

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03882

研究課題名(和文) 慣用せん断と摩擦攪拌成形(FSF)の組み合わせによる革新的異種材料接合技術

研究課題名(英文) Innovative dissimilar materials joining method utilizing blanking and friction stir-forming

研究代表者

大橋 隆弘(Ohashi, Takahiro)

国土館大学・理工学部・教授

研究者番号：80277821

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：プレス慣用せん断による前処理と摩擦攪拌成形を組み合わせた異種材料接合の新技術を開発した。一般に慣用せん断では、だれなどの斜め面が切断面に形成される。本研究は、せん断下穴を有する厚さ1mmの鋼板を用意し、せん断穴のだれ面がバックングプレートに接触するように配置した。次に、厚さ3mmのA5083板を上置き、裏面を摩擦攪拌した。その結果、流動したアルミニウム合金がパンチ穴を埋め、せん断穴の傾斜面に機械的インターロックを形成した。穴あけパンチとダイの間のクリアランスを変化させて継手を製作し、強度評価を行った。また、また、鋼板側における応力集中を考慮し、異形円孔列を用いた継手について検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究結果は、自動車部品の軽量化などで必要となる、新しい異種材の機械的接合法を提供するものである。機械的接合であるのでより広範囲の異種材の組み合わせに対し適用でき、重量増を伴わず、外観に優れる。多数個の下穴を利用することで、広面積で安定した接合強度を発現しうる。また、冶金的な接合法と異なり、リサイクルにおいて慣用的に行われている単純な破碎・送風等による材料分離プロセスが適用できる。

研究成果の概要(英文)：We have developed a new technique for dissimilar materials joining that combines a punching-preprocess and friction stir forming. In conventional punching, shear droops are generally formed on the cut surface. Herein, a 1 mm thick steel plate with a punched hole was prepared, and its shear droop side was brought into contact with a backing plate. Then, a 3 mm thick A5083 aluminum alloy plate was placed on top to conduct friction stirring on its back surface. Consequently, the aluminum alloy filled the punched hole to form a mechanical interlock with an inclined plane of the shear droop. Depending on the above, we measured the strength of the joints. In addition, we examined a "round-hole-array design" for alleviation of stress concentration.

研究分野：塑性加工、接合

キーワード：異種材接合 機械的接合 摩擦攪拌 プレス せん断 予備工程

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 学術的背景

自動車の軽量化が進行する中で、自動車部品のマルチマテリアル化の急激な進行が見込まれている。米国エネルギー省によると今後20年余りで自動車に占める普通鋼の比率は現在の60%程度から20%以下まで低下し、高張力鋼と合わせても鋼材の使用比率は40%まで減少することが予想されている(山口:自動車軽量化をけん引する異種材料接合技術,三井住友銀行マンスリーレビュー,(2014.5))。一方で、鋼材は安価であり、比較的火災に強く、かつ衝突変形時のエネルギー吸収性に優れるために、上記軽量化が進行しても、主要な構造用材料としてA1合金やCFRP材などの軽量材料と複合して使用され続けることが見込まれている。そのため、鋼材とアルミニウム合金、CFRPの組み合わせといった異種材接合方法の研究開発が盛んに行われている。異種材接合については、被接合材を選ばない方法として、リベットや接着剤が従来から利用されている。航空機は厳重な運用点検管理がなされることから接着剤が使用されているが、自動車部品用の鋼板については、コンシューマ商品としての観点から、セルフピアシングリベットによる点接合が主として用いられる。しかしながらファスナー(リベット)がもたらす、平坦性が損なわれた外観や重量増が問題となっている。そのため、重量増を伴わない接合法の研究開発が重要となっている。そこでメカニカルクリンチングによる点接合が研究され提案されているが、接合材の厚さの組み合わせに制約があり、また、依然として接合個所の平坦性が担保されない問題点がある。異種材接合についてはロウ付けや拡散接合などの冶金的な面接合も用いられている。しかしながら被接合材の選択に制限があり、ロウ付けはロウが重量増の原因となるばかりでなく強度・信頼性に劣り、拡散接合は生産性に劣り非常に高価なプロセスとなるため上記目的にはそぐわない。近年、摩擦攪拌接合(FSW)を異種材接合に用いる研究が盛んに行われるようになり、自動車用としては鋼A1合金の接合で一部実用化されている。例えば、FSW工具パスをA1側に偏らせてA1と鋼の間に合金層を形成する方法がある。しかしながら、この方法では形成される合金層が薄く(1μm以下)、強度が得られにくい問題がある。あるいは、FSW工具を鋼材料に押し付けながら、摩擦攪拌するプロセスも提案されている。この方法では、A1と鋼の界面に合金層を形成するのみならず、工具を直接鋼に当てて変形させることによって機械的嵌合も形成する。しかしながら工具が鋼との接触により損耗する問題がある。あるいは、薄板の重ね継手で摩擦攪拌スポット溶接(FSSW)による接合を行うことも行われている。A1合金側から界面を攪拌し、酸化被膜や汚れを巻き上げ、強度を低下させる厚い金属間化合物層が形成される前に接合を終わる。この方法により十分な接合強度が得られるが、金属間化合物を生じさせないための熱的制約があり、今のところ点接合に限られる。

## 2. 研究の目的

本研究では、慣用せん断(プレスあるいはパンチング)によって穿孔された穴群を下穴として有する鋼板上に、アルミニウム合金板を置き、裏面から摩擦攪拌成形(FSF)を施すことにより、せん断穴中にアルミニウム合金を塑性流動・充満させて、鋼板とアルミニウム合金板を機械的に接合する新しい接合法を提案・開発することを研究目的とする(図1)。図2に示すように慣用せん断においては、それぞれダイ肩とパンチ縁に接触する部分から材料内にせん断亀裂が生じ、それらが繋がることで穿孔されるため、パンチ外径とダイ内径の差(クリアランス)に起因する傾き形状がせん断方向に対し必ず形成される(また、条件によりだれも形成される)。仮に鋼板部材内に形成された、この傾き形状(および「だれ」)内に、もう一方のアルミニウム合金板部材を変形・充満させることができれば、アンダーカットによる機械的嵌合を形成し、部材間を接合することができる。慣用的な塑性加工法を用いたのではこのようなわずかな傾きを利用した機械的嵌合を形成することは困難であるが、申請者らのこれまでの研究で明らかになっている摩擦攪拌成形(FSF)における非常に優れた材料の金型内充満性(moldability)を利用することで、穴内に完全にアルミニウム合金を充満させ、アルミニウム合金板と鋼板の間で機械的なインターロックを形成する。なお、下穴は必ずしも円孔である必要はない(例えばスリットや被接合部材外形に沿った形状でも可)が、本件開発では要素技術開発を目的とするため円孔を対象とする。

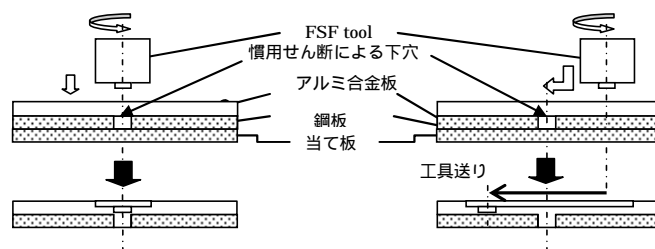


図1 開発しようとする異種材の機械的接合方法

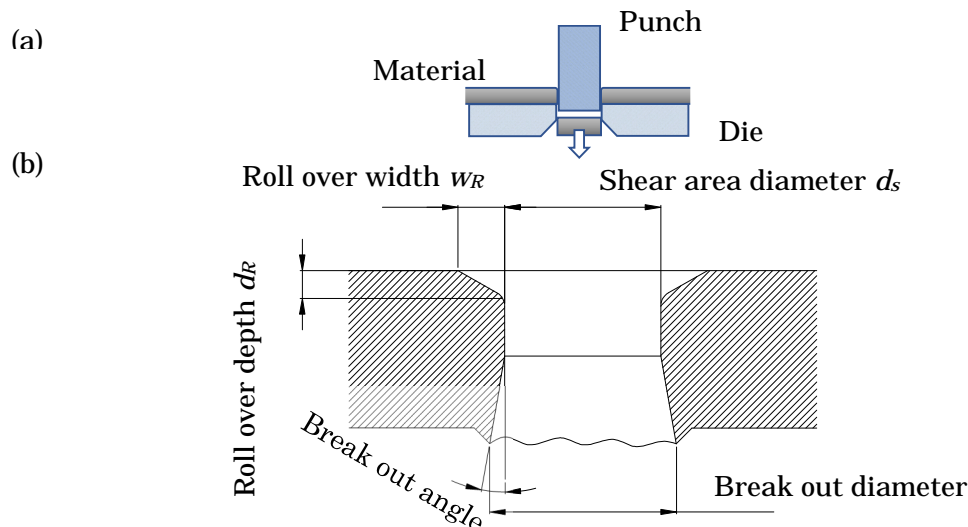


図2 慣用せん断の原理(a)と典型的な慣用せん断による下穴形状(b)

### 3. 研究の方法

上記目的のため、次の4つの項目について研究した。

#### (i)FSF により接合可能な最大・最小の下穴寸法と穴の密度の調査

FSF による成形において流動可能な材料体積に限られることから充満可能な下穴の最大径に制約があり、また、摩擦抵抗と成形圧力により充満可能な下穴の最小径にも制約があると考えられる。直径 1~9mm の丸穴キャピティを有する金型上に A5083 アルミニウム合金板を置き、A1 合金板の背面から条件を変えて摩擦攪拌を施すことにより、丸穴内に A1 合金材料を流動させた。流入体積を調査することで、流動可能な A1 合金の体積(すなわち、継手構造に利用できる体積)を調査した。試験においてはシオルダ径 15mm、円筒プローブ高さ 2.5mm の摩擦攪拌工具を用いた。また、1mm 厚 SPCC 穴あき鋼板に対し、摩擦攪拌実験を行い、一度の摩擦攪拌工程で充満可能な穴分布の範囲について調査した。

#### (ii)せん断強度・十字引張強度の評価

せん断引張試験片、十字引張試験片を製作し、下穴一つ当たり強度と継手強度の評価を行った。

#### (iii)せん断時のクリアランスと接合強度の関係

慣用せん断において、クリアランスを(適正に)小さくすることによりばりが抑えられるが、それによりだれが減り、円孔壁面の傾きが垂直に近くなるため、十字引張強度は低下すると考えられる。そこで、各穴径についてクリアランスを変化させて、継手を形成し、十字引張試験を行った。なお、項目(ii)と項目(iii)は、実施内容はいずれも継手強度評価実験であり、条件の大部分が重複していたため、研究実施段階では共通化して実施した。

#### (iv)応力集中を考慮した異径円孔列による継手形成と実証実験

複数の円孔を用いて形成した継手に関し、応力集中を緩和する異径穴列パターンを検討した。

### 4. 研究成果

#### (i)FSF により接合可能な最大・最小の下穴寸法と穴の密度の調査

丸穴キャピティを有する金型を用いて、3 mm 厚 A5083 アルミニウム合金板から形成した円筒突起体積を図3に示す。この結果から、予備工程のプレス穴に関し、穴径 8 mm までは穴径を大きくすればするほど厚さの厚い鋼板を接合できることがわかり、供試ルール・供試条件では、穴径 8 mm、回転数 880 rpm で最大 9.06 mm までの厚さの鋼板を計算上は接合可能であるということがわかった。一方で、穴径 9 mm では 8.90 mm までの鋼板厚さが可能と計算され、わずかに低下した。FSF による成形において、摩擦攪拌工具下の、軟化・流動する材料体積には限界があり、供試ツールの場合、予備工程のプレス穴径を 9 mm 以上にしても、接合可能な最大鋼板厚さは頭打ちになることを示唆している。

次に、1mm 厚の SPCC 穴あき鋼板に対し、3mm 厚の A5083 アルミニウム合金板を重ね、シオルダ径 15、20、30mm の工具を用いて、摩擦攪拌を行い、穴内にアルミニウム合金が充満するかを調べた。充満する範囲を「疑似ビード幅」と名付け、ツールシオルダ径に対し、どれくらいの割合となるか調べた。回転数 1240 rpm、送り速度 25 mm/min のときの例を図4に示す。シオルダ径が大きくなるほど疑似ビード幅のシオルダ径に対する割合は大きくなり、シオルダ径 30 mm のツールでは、シオルダ径の 69 % の範囲の複数穴を一度に充満できることがわかった。従って複数のプレス穴を用い、一工程の摩擦攪拌工程で接合しようとしたとき、鋼板上の穴の分布(穴の

密度)を上記範囲に収めればよいという見通しを得た。

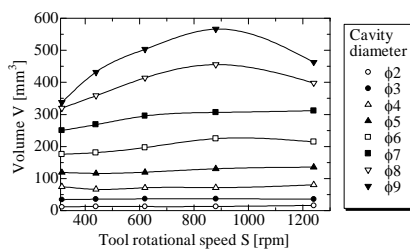


図3 丸穴キャピティを有する金型を用いて形成した円筒突起体積 (圧入深さ 2.7mm, 送り速度 50 mm/min)

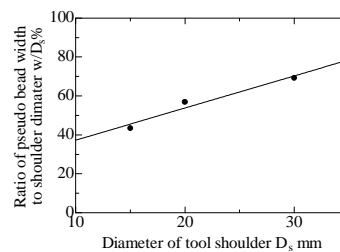


図4 疑似ビード幅とツールショールダ径 (回転数 1240 rpm, 送り速度 25 mm/min)

**(ii)せん断強度・十字引張強度の評価および(iii)せん断時のクリアランスと接合強度の関係**

図1に示した工法により、3 mm 厚の A5083P-O アルミニウム合金板、1 mm 厚の SPCE 鋼板をアルミニウム合金板を用い、十字引張試験片と引張せん断試験片を製作した。本実験ではいかなる潤滑剤も表面処理も用いなかった。すべての供試材は、FSF による接合プロセスの前に金型洗浄剤で洗浄された。強度試験は島津製作所製オートグラフ AG-10TB/AG-X/R を使用し、1 mm/min のクロスヘッドスピードで実施した。各条件下で 5 回の試行を繰り返した。代表的な試験片とその断面画像を図5と図6にそれぞれ示す。狙い通りだれ面付近でインターロックが形成されていることがわかる。アルミニウム合金と鋼との境界付近を電子顕微鏡像、EDX により解析すると全周にわたり 10 μm 程度の空隙が観察され、IMC による接合は見られず、今回の試験条件により形成された継手は機械的接合のみによると推察された。

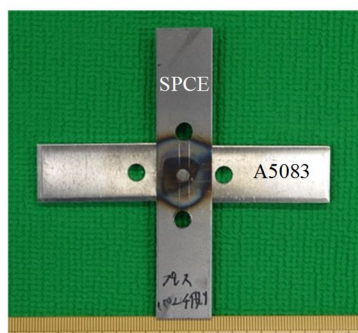


図5 代表的な試験片

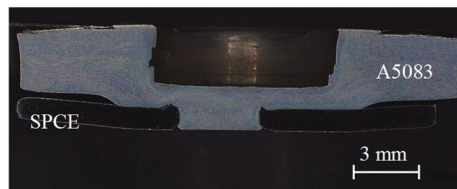


図6 継ぎ手部分の断面

図7および8は、各接合強度試験における試験片の典型的な継手破壊の様子を示している。十字引張試験では、パンチ穴を埋めたアルミニウム合金突起の上側の縁部でせん断領域が観察された。これはインターロックの箇所に対応したものである。さらに、被接合鋼板の曲げにより、慣用せん断穴が変形していることも観察された。一方、引張せん断試験では、継手の破壊後、アルミニウム合金突起の一部が鋼板の穴の内側に残り、せん断領域は鋼板とアルミニウム合金板の接触面と同一面となった。せん断穴と残存するアルミニウム合金との間にはわずかな空間が観察されたが、これは鋼板上の穴がわずかに変形していることを表している。

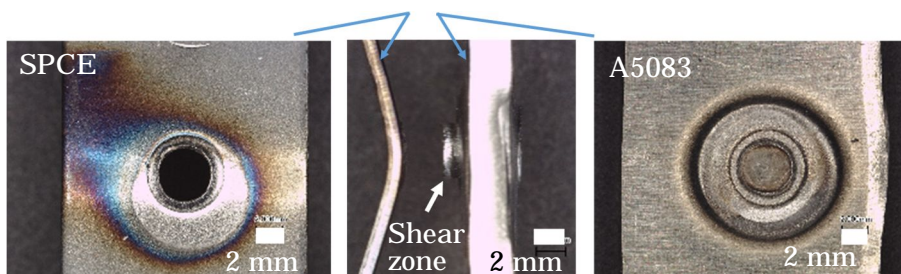


図7 十字引張試験における継手破壊の様子



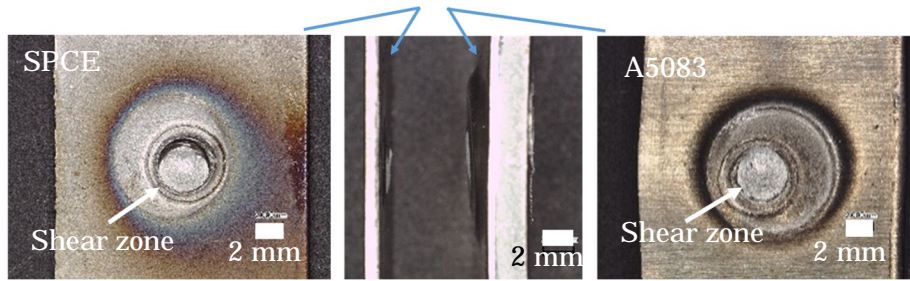


図8 せん断引張試験における継手破壊の様子

図9および図10は、それぞれ十字引張強度(CTS)および引張せん断強度(TSS)のプロットを示す。結果として、CTS とだれのロールオーバーの大きさの間には相関が認められた。

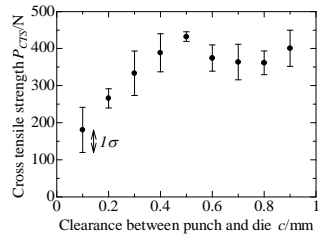


図9 十字引張強度 (N=5)

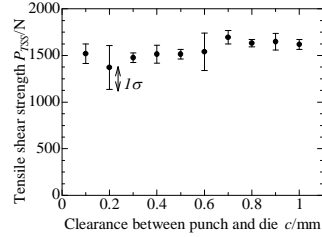


図10 せん断引張強度 (N=5)

#### (iv) 応力集中を考慮した異径円孔列による継手形成と実証実験

##### (1) 異なる直径を有する円孔列からなる下穴

B. Heywood<sup>1)</sup>によると、一軸引張下において、主たる穴の両側に引張軸に沿ってより小さな穴を配置すると、それぞれの穴が単独であるときに比べて応力集中係数が低下する。この結果を本件機械的の接合に应用するため、図11に示すような円孔列の下穴を設計し、摩擦攪拌成形によりリベット状継手(列)を成形することを試みた。

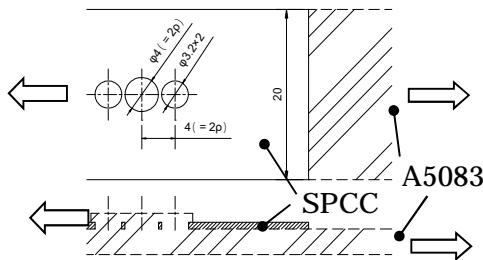


図11 円孔列を用いた継ぎ手の設計

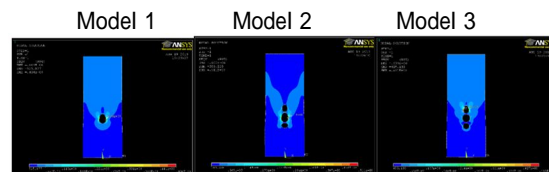


図12 数値解析例

##### (2) 有限要素法シミュレーションによる検証

引張下における B. Heywood による応力集中の調査と異なり、本研究の継手では、板全体の引張力に加え、アルミニウム合金側構造から穴側面に支圧力が作用する。そこで ANSYS(R12.0)を用いた弾性解析により簡単な検証を行った。簡単のため、アルミニウム合金側構造は変形しないものとし、SPCC がアルミニウム合金に押し付けられている境界はすべりが生じないものとした。SPCC 板の長さは 50mm とし、引っ張られた板の端の変位が  $6 \times 10^{-4}$  mm となった時点でのミーゼス応力分布を比較した。アルミニウムを流入させる穴の選択を変えた3つのモデルにて検討した(図12)、モデル2は小円孔周りの変形が大きく、主円孔縁部に生じた最大引張応力はモデル1に比べ3.02%大きくなった。一方でモデル3では小円孔の変形が抑えられ、主円孔周りの応力が低くなった。最大引張応力は主円孔ではなく上の小円孔縁部に発生し、その大きさはモデル1に比べ3.00%小さくなった。

##### (3) モデル3の成形実験と引張せん断試験

幅 20 mm 厚さ 0.8 mm の SPCC 板と幅 20 mm 厚さ 3mm A5083 板を供試材とした。主軸回転数を 1240rpm とし、工具を送らないで穴中心に工具の圧入のみを行った。圧入深さは 2.55mm とした。成形の結果、A5083 材は主円孔、小円孔とともに充満し、機械的接合を形成した(モデル3)。加えて、穴数が1の継手(モデル1)も比較のため同条件で成形した。引張せん断試験を行ったところ、全ての試行で、最初に SPCC 板の円孔の塑性変形が発生し、継手が破壊された。また、円孔列の継手では、上の小円孔が最初に破壊され、しばらく主円孔の継手によって支えられた後に破壊される様子が観察された。せん断強度は、大きなばらつきが見られたが向上傾向にあった。

#### 参考文献

- 1) 西田正孝, 応力集中,(1967),森北出版,pp.455-456.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Ohashi Takahiro, Nishihara Tadashi, Tabatabaei Hamed Mofidi	4. 巻 1016
2. 論文標題 Mechanical Joining Utilizing Friction Stir Forming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 1058 ~ 1064
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4028/www.scientific.net/MSF.1016.1058	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 大橋 隆弘	4. 巻 71-11
2. 論文標題 摩擦攪拌成形による機械的な異材接合の特徴と事例	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 プラスチック（日本プラスチック工業連盟誌）	6. 最初と最後の頁 32 ~ 37
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 Ohashi Takahiro, Wakiyama Kenta, Tabatabaei Hamed Mofidi, Nishihara Tadashi	4. 巻 858
2. 論文標題 Alleviation of Stress Concentration with Rivet-Like Joints Fabricated by Friction-Stir Forming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 33 ~ 38
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.858.33	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 Ohashi Takahiro, Ohno Taiki, Shiraishi Yuki, Tabatabaei Hamed Mofidi, Nishihara Tadashi	4. 巻 853
2. 論文標題 Friction-Stir Spot Mechanical Joining between Hot-Dip 55% Aluminum?Zinc Alloy-Coated Steel Sheet and A5083 Aluminum Alloy Plate Using Conventional Punching	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Key Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 8 ~ 12
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.853.8	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 Ohashi Takahiro, Ohno Taiki, Tabatabaei Hamed Mofidi, Nishihara Tadashi	4. 巻 50
2. 論文標題 Pseudo linear joining for dissimilar materials utilizing punching and Friction Stir Forming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Procedia Manufacturing	6. 最初と最後の頁 98 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.promfg.2020.08.018	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 Ohashi Takahiro, Nishihara Tadashi, Tabatabaei Hamed Mofidi	4. 巻 1016
2. 論文標題 Mechanical Joining Utilizing Friction Stir Forming	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 1058 ~ 1064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/MSF.1016.1058	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22件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 大橋 隆弘、大野 大樹、モフィディ タバタバイ ハメッド、西原 公
2. 発表標題 慣用せん断による予備プロセスを利用した 摩擦攪拌成形による異種材の機械的接合
3. 学会等名 溶接学会 2020年度春季全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋隆弘、大野大樹、白石優樹、モフィディタバタバイハメッド、西原公
2. 発表標題 慣用せん断と摩擦攪拌成形を用いた溶融55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板とA5083アルミニウム合金板の機械的接合
3. 学会等名 軽金属学会 第138回春期大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋 隆弘、大野 大樹、モフィディ タバタバイ ハメッド、西原 公
2. 発表標題 慣用せん断による予備プロセスを利用した摩擦攪拌成形による異種材の機械的接合
3. 学会等名 溶接学会 2020年秋季全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi
2. 発表標題 Friction Stir Forming Approach for Mechanical Joining and Easily-Decomposable Joining Concept
3. 学会等名 2019 the 8th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials (ICAMEM2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋 隆弘, Hamed Mofidi Tabatabaei, 西原 公
2. 発表標題 A5083 アルミニウム合金板における近接する2つの円筒突起の摩擦攪拌成形
3. 学会等名 軽金属学会第136回春期大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi
2. 発表標題 Fastenerless riveting with utilizing friction stir forming
3. 学会等名 2019 3rd International Conference on Composite Material, Polymer Science and Engineering (CMPSE2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Kenta Wakiyama, Hamed Mofidi Tabatabaei and Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Alleviation of Stress Concentration with Rivet-Like Joints Fabricated by Friction-Stir Forming
3. 学会等名 2019 3rd International Conference on Composite Material, Polymer Science and Engineering (CMPSE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋 隆弘, 大野 大樹, ハメッド モフィディ・タバタバイ, 西原 公
2. 発表標題 パンチングと摩擦攪拌成形を利用した異種材接合
3. 学会等名 日本機械学会第27回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋 隆弘, 脇山 健太, Hamed Mofidi Tabatabaei, 西原 公
2. 発表標題 応力集中を考慮した摩擦攪拌成形によるリベット状継手の成形
3. 学会等名 第70回塑性加工連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Hamed Mofidi Tabatabaei and Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Separable Mechanical Joints Fabricated by Friction-Stir Forming in Consideration of Recycling
3. 学会等名 Frontiers in Materials Processing Applications, Research and Technology (3RD FiMPART) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Hamed Mofidi Tabatabaei and Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Dissimilar Materials Joining by Friction Stir Forming with Using Preprocessing to Fabricate Sources for Mechanical Interlocking
3. 学会等名 2020 the 10th International Conference on Advanced Materials Research (ICAMR 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Taiki Ohno, Yuki Shiraishi, Hamed Mofidi Tabatabaei and Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Friction-Stir Spot Mechanical Joining between Hot-Dip 55% Aluminum-Zinc Alloy-Coated Steel Sheet and A5083 Aluminum Alloy Plate using Conventional Punching
3. 学会等名 2020 the 10th International Conference on Advanced Materials Research (ICAMR 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大橋隆弘, モフィディタバタバイハメッド, トンシン, 趙梓捷, 西原公
2. 発表標題 A5083 アルミニウム合金板上の摩擦攪拌プロセスにおけるバックングプレート面圧分布の測定
3. 学会等名 第134回軽金属学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大橋隆弘, 趙梓捷, トンシン, Hamed Mofidi Tabatabaei, 西原公
2. 発表標題 摩擦攪拌成形における金型面圧と成形高さ分布
3. 学会等名 平成30年度塑性加工春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Kento Okuda, Hamed Mofidi Tabatabaei, Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Experimental Study on Cylindrical Extrusions on Aluminium Alloy Plates Fabricated by Friction Stir Forming
3. 学会等名 THERMEC ' 2018 ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi and Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Friction stir forming and its applications for mechanical joining of dissimilar materials
3. 学会等名 International Conference on Metal Material Processes and Manufacturing 2018 ( ICMMPM2018 ) ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Mofidi Hamed Tabatabaei, Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Dissimilar Materials Joining for Multi-Material Products by Friction-Stir Forming
3. 学会等名 European Advanced Materials Congress (EAMC 2018) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 7th International Conference on Engineering and Innovative Materials (ICEIM 2018)
2. 発表標題 Takahiro Ohashi, Tadashi Nishihara
3. 学会等名 Proposal of “ Easily-Decomposable Dissimilar-Materials-Joining ” Concept with Friction Stir Forming ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Hamed Mofidi Tabatabaei, Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Evaluation of material deformability and pressure distribution on die surface around centerline of tool travel in friction-stir forming
3. 学会等名 Metal Forming 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Kento Okuda, Hamed Mofidi Tabatabaei, Tadashi Nishihara
2. 発表標題 Surface Smoothing of A5083 Aluminum Alloy Plate by Friction Stir Forming
3. 学会等名 The 9th International Conference on Advanced Materials Research (ICAMR 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大橋 隆弘, 奥田 健斗, Hamed Mofidi Tabatabaei, 西原 公
2. 発表標題 A5083アルミニウム合金板の摩擦攪拌成形における表面粗さのスペクトル分析
3. 学会等名 第26回機械材料・材料加工技術講演会(M&P2018) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Ohashi, Chihiro Matsui, Hamed Mofidi Tabatabaei, Tadashi Nishihara
2. 発表標題 MECHANICAL JOINING OF CFRP TO ALUMINUM ALLOY PLATE EMPLOYING FRICTION STIR FORMING
3. 学会等名 The 5th Asian Symposium on Materials and Processing (ASMP2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大橋隆弘ほか執筆者:60名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 719
3. 書名 異種材料の接着・接合技術と応用事例	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 異種材接合方法および複合部材	発明者 大橋 隆弘	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-75256	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 異種材接合方法および複合部材	発明者 大橋隆弘	権利者 学校法人国士館
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-200465	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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