

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02467

研究課題名（和文）アロトロピー組織制御とDBTC機構解明のマリアージュで実現する革新的水素分離膜

研究課題名（英文）Innovative hydrogen separation membranes achieved by marriage of allotropic structure control and DBTC mechanism elucidation

研究代表者

松本 佳久（MATSUMOTO, Yoshihisa）

大分工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：40219522

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：DBTC機構の解明と水素透過能および耐久性の向上に有効な組織や粒界構造を見出すことを目指して研究を展開した。J-PARC/MLFに設置のNOVAを使ってバナジウムやタンタル中の水素の空間配置について、DBTCとの関係を調べた。また水素透過流束の向上に寄与する微細組織状態を把握するため、膜透過した水素の可視化も検討した。

その結果、巨大ひずみ付与法によるbcc-Vの微細組織において、水素透過能についての結晶粒径や粒界面積の感受性は大きくないことを示した。結晶組織は高密度に導入された転位と低角度転位粒界、一般粒界、特殊粒界によって構成されており、これらが複合的に作用して水素拡散に影響を与えていた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素が固溶原子として金属中に存在する場合、変形や破壊の様相が変化するため、DBTCの発現機構解明に向けての知見が得られたことの意義は大きい。また結晶粒界は水素のトラップサイトである一方で高速拡散経路としても働く可能性があり、未だに統一した見解は得られていなかったが本研究の遂行によりその理解が進んだ。本研究はVなどの5族金属水素分離膜の高機能化と機械的性質の飛躍的改善を狙ったものである。即ち世界をリードする我が国の将来の水素製造・精製技術の進展に画期的なブレークスルーをもたらす材料開発であり、本研究の成果は燃料電池を基盤とした水素エネルギー社会構築に向けた工業技術として即座に展開可能である。

研究成果の概要（英文）：This study aims to elucidate the DBTC mechanism and to find microstructures and grain boundary structures that are effective in improving hydrogen permeability and durability. Using NOVA installed in J-PARC / MLF, the relationship with DBTC will be examined regarding the spatial arrangement of hydrogen in vanadium and tantalum. In addition, visualization of hydrogen that has permeated the membrane will be examined in order to understand the microstructural state that contributes to the improvement of the hydrogen permeation flux.

It is shown that the sensitivity of the grain size and grain boundary area to the hydrogen permeability is not large in the microstructure of bcc-V by the giant strain application method. The crystal structure is composed of high-density dislocations, low-angle dislocation grain boundaries, general grain boundaries, and special grain boundaries, which act in a complex manner to affect hydrogen diffusion.

研究分野：材料プロセッシング

キーワード：水素 金属物性 放射線，X線，粒子線 反応・分離工学 材料加工・処理 水素透過 水素分離 DBTC

### 1. 研究開始当初の背景

水素エネルギー社会へのパラダイムシフトに向けて、アンモニアやメチルシクロヘキサン等のエネルギーキャリアからの高純度水素の分離・精製技術の確立が喫緊の課題となっている[内閣府, SIP, エネルギーキャリア研究開発計画, (2018)]。そして最近, 高性能バナジウム (V) 系水素分離合金膜の開発に成功している [Suzuki et al., Mat. Trans., (2015)]。V に代表される 5 族金属は水素雰囲気中で激しく脆性破壊することが以前より知られているが, 中低温域の水素化物を全く形成しない単相領域であっても母相中への固溶水素量の増加が原因で水素脆化が顕著となる故, そのままでは使用に耐えないと考えられていた。

研究代表者らの研究チームでは近年, 水素圧力 - 組成 - 等温線 (PCT 曲線) をベースとした関数,  $f_{PCT}$  による 5 族金属の水素透過能の表現と, 金属膜が延性から脆性へと遷移する水素濃度 (DBTC) 限界の観点から合金膜の最適化学組成を精度良く計算できる設計指針を独自に開発している。また最近では体心立方 (BCC) 金属の V に巨大ひずみを付与すると, 300 の中低温域の温和な運転条件下でも  $10^{-7}$  ( $\text{mol H}_2 \text{ m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{0.5}$ ) 台の水素透過係数, が得られること, その DBTC も高水素濃度側に大きくシフトし耐水素脆性が大幅に向上する可能性があることなどを発見 (図 1) し, 世界初の非 Pd 系水素分離膜の超微細結晶粒組織効果として報告してきた。しかしこれらはいずれも現象把握に留まっており, その高速拡散経路 (主として粒界性格) の本質理解や超微細粒の水素透過機構解明までには至っていないため, 革新的な性能向上に結びついていなかった。

さらに水素濃度,  $C$  (H/M: 金属原子 M に対する水素原子 H の割合) に対する急激な変形能の変化, 即ち DBTC は V のみならず他の 5 族金属やこれら金属をベースとした合金でも 0.2 ~ 0.25H/M の組成位置で BCC 単相であるにも拘わらず必ず発現することを見出した。この特異な現象の発現メカニズムはこれまでも不明であったが, 5 族金属としては, ニオブ (Nb) - H の PCT 曲線のジebelツ則からの逸脱傾向と平面波基底擬ポテンシャル法による構造最適化の予備解析の結果, 四面体空隙位置 (T サイト) への固溶水素濃度に依存した水素原子のオーダリングといった構造変化に起因した現象の可能性が示唆されている。このように, 水素濃度が低い, あるいは高い水素固溶体の水素占有位置が DBTC に与える影響については明らかにされておらず, 水素化物が全く形成しない単相組織を示す温度範囲であっても DBTC が発現するため, 中低温域での作動を視野に入れた将来の非パラジウム系 5 族水素分離膜材料の設計や運転条件設定に資する学術的知見としてもこれを早急に解明しなければならないと考え, 当該研究課題を設定した。

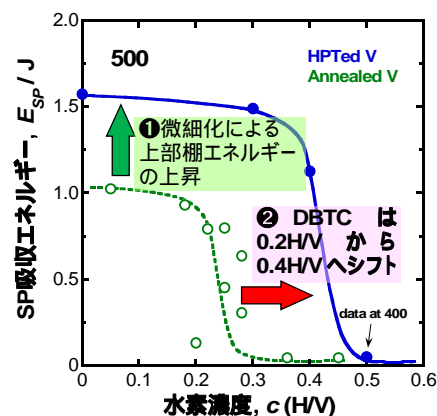


図 1 巨大ひずみ付与 V と焼純 V の SP 吸収エネルギーに及ぼす固溶水素濃度の影響

### 2. 研究の目的

バナジウムなどの 5 族金属には DBTC が存在し, 巨大ひずみ付与加工で水素透過能が飛躍的に向上するとともにこの遷移濃度も高水素濃度側にシフトする。

本研究の目的は, DBTC の発現メカニズムを解明するとともに, 水素透過能と耐久性向上に有効な結晶および粒界 (GB) 構造を見出して, マリアージュ (調和効果) によって温和な運転条件下で作動可能な, 常識を覆す革新的な膜の微細組織・構造を得ることである。そのため, 世界最高レベルの Pulsed Neutron Source を有する大強度陽子加速器施設 (Japan Proton Accelerator Research Complex, J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) の中性子高強度全散乱装置 (NOVA) による実験で水素の空間配置について, 規則性と不規則性をともに明らかにする。また, 高圧アロトロピー組織制御によりサブミクロンサイズ結晶粒にまで微細化したバナジウムや他の 5 族金属とそれら合金の水素拡散経路を調べ, 何が水素透過流束を高めることに寄与したのかを膜透過した水素を可視化する手法で深く掘り下げて調べる。

これら一連の研究より金属水素分離膜の学術領域に『GB 制御 5 族金属』の分野を開拓することを目的として展開する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 中性子散乱測定による水素の空間配置の解析

J-PARC/MLF の中性子高強度全散乱装置 (NOVA) では, 現状, 試料ホルダーへの  $\text{H}_2$  や  $\text{D}_2$  の負荷圧力 1MPa では 200 加熱が限界であり DBTC 評価条件と乖離している。これは V 製サ

サンプルカップの PTFE シール部材とガス導入バルブの耐熱性に起因したものである。そこで試料ホルダーのメタルシール設置と高温使用可能なバルブへの置換等の大幅な改良を試みる(図2)。これにより 315 耐熱性を得て封止試験を経た後、300 での 0.1H/V あるいは 0.4H/V などの DBTC 前後の水素固溶状態での水素の空間配置を PCT 曲線に基づく平衡水素圧力条件下での中性子散乱測定を実施することで実現し、DBTC の発現メカニズムを明らかにする。サンプルカップ材料の V は X 線を散乱する物質であるが、核は殆ど中性子を散乱しないため、同条件下での XRD による構造解析も加えて構造変化の全貌を把握する。

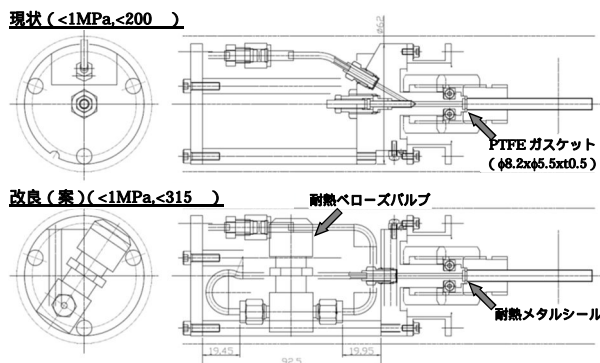


図2 NOVA 試料ホルダーの耐熱性改良(案)の概要

### (2) 試料作製、水素化特性と水素透過能の定量評価

V や Ta の高圧ねじり (HPT) 加工を行い、メソスコピック結晶領域での組織変化の様相を把握して水素透過試験を行う。そして水素透過流束の巨大ひずみ付与加工による超微細(サブミクロン)結晶粒効果を調べ、ミリ・ミクロン結晶粒組織の水素透過流束との比較から、より温和な条件下で運転可能な水素分離膜として機能するか検証する。また、機械的性質の定量評価とサブミクロン結晶粒組織解析の結果を関連づける。すなわち、膜材料について、目的の水素固溶状態で in-situ 小型パンチ (SP) 試験や単軸引張試験を行い、DBTC の温度および組織依存性を明らかにする。また溶製材や圧延加工材との比較も行う。これらの結果から、DBTC に対する高圧アロトロピー組織制御の効果を明らかにする。

### (3) 水素ガス透過の可視化

水素ガス供給のある動的環境下で膜材料から放出される水素原子・分子をその位置情報と共に電子衝撃脱離法で水素ガス透過を可視化する (D-DIET) 法を試みる(図3)。これと顕微構造(微小部 X 線回折 ( $\mu$ XRD) や電子線後方散乱回折 (EBSD)) 解析とを組合せることで水素の透過経路の解明に繋げ、高圧アロトロピー組織制御によって結晶粒を超微細化した膜材料の特徴を明らかにする。

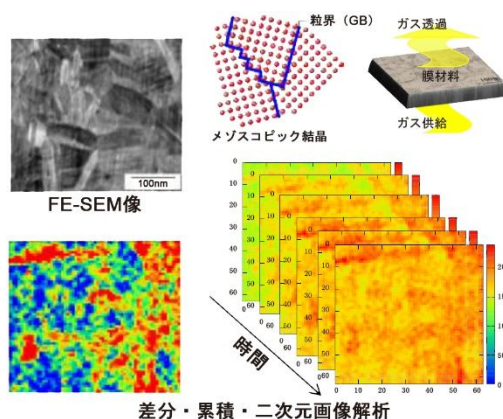


図3 電子衝撃脱離法による水素透過可視化

### (4) 膜材料設計

HPT 加工後組織の XRD 測定および EBSD 解析から結晶学的配向の特徴を見出す。即ち結晶組織は高密度に導入された転位と低角度転位粒界、一般粒界、特殊粒界によって構成されるため、これらが水素挙動に及ぼす影響を調べる。またこれらを総合して中低温域での作動を視野に入れた将来の膜材料設計や運転条件設定に資する知見を得る。

## 4. 研究成果

### (1) 中性子散乱測定による水素の空間配置の解析

J-PARC/MLF の中性子高強度全散乱装置 (NOVA) の試料ホルダーの耐熱・耐水素圧力性の改善を行った。具体的には試料ホルダーへのメタルシール設置と耐熱水素導入バルブへの置換等の改良を試みた。また純 V 製サンプルカップについては、高温水素負荷の際に、それ自体が水素脆性領域での運転による破壊が懸念されたため、サンプルカップ内外面への被覆材料の選定と最適被覆法についての検討を行った。実際、内面と外面では異なる被覆が施され、サンプルカップの水素透過性を極限まで阻止でき、また母相への水素溶解を防ぐ新たな複合断面構造が提案出来た。これにより、従来、試料ホルダーへの  $H_2$  や  $D_2$  の負荷圧力 1MPa では 200 加熱が

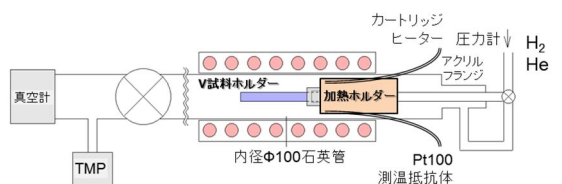


図4 加熱ホルダー・試料ホルダー水素加圧試験の概略

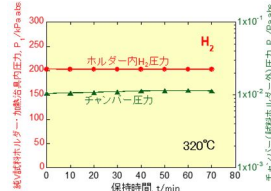


図5 ホルダー封止試験の例



図6 加熱・試料ホルダー

限界であったが、これを 315 の耐熱性を得ての封止試験（図 4）実施により、300 で 0.1H/V や 0.4H/V などの DBTC 前後の水素固溶状態での平衡水素圧力条件下で中性子散乱測定が可能状態にした（図 5）。

水素の空間配置の解析については、J-PARC/MLF の中性子高強度全散乱装置（NOVA）の試料ホルダーの耐熱・耐水素圧力性の改善をさらに進め、300 で 400kPa 以上の耐熱・耐圧を担保した加熱ホルダーが完成し（図 6）、機器安全審査を受審して実験に可能な状態となった。しかしながら、新型コロナウイルス感染予防の対応にて出張制限があり、加えて J-PARC/MLF の運転再開の延期も重なり、中性子散乱測定は研究期間の最終年度での実施となった。一方で、評価対象試料で比較材のタンタルについては熱処理条件を再検討し、加工歪や欠陥の影響を低減した上で、水素圧力 - 水素濃度 - 温度（PCT）測定装置を用いた水素化速度試験を実施し、平衡水素圧力条件も見出した。

J-PARC/MLF の中性子高強度全散乱装置（NOVA）を利用しての実験では、300 での 0.1D（重水素）/M ~ 0.51D/M（M は V および Ta）の条件にて、中性子散乱測定を行うことで実施した（図 7）。その結果、重水素のオーダリングが起きる特異な濃度が存在することを確認した。この濃度が DBTC と関連付けられることを示唆した。

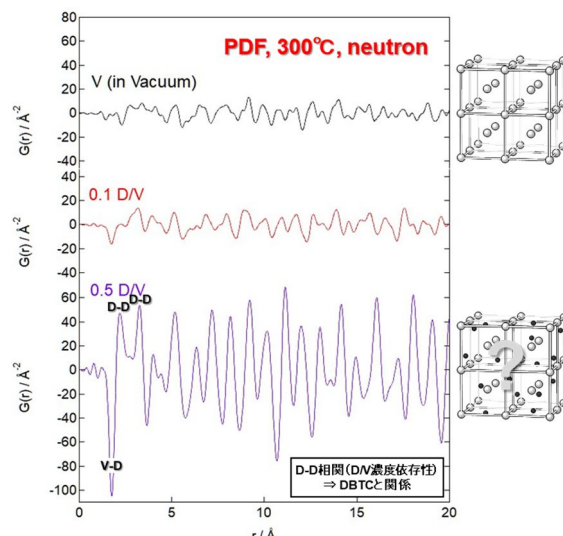


図 7 水素を固溶したバナジウムの中性子散乱  $S(Q)$  から導出した  $G(r)$  の PDF 解析結果

### (2) 水素ガス透過の可視化

水素ガス透過の可視化と結晶粒解析については、NIMS で先ず純バナジウム板の構造解析を行った。EBSD 解析の結果、1  $\mu\text{m}$  以下の微結晶であったが、水素透過測定に適した試料とするための熱処理を行い、結晶粒サイズを試料厚(100  $\mu\text{m}$ )以上とした。薄板が破壊されない圧力領域で水素透過測定を行ったところ、可視化実績のあるステンレス鋼と比べて水素の拡散が速い反面、透過量は少なく、計測パラメータの再調整が必要であることが分かった。

これらの調整を進めた上で、オペランド水素顕微鏡による局所水素透過の画像化に挑んだ。その結果、360 で流入圧力 1 もしくは 10Pa では水素透過量が過多であり、V 膜表面の水素原子が脱離し水素検出量が少ないこと（図 8）、水素透過量が過多であると測定室内の水素分子が検出を阻害するため、長時間測定が出来ないこと、300 で圧力 10Pa では水素透過量が減少するため、長時間測定が可能であることが分かった。しかしながら水素の透過挙動の特徴を捉えるのに十分な検出量には至らなかったため、今後継続して検討を進める。

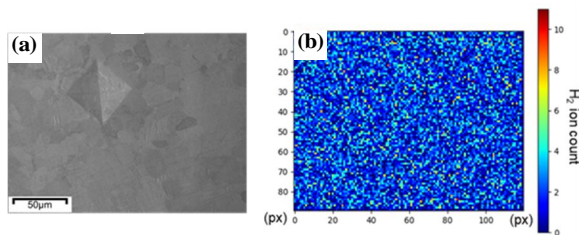


図 8 電子衝撃脱離法による水素透過可視化に向けた取組み; (a)SEM 像, (b)水素イオンの分布 (試料温度 573K, 流入圧力 10Pa, 74hrs.測定)

### (3) 膜材料設計

バナジウム膜材料への巨大ひずみ付与加工では 200nm ~ 500nm の結晶粒サイズへの微細化が可能なこと、これら試料の水素透過係数がバージン材に比べて 2.2 ~ 3.3 倍の高い値を示すことを明らかにした（図 9）。また、水素溶解度は焼鈍し試料と大きな差異が無いことを PCT 測定で確認した。機械的性質の定量評価とサブミクロン結晶粒組織解析では、メソスコピック結晶領域で組織変化させた膜材料について、XRD 測定や EBSD 解析から結晶学的配向の差を見出した。各種巨大ひずみ付与法を適用しての微細組織状態においては、水素透過能への結晶粒径や粒界面積の依存度は大きくない一方で、粒内や粒間の結晶方位差の影響を大きく受けて変化することを明らかにした。このように中低温域での作動を視野に入れた膜材料設計や運転条件設計に資する知見を得た。

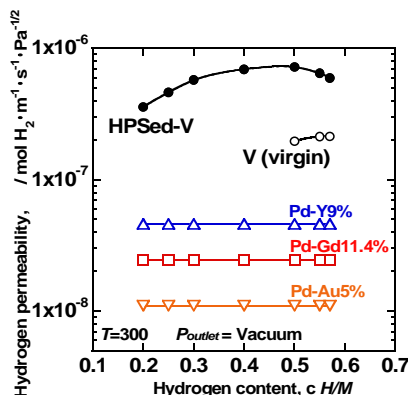


図 9 巨大ひずみ付与バナジウム膜材料の水素透過係数の向上（膜材料の 1 次側水素濃度による影響）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Omata Kaori, Sato Katsutoshi, Nagaoka Katsutoshi, Yukawa Hiroshi, Matsumoto Yoshihisa, Nambu Tomonori	4. 巻 47
2. 論文標題 Direct high-purity hydrogen production from ammonia by using a membrane reactor combining V-10mol%Fe hydrogen permeable alloy membrane with Ru/Cs20/Pr6011 ammonia decomposition catalyst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 8372 ~ 8381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2021.12.191	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 Yukawa Hiroshi, Watanabe Shimpei, Suzuki Asuka, Matsumoto Yoshihisa, Araki Hideki, Mizuno Masataka, Sugita Kazuki, Higemoto Wataru	4. 巻 407
2. 論文標題 Temperature Dependence of Hydrogen Solubility and Diffusivity in Hydrogen Permeable Membrane of Pd-Cu Alloy with B2-Type Crystal Structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Defect and Diffusion Forum	6. 最初と最後の頁 31 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/ddf.407.31	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 Yukawa Hiroshi, Nambu Tomonori, Matsumoto Yoshihisa	4. 巻 1016
2. 論文標題 Thermal Degradation Behavior of Hydrogen Permeability of Pd-Coated V-Alloy Membrane for Hydrogen Separation and Purification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science Forum	6. 最初と最後の頁 1710 ~ 1714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4028/www.scientific.net/msf.1016.1710	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 清水 一行, 戸田 裕之, 平山 恭介, 藤原 比呂, 松本 佳久, 伊藤 大介, 齊藤 泰司, 鎌田 康寛	4. 巻 84
2. 論文標題 中性子ラジオグラフィ・トモグラフィによる純パラジウム中の水素濃度解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 270 ~ 275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.j2020017	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 清水一行, 林田洋寿, 戸田裕之, 甲斐哲也, 松本吉弘, 松本佳久	4. 巻 83
2. 論文標題 中性子イメージングによる純パラジウムおよびアルミニウム合金中の水素濃度解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本金属学会誌	6. 最初と最後の頁 434-440
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/jinstmet.J2019016	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 Shirasu Yuya, Nambu Tomonori, Omata Kaori, Yukawa Hiroshi, Matsumoto Yoshihisa	4. 巻 60
2. 論文標題 Effects of Surface Vanadium Species on the Hydrogen Permeability through Vanadium Membrane without Palladium-Catalyst Overlayer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 2174~2178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.MT-MAW2019005	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 -

〔学会発表〕 計24件(うち招待講演 5件/うち国際学会 5件)

1. 発表者名 松本佳久
2. 発表標題 大分県の水素利活用事例
3. 学会等名 沖縄水素利活用フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小俣香織, 南部智憲, 湯川宏, 佐藤勝俊, 永岡 勝俊, 松本 佳久
2. 発表標題 V-10mol%Fe水素分離合金膜とRu/Cs20/Pr6011アンモニア分解触媒とを組み合わせたメンブレンリアクタによる高純度水素製造
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季第170回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 南部智憲, 小俣香織, 湯川宏, 佐藤勝俊, 永岡 勝俊, 松本 佳久
2. 発表標題 アンモニアガスから直接水素を製造するメンブレンリアクタでのPdコーティングV-10mol%Fe合金膜の水素透過能
3. 学会等名 日本金属学会2022年春季第170回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本佳久
2. 発表標題 バナジウム系金属膜による高純度水素精製技術と応用開発
3. 学会等名 サイエンス&テクノロジーセミナー(水素分離膜・生成) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松本佳久
2. 発表標題 高専発! 水素を分離・精製するための材料開発と産学官協働研究について
3. 学会等名 水素エネルギー開発研究会, 西九州テクノコンソーシアム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高野遼, 松本佳久
2. 発表標題 水素分離膜デバイスの内部構造の流体FEM解析及び最適設計
3. 学会等名 テクノカフェ大分2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本佳久, 森迫和宣, 横山朋樹, 永井正章
2. 発表標題 バナジウム膜による模擬石油化学コンビナート副生ガスからの水素の分離
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木本裕大, 松本佳久
2. 発表標題 工業的厚さを有するバナジウム膜のHPS加工による水素透過能の変化
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本佳久, 片伯部拳磨, 森迫和宣, 横山朋樹, 永井正章
2. 発表標題 低級炭化水素を含む混合ガスからのV/Pd-Ag膜による水素分離で起こる表面反応
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片伯部拳磨, 松本佳久
2. 発表標題 バナジウム水素分離膜の水素透過係数に及ぼすRFスパッタ条件の影響
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 吉田京介, 坂本裕紀, 松本佳久
2. 発表標題 巨大ひずみ付与加工と高圧下率圧延の組合せによる超微細結晶粒V水素分離膜の創製
3. 学会等名 第30回日本MRS年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮居一貴, 堤紀子, 松本佳久, 小田和広
2. 発表標題 引張試験における炭素鋼S25C の結晶方位に及ぼす水素の影響
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Yukawa, S. Watanabe, A. Suzuki, Y. Matsumoto, H. Araki, M. Mizuno, K. Sugita, W. Higemoto
2. 発表標題 Temperature Dependence of Hydrogen Solubility and Diffusivity in Hydrogen Permeable Membrane of Pd-Cu Alloy with B2-Type Crystal Structure
3. 学会等名 16th International Conference on Diffusion in Solids and Liquids, (DSL2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nishimura, R, Tsutsumi, N, Matsumoto, Y, Oda, K
2. 発表標題 Effect of hydrogen on void initiation in tensile test of carbon steel JIS-S25C
3. 学会等名 International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2019 (ATEM'19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C, Nishimura, H, Nakagawa, S, Sakurai, H, Yoshinaga, H, Yukawa, N, Yukawa, Y, Matsumoto, T, Nambu
2. 発表標題 Vanadium Alloy Membranes for Extraction of Highly Pure Hydrogen from Ammonia and Methylcyclohexane
3. 学会等名 World Hydrogen Technologies Convention 2019 (WHTC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H, Nakagawa, H, Yoshinaga, S, Sakurai, H, Yukawa, Y, Matsumoto, N, Yukawa, T, Nambu, C, Nishimura
2. 発表標題 High-Capacity Hydrogen Separation Device with Flat Membranes of Vanadium Alloy
3. 学会等名 World Hydrogen Technologies Convention 2019 (WHTC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Matsumoto, K. Uemura, N. Iwamaru, Y. Todaka
2. 発表標題 Effect of grain refinement on hydrogen diffusivity of vanadium membrane
3. 学会等名 Hydrogen - Power Theoretical and Engineering Solutions International Symposium (HYPOTHESIS XIV) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川宏司, 吉永英雄, 湯川伸樹, 松本佳久
2. 発表標題 水素分離用バナジウム合金膜の耐久性向上とデバイス化
3. 学会等名 第39回水素エネルギー協会(HESS)大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本佳久
2. 発表標題 超高純度の水素を安価に精製する金属膜の技術 - その社会実装に向けての取組み -
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本佳久
2. 発表標題 超高純度水素を一発で精製する低コスト膜分離技術
3. 学会等名 エコテクノ2019 アカデミックセミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田淳一郎, 松本佳久
2. 発表標題 金属水素分離膜の応力解析と構造設計
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片伯部拳磨, 松本佳久
2. 発表標題 高圧下率圧延でメソスコピック結晶化したバナジウム水素分離膜の創製
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片伯部拳磨, 松本佳久
2. 発表標題 高压下率圧延でメソスコピック結晶化したバナジウム水素分離膜の創製
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 片伯部拳磨, 松本佳久
2. 発表標題 高压下率圧延でメソスコピック結晶化したバナジウム水素分離膜の創製
3. 学会等名 第29回日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計9件

産業財産権の名称 水素分離膜の製造方法及び水素分離膜	発明者 松本佳久, 岩岡秀明, 有田誠, 堀田善治	権利者 国立高等専門学校機構, 九州大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-003753	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水素分離装置	発明者 松本佳久, 吉永英雄, 中川宏司, 湯川宏, 湯川伸樹, 西村	権利者 国立高等専門学校機構, 太陽鋳工, 名古屋大
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-103837	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水素分離装置	発明者 松本佳久, 永井正章, 森迫和宣, 工藤一久, 森川慶昌, 藤	権利者 国立高等専門学校機構, ハイドロネクスト, 三
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-130536	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水素分離装置及びその製造方法	発明者 松本佳久, 永井正章, 森迫和宣, 大塚康弘, 佐藤誠	権利者 国立高等専門学校機構, ハイドロネクスト, 三
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-130537	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水素透過装置	発明者 松本佳久, 森迫和宣, 永井正章, 横山朋樹	権利者 国立高等専門学校機構, ハイドロネクスト, 三
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-170949	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水素透過装置、水素透過金属膜、水素透過金属膜の製造方法、ガスケット、及びガスケットの製造方法	発明者 松本佳久，湯川宏， 湯川伸樹，吉永英 雄，中川宏司，西村	権利者 国立高等専門学校機構，名古屋 大学，太陽鋳工
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/046823	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 水素分離膜	発明者 松本佳久，佐藤誠， 横山朋樹，森迫和 宣，永井正章	権利者 国立高等専門学校機構，三和プ レス，ハイドロ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-002493	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 金属膜，これを用いた水素透過装置及び水素製造方法	発明者 松本佳久	権利者 国立高等専門学校機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-194448	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水素透過装置	発明者 松本佳久，森迫和 宣，永井正章，横山 朋樹	権利者 国立高等専門学校機構，三和プ レス，ハイドロ
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-202356	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 水素透過装置	発明者 松本佳久，森迫和 宣，永井正章，横山 朋樹	権利者 国立高等専門学校機構，三和プ レス，ハイドロ
産業財産権の種類、番号 特許、特許第7016116号	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水素分離膜の製造方法及び水素分離膜	発明者 松本佳久，岩岡秀 明，有田誠，堀田善 治	権利者 ハイドロネクス ト
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6934691号	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

<p>大分工業高等専門学校 松本佳久研究室（研究業績）  <a href="http://onct.oita-ct.ac.jp/kikai/matumoto/Publications.html">http://onct.oita-ct.ac.jp/kikai/matumoto/Publications.html</a>  researchmap 松本佳久（論文）  <a href="https://researchmap.jp/read0178876/published_papers">https://researchmap.jp/read0178876/published_papers</a>  researchmap 松本佳久（講演・口頭発表等）  <a href="https://researchmap.jp/read0178876/presentations">https://researchmap.jp/read0178876/presentations</a></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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
研究分担者	湯川 宏  (Yukawa Hiroshi)  (50293676)	名古屋大学・工学研究科・助教    (13901)	
研究分担者	南部 智憲  (Nambu Tomonori)  (10270274)	鈴鹿工業高等専門学校・その他部局等・教授    (54101)	
研究分担者	池田 一貴  (Ikeda Kazutaka)  (80451615)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・特別准教授    (82118)	

	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
研究協力者	板倉 明子  (Itakura Akiko)  (20343858)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・先端材料解析研究拠点・グループリーダー    (82108)	

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