

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：82108

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14853

研究課題名（和文）疲労損傷のマルチスケールの観察が結びつける転位-塑性変形-き裂関係

研究課題名（英文）Linking the relationship between dislocation-plastic deformation-crack through multi-scale observation of fatigue damage

研究代表者

吉中 奎貴（YOSHINAKA, Fumiyoshi）

国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・主任研究員

研究者番号：00825341

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：高Mn鋼を対象に転位-塑性変形-き裂の関係を調査した。その結果、塑性変形メカニズムとしてオーステナイトとマルテンサイトの間の双方向変態(B-TRIP)が生じる場合に疲労寿命が最長となることを明らかにした。このことは、変形可逆性により疲労寿命を改善できることを示している。また、実用的なB-TRIP鋼の開発に取り組み、疲労耐久性と溶接適合性を兼備した新鋼材を開発した。さらに、B-TRIPによる疲労耐久性の改善効果を最大化する条件として、マルテンサイト変態の抑制が重要であることを示すとともに、本条件を満たす材料として既存のB-TRIP鋼の2倍の疲労寿命を示す新鋼材を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では材料の塑性変形を制御し変形可逆性を高めるという発想に基づき耐疲労鋼材の合金設計指針を確立した。低サイクル疲労の考慮を要する有限寿命設計が適用される場合について、本研究が可能とした疲労寿命の改善は部材・施設の長寿命化に寄与する。また、疲労耐久性に加え、構造化に重要な溶接適合性を改善した合金を開発したことは、研究成果を社会に還元するための取り組みとして意義深い。本研究成果は構造用金属材料の長寿命化の実現により、公共施設等の老朽化対策においてライフタイムコストの削減に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：The relationship between dislocation-plastic deformation-crack in high Mn steel was investigated. As a result, the fatigue life is maximized when a bidirectional transformation (B-TRIP) occurs between austenite and martensite as a plastic deformation mechanism. This indicates that high deformation reversibility can improve the fatigue life. Additionally, the practical B-TRIP steel with high fatigue durability and weldability was developed. Furthermore, this research demonstrated the importance of suppressing martensite transformation as a condition to maximize the improvement in fatigue durability through B-TRIP. A new steel was developed so as to meet this condition and exhibits twice the fatigue life compared to existing B-TRIP steel.

研究分野：金属疲労

キーワード：金属疲労 疲労寿命 疲労き裂 合金設計 マルテンサイト変態 疲労破面解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高度経済成長期に集中して建設されたインフラ・建築物の老朽化が今後急速に深刻化することが懸念されている。構造用金属材料の長寿命化を実現することができれば、老朽化施設の補修あるいは建替に際して今後長期的なコストを圧縮することが期待できる。

材料設計による疲労特性の向上においては、静的強度や硬さを高め、付随的に疲労特性を改善させることが一般的であった。一方、近年になり、本質的に疲労に強い組織を作り込むという発想に基づく材料設計が注目されている[M. Koyama, Z. Zhang, M. Wang, D. Ponge, et al., Science, 355 (2017) pp.1055-1057]。ここで、疲労は微視的には負荷と除荷の繰返しによる不可逆な変形・損傷の蓄積からき裂を生じ破壊につながる。そのため、疲労過程を転位・塑性変形・き裂のマルチスケールな関係として調べることは現象の詳細を解明する上で重要である。

図1に示す通り、高Mn鋼はマルテンサイト変態や変形双晶、拡張転位すべりといった多様な塑性変形メカニズムを示し[P. Chowdhury, D. Canadic, and H. Sehitoglu, Mat Sci and Eng R, 122 (2017) pp. 1-28]、これが疲労特性に影響を与えられ考えられる。これらの変形メカニズムは完全転位が二つの部分転位とそれに挟まれる拡張転位とに分離する拡張転位すべりを素過程として共有する。一方、拡張転位すべりは同一結晶面上を反復運動しやすいことが指摘されている。申請者らはこのような高い変形可逆性が疲労損傷を緩和しうるのではないかと考え、新たな高Mn鋼としてFe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si(mass%)を開発し、既存材料の約10倍の低サイクル疲労寿命が得られることを示した[I. Nikulin, N. Nagashima, F. Yoshinaka, and T. Sawaguchi, Mater Lett, 230 (2018) pp. 257-260]。

以上のように金属材料の疲労特性は変形可逆性に着目した材料設計により飛躍的に向上させる可能性がある。一方、そのためには変形の素過程である転位から最終的な破壊の担い手であるき裂までわたる関係をマルチスケールで調査することが必須の課題である。

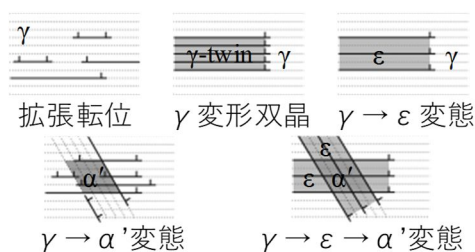


図1 高Mn鋼の多様な塑性変形メカニズム

2. 研究の目的

本研究の目的は種々の塑性変形メカニズムが疲労特性に与える影響を明らかにするとともに、変形可逆性に着目した材料設計指針を構築することである。疲労損傷を記述する物理的な量として疲労き裂が重要な位置づけにあるが、き裂の発生・進展は塑性変形に起因し、塑性変形と疲労き裂は不可分の関係である。本研究では巨視的な破壊を支配する疲労き裂を転位・塑性変形のスケールで制御することで、優れた疲労耐久性(疲労寿命)を発現する材料を創製する。そのために、異なる塑性変形メカニズムを示す高Mn鋼について低サイクル疲労試験を実施し、疲労破面解析や疲労変形組織解析を実施する。

3. 研究の方法

高Mn鋼の塑性変形メカニズムは積層欠陥エネルギーに依存して変化し、さらに積層欠陥エネルギーは化学成分や温度に依存する。そこで、化学成分の調整や疲労試験温度の変化によって塑性変形メカニズムが異なる合金あるいは試験条件において疲労試験を実施した。材料はNIMSの材料創製加工ステーション(現材料溶解創製ユニット)の装置群を用いて製造した。

1. に示したとおり本研究のモチベーションはインフラ・建築物の老朽化への対策にあるが、これらの疲労損傷原因として地震による変形が重要であり、特に重大な損傷モードとして巨視的な塑性変形を繰返し生じる低サイクル疲労がある。そこで本研究では疲労試験として軸ひずみ制御による低サイクル疲労試験を行った。疲労試験は全ひずみ振幅 ± 1 、ひずみ比-1、ひずみ速度0.4%/sとして実施した。疲労破断後の試験片について疲労破面解析によりき裂発生・進展挙動を調査した。さらに疲労変形組織をXRDやSEM-EBSDにより解析することで、疲労き裂と塑性変形メカニズムの関係を調査した。

これらの検討により明らかにした疲労メカニズムを合金設計にフィードバックすることで、優れた疲労耐久性を発揮する新合金を開発した。

4. 研究成果

(1) 塑性変形メカニズムと疲労寿命の関係

Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si 合金について試験温度により塑性変形メカニズムを変化させて疲労試験を実施することで、塑性変形メカニズムと疲労寿命の関係を調査した。疲労試験により得られた疲労寿命を積層欠陥エネルギー γ_{SFE} および マルテンサイト変態における Gibbs 自由エネルギー差 G により整理した。 G に応じて塑性変形メカニズムと疲労試験結果の関係は以下のように区分できる。

- (I) $G \ll 0$
 応力誘起 マルテンサイト変態および マルテンサイトのすべり変形が生じ、比較的長い疲労寿命が得られた。
- (II) $G \approx 0$
 可逆的な双方向 変態が生じ、疲労寿命が最大となった。
- (III) $G \gg 0$
 母相である α' -オーステナイト単相のすべり変形が生じ、疲労寿命は一般のオーステナイト鋼と同程度となる。

以上のように、双方向 変態が疲労寿命の向上において最適な変形メカニズムであり、Gibbs 自由エネルギー $G \approx 0$ を合金設計指針として示した。

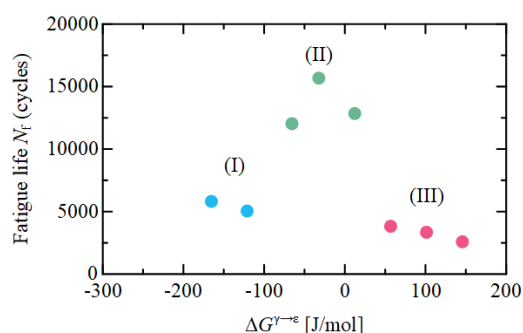


図 2 Gibbs 自由エネルギー差 G と疲労寿命 N_f の関係

< 関連する発表論文 >

Sawaguchi Takahiro, Nikulin Ilya, Ogawa Kazuyuki, Takamori Susumu, Yoshinaka Fumiyoshi, Chiba Yuya, Otsuka Hiroaki, Inoue Yasuhiko, Kushibe Atsumichi, Act Mater, 220 (2021) 117267.

Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro, Nikulin Ilya, Takamori Susumu, Int J Fatigue, 129 (2019) 105224.

(2) B-TRIP 鋼の引張特性に及ぼす微視組織の影響

(1) で示した通り Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si は室温における変形メカニズムとして双方向変態を示し、卓越した疲労寿命を発現する。同合金の引張変形の微視組織的メカニズムを調査した。その結果、同合金の強度延性バランスは引張強度と延性の積が 51.4GPa%と良好であり、特に全伸びは 77%と高 MnTWIP 鋼と同程度であった。このような高延性が得られるメカニズムを引張変形組織の観点から調査したところ、破壊後の組織は γ - ϵ - α' の三相組織であった。同合金においてはひずみ誘起 マルテンサイト変態による塑性 (γ -martensitic Transformation Induced Plasticity: γ -TRIP)、二段階 マルテンサイト変態による塑性 (Two-stage TRIP)、双方向 変態による塑性 (Bidirectional TRIP: B-TRIP) の 3 つが協調的に働くことにより優れた延性が得られることが示された。

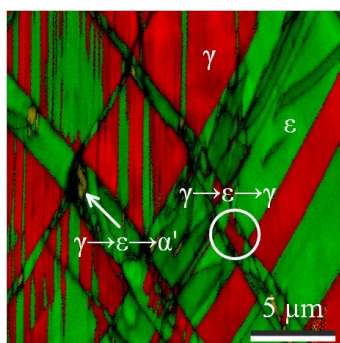


図 3 B-TRIP 鋼の引張変形組織の EBSD Phase マップ

< 関連する発表論文 >

Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro, Takamori Susumu, Emura Satoshi, Mater Sci Eng A, 833 (2022) 142583.

(3) -TRIP 鋼の疲労破面解析

(1)に示したうち $G \ll 0$ では応力誘起 マルテンサイト変態により容易に マルテンサイトが形成される (-TRIP). ここで, $G \ll 0$ は特に SFE が低い領域に対応する. 一方, 変形可逆性は SFE に依存し, SFE が低いほど変形可逆性が向上すると指摘されている. この指摘に基づけば, $G \ll 0$ において最も変形可逆性が高くなり疲労寿命も長くなることが予想されるが, (1)に示した通り, $G \ll 0$ ではB-TRIPが生じる領域に比べ疲労寿命が低下した. そこで, -TRIP 鋼 Fe-33Mn-6Si について疲労試験を実施し, 疲労破面解析を行うことで疲労き裂進展挙動を調査した. その結果, 疲労破面は極めて結晶学的な形状を呈していた. 疲労破面の三次元形状を計量したところ, すべり面同士がなす角度により精度良く特徴づけることが可能であった. 以上のことから, -TRIP 鋼では HCP 構造に起因する擬へき開の発生を伴うき裂進展が生じており, これが寿命低下を生じた可能性がある.

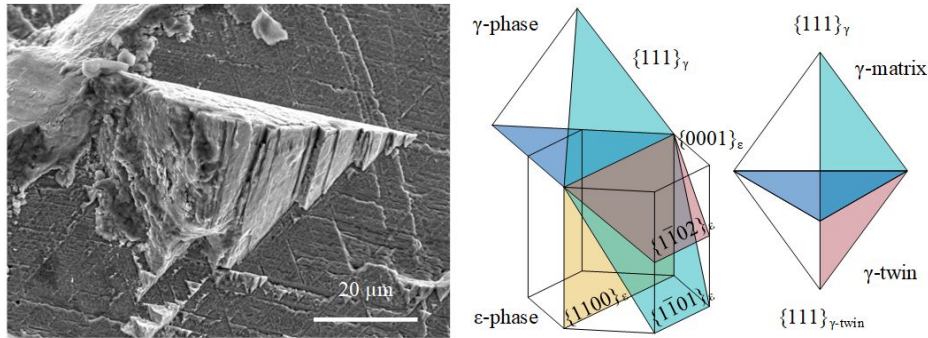


図4 TRIP-鋼の疲労破面

< 関連する発表論文 >

Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro, Int J Fatigue, 130 (2020) 195271.

(4) 溶接組立て可能な耐疲労鋼材の開発

(1)および(2)で調査対象とした合金(X0)は凝固割れ感受性が高く溶接部に欠陥を生じやすいなど溶接施工性に課題があった. そこで, 優れた疲労耐久性を持ちつつ, 凝固割れ感受性を抑制した新たな耐疲労鋼材の開発を行った. 疲労耐久性については(1)で示した通り, 双方向変態(B-TRIP)を生じさせるように $G \approx 0$ とすることが設計指針である. 一方, 凝固割れ感受性については凝固モードと相関があり, なかでも Ferrite Austenite モード(FA モード)は凝固割れを生じにくいことが知られている. また, 凝固モードは 生成元素の影響を評価する Cr_{eq} と 生成元素に対する Ni_{eq} の比(Cr_{eq}/Ni_{eq})に依存して変化する. そこで第一世代 B-TRIP 鋼に対し, Cr と Ni を系統的に変化させた Fe-15Mn-(10+2X)Cr-(8-X)Ni-4Si(x=0, 0.5, 1, 2; X0, X05, X1, X2)を試作し疲労試験と溶接試験を行った.

溶接試験の結果, X0 は割れを生じたのに対し, X05-X2 は割れが生じなかった. また, EDS 測定の結果, X0 に比べて X05-X2 では偏析が軽減されていた. 大型放射光施設 SPring-8 を用いた溶接凝固過程の回折測定を行ったところ, X0 では A モード凝固であるのに対し X05 では FA モードであることが実測された. 以上の通り, Cr と Ni の添加量を微調整することにより凝固モードが A モードから FA モードに変化し, 凝固割れ感受性が軽減された. また, X0-X2 に疲労試験を行ったところ, いずれの鋼種も一般鋼材に比べて優れた疲労寿命を示し, X05 は X0 とほぼ同等の疲労耐久性を示した. 以上の結果から, X05 すなわち Fe-15Mn-11Cr-7.5Ni-4Si を優れた疲労耐久性と溶接施工適合性を兼備する新材料として開発することができた.

一方, X の値が大きくなるほど寿命が低下する傾向が見られた. そこで, 疲労破断後の組織解析を行ったところ, X の値が大きくなるほど マルテンサイトの形成量が増加することが明らかとなった. (2)で示した通り, 本合金系においては マルテンサイトは二段階マルテンサイト変態により生じる. そのため, マルテンサイトが生じると双方向変態が阻害され, これによる疲労損傷緩和メカニズムが働かなくなり, 疲労寿命が低下すると考えられる. すなわち, B-TRIP による疲労寿命改善効果を最大化するためには, $\Delta G \approx 0$ の条件に加え, マルテンサイトの抑制が重要である.

凝固過程における相変態制御：
Cr/Ni比による凝固モード最適化

疲労変形過程における相変態制御：
双方向変態による超長疲労寿命の発現

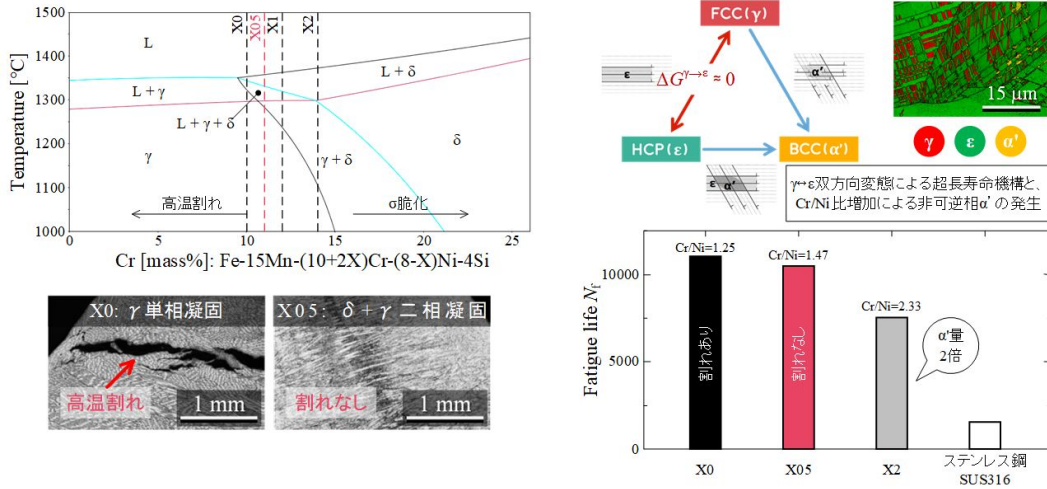


図5 溶接組立て可能な耐疲労鋼材の開発

< 関連する発表論文 >

Yoshinaka Fumiyo, Sawaguchi Takahiro, Takamori Susumu, Nakamura Terumi, Arakane Goro, Inoue Yasuhiko, Motomura Susumu, Kushibe Atsumichi, Script Mater, 197 (2021) 113815.

吉中 奎貴, 澤口 孝宏, 高森 晋, 江村 聡, 中村 照美, 柳樂 知也, 櫛部 淳道, 井上 泰彦, 本村 達, まてりあ, 62 (2023) pp.229-236.

(5) B-TRIP を活用した超長寿命鋼材の開発

(4)に示した通り, B-TRIP による疲労寿命改善効果を最大化するためには、マルテンサイトの抑制が重要である。一方, Mn はマルテンサイトに対しオーステナイトを安定化させ, さらにマルテンサイトに優先して、マルテンサイトの生成が抑制されることが指摘されている。そこで, (4)のうち X05 (Fe-15Mn-11Cr-7.5Ni-4Si : 15Mn 材) から Mn を 3% 増加した Fe-18Mn-11Cr-7.5Ni-4Si (18Mn 材) を作成し疲労特性を調査した。その結果, 18Mn 材の疲労寿命は 15Mn 材の 2 倍程度に相当する平均 21,994 サイクルを示し, 極めて長い疲労寿命が得られた。疲労き裂進展中のひずみ集中場である疲労破面上において、マルテンサイト量を計測したところ, 15Mn 材では 2.83vol% であったのに対し, 18Mn 材では 0.23% であり、マルテンサイト変態が抑制されていた。本結果から、マルテンサイト変態が B-TRIP 鋼の疲労寿命を低下させる要因であり, これを抑制することで極めて長い疲労寿命が得られることが実証された。

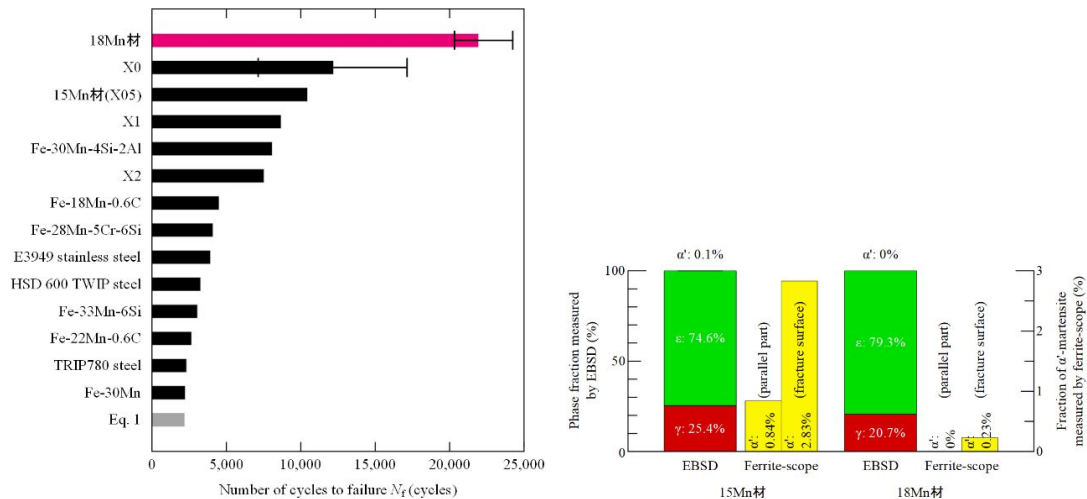


図6 超長寿命鋼材の疲労寿命と疲労変形組織における割合

< 関連する発表論文 >

Yoshinaka Fumiyo, Sawaguchi Takahiro, Takamori Susumu, Emura Satoshi, Inoue Yasuhiko, Int J Fatigue, 171 (2023) 107581.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sawaguchi Takahiro, Nikulin Ilya, Ogawa Kazuyuki, Takamori Susumu, Yoshinaka Fumiyoshi, Chiba Yuya, Otsuka Hiroaki, Inoue Yasuhiko, Kushibe Atsumichi	4. 巻 220
2. 論文標題 Low-cycle fatigue life and plasticity mechanisms of a Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si seismic damping alloy under cyclic loading at various temperatures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 117267 ~ 117267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.117267	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 Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro, Takamori Susumu, Emura Satoshi	4. 巻 833
2. 論文標題 Transformation-induced plasticity via γ and ϵ martensitic transformations in Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si alloy	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 142583 ~ 142583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2021.142583	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 Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro, Takamori Susumu, Nakamura Terumi, Arakane Goro, Inoue Yasuhiko, Motomura Susumu, Kushibe Atsumichi	4. 巻 197
2. 論文標題 Development of ferrous-based weldable seismic damping alloy with prolonged plastic fatigue life	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 113815 ~ 113815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2021.113815	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 Yoshinaka Fumiyoshi, Xue Gaoge, Fujimura Nao, Nakamura Takashi	4. 巻 142
2. 論文標題 Effect of vacuum pressure on small crack propagation in Ti-6Al-4V	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 105961 ~ 105961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijfatigue.2020.105961	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 Nikulin Ilya, Yoshinaka Fumiyoshi, Takamori Susumu, Sawaguchi Takahiro	4. 巻 766
2. 論文標題 Effect of carbon on the low-cycle fatigue resistance and microstructure of the Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si seismic damping alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 138321 ~ 138321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2019.138321	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 Yoshinaka Fumiyoshi, Nakamura Takashi, Takeuchi Akihisa, Uesugi Masayuki, Uesugi Kentaro	4. 巻 42
2. 論文標題 Initiation and growth behaviour of small internal fatigue cracks in Ti 6Al 4V via synchrotron radiation microcomputed tomography	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures	6. 最初と最後の頁 2093 ~ 2105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ffe.13085	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 Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro, Nikulin Ilya, Takamori Susumu	4. 巻 129
2. 論文標題 Fatigue properties and plastically deformed microstructure of Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si alloy in high-cycle-fatigue regime	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 105224 ~ 105224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijfatigue.2019.105224	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 Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro	4. 巻 130
2. 論文標題 Characterization of crystallographic fracture surfaces in Fe-33Mn-6Si alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 105271 ~ 105271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijfatigue.2019.105271	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 Nikulin Ilya, Sawaguchi Takahiro, Yoshinaka Fumiyoshi, Takamori Susumu	4. 巻 162
2. 論文標題 Influence of cold rolling deformation mechanisms on the grain refinement of Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si austenitic alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 110191 ~ 110191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchar.2020.110191	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 Sawaguchi Takahiro, Tomota Yo, Yoshinaka Fumiyoshi, Harjo Stefanus	4. 巻 242
2. 論文標題 Evidence supporting reversible martensitic transformation under cyclic loading on Fe-Mn-Si-Al alloys using in situ neutron diffraction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118494 ~ 118494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.118494	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 Yoshinaka Fumiyoshi, Sawaguchi Takahiro, Takamori Susumu, Emura Satoshi, Inoue Yasuhiko	4. 巻 171
2. 論文標題 Two-fold improvement of low cycle fatigue resistance of steel by bidirectional transformation-induced plasticity	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 107581 ~ 107581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijfatigue.2023.107581	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 吉中 奎貴, 澤口 孝宏, 高森 晋, 江村 聡, 中村 照美, 柳樂 知也, 櫛部 淳道, 井上 泰彦, 本村 達	4. 巻 62
2. 論文標題 高疲労耐久性を有する溶接組立制振ダンパーを実現するFe-Mn-Cr-Ni-Si合金の開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 あたりあ	6. 最初と最後の頁 229 ~ 236
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/materia.62.229	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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Fumiyoshi Yoshinaka, Takahiro Sawaguchi, Susumu Takamori, Satoshi Emura
2. 発表標題 Enhanced plastic durability of Fe-Mn-Cr-Ni-Si bidirectional-TRIP steel
3. 学会等名 The 7th International Conference on Advanced Steels (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉中奎貴, 澤口孝宏, 高森晋, Nikulin Ilya
2. 発表標題 Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Siの疲労破面直下組織の結晶学的解析
3. 学会等名 第68期日本材料学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉中奎貴, 澤口孝宏, Nikulin Ilya, 高森晋, 長島伸夫
2. 発表標題 Improved fatigue life of the newly developed Fe-15Mn-10Cr-8Ni-4Si seismic damping alloy
3. 学会等名 Fatigue Design 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉中奎貴, 澤口孝宏, 高森晋, 江村聡
2. 発表標題 Bi-directional TRIPを活用した低サイクル疲労寿命の向上
3. 学会等名 第35回疲労シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉中奎貴、長島伸夫、澤口孝宏
2. 発表標題 制振ダンパー用Fe-Mn-Si合金の極低サイクル疲労破面
3. 学会等名 第17回フラクトグラフィシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉中奎貴
2. 発表標題 双方向変態を活用した耐疲労鋼の開発研究
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第185回春季講演大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 溶接構造体及びこれに用いられるFe-Mn-Cr-Ni-Si系合金	発明者 澤口孝宏, 中村照美, 荒金吾郎, 高森晋, 吉中奎貴, 他4名	権利者 物質・材料研究機構, 株式会社竹中工務店
産業財産権の種類、番号 特許、2020-209933	出願年 2020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