

令和元年6月10日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14417

研究課題名(和文) 超高ひずみ速度変形下の格子ひずみのその場計測による転位挙動解明

研究課題名(英文) In-situ measurement of dislocation behavior under ultrafast strain rate deformation

研究代表者

佐野 智一 (Sano, Tomokazu)

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：30314371

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：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理化学研究所播磨事業所に建設されたX線自由電子レーザー施設SACLAに構築した。BCC構造である純鉄と、強加工によって結晶粒径をナノメートルオーダーにしたバルクナノ鉄、およびFCC構造である純ニッケルをフェムト秒レーザー誘起衝撃波で圧縮した初期過程の格子ひずみをその場計測した。その結果、超高速ひずみ変形下では塑性の発現機構が従来法とは異なることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでに無かった新しい塑性変形機構を提唱出来、この機構を利用することによって、これまで従来法では強化することが難しかった材料の強化が可能になった。例えば、CO2削減のため自動車の軽量化が進められており、このことを実現するために軽量で高強度である高張力鋼板が用いられている。ところが、この高張力鋼板を後処理でさらに強度を上げることは極めて難しい。その理由は、既に臨界密度に近い転位を内在しているためである。本研究によって、転位を効率的に追加することが出来るようになり、マクロ的にはさらなる高強度化が見込まれた。

研究成果の概要(英文)：We constructed an in-situ measurement system for femtosecond laser-driven shock compression phenomena at the X-ray free electron laser facility SACLA built at Harima Office, RIKEN. We measured in-situ lattice strain at an early stage of femtosecond laser-induced shock wave compression of pure iron which is a BCC structure, bulk nano iron whose crystal grain size is reduced to nanometer order by severe plastic deformation, and pure nickel which is FCC structure. As a result, it was shown that the mechanism of plasticity generation is different from that of the conventional method under ultrafast strain-rate deformation.

研究分野：レーザー加工

キーワード：転位挙動 超高速変形 フェムト秒レーザー ピーニング X線自由電子レーザー

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-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 [Appl. Phys. Lett. 83, 3498 (2003), J. Appl. Phys. 110, 126103 (2011), J. Appl. Phys. 116, 183506 (2014), Nature Physics (under review)]. また、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表面に重畳して負荷した純鉄の表層を透過電子顕微鏡観察したところ、図1に示すような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 [Appl. Phys. Lett. 105, 021902 (2014)]. このことから、フェムト秒レーザー駆動衝撃圧縮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。

2. 研究の目的

申請者らはこれまでの研究で、純鉄のフェムト秒レーザー駆動衝撃圧縮によって高密度転位を有する特異なナノ結晶が形成されその過程は従来の強加工プロセスとは異なること、さらに圧縮初期過程で超高速かつ巨大に変形することを見出してきた。一般に、超高ひずみ速度を実現するには、超高速転位あるいは転位の超高速増加が必要となる。しかしながら、この現象は微視的すなわち格子欠陥レベルではいまだ満足に説明されていない。本研究の目的は、超高ひずみ速度で物質が変形する際の転位の挙動を X 線で直接計測することによって、超音速転位あるいは転位を介在しない塑性すべりの存在を調べ、衝撃波頭背後での転位核生成モデルを新たに構築することによって、超高ひずみ速度変形の機構を明らかにすることである。

3. 研究の方法

理化学研究所 播磨事業所の X 線自由電子レーザー施設 SACLA において実験を行う。超高ひずみ速度変形を誘起するフェムト秒レーザーパルスを試料表面に集光照射する。フェムト秒レーザーパルスが照射された箇所に、ある時間遅れて X 線自由電子レーザーパルスを照射し、そこから回折・散乱した X 線を 2 次元検出器に記録する。そうして、弾性ひずみおよび塑性ひずみの時間進展を明らかにする。BCC 構造、FCC 構造、HCP 構造の 3 種類の材料に対して、初期状態として転位が動きやすい状態と動きにくい状態の 2 種類を用い、転位が動きやすい面と動きにくい面の挙動を調べる。実験結果と分子動力学計算結果の両面から、超高ひずみ速度変形下での転位の挙動を描写し、機構解明に取り組む。

4. 研究成果

- (1) 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理化学研究所 播磨事業所に建設された X 線自由電子レーザー施設 SACLA に構築し、純鉄の圧縮初期過程の格子ひずみをその場計測した。衝撃波を駆動するのに用いたフェムト秒レーザーの波長は 800 nm、パルス幅は 40 fs、パルスエネルギーは 100 mJ であった。その結果、鉄はレーザー照射後 50 ps 以内に 1.8×10^9 /s の超高ひずみ速度で 22 GPa に相当する応力で圧縮され、その後 100 ps の間に 4×10^8 /s の超高ひずみ速度で圧力負荷方向に膨張しつつ体積としては圧縮されることを発見し、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が示唆された。
- (2) 理化学研究所 播磨事業所 X 線自由電子レーザー施設 SACLA に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、強加工によって結晶粒径をナノメートルオーダーにしたバルクナノ鉄の圧縮初期過程の格子ひずみをその場計測した。衝撃波を駆動するのに用いたフェムト秒レーザーの波長は 800 nm、パルス幅は 40 fs、パルスエネルギーは 100 mJ であった。デバイリングを取得する面は、主すべり面である 110 面と、主すべり面から大きく外れた 100 面とした。その結果、110 面と 100 面とで異なる圧縮挙動が観測された。この理由は、転位の核生成と転位の可動度の面方位依存性に起因すると考えられる。
- (3) 理化学研究所 播磨事業所 X 線自由電子レーザー施設 SACLA に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、FCC 構造である純ニッケルの圧縮初期過程の格子ひずみをその場計測した。衝撃波を駆動するのに用いたフェムト秒レーザーの波長は 800 nm、パルス幅は 40 fs、パルスエネルギーは 100 mJ であった。デバイリングを取得する面は、主すべり面である 111 面と、主すべり面から大きく外れた 200 面とした。その結果、111 面と 200 面とで異なる圧縮挙動が観測された。本萌芽研究では、BCC 構造である純鉄と、FCC 構造である純ニッケルの衝撃圧縮初期課程の格子ひずみ挙動を調べた。その結果、超高速ひずみ変形下では塑性の発現機構が従来法とは異なることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 4 件)

- (1) Terumasa Kawashima, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, Kazuto Arakawa, Hisashi Hori, "Femtosecond Laser Peening of Friction Stir Welded 7075-T73 Aluminum Alloys," *Journal of Materials Processing Technology* 262, 111-122 (2018), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.06.022> (査読有)
- (2) Uroš Trdan, Tomokazu Sano, Damjan Klobčar, Yuji Sano, Janez Grum, Roman Šturm, "Improvement of corrosion resistance of AA2024-T3 using femtosecond laser peening without protective and confining medium," *Corrosion Science* 143, 46-55 (2018), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.08.030> (査読有)
- (3) Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Ryota Kashiwabara, Tomoki Matsuda, Yutaro Isshiki, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kazuto Arakawa, Tadafumi Hashimoto, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano, "Femtosecond laser peening of 2024 aluminum alloy without a sacrificial overlay under atmospheric conditions," *J. Laser Appl.* 29, 012005_1-7 (2017), DOI: <http://lia.scitation.org/doi/10.2351/1.4967013> (査読有)
- (4) Seiichiro Tsutsumi, Kazushi Ueda, Reccardo Fincato, and Tomokazu Sano, "Dynamic Thermo-Elasto-Plasticity FE Analysis on Nano- and Femto-second Laser Shock Peenings for a Ferrite Material," *Quarterly Journal of the Japan Welding Society* 35, 151s-154s (2017), DOI: <https://doi.org/10.2207/qjws.35.151s> (査読有)

〔学会発表〕 (計 50 件)

- (1) Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Yosuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano, "Dry Laser Peening for Improving Fatigue Properties of Laser Welded 2024-T3 Aluminum Alloy using Femtosecond Laser Pulses," *The 8th International Congress on Laser Advanced Materials Processing (LAMP2019)*, Hiroshima, Japan, May 21-24, 2019.
- (2) Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Yosuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano, "Dry Laser Peening for Improving Fatigue Properties of Laser Welded 2024-T3 Aluminum Alloy using Femtosecond Laser Pulses," *The 7th Laser Ignition and Giant-microphtonics Conference (LIC2019)*, Yokohama, Japan, April 22-26, 2019. [Invited Talk]
- (3) 佐野 智一, "フェムト秒レーザによるドライレーザーピーニングとそのメカニズム," 平成30年度第2回残留ひずみ・応力解析研究会, 研究社英語センター大会議室, 2019年3月19日. [依頼講演]
- (4) Tomokazu Sano, "Ultrafast Sstructural Behavior in Shock-compressed Iron Probed Using XFEL," *Materials Science & Technology 2018 (MS&T18)*, Greater Columbus Convention Center, Columbus, Ohio, USA, Oct. 14-18, 2018.
- (5) Tomokazu Sano, "Dry laser peening for improving fatigue properties of aluminum alloys using femtosecond laser pulses," *Photonics Asia 2018*, Beijing International Convention Center, Oct. 11-13, 2018.
- (6) Tomokazu Sano, "Dry Laser Peening: A New Laser Peening Technique without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions using Femtosecond Laser Pulses," *International Workshop on Laser Surface Treatment*, 上海交通大学, Oct. 11, 2018.
- (7) 佐野 智一, "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," 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, 理化学研究所 放射光科学研究センター, 2018年9月28日. [依頼講演]
- (8) Y. Sano, K. Masaki, T. Sano, "Increase in fatigue strength of friction stir welded joints of an aluminium ally by laser peening," *XIX International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals (ICFM XIX)*, Porto, Portugal, Sep. 5-7, 2018.
- (9) K. Masaki, Y. Sano, T. Sano, "Effect of Femto/Nano Laser Peening on Plane Bending Fatigue Property of Friction Stir Welded A2024," *7th International Conference on Laser Peening and Related Phenomena*, National University of Singapore, June 17-22, 2018.
- (10) Masaki Kasuga, Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano, "Investigation of Material Properties of Femtosecond Laser-Peened 2024 Aluminum Alloy without Coating and Plasma Confinement Medium," *7th International Conference on Laser Peening and Related Phenomena*, National University of Singapore, June 17-22, 2018.
- (11) Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano, "Dry Laser Peening: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions," *7th International Conference on Laser Peening and Related Phenomena*,

National University of Singapore, June 17-22, 2018.

- (12) Tomokazu Sano, Terumasa Kawashima, Akio Hirose, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Yuji Sano, "A Consideration of the Mechanism of Femtosecond Laser Peening through XRD Study of Single Crystal Aluminum," 7th International Conference on Laser Peening and Related Phenomena, National University of Singapore, June 17-22, 2018.
- (13) T. Sano, "A New Laser Peening Technique for Improving Fatigue Properties of Metals: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions," 12th International Fatigue Congress (FATIGUE 2018), Poitiers Futuroscope, France, May 27-June 1, 2018.
- (14) K. Masaki, Y. Sano, T. Sano, "Effect of Femto/Nano-second Laser Peening on Plane Bending Fatigue Property of Friction Stir Welded A2024," 12th International Fatigue Congress (FATIGUE 2018), Poitiers Futuroscope, France, May 27-June 1, 2018.
- (15) 佐野 智一, "ドライレーザー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," 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」, 高知工科大学永国寺キャンパス, 2018 年 5 月 25 日. [依頼講演]
- (16) 春日仁希, 佐野 智一, 詠村嵩之, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝, "フェムト秒レーザー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," 第 89 回レーザー加工学会講演会, 大阪大学, 2018 年 5 月 23-24 日.
- (17) 佐野 智一, "新しいレーザーピーニング技術 ~犠牲層を用いない大気中で施工可能なドライレーザーピーニング~, " 第 89 回レーザー加工学会講演会, 大阪大学, 2018 年 5 月 23-24 日. [依頼講演]
- (18) 佐野 智一, "超高速変形の XFEL によるその場計測 ~超高速電子線回折への期待~, " 東京大学弥生研究会, 東京大学弥生講堂セイホクギャラリー, 2018 年 3 月 16 日. [依頼講演]
- (19) 佐野 智一, "新しいレーザーピーニング技術: 犠牲層を用いない大気中で施工可能なドライレーザーピーニング," ショットピーニングシンポジウム, 明治大学駿河台キャンパス, 2018 年 3 月 13 日. [依頼講演]
- (20) Yuji Sano, Yoshihiro Sagisaka, and Tomokazu Sano, "Advances in laser peening technology and possible extension to 3D manufacturing tools," Laser 3D Manufacturing V, SPIE Photonics West 2018, The Moscone Center, San Francisco, USA, Jan. 27-Feb. 1 (2018).
- (21) 政木清孝, 佐野雄二, 佐野 智一, "レーザーピーニング処理した A2024 共材 FSW 継手の平面曲げ疲労特性," 日本材料学会 高温強度・破壊力学合同シンポジウム, くまもと県民交流館パレア, 2017 年 12 月 7-9 日.
- (22) Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Hisashi Hori, "Improvement of fatigue properties of friction stir welded 2024 aluminum alloy using femtosecond laser peening," 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON FRICTION BASED PROCESSES (ICFP2017), 大阪大学荒田記念館, 2017 年 11 月 22-24 日.
- (23) Terumasa Kawashima, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, Hisashi Hori, "Improvement of Fatigue Properties of Friction Stir Welded 7075-T73 Aluminum Alloy Using Femtosecond Laser Peening," Materials Science & Technology 2017 (MS&T17), David L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh, USA, Oct. 8-12, 2017.
- (24) Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Hisashi Hori, Kiyotaka Masaki, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, "Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions for Improving Fatigue Properties of Laser-welded and FSWed 2024 Aluminum Alloys," Materials Science & Technology 2017 (MS&T17), David L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh, USA, Oct. 8-12, 2017.
- (25) 政木清孝, 佐野雄二, 佐野 智一, "A2024 共材 FSW 継手の平面曲げ疲労特性におよぼすフェムト秒/ナノ秒レーザーピーニング処理の影響," 日本機械学会 M&M2017 材料力学カンファレンス, 北海道大学, 2017 年 10 月 7-9 日.
- (26) T. Sano, "DRY LASER PEENING TECHNIQUE: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions," OSA Laser Congress 2017, Laser Applications Conference (LAC), Convention Center Nagoya, Oct. 2-5, 2017. [Invited Talk]
- (27) T. Sano, "A NEW LASER PEENING TECHNIQUE: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions," 13th International Conference on Shot Peening, Montreal, Canada, Sep. 18-21, 2017.
- (28) 川嶋光将, 佐野 智一, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝, 堀久司, "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ーピーニング," (一社) 溶接学会平成 29 年度秋季全国大会, 九州工業大学戸畑キャンパス, 2017 年 9 月 11-13 日.
- (29) 政木清孝, 佐野雄二, 佐野 智一, "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,” 2017 年度日本機械学会年次大会, 埼玉大学, 2017 年 9 月 3-6 日.
- (30) T. Sano, “DRY LASER PEENING TECHNIQUE: Femtosecond Laser Peening without a Sacrificial Overlay under Atmospheric Conditions for Improving Fatigue Properties of Weld Joints,” 70th IIW Annual Assembly and International Conference, 上海, 中国, June 25-30, 2017.
 - (31) 佐野 智一, “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~, ” 第 9 回レーザー学会「マイクロ固体フォトニクス」専門委員会, 自然科学研究機構 分子科学研究所, 2017 年 6 月 15 日. [依頼講演]
 - (32) Tomokazu Sano, Takayuki Eimura, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, Yuji Sano, “Improving Fatigue Properties of Laser Welded 2024 Aluminum Alloy using Femtosecond Laser Peening,” The 18th International Symposium on Laser Precision Microfabrication (LPM2017), Toyama, Japan, June 5-8, 2017.
 - (33) 佐野 智一, “フェムト秒レーザー衝撃圧縮された金属中の格子歪みのその場 X 線自由電子レーザー回折計測,” 2017 年第 64 回応用物理学学会春季学術講演会, パシフィコ横浜, 平成 29 年 3 月 14 日. [招待講演]
 - (34) 佐野 智一, “フェムト秒レーザーピーニングによるアルミニウム合金の疲労特性向上,” 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, 研究社英語センター大会議室, 平成 29 年 3 月 8 日. [依頼講演]
 - (35) 佐野 智一, “フェムト秒レーザーピーニングの基礎と応用,” 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, 大阪大学銀杏会館, 平成 29 年 2 月 10 日. [依頼講演]
 - (36) Takayuki Eimura, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Masami Mizutani, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, and Yuji Sano, “Improvement of Fatigue Properties of Laser-welded 2024-T3 Aluminum Alloy Using Femtosecond Laser Peening,” Materials Science & Technology 2016 (MS&T’16), Salt Palace Convention Center, Salt Lake City, USA, Oct. 23-27 (2016).
 - (37) Takayuki Eimura, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Masami Mizutani, Yousuke Kawahito, Seiji Katayama, Kazuto Arakawa, Ayumi Shiro, Takahisa Shobu, Kiyotaka Masaki, and Yuji Sano, “Effects of femtosecond laser peening on fatigue properties of laser-welded 2024 aluminum alloy,” The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation (Visual-JW) 2016, Hotel Hankyu Expo Park, Osaka Japan, October 17-18 (2016).
 - (38) Terumasa Kawashima, Tomokazu Sano, Akio Hirose, Seiichiro Tsutsumi, Kiyotaka Masaki, and Hisashi Hori, “Femtosecond laser peening of friction stir welded 7075-T73 aluminum alloy,” The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation (Visual-JW) 2016, Hotel Hankyu Expo Park, Osaka Japan, October 17-18 (2016).
 - (39) 政木清孝, 佐野 智一, 佐野雄二, “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,” 日本機械学会 M&M2016 材料力学カンファレンス, 神戸大学, 平成 28 年 10 月 8-10 日.
 - (40) 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, “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,” 溶接学会平成 28 年度秋季全国大会, 伊香保温泉 HOTEL 天坊, 平成 28 年 9 月 14-16 日.
 - (41) 川嶋光将, 佐野 智一, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝, 堀久司, “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,” 溶接学会平成 28 年度秋季全国大会, 伊香保温泉 HOTEL 天坊, 平成 28 年 9 月 14-16 日. [研究発表賞受賞]
 - (42) T. Kawashima, T. Sano, S. Tsutsumi, A. Hirose, and K. Masaki, “Femtosecond laser-peening of 7075-T73 aluminum alloy,” 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9), Kyoto International Conference Center, Japan, August 1-5, 2016.
 - (43) T. Eimura, T. Sano, A. Hirose, S. Tsutsumi, K. Masaki, K. Arakawa, and Y. Sano, “Improvement of fatigue properties of 2024-T3 Aluminum alloy using femtosecond laser-peening,” 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9), Kyoto International Conference Center, Japan, August 1-5, 2016.
 - (44) T. Sano, “Ultrafast lattice dynamics at an early stage of shock compression of iron,” 9th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM9), Kyoto International Conference Center, Japan, August 1-5, 2016.
 - (45) 菖蒲敬久, 城鮎美, 安田良, 岩田匠平, 詠村嵩之, 川嶋光将, 佐野 智一, “フェムト秒レーザーピーニング処理した金属極表面の非破壊残留応力、転位密度評価,” 第 50 回 X 線材料強度に関するシンポジウム, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 平成 28 年 7 月

21-22 日.

- (46) T. Sano, T. Eimura, A. Hirose, S. Tsutsumi, M. Mizutani, Y. Kawahito, S. Katayama, K. Arakawa, A. Shiro, T. Shobu, K. Masaki, Y. Sano, "Femtosecond laser peening for improvement of fatigue properties of laser welded 2024 aluminum alloy," 10th International Conference on Residual Stresses, Sydney, Australia, July 3-7, 2016.
- (47) T. Sano, T. Eimura, A. Hirose, S. Tsutsumi, M. Mizutani, Y. Kawahito, S. Katayama, K. Arakawa, A. Shiro, T. Shobu, K. Masaki, Y. Sano, "Femtosecond laser peening for improvement of fatigue properties of laser welded 2024 aluminum alloy," 69th IIW Annual Assembly and International Conference, Melbourne, Australia, July 10-15, 2016.
- (48) 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, "アルミニウム合金 A2024 のレーザ溶接部の機械的特性に及ぼすフェムト秒レーザピーニングの影響," 第 85 回レーザ加工学会講演会, 大阪大学, 平成 28 年 6 月 9-10 日.
- (49) 川嶋光将, 佐野 智一, 廣瀬明夫, 堤成一郎, 政木清孝, 堀久司, "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," 第 85 回レーザ加工学会講演会, 大阪大学, 平成 28 年 6 月 9-10 日. [優秀ポスター賞受賞]
- (50) T. Sano, T. Eimura, R. Kashiwabara, T. Matsuda, A. Hirose, S. Tsutsumi, K. Arakawa, K. Masaki, and Y. Sano, "Femtosecond laser peening of 2024 aluminum alloy without sacrificial overlay under atmospheric conditions," The Second Smart Laser Processing Conference (SLPC) 2016, Yokohama, Japan, May 17-19, 2016.

[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]

無し

6. 研究組織

(1) 研究分担者

無し

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：荒河 一渡

ローマ字氏名：Kazuto Arakawa

研究協力者氏名：犬伏 雄一

ローマ字氏名：Yuichi Inubushi

※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。