

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14016

研究課題名（和文）炭素・窒素を利用した高強度オーステナイト系ステンレス鋼の水素適合性評価

研究課題名（英文）Evaluation of hydrogen compatibility in carbon- and nitrogen-bearing high strength austenitic stainless steel

研究代表者

増村 拓朗（Masumura, Takuro）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：40804688

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：準安定オーステナイト鋼に炭素および窒素を添加し、オーステナイト安定度を高めることで水素脆化特性が向上することを示した。その影響を定量的に評価するために、オーステナイト安定度を示すMd30点に及ぼす炭素と窒素の影響を修正し、水素脆化特性とMd30点に密接な関係があることを明らかにした。また、高濃度の窒素を含むオーステナイト鋼の水素吸収量を調査し、窒素は侵入水素量を低減させることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素脆化特性と密接に関係し、オーステナイト安定度の指標として良く用いられるMd30の式を改良したことは、水素適合材料の合金設計はもちろんのこと、オーステナイト系ステンレス鋼の研究に大きな波及効果を与える成果である。その改良の過程において、オーステナイトの安定度に及ぼす炭素および窒素の影響を組織学的、熱力学的な観点から説明しており、侵入型元素と無拡散変態の関係を理論的に示すことができた。また、窒素を添加するだけで水素侵入量を低減させることができるという結果は、一見して単純に思える窒素の利用が、水素エネルギー社会の実現のために大いに有効であることを示している。

研究成果の概要（英文）：Addition of carbon and nitrogen contributed to the improvement of hydrogen embrittlement property in metastable austenitic stainless steel due to increasing the austenite stability. To evaluate the effect quantitatively, the effect of carbon and nitrogen on Md30, which shows austenite stability, was modified, and it was found that there is a close relationship between hydrogen embrittlement property and Md30. In addition, the amount of hydrogen absorption in high-nitrogen added austenitic steel was investigated, and it was found that nitrogen reduces the amount of hydrogen absorption.

研究分野：鉄鋼材料の合金設計、組織制御に関する研究

キーワード：オーステナイト鋼 水素脆化 炭素 窒素 加工誘起マルテンサイト

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

低炭素社会の実現のため水素エネルギーの利用が広がっているが、鉄鋼材料の水素脆化がその実現の大きな妨げとなっており、過酷な水素環境下では水素感受性の低いオーステナイト系ステンレス鋼である SUS316L のみが認可されている。しかしながら、この鋼は本質的に強度が低いため、水素ガス用の配管として用いる場合は肉厚で小口径となり、水素流量が小さくなってしまふ。オーステナイト系ステンレス鋼を最も容易に強化するには、冷間加工によりオーステナイトを硬質なマルテンサイトへ加工誘起変態させれば良いが、マルテンサイトは水素脆化を誘発するため、水素環境下ではむしろ抑制されるべき組織である。つまり、加工誘起マルテンサイトに頼らないオーステナイト鋼の高強度化が必須である。

その手法として、オーステナイトを安定化させ、マルテンサイトではなく転位や変形双晶を導入することで加工硬化させる方法が一般的であるが、それにも限界がある。一方で我々のグループでは炭素や窒素を利用したオーステナイト鋼の高強度化について研究を行ってきた。炭素・窒素は固溶状態でオーステナイトの強度を上昇させるだけでなく、変形後の組織を変化させることで加工硬化能も上昇させる<sup>1)</sup>。さらに、時効処理により極微細な炭・窒化物を析出させれば粒子分散強化を上乗せすることも可能である。加えて、炭素・窒素はマルテンサイト変態を劇的に抑制する効果も兼ね備えており<sup>2)</sup>、従来その役割を担っていた高価な Ni や Mo の代替元素にもなり得る。このような炭素・窒素の有用性から、汎用のオーステナイト鋼では両元素の利用が進められつつあるが、水素環境下では未だに炭素・窒素を含まない SUS316L の利用が主流であり、炭素・窒素添加による耐水素脆性の変化はほとんど明らかとなっていない。

1) 吉武睦海, 土山聡宏, 高木節雄: 鉄と鋼, Vol.98 (2012), pp.223-228.

2) T.Masumura et al. : Acta Mater., Vol.84 (2015), pp.330-338.

### 2. 研究の目的

水素環境下で使用される高強度オーステナイト鋼の合金設計指針の提案のため、炭素および窒素を別個に添加したオーステナイト系ステンレス鋼における(1)炭素および窒素の機械的安定化効果の定量評価、(2)水素の侵入・拡散挙動を調査する。それを踏まえて、炭素・窒素それぞれの特徴と有用性を検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 準安定オーステナイト鋼の機械的安定度に基づき炭素および窒素の影響の定量評価

準安定オーステナイト鋼である Fe-18%Cr-8%Ni 合金に対して炭素と窒素を別個に最大 0.2% 添加した鋼を用いた。機械的安定度の指標としては、 $Md_{30}$  (真ひずみ 0.3 を与えたときに加工誘起マルテンサイトが 50% 生成する温度) を用いた。野原らが提唱した  $Md_{30}$  と化学組成の関係式においては、炭素、窒素の効果は同等であるとされているが、我々の研究では両者が異なることを示唆する結果が得られている。本研究では、従来の  $Md_{30}$  の式における炭素、窒素の影響を修正し、 $Md_{30}$  と水素脆化特性との関係を調査した。

#### (2) 高窒素オーステナイト系ステンレス鋼における水素の侵入、拡散挙動

固相窒素吸収法により 0.5% の窒素を固溶させた Fe-18%Cr-12%Ni 合金における水素の侵入、拡散挙動の評価を行った。270 -100MPa の水素ガス雰囲気中で高圧水素曝露処理を行い、水素を鋼中に平衡状態まで侵入させた。その後、昇温脱離分析法 (TDA) による測定を行い、水素が放出された量を固溶量、水素が放出される速さを水素の拡散速度として評価した。

### 4. 研究成果

#### (1) 準安定オーステナイト鋼の機械的安定度に基づき炭素および窒素の影響の定量評価

図 1 は Fe-18%Cr-8%Ni 合金に炭素、窒素を別個に添加した試料に対して引張試験で 0.3 の真ひずみを与えたときの加工誘起マルテンサイト量と試験温度の関係を示す<sup>3)</sup>。炭素および窒素の添加により曲線が低温側に移行しており、オーステナイト安定度が向上していることが分かる。これらの曲線において、加工誘起マルテンサイト量が 50% になっている温度が  $Md_{30}$  に相当する。

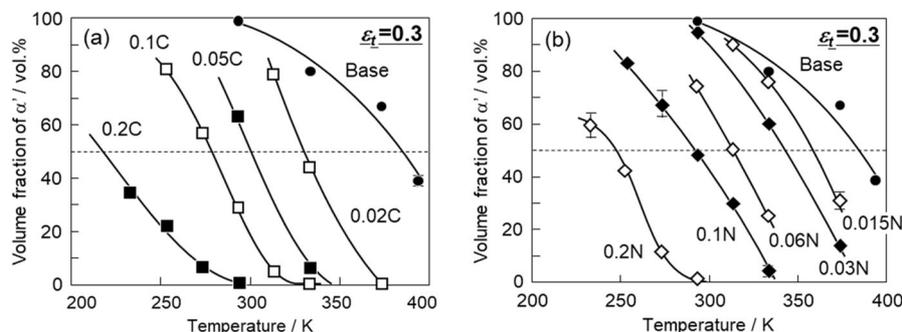


図 1 Changes in volume fraction of  $\alpha'$ -martensite induced by tensile true strain at 0.3 as a function of testing temperature in carbon-added (a) and nitrogen-added steels (b)<sup>3)</sup>.

図 2 は  $Md_{30}$  と炭素および窒素量の関係を示す。窒素よりも炭素のほうが  $Md_{30}$  を低下させる効果大きい、つまり、機械的安定化効果大きいということが分かった。また、従来報告されていた野原らの結果を点線で示している。本研究の結果と比較すると、野原らの炭素、窒素の影響は過小評価されていることが分かる。本研究の結果をもとに、 $Md_{30}$  の式を修正したところ、下記の式が得られた。

$$Md_{30}(K) = 757 - 548C - 523N - 9.2Si - 12.5Mn - 10.5Cr - 24.3Ni - 4.7Mo$$

3) 増村拓朗, 藤野昂平, 土山聡宏, 高木節雄, 木村謙: 鉄と鋼, Vol.105 (2019), pp.1163-1172.

0.2%の炭素および窒素を添加した試料に対して高圧水素チャージを行い、水素吸収量を測定したところ、0.2C 鋼で 73ppm、0.2N 鋼で 71ppm の水素が固溶していることが明らかとなり、炭素と窒素で顕著な差は得られなかった。図 3 は水素チャージ前後における 0.2C 鋼および 0.2N 鋼の引張曲線を示す。水素チャージ前(点線)は大きな均一伸びを示したあと、くびれが発生して破断に至っているが、水素チャージ後(太線)は均一変形中に脆性破壊が生じている。破壊形態を確認するため、破断後の破面を観察した結果を図 4 に示す。これは炭素および窒素を含まない Fe-18%Cr-8%Ni 合金 (Base 鋼) における結果である。水素未チャージ材ではくびれが発生して破断面の断面積が小さくなっており、延性破壊が生じていることが分かる。一方で水素チャージ材では断面積が広く、粒界破壊が生じている様子が確認できる。水素チャージによる脆化の程度を評価するために、相対絞り (RRA) = (水素チャージ材の絞り) / (水素未チャージ材の絞り) の計算を行った。Base 鋼では、水素未チャージ材での絞りは 76%、水素チャージでは 12% であり、RRA は 16% となる。

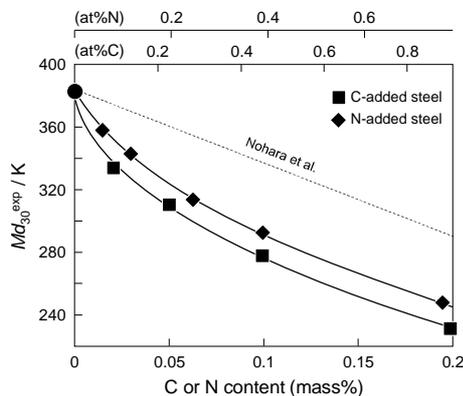


図 2 Changes in  $Md_{30}$  as a function of carbon or nitrogen content in 18%Cr-8%Ni steel<sup>3)</sup>.

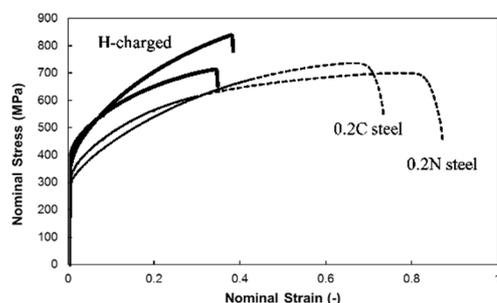


図 3 Nominal stress-strain curves in 0.2C and 0.2N steel before and after hydrogen charge at 270 °C and -100MPa.

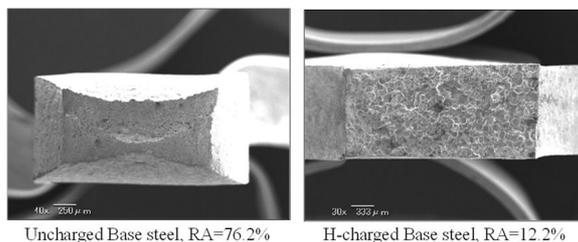


図 4 Fracture surface of Base steel before and after hydrogen charge.

種々の炭素、窒素量を添加した試料に対して同様の試験を行い、 $Md_{30}$  と RRA の関係を整理した結果を図 5 に示す。 $Md_{30}$  と RRA には良好な直線関係が成立し、オーステナイト安定度を炭素および窒素で向上させることが水素適合性の向上に非常に有効であることが明らかとなった。今後、より高濃度の炭素、窒素を利用するためには両元素が機械的安定度に及ぼす影響を正確に把握しておく必要があるため、本研究で提唱した新たな  $Md_{30}$  の式は工業的に極めて重要な役割を果たすと考えられる。

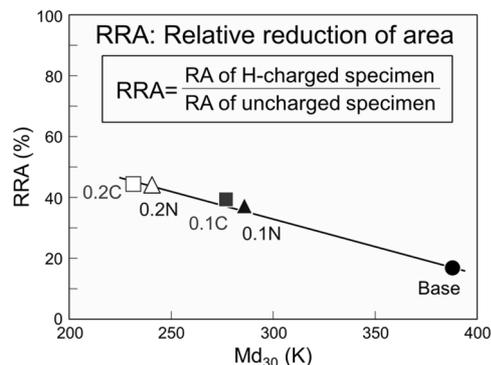


図 5 Relation between  $Md_{30}$  and RRA.

## (2) 高窒素オーステナイト系ステンレス鋼における水素の侵入、拡散挙動

鋼の水素脆化機構として、水素が金属原子の結合力を低下させ脆性的破壊を起こす HEDE (Hydrogen Enhanced DEcohesion)、転位と水素が相互作用を起こすことで局所的な塑性変形が容易になるという HELP (Hydrogen Enhanced Localized Plasticity) などが提案されており、いずれの機構にしても、水素侵入量が多く、鋼中でも拡散が容易な場合に脆化が進む<sup>4)</sup>。ここで、炭素・窒素が水素と同じ侵入型元素であり、固溶サイト(八面体空隙・転位)や拡散経路(八面体空隙・転位・粒界)も同様であること鑑みると、オーステナイト中で固溶状態にある炭素・窒素が水素の固溶位置を奪うことで水素の固溶・拡散を阻害し、強度のみならず耐水素脆性が向上する可能性

がある。

図6はFe-18%Cr-12%Ni合金(Base鋼)と、Base鋼に0.5%の窒素を添加した高窒素鋼に対して冷間圧延を行った後、水素チャージを行い、それら試料の水素吸収量を測定した結果を示す。まず無加工材に注目すると、窒素添加により水素吸収量は93ppmから89ppmに変化しており、原子割合で換算するとその変化率は6%程度であり、有意に減少していると言える。水素と窒素はともに八面体空隙に固溶し、固溶サイトを競合しているため、窒素があらかじめ固溶サイトを占有していると考えるとその分水素固溶量が減少する可能性も考えられるが、0.5%の窒素がすべての八面体空隙に固溶したとしても、約2%の八面体空隙を満たしているに過ぎないため、窒素が水素の固溶サイトを奪ったという考えだけでは水素原子数の6%の減少を説明できない。その他の原因として、窒素添加による格子歪みや水素-窒素間の原子間相互作用により水素の固溶が妨げられたことが考えられるが、詳細は定かではない。また、圧延率の増加によりどちらの鋼種でも若干の水素吸収量の増加が見られ、これは水素のトラップサイトである転位の増加の影響と考えられる。そこで、各試料の水素吸収量をオーステナイトの転位密度で整理し直した結果を図7に示す。両鋼ともに、転位密度の増加に伴い水素吸収量が増加していることが確認できる。また、高窒素鋼はBase鋼と比較して転位密度に対するトラップ水素量が減少していることが分かる。両鋼において転位密度と水素吸収量の関係を直線近似すると、Base鋼における直線の傾きは $15 \times 10^{-16} \text{ppm/m}^{-2}$ 、高窒素鋼では $6.8 \times 10^{-16} \text{ppm/m}^{-2}$ となる。ここで、加工による水素吸収量の増加分がすべて転位にトラップされていると仮定すると、1nmあたりの転位にトラップされた水素原子の数はBase鋼において7個、窒素添加鋼において3個となり、単位転位長さあたりにトラップできる水素量が窒素により半減している。この結果は、窒素添加により転位が水素のトラップサイトとしての働きを低減させられたことを意味している。これは、転位上に窒素が存在すると、水素-窒素間の原子間相互作用による効果、もしくは窒素が転位自体のひずみ場を減少させる効果により、転位が水素をトラップする力を抑制したためであると考えられる。

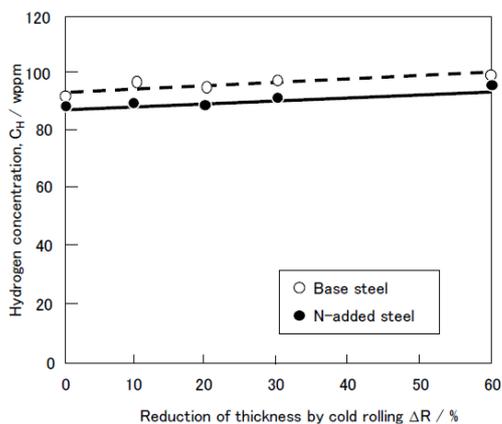


図6 Change in hydrogen concentration as a function of thickness reduction.

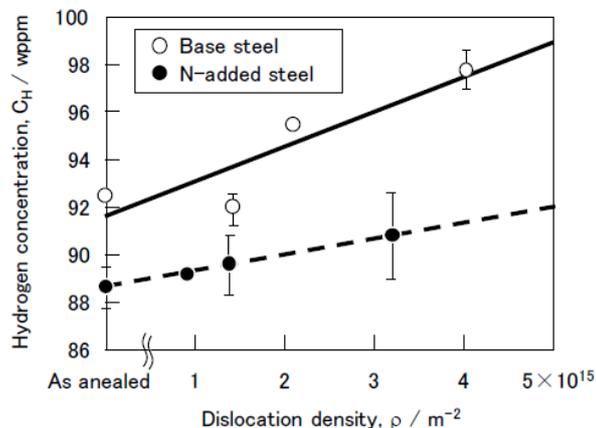


図7 Change in hydrogen concentration as a function of dislocation density.

一方で、水素の拡散速度に及ぼす窒素添加および転位導入の影響は非常に小さかった。窒素の影響が小さい理由は、八面体空隙に固溶した窒素原子は前述の通りおよそ2%の八面体空隙を占めているに過ぎず、水素の侵入経路を塞ぐには固溶量が足りないためであると説明できる。転位の影響が小さい理由は、各サイトへの水素吸収量の違いが原因であると考えられる。すなわち、bcc鉄においては格子にトラップされる水素量に対して転位にトラップされる水素量が多いため、水素拡散係数はトラップサイトとしての転位の影響を受けやすい。これに対してfccオーステナイト鋼においては、転位にトラップされる水素量が格子に固溶している量に対して非常に少ないため、転位が水素の拡散速度に及ぼす影響が小さかったと考えられる。

以上の結果より、特にオーステナイト中に高濃度の添加が可能な窒素はオーステナイト安定化、水素吸収量の低減の観点から、水素適合性を向上させるために有効な元素であると言える。また、窒素はオーステナイトの降伏応力の向上や加工硬化率の向上にも有効であり、今後、より高濃度の窒素を含有したステンレス鋼の開発が期待される。

## 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 4件）

1. 著者名 増村拓朗, 瀬戸雄樹, 土山聡宏, 木村謙	4. 巻 59
2. 論文標題 高窒素オーステナイト系ステンレス鋼の加工硬化機構	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 熱処理	6. 最初と最後の頁 222-229
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.14940/netsushori.59.222">https://doi.org/10.14940/netsushori.59.222</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 増村拓朗, 藤野昂平, 土山聡宏, 高木節雄, 木村謙	4. 巻 105
2. 論文標題 準安定オーステナイト系ステンレス鋼のMd30に及ぼす炭素および窒素の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 1163-1172
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-2019-062">https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2019-062</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 M.Koyama, K.Habib, T.Masumura, T.Tsuchiyama, H.Noguchi	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 T.Masumura, Y.Seto, T.Tsuchiyama and K.Kimura	4. 巻 61
2. 論文標題 Work-hardening mechanism in high-nitrogen austenitic stainless steel	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 678-684
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="http://doi.org/10.2320/matertrans.H-M2020804">http://doi.org/10.2320/matertrans.H-M2020804</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 増村拓朗, 高木節雄, 土山聡宏	4. 巻 69
2. 論文標題 Modified Williamson-Hall法での解析に必要なパラメータ-Ch00ならびにqの提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 -
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 小貫祐介, 増村拓朗, 土山聡宏, 佐藤成男, 富田俊郎, 高木節雄	4. 巻 106
2. 論文標題 中性子回折測定に基づくRietveld Texture Analysisおよび飽和磁化測定による加工誘起マルテンサイトを含有する鋼の相分率解析精度の相互検証	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鉄と鋼	6. 最初と最後の頁 -
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 高木節雄, 増村拓朗, 土山聡宏	4. 巻 69
2. 論文標題 Modified Williamson-Hall法における解析精度向上手法の提案	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 -
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 高木節雄, 増村拓朗, 土山聡宏	4. 巻 69
2. 論文標題 理想多結晶金属における弾性定数	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 -
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 T.Masumura, K.Fujino, T.Tsuchiyama, S.Takaki and K.Kimura	4. 巻 61
2. 論文標題 Effect of carbon and nitrogen on Md30 in metastable austenitic stainless steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 -
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 Masumura Takuro, Tsuchiyama Toshihiro, Takaki Setsuo, Koyano Tamotsu, Adachi Kazuhiko	4. 巻 154
2. 論文標題 Difference between carbon and nitrogen in thermal stability of metastable 18%Cr-8%Ni austenite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 8~11
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.2018.05.019">https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2018.05.019</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 Masumura Takuro, Takaki Setsuo, Jiang Fulin, Tsuchiyama Toshihiro	4. 巻 104
2. 論文標題 Discussion about Procedure for Determining Parameter in Modified Williamson-Hall Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tetsu-to-Hagane	6. 最初と最後の頁 717~719
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-2018-095">https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.TETSU-2018-095</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 Macadre Arnaud, Masumura Takuro, Manabe Ryota, Tsuchiyama Toshihiro, Takaki Setsuo	4. 巻 44
2. 論文標題 Effect of nitrogen-addition on the absorption and diffusivity of hydrogen in a stable austenitic stainless steel	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 1263~1271
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.2018.11.031">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.031</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15件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Takuro Masumura, Yuki Seto, Toshihiro Tsuchiyama, Setsuo Takaki, Ken Kimura
2. 発表標題 Dislocation strengthening mechanism in high nitrogen austenitic steel
3. 学会等名 MSMF9 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増村拓朗, 高木節雄, 土山聡宏
2. 発表標題 Direct-fitting/modified Williamson-Hall (DF/mWH)法を用いた各種鉄鋼材料の転位密度評価法
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木節雄, 増村拓朗, 土山聡宏
2. 発表標題 直接平均化法による等方多結晶オーステナイト鋼のヤング率の見積り
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木節雄, 増村拓朗, 土山聡宏
2. 発表標題 オーステナイト鋼の弾性スティッフネスに及ぼす単結晶ヤング率の影響
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 成富光佑, 増村拓朗, 土山聡宏, 宮本吾郎, 山先祥太
2. 発表標題 高窒素オーステナイト系ステンレス鋼の低温時効硬化挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第178回秋季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増村拓朗, 藤野昂平, 土山聡宏, 高木節雄, 木村謙
2. 発表標題 準安定オーステナイト鋼のMd30に及ぼす炭素・窒素の影響の再評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第179回春季講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸雄樹, 増村拓朗, 土山聡宏
2. 発表標題 高窒素オーステナイト系ステンレス鋼の加工硬化機構
3. 学会等名 第85回 熱処理技術協会春季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuro Masumura, Fulin Jiang, Toshihiro Tsuchiyama, Setsuo Takaki
2. 発表標題 Evaluation of work hardening behavior in austenitic steel by direct fitting / modified Williamson-Hall method
3. 学会等名 THERMEC'2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木節雄, 増村拓朗, 土山聡宏
2. 発表標題 Direct fitting / modified Williamson-Hall法による転位解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増村拓朗, 高木節雄, 土山聡宏
2. 発表標題 Direct Fitting法を用いたオーステナイト鋼の転位密度および加工硬化挙動の評価
3. 学会等名 日本鉄鋼協会 第176回秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuro Masumura, Toshihiro Tsuchiyama, Setsuo Takaki, Tamotsu Koyano
2. 発表標題 Effects of carbon and nitrogen on thermal stability of metastable austenitic stainless steel
3. 学会等名 ICAS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Seto, Takuro Masumura, Toshihiro Tsuchiyama, Setsuo Takaki
2. 発表標題 Work hardening and dislocation accumulation behavior in high nitrogen austenitic steel
3. 学会等名 CAMS2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津組杏佳, 増村拓朗, 土山聡宏, 小野嘉則
2. 発表標題 SUS316Lステンレス鋼における結晶粒微細化強化の温度依存性
3. 学会等名 第86回熱処理技術協会秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 成富光佑, 増村拓朗, 土山聡宏, 宮本吾郎
2. 発表標題 高窒素オーステナイト系ステンレス鋼の低温時効硬化挙動
3. 学会等名 第86回熱処理技術協会秋季講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 増村拓朗 瀬戸雄樹 土山聡宏 高木節雄 木村謙
2. 発表標題 高窒素オーステナイト鋼における加工硬化と転位蓄積挙動
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学大学院工学研究院材料工学部門構造材料工学研究室[土山研究室]  
<https://tsuchiyama.zaiko.kyushu-u.ac.jp/>

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