

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6825846号
(P6825846)

(45) 発行日 令和3年2月3日(2021.2.3)

(24) 登録日 令和3年1月18日(2021.1.18)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 17/00 (2006.01) GO 1 N 17/00

請求項の数 20 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-158211 (P2016-158211) (22) 出願日 平成28年8月10日 (2016.8.10) (65) 公開番号 特開2018-25497 (P2018-25497A) (43) 公開日 平成30年2月15日 (2018.2.15) 審査請求日 令和1年6月27日 (2019.6.27)</p>	<p>(73) 特許権者 000000033 旭化成株式会社 東京都千代田区有楽町一丁目1番2号 (74) 代理人 100066980 弁理士 森 哲也 (74) 代理人 100103850 弁理士 田中 秀▲てつ▼ (72) 発明者 中原 正大 東京都千代田区神田神保町一丁目105番 地 旭化成株式会社内 審査官 福田 裕司</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 保全支援装置、保全支援用プログラム、及び保全支援方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラントの構造物の損傷度合の測定値をその属性と関連付けて多数取得する取得部と、
 前記取得部で取得した前記測定値を前記属性でグループ分けし、そのグループ毎に、グループに属する前記測定値それぞれに対し、前記測定値が予め定めた確率分布に従うものとして、該確率分布の累積確率に対応する基準化変数を算出する算出部と、

予め定めた構造物の属性及び板厚の組み合わせそれぞれに対し、前記算出部で算出した基準化変数に基づき、構造物の損傷によって該構造物が使用不能状態となる確率である寿命到達確率を演算する演算部と、

保全対象となる構造物の環境状態及び腐食状態の少なくとも一方を検出する検出部と、
 前記検出部で検出した検出結果に基づき、前記演算部で演算した寿命到達確率を補正する補正部と、を備え、

前記属性は、構造物の使用期間を含み、

前記演算部は、

前記算出部で設定したグループ毎に、前記測定値と、その測定値に対応する前記基準化変数との関係を表す第1の回帰式を算出すると共に、それら第1の回帰式に対し、該グループを規定する使用期間の代表値を対応付ける第1の回帰式算出部と、

前記第1の回帰式それぞれに対し、該第1の回帰式に従って、複数の所定の累積確率に対応する複数の第1の損傷度合を算出する第1の損傷度合算出部と、

複数の前記所定の累積確率それぞれに対し、該所定の累積確率に対応する複数の前記第

10

20

1の損傷度合と、それら複数の第1の損傷度合に対応する複数の前記使用期間の代表値との関係を表す第2の回帰式を算出する第2の回帰式算出部と、

前記第2の回帰式それぞれに対し、該第2の回帰式に従って、複数の所定の使用期間に対応する複数の第2の損傷度合を算出すると共に、それら複数の第2の損傷度合に対し、該第2の回帰式に対応する前記所定の累積確率を対応付ける第2の損傷度合算出部と、

複数の前記所定の使用期間それぞれに対し、該所定の使用期間に対応する複数の前記第2の損傷度合と、それら複数の前記第2の損傷度合に対応する複数の前記所定の累積確率との関係を表す第3の回帰式を算出する第3の回帰式算出部と、

前記第3の回帰式それぞれに対し、該第3の回帰式に従って、複数の所定の損傷度合に対応する複数の第2の基準化変数を算出する第2の変数算出部と、

前記所定の使用期間及び前記板厚の組み合わせそれぞれに対し、前記第2の基準化変数に基づいて前記寿命到達確率を演算する寿命到達確率演算部と、を有することを特徴とする保全支援装置。

【請求項2】

前記環境状態は、保全対象となる構造物を被覆している保温材内の環境状態であり、

前記腐食状態は、保全対象となる構造物の腐食状態であることを特徴とする請求項1に記載の保全支援装置。

【請求項3】

前記検出部は、保温材内の温湿度を検出する温湿度計であることを特徴とする請求項2に記載の保全支援装置。

【請求項4】

前記検出部は、保温材に浸透している水分率を検出する中性子水分計であることを特徴とする請求項2または3に記載の保全支援装置。

【請求項5】

前記検出部は、保温材及び構造物の温度分布を撮影するサーモカメラと、該サーモカメラの撮影結果に基づき保温材の濡れ状態を検出する画像処理装置とを備えることを特徴とする請求項2から4のいずれか1項に記載の保全支援装置。

【請求項6】

前記検出部は、互いに絶縁された二種類の金属間を流れる腐食電流を検出し、検出した腐食電流に基づき構造物の腐食状態と相対湿度とを評価するACMセンサであることを特徴とする請求項2から5のいずれか1項に記載の保全支援装置。

【請求項7】

前記検出部は、腐食によって生じた錆の剥離または破壊によって錆層から放出される弾性波を検出して構造物の腐食度合いを検出するアコースティック・エミッション計測器であることを特徴とする請求項2から5のいずれか1項に記載の保全支援装置。

【請求項8】

前記検出部は、構造物に超音波を伝播させ、構造物で散乱した超音波のエコーを検出して腐食度合いを検出する超音波計であることを特徴とする請求項2から7のいずれか1項に記載の保全支援装置。

【請求項9】

前記検出部は、構造物をX線撮影するデジタルX線撮影装置であることを特徴とする請求項2から8のいずれか1項に記載の保全支援装置。

【請求項10】

前記保全対象となる構造物は、配管であり、

前記検出部は、配管内に配され、超音波及び洩磁束の少なくとも一方によって配管内外面の減肉深さを測定するインテリジェントピグであることを特徴とする請求項2から9のいずれか1項に記載の保全支援装置。

【請求項11】

前記損傷度合は、保温材下腐食による減肉深さ、架台接触部腐食による減肉深さ、孔食状腐食による局部減肉、応力腐食割れによる割れ深さ、すきま腐食起点応力腐食割れによ

10

20

30

40

50

る割れ深さ、エロージョンによる減肉深さ、及びエロージョン・コロージョンによる減肉深さの少なくともいずれかであることを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の保全支援装置。

【請求項 12】

前記属性は、構造物の使用期間と、構造物の温度、種類、環境、塗装有無及び塗装種類、内部溶液の組成、同伴物及び流速、架台との接触の有無、保温材による被覆の有無、並びに保温材の種類の少なくともいずれかと、を含むことを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の保全支援装置。

【請求項 13】

前記属性は、構造物の使用期間と構造物の種類との組み合わせからなり、
前記算出部は、使用期間と種類との組み合わせで前記測定値のグループ分けを行い、
前記演算部は、構造物の種類毎に、使用期間及び板厚の組み合わせそれぞれに対する前記寿命到達確率の演算を行うことを特徴とする請求項 12 に記載の保全支援装置。

10

【請求項 14】

前記第 2 の回帰式算出部は、前記第 1 の損傷度合に前記測定値の数に応じた重み付けをして、前記第 2 の回帰式の算出を行うことを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の保全支援装置。

【請求項 15】

前記第 2 の回帰式算出部は、前記第 2 の回帰式として、べき乗曲線近似式を用いることを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の保全支援装置。

20

【請求項 16】

前記確率分布は、グンベル分布及びワイブル分布の少なくともいずれかであり、
前記累積確率の算出方法としては、平均ランク法、メジアンランク法及びモードランク法の少なくともいずれかを用いていることを特徴とする請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の保全支援装置。

【請求項 17】

前記取得部は、単位面積当たりまたは単位長さ当たりの損傷度合の測定値を取得することを特徴とする請求項 1 から 16 のいずれか 1 項に記載の保全支援装置。

【請求項 18】

前記演算部は、一方の軸が属性に対応し他方の軸が板厚に対応する二次元座標系の各座標を、該座標が表す属性と板厚とに対応する前記寿命到達確率を表す色彩および図柄の少なくともいずれかとした画像データを提示する提示部を更に備えることを特徴とする請求項 1 から 17 のいずれか 1 項に記載の保全支援装置。

30

【請求項 19】

コンピュータを、
プラントの構造物の損傷度合いの測定値をその属性と関連付けて多数取得する取得部、
取得した前記測定値を前記属性でグループ分けし、そのグループ毎に、グループに属する前記測定値それぞれに対し、前記測定値が予め定めた確率分布に従うものとして、該確率分布の累積確率に対応する基準化変数を算出する算出部、

及び予め定めた構造物の属性及び板厚の組み合わせそれぞれに対し、前記算出部で算出した基準化変数に基づいて、構造物の損傷によって該構造物が使用不能状態となる確率である寿命到達確率を演算する演算部として機能させると共に、

40

前記属性は、構造物の使用期間を含み、

前記演算部は、

前記算出部で設定したグループ毎に、前記測定値と、その測定値に対応する前記基準化変数との関係を表す第 1 の回帰式を算出すると共に、それら第 1 の回帰式に対し、該グループを規定する使用期間の代表値を対応付け、

前記第 1 の回帰式それぞれに対し、該第 1 の回帰式に従って、複数の所定の累積確率に対応する複数の第 1 の損傷度合を算出し、

複数の前記所定の累積確率それぞれに対し、該所定の累積確率に対応する複数の前記第

50

1の損傷度合と、それら複数の第1の損傷度合に対応する複数の前記使用期間の代表値との関係を表す第2の回帰式を算出し、

前記第2の回帰式それぞれに対し、該第2の回帰式に従って、複数の所定の使用期間に対応する複数の第2の損傷度合を算出すると共に、それら複数の第2の損傷度合に対し、該第2の回帰式に対応する前記所定の累積確率を対応付け、

複数の前記所定の使用期間それぞれに対し、該所定の使用期間に対応する複数の前記第2の損傷度合と、それら複数の前記第2の損傷度合に対応する複数の前記所定の累積確率との関係を表す第3の回帰式を算出し、

前記第3の回帰式それぞれに対し、該第3の回帰式に従って、複数の所定の損傷度合に対応する複数の第2の基準化変数を算出し、

及び前記所定の使用期間及び前記板厚の組み合わせそれぞれに対し、前記第2の基準化変数に基づいて前記寿命到達確率を演算する保全支援用プログラム。

【請求項20】

プラントの構造物の損傷度合の測定値をその使用期間と関連付けて多数取得し、取得した前記測定値を前記使用期間でグループ分けし、そのグループ毎に、グループに属する前記測定値それぞれに対し、前記測定値が予め定めた確率分布に従うものとして、該確率分布の累積確率に対応する基準化変数を算出し、予め定めた構造物の使用期間及び板厚の組み合わせそれぞれに対し、算出した基準化変数に基づき、構造物の損傷によって構造物が使用不能状態となる確率である寿命到達確率を表すテーブルを作成し、

更に、保全対象となる構造物の環境状態及び腐食状態の少なくとも一方を検出し、その検出結果に基づき、前記テーブルの前記寿命到達確率を補正し、補正後の前記テーブルから、前記保全対象となる構造物の使用期間の年数に対応する前記寿命到達確率を読み出すか、若しくは前記保全対象となる構造物の使用期間の年数を補正し、前記テーブルから、補正後の使用期間の年数に対応する前記寿命到達確率を読み出すと共に、

前記テーブルを作成する際に、

前記グループ毎に、前記測定値と、その測定値に対応する前記基準化変数との関係を表す第1の回帰式を算出すると共に、それら第1の回帰式に対し、該グループを規定する使用期間の代表値を対応付け、

前記第1の回帰式それぞれに対し、該第1の回帰式に従って、複数の所定の累積確率に対応する複数の第1の損傷度合を算出し、

複数の前記所定の累積確率それぞれに対し、該所定の累積確率に対応する複数の前記第1の損傷度合と、それら複数の第1の損傷度合に対応する複数の前記使用期間の代表値との関係を表す第2の回帰式を算出し、

前記第2の回帰式それぞれに対し、該第2の回帰式に従って、複数の所定の使用期間に対応する複数の第2の損傷度合を算出すると共に、それら複数の第2の損傷度合に対し、該第2の回帰式に対応する前記所定の累積確率を対応付け、

複数の前記所定の使用期間それぞれに対し、該所定の使用期間に対応する複数の前記第2の損傷度合と、それら複数の前記第2の損傷度合に対応する複数の前記所定の累積確率との関係を表す第3の回帰式を算出し、

前記第3の回帰式それぞれに対し、該第3の回帰式に従って、複数の所定の損傷度合に対応する複数の第2の基準化変数を算出し、

前記所定の使用期間及び前記板厚の組み合わせそれぞれに対し、前記第2の基準化変数に基づいて前記寿命到達確率を演算することを特徴とする保全支援方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、保全支援装置、保全支援用プログラム、及び保全支援方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、プラントの構造物の保全方式や検査仕様等を決定するための技術としては、例え

10

20

30

40

50

ば、構造物の種類に応じて腐食速度の推定値を補正し、補正した推定値を用いて、構造物の使用期間と板厚とから、構造物の寿命を推定する技術がある（例えば、非特許文献 1 参照）。ここで、保全方式としては、例えば、予防保全、事後保全がある。また、検査仕様としては、例えば、予防保全のための検査方法、検査範囲、検査頻度、検査時期がある。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】「化学プラントにおける断熱材下の外面腐食の実機検査結果の解析と発生可能性推定方法の検討」、材料と環境、59、291-297（2010）

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、上記非特許文献 1 に記載の技術では、構造物の寿命を推定できるものの、寿命に到達する確率、つまり、構造物が使用不能状態となる確率を算出するという観点がなかった。それゆえ、構造物の保全方式や検査仕様等を適切に決定することが困難であった。

本発明は、上記のような点に着目し、プラントの構造物が使用不能状態となる確率を精度よく算出可能な保全支援装置、保全支援用プログラム及び保全支援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】

【0005】

20

上記課題を解決するために、本発明の保全支援装置の一態様は、プラントの構造物の損傷度合の測定値をその属性と関連付けて多数取得する取得部と、取得部で取得した測定値を属性でグループ分けし、そのグループ毎に、グループに属する測定値それぞれに対し、測定値が予め定めた確率分布に従うものとして、その確率分布の累積確率に対応する基準化変数を算出する算出部と、予め定めた構造物の属性及び板厚の組み合わせそれぞれに対し、算出部で算出した基準化変数に基づき、構造物の損傷によってその構造物が使用不能状態となる確率である寿命到達確率を演算する演算部と、保全対象となる構造物の環境状態及び腐食状態の少なくとも一方を検出する検出部と、検出部で検出した検出結果に基づき、演算部で演算した寿命到達確率を補正する補正部と、を備え、属性は、構造物の使用期間を含み、演算部は、算出部で設定したグループ毎に、測定値と、その測定値に対応する基準化変数との関係を表す第 1 の回帰式を算出すると共に、それら第 1 の回帰式に対し、そのグループを規定する使用期間の代表値を対応付ける第 1 の回帰式算出部と、第 1 の回帰式それぞれに対し、その第 1 の回帰式に従って、複数の所定の累積確率に対応する複数の第 1 の損傷度合を算出する第 1 の損傷度合算出部と、複数の所定の累積確率それぞれに対し、その所定の累積確率に対応する複数の第 1 の損傷度合と、それら複数の第 1 の損傷度合に対応する複数の使用期間の代表値との関係を表す第 2 の回帰式を算出する第 2 の回帰式算出部と、第 2 の回帰式それぞれに対し、その第 2 の回帰式に従って、複数の所定の使用期間に対応する複数の第 2 の損傷度合を算出すると共に、それら複数の第 2 の損傷度合に対し、その第 2 の回帰式に対応する所定の累積確率を対応付ける第 2 の損傷度合算出部と、複数の所定の使用期間それぞれに対し、その所定の使用期間に対応する複数の第 2 の損傷度合と、それら複数の第 2 の損傷度合に対応する複数の所定の累積確率との関係を表す第 3 の回帰式を算出する第 3 の回帰式算出部と、第 3 の回帰式それぞれに対し、その第 3 の回帰式に従って、複数の所定の損傷度合に対応する複数の第 2 の基準化変数を算出する第 2 の変数算出部と、所定の使用期間及び板厚の組み合わせそれぞれに対し、第 2 の基準化変数に基づいて寿命到達確率を演算する寿命到達確率演算部と、を有することを特徴とする。

30

40

【発明の効果】

【0006】

本発明の一態様によれば、プラントの構造物が使用不能状態となる確率（寿命到達確率）を算出すると共に、算出した寿命到達確率を、保全対象となる構造物の環境状態や腐食

50

状態で補正するようにしたため、寿命到達確率を精度よく算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】実施形態に係る保全支援装置の構成図である。

【図2】属性（使用期間）と測定値 x との関係を表す散布図である。

【図3】測定値 x と確率密度関数 f との関係を表すグンベル分布を表す図である。

【図4】累積確率 F と基準化変数 y との関係を表すテーブルである。

【図5】測定値 x と基準化変数 y との関係を表す散布図である。

【図6】所定の累積確率 F_0 と所定の基準化変数 y_0 との関係を表すテーブルである。

【図7】所定の累積確率 F_0 と第1の減肉深さ x_1 との関係を表すテーブルである。

10

【図8】使用期間の平均値 x_a と第1の減肉深さ x_1 との関係を表す散布図である。

【図9】第1の減肉深さ x_1 の重み付けを説明するための説明図である。

【図10】所定の累積確率 F_0 と第2の減肉深さ x_2 との関係を表すテーブルである。

【図11】第2の減肉深さ x_2 と所定の基準化変数 y_0 との関係を表すテーブルである。

【図12】第2の基準化変数 y_2 と所定の減肉深さ x_0 と所定の使用期間 u_0 との関係を表すテーブル（第1のテーブル）である。

【図13】標準化後累積確率 F_s と所定の減肉深さ x_0 と所定の使用期間 u_0 との関係を表すテーブル（第2のテーブル）である。

【図14】寿命到達確率 P と板厚 x_3 と所定の使用期間 u_0 との関係を表すテーブル（第3のテーブル）である。

20

【図15】寿命到達確率 P と余裕肉厚と所定の使用期間 u_0 との関係を表すテーブル（第3のテーブル）である。

【図16】補正後の第3のテーブルを表すテーブルである。

【図17】所定の使用期間 u_0 と板厚 x_3 との組み合わせに対する座標を寿命到達確率 P を表す色彩とした画像データを表す図である。

【図18】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

【図19】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

【図20】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

【図21】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

【図22】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

30

【図23】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

【図24】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

【図25】変形例に係る、構造物の温度と板厚 x_3 との組み合わせに対する座標を寿命到達確率 P を表す色彩とした画像データを表す図である。

【図26】変形例に係る、構造物の種類と板厚 x_3 との組み合わせに対する座標を寿命到達確率 P を表す色彩とした画像データを表す図である。

【図27】構造物の種類毎に、所定の使用期間 u_0 と板厚 x_3 との組み合わせに対する座標を寿命到達確率 P を表す色彩とした画像データを表す図である。

【図28】変形例に係る保全支援装置の構成図である。

【図29】予測費用、検査優先順位、検査費目安等の算出結果を表すテーブルである。

40

【図30】変形例に係る、予測費用、検査優先順位、検査費目安等の算出結果を表すテーブルである。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、本発明の一実施形態について、図面を参照しつつ説明する。

本実施形態は、本発明を、プラントの構造物の保全方式や検査仕様等の決定を支援する保全支援装置に適用したものである。この保全支援装置は、構造物が寿命に到達する確率、つまり、構造物の損傷によって構造物が使用不能状態となる確率（以下、「寿命到達確率」とも呼ぶ） P を演算するものである。構造物としては、例えば、配管、熱交換器、塔がある。本実施形態では、構造物として、保温材で被覆された配管等を対象としている。

50

また、損傷としては、構造物（配管等）の外面に生じる保温材下腐食を対象としている。

なお、以下に示す実施形態は、本発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、本発明の技術的思想は、構成部品の形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。本発明の技術的思想は、請求の範囲に記載された請求項が規定する技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。

【0009】

（構成）

図1に示すように、本実施形態の保全支援装置1は、キーボードやマウス等の入力装置2と、構造物の状態を検出する検出部5と、画像データを表示する表示装置3と、各種演算処理を行う装置本体（以下、「コンピュータ」とも呼ぶ）4とを備えている。

検出部5は、保全対象となる構造物（配管等）の環境状態及び腐食状態の少なくとも一方を検出する。環境状態としては、例えば、保全対象となる構造物（配管等）を被覆している保温材の環境状態を採用できる。具体的には、保温部材内の温湿度（温度、湿度）、保温材に浸透している水分率、保温材の濡れ状態等が挙げられる。また、腐食状態としては、例えば、保全対象となる構造物（配管等）の腐食状態を採用できる。そのため、検出部5としては、例えば、温湿度計、中性子水分計、サーモカメラ、ACMセンサ、アコースティック・エミッション計測器、超音波計、X線撮影装置、インテリジェントピグを採用できる。本実施形態では、検出部5として、保温部材内の温湿度を検出する温湿度計を採用している。そして、検出部5は、検出結果（温湿度）をコンピュータ4に出力する。

【0010】

コンピュータ4は、図示しないCPU、及びHDD(Hard Disk Drive)等から構成される。HDDは、各種演算処理を実現する1または2以上のプログラムを記憶している。また、CPUは、HDDが記憶している1または2以上のプログラムに従って各種演算処理を実行する。CPUは、入力装置2から寿命到達確率Pの演算を開始させる操作がされると、HDDが記憶しているプログラムに従って、寿命到達確率演算処理を実行する。寿命到達確率演算処理では、プログラム（広義には、「保全支援用プログラム」）は、コンピュータ4を、取得部410、算出部420、及び演算部430として機能させる。

【0011】

取得部410は、プラントの構造物の減肉深さ（広義には「損傷度合」）の測定値xを属性と関連付けて多数取得する。測定値xとしては、例えば、腐食箇所の深さの最大値（局地深さ）を用いる。また、属性としては、例えば、構造物の使用期間及び温度等の数値属性、構造物の種類、環境（海からの距離、冷水塔からの距離、年間降雨量等）、塗装有無及び塗装種類、内部溶液の組成、同伴物及び流速、架台との接触の有無、保温材による被覆の有無、並びに保温材の種類等の質的属性の少なくともいずれか（これら単独、またはこれらの組み合わせ）がある。本実施形態では、属性として、使用期間を採用している。また、測定値xとしては、例えば、種々のプラントの検査の際に取得されるデータを採用できる。取得部410は、取得した測定値x等をコンピュータ4のHDDに格納する。

なお、寿命到達確率演算処理の開始後に、測定値xを多数取得するために種々のプラントで検査を行うというのは現実的ではなく、実際には、種々のプラントにおける過去の検査の際に取得した測定値xを方々に依頼して、予め収集（取得）しておくことになる。

【0012】

算出部420は、図2に示すように、横軸が属性（使用期間）に対応し縦軸が測定値xに対応する二次元座標系に、コンピュータ4のHDDが記憶している複数の測定値xと属性（使用期間）との組からなる座標をプロットした散布図の画像データを作成する。そして、作成した画像データを表示装置3に表示させる。これにより、表示した画像データをもとに、オペレータに、属性（使用期間）によるグループ分けの間隔を決めさせる。

続いて、算出部420は、オペレータが入力装置2を操作してグループ分けの間隔を入力すると、入力された間隔をもとに、コンピュータ4のHDDが記憶している複数の測定値x、つまり、取得部410で取得した複数の測定値xを属性（使用期間）でグループ分けする。本実施形態では、10～15年、16～20年、21～25年、26～30年、

10

20

30

40

50

31～35年、36～40年の6グループに分けている。続いて、それらのグループ毎に、グループに属する測定値xそれぞれに対し、測定値x(確率変数)が予め定めた確率分布に従うものとして、確率分布の累積確率Fに対応する基準化変数yを算出する。

【0013】

ここで、確率分布としては、例えば、グンベル分布(最大値分布、二重指数分布)、ワイブル分布、正規分布、指数分布、及びベータ分布等、各種分布を採用できる。本実施形態では、図3に示すように、グンベル分布を採用している。累積確率Fとは、測定値x(確率変数)が小さいほうから確率分布の確率密度関数fを累積させた値である。累積確率Fの算出方法としては、例えば、平均ランク法、メジアンランク法、及びモードランク法の少なくともいずれかを採用できる。本実施形態では、平均ランク法を採用している。

10

平均ランク法では、まず、図4に示すように、グループ毎に、測定値xを昇順に並べ、並べた測定値xそれぞれに順位を表す番号(以下、「データ番号」とも呼ぶ)を対応付ける。続いて、測定値xそれぞれに対し、対応付けたデータ番号とグループのデータ総数(データ番号の最大値)とに基づき、下記(1)式に従うことで累積確率Fを算出する。

$$F = (\text{データ番号}) / (\text{データ総数} + 1) \dots\dots\dots (1)$$

続いて、算出部420は、算出した累積確率Fを、下記(2)に従ってグンベル分布の基準化変数yに変換する。図4の例では、基準化変数yは-1～+6程度となっている。

$$y = -\ln(-\ln(F)) \dots\dots\dots (2)$$

【0014】

演算部430は、図1に示すように、第1の回帰式算出部431と、第1の損傷度合算出部432と、第2の回帰式算出部433と、第2の損傷度合算出部434と、第3の回帰式算出部435と、第2の変数算出部436と、寿命到達確率演算部437と、補正部443と、提示部438とを備えている。

20

第1の回帰式算出部431は、図5に示すように、算出部420で設定したグループ毎に、コンピュータ4のHDDが記憶している測定値x、つまり、取得部410で取得した測定値xと、その測定値xに対応する基準化変数yとの関係を表す回帰式(以下、「第1の回帰式」とも呼ぶ)を算出する。本実施形態では、第1の回帰式として、直線近似式を採用している。また、第1の回帰式の算出方法としては、最小二乗法を採用している。続いて、第1の回帰式算出部431は、第1の回帰式に対し、決定係数R²を算出する。

【0015】

30

続いて、第1の回帰式算出部431は、算出した第1の回帰式に対し、グループを規定する使用期間の代表値を対応付ける。使用期間の代表値としては、例えば、平均値、中央値、最頻値がある。本実施形態では、使用期間の代表値として、平均値を採用している。

続いて、図5に示すように、横軸が測定値xに対応し縦軸が基準化変数yに対応する二次元座標系に、測定値xと基準化変数yとの組からなる座標をプロットし、第1の回帰式の近似直線、決定係数R²を描画した散布図の画像データを作成する。そして、作成した画像データを表示装置3に表示させる。これにより、表示した画像データ(決定係数R²等)をもとに、オペレータに、算出された第1の回帰式が適切であるかを判断させる。例えば、決定係数R²が0.5以上、好ましくは0.7以上である場合に第1の回帰式が適切であると判断する。なお、このような判断は、演算部430が行うようにしてもよい。

40

【0016】

続いて、第1の損傷度合算出部432は、オペレータが入力装置2を操作して第1の回帰式が適切であるとの判断を入力すると、下記(3)式に従って、図6に示すように予め定めた累積確率(以下、「所定の累積確率」とも呼ぶ)F₀に対応する基準化変数(以下、「所定の基準化変数」とも呼ぶ)y₀を算出する。図6の例では、所定の累積確率F₀として0.5、0.9、0.95、0.99を採用し、所定の基準化変数y₀として0.366513、2.250367、2.970195、4.600149を算出している。

$$y = -\ln(-\ln F) \dots\dots\dots (3)$$

【0017】

続いて、第1の損傷度合算出部432は、図5～7に示すように、第1の回帰式算出部

50

4 3 1で算出した第1の回帰式それぞれに対し、第1の回帰式に従って、複数の所定の基準化変数 y_0 に対応する複数の減肉深さ(以下、「第1の減肉深さ」とも呼ぶ) x_1 を算出する。これにより、複数の所定の累積確率 $F_0 = 0.5, 0.9, 0.95, 0.99$ に対応する複数の第1の減肉深さ x_1 (広義には、「第1の損傷度合」)を算出する。

一方、第1の損傷度合算出部4 3 2は、オペレータが入力装置2を操作して第1の回帰式が適切でないとの判断を入力すると、上記手順を、図2の散布図におけるグループ分けから再度行う。

【0018】

第2の回帰式算出部4 3 3は、図8に示すように、複数の所定の累積確率 F_0 (つまり、所定の基準化変数 y_0)それぞれに対し、その所定の累積確率 F_0 (つまり、所定の基準化変数 y_0)に対応する複数の第1の減肉深さ x_1 と、それら複数の第1の減肉深さ x_1 に対応する複数の使用期間の平均値 x_a との関係を表す回帰式(以下、「第2の回帰式」とも呼ぶ)を算出する。本実施形態では、第2の回帰式として、べき乗曲線近似式を採用している。また、第2の回帰式の算出方法としては、最小二乗法を採用している。続いて、第2の回帰式算出部4 3 3は、第2の回帰式に対し、決定係数 R^2 を算出する。

【0019】

なお、第2の回帰式算出部4 3 3は、第1の減肉深さ x_1 に重み付けをして、第2の回帰式の算出を行っている。本実施形態では、図9に示すように、第2の回帰式の算出に用いる、第1の減肉深さ x_1 については重み付けを行っている。重み付けの方法としては、測定値 x の数に応じて重みを設定する方法を採用している。具体的には、複数の使用期間の平均値 x_a から使用期間の平均値 x_a を選択し、選択した使用期間の平均値 x_a が代表する使用期間の測定値 x が多いほど、選択した使用期間の平均値 x_a に対応する第1の減肉深さ x_1 の重みを大きくしている。

【0020】

続いて、図8に示すように、横軸が使用期間に対応し縦軸が第1の減肉深さ x_1 に対応する二次元座標系に、第1減肉深さ x_1 と属性(使用期間)との組からなる座標をプロットし、第2の回帰式の近似曲線、決定係数 R^2 を描画した散布図の画像データを作成する。そして、作成した画像データを表示装置3に表示させる。これにより、表示した画像データをもとに、オペレータに、算出された第2の回帰式が適切であるかを判断させる。例えば、決定係数 R^2 が0.5以上、好ましくは0.7以上である場合に第2の回帰式が適切であると判断する。なお、このような判断は、演算部4 3 0が行うようにしてもよい。

【0021】

続いて、第2の損傷度合算出部4 3 4は、オペレータが入力装置2を操作して第2の回帰式が適切であるとの判断を入力すると、図8、10に示すように、第2の回帰式算出部4 3 3で算出した第2の回帰式それぞれに対し、その第2の回帰式に従って、予め定めた複数の使用期間(以下、「所定の使用期間」とも呼ぶ)に対応する複数の減肉深さ(以下、「第2の減肉深さ」とも呼ぶ) x_2 を算出する。図10の例では、所定の使用期間として、15年、20年、25年、30年、35年、40年を採用している。続いて、第2の損傷度合算出部4 3 4は、算出した第2の減肉深さ x_2 (広義には、「第2の損傷度合」)に対し、その算出に用いた第2の回帰式に対応する所定の累積確率 F_0 を対応付ける。

一方、第2の損傷度合算出部4 3 4は、オペレータが入力装置2を操作して第2の回帰式が適切でないとの判断を入力すると、上記手順を、図2の散布図におけるグループ分けから再度行う。

【0022】

第3の回帰式算出部4 3 5は、図11に示すように、複数の所定の使用期間 u_0 それぞれに対し、所定の使用期間 u_0 に対応する複数の第2の減肉深さ x_2 と、それら複数の第2の減肉深さ x_2 に対応する複数の所定の基準化変数 y_0 (つまり、所定の累積確率 F_0)との関係を表す回帰式(以下、「第3の回帰式」とも呼ぶ)を算出する。本実施形態では、第3の回帰式として、直線近似式を採用している。また、第3の回帰式の算出方法としては、最小二乗法を採用している。

10

20

30

40

50

続いて、図 1 1 に示すように、横軸が第 2 の減肉深さ x 2 に対応し縦軸が基準化変数 y に対応する二次元座標系に、第 2 の減肉深さ x と所定の基準化変数 y 0 との組からなる座標をプロットし、第 3 の回帰式の近似直線を描画した散布図の画像データを作成する。そして、作成した画像データを表示装置 3 に表示させる。これにより、表示した画像データをもとに、オペレータに、算出された第 3 の回帰式が適切であるかを判断させる。ここで、図 1 1 は、図 5 の散布図を標準化（回帰等を用いて整理）した散布図といえる。

【 0 0 2 3 】

続いて、第 2 の変数算出部 4 3 6 は、オペレータが入力装置 2 を操作して第 3 の回帰式が適切であるとの判断を入力すると、図 1 1、1 2 に示すように、第 3 の回帰式算出部 4 3 5 で算出した第 3 の回帰式それぞれに対し、第 3 の回帰式に従って、予め定めた減肉深さ（以下、「所定の減肉深さ」とも呼ぶ）x 0 に対応する複数の基準化変数（以下、「第 2 の基準化変数」とも呼ぶ）y 2 を算出する。図 1 2 の例では、所定の減肉深さ x 0（広義には、「所定の損傷度合」として、例えば、2 [mm]、3 [mm]、4 [mm]、5 [mm]、6 [mm]、7 [mm]、8 [mm]、9 [mm]、10 [mm] の 9 個を採用している。これらの算出結果により、図 1 2 に示すテーブル（以下、「第 1 のテーブル」とも呼ぶ）を形成する。

10

一方、第 2 の変数算出部 4 3 6 は、オペレータが入力装置 2 を操作して第 3 の回帰式が適切でないとの判断を入力すると、上記手順を、図 2 の散布図におけるグループ分けから再度行う。

【 0 0 2 4 】

20

寿命到達確率演算部 4 3 7 は、図 1 3 に示すように、第 2 の変数算出部 4 3 6 で算出した第 2 の基準化変数 y 2（第 1 のテーブルの第 2 の基準化変数 y 2）を、下記（4）式に従ってグンベル分布の累積確率（以下、「標準化後累積確率」とも呼ぶ）F s に変換する。これにより、図 1 3 に示すテーブル（以下、「第 2 のテーブル」とも呼ぶ）を形成する。

$$F_s = \exp(-\exp(-y_2)) \dots\dots\dots (4)$$

続いて、寿命到達確率演算部 4 3 7 は、図 1 4 に示すように、変換した標準化後累積確率 F s（第 2 のテーブルの標準化後累積確率 F s）を、下記（5）式に従って寿命到達確率 P に変換する。続いて、所定の使用期間 u 0 を、対象とする構造物の使用期間 u 1 とする。続いて、減肉深さが板厚と等しくなって貫通孔が形成され使用不能状態になる状況を想定し、第 2 のテーブルの所定の減肉深さ x 0 を、対象とする構造物の板厚 x 3 とする。これにより、予め定めた構造物の属性（構造物の使用期間）及び板厚 x 3 の組み合わせそれぞれに対し、寿命到達確率 P を表すテーブル（以下、「第 3 のテーブル」を形成する。

30

【 0 0 2 5 】

$$P = 1 - F \dots\dots\dots (5)$$

なお、本実施形態では、第 3 のテーブル（図 1 4）では、第 2 のテーブル（図 1 3）の所定の減肉深さ x 0 を、板厚 x 3 としてそのまま用いる例を示したが、他の構成を採用することもできる。例えば、構造物内の液体等の圧力によって構造物の外面に貫通孔を生じることがない肉厚の下限値（以下、「必要肉厚」とも呼ぶ）を考慮して、第 2 のテーブル（図 1 3）の所定の減肉深さ x 0 から必要肉厚を減算して算出される余裕肉厚を、図 1 5 に示すように、第 3 のテーブル（図 1 4）の板厚 x 3 に代えて用いるようにしてもよい。

40

【 0 0 2 6 】

補正部 4 4 3 は、検出部 5 で検出した保温材内の温湿度に基づき、寿命到達確率演算部 4 3 7 で算出した寿命到達確率 P を補正する。大気中の金属腐食は、一般に以下のように言われている。すなわち、同じ液膜厚さでは温度が高くなるほど腐食速度は速くなる。また、液膜は限界（もしくは臨界）湿度以上で存在し（液膜が存在しないと腐食しない）、特定の液膜厚さで腐食速度が速くなる。そのため、寿命到達確率 P の補正方法としては、例えば、保温材内の温度と決まる液膜が形成される限界湿度以上の場合に、寿命到達確率 P を予め定めた所定値（> 1）倍する方法を採用できる。また、例えば、液膜の形成される限界湿度以下の場合には、寿命到達確率 P を予め定めた所定値（< 1）倍する方法を採用できる。これにより、図 1 6 に示すように、第 3 のテーブル（図 1 4）を補正する。

50

【 0 0 2 7 】

提示部 4 3 8 は、図 1 7 に示すように、補正部 4 4 3 で補正した第 3 のテーブル（図 1 6）に基づき、横軸が属性（構造物の使用期間 u_1 ）に対応し縦軸が板厚 $\times 3$ に対応する二次元座標系の各座標を、その座標が表す属性（構造物の使用期間 u_1 ）と板厚 $\times 3$ とに対応する寿命到達確率 P を表す色彩とした画像データを作成する。この画像データは、横軸が属性（構造物の使用期間 u_1 ）に対応し、縦軸が板厚 $\times 3$ に対応し高さ方向軸が寿命到達確率 P に対応する三次元棒グラフを高さ方向から見た場合の画像データといえる。また、各座標の色彩としては、例えば、寿命到達確率 P が 10^{-1} [1 / (年・箇所)] より大きい場合には赤色、 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ [1 / (年・箇所)] の場合にはオレンジ色、 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ [1 / (年・箇所)] の場合には黄色、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ [1 / (年・箇所)] の場合には緑色を採用する。なお、図 1 7 の例では、赤色、オレンジ色、緑色の各色をハッチングで表している。ここで、色彩としては、グレースケール等、任意の一色の光度を変化させたものを用いてもよい。また、色彩と共に、または色彩に代えて、ハッチング等の図柄を用いてもよい。また、図 1 7 の例では、各座標の色彩領域間に余白を持たせているが、各色彩領域のサイズを大きくして色彩領域間に余白を持たないようにしてもよい。

10

【 0 0 2 8 】

そして、提示部 4 3 8 は、作成した画像データを表示装置 3 に表示させる。これにより、表示した画像データをもとに、オペレータに、対象とする構造物（配管等）の使用期間 u_1 と板厚 $\times 3$ とに対応する色彩で構造物（配管等）の寿命到達確率 P を把握させる。

ここで、実際のプラントにおける検査を計画する際には、まずは検査に費やせる予算があり、その予算内でどの構造物に対して検査を行うべきかの意思決定が重要である。これは、化学プラント等で検査を行う場合、検査のためには大掛かりな足場を設置する必要があるため、どうしても検査費用が高額になりやすく、毎年、プラントの全ての構造物に対して検査を行うことは現実的ではないからである。そこで、本実施形態によって得られた図 1 7 に示すようなテーブルを用いれば、寿命到達確率 P を判断指標としてどの構造物から優先的に検査をおこなうかという意思決定を行うことができる。すなわち、保全方式や検査仕様等の決定を支援することができる。これは、熟練作業者の勘に頼るような手法に比べ、意思決定者が合理的な判断を行うことに大きく貢献することができる。

20

【 0 0 2 9 】

（本実施形態の効果）

（ 1 ）このように、本実施形態では、取得した構造物（配管等）の減肉深さの測定値 x を使用期間でグループ分けし、そのグループ毎に、測定値 x それぞれに対し、測定値 x がグンベル分布に従うものとして、グンベル分布の累積確率 F に対応する基準化変数 y を算出する。続いて、所定の使用期間 u_0 及び板厚 $\times 3$ の組み合わせそれぞれに対し、構造物（配管等）が使用不能状態となる確率（寿命到達確率 P ）を算出した。これにより、構造物の損傷によってその構造物（配管等）が使用不能状態となる確率（寿命到達確率 P ）を提示することができる。また、検査者の勘や経験等によらず、構造物（配管等）の保全方式や検査仕様等を統計的手法によって決定できる。それゆえ、構造物（配管等）の保全方式や検査仕様等をより適切に決定することができる。また、寿命到達確率 P が得られるため、プラントの予算決定権者に検査の必要性が理解され易い。さらに、構造物（配管等）の環境状態及び腐食状態の少なくとも一方に基づき、算出した寿命到達確率 P を補正するようにした。そのため、寿命到達確率 P を、より精度よく算出することができる。

30

40

【 0 0 3 0 】

（ 2 ）また、属性を、構造物の使用期間、温度、種類、環境、塗装有無及び塗装種類、内部溶液の組成、同伴物及び流速、架台との接触の有無、並びに保温材による被覆の有無の少なくともいずれか（これら単独または組み合わせ）としたため、環境状態や腐食状態への影響が大きい要素でグループ分けでき、寿命到達確率 P をより高精度に算出できる。

【 0 0 3 1 】

（ 3 ）さらに、第 2 の回帰式算出部 4 3 3 で、第 1 の減肉深さ $\times 1$ に重み付けをして、第 2 の回帰式の算出を行うようにした。そのため、精度の高いデータの重みを大きくして第

50

2の回帰式の算出を行うことができるので、第2の回帰式をより高精度に算出できる。

【0032】

(4)さらに、第2の回帰式算出部433で、第2の回帰式として、べき乗曲線近似式を用いたため、マッチング度合いを向上でき、第2の回帰式をより高精度に算出できる。

【0033】

(5)また、算出部420で、確率分布として、グンベル分布及びワイブル分布の少なくともいずれかを用い、累積確率Fの算出方法として、平均ランク法を用いるようにした。そのため、腐食による構造物(配管等)の減肉深さの測定値xをより適切に表現できる。

【0034】

(6)また、提示部438で、一方の軸が属性(所定の使用期間 u_0)に対応し他方の軸が板厚 x_3 に対応する二次元座標系の各座標を、その座標が表す属性(所定の使用期間 u_0)と板厚 x_3 とに対応する寿命到達確率Pを表す色彩及び図柄の少なくともいずれかとした画像データを提示するようにした。そのため、例えば、座標毎に寿命到達確率Pが大きく異なったとしても、オペレータに寿命到達確率Pを適切に把握させることができる。

10

【0035】

(変形例)

(1)なお、本実施形態では、検出部5として、保温材内の温湿度を検出する温湿度計を備える例を示したが、他の構成を採用することもできる。例えば、図18に示すように、検出部5として、中性子を放出しその中性子が変化した熱中性子を検出することで、保温材に浸透している水分率を検出する中性子水分計510を備える構成としてもよい。この場合、補正部443は、保温材内の水分率に基づき、寿命到達確率演算部437で算出した寿命到達確率Pを補正する。一般に、金属材料は、水分率が高いほど、保温材内の湿度は高くなる。温度で決まる限界湿度以上の場合に、腐食の生ずる可能性が高くなる。そのため、寿命到達確率Pの補正方法としては、例えば、保温材内の水分率が予め定めた所定閾値以上である場合に、寿命到達確率Pを予め定めた所定値(>1)倍する方法を採用できる。これにより、図16に示すように、第3のテーブルを補正する。

20

【0036】

また、例えば、図19に示すように、検出部5として、保温材及び構造物(配管等)の温度分布を撮影するサーモカメラ520と、そのサーモカメラ520の撮影結果に基づき保温材の濡れ状態を検出する画像処理装置530とを備える構成としてもよい。保温材の濡れ状態の検出方法としては、例えば、保温材と構造物(配管等)との温度差が所定閾値以下である場合には、保温材内の水分で伝熱性が高くなっていると考え、保温材が濡れていると判定する。この場合、補正部443は、保温材の濡れ状態に基づき、寿命到達確率演算部437で算出した寿命到達確率Pを補正する。寿命到達確率Pの補正方法としては、例えば、保温材が濡れ状態である場合に、寿命到達確率Pを予め定めた所定値(>1)倍する方法を採用できる。これにより、図16に示すように第3のテーブルを補正する。

30

【0037】

(2)また、例えば、検出部5としては、図20に示すように、互いに絶縁された二種類の金属(例えば、鉄と銀)間を流れる腐食電流を検出し、検出した腐食電流に基づき構造物(配管等)の腐食状態と相対湿度とを評価するACMセンサ580を備える構成としてもよい。この場合、補正部443は、構造物(配管等)の腐食状態や相対湿度に基づき、寿命到達確率演算部437で算出した寿命到達確率Pを補正する。寿命到達確率Pの補正方法としては、例えば、腐食状態(例えば、腐食速度)や相対湿度が予め定めた所定閾値以上である場合に、寿命到達確率Pを予め定めた所定値(>1)倍する方法を採用できる。これにより、図16に示すように、第3のテーブルを補正する。

40

【0038】

(3)また、例えば、検出部5として、保全対象となる構造物(配管等)の腐食状態を検出する装置を用いる構成としてもよい。具体的には、図21に示すように、腐食によって生じた錆の剥離または破壊によって錆層から放出される弾性波を検出して構造物の腐食度合い(例えば、腐食の進行状態)を検出するアコースティック・エミッション計測器54

50

0を備える構成としてもよい。この場合、補正部443は、腐食度合いに基づき、寿命到達確率演算部437で算出した寿命到達確率Pを補正する。寿命到達確率Pの補正方法としては、例えば、計測された弾性波の累積値が予め定めた所定閾値以上である場合に、寿命到達確率Pを予め定めた所定値(>1)倍する方法を採用できる。これにより、図16に示すように、第3のテーブルを補正する。

【0039】

また、例えば、図22に示すように、検出部5として、保全対象となる構造物に超音波を伝播させ、構造物の腐食による形状不連続部で散乱した超音波のエコーを検出して腐食度合い(例えば最大の減肉深さ)を検出する超音波計550を備える構成としてもよい。

さらに、例えば、図23に示すように、検出部5として、保温材で被覆された構造物をX線撮影するデジタルX線撮影装置560と、そのデジタルX線撮影装置560の撮影結果に基づき構造物(配管等)の腐食度合い(例えば撮影範囲内で最大の減肉深さ)を検出する画像処理装置570とを備える構成としてもよい。X線撮影装置560としては、例えば、フィルムに代えて、フラットパネルを用いるフラットパネル放射線検査法、高感度イメージングプレートを用いるFCR(Fuji Computed Radiography)法を採用できる。

【0040】

(4)また、例えば、保全対象となる構造物が配管である場合、図24に示すように、検出部5としては、配管内に配され、超音波及び洩磁束の少なくとも一方によって配管内外面の減肉深さを測定するインテリジェントピグ590を備える構成としてもよい。この場合、補正部443は、配管内外面の減肉深さに基づき、寿命到達確率演算部437で算出した寿命到達確率Pを補正する。寿命到達確率Pの補正方法としては、例えば、減肉深さが予め定めた所定閾値以上である場合に、寿命到達確率Pを予め定めた所定値(>1)倍する方法を採用できる。これにより、図16に示すように、第3のテーブルを補正する。

【0041】

(5)さらに、本実施形態では、構造物の使用期間及び板厚の組み合わせそれぞれに対する寿命到達確率Pを表す第3のテーブル(図14)を補正する例を示したが、他の構成を採用することもできる。例えば、保全対象となる構造物の環境状態及び腐食状態(例えば、温湿度、保温材に浸透している水分率、保温材の濡れ状態、構造物の腐食状態)を検出し、その検出結果に基づき、保全対象となる構造物の使用期間の年数を補正し、補正無し第3のテーブルから、補正後の使用期間の年数に対応する寿命到達確率Pを読み出すようにしてもよい。ここで、寿命到達確率Pの補正方法としては、例えば、保温材の温度で決まる水膜の形成される限界湿度以上の湿度の場合に、保全対象となる構造物の使用期間の年数を予め定めた所定値(>1)倍する方法を採用することができる。

【0042】

(6)また、本実施形態では、属性として、構造物(配管等)の使用期間を用いる例を示したが、他の構成を採用することもできる。例えば、属性として、構造物(配管等)の温度を用いることもできる。この場合、算出部420で、温度で測定値xのグループ分けを行う。また、演算部430で、温度及び板厚x3の組み合わせそれぞれに対する寿命到達確率Pの演算を行う。これにより、図25に示すように温度及び板厚x3の組み合わせそれぞれに対し、寿命到達確率Pを色彩や図柄で表す画像データを生成することができる。

また、例えば、属性として、構造物(配管等)の質的属性を用いてもよい。この場合、算出部420で、質的属性で測定値xのグループ分けを行う。また、演算部430で、構造物(配管等)の質的属性及び板厚x3の組み合わせそれぞれに対する寿命到達確率Pの演算を行う。これにより、図26に示すように、構造物(配管等)の質的属性及び板厚x3の組み合わせそれぞれに対し、寿命到達確率Pを色彩や図柄で表す画像データを生成できる。図26の例では、質的属性として、種類(配管、熱交換器、塔等)を用いている。

【0043】

さらに、例えば、属性として、構造物の使用期間と構造物の種類(配管、熱交換器、塔等)との組み合わせを用いてもよい。この場合、算出部420で、使用期間と種類との組み合わせで測定値xのグループ分けを行う。また、演算部430で、構造物の種類毎に、

使用期間及び板厚×3の組み合わせそれぞれに対する寿命到達確率Pの演算を行う。これにより、図27に示すように、構造物の種類毎に、構造物の属性及び板厚の組み合わせそれぞれに対し、寿命到達確率Pを色彩や図柄で表す画像データを生成できる。図27の例では、属性として、(a)は配管、(b)は熱交換器、(c)は塔を用いている。

【0044】

(7)また、本実施形態では、保温材で被覆された構造物の保温材下腐食(CUI:Corrosion Under Insulation)の保全方式や検査仕様等の決定に用いる例を示したが、他の保全方式や検査仕様等の決定に用いることもできる。例えば、プラントにおける、架台接触部腐食(配管と架台との接触部における腐食等)、熱媒の冷却水による孔食状腐食、すきま腐食起点応力腐食割れ、エロージョン・コロージョン等の保全方式や検査仕様等の決定に用いてもよい。この場合、損傷度合としては、架台接触部腐食による減肉深さ、孔食状腐食による局部減肉、応力腐食割れによる割れ深さ、すきま腐食起点応力腐食割れによる割れ深さ、エロージョンによる減肉深さ、及びエロージョン・コロージョンによる減肉深さの少なくともいずれかを用いることになる。

10

【0045】

(8)また本実施形態では、プラントの構造物(配管等)の属性及び板厚×3の組み合わせそれぞれに対し、寿命到達確率Pを色彩や図柄で表す画像データを提示する例を示したが、他の構成を採用してもよい。例えば、発生する損害額を提示する構成としてもよい。

具体的には、本変形例では、図28に示すように、寿命到達確率演算処理のプログラムが、コンピュータ4を、予測費用推定部439、優先順位設定部440、目安算出部441及び期待値提示部442としても機能させるようになっている。

20

予測費用推定部439は、補正部443で補正した寿命到達確率Pに基づき、損害額の期待値(以下、「予測費用」とも呼ぶ)を推定する。予測費用の算出方法としては、例えば、寿命到達確率Pに、構造物(配管等)で推定される腐食箇所の数(以下、「系当たりのCUI箇所数推定」とも呼ぶ)を乗算し、その乗算結果に構造物(配管等)に貫通孔が形成された場合に被る損害額(以下、「漏れ費用」とも呼ぶ)を乗算する方法を用いている。

【0046】

優先順位設定部440は、予測費用推定部439で算出した予測費用に基づき、各構造物(配管等)やそれを構成する各部材の検査優先順位を設定する。検査優先順位は、例えば、予測費用が高いものほど高い順位とする。

30

目安算出部441は、予測費用推定部439で算出した予測費用を構造物(配管等)の検査にかけられる費用の上限値の目安(以下「検査費目安」とも呼ぶ)として設定する。

期待値提示部442は、図29に示すように、構造物(配管等)それぞれに対し、予測費用推定部439で推定した予測費用、優先順位設定部440で設定した検査優先順位、目安算出部441で設定した検査費目安を表す第4のテーブルの画像データを表示装置3に表示させる。図29の例では、予測費用、検査優先順位及び検査費目安に加え、配管番号、板厚、使用期間、寿命到達確率P、系当たりのCUI箇所数推定、真の貫通確率、及び漏れ費用も提示している。

これにより、表示した画像データをもとに、オペレータは、構造物(配管等)の検査の実施の優先順位、時期、及び予算配布をより容易に決定でき、構造物(配管等)の保全方式や検査仕様等をより適切に決定することができる。また、予測費用、検査優先順位及び検査費目安が得られるため、プラントの予算決定権者に検査の必要性等が理解され易い。

40

【0047】

(9)また、取得部410は、単位面積当たりまたは単位長さ当たりの損傷度合の測定値を取得する構成としてもよい。この場合、取得した測定値を基に、算出部420や演算部430によって、上記演算を行うことで、単位面積もしくは単位長さ当たりの損傷(減肉)確率を算出し、構造物のサイズ(面積、長さ)に応じた寿命到達確率Pを算出できる。それゆえ、例えば、予測費用を算出する場合には、図30に示すように、寿命到達確率Pに、構造物のサイズを乗算し、その乗算結果に漏れ費用の乗算を行う。これにより、構造

50

物のサイズから、予測費用、検査優先順位、及び検査費目安等を比較的容易に演算することができる。図30の例では、構造物のサイズとして、配管外表面積を採用している。

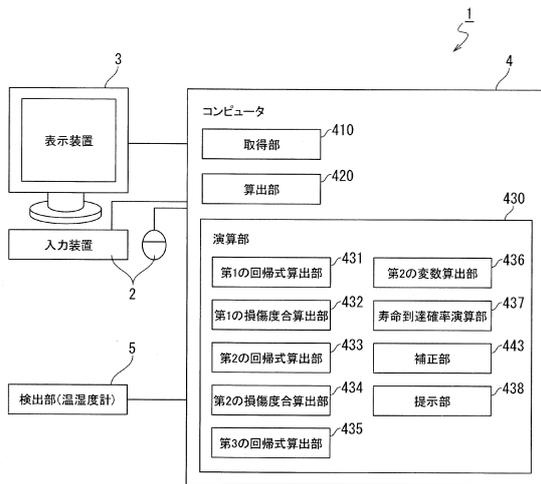
ここで、単位面積当たりまたは単位長さ当たりの損傷度合の推定値（取得部410が取得する測定値）は、例えば、各構造物（配管等）の損傷度合（例えば、CUIによる減肉深さ）の分布をもとに導出する構成としてもよい。各構造物（配管等）の損傷度合の分布としては、例えば、1つの構造（例えば、配管系）に複数（2点以上）の損傷度合（例えば、CUIによる減肉深さの測定値）がある場合には、測定の単位面積または単位長さを仮定して得られる損傷度合いの分布（例えば、ゲンベル分布）を採用することができる。

【符号の説明】

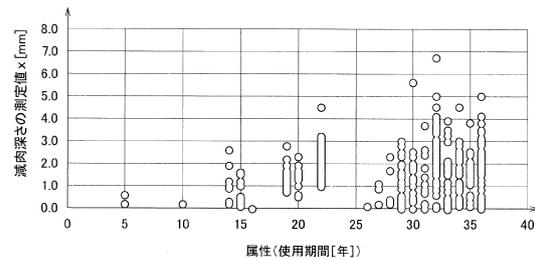
【0048】

1...保全支援装置、2...入力装置、3...表示装置、4...コンピュータ、5...検出部（温湿度計）、410...取得部、420...算出部、430...演算部、431...第1の回帰式算出部、432...第1の損傷度合算出部、433...第2の回帰式算出部、434...第2の損傷度合算出部、435...第3の回帰式算出部、436...第2の変数算出部、437...寿命到達確率演算部、438...提示部、439...予測費用推定部、440...優先順位設定部、441...目安算出部、442...期待値提示部、510...中性子水分計、520...中性子水分計、530...画像処理装置、540...アコースティック・エミッション計測器、550...超音波計、560...X線撮影装置、570...画像処理装置、580...ACMセンサ、590...インテリジェントピグ

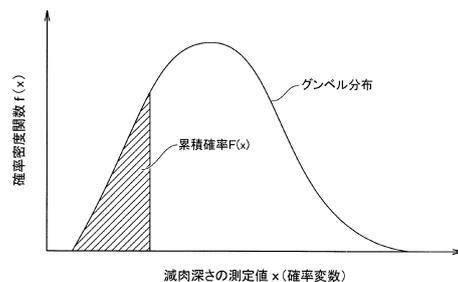
【図1】



【図2】



【図3】

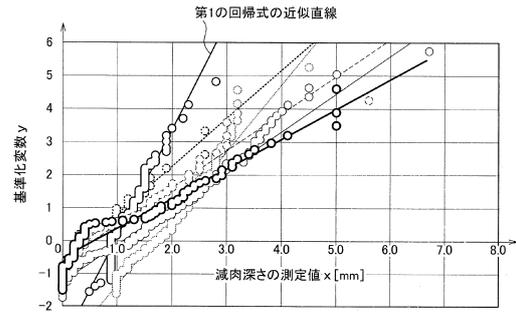


【 図 4 】

データ番号	減肉深さの測定値 x	累積確率 F	基準化変数 y
1	0.1	0.035714	-1.20363
2	0.1	0.071429	-0.97042
3	0.1	0.107143	-0.80361
4	0.2	0.142857	-0.66573
5	0.2	0.178571	-0.54393
6	0.2	0.214286	-0.43207
7	0.2	0.25	-0.32663
8	0.2	0.285714	-0.22535
9	0.2	0.321429	-0.12661
10	0.3	0.357143	-0.02919
11	0.3	0.392857	0.067948
12	0.3	0.428571	0.165703
13	0.4	0.464286	0.264936
14	0.5	0.5	0.366513
15	0.9	0.535714	0.471358
16	1.0	0.571429	0.580505
17	1.0	0.607143	0.695167
18	1.0	0.642857	0.816824
19	1.0	0.678571	0.947354
20	1.2	0.714286	1.08924
⋮	⋮	⋮	⋮

(使用期間 10~15年
平均年 14.259261年)

【 図 5 】



- : 使用期間の平均値 $x_a=14.3$ 年
 $y=1.4535x-0.6727$
 $R^2=0.9404$
- : 使用期間の平均値 $x_a=29.1$ 年
 $y=1.1266x-0.6904$
 $R^2=0.931$
- : 使用期間の平均値 $x_a=19.1$ 年
 $y=3.2792x-3.2399$
 $R^2=0.9299$
- : 使用期間の平均値 $x_a=33.1$ 年
 $y=1.1489x-1.3137$
 $R^2=0.9778$
- : 使用期間の平均値 $x_a=22$ 年
 $y=2.0372x-3.4452$
 $R^2=0.9627$
- : 使用期間の平均値 $x_a=36$ 年
 $y=0.9037x-0.5349$
 $R^2=0.9351$

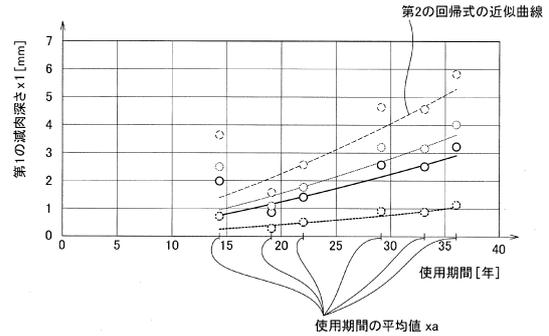
【 図 6 】

所定の累積確率 F_0	所定の基準化変数 y_0
0.5	0.366513
0.9	2.250367
0.95	2.970195
0.99	4.600149

【 図 7 】

使用期間の平均値 x_a (平均年)	第1の回帰式	第1の減肉深さ x_1			
		所定の累積確率 F_0 が0.5の場合	所定の累積確率 F_0 が0.9の場合	所定の累積確率 F_0 が0.95の場合	所定の累積確率 F_0 が0.99の場合
14.3	$y=1.45x-0.673$	0.712414	2.015862	2.512414	3.636552
19.1	$y=3.28x-3.24$	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
22	$y=2.0372x-3.4452$	0.506373	1.432843	1.785784	2.584804
29.1	$y=1.13x-0.69$	0.914159	2.586726	3.223894	4.666372
33.1	$y=1.15x-1.31$	0.898261	2.541739	3.167826	4.585217
36	$y=0.904x-0.535$	1.142699	3.233407	4.029867	5.832965

【 図 8 】

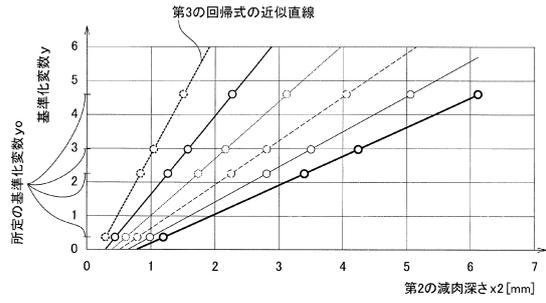


- : 所定の累積確率 $F_0=0.5$
 $x_1=0.0061(\text{使用期間})^{1.4318}$
 $R^2=0.7577$
- : 所定の累積確率 $F_0=0.95$
 $x_1=0.0217(\text{使用期間})^{1.4318}$
 $R^2=0.7577$
- : 所定の累積確率 $F_0=0.9$
 $x_1=0.0174(\text{使用期間})^{1.4318}$
 $R^2=0.7577$
- : 所定の累積確率 $F_0=0.99$
 $x_1=0.0313(\text{使用期間})^{1.4318}$
 $R^2=0.7577$

【図9】

データ点数の比率 [%]	使用期間の平均値 x_a (平均年) [年]	第1の減肉深さ x_1 [mm]			
		所定の累積確率 F_o が 0.5 の場合	所定の累積確率 F_o が 0.9 の場合	所定の累積確率 F_o が 0.95 の場合	所定の累積確率 F_o が 0.99 の場合
3	14.3	0.712414	2.015862	2.512414	3.636552
	14.3	0.712414	2.015862	2.512414	3.636552
	14.3	0.712414	2.015862	2.512414	3.636552
15	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
	19.1	0.314939	0.891159	1.110671	1.607622
23	22	0.506373	1.432843	1.785784	2.584804
	22	0.506373	1.432843	1.785784	2.584804
	22	0.506373	1.432843	1.785784	2.584804
...	

【図11】



- : 所定の使用期間 $u_o=15$ 年
 $y=3.4942x_2-0.6651$
- : 所定の使用期間 $u_o=20$ 年
 $y=2.3157x_2-0.6651$
- : 所定の使用期間 $u_o=25$ 年
 $y=1.6831x_2-0.6651$
- : 所定の使用期間 $u_o=30$ 年
 $y=1.2968x_2-0.6651$
- : 所定の使用期間 $u_o=35$ 年
 $y=1.0403x_2-0.6651$
- : 所定の使用期間 $u_o=40$ 年
 $y=0.8594x_2-0.6651$

【図10】

所定の使用期間 u_o [年]	第2の減肉深さ x_2 [mm]			
	所定の累積確率 F_o が 0.5 の場合	所定の累積確率 F_o が 0.9 の場合	所定の累積確率 F_o が 0.95 の場合	所定の累積確率 F_o が 0.99 の場合
15	0.293184	0.836295	1.042966	1.504371
20	0.442387	1.261892	1.573739	2.269955
25	0.608673	1.736215	2.165279	3.123191
30	0.789975	2.253371	2.810238	4.053477
35	0.984798	2.809096	3.503298	5.053144
40	1.191998	3.400126	4.240387	6.116319

【図12】

所定の使用期間 u_o [年]	第2の標準化変数 y_2									
	所定の減肉深さ x_o が 2mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 3mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 4mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 5mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 6mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 7mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 8mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 9mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 10mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 10mm の場合
15	6.315	9.805	13.295	16.785	20.275	23.765	27.255	30.745	34.235	37.725
20	3.975	6.295	8.615	10.935	13.255	15.575	17.895	20.215	22.535	24.855
25	2.695	4.375	6.055	7.735	9.415	11.095	12.775	14.455	16.135	17.815
30	1.935	3.235	4.535	5.835	7.135	8.435	9.735	11.035	12.335	13.635
35	1.415	2.455	3.495	4.535	5.575	6.615	7.655	8.695	9.735	10.775
40	1.053	1.912	2.771	3.63	4.489	5.348	6.207	7.066	7.925	8.783

(第1のテーブル)

【図13】

所定の使用期間 u_o [年]	標準化後累積確率 F_s									
	所定の減肉深さ x_o が 2mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 3mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 4mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 5mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 6mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 7mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 8mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 9mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 10mm の場合	所定の減肉深さ x_o が 10mm の場合
15	0.998193	0.999045	0.999598	0.999819	0.999902	0.999968	0.999997	0.999999	0.999999	0.999999
20	0.981936	0.981566	0.981919	0.982657	0.983503	0.984419	0.985365	0.986399	0.987481	0.988661
25	0.946668	0.947491	0.948333	0.949194	0.949981	0.950794	0.951624	0.952471	0.953333	0.954204
30	0.86552	0.866104	0.866733	0.867399	0.868091	0.868801	0.869526	0.870266	0.871021	0.871789
35	0.78433	0.784772	0.785167	0.785617	0.786031	0.786501	0.786926	0.787406	0.787891	0.788381
40	0.705471	0.705817	0.706117	0.706471	0.706881	0.707346	0.707866	0.708441	0.709071	0.709756

(第2のテーブル)

【図 14】

対象とする 構造物の 使用期間u1 [年]	寿命到達確率 P									
	板厚x3が 2mmの場合	板厚x3が 3mmの場合	板厚x3が 4mmの場合	板厚x3が 5mmの場合	板厚x3が 6mmの場合	所板厚x3が 7mmの場合	板厚x3が 8mmの場合	板厚x3が 9mmの場合	板厚x3が 10mmの場合	0
15	0.001807	5.52E-05	1.68E-06	5.13E-08	1.57E-09	4.78E-11	1.46E-12	4.44E-14	0	
20	0.018804	0.001844	0.000181	1.78E-05	1.75E-06	1.72E-07	1.69E-08	1.66E-09	1.63E-10	
25	0.085312	0.012509	0.002343	0.00437	8.15E-05	1.52E-05	2.83E-06	5.28E-07	9.63E-08	
30	0.13448	0.038596	0.01067	0.02619	0.00796	0.00217	5.92E-05	1.61E-05	4.4E-06	
35	0.21567	0.09228	0.02893	0.01667	0.003784	0.001338	0.000474	0.000167	5.92E-05	
40	0.294228	0.137383	0.06068	0.026168	0.011169	0.004746	0.002013	0.000853	0.000362	

(表3のテーブル)

【図 15】

対象とする 構造物の 使用期間u1 [年]	寿命到達確率 P									
	余裕肉厚が 1mmの場合	余裕肉厚が 2mmの場合	余裕肉厚が 3mmの場合	余裕肉厚が 4mmの場合	余裕肉厚が 5mmの場合	余裕肉厚が 6mmの場合	余裕肉厚が 7mmの場合	余裕肉厚が 8mmの場合	余裕肉厚が 9mmの場合	0
15	0.0021684	6.624E-05	2.016E-06	6.156E-08	1.884E-09	5.736E-11	1.752E-12	5.328E-14	0	
20	0.0223248	0.0022128	0.002172	2.136E-05	2.1E-06	2.064E-07	2.028E-08	1.992E-09	1.956E-10	
25	0.0783744	0.0150108	0.0028116	0.005244	9.78E-05	1.824E-05	3.396E-06	6.326E-07	1.1796E-07	
30	0.16128	0.0463152	0.012804	0.0035028	0.0009552	0.0002604	7.104E-05	1.922E-05	5.28E-06	
35	0.2588044	0.098736	0.0358716	0.012304	0.0045408	0.0016068	0.0005698	0.0002004	7.104E-05	
40	0.3534348	0.1648596	0.06016	0.0314016	0.0134028	0.0056652	0.0024156	0.0010236	0.0004844	

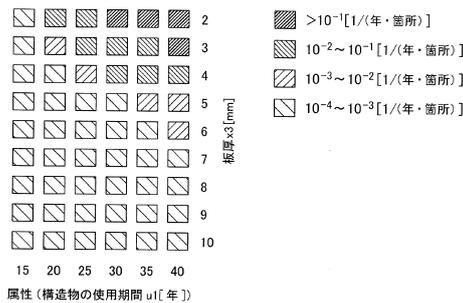
(表3のテーブル
必要肉厚 l [mm])

【図 16】

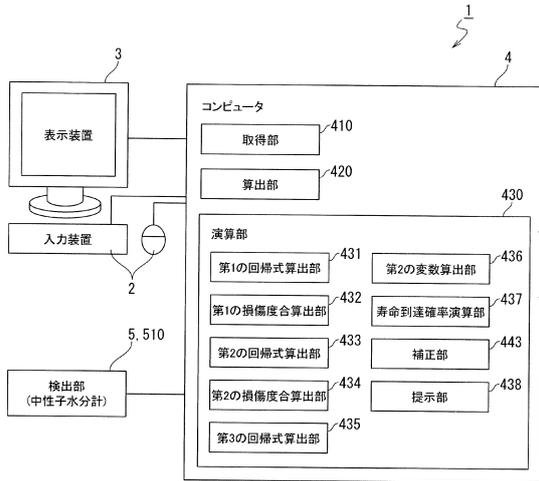
対象とする 構造物の 使用期間u1 [年]	寿命到達確率 P									
	板厚x3が 2mmの場合	板厚x3が 3mmの場合	板厚x3が 4mmの場合	板厚x3が 5mmの場合	所板厚x3が 6mmの場合	所板厚x3が 7mmの場合	板厚x3が 8mmの場合	板厚x3が 9mmの場合	板厚x3が 10mmの場合	0
15	0.0021684	6.624E-05	2.016E-06	6.156E-08	1.884E-09	5.736E-11	1.752E-12	5.328E-14	0	
20	0.0223248	0.0022128	0.002172	2.136E-05	2.1E-06	2.064E-07	2.028E-08	1.992E-09	1.956E-10	
25	0.0783744	0.0150108	0.0028116	0.005244	9.78E-05	1.824E-05	3.396E-06	6.326E-07	1.1796E-07	
30	0.16128	0.0463152	0.012804	0.0035028	0.0009552	0.0002604	7.104E-05	1.922E-05	5.28E-06	
35	0.2588044	0.098736	0.0358716	0.012304	0.0045408	0.0016068	0.0005698	0.0002004	7.104E-05	
40	0.3534348	0.1648596	0.06016	0.0314016	0.0134028	0.0056652	0.0024156	0.0010236	0.0004844	

(修正後の表3のテーブル)

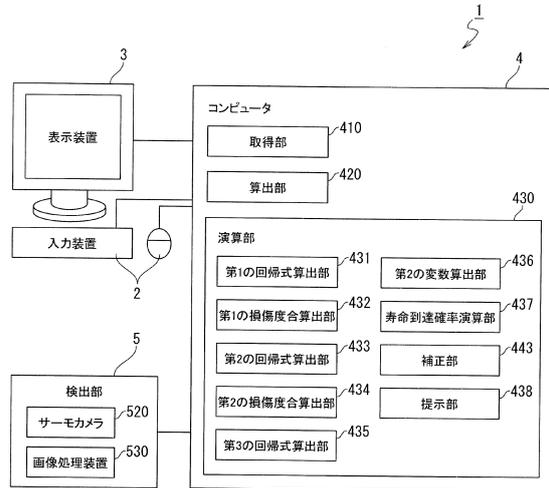
【図 17】



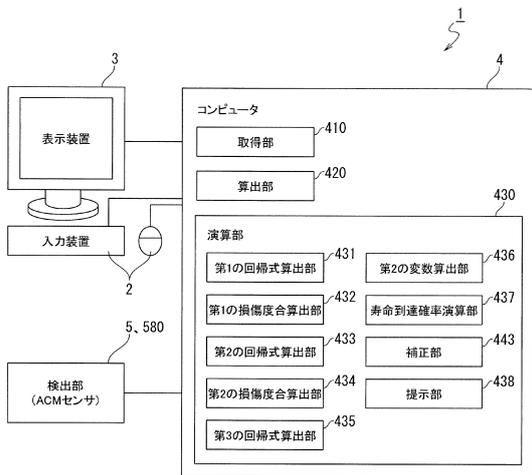
【図18】



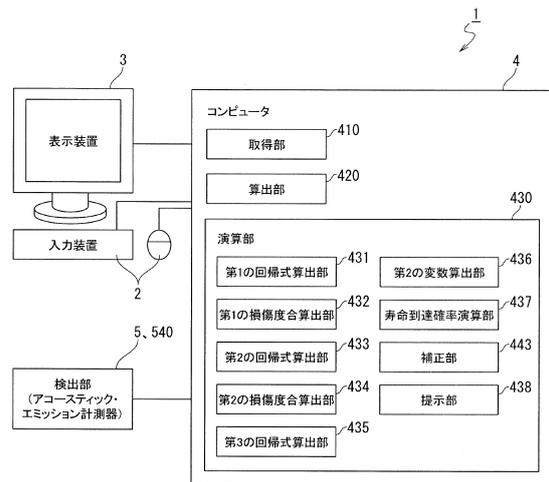
【図19】



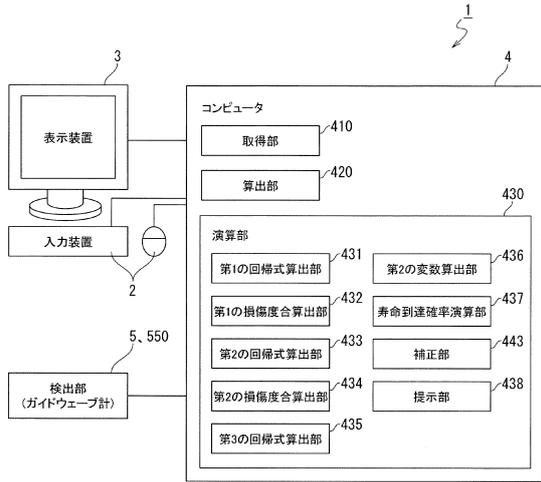
【図20】



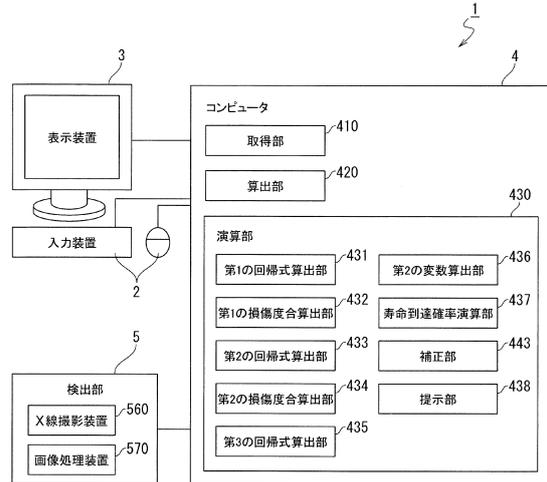
【図21】



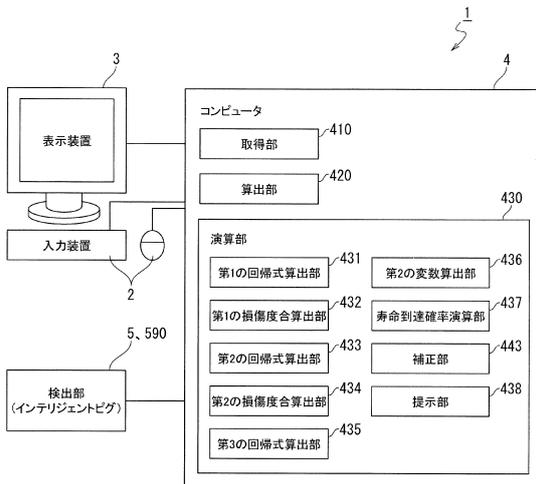
【図 2 2】



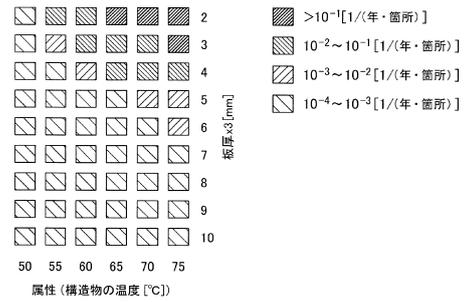
【図 2 3】



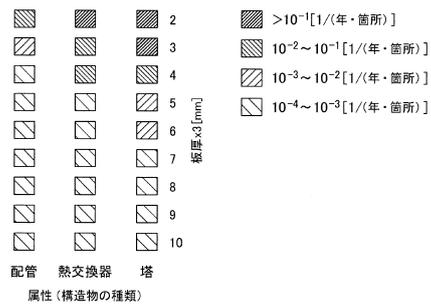
【図 2 4】



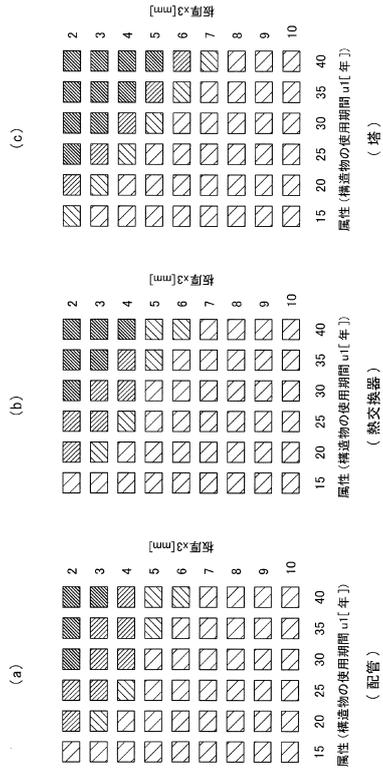
【図 2 5】



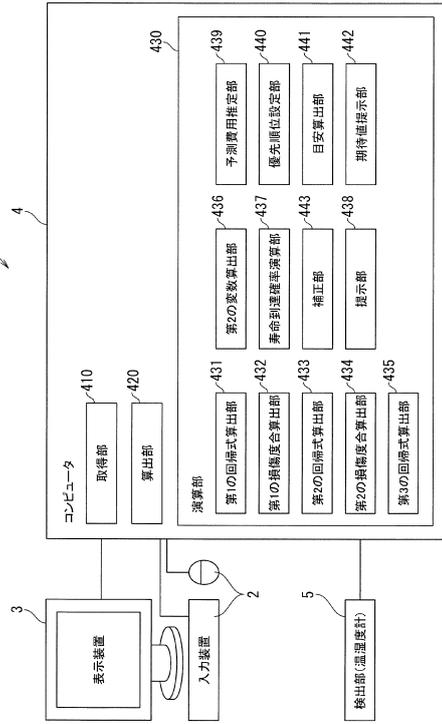
【図 2 6】



【図 27】



【図 28】



【図 29】

配管番号	仕様		発生可能性		結果影響 漏れ費用 [k円/件]	リスク (予測費用) [k円/年]	リスクと判断	
	板厚 [mm]	使用期間 [年]	早かけの直通確率 (寿命到達確率) [1/年・箇所]	系当りの CUI箇所数 推定			真の直通確率 [回/年]	検査優先順位
L1	6	20	0.004	50	10	2	4	2
L2	8	30	0.001	10	100	1	5	1
L3	5	30	0.02	50	200	210	2	210
L4	10	40	0.0003	10	500,000	1450	1	1450
L5	9	30	0.0004	30	1,000	12	3	12

【図 30】

配管番号	仕様		発生可能性		結果影響 漏れ費用 [k円/件]	リスク (予測費用) [k円/年]	リスクと判断	
	板厚 [mm]	使用期間 [年]	早かけの直通確率 (寿命到達確率) [1/年・m ²]	配管外 表面積 [m ²]			真の直通確率 [回/年]	検査優先順位
L1	6	20	0.004	50	10	2	4	2
L2	8	30	0.001	10	100	1	5	1
L3	5	30	0.02	50	200	210	2	210
L4	10	40	0.0003	10	500,000	1450	1	1450
L5	9	30	0.0004	30	1,000	12	3	12

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07-218409(JP,A)
特開昭61-139743(JP,A)
国際公開第2013/069323(WO,A1)
栗原 朋之 他, 化学プラントにおける断熱材下の外面腐食の実機検査結果の解析と発生可能性
推定方法の検討, 材料と環境, 2010年, Vol. 59, pp. 291-297
栗原 朋之 他, 実機配管における減肉速度の確率特性 調査方法検討と信頼性評価手法への適
用, 圧力技術, 2014年, Vol. 52, No. 2, pp. 64-71

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 17/00
G01M 99/00