

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-180598
(P2016-180598A)

(43) 公開日 平成28年10月13日(2016.10.13)

(51) Int.Cl.
G01N 29/22 (2006.01)

F1
G01N 29/22

テーマコード(参考)
2G047

審査請求 未請求 請求項の数 10 ○L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2015-59491 (P2015-59491)
(22) 出願日 平成27年3月23日 (2015.3.23)

(71) 出願人 000003078
株式会社東芝
東京都港区芝浦一丁目1番1号
(74) 代理人 110002147
特許業務法人酒井国際特許事務所
(72) 発明者 碓井 隆
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
(72) 発明者 渡部 一雄
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内
Fターム(参考) 2G047 AA05 AB03 AC05 BA05 BC02
BC10 EA04 GG27 GG36 GG42

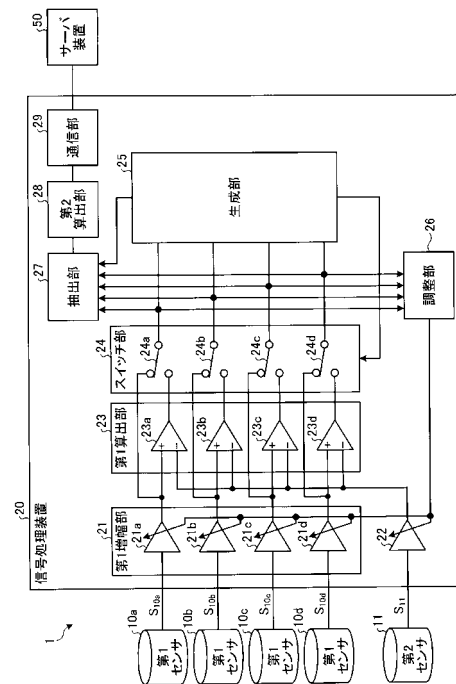
(54) 【発明の名称】 検知システム及び検知方法

(57) 【要約】

【課題】弾性波の検出環境に依らずに、弾性波を高精度に検出する。

【解決手段】実施形態の検知システムは、複数の第1センサと、第2センサと、第1算出部と、第2算出部と、を備える。複数の第1センサは、構造物から発生する弾性波を検知し、弾性波を検知信号に変換する。第2センサは、周囲から伝搬するノイズを検知し、ノイズを参照信号に変換する。第1算出部は、検知信号のそれぞれと参照信号とに基づいて、複数の差分検知信号を算出する。第2算出部は、複数の差分検知信号から弾性波の発生源の位置を算出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

構造物から発生する弾性波を検知し、前記弾性波を検知信号に変換する複数の第 1 センサと、

周囲から伝搬するノイズを検知し、前記ノイズを参照信号に変換する第 2 センサと、

前記検知信号のそれぞれと前記参照信号とに基づいて、複数の差分検知信号を算出する第 1 算出部と、

複数の前記差分検知信号から前記弾性波の発生源の位置を算出する第 2 算出部と、
を備える検知システム。

【請求項 2】

前記第 2 センサと、前記第 2 センサの最寄りの前記第 1 センサと、の距離は、前記最寄りの第 1 センサと、前記最寄りの第 1 センサから最も遠い前記第 1 センサとの距離よりも大きい、

請求項 1 に記載の検知システム。

【請求項 3】

前記第 1 算出部は、いずれか 1 つの前記第 1 センサに最初に前記弾性波が到達したときに、前記第 1 センサ間の最大距離を前記弾性波の速度で割った時間の範囲で、前記複数の差分検知信号を算出する演算を行う、

請求項 1 又は 2 に記載の検知システム。

【請求項 4】

前記第 2 センサは、前記第 2 センサへ到達する弾性波を減衰又は反射させる消音材を介して前記構造物に設置される、

請求項 1 に記載の検知システム。

【請求項 5】

前記第 1 センサから入力された前記検知信号を増幅し、増幅された前記検知信号を前記第 1 算出部に入力する第 1 増幅部と、

前記第 2 センサから入力された前記参照信号を増幅し、増幅された前記参照信号を前記第 1 算出部に入力する第 2 増幅部と、

を更に備える請求項 1 に記載の検知システム。

【請求項 6】

前記検知信号又は前記差分検知信号を受信し、前記検知信号又は差分検知信号に基づいて、前記第 1 増幅部及び前記第 2 増幅部の増幅度を調整する調整部、

を更に備える請求項 5 に記載の検知システム。

【請求項 7】

前記複数の差分検知信号のそれぞれから、前記差分検知信号の特徴を示す特徴量情報を抽出する抽出部を更に備え、

前記第 2 算出部は、前記特徴量情報の類似度を算出し、前記類似度が第 1 閾値以上の前記特徴量情報が抽出された前記差分検知信号を受信した時刻の時間差を示す時間差情報と、前記複数の第 1 センサの位置を示す位置情報と、前記弾性波の伝搬速度と、に基づいて前記弾性波の発生源の位置を算出する、

請求項 1 に記載の検知システム。

【請求項 8】

前記特徴量情報は、前記差分検知信号の波形の振幅、前記差分検知信号の波形の持続時間、前記差分検知信号のゼロクロスカウンタ数、前記差分検知信号の波形のエネルギー、及び、差分検知信号の周波数のうち、少なくともいずれか 1 つを含む、

請求項 7 に記載の検知システム。

【請求項 9】

前記検知信号及び前記差分検知信号のいずれか一方を、選択信号に従って選択するスイッチ部と、

前記スイッチ部から受信した前記検知信号が第 2 閾値以上である場合、所定の時間が経

10

20

30

40

50

過するまで前記差分検知信号を選択することを示す選択信号を生成する生成部と、を更に備え、

前記抽出部は、前記スイッチ部から前記差分検知信号を受信する、
請求項 7 に記載の検知システム。

【請求項 10】

複数の第 1 センサが、構造物から発生する弾性波を検知し、前記弾性波を検知信号に変換するステップと、

第 2 センサが、周囲から伝搬するノイズを検知し、前記ノイズを参照信号に変換するステップと、

第 1 算出部が、検知信号のそれぞれと前記参照信号とに基づいて、複数の差分検知信号を算出するステップと、

第 2 算出部が、複数の前記差分検知信号から前記弾性波の発生源の位置を算出するステップと、

を含む検知方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は検知システム及び検知方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、高度経済成長期に建設された橋梁等の構造物の老朽化に伴う問題が顕在化している。万が一にも構造物に事故が生じた場合の損害は計り知れないため、構造物の状態を監視するための技術が従来から知られている。例えば内部亀裂の発生、又は、内部亀裂の進展に伴い発生する弾性波を、高感度センサにより検出するアコースティック・エミッション (AE: Acoustic Emission) 方式により、構造物の損傷を検出する技術が知られている。

【0003】

アコースティック・エミッションは、材料の疲労亀裂の進展に伴い発生する弾性波である。AE 方式では、この弾性波を、圧電素子を利用した AE センサにより電圧信号 (AE 信号) として検出する。AE 信号は、材料の破断が生じる前の兆候として検出されるため、AE 信号の発生頻度及び信号強度は材料の健全性を表す指標として有用である。そのため AE 方式によって構造物の劣化の予兆を検出する技術の研究が盛んに行われている。特に石油タンクの腐食診断、及び、機械装置の製造工程等においては、欧米を中心に AE 方式の検出技術が幅広く使用され、また AE 方式の検出技術の標準化も行われている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2012 - 251391 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

AE 信号は、一般的に微弱な信号であり、増幅度の高い増幅器を用いて信号レベルを上げる必要があるため、高感度である一方でノイズに弱い。そのため従来の技術では、AE 信号検出環境によっては、AE 信号検出の判定を誤るほどのノイズが重畳する可能性があった。

【課題を解決するための手段】

【0006】

実施形態の検知システムは、複数の第 1 センサと、第 2 センサと、第 1 算出部と、第 2 算出部と、を備える。複数の第 1 センサは、構造物から発生する弾性波を検知し、前記弾性波を検知信号に変換する。第 2 センサは、周囲から伝搬するノイズを検知し、前記ノイ

10

20

30

40

50

ズを参照信号に変換する。第1算出部は、前記検知信号のそれぞれと、前記参照信号とに基づいて、複数の差分検知信号を算出する。第2算出部は、複数の前記差分検知信号から前記弾性波の発生源の位置を算出する。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】実施形態の検知システムの構成の例を示す図。

【図2】ノイズの一般的な進入経路の例1について説明するための図。

【図3】ノイズの一般的な進入経路の例2について説明するための図。

【図4】実施形態の第1センサ及び第2センサの位置関係の例1を示す図。

【図5】実施形態の第1センサ及び第2センサの位置関係の例2を示す図。

10

【図6】実施形態の第1センサ及び第2センサの位置関係の例1を示す図。

【図7】実施形態の第1センサ及び第2センサの位置関係の例2を示す図。

【図8】実施形態の信号処理装置によるノイズキャンセリングの概念図。

【図9A】実施形態の検知信号（ノイズ有り）の例を示す図。

【図9B】実施形態の差分検知信号（ノイズ無し）の例を示す図。

【図10】実施形態の伝搬速度情報の例を示す図。

【図11】実施形態の位置算出方法の例を説明するための図（1次元の場合）。

【図12】実施形態の位置算出方法の例を説明するための図（2次元の場合）。

【図13】実施形態の位置算出方法の例を説明するための図（2次元の場合）。

【図14】実施形態のサーバ装置の機能構成の例を示す図。

20

【図15】実施形態の位置情報を示す表示情報の例を示す図。

【図16】実施形態の累積エネルギーを示す表示情報の例を示す図。

【図17】実施形態の検知方法（信号選択処理）の例を示すフローチャート。

【図18】実施形態の検知方法（位置情報算出処理）の例を示すフローチャート。

【図19】実施形態の検知方法（表示処理）の例を示すフローチャート。

【図20】実施形態のサーバ装置のハードウェア構成の例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下に添付図面を参照して、検知システム及び検知方法の実施形態を詳細に説明する。

【0009】

30

図1は実施形態の検知システム1の構成の例を示す図である。実施形態の検知システム1は、第1センサ10a～10d、第2センサ11及び信号処理装置20を備える。

【0010】

第1センサ10a～10d及び第2センサ11は橋梁等の構造物に設置される。第1センサ10a～10dは、構造物から発生する弾性波（AE波）を検知して、当該弾性波を電圧信号等の電気信号に変換する。以下、この電気信号を検知信号という。また第1センサ10a～10dを区別しない場合、単に第1センサ10という。

【0011】

一方、第2センサ11は、第2センサ11の周囲から伝搬するノイズ（電氣的ノイズ）を検知して、当該ノイズを電圧信号等の電気信号に変換する。以下、この電気信号を参照信号という。ここでノイズについて説明する。

40

【0012】

図2はノイズの一般的な進入経路の例1について説明するための図である。図2の例は、金属102に設置されたセンサ103から、アンプ104及びアンプ105を介して信号を受信する信号処理装置100の場合を示す。ノイズ源101は、例えば信号処理装置100とは別の装置（回路）である。ノイズは、ノイズ源101から金属102を介してセンサ103に侵入し、当該ノイズが、アンプ104及びアンプ105を介して信号処理装置100に侵入する。またノイズは、金属102を介して、アンプ104のグラウンド、及び、アンプ105のグラウンドから、信号処理装置100に侵入する。

【0013】

50

図3はノイズの一般的な進入経路の例2について説明するための図である。図2の例は、センサ103から、アンプ104及びアンプ105を介して信号を受信する信号処理装置100の場合を示す。ノイズ源101は、例えば信号処理装置100とは別の装置(回路)から放射された電磁波である。ノイズは、ノイズ源106からセンサ103、及び、センサ103と信号処理装置100との間の信号線に空中伝播することにより、信号処理装置100に侵入する。

【0014】

図1に戻り、第1センサ10及び第2センサ11には、例えば10kHz~1MHzの範囲に感度を有する圧電素子が用いられる。第1センサ10及び第2センサ11は、周波数範囲内に共振ピークをもつ共振型、共振を抑えた広帯域型等があるが、第1センサ10及び第2センサ11の種類はいずれでもよい。また第1センサ10及び第2センサ11はプリアンプを内蔵していてもよい。また第1センサ10及び第2センサ11による検知方法は電圧出力型、抵抗変化型及び静電容量型等があるが、いずれの検知方法でもよい。

10

【0015】

実施形態の信号処理装置20は、第1増幅部21、第2増幅部22、第1算出部23、スイッチ部24、生成部25、調整部26、抽出部27、第2算出部28及び通信部29を備える。第1増幅部21は、増幅器21a、増幅器21b、増幅器21c及び増幅器21dを備える。第1算出部23は、差動演算器23a、差動演算器23b、差動演算器23c及び差動演算器23dを備える。

【0016】

増幅器21a、増幅器21b、増幅器21c及び増幅器21d、並びに、差動演算器23a、差動演算器23b、差動演算器23c及び差動演算器23dの動作は同様なので、増幅器21a及び差動演算器23aの場合を例にして説明する。

20

【0017】

増幅器21aは、第1センサ10aから検知信号 S_{10a} を受信すると、当該検知信号 S_{10a} を増幅する。そして増幅器21aは、増幅された検知信号 S_{10a} を差動演算器23a及びスイッチ部24に入力する。また増幅器21aは、調整部26から検知信号 S_{10a} の増幅度を調整するフィードバック信号を受信すると、当該フィードバック信号に基づいて検知信号 S_{10a} の増幅度を調整する。以下、簡単のため増幅された検知信号 S_{10a} も単に検知信号 S_{10a} という。

30

【0018】

一方、第2増幅部22は、第2センサ11から参照信号 S_{11} を受信すると、当該参照信号 S_{11} を増幅する。そして第2増幅部22は、増幅された参照信号 S_{11} を差動演算器23a、差動演算器23b、差動演算器23c及び差動演算器23dに入力する。また第2増幅部22は、調整部26から参照信号 S_{11} の増幅度を調整するフィードバック信号を受信すると、当該フィードバック信号に基づいて参照信号 S_{11} の増幅度を調整する。以下、簡単のため増幅された参照信号 S_{11} も単に参照信号 S_{11} という。

【0019】

差動演算器23aは、増幅器21aから検知信号 S_{10a} を受信し、第2増幅部22から参照信号 S_{11} を受信すると、検知信号 S_{10a} から参照信号 S_{11} を減算することにより、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ を算出する。これにより差動演算器23aは、第1センサ10aと第2センサ11とに同相で重畳しているノイズ成分を除去する。差動演算器23aは、ノイズがキャンセルされた差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ をスイッチ部24に入力する。

40

【0020】

同様にして、差動演算器23bは、ノイズがキャンセルされた差分検知信号 $S_{10b} - S_{11}$ をスイッチ部24に入力する。差動演算器23cは、ノイズがキャンセルされた差分検知信号 $S_{10c} - S_{11}$ をスイッチ部24に入力する。差動演算器23dは、ノイズがキャンセルされた差分検知信号 $S_{10d} - S_{11}$ をスイッチ部24に入力する。

【0021】

50

なお参照信号 S_{11} を出力する第 2 センサ 1 1 も弾性波を検知する。ここで第 2 センサが、この弾性波を参照信号として検出しないようにする方法の例について説明する。

【 0 0 2 2 】

図 4 は第 1 センサ 1 0 及び第 2 センサ 1 1 の位置関係の例 1 を示す図である。図 4 の例は、構造物を 1 次元の被測定対象とみなせるときに、第 1 センサ 1 0 a、第 1 センサ 1 0 b 及び第 2 センサ 1 1 を設置する場合を示す。第 1 センサ 1 0 a と第 1 センサ 1 0 b との距離を a とする。この場合、第 2 センサ 1 1 は、最寄りの第 1 センサ 1 0 b から距離 b ($b > a$) だけ離れた位置に配置する。これにより測定範囲内から発生した弾性波は、必ず先に第 1 センサ 1 0 a と第 1 センサ 1 0 b に到達し、その後、十分な時間差をもって第 2 センサ 1 1 へ到達する。したがって第 1 センサ 1 0 a、第 1 センサ 1 0 b 及び第 2 センサ 1 1 の位置関係を図 4 のようにすることで、第 2 センサ 1 1 はノイズと弾性波とを時間的に分離することが可能になる。

10

【 0 0 2 3 】

図 5 は第 1 センサ 1 0 及び第 2 センサ 1 1 の位置関係の例 2 を示す図である。図 5 の例は、第 2 センサ 1 1 を、第 1 センサ 1 0 a 及び第 1 センサ 1 0 b の設置位置から十分な距離をとって設置できない場合を示す。この場合、第 2 センサ 1 1 と被測定対象物との間に、消音材 1 2 を設置することで、第 2 センサ 1 1 へ到達する弾性波を減衰又は反射させる。消音材 1 2 は、例えば弾性波を減衰させる材料、又は、被測定対象物と音響インピーダンスの異なる材料である。音響インピーダンスは、媒質中の音速と密度の積で定義され、鉄では 46.4×10^6 [$\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}$] である。この場合、鉄と音響インピーダンスの 10 倍以上異なる材料としては、例えばゴム (1.5×10^6 [$\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}$])、木材 (2×10^6 [$\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}$])、アクリル (3.3×10^6 [$\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}$])、エポキシ樹脂 (3×10^6 [$\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}$])、水 (1.5×10^6 [$\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}$])、空気 (428 [$\text{kg} / \text{m}^2 \text{s}$]) などが利用できる。図 5 のように消音材 1 2 を設置することにより、第 2 センサ 1 1 へは弾性波が到達しないので、第 2 センサ 1 1 はノイズと弾性波とを分離することが可能になる。

20

【 0 0 2 4 】

図 6 は第 1 センサ 1 0 及び第 2 センサ 1 1 の位置関係の例 1 を示す図である。図 6 の例は、構造物を 2 次元の被測定対象とみなせるときに、第 1 センサ 1 0 a、第 1 センサ 1 0 b、第 1 センサ 1 0 c、第 1 センサ 1 0 d 及び第 2 センサ 1 1 を設置する場合を示す。第 1 センサ 1 0 の間の最大距離を a とすると、最大距離 a は、第 1 センサ 1 0 a 及び第 1 センサ 1 0 c (第 1 センサ 1 0 b 及び第 1 センサ 1 0 d) の間の距離である。この場合、第 2 センサ 1 1 は、例えば最寄りの第 1 センサ 1 0 a から距離 b (ただし $b > a$) だけ離れた位置に配置する。これにより測定範囲内から発生した弾性波は、必ず先に 4 つの第 1 センサ 1 0 a ~ 1 0 d に到達し、その後、十分な時間差をもって第 2 センサ 1 1 へ到達する。したがって第 1 センサ 1 0 a、第 1 センサ 1 0 b、第 1 センサ 1 0 c、第 1 センサ 1 0 d 及び第 2 センサ 1 1 の位置関係を図 6 のようにすることで、第 2 センサ 1 1 はノイズと弾性波とを時間的に分離することが可能になる。

30

【 0 0 2 5 】

図 7 は第 1 センサ 1 0 及び第 2 センサ 1 1 の位置関係の例 2 を示す図である。図 7 の例は、第 2 センサ 1 1 を、第 1 センサ 1 0 a、第 1 センサ 1 0 b、第 1 センサ 1 0 c 及び第 1 センサ 1 0 d の設置位置から十分な距離をとって設置できない場合を示す。図 7 の説明は図 5 の 1 次元の場合と同様なので省略する。

40

【 0 0 2 6 】

図 1 に戻り、スイッチ部 2 4 は、スイッチ 2 4 a、スイッチ 2 4 b、スイッチ 2 4 c 及びスイッチ 2 4 d を備える。

【 0 0 2 7 】

スイッチ部 2 4 は、検知信号 S_{10a} 又は差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ のいずれか一方を、スイッチ 2 4 a を切り替えることにより、図 1 では図示されていない A D C (A / D C o n v e r t e r) を介して、生成部 2 5、調整部 2 6 及び抽出部 2 7 に入力する

50

。

【0028】

A D C はノイズ成分が除去された検知信号 S_{10a} を受け付けると、ノイズ成分が除去された検知信号 S_{10a} を量子化して、デジタルの検知信号 S_{10a} に変換する。A D C はデジタルの検知信号 S_{10a} を生成部 25、調整部 26 及び抽出部 27 に入力する。

【0029】

同様に、スイッチ部 24 は、検知信号 S_{10b} 又は差分検知信号 $S_{10b} - S_{11}$ のいずれか一方を、スイッチ 24 b を切り替えることにより、図 1 では図示されていない A D C を介して、生成部 25、調整部 26 及び抽出部 27 に入力する。またスイッチ部 24 は、検知信号 S_{10c} 又は差分検知信号 $S_{10c} - S_{11}$ のいずれか一方を、スイッチ 24 c を切り替えることにより、図 1 では図示されていない A D C を介して、生成部 25、調整部 26 及び抽出部 27 に入力する。またスイッチ部 24 は、検知信号 S_{10d} 又は差分検知信号 $S_{10d} - S_{11}$ のいずれか一方を、スイッチ 24 d を切り替えることにより、図 1 では図示されていない A D C を介して、生成部 25、調整部 26 及び抽出部 27 に入力する。

10

【0030】

具体的には、生成部 25 は、スイッチ部 24 から受け付けた検知信号 $S_{10a} \sim S_{10d}$ のうち、いずれか 1 つが閾値（第 2 閾値）以上の場合、スイッチ 24 a（スイッチ 24 b、スイッチ 24 c、スイッチ 24 d）を、所定の時間 T が経過するまで、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ （ $S_{10b} - S_{11}$ 、 $S_{10c} - S_{11}$ 、 $S_{10d} - S_{11}$ ）の出力に切り替えるゲート信号（選択信号）をスイッチ部 24 及び抽出部 27 に入力する。所定の時間 T は、抽出部 27 の処理時間である。具体的には、所定の時間 T は、 a/v （ a ：第 1 センサ 10 間の最大距離、 v ：弾性波の伝搬速度）である。抽出部 27 の処理の詳細については後述する。

20

【0031】

図 8 は実施形態の信号処理装置 20 によるノイズキャンセリングの概念図である。図 8 の例は、第 1 センサ 10 a ~ 10 d、及び、第 2 センサ 11 の出力を模式的に示す。構造物から弾性波が発生すると、第 1 センサ 10 a ~ 10 d、及び、第 2 センサ 11 が当該弾性波を検知する時刻に、第 1 センサ 10 a ~ 10 d、及び、第 2 センサ 11 の位置に応じた時間差が生じる。図 6 の例の場合、最初に第 1 センサ 10 a が弾性波を検知した時刻と、第 2 センサ 11 が弾性波を検知する時刻と、の時間差は、少なくとも a/v （ a ：第 1 センサ 10 間の最大距離、 v ：弾性波の伝搬速度）以上となる。一方、ノイズは第 1 センサ 10 a ~ 10 d、及び、第 2 センサ 11 に同時に重畳される。

30

【0032】

そこで第 1 算出部 23 が、第 1 センサ 10 a ~ 10 d からの検知信号 S_{10a} 、 S_{10b} 、 S_{10c} 及び S_{10d} から、第 2 センサ 11 からの参照信号 S_{11} を減算することによって、ノイズをキャンセルすることができる。さらに、第 1 センサ 10 a に最初に弾性波が到達したときに、第 1 算出部 23 が、第 1 センサ 10 a が当該弾性波を検知した時刻から、第 1 センサ 10 a ~ 10 d の設置位置と、構造物の材料とによって定まる所定の時間 $T = a/v$ の範囲で演算処理を行うことで、第 2 センサ 11 まで漏れ伝わった弾性波をノイズと誤判定することを防ぐことができる。

40

【0033】

具体的には、スイッチ部 24 が、スイッチ 24 a（スイッチ 24 b、スイッチ 24 c、スイッチ 24 d）を、所定の時間 T の間、 H_i になるゲート信号により、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ （ $S_{10b} - S_{11}$ 、 $S_{10c} - S_{11}$ 、 $S_{10d} - S_{11}$ ）の出力に切り替える。これにより差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ 、 $S_{10b} - S_{11}$ 、 $S_{10c} - S_{11}$ 及び $S_{10d} - S_{11}$ が、所定の時間 T が経過するまで、生成部 25、調整部 26 及び抽出部 27 に入力される。なお生成部 25 は、ゲート信号が H_i の間はスイッチ部 24 を切り替える上述の閾値判定を行わない。

【0034】

50

またスイッチ部 24 は、所定の時間 T が経過することにより、ゲート信号が Hi から Lo に変わると、スイッチ 24 a (スイッチ 24 b、スイッチ 24 c、スイッチ 24 d) を、検知信号 S_{10a} (S_{10b} 、 S_{10c} 、 S_{10d}) の出力に再び切り替える。これにより検知信号 S_{10a} 、 S_{10b} 、 S_{10c} 及び $S_{10d} - S_{11}$ が、再び生成部 25 及び調整部 26 に入力される。

【0035】

図 9 A は実施形態の検知信号 S_{10} (ノイズ有り) の例を示す図である。一方、図 9 B は実施形態の差分検知信号 $S_{10} - S_{11}$ (ノイズ無し) の例を示す図である。図 9 B に示されるように、差分検知信号 $S_{10} - S_{11}$ では、検知信号 S_{10} では含まれていたノイズがキャンセルされている。

10

【0036】

図 1 に戻り、また調整部 26 は、スイッチ部 24 から検知信号 S_{10a} (S_{10b} 、 S_{10c} 、 S_{10d})、又は、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ ($S_{10b} - S_{11}$ 、 $S_{10c} - S_{11}$ 、 $S_{10d} - S_{11}$) を受信すると、検知信号 S_{10a} (S_{10b} 、 S_{10c} 、 S_{10d})、又は、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ ($S_{10b} - S_{11}$ 、 $S_{10c} - S_{11}$ 、 $S_{10d} - S_{11}$) に基づいて、第 1 増幅部 21 又は第 2 増幅部 22 の増幅度を調整する。調整部 26 は、検知信号 S_{10a} (S_{10b} 、 S_{10c} 、 S_{10d}) の増幅度を調整する場合、検知信号 S_{10a} (S_{10b} 、 S_{10c} 、 S_{10d}) の増幅度を調整するフィードバック信号を増幅器 21 a (21 b、21 c、21 d) に入力する。調整部 26 は、参照信号 S_{11} の増幅度を調整する場合、参照信号 S_{11} の増幅度を調整するフィードバック信号を第 2 増幅部 22 に入力する。

20

【0037】

抽出部 27 は、生成部 25 から入力されたゲート信号が Hi のときに、スイッチ部 24 から差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ を受け付ける。抽出部 27 は、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ のそれぞれを受け付けた時刻を示す時刻情報を記憶する。抽出部 27 は差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ のそれぞれから特徴量情報を抽出する。差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ のそれぞれの特徴量情報の説明は同様なので、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の場合を例にして説明する。

【0038】

差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の特徴量情報は、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の特徴を示す。差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の特徴量情報は、例えば差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の波形の振幅 [mV]、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の波形の持続時間 [usec]、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ のゼロクロスカウンタ数 [times]、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の波形のエネルギー [arb.]、及び、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ の周波数 [Hz] 等である。

30

【0039】

抽出部 27 は差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ のそれぞれの特徴量情報及び時刻情報を第 2 算出部 28 に入力する。

【0040】

第 2 算出部 28 は、抽出部 27 から差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ のそれぞれの特徴量情報及び時刻情報を受け付ける。第 2 算出部 28 は差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ の特徴量情報の類似度が所定の閾値 (第 1 閾値) 以上であるか否かに基づいて、複数の差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ をグループに分ける。そして第 2 算出部 28 は同一グループに含まれる差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ を、同一発生源の差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ として認識する。

40

【0041】

なお類似度は、特徴量情報と特徴量情報との距離により決定される。すなわち類似度は異なる特徴量情報の間の距離に近いほど大きい。第 2 算出部 28 は特徴量情報同士の距離

50

を所定の距離関数により算出する。距離関数は、例えば標準ユークリッド距離、ミンコフスキー距離又はマハラノビス距離等を算出する関数である。特にマハラノビス距離は、特徴量情報間の相関を考慮した距離の算出が可能となり、グループの分類精度を向上させることができる。

【0042】

第2算出部28は、類似度が所定の閾値以上の特徴量情報（同一グループに含まれる差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ の特徴量情報）に対応する差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ の時刻情報から時間差情報を算出する。第2算出部28は第1センサ10a～10dの位置情報と、時間差情報と、弾性波の伝搬速度とに基づいて、弾性波の発生源の位置情報を算出する。ここで弾性波の伝搬速度について説明する。

10

【0043】

材料中を伝わる弾性波の伝播速度 v は、材料の体積弾性率 K [Pa]と、密度 ρ_0 [kg/m³]を用いて、下記式(1)により表される。

【0044】

【数1】

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho_0}} \quad \dots(1)$$

20

【0045】

構造物（3次元体）を伝わる弾性波の伝搬速度 v は、更に材料のせん断弾性率 G を考慮し、下記式(2)により表される。

【0046】

【数2】

$$v = \sqrt{\frac{1}{\rho_0} \cdot \left(K + \frac{4}{3} G \right)} \quad \dots(2)$$

【0047】

すなわち弾性波の伝搬速度は材料固有の物性値により決定される。したがって材料（構造物の材質）毎に予め計算しておいた伝播速度情報を、例えば第2算出部28がルックアップテーブルとして記憶しておくことにより、当該ルックアップテーブルから構造物の材質に応じた適切な伝搬速度を選択することができる。

30

【0048】

図10は実施形態の伝搬速度情報の例を示す図である。図10は伝搬速度情報を、ルックアップテーブルとして記憶する場合の例を示す。例えば構造物の材質が鉄である場合の伝搬速度 v は5950 [m/s]である。

【0049】

次に第2算出部28が、弾性波の発生源の位置を算出する方法について説明する。簡単のため1次元の場合について詳細に説明する。なお2次元及び3次元の場合でも原理は同じである。

40

【0050】

図11は実施形態の位置算出方法の例を説明するための図（1次元の場合）である。第1センサ10a及び第1センサ10bの間で構造物の亀裂が生じ、この亀裂による弾性波を第1センサ10a及び第1センサ10bが検出する場合について説明する。

【0051】

第1センサ10aと第1センサ10bとの間の距離を l とする。また第1センサ10a及び第1センサ10bの中間点から亀裂までの距離を x とする。このとき第1センサ10bでは T 秒後に弾性波を検出し、第1センサ10aでは $T + t$ 秒後に弾性波を検出し

50

た場合、時間差情報 t は下記式 (3) により表すことができる。

【0052】

【数3】

$$\Delta t = \left(\left(\frac{1}{2} + \Delta x \right) - \left(\frac{1}{2} - \Delta x \right) \right) / v = 2\Delta x / v \quad \dots(3)$$

【0053】

したがって第1センサ10aと第1センサ10bとの距離 l 、及び、弾性波の伝搬速度 v が既知であれば、第2算出部28が時間差情報 t を算出することにより、第1センサ10a及び第1センサ10bの中間点から亀裂までの距離 x を、式(3)から算出することができ、すなわち第2算出部28は時間差情報 t から亀裂(弾性波の発生源)の位置情報を算出することができる。

10

【0054】

次に2次元の場合について簡単に説明する。

【0055】

図12及び図13は実施形態の位置算出方法の例を説明するための図(2次元の場合)である。図12は構造物に亀裂が生じ、この亀裂による弾性波が伝搬速度 v [m/s] で第1センサ10a~10dのそれぞれに到達する場合の例を示す。このとき第1センサ10a~10dのそれぞれに弾性波が到達する時刻は、第1センサ10a~10dのそれぞれで異なる。弾性波の受信時刻の時間差がわかると、図13に示されるように、第1センサ10a~10dのそれぞれを中心とした円周ARC__a(半径 T_a)、円周ARC__b(半径 T_b)、円周ARC__c(半径 T_c)、及び、円周ARC__d(半径 T_d)上に弾性波の発生源があると推定できる。すなわち第2算出部26は円周ARC__a乃至ARC__dの交点を、弾性波の発生源の位置情報として算出することができる。

20

【0056】

一般に、次元数+1個の第1センサ10を用いることにより、弾性波の発生源の位置を算出することができる。したがって3次元の場合、4個の第1センサ10を用いることにより、弾性波の発生源の位置を算出することができる。また第1センサ10の数が多い程、位置情報の算出精度を向上させることができる。

【0057】

図1に戻り、第2算出部28は算出された位置情報が、所定の観測範囲外の場合(所定の閾値を満たさない場合)、算出に使用された差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ の特徴量情報をノイズとして除去するノイズ処理を行う。第2算出部28は特徴量情報及び位置情報を通信部29に入力する。

30

【0058】

通信部29は、第2算出部28から特徴量情報及び位置情報を受け付けると、当該特徴量情報及び位置情報をサーバ装置50に送信する。

【0059】

サーバ装置50は、信号処理装置20から特徴量情報及び位置情報を受信すると、当該特徴量情報及び位置情報に基づく処理を行う。

40

【0060】

図14は実施形態のサーバ装置50の機能構成の例を示す図である。実施形態のサーバ装置50は、記憶部51、通信部52、表示制御部53及び診断部54を備える。

【0061】

記憶部51は情報を記憶する。記憶部51に記憶される情報は、例えば信号処理装置20で取得された特徴量情報及び位置情報である。

【0062】

通信部52は、信号処理装置20から特徴量情報及び位置情報を受信すると、当該特徴量情報及び位置情報を記憶部51に記憶する。表示制御部53は記憶部51に記憶された特徴量情報及び位置情報に基づく表示制御を行う。診断部54は、記憶部51に記憶され

50

た特徴量情報及び位置情報に基づいて構造物の劣化度合いを診断する。診断部 5 1 は、例えば弾性波の累計エネルギーが所定のエネルギー以上となった箇所がある場合、当該箇所に劣化の危険があることを示す警告等の表示を、表示制御部 5 3 を介して行う。

【 0 0 6 3 】

図 1 5 は実施形態の位置情報を示す表示情報の例を示す図である。図 1 5 は位置情報 1 1 等により弾性波の発生源を表示する場合の例を示す。

【 0 0 6 4 】

図 1 6 は実施形態の累積エネルギーを示す表示情報の例を示す図である。図 1 6 は累積エネルギーを曲線 1 1 2 により表示する場合を示す。表示制御部 5 3 は、例えば図 1 5 に示す表示情報が表示されているときに、位置情報 1 1 1 の選択を示す入力があった場合に、図 1 6 に示す表示情報を表示する制御を行う。また図 1 5 に示す表示情報が表示されている画面上で、ユーザが選択範囲を指定した場合、選択範囲に含まれる弾性波の累積エネルギーを曲線 1 1 2 により表示することで、より容易に特性を把握することができる。選択範囲は例えばマウスのドラッグアンドドロップ操作により指定されたドラッグ位置からドロップ位置までを対角線とする矩形の内部、または、この矩形に内接する円形の内部とすることでさらに操作性を向上させることができる。

10

【 0 0 6 5 】

E 1 は構造物の劣化の状態が、診断部 5 4 により診断されるときに使用される閾値である。すなわち診断部 5 4 は累積エネルギーの値が E 1 となった時刻 t 1 に、劣化の度合いが大きいことを示す警告等を表示することを、表示制御部 5 3 に要求する。これにより構造物の管理者等が、更に劣化が進むことにより構造物の破断等が生じる前に、構造物の破断等が生じる可能性が高いことを把握できる。なお図 1 6 の例は、時刻 t 2 で構造物の破断が生じた場合も示している。構造物の破断時の衝撃により、累積エネルギー E 2 以降は、累積エネルギー E が急激に増加する。そして破断後に構造物の状態が安定した場合は、弾性波が発生しなくなり、累積エネルギー E は一定となる。

20

【 0 0 6 6 】

次に実施形態の検知方法について説明する。

【 0 0 6 7 】

図 1 7 は実施形態の検知方法（信号選択処理）の例を示すフローチャートである。はじめに、第 1 増幅部 2 1 が、第 1 センサ 1 0 から検知信号 S_{10} を受信し、第 2 増幅部 2 2 が、第 2 センサ 1 1 から参照信号 S_{11} を受信する（ステップ S 1）。次に、第 1 増幅部 2 1 が、検知信号 S_{10} を増幅し、第 2 増幅部 2 2 が、参照信号 S_{11} を増幅する（ステップ S 2）。次に、第 1 算出部 2 3 が、検知信号 S_{10} から参照信号 S_{11} を減算することにより、差分検知信号 $S_{10} - S_{11}$ を算出する（ステップ S 3）。

30

【 0 0 6 8 】

次に、生成部 2 5 が、検知信号 $S_{10a} \sim S_{10d}$ のうち、いずれか 1 つが閾値以上であるか否かを判定する（ステップ S 4）。

【 0 0 6 9 】

いずれか 1 つが閾値以上である場合（ステップ S 4、Yes）、スイッチ 2 4 a（スイッチ 2 4 b、スイッチ 2 4 c、スイッチ 2 4 d）は、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11}$ （ $S_{10b} - S_{11}$ 、 $S_{10c} - S_{11}$ 、 $S_{10d} - S_{11}$ ）を調整部 2 6 及び抽出部 2 7 に、所定の時間 T が経過するまで入力する（ステップ S 5）。

40

【 0 0 7 0 】

全ての検知信号 S_{10} が閾値未満である場合（ステップ S 4、No）、スイッチ 2 4 a（スイッチ 2 4 b、スイッチ 2 4 c、スイッチ 2 4 d）は、検知信号 S_{10} （ $S_{10b} - S_{11}$ 、 S_{10c} 、 S_{10d} ）を生成部 2 5 及び調整部 2 6 に入力する（ステップ S 6）。

【 0 0 7 1 】

図 1 8 は実施形態の検知方法（位置情報算出処理）の例を示すフローチャートである。はじめに、抽出部 2 7 が、スイッチ部 2 4 から差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d}$

50

- S_{11} を受け付ける(ステップS11)。次に、抽出部27が、差分検知信号 S_{10a}
 - $S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ のそれぞれを受け付けた時刻を示す時刻情報を記憶する(ス
 テップS12)。次に、抽出部27が、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$
 S_{11} のそれぞれから特徴量情報を抽出する(ステップS13)。

【0072】

次に、第2算出部28が、ステップS12で記憶された時刻情報、及び、ステップS1
 3で抽出された特徴量情報から、弾性波の発生源の位置を示す位置情報を算出する(ス
 テップS14)。具体的には、第2算出部28は、差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d}$
 S_{11} の特徴量情報の類似度が所定の閾値以上であるか否かに基づいて、複数の差分
 検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ をグループに分ける。次に、第2算出部2
 8は同一グループに含まれる差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ を、同一
 発生源の差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ として認識する。次に、第2
 算出部28は、類似度が所定の閾値以上の特徴量情報(同一グループに含まれる検知情報
 の特徴量情報)に対応する差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ の時刻情報
 から時間差情報を算出する。次に、第2算出部28は、時間差情報と、構造物の材質に応
 じた弾性波の伝搬速度 v と、から弾性波の発生源の位置情報を示す位置情報を算出する。

10

【0073】

次に、通信部29が、ステップS12で抽出された特徴量情報と、ステップS13で算
 出された位置情報と、をサーバ装置50に送信する(ステップS15)。

【0074】

20

図19は実施形態の検知方法(表示処理)の例を示すフローチャートである。はじめに
 、通信部52が、信号処理装置10から、特徴量情報及び位置情報を受信する(ステップ
 S21)。

【0075】

次に、診断部54が、特徴量情報及び位置情報に基づいて構造物の劣化を診断する(ス
 テップS22)。具体的には、診断部54は弾性波の累積エネルギーが所定の閾値以上と
 なっている発生源があるか否かを判定することにより、構造物の劣化を診断する。

【0076】

次に、表示制御部53が、特徴量情報及び位置情報、並びに、ステップS22の処理に
 より得られた診断結果に基づいて、表示装置に表示する表示情報を更新する(ステップS
 23)。表示情報は、例えば図15及び図16等の情報である。

30

【0077】

次に、表示制御部53が、累積エネルギーが閾値以上の場合(ステップS24、Yes
)、構造物の劣化の度合いが大きいことを示す警告を表示装置に表示する(ステップS2
 5)。累積エネルギーが閾値未満の場合(ステップS24、No)、処理は終了する。

【0078】

最後に実施形態のサーバ装置50のハードウェア構成の例について説明する。

【0079】

図20は実施形態のサーバ装置50のハードウェア構成の例を示す図である。実施形態
 のサーバ装置50は、制御装置201、主記憶装置202、補助記憶装置203、表示装
 置204、入力装置205及び通信装置206を備える。制御装置201、主記憶装置2
 02、補助記憶装置203、表示装置204、入力装置205及び通信装置206は、バ
 ス210を介して接続されている。サーバ装置50は、例えばパーソナルコンピュータ及
 びスマートデバイス等である。

40

【0080】

制御装置201は補助記憶装置203から主記憶装置202に読み出されたプログラム
 を実行する。主記憶装置202はROM(Read Only Memory)及びRAM(Rand
 om Access Memory)等のメモリである。補助記憶装置203はHDD(Hard
 Disk Drive)及びメモリカード等である。図14の記
 憶部51は主記憶装置202及び補助記憶装置203に対応する。

50

【0081】

表示装置204はサーバ装置50の状態等を表示する。表示装置204は、例えば、液晶ディスプレイである。入力装置205はサーバ装置50を操作するためのインタフェースである。入力装置205は、例えばキーボードやマウス等である。サーバ装置50がスマートフォン及びタブレット型端末等のスマートデバイスの場合、表示装置204及び入力装置205は、例えばタッチパネルである。通信装置206はネットワークに接続するためのインタフェースである。

【0082】

実施形態のサーバ装置50で実行されるプログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、メモリカード、CD-R及びDVD(Digital Versatile Disk)等のコンピュータで読み取り可能な記憶媒体に記録されてコンピュータ・プログラム・プロダクトとして提供される。

10

【0083】

また実施形態のサーバ装置50で実行されるプログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するように構成してもよい。また実施形態のサーバ装置50で実行されるプログラムをダウンロードさせずにインターネット等のネットワーク経由で提供するように構成してもよい。

【0084】

また実施形態のサーバ装置50のプログラムを、ROM等に予め組み込んで提供するように構成してもよい。

20

【0085】

実施形態のサーバ装置50で実行されるプログラムは、上述した図14の各機能ブロック(通信部52、表示制御部53及び診断部54)を含むモジュール構成となっている。当該各機能ブロックは、実際のハードウェアとしては、制御装置201が上記記憶媒体からプログラムを読み出して実行することにより、上記各機能ブロックが主記憶装置202上にロードされる。すなわち上記各機能ブロックは主記憶装置202上に生成される。なお上述した図14の各機能ブロックの一部又は全部をソフトウェアにより実現せず、IC(Integrated Circuit)等のハードウェアにより実現してもよい。

【0086】

以上説明したように、実施形態の検知システム1では、複数の第1センサ10が、構造物から発生する弾性波を検知し、当該弾性波を検知信号 S_{10} に変換する。また第2センサ11が、周囲から伝搬するノイズを検知し、ノイズを参照信号 S_{11} に変換する。また第1算出部23が、検知信号 S_{10} のそれぞれと参照信号 S_{11} とに基づいて、複数の差分検知信号 $S_{10} - S_{11}$ を算出する。そして第2算出部28が、複数の差分検知信号 $S_{10} - S_{11}$ から弾性波の発生源の位置を算出する。これにより実施形態の検知システム1によれば、弾性波の検出環境に依らずに、弾性波を高精度に検出することができる。

30

【0087】

なお上述の検知システム1の説明において、各装置が有する機能ブロックの構成を変更してもよい。例えば信号処理装置20の第2算出部28を、サーバ装置50で実現してもよい。第2算出部28をサーバ装置50で実現することにより、例えば算出された位置情報が、所定の観測範囲外の場合(所定の閾値を満たさない場合)、算出に使用された差分検知信号 $S_{10a} - S_{11} \sim S_{10d} - S_{11}$ の特徴量情報をノイズとして除去するノイズ処理の判定に使用される閾値の条件を柔軟に変更することができる。すなわち第1センサ10の設置位置のずれ、測定対象の構造物の条件、及び、気候条件等を柔軟に変更できるので、第2算出部28はノイズをより効果的に除去することができる。

40

【0088】

また、この場合、信号処理装置20で位置情報の算出を行わないことにより、信号処理装置20の消費電力を削減することができる。これにより信号処理装置20を太陽電池及び振動発電モジュール等により動作させることができるので、信号処理装置20を電源が

50

ない場所に設置することも可能になる。

【 0 0 8 9 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【 符号の説明 】

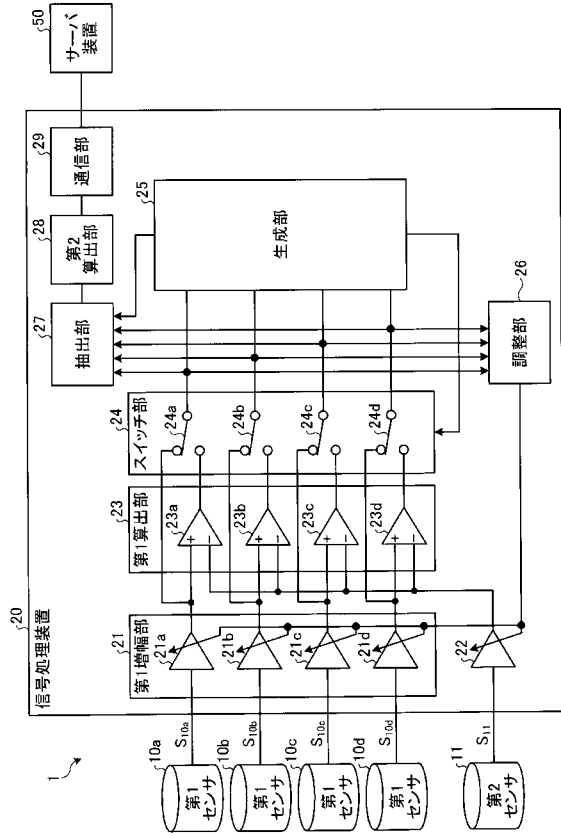
【 0 0 9 0 】

- 1 検知システム
- 1 0 第 1 センサ
- 1 1 第 2 センサ
- 2 1 第 1 増幅部
- 2 2 第 2 増幅部
- 2 3 第 1 算出部
- 2 4 スイッチ部
- 2 5 生成部
- 2 6 調整部
- 2 7 抽出部
- 2 8 第 2 算出部
- 2 9 通信部
- 5 0 サーバ装置
- 5 1 記憶部
- 5 2 通信部
- 5 3 表示制御部
- 5 4 診断部

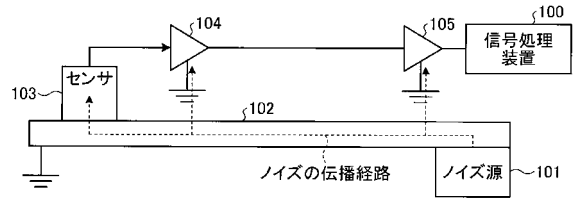
10

20

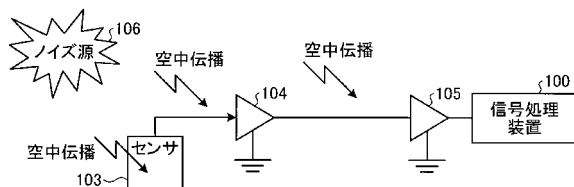
【図1】



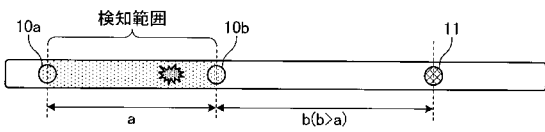
【図2】



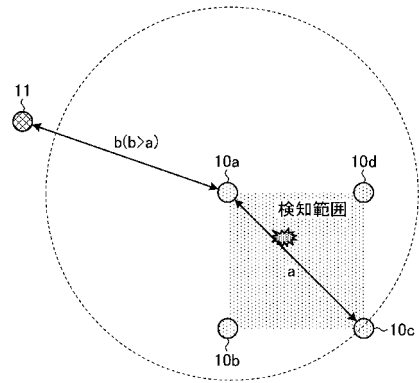
【図3】



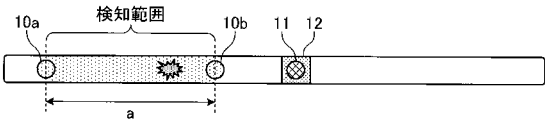
【図4】



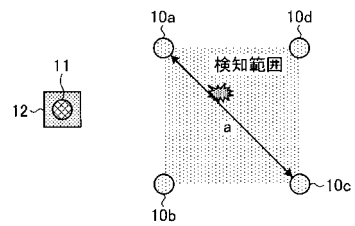
【図6】



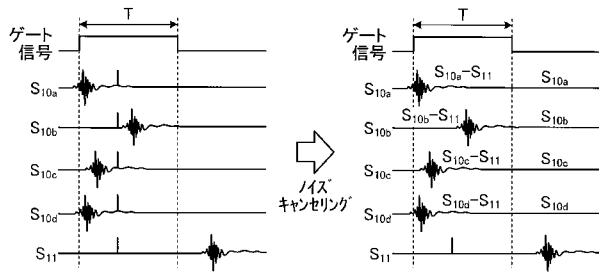
【図5】



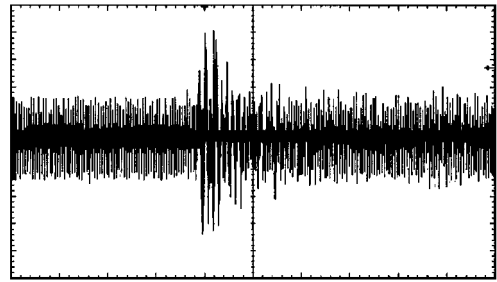
【図7】



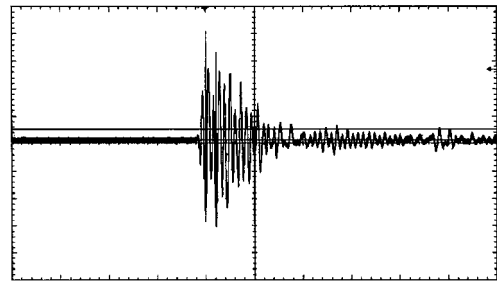
【 図 8 】



【 図 9 A 】



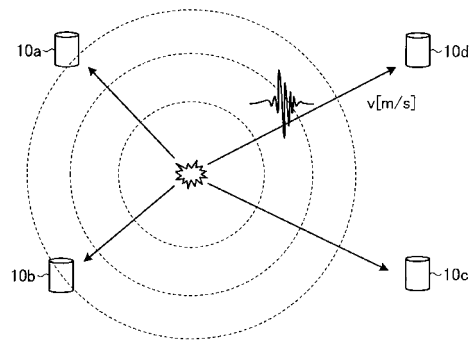
【 図 9 B 】



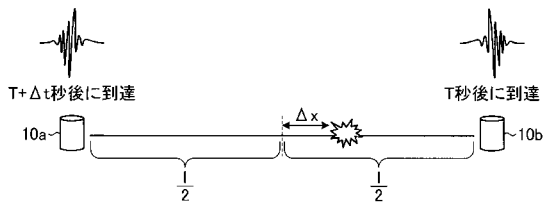
【 図 1 0 】

材質	伝播速度v[m/s]
鉄	5950
コンクリート1	4570
コンクリート2	3660

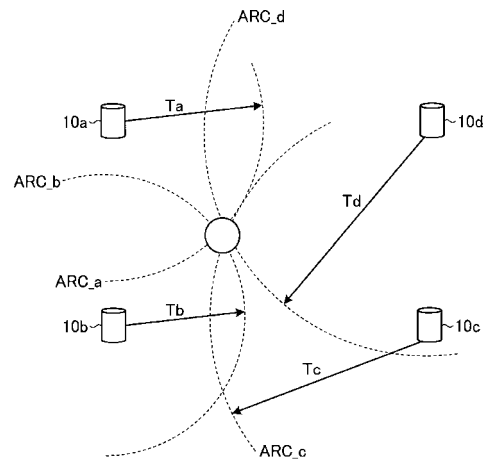
【 図 1 2 】



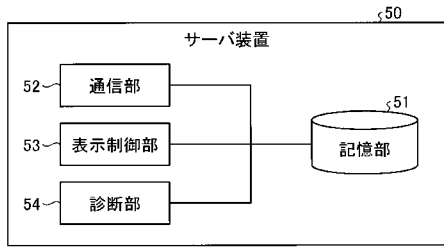
【 図 1 1 】



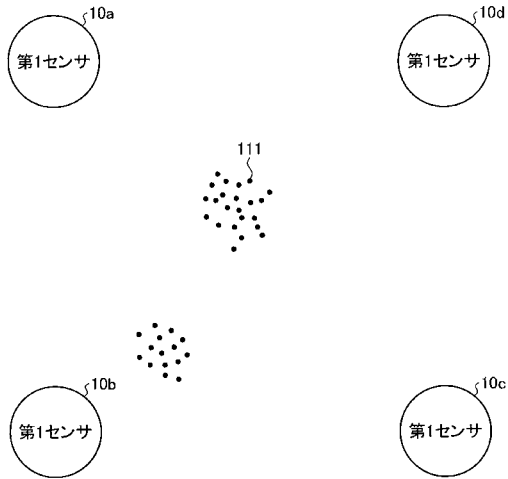
【 図 1 3 】



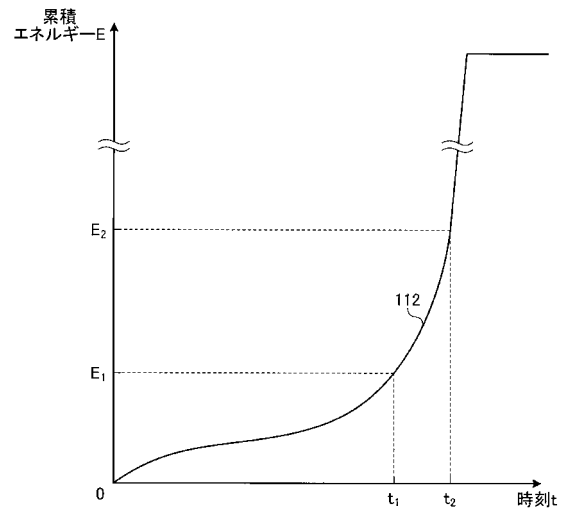
【図14】



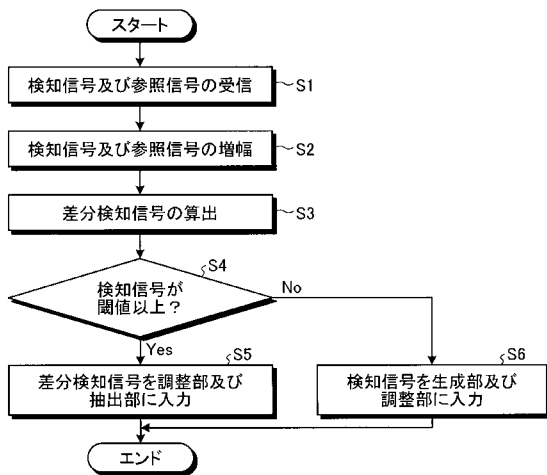
【図15】



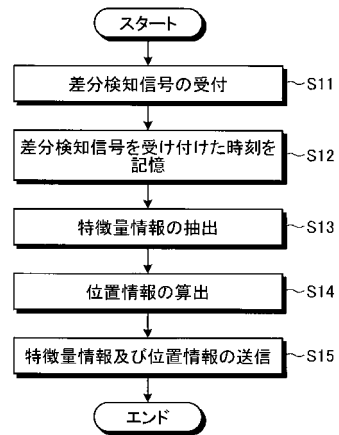
【図16】



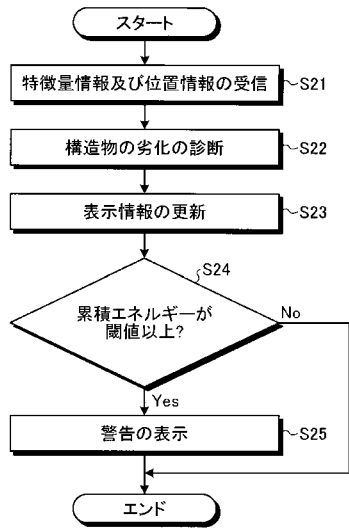
【図17】



【図18】



【 図 1 9 】



【 図 2 0 】

