

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04956

研究課題名(和文) 先進高強度鋼の水素脆化機構解明に向けたマルチプローブ水素/転位/損傷解析法の構築

研究課題名(英文) Multi-probe Characterization of Hydrogen, Dislocation, and Damage: towards unraveling hydrogen embrittlement mechanism of advanced high strength steels

研究代表者

小山 元道 (Koyama, Motomichi)

東北大学・金属材料研究所・准教授

研究者番号：20722705

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は手法開発を目的とし、特に以下の3つに注力した。(1)水素分布の可視化法の開発、(2)水素誘起損傷の統計的な解析法構築、(3)水素-転位相互作用の直接観察、である。成果として以下を達成した。(1)：水素分布を可視化するだけでなく、カイネティクス解明に向け、銀デコレーションのその場観察法を確立。(2)：既存の損傷発達の統計解析を、より微小な損傷の情報から理解するため、空孔密度解析が可能である陽電子消滅法の結果と関連づけた。(3)：Electron Channeling Contrast Imaging (ECCI)法により、転位-水素の相互作用をバルク試料でその場観察することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、高強度鋼の遅れ破壊抑制や、水素エネルギー用インフラ構造材料開発のための指針構築に寄与する。今回開発した手法はいずれも特殊な装置を必要とするものではなく、また試験片形状や対象材料の自由度が大きい。つまり汎用的に利用される可能性が高い技術の構築に成功しているといえる。本研究にて示した解析法の詳細とともに、本手法を通して解明した先進高強度鋼の水素脆化機構も今後の耐水素鋼開発に役立つと考える。

研究成果の概要(英文)：In this study, we were dedicated to develop the following three techniques: (1) development of hydrogen mapping technique, (2) statistical quantification of microstructural damage associated with hydrogen embrittlement, and (3) direct observation of hydrogen-dislocation interactions. Specifically, we could obtain the following achievements. For (1), we could develop spatially and kinetically resolved hydrogen mapping by using in situ silver decoration technique. For (2), the damage quantification analyses were coupled with vacancy density measurements. For (3), the dislocation-hydrogen interaction was successfully observed by in situ electron channeling contrast imaging (ECCI).

研究分野：材料工学(構造材料)

キーワード：水素脆化 電子チャネリング 水素可視化 損傷発達 鉄鋼材料 転位運動 その場観察 耐水素鋼

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

腐食や環境水素に由来する水素侵入によって引き起こされる水素脆化問題は、高強度材料ほど顕在化することが知られており、構造材料分野全体における至急な課題の一つである。また最近では、特に日本国内において水素エネルギーが注目されており、水素タンク等の水素関連インフラ整備のため、耐水素性の評価および耐水素材料の創製が希求されている。実用を想定した水素脆化研究が世界的に注目される中、我々は複雑組織を有する実用鋼および新開発鉄鋼材料の研究に従事している。現実には水素脆化が心配される材料の一例として、自動車用鋼板として知られるフェライト( $\alpha$ )/BCC マルテンサイト( $\alpha'$ )二相鋼が挙げられる。自動車用鋼板は厳しい環境での使用が想定され、水素由来の遅れ破壊が心配される。また、我々の研究においてオーステナイト( $\gamma$ )/HCP マルテンサイト( $\epsilon$ )二相組織が水素に強いことが見いだされている。このような背景のもと、申請者は複相高強度組織の水素脆化機構または耐水素性の機構解明に関する研究を遂行してきた。

前研究である科研費若手研究 B では、損傷発達の定量的かつ統計的解析法が、 $\alpha/\alpha'$  二相鋼の他、 $\gamma/\alpha'$  および  $\gamma/\epsilon$  二相組織の損傷発達の議論に有効であることを示した。この結果は、全ての鉄鋼二相組織における損傷発達過程が、損傷形成前駆過程 発生、損傷成長停留過程、損傷成長 破壊の三つの段階に分けられることを示唆する。水素はそれぞれの損傷発達段階において異なる機構で延性に影響を与える。つまり、複相鋼の水素脆化機構を理解するためには、この三つの段階それぞれに個別の組織解析をする必要がある。さらに、損傷形成前駆段階は局所塑性ひずみ発達によって特徴づけられる。局所塑性ひずみ発達挙動は画像相関法を用いた局所ひずみ測定により明らかとされる。これら研究成果から、さらに達成すべき二つの課題が浮彫りとなった。つまり、塑性ひずみ発達によって何が形成しているのか。また、損傷の停留後、成長段階へ移る引き金となる因子は何か、の二点である。前者を解くカギは、水素脆化研究の長い歴史の中で、「ひずみ誘起空孔」であることが知られる。これら浮彫りとなった課題を解決するためには、空孔測定、局所ひずみ測定、損傷近傍などのサイト Specific な組織観察、水素分布可視化などの技術開発が要求される。

### 2. 研究の目的

上記背景から、まず空孔に対して考えると、水素助長局所ひずみ集中に由来する局所転位密度上昇およびその転位相互作用が空孔を生み出していると想定する。この観点において、損傷発生前駆段階における「転位組織」、「空孔量」ならびに「水素偏析」を実験的に明らかとする必要がある。また、後者の損傷成長を引き起こす因子を解明する上では、損傷成長挙動が損傷まわりの組織分布に由来して、大きくばらつくことが問題となる。さらに、この損傷成長挙動はひずみ速度依存性をはじめとした時間依存性があることも知られる。すなわち、マルチスケール観察と速度論的解析が要求される。ここで、マルチスケール観察とは、組織だけが対象ではなく、水素分布、損傷分布を含む。また、損傷成長は力学場の依存性が大きいいため、少なくとも薄膜でなく、バルク材での解析を必要とする。本研究は、これら前研究にて顕在化した新課題の解決のために、(1)水素の偏析の可視化、(2)複数機構に由来する水素助長損傷発達の定量評価(空孔測定を含む)、(3)バルク試料における水素-転位相互作用の直接観察、の三つに主眼を置く。本研究を通して、これら三つの技術開発を行い、複雑内在組織を有する鉄鋼材料の水素脆化研究の指針を示す。ここで、特にマルテンサイトを含む複相組織を対象として、金属組織学と力学に立脚した脆化機構の考察をする。また、技術開発のみに留まらず、先進鉄鋼材料の水素脆化への適用可能性を検討する。

### 3. 研究の方法

上述の通り、本研究はまず手法開発を目的とし、特に以下の3つに注力した。(1)水素分布の高空間分解能かつ時間分解能を有する可視化法の開発、(2)水素誘起損傷の統計的かつ定量的な解析法構築、(3)水素-転位相互作用の直接その場観察である。(1):水素分布を可視化するだけでなく、カイネティクス解明に向け、銀デコレーションのその場観察法を確立する。(2):既存の損傷発達の統計解析を、より微小な損傷の情報と関連づけるため、空孔密度解析が可能である陽電子消滅法を用いる。すなわち、マルチプローブ損傷発達解析法を確立する。(3):Electron Channeling Contrast Imaging (ECCI)法により、転位-水素の相互作用をバルク試料でその場観察する。これら手法の開発にいずれも成功し、それらが本研究の主な研究成果である。それぞれの手法の詳細は研究成果にて示す。

### 4. 研究成果

得られた成果の代表的なものを以下に示す。

#### (1) 空孔測定を含む損傷発達の定量的解析

水素助長損傷発達の観点では、3つの成果がある。走査型電子顕微鏡または光学顕微鏡による損傷発達の解析結果をより統計的かつ定量的に示すため、図1のように損傷のサイズ、量、ひずみに分解して表示することを提案し、水素による損傷発達挙動理解の深化に寄与した。そ

れまで構築した損傷発達挙動解析手法を水素脆化感受性のひずみ速度依存性の原因解明のために用い、き裂発生抵抗のみならず、水素による微小き裂のアレスト能低下の程度にもひずみ速度依存性が存在することを明らかとした。損傷の最小サイズである空孔密度測定を陽電子消滅法により測定し、原子スケールから数十 $\mu\text{m}$ スケールまでのマルチスケール損傷発達解析法を構築した。本手法はオーステナイト単相の高強度ステンレス鋼や、残留オーステナイトを含有高強度変態誘起塑性 (TRIP) 鋼にも有効であることを確認している。

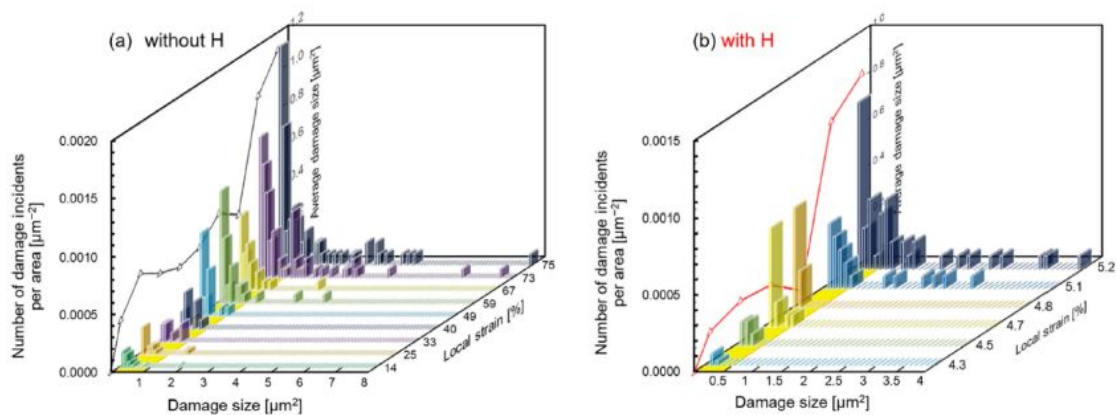


図1 二相鋼における損傷(き裂またはポイド)の面積あたりの数をサイズとひずみに対してプロットした例。(a)は水素チャージなし、(b)は水素チャージあり。水素はあるひずみにおいて損傷の発生頻度を大きくしているだけでなく、少ないひずみでより大きなサイズまでき裂を成長し易くさせていることも示されている。

## (2) 時間分解能をもつ水素可視化技術の構築

表面水素と銀イオンの置換化学反応を利用した銀デコレーション法(以下銀デコ)に注目した。前研究にて、銀デコは水素チャージ試料の表面性状と銀イオン溶液への浸漬時間を最適化することで、組織界面での水素偏析を可視化できる。この事実に基づき、本研究では水素透過・脱離中その場銀デコ法を構築した。より具体的には図2に模式的に示す。試料背面を水素チャージ液に、上面を銀イオン溶液に接触させる。これにより、透過した水素を試料表面で銀の析出として検出できる。この水素透過とともに銀析出挙動の経時変化を光学顕微鏡によってその場観察し、水素流速変化の組織依存性を明らかにできる。また、後方電子線散乱回折測定と併用することで、水素脱離・拡散挙動の結晶方位/粒界性格依存性を可視化できる。図3に純鉄の場合における例を示す。試料背面から表面に透過した水素に対応して銀の分布が観察されたが、特に高角粒界にて水素流速が大きいことが明らかにされた。また、銀デコ方は純鉄よりも複雑組織である複相TRIP鋼や、オーステナイト/マルテンサイト二相鋼などの高強度鋼にも適用可能であることを示した。

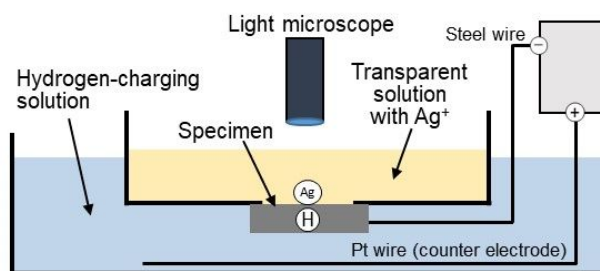


図2 水素透過・脱離中その場銀デコレーション法の模式図。

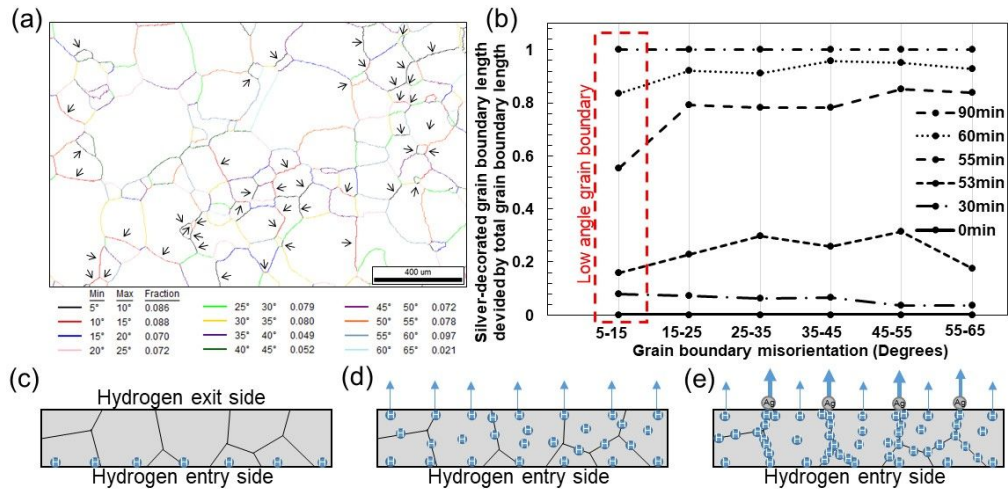


図3 (a) EBSD 測定によって得られた粒界マップ。黒線は低角粒界を示している ( $0^\circ < \theta < 15^\circ$ )。 (b) 粒間方位差に対して銀が析出した粒界の割合をプロットした図。 (c-e) 本解析結果より想定される水素集積・拡散挙動の模式図。青色と灰色の丸は水素と銀粒子を示している。

### (3) その場 ECCI 法の確立

電子チャネリングコントラスト法による転位運動のその場観察法については、以下の4つを達成した。平滑材の引張試験中その場転位運動観察。微小疲労き裂周辺の1-cycle負荷除荷過程および繰返し負荷における転位運動その場観察(図4)。微小CT試験を用いたき裂発生および進展に伴う転位運動その場観察。水素チャージ後の転位組織の経時変化その場観察。例えば、については、オーステナイト鋼中の微小疲労き裂近傍の負荷中転位運動を観察し、ローマコットレル不動転位によって転位運動が止められ、負荷増大によって転位間距離が小さくなる様子が観察された(図4(b-d))。き裂の極近傍でも同様に転位が観察され、ECCI法によって転位運動がその場観察できることが明確化された。また、については、MITと連携し、原子シミュレーションや力学解析と連成させた解析法を構築した。これら観察によって得られた知見は高窒素鋼、ハイエントロピー合金、Ni基合金などの面心立方構造を有する次世代高強度鋼を水素環境で利用するための成分・組織設計に有意な指針を与えた。

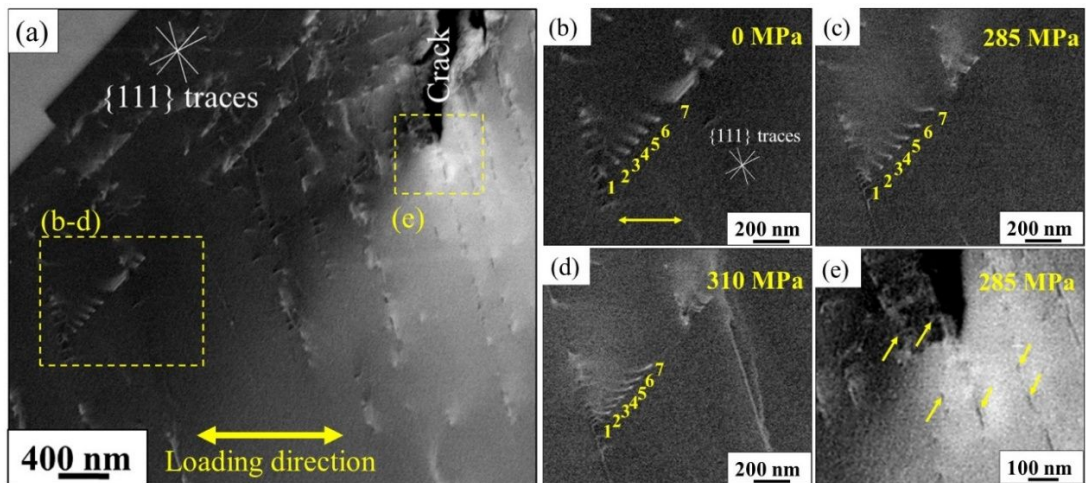


図4 (a)FCC 鉄中における疲労き裂近傍の転位組織を示す ECC 像。(b; 0MPa, c; 285 MPa, d; 310 MPa) 負荷応力増大による転位運動。(e)応力負荷中におけるき裂極近傍の ECC 像。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 36件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Zhang Zhao, Koyama Motomichi, Wang Meimei, Tasan Cemal Cem, Noguchi Hiroshi	4. 巻 50
2. 論文標題 Fatigue Resistance of Laminated and Non-laminated TRIP-maraging Steels: Crack Roughness vs Tensile Strength	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Metallurgical and Materials Transactions A	6. 最初と最後の頁 1142 ~ 1145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s11661-018-5081-6">https://doi.org/10.1007/s11661-018-5081-6</a>	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 Tugluca Ibrahim Burak, Koyama Motomichi, Shimomura Yusaku, Bal Burak, Canadinc Demircan, Akiyama Eiji, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 50
2. 論文標題 Lowering Strain Rate Simultaneously Enhances Carbon- and Hydrogen-Induced Mechanical Degradation in an Fe-33Mn-1.1C Steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Metallurgical and Materials Transactions A	6. 最初と最後の頁 1137 ~ 1141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s11661-018-5080-7">https://doi.org/10.1007/s11661-018-5080-7</a>	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 Koyama Motomichi, Kaneko Takahiro, Sawaguchi Takahiro, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 213
2. 論文標題 Microstructural damage evolution and arrest in binary Fe-high-Mn alloys with different deformation temperatures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Fracture	6. 最初と最後の頁 193 ~ 206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1007/s10704-018-0307-6">https://doi.org/10.1007/s10704-018-0307-6</a>	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 Koyama Motomichi, Hirata Kenji, Abe Yuji, Mitsuda Akihiro, Iikubo Satoshi, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 8
2. 論文標題 An unconventional hydrogen effect that suppresses thermal formation of the hcp phase in fcc steels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 16136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-34542-0	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 Koyama Motomichi、Yamasaki Daisuke、Tszuzaki Kaneaki	4. 巻 228
2. 論文標題 Surface orientation dependence of hydrogen flux in lenticular martensite of an Fe-Ni-C alloy clarified through in situ silver decoration technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 273 ~ 276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.06.022">https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.06.022</a>	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 Koyama Motomichi、Abe Yuji、Tszuzaki Kaneaki	4. 巻 58
2. 論文標題 Split and Shift of $\alpha$ -martensite Peak in an X-ray Diffraction Profile during Hydrogen Desorption: A Geometric Effect of Atomic Sequence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1745 ~ 1747
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-260">http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-260</a>	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 Zhang Z.、Koyama M.、Wang M.M.、Tszuzaki K.、Tasan C.C.、Noguchi H.	4. 巻 113
2. 論文標題 Microstructural mechanisms of fatigue crack non-propagation in TRIP-maraging steels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 126 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.04.013">https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.04.013</a>	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 Ichii Kenshiro、Koyama Motomichi、Tasan Cemal Cem、Tszuzaki Kaneaki	4. 巻 150
2. 論文標題 Comparative study of hydrogen embrittlement in stable and metastable high-entropy alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 74 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.03.003">https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.03.003</a>	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 Tugluca Ibrahim Burkay, Koyama Motomichi, Bal Burak, Canadinc Demircan, Akiyama Eiji, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 717
2. 論文標題 High-concentration carbon assists plasticity-driven hydrogen embrittlement in a Fe-high Mn steel with a relatively high stacking fault energy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 78 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.01.087">https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.01.087</a>	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 Mizumachi Shunsuke, Koyama Motomichi, Fukushima Yoshihiro, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 105
2. 論文標題 Growth Behavior of a Mechanically Long Fatigue Crack in an FeCrNiMnCo High Entropy Alloy: A Comparison with an Austenitic Stainless Steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 215 ~ 221
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-073">https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-073</a>	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 Kakimoto Ryohei, Koyama Motomichi, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 105
2. 論文標題 EBSD and ECCI Based Assessments of Inhomogeneous Plastic Strain Evolution Coupled with Digital Image Correlation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 222 ~ 230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-072">https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-072</a>	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 Koyama Motomichi, Sawaguchi Takahiro, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 58
2. 論文標題 Overview of Dynamic Strain Aging and Associated Phenomena in Fe-Mn-C Austenitic Steels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1383 ~ 1395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-237">http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-237</a>	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 Koyama Motomichi, Tasan Cemal Cem, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 214
2. 論文標題 Overview of metastability and compositional complexity effects for hydrogen-resistant iron alloys: Inverse austenite stability effects	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 123 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.03.049">https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.03.049</a>	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 小山 元道、澤口 孝宏、津崎 兼彰	4. 巻 104
2. 論文標題 Fe-Mn-Cオーステナイト鋼における動的ひずみ時効と関連現象	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 187 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2017-089">http://dx.doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2017-089</a>	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 Ichii Kenshiro, Koyama Motomichi, Tasan Cemal Cem, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 150
2. 論文標題 Comparative study of hydrogen embrittlement in stable and metastable high-entropy alloys	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 74 ~ 77
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.03.003">https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.03.003</a>	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 Tugluca Ibrahim Burkay, Koyama Motomichi, Bal Burak, Canadinc Demircan, Akiyama Eiji, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 717
2. 論文標題 High-concentration carbon assists plasticity-driven hydrogen embrittlement in a Fe-high Mn steel with a relatively high stacking fault energy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering A	6. 最初と最後の頁 78 ~ 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.01.087">https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.01.087</a>	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 Mohammadi Abbas、Koyama Motomichi、Gerstein Gregory、Maier Hans Jurgen、Noguchi Hiroshi	4. 巻 43
2. 論文標題 Hydrogen-assisted failure in a bimodal twinning-induced plasticity steel: Delamination events and damage evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 2492 ~ 2502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.11.177">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.11.177</a>	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 Nao UEHATA, Motomichi KOYAMA, Shusaku TAKAGI and Kaneaki TSUZAKI	4. 巻 58
2. 論文標題 Optical Microscopy-Based Damage Quantification: an Example of Cryogenic Deformation of a Dual-Phase Steel	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 179 ~ 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2017-468">http://dx.doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2017-468</a>	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 Koyama M., Tanaka Y., Tsuzaki K.	4. 巻 58
2. 論文標題 Micrographic Digital Image Correlation Coupled with Microlithography: Case Study of Strain Localization and Subsequent Cracking at an FIB Notch Tip in a Laminated Ti-6Al-4V Alloy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Experimental Mechanics	6. 最初と最後の頁 381 ~ 386
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11340-017-0336-5	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 Koyama Motomichi、Ogawa Takuro、Yan Dingshun、Matsumoto Yuya、Tasan Cemal Cem、Takai Kenichi、Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 42
2. 論文標題 Hydrogen desorption and cracking associated with martensitic transformation in Fe-Cr-Ni-Based austenitic steels with different carbon contents	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 26423 ~ 26435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.209">http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.209</a>	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 Koyama Motomichi、Yamasaki Daisuke、Tszuzaki Kaneaki	4. 巻 140
2. 論文標題 Reply to comments on the paper “ In situ observations of silver-decoration evolution under hydrogen permeation: Effects of grain boundary misorientation on hydrogen flux in pure iron ” by Gavriljuk and Teus	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 91 ~ 92
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2017.07.019">http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2017.07.019</a>	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 Koyama Motomichi、Shimomura Yusaku、Chiba Aya、Akiyama Eiji、Tszuzaki Kaneaki	4. 巻 141
2. 論文標題 Room-temperature blue brittleness of Fe-Mn-C austenitic steels	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 20 ~ 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2017.07.017">http://dx.doi.org/10.1016/j.scriptamat.2017.07.017</a>	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 Koyama Motomichi、Terao Natsuki、Tszuzaki Kaneaki	4. 巻 249
2. 論文標題 Revisiting the effects of hydrogen on deformation-induced - martensitic transformation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 197 ~ 200
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.093">https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.093</a>	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 Kumamoto T.、Koyama M.、Sato K.、Tszuzaki K.	4. 巻 216
2. 論文標題 Strain-rate sensitivity of hydrogen-assisted damage evolution and failure in dual-phase steel: From vacancy to micrometer-scale void growth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering Fracture Mechanics	6. 最初と最後の頁 106513 ~ 106513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106513">https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106513</a>	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 Koyama Motomichi、Ichii Kenshiro、Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 44
2. 論文標題 Grain refinement effect on hydrogen embrittlement resistance of an equiatomic CoCrFeMnNi high-entropy alloy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 17163 ~ 17167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.280">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.280</a>	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 Kakimoto Ryohei、Koyama Motomichi、Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 59
2. 論文標題 EBSD- and ECCI-based Assessments of Inhomogeneous Plastic Strain Evolution Coupled with Digital Image Correlation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 2334 ~ 2342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-232">https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-232</a>	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 Koyama Motomichi、Yamasaki Daisuke、Ikeda Arisa、Hojo Tomohiko、Akiyama Eiji、Takai Kenichi、Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 44
2. 論文標題 Detection of hydrogen effusion before, during, and after martensitic transformation: Example of multiphase transformation-induced plasticity steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 26028 ~ 26035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.254">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.254</a>	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 Kumamoto Tsubasa、Koyama Motomichi、Sato Koichi、Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 60
2. 論文標題 Evolution of Quasi-Brittle Hydrogen-Assisted Damages in a Dual-Phase Steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2368 ~ 2377
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-M2019196	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 Hojo Tomohiko, Koyama Motomichi, Terao Natsuki, Tsuzaki Kaneaki, Akiyama Eiji	4. 巻 44
2. 論文標題 Transformation-assisted hydrogen desorption during deformation in steels: Examples of - and -Martensite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 30472 ~ 30477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.171">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.171</a>	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 Habib Kishan, Koyama Motomichi, Tsuchiyama Toshihiro, Noguchi Hiroshi	4. 巻 158
2. 論文標題 Dislocation motion at a fatigue crack tip in a high-nitrogen steel clarified through in situ electron channeling contrast imaging	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Characterization	6. 最初と最後の頁 109930 ~ 109930
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.109930">https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.109930</a>	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 Mizumachi Shunsuke, Koyama Motomichi, Fukushima Yoshihiro, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 60
2. 論文標題 Growth Behavior of a Mechanically Long Fatigue Crack in an FeCrNiMnCo High Entropy Alloy: A Comparison with an Austenitic Stainless Steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 175 ~ 181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-230">https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2019-230</a>	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 Najam Hina, Koyama Motomichi, Bal Burak, Akiyama Eiji, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 45
2. 論文標題 Strain rate and hydrogen effects on crack growth from a notch in a Fe-high-Mn steel containing 1.1wt% solute carbon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 1125 ~ 1139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.227">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.227</a>	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 Suzuki Kai, Koyama Motomochi, Hamada Shigeru, Tsuzaki Kaneaki, Noguchi Hiroshi	4. 巻 133
2. 論文標題 Planar slip-driven fatigue crack initiation and propagation in an equiatomic CrMnFeCoNi high-entropy alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 105418 ~ 105418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105418">https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105418</a>	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 Nakafuji Keiichiro, Koyama Motomichi, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 10
2. 論文標題 In-Situ Electron Channeling Contrast Imaging under Tensile Loading: Residual Stress, Dislocation Motion, and Slip Line Formation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 Online journal
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-020-59429-x">https://doi.org/10.1038/s41598-020-59429-x</a>	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 Koyama Motomichi, Habib Kishan, Masumura Takuro, Tsuchiyama Toshihiro, Noguchi Hiroshi	4. 巻 45
2. 論文標題 Gaseous hydrogen embrittlement of a Ni-free austenitic stainless steel containing 1 mass% nitrogen: Effects of nitrogen-enhanced dislocation planarity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 10209 ~ 10218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.014">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.02.014</a>	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 Verma Virendra Kumar, Koyama Motomichi, Hamada Shigeru, Akiyama Eiji	4. 巻 782
2. 論文標題 Multiple damage mechanisms facilitated by planar dislocation glide in a commercial-grade precipitation-strengthened Fe-Ni-Cr-based steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 139250 ~ 139250
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139250">https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.139250</a>	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10件（うち招待講演 9件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 M. Koyama, T. Eguchi, S. Mizumachi, C.C. Tasan, K. Tsuzaki
2. 発表標題 Microstructure evolution beneath fatigue fracture surface
3. 学会等名 International Conference High-entropy materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Koyama, T. Eguchi, K. Ichii, C.C. Tasan, K. Tsuzaki
2. 発表標題 A new concept for prevention of hydrogen-induced mechanical degradation: viewpoints of metastability and high entropy
3. 学会等名 European Conference on Fracture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motomichi Koyama
2. 発表標題 Microstructural factors enhancing fatigue crack resistance: aspects of metastability and nano-laminates
3. 学会等名 International Symposium on Innovative Process Design for Structural Material (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金子貴裕、小山元道、藤澤友也、津崎兼彰
2. 発表標題 ひずみ・微視組織・き裂/ポイドのマルチスケール観察による鉄鋼の損傷発達機構解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Motomichi Koyama, Takahiro Sawaguchi, Kaneaki Tsuzaki
2. 発表標題 HYDROGEN EMBRITTLEMENT OF BINARY HIGH MN AUSTENITIC STEELS
3. 学会等名 International Conference on Fracture (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小山 元道
2. 発表標題 鉄鋼材料における水素可視化技術開発状況：水素分布の定量化、経時変化観察、マルチスケール観察に向けて
3. 学会等名 材料中の水素機能解析技術第190委員会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小山元道
2. 発表標題 微視的水素分布の可視化技術の現況：定量化、空間分解能ならびに 時間分解能
3. 学会等名 日本金属学会 水素エネルギー材料に関する講演会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Motomichi Koyama
2. 発表標題 Micro-mechanisms of dislocation-driven crack resistance clarified through in situ ECCI
3. 学会等名 Alloy Design Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motomichi Koyama
2. 発表標題 Designing Hydrogen-Resistant Steels: Effects of Phase Stability, Configurational Entropy and Grain Refinement
3. 学会等名 Hydrogen-Metal System Gordon research conference (GRC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motomichi Koyama
2. 発表標題 Hydrogen embrittlement of advanced stable austenitic steels: examples of high-nitrogen steel and high-entropy alloy
3. 学会等名 International Conference "Corrosion in the Oil & Gas Industry" - Corrosion Oil&Gas 2019 (招待講演) (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