

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5253268号
(P5253268)

(45) 発行日 平成25年7月31日 (2013. 7. 31)

(24) 登録日 平成25年4月26日 (2013. 4. 26)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 H 17/00 (2006. 01)

G O 1 H 17/00 Z

G O 1 S 3/808 (2006. 01)

G O 1 S 3/808

G O 1 S 5/22 (2006. 01)

G O 1 S 5/22

H O 4 R 1/40 (2006. 01)

H O 4 R 1/40 3 2 O A

H O 4 R 3/00 (2006. 01)

H O 4 R 3/00 3 2 O

請求項の数 6 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2009-83429 (P2009-83429)
 (22) 出願日 平成21年3月30日 (2009. 3. 30)
 (65) 公開番号 特開2010-236944 (P2010-236944A)
 (43) 公開日 平成22年10月21日 (2010. 10. 21)
 審査請求日 平成24年2月6日 (2012. 2. 6)

(73) 特許権者 000213297
 中部電力株式会社
 愛知県名古屋市東区東新町 1 番地
 (73) 特許権者 000001317
 株式会社熊谷組
 福井県福井市中央 2 丁目 6 番 8 号
 (73) 特許権者 595122615
 山下 恭弘
 長野県長野市大字富田 1 - 2 3 0
 (74) 代理人 100080296
 弁理士 宮園 純一
 (74) 代理人 100141243
 弁理士 宮園 靖夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音源・振動源探索システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定の観測点に設置されて音源から伝搬する音の音圧レベルを測定する音圧レベル測定手段と、上記観測点に設置されて振動源から伝搬する表面波の振動の振動レベルを上記音圧レベルと同時に測定する振動レベル測定手段と、上記音圧レベル測定手段で測定した音圧レベルの信号を用いて上記音源の方向を推定する音源方向推定手段と、上記振動レベル測定手段で測定した振動レベルの信号を用いて上記振動源の方向を推定する振動源推定手段と、上記音源方向推定手段で推定された上記音源の方向と上記振動源推定手段で推定された振動源の方向とを比較して、上記音源からの音が音の発生を伴う振動源からの音か否かを判定する判定手段とを備えた音源・振動源探索システムであって、

上記音圧レベル測定手段は、

互いに交差する 2 つの直線上にそれぞれ配置された、2 個のマイクロフォンが所定の間隔だけ離れて配置されたマイクロフォン対を 2 組備え、

上記振動レベル測定手段は、

互いに交差する 2 つの直線上にそれぞれ配置された、2 個の振動センサが所定の間隔だけ離れて配置された振動センサ対を 2 組備え、

上記音源方向推定手段は、

予め設定した複数の周波数のそれぞれについて、上記各マイクロフォン対における音の位相差もしくは到達時間差をそれぞれ求めて、上記位相差の比もしくは到達時間差の比から音を発生する音源の方向を上記周波数毎に推定し、

10

20

上記振動源推定手段は、
予め設定した複数の周波数のそれぞれについて、上記各振動センサ対における振動の位相差もしくは到達時間差をそれぞれ求めて、上記位相差の比もしくは到達時間差の比から振動を発生する振動源の方向を上記周波数毎に推定し、

上記判定手段は、

上記推定された音源の方向の角度のバラツキが予め設定した第1の閾値以内にある音源を同一の音源とみなし、上記同一の音源とみなした音源の重心位置を算出する音源重心位置算出部と、

上記推定された振動源の方向の角度のバラツキが上記第1の閾値以下の第2の閾値内にあ
る振動源を同一の振動源としてその重心位置を算出する振動源重心位置算出部と、

上記算出された音源の重心位置と上記振動源の重心位置とを比較して、上記音源または上
記振動源が、音のみを発生する音源か、振動のみを発生する振動源か、音の発生を伴う振
動源かを判定する判定部とを備えることを特徴とする音源・振動源探索システム。

【請求項2】

上記判定部は、上記音源の方向の角度のバラツキと上記振動源の方向の角度のバラツキ
がそれぞれ上記第1及び第2の閾値以内にあり、かつ、上記音源の重心位置と上記振動源
の重心位置との角度差が予め設定した判定角度以下である場合には、上記振動源は音の発
生を伴う振動源であると判定し、上記角度差が上記判定角度を超えた場合には、上記音源
からの音は上記振動源から発生していないと判定することを特徴とする請求項1に記載の
音源・振動源探索システム。

【請求項3】

上記音圧レベル測定手段に、上記2組のマイクロフォン対の作る平面上にない第5のマ
イクロフォンを追加するとともに、音源方向推定手段では、上記2組のマイクロフォン対
を構成するマイクロフォン間の位相差と、上記第5のマイクロフォンと上記2組のマイク
ロフォン対を構成する4個のマイクロフォンのそれぞれとで構成される4組のマイクロフ
ォン対を構成するマイクロフォン間の位相差とを用いて音源の方向を推定することを特徴
とする請求項1または請求項2に記載の音源・振動源探索システム。

【請求項4】

上記推定された音源の方向と振動源の方向の映像とを採取する映像採取手段と、上記推
定された音源及び振動源の位置を上記採取された映像上に表示する表示手段とを備えたこ
とを特徴とする請求項3に記載の音源・振動源探索システム。

【請求項5】

上記映像採取手段は、上記観測点の周りの360°の映像を採取することを特徴とする
請求項4に記載の音源・振動源探索システム。

【請求項6】

上記音圧レベル測定手段と上記振動レベル測定手段とは、所定の時間間隔で上記音圧レ
ベルと振動レベルとを同時に測定することを特徴とする請求項1～請求項5のいずれかに
記載の音源・振動源探索システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、所定の観測点に伝搬される音と振動とを採取して、音の音源が振動源から発
生した音か否かを探索するシステムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、音の到来方向を推定する方法として、4つのマイクロフォンから互いに交わる直
線状に配置された複数のマイクロフォン対を構成し、対となる2つのマイクロフォン間の
位相差に相当する到達時間差と、他の対となる2つのマイクロフォン間の到達時間差との
比から音源の方向を推定する音源探索システムが提案されている。具体的には、図6(a)
に示すように、4個のマイクロフォンM1～M4を、互いに直交する2直線上にそれぞ

10

20

30

40

50

れ所定の間隔で配置された2組のマイクロフォン対(M1, M3)及びマイクロフォン対(M2, M4)を構成するように配置し、マイクロフォン対(M1, M3)を構成するマイクロフォンM1, M3にする音圧信号の到達時間差と、マイクロフォン対(M2, M4)を構成するマイクロフォンM2, M4にする音圧信号の到達時間差との比から、計測点と音源位置との水平角 θ を推定する。更に、マイクロフォンM1~M4の作る平面上にない位置に第5のマイクロフォンM5を配置して4組のマイクロフォン対(M5, M1), (M5, M2), (M5, M3), (M5, M4)を構成し、各マイクロフォン対を構成するマイクロフォン間の到達時間差から、計測点と音源位置との成す仰角 ϕ を推定する。このとき、CCDカメラ等の映像採取手段を設けて推定された音源方向の映像を撮影し、この映像中に推定した音源位置推定エリアと音圧レベルとを表示するようにすれば、騒音源を視覚的に把握することができる(例えば、特許文献1参照)。

10

また、地面もしくは床面に、4つの振動センサを互いに交わる直線状にそれぞれ配置して2組の振動センサ対を構成し、対となる2つの振動センサ間の位相差に相当する到達時間差と、他の対となる2つの振動センサ間の到達時間差との比から振動源の方向を推定する振動源探索システムが提案されている(例えば、特許文献2参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-111183号公報

【特許文献2】特開2004-085201号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、工場の床などに発電機が設置されている場合などのように、振動が発生する状況では同時に音が発生する場合がある。このとき、振動と音とを同時に計測できるシステムがあれば、相互の結果を比較して、音が振動源から発せられたものか、振動を伴わない音源から発せられたものかを判別することができる。また、振動源が音が発生しない振動源であるか否かも判別できる。

しかしながら、音源や振動源から発せられる音や振動は、複数の周波数を含む音や振動が発生するだけでなく、例えば、大形のモータの振動がうなりを伴った振動である場合のように、音源や振動源から発せられる音や振動は時間的に一定の周波数でかつ一定の大きさではないので、音源探索システムを用いて推定した音源方向と振動源探索システムを用いて推定した振動方向が近いからといって、音が振動源から発せられた音であるか否かは断定できないといった問題点がある。

30

【0005】

本発明は、従来の問題点に鑑みてなされたもので、観測点において、音と振動とが同時に観測されたときに、観測された音が観測された振動源の発生する音か否かを判別する音源・振動源探索システ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】

40

本願の請求項1に記載の発明は、所定の観測点に設置されて音源から伝搬する音の音圧レベルを測定する音圧レベル測定手段と、上記観測点に設置されて振動源から伝搬する表面波の振動の振動レベルを上記音圧レベルと同時刻に測定する振動レベル測定手段と、上記音圧レベル測定手段で測定した音圧レベルの信号を用いて上記音源の方向を推定する音源方向推定手段と、上記振動レベル測定手段で測定した振動レベルの信号を用いて上記振動源の方向を推定する振動源推定手段と、上記音源方向推定手段で推定された上記音源の方向と上記振動源推定手段で推定された振動源の方向とを比較して、上記音源からの音が音の発生を伴う振動源からの音か否かを判定する判定手段とを備えた音源・振動源探索システムであって、上記音圧レベル測定手段が、互いに交差する2つの直線上にそれぞれ配置された、2個のマイクロフォンが所定の間隔だけ離れて配置されたマイクロフォン対を

50

2組備え、上記振動レベル測定手段が、互いに交差する2つの直線上にそれぞれ配置された、2個の振動センサが所定の間隔だけ離れて配置された振動センサ対を2組備え、上記音源方向推定手段が、予め設定した複数の周波数のそれぞれについて、上記各マイクロフォン対における音の位相差もしくは到達時間差をそれぞれ求めて、上記位相差の比もしくは到達時間差の比から音を発生する音源の方向を上記周波数毎に推定し、上記振動源推定手段が、予め設定した複数の周波数のそれぞれについて、上記各振動センサ対における振動の位相差もしくは到達時間差をそれぞれ求めて、上記位相差の比もしくは到達時間差の比から振動を発生する振動源の方向を上記周波数毎に推定し、上記判定手段が、上記推定された音源の方向の角度のバラツキが予め設定した第1の閾値以内にある音源を同一の音源とみなし、上記同一の音源とみなした音源の重心位置を算出する音源重心位置算出部と、上記推定された振動源の方向の角度のバラツキが上記第1の閾値以下の第2の閾値内にある振動源を同一の振動源としてその重心位置を算出する振動源重心位置算出部と、上記算出された音源の重心位置と上記振動源の重心位置とを比較して、上記音源または上記振動源が、音のみを発生する音源か、振動のみを発生する振動源か、音の発生を伴う振動源かを判定する判定部とを備えることを特徴とする。

10

また、請求項2に記載の発明は、上記判定部では、上記音源の方向の角度のバラツキと上記振動源の方向の角度のバラツキがそれぞれ上記第1及び第2の閾値以内にあり、かつ、上記音源の重心位置と上記振動源の重心位置との角度差が予め設定した判定角度以下である場合には、上記振動源は音の発生を伴う振動源であると判定し、上記角度差が上記判定角度を超えた場合には、上記音源からの音は上記振動源から発生していないと判定することを特徴とする。

20

【0007】

請求項3に記載の音源・振動源探査システムは、上記音圧レベル測定手段に、上記2組のマイクロフォン対の作る平面上にない第5のマイクロフォンを追加するとともに、音源方向推定手段では、上記2組のマイクロフォン対を構成するマイクロフォン間の位相差と、上記第5のマイクロフォンと上記2組のマイクロフォン対を構成する4個のマイクロフォンのそれぞれとで構成される4組のマイクロフォン対を構成するマイクロフォン間の位相差とを用いて音源の方向を推定するようにしたものである。

請求項4に記載の音源・振動源探査システムは、上記推定された音源の方向と振動源の方向の映像とを採取する映像採取手段と、上記推定された音源及び振動源の位置を上記採取された映像上に表示する表示手段とを備えたものである。

30

請求項5に記載の音源・振動源探査システムは、上記映像採取手段が、上記観測点の周りの360°の映像を採取する映像採取手段であることを特徴とする。

【0008】

請求項6に記載の発明は、上記音圧レベル測定手段と上記振動レベル測定手段とは、所定の時間間隔で上記音圧レベルと振動レベルとを同時に測定するようにしたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、請求項1に記載された構成の音源・振動源探査システムを用いて、音源から伝搬する音と振動源から伝搬する表面波の振動とを同時に測定して、音の音圧レベルのデータから得られた音源の方向と振動の振動レベルのデータから得られた振動源の方向とを比較し、音源からの音が音の発生を伴う振動源からの音か、あるいは、振動を伴わない音源からの音か否かの判定や、振動源が音を伴わない振動源であるか否かの判定を行うようにしたので、音源や振動源が複数の周波数の音もしくは振動を発生している場合でも、上記音源または上記振動源が、音のみを発生する音源か、振動のみを発生する振動源か、音の発生を伴う振動源かを判別することが可能となる。したがって、騒音対策や振動対策を有効に行うことができる。

40

また、上記音源の方向の角度のバラツキと上記振動源の方向の角度のバラツキがそれぞれ上記第1及び第2の閾値以内にあり、かつ、上記音源の重心位置と上記振動源の重心位

50

置との角度差が予め設定した判定角度以下である場合には、上記振動源は音の発生を伴う振動源であると判定し、上記角度差が上記判定角度を超えた場合には、上記音源からの音は上記振動源から発生していないと判定するようにすれば、音源と振動源の性状を的確に探查できる。

また、音圧レベル測定手段に、2組のマイクロフォン対の作る平面上にない第5のマイクロフォンを追加して、2組のマイクロフォン対を構成するマイクロフォン間の位相差と、第5のマイクロフォンと2組のマイクロフォン対を構成する4個のマイクロフォンのそれぞれとで構成される4組のマイクロフォン対を構成するマイクロフォン間の位相差とを用いて音源の方向を推定すれば、音源方向の水平角方向の分布に加えて仰角方向の分布もわかるので、音源の方向を更に精度良く推定できる。

10

また、推定された音源の方向と振動源の方向の映像とを採取するとともに、推定された音源及び振動源の位置を採取された映像上に表示するようにすれば、表示された画像から、音源及び振動源の位置を推定することができる。このとき、観測点の周りの360°の映像を採取する映像採取手段を用いれば、観測点の周りの全ての方向の音源及び振動源が表示できるので、観測点の周りの音源の分布及び振動源の分布を確実に把握することができる。

【0010】

また、所定の時間間隔で音圧レベルと振動レベルとを測定して、音源位置と振動源位置とを測定して比較すれば、音源もしくは振動源の時間的及び空間的な移動状況を精度よく把握することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の最良の形態に係る音源・振動源探索システムを示す図である。

【図2】映像採取手段で撮影した観測点の周りの360°撮影画像とその展開画像であるパノラマ画像の一例を示す図である。

【図3】観測点の平面図である。

【図4】音源情報が付加されたパノラマ画像と振動源情報とを表示した表示画面の一例を示す図である。

【図5】図4の時刻から所定時間経過した後の表示画面の一例を示す図である。

【図6】位相差の比を用いて音源もしくは振動源の方向を推定する際の、マイクロフォン及び振動センサの配置を示す図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の最良の形態について、図面に基づき説明する。

図1は本発明の最良の形態に係る音源・振動源探索システムの概要を示す図で、11は音圧レベル測定手段、12は振動レベル検出手段、13は映像採取手段、14A、14Bはローパスフィルタ14m、14nを備えた増幅器、15はA/D変換器、16Aは音源方向推定手段、16Bは振動源方向推定手段、17は映像入出力手段、18はデータ合成手段、19は音源・振動源位置表示手段、20は音源・振動源判定手段である。

音圧レベル測定手段11は、図6(a)に示すように、5個のマイクロフォンM1～M5を備えている。これらのマイクロフォンM1～M5のうち、マイクロフォンM1、M3と、マイクロフォンM2、M4とは、互いに直交する2直線（同図のx軸とy軸）上にそれぞれ所定の間隔Lで配置されて、2組のマイクロフォン対（M1、M3）及びマイクロフォン対（M2、M4）を構成するように配置されている。マイクロフォンM5は、マイクロフォンM1～M4の中心を通る、上記平面に垂直な直線（z軸）上に上記平面からの距離がL/2の位置に配置されている。

40

また、振動レベル測定手段12は、図6(b)に示すように、4個の振動ピックアップ、あるいは、加速度センサ等から成る振動センサG1～G4を備えている。振動センサG1、G3と、振動センサG2、G4とは、互いに直交する2直線上にそれぞれ所定の間隔Lで配置されて、2組の振動センサ対（G1、G3）及び振動センサ対（G2、G4）を

50

構成するように配置されている。

マイクロフォンM1～M5は、三脚から成る支持部材31上に設けられたマイクロフォンフレーム32上に配置され、振動センサG1～G4は支持部材31の下部の地面(もしくは、床面)に配置される。

映像採取手段13は、360°撮影用ミラー13aとCCDカメラ13bとを備え、マイクロフォンM1～M5と振動センサG1～G4とが設置された位置(以下、観測点という)の周りの360°の映像を採取するもので、一般に、360°カメラと呼ばれている。この映像採取手段13は、支持部材31上に設けられた基台33上で、マイクロフォンフレーム32の下側に配置される。

【0013】

10

増幅器14Aは、マイクロフォンM1～M5からの出力信号である音圧波形の信号を増幅した信号をローパスフィルタ14mで帯域制限してからA/D変換器15に送る音用増幅器で、増幅器14Bは、振動センサG1～G4からの出力信号である振動波形の信号を増幅した信号をローパスフィルタ14nで帯域制限してからA/D変換器15に送る振動用増幅器である。

A/D変換器15は、音圧波形の信号と振動波形の信号とをデジタル信号に変換するもので、音響用5ch、振動用4chを備えている。

音源方向推定手段16Aは、予め設定した複数の周波数 f_k ($k=1\sim n$)それぞれについて、2組のマイクロフォン対(M1, M3), (M2, M4)における音の到達時間差 D_{13} 及び D_{24} をそれぞれ求めて、到達時間差の比(D_{13}/D_{24})から観測点と音源との成す水平角 θ を周波数 f_k 毎に推定するとともに、到達時間差 D_{13} 及び D_{24} とマイクロフォンM1～M4とマイクロフォンM5とのマイクロフォン間の到達時間差 D_{5j} ($j=1\sim 4$)とから仰角 ϕ を推定し、水平角 θ と仰角 ϕ とを音源方向の座標データ(θ, ϕ)としてデータ合成手段に18に送る。このとき、音源の音圧レベルのデータと周波数データも同時にデータ合成手段に18に送る。なお、音圧データとしては、マイクロフォンM1～M5の出力電圧の平均値、もしくは、マイクロフォンM5の出力電圧を用いればよい。

20

水平角 θ と仰角 ϕ とは以下の式(1)及び式(2)で表わせる。

【数1】

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{D_{13}}{D_{24}} \right) \dots (1)$$

30

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{D_{51} + D_{52} + D_{53} + D_{54}}{2\sqrt{3} \cdot \sqrt{D_{13}^2 + D_{24}^2}} \right) \dots (2)$$

ここで、時間遅れ D_{ij} は、マイクロフォン M_i に到達する音圧信号と、このマイクロフォン M_i に対して対となるマイクロフォン M_j に到達する音圧信号との時間差であり、この対となる2つのマイクロフォン M_i 及び M_j に輸入される信号のクロススペクトル $P_{ij}(f)$ を求め、更に、対象とする周波数 f の位相角情報 Ψ (rad)を用いて、以下の式(3)により算出される。

40

【数2】

$$D_{ij} = \frac{1}{2\pi f} \Psi [P_{ij}(f)] \text{ (sec)} \dots (3)$$

水平角 θ 及び仰角 ϕ は、予め設定した複数の周波数 f_k 毎に算出する。

なお、本例では、位相差に代えて、位相差に比例する物理量である到達時間差を用いて水平角 θ 及び仰角 ϕ を求めているが、位相差そのものを用いてもよい。

振動源方向推定手段16Bは、複数の周波数 f_k ($k=1\sim n$)のそれぞれについて、式(3)を用いて、2組の振動センサ対(G1, G3), (G2, G4)における表面波

50

の振動の到達時間差 D'_{13} 及び D'_{24} をそれぞれ求め、式 (1) を用いて、到達時間差の比 (D'_{13}/D'_{24}) から観測点と振動源との成す水平角 θ' を推定する。

水平角 θ' は、予め設定した複数の周波数 f_k 毎に算出し、水平角 θ' を振動源方向の座標データ θ' としてデータ合成手段に 18 に送る。このとき、振動源の振動レベルのデータと周波数データも同時にデータ合成手段に 18 に送る。振動レベルのデータとしては、振動センサ G1～M4 の出力電圧の平均値、もしくは、振動センサ G1 の出力電圧を用いればよい。

【0014】

映像入出力手段 17 は、図 2 の模式図に示すように、映像採取手段 (360°カメラ) 13 で撮影された観測点の周りの 360°撮影画像 17a を展開して、横軸が水平角 θ (−180°～+180°) 縦軸が仰角 ϕ (0°～90°) のパノラマ画像 17b に変換し、この変換されたパノラマ画像 17b のデータをデータ合成手段に 18 に送る。

なお、本例では、映像入出力手段 17 をマイクロフンフレーム 32 の下側に配置しているので、撮影される仰角 ϕ はその上限値が 70°程度に制限されるが、音源や振動源の推定に支障をきたすことはない。

データ合成手段 18 は、映像入出力手段 17 から送られてきたパノラマ画像 17b の画像データに推定された音源方向の座標 (θ, ϕ) と音圧レベルと周波数とから成る音源情報を示す画像データを付加した画像データと、振動源方向の座標 θ' と振動レベルと周波数とから成る振動源情報が表示された画像データとを生成し、音源・振動源位置表示手段 19 に送る。

音源・振動源位置表示手段 19 は、送られてきた画像データをディスプレイ (図示せず) に表示する。

音源・振動源判定手段 20 は、推定された音源のうち、水平角 θ が $\theta_2 - \theta_1 \leq K_1$ である 2 つの角度 θ_1, θ_2 の間にあり、かつ、仰角 ϕ が $\phi_2 - \phi_1 \leq S$ である 2 つの角度 θ_1, θ_2 の間にある複数の音源を同一の音源と見做して、その重心位置 (θ_{12}, ϕ_{12}) を算出する音源重心位置算出部 21 と、推定された振動源のうち、水平角 θ' が $\theta'_2 - \theta'_1 \leq K_2$ である 2 つの角度 θ'_1, θ'_2 の間にある複数の振動源を同一の振動源と見做して、その重心位置 θ'_{12} を算出する振動源重心位置算出部 22 と、算出された音源の水平角 θ の重心位置 θ_{12} と振動源の重心位置 θ'_{12} との角度差 $\Delta = \theta_{12} - \theta'_{12}$ を算出する角度差算出部 23 と、角度差 Δ に基づいて、音源または振動源が、音のみを発生する音源か、振動のみを発生する振動源か、音の発生を伴う振動源かを判別する判別部 24 とを備え、推定された音源方向の座標 (θ, ϕ) と周波数、及び、振動源方向の座標 θ' と周波数とから、音源からの音が音の発生を伴う振動源からの音か否かを判定する。以下、 K_1 を第 1 の閾値、 K_2 を第 2 の閾値という。

【0015】

次に、本例の音源・振動源探索システムを用いて音源及び振動源の位置を推定するとともに、音源及び振動源の性状を判定する方法について説明する。

まず、音圧レベル測定手段 11 のマイクロフン M1～M5 と振動レベル測定手段 12 の振動センサ G1～G4 により、観測点に伝搬される音の音圧レベルの信号と表面波の振動の振動レベルを同時に測定するとともに、映像採取手段 13 により、観測点周りの 360°の映像を採取する。

マイクロフン M1～M5 からの出力信号は、増幅器 14A で増幅され、更に、ローパスフィルタ 14m で雑音となる高周波成分が取り除かれた後、A/D 変換器 15 に送られてデジタル信号に変換される。

一方、振動センサ G1～G4 からの出力信号は、増幅器 14B で増幅され、ローパスフィルタ 14n で雑音となる高周波成分が取り除かれた後、A/D 変換器 15 に送られてデジタル信号に変換される。

映像入出力手段 17 で撮影された撮影画像 17 は、パノラマ画像 17b に変換されて、データ合成手段に 18 に送られる。

A/D 変換器 15 でデジタル信号に変換された音圧レベルの信号は、音源方向推定手段

10

20

30

40

50

16Aと振動源方向推定手段16Bとにそれぞれ送られる。

音源方向推定手段16Aでは、予め設定した複数の周波数 f_k ($k=1\sim n$)それぞれについて、音源方向の水平角 θ と仰角 ϕ とを推定するとともに、音源の音圧レベルを検出し、音源方向の座標 (θ, ϕ) と音圧レベルと周波数とから成る音源情報をデータ合成手段18に送る。

振動源方向推定手段16Bでは、複数の周波数 f_k ($k=1\sim n$)それぞれについて、振動源方向の水平角 θ' を推定するとともに、振動源の振動レベルを検出し、振動源の座標 θ' と振動レベルと周波数とから成る振動源情報をデータ合成手段18に送る。

パノラマ画像17bと音源情報と振動源情報とは、データ合成手段18により合成され、推定された音源方向の座標 (θ, ϕ) と音圧レベルと周波数とを示す画像データを付加した画像データと、振動源方向の座標 θ' と振動レベルと周波数とが表示された画像データとが生成される。これらの画像データは、音源・振動源位置表示手段19のディスプレイ(図示せず)上に表示される。

10

【0016】

図3は観測点P近傍の平面図で、観測点Pの上方向を正面(水平角 0°)、右側を水平角 90° 、左側を水平角 -90° 、下方向を後ろ(水平角 $\pm 180^\circ$)とする。

観測点Pの正面には工場51があり、この工場51の室外には大型の空調室外機52が設置されている。また、工場51の右側には2階建ての住居53があり、そのベランダには小型の空調室外機54が設置されている。また、工場51の左側には倉庫55がある。一方、観測点Pの後方には、左右方向に沿った歩道56があり、この歩道の後方は広場57になっている。この広場57には、観測点Pから見て右後方に間欠的に水を噴出する噴水58が設けられている。

20

図4は観測点Pに設置したマイクロフォンM1~M5で測定した音圧レベルと振動センサG1~G4で測定した振動レベルとに基づいて推定した音源と振動源の位置を示す表示画面の一例を示す図である。上側の画像がパノラマ画像Aで、下側が振動源画像Bである。パノラマ画像Aの横軸は水平角 θ で、縦軸は仰角 ϕ である。また、振動源画像Bの横軸は水平角 θ' である。

本例では、音源データ及び振動源データをカラーの「円」で表示している。円の中心点が座標、半径が音圧レベル、色(図では円の模様)が周波数を示す。

パノラマ画像Aには、音源や振動源となる工場51の室外に設置された大型の空調室外機52、工場51の右側にある住居53の2階建てのベランダに設置された小型の空調室外機54、倉庫55の壁55F、及び、広場57の噴水58の位置に音源位置を示す大小のカラーの円が表示されている。また、振動源画像Bには、振動源方向を示す大小のカラーの円が表示されている。

30

【0017】

一般に、1つの音源からの音が単一の周波数である場合は稀である。したがって、推定された周波数の異なる音源の数はN個(ここでは、11個)であるが、実際の音源の数はNよりも少ない、すなわち、いくつかの音源は同一の音源である可能性が高い。そこで、第1の閾値を $K_1=20^\circ$ とし、第2の閾値を $K_2=10^\circ$ とするとともに、パノラマ画像Aを参照して実際の音源の位置と振動源の位置とを推定する。

40

具体的には、大型の空調室外機52の近傍の3つの音源位置を示す円の中心は、水平角 θ の範囲が第1の閾値 $K_1=20^\circ$ 以下である。したがって、3つの音源位置を示す円はいずれも実際には同一の音源、すなわち、大型の空調室外機52であると推定される。同様に、小型の空調室外機52の近傍の3つの音源位置を示す円は実際にはいずれも同一の音源(小型の空調室外機54)であり、広場57の噴水58の近傍の音源位置を示す2つの円は実際にはどちらも同一の音源(噴水58)であると推定される。また、倉庫55の壁55Fの近傍の3つの音源位置を示す円も実際にはいずれも同一の音源であると推定される。

そこで、本例では、実際の音源の推定位置を、同一の音源と見做された複数の音源の重心位置とした。音源重心位置算出部21では、重心位置 $p_m(\theta_m, \phi_m)$ は、同一の音源

50

と見做された音源 j ($j = 1 \sim k$) の座標を (θ_j, ϕ_j) とし、音源 j の音圧レベルを P_j として、以下の式 (4), (5) を用いて算出する。

$$\theta_m = (P_1 \cdot \theta_1 + P_2 \cdot \theta_2 + \dots + P_k \cdot \theta_k) / (P_1 + P_2 + \dots + P_k) \dots\dots (4)$$

$$\phi_m = (P_1 \cdot \phi_1 + P_2 \cdot \phi_2 + \dots + P_k \cdot \phi_p) / (P_1 + P_2 + \dots + P_k) \dots\dots (5)$$

これにより、4 個の重心位置 p_1, p_2, p_4 が求まる。パノラマ画像 A を参照すると、算出された重心位置 p_1, p_2, p_4 は、それぞれ、実際の音源が大型の空調室外機 5 2、小型の空調室外機 5 2、及び、噴水 5 8 が発生する音の中心位置であることがわかる。なお、重心位置 p_3 については、後述する音源及び振動源の判定方法の中で説明する。

また、振動源画像 B でも、大型の空調室外機 5 2 の水平角 θ と同じ水平角 θ' の近傍に 3 つの振動源位置を示す円がある。3 つの振動源位置を示す円の中心は、水平角 θ' の範囲が第 2 の閾値 $K_2 = 10^\circ$ 以下である。したがって、3 つの振動源位置を示す円はいずれも実際には同一の振動源、すなわち、大型の空調室外機 5 2 であると推定される。振動源重心位置算出部 2 2 では、振動源の重心位置 $q = \theta'_m$ を、同一の振動源と見做された振動源 j ($j = 1 \sim k'$; ここでは、 $k' = 3$) の座標を θ'_j とし、振動源 j の音圧レベルを Q_j とし、以下の式 (6) を用いて算出する。

$$\theta'_m = (Q_1 \cdot \theta'_1 + Q_2 \cdot \theta'_2 + \dots + Q_{k'} \cdot \theta'_{k'}) / (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{k'}) \dots\dots (6)$$

パノラマ画像 A を参照すると、大型の空調室外機 5 2 が発生する振動の中心位置が算出された重心位置 q であることがわかる。

【0018】

次に、音源重心位置 $p_1 \sim p_4$ 、及び、振動源重心位置 q を用いて、推定された音源または振動源が、音のみを発生する音源か、振動のみを発生する振動源か、音の発生を伴う振動源かを判別する。

まず、図 4 に示すように、音源重心位置 $p_1 \sim p_4$ の水平角 θ_m と振動源重心位置 q との角度差 $\Delta = \theta_m - q$ を算出する。そして、角度差 Δ が判定角度 δ (例えば、 $\delta = 10^\circ$) 以下である場合には、振動源は音の発生を伴う振動源であると判定し、角度差 Δ が判定角度 δ を超えた場合には、音源からの音は振動源から発生していないと判定する。

例えば、音源中心位置のうち、大型の空調室外機 5 2 が発生すると推定される音の音源重心位置 p_1 の水平角 θ_1 と、大型の空調室外機 5 2 が発生すると推定される振動の振動源重心位置 q との角度差 Δ_{11} は判定角度 δ よりも小さいので、大型の空調室外機 5 2 は音の発生を伴う振動源であると判定する。

これに対して、小型の空調室外機 5 4 が発生すると推定される音の音源重心位置 p_2 の水平角 θ_2 と振動源重心位置 q との角度差 Δ_{21} や、噴水 5 8 が発生すると推定される音源重心位置 p_4 の水平角 θ_4 と振動源重心位置 q との角度差 Δ_{41} は、いずれも判定角度 δ よりも大きいので、小型の空調室外機 5 4 や噴水 5 8 は、音のみを発生し、振動を発生しない音源であると判定する。

また、倉庫 5 5 の壁 5 5 に重心位置 q_3 を有する音源の水平角 θ_3 と振動源重心位置 q との角度差 Δ_{31} は判定角度 δ よりも大きい。したがって、倉庫 5 5 の壁 5 5 に重心位置 q_3 を発生する音の中心位置とする音源は、音のみを発生し振動を発生しない音源であると判定する。パノラマ画像 A には、重心位置 p_3 に位置する音源に相当する機器はないが、3 つの音源位置を示す円の周波数と大きさは、大型の空調室外機 5 2 近傍の 3 つの音源位置を示す円の周波数と大きさが類似していること、及び、大型の空調室外機 5 2 と倉庫 5 5 の壁 5 5 F との位置関係、及び、この音源が音のみを発生し振動を発生しない音源であることから、重心位置 p_3 は大型の空調室外機 5 2 の発生する音が倉庫 5 5 の壁 5 5 F により反射されて当該観測点に伝搬された反射音の重心位置であることが推定される。

【0019】

このように、本実施の形態では、マイクロフォン M1 ~ M5 を備えた音圧レベル測定手段 1 1 と、振動センサ G1 ~ G4 を備えた振動レベル測定手段 1 2 とを用いて、音源から

伝搬する音と振動源から伝搬する表面波の振動とを同時に測定して、上記音の音圧データから得られた音源方向の水平角 θ と上記振動の振動レベルのデータから得られた振動源方向の水平角 θ' の方向とを比較して、観測された音が、音の発生を伴う振動源からの音であるか、あるいは、振動を伴わない音源からの音であるかの判定や、振動源が音を伴わない振動源であるか否かの判定を行うことができるようにしたので、上記音源及び振動源の性状を的確に把握することができ、騒音対策や振動対策を有効に行うことができる。

このとき、上記水平角 θ 及び仰角 ϕ のバラつきが $K_1 = 20^\circ$ 以内である音源を同一の音源と見做して音源重心位置 (θ_m, ϕ_m) を算出するとともに、上記水平角 θ' のバラつきが $K_2 = 10^\circ$ 以内である振動源を同一の振動源と見做して、振動源重心位置 q とを算出し、上記水平角 θ_m と上記振動源重心位置 q との角度差 $\Delta = \theta_m - q$ を求め、この角度差 Δ が判定角度 δ 以下である場合には、上記振動源は音の発生を伴う振動源であると判定し、上記角度差 Δ が上記判定角度 δ を超えた場合には、上記音源からの音は上記振動源から発生していないと判定するようにすれば、観測された音もしくは振動の判定を更に精度良く行うことができる。

【0020】

なお、上記最良の形態では、ある時刻の音圧レベルと振動レベルとを測定して、音源位置と振動源位置とを推定し、観測された音が音の発生を伴う振動源からの音である否かを判定したが、所定の時間間隔で音圧レベルと振動レベルとを測定し、所定時間毎の音源位置と振動源位置とを推定して比較すれば、音源もしくは振動源の時間的及び空間的な移動状況を精度よく把握することができるとともに、反射音の同定も確実にを行うことができる。

図5は、上記図4の時刻 $t = t_1$ から所定時間 Δt だけ経過した時刻 $t_2 = t_1 + \Delta t$ において測定した音圧レベルと振動レベルから推定した音源位置と振動源位置とを表示した表示画面の一例を示す図である。パノラマ画像Aをみると、大型の空調室外機52の近傍には時刻 $t = t_1$ の時と同じく、3つの音源位置を示す円がある。これらの3つの円の大きさは変化しているが周波数は同じで、かつ、その中心は水平角 θ の範囲が上記第1の閾値 $K_1 = 20^\circ$ 以下である。また、振動源画像Bでも、上記大型の空調室外機52の水平角 θ と同じ水平角 θ' の近傍にある3つの振動源位置を示す円は、大きさは変化しているが周波数は同じで、かつ、その中心は水平角 θ' の範囲が上記第2の閾値 $K_2 = 10^\circ$ 以下である。また、3つの円の大きさの変化の様子が同じであるので、これによっても、上記音源重心位置 p_1 の音源もしくは振動源（大型の空調室外機52）は、音の発生を伴う振動源であることがわかる。更に、上記音源重心位置 p_1 と上記振動源中心位置 q とは移動していないので、上記音源重心位置 p_1 の音源もしくは振動源（大型の空調室外機52）は、移動しない振動源であることがわかる。

また、小型の空調室外機53と推定された重心位置 q_2 を有する音源も、反射音と推定された重心位置 q_3 を有する音源も、上記と同様にして、音のみを発生する移動しない音源であることがわかる。

【0021】

一方、噴水58の近傍には音源位置を示す円がない。しかし、噴水58が移動することはないので、所定時間 Δt 毎に測定を継続すれば、音源位置を示す円が再び現れる。これにより、上記噴水58は、間欠的に音を発生する音源であることがわかる。

また、倉庫55の壁55Fによる反射音と推定された重心位置が q_3 である音源の3つの円は、周波数が時刻 $t = t_1$ の時と同じで、かつ、その大きさの変化が上記音源重心位置 p_1 の周りの3つの円の大きさの変化と上記振動源中心位置 q の周りの3つの円大きさの変化と一致していることから、上記重心位置が q_3 である音源は、大型の空調室外機52からの音の反射音であることがわかる。

このように、所定の時間間隔で音圧レベルと振動レベルとを測定し、所定時間毎の音源位置と振動源位置とを推定して比較すれば、音源が間欠的に音を発生する音源は否かや、音源が反射音であるか否かの同定も確実にを行うことができる。

また、所定時間毎の音源位置と振動源位置とを推定して比較すれば、音源もしくは振動源の時間的な移動状況を精度よく把握することができる。

また、上記例では、表示画面をパノラマ画像Aと振動源画像Bとしたが、パノラマ画像Aに代えて、横軸を推定音源位置の水平角 θ とし、縦軸を仰角 ϕ とした音源画像Cを用いても、音源重心位置 $p_1 \sim p_4$ や振動源重心位置 q は算出できるので、観測された音が観測された振動源の発生する音か否かを判別することが可能である。この場合には、映像採取手段13や映像入出力手段17が不要となり、データ合成手段18も大幅に簡素化できるので、装置を安価にできるが、パノラマ画像Aを用いた方が、音源位置や振動源位置を特定できるので、音源位置や振動源位置の推定精度や音源・振動源の判定精度を上げるためには、本例のように、パノラマ画像Aを用いる方が好ましい。

【0022】

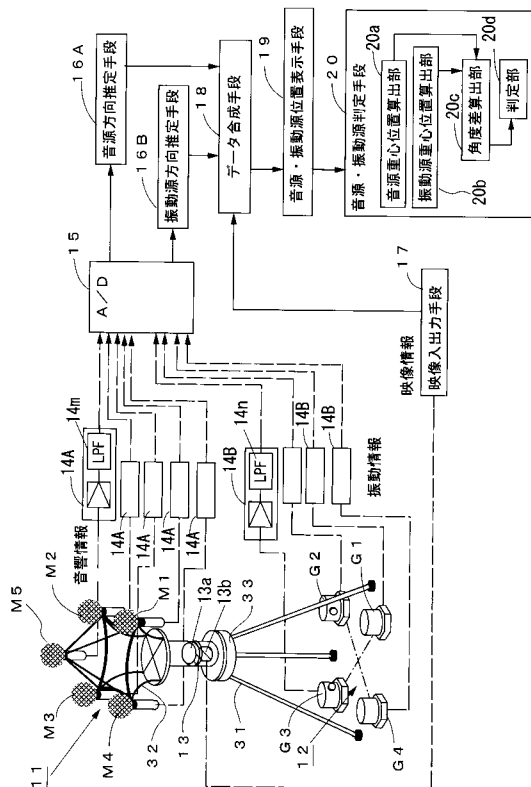
以上説明したように、本発明によれば、観測点において、音と振動とが同時に観測されたときに、観測された音が観測された振動源の発生する音か否かを判別することができるので、騒音対策や振動対策を有効に行うことができる。

【符号の説明】

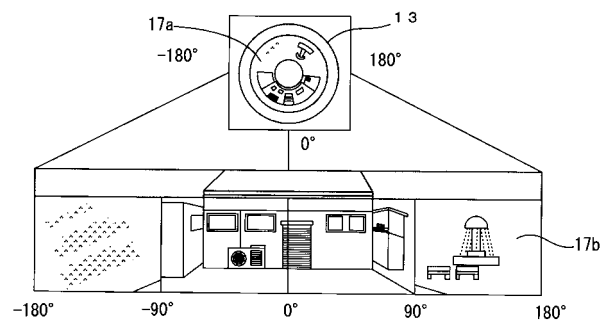
【0023】

M1～M5 マイクロフォン、G1～G4 振動センサ、
 11 音圧レベル測定手段、12 振動レベル検出手段、13 映像採取手段、
 13a 撮影用ミラー、13b CCDカメラ、14A、14B 増幅器、
 14m, 14n ローパスフィルタ、15 A/D変換器、16A 音源方向推定手段、
 16B 振動源方向推定手段、17 映像入出力手段、18 データ合成手段、
 19 音源・振動源位置表示手段、20 音源・振動源判定手段、
 20a 音源重心位置算出部、20b 振動源重心位置算出部、20c 角度差算出部、
 20d 判定部、21 音源重心位置算出部、22 振動源重心位置算出部、23 角度差算出部、
 24 判別部、31 支持部材、32 マイクロフォンフレーム、33 基台。

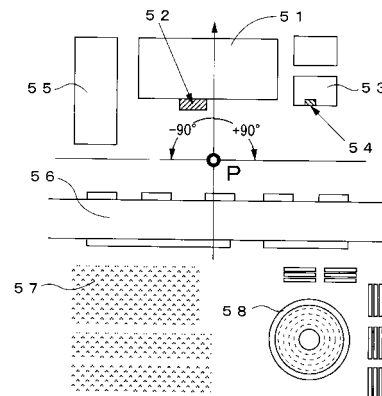
【図1】



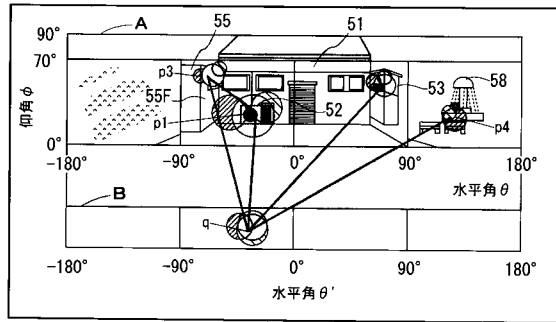
【図2】



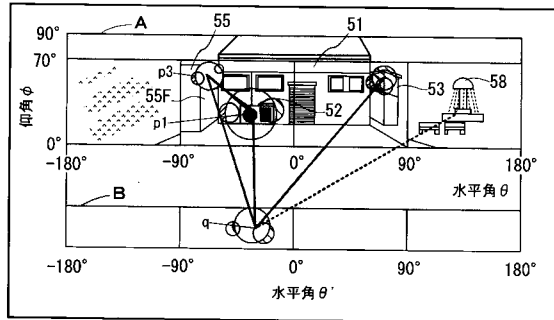
【図3】



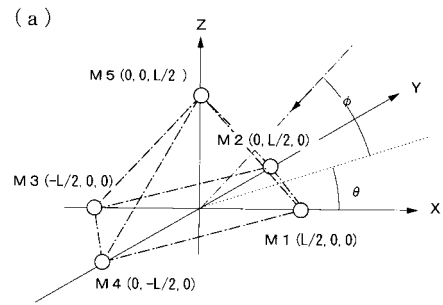
【図 4】



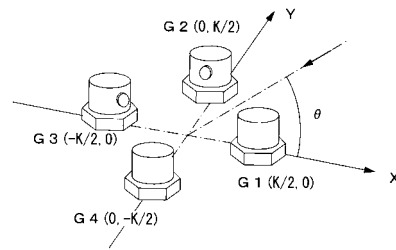
【図 5】



【図 6】



(b)



フロントページの続き

- (72)発明者 杉本 靖夫
愛知県名古屋市東区東新町1番地 中部電力株式会社内
- (72)発明者 和田 浩之
愛知県名古屋市東区東新町1番地 中部電力株式会社内
- (72)発明者 大脇 雅直
東京都新宿区津久戸町2番1号 株式会社熊谷組 東京本社内
- (72)発明者 財満 健史
東京都新宿区津久戸町2番1号 株式会社熊谷組 東京本社内
- (72)発明者 山下 恭弘
長野県長野市富田1-230

審査官 秋田 将行

- (56)参考文献 特公平03-042778 (JP, B2)
特開平05-248932 (JP, A)
特開平07-243906 (JP, A)
特開平08-145778 (JP, A)
特開平09-015035 (JP, A)
特開平11-351957 (JP, A)
特開2000-214052 (JP, A)
特開2001-083003 (JP, A)
特開2002-181913 (JP, A)
特開2003-042836 (JP, A)
特開2003-083803 (JP, A)
特開2003-111183 (JP, A)
特開2003-254819 (JP, A)
特開2004-085201 (JP, A)
特開2004-340848 (JP, A)
特開2005-098984 (JP, A)
特開2005-164252 (JP, A)
特開2005-315595 (JP, A)
特開2006-324895 (JP, A)
特開2007-093251 (JP, A)
特開2008-224259 (JP, A)
特開2008-261688 (JP, A)
実開昭57-089966 (JP, U)
実開平02-089379 (JP, U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01H 1/00- 17/00
G01S 3/808
G01S 5/22
H04R 1/40
H04R 3/00