

(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  
2015年7月23日(23.07.2015)



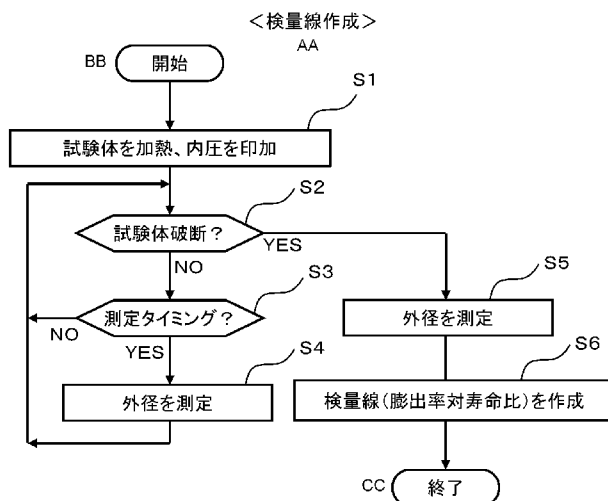
(10) 国際公開番号  
**WO 2015/107652 A1**

- (51) 国際特許分類:  
**G01N 17/00** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/050681
- (22) 国際出願日: 2014年1月16日(16.01.2014)
- (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: 中国電力株式会社 (THE CHUGOKU ELECTRIC POWER CO., INC.) [JP/JP]; 〒7308701 広島県広島市中区小町4番33号 Hiroshima (JP).
- (72) 発明者: 西田 秀高 (NISHIDA, Hidetaka); 〒7308701 広島県広島市中区小町4番33号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 松村 栄郎 (MATSUMURA, Hideo); 〒7308701 広島県広島市中区小町4番33号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 森下 啓司 (MORISHITA, Keiji); 〒7308701 広島県広島市中区小町4番33号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP). 荒川 大輔 (ARAKAWA, Daisuke); 〒7308701 広島県広島市中区小町4番33号 中国電力株式会社内 Hiroshima (JP).
- (74) 代理人: 一色国際特許業務法人 (ISSHIKI & CO.); 〒1050004 東京都港区新橋2丁目12番7号 労金新橋ビル 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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.
- (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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシヤ (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).

[続葉有]

(54) Title: ESTIMATION METHOD USING CALIBRATION CURVE OF REMAINING LIFESPAN OF TUBING HAVING BAINITE STRUCTURE

(54) 発明の名称: ベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法



- S1 Subject sample to heat and pressure  
S2 Sample breakage?  
S3 Measurement timing?  
S4, S5 Measure outer diameter  
S6 Create calibration curve (ratio of expansion rate to lifespan)  
AA <Calibration curve creation>  
BB Start  
CC End

(57) Abstract: The objective of the present invention is to estimate the remaining lifespan of tubing having a bainite structure. The present invention is an estimation method that uses a calibration curve of the remaining lifespan of cylindrical tubing having a bainite structure and that incurs creep failure as a result of heating and pressurization. A hollow sample (10) of the same material as the tubing is subjected to heat and pressure, the outer diameter is measured, and the outer diameter is measured a plurality of instances at pre-determined times in order to create a calibration curve indicating the relationship between the expansion rate in the diametral direction of the sample (10) and the remaining lifespan of the sample (10). Afterwards, the outer diameter of the tubing is measured, and the remaining lifespan of the tubing is estimated on the basis of the aforementioned calibration curve and the expansion rate in the diametral direction of the tubing.

(57) 要約: 本発明の目的は、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を推定することにある。本発明は、加熱及び加圧によりクリープ損傷を受ける、ベイナイト組織を有する円筒形状の配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法である。本発明では、材質が配管と同一の、中空の試験体10に熱及び内圧を加えて外径を測定し、所定時間において外径の測定を複数回行うことにより、試験体10の直径方向の膨出率と試験体10の余寿命との関係を示す検量線を作成する。その後、配管の外径を測定し、配管の直径方向の膨出率と前述

の検量線とに基づき、配管の余寿命を推定する。



---

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

発明の名称：

ベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法に関する。

### 背景技術

[0002] 火力発電設備や原子力発電設備等において用いられる動力用蒸気配管などの金属配管は、長期間に渡って高温・高圧条件におかれることから、徐々に塑性変形が進み、クリープ寿命に達すると破断してしまう。従って、火力発電設備や原子力発電設備を安全かつ経済的に運転するためには、クリープ余寿命を的確に予測することが求められる。

[0003] 金属配管の余寿命を推定する方法としては、クリープ損傷の進行と余寿命との関係を表す検量線を作成しておき、これに基づいて余寿命を推定する方法が知られている。例えば特許文献1には、蒸気配管のベンド部（最大損傷部位）前後の複数の位置において変形量を測定することによりベンド部に働く曲げモーメントを計算し、予め求めてある配管のベンド部の曲げモーメントとクリープ損傷との関係から、ベンド部のクリープ損傷を求めることが記載されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特開2003-232719号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] ただ、クリープ損傷のメカニズムは金属組織によって異なっている。特に、炭素鋼を所定条件下で冷却した場合にのみ得られるベイナイト組織を有する鉄鋼配管については、その損傷メカニズムがよく分かっておらず、確立さ

れた余寿命の推定方法がない。そのため、適切な配管の補修、交換タイミングを知ることが難しくなっている。

[0006] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0007] 本発明者らは、ベイナイト組織を有する配管のクリープ損傷のメカニズムについて研究を重ねた結果、ベイナイト組織を有する配管は加熱及び加圧によって直径方向に膨出し、この膨出率が余寿命判断の適切な指標になり得ること、また、ベイナイト組織を有する配管に亀裂が発生している場合はその亀裂の最大の長さが余寿命と相関関係にあることを見出し、本発明を完成するに至った。

[0008] すなわち、本発明は、加熱及び加圧によりクリープ損傷を受ける、ベイナイト組織を有する円筒形状の配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法であって、材質が前記配管と同一の、中空の試験体に熱及び内圧を加えて外径を測定し、所定時間をおいて前記外径の測定を複数回行うことにより、前記試験体の直径方向の膨出率と前記試験体の余寿命との関係を示す検量線を作成し、前記配管の外径を測定することで、前記配管の直径方向の膨出率を求め、前記配管の膨出率と前記検量線とに基づき、前記配管の余寿命を推定することを特徴とする。

[0009] また、本発明の他の一つは、前記試験体の外径は、異なる方向から複数回測定された外径の最大値であり、前記配管の外径は、異なる方向から複数回測定された前記配管の外径の最大値であることを特徴とする。

[0010] ベイナイト組織を有する配管では、外径が大きいほどクリープ損傷が進行していると考えられる。そこで、異なる方向から複数回測定した測定値のうち最大値を外径の値とすることで、クリープ損傷による寿命時期を正確に予測することができる。

[0011] また、本発明の他の一つは、前記試験体の膨出率は、前記熱及び内圧を加

える前の前記試験体の外径に対する、前記熱及び内圧を加えた後の前記試験体の外径の比であることを特徴とする。

[0012] このように、配管の試験体の膨出率を、熱及び内圧を加える前の外径に対する、加えた後の外径の比とすることにより、配管の初期外径の長さに依存しないパラメータが得られる。したがって、このようなパラメータに基づき作成した検量線は、試験体とサイズの異なる（外径の異なる）配管の余寿命推定にも用いることができ、例えば試験体より大型の実機に対してもこの検量線を適用することができる。

[0013] また、本発明の他の一つは、前記試験体の外径を測定する際には、前記試験体に亀裂が発生しているか否かも判定し、亀裂が発生していると判定した場合には、前記発生している亀裂のうち最大の長さを有する亀裂の長さを測定し、測定した前記試験体の亀裂の長さとは前記試験体の余寿命との関係を示す他の検量線を作成し、前記配管の外径を測定する際には、前記配管に亀裂が発生しているか否かも判定し、亀裂が発生していると判定した場合には、前記配管に存在する亀裂のうち最大の長さを有する亀裂の長さを測定し、測定した前記配管の亀裂の長さとは前記他の検量線とに基づき、前記配管の余寿命を推定することを特徴とする。

[0014] このように、試験体について最大の亀裂の長さと余寿命との関係を表す検量線を作成しておき、配管に亀裂が発生している場合は、上記の検量線と、配管の最大亀裂長さの測定値とに基づき配管の余寿命を推定することで、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を正確に推定することができる。

### 発明の効果

[0015] 本発明によれば、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定することができる。

### 図面の簡単な説明

[0016] [図1A]試験体10に内圧クリープ試験を行うことにより検量線を作成する手順を示すフローチャートである。

[図1B]検量線に基づき配管の余寿命を推定する手順を示すフローチャートで

ある。

[図2]試験体 10 の構成を説明する図である。

[図3]内圧クリープ試験の試験条件を説明する図である。

[図4]外径の測定結果及び膨出率の算出結果を示す図である。

[図5]膨出率と寿命比の関係を表す検量線のグラフである。

[図6]実機の配管の外径の測定箇所を説明する図である。

[図7A]試験体 10 に内圧クリープ試験を行うことにより検量線を作成する手順を示すフローチャートである。

[図7B]検量線に基づき配管の余寿命を推定する手順を示すフローチャートである。

[図8]試験体 10 の構成を説明する図である。

[図9]内圧クリープ試験の試験条件を説明する図である。

[図10]試験体 a の外径の測定結果を示す図である。

[図11]試験体 a の最大亀裂長さの測定結果を示す図である。

[図12]第 6 回中途止めにおける試験体 a の SEM 写真である。

[図13]試験体 b の外径の測定結果を示す図である。

[図14]試験体 b の最大亀裂長さの測定結果を示す図である。

[図15]膨出率と寿命比の関係を表す検量線のグラフである。

[図16]最大亀裂長さと寿命比の関係を表す検量線のグラフである。

## 発明を実施するための形態

### [0017] <第 1 実施形態>

図 1 A 及び図 1 B は、第 1 実施形態に係る配管の余寿命の推定方法を示すフローチャートである。本実施形態では、配管を模擬した試験体に対し、内圧クリープ試験を行うことにより検量線を作成し（図 1 A）、次にこの検量線に基づき配管の余寿命を推定する（図 1 B）。なお、内圧クリープ試験とは、内圧を印加した試験体を加熱し、クリープ損傷を確認する試験である。以下、これらのフローチャートに従って、余寿命の推定方法を説明する。

[0018] この推定方法では、まず配管の試験体を加熱し、内圧を印加する（S 1）

。図2は、この試験体の構成を説明する図である。同図に示すように、試験体10は、鋼材で作製され、中空の略円筒形状の管部材11、第1栓部材12、及び第2栓部材13を含んで構成される。

[0019] 管部材11の両端は、第1栓部材12及び第2栓部材13によって封止されており、このうち第1栓部材12には外部から注入管14が挿入されている。注入管14は、後述する高温流体15を管部材11の内部に注入するための管である。このため、管部材11の内部と注入管14の内部とは互いに連通されている。

[0020] 管部材11の素材は、ベイナイト組織を有し、かつ、加熱及び加圧によってクリープ損傷を受ける素材であって、余寿命の推定対象となる配管と同一の素材で作製される。本実施形態では、クロムモリブデン鋼が用いられている。管部材11の形状は、配管を模擬していることから円筒形状である。但し、取扱いを容易にする観点から、配管よりも小径の金属管が用いられている。図3に示すように、試験体10（管部材11）の直径 $\phi_{10}$ は56.5 mmである。

[0021] この試験体10は、管部材11に注入された高温流体15が管部材11内に万遍なく蓄積されるように、管部材11の長手方向が略水平となる状態で加熱炉（図示せず）の内部空間に設置される。そして、注入管14に水蒸気等の高温流体15を注入すると、高温流体15は管部材11内の空洞部に流入し、試験体10は直径方向の応力を受け、その内圧が上昇する。また、試験体10の温度も上昇する。このように、管部材11を加熱、加圧することにより、管部材11にクリープ損傷を生じさせる。

[0022] 試験体10の加熱温度は、管部材11がベイナイト組織を有する限り特に限定されないが、例えば210℃～550℃の範囲であり、350℃～550℃の範囲であることがより好ましい。また、余寿命の推定対象となる実機配管に流通する流体（水蒸気等）の温度に近いことが好ましい。試験体10に加える圧力の範囲は、常圧（0.1 MPa）よりも高ければ特に限定されないが、例えば0.2 MPa～1000 MPaである。また、0.3 MPa

～500MPaであることがより好ましく、0.5MPa～300MPaであることがさらに好ましい。

[0023] このように、管部材11を連続的に加熱及び加圧した状態とし、試験体10が破断するまで所定の時間間隔（500時間～2000時間、平均すると約1000時間）をおきながら試験体10の外径、すなわち管部材11の外径を測定していく。

[0024] 具体的には、図1Aのフローチャートに示すように、試験体10が破断していない場合は（S2：NO）、所定の測定タイミングが到来した時点で（S3：YES）、試験体10の外径を測定する（S4）。試験体10が破断した場合は（S2：YES）、その時点における試験体10の外径を測定し（S5）、後述する膨出率と寿命比の関係を表す検量線の作成に移行する（S6）。

[0025] ここで、発明者らが行った内圧クリープ試験について具体的に説明する。

[0026] まず、使用した試験体10の寸法等について説明する。図2に示すように、試験体10における注入管14を除いた部分（管部材11、第1栓部材12、第2栓部材13）は、軸方向の長さが385mmである。また、試験体10の外径の測定位置は、第1栓部材12の側の一端から軸方向に195mm、第2栓部材13の側の一端から軸方向に190mm離間した位置における断面16（P-Q断面）とした。このように管部材11の軸方向中央部を外径の測定位置としたのは、かかる位置が最も応力を受け易く、クリープ損傷が起きやすいと考えられるからである。

[0027] 管部材11には、クロムモリブデン鉄鋼鋼材で作られた配管（STPA22、JIS規格 G 3457「配管用アーク溶接炭素鋼鋼管」）を用いた。

[0028] 試験体10の外径の測定は、図2に示すように、断面16における第1方向の外径（外径 $\phi_1$ ）の長さ、第1方向と直交する第2方向の外径（外径 $\phi_2$ ）の長さを測定し、これらのうちの最大値を外径の測定値とした。なお、各測定タイミングにおける外径の測定回数は何回でもよく、また外径の測定方

向も直交する方向でなく任意の方向でよい。

[0029] また、図3に示すように、試験体10の加熱温度は550℃、試験体10の内圧は145MPaとした。なお、試験前の試験体10の外径 $\phi_{10}$ （外径 $\phi_1$ と外径 $\phi_2$ の最大値）は56.5mmであった。

[0030] 次に、この内圧クリープ試験の試験結果を図4に示す。同図に示すように、試験体10の外径の測定は、熱及び内圧を加え始めてから1500時間後（第2回中途止め）、2100時間後（第3回中途止め）、4000時間後（第4回中途止め）、5563時間後（第5回中途止め）、6400時間後（第6回中途止め）、7195時間後（第7回中途止め）、及び8437時間後（試験体10の破断時）に行った。

[0031] なお、上記の試験時間から、第2回中途止めでの寿命比（加熱加圧時間／破断時間）は0.18、第3回中途止めでの寿命比は0.25、第4回中途止めでの寿命比は0.47、第5回中途止めでの寿命比は0.66、第6回中途止めでの寿命比は0.76、第7回中途止めでの寿命比は0.85、破断時の寿命比は1.00と求まる。

[0032] 外径の測定値から求められる試験体10の膨出率は、第2回中途止めでは0.18%、第3回中途止めでは0.18%、第4回中途止めでは0.35%、第5回中途止めでは0.71%、第6回中途止めでは0.88%、第7回中途止めでは1.06%、破断時では2.48%である。なお、これらの膨出率は、次式（1）に従って求めた。

[0033] 膨出率（%）＝（外径の測定値－初期外径）／初期外径×100・・・（1）

[0034] 図5は、以上の測定結果に基づき作成された、寿命比と膨出率の関係を表す検量線のグラフである。同図に示すように、この検量線21は、原点（（寿命比，膨出率）＝（0，0））を通るように指数近似を行った検量線である。

[0035] 次に、このようにして作成された検量線に基づき配管の余寿命を推定する方法について、図1Bのフローチャートを参照しつつ説明する。

- [0036] 同図に示すように、まず実機の配管の外径を測定する（S 7）。例えば、図 6 に示すように軸方向に所定長さを有する略円筒形の配管 3 0 の場合、最も強い応力を受けるとされる軸方向中央部の断面 3 1（R－S）における外径  $\phi_{30}$  を測定する。この測定でも、第 1 方向の外径（外径  $\phi_{30A}$ ）の長さ、第 1 方向と直交する第 2 方向の外径（外径  $\phi_{30B}$ ）の長さを測定し、大きい方を配管 3 0 の外径値として取得する。なお、外径値の取得は、運用前（加熱及び加圧前）及び運用中（定期点検時等）のそれぞれで行う。また、外径の測定回数は本例のように 2 回に限らず何回でもよく、また外径の測定方向も直交する方向でなく、任意の方向でよい。
- [0037] 次に、外径の測定値と S 6 で作成した検量線に基づき、配管の余寿命を推定する（図 1 B の S 8）。すなわち、運用前における配管 3 0 の初期外径値と運用中における配管 3 0 の外径値に基づいて膨出率を算出する。そして、算出した膨出率を試験体 1 0 で作成した検量線にあてはめる。図 5 に示す例では、膨出率が  $B_1$  であった場合には、膨出率が B の時の検量線 2 1 の寿命比、すなわち  $L_1$  が寿命比となる。
- [0038] 以上に説明したように、本実施形態の余寿命の推定方法では、配管の試験体 1 0 を加熱し内圧を加える内圧クリープ試験を行うことにより、直径方向に膨出した試験体 1 0 の外径の測定値と寿命比との間の関係を表す検量線を作成することで、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を正確に推定することができる。
- [0039] また、ベイナイト組織を有する配管では、外径が大きいほどクリープ損傷が進行していると考えられることから、異なる方向から複数回測定した測定値のうち最大値を外径の値とすることで、クリープ損傷による寿命時期を正確に予測することができる。
- [0040] また、配管の試験体 1 0 の膨出量を、膨出率（熱及び内圧を加える前の外径値に対する割合）に基づき算出することにより、この膨出量は配管の初期外径の長さに依存しないパラメータとなる。したがって、このようなパラメータに基づき作成した検量線は、試験体とサイズの異なる（外径の異なる）

配管の余寿命推定にも用いることができる。例えば試験体 10 より大型の実機に対してもこの検量線を適用することができる。

[0041] <第 2 実施形態>

本発明者らは、ベイナイト組織を有する配管に亀裂が発生している場合は、その亀裂のうち最大の長さを有する亀裂の長さが、余寿命と相関関係にあることを見出した。そこで、本発明者らは、第 1 実施形態で説明したような、膨出量と余寿命の関係に係る検量線に加え、亀裂の最大長さと余寿命の関係に係る検量線を作成し、これら 2 つの検量線を用いて配管の余寿命を推定する方法を着想した。

[0042] 図 7 A 及び図 7 B は、本実施形態に係る余寿命の推定方法を示すフローチャートである。このうち図 7 A は、検量線を作成する手順を示すフローチャートである。また、図 7 B は、検量線に基づき配管の余寿命を推定する手順を示すフローチャートである。

[0043] まず、検量線を作成する手順について説明する。図 7 A のフローチャートに示すように、検量線を作成するに際し、まず第 1 実施形態と同様の内圧クリープ試験を行う (S 1 1)。

[0044] この第 2 実施形態では、第 1 実施形態で説明した外径の測定に加え、試験体 10 の表面に亀裂が発生しているか否かを判定する。そして、亀裂が発生している場合には、その亀裂の長さを測定する。なお、亀裂が複数発生している場合はその最大値を測定する。便宜上、以下の説明では、1 つしか発生していない亀裂の長さと、複数発生している亀裂のうちの最大値とをまとめて「最大亀裂長さ」という。

[0045] そして、S 1 2 ~ S 1 6 に示すように、試験体 10 が破断していない限り (S 1 2 : N O)、所定の測定タイミングが到来した時点で (S 1 3 : Y E S)、試験体 10 の外径を測定し (S 1 4)。この際試験体 10 に亀裂が発生している場合は (S 1 5 : Y E S)、その最大亀裂長さを測定する (S 1 6)。その後は S 1 2 に戻る。試験体 10 が破断した場合は (S 1 2 : Y E S)、その時点で試験体 10 の外径、及び最大亀裂長さを測定し (S 1 7、

S 1 8)、後述する検量線の作成に進む(S 1 9)。

[0046] なお、試験体 1 0 に亀裂が生じているか否かの判定は、例えば、走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) による組織観察によって行う。この組織観察は、試験体 1 0 における所定の範囲に対して行い、例えば外径を測定した位置 (例えば軸方向中央部) における所定範囲とする。また、この所定範囲の広さは任意であるが、例えば  $0.3 \text{ mm}^2 \sim 1.0 \text{ mm}^2$  である。

[0047] S 1 9 では、外径や最大亀裂長さの測定値に基づき、膨出率と寿命比の関係を表す検量線と、最大亀裂長さと寿命比の関係を表す検量線とを作成する。

[0048] 図 8 及び図 9 に示すように、第 2 実施形態では、外径が異なる 2 つの試験体 1 0 (試験体 a、試験体 b) を用いて内圧クリープ試験を行った。試験体 a による試験は第 1 実施形態と同じ試験体 1 0 による試験である。試験体 b による試験は、初期外径  $\phi_{10}$  が  $56.6 \text{ mm}$  の試験体 1 0 による試験であり、この試験条件は、加熱温度が  $550^\circ\text{C}$ 、内圧が  $145 \text{ MPa}$  である。

[0049] 次に、試験結果について説明する。図 1 0 及び図 1 1 は、試験体 a の試験結果をまとめた図である。このうち図 1 0 は外径の測定結果であり、図 4 と同様なので説明を省略する。図 1 1 は、試験体 a の最大亀裂長さの結果を示す図である。

[0050] 図 1 1 に示すように、試験体 a に亀裂の発生が確認されたのは第 6 回中途止め ( $6400$  時間後)、 $7195$  時間後 (第 7 回中途止め)、及び試験体 a の破断時 ( $8437$  時間後) であり、その際に測定された最大亀裂長さはそれぞれ、 $518 \mu\text{m}$ 、 $1.09 \text{ mm}$ 、 $18.1 \text{ mm}$  であった。なお、試験体 a の膨出率は第 1 実施形態と同様である (第 2 回中途止めでは  $0.18\%$ 、第 3 回中途止めでは  $0.18\%$ 、第 4 回中途止めでは  $0.35\%$ 、第 5 回中途止めでは  $0.71\%$ 、第 6 回中途止めでは  $0.88\%$ 、第 7 回中途止めでは  $1.06\%$ 、破断時では  $2.48\%$ )。

[0051] 図 1 2 に、第 6 回中途止め時における試験体 a の SEM の像を示す。同図

に示すように、試験体 a には亀裂 4 1 及び亀裂 4 2 が発生しているが、亀裂 4 1 及び亀裂 4 2 の間が寸断されている。このように、最大亀裂長さの測定範囲において亀裂が寸断されている場合は、寸断されている箇所の長さが、その寸断箇所が隣接する両亀裂のうち長い方の長さに対して所定の割合以下であれば、これら両亀裂及び寸断箇所は繋がった一つの亀裂であるとみなして、亀裂の長さを求めた。

[0052] すなわち、亀裂が途中で寸断されている場合、寸断されている箇所が今後亀裂になるか否かは、この寸断箇所が隣接している両亀裂のうち長い方の亀裂から強い影響を受けると考えられる。そして、長い方の長さに対して寸断箇所の長さが所定の割合以下である場合には、この寸断箇所が今後亀裂になりやすいと評価できると考えられる。

[0053] そこで、上記のように寸断箇所の長さが亀裂に対して短い場合には寸断箇所をも亀裂の一部とみなすことにより、クリープ余寿命を精度良く予測できる検量線を作成することができると考えられる。このことから、上記所定の割合は、例えば半分であることが好ましく、4 割であることがより好ましく、3 割であることがさらに好ましい。

[0054] 図 1 2 の例では、寸断されている箇所の長さ 4 3 が、亀裂 4 1、亀裂 4 2 のうち長い方の亀裂 4 1 の長さの半分以下であることから、亀裂 4 1 及び亀裂 4 2 は寸断箇所も含めて一つの亀裂であるとみなし、その亀裂長さを 5 1  $\mu\text{m}$  とした。

[0055] なお、亀裂の長さとは、亀裂の両端を結んだ直線の長さであり、また、寸断されている箇所の長さとは、寸断されている箇所とこの寸断箇所が隣接する両亀裂とが作る 2 つの交点間の直線の長さである。また、亀裂の長さを測定する方法は、特に限定されず、公知の方法を用いることができるが、例えば、走査型電子顕微鏡によって表面の組織観察を行うことによって測定する。

[0056] 図 1 3 には、試験体 b の外径の測定結果を示す。同図に示すように、試験体 b の外径の測定は、熱及び内圧を加え始めてから 1 5 0 0 時間後（第 2 回

中途止め)、2100時間後(第3回中途止め)、4000時間後(第4回中途止め)、5562時間後(第5回中途止め)、6400時間後(第6回中途止め)、及び6507時間後(試験体bの破断時)に行った。これらの外径から算出される膨出率は、第2回中途止めで0.00%、第3回中途止めで0.00%、第4回中途止めで0.00%、第5回中途止めで0.53%、第6回中途止めで0.71%、破断時で0.71%であった。なお、第1実施形態と同様にこれらの測定タイミングにおける寿命比を求めると、第2回中途止めでの寿命比は0.23、第3回中途止めでの寿命比は0.32、第4回中途止めでの寿命比は0.61、第5回中途止めでの寿命比は0.85、第6回中途止めでの寿命比は0.98、破断時の寿命比は1.00である。

[0057] 図14には、試験体bの最大亀裂長さの測定結果を示す。同図に示すように、試験開始から5562時間後(第5回中途止め)における最大亀裂長さは764  $\mu\text{m}$ 、試験開始から6400時間後(第6回中途止め)における最大亀裂長さは3.41 mm、破断時(試験開始から6507時間後)における最大亀裂長さは23.7 mmであった。

[0058] なお、図13、図14に示すように、試験体bの外径及び最大亀裂長さの測定間隔は第1実施形態と同様に約500時間～約2000時間であり、平均すると約1000時間である。

[0059] 図15は、以上の試験結果に基づき作成された、膨出率と寿命比の関係を示す検量線51である。同図に示すように、この検量線51では、原点を通るように指数近似を行った。一方、図16は、最大亀裂長さと寿命比検量線51の関係を示す検量線61である。同図に示すように、この検量線61も原点を通るように指数近似を行った。

[0060] 次に、これら2つの検量線に基づく余寿命の推定手順を、図7Bのフローチャートに参照しつつ説明する。

[0061] 同図に示すように、余寿命の推定に際しては、まず実機の配管に亀裂が発生しているか否かを判定する(S21)。この亀裂の発生の判定は、例えば

、走査型電子顕微鏡（SEM）による組織観察によって行う。組織観察の範囲は、例えば、クリープ損傷を受けやすい部位（例えば配管中央部）に設定した所定範囲（ $0.3\text{ mm}^2 \sim 1.0\text{ mm}^2$ ）とする。

[0062] 実機の配管に亀裂が発生していると判定した場合には（S 2 1 : YES）、実機の配管の最大亀裂長さを測定する（S 2 2）。具体的には、例えばS 2 1で組織観察を行った範囲における最大亀裂長さを測定する。

[0063] そして、測定した最大亀裂長さを、最大亀裂長さと寿命比検量線の関係を示す検量線 6 1 にあてはめ（S 2 3）、配管の余寿命を推定する（S 2 4）。図 1 6 の例では、実機の最大亀裂長さが  $C_3$  であるので、最大亀裂長さが  $C_3$  の時の検量線 6 1 の寿命比、すなわち  $L_3$  が寿命比となる。

[0064] 一方、実機の配管に亀裂が発生していないと判定した場合には（図 7 B の S 2 1 : NO）、実機の配管の外径を測定する（S 2 5）。例えば、クリープ損傷を受けやすい配管中央部の外径を測定する。

[0065] そして、測定した外径を、膨出率と寿命比の関係を表す検量線 5 1 にあてはめ（S 2 6）、配管の余寿命を推定する（S 2 7）。具体的には、測定した外径値から膨出率を求め、求めた膨出率から膨出率－寿命比検量線を作成して配管の寿命比を求める。図 1 5 の例では、実機の膨出率が  $B_2$  であるので、膨出率が  $B_2$  の時の検量線 5 1 の寿命比、すなわち  $L_2$  が寿命比となる。

[0066] このように、本実施形態の配管の余寿命の推定方法では、最大亀裂長さと余寿命との関係を表す検量線を作成しておき、配管に亀裂が発生している場合は、最大亀裂長さと余寿命との関係を表す検量線と、最大亀裂長さの実測値とに基づき配管の余寿命を推定することで、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を正確に推定することができる。

[0067] 以上の実施形態の説明は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明はその趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得ると共に本発明にはその等価物が含まれる。

## 符号の説明

[0068] 1 0 試験体、1 1 管部材、1 2 第 1 栓部材、1 3 第 2 栓部材、1 4

注入管、1 5 高温流体、1 6 断面、2 1 検量線 3 0 配管、3 1  
断面、4 1 亀裂、4 2 亀裂、4 3 寸断されている箇所の長さ、5 1  
検量線、6 1 検量線

## 請求の範囲

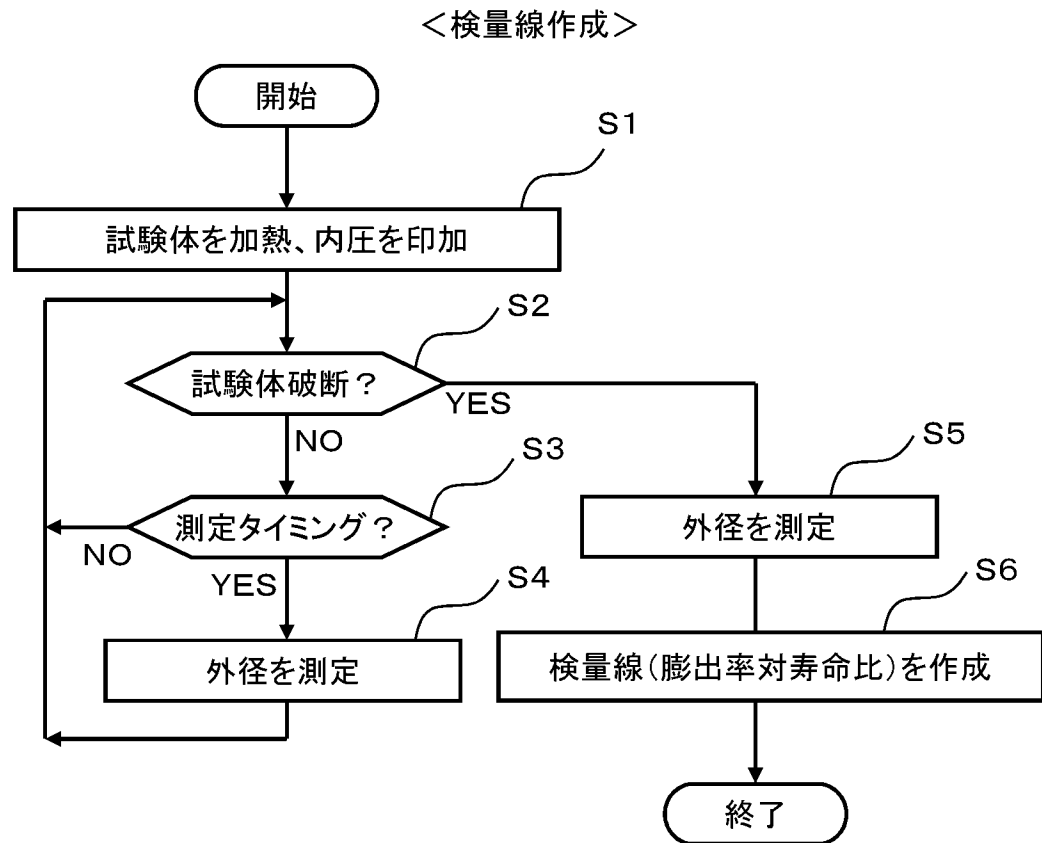
- [請求項1]           加熱及び加圧によりクリープ損傷を受ける、ベイナイト組織を有する円筒形状の配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法であって、  
                  材質が前記配管と同一の、中空の試験体に熱及び内圧を加えて外径を測定し、  
                  所定時間において前記外径の測定を複数回行うことにより、前記試験体の直径方向の膨出率と前記試験体の余寿命との関係を示す検量線を作成し、  
                  前記配管の外径を測定することで、前記配管の直径方向の膨出率を求め、  
                  前記配管の膨出率と前記検量線とに基づき、前記配管の余寿命を推定することを特徴とする、ベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法。
- [請求項2]           前記試験体の外径は、異なる方向から複数回測定された外径の最大値であり、  
                  前記配管の外径は、異なる方向から複数回測定された前記配管の外径の最大値であることを特徴とする、請求項1に記載のベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法。
- [請求項3]           前記試験体の膨出率は、前記熱及び内圧を加える前の前記試験体の外径に対する、前記熱及び内圧を加えた後の前記試験体の外径の比であることを特徴とする、請求項1又は2に記載のベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法。
- [請求項4]           前記試験体の外径を測定する際には、前記試験体に亀裂が発生しているか否かも判定し、亀裂が発生していると判定した場合には、  
                  前記発生している亀裂のうち最大の長さを有する亀裂の長さを測定し、  
                  測定した前記試験体の亀裂の長さとは前記試験体の余寿命との関係を示す他の検量線を作成し、

前記配管の外径を測定する際には、前記配管に亀裂が発生しているか否かも判定し、亀裂が発生している判定した場合には、

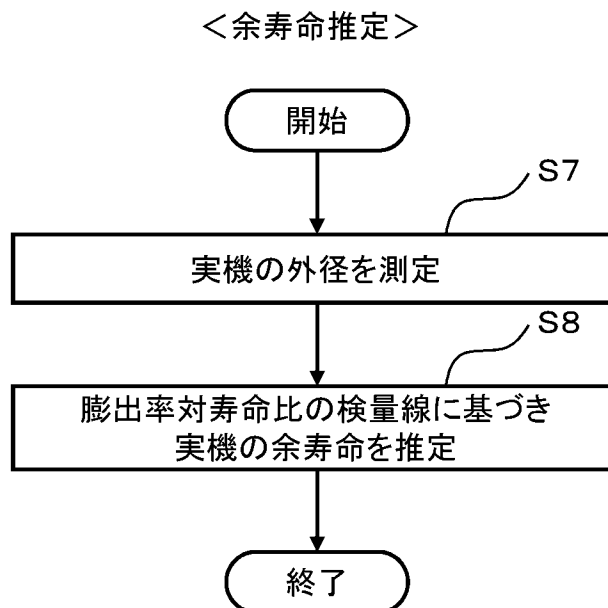
前記配管に存在する亀裂のうち最大の長さを有する亀裂の長さを測定し、

測定した前記配管の亀裂の長さと同記他の検量線とに基づき、前記配管の余寿命を推定することを特徴とする、請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のベイナイト組織を有する配管の余寿命を検量線を用いて推定する方法。

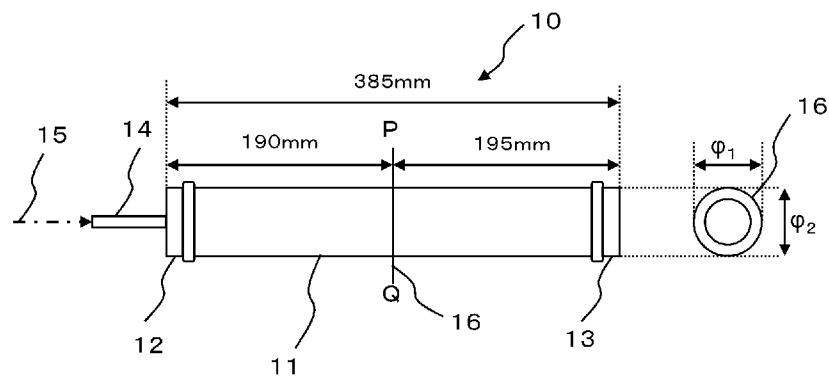
[図1A]



[図1B]



[図2]



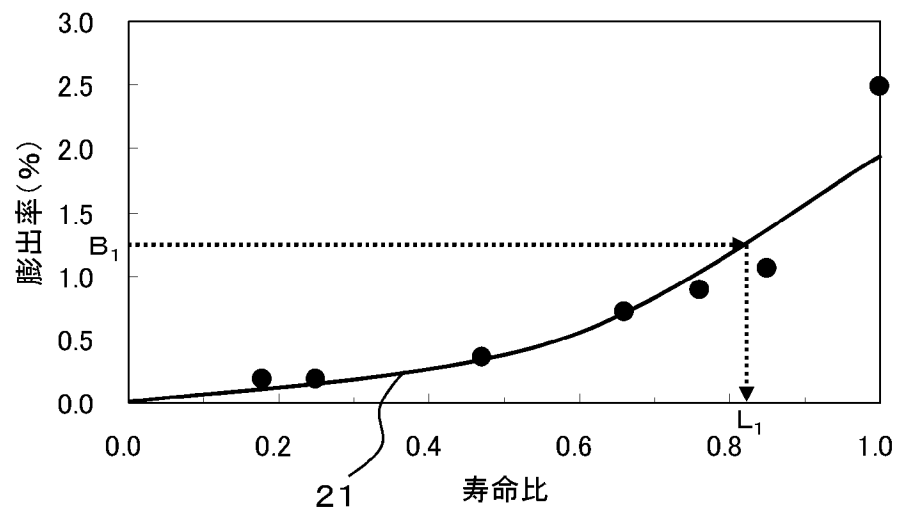
[図3]

|                  |        |
|------------------|--------|
| 試験温度             | 550℃   |
| 試験応力             | 145MPa |
| 初期外径 $\phi_{10}$ | 56.5mm |

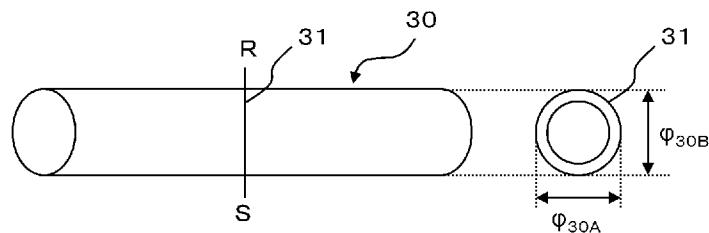
[図4]

| 測定時期    | 試験時間 | 寿命比  | 外径(mm)   |          |      | 膨出率(%) |
|---------|------|------|----------|----------|------|--------|
|         |      |      | $\phi_1$ | $\phi_2$ | 最大値  |        |
| 試験前     | 0    | 0    | —        | —        | —    | —      |
| 第1回中途止め | 934  | 0.11 | —        | —        | —    | —      |
| 第2回中途止め | 1500 | 0.18 | 56.6     | 56.6     | 56.6 | 0.18   |
| 第3回中途止め | 2100 | 0.25 | 56.6     | 56.6     | 56.6 | 0.18   |
| 第4回中途止め | 4000 | 0.47 | 56.7     | 56.6     | 56.7 | 0.35   |
| 第5回中途止め | 5563 | 0.66 | 56.9     | 56.9     | 56.9 | 0.71   |
| 第6回中途止め | 6400 | 0.76 | 57.0     | 57.0     | 57.0 | 0.88   |
| 第7回中途止め | 7195 | 0.85 | 57.1     | 57.1     | 57.1 | 1.06   |
| 破断      | 8437 | 1.00 | 57.5     | 57.9     | 56.9 | 2.48   |

[図5]

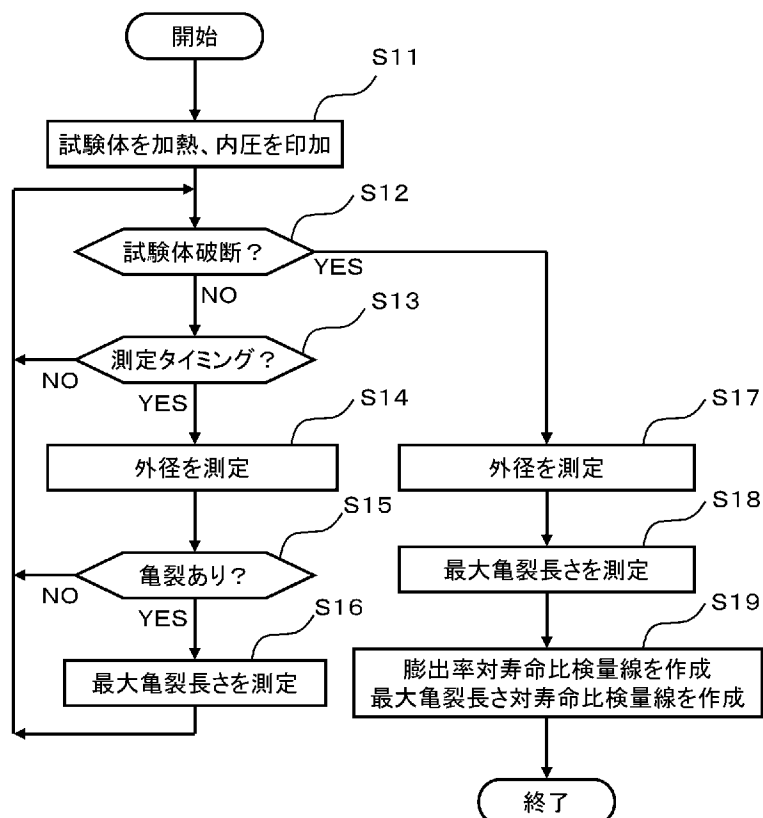


[図6]



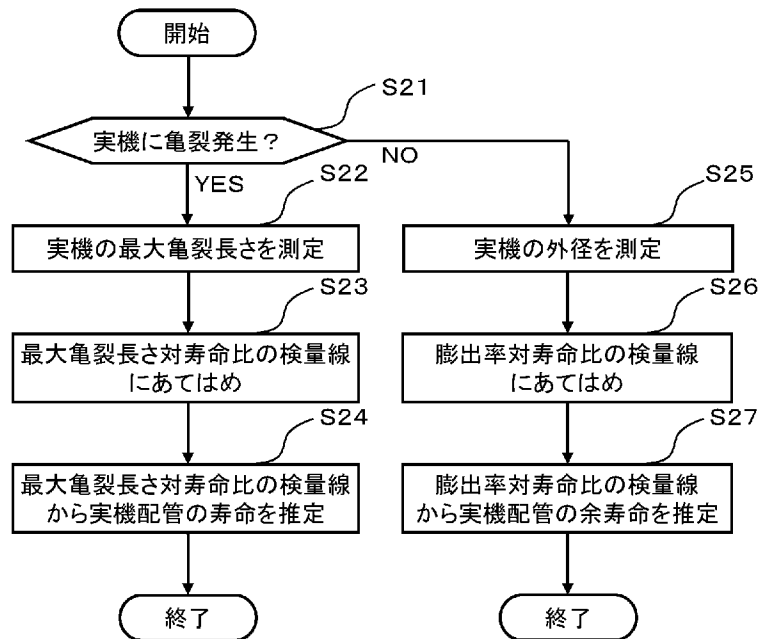
[図7A]

<検量線作成>

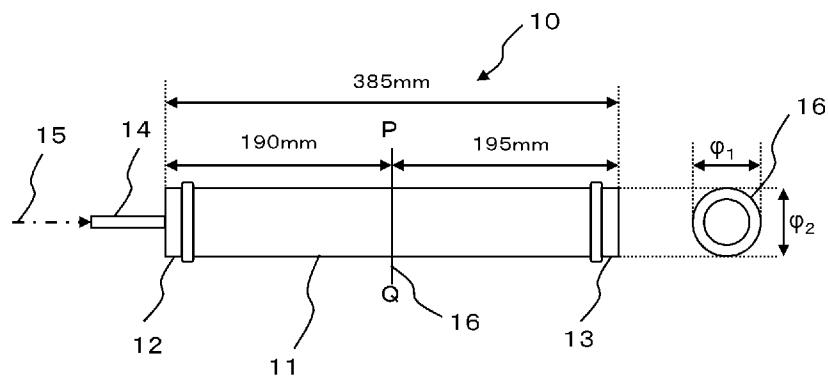


[図7B]

&lt;余寿命推定&gt;



[図8]



[図9]

|                  | 試験体a    | 試験体b    |
|------------------|---------|---------|
| 試験温度             | 550℃    | 525℃    |
| 試験応力             | 145MPa  | 240MPa  |
| 初期外径 $\phi_{10}$ | 56. 5mm | 56. 6mm |

[図10]

&lt;試験体a(外径)&gt;

| 測定時期    | 試験時間<br>(h) | 寿命比  | 外径(mm)   |          |      | 膨出率(%) |
|---------|-------------|------|----------|----------|------|--------|
|         |             |      | $\phi_1$ | $\phi_2$ | 最大値  |        |
| 試験前     | 0           | 0    | —        | —        | —    | —      |
| 第1回中途止め | 934         | 0.11 | —        | —        | —    | —      |
| 第2回中途止め | 1500        | 0.18 | 56.6     | 56.6     | 56.6 | 0.18   |
| 第3回中途止め | 2100        | 0.25 | 56.6     | 56.6     | 56.6 | 0.18   |
| 第4回中途止め | 4000        | 0.47 | 56.7     | 56.6     | 56.7 | 0.35   |
| 第5回中途止め | 5563        | 0.66 | 56.9     | 56.9     | 56.9 | 0.71   |
| 第6回中途止め | 6400        | 0.76 | 57.0     | 57.0     | 57.0 | 0.88   |
| 第7回中途止め | 7195        | 0.85 | 57.1     | 57.1     | 57.1 | 1.06   |
| 破断      | 8437        | 1.00 | 57.5     | 57.9     | 56.9 | 2.48   |

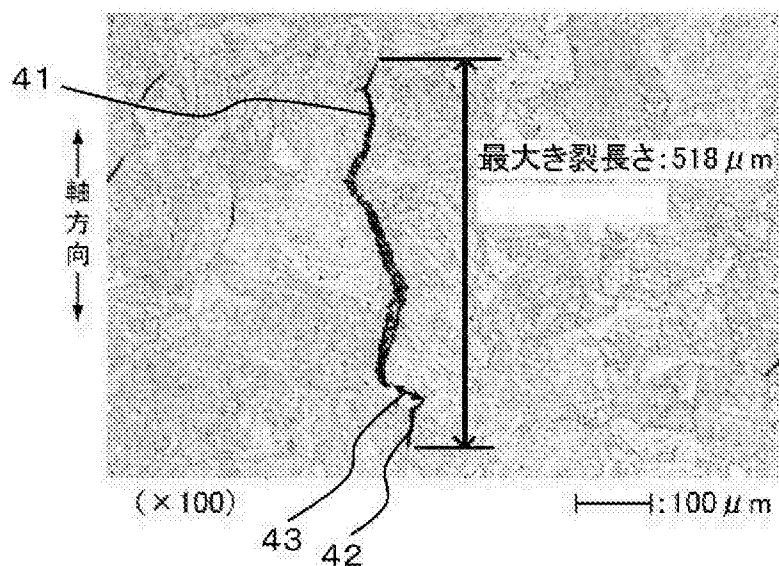
[図11]

&lt;試験体a(最大亀裂長さ)&gt;

|         | 試験時間<br>(h) | 寿命比  | 最大亀裂長さ      | 膨出率(%) |
|---------|-------------|------|-------------|--------|
| 試験前     | 0           | 0    | —           | —      |
| 第1回中途止め | 934         | 0.11 | —           | —      |
| 第2回中途止め | 1500        | 0.18 | —           | 0.18   |
| 第3回中途止め | 2100        | 0.25 | —           | 0.18   |
| 第4回中途止め | 4000        | 0.47 | —           | 0.35   |
| 第5回中途止め | 5563        | 0.66 | —           | 0.71   |
| 第6回中途止め | 6400        | 0.76 | 518 $\mu$ m | 0.88   |
| 第7回中途止め | 7195        | 0.85 | 1.09mm      | 1.06   |
| 破断      | 8437        | 1.00 | 18.1mm      | 2.48   |

[図12]

&lt;試験体aの亀裂 (第6回中途止め)&gt;



[図13]

&lt;試験体b(外径)&gt;

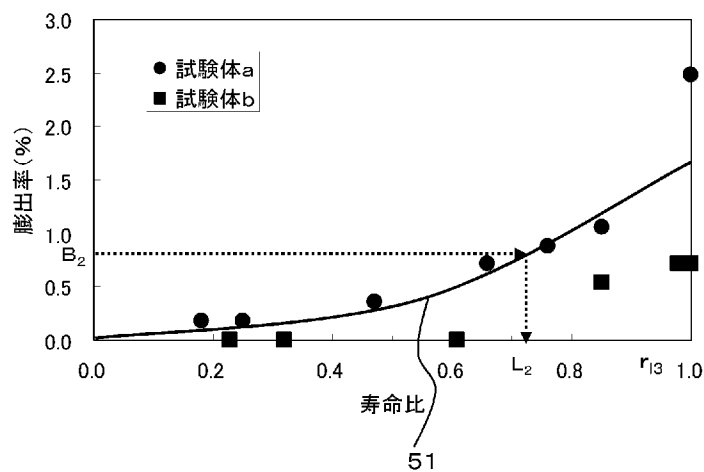
| 測定時期    | 試験時間<br>(h) | 寿命比  | 外径(mm) |      |      | 膨出率(%) |
|---------|-------------|------|--------|------|------|--------|
|         |             |      | A      | B    | 最大値  |        |
| 試験前     | 0           | 0    | —      | —    | —    | —      |
| 第1回中途止め | 934         | 0.14 | —      | —    | —    | —      |
| 第2回中途止め | 1500        | 0.23 | 56.6   | 56.6 | 56.6 | 0.00   |
| 第3回中途止め | 2100        | 0.32 | 56.6   | 56.6 | 56.6 | 0.00   |
| 第4回中途止め | 4000        | 0.61 | 56.6   | 56.6 | 56.6 | 0.00   |
| 第5回中途止め | 5562        | 0.85 | 56.9   | 56.8 | 56.8 | 0.53   |
| 第6回中途止め | 6400        | 0.98 | 57.0   | 56.8 | 56.8 | 0.71   |
| 破断      | 6507        | 1.00 | 57.0   | 56.8 | 56.9 | 0.71   |

[図14]

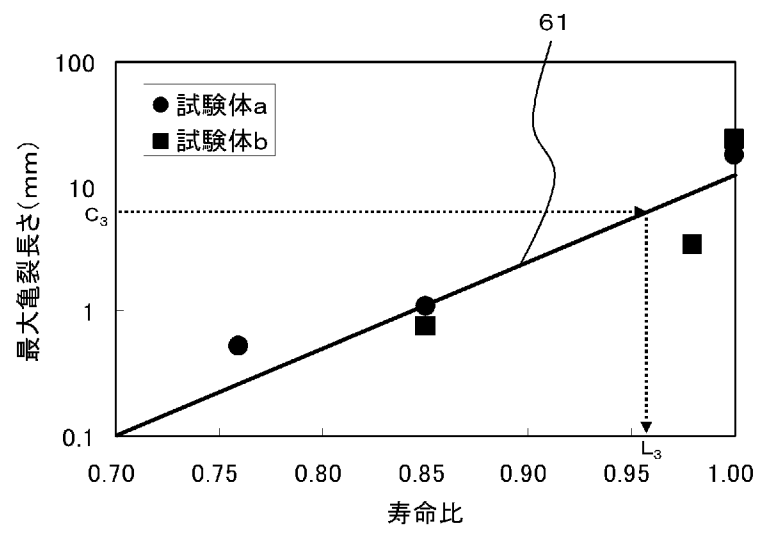
&lt;試験体b(最大亀裂長さ)&gt;

|         | 試験時間t<br>(h) | 寿命比t/tr | 最大亀裂長さ      | 膨出率(%) |
|---------|--------------|---------|-------------|--------|
| 試験前     | 0            | 0       | —           | —      |
| 第1回中途止め | 934          | 0.14    | —           | —      |
| 第2回中途止め | 1500         | 0.23    | —           | —      |
| 第3回中途止め | 2100         | 0.32    | —           | —      |
| 第4回中途止め | 4000         | 0.61    | —           | —      |
| 第5回中途止め | 5562         | 0.85    | 764 $\mu$ m | 0.53   |
| 第6回中途止め | 6400         | 0.98    | 3.41mm      | 0.71   |
| 破断      | 6507         | 1.00    | 23.7mm      | 0.71   |

[図15]



[図16]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/050681

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N17/00(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¥19/10, G01N33/00-33/46

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 | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

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

CiNii, JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                     | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 63-157058 A (Babcock-Hitachi Kabushiki Kaisha),<br>30 June 1988 (30.06.1988),<br>prior art<br>(Family: none)                                        | 1-4                   |
| Y         | JP 2008-51659 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.),<br>06 March 2008 (06.03.2008),<br>paragraphs [0061], [0062]<br>(Family: none)                     | 1-4                   |
| Y         | JP 2013-148476 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.),<br>01 August 2013 (01.08.2013),<br>fig. 1; paragraphs [0024] to [0027], [0035]<br>(Family: none) | 1-4                   |

☒ 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  
26 February, 2014 (26.02.14)

Date of mailing of the international search report  
11 March, 2014 (11.03.14)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2014/050681

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                    | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | Daisuke ARAKAWA, "Bainite Soshiki o Yusuru Haikan no Creep Yojumyo Hyokaho Kaihatsu", Energia Soken Review, 11 December 2013 (11.12.2013), vol.4, no.34, pages 2 to 3 | 1-4                   |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01N17/00(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（I P C））

Int.Cl. G01N17/00¥19/10 G01N33/00-33/46

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   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 1 4 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 4 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 4 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）

CiNii JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Y               | JP 63-157058 A（バブコック日立株式会社）1988.06.30, [従来技術]<br>（ファミリーなし）                    | 1-4            |
| Y               | JP 2008-51659 A（三菱重工業株式会社）2008.03.06, 【0061】、<br>【0062】（ファミリーなし）              | 1-4            |
| Y               | JP 2013-148476 A（三菱重工業株式会社）2013.08.01, 【図1】、【0<br>024】－【0027】、【0035】（ファミリーなし） | 1-4            |

☒ 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

2 6 . 0 2 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 1 . 0 3 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

阿部 知

2 J

4 6 3 5

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<br>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<br>請求項の番号 |
| Y                   | 荒川大輔，ベイナイト組織を有する配管のクリープ余寿命評価法開発，エネルギー総研レビュー，2013.12.11，巻：4 号：34，ページ：2-3 | 1-4            |