

(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
2022年12月22日(22.12.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/264342 A1

(51) 国際特許分類:
G01S 13/88 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2021/022937

(22) 国際出願日: 2021年6月16日(16.06.2021)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 村崎 和彦 (MURASAKI, Kazuhiko); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 安藤

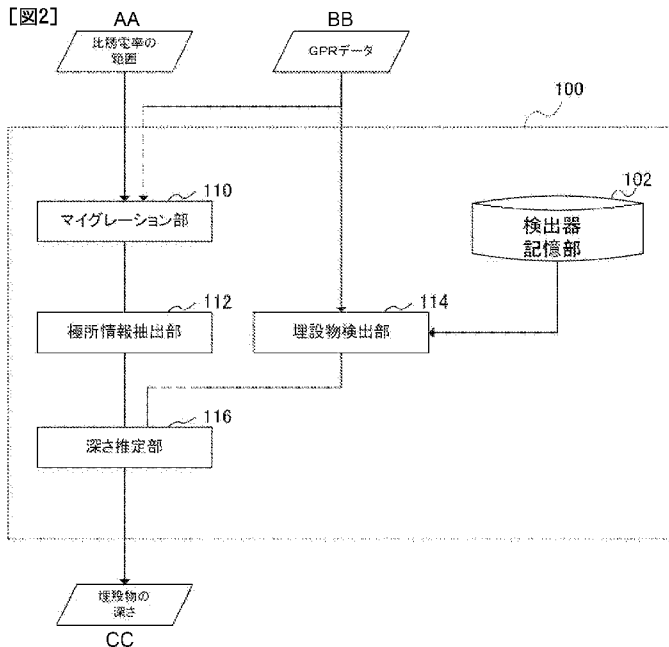
慎吾 (ANDO, Shingo); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 島村 潤 (SHIMAMURA, Jun); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人太陽国際特許事務所 (TAIYO, NAKAJIMA & KATO); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 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, 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,

(54) Title: DEPTH ESTIMATION DEVICE, DEPTH ESTIMATION METHOD, AND DEPTH ESTIMATION PROGRAM

(54) 発明の名称: 深さ推定装置、深さ推定方法、及び深さ推定プログラム



102... DETECTION DEVICE STORAGE UNIT
110... MIGRATION UNIT
112... EXTREMITY INFORMATION EXTRACTION UNIT
114... BURIED OBJECT DETECTION UNIT
116... DEPTH ESTIMATION UNIT
AA... RELATIVE PERMITTIVITY RANGE
BB... GPR DATA
CC... BURIED OBJECT DEPTH

(57) Abstract: This invention is capable of using relative permittivity to determine the depth at which a buried object is buried. In this depth estimation device, a migration unit carries out migration while changing a relative permittivity according to a relative permittivity range and determines migration results for each changed relative permittivity. An extremity information extraction unit extracts three-dimensional data for an extreme point. A buried object detection unit uses a detection device that has been trained in advance to detect the coordinates of a buried object. Referring to the coordinates of the extreme point in three-dimensional data for nearby coordinates based on the coordinates of the buried

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))

object, a depth estimation unit adopts the relative permittivity corresponding to the extreme point and estimates the depth of the buried object on the basis of the adopted relative permittivity and a reflection time.

(57) 要約：比誘電率を用いて埋設物が埋設された深さを求めることができる。深さ推定装置において、マイグレーション部は、比誘電率の範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求める。極所情報抽出部は、極所的な点に関し、3次元データを抽出する。埋設物検出部は、予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出する。深さ推定部は、前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記3次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する。

明 細 書

発明の名称：

深さ推定装置、深さ推定方法、及び深さ推定プログラム

技術分野

[0001] 開示の技術は、深さ推定装置、深さ推定方法、及び深さ推定プログラムに関する。

背景技術

[0002] 近年、画像又は音声などのデジタルデータを機械学習手法によって自動認識する技術が多数考案されているが、地中レーダデータについても同様の方法で学習及び認識が可能であることが知られている。非特許文献1では、機械学習によって地中レーダデータから埋設物反応のある箇所を検出できることが示されている。しかし、GPRデータ中の反応箇所を認識できていてもその反応箇所が実際にどの程度の深さの地中で起きているのかを知るには地中における電磁波の伝搬速度あるいは比誘電率を用いた計算が必要となる。一般的に計測対象の比誘電率を詳細に把握することは難しいため、おおまかな推定値を用いるか目視によって技術者が設定するといった対応が取られている。これに対して、非特許文献2では、GPRデータに対するマイグレーション処理の結果を数値的な指標によって評価することで比誘電率の自動推定ができることが示されている。ノイズの小さい環境においては特に高い精度で比誘電率を推定できることが示されている。

先行技術文献

非特許文献

- [0003] 非特許文献1: Liu, Hai et al. “Detection and localization of rebar in concrete by deep learning using ground penetrating radar.” Automation in Construction, vol.118, p.103279 (2020)
- 非特許文献2: Wei and Zhang, “Autofocusing techniques for GPR data from RC bridge decks”, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth

h Observations and Remote Sensing, vol.7, No.12, p.4860-4868 (2014)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 非特許文献2のアプローチは計測対象全体が一様な比誘電率を持つことを仮定しており、また埋設物反応も少数であることを想定している。一般的な路上環境では、土壌の性質が画一的でなくまた埋設物も多数混在しており、このような想定が成り立たないため、GPRデータからの埋設物深さの推定は未だ難しい問題となっている。

[0005] 開示の技術は、上記の点に鑑みてなされたものであり、比誘電率を用いて埋設物が埋設された深さを求めることができる。深さ推定装置、深さ推定方法、及び深さ推定プログラム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

[0006] 本開示の第1態様は、深さ推定装置であって、地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求めるマイグレーション部と、前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の3次元データを抽出する極所情報抽出部と、予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出する埋設物検出部と、前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記3次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する深さ推定部と、を含む。

[0007] 本開示の第2態様は、深さ推定方法であって、地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率

の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求め、前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の3次元データを抽出し、予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出し、前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記3次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する、処理をコンピュータに実行させる。

[0008] 本開示の第3態様は、深さ推定プログラムであって、地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求め、前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の3次元データを抽出し、予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出し、前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記3次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する、処理をコンピュータに実行させる。

発明の効果

[0009] 開示の技術によれば、比誘電率を用いて埋設物が埋設された深さを求めることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]本開示の実施形態の深さ推定装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

[図2]本開示の実施形態の深さ推定装置の機能的な構成を示すブロック図である。

[図3]マイグレーションによって得られる処理結果の例である。

[図4]比誘電率に応じたマイグレーション結果の例である。

[図5]比誘電率方向、アンテナ進行方向、及び反射時間方向の3次元データの例である。

[図6]埋設物検出部に係る構成を示す図である。

[図7]深さ推定部に係る構成を示す図である。

[図8]本開示の実施形態の深さ推定装置による深さ推定処理の流れを示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、開示の技術の実施形態の一例を、図面を参照しつつ説明する。なお、各図面において同一又は等価な構成要素及び部分には同一の参照符号を付与している。また、図面の寸法比率は、説明の都合上誇張されており、実際の比率とは異なる場合がある。

[0012] 本開示の実施形態において説明する技術では、計測対象の土壌が画一的でなく、また埋設物が複数埋まっているような現実的なシーンにおいて、各埋設物が埋設された深さを求めることを課題とする。

[0013] 本開示の実施形態では、計測されたデータ全体に対して画一的な比誘電率を推定するのではなく、埋設物毎に適切な比誘電率を推定する。埋設物ごとにそこに至るまでの平均的な比誘電率を一定とみなし、これを推定することによって、土質の変化や埋設物の影響によって複雑に変化する比誘電率を直接考慮することなく、複雑環境での埋設された深さの推定を実現する。具体的には、適当な範囲で比誘電率を変えながらデータ全体にマイグレーション処理を適用し、マイグレーションした値が極大となるような座標値及び比誘電率を抽出する。この極大を取る点（極大点）について得られる比誘電率が

、その座標値での適切な平均比誘電率とみなすことができる。次に、予め機械学習された埋設物の検出器を用いてGPRデータから埋設物のおおよその位置を検出する。検出された埋設物の位置の周辺で得られている極大点を用いて、マイグレーション値が最大となる比誘電率を採用する。このようにして各埋設物について得られた比誘電率と反射時間を用いて埋設物の深さを算出する。なお、GPRデータは、地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである。GPRデータが、本開示の地中レーダデータの一例である。

[0014] 本開示の実施形態の手法によって、土壤環境が整備されていない一般的な路上で計測されたGPRデータに対して、技術者のノウハウを必要とせず自動で埋設物の深さ推定が可能となる。これによって埋設物を3次元位置に基づいて維持管理することができ、工事計画等メンテナンスコストの低減に寄与する。

[0015] 以下、本実施形態の構成について説明する。

[0016] 図1は、本開示の実施形態の深さ推定装置100のハードウェア構成を示すブロック図である。

[0017] 図1に示すように、深さ推定装置100は、CPU (Central Processing Unit) 11、ROM (Read Only Memory) 12、RAM (Random Access Memory) 13、ストレージ14、入力部15、表示部16及び通信インタフェース (I/F) 17を有する。各構成は、バス19を介して相互に通信可能に接続されている。

[0018] CPU 11は、中央演算処理ユニットであり、各種プログラムを実行したり、各部を制御したりする。すなわち、CPU 11は、ROM 12又はストレージ14からプログラムを読み出し、RAM 13を作業領域としてプログラムを実行する。CPU 11は、ROM 12又はストレージ14に記憶されているプログラムに従って、上記各構成の制御及び各種の演算処理を行う。本実施形態では、ROM 12又はストレージ14には、深さ推定プログラムが格納されている。

- [0019] ROM 12は、各種プログラム及び各種データを格納する。RAM 13は、作業領域として一時的にプログラム又はデータを記憶する。ストレージ14は、HDD (Hard Disk Drive) 又はSSD (Solid State Drive) 等の記憶装置により構成され、オペレーティングシステムを含む各種プログラム、及び各種データを格納する。
- [0020] 入力部15は、マウス等のポインティングデバイス、及びキーボードを含み、各種の入力を行うために使用される。
- [0021] 表示部16は、例えば、液晶ディスプレイであり、各種の情報を表示する。表示部16は、タッチパネル方式を採用して、入力部15として機能してもよい。
- [0022] 通信インタフェース17は、端末等の他の機器と通信するためのインタフェースである。当該通信には、例えば、イーサネット（登録商標）若しくはFDDI等の有線通信の規格、又は、4G、5G、若しくはWi-Fi（登録商標）等の無線通信の規格が用いられる。
- [0023] 次に、深さ推定装置100の各機能構成について説明する。図2は、本開示の実施形態の深さ推定装置100の機能的な構成を示すブロック図である。各機能構成は、CPU 11がROM 12又はストレージ14に記憶された深さ推定プログラムを読み出し、RAM 13に展開して実行することにより実現される。
- [0024] 図2に示すように、深さ推定装置100は、検出器記憶部102と、マイグレーション部110と、極所情報抽出部112と、埋設物検出部114と、深さ推定部116とを含んで構成されている。マイグレーション部110において入力されたGPRデータにマイグレーション処理を適用し、その出力に対して極所情報抽出部112において極大となる座標値、及び比誘電率を算出する。一方で埋設物検出部114ではGPRデータに対して埋設物検出器を適用し、埋設物の反応箇所を特定して位置を検出する。最後に深さ推定部116では、埋設物反応箇所の位置の周辺に絞って極大点を取り出し、マイグレーション結果が最大となるような極大点の比誘電率を取り出す。こ

の比誘電率を用いて深さを算出し、埋設物の深さとして出力する。

[0025] マイグレーション部110は、GPRデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、マイグレーション処理を範囲に応じて比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求める。

[0026] 比誘電率の範囲とは、例えば対象が一般的な土であればその湿潤度合いによって比誘電率は2〜30程度で変化する。このように対象が取りうる比誘電率の範囲を予め設定する。この設定された範囲から比誘電率を一定間隔で取り出し、マイグレーション処理を適用する。マイグレーション処理とは、アンテナの指向性によって現れる放物線状の反射波形を比誘電率に基づいて修正し、アンテナ直下の反射のみを捉えられるよう変換する処理である。代表的なマイグレーション処理手法としてKirchhoffマイグレーション法があるが、これ以外のマイグレーション手法を用いてもよい。Kirchhoffマイグレーションによって得られる処理結果の例を図3に示す。元のGPRデータでは反射反応のある箇所において放物線状の帯が現れているが、マイグレーション処理によって1点の強い反応に集約されていることがわかる。このマイグレーション処理を比誘電率を変えて適用すると、図3のように比誘電率に応じて多数のマイグレーション結果が得られる。ここで、各埋設物の反応について正しい比誘電率を用いてマイグレーションを行った際に最も集約度合が高まると仮定すると、マイグレーション結果の値を比較することで比誘電率を推定することができる。

[0027] 極所情報抽出部112は、マイグレーション結果から極大点の各々を抽出し、抽出した極大点の各々に関し、マイグレーション結果の比誘電率、GPRデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の3次元データを抽出する。極大点が、本開示の極所的な点の一例である。

[0028] 極所情報抽出部112では、マイグレーション結果に対して反射箇所の中心点で反応が極大となることを仮定し、マイグレーションした値が極大（極大値）になる点を極大点として抽出する。抽出した極大点の各々について、

図4で得られているような変化する比誘電率に対応するマイグレーション結果を積み重ねて、図5のような3次元データとして構成する。3次元データは、各極大点について、比誘電率方向、アンテナ進行方向、及び反射時間方向のそれぞれについて値が得られる。比誘電率方向には比誘電率を変化させたマイグレーション結果における比誘電率、アンテナ進行方向にはアンテナの座標、反射時間進行方向には反射時間の座標が得られる。後述する処理で、この3次元データを元に極大値を取る座標を算出することで、個別の埋設物に対して集約された反応が最大となる比誘電率を求める。アンテナの座標、及び反射時間はGPRデータより得る。得られる極大座標は3次元座標となるため（比誘電率、アンテナ進行方向の座標、反射時間の座標）の3つの値が各極大点について得られる。ここで、元のGPRデータから反射波の強度が得られている場合には極大値を用いればよいが、GPRデータが実数の波で表現されている場合には、負の値が集約された極値も生じるため極小値も同時に用いてもよい。GPRデータが複素数の波であった場合は極大点のみが得られ、GPRデータが実数の波であった場合は極大点及び極小点を得られる。

[0029] 埋設物検出部114は、検出器記憶部102の検出器を用いて、GPRデータの埋設物の座標を検出する。検出器は、元のGPRデータを入力として画像認識に用いられる機械学習手法を応用して埋設物の位置を検出するように学習されている。検出器記憶部102には、予め機械学習手法により学習された検出器のパラメータが格納されている。

[0030] 埋設物検出部114に係る構成を図6に示す。検出には予め学習された検出器パラメータが必要となるため、事前に学習用のGPRデータと対応する埋設物の位置のアノテーションデータの学習データを用意し、検出器学習部104により、学習データの正解と出力の誤差が最小化されるよう検出器を学習する。学習及び検出に用いる機械学習モデル及び学習手法については、例えば、非特許文献1で用いられているような畳み込みニューラルネットワークに基づく検出モデルを用いて誤差逆伝播法によって学習すると高い検出

精度が期待できる。なお、これ以外の手法であっても用いてもよい。このようにして得られた検出器を適用することで、GPRデータに現れている各埋設物のおおまかな位置を示す座標値を得ることができる。

[0031] 深さ推定部116は、図7に示すように、比誘電率推定部120と、深さ算出部122とによって構成される。深さ推定部116は、各部の処理により、埋設物の座標に基づく周辺座標における極大点の座標を参照して、極大点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する。

[0032] 深さ推定部116では、入力として極所情報抽出部112から出力される極大点の座標及びその極大値と、埋設物検出部114から出力される埋設物の座標が与えられる。

[0033] 比誘電率推定部120は、各埋設物の座標について、マイグレーション結果の極大値を探索する範囲をその周辺座標に限定する。周辺座標は、埋設物の座標を基準として、アンテナ進行方向に $\pm T_x$ メートル以内、反射時間方向に $\pm T_r$ 秒以内に定めた領域とする。周辺座標において極大点を探索する。探索した極大点の座標を参照し、その極大値を取り出す。取り出された極大値の中で極大値が最大となる座標を参照し、当該座標に対応する極大点の比誘電率を埋設物に対応する比誘電率として採用する。なお、GPRデータが実数の波である場合には、極大値と極小値が得られているため、周辺座標において極大点及び極小点を探索する。それぞれ最大値、最小値を求め、極大点に対応する比誘電率と、極小点に対応する比誘電率との平均値を採用する。また、採用された比誘電率を含む3次元データにおいて、対応する反射時間を採用する。

[0034] 深さ算出部122は、各埋設物に対応する推定された比誘電率を用いて詳細な埋設物の深さを算出する。反射時間 t と比誘電率 ϵ_r を用いて以下の(1)式によって深さ d が求められる。

[数1]

$$d = \frac{1}{2}t \times \frac{3.0 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

・・・ (1)

[0035] 次に、深さ推定装置100の作用について説明する。

[0036] 図8は、本開示の実施形態の深さ推定装置100による深さ推定処理の流れを示すフローチャートである。CPU11がROM12又はストレージ14から深さ推定プログラムを読み出して、RAM13に展開して実行することにより、深さ推定処理が行なわれる。CPU11が深さ推定装置100の各部として機能することにより、以下の処理を実行させる。

[0037] ステップS100において、CPU11は、GPRデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、マイグレーション処理を範囲に応じて比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求める。

[0038] ステップS102において、CPU11は、マイグレーション結果から極大点の各々を抽出する。

[0039] ステップS104において、CPU11は、抽出した極大点の各々に関し、マイグレーション結果の比誘電率、GPRデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の3次元データを抽出する。

[0040] ステップS106において、CPU11は、検出器記憶部102の検出器を用いて、GPRデータの埋設物の座標を検出する。

[0041] ステップS108において、CPU11は、埋設物の座標に基づく周辺座標における極大点の座標を参照して、極大点に対応する比誘電率を採用する。

[0042] ステップS110において、CPU11は、採用された比誘電率と、反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する。

[0043] 以上説明したように本実施形態の深さ推定装置100によれば、比誘電率を用いて埋設物が埋設された深さを求めることができる。

[0044] また、本開示の技術は、マイグレーション結果を用いて自動的に比誘電率を推定する手法といえる。マイグレーション結果を積み重ねて極大の座標を得ることによって、反射箇所によって異なる最適な比誘電率を推定できる。これを埋設物の自動検出結果と統合することで、埋設物ごとにその座標に応じて適切な比誘電率を推定することが可能である。

[0045] なお、上記実施形態でCPUがソフトウェア（プログラム）を読み込んで実行した深さ推定処理を、CPU以外の各種のプロセッサが実行してもよい。この場合のプロセッサとしては、FPGA（Field-Programmable Gate Array）等の製造後に回路構成を変更可能なPLD（Programmable Logic Device）、及びASIC（Application Specific Integrated Circuit）等の特定の処理を実行させるために専用に設計された回路構成を有するプロセッサである専用電気回路等が例示される。また、深さ推定処理を、これらの各種のプロセッサのうちの1つで実行してもよいし、同種又は異種の2つ以上のプロセッサの組み合わせ（例えば、複数のFPGA、及びCPUとFPGAとの組み合わせ等）で実行してもよい。また、これらの各種のプロセッサのハードウェア的な構造は、より具体的には、半導体素子等の回路素子を組み合わせた電気回路である。

[0046] また、上記実施形態では、深さ推定プログラムがストレージ14に予め記憶（インストール）されている態様を説明したが、これに限定されない。プログラムは、CD-ROM（Compact Disk Read Only Memory）、DVD-ROM（Digital Versatile Disk Read Only Memory）、及びUSB（Universal Serial Bus）メモリ等の非一時的（non-transitory）記憶媒体に記憶された形態で提供されてもよい。また、プログラムは、ネットワークを介して外部装置からダウンロードされる形態としてもよい。

[0047] 以上の実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

[0048] (付記項 1)

メモリと、

前記メモリに接続された少なくとも 1 つのプロセッサと、

を含み、

前記プロセッサは、

地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求めるマイグレーション部と、

前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の 3 次元データを抽出し、

予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出し、

前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記 3 次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する、

ように構成されている深さ推定装置。

[0049] (付記項 2)

深さ推定処理を実行するようにコンピュータによって実行可能なプログラムを記憶した非一時的記憶媒体であって、

地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求めるマイグレーション部と、

前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極

大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の3次元データを抽出し、

予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出し、

前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記3次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する、

非一時的記憶媒体。

符号の説明

- [0050] 1 0 0 深さ推定装置
- 1 0 2 検出器記憶部
- 1 0 4 検出器学習部
- 1 1 0 マイグレーション部
- 1 1 2 極所情報抽出部
- 1 1 4 埋設物検出部
- 1 1 6 深さ推定部
- 1 2 0 比誘電率推定部
- 1 2 2 深さ算出部

請求の範囲

[請求項1]

地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求めるマイグレーション部と、

前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の3次元データを抽出する極所情報抽出部と、

予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出する埋設物検出部と、

前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記3次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する深さ推定部と、

を含む深さ推定装置。

[請求項2]

前記深さ推定部は、

前記極所的な点について、極大点を抽出している場合には、

前記周辺座標において探索された極大点に基づいて、前記マイグレーションした値が最大となる極大点に対応する前記比誘電率を採用し、

前記極所的な点について、極大点及び極小点を抽出している場合には、

前記周辺座標において探索された極大点及び極小点に基づいて、前記マイグレーションした値が最大となる極大点に対応する前記比誘電率と、最小となる極小点に対応する前記比誘電率との平均の比誘電率

を採用する請求項 1 に記載の深さ推定装置。

[請求項3] 前記周辺座標は、前記埋設物の座標を基準として、アンテナの進行方向、及び反射時間の方向により定めた領域として、前記マイグレーションした値を探索する範囲とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の深さ推定装置。

[請求項4] 地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求め、

前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反射時間の座標の 3 次元データを抽出し、

予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出し、

前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記 3 次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する、

処理をコンピュータに実行させる深さ推定方法。

[請求項5] 地中に埋設された埋設物を計測した二次元データである地中レーダデータと、予め求められた比誘電率の範囲とに基づいて、所定のマイグレーション処理を前記範囲に応じて前記比誘電率を変化させながら行い、変化させた比誘電率ごとのマイグレーション結果を求め、

前記マイグレーション結果から、マイグレーションした値の極大点又は極大点及び極小点の何れかである極所的な点の各々を抽出し、当該極所的な点に関し、前記マイグレーション結果における比誘電率、前記地中レーダデータを計測したアンテナの進行方向の座標、及び反

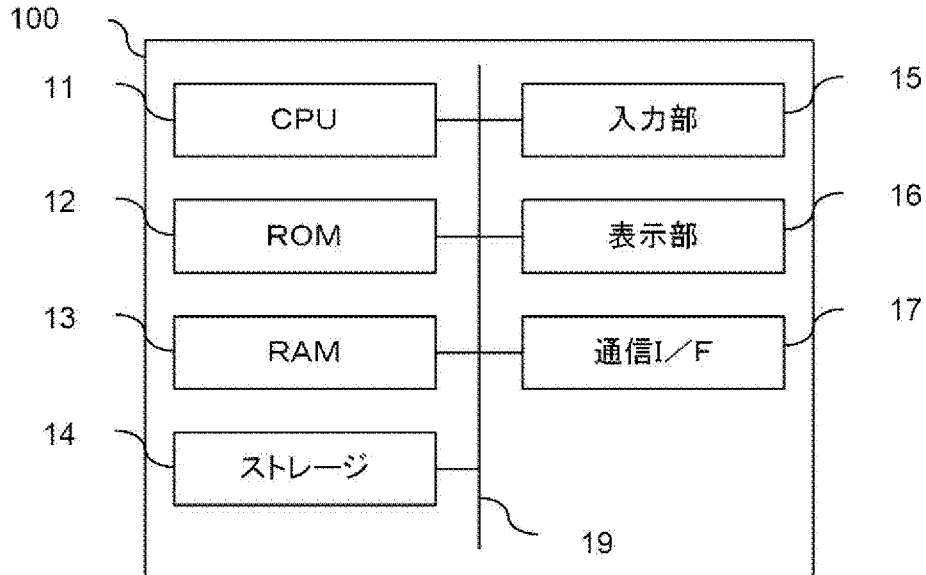
射時間の座標の3次元データを抽出し、

予め学習された検出器を用いて前記埋設物の座標を検出し、

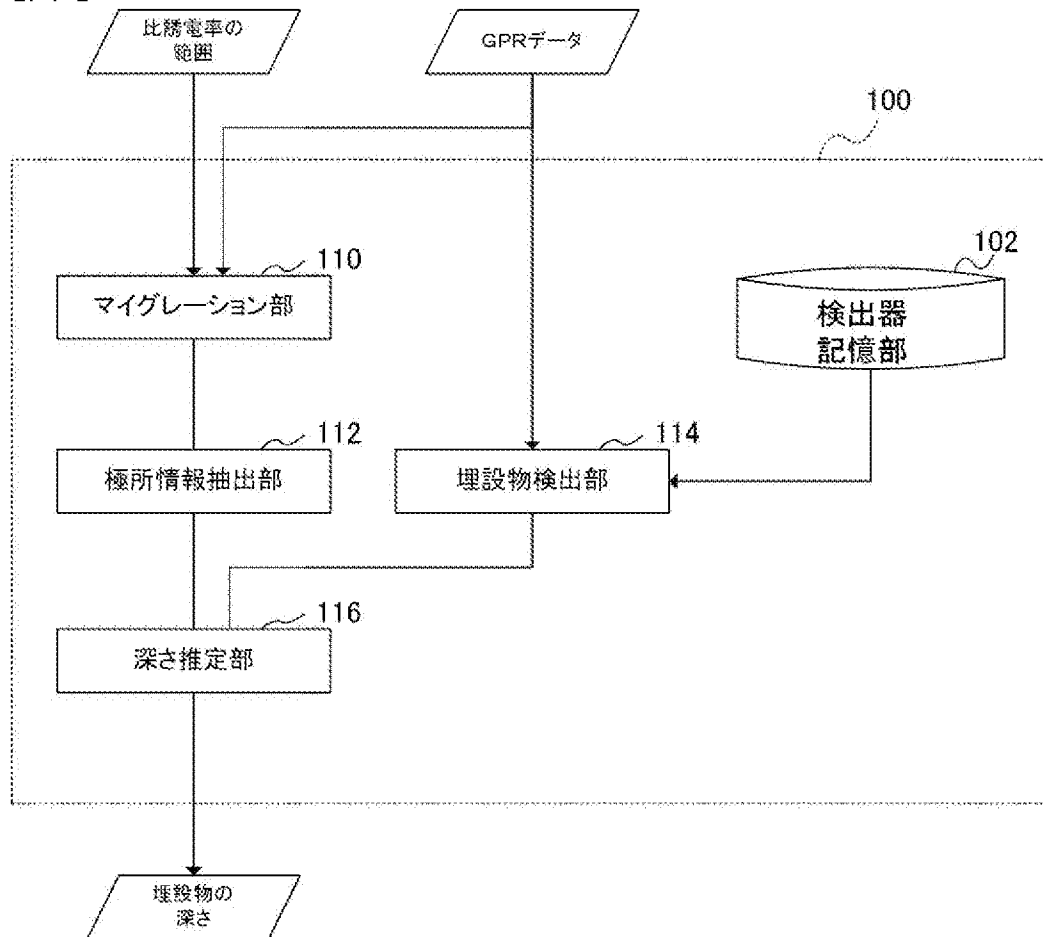
前記埋設物の座標に基づく周辺座標における前記3次元データの前記極所的な点の座標を参照して、前記極所的な点に対応する比誘電率を採用し、採用された比誘電率と、前記反射時間とに基づいて、埋設物の深さを推定する、

処理をコンピュータに実行させる深さ推定プログラム。

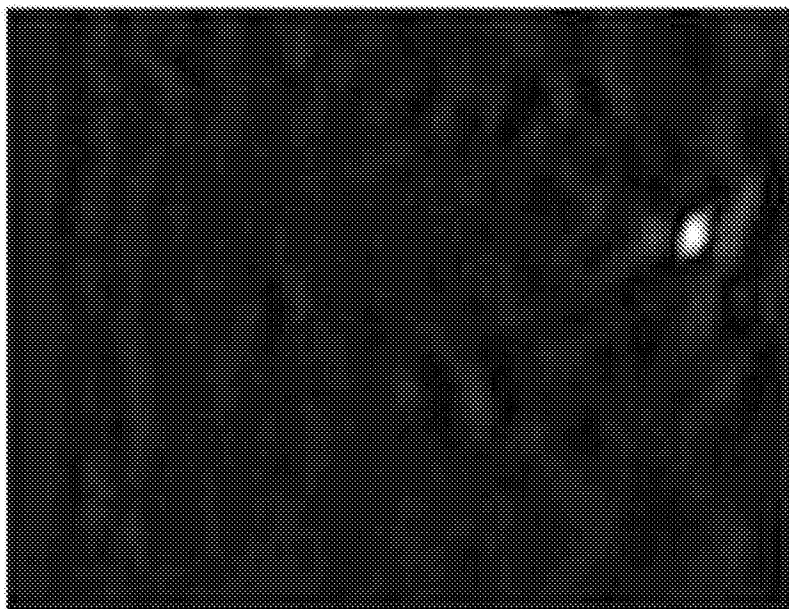
[図1]



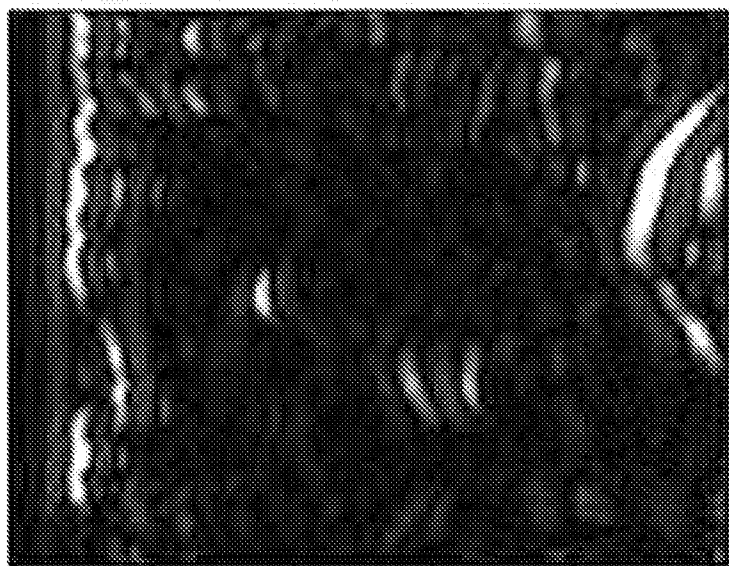
[図2]



[図3]

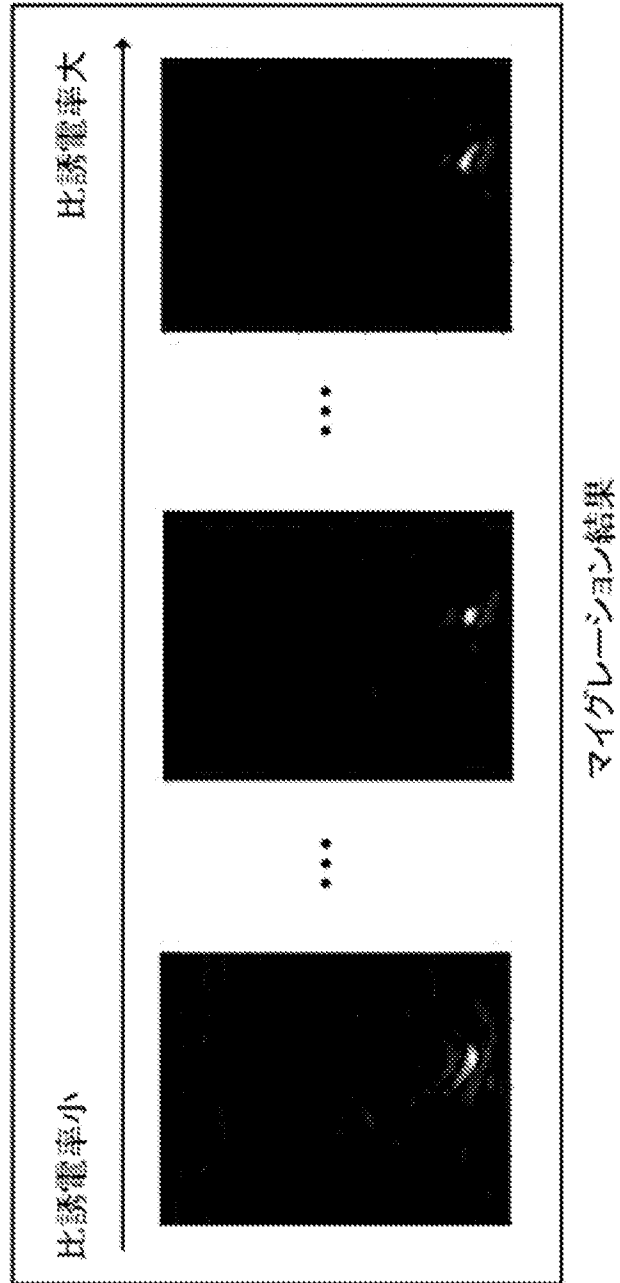


マイグレーション結果

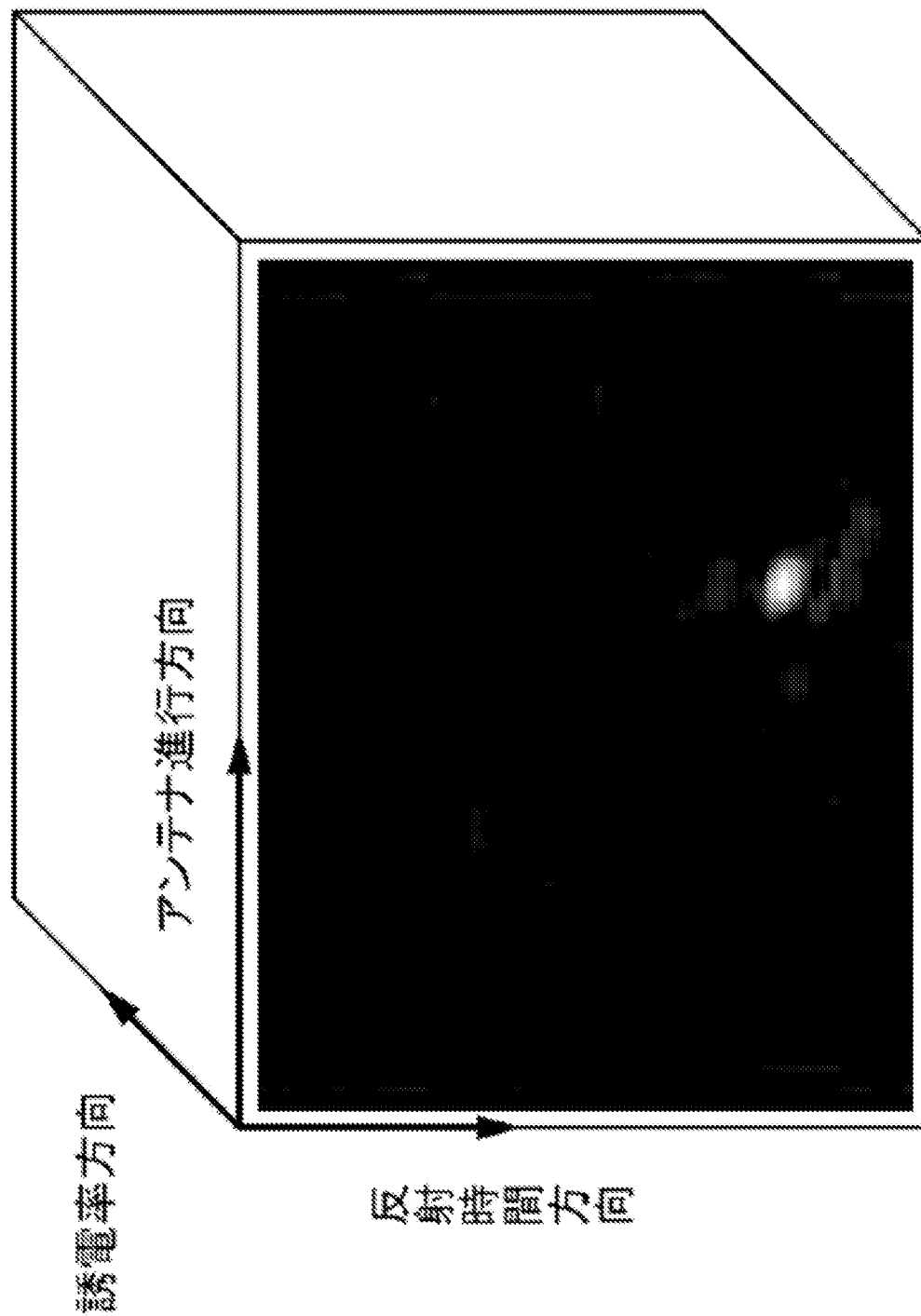


元データ

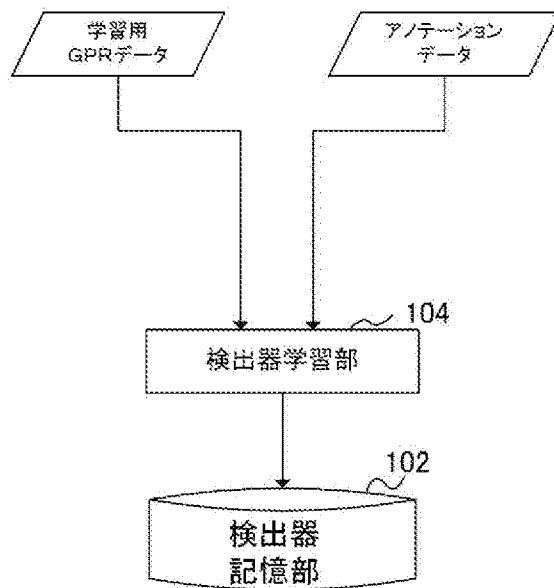
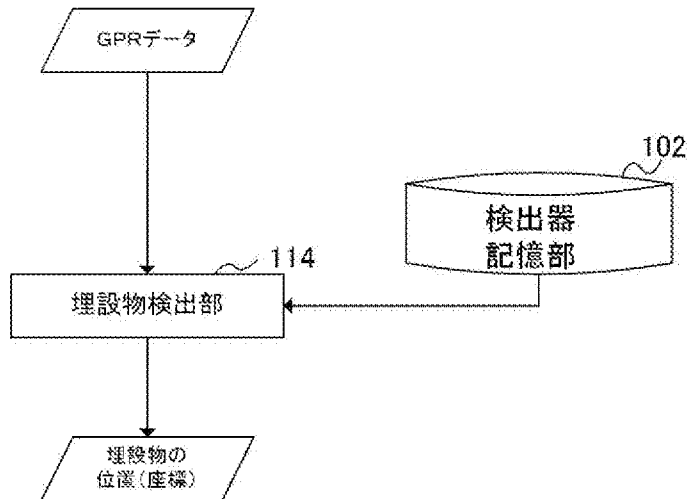
[図4]



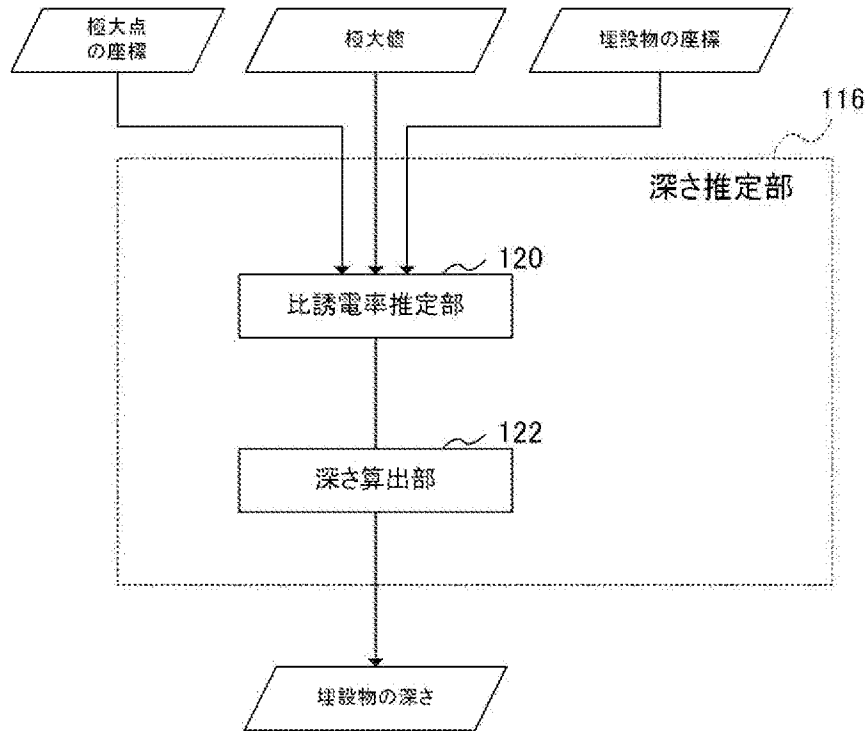
[図5]



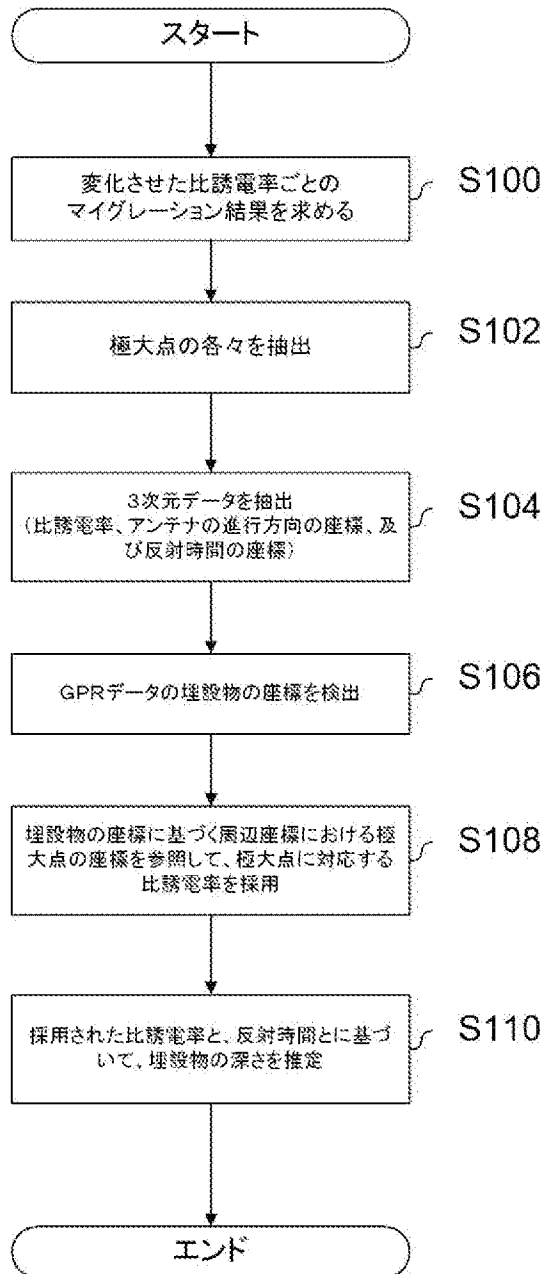
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/022937

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01S 13/88(2006.01)i

FI: G01S13/88 200

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)

G01S7/00-7/42; G01S13/00-13/95

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	JP 05-232220 A (OSAKA GAS CO LTD) 07 September 1993 (1993-09-07) entire text, all drawings	1-5
A	JP 07-270528 A (OSAKA GAS CO LTD) 20 October 1995 (1995-10-20) entire text, all drawings	1-5
A	JP 11-271440 A (OSAKA GAS CO LTD) 08 October 1999 (1999-10-08) entire text, all drawings	1-5

☐ 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

16 August 2021 (16.08.2021)

Date of mailing of the international search report

31 August 2021 (31.08.2021)

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

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/022937

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 05-232220 A	07 Sep. 1993	(Family: none)	
JP 07-270528 A	20 Oct. 1995	(Family: none)	
JP 11-271440 A	08 Oct. 1999	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01S 13/88(2006.01)i FI: G01S13/88 200														
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）） G01S7/00-7/42; G01S13/00-13/95 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2021年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2021年</td> </tr> </table> 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）			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				
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													
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 05-232220 A（大阪瓦斯株式会社）07.09.1993（1993 - 09 - 07） 全文，全図	1-5												
A	JP 07-270528 A（大阪瓦斯株式会社）20.10.1995（1995 - 10 - 20） 全文，全図	1-5												
A	JP 11-271440 A（大阪瓦斯株式会社）08.10.1999（1999 - 10 - 08） 全文，全図	1-5												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 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	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 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	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 16.08.2021	国際調査報告の発送日 31.08.2021													
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） 九鬼 一慶 2S 4404 電話番号 03-3581-1101 内線 3216													

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/JP2021/022937

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	05-232220	A	07.09.1993	(ファミリーなし)	
JP	07-270528	A	20.10.1995	(ファミリーなし)	
JP	11-271440	A	08.10.1999	(ファミリーなし)	