

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04247

研究課題名(和文) 機械特性向上のためのフェムト秒レーザーピーニング技術の開発

研究課題名(英文) Development of femtosecond laser peening technique for improving mechanical properties

研究代表者

佐野 智一 (Sano, Tomokazu)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：30314371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：フェムト秒レーザーピーニング技術が確立されたことによって、ピーニング技術の工業的応用範囲拡大が期待される。例えば、水を用いることが出来ない現場や部位(組み上げ後の部品など)への適用が可能となる。また、析出強化を上回る転位強化を施すことも可能になるため、従来法では困難である析出強化型合金の溶接部(ロケット部材)などへの適用が可能となり、宇宙・航空産業に大きく貢献する。さらに、電子デバイスの極小部材やMEMS/NEMSといった熱に弱い部品に対する適用も期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フェムト秒レーザーピーニングによって疲労特性や硬さといった機械特性が向上すること、特異な微細組織が形成されること、さらに圧縮初期過程ではこれまで予想されなかったような超高速でかつ巨大に変形することの相関関係が明らかになった。さらに、フェムト秒レーザーピーニングの最適条件も明らかになり、溶接部のような強度の弱い部位の強化にも成功した。従って、このフェムト秒レーザーピーニングは、新しい「生産加工技術」になり得る可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：Wide range of applications are expected due to the development of the femtosecond laser peening without a sacrificial overlay under atmospheric conditions. This technique can be applied to the places or parts where use of water is prohibited. This technique realizes dislocation strengthening more than precipitation strengthening, that leads application to weld joints of precipitation-strengthened aluminum alloys. Micro/nano parts in electronic devices or MEMS/NEMS can also be strengthened using this technique.

研究分野：材料加工学

キーワード：フェムト秒レーザーピーニング 機械特性向上 フェムト秒レーザー駆動衝撃波

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

申請者らはこれまで、科研費若手研究(B) (H20~H21)、科研費基盤研究(C) (一般) (H21~H23)、科研費基盤研究(S) (H22~H26) において、フェムト秒レーザーパルスを空气中で材料表面に集光照射することによって衝撃波が駆動され材料中を伝播し、このフェムト秒レーザー駆動衝撃波によって高密度転位や準安定構造が形成されることを世界に先駆けて明らかにしてきた。

さらに、科研費基盤研究(C) (一般) (H25~H27) において、フェムト秒レーザー駆動衝撃波を金属表面に 2 次元的に重畳して負荷することにより、金属材料の疲労特性が向上することを見出し、この手法を“フェムト秒レーザーピーニング”と名付けた。また、フェムト秒レーザーピーニングを施した純鉄の表層を透過電子顕微鏡観察したところ、高密度転位を有する特異なナノ結晶が存在することがわかった。このことから、フェムト秒レーザーピーニング過程は従来の強加工プロセスとは機構が異なることが示唆された。

さらに、文部科学省 X線自由電子レーザー重点戦略研究課題 (H24~H28) において申請者らが構築したフェムト秒レーザー駆動衝撃圧縮現象その場計測装置を用いて、ピーニング初期過程の格子ひずみをその場計測したところ、これまで予想されなかった超高速かつ巨大な弾性ひずみが誘起されていることを発見し、それが転位の核生成を誘起し高密度転位を形成することを示した。

材料の機械特性を向上させるピーニング手法としては、ショットピーニングやナノ秒レーザーピーニングといった多くの手法が既に実施工で用いられており、非常に有用な手法である。しかしながらこれまで、非接触かつ水などの媒質を必要としない手法は存在しなかった。申請者らが考案した“フェムト秒レーザーピーニング”は、これを可能とするものである。また固体のフェムト秒レーザー駆動衝撃圧縮現象の解明は、申請者らが世界に先駆けて行っている。

フェムト秒レーザーピーニング技術が確立されることによって、ピーニング技術の工業的応用範囲が大きく広がる。例えば、水を用いることが出来ない現場や部位（組み上げ後の部品など）への適用が可能となる。また、析出強化を上回る転位強化を施すことが可能になれば、従来法では困難である析出強化型合金の溶接部（ロケット部材）などへの適用が可能となり、宇宙・航空産業に大きく貢献する。さらに、電子デバイスの極小部材や MEMS/NEMS といった熱に弱い部品に対しても適用出来る。このように、軽薄短小から重厚長大にいたる多くの産業分野での適用が期待されることから、本研究は学術的に独創的であるだけでなく、応用的にも革新的であると言える。

2. 研究の目的

このように申請者らはこれまでの研究で、フェムト秒レーザーピーニングによって疲労特性や硬さといった機械特性が向上すること、特異な微細組織が形成されること、さらに圧縮初期過程ではこれまで予想されなかったような超高速でかつ巨大に変形することを見出してきた。しかしながら、これらの相関関係は明らかになっていない。また、フェムト秒レーザーピーニングの最適条件も明らかになっておらず、「生産加工技術」としては確立されていない。

そこで本研究では、機械特性を向上させるための「生産加工技術」としてのフェムト秒レーザーピーニング技術の確立を最終目標として、これを達成するために下記の研究項目に取り組む。

- (1) フェムト秒レーザーピーニング施工条件が機械特性および微細組織に及ぼす影響の評価
- (2) フェムト秒レーザーピーニング効果発現機構の解明とモデル構築
- (3) 新しいレーザーパラメーターの導入および施工条件の最適化
- (4) フェムト秒レーザーピーニングによる溶接継手の性能向上

3. 研究の方法

本研究ではフェムト秒レーザーピーニング技術の航空機部品への適用を目指しているため、航空機産業で広く用いられている 3 種類のアルミニウム合金 A2024-T3、A6061-T6、A7075-T73 を用いる。合金元素の影響を評価するために純度 99.99% の純アルミニウムと、結晶構造の違いを評価するために純度 99.99% あるいは 99.999% の純鉄を、比較材料として用いる。

- (1) フェムト秒レーザーピーニング施工条件が機械特性および微細組織に及ぼす影響の評価

●フェムト秒レーザーピーニング施工条件

レーザー波長：800 nm（固定）、パルス幅：130 fs（固定）、パルスエネルギー：現状では最大パルスエネルギーが 0.6 mJ であり、これ以上のパルスエネルギーで施工したときの結果を取得していないため、ポッケルスセルを新たに購入し設置することによって最大エネルギーを 1.2 mJ とし、より広い範囲の条件で処理を行う。カバレッジ（1 点あたりの照射回数）：400, 1600, 2500 などと照射密度を変化させるだけでなく、平面内で直交する x 方向と y 方向の照射間隔も変化させる。集光方法：平凸レンズ、反射対物レンズ、収差補正レンズの 3 種類を用い、さらに焦点距離の異なるそれぞれのレンズも用いる。雰囲気：大気（固定）。これらの条件で施工した試料の機械特性および微細組織を、下記の要領で評価する。

(1-1) 機械特性評価：硬さ、残留応力、疲労特性、耐食性、強度

硬さ：ピーニング処理した表面のビッカース硬さを調べる。影響層は 100 μm 程度であることがわかっているため、断面の硬さはナノインデンテーションを用いて調べる。残留応力：X線による $2\theta - \sin^2\psi$ 法あるいは $\cos\alpha$ 法を用いて残留応力を測定する。表層を逐次電解研磨し除去することによって深さ方向の残留応力分布を求める。また必要に応じて、校正のためにひずみスキ

ヤニング法による非破壊での X 線残留応力測定を BL22XU @ SPring-8 で実施する。疲労特性：板厚 3 mm の平板曲げ疲労試験と、丸棒の回転曲げ疲労試験を実施する。丸棒を施工するための加工ステージを有していないため、新たに購入する。耐食性：塩水噴霧試験を実施する。強度：ピーニング処理部の微小試験片を準備し、微小引張試験を実施する。

(1-2) 微細組織評価：転位密度、転位構造、析出物の状態、塑性ひずみ

TEM を用いて微細組織、特に転位構造と析出物の状態を観察する。TEM 観察結果から転位密度を算出する。EBSD を用いて、塑性ひずみ状態を調べる。

(2) フェムト秒レーザーピーニング効果発現機構の解明とモデル構築

(2-1) 機械特性と微細組織の相関関係の明確化

パルスエネルギー 0.6 mJ、カバレッジ 700 % で施工することによって、純鉄の表層に高密度転位を有する特異なナノ結晶が形成されることがわかっている。また、深くなるにつれてナノ結晶では無くなり、転位構造も変化することがわかっている。このような微細組織の変化と機械特性との相関関係を明確にする。

(2-2) 微細組織とその場計測結果の相関関係の明確化

圧縮初期過程において超高速かつ巨大に変形し、それが転位の核生成を誘起し高密度転位を形成することが示唆された。(1) の結果と(2-1)に基づき、このモデルをより具体的に描写する。

(2-3) 圧縮過程の温度計算

申請者らのこれまでの研究に基づき、平面衝撃波頭および球面衝撃波頭における鋭い圧力勾配中の温度を表す恒等式を導出し、温度分布を求める。

(2-4) 機構解明とモデル構築

(1) および(2-1)、(2-2)、(2-3)の結果に基づき、現存する衝撃圧縮下の転位導入モデルであるスミスモデル [C.S. Smith, Trans. AIME 212 (1958) 574.] に改良を加え、フェムト秒レーザー駆動衝撃圧縮下の転位導入モデルを構築し、これが重畳することによってピーニング効果が発現する機構を解明する。

4. 研究成果

アルミニウム材料 (2024-T3 アルミニウム合金) をレーザー溶接することにより、一枚の板の中に溶融凝固し軟化した部分と、溶融していないが熱影響を受け軟化した部分を形成した (図 1)。レーザー溶接によって軟化した部分とレーザー溶接の影響を受けていない部分の両方にフェムト秒レーザーパルス (波長 800 nm、パルス幅 130 fs、パルスエネルギー 0.6 mJ) を集光照射することによって、それぞれに原子スケール損傷を導入し、機械特性を評価した。

フェムト秒レーザー加工がレーザー溶接による軟化部の表面硬さに及ぼす影響を評価するため、試験片表面のマイクロビッカース硬さ試験を行った。フェムト秒レーザー加工前に試験片表面を粒径約 1 μm のダイヤモンドを用いたバフ研磨により鏡面とし、フェムト秒レーザー加工による原子スケール損傷導入を施した。硬さ試験を行う前に、フェムト秒レーザー加工により付着したデブリを粒径 1 μm のダイヤモンド粒子を用いたバフ研磨により除去し、粒径 40 nm のコロイダルシリカ懸濁液を用いた機械化学研磨による機械研磨加工層の除去を行った。測定間隔 200 μm でビード中心から ± 10 mm の領域に対し、荷重 200 g で負荷時間 15 s の条件で硬さ試験を行った。測定誤差を減らすため 3 回測定を行いその平均値をその位置での硬さとした。

試験片母材硬さは約 138 HV である。フェムト秒レーザー加工前の試験片では溶融凝固部の硬さが著しく減少していることが確認された。溶融凝固部の硬さは約 100 HV であり、母材硬さと比較して約 30 HV 硬さが低下した。硬さ試験は溶接後 15 ヶ月経過後に行ったため、自然時効は完了している。溶融凝固部では、析出強化に寄与する Mg 元素が溶接時に蒸発したために、自然時効後に析出強化することが出来ず、硬さが低下したと考えられる。さらにビード中心から約 4 mm までの領域では、硬さが約 130 HV であり、母材硬さと比較して約 10 HV 硬さが低下した。この領域は熱影響部であると考えられ、析出物および結晶粒の粗大化により硬さが低下したと考えられる。フェムト秒レーザー加工によって試験片全体の表面硬さが向上することが確認された。溶融凝固部では、フェムト秒レーザー加工により硬さが約 30 HV 向上した。母材および熱影響部でも硬さが向上し、硬さがそれぞれ約 34 HV、40 HV 向上した。

フェムト秒レーザー加工がアルミニウム合金の疲労特性に及ぼす影響を評価するために平板曲げ疲労試験を行った。疲労試験はシエク式平板曲げ疲労試験機 (東京衡機製、PBF-30 型) を用い、完全両振りで行った。

フェムト秒レーザー加工前の試験片の疲労寿命は母材と比較して大きく減少することが確認された。フェムト秒レーザー加工を施すことによって、疲労寿命が向上することが確認された。応力振幅 180 MPa では、フェムト秒レーザー加工後の試験片の疲労寿命は加工前と比較して約 2 倍延伸した。また応力振幅 120 MPa では、50 倍以上疲労寿命が延伸したことが確認された。このように、フェムト秒レーザー加工を施すことによって比較的低応力振幅で疲労寿命が大きく延伸することがわかった。

フェムト秒レーザー加工が溶融凝固部の金属組織に及ぼす影響を評価するために、試料表層の原子スケール損傷 (転位構造) を透過型電子顕微鏡により観察した。フェムト秒レーザー加工を施した試料を集束イオンビーム (FIB: Focused Ion Beam, 日立製作所製 FB2000-A) (30 keV Ga+) によって加工し、約 100 nm の厚さの薄片化試料を作製した。また、イオンビームによる試料表

層への損傷を防ぐために、FIB加工の前に試料表面に金およびタングステンを製膜した。TEM観察は200 kVの加速電圧で行った。

フェムト秒レーザー加工を施すことにより、表面10 μm程度の領域に高密度の転位が導入されていることが確認された。フェムト秒レーザー加工材では最表面に厚さ約600 nmの熔融凝固層が形成されていることが確認された。また、熔融凝固層にも転位が導入されていることが確認された。さらに、この熔融凝固層直下の固相で転位がより高密度に導入されていることが確認された。

TEM観察結果を用いて転位密度を計算した。その結果、フェムト秒レーザー加工材の熔融凝固層直下の固相では転位密度が $5.1 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ となり、未加工材の約5倍の転位密度となっていることが確認された。

フェムト秒レーザー加工が溶接試験片の残留ひずみに及ぼす影響を評価するために、透過型ひずみスキャン法による非破壊残留応力測定を行い、試験片表面および深さ方向の残留ひずみ分布を測定した。残留ひずみ測定はSPring-8の原子力機構専用ビームラインBL22XUで実施した。試験片表面の残留ひずみ分布を測定する際には、溶接線に対して垂直方向のひずみを溶接中心から10 mm離れた位置まで測定した。またそれぞれ測定点において、幅200 μm、深さ方向50 μmの領域のひずみを測定した。残留ひずみの深さ分布は、ビード中心から0 mm, 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm離れた位置で溶接線に対し垂直方向で表面から280 μmの深さまで測定した。表面から深さ40 μmまでは深さ方向の分解能を10 μmとし、5 μm間隔で測定を行った。深さ40 μmから280 μmまでは深さ方向の分解能を30 μmとし、30 μm間隔で測定を行った。 $\lambda = 0.04131 \text{ nm}$ (30.013 keV)の放射光X線を入射し、(311)の回折角を用いて測定を行った。(311)の回折角は $2\theta = 19.56 \text{ deg}$ であり、X線の弾性定数としてヤング率 $E = 61.7 \text{ GPa}$ を用いて残留応力を見積もった。無ひずみの格子面間隔は $d_0 = 0.12196 \text{ nm}$ であった。得られた回折プロファイルをGauss関数でフィッティングすることによって回折角を求めた。

溶接ままの試料の表面では、熔融凝固部および熱影響部で引張残留応力が発生していることが確認された。そしてその外側の母材領域では部材内での平衡を保つために圧縮残留応力が発生していることが確認された。このように、このレーザー溶接試験片では、一般的な溶接試験片における残留応力分布と同様となることが確認された。溶接試験片にフェムト秒レーザー加工を施すことによって圧縮残留応力が付与されることが確認された。全体として計測値のばらつきが大きいですが、熔融凝固部および熱影響部に付与される圧縮残留応力の値は同程度である傾向が確認された。しかしながら、母材部に付与される圧縮残留応力の値と比較すると約100 MPa程度小さいことが確認された。これは、熔融凝固部および熱影響部では、溶接後に引張残留応力が発生するため、付与される圧縮残留応力の大きさが低下したためと考えられる。

フェムト秒レーザー加工前の試験片では、余盛止端部および熱影響部に50 MPa程度の引張残留応力が試料内部にも存在することが確認された。一方、フェムト秒レーザー加工により、これらの領域に対し圧縮残留応力が付与されることが確認された。圧縮残留応力の付与深さは約100 μmであることが確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kawashima Terumasa, Sano Tomokazu, Hirose Akio, Tsutsumi Seiichiro, Masaki Kiyotaka, Arakawa Kazuto, Hori Hisashi	4. 巻 262
2. 論文標題 Femtosecond Laser Peening of Friction Stir Welded 7075-T73 Aluminum Alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Processing Technology	6. 最初と最後の頁 111 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.06.022	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 Trdan Uros, Sano Tomokazu, Klobcar Damjan, Sano Yuji, Grum Janez, Sturm Roman	4. 巻 143
2. 論文標題 Improvement of corrosion resistance of AA2024-T3 using femtosecond laser peening without protective and confining medium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Corrosion Science	6. 最初と最後の頁 46 ~ 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.030	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 Seiichiro Tsutsumi, Kazushi Ueda, Reccardo Fincato, and Tomokazu Sano	4. 巻 35
2. 論文標題 Dynamic Thermo-Elasto-Plasticity FE Analysis on Nano- and Femto-second Laser Shock Peenings for a Ferrite Material	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Quarterly Journal of the Japan Welding Society	6. 最初と最後の頁 151s-154s
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2207/qjws.35.151s	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 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Ryota Kashiwabara, Tomoki Matsuda, Yutaro Isshiki, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kazuto Arakawa, Tadafumi Hashimoto, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano	4. 巻 29
2. 論文標題 Femtosecond laser peening of 2024 aluminum alloy without a sacrificial overlay under atmospheric conditions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Laser Applications	6. 最初と最後の頁 012005-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.2351/1.4967013	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 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Yosuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Kiyotaka Masaki, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Yuji Sano	4. 巻 9
2. 論文標題 Improving Fatigue Performance of Laser-Welded 2024-T3 Aluminum Alloy using Dry Laser Peening	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 1192_1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/met9111192	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 Masaki Kasuga, Tomokazu Sano, Akio Hirose	4. 巻 1
2. 論文標題 Grain refining in weld metal using short-pulsed laser ablation during CW laser welding of 2024-T3 aluminum alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Extreme Manufacturing	6. 最初と最後の頁 045003_1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1088/2631-7990/ab563a	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46件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 30件)

1. 発表者名 Tomokazu Sano
2. 発表標題 Ultrafast Sstructural Behavior in Shock-compressed Iron Probed Using XFEL
3. 学会等名 Materials Science & Technology 2018 (MS&T18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomokazu Sano
2. 発表標題 Dry laser peening for improving fatigue properties of aluminum alloys using femtosecond laser pulses
3. 学会等名 Photonics Asia 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐野智一
2. 発表標題 フェムト秒レーザアブレーション中の鉄の格子ひずみのXFELによるその場計測
3. 学会等名 第2回レーザー学会「ユビキタス・パワーレーザー」専門委員会・第2回科学技術交流財団「マイクロ固体フォトニクス」研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Terumasa Kawashima, Akio Hirose, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Yuji Sano
2. 発表標題 A Consideration of the Mechanism of Femtosecond Laser Peening through XRD Study of Single Crystal Aluminum
3. 学会等名 7th International Conference on Laser Peening and Related Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano
2. 発表標題 Dry Laser Peening: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions
3. 学会等名 7th International Conference on Laser Peening and Related Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaki Kasuga, Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano
2. 発表標題 Investigation of Material Properties of Femtosecond Laser-Peened 2024 Aluminum Alloy without Coating and Plasma Confinement Medium
3. 学会等名 7th International Conference on Laser Peening and Related Phenomena (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Sano
2. 発表標題 A New Laser Peening Technique for Improving Fatigue Properties of Metals: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions
3. 学会等名 12th International Fatigue Congress (FATIGUE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐野智一
2. 発表標題 ドライレーザピーニングによるアルミニウム溶接継手の疲労特性向上：放射光X線による非破壊ひずみ計測とXFELによる動的ひずみ計測
3. 学会等名 社団法人日本材料学会 第335回疲労強度部門委員会・第189回X線材料強度部門委員会「合同部門委員会」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐野智一
2. 発表標題 新しいレーザピーニング技術 ～犠牲層を用いない大気中で施工可能なドライレーザピーニング～
3. 学会等名 第89回レーザ加工学会講演(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 春日仁希, 佐野智一, 詠村嵩之, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝
2. 発表標題 フェムト秒レーザピーニング処理を施した2024アルミニウム合金の材料特性
3. 学会等名 第89回レーザ加工学会講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Hisashi Hori
2. 発表標題 Improvement of fatigue properties of friction stir welded 2024 aluminum alloy using femtosecond laser peening
3. 学会等名 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRICTION BASED PROCESSES (ICFP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Hisashi Hori, Kiyotaka Masaki, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu
2. 発表標題 Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions for Improving Fatigue Properties of Laser-welded and FSWed 2024 Aluminum Alloys
3. 学会等名 Materials Science & Technology 2017 (MS&T17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Terumasa Kawashima, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, Hisashi Hori
2. 発表標題 Improvement of Fatigue Properties of Friction Stir Welded 7075-T73 Aluminum Alloy Using Femtosecond Laser Peening
3. 学会等名 Materials Science & Technology 2017 (MS&T17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Sano
2. 発表標題 DRY LASER PEENING TECHNIQUE: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions
3. 学会等名 OSA Laser Congress 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Sano
2. 発表標題 A NEW LASER PEENING TECHNIQUE: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions
3. 学会等名 13th International Conference on Shot Peening (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川嶋光将, 佐野智一, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝, 堀久司
2. 発表標題 アルミニウム合金7075の摩擦攪拌接合継手のフェムト秒レーザピーニング
3. 学会等名 (一社)溶接学会平成29年度秋季全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Sano
2. 発表標題 DRY LASER PEENING TECHNIQUE: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions for Improving Fatigue Properties of Weld Joints
3. 学会等名 70th IIW Annual Assembly and International Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐野智一
2. 発表標題 超短パルスレーザー駆動衝撃波が拓く新しい材料科学・工学 ~新物質創成と機械的特性向上~
3. 学会等名 第9回レーザー学会「マイクロ固体フォトンクス」専門委員会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano
2. 発表標題 Improving Fatigue Properties of Laser Welded 2024 Aluminum Alloy using Femtosecond Laser Peening
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Sano, T. Eimura, R. Kashiwabara, T. Matsuda, A. Hirose, S. Tsutsumi, K. Arakawa, K. Masaki, and Y. Sano
2. 発表標題 Femtosecond laser peening of 2024 aluminum alloy without sacrificial overlay under atmospheric conditions
3. 学会等名 The Second Smart Laser Processing Conference (SLPC) 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 堤成一郎, 植田一史, 佐野智一, 崎野良比呂
2. 発表標題 疲労強度向上を目的としたレーザーピーニング技術に関する数値解析的検討
3. 学会等名 第19回応用力学シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 詠村嵩之, 佐野智一, 廣瀬明夫, 川人洋介, 片山聖二, 堤成一郎, 政木清孝, 佐野雄二
2. 発表標題 アルミニウム合金A2024のレーザー溶接部の機械的特性に及ぼすフェムト秒レーザーピーニングの影響
3. 学会等名 第85回レーザー加工学会講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川嶋光将, 佐野智一, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝, 堀久司
2. 発表標題 摩擦攪拌接合継手への適用を目指したアルミニウム合金7075のフェムト秒レーザピーニング
3. 学会等名 第85回レーザ加工学会講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Sano, T. Eimura, A. Hirose, S. Tsutsumi, M. Mizutani, Y. Kawahito, S. Katayama, K. Arakawa, A. Shiro, T. Shobu, K. Masaki, Y. Sano
2. 発表標題 Femtosecond laser peening for improvement of fatigue properties of laser welded 2024 aluminum alloy
3. 学会等名 10th International Conference on Residual Stresses (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Sano, T. Eimura, A. Hirose, S. Tsutsumi, M. Mizutani, Y. Kawahito, S. Katayama, K. Arakawa, A. Shiro, T. Shobu, K. Masaki, Y. Sano
2. 発表標題 Femtosecond laser peening for improvement of fatigue properties of laser welded 2024 aluminum alloy
3. 学会等名 69th IIW Annual Assembly and International Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 葛蒲敬久, 城鮎美, 安田良, 岩田匠平, 詠村嵩之, 川嶋光将, 佐野智一
2. 発表標題 フェムト秒レーザピーニング処理した金属極表層の非破壊残留応力、転位密度評価
3. 学会等名 第50回X線材料強度に関するシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Kawashima, T. Sano, S. Tsutsumi, A. Hirose, and K. Masaki
2. 発表標題 Femtosecond laser-peening of 7075-T73 aluminum alloy
3. 学会等名 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Einura, T. Sano, A. Hirose, S. Tsutsumi, K. Masaki, K. Arakawa, and Y. Sano
2. 発表標題 Improvement of fatigue properties of 2024-T3 Aluminum alloy using femtosecond laser-peening
3. 学会等名 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 川嶋光将, 佐野智一, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝, 堀久司
2. 発表標題 摩擦攪拌接合継手への適用を目指したアルミニウム合金7075のフェムト秒レーザーピーニング
3. 学会等名 溶接学会平成28年度秋季全国大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 詠村嵩之, 松田朋己, 佐野智一, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 菖蒲敬久, 城鮎美, 荒河一渡, 政木清孝, 佐野雄二
2. 発表標題 フェムト秒レーザーピーニングによる2024アルミニウム合金の疲労特性向上
3. 学会等名 溶接学会平成28年度秋季全国大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 政木清孝, 佐野智一, 佐野雄二
2. 発表標題 フェムト秒レーザーピーニング処理によるA2024共材FSW継手の平面曲げ疲労特性改善
3. 学会等名 日本機械学会 M&M2016 材料力学カンファレンス
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Terumasa Kawashima, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, and Hisashi Hori
2. 発表標題 Femtosecond laser peening of friction stir welded 7075-T73 aluminum alloy
3. 学会等名 The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation (Visual-JW) 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takayuki Eimura, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichirou Tsutsumi, Masami Mizutani, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, and Yuji Sano
2. 発表標題 Effects of femtosecond laser peening on fatigue properties of laser-welded 2024 aluminum alloy
3. 学会等名 The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation (Visual-JW) 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takayuki Eimura, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichirou Tsutsumi, Masami Mizutani, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, and Yuji Sano
2. 発表標題 Improvement of Fatigue Properties of Laser-welded 2024-T3 Aluminum Alloy Using Femtosecond Laser Peening
3. 学会等名 Materials Science & Technology 2016 (MS&T'16) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐野智一
2. 発表標題 フェムト秒レーザピーニングの基礎と応用
3. 学会等名 LMPシンポジウム2017 レーザ加工技術の基礎・応用と最新動向（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐野智一
2. 発表標題 フェムト秒レーザピーニングによるアルミニウム合金の疲労特性向上
3. 学会等名 平成28年度第2回残留ひずみ・応力解析研究会 微細構造解析プラットフォーム第2回放射光利用研究セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Yosuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano
2. 発表標題 Dry Laser Peening for Improving Fatigue Properties of Laser Welded 2024-T3 Aluminum Alloy using Femtosecond Laser Pulses
3. 学会等名 The 7th Laser Ignition and Giant-microphtonics Conference (LIC2019)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Yosuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano
2. 発表標題 Dry Laser Peening for Improving Fatigue Properties of Laser Welded 2024-T3 Aluminum Alloy using Femtosecond Laser Pulses
3. 学会等名 The 8th International Congress on Laser Advanced Materials Processing (LAMP2019)（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomokazu Sano
2. 発表標題 Femtosecond laser-driven shock compression of solids and its engineering applications
3. 学会等名 International Symposium Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies (FLAMN2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomokazu Sano
2. 発表標題 Dry laser peening for improving fatigue properties of weld joints of 2024 aluminum alloys
3. 学会等名 The 72nd IIW Annual Assembly and International Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野智一, 佐野雄二, 崎野良比呂, 政木清孝
2. 発表標題 レーザーピーニングのインフラへの適用検討 4 (水を使用しない新しいレーザーピーニング技術による構造材料の疲労寿命延長)
3. 学会等名 日本機械学会 2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomokazu Sano
2. 発表標題 Dry laser peening for improving fatigue properties of aluminum alloys
3. 学会等名 2nd European Workshop on Laser Peening and Related Phenomena (LSP Days 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaki Kasuga, Tomokazu Sano, Akio Hirose
2. 発表標題 Grain refining using pulsed laser ablation during CW laser welding of 2024-T3 aluminum alloy
3. 学会等名 2nd European Workshop on Laser Peening and Related Phenomena (LSP Days 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Itsuki Nishibata, Tomokazu Sano, Tomoki Matsuda, Akio Hirose
2. 発表標題 Femtosecond laser peening of pure iron
3. 学会等名 2nd European Workshop on Laser Peening and Related Phenomena (LSP Days 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Yosuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano
2. 発表標題 Dry Laser Peening for Improving Fatigue Properties of Laser Welded 2024-T3 Aluminum Alloy using Femtosecond Laser Pulses
3. 学会等名 Photonics Asia 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose
2. 発表標題 Improving Fatigue Properties of Friction Stir-Welded/Laser-Welded 2024 Aluminum Alloys Using Dry Laser Peening
3. 学会等名 14th International Aluminium Conference (INALCO) (国際学会)
4. 発表年 2019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	松田 朋己 (Matsuda Tomoki) (30756333)	大阪大学・工学研究科 ・助教 (14401)	
研究分担者	廣瀬 明夫 (Hirose Akio) (70144433)	大阪大学・工学研究科 ・教授 (14401)	
連携研究者	荒河 一渡 (Arakawa Kazuto) (30294367)	島根大学・総合理工学研究科・教授 (15201)	
連携研究者	犬伏 雄一 (Inubushi Yuichi) (40506250)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・XFEL利用研究推進室・研究員 (84502)	
連携研究者	細貝 知直 (Hosokai Tomonao) (80361533)	大阪大学・産業科学研究所・教授 (14401)	
連携研究者	堤 成一郎 (Tsutsumi Seiichiro) (70344702)	大阪大学・接合科学研究所・准教授 (14401)	