

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B1)

(11) 特許番号

特許第5861179号
(P5861179)

(45) 発行日 平成28年2月16日 (2016. 2. 16)

(24) 登録日 平成28年1月8日 (2016. 1. 8)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 22/00 (2006. 01) GO 1 N 22/00 S

請求項の数 9 (全 24 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-114303 (P2015-114303)</p> <p>(22) 出願日 平成27年6月4日 (2015. 6. 4)</p> <p>審査請求日 平成27年6月5日 (2015. 6. 5)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(73) 特許権者 515052604 株式会社CQ-Sネット 神奈川県横浜市神奈川区鳥越7番地の8</p> <p>(74) 代理人 100090158 弁理士 藤巻 正憲</p> <p>(72) 発明者 齋藤 光正 神奈川県横浜市神奈川区鳥越7番地の8 株式会社CQ-Sネット内</p> <p>(72) 発明者 齋藤 真輝 神奈川県横浜市神奈川区鳥越7番地の8 株式会社CQ-Sネット内</p> <p>審査官 比嘉 翔一</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 定在波レーダーによる状態検知装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

周波数掃引された電波を外部に送信し、外部の測定対象にて反射した反射波を送信波長に基づく一定距離だけ離隔した2点にて検出し、送信波及び受信波から合成される定在波を検知する定在波検知部と、

前記定在波検知部が検知した合成波の周波数の強度分布から、その直流成分を除去し、フーリエ変換して、距離スペクトルを求める距離スペクトル演算部と、

前記距離スペクトルから、基準時の距離スペクトルを減算して、距離スペクトルの差分を演算し、この差分距離スペクトルを経時的に求める差分検出部と、

前記差分距離スペクトルの距離成分により測定対象までの距離を求める距離演算部と、

前記差分距離スペクトルの振幅が、前記測定対象の誘電率の変化に基づいて変化する経緯を監視し、その振幅の変化に基づいて、前記測定対象における水分又は油劣化度の変化を判定する判定部と、

を有することを特徴とする定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項2】

周波数掃引された電波を外部に送信し、外部の測定対象にて反射した反射波を送信波長に基づく一定距離だけ離隔した2点にて検出し、送信波及び受信波から合成される定在波を検知する定在波検知部と、

前記定在波検知部が検知した合成波の周波数の強度分布から、その直流成分を除去し、フーリエ変換して、距離スペクトルを一定のサンプリング時間毎に求める距離スペクトル演

10

20

算部と、

前記距離スペクトルから、前回又は所定回前のサンプリング時の距離スペクトルを減算して、距離スペクトルの差分を演算し、この差分距離スペクトルを経時的に求める差分検出部と、

前記差分距離スペクトルの距離成分により測定対象までの距離を求める距離演算部と、前記差分距離スペクトルの振幅が、前記測定対象の誘電率の変化に基づいて変化する経緯を監視し、その振幅の変化に基づいて、前記測定対象における水分又は油劣化度の変化を判定する判定部と、

を有することを特徴とする定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項 3】

前記距離演算部は、更に、前記距離スペクトルの位相の変化分から測定対象の微小変位を求めることを請求項 1 又は 2 に記載の定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項 4】

前記差分検出部の前記差分距離スペクトルからその複数のピーク位置に対応する中心周波数をもつ複数の信号を抽出して、前記距離演算部に差分距離スペクトルとして出力する帯域通過フィルタを有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項 5】

少なくとも一部に透光性のカバーを備えたケースと、

このケース内に格納され、前記カバーを介して照明光を外部に照射する発光体としての LED 光源と、

を有する LED 照明器具内に、

前記定在波検知部、前記距離スペクトル演算部、前記差分検出部、前記距離演算部及び前記判定部が、前記ケース内に格納されて、内蔵されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項 6】

前記判定部は、寝台上に仰臥した被介護者の排尿の有無を判定することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項 7】

前記判定部は、吊り下げられた洗濯物の乾燥状態を判定することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項 8】

前記判定部は、吊り下げられて乾燥処理を行われている魚の水分量を判定することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の定在波レーダーによる状態検知装置。

【請求項 9】

排尿過程における水分量の変化の検知に使用することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の定在波レーダーによる状態検知装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、測定対象との間の距離を測定できると共に、測定対象の水分等の状態を検出することができる定在波レーダーによる状態検知装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、介護施設等において、ベッド上に寝ている被介護者がおむつの中に排尿してしまったことを、その時点で検知する手段は存在しなかった。よって、介護者は、被介護者の不快感を解消し、清潔に保つには、定期的に被介護者のおむつを点検又は交換するしか、方法がなかった。また、従来、洗濯物の乾燥の度合いを測るには、洗濯後の乾燥中の衣類にさわってみて、触感で検知するしか方法がなかった。従って、連続的に水分の変化を測定し、対象物の水分に関する状態の変化を、遠隔場所にて、経時的に検知することはでき

10

20

30

40

50

なかった。

【0003】

特許文献1には、電波センサから舗装路面に向けて電波を送信し、反射面からの反射波を前記電波センサで受信し、電波を送信してから受信するまでの時間を使用して、電波センサから反射面までの距離を算出すると共に、反射波の反射強度を算出し、前記反射面までの距離から、反射面の高さを求め、反射強度から、舗装路面の状態が湿潤、完遂、凍結のいずれであるかを判定するシステムが開示されている。

【0004】

また、特許文献2には、定在波レーダーを使用して、人体の危険を検知する技術が開示されている。この特許文献2においては、送信波及び受信波の合成波である定在波を検知し、その周波数分布から、距離成分を抽出して測定対象者までの距離を求め、位相成分から、測定対象者の呼吸数及び脈拍を求める。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第4099659号公報

【特許文献2】特許第5377689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、この特許文献1の技術は、マイクロ波のパルス信号を使用しているため、電波を送信してから受信するまでの時間を基に、反射面までの距離を求めているので、上述のように、マイクロ波の速度を考慮すると、道路の上方の高い位置（例えば、10m）に電波センサを設置しないと、反射波を受信することができず、結局、屋外のように、そのような高い位置に電波センサを設置できる空間的余裕が必要になるという問題点がある。また、屋上又はベランダに多数の洗濯物が吊り下げられている場合に、それらの洗濯物について、個別に水分を検知することは困難であった。

20

【0007】

また、特許文献2の技術は、人体の呼吸数及び脈拍は検知することができるものの、測定対象物の水分変化については、検知することができなかった。

30

【0008】

本発明はかかる問題点に鑑みてなされたものであって、屋内のように狭い空間においても、測定対象の距離を測定できると共に、この測定対象の水分等の経時的変化を測定することができ、更に、測定対象が近接して複数存在する場合も、距離及び水分等を測定することができる定在波レーダーによる状態検知装置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】

【0009】

本願第1発明に係る定在波レーダーによる状態検知装置は、周波数掃引された電波を外部に送信し、外部の測定対象にて反射した反射波を送信波長に基づく一定距離だけ離隔した2点にて検出し、送信波及び受信波から合成される定在波を検知する定在波検知部と、前記定在波検知部が検知した合成波の周波数の強度分布から、その直流成分を除去し、フーリエ変換して、距離スペクトルを求める距離スペクトル演算部と、前記距離スペクトルから、基準時の距離スペクトルを減算して、距離スペクトルの差分を演算し、この差分距離スペクトルを経時的に求める差分検出部と、前記差分距離スペクトルの距離成分により測定対象までの距離を求める距離演算部と、前記差分距離スペクトルの振幅が、前記測定対象の誘電率の変化に基づいて変化する経緯を監視し、その振幅の変化に基づいて、前記測定対象における水分又は油劣化度の変化を判定する判定部と、を有することを特徴とする。

40

50

【 0 0 1 0 】

また、本願第 2 発明に係る定在波レーダーによる状態検知装置は、周波数掃引された電波を外部に送信し、外部の測定対象にて反射した反射波を送信波長に基づく一定距離だけ離隔した 2 点にて検出し、送信波及び受信波から合成される定在波を検知する定在波検知部と、

前記定在波検知部が検知した合成波の周波数の強度分布から、その直流成分を除去し、フーリエ変換して、距離スペクトルを一定のサンプリング時間毎に求める距離スペクトル演算部と、

前記距離スペクトルから、前回又は所定回前のサンプリング時の距離スペクトルを減算して、距離スペクトルの差分を演算し、この差分距離スペクトルを経時的に求める差分検出部と、

前記差分距離スペクトルの距離成分により測定対象までの距離を求める距離演算部と、前記差分距離スペクトルの振幅が、前記測定対象の誘電率の変化に基づいて変化する経緯を監視し、その振幅の変化に基づいて、前記測定対象における水分又は油劣化度の変化を判定する判定部と、

を有することを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

これらの定在波レーダーによる状態検知装置において、前記距離演算部は、更に、前記距離スペクトルの位相の変化分から測定対象の微小変位を求めることができる。

【 0 0 1 2 】

また、前記差分検出部の前記差分距離スペクトルからその複数のピーク位置に対応する中心周波数をもつ複数の信号を抽出して、前記距離演算部に差分距離スペクトルとして出力する帯域通過フィルタを設けることもできる。

【 0 0 1 3 】

そして、少なくとも一部に透光性のカバーを備えたケースと、このケース内に格納され、前記カバーを介して照明光を外部に照射する発光体としての LED 光源と、

を有する LED 照明器具内に、前記定在波検知部、前記距離スペクトル演算部、前記差分検出部、前記距離演算部及び前記判定部が、前記ケース内に格納されて、内蔵されるように構成することもできる。

【 0 0 1 4 】

本発明の用途としては、寝台上に仰臥した被介護者の排尿の有無を判定すること、吊り下げられた洗濯物の乾燥状態を判定すること、吊り下げられて乾燥処理を行われている魚の水分量を判定すること、排尿過程における水分量の変化の検知に使用すること等がある。また、本発明の装置を使用し、前記判定部が、測定対象の誘電率の変化に基づいて、油の劣化度を判定するように構成することもできる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、測定対象との間の距離と共に、測定対象の水分量又は油劣化度等の状態を検出することができる。このため、介護施設における被介護者の排尿状態の検知等のように、水分変化等の状態検知を迅速に行うことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 6 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態の定在波レーダーによる状態検知装置を示す図である。

【 図 2 】 本発明の第 2 実施形態の定在波レーダーによる状態検知装置を示す図である。

【 図 3 】 定在波レーダーの基本構成を示す図である。

【 図 4 】 送信波の波長を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 5】合成波のパワーを示す図である。

【図 6】フーリエ変換後の図である。

【図 7】合成波のパワーを示す図である。

【図 8】複数個のターゲットに対する定在波レーダーの基本構成を示す図である。

【図 9】目的的成分 $p_a(f_d, 0)$ を示すスペクトル図である。

【図 10】差分検知部の構成を示す波形図である。

【図 11】ターゲットが 2 個の場合の距離スペクトルを示す図である。

【図 12】合成波のスペクトルの真数部分と虚数部分を示す図である。

【図 13】本発明の実施形態に係る LED 照明器具の外観図及び構造を示す縦断面図である。

10

【図 14】本発明の実施形態の利用例（排尿管管理）を示す図である。

【図 15】本発明の実施形態の利用例（洗濯物乾燥）を示す図である。

【図 16】本発明の実施形態の利用例（干物乾燥）を示す図である。

【図 17】本発明の実施形態の利用例（過冷却凍結管理）を示す図である。

【図 18】本発明の実施形態の利用例（結露管理）を示す図である。

【図 19】本発明の実施形態の利用例（前立腺肥大症診断）を示す図である。

【図 20】本発明の実施形態の利用例（油の劣化度測定）を示す図である。

【図 21】本発明の実施形態の利用例（土壌の水分測定）を示す図である。

【図 22】本発明の実施形態の利用例（雪崩予知）を示す図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の実施の形態について、添付の図面を参照して具体的に説明する。図 1 は、本実施形態の定在波レーダーによる水分検出装置のブロック図である。定在波検知部 2 は、定在波レーダーモジュールとして構成され、この定在波レーダーモジュールには、24 GHz 高周波送受信部 4 が設けられている。この 24 GHz 高周波送受信部 4 は、24 GHz 帯 VCO（電圧制御発振器）と平面アンテナ 3 とが一体化されたモジュールである。そして、この送受信部 4 は、VCO により平面アンテナ 3 から電波 1 を発信し、測定対象としての被反射体からの反射波がアンテナ 3 に検出される。送受信部 4 には 2 個の検波器 5 a、5 b が内蔵されており、検波器 5 a、5 b は送信波及び受信波を検波する。

【0018】

アンテナ 3 から電波 1 を送信すると、反射物体がある場合は、アンテナ 3 に反射波が戻ってきて、周波数が同じで進行方向が異なる波が重なり、合成波である定在波が発生する。VCO とアンテナ 3 とを接続する線路上及びアンテナ給電部には、送信信号（進行波）と受信信号（反射波）が混在し、それらの合成で定在波が発生する。この場合に、VCO に供給するスイープ電圧を、少なくとも発信電波が被反射体に反射して戻ってくるまでの時間は一定に保持する必要があるため、前記スイープ電圧は、ステップ状に変化させる必要がある。そして、VCO を制御して周波数を順次切り替えることにより、複数の周波数に対する混合波の信号レベルが検波器 5 a、5 b により検出される。検波器 5 a、5 b では、送信波の電力と、反射波の電力と、定在波によって生じた成分とが検出される。得られた検波信号は、オペアンプ 6 a、6 b で 400 kHz 以下の必要な帯域が増幅されて、信号処理部 8 に入力される。

30

【0019】

レーダー制御モジュール基板として構成された信号処理部 8 は、変調信号生成部 10 にて FM 変調された周波数制御電圧を生成する。この周波数制御電圧は DA 変換部 9 にてアナログ信号に変換され、更に、この周波数制御信号がオペアンプ 7 を介して増幅された後、24 GHz 高周波モジュール 4 の VCO の制御入力に入力される。この周波数制御信号により、VCO は発信電波の周波数をスイープさせる。

40

【0020】

信号処理部 8 においては、オペアンプ 6 a、6 b で増幅された検波信号が AD 変換部 11 に入力された後、距離スペクトル演算部 12 に入力される。この距離スペクトル演算部

50

12は、定在波検知部2が検知した合成波の周波数の強度分布から、その直流成分を除去し、フーリエ変換して、距離スペクトルを求める。この距離スペクトルは、差分検出部13に入力される。差分検出部13は、前記距離スペクトルから、基準時の距離スペクトルを減算して、距離スペクトルの差分を演算し、この差分距離スペクトルを経時的に求める。この差分距離スペクトルは、距離演算部14に入力される。そして、距離演算部14は、前記差分距離スペクトルの距離成分により測定対象までの距離を求める。そして、判定部15は、差分距離スペクトルの振幅が、測定対象の誘電率の変化に基づいて変化する経緯を監視し、その振幅の変化に基づいて、測定対象における水分の変化を判定する。

【0021】

信号処理部8においては、検波信号が、AD変換部11によりデジタル信号に変換された後、距離スペクトル演算部12に入力される。距離スペクトル演算部12においては、入力される信号は周期関数で、その周期は被反射体からの距離に逆比例しているため、これをフーリエ変換することにより、周期の逆数である周波数を求めることによって、この周波数から被反射体までの距離を求めることができる。また、得られた波形の位相を基に、被反射体の微小変位情報を検出することができる。例えば、24GHzの場合は、微小変位は光速を4fで除算した値となり、約±3.125mmの範囲の変位を検出することができる。このように、検波器5a、5bから検出された信号を信号処理することにより、被反射体からの距離、被反射体の速度及び変位を演算し、その経時変化を計測することにより、被反射体の状態を検出することができる。

【0022】

判定部15では、測定対象の水分の変化を検知し、その判定結果は、有線又は無線で、外部の警報装置に出力して警報信号を発生し、又は外部の表示装置に出力して、この表示装置に表示させる。

【0023】

次に、信号処理部8の構成について更に詳細に説明する。定在波は、図3に示すように、信号源であるVCOから生成した送信波VTと、各ターゲットからの反射波VR1, VR2, VR3、・・・VRnとの干渉によって生じる。定在波レーダは、この定在波を利用することによって、測定対象の水分の量を検知すると共に、各測定対象までの距離d1, d2, d3・・・dnを測定する。

【0024】

送信波(進行波)は、信号源の振幅をA、周波数をf(t)、光速をc(3×10⁸ m/s)とすると、下記数式1で表される。但し、周波数f(t)は、図4に示すように、f0とfdで表される。

【0025】

【数1】

$$V_T = A e^{j2\pi \int f(t - \frac{x}{c}) dt - \frac{x}{c}}$$

【0026】

k番目のターゲットの距離をdk、x軸上の任意の点における送信波に対する反射波の大きさの比をrk(反射係数の大きさ)、位相差をφk(反射係数の位相)とすれば、そのターゲットからの反射波は下記数式2にて表すことができる。

【0027】

【数2】

$$V_{Rk} = A r_k e^{j\phi_k} e^{j2\pi \int f(t - \frac{2d-x}{c}) dt - \frac{2d-x}{c}}$$

【0028】

アンテナから検出される検波出力は、合成波になるので、振幅Vcは下記数式3で表され、パワーは振幅の2乗であるため、合成波のパワーは、下記数式4で表される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

【 数 3 】

$$V_C = V_T + \sum_{k=1}^n V_{Rk}$$

【 0 0 3 0 】

【 数 4 】

10

$$p(f_d, x) = \left| V_T + \sum_{k=1}^n V_{Rk} \right|^2$$

【 0 0 3 1 】

送信波の大きさは、反射波の大きさより桁違いに大きいので、 k は 1 より極めて小さい。そこで、数式 4 に数式 1 及び数式 2 を代入して近似値をとると、下記数式 5 が得られる。

20

【 0 0 3 2 】

【 数 5 】

$$p(f_d, x_s) \approx$$

$$A^2 \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 + 2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi f_d}{c} (d_k - x_s) + \frac{4\pi f_0}{c} (d_k - x_s) - \phi_k \right) \right\}$$

【 0 0 3 3 】

30

この数式 5 において、{ } 内の第 1 項は、送信波のパワーを示し、第 2 項は、反射波のパワーを示し、第 3 項は、定在波によるパワーの変化分を示す。従来のレーダーは、第 2 項の反射波を受信して、信号処理を行うが、本発明においては、第 3 項の信号を信号処理する。このため、第 1 項目と第 2 項目を削除するため、合成波パワー $p(f_d, x_s)$ を f_d で微分して、この第 1 項目及び第 2 項目を除去する。

【 0 0 3 4 】

ここで、ターゲット（被反射体）の数が 1 であるとする、 $n = 1$ を数式 5 に代入して、下記数式 6 が得られる。この数式 6 をグラフ化すると、図 5 のようになる。即ち、合成波のパワーは、固定値 $1 + \gamma^2$ と、周期関数との和となる。この図 5 において、周期関数の周波数（周期の逆数）は $c / 2d$ となり、距離 d の成分が入る。このため、周期から周波数を求めれば、距離 d が求まることになる。数式 6 から、直流成分 $1 + \gamma^2$ を除去して、フーリエ変換すると、図 6 に示すように、距離スペクトル $P(x)$ が求まる。

40

【 0 0 3 5 】

【 数 6 】

$$p(f, 0) = 1 + \gamma^2 + 2 \gamma \cos \left(2\pi \frac{2d}{c} f - \Phi \right)$$

【 0 0 3 6 】

50

まず、下記数式 7 に示すフーリエ変換公式に対し、変数の置き換えをし、更に、観測位置を原点として、フーリエ変換すると、下記数式 8 に示す距離スペクトルが得られる。但し、 $Sa(z) = \sin(z)/z$ とする。なお、数式 8 では、直流分がカットされていない。周期のある関数をフーリエ展開すると、その関数に含まれる直流成分と、振動成分 (\sin, \cos) に分解されてしまう。距離スペクトルは、その公式上、下記数式 8 のように表示される。

【 0 0 3 7 】

【数 7】

$$\text{フーリエ変換公式} \quad F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad 10$$

$$\text{変数の置き換え} \quad t \Rightarrow f_d \quad \frac{\omega}{2\pi} \Rightarrow \frac{2x}{c} \quad f(t) \Rightarrow p(f_d, x_s)$$

$$\text{観測位置を原点とする} \quad \Rightarrow \quad x_s = 0$$

【 0 0 3 8 】

【数 8】

$$P(x) = \int_{-f_w/2}^{+f_w/2} p(f_d, 0)e^{-j\frac{4\pi x f_d}{c}} df_d = \quad 20$$

$$A^2 f_w \left\{ \left(1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 \right) Sa \left(\frac{2\pi f_w}{c} x \right) + \sum_{k=1}^n \gamma_k e^{-j\phi_k} e^{j\frac{4\pi f_0 d_k}{c}} Sa \left(\frac{2\pi f_w}{c} (x - d_k) \right) + \sum_{k=1}^n \gamma_k e^{j\phi_k} e^{-j\frac{4\pi f_0 d_k}{c}} Sa \left(\frac{2\pi f_w}{c} (x + d_k) \right) \right\}$$

【 0 0 3 9 】

なお、数式 8 の $A^2 f_w \left(1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 \right) Sa \left(\frac{2\pi f_w}{c} x \right)$ は、直流成分であるが、この直流成分は、実際の回路において、コンデンサにより除去される。 30

【 0 0 4 0 】

この数式 8 の最後の式で表される距離スペクトル $P(x)$ をグラフ図でみると、図 7 に示すようになる。そして、数式 8 の $\{ \}$ 内の第 1 項目の直流分を除去し、第 3 項目を \cos 成分を複素正弦波 (解析信号) に変換して除去し、定在波成分である第 2 項目の成分を抽出することができる。しかし、図 7 に破線にて示すように、数式 8 の $\{ \}$ 内の第 2 項目の成分には、虚数側の信号が漏れ込んでしまう。つまり、この部分の定在波成分には、虚数側の信号が漏れ込んだ値になってしまう。

【 0 0 4 1 】

このような問題点を解消するためには、例えば、図 8 に示すように、送信波とその反射波を合成した信号を検出する際に、送信波の波長を λ として、 $\lambda/8$ だけ離隔した 2 点にて、信号レベルを検出するように構成することができる。つまり、レーダーの進行方向を x 軸にとった場合に、被反射体である n 個 (n は自然数、図示は 2 個のみ) のターゲットからの反射波をアンテナが受信し、これを送信波と共に、 x 軸方向に $\lambda/8$ だけ離隔した 2 個のパワーディテクタで検出し、これを信号処理する。このとき、この 2 個のディテクタが検出したパワーレベルを $p(f_d, x_1)$ 、 $p(f_d, x_2)$ とすると、 $x_1 = 0$ の位置に置かれたディテクタの出力は、検出パワーを示す数式 5 に、 $x_1 = x_s = 0$ を代入して、下記数式 9 に示す $p(f_d, 0)$ として求め、 $x_1 = -\lambda/8$ の位置に置かれたディテクタの出力は、検出パワーを示す数式 5 に、 $x_2 = x_s = -\lambda/8$ を代入して、下記数式 9 に示す $p(f_d, -\lambda/8)$ として求まる。この数式 9 に示すように、 $\lambda/8$ だ 40 50

け離隔した2点で定在波を検出することにより、各位置(0, -λ/8)に置かれたディテクタの出力の定在波成分に、cosとsinの直交成分が得られ、これにより、虚像信号を消去することができ、虚像側から漏れ込む信号の影響を解消することができる。即ち、cosとsinの直交成分(X軸成分とY軸成分)から合成されるベクトルが求める解析信号である。通常、虚軸側の信号は測定できないのであるが、-λ/8の位置に、虚軸側の信号が計測できることになり、ベクトル合成信号を形成できる。このベクトルの回転速度が周波数になるので、本実施形態では、この周波数と位相を解析することになる。なお、

【0042】

【数9】

$x_1 = 0$ の位置に置かれたディテクタの出力

10

$$p(f_d, 0) = A^2 \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 + 2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)d_k}{c} - \phi_k \right) \right\}$$

$x_2 = -\frac{\lambda}{8}$ (ただし、 $\lambda = \frac{c}{f_0}$) の位置に置かれたディテクタの出力

20

$$p(f_d, -\frac{\lambda}{8}) = A^2 \left\{ 1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 - 2 \sum_{k=1}^n \gamma_k \sin \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)d_k}{c} - \phi_k \right) \right\}$$

【0043】

この数式9における $x_s = 0$ の位置のディテクタの出力のうちの定在波成分をa、 $x_s = -\lambda/8$ の位置のディテクタの出力のうちの定在波成分をbとすると、a、bは下記数式10にて表される。そして、数式8の3項からなる最後の式を下記数式11に基づいて置き換えをすると、下記数式12及び数式13が得られる。即ち、数式10が求めるX軸、Y軸(実信号、虚軸信号)を実信号に変換された形に置き換えることが可能になる。数式13は、まさに、時間方向の信号と、回転軸での信号を表現しているが、結局、この数式13により、回転する解析信号を計算できることがわかる。

30

【0044】

【数10】

$$a = \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right)$$

40

$$b = \sum_{k=1}^n \gamma_k \sin \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right)$$

【0045】

【数 1 1】

$$\begin{aligned}
 P_{DC} &= A^2 \left(1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 \right) \\
 m(f_d) &= 2A^2 \sqrt{a^2 + b^2} \\
 \theta(f_d) &= \arctan \left(\frac{b}{a} \right) \\
 a &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right) \\
 b &= \sum_{k=1}^n \gamma_k \sin \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right)
 \end{aligned}$$

10

【0046】

【数 1 2】

$$p(f_d, x_s) = P_{DC} + m(f_d) \cos \left(\theta(f_d) - \frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} x_s \right)$$

【0047】

【数 1 3】

$$m(f_d) e^{j\theta(f_d)} = 2A^2 (a + jb)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2A^2 \left\{ \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right) \right. \\
 &\quad \left. + j \sum_{k=1}^n \gamma_k \sin \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right) \right\} \\
 &= 2A^2 \sum_{k=1}^n \gamma_k e^{j \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right)}
 \end{aligned}$$

20

30

【0048】

数式 1 2 の右辺の P_{DC} は直流成分であり、 $m(f_d) \cos \left(\theta(f_d) - \frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} x_s \right)$ は周期的に変化する定在波成分である。この定在波成分は、前述のごとく、 $x_s = 0$ の位置の成分 a と、 $x_s = -c/8$ の位置の成分 b との合成成分 $a + jb$ は、 \sin と \cos との直交成分となり、 a と b とから解析信号を合成することにより、不要の信号（図 7 に示す虚数側から漏れ込んだ信号）による影響が除去される。よって、この値（数式 1 3 の信号）を解析することにより、図 9 に示す目的の成分 $p_a(f_d, 0)$ が得られる。

40

【0049】

而して、数式 1 3 の解析信号において、反射係数 γ_k の大きさに依存して、検出される信号強度が変化する。換言すれば、解析信号の信号強度の時間的推移を測定すれば、強度の変化が生じた場合に、その要因の一つとして、反射係数 γ_k の変化があったことを挙げることができる。即ち、周波数分布の各周波数の γ_k （反射係数の大きさ）が変化することで生じる信号強度の変化が、測定対象の状態の変化を示している。

【0050】

50

誘電率が異なる2物質の境界面での反射係数は、その誘電率を、 ϵ_1 、 ϵ_2 とすると、下記数式14にて表される。

【0051】

【数14】

$$\gamma = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{(\epsilon_1 + \epsilon_2)}$$

10

【0052】

このように、境界面での反射強度は、境界面を形成している各媒体が有する固有の比誘電率の差によって決定され、反射波形の極性も比誘電率の大小関係により決まる。よって、電波の反射強度は、反射係数の大きさにより異なり、反射係数は、誘電率により異なるため、反射面の物質の変化により、反射強度が変化する。例えば、水は誘電率が高く、電波の反射強度が大であるため、皮膚からの反射との識別が可能であり、また反射強度の変化により水膜の形成状況が分かるため、薄く濡れた状態と厚い水膜が形成された状態の区別が可能である。

【0053】

誘電率（比誘電率）は、例えば、水が4.2、絹が1.3~2、空気が1.00、塩が3.0~15.0、水が80、木綿が3~7.5、雪が3.3、ガラスが3.7~10.0である。水は誘電率が高く、電波の反射強度が大であるため、水分を含むアスファルト又はコンクリートと、乾燥状態のアスファルト又はコンクリートとの判別が可能であり、また反射強度の変化により水膜の形成状況が判別できるため、薄く濡れた状態と厚い水膜が形成された状態の区別が可能である。従って、道路上の雨の観測の場合には、その反射強度の変化を監視することにより、路面状態について、「乾燥」、「湿潤」、「冠水」のいずれであるかを判定することが可能である。そして、計測箇所が濡れ始めた状態（浸水前、雨の降り始め）で、リセットして、その後監視記録することが可能であり、しかも濡れはじめの状態零点調整（オフセット調整）を自動的に行えば、定期的な調整の必要がなくなる。

20

30

【0054】

なお、電波センサは微弱電波を使用しているため、無線局の申請は不要である。また、定在波レーダーの場合は、衣服及び布団を通して、衣服に包まれた人体にて直接反射するので、人体の表面の湿潤の状況を、布団がかけられていても、人体の湿潤の状況を検知することができる。

【0055】

上述のごとく、距離スペクトル演算部12が求めた距離スペクトルの振幅の強度の変化により、測定対象の湿潤の状況の変化を検知することができるが、この距離スペクトルには、水分変化がない物体からの反射波に起因する定在波の距離スペクトルが含まれている。そこで、差分検出部13は、測定された距離スペクトルから、基準時の距離スペクトルを削除して、差分距離スペクトルを演算する。図10(a)は、距離スペクトル演算部12が求めた距離スペクトル $P(x)$ を示す。この測定結果には、水分を含む測定対象は存在せず、環境からの反射波に起因するものが求められている。そこで、特定の基準時に得られた距離スペクトルを $P_0(x)$ として、以後の各サンプリング時点に得られた距離スペクトル $P(x)$ から、基準時の距離スペクトル $P_0(x)$ を減算する。即ち、各サンプリング時点で得られた距離スペクトル $P(x)$ に対し、図10(b)に示す $-P_0(x)$ を加算する。このため、差分検出部13からは、水分を含む測定対象がない場合は、図10(c)に示すように、0信号が得られる。そこで、あるサンプリング時点で、測定対象に水分が含まれた場合には、図10(d)に示すように、その水分の距離スペクトルの振幅が現れる。このサンプリング時点の距離スペクトルに対しても、図10(b)の基準ス

40

50

ベクトル - $P_0(x)$ を加算すると、図 10 (e) に示すように、 $P(x) - P_0(x)$ の距離スペクトルが得られ、この距離スペクトルには、水分に起因するピーク強度の振幅のみが現れる。このようにして、差分検出部 13 にて、距離スペクトルの差分をとることにより、測定対象の環境からの反射の影響を低減して、水分の変化に起因する距離スペクトルの振幅の強度を求めることができる。

【0056】

なお、測定対象が 2 個の場合の距離スペクトルは、図 11 に示すように、 $x_s = 0$ のパワー $p(f_d, 0)$ と $x_s = - / 8$ のパワー $p(f_d, - / 8)$ との合成波から直流分を除去して、フーリエ変換することにより、距離に対応する周波数が得られ、距離 d_1 , d_2 が求まる。

10

【0057】

図 12 は合成波の真数のスペクトルと、虚数のスペクトルを示す図である。電波の速度 c は、約 30 万 $\text{km} / \text{秒}$ である。発信波の周波数のスweepを、75 MHz 幅 (f_w) で行った場合、この 75 MHz の波長は、 $c / f_w = 4 \text{ m}$ である。しかし、波形を標準化するためのスweepは、往復で 4 m のため、行きはその半分の 2 m となる。この 2 m を 1 周期と呼ぶ。そこで、スweep幅 75 MHz で 20 m を計測した場合、10 周期を計測することになる。スweep時間が 256 μs であるとする、観測する波形の周波数は、 $10 / 256 \mu\text{s} = 39 \text{ kHz}$ となる。同様に、200 m を計測した場合、100 周期であるので、 $100 / 256 \mu\text{s} = 390 \text{ kHz}$ となる。そして、図 12 に示す検出されたスペクトルの周波数のレベルは反射の強さを示し、周波数は距離に置き換えられる。よって、図 11 に示すように、フーリエ変換して 39 kHz のところにピークが現れると、それは、距離 $d_1 = 10 \text{ m}$ の位置からの反射波であることがわかり、390 kHz のところにピークが現れると、それは、距離 $d_2 = 100 \text{ m}$ の位置からの反射波であることがわかる。このようにして、ディテクタの合成波の検出パワー $p_a(f_d)$ を微分して直流成分を除去し、フーリエ変換すると、測定対象までの距離を求めることができる。

20

【0058】

スweep幅が 200 MHz の場合、1 周期が 0.75 m になるので、10 m の計測は $10 / 0.75 = 13.3$ 周期を観測することになり、スweep時間が 256 μs である場合は、 $13.3 / 256 = 51.9 \text{ kHz}$ となる。つまり、スweep幅が 200 MHz の場合は、51.9 kHz にピークが現れた場合に、被反射体までの距離が 10 m と観測される。従って、スweep幅を調整し、スweep時間を調整することにより、検波出力の周波数を調整することができ、電波法の規制により帯域幅が制限されているので、一般的には、スweep時間を可変とすることにより、被反射体までの距離を測定する。

30

【0059】

次に、微小変位計測について説明する。数式 8 において、位相に着目すると、 k 番目のターゲットに対する位相 Φ_k は、下記数式 15 の第 1 式の \sin の角度として求め、 Φ_k は初期位相であるから変化分では消えるので、距離 d_k の変化分を Δd_k 、位相の変化分を $\Delta \Phi_k$ とすると、数式 14 の第 2 式が得られ、これを变形して、下記数式 16 が得られる。

40

【0060】

【数 15】

$$b = \sum_{k=1}^n \gamma_k \sin\left(-\Phi_k + \frac{4\pi f_0}{c} d_k\right)$$

$$\Delta \Psi_k = \frac{4\pi f_0}{c} \Delta d_k$$

【0061】

【数 16】

$$\Delta d_k = \frac{c}{4\pi f_0} \Delta \Psi_k$$

【0062】

この数式 16 から、距離 d の微小変位が求まる。周波数が 24 GHz の場合は、 ± 3.125 mm の変位を検知することが可能となる。

【0063】

以上のように、被反射体からの反射波を送信波に合成した定在波の分析により、被反射体の距離及び微小変位を計測することができる。この計測結果を経時的に把握すれば、被反射体の距離、速度及び変位を計測ことができ、結局、被反射体の動きを計測できる。従来のレーダーであると、1~2 m 以下は距離の測定が困難であったのに対し、本発明により、0 m に近い至近距離から、200 m の遠距離迄、距離の測定が可能である。また、本発明の場合は、微小変位の検知が可能であり、相対変位分解能は 0.01 mm にも及ぶ。しかも、定在波レーダーの場合は、衣服及びカーテン等を通して、測定対象の水分を検知することができ、測定対象との間の距離の微小な変動を検知することができる。

【0064】

なお、前述の如く、本発明は、数式 13 で示す距離スペクトルのピーク強度が、反射係数 k の大きさに依存して変化し、測定対象にて水分が増大すると、水分の誘電率が高いため、数式 14 で示す反射係数 k が上昇し、距離スペクトルのピーク強度が上昇することにより、水分を検知することを測定原理とする。このように、ピーク強度を見ているので、測定対象が複数ある場合でも、水分の検知は容易である。しかし、この測定対象が多数となり、しかも、各測定対象の相互間の間隔が短いと、例えば、図 11 に示す複数個（図示例は 2 個）の距離スペクトルが相互に重なりあい、各距離スペクトルを分離できなくなる可能性がある。この場合、各測定対象について、上述の微小変位の測定に必要な位相差を求めることができなくなる。このような場合は、2 個の距離スペクトルに対し、帯域通過フィルタをかけて、分離することができる。

【0065】

図 2 は、この場合の実施形態を示すブロック図である。差分検出部 13 から出力された差分距離スペクトルは、この帯域通過フィルタ 16 に入力される。この帯域通過フィルタ 16 は、差分検出部 13 の差分距離スペクトルからその複数のピーク位置に対応する中心周波数の中間の周波数にて最小ゲインとなる信号を出力するノッチ型の帯域通過フィルタである。この帯域通過フィルタ 16 から出力された差分距離スペクトルは、ピーク位置間で分離された複数個の差分距離スペクトルとなる。これら各差分距離スペクトルは、距離演算部 14 に入力され、位相差から、微小変位を求めることが可能となる。

【0066】

上述の如く構成されたセンサは、LED 照明器具内に内蔵することができる。図 13 は、定在波レーダー内蔵型の LED 照明器具の外観図及び内部分解図である。LED 照明器具のケースは、既存のソケットに装着可能な口金 21 と、ABS 等の樹脂素材又はアルミニウム材等で形成され、放熱機能をもつケース本体 22 と、透明若しくは半透明の ABS 若しくはポリカーボネート等の透光性樹脂素材又はガラス等からなる透光性カバー 23 とから構成されている。透光性カバー 23 は、光を拡散させ、又は光ビームを絞り込むレンズ形状を有する。LED 照明器具としては、多数のものが存在するが、本発明は、いずれの LED 照明器具にも適用することができる。LED 照明器具は、口金 21 と、ケース本体 22 と、カバー 23 とから構成されたケースの内部に、表面実装型 LED 26 と、定在波レーダーモジュール 28（定在波検知部 2）と、LED 制御ユニット 30 とが格納されている。口金 21 の下半部はソケットにねじ込まれる部分であり、導電性の材料で形成されており、この口金 21 の上半部は、絶縁性の支持体となっている。そして、口金 21 の

10

20

30

40

50

絶縁性支持体の上端部には、その内周縁部に周方向に沿って延びるねじ部 2 1 a が設けられており、ケース本体 2 2 の下端部にも、その外周縁部に周方向に沿って延びるねじ部 2 2 a が設けられていて、ねじ部 2 1 a をねじ部 2 2 a に螺合させることにより、口金 2 1 とケース本体 2 2 とが連結されるようになっている。また、ケース本体 2 2 の上端部にねじ部 2 2 b が形成され、カバー 2 3 の下端部にねじ部 2 3 a が形成されていて、ねじ部 2 3 a をねじ部 2 2 b に螺合させることにより、カバー 2 3 とケース本体 2 2 とが連結されるようになっている。

【 0 0 6 7 】

ケース本体 2 2 内には、絶縁性の基板固定用ガイドフレーム 3 2 が設置されており、このガイドフレーム 3 2 に、LED 制御ユニット 3 0 の基板 3 1 が固定されている。この基板 3 1 はその面を上下方向にして、即ち、その面を照明器具の中心軸に平行にして、ガイドフレーム 3 2 に固定されている。LED 制御ユニット 3 0 は、この基板 3 1 上に搭載されており、ケース本体 2 2 及び口金 2 1 に囲まれた空間内に配置されている。この基板 3 1 には、口金 2 1 内で、外部から給電された 1 0 0 V の交流電源が供給され、この電源は、基板 2 1 上に搭載された変換器で AC - DC 変換された後、LED 制御ユニット 3 0 に供給される。

【 0 0 6 8 】

ケース本体 2 2 の上端部には、放熱性が優れたアルミニウム基板 2 5 がその面を水平にして配置されている。このアルミニウム基板 2 5 はケース本体 2 2 の上端部の縁部に支持されているが、基板 3 1 はこのアルミニウム基板 2 5 を挿通して、カバー 2 3 内に進出している。そして、この基板 3 1 の上端部に、レーダー制御モジュール基板 2 7 がその面を水平にして支持されており、このレーダー制御モジュール基板 2 7 の上に定在波レーダーモジュール 2 8 が搭載されている。アルミニウム基板 2 5 には、複数個（図示例は 7 個）の LED 2 6 が、照明器具の中心軸の周りに等配の位置に、即ち、円周上の等間隔の位置に、配置されている。アルミニウム基板 2 5 の電源線には、基板 3 1 の配線が接続されていて、基板 3 1 上の配線を介して、LED 制御ユニット 3 0 からアルミニウム基板 2 5 上に搭載された LED 2 6 に給電され、LED 2 6 が発光するようになっている。また、レーダー制御モジュール基板 2 7 上に搭載された定在波レーダーモジュール 2 8 には、基板 3 1 上の配線を介して、給電され、定在波レーダーモジュール 2 8 はマイクロ波等の電波を送受信し、レーダー制御モジュール基板 2 7 は、検出信号を、無線で外部の中継機器に送信する。この定在波レーダーモジュール 2 8 の上面には、アンテナ 3 が設置されており、電波はこのアンテナ 8 a を介して送受信される。なお、この定在波レーダーモジュール 2 8 はレーダー制御モジュール基板 2 7 に対して、傾斜可能になっており、この定在波レーダーモジュール 2 8 を傾斜させることにより、アンテナ 3 の指向方向を調節できるようになっている。

【 0 0 6 9 】

次に、本発明の実施形態に係る定在波レーダーによる状態検知装置の動作について、利用例と共に説明する。まず、図 1 4 (a) は、介護施設等において、ベッド上に寝ている被介護者 1 0 0 の上方に、本実施形態のセンサ 1 0 1 を設置した状態を示す。つまり、ベッド 1 0 2 が設置された部屋の天井に、センサ 1 0 1 がその検出方向を下方のベッド 1 0 2 上の被介護者 1 0 0 に向けて設置されている。そうすると、定在波検知部 2 により、送信波と受信波との合成波である定在波が検知される。この定在波の検出信号は、AD 変換部 1 1 を介して、距離スペクトル演算部 1 2 に入力され、距離スペクトルが演算される。そして、この距離スペクトルから、差分検出部 1 3 にて、差分距離スペクトルが求められる。距離演算部 1 4 は、この差分距離スペクトルから、前述の如くして、センサ 1 0 1 と被介護者 1 0 0 との間の距離を演算する。その結果、この差分距離スペクトルのピーク位置は、図 1 4 (b) に示すように、センサ 1 0 1 と、被介護者 1 0 0 との間の距離（例えば、2 . 5 m）であることがわかる。そして、判定部 1 5 は、この 2 . 5 m の位置にピーク位置をもつ差分距離スペクトルについて、図 1 4 (c) に示すように、そのピーク強度の経時変化を監視する。そうすると、判定部 1 5 は、このピーク強度が上昇した場合は、

10

20

30

40

50

測定対象の水分量変化により、誘電率が変化し、反射強度が増大したことに起因するものであることを検知することができ、このピーク強度が増大した時点を、被介護者100が、おむつ内に排尿した時点であると判定することができる。なお、図14(c)の上図は、差分検出部13の出力信号の経時変化を示す。この図14(c)の上図において、横軸は時間、縦軸は距離を示す。距離が一定の状態、排尿時点で、出力信号の強度が強くなっている(暗い状態から明るい状態へ遷移している)。この差分検出部13の強度の変化から、排尿を検出することができる。本実施形態においては、おむつを装着した被介護者が排尿したことをその排尿の時に検出することができるので、直ちにおむつを交換する等の対応をとることができ、被介護者の不快感を解消することができる。また、所謂おむつセンサのようにおむつ内にセンサを入れてその色の変化で排尿を検査する場合と異なり、本実施形態の場合は、布団をかけた状態で排尿を検出することができるという利点がある。

10

【0070】

図15(a)は、洗濯物の乾燥に本実施形態のセンサ101を使用した例である。洗濯物103, 104が、ハンガーにかけられており、これらの洗濯物103, 104に対し、センサ101から横方向にレーダー波が照射され、センサ101にて、洗濯物103, 104からの反射波が検出される。図15(b)は、距離d1の位置にある洗濯物103による定在波から求めた距離スペクトルの強度の時間変化であり、図15(c)は、距離d2の位置にある洗濯物104による定在波から求めた距離スペクトルの強度の時間変化である。そして、差分検出部13は、距離d1の距離スペクトルに対し、ある特定の時点の距離スペクトルを基準時の距離スペクトルとし、一定のサンプリング時点毎に、得られた距離スペクトル(図10(a))から、基準時の距離スペクトル(図10(b))を減算し、差分距離スペクトル(図10(c))を演算する。その結果、基準時の距離スペクトルP0(x)からの変化がなければ、各サンプリング時点毎に得られた差分距離スペクトルは、図10(c)に示すように、0となる。そして、図10(d)に示すように、測定対象に水分が存在する場合は、その水分に起因するスペクトルを含む距離スペクトルP(x)が得られる。その結果、図10(e)に示すように、差分距離スペクトルP(x) - P0(x)には、水分に起因する距離スペクトルのみが出現する。従って、判定部15は、この差分距離スペクトルを監視し、差分距離スペクトルが0になった時点を乾燥完了時点と判断する。図15(b)、(c)に示すように、図15(a)に示すセンサ101寄りの洗濯物103の方が、洗濯物104よりも早く乾燥が完了したことが判別できる。このようにして、洗濯物103, 104の乾燥の状態を、個別に検知することができる。

20

30

【0071】

誘電率は、衣類の繊維を構成するポリエチレンが2.3、木綿が3.0、水が80と、衣類は水との誘電率差が大きいので、距離スペクトルのピーク強度が各衣類の湿潤状態と異なるため、測定対象の状態を検知することができる。そして、本実施形態においては、定在波により距離計測が可能であるため、距離が異なる複数の洗濯物の乾燥度を夫々個別に計測することが可能である。このため、乾燥が完了した洗濯物だけを取り込み、未だ、乾ききっていない洗濯物を残して継続して乾燥処理するという選択も可能になる。また、布団の乾燥の場合には、その芯の部分の乾燥が十分でない場合も、容易に検出することができる。更に、乾燥した布を屋外に吊しておき、その水分量を検知するようにすると、雨が降ってきたときに、距離スペクトルのピーク強度が上昇することにより、その降雨を検知することもできる。

40

【0072】

なお、多数の洗濯物が重ねて物干し棒に吊り下げられている場合、多数の距離スペクトルが相互に一部で重なって検出されるが、その複数のピーク強度の平均値の経時変化から、多数の洗濯物の平均的な乾燥の進行を検出することができる。又は、複数のピーク強度の平均値を算出しなくても、差分距離スペクトルのピーク強度の経時変化から、それが0になった場合に、全ての洗濯物の乾燥が完了したと判定することができる。

【0073】

50

また、部屋内に設置されたじゅうたんなどの敷物にセンサ101を向け、その水分量を経時的に検出することにより、敷物中の水分の量が特定の量を超えるか否かを判定し、検出された水分量が特定の水分量を超えた場合に、警報を発することによって、梅雨時のカビの発生なども未然に防止することができる。

【0074】

なお、多孔質のセラミックス又は吸湿性の高分子膜に対してセンサ101を設置し、その距離スペクトルのピーク強度の変化として、水分量の変化を検知することにより、セラミックス又は高分子膜を乾湿体として、湿度を計測することができる。

【0075】

一方、図16は、本発明の実施形態のセンサ101を、魚の干物の製作に適用した場合を示す。図16(a)は、干物を直線上に並べて干した場合、図16(b)は、干物を円周上に並べて干した場合を示す。これらのいずれの場合も、図15(a)と同様に、複数のピークが検出されるが、魚の間隔が短くて、各スペクトルは、いずれも個別に分離することができない。しかし、測定対象の水分量の検知には、距離スペクトルのピーク強度を使用するので、各スペクトルが個別に分離されていなくても、複数のピーク強度を検知することができれば、測定対象の水分量を検知することができる。そこで、魚の天日干しの場合には、この距離スペクトルの複数のピークについて、そのピーク強度を経時的に監視し、魚の水分量に関連するピーク強度の殆どが、予め定めた一定の範囲に入ったときに、魚の天日干しを終了する。干物としては、水分量が0になるまで乾燥を進行させてはならず、所定量の水分は干物に残した状態で、乾燥を終了する必要がある。そこで、本実施形態により、干物の水分量の低下を監視しつつ、各ピーク強度から得られる水分量の殆どが、所定の範囲内に入ったときに、乾燥処理を終了する。このように、干物として、必要な水分量を予め設定しておくことにより、この水分量に達したときに、警報を発することとすれば、この警報が発生したときに作業者が干物を収受することにより、適度の水分量をもつ干物を製作することができる。即ち、美味さの最適な水分状態で干物の乾燥を止めることができるため、うまみ及び熟成が最適な状態で干物を出荷することも可能になる。そして、この最適な状態を警報で通知すれば、作業者が、常時干物の乾燥状態を点検する必要がなくなる。

【0076】

図17(a)に示すように、氷にレーダー波を照射した場合、氷の比誘電率は前述の如く4.2と低く、レーダー波は氷で反射しにくい(氷を透過しやすい)。これに対し、図17(b)に示すように、水にレーダー波を照射した場合、水の比誘電率は前述の如く80と高いので、レーダー波は水で反射し易い(水を透過しにくい)。よって、レーダー波を照射して、定在波の距離スペクトルを求めることにより、測定対象が氷の状態なのか、水の状態なのかを判別することができる。このように、化学式は同じでも、誘電率が異なるのは、図17(c)に示すように、氷が固体、水が液体、水蒸気が気体であり、水がそのときの温度により、変態するからである。このため、例えば、野菜又は魚等の測定対象の温度を徐々に低下させ、0を下回っても、凍結しないように低冷却速度で冷却する。そして、図17(d)に示すように、所定の過冷度が得られるまで過冷却し、測定対象に衝撃を印加すると、野菜又は魚等の内部の水が過冷却の破壊により一挙に凍結して氷に変態する。そうすると、野菜又は魚を徐々に凍らせると、この凍結の過程で野菜又は魚の細胞が破壊されてしまい、解凍すると、品質が劣化してしまう。これに対し、上述の如くして、過冷却の後、一挙に凍結すると、細胞の破壊が生じないので、鮮度を保持したまま、保存することができ、解凍しても、品質が劣化することがない。

【0077】

図18は、本発明の実施形態のセンサ101を結露の検出に利用した場合の図である。図18(b)は室内が乾燥している状態、図18(c)は窓に結露が生じ始めて、水滴が窓に付着した状態、図18(d)は窓の全面に水滴が付着した状態を示す。そして、図18(b)に示すように、窓に向けてセンサ101を設置し、差分距離スペクトルを求め、そのピーク強度の経時変化を監視する。そうすると、ガラスの誘電率が3.7~10.0

10

20

30

40

50

であり、水の誘電率が80であるので、図18(a)に示すように、窓ガラスに結露が発生すると、距離スペクトルのピーク強度が上昇する。これにより、窓ガラスの結露を検出することができる。

【0078】

一方、図18(c)に示すように、窓の表面から反射した反射波との合成波である定在波と、水滴の表面から反射した反射波との合成波である定在波とには、位相差が存在する。そこで、数式15及び数式16に示すように、定在波の距離スペクトルの位相差から、微小変位を求めることができ、微小変位として水滴の大きさを検出することができる。この場合に、距離スペクトルの多数のピークが検出された場合には、図2に示す信号処理部8の帯域通過フィルタ16により、ピーク間の部分が削除されて各スペクトルが個別的に分離された距離スペクトルを得る。そして、分離された各距離スペクトルの位相差から、微小変位を求める。

10

【0079】

図19は、前立腺肥大症の検査に本発明の実施形態のセンサ101を使用した例である。図19(a)に示すように、トイレにセンサ101を設置し、患者に実際に排尿してもらう。そうすると、図19(b)に示すように、排尿の過程で、センサ101により検出された水分量として、排尿の尿流量の経時変化を検出することができる。底で、正常の場合の排尿パターンと、前立腺肥大症の場合の排尿パターンとで、その排尿のパターンが異なるので、前立腺の異常を医師が診断することができる。このように、他人にみられないプライバシーは確保しつつ、実際の排尿の過程を医師に知らせることができる。また、自宅での排尿を計測により、自宅で健康管理に利用することができる。

20

【0080】

また、水の誘電率は約80であるが、誘電率が3.0~15.0の塩を含む溶液では、誘電率が更に高くなる。このことを利用して、例えば、排尿時の尿計測により、健康診断をすることもできる。即ち、尿には水分の他に、蛋白、血液、電解質が含まれているが、これらを含むことにより、尿の誘電率が異なる。よって、日々の尿の誘電率の変化を検出して記録することにより、結果を健康管理に活用することもできる。

【0081】

図20は、自動車のエンジンオイル及び潤滑油にレーダー波を照射し、反射波との合成波を検出して、定在波を検知し、距離スペクトル及び差分距離スペクトルを求めて、差分距離スペクトルのピーク強度を、経時的に求めたものである。図20の横軸は時間(任意単位)であり、縦軸は差分距離スペクトルのピーク強度(任意単位)である。このピーク強度は、測定対象である油(オイル)の誘電率に対応する。油が、潤滑油等として使用されていく過程で、油中に金属粉等の不純物が増加していき、油の純度が劣化すると、油の誘電率が変化する(上昇する)。そこで、誘電率に対応するピーク強度の経時変化を監視することにより、油の劣化度を判定することができ、油の交換時期を判断することができる。なお、ピーク強度については、油が新鮮な未使用の状態、そのときのピーク強度が0になるように、測定されたピーク強度を0点校正することが必要である。具体的な油の定在波検知方法としては、例えば、使用中の油又は検査対象の油を、透明なプラスチック製の筒の中に通流させ、この透明筒の外部からレーダー波を筒内の流体に向けて発信し、流体からの反射波を検知して、その合成波としての定在波を検知すればよい。

30

40

【0082】

図21(a),(b)は、土の飽和度と比誘電率との関係を示すグラフ図である。これらのグラフ図は、横軸に土中の含水量をとり、縦軸に比誘電率をとって、その関係を示すものである。このように、土中の水分量と比誘電率の間には相対関係があるので、本実施形態のセンサ101により、土からの反射波を検出し、発信波との合成波である定在波を検知すると、差分距離スペクトルのピーク強度から比誘電率の変化を測定し、土中の水分量を測定することができる。

【0083】

図22は、本実施形態を表層雪崩の検知に使用したものである。図22(a)に示すよ

50

うに、斜面に積雪すると、雪層には雪粒同士の結合力が作用していて、雪層は積雪状態で斜面に止まっているが、この雪層には、雪層の重力により落下しようとする力と、山の斜面との間の摩擦力により斜面に積雪状態でとどまろうとする力も作用する。これらの力が釣り合って、雪層は斜面に積雪している。この場合に、大雪により、雪層が重くなり、重力が増大して雪崩が発生する場合と、人又は動物が斜面を横切って雪粒同士の結合力が弱まり、雪層が分断されて雪崩が発生する場合とがある。更に、日射及び気温の上昇又は降雨により、雪が融けたときにも、雪層の内部に水路が生じたり、雪層と山の斜面との間に水路が生じたりして、雪崩が発生する場合がある。そして、図22(b)に示すように、雪層の内部に水路が生じ、水面が生じると、表層雪崩が発生する。また、図22(c)に示すように、雪層と山面との間に水路が生じ、水面が生じると、全層雪崩が発生する。これらのいずれの場合も、本実施形態のセンサ101により、雪面に向けてレーダー波を照射し、反射波との合成波をとって、定在波を検知し、差分距離スペクトルを求めると、雪の誘電率は4.2、水の誘電率は80であるので、水面の発生により、差分距離スペクトルのピーク強度が上昇する。これにより、雪層の水路の形成を検知できるので、本実施形態により、雪崩の発生を予知することができる。

10

【0084】

図10に示す上記実施形態においては、差分検出部13は、ある特定の時点でサンプリングした距離スペクトルを基準距離スペクトルとして、以後の各サンプリング時点で得られた距離スペクトルから、この基準距離スペクトルを減算して、差分距離スペクトルを求めている。しかし、差分距離スペクトルは、各サンプリング毎に異なる距離スペクトルを減算することとしてもよい。例えば、一定のサンプリングタイムで、距離スペクトルを求め、特定の時点の差分距離スペクトルを、その特定の時点の距離スペクトルから、その前回又は複数回前のサンプリング時点で得られた距離スペクトルを減算することにより、求めても良い。この場合は、環境の変動による測定値のノイズをより確実に削除することができる。

20

【符号の説明】

【0085】

7：定在波レーダーモジュール基板
 8：定在波レーダーモジュール
 10：LED制御ユニット
 11：基板
 12：フレーム
 31：演算部
 35：24GHz高周波モジュール
 42：信号処理部
 101：センサ

30

【要約】

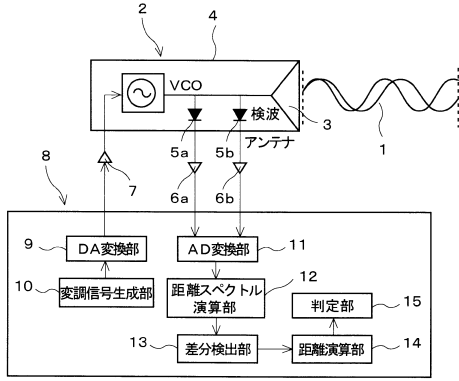
【課題】屋内のように狭い空間においても、測定対象の距離を測定できると共に、この測定対象の水分の経時的変化を測定することができ、距離及び水分等の状態を検知できるようにする。

40

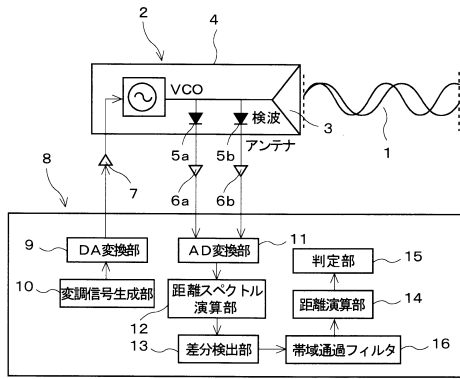
【解決手段】距離スペクトル演算部12は、定在波検知部2が検知した合成波の周波数の強度分布から、その直流成分を除去し、フーリエ変換して、距離スペクトルを求める。差分検出部13は、前記距離スペクトルから、基準時の距離スペクトルを減算して、距離スペクトルの差分を演算し、この差分距離スペクトルを経時的に求める。距離演算部14は、前記差分距離スペクトルの距離成分により測定対象までの距離を求める。更に、判定部15は、前記差分距離スペクトルのピーク強度が、前記測定対象の誘電率の変化に基づいて変化する経緯を監視し、そのピーク強度の変化に基づいて、前記測定対象における水分の変化等の状態を判定する。

【選択図】図1

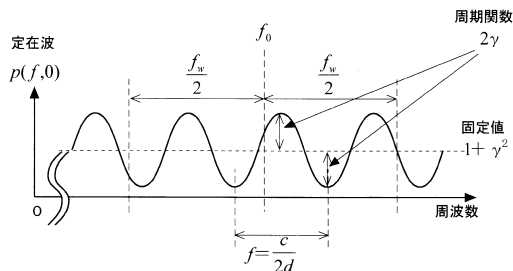
【図1】



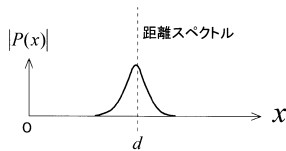
【図2】



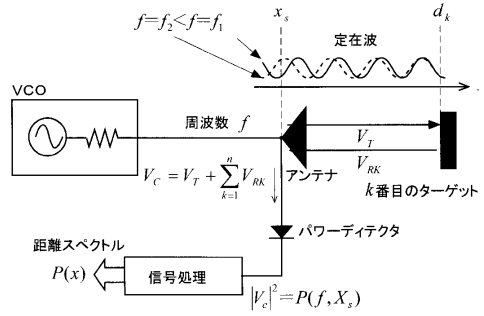
【図5】



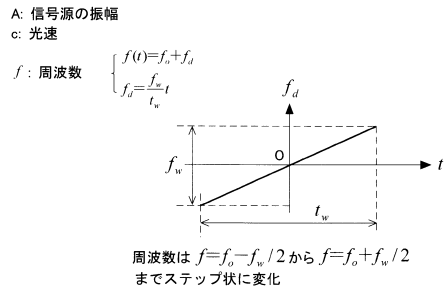
【図6】



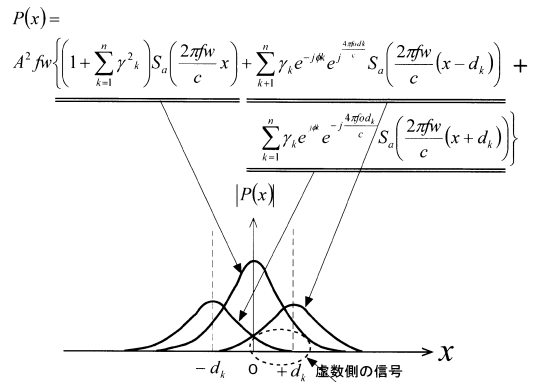
【図3】



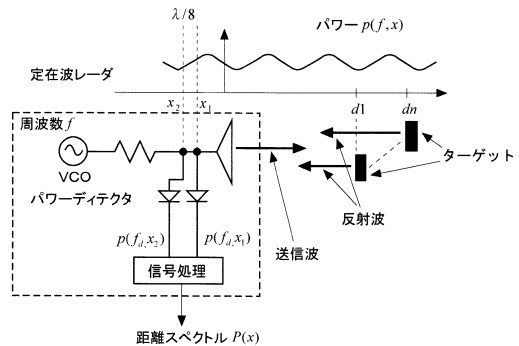
【図4】



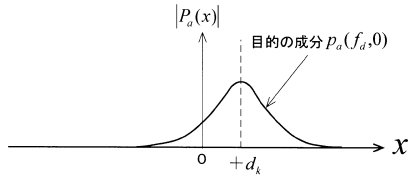
【図7】



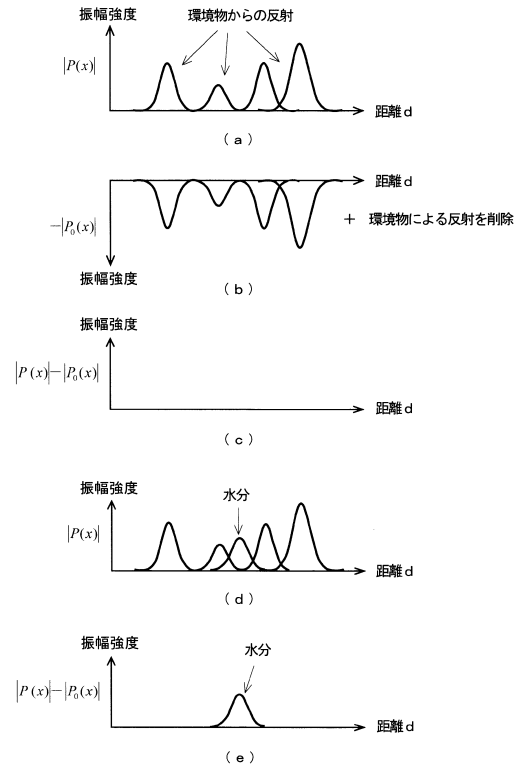
【図8】



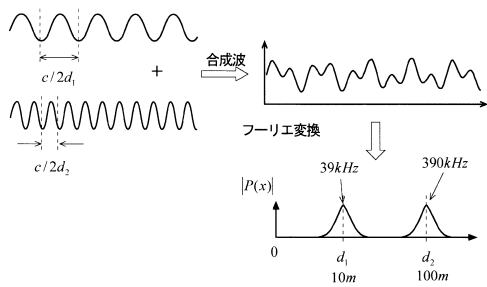
【図9】



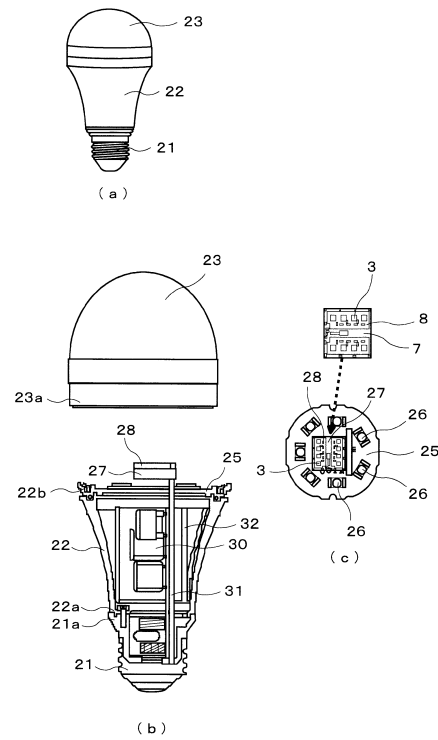
【図10】



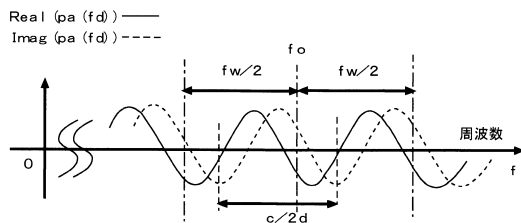
【図11】



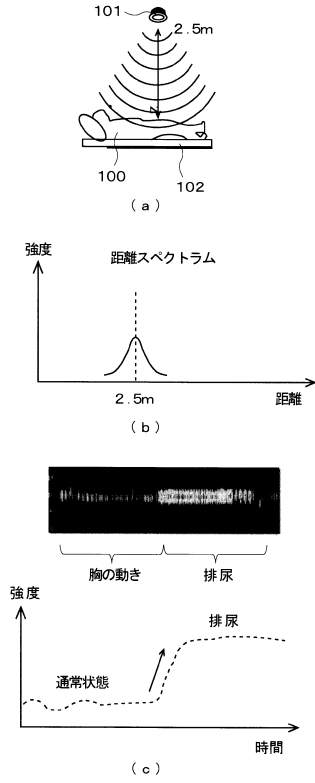
【図13】



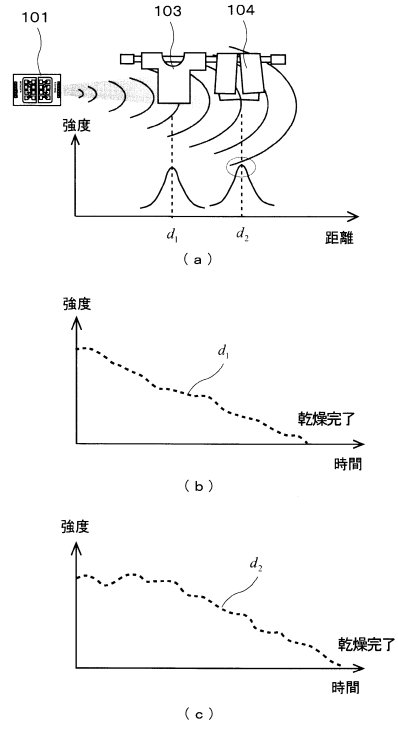
【図12】



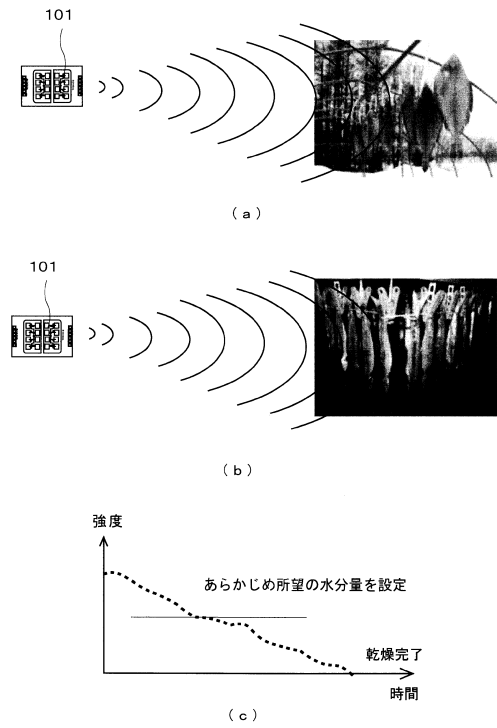
【図14】



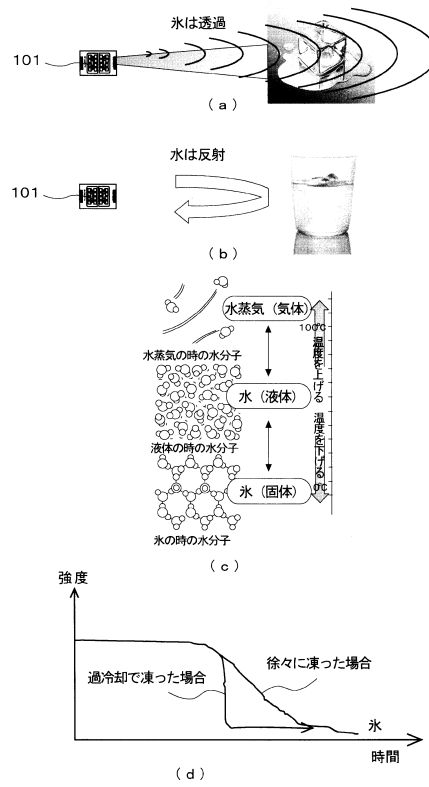
【図15】



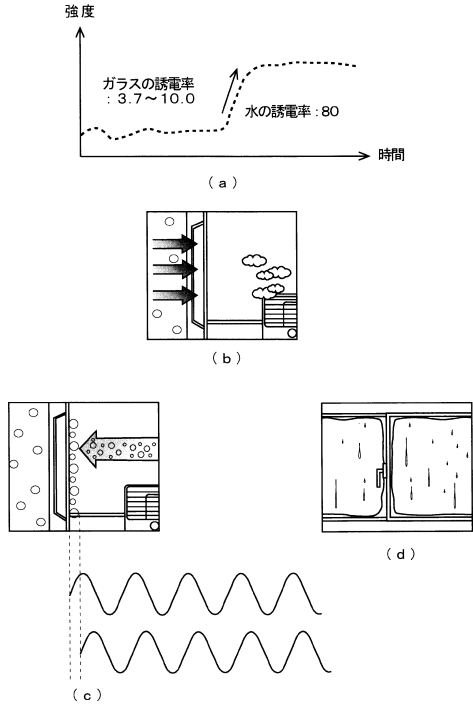
【図16】



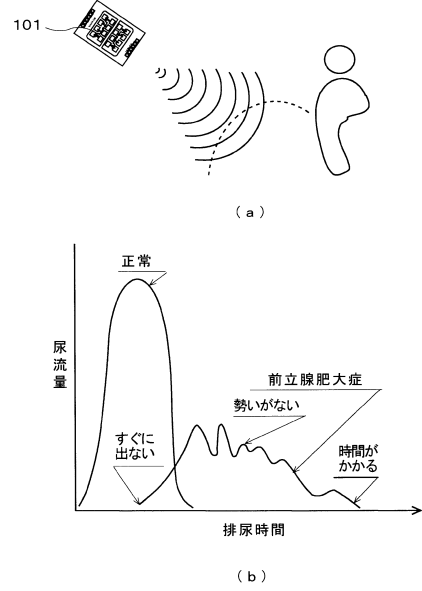
【図17】



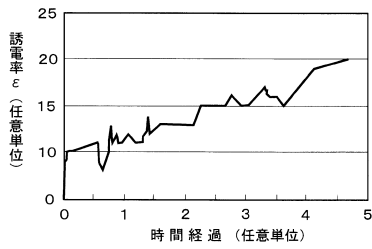
【図18】



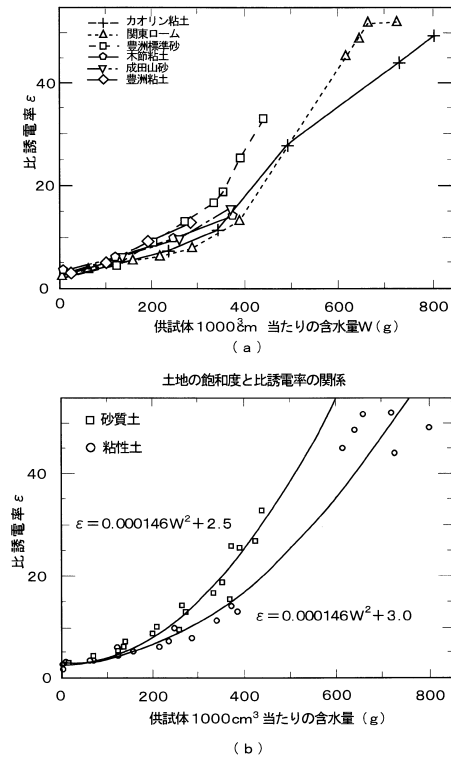
【図19】



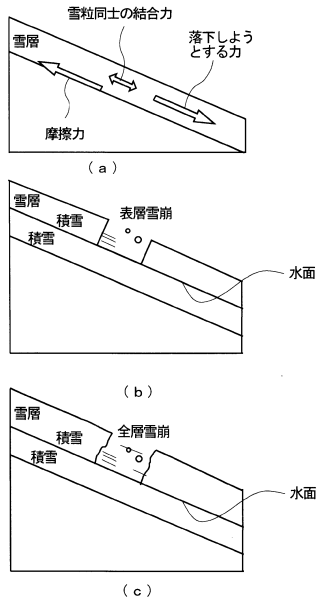
【図20】



【図21】



【図 22】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2014-217453(JP,A)
特許第4099659(JP,B2)
特許第5377689(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 22/00 - 22/04
G01V 1/00 - 99/00
G01S 13/00 - 13/95
JSTPlus(JDreamIII)