

(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  
2019年6月27日(27.06.2019)



(10) 国際公開番号

WO 2019/123792 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/JP2018/037984
- (22) 国際出願日: 2018年10月11日(11.10.2018)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2017-245197 2017年12月21日(21.12.2017) JP
- (71) 出願人: 三菱日立パワーシステムズ株式会社(MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS, LTD.) [JP/JP]; 〒2208401 神奈川県横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号 Kanagawa (JP).
- (72) 発明者: 松本 俊作(MATSUMOTO, Shunsaku); 〒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). 時吉 巧(TOKIYOSHI, Takumi); 〒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). 加藤 千香子(KATO,

Chikako); 〒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). 宮本 大樹(MIYAMOTO, Daiki); 〒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).

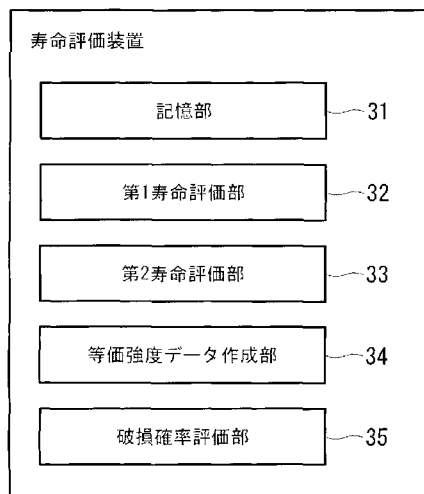
(74) 代理人: 藤田 考晴 (FUJITA, Takaharu); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1 横浜ランドマークタワー37F Kanagawa (JP).

(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, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, 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,

(54) Title: SERVICE LIFE EVALUATING DEVICE AND SERVICE LIFE EVALUATING METHOD

(54) 発明の名称: 寿命評価装置及び寿命評価方法

[図2]



- 1 Service life evaluating device  
31 Storage unit  
32 First service life evaluating unit  
33 Second service life evaluating unit  
34 Equivalent strength data creating unit  
35 Failure probability evaluating unit

(57) Abstract: The objective of the present invention is to improve the accuracy of an analytical service life evaluation. A service life evaluating device 1 comprises: a first service life evaluating unit (32) which obtains a first service life evaluation result by performing a service life evaluation using actual machine inspection data of a plurality of evaluation parts of a target member; a second service life evaluating unit (33) which obtains a second service life evaluation result by performing an analytical service life evaluation of the plurality of evaluation parts using standard material strength data of the target member; and an equivalent strength data creating unit (34) which, for each evaluation part, calculates, as unique strength data, strength data yielding a second service life evaluation result such that the difference from the first service life evaluation result lies within a prescribed permissible range, and which uses the calculated unique strength data of each evaluation part to create equivalent strength data of the target member.

[続葉有]

WO 2019/123792 A1

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, 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: 解析的寿命評価の精度を向上させることを目的とする。寿命評価装置1は、対象部材の複数の評価部位の実機検査データを用いて寿命評価を行い、第1寿命評価結果を得る第1寿命評価部(32)と、対象部材の標準材料強度データを用いて、複数の評価部位について解析的寿命評価を行い、第2寿命評価結果を得る第2寿命評価部(33)と、評価部位毎に、第1寿命評価結果との差分が所定の許容範囲内となるような第2寿命評価結果が得られる強度データを固有強度データとして演算し、演算した各評価部位の固有強度データを用いて、対象部材の等価強度データを作成する等価強度データ作成部(34)とを有している。

## 明 細 書

発明の名称： 寿命評価装置及び寿命評価方法

### 技術分野

[0001] 本発明は、寿命評価装置及び寿命評価方法に関するものである。

### 背景技術

[0002] 機械設備で発生するクリープや疲労などの経年劣化に対する確率論的リスク評価として、評価モデルを用いた解析的寿命評価や、検査結果を用いた寿命評価等が知られている。

解析的寿命評価は、例えば、設計・製造情報等を元に荷重－応力－強度のばらつきを評価して寿命や破損確率を解析的に評価する評価方法である。

検査結果を用いた寿命評価は、破壊・非破壊検査によって得られたき裂長さやボイド個数密度等の劣化・損傷の状態に対して、劣化・損傷状態と余寿命の対応関係を用いて将来の損傷を予測する評価方法である。

[0003] 解析的寿命評価において、強度のばらつき評価に用いられる強度データは、一般的に、国内の主要材料メーカが提供する多数の試験体を用いて疲労・クリープ試験を行い、その結果を統計的に処理することによって得られる。例えば、溶接部であれば、主要材料メーカが提供する多種多様な開先形状を有する多数の試験体を用いて疲労・クリープ試験を行い、その試験結果として得られた多数の値から近似式を得ることにより、強度データが作成される。このような強度データは、例えば、専門の研究機関や各メーカなどによって作成されたものが一般的に利用されている。

例えば、図 1 1 に強度データの一例としてクリープ破断寿命データを示す。図 1 1 において、横軸は破断時間（対数）、縦軸は応力（対数）であり、温度が低いほど同じ応力に対する破断時間が長くなる特性を示している。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0004] 特許文献1：特許第4 7 4 5 3 6 6 号公報

特許文献2：特許第4 6 9 9 3 4 4 号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0005] 上述のように、従来、解析的寿命評価で用いられる強度データは、材料メーカ、開先形状、溶接材料、施工法等の違いに起因した強度・寿命のばらつきを内包した強度データであるため、寿命評価を行う評価部位の実際の強度データとの誤差が生じており、寿命評価の精度が低下するおそれがあった。
- [0006] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、解析的寿命評価の精度を向上させることのできる寿命評価装置及び寿命評価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] 本発明の幾つかの実施形態に係る寿命評価装置の一実施形態は、対象部材の複数の評価部位の実機検査データを用いて寿命評価を行い、第1寿命評価結果を得る第1寿命評価部と、前記対象部材の標準材料強度データを用いて、複数の前記評価部位について解析的寿命評価を行い、第2寿命評価結果を得る第2寿命評価部と、前記評価部位毎に、前記第1寿命評価結果との差分が所定の許容範囲内となるような前記第2寿命評価結果が得られる強度データを固有強度データとして演算し、演算した各前記評価部位の固有強度データを用いて、前記対象部材の等価強度データを作成する等価強度データ作成部と、を有し、前記標準材料強度データは、前記対象部材とは異なるメーカにより製造された試験体または異なる特徴形状を有する試験体に基づいて取得されたデータを統計的に処理して得られたばらつきを含む強度データであり、前記第2寿命評価部は、前記等価強度データ作成部によって作成された前記等価強度データを用いて前記対象部材の未評価部位について解析的寿命評価を行う寿命評価装置である。
- [0008] 上記構成によれば、実機検査データを用いて寿命評価を行うことによって得られた第1寿命評価結果と、解析的寿命評価を行うことによって得られた第2寿命評価とを用いて、評価部位毎の固有強度データを同定する。具体的

には、各評価部位について得られた第1寿命評価結果を正しい結果としてみなして、この第1寿命評価結果と一致または近似する第2寿命評価が得られるような強度データを固有強度データとして求める。そして、評価部位毎に得た固有強度データを用いて、当該対象部材に用いられている材料の等価強度データを作成する。これにより、製造元や特徴形状等の違いに起因する誤差を低減した当該対象部材に固有の等価強度データを得ることが可能となる。そして、等価強度データを用いて他の未評価部位について解析的寿命評価を行うことで、標準材料強度データを用いる場合に比べて評価精度を向上させることが可能となる。他の未評価部位については、実機データを取得する必要がないため、労力の低減や時間短縮を図ることができる。

[0009] 上記寿命評価装置において、前記等価強度データ作成部は、前記標準材料強度データと該標準材料強度データの元データのばらつきを示す分布の情報を有しており、前記分布のパーセンタイルを走査することにより、前記第1寿命評価結果との差分が前記許容範囲内となる前記第2寿命評価結果が得られるようなパーセンタイルを同定し、前記固有強度データを得ることとしてもよい。

[0010] このように、標準材料強度の元データのばらつきを示す分布のパーセンタイルを用いることにより、比較的容易に固有強度データを得ることが可能となる。

[0011] 上記寿命評価装置において、前記等価強度データ作成部は、各前記評価部位の固有強度データを統計的に処理することにより前記等価強度データを作成することとしてもよい。

[0012] 上記寿命評価装置は、前記等価強度データを用いて次回検査時までの損傷確率を評価する損傷確率評価部を備えていてもよい。

[0013] 本発明の幾つかの実施形態に係る寿命評価方法における一実施形態は、対象部材の複数の評価部位の実機検査データを用いて寿命評価を行い、第1寿命評価結果を得る工程と、前記対象部材の標準材料強度データを用いて、複数の前記評価部位について解析的寿命評価を行い、第2寿命評価結果を得る

工程と、前記評価部位毎に、前記第 1 寿命評価結果との差分が所定の許容範囲内となるような前記第 2 寿命評価結果が得られる強度データを固有強度データとして演算する工程と、演算した各前記評価部位の固有強度データを用いて、前記対象部材の等価強度データを作成する工程と、前記等価強度データを用いて前記対象部材の未評価部位について解析的寿命評価を行う工程とを有し、前記標準材料強度データは、異なるメーカーにより製造された試験体または異なる特徴形状を有する試験体に基づいて取得されたデータを統計的に処理して得られたばらつきを含む強度データである寿命評価方法である。

### 発明の効果

[0014] 本発明の幾つかの実施形態によれば、解析的寿命評価の精度を向上させることができるという効果を奏する。

### 図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の幾つかの実施形態に係る寿命評価装置の一実施形態のハードウェア構成を示した図である。

[図2]本発明の幾つかの実施形態に係る寿命評価装置が備える機能を示した一実施形態の機能ブロック図である。

[図3]材料損傷のマスターカーブの一例を示した図である。

[図4]本発明の幾つかの実施形態に係る寿命評価装置によって評価される評価部位の一例を示した図である。

[図5]ある温度下における標準強度データの一例を示した図である。

[図6]第 2 寿命評価部によって得られた寿命評価結果等の一例を示した図である。

[図7]図 5 に示した標準強度データにおいて、パーセンタイル 25 % のときの強度データを示した図である。

[図8]等価強度データの一例を示した図である。

[図9]破損確率を等価強度データ上に示した図である。

[図10]本発明の幾つかの実施形態に係る寿命評価方法の一実施形態の処理手順を示したフローチャートである。

[図11]一般的な強度データの一例を示した図である。

### 発明を実施するための形態

[0016] 以下に、本発明の幾つかの実施形態に係る寿命評価装置及び寿命評価方法の一実施形態について、図面を参照して説明する。

図1は、本発明の一実施形態に係る寿命評価装置1のハードウェア構成を示した図である。図1に示すように、寿命評価装置1は、例えば、CPU11、CPU11が実行するプログラム等を記憶するためのROM (Read Only Memory) 12、各プログラム実行時のワーク領域として機能するRAM (Random Access Memory) 13、大容量記憶装置としてのハードディスクドライブ (HDD) 14、キーボードやマウス等からなる入力部15、液晶表示装置等からなる表示部16、ネットワークに接続するための通信インターフェース17、及び外部記憶装置18が装着されるアクセス部19等を備えている。これら各部は、バス20を介して接続されている。

[0017] 図2は、寿命評価装置1が備える機能を示した機能ブロック図である。以下に説明する各種機能を実現するための一連の処理は、一例として、プログラムの形式でROM12やHDD14等の記憶媒体に記憶されており、このプログラムをCPU11がRAM13等に読み出して、情報の加工・演算処理を実行することにより、各種機能が実現される。プログラムは、ROM12やHDD14あるいは、その他の記憶媒体に予めインストールしておく形態や、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体に記憶された状態で提供される形態、有線又は無線による通信手段を介して配信される形態等が適用されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記憶媒体とは、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等である。

[0018] 図2に示すように、寿命評価装置1は、記憶部31、第1寿命評価部32、第2寿命評価部33、等価強度データ作成部34、破損確率評価部35を主な構成として備えている。

[0019] 記憶部31には、寿命評価を行う上で、必要となる種々の情報が格納されている。主なデータとして、例えば、評価対象設備に関する基礎データ、検

査関連データ等が挙げられる。

[0020] 評価対象設備に関する基礎データとして、例えば、運転データ、製造データ、改造履歴データ、加工・熱処理データ、設計データ等が挙げられる。設計データには、設計図面、損傷評価式、標準強度データ、検査スケジュールデータ等が含まれる。

検査関連データは、破壊／非破壊検査等に関するデータであり、例えば、材料損傷のマスターカーブが挙げられる。材料損傷のマスターカーブの一例として、ボイド個数密度とクリープ損傷の関係式、粒内方位差と疲労損傷度との関係式等が挙げられる。これら情報は関係式として格納されていてもよいし、マップ情報として格納されていてもよい。

[0021] 第1寿命評価部32は、複数の評価部位に対して非破壊検査が行われることで得られた実機検査データを取得し、この実機検査データを用いて寿命評価を行い、例えば、各評価部位についての累積損傷度 $B$ （図6参照）を得る。実機検査データの一例として、ボイド個数密度、ボイド面積率、 $A$ パラメータ、電子線後方散乱回折法（EBSD: Electron Backscatter Diffraction）等が挙げられる。これらの実機検査データは、クリープ損傷破断時間または疲労損傷破断時間と相関があるため、これらの実機検査データを用いて寿命評価を行うことができる。例えば、第1寿命評価部32は、記憶部31に格納されている図3に示すような材料損傷のマスターカーブを用いて、上述した実機検査データから各評価部位の損傷度 $D_{i\_ins}$ を演算する。図3は、ボイド個数密度[個/mm<sup>2</sup>]とクリープ損傷度[%]との関係を示したマスターカーブの一例である。

[0022] 例えば、評価対象設備として火力発電等に用いられるボイラが設定され、評価対象としてボイラの大径管が設定され、第1寿命評価部32の評価部位として、図4に示すように、大径管の溶接線 $A_1 \sim A_k$ が設定された場合、第1寿命評価部32は、各評価部位 $A_1 \sim A_k$ の実機検査データを取得し、これらの実機検査データと記憶部31に格納されている材料損傷のマスターカーブとを用いて、各評価部位 $A_1 \sim A_k$ の累積損傷度 $D_{1\_ins} \sim D_k$

\_\_ i n sを得る。

[0023] 第2寿命評価部33は、対象部材の評価モデルに対象部材の標準材料強度データを用いて、複数の評価部位について解析的寿命評価を行い、第2寿命評価結果を得る。例えば、第2寿命評価部33は、評価部位の設計時点での想定、または実機の損傷状況を考慮して、損傷評価モデルを選定し、選定した損傷評価モデルに記憶部31に格納されている評価対象設備に関する基礎データ等を用いることにより、各評価部位についての寿命評価を行う。

[0024] より具体的には、第2寿命評価部33は、損傷部位の損傷が疲労破壊であれば、S-N曲線、累積疲労損傷則、疲労き裂進展則（パリス則等）等の損傷評価モデルを選定し、クリープ損傷であれば、時間-温度パラメータ（TTP：Time-Temperature Parameter）を用いた損傷評価モデルを選定する。TTP法の時間-温度パラメータの一例として、Larson-Miller、Orr-Sherby-Dorn、Manson-Succop、Manson-Haferd等が挙げられる。損傷評価モデルの選定については、入力部15（図1参照）からユーザが設定することとしてもよいし、部位毎に損傷評価モデルが対応付けられた情報を予め用意しておき、この情報から部位に応じた損傷評価モデルを決定することとしてもよい。

[0025] 続いて、第2寿命評価部33は、記憶部31に格納されている基礎データと、選定した損傷評価モデルとを用いることにより、各評価部位についての寿命評価を行う。例えば、第2寿命評価部33は、上述した第1寿命評価部32によって寿命評価が行われる評価部位A1～Akについて、標準材料強度データを用いた寿命評価を行う。この場合、第2寿命評価部33は、評価部位の運転時間、温度、応力等を入力条件とし、選定した損傷評価モデルにこれらの入力条件を与えることで、評価部位の余寿命・損傷度を算出する。ここで、応力は、実機供用環境に基づいてFEM（有限要素法）等を用いて演算した値を用いるとよい。

[0026] 上述のTTPを用いたクリープ破断寿命評価としてLarson-Millerを用いる場合、クリープラプチャー曲線を標準強度データとして用いて、寿命評価（損傷度評価）を行う。図5に、ある温度条件下におけるクリープラプチャー

曲線（標準強度データ）の一例を示す。図5において、横軸は破断時間、縦軸は応力（対数）を示している。図5において、直線で示されている特性は、クリープラプチャー曲線であり、対数正規分布で示されている特性は、試験データ（クリープデータ）のばらつき頻度を示している。すなわち、標準材料強度データは、国内の主要材料メーカーが提供する様々な開先形状を有する試験体に対してクリープ破断試験を行い、その試験結果（クリープデータ）から近似式を求めて表された特性である。図5に示した直線部の特性は、多数の試験結果から得た近似式の一例を表した特性であり、対数正規分布は近似式で表された標準材料強度データに対する試験結果のばらつき度合いを示した曲線である。

[0027] 図5に示したクリープラプチャー曲線は、例えば、以下の（1）式で表される。

[0028] [数1]

$$\log Li \sim N\left(\frac{a_0}{T} + \frac{a_1}{T} \log \sigma + \frac{a_2}{T} (\log \sigma)^2 + \frac{a_3}{T} \sigma - C, SEE\right) \quad (1)$$

[0029] 上記（1）式において、 $\log Li$ は破断時間の対数值、 $N(\mu, \sigma)$ は平均 $\mu$ 、標準偏差 $\sigma$ に従う正規分布、 $T$ は温度、 $\sigma$ は応力、 $a_0, a_1, a_2, a_3, C$ は材料定数、 $SEE$ は標準誤差である。上記（1）式に示すように、 $\log Li$ は右辺の正規分布に従う確率変数として表される。

[0030] 図6に、第2寿命評価部33によって得られた寿命評価結果の一例を示す。図6に示すように、設計条件として、製造条件、寸法条件を設定し、運転条件として、検査時点までの実機供用条件を設定する。例えば、今回の検査時点までに運転1から運転nまで運転されていた場合には、各運転1からnに対して、その運転期間 $t$ 、圧力 $p$ 、温度 $T$ を設定し、また、これらの条件から応力 $\sigma$ を推定して、推定した応力 $\sigma$ を運転条件として設定する。そして、設定したこれらの条件に基づいて、図5に示した標準強度データを用いて

各運転終了時における損傷度（破断時間）を得る。

[0031] 具体的には、第2寿命評価部33は、上記（1）式に示した演算式に対して、運転条件に応じた応力 $\sigma$ 、温度 $T$ をそれぞれ代入することにより、評価部位毎に、各運転条件1～ $n$ における寿命（破断時間） $L$ を算出する。

[0032] そして、各運転条件において算出された寿命（破断時間） $L$ と各運転条件の運転期間 $t$ とから損傷度 $D$ を得る。例えば、評価部位 $A_1$ の運転条件1における損傷度 $D_{11}$ は、以下の（2）式で表される。

$$[0033] \quad D_{11} = t_{11} / L_{11} \quad (2)$$

[0034] 続いて、第2寿命評価部33は、評価部位毎に算出した各運転条件の損傷度 $D$ を足し合わせることで、各評価部位 $A_1 \sim A_k$ について累積損傷度 $D_{i\_sum} (i = 1 \sim k)$ を得る。

[0035] 等価強度データ作成部34は、第1寿命評価部32の評価結果である累積損傷度 $D_{i\_ins}$ と、第2寿命評価部33の評価結果である累積損傷度 $D_{i\_sum}$ とを用いて、各評価部位 $A_1 \sim A_k$ の固有強度データを得、この固有強度データを用いて、対象部材の等価強度データを作成する。具体的には、等価強度データ作成部34は、各評価部位について、累積損傷度 $D_{i\_ins}$ と累積損傷度 $D_{i\_sum}$ との差分がゼロまたは許容範囲内となるような累積損傷度 $D_{i\_sum}$ が得られる強度データを固有強度データとして得る。

[0036] 例えば、等価強度データ作成部34は、評価部位毎に、標準強度データにおける対数正規分布のパーセンタイルを走査し、各パーセンタイルのときの強度データから累積損傷度 $D_{i\_sum}'$ を演算する。例えば、パーセンタイル25%のときの強度データは、図7に示されるように、図5に示した標準強度データ（クリープラプチャー曲線）を平行移動させることにより得ることができる。そして、この結果得た累積損傷度 $D_{i\_sum}'$ が第1寿命評価部32によって得られた累積損傷度 $D_{i\_ins}$ と一致する、または、差分が許容範囲内となるパーセンタイルを探索する。

ここで、例えば、累積損傷度 $D_{i\_sum}$ が累積損傷度 $D_{i\_ins}$ より

も小さい場合には、寿命評価に用いた標準強度データが実際の強度よりも高いと考えられるので、パーセンタイルを小さな値に変更するとよい。一方、累積損傷度  $D_{i\_sum}$  が累積損傷度  $D_{i\_ins}$  よりも大きい場合には、寿命評価に用いた標準強度データが実際の強度よりも低いと考えられるので、パーセンタイルを 50% よりも大きな値に変更するとよい。

この結果、図 6 に示すように、各評価部位  $A_1 \sim A_k$  について各パーセンタイルが決定される。

[0037] 続いて、等価強度データ作成部 34 は、評価部位  $A_1 \sim A_k$  について決定されたパーセンタイル（例えば、10%、35%、・・・9%）を用いて、評価部位  $A_1 \sim A_k$  についての固有強度データを得る。例えば、評価部位  $A_1$  であれば、パーセンタイル 10% を通る強度データを固有強度データとする。

上述した固有強度データの求め方については、上述の方法に限定されず、例えば、統計的演算手法等の公知の演算技術を適宜適用することが可能である。

[0038] 続いて、評価部位  $A_1 \sim A_k$  について決定されたパーセンタイルに基づいて、確率紙プロットや統計的手法を用いてパーセンタイルの確率分布特性を得る。そして、この確率分布特性から等価強度データを演算により求める。

例えば、評価部位  $A_1 \sim A_k$  のパーセンタイルが正規分布に従うと仮定したとき、例えば図 8 に示すような等価強度データが得られる。

[0039] このようにして、等価強度データ作成部 34 によって等価強度データが作成されると、第 2 寿命評価部 33 は、等価強度データ作成部 34 によって得られた等価強度データを用いて、対象部材の未評価部位  $A_{k+1} \sim A_n$ （図 4 参照）について解析的寿命評価を行う。これにより、他の評価部位  $A_{k+1} \sim A_n$  については、対象部材固有の強度データから推定された等価強度データを用いて寿命評価を行うことができる。この結果、標準強度データを用いて寿命評価を行う場合と比べて評価精度を高めることが可能となる。評価部位  $A_{k+1} \sim A_n$  については実機データを取得する必要がないため、労力

の軽減や時間の短縮を図ることが可能となる。

[0040] 破損確率評価部 35 (図 2 参照) は、等価強度データ作成部 34 によって作成された等価強度データと、次回検査時点までに予定されている運転条件の情報を用いて、次回の検査時点における破損確率評価を行う。

ここで、第 1 寿命評価部 32 によって累積損傷度  $Di\_ins$  が算出されている評価部位  $A1 \sim Ak$  については、各評価部位  $A1 \sim Ak$  に対応する固有強度データが得られている。したがって、評価部位  $A1 \sim Ak$  については、今回の検査時点における累積損傷度  $Di\_ins$ 、それぞれの固有強度データ、及び次回の検査時点までの運転条件を用いて、次回の検査時点における累積損傷度を演算する。

[0041] 第 1 寿命評価部 32 による累積損傷度  $Di\_ins$  が存在せず、そのために固有強度データが存在しない評価部位  $Ak+1 \sim An$  については、等価強度データ作成部 34 によって作成された等価強度データを用いて演算された今回の検査時点における累積損傷度  $Di\_sum$  及び等価強度データと次回の検査時点までの運転条件とから演算される累積損傷度を用いて、次回の検査時点における累積損傷度を演算する。

[0042] そして、破損確率評価部 35 は、各評価部位  $A1 \sim An$  についてそれぞれ次回の検査時点における累積損傷度を演算すると、以下の (3) 式を用いて、次回検査時における破損確率 (PoF : Probability of Failure) を算出する。

[0043] [数 2]

$$PoF = P\left(Li\_next \leq \frac{ti\_next}{1 - Di\_sum}\right) \quad (3)$$

[0044] 上記 (3) 式において、 $Li\_next$  は、評価部位  $Ai$  ( $i = 1 \sim n$  の整数) の次回検査時における破断寿命、 $ti\_next$  は、評価部位  $Ai$  ( $i = 1 \sim n$  の整数) の今回検査時から次回検査時までの運転時間、 $Di\_sum$  は、評価部位  $Ai$  ( $i = 1 \sim n$  の整数) の今回検査時における累積損傷

度である。

図9は、上記破損確率 $P \circ F$ を等価強度データ上に示した図である。

このようにして、次回検査時の破損確率を演算することにより、現時点で交換しなければならない部材を定量的に評価することができる。

[0045] 次に、上記構成を備える寿命評価装置1による寿命評価方法について図10を参照して簡潔に説明する。

まず、ステップSA1において、今回の検査において寿命評価を実施する複数の評価部位（例えば、図4の $A_1 \sim A_n$ ）が設定される。続いて、ステップSA2において、ステップSA1で設定された複数の評価部位 $A_1 \sim A_n$ のうち、指定された一部の評価部位 $A_1 \sim A_k$ について検査データに基づく寿命評価が行われる。例えば、一部の評価部位 $A_1 \sim A_k$ に対して非破壊検査が行われ、その検査データに基づいて寿命評価が行われる。これにより、一部の評価部位 $A_1 \sim A_k$ に対して累積損傷度 $D_{i\_ins}$ （図6参照）が第1寿命評価結果として算出される。

[0046] ステップSA3では、一部の評価部位 $A_1 \sim A_k$ について、解析的寿命評価が行われることにより、累積損傷度 $D_{i\_sum}$ （図6参照）が第2寿命評価結果として算出される。

ステップSA4では、等価強度データの作成が行われる。具体的には、ステップSA3で得られた各評価部位の累積損傷度 $D_{i\_sum}$ が累積損傷度 $D_{i\_ins}$ と一致するようなパーセンタイルの同定を行い、得られたパーセンタイルから等価強度データを作成する。

ステップSA5では、残りの評価部位 $A_{k+1} \sim A_n$ について、ステップSA4で作成した等価強度データを用いて解析的寿命評価が行われる。

ステップSA6では、破損確率 $P \circ F$ の評価が行われる。具体的には、一部の評価部位 $A_1 \sim A_k$ については、同定によって得たパーセンタイルから取得される固有強度データを用いて破損確率 $P \circ F$ が演算され、残りの評価部位 $A_{k+1} \sim A_n$ については、ステップSA5で作成した等価強度データを用いて破損確率 $P \circ F$ が算出される。

[0047] 以上、説明してきたように、本実施形態によれば、第1寿命評価部32によって得られた累積損傷度 $D_{i\_ins}$ （第1寿命評価結果）が正しい寿命評価結果であるとみなし、累積損傷度 $D_{i\_ins}$ に一致または近似するような第2寿命評価が得られるような強度データを固有強度データとして演算する。そして、評価部位毎に得た固有強度データを用いて、当該対象部材に用いられている材料の等価強度データを作成する。これにより、製造元や特徴形状等の違いに起因する誤差を低減した当該対象部材に固有の等価強度データを得ることが可能となる。そして、等価強度データを用いて他の未評価部位（例えば、 $A_{k+1} \sim A_n$ ）について解析的寿命評価を行うことで、標準材料強度データを用いる場合に比べて評価精度を向上させることが可能となる。他の未評価部位については、実機データを取得する必要がないため、労力の低減や時間短縮を図ることが可能となる。

[0048] 以上、本発明の幾つかの実施形態について説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施形態に記載の範囲には限定されない。発明の要旨を逸脱しない範囲で上記実施形態に多様な変更又は改良を加えることができ、該変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれる。また、上記実施形態を適宜組み合わせてもよい。

上記実施形態で説明した情報提示処理の流れも一例であり、本発明の主旨を逸脱しない範囲内において不要なステップを削除したり、新たなステップを追加したり、処理順序を入れ替えたりしてもよい。

[0049] 例えば、上記実施形態では、等価強度データを得るために必要とする評価部位の数（上記例では、 $k$ 個）を任意に設定していたが、等価強度データを得るために必要とする評価部位の数を統計学的手法を用いて演算し、より適切な数を設定することとしてもよい。例えば、標本統計学の考えに従った、信頼水準 $1 - \gamma$ の演算手法を導入することにより、一定の信頼性以上の等価強度データを得るために最低限必要なデータ数を算出し、このデータ数に応じた評価部位を設定することとしてもよい。

実機検査データを取得する評価部位を選定する場合において、部品交換を

行ってから間もない部位については、クリープが発生していたとしても微小なことが多く、実機検査データに基づく寿命評価の精度が低い傾向にある。したがって、実機検査データを取得する評価部位、すなわち、上記実施形態における評価部位 A 1 ~ A k については、使用期間がある程度経過している部位、例えば、使用期間が予め設定された期間以上の部位を設定するとよい。このように、使用期間がある程度長い部位を実機検査の評価部位として選定することで、試用期間が短い部位については等価強度データを用いた解析的寿命評価を行うこととなる。これにより、実機検査データに基づく寿命評価よりも高い精度で寿命評価を行うことが可能となる。

[0050] 更に、上記実施形態では、各評価部位 A 1 ~ A n について独立した部位としてそれぞれ破損確率を演算していたが、例えば、図 4 に示すように、複数の部位が接続されて構成される部材については、一つの部位に損傷が発生すると、その損傷部位に接続されている他の部位についても交換を余儀なくされる場合がある。このような接続条件も加味して、破損確率を演算することとしてもよい。例えば、複数の部位が接続されてなる部材については、その部材を構成する各部位の損傷度を乗算することにより、部材全体の損傷度を演算することとしてもよい。

[0051] 上述した実施形態では、各評価部位における寿命評価や破損確率を評価したが、この評価結果を用いて、予防保全や事故発生後の事後保全にかかわるコストや時間の情報を入力情報として与えることで、交換数量に応じた計画外停止リスク（稼働率）や保全費用（予防保全費用、事故発生後の事後保全費用）、及び客先被害額（事故対応費用、売電機会損失）等を評価することとしてもよい。

例えば、破損確率評価部 35 によって算出された破損確率（PoF）に加えて、検査工事費用（PMC : Preventive Maintenance Cost）や故障時の事故対応費用（CMC : Corrective Maintenance Cost）を用いることにより、以下の（4）式から総工事費用 TC を定量的に評価することができる。

[0052]  $TC = PMC + CMC \times PoF$  (4)

[0053] 更に、事故対応費用CMCに事故に伴う設備停止時間と停止に伴う客先の機会損失（例えば、発電事業者であれば売電機会の喪失）を考慮することで、設備稼働率、収益性を考慮した総費用を定量化することができる。これにより、例えば、総費用を最小化する運用条件等を提案することが可能となる。

### 符号の説明

- [0054] 1 寿命評価装置
- 3 1 記憶部
  - 3 2 第1寿命評価部
  - 3 3 第2寿命評価部
  - 3 4 等価強度データ作成部
  - 3 5 破損確率評価部
  - A 1 ～ A n 評価部位

## 請求の範囲

- [請求項1] 対象部材の複数の評価部位の実機検査データを用いて寿命評価を行い、第1寿命評価結果を得る第1寿命評価部と、
- 前記対象部材の標準材料強度データを用いて、複数の前記評価部位について解析的寿命評価を行い、第2寿命評価結果を得る第2寿命評価部と、
- 前記評価部位毎に、前記第1寿命評価結果との差分が所定の許容範囲内となるような前記第2寿命評価結果が得られる強度データを固有強度データとして演算し、演算した各前記評価部位の固有強度データを用いて、前記対象部材の等価強度データを作成する等価強度データ作成部と、
- を有し、
- 前記標準材料強度データは、前記対象部材とは異なるメーカにより製造された試験体または異なる特徴形状を有する試験体に基づいて取得されたデータを統計的に処理して得られたばらつきを含む強度データであり、
- 前記第2寿命評価部は、前記等価強度データ作成部によって作成された前記等価強度データを用いて前記対象部材の未評価部位について解析的寿命評価を行う寿命評価装置。
- [請求項2] 前記等価強度データ作成部は、前記標準材料強度データと該標準材料強度データのエデータのエデータのエデータを示す分布の情報を有しており、前記分布のパーセンタイルを走査することにより、前記第1寿命評価結果との差分が前記許容範囲内となる前記第2寿命評価結果が得られるようなパーセンタイルを同定し、前記固有強度データを得る請求項1に記載の寿命評価装置。
- [請求項3] 前記等価強度データ作成部は、各前記評価部位の固有強度データを統計的に処理することにより前記等価強度データを作成する請求項2に記載の寿命評価装置。

[請求項4] 前記等価強度データを用いて次回検査時までの損傷確率を評価する損傷確率評価部を備える請求項1から3のいずれかに記載の寿命評価装置。

[請求項5] 対象部材の複数の評価部位の実機検査データを用いて寿命評価を行い、第1寿命評価結果を得る工程と、

前記対象部材の標準材料強度データを用いて、複数の前記評価部位について解析的寿命評価を行い、第2寿命評価結果を得る工程と、

前記評価部位毎に、前記第1寿命評価結果との差分が所定の許容範囲内となるような前記第2寿命評価結果が得られる強度データを固有強度データとして演算する工程と、

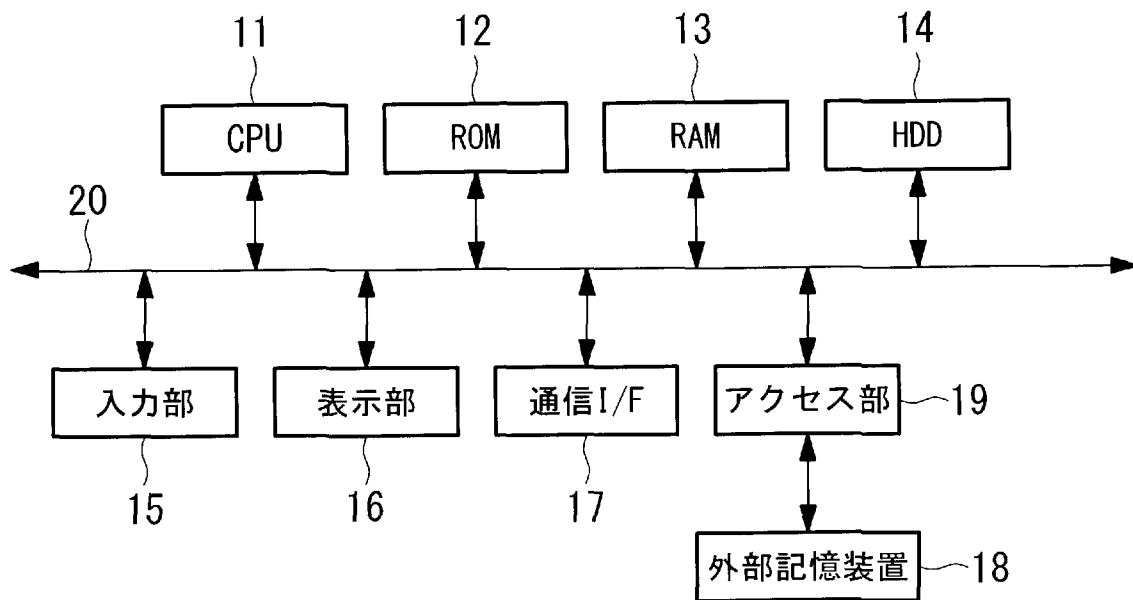
演算した各前記評価部位の固有強度データを用いて、前記対象部材の等価強度データを作成する工程と、

前記等価強度データを用いて前記対象部材の未評価部位について解析的寿命評価を行う工程と

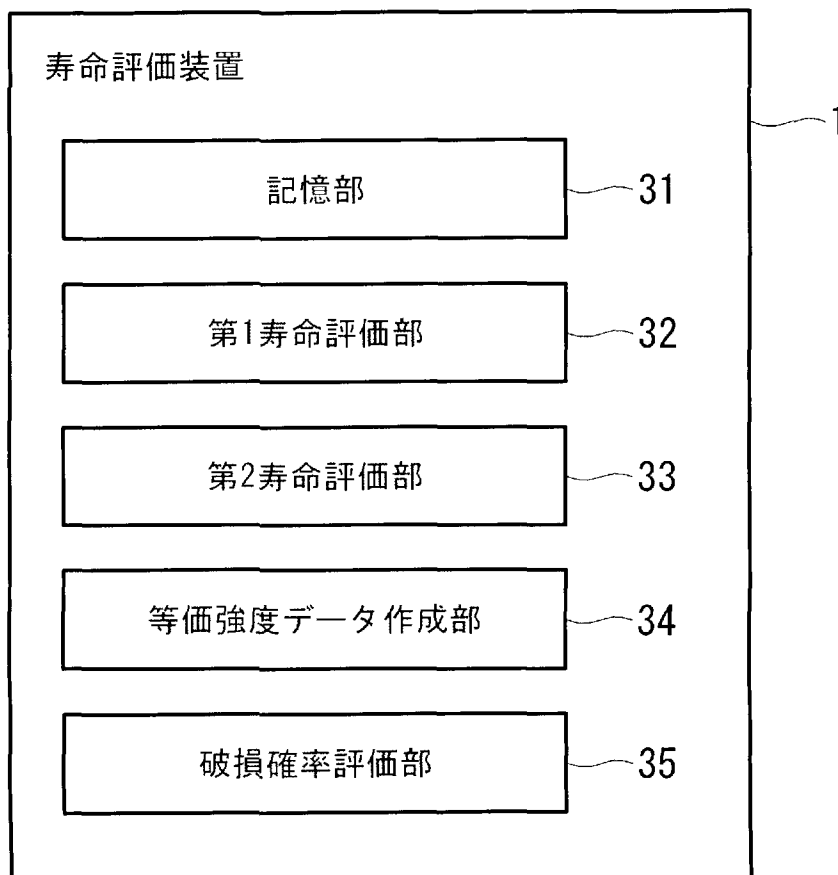
を有し、

前記標準材料強度データは、異なるメーカーにより製造された試験体または異なる特徴形状を有する試験体に基づいて取得されたデータを統計的に処理して得られたばらつきを含む強度データである寿命評価方法。

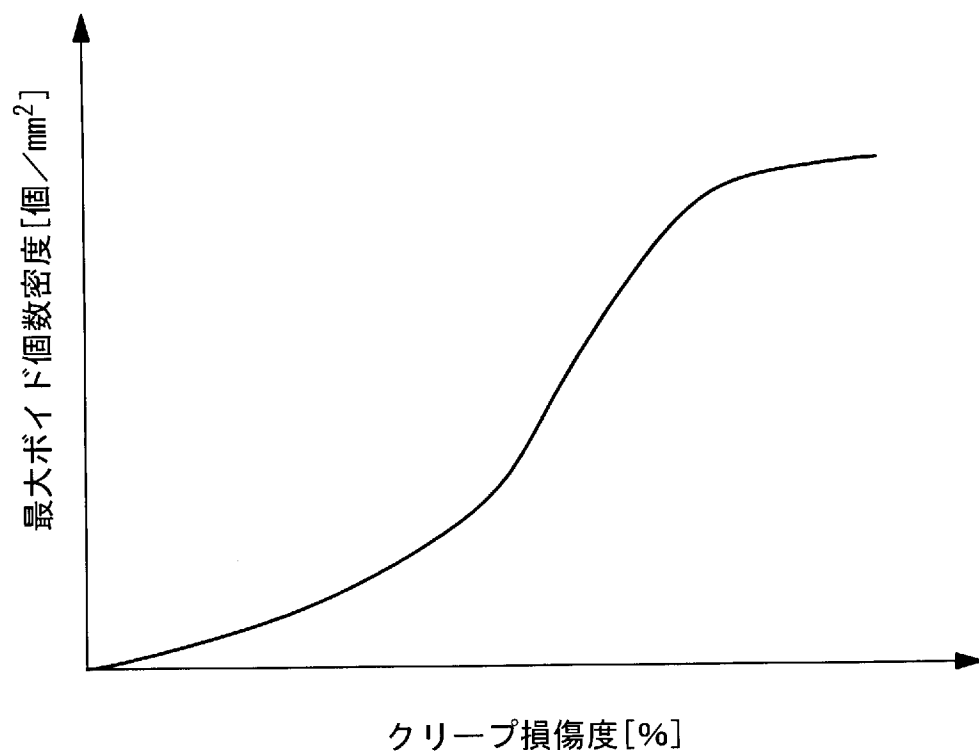
[図1]



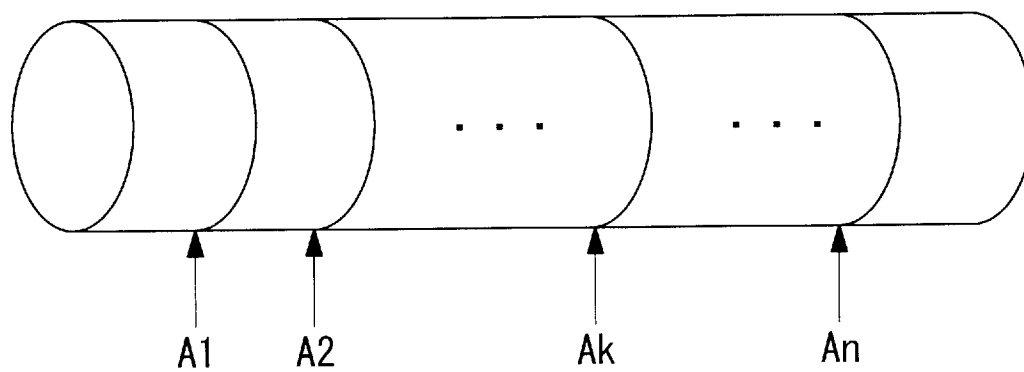
[図2]



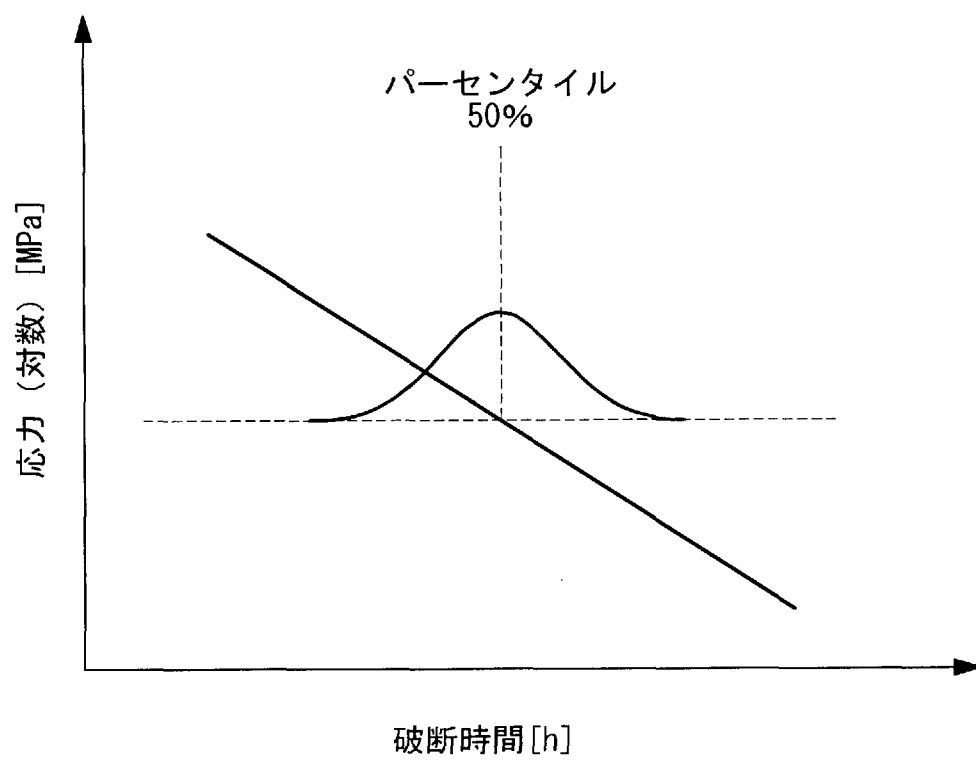
[図3]



[図4]



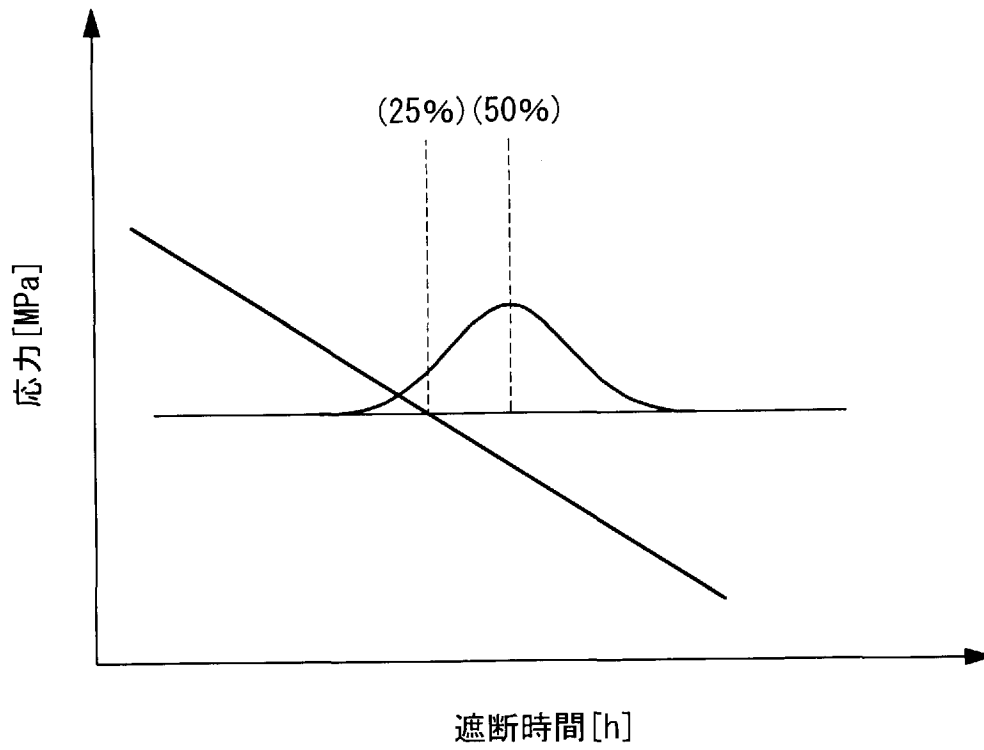
[図5]



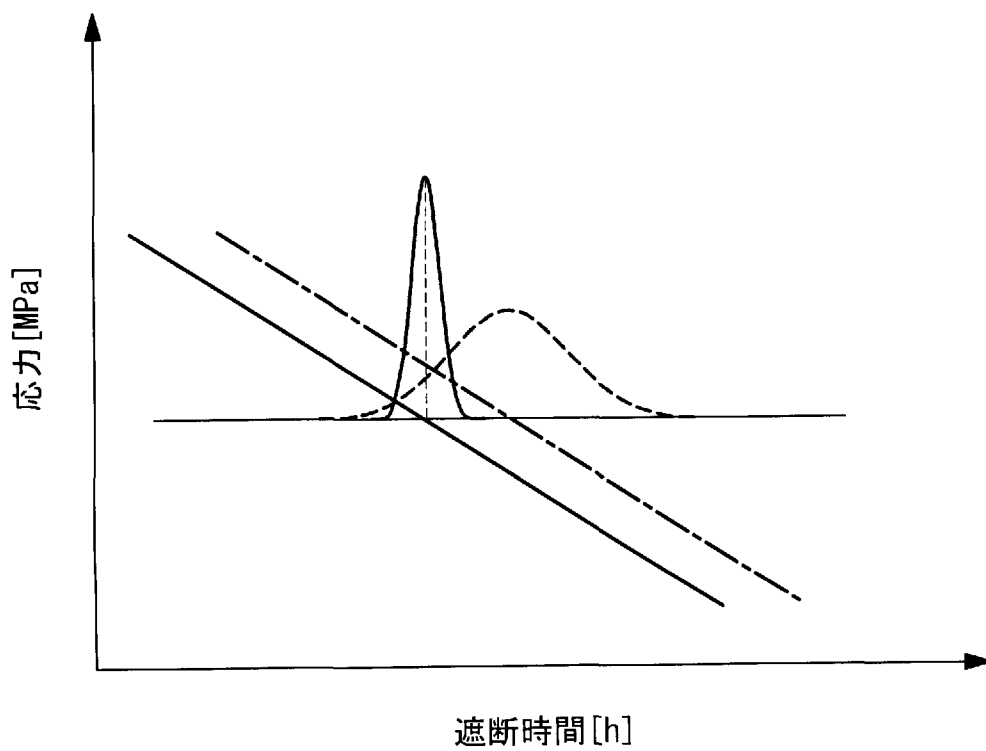
[図6]

| 第2寿命評価結果 |          |          |                        |     |     |     |     |     |    |     |        |            |            |  | 第1寿命<br>評価結果 | 累積損傷度A<br>=累積損傷度B<br>となる<br>パーセンタイル |
|----------|----------|----------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|--------|------------|------------|--|--------------|-------------------------------------|
| 評価<br>部位 | 設計条件     |          | 検査時点までの実機供用条件を考慮した評価結果 |     |     |     |     |     |    |     | 検査結果   |            |            |  |              |                                     |
|          |          |          | 運転1                    |     |     |     |     |     | .. | 運転n |        | 累積<br>損傷度A | 累積<br>損傷度B |  |              |                                     |
|          | 製造<br>条件 | 寸法<br>条件 | 期間                     | 圧力  | 温度  | 応力  | 寿命  | 損傷度 |    |     | 損傷度    |            |            |  |              |                                     |
| A1       | ・        | ・        | t11                    | p11 | T11 | σ11 | L11 | D11 | ・  | D1n | D1_sum | D1_ins     | 10%        |  |              |                                     |
| A2       | ・        | ・        | ・                      | ・   | ・   | ・   | ・   | ・   | ・  | ・   | ・      | ・          | 35%        |  |              |                                     |
| ・        | ・        | ・        | ・                      | ・   | ・   | ・   | ・   | ・   | ・  | ・   | ・      | ・          | ・          |  |              |                                     |
| Ak       | ・        | ・        | tk1                    | pk1 | Tk1 | σk1 | Lk1 | Dk1 | ・  | Dkn | Dk_sum | Dk_ins     | 9%         |  |              |                                     |

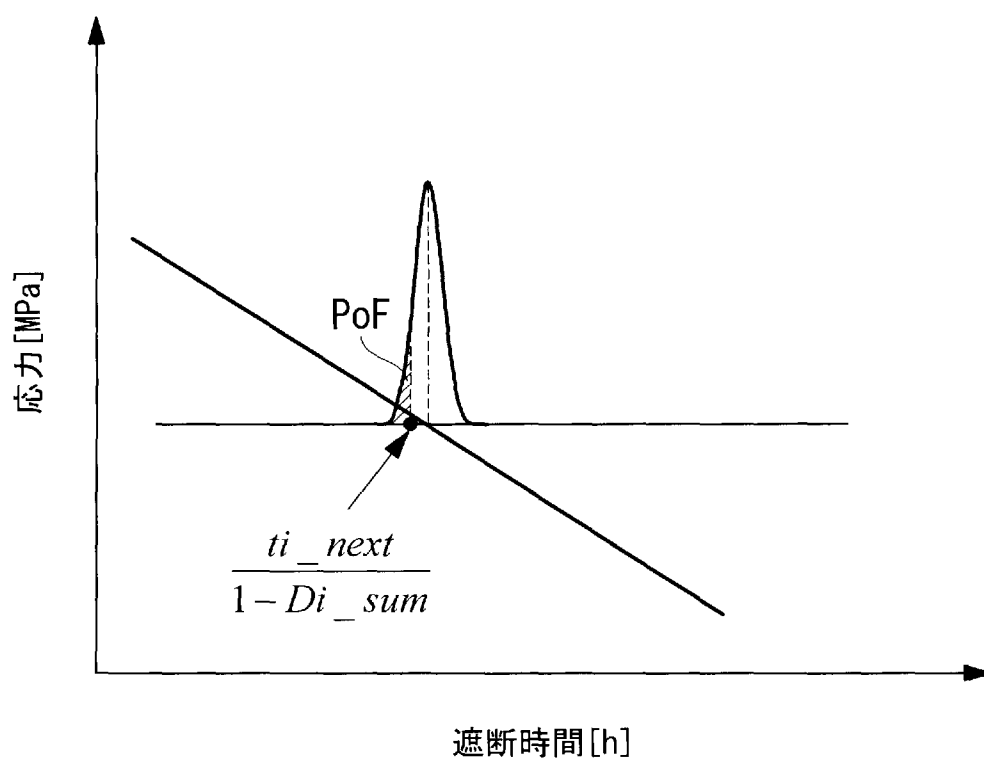
[図7]



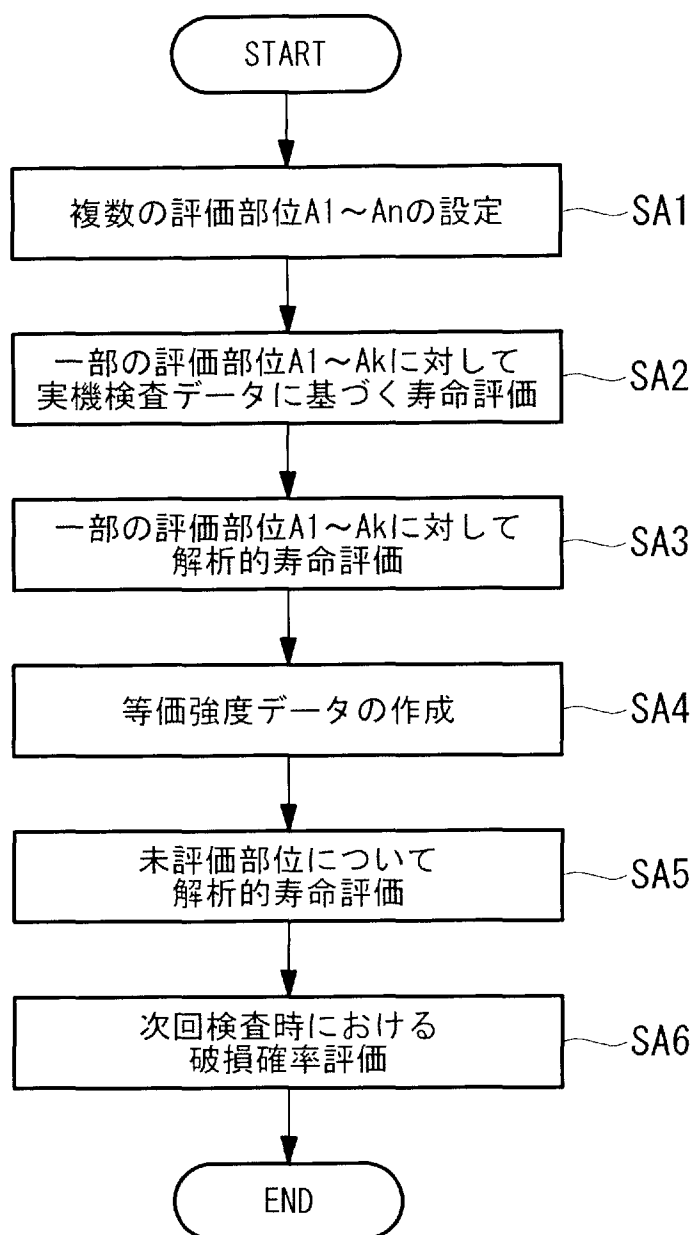
[図8]



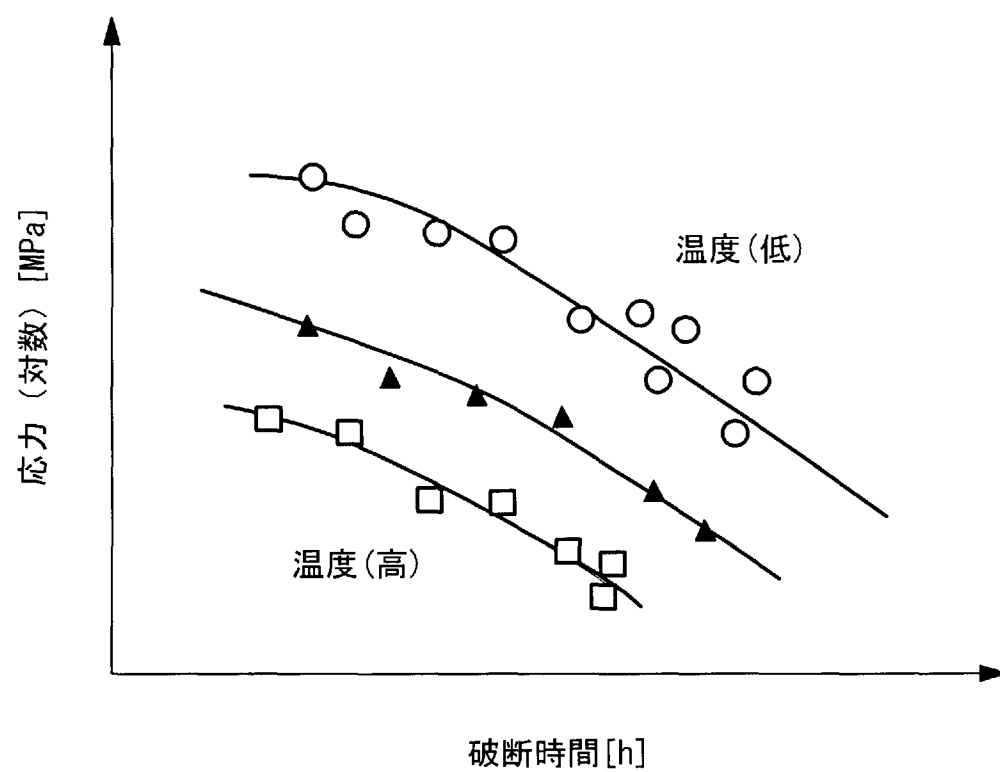
[図9]



[図10]



[図11]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/037984

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

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

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)

Int.Cl. G01N17/00, G01N3/00

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 1971-2018

Registered utility model specifications of Japan 1996-2018

Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

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 2003-130986 A (BABCOCK HITACHI KK) 08 May 2003, entire text, all drawings<br>(Family: none)                    | 1-5                   |
| A         | WO 2014/147830 A1 (CHUGOKU ELECTRIC POWER CO., INC.) 25 September 2014, entire text, all drawings & JP 5355832 B1 | 1-5                   |
| A         | JP 2008-134095 A (TOSHIBA CORPORATION) 12 June 2008, entire text, all drawings<br>(Family: none)                  | 1-5                   |



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  
20.12.2018

Date of mailing of the international search report  
08.01.2019

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/JP2018/037984

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 2002-195935 A (BABCOCK HITACHI KK) 10 July 2002, entire text, all drawings<br>(Family: none)              | 1-5                   |
| A         | JP 2002-328085 A (NKK CORP.) 15 November 2002, entire text, all drawings<br>(Family: none)                   | 1-5                   |
| A         | JP 2017-198500 A (TOSHIBA CORPORATION) 02 November 2017, entire text, all drawings<br>(Family: none)         | 1-5                   |
| A         | JP 10-170416 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 26 June 1998, entire text, all drawings<br>(Family: none) | 1-5                   |

## 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)n

## 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 | 1971-2018年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2018年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2018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<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 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | JP 2003-130986 A（バブコック日立株式会社）2003.05.08, 全文、<br>全図（ファミリーなし）     | 1-5            |
| A               | WO 2014/147830 A1（中国電力株式会社）2014.09.25, 全文、全図 &<br>JP 5355832 B1 | 1-5            |
| A               | JP 2008-134095 A（株式会社東芝）2008.06.12, 全文、全図（ファ<br>ミリーなし）          | 1-5            |

☒ 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

20.12.2018

国際調査報告の発送日

08.01.2019

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）

西岡 貴央

2 J

4407

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 |
| A                     | JP 2002-195935 A (バブコック日立株式会社) 2002. 07. 10, 全文、<br>全図 (ファミリーなし) | 1-5            |
| A                     | JP 2002-328085 A (日本鋼管株式会社) 2002. 11. 15, 全文、全図 (フ<br>ァミリーなし)    | 1-5            |
| A                     | JP 2017-198500 A (株式会社東芝) 2017. 11. 02, 全文、全図 (フ<br>ァミリーなし)      | 1-5            |
| A                     | JP 10-170416 A (三菱重工業株式会社) 1998. 06. 26, 全文、全図 (フ<br>ァミリーなし)     | 1-5            |