

令和 4 年 5 月 31 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02742

研究課題名（和文）普及型陽電子消滅分析装置の開発とその場分析による物質科学への展開

研究課題名（英文）Development of portable positron annihilation lifetime spectrometer and its in situ applications

研究代表者

藤浪 真紀 (Fujinami, Masanori)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：50311436

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：普及型その場陽電子消滅法の開発において、水素添加しながら測定可能な装置を開発することにより、純鉄中の水素誘起欠陥が空孔-水素複合体であることを実証し、水素脆化はその局所高密度化であることが重要であることを示唆した。また、分オーダーでの測定可能な装置を活用することで、純Niでは、NiではFeと異なり水素添加のみで空孔が形成すること、水素脱離による空孔クラスターへの経時変化との関係を明らかにした。さらにNiの水素脆化においても空孔-水素複合体の形成が関与していることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、水素添加しながら、あるいは延伸しながらその状態で陽電子消滅測定が可能となり、材料の格子欠陥を調べることが可能となった。従来はそれらが空孔クラスターに成長した状態でしか観察できなかったが、これにより、不安定であった水素誘起欠陥を検出することに成功した。また、分オーダーでの陽電子消滅測定により、分オーダーで変化する空孔成長過程を直接観察することができた。これらは、従来知見を根底から覆すものであり、画期的である。今後、不安定な欠陥計測に開発装置は大きく寄与していくことが期待される。

研究成果の概要（英文）：In the development of an in situ positron annihilation lifetime spectroscopy (PALS), I have proved that hydrogen-induced defects in pure iron are vacancy-hydrogen complexes by developing a PALS apparatus that enables measurement while hydrogen is charged, and suggested that hydrogen embrittlement is crucial because of their local densification. By utilizing a PALS apparatus capable of measuring on the order of minutes, it was also clarified that in pure Ni, unlike Fe, vacancies are formed only by hydrogen addition, and the relationship between the formation of vacancy clusters and the aging process of hydrogen desorption. Furthermore, it is suggested that the formation of vacancy-hydrogen complexes is also involved in the hydrogen embrittlement of Ni.

研究分野：分析化学

キーワード：陽電子消滅 水素脆化 鉄 ニッケル 水素 その場計測

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

水素社会を迎えようとしている中で、多くの金属材料は水素環境下で力学特性が劣化する「水素脆化」という問題があり、その解決は喫緊の課題である。水素は原子空孔形成エネルギーを低下させるため、我々は水素と結合した原子空孔が水素脆化支配因子と考え、空孔型欠陥挙動の解明を進めてきた。一方、長年支配因子が解明されない理由として、空孔-水素複合体を形成しても、水素が室温でも容易に脱離してしまい、その結果原子空孔は不安定となり消失し、測定時には欠陥が変化してしまうことがあげられる。よって、水素脆化支配欠陥の決定には、水素環境下で応力負荷状態といったその場分析が不可欠である。

その原子空孔検出に最適な分析法として陽電子消滅法があるが、その普及の阻害要因は、本法が放射性同位体(radioisotope, RI)である  $^{22}\text{Na}$  を陽電子源として用いることにある。そのため RI 管理区域といった特殊な実験施設内での分析という使用制限を克服し、RI 管理区域外の通常の実験室での分析を可能とする普及型装置の開発が陽電子消滅法の普及促進には必須である。

以上、陽電子消滅法の普及は、原子空孔をはじめとする空孔型欠陥の物性支配因子としての重要性の認識を共有化し、物質のキャラクタリゼーションの一つの分析軸として確立につながる。それにより、水素脆化に代表される物質科学の諸問題の学術的「問い」を解決することに資するものとなる。さらに、フィールド測定に対応可能な単一試料測定法の開発は、新奇な構造材料などの高感度余寿命評価法へと展開できる可能性をもち、環境インフラへの波及効果も大きい。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、以下の3つである。

- ① 陽電子消滅法において、RI 管理区域外でも実施できる普及型装置を開発すること
- ② 陽電子源を同一の二つの試料でサンドイッチするという従来法を脱却し、単一試料での測定を実現し、構造材の余寿命評価といったフィールドでのその場測定診断技術としての可能性を示すこと
- ③ 水素脆化などの物質科学における未解決問題に対して、開発した普及型測定法の特徴を生かし、不安定な空孔型欠陥を検出し物性支配因子を特定すること

### 3. 研究の方法

$\alpha$  鉄での水素の拡散係数は  $7 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$  と大きいため、試料片の厚さが数十  $\mu\text{m}$  以下であれば片側から水素を導入することで試料全体に水素は侵入する。よって、片側の面から水素を導入して、反対側の面を測定しても同じ結果が得られる。一般に陽電子消滅法では  $^{22}\text{Na}$  線源から  $4\pi$  方向に発生した陽電子が試料内で消滅するように、二枚の同一試料で線源を挟んで測定する。本測定では、水素添加した試料面が片面となるため、逆側の方向に発生する陽電子をプラスチックシンチレータで検出し、アンチコインシデンス法によりその消滅成分を除去することとした<sup>2)</sup>。そのため図1に示すようなテフロン製電解セルと陽電子寿命測定(PALS)系を構築した。

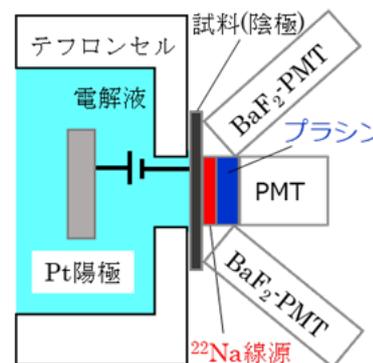


図1. 水素添加 *in situ* PALS 測定法の概略図

### 4. 研究成果

#### (1) 純鉄中の水素脆化支配欠陥

水素環境中で金属材料の力学特性が低下する「水素脆化」において、延性低下や遅れ破壊に関して様々な機構が提唱されているが、素過程である原子空孔の挙動について未解明な点が多い。水素環境中延伸した純鉄に、低温昇温脱離分析法を適用することで空孔形成が報告されているが欠陥種同定には至っていない。また、PALS 測定により、水素添加延伸により空孔クラスターの形成が報告されているが、その欠陥挙動は昇温脱離分析の結果とは一致しない。我々は生成欠陥を凍結した温度可変 PALS 測定により、単・複空孔レベルの欠陥が生成することを示した。これらの結果は、水素誘起欠陥が室温では不安定であり、従来の PALS 結果は誘起欠陥の実態を反映していないことを示唆している。そこで本研究では、室温で水素を添加しながら PALS 測定可能な水素添加 *in situ* PALS 測定法を開発し、水素感受性の異なる条件で延伸した純鉄の欠陥挙動解明を行った。

純  $\alpha$  鉄 (厚さ  $0.2 \mu\text{m}$ ) を溶体化処理により初期欠陥を除去した後、陰極電解法により  $30^\circ\text{C}$ 、 $0.1 \text{ mol/L NaOH} + \text{NH}_4\text{SCN } 5.0 \text{ g/L}$  水溶液、 $50 \text{ A/m}^2$  の電流密度で水素を添加しながら  $25\%$  まで延伸し、液体窒素中で保持した。 $\alpha$  鉄の水素感受性は延伸速度に依存するため、 $0.015 \text{ mm/min}$  および  $15 \text{ mm/min}$  で延伸した試料を供試料とした。それぞれ陰極電解法により室温、 $0.09 \text{ mass\% NH}_4\text{SCN} + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{pH } 2.5)$  水溶液、 $50 \text{ A/m}^2$  の電流密度の条件下で試料片面から水素を添加しながら陽電子消滅測定した。

水素感受性の低い  $15 \text{ mm/min}$  延伸試料では  $150 \text{ ps}$  の転位成分以外に  $360 \text{ ps}$  の空孔クラスター成分を検出した。一方、水素感受性の高い  $0.015 \text{ mm/min}$  延伸試料では、 $185 \text{ ps}$  の欠陥成分が検出された。この寿命値は転位成分より長いことから、転位成分と単・複空孔の成分が混在した寿命値と帰属された。水素の存在下では空孔形成エネルギーが低下するため、水素と空孔が結合し

た水素-空孔複合体が形成・安定化する。一方、延伸速度が速いと空孔が拡散・凝集し、空孔クラスターとして安定化している。それらの挙動の差が水素脆化に関連していると考えられる。

## (2) ステンレス鋼の水素脆化

水素社会を迎えるにあたり、水素貯蔵用材料として使用されるオーステナイト系ステンレス鋼の「水素脆化」の解決は喫緊の課題である。水素脆化は水素環境下における力学特性の低下であり、ステンレス鋼では Ni 当量が少ないほど加工誘起マルテンサイト( $\alpha'$ )相が形成されやすく、水素感受性が高くなる。我々は表面層にのみ水素添加した SUS304 において、10%延伸により水素添加層以上の深い領域でも延性低下が起こり、陽電子消滅法により空孔-水素複合体形成の可能性を示唆した。本研究では、Ni 当量が異なる SUS304, 316, 316L の 3 鋼種において、PALS により水素誘起欠陥を検出し、その形成挙動と力学特性の因果関係を得ることを目的とした。

陰極電解法による水素添加を行った。電解液 3%NaCl+3 g/L NH<sub>4</sub>SCN 水溶液、電流密度 50 A/m<sup>2</sup>、添加時間 48 h とし、水素添加層は 10  $\mu$ m 以内であった。この水素添加試料を 10%延伸し、水素添加層 10 mm を電解エッチ直後(直後材)に破断させた試料、エッチ後に 4 日間室温時効(時効材)して破断させた試料の 2 種類の試料を作製した。陽電子寿命スペクトルは 2 から 3 成分で解析することができた。

10%延伸水素添加層エッチ直後材では、すべての鋼種でバルク成分以外に約 180 ps の寿命成分がみられた。この成分は転位成分よりも長いことから、転位と単・複空孔が混在した欠陥と帰属された。単空孔は室温では不安定であることから、水素との複合体と考察された。一方、4 日間時効材では転位成分と 200 ps 以上の空孔クラスター成分が検出された。これは水素が脱離することで、空孔が拡散・凝集したものと考えられる。

破断まで延伸したところ、時効材はいずれも延性低下はなかったが、直後材では 304 と 316 は延性低下し、316L は延性低下しなかった。図 2 に各破断試料の陽電子寿命結果をまとめる。時効材の 304 と 316 では破断材前後で空孔クラスター寿命に大きな差はなかったが、直後材の破断材では空孔クラスターが形成し、その寿命値は時効材の破断材より長くなっていた。また、最も Ni 当量の小さい 304 でその差が最も大きかった。一方、延性低下のない 316L では直後材と時効材の破断時で空孔クラスター寿命の差がみられなかった。

時効材では、空孔クラスターが形成されており、延伸・破断してもそのサイズの変化はないことから、空孔クラスターは延性低下に寄与していない。一方、直後材では 304 と 316 で延性低下がみられ、破断時に空孔クラスターの成長がみられたことから、 $\alpha'$ 相境界といった高ひずみ場をもたらす加工組織における空孔-水素複合体の高密度形成が水素脆化に関与すると考察された。316L では空孔-水素複合体は形成されるが、 $\gamma$ 相が安定であり、加工による高ひずみ場が形成しにくいと考えられる。

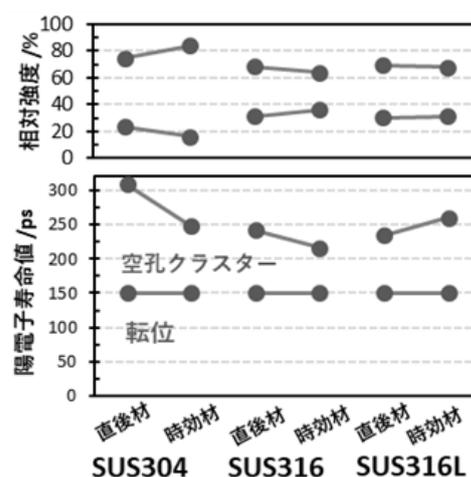


図 2 各破断試料の陽電子寿命結果

## (3) 水素添加 Ni の欠陥経時変化

水素添加した Ni では、水素添加により室温で空孔が形成し経時変化することが報告されている。水素添加した金属において塑性変形により原子空孔の集合体が形成される例はあるが、水素添加のみで空孔形成される例は少ない。本研究では、陰極電解法により水素添加した Ni において、X 線回折 (XRD) による水素化物形成および PALS による空孔挙動の経時変化の相関を得ることを目的とした。

Ni(99%)試料を溶体化処理を行った後、陰極電解法により 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 3 g/L NH<sub>4</sub>SCN 水溶液、電流密度 40 mA/cm<sup>2</sup>、室温で水素添加を 4 h 行った。この条件では水素は表面から 30  $\mu$ m 以内に分布する。本試料を室温にて XRD 測定、PALS 測定に供した。また、HZDR での超伝導加速器(ELBE)によるパルス陽電子ビーム(MePS)を用いた陽電子寿命測定に供し、2 分毎(10<sup>7</sup> counts)測定により経時変化を観察した。陽電子エネルギーは 10 keV であった。

XRD 測定により水素添加直後に水素化物の形成が確認されたが、時間とともに水素化物ピークは減少し、12 時間後には当初の 1/10 以下のピーク強度となり、24 時間後にはほぼ消失した。水素脱離も約 10 時間で完了した。6 時間ごとに PALS 測定を行ったところ、最初の 6 時間では 240 ps 成分、12 時間後には 280 ps、30 時間後には 310 ps となりそれ以後は一定となった。空孔形成には水素化物形成が密接に関係しているが、水素化物が分解しても、空孔は残り空孔集合体を形成することがわかった。

水素添加直後の空孔挙動を調べるために、水素添加直後のNi試料をHZDRのMePS装置の測定室(真空)チャンパーに導入し、数分後にPALS測定を開始した。PALSスペクトルは二成分に分離され、その寿命と強度の経時変化を図3に示す。添加直後には170 psの寿命値を示し、単空孔が形成していることがわかる。

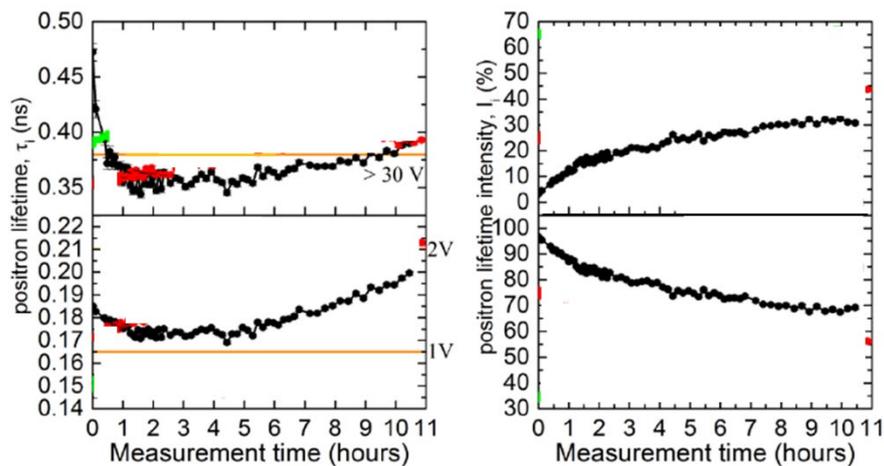


図3 水素添加Niの陽電子結果の時間変化

時間とともに長寿命成分の寿命値および強度が増大し、空孔クラスターに成長した。水素添加により水素化物が形成する際に原子空孔が形成すると考えられる。その後、水素は脱離し、空孔は凝集を開始し空孔クラスター形成により安定化する。既報<sup>2)</sup>にあるように空孔濃度が高い場合には、Ni中の原子空孔のStage IIIの350 Kより低い温度でも空孔凝集することを示唆している。

#### (4) Niの水素脆化欠陥

Niはα鉄やオーステナイト系ステンレス鋼と異なり、水素添加のみで水素化物形成に伴う原子空孔形成が誘起され、室温で水素脱離とともに空孔クラスターへの成長が報告されている。また、水素による延性低下が起こる。そのNiにおける水素脆性において、水素・転位・原子空孔が延性低下にどのように影響を与えているのか明らかになっていない。本研究では、陰極電解法により水素添加したNiの水素脆化挙動を、応力-ひずみ測定、SEMによる破面観察、PALSによる空孔挙動測定により水素脆化支配欠陥を解明することを目的とした。

Ni(99%)試料を溶体化処理を行った後、陰極電解法により5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 3 g/L NH<sub>4</sub>SCN水溶液、電流密度40 mA/cm<sup>2</sup>、室温で水素添加を4h行った。水素添加領域は数μmであった。水素添加直後試料および水素添加直後に延伸させた試料の表面10μmをH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>=2:3(体積比)の混合溶液を用いて電解研磨により除去した。また、水素添加直後試料および水素添加直後10%延伸した試料の表面10μmを除去した試料を作製した。ひずみ速度は4.2×10<sup>-3</sup> mm/sであった。それぞれの試料を室温にて陽電子寿命(PALS)測定に供し、PALSfitにより成分解析した。

水素添加した試料は参照試料に比較し18%程度延性低下し、水素による延性低下が確認された。各試料のPALS測定の結果を図4に示す。水素添加後の試料では空孔クラスターが検出されたが、表面10μmを除去した試料では空孔クラスターは検出されなかった。次に水素添加後延伸した試料を表面10μmを除去した試料では、ひずみ量7%以上の塑性変形領域まで延伸したときに空孔クラスターが検出された。水素環境下で延伸した場合にのみ空孔形成が確認されることから、変形時に転位を拡散パスとして水素が水素添加層より深い領域に拡散することで、空孔形成したと考えられる。

水素添加後10%延伸させ表面10μmを除去した試料を延伸すると5%程度延性が低下した。また、その破断面は、試料表面から50μmの領域でNiの水素脆化材に特徴的な粒界破面が観察された。これらの結果より、延伸初期段階で形成した空孔-水素複合欠陥が水素脆化支配欠陥であることが示唆された。

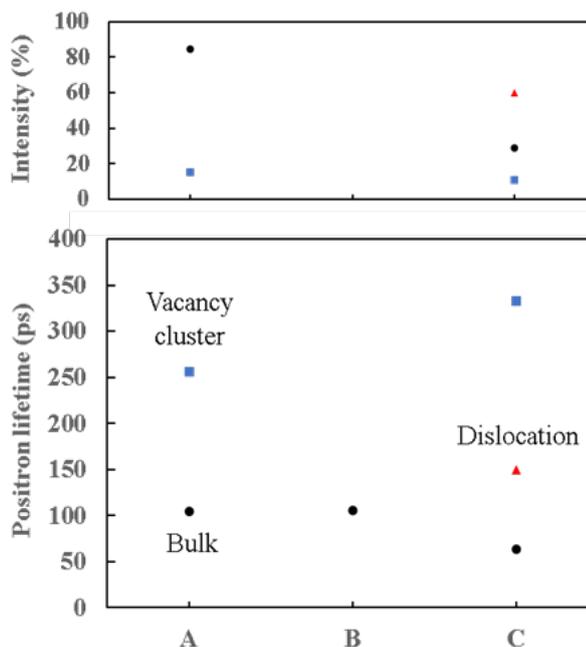


図4 各試料の陽電子結果 (A)水素添加Ni (B) 水素添加後表面10μm エッチ (C) 水素添加後10%延伸し表面10μm エッチ

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 Chiari Luca, Nozaki Ayaka, Koizumi Kazuki, Fujinami Masanori	4. 巻 800
2. 論文標題 Strain-rate dependence of hydrogen-induced defects in pure $\alpha$ -iron by positron annihilation lifetime spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering: A	6. 最初と最後の頁 140281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.msea.2020.140281	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 Komatsu Akari, Fujinami Masanori, Hatano Masaharu, Matsumoto Kazuhisa, Sugeoi Mitsuki, Chiari Luca	4. 巻 46
2. 論文標題 Straining-temperature dependence of vacancy behavior in hydrogen-charged austenitic stainless steel 316L	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 6960-6969
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2020.11.148	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 Chiari Luca, Ohnuki Chihiro, Fujinami Masanori	4. 巻 37
2. 論文標題 Analysis of the Chemical State in Y-zeolite Pores by Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 20P416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.20P416	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 Chiari Luca, Ohnuki Chihiro, Fujinami Masanori	4. 巻 184
2. 論文標題 A positronium-based systematic study of the physico-chemical properties of zeolite pores	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiation Physics and Chemistry	6. 最初と最後の頁 109441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radphyschem.2021.109441	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 Kazuhiro Matsukawa, Masanori Fujinami, Koun Shirai, Koichi Oguma, Takashi Akahane, Ryoichi Suzuki, Toshiyuki Ohdaira	4. 巻 58
2. 論文標題 Gettering of Cu in self-ion irradiated silicon studied by positron annihilation spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 96501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab352c	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 L. Chiari, K. Kojima, Y. Endo, H. Teshigahara, M. Butterling, M.O. Liedke, E. Hirschmann, A.G. Attallah, A. Wagner, M. Fujinami	4. 巻 219
2. 論文標題 Formation and time dynamics of hydrogen-induced vacancies in nickel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Materialia	6. 最初と最後の頁 117264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydene.2020.11.148	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 L. Chiari, A. Komatsu, M. Fujinami	4. 巻 61
2. 論文標題 Defects responsible for hydrogen embrittlement in austenitic stainless steel 304 by positron annihilation lifetime spectroscopy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 1927-1934
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2020-670	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 L. Chiari, M. Fujinami	4. 巻 62
2. 論文標題 Recent studies of hydrogen-related defects in iron-based materials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ISIJ International	6. 最初と最後の頁 832-139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2021-422	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 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 遠藤悠祐, 小島健司, 勅使河原広貴, Chiari Luca, Maik Buttering, Andreas Wagner, 藤浪真紀
2. 発表標題 水素添加した Ni の空孔挙動の経時変化測定
3. 学会等名 2020年度京都大学複合原子力科学研究所専門研究会「陽電子科学とその理工学への応用」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤浪真紀, Chiari Luca, Maik Buttering, Andreas Wagner
2. 発表標題 超伝導加速器ベースの陽電子消滅法による純Ni中の水素誘起欠陥の経時変化
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第181春季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島健司, Luca Chiari, 藤浪真紀
2. 発表標題 陽電子消滅法による純ニッケルの水素脆化支配欠陥
3. 学会等名 日本分析化学会 第68年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤浪真紀, 小島健司, Luca Chiari
2. 発表標題 陽電子消滅法による純Ni中の水素誘起欠陥
3. 学会等名 日本分析化学会 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤浪真紀, 小島健司, Chiari Luca
2. 発表標題 陽電子消滅法による純Ni中の水素誘起欠陥と水素脆化
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 M. Fujinami, A. Komatsu, L. Chiari
2. 発表標題 Positron annihilation spectroscopy of the crucial defects induced in austenitic stainless steel upon hydrogen embrittlement
3. 学会等名 GRC Hydrogen-Metal Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Fujinami, A. Komatsu, L. Chiari
2. 発表標題 The crucial defects induced in iron and stainless steel upon hydrogen embrittlement by positron annihilation spectroscopy
3. 学会等名 15th International Workshop on Slow Positron Beam Techniques & Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤浪真紀, 松野明未, 山脇正人, 大島永康, 佐藤礼, 高井健一
2. 発表標題 鉄の水素脆化支配欠陥決定のための水素添加 in situ 陽電子消滅測定法
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第183回春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤浪真紀, Chiarì Luca
2. 発表標題 陽電子からみた純鉄およびステンレス鋼の水素脆化
3. 学会等名 日本鉄鋼協会第182回秋季講演大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤浪真紀, 遠藤悠祐, Chiarì Luca
2. 発表標題 純鉄中の水素関与欠陥検出のためのin situ 陽電子消滅測定
3. 学会等名 日本分析化学会第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 伊藤守弘, 上養義朋, 杉山和幸, 中村美和, 桧垣正吾, 藤浪真紀, 渡部浩司	4. 発行年 2021年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 512
3. 書名 放射線取扱の基礎9版	

1. 著者名 藤浪真紀, 上養義朋, 木内伸幸, 桧垣正吾, ニツ川章二, 八木洋	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善出版	5. 総ページ数 238
3. 書名 放射線安全管理の実際	

〔産業財産権〕

〔その他〕

千葉大学工学部共生応用化学コース計測化学研究室  
<http://chem.tf.chiba-u.jp/gacb11/index.html>

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			
ドイツ	Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf			