

令和元年6月24日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04232

研究課題名（和文）非接触レーザー励起振動を援用した樹脂/金属ツインレーザービーム異材接合

研究課題名（英文）Dissimilar materials joint between resin and metal by using twin-laser beam aided with non-contact laser excited vibration

研究代表者

宮下 幸雄（MIYASHITA, Yukio）

長岡技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00303181

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）：樹脂と金属のレーザー異材接合法の開発とその界面強度評価法の検討を行なった。パルスレーザーにより振動を励起させるツインビームレーザー接合装置を設計・試作した。パルスレーザー照射により非接触で振動を接合部に付与できること、ツインビームレーザー接合により接合体の破断荷重が向上することが明らかとなった。予め加工した溝にくさび形の圧子を押し込む界面強度試験法について検討した。提案手法により界面強度を評価した結果、樹脂の機械的性質の変化が界面強度に影響を及ぼしている可能性が認められ、また、ツインビーム照射は主に接合面積の増加に寄与することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、パルスレーザーを援用した樹脂と金属の新しいレーザー異材接合法を開発した。また、接合メカニズムの解明、プロセス開発、信頼性評価のために必要となる、樹脂と金属の異材接合体の界面強度評価法を新たに提案した。これらの成果は、例えば、軽量化の要求から利用拡大が見込まれる複合材と金属との異材接合技術開発へと応用することが可能である。また、非接触での振動付与を他の材料の接合へ適用し接合部を制御する技術や、微小部品・微小領域の界面強度評価にも適用できるため、今後、溶接・接合、材料強度、材料開発等の学術分野への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：Development of dissimilar materials laser joining method between resin and metal and study on evaluation method for its interfacial strength were carried out. An apparatus for twin beam laser joining was designed and fabricated. It was able to excite vibration with non-contact at the joining area by pulse laser irradiation, and twin beam laser joining could increase failure load of the dissimilar materials joint. Testing method for interfacial strength that a wedge shape indenter applies into a groove machined was studied. According to evaluation results of interfacial strength with a proposal method, change in mechanical property of resin possibly affect interfacial strength and twin beam laser irradiation mainly contribute to increase joining area.

研究分野：材料力学

キーワード：異材接合 レーザ 界面強度 樹脂 非接触振動励起 ツインビーム

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

「金属」と「樹脂」といった全く異なる材料の直接接合は、近年、自動車産業をはじめとした様々な産業分野で注目されている。研究代表者らはこれまでに、精密な入熱の制御が可能なレーザーによる樹脂と金属の異材接合に関する研究を行ってきた。中でも接合中、接合部に振動を加えることで、接合強度の向上が可能であることを示した¹⁾。振動により溶融・軟化した樹脂の流動挙動を変化させ、界面近傍の樹脂側に生成する気泡の生成状態を制御(振動付与による気泡の微細化、気泡密度の低下)できることを実証するとともに、破壊力学モデルによりその有効性を証明した。他方、近年では、金属表面にナノ～マイクロレベルの凹凸形状を付与することにより機械的アンカー効果を促進させ、接合強度を向上させる技術が開発・実用化されている。振動の付与は、気泡生成状態の制御だけではなく、溶融・軟化した樹脂を金属表面の凹凸へ効率的に入り込ませ機械的アンカー効果を促進することも同時に期待できる。他方、接合プロセス中の加熱、また、高温や熱サイクルといった接合体の使用環境によって樹脂が劣化する可能性がある。とくにレーザー接合では、温度履歴・温度分布が接合部内で不均一となる。プロセス技術開発、接合メカニズム解明、強度信頼性評価のためには、界面強度の評価が重要となる。しかし、一般的な接合体の強度試験では、試験片形状や負荷モードの影響などを受ける場合も多く、樹脂/金属異材接合体の界面強度を局所的に評価する手法はこれまでに確立されていない。

2. 研究の目的

本研究では、金属と樹脂のレーザー異材接合プロセス中、非接触で接合部へ振動を付与することで接合体強度特性の向上を図る接合法を開発する。過去の研究より振動付与が接合体の強度向上に有効であることは明らかとなっているが、実用化のためには非接触での振動付与が必要である。また、不均一な接合部を有する接合体の強度支配因子や接合メカニズムを明らかにするため、強度評価手法も確立する必要がある。本研究では、(1)パルスレーザーによる接合部への非接触振動付与手法の開発、(2)局所的な界面強度評価手法の確立、(3)接合強度特性に及ぼす振動の効果と接合メカニズムの解明を行なう。これらの成果を、輸送機器への適用が急速に進んでいるFRPと金属との異材接合技術に適用することを目指す。

3. 研究の方法

解決すべき主な課題を2つ設定した。一つ目として、過去の研究では振動を付与するため圧電素子等を接合部近傍に配置していたが実用的ではない。他方、非接触加振法としてレーザーアブレーションを利用した手法が提案されている²⁾。さらに、申請者は、過去にツインレーザーを用いた異材接合技術開発を行ってきた³⁾。そこで、一つ目の課題に対しては、図1(a)に示すように、接合のためのレーザーと振動励起のためのレーザーのツインビームとすることで、解決を図ることとした。そのため、図1(b)ツインビームレーザー接合実験装置を設計・試作し、実験を行なった。二つ目として、レーザー接合の場合、接合領域内の場所によって温度履歴が異なるため(レーザー照射中央部では高温、接合端部では低温)界面の状態が不均一となり、接合体のマクロな強度特性には複数の因子が関与し、振動付与の効果を適切に評価できず、強度支配因子を明らかにすることが困難なことがあげられる。申請者はこれまでに、接合部の異なる箇所に切欠を導入した試験片を用いて、金属/樹脂レーザー異材接合体接合部の界面強度が分布していること、レーザー照射部直下の界面強度が高いことをはじめ実験的に明らかにした。ただし、同手法は試験片寸法に限界があり、レーザー接合部での急峻な温度分布を考えると、より微小な領域の界面強度を評価する手法の確立が必要である。そこで、コーティング材界面密着強度評価法のISO規格にも採用されている圧子押込法⁴⁾⁻⁶⁾を参考に、同試験法を発展させ、樹脂/金属界面に応用することで、微小領域の界面密着強度の評価を行なう手法を確立することとした。具体的には、予め界面に溝加工を施し、くさび形圧子を押し込むことで、界面ではなく離を生じさせる試験法について検討した。

4. 研究成果

(1) パルスレーザーによる接合部への非接触振動付与手法の開発

接合実験に先立ち、加速度ピックアップを用いたパルスレーザー照射実験により、励起振動に及ぼすレーザーの照射位置の影響およびレーザーの出力の影響を調査した。同一の出力条件でレーザーの照射点の位置のみ変化させてレーザーを照射する実験、照射点は同一でパルス幅およびパルスエネルギーを変化させてレーザーを照射する実験を行なった。同一の出力条件で、各照射点位置にパルスレーザーを照射したときの加速度ピックアップで測定された振動波形および入力トリガー電圧波形より、最大および最小応答加速度振幅をまとめて図2に示す。実験結果より、照射点位置が変化すると、応答加速度振幅の振動波形も変化した。他方、照射点位置が振動測定点に近いほど、外部入力トリガー電圧波形のトリガーエッジと応答加速度振幅の振動波形の最初のピークとの距離が短くなり、その最初のピークの出現挙動も変化する。また、図2より、照射点が測定点に近いほど、応答加速度振幅の最大値または最小値は大きくなるのがわかる。すなわち、任意の接合界面に伝達される加速度振幅は照射点に近い場所ほど大きいと考えられる。提案する振動付与方法を樹脂と金属の異材接合に対して用いる場合、パルスレーザーの照射点と樹脂の溶融部との距離がより近い方が、高い振動付与の効果が得られると予測される。照射位置を同一としたレーザー照射実験による応答振動波形の例として、パルス幅が10nsでパルスエネルギーが150、225および300μJの場合の測定結果を図3に示す。同図より、振動の周波数成分はほぼ変

化せず、ゲインのみ変化することがわかる。また、パルス幅を変化させた他の条件での結果もあわせると、5ns 程度のパルス幅の差では、発生する振動の周波数成分はほぼ変化せず、ゲインのみ変化すると考えられる。このことより、ns-パルスレーザによってアブレーションされる物質量はほぼパルスエネルギーによって決定され、パルスエネルギーは励起振動波形の周波数成分にほぼ影響しないと考えられる。図 4 に各レーザパラメータで測定された振動波形の最大および最小応答加速度振幅値を示す。同図より、パルスエネルギーが増加すると、応答加速度振幅波形の最大値および最小値も増加することがわかる。同一のパルスエネルギーの場合、パルス幅が長いほど応答加速度振幅の最大値および最小値が大きくなる傾向にある。これらより、パルス幅を長くする、またはパルスエネルギーを高くすることで、より大きい応答加速度振幅が得られると考えられる。以上より、パルスレーザ照射によるレーザアブレーションによって振動が励起され、接合界面に伝達されていることが明らかになり、本提案手法によって非接触で振動付与が可能であることがわかった。

次に、試作したツインビームレーザ接合実験装置を用いて、CW レーザのみを照射した場合、アブレーションが発生する条件でパルスレーザを照射した CW レーザとのツインレーザビーム照射の場合（以下、アブレーション有りのツインレーザビーム照射と呼ぶ）アブレーションが発生しない条件でパルスレーザを照射した CW レーザとのツインレーザビーム照射の場合（以下、アブレーションなしのツインレーザビーム照射と呼ぶ）の 3 条件で接合実験を行なった。なお、ツインビームの CW レーザとパルスレーザの出力の合計が CW レーザ照射のみの出力と等しくなるように調整した。得られた接合体の強度を引張せん断試験により評価した。走査速度一定で、CW レーザのみ、アブレーション有りおよびアブレーションなしの各接合条件で得られた接合体

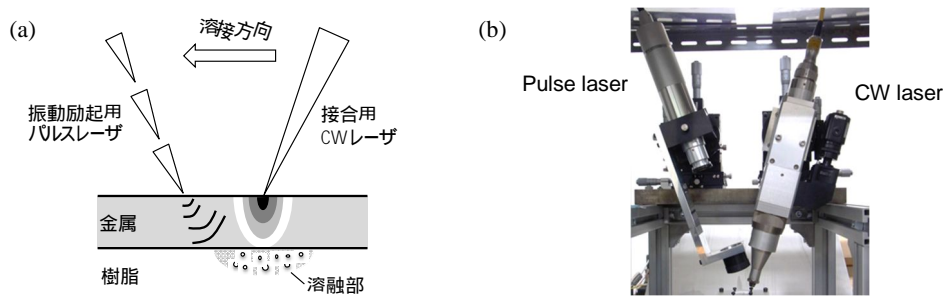


図 1 パルスレーザにより励起した振動を援用するツインビームレーザによる金属 / 樹脂異材接合の (a) 模式図および (b) 設計・試作した装置。

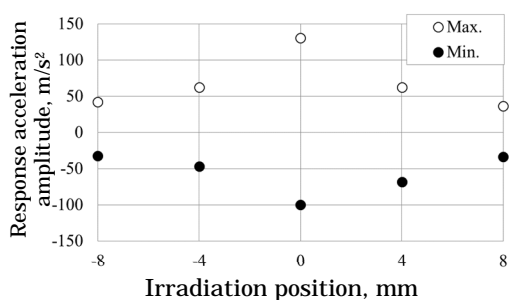


図 2 パルスレーザ励起振動波形の最大および最小応答加速度振幅に及ぼす照射位置の影響。

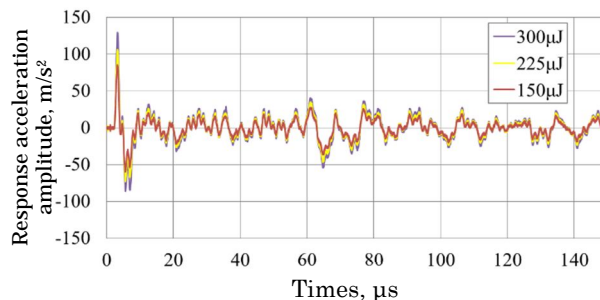


図 3 パルスレーザ励起振動の応答振動波形の測定例（パルス幅; 10ns）。

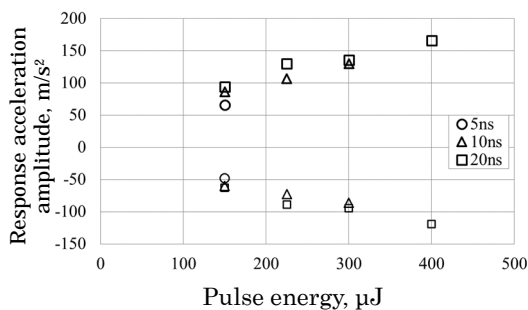


図 4 パルスレーザ励起振動波形の最大および最小応答加速度振幅値に対するレーザ照射パラメータの影響。

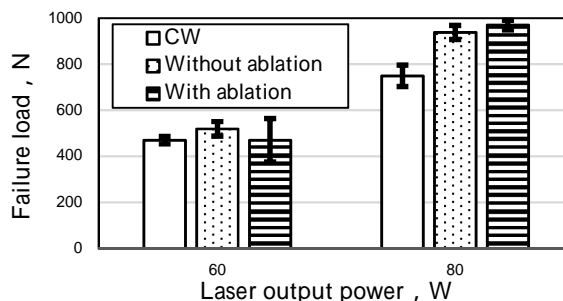


図 5 SUS304 / PET レーザ異材接合体の強度特性に及ぼすツインビーム照射およびアブレーションの影響。

の、レーザ出力と破断荷重の関係を図5に示す。同図より、アブレーション有りで得られた接合体は、CW レーザのみで得られた接合体よりも、破断荷重が増加する傾向にあった。同一の走査速度で、CW レーザのみとアブレーション有りを比べると、高出力で得られた接合体の方が、破断荷重の差が大きい。接合体の強度に及ぼすツインビームレーザ照射およびアブレーションの影響については、以下(3)で検討する。

(2) 局所的な界面強度評価手法の確立

樹脂 / 金属異材接合体の局所的な界面強度を評価するため、コーティング材の密着強度評価に用いられている、圧子押し込み法により界面強度を評価した。この手法は、界面に直接はく離方向の力を加えることができるために試験片形状や負荷モードの影響を受けにくい。ただし、樹脂と金属の異材接合体では樹脂側へ優先的に圧子が押し込まれ、界面ではく離を生じさせることが困難な場合が考えられる。そこで本研究では、界面に予め溝加工を施し、その溝へ圧子を押し込んだ。圧子押し込み試験の模式図を図6に示す。なお、本報告では省略するが、予備試験の結果より、本提案手法によって界面ではく離を生じさせることが可能であった。また、異なる位置に溝を加工した試験片による予備試験結果から、界面を中心とした溝形状が適切であることがわかった。他方、接合プロセス中および使用中の環境によっては、樹脂に劣化が生じる可能性があり、その界面強度に対する影響も考えられる。そこで、高温環境中および高湿度環境中に保持することで機械的性質が変化した樹脂と A5052 を接着接合し、その界面強度をくさび形圧子押し込み法により評価した。PA66、PPS および PET の受け入れまま材、乾燥処理材、高温保持材および高湿度環境中保持材の引張試験の結果より、高温保持によって破断時の変位が減少し、ぜい性的な挙動へと変化する傾向が認められた。高温環境保持後の樹脂が変色していたことから、酸化の影響が考えられる。PA66 では、高温環境保持による強度低下が著しく認められた。一方の高湿度環境の影響について乾燥処理材を基準として比較すると、PPS および PET では、高湿度環境保持材の強度および破断時の伸びに顕著な差は認められなかった。他方、PA66 は高湿度環境保持により強度が低下し、破断時の伸びが大きくなった。このように環境保持によって機械的性質が変化した樹脂と A5052 との接着接合体の界面強度を評価した。例として、圧子押し込み試験により得られた A5052 / PA66 接着接合体のき裂長さ - 押し込み荷重の関係を図7に示す。圧子押し込み試験の結果より、いずれの接合体も、乾燥処理した樹脂と A5052 の接合体と、高湿度環境保持した樹脂と金属の接合体のき裂進展抵抗は同程度と考えられる。他方、高温保持した樹脂と A5052 の接合体では、き裂進展抵抗が低くなった。暴露試験後の樹脂の弾性率をインデンテーション法により測定した結果、乾燥処理した樹脂を基準として比較すると、PA66 の弾性率は、高温保持により高くなり、高湿度環境保持により低下した。他方、PPS および PET は、高温環境および高湿度環境保持による弾性率の変化は顕著に認められなかった。弾性率のほかにも、樹脂と金属の異材接合体の界面強度に影響を及ぼす因子があると考えられる。PA66、PPS および PET は、いずれも高温保持により破断時の伸びが減少し、ぜい性的な破壊挙動を示した。すなわち、樹脂の環境劣化により樹脂 / 金属異材接合体の界面強度が変化することが示唆された。

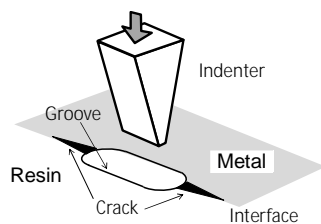


図6 くさび形圧子押し込み試験による金属 / 樹脂異材接合体の界面強度評価。

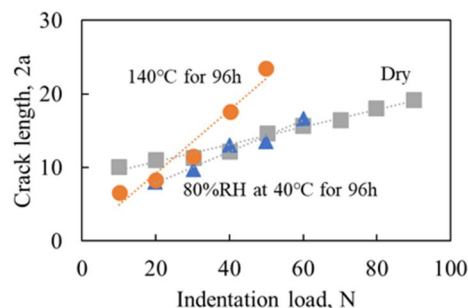


図7 環境劣化した PA66 と A5052 の異材接着接合体の圧子押し込み試験中の押し込み荷重と界面き裂長の関係。

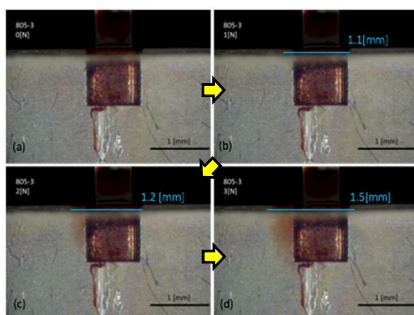


図8 SUS304 / PET レーザ異材接合体の圧子押し込み試験中の界面き裂進展挙動の観察例 (接合条件; CW レーザのみ)。

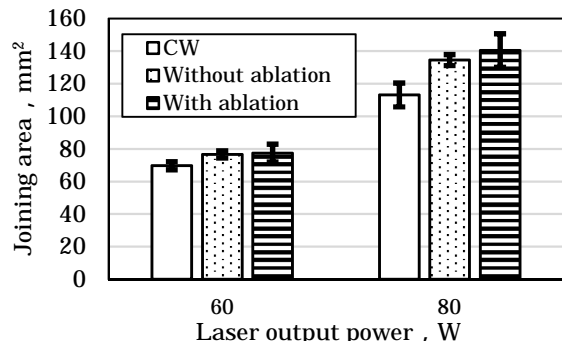


図9 SUS304 / PET レーザ異材接合体の接合面積に及ぼすツインビーム照射およびアブレーションの影響。

(3) 接合強度特性に及ぼす振動の効果と接合メカニズムの解明

図5に示したように、CW レーザ照射のみ、アブレーション有りのツインレーザービーム照射、アブレーションなしのツインレーザービーム照射の各条件で得られた接合体の破断荷重を比較すると、アブレーションの有無に関わらず、CW レーザ照射のみによって得られた接合体よりも、ツインレーザービーム照射によって得られた接合体の方が、破断荷重が高い傾向が認められた。また、ツインレーザービーム照射により得られた接合体を比較すると、アブレーションなしのツインレーザービーム照射で得られた接合体よりもアブレーション有りのツインレーザービーム照射で得られた接合体の方が高い破断荷重を示した。そこで、ツインレーザービーム照射の影響について検討した。振動の付与による界面密着強度向上の可能性について、レーザー接合部の局所的な界面強度を、(2)で検討したくさび形圧子押し込み試験により評価した。金属/樹脂異材レーザー接合体の接合部から界面強度評価用試験片を切り出し、界面に溝加工を施して試験に供した。試験中に透明な樹脂側からはく離の進展をその場観察した例を図8に示す。本提案試験法により、界面ではく離が生じ、押し込み荷重の増加にともないき裂が進展した。本界面強度評価試験法の精度については今後さらに検討を要するが、き裂進展挙動に着目した破壊力学的な検討からは、CW レーザ照射のみおよびアブレーション有りのツインレーザービーム照射により得られた接合体の接合中央部の界面強度に明確な違いは認められなかった。レーザー出力と接合面積の関係を図9に示す。同図より、接合面積の大きさと接合体の強度が対応していると考えられる。界面に取付けた熱電対により接合中の最高温度を測定した結果、ツインレーザービーム照射の方が、CW レーザ照射のみよりも温度が高いこと、また、パルスレーザー照射のみでも加熱されていることがわかった。したがって、パルスレーザー照射によりレーザーの吸収率が変化し、CW レーザ照射による入熱が増加することで、ツインレーザービーム照射では温度が高くなり、その結果、接合面積の増加を導いたと考えられる。他方、アブレーションの有無によっても、接合面積および破断荷重が変化している。破断荷重の増加に対しては、接合面積の増加が寄与していると考えられるが、レーザーアブレーションによって発生した振動により、接合面積が増加した可能性も考えられる。

以上のように、樹脂と金属の新しいレーザー異材接合法を開発し、また、異材接合体の界面強度の新しい評価法を提案した。例えば輸送機器では、国内外問わず軽量化はますます重要となるため、複合材の利用拡大が見込まれ、本開発技術の応用により実用化とさらなる新技術の開発が期待される。また、界面強度評価法に関しても、接合体だけではなく、広く異材界面の微小領域の界面強度を測定できる技術へと発展させることで、材料開発やメカニズム解明など、学術的な貢献が期待できる。

<引用文献>

- 1) Yukio MIYASHITA, Teppei WATANABE and Yuichi OTSUKA, Formation behavior of bubbles and its effect on joining strength in dissimilar materials laser spot joining between PET and SUS304, Mechanical Engineering Journal, 2, 1(2015)p.14-00429.
- 2) 細矢直基, レーザアブレーションを用いたインパルス加振に基づく振動実験解析法 (FRF 計測における力計測のセンサレス化), 日本機械学会論文集 (C 編), 77, 773(2011)p.102-113.
- 3) Handbook of Laser welding technologies, ed. by Seiji Katayama, (Yukio Miyashita, "Chapter 16: Developments in twin-beam laser welding technology" pp.434-458), Woodhead Publishing Ltd, (2013).
- 6) Yasuhiro Yamazaki, Masayuki Arai, Yukio Miyashita, Hiroyuki Waki and Masato Suzuki, Determination of interfacial fracture toughness of thermal spray coatings by indentation, Journal of Thermal Spray Technology, 22-8(2013)pp.1358-1365.
- 5) ISO 19207:2016, Thermal spraying -- Classification method of adhesive strength by indentation (2017).
- 6) ISO 20267:2017, Thermal spraying -- Determination of interfacial toughness of ceramic coatings by indentation (2017).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

1. 宮下幸雄、レーザーによる異材接合技術と異材接合体の強度信頼性評価、OpIusE、42、(2019)、pp.204-209. (<https://www.adcom-media.co.jp/bn/2019/03/25/30703/>)
2. 宮下幸雄、レーザー異材接合技術の動向と展望、精密工学会誌、査読無、84(2018) pp.399-403. (DOI:10.2493/jjspe.84.399)
3. 宮下幸雄、武藤睦治、異材接合体の強度評価、溶接学会誌、87 (2018)pp.57-61(DOI:10.2207/jjws.87.57).
4. 宮下幸雄、樹脂-金属異材ダイレクト接合とその接合体強度特性に及ぼす影響因子、溶接技術、査読無、65(2017)pp.45-50(<https://www.sanpo-pub.co.jp/yg01/2017/0420019995.html>).

[学会発表](計18件)

1. 宮下幸雄、阿部佑美、Kamaraj Muthuswamy、倉部洋平、大塚雄市、樹脂/金属異材接合体の強度特性に及ぼす樹脂の環境劣化の影響、日本材料学会第68期通常総会・学術講演会(2019).
2. 阿部佑美、宮下幸雄、Kamaraj Muthuswamy、大塚雄市、環境による樹脂の劣化と樹脂/金属異材接着接合体の界面に及ぼすその影響、日本機械学会北陸信越支部 第56期総会・講演会

- (2019).
3. 宮下幸雄、飯田祐一郎、阿部佑美、武藤祥太、くさび形圧子押込み試験による樹脂/金属異材レーザー接合体の界面強度評価、日本機械学会 M&M2018 材料力学カンファレンス(2018).
 4. Yumi ABE, Yukio MIYASHITA, Kamaraj M., Yuichi OTSUKA, INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL EFFECT ON INTERFACIAL STRENGTH OF DISSIMILAR MATERIALS JOINT BETWEEN RESIN AND METAL, The 5th Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP2018)(国際学会)、(2018).
 5. 宮下幸雄、武藤祥太、飯田祐一郎、大塚雄市、パルスレーザーを援用したツインレーザービームにより接合した SUS304/PET 異材接合体の強度特性、日本機械学会機械材料・材料加工部門第 26 回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2018) (2018).
 6. Yumi ABE, Yukio MIYASHITA, Kamaraj M., Yuichi OTSUKA, CHANGE IN MECHANICAL PROPERTY OF RESIN MATERIALS DUE TO HEAT TREATMENT AND ITS EFFECT ON INTERFACIAL STRENGTH OF DISSIMILAR MATERIALS JOINT BETWEEN RESIN AND METAL, The 7th International GIGAKU Conference in Nagaoka (IGCN 2018)(国際学会) (2018).
 7. 宮下幸雄、大塚雄市、武藤祥太、飯田祐一郎、樹脂と金属のレーザー異材接合へのパルスレーザー照射の効果、溶接学会平成 30 年度秋季全国大会(2018).
 8. 阿部佑美、宮下幸雄、Kamaraj Muthuswamy、大塚雄市、樹脂/金属異材接合体の強度特性に及ぼす樹脂の機械的性質の変化の影響、日本機械学会 2018 年度年次大会(2018).
 9. 阿部佑美、宮下幸雄、Kamaraj Muthuswamy、大塚雄市、樹脂/金属異材接合体の強度特性に及ぼす樹脂の劣化の影響、日本機械学会 北陸信越支部 第 55 期総会・講演会(2018).
 10. 武藤祥太、飯田祐一郎、宮下幸雄、大塚雄市、パルスレーザーを援用したツインビームレーザーによる樹脂と金属の異材接合、日本機械学会 北陸信越支部 第 55 期総会・講演会(2018).
 11. 宮下幸雄、不均質な接合部を有する接合体の強度評価と局所的な界面強度評価、日本材料学会 疲労部門委員会「接合材の疲労強度に関する研究分科会」破壊力学部門委員会「界面強度評価小委員会」合同研究委員会(2017).
 12. 宮下幸雄、異材接合体の強度評価、溶接学会平成 29 年度春季全国大会(招待講演) (2017).
 13. 武藤祥太、阿部佑美、小山内翔太、宮下幸雄、大塚雄市、樹脂/金属異材接合体の微小領域の界面強度評価法、溶接学会平成 29 年度秋季全国大会(2017).
 14. 宮下幸雄、小山内翔太、大塚雄市、圧子押込み試験による樹脂/金属異材接合体の界面強度評価、日本機械学会 M&M2017 材料力学カンファレンス(2017).
 15. 武藤祥太、宮下幸雄、大塚雄市、Venkataraman Vivek、パルスレーザー照射による非接触振動励起、日本機械学会 (2017).
 16. 宮下幸雄、小山内翔太、大塚雄市、くさび形状圧子を用いた押込み試験による樹脂/金属異材接合体の界面強度評価、日本材料学会第 66 期通常総会・学術講演会(2017).
 17. Yukio Miyashita, Evaluation of Local Interfacial Strength in Dissimilar Materials Joint, 1st International Symposium on Future Innovative Reliable Materials(国際学会) (2017).
 18. 小山内翔太、宮下幸雄、大塚雄市、倉部洋平、田中友隆、表面処理を施した金属と樹脂の異材接合体の局所的な界面強度評価、日本機械学会北陸信越支部 第 54 期総会・講演会(2017).

〔図書〕(計 1 件)

1. 宮下幸雄・他、技術情報協会、”異種材料の接着・接合技術とマルチマテリアル化 (第 6 章 2 節「レーザーと摩擦熱による樹脂/金属の異材接合技術」)” (2017).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし。

6. 研究組織

(1)研究分担者

なし。

(2)研究協力者

研究協力者氏名：井原 郁夫

ローマ字氏名：(IHARA, Ikuo)

研究協力者氏名：磯部 浩巳

ローマ字氏名：(ISOBE, Hiromi)

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、研究者個人に帰属されます。