

(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2014-149208

(P2014-149208A)

(43) 公開日 平成26年8月21日(2014.8.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO 1 M 3/24 (2006.01)</b>	GO 1 M 3/24 A	2 G O 6 7
	GO 1 M 3/24 B	
	GO 1 M 3/24 D	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2013-17638 (P2013-17638)  
 (22) 出願日 平成25年1月31日 (2013.1.31)

(71) 出願人 000006208  
 三菱重工業株式会社  
 東京都港区港南二丁目16番5号  
 (74) 代理人 100102864  
 弁理士 工藤 実  
 (74) 代理人 100117617  
 弁理士 中尾 圭策  
 (72) 発明者 棚橋 智寛  
 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内  
 Fターム(参考) 2G067 AA11 BB04 BB26 DD13 EE03  
 EE08 EE09 EE11

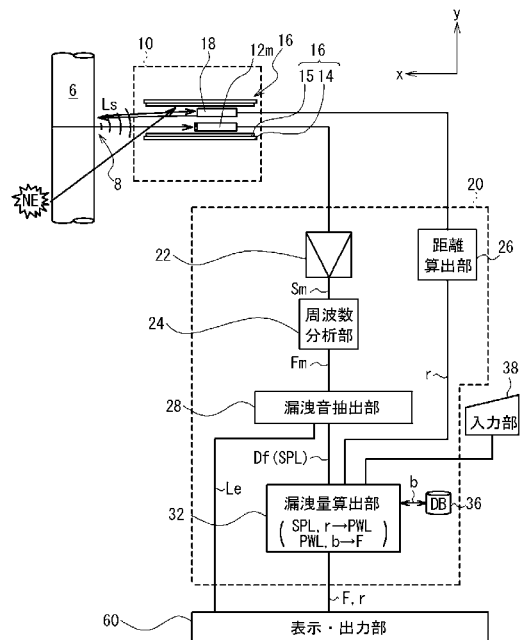
(54) 【発明の名称】 漏洩検出装置及び漏洩検出方法

(57) 【要約】

【課題】被検査物の外部から気体の漏洩を検出する。

【解決手段】本発明に係る漏洩検出装置は、主音響検出器12mと、周波数分析部24と、漏洩音抽出部28と、漏洩量算出部32とを備える。前記主音響検出器12mは、被検査物における漏洩部8から漏洩する気体の超音波漏洩音L<sub>s</sub>、及び前記漏洩部8の方向から伝播する周囲の騒音を検出して主音波信号S<sub>m</sub>を出力する。前記周波数分析部24は、前記主音波信号S<sub>m</sub>に対して周波数分析を行って、主音響スペクトラムF<sub>m</sub>を出力する。前記漏洩音抽出部28は、前記主音響スペクトラムF<sub>m</sub>に含まれる周囲の騒音成分を減少させて超音波漏洩音L<sub>s</sub>を抽出して、計測音圧SPLを取得する。前記漏洩量算出部32は、前記主音響検出器12mから前記漏洩部8近傍までの検体距離rを取得して、当該検体距離r及び前記計測音圧SPLを用いて、前記超音波漏洩音L<sub>s</sub>の発生音圧を算出する。

【選択図】図2



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

被検査物における漏洩部から漏洩する気体の超音波漏洩音、及び前記漏洩部の方向から伝播する周囲の騒音を検出して主音波信号を出力する主音響検出器と、

前記主音波信号に対して周波数分析を行って、主音響スペクトラムを出力する周波数分析部と、

前記主音響スペクトラムに含まれる周囲の騒音成分を減少させて前記超音波漏洩音を抽出して、計測音圧を取得する漏洩音抽出部と、

前記主音響検出器から前記漏洩部近傍までの検体距離を取得して、当該検体距離及び前記計測音圧を用いて、前記超音波漏洩音の発生音圧を算出する漏洩量算出部を備える漏洩検出装置。

10

**【請求項 2】**

前記漏洩量算出部は、漏洩する気体の密度及び気体の音速を含む検出環境に応じて決定される環境定数を取得し、前記発生音圧及び前記環境定数に基づいて、漏洩部における気体の漏洩量を算出する請求項 1 に記載の漏洩検出装置。

**【請求項 3】**

漏洩する気体の密度及び気体の音速を含む検出環境に応じて決定される環境定数を記録するデータベースを備え、

前記漏洩量算出部は、前記データベースから前記環境定数を取得する請求項 2 に記載の漏洩検出装置。

20

**【請求項 4】**

前記漏洩部と主音響検出器とを結ぶ直線と平行、且つ主音響検出器の近傍に配置され、前記主音響検出器に到達する周囲の騒音を遮る音響シールドを備える請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の漏洩検出装置。

**【請求項 5】**

前記音響シールドは、鋼板や銅板、アルミニウム板等の金属板又は樹脂板から構成される基材を含み、

前記基材における前記主音響検出器側の表面に、樹脂、スポンジ等の吸音材を配置した請求項 4 に記載の漏洩検出装置。

**【請求項 6】**

前記漏洩音抽出部は、40kHz～150kHzの間の超音波漏洩音を抽出する請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の漏洩検出装置。

30

**【請求項 7】**

前記主音響検出器から前記漏洩部近傍までの前記検体距離に関する信号を検出して出力する測距センサと、

前記測距センサから取得した前記検体距離に関する信号に基づいて、前記検体距離を算出して出力する距離算出部と、

を備え、

前記漏洩量算出部は、前記距離算出部にて算出した前記検体距離を取得する請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の漏洩検出装置。

40

**【請求項 8】**

前記主音響検出器の近傍に配置され、前記漏洩部の方向から伝播する周囲の騒音を検出して副音波信号を出力する副音響検出器を備え、

前記音響シールドは、少なくとも前記主音響検出器と前記副音響検出器との間に配置され、前記副音響検出器に対する前記超音波漏洩音の到達を遮る機能を有し、

前記周波数分析部は、前記主音波信号及び前記副音波信号に対して周波数分析を行って、主音響スペクトラム及び副音響スペクトラムを出力し、

前記漏洩音抽出部は、前記主音響スペクトラム及び前記副音響スペクトラムを用いて、前記主音響スペクトラムに含まれる周囲の騒音成分を減少させて前記超音波漏洩音を抽出して、計測音圧を取得する

50

請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の漏洩検出装置。

【請求項 9】

主音響検出器において、被検査物における漏洩部から漏洩する気体の超音波漏洩音、及び前記漏洩部の方向から伝播する周囲の騒音を検出して主音波信号を出力する工程と、

周波数分析部において、前記主音波信号に対して周波数分析を行って、主音響スペクトラムを出力する工程と、

漏洩音抽出部において、前記主音響スペクトラムに含まれる周囲の騒音成分を減少させて前記超音波漏洩音を抽出して、計測音圧を取得する工程と、

漏洩量算出部において、前記主音響検出器から前記漏洩部近傍までの検体距離を取得して、当該検体距離及び前記計測音圧を用いて、前記超音波漏洩音の発生音圧を算出する工程と、

を有する漏洩検出方法。

【請求項 10】

前記漏洩音抽出部は、40kHz～150kHzの間の超音波漏洩音を抽出する工程を含む請求項 9 に記載の漏洩検出方法。

【請求項 11】

漏洩する気体の密度及び気体の音速を含む検出環境に応じて決定される環境定数を取得する工程と、

前記漏洩量算出部において、前記発生音圧及び環境定数に基づいて漏洩部における気体の漏洩量を算出する工程を含む請求項 10 に記載の漏洩検出方法。

【請求項 12】

副音響検出器において、前記主音響検出器の近傍に配置され、前記漏洩部の方向から伝播する周囲の騒音を検出して副音波信号を出力する工程を有し、

前記周波数分析部は、前記主音波信号及び前記副音波信号に対して周波数分析を行って、主音響スペクトラム及び副音響スペクトラムを出力する工程を有し、

前記漏洩音抽出部は、前記主音響スペクトラム及び前記副音響スペクトラムを用いて、前記主音響スペクトラムに含まれる周囲の騒音成分を減少させて前記超音波漏洩音を抽出して、計測音圧を取得する工程を有する請求項 9 乃至 11 のいずれかに記載の漏洩検出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検査物の機器から漏洩する気体を検出する漏洩検出装置及び漏洩検出方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、気体の漏洩試験方法として、石鹼水法やガス検知法、超音波検知法、その他の試験方法が知られている。

【0003】

石鹼水法は、被検査物の内部に空気圧を加えた後に、被検査物の外側に石鹼水を塗ることによって生ずる石鹼水の泡の膨らみを観察して、気体の漏洩を判別する方法である。石鹼水法は、液体を塗布することができない素材、高温、低温の検体には適用することができない。また、検査後に洗浄が必要になることから、洗浄を行うことができない検体にも、適用することができない。

【0004】

ガス検知法の一例として、比較的重いガスを注入しておき、ガスの漏れを水銀などの触媒を用いて質量分析を行う方法が知られている。

【0005】

ガス検知法は、微小漏洩に対する検出に適するものの、計測レンジが狭いために、検体に対する適用範囲が狭いという問題がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 6 】

超音波検知法は、気体が被検査物から漏洩する際に発生する超音波を検出する方法である。超音波検知法は、計測レンジの下限が高いことが短所となっている。

## 【 0 0 0 7 】

被検査物の周囲では、人の活動に伴って衝撃音や摩擦音に起因する超音波が発生しているために、検出すべき超音波が、これらの騒音に埋もれてしまう可能性が高い。また、超音波検知法では、流量の定量的評価を行うことができなかった。

## 【 0 0 0 8 】

特許文献 1 には、漏洩量測定装置が開示されている。特許文献 1 に記載されている漏洩量測定装置は、映像観測装置と、音響計測装置と、特徴量抽出装置と、漏洩量に関するデータベースと、漏洩量検索装置とを備えている。

10

## 【 0 0 0 9 】

特許文献 1 に記載されている前記映像観測装置は、漏洩流体の映像を観測する。前記音響計測装置は、漏洩流体の音響を計測する。前記特徴量抽出装置は、映像観測装置および音響計測装置の出力から漏洩流体の特徴量を抽出する。前記漏洩量検索装置は、抽出された一つ又は複数の特徴量によって、流体圧力および温度、漏洩媒体の相状態、漏洩部の面積および形状毎に作成した逐次の漏洩量に関するデータベースを検索して漏洩量を求める。更に前記漏洩量検索装置は、漏洩流体の漏洩量と漏洩時間とから漏洩事象による全漏洩量を求め、逐次の漏洩量、漏洩事象による全漏洩量、漏洩部の面積および形状をモニタ表示可能に構成している。

20

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 1 0 】

【 特許文献 1 】 特許第 4 1 7 5 7 3 2 号 公 報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 1 1 】

本発明の目的は、組み立てた状態の被検査物の外部から気体の漏洩を検出することが可能な漏洩検出装置、及び漏洩検出方法を提供することである。

## 【 課題を解決するための手段 】

30

## 【 0 0 1 2 】

以下に、（発明を実施するための形態）で使用される番号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号は、（特許請求の範囲）の記載と（発明を実施するための形態）との対応関係を明らかにするために付加されたものである。ただし、それらの番号を、（特許請求の範囲）に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

## 【 0 0 1 3 】

本発明による漏洩検出装置は、主音響検出器（12m）と、周波数分析部（24）と、漏洩音抽出部（28）と、漏洩量算出部（32）を備える。前記主音響検出器（12m）は、被検査物における漏洩部（8）から漏洩する気体の超音波漏洩音（Ls）、及び前記漏洩部（8）の方向から伝播する周囲の騒音を検出して主音波信号（Sm）を出力する。前記周波数分析部（24）は、前記主音波信号（Sm）に対して周波数分析を行って、主音響スペクトラム（Fm）を出力する。前記漏洩音抽出部（28）は、前記主音響スペクトラム（Fm）に含まれる周囲の騒音成分を減少させて前記超音波漏洩音（Ls）を抽出して、計測音圧（SPL）を取得する。前記漏洩量算出部（32）は、前記主音響検出器（12m）から前記漏洩部（8）近傍までの検体距離（r）を取得して、当該検体距離（r）及び前記計測音圧（SPL）を用いて、前記超音波漏洩音（Ls）の発生音圧を算出する。

40

## 【 0 0 1 4 】

前記漏洩量算出部（32）は、漏洩する気体の密度及び気体の音速を含む検出環境に

50

じて決定される環境定数 (  $b$  ) を取得する。更に前記漏洩量算出部 ( 32 ) は、前記発生音圧 (  $PWL$  ) 及び環境定数 (  $b$  ) に基づいて、漏洩部における気体の漏洩量 (  $F$  ) を算出する。

【 0015 】

本発明による漏洩検出装置は、上記構成に加えて、漏洩する気体の密度及び気体の音速を含む検出環境に応じて決定される環境定数 (  $b$  ) を記録するデータベース ( 36 ) を備える。前記漏洩量算出部 ( 32 ) は、前記データベース ( 36 ) から環境定数 (  $b$  ) を取得して、漏洩部における気体の漏洩量 (  $F$  ) を算出する。

【 0016 】

また、本発明による漏洩検出装置は、前記漏洩部 ( 8 ) と主音響検出器 ( 12m ) とを結ぶ直線と平行、且つ主音響検出器 ( 12m ) の近傍に配置され、前記主音響検出器 ( 12m ) に到達する周囲の騒音を遮る音響シールド ( 16 ) を備える。

10

【 0017 】

前記音響シールド ( 16 ) は、鋼板や銅板、アルミニウム板等の金属板又は樹脂板から構成される基材 ( 14 ) を含み、前記基材 ( 14 ) における前記主音響検出器 ( 12m ) 側の表面に、樹脂、スポンジ等の吸音材 ( 15 ) を配置する。

【 0018 】

前記漏洩音抽出部 ( 28 ) は、40kHz ~ 150kHz の間の超音波漏洩音 (  $Ls$  ) を抽出する。

【 0019 】

前記主音響検出器 ( 12m ) から前記漏洩部 ( 8 ) 近傍までの前記検体距離 (  $r$  ) に関する信号を検出して出力する測距センサ ( 18 ) と、前記測距センサ ( 18 ) から取得した前記検体距離 (  $r$  ) に関する信号に基づいて、前記検体距離 (  $r$  ) を算出して出力する距離算出部 ( 26 ) とを備え、前記漏洩量算出部 ( 32 ) は、前記距離算出部 ( 26 ) にて算出した前記検体距離 (  $r$  ) を取得する。

20

【 0020 】

また、前記主音響検出器 ( 12m ) の近傍に配置され、前記漏洩部 ( 8 ) の方向から伝播する周囲の騒音を検出して副音波信号 (  $Ss$  ) を出力する副音響検出器 ( 12s ) を備え、前記音響シールド ( 16 ) は、少なくとも前記主音響検出器 ( 12m ) と前記副音響検出器 ( 12s ) との間に配置され、前記副音響検出器 ( 12s ) に対する前記超音波漏洩音 (  $Ls$  ) の到達を遮る。前記周波数分析部 ( 24 ) は、前記主音波信号 (  $Sm$  ) 及び前記副音波信号 (  $Ss$  ) に対して周波数分析を行って、主音響スペクトラム (  $Fm$  ) 及び副音響スペクトラム (  $Fs$  ) を出力する。前記漏洩音抽出部 ( 28 ) は、前記主音響スペクトラム (  $Fm$  ) 及び前記副音響スペクトラム (  $Fs$  ) を用いて、前記主音響スペクトラム (  $Fm$  ) に含まれる周囲の騒音成分を減少させて前記超音波漏洩音 (  $Ls$  ) を抽出して、計測音圧 (  $SPL$  ) を取得する。

30

【 発明の効果 】

【 0021 】

本発明によれば、組み立てた状態の被検査物の外部から気体の漏洩を検出することができる。また、気体の漏洩量を検出することが可能となる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0022 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る漏洩検出装置の概略構成を説明する外観斜視図である。

【 図 2 】 図 2 は、本発明の第 1 の実施形態に係る漏洩検出装置の構成及び漏洩検出方法を説明する図である。

【 図 3 】 図 3 は、漏洩音抽出部における超音波漏洩音の抽出処理例を説明する図である。

【 図 4 】 図 4 は、本発明の第 2 の実施形態に係る音響検出部の構成を説明する図である。

【 図 5 】 図 5 は、本発明の第 3 の実施形態に係る漏洩検出装置の構成及び漏洩検出方法を説明する図である。

50

【図 6】図 6 は、漏洩音抽出部における超音波漏洩音の抽出処理例を説明する図である。

【図 7】図 7 は、本発明の第 4 の実施形態に係る音響検出部の構成を説明する図である。

【図 8】図 8 は、本発明の第 5 の実施形態に係る音響検出部の構成を説明する図である。

【図 9】図 9 は、本発明の第 6 の実施形態に係る漏洩検出装置の構成及び漏洩検出方法を説明する図である。

【図 10】図 10 は、本発明の第 7 の実施形態に係る音響検出部の構成を説明する図である。

【図 11】図 11 は、本発明の第 8 の実施形態に係る音響検出部の構成を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

添付図面を参照して、本発明による漏洩検出装置及び漏洩検出方法を実施するための形態を、以下に説明する。

【0024】

(第 1 の実施形態)

図 1 を参照して、被検査物 6 における漏洩部 8 から気体の漏洩を検出する漏洩検出装置について説明する。本発明では、被検査物 6 の内部に予め高圧の気体を封入しておき、主音響検出器 12 m を用いて漏洩部 8 を検出すると共に、漏洩量  $F$  を算出する。なお、検査用の気体として、例えばヘリウムガス等の気体を用いることができる。

【0025】

本発明に係る漏洩検出装置は、音響検出部 10 と、処理部 20 と、表示・出力部 60 とを備えている。音響検出部 10 は、漏洩部 8 から発せられる超音波漏洩音  $L_s$  及び漏洩部 8 の方向から伝播する周囲の騒音を検出して主音波信号  $S_m$  を出力する。処理部 20 は、音響検出部 10 から取得した主音波信号  $S_m$  に対して周波数分析を行って、気体の漏洩の有無や、漏洩している気体の流量を表す漏洩量  $F$  を算出する。表示・出力部 60 は、気体の漏洩の有無(漏洩検出判定  $L_e$ )や漏洩量  $F$ 、漏洩部 8 から音響検出部 10 までの検体距離  $r$ 、その他の情報を表示する。

【0026】

図 1 に示す音響検出部 10 は、主音響検出器 12 m と、音響シールド 16 と、測距センサ 18 とを備えている。主音響検出器 12 m は、漏洩部 8 から発せられる超音波漏洩音  $L_s$  及び漏洩部 8 の方向から伝播する周囲の騒音を検出して、主音波信号  $S_m$  に変換して出力する。

【0027】

音響シールド 16 は、漏洩部 8 と主音響検出器 12 m とを結ぶ直線と平行、且つ主音響検出器 12 m の近傍に配置される。音響シールド 16 は、周囲の騒音源から主音響検出器 12 m に到達する超音波の騒音を遮るものである。測距センサ 18 は、主音響検出器 12 m から、被検査物 6 における漏洩部 8 近傍までの検体距離  $r$  に関する信号を検出して出力する。主音響検出器 12 m として、例えば指向性を有する超音波マイクロフォンを用いることができる。

【0028】

被検査物 6 の漏洩部 8 から発せられる超音波漏洩音  $L_s$  の主な周波数帯は、40 ~ 150 kHz の超音波である。従って、超音波漏洩音  $L_s$  の波長は 8.25 ~ 2.2 mm 程度となるために、音響シールド 16 端部における回折は生じにくい。従って、音響シールド 16 を配置することによって、漏洩部 8 以外から発せられている超音波の騒音に対する遮音を効果的に行うことができる。これにより、漏洩部 8 の検出や漏洩量  $F$  の算出精度を向上させることができる。なお、主音響検出器 12 m による超音波検出の指向性が強い場合には、音響シールド 16 の配置を省略することができる。

【0029】

次に、図 2 を参照して、音響検出部 10 及び処理部 20 の構成とその機能について説明する。図 2 に示す音響検出部 10 の中央部には、漏洩部 8 の方向から伝播する音波を取得

10

20

30

40

50

する主音響検出器 12 m が配置されている。主音響検出器 12 m の音響検出方向は、漏洩部 8 の方向が最大利得となるように走査して、検出方向を決定する。図 2 に示す例では、漏洩部 8 と主音響検出器 12 m とを結ぶ直線方向を X 方向と定義し、X 方向に対して直角な方向を Y 方向と定義する。

【0030】

主音響検出器 12 m の近傍の両脇（図 2 に示す + Y 方向及び - Y 方向）には、板状の音響シールド 16 がそれぞれ X 方向と平行に配置されている。音響シールド 16 の基材 14 は、漏洩部 8 から発せられる超音波漏洩音  $L_s$  を反射せずに吸収する素材を含むことが好ましい。この素材として、鋼板や銅板、アルミニウム板等の金属板や、樹脂板を用いることができる。図 2 に示す実施形態では、更に吸音性や制振性を向上させるために、音響検出器側の表面に、樹脂、スポンジ等の吸音材 15 を配置して、主音響検出器 12 m に対する超音波の反射を低減させている。

10

【0031】

図 2 に示すように、被検査物 6 の漏洩部 8 から発せられた超音波漏洩音  $L_s$  の一部は - X 方向に伝播してゆき、主音響検出器 12 m に到達して主音波信号  $S_m$  に変換される。しかし、漏洩部 8 の周囲に存在している騒音源 NE から放射される騒音は、音響シールド 16 に遮音されて主音響検出器 12 m には直接到達することができない。

【0032】

音響検出部 10 に配置されている測距センサ 18 は、漏洩部 8 から主音響検出器 12 m までの検体距離  $r$  を精度良く測定するために、主音響検出器 12 m の近傍に配置することが好ましい。測距センサ 18 として、超音波測距センサ、三角測量式光センサ、光波測距儀、電波測距儀、静電容量センサ、その他のセンサを用いることができる。

20

【0033】

図 2 に示す処理部 20 は、増幅器 22 と、周波数分析部 24 と、距離算出部 26 と、漏洩音抽出部 28 と、漏洩量算出部 32 と、データベース 36 とを備えている。増幅器 22 は、主音響検出器 12 m から取得した音波信号に対して増幅やフィルタリング等の信号処理を行って、処理後の主音波信号  $S_m$  を出力する。

【0034】

周波数分析部 24 は、主音波信号  $S_m$  に対して周波数分析を行って、周波数帯域  $S_f$  毎の主音響スペクトラム  $F_m$ （計測音圧の一形態）を出力する。主音響スペクトラム  $F_m$  は、周波数帯域  $S_f$  毎のパワースペクトラム又はリニアスペクトラムであり、FFT 演算（高速フーリエ演算）やフィルタリングの手法を用いて取得することができる。FFT の時間窓として、ハニング、矩形等を用いることができ、サンプリング時間を長く設定することによって、単発的な騒音の影響を減少させることができる。

30

【0035】

図 2 に示す距離算出部 26 は、測距センサ 18 から取得した信号に基づいて、主音響検出器 12 m から漏洩部 8 近傍までの検体距離  $r$  を算出して出力する。また、検体距離  $r$  に関する情報は、利用者が入力部 38 を操作して入力することもできる。

【0036】

漏洩音抽出部 28 は、主音響スペクトラム  $F_m$  を入力して、それぞれの周波数帯域  $S_f$  毎の音響スペクトラム  $S_p$  に対してゲインを設定して、主音響スペクトラム  $F_m$  に含まれる周囲の騒音成分を減少させて、超音波漏洩音  $L_s$  を抽出する処理を行う。

40

【0037】

漏洩音抽出部 28 における超音波漏洩音  $L_s$  の抽出処理の一例を、図 3 を用いて説明する。図 3 に示すように、漏洩音抽出部 28 では、周波数分析部 24 から主音響スペクトラム  $F_m$  を取得している。なお、同図に示す周波数帯域  $S_f$  は、それぞれの音響スペクトラム  $S_p$  の周波数  $f$  の分解能に相当する。また、同図に示す漏洩音域  $B_f$  は、40 ~ 150 kHz の範囲内におけるいずれかの音域である。

【0038】

主音響スペクトラム  $F_m$  には、漏洩部 8 の方向から伝播する周囲の雑音と、超音波漏洩

50

音 L s とが含まれている。被検査物 6 おける気体の漏洩を検出する際には、先ず利用者が漏洩部 8 の存在を知る必要がある。従って漏洩音抽出部 28 は、超音波漏洩音 L s の存在を通知するための漏洩検出判定 L e を検出する機能を有している。漏洩検出判定 L e は、主音響スペクトラム F m の漏洩音域 B f において、例えば音響スペクトラム S p の値が、所定の漏洩音閾値 P s を超えているか否かに基づいて判断することができる。

【 0 0 3 9 】

図 3 に示す実施形態では、漏洩音閾値 P s を超えている部分が存在しているので、漏洩音抽出部 28 は漏洩検出判定 L e の出力を決定する。この漏洩検出判定 L e は、表示・出力部 60 に伝達されて、利用者に通知される。

【 0 0 4 0 】

なお、漏洩音閾値 P s は、主音響検出器 12 m から被検査物 6 における漏洩部 8 までの検体距離 r に応じて変更することもできる。

【 0 0 4 1 】

超音波漏洩音 L s は超音波であるため、利用者が聞くことはできない。よって、超音波漏洩音 L s が放射されていたとしても、利用者は漏洩部 8 の存在や漏洩部 8 の場所を特定することができない。従って、利用者が漏洩部 8 の存在を探る際には、例えば音響検出部 10 を伏角・方位角方向に走査しながら、漏洩検出判定 L e の存在を調査することによって行う。利用者が漏洩検出判定 L e の存在を確認した場合には、音響検出部 10 を漏洩部 8 に接近させて、漏洩部 8 の正確な位置や漏洩量を測定することができる。

【 0 0 4 2 】

また、図 3 に示すように、漏洩音抽出部 28 は、主音響スペクトラム F m に含まれる漏洩音域 B f の音域の超音波漏洩音 L s を抽出して、主音響スペクトラム F m に含まれる周囲の騒音成分を減少させて漏洩音響スペクトラム D f を生成する機能を備えている。また、漏洩音抽出部 28 は、漏洩音響スペクトラム D f の漏洩音域 B f における音響スペクトラム S p の総和（面積に相当する）、又は音響スペクトラム S p の最大値等に基づいて演算を行って計測音圧 S P L ( d B ) を取得して、漏洩量算出部 32 に出力することができる。

【 0 0 4 3 】

図 2 に示す漏洩量算出部 32 は、漏洩音抽出部 28 から入力した計測音圧 S P L と、距離算出部 26 等から入力した検体距離 r とを用いて、漏洩量 F を算出する処理を行う。以下、漏洩量 F の算出方法について、数式を用いて説明する。

【 0 0 4 4 】

（計測音圧 S P L と発生音圧 P W L との関係）

気体の漏洩部 8 における超音波漏洩音の発生音圧 P W L ( d B ) は、漏洩音抽出部 28 から入力した超音波漏洩音の計測音圧 S P L ( d B ) と、距離算出部 26 等から入力した検体距離 r ( m ) と、下記の（式 1）とを用いて算出することができる。

$$P W L = S P L + 10 \cdot \log ( 2 \times \quad \times r ^ 2 ) - 10 \cdot \log ( S ) \quad \dots ( 式 1 )$$

但し、

P W L : 漏洩部における超音波漏洩音の発生音圧 ( d B )

S P L : 主音響検出器による超音波漏洩音の計測音圧 ( d B )

r : 主音響検出器から漏洩部までの検体距離 ( m )

S : 主音響検出器及び副音響検出器における有感部面積 ( m<sup>2</sup> )

【 0 0 4 5 】

（発生音圧 P W L の計算式）

一方、気体の漏洩部 8 における超音波漏洩音の発生音圧 P W L は、下記の（式 2）を用いて算出することができる。

$$P W L = 10 \cdot \log \quad + 20 \cdot \log d + 80 \cdot \log V - 50 \cdot \log C + 74 \quad \dots$$

（式 2）

但し、

P W L : 漏洩部における超音波漏洩音の発生音圧 ( d B )

10

20

30

40

50

：噴出気体密度 (  $\text{Kg} / \text{m}^3$  )

d : 漏洩部直径 ( m )

V : 漏洩部における気体の噴出速度 (  $\text{m} / \text{s}$  )

C : 大気圧中における音速 (  $\text{m} / \text{s}$  )

【 0 0 4 6 】

( 漏洩部における気体の漏洩量 F の計算式 )

漏洩部 8 における気体の漏洩量 F は、下記の ( 式 3 ) を用いて算出することができる。

$$F = V \times \rho \times d^2 \quad \dots ( \text{式 3} )$$

但し、

F : 漏洩部における気体の漏洩量 (  $\text{m}^3 / \text{s}$  )

10

V : 漏洩部における気体の噴出速度 (  $\text{m} / \text{s}$  )

d : 漏洩部直径 ( m )

【 0 0 4 7 】

( 計算式の変形と発生音圧 P W L の算出 )

上記 ( 式 2 ) に ( 式 3 ) を代入すると、発生音圧 P W L を算出することができる。まず、上記 ( 式 3 ) は、以下のように変形することができる。

$$\begin{aligned} \log F &= \log ( V \times \rho \times d^2 ) \\ &= \log V + \log \rho + 2 \cdot \log d \quad \dots ( \text{式 4} ) \end{aligned}$$

上記 ( 式 4 ) を  $\log d$  について解くと、下記の ( 式 5 ) が得られる。

$$2 \cdot \log d = \log F - \log V - \log \rho \quad \dots ( \text{式 5} )$$

20

【 0 0 4 8 】

ここで、上記 ( 式 2 ) に ( 式 5 ) を代入すると、下記の ( 式 6 ) が得られる。

$$PWL = 10 \cdot \log \rho + 10 \cdot \log F - 10 \cdot \log V - 10 \cdot \log \rho + 80 \cdot \log V - 50 \cdot \log C + 74 \quad \dots ( \text{式 6} )$$

【 0 0 4 9 】

漏洩検出時において、被検査物 6 の内部に加える気体の圧力を  $0.2 \text{ MPa}$  以上に設定することによって、漏洩部 8 から噴出する気体の流速をチョーク流 ( 音速流 ) とすることができる。従って、漏洩部 8 における噴出速度 V (  $\text{m} / \text{s}$  ) として、大気圧中における音速 C (  $\text{m} / \text{s}$  ) を代入することによって、上記 ( 式 6 ) を下記の ( 式 7 ) のように簡略化することができる。

30

$$PWL = 10 \cdot \log F + ( 10 \cdot \log \rho - 20 \cdot \log C - 10 \cdot \log \rho + 74 ) \quad \dots ( \text{式 7} )$$

【 0 0 5 0 】

ここで、上記 ( 式 7 ) における (  $10 \cdot \log \rho - 20 \cdot \log C - 10 \cdot \log \rho + 74$  ) は、温度、気圧、使用気体の物性等の検出環境に応じて決定される定数となる。その定数を環境定数 b として下記の ( 式 8 ) に表す。

$$b = 10 \cdot \log \rho - 20 \cdot \log C - 10 \cdot \log \rho + 74 \quad \dots ( \text{式 8} )$$

但し、

b : 検出環境に応じて決定される環境定数

【 0 0 5 1 】

40

ここで、環境定数 b は、予め算出してデータベース 36 に記録しておくことができる。また、環境定数 b は、漏洩検出試験に用いる気体と同一の気体を用いると共に、同一温度、同一圧力の検出環境下で予め疑似漏洩試験を行って、データベース 36 に記録しておくこともできる。

【 0 0 5 2 】

( 気体の漏洩量の算出 )

上記 ( 式 7 ) に上記 ( 式 8 ) を代入し、 $\log F = X$  とすると、発生音圧 P W L は、下記の ( 式 9 ) によって算出することができる。

$$\begin{aligned} PWL &= 10 \cdot \log F + b \\ &= 10 \cdot X + b \quad \dots ( \text{式 9} ) \end{aligned}$$

50

但し、

P W L : 漏洩部における超音波漏洩音の発生音圧 ( d B )

X :  $\log F$  ( F は、漏洩部における気体の漏洩量 (  $m^3 / s$  ) )

b : 検出環境に応じて決定される環境定数 ( (式 8) を参照。 )

【 0 0 5 3 】

上記の (式 1) 及び (式 9) を用いることによって、計測音圧 S P L ( d B ) と検体距離 r ( m ) とから、漏洩部 8 における漏洩量 F の推定を行うことができる。また、漏洩音抽出部 2 8 において、取得した主音響スペクトラム F m に含まれる騒音成分を減少させることによって、非接触測定であること及び計測上限が高いという従来の超音波検知法の特徴を維持しつつ、計測下限を下げて検出に関する S / N 比を向上させることができる。

10

【 0 0 5 4 】

( 第 2 の実施形態 )

次に、図 4 を参照して、本発明に係る音響検出部 1 0 の他の実施形態について説明する。なお、図 1 及び図 2 に示した構成と同一の機能を有する構成については、同一の符号を付して、その説明を省略する。図 4 においては、測距センサ 1 8 の記載は省略してある。

【 0 0 5 5 】

図 2 に示した実施形態は、主音響検出器 1 2 m の近傍の両脇 ( + Y 方向及び - Y 方向 ) に板状の音響シールド 1 6 をそれぞれ配置した実施形態である。これに対し、図 4 に示す実施形態は、主音響検出器 1 2 m を、基材 1 4 に開設されている筒状の開口内に配置した実施形態である。基材 1 4 における筒状の開口内には、吸音材 1 5 を配置することができる。

20

【 0 0 5 6 】

図 4 に示す音響検出部 1 0 を用いることによって、主音響検出器 1 2 m における集音の指向性を向上させることができる。これにより、騒音成分を減少させる処理が容易となり、漏洩音響スペクトラム D f 及び漏洩量 F の S / N 比を向上させることができる。また、主音響検出器 1 2 m を、図 4 に示す X 方向に移動可能に構成することによって、漏洩部 8 までの検体距離 r に応じて指向性の調節を行うことが可能となる。

【 0 0 5 7 】

( 第 3 の実施形態 )

次に、図 5 を参照して、本発明に係る漏洩検出装置の他の実施形態について説明する。なお、図 1 及び図 2 に示した構成と同一の機能を有する構成については、同一の符号を付して、その説明を省略する。

30

【 0 0 5 8 】

図 2 に示した実施形態は、主音響検出器 1 2 m の近傍の両脇 ( + Y 方向及び - Y 方向 ) に 2 つの音響シールド 1 6 を配置した実施形態である。これに対し、図 5 に示す実施形態は、主音響検出器 1 2 m の - Y 方向に一つの副音響検出器 1 2 s を配置した実施形態である。主音響検出器 1 2 m と副音響検出器 1 2 s との間には、音響シールド 1 6 を配置してある。

【 0 0 5 9 】

図 5 に示す副音響検出器 1 2 s は、漏洩部 8 の方向から伝播する周囲の騒音を検出して副音波信号 S s を出力する。音響シールド 1 6 は、主音響検出器 1 2 m 及び副音響検出器 1 2 s の間、又はこれらの近傍に配置することによって、副音響検出器 1 2 s に向かう超音波漏洩音 L s の到達を遮る。主音響検出器 1 2 m 及び副音響検出器 1 2 s として、例えば指向性を有する超音波マイクロフォンを用いることができる。

40

【 0 0 6 0 】

主音響検出器 1 2 m は、超音波漏洩音 L s 及び漏洩部 8 の方向から伝播する周囲の騒音の双方を取得して主音波信号 S m に変換している。これに対して副音響検出器 1 2 s は、音響シールド 1 6 の存在によって超音波漏洩音 L s が遮られているために、漏洩部 8 の方向から伝播する周囲の騒音のみを取得して副音波信号 S s に変換する。

【 0 0 6 1 】

50

処理部 20 は、主音響検出器 12 m 及び副音響検出器 12 s から取得した主音波信号  $S_m$  及び副音波信号  $S_s$  を演算することによって、主音波信号  $S_m$  に含まれる騒音成分を低減させて、気体の漏洩判断や、漏洩している気体の漏洩量（気体の流量）の算出精度を向上させている。

【0062】

被検査物 6 の漏洩部 8 から発せられる超音波漏洩音  $L_s$  の主な周波数帯は、40 ~ 150 kHz の超音波である。従って、超音波漏洩音  $L_s$  の波長は短いめに、音響シールド 16 端部における回折は生じにくい。従って、音響シールド 16 を配置することによって、副音響検出器 12 s に対する遮音を効果的に行うことができる。また、音響シールド 16 の基材 14 は、漏洩部 8 から発せられる超音波漏洩音  $L_s$  を反射せずに吸収する素材を含むものであり、主音響検出器 12 m 及び副音響検出器 12 s に対する超音波の反射を低減させている。

10

【0063】

図 5 に示すように、被検査物 6 の漏洩部 8 から発せられた超音波漏洩音  $L_s$  の一部は -X 方向に伝播してゆき、主音響検出器 12 m に到達して主音波信号  $S_m$  に変換される。しかし、漏洩部 8 から発せられた超音波漏洩音  $L_s$  は、音響シールド 16 に遮音されて副音響検出器 12 s には直接到達することができない。

【0064】

図 5 に示す処理部 20 における増幅器 22 は、主音響検出器 12 m 及び副音響検出器 12 s から取得した音波信号に対して増幅やフィルタリング等の信号処理を行って、処理後の主音波信号  $S_m$  及び副音波信号  $S_s$  を出力する。

20

【0065】

処理部 20 における周波数分析部 24 は、主音波信号  $S_m$  及び副音波信号  $S_s$  に対して周波数分析を行って、周波数帯域  $S_f$  毎の主音響スペクトラム  $F_m$  及び副音響スペクトラム  $F_s$  を出力する。主音響スペクトラム  $F_m$  及び副音響スペクトラム  $F_s$  は、パワースペクトラム又はリアスペクトラムであり、FFT 演算（高速フーリエ演算）やフィルタリングの手法を用いて取得することができる。

【0066】

漏洩音抽出部 28 は、主音響スペクトラム  $F_m$  及び副音響スペクトラム  $F_s$  を入力して、それぞれの周波数帯域  $S_f$  毎の音響スペクトラム  $S_p$  に対してゲインを設定した後に、周波数帯域  $S_f$  毎に差分を演算する。このようにして、主音響スペクトラム  $F_m$  に含まれる周囲の騒音成分を減少させて、超音波漏洩音  $L_s$  を効果的に抽出する処理を行うことができる。

30

【0067】

漏洩音抽出部 28 では、先ず複数の副音響検出器 12 s を介して取得した副音響スペクトラム  $F_s$  に対してゲイン調整を行う。そして、その後にこれらの総和（総和副音響スペクトラム  $A F_s$ ）を算出する。例えば、図 5 に示すように、漏洩部 8 の近傍に存在している騒音源 NE から放射される騒音は、主音響検出器 12 m 及び副音響検出器 12 s で検出される。この場合には、主音響スペクトラム  $F_m$  及び副音響スペクトラム  $F_s$  のそれぞれの周波数帯域  $S_f$  毎の音響スペクトラム  $S_p$  について差分を演算することで、周囲の騒音成分を減少又はキャンセルさせることができる。

40

【0068】

次に、漏洩音抽出部 28 における超音波漏洩音  $L_s$  の抽出処理の一例を、図 6 を用いて説明する。図 6 に示すように、漏洩音抽出部 28 では、総和副音響スペクトラム  $A F_s$  と主音響スペクトラム  $F_m$  とを得ている。総和副音響スペクトラム  $A F_s$  は、超音波漏洩音  $L_s$  を含まない周囲の騒音の音響スペクトラム  $S_p$  であり、主音響スペクトラム  $F_m$  は、周囲の騒音と超音波漏洩音  $L_s$  を含む音響スペクトラム  $S_p$  である。

【0069】

なお、同図に示す周波数帯域  $S_f$  は、それぞれの音響スペクトラム  $S_p$  の周波数  $f$  の分解能に相当する。また、同図に示す漏洩音域  $B_f$  は、40 ~ 150 kHz の範囲内におけ

50

るいずれかの音域であり、漏洩音抽出部 28 は、この漏洩音域 B f の音域の超音波漏洩音 L s を抽出ことができる。

【0070】

主音響スペクトラム F m には、超音波漏洩音 L s が含まれている。被検査物 6 における気体の漏洩を検出する際には、先ず超音波漏洩音 L s の存在を利用者に通知するための漏洩検出判定 L e を検出する。そして、利用者に対して漏洩部 8 の存在を通知する。漏洩検出判定 L e は、主音響スペクトラム F m の漏洩音域 B f において、例えば音響スペクトラム S p の値が、所定の漏洩音閾値 P s を超えているか否かに基づいて判断することができる。

【0071】

図 6 に示す実施形態では、漏洩音閾値 P s を超えている部分が存在しているので、漏洩音抽出部 28 は漏洩検出判定 L e の出力を決定する。この漏洩検出判定 L e は、表示・出力部 60 に伝達されて、利用者に通知される。なお、漏洩音閾値 P s は、主音響検出器 12 m から被検査物 6 における漏洩部 8 までの検体距離 r に応じて変更することもできる。

【0072】

図 6 に示すように、漏洩音抽出部 28 では、主音響スペクトラム F m と総和副音響スペクトラム A F s とを用いて演算処理を行って、主音響スペクトラム F m に含まれる周囲の騒音成分を減少又はキャンセルさせる。このようにして、超音波漏洩音 L s の漏洩音響スペクトラム D f を抽出する。図 6 に示す実施形態では、各周波数帯域 S f 毎に主音響スペクトラム F m と総和副音響スペクトラム A F s との差を演算して、漏洩音響スペクトラム D f を取得している。

【0073】

更に漏洩音抽出部 28 では、漏洩音響スペクトラム D f の漏洩音域 B f における音響スペクトラム S p の総和、又は最大値等に基づいて演算を行って計測音圧 S P L ( d B ) を取得して、漏洩量算出部 32 に出力する。

【0074】

図 5 に示す漏洩量算出部 32 は、漏洩音抽出部 28 から入力した計測音圧 S P L と、距離算出部 26 等から入力した検体距離 r とを用いて、漏洩量 F を算出する処理を行う。漏洩量 F の算出方法については、前述した(式 1) ~ (式 9) を用いることができる。

【0075】

(第 4 の実施形態)

次に、図 7 を参照して、本発明に係る音響検出部 10 の他の実施形態について説明する。なお、図 1、図 2 及び図 5 に示した構成と同一の機能を有する構成については、同一の符号を付して、その説明を省略する。図 7 においては、測距センサ 18 の記載は省略してある。

【0076】

図 5 に示した実施形態は、主音響検出器 12 m と副音響検出器 12 s との間に板状の音響シールド 16 を一枚配置した実施形態である。これに対し、図 7 に示す実施形態は、主音響検出器 12 m 及び副音響検出器 12 s の両側に音響シールド 16 を配置した実施形態である。

【0077】

図 7 に示す音響検出部 10 を用いることによっても、図 5 に示した漏洩検出装置と同様の効果を得ることができる。また、主音響検出器 12 m 及び副音響検出器 12 s を、図 7 に示す X 方向に移動可能に構成することによって、漏洩部 8 までの検体距離 r に応じて指向性の調節を行うことが可能となる。

【0078】

(第 5 の実施形態)

次に、図 8 を参照して、本発明に係る音響検出部 10 の他の実施形態について説明する。なお、図 1、図 2 及び図 5 に示した構成と同一の機能を有する構成については、同一の符号を付して、その説明を省略する。図 8 においては、測距センサ 18 の記載は省略して

10

20

30

40

50

ある。

【0079】

図5に示した実施形態は、主音響検出器12mと副音響検出器12sとの間に板状の音響シールド16を一枚配置した実施形態である。これに対し、図8に示す実施形態は、主音響検出器12m及び副音響検出器12sを、基材14に開設されている筒状の開口内に配置した実施形態である。基材14における筒状の開口内には、吸音材15を配置することができる。

【0080】

図8に示す音響検出部10を用いることによっても、図5に示した漏洩検出装置と同様の効果を得ることができる。また、主音響検出器12m及び副音響検出器12sを、図8に示すX方向に移動可能に構成することによって、漏洩部8までの検体距離rに応じて指向性の調節を行うことが可能となる。

【0081】

(第6の実施形態)

次に、図9を参照して、本発明に係る音響検出部10の他の実施形態について説明する。なお、図1、図2及び図5に示した構成と同一の機能を有する構成については、同一の符号を付して、その説明を省略する。

【0082】

図5に示した実施形態は、主音響検出器12mの-Y方向に一つの副音響検出器12sを配置した実施形態である。これに対し、図9に示す実施形態は、主音響検出器12mの近傍の両脇(+Y方向及び-Y方向)に2つの副音響検出器12sをそれぞれ配置した実施形態である。

【0083】

図9に示すように、複数の副音響検出器12sを用いることによって、漏洩部8の周囲における騒音の検出をより確実に行うことができ、主音響スペクトラムFmに含まれる騒音成分を減少させて漏洩音響スペクトラムDf及び漏洩量FのS/N比を向上させることができる。

【0084】

なお、図9に示す実施形態では、漏洩部8よりも遙か遠方(X方向)に存在する騒音源から放射される騒音は、主音響検出器12m及び2つの副音響検出器12sによって検出される。従って、主音響検出器12mから取得した主音響スペクトラムFmのゲイン1に対して、2つの副音響検出器12sから取得した副音響スペクトラムFsのゲインを-1/2とすることによって、周囲の騒音成分を減少又はキャンセルさせることができる。

【0085】

(第7の実施形態)

次に、図10を参照して、本発明に係る漏洩検出装置の他の実施形態について説明する。なお、図1、図2及び図9に示した構成と同一の機能を有する構成については、同一の符号を付して、その説明を省略する。図10においては、測距センサ18の記載は省略してある。

【0086】

図9に示した実施形態は、主音響検出器12mの近傍の両脇(+Y方向及び-Y方向)に板状の音響シールド16をそれぞれ配置し、副音響検出器12sに対しては片側のみ音響シールド16を配置した実施形態である。これに対し、図10に示す実施形態は、副音響検出器12sの両側に音響シールド16を配置した実施形態である。図10に示す音響検出部10及び処理部20を用いることによっても、図9にて説明した漏洩検出装置と同様の効果を得ることができる。

【0087】

(第8の実施形態)

次に、図11を参照して、本発明に係る音響検出部10の他の実施形態について説明する。なお、図1、図2及び図9に示した構成と同一の機能を有する構成については、同一

10

20

30

40

50

の符号を付して、その説明を省略する。図 1 1 においては、測距センサ 1 8 の記載は省略してある。

【 0 0 8 8 】

図 9 に示した実施形態は、主音響検出器 1 2 m の近傍の両脇（+ Y 方向及び - Y 方向）に板状の音響シールド 1 6 をそれぞれ配置した実施形態である。これに対し、図 1 1 に示す実施形態は、主音響検出器 1 2 m 及び副音響検出器 1 2 s を、基材 1 4 に開設されている筒状の開口内に配置した実施形態である。基材 1 4 における筒状の開口内には、吸音材 1 5 を配置することができる。

【 0 0 8 9 】

図 1 0 に示す音響検出部 1 0 を用いることによって、副音響検出器 1 2 s における集音の指向性を向上させることができると共に、副音響検出器 1 2 s の指向性を主音響検出器 1 2 m の指向性と等しくすることができる。これにより、騒音成分を減少させる処理が容易となり、漏洩音響スペクトラム  $D f$  及び漏洩量  $F$  の  $S / N$  比を向上させることができる。

【 0 0 9 0 】

以上、実施の形態を参照して本発明による漏洩検出装置及び漏洩検出方法について説明したが、本発明による漏洩検出装置及び漏洩検出方法は上記実施形態に限定されない。上記実施形態に様々の変更を行うことが可能である。上記実施形態に記載された事項と上記他の実施形態に記載された事項とを組み合わせることが可能である。

【 0 0 9 1 】

また、本発明に係る漏洩検出装置及び漏洩検出方法は、ロケットエンジン用の機器や配管における気体の漏洩検出や、タービンエンジンやレシプロエンジン、各種プラント、その他における配管の漏洩検出に適用することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 2 】

6...被検査物

8...漏洩部

1 0...音響検出部

1 2 m...主音響検出器

1 2 s...副音響検出器

1 4...基材

1 5...吸音材

1 6...音響シールド

1 8...測距センサ

2 0...処理部

2 4...周波数分析部

2 6...距離算出部

2 8...漏洩音抽出部

3 2...漏洩量算出部

3 6...データベース

3 8...入力部

6 0...表示・出力部

b...環境定数

F...漏洩量

F m...主音響スペクトラム

F s...副音響スペクトラム

L e...漏洩検出判定

L s...超音波漏洩音

P W L...発生音圧

r...検体距離

10

20

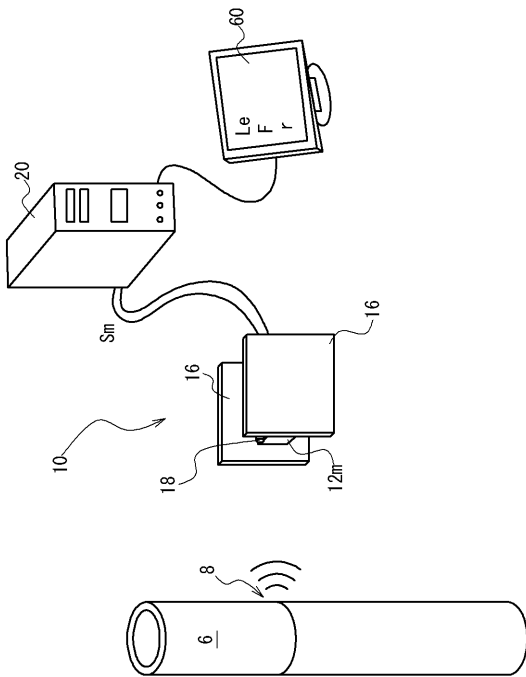
30

40

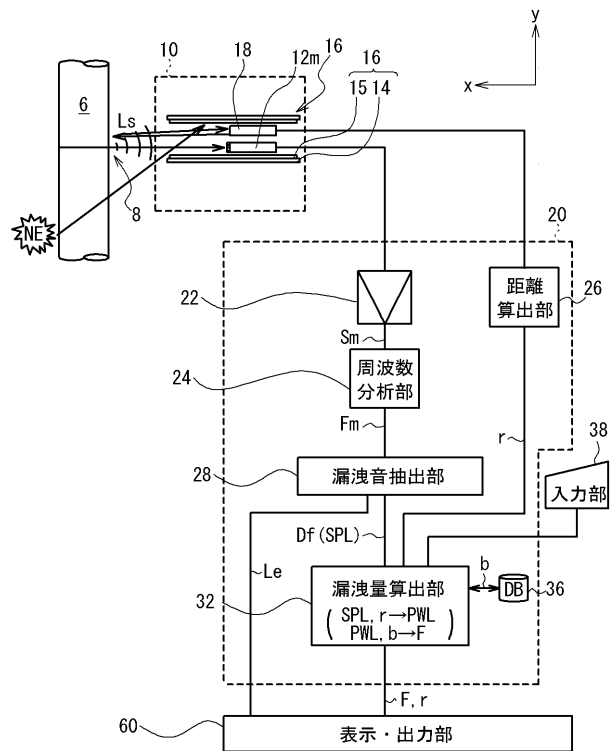
50

S m...主音波信号  
 S p...音響スペクトラム  
 S P L...計測音圧  
 S s...副音波信号

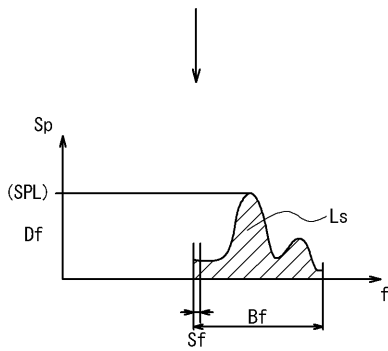
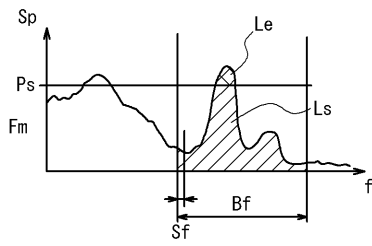
【 図 1 】



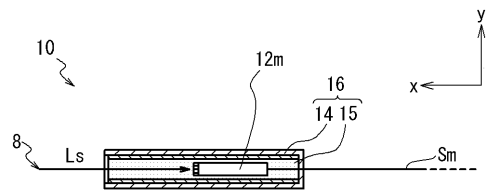
【 図 2 】



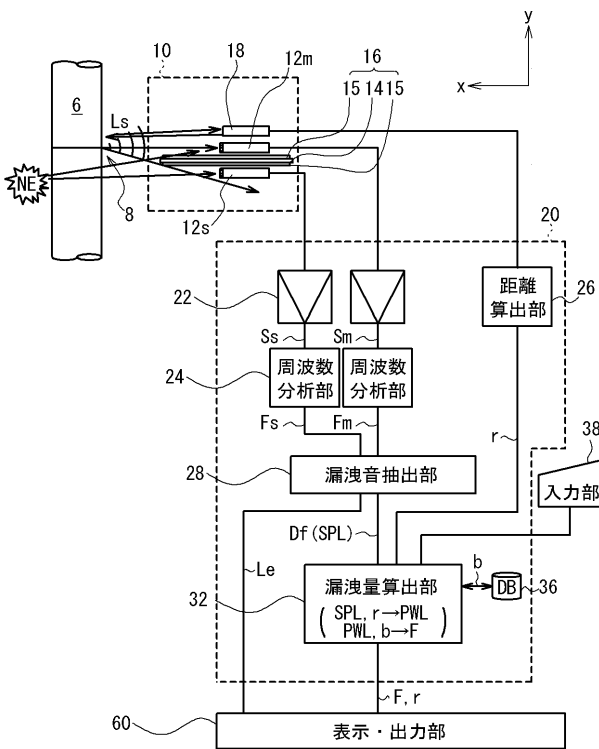
【 図 3 】



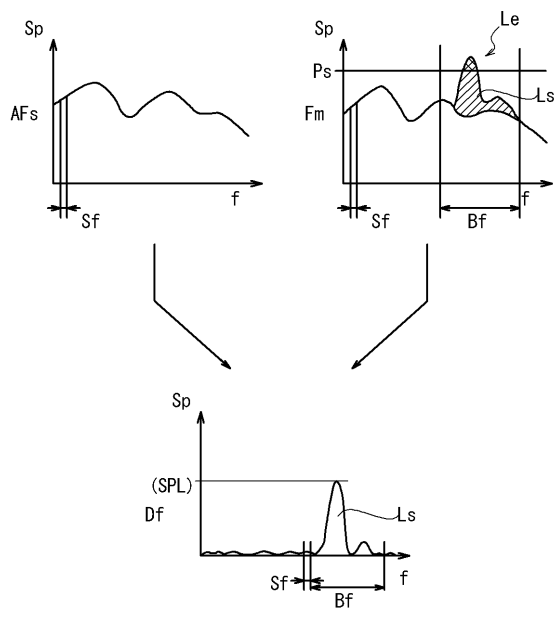
【 図 4 】



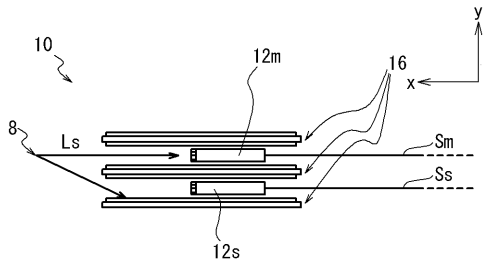
【 図 5 】



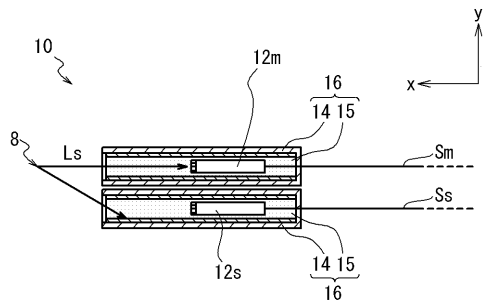
【 図 6 】



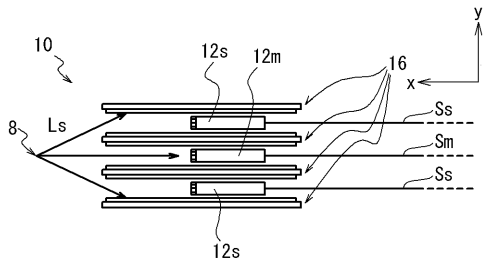
【 図 7 】



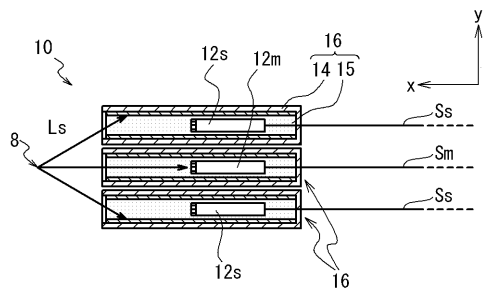
【 図 8 】



【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 9 】

