

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第6083057号
(P6083057)

(45) 発行日 平成29年2月22日 (2017. 2. 22)

(24) 登録日 平成29年2月3日 (2017. 2. 3)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 22/04 (2006. 01) GO 1 N 22/04 Z
GO 1 N 22/00 (2006. 01) GO 1 N 22/00 S

請求項の数 5 (全 25 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-143727 (P2016-143727)</p> <p>(22) 出願日 平成28年7月21日 (2016. 7. 21)</p> <p>審査請求日 平成28年8月2日 (2016. 8. 2)</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 立澤 正樹</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、測定対象としての食品素材の水分の割合の減少により凍結の直前の状態を検知する検知部と、
 前記検知部が凍結直前状態を検知したときに、前記測定対象の誘電率が一定となるように制御して、前記食品素材を凍結直前状態の非凍結状態に制御する制御部と、
 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、測定対象としての食品素材の水分の割合の減少により凍結の直前の状態を検知する検知部と、

前記検知部が凍結直前状態を検知したときに、前記測定対象の誘電率が一定となるように制御して、前記食品素材を凍結直前状態の非凍結状態に制御する制御部と、
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】

前記制御部は、前記定在波検知部が送信する電波を前記食品素材に照射して前記食品素材を誘電加熱することにより、前記食品素材を非凍結状態に制御することを特徴とする請求項 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 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】

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 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。

【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、位相成分が

10

20

30

40

50

ら、測定対象者の呼吸数及び脈拍を求める。

【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ので、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。

10

【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。

【0008】

20

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して、食品の鮮度維持等に適用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、測定対象としての食品素材の水分の割合の減少により凍結の直前の状態を検知する検知部と、前記検知部が凍結直前状態を検知したときに、前記測定対象の誘電率が一定となるように制御して、前記食品素材を凍結直前状態の非凍結状態に制御する制御部と、を有することを特徴とする。

30

40

【0010】

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、

50

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、測定対象としての食品素材の水分の割合の減少により凍結の直前の状態を検知する検知部と、

前記検知部が凍結直前状態を検知したときに、前記測定対象の誘電率が一定となるように制御して、前記食品素材を凍結直前状態の非凍結状態に制御する制御部と、
を有することを特徴とする。

10

【0011】

この第1発明及び第2発明において、
前記制御部は、前記定在波検知部が送信する電波を前記食品素材に照射して前記食品素材を誘電加熱することにより、前記食品素材を非凍結状態に制御するように構成することができる。

【0012】

本願第3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、

20

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、測定対象としての人の体内の臓器における異物又は異常部位の存在を誘電率の変化により判定する判定部と、

を有することを特徴とする。

【0013】

30

本願第4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、

40

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、測定対象としての人の体内の臓器における異物又は異常部位の存在を誘電率の変化により判定する判定部と、

を有することを特徴とする。

【0014】

本願第5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、

50

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、測定対象としての植物の幹を流れる水分の変化を検知し、前記植物の活動状況を判定する判定部と、
 を有することを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

本願第 6 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、測定対象としての植物の幹を流れる水分の変化を検知し、前記植物の活動状況を判定する判定部と、
 を有することを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

本願第 7 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、測定対象としての人の汗の変化を検知する検知部と、
 前記検知部が検知した汗の変化に基づいて、前記人の周囲の空調状態を制御する制御部と、
 を有することを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

本願第 8 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

10

20

30

40

50

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、測定対象としての人の汗の変化を検知する検知部と、

前記検知部が検知した汗の変化に基づいて、前記人の周囲の空調状態を制御する制御部と、
を有することを特徴とする。

【0018】

10

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ように構成することができる。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有することもできる。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、測定対象との間の距離と共に、測定対象の水分量を検出することができる。このため、水分変化等の状態検知から、食品素材の水分の凍結寸前状態を検知して、この状態を維持することにより、食品素材の鮮度を保持することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0020】

【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。

【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。

30

【図9】目的の成分 $p_a(f_d, 0)$ 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。

【図14】食品素材の凍結と、誘電率との関係を示す図である。

【図15】植物の幹を流れる水の量を検出する実施形態を示す図である。

【図16】人の汗の状態を検出する実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0021】

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、24GHz高周波送受信部4が設けられている。この24GHz高周波送受信部4は、24GHz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5a、5bが内蔵されており、検波器5a、5bは送信波及び受信波を検波する。

【0022】

50

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。

10

【0023】

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。

【0024】

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 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。

20

【0025】

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、24 GHz の場合は、微小変位は光速を $4\pi f$ で除算した値となり、約 ± 3.125 mm 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 5 a、5 b 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。

30

【0026】

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。

40

【0027】

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。定在波レーダーは、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 $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$ を測定する。

【0028】

50

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 (3×10^8 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、 f_0 と f_d で表される。

【0029】

【数1】

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

【0030】

k 番目のターゲットの距離を d_k 、 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 γ_k (反射係数の大きさ)、位相差を ϕ_k (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。

10

【0031】

【数2】

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

【0032】

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 V_C は下記数式 3 で表され、パワーは振幅の 2 乗であるので、合成波のパワーは、下記数式 4 で表される。

20

【0033】

【数3】

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

【0034】

【数4】

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

30

【0035】

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、 γ_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。

40

【0036】

【数5】

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

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

【0037】

50

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 8 】

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。

10

【 0 0 3 9 】

【数 6】

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

【 0 0 4 0 】

20

先ず、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 4 1 】

【数 7】

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

30

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

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

【 0 0 4 2 】

【数 8】

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

40

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

【 0 0 4 3 】

なお、数式 8 の $A^2 f_w (1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2) Sa(2 f_w / c) x$ は、直流成分であるが

50

、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。

【0044】

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。

【0045】

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($0, -\lambda/8$)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、 $-\lambda/8$ 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。

【0046】

【数9】

$x_1 = 0$ の位置に置かれたディテクタの出力

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

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

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

【0047】

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 1 2 及び数式 1 3 が得られる。即ち、数式 1 0 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 1 3 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 1 3 により、回転する解析信号を計算できることがわかる。

【 0 0 4 8 】

【 数 1 0 】

$$a = \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right) \quad 10$$

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

【 0 0 4 9 】

【 数 1 1 】

$$P_{DC} = A^2 \left(1 + \sum_{k=1}^n \gamma_k^2 \right)$$

$$m(f_d) = 2A^2 \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\theta(f_d) = \arctan \left(\frac{b}{a} \right)$$

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

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

20

30

【 0 0 5 0 】

【 数 1 2 】

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

【 0 0 5 1 】

【数 1 3】

$$\begin{aligned}
 m(f_d)e^{j\theta(f_d)} &= 2A^2(a + jb) \\
 &= 2A^2 \left\{ \sum_{k=1}^n \gamma_k \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right) \right. \\
 &\quad \left. + j \sum_{k=1}^n \gamma_k \sin \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right) \right\} \\
 &= 2A^2 \sum_{k=1}^n \gamma_k e^{j \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} d_k - \phi_k \right)}
 \end{aligned} \tag{10}$$

【0052】

数式 1 2 の右辺の P_{DC} は直流成分であり、 $m(f_d) \cos \left(\frac{4\pi(f_0 + f_d)}{c} x_s - \phi_k \right)$ 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、 $x_s = -l/8$ 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。

【0053】

而して、数式 1 3 の解析信号において、反射係数 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 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 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。

【0054】

誘電率が異なる 2 物質の境界面での反射係数 γ は、その誘電率を、 ϵ_1 、 ϵ_2 とすると、下記数式 1 4 にて表される。

【0055】

【数 1 4】

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

40

【0056】

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 γ の大きさにより異なり、反射係数 γ 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。

【0057】

50

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で零点調整（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。

10

【0058】

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。

【0059】

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で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)の基準スペクトル $-P_0(x)$ 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。

20

30

【0060】

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 $x_s = -d_1/8$ のパワー $p(f_d, -d_1/8)$ 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。

40

【0061】

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km/秒である。発信波の周波数のスweepを、75MHz幅(f_w)で行った場合、この75MHzの波長は、 $c/f_w = 4$ mである。しかし、波形を標本化するためのスweepは、往復で4mのため、行きはその半分の2mとなる。この2mを1周期と呼ぶ。そこで、スweep幅75MHzで20m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 μ sであるとすると、観測する波形の周波数は、 $10/256\mu s = 39$ kHzとなる。同様に、200mを計測した場合、100周期であるので、 $100/256\mu s = 390$ kHzとなる。そして、図12に示す検出されたスペ

50

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。

【0062】

スイープ幅が 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、スイープ時間が 256 μs である場合は、 $13.3 / 256 = 51.9 \text{ kHz}$ となる。つまり、スイープ幅が 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、スイープ幅を調整し、スイープ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、スイープ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。

10

【0063】

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 Ψ_k は、下記数式 15 の第 1 式の sin の角度として求められ、 Ψ_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 $\Delta \Psi_k$ 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。

20

【0064】

【数 15】

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

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

【0065】

【数 16】

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

30

【0066】

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、 $\pm 3.125 \text{ mm}$ の変位を検知することが可能となる。

【0067】

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することができ、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。

40

【0068】

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

50

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。

【0069】

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。

【0070】

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 21a が設けられており、ケース本体 22 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 22a が設けられていて、ねじ部 21a をねじ部 22a に螺合させることにより、口金 21 とケース本体 22 とが連結されるようになっている。また、ケース本体 22 の上端部にねじ部 22b が形成され、カバー 23 の下端部にねじ部 23a が形成されていて、ねじ部 23a をねじ部 22b に螺合させることにより、カバー 23 とケース本体 22 とが連結されるようになっている。

【0071】

ケース本体 22 内には、絶縁性の基板固定用ガイドフレーム 32 が設置されており、このガイドフレーム 32 に、LED 制御ユニット 30 の基板 31 が固定されている。この基板 31 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 32 に固定されている。LED 制御ユニット 30 は、この基板 31 上に搭載されており、ケース本体 22 及び口金 21 に囲まれた空間内に配置されている。この基板 31 には、口金 21 内で、外部から給電された 100V の交流電源が供給され、この電源は、基板 21 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 30 に供給される。

【0072】

ケース本体 22 の上端部には、放熱性が優れたアルミニウム基板 25 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 25 はケース本体 22 の上端部の縁部に支持されているが、基板 31 はこのアルミニウム基板 25 を挿通して、カバー 23 内に進出し

10

20

30

40

50

ている。そして、この基板 31 の上端部に、レーダー制御モジュール基板 27 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 27 の上に定在波レーダーモジュール 28 が搭載されている。アルミニウム基板 25 には、複数個（図示例は 7 個）の LED 26 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 25 の電源線には、基板 31 の配線が接続されていて、基板 31 上の配線を介して、LED 制御ユニット 30 からアルミニウム基板 25 上に搭載された LED 26 に給電され、LED 26 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 27 上に搭載された定在波レーダーモジュール 28 には、基板 31 上の配線を介して、給電され、定在波レーダーモジュール 28 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 27 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 28 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 8a 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 28 はレーダー制御モジュール基板 27 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 28 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。

10

【0073】

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、本発明の定在波レーダーによる状態検知装置を組み込んだセンサを、測定対象に向けて設置する。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 11 を介して、距離スペクトル演算部 12 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 13 にて、差分距離スペクトルが求められる。距離演算部 14 は、この差分距離スペクトルから、前述の如くして、センサと測定対象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 10 (d) に示すように、センサと、測定対象との間の距離（例えば、2.5 m）であることがわかる。そして、判定部 15 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、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 15 は、このピーク強度が上昇した場合は、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

20

30

を、水分量が増大した時点であると判定することができる。なお、レーダーによる反射波と送信波との定在波により、水分を検出するので、レーダーは衣服を透過するため、衣服に包まれた身体上の水分及び身体内の異物も検知することができる。

【0074】

また、測定対象が距離 d_1 及び距離 d_2 にある場合、これらの測定対象に対し、センサからレーダー波が照射され、センサにて、測定対象 (d_1 , d_2) からの反射波が検出される。そして、差分検出部 13 は、距離 d_1 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 $P_0(x)$ 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 $P(x) - P_0(x)$ 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

40

を乾燥完了時点と判断することができる。このようにして、測定対象の水分の状態を、個別に検知することができる。

【0075】

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

50

異なるため、測定対象の水分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測定対象の水分状態を夫々個別に計測することが可能である。

【0076】

次に、本発明を適用して水分を検知する例について説明する。まず、本発明の定在波レーダーによる状態検知装置を食品素材の鮮度を維持するために使用した例について説明する。本実施形態においては、測定対象としての食品素材の凍結状態（温度を含む）を制御する制御部が、センサ内に設けられている。そして、本実施形態の判定部は、前記食品素材の水分の割合の減少に基づいて凍結の直前の状態を検知する。図14は、本実施形態において、食品素材を冷却したときの食品素材の誘電率及び温度の経時変化を示す模式図である。食品素材を冷却すると、次第に、その食品素材中の水分の凍結が生じ、やがて、水分が全て凍結してしまう。前述の如く、水分量と誘電率との間には相関関係が存在し、水の誘電率は約80、氷の誘電率は約4.2であるから、食品素材を冷却し続けると凍結が進行し、図14に1点鎖線にて示すように、凍結が生じている期間は、誘電率が低下し、凍結前は誘電率が高値に安定し、凍結後は誘電率が低値に安定する。そこで、本発明においては、図14に実線にて示すように、本発明の定在波レーダーによる状態検知装置により、誘電率の低下が開始したことが検知された時（時刻 t_0 ）に、水分の凍結がそれ以上進まず、例えば、食品素材の温度が一定になるように、食品素材の温度を制御する。これにより、食品素材の誘電率の低下が阻止され、食品素材中の水分量が高値に維持される。

10

20

【0077】

このようにして、食品素材中の水分の凍結を防止し、食品素材が水分を十分に保持するようにしてこれを保存することにより、食品素材の鮮度を高く保持することができる。この場合に、食品素材を過冷却の状態に保持することにより、又は過冷却の後に急速凍結させることにより、更に、食品素材中の水分量を確保することができる。

30

【0078】

食品の品質変化の要因としては、(イ)微生物による腐敗・発酵作用、(ロ)食品中の酵素による分解作用、(ハ)酸化などの化学作用、(ニ)乾燥などの物理作用、(ホ)果実・野菜に関する呼吸・蒸散などの食品自体の生理活性作用がある。そして、時間とともに、エネルギー及び水分が消費されていくため、栄養価は低下して外観もしなびてくる。一般に、微生物は温度が下がるほど増殖しにくくなり、比較的低温に強い細菌であっても、 -10 以下では、ほとんど増殖しなくなる。食品中の水分が凍結されて氷となった場合も、微生物が利用できる水分が減るので、微生物の活動はより低下する。一方、酵素は低温に強く、一部の酵素は -30 でも作用するため、完全に酵素の作用を停止させるには、 $-35 \sim -40$ にする必要がある。食品の品質低下をもたらす酸化などによる化学作用、及び乾燥などの物理作用も温度が高いほど進行が早く、温度が低いほど遅くなり、呼吸又は蒸散など食品自体の生理活性作用も温度が低くなるほど低下し、細胞が凍ってしまえば活動を停止する。そこで、従来は、生命活動がすべて停止する -20 程度の低温に食品素材を保持して、長期保存を行っている。

40

【0079】

しかし、食品素材を冷凍で保存する場合には、凍結によって生じる氷が食品素材に悪影響を及ぼしてしまう。食肉・魚介では、その7~8割、青果ではその8~9割を水分が占める。そして、食品素材を冷却していくと、この水分が固体である氷に変化し、水が氷に変態すると、体積が膨張する。食品の細胞中に大きな氷の結晶が生成すると、細胞が破壊

50

され、その状態のまま凍結されてしまう。そして、凍結食品素材を解凍すると、壊れた細胞から出た水分が流れ出し、水分とともに味覚成分及び栄養も食品素材から失われ、食品自体の歯ざわりも悪くなる。

【0080】

但し、氷の結晶が小さければ、この細胞破壊に起因する食品素材の品質劣化は小さくなる。この細胞を壊さないで冷却する方法として、過冷却を利用する方法がある。水が氷の結晶になる温度は氷結点といわれ、氷結点は純粋な水であれば0 であるが、溶液のように水中に溶質を含有する場合は、この溶質の濃度が高いほど、氷結点は低くなる。食品素材中の水分には、アミノ酸及びミネラル等が溶け込んでいて、氷結点は低く、食品素材の氷結点は食品ごとに異なるものの、約 - 1 ~ - 5 である。そして、食品素材は夫々固有の氷結点で凍り始めるが、0 から氷結点までの未凍結の温度領域（氷温域）において、生体は自身が凍らないように、不凍物質を生産し、例えば、糖類、グルタミン酸、アミノ酸等の旨み成分が生産される。これらの旨み成分は、食品素材を氷温域に一定時間さらす状態にすることで、食品の旨味を増し、鮮度保持時間を長くできるという利点がある。一方、氷結点から水分の80%が氷になるまでの温度範囲は「最大氷結晶生成帯」といわれ、この最大氷結晶生成帯を長い時間をかけて通過（温度降下）するほど、氷結晶は大きくなる。そして、このような「緩慢凍結」よりも、最大氷結晶生成帯を短時間で通過させて、生成する氷の結晶を小さく留める「急速凍結」のほうが、冷凍した食品としての品質は良好となる。

【0081】

一方、過冷却とは、物質が液体から固体に変わる温度（凝固点）以下の温度でも液体のままにしている状態をいう。この過冷却の水に衝撃を与えたり氷のかけらを入れたりすると、一瞬にして小さな氷に変わり、細胞膜を破壊せずにすむ。このため、食品素材を過冷却の状態に保持して、食品素材全体を均一な温度状態にし、その後、急速凍結することにより、食品素材の細胞膜を破壊することなく凍結することができ、旨み成分を食品素材に保持した状態で、食品素材を解凍することができる。換言すれば、食品素材をおいしく凍らせるためには、食品素材の全体を均一に凍らせること、及び氷の結晶が成長しないように短時間で凍らせることが重要である。

【0082】

本実施形態においては、状態検知装置により、測定対象の誘電率の変化を検出して、測定対象の水分の変化を検出することにより、水分量の低下の起点 t_0 を氷結点として求め、その後、食品素材に電磁波を照射して、食品素材の細胞中の水分子を振動させることにより、食品素材の水分を過冷却状態に保持する。その後、食品素材を瞬時に凍結させる（急速凍結）させることにより、細胞膜の破壊を防止しつつ、旨み成分を食品素材に閉じ込めたまま、これを凍結する。この電磁波は、本発明においては、定在波検知部が電波を送信する機能を有するものであるから、この電波の送信部を使用して、食品素材に電磁波を照射することができる。これにより、過冷却状態を容易に作り出すことができる。この定在波検知部が送信する電波を食品素材に照射して食品素材を誘導加熱することにより、食品素材の凍結状態を制御するが、このとき、食品素材の温度は、過冷却の温度範囲にある。そして、電磁波加熱は食品素材の微妙な状態の制御に即効性があるが、電子レンジのようにKWオーダーのパワーを与えて水分子を激しく揺るのではなく、mWオーダーのパワーで水分子が凝集しない程度に緩やかに水分子を揺ることが好ましい。なお、-3 程度の氷温及び - 20 程度の凍結温度では、細菌の活動はほぼ停止している。

【0083】

食品素材の凍結点は、前述の如く、食品素材毎に異なり、含有水分中の溶質（含有物質）濃度によっても異なる。しかし、本発明においては、状態検知装置により、誘電率の変化から測定対象の実際の凍結点を測定対象毎に検出することができる。そして、最大氷結晶生成帯（約 - 1 ~ 約 - 5 ）を、できる限り速く通過させることによって、微小氷結晶を均質に生成させ、氷結晶の肥大化を防止して、細胞膜の破壊を防止することができる。なお、本実施形態では、定在波検知部の電磁波送信手段を使用して、水分子を振動させ

10

20

30

40

50

ることにより、過冷却状態を作り出しているが、これに限らず、氷結点を検知した後、食品素材を加熱して氷結点の直上の温度に維持制御することができる。

【0084】

従来の冷蔵・冷凍による食品素材の保存方法では、微生物による分解・腐敗を抑制することが主な目標であった。一般に、食品素材である肉が腐敗する段階において、肉のタンパク質が時間と共に分解されてアミノ酸になる。このアミノ酸の中に、うまみ成分といわれるグルタミン酸等が多く含まれている。しかし、腐敗過程では、雑菌又はバクテリアが発生してしまい、全く食べられない状態になってしまうのが常であった。凍結寸前の温度域では、バクテリア又は菌等の活動は著しく低下するが、酵素の活動は続くため、本実施形態のように、レーダーによる誘電率の計測で、殆どの水分が凍っていない凍結寸前の状態に制御することにより、肉は、熟成が進み、柔らかさ及び滑らかさがあり、とろける食感となり、ジューシーさが広がり、きれの良さを味わうことができる良質な熟成肉となる。

10

【0085】

次に、本発明の誘電率による状態検知装置を食肉の脂身成分の多少の検出に使用した実施例について説明する。皮膚、筋肉、肝臓等の含水率が高い組織では、比誘電率は40～2000、導電率は0.5～10(S/m)となり、含水率が比較的低い脂肪及び骨髄等では、比誘電率は5～20、導電率は10～500(mS/m)となっている。誘電率は組織毎に広い範囲で分布するものの、おおむね、水分含有率が高い組織と、水分含有率が低い組織とに分類することができる。水は誘電率が実部及び虚部共に大きいため、これを多く含む筋肉等の組織は誘電率が大きい。一方、水分が少ない骨及び脂肪は、誘電率が小さい。人体は、これらの臓器が複雑に配置されているが、電波による照射と反射レベル強度を計測することにより、筋肉が多い肉か又は脂肪が多い肉かを識別することができる。このように、誘電率の違いを電波で検出することにより、食品を非接触で計測することが可能である。

20

【0086】

次に、本発明の誘電率の差の検出による状態検知装置を、医療分野に使用した実施形態について説明する。一般に、超音波診断及びX線の診断では、臓器等の形状は分かるが、塊の物質(異物)の材質又は異常部位の性質が何であるのかはわからないという問題点がある。この塊が血液の塊か、肉の塊か、腫瘍なのか、癌なのかは、開腹して試料を採取してみないとわからないのが現状であった。電波を使用した計測装置は、パルス方式で開発が進められているが、至近距離のため、該当部分の距離は計測できない。乳房は乳腺と脂肪組織から構成され、外側を皮膚組織に覆われた胸壁から突出した臓器である。マイクロ波を乳房に照射すると、多くは皮膚によって反射されるが、一部のマイクロ波は皮膚内部に侵入する。乳腺は脂肪組織より誘電率及び導電率が高いので反射が起こるが、乳腺の形は不規則なため、複雑な反射・散乱が発生する。乳房中の塊は、乳腺及び脂肪より誘電率及び導電率が高いので、乳房に照射した送信波が反射した反射波は、検出可能な受信波として、受信される。例えば、誘電率は、脂肪層が6.9、乳腺組織が49、癌が56、皮膚が37、筋肉が58であり、反射係数の違いを検出することにより、乳房の内部の状態を推察することができる。また、フィルタを使い、例えば、癌の誘電率56を抽出することにより、その電波の照射部分に、癌の病変があるか、又は無いかの識別をすることができる。また、超音波診断等の他の手段により、何らかの塊が体内に認められた場合、本発明の状態検知装置によれば、それが癌の病変であるのか、血の塊であるのか、骨であるのかを、反射係数の相違により判定することができる。

30

40

【0087】

従来、空中にあるアンテナから乳房にマイクロ波を照射しても、皮膚は水分を含んでいるため、ほとんどのエネルギーは皮膚で反射されてしまう。これは空気と乳房組織の電気インピーダンスが大きく異なり、境界面での反射係数が高いためである。このため、アンテナと乳房を乳房組織に類似した誘電率及び導電率を持つ整合溶液(ジアセチンなどの油脂)で満たしたタンクに入れて撮像し、反射を小さくして計測を行っていた。

50

【 0 0 8 8 】

しかし、皮膚はその構成の殆どが水分であることに注目すると、この部分を凍結寸前の過冷却状態に冷却した場合に、誘電率は水が80であり、氷が3であるので、水から氷に誘電率が激減することにより、電波を透過するようになる。この状態で、ペンシル状にビームを絞った電波を水平方向及び垂直方向にスイープすると、反射データが得られる。これにより、体内の対象物の物性（癌か否か）及びその対象物までの距離を検知することができる。

【 0 0 8 9 】

本発明の状態検知装置は、植物の活動状況の検出にも使用することができる。即ち、生物活動は、水分を計測することにより、生育状態及び内部の活動状況を知ることができるので、植物の幹を流れる水分の変化を、本発明の状態検知装置により検知することにより、植物の活動状況を検出することができる。従来、木材は、打撃音によって含水率を推定したり、電気抵抗値又は電気容量を測定して水分に置き換えたり、光の吸収度合いを調べて植物の水分量を推定していた。しかし、打撃音では官能的な検査しかできず、電気抵抗式の測定器は、測定物に電気を流し、その抵抗値を水分値に置き換えて表示する水分計であるため、植物に針を刺す必要があり、植物を痛めてしまう。また、光による方法は、植物の表面部分しか計測できない。

【 0 0 9 0 】

これに対し、本発明の状態検知装置を使用すると、植物の生育状態及び内部の活動状況を、非接触で常時検出することができる。図15は、本発明の状態検知装置を樹木100の内部の活動状況の検出に適用した実施形態を示す図である。図15(a)に示すように、樹木100に対して、センサ101を向け、樹木100の内部を上方に向かって流れる水103の量を検出する。センサ101からレーダ送信波を樹木100に向けて送信し、反射波を検出して定在波を検知し、その振幅強度 $P(x)$ を求める。前述の如く、誘電率は水が80であり、木の誘電率とは相違するので、水からの反射波を検知でき、図10に示すように、水量を、振幅強度から求めることができる。即ち、水分の量は振幅強度 $P(x)$ の大小により検出できる。この場合に、樹木の幹を流れる水分103は、樹木100の葉102にも供給され、この水分が枯渇したときは、葉102が樹木100から落ちるので、従来、葉の落下数から、樹木の活動状況を認識することもあった。しかし、本発明の状態検知装置を使用すれば、常時、樹木の幹の内部を通流する水分量を遠隔地で検出することができる。通常、カエデの幹の水分量は、図15(b)に示すように、昼と夜とで変化しており、昼の方が水分量が多い。そして、これを通年でみると、図15(c)に示すように、1日あたりの水分量の平均値は、春及び夏には多く、夏から秋にかけて減少し、秋及び冬には少なくなる。このとき、サトウカエデは、水分量が減少するときに、糖分が増大し、メープルシロップの原料となる糖分が高い樹液を出す。そこで、樹木の水分量を遠隔監視し、水分量の減少を検知したときに、樹液の採取を開始すれば、効率的に糖分が高い樹液を算出することができる。

【 0 0 9 1 】

次に、本発明装置により水分量を検知して人の周囲の空調を制御する実施形態について説明する。本実施形態においては、検知部が、差分距離スペクトルの振幅を監視することにより、測定対象の反射波の強度が汗の量により変化することに基づいて、測定対象としての人の汗の変化を検知する。本実施形態においては、測定対象としての人の汗の変化に基づいて、人の周囲の空調状態を制御する制御部が、センサ101内に設けられており、このセンサ101は空調機内に設置されている。図16に示すように、センサ101は人を測定対象としてレーダー波を送信し、人の汗110からの反射波を検出して、定在波を求め、その振幅強度 $P(x)$ を演算する。このとき、図16(a)に示すように、汗110の量が少ないときは、反射波の強度が低く、得られた定在波の振幅強度 $P(x)$ も低い。そして、図16(b)及び図16(c)に示すように、汗110の量が多くなるにつれて、定在波の振幅強度 $P(x)$ が大きくなっていく。このため、定在波の振幅強度 $P(x)$ の変化から、汗の量の変化及び汗の有無を検知することができる。

【 0 0 9 2 】

そこで、例えば、室内の温度を、扇風機又はエアコン（エアコンディショナ）が調整しているとする、これらの空調機（扇風機及びエアコン等を含む）内に、前記制御部を含むセンサ101を設置し、センサ101により汗の量を検知する。そして、空調機をオンにすると、制御部は、先ず、空調機の送風方向及びレーダー照射方向を、部屋全体に振る（スキャンする）。これにより、センサ101は、部屋の中に存在する人の位置及びこの人の水分量（汗の量）を検知する。そして、制御部は、汗の量が多い場合は、送風量を多くしたり、送風温度を低下させたり（エアコンの場合）、又は、送風方向をこの人に向けて集中させて、送風方向のスキャンを停止する。制御部は、これらの1又は複数の方法により、強力に汗をかいている人を冷却し、迅速に汗をひかせるように制御する。一方、人の汗が減少した場合には、送風方向のスキャンを再開したり、送風温度を上昇させたり、送風量を低下させたりして、人に対する冷却の程度を軽減する。人の汗が殆ど解消した場合、又は、空調機がオンになっても、汗をかいている人が室内に存在しない場合は、制御部は、弱めの送風量で送風方向をスキャンさせて、室内の空気の循環のみを行う。

10

【 0 0 9 3 】

この場合に、本発明の状態検知装置は、人の位置を検知するので、室内で人が移動した場合には、送風方向を移動した人に合わせて移動させる。即ち、人を追いかけて、送風方向を決定する。このため、部屋が広く、室内に存在する人の数が少ない場合でも、効率的にこの人の冷却を実施することができる。なお、従来、人感センサにより人を感じし、送風方向をこの人の存在位置に合わせて移動させるエアコンも開発されているが、この場合、送風量及び送風温度は、一定であり、対象の人が汗をかいていないにも拘わらず、汗をかいている人の場合と同様に冷却してしまう。しかし、本発明においては、対象の人の汗の量を検知し、汗の量に応じて、送風量及び送風温度を調整するので、送風方向を人の移動に合わせて移動させても、この人を冷却しすぎてしまうことがない。なお、汗の有無及び量の検出は、顔又は腕のように、人の露出している部分の汗に限らない。本発明においては、定在波レーダーで反射波（定在波）の強度から汗の量を検出するので、このレーダーによる水分検出によれば、レーダーが衣服を透過するため、衣服の内部の下着の水分又は皮膚上の水分からの反射波で水分量（汗の量）を検出することができる。このため、汗の検出は、顔及び腕等に限らず、身体の全体から汗の存在及び量を検知することができる。

20

30

【 0 0 9 4 】

なお、室内の空調機制御に本発明を適用する場合に限らず、例えば、車内の空調制御に適用することもできる。また、室内とは、家庭の部屋に限らず、施設の廊下又は広間、電車・バス等の交通機関の車内等、種々の空調機の制御に本発明を適用することができる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 9 5 】

本発明によれば、定在波レーダーにより、測定対象の水分を検知し、これにより、測定対象としての食品素材の凍結直前状態を制御して食品鮮度を維持したり、人体の臓器内の異物又は異常部位を検知したり、植物の活動状況を判定したり、人の空調状態を制御することができるため、人の生活状態の改善若しくは向上又は医療技術の進歩に多大の貢献をなす。

40

【 符号の説明 】

【 0 0 9 6 】

- 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

50

4 2 : 信号処理部

1 0 1 : センサ

【要約】

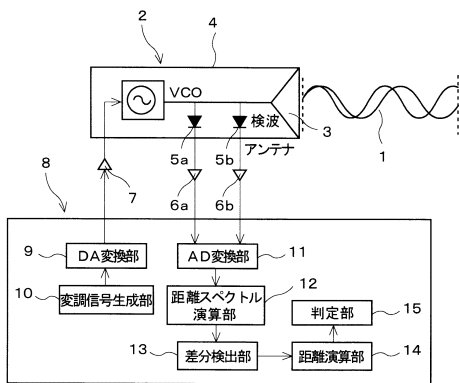
【課題】測定対象の水分等の経時的変化を測定することができ、食品の鮮度維持等を可能とする定在波レーダーによる状態検知装置を提供する。

【解決手段】距離スペクトル演算部は、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。差分検出部は、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。検知部は、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ことに基づいて、測定対象としての食品素材の水分の割合の減少により凍結の直前の状態を検知する。制御部は、前記検知部が凍結直前状態を検知したときに、前記食品素材を非凍結状態に制御する。

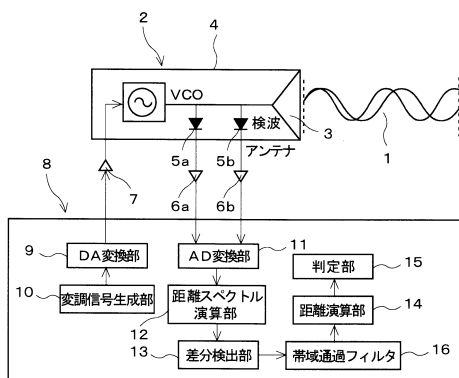
10

【選択図】図 1 4

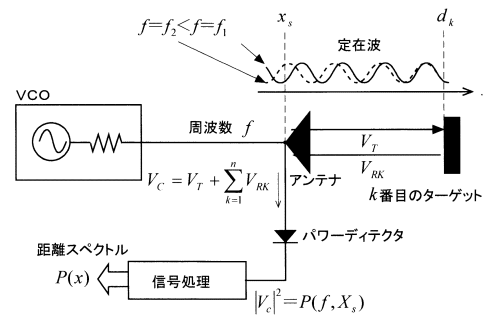
【図 1】



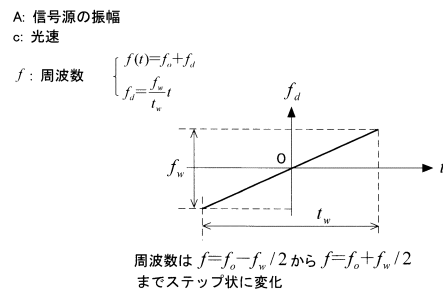
【図 2】



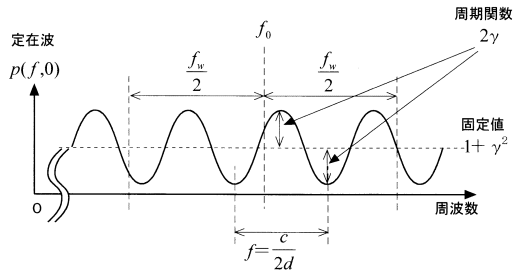
【図 3】



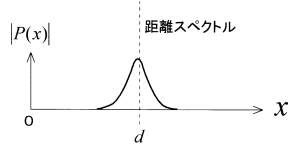
【図 4】



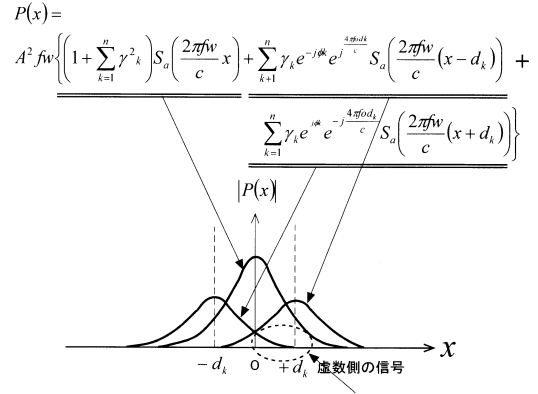
【図5】



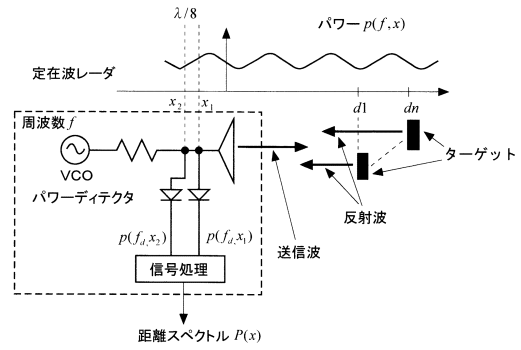
【図6】



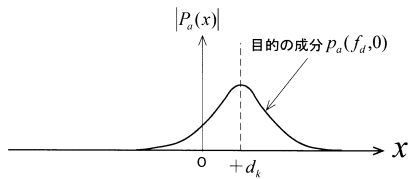
【図7】



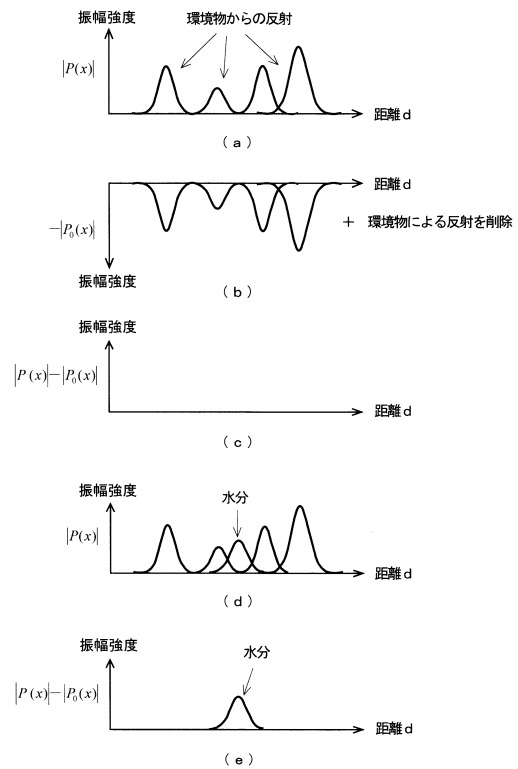
【図8】



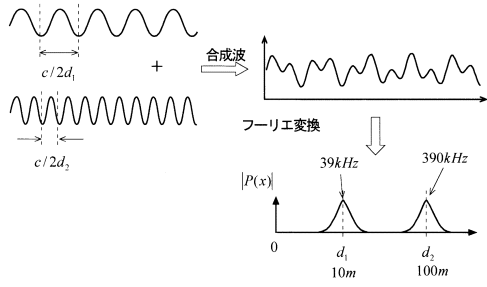
【図9】



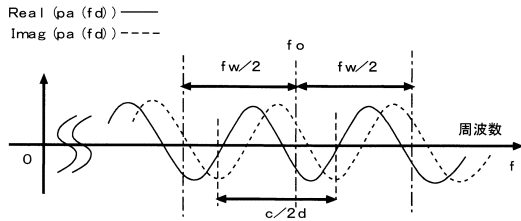
【図10】



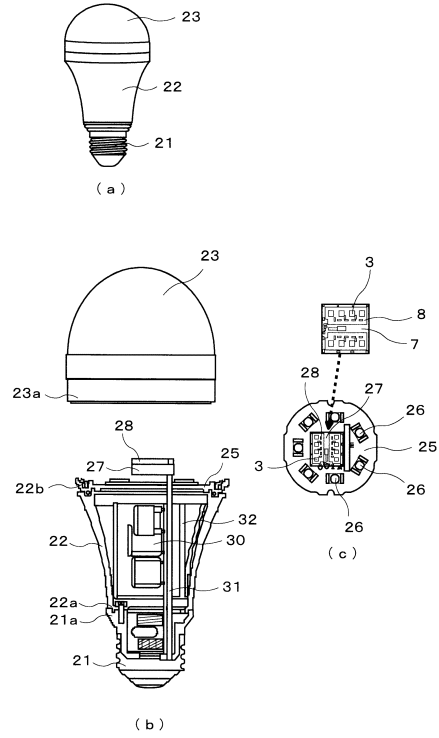
【図11】



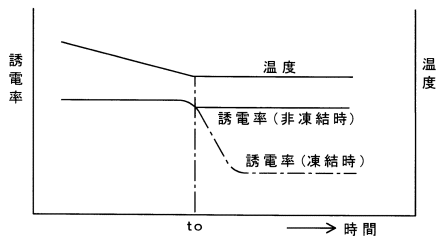
【図12】



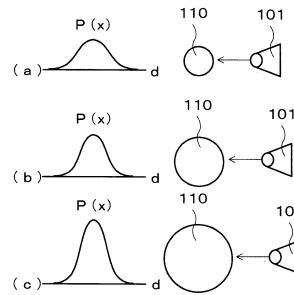
【図13】



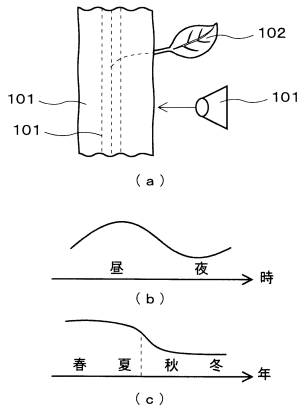
【図14】



【図16】



【図15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特許第5861179(JP, B2)
特開2009-030934(JP, A)
国際公開第2011/118198(WO, A1)
特開2014-217453(JP, A)
米国特許第06411106(US, B1)
特許第5861178(JP, B2)
特許第5848469(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 22/04
G01N 22/00
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)
Cinii