

令和 5 年 5 月 11 日現在

機関番号：25503

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04110

研究課題名（和文）超高温高圧キャビテーションの温度圧力制御によるピーニング時効処理技術の開発

研究課題名（英文）Development of peening aging processing technology by temperature and pressure control of ultra-high temperature and high pressure cavitation

研究代表者

吉村 敏彦 (Yoshimura, Toshihiko)

山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：20353310

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：我々が世界に先駆けて開発した新しい超高温高圧キャビテーション(UTPC)の温度、圧力を制御し、従来にないアルミニウム合金のピーニング時効処理技術を開発した。アルミニウム合金(AC4CH)を用い、従来のショットピーニングによる表面高強度化によって作製した疲労試験片よりも、疲労寿命が延長し、疲労強度および疲労限が向上するピーニング人工時効条件を確立することができた。本研究の成果により、自動車等輸送機械の部品製造ラインにおける時効処理時間の短縮化、既存の輸送機械アルミニウム部品の疲労強度の向上および部品の薄肉化と省エネ化を実現するための生産技術として普及すると期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アルミニウム合金は、輸送機械である自動車や航空機、車両等の多くの部品に用いられている。鉄やステンレス鋼に比べて比重が小さく、輸送機械の軽量化を図ることができる。Al合金は時効処理を行って機械的強度を高めている。しかしながら、従来の表面改質では、表面硬度や耐摩耗性、耐焼き付き性を高めても、構造強度を向上できないという問題があった。本研究の超高温高圧キャビテーション処理では、ウォータージェット圧力、超音波出力及び加工時間の適正化を図ることにより、表面に圧縮残留応力を付与するのみならず、時効処理や溶体化処理を行うことができるため、Al合金からなる部品の構造強度を飛躍的に向上させることができる。

研究成果の概要（英文）：We have developed a novel peening aging treatment technology for aluminum alloys by controlling the temperature and pressure of the new ultra-high temperature and pressure cavitation (UTPC) that we have developed for the first time in the world. Using an aluminum alloy (AC4CH), we were able to establish peening artificial aging conditions that extend the fatigue life, improve the fatigue strength, fatigue limit compared to fatigue test specimens prepared by increasing the surface strength with conventional shot peening. As a result of this research, it will be widely used as a production technology for shortening the aging treatment time in the parts manufacturing line of transportation machinery such as automobiles, improving the fatigue strength of existing transportation machinery aluminum parts, and realizing thinning and energy saving of parts.

研究分野：機械材料 キャビテーション工学

キーワード：超高温高圧キャビテーション 機能性キャビテーション アルミニウム合金 時効硬化 ピーニング人工時効 ピーニング自然時効 疲労強度 疲労限

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

アルミニウム合金は、輸送機械である自動車や航空機、車両等の多くの部品に用いられている。鉄やステンレス鋼に比べて比重が 2.6~2.8 と小さく、輸送機械の軽量化を図ることができる。アルミニウム合金は時効処理という熱処理を行って機械的強度を高めて、使用されている。しかしながら、従来の表面改質では表面硬度を向上させ、耐摩耗性・耐焼き付き性を高めることはできても、構造強度をさらに向上させることはできないという問題があった。これまで、Al の表面改質・硬化処理と言えば、アルマイトやセラミックス等の溶射、窒化処理であった。アルマイトは処理槽内の位置によって硬度にムラが出るなどの問題がある。また、セラミックス溶射や窒化処理は技術的な面、あるいはコスト面で実用化が遠いのが現状である。ここで、時効硬化とは Al 母材中で含まれる Mg や Si、Cu 等が高温状態(溶体化処理)から冷却され、200 以下の低温に保持されることにより、G.P.ゾーンや 相等の析出物が析出し、転位の移動が阻害されて変形しづらくなり、強化される現象である。

本研究の超高温高圧キャビテーション処理において、ウォータージェット圧力、超音波出力及び加工時間の適正化を図ることにより、表面に圧縮残留応力を付与するのみならず、時効処理(時効硬化)や溶体化処理を行うことができるため、アルミニウム合金からなる自動車部品や航空機部品の構造強度を飛躍的に向上させることができる。その結果、各種輸送機械における構造部品の薄肉化が達成され、省エネ効果も大いに期待される。

### 2. 研究の目的

我々が世界に先駆けて開発した新しい超高温高圧キャビテーションの温度、圧力を制御し、従来にないアルミニウム合金のピーニング時効処理技術を確立する。アルミニウム合金が使用されている自動車等輸送機械の部品製造ラインにおける時効処理時間の短縮化、既存の輸送機械アルミニウム部品の疲労強度の向上および部品の薄肉化と省エネ化を目指す。

### 3. 研究の方法

ウォータージェットキャビテーション(WJC)の特長(バブルサイズ:数百µm、約1000MPaの圧力)と超音波キャビテーションの特長(バブルサイズ:数µm、数千度の高温反応場:ホットスポット)の両方の利点を有する機能性キャビテーション(MFC: Multifunction Cavitation)を開発した(外国出願(PCT)済み、国際公開番号: WO2016/136656A1、T. Yoshimura (Inventor), Assignee: Sanyo-Onoda City Public University, 米国特許 Patent No.: US 10,590,966 B2, Date of Patent: Mar.17, 2020)。図1に示すように、WJCに超音波を照射すると、気泡は等温膨張・断熱圧縮を繰り返し、気泡サイズの大きい高温高圧の機能性キャビテーション(MFC)となる。さらに、WJノズルに旋回流を発生させる旋回ノズルを付加すると、旋回ノズル内の低圧化により気泡数は増加し、気泡サイズが増加するため、多数の超高温高圧キャビテーション(UTPC: Ultra-high Temperature and Pressure Cavitation)が発生する。図に示すように主として気泡内圧力はWJ圧力、気泡内温度は超音波出力に依存するため、対象とする金属に熱処理に適した条件が必要となる。更に気泡内から放射される光強度をフотンカウンターにより測定し、各種条件での気泡内温度を推定することができた。

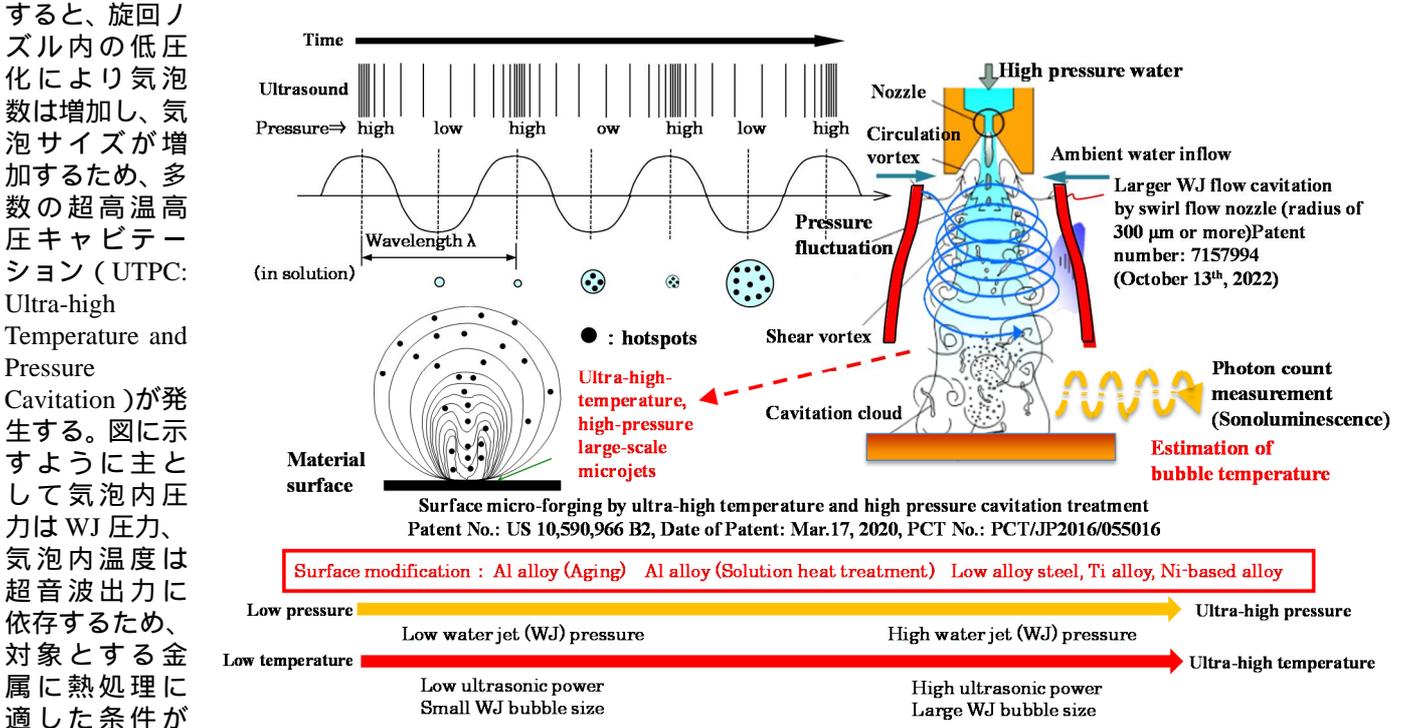


Fig. 1 Schematic diagram of metals processing by ultra-high temperature and pressure cavitation.

放射される光強度をフотンカウンターにより測定し、各種条件での気泡内温度を推定することができた。

図 2(a)に T6 や T5 に相当する LTPC 加工における内部組織の変化を、図 2(b)に T4 に相当する UTPC における内部組織の変化を示す。図 2(a)では、ピーニング人工時効が起こり、キャビテーション気泡の崩壊圧力により表面が塑性変形し転位が発生、気泡消失後、圧縮残留応力が付与される。更に、気泡からの適度な入熱により、G.P.ゾーン等が析出し、転位と絡んで加工硬化する。図 2(b)では、ピーニング自然時効が起こり、気泡からの多量な入熱により Mg や Si 等の過飽和固溶体元素が均一に混ざり合う溶態化処理される。その後、時間経過とともに G.P.ゾーン等が析出し、付与された圧縮残留応力により、転位が析出物と絡んで加工硬化する。

### 4. 研究成果

2019年度：ウォータージェット圧力と超音波出力、施工時間に対する熱処理による時効条件（温度、時間）との関係を明らかにすることができた。超高温高压キャビテーション（UTPC）によるT6処理（溶体化処理(535 × 8h)後、人工時効(155 × 6h)）を再現し確立することができた。

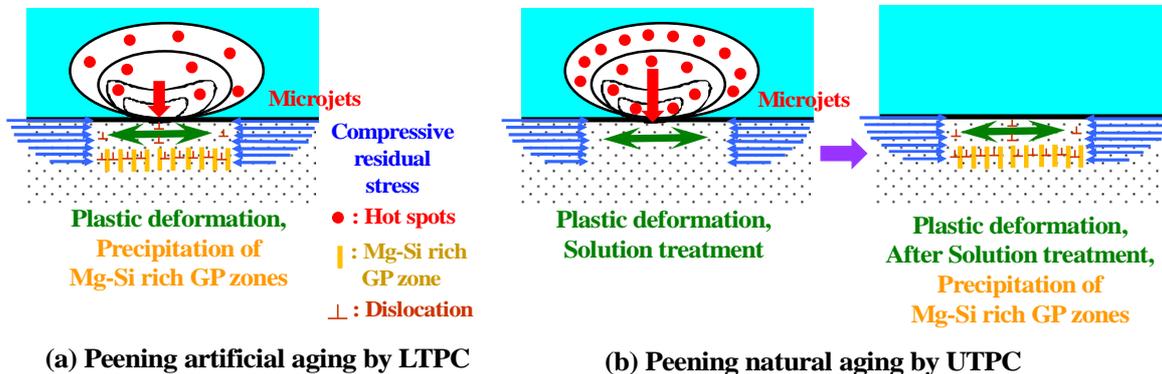


Fig. 2 Schematic diagram of artificial aging and natural aging by LTPC and UTPC.

2020年度：ピーニング自然時効を行うための、ウォータージェット圧力と超音波出力、施工時間との関係を明らかにすることができた。UTPCによるT4処理（溶体化処理(535 × 8h)後、自然時効）を再現し、加工条件を確立した。

2021年度：、UTPCによるT5処理（溶体化処理しないで人工時効）を再現し条件を確立するために、超音波の出力とWJ圧力を下げて保持した（LTPC: Low Temperature and Pressure Cavitation）（時効処理模擬）。これにより、高い圧縮残留応力付与することができた。具体的には、ピーニング人工時効を直接実施するため、キャビテーション気泡内温度を支配する超音波出力は100W、キャビテーション気泡内圧力を支配するウォータージェットWJ吐出圧力は20MPaが適していることが分かった。

2022年度：アルミニウム合金（AC4CH）を用い、ピーニング人工時効した部品を構造部材として活用する場合に必要なとされる疲労強度の向上について検討した。疲労試験片にピーニング人工時効処理を行い、疲労試験片は平板とし、曲げ疲労試験により疲労強度、疲労限界および疲労き裂発生箇所について明らかにすることができた。未処理材や従来のショットピーニングによる表面高強度化によって作製した疲労試験片よりも、疲労寿命が延長し、疲労強度および疲労限が向上するピーニング人工時効条件を確立することができた。

本研究の成果により、自動車等輸送機械の部品製造ラインにおける時効処理時間の短縮化、既存の輸送機械アルミニウム部品の疲労強度の向上および部品の薄肉化と省エネ化を実現するための生産技術として普及すると期待される。

#### 4.1 超高温高压キャビテーション（UTPC）によるT6処理（溶体化処理(535 × 8h)後、人工時効(155 × 6h)）を再現

図3は、アルミニウム合金AC4CHを用いてT6処理を模したLTPC加工材、T6熱処理材及び未処理材の走査電子顕微鏡写真と元素マッピングである。高濃度のMgを含むLTPC試験片の結晶粒部分は、T6時効後と類似していることが分かる。しかし、LTPCの場合、上記のMg濃度の高い結晶粒部分以外にも、局所的にMg-Si-Feリッチな析出物が観察された。ここで、LTPCの条件は、ウォータージェット圧力20MPa、超音波出力100W、作業時間20分とし、流入孔2個のテーパ回転ノズルを設置した。Mg-Si-Feに富む析出物の数は、キャビテーション気泡の圧力と温度とともに増加する傾向がある。

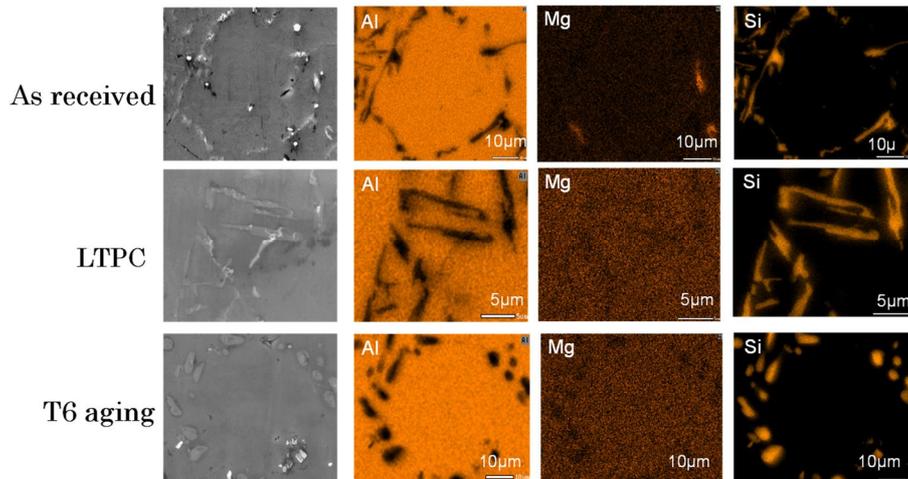


Fig. 3 Element mapping of Al-Mg-Si alloy surface by LTPC (20 MPa, 100 W, 20 min) processing and T6 aging.

処理時間と硬度の関係を図4に示す。硬度は2分で急激に増加し、その後30分まで徐々に増加した。T6処理材にストレート回転ノズルを用いたMFC処理を施すと、他のキャビテーション材と同様に2分で急速に硬化するが、30分ではT6処理なしのMFC処理材と同等の硬さを持つ。これは、加工硬化と時効硬化の合計が同じレベルに達していることを示している。

#### 4.2 ピーニング自然時効を行うための、ウォータージェット圧力と超音波出力、施工時間との関係と UTPC による T4 処理の再現

ウォータージェット圧力と圧縮残留応力の関係を図 5 に示します。ウォータージェット圧力が増加するにつれて圧縮残留応力が低下することが分かった。最も高い残留応力はウォータージェット圧力 20 MPa で得られた。時効硬化は加工硬化よりも大きくなり、弾性拘束により残留応力が増加する。せん断応力が大きすぎると、転位が析出物を通して後に転位ループが生成されることが知られている。したがって、オロワン機構が有効にならず、弾性拘束が逆に減少することにより圧縮残留応力が減少する。ウォータージェット圧力 20 MPa によるマイクロジェットによる表面変形力が 35 MPa よりも小さく、析出物に依存した転位が 35 MPa よりも多く、ピーニング領域の周囲からの弾性拘束によって生成される圧縮残留応力が高くなったと考えられる。図 6 は超音波出力（水中での音圧）と圧縮残留応力の関係です。ウォータージェット圧力 100W で最も高い残留応力が得られました。表面に付与された残留圧縮応力はピーニング効果を示します。前述したように、アルミニウム合金の時効は低合金鋼に比べて低温で進行すると考えられています。したがって、アルミニウム合金の時効処理には UTPC よりも LTPC の方が適している。

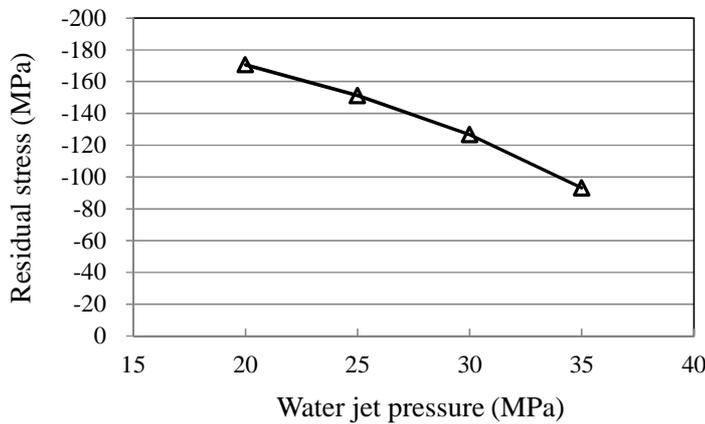


Fig. 5 Relationship between water jet pressure and compressive residual stress (100 W, 20 min).

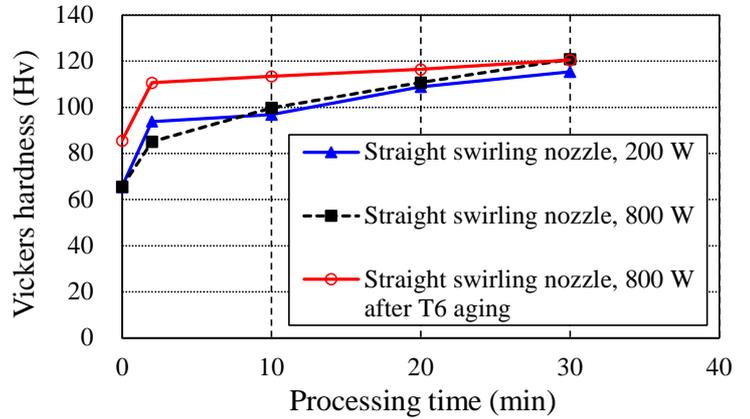


Fig. 4 Relationship between processing time and Vickers hardness (Water jet pressure: 35 MPa).

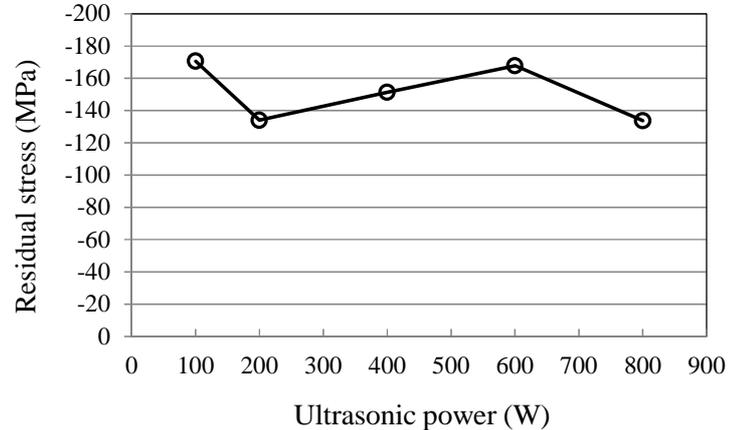


Fig. 6 Relationship between ultrasonic output (sound pressure in water) and compressive residual stress (20 MPa, 20 min).

図 7 に LTPC 処理直後と長時間経過後の表面にかかる圧縮残留応力の値を示す。未処理の材料のピッカース微小硬度は 85.3 HV であった。2 分、5 分処理では硬度の上昇は見られなかったが、10 分以上の処理では硬度の上昇が認められた。20 分間処理した材料の硬度が最も増加した。

#### 4.3 UTPC による T5 処理（溶体化処理しないで人工時効）再現と確立

図 8 に T5 処理と T4 処理を模擬したピーニング時効処理により得られた圧縮残留応力を示す。LPTC 20 分間処理された材料の 7 日間後の圧縮残留応力は、-171 MPa で最高である。ただし、141 日後には UTPC 20 分処理材と同じレベルまで低下する。しかし、UTPC 20min 加工材の 7 日後の圧縮残留応力は -134 MPa であり、LPTC 20min 加工材の圧縮残留応力に比べて大きくはないが、175 日経っても圧縮残留応力はあまり減少していない。長時間経過した UTPC30min 処理材、UTPC60min 処理材では、圧縮残留応力が -100MPa 以下に減少している。UTPC ピーニング自然時効材

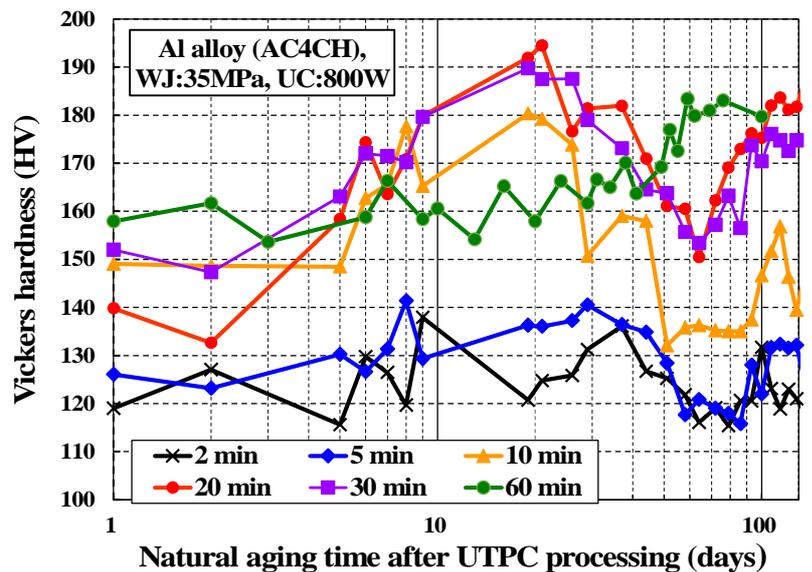


Fig. 7 Relationship between hardness and elapsed time after UTPC processing (WJ: 35 MPa, UC: 800 W) (Average of standard deviation: 2 min 5.9 HV, 5 min 7.5 HV, 10 min 9.9 HV, 20 min 9.5 HV, 30 min 11.2 HV, 60 min 6.9 HV).

(UTPC 20 分) の圧縮残留応力の安定性は、LTPC ピーニング人工時効材 (UTPC 20 分) よりも優れている。LTPC によるピーニング人工時効では、2 分間という短時間でも -100 MPa 以上の圧縮残留応力を付与することができ、120 ~ 140 HV の硬度が得られる。LTPC によるピーニング人工時効処理は、ピーニング人工時効処理により長時間かかる圧縮残留応力の減少を考慮すると、短時間の処理で十分であると判断できる。表面硬度に関しては、UTPC によるピーニング自然時効材と LTPC によるピーニング人工時効材の両方がほぼ 180 HV に達し、20 分以上の長時間処理で 100 日以上後に同じレベルの硬度を達成する。耐食性の観点からは、UTPC によるピーニング自然時効材 (UTPC 30 分) が優れている。以上の結果より、AC4CH 合金の使用目的に応じて、ピーニング自然時効とピーニング人工時効を使い分ける必要がある。

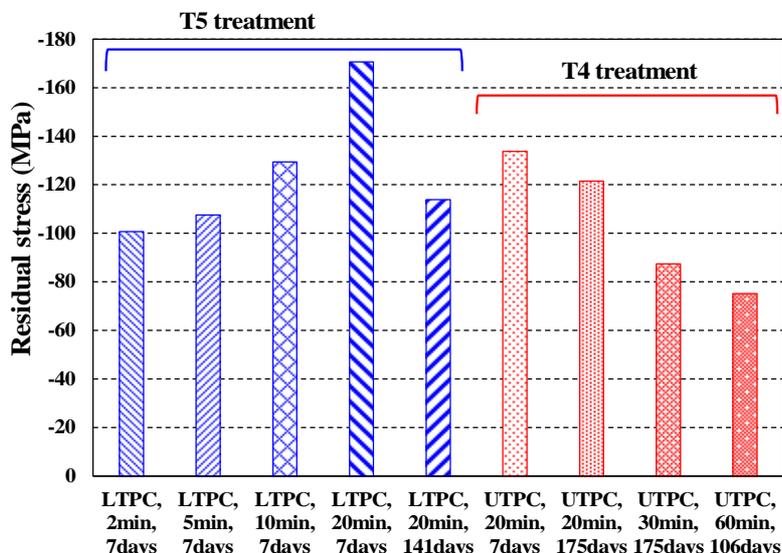


Fig. 8 Aging variation of compressive residual stress of LTPC and UTPC.

#### 4.4 ピーニング人工時効した部品を構造部材として活用する場合に必要な疲労強度の向上

コンピュータ制御動電型疲労試験機を用いて、ジグを介してアクチュエータで生じた軸力を曲げモーメントに変換することにより平面曲げ疲労試験を行った。疲労試験における試験片表面を光学顕微鏡によって観察できる仕様となっている。繰返し速度 30 Hz、応力比  $R=-1$  (両振り) の条件のもと、室温、大気中で疲労試験を行った。疲労試験後、MFC による破面観察を行い、破壊起点部を特定した。MFC (20MPa, 800W: LTPC と UTPC の中間条件を MFC とする) に起因するピーニング効果により、疲労特性は向上することを明らかにした。

図 9 は、未処理材、未処理材+MFC 処理材、T6 材と T6+MFC 処理材の S 曲線である。T6 材の疲労寿命は未熱処理材と比べて長いことが分かった。この結果は、熱処理による時効硬化が Al 合金の疲労特性改善に寄与したことを示している。次に、MFC の表面改質効果に注目すると、T6+MFC 材の疲労寿命は T6 材と比べて長くなった。さらに、未熱処理+MFC 材の疲労寿命は、MFC を施していない T6 材と比較しても長くなった。

MFC により表面層が時効硬化し、加工硬化と時効硬化により表面層が大幅に硬化する。未熱処理材と比較して、T6 材の高応力域疲労寿命は長い。MFC 処理により表面圧縮残留応力が生起するが、高応力域で表面硬さの増加が疲労特性改善に寄与することが分かった。高応力域では MFC 処理による圧縮残留応力が解放されるが、低応力域では圧縮残留応力は解放しないことが示された。圧縮残留応力は低応力域での疲労特性改善に寄与する。未熱処理材+MFC 材ではピーニング痕から疲労き裂が発生する。MFC 材の  $10^7$  回疲労強度は、圧縮残留応力、表面硬さ、ピーニング痕により決まることが示された。一般に用いられている T6 処理と比較して、高応力域の疲労特性が同程度まで向上する上に、低応力域においても、圧縮残留応力により疲労特性の改善がなされる処理を二段階に分けて、表面のピットを抑制した。すなわち、MFC+UC (超音波照射) 材では、疲労き裂の発生を誘発するピットの形成が抑制され、MFC+UC 材の疲労特性が優れることが明らかになった。

以上ことから、MFC 処理で発現した熱処理効果とピーニング効果の複合的な作用である高強度化により、熱処理型 Al 合金の疲労特性が顕著に改善することが明らかとなった。

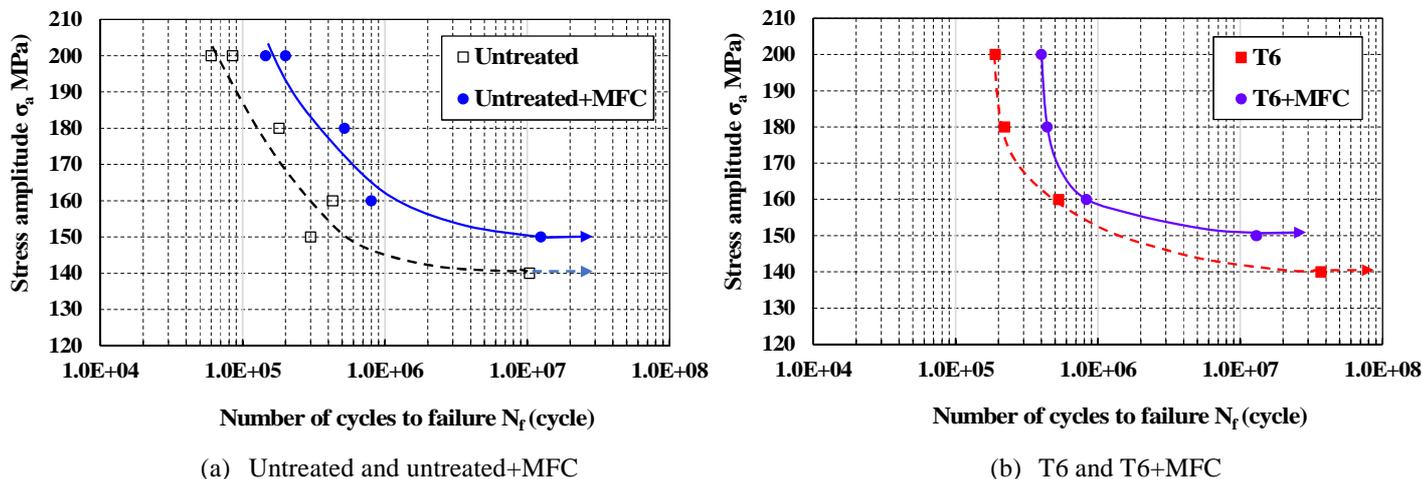


Fig. 9 Effect of MFC processing on plane bending fatigue properties of Al alloy (20 MPa, 800W).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 18件／うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 Yoshimura Toshihiko, Noda Tomoya, Ijiri Masataka	4. 巻 18
2. 論文標題 Processing of magnesium alloy by energy-intensive multifunction cavitation in a strong magnetic field with laser light excitation and associated sonoluminescence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Results in Materials	6. 最初と最後の頁 100391 ~ 100391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rinma.2023.100391	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 Ijiri Masataka, Ogi Takayuki, Yoshimura Toshihiko	4. 巻 16
2. 論文標題 Effect of multifunction cavitation treatment on the surface of thin plates of Al alloys	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Results in Materials	6. 最初と最後の頁 100329 ~ 100329
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rinma.2022.100329	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 Yoshimura Toshihiko, Fujinaga Seijiro, Ijiri Masataka	4. 巻 6
2. 論文標題 MODIFYING RESIN VISCOELASTICITY BY MULTIFUNCTION CAVITATION PROCESSING IN A MAGNETIC FIELD	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering Science Technologies	6. 最初と最後の頁 53 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.29121/ijoest.v6.i4.2022.364	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 Ijiri Masataka, Ogi Takayuki, Murakami Kyosuke, Horiguchi Shoma, Yoshimura Toshihiko	4. 巻 19
2. 論文標題 Effect of multifunction cavitation-treated carbon steel surface on fracture toughness	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Research and Technology	6. 最初と最後の頁 3546 ~ 3553
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmrt.2022.06.117	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 Ijiri Masataka, Okamoto Naoki, Okamoto Shun, Ogi Takayuki, Kikuchi Shoichi, Yoshimura Toshihiko	4. 巻 19
2. 論文標題 Characteristics of oxide film formed on cavitation-treated steel surface in water	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Research and Technology	6. 最初と最後の頁 1897 ~ 1905
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmrt.2022.05.182	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 Yoshimura Toshihiko, Watanabe Shunta, Ijiri Masataka, Ota Satoshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Development of processing technology using extremely high concentration cavitation energy by strong magnetic field	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Results in Materials	6. 最初と最後の頁 100289 ~ 100289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rinma.2022.100289	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 T. Yoshimura, Y. Sugae, T. Ogi, F. Kato, M. Ijiri	4. 巻 7
2. 論文標題 Development of energy intensive multifunction cavitation technology and its application to the surface modification of the Ni-based columnar crystal superalloy CM186LC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Heliyon, Elsevier	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2021.e08572	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 T. Yoshimura, M. Ijiri, K. Sato	4. 巻 5
2. 論文標題 ESTIMATION OF NUCLEAR FUSION REQUIREMENTS IN BUBBLES DURING ULTRA-HIGH-PRESSURE, ULTRA-HIGH-TEMPERATURE CAVITATION PROMOTED BY MAGNETIC FIELD	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Engineering Science Technologies	6. 最初と最後の頁 102-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.29121/ijoest.v5.i6.2021.257	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 T. Yoshimura, N. Nishijima, D. Hashimoto, M. Ijiri	4. 巻 7
2. 論文標題 Sonoluminescence from ultra-high temperature and pressure cavitation produced by a narrow water jet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Heliyon, Elsevier	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2021.e07767	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 T. Yoshimura, M. Iwamoto, T. Ogi, F. Kato, M. Ijiri, S. Kikuchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Peening Natural Aging of Aluminum Alloy by Ultra-High-Temperature and High-Pressure Cavitation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 applied sciences	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11072894	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 T. Yoshimura, D. Shimonishi, D Hashimoto, N. Nishijima, M. Ijiri	4. 巻 57
2. 論文標題 Effect of Processing Degree and Nozzle Diameter on Multifunction Cavitation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surface Engineering and Applied Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 106-116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3103/S1068375521010154	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 M. Ijiri, K. Yamaguchi, S. Kikuchi, M. Fujiwara, Y. Nakanishi, T. Yoshimura	4. 巻 25
2. 論文標題 Improvement in the quality of the processed material surfaces lies in the moving of nozzle in the cavitation processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surfaces and Interfaces	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfin.2021.101206	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 M. Ijiri, K. Yamaguchi, S. Kikuchi, F. Kato, Y. Kunieda, H. Sakurai, T. Ogi, T. Yoshimura	4. 巻 25
2. 論文標題 Formation of a phosphoric acid compound film on an AZ31 magnesium alloy surface using cavitation bubbles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surface and Interfaces, Elsevier	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.surfin.2021.101194	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 M. Ijiri, F. Kato, D. Maeda, S. Kikuchi, T. Yoshimura	4. 巻 1016
2. 論文標題 Effect of Compressive Residual Stress on Film Formed by Mechanochemical Multifunction Cavitation Processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 574-579
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.1016.574	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 T. Yoshimura, M. Iwamoto, T. Ogi, F. Kato, M. Ijiri, S. Kikuchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Peening Natural Aging of Aluminum Alloy by Ultra-High-Temperature and High-Pressure Cavitation, applied sciences	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 applied sciences	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app11072894	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 T. Yoshimura, D. Shimonishi, D. Hashimoto, N. Nishijima, M. Ijiri	4. 巻 57(1)
2. 論文標題 Effect of Processing Degree and Nozzle Diameter on Multifunction Cavitation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Surface Engineering and Applied Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 101-106
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 該当する

1. 著者名 M. Ijiri, T. Ogi, T. Yoshimura	4. 巻 6
2. 論文標題 High-temperature corrosion behavior of high-temperature and high-pressure cavitation processed Cr-Mo steel surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heliyon.2020.e04698	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 T. Yoshimura, D. Maeda, T. Ogi, F. Kato, M. Ijiri	4. 巻 11(2)
2. 論文標題 Sonoluminescence from Ultra-high-temperature and High-pressure cavitation and its Effect on Surface Modification of Cr-Mo Steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global Journal of Technology & Optimization	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4172/gjto.2020.11.240	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 Toshihiko Yoshimura <sup>1</sup> , Masataka Ijiri <sup>1</sup> , Daichi Shimonishi <sup>1</sup> , Kumiko Tanaka	4. 巻 10
2. 論文標題 Micro-Forging and Peening Aging Produced by Ultra-High-Temperature and Pressure Cavitation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Advancements in Technology	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24105/0976-4860.10.227	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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 松岡俊汰, 吉村敏彦, 井尻政孝, 菊池将一
2. 発表標題 熱処理型アルミニウム合金AC4CHの疲労特性に及ぼす機能性キャビテーションの影響
3. 学会等名 日本熱処理技術協会第94回 (2022年度・秋季) 講演大会, 2022. 11. 24-25, 愛知県
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石阪継士, 尾木孝之、井尻政孝、吉村敏彦
2. 発表標題 機能性キャピテーション処理した炭素鋼表面の破壊靱性への影響
3. 学会等名 公益社団法人自動車技術会 第4回学生ポスターセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田竜之介, 加藤文浩、井尻政孝、菊池将一、吉村敏彦
2. 発表標題 リン酸キャピテーションによるマグネシウム合金の耐食性及び疲労特性の改善
3. 学会等名 公益社団法人自動車技術会 第4回学生ポスターセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤晴也, 尾木孝之、井尻政孝、吉村敏彦
2. 発表標題 環境配慮型ピーニング技術によるはすば歯車表面の強化
3. 学会等名 公益社団法人自動車技術会 第4回学生ポスターセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松岡俊汰, 吉村敏彦, 井尻政孝, 菊池将一
2. 発表標題 機能性キャピテーションによる マグネシウム合金AZ31の耐食性皮膜形成メカニズム
3. 学会等名 日本材料学会第3回生体 医療材料部門委員会学生研究交流会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤文浩, 吉村敏彦, 菊池将一, 井尻政孝
2. 発表標題 化成処理を利用したキャピテーション加工におけるマグネシウム合金表面の影響
3. 学会等名 日本ばね学会 春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾木孝之, 吉村敏彦, 井尻政孝, 菊池将一
2. 発表標題 機能性キャピテーション加工によるCr-Mo鋼表面の強度および耐食性の向上
3. 学会等名 日本ばね学会 春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 (1)加藤文浩, 吉村敏彦, 井尻政孝, 菊池将一, 松岡俊汰, 佐藤一教
2. 発表標題 高温高圧キャピテーションによるマグネシウム合金表面の高機能化
3. 学会等名 日本鉄鋼協会・日本金属学会 中国四国支部 鉄鋼第64回・金属第61回 合同講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾木孝之, 吉村敏彦, 井尻政孝, 菊池将一
2. 発表標題 機能性キャピテーションによるSCM420H鋼の表面改質
3. 学会等名 第6回材料WEEK「材料シンポジウム」, 若手学生研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾木 孝之, 吉村敏彦, 菊池 将一, 井尻政孝, 下西大地, 板本航輝, 伊東航輝
2. 発表標題 機能性キャピテーションによる疲労強度向上のための回転機構の開発
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 加藤文浩, 前田大作, 下西大地, 吉村敏彦, 井尻政孝
2. 発表標題 高温高圧キャピテーションによるマグネシウム合金の耐食性制御に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 2 0 2 0 年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Toshihiko Yoshimura <sup>1</sup> , Masataka Ijiri <sup>1</sup> , Daichi Shimonishi <sup>1</sup> , Kumiko Tanaka
2. 発表標題 Smart metal surface manufactured by ultra-high-temperature and pressure cavitation
3. 学会等名 26th Assembly Advanced Materials Congress, 10-13 June 2019, Stockholm, Sweden, ISBN: 978-91-88252-19-7 Published in Sweden. (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

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