

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6180650号
(P6180650)

(45) 発行日 平成29年8月16日(2017.8.16)

(24) 登録日 平成29年7月28日(2017.7.28)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 5/02 (2006.01) GO 1 N 5/02 A

請求項の数 12 (全 23 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-550884 (P2016-550884)</p> <p>(86) (22) 出願日 平成28年3月23日 (2016.3.23)</p> <p>(86) 国際出願番号 PCT/JP2016/059084</p> <p>(87) 国際公開番号 W02016/199471</p> <p>(87) 国際公開日 平成28年12月15日 (2016.12.15)</p> <p>審査請求日 平成28年8月9日 (2016.8.9)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2015-115969 (P2015-115969)</p> <p>(32) 優先日 平成27年6月8日 (2015.6.8)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p> <p>早期審査対象出願</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号</p> <p>(74) 代理人 110001461 特許業務法人きさ特許商標事務所</p> <p>(72) 発明者 ▲高▼田 誠 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</p> <p>(72) 発明者 安永 望 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</p> <p>審査官 北川 創</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異物検知装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

配管に取り付けられ、電気エネルギーと機械エネルギーとを変換する電気機械変換素子と、

前記電気機械変換素子のインピーダンスを測定して、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する異物検知部と、を備え、

前記異物検知部は、

前記電気機械変換素子に電力を供給し、前記電気機械変換素子を振動周波数が共振周波数の状態で駆動させる電源と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子にかかる素子電圧を測定する電圧測定部と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子に流れる素子電流を測定する電流測定部と、

前記素子電圧と、前記素子電流とに基づいて、前記インピーダンスを演算するインピーダンス演算部と、

前記インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスに基づいて、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する検知部と、

前記インピーダンスの変化量と前記異物の付着量との関係を示すテーブルを記憶する記憶部と、

前記インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスの変化量と、前記記憶部

10

20

に記憶された前記テーブルとを照合して、前記異物の付着量を検知する照合部と、を有する

異物検知装置。

【請求項 2】

前記異物検知部は、

前記電気機械変換素子の温度を測定する温度測定部を更に有し、

前記記憶部は、

前記温度測定部において測定された温度毎に、前記インピーダンスの変化量と前記異物の付着量との関係を示すテーブルを記憶するものであり、

前記照合部は、

前記インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスの変化量と、前記記憶部に記憶された前記テーブルとを照合して、前記異物の付着量を検知するものである請求項 1 に記載の異物検知装置。

10

【請求項 3】

前記異物検知部は、

前記電圧測定部において測定された素子電圧と前記電流測定部において測定された素子電流との位相差を測定する位相測定部を更に有し、

前記インピーダンス演算部は、

前記素子電圧と、前記素子電流と、前記位相測定部において測定された位相差とに基づいて、前記インピーダンスを演算するものである請求項 1 又は 2 に記載の異物検知装置。

20

【請求項 4】

前記電気機械変換素子として、圧電素子が用いられる請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の異物検知装置。

【請求項 5】

前記電源は、

前記電気機械変換素子を、前記振動周波数が複数の共振周波数のうち最も低い共振周波数の状態で駆動させるものである請求項 4 に記載の異物検知装置。

【請求項 6】

前記インピーダンス演算部は、

前記電気機械変換素子のインピーダンス測定結果に基づいて、前記電気機械変換素子の共振周波数を測定するものである請求項 5 に記載の異物検知装置。

30

【請求項 7】

配管に取り付けられ、電気エネルギーと機械エネルギーとを変換する電気機械変換素子と、

前記電気機械変換素子のインピーダンスを測定して、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する異物検知部と、を備え、

前記異物検知部は、

前記電気機械変換素子に電力を供給し、前記電気機械変換素子を振動周波数が反共振周波数の状態で駆動させる電源と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子にかかる素子電圧を測定する電圧測定部と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子に流れる素子電流を測定する電流測定部と、

前記素子電圧と、前記素子電流とに基づいて、前記インピーダンスを演算するインピーダンス演算部と、

前記インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスに基づいて、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する検知部と、を有する

異物検知装置。

40

【請求項 8】

前記電源は、

50

前記電気機械変換素子を、前記振動周波数が複数の反共振周波数のうち最も低い反共振周波数の状態で駆動させるものである請求項 7 に記載の異物検知装置。

【請求項 9】

前記インピーダンス演算部は、

前記電気機械変換素子のインピーダンス測定結果に基づいて、前記電気機械変換素子の反共振周波数を測定するものである請求項 7 又は 8 に記載の異物検知装置。

【請求項 10】

配管に取り付けられ、電気エネルギーと機械エネルギーとを変換する電気機械変換素子と、

前記電気機械変換素子のインピーダンスを測定して、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する異物検知部と、を備え、

前記異物検知部は、

前記電気機械変換素子に電力を供給し、前記電気機械変換素子を振動周波数が共振周波数の状態で駆動させる電源と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子にかかる素子電圧を測定する電圧測定部と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子に流れる素子電流を測定する電流測定部と、

前記素子電圧と、前記素子電流とに基づいて、前記インピーダンスを演算するインピーダンス演算部と、

前記インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスに基づいて、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する検知部と、

前記電気機械変換素子の振動周波数のうち共振周波数及び反共振周波数に基づいて、電気機械結合係数を算出する算出部と、

前記算出部において算出された前記電気機械結合係数に基づいて、装置の故障を判断する判断部と、を有する

異物検知装置。

【請求項 11】

配管に取り付けられ、電気エネルギーと機械エネルギーとを変換する電気機械変換素子と、

前記電気機械変換素子のインピーダンスを測定して、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する異物検知部と、を備え、

前記異物検知部は、

前記電気機械変換素子に電力を供給し、前記電気機械変換素子を振動周波数が共振周波数の状態で駆動させる電源と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子にかかる素子電圧を測定する電圧測定部と、

前記電源から電力が供給されたときに前記電気機械変換素子に流れる素子電流を測定する電流測定部と、

前記素子電圧と、前記素子電流とに基づいて、前記インピーダンスを演算するインピーダンス演算部と、

前記インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスに基づいて、前記配管の内部に異物が付着したことを検知する検知部と、を有し、

実際にインピーダンスを測定するよりも前に、前記電気機械変換素子を取り外されて、前記異物検知部の両電極が開放状態及び短絡状態となっている場合に、インピーダンスを測定するものである

異物検知装置。

【請求項 12】

前記電源は、

前記電気機械変換素子を、位相差が 0 ° 近傍の振動周波数の状態で駆動させるものであ

る請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の異物検知装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、配管の内部に付着した異物を検知する異物検知装置に関する。

【背景技術】

【0002】

給湯器、温水器及び空気調和機等において、冷媒を用いたヒートポンプ式の熱交換器が使用されている。近年、熱交換器において、熱交換率が高いCO₂を冷媒として用いた熱交換システムが普及している。ヒートポンプ式給湯器等の給湯システムは、貯湯タンクに上水（水道水）を貯留し、貯湯タンク内に貯留した水を、熱交換システムに繰り返し循環させて、熱湯を得る。ここで、給湯器等の配管の内部には、使用する水の水質に起因するスケールと呼ばれる異物が発生し、配管の内面に堆積する。スケールは、配管の内部で剥離及び再付着され、配管の流路を閉塞する虞があり、この場合、給湯器等が故障する原因となる。このため、配管の内部に付着したスケールを検知して、スケールに起因する故障を未然に防ぐ必要がある。

10

【0003】

特許文献 1 には、配管の外部から内部に向けて照射した超音波の反射波を受信して、配管の内面に付着したスケールの厚さを測定する装置が開示されている。特許文献 1 は、配管の内部に水を浸し、配管の内壁とスケールとの境界における反射波と、スケールと水との境界における反射波とを受信することによって、スケール等の異物を検知して、異物の厚さを測定しようとするものである。また、特許文献 2 には、配管に取り付けられた超音波送受信ユニットの検出信号に基づいて、スケールの厚さを測定する装置が開示されている。特許文献 2 は、2 次以上の高次調波スペクトルの強さの変化を検知することによって、スケール等の異物を検知して、異物の厚さを測定しようとするものである。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 9 - 287937 号公報

【特許文献 2】特開 2007 - 010543 号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 が開示された測定装置は、配管の内部で何度も多重反射した超音波を受信するため、測定精度が低下する。更に、特許文献 2 が開示された測定装置は、高次調波スペクトルの強さの変化を測定する。このため、柔らかい異物のような音響インピーダンスが低い異物が配管の内部に付着しても、高次調波スペクトルの強さの差が出難い。このように、特許文献 2 は、音響インピーダンスが低い異物を検知し難い。

【0006】

本発明は、上記のような課題を解決するためになされたもので、高い測定精度で異物を検知することができる異物検知装置を提供するものである。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明に係る異物検知装置は、配管に取り付けられ、電気エネルギーと機械エネルギーとを変換する電気機械変換素子と、電気機械変換素子のインピーダンスを測定して、配管の内部に異物が付着したことを検知する異物検知部と、を備え、異物検知部は、電気機械変換素子に電力を供給し、電気機械変換素子を振動周波数が共振周波数の状態で駆動させる電源と、電源から電力が供給されたときに電気機械変換素子にかかる素子電圧を測定する電圧測定部と、電源から電力が供給されたときに電気機械変換素子に流れる素子電流を測定する電流測定部と、素子電圧と、素子電流とに基づいて、インピーダンスを演算する

50

インピーダンス演算部と、インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスに基づいて、配管の内部に異物が付着したことを検知する検知部と、インピーダンスの変化量と異物の付着量との関係を示すテーブルを記憶する記憶部と、インピーダンス演算部において演算されたインピーダンスの変化量と、記憶部に記憶されたテーブルとを照合して、異物の付着量を検知する照合部と、を有する。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、電気機械変換素子のインピーダンスに基づいて、配管の内部に異物が付着したことを検知する。電気機械変換素子のインピーダンスは、質量負荷によって変化する。このように、質量負荷によって異物を検知するため、高い精度で異物を検知することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施の形態1に係る異物検知装置100を示す模式図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る異物検知装置100を示す斜視図である。

【図3】本発明の実施の形態1における圧電素子12を示す模式図である。

【図4】本発明の実施の形態1における圧電素子12の印加電圧と振動振幅との関係を示すグラフである。

【図5】本発明の実施の形態1における圧電素子12の低周波での動作を可能とした構造を示す模式図である。

20

【図6】本発明の実施の形態1における圧電素子12の等価回路図である。

【図7】本発明の実施の形態1における圧電素子12のインピーダンスの周波数特性を示すグラフである。

【図8】本発明の実施の形態1における圧電素子12のアドミタンスの周波数特性を示すグラフである。

【図9】本発明の実施の形態1における圧電素子12の位相差の周波数特性を示すグラフである。

【図10】本発明の実施の形態1におけるインピーダンス Z を示すベクトル図である。

【図11】本発明の実施の形態1におけるスプリアスが発生したときの圧電素子12のインピーダンスの周波数特性を示すグラフである。

30

【図12】本発明の実施の形態1におけるスプリアスが発生したときの圧電素子12の位相差の周波数特性を示すグラフである。

【図13】本発明の実施の形態1における圧電素子12の質量負荷毎のインピーダンスの周波数特性を示すグラフである。

【図14】本発明の実施の形態1における圧電素子12の異物2の付着量とインピーダンスとの関係を示すグラフである。

【図15】本発明の実施の形態1における給湯器31への適用例1を示す回路図である。

【図16】本発明の実施の形態1における給湯器31への適用例2を示す回路図である。

【図17】本発明の実施の形態1における冷却器40への適用例を示す回路図である。

【図18】本発明の実施の形態1の第1変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。

40

【図19】本発明の実施の形態1の第2変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。

【図20】本発明の実施の形態1の第3変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。

【図21】本発明の実施の形態1の第4変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。

【図22】本発明の実施の形態2に係る異物検知装置200を示す模式図である。

【図23】本発明の実施の形態2における圧電素子12のインピーダンスの変化量と異物2の付着量との関係を示すグラフである。

50

【図 2 4】本発明の実施の形態 3 に係る異物検知装置 3 0 0 を示す模式図である。

【図 2 5】本発明の実施の形態 3 における給湯器 3 1 を示す回路図である。

【図 2 6】本発明の実施の形態 4 に係る異物検知装置 4 0 0 を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 0】

以下、本発明に係る異物検知装置及び異物検知方法の実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0 0 1 1】

実施の形態 1 .

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る異物検知装置 1 0 0 を示す模式図である。図 1 に基づいて、異物検知装置 1 0 0 について説明する。図 1 に示すように、異物検知装置 1 0 0 は、電気機械変換素子 4 と、異物検知部 6 とを備えている。電気機械変換素子 4 は、配管 1 に取り付けられ、電気エネルギーと機械エネルギーとを変換するものである。電気機械変換素子 4 として、圧電素子 1 2、水晶振動子又はフェライト振動子等が使用される。電気機械変換素子 4 と異物検知部 6 とは、信号線 5 によって接続されており、信号線 5 を介して、互いに信号の送受信が行われる。

10

【0 0 1 2】

図 2 は、本発明の実施の形態 1 に係る異物検知装置 1 0 0 を示す斜視図である。図 2 に示すように、異物検知装置 1 0 0 は、アタッチメント 2 0 を有しており、アタッチメント 2 0 によって、電気機械変換素子 4 である圧電素子 1 2 が配管 1 に取り付けられている。なお、圧電素子 1 2 は、電気機械変換素子 4 の一例である。本実施の形態 1 では、アタッチメント 2 0 は、直方体状に形成され圧電素子 1 2 に接続する部分と、直方体状に形成され配管 1 に接続する部分とで構成されている。圧電素子 1 2 の両端面は、振動面 1 3 となっており、いずれの振動面 1 3 にも、電源 1 0 (図 3 参照) が接続される電極 1 4 が設けられている。そして、圧電素子 1 2 に信号線 5 が取り付けられている。

20

【0 0 1 3】

図 3 は、本発明の実施の形態 1 における圧電素子 1 2 を示す模式図である。図 3 に示すように、本実施の形態 1 では、電気機械変換素子 4 として、圧電素子 1 2 が用いられる。圧電素子 1 2 は、例えば円柱状に形成されており、両端面が振動面 1 3 となっている。両端面には夫々電極 1 4 が設けられており、両電極 1 4 間に電線 1 1 を介して電源 1 0 から交流電圧が印加される。

30

【0 0 1 4】

図 4 は、本発明の実施の形態 1 における圧電素子 1 2 の印加電圧と振動振幅との関係を示すグラフである。図 4 において、横軸を印加電圧とし、縦軸を振動振幅とする。図 4 に示すように、印加電圧が変化すると、振動振幅も変化しており、圧電素子 1 2 は、交流電圧が印加されることによって、収縮運動し、振動面 1 3 が振動して、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する。これは、ピエゾ効果と呼ばれている。このとき、圧電素子 1 2 の振動面 1 3 の振動周波数は、交流電圧の周波数によって決定される。一方、圧電素子 1 2 の振動面 1 3 に外力が加わり、振動面 1 3 が振動すると、圧電素子 1 2 に起電力が発生する。これは、逆ピエゾ効果と呼ばれている。このとき、圧電素子 1 2 に発生する起電力の周波数は、圧電素子 1 2 の振動面 1 3 の振動周波数によって決定される。

40

【0 0 1 5】

ここで、圧電素子 1 2 は、広く普及しており、材料として、チタン酸ジルコン酸鉛、又は、樹脂であるポリフッ化ビニリデン (P V D F) 等が用いられる。圧電素子 1 2 は、耐熱温度が 8 0 以上であるため、高温の環境下においても使用することができる。また、圧電素子 1 2 は、小型で取扱いが容易であり、温度特性及び電気的特性が優れている。

【0 0 1 6】

圧電素子 1 2 が最も振動し易い周波数は、圧電素子 1 2 の寸法によって決定される。圧電素子 1 2 の伸縮方向の厚さを T 、最も振動し易い周波数を f 、圧電素子 1 2 内を通過する音の速さを C とすると、下記式 (1) が成立する。なお、 N は自然数である。

50

【 0 0 1 7 】

[数 1]

$$f = C / (2 T) \times N \cdots (1)$$

【 0 0 1 8 】

圧電素子 1 2 は、最も振動し易い周波数 f で駆動されると、電気エネルギーから機械（振動）エネルギーに変換されるエネルギー変換効率が高くなる。ここで、最も振動し易い周波数 f は、共振周波数と呼称される。上記式（1）において、 $N = 1$ のときの共振周波数 f は、基本周波数と呼称される。 $N = 1$ のとき、圧電素子 1 2 の厚さ T と基本周波数の半波長が同じ長さとなり、電気エネルギーから機械エネルギーへのエネルギー変換効率が最大となる。このため、圧電素子 1 2 の振動周波数は、 $N = 1$ として設定されることが好ましい。

10

【 0 0 1 9 】

なお、厚さ T が 2 0 m m を超える圧電素子 1 2 を製造することは容易ではない。また、圧電素子 1 2 が厚くなると、圧電素子 1 2 自体の重量が重くなり、取り扱い難い。更に、圧電素子 1 2 が厚くなると、振動するためには多くの電気エネルギー、即ち高電圧が必要となる。このため、圧電素子 1 2 の厚さ T は、2 0 m m 以下とすることが好ましい。

【 0 0 2 0 】

図 5 は、本発明の実施の形態 1 における圧電素子 1 2 の低周波での動作を可能とした構造を示す模式図であり、この構造は、ランジュバン型振動子又はボルト締めランジュバン型振動子と呼ばれる。これにより、低電圧で効率良く振動を発生させることができる。

20

【 0 0 2 1 】

図 5 に示すように、圧電素子 1 2 の両端面を 2 個の金属ブロック 1 5 及び金属ブロック 1 6 で挟むことによって、低電圧で、低周波数の振動を発生させることができる。この場合、金属ブロック 1 5 の一端面及び金属ブロック 1 6 の他端面が振動面 1 3 となる。1 個の金属ブロック 1 5 の一端部からもう 1 個の金属ブロック 1 6 の他端部までの長さを L 、最も振動し易い周波数を f 、金属ブロック 1 5 内及び金属ブロック 1 6 内を通過する音の速さを C' とすると、下記式（2）が成立する。なお、 N は自然数である。

【 0 0 2 2 】

[数 2]

$$f = C' / (2 L) \times N \cdots (2)$$

30

【 0 0 2 3 】

ここで、最も振動し易い周波数 f は、共振周波数である。即ち、長さ L を調整することによって、共振周波数を調整することができ、また、長さ L を長くすることによって低周波数化することもできる。長さ L を長くしても、圧電素子 1 2 の厚さ T は不変であるため、高電圧化することもない。即ち、低電圧で、低周波数の振動を発生させることができる。なお、長さ L を過剰に長くすると、周波数が過剰に低くなり、可聴領域である 2 0 k H z を下回り、騒音となる虞がある。また、長さ L を過剰に長くすると、異物検知装置 1 0 0 の大きさが大きくなり、取扱い性が悪化する。よって、2 0 k H z 以上の周波数を維持するために、長さ L を 2 0 c m 以下とすることが好ましい。

40

【 0 0 2 4 】

なお、式（2）に示すように、共振周波数 f は、音の速さ C' に比例し、長さ L に反比例する。よって、低周波数の振動を発生させるためには、音速が低い材料を用いること及び長さが長い材料を用いることが好ましい。ここで、金属の音速について例示する。アルミニウムの音速は 6 3 2 0 m / s、黄銅の音速は 4 4 3 0 m / s、銅の音速は 4 6 6 0 m / s である。なお、本実施の形態 1 では、圧電素子 1 2 の両端面が金属ブロック 1 5 で挟まれているが、プラスチックのブロックで挟まれてもよい。ここで、プラスチックの音速について説明する。アクリルの音速は 2 7 3 0 m / s、エポキシの音速は 3 0 7 0 m / s、ガラス繊維の音速は 2 7 4 0 m / s である。

【 0 0 2 5 】

また、 $N = 1$ のとき、圧電素子 1 2 の厚さ T と基本周波数の半波長が同じ長さとなり、

50

電気エネルギーから機械エネルギーへのエネルギー変換効率が最大となる。このため、圧電素子 1 2 の振動周波数は、 $N = 1$ として設定されることが好ましい。

【 0 0 2 6 】

圧電素子 1 2 は、周波数が高くなるほど、振動振幅を大きくするために必要なエネルギーが大きくなる。このため、圧電素子 1 2 の駆動周波数を低くして、少ない電気エネルギーで圧電素子 1 2 を駆動することが好ましい。この場合、周波数を 5 0 M H z 以下とすることが好ましい。

【 0 0 2 7 】

図 6 は、本発明の実施の形態 1 における圧電素子 1 2 の等価回路図である。図 6 に示すように、圧電素子 1 2 は、コンデンサ C_d 、抵抗 R_m 、コイル L_m 、コンデンサ C_m から構成される電氣的等価回路図に変換される。圧電素子 1 2 は、コンデンサ C_d と、直列接続された抵抗 R_m 、コイル L_m 及びコンデンサ C_m とが並列接続された回路で表現される。コンデンサ C_d は、圧電素子 1 2 の両電極 1 4 間の静電容量を示す。なお、圧電素子 1 2 は、圧電材料を 2 個の電極 1 4 で挟んだ構造であるため、コンデンサとみなすことができる。抵抗 R_m は、圧電素子 1 2 が振動するときにかかる負荷であり、機械抵抗と呼称される。抵抗 R_m 、コイル L_m 及びコンデンサ C_m は、圧電素子 1 2 の機械的な定数を電気回路素子に変換したものであり、圧電素子 1 2 の種類、寸法又は材質等によって決定される。

【 0 0 2 8 】

交流電圧が印加された場合、抵抗 R_m は電源 1 0 の周波数が変化しても不変であるが、コイル L_m 及びコンデンサ C_m は電源 1 0 の周波数が変化すると、夫々インピーダンスが変化する。ここで、インピーダンスとは、直流電圧が印加された場合の抵抗に相当する。このように、圧電素子 1 2 のインピーダンスは、電源 1 0 の周波数によって異なる。

【 0 0 2 9 】

図 7 は、本発明の実施の形態 1 における圧電素子 1 2 のインピーダンスの周波数特性を示すグラフである。図 7 において、横軸を周波数 f とし、縦軸をインピーダンス Z とする。交流電圧が印加された回路のインピーダンスは、直流電圧が印加された回路の抵抗に相当し、電流の流れ難さを示すものである。図 7 に示すように、インピーダンス Z は、周波数 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} において極小値を示す。即ち、周波数 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} において、電流は流れ易い。

【 0 0 3 0 】

このときの周波数 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} は、共振周波数と呼ばれる。 f_{11} を基本周波数とすると、 f_{21} は f_{11} の 2 倍の周波数、 f_{31} は f_{11} の 3 倍の周波数である。このように、共振周波数は、基本周波数の整数倍の周波数毎に現れる。これは、上記式 (1) において、圧電素子 1 2 の厚さ T と周波数 f の半波長の整数倍が一致するとき、圧電素子 1 2 が振動し易くなることによる。周波数 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} では、図 6 のコイル L_m 及びコンデンサ C_m による共振現象が起こる。これは、上記式 (1) で示す機械的共振現象であるといえる。

【 0 0 3 1 】

一方、図 7 に示すように、インピーダンス Z は、周波数 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} において極大値を示す。即ち、周波数 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} において、電流は流れ難い。このときの周波数 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} は、反共振周波数と呼ばれる。 f_{12} を基本周波数とすると、 f_{22} は f_{12} の 2 倍の周波数、 f_{32} は f_{12} の 3 倍の周波数である。このように、反共振周波数は、基本周波数の整数倍の周波数毎に現れる。周波数 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} では、図 6 のコイル L_m 、コンデンサ C_m 及びコンデンサ C_d による共振現象が起こる。これは、機械的共振現象と電氣的共振現象とが複合した共振現象であるといえる。

【 0 0 3 2 】

図 8 は、本発明の実施の形態 1 における圧電素子 1 2 のアドミタンスの周波数特性を示すグラフである。図 8 において、横軸を周波数 f とし、縦軸をアドミタンス Y とする。交

10

20

30

40

50

流電圧が印加された回路のアドミタンス Y は、直流電圧が印加された回路のコンダクタンスに相当し、電流の流れ易さを示すものである。図8に示すように、アドミタンス Y は、周波数 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} において極大値を示す。即ち、周波数 f_{11} 、 f_{21} 、 f_{31} において、電流は流れ易い。これは、図7と同様である。また、アドミタンス Y は、周波数 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} において極小値を示す。即ち、周波数 f_{12} 、 f_{22} 、 f_{32} において、電流は流れ難い。これは、図7と同様である。なお、インピーダンスとアドミタンスとは、逆数の関係にあるため、図8のグラフは、図7のグラフの上下方向を逆にしたものとなっている。

【0033】

上記のとおり、圧電素子12は、共振周波数において、電気エネルギーから機械エネルギーに変換される変換効率が最大となる。よって、圧電素子12は、共振周波数において、少ないエネルギーで振動する。このように、圧電素子12は、共振周波数において、電氣的エネルギーの微細な変化によって、振動振幅が変化し易い。このため、逆ピエゾ効果によって、振動振幅の変化にも反応し易く、圧電素子12の起電力が変化する。即ち、共振周波数又は反共振周波数では、図6の抵抗 R_m の変化によって、インピーダンスが変化し易い。このため、圧電素子12の振動面13に、振動を妨げようとする質量負荷が印加されると、図6の抵抗 R_m が増加し、インピーダンスが変化する。

【0034】

これは、共振周波数において顕著であり、電気エネルギーから振動エネルギーへの変換、又は、振動エネルギーから電気エネルギーへの変換が行われ易い。従って、変換された電気エネルギーによって、圧電素子12の電氣的特性であるインピーダンスが変化する。このように、振動面13に質量負荷が印加されることによって、共振周波数におけるインピーダンスの変化量が大きくなる。また、圧電素子12は、周波数が低いほど、少ない電気エネルギーで振動する。

【0035】

圧電素子12は、周波数が低いほど、電気エネルギーから振動エネルギーへの変換効率が低い。よって、圧電素子12は、複数の共振周波数のうち最も低い共振周波数において、振動を妨げようとする質量負荷に対するインピーダンスの変化量が最も大きくなる。なお、圧電素子12は、複数の反共振周波数のうち最も低い共振周波数においても、振動を妨げようとする質量負荷に対するインピーダンスの変化量が最も大きくなる。

【0036】

図9は、本発明の実施の形態1における圧電素子12の位相差の周波数特性を示すグラフである。図9において、横軸を周波数 f とし、縦軸を位相差とする。次に、共振周波数及び反共振周波数の求め方について説明する。図9に示すように、共振周波数及び反共振周波数において、圧電素子12にかかる電圧と圧電素子12に流れる電流との位相差は零である。即ち、共振周波数は、電源10の周波数を連続的に変化させて、圧電素子12のインピーダンスを連続的に測定したときに圧電素子12のインピーダンスが極小値を示し、且つ、電圧と電流との位相差が零となる周波数である。

【0037】

また、反共振周波数は、電源10の周波数を連続的に変化させて、圧電素子12のインピーダンスを連続的に測定したときに圧電素子12のインピーダンスが極大値を示し、且つ、電圧と電流との位相差が零となる周波数である。なお、共振周波数及び反共振周波数は、異物2が付着していない配管1に異物検知装置100が設置されたときに求められる。

【0038】

次に、異物検知部6について説明する。異物検知部6は、電気機械変換素子4のインピーダンスを測定するものであり、図1に示すように、電圧測定部6aと、電流測定部6bと、位相測定部6cと、インピーダンス演算部6dと、検知部6gと、電源6eとを有している。

【0039】

10

20

30

40

50

電圧測定部 6 a は、電源 6 e から電力が供給されたときに、電気機械変換素子 4 にかかる素子電圧を測定するものである。電流測定部 6 b は、電源 6 e から電力が供給されたときに、電気機械変換素子 4 に流れる素子電流を測定するものである。位相測定部 6 c は、電圧測定部 6 a において測定された素子電圧と電流測定部 6 b において測定された素子電流との位相差を測定するものである。

【 0 0 4 0 】

図 1 0 は、本発明の実施の形態 1 におけるインピーダンス Z を示すベクトル図である。インピーダンス演算部 6 d は、素子電圧と、素子電流と、位相測定部 6 c において測定された位相差とに基づいて、インピーダンスを演算するものである。電圧を V 、電流を I とすると、インピーダンス Z は、 $Z = V / I$ という数式から求められる。交流回路解析では、電圧 V 及び電流 I のいずれもが複素ベクトルとして扱われ、インピーダンス Z も複素ベクトルとなる。そして、インピーダンス Z は、図 1 0 に示すように、 $Z = R + i X$ で解析される。ここで、 i は虚数単位である。なお、インピーダンス Z の大きさ $|Z|$ は、 $|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$ という数式から求められる。また、電圧と電流との位相差 θ は、図 1 0 に示すように、 Z の R 成分と Z のベクトルとのなす角度である。

10

【 0 0 4 1 】

ここで、インピーダンス演算部 6 d は、インピーダンスを演算することに加え、電源 6 e の周波数を変更する毎にインピーダンスを演算することによって、共振周波数又は反共振周波数も測定する。配管 1 の内部に付着する異物 2 の種類等によっては、図 6 に示す抵抗 R_m の増加に加えて、コンデンサ C_m 及びコイル L_m も変化する。このため、測定されるインピーダンスの変化は、抵抗 R_m の変化分だけではなくコンデンサ C_m 及びコイル L_m の変化分も含まれる。従って、異物付着による質量負荷の変化分を精度良く測定することができない。このため、本実施の形態 1 は、共振周波数又は反共振周波数を測定して、インピーダンスを測定する周波数を共振周波数又は反共振周波数とする。これにより、インピーダンスの変化は、コンデンサ C_m 及びコイル L_m の変化分を含まず、抵抗 R_m の変化分となる。よって、異物付着による質量負荷、即ち抵抗 R_m を高精度に測定することができる。検知部 6 g は、インピーダンス演算部 6 d において演算されたインピーダンスに基づいて、配管 1 の内部に異物 2 が付着したことを検知するものである。電源 6 e は、電気機械変換素子 4 に電力を供給し、電気機械変換素子 4 を振動させるものである。

20

【 0 0 4 2 】

インピーダンス演算部 6 d は、位相測定部 6 c において測定された素子電圧と素子電流との位相差に基づいて、インピーダンスを演算する。このとき、図 2 に示す異物検知装置 1 0 0 のアタッチメント 2 0 の材料及び寸法等によっては、スプリアスと呼ばれる共振が発生する場合がある。スプリアスは、インピーダンスが演算されるときにノイズとなり、異物を検出する上での妨げとなる。

30

【 0 0 4 3 】

図 1 1 は、本発明の実施の形態 1 におけるスプリアスが発生したときの圧電素子 1 2 のインピーダンスの周波数特性を示すグラフである。図 1 1 において、横軸を周波数 (kHz) とし、縦軸をインピーダンスの大きさ (Ω) とする。図 1 2 は、本発明の実施の形態 1 におけるスプリアスが発生したときの圧電素子 1 2 の位相差の周波数特性を示すグラフである。図 1 2 において、横軸を周波数 (kHz) とし、縦軸を位相差 ($^\circ$) とする。図 1 1 に示すように、スプリアスが発生すると、本来の異物検知装置 1 0 0 の共振周波数 f_M とは異なる周波数 f_N において、インピーダンスが極小となる。しかしながら、図 1 2 に示すように、インピーダンスが極小となる周波数 f_N では、異物検知装置 1 0 0 の素子電圧と素子電流との位相差は 0° ではない。

40

【 0 0 4 4 】

そこで、本実施の形態 1 では、インピーダンス演算部 6 d が、位相差に基づいてインピーダンスを演算することによって、スプリアス等のノイズに起因する測定誤差を排除することができる。なお、付着する異物 2 の種類等によっては、図 6 に示す圧電素子 1 2 の等価回路のコイル L_m 及びコンデンサ C_m が変化する場合がある。このため、スプリアス等

50

によってインピーダンスの極小値が複数存在する場合、素子電圧と素子電流との位相差が、 0° に近い周波数が共振周波数とされる。また、スプリアス等によってインピーダンスの極大値が複数存在する場合、素子電圧と素子電流との位相差が、 0° に近い周波数が反共振周波数とされる。

【0045】

ここで、インピーダンスは、素子電圧と素子電流と位相差とに基づいて演算されているが、素子電圧と素子電流とに基づいて演算し、更に、インピーダンスに基づいて共振周波数を測定することもできる。しかし、圧電素子12においては、形状及び寸法等に起因してノイズ成分が発生する場合がある。ノイズが発生すると、本来の共振周波数とは異なる周波数で、インピーダンスが極小値を示す場合がある。このため、位相差を考慮せずにインピーダンスの大きさのみで共振周波数を求めようとすると、共振周波数が正確に把握することができ難い。よって、本実施の形態1では、位相測定部6cが位相差を測定することによって、共振周波数を正確に把握している。

10

【0046】

電圧測定部6a、電流測定部6b、位相測定部6c及び電源6eは、信号線5によって接続されている。電圧測定部6a、電流測定部6b及び位相測定部6cとインピーダンス演算部6dとは、伝送線6fによって接続されている。なお、インピーダンス演算部6dと検知部6gとは、伝送線6fによって接続されている。

【0047】

次に、配管1の内部に付着する異物2について説明する。配管1の内部には、使用する水の水質に起因するスケールと呼ばれる異物2が発生し、配管1の内面に堆積する。スケールは、配管1の内部で剥離及び再付着され、配管1の流路を閉塞する虞がある。なお、異物2は、スケールに限らない。異物2は、柔らかい異物であってもよい。

20

【0048】

次に、本実施の形態1に係る異物検知方法について説明する。まず、配管1に取り付けられ電気エネルギーと機械エネルギーとを変換する電気機械変換素子4に電源6eから電力が供給されたときに、電気機械変換素子4にかかる素子電圧と、電気機械変換素子4に流れる素子電流と、電気機械変換素子4にかかる素子電圧と電気機械変換素子4に流れる素子電流との位相差と、が測定される。その後、電気機械変換素子4にかかる素子電圧と、電気機械変換素子4に流れる素子電流と、位相差とに基づいて、インピーダンスが演算される。そして、インピーダンスに基づいて、配管1の内部に異物2が付着したことが検知される。

30

【0049】

図13は、本発明の実施の形態1における圧電素子12の質量負荷毎のインピーダンスの周波数特性を示すグラフである。図13において、横軸を周波数(kHz)とし、縦軸をインピーダンスの大きさ()とする。図14は、本発明の実施の形態1における圧電素子12の異物2の付着量とインピーダンスとの関係を示すグラフである。図14において、横軸を異物付着量(g)とし、縦軸を共振周波数でのインピーダンスの大きさ()とする。次に、本実施の形態1に係る異物検知装置100の作用について説明する。図13に示すように、周波数が変化するとインピーダンスZは変化し、共振周波数において極小値を示す。また、質量負荷が大きいほど、圧電素子12のインピーダンスが増加する。また、これは、共振周波数において、最も顕著である。即ち、圧電素子12のインピーダンスの変化量は、共振周波数において最も大きくなる。図13において、共振周波数は例えば81kHzである。図14に示すように、配管1内の異物2の付着量を変化させて圧電素子12の共振周波数におけるインピーダンスを測定した場合、異物2の付着量が多いほど、インピーダンスは大きくなる。

40

【0050】

以上説明したように、異物検知装置100は、電気機械変換素子4のインピーダンスに基づいて、配管1の内部に異物2が付着したことを検知する。配管1の内部に異物2が付着すると、その質量負荷によって電気機械変換素子4のインピーダンスが変化する。即ち

50

、異物検知装置 100 は、質量負荷の変化によって、異物 2 の付着を検知している。このため、測定精度が高く、音響インピーダンスが低い異物 2 も検知することができる。具体的には、異物検知装置 100 は、柔らかい異物 2 であっても検知することができる。また、異物検知装置 100 は、異物 2 を検知する上で、反射波を検知せず、また、高次調波スペクトルの強さの変化を測定しない。このため、短時間で測定することができ、測定精度が高く、音響インピーダンスが低い異物 2 も検知することができる。

【0051】

従来のように、配管 1 の内部に超音波を照射し、その反射波の波形を測定する場合、測定時間が長くなる。また、この場合、配管 1 の内部で何度も多重反射した超音波を受信するため、測定精度が低下する。これに対し、本実施の形態 1 では、配管 1 の内部の質量の変化を、電気機械変換素子 4 のインピーダンスの変化によって検知する。このため、異物 2 を短時間で測定することができ、その測定精度が高い。更に、従来のように、スペクトルの変化によって異物 2 の付着を検知する場合、柔らかい異物 2 のような音響インピーダンスが低い異物 2 が配管 1 の内部に付着すると、スペクトルの強さの差が出難い。このため、異物 2 の付着を検知し難い。これに対し、本実施の形態 1 では、柔らかい異物 2 が付着しても、配管 1 の内部の質量の変化を、電気機械変換素子 4 のインピーダンスの変化によって検知する。このため、音響インピーダンスが低い異物 2 も検知することができる。

【0052】

また、異物検知部 6 は、電圧測定部 6 a において測定された素子電圧と電流測定部 6 b において測定された素子電流との位相差を測定する位相測定部 6 c を更に有し、インピーダンス演算部 6 d は、素子電圧と、素子電流と、位相測定部 6 c において測定された位相差とに基づいて、インピーダンスを演算するものである。これにより、共振周波数を正確に把握している。

【0053】

また、電気機械変換素子 4 として、圧電素子 1 2 が用いられる。そして、電源 6 e は、電気機械変換素子 4 を、振動周波数が共振周波数の状態で駆動させるものである。これにより、圧電素子 1 2 の振動を妨げるような質量負荷となる配管 1 の内部に付着した異物 2 を高精度に検知することができる。また、電源 6 e は、電気機械変換素子 4 を、振動周波数が複数の共振周波数のうち最も低い共振周波数の状態で駆動させるものである。これにより、インピーダンスの変化量が最も大きくなるため、異物 2 を更に高精度に検知することができる。なお、インピーダンス演算部 6 d は、電気機械変換素子 4 のインピーダンス測定結果に基づいて、電気機械変換素子 4 の共振周波数を測定するものである。これにより、共通のインピーダンス演算部 6 d で、インピーダンス及び共振周波数を測定することができる。

【0054】

また、電源 6 e は、電気機械変換素子 4 を、振動周波数が反共振周波数の状態で駆動させるものである。これにより、圧電素子 1 2 の振動を妨げるような質量負荷となる異物 2 を、高精度に検知することができる。また、電源 6 e は、電気機械変換素子 4 を、振動周波数が複数の反共振周波数のうち最も低い反共振周波数の状態で駆動させるものである。これにより、インピーダンスの変化量が最も大きくなるため、異物 2 を更に高精度に検知することができる。なお、インピーダンス演算部 6 d は、電気機械変換素子 4 のインピーダンス測定結果に基づいて、電気機械変換素子 4 の反共振周波数を測定するものである。これにより、共通のインピーダンス演算部 6 d で、インピーダンス及び反共振周波数を測定することができる。

【0055】

電源 6 e は、電気機械変換素子 4 を、位相差が 0° 近傍の振動周波数の状態で駆動させるものである。これにより、スプリアス等によってインピーダンスの極値が複数存在した場合でも、ノイズ成分を除去することができる。

【0056】

また、実際にインピーダンスが測定されるよりも前に、異物検知装置 100 の信号線 5

10

20

30

40

50

が電気機械変換素子4から取り外され、信号線5の正側電極と負側電極とが開放状態にされたときのインピーダンス、及び信号線5の正側電極と負側電極とが短絡状態にされたときのインピーダンスがそれぞれ測定されることが好ましい。これにより、信号線5の浮遊容量成分及びインダクタンス成分、即ち測定精度が低下する要因となるノイズ成分が測定される。よって、例えば異物の付着量が少ないとき、実際の測定値からノイズ成分が差し引かれることによって、異物の付着量が少なくても、異物が精度良く検知される。なお、信号線5の正側電極と負側電極との開放状態、及び正側電極と負側電極との短絡状態は、手動又は自動で行われる。

【0057】

ここで、圧電素子12を配管1に取り付けるために使用される図2に示すアタッチメント20は、配管1の表面に接触している。そして、アタッチメント20において、圧電素子12と接触する面の面積は、圧電素子12の振動面13の面積の等倍～2倍であることが好ましい。また、圧電素子12とアタッチメント20との接触面、及び、アタッチメント20と配管1との接触部分には、グリス等の油を塗布してもよい。これにより、異物2の検知精度が向上する。なお、アタッチメント20の長さL'は、共振周波数が例えば81kHzとなるように設定される。

【0058】

図15は、本発明の実施の形態1における給湯器31への適用例1を示す回路図である。次に、本実施の形態1に係る異物検知装置100を給湯器31に適用した例について説明する。図15に示すように、給湯器31は、ヒートポンプユニット33に接続されており、ヒートポンプユニット33によって生成された温水を、浴室32に供給する。

【0059】

給湯器31は、タンク31aと、熱交換器31bと、ポンプ31cと、混合弁31dと、切替弁31jと、異物検知装置100と、運転制御器31kとを有している。タンク31aは、温水を貯留するものであり、ヒートポンプ配管31hによって、ヒートポンプユニット33に接続されている。熱交換器31bは、浴室32に設けられた浴槽32aを追い焚きする場合に、浴槽32aの水とタンク31aの温水とを熱交換するものである。熱交換器31bは、熱交換器配管31gによってタンク31aに接続され、また、追い焚き用配管31eによって浴槽32aに接続されている。ポンプ31cは、追い焚き用配管31eに設置されており、追い焚き用配管31eに流れる水を循環させるものである。

【0060】

混合弁31dは、タンク31aと浴室32とを接続する温水供給配管31iに設けられており、タンク31aからの水と、原水供給部34から原水供給配管31fを介して供給された水とを混合して、浴室32に設けられたシャワー32b及びカラン32cに水を供給する。切替弁31jは、追い焚き用配管31eに設けられており、追い焚き用配管31eに流れる水を、熱交換器31bに供給するかシャワー32b及びカラン32cに供給するかを切り替えるものである。異物検知装置100は、熱交換器配管31gにおける熱交換器31bよりも上流側に設置されている。運転制御器31kは、給湯器31の運転を制御するものであり、制御ケーブル31mによって、ポンプ31c、混合弁31d、切替弁31j及び異物検知装置100に接続されている。

【0061】

給湯器31では、上水が使用されている。上水には、鉄、塩素、シリカ及びカルシウム等の成分が含まれている。給湯器31の配管1の内面には、上水中に溶解している鉄、塩素、シリカ及びカルシウム等の物質が析出して、スケールと呼ばれる堆積物が形成される場合がある。スケールは、配管1の内面において高温となる部分に顕著に形成される。スケールが形成されると、配管1が詰まり、給湯器31が故障する虞がある。本実施の形態1では、配管1に異物検知装置100が設置されており、異物検知装置100が異物2であるスケールを検知するため、スケールに起因する給湯器31の故障を抑制することができる。

【0062】

10

20

30

40

50

例えば、給湯器 3 1 の稼働が開始された直後のように、配管 1 の内面にスケールが付着していないときに、異物検知装置 1 0 0 は、共振周波数とインピーダンスとを予め測定する。給湯器 3 1 の稼働が開始された後、異物検知装置 1 0 0 がインピーダンスの変化を検知した場合、配管 1 の内部にスケールが形成されたことを、給湯器 3 1 の使用者にアラーム等で報知する。また、この場合、給湯器 3 1 において、異物検知装置 1 0 0 から制御ケーブル 3 1 m を介して運転制御器 3 1 k に検知信号が送信される。これにより、運転制御器 3 1 k は、給湯器 3 1 の運転を停止する等の処置を施すことができる。これにより、給湯器 3 1 の故障を未然に防ぐことができる。

【 0 0 6 3 】

なお、異物検知装置 1 0 0 は、追い焚き用配管 3 1 e、ヒートポンプ配管 3 1 h 等、配管 1 の内部に付着した異物 2 を検知する必要がある箇所に適宜設置することができる。例えば、異物検知装置 1 0 0 は、配管 1 が詰まり易い部分、汚水が流れる部分等に設置されてもよい。

【 0 0 6 4 】

図 1 6 は、本発明の実施の形態 1 における給湯器 3 1 への適用例 2 を示す回路図である。次に、異物検知装置 1 0 0 が、給湯器 3 1 のヒートポンプユニット 3 3 側のヒートポンプ配管 3 1 h に設置された例について説明する。図 1 6 に示すように、異物検知装置 1 0 0 は、ヒートポンプ配管 3 1 h において、ヒートポンプユニット 3 3 の下流側に設置されている。また、ヒートポンプ配管 3 1 h に流れる水を循環させる循環ポンプ 3 1 n が、ヒートポンプ配管 3 1 h において、ヒートポンプユニット 3 3 の上流側に設置されている。そして、運転制御器 3 1 k は、制御ケーブル 3 1 m によって、循環ポンプ 3 1 n に接続されている。

【 0 0 6 5 】

循環ポンプ 3 1 n によってタンク 3 1 a 内の上水が、ヒートポンプユニット 3 3 に送液される。ヒートポンプユニット 3 3 に送液された上水は、ヒートポンプユニット 3 3 によって加温されてタンク 3 1 a に戻され、タンク 3 1 a 内の上水が加熱される。この場合においても、上水には、鉄、塩素、シリカ及びカルシウム等の成分が含まれているため、給湯器 3 1 のヒートポンプ配管 3 1 h の内面には、上水中に溶解している鉄、塩素、シリカ及びカルシウム等の物質が析出して、スケールと呼ばれる堆積物が形成される場合がある。ここで、ヒートポンプユニット 3 3 とタンク 3 1 a との間のヒートポンプ配管 3 1 h には、高温の水が流れるため、特にスケールが形成され易い。スケールが形成されると、ヒートポンプ配管 3 1 h が詰まり、給湯器 3 1 が故障する虞がある。本適用例 2 では、ヒートポンプ配管 3 1 h に設置された異物検知装置 1 0 0 が、ヒートポンプ配管 3 1 h における異物 2 であるスケールを検知するため、スケールに起因する給湯器 3 1 の故障を抑制することができる。

【 0 0 6 6 】

適用例 2 は、適用例 1 と同様に、例えば、給湯器 3 1 の稼働が開始された直後のように、ヒートポンプ配管 3 1 h の内面にスケールが付着していないときに、異物検知装置 1 0 0 は、共振周波数とインピーダンスとを予め測定する。給湯器 3 1 の稼働が開始された後、異物検知装置 1 0 0 がインピーダンスの変化を検知した場合、ヒートポンプ配管 3 1 h の内部にスケールが形成されたことを、給湯器 3 1 の使用者にアラーム等で報知する。また、この場合、給湯器 3 1 において、異物検知装置 1 0 0 から制御ケーブル 3 1 m を介して運転制御器 3 1 k に検知信号が送信される。これにより、運転制御器 3 1 k は、循環ポンプ 3 1 n の停止及び給湯器 3 1 の運転を停止する等の処置を施すことができる。これにより、給湯器 3 1 の故障を未然に防ぐことができる。

【 0 0 6 7 】

図 1 7 は、本発明の実施の形態 1 における冷却器 4 0 への適用例を示す回路図である。次に、本実施の形態 1 に係る異物検知装置 1 0 0 を冷却器 4 0 に適用した例について説明する。図 1 7 に示すように、冷却器 4 0 は、ラジエータ 4 5 に接続されており、ラジエータ 4 5 によって加熱された冷媒を、冷却装置 4 2 に供給する。

10

20

30

40

50

【0068】

冷却器40は、冷却装置42と、冷媒循環用ポンプ44と、ラジエータ45と、異物検知装置100と、運転制御器46とを有している。冷却装置42は、被冷却体41を冷却するものであり、冷媒と被冷却体41が発した熱とを効率良く熱交換するために取り付けられたフィンを有している。冷却装置42は、熱伝達率が良好な金属を材料とするものであり、例えばアルミニウム又は銅等が用いられる。ここで、被冷却体41は、熱を発するものであり、例えばCPU、LSI、インバータ等の電子機器、パワー半導体等に相当するものである。冷媒循環用ポンプ44は、冷媒循環用配管43の内部に密閉された冷媒を循環させるものであり、冷却装置42の上流側に設けられている。ラジエータ45は、冷媒と例えば空気等の熱媒体とを熱交換する放熱装置であり、冷媒循環用ポンプ44の上流側に設けられている。異物検知装置100hは、冷媒循環用配管43において、ラジエータ45の上流側であり、冷却装置42の下流側に設けられている。運転制御器46は、冷却器40の運転を制御するものであり、制御線47によって、冷媒循環用ポンプ44及び異物検知装置100に接続されている。

10

【0069】

冷却器40において、冷媒循環用ポンプ44によって循環される冷媒は、ラジエータ45に流入して、ラジエータ45によって例えば空気と熱交換されて冷却される。ラジエータ45において冷却された冷媒は、冷却装置42に流入して、冷却装置42によって被冷却体41が発する熱と熱交換されて加熱される。このとき、被冷却体41が冷却される。

【0070】

冷媒循環用配管43に流れる冷媒として、凝固点が高い有機溶媒、上水又はイオン交換水等の水といった冷却媒体が用いられる。冷媒として例えば上水が用いられた場合、上水には、鉄、塩素、シリカ及びカルシウム等の成分が含まれているため、冷却器40の冷媒循環用配管43の内面には、上水中に溶解している鉄、塩素、シリカ及びカルシウム等の物質が析出して、腐食生成物又はスケール等の堆積物が形成される場合がある。スケールが形成されると、冷媒循環用配管43が詰まり、冷却器40が故障する虞がある。本適用例では、冷媒循環用配管43に設置された異物検知装置100が、冷媒循環用配管43における異物2であるスケール等を検知した場合、制御線を介して運転制御器46に検知信号を送信する。これにより、運転制御器46は、冷媒循環用ポンプ44を停止する等の処置を施すことができる。これにより、冷却器40の故障を未然に防ぐことができる。

20

30

【0071】

なお、給湯器31及び冷却器40への適用例に限らず、本実施の形態1に係る異物検知装置100は、給湯器又は冷却器等の熱交換システムが用いられた製品等の配管に設置することができる。また、異物検知装置100は、スケールを検知するだけでなく、配管1の内部に析出、凝固又は蓄積等された腐食生成物、鉄さび又は汚れ等の異物を検知することもできる。

【0072】

(第1変形例)

図18は、本発明の実施の形態1の第1変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。図18に示すように、第1変形例では、アタッチメント22が直方体状に形成されており、アタッチメント22と配管1とが接触する部分は、配管1の外周縁部の形状に沿って切り抜かれている。第1変形例でも、実施の形態1と同様の効果を奏する。

40

【0073】

(第2変形例)

図19は、本発明の実施の形態1の第2変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。図19に示すように、第2変形例では、アタッチメント23が逆三角錐台状に形成されており、アタッチメント23と配管1とが接触する部分は、配管1の外周縁部の形状に沿って切り抜かれている。第2変形例でも、実施の形態1と同様の効果を奏する。

【0074】

(第3変形例)

50

図20は、本発明の実施の形態1の第3変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。図20に示すように、第3変形例では、アタッチメント24が円柱状に形成されており、アタッチメント24と配管1とが接触する部分は、配管1の外周縁部の形状に沿って切り抜かれている。第3変形例でも、実施の形態1と同様の効果を奏する。

【0075】

第1変形例、第2変形例及び第3変形例においても、実施の形態1と同様に、圧電素子12を配管1に取り付けるために使用されるアタッチメントにおいて、圧電素子12と接触する面の面積は、圧電素子12の振動面13の面積の等倍～2倍であることが好ましい。また、圧電素子12とアタッチメントとの接触面、及び、アタッチメントと配管1との接触部分には、グリス等の油を塗布してもよい。これにより、異物2の検知精度が向上する。なお、第1変形例、第2変形例及び第3変形例においても、アタッチメントの長さL'を調整することによって、共振周波数を変更することができる。

10

【0076】

(第4変形例)

図21は、本発明の実施の形態1の第4変形例に係る異物検知装置100を示す斜視図である。図21に示すように、第4変形例では、圧電素子25を配管1に取り付ける上で、アタッチメント20が使用されていない。このように、圧電素子25の振動面26が配管1の形状に沿った曲面となるように構成されてもよい。これにより、圧電素子25を配管1に直接取り付けることができる。更に、圧電素子25の圧電材料としてP V D Fを用いることによって、フレキシビリティを有する圧電素子25を実現することができる。これにより、圧電素子25を配管1に直接取り付けることができる。

20

【0077】

実施の形態2

図22は、本発明の実施の形態2に係る異物検知装置200を示す模式図である。本実施の形態2は、異物検知部6が記憶部203を有している点で、実施の形態1と相違する。本実施の形態2では、実施の形態1と共通する部分は同一の符号を付して説明を省略し、実施の形態1との相違点を中心に説明する。

【0078】

図22に示すように、異物検知部6は、記憶部203と照合部202とを有している。

【0079】

図23は、本発明の実施の形態2における圧電素子12のインピーダンスの変化量と異物2の付着量との関係を示すグラフである。図23において、横軸を共振周波数でのインピーダンスの変化量 Z とし、縦軸を異物の付着量 (g) とする。図23において、共振周波数でのインピーダンスの変化量 Z が大きくなることに比例して異物の付着量も多くなる。記憶部203は、インピーダンスの変化量と異物2の付着量との関係を示すテーブルを記憶するものである。図23に示すように、テーブルは、例えば共振周波数におけるインピーダンスの変化量 Z と異物2の付着量との関係を示す検量線データである。異物検知装置200は、共振周波数でのインピーダンスの変化量 Z と配管1の内部の異物2付着量との検量データを予め測定し、それを記憶部203に記憶する。これにより、共振周波数でのインピーダンスの変化量 Z が分かれば、異物の付着量が求まる。記憶部203は、伝送線201によって照合部202に接続されている。なお、記憶部203は、異物検知部6の外部に設けられてもよい。

30

40

【0080】

照合部202は、インピーダンス演算部6dにおいて演算されたインピーダンスの変化量と、記憶部203に記憶されたテーブルとを照合して、異物2の付着量を検知するものである。照合部202は、伝送線201によってインピーダンス演算部6dに接続されている。なお、照合部202は、異物検知部6の外部に設けられてもよい。

【0081】

本実施の形態2では、異物検知部6は、インピーダンスの変化量と異物2の付着量との関係を示すテーブルを記憶する記憶部203と、インピーダンス演算部6dにおいて演算

50

されたインピーダンスの変化量と、記憶部 203 に記憶されたテーブルとを照合して、異物 2 の付着量を検知する照合部 202 と、を有するものである。このため、インピーダンスの変化量から異物 2 の付着量を検知することができる。共振周波数でのインピーダンスの変化量 Z が大きくなることに比例して異物の付着量も多くなるというテーブルが記憶部 203 に記憶されていれば、インピーダンスの変化量が分かれば、テーブルを参照して、異物 2 の付着量を求めることができる。そして、異物 2 の付着量を検知することによって、配管 1 の内部に付着した異物 2 の厚さを認識することができる。

【0082】

なお、運転に支障をきたし、故障に繋がる可能性があるほどの異物 2 の付着量を閾値として予め設定し、異物 2 の付着量が閾値を超えたときに、アラームを出すようにしてもよい。これにより、運転に支障をきたさない程度の異物 2 が配管 1 の内部に付着した場合にまでアラームが出されることを抑制することができる。また、予め複数の閾値を設定し、異物 2 の付着量が各閾値を超える毎に、アラーム音等を大きくし、警告度を変更することもできる。これにより、配管 1 の交換による運転停止期間を短縮することができる。また、配管 1 が過剰に交換されることを防止することによって、配管 1 の交換に必要なコストを削減することができる。更に、警告度に基づいて、配管 1 の内部に付着した異物 2 の付着状況を認識することができる。

【0083】

実施の形態 3 .

図 2 4 は、本発明の実施の形態 3 に係る異物検知装置 300 を示す模式図である。本実施の形態 3 は、異物検知部 6 が温度測定部 302 を有している点で、実施の形態 2 と相違する。本実施の形態 3 では、実施の形態 1, 2 と共通する部分は同一の符号を付して説明を省略し、実施の形態 1, 2 との相違点を中心に説明する。

【0084】

図 2 4 に示すように、異物検知部 6 は温度測定部 302 を有している。温度測定部 302 は、電気機械変換素子 4 の温度を測定するものである。記憶部 303 は、温度測定部 302 において測定された温度毎に、インピーダンスの変化量と異物 2 の付着量との関係を示すテーブルを記憶するものである。

【0085】

照合部 202 は、インピーダンス演算部 6d において演算されたインピーダンスの変化量と、記憶部 303 に記憶されたテーブルとを照合して、異物 2 の付着量を検知するものである。

【0086】

ここで、インピーダンス演算部 6d は、周波数伝送線 301 によって電源 6e に接続されている。電気機械変換素子 4 は、温度が変化すると、その共振周波数が変化する。よって、配管 1 の内部に異なる温度の流体 3 が流れる場合、流れる流体 3 の温度毎に、共振周波数が変化する。インピーダンス演算部 6d は、測定した共振周波数を、周波数伝送線 301 を介して電源 6e に送信する。これにより、電源 6e は、配管 1 の内部に流れる流体 3 の温度に応じた共振周波数に変更する。

【0087】

本実施の形態 3 では、異物検知部 6 は、電気機械変換素子 4 の温度を測定する温度測定部 302 を更に有し、記憶部 303 は、温度測定部 302 において測定された温度毎に、インピーダンスの変化量と異物 2 の付着量との関係を示すテーブルを記憶するものであり、照合部 202 は、インピーダンス演算部 6d において演算されたインピーダンスの変化量と、記憶部 303 に記憶されたテーブルとを照合して、異物 2 の付着量を検知するものである。よって、配管 1 の内部に流れる流体 3 の温度が変わっても、各温度において、インピーダンスが最も変化し易い共振周波数で、インピーダンスの変化量を検知することができる。従って、配管 1 の内部に付着した異物 2 の厚さを認識することができる。

【0088】

図 2 5 は、本発明の実施の形態 3 における給湯器 31 を示す回路図である。次に、本実

10

20

30

40

50

施の形態 3 に係る異物検知装置 300 を給湯器 31 に適用した例について説明する。本実施の形態 3 における給湯器 31 は、図 25 に示すように、異物検知装置 300 が追い焚き用配管 31e に設けられている点で、実施の形態 1 における給湯器 31 と相違する。

【0089】

浴槽 32a の浴水の設定温度は、季節又は個人の嗜好等に応じて変化する。また、湯を張ったあとに時間が経過すると、浴槽 32a の浴水の温度は徐々に下がる。本実施の形態 3 は、このように、変化する浴水が追い焚き用配管 31e に流れても、各温度において、インピーダンスが最も変化し易い共振周波数で、インピーダンスの変化量を検知することができる。従って、配管 1 の内部に付着した異物 2 の厚さを認識することができる。

【0090】

実施の形態 4 .

図 26 は、本発明の実施の形態 4 に係る異物検知装置 400 を示す模式図である。本実施の形態 4 は、異物検知部 6 が算出部 402 と判断部 403 とを有している点で、実施の形態 3 と相違する。本実施の形態 4 では、実施の形態 1, 2, 3 と共通する部分は同一の符号を付して説明を省略し、実施の形態 1, 2, 3 との相違点を中心に説明する。

【0091】

図 26 に示すように、異物検知部 6 は、算出部 402 と判断部 403 とを有している。

【0092】

算出部 402 は、電気機械変換素子 4 の振動周波数のうち共振周波数及び反共振周波数に基づいて、電気機械結合係数を算出するものである。なお、共振周波数及び反共振周波数は、インピーダンス演算部 6d によって測定される。算出部 402 は、伝送線 401 によってインピーダンス演算部 6d に接続されている。なお、算出部 402 は、異物検知部 6 の外部に設けられてもよい。

【0093】

電気機械結合係数は、電気機械変換素子 4 に与えた電気エネルギーと、電気機械変換素子 4 で発生した機械エネルギーとの比率である。即ち、電気機械結合係数が高いほど、エネルギー変換効率が高い。電気機械結合係数は、電気機械変換素子 4 の種類、電気機械変換素子 4 に使用する材料、電気機械変換素子 4 の製造方法等によって異なる。なお、フェライト素子及び圧電素子の電気機械結合係数は、約 0.6 以上であり、水晶振動子の電気機械結合係数は、約 0.3 以上である。本実施の形態 4 において、電気機械変換素子 4 の電気機械結合係数は、0.3 以上であることが好ましい。ここで、共振周波数を f_1 、反共振周波数を f_2 、電気機械結合係数を k とすると、下記式 (3) が成立する。

【0094】

[数 3]

$$k = \sqrt{2 \cdot [(f_2 - f_1) / f_1]^{(1/2)} \cdot \dots \cdot (3)}$$

【0095】

判断部 403 は、算出部 402 において算出された電気機械結合係数に基づいて、装置の故障を判断するものである。電気機械結合係数は、電気機械変換素子 4 の使用によって、徐々に低下する。そこで、判断部 403 は、例えば、電気機械結合係数が、予め設定された閾値以下となったときに、装置の故障を判断する。この場合、閾値は、例えば 0.5 である。また、使用前に電気機械結合係数を予め測定しておき、電気機械結合係数が使用前の半分にまで低下したときに故障と判断するようにしてもよい。例えば、電気機械結合係数の初期値が 0.7 である場合、閾値を 0.35 とする。更に、経過時間に対する電気機械結合係数の低下率を測定し、異物検知装置 400 の交換時期を予測してもよい。判断部 403 は、伝送線 401 によって算出部 402 に接続されている。なお、判断部 403 は、異物検知部 6 の外部に設けられてもよい。

【0096】

本実施の形態 4 では、電気機械変換素子 4 の振動周波数のうち共振周波数及び反共振周波数に基づいて、電気機械結合係数を算出する算出部 402 と、算出部 402 において算出された電気機械結合係数に基づいて、装置の故障を判断する判断部 403 と、を有する

10

20

30

40

50

。このため、装置の故障を認識することができる。

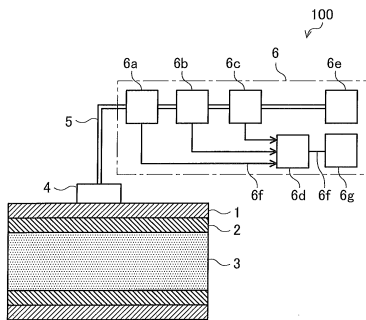
【符号の説明】

【0097】

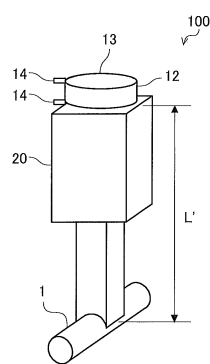
1 配管、2 異物、3 流体、4 電気機械変換素子、5 信号線、6 異物検知部、6 a 電圧測定部、6 b 電流測定部、6 c 位相測定部、6 d インピーダンス演算部、6 e 電源、6 f 伝送線、6 g 検知部、10 電源、11 電線、12 圧電素子、13 振動面、14 電極、15, 16 金属ブロック、20, 22, 23, 24 アタッチメント、25 圧電素子、26 振動面、31 給湯器、31 a タンク、31 b 熱交換器、31 c ポンプ、31 d 混合弁、31 e 追い焚き配管、31 f 原水供給配管、31 g 熱交換器配管、31 h ヒートポンプ配管、31 i 温水供給配管、31 j 切替弁、31 k 運転制御器、31 m 制御ケーブル、31 n 循環ポンプ、32 浴室、32 a 浴槽、32 b シャワー、32 c カラン、33 ヒートポンプユニット、34 原水供給部、40 冷却器、41 被冷却体、42 冷却装置、43 冷媒循環用配管、44 冷媒循環用ポンプ、45 ラジエータ、46 運転制御器、47 制御線、100 異物検知装置、200 異物検知装置、201 伝送線、202 照合部、203 記憶部、300 異物検知装置、301 周波数伝送線、302 温度測定部、303 記憶部、400 異物検知装置、401 伝送線、402 算出部、403 判断部。

10

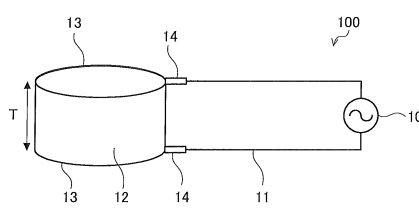
【図1】



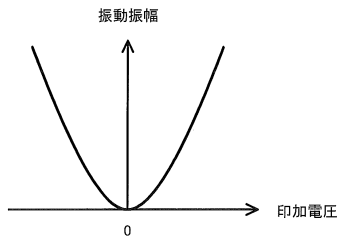
【図2】



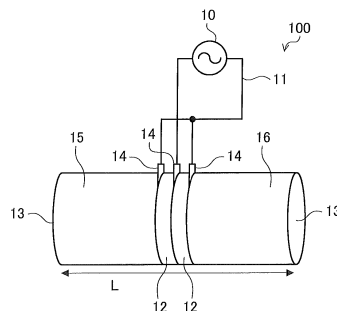
【図3】



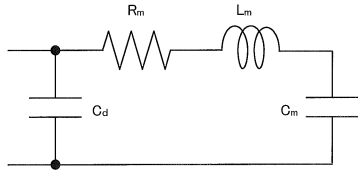
【図4】



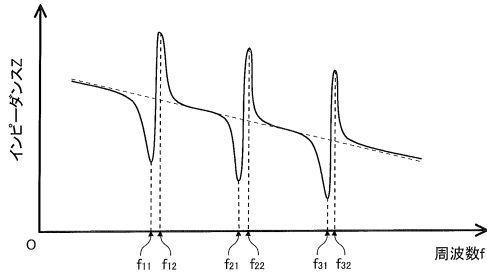
【図5】



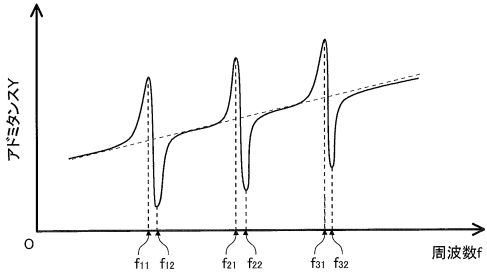
【図 6】



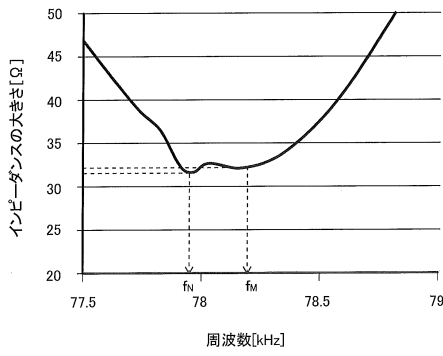
【図 7】



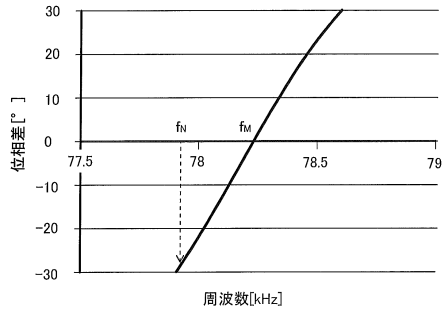
【図 8】



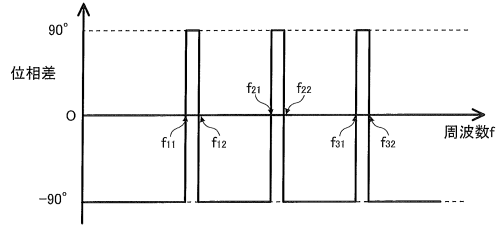
【図 11】



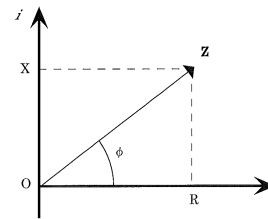
【図 12】



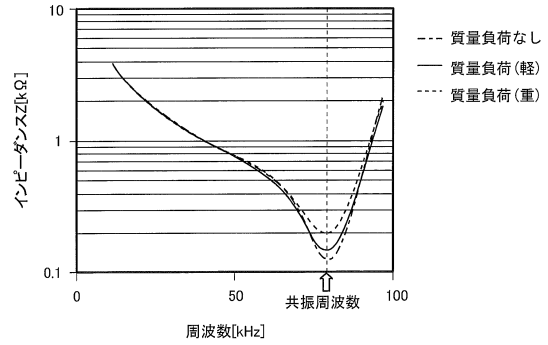
【図 9】



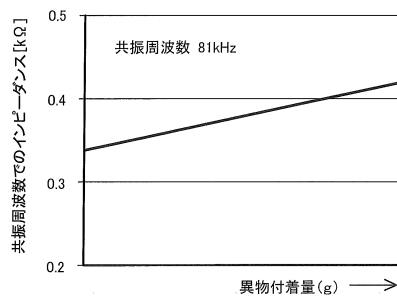
【図 10】



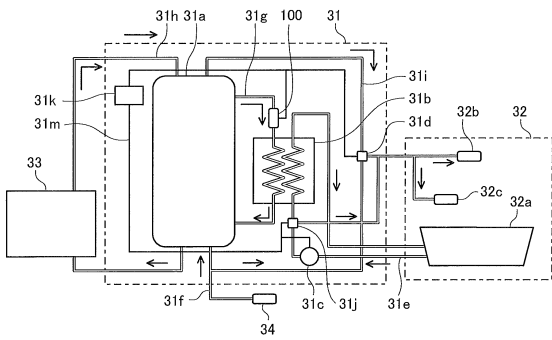
【図 13】



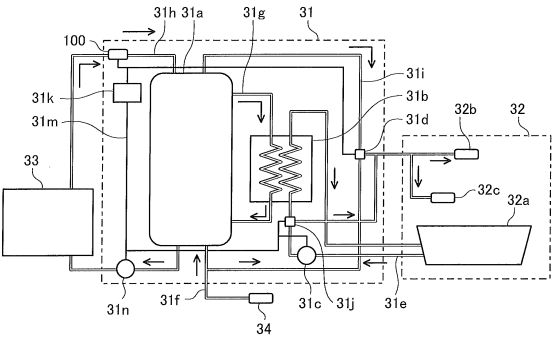
【図 14】



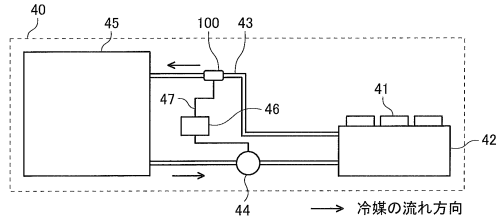
【図15】



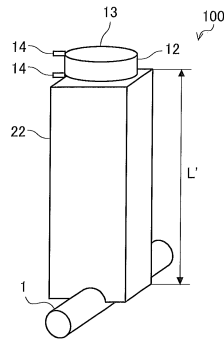
【図16】



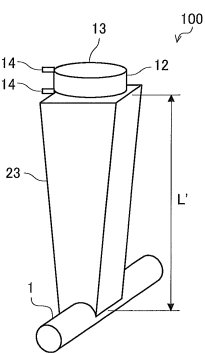
【図17】



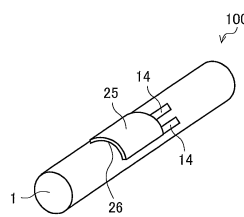
【図18】



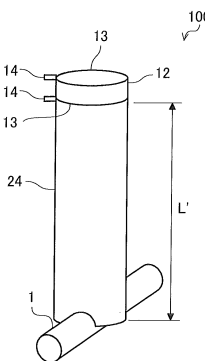
【図19】



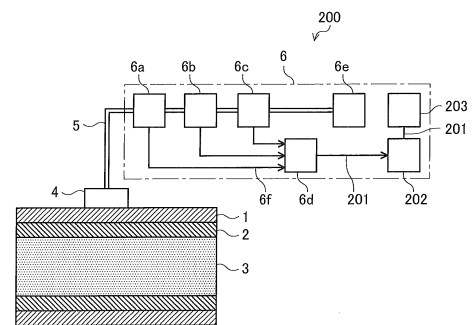
【図21】



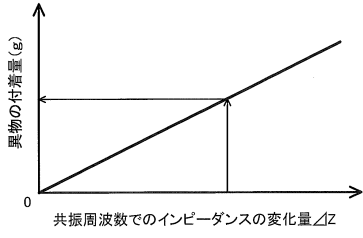
【図20】



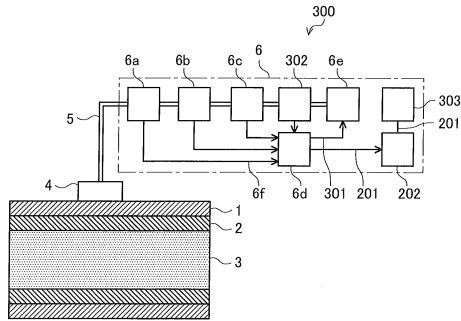
【図22】



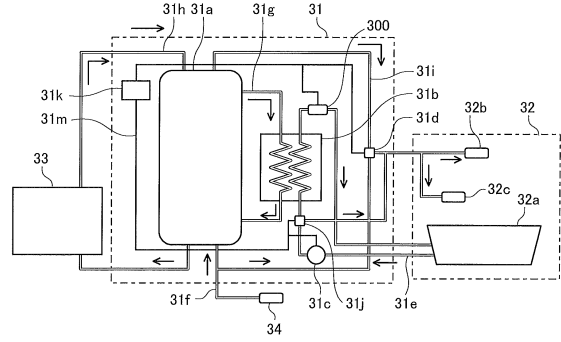
【図23】



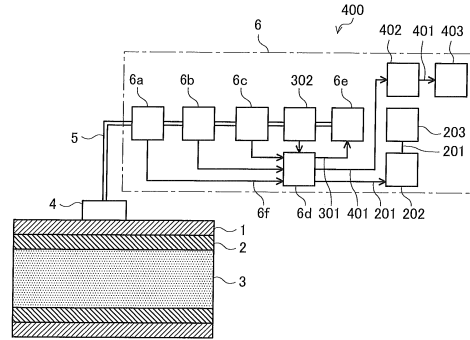
【図24】



【図25】



【図26】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-271545(JP,A)
特開2005-043123(JP,A)
特開平07-301590(JP,A)
特開2006-010431(JP,A)
特開平09-126979(JP,A)
米国特許出願公開第2011/0303012(US,A1)
米国特許出願公開第2003/0033870(US,A1)
米国特許出願公開第2003/0024316(US,A1)
国際公開第97/045723(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 5/02

G01N 27/02