

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02459

研究課題名(和文) マイクロメカニクス解析による水素誘起粒界凝集エネルギー低下の定量評価

研究課題名(英文) Quantitative evaluation for hydrogen-induced reduction of cohesive energy through micromechanics analysis

研究代表者

柴田 暁伸 (Shibata, Akinobu)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・構造材料研究拠点・グループリーダー

研究者番号：60451994

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉄鋼材料の水素脆性粒界破壊を研究対象とし、原子的/微視的スケールでの破壊特性と水素の関係を明らかにすることを目的として研究を行った。そして、水素濃度の増加と伴にクラック伝播抵抗が減少するが、水素濃度が4wt.ppmと非常に高い場合であっても依然としてクラック伝播抵抗が存在することを明らかにした。またこの一種の安定クラック伝播はマイクロレベルでの不連続なクラック伝播に起因していることを見出した。また、FEシミュレーションにより、クラックの伝播形態がマクロな力学応答に大きな影響をおよぼしていることを証明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、水素誘起粒界凝集エネルギー低下の定量評価を行った。破壊特性精密評価、マイクロ組織解析、マイクロメカニクス解析を併せた新規な複合的手法によって水素脆性破壊の定量評価を実施した点に本研究の大きな学術的意義がある。水素脆性は高強度鉄鋼材料を広く社会実装していく上で大きな問題となっている。本研究で得られた知見は耐水素脆性に優れた材料設計に繋がるものであるため、安全・安心な社会を構成するための社会基盤の構築に貢献しうるものである。

研究成果の概要(英文)：This study investigated hydrogen-related fracture of steels to quantitatively clarify the relationship between hydrogen and fracture properties on atomic and microscopic scales. We found that crack growth resistance decreases with increasing hydrogen concentration, but still exists even at very high hydrogen concentrations of 4 wt. ppm. This kind of stable crack propagation is attributed to the microscopic discontinuous crack propagation. The FE simulation results proved that the crack propagation morphology has a significant influence on the macroscopic mechanical response.

研究分野：材料組織学

キーワード：水素脆性 マルテンサイト鋼 破壊靱性 マイクロメカニクス

1. 研究開始当初の背景

「水素脆性」とは材料中に水素が侵入することによって、材料が著しく脆化する現象である。二酸化炭素排出量の削減などの観点から、燃費向上を目的とした輸送機器の車体重量軽量化が急務な状況となっており、近年、鉄鋼材料のような構造用金属材料の高強度化を目指した研究が盛んに行われている。しかし、実際に高強度金属材料を使用していく上で大きな問題となるのが水素脆性である。材料の強度が上昇するにつれて水素脆化感受性が増加し、引張強度が 1200 MPa を超えるような高強度金属材料では、通常の大気環境下においても水素脆性が発現してしまう危険性が提唱されている。水素脆性という現象そのものは古くからよく知られている脆性破壊現象であるが、その性質は他の破壊現象(例えば、低温脆性破壊、疲労破壊、延性破壊など)とは大きく異なっていると考えられており、最近、国内外において水素脆性の重要性が再認識されてきている。水素脆性破壊は、上述のように実用上非常に重要な研究トピックスではあるが、学術的観点においても多くの研究課題が残されている。

鉄鋼材料における水素脆性破壊では、粒界破壊と擬へき開破壊の 2 種類の破壊様式がよく観察される。粒界破壊は、ある特定の結晶粒界面で破壊が生じるものであり、一般的な脆性破壊様式の一つである。一方、擬へき開破壊は、へき開面とは異なる結晶面で生じる破壊であると定義されており、へき開破壊のような平坦な破面が形成される破壊であるが、その破面上にはリバーパターンとは異なる **serrated marking** と呼ばれる特殊なパターンが存在する。

水素脆性における粒界破壊・擬へき開破壊のメカニズムに関して、これまでに「内圧モデル」、「格子脆化モデル」、「水素助長局所塑性変形モデル」、「水素助長ひずみ誘起空孔モデル」などのような種々の破壊モデルが提唱されてきている。「内圧モデル」は、外部から侵入した水素が材料内部で水素分子(水素ガス)となり、その水素ガスによる内圧によって材料が脆性破壊を起こすと考えられるものである。しかし、材料内部にクラックが生じるほどの水素ガスが発生するために必要な水素量は非常に多く、この「内圧モデル」は現在では水素脆性の主たる要因とは考えられていない。「格子脆化モデル」は、水素の存在によって結晶粒界や特定の結晶面での原子結合エネルギーが低下し、その結果脆性破壊が生じるとするモデルである。「水素助長局所塑性変形モデル」は、水素が転位の異動度を増加させ、クラック先端領域のせん断変形を局所化して延性破壊の進行を助長するというものであり、「水素助長ひずみ誘起空孔モデル」は塑性変形に伴う原子空孔の生成とその凝集を水素が助長し、延性的な破壊の進行を容易にすると考えられるものである。

これらの提唱されているモデルのうち、どのモデルが正しいのかということがよく議論されてきた。しかし、最近の国内外の研究や我々の研究によって、水素脆性破壊は上述の破壊モデルが複合的に生じていることがわかってきている。我々は、水素脆性破壊挙動と材料中のマイクロ組織の関係を詳細に研究してきており、水素脆性擬へき開破壊はすべり面に沿って水素助長局所塑性変形と水素助長ひずみ誘起空孔の成長が複合的に生じることが要因であるのに対し、水素脆性粒界破壊は特定の結晶粒界における格子脆化のみの場合と結晶粒界面上での水素助長ひずみ誘起空孔成長が補佐的に生じる場合があることを提唱してきている。

上述のように、水素脆性破壊の基本要因は明らかになりつつある。一方で、破壊分野における学術的研究の重要な課題の一つとして、「破壊メカニズムを解明し、そのメカニズムに基づいて材料全体の破壊特性を予測すること」が挙げられる。材料全体の破壊特性の予測が可能となれば、耐破壊特性に優れた材料開発を行っていくための材料設計概念を理論的な観点から提案することができる。しかし、水素脆性破壊に関しては、この重要学術課題に迫るような研究はほとんどなされていないのが現状である。そのため、「破壊メカニズムに基づいた材料全体の破壊特性予測」を実現していくためにはどのような研究が必要になるであろうか、ということが水素脆性破壊の本質的理解を目指している本研究の核心をなす学術的「問い」である。本研究は、破壊特性精密評価、マイクロ組織解析、マイクロメカニクス解析を駆使して、原子的 / 微視的スケールでの破壊特性と水素の関係を明らかにし、上述の水素脆性分野における未解決重要学術課題に迫ろうというものである。

2. 研究の目的

巨視的スケール破壊特性の精密評価、クラック周辺領域のマイクロ組織観察、破壊メカニズムに基づいたマイクロメカニクス解析により、原子的 / 微視的スケールでの破壊特性と水素の関係を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

高強度マルテンサイト鋼の水素脆性粒界破壊を研究対象とした。一般的に、金属材料の破壊は、(i) クラック発生、(ii) クラック伝播開始、(iii) クラック伝播といったような素過程からなる。そこで本研究では、水素脆性破壊現象を「クラック発生過程 + クラック伝播開始過程」と「クラック伝播過程」の 2 段階に分解し、それぞれの破壊素過程に対応する巨視的スケール破壊特性である破壊開始靱性 (J_{IC}) やクラック伝播抵抗 (T_R) を破壊靱性試験により測定した。また、クラック発生・伝播挙動とマイクロ組織の相関を電子顕微鏡などにより解析した。そして、マ

イクロメカニクス解析として、FE シミュレーションを用いた Cohesive zone モデル解析を行った。

4. 研究成果

破壊力学に基づいて水素脆性粒界破壊におけるマクロ力学特性を調べた結果を図 1 に示す。図 1(a) はコンパクトテンション試験片を用いた除荷コンプライアンス試験により得られたクラック進展抵抗曲線 ($J - \Delta a$ 曲線) である。水素濃度が高い場合 ($H_D = 0.42 \sim 4.00$ wt. ppm), 非常に小さな J 積分値でクラックが伝播し始めるが、クラックが伝播開始した後の $J - \Delta a$ 曲線が正の傾きを持っていることがわかる。これは、クラックを成長させるためには更なる J 積分値の増加 (つまり、荷重増加) が必要であることを意味しているため、クラック伝播開始後に不安定破壊がすぐには生じず、クラックが一種の安定成長していると考えられることができる。また、得られた $J - \Delta a$ 曲線から破壊開始靱性値 (J_{IC}) とクラック伝播抵抗 (ティアリングモジュラス (T_R)) を評価した結果を図 1(b), (c) にまとめる。 J_{IC} は 0.5 wt. ppm 程度の微量な水素によって急激に低下するが、その後は水素濃度が増加してもあまり変化しないことがわかる (図 1(b))。一方で、 T_R は水素濃度の増加に伴って徐々に減少していく傾向を確認することができる (図 1(c))。そして、水素が高濃度であっても依然としてクラック伝播抵抗が存在している。この結果から、水素濃度の増加は、クラック発生過程よりもクラック伝播過程に大きな影響をおよぼすことが明らかとなった。

水素脆性クラック ($H_D = 4.00$ wt. ppm) を SEM の反射電子像 (SEM-BSE 像) で観察した結果を図 2 に示す。旧オーステナイト粒界を主にクラックは伝播しているが、この粒界クラックは一様ではなく、一部が旧オーステナイト粒内部を伝播している (赤色矢印)。さらに黄色矢印で示すナノスケールの非破壊リガメントが多く存在している。つまり不連続にクラック伝播が生じている

と言える。これまで、粒界破壊でのクラック伝播は、少なくとも一つの粒界面では連続的であるということが常識であったが、この観察結果から例え粒界破壊であっても、クラック伝播はナノスケールで不連続・断続的であり、一様ではないことが明らかとなった。このようなマイクロレベルでの不連続なクラック伝播が、図 1 の破壊靱性試験において確認された安定クラック成長の要因であると考えられる。図 3 は試験後のクラック先端領域の SEM-BSE 像である ((a) 未チャージ材, (b) 水素チャージ材 ($H_D = 4.00$ wt. ppm))。未チャージ材ではクラック先端が顕著に鈍化していることがわかる。これはクラック先端領域の塑性緩和が比較的広範囲で生じている

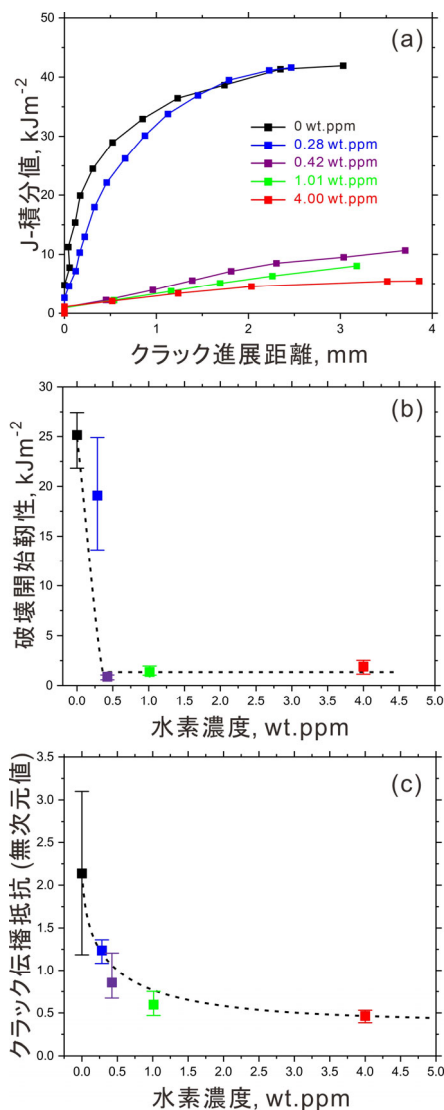


図 1 (a) クラック進展抵抗曲線, (b) 破壊開始靱性値, (c) クラック伝播抵抗。

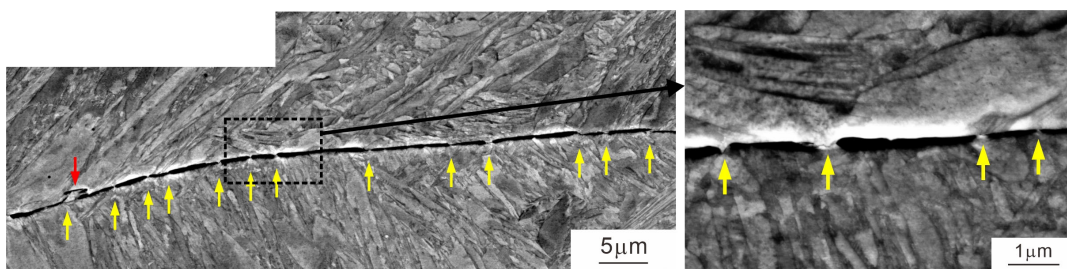


図 2 水素チャージ材 ($H_D = 4.00$ wt. ppm) の SEM-BSE 像。

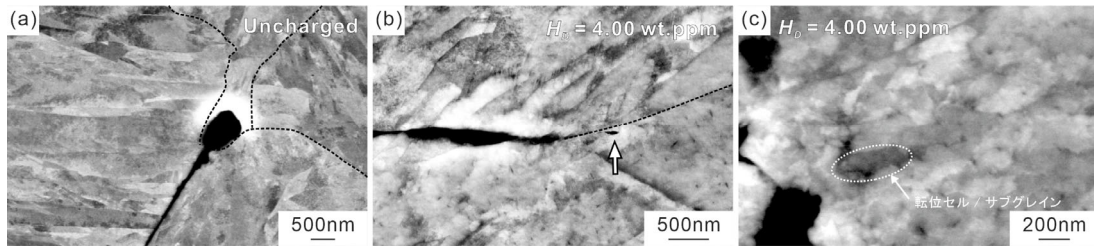


図3 クラック先端領域のSEM-BSE像 ((a) 未チャージ材, (b, c) 水素チャージ材 ($H_D = 4.00$ wt. ppm)).

ことを意味している。一方、水素チャージ材では、未チャージ材と比べるとクラック先端がほとんど鈍化していない。また、粒界クラック前方の旧オーステナイト粒内に別のクラックが発生していることを確認できる。図3(c)は(b)と同一試験片内の別のクラック先端領域を観察したSEM-BSE像であり、顕著に発達した変形下部組織（転位セルもしくはサブグレイン）を観察することができる。これはクラック先端で局所的な塑性緩和が生じていることを意味している。この結果より、未チャージ材では、クラック伝播が一旦停止するとクラック先端が顕著に鈍化するため、更なるマクロなクラック成長には荷重の増加（つまり J 積分値の増加）が必要となると考えられる。一方、水素チャージ材ではクラック先端がほとんど鈍化せず、クラック伝播が一旦停止しても、クラック前方で局所的な塑性緩和が生じた結果、旧オーステナイト粒内に新たなクラックが形成されるため、 J 積分値が小さいままでクラック伝播が生じるのではと考えられる。

クラック伝播抵抗値と水素濃度の関

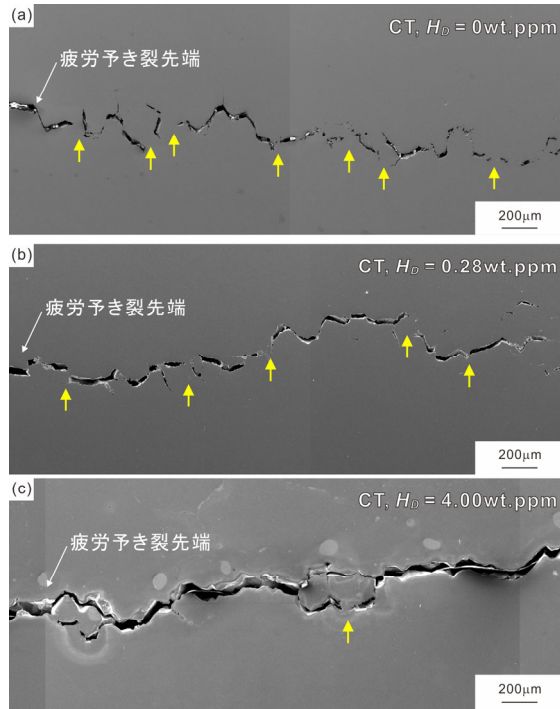


図4 SEM像 ((a) 未チャージ材, (b) 水素チャージ材 ($H_D = 0.28$ wt. ppm), (c) 水素チャージ材 ($H_D = 4.00$ wt. ppm)).

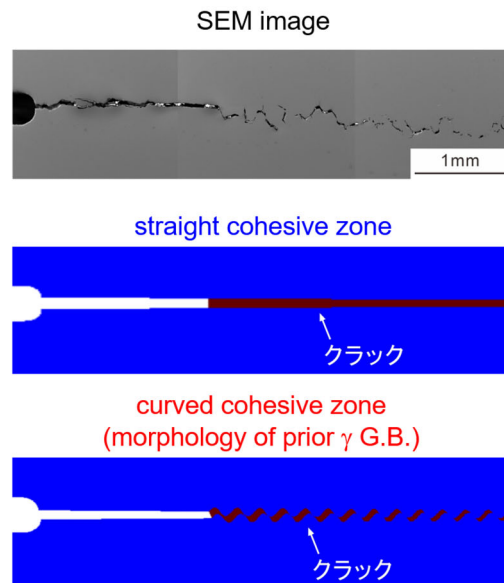
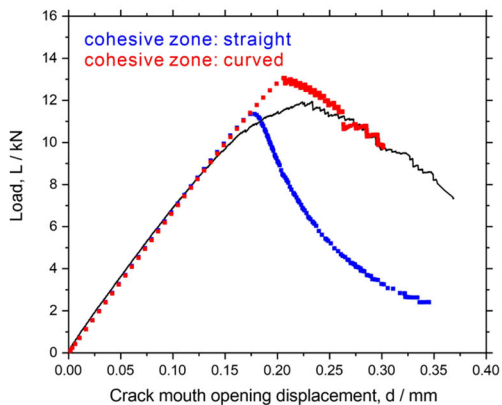


図5 FEシミュレーションを用いた Cohesive zone モデル解析結果 (青:直線的な cohesive element, 赤:湾曲した cohesive element).

係を考察するために、マクロなクラック伝播挙動を調べた結果を図 4 に示す（クラックの伝播方向は図の左から右）。未チャージ材および水素濃度が低い場合、クラックは不連続に伝播しており、黄色線で示すような図 2 よりもスケールの大きいマクロな非破壊リガメントが多く観察される。一方、水素濃度が増加すると、クラックは連続的に伝播するようになることがわかる。図 1(c)に示した水素濃度の増加に伴うクラック伝播抵抗値の低下は、マクロなクラックの連続性が増加したことに起因していると考えられる。

また、FE シミュレーションを用いた Cohesive zone モデル解析により粒界凝集エネルギーを算出した。未チャージ材における解析結果を図 5 に示す。直線的な cohesive element を配置した場合（青色）、パラメータを系統的に変化させても、実験的に得られた荷重 - 変位曲線を再現することができなかった。これは、SEM 像に示すように、クラックは直線的に伝播するわけではなく、旧オーステナイト粒界の分布に依存して不規則に伝播していることに起因していると考えられる。そこで、旧オーステナイト粒界の配置を模擬して、旧オーステナイト粒径（ $\sim 100 \mu\text{m}$ ）を周期とした湾曲した cohesive element を配置すると（赤色）、実験的に得られた荷重変位曲線に近づく。つまり、クラックの伝播形態がマクロな力学応答に大きな影響をおよぼしていることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Shibata Akinobu, Miyamoto Goro, Morito Shigekazu, Nakamura Akiko, Moronaga Taku, Kitano Houichi, Gutierrez-Urrutia Ivan, Hara Toru, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 246
2. 論文標題 Substructure and crystallography of lath martensite in as-quenched interstitial-free steel and low-carbon steel	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118675 ~ 118675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2023.118675	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 Okada Kazuho, Shibata Akinobu, Sasaki Taisuke, Matsumiya Hisashi, Hono Kazuhiro, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 224
2. 論文標題 Improvement of resistance against hydrogen embrittlement by controlling carbon segregation at prior austenite grain boundary in 3Mn-0.2C martensitic steels	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 115043 ~ 115043
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2022.115043	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 Matsumiya Hisashi, Shibata Akinobu, Maegawa Yoshiaki, Okada Kazuho, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 62
2. 論文標題 Hydrogen-related Fatigue Fracture under Various Test Frequencies in Low-carbon Martensitic Steel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 2089 ~ 2094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-210	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 Okada Kazuho, Shibata Akinobu, Matsumiya Hisashi, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 62
2. 論文標題 Origin of Serrated Markings on the Hydrogen Related Quasi-cleavage Fracture in Low-carbon Steel with Ferrite Microstructure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 2081 ~ 2088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2022-212	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 Shibata Akinobu, Gutierrez-Urrutia Ivan, Nakamura Akiko, Miyamoto Goro, Madi Yazid, Besson Jacques, Hara Toru, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 234
2. 論文標題 Multi-scale three-dimensional analysis on local arrestability of intergranular crack in high-strength martensitic steel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 118053 ~ 118053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2022.118053	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 Matsumiya Hisashi, Shibata Akinobu, Okada Kazuho, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 46
2. 論文標題 Characteristics of hydrogen-related fatigue fracture in 2Mn-0.1C martensitic steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 37509 ~ 37517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2021.09.011	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 Momotani Yuji, Shibata Akinobu, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 47
2. 論文標題 Hydrogen embrittlement behaviors at different deformation temperatures in as-quenched low-carbon martensitic steel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 3131 ~ 3140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2021.10.169	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 Shibata Akinobu, Gutierrez-Urrutia Ivan, Okada Kazuho, Miyamoto Goro, Madi Yazid, Besson Jacques, Tsuzaki Kaneaki	4. 巻 831
2. 論文標題 Relationship between mechanical response and microscopic crack propagation behavior of hydrogen-related intergranular fracture in as-quenched martensitic steel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 142288 ~ 142288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2021.142288	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 Okada Kazuho, Shibata Akinobu, Gong Wu, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 225
2. 論文標題 Effect of hydrogen on evolution of deformation microstructure in low-carbon steel with ferrite microstructure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 117549 ~ 117549
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.117549	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 Shibata Akinobu, Takeda Yasunari, Kimura Yuuji, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Hydrogen-Related Fracture Behavior under Constant Loading Tensile Test in As-Quenched Low-Carbon Martensitic Steel	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 440 ~ 440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/met12030440	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 Park Myeong-heom, Shibata Akinobu, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Challenging Ultra Grain Refinement of Ferrite in Low-C Steel Only by Heat Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Materials	6. 最初と最後の頁 604792-604792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmats.2020.604792	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 Okada Kazuho, Shibata Akinobu, Takeda Yasunari, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 143
2. 論文標題 Crystallographic analysis of fatigue fracture initiation in 8Ni-0.1C martensitic steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Fatigue	6. 最初と最後の頁 105921 ~ 105921
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijfatigue.2020.105921	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 Ueji Rintaro, Shibata Akinobu, Ushioda Kohsaku, Kimura Yuuji, Ohmura Takahito, Inoue Tadanobu	4. 巻 194
2. 論文標題 Crystallographic orientation dependence of deformation-induced martensitic transformation of 1.3 GPa-class 0.6 %C bainitic steel with retained austenite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 113666 ~ 113666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2020.113666	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 Shibata Akinobu, Yonemura Takashi, Momotani Yuji, Park Myeong-heom, Takagi Shusaku, Madi Yazid, Besson Jacques, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 210
2. 論文標題 Effects of local stress, strain, and hydrogen content on hydrogen-related fracture behavior in low-carbon martensitic steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 116828 ~ 116828
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actamat.2021.116828	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 Shibata Akinobu, Madi Yazid, Okada Kazuho, Tsuji Nobuhiro, Besson Jacques	4. 巻 44
2. 論文標題 Mechanical and microstructural analysis on hydrogen-related fracture in a martensitic steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 29034 ~ 29046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2019.09.097	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 Momotani Yuji, Shibata Akinobu, Yonemura Takashi, Bai Yu, Tsuji Nobuhiro	4. 巻 178
2. 論文標題 Effect of initial dislocation density on hydrogen accumulation behavior in martensitic steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 318 ~ 323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2019.11.051	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29件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Akinobu Shibata, Ivan Gutierrez-Urrutia, Akiko Nakamura, Goro Miyamoto, Yazid Madi, Jacques Besson, Toru Hara, Kaneaki Tsuzaki
2. 発表標題 Hydrogen-related crack propagation behavior in martensitic steel
3. 学会等名 The 7th International Conference on Advanced Steels (ICAS 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田 暁伸, 宮本 吾郎, 森戸 茂一, 中村 晶子, 諸永 拓, 北野 萌一, グティエレス ウルティア イヴァン, 原 徹, 津崎 兼彰
2. 発表標題 IF鋼および低炭素鋼におけるラスマルテンサイトの内部微視組織および結晶学的特徴
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiaodong Lan, Kazuho Okada, Ivan Gutierrez-Urrutia, Akinobu Shibata
2. 発表標題 Quantitative analysis of local plasticity accompanying hydrogen-related fracture in martensitic steel
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田 和歩, 柴田 暁伸, 辻 伸泰
2. 発表標題 水素脆性擬へき開破壊のミクロメカニズム
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松宮 久, 柴田 暁伸, 辻 伸泰
2. 発表標題 低炭素マルテンサイト鋼の疲労試験および定荷重負荷試験における水素脆性破壊挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡田和歩, 柴田暁伸, 佐々木泰祐, 宝野和博, 辻伸泰
2. 発表標題 旧オーステナイト粒界への炭素偏析がマルテンサイト鋼の水素脆性破壊特性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田暁伸, Ivan Gutierrez-Urrutia, 中村晶子, 諸永 拓, 岡田和歩, 原 徹
2. 発表標題 マルテンサイト鋼の水素脆性クラック伝播に伴う変形下部組織発達
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田和歩, 柴田暁伸, 朴明駿, 辻伸泰
2. 発表標題 1.5 GPa 級マルテンサイト鋼における引張変形中の旧オーステナイト粒界への局所応力・ひずみ集中
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松宮 久, 柴田暁伸, 辻 伸泰
2. 発表標題 低炭素マルテンサイト鋼の水素誘起疲労破面形態と微視組織の関係
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡田和歩, 柴田暁伸, 辻伸泰
2. 発表標題 BCC鋼の水素脆性擬へき開破壊におけるserrated markingsの起源
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田和歩, 柴田暁伸, 辻伸泰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼およびフェライト鋼における水素脆性擬へき開破壊の微視的特徴
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田暁伸, グティエレス ウルティア イヴァン, 中村晶子, 宮本吾郎, Yazied Madi, Jacques Besson, 原 徹, 津崎兼彰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼における粒界クラックのマルチスケール3次元解析
3. 学会等名 日本金属学会秋期講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田暁伸, グティエレス ウルティア イヴァン, 岡田和歩, 宮本吾郎, Yazied Madi, Jacques Besson, 津崎兼彰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼の水素脆性クラック伝播挙動
3. 学会等名 ISSS 2021ポストシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akinobu Shibata, Kazuho Okada, Yuji Momotani, Yu Bai, Nobuhiro Tsuji
2. 発表標題 Microstructural and Crystallographic Studies on Hydrogen-related Fracture in Martensitic Steels
3. 学会等名 International Conference on Martensitic Transformation (ICOMAT) 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松宮 久, 岡田和歩, 前河佳晃, 柴田暁伸, 辻 伸泰
2. 発表標題 低炭素マルテンサイト鋼における水素誘起疲労破壊と微視組織の関係
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 柴田暁伸, Ivan Gutierrez-Urrutia, 中村晶子, 宮本吾郎, 原 徹, 津崎兼彰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼における水素脆性粒界クラックの3次元形態
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松宮 久, 辻 伸泰, 柴田 暁伸, 岡田 和歩
2. 発表標題 マルテンサイト鋼とフェライト・パーライト鋼の疲労破壊挙動に及ぼす水素の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田 和歩, 柴田 暁伸, 辻 伸泰
2. 発表標題 フェライト鋼の水素脆性擬へき開破壊におけるserrated markingsの起源
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田 暁伸, グティエレス ウルティア イヴァン, 岡田 和歩, 宮本 吾郎, Yazied Madi, Jacques Besson, 辻 伸泰
2. 発表標題 高強度マルテンサイト鋼の水素脆性粒界クラック
3. 学会等名 MRMフォーラム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 柴田暁伸, Ivan GUTIERREZ URRUTIA, 岡田和歩, 宮本吾郎, Yazid MADI, Jacques BESSON, 津崎兼彰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼の水素脆性粒界クラック
3. 学会等名 日本金属学会春期講演大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田暁伸
2. 発表標題 マルテンサイト鋼の低温脆性破壊および水素脆性破壊
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡田和歩, 柴田暁伸, 辻伸泰
2. 発表標題 旧オーステナイト粒界への炭素偏析による3Mn-0.2Cマルテンサイト鋼の水素脆化特性向上
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松宮久, 前河佳晃, 岡田和歩, 柴田暁伸, 辻伸泰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼における水素誘起疲労クラック伝播挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Okada, A. Shibata, W. Gong, N. Tsuji
2. 発表標題 Hydrogen-related Plastic Deformation and Fracture Behaviors in 2Mn-0.1C Steel with Ferrite Microstructure
3. 学会等名 Technical Meetings and Exhibition, Materials Science and Technology 2019 (MS&T19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田暁伸, 岡田 和歩, Bai Yu, 辻 伸泰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼およびフェライト鋼における水素脆性破壊の組織学的・結晶学的解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田暁伸, 岡田和歩, Yazid Madi, Jacques Besson, 辻伸泰
2. 発表標題 水素脆性における破壊素過程とマクロ破壊特性の相関
3. 学会等名 日本金属学会秋期講演大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田暁伸, 岡田和歩, 桃谷裕二, Bai Yu, 辻伸泰
2. 発表標題 マルテンサイト鋼の水素脆性破壊と微視組織の関係
3. 学会等名 日本金属学会秋期講演大会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡田和歩, 柴田暁伸, ゴン ウ , 辻伸泰
2. 発表標題 2Mn-0.1Cフェライト 鋼の水素脆性破壊にともなった変形微視組織
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松宮 久, 岡田和歩, 柴田暁伸, 辻伸泰
2. 発表標題 フェライト鋼およびマルテンサイト鋼の疲労変形下の水素脆性
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2020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		
フランス	MINES ParisTech		