(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B1)　(11)特許番号
特許第6746048号
(P6746048)
(45)発行日　令和2年8月26日(2020.8.26)　(24)登録日　令和2年8月6日(2020.8.6)

(51)Int.Cl.　F I
G01N 29/24 (2006.01)　G01N 29/24
G01N 29/02 (2006.01)　G01N 29/02

請求項の数 8　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2020-531792(P2020-531792)
(86)(22)出願日　令和2年3月3日(2020.3.3)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/008814
審査請求日　令和2年6月10日(2020.6.10)

早期審査対象出願

(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
(74)代理人　110001461
特許業務法人きさ特許商標事務所
(72)発明者　守川　彰
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
(72)発明者　洪　ジニ
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
(72)発明者　勝又　典亮
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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】湿度センサ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
音波の送受信を行う第１音波素子と、
前記音波の送信を行う第２音波素子と、
前記第１音波素子および前記第２音波素子を駆動する駆動部と、
前記第１音波素子の前記音波の受信結果に基づいて湿度を求める検出部と
を備え、
前記第１音波素子と前記第２音波素子とは反射面に平行な直線上に並んで配置され、
前記第１音波素子は、前記第１音波素子および前記第２音波素子から送信される前記音波の干渉波を受信する、
湿度センサ。
【請求項２】
前記第１音波素子と前記第１音波素子と対向する反射面との間の距離を、第１距離とし、
前記第２音波素子と前記反射面との間の距離を、第２距離とし、
前記第１音波素子および前記第２音波素子から送信される前記音波の波長を、波長λとしたとき、
前記第１音波素子および前記第２音波素子は、前記第１距離と前記第２距離との差が前記波長λの整数倍となるように設置される、
請求項１に記載の湿度センサ。

【請求項３】
前記第１音波素子と前記第２音波素子とは、前記音波を同時に送信させる、
請求項１または２に記載の湿度センサ。
【請求項４】
前記駆動部は、
前記第１音波素子および前記第２音波素子の前記音波の送信タイミングを調整する遅延回路を有し、
前記遅延回路は、
前記第１音波素子および前記第２音波素子のいずれか一方の送信タイミングを、他方の送信タイミングに対して、遅延時間Ｔｄだけ遅延させるものであって、
前記遅延時間Ｔｄは、
前記第１音波素子および前記第２音波素子から送信される前記音波の周期を周期Ｔとしたとき、
０＜Ｔｄ＜１／２×Ｔの範囲で決定される、
請求項１に記載の湿度センサ。
【請求項５】
前記遅延回路は、
前記第１音波素子および前記第２音波素子のいずれか一方の送信タイミングを、他方の送信タイミングに対して、複数の遅延時間で順次遅延させ、
前記検出部は、
前記複数の遅延時間のうち、前記第１音波素子の前記受信結果が最大となる場合の遅延時間の前記受信結果を選択して、当該受信結果に基づいて前記湿度を求める、
請求項４に記載の湿度センサ。
【請求項６】
前記第１音波素子および前記第２音波素子から送信される前記音波は、超音波である、
請求項１～５のいずれか１項に記載の湿度センサ。
【請求項７】
前記第１音波素子および前記第２音波素子から送信される前記音波は、可聴音波である、
請求項１～５のいずれか１項に記載の湿度センサ。
【請求項８】
前記第１音波素子の前記受信結果と相対湿度との関係を定めたデータテーブルを記憶した記憶部を備え、
前記検出部は、前記データテーブルを用いて前記第１音波素子の前記受信結果に対応する相対湿度を求めて、当該相対湿度を前記湿度として出力する、
請求項１～７のいずれか１項に記載の湿度センサ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、空気中の湿度を計測する湿度センサに関するものである。
【背景技術】
【０００２】
従来から空気中の湿度の計測器として、乾湿球湿度計および毛髪湿度計が多用されている。また、これらの他にも、露点検出センサ、サーミスタ湿度センサ、塩化リチウム湿度センサ、セラミック湿度センサ、高分子膜湿度センサなどが提案されている。
【０００３】
また、非接触で湿度を計測する技術としては、空気中の水分による超音波の音速の変化または散乱現象を利用した湿度測定装置が提案されている（例えば特許文献１参照）。
【０００４】
特許文献１に記載の湿度測定装置は、一定の距離を保って対向して配置された１対の振

動子を有している。一方の振動子から超音波を発信させ、他方の振動子で当該超音波を受信する。そして、当該湿度測定装置は、当該超音波の受信結果に基づいて、超音波の音速の変化または減衰係数を求めることで、空気中の湿度を求めている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】実開平７－２６７５９号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

しかしながら、特許文献１に記載の湿度測定装置においては、１対の振動子の近傍の湿度しか計測することができない。特許文献１に記載の湿度測定装置の構成を適用して、広い空間の湿度を測定する場合には、当該空間内で送信側の振動子と受信側の振動子との間の距離を長くとって設置する必要がある。その場合、送信側の振動子から送信された音波が、受信側の振動子に到達する前に、空間内で減衰する。そのため、受信側の振動子の受信信号の信号レベルが弱くなる。その結果、受信信号のＳ／Ｎが低下して、湿度を計測することが困難という問題点があった。

【０００７】

本開示は、上記のような問題点を解決するためになされたものであり、受信信号のＳ／Ｎの低下を抑制することで、空間の大きさにかかわらず、湿度計測の精度の向上を図る、湿度センサを得ることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

本開示に係る湿度センサは、音波の送受信を行う第１音波素子と、前記音波の送信を行う第２音波素子と、前記第１音波素子および前記第２音波素子を駆動する駆動部と、前記第１音波素子の前記音波の受信結果に基づいて湿度を求める検出部とを備え、前記第１音波素子と前記第２音波素子とは反射面に平行な直線上に並んで配置され、前記第１音波素子は、前記第１音波素子および前記第２音波素子から送信される前記音波の干渉波を受信するものである。

【発明の効果】

【０００９】

本開示に係る湿度センサによれば、受信信号のＳ／Ｎの低下を抑制することで、空間の大きさにかかわらず、湿度計測の精度の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】実施の形態１に係る空気調和機１の構成を模式的に示す側断面図である。

【図２】実施の形態１に係る湿度センサ１１の構成、および、湿度センサ１１と反射面４との関係を示す側断面図である。

【図３】実施の形態１に係る湿度センサ１１における音波素子１２および１３と反射面４との配置関係を示す図である。

【図４】実験１の実験結果を示す図である。

【図５】出力電圧の自乗積分値と相対湿度との関係を示す図である。

【図６】実験２の実験結果を示す図である。

【図７】実施の形態２に係る空気調和機１の構成を模式的に示す側断面図である。

【図８】実施の形態２に係る湿度センサ１１のコントローラ１６の構成を示すブロック図である。

【図９】実施の形態４に係る空気調和機１の構成を模式的に示す側断面図である。

【図１０】実施の形態５に係る湿度センサ１１の構成を模式的に示す側断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下、本開示に係る湿度センサの実施の形態について図面を参照して説明する。本開示は、以下の実施の形態に限定されるものではなく、本開示の主旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。また、本開示は、以下の実施の形態およびその変形例に示す構成のうち、組み合わせ可能な構成のあらゆる組み合わせを含むものである。また、各図において、同一の符号を付したものは、同一の又はこれに相当するものであり、これは明細書の全文において共通している。なお、各図面では、各構成部材の相対的な寸法関係または形状等が実際のものとは異なる場合がある。

【００１２】

実施の形態１.

以下、実施の形態１に係る空気調和機１および湿度センサ１１について、図面を用いて説明する。

【００１３】

＜空気調和機１の構成＞

図１は、実施の形態１に係る空気調和機１の構成を模式的に示す側断面図である。図１は、空気調和機１を、部屋２に設置した状態を示している。部屋２は、業務用のオフィス空間または一般住宅の室内空間である。部屋２は、例えば直方体形状の空間である。部屋２には天井３が設けられている。天井３には、空気調和機１を設置するための設置孔３ａが設けられている。設置孔３ａは、図１に示すように、天井３の一部分をくり抜いて形成された凹部である。空気調和機１は、設置孔３ａ内に埋め込まれて固定されている。空気調和機１の下面の高さ方向の位置は、天井３の高さ方向の位置と一致している。部屋２の床面３９と天井３との間の直線距離は、２ｍ以上である。従って、空気調和機１の下面と部屋２の床面３９との間の直線距離も、同じく、２ｍ以上である。図１において、上下方向を、高さ方向と呼ぶ。また、上下方向は、例えば、鉛直方向である。

【００１４】

部屋２の一面には、反射面４が固定されている。反射面４は、部屋２の床面３９または壁面３８に設置される。反射面４は平滑な表面とし、材料としては、例えば金属板、樹脂板としている。部屋２の床面３９および壁面３８についても同様に平滑な表面とし、材料としては、例えば金属板、樹脂板、木板としている。また、部屋２の天井３も、平滑な表面とする。実施の形態１では、空気調和機１は、例えば、パッケージタイプのエアコンである。しかしながら、この場合に限定されず、空気調和機１は、カセット型エアコン、ルームエアコン、外気処理ユニットなどの一般のエアコンでもよい。

【００１５】

空気調和機１は、図１に示すように、左右対称の構成を有している。図１において、白抜き矢印は、空気の流れる方向を示している。空気調和機１には、吸込口５、フィルタ６、ファン７、２つの熱交換器８、吹出口９、および、２つの加湿エレメント１０が設けられている。空気調和機１は、冷房機能、暖房機能、および、加湿機能を備えている。ただし、空気調和機１に加湿エレメント１０を装着しないことで、加湿機能を持たない空気調和機１としてもよい。

【００１６】

吸込口５は、空気調和機１の下面に設けられている。吸込口５は、部屋２の室内空間に対向して配置されている。吸込口５は、例えば、部屋２の床面３９に対向している。空気は、吸込口５から空気調和機１内に吸い込まれる。

【００１７】

吹出口９は、吸込口５の左右に配置されている。あるいは、吹出口９は、下面視で、吸込口５の周囲を取り囲むように配置されている。なお、下面視とは、空気調和機１を、床面３９側から見上げて見た場合を意味する。吹出口９は、部屋２の室内空間に対向して配置されている。吹出口９は、例えば、部屋２の床面３９に対向している。空気調和機１内の空気は、吹出口９から、部屋２の室内空間に向かって吹き出される。なお、吹出口９に風向板を設けて、吹出口９から吹き出される空気の風向を変更できるようにしてもよい。

【００１８】

ファン７は、図１に示すように、吸込口５の上方に配置されている。ファン７と吸込口５とは、互いに離間している。ファン７と吸込口５との間には、フィルタ６が配置される。ファン７は、例えば、プロペラファンである。ファン７が回転することで、吸込口５から空気が吸い込まれ、吹出口９から当該空気が吐き出される。従って、空気の流路において、吸込口５が上流側で、吹出口９が下流側になる。このようにして、ファン７は、熱交換器８に空気を送っている。

【００１９】

２つの熱交換器８のうち、一方は空気調和機１の左側に配置され、他方は右側に配置されている。それらの熱交換器８は、互いに対向している。それらの熱交換器８の間には、ファン７が配置されている。熱交換器８のそれぞれは、空気の流路において、ファン７の下流側に配置されている。熱交換器８は、正面８ａと背面８ｂとを有している。正面８ａは、ファン７側に配置され、背面８ｂは、吹出口９側に配置されている。図１に示すように、正面８ａおよび背面８ｂとは、主面が上下方向に平行になるように配置されている。熱交換器８においては、ファン７の回転により、正面８ａから空気が流入され、背面８ｂから空気が流出する。従って、空気の流路において、正面８ａが上流部となり、背面８ｂが下流部となる。しかしながら、これに限定されない。熱交換器８の下端部が上流部となり、熱交換器８の上端部が下流部となるように、熱交換器８を上下方向に対して傾斜させて配置してもよい。

【００２０】

熱交換器８は、例えば、フィンアンドチューブ型熱交換器である。その場合、熱交換器８には、冷媒が流れる複数の伝熱管が設けられている。熱交換器８は、ファン７によって送られてくる空気と、伝熱管の内部を流れる冷媒との間で、熱交換を行う。熱交換器８は、当該熱交換により、空気の加熱または冷却を行う。これにより、部屋２の暖房または冷房が行われる。

【００２１】

フィルタ６は、空気の流路において、吸込口５と熱交換器８との間に配置されている。フィルタ６は、吸込口５から吸い込まれた空気から塵埃を除去する。塵埃が除去された空気は、ファン７の回転により、熱交換器８に流入される。

【００２２】

加湿エレメント１０のそれぞれは、左右の熱交換器８に沿って配置されている。従って、２つの加湿エレメント１０のうち、一方は空気調和機１の左側に配置され、他方は右側に配置されている。図１の例では、加湿エレメント１０は、熱交換器８と吹出口９との間に配置されている。加湿エレメント１０のそれぞれは、例えば、複数の板状部材を一定の間隔で平行に配置して形成されている。加湿エレメント１０の材質としては、例えば、多孔質または繊維状の紙または樹脂であり、それらをフィルタ状にしたものが用いられる。

【００２３】

図１に示すように、加湿エレメント１０の長手方向の長さ、すなわち、上下方向の長さは、熱交換器８の長手方向の長さとほぼ同等である。これにより、熱交換器８から流出した空気は、すべて、加湿エレメント１０に流入される。その結果、当該空気は、全体的に均等に加湿される。加湿エレメント１０の上方には、水を供給する供給源（図示せず）が配置されている。加湿エレメント１０に当該供給源から水を供給すると、加湿エレメント１０が水で浸される。その状態で加湿エレメント１０内を空気が通過すると、加湿エレメント１０から水が揮発することで、当該空気が加湿される。水は、水道水および工業用水のいずれも使用可能であるが、カルシウム、マグネシウム、シリカなど、堆積物の原因となるスケール成分が少ないものが望ましい。

【００２４】

このように、空気調和機１は、ファン７が駆動することにより、吸込口５から空気が吸い込まれ、当該空気がフィルタ６を通過することで塵埃が除去される。その後、当該空気は、熱交換器８を通過することで、冷却または加熱される。熱交換器８によって冷却または加熱された空気は、加湿エレメント１０で加湿される。加湿された当該空気は、吹出口

９から部屋２に吹き出される。なお、冷房運転または暖房運転中に、加湿運転は行っても、行わなくてもよい。あるいは、冷房運転、暖房運転、および、加湿運転の中のいずれか１つを単独で行ってもよい。空気調和機１は、ユーザが運転モードを設定することにより、冷房運転、暖房運転、および、加湿運転の中から、所望のものを自由に選択できる。

【００２５】

また、実施の形態１に係る空気調和機１においては、図１に示すように、湿度センサ１１が設けられている。湿度センサ１１は、複数のセンサユニット１１Ａおよび１１Ｂから構成されている。湿度センサ１１の各センサユニット１１Ａおよび１１Ｂは、空気調和機１に内蔵されていてもよいし、あるいは、空気調和機１の外部に設けられていてもよい。湿度センサ１１は、空気調和機１の構成要素でもよいし、あるいは、空気調和機１とは別の装置であってもよい。図１に示すように、湿度センサ１１の各センサユニット１１Ａおよび１１Ｂは、空気調和機１の下部に配置されている。各センサユニット１１Ａおよび１１Ｂは、吸込口５の左右に配置されている。各センサユニット１１Ａおよび１１Ｂは、例えば、図１に示すように、吸込口５と吹出口９との間に配置される。各センサユニット１１Ａおよび１１Ｂは、吸込口５の中心から左右方向に対称となる位置に配置されている。すなわち、吸込口５の中心から左側のセンサユニット１１Ａまでの距離をＤ１とし、吸込口５の中心から右側のセンサユニット１１Ｂまでの距離をＤ２とする。このとき、距離Ｄ１と距離Ｄ２とは同等である。各センサユニット１１Ａおよび１１Ｂは、内部に設けられた電気部品および電子部品をまとめて樹脂で封止しているか、あるいは、それらの部品を１つのケーシングに収容している。

【００２６】

＜湿度センサ１１の構成＞

図２は、実施の形態１に係る湿度センサ１１の構成、および、湿度センサ１１と反射面４との関係を示す側断面図である。湿度センサ１１は、左側のセンサユニット１１Ａと、右側のセンサユニット１１Ｂと、コントローラ１６とから構成されている。センサユニット１１Ａには音波素子１２が設けられ、センサユニット１１Ｂには音波素子１３が設けられている。音波素子１２および１３は、それぞれ、音波を発する。音波素子１２および１３は、例えば、周波数２０ｋＨｚ以上の音波、すなわち超音波を発する。以下では、音波素子１２および１３が超音波を発信する場合を例に挙げて説明する。音波素子１２および１３は、圧電セラミックスを有している。音波素子１２および１３は、圧電セラミックスに電圧をかけることで、超音波を発する仕組みとなっている。圧電セラミックスは、超音波を発信するだけでなく、超音波を受信することもできる。圧電セラミックスは、空気中の超音波を受信して、受信した超音波を電圧に変換することが可能である。従って、音波素子１２および１３が圧電セラミックを有している場合、音波素子１２および１３は、超音波の送受信が可能である。

【００２７】

図２に示すように、音波素子１２および１３は、直線Ｐ上に一列に配置されている。具体的には、音波素子１２および１３の超音波の出射口が直線Ｐ上に一列に配置されている。なお、直線Ｐは、反射面４の主面に対して平行である。

【００２８】

図２に示すように、音波素子１２は、送信波１７として、超音波を送信する。音波素子１３は、送信波１８として、超音波を送信する。送信波１７および送信波１８は、反射面４で反射して、反射波となる。当該反射波は、受信波１９として、音波素子１２が受信する。

【００２９】

コントローラ１６は、検出部３５と駆動部３６と記憶部３７を有している。検出部３５は、音波素子１２の受信結果に基づいて、部屋２の湿度を検出する。駆動部３６は、音波素子１２および１３を駆動する。

【００３０】

図２に示すように、音波素子１２および１３は、それぞれ、電線１４を介して、駆動部

３６に電気的に接続されている。駆動部３６は、音波素子１２および１３にパルス波を印加することで、音波素子１２および１３を駆動する。音波素子１２および１３は、それぞれ、当該パルス波に基づいて、送信波１７および１８を発する。

【００３１】

また、音波素子１２は、電線１５を介して、検出部３５に電気的に接続されている。音波素子１２は、受信波１９を受信すると、受信波１９の超音波を電圧に変換して出力する。音波素子１２からの出力はアナログ信号である。そのため、検出部３５は、当該アナログ信号をデジタル信号へ変換するＡＤコンバータ３５ａを備えている。ＡＤコンバータ３５ａは、音波素子１２からの電圧出力に対してＡＤ変換を行ってデジタル信号を得る。検出部３５は、当該デジタル信号の波形を解析して、湿度を求める。検出部３５のサンプリング周波数は２．４ＭＨｚとし、分解能は１２ビットとする。サンプリング周波数は、駆動部３６によって音波素子１２および１３に印加するパルス波のパルス周波数の２倍以上とすることが好ましいが、ここでは８倍とする。

【００３２】

コントローラ１６のハードウェア構成について説明する。コントローラ１６は、処理回路から構成される。従って、コントローラ１６の検出部３５および駆動部３６の各機能は、処理回路により実現される。処理回路は、専用のハードウェア、または、プロセッサから構成される。専用のハードウェアは、例えば、ＡＳＩＣ（Application Specific Integrated Circuit）またはＦＰＧＡ（Field Programmable Gate Array）などである。プロセッサは、メモリに記憶されるプログラムを実行する。コントローラ１６の記憶部３７は、メモリから構成される。メモリは、ＲＡＭ（Random Access Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）、フラッシュメモリ、ＥＰＲＯＭ（Erasable Programmable ROM）などの不揮発性または揮発性の半導体メモリ、もしくは、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスクなどのディスクである。

【００３３】

センサユニット１１Ａおよび１１Ｂと反射面４との距離は任意でよいが、当該距離が長過ぎると、超音波が減衰して、反射面４まで届かなくなる。超音波の周波数は小さい方が遠方まで届くが、一方で指向性が大きくなる。指向性が大きくなると、部屋２の空間内で、超音波の乱反射が起きやすくなる。その場合、音波素子１２で検出した電圧波形が複雑になるため、好ましくない。部屋２が居住空間の場合、部屋２の一辺は最大で１０ｍ程度であることから、１０ｍまで超音波が届くための周波数として、ここでは、超音波の周波数を４０ｋＨｚと設定する。但し、超音波の周波数は、これに限定されず、部屋２の大きさまたは特性などに合わせて適宜決定してよい。

【００３４】

なお、図２においては、音波素子１２が超音波を受信する例を示しているが、それに限らず、音波素子１３が超音波を受信してもよい。その場合、音波素子１３が、電線１５を介して、検出部３５に接続される。なお、音波素子１２および１３の両方が、電線１５を介して、検出部３５に接続されていてもよく、あるいは、受信側のいずれか一方が電線１５を介して検出部３５に接続されていてもよい。このように、実施の形態１では、音波の送受信を行う第１音波素子と、音波の送信を行う第２音波素子とが設けられている。以下では、音波素子１２を第１音波素子とし、音波素子１３を第２音波素子とした場合について説明する。

【００３５】

音波素子１２および１３は指向性を持っている。すなわち、音波素子１２および１３が送信波１７および１８を出射する方向は変更可能である。そのため、受信波１９のＳ／Ｎをなるべく高めるために、音波素子１２および１３と反射面４との配置関係は、以下のように規定する。図３は、実施の形態１に係る湿度センサ１１における音波素子１２および１３と反射面４との配置関係を示す図である。図３においては、図の簡略化のため、センサユニット１１Ａを代表して示している。図３に示すように、音波素子１２の半値幅の指向角をθとする。このとき、音波素子１２と反射面４とが対向するように、反射面４を設

置する。また、音波素子１２からの法線と反射面４とが交わるようにし、さらに指向角θの範囲の一部が反射面４の一部に重なるようにする。音波素子１３についても同様に規定する。なお、反射面４は固定であってもよいし、可動としてもよい。ここで、音波素子１２の半値幅の指向角θとは、音波素子１２からの超音波出力のスペクトル分布において、相対放射強度が、ピーク値の５０％になる波長の幅である。ここでは、半値幅は、半値全幅である。また、音波素子１２からの法線とは、超音波の放射方向であり、指向角θの周方向の中心を通る線である。

【００３６】

図２の説明に戻る。駆動部３６が、音波素子１２および１３に対して、周波数４０ｋＨｚのパルス波を印加する。これにより、音波素子１２および１３は、周波数４０ｋＨｚの超音波を発生する。なお、超音波の発信方法は、駆動部３６によるパルス波の印加に限定されず、駆動部３６が、交流などの連続波を音波素子１２および１３に印加してもよい。波長λは、周波数が４０ｋＨｚ、音の空気中の速度が３４３ｍ／秒であるとすると、３４３０００（ｍｍ）／４００００（Ｈｚ）＝８．５８ｍｍ／Ｈｚとなる。また、周期Ｔは、周波数の逆数であるので、１／４０（ｋＨｚ）＝２．５×１０$^{-5}$秒＝２５マイクロ秒となる。パルス幅は任意でよいが、あまり長くすると検出が困難となるため、波長の１～５倍が適切である。パルス回数は多くするほど分解能が良くなる傾向があるが、その反面、残響音の影響も大きくなるため、１～１００回程度が適切である。超音波の発信時間は、同様の理由により、０．０１～１ミリ秒の範囲が適切である。

【００３７】

図２に示すように、音波素子１２および１３から発生した超音波は、それぞれ、矢印で示す送信波１７および１８として、反射面４に到達する。その後、それらの送信波１７および１８は反射面４で反射されて、音波素子１２まで受信波１９として到達する。そのとき、干渉波２０が発生する。図２の干渉波２０のうち、実線は超音波が重なり合って強まっている範囲を示し、破線は超音波が打ち消し合って消音している範囲を示している。この実線部分が、音波素子１２の位置と重なり合った場合は、重なり合った超音波が音波素子１２で検出される。このように、音波素子１２は、音波素子１２および１３から発信された送信波１７および１８の干渉波２０を受信する。音波素子１２で干渉波２０を検出しやすくするためには、超音波の強まり合う条件を作り出す必要がある。そのため、実施の形態１では、音波素子１２と音波素子１３の位置関係に着目する。以下、具体的に説明する。

【００３８】

図２に示すように、音波素子１２と反射面４までの距離を第１距離Ｌ１とし、音波素子１３と反射面４までの距離を第２距離Ｌ２とする。このとき、ｎを整数としたとき、第１距離Ｌ１と第２距離Ｌ２との距離の差（Ｌ１－Ｌ２）に関して下記の（１）式が成立する場合に、音波素子１２と音波素子１３から発せられた超音波が強まり合う。すなわち、距離の差（Ｌ１－Ｌ２）が、波長λの整数倍になるとき、音波素子１２と音波素子１３から発せられた超音波が強まり合う。

【００３９】

$$Ｌ１－Ｌ２＝ｎ・λ \qquad （１）$$

【００４０】

例えば、第１距離Ｌ１を５．０００ｍ、第２距離Ｌ２を５．０８５８ｍとした場合、距離の差（Ｌ１－Ｌ２）は８５．８ｍｍとなり、波長８．５８ｍｍの１０倍となり、超音波が強まり合う。このとき、音波素子１２と音波素子１３との間の距離Ｄ３とすると、図２から明らかなように、第１距離Ｌ１、第２距離Ｌ２、および、距離Ｄ３は、第２距離Ｌ２を斜辺とする直角三角形を構成している。そのため、距離Ｄ３は、近似的に０．９３０ｍと計算できる。このことから、音波素子１２と音波素子１３との間の距離Ｄ３を０．９３０ｍとした場合は、受信波１９が強まる。なお、距離Ｄ３は、音波素子１２の出射口の中心と音波素子１３の出射口の中心との間の距離である。このように、式（１）が成立するように、音波素子１２および１３を設置することで、音波素子１２は、音波素子１２およ

び１３から発信する超音波の干渉波２０を受信できる。

【００４１】

一方、下記の（２）式が成立する条件で、音波素子１２と音波素子１３とを設置した場合は、音波素子１２からの送信波１７と音波素子１３からの送信波１８とが互いに打ち消し合い、音波素子１２で受信する受信波１９が小さくなる。

【００４２】

Ｌ１－Ｌ２＝（ｎ+１／２）・λ　　（２）

【００４３】

従って、実施の形態１では、第１距離Ｌ１と第２距離Ｌ２との差（Ｌ１－Ｌ２）が、波長λの整数倍になるように、音波素子１２および音波素子１３を設置する。これにより、音波素子１２で干渉波２０を検出しやすくなる。

【００４４】

音波素子１２は、受信した超音波を電圧に変換して出力する。以下では、音波素子１２の出力を、電圧出力と呼ぶ。なお、音波素子１２が受信する超音波には、音波素子１２自身が送信した送信波１７に由来する成分、受信波１９に由来する成分、および、干渉波２０に由来する成分のうち、少なくとも１つが含まれる。音波素子１２からの電圧出力は、電線１５を介して、検出部３５に送信される。検出部３５のＡＤコンバータ３５ａは、音波素子１２からの電圧出力に対してＡＤ変換を行うことにより、当該電圧出力をデジタル信号に変換する。検出部３５は、当該デジタル信号に変換された電圧出力に基づいて、相対湿度を計算して出力する。当該相対湿度が、湿度センサ１１で検出された部屋２の湿度になる。以下、検出部３５における具体的な演算の過程を示す。

【００４５】

＜実施の形態１の作用＞

＜実験１＞

実験結果の一例を以下に示す。以下、当該実験を、実験１と呼ぶ。実験１では、図１に示す部屋２の室内条件を約１／１０の大きさに縮小した空間として、恒温恒湿槽内で実験を行った。このとき、Ｌ１を５０ｃｍ、Ｌ２を５０．８５８ｃｍと設定した。温度は２２℃とし、相対湿度を３０、４０、５０、６０、７０、８０、９０％と変化させた。音波素子１２に印加したパルス数は２０個とした。従って、音波素子１２が送信する送信波１７の個数は、２０個である。このときの音波素子１２からの電圧出力の変化を調べた。音波素子１２からの電圧出力は、検出部３５においてデジタル信号に変換し、以後は離散的なデータとして解析を行った。また、実験１では、音波素子１２のみが送信波１７を送信し、音波素子１３は送信波１８を送信しなかった。また、反射面４からの反射波は、受信波１９として音波素子１２に受信させた。

【００４６】

図４は、実験１の実験結果を示す図である。図４は、音波素子１２からの出力電圧の波形の時間変化を示す。図４において、横軸は時間を示し、縦軸は音波素子１２の出力電圧を示す。経過時間０ｍｓは、音波素子１２から超音波を発信した時刻T_0を示す。図４において、経過時間０ｍｓから経過時間１．５ｍｓまでの出力電圧は、受信波１９または干渉波２０に由来するものではなく、音波素子１２が発信した送信波１７に由来する。

【００４７】

第１距離Ｌ１を５０ｃｍとし、音速を３４３ｍ/ｓとする。このとき、音波素子１２から送信された送信波１７が反射面４を経由して受信波１９として音波素子１２に到達するまでの到達時間は、以下のようにして求められる。すなわち、第１距離Ｌ１の往復距離を、音速で除算すればよいため、具体的な計算は、０．５×２／３４３＝２．９１５×10^{-3}ｓとなり、約２．９ｍｓと求められる。従って、図４の経過時間０ｍｓの時刻T_0で音波素子１２が発した送信波１７が、反射面４で反射して、受信波１９として音波素子１２に戻ってくる時刻は、経過時間が約２．９ｍｓの時点の時刻T_1となる。

【００４８】

実験１で、音波素子１２に印加されるパルス波は、全部で２０個である。従って、音波

素子１２は、それらのパルス波に従って、２０個の送信波１７を送信する。２０個の送信波１７のうち、１番目に送信された送信波１７の反射波は、受信波１９として、時刻T_1で受信される。その後、音波素子１２は、時刻T_1から時刻T_2までの間に、２番目、３番目、・・・に送信された送信波１７の反射波を、受信波１９として順次受信する。

【００４９】

時刻T_2の決定方法について説明する。音波素子１２が送信波１７を送信する周期Ｔは２５マイクロ秒であり、パルス数が２０個である。そのため、音波素子１２から２０個の送信波１７を発生させるための所要時間は、２５マイクロ秒×２０＝０．５ｍｓである。このため、時刻T_1の経過時間２．９ｍｓに、所要時間０．５ｍｓを加算した時刻を、時刻T_2とする。従って、時刻T_2は、経過時間が、２．９＋０．５＝３．４ｍｓの時点となる。従って、時刻T_2は、音波素子１２が、２０個の送信波１７のうち、最後に送信した送信波１７を受信波１９として受信する時刻である。図４においては、時刻T_1から時刻T_2の範囲の出力電圧を枠Ｒ１で囲っている。枠Ｒ１で示す範囲が、受信波１９および干渉波２０に由来する出力電圧である。

【００５０】

図４に示すように、枠Ｒ１において、出力電圧のピーク幅は＋６０ｍＶ～－６０ｍＶとなっている。出力電圧を自乗し、２．９ｍｓから３．４ｍｓの範囲で積分することで、出力電圧の自乗積分値を計算した結果を、図５に示す。図５は、出力電圧の自乗積分値と相対湿度との関係を示す図である。図５において、横軸は相対湿度を示し、縦軸は出力電圧の自乗積分値を示す。図５は、実験１を１０回繰り返して、各値の単純平均値を計算し、バラツキの範囲をエラーバーで示している。図５に示すように、相対湿度３０％のときに出力電圧の自乗積分値が最も高く、相対湿度が高くなるにつれて、出力電圧の自乗積分値は、ほぼ直線的に減少する。空気中の水分は音波を散乱する性質があり、相対湿度が高いことは空気中の水分を多く含んでいることを意味することから、相対湿度が高くなると、超音波の出力電圧の自乗積分値が小さくなる。

【００５１】

音波素子１２の出力電圧は、Ａ／Ｄ変換したデジタル信号であるため、そのままでは相対湿度を求めることができない。そのため、実施の形態１では、音波素子１２の出力電圧と相対湿度との関係を定義したデータテーブルを、コントローラ１６の記憶部３７に予め記憶しておく。データテーブルは、例えば、当該関係として、音波素子１２の出力電圧の自乗積分値と相対湿度との関係を定義する。以下、データテーブルの生成方法について説明する。湿度を測定する室内条件において、実験１などを行うことにより、図５に示すような音波素子１２の出力電圧の自乗積分値と相対湿度との関係が求められる。室内条件を変えて、この処理を繰り返す。これにより、室内条件ごとに、図５に示す関係を得ることができる。データテーブルは、室内条件ごとに求めた図５に示す関係をデータとして有している。検出部３５は、当該データテーブルを用いて、音波素子１２の出力電圧の自乗積分値に基づいて、相対湿度を求める。例えば、検出部３５は、音波素子１２の出力電圧の自乗積分値が１３８００ｍＶ^2・ｍｓであった場合、図５の矢印Ａ１およびＡ２に示すように、データテーブルから、自乗積分値１３８００ｍＶ^2・ｍｓに対応する相対湿度を求めることができる。この場合、対応する相対湿度は５９％であるので、検出部３５は、「湿度５９％」を湿度として出力する。

【００５２】

＜実験２＞

次に、実験１と同じ実験環境において、音波素子１２と音波素子１３とから同時に送信波１７および送信波１８を発信させ、音波素子１２の出力電圧を測定する実験を行った。以下では、当該実験を、実験２と呼ぶ。図６は、実験２の実験結果を示す図である。

【００５３】

図６においても、図４と比較しやすいように、時刻T_1から時刻T_2の範囲の出力電圧を枠Ｒ１で囲っている。枠Ｒ１で示す範囲が、受信波１９および干渉波２０に由来する出力電圧である。

【００５４】
図４と図６とを比較すると、図６においては、枠Ｒ１の出力電圧のピーク幅は＋１００ｍＶ～－１００ｍＶとなり、図４の場合よりも、明らかに大きくなっている。これにより、図６の場合の方が、図４の場合よりも、Ｓ／Ｎが改善されている。従って、図６の場合のように、音波素子１２と音波素子１３とから同時に送信波１７および送信波１８を発信させることにより、Ｓ／Ｎが改善できる。
【００５５】
実験１および実験２では、部屋２の１／１０スケールで行った実験であるが、実際の室内条件では、出力電圧が全体的に小さくなるため、信号が増幅することにより、Ｓ／Ｎが、実験１および実験２よりも、さらに改善する。
【００５６】
＜実施の形態１の効果＞
以上のように、実施の形態１では、以下の条件（Ａ）～（Ｃ）の条件を満たした状態で、検出部３５が、音波素子１２の出力電圧に基づいて、相対湿度を演算する。これにより、出力電圧のＳ／Ｎが改善され、広い空間においても、より高精度に空気中の湿度を計測することが可能となるという効果を奏する。
（Ａ）：音波素子１２および音波素子１３は、第１距離Ｌ１と第２距離Ｌ２との差が波長λの整数倍となるように設置される。
（Ｂ）：音波素子１２と音波素子１３とから同時に送信波１７および１８を送信する。
（Ｃ）：音波素子１２が干渉波２０を受信する。そのために、音波素子１２からの出力電圧のうち、枠Ｒ１で囲まれた時刻$Ｔ_{1}$から時刻$Ｔ_{2}$の範囲の干渉波２０に由来する成分を含む出力電圧に基づいて、湿度を求める。
【００５７】
なお、実施の形態１では、音波素子１２および１３が超音波を発する場合を説明したが、その場合に限定されない。例えば、音波素子１２および１３が、周波数２０ｋＨｚ以下の可聴音波を発するようにしてもよい。その場合、超音波に対して周波数および波長が異なるだけで、現象は同じである。そのため、超音波の場合と同様の効果を奏する。また、実施の形態１では、音波素子１２の出力電圧を計測しているが、音波素子１３の出力電圧を利用しても同様な効果を奏する。
【００５８】
また、実施の形態１では、２つの音波素子１２および１３を設けるとしたが、この場合に限定されない。音波素子の個数は、３以上の任意の個数Ｎでもよい。この場合、いずれか１以上の音波素子からの出力電圧に基づいて湿度の計測を行う。また、その場合には、１～Ｎ個の音波素子のうち、ｉ番目の音波素子と反射面４までの距離を$Ｌ_{i}$とし、（ｉ＋１）番目の音波素子と反射面４までの距離を$Ｌ_{i+1}$とする。このとき、距離$Ｌ_{i}$と距離$Ｌ_{i+1}$との差が、上記（１）式で示すように、波長λの整数倍になるように、ｉ番目の音波素子と（ｉ＋１）番目の音波素子とを設置すればよい。
【００５９】
以上のように、実施の形態１では、音波素子１２が干渉波２０を受信することで、重なり合った超音波を音波素子１２が受信できるため、Ｓ／Ｎが改善される。これにより、高精度に、部屋２の湿度を求めることができる。
【００６０】
また、実施の形態１では、音波素子１２および音波素子１３が、第１距離Ｌ１と第２距離Ｌ２との差が波長λの整数倍となるように設置される。これにより、音波素子１２と音波素子１３とから発せられた超音波が強まり合う。これにより、音波素子１２の受信結果が強まり、Ｓ／Ｎが改善される。
【００６１】
また、実施の形態１では、検出部３５が、記憶部３７に記憶されたデータテーブルを用いて、湿度を求める。これにより、検出部３５の演算負荷を低減することができる。
【００６２】

実施の形態２．

図７は、実施の形態２に係る空気調和機１の構成を模式的に示す側断面図である。また、図８は、実施の形態２に係る湿度センサ１１のコントローラ１６の構成を示すブロック図である。実施の形態１と実施の形態２との差異は、以下の２点である。１つめは、実施の形態１においては、湿度センサ１１が２つのセンサユニット１１Ａおよび１１Ｂから構成されていたが、実施の形態２においては、図７に示すように、湿度センサ１１が１つのセンサユニット１１Ｃから構成されていることである。２つめは、コントローラ１６の駆動部３６が、図８に示すように、遅延回路３６ａを有していることである。

【００６３】

上記の実施の形態１では、上記式（１）で示すように、音波素子１２および音波素子１３を超音波の干渉が起きる位置に設置することで、干渉波２０が発生する条件を得た。実施の形態２では、遅延回路３６ａにより、音波素子１２および音波素子１３へのパルス波の印加時間をずらすことで同じ条件を実現する。この場合、図７に示すように、１つのセンサユニット１１Ｃ内に、音波素子１２と音波素子１３とを一体化して組込むことが可能となる。この場合、第１距離Ｌ１と第２距離Ｌ２とは、ほぼ同じとなる。その他の構成および動作は実施の形態１と同様であるため、ここでは、その説明を省略する。

【００６４】

遅延回路３６ａは、駆動部３６が音波素子１２および１３に対してパルス波を印加する時間を、予め設定した遅延時間Ｔｄにより遅延させる。すなわち、遅延回路３６ａは、音波素子１２および音波素子１３のいずれか一方の送信タイミングを、他方の送信タイミングに対して、遅延時間Ｔｄだけ遅延させる。遅延時間Ｔｄは、音波素子１２および１３ごとに、予め設定される。これにより、例えば、音波素子１２の送信波１７の送信時刻に対して、遅延時間Ｔｄだけ遅れて、音波素子１３が送信波１８を送信する。遅延時間Ｔｄは、音波素子１２および音波素子１３から送信される超音波の周期Ｔに対し、０＜Ｔｄ＜１／２×Ｔの範囲で決定される。

【００６５】

以下、実施の形態２に係る湿度センサ１１の動作について説明する。音波素子１２への印加する時点を０ｍｓとする。また、音波素子１３への印加のタイミングを、遅延回路３６ａを用いて、０ｍｓから予め設定された遅延時間Ｔｄだけ遅らせる。すなわち、駆動部３６は、経過時間が０ｍｓの時点で音波素子１２へパルス波を印加し、経過時間が０ｍｓ＋Ｔｄの時点で音波素子１３へパルス波を印加する。遅延時間Ｔｄは、上述したように、０＜Ｔｄ＜１／２×Ｔの範囲で決定されるが、例えば、以下のように決定することが、より望ましい。周期Ｔが２５ｍｓであるため、周期Ｔの１／４分は、２５／４＝６．２５ｍｓである。従って、遅延時間Ｔｄは、０ｍｓ＜Ｔｄ＜６．２５ｍｓの範囲で、決定することがより望ましい。

【００６６】

実際には、音波素子１２と音波素子１３との間に距離Ｄ３が存在し、音波素子１２と音波素子１３とは、反射面４に対する傾斜が異なる。そのため、位相のずれが生じているので、１つの遅延時間Ｔｄとせずに、複数の遅延時間Ｔｄのセットとすることが望ましい。すなわち、遅延時間Ｔｄを１つの固定値とせずに、複数個予め用意する。例えば、１回目は、遅延時間Ｔｄ１と、２回目は、遅延時間Ｔｄ２、３回目は遅延時間Ｔｄ３とする。これについて、具体的に説明する。ここでは、遅延時間Ｔｄ１を、周期Ｔの１／１２分、すなわち、２５／１２＝２．０８ｍｓとする。また、遅延時間Ｔｄ２を、周期Ｔの２／１２分、すなわち、２５×２／１２＝４．１７ｍｓとする。また、遅延時間Ｔｄ３を、周期Ｔの３／１２分、すなわち、２５×３／１２＝６。２５ｍｓとする。このとき、まず、１回目として、音波素子１２へのパルス波の印加後、遅延時間Ｔｄ１だけ遅らせて、音波素子１３へパルス波を印加し、音波素子１２の出力電圧を求める。その後、２回目として、音波素子１２へ再びパルス波を印加した後、遅延時間Ｔｄ２だけ遅らせて、音波素子１３へパルス波を印加させて、音波素子１２の出力電圧を求める。さらに、その後、３回目として、音波素子１２へ再びパルス波を印加した後、遅延時間Ｔｄ３だけ遅らせて、音波素子

１３へパルス波を印加させて、音波素子１２の出力電圧を求める。これにより、検出部３５が、１回目から３回目までのそれぞれについて、音波素子１２の出力電圧から、図５に示した自乗積分値を求める。検出部３５は、それらの自乗積分値の中で、自乗積分値が最も大きい場合に、干渉波２０が起きたと判定し、当該自乗積分値を選択する。なお、周期Ｔの刻み幅は、ここでは、周期Ｔの１／１２分としたが、さらに細分化してもよい。

【００６７】

なお、実施の形態２においては、音波素子１２と音波素子１３とをセンサユニット１１Ｃ内に設置するとして説明した。しかしながら、この場合に限定しない。実施の形態２においても、例えば、図１に示すように、音波素子１２と音波素子１３とを別々のセンサユニット１１Ａおよび１１Ｂに設置してもよい。その場合においても、実施の形態２で説明したように、駆動部３６によるパルス波の印加時間は、遅延回路３６ａを用いて、遅延時間Ｔｄだけ遅延させてもよい。

【００６８】

＜実施の形態２の効果＞

以上のように、実施の形態２では、以下の条件（Ａ）～（Ｃ）の条件を満たした状態で、検出部３５が、音波素子１２の出力電圧に基づいて、相対湿度を演算する。これにより、出力電圧のＳ／Ｎが改善され、広い空間においても、より高精度に空気中の湿度を計測することが可能となるという効果を奏する。

（Ａ）：音波素子１２および音波素子１３は、１つのセンサユニット１１Ｃ内に近接して配置される。

（Ｂ）：遅延回路３６ａにより、音波素子１２の超音波の送信タイミングと、音波素子１３の超音波の送信タイミングとを、遅延時間Ｔｄだけずらす。このとき、複数の遅延時間Ｔｄのセットの中から、音波素子１２の電圧出力が最大となる遅延時間Ｔｄを選択してもよい。

（Ｃ）：音波素子１２が干渉波２０を受信する。音波素子１２からの出力電圧のうち、枠Ｒ１で囲まれた時刻$Ｔ_{1}$から時刻$Ｔ_{2}$の範囲の干渉波２０に由来する成分を含む出力電圧に基づいて、湿度を求める。

【００６９】

以上のように、実施の形態２においても、上記の実施の形態１と同様の効果が得られる。実施の形態１と実施の形態２とでは、超音波を強め合う上記（Ａ）および（Ｂ）が異なるが、同等の効果が得られる。また、（Ａ）は必須の条件ではない。すなわち、実施の形態２においては、上記（Ｂ）に示すように、超音波が強め合うように、遅延回路３６ａを用いて、音波素子１２と音波素子１３との超音波の発信時間をずらす。これにより、音波素子１２が、強まり合った超音波を受信し、出力電圧を出力する。検出部３５が、出力電圧から自乗積分値を演算し、相対湿度を演算する。これにより、出力電圧のＳ／Ｎが改善することで、空気中の湿度を、より高精度で計測することが可能となる効果を奏する。

【００７０】

実施の形態３.

実施の形態３は、上記の実施の形態１と構成は基本的に同様であるが、反射面４の位置が実施の形態１と異なる。従って、以下の説明においては、図１および図２を参照することとする。

【００７１】

上記の実施の形態１においては、反射面４は、部屋２の床面３９および壁面３８に基本的に固定する例について説明した。しかしながら、部屋２のレイアウトを変更することを行った場合、反射面４を移設する必要がある。反射面４を移設した場合は、上記の実施の形態１で示す干渉波２０が起きる条件を満たす音波素子１２と音波素子１３との位置がずれることになる。したがって、多くの場合、出力電圧が低下する可能性が高い。

【００７２】

これを補正するために、実施の形態３では、上記の実施の形態２の動作と同様にして以下の動作を行う。

【００７３】
駆動部３６は、音波素子１２にパルス波を印加させた後に、遅延時間Ｔｄだけ遅延させて、音波素子１３にパルス波を印加する。具体的には、音波素子１２へのパルス波の印加する時点を０ｍｓとして、音波素子１３については、遅延回路３６ａを用いて、印加時間を遅延時間Ｔｄだけ遅らせる。遅延時間Ｔｄは、周期Ｔが２５ｍｓであるため、周期Ｔの１／４分すなわち２５／４＝６．２５ｍｓに基づいて、０ｍｓ＜Ｔｄ＜６．２５ｍｓの範囲で決定することが望ましい。
【００７４】
また、実施の形態３においても、上記の実施の形態１および２と同様に、音波素子１２と音波素子１３との間に距離Ｄ３がある。そのため、音波素子１２と音波素子１３とは反射面４に対する傾斜が異なることから、位相のずれが生じている。そのため、１つの遅延時間とせずに、複数の遅延時間のセットとすることが望ましい。すなわち、上記実施の形態２と同様に、遅延時間Ｔｄを１つの固定値とせずに、複数個予め用意する。例えば、１回目は、遅延時間Ｔｄ１と、２回目は、遅延時間Ｔｄ２、３回目は遅延時間Ｔｄ３とする。遅延時間Ｔｄ１、Ｔｄ２、および、Ｔｄ３は、例えば、上記の実施の形態２と同じ値にする。検出部３５は、１～３回目のいずれかの出力電圧から求めた自乗積分値が最も大きい場合に、干渉波２０が起きたものと判定し、当該遅延時間を位置のずれに相当するものとして、求めた相対湿度の補正を行う。
【００７５】
以後、相対湿度を計測する場合は、当該遅延時間を予め設定して、相対湿度の測定を行うことで、反射面４の位置が変わった場合でも、常に、Ｓ／Ｎの高い湿度の測定が可能となる効果を奏する。
【００７６】
実施の形態４.
図９は、実施の形態４に係る空気調和機１の構成を模式的に示す側断面図である。上記の実施の形態１と異なる点としては、以下の２点である。１点目は、図９においては、図１の２つのセンサユニット１１Ａおよび１１Ｂのうち、センサユニット１１Ａのみを配置している。センサユニット１１Ａの構成は、実施の形態１のセンサユニット１１Ａと同じである。従って、センサユニット１１Ａに設けられた音波素子１２は、音波の送受信を行う第１音波素子である。２点目は、図１の反射面４の代わりに、超音波発生ユニット２２および２６を設置している。他の構成および動作については、実施の形態１と同じである。
【００７７】
超音波発生ユニット２２は、音波素子２３、電線２４、および、コントローラ２５を有している。音波素子２３は、電線２４を介して、コントローラ２５に接続されている。コントローラ２５は、音波素子２３を駆動させる。音波素子２３は、音波の送信を行う第２音波素子である。従って、超音波発生ユニット２２は、図２で示すセンサユニット１１Ｂと同様の構成を有している。
【００７８】
超音波発生ユニット２６は、音波素子２７、電線２８、および、コントローラ２９を有している。音波素子２７は、電線２８を介して、コントローラ２９に接続されている。コントローラ２９は、音波素子２７を駆動させる。音波素子２７は、音波の送信を行う第２音波素子である。従って、超音波発生ユニット２６は、図２で示すセンサユニット１１Ｂと同様な構成を有している。
【００７９】
ただし、超音波発生ユニット２２および２６は固定ではなく、モータ（図示せず）などにより物理的に自動で動くことが可能となっている。モータの動作は、コントローラ１６により制御される。実施の形態４では、超音波発生ユニットの個数は２つとしているが、１または３つ以上でもよい。また、センサユニット１１Ａも１つではなく、複数個であってもよい。また、センサユニット１１Ａと超音波発生ユニット２２とを入れ替えて設置し

てもよい。また、音波素子２３および２７の超音波は、それぞれ、送信波３０および３１としてセンサユニット１１Ａに到達する。

【００８０】

コントローラ２５および２９は、それぞれ、実施の形態２に説明した駆動部３６と同様に、音波素子２３および２７に対して、パルス波を印加する。これにより、音波素子２３および２７が、超音波を発生する。

【００８１】

また、コントローラ２９は、遅延回路２９ａを有している。なお、遅延回路２９ａの構成および動作は、実施の形態２に説明した駆動部３６の遅延回路３６ａと同じである。

【００８２】

次に、動作について説明する。コントローラ２５において周波数４０ｋＨｚのパルス波を、音波素子２３に印加させることで、音波素子２３が超音波を発生させる。当該超音波は、送信波３０として、センサユニット１１Ａに到達する。音波素子２３への印加する時点を０ｍｓとして、音波素子２７への印加は、遅延回路２９ａを用いて、遅延時間Ｔｄだけ印加時間を遅らせる。遅延時間Ｔｄは、以下のように決定する。周期Ｔが２５ｍｓであるため、周期Ｔの１／４分は、２５／４＝６．２５ｍｓとなる。そのため、遅延時間Ｔｄは、０ｍｓ＜Ｔｄ≦６．２５ｍｓの範囲で決定することが望ましい。音波素子２７から発生された超音波は、送信波３１として、湿度センサ１１に到達する。

【００８３】

また、実施の形態４においては、音波素子２３と音波素子２７との間に距離Ｄ４があり、センサユニット１１Ａに対する傾斜が異なることから、位相のずれが生じている。そのため、複数の遅延時間のセットすることが望ましい。すなわち、上記実施の形態２および３と同様に、遅延時間Ｔｄを１つの固定値とせずに、複数個予め用意する。例えば、１回目は、遅延時間Ｔｄ１と、２回目は、遅延時間Ｔｄ２、３回目は遅延時間Ｔｄ３とする。遅延時間Ｔｄ１、Ｔｄ２、および、Ｔｄ３は、例えば、上記の実施の形態２と同じ値にする。検出部３５は、１～３回目の音波素子１２の出力電圧に基づいて求めた自乗積分値のうち、自乗積分値が最も大きい場合の遅延時間のときに干渉波２０が起きたものと判定する。周期Ｔの刻み幅は、ここでは、周期Ｔの１／１２分としたが、さらに細分化してもよい点は、実施の形態２と同様である。

【００８４】

実施の形態４の効果は、実施の形態２と同様である。すなわち、音波素子２３と音波素子２７の超音波が強め合うように、遅延回路２９ａを用いて、送信波３０および３１の発信時間をずらす。これにより、出力電圧のＳ／Ｎが改善することで、空気中の湿度に関してより高精度の計測が可能となる効果を奏する。

【００８５】

また、実施の形態４において、実施の形態１を参考にして、音波素子２３と音波素子２７との配置位置を決定することで、音波素子２３から発せられた超音波と音波素子２７から発せられた超音波とが強まるようにしてもよい。その場合には、音波素子２３と音波素子２７とは、同時に超音波を送信する。例えば、音波素子２３とセンサユニット１１Ａとの距離を第１距離Ｌ１とし、音波素子２７とセンサユニット１１Ａとの距離を第２距離Ｌ２として、第１距離Ｌ１と第２距離Ｌ２との差が、波長λの整数倍になるように、音波素子２３と音波素子２７とを配置する。あるいは、音波素子２３と音波素子２７との位置を徐々に変更していき、センサユニット１１Ａの音波素子１２からの出力電力が最大となる位置に、音波素子２３と音波素子２７とを配置する。

【００８６】

なお、上記の実施の形態４の説明においては、コントローラ２９が、遅延回路２９ａを有しているとして説明した。しかしながら、この場合に、限定されない。コントローラ２５が、遅延回路２５ａを有していてもよい。あるいは、コントローラ２９および２５の両方が、遅延回路２９ａおよび２５ａをそれぞれ有していてもよい。いずれの場合においても、コントローラ２９および２５に設けた遅延回路２９ａまたは２５ａにより、送信波３

０および３１の発信時間をずらすことで、音波素子２３と音波素子２７の超音波を強め合うことができる。これにより、出力電圧のＳ／Ｎが改善することで、空気中の湿度に関してより高精度の計測が可能となる効果を奏する。

【００８７】

実施の形態５.

図１０は、実施の形態５に係る湿度センサ１１の構成を模式的に示す側断面図である。実施の形態５では、湿度センサ１１が、１つのセンサユニット１１Ｄから構成されている。また、上記の実施の形態２で示したセンサユニット１１Ｃは２つの音波素子１２および１３を有していたが、実施の形態５では、図１０に示すように、センサユニット１１Ｄが７つの音波素子４０が設けられている。この点のみが、実施の形態２と異なる。従って、他の構成および動作は、実施の形態２と同じである。

【００８８】

但し、実施の形態５では、音波素子４０の個数を７個としているが、その場合に限定されない。音波素子４０の個数は、任意の個数でもよい。なお、音波素子４０のうちの少なくとも１つを、超音波の送受信を行う第１音波素子とし、他の音波素子４０を超音波の送信を行う第２音波素子とする。

【００８９】

図１０に示すように、音波素子４０は、直線Ｐ上に一例に配置されている。さらに詳細に言えば、音波素子４０の超音波の出射口が、直線Ｐ上に一列に配置されている。

【００９０】

このとき、音波素子４０のうちの１つを音波素子４１と呼ぶ。音波素子４１に隣接する音波素子４０を、それぞれ、音波素子４２および４３と呼ぶ。音波素子４２は、音波素子４１の右側に配置されている。音波素子４３は、音波素子４１の左側に配置されている。

【００９１】

音波素子４１と反射面４との直線距離を距離L_kとし、音波素子４２と反射面４との直線距離を距離L_{k+1}とする。このとき、ｎを整数としたとき、距離の差（$L_k - L_{k+1}$）に関して、下記の（３）式が成立する場合に、音波素子４１と音波素子４２から発せられた超音波が強まり合う。すなわち、距離の差（$L_k - L_{k+1}$）が、波長λの整数倍になるとき、音波素子４１と音波素子４２から発せられた超音波が強まり合う。

【００９２】

$$L_k - L_{k+1} = n \cdot \lambda \qquad (3)$$

【００９３】

これにより、超音波の干渉が大きくなることで、音波素子４１からの出力電圧の自乗積分値が大きくなり、Ｓ／Ｎの高い測定が可能となる。

【００９４】

なお、ここでは、隣接する音波素子４１および４２の設置位置について説明したが、その場合に限定されない。すなわち、離れた位置に配置された音波素子４０同士についても同様である。音波素子４２と音波素子４３とを例に挙げて説明する。音波素子４２と反射面４との直線距離を距離L_{k+1}とし、音波素子４３と反射面４との直線距離を距離L_{k-1}とする。このとき、ｎを整数としたとき、距離の差（$L_{k+1} - L_{k-1}$）に関して、下記の（４）式が成立する場合に、音波素子４２と音波素子４３から発せられた超音波が強まり合う。すなわち、距離の差（$L_{k+1} - L_{k-1}$）が、波長λの整数倍になるとき、音波素子４２と音波素子４３から発せられた超音波が強まり合う。

【００９５】

$$L_{k+1} - L_{k-1} = n \cdot \lambda \qquad (4)$$

【００９６】

このように、複数の音波素子４０のうち、任意の複数の音波素子４０と反射面４との距離の差が波長λの整数倍となるように構成すればよい。

【００９７】

実施の形態５の効果は、上記の実施の形態１または２と同様である。実施の形態５にお

いても、音波素子４１と音波素子４２から同時に超音波を発信するか、または、超音波が強め合うように遅延回路を用いて、超音波の発信時間をずらす。これにより、音波素子４１により超音波を検出し、検出部３５により音波素子４１の電圧出力の自乗積分値を演算し、相対湿度を演算する。これにより、出力電圧のＳ／Ｎが改善することで、空気中の湿度に関してより高精度の計測が可能となる効果を奏する。

【００９８】

また、上記の実施の形態３で示したように、複数の音波素子４０に対して、それぞれ、遅延時間Ｔｄを設定して、複数の音波素子４０を時系列的に動作させるようにしてもよい。その場合、検出部３５が、複数の音波素子４０からの複数の電圧出力の中から、最大となる電圧出力を選択する。

【符号の説明】

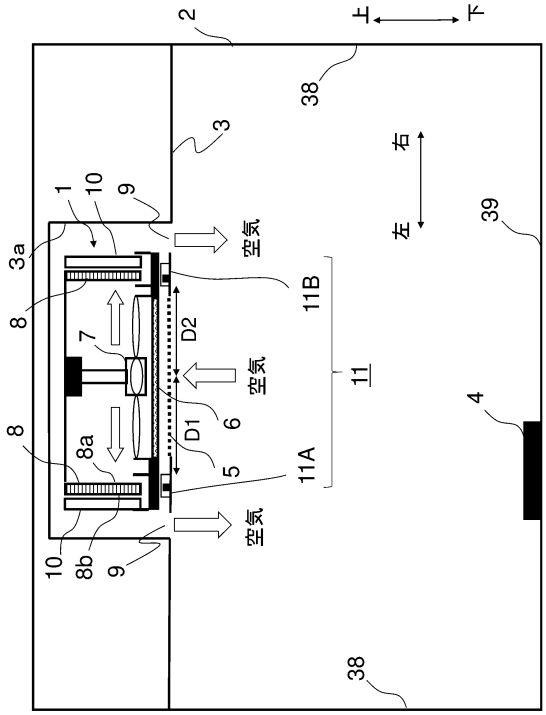
【００９９】

１　空気調和機、２　部屋、３　天井、３ａ　設置孔、４　反射面、５　吸込口、６　フィルタ、７　ファン、８　熱交換器、８ａ　正面、８ｂ　背面、９　吹出口、１０　加湿エレメント、１１　湿度センサ、１１Ａ　センサユニット、１１Ｂ　センサユニット、１１Ｃ　センサユニット、１１Ｄ　センサユニット、１２　音波素子、１３　音波素子、１４　電線、１５　電線、１６　コントローラ、１７　送信波、１８　送信波、１９　受信波、２０　干渉波、２２　超音波発生ユニット、２３　音波素子、２４　電線、２５　コントローラ、２５ａ　遅延回路、２６　超音波発生ユニット、２７　音波素子、２８　電線、２９　コントローラ、２９ａ　遅延回路、３０　送信波、３１　送信波、３５　検出部、３５ａ　ＡＤコンバータ、３６　駆動部、３６ａ　遅延回路、３７　記憶部、３８　壁面、３９　床面、４０　音波素子、４１　音波素子、４２　音波素子、４３　音波素子。

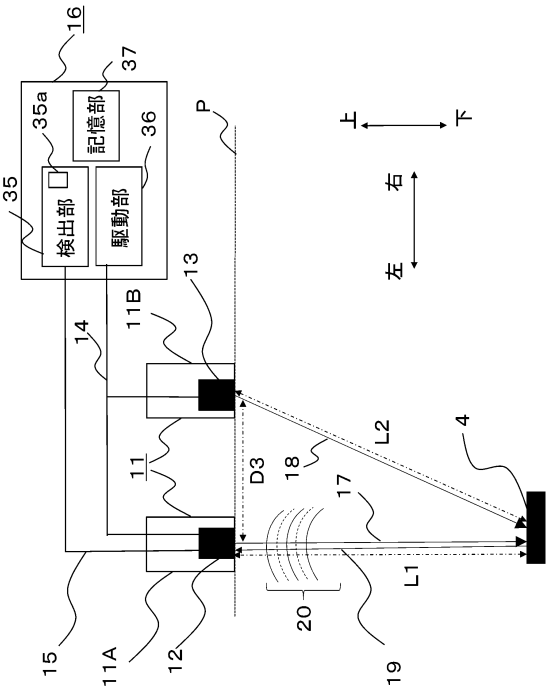
【要約】

湿度センサは、音波の送受信を行う第１音波素子と、前記音波の送信を行う第２音波素子と、前記第１音波素子および前記第２音波素子を駆動する駆動部と、前記第１音波素子の前記音波の受信結果に基づいて湿度を求める検出部とを備え、前記第１音波素子と前記第２音波素子とは反射面に平行な直線上に並んで配置され、前記第１音波素子は、前記第１音波素子および前記第２音波素子から送信される前記音波の干渉波を受信する。

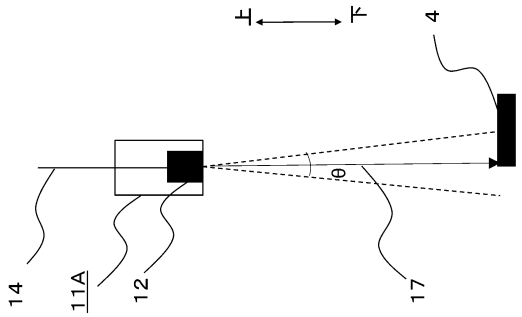
【図１】


2
上
下
38
3
1
10
9
3a
空気
右
左
39
8
11B
D2
7
空気
11
D1
6
4
8
8a
5
11A
空気
10
8b
9
38

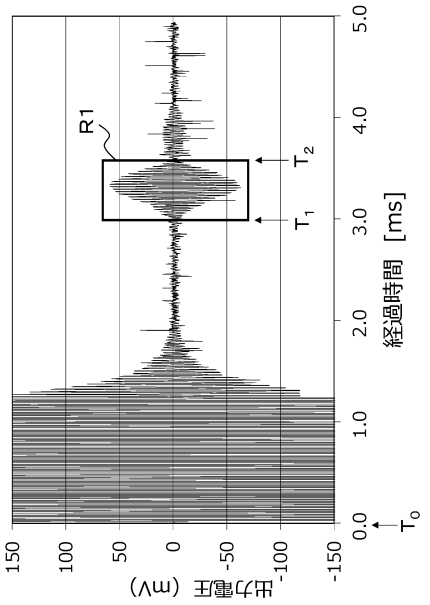
【図２】


16
37
35a
記憶部
P
35
検出部
駆動部
36
上
下
右
左
13
11B
14
4
11
L2
D3
18
17
L1
20
15
11A
12
19

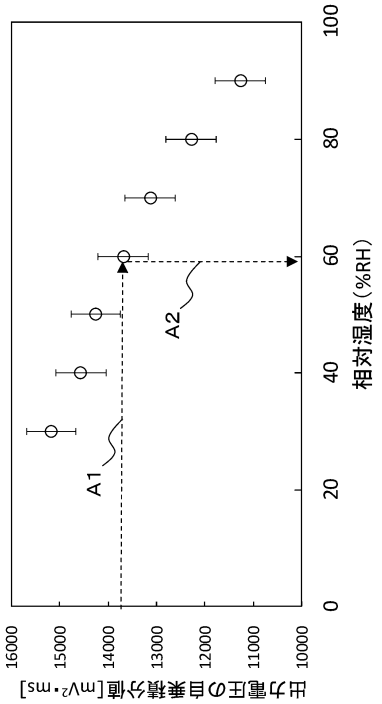
【図３】


上
下
4
θ
14
11A
12
17

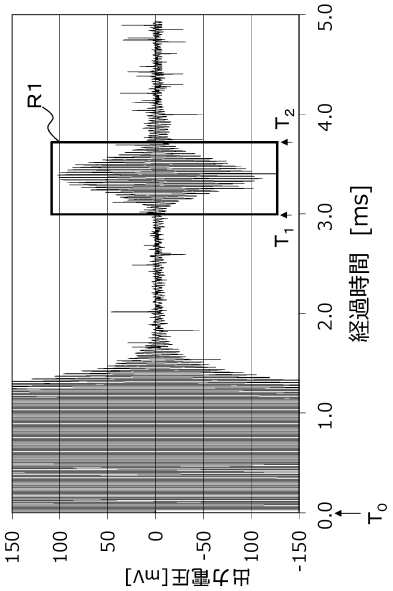
【図４】


R1
T2
T1
T0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
経過時間 [ms]
150
100
50
0
-50
-100
-150
出力電圧 (mV)

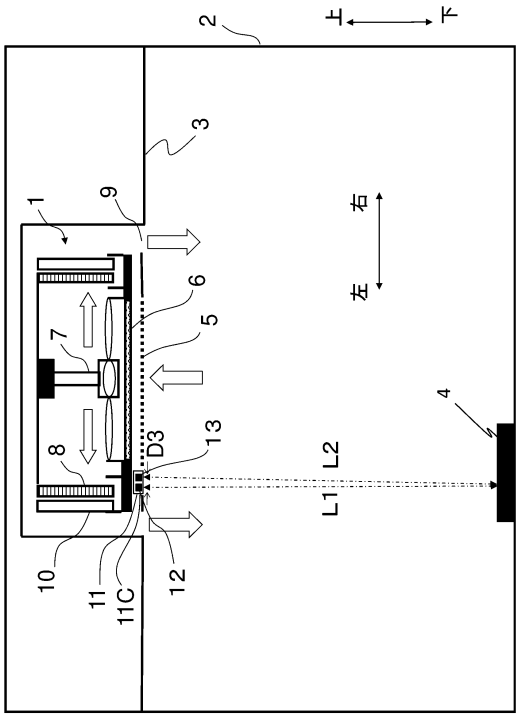
【図５】


出力電圧の自乗積分値[mV²・ms]
16000
15000
14000
13000
12000
11000
10000
相対湿度(%RH)
0
20
40
60
80
100
A1
A2

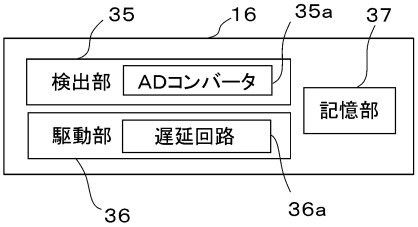
【図６】


出力電圧[mV]
150
100
50
0
-50
-100
-150
経過時間 [ms]
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
R1
T0
T1
T2

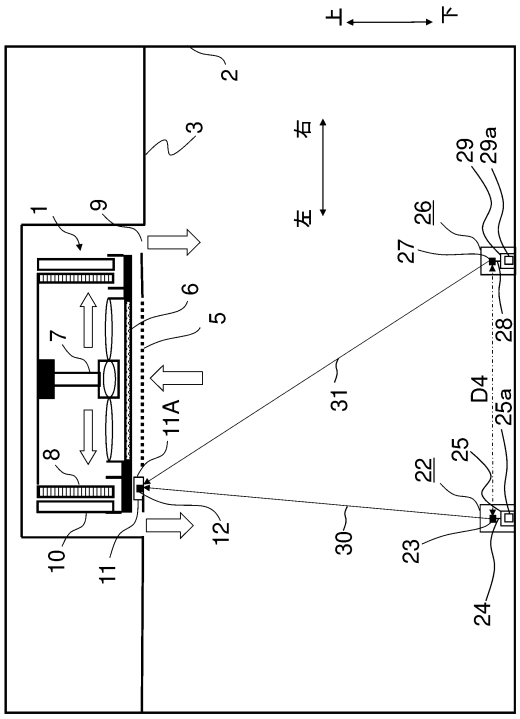
【図７】


上
下
左
右
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
11C
12
13
D3
L1
L2

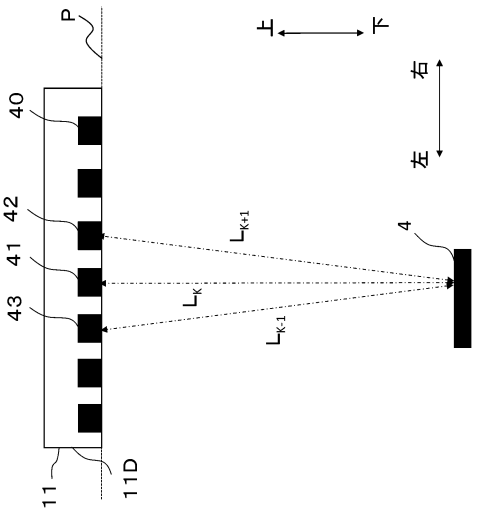
【図８】


35
16
35a
37
検出部
ADコンバータ
駆動部
遅延回路
記憶部
36
36a

【図９】


上
下
2
3
右
左
29
29a
1
9
26
27
6
5
7
28
31
D4
25a
11A
8
25
22
12
30
23
10
11
24

【図１０】


P
上
下
右
左
40
42
41
43
L_{K+1}
L_K
L_{K-1}
4
11
11D

フロントページの続き

審査官　嶋田　行志

(56)参考文献　特開２００９－２５７９７８（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１７／１４９８８３（WO，Ａ１）
特開平０３－０６７１９５（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－２１２７６０（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－２１２７６１（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００９／０５４３５９（WO，Ａ１）
特開昭５６－０００６５０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－１３０１１３（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－０９５６００（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０１８４３２（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１２８７５８（ＪＰ，Ａ）
片岡龍司，超音波による実時間湿度センシング，大阪大学基礎工学部システム科学科生物工学コース　２００５年度卒業論文，日本，２００６年　2月２２日，ＵＲＬ，http://ochiro.bpe.es.osaka-u.ac.jp/thesis/bachelor/2005/kataoka.pdf
超音波の音速と減衰に基づく温湿度計測法に関する研究，筑波大学システム情報工学研究科博士学位論文，２０１４年　3月２５日，12102甲第6886号，ＵＲＬ，http://hdl.handle.net/2241/00123491

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ　２９／００－２９／５２
ＪＳＴＰｌｕｓ／ＪＳＴ７５８０／ＪＳＴＣｈｉｎａ（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）