

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年10月6日(06.10.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/208611 A1

(51) 国際特許分類:

G01N 17/02 (2006.01) G01N 27/26 (2006.01)
G01N 33/20 (2019.01) G01N 27/416 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/013294

(22) 国際出願日: 2021年3月29日(29.03.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 石井 龍太 (ISHII Ryuta); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T知的財

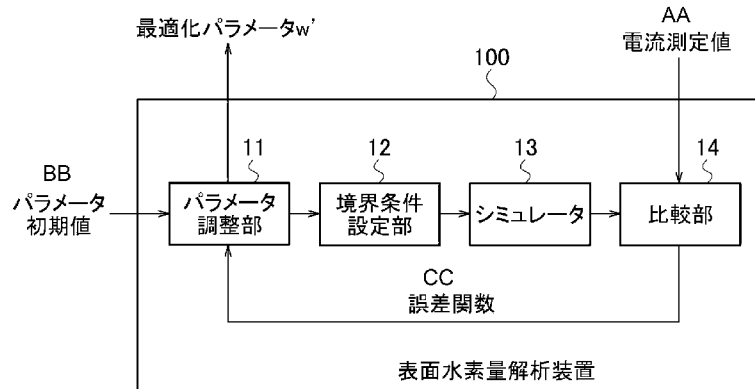
産センタ内 Tokyo (JP). 上庄 拓哉 (KAMISHO Takuya); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T知的財産センタ内 Tokyo (JP). 津田 昌幸 (TSUDA Masayuki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 N T T知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 三好 秀和, 外 (MIYOSHI Hidekazu et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門1丁目2番8号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: SURFACE HYDROGEN AMOUNT ANALYSIS METHOD, SURFACE HYDROGEN AMOUNT ANALYSIS DEVICE, AND SURFACE HYDROGEN AMOUNT ANALYSIS PROGRAM

(54) 発明の名称: 表面水素量解析方法及び表面水素量解析装置並びに表面水素量解析プログラム



- 11 Parameter adjustment unit
- 12 Boundary condition setting unit
- 13 Simulator
- 14 Comparison unit
- 100 Surface hydrogen amount analysis device
- w' Optimization parameter
- AA Current measurement value
- BB Initial parameter value
- CC Error function

(57) Abstract: The present invention comprises: a step for acquiring a measurement value of a hydrogen permeation current by a hydrogen permeation test using a steel material (31); and a step for using a parameter represented by a vector to set a hydrogen amount function representing the change over time of the surface hydrogen amount of the steel material (31) and using the hydrogen amount function to set a boundary condition in the steel material (31). The present invention

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

further comprises: a step for simulating diffusion of hydrogen inside the steel material (31) on the basis of the boundary condition to acquire a calculation value of the hydrogen permeation current; a step for calculating an error function between the measurement value and the calculation value of the hydrogen permeation current; and a step for adjusting a parameter so that the error function is reduced.

(57) 要約：鋼材（31）を用いた水素透過試験による水素透過電流の測定値を取得するステップと、ベクトルで表現されるパラメータを用いて、鋼材（31）の表面水素量の時間変化を表す水素量関数を設定し、水素量関数を用いて鋼材（31）における境界条件を設定するステップを有する。また、境界条件に基づいて、鋼材（31）内部における水素の拡散をシミュレーションし、水素透過電流の計算値を取得するステップと、水素透過電流の、測定値と計算値の誤差関数を算出するステップと、誤差関数が低減するように、パラメータを調整するステップと、を備える。

明 細 書

発明の名称：

表面水素量解析方法及び表面水素量解析装置並びに表面水素量解析プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、表面水素量解析方法及び表面水素量解析装置並びに表面水素量解析プログラムに関する。

背景技術

[0002] インフラ設備などの屋外に設置された金属構造物は、腐食反応によって発生した水素が金属内部に侵入することにより、水素脆弱による破断が発生する恐れがある。このため、腐食反応によって金属などの鋼材に侵入する水素量を測定して鋼材に与える影響を解析することが望まれる。鋼材に侵入する水素量を測定する方法として、例えば非特許文献 1 に開示されたものが知られている。

[0003] 非特許文献 1 には、平板形状の鋼材の一方の面を水素侵入面とし、他方の面を水素検出面として鋼材の表面水素量を測定することが開示されている。具体的に非特許文献 1 では、水素侵入面を腐食環境に接触させ、水素検出面に発生する電流を検出し、前記電流値を、所定の方程式に代入することにより、鋼材の表面水素量を算出する。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：材料と環境，63,3－9（2014）.電気化学法による鉄鋼への水素侵入・透過の計測.水流徹.東京工業大学.Electrochemical Measurements for Hydrogen Entry and Permeation of Steel. Tooru Tsuru, Tokyo Institute of Technology.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、上述した非特許文献 1 では、鋼材の水素侵入面における表面水素量は一定であるという条件下で、鋼材内部の水素透過が定常状態となり水素検出面における電流が一定値に収束した状態で、鋼材の表面水素量を測定している。このため、鋼材が腐食環境に置かれてからの時間経過に伴って変化する表面水素量を算出することができないという問題があった。

[0006] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、鋼材の表面水素量の時間経過に伴う変化を解析することが可能な表面水素量解析方法、表面水素量解析装置、及び表面水素量解析プログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様の表面水素量解析方法は、鋼材を用いた水素透過試験による水素透過電流の測定値を取得するステップと、ベクトルで表現されるパラメータを用いて、前記鋼材の表面水素量の時間変化を表す水素量関数を設定し、前記水素量関数を用いて前記鋼材における境界条件を設定するステップと、前記境界条件に基づいて、前記鋼材内部における水素の拡散をシミュレーションし、前記水素透過電流の計算値を取得するステップと、前記水素透過電流の、前記測定値と前記計算値の誤差関数を算出するステップと、前記誤差関数が低減するように、前記パラメータを調整するステップと、を備える。

[0008] 本発明の一態様の表面水素量解析装置は、ベクトルで表現されるパラメータを用いて、鋼材の境界条件を設定する境界条件設定部と、前記境界条件に基づいて、前記鋼材内部における水素の拡散をシミュレーションし、前記鋼材に生じる水素透過電流の計算値を算出するシミュレータと、前記鋼材に対して実施された水素透過試験により取得される水素透過電流の測定値と、前記水素透過電流の計算値と、の誤差関数を算出する比較部と、前記誤差関数が低減するように、前記パラメータを調整するパラメータ調整部と、を備える。

[0009] 本発明の一態様は、上記表面水素量解析装置としてコンピュータを機能させる表面水素量解析プログラムである。

発明の効果

[0010] 本発明によれば、鋼材の表面水素量の時間経過に伴う変化を解析することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、鋼材内部における水素の透過原理を示す説明図である。

[図2]図2は、本実施形態に係る表面水素量解析装置の構成を示すブロック図である。

[図3]図3は、ベクトルで表現されるパラメータ w を用いて設定される関数 $f_w(t)$ を示すグラフである。

[図4]図4は、水素透過電流の測定値と計算値の時間変化を示すグラフである。

[図5]図5は、本実施形態に係る表面水素量解析装置の処理手順を示すフローチャートである。

[図6]図6は、経過時間と水素検出面に発生する電流の電流密度との関係を示すグラフである。

[図7]図7は、経過時間と表面水素濃度との関係を示すグラフである。

[図8]図8は、本実施形態のハードウェア構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本実施形態を図面を参照して説明する。

[0013] [水素の透過原理]

初めに、鋼材内部における水素の透過原理について説明する。図1は、鋼材内部における水素の透過原理を示す説明図である。図1は、鋼材31の断面及びその周囲環境を示している。鋼材31の一方の面（図中、右側の面）を水素侵入面31aとし、他方の面（図中、左側の面）を水素検出面31bとする。

[0014] 水素侵入面31aは、腐食環境32に接している。腐食環境32は、例え

ば外気に晒された環境である。

[0015] 水素検出面 3 1 b は、例えば NaOH 水溶液 3 3（水酸化ナトリウム水溶液）に浸されている。

[0016] 鋼材 3 1 の水素侵入面 3 1 a が腐食環境 3 2 に接すると、腐食環境 3 2 に存在する水素の一部が水素侵入面 3 1 a から鋼材 3 1 の内部に侵入する。即ち、水素侵入面 3 1 a で発生した水素は H₂ ガスとして外部に散逸するとともに、一部の水素は鋼材 3 1 の内部に吸収される。

[0017] 鋼材 3 1 の内部に侵入した水素は、鋼材 3 1 内で拡散し、その一部が反対側の面である水素検出面 3 1 b に到達する。水素検出面 3 1 b に到達した水素は、水素検出面 3 1 b から NaOH 水溶液 3 3 内に放出される。NaOH 水溶液 3 3 内に放出された水素はイオン化するので、NaOH 水溶液 3 3 に電流が流れる。この電流を、水素透過電流「i_H」とする。

[0018] 水素侵入面 3 1 a が腐食環境 3 2 に接してからの経過時間を「t」とする。水素侵入面 3 1 a から水素検出面 3 1 b に向く方向の距離を「x」とする。図 1 に示すように、鋼材 3 1 の板厚を「L」とすると、水素侵入面 3 1 a は「x = 0」であり、水素検出面 3 1 b は「x = L」である。鋼材 3 1 の内部に侵入した水素量を、上記 t、x を用いて「C(t, x)」で示すことにする。

[0019] 鋼材 3 1 の内部に侵入した水素量は、下記（1）式に示す一次元拡散方程式で表現することができる。

[0020] [数1]

$$\frac{\partial}{\partial t} C(x, t) = -D \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} C(x, t) \right) \quad \cdots (1)$$

[0021] 但し、D は、水素拡散係数を示す。

[0022] 境界条件として、経過時間 t = 0 のときの水素侵入面 3 1 a における水素量 C(0, 0) を「C₀」とし、水素検出面 3 1 b における水素量 C(0, L) を「0」とする。

[0023] 前述した（1）式に上記の境界条件を入力して解くと、水素透過電流 i_H は

下記（２）式で算出される。

[0024] [数2]

$$i_H = \frac{nFDC(t,0)}{L} \quad \dots(2)$$

[0025] （２）式において、 $C(t,0)$ は、経過時間 t における鋼材 3 1 の水素侵入面 3 1 a（即ち、 $x=0$ ）における水素量（表面水素量）を示している。 n は反応電子数を示し、 F はファラデー定数を示している。

[0026] （２）式に示す n 、 F 、 D 、 L は既知の数値であるから、水素透過電流 i_H の測定値、及び経過時間 t を（２）式に代入すれば、経過時間 t に伴って変動する鋼材 3 1 の表面水素量 $C(t,0)$ を算出することができる。

[0027] [水素量解析装置の構成]

図 2 は、本実施形態に係る表面水素量解析方法を採用して鋼材 3 1 の表面水素量を解析する表面水素量解析装置 1 0 0 の構成を示すブロック図である。

[0028] 表面水素量解析装置 1 0 0 は、パラメータ調整部 1 1 と、境界条件設定部 1 2 と、シミュレータ 1 3 と、比較部 1 4 を備えている。

[0029] パラメータ調整部 1 1 は、ベクトルで表現されるパラメータ w を外部入力から取得する。「ベクトルで表現されるパラメータ w 」とは、2 以上の変数で規定されるパラメータであり、例えば変数を 4 つとした場合には、 $w = (a, b, c, d)$ として表現することができる。

[0030] パラメータ調整部 1 1 はまた、取得したパラメータ w を初期値とし、該パラメータ w が最適な数値になるように調整する。具体的に、比較部 1 4 より出力される誤差関数（詳細は後述）に基づき、表面水素量の測定値と計算値との誤差関数が最小となるように、パラメータ w を調整する。なお、本実施形態では一例として誤差関数が最小となるようにパラメータ w を調整する例について説明するが、誤差が最小にならなくても誤差が低減すれば本実施形態の効果を達成できる。

[0031] 境界条件設定部 1 2 は、パラメータ調整部 1 1 で設定されたパラメータ w

を用いて、鋼材 3 1 の境界条件を設定する。具体的に、鋼材 3 1 の水素侵入面 3 1 a における水素量である表面水素量 $C(t, 0)$ を、パラメータ w を用いて表現される関数 $f_w(t)$ (水素量関数) に設定する。一例として関数 $f_w(t)$ は、4 つの変数 a 、 b 、 c 、 d を用いて、下記 (3) 式で示することができる。

$$\begin{aligned} [0032] \quad f_w(t) &= a t + b & (t < c) \\ &= d t + (a - d) c + b & (t > c) \quad \cdots (3) \end{aligned}$$

図 3 は、上述した (3) 式で示される関数 $f_w(t)$ を示すグラフであり、横軸は経過時間 t 、縦軸は表面水素量を示している。図 3 に示すように、関数 $f_w(t)$ は、 $t = c$ までの区間では、右側に下降する直線、 $t = c$ 以降の区間では、右側に上昇する直線となるように変化する特性を有する。なお、(3) 式に示した関数 $f_w(t)$ は一例であり、任意の関数に設定することができる。また、変数の数は 2 以上であればよい。例えば、5 個の変数 a 、 b 、 c 、 d 、 e を用いて関数 $f_w(t)$ を設定してもよい。

[0033] 境界条件設定部 1 2 はまた、鋼材 3 1 の水素透過試験をシミュレーションする際の境界条件として、 $C(t, 0)$ 、 $C(0, L)$ を、下記 (4)、(5) 式に設定する。

$$[0034] \quad C(t, 0) = f_w(t) \quad \cdots (4)$$

$$C(0, L) = 0 \quad \cdots (5)$$

(4) 式に示す $C(t, 0)$ は、経過時間 t における水素侵入面 3 1 a ($x = 0$) の水素量である。(5) 式に示す $C(0, L)$ は、経過時間 $t = 0$ における水素検出面 3 1 b ($x = L$) の水素量である。

[0035] シミュレータ 1 3 は、上記 (4)、(5) 式に示した境界条件に基づいてシミュレーションを実施し、鋼材 3 1 の水素検出面 3 1 b に発生する水素透過電流 i_H の計算値を取得する。

[0036] シミュレータ 1 3 は、例えば鋼材 3 1 内における水素の拡散を一次元拡散方程式で示し、更に、差分法などを用いて鋼材 3 1 中の水素分布を算出する。シミュレータ 1 3 は、算出した水素分布に基づいて、フィックの第二法則などを用いて鋼材 3 1 における水素透過電流 i_H を算出する。即ち、シミュレ

ータ 1 3 は水素透過電流 i_H の計算値を取得する。

[0037] 比較部 1 4 は、図 1 にて説明した水素透過試験の結果から、鋼材 3 1 の水素検出面 3 1 b に発生する水素透過電流 i_H の測定値を取得する。比較部 1 4 はまた、水素透過電流 i_H の測定値と計算値を比較し、それぞれの数値の差分を示す誤差関数を算出する。例えば、図 4 に示すように、水素透過電流 i_H の計算値 s_{11} と測定値 s_{12} が得られた場合には、これらの差分を誤差関数として算出する。比較部 1 4 はまた、算出した誤差関数をパラメータ調整部 1 1 にフィードバックする。

[0038] パラメータ調整部 1 1 は、フィードバックされた誤差関数に対して、例えばパウエル法などの手法を採用して誤差関数が最小となるように、パラメータ w を調整する。パラメータ調整部 1 1 はまた、誤差関数が最小となったパラメータ w (以下、「最適化パラメータ w' 」という) を出力する。

[0039] [本実施形態の動作]

次に、本実施形態に係る表面水素量解析装置 1 0 0 による表面水素量の測定手順について説明する。図 5 は、本実施形態に係る表面水素量解析装置 1 0 0 の処理手順を示すフローチャートである。

[0040] 初めに、ステップ S 1 1 において、表面水素量解析装置 1 0 0 は、鋼材 3 1 を用いた水素透過試験による試験結果から、水素透過電流 i_H を取得する。具体的に、図 1 に示すように鋼材 3 1 の水素検出面 3 1 b に流れる電流を検出し、この電流を水素透過電流 i_H の測定値として取得する。この測定値は、比較部 1 4 に入力される。

[0041] ステップ S 1 2 において、パラメータ調整部 1 1 は、操作者により設定されるパラメータ w の初期値を取得する。前述したように、パラメータ w はベクトルで表現される数値であり、例えば 4 つの変数を用いた $w = (a, b, c, d)$ として表現される。

[0042] ステップ S 1 3 において境界条件設定部 1 2 は、パラメータ調整部 1 1 で設定されたパラメータ w に基づいて、鋼材 3 1 の表面水素量を示す関数 $f_w(t)$ を設定する。関数 $f_w(t)$ は、例えば、前述した (3) 式で示される関数

である。

[0043] パラメータ w の初期値として、例えば $a = 1$ 、 $b = 1$ 、 $c = 1$ 、 $d = 1$ とすると、前述した (3) 式で示される関数 $f_w(t)$ は、下記 (3 a) 式となる。

$$\begin{aligned} [0044] \quad f_w(t) &= t+1 \quad \cdots (t < 1) \\ &= t+1 \quad \cdots (t > 1) \quad \cdots (3 a) \end{aligned}$$

ステップ S 14 において、シミュレータ 13 は、境界条件設定部 12 で設定された境界条件に基づいて鋼材 31 の内部における水素の拡散を、例えば一次元拡散方程式を用いてシミュレーションする。

[0045] ステップ S 15 において、比較部 14 は、上記のシミュレーションにより得られる水素透過電流 i_H の計算値と、前述した水素透過電流 i_H の測定値との間の誤差関数を算出する。比較部 14 は、算出した誤差関数をパラメータ調整部 11 にフィードバックする。

[0046] ステップ S 16 において、パラメータ調整部 11 は例えばパウエル法を用いて、比較部 14 からフィードバックされた誤差関数が最小となるように、パラメータ w を調整する。例えば、初期的に設定したパラメータ w の、各変数 a 、 b 、 c 、 d の数値を適宜変更して誤差関数が最小となるように調整する。パラメータ調整部 11 は、最小化したパラメータ w を最適化パラメータ w' として出力する。

[0047] 最適化パラメータ w' を取得することにより、水素透過電流 i_H と表面水素量 $C(t, 0)$ との関係を取得することができ、時間変化に伴って変化する表面水素量を定量的に評価することができる。

[0048] 図 6 は、鋼材 31 の水素侵入面 31 a に、チオシアン酸アンモニウム水溶液下で電気化学的に水素を侵入させた際の水素透過試験データを示すグラフである。試験に使用する鋼材 31 は、表面に研磨等の処理を行っておらず、鋼材 31 の表面が時々刻々と変化し、表面水素量が変動する系である。

[0049] 図 6 において、横軸は水素の侵入開始後の経過時間 t を示し、縦軸は鋼材 31 の水素検出面 31 b に流れる水素透過電流 i_H の電流密度を示している。

図 6 に示す曲線 s 2 1 は水素透過電流の理論値を示し、曲線 s 2 2 は本実施形態の方法を採用して算出した水素透過電流値を示し、曲線 s 2 3 は水素侵入面 3 1 a における水素量を一定として算出した水素透過電流値を示している。

[0050] 各曲線 s 2 1 ~ s 2 3 に示すように、本実施形態の解析方法を採用した場合には、試験対象となる鋼材 3 1 の水素検出面 3 1 b に流れる電流値が、理論値とほぼ一致している。従って、鋼材 3 1 の水素侵入面 3 1 a における水素量の変化を高精度に評価できることが理解される。

[0051] 図 7 に示す曲線 s 2 4 は、経過時間 t に対する表面水素濃度の変化を示すグラフである。曲線 s 2 4 に示すように、鋼材 3 1 の表面水素濃度は、時間の経過に伴って変化している。本実施形態の解析方法を採用することにより、表面水素量の時間経過に伴う変化を高精度に評価することができる。

[0052] [本実施形態の効果]

このように、本実施形態に係る表面水素量の検出方法は、鋼材 3 1 を用いた水素透過試験による水素透過電流の測定値を取得するステップと、ベクトルで表現されるパラメータ w を用いて、鋼材 3 1 の表面水素量の時間変化を表す水素量関数 $f_w(t)$ を設定し、この水素量関数を用いて鋼材 3 1 における境界条件を設定するステップと、境界条件に基づいて、鋼材 3 1 内部における水素の拡散をシミュレーションし、水素透過電流の計算値を取得するステップと、水素透過電流の、測定値と計算値の誤差関数を算出するステップと、誤差関数が低減するように、パラメータ w を調整するステップと、を備えている。

[0053] 本実施形態では、鋼材 3 1 の表面水素量の変化、即ち境界条件の変化を、ベクトルで表現されるパラメータ w を含む関数（水素量関数）として表現し、その境界条件の下で鋼材 3 1 の内部への水素拡散をシミュレーションして水素透過電流 i_H の計算値を算出する。算出した計算値と、水素透過試験を実施して得られた測定値を比較し、誤差関数が最小となる、或いは低減するようにパラメータ w を変更する。誤差関数が低減したパラメータ w を採用する

ことにより、表面水素量の時間経過に伴う変化を、測定開始から所定時間が経過するまでの間の全時間帯において定量的に評価することが可能となる。

[0054] また、本実施形態では、境界条件として、経過時間に伴って変化する表面水素量 $C(t, 0)$ を水素量関数 $f_w(t)$ とし、水素検出面 31b における水素量 $C(0, L)$ を「0」に設定して、パラメータ w が低減するように調整するので、高精度なパラメータ w の設定が可能になる。

[0055] 更に、本実施形態では、鋼材 31 内部における水素の拡散を一次元拡散方程式で示し、該一次元拡散方程式に基づいて鋼材 31 内部の水素分布を算出し、この水素分布からフィックの第二法則を用いて水素透過電流を算出するので、水素透過電流を高精度に算出することが可能になる。

[0056] また、本実施形態では、パウエル法を用いて誤差関数が最小化するように、パラメータ w を調整するので、高精度なパラメータ w の設定が可能になる。

[0057] 更に、本実施形態では、誤差関数が最小化したパラメータ w を用いて試験対象となる鋼材の表面水素量を測定することにより、鋼材の表面水素量を高精度に測定することが可能になる。

[0058] 上記説明した本実施形態の表面水素量解析装置 100 には、図 9 に示すように例えば、CPU (Central Processing Unit、プロセッサ) 901 と、メモリ 902 と、ストレージ 903 (HDD : HardDisk Drive、SSD : SolidState Drive) と、通信装置 904 と、入力装置 905 と、出力装置 906 とを備える汎用的なコンピュータシステムを用いることができる。メモリ 902 およびストレージ 903 は、記憶装置である。このコンピュータシステムにおいて、CPU 901 がメモリ 902 上にロードされた所定のプログラムを実行することにより、表面水素量解析装置 100 の各機能が実現される。

[0059] なお、表面水素量解析装置 100 は、1 つのコンピュータで実装されてもよく、あるいは複数のコンピュータで実装されても良い。また、表面水素量解析装置 100 は、コンピュータに実装される仮想マシンであっても良い。

[0060] なお、表面水素量解析装置 100 用のプログラムは、HDD、SSD、U

S B (Universal Serial Bus) メモリ、C D (Compact Disc)、D V D (Digital Versatile Disc)などのコンピュータ読取り可能な記録媒体に記憶することも、ネットワークを介して配信することもできる。

[0061] なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、その要旨の範囲内で数々の変形が可能である。

符号の説明

- [0062]
- 1 1 パラメータ調整部
 - 1 2 境界条件設定部
 - 1 3 シミュレータ
 - 1 4 比較部
 - 3 1 鋼材
 - 3 1 a 水素侵入面
 - 3 1 b 水素検出面
 - 3 2 腐食環境
 - 3 3 水酸化ナトリウム水溶液
 - 1 0 0 表面水素量解析装置

請求の範囲

- [請求項1] 鋼材を用いた水素透過試験による水素透過電流の測定値を取得するステップと、
- ベクトルで表現されるパラメータを用いて、前記鋼材の表面水素量の時間変化を表す水素量関数を設定し、前記水素量関数を用いて前記鋼材における境界条件を設定するステップと、
- 前記境界条件に基づいて、前記鋼材内部における水素の拡散をシミュレーションし、前記水素透過電流の計算値を取得するステップと、
- 前記水素透過電流の、前記測定値と前記計算値の誤差関数を算出するステップと、
- 前記誤差関数が低減するように、前記パラメータを調整するステップと、
- を備えた表面水素量解析方法。
- [請求項2] 前記水素透過試験の開始後の経過時間を「 t 」とし、前記鋼材の厚さ方向の距離を「 x 」として、前記水素量関数を「 $C(t, x)$ 」としたとき、
- 前記境界条件を、 $C(t, 0) = f_w(t)$ 、 $C(0, L) = 0$ に設定する請求項1に記載の表面水素量解析方法。
- [請求項3] 前記シミュレーションは、前記鋼材内部における水素の拡散を一次元拡散方程式で示し、前記一次元拡散方程式に基づいて前記鋼材内部の水素分布を算出し、前記水素分布からフィックの第二法則を用いて前記水素透過電流を算出する請求項1または2に記載の表面水素量解析方法。
- [請求項4] 前記パラメータを調整するステップは、前記誤差関数を、パウエル法を用いて最小化する請求項1～3のいずれか1項に記載の表面水素量解析方法。
- [請求項5] 前記誤差関数が低減するように調整されたパラメータを用いて、試験対象となる鋼材の表面水素量を測定するステップ、

を更に備えた請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の表面水素量解析方法。

[請求項6] ベクトルで表現されるパラメータを用いて、鋼材の境界条件を設定する境界条件設定部と、

前記境界条件に基づいて、前記鋼材内部における水素の拡散をシミュレーションし、前記鋼材に生じる水素透過電流の計算値を算出するシミュレータと、

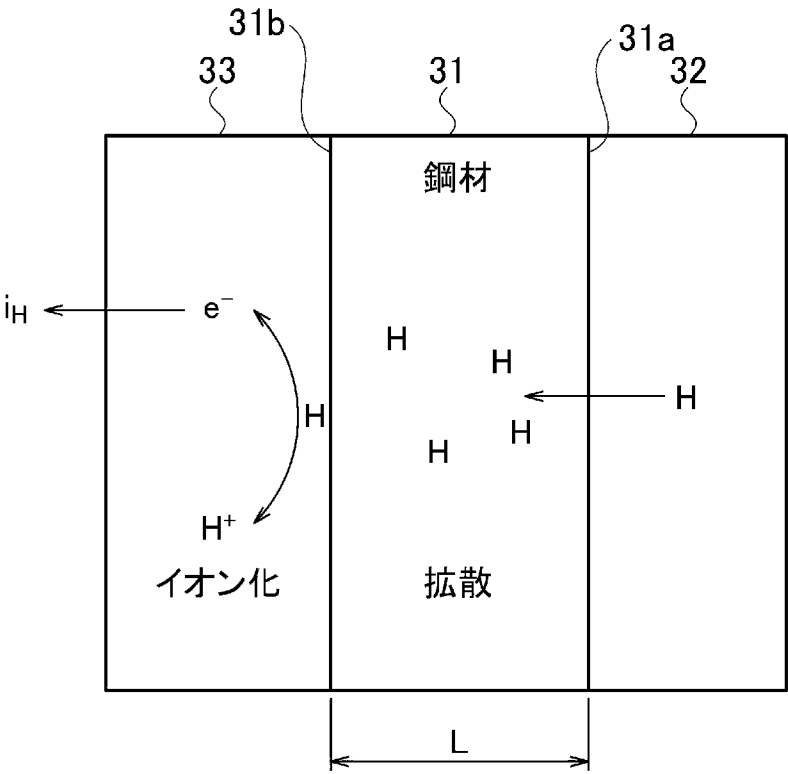
前記鋼材に対して実施された水素透過試験により取得される水素透過電流の測定値と、前記水素透過電流の計算値と、の誤差関数を算出する比較部と、

前記誤差関数が低減するように、前記パラメータを調整するパラメータ調整部と、

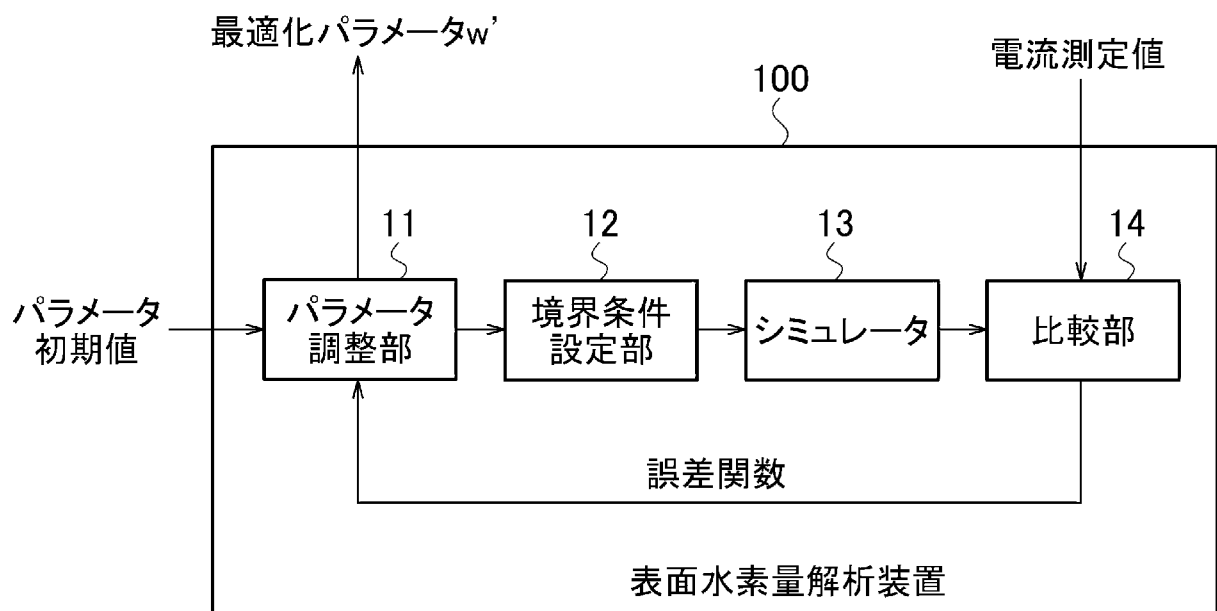
を備えた表面水素量解析装置。

[請求項7] 請求項 6 に記載の表面水素量解析装置としてコンピュータを機能させる表面水素量解析プログラム。

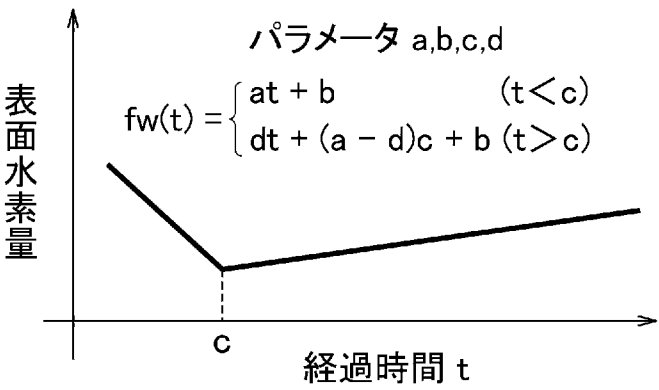
[図1]



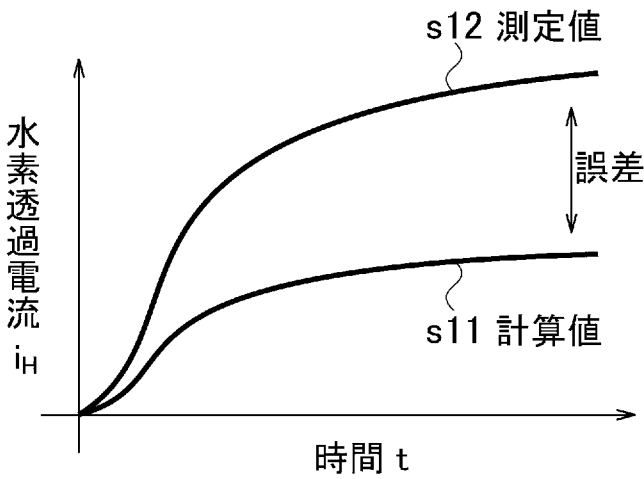
[図2]



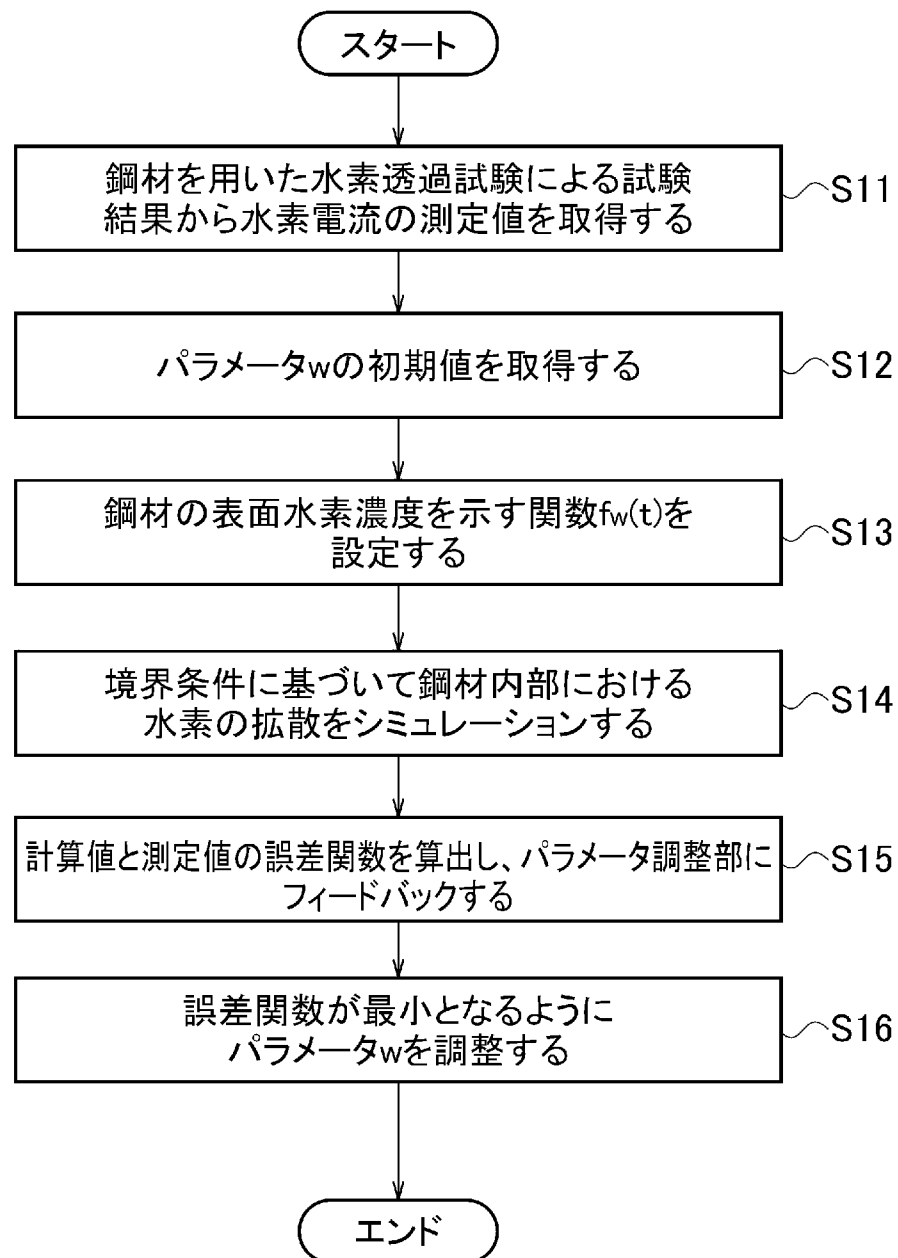
[図3]



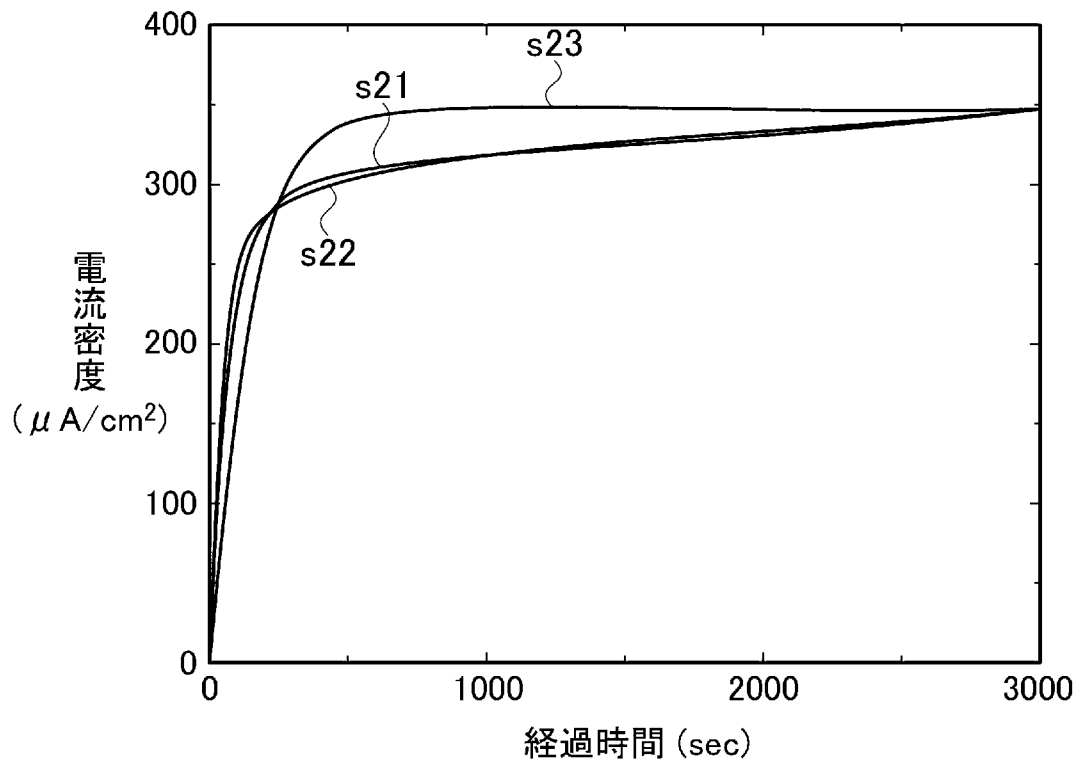
[図4]



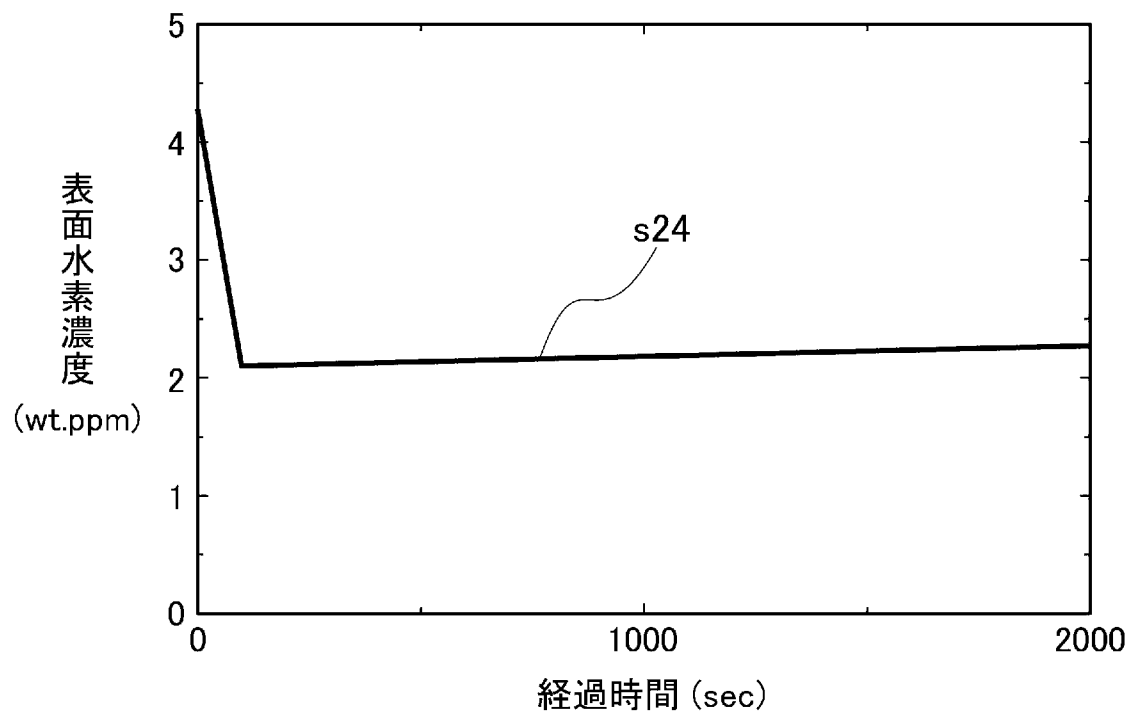
[図5]



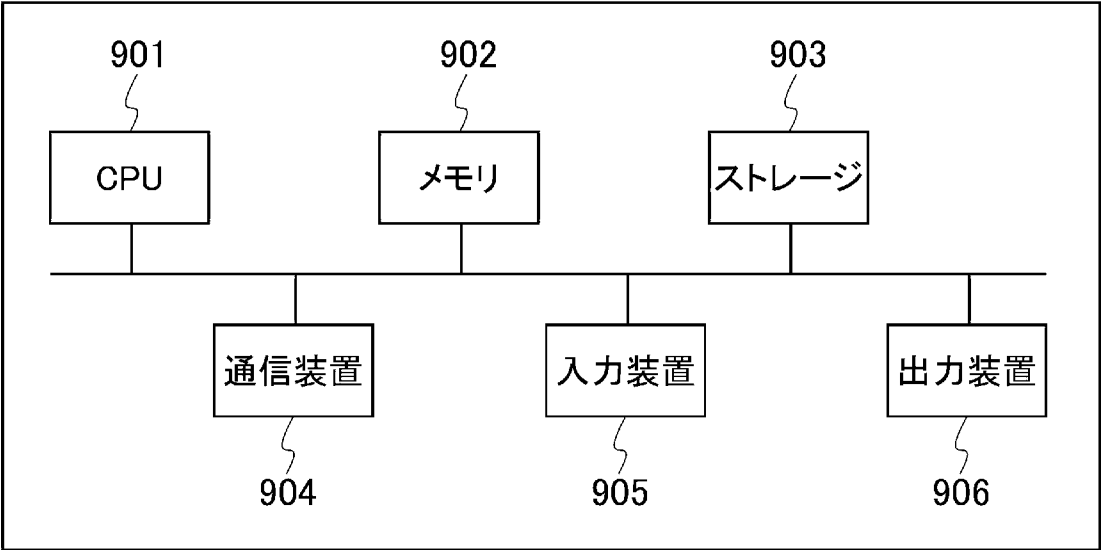
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/013294

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 17/02(2006.01)i; G01N 33/20(2019.01)i; G01N 27/26(2006.01)i; G01N 27/416(2006.01)i

FI: G01N27/26 351J; G01N17/02; G01N27/416 311H; G01N33/20 100

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N17/00-17/04; G01N33/20; G01N27/26-27-49

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021

Registered utility model specifications of Japan 1996-2021

Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2021-43076 A (KOBELITE LTD) 18 March 2021 (2021-03-18) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2017-207302 A (JFE STEEL CORP) 24 November 2017 (2017-11-24) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2018-115942 A (TOYOTA CENTRAL RES & DEV) 26 July 2018 (2018-07-26) entire text, all drawings	1-7
A	JP 2015-31554 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 16 February 2015 (2015-02-16) entire text, all drawings	1-7



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

07 May 2021 (07.05.2021)

Date of mailing of the international search report

25 May 2021 (25.05.2021)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/013294

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	澤村充，各種サワー環境における水素侵入量と水素誘起割れ，日本鉄鋼協会講演論文集「材料とプロセス」，vol. 24，社団法人日本鉄鋼協会 小島彰，pp. 671-674，(SAWAMURA, Mitsuru. Report of the ISIJ meeting "Current advances in materials and processes".), non-official translation (Intrusion amount of hydrogen and hydrogen-induced cracking in various sour environments. The Iron and Steel Institute of Japan OJIMA, Akira.)	1-7
A	多田 英司，大気腐食環境において鋼材中に侵入する水素量の連続モニタリング技術の確立，日本鉄鋼協会講演論文集「材料とプロセス」，vol. 25，社団法人日本鉄鋼協会 小島彰，2012，pp. 509，entire text，(TADA, Eiji. Report of the ISIJ meeting "Current advances in materials and processes".), non-official translation (Establishment of continuous monitoring technology for hydrogen content invading into steel in an atmospheric corrosion environment. The Iron and Steel Institute of Japan OJIMA, Akira.)	1-7
A	JP 2020-517963 A (SAUDI ARABIAN OIL COMPANY) 18 June 2020 (2020-06-18) entire text, all drawings	1-7
A	水流徹，電気化学法による鉄鋼への水素侵入・透過の計測，材料と環境，2014，vol. 63，pp. 3-9，entire text，(TSURU, Tooru, Electrochemical Measurements for Hydrogen Entry and Permeation of Steel. Zairyo-to-Kankyo.)	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/013294

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2021-43076 A	18 Mar. 2021	(Family: none)	
JP 2017-207302 A	24 Nov. 2017	(Family: none)	
JP 2018-115942 A	26 Jul. 2018	(Family: none)	
JP 2015-31554 A	16 Feb. 2015	(Family: none)	
JP 2020-517963 A	18 Jun. 2020	US 2018/0313806 A1 entire text, all drawings US 2019/0265220 A1 US 2020/0200727 A1 WO 2018/200633 A1 CN 110603445 A KR 10-2020-0002857 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 17/02(2006.01)i; G01N 33/20(2019.01)i; G01N 27/26(2006.01)i; G01N 27/416(2006.01)i FI: G01N27/26 351J; G01N17/02; G01N27/416 311H; G01N33/20 100														
B. 調査を行った分野														
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01N17/00-17/04; G01N33/20; G01N27/26-27-49														
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの														
<table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2021年	日本国実用新案登録公報	1996-2021年	日本国登録実用新案公報	1994-2021年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2021年													
日本国実用新案登録公報	1996-2021年													
日本国登録実用新案公報	1994-2021年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2021-43076 A（株式会社神戸製鋼所）18.03.2021（2021-03-18） 全文、全図	1-7												
A	JP 2017-207302 A（JFEスチール株式会社）24.11.2017（2017-11-24） 全文、全図	1-7												
A	JP 2018-115942 A（株式会社豊田中央研究所）26.07.2018（2018-07-26） 全文、全図	1-7												
A	JP 2015-31554 A（日本電信電話株式会社）16.02.2015（2015-02-16） 全文、全図	1-7												
A	澤村充，各種サワー環境における水素侵入量と水素誘起割れ，日本鉄鋼協会講演論文「材料とプロセス」，Vol.24，社団法人日本鉄鋼協会 小島 彰，pp.671-674 全文	1-7												
A	多田 英司，大気腐食環境において鋼材中に侵入する水素量の連続モニタリング技術の確立，日本鉄鋼協会講演論文「材料とプロセス」，Vol.25，社団法人日本鉄鋼協会 小島 彰，2012，pp.509 全文	1-7												
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 参考文献のカテゴリー</td> <td>"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>"&" 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 参考文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	"&" 同一パテントファミリー文献	"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 参考文献のカテゴリー	"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	"&" 同一パテントファミリー文献													
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 07.05.2021	国際調査報告の発送日 25.05.2021													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 黒田 浩一 2J 9218 電話番号 03-3581-1101 内線 3252													

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2020-517963 A (サウジ アラビアン オイル カンパニー) 18.06.2020 (2020 - 06 - 18) 全文、全図	1-7
A	水流徹, 電気化学法による鉄鋼への水素侵入・透過の計測, 材料と環境, 2014, Vol. 63, pp. 3-9 全文	1-7

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/013294

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2021-43076	A	18.03.2021	(ファミリーなし)	
JP	2017-207302	A	24.11.2017	(ファミリーなし)	
JP	2018-115942	A	26.07.2018	(ファミリーなし)	
JP	2015-31554	A	16.02.2015	(ファミリーなし)	
JP	2020-517963	A	18.06.2020	US 2018/0313806	A1
				全文、全図	
				US 2019/0265220	A1
				US 2020/0200727	A1
				WO 2018/200633	A1
				CN 110603445	A
				KR 10-2020-0002857	A