

(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
2016年9月29日(29.09.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/151955 A1

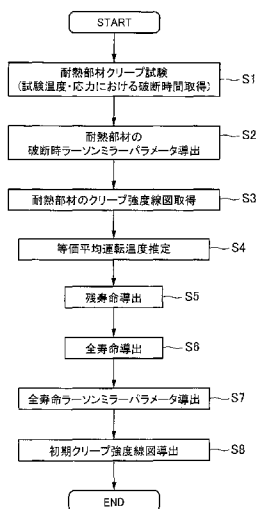
- (51) 国際特許分類:
G01N 17/00 (2006.01) *G01N 3/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/084237 (74) 代理人: 光石 俊郎, 外 (MITSUISHI, Toshiro et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂四丁目9番6号 タク・赤坂ビル4階 光石法律特許事務所 Tokyo (JP).
- (22) 国際出願日: 2015年12月7日(07.12.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (30) 優先権データ:
特願 2015-064005 2015年3月26日(26.03.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 森岡 真也 (MORIOKA, Shinya); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 岩▲崎▼ 修吾 (IWA-SAKI, Shugo); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 堤博一 (TSUTSUMI, Hirokazu); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 片山 哲司 (KATAYAMA, Tetsuji); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (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,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR ESTIMATING INITIAL CREEP STRENGTH OF HEAT-RESISTANT MEMBER, AND METHOD FOR ASSESSING REMAINING SERVICE LIFE THEREOF

(54) 発明の名称: 耐熱部材の初期クリープ強度推定方法およびこの残寿命推定方法

[図1]



- S1... HEAT-RESISTANT MEMBER CREEP TEST
(OBTAIN BREAKAGE TIME AT TEST TEMPERATURE/STRESS)
S2... DERIVE BREAKAGE-TIME LARSON-MILLER PARAMETER OF
HEAT-RESISTANT MEMBER
S3... OBTAIN CREEP-STRENGTH DIAGRAM OF HEAT-RESISTANT MEMBER
S4... ESTIMATE EQUIVALENT AVERAGE OPERATION TEMPERATURE
S5... DERIVE REMAINING SERVICE LIFE
S6... DERIVE TOTAL SERVICE LIFE
S7... DERIVE LARSON-MILLER PARAMETER OF TOTAL SERVICE LIFE
S8... DERIVE INITIAL CREEP STRENGTH DIAGRAM

(57) Abstract: Provided is a method for estimating the initial creep strength of a heat-resistant member which is capable of quickly estimating the initial creep strength of a heat-resistant member by using a comparatively simple operation. The method involves: deriving a breakage-time LMP by using a relational expression on the basis of creep test results (S2); obtaining a creep strength diagram of the heat-resistant member, on the basis of the breakage-time LMP and a design creep strength diagram expressing the relationship between the LMP and stress in the heat-resistant member (S3); estimating the equivalent average operation temperature on the basis of the condition of the carbide in the heat-resistant member (S4); deriving the remaining service life of the heat-resistant member by using a relational expression, on the basis of the heat-resistant member creep strength diagram and the equivalent average operation temperature (S5); deriving the total service life of the heat-resistant member on the basis of the remaining service life of the heat-resistant member and the operation time of the heat-resistant member (S6); deriving the total service life LMP by using a relational expression, on the basis of the total service life of the heat-resistant member and the equivalent average operation temperature (S7); and deriving an initial creep strength diagram of the heat-resistant member by using the design creep strength diagram, on the basis of the total service life LMP (S8).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/151955 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

比較的簡易な作業で耐熱部材の初期クリープ強度を迅速に推定することができる耐熱部材の初期クリープ強度推定方法を提供することにある。クリープ試験結果に基づき関係式を用いて破断時 LMP を導出し (S 2)、破断時 LMP と耐熱部材における応力および LMP の関係を示す設計クリープ強度線図とに基づき、耐熱部材のクリープ強度線図を取得し (S 3)、耐熱部材の炭化物状態から等価平均運転温度を推定し (S 4)、前記耐熱部材のクリープ強度線図と前記等価平均運転温度とに基づき関係式を用いて耐熱部材の残寿命を導出し (S 5)、耐熱部材の残寿命と耐熱部材の運転時間とに基づき耐熱部材の全寿命を導出し (S 6)、耐熱部材の全寿命と等価平均運転温度とに基づき関係式を用いて全寿命 LMP を導出し (S 7)、全寿命 LMP に基づき設計クリープ強度線図を用いて、耐熱部材の初期クリープ強度線図を導出した (S 8)。

明 細 書

発明の名称：

耐熱部材の初期クリープ強度推定方法およびこの残寿命推定方法

技術分野

[0001] 本発明は、耐熱部材の初期クリープ強度推定方法およびこの残寿命推定方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、高温および高圧の環境下で使用される各種プラントでは、運転時間の経過に伴いクリープ損傷が進行し、寿命が消費されることが知られている。よって、前記各種プラントにおいて健全な運転を維持するためには、機器の残寿命を正確に推定し、適切な時期に前記機器を交換する必要がある。前記機器の残寿命を評価する方法が種々検討されている。

[0003] 例えば、下記特許文献1には、硬さ基準の応力を使用し、運転実績情報記憶部から定常運転状態のデータを順次読み込み、これに基づき運転履歴算出部が部材温度、部材応力を求め、更に各運転状態の応力上昇分を算出し、応力上昇によるクリープ強度低下量を算出すると共に、クリープ強度を算出し、現在の部材硬さを求め、計画運転状態データに基づきクリープ強度低下量を算出し、クリープ強度を算出した上で最終のクリープ強度の予測値を算出し、この予測値と計画運転条件に基づき残余寿命を算出する高温部材の寿命診断方法が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2013-57546号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] ところで、前記機器の残寿命の評価においては、寿命評価対象部材の初期クリープ強度が重要な因子となっているが、経年プラントの場合、部材の初

期クリープ強度を把握していないことがある。このような場合、機器の残寿命を正確に推定することができなかった。そのため、既設部材の初期クリープ強度や残寿命を簡易、かつ、迅速な手法で推定することが望まれていた。

[0006] 以上のことから、本発明は前述した課題を解決するために為されたものであって、比較的簡易な作業で耐熱部材の初期クリープ強度や残寿命を迅速に推定することができる耐熱部材の初期クリープ強度推定方法およびこの残寿命推定方法を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0007] 上述した課題を解決する第1の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法は、耐熱部材の初期クリープ強度を推定する方法であって、前記耐熱部材を所定の温度および応力でクリープ試験を行って破断時間を取得する破断時間取得工程と、前記耐熱部材の破断時間と前記所定の温度とに基づき、以下の関係式(1)を用いて破断時ラーソンミラーパラメータを導出する破断時ラーソンミラーパラメータ導出工程と、前記破断時ラーソンミラーパラメータと、前記耐熱部材における応力とラーソンミラーパラメータとの関係を示す設計クリープ強度線図とに基づき、前記耐熱部材のクリープ強度線図を取得する耐熱部材のクリープ強度線図取得工程と、前記耐熱部材の炭化物状態から等価平均運転温度を推定する等価平均運転温度推定工程と、前記耐熱材のクリープ強度線図と、前記等価平均運転温度とに基づき、以下の関係式(1)を用いて前記耐熱部材の残寿命を導出する残寿命導出工程と、前記耐熱部材の残寿命と、前記耐熱部材の運転時間とに基づき前記耐熱部材の全寿命を導出する全寿命導出工程と、前記耐熱部材の全寿命と前記等価平均運転温度とに基づき、以下の関係式(1)を用いて全寿命ラーソンミラーパラメータを導出する全寿命ラーソンミラーパラメータ導出工程と、前記全寿命ラーソンミラーパラメータに基づき、前記設計クリープ強度線図を用いて、前記耐熱部材の初期クリープ強度線図を導出する初期クリープ強度線図導出工程とを有する、ことを特徴とする。

$$LMP = T \times (C + \log(t)) / 1000 \quad (1)$$

LMP がラーソンミラーパラメータであり、 T が絶対温度 (K) であり、 C は前記耐熱部材の材料定数であり、 t が前記耐熱部材の運転時間である。

[0008] 上述した課題を解決する第2の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法は、第1の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、前記等価平均運転温度推定工程は、前記耐熱部材の表面組織を転写したレプリカを作成し、前記レプリカに基づき炭化物画像を作成し、前記炭化物画像に基づき炭化物量を導出し、前記炭化物量と、予め作成された炭化物量とラーソンミラーパラメータとの相関線図であるマスターカーブとを用いて、現在のラーソンミラーパラメータを導出し、前記現在のラーソンミラーパラメータと前記耐熱部材の運転時間とに基づき、前記関係式(1)を用いて等価平均運転温度を推定することを特徴とする。

[0009] 上述した課題を解決する第3の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法は、第2の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、前記炭化物画像は、一次炭化物の画像である、または二次炭化物の画像である、または一次炭化物の画像および二次炭化物の画像であることを特徴とする。

[0010] 上述した課題を解決する第4の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法は、第2または第3の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、前記炭化物量は、炭化物の粒子個数密度または炭化物の面積率の少なくとも一方であることを特徴とする。

[0011] 上述した課題を解決する第5の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法は、第2から第4の何れか一つの発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、前記現在のラーソンミラーパラメータは、前記炭化物画像の代わりに、当該炭化物画像が二値化処理されて作成された炭化物二値化画像に基づき導出された炭化物量と前記マスターカーブとを用いて導出されることを特徴とする。

[0012] 上述した課題を解決する第6の発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法は、第1から第5の何れか一つの発明に係る耐熱部材の初期クリープ

強度推定方法であって、前記耐熱部材は、天然ガスの改質に用いられる触媒管であることを特徴とする。

- [0013] 上述した課題を解決する第7の発明に係る耐熱部材の残寿命推定方法は、耐熱部材の残寿命を推定する耐熱部材の残寿命推定方法であって、非破壊試験により現在の耐熱部材が運転中に受けた入熱をラーソンミラーパラメータとして導出し、前記現在の耐熱部材のラーソンミラーパラメータと、既知である運転時間とに基づき、以下の関係式(2)を用いて等価平均運転温度を推定し、前記等価平均運転温度と、第1から第5の何れか一つの発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法で導出された前記耐熱部材の初期クリープ強度と、既知である運転応力とに基づき、以下の関係式(2)を用いて全寿命を導出し、前記全寿命と前記耐熱部材の運転時間とに基づき残寿命を導出することを特徴とする。

$$LMP = T \times (C + \log(t)) / 1000 \quad (2)$$

LMPが現在の耐熱部材のラーソンミラーパラメータであり、Tが等価平均運転温度(絶対温度(K))であり、tが運転時間(全寿命)である。

- [0014] 上述した課題を解決する第8の発明に係る耐熱部材の残寿命推定方法は、第7の発明に係る耐熱部材の残寿命推定方法であって、前記耐熱部材は、天然ガスの改質に用いられる触媒管であることを特徴とする。

発明の効果

- [0015] 本発明によれば、比較的簡易な作業で耐熱部材の初期クリープ強度や残寿命を迅速に推定することができる。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]本発明の第一の実施形態に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法の手順を説明するためのフローチャートである。

[図2]前記耐熱部材の初期クリープ強度推定方法で用いるラーソンミラーパラメータと応力との関係を示すグラフである。

[図3]前記耐熱部材の残寿命を導出する手順の一例を説明するためのフローチャートである。

[図4]前記残寿命の導出手順で作成された炭化物量とラーソンミラーパラメータとの関係を示すグラフであって、図4（a）に炭化物の粒子個数密度とラーソンミラーパラメータとの関係を示し、図4（b）に炭化物の面積率とラーソンミラーパラメータとの関係を示す。

[図5]前記耐熱部材の初期クリープ強度推定方法の評価対象の一例である触媒管の概略図である。

[図6]本発明の第二の実施形態に係る耐熱部材の残寿命評価方法の手順を説明するためのフローチャートである。

[図7]本発明の実施例に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法の確認試験で作成されたラーソンミラーパラメータと応力との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法およびこの残寿命推定方法の実施形態を図面に基づいて説明するが、本発明は、図面に基づいて説明する以下の実施形態のみに限定されるものではない。

[0018] [第一の実施形態]

本発明の第一の実施形態に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法について、図1から図5に基づいて説明する。

本実施形態では、天然ガス改質器に設けられる複数のホットコレクタのそれぞれに連結される、たとえば、数100本から成る複数の触媒管に適用した場合について説明する。

[0019] 前記天然ガス改質器は、例えば、図5に示すように、触媒管本体11、ショートピース12、ピグテール13で構成される触媒管14を複数備える。触媒管本体11は、軸心が上下方向に延在するように立設配置されている。ショートピース12は、触媒管本体11の下端部に連結され、軸心が上下方向に延在するように立設配置されている。ピグテール13は、ショートピース12の下端部に連結され、触媒管本体11よりも小径をなし、屈曲配置されている。ピグテール13の他端部がホットコレクタ15に連結されている。

。ホットコレクタ 15 は、軸心が水平方向（図示例では紙面表裏方向）に延在するように配置されている。ホットコレクタ 15 には、触媒管 14 と左右対称の位置に図示しない触媒管のピグテール他端部が連結されている。さらに、ホットコレクタ 15 の軸心方向にて所定の間隔で当該ホットコレクタ 15 に連結される左右一対の触媒管が配置されている。天然ガス改質器には、複数の触媒管 14 が連結されたホットコレクタ 15 が複数配置されている。

[0020] 触媒管本体 11、ショートピース 12、ピグテール 13 は、例えば、H P-N b-T i（25 C r-35 N i-N b、T i）およびアロイ 800 H（F e-32 N i-20 C r）で構成されている。触媒管本体 11 は、導入された混合ガス（メタンガス、水蒸気）21 が反応して生成ガス（水素、水蒸気、一酸化炭素、二酸化炭素）22 を生成している。この生成ガス 22 は、ショートピース 12、ピグテール 13 を介してホットコレクタ 15 に流通している。

[0021] 触媒管本体 11 は、約 900℃以上の炉内に配置される。ショートピース 12 およびピグテール 13 は、炉外に配置されるものの、内部を約 900℃のガスが流通している。

[0022] 本実施形態に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法は、図 1 に示すように、耐熱部材クリープ試験（試験温度・応力における破断時間取得）工程 S1 と、耐熱部材の破断時ラーソンミラーパラメータ導出工程 S2 と、耐熱部材のクリープ強度線図取得工程 S3 と、等価平均運転温度推定工程 S4 と、残寿命導出工程 S5 と、全寿命導出工程 S6 と、全寿命ラーソンミラーパラメータ導出工程 S7 と、初期クリープ強度線図導出工程 S8 とを有する。

[0023] 耐熱部材クリープ試験工程 S1 にて、プラントから抜き取った触媒管本体 11（実機の経年耐熱部材）の破断時間が取得される。クリープ試験において、プラントから抜き取った触媒管本体 11 に対し所定の温度（例えば、900℃）で所定の応力（例えば、XMP a）を付加することで、当該触媒管本体 11 の破断に要した時間（実機の破断時間）が得られる。

[0024] 耐熱部材の破断時ラーソンミラーパラメータ導出工程 S 2 において、前記耐熱部材クリープ試験工程 S 1 にて前記破断時間を取得したときのラーソンミラーパラメータ（破断時ラーソンミラーパラメータ）が導出される。触媒管本体 1 1 が破断に要した時間（実機の破断時間）と、このときの温度（例えば、900℃）とに基づき、以下の関係式（3）を用いて、破断時ラーソンミラーパラメータが導出される。

[0025] ラーソンミラーパラメータ（LMP）は次式の関係を満たしている。

$$LMP = T \times (C + \log(t)) / 1000 \quad (3)$$

T は推定対象である触媒管本体 1 1 のクリープ試験時の温度（絶対温度（K））であり、C は推定対象である触媒管本体 1 1 の材料定数であり、t は推定対象である触媒管本体 1 1 の運転（使用）時間である。なお、前記耐熱部材の破断時ラーソンミラーパラメータ導出工程 S 2 では、前記 t として、前記耐熱部材クリープ試験工程 S 1 で取得された前記破断時間が用いられる。

[0026] 耐熱部材のクリープ強度線図取得工程 S 3 にて、破断時ラーソンミラーパラメータ（例えば、図 2 中のプロット）と、前記触媒管本体 1 1 の初期データであるラーソンミラーパラメータと応力との関係を示す設計クリープ強度線図（例えば、図 2 に示す直線 A の傾き）とに基づき、破断応力（クリープ試験工程 S 1 での試験条件（前記所定の応力））X での破断時ラーソンミラーパラメータ（例えば、図 2 に示す Y A）、すなわち、耐熱部材のクリープ強度線図が取得される。なお、前記破断応力 X として、設計時において触媒管本体 1 1 が破断する応力（設計応力）を用いることが好ましい。

[0027] 等価平均運転温度推定工程 S 4 にて、上述の試験をした触媒管本体 1 1 の等価平均運転温度が推定される。この等価平均運転温度の推定は、例えば、図 3 および図 4 に示す、等価平均運転温度推定方法を用いることが好ましい。この等価平均運転温度推定方法は、図 3 に示すように、レプリカ作成工程 S 1 1 と、炭化物画像作成工程 S 1 2 と、画像調整工程 S 1 3 と、炭化物量導出工程 S 1 4 と、現在のラーソンミラーパラメータ導出工程 S 1 5 と、等

価平均運転温度推定工程 S 1 6 とを有する。

[0028] レプリカ作成工程 S 1 1 では、従来のレプリカ法によりレプリカを作成する。このレプリカ作成工程 S 1 1 にて、触媒管本体 1 1 の表面組織を転写したレプリカを作成する。前記レプリカとして、フィルムを用いることが好ましい。なお、触媒管本体 1 1 の表面組織をレプリカに転写する前に、触媒管本体 1 1 に対し、研磨およびエッチングにより表面組織を現出させることが好ましい。

[0029] 炭化物画像作成工程 S 1 2 にて、レプリカ作成工程 S 1 1 で得られた触媒管本体 1 1 の表面組織が転写されたレプリカ（フィルム）から炭化物の画像（炭化物画像）が作成される。炭化物の画像は、一次炭化物の画像（一次炭化物画像）または二次炭化物の画像（二次炭化物画像）であることが好ましく、これら両方の画像であることがより好ましい。これは、詳細につき後述する触媒管本体 1 1 の使用温度の推定をより確実に行うことができるからである。各画像は、従来の画像編集ソフトウェアにより作成される。一次炭化物とは、凝固時にデンドライト境界に沿って晶出する炭化物である。二次炭化物とは、高温時効に伴って粒内に分散析出する析出物である。

[0030] 画像調整工程 S 1 3 にて、炭化物画像作成工程 S 1 2 で作成された炭化物画像を調整して炭化物の抽出が容易な画像が作成される。炭化物画像が一次炭化物画像である場合には、当該一次炭化物画像を調整して、一次炭化物を抽出が容易な画像が作成される。炭化物画像が二次炭化物画像である場合には、当該二次炭化物画像を調整して、二次炭化物を抽出が容易な画像が作成される。炭化物画像（一次炭化物画像、二次炭化物画像）を調整する方法として、二値化処理を用いることが好ましい。前記炭化物画像が一次炭化物画像である場合には、一次炭化物画像を二値化処理して一次炭化物二値化画像が作成される。前記炭化物画像が二次炭化物画像である場合には、二次炭化物画像を二値化処理して二次炭化物二値化画像が作成される。これにより、前記炭化物画像（一次炭化物画像、二次炭化物画像）を二値化処理して得られた炭化物二値化画像（一次炭化物二値化画像、二次炭化物二値化画像）か

ら炭化物（一次炭化物、二次炭化物）の抽出が容易になる。

[0031] 炭化物量導出工程 S 1 4 は、画像調整工程 S 1 3 で得られた画像に基づき炭化物量が導出される。画像調整工程 S 1 3 で得られた画像が一次炭化物二値化画像である場合には、当該一次炭化物二値化画像に基づき一次炭化物量が導出される。画像調整工程 S 1 3 で得られた画像が二次炭化物二値化画像である場合には、当該二次炭化物二値化画像に基づき二次炭化物量が導出される。画像調整工程 S 1 3 で得られた画像が一次炭化物二値化画像および二次炭化物二値化画像である場合には、当該一次炭化物二値化画像に基づき一次炭化物量が導出されると共に、当該二次炭化物二値化画像に基づき二次炭化物量が導出される。炭化物量として、画像調整工程 S 1 3 で得られた画像を画像解析し炭化物の個数を計測し単位面積当たりで換算して得られる炭化物の粒子個数密度や、画像調整工程 S 1 3 で得られた画像を画像解析し炭化物の面積を計測し単位面積当たりで換算して得られる炭化物の面積率を用いることが好ましく、前記炭化物の粒子個数密度および前記炭化物の面積率の両方を用いることがより好ましい。

[0032] 現在のラーソンミラーパラメータ導出工程 S 1 5 にて、予め作成された、ラーソンミラーパラメータと炭化物量（炭化物の粒子個数密度、炭化物の面積率）の相関線図（マスターカーブ）を用いて、炭化物量導出工程 S 1 4 で得られた炭化物量（炭化物の粒子個数密度、炭化物の面積率）に相当する現在のラーソンミラーパラメータを取得する。なお、前記炭化物量として、上述した一次炭化物量や二次炭化物量であることが好ましい。

[0033] 例えば、炭化物量導出工程 S 1 4 で得られた炭化物量が炭化物の粒子個数密度である場合、予め作成された、ラーソンミラーパラメータと炭化物の粒子個数密度の相関線図（マスターカーブ）を用いて、図 4（a）に示すように、炭化物量導出工程 S 1 4 で得られた炭化物の粒子個数密度に相当する現在のラーソンミラーパラメータを取得する。炭化物量導出工程 S 1 4 で得られた炭化物量が炭化物の面積率である場合、予め作成された、ラーソンミラーパラメータと炭化物の面積率の相関線図（マスターカーブ）を用いて、図

4 (b) に示すように、炭化物量導出工程 S 1 4 で得られた炭化物の面積率に相当する現在のラーソンミラーパラメータを取得する。

[0034] 等価平均運転温度推定工程 S 1 6 にて、上述の関係式 (3) を用いて、現在のラーソンミラーパラメータ導出工程 S 1 5 で得られた現在のラーソンミラーパラメータと既知の運転時間とに基づき、当該関係式 (3) 中の前記 T が等価平均運転温度として推定 (導出) される。前記既知の運転時間は、前記触媒管本体 1 1 が前記プラントでの運転時間に相当する。なお、等価平均運転温度推定工程 S 1 6 においては、前記現在のラーソンミラーパラメータが前記関係式 (3) の L M P に代入され、前記既知の運転時間が前記関係式 (3) の t に代入されることになる。

[0035] 残寿命導出工程 S 5 にて、上述した触媒管本体 1 1 の残寿命が導出される。耐熱部材のクリープ強度線図取得工程 S 3 で取得した前記耐熱部材のクリープ強度線図と前記等価平均運転温度推定工程 S 4 (S 1 6) で導出した等価平均運転温度とに基づき上述の関係式 (3) により、運転 (使用) 時間 t が求められる。この運転時間 t が残寿命に相当することになる。よって、前記耐熱部材のクリープ強度線図と前記等価平均運転温度とに基づき上述の関係式 (3) により、触媒管本体 1 1 の残寿命が導出される。

[0036] 全寿命導出工程 S 6 にて、上述した触媒管本体 1 1 の全寿命が導出される。残寿命導出工程 S 5 で得られた残寿命と、上述の触媒管本体 1 1 の運転 (使用) 時間とに基づき、これらの和を求めることにより、上述した触媒管本体 1 1 の全寿命が導出される。

[0037] 全寿命ラーソンミラーパラメータ導出工程 S 7 にて、上述の関係式 (3) を用いて、全寿命導出工程 S 6 で得られた全寿命と、前記等価平均運転温度推定工程 S 4 (S 1 6) で推定された等価平均運転温度とに基づき、全寿命ラーソンミラーパラメータ (例えば、図 2 に示す Y B) が導出される。

[0038] 初期クリープ強度線図導出工程 S 8 にて、前記全寿命ラーソンミラーパラメータ導出工程 S 7 で導出された触媒管本体 1 1 の全寿命ラーソンミラーパラメータに基づき、触媒管本体 1 1 の初期クリープ強度が導出される。耐熱

部材のクリープ強度線図取得工程 S 3 で用いた、前記触媒管本体 1 1 の初期データであるラーソンミラーパラメータと応力との関係を示す設計クリープ強度線図（例えば、図 2 に示す直線 A の傾き）を用い、全寿命ラーソンミラーパラメータ導出工程 S 7 で導出した全寿命ラーソンミラーパラメータ（例えば、図 2 に示す Y B）に基づき、初期クリープ強度線図（例えば、図 2 に示す直線 B）を導出することが好ましい。

[0039] したがって、本実施形態によれば、実機で使われた耐熱部材（経年耐熱部材）である触媒管本体 1 1 の破断時間を取得し、破断時ラーソンミラーパラメータを導出し、破断時ラーソンミラーパラメータと前記設計クリープ強度線図とに基づき触媒管本体 1 1 のクリープ強度線図を取得し、非破壊試験により等価平均運転温度を推定し、前記触媒管本体 1 1 のクリープ強度線図と前記等価平均運転温度とに基づき前記関係式（3）により残寿命を導出し、この残寿命と前記触媒管本体 1 1 の実機での運転時間とを合計して全寿命を導出し、前記関係式（3）を用いて、前記全寿命と前記等価平均運転温度とに基づき全寿命ラーソンミラーパラメータを導出し、この全寿命ラーソンミラーパラメータに基づき、前記設計クリープ強度線図を用いることで初期クリープ強度線図を導出することができる。よって、比較的簡易な作業で耐熱部材の初期クリープ強度を迅速に推定することができる。

[0040] レプリカ作成工程 S 1 1 で得られたレプリカから炭化物画像を作成し、必要に応じて画像調整（例えば、二値化処理）し、前記画像から炭化物量を導出し、導出した炭化物量と予め作成された、炭化物量とラーソンミラーパラメータとの相関線図であるマスターカーブとを用いてラーソンミラーパラメータを導出し、導出したラーソンミラーパラメータと運転（使用）時間に基づき、ラーソンミラーパラメータと絶対温度（等価平均運転温度）と運転（使用）時間との関係式（3）を用いて、運転中（使用中）の等価平均運転温度を導出することができる。これにより、従来、不明であった運転温度を非破壊で、かつ比較的簡易な作業で推定することができる。また、運転中に温度変動があったとしても、等価平均運転温度を導出することができることか

ら、この等価平均運転温度に基づき、クリープ変形を考慮した耐熱部材の初期クリープ強度を推定することができる。

[0041] 前記炭化物画像が、一次炭化物の画像、二次炭化物の画像、またはこれら両方の画像であることにより、炭化物量を確実に導出することができ、比較的簡易な作業で触媒管本体 11 の使用温度をより確実に推定することができる。

[0042] 前記耐熱部材は、天然ガスの改質に用いられる触媒管であることにより、比較的簡易な作業で触媒管の初期クリープ強度を確実に推定することができる。

[0043] [第二の実施形態]

本発明の第二の実施形態に係る耐熱部材の残寿命推定方法について、図 3、図 4 および図 6 に基づいて説明する。

本実施形態では、上述した耐熱部材の初期クリープ推定方法と重複する説明を適宜省略する。

本実施形態に係る耐熱部材の寿命推定方法では、上述した耐熱部材の初期クリープ強度推定方法と同様、天然ガス改質器に設けられる複数のホットコレクタのそれぞれに連結される、たとえば、数 100 本から成る複数の触媒管に適用した場合について説明する。

[0044] 本実施形態に係る耐熱部材の残寿命推定方法は、図 6 に示すように、現在のラーソンミラーパラメータ導出工程 S 21 と、等価平均運転温度推定工程 S 22 と、全寿命導出工程 S 23 と、残寿命導出工程 S 24 とを有する。

[0045] 現在のラーソンミラーパラメータ導出工程 S 21 にて、非破壊試験により運転中のプラントに実装されている触媒管本体 11 が運転中に受けた入熱をラーソンミラーパラメータとして導出される。現在のラーソンミラーパラメータは、例えば、図 3 に示し上述した等価平均運転温度の推定手順における工程 S 11 ～ S 15 を用いて導出することが好ましい。すなわち、現在のラーソンミラーパラメータは、レプリカ作成工程 S 11 と、炭化物画像作成工程 S 12 と、画像調整工程 S 13 と、炭化物量導出工程 S 14 と、現在のラ

ーソンミラーパラメータ導出工程 S 1 5 とを経て導出することが好ましい。

[0046] 等価平均運転温度推定工程 S 2 2 にて、上述した触媒管本体 1 1 の等価平均運転（使用）温度が推定される。触媒管本体 1 1 の等価平均運転温度は、前記現在のラーソンミラーパラメータ導出工程 S 2 1 で導出された現在のラーソンミラーパラメータと、上述したプラントでの運転時間とに基づき、上述の関係式（3）により導出することが好ましい。

[0047] 全寿命導出工程 S 2 3 にて、上述した触媒管本体 1 1 の全寿命が導出される。触媒管本体 1 1 の全寿命は、例えば、等価平均運転温度推定工程 S 2 2 で推定された等価平均運転温度と、実機の触媒管本体 1 1 の初期クリープ強度と、既知である運転応力とに基づき、上述の関係式（3）により導出することが好ましい。触媒管本体 1 1 の初期クリープ強度は、例えば、上述した第一の実施形態に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法で導出することが好ましい。

[0048] 残寿命導出工程 S 2 4 にて、上述した触媒管本体 1 1 の残寿命が導出される。触媒管本体 1 1 の残寿命は、全寿命導出工程 S 2 3 で導出された全寿命と、上述した触媒管本体 1 1 の運転（使用）時間とに基づき、これらの差を求めることにより導出される。

[0049] したがって、本実施形態によれば、運転中のプラントに実装される触媒管本体 1 1 の初期クリープ強度が既知であるときに、非破壊試験により導出された現在のラーソンミラーパラメータと前記触媒管本体 1 1 の使用（運転）時間とに基づき上述の関係式（3）により等価平均運転温度を推定し、この等価平均運転温度と前記初期クリープ強度と、既知である運転応力とに基づき全寿命を導出し、全寿命と前記触媒管本体 1 1 の使用（運転）時間に基づき当該触媒管本体 1 1 の残寿命を導出することができる。よって、比較的簡易な作業で耐熱部材の残寿命を迅速に推定することができる。

[0050] [他の実施形態]

なお、上記では、1つの耐熱部材である触媒管本体 1 1 を運用中のプラントから抜き出し、これについて実機の破断応力を取得することで初期クリー

プ強度を得る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法について説明したが、複数の耐熱部材である触媒管本体 11 を運用中のプラントから抜き出し、これらについて実機の破断応力を取得することで初期クリープ強度を得る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法とすることも可能である。この場合、耐熱部材のクリープ強度線図取得工程 S3 で最下限値を取得することで、最終的に導出される耐熱部材の初期クリープ強度を低く推定することができ、運用中のプラントに実装される触媒管本体の安全性をより確実に担保することができる。

[0051] 上記では、画像調整工程 S13 で得られた画像に基づき炭化物量を導出する場合について説明したが、炭化物画像作成工程 S12 で作成された炭化物画像（例えば、一次炭化物画像、二次炭化物画像）に基づき炭化物量を導出することも可能である。

[0052] なお、前記ラーソンミラーパラメータ導出工程 S15, S21 において、ラーソンミラーパラメータと炭化物の粒子個数密度または炭化物の面積率との相関線図（マスターカーブ）は、1つの炭化物の粒子個数密度または炭化物の面積率が2つ以上のラーソンミラーパラメータを示す場合には、ラーソンミラーパラメータをそれぞれ導出することが好ましい。これは、導出したラーソンミラーパラメータを用いることで、運転中（使用中）の推定等価平均温度の範囲を導出でき、この温度範囲に基づき、クリープ変形を考慮した耐熱部材の余寿命を評価することができるからである。

[0053] 上記では、初期クリープ強度や残寿命の推定対象を触媒管とした場合について説明したが、高温保持すると組織中の一次炭化物および二次炭化物の形態が変化する耐熱部材の初期クリープ強度推定やこの残寿命推定に適用することも可能である。このような場合であっても、上述の耐熱部材の初期クリープ強度推定方法やこの残寿命推定方法と同様な作用効果を奏する。

実施例

[0054] 本発明に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法の作用効果を確認するために行なった実施例を以下に説明するが、本発明は、各種データに基づい

て説明する以下の実施例のみに限定されるものではない。

[0055] [確認試験]

本試験において、上述した実施形態に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法の手順にて、耐熱部材である触媒管本体の初期クリープ強度を導出した。なお、基準応力値 S_1 を 15.6 MPa とした。

[0056] 試験体 1 に関し、図 1 に示し上述した耐熱部材クリープ試験（試験温度・応力における破断時間取得）工程 S_1 および耐熱部材の破断時ラーソンミラーパラメータ導出工程 S_2 にて、実機の破断時間が取得されると共に、破断時ラーソンミラーパラメータが導出される。この作業を複数（6 回）行うことにより、図 7 に示すように、ラーソンミラーパラメータと応力との関係を示すグラフにて、6 つのプロットが得られる。ここで、初期クリープ強度は、耐熱部材である触媒管本体の全寿命と関わりがあり、前記触媒管本体の初期データであるラーソンミラーパラメータと応力との関係を示す設計クリープ強度線図（直線 L_1 の傾き）にて、応力とラーソンミラーパラメータとが反比例する関係にある。そのため、試験体 1 においては、耐熱部材のクリープ強度線図取得工程 S_3 において、図 7 にて、 Z_1 と、前記直線 L_1 の傾きと、破断応力値 S_1 (15.6 MPa) とに基づき、 P_1 ($\text{LMP} : 33.2$) が導出される。

[0057] 続いて、図 1 および図 3 に示し上述した等価平均運転温度推定工程 S_4 （工程 $S_{11} \sim S_{16}$ ）にて等価平均運転温度 (1019°C) が推定され、残寿命導出工程 S_5 にて残寿命 (625 時間) が導出される。そして、実機での運転時間 (22277 時間) に基づき、図 1 に示し上述した全寿命導出工程 S_6 にて全寿命 (22902 時間) が導出される。次に、図 1 に示し上述した全寿命ラーソンミラーパラメータ導出工程 S_7 にて、上述の関係式 (3) を用い、前記全寿命と前記等価平均運転温度とに基づき、全寿命ラーソンミラーパラメータ P_{1a} ($\text{LMP} : 35.2$) が導出される。次に、図 1 に示し上述した初期クリープ強度線図導出工程 S_8 にて、全寿命ラーソンミラーパラメータ P_{1a} と設計クリープ強度線図（直線 L_1 の傾き）とを用いて

初期クリープ強度線図L 1 aが導出される。

[0058] 試験体2においても、上述した試験体1と同様にして、Z 2と、前記直線L 2の傾きと、破断応力値S 1 (15.6 MPa)とに基づき、P 2 (LMP : 34.4)が導出される。続いて、等価平均運転温度(975℃)が導出されると共に、残寿命(46108時間)が導出される。そして、実機での運転時間(22277時間)に基づき、全寿命(68385時間)が導出される。上述の関係式(3)を用い、前記全寿命と前記等価平均運転温度とに基づき、全寿命ラーソンミラーパラメータP 2 a (LMP : 34.6)が導出される。次に、全寿命ラーソンミラーパラメータP 2 aに基づき、設計クリープ強度線図(直線L 2の傾き)を用いて初期クリープ強度線図L 2 aが導出される。

[0059] 試験体3においても、上述した試験体1と同様にして、Z 3と、前記直線L 3の傾きと、破断応力値S 1 (15.6 MPa)とに基づき、P 3 (LMP : 34.8)が導出される。続いて、等価平均運転温度(901℃)が導出されると共に、残寿命(5521120時間)が導出される。そして、実機での運転時間(22277時間)に基づき、全寿命(5543397時間)が導出される。上述の関係式(3)を用い、前記全寿命と前記等価平均運転温度とに基づき、全寿命ラーソンミラーパラメータP 3 a (LMP : 34.8)が導出される。次に、全寿命ラーソンミラーパラメータP 3 aに基づき、設計クリープ強度線図(直線L 3の傾き)を用いて初期クリープ強度線図L 3 aが導出される。

[0060] このように、図1、図3および図4に示し上述した第一の実施形態に係る耐熱部材の初期クリープ強度推定方法によれば、試験体1, 2, 3の初期クリープ強度を推定できることが明らかとなった。

符号の説明

[0061] 11 触媒管本体、12 ショートピース、13 ピグテール、14 触媒管、15 ホットコレクタ、21 混合ガス(H₂O, CH₄)、22 生成ガス(H₂, H₂O, CO, CO₂)

請求の範囲

[請求項1]

耐熱部材の初期クリープ強度を推定する方法であって、

前記耐熱部材を所定の温度および応力でクリープ試験を行って破断時間を取得する破断時間取得工程と、

前記耐熱部材の破断時間と前記所定の温度とに基づき、以下の関係式（１）を用いて破断時ラーソンミラーパラメータを導出する破断時ラーソンミラーパラメータ導出工程と、

前記破断時ラーソンミラーパラメータと、前記耐熱部材における応力とラーソンミラーパラメータとの関係を示す設計クリープ強度線図とに基づき、前記耐熱部材のクリープ強度線図を取得する耐熱部材のクリープ強度線図取得工程と、

前記耐熱部材の炭化物状態から等価平均運転温度を推定する等価平均運転温度推定工程と、

前記耐熱部材のクリープ強度線図と、前記等価平均運転温度とに基づき、以下の関係式（１）を用いて前記耐熱部材の残寿命を導出する残寿命導出工程と、

前記耐熱部材の残寿命と、前記耐熱部材の運転時間とに基づき前記耐熱部材の全寿命を導出する全寿命導出工程と、

前記耐熱部材の全寿命と前記等価平均運転温度とに基づき、以下の関係式（１）を用いて全寿命ラーソンミラーパラメータを導出する全寿命ラーソンミラーパラメータ導出工程と、

前記全寿命ラーソンミラーパラメータに基づき、前記設計クリープ強度線図を用いて、前記耐熱部材の初期クリープ強度線図を導出する初期クリープ強度線図導出工程と

を有する、ことを特徴とする耐熱部材の初期クリープ強度推定方法。

$$LMP = T \times (C + \log(t)) / 1000 \quad (1)$$

LMPがラーソンミラーパラメータであり、Tが絶対温度（K）であり、Cは前記耐熱部材の材料定数であり、tが前記耐熱部材の運転

時間である。

[請求項2] 請求項1に記載された耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、

前記等価平均運転温度推定工程は、前記耐熱部材の表面組織を転写したレプリカを作成し、前記レプリカに基づき炭化物画像を作成し、前記炭化物画像に基づき炭化物量を導出し、前記炭化物量と、予め作成された炭化物量とラーソンミラーパラメータとの相関線図であるマスターカーブとを用いて、現在のラーソンミラーパラメータを導出し、前記現在のラーソンミラーパラメータと前記耐熱部材の運転時間とに基づき、前記関係式(1)を用いて等価平均運転温度を推定することを特徴とする耐熱部材の初期クリープ強度推定方法。

[請求項3] 請求項2に記載された耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、

前記炭化物画像は、一次炭化物の画像、二次炭化物の画像、またはこれら両方の画像であることを特徴とする耐熱部材の初期クリープ強度推定方法。

[請求項4] 請求項2または請求項3に記載された耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、

前記炭化物量は、炭化物の粒子個数密度または炭化物の面積率の少なくとも一方であることを特徴とする耐熱部材の初期クリープ強度推定方法。

[請求項5] 請求項2から請求項4の何れか一項に記載された耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、

前記現在のラーソンミラーパラメータは、前記炭化物画像の代わりに、当該炭化物画像が二値化処理されて作成された炭化物二値化画像に基づき導出された炭化物量と前記マスターカーブとを用いて導出される

ことを特徴とする耐熱部材の初期クリープ強度推定方法。

[請求項6] 請求項1から請求項5の何れか一項に記載された耐熱部材の初期クリープ強度推定方法であって、

前記耐熱部材は、天然ガスの改質に用いられる触媒管であることを特徴とする耐熱部材の初期クリープ強度推定方法。

[請求項7] 耐熱部材の残寿命を推定する耐熱部材の残寿命推定方法であって、非破壊試験により現在の耐熱部材が運転中に受けた入熱をラーソンミラーパラメータとして導出し、

前記現在の耐熱部材のラーソンミラーパラメータと、既知である運転時間とに基づき、以下の関係式(2)を用いて等価平均運転温度を推定し、

前記等価平均運転温度と、請求項1から請求項5の何れか一項に記載された耐熱部材の初期クリープ強度推定方法で導出された前記耐熱部材の初期クリープ強度と、既知である運転応力とに基づき、以下の関係式(2)を用いて全寿命を導出し、

前記全寿命と前記耐熱部材の運転時間とに基づき残寿命を導出することを特徴とする耐熱部材の残寿命推定方法。

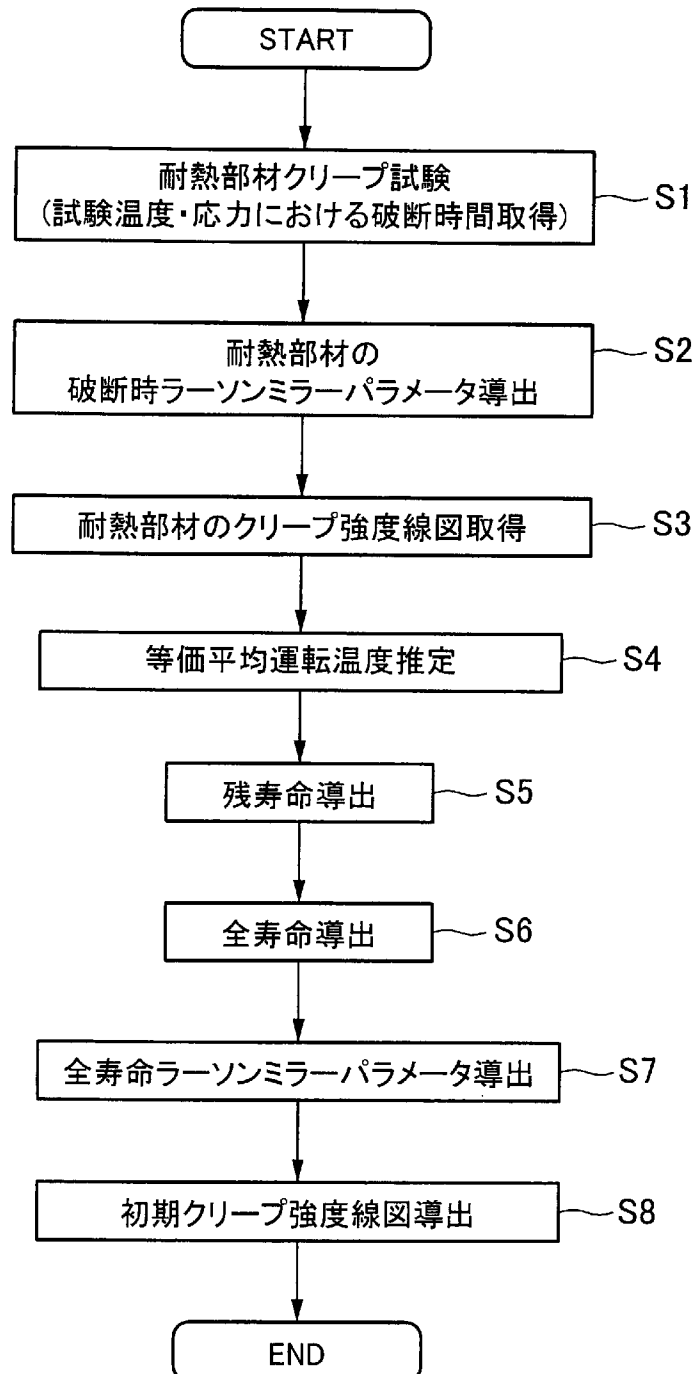
$$LMP = T \times (C + \log(t)) / 1000 \quad (2)$$

LMPが現在の耐熱部材のラーソンミラーパラメータであり、Tが等価平均運転温度(絶対温度(K))であり、tが運転時間(全寿命)である。

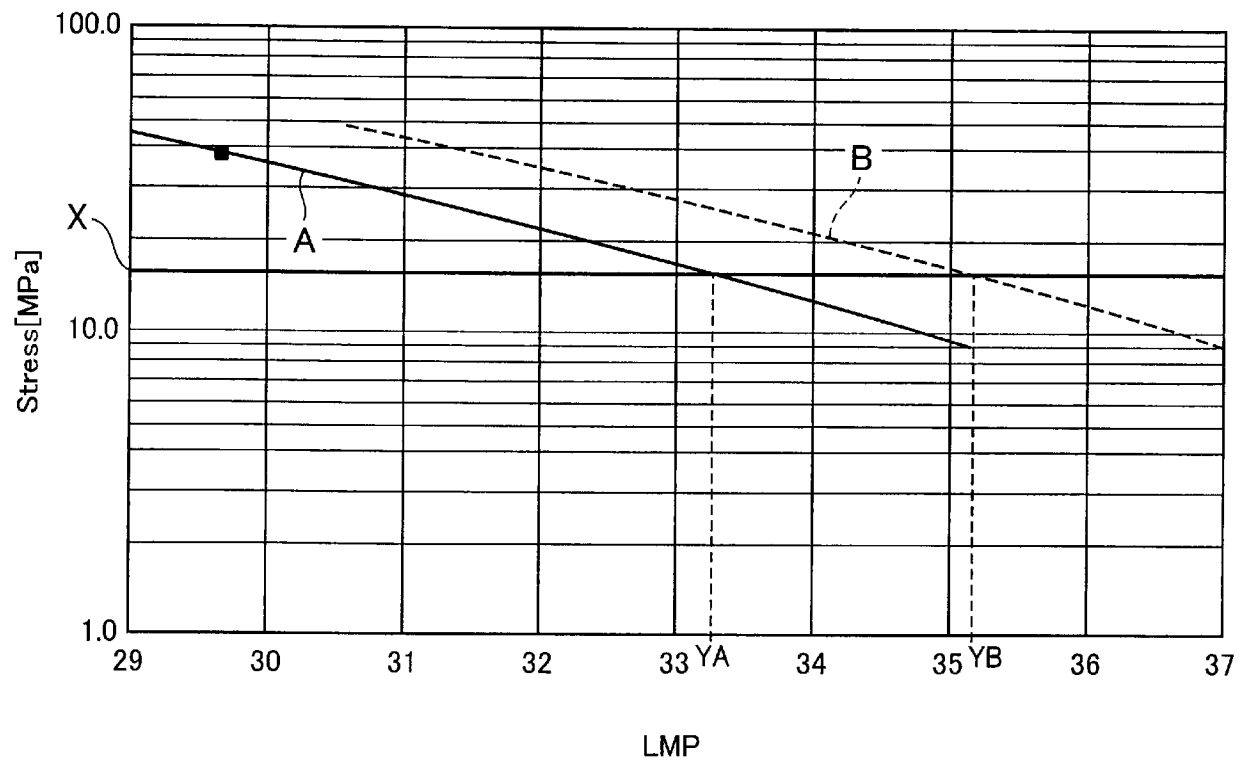
[請求項8] 請求項7に記載された耐熱部材の残寿命推定方法であって、

前記耐熱部材は、天然ガスの改質に用いられる触媒管であることを特徴とする耐熱部材の残寿命推定方法。

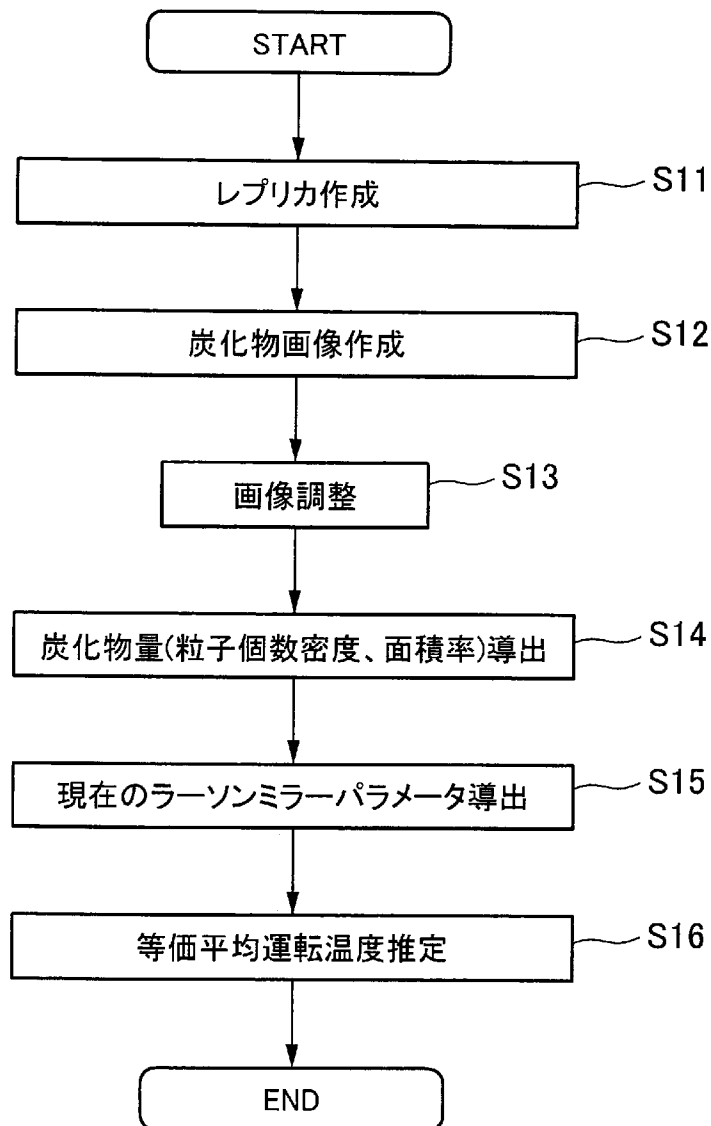
[図1]



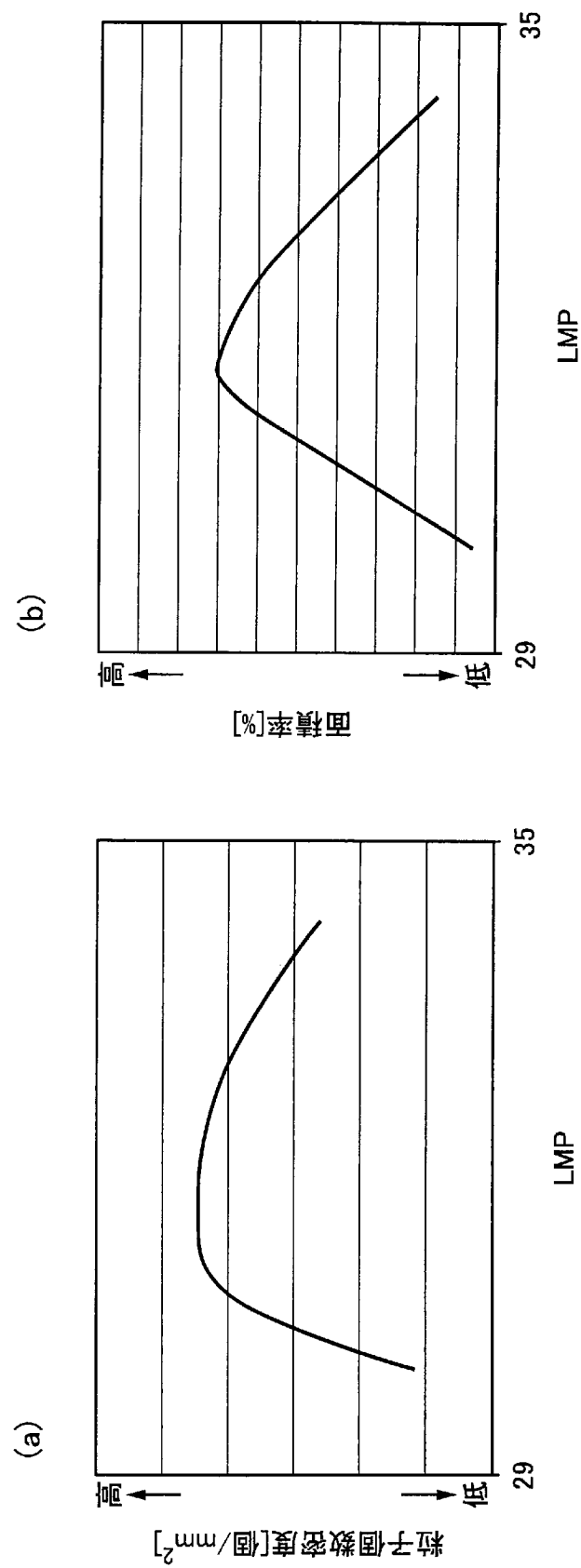
[図2]



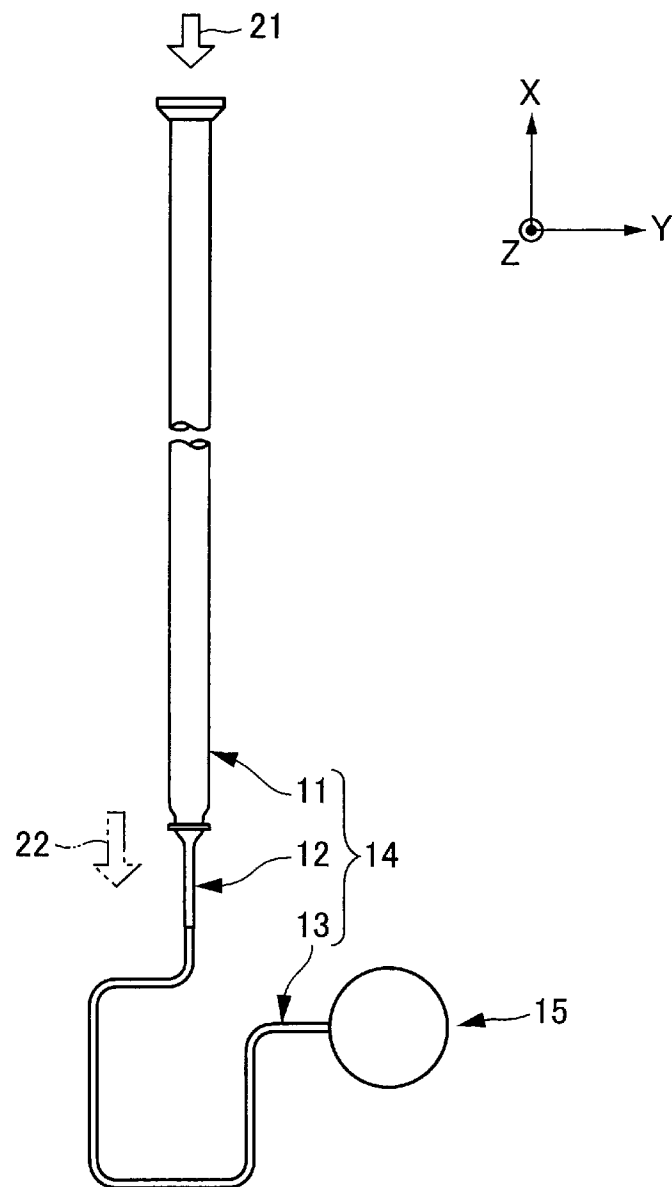
[図3]



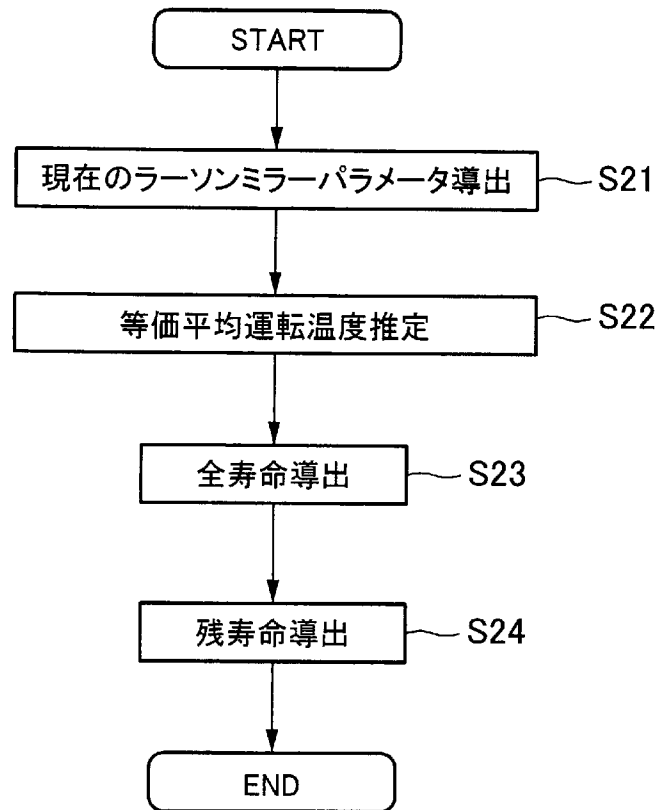
[図4]



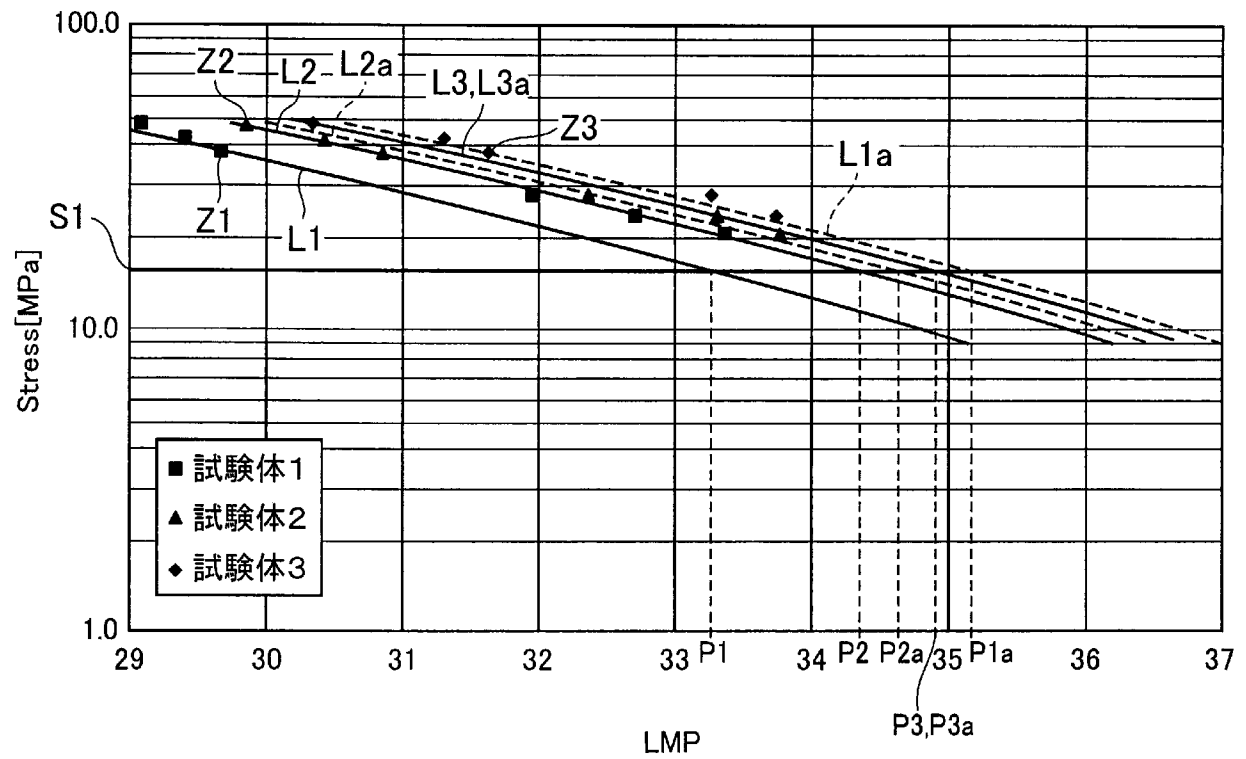
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/084237

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N17/00(2006.01)i, G01N3/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N17/00, G01N3/00

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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 2012-145538 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 02 August 2012 (02.08.2012), claims; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2001-305067 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 31 October 2001 (31.10.2001), claims; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 04-286935 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 12 October 1992 (12.10.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1-8

☒ 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
10 February 2016 (10.02.16)

Date of mailing of the international search report
23 February 2016 (23.02.16)

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/JP2015/084237

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-071633 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 22 March 2007 (22.03.2007), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2008-180735 A (Toshiba Corp.), 07 August 2008 (07.08.2008), claims; all drawings & US 2002/0013643 A1 claims 1 to 68; fig. 1 to 14	1-8
A	JP 2013-057546 A (Toshiba Corp.), 28 March 2013 (28.03.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 09-257788 A (The Japan Steel Works, Ltd.), 03 October 1997 (03.10.1997), entire text (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N17/00(2006.01)i, G01N3/00(2006.01)i

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））

Int.Cl. G01N17/00, G01N3/00

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

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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 2012-145538 A（三菱重工業株式会社）2012.08.02, [特許請求の範囲], 全図（ファミリーなし）	1-8
A	JP 2001-305067 A（三菱重工業株式会社）2001.10.31, [特許請求の範囲], 全図（ファミリーなし）	1-8
A	JP 04-286935 A（石川島播磨重工業株式会社）1992.10.12, 全文全図（ファミリーなし）	1-8

☒ 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。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「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

「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）

「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

「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「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

「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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.02.2016

国際調査報告の発送日

23.02.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

渡邊 勇

2 J

3 0 1 2

電話番号 03-3581-1101 内線 3252

C (続き) . 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 2007-071633 A (石川島播磨重工業株式会社) 2007. 03. 22, 全文全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2008-180735 A (株式会社東芝) 2008. 08. 07, [特許請求の範囲], 全図 & US 2002/0013643 A1, Claims1-68, Fig. 1-14	1-8
A	JP 2013-057546 A (株式会社東芝) 2013. 03. 28, 全文全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 09-257788 A (株式会社日本製鋼所) 1997. 10. 03, 全文 (ファミリーなし)	1-8