(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5月12日(12.05.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/097205 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/JP2020/041217

(22) 国際出願日：　2020年11月4日(04.11.2020)

(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：上庄　拓哉 (**KAMISHO Takuya**)；〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP). 石井 龍太(**ISHII Ryuta**)；〒1808585 東京都武蔵野市緑町３丁目９－１１ ＮＴＴ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 ＮＴＴ知的財産センタ内 Tokyo (JP).

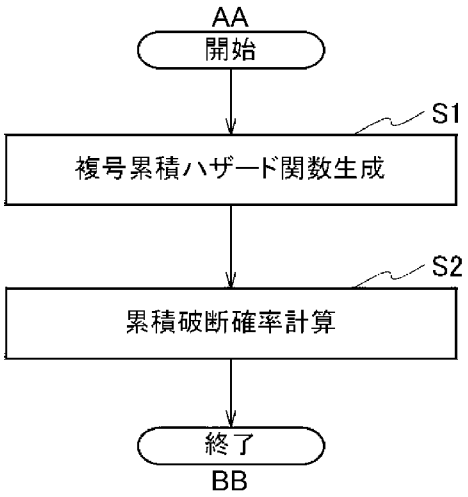
(74) 代理人：三好 秀和，外 (**MIYOSHI Hidekazu** et al.)；〒1050001 東京都港区虎ノ門１丁目２番８号 虎ノ門琴平タワー Tokyo (JP).

(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:** METHOD FOR ESTIMATING LIKELIHOOD OF BREAKAGE

(54) 発明の名称：破断確率推定方法

［図11］



AA... START
S1... GENERATE COMPLEX CUMULATIVE HAZARD FUNCTION
S2... CALCULATE LIKELIHOOD OF CUMULATIVE BREAKAGE
BB... END

(57) **Abstract:** A method for estimating the likelihood of breakage, the method being performed by a breakage likelihood estimation device that estimates the likelihood of breakage of a steel material, wherein the method includes: a complex cumulative hazard function generation step S1 in which a cumulative hazard function for each environment condition is derived from breakage time data about a steel material measured under the different environment conditions, and in which a complex cumulative hazard function is generated, the complex cumulative hazard function being obtained by combining a plurality of cumulative hazard functions such that cumulative hazard values at evaluation times at which the steel material is evaluated under environment conditions corresponding to the cumulative hazard functions are continuous between different cumulative hazard functions; and a cumulative breakage likelihood calculation step S2 in which the likelihood of cumulative breakage of the steel material is calculated from the complex cumulative hazard function.

WO 2022/097205 A1

［続葉有］

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)）

(57) 要約：鋼材の破断確率を推定する破断確率推定装置が行う破断確率推定方法であって、異なる環境条件で測定された鋼材の破断時間データから環境条件ごとの累積ハザード関数を求め、累積ハザード関数に対応する環境条件で鋼材を評価した評価時間の累積ハザード値が、異なる累積ハザード関数の間で連続するように複数の累積ハザード関数を結合させた複合累積ハザード関数を生成する複合累積ハザード関数生成ステップＳ１と、複合累積ハザード関数から鋼材の累積破断確率を計算する累積破断確率計算ステップＳ２とを含む。

明　細　書

発明の名称 ： 破断確率推定方法

技術分野

[0001] 本発明は破断確率推定方法に関する。

背景技術

[0002] 近年、建築資材としてプレストレスコンクリートの内部の鉄筋に使用する高強度鋼材の需要が高まっている。高強度鋼材は水素脆化感受性が高く、鋼材中に経時的に水素が含まれることで延性が失われ、強度が著しく低下する。

[0003] 水素脆化により鋼材が破断するまでの時間は、環境条件が一定であってもばらつきが生じるため、鋼材の性能評価や破断時間の予測は破断時間の確率分布（累積破断確率）の推定によって行われる。従来の累積破断確率の推定方法は、例えば非特許文献１に開示されている。その推定方法は、一定条件下での破断時間データをもとに累積破断確率を推定するものである。

先行技術文献

非特許文献

[0004] 非特許文献1：S. Y. Tsai and H. C. Shih, “A statistical failure distribution and lifetime assessment of the HSLA steel plates in H2S containing environments,” Corros. Sci., vol. 38, no. 5, pp. 705-719, 1996

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、実環境では環境条件（引張応力、温度、湿度等）が複雑に変化する。したがって、従来の累積破断確率推定方法では、複雑に変化する環境条件下において測定された破断時間データから鋼材の累積破断確率を推定することができないという課題がある。

[0006] 本発明は、この課題に鑑みてなされたものであり、複数の一定条件下での破断時間データと、環境条件の変化の履歴又は予測値とを用いて鋼材の累積

破断確率を推定する破断確率推定方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様に係る破断確率推定方法は、鋼材の破断確率を推定する破断確率推定装置が行う破断確率推定方法であって、異なる環境条件で測定された鋼材の破断時間データから前記環境条件ごとの累積ハザード関数を求め、前記累積ハザード関数に対応する前記環境条件で前記鋼材を評価した評価時間の累積ハザード値が、異なる前記累積ハザード関数の間で連続するように複数の前記累積ハザード関数を結合させた複合累積ハザード関数を生成する複合累積ハザード関数生成ステップと、前記複合累積ハザード関数から前記鋼材の累積破断確率を計算する累積破断確率計算ステップとを含むことを要旨とする。

発明の効果

[0008] 本発明によれば、複数の一定条件下での破断時間データと、環境条件の変化の履歴又は予測値とを用いて鋼材の累積破断確率を推定することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の実施形態に係る破断確率推定装置の機能構成例を示すブロック図である。

[図2]２つの環境条件のそれぞれで測定された鋼材の破断時間データと累積破断確率の関係例を示す図である。

[図3]図２に示す破断時間データから求めた２つの累積ハザード関数で計算した累積ハザード値を示す図である。

[図4]図３に示す累積ハザード関数を結合させた複合累積ハザード関数の例を示す図である。

[図5]図４に示す複合累積ハザード関数で計算した累積破断確率の推定結果を示す図である。

[図6]図５に示す推定結果に破断時間データを重ねた結果を示す図である。

[図7]水素脆化試験における試験条件（引張応力）の例を示す図である。

[図8]図７に示す試験条件の水素脆化試験の破断時間データから求めたワイブル分布の尺度パラメータηを示す図である。

[図9]図７に示す試験条件の水素脆化試験で求めた複合累積ハザード関数で計算した累積ハザード値を示す図である。

[図10]図７に示す試験条件の水素脆化試験で求めた複合累積ハザード関数で計算した累積破断確率を示す図である。

[図11]本発明に係る破断確率推定方法の処理手順を示すフローチャートである。

[図12]汎用的なコンピュータシステムの構成例を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。複数の図面中同一のものには同じ参照符号を付し、説明は繰り返さない。

[0011] 図１は、本発明の実施形態に係る破断確率推定装置の機能構成例を示すブロック図である。図１に示す破断確率推定装置１は、異なる環境条件で測定された鋼材の破断時間データから破断確率を推定する装置である。破断確率推定装置１は、複合累積ハザード関数生成部１０と累積破断確率計算部２０を備える。

[0012] 破断確率推定装置１は、例えば、ＲＯＭ、ＲＡＭ、ＣＰＵ等からなるコンピュータで実現することができる。破断確率推定装置１の各機能構成部をコンピュータによって実現する場合、各機能構成部が有すべき機能の処理内容はプログラムによって記述される。

[0013] 複合累積ハザード関数生成部１０は、異なる環境条件で測定された鋼材の破断時間データから環境条件ごとの累積ハザード関数を求め、累積ハザード関数に対応する環境条件で鋼材を評価した評価時間の累積ハザード値が、異なる累積ハザード関数の間で連続するように複数の累積ハザード関数を結合させた複合累積ハザード関数を生成する。

[0014] ここで環境条件は、例えば水素脆化試験の試験条件のことである。よって、その試験条件の変化に基づいて過去又は未来の累積ハザード値を推定でき

る複合累積ハザード関数を生成することができる。

[0015] つまり、水素脆化試験の試験条件で過去の環境条件の変化の履歴を模擬することで、過去の累積破断確率の変化を推定することができる。また、環境条件の変化の履歴は、予測値に代えてもよい。予測値に基づいて未来の累積破断確率の変化を推定することも可能である。なお、環境条件の変化は、履歴と予測値を組み合わせたものにしても構わない。

[0016] 累積破断確率計算部２０は、複合累積ハザード関数から鋼材の累積破断確率を計算する。上記のように複合累積ハザード関数を生成することで、過去又は未来の累積破断確率を計算することができる。

[0017] 本実施形態に係る破断確率推定方法によれば、複数の一定条件下での破断時間データと、環境条件の変化の履歴又は予測値とを用いて鋼材の累積破断確率を推定することができる。つまり、環境条件が複雑に変化する実環境に晒される鋼材の累積破断確率を実験（破断時間データ）に基づいて推定することができる。

[0018] （実験例１）

破断確率推定装置１を用いて鋼材の累積破断確率を推定した具体例について説明する。先ず、異なる環境条件下において水素脆化試験を行い環境条件ごとの累積ハザード関数を求める。

[0019] 水素脆化試験は、鋼材を電解液に浸漬して所定の電流密度の電流を流し、所定の引張応力を負荷して破断させる一般的な試験である。引張応力は、鋼材の引張強さの0.8倍の引張応力を負荷した。条件Ａの電流密度は0.025mA/mm^2とし、条件Ｂの電流密度は0.015 mA/mm^2とした。16個の鋼材について条件Ａと条件Ｂで水素脆化試験を行った。

[0020] 図２は、環境条件を条件Ａと条件Ｂで得られた破断時間データをワイブル確率紙上にプロットして推定した時間と累積破断確率との関係を示す図である。横軸の時間（分）は試験を開始してからの経過時間（以降、時間）である。

[0021] 図２（ａ）は条件Ａ、図２（ｂ）は条件Ｂの試験結果を示す。●は実験結

果、実線はワイブル確率紙を用いて推定した累積破断確率を示す。

[0022] 条件Ａ、条件Ｂの累積破断確率F_A（ｔ）、F_B（ｔ）は、ワイブル分布を用いた場合、次式で表すことができる。

[0023] [数1]

$$F_A(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{421}\right)^{3.1}\right) \qquad (1)$$

$$F_B(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{708}\right)^{3.1}\right) \qquad (2)$$

[0024] ここで421及び708は、ワイブル分布の尺度パラメータηである。また、3.1は、ワイブル分布の形状パラメータｍである。これらのパラメータは、破断時間データをワイブル確率紙にプロットした点が描く直線から周知の方法で求めることができる。

[0025] 図２に示す結果を用いて、環境条件が条件Ａから120分経過後に条件Ｂに変化する場合の累積破断確率を推定する。本実施形態では、累積ハザード値を水素脆化による累積ダメージ量とみなし、累積ハザード値の経時変化から累積破断確率を推定する。

[0026] 条件Ａ、条件Ｂのそれぞれの累積ハザード関数H_A（ｔ）、H_B（ｔ）は次式で表すことができる。

[0027] [数2]

$$H_A(t) = \left(\frac{t}{421}\right)^{3.1} \qquad (3)$$

$$H_B(t) = \left(\frac{t}{708}\right)^{3.1} \qquad (4)$$

[0028] 図３は、累積ハザード関数H_A（ｔ）、H_B（ｔ）のそれぞれで計算した累積ハザード値の経時変化を示す図である。図３に実線で示す特性は累積ハザード関数H_A（ｔ）で求めた累積ハザード値、一点鎖線で示す特性は累積ハザード関数H_B（ｔ）で求めた累積ハザード値を示す。

[0029] （複合累積ハザード関数）

実験例１では、120分までの環境条件は条件Ａであるため、その間の累積ハザード関数はH_A（ｔ）である。また、120分以降の累積ハザード関数は、環境条件が条件ＢであるためH_B（ｔ）である。

[0030] 経過時間が120分の累積ハザード値は、式（３）を用いて計算するとH_A（120）＝0.021となる。累積ハザード値を水素脆化による蓄積ダメージ量とみなすと、環境条件が条件Ｂとなる120分以降の累積ハザード値の経時変化は、条件Ｂの累積ハザード関数H_B（ｔ）で計算される累積ハザード値が0.021になった以降の変化と等しくなる。したがって、環境条件が120分経過後に条件Ａから条件Ｂに変化する場合の複合累積ハザード関数は、図４に示すように求めることができる。

[0031] 図４は、累積ハザード関数（図３）を結合させた複合累積ハザード関数の例を示す図である。図４に破線で示す特性は累積ハザード関数H_A（ｔ）の累積ハザード値であり、一点鎖線で示す特性は累積ハザード関数H_B（ｔ）で求めた累積ハザード値である。実線で示す特性は、累積ハザード関数H_A（ｔ）と累積ハザード関数H_B（ｔ）を結合させた複合累積ハザード関数で求めた累積ハザード値である。

[0032] 図１に示す複合累積ハザード関数生成部１０は、一方の累積ハザード関数H_A（ｔ）と他方の累積ハザード関数H_B（ｔ）とを所定の評価時間で結合する場合に、他方の累積ハザード関数H_B（ｔ）の累積ハザード値を一方の累積ハザード関数H_A（ｔ）の評価時間における累積ハザード値にオフセットさせる。オフセットとは、上記の例では累積ハザード関数H_B（ｔ）の累積ハザード値を0.021に設定することである。ここで評価時間は、水素脆化試験を開始してからの経過時間（図２等の横軸の時間（分）のことである。

[0033] 複合累積ハザード関数が求まれば、異なる環境条件で求めた累積ハザード値から累積破断確率を求めることができる。次式は累積破断確率と累積ハザード値との関係を表す。

[0034]

[数3]

$$F(t) = 1 - \exp\left(-H(t)\right) \qquad (5)$$

[0035] 図１に示す累積破断確率計算部２０は、複合累積ハザード関数から鋼材の累積破断確率を計算する。図５は、複合累積ハザード関数（図４の実線）で計算した累積破断確率の推定結果を示す図である。図５の縦軸は累積破断確率、横軸は時間（分）である。

[0036] 図６は、図５に示す累積破断確率に実験例１で測定された破断時間データを重ねてプロットした図である。図６に示すように、多少のばらつきはあるものの推定結果と実験結果は概ね一致しており、異なる環境条件での累積破断確率を適切に推定できていることが分かる。

[0037] 水素脆化による累積破断確率が上記の手順で推定できるのは、水素脆化と称される現象はダメージを蓄積させ、蓄積ダメージ量が限界値を越えると破断するというモデルで説明可能な現象であるためと考えられる。したがって、本実施形態は、水素脆化に限らず、例えば疲労破壊のようにダメージを蓄積する現象に広く適用可能である。

[0038] なお、環境条件が一定の場合の累積破断確率がワイブル分布に従う例を示したが、ワイブル分布以外の確率分布（例えば正規分布、対数正規分布、指数分布等）であっても推定が可能である。

[0039] 実験例１で説明した複数の環境条件は条件Ａと条件Ｂの二つの例を示したが、連続的に変化する環境条件下における累積破断確率を推定することも可能である。

[0040] 環境条件が一定の場合の水素脆化の累積破断確率がワイブル分布に従い、水素脆化を進行させる環境条件が連続的に変化する場合の累積破断確率を推定する。環境条件が一定の場合、水素脆化の累積破断確率Ｆ（ｔ）は、ワイブル分布に従うことから次式で表すことができる。

[0041]

[数4]

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{m}\right) \qquad (6)$$

[0042] ここでｍはワイブル分布の形状パラメータ、ηはワイブル分布の尺度パラメータである。このときの累積ハザード関数Ｈ（ｔ）は次式で表すことができる。

[0043] [数5]

$$H(t) = \left(\frac{t}{\eta}\right)^{m} \qquad (7)$$

[0044] ｍが常に一定で、ηのみが所定の範囲内で連続的に変化する環境条件を考える。評価開始から経過時間が微小時間Δｔ経過したときの累積ハザード値をH_1とすると、H_1は次式で表せる

[0045] [数6]

$$H_1 = \left(\frac{\Delta t}{\eta_1}\right)^{m} \qquad (8)$$

[0046] ここでη_i（ｉ＝1，2，3，…）はH_iのときのηの値を表す。さらにΔｔ経過したときの累積ハザード値をH_2とすると、H_2は次式で表せる。

[0047] [数7]

$$H_2 = \left(\frac{\Delta t + t_2}{\eta_2}\right)^{m} \qquad (9)$$

[0048] ここでt_2はηがη_2で一定のときに累積ハザード値がH_1になるまでの時間であり、次式で表せる。

[0049]

[数8]

$$t_2 = \eta_2 H_1^{\frac{1}{m}} = \frac{\eta_2}{\eta_1}\Delta t \qquad (10)$$

[0050] したがって、式（１０）を式（９）に代入するとH_2は次式で表せる。

[0051] [数9]

$$H_2 = \left(\frac{\Delta t}{\eta_1} + \frac{\Delta t}{\eta_2}\right)^m \qquad (11)$$

[0052] 上記の計算を順次行った場合、評価開始からｎΔｔ経過したときの累積ハザード値H_nは次式で表せる。

[0053] [数10]

$$H_n = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta t}{\eta_i}\right)^m \qquad (12)$$

[0054] Δｔの値を0に近づける極限を取ると、累積ハザード関数Ｈ（ｔ）は次式で表せる。

[0055] [数11]

$$H(t) = \left(\int_0^t \frac{dt}{\eta(t)}\right)^m \qquad (13)$$

[0056] 上記の考え方に基づいて実験例２を行った。

[0057] （実験例２）

実験例２では、水素脆化試験において付与する引張応力が引張強さの0.4倍から0.8倍まで周期的・連続的に変化する場合を考える。

[0058] 図７は、実験例２の引張応力の変化を示す図である。図７の縦軸は引張応力、横軸は時間（分）である。

[0059] 事前に引張強さに対する引張応力の比σを振って破断時間データを取得し

、破断時間データからワイブル確率紙を用いてηを求めたところ$\eta = 6.8\sigma^{-3.5}$で表すことが可能である。したがって、図７に示す引張応力の変化の場合のηの経時変化は、図８に示すようになる。

[0060] 図８は、図７に示す試験条件の水素脆化試験の破断時間データから求めたワイブル分布の尺度パラメータηを示す図である。

[0061] 次に同じ破断時間データからワイブル分布の形状パラメータｍを求めた結果、環境条件によらずｍ＝2.5であったことから、式（１３）を用いることで実験例２の複合累積ハザード関数は図９に示すように求めることができる。

[0062] 図９は、環境条件が２つの場合の複合累積ハザード関数を示した図４に相当する。図９の縦軸は複合累積ハザード関数で求めた累積ハザード値、横軸は時間（分）である。

[0063] 図１０は、式（５）と図９に示す累積ハザード値から求めた累積破断確率を示す図である。このように、引張応力が連続的に変化する場合においても累積破断確率を推定することができる。

[0064] 以上説明したように、本実施形態に係る複合累積ハザード関数生成部１０は、累積ハザード関数で表される累積ハザード値の確率分布がワイブル分布に従う場合に、式（１３）で表される複合累積ハザード関数を生成するようにしてもよい。これにより、水素脆化を進行させる環境条件が連続的に変化する場合であっても累積破断確率を推定することができる。

[0065] （破断確率推定方法）

上記の破断確率推定装置１は、図１１に示す破断確率推定方法を実行する。図１１を参照して鋼材の累積破断確率を推定する破断確率推定方法について説明する。

[0066] 図１１に示す破断確率推定方法は、鋼材の破断確率を推定する破断確率推定装置１が行う破断確率推定方法であって、異なる環境条件で測定された鋼材の破断時間データから環境条件ごとの累積ハザード関数を求め、累積ハザード関数に対応する環境条件で鋼材を評価した評価時間の累積ハザード値が、異なるハザード関数の間で連続するように複数の前記累積ハザード関数を

結合させた複合累積ハザード関数を生成する複合累積ハザード関数生成ステップＳ１と、複合累積ハザード関数から鋼材の累積破断確率を計算する累積破断確率計算ステップＳ２とを含む。これによれば、複数の一定条件下での破断時間データと、環境条件の変化の履歴又は予測値とを用いて鋼材の累積破断確率を推定することができる。つまり、環境条件が複雑に変化する実環境に晒される鋼材の累積破断確率を実験（破断時間データ）に基づいて推定することができる。

[0067] 本実施形態に係る破断確率推定装置１は、図１２に示す汎用的なコンピュータシステムで実現することができる、例えば、ＣＰＵ５０、メモリ５１、ストレージ５２、通信部５３、入力部５４、及び出力部５５とを備える汎用的なコンピュータシテムにおいて、ＣＰＵ５０がメモリ５１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、破断確率推定装置１の各機能が実現される。所定のプログラムは、HDD、SSD、USBメモリ、CD-ROM、DVD-ROM、MOなどのコンピュータ読取り可能な記録媒体に記録することも、ネットワークを介して配信することもできる。

[0068] 本発明は、上記の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変形が可能である。例えば、環境条件が一定の場合の累積破断確率がワイブル分布に従う例を示したが、ワイブル分布以外の確率分布であっても推定が可能である。

[0069] このように、本発明はここでは記載していない様々な実施形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

符号の説明

[0070] １：破断確率推定装置

１０：複合累積ハザード関数生成部

２０：累積破断確率計算部

請求の範囲

[請求項1] 鋼材の破断確率を推定する破断確率推定装置が行う破断確率推定方法であって、

異なる環境条件で測定された鋼材の破断時間データから前記環境条件ごとの累積ハザード関数を求め、前記累積ハザード関数に対応する前記環境条件で前記鋼材を評価した評価時間の累積ハザード値が、異なる前記累積ハザード関数の間で連続するように複数の前記累積ハザード関数を結合させた複合累積ハザード関数を生成する複合累積ハザード関数生成ステップと、

前記複合累積ハザード関数から前記鋼材の累積破断確率を計算する累積破断確率計算ステップと

を含む破断確率推定方法。

[請求項2] 前記複合累積ハザード関数生成ステップは、

一方の累積ハザード関数と他方の累積ハザード関数とを所定の前記評価時間で結合する場合に、前記他方の累積ハザード関数の累積ハザード値を前記一方の累積ハザード関数の前記評価時間における累積ハザード値にオフセットさせる

ことを特徴とする請求項１に記載の破断確率推定方法。

[請求項3] 前記複合累積ハザード関数生成ステップは、

前記累積ハザード関数で表される累積ハザード値の確率分布がワイブル分布に従う場合に、次式で表される前記複合累積ハザード関数を生成する

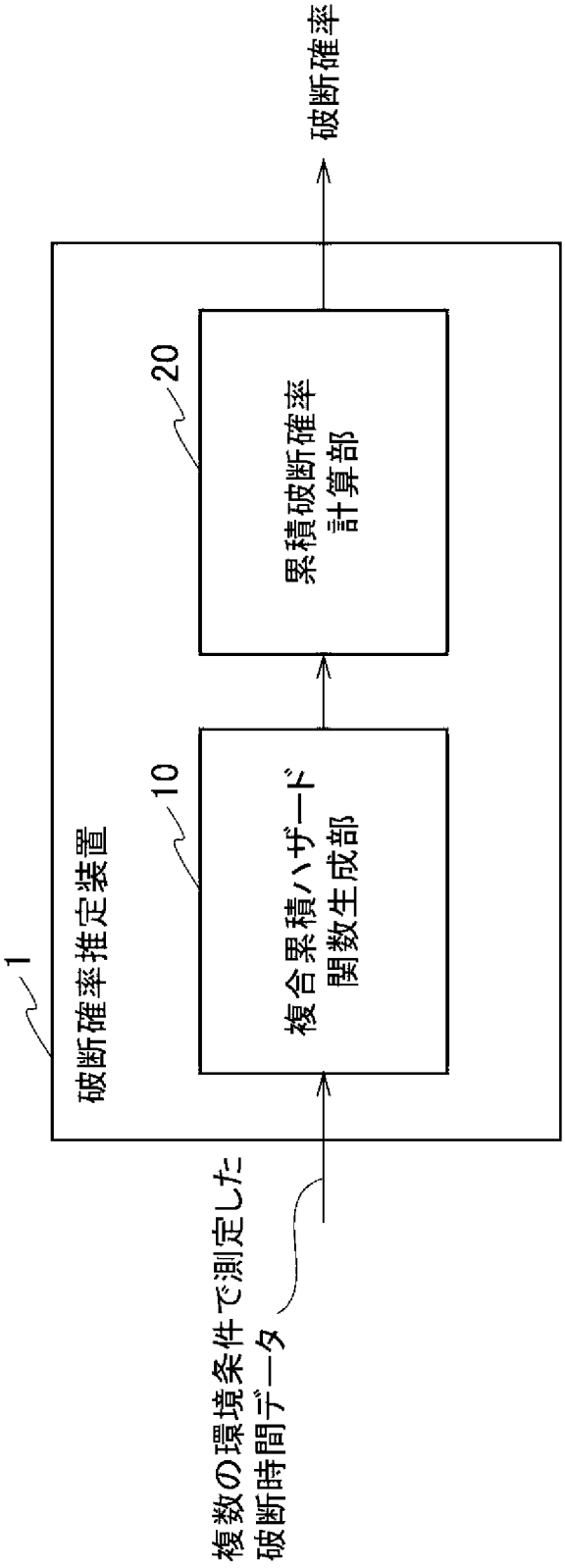
[数12]

$$\mathrm{H}(t) = \left(\int_0^t \frac{dt}{\eta(t)} \right)^m \qquad (14)$$

ここでｔは時間、ηはワイブル分布の尺度パラメータ、ｍはワイブル分布の形状パラメータである

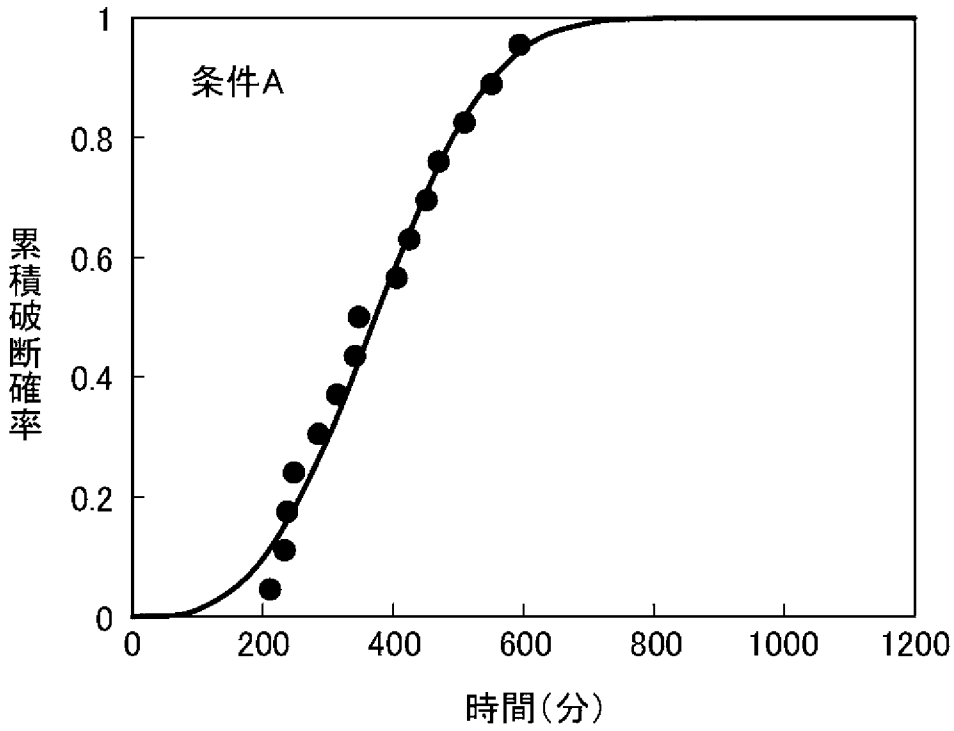
ことを特徴とする請求項１に記載の破断確率推定方法。

[図1]

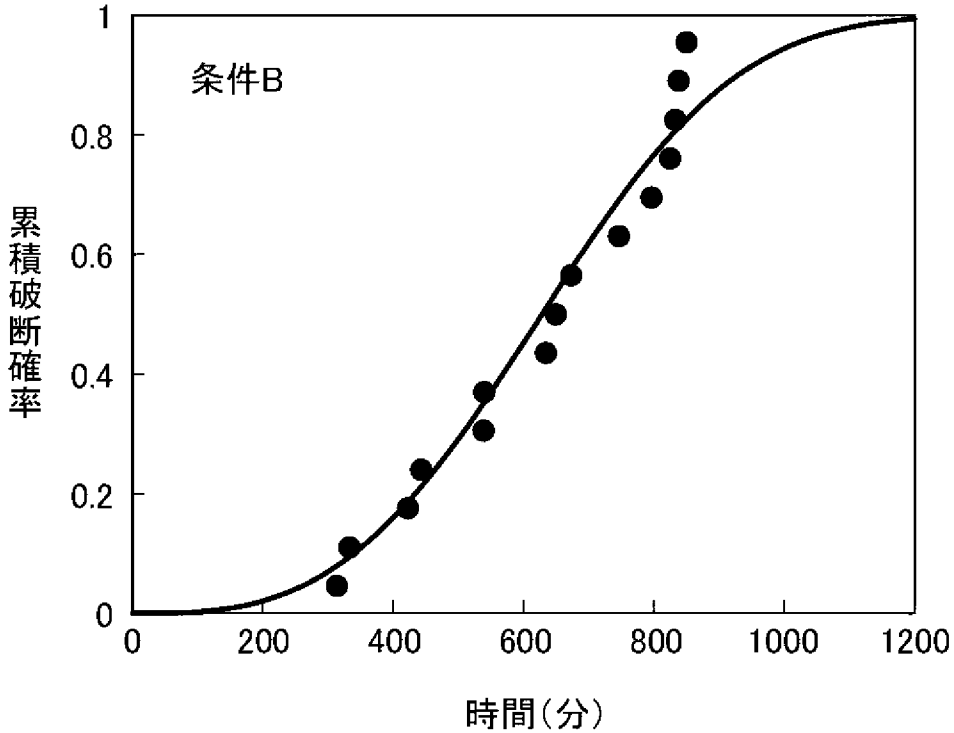

破断確率
1
破断確率推定装置
10
複合累積ハザード
関数生成部
20
累積破断確率
計算部
複数の環境条件で測定した
破断時間データ

[図2]

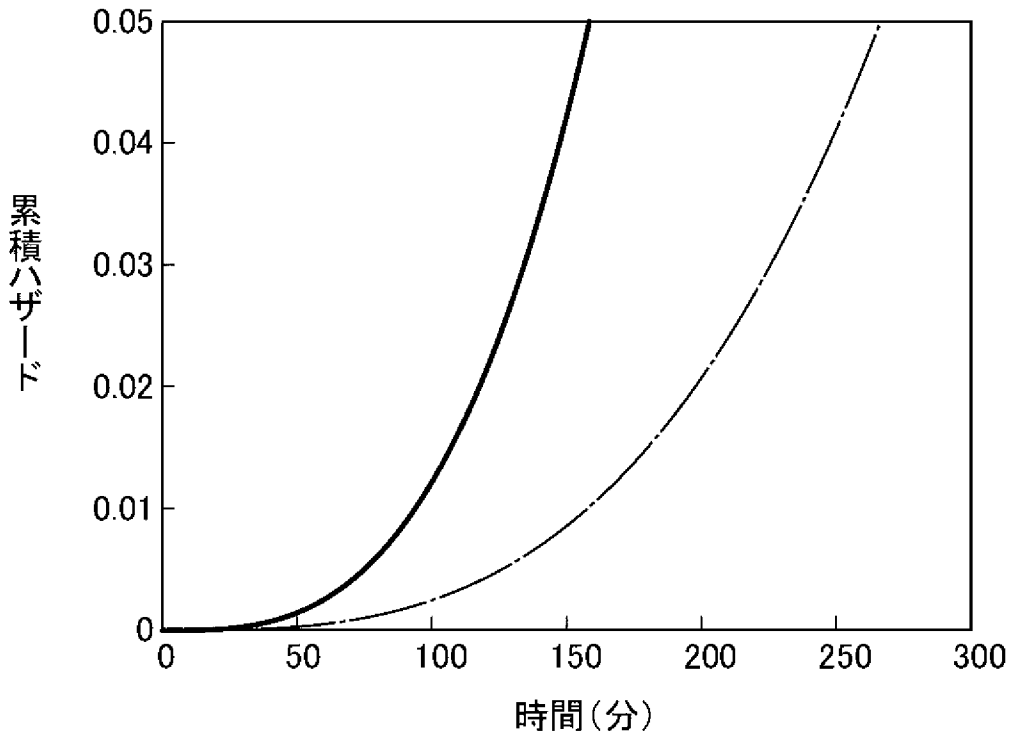
(a)


条件A
累積破断確率
時間(分)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0
200
400
600
800
1000
1200

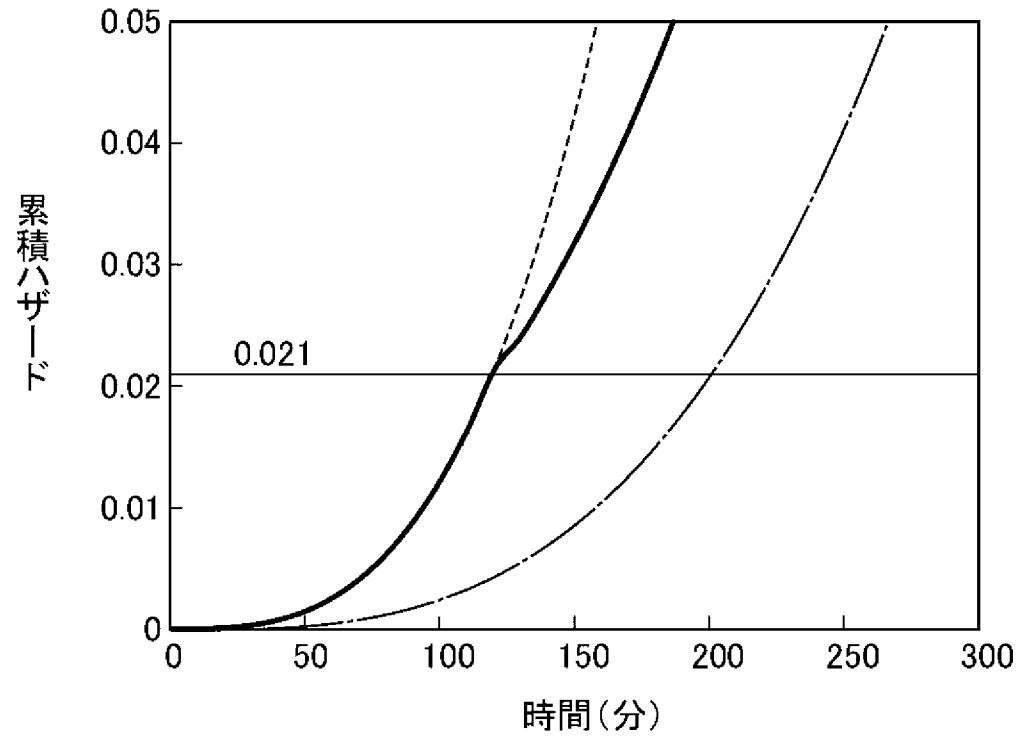
(b)


条件B
累積破断確率
時間(分)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0
200
400
600
800
1000
1200

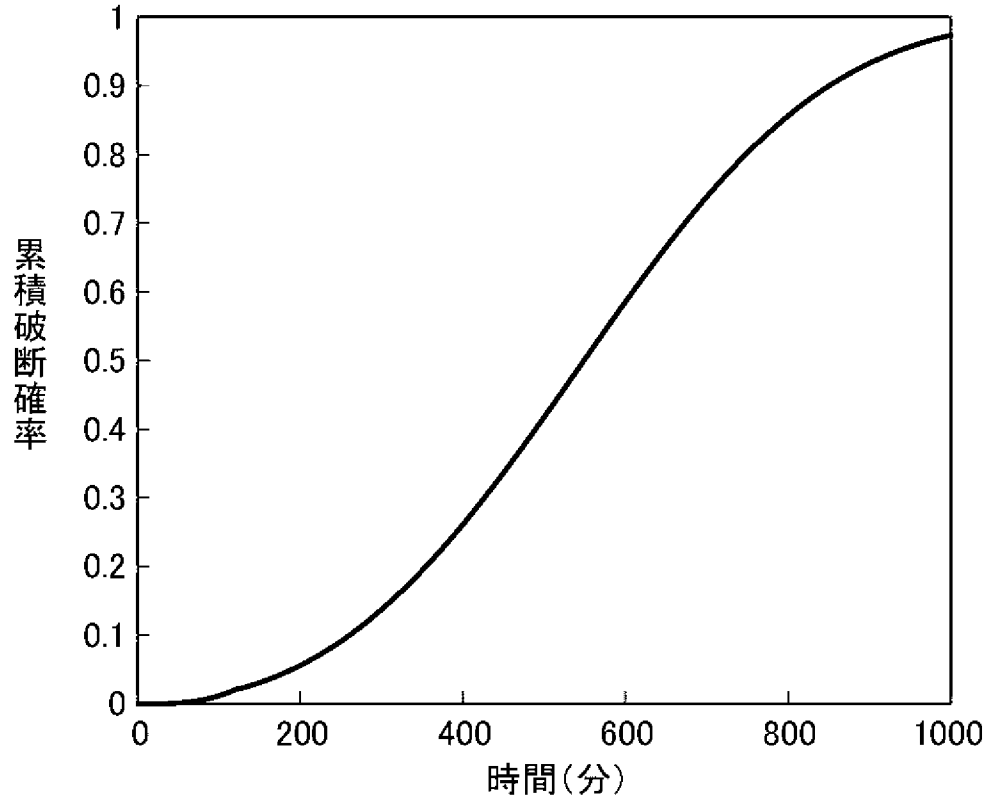
[図3]


0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
累積ハザード
0
50
100
150
200
250
300
時間（分）

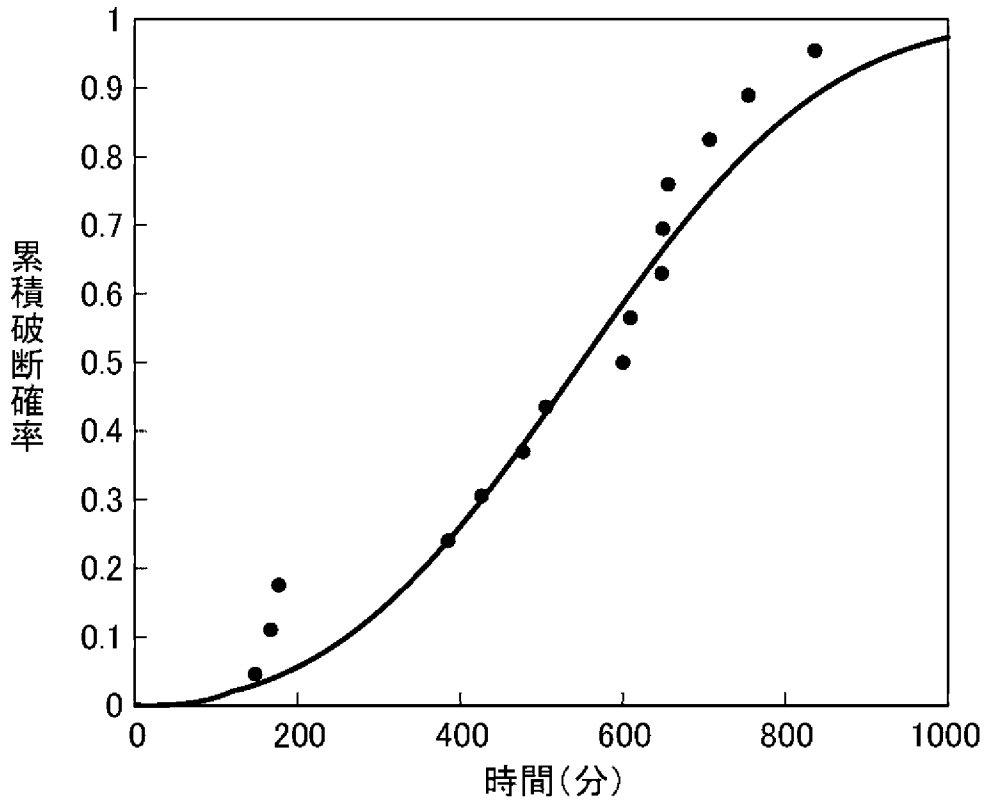
[図4]


0.05
0.04
0.03
0.021
0.02
0.01
0
累積ハザード
0
50
100
150
200
250
300
時間（分）

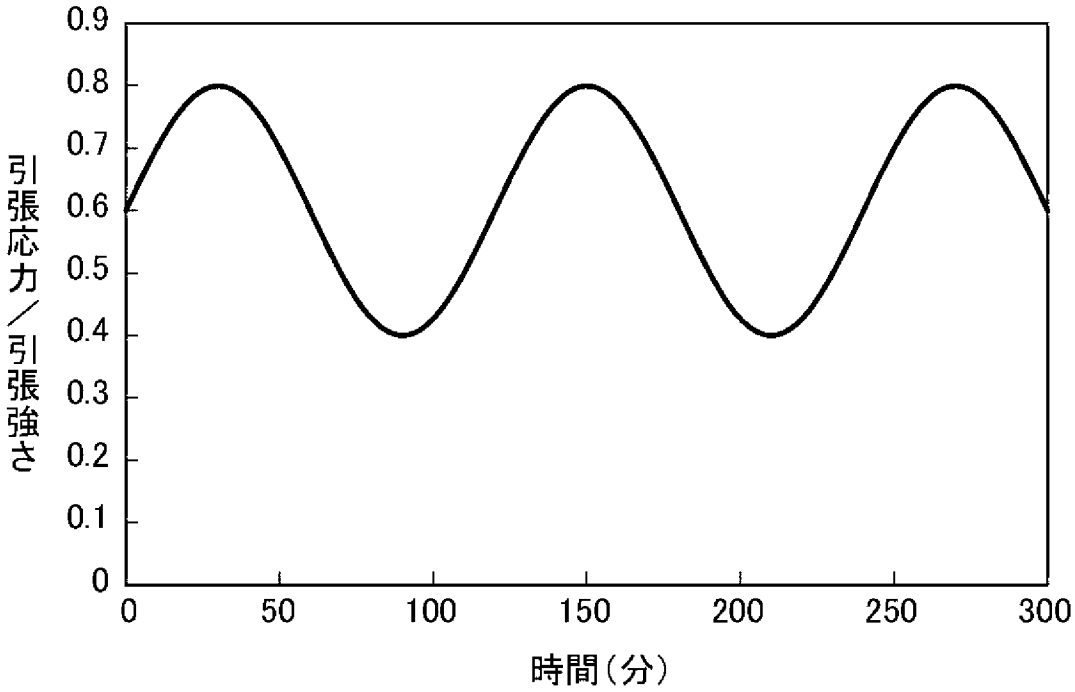
[図5]


累積破断確率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
200
400
600
800
1000
時間(分)

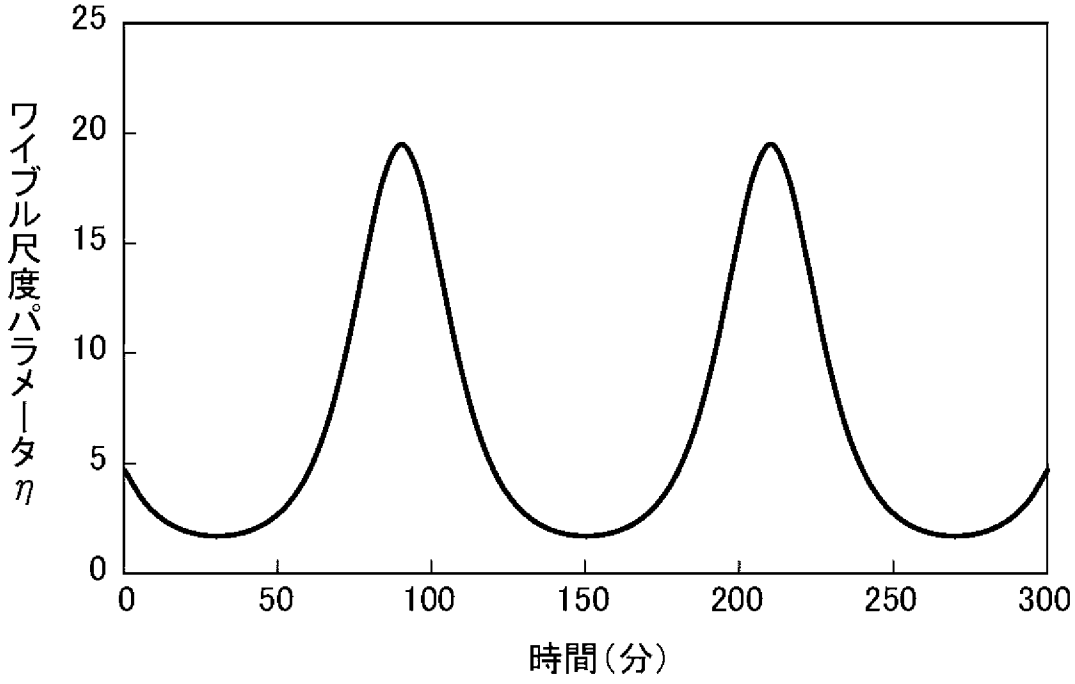
[図6]


累積破断確率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
200
400
600
800
1000
時間(分)

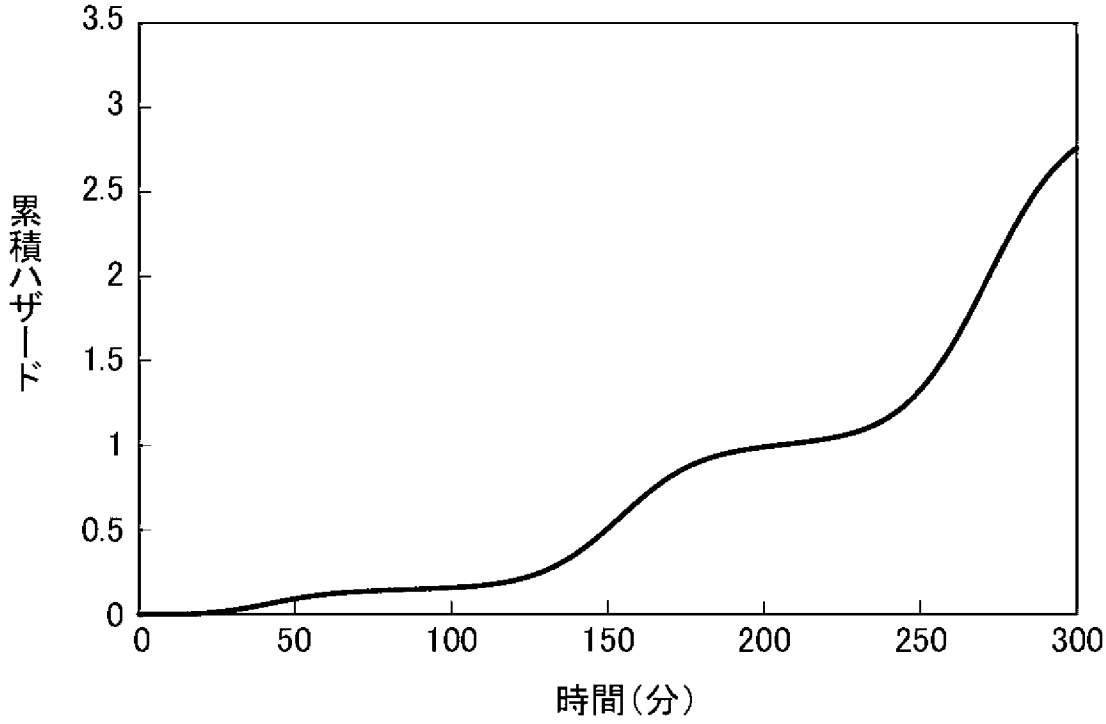
[図7]


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
引張応力／引張強さ
0
50
100
150
200
250
300
時間（分）

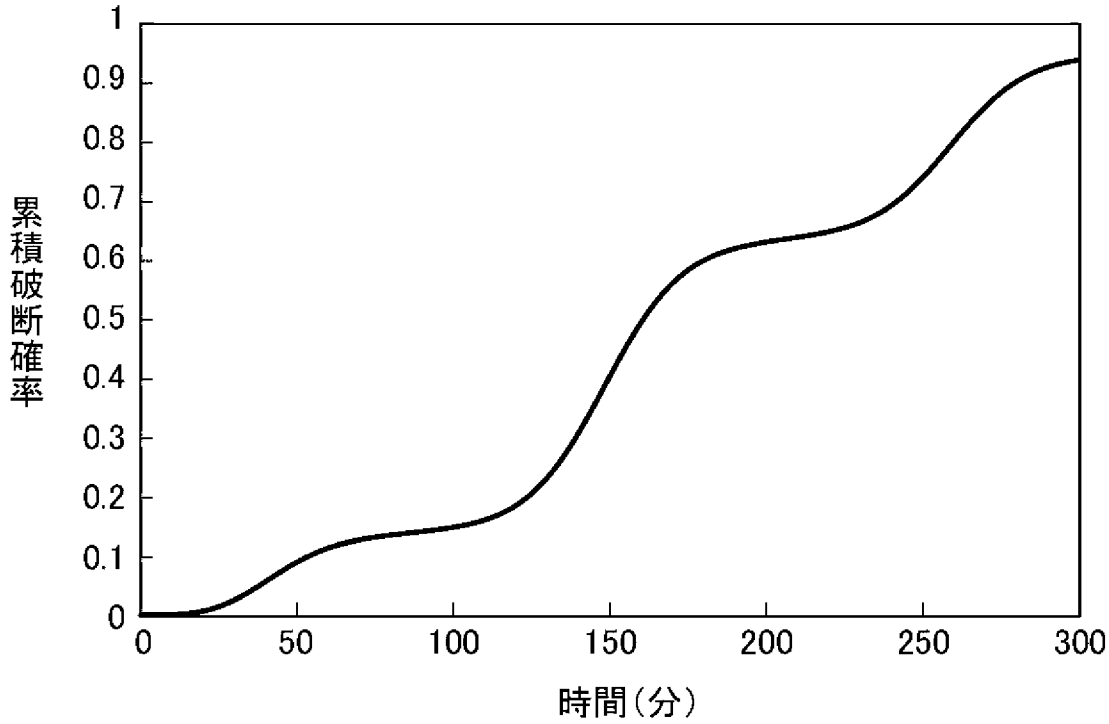
[図8]


25
20
15
10
5
0
ワイブル尺度パラメータ η
0
50
100
150
200
250
300
時間（分）

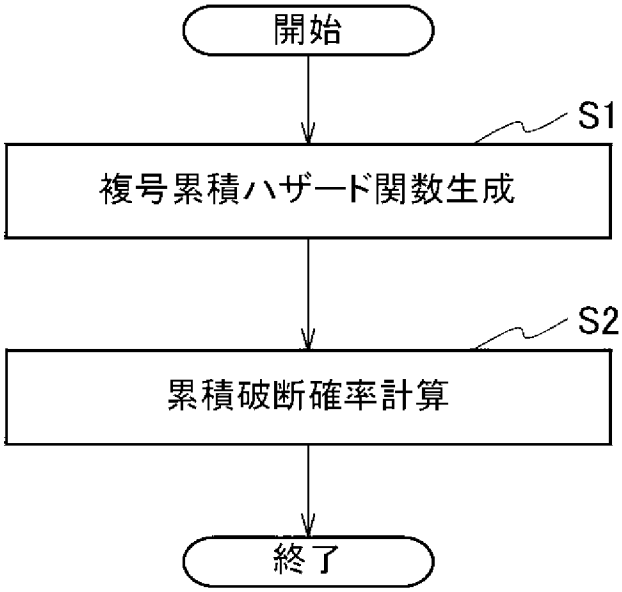
[図9]


累積ハザード
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
50
100
150
200
250
300
時間(分)

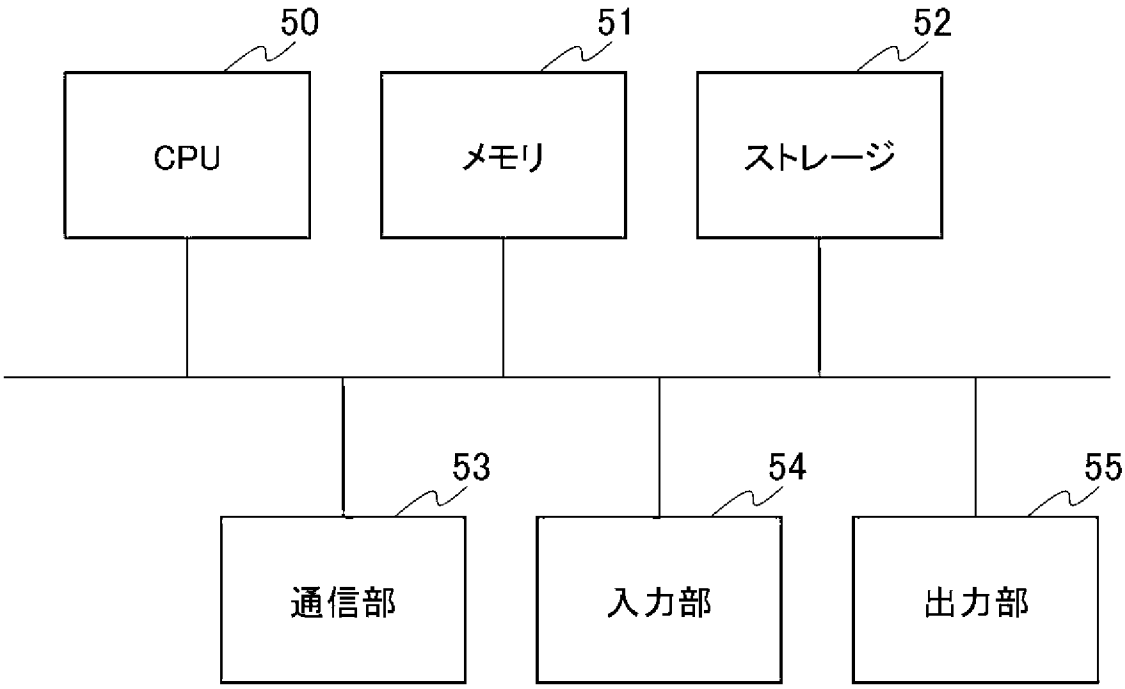
[図10]


累積破断確率
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
50
100
150
200
250
300
時間(分)

[図11]


開始
S1
複号累積ハザード関数生成
S2
累積破断確率計算
終了

[図12]


50
51
52
CPU
メモリ
ストレージ
53
54
55
通信部
入力部
出力部

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/041217

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01N 17/00(2006.01)i; G01N 3/00(2006.01)i
FI: G01N3/00 Z; G01N17/00

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)
G01N3/00-3/62; G01N17/00-17/04

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.
X	WO 2020/071237 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 09 April 2020 (2020-04-09) paragraphs [0012]-[0055], fig. 1-10	1-2
A	entire text, all drawings	3
A	上庄拓哉，津田昌幸，“確率過程モデルを用いた水素脆化破断の統計解析”, 材料試験技術, 15 October 2019, vol. 64, no. 4, pp. 180-183, entire text, all drawings, (KAMISHO, Takuya, TSUDA, Masayuki, “Statistical Analysis of Hydrogen Embrittlement Fracture using a Stochastic Process Model”, Journal of Material Testing Research Association)	1-3

☒ 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	Date of mailing of the international search report
04 March 2021 (04.03.2021)	16 March 2021 (16.03.2021)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2020/041217

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	上庄拓哉、石井龍太、竹内陽祐、渡辺正満、津田昌幸, "－第 65 回材料と環境討論会 講演大会論文－ 破断時間の統計解析による水素脆化の進行挙動の推定", 材料と環境, 10 April 2019, vol. 68, no. 4, pp. 88-91, doi:https://doi.org/10.3323/jcorr.68.88, entire text, all drawings, (KAMISHO, Takuya, ISHII, Ryuta, TAKEUCHI, Yosuke, WATANABE, Masamitsu, TSUDA, Masayuki, "-Lecture Conference Proceeding of the 65th Conference on Materials and Environments- Estimation of Hydrogen Embrittlement Process by Statistical Analysis of Fracture Time", Zairyo-to-Kankyo)	1-3
A	JP 2018-204949 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 27 December 2018 (2018-12-27) entire text, all drawings	1-3
A	JP 2003-14599 A (INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE) 15 January 2003 (2003-01-15) entire text, all drawings	1-3
A	US 7992449 B1 (MAHMOUD, Khaled M.) 09 August 2011 (2011-08-09) entire text, all drawings	1-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/041217

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2020/071237 A1	09 Apr. 2020	(Family: none)	
JP 2018-204949 A	27 Dec. 2018	(Family: none)	
JP 2003-14599 A	15 Jan. 2003	(Family: none)	
US 7992449 B1	09 Aug. 2011	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2020/041217

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G01N 17/00(2006.01)i; G01N 3/00(2006.01)i
FI: G01N3/00 Z; G01N17/00

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））

G01N3/00-3/62; G01N17/00-17/04

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	１９７１－２０２１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
X	WO 2020/071237 A1（日本電信電話株式会社）09.04.2020（2020-04-09） 段落００１２－段落００５５、図１－図１０	1-2
A	全文、全図	3
A	上庄拓哉，津田昌幸，“確率過程モデルを用いた水素脆化破断の統計解析”，材料試験技術，2019.10.15，Vol.64，No.4，pp.180-183 全文、全図	1-3
A	上庄拓哉、石井龍太、竹内陽祐、渡辺正満、津田昌幸，“－第６５回材料と環境討論会　講演大会論文－　破断時間の統計解析による水素脆化の進行挙動の推定”，材料と環境，2019.04.10，Vol.68，No.4，pp.88-91，doi:https://doi.org/10.3323/jcorr.68.88 全文、全図	1-3
A	JP 2018-204949 A（日本電信電話株式会社）27.12.2018（2018-12-27） 全文、全図	1-3
A	JP 2003-14599 A（独立行政法人物質・材料研究機構）15.01.2003（2003-01-15） 全文、全図	1-3

☑ 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
“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	国際調査報告の発送日
04.03.2021	16.03.2021

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）

山口　剛 2J 9806

電話番号 03-3581-1101 内線 3250

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	US 7992449 B1 (MAHMOUD KHALED M.) 09.08.2011 (2011-08-09) 全文、全図	1-3

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/JP2020/041217

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2020/071237 A1	09.04.2020	（ファミリーなし）	
JP 2018-204949 A	27.12.2018	（ファミリーなし）	
JP 2003-14599 A	15.01.2003	（ファミリーなし）	
US 7992449 B1	09.08.2011	（ファミリーなし）	