

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03138

研究課題名(和文) レーザキャビテーションを活用した表面力学設計の構築と3次元積層造形材への適用

研究課題名(英文) Surface Mechanics Design Using Laser Cavitation and Its Practical Application for 3D Additive Manufacturing Material

研究代表者

祖山 均 (Soyama, Hitoshi)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：90211995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、水中に置いた金属材料表面へのパルスレーザー照射時に発生するアブレーションの後に発生する気泡(レーザーキャビテーション)に着目し、レーザーキャビテーションの圧潰時に生じる衝撃力を活用する機械的表面改質を構築した。通常的水中レーザーピーニングではアブレーションによる衝撃力を用いるが、本研究では、加工条件の最適化によりレーザーキャビテーションの衝撃力を強化して、チタン合金製3次元積層造形材に適用し、疲労強度を2倍に向上できることを実証した。また、本機械的表面改質により、従来の水膜レーザーピーニングより半分以下のエネルギーで、かつ半分以下のパルス密度で疲労強度を同程度以上に向上できることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、独自に開発した荷重制御型平面曲げ式疲労試験機により、機械的表面改質による疲労強度向上における疲労亀裂の発生と疲労亀裂進展の影響を明らかにした。
社会的意義としては、金属製3次元積層造形材は、CADデータから直接造形できる、リードタイムが少ない、材料のロスが少ない、トポロジ最適化の形状を創成できるなどの利点があり、生体用インプラントや航空機部品への適用が期待されているが、疲労強度がバルク材よりも極端に小さいとの弱点がある。本機械的表面改質により、バルク材と同程度に疲労強度を向上できるので、本研究は金属製3次元積層造形材の実用化に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：When the surface of a metallic material placed in water was irradiated with a pulsed laser, ablation and bubble, i.e., laser cavitation were generated. In present study, laser cavitation was investigated and it was utilized for mechanical surface modification utilizing the impact force generated at bubble collapse. In normal underwater laser peening, the impact force by ablation is used. In this study, the impact force at laser cavitation collapse was enhanced by optimizing the processing conditions, and it was applied to a titanium alloy by additive manufacturing, and the fatigue strength of the titanium alloy improved 2 times. It was also demonstrated that this mechanical surface modification can improve fatigue strength to the same level or more with less than half the energy of conventional water film laser peening and less than half the pulse density.

研究分野：表面力学設計

キーワード：機械的表面改質 キャビテーション レーザ 3次元積層造形材 表面力学設計 ピーニング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水中に設置した金属材料にパルスレーザーを照射すると、照射直後にアブレーションを生じ、その後気泡が発生し、キャビテーション気泡と同様に気泡が圧潰し衝撃力を発生する。本研究ではこの気泡をレーザーキャビテーションとよぶ。レーザーピーニングでは、アブレーションによる衝撃力を活用していると言われており、また、アブレーションの衝撃力は気泡の衝撃力よりも大きいとの報告もある。しかし、研究代表者は、気泡圧潰時の衝撃力のほうがアブレーションの衝撃力よりも大きい事実を発見しており、研究代表者が研究開発してきたキャビテーション噴流を用いたキャビテーションピーニングと同様に、この気泡圧潰時の衝撃力を機械的表面改質に活用することが可能である。

一般的に、機械的表面改質では残留応力が支配因子であると考えられているが、キャビテーションピーニングでは圧縮残留応力が浅く、小さくても、未処理材や大径ショットを用いたショットピーニング、小径ショットを用いたショットピーニングより疲労強度を向上でき、異なるピーニングでは残留応力分布と疲労強度には相関がないことが判明している。要するに、従来の残留応力分布による疲労強度推定には、何らかの重要な因子が欠如していると考えられ、研究代表者が提唱する表面近傍の力学的特性(降伏応力、残留応力、表面性状など)を評価して、同特性の向上を図る表面力学設計の構築が不可欠であるといえる。

一方、昨今注目されている金属製3次元積層造形では、金属微粒子を用いて成形するために、成形品の表面に凹凸が残り、この凹凸部に応力集中が生じ、疲労強度が圧延材よりもかなり小さい。ショットピーニング等で加工しても応力集中部が残存するために、疲労強度をそれほど向上できない。しかし、金属3次元積層造形材にパルスレーザーを照射した予備実験の結果、アブレーションにより応力集中部を除去できることが判明しており、パルスレーザーを活用した表面力学設計による飛躍的な疲労特性向上が期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、水中に設置した金属材料表面へのパルスレーザー照射時に発生するアブレーションと、その後発生する気泡(レーザーキャビテーション)の圧潰において、アブレーションよりもレーザーキャビテーションの圧潰衝撃力のほうが大きい事実の発見に基づいて、機械的表面改質による疲労特性向上を目的として、レーザーキャビテーションを活用した機械的表面改質法を構築する。さらにトライ&エラーから脱却した表面力学設計を構築した上で、レーザーキャビテーションを活用し、金属製3次元積層造形材の疲労特性向上への展開を図る。特に、損傷を生じるアブレーションを、逆転発想的に、金属製3次元積層造形材の表面性状の平滑化に有効利用する点と、レーザーキャビテーションの圧潰衝撃力を制御・強化して圧縮残留応力導入や降伏応力向上などの表面力学設計を行うことに特徴を有する。

3. 研究の方法

(1) レーザーキャビテーションによる機械的表面改質法の構築

既存設備の高速ビデオカメラと設備備品費で購入したパルスレーザーシステムを用いて、水中レーザーピーニングにおいて、レーザーアブレーションの衝撃力とレーザーアブレーション後に生じるレーザーキャビテーションの圧潰時の衝撃力の関係を実験的に計測した。なお、通常的水中レーザーピーニングでは、水によるレーザーの吸収を回避するためにNd:YAGレーザーの第二高調波の532nmの波長(なお波長変換時に40%のエネルギーを損失する)を用いるが、レーザーキャビテーションを活用する観点で基本波長の1064nmの波長を用いた。

(2) 表面力学設計の構築

機械的表面改質による疲労強度向上の支配因子を明らかにするために、レーザーキャビテーションを用いたレーザーピーニングLP、キャビテーション噴流を用いたキャビテーションピーニングCP、水噴流加速式循環型ショットピーニングSP、ウォータージェットピーニングWJPを用いて金属材料を処理し、表面粗さ、表面改質層の残留応力と降伏応力などを計測し、疲労強度と比較検討した。また、疲労強度を向上における亀裂の初生と亀裂の進展の影響を明らかにするために、研究代表者らが開発した荷重制御型平面曲げ式疲労試験機を用いて亀裂進展試験を行った。

(3) アブレーションを活用した平滑化

液膜レーザーピーニングと水中レーザーピーニングにより金属製3次元積層造形材をパルス密度を変えて処理して表面粗さを計測し、レーザーアブレーションおよびレーザーキャビテーションによる平滑化を評価した。

(4) レーザーキャビテーションによる機械的表面改質の金属製3次元積層造形材への展開

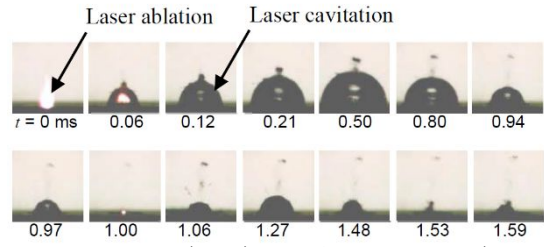
レーザーキャビテーションを用いたレーザーピーニング、キャビテーション噴流を用いたキャビテーションピーニング、水噴流加速式循環型ショットピーニングを用いて金属製3次元積層造形材を処理し、変位制御型平面曲げ疲労試験に供した。また、表面粗さ、表面改質層の残留応力と降伏応力などを計測し、疲労強度との相関関係を検討した。

4. 研究成果

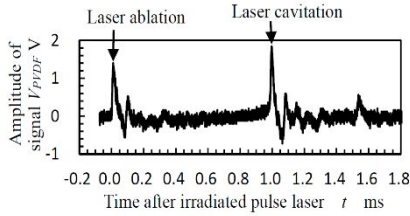
(1) レーザーキャビテーションによる機械的表面改質法の構築

図1に示したように、Nd:YAGレーザーの基本波長1064nmを用いた水中レーザーピーニングでは、水中内の伝播距離などを最適化すれば、波長変換による40%のエネルギー損失なしに、レーザーアブ

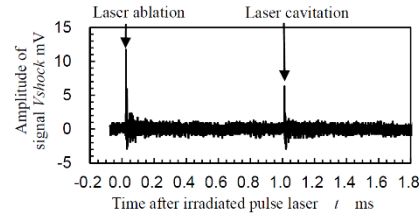
レーションおよびレーザキャビテーションで衝撃力を発生できることが判明した。また、水中衝撃波センサで水中に伝播する圧力を計測した場合には、アブレーションによる振幅のほうがレーザキャビテーションの圧潰による振幅より大きい。材料内に伝播する衝撃力を PVDF センサで計測した場合には、レーザキャビテーションの圧潰による衝撃力のほうがアブレーションによる衝撃力より大きいことを明らかにした。



(a) レーザアブレーションとレーザキャビテーションの様相



(b) PVDF センサによる計測結果



(c) 水中衝撃波センサによる計測結果

図1 レーザアブレーションとレーザキャビテーションの様相とそれらの衝撃力

(2) 表面力学設計の構築

機械的表面改質で向上した疲労寿命 N_f を、残留応力 σ_R 、表面粗さ R_z 、表面硬さ H_V から予測する式を提案した。

$$N_f \propto \frac{-\sigma_R' \cdot H_V'}{R_z'} \quad (2-1)$$

ウォータージェットピーニングを除く、レーザピーニング、キャビテーションピーニング、ショットピーニングの実験結果とよい相関を示し(図2参照)、予測値と実験値の22点の相関係数は0.81であり、両者が無相関である確率は0.1%以下であるので、本実験式により、疲労寿命を予測できることを明らかにした。

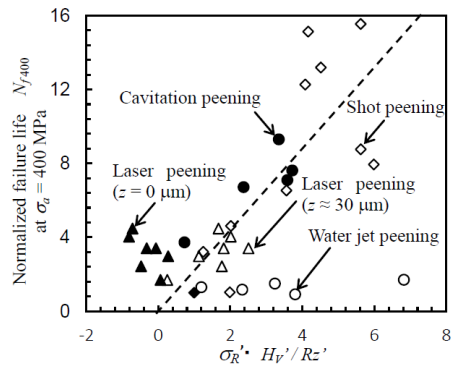
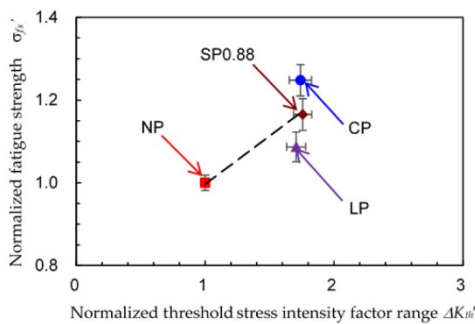
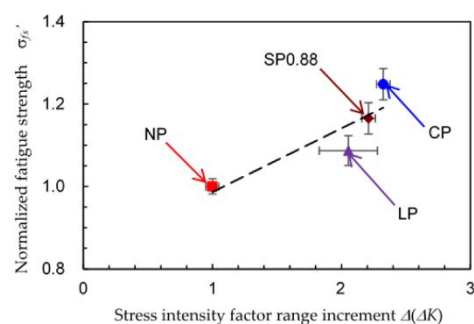


図2 疲労寿命の予測

機械的表面改質による疲労寿命向上において、図3に示したように、疲労強度と応力拡大係数振幅の下限界値 ΔK_{th} の関係より、亀裂進展抑制効果との関係のほうが相関が良いことから、本研究で対象とした機械的表面改質では、亀裂初生の抑制効果よりも亀裂進展抑制効果のほうが疲労強度に影響していることを明らかにした。



(a) 疲労強度と ΔK_{th} の関係



(b) 疲労強度と亀裂進展抑制効果の関係

図3 機械的表面改質材の亀裂進展試験の結果

(3) アブレーションを活用した平滑化

アブレーションによる平滑化を検証するために、図4には、レーザアブレーションとレーザキャビテーションを併用した水中レーザピーニングを用いて、電子ビーム溶融法で積層造形したチタン合金を処理した場合について、最大高さの Puls 密度による変化を示す。Puls 密度が増大するにつれて最大高さが減少しており、レーザアブレーションにより平滑化できることがわかる。また、水膜レーザピーニングや、水なしで Puls レーザを照射した場合と比較して、水中レーザピーニングが最も平滑化できることが判明した。

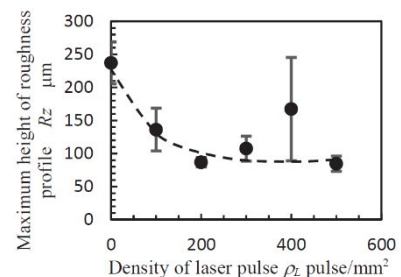


図4 最大高さの変化

(4) レーザキャビテーションによる機械的 surface 改質の金属製 3 次元積層造形材への展開

レーザキャビテーションによる金属製 3 次元積層造形材の疲労強度向上の実証結果として、図 5 には、電子ビーム溶融法で積層造形したチタン合金を、水中レーザピーニング、キャビテーションピーニング、ショットピーニングで処理して、疲労試験に供した結果を示す。表面粗さを考慮して最大曲げ応力を算出した疲労強度を考えた場合、レーザキャビテーションを用いた水中レーザピーニングが最も疲労強度が大きいことを実証した。図 4 では、水中レーザピーニングにより金属製 3 次元積層造形材を平滑化できることを示しているが、そのためには高密度のパルス密度が必要であるが、本実験結果では、ただだか 5 パルス/mm² で図 5 のような結果を得ている。すなわち、レーザアブレーションやレーザキャビテーションによる平滑化よりも、レーザキャビテーション圧潰時の衝撃力による圧縮残留応力の導入や加工硬化が疲労強度向上に寄与していると考えられる。

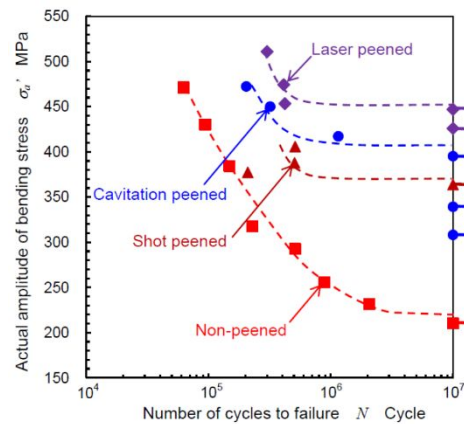


図 5 疲労試験結果

金属製 3 次元積層造形材の疲労強度向上と平滑化の観点から、アブレイブを混濁したキャビテーション噴流によるキャビテーションピーニングを考案し、電子ビーム溶融法で積層造形したチタン合金を処理して疲労権を行った結果、当該表面改質法により疲労強度を向上できることを実証した。

< 引用文献 >

- H. Soyama, Comparison between the Improvements Made to the Fatigue Strength of Stainless Steel by Cavitation Peening, Water Jet Peening, Shot Peening and Laser Peening, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 269, pp. 65-78, 2019.
- H. Soyama, Comparison between Shot Peening, Cavitation Peening, and Laser Peening by Observation of Crack Initiation and Crack Growth in Stainless Steel, Metals, Vol. 10, No. 1, (2019), paper No. 63, pp. 1-16, DOI:10.3390/met10010063
- H. Soyama and Yuya Okura, The Use of Various Peening Methods to Improve the Fatigue Strength of Titanium Alloy Ti6Al4V Manufactured by Electron Beam Melting, AIMS Materials Science, Vol. 5, No. 5, pp. 1000-1015, 2018.
- H. Soyama and D. Sanders, Use of an Abrasive Water Cavitating Jet and Peening Process to Improve the Fatigue Strength of Titanium Alloy 6Al-4V Manufactured by the Electron Beam Powder Bed Melting (EBPB) Additive Manufacturing Method, JOM, Vol. 71, No. 12, pp. 4311-4318, 2019. DOI:10.1007/s11837-019-03673-8

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 8件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Hitoshi Soyama, Yuya Okura | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 The use of various peening methods to improve the fatigue strength of titanium alloy Ti6Al4V manufactured by electron beam melting | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 AIMS Materials Science | 6. 最初と最後の頁 1000-1015 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3934/matricsci.2018.5.1000 | 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 H. Kamisaka, H. Soyama | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Periodical shedding of cavitation cloud induced by a cavitating jet | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proceeding of 24th International Conference on Water Jetting | 6. 最初と最後の頁 111-123 |
| 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 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 Hitoshi Soyama, Mitsuru Sato | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Improvement of Wear Resistance of Steel by Means of a Cavitating Jet and a Submerged Pulse Laser | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 10th International Symposium on Cavitation (CAV2018) | 6. 最初と最後の頁 533-536 |
| 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 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 Soyama Hitoshi | 4. 巻 269 |
| 2. 論文標題 Comparison between the improvements made to the fatigue strength of stainless steel by cavitation peening, water jet peening, shot peening and laser peening | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Processing Technology | 6. 最初と最後の頁 65-78 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jmatprotec.2019.01.030 | 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 - |

| | |
|---|------------------------|
| 1. 著者名 Haixia Liu, Can Kang and Hitoshi Soyama | 4. 巻 47 |
| 2. 論文標題 Experimental Study of the Influence of Test Chamber Dimensions on Aggressive Intensity of the Cavitating Jet | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Testing and Evaluation | 6. 最初と最後の頁 in press |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1520/JTE20180573 | 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 Hitoshi Soyama | 4. 巻 19 (5) |
| 2. 論文標題 Comparison of Various XRD Methods on Evaluation of Residual Stress Introduced by Submerged Laser Peening | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Metal Finishing News | 6. 最初と最後の頁 54-57 |
| 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 祖山均 | 4. 巻 21 (4) |
| 2. 論文標題 キャビテーション噴流による洗浄 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 産業洗浄技術情報誌 | 6. 最初と最後の頁 23-29 |
| 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 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 祖山均 | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 キャビテーションピーニングの概要と機械材料・部品への適用 | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 MECHANICAL SURFACE TECH | 6. 最初と最後の頁 29-31 |
| 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 Hitoshi Soyama | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Key Factors and Applications of Cavitation Peening | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Peening Science and Technology | 6. 最初と最後の頁 3-60 |
| 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 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 Can Kang, Haixia Liu and Hitoshi Soyama | 4. 巻 394-395 |
| 2. 論文標題 Estimation of aggressive intensity of a cavitating jet with multiple experimental methods | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Wear | 6. 最初と最後の頁 176-186 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.wear.2017.11.001 | 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 Kewen Peng, Can Kang, Gensheng Li, Kyuhei Matsuda and Hitoshi Soyama | 4. 巻 maco.201709818 |
| 2. 論文標題 Effect of heat treatment on the cavitation erosion resistance of stainless steel | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 Materials and Corrosion | 6. 最初と最後の頁 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/maco.201709818 | 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 該当する |

| | |
|--|----------------------|
| 1. 著者名 國分朋之, 祖山均 | 4. 巻 83(17-00190) |
| 2. 論文標題 種々のピーニングを施したジュラルミンの表面改質層における疲労亀裂進展挙動の評価 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 日本機械学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 1-15 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.17-00190 | 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 星野 柗, 祖山均 | 4. 巻 83(17-00400) |
| 2. 論文標題 ベンチュリ管スロート部におけるキャビテーションの衝撃エネルギーに及ぼす噴射条件の影響の評価 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 日本機械学会論文集 | 6. 最初と最後の頁 1-12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.17-00400 | 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 Soyama Hitoshi | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Cavitation Peening: A Review | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Metals | 6. 最初と最後の頁 270-1 ~ 27 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/met10020270 | 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 Soyama Hitoshi | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Comparison between Shot Peening, Cavitation Peening, and Laser Peening by Observation of Crack Initiation and Crack Growth in Stainless Steel | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Metals | 6. 最初と最後の頁 63-1 ~ 16 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/met10010063 | 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 Soyama Hitoshi, Sanders Daniel | 4. 巻 71 |
| 2. 論文標題 Use of an Abrasive Water Cavitating Jet and Peening Process to Improve the Fatigue Strength of Titanium Alloy 6Al-4V Manufactured by the Electron Beam Powder Bed Melting (EBPB) Additive Manufacturing Method | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 JOM | 6. 最初と最後の頁 4311 ~ 4318 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11837-019-03673-8 | 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 該当する |

| | |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名 Lesyk D. A., Soyama H., Mordyuk B. N., Dzhemelinskyi V. V., Martinez S., Khripta N. I., Lamikiz A. | 4. 巻 28 |
| 2. 論文標題 Mechanical Surface Treatments of AISI 304 Stainless Steel: Effects on Surface Microrelief, Residual Stress, and Microstructure | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Materials Engineering and Performance | 6. 最初と最後の頁 5307 ~ 5322 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11665-019-04273-y | 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 Al Turaihi Ali, Mehmanparast Ali, Brennan Feargal, Soyama Hitoshi | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Cavitation shotless peening effects on fatigue crack growth behaviour under bending loads | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Material Design & Processing Communications | 6. 最初と最後の頁 1-16 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mdp2.88 | 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 Soyama Hitoshi | 4. 巻 611 |
| 2. 論文標題 Improvement of Fatigue Strength of Additive Manufactured Metals by Solid-Liquid-Gas Interfacial Phenomena Induced by Pulse Laser | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering | 6. 最初と最後の頁 012002-1 ~ 9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1757-899X/611/1/012002 | 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 Soyama Hitoshi | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Fundamentals and Applications of Cavitation Peening Comparing with Shot Peening and Laser Peening | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Surface Enhancement (INCASE 2019) | 6. 最初と最後の頁 76 ~ 87 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-0054-1_9 | 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 Okura Yuya、Sasaki Hirotooshi、Soyama Hitoshi | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Effect of Mechanical Properties on Fatigue Life Enhancement of Additive Manufactured Titanium Alloy Treated by Various Peening Methods | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Surface Enhancement (INCASE 2019) | 6. 最初と最後の頁 88 ~ 96 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-0054-1_10 | 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 Sasaki Hirotooshi、Iga Yuka、Soyama Hitoshi | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 Effect of Bubble Radius on Ability of Submerged Laser Peening | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Surface Enhancement (INCASE 2019) | 6. 最初と最後の頁 283 ~ 291 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-15-0054-1_29 | 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 - |

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 10件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 機械的表面改質によるステンレス鋼の疲労強度向上におけるピーニング手法の影響 |
| 3. 学会等名 日本材料学会第67期通常総会・学術講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 合金工具鋼に導入した圧縮残留応力の種々のX線回折法による評価 |
| 3. 学会等名 ショットピーニング技術協会平成30年度学術講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 キャビテーション噴流による電子ビーム積層造形したチタン合金Ti6Al4Vの疲労強度向上 |
| 3. 学会等名 日本ウォータージェット学会技術年次報告会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 上坂洋雄, 祖山均 |
| 2. 発表標題 キャビテーション噴流の気泡雲の放出周波数における噴射圧力の影響 |
| 3. 学会等名 混相流シンポジウム2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均, 大蔵 侑也 |
| 2. 発表標題 電子ビーム積層造形したチタン合金Ti6Al4Vの疲労強度向上におけるピーニング法の影響 |
| 3. 学会等名 日本機械学会M&M2018材料力学カンファレンス |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Surface Mechanics Design by Cavitation Peening Using Submerged Pulse Laser |
| 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 祖山均 |
| 2. 発表標題 水中レーザーピーニングでステンレス鋼に導入した残留応力の分布 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第54期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大蔵侑也, 祖山均 |
| 2. 発表標題 電子ビーム積層造形したチタン合金Ti-6Al-4Vの疲労寿命における機械的特性の影響 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第54期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均, 笹井達希 |
| 2. 発表標題 種々の機械的表面改質によりステンレス鋼に導入したマクロ歪とマイクロ歪の関係 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第54期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Introduction of compressive residual stress into alloy steel by cavitation peening |
| 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 Hitoshi Soyama and Fumio Takeo |
| 2. 発表標題 Improvement of tensile fatigue strength of duralumin plate with a hole by cavitation peening using opposed cavitating jets |
| 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 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Introduction of Compressive Residual Stress into Alloy Tool Steel by Submerged Laser Peening Utilizing Laser Cavitation Impact |
| 3. 学会等名 9th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Surface mechanics design of metallic materials by cavitation peening |
| 3. 学会等名 11th International Conference on Advanced Materials & Processing (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 パルスレーザによる気泡の圧潰衝撃力におけるレーザ波長の影響 |
| 3. 学会等名 混相流シンポジウム2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 対向式キャピテーション噴流とその機械的 surface 改質への利用 |
| 3. 学会等名 混相流シンポジウム2017 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 レーザキャピテーションを援用した機械的 surface 改質におけるレーザエネルギーの影響 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第53期秋季講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 佐藤充, 祖山均 |
| 2. 発表標題 クロムモリブデン鋼の摩耗と表面の降伏応力の関係 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第53期秋季講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 國分朋之, 祖山均 |
| 2. 発表標題 ハイブリッドピーニングによるジュラルミンの疲労亀裂進展の抑止 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第53期秋季講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 レーザキャビテーションの圧潰衝撃力を援用した機械的表面改質によるステンレス鋼の疲労強度向上 |
| 3. 学会等名 M&M2017材料力学カンファレンス |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Effect of cavitation number on aggressive intensity of a cavitating jet considering residual bubbles after cavitation collapses |
| 3. 学会等名 Ninth JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 星野 柁, 祖山均 |
| 2. 発表標題 流動キャビテーションによるセルロース微細化 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第53期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 電子ビーム積層造形したチタン合金Ti6Al4Vの水中パルスレーザによる平滑化処理 |
| 3. 学会等名 日本機械学会東北支部第53期総会・講演会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Surface Mechanics Design of Metallic Materials by Cavitation Peening |
| 3. 学会等名 30th anniversary celebration meeting and party of ASME JAPAN Section (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 キャビテーション噴流およびパルスレーザによるキャビテーションピーニング |
| 3. 学会等名 ショットピーニングシンポジウム 「第13回ショットピーニング国際会議発表論文の紹介」 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Observation of Cavitation around a Submerged Fan Jet |
| 3. 学会等名 The 12th Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Improvement of Fatigue Strength of Additive Manufactured Metals by Solid-Liquid-Gas Interfacial Phenomena Induced by Pulse |
| 3. 学会等名 2019 International Conference on Advanced Material Research and Processing Technology (AMRPT2019) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Hitoshi Soyama |
| 2. 発表標題 Fundamentals and Applications of Cavitation Peening Comparing with Shot Peening and Laser Peening |
| 3. 学会等名 1st International Conference on Advanced Surface (INCASE2019) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 祖山均 |
| 2. 発表標題 流動キャビテーションにおける化学・物理現象とその応用 |
| 3. 学会等名 第28回ソノケミストリー討論会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|--|
| <p>科学研究費補助金 基盤研究 (B)に関する報告 http://www.mm.mech.tohoku.ac.jp/menu12/index5.html 泡で金属を叩いて強くする https://youtu.be/BurRGrmOGQY 金属製積層造形材の疲労強度を1.6倍に向上 https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2019/02/award20190212-01.html 泡による衝撃力を用いた圧縮残留応力の導入と砥粒による平滑化を併用 https://www.eng.tohoku.ac.jp/news/detail--id,1288.html 科学研究費補助金 基盤研究 (B)に関する報告 http://www.mm.mech.tohoku.ac.jp/menu12/index5.html 泡で金属を叩いて強くする https://youtu.be/BurRGrmOGQY</p> |
|--|

| 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 | 伊賀 由佳 (Iga Yuka) (50375119) | 東北大学・流体科学研究所・教授 (11301) | |