)	

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