

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年10月28日(28.10.2021)



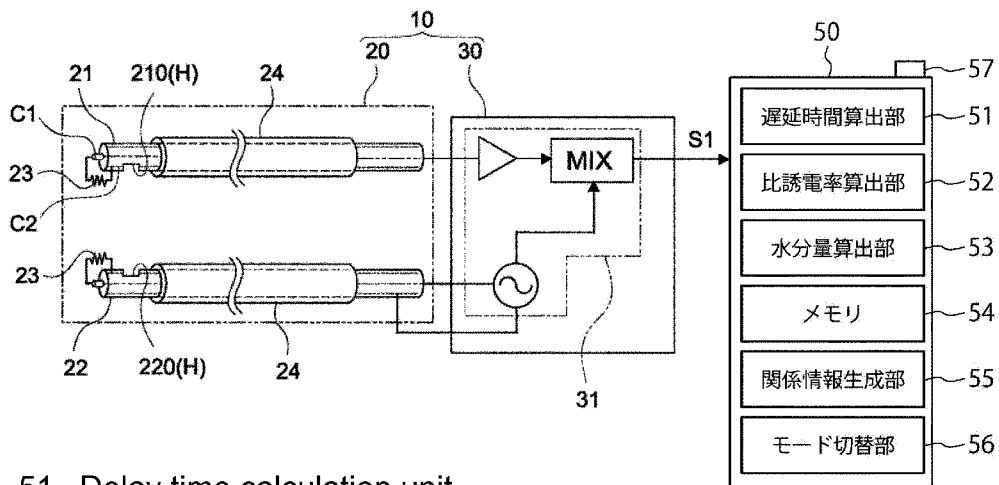
(10) 国際公開番号

WO 2021/215151 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 22/00 (2006.01) G01N 22/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/010948
- (22) 国際出願日: 2021年3月17日(17.03.2021)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2020-074863 2020年4月20日(20.04.2020) JP
- (71) 出願人: ソニーグループ株式会社(SONY GROUP CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 三保田 憲人 (MIHOTA Norihito); 〒1080075 東京都港区港南1-7-1 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 飯田 幸生 (IIDA Sachio); 〒1080075 東京都港区港南1-7-1 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 中村 行孝, 外 (NAKAMURA Yukitaka et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1丁目6番6号 日本生命丸の内ビル 協和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,

(54) Title: DETECTION DEVICE AND DETECTION METHOD

(54) 発明の名称: 検出装置および検出方法



- 51 Delay time calculation unit
- 52 Relative permittivity calculation unit
- 53 Water amount calculation unit
- 54 Memory
- 55 Relationship information generation unit
- 56 Mode switching unit

(57) Abstract: [Problem] To provide an inspection device and inspection method that suppress measurement time and power consumption. [Solution] A detection device according to this disclosure comprises a first probe having a first antenna part for transmission, a second probe having a second antenna part for reception that faces the first probe from a prescribed distance, a measurement unit for measuring a measurement signal including information relating to a propagation characteristic of electromagnetic waves within a medium between the first and second antenna parts, and a computation

WO 2021/215151 A1

HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

unit for calculating medium characteristic information on the basis of a feature value obtained from the measurement signal. In a first mode, the measurement unit measures a measurement signal for a first frequency band of electromagnetic waves propagating through the medium and the computation unit calculates the medium characteristic information on the basis of a first feature value obtained from the measurement signal for the first frequency band. In a second mode, the measurement unit measures a measurement signal for a second frequency band of the electromagnetic waves that is a portion of the first frequency band and the computation unit calculates the medium characteristic information on the basis of a second feature value obtained from the measurement signal for the second frequency band.

(57) 要約 : [課題] 測定時間および消費電力を抑制する検査装置、検査方法を提供する。 [解決手段] 本開示の検出装置は、送信用の第1アンテナ部を有する第1プローブと、第1プローブと所定の距離を対向する受信用の第2アンテナ部を有する第2プローブと、第1および第2アンテナ部間の媒質中での電磁波の伝搬特性に関する情報を含む測定信号を測定する測定部と、測定信号から得られる特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出する演算部と、を備え、第1モードにおいて、測定部は媒質中を伝搬する電磁波の第1周波数帯域における測定信号を測定し、演算部は第1周波数帯域の測定信号から得られる第1特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出し、第2モードにおいて、測定部は電磁波の第1周波数帯域の一部である第2周波数帯域における測定信号を測定し、演算部は第2周波数帯域の測定信号から得られる第2特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出する。

明 細 書

発明の名称： 検出装置および検出方法

技術分野

[0001] 本開示は、検出装置および検出方法に関する。

背景技術

[0002] 媒質中の水分量を測定する水分センサは、FDR (Frequency Domain Reflectometry) 法を用いていることがある。FDR法は、媒質中に埋め込んだ金属プローブに沿って電磁波を送り、その反射応答をもとに測定された比誘電率から媒質中の水分量を算出する方法である。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第2018/221051号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかし、FDR法を用いた水分センサは、正確な水分量を測定するために、広帯域の周波数に渡ってスイープする。このため、従来の水分センサは、長い測定時間を必要とし、かつ、大きな消費電力を必要としていた。携帯端末やIoT (internet of Things) 機器のようにバッテリーで駆動する装置では、測定時間および消費電力は、バッテリーの持続時間に直結する。このため、測定時間および消費電力の削減が所望されている。

[0005] 以上のような事情に鑑み、本技術の目的は、測定時間および消費電力を抑制することができる検査装置および検査方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示の一側面の検査装置は、送信用の第1アンテナ部を有する第1プローブと、第1プローブと所定の距離をおいて対向する受信用の第2アンテナ部を有する第2プローブと、第1および第2アンテナ部の間の媒質中での電磁波の伝搬特性に関する情報を含む測定信号を測定する測定部と、測定信号

から得られる特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出する演算部と、を備え、第1モードにおいて、測定部は媒質中を伝搬する電磁波の第1周波数帯域における測定信号を測定し、演算部は第1周波数帯域の測定信号から得られる第1特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出し、第2モードにおいて、測定部は電磁波の第1周波数帯域の一部である第2周波数帯域における測定信号を測定し、演算部は第2周波数帯域の測定信号から得られる第2特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出する。

[0007] 第1モードにおいて、演算部は、第1周波数帯域における測定信号のうち第2周波数帯域の測定信号から得られる部分特徴量に基づいて、第1特徴量と部分特徴量との関係情報を生成し、第2モードにおいて、演算部は、関係情報に第2特徴量を適用することによって、媒質の特性情報を算出してよい。

[0008] 第2周波数帯域は、第1周波数帯域のうち測定信号の強度が最大となるピーク周波数を含む帯域でよい。

[0009] 第1モードにおいて、測定部は、電磁波を第1周波数間隔で測定し、第2モードにおいて、測定部は、電磁波を第1周波数間隔よりも広い第2周波数間隔で測定してよい。

[0010] 第2周波数帯域の広さは、第1周波数帯域の広さとほぼ等しくてよい。
第2周波数帯域は、第1周波数帯域内の特定周波数でよい。

[0011] 特徴量は、第1および第2アンテナ部間の電磁波の伝搬遅延時間、該電磁波の周波数特性の形状、または、該電磁波の周波数特性に基づいて得られた伝搬遅延時間の波形でよい。

[0012] 特徴量は、特定周波数における電磁波の位相または振幅でよい。

[0013] 演算部は、測定信号に基づいて第1及び第2のプロープ間における電磁波の伝搬遅延時間を特徴量として算出する遅延時間算出部と、伝搬遅延時間に基づいて媒質の比誘電率を特性情報として算出する比誘電率算出部と、比誘電率に基づいて媒質中の水分量を算出する水分量算出部と、関係情報を生成する関係情報生成部と、を備えてよい。

- [0014] 第1モードにおいて、演算部は、第1周波数帯域における測定信号に基づいて第1伝搬遅延時間を算出し、第1周波数帯域における測定信号のうち第2周波数帯域の測定信号から得られる部分遅延時間を算出し、第1伝搬遅延時間および部分遅延時間を用いて関係情報を生成し、第2モードにおいて、演算部は、第2周波数帯域における測定信号に基づいて第2伝搬遅延時間を算出し、第2伝搬遅延時間を関係情報に適用することによって該第2伝搬遅延時間を第1周波数帯域の伝搬遅延時間へ換算した補正遅延時間を生成し、補正遅延時間を用いて媒質の比誘電率および該媒質中の水分量を算出してよい。
- [0015] 第1モードと第2モードとを切り替えるモード切替部をさらに備えてよい。
- [0016] 第2周波数帯域は、第1周波数帯域のうち測定信号のレベルの上限が他の周波数帯域の測定信号における測定信号のレベルの上限よりも高く、第1アンテナ部は、第2周波数帯域において、第1周波数帯域の他の周波数帯域よりも測定信号のレベルを高くしてもよい。
- [0017] 本開示の一側面の検査方法は、送信用の第1アンテナ部を有する第1プローブと、第1プローブと所定の距離をおいて対向する受信用の第2アンテナ部を有する第2プローブと、第1および第2アンテナ部の間の媒質中での電磁波の伝搬特性に関する情報を含む測定信号を測定する測定部と、測定信号から得られる特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出する演算部と、を備えた検出装置を用いた検出方法であって、第1モードにおいて、媒質中を伝搬する電磁波の第1周波数帯域における測定信号を測定し、演算部は第1周波数帯域の測定信号から得られる第1特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出し、第2モードにおいて、電磁波の第1周波数帯域の一部である第2周波数帯域における測定信号を測定し、演算部は第2周波数帯域の測定信号から得られる第2特徴量に基づいて媒質の特性情報を算出することを具備する。
- [0018] 第1モードにおいて、演算部は、第1周波数帯域における測定信号のうち第2周波数帯域の測定信号から得られる部分特徴量に基づいて、第1特徴量

と部分特徴量との関係情報を生成し、第2モードにおいて、演算部は、関係情報に第2特徴量を適用することによって、媒質の特性情報を算出してよい。

[0019] 第2周波数帯域は、第1周波数帯域のうち測定信号の強度が最大となるピーク周波数を含む帯域でよい。

[0020] 第1モードにおいて、測定部は、電磁波を第1周波数間隔で測定し、第2モードにおいて、測定部は、電磁波を第1周波数間隔よりも広い第2周波数間隔で測定してよい。

[0021] 第2周波数帯域の広さは、第1周波数帯域の広さとほぼ等しくてよい。

[0022] 第2周波数帯域は、第1周波数帯域内の特定周波数でよい。

[0023] 特徴量は、第1および第2アンテナ部間の電磁波の伝搬遅延時間、該電磁波の周波数特性の形状、または、該電磁波の周波数特性に基づいて得られた伝搬遅延時間の波形でよい。

[0024] 特徴量は、特定周波数における電磁波の位相または振幅でよい。

[0025] 第1モードにおいて、演算部は、第1周波数帯域における測定信号に基づいて第1伝搬遅延時間を算出し、第1周波数帯域における測定信号のうち第2周波数帯域の測定信号から得られる部分遅延時間を算出し、第1伝搬遅延時間および部分遅延時間を用いて関係情報を生成し、第2モードにおいて、演算部は、第2周波数帯域における測定信号に基づいて第2伝搬遅延時間を算出し、第2伝搬遅延時間を関係情報に適用することによって該第2伝搬遅延時間を第1周波数帯域の伝搬遅延時間へ換算した補正遅延時間を生成し、補正遅延時間を用いて媒質の比誘電率および該媒質中の水分量を算出してよい。

[0026] 第2周波数帯域は、第1周波数帯域のうち測定信号のレベルの上限が他の周波数帯域における測定信号のレベルの上限よりも高く、第1アンテナ部は、第2周波数帯域において、第1周波数帯域の他の周波数帯域よりも測定信号のレベルを高くしてもよい。

図面の簡単な説明

- [0027] [図1]実施形態に係る水分量測定センサを備えた測定装置の概略構成図。
- [図2]水分量測定センサの構成を示すブロック図。
- [図3]測定ユニットの構成を示すブロック図。
- [図4]第1モードの水分量測定方法および関係情報の生成方法を説明するフローチャート。
- [図5A]第1周波数帯域における電磁波の送信時の信号レベルを示す図。
- [図5B]第1周波数帯域における電磁波の測定信号のレベルを示す図。
- [図5C]第1伝搬遅延時間を示す図。
- [図5D]第2周波数帯域における電磁波の測定信号のレベルを示す図。
- [図5E]部分遅延時間を示す図。
- [図6]第1伝搬遅延時間と部分遅延時間との関係を示すグラフ。
- [図7]第2モードの水分量測定方法を説明するフローチャート。
- [図8A]第2周波数帯域における電磁波の送信時の信号レベルを示す図。
- [図8B]第2周波数帯域における電磁波の測定信号のレベルを示す図。
- [図8C]第2伝搬遅延時間を示す図。
- [図8D]補正遅延時間を示す図。
- [図9]実際の測定におけるセンサ装置の全体の動作例を示すフロー図。
- [図10A]第1および第2モードの実行周期の一例を示す図。
- [図10B]第1および第2モードの実行周期の一例を示す図。
- [図11A]第2周波数帯域の変形例を示すグラフ。
- [図11B]第2周波数帯域の変形例を示すグラフ。
- [図11C]第2周波数帯域の変形例を示すグラフ。
- [図12A]第2周波数帯域の他の変形例を示すグラフ。
- [図12B]第2周波数帯域の他の変形例を示すグラフ。
- [図12C]第2周波数帯域の他の変形例を示すグラフ。
- [図13A]第2周波数帯域のさらに他の変形例を示すグラフ。
- [図13B]第2周波数帯域のさらに他の変形例を示すグラフ。
- [図13C]第2周波数帯域のさらに他の変形例を示すグラフ。

[図14A]測定信号の周波数特性の形状を示す図。

[図14B]測定信号から得られた第1伝搬遅延時間を示す図。

[図15A]部分遅延時間の時間波形を示す図。

[図15B]第1伝搬遅延時間の時間波形を示す図。

[図16A]第1モードにおける第1伝搬遅延時間の一例を示すグラフ。

[図16B]第2モードにおける第2伝搬遅延時間の一例を示すグラフ。

[図17]プローブの変形例を示す概略図。

[図18]本変形例のプローブの先端部の構成例を示す概略図。

発明を実施するための形態

[0028] 以下、本技術を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。図面は模式的または概念的なものであり、各部分の比率などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。明細書と図面において、既出の図面に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

[0029] (実施形態)

図1は、実施形態に係る水分量測定センサを備えた測定装置の概略構成図である。図2は、水分量測定センサの構成を示すブロック図である。

[0030] [水分量測定装置]

本実施形態の測定装置100は、水分量測定センサ装置（以下、センサ装置）10と、信号処理ユニット50とを有する。本実施形態では、農作物を育成する土壌の水分量の測定に本技術を適用した例について説明する。

[0031] センサ装置10は、媒質（土壌）Mの電磁波伝搬特性を取得し、媒質Mの比誘電率の算出に用いられる測定信号S1を生成する。信号処理ユニット50は、センサ装置10から測定信号S1を受信し、測定信号S1に基づいて媒質M中の水分量を算出する。

[0032] 以下、各部の詳細について説明する。

[0033] センサ装置10は、センサヘッド20と、測定ユニット30とを有する。

[0034] (センサヘッド)

センサヘッド20は、送信用プローブ21（第1プローブ）と、受信用プローブ22（第2プローブ）とを有する。センサヘッド20は、土壌等の媒質Mの中に配置され、送信用及び受信用プローブ21、22間で所定周波数の電磁波EWを送受信することが可能なアンテナ部210、220（第1アンテナ部、第2アンテナ部）をそれぞれ有する。

- [0035] 送信用プローブ21及び受信用プローブ22は、距離Dにおいて相互に対向するように媒質M中に概ね垂直な姿勢で埋め込まれる。送信用プローブ21及び受信用プローブ22は、芯線部C1とシールド部C2とを有する同軸ケーブルで構成される。当該ケーブルの太さ及び長さは特に限定されず、任意の太さ及び長さとすることができる。例えば、当該ケーブルの太さ（直径）を2mm～6mmとすることで、土壌への挿入が容易となる。芯線部C1は銅線で構成され、シールド部C2は銅パイプで構成されるが、シールド部C2は銅線のメッシュ体で構成されてもよい。シールド部C2の外表面は、図示せずとも、絶縁材料で構成された保護層で被覆される。
- [0036] 送信用プローブ21は、測定ユニット30の出力端子34（図3参照）に接続され、測定ユニット30からアンテナ部210へ送信信号を伝送する。アンテナ部210は、送信用プローブ21の先端部（終端部）又はその近傍に設けられ、送信信号に応じた電磁波EWを受信用プローブ22へ送信する。
- [0037] 受信用プローブ22は、測定ユニット30の入力端子35（図3参照）に接続され、アンテナ部220で電磁波EWを受信し、測定ユニット30へ受信信号を入力する。アンテナ部220は、送信用プローブ21のアンテナ部210と対向するように受信用プローブ22の先端部（終端部）又はその近傍に設けられる。アンテナ部210、220は、プローブ21、22の先端部に設けられる場合に限られず、プローブ21、22の中央位置など任意の位置に設けられてもよい。
- [0038] アンテナ部210、220は、プローブ21、22の所定位置において局所的に電磁波EWを送受信するためのものであり、典型的には、プローブ2

1, 22を共振させない大きさを形成された微小アンテナで構成される。これにより、プローブ21, 22の共振による測定精度の低下を抑制することができる。

[0039] 本実施形態において、アンテナ部210, 220は、シールド部C2の一部に設けられた開口部Hを含む。すなわち、プローブ21, 22は、アンテナ部210, 220を電波漏洩部として有する漏洩同軸アンテナで構成される。

[0040] 開口部Hは、矩形、円形、楕円形、長円形等の開口形状を有し、本実施形態ではプローブ21, 22の長手方向に長軸を有する長円形状で形成される。開口部Hの長軸は、使用する電磁波EWの波長に応じて適宜設定可能である。例えば、電磁波EWの波長が1GHz~9GHzの場合、開口部Hの長軸の長さは、5mm~15mm程度である。

[0041] 送信用プローブ21及び受信用プローブ22は、終端抵抗23をそれぞれ有する。終端抵抗23は、芯線部C1の終端部とシールド部C2との間に電気的に接続される。これにより、プローブ終端における送受信信号の不要反射が防止される。

[0042] 送信用プローブ21及び受信用プローブ22の先端部は、アンテナ部210, 220を被覆する電磁波透過性の保護部材（図示略）で被覆することが望ましい。

[0043] 送信用プローブ21及び受信用プローブ22は、電磁波吸収材を含有するスリーブ24をさらに有する。スリーブ24は、アンテナ部210, 220（開口部H）周辺のプローブ21, 22の外周面を被覆し、開口部H以外の領域からの送受信信号の漏洩を抑制する。

[0044] スリーブ24を構成する電磁波吸収材には主にフェライトが用いられるが、これに限られず、電磁波EWの周波数等に応じて、センダストやパーマロイ等の他の高透磁率材料が用いられてもよい。スリーブ24は、必要に応じて省略されてもよいし、いずれか一方のプローブ21, 22にのみ設けられてもよい。

[0045] 送信用プローブ21と受信用プローブ22との距離Dの大きさは特に限定されず、例えば、20mm～100mmである。距離Dが100mmより大きいと、媒質Mを伝搬する電磁波EWの減衰が大きくなり、十分な受信強度が得られなくなるおそれがある。一方、距離Dが20mmより小さいと、技術的に観測が難しくなる。また距離Dが短くなると、プローブ21、22の近傍に形成される空隙の影響を大きく受け、正しい比誘電率あるいは水分量を測定できなくなるおそれがある。

[0046] 上記空隙は、媒質Mとプローブ21、22の周囲との間に形成される空気層であり、プローブ21、22を媒質Mにその表面から埋め込むときに、あるいは、プローブ21、22を媒質M内で動かしたりしたときに形成されてしまう。後述するように、媒質Mの比誘電率あるいは水分量を精度よく測定する上で、空隙の大きさ（空気層の厚さ）は小さい方が好ましいが、典型的には、1mm程度の空隙が生じることがある。

[0047] （測定ユニット）

図3は、測定ユニットの構成を示すブロック図である。

[0048] 測定ユニット30は、信号生成部31と、通信部32とを有する。測定ユニット30は、典型的には、ネットワークアナライザで構成される。

[0049] 信号生成部31は、制御部310と、信号発生器311、位相シフタ313、混合器315等を有する。信号生成部31は、送信用プローブ21のアンテナ部210と受信用プローブ22のアンテナ部220との間における媒質M中での電磁波EWの伝搬特性に関する情報を含む測定信号S1を生成する。

[0050] 制御部310は、CPU（Central Processing Unit）やメモリ等を有するコンピュータで構成され、信号発生器311、通信部32を含む測定ユニット30の各部を制御する。

[0051] 信号発生器311は、所定周波数の送信信号Fを発生し、増幅器312および出力端子34を介して送信用プローブ21へ入力する。信号発生器311は、送信信号Fとしてパルス波（パルス信号）を生成するが、送信信号F

として連続波を生成するように構成されてもよい。

[0052] 信号発生器311は、送信信号Fの周波数掃引機能を有していてもよい。この場合、信号発生器311は、制御部310の指令に基づいて、例えば1GHzから9GHzの送信信号Fを生成する。

[0053] 位相シフタ313は、送信信号Fを位相が90度異なる2つの信号に分離して混合器315へ入力する。混合器315は、受信用プローブ22から入力端子35および増幅器314を介して入力された受信信号を、位相シフタ313から出力される2つの信号と混合して、互いに直交する2つの応答信号（I信号/Q信号）に変調する。これら応答信号は、AD変換器316を介してアナログ信号からデジタル信号に変換されて、制御部310において測定信号S1として生成される。

[0054] 位相シフタ313および混合器315は、受信用プローブ22の出力を直交検波（IQ検波）する検波器を構成する。I信号とQ信号の二乗和は受信信号の強度に、I信号とQ信号の二乗和の平方根は受信信号の振幅に、I信号とQ信号の逆正接は位相に、それぞれ相当する。

[0055] 通信部32は、通信用アンテナ等を含む通信モジュールで構成される。通信部32は、センサ装置10から信号処理ユニット50へ測定信号S1を無線送信するためのものである。これにより、観測地とは異なる場所に配置された信号処理ユニット50へ測定信号S1を提供することができる。これに限られず、センサ装置10は信号処理ユニット50と配線ケーブル等を介して接続されてもよい。

[0056] （信号処理ユニット）

演算部としての信号処理ユニット50は、図2に示すように、遅延時間算出部51、比誘電率算出部52、水分量算出部53、メモリ54、関係情報生成部55およびモード切替部56、57を有する。信号処理ユニット50は、センサ装置10（測定ユニット30）から送信される測定信号S1に基づいて、電磁波EWの伝搬遅延時間等の特徴量を得て、さらに、その特徴量から媒質M中の水分量等の特性情報を算出する情報処理装置で構成される。

- [0057] 当該情報処理装置は、CPU、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory) 等のコンピュータに用いられるハードウェア要素および必要なソフトウェアにより実現され得る。CPUに代えて、またはこれに加えて、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等のPLD (Programmable Logic Device)、あるいは、DSP (Digital Signal Processor)、その他ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等が用いられてもよい。
- [0058] 本実施形態では、CPUが所定のプログラムを実行することで、機能ブロックとしての遅延時間算出部51、比誘電率算出部52、水分量算出部53、関係情報生成部55およびモード切替部56が構成される。信号処理ユニット50のRAM等によりメモリ54が構成される。もちろん各ブロックを実現するために、IC (集積回路) 等の専用のハードウェアが用いられてもよい。プログラムは、例えば種々の記録媒体を介して信号処理ユニット50にインストールされる。あるいは、インターネット等を介してプログラムのインストールが実行されてもよい。
- [0059] 遅延時間算出部51は、測定信号S1に基づいて送信用プローブ21 (アンテナ部210) と受信用プローブ22 (アンテナ部220) との間における電磁波EWの伝搬遅延時間を特徴量として算出するように構成される。
- [0060] 電磁波EWの伝搬遅延時間とは、空気中における電磁波EWの伝搬時間に対する媒質M中における電磁波の伝搬時間の差分をいう。電磁波の伝搬遅延時間は、伝送経路の比誘電率に依存し、伝搬遅延時間は媒質の比誘電率の平方根に比例する。一般的に土壌自体の比誘電率は1から10程度であり、水分に応じて変化する。したがって、伝搬遅延時間を測定できれば、媒質M中の水分量を間接的に測定することができることになる。
- [0061] 伝搬遅延時間の算出方法は特に限定されず、本実施形態では、測定信号S1を逆フーリエ変換 (逆FFT) してインパルス応答を求め、そのピーク位置からパルス遅延時間を算出する。パルス遅延時間からプローブ21, 22の伝送時間 (ケーブル伝送時間) を差し引くことにより、電磁波EWの伝搬

遅延時間が算出される。

- [0062] 比誘電率算出部52は、遅延時間算出部51において算出された電磁波EWの伝搬遅延時間に基づいて、媒質Mの比誘電率を媒質Mの特性情報として算出するように構成される。水の比誘電率は、典型的には、80である。
- [0063] 水分量算出部53は、比誘電率算出部52において算出された比誘電率に基づいて、媒質M中の水分量を算出するように構成される。水分量の算出には、例えば、Toppの式が用いられ（後述）、水分量として、媒質Mの体積含水率 [%] が算出される。あるいは、水分量算出部53は、比誘電率を求めることなく、電磁波EWの伝搬遅延時間から水分量を直接計算してもよい。
- [0064] 関係情報生成部55は、或る周波数帯域（第1周波数帯域）の測定信号を用いて得られる伝搬遅延時間DL11と該第1周波数帯域の一部分の周波数帯域（第2周波数帯域）の測定信号を用いて得られる部分遅延時間DL12との間の関係情報を生成する。関係情報は、伝搬遅延時間DL11と部分遅延時間DL12との間の関係を示す関数または対応表でよい。この関係情報は、メモリ54内に格納される。
- [0065] モード切替部56、57は、後述する第1モードと第2モードとの切り替えを行う。例えば、第1モードにおいて、測定ユニット30は、媒質M中を伝搬する電磁波EWの第1周波数帯域における測定信号を測定する。即ち、測定ユニット30は、電磁波EWの周波数を第1周波数帯域内で所定間隔（第1周波数間隔）毎に変化させながら、媒質Mを伝搬した電磁波EWの測定信号を測定する。信号処理ユニット50は、第1周波数帯域の測定信号から得られる第1伝搬遅延時間（第1特徴量）DL11に基づいて媒質Mの比誘電率および水分量を算出する。それとともに、信号処理ユニット50は、第1モードで得られた測定信号のうち、第2モードで用いられる第2周波数帯域の測定信号の部分を抜き出し、該測定信号の部分から部分遅延時間（部分特徴量）DL12を求める。第2周波数帯域は、第1周波数帯域内の一部分の周波数帯域または第1周波数帯域内の特定周波数である。例えば、第2周

波数帯域は、測定信号を正確に検出するために、第1周波数帯域のうち測定信号が最大強度となるピーク周波数を含む帯域でよい。さらに、信号処理ユニット50は、第1伝搬遅延時間 $DL11$ と部分遅延時間 $DL12$ との関係情報（例えば、関係式または対応表）を求める。尚、関係情報の生成については後述する。また、後述するように、特徴量は伝搬遅延時間に限定されない。

[0066] 第2モードにおいて、測定ユニット30は、媒質M中を伝搬する電磁波EWの第2周波数帯域における測定信号を測定する。信号処理ユニット50は、第2周波数帯域の測定信号から得られる第2伝搬遅延時間 $DL22$ に基づいて媒質Mの比誘電率および水分量を算出する。第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、第1モードで算出された関係情報に、第2モードで得られた第2伝搬遅延時間 $DL22$ を適用することによって、補正遅延時間 $DL21$ を算出する。例えば、関係情報が第1伝搬遅延時間 $DL11$ と部分遅延時間 $DL12$ との間の関係を示す関係式である場合、信号処理ユニット50は、第2モードで得られた第2伝搬遅延時間 $DL22$ をその関係式の部分遅延時間 $DL12$ に代入する。これにより得られた第1伝搬遅延時間 $DL11$ を補正遅延時間 $DL21$ とする。この補正遅延時間 $DL21$ は、第1周波数帯域を用いて得られる伝搬遅延時間に相当することになる。即ち、信号処理ユニット50は、第2伝搬遅延時間 $DL22$ を上記関係式に適用することによって、第1周波数帯域の伝搬遅延時間（ $DL21$ ）へ換算（補正）することができる。信号処理ユニット50は、このようにして補正された補正遅延時間 $DL21$ を用いて比誘電率または水分量を算出する。

[0067] 関係情報が第1伝搬遅延時間 $DL11$ と部分遅延時間 $DL12$ との関係を示す対応表である場合、信号処理ユニット50は、その対応表を参照して、第2モードで得られた第2伝搬遅延時間 $DL22$ を補正遅延時間 $DL21$ へ変換すればよい。例えば、信号処理ユニット50は、第2伝搬遅延時間 $DL22$ に等しいまたは最も近い部分遅延時間 $DL12$ を対応表中で検索し、その部分遅延時間 $DL12$ に対応する第1伝搬遅延時間 $DL11$ を補正遅延

時間DL21とすればよい。あるいは、信号処理ユニット50は、第2伝搬遅延時間DL22に隣接する複数の部分遅延時間DL12を用いて補間し、その補間された値に対応する第1伝搬遅延時間DL11を補正遅延時間DL21としてもよい。

[0068] このように、本開示による信号処理ユニット50は、第1モードにおいて、第1周波数帯域における第1伝搬遅延時間DL11と第2周波数帯域における部分遅延時間DL12との間の関係情報を生成する。第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、第2周波数帯域における第2伝搬遅延時間DL22を上記関係情報に適用することによって、第1周波数帯域の伝搬遅延時間（補正遅延時間DL21）に換算する。これにより、第2モードでは、第1周波数帯域の一部分である第2周波数帯域を用いながらも、第1周波数帯域の伝搬遅延時間を推定することができる。その後、信号処理ユニット50は、補正遅延時間DL21を用いて比誘電率または水分量を算出する。

[0069] モード切替部56、57は、このような第1モードと第2モードとを切り替えるスイッチである。モード切替部56は、例えば、信号処理ユニット50内に設けられたスイッチ機能（ソフトウェア）である。モード切替部57は、例えば、センサ装置10の筐体に設けられた物理スイッチである。モード切替部56は、信号処理ユニット50の内部でモード切り替えを自動で実行する場合に用いられる。モード切替部57は、ユーザが任意にモード切り替えを実行する場合に用いられる。センサ装置10は、モード切替部56、57の両方を備えていてもよく、いずれか一方を備えていてもよい。

[0070] 信号処理ユニット50はさらに、測定ユニット30の通信部32と通信可能に構成された通信部、各機能ブロックで算出された伝搬遅延時間、比誘電率、水分量に関する情報等を表示可能な表示部などを備えてもよい。

[0071] ここで、第1モードでは、測定ユニット30は、電磁波EWを比較的広範な第1周波数帯域で電磁波EWを測定するので、分解能が高く、水分量を正確に算出することができる。しかし、第1モードのみで測定すると、比較的長い時間がかかり、かつ、消費電力も大きくなる。第2モードでは、測定ユ

ニット30は、第1周波数帯域の一部分の第2周波数帯域で電磁波EWを測定するので、比較的短い時間で済み、かつ、消費電力も小さい。しかし、第2モードのみで測定すると、分解能が低く、正確な水分量を算出することが困難である。

[0072] そこで、本実施形態では、例えば、当初、上記関係情報を得るために第1モードで関係情報を生成し、その後、第2モードでその関係情報を用いて測定を実行する。これにより、第1モードでは比較的長い時間および大きな消費電力を必要とするが、その後の第2モードにおいては、短時間かつ低消費電力で測定を繰り返すことができる。また、第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、広帯域の第1周波数帯域において得られた関係情報を用いて、第2伝搬遅延時間DL22を、第1周波数帯域の伝搬遅延時間に相当する補正遅延時間DL21へ変換している。従って、本実施形態による検査装置での測定は、短時間かつ低消費電力で実行することができるとともに、第1周波数帯域の測定に匹敵する比較的正確な水分量を得ることができる。

[0073] (水分量測定方法)

以下、信号処理ユニット50の詳細について、本実施形態に係る水分量測定装置の動作を説明する。

[0074] (第1モード)

図4は、第1モードの水分量測定方法および関係情報の生成方法を説明するフローチャートである。図5Aは、第1周波数帯域における電磁波EWの送信時の信号レベルを示す図である。図5Bは、第1周波数帯域における電磁波EWの測定信号のレベルを示す図である。図5Cは、第1伝搬遅延時間DL11を示す図である。図5Dは、第2周波数帯域における電磁波EWの測定信号のレベルを示す図である。図5Eは、部分遅延時間DL12を示す図である。

[0075] まず図1に示すように、送信用プローブ21及び受信用プローブ22が土壌M中に埋め込まれる(ステップ101)。送信用プローブ21と受信用プローブ22との間の対向距離Dは、例えば、50mmである。

[0076] 続いて、送信用プローブ21（アンテナ部210）と受信用アンテナ（アンテナ部220）との間で電磁波EWが送受信される（ステップ102）。このとき、測定ユニット30は、送信用プローブ21へ入力される送信信号F(n)の周波数を50MHzステップで変化させながら、受信用プローブ22から出力される受信信号の直交周波数応答信号（I(n)信号、Q(n)信号）を含む測定信号S1を生成する。測定ユニット30は、図5Aに示すように、電磁波EWの周波数を第1周波数帯域FB1内において10MHzステップごとに変化させてスイープする。これにより、図5Bに示すように、第1周波数帯域FB1の測定信号S1が得られる。測定信号S1は、信号処理ユニット50へ送信される。

[0077] 続いて、信号処理ユニット50（遅延時間算出部51）は、測定信号S1に基づいて、送信用プローブ21と受信用プローブ22との間における電磁波EWの第1伝搬遅延時間DL11を算出する（ステップ103）。ここで、遅延時間算出部51は、図5Cに示すように、第1周波数帯域FB1の測定信号S1を用いて第1伝搬遅延時間DL11を計算する。これとともに、遅延時間算出部51は、図5Dに示すように、第1周波数帯域FB1の一部である第2周波数帯域FB2の測定信号を抜き出し、図5Eに示すように、該第2周波数帯域FB2の測定信号を用いて部分遅延時間DL12を算出する。即ち、遅延時間算出部51は、第1モードの測定信号S1を用いて、第1伝搬遅延時間DL11を生成するとともに、部分遅延時間DL12を生成する。第2周波数帯域FB2は、第1モードの測定信号S1のうち伝搬ロスが少なく、大きな信号強度を得ることができる部分的な周波数帯域でよい。第2周波数帯域FB2は伝搬ロスの少ない周波数帯域に設定されるので、第2モードにおいて、測定ユニット30は、第2周波数帯域FB2の測定信号S2を確実に検出することが可能になる。また、第2モードにおける測定信号S2のSN比（Signal-to-Noise ratio）が向上する。よって、第2モードにおける送信信号の電力を抑制することにも繋がる。

伝搬遅延時間および媒質Mの比誘電率および水分量の算出方法は以下の通

りである。尚、第1伝搬遅延時間DL11は、測定信号S1の第1周波数帯域FB1を用いて算出され、部分遅延時間DL12は、測定信号S1のうち第2周波数帯域FB2を用いて算出される。

[0078] 遅延時間算出部51は、I(n)信号を実部、Q(n)信号を虚部として、高速フーリエ変換により受信信号を逆フーリエ変換(IFFT)し、インパルス応答h(τ)を求める。

$$h(\tau) = \text{IFFT}\{I(n), Q(n)\} \quad (\text{式1})$$

[0079] 遅延時間算出部51は、インパルス応答h(τ)のピーク位置からパルス遅延時間τ[s]を求め、パルス遅延時間τからケーブル伝送時間τ₀[s]を差し引くことにより、伝搬遅延時間τ_{delay}[s]を求める。

$$\tau_{\text{delay}} = \tau - \tau_0 \quad (\text{式2})$$

[0080] 続いて、信号処理ユニット50(比誘電率算出部52)は、伝搬遅延時間DL11またはDL12をτ_{delay}[s]、光速をc[m/s]、プローブ間距離(D)をd[m]として、媒質Mの比誘電率ε_rを算出する(ステップ104)。

$$\tau_{\text{delay}} = d \cdot \sqrt{\epsilon_r} / c \quad (\text{式3})$$

[0081] 続いて、信号処理ユニット50(水分量算出部53)は、Topp式から、媒質M中の水分量(体積含水率)θ[%]を算出する(ステップ105)。

$$\theta = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \epsilon_r - 5.5 \times 10^{-4} \epsilon_r^2 + 4.3 \times 10^{-6} \epsilon_r^3 \quad (\text{式4})$$

[0082] このように、伝搬遅延時間DL11、DL12および媒質Mの比誘電率および水分量は、上記式1~式4を用いて算出され得る。

[0083] 続いて、信号処理ユニット50(関係情報生成部55)は、第1伝搬遅延時間DL11と部分遅延時間DL12との関係情報を生成する(ステップ106)。

[0084] 例えば、図6は、第1伝搬遅延時間DL11と部分遅延時間DL12との関係を示すグラフである。ステップ102~105を繰り返すことによって

、図6に示すようなグラフが得られる。これにより、第1伝搬遅延時間 DL_{11} と部分遅延時間 DL_{12} との関係式が得られる。関係式は、一次関数でもよく、二次以上の関数であってもよい。関係式は、メモリ54に格納される。尚、関係情報は、第1伝搬遅延時間 DL_{11} と部分遅延時間 DL_{12} との関係を示す対応表であってもよい。

[0085] このように、第1モードにおいて、広帯域の第1周波数帯域 FB_1 の測定信号を用いて第1伝搬遅延時間 DL_{11} を算出し、第1伝搬遅延時間 DL_{11} を用いて媒質Mの比誘電率および媒質M中の体積含水率（水分量）が算出される。それとともに、第1周波数帯域 FB_1 の第1伝搬遅延時間 DL_{11} と第2周波数帯域 FB_2 の部分遅延時間 DL_{12} との関係情報が生成される。

[0086] （第2モード）

図7は、第2モードの水分量測定方法を説明するフローチャートである。図8Aは、第2周波数帯域における電磁波EWの送信時の信号レベルを示す図である。図8Bは、第2周波数帯域における電磁波EWの測定信号のレベルを示す図である。図8Cは、第2伝搬遅延時間 DL_{22} を示す図である。図8Dは、補正遅延時間 DL_{21} を示す図である。

[0087] まず、第1モードと同様に、ステップ101が実行される。これにより、送信用プローブ21及び受信用プローブ22が、土壌M中に埋め込まれる。

続いて、送信用プローブ21（アンテナ部210）と受信用アンテナ（アンテナ部220）との間で電磁波EWが送受信される（ステップ202）。このとき、測定ユニット30は、図8Aに示すように、電磁波EWの周波数を第2周波数帯域 FB_2 内において50MHzステップごとに変化させてスイープする。これにより、図8Bに示すように、第2周波数帯域 FB_2 の測定信号S2が得られる。測定信号S2は、信号処理ユニット50へ送信される。

[0088] 続いて、遅延時間算出部51は、図8Cに示すように、測定信号S2に基づいて、送信用プローブ21と受信用プローブ22との間における電磁波E

Wの第2伝搬遅延時間 DL_{22} を算出する(ステップ203)。第2伝搬遅延時間 DL_{22} は、伝搬遅延時間 DL_{11} 、 DL_{12} と同様に、上記式1および式2を用いて算出すればよい。第2伝搬遅延時間 DL_{22} は、第2周波数帯域 FB_2 の測定信号 S_2 を用いて算出される。

[0089] 続いて、遅延時間算出部51は、図8Dに示すように、第2伝搬遅延時間 DL_{22} を第1モードで得られた関係情報に適用することによって補正遅延時間 DL_{21} を算出する(ステップ204)。例えば、遅延時間算出部51は、第2伝搬遅延時間 DL_{22} を、上記関係式の部分遅延時間 DL_{12} に代入することによって、補正遅延時間 DL_{21} を算出する。補正遅延時間 DL_{21} は、第2伝搬遅延時間 DL_{22} を部分遅延時間 DL_{12} に代入した場合の第1伝搬遅延時間 DL_{11} に相当する。従って、補正遅延時間 DL_{21} は、第2伝搬遅延時間 DL_{22} を第1周波数帯域の伝搬遅延時間に対応するように補正した伝搬遅延時間となる。よって、補正遅延時間 DL_{21} は、第2周波数帯域の測定信号 S_2 を用いて算出されているものの、比較的正確な伝搬遅延時間に補正される。

[0090] 尚、関係情報が第1伝搬遅延時間 DL_{11} と部分遅延時間 DL_{12} との対応表である場合、遅延時間算出部51は、第2伝搬遅延時間 DL_{22} に等しいまたは最も近い部分遅延時間 DL_{12} を対応表から検索する。そして、遅延時間算出部51は、その検索でヒットした部分遅延時間 DL_{12} に対応する第1伝搬遅延時間 DL_{11} を補正遅延時間 DL_{21} とすればよい。あるいは、遅延時間算出部51は、第2伝搬遅延時間 DL_{22} に隣接する複数の部分遅延時間 DL_{12} を用いて補間し、その補間された値に対応する第1伝搬遅延時間 DL_{11} を補正遅延時間 DL_{21} としてもよい。このように、遅延時間算出部51は、関係情報を用いて、第2伝搬遅延時間 DL_{22} を補正遅延時間 DL_{21} へ変換する。

[0091] 続いて、信号処理ユニット50は、補正遅延時間 DL_{21} を用いて、ステップ104および105を実行する。これにより、第2モードにおいて、媒質M中の水分量 θ [%] が算出される。

- [0092] このように本実施形態によるセンサ装置10は、第1モードにおいて、比較的広域の第1周波数帯域の電磁波EWを用いて第1伝搬遅延時間DL11と部分遅延時間DL12との関係情報を生成する。その後、センサ装置10は、第2モードにおいて、第1周波数帯域の一部分の第2周波数帯域の電磁波EWを用いて、第2伝搬遅延時間DL22を測定し、第1モードで得られた関係情報を用いて、第2伝搬遅延時間DL22を補正遅延時間DL21へ補正する。これにより、当初、第1モードでは比較的長い時間および大きな消費電力を必要とするが、その後の第2モードにおいては、短時間かつ低消費電力で測定を繰り返すことができる。また、第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、広帯域の第1周波数帯域において得られた関係情報を用いて、第2伝搬遅延時間DL22を、第1周波数帯域の伝搬遅延時間に相当する補正遅延時間DL21へ変換している。従って、本実施形態による検査装置での測定は、短時間かつ低消費電力で実行することができるとともに、第1周波数帯域の測定に匹敵する比較的正確な水分量を得ることができる。
- [0093] 図9は、実際の測定におけるセンサ装置の全体の動作例を示すフロー図である。
- [0094] まず、送信用プローブ21及び受信用プローブ22が土壌M中に埋め込まれる（ステップ101）。
- [0095] 続いて、信号処理ユニット50は、第1モードの実行が必要か否かを判断する（ステップ302）。例えば、関係情報がまだ設定されていない場合、関係情報が設定されてから第2モードが所定回数実行された場合、関係情報が設定されてから所定時間経過した場合等に、信号処理ユニット50は、第1モードの実行が必要と判断する（ステップ302のYES）。この場合、センサ装置10は、第1モードで測定を実行する（ステップ303）。これにより、関係情報が得られる。また、第1モードによる媒質Mの比誘電率および水分量を得られる。
- [0096] 一方、有効な関係情報がすでに設定されており、第1モードの実行が不要と判断された場合（ステップ302のNO）、センサ装置10は、第2モー

ドで測定を実行する（ステップ304）。これにより、第2モードによる媒質Mの比誘電率および水分量も得られる。

[0097] ステップ302～304は、所定の測定期間の間、繰り返し実行される（ステップ305のNO）。測定期間が終了すると（ステップ305のYES）、測定が終了する（ステップ306）。測定が終了すると、ユーザは、センサ装置10のプロブ21, 22を媒質Mから撤去する。

[0098] このように、第1モードで一旦設定された関係情報は、その後、第2モードにおいて繰り返し用いてもよい。従って、第1モードで関係情報の生成後、センサ装置10は、第2モードで短時間かつ低消費電力で、比較的精度良く水分量を検出することができる。

[0099] 一方、関係情報は必要に応じて周期的にあるいは任意に更新してよい。例えば、図10Aおよび図10Bに示すように、センサ装置10は、第2モードを n ($n \geq 1$) 回実行するごとに、第1モードを1回実行してもよい。図10(A)および図10Bは、第1および第2モードの実行周期の一例を示す図である。第1モードの実行頻度は、モード切替部56のソフトウェアで設定すればよい。また、第1モードは、所定の期間ごとに定期的にも実行してもよい。この場合、信号処理ユニット50は、図示しないタイマーで第1モードの実行後の時間を計測すればよい。また、ユーザが任意で第1モードと第2モードとを切り替えてもよい。この場合、ユーザはモード切替部57、即ち、物理スイッチでモードを任意に設定すればよい。

[0100] また、第1モードは、センサ装置10の製造時のみに実行されてもよい。この場合、販売後、センサ装置10は、第2モードのみで測定する。また、販売後、センサ装置10は、最初の測定において第1モードを実行し、関係情報の設定後、第2モードのみで測定してもよい。このように、第1モードは、最初に実施する必要があるが、その後、環境に変化がなければ、ほとんど実施しなくてもよい。しかし、第1モードは、測定精度を向上させるために、一定期間ごとに周期的に行うことが好ましい。また、測定ユニット30が温度センサ等の環境センサ39を備え、環境の変化に応じて、第1モード

を実行してもよい。例えば、環境センサ39が媒質Mの温度や気温を測定し、その温度が3℃以上変化した場合に、センサ装置10は、第1モードを実行し関係情報を更新してもよい。

[0101] (第2周波数帯域の変形例)

上記実施形態では、第2周波数帯域FB2は、第1周波数帯域FB1の測定信号S1の強度が最大となるピーク周波数を含む帯域であり、第1周波数帯域FB1よりも狭い帯域である。

[0102] これに対し、電磁波EWの送信信号Fのレベルには周波数によって上限が設定されている場合がある。例えば、図11A～図11Cは、第2周波数帯域の変形例を示すグラフである。図11Aは、第2モードにおける送信信号Fを示す。送信信号レベルには上限ULが設定されている。上限ULとして、例えば、ISM (Industry Science and Medical) バンド (2.4 GHz 帯) が設定されている場合がある。このような場合、第2周波数帯域FB2は、送信信号レベルの上限ULが他の周波数帯域の上限ULよりも高い周波数帯域に設定すればよい。これにより、アンテナ部210は、第2周波数帯域FB2において、他の周波数帯域の上限ULよりも高いレベル(出力)の送信信号を送信することができる。これにより、図11Bに示すように、測定ユニット30は、第2周波数帯域FB2において、他の周波数帯の測定信号よりも高いレベルで測定信号S2を受信することができる。測定信号S2のレベルが高いと、ノイズが多い環境であっても、測定ユニット30は、測定信号S2を正確に検出することができる。信号処理ユニット50は、信号レベルの高い周波数帯域を用いて第2伝搬遅延時間DL22および補正遅延時間DL21を算出するので、ノイズの影響を受け難くなり、正確な水分量を検出することができる。

[0103] 図12A～図12Cは、第2周波数帯域の他の変形例を示すグラフである。図12Aでは、第1周波数帯域FB1から間欠的に測定周波数を選択し、その選択された測定周波数を第2周波数帯域FB2としている。即ち、第2周波数帯域FB2の広さは、第1周波数帯域FB1の広さとほぼ等しいが、

第1周波数帯域FB1に対して間欠的に測定周波数を有する。換言すると、測定ユニット30は、図12Bに示すように、第2モードにおいて、第1モードの測定間隔（第1周波数間隔）よりも広い測定間隔（第2周波数間隔）で測定を実行する。これにより、センサ装置10は、短時間かつ低消費電力で水分量を検出することができる。それとともに、第2周波数帯域FB2の広さは第1周波数帯域FB1の広さとほぼ等しいので、第2モードでも比較的正確に水分量を検出することができる。

[0104] 図13A～図13Cは、第2周波数帯域のさらに他の変形例を示すグラフである。図13Aでは、第2周波数帯域FB2は、第1周波数帯域FB1内の1つの特定周波数である。この場合、図13Bに示すように、測定ユニット30は、第2モードにおいて、特定周波数で測定を実行する。これにより、センサ装置10は、非常に短時間かつ非常に低消費電力で水分量を検出することができる。

[0105] この場合、図13Cに示す振幅差 ΔW または位相差 $\Delta \phi$ を特徴量とすればよい。振幅差 ΔW は、図13Aの送信信号Fのレベルと図13Bに示す測定信号S2のレベルとの差（振幅減衰幅）を示す。位相差 $\Delta \phi$ は、送信信号Fに対する測定信号S2のレベルの位相遅れを示す。尚、第1モードでは、関係情報生成部55は、部分遅延時間DL12に代えて、測定信号S1の特定周波数における振幅差または位相差を第1特徴量として関係情報を生成すればよい。従って、図6の縦軸は、測定信号S1の特定周波数における振幅差または位相差となる。即ち、この変形例では、関係情報は、振幅差または位相差と第1伝搬遅延時間DL11との関係式あるいは対応表となる。

[0106] 第2モードでは、信号処理ユニット50は、この関係情報に、特定周波数の測定信号の振幅差 ΔW または位相差 $\Delta \phi$ を第2特徴量として適用することによって、媒質Mの伝搬遅延時間DL21を算出する。このように、特徴量は、特定周波数における測定信号の振幅差または位相差であってもよい。

[0107] 尚、特定周波数は、周波数が高いほど、伝搬遅延時間に対する位相差 $\Delta \phi$ が大きくなる。このため、測定精度を向上させるために、特定周波数は高周

波数であることが好ましい。一方、位相差 $\Delta\phi$ が360度以上回転することがあるため、特定周波数が高いと、測定不能となるおそれもある。従って、第2周波数帯域FB2には、複数の特定周波数を用いることが好ましい。これにより、位相回転によって測定不能になる事態を抑制することができる。あるいは、特定周波数における測定信号の振幅差および位相差の両方を特徴量として用いてもよい。

[0108] (特徴量の変形例)

図13A~図13Cを参照して説明したように、特徴量は、伝搬遅延時間に限定されず、振幅差または位相差であってもよい。さらに、特徴量は、測定信号S2の周波数特性の形状、伝搬遅延時間の時間波形であってもよい。

[0109] (周波数特性の形状)

例えば、図14Aは、測定信号S1の周波数特性を示す図である。図14Bは、測定信号S1から得られた第1伝搬遅延時間DL11を示す図である。信号処理ユニット50は、図14Aの周波数特性のうち第2周波数帯域FB2の特性を抜き出し、第1伝搬遅延時間DL11と関連付けてメモリ54に格納する。第1モードでは、ステップ102~105を繰り返すごとに、第2周波数帯域FB2の特性と第1伝搬遅延時間DL11との関係情報が格納されていく。これにより、複数の関係情報がメモリ54に格納される。

[0110] 第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、第2周波数帯域FB2の測定信号S2を取得すると、測定信号S2の波形に近い特性を有する関係情報を検索する。そして、信号処理ユニット50は、検索でヒットした関係情報から第1伝搬遅延時間DL11を得る。信号処理ユニット50は、その関係情報から得た第1伝搬遅延時間DL11を補正遅延時間DL21として媒質Mの比誘電率および水分量を算出すればよい。本変形例では、第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、第2伝搬遅延時間DL22を算出する必要が無い。従って、信号処理ユニット50の負荷が軽減され得る。

[0111] (伝搬遅延時間の時間波形)

例えば、図15Aは、図5Eと同様に、部分遅延時間DL12の時間波形

を示す図である。図15Bは、図5Cと同様に、第1伝搬遅延時間DL11の時間波形を示す図である。この変形例では、信号処理ユニット50は、図15Aの部分遅延時間DL12の時間波形を第1伝搬遅延時間DL11と関連付けてメモリ54に格納する。第1モードでは、ステップ102~105を繰り返すごとに、部分遅延時間DL12の波形と第1伝搬遅延時間DL11との関係情報が格納されていく。これにより、複数の関係情報がメモリ54に格納される。

[0112] 第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、第2周波数帯域FB2の測定信号S2から、部分遅延時間DL22の時間波形を得て、部分遅延時間DL22の時間波形に近い波形を有する関係情報を検索する。そして、信号処理ユニット50は、検索でヒットした関係情報から第1伝搬遅延時間DL11を得る。信号処理ユニット50は、その関係情報から得た第1伝搬遅延時間DL11を補正遅延時間DL21として媒質Mの比誘電率および水分量を算出すればよい。

[0113] このように、センサ装置10は、測定信号S2の周波数特性の形状または伝搬遅延時間の時間波形を特徴量としてもよい。

[0114] (マルチパスについて)

図16Aは、第1モードにおける第1伝搬遅延時間DL11の一例を示すグラフである。図16Bは、第2モードにおける第2伝搬遅延時間DL22の一例を示すグラフである。電磁波EWが媒質Mを複数経路(マルチパス)で伝搬する場合、第1モードの分解能は比較的高いので、図16Aに示すように、第1伝搬遅延時間DL11には複数のピークが現れる。この場合、マルチパスを明確に判別することができ、各経路の波形を容易に分離することができる。

[0115] 一方、第2モードの分解能は比較的低いので、図16Bに示すように、第2伝搬遅延時間DL22では複数のピークが重複してしまい、マルチパスを明確に判別することができない。この場合、第2伝搬遅延時間DL22は、主経路の伝搬遅延時間に対して或る程度ずれる。

[0116] このような場合、第1モードにおいて、信号処理ユニット50は、マルチパスのうち主経路の第1伝搬遅延時間DL11を算出する。これとともに、信号処理ユニット50は、マルチパスの影響を含めた状態で第2周波数帯域の測定信号の部分測定信号S1から抜き出して、部分遅延時間DL12を算出する。関係情報は、ステップ106を実行することにより導出される。これにより、関係情報は、主系路のみの影響を含む第1伝搬遅延時間DL11と、マルチパスの影響を含む部分遅延時間DL12との関係を示すことになる。

[0117] 従って、第2モードにおいて、信号処理ユニット50は、第2伝搬遅延時間DL22がマルチパスの影響を含んでいても、関係情報を用いて主系路のみを考慮した補正遅延時間DL21を算出することができる。このように、本実施形態によるセンサ装置10は、マルチパスの影響を排除して、主経路の補正遅延時間DL21を分離して求めることができる。

[0118] (プローブについて)

図17は、プローブ21、22の変形例を示す概略図である。図18は、本変形例のプローブ21または22の先端部の構成例を示す概略図である。

[0119] 送信用プローブ21及び受信用プローブ22は、芯線部C1とシールド部C2とを有する同軸ケーブルで構成される。芯線部C1は銅線で構成され、シールド部C2は銅パイプで構成されるが、シールド部C2は銅線のメッシュ体で構成されてもよい。シールド部C2の外表面は、絶縁材料で構成された保護層(図示せず)で被覆され、その外側には電磁波吸収材を含有するスリーブ24を有する。さらに、スリーブ24の外側には、先端が尖ったカバー25が設けられている。カバー25は、媒質M内に送信用プローブ21及び受信用プローブ22を容易に挿入可能にし、かつ、芯線部C1およびシールド部C2を保護するために設けられている。芯線部C1およびシールド部C2の先端部は、スリーブ24から露出されており、アンテナ部210、220を構成している。

[0120] 図18に示すように、芯線部C1は、シールド部C2の内側に設けられた

内側部C 1__1と、シールド部C 2の先端から突出した先端部C 1__2と、内側部C 1__1およびシールド部C 2の間に設けられた絶縁体26とを備えている。内側部C 1__1および先端部C 1__2には、例えば、銅のような導電体がいわれている。絶縁体26には、例えば、所定の比誘電率を有するテフロンやポリエチレン等を用いている。

[0121] 内側部C 1__1は、シールド部C 2の内径よりも小さな外径を有し、シールド部C 2から離間し絶縁されている。また、先端部C 1__2は、シールド部C 2の内径よりも大きい、シールド部C 2の外側に突出しており、シールド部C 2から離間するように設けられている。従って、芯線部C 1は、シールド部C 2から電氣的に絶縁されている。

[0122] このような構成によるプローブ21、22を用いることによって、放射効率を上げることができる。

[0123] 本技術に係る実施形態は、上記実施形態に限定されるものではなく、本技術の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

(1)

送信用の第1アンテナ部を有する第1プローブと、

前記第1プローブと所定の距離をおいて対向する受信用の第2アンテナ部を有する第2プローブと、

前記第1および第2アンテナ部間の媒質中での電磁波の伝搬特性に関する情報を含む測定信号を測定する測定部と、

前記測定信号から得られる特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出する演算部と、を備え、

第1モードにおいて、前記測定部は前記媒質中を伝搬する電磁波の第1周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前記第1周波数帯域の測定信号から得られる第1特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出し、

第2モードにおいて、前記測定部は前記電磁波の前記第1周波数帯域の一部である第2周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前

記第2周波数帯域の測定信号から得られる第2特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出する、検出装置。

(2)

前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域における前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分特徴量に基づいて、前記第1特徴量と前記部分特徴量との関係情報を生成し、

前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記関係情報に前記第2特徴量を適用することによって、前記媒質の特性情報を算出する、(1)に記載の検出装置。

(3)

前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号の強度が最大となるピーク周波数を含む帯域である、(1)または(2)に記載の検出装置。

(4)

前記第1モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を第1周波数間隔で測定し、

前記第2モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を前記第1周波数間隔よりも広い第2周波数間隔で測定する、(1)または(2)に記載の検出装置。

(5)

前記第2周波数帯域の広さは、前記第1周波数帯域の広さとほぼ等しい、請求項4に記載の検出装置。

(6)

前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域内の特定周波数である、(1)または(2)に記載の検出装置。

(7)

前記特徴量は、前記第1および第2アンテナ部間の前記電磁波の伝搬遅延時間、該電磁波の周波数特性の形状、または、該電磁波の周波数特性に基づ

いて得られた伝搬遅延時間の波形である、(1)から(5)のいずれか一項に記載の検出装置。

(8)

前記特徴量は、前記特定周波数における前記電磁波の位相または振幅である、(6)に記載の検出装置。

(9)

前記演算部は、

前記測定信号に基づいて前記第1及び第2のプロープ間における電磁波の伝搬遅延時間を前記特徴量として算出する遅延時間算出部と、

前記伝搬遅延時間に基づいて前記媒質の比誘電率を前記特性情報として算出する比誘電率算出部と、

前記比誘電率に基づいて前記媒質中の水分量を算出する水分量算出部と

、

前記関係情報を生成する関係情報生成部(55)と、を備える、(2)から(8)のいずれか一項に記載の検出装置。

(10)

前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域における前記測定信号に基づいて第1伝搬遅延時間を算出し、前記第1周波数帯域における前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分遅延時間を算出し、前記第1伝搬遅延時間および前記部分遅延時間を用いて前記関係情報を生成し、

前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記第2周波数帯域における前記測定信号に基づいて第2伝搬遅延時間を算出し、前記第2伝搬遅延時間を前記関係情報に適用することによって該第2伝搬遅延時間を前記第1周波数帯域の伝搬遅延時間へ換算した補正遅延時間を生成し、前記補正遅延時間を用いて前記媒質の比誘電率および該媒質中の水分量を算出する、(9)に記載の検出装置。

(11)

前記第1モードと前記第2モードとを切り替えるモード切替部をさらに備えた、(1)から(10)のいずれか一項に記載の検出装置。

(12)

前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号のレベルの上限が他の周波数帯域のレベルの上限よりも高く、

前記第1アンテナ部は、前記第2周波数帯域において、前記第1周波数帯域の他の周波数帯域よりも前記測定信号のレベルを高くする、(1)から(11)のいずれか一項に記載の検出装置。

(13)

送信用の第1アンテナ部を有する第1プローブと、前記第1プローブと所定の距離をおいて対向する受信用の第2アンテナ部を有する第2プローブと、前記第1および第2アンテナ部間の媒質中での電磁波の伝搬特性に関する情報を含む測定信号を測定する測定部と、前記測定信号から得られる特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出する演算部と、を備えた検出装置を用いた検出方法であって、

第1モードにおいて、前記媒質中を伝搬する電磁波の第1周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前記第1周波数帯域の測定信号から得られる第1特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出し、

第2モードにおいて、前記電磁波の前記第1周波数帯域の一部分である第2周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前記第2周波数帯域の測定信号から得られる第2特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出することを具備する検出方法。

(14)

前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域における前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分特徴量に基づいて、前記第1特徴量と前記部分特徴量との関係情報を生成し、

前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記関係情報に前記第2特徴量を適用することによって、前記媒質の特性情報を算出する、(13)に記載

の検出方法。

(15)

前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号の強度が最大となるピーク周波数を含む帯域である、(13)または(14)に記載の検出方法。

(16)

前記第1モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を第1周波数間隔で測定し、

前記第2モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を前記第1周波数間隔よりも広い第2周波数間隔で測定する、(13)から(15)のいずれか一項に記載の検出方法。

(17)

前記第2周波数帯域の広さは、前記第1周波数帯域の広さとほぼ等しい、(16)に記載の検出方法。

(18)

前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域内の特定周波数である、(13)または(14)に記載の検出方法。

(19)

前記特徴量は、前記第1および第2アンテナ部間の電磁波の伝搬遅延時間、該電磁波の周波数特性の形状、または、該電磁波の周波数特性に基づいて得られた伝搬遅延時間の波形である、(13)から(17)のいずれか一項に記載の検出方法。

(20)

前記特徴量は、前記特定周波数における前記電磁波の位相または振幅である、(18)に記載の検出方法。

(21)

前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域における前記測定信号に基づいて第1伝搬遅延時間を算出し、前記第1周波数帯域にお

ける前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分遅延時間を算出し、前記第1伝搬遅延時間および前記部分遅延時間を用いて前記関係情報を生成し、

前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記第2周波数帯域における前記測定信号に基づいて第2伝搬遅延時間を算出し、前記第2伝搬遅延時間を前記関係情報に適用することによって該第2伝搬遅延時間を前記第1周波数帯域の伝搬遅延時間へ換算した補正遅延時間を生成し、前記補正遅延時間を用いて前記媒質の比誘電率および該媒質中の水分量を算出する、(14)から(20)のいずれか一項に記載の検出方法。

(22)

前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号のレベルの上限が他の周波数帯域のレベルの上限よりも高く、

前記第1アンテナ部は、前記第2周波数帯域において、前記第1周波数帯域の他の周波数帯域よりも前記測定信号のレベルを高くする、(13)から(21)のいずれか一項に記載の方法。

[0124] 尚、本開示は、上述した実施形態に限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。また、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、他の効果があってもよい。

符号の説明

[0125] 10 センサ装置、20 センサヘッド、30 測定ユニット、21 送信用プローブ、22 受信用プローブ、31 信号生成部、32 通信部、310 制御部、311 信号発生器、313 位相シフタ、315 混合器、50 信号処理ユニット、51 遅延時間算出部、52 比誘電率算出部、53 水分量算出部、54 メモリ、55 関係情報生成部、56、57 モード切替部、DL11 第1伝搬遅延時間、DL12 部分遅延時間、DL22 第2伝搬遅延時間、DL21 補正遅延時間、FB1 第1周波数帯域、FB2 第2周波数帯域

請求の範囲

- [請求項1] 送信用の第1アンテナ部を有する第1プローブと、
前記第1プローブと所定の距離をおいて対向する受信用の第2アンテナ部を有する第2プローブと、
前記第1および第2アンテナ部の中の媒質中での電磁波の伝搬特性に関する情報を含む測定信号を測定する測定部と、
前記測定信号から得られる特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出する演算部と、を備え、
第1モードにおいて、前記測定部は前記媒質中を伝搬する電磁波の第1周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前記第1周波数帯域の測定信号から得られる第1特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出し、
第2モードにおいて、前記測定部は前記電磁波の前記第1周波数帯域の一部である第2周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前記第2周波数帯域の測定信号から得られる第2特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出する、検出装置。
- [請求項2] 前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域における前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分特徴量に基づいて、前記第1特徴量と前記部分特徴量との関係情報を生成し、
前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記関係情報に前記第2特徴量を適用することによって、前記媒質の特性情報を算出する、請求項1に記載の検出装置。
- [請求項3] 前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号の強度が最大となるピーク周波数を含む帯域である、請求項1に記載の検出装置。
- [請求項4] 前記第1モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を第1周波数間隔で測定し、

前記第2モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を前記第1周波数間隔よりも広い第2周波数間隔で測定する、請求項1に記載の検出装置。

[請求項5] 前記第2周波数帯域の広さは、前記第1周波数帯域の広さとほぼ等しい、請求項4に記載の検出装置。

[請求項6] 前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域内の特定周波数である、請求項1に記載の検出装置。

[請求項7] 前記特徴量は、前記第1および第2アンテナ部間の前記電磁波の伝搬遅延時間、該電磁波の周波数特性の形状、または、該電磁波の周波数特性に基づいて得られた伝搬遅延時間の波形である、請求項1に記載の検出装置。

[請求項8] 前記特徴量は、前記特定周波数における前記電磁波の位相または振幅である、請求項6に記載の検出装置。

[請求項9] 前記演算部は、
前記測定信号に基づいて前記第1及び第2のプロープ間における電磁波の伝搬遅延時間を前記特徴量として算出する遅延時間算出部と、
前記伝搬遅延時間に基づいて前記媒質の比誘電率を前記特性情報として算出する比誘電率算出部と、
前記比誘電率に基づいて前記媒質中の水分量を算出する水分量算出部と、
前記関係情報を生成する関係情報生成部と、を備える、請求項2に記載の検出装置。

[請求項10] 前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域における前記測定信号に基づいて第1伝搬遅延時間を算出し、前記第1周波数帯域における前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分遅延時間を算出し、前記第1伝搬遅延時間および前記部分遅延時間を用いて前記関係情報を生成し、

前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記第2周波数帯域にお

ける前記測定信号に基づいて第2伝搬遅延時間を算出し、前記第2伝搬遅延時間を前記関係情報に適用することによって該第2伝搬遅延時間を前記第1周波数帯域の伝搬遅延時間へ換算した補正遅延時間を生成し、前記補正遅延時間を用いて前記媒質の比誘電率および該媒質中の水分量を算出する、請求項9に記載の検出装置。

[請求項11] 前記第1モードと前記第2モードとを切り替えるモード切替部をさらに備えた、請求項1に記載の検出装置。

[請求項12] 前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号のレベルの上限が他の周波数帯域における前記測定信号のレベルの上限よりも高く、

前記第1アンテナ部は、前記第2周波数帯域において、前記第1周波数帯域の他の周波数帯域よりも前記測定信号のレベルを高くする、請求項1に記載の検出装置。

[請求項13] 送信用の第1アンテナ部を有する第1プローブと、前記第1プローブと所定の距離をおいて対向する受信用の第2アンテナ部を有する第2プローブと、前記第1および第2アンテナ部の間の媒質中での電磁波の伝搬特性に関する情報を含む測定信号を測定する測定部と、前記測定信号から得られる特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出する演算部と、を備えた検出装置を用いた検出方法であって、

第1モードにおいて、前記媒質中を伝搬する電磁波の第1周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前記第1周波数帯域の測定信号から得られる第1特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出し、

第2モードにおいて、前記電磁波の前記第1周波数帯域の一部分である第2周波数帯域における前記測定信号を測定し、前記演算部は前記第2周波数帯域の測定信号から得られる第2特徴量に基づいて前記媒質の特性情報を算出することを具備する検出方法。

[請求項14] 前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域にお

ける前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分特徴量に基づいて、前記第1特徴量と前記部分特徴量との関係情報を生成し、

前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記関係情報に前記第2特徴量を適用することによって、前記媒質の特性情報を算出する、請求項13に記載の検出方法。

[請求項15] 前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号の強度が最大となるピーク周波数を含む帯域である、請求項13に記載の検出方法。

[請求項16] 前記第1モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を第1周波数間隔で測定し、

前記第2モードにおいて、前記測定部は、前記電磁波を前記第1周波数間隔よりも広い第2周波数間隔で測定する、請求項13に記載の検出方法。

[請求項17] 前記第2周波数帯域の広さは、前記第1周波数帯域の広さとほぼ等しい、請求項16に記載の検出方法。

[請求項18] 前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域内の特定周波数である、請求項13に記載の検出方法。

[請求項19] 前記特徴量は、前記第1および第2アンテナ部間の電磁波の伝搬遅延時間、該電磁波の周波数特性の形状、または、該電磁波の周波数特性に基づいて得られた伝搬遅延時間の波形である、請求項13に記載の検出方法。

[請求項20] 前記特徴量は、前記特定周波数における前記電磁波の位相または振幅である、請求項18に記載の検出方法。

[請求項21] 前記第1モードにおいて、前記演算部は、前記第1周波数帯域における前記測定信号に基づいて第1伝搬遅延時間を算出し、前記第1周波数帯域における前記測定信号のうち前記第2周波数帯域の測定信号から得られる部分遅延時間を算出し、前記第1伝搬遅延時間および前

記部分遅延時間を用いて前記関係情報を生成し、

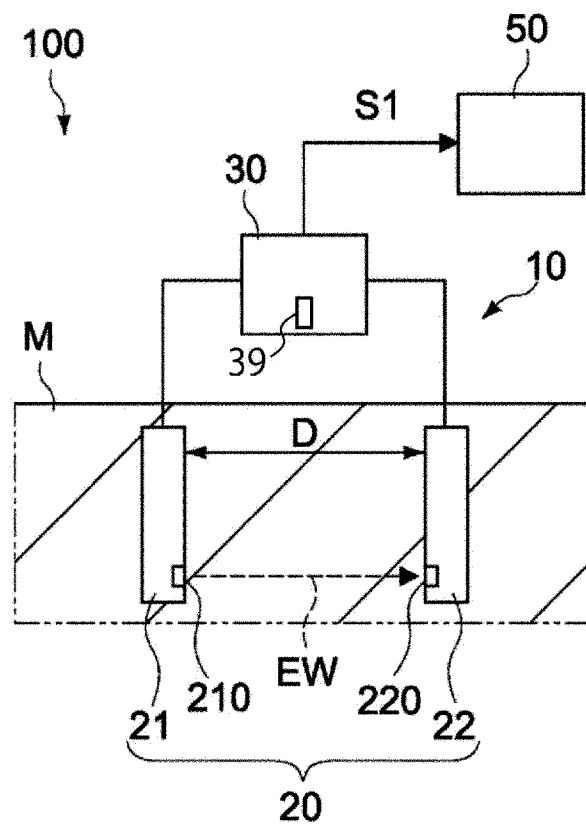
前記第2モードにおいて、前記演算部は、前記第2周波数帯域における前記測定信号に基づいて第2伝搬遅延時間を算出し、前記第2伝搬遅延時間を前記関係情報に適用することによって該第2伝搬遅延時間を前記第1周波数帯域の伝搬遅延時間へ換算した補正遅延時間を生成し、前記補正遅延時間を用いて前記媒質の比誘電率および該媒質中の水分量を算出する、請求項14に記載の検出方法。

[請求項22]

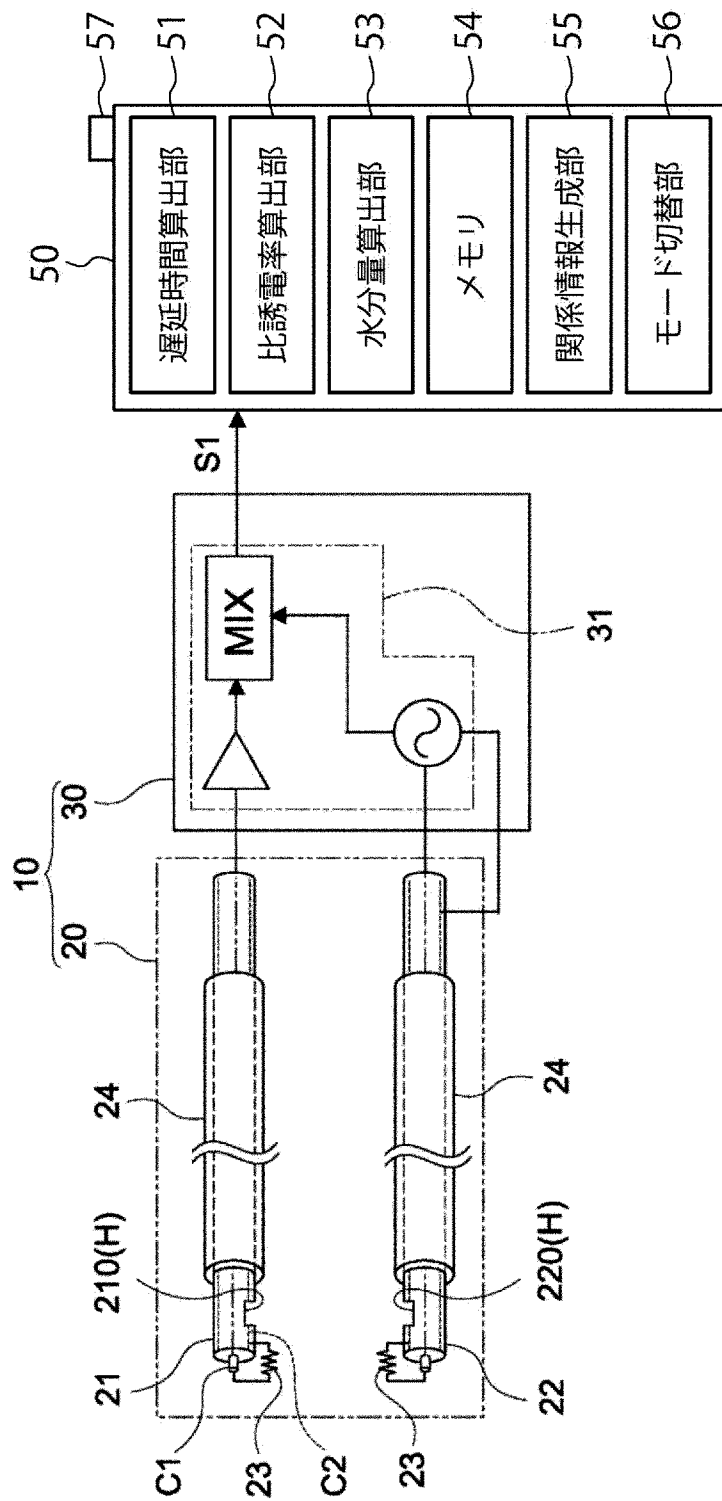
前記第2周波数帯域は、前記第1周波数帯域のうち前記測定信号のレベルの上限が他の周波数帯域における前記測定信号のレベルの上限よりも高く、

前記第1アンテナ部は、前記第2周波数帯域において、前記第1周波数帯域の他の周波数帯域よりも前記測定信号のレベルを高くする、請求項13に記載の方法。

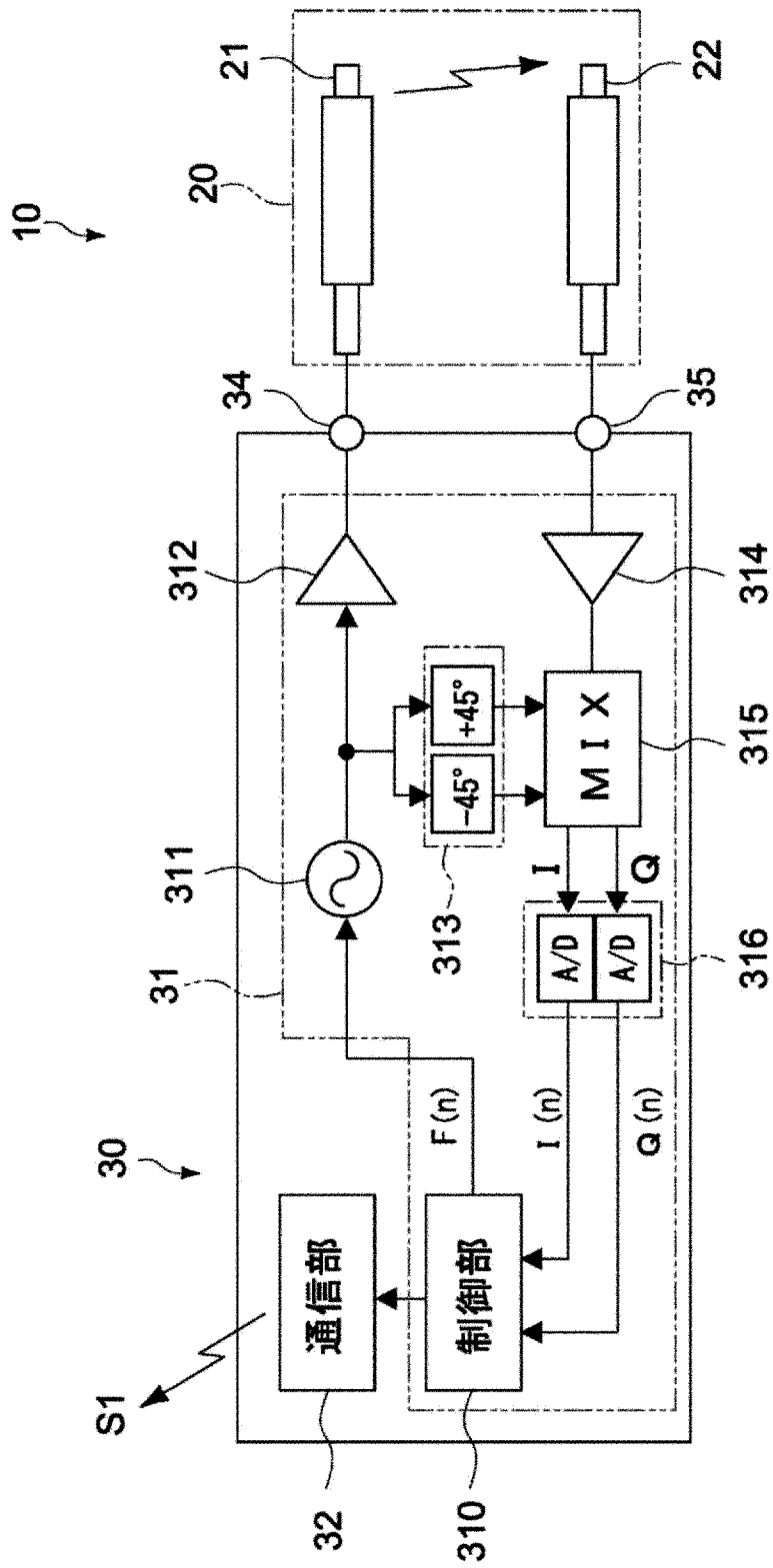
[図1]



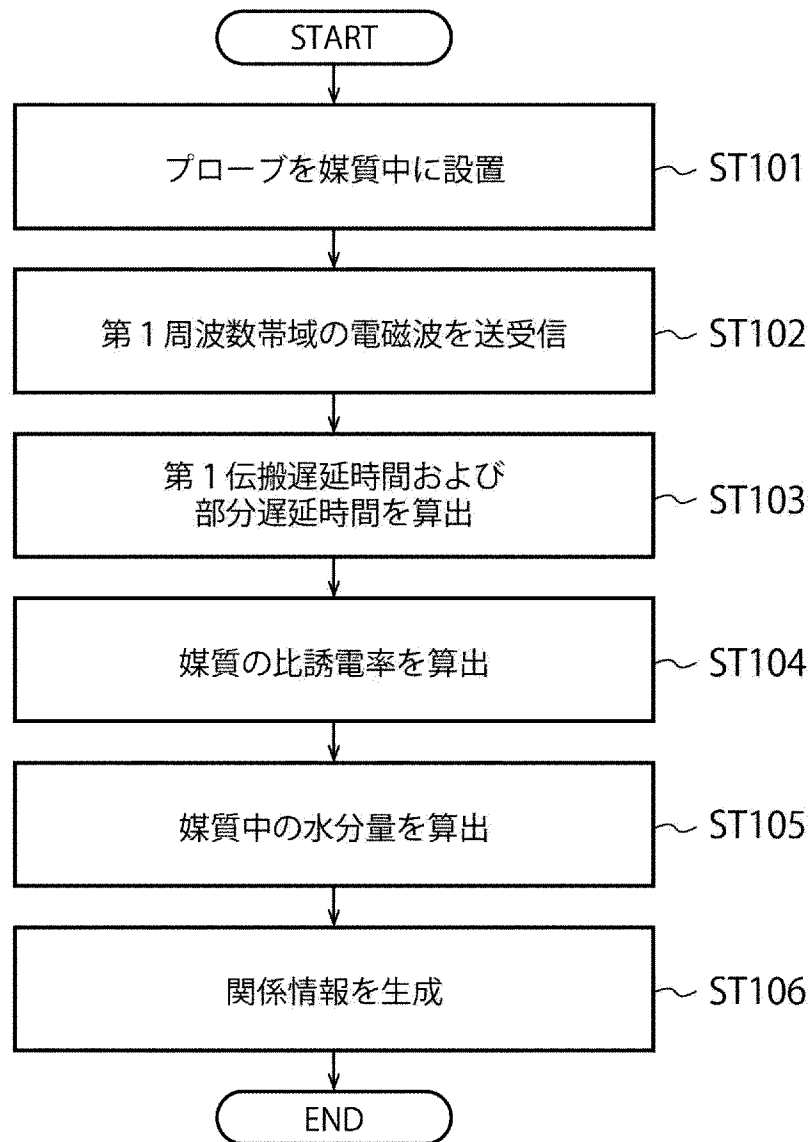
[図2]



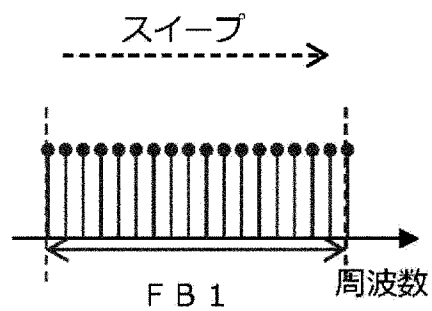
[図3]



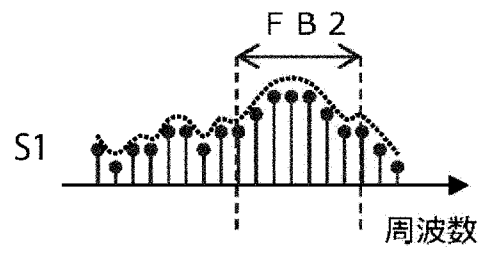
[図4]



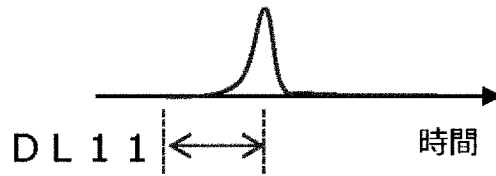
[図5A]



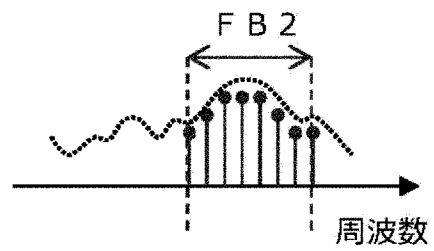
[図5B]



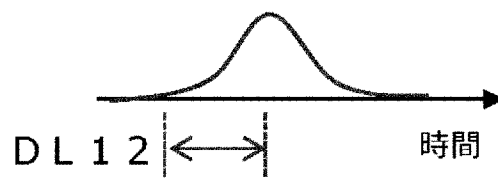
[図5C]



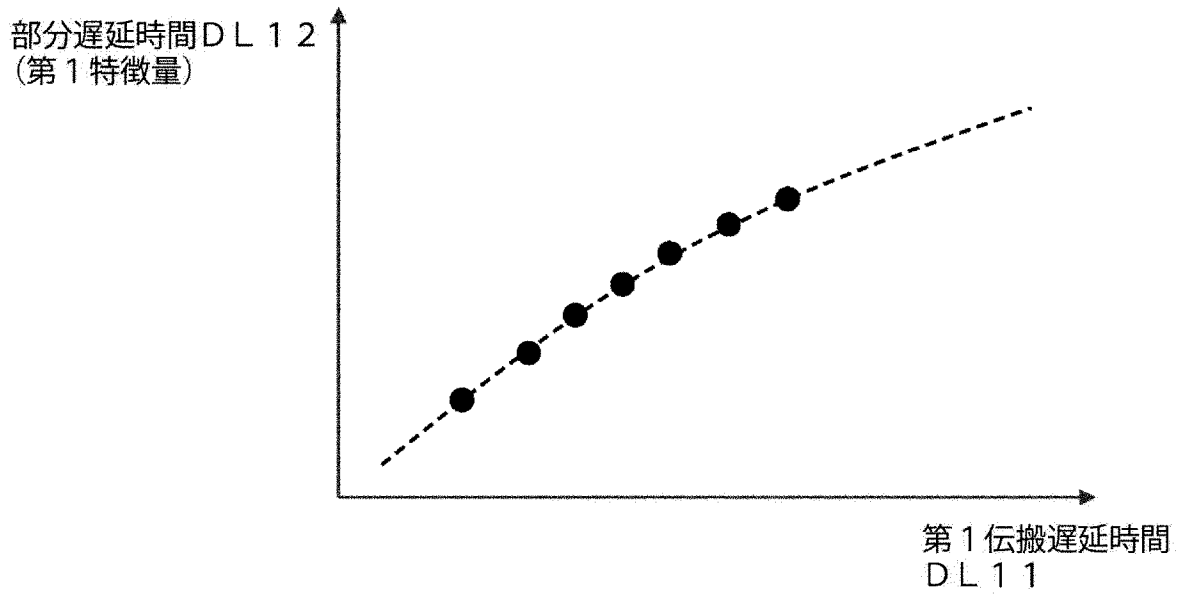
[図5D]



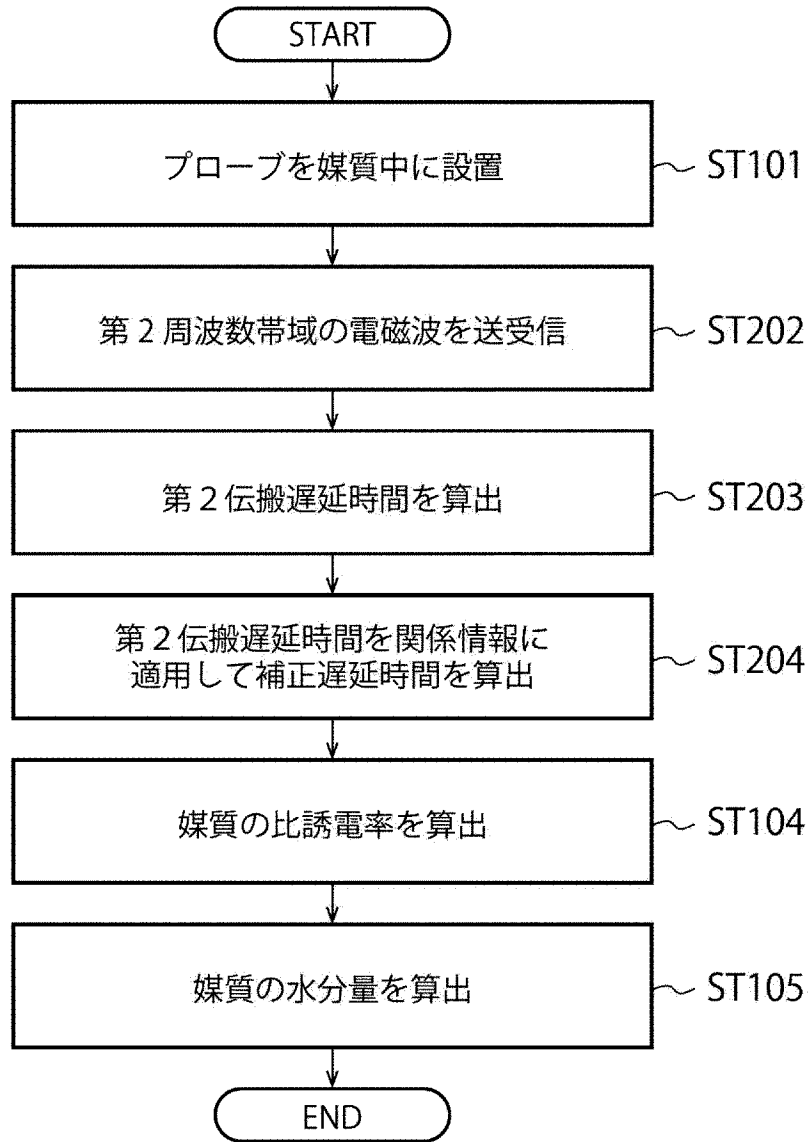
[図5E]



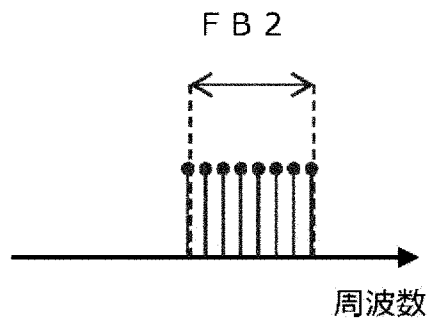
[図6]



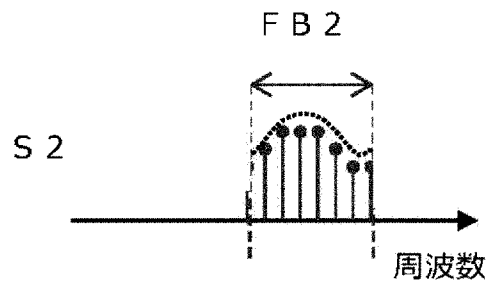
[図7]



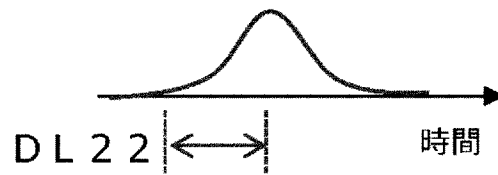
[図8A]



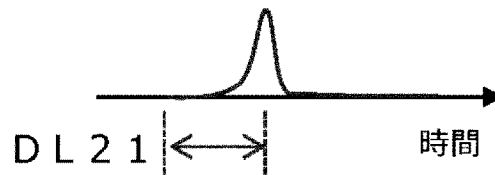
[図8B]



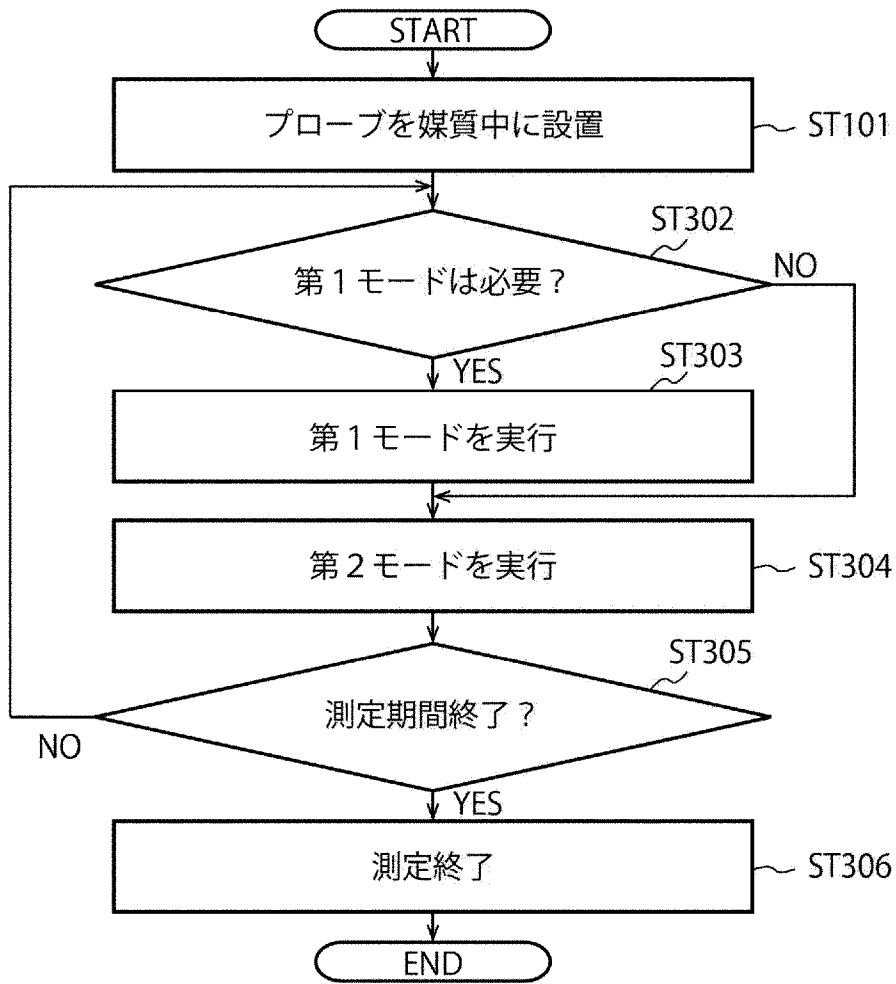
[図8C]



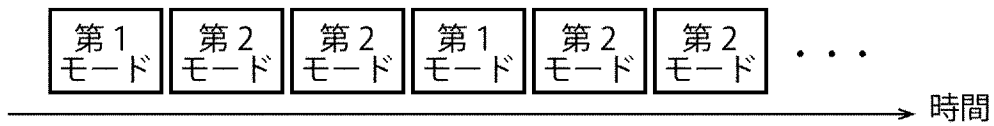
[図8D]



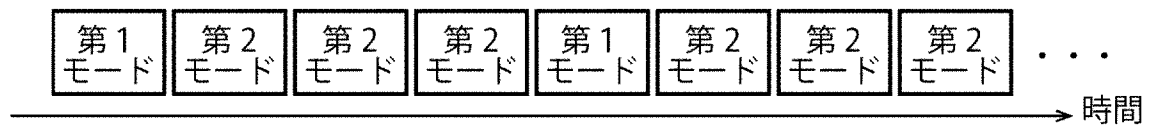
[図9]



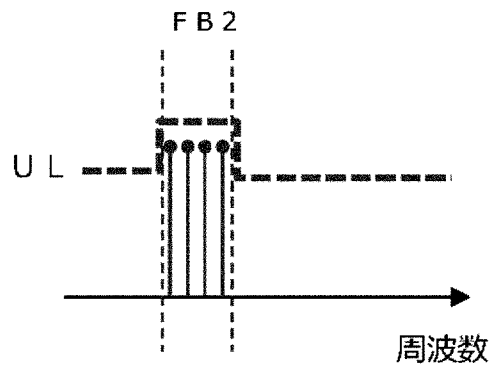
[図10A]



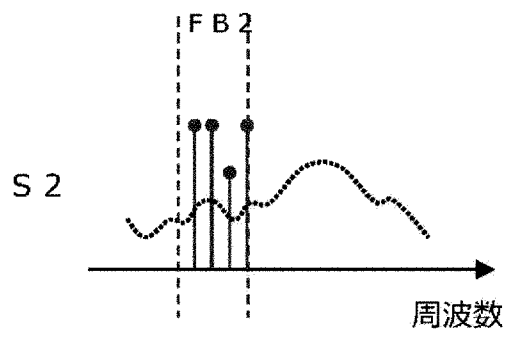
[図10B]



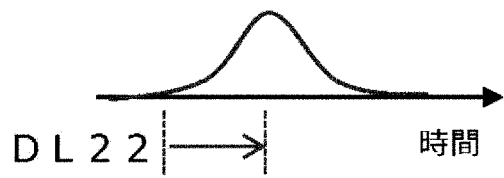
[図11A]



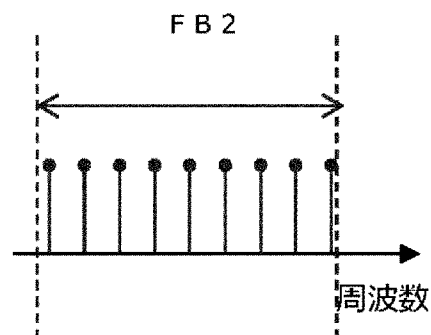
[図11B]



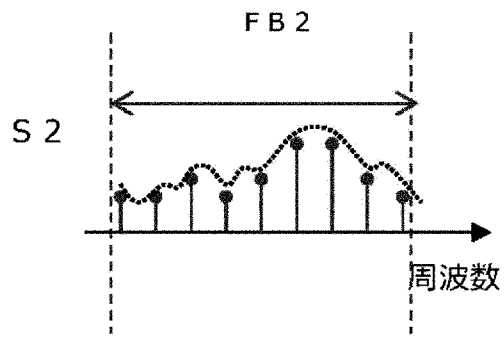
[図11C]



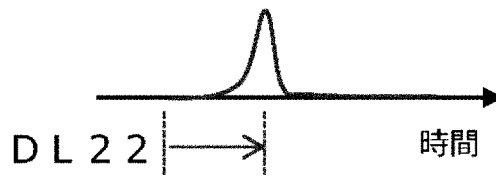
[図12A]



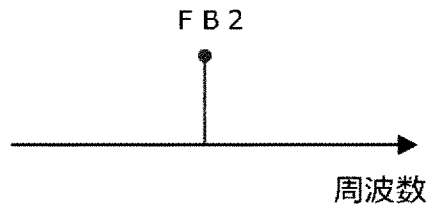
[図12B]



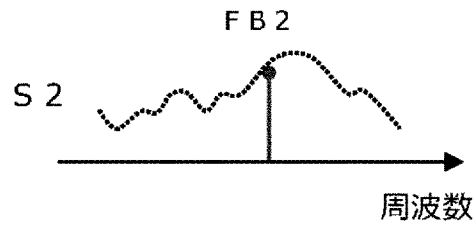
[図12C]



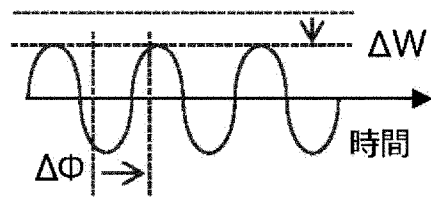
[図13A]



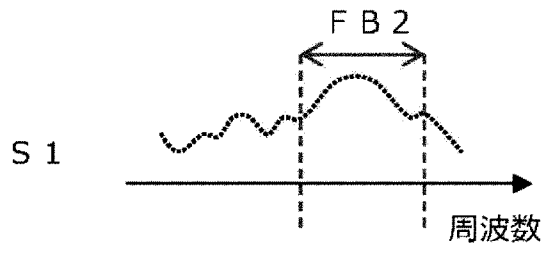
[図13B]



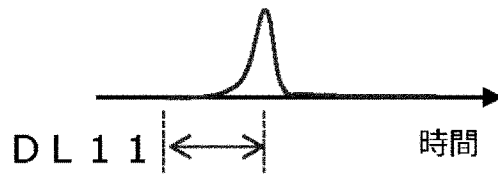
[図13C]



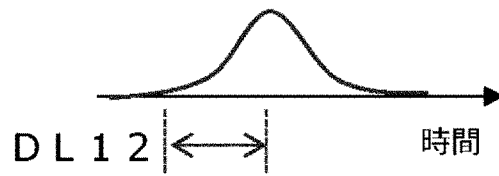
[図14A]



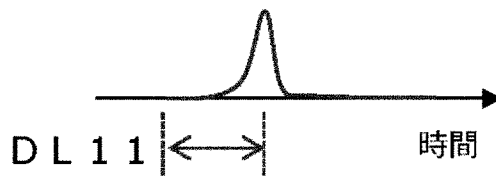
[図14B]



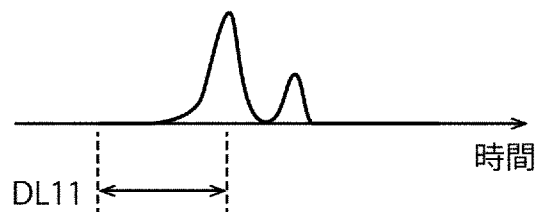
[図15A]



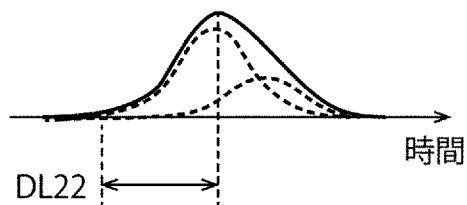
[図15B]



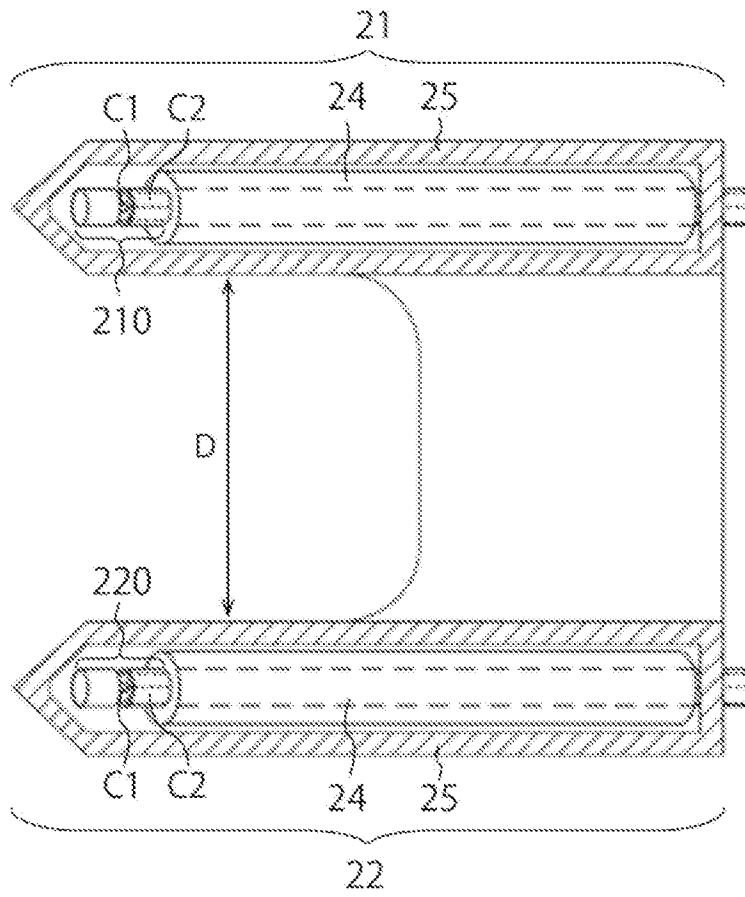
[図16A]



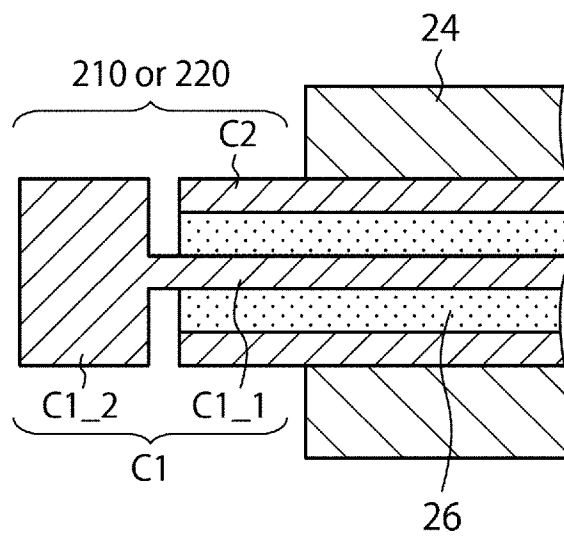
[図16B]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/010948

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01N22/00 (2006.01) i, G01N22/04 (2006.01) i
 FI: G01N22/04 Z, G01N22/00 Y, G01N22/00 V, G01N22/00 W

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. G01N22/00-22/04, G01N21/3586, G01R27/00-29/26, G01V3/12,
 G01S13/00-13/95, G01N27/00-27/24

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2018/221051 A1 (SONY CORP.) 06 December 2018, paragraphs [0030]-[0086], [0117]-[0125], fig. 1, 2, 20-26	1-22
A	CN 107966476 A (TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 27 April 2018	1-22
A	CN 109342515 A (SINOHYDRO BUREAU 7 CO., LTD.) 15 February 2019	1-22
A	JP 2017-143459 A (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 17 August 2017	1-22
A	JP 2014-200030 A (FUJITSU LTD.) 23 October 2014	1-22

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 25.05.2021

Date of mailing of the international search report
 08.06.2021

Name and mailing address of the ISA/
 Japan Patent Office
 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
 Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

 Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2021/010948

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-329613 A (SHINKU REI KK) 19 November 2003	1-22
A	JP 2000-146867 A (NIRECO CORP.) 26 May 2000	1-22
A	JP 2018-207403 A (FUJITSU LTD.) 27 December 2018	1-22
A	JP 06-324162 A (KAWASAKI CHISHITSU KK) 25 November 1994	1-22
A	JP 2011-191208 A (MINO, Toru) 29 September 2011	1-22
A	電磁波による鉄筋コンクリート中の塩分測定法の実構造物への適用性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, January 2004, entire text, all drawings non-official translation (Study of Applicability on existing structures of reinforced concrete salinity measurement methods using electromagnetic waves. Proceedings of the Japan Concrete Institute.)	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2021/010948

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2018/221051 A1	06.12.2018	US 2020/0182906 A1 paragraphs [0076]- [0139], [0173]- [0180], fig. 1, 2, 20-26	
CN 107966476 A	27.04.2018	CN 110678741 A (Family: none)	
CN 109342515 A	15.02.2019	(Family: none)	
JP 2017-143459 A	17.08.2017	(Family: none)	
JP 2014-200030 A	23.10.2014	US 2014/0294128 A1	
JP 2003-329613 A	19.11.2003	(Family: none)	
JP 2000-146867 A	26.05.2000	(Family: none)	
JP 2018-207403 A	27.12.2018	(Family: none)	
JP 06-324162 A	25.11.1994	(Family: none)	
JP 2011-191208 A	29.09.2011	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 22/00(2006.01)i; G01N 22/04(2006.01)i FI: G01N22/04 Z; G01N22/00 Y; G01N22/00 V; G01N22/00 W		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01N22/00-22/04, G01N21/3586, G01R27/00-29/26, G01V3/12, G01S13/00-13/95, G01N27/00-27/24, 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2018/221051 A1 (ソニー株式会社) 06.12.2018 (2018-12-06) [0030] - [0086]、[0117] - [0125]、図1-図2、図20-図26	1-22
A	CN 107966476 A (TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 27.04.2018 (2018-04-27)	1-22
A	CN 109342515 A (SINOHYDRO BUREAU 7 CO., LTD.) 15.02.2019 (2019-02-15)	1-22
A	JP 2017-143459 A (国立研究開発法人産業技術総合研究所) 17.08.2017 (2017-08-17)	1-22
A	JP 2014-200030 A (富士通株式会社) 23.10.2014 (2014-10-23)	1-22
A	JP 2003-329613 A (有限会社シンク・レイ) 19.11.2003 (2003-11-19)	1-22
A	JP 2000-146867 A (株式会社ニレコ) 26.05.2000 (2000-05-26)	1-22
A	JP 2018-207403 A (富士通株式会社) 27.12.2018 (2018-12-27)	1-22
A	JP 06-324162 A (川崎地質株式会社) 25.11.1994 (1994-11-25)	1-22
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日	25.05.2021	国際調査報告の発送日 08.06.2021
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 嶋田 行志 2W 8353 電話番号 03-3581-1101 内線 3257	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-191208 A (三野 徹) 29.09.2011 (2011 - 09 - 29)	1-22
A	電磁波による鉄筋コンクリート中の塩分測定法の実構造物への適用性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, 2004.01 全文全図	1-22

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2021/010948

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2018/221051 A1	06.12.2018	US 2020/0182906 A1 [0076]-[0139], [0173]- [0180], Fig. 1, Fig. 2, Fig. 20-Fig. 26 CN 110678741 A	
CN 107966476 A	27.04.2018	(ファミリーなし)	
CN 109342515 A	15.02.2019	(ファミリーなし)	
JP 2017-143459 A	17.08.2017	(ファミリーなし)	
JP 2014-200030 A	23.10.2014	US 2014/0294128 A1	
JP 2003-329613 A	19.11.2003	(ファミリーなし)	
JP 2000-146867 A	26.05.2000	(ファミリーなし)	
JP 2018-207403 A	27.12.2018	(ファミリーなし)	
JP 06-324162 A	25.11.1994	(ファミリーなし)	
JP 2011-191208 A	29.09.2011	(ファミリーなし)	