

(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
2023年1月19日(19.01.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/286247 A1

(51) 国際特許分類:

G01H 1/00 (2006.01) G01M 13/00 (2019.01)
G01M 7/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/026640

(22) 国際出願日: 2021年7月15日(15.07.2021)

(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:三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 貞本 貢汰 (SADAMOTO Kota); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7

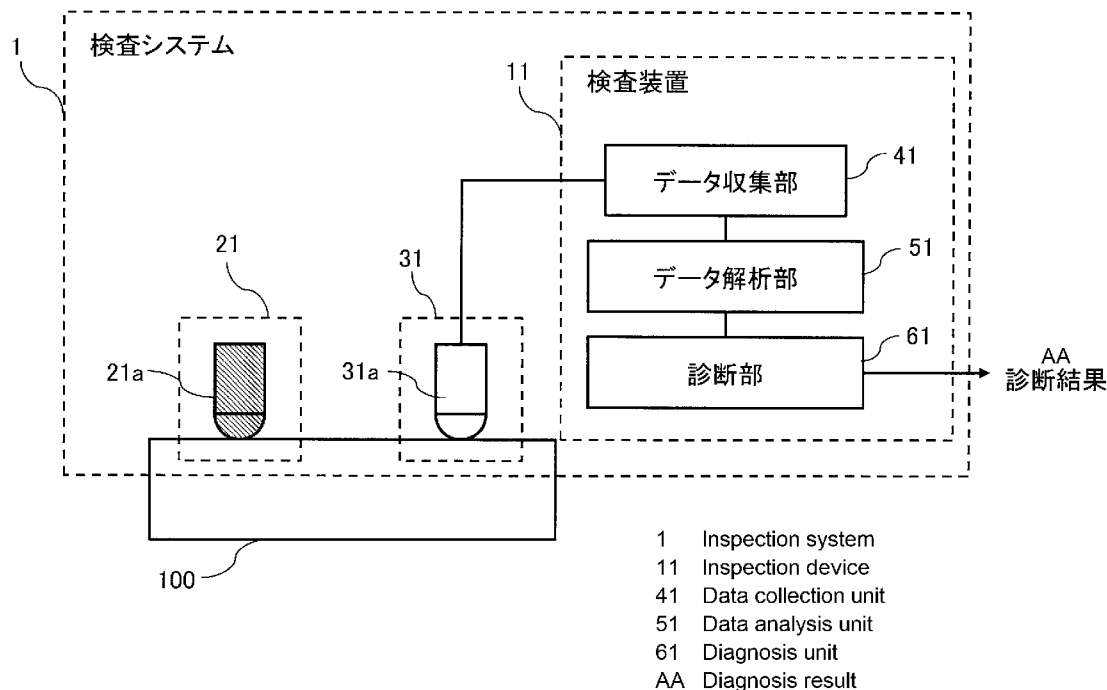
番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
荒木 宏 (ARAKI Hiroshi); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山形 洋一, 外 (YAMAGATA Yoichi et al.); 〒1510053 東京都渋谷区代々木2丁目16番2号 甲田ビル4階 特許業務法人 山形・佐藤特許事務所 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, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,

(54) Title: INSPECTION DEVICE, INSPECTION SYSTEM, INSPECTION METHOD, AND INSPECTION PROGRAM

(54) 発明の名称: 検査装置、検査システム、検査方法、及び検査プログラム



(57) Abstract: An inspection device (11) comprises: a data collection unit (41) that collects, as measurement data, measurement values for each vibration frequency for each of N (where N is an integer greater than or equal to 3) objects under inspection from a vibration detection unit (31) that outputs vibration measurement values by detecting vibration in the objects, which are vibrated by a vibration unit (21); a data analysis unit (51) that, for each combination of two objects under inspection from among the N objects under inspection, carries out processing for calculating the similarity

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))

of the measurement data for the two objects under inspection from among the N objects under inspection, and calculates evaluation values that are similarity statistics for each of the N objects under inspection; and a diagnosis unit (61) that compares the evaluation values for the N objects under inspection with each other and uses the result of the comparison to produce a diagnosis for each of the N objects under inspection as to whether the same is abnormal.

(57) 要約：検査装置（11）は、加振部（21）によって加振された物体の振動を検出して振動の計測値を出力する振動検出部（31）から、物体としてのN個（Nは3以上の整数）の検査対象の各々について、振動の周波数ごとの計測値を計測データとして収集するデータ収集部（41）と、N個の検査対象のうちの2個の検査対象の計測データの類似度を算出する処理を、N個の検査対象のうちの2個の検査対象の組合せの各々について実行し、N個の検査対象の各々について類似度の統計量である評価値を算出するデータ解析部（51）と、N個の検査対象の各々の評価値を互いに比較し、比較の結果に基づいてN個の検査対象の各々に異常の有るか無いかの診断を行う診断部（61）とを有する。

明 細 書

発明の名称：

検査装置、検査システム、検査方法、及び検査プログラム

技術分野

[0001] 本開示は、検査装置、検査システム、検査方法、及び検査プログラムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献1は、加振された検査対象の振動強度を計測し、計測データを解析することで、検査対象にひび割れ等の構造上の異常の有無か無いか（すなわち、構造上の異常の有無）を診断する装置を開示している。この装置は、加振された検査対象の周波数ごとの振動強度を計測して複数の振動ピークの周波数を検出し、検出された周波数と、正常と確認された基準対象物について予め検出した複数の振動ピークの周波数との間の相関係数を算出し、この相関係数に基づいて検査対象の構造上の異常の有無を診断する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2008-232763号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、上記従来の装置は、基準対象物の複数の振動ピークと検査対象の複数の振動ピークとを用いて異常の有無を診断しているので、複数の振動ピークの周波数の間隔が狭い場合又は計測された振動強度に雑音成分が含まれている場合に、構造上の異常の有無の診断精度が悪化するという問題がある。

[0005] 本開示は、検査対象の異常の有無を高い診断精度で検査することを可能にする検査装置、検査システム、検査方法、及び検査プログラム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

[0006] 本開示の検査装置は、加振部によって加振された物体の振動を検出して前記振動の計測値を出力する振動検出部から、前記物体としてのN個（Nは3以上の整数）の検査対象の各々について、前記振動の周波数ごとの前記計測値を計測データとして収集するデータ収集部と、前記N個の検査対象のうちの2個の検査対象の組合せの各々について前記計測データの類似度を算出し、前記N個の検査対象の各々について前記類似度の統計量である評価値を算出するデータ解析部と、前記N個の検査対象の各々の前記評価値を互いに比較し、前記比較の結果に基づいて前記N個の検査対象の各々に異常が有るか無いかを診断する診断部と、を有することを特徴とする。

[0007] 本開示の検査方法は、加振部によって加振された物体の振動を検出して前記振動の計測値を出力する振動検出部から、前記物体としてのN個（Nは3以上の整数）の検査対象の各々について、前記振動の周波数ごとの前記計測値を計測データとして収集するステップと、前記N個の検査対象のうちの2個の検査対象の前記計測データの類似度を算出する処理を、前記N個の検査対象のうちの2個の検査対象の組合せの各々について実行し、前記N個の検査対象の各々について前記類似度の統計量である評価値を算出するステップと、前記N個の検査対象の各々の前記評価値を互いに比較し、前記比較の結果に基づいて前記N個の検査対象の各々に異常が有るか無いかの診断を行うステップとを有することを特徴とする。

発明の効果

[0008] 本開示によれば、検査対象の異常の有無を高い診断精度で検査することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]実施の形態1に係る検査装置及び検査システムの構成を示す概略図である。

[図2] (A) から (D) は、実施の形態1に係る検査装置のデータ収集部によって収集された検査対象#1～#4の計測データの例を周波数・振動強度特

性として示す図である。

[図3]実施の形態1に係る検査装置のデータ解析部によって行われる処理を示す図である。

[図4]図3に示される相関係数の平均と度数との関係を示す度数分布図である。

[図5]実施の形態1に係る検査装置の動作を示すフローチャートである。

[図6]実施の形態1に係る検査システムの加振部と振動検出部とを移動体に搭載した例を示す図である。

[図7]実施の形態2に係る検査装置及び検査システムの構成を示す概略図である。

[図8](A)及び(B)は、実施の形態2に係る検査システムの加振器によって加振された検査対象の振動モードと振動検出器とを示す図である。

[図9]実施の形態2に係る検査システムの加振器と図8(A)及び(B)に示される振動モードとの関係を示す図である。

[図10](A)から(D)は、実施の形態2に係る検査装置のデータ収集部によって収集された検査対象#1～#4の計測データの例を周波数・振動強度特性として示す図である。

[図11]実施の形態2に係る検査装置のデータ解析部によって行われる処理を示す図である。

[図12]図11に示される相関係数の平均と度数との関係を示す度数分布図である。

[図13]実施の形態3に係る検査装置及び検査システムの構成を示す概略図である。

[図14](A)から(D)は、実施の形態3に係る検査装置のデータ収集部によって収集された検査対象#1～#4の計測データの例を周波数・振動強度特性として示す図である。

[図15](A)から(D)は、実施の形態3に係る検査装置のデータ収集部によって収集された検査対象#1～#4の計測データの振動強度の最大値を周

波数・振動強度特性として示す図である。

[図16]実施の形態4に係る検査装置及び検査システムの構成を示す概略図である。

[図17](A)及び(B)は、実施の形態4に係る検査システムの加振器によって加振された検査対象の振動モードと振動検出器とを示す図である。

[図18]実施の形態4に係る検査システムの振動検出器と図17(A)及び(B)に示される振動モードとの関係を示す図である。

[図19](A)から(D)は、実施の形態4に係る検査装置のデータ収集部によって収集された検査対象#1～#4の計測データの例を周波数・振動強度特性として示す図である。

[図20]実施の形態4に係る検査装置のデータ解析部によって行われる処理を示す図である。

[図21]図20に示される相関係数の平均と度数との関係を示す度数分布図である。

[図22]実施の形態5に係る検査装置及び検査システムの構成を示す概略図である。

[図23]実施の形態1から5に係る検査装置及び検査システムのハードウェア構成の例を示す図である。

[図24]実施の形態1から5に係る検査装置及び検査システムのハードウェア構成の他の例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下に、実施の形態に係る検査装置、検査システム、検査方法、及び検査プログラムを、図面を参照しながら説明する。以下の実施の形態は、例にすぎず、実施の形態を適宜組み合わせること及び各実施の形態を適宜変更することが可能である。なお、各図において、同じ又は同様の構成には、同じ符号が付されている。

[0011] 《1》実施の形態1

《1-1》構成

図 1 は、実施の形態 1 に係る検査装置 1 1 及び検査システム 1 の構成を示す概略図である。図 1 に示されるように、検査システム 1 は、加振部 2 1 と、振動検出部 3 1 と、検査装置 1 1 とを有している。検査装置 1 1 は、データ収集部 4 1 と、データ解析部 5 1 と、診断部 6 1 とを有している。検査装置 1 1 は、実施の形態 1 に係る検査方法を実施することができる装置である。検査装置 1 1 は、物体としての検査対象 1 0 0 に異常の有無か無いか（すなわち、異常の有無）の検査を実行する。異常の有無の検査は、主に、構造上の異常の有無の検査である。構造上の異常は、例えば、検査対象 1 0 0 の亀裂又はひび割れ（すなわち、クラック）、検査対象 1 0 0 の一部の欠損、検査対象 1 0 0 の変形、及び、検査対象 1 0 0 を構成する部品の不完全な取り付け、などである。

[0012] 加振部 2 1 は、加振器 2 1 a を有している。加振器 2 1 a は、例えば、検査対象 1 0 0 を 1 k H z 以上の周波数で加振することができる圧電素子などで構成される。加振器 2 1 a は、例えば、検査対象 1 0 0 に接触して検査対象 1 0 0 を加振する。

[0013] 振動検出部 3 1 は、振動検出器 3 1 a を有している。振動検出部 3 1 は、例えば、検査対象 1 0 0 の 1 k H z 以上の周波数の振動を検出することができる圧電素子などで構成される。振動検出器 3 1 a は、検査対象 1 0 0 に接触して検査対象 1 0 0 の振動を計測する。

[0014] データ収集部 4 1 は、加振部 2 1 によって加振された物体の振動を検出して振動の計測値を出力する振動検出部 3 1 から、物体としての N 個（N は 3 以上の整数）の検査対象の各々について、振動の周波数ごとの計測値を計測データとして収集する。計測データは、計測結果ともいう。データ収集部 4 1 は、振動検出部 3 1 が検出した振動強度に関する計測データを収集する。

[0015] データ解析部 5 1 は、N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の計測データの相関係数を算出する処理を、N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の組合せの各々について実行し、N 個の検査対象の各々について相関係数の総和又は平均である評価値を算出する。実施の形態 1 では、データ解析部 5 1

は、N個の検査対象の計測データとの相関係数の平均を算出する。

[0016] 診断部61は、N個の検査対象の各々の評価値を互いに比較し、比較の結果に基づいてN個の検査対象の各々に異常が有るか無いかの診断（例えば、構造上の異常の有無の診断）を行う。つまり、診断部61は、データ解析部51が算出した各検査対象における相関係数の総和又は平均を比較分析して、検査対象ごとの異常の有無を診断し、その結果を出力する。

[0017] 検査装置11は、例えば、処理回路によって構成される。処理回路は、メモリに記憶されたソフトウェアとしてのプログラムを実行するCPU（Central Processing Unit）などのプロセッサなどにより構成されてもよい。プロセッサは、システムLSIなどの処理回路であってもよい。また、複数のプロセッサ、及び複数のメモリが連携して上記機能を実現してもよい。

[0018] 《1-2》動作

検査対象は、3個以上であればよいが、実施の形態1では、一例として検査対象が4個であるときの例について説明する。各検査対象は、同じ設計で製作された部品（すなわち、物品）であり、検査対象#1、検査対象#2、検査対象#3、検査対象#4と表記される。検査対象#1～#3は、正常品（例えば、構造上の異常が無い商品）であり、検査対象#4が異常品（例えば、構造上の異常が有る商品）である。異常品は、例えば、経年劣化等によって、数百 μm から数mmオーダ以上のひび割れが発生した検査対象である。

[0019] 加振部21は、各検査対象を1kHz以上において予め定められた周波数帯域で加振する。検査対象#1～#4に対して同じ位置であれば、加振する位置は特に限定されない。ただし、検査対象によって、正常品と異常品との間で相関係数の差が顕著に表れる加振位置があれば、その位置に加振することが望ましい。

[0020] 振動検出部31は、各検査対象を加振したときの振動強度を検出する。データ収集部41は、振動検出部31が検出した振動強度を計測データとして

収集する。

[0021] 図2 (A) から (D) は、実施の形態1に係る検査装置11のデータ収集部41によって収集された検査対象#1～#4の計測データ201～204の例を周波数・振動強度特性として示す図である。図2 (A) から (C) に示されるように、正常品である検査対象#1～#3の計測データ201～203は、概ね同じ傾向を示している。一方で、図2 (D) に示されるように、異常品である検査対象#4の計測データ204は、検査対象#1～#3の計測データ201～203と比較して、振動ピークの周波数又は振動ピークの数が異なっている。

[0022] データ解析部51は、データ収集部41が収集した計測データ201～204の解析を行う。データ解析部51は、検査対象#1～#4の計測データ201～204のそれぞれに関して、他の検査対象の計測データとの相関係数を算出し、その相関係数の平均を算出する。実施の形態では、相関係数 r として、以下の式(1)に示される、ピアソンの積率相関係数が用いられている。

[0023] [数1]

$$r = \frac{\sum_i (A_i - A_{ave})(B_i - B_{ave})}{\sqrt{\sum_i (A_i - A_{ave})^2} \sqrt{\sum_i (B_i - B_{ave})^2}} \quad (1)$$

[0024] 式(1)において、 A 、 B は、2個の検査対象を表し、 A_i 、 B_i は、それぞれ周波数 i におけるデータ収集部41が収集した計測データである。周波数の範囲は、計測データの周波数帯域において任意の範囲である。また、 A_{ave} は、上記周波数の範囲における A_i の平均値であり、 B_{ave} は、上記周波数の範囲における B_i の平均値である。

[0025] 図3は、実施の形態1に係る検査装置11のデータ解析部51によって行われる処理を示す図である。データ解析部51は、検査対象#1の計測データ201に対する、検査対象#2～#4の計測データ202～204の相関係数を算出し、算出された相関係数は、それぞれ0.99、0.98、0.60となる。また、その平均は、0.86となる。データ解析部51は、検

検査対象 # 1 以外の検査対象についても同じ処理を行う。正常品である検査対象 # 1 ~ # 3 に関する相関係数の平均は、0.83 ~ 0.86 の範囲にある一方で、異常品である検査対象 # 4 に関する相関係数の平均は、0.59 となり、検査対象 # 1 ~ # 3 に関する相関係数の平均と大きく異なる。

[0026] 図 4 は、図 3 に示される相関係数の平均と度数との関係を示す度数分布図である。診断部 61 は、データ解析部 51 の解析結果を元に検査対象の異常の有無を診断し、その診断結果を出力する。図 4 においては、分布の幅を 0.1 としている。なお、分布の幅は、他の値であってもよい。正常品である検査対象 # 1 ~ # 3 に関する相関係数の平均は、0.8 ~ 0.9 の度数 402 に属している。一方で、異常品である検査対象 # 4 に関する相関係数の平均は、0.5 ~ 0.6 の度数 401 に属している。検査対象 # 1 ~ # 4 に関する相関係数の平均の分布において、異常品である検査対象 # 4 に関する相関係数の平均が外れ値となっている。したがって、ミーンシフト法又は階層的クラスタリングなどのクラスタリングに関する手法などによって検査対象 # 4 の平均を外れ値として検出することが可能である。外れ値として検出した検査対象 # 4 は、異常と判定される。一方で、検査対象 # 1 ~ # 3 は、同様の位置に分布しているため、正常品として判定する。以上の結果を異常の有無の診断結果として出力する。なお、全ての検査対象が正常品である場合は、全て度数がほぼ同じ位置に分布するため、クラスタリングによって同一のクラスとなり、全ての検査対象を正常品として判定される。

[0027] 図 5 は、実施の形態 1 に係る検査装置 11 の動作を示すフローチャートである。データ収集部 41 は、加振部 21 によって加振された物体の振動を検出して振動の計測値を出力する振動検出部 31 から、物体としての N 個（N は 3 以上の整数）の検査対象の各々について、振動の周波数ごとの計測値を計測データとして収集する（ステップ S1）。データ解析部 51 は、N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の組合せの各々について計測データの相関係数を算出し、N 個の検査対象の各々について相関係数の総和又は平均である評価値を算出する（ステップ S2）。診断部 61 は、N 個の検査対象の各

々の評価値を互いに比較し、比較の結果に基づいてN個の検査対象の各々に異常が有るか無いかを診断する（ステップS3）。

[0028] 《1-3》効果

実施の形態1に係る検査装置又は検査方法では、各検査対象の計測データに関する相関係数を算出するため、各振動ピークの周波数を算出する必要がない。したがって、各振動ピークの周波数の間隔が狭い場合又は計測データに雑音が含まれる場合においても高い診断精度を維持することができる。

[0029] また、実施の形態1に係る検査装置又は検査方法では、多数が正常である検査対象の場合、正常な検査対象に関する相関係数の平均は、大きくなる。一方で、異常な検査対象に関する相関係数の平均は、小さくなる。そのため、予め正常と確認された対象物が無い場合であっても、各検査対象に関する相関係数の平均から外れ値の有無を判定することで、異常の有無の診断を行うことができる。

[0030] また、実施の形態1に係る検査装置又は検査方法では、振動検出部31が検出する検査対象の振動の周波数を1kHz以上の予め定められた周波数帯域とすることが望ましい。この場合には、以下の第1から第3の効果が得られる。

[0031] 第1の効果は、数kHz以上の振動を検出することによって、数百μmから数mmオーダのひび割れの検出が可能となることである。このことは、例えば、以下の非特許文献1に記載されている。

[0032] 非特許文献1: Hiroki Mine, Jiang Wu, Yosuke Mizuno, and Kentaro Nakamura, “Non-destructive testing of T-shaped metal object by considering vibration mode”, Proceedings of Symposium on Ultrasonic Electronics, Vol. 39 (2018).

[0033] 第2の効果は、予めひび割れによる応答変化が大きい周波数帯域が明らか

になっている場合、数kHz以上の周波数帯域の振動を検出することで診断精度を向上させることができることである。第3の効果は、ひび割れの検出にあまり適していない1kHz未満の周波数を検出しないことで振動雑音比を向上させることができることである。

[0034] 加振器21aと振動検出器31aに圧電素子を用いることで、数kHz以上での高周波数での加振が実現し、数mmオーダ以下のひび割れの検出が可能となる。また、信号発生器等を用いることで加振力が安定するため、一般に加振力の安定性が低い打音検査などと比較して、計測精度の向上が可能となる。

[0035] また、実施の形態1に係る検査装置又は検査方法は、発電機の回転子ウェッジを点検する技術などの機械の狭小なスペース内に設置されている部品を点検する場合において、超音波探傷によって部品の異常の有無を診断する、非特許文献2に記載の技術と比較して、以下の第4から第6の効果を有する。

[0036] 非特許文献2：H. Katayama, F. Sato, Y. Gunji, T. Ishikawa, A. Matsuzaki, and H. Shimada, “Toshiba Robotic Inspection Technology for Turbo-Generator”, CIGRE SC A1 Meeting and International Tutorials & Colloquium-CIGRE India (2019).

[0037] まず、第4の効果について説明する。超音波探傷では、検査対象である部品の各位置を全て計測する必要がある、検査時間が長くなるという問題がある。一方で、実施の形態1に係る検査装置又は検査方法を用いれば、部品単位の点検が可能であるため、点検時間を短縮することができる。

[0038] 次に、第5の効果について説明する。超音波探傷に用いる超音波センサの厚さは、一般に数十mm以上であるため、超音波センサの厚さと同等程度又はそれ未満の隙間しかないスペースでは、超音波センサによって検査するこ

とができないという問題がある。一方、実施の形態 1 に係る検査装置又は検査方法は、圧電素子を用いることができ、その厚さは、数 mm 以下であるため、より多くの検査対象に適用することができる。

[0039] 次に、第 6 の効果について説明する。超音波探傷において、検査対象が粉塵等で汚れている場合、センサと検査対象との間で超音波が大きく減衰し、検査精度が悪化する恐れがある。一方、実施の形態 1 に係る検査装置又は検査方法は、検査対象を圧電素子によって加振させる測定原理において、粉塵の有無は、検査精度に影響を与えない。したがって、検査対象が粉塵等で汚れている場合であっても高い検査精度を維持することができる。

[0040] 《1-4》変形例

図 6 は、実施の形態 1 に係る検査システム 1 の加振部 2 1 と振動検出部 3 1 とを移動体 7 1 に搭載した例を示す図である。検査システム 1 は、加振部 2 1、振動検出部 3 1 を移動ロボットなどの移動体 7 1 に搭載し、遠隔で計測することができるものであってもよい。以上の構成によって、人では、アクセスすることのできない場所における検査を実現することができる。また、移動体による自動検査を行うことで、省人化を実現することができる。

[0041] 発電機の回転子ウェッジを点検する技術などにおいて、移動体を挿入可能な隙間は、100 mm 程度以下である。したがって、加振部 2 1 と振動検出部 3 1 の厚さを 100 mm 以下とすることで回転子ウェッジを点検可能な構成を実現できる。

[0042] なお、データ解析部 5 1 は、各検査対象の計測データとの相関係数は、予め定められた複数の周波数範囲のそれぞれにおいて算出した相関係数の平均としてもよい。他の振動モードと比較して卓越して振動強度の大きい振動モードが存在する場合、相関係数は、この振動モードの影響を大きく受け、その他の振動モードに異常の有無による応答変化が生じていても影響を受けにくいという問題がある。そこで、複数の周波数帯域毎に相関係数を算出することで、振動モードの振動強度が大きい周波数帯域と、小さい帯域のそれぞれにおいて規格化された相関係数の算出ができる。このため、各振動モードの振

動強度によらず影響を均等にした相関係数を算出することができる。

[0043] なお、振動検出部 3 1 が検出する情報は、振動強度でなく、加振部 2 1 が検査対象を加振する信号の位相と振動検出部 3 1 が検出する振動の位相の差など、位相に関する情報でもよい。また、振動検出部 3 1 が検出する情報は、振動強度と加振部 2 1 が検査対象を加振する信号の位相又は振動検出部 3 1 が検出する振動の位相の差とを組合せた情報であってもよい。

[0044] また、データ解析部 5 1 は、N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の計測データの相関係数を算出する処理を、N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象のすべてではなく、検査対象の各々に実行する形としてもよい。

[0045] なお、データ解析部 5 1 は、相関係数ではなく、その他の類似度を算出するものであってもよい。例えば、データ解析部 5 1 は、計測データ 2 0 1 ~ 2 0 4 の各周波数の振動強度を各次元の長さとして算出したユークリッド距離を使用してもよい。類似度は、相関係数又はユークリッド距離である。

[0046] また、データ解析部 5 1 は、類似度の平均でなく、総和、中央値、トリム平均などのその他の統計量を算出するものであってもよい。

[0047] つまり、データ解析部 5 1 は、N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の計測データの類似度を算出する処理を、N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の組合せの各々について実行し、N 個の検査対象の各々について類似度の統計量である評価値を算出する。

[0048] なお、診断部 6 1 は、クラスタリングによって異常の有無を診断するのではなく、閾値判定によって異常の有無の診断を行ってもよい。

[0049] また、加振器 2 1 a は、ハンマーなどの検査対象に打撃を与えるものとして、また振動検出器 3 1 a をマイクロフォンなどの振動を検出し各周波数の振動強度を計測する構成であってもよい。

[0050] また、加振器 2 1 a としては、動電式加振器などを用いてもよい。

[0051] また、振動検出器 3 1 a は、加速度センサなどを用いてもよい。また、加振器 2 1 a は、接触して検査対象を加振するものではなく、レーザなどによって非接触に加振するものであってもよい。また、振動検出器 3 1 a につい

ても接触して検査対象の振動を検出するものではなく、レーザなどによって非接触に振動を検出するものでよい。

[0052] 《2》実施の形態2

《2-1》構成

図7は、実施の形態2に係る検査装置12及び検査システム2の構成を示す概略図である。図7に示されるように、検査システム2は、加振部22と、振動検出部31と、検査装置12とを有している。検査装置12は、データ収集部42と、データ解析部52と、診断部62とを有している。検査装置12は、実施の形態2に係る検査方法を実施することができる装置である。検査装置12は、検査対象の異常の有無を診断する。

[0053] 加振部22は、複数の加振器を有している。実施の形態2では、加振部22が2個の加振器22a、22bを有している場合を説明する。2個の加振器22a、22bは、検査対象100の異なる位置を加振する。

[0054] 実施の形態2における振動検出部31は、実施の形態1に記載のものと同一である。

[0055] データ収集部42は、加振器22aが検査対象を加振した場合及び加振器22bが検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて、振動検出部31が検出した振動強度に関する計測データを収集する。

[0056] データ解析部52は、加振器22aが検査対象を加振した場合及び加振器22bが検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて計測された、3個以上の検査対象の計測データに関して、他の検査対象の計測データとの相関係数を算出し、その相関係数の平均を算出する。

[0057] 診断部62は、加振器22aが検査対象を加振した場合及び加振器22bが検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて、データ解析部52が算出した各検査対象における相関係数の平均を比較分析して、検査対象ごとの異常の有無を診断し、その結果を出力する。

[0058] 《2-2》動作

検査対象は、3個以上であればよいが、実施の形態2では、4個の検査対

象 # 1 ~ # 4 を検査する例について説明する。

[0059] 図 8 (A) 及び (B) は、実施の形態 2 に係る検査システム 2 の加振部 22 の加振器 22 a、22 b によって加振された検査対象の振動モード 301、302 と振動検出器 31 a とを示す図である。加振部 22 の加振器 22 a、22 b は、1 kHz 以上において予め定められた周波数帯域で加振を行う。一方の加振器が検査対象を加振しているときに、他方の加振器は検査対象を加振しない。

[0060] 図 9 は、実施の形態 2 に係る検査システム 2 の加振器 22 a、22 b と図 8 (A) 及び (B) に示される振動モード 301、320 との関係を示す図である。検査対象 100 の振動モードの一部として、振動モード 301、302 の 2 種類がある場合を説明する。振動モード 301 は、設置箇所が振動モード 301 の節ではない加振器 22 a によって励起することができ、一方で、設置箇所が振動モード 301 の節である加振器 22 b によっては、励起することができない。振動モード 302 は、設置箇所が振動モード 302 の節である加振器 22 a によっては、励起することができず、一方で、設置箇所が振動モード 302 の節でない加振器 22 b によって励起することができる。図 9 は、加振器 22 a、22 b のそれぞれが、励起することができる振動モード（丸印マーク「○」で示す）と、励起することができない振動モード（バツ印マーク「X」で示す）を表形式で示す。振動モード 301 は、加振器 22 a により励起することができ、振動モード 302 は、加振器 22 b により励起することができ、両加振器を使用することで振動モード 301、302 の両方を励起することができる。振動検出部 31 は、加振器 22 a が検査対象を加振した場合と加振器 22 b が検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて、各検査対象を加振したときの振動強度を検出する。

[0061] 図 10 (A) から (D) は、実施の形態 2 に係る検査装置 12 のデータ収集部 42 によって収集された検査対象 # 1 ~ # 4 の計測データの例を周波数・振動強度特性として示す図である。データ収集部 42 は、加振器 22 a が検査対象を加振した場合及び加振器 22 b が検査対象を加振した場合のそれ

それぞれにおいて、振動検出部 31 が検出した振動強度に関する計測データを収集する。加振器 22a が検査対象を加振した場合、データ収集部 42 は、図 2 (A) から (D) に示される計測データ 201 ~ 204 を取得する。また、加振器 22b が検査対象を加振した場合、データ収集部 42 は、図 10 (A) から (D) に示される計測データ 205 ~ 208 を取得する。正常品である検査対象 #1 ~ #3 の計測データ 205 ~ 207 は、概ね同じ傾向を示している。一方で、異常品である検査対象 #4 の計測データ 208 は、検査対象 #1 ~ #3 の計測データ 205 ~ 208 と比較して振動ピークの周波数又は振動ピークの数が異なっている。また、加振器 22a、22b のそれぞれが検査対象を加振した場合、両者では、加振可能な振動モードが異なるため、計測データは、異なる。ひび割れは、その状態によって振動モードに与える影響が異なるため、ある振動モードには、影響を与えない一方で、他方の振動モードには、大きく影響を与える場合がある。そのため、加振器 22a、22b の両方で加振した計測データを収集することで、正常品と異常品とで大きく応答が異なる計測データを取得しやすくなる。

[0062] 図 11 は、実施の形態 2 に係る検査装置 12 のデータ解析部 52 によって行われる処理を示す図である。データ解析部 52 は、加振器 22a が検査対象を加振した場合及び加振器 22b が検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて、実施の形態 1 の場合と同様に解析を行う。実施の形態 1 で示した通り、加振器 22a が検査対象を加振した場合、検査対象 #1 ~ #3 に関する相関係数の平均は、0.83 ~ 0.86 の範囲である。また、検査対象 #4 に関する相関係数の平均は、0.59 である。一方で、加振器 22b が検査対象を加振した場合の解析結果は、図 11 のようになる。計測データ #1 ~ #3 に関する相関係数の平均は、0.80 ~ 0.81 の範囲にある一方で、検査対象 #4 に関する相関係数の平均は、0.48 となり、検査対象 #1 ~ #3 に関する相関係数の平均と大きく異なる。

[0063] 図 12 は、図 11 に示される相関係数の平均と度数との関係を示す度数分布図である。診断部 62 は、加振器 22a が検査対象を加振した場合及び加

振器 2 2 b が検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて、データ解析部 5 2 の解析結果を元に異常の有無を診断し、その診断結果を出力する。加振器 2 2 a が検査対象を加振した場合の異常の有無の判定結果については、実施の形態 1 で説明した通りである。加振器 2 2 b が検査対象を加振した場合の検査対象 # 1 ~ # 4 に関する相関係数の平均の分布を図 1 2 に示す。正常品である検査対象 # 1 ~ # 3 に関する相関係数の平均は、0.8 ~ 0.9 の度数 4 0 4 に属している。一方で、異常品である検査対象 # 4 に関する相関係数の平均は、0.4 ~ 0.5 の度数 4 0 3 に属している。実施の形態 1 の場合と同様にクラスタリングに関する手法によって、検査対象 # 4 は、異常と判定される。なお、加振器 2 2 b が検査対象を加振した場合の方が、正常品である検査対象 # 1 ~ # 3 と、異常品である検査対象 # 4 との相関係数の平均の差異が大きいことが確認できる。つまり、加振器 2 2 b が検査対象を加振した場合の方が、異常の有無を診断する精度は高い。以上のように、複数個の加振器を用いることで、診断精度を向上させることができる。

[0064] 《2-3》効果

実施の形態 2 に係る検査装置 1 2 及び検査方法を用いれば、実施の形態 1 に記載の効果に加え、複数個の加振器を用いることで、異常に関してより感度の高い計測データを収集し、より正常品と異常品とで相関係数の異なる結果を得やすくなるため、診断精度を向上させることができる。

[0065] なお、今回は、加振器 2 2 a、2 2 b の両方が検査対象を加振した場合において、異常の有無を正しく診断することができたが、計測データに大きな雑音が生じている場合、診断精度は、悪化する恐れがある。以上の影響によって、加振器 2 2 a が検査対象を加振した場合において、異常の有無を正しく判断できず異常品を検出できない恐れがある。このため、実施の形態 2 に係る検査装置 1 2 及び検査方法は、雑音が少ない場合の使用に適している。また、加振器 2 2 b が検査対象を加振した場合において、正常品と異常品とで加振器 2 2 a が検査対象を加振した場合よりも相関係数の差異が大きくなるため、正しく異常の有無を判定することができる。

[0066] なお、実施の形態2では、2個の加振器を使用した、3個以上の加振器を使用してもよい。また、1個の加振器を使用して異なる位置で複数回計測することで、複数個の加振器を使用したときと同様のデータを取得してもよい。

[0067] 《3》実施の形態3

《3-1》構成

図13は、実施の形態3に係る検査装置13及び検査システム3の構成を示す概略図である。図13に示されるように、検査システム3は、加振部22と、振動検出部31と、検査装置13とを有している。検査装置13は、データ収集部43と、データ解析部53と、診断部63とを有している。検査装置13は、実施の形態3に係る検査方法を実施することができる装置である。検査装置13は、検査対象の異常の有無を診断する。

[0068] 加振部22、振動検出部31は、実施の形態2のものと同じである。データ解析部53は、同一の検査対象に対して計測した複数の計測データにおいて、各周波数における振動強度の最大値を選定して作成した周波数・振動強度特性を用いて相関係数の平均を算出する。診断部63は、実施の形態1における診断部61と同じである。

[0069] 《3-3》動作

検査対象は、3個以上であればよいが、実施の形態3では、4個の検査対象#1～#4を検査する例について説明する。加振部22の加振器22a、22bは、実施の形態2の場合の場合と同様に1kHz以上において予め定められた周波数帯域で加振を行う。振動検出部31は、実施の形態2の場合と同様に、加振器22aが検査対象を加振した場合及び加振器22bが検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて、各検査対象を加振したときの振動強度を検出する。

[0070] データ収集部43は、実施の形態2の場合と同様に、加振器22aが検査対象を加振した場合及び加振器22bが検査対象を加振した場合のそれぞれにおいて、振動検出部31が検出した振動強度に関する計測データを収集す

る。

[0071] データ解析部 5 3 は、同一の検査対象に対して計測した複数の計測データにおいて、各周波数における振動強度の最大値を選定して作成した周波数・振動強度特性を用いて相関係数の平均を算出する。図 1 4 (A) から (D) は、実施の形態 3 に係る検査装置のデータ収集部によって収集された検査対象 # 1 ~ # 4 の計測データの例を周波数・振動強度特性として示す図である。検査対象 # 1 ~ # 4 の計測データ 2 0 1 ~ 2 0 4 は、加振器 2 2 a が検査対象を加振した場合にデータ収集部 4 3 が収集した計測データである。検査対象 # 1 ~ # 4 の計測データ 2 0 5 ~ 2 0 8 は、加振器 2 2 b が検査対象を加振した場合にデータ収集部 4 3 が収集した計測データである。両者の各周波数の振動強度は同様の振動ピークを検出する一方で、異なる振動ピークを検出している場合もある。

[0072] 図 1 5 (A) から (D) は、実施の形態 3 に係る検査装置 1 3 のデータ収集部 4 3 によって収集された検査対象 # 1 ~ # 4 の計測データ 2 0 9 ~ 2 1 2 の振動強度の最大値を周波数・振動強度特性として示す図である。これによって、両方の計測データが検出していた振動ピークを検出し、異常部分によって応答が変化する振動ピークを捉えることができる。次に、作成した周波数・振動強度特性を、実施の形態 1 の場合と同様の方法によって、各周波数・振動強度特性に関する相関係数の平均を算出する。

[0073] 診断部 6 3 は、実施の形態 1 の場合と同様に、データ解析部 5 3 の解析結果を元に異常の有無を診断し、その診断結果を出力する。

[0074] 《3-3》効果

実施の形態 3 に係る検査装置 1 3 及び検査方法を用いれば、実施の形態 1 に記載の効果に加え、各周波数において複数の測定結果の最大値を選定することで、加振位置、計測位置によって発生する振動モードの検出漏れを抑制し、診断精度が向上する。

[0075] なお、実施の形態 3 では、2 個の加振器を使用したか、3 個以上を使用してもよい。

[0076] 《4》実施の形態4

《4－1》構成

図16は、実施の形態4に係る検査装置14及び検査システム4の構成を示す概略図である。図16に示されるように、検査システム4は、加振部21と、振動検出部32と、検査装置14とを有している。検査装置14は、データ収集部44と、データ解析部54と、診断部64とを有している。検査装置14は、実施の形態4に係る検査方法を実施することができる装置である。検査装置14は、検査対象の異常の有無を診断する。検査装置14は、加振部21と、振動検出部32と、データ収集部44と、データ解析部54と、診断部64と、から構成され、検査対象の異常の有無を診断する。

[0077] 加振部21は、実施の形態1で記載のものと同一である。振動検出部32は、複数の振動検出器を有している。実施の形態4では、振動検出部32は、振動検出器32a、32bを有している。

[0078] データ収集部44は、振動検出器32aが振動を検出した場合及び振動検出器32bが振動を検出した場合のそれぞれにおいて、振動強度に関する計測データを収集する。

[0079] データ解析部54は、振動検出器32aが振動を検出した場合及び振動検出器32bが振動を検出した場合のそれぞれにおいて、3個以上の検査対象の計測データのそれぞれに関して、他の検査対象の計測データとの相関係数を算出し、その相関係数の平均を算出する。

[0080] 診断部64は、振動検出器32aが振動を検出した場合及び振動検出器32bが振動を検出した場合のそれぞれにおいて、データ解析部54が算出した各検査対象における相関係数の平均を比較分析して、検査対象ごとの異常の有無を診断し、その結果を出力する。

[0081] 《4－2》動作

検査対象は、3個以上であればよいが、実施の形態4では、実施の形態1の場合と同様に、4個の検査対象#1～#4を検査する例について説明する。加振部21の加振器21aは、実施の形態1の場合と同様に1kHz以上

において予め定められた周波数帯域で加振を行う。

[0082] 図17(A)及び(B)は、実施の形態4に係る検査システム4の加振器21aによって加振された検査対象の振動モードと振動検出器32a、32bとを示す図である。振動検出部32の振動検出器32a、32bのそれぞれは、各検査対象を加振したときの振動強度を検出する。実施の形態2の場合と同様に、検査対象100の振動モードの一部として、振動モード301、振動モード302の2種類がある場合を説明する。振動モード301は、設置箇所が振動モード301の節ではない振動検出器32aによって検出することができる一方で、設置箇所が振動モード301の節である振動検出器32bによっては検出することができない。振動モード302は、設置箇所が振動モード302の節である振動検出器32aによっては、検出することができない一方で、設置箇所が振動モード302の節でない振動検出器32bによっては、検出することができる。

[0083] 図18は、実施の形態4に係る検査システムの振動検出器と図17(A)及び(B)に示される振動モードとの関係を示す図である。振動モード301、302は、それぞれ振動検出器32a、32bのみにより検出可能であり、両振動検出器32a、32bを使用することで振動モード301、302の両方の振動を検出することができる。

[0084] 図19(A)から(D)は、実施の形態4に係る検査装置のデータ収集部44によって収集された検査対象#1～#4の計測データの例を周波数・振動強度特性として示す図である。データ収集部44は、振動検出器32aが振動を検出した場合及び振動検出器32bが振動を検出した場合のそれぞれにおいて、振動強度に関する計測データを収集する。振動検出器32aが振動を検出した場合、図2(A)から(D)に示される計測データ201～204を得られる。また、振動検出器32bが振動を検出した場合、図19(A)から(D)に示される計測データ213～216を得られる。

[0085] 正常品である検査対象#1～#3の計測データ213～215は、概ね同じ傾向を示している。一方で、異常品である検査対象#4の計測データ21

6は、検査対象#1～#3の計測データ213～215と比較して振動ピークの周波数又は振動ピークの数が異なっている。また、振動検出器32a、32bのそれぞれが振動を検出した場合、両者では、検出可能な振動モードが異なるため、計測データは、異なる。ひび割れは、その状態によって振動モードに与える影響が異なるため、ある振動モードには影響を与えない一方で、他方の振動モードには、大きく影響を与える場合がある。そのため、振動検出器32a、32bの両方で検出した計測データを収集することで、正常品と異常品とで大きく応答が異なる計測データを取得しやすくなる。

[0086] 図20は、実施の形態4に係る検査装置14のデータ解析部54によって行われる処理を示す図である。データ解析部54は、振動検出器32aが振動を検出した場合及び振動検出器32bが振動を検出した場合のそれぞれにおいて、実施の形態1の場合と同様に解析を行う。実施の形態1で示した通り、振動検出器32aが振動を検出した場合、検査対象#1～#3に関する相関係数の平均は、0.83～0.86の範囲である。また、検査対象#4に関する相関係数の平均は、0.59である。一方で、振動検出器32bが振動を検出した場合の解析結果を図20に示す。計測データ#1～#3に関する相関係数の平均は、0.81である一方で、検査対象#4に関する相関係数の平均は、0.48となり、検査対象#1～#3に関する相関係数の平均と大きく異なる。

[0087] 図21は、図20に示される相関係数の平均と度数との関係を示す度数分布図である。診断部64は、振動検出器32aが振動を検出した場合及び振動検出器32bが振動を検出した場合のそれぞれにおいて、データ解析部54の解析結果を元に異常の有無を診断し、その診断結果を出力する。振動検出器32aが振動を検出した場合の異常の有無の判定結果については、実施の形態1で説明した通りである。図21に示されるように、正常品である検査対象#1～#3に関する相関係数の平均は、0.8～0.9の度数406に属している。一方で、異常品である検査対象#4に関する相関係数の平均は、0.4～0.5の度数405に属している。実施の形態1の場合と同様

にクラスタリングに関する手法によって、検査対象#4は、異常と判定される。なお、振動検出器32bが振動を検出した場合の方が、正常品である検査対象#1～#3と、異常品である検査対象#4との相関係数の平均の差異が大きいことが確認できる。つまり、振動検出器32bが振動を検出した場合の方が、異常の有無を診断する精度は高い。以上のように、複数個の振動検出器を用いることで、診断精度を向上させることができる。

[0088] 《4-3》効果

実施の形態4に係る検査装置14及び検査方法によれば、実施の形態1に記載の効果に加え、複数個の振動検出器を用いることで、異常に関してより感度の高い計測データを収集し、より正常品と異常品とで相関係数の異なる結果を得やすくなるため、診断精度を向上させることができる。なお、振動検出器32a、32bが振動を検出した両方の場合において、異常の有無を正しく診断することができる例を説明したが、計測データに大きな雑音が生じている場合には、診断精度は悪化する恐れがある。このため、実施の形態4に係る検査装置14及び検査方法は、雑音が少ない場合の使用に適している。

[0089] 以上の影響によって、振動検出器32aが振動を検出した場合において、異常の有無を正しく判断できず異常品を検出できない恐れがある。一方で、振動検出器32bが振動を検出した場合において、正常品と異常品とで振動検出器32aが振動を検出した場合よりも相関係数の差異が大きくなるため、依然正しく異常の有無を判定することができる。

[0090] 《4-4》変形例

なお、実施の形態4では、2個の振動検出器を使用したか、3個以上の振動検出器を使用してもよい。また、実施の形態4では、1個の加振器を使用したか、実施の形態2で示したように2個以上の加振器を使用してもよい。この場合、2個以上の加振器と、2個以上の振動検出器との組み合わせの数に応じた計測データを取得することができる。また、各1個の加振器と振動検出器を使用して異なる位置で複数回計測することで、複数個の加振器と振動検

出器を使用したときと同様のデータを取得してもよい。

[0091] また、実施の形態4では、実施の形態3のように、データ解析部54は、振動検出器32a、32bそれぞれが検出した場合の計測データにおいて、同一の検査対象に対して計測した複数の計測データの各周波数における振動強度の最大値を選定して作成した周波数・振動強度特性を用いて相関係数の平均を算出する方法によって異常の有無の診断を実施してもよい。この場合、診断部64は、実施の形態1のように、データ解析部54の解析結果を元に異常の有無を診断し、その診断結果を出力する構成となる。

[0092] 《5》実施の形態5

《5-1》構成

図22は、実施の形態5に係る検査装置15及び検査システム5の構成を示す概略図である。図22に示されるように、検査システム5は、加振部21と、振動検出部31と、検査装置15とを有している。検査装置15は、データ収集部45と、データ解析部55と、診断部65とを有している。検査装置15は、実施の形態5に係る検査方法を実施することができる装置である。検査装置15は、検査対象の異常の有無を診断する。

[0093] 検査システム5において、加振部21の加振器21aと振動検出部31の振動検出器31aは、検査対象101～106を搬送方向に搬送する搬送ライン上に設置されている。検査装置15は、データ収集部45と、データ解析部55と、診断部65とを有しており、検査対象の異常の有無を診断する。加振部21、振動検出部31、データ収集部45は、実施の形態1に記載のものと同様である。データ解析部55は、データ収集部45によって収集された計測データのうちの、現時点に近い予め定められた個数の検査対象、つまり、直近に収集した予め定められた個数の検査対象の相関係数の評価値を算出する処理を実行する。検査対象は、3個以上であればよいが、データ解析部55は、直近にデータ収集した4個の検査対象に対して、実施の形態1の場合と同様に、計測データを解析する。診断部65は、直近に収集した4個の検査対象に対して、実施の形態1の場合と同様にデータ解析部55の

解析結果を元に異常の有無を診断し、その診断結果を出力する。

[0094] 《5-2》動作

実施の形態5では、一例として搬送ライン上の検査対象101～106を検査する例について説明する。加振部21は、搬送ライン上を流れる各検査対象に対して、実施の形態1の場合と同様に予め定められた1kHz以上の周波数帯域で検査対象を加振する。

[0095] 振動検出部31は、搬送ライン上を流れる各検査対象に対して、実施の形態1の場合と同様に、各検査対象を加振したときの振動強度を検出する。

[0096] データ収集部45は、実施の形態1の場合と同様に、振動検出部31が検出した振動強度に関する計測データを収集する。

[0097] データ解析部55は、直近に収集した4個の検査対象に対して、実施の形態1の場合と同様に計測データを解析する。したがって、検査対象104に関する計測データを収集すると、直近に得られた検査対象101～104に関する計測データを解析する。

[0098] 診断部65は、直近に収集した4個の検査対象に対して、実施の形態1の場合と同様に、データ解析部55の解析結果を元に検査対象の異常の有無を診断し、その診断結果を出力する。

[0099] 以上の処理を、各検査対象に関する計測データを収集する度に実施していくことで、搬送ライン上を流れる検査対象の異常の有無を診断する。

[0100] 《5-3》効果

実施の形態5に係る検査装置15及び検査方法を用いれば、実施の形態1に記載の効果に加え、検査対象の計測データを収集する度に、異常の有無の判定が可能となるためインライン検査を実現することができるという効果がある。

[0101] なお、実施の形態5では、直近に収集した4個の検査対象を用いて異常の有無の診断を実施したが、異常の有無を診断する検査対象の個数は、3個以上であれば何個であってもよい。

[0102] 《6》ハードウェア構成

図23は、実施の形態1から5に係る検査装置11～15及び検査システム1～5のハードウェア構成の例を示す図である。図23の例では、実施の形態1から5に係る検査装置11～15は、CPUなどのプロセッサ501と、記憶装置としてのメモリ502と、インタフェース503とを有している。加振部21（又は22）及び振動検出部31（又は32）は、インタフェース503に接続されている。プロセッサ501は、メモリ502に記憶されているソフトウェアとしてのプログラム（例えば、実施の形態1から5に係る検査プログラム）を実行する。検査装置11～15は、コンピュータであってもよい。

[0103] 図24は、実施の形態1から5に係る検査装置11～15及び検査システム1～5のハードウェア構成の他の例を示す図である。図24の例では、実施の形態1から5に係る検査装置11～15は、処理回路504と、インタフェース503とを有している。加振部21（又は22）及び振動検出部31（又は32）は、インタフェース503に接続されている。処理回路504は、例えば、実施の形態1から5に係る検査装置11～15を構成する半導体集積回路、システムLSI、FPGA（field-programmable gate array）などである。また、1つ以上のプロセッサ、1つ以上のメモリ、及び処理回路が連携して検査装置11～15の機能を実現してもよい。

符号の説明

[0104] 1～5 検査システム、 11～15 検査装置、 21、22 加振部、 21a、22a、22b 加振器、 31、32 振動検出部、 31a、32a、32b 振動検出器、 41～45 データ収集部、 51～55 データ解析部、 61～65 診断部、 71 移動体、 100～106 検査対象、 201～216 計測データ、 301、302 振動モードの振幅、 401～406 相関係数の平均の分布の度数。

請求の範囲

- [請求項1] 加振部によって加振された物体の振動を検出して前記振動の計測値を出力する振動検出部から、前記物体としてのN個（Nは3以上の整数）の検査対象の各々について、前記振動の周波数ごとの前記計測値を計測データとして収集するデータ収集部と、
- 前記N個の検査対象のうちの2個の検査対象の前記計測データの類似度を算出する処理を、前記N個の検査対象のうちの2個の検査対象の組合せの各々について実行し、前記N個の検査対象の各々について前記類似度の統計量である評価値を算出するデータ解析部と、
- 前記N個の検査対象の各々の前記評価値を互いに比較し、前記比較の結果に基づいて前記N個の検査対象の各々に異常が有るか無いかの診断を行う診断部と、
- を有することを特徴とする検査装置。
- [請求項2] 前記類似度は、相関係数又はユークリッド距離であることを特徴とする請求項1に記載の検査装置。
- [請求項3] 前記統計量は、総和又は平均又は中央値又はトリム平均であることを特徴とする請求項1又は2に記載の検査装置。
- [請求項4] 前記データ収集部は、前記計測値として、前記周波数ごとの前記振動の強度又は位相の少なくとも一方を収集することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の検査装置。
- [請求項5] 前記診断部は、前記N個の検査対象の各々の前記評価値の範囲に対する前記範囲に含まれる前記類似度の度数との関係を示す度数分布に基づいて前記診断を行うことを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の検査装置。
- [請求項6] 前記データ収集部は、予め定められた周波数帯域の振動を検出する前記振動検出部から出力された前記計測値を前記計測データとして収

集する

ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の検査装置

。

[請求項7]

前記データ収集部は、前記加振部に含まれる複数の加振器によって前記 N 個の検査対象の各々の異なる位置に付与された振動の周波数ごとの前記計測値を、前記複数の加振器の各々の計測データとして収集する

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の検査装置

。

[請求項8]

前記データ解析部は、前記複数の加振器の各々の前記計測データから前記振動の周波数ごとに前記振動の強度が大きい前記計測データを選択し、選択された前記周波数ごとの計測データによって作成された周波数・振動強度特性を用いて前記類似度を算出する前記処理を実行する

ことを特徴とする請求項 7 に記載の検査装置。

[請求項9]

前記データ収集部は、前記振動検出部に含まれる複数の振動検出器によって前記 N 個の検査対象の各々の異なる位置で計測された前記計測値を前記計測データとして収集する

ことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の検査装置

。

[請求項10]

前記データ解析部は、前記複数の振動検出器の各々の前記計測データから前記振動の周波数ごとに前記振動の強度が大きい前記計測データを選択し、選択された前記周波数ごとの計測データによって作成された周波数・振動強度特性を用いて前記類似度を算出する前記処理を実行する

ことを特徴とする請求項 9 に記載の検査装置。

[請求項11]

前記データ解析部は、前記データ収集部によって収集された前記計測データのうちの、現時点に近い予め定められた個数の検査対象の前

記類似度の前記評価値を算出する処理を実行する

ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の検査装置。

[請求項12] 請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の検査装置と、
前記加振部と、
前記振動検出部と、
を有することを特徴とする検査システム。

[請求項13] 前記加振部と前記振動検出部とを保持する移動体をさらに有し、
前記移動体の移動によって、前記加振部によって加振される位置と
前記振動検出部によって振動が検出される位置とを変更する
ことを特徴とする請求項 12 に記載の検査システム。

[請求項14] 前記加振部の厚さは、100 mm 以下であり、
前記振動検出部の厚さは、100 mm 以下である
ことを特徴とする請求項 12 又は 13 に記載の検査システム。

[請求項15] 前記加振部は、圧電素子を含み、
前記振動検出部は、圧電素子を含む
ことを特徴とする請求項 12 から 14 のいずれか 1 項に記載の検査システム。

[請求項16] 加振部によって加振された物体の振動を検出して前記振動の計測値
を出力する振動検出部から、前記物体としての N 個（N は 3 以上の整数）の検査対象の各々について、前記振動の周波数ごとの前記計測値
を計測データとして収集するステップと、

前記 N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の前記計測データの類似度を算出する処理を、前記 N 個の検査対象のうちの 2 個の検査対象の組合せの各々について実行し、前記 N 個の検査対象の各々について前記類似度の統計量である評価値を算出するステップと、

前記 N 個の検査対象の各々の前記評価値を互いに比較し、前記比較の結果に基づいて前記 N 個の検査対象の各々に異常が有るか無いかの

診断を行うステップと、

を有することを特徴とする検査方法。

[請求項17]

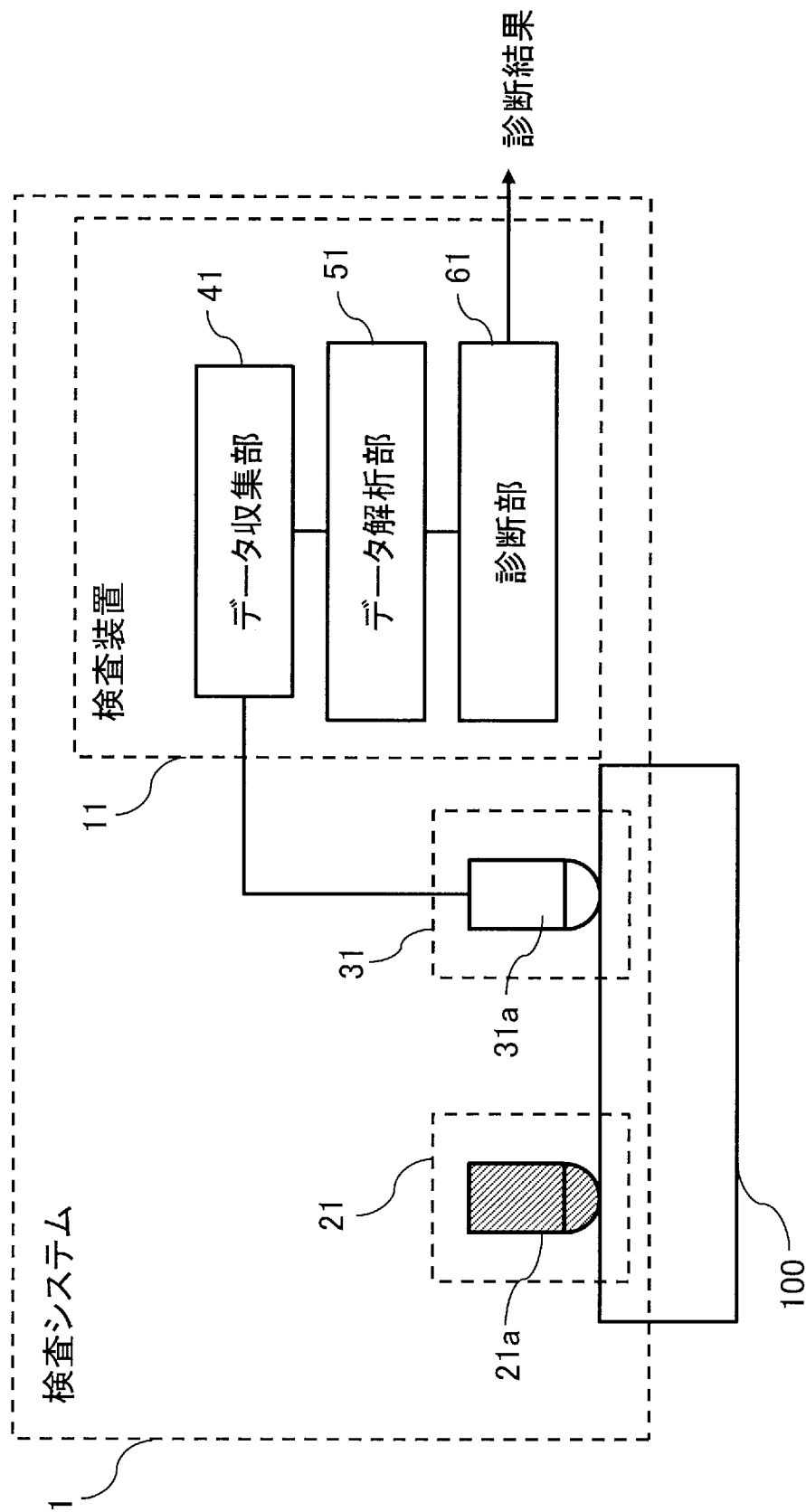
加振部によって加振された物体の振動を検出して前記振動の計測値を出力する振動検出部から、前記物体としてのN個（Nは3以上の整数）の検査対象の各々について、前記振動の周波数ごとの前記計測値を計測データとして収集するステップと、

前記N個の検査対象のうちの2個の検査対象の前記計測データの類似度を算出する処理を、前記N個の検査対象のうちの2個の検査対象の組合せの各々について実行し、前記N個の検査対象の各々について前記類似度の統計量である評価値を算出するステップと、

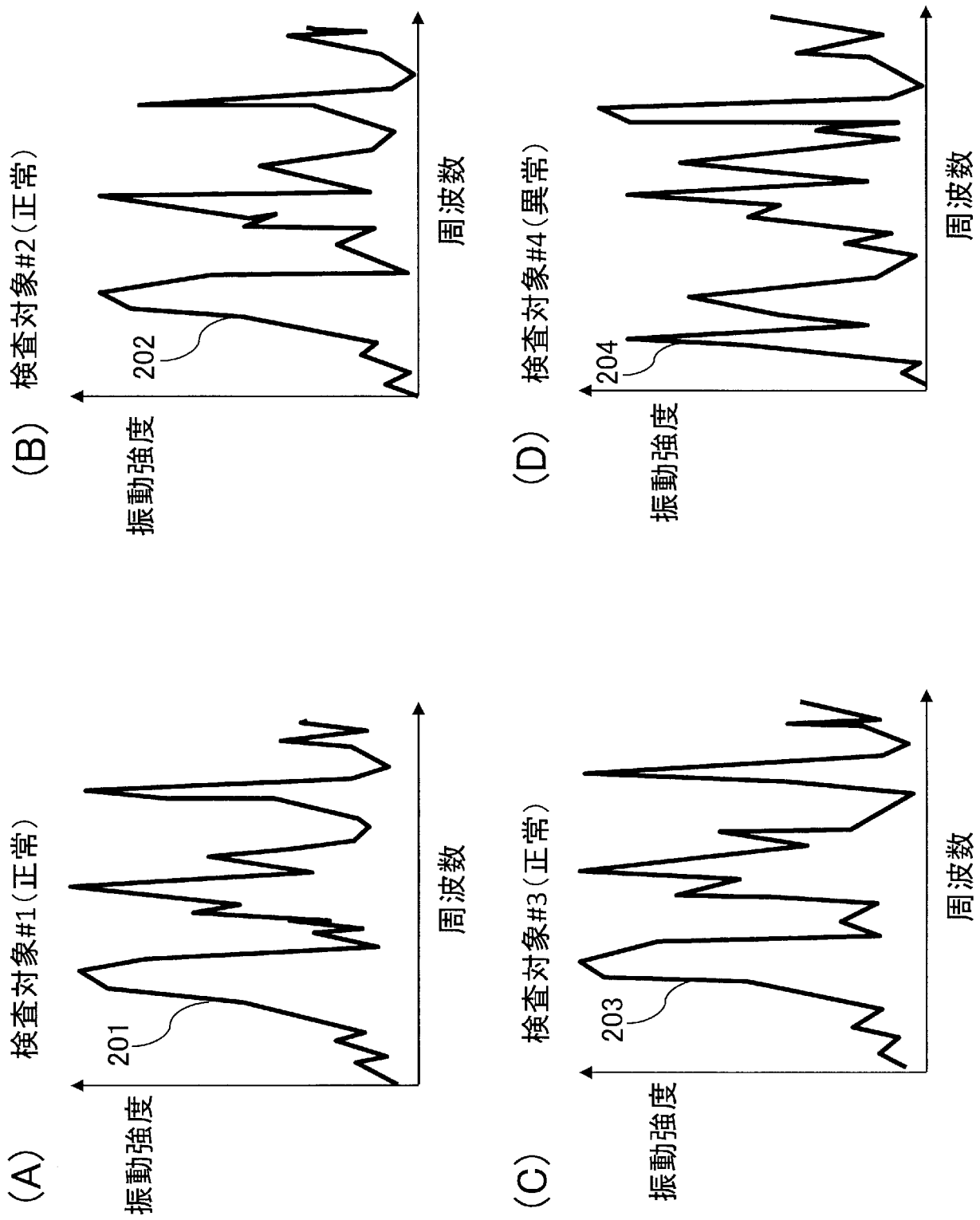
前記N個の検査対象の各々の前記評価値を互いに比較し、前記比較の結果に基づいて前記N個の検査対象の各々に異常が有るか無いかの診断を行うステップと、

をコンピュータに実行させることを特徴とする検査プログラム。

[図1]



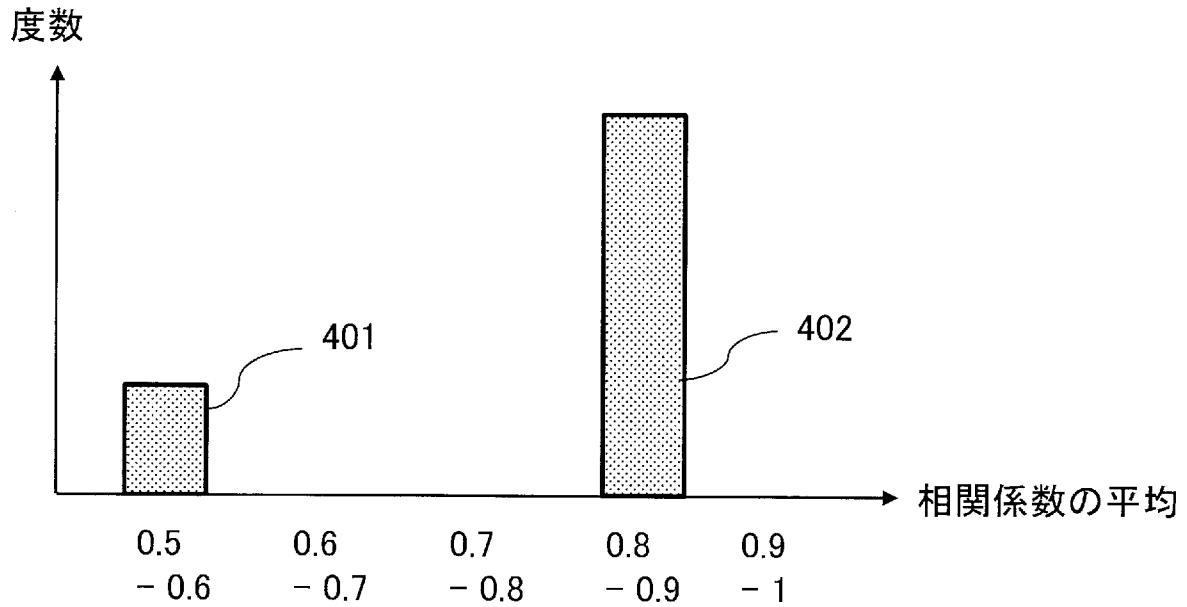
[図2]



[図3]

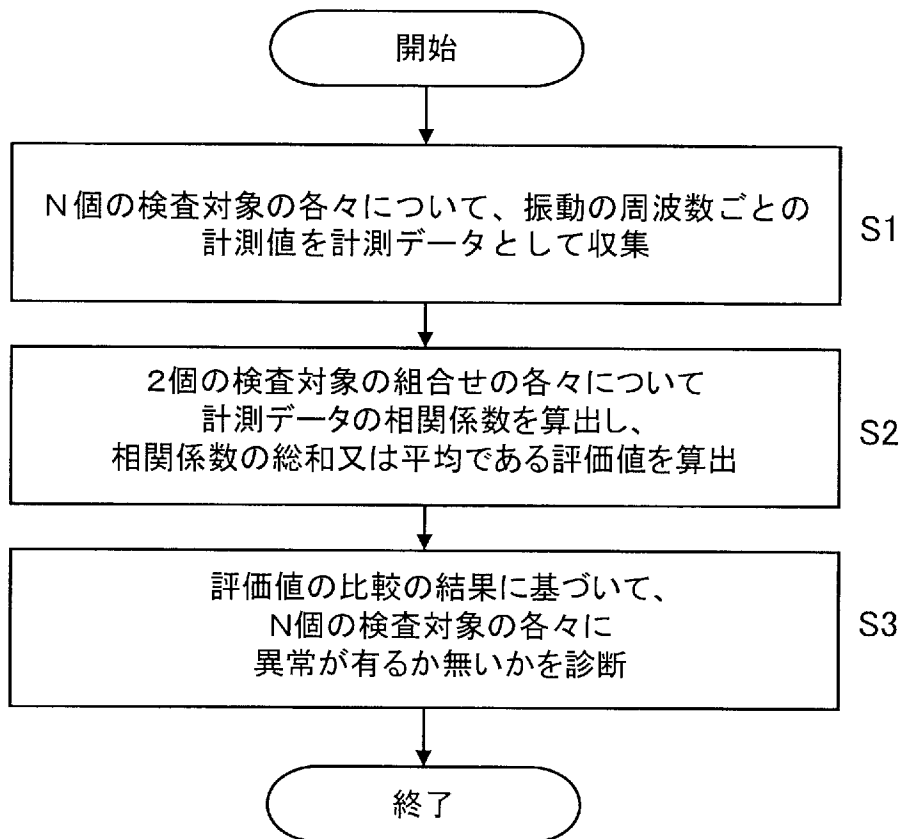
	検査対象#1 (正常)	検査対象#2 (正常)	検査対象#3 (正常)	検査対象#4 (異常)	相関係数の 平均
検査対象#1 (正常)	—	0.99	0.98	0.60	0.86
検査対象#2 (正常)	0.99	—	0.92	0.58	0.83
検査対象#3 (正常)	0.98	0.92	—	0.59	0.83
検査対象#4 (異常)	0.60	0.58	0.59	—	0.59

[図4]

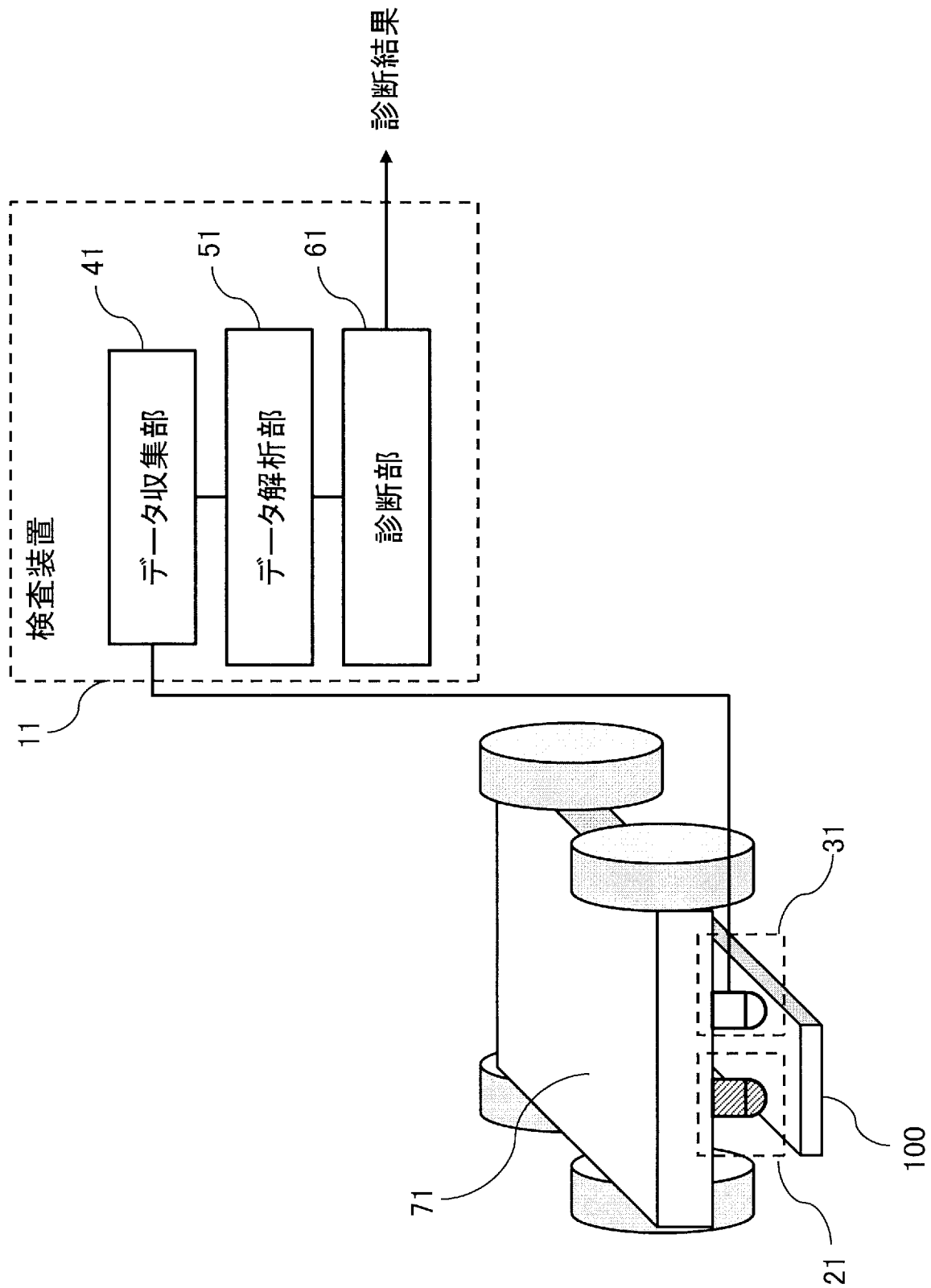


相関係数の平均の分布

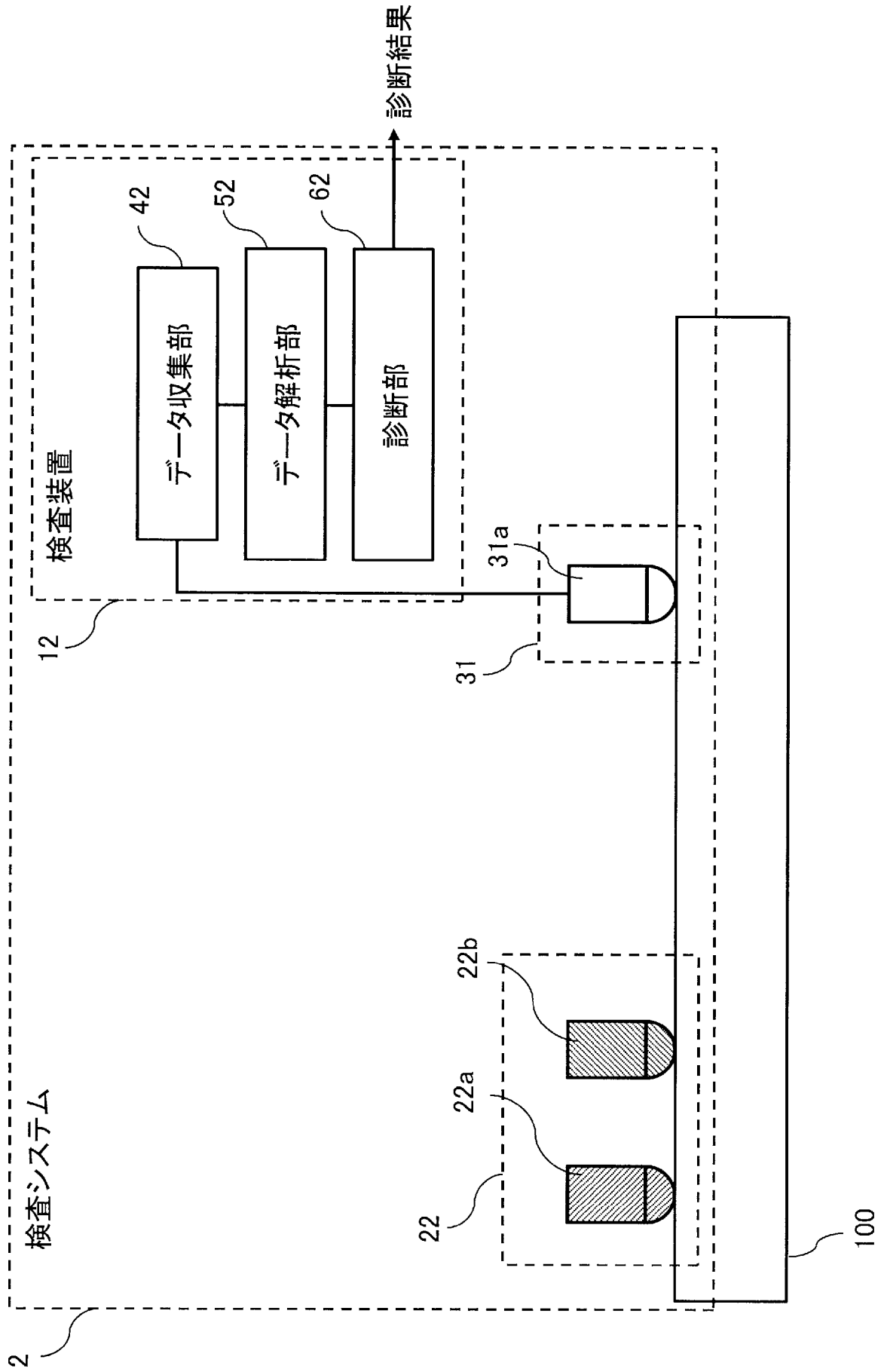
[図5]



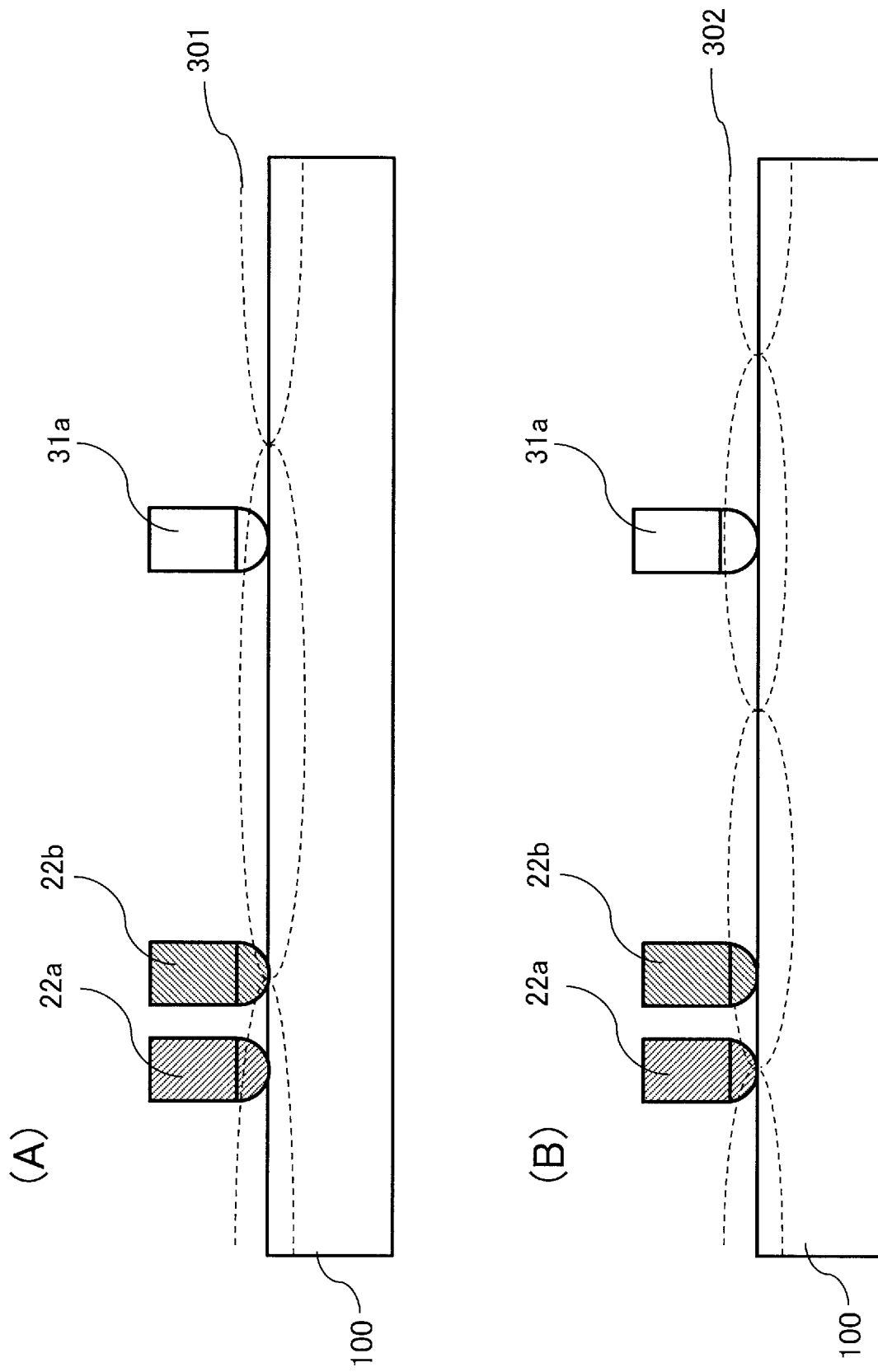
[図6]



[図7]



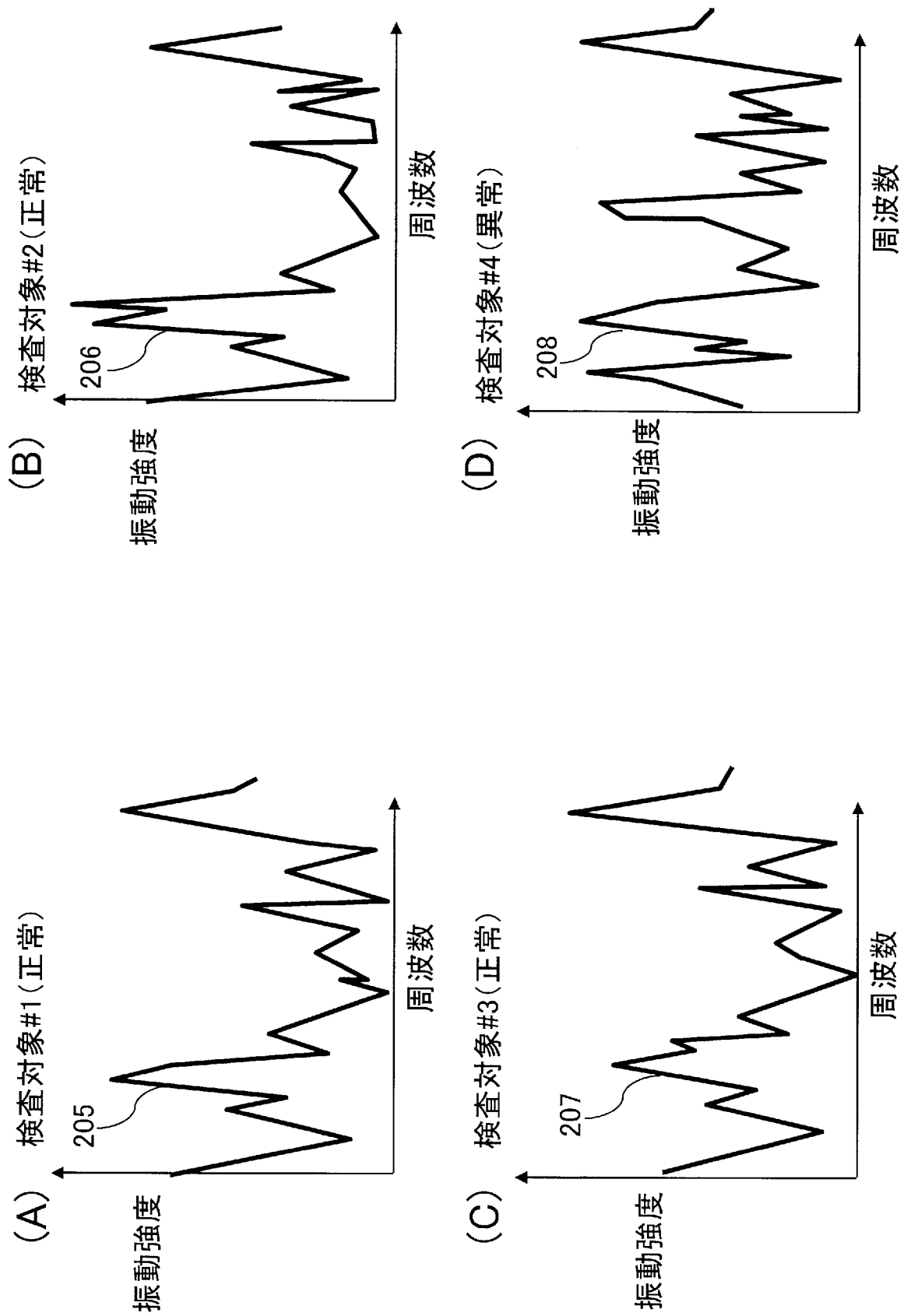
[図8]



[図9]

	加振器 22a	加振器 22b	加振器22a、22b の併用
振動モード 301	○	×	○
振動モード 302	×	○	○

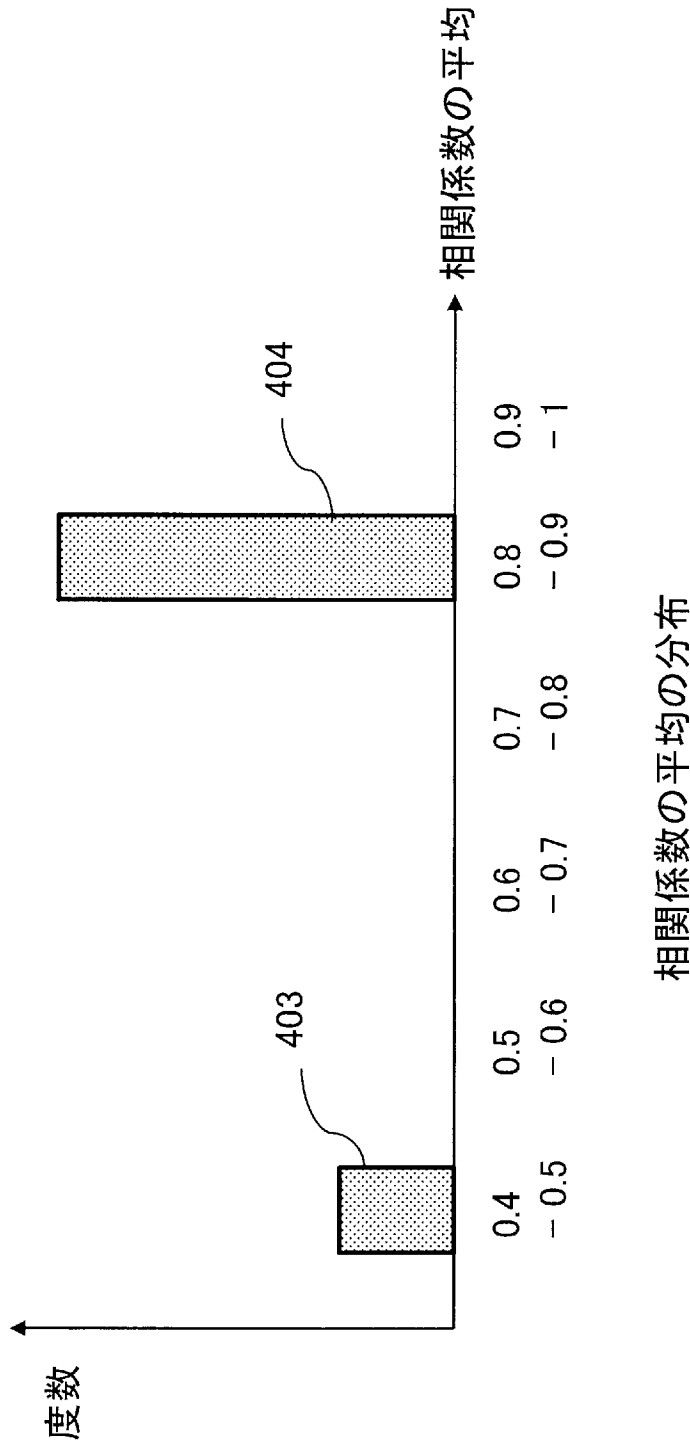
[図10]



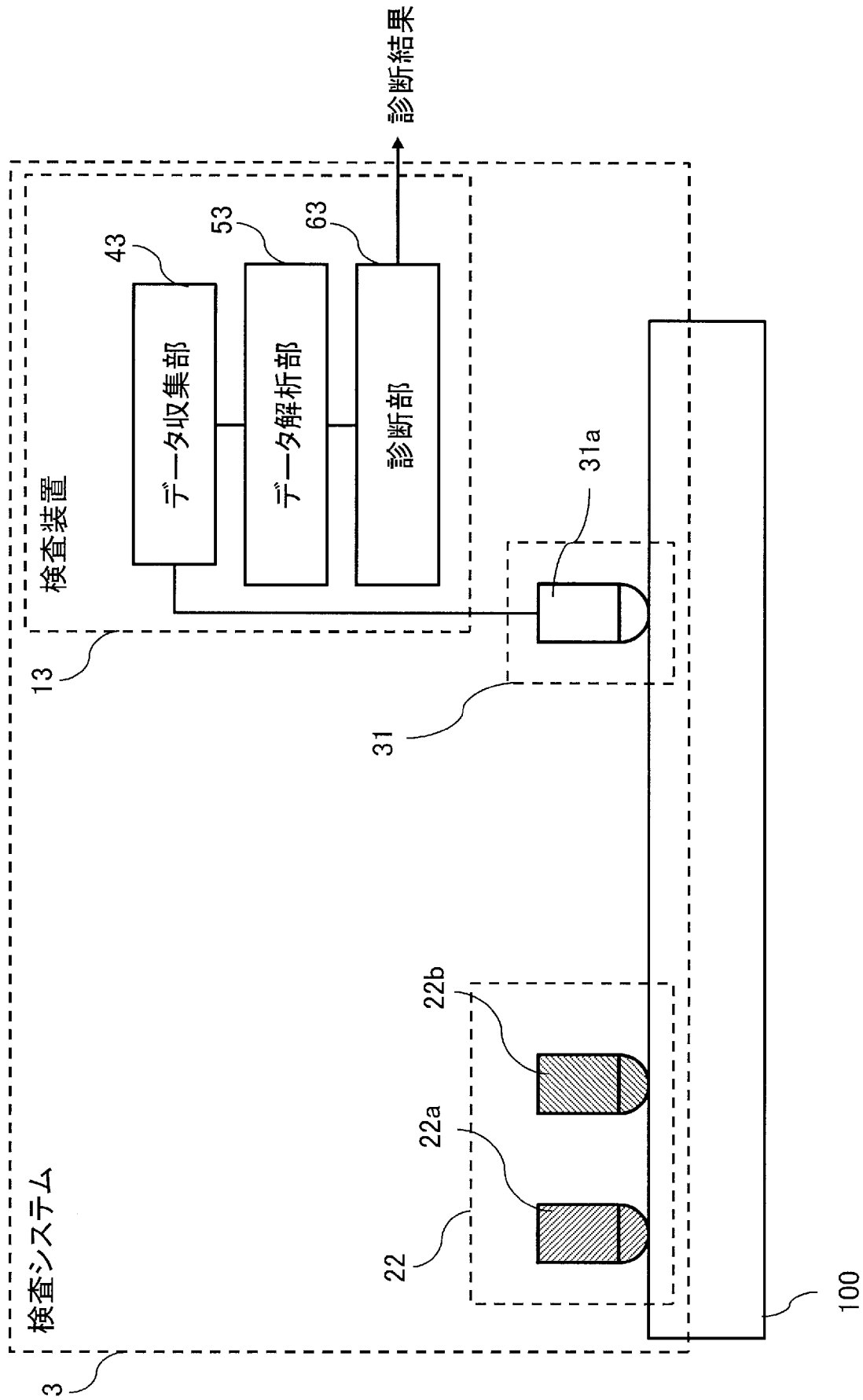
[図11]

	検査対象#1 (正常)	検査対象#2 (正常)	検査対象#3 (正常)	検査対象#4 (異常)	相関係数の 平均
検査対象#1 (正常)	—	0.99	0.98	0.45	0.80
検査対象#2 (正常)	0.99	—	0.95	0.50	0.81
検査対象#3 (正常)	0.98	0.95	—	0.49	0.81
検査対象#4 (異常)	0.45	0.50	0.49	—	0.48

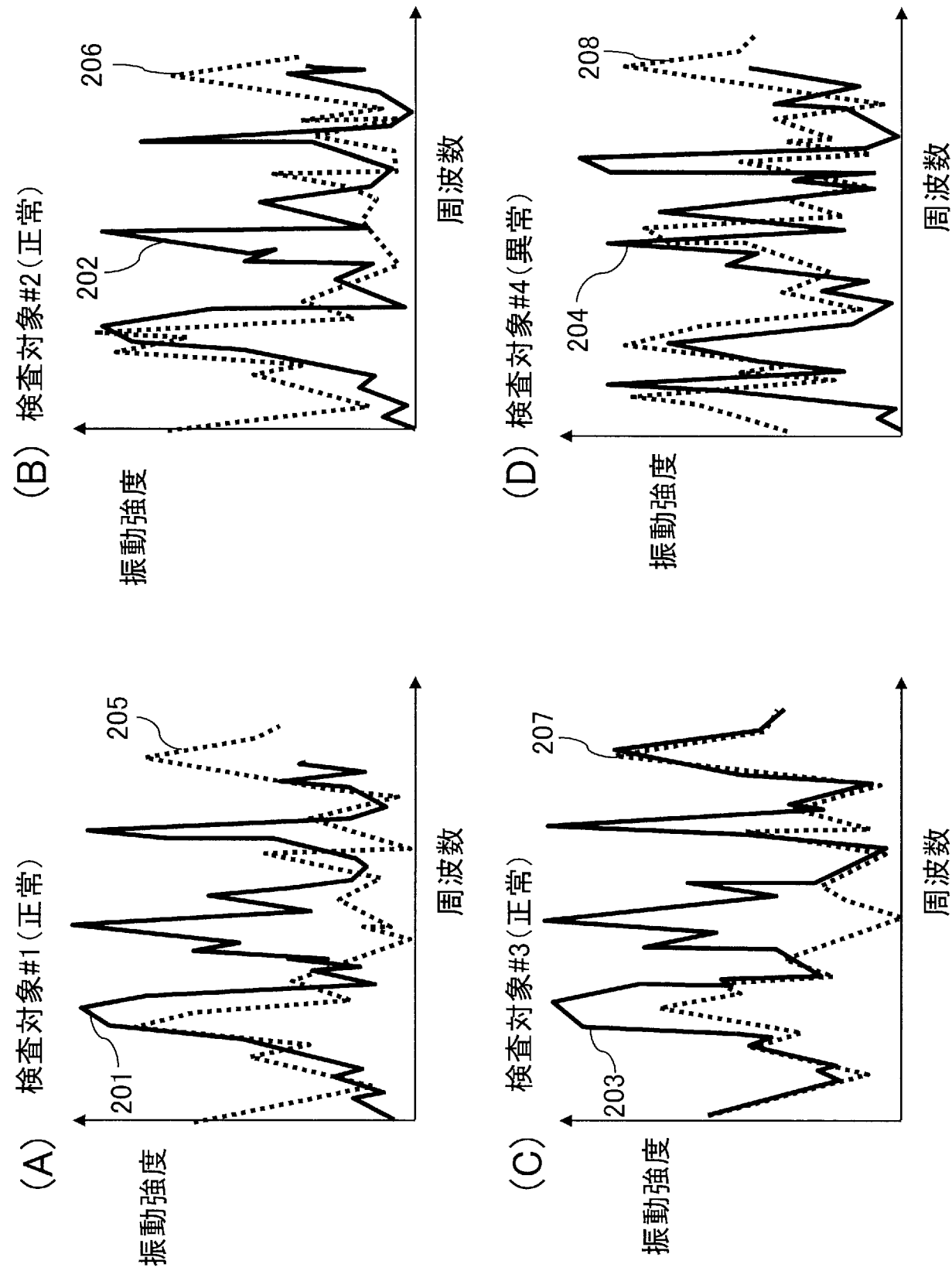
[図12]



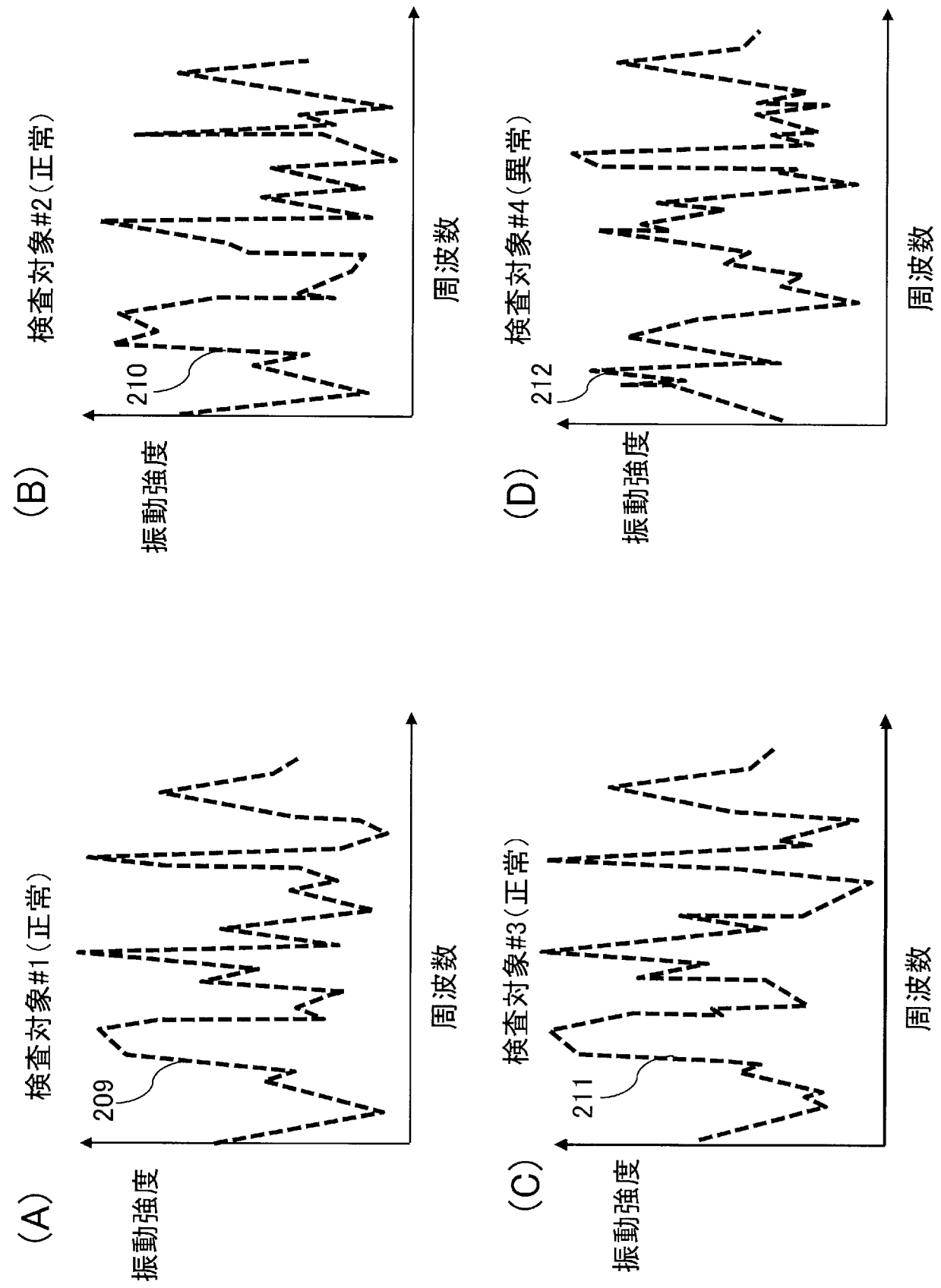
[図13]



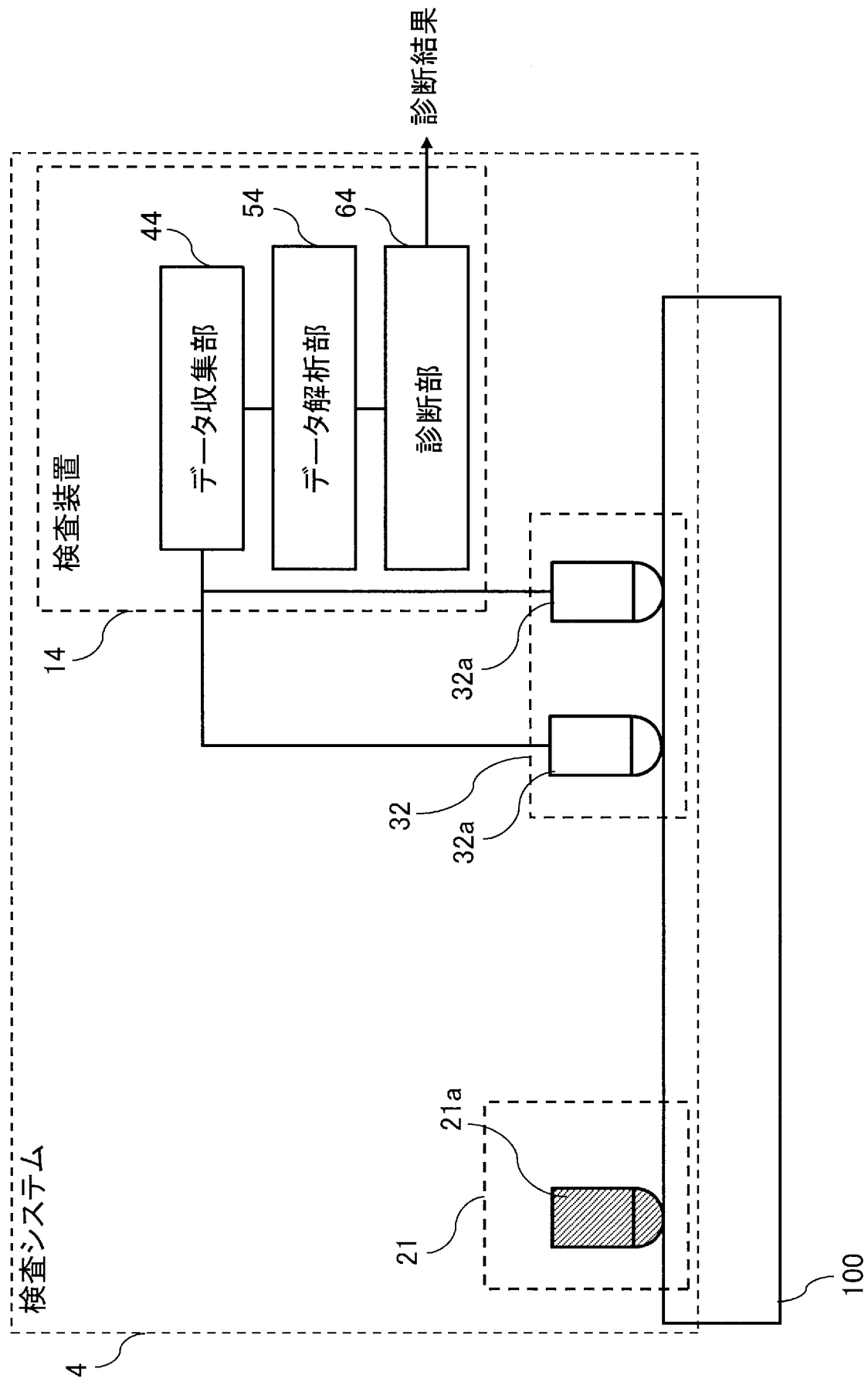
[図14]



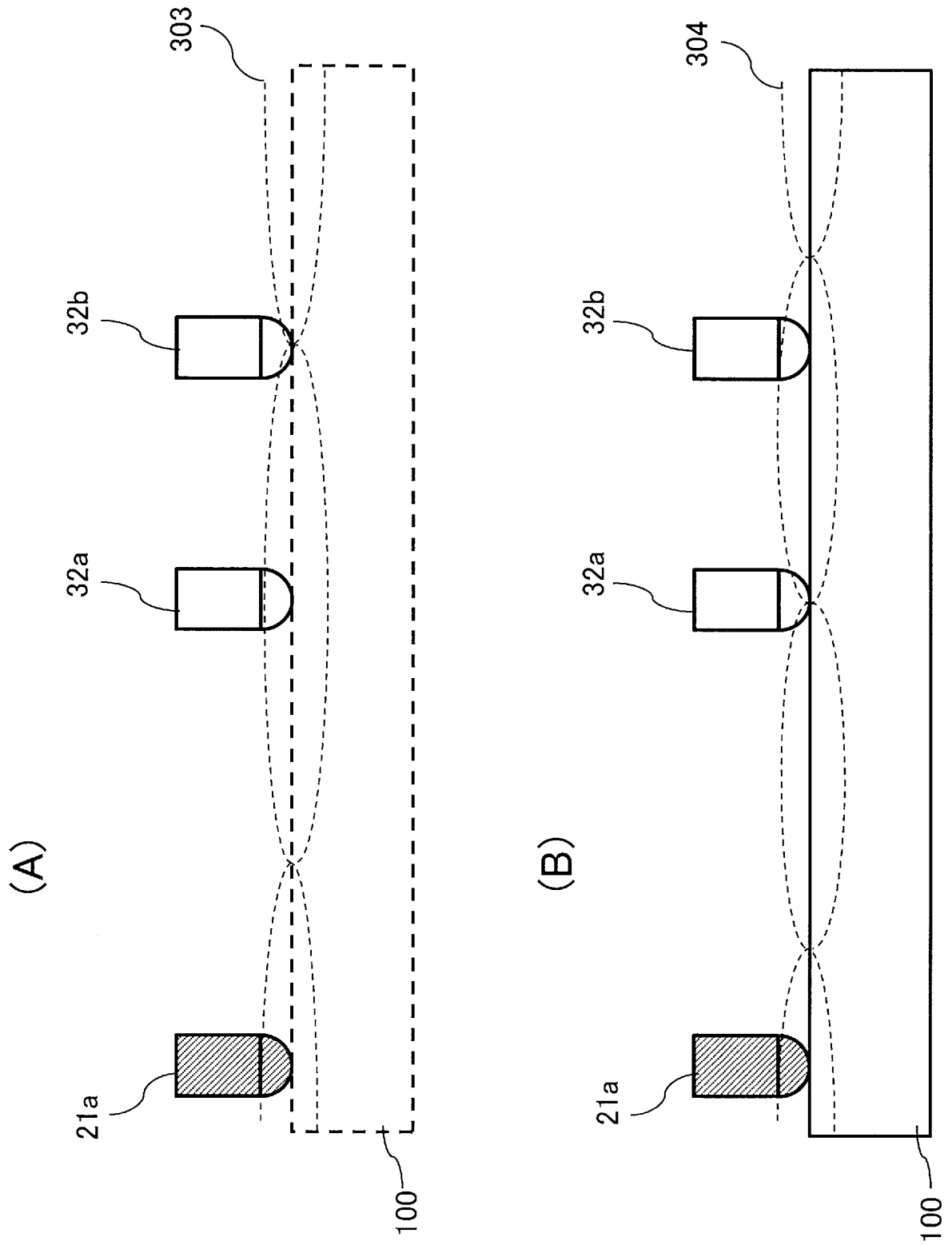
[図15]



[図16]



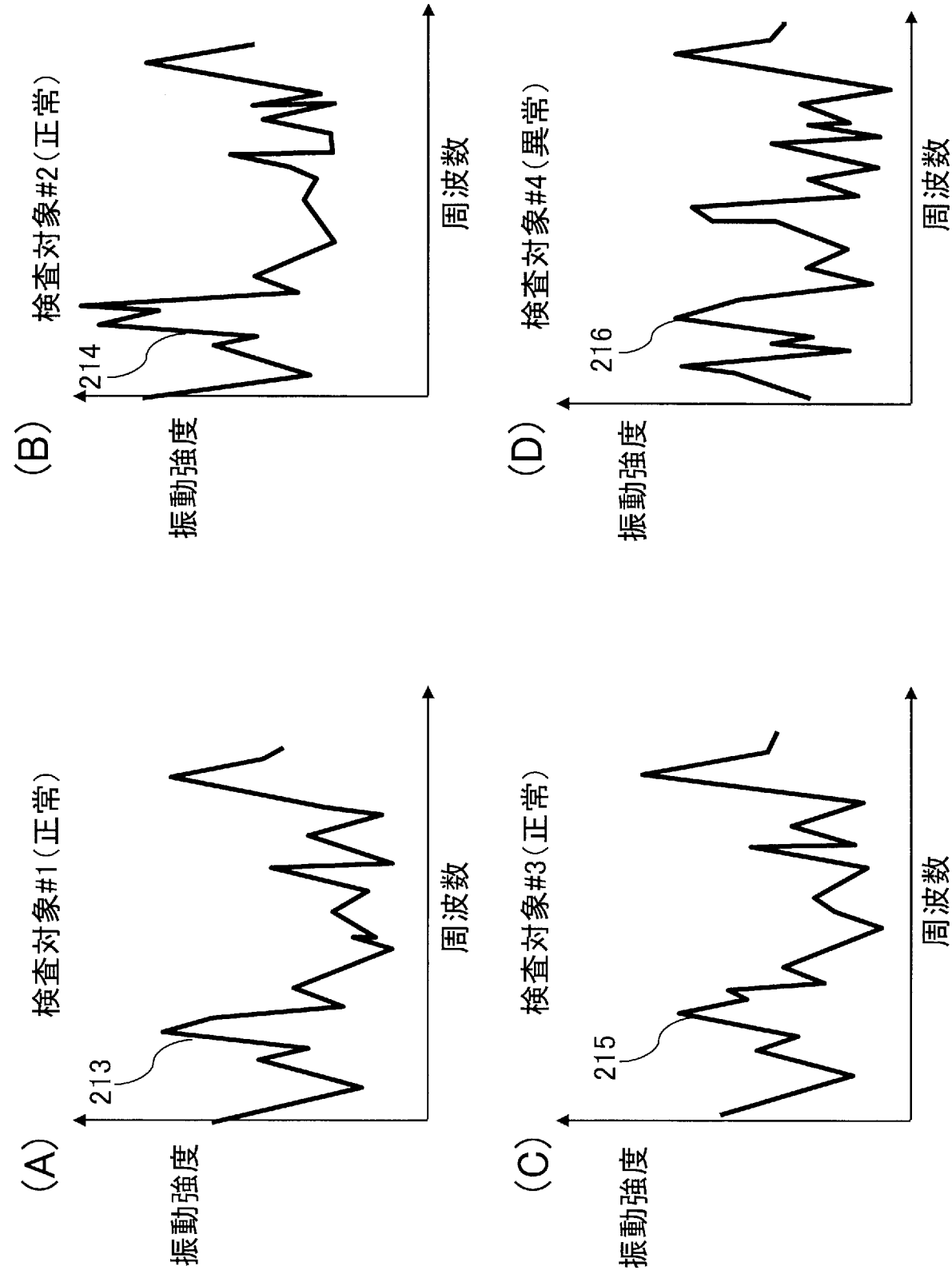
[図17]



[図18]

	振動検出器 32a	振動検出器 32b	振動検出器32a、32b の併用
振動モジュール 303	○	×	○
振動モジュール 304	×	○	○

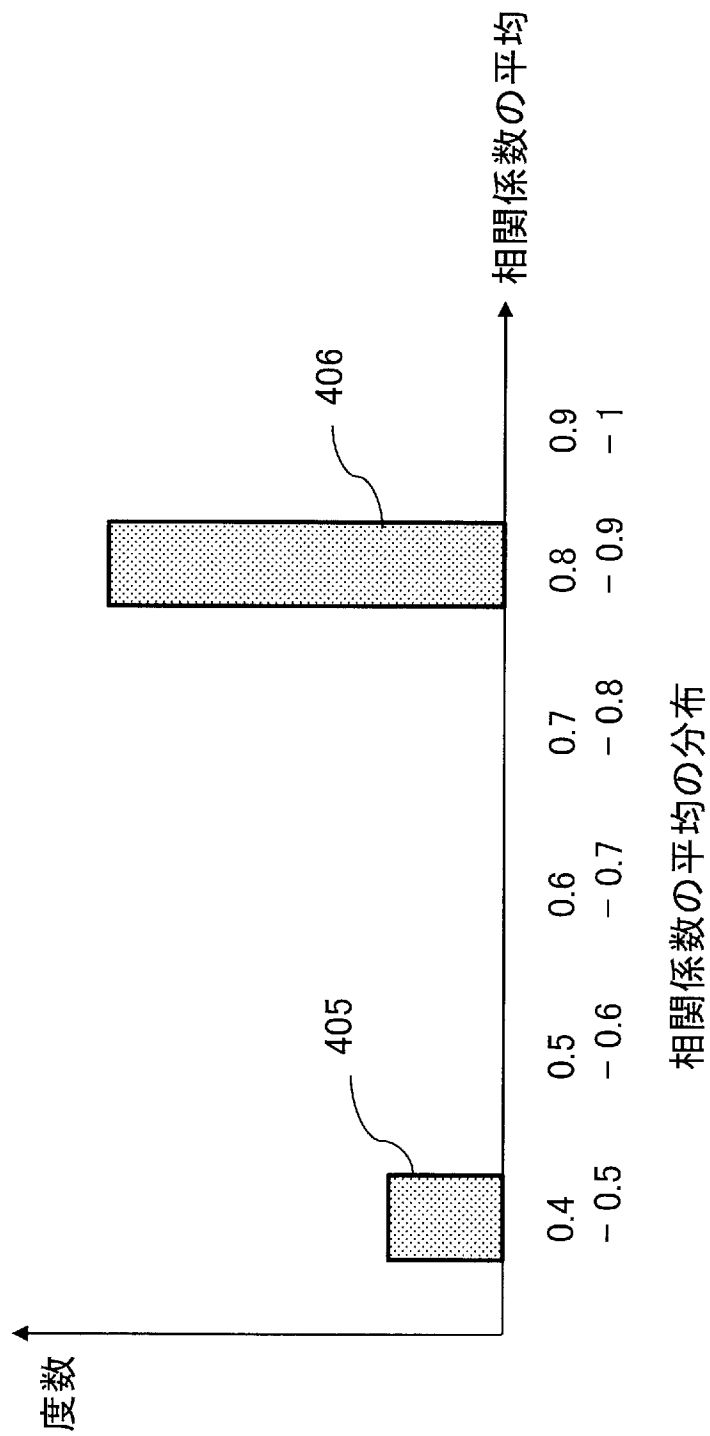
[図19]

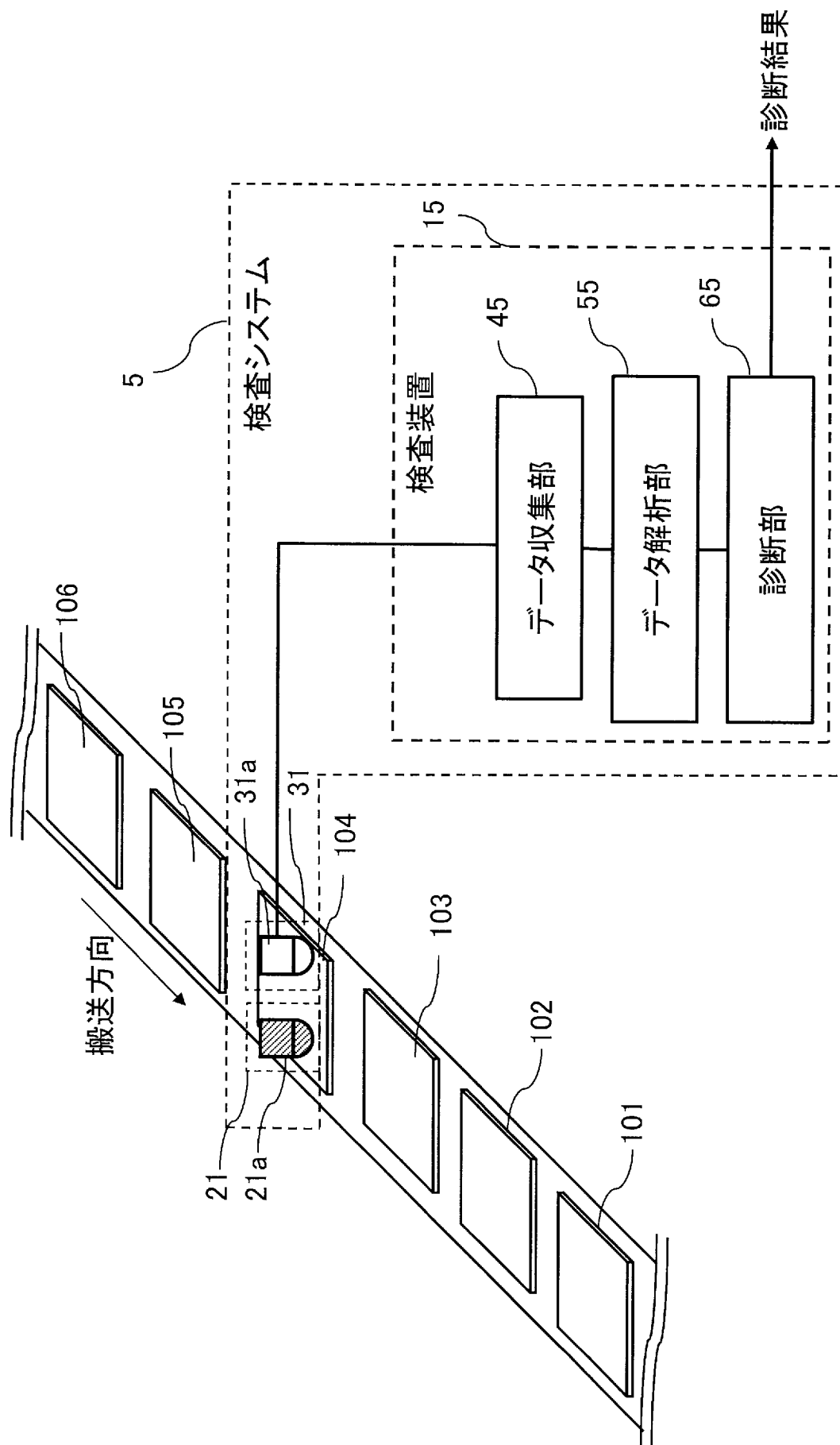


[図20]

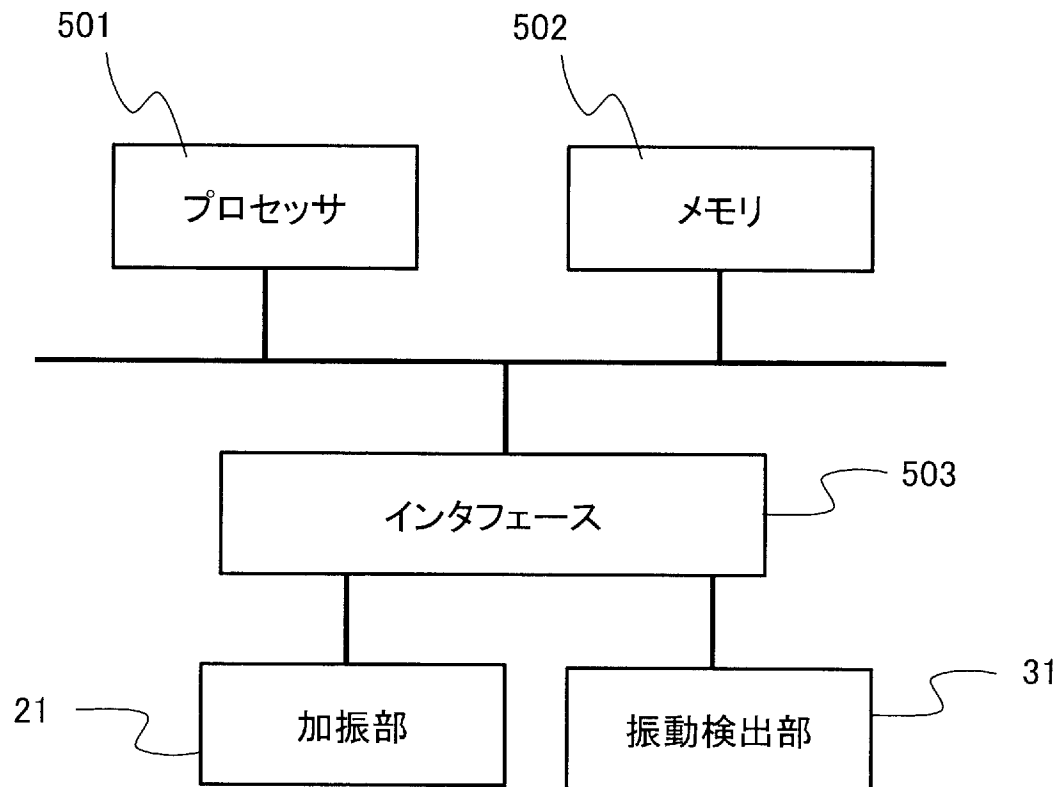
	検査対象#1 (正常)	検査対象#2 (正常)	検査対象#3 (正常)	検査対象#4 (異常)	相関係数の 平均
検査対象#1 (正常)	—	0.99	0.98	0.46	0.81
検査対象#2 (正常)	0.99	—	0.95	0.50	0.81
検査対象#3 (正常)	0.98	0.95	—	0.49	0.81
検査対象#4 (異常)	0.46	0.50	0.49	—	0.48

[図21]

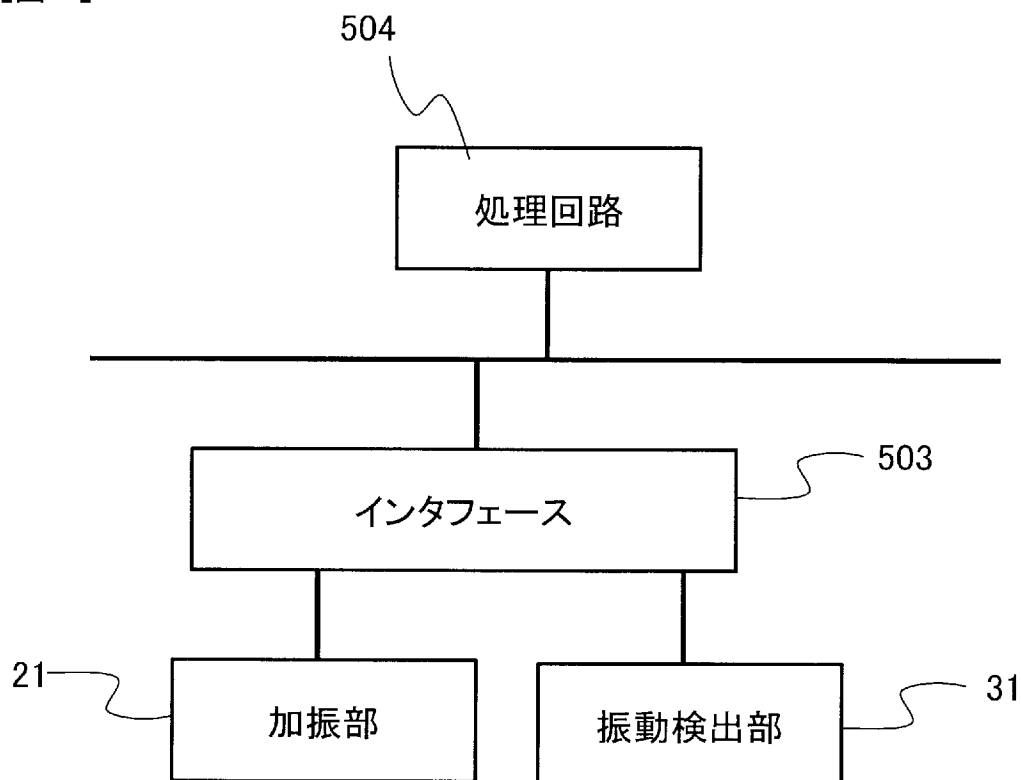




[図23]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/026640

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01H 1/00**(2006.01)i; **G01M 7/02**(2006.01)i; **G01M 13/00**(2019.01)i

FI: G01M7/02 H; G01H1/00; G01M13/00

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)

G01H1/00-G01H17/00; G01M5/00-G01M7/08; G01M13/00-G01M13/045; G01M99/00; G01N29/00-G01N29/52

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.
A	JP 2021-032822 A (KAYABA SYSTEM MACHINERY CO., LTD.) 01 March 2021 (2021-03-01) paragraphs [0068]-[0073], fig. 8	1-17
A	JP 2008-232763 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 02 October 2008 (2008-10-02) paragraphs [0058]-[0067], fig. 7	1-17
A	JP 2015-064376 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP.) 09 April 2015 (2015-04-09) paragraphs [0040], [0041], fig. 7	1-17
A	WO 2015/071925 A1 (NEC CORP.) 21 May 2015 (2015-05-21) paragraphs [0037]-[0056], [0076], fig. 3, 4	1-17

☐ 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

27 September 2021

Date of mailing of the international search report

05 October 2021

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/026640

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2021-032822	A	01 March 2021	(Family: none)	
JP	2008-232763	A	02 October 2008	(Family: none)	
JP	2015-064376	A	09 April 2015	(Family: none)	
WO	2015/071925	A1	21 May 2015	US 2016/0266072 A1 paragraphs [0046]-[0065], [0085], fig. 3, 4 EP 3076169 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01H 1/00(2006.01)i; G01M 7/02(2006.01)i; G01M 13/00(2019.01)i FI: G01M7/02 H; G01H1/00; G01M13/00														
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）） G01H1/00-G01H17/00; G01M5/00-G01M7/08; G01M13/00-G01M13/045; G01M99/00; G01N29/00-G01N29/52 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2021年</td> </tr> </table> 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）			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				
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													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2021-032822 A（カヤバ システム マシナリー株式会社）01.03.2021（2021-03-01） [0068]-[0073], 図8	1-17												
A	JP 2008-232763 A（トヨタ自動車株式会社）02.10.2008（2008-10-02） [0058]-[0067], 図7	1-17												
A	JP 2015-064376 A（三菱電機株式会社）09.04.2015（2015-04-09） [0040]-[0041], 図7	1-17												
A	WO 2015/071925 A1（日本電気株式会社）21.05.2015（2015-05-21） [0037]-[0056], [0076], 図3-4	1-17												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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	“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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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													
“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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 27.09.2021		国際調査報告の発送日 05.10.2021												
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） 岩永 寛道 2J 6207 電話番号 03-3581-1101 内線 3252												

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/JP2021/026640

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2021-032822	A	01.03.2021	(ファミリーなし)	
JP	2008-232763	A	02.10.2008	(ファミリーなし)	
JP	2015-064376	A	09.04.2015	(ファミリーなし)	
WO	2015/071925	A1	21.05.2015	US 2016/0266072 A1	
				[0046]-[0065], [0085],	
				FIG. 3-4	
				EP 3076169 A	