

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3547948号
(P3547948)

(45) 発行日 平成16年7月28日(2004.7.28)

(24) 登録日 平成16年4月23日(2004.4.23)

(51) Int.Cl.⁷

F 1

GO 1 N 27/02

GO 1 N 27/02

Z

GO 1 N 33/24

GO 1 N 33/24

C

請求項の数 32 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願平9-229352	(73) 特許権者	801000072
(22) 出願日	平成9年8月26日(1997.8.26)		農工大ティー・エル・オー株式会社
(65) 公開番号	特開平11-64259		東京都小金井市中町二丁目24番16号
(43) 公開日	平成11年3月5日(1999.3.5)	(74) 代理人	100084548
審査請求日	平成13年5月31日(2001.5.31)		弁理士 小森 久夫
		(72) 発明者	久野 敦司
			京都府京都市右京区花園土堂町10番地
			オムロン株式会社内
		審査官	鈴木 俊光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 土壌測定用ツール、土壌測定ロボット及びその他の関連装置と方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

土壌内に埋め込まれる埋込部に、外部から土壌測定液の注入及び回収が可能な測定孔、および外部から接続可能な電極棒を設けたことを特徴とする土壌測定用ツール。

【請求項 2】

前記測定孔は、長さの異なる複数の測定孔から構成されている請求項 1 に記載の土壌測定用ツール。

【請求項 3】

前記測定孔は、底部に多孔体蓋部が形成されている請求項 1 または 2 に記載の土壌測定用ツール。

【請求項 4】

前記電極棒は、長さの異なる複数の電極棒から構成されている請求項 1～3 のいずれかに記載の土壌測定用ツール。

【請求項 5】

前記電極棒は、上部に導電性ゴムからなる電極部が形成されている請求項 1～4 のいずれかに記載の土壌測定用ツール。

【請求項 6】

前記電極棒は、その底部が前記測定孔の底部近辺に位置する長さである請求項 1～5 のいずれかに記載の土壌測定用ツール。

【請求項 7】

ツール本体の上方に、土壤表面と当接する鏝部を設けた、請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載の土壤測定用ツール。

【請求項 8】

ツール本体が、土壤中で分解可能な有機物で構成されている請求項 1 ～ 7 のいずれかに記載の土壤測定用ツール。

【請求項 9】

ツール本体上面模様が、非点対象模様である請求項 1 ～ 8 のいずれかに記載の土壤測定用ツール。

【請求項 10】

請求項 1 ～ 9 のいずれかに記載の土壤測定用ツールを土壤中に埋め込み、前記測定孔に測定液を注入した後、所定時間後に該測定液を回収し、回収した測定液を処理して土壤成分の測定を行う、土壤成分測定方法。

10

【請求項 11】

請求項 1 ～ 9 のいずれかに記載の土壤測定用ツールを土壤中に埋め込み、前記測定孔に測定液を注入する前後のいずれかまたは両方において前記電極棒により土壤インピーダンスを測定する、土壤インピーダンス測定方法。

【請求項 12】

請求項 1 ～ 9 のいずれかの土壤測定用ツールに嵌合して、前記電極棒に電氣的に接続する電極と前記測定孔に対する土壤測定液の注入及び回収をする測定管とを備える測定用プローブを備え、さらに、該土壤測定用ツールの配置位置まで移動可能な車輪と、前記プローブを任意の位置に移動可能にするアームと、前記測定用プローブを介して土壤測定を行う土壤測定部とを少なくとも備えた土壤測定ロボット。

20

【請求項 13】

GPS測位によりロボット位置を特定する位置特定手段と、基地局とデータ送受信を行う通信部と、前記位置特定手段で得られたロボット位置と基地局から送信された移動先土壤測定用ツール位置とに基づいて前記車輪を該移動先土壤測定用ツール位置まで移動制御する移動制御手段と、を備えた請求項 12 記載の土壤測定ロボット。

【請求項 14】

前記位置特定手段で得られたロボット位置の履歴からロボット移動方向を特定する移動方向特定手段と、前記カメラで得られたカメラ座標上の土壤測定用ツール位置を特定するカメラ座標位置特定手段と、前記カメラの撮像方向を特定する撮像方向特定手段と、を備え

30

、前記移動制御手段は、前記ロボット位置、ロボット移動方向、カメラ座標上の土壤測定用ツール位置およびカメラの撮像方向に基づいて土壤測定用ツール位置の候補を特定し、該候補中に基地局から送信された移動先土壤測定用ツール位置が含まれるときに、前記車輪を該移動先土壤測定用ツール位置まで移動制御することを特徴とする、請求項 13 記載の土壤測定ロボット。

【請求項 15】

前記車輪を移動制御した後に、前記カメラによる土壤測定用ツールの撮像画像と予め記憶されている土壤測定用ツールモデル画像とのパターンマッチング法により、前記測定用プローブが該土壤測定用ツールに正しく嵌合するよう前記ロボットアームを制御するロボットアーム制御部を備えた、請求項 14 記載の土壤測定ロボット。

40

【請求項 16】

前記測定用プローブを土壤測定用ツールに嵌合した後に、前記土壤測定部で測定した結果を現在位置とともに基地局に送信する送信手段を備えた、請求項 12 記載の土壤測定ロボット。

【請求項 17】

前記送信手段は、前記車輪により移動先土壤測定用ツール位置まで移動制御出来なかった場合、前記測定用プローブを該土壤測定用ツールに正しく嵌合するよう前記ロボットアームを制御出来なかった場合、または前記土壤測定部で測定出来なかった場合に基地局に対

50

して測定失敗を送信することを特徴とする、請求項1 6記載の土壤測定ロボット。

【請求項 1 8】

前記移動制御手段は、基地局から帰還指示があったとき、予め決められた帰還位置までに帰還するよう前記車輪を移動制御することを特徴とする、請求項1 3～1 5のいずれかに記載の土壤測定ロボット。

【請求項 1 9】

各土壤測定用ツールの位置とその番号とを予め記憶した土壤測定用ツールデータベースと、土壤測定用ツール位置を該土壤測定用ツールデータベースを参照してツール番号で同定する土壤測定用ツール番号同定手段と、を備え、土壤測定用ツール位置を土壤測定用ツール番号で表すようにした、請求項1 2～1 8のいずれかに記載の土壤測定ロボット

10

【請求項 2 0】

前記土壤測定部は、前記測定用プローブの測定管を介して土壤測定用ツールの測定孔に土壤測定液を注入し、かつ該測定孔から土壤測定液を回収する測定水制御ユニットと、抽出した土壤測定液を処理して水質測定を行う水質測定ユニットと、を備えた請求項1 2～1 9のいずれかに記載の土壤測定ロボット。

【請求項 2 1】

請求項1 2の土壤測定用ロボットを制御する方法であって、位置特定手段で得られたロボット位置と基地局から送信された移動先土壤測定用ツール位置とに基づいて前記車輪を該移動先土壤測定用ツール位置まで移動制御することを特徴とする、土壤測定ロボット制御方法。

20

【請求項 2 2】

前記移動制御は、

ロボット位置、ロボット移動方向、カメラ座標上の土壤測定用ツール位置、及びカメラの撮像方向に基づいて土壤測定用ツール位置の候補を特定し、該候補中に基地局から送信された移動先土壤測定用ツール位置が含まれるときに、前記車輪を該移動先土壤測定用ツール位置まで移動制御するものである、請求項2 1記載の土壤測定ロボット制御方法。

【請求項 2 3】

請求項1 2～2 0のいずれかに記載の土壤測定ロボットにおいて、土壤データが既知のチェック用土壤エリアに土壤測定用ツールを埋め込んで得られた土壤データを、前記既知の土壤データと比較して土壤測定部の校正を行う手段を備えたことを特徴とする、土壤測定ロボット。

30

【請求項 2 4】

請求項1 2～2 0のいずれかに記載の土壤測定ロボットを制御する方法であって、被測定土壤に移動する前に、土壤データが既知のチェック用土壤エリアに土壤測定用ツールを埋め込んで得られた土壤データを、前記既知の土壤データと比較して土壤測定部の校正を行うことを特徴とする、土壤測定ロボットの制御方法。

【請求項 2 5】

土壤測定ロボットが移動する農道の周囲に請求項 1～9のいずれかに記載の土壤測定用ツールが配置されていることを特徴とする、農場の配置構造。

【請求項 2 6】

土壤測定ロボットが移動する農道の周囲に請求項 1～9のいずれかに記載の土壤測定用ツールが配置され、前記土壤測定ロボットの帰還エリアと、該帰還エリアから農道への移動時に一列に整列する整列エリアとが農道の出発位置に配置されていることを特徴とする、農場の配置構造。

40

【請求項 2 7】

請求項 1～9のいずれかに記載の土壤測定用ツールが土壤データが既知の土壤に埋め込まれたエリアを、土壤測定ロボットの土壤測定部を校正するためのチェック用土壤エリアとして、前記帰還エリアと整列エリアの間に配置されていることを特徴とする、請求項2 6記載の農場の配置構造。

【請求項 2 8】

50

請求項 1 ～ 9 のいずれかに記載の土壤測定用ツールと、請求項 12 ～ 20 のいずれかに記載の土壤測定用ロボットと、通信により該土壤測定ロボットの制御を行う基地局とを備える土壤測定システム。

【請求項 29】

前記基地局は、各土壤測定ロボットの現在位置を取得し、それらの位置データと予め決められている各土壤測定用ツールによる測定指示スケジュールとに基づいて、各土壤測定ロボットの測定指示データを作成して送信する制御手段を備える請求項 28 記載の土壤測定システム。

【請求項 30】

各土壤測定ロボットの測定指示データは、当該土壤測定用ツールに対して現在すべき作業を行うのに最も近い位置にいる土壤測定用ロボットに対するものである、請求項 29 記載の土壤測定システム。

【請求項 31】

前記制御手段は、土壤測定ロボットの測定動作が所定回数失敗したことを知ったときには、該土壤測定ロボットに対し帰還指示を送信する、請求項 29 記載の土壤測定システム。

【請求項 32】

請求項 29 の土壤測定システムで作成する測定指示データを記憶する記憶媒体であって、該記憶媒体は、

データを送信すべき土壤測定ロボットを特定するための対象ロボット番号記憶領域と、測定すべき土壤測定ツールを特定するための対象ツール番号記憶領域と、前記特定された土壤測定ロボットで前記特定された土壤測定ツールにおいて土壤測定するときの測定内容を表す符号を記憶する測定内容記憶領域と、

該測定を行うときの測定完了目標時刻を記憶する測定完了目標時間記憶領域と、を少なくとも具備し、

前記特定された土壤測定ロボットで前記特定された土壤測定ツールにおいて前記測定完了目標時間内に土壤測定が可能かどうかを土壤測定ロボットにおいて判断出来るようにした、測定指示データ記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、収穫の対象となる農場（圃場）を複数の区画に分割し、各区画ごとに PH、窒素、燐酸等の要素、土壤の電気的特性などを検出し、土壤をミクロ的に詳細に分析する精密農業において、その実用に供するための装置および方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

一般に、作物の栽培を行う圃場の土壤管理は品質や収量に大きく影響を及ぼすために、施肥等を含む土壤管理においては、通常は、土壤のサンプルを採取して、その分析を行うことが要求される。従来、この土壤サンプルを分析するために、適当な場所の土壤を採取して、その土壤サンプルを実験室に持ちかえり、水などの溶媒や抽出試薬を作用させて、土壤の成分が溶け出した液体を試験装置で分析してその成分を測定していた。また、圃場からの採土、分級、計量、抽出試薬注入、濾過液の生成などの分析前処理作業を、特開平 9-61420 号などに示されているように、ロボットハンドを用いて自動化する方法も提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記のいずれの方法も、分析対象の土壤サンプルを自動的に採取するものではなく、あらかじめ採取されて容器に小分けされた土壤サンプルが用意されていることを前提にしている。したがって、農場を移動しながらその場で各位置の土壤の分析や測定をすることは不可能であった。このため、土壤の採取に人手を要し、また分析に時間がかかるために、多数の区画での土壤分析を短時間に行うことが要求される精密農業には事実上対応

10

20

30

40

50

できないという問題があった。

【0004】

本発明の目的は、甫場の各区画において短時間に自動的に土壌分析を行うことのできる装置および方法を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】

図1は、本発明が適用される精密農業システムの概略を説明する図である。甫場1は、複数の区画2に分割されており（各区画は等面積である必要はなく、また、区画自体が認識される必要も特になくて良い）、各区画の適当な位置に土壌測定用ツール3が配設されている。土壌測定用ツール3は、その区画内に埋め込まれ、後述の土壌測定ロボットの測定用プローブが嵌合することによって、その場で土壌分析を行うのに使用される装置である。甫場1には、各区画2を通過する農道4が設けられており、この農道4を土壌測定ロボット5が移動できるようになっている。土壌測定ロボット5は複数台用意されており、最初に、集合エリア4に集合した状態から1台ずつ農道4を移動していく。各土壌測定ロボット5は、土壌測定用ツール3に嵌合する測定用プローブを備えるとともに、GPSアンテナ5aと通信用アンテナ5bとを備え、現在の位置をGPS測位し、且つ基地局6と通信できるようになっている。また、土壌測定ロボット5は、内部に土壌測定部を備えており、測定用プローブを土壌測定用ツール3に嵌合した状態で、その場で土壌の測定を行う。

【0006】

各土壌測定用ツール3を用いた各区画2の土壌測定スケジュールは、基地局6においてあらかじめ計画されており、このスケジュールに従って各土壌測定ロボット5に対して土壌測定のための測定指示データが通信アンテナ6aを介して送信される。この場合の測定指示データは、当該土壌測定用ツール3に対して現在すべき作業を行うのに最も近い位置にいる土壌測定用ロボットに対するものである。たとえば、一番目の土壌測定用ツール3に対して、今回行うべき作業が測定用水を注入する作業の場合、その一番目の土壌測定用ツール3に最も近い位置にいる土壌測定用ロボットに対して、測定用水を注入すべき測定指示データが送信される。このようにして、各土壌測定ロボットに対し、次々と基地局6から測定指示データが送信され、各土壌測定ロボット5は、その測定指示データに基づいて土壌測定用ツール3を探し、その位置で位置合わせしながら該ツール3に測定用プローブを嵌合して測定指示データに含まれる作業を実施する。また、土壌測定ロボット5は、当該作業を終了すると、その結果とGPS測位した現在位置とを基地局6に対して送信し、次の測定指示データを待つ。なお、土壌測定ロボット5は、目標とする土壌測定用ツール3に向かって農道4を移動するための車輪、目標とする土壌測定用ツール3の位置に接近して測定用プローブを土壌測定用ツール3に位置合わせしながら嵌合させるために必要なTVカメラを含む画像処理装置を含んでいる。また、基地局6には通信アンテナ6aとともにGPS信号の位相キャリアを測定するためのGPSアンテナ6bが設けられており、各土壌測定ロボット5の測位には、数センチ程度の精度を出すことのできるキネマティックGPS測位法が用いられる。

【0007】

本発明では土壌の一部を採取するのではなく、地中に埋め込まれた土壌測定用ツール3を用いてその場で土壌成分の測定を行う。すなわち、土壌中に水などの測定液を浸潤させ、一定時間後に該浸潤領域から測定液を回収し、試薬を注入することで土壌成分の測定を行う。この場合の、測定液の注入による土壌内への浸潤および一定時間後のその回収と試薬の注入は全て人手を介することなく自動的に行う。また、本発明では、1つの土壌測定用ツール3について、同じ土壌測定ロボット5が測定液の土壌内への浸潤と回収をしても良いし、浸潤をさせたロボットとは異なるロボットがその回収をしても良い。このように、土壌の一部を採取することなく土壌中に測定液を浸潤させて一定時間後に回収して成分測定を行うと、回収した測定液内には窒素、リン酸等の要素などが含まれているからそれらの要素を定量測定するとともに正規化することで、土壌成分の測定を高精度に行うことがで

きる。

【0008】

以上の精密農業システムにおいて、本発明に係る土壤測定用ツールは次のように構成される。

【0009】

すなわち、土壤内に埋め込まれる埋込部に、外部から接続可能な電極棒、若しくはこれとは別に、又はこれに加えて、外部から土壤測定液の注入及び回収が可能な測定孔を設けている。埋込部の電極部に外から電極を刺すことで土壤のインピーダンス測定が可能であり、測定孔に水等の測定用液を注入し且つその液を回収することで、土壤成分が混ざった回収液を得ることが出来る。このように、本発明に係る土壤測定用ツールは土壤自体のサン

10

【0010】

ツール本体の上方に、土壤表面と当接する鏝部を設けることにより、電極や測定孔の土壤内深さの位置を正確に設定可能になる。また、前記電極棒を、長さの異なる複数の電極棒で構成することにより、複数の深さでのインピーダンス測定を可能にし電気的特性のより詳しい状況を把握出来る。また、前記測定孔を、長さの異なる複数の測定孔で構成することでも同様に複数の深さでの土壤状態を測定可能にする。なお、測定孔の底部に多孔体蓋部を形成すると、測定孔内に土壤の一部が侵入しなくなるので、測定用水を注入したり回収するのに不具合を生じない。

【0011】

さらに、電極棒の上部に導電性ゴムからなる電極部が形成することで、上部から電極を刺して、その後外しても、導電性ゴムの電極部は、また元の状態に戻るから、何度でも使用可能になる。また、電極棒の底部が前記測定孔の底部近辺に位置する長さにすることで、測定孔から回収した測定用水の浸潤した領域での土壤インピーダンス測定が出来、さらに、状況を異にした電気的特性の測定が可能になる。

20

【0012】

ツール本体を土壤中で分解可能な有機物等の材料で構成すれば、土壤を汚染したりすることがなく土壤に悪影響を与えない。

【0013】

また、ツール本体上面模様を、非点対象模様にするすることで、土壤測定ロボットが測定用プ

30

【0014】

本発明に係る土壤測定ロボットは、上記の土壤測定用ツールに嵌合する測定用プローブと、移動するための車輪と、測定用プローブを可動にするロボットアームと、カメラと、試薬等を備えた土壤測定部とを具備している。すなわち、土壤測定ロボットは、被測定対象となった土壤測定用ツールの位置まで車輪で移動して、そのツール位置をカメラで捉えながらロボットアームを動かして位置合わせをしながら該ツールに測定用プローブを嵌合し、その後測定用水を注入したり、回収したり、または電極を通してインピーダンス測定をするなど、指示された測定処理を実行する。この土壤測定ロボットはGPS測位により自己の正確な位置を知ることが出来る。基地局から送られてくる測定指示データには、測定作業をすべきツールが特定されているため、この位置に移動するときGPS測位データが用いられる。また、測定結果をこの位置とともに基地局に送信することで、基地局は、測定の終えた各土壤測定ロボットの位置を知ることが出来る。そこで、各土壤測定ロボットから送られてくる情報に基づいて、次の作業に対する各土壤測定ロボットの仕事内容（測定内容）を決めることが出来る。すなわち、基地局は、時々刻々と送られてくる土壤測定ロボットからの情報に基づいて、順次、各土壤測定ロボットに対する測定指示データを作成し送信する。このような動作の繰り返しにより、非常に効率的に圃場の精密土壤測定が自動的にかつ短時間で出来るようになる。

40

【0015】

なお、測定用プローブには上記土壤測定用ツールとの嵌合時に結合する、測定管と針型電

50

極が設けられている。

【0016】

土壤測定ロボットは、農道を移動しながら各土壤測定用ツールの位置で測定を行うが、作業の開始時には、測定部の校正を行うのが好ましいかもしれない。そこで、作業の最初にチェック用エリアに移動して、チェック用の土壤測定用ツールを用いて測定データと既知データとを対比する。この対比される2つの値の差が許容範囲内であれば校正を行う必要がないが、両者に許容範囲を超える差があれば、校正することが必要であるから、そのための処理が行われる。

【0017】

【発明の実施の形態】

図2は、本発明の土壤測定システムが適用された甫場を示している。

10

【0018】

甫場内には作物10に混ざって土壤測定用ツール11が一定間隔ごとに配設されている。この土壤測定用ツール11は、図1に示すように、あらかじめ決められた所定の区画ごとに配設されており、各ツールはその表面を露出させた状態で土壤内に埋め込まれている。図に示すように、各土壤測定用ツールの表面の様子は非点対象模様であって方向性がある。後述のように、この模様方向性により土壤測定ロボットは位置合わせをしながら測定用プローブを当該土壤測定用ツールに嵌合させることができるようになる。

【0019】

農道12は、土壤測定ロボット（以下、SOILER）13が移動するためのものである。農道12の道幅は、少なくともSOILER13が2台並列して移動可能な幅であり、前進するSOILER13と後退するSOILER13が互いに障害とならないようになっている。農道12の出発位置には、SOILER13の帰還エリア120と、SOILER13の整列のための整列エリア121と、SOILER13の土壤測定部校正用のチェック用エリア122が設けられている。測定を開始するときには、各SOILER13は全て帰還エリア120に呼び戻され、その後、1台ずつチェック用エリア122に送られて、ここで土壤測定部が校正された後、整列エリア121に整列する。整列エリア121には各SOILER13が1列に整列し、先頭のSOILER13から1台ずつ農道12を前進していく。チェック用エリア122には、チェック用の土壤測定用ツール（以下、PRB）110が設けられており、さらにこの位置にSOILER13が1台来たことを検出するための光電型のSOILER検出センサ14が設けられている。

20

30

【0020】

前記帰還エリア120、整列エリア121、チェック用エリア122を含む出発位置には基地局15が設けられており、基地局15は各SOILER13と通信を行うための通信アンテナ150とGPSアンテナ151とを備えている。基地局15の位置はGPS測位上既知の位置であって、各SOILER13がキネマティックGPS測位できるように、位相キャリア検出用のGPSアンテナ151を備えている。なお、キネマティックGPS測位によって、各SOILER13のGPS測位精度は数センチ程度に達することができる。基地局15は、各SOILER13と通信を行って、各SOILER13に対して測位指示データなどの指示データを送信し、各SOILER13からの測定結果やGPS測位データ（位置データ）を受信する。また、あらかじめ設定されている各PRB11による測定指示スケジュールと、時々刻々各SOILER13から送られてくる位置データとに基づいて各SOILER13に対する測定指示データを作成する。さらに、チェック用エリア122内での各SOILER13の土壤測定部の校正のための制御を行ったり、各SOILER13からの受信データを収集分析して、その結果を通信アンテナ150を介して図外のホストコンピュータに送信したり、内部のハードディスクや入出力装置として接続されている印刷装置やモニタなどに出力する。

40

【0021】

SOILER13は、農道12上を移動するための車輪を含む移動制御部を備えるとともに、目標とするPRB11に接近して測定用プローブを位置合わせしながら嵌合させるの

50

に必要な画像処理部を備えている。また、基地局15と通信を行うための通信部や、測定用プローブをPRB11と嵌合した状態で土壤測定を行う土壤測定部も備えている。

【0022】

次に、図2に示した精密農業システムに用いられる各要素の詳細について説明する。

【0023】

〔土壤測定用ツール〕

図3は、PRB（土壤測定用ツール）11の構造を示す断面図である。

【0024】

このPRB全体は、農地を汚染するものであってはならないので、基本的には土壤中で分解可能な材料が望ましい。本実施形態では、電極となる部分を導電性ゴムや炭素棒で構成し、その他を木材で構成している。

10

【0025】

PRB本体である構造体11aは円筒形状であって、その上部に土壤20の表面と当接する円形の鏝部11bが設けられている。円筒形の構造体11aの内側には、2つの測定孔11cと11d、および2つの電極棒11e、11fがそれぞれ設けられている。測定孔11cと11dは中空の孔であって、その長さはそれぞれ15センチメートルと30センチメートル程度である。この長さに設定したのは、野菜などの作物の成育に影響を与える土壤深さが約40センチメートルまでだという知見に基づいたものであり、各長さはこの長さの範囲内で適当と思われる測定位置と考えられるからである。これらの測定孔11c、11dは、SOILER13から注入された水を土壤内に浸潤させ、一定時間後に再びその水を回収させるために使用される。各測定孔11c、11dの底部には多孔体蓋部11g、11hが設けられている。メッシュ状のこの多孔体蓋部11g、11hは、土壤内から水を回収する時に土壤の一部が測定孔11c、11dに入り込まないようにするためのものである。

20

【0026】

2つの電極棒11e、11fがそれぞれ測定孔11cと測定孔11dとほぼ同じ長さに設定されており、長さの短い第1の電極棒11eは長さの短い第1の測定孔11cに隣接し、長さの長い第2の電極棒11fは長さの長い第2の測定孔11dに隣接している。

【0027】

各電極棒11e、11fが、それぞれ隣接する各測定孔11c、11dとほぼ同じ長さに設定されることにより、各測定孔11c、11dから注入した水が浸潤する土壤領域のインピーダンスがそれぞれの電極棒を用いて測定することが可能になる。

30

【0028】

前記各電極棒11e、11fの上部2には、導電性ゴムからなる電極部11i、11jが取り付けられている。このように、炭素棒からなる電極部の上部を導電性ゴムで構成することによって、この電極部に後述の測定用プローブの針型電極を突き刺すことができる。導電性ゴムであるから、突き刺して接続した針型電極を上昇させることによって該導電性ゴムを元の状態に復帰させることができる。このため、簡単に何度も電極部の接続が可能となる。なお、後述の測定用プローブの針型電極をこの2つの電極部11i、11jに突き刺すとともに、アース用の針型電極を土壤20に突き刺し、さらに2つの測定管を測定孔11c、11dにそれぞれ挿入することによって、PRBと測定用プローブとの嵌合を行う。PRBの上面模様は図4に示すようになっている。すなわち、リング状の鏝部11b内に、左側から順に、第1の測定孔11c、第1の電極部11i、第2の測定孔11d、第2の電極部11jが配置されているが、第2の測定孔11dが中心位置に配置される一方、第1の測定孔11cが偏心した位置に配置されており、且つ電極部11i、11jの表面形状が異なっている。したがって、PRB本体上面模様は非点対象模様である。これにより、土壤測定ロボットにおいて測定用プローブをPRBに嵌合する時の位置合わせを特定することができる。

40

【0029】

〔測定用プローブ〕

50

図5は、土壤測定ロボットに設けられる測定用プローブの構造図を示す。

【0030】

円形の構造体130aには、アース用針型電極130b、130cと、PRBの電極部に突き刺す針型電極130d、130eと、PRBの測定孔11c、11dに挿入される測定管130f、130gが設けられ、構造体130aの上面には、それぞれに接続される出力端子130h～130kと、チューブ130m、130nが設けられている。なお、PRB13の測定孔11c、11dに注入された水が回収しやすいように、各測定管130f、130gの長さは、それぞれ測定孔11c、11dの長さよりも少しだけ短い程度の長さに設定されている。

【0031】

上記の構成の測定用プローブ130を、位置合わせしながらPRB11に押し当てると、アース用針型電極130b、130cがPRBの周囲の土壤中に挿入されてアースをとる。また、針型電極130d、130eはそれぞれPRB11の電極部11i、11dに突き刺さり、測定管130f、130gは、それぞれ測定孔11c、11d内に挿入される。測定用水である水はチューブ130m、130nから測定管130f、130g内に送り出され、一定時間後に同じチューブを介して負圧により回収され吸い上げられていく。なお、後述のように、測定用水を土壤に注入する土壤測定ロボットと、その測定用水を回収する土壤測定ロボットとが異なることがある。

【0032】

次に、上記のPRB11および測定用プローブ130を用いて、土壤測定を行う時の測定概念について説明する。

【0033】

〔土壤成分の測定概念〕

図6(A)～(C)は、測定液である測定用水を土壤内に浸潤させ、一定時間後に回収してその回収水から成分分析を行う手順を示している。

【0034】

まず、図6(A)に示すように、測定用水を測定孔11c(11d)に一定量だけ注入すると、測定管の先端付近の領域に測定用水の浸潤領域が形成される。次に、図6(B)に示すように、一定時間後に浸潤領域からの測定用水の回収を行う。この時、回収水には、土壤内に含まれる窒素、リン酸等の要素が含まれる。次に、図6(C)に示すように、回収水の分析を行う測定部に該回収水を導く。土壤測定部は、図に示すように各測定項目ごとの測定部を備えており、これらの測定部に対して回収水が所定量ずつ送り出される。各項目別の測定部は、測定用試薬タンクとこのタンク内の試薬を回収水内に注入し、攪拌して上澄み液を取り出して実際の測定を行う項目別測定部を備えている。測定の終了した回収水は全て集められて排水用タンクに貯蔵される。

【0035】

上記のように、本発明の土壤成分測定は、土壤を採取することなく、土壤内に測定用水を注入したものを回収して、その回収水を対象として分析を行っている。

【0036】

〔土壤のインピーダンス測定概念〕

図7は、土壤のインピーダンス測定概念図である。

【0037】

土壤の電気的特性の測定は、本来的には土壤の導電率測定を目的とするものであるが、インピーダンス測定を行っても土壤の電気的特性を知ることができる。したがって、インピーダンス測定結果でも導電率と同様に土壤分析に利用可能である。本発明では、土壤の導電率を測定する代わりに、このインピーダンスを測定する。図7に示すように、測定用プローブのアース用針型電極130bの出力端子130h、電極部用の針型電極130dおよび130eの出力端子130j、130kの地中内の測定点は、図に示すように、それぞれ地表面から約1cm、約15cm、約30cmの位置となる。そこで、これらの測定点のインピーダンスは図に示すように、 Z_{AB} 、 Z_{BC} 、 Z_{AC} となるから、これらのイ

10

20

30

40

50

ンピーダンスの値を測定することで、PRB 11が配置されている土壤の地表面近くの電気的な特性を知ることができる。なお、図8は、土壤インピーダンスの測定形態を示す図である。すなわち、「測定用水の注入なし」、「測定孔11cから測定用水注入後10分経過した時」、「測定孔11dから測定用水注入後10分経過した時」、「電極に交流電圧を印加した時（測定用水の注入なし）」の4つの各項目別に Z_{AB} 、 Z_{BC} 、 Z_{AC} をそれぞれ測定する。このように、4項目において各土壤インピーダンスを測定することにより、それらの値を正規化し、且つサンプル数を増やすことによって土壤の電気的特性をより詳細に把握できるようになる。

【0038】

〔土壤測定ロボット（SOILER）の外観〕

10

図9は、SOILER 13の外観図である。

【0039】

SOILER本体131はほぼ円筒形状にあって、その上部に通信用のアンテナ132とGPS用のアンテナ133が取り付けられ、側部に可動TVカメラ134が、また底部に1対の車輪135が設けられている。また、SOILER本体131の別の側部には、固定アーム136が取り付けられ、この先端に上昇および下降が可能なロボットアーム137が取り付けられている。ロボットアーム137の下端部には測定用プローブ130が取り付けられていて、ロボットアーム137を下降することによって測定用プローブ130を下方に位置するPRB（土壤測定用ツール）11に押しつけ、これにより該測定用プローブ130をPRB 11に嵌合させることができる。

20

【0040】

以上の構成において、SOILER 13は、GPSアンテナ133で受信したデータに基づいてGPS測位（キネマティックGPS測位）を行って数センチ単位の精度で自己の位置を測定し、その結果を通信用アンテナ132によって基地局15に送信し、基地局15から送信されてきた測定指示データに基づいて所定のPRBの位置に車輪135によって移動し、さらにTVカメラ134を用いて画像処理によって移動制御と測定用プローブ130の位置合わせ制御を行う。移動および位置合わせを終えると、測定用プローブ130を下降させてPRB 11に押し当てる。その後、測定指示データによって指令される測定動作を行う。SOILER 13は、以上のシーケンスによって測定動作を終了すると測定用プローブ130を上昇させるとともに、測定結果と自己の現在位置を通信用アンテナ132

30

【0041】

〔SOILERの構成〕

図10、図11はSOILER 13の機能ブロック図を示している。

【0042】

図10は、GPS測位によって得られた自己の位置に最も近いPRBの番号を同定する部分の機能ブロック図である。TVカメラ134で得られたコンポジットビデオ信号を画像処理ユニット140に入力する。画像処理ユニット140はあらかじめ記憶されているPRBのモデルパターン141とマッチングを行いながらPRBでの画像上での位置を計測する。GPS受信機142はGPSアンテナ133で受信したデータと基地局15から周期的に送られてくるキャリア位相データとに基づいてキネマティックGPS測位を行い、自己の位置をSOILER位置として計測する。この現在位置を、たとえば所定距離ごとに測位データとしてメモリ144に記憶しておく。SOILER 13の方向決定部143は、この測位データをつなぎあわせることによってSOILER 13の移動方向 θ を算出する。前記画像処理ユニット140で計測された画像上のPRB位置と、GPS受信機142で計測されたSOILER位置と、SOILER 13の方向決定部143で算出された移動方向 θ と、さらにカメラモデル記憶部145に記憶されたカメラモデル（撮像方向など）はPRB番号の同定部146に入力され、ここでこれらの情報を基に、現在TVカメラ134で検出しているPRBの絶対位置を算出する。テーブル147には、各PRB

40

50

の絶対位置に対するPRB番号が記憶されており、PRB番号の同定部146は、このテーブル147を参照することによって、上記のようにして算出したPRBの絶対位置に最も近いPRB番号を抽出し、これを画像上で検出しているPRBの番号kとして出力する。すなわち、PRB番号の同定部146は、自己の移動方向で最も近いPRBの番号kを逐次出力する。このようにして、現在観測しているPRBの番号kが基地局15から測定対象として指示されているPRBの番号と一致し、且つ現在の状況からそのPRBに対して測定行為が可能であれば、測定可能と判断して、測定動作に移行する。

【0043】

図11は、測定シーケンス部の機能ブロック図である。

【0044】

針型電極制御部150は針型電極130b～130eを用いて土壌インピーダンス測定を行う。その結果を測定シーケンス制御部151に出力する。また、測定用水制御ユニット152は測定管130f、130gを用いて測定用水の注入や回収の制御を行う。注入には測定用水タンク153を用い、排水時には排水用タンク154を用いる。また、回収された測定用水は水質ユニット155に導かれ、ここで測定項目ごとの水質測定が行われる。測定項目別に用意されている測定試薬タンク156は水質測定時に使用される。なお、測定用水は、水ではなく、アルコール等の溶媒であっても良い。

【0045】

ロボットアーム制御部157はロボットアーム137を上昇または下降制御し、車輪制御部158はSOILER13が前進、後退または回動動作するよう車輪135を制御する。

【0046】

測定シーケンス制御部151は、これらの制御部やユニットをシーケンス制御することによって測定動作を実行する。測定に成功すると、その測定データは測定データ記録部160によって土壌マップファイル161として記憶され、また、データ送受信部162を介して基地局15に送信される。なお、この場合の測定データにはカレンダー時計163によって計時される日付データが付加される。

〔基地局の構成〕

図12は、基地局15の機能ブロック図である。

【0047】

各SOILER13と通信を行うための通信アンテナ150およびデータ送受信部152と、キネマティックGPS測位を行うための位相キャリアを検出するのに必要なGPSアンテナ151およびGPS受信機153と、キーボード、モニタ、印刷部、記憶媒体ドライバなどを含む入出力部154とが外部インターフェイス機器として基地局制御部155に接続されている。外部記憶装置には、測定指示マップ156、土壌マップ157、土壌管理データ158の各ファイルが割り当てられており、これらは基地局制御部155によって読み書きされる。

【0048】

基地局制御部155は、作業の開始時に今回の測定指示マップを作成し、これに従って各SOILER13に対して測定指示データを順次送信する。なお、測定指示マップは、オペレータによって入出力部154から入力されたデータに基づいて作成されるか、または各種パラメータ等に基づいて自動的に作成され、或いはホスト側から送信されるものとする。データ送受信部152は、上記測定指示データの外、各SOILER13がキネマティックGPS測位を行うことができるように一定周期で位相キャリアを送信する。各SOILER13は、基地局15から送信されてきた測定指示データに基づいて測位シーケンス動作を実行するが、測定がうまくいった時にその測定結果を送り返してくるから、基地局制御部155は、そのデータに基づいて土壌マップファイルを作成し外部記憶装置に記憶する。入出力部154は、上記のようにして作成された土壌マップファイルを適宜加工するなどして、所望の土壌管理データを作成し、ファイルとして記憶する。なお、フロッピディスク等の可搬型記憶媒体に、測定指示データを記憶して配付することも可能である。

10

20

30

40

50

。【0049】

図13は、基地局15の有する測定指示マップファイルを示している。各PRBごとに、測定項目数、各測定項目ごとの「その測定完了までの最大時間」、「その測定完了までの最小時間」の各データを測定項目用データとして記憶する。たとえば、あるPRBに測定用水を注入する測定項目があった場合、その測定項目用データ内の最大時間、最小時間は、それぞれ、測定用水注入後に該測定用水を回収するまでの許容最大時間、最小時間を意味する。このように、測定項目の測定後に次の測定完了までの許容時間として最大時間と最小時間を記憶することによって、基地局15は時々刻々送られてくる各SOILER13の測定結果（成功か失敗かを含む）や現在位置、及びその時に観測しているPRB番号kに基づいて、上記許容時間内で作業を完了させることのできる最適なPRBを選び、そのPRBに対して該作業を行うための測定指示データを作成する。したがって、たとえば、ある1つのPRBに対して、識別番号1のSOILER13が水を注入してから10分後に、識別番号2のSOILER13がその水を回収し、さらに識別番号3のSOILER13が土壤インピーダンスを測定するといった作業が行われる。1つの意味のある作業を完了するためには一定の時間が必要であるために、このようにその作業を複数のSOILER13で分担するようにすれば、全体のPRBに対する作業が効率化することは明らかである。

10

【0050】

図14は測定指示データのデータフォーマットを示している。ヘッダの次の位置の領域D0には、測定対象となるSOILER13の識別番号が配置され、次の領域D1には測定対象となるPRB番号が配置される。次の領域D2には、測定動作の内容を表す符号列が配置される。SOILER13に対して指令する測定動作の内容は1つに限らず複数の場合もあるから、図に示すような0～13の中の1または複数の符号が並べられる。次の領域D3には測定完了の目標時間が、さらに領域D4にシステムパラメータの校正指示データが、エリアD5には移動先の位置データがそれぞれ配置されている。なお、SOILER13は自己の移動速度や測定対象PRBまでの距離などの諸条件を考慮して、測定完了目標時間まで、指定された全ての測定動作を行えるかどうかを判断し、測定動作が不可能である場合には測定失敗を基地局15に対して通報することになる。また、チェック用PRB110（図2参照）において、システムパラメータの校正を行う場合に、エリアD4から得られる校正指示データを参照する。また、移動先位置データを受けると、自己の現在位置と比較しながら、その位置データに向かって移動を開始する。

20

30

【0051】

測定動作には、図14に示すように、測定用水の注入や回収、回収水の分析、および土壤インピーダンスの測定が含まれている。

【0052】

図15は、SOILER番号1～3の測定シーケンス例を示す図である。また、図16は、時間t0でSOILER番号1～3に対して送信される測定指示データの一部を示す図である。

【0053】

時間t0では、SOILER番号1に対して「PRB1への測定用水注入」が指令され、同じく、SOILER番号2に対して「PRB1に対して測定用水の回収」が指令され、また、SOILER番号3に対しては「PRB0に対するインピーダンス測定」が指令される。SOILER番号1は、上記測定指示データを基地局15から受けると、測位指示データに含まれる移動先位置データ(x1, y1)とGPS測位データとを対比しながら該移動先位置まで移動していく。時間t1で移動先位置データ付近まで到達すると、その時の画像上で認識されるPRB番号が測定指示データで指定されているPRB番号と一致していることを条件に測定用プローブの嵌合を行い、測定用水の注入動作を開始する。この動作が測定完了の目標時間であるt2で完了すると、その測定結果を自己のGPS測位データとともに基地局15に対して送信し、再び、基地局15から送られてくる測定指示

40

50

データに基づいて移動を開始する。一方、SOILER番号2に対しては、「PRB1に対する測定用水の回収」の指令がされている。SOILER番号2は、PRB1の位置に時間t3に到着すると、t2とt3の間隔が10分であれば（この時間は、測定用水を注入してから回収するまでの設定時間である）、過去に時間t1でSOILER番号1が注入した測定用水を回収する動作を行う。10分以内のときは同時間になるまで待ってから動作を開始する。時間t4で回収動作を終了すると、その測定結果をGPS測位データとともに基地局15に対して送信し、次の測定指示データに従った移動先まで移動を開始する。また、SOILER番号3に対しては、「PRB0に対するインピーダンス測定」が指令されている。SOILER番号3は、この測定指示データを受信すると、時間t4でPRB0の位置に到着し、該PRB0に対するインピーダンス測定動作を行う。時間t5でこのインピーダンス測定動作を終了すると、その測定結果とGPS測位データを基地局15に対して送信する。次の測定指示データを受信すると、そのデータで指令される位置まで移動を開始する。なお、図15に示す例では、SOILER番号3はt5で反対方向に移動を開始し、時間t6でPRB2に対する測定動作を行う。また、説明を簡単にするため、各SOILER13は、測定動作を終了すると個別に次の測定指示データを受け取るように説明をしたが、基地局15では全てのSOILER13からの測定結果報告を待って、その後一斉に次の測定指示データを各SOILER13に送信する。

10

【0054】

このような測定指示データに基づく動作が各SOILER13ごとに連続して行われることにより、極めて効率的に測定対象となる全てのPRBの測定動作を行うことができる。

20

【0055】

〔SOILERの測定動作シーケンス〕

図17は、SOILER13の測定動作シーケンスを示すフローチャートである。

【0056】

SOILER13は、基本動作として、基地局15からの測定指示データに基づいて測定を行い、その測定結果を現在位置とともに基地局15に送信する動作を繰り返す。

【0057】

まず、基地局15に対してGPS測位データである現在位置を通報してから（ST1）、基地局15からの測定指示データを待つ。この測定指示データを受信すると（ST2）、移動指示のみかどうかを判断し（ST3）、測定動作が伴うものであれば自己の進行方向で最も近いPRBを抽出する。もし、この抽出したPRBが測定指示データに含まれる指定PRBであって、且つそのPRBに対する測定行為が可能であるなら、ST6以下の動作に移るが、そうでないなら測定失敗と判断して基地局15に対して通報する（ST10）。なお、測定行為が可能かどうかの判断は、自己の速度や指定PRBまでの距離等の情報を基に、測定指示データ内に含まれる測定完了目標時間まで測定を完了することができるかどうかで行う。

30

【0058】

ST6においては、対象となるPRBの位置まで移動し、TVカメラ134を用いて対象となるPRB11のサーチと位置合わせを行い、測定用プローブ130を当該PRB11に対して押し当てる（ST7）。さらに、そのPRB11に対して測定動作を実行し（ST8）、測定結果データを得て現在位置データを付加して基地局15に対して通報する（ST9）。なお、ST6～ST8の各動作が失敗した場合には、ST10に進んで測定失敗を通報する。

40

【0059】

以上のST2～ST10の内、測定失敗がない限り、ST2～ST9の動作を繰り返し実行する。

【0060】

上記ST3において、測定指示データが移動指示のみの場合、すなわち、領域D0の対象SOILER番号と領域D5の移動先位置データのみが送信されている場合には、ST3からST20に進む。このST20では、移動先位置が帰還エリア120（図2参照）か

50

、または整列エリア121かどうかを判定し、そうである場合にはST21において各エリアへ移動した後停止する。また、チェック用エリア122への移動の場合には、そのチェック用エリア122へ移動した後、チェック用PRB110に対する測定動作を実行し（ST23）、さらに、その測定結果データを基地局15に対して通報した後、その後に送られてくる校正指示データを受信してシステムパラメータを校正する（ST25）。移動先が、それ以外の位置の場合には、その指定された移動先位置まで移動し（ST26）、基地局に対して現在位置を通報して（ST27）、ST2に戻る。

【0061】

〔基地局の測定動作シーケンス〕

図18、図19は、基地局15の測定動作シーケンスを示すフローチャートである。

10

【0062】

基地局15では、最初に全てのPRB11の測定項目を決定し、図13に示す測定指示マップを作成する（ST30）。次に、全てのSOILER13と順次通信して現在位置を取得し、通信可能リストと可動リストを作成する（ST31）。通信可能リストは、通信可能なSOILER13のリストであり、可動リストは動作可能なSOILER13のリストである。通信可能SOILER13を順次チェック用エリア122に行くように指示する。すなわち、領域D5の移動先位置データをチェック用エリア122に設定した測定指示データを各SOILER13に対して送信する。この場合、チェック用エリア122に近いものから順に指示する。なお、チェック用エリア122に來れないSOILER13が存在するかもしれないので、所定時間内にチェック用エリア122に到着しないものは可動リストから削除する（ST33、ST34）。チェック用エリア122にいるSOILER13は、チェック用PRB110に対して測定動作を実行するために、その測定結果を受信し（ST35）、あらかじめ記憶されているチェック用PRB110に対する参照データと比較して、そのSOILER13のシステムパラメータの校正指示データを作成し（ST36）、当該SOILER13に対して送信する（ST37）。さらに、当該SOILER13に対して整列エリア121に移動するよう指示し（ST38）、通信可能リストにある全てのSOILER13に対して処理が終了していなければ、再びST32以下を繰り返す。

20

【0063】

図19のST50以下は、図17のSOILER13の測定動作におけるST1～ST9の通常の測定動作シーケンスに対応している。

30

【0064】

すなわち、ST50で通信可能SOILER13の現在位置データを受信し、その現在位置データと測定指示マップを基に、各SOILER13に対する測定指示データを作成する（ST51）。次に、通信可能SOILER13に対して、整列エリアにおいて農道12に近い位置のものから順に測定指示データを送信する（ST52）。

【0065】

全てのSOILER13に対する指示を終了すると（ST53）、一定時間後に各SOILER13からの測定結果データを受信する（ST54）。各SOILER13について測定が成功していれば、その測定結果のデータと現在位置データとを土壤マップファイルとして記憶し、全てのPRBに対する測定項目が終了していない限り、測定指示データを作成し、送信して（ST59、ST60）、再びST54以下を繰り返す。各SOILER13における測定動作が成功していく限り、以上のST50以下の動作が繰り返される結果、図15に示すような測定動作シーケンスが行われていく。なお、測定に失敗したSOILER13が存在した場合、すなわち、図17のST10において測定失敗を基地局15に対して通報したSOILER13が存在した場合は、失敗カウンタをインクリメントし（ST70）、そのカウンタ値が所定のしきい値TH1を超えれば、帰還エリア120への帰還を指示する（ST72）。また、そのSOILER13は使用不能として可動リストから削除する（ST73）。また、ST58で全てのPRBに対する測定動作が終了した場合にもST74において帰還指示を全SOILER13に対して送信する。

40

50

【0066】

SOILER13および基地局15の以上の測定動作シーケンスによって、基地局15は、SOILER13からの現在位置データおよび測定結果データを受信しながら順次測定指示データを作成、送信し、一方、SOILER13は、基地局15から時々刻々送られてくる測定指示データに基づいて上述の測定動作シーケンスを繰り返して行う。これにより、複数のSOILER13によって多数のPRB11に対する所定の測定動作を動的に行うことができるから、高効率の測定を短時間に実現することができる。

【0067】

なお、図2に示す例では、農道12を1本の道として表したが、格子状の農道であってもよい。また、チェック用エリア122を甫場の適当な位置に設けておくことによって、SOILER13をその位置で校正することにより、作業開始時に帰還エリア120まで戻さないようにすることもできる。また、本発明は、農場の土壌測定のみならず、ゴミ処分場や化学プラントの敷地のように、土壌汚染が心配される地域の土壌測定にも適用出来る。その場合、土壌測定用ツールでの電極棒や測定孔の深さは測定目的に応じた深さとされる。

【0068】

【発明の効果】

本発明を農業の土壌管理に適用した場合、甫場をマッピングして各区画ごとの土壌特性データを人手を介さずに自動的に簡単に測定して集積、分析することができるために、従来はほとんど不可能であった精密農業を実現できる。また、本発明の土壌測定用ツールは、土壌を採取するための構造を有するものでなく、測定用水を注入、回収し、また土壌インピーダンスを測定するための電極棒を含むだけであるために、構造が簡単であり且つ小型であるために、甫場面積に対する収穫率を悪くすることはなく、また、途中表面から上方に突出するような構造体でないために収穫等の作業を妨害することがない。また、ツール本体を土壌中で分解可能な材料で構成することによって、土壌の特性に悪影響を及ぼすこともない。

【0069】

本発明に係る土壌測定ロボットは、基地局からの測定指示データに基づいて、農道上の移動、測定用プローブと土壌測定用ツールとの嵌合、自動測定などをインテリジェントに行うために、土壌分析に必要な処理工程のほとんど全部を自動化する。また、本発明に係る土壌測定システムは、各土壌測定ロボットがどの土壌測定用ツールにアクセスして測定動作を行うかを、動的に行うために、非常に短時間で効率的に多数の地点で測定動作を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る精密農業システムの概要を示す図

【図2】 本発明の実施形態である精密農業システムの概略構成図

【図3】 土壌測定用ツールの構成図

【図4】 土壌測定用ツールの上面図

【図5】 測定用プローブの構成図

【図6】 (A)～(C)土壌成分測定概念図

【図7】 土壌のインピーダンス測定概念図

【図8】 土壌インピーダンスの測定形態を示す表

【図9】 土壌測定ロボットの外観図

【図10】 土壌測定ロボットの第1の機能ブロック図

【図11】 土壌測定ロボットの第2の機能ブロック図

【図12】 基地局の機能ブロック図

【図13】 測定指示マップ

【図14】 測定指示データのデータフォーマット

【図15】 各SOILERの測定動作シーケンスを示す図

【図16】 図15におけるSOILER番号1～3の測定指示データ

10

20

30

40

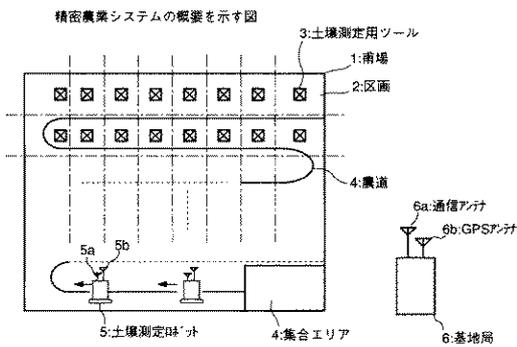
50

【図17】 SOILERの測定動作シーケンスを示すフローチャート

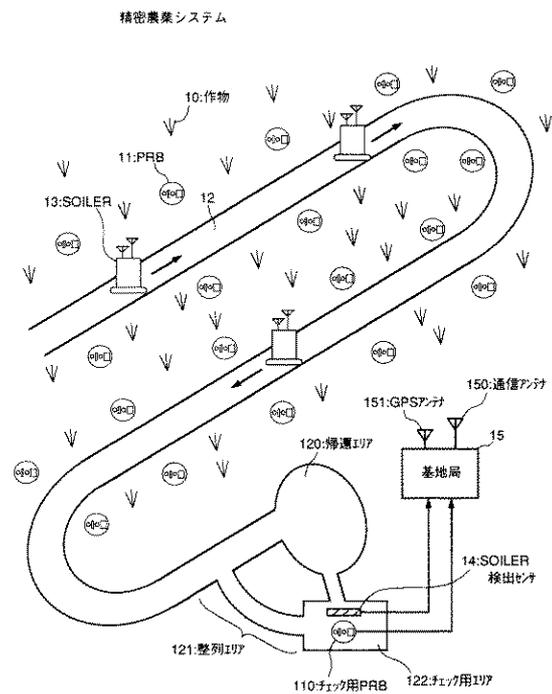
【図18】 基地局の測定動作シーケンスを示す第1のフローチャート

【図19】 基地局の測定動作シーケンスを示す第2のフローチャート

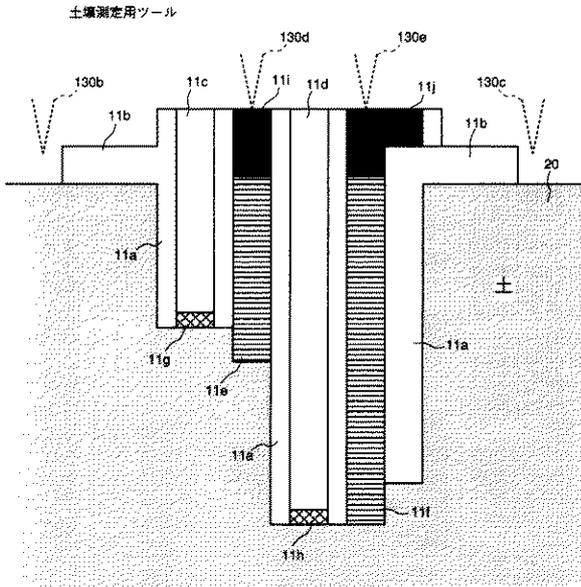
【図1】



【図2】

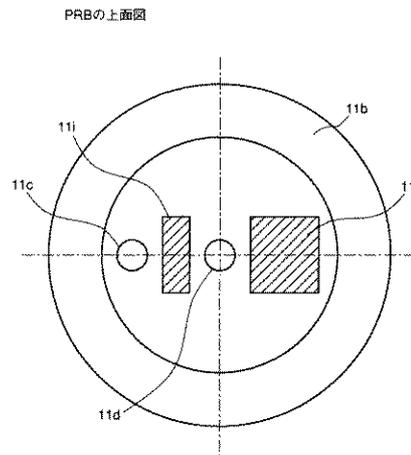


【図3】



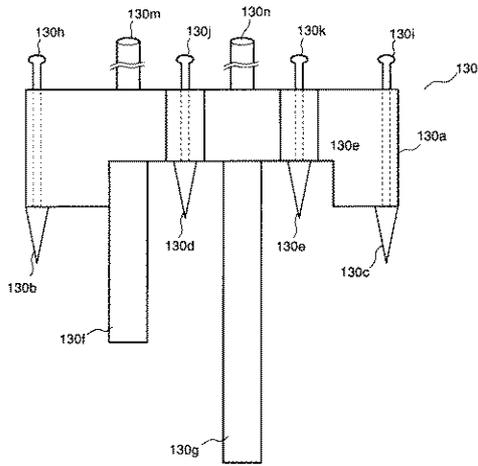
- 11c:測定孔1
- 11d:測定孔2
- 11b:ツバ部
- 11g:多孔体蓋部1
- 11h:多孔体蓋部2
- 11i:第1電極部
- 11j:第2電極部
- 11e:第1電極棒
- 11f:第2電極棒
- 11a:構造体(絶縁物)
- 炭素棒電極

【図4】



【図5】

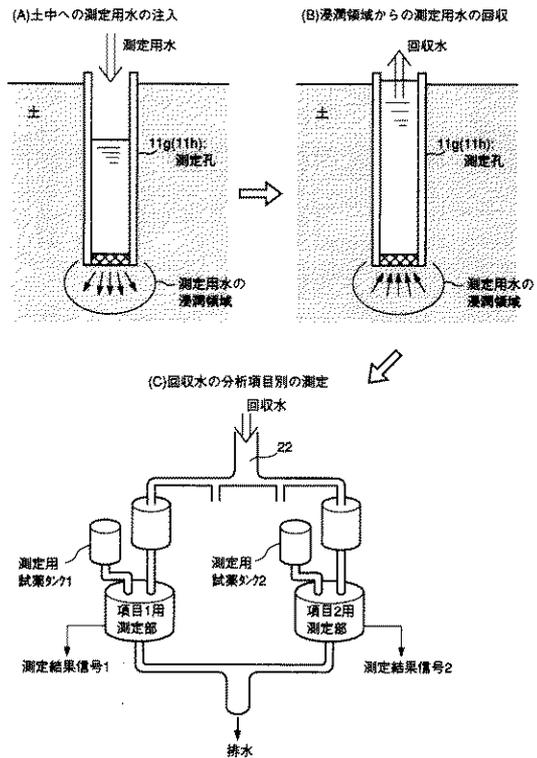
測定用プローブ



- 130b:アース用針型電極
- 130c:アース用針型電極
- 130b:土壌測定用ツールの第1電極部用の針型電極
- 130c:土壌測定用ツールの第2電極部用の針型電極
- 130d:土壌測定用ツールの測定孔1用の測定管1
- 130e:土壌測定用ツールの測定孔2用の測定管2
- 130i~130k:針型電極の出力端子
- 130m:測定管1用のチューブ
- 130n:測定管2用のチューブ

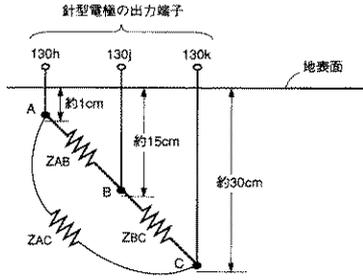
【図6】

土壌成分測定概念図



【図7】

土壌のインピーダンス測定概念図



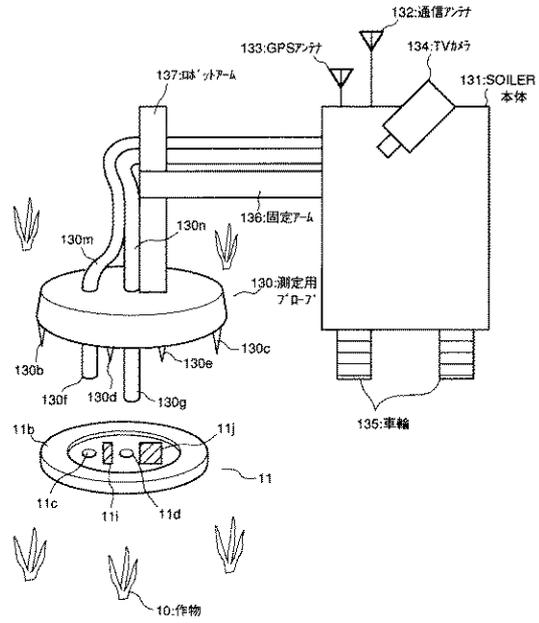
【図8】

土壌のインピーダンスの測定形態

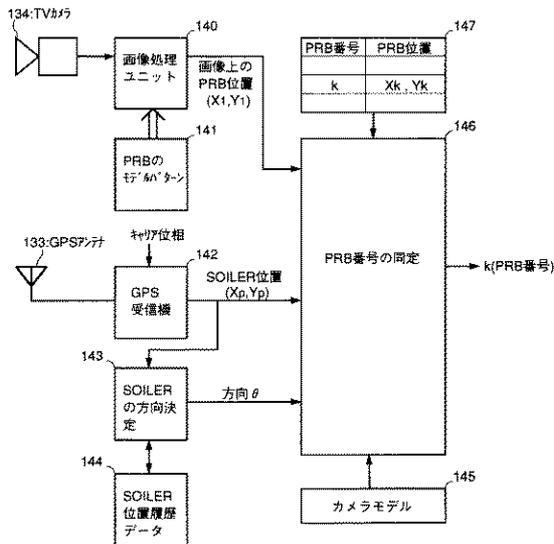
項目	測定用水の注入なし	測定孔11cから測定用水注入後10分	測定孔11dから測定用水注入後10分	電極に交流電圧印加(測定用水注入なし)
ZAB	ZAB1	ZAB2	ZAB3	ZAB4
ZBC	ZBC1	ZBC2	ZBC3	ZBC4
ZAC	ZAC1	ZAC2	ZAC3	ZAC4

【図9】

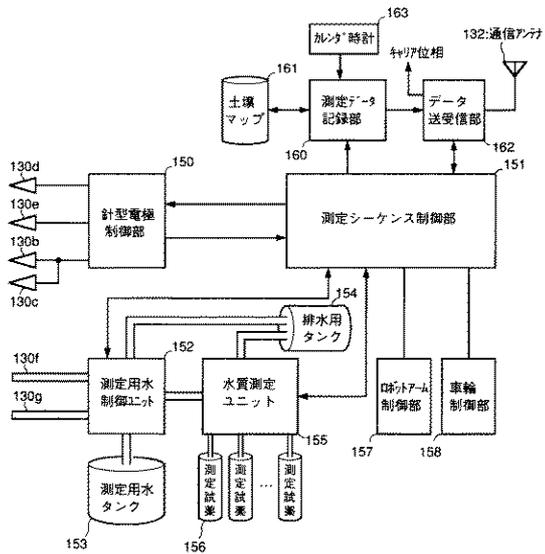
土壌測定ロボット



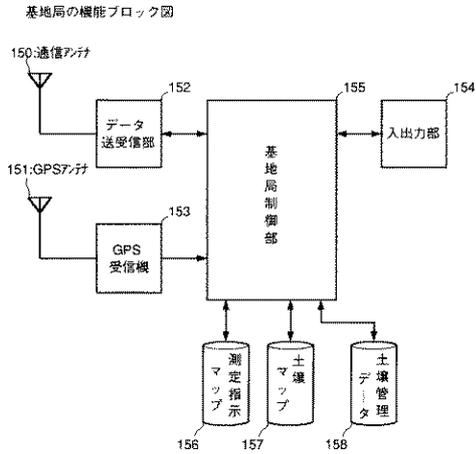
【図10】



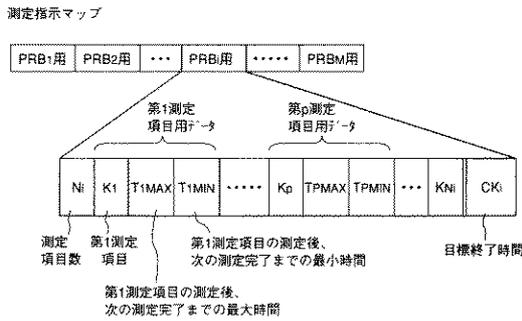
【図11】



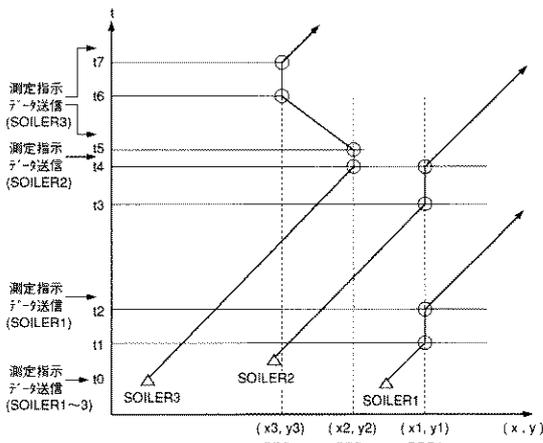
【図12】



【図13】



【図15】

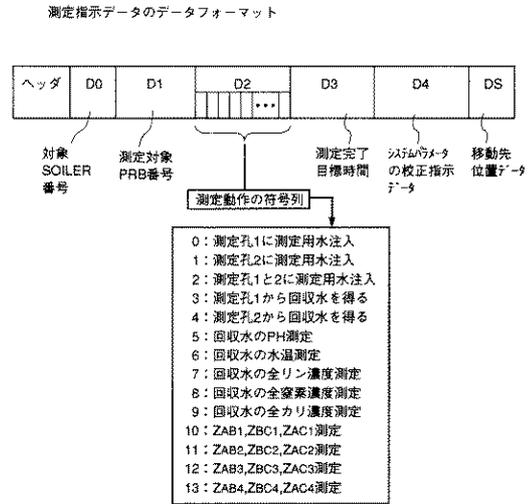


【図16】

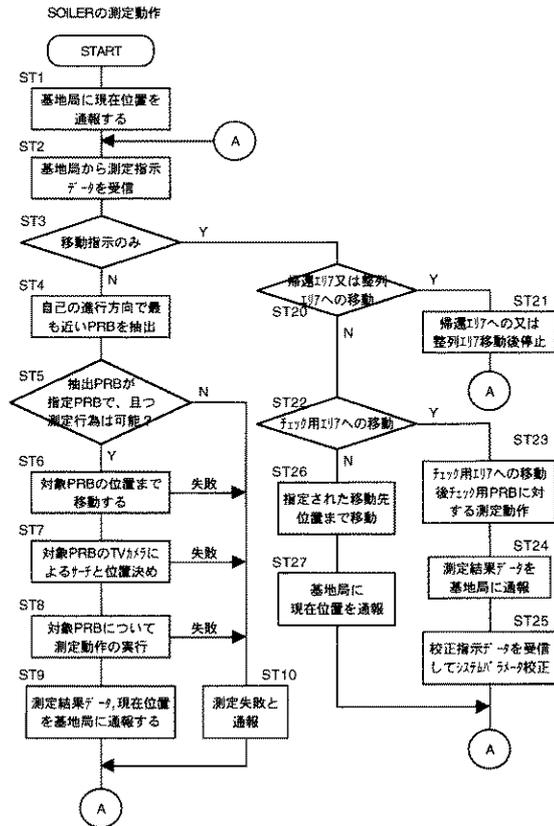
SOILER1	SOILER1	PRB1	水注入	t2	x1, y1
SOILER2	SOILER2	PRB1	水回収	t4	x1, y1
SOILER3	SOILER3	PRB0	イオン交換測定	t5	x2, y2

10での測定制示データ

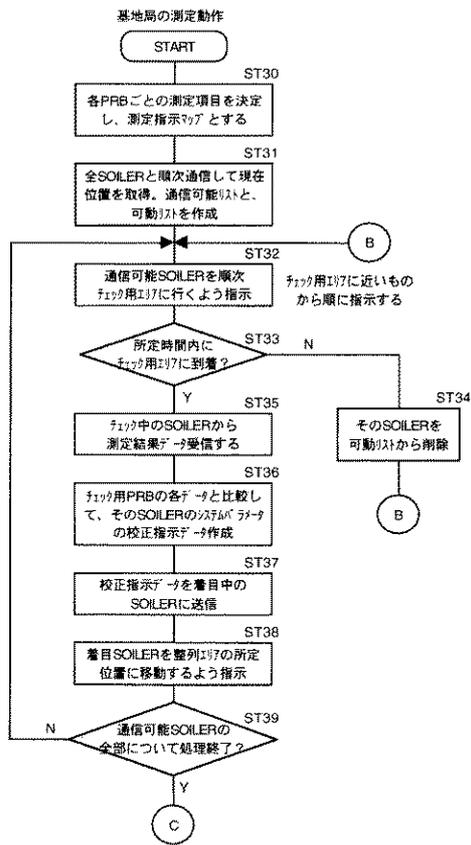
【図14】



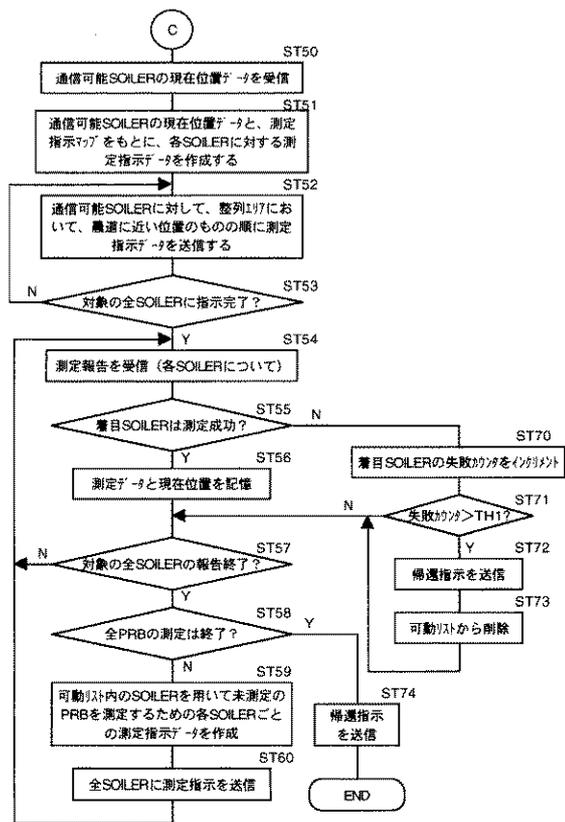
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

- (56) 参考文献 実開昭 4 9 - 0 6 8 9 9 5 (J P , U)
特公昭 4 4 - 0 0 5 4 7 9 (J P , B 1)
実開昭 6 2 - 0 9 7 9 5 0 (J P , U)
特開昭 5 5 - 0 2 3 4 8 4 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 0 5 7 4 9 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 3 2 1 9 1 (J P , A)

- (58) 調査した分野 (Int. Cl. ⁷ , DB 名)
G01N 27/00 - 27/24
G01N 33/24