

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：57501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560865

研究課題名(和文)水素分離膜のコンビナトリアル高温耐久性評価法の構築と固溶水素脆性遷移機構の解明

研究課題名(英文) Establishment of combinatorial high temperature durability evaluation method and elucidation of dissolved hydrogen embrittlement mechanism for hydrogen separation membranes

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) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：水素環境中in-situ小型パンチ(SP)試験とSPクリープ(SPC)試験とを融合したコンビナトリアル高温耐久性評価法を構築した。そして、水素透過合金の延性-脆性遷移水素濃度(DBTC)解析とその発現機構解明を目指して研究を展開した。その結果、固溶水素が組織不連続域や転位などの欠陥にトラップされることで破壊に対する抵抗が引き下げられた可能性があることを見出した。また新しい設計・評価指針で創製されたV-M系合金膜がいかなる脆化も示さない条件の下で水素分離装置として運転可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The combinatorial high temperature durability evaluation method which fused the in-situ small punch (SP) test in hydrogen environment and SP creep (SPC) test was established in this study. Also, it focused on the elucidation of the ductile-to-brittleness transition hydrogen concentration (DBTC) analyses and the appearance mechanisms for hydrogen permeable membrane alloys. As a result, it was shown that the resistance on fracture may have been reduced by dissolved hydrogen being trapped by defects, such as a structure discontinuous region or dislocation in a matrix. The V-M system alloy membrane originated with new design / evaluation guideline showed that it could operate as hydrogen separation equipment under the conditions which do not show any embrittlement.

研究分野：材料加工

キーワード：水素透過膜 バナジウム合金 ニオブ合金 タantal合金 小型パンチ試験 小型パンチクリープ試験  
耐水素脆性 固溶水素濃度

1. 研究開始当初の背景

ニオブ (Nb) やバナジウム (V) などの 5 族金属は安価で水素透過能が高い一方、多量の水素を固溶し、水素脆化により劣化する[1] ことが、実用化を阻む原因となっていた。この問題の解決のために、研究代表者らは水素環境その場小型パンチ (in-situ SP) 試験装置を開発し、高温水素中での各種合金膜の機械的性質を定量的に評価してきた。そして、固溶水素濃度の増加に伴って SP 吸収エネルギー、 $E_{SP}$  が急激に低下し、脆性的破壊を示す遷移挙動が発現することを発見した[2]。これは状態図上で水素化物析出や相転移が起こらない[3]領域での遷移である。本研究は 5 族金属主成分の固溶体単相合金の最適設計に資するものであり、水素精製技術の進展に直結した課題である。

研究代表者らは、Nb や V 中へのタングステン (W) やモリブデン (Mo) 添加は、水素圧力 - 組成 - 等温 (PCT) 曲線を低水素濃度・高水素圧力側へシフトさせて固溶水素濃度を抑制し、耐水素脆性を高める効果があることや、硬さや回復温度の上昇に寄与することを見出している[4]。また水素の化学ポテンシャルの観点で水素透過速度が評価出来、合金膜の性能評価に有効であることも明らかにしている[5]。これらの知見を活用した材料設計を行えば、固溶体単相合金の水素分離膜が実現できるが、長期耐久性能や信頼性を保証するためには、新しい材料破壊リスク評価法を構築することが不可欠であり、水素透過能および加工性、熱処理条件に及ぼす合金効果に加えて、水素負荷時の高温強度特性の変化、結晶組織と機械的性質との関係、損傷形態を明確にする必要がある。

2. 研究の目的

水素分離膜は高温水素雰囲気下で長時間の水素圧力差に耐える必要がある。そこで、水素環境中 in-situ SP 試験と SP クリープ試験とを融合したコンビナトリアル高温耐久性評価法を構築し、水素透過合金の延性 - 脆性遷移水素濃度解析とその発現機構解明を目指した。また高温水素負荷時のクリープ特性評価手法を検討し、高い水素透過能と耐水素脆性および長期耐久性能を発揮する新合金膜の設計・評価指針を得ることも本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) コンビナトリアルその場高温耐久性評価法の構築

アコースティックエミッション (AE) その場膜破壊検出装置を備えた in-situ SP 試験治具に長時間クリープ試験を行うための、卓上型排気システム、負荷水素圧力調整・制御用のピエゾバルブ、圧力/流量コントローラ、ガス分離係数測定による分離性能評価を行う四重極質量分析計を付加する。

(2) 水素透過合金の延性 - 脆性遷移水素濃度解析とその発現機構解明

延性 - 脆性遷移固溶水素濃度 (DBTC: Ductile-to-Brittle Transition hydrogen Concentration) の温度、合金組成および組織依存性を明らかにする。また延性 - 脆性遷移に伴う水素原子の局所配列の変化を調べて、DBTC に対する合金効果を明らかにする。

(3) その場クリープ特性評価

Nb や V をベースとして W, Mo を添加した水素透過合金膜について、真空中や各種環境中高温 SP クリープ (SPC) 試験を行い、破断寿命や各遷移域における変位速度の変化を調べる。またこれら試料について、合金組成 - 加工量 - 熱処理条件の各パラメータの変化に対する結晶粒径や硬さの定量評価を行い、水素透過能と耐クリープ特性に影響を及ぼす加工と熱処理条件の最適化を行う。

(4) 新合金膜の設計・評価指針の確立

5 属金属系水素透過合金のクリープ強度特性と構造転移特性とを考慮した基礎物性データベースを作成して、高温強度の観点から長期耐久性能を発揮する新合金膜の設計・評価指針を得る。また、このアプローチによる候補合金膜を提案する。

4. 研究成果

(1) その場高温耐久性評価法の構築

AE 膜破壊検出、SP 試験および SP クリープ (SPC) 試験を融合したコンビナトリアルその場高温耐久性評価法を構築するため、水素環境高温 SP クリープ試験装置の組込およびガス分離性能評価、クリープ破断放出ガス検出機能の組込を行った。

(2) 水素透過合金の DBTC

純 Nb および bcc 固溶体単相の Nb-M(-X) (M, X は、W, Mo などの遷移金属) 合金インゴットをアーク溶解により作製した。これら試料について、加工と熱処理による再結晶挙動、すなわち、結晶粒径、母相硬さの評価および in-situ SP 試験による DBTC の変化の解析及び水素環境高温 SP クリープ試験を行った。この場合、各試料の 573 ~ 823K に

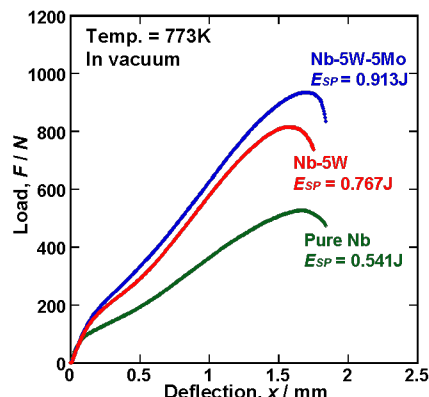


図1 真空中で得られた Nb 合金の SP 曲線

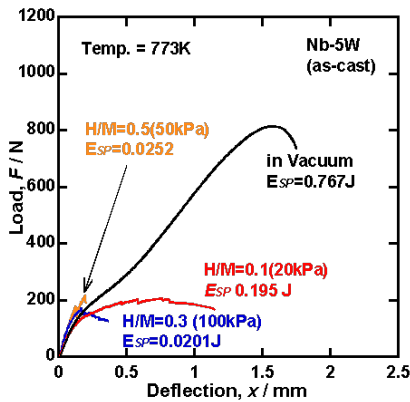


図2 各試験条件におけるNb-5W合金のSP曲線

おける水素圧力 - 組成 - 等温 (PCT) 曲線を求め、固溶水素濃度を把握した上で in-situ SP 試験および SPC 試験を行った。その結果、Nb 中に W や Mo を添加することによって回復温度が上昇することが明らかとなり、高温強度の維持や向上が示唆された。

図1に773K、真空中の静的 in-situ SP 試験で得られた荷重 - 圧子移動量曲線を示す。この曲線から W や Mo を添加した Nb 合金の固溶強化に伴う高温強度の上昇が理解できる。次に、水素雰囲気 in-situ SP 試験で得られた同曲線を図2に、また試験後の各試料の外観の SEM 像を図3にそれぞれ示す。ここで図2は一例として Nb-5W 合金の荷重 - 圧子移動量曲線を示している。Nb-5W 及び Nb-5W-5Mo 合金は大気圧以上の同じ負荷水素圧力下では純 Nb と比べて明らかに固溶水素量を抑制できていることが、これら合金の PCT 曲線から予測可能である。しかしながら、図2に示した Nb-5W 合金でさえも固溶水素濃度 H/M が 0.1 になる負荷水素圧力下で得た荷重 - 圧子移動量曲線と真空中で得た同曲線とを比較してみると、その膜強度が大幅に減少していることが分かる。さらに固溶水素濃度 H/M が 0.3 及び 0.5 となる水素圧力下では同曲線における変形の第一段階 (弾性たわみ域) にて破断に至っており、同様の傾向が純 Nb 及び Nb-5W-5Mo 合金でも現れることを明らかにした。

図3に示すように、固溶水素濃度、H/M が 0.1 あるいは 0.3 で SP 試験を行った試料の破壊形態を比較すると、き裂発生状況は異なり、H/M=0.3 の試料においては中心部から発生したき裂が放射状に伝ばしており、その破面も脆性破壊の特徴であるリバーパターンが支配的であった。従って H/M が 0.1 と 0.3 の間に延性から脆性へと遷移する閾値があると思われる。また研究代表者らはこれまでに 5 族金属の DBTC が概ね 0.2 付近にあることを報告しており、本水素雰囲気 in-situ SP 試験で得た合金の遷移濃度がその値に近いことを確認した。尚、Nb-5W 及び Nb-5W-5Mo 合金膜試料の水素雰囲気 in-situ SP 試験で得られた圧子 - 移動量曲線上には表面の微小き裂発生による応力緩和が起きることから、

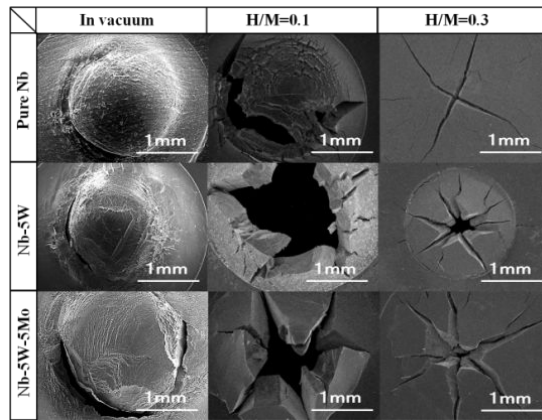


図3 Nb合金の真空中および各水素固溶SP試験後の破壊形態の変化

$E_{SP}$  を求める際の明確な破壊の判断基準が得られなかった。そこで試験中の応力緩和発生時に試料上下面に圧力差を設けることで水素ガスリークチェックによる膜健全性評価を行った結果、初期き裂発生による応力緩和時にき裂は裏面にまで到達しており、膜健全性が失われていることを確認した。

この結果を踏まえて  $E_{SP}$  と負荷水素圧力との関係を調べて、図4に示した。図中矢印で示すように、Nb に W や Mo を添加することで高い水素圧力条件下においてもいずれの合金も Nb 単体と比べて  $E_{SP}$  が向上した。これら合金の PCT 曲線から予測されたように、負荷水素圧力基準で検討しても耐水素脆性が向上したことを示している。前述のように W 及び Mo は水素との親和力が小さいため、Nb 母相中への水素固溶量を引き下げていると考えられる。

### (3) その場クリープ特性

SPC 試験では試料圧延時の圧下率増大に伴って結晶粒径が変化し、その耐クリープ特性に影響を与えることを確認した。一例として Nb 合金各試料について静的 in-situ SP 試験の最大荷重の 90% の負荷荷重で SPC 試験を行って得たクリープ曲線を図5に示す。クリープ破断時間は、純 Nb の圧下率 83% + 熱処理材 > Nb-5W (as-cast) 合金 > 純 Nb の圧下率 50% + 熱処理材の順であった。このよう

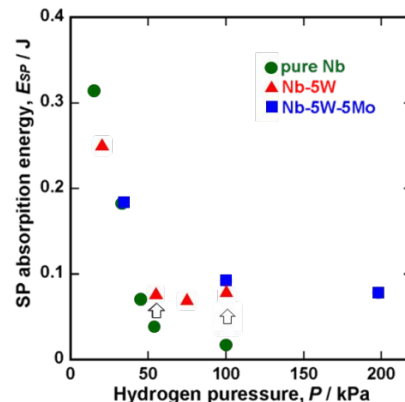


図4 Nb合金の  $E_{SP}$  の負荷水素圧力依存性



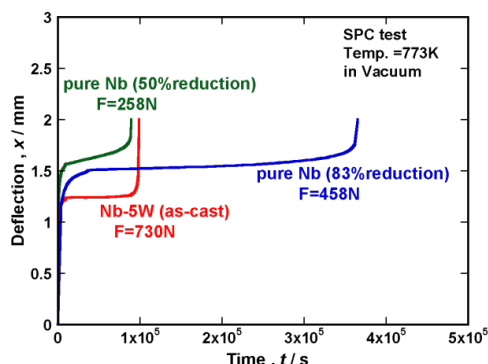


図5 SPC 試験による Nb 合金のクリープ曲線

表1 SPC 試験のクリープ荷重とクリープ速度

Specimen	Load	Creep rate
	[N]	[mm・s <sup>-1</sup> ]
pure Nb (50% reduction)	258	2.1×10 <sup>-6</sup>
pure Nb (83% reduction)	458	3.6×10 <sup>-7</sup>
Nb-5W (as-cast)	730	2.2×10 <sup>-7</sup>

に、加工熱処理はクリープ特性の向上に寄与することが示唆された。

表1に示すクリープ変形速度については、SPC 曲線における定常クリープ域で求めたが、より高い荷重を负荷したにも関わらず Nb-5W 合金試料は純 Nb 試料に比べてクリープ変形速度が抑制されていた。また荷重負荷直後に生じる初期たわみ量も抑制されており、純 Nb 同様の低荷重にて SPC 試験を行うと破断時間はさらに増加することが示唆された。従って W の添加は高温強度の向上に寄与し、またクリープ特性改善にも有効であることが分かった。一方、Nb-5W-Mo (as-cast) 合金では短時間で変形量が増大し破断に至った。粒界から発生した試料表面の微小き裂による応力緩和とともに荷重負担面積が減少したため SPC 変位が急増した。

SEM による破面観察でもクリープポイドが見られた外に、延性破面の特徴であるディンプルや擬へき開が混在して観察される等、SPC 試験の複雑な応力状態を反映した破面が見られた。また各合金試料では表面の微小き裂発生も多数観察された。

#### (4) 新合金膜の設計・評価指針

V-M系合金膜が脆性を示さない範囲で効率よく水素分離運転することができる水素分離装置の運転条件設定方法を確立した。これは固溶水素濃度 H/M、温度、1 次側水素分圧及び M 含有率の各範囲で設定することを特徴としており、水素分離装置の V-M系合金膜の M 含有率、水素分圧及び温度のいずれか 2 条件が設定されている場合に、残りの 1 条件をどのように設定すると V-M系水素分離膜が脆性を示すことなく安定して運転することができるかを予め知得することができるものである。この指針により、(i) V系合金膜よりなる水素分離装置の運転条件が設定でき、( ) V系合金膜が脆性を示さない範囲

で効率よく水素分離運転が可能となり、また、( ) V系水素分離膜が脆性を示すことなく安定運転できるかを予め知得することができることが示された。この設計・評価指針を用いて新しい V系合金膜を溶製し、その性能評価を行って本手法の有効性を確認した。

#### < 引用文献 >

- [1] 岡野一清ら, エヌ・ティー・エス, 水素利用技術集成 Vol. 3, 加速する実用化技術開発, 2007, 755 頁(p. 264).
- [2] Y. Matsumoto, H. Yukawa, T. Nambu, Metallurgical Journal, LXIII(2010), 74-78.
- [3] GAHR, S. and BIRNBAUM, H. K, Acta Metallurgica, 26(1978), 1781-1788.
- [4] 湯川宏, 粟倉康孝, 南部智恵, 松本佳久, 日本金属学会 2011 年春期 (第 148 回) 大会講演概要(534), 339.
- [5] H. Yukawa, T. Nambu and Y. Matsumoto, Defect and Diffusion Forum, 312-315(2011), 506-512.

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 9 件)

1. A. Suzuki, H. Yukawa, T. Nambu, Y. Matsumoto, Y. Murata, Analysis of hydrogen mobility in Nb-based alloy membranes in view of new description of hydrogen permeability based on hydrogen chemical potential, Journal of Alloys and Compounds, in press. 査読有 DOI: 10.1016/j.jallcom.2014.12.265
2. Y. Nakamura, H. Yukawa, A. Suzuki, T. Nambu, Y. Matsumoto, Y. Murata, Alloying effects on hydrogen permeability of V without catalytic Pd overlayer, Journal of Alloys and Compounds, in press. 査読有 DOI: 10.1016/j.jallcom.2014.12.242
3. A. Suzuki, H. Yukawa, T. Nambu, Y. Matsumoto and Y. Murata, Consistent description of hydrogen permeability through metal membrane based on hydrogen chemical potential, International Journal of Hydrogen Energy, 39(2014), pp. 7919-7924. 査読有 DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.03.123
4. 松本佳久, 湯川宏, 南部智恵, その場小型パンチ試験による 5 族水素透過膜の延性 - 脆性遷移水素濃度 (DBTC) 解析, 日本金属学会誌, 77(2013), 585-592. 査読有 DOI: 10.2320/jinstmet.JC201313
5. K. Tsuchimoto, H. Yukawa, T. Nambu, Y. Matsumoto and Y. Murata, Design of Nb-W-Mo alloy membrane for hydrogen separation and purification, Journal of Alloys and Compounds, 580(2013), S391-S396. 査読有 DOI: 10.1016/j.jallcom.2013.03.143
6. H. Yukawa, C. Tsukada, T. Nambu and Y. Matsumoto, Hydrogen solubility and permeability of V-W-Mo alloy membrane for hydrogen separation and purification, Journal of Alloys and Compounds, 580(2013), S386-S390.

査読有

DOI: 10.1016/j.jallcom.2013.03.144

7. H. Yukawa, T. Nambu and Y. Matsumoto, Design and development of Nb-W-Mo alloy membrane for hydrogen separation and purification, Defect and Diffusion Forum, 333(2013), 61-71. 査読有

DOI: 10.4028/www.scientific.net/DDF.333.61

8. 土本憲太郎, 湯川宏, 南部智憲, 松本佳久, 湯川伸樹, 石黒太浩, 村田純教, ニオブの圧縮変形特性に及ぼすタンゲステンおよびモリブデンの添加効果, 日本金属学会誌 76(2012), pp. 587-590. 査読有

DOI: 10.2320/jinstmet.76.587

〔学会発表〕(計 25 件)

1. 松本佳久, バナジウム合金膜を用いた水素分離装置の運転条件設定方法, 高専-技科大新技術説明会, 2014.12.9, 科学技術振興機構東京本部別館 (東京都千代田区)

2. Y. Matsumoto, H. Yukawa and T. Nambu, Boundary Determination for Ductile-to-Brittle Transition of Group 5 Metals in Hydrogen Environment, 3rd International Conference SSTT 2014, 2014.9.25, Seggau (Austria)

3. Y. Nakamura, H. Yukawa, A. Suzuki, T. Nambu, Y. Matsumoto and Y. Murata, Alloying effects on hydrogen permeability of V without Pd overlayer 14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (MH2014), 2014.7.22, Manchester (UK)

4. H. Yukawa, T. Nambu and Y. Matsumoto, High hydrogen permeability through bare V membranes without Pd overlayer, 11th Asia-Pacific Conference on Materials Processing (APCMP2014), 2014.7.8, Auckland (New Zealand)

5. 松本佳久, 佐保慶太郎, 御堂俊哉, 湯川宏, 南部智憲, 中温域におけるV水素透過膜の延性 - 脆性遷移水素濃度解析, 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会九州支部共催平成 26 年度合同学術講演大会, 2014.6.7, 九州大学伊都キャンパス (福岡県福岡市)

6. 南部智憲, 湯川宏, 松本佳久, バナジウム膜の耐久性に及ぼす表面処理プロセスの影響, 日本金属学会 2014 年春期 (第 154 回) 大会, 2014.3.22, 東京工業大学大岡山キャンパス (東京都目黒区)

7. 南部智憲, 湯川宏, 松本佳久, 高機能水素透過合金の設計開発と水素製造技術への展開, 日本金属学会 2013 年秋期 (第 153 回) 大会, 2013.9.18, 金沢大学角間キャンパス (石川県金沢市)

8. H. Yukawa, Y. Nakamura, T. Nambu, Y. Matsumoto, Hydrogen Permeability of Pure V and its Alloy Membranes without Pd Overlayer, 8th Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing (PRICM-8), 2013.8.6, Hawaii (U.S.A.)

9. 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲, Ta 水素透

過膜の延性 - 脆性遷移水素濃度解析と合金設計への展開, 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会九州支部共催平成 25 年度合同学術講演大会, 2013.6.8, くまもと県民交流館パレア (熊本県熊本市)

10. 佐保慶太郎, 湯川宏, 南部智憲, 松本佳久, Nb 水素透過膜の高温強度に及ぼす添加元素の効果, 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会九州支部共催平成 25 年度合同学術講演大会, 2013.6.8, くまもと県民交流館パレア (熊本県熊本市)

11. 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲, タンタル水素透過膜の延性 - 脆性遷移水素濃度 (DBTC) 解析, 日本金属学会 2013 年春期 (第 152 回) 大会, 2013.3.29, 東京理科大学神楽坂キャンパス (東京都新宿区)

12. K. Tsuchimoto, H. Yukawa, T. Nambu, Y. Matsumoto, Y. Murata, Design of Nb-W-Mo Alloy Membrane for Hydrogen Separation and Purification, International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, - Fundamentals and Applications -, 2012.10.24, Kyoto (Japan)

13. H. Yukawa, C. Tsukada, T. Nambu, Y. Matsumoto, Hydrogen Solubility and Permeability of V-W-Mo Alloy Membrane for Hydrogen Separation and Purification, International Symposium on Metal-Hydrogen Systems, - Fundamentals and Applications -, 2012.10.24, Kyoto (Japan)

14. Y. Matsumoto, H. Yukawa and T. Nambu, Determination of Ductile to Brittle Transition Hydrogen Concentrations for V and Nb Alloys Using in-situ Small Punch Test, 2nd International Conference SSTT, Determination of Mechanical Properties of Materials by Small Punch and Other Miniature Testing Techniques, (SSTT2012), 2012.10.2, Ostrava (Czech Republic)

15. Y. Matsumoto, H. Yukawa and T. Nambu, Effect of Surface State on Hydrogen Permeation Flux of Pure Niobium Membrane, Materials Science and Engineering 2012 (MSE2012), 2012.9.26, Darmstadt (Germany)

16. 南部智憲, 湯川宏, 松本佳久, バナジウム膜の水素透過能に及ぼす表面酸化被膜の影響, 日本金属学会 2012 年秋期 (第 151 回) 大会, 2012.9.19, 愛媛大学城北キャンパス (愛媛県松山市)

17. 湯川宏, 南部智憲, 松本佳久, Pd コーティングフリー V - W 合金膜の水素透過能, 日本金属学会 2012 年秋期 (第 151 回) 大会, 2012.9.19, 愛媛大学城北キャンパス (愛媛県松山市)

18. 飛田聡兵, 湯川宏, 南部智憲, 松本佳久, 水素透過膜の in-situ 耐久性評価方法の確立と水素透過能低下要因の解析, 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会九州支部共催平成 24 年度合同学術講演大会, 2012.6.9, 北九州国際会議場 (福岡県北九州市)

19. 御堂俊哉, 湯川宏, 南部智憲, 松本佳久, SP 試験法による Nb 合金膜の水素雰囲気

in-situ 高温強度特性評価, 日本金属学会・日本鉄鋼協会・軽金属学会九州支部共催平成 24 年度合同学術講演大会, 2012.6.9, 北九州国際会議場 (福岡県北九州市)

〔図書〕(計 3 件)

1. H. Yukawa, T. Nambu and Y. Matsumoto, Chap. 13. Hydrogen permeable metal membrane for hydrogen separation and purification, Advances in hydrogen production, storage and distribution, Eds.: A. Basile and A. Iulianelli, Woodhead Publishing, (2014) 341-367. ISBN: 0-85-709768-7

2. Y. Matsumoto, H. Yukawa and T. Nambu, Chap. 12. Quantitative evaluation of hydrogen embrittlement for group 5 metals, Advances in hydrogen production, storage and distribution, Eds.: A. Basile and A. Iulianelli, Woodhead Publishing, (2014) 317-340. ISBN: 0-85-709768-7

3. H. Yukawa, T. Nambu and Y. Matsumoto, Niobium-based Alloys as Hydrogen Permeable Membrane for Hydrogen Separation and Purification, Niobium: Chemical Properties, Applications and Environmental Effects, Editor: Nadya Gotsiridze- Columbus, Nova Science Publishers, (2013), 99-122. ISBN: 978-1-62-808257-9

〔産業財産権〕

出願状況 (計 6 件)

名称: 水素分離装置および水素分離方法  
発明者: 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲他 2 名  
権利者: 国立高等専門学校機構, 名古屋大学, 他 1 機関

種類: 特許  
番号: 特願 2014-191939  
出願年月日: 2014 年 9 月 19 日  
国内外の別: 国内

名称: 水素分離装置及びその運転条件設定方法  
発明者: 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲他 2 名  
権利者: 国立高等専門学校機構, 名古屋大学, 他 1 機関

種類: 特許  
番号: 特願 2014-061961  
出願年月日: 2014 年 3 月 25 日  
国内外の別: 国内

名称: 水素分離膜の処理方法, 水素分離方法及び水素分離膜  
発明者: 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲他 2 名  
権利者: 国立高等専門学校機構, 名古屋大学, 他 1 機関

種類: 特許  
番号: 特願 2014-056759  
出願年月日: 2014 年 3 月 19 日  
国内外の別: 国内

名称: 水素分離方法

発明者: 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲他 3 名  
権利者: 国立高等専門学校機構, 名古屋大学, 他 1 機関

種類: 特許  
番号: 特願 2013-49020  
出願年月日: 2013 年 3 月 12 日  
国内外の別: 国内

名称: 水素分離膜及び水素分離方法  
発明者: 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲他 3 名  
権利者: 国立高等専門学校機構, 名古屋大学, 他 1 機関

種類: 特許  
番号: 特願 2013-46770  
出願年月日: 2013 年 3 月 8 日  
国内外の別: 国内

名称: Nb-W 系合金膜からなる水素分離膜及び水素分離法

発明者: 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲他 5 名  
権利者: 名古屋大学, 東京瓦斯

種類: 特許  
番号: 特願 2012-167840  
出願年月日: 2012 年 7 月 6 日  
国内外の別: 国内

取得状況 (計 1 件)

名称: 2 段式水素分離型改質器  
発明者: 松本佳久, 湯川宏, 南部智憲他 5 名  
権利者: 国立高等専門学校機構, 名古屋大学, 他 1 機関

種類: 特許  
番号: 登録査定 (特願 2014-045870)  
出願年月日: 2014 年 3 月 10 日  
取得年月日: 2015 年 3 月 30 日  
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.oita-ct.ac.jp/kikai/matamoto/sub7.html>

6. 研究組織

(1) 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: 4 0 2 1 9 5 2 2

(2) 研究分担者

湯川 宏 (YUKAWA, Hiroshi)  
名古屋大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 5 0 2 9 3 6 7 6

南部 智憲 (NAMBU, Tomonori)  
鈴鹿工業高等専門学校・材料工学科・准教授  
研究者番号: 1 0 2 7 0 2 7 4