

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-286461

(P2004-286461A)

(43) 公開日 平成16年10月14日(2004.10.14)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO 1 S 13/88	GO 1 S 13/88	5 J O 7 0
F 4 1 H 11/12	F 4 1 H 11/12	
GO 1 S 13/46	GO 1 S 13/46	
GO 1 V 3/12	GO 1 V 3/12	B

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2003-75573 (P2003-75573)
 (22) 出願日 平成15年3月19日 (2003.3.19)

(71) 出願人 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
 (74) 代理人 100097087
 弁理士 ▲高▼須 宏
 (72) 発明者 森山 敏文
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 株式会社富士通システム統合研究所内
 (72) 発明者 金山 敦司
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 株式会社富士通システム統合研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地中探知方法及び装置

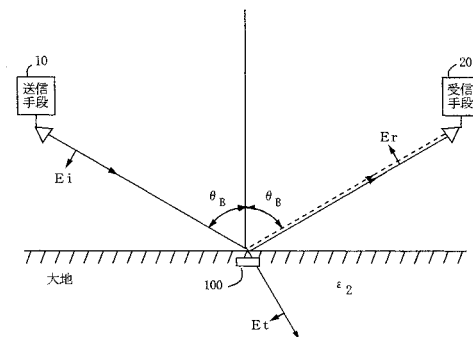
(57) 【要約】

【目的】 広範囲の地中に埋設された地雷等の金属物を短時間で安全・確実に探知可能なことを課題とする。

【構成】 レーダ信号の送信手段10及び受信手段20を大地の目標点に関して互いに略ブリュースター角 θ_B となる位置に配置し、前記送信手段10から目標点に向けて送信した入射面に平行な偏波 E_i についての大地からの反射波 E_r を前記受信手段20で受信すると共に、該受信手段20による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知する。

【選択図】 図1

本発明の原理を説明する図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

レーダ信号の送信手段及び受信手段を大地の目標点に関して互いに略ブリースター角となる位置に配置し、前記送信手段から目標点に向けて送信した入射面に平行な偏波についての大地からの反射波を前記受信手段で受信すると共に、該受信手段による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知することを特徴とする地中探知方法。

【請求項 2】

レーダ信号の送信手段及び受信手段を大地の目標点に関して互いに略ブリースター角となる位置に配置し、前記送信手段から目標点に向けて送信した入射面に平行な偏波についての大地からの反射波を前記受信手段で受信すると共に、該受信手段による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知する信号処理手段を備えることを特徴とする地中探知装置。

10

【請求項 3】

送信手段はパルス圧縮可能なレーダパルスを入射面と平行な方向にスキャンして送信すると共に、受信手段は前記送信手段に同期してパルス圧縮処理を行い、各受信パルスの信号振幅を時系列に検出し、信号処理手段は該検出された各信号振幅を時系列に比較することにより、入射面に平行な方向の地中探知を行うことを特徴とする請求項 2 記載の地中探知装置。

【請求項 4】

送信手段及び受信手段を入射面と垂直な方向に移動させつつ、信号処理手段は受信手段による受信信号を周波数分割して周波数毎の各受信信号振幅を時系列に比較することにより、入射面に垂直な方向の地中探知を行うことを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の地中探知装置。

20

【請求項 5】

送信手段及び又は受信手段は大地と垂直な方向に分散配置された複数のアンテナと、各アンテナの送信 / 受信信号を選択する選択手段とを備えることを特徴とする請求項 2 記載の地中探知装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

30

本発明は地中探知方法及び装置に関し、更に詳しくは、広範囲の地中に埋設された金属物（地雷等）の探知に適用して好適なるバイスタティック方式の地中探知方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、地中に埋設された金属物を検出する方法としては、レーダ波を利用すると共に、地表に送受信アンテナを近づけ、電波エコーの戻ってくる時間や信号強度から調べる方法が知られている。また、地中を探查する形態としては、人が金属探知装置を携帯して探查する方法や、車両に金属探知装置を搭載して探查することが行われる。

【0003】

40

係る状況の下、従来は、入射角 i で路面に入射する垂直偏波（入射面に平行な偏波）の反射がブリースター角を境にして逆位相になることを利用し、路面による反射と地中のレーンマーカ（Al 金属）による反射とを区別するものが知られている（特許文献 1）。以下、これを具体的に説明する。

【0004】

図 9 は従来技術を説明する図で、図 9 (A) に大地の断面図を示す。図において、今、路面（土壌）の比誘電率 ϵ_2 （例えば 5）とすると、入射面に平行な垂直偏波 E_i が入射角 i （= 反射角 r ）で入射するときの路面の反射率 R は (1) 式で与えられる。

【0005】

【数 1】

50

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} = \frac{-\cos\theta_i + \frac{1}{\sqrt{\epsilon_2}} \sqrt{1 - \frac{1}{\epsilon_2} \sin^2\theta_i}}{\cos\theta_i + \frac{1}{\sqrt{\epsilon_2}} \sqrt{1 - \frac{1}{\epsilon_2} \sin^2\theta_i}} \quad (1)$$

【0006】

ブリュースター角 θ_B は、反射率 $\Gamma = 0$ となる時の入射角と定義され、(2)式で与えられる。

10

【0007】

【数2】

$$\theta_i = \tan^{-1} \sqrt{\epsilon_2} \quad (2)$$

【0008】

図9(B)に入射角 θ_i に対する反射率 Γ のグラフ図を示す。今、路面の比誘電率 $\epsilon_2 = 5$ とすると、反射率 Γ の符号はブリュースター角 $\theta_B = 66^\circ$ を境にして、図示の如く正から負に変化する。一方、地中のレーンマーカ(金属)の反射率 $\Gamma = -1$ はブリュースター角とは関係なく常に $\Gamma = -1$ である。

20

【0009】

特許文献1では、この性質を利用し、円偏波の入射角 θ_i をブリュースター角 θ_B よりも小さくなるように維持すると共に、路面中にレーンマーカが埋設されていない場所では反射波の旋回方向(位相)が反転せず、また路面中にレーンマーカ(金属)が埋設されている場所では反射波の旋回方向(位相)が反転することにより、路面の反射と区別して地中のレーンマーカを検出できる、とするものである。

【0010】

【特許文献1】

特開平10-103964号公報(段落「0016」、図1、図3)。

30

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、上記特許文献1の金属探知方式によると、レーンマーカ(金属)が埋設されている場所では、路面からの正位相の反射波とレーンマーカからの負位相の反射波とが合波されるため、路面の状況(湿潤/乾燥等)や両干渉波の位相差によっては受信波の振幅が小さくなり、レーンマーカの検出に悪影響を与える問題がある。

【0012】

本発明は上記従来技術の問題点に鑑みなされたもので、その目的とする所は、広範囲の地中に埋設された地雷等の金属物を短時間で安全・確実に探知可能な地中探知方法及び装置を提供することにある。

40

【0013】

【課題を解決するための手段】

上記の課題は例えば図1の構成により解決される。即ち、本発明(1)の地中探知方法は、レーダ信号の送信手段10及び受信手段20を大地の目標点に関して互いに略ブリュースター角 θ_B となる位置に配置し、前記送信手段10から目標点に向けて送信した入射面に平行な偏波 E_i についての大地からの反射波 E_r を前記受信手段20で受信すると共に、該受信手段20による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知するものである。

【0014】

図において、今、送信手段10より入射面に平行なレーダ波 E_i を大地の状態(比誘電率

50

2) に応じたプリュースター角 θ_B で目標点に入射すると、該レーダ波 E_i は地中 (E_t) の側に全透過するため、地中に金属が無い場所では受信手段 20 の側に向かう反射波は生じないが、地中に金属 100 がある場所では、該金属 100 による反射波 E_r が受信手段 20 で検出される。この関係は、大地の状態 (比誘電率 ϵ_2) に応じたプリュースター角 θ_B が維持される限りは成り立つため、よって大地の状態によらず金属の有無を確実に判定可能となる。

【0015】

本発明 (2) の地中探知装置は、レーダ信号の送信手段及び受信手段を大地の目標点に関して互いに略プリュースター角となる位置に配置し、前記送信手段から目標点に向けて送信した入射面に平行な偏波についての大地からの反射波を前記受信手段で受信すると共に、該受信手段による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知する信号処理手段を備えるものである。

10

【0016】

本発明 (3) では、上記本発明 (2) において、送信手段はパルス圧縮可能なレーダパルスを入射面と平行な方向にスキャンして送信すると共に、受信手段は前記送信手段に同期してパルス圧縮処理を行い、各受信パルスの信号振幅を時系列に検出し、信号処理手段は該検出された各信号振幅を時系列に比較することにより、入射面に平行な方向の地中探知を行うものである。

【0017】

本発明 (3) によれば、パルス圧縮可能なレーダパルスを入射面と平行な方向にスキャンして送信すると共に、その各反射波をパルス圧縮し、時系列に検出することにより、目標点を中心とする入射面に平行な方向の所定領域を細分割して効率よく探知できる。また、検出された各信号振幅を時系列に比較することにより、金属が埋設されているか否かの状態を的確に検出できる。

20

【0018】

本発明 (4) では、上記本発明 (2) 又は (3) において、送信手段及び受信手段を入射面と垂直な方向に移動させつつ、信号処理手段は受信手段による受信信号を周波数分割して周波数毎の各受信信号振幅を時系列に比較することにより、入射面に垂直な方向の地中探知を行うものである。

【0019】

本発明 (4) によれば、送信手段及び受信手段を入射面と垂直な方向に移動させることで、目標点を中心とする入射面に垂直な方向の所定領域に照射されたレーダ波は $\pm f d$ のドブラシフトを受ける。この状態で、信号処理手段は受信信号を周波数分割して周波数毎の各受信信号振幅を時系列に比較することにより、目標点を中心とする入射面に垂直な方向の所定領域を細分割して効率よく探知できる。

30

【0020】

本発明 (5) では、上記本発明 (2) において、送信手段及び又は受信手段は大地と垂直な方向に分散配置された複数のアンテナと、各アンテナの送信/受信信号を選択する選択手段とを備えるものである。

【0021】

本発明 (5) によれば、大地と垂直な方向に複数のアンテナを分散配置し、必要に応じてこれらを切り替えることにより、大地の状況 (比誘電率) が多少変化しても、送信手段及び又は受信手段を移動させるまでも無く、アンテナの選択を変えるだけで、的確な地中探査を行える。

40

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面に従って本発明に好適なる複数の実施の形態を詳細に説明する。なお、全図を通して同一符号は同一又は相当部分を示すものとする。

【0023】

図2は実施の形態によるバイスタティック地中探査装置のブロック図で、図において、1

50

0 はパルス圧縮可能なレーダ信号を送信する送信ユニット、20 は大地（地中）で反射したレーダ信号を受信しパルス圧縮を行う受信ユニット、30 は該受信されたレーダ信号を解析処理して地中の目標物（地雷100等）を検出する信号処理ユニット、40 は該検出された目標物のマーカを画面にBスコープ（2次元表示）で表示する情報処理ユニットである。

【0024】

送信ユニット10は、該ユニット10の主制御を行う送信制御部11と、パルス圧縮レーダ機能を有するレーダ送信部12と、大地に対して垂直偏波（入射面に平行な偏波）となるレーダ信号を射出する送信アンテナ13と、ジャイロなどを使用して送信ユニット10についての3次元位置、速度、加速度、動揺（姿勢）等の情報を検出する慣性航法部14と、後述の受信ユニット20との間で測定の制御や同期を取るための各種情報のやりとりを行うデータ通信部15と、その送受信アンテナ16とを備える。なお、送信ユニット10の3次元絶対位置の検出はディファレンシャルGPS（Global Positioning System）等を利用した受信機により行ってもよい。

10

【0025】

パルス圧縮レーダ機能としては、例えば10GHz±50MHzの範囲で直線状に周波数変調（チャープ）したレーダ信号波を射出し、受信側で周波数対遅延時間特性を有する回路で数nsのパルスに圧縮し、急峻なインパルス状態にすることで、レーダパルスの高い送信電力と、高い距離分解能を得ている。

【0026】

受信ユニット20は、該ユニット20の主制御を行う受信制御部21と、大地（地中を含む）で反射したレーダ信号を受信するレーダ受信部22と、受信したレーダ波をパルス圧縮するパルス圧縮部22aと、大地に対して垂直偏波となるレーダ信号を受信する受信アンテナ23と、ジャイロなどを使用して受信ユニット20についての3次元位置、速度、加速度、動揺（姿勢）等の情報を検出する慣性航法部24と、前記送信ユニット10との間で測定の制御や同期を取るための各種情報のやりとりを行うデータ通信部25と、その送受信アンテナ26とを備える。

20

【0027】

信号処理ユニット30は、レーダ受信波の合成開口処理を行う合成開口処理部32と、処理後のレーダ信号に基き地中の地雷100等を検出する地中検知処理部33とを備える。

30

【0028】

合成開口処理としては、本レーダ装置（送受信ユニット10, 20等）が入射面と垂直な方向に高速で移動（飛行）することを利用して、該飛行方向に高い角度分解能が得られるところの所謂ビームシャープニング技術を利用している。ビームシャープニング技術としては、レーダ装置の移動に伴って時系列に得られる各レーダ受信信号を合成処理することで、飛行方向に細いビーム幅のレーダ信号を送出したと同等の角度分解能を得る方法、あるいは、レーダ装置の移動に伴ってレーダ受信波に含まれるドプラシフト成分を細分化して各周波数成分を解析することにより、飛行方向に細いビーム幅のレーダ信号を送出したと同等の角度分解能を得る方法を採用できる。

【0029】

そして、情報処理ユニット40は、地中探査結果についての画像処理を行うワークステーション41と、その表示部41aと、地図情報を格納しているデータベース（DB）42と、オペレータが操作をするマウス等のポインティングデバイス（PD）43とを備える。

40

【0030】

以上の構成により、好ましくは、2つの飛行体（有人/無人のヘリコプター等）に必要な機能ユニットのみをそれぞれ搭載し、目標エリアの上空を走査するように飛行することで、広範囲の地中に埋設された地雷100を能率よく安全に探査する。

【0031】

図3は実施の形態による地中探知原理を説明する図で、図3(A)にレーダ波の入射面に

50

平行な面の断面図を示す。図において、レーダ信号の送信アンテナ 1 3 及び受信アンテナ 2 3 を大地の目標点に関してそれぞれ入射角 i 及び反射角 $r (= i)$ となる位置に配置し、送信アンテナ 1 3 から送信した入射面に平行な偏波（垂直偏波）を受信アンテナ 2 3 で受信する状態を考える。

【0032】

挿入図 (a) に大地の典型的な状態における比誘電率 ϵ_2 の例を示す。大地の比誘電率 ϵ_2 は、池や水溜りでは $\epsilon_2 = 81$ 程度であり、また土壌の場合は、乾燥状態では $\epsilon_2 = 4 \sim 6$ 程度、また湿潤状態では $\epsilon_2 = 15 \sim 30$ 程度となることが知られている。

【0033】

大地の反射率 R は、上記 (1) 式に示した如く入射角 i 及び大地の比誘電率 ϵ_2 の関数であり、図 3 (B) にいくつかの典型的な例について計算した結果のグラフ図を示す。該図の横軸は入射角 i 、縦軸は反射率の絶対値 $|R|$ である。ブリュースター角 θ_B は、上記 (2) 式に示した如く比誘電率 ϵ_2 の関数であり、土壌が乾燥状態か湿潤状態かによってブリュースター角 θ_B は略 $55^\circ \sim 80^\circ$ の範囲で変化することがわかる。

【0034】

今、例えば入射角 $i = 30^\circ$ 一定のところに着目すると、反射率 $|R|$ が略 $0.2 \sim 0.8$ と変化するため、金属 ($|R| = 1$) との識別が困難となるが、本実施の形態による地中探査では、レーダ信号の送受信間で、常に大地の状態 (比誘電率 ϵ_2) に応じたブリュースター角 θ_B が常に維持されるため、地中の金属 (地雷) 100 の有/無を確実に判別可能となる。以下、実施の形態による複数の地中探査動作を具体的に説明する。

【0035】

図 4, 図 5 は第 1 の実施の形態による地中探査動作を説明する図 (1)、(2) で、広範囲の地中を 2 次元的に探査する場合の基本的な構成を示している。図 4 (A) にレーダ波の入射面に垂直な面の断面図を示す。飛行体 A には送信ユニット 10 を搭載し、飛行体 B には受信ユニット 20、信号処理ユニット 30 及び情報処理ユニット 40 を搭載する。飛行体 A, B は、最初は地中探査領域の典型的 (平均的) な状態 (比誘電率 ϵ_2) に応じたブリュースター角となるように配置 (操縦) されるが、その後は、飛行体 A, B 間のデータ通信機能及び慣性航法機能を利用することで、飛行体 A, B の位置, 姿勢が各目標点の状態に応じたブリュースター角に維持されるように、操縦 (又は自動操縦) される。以下、探査動作を具体的に説明する。

【0036】

図 4 (A) において、a 1 はレーダ信号の送信アンテナ (図 2 の送信アンテナ 1 3 に相当) であり、この例では電子走査アンテナ (フェーズドアレイアンテナ) を採用すると共に、レーダ信号のパルス圧縮技術とフェーズドアレイアンテナの電子走査技術とを併用することで、入射面に平行な方向についての細かいビーム幅のレーダパルス信号を生成している。飛行体 A は、各送信パルスの入射角 i を、その時点のブリュースター角 θ_B を中心にして $j (< \theta_B) \sim k (> \theta_B)$ の範囲内でスキャンして送信すると共に、飛行体 B ではパルス圧縮された各レーダパルスの受信信号を時分割で処理する。これによって、入射面に平行な方向の探査幅 h に渡る領域を n 個の小領域幅 (数十 cm ~ 数 m 程度) に細分化し、時分割で効率よく探知処理できる。

【0037】

挿入図 (a) に 1 回の探査幅 h に対応する受信信号振幅のグラフ図を示す。地雷 100 の無い場所では、ブリュースター角 θ_B のところで反射率 $|R|$ が最小 (図の点線で示す) となるため、飛行体 B は現在の自己の位置とブリュースター角 θ_B との関係を認識できる。また、この角度情報を逐次飛行体 A にフィードバックすることで、飛行体 A, B は常に自己のブリュースター角 θ_B を維持できる。そして、この状態で、もし地雷 100 に遭遇すると、その点で受信信号の振幅が大きくなるため、こうして地雷 100 の存在を鮮明に検出できる。

【0038】

図 4 (B) に飛行体 A, B を上空から見た大地の平面図を示す。上記探査幅 h の検出を行

いながら、飛行体 A , B が入射面と垂直な方向に飛行することで、1回の測定につき探査長 v の領域の探知を同時に行う。以下、具体的に説明する。

【0039】

今、飛行体 A , B が地雷 100 の真横を通過しているとすると、地雷 100 の前後に分散するレーダビームはドブラシフトを受ける。レーダビーム S_i の中心周波数 $f_i = f_0$ とすると、レーダビーム S_1 の周波数 $f_1 = f_0 + f_d$ 、レーダビーム S_m の周波数 $f_m = f_0 - f_d$ となる。 f_d は各ビームが受けるドブラ周波数である。合成開口処理部 32 では、レーダ受信信号のドブラシフト成分をドブラフィルタ等により細分化・分離して各周波数成分の振幅を求めることにより、1回の探査領域長 v を m 個の小領域長 (数十 cm ~ 数 m 程度) に細分化し、地雷の有/無を能率よく判定可能となる。更に、この図 4 (B) の探査方法と上記図 4 (A) の探査方法と組み合わせることで、1回の測定につき $n \times m$ 個の小領域の地中探査を効率よく行える。

10

【0040】

挿入図 (b) にレーダビーム S_1 / S_m の受信信号振幅を示す。経路 S_1 / S_m には地雷 100 が存在しないため、中間における反射波の振幅が小さい。なお、この振幅パターンは現在のプリュースター角の確認に利用できる。挿入図 (c) にレーダビーム S_i の受信信号振幅を示す。経路 S_i には地雷 100 が存在するため、中間で反射波の振幅が大きくなっている。

【0041】

図 5 は地雷探査の表示画面を示す図で、飛行中の飛行体 B 中で表示する場合を示している。予めワークステーション 41 に探査領域の地図情報を表示し、予定領域の地雷探査を行う。好ましくは、最初は地図上の P1 点から探査開始して Q1 点で探査終了する。その際には、飛行体 A , B の絶対位置の正確な検出は GPS を利用できる。また、飛行体 A , B の操縦は、慣性航法制御情報をもとに、操縦士が行っても良いし、自動操縦を併用しても良い。

20

【0042】

好ましくは、地雷 100 の検出により表示画面 41 a 上に例えば 印をリアルタイムで表示する。また、検出結果が不確定の場合には例えば 印をリアルタイムで表示する。オペレータは、他に利用できる様々な状況データ (地上の視覚データ等) をもとに総合的に判断し、例えばカーソル C で 印を指示し、これを 印に変えることも、逆にカーソル C で 印を指示し、これを 印に変えることも可能である。次に飛行体 A , B を回転させて Q2 点から探査開始して P2 点で探査終了する。以下、同様にして進み、こうして予定の P10 / Q10 点までの広範囲な地中探査を効率よく安全に行える。

30

【0043】

図 6 , 図 7 は第 2 の実施の形態による地中探査動作を説明する図 (1) , (2) で、少なくとも受信ユニット 20 が複数の受信アンテナ $b_1 \sim b_3$ を備える場合を示している。プリュースター角は大地の状態 (比誘電率 ϵ_2) により微妙に変化するため、これに素早く対応したい。しかし、これに飛行体 A , B の操縦で対処するには限界があるため、本実施の形態では少なくとも受信ユニット 20 の側に例えば 3 つ受信アンテナ $b_1 \sim b_3$ を大地と垂直となる方向に分散配置し、各時点の大地のプリュースター角 θ_B に対応した最適の受信アンテナ b_1 , b_2 又は b_3 の使用を電子的に選択可能となっている。好ましくは、送信ユニット 10 の側にも送信アンテナ $a_1 \sim a_3$ を分散配置し、これらを電子的に選択可能とする。

40

【0044】

図 6 (A) は大地のプリュースター角がそれまでより広がったため、飛行体 B の位置が相対的に高くなった場合を示している。このとき、受信アンテナ b_1 の受信振幅は中間部で最小となっており、新たなプリュースター角に対応している。これに対して、それまで使用していた受信アンテナ b_2 の受信振幅はその最小となる点が中央よりも少し右方向にずれており、新たなプリュースター角よりも狭い角度に位置している。更に、受信アンテナ b_3 は受信アンテナ b_2 よりも更に狭い角度に位置しているため、受信振幅が最小となる

50

点が認められない。この場合は、それまで使用していた受信アンテナ b 2 の選択を受信アンテナ b 1 の使用に切替える。

【 0 0 4 5 】

更に、飛行体 B はこの角度に関する情報を飛行体 A に通知する。この通知を受けた送信ユニット 1 0 では、自己の慣性航法処理部 1 4 によって、それまでの送信ユニット 1 0 が例えばそれまでの受信ユニット 2 0 と同じ 3 次元位置に居たことを認識できるから、上記受信ユニット 2 0 におけると同様にして、それまで使用していた送信アンテナ a 2 の選択を送信アンテナ a 1 の使用に切替える。更にまた、上記飛行体 B で検出された角度に関する情報に基き、飛行体 A , B の飛行高度を変更しても良い。

【 0 0 4 6 】

図 6 (B) は上記とは逆に大地のプリュースター角がそれまでより狭くなったため、飛行体 B の位置が相対的に低くなった場合を示している。このとき、受信アンテナ b 3 の受信振幅は中間部で最小となっており、新たなプリュースター角に対応している。これに対して、それまで使用していた受信アンテナ b 2 の受信振幅はその最小となる点が中央よりも少し左方向にずれており、新たなプリュースター角よりも広い角度に位置している。更に、受信アンテナ b 1 は受信アンテナ b 2 よりも更に広い角度に位置しているため、受信振幅が最小となる点が認められない。この場合は、それまで使用していた受信アンテナ b 2 の選択を受信アンテナ b 3 の使用に切替える。以下、上記と同様である。こうして、大地のプリュースター角の変動によらず、常に最適の条件下で地中探査が行える。

10

【 0 0 4 7 】

上記の機能は飛行体 A , B の飛行状態 (高度) が微妙に変動した場合にも有効に働く。図 7 (A) は飛行体 B の高度がそれまでよりも高くなった場合を示している。このとき、受信アンテナ b 1 の受信振幅は中間部で最小となっており、飛行体 B の新たな高度に対応している。これに対して、それまで使用していた受信アンテナ b 2 の受信振幅はその最小となる点が中央よりも少し右方向にずれており、現時点のプリュースター角よりも狭い角度に位置している。更に、受信アンテナ b 3 は受信アンテナ b 2 よりも更に狭い角度に位置しているため、受信振幅が最小となる点が認められない。この場合は、それまで使用していた受信アンテナ b 2 の選択を受信アンテナ b 1 の使用に切替える。

20

【 0 0 4 8 】

更に、飛行体 B はこの角度に関する情報を飛行体 A に通知する。この通知を受けた送信ユニット 1 0 では、自己の慣性航法処理部 1 4 によって、それまで維持してきた送信アンテナ a 2 のプリュースター角 (即ち、飛行体 A の高度) には変更がないことを認識できるから、それまで使用していた送信アンテナ a 2 の選択をそのまま維持する。

30

【 0 0 4 9 】

図 7 (B) は上記とは逆に飛行体 B の高度がそれまでよりも低くなった場合を示している。このとき、受信アンテナ b 3 の受信振幅は中間部で最小となっており、飛行体 B の新たな高度に対応している。これに対して、それまで使用していた受信アンテナ b 2 の受信振幅はその最小となる点が中央よりも少し左方向にずれており、現時点のプリュースター角よりも広い角度に位置している。更に、受信アンテナ b 1 は受信アンテナ b 2 よりも更に広い角度に位置しているため、受信振幅が最小となる点が認められない。この場合は、それまで使用していた受信アンテナ b 2 の選択を受信アンテナ b 3 の使用に切替える。以下、上記と同様である。こうして、飛行体 A , B の高度の変動によらず、常に最適の条件下で地中探査が行える。

40

【 0 0 5 0 】

なお、飛行体 A , B はそれぞれにプリュースター角 θ_B をなす線の延長上にあればよく、必ずしも高度が一致しなくても良いことは明らかである。この場合に、地雷 1 0 0 などの危険物を探査する場合には目標点から十分な距離をとって探索し、また単なる金属やその他の埋設物を探査する場合には、目標点に近づいて探知深度や探知精度 (分解能) を上げることが可能である。

【 0 0 5 1 】

50

図 8 は第 3 の実施の形態による地中探査動作を説明する図で、飛行体 A , B にそれぞれ送受信ユニット 10 , 20、信号処理ユニット 30 及び情報処理ユニット 40 からなるフルセットを搭載し、同一の目標点につき、入射面に平行な一方向と、その逆方向から複数回の地中探査を瞬時に切替えて行うことにより、地中探査の信頼性が向上する場合を示している。

【 0052】

まず、図 8 (A) に示す如く、あるタイミングで飛行体 A から目標点に向けてレーダパルスを送信すると共に、飛行体 B では地中からの反射波を受信・解析して 1 回分の地中探査を行う。次に、図 8 (B) に示す如く、飛行体 B から同一の目標点に向けてレーダパルスを送信すると共に、飛行体 A で地中からの反射波を受信・解析して 1 回分の地中探査を行う。上記 1 回分の地中探査は、飛行体 A , B の飛行速度に比べて十分に短い時間で行えるため、実質同一の目標点に対して左右から 2 度の地中探査を行え、よって探査の信頼性が向上する。

10

【 0053】

なお、上記実施の形態では、異なる飛行体 A , B に地中探査装置を分散配備し、かつこれらの協働によって地中探査を行ったが、これに限らない。探査対象が爆発物でないような場合には、地中探査装置を単一の飛行体に搭載し、目標領域に十分に接近して地中探査を行ってもよい。この場合は、地中探査装置を、飛行体以外の様々な移動手段（自動車等）に搭載して地中探査を行ってもよい。

【 0054】

更には、測定中には探知データを表示しないで、レーダ受信信号のみを取得し、メモリに蓄積し、後に基地でレーダ解析しても良い。又は、レーダ受信信号を飛行体で解析処理するのではなく、遠隔の基地に無線送信し、該基地で解析処理しても良い。

20

【 0055】

また、上記実施の形態では、地中の金属（地雷等）を探査する場合を述べたが、これに限らない。他にも、地中の比誘電率が大きく異なる地層等、レーダ波を反射するものであれば何でも本発明の探査対象となり得る。

【 0056】

また、上記実施の形態では、パルス圧縮レーダへの適用例を示したが、これに限らない。本発明の地中探査原理は連続するレーダ波で地中探査を行う場合にも適用可能である。

30

【 0057】

また、上記実施の形態では、レーダ波の入射面に平行な偏波（直線偏波）を送受信する場合を述べたが、これに限らない。入射面に平行な偏波成分を有するものであるならば、円偏波を直線偏波に変換するポラライザを用いることにより円偏波のレーダ波を送受信してもよい。

【 0058】

また、上記本発明に好適なる複数の実施の形態を述べたが、本発明思想を逸脱しない範囲内で各部の構成、制御、処理及びこれらの組み合わせの様々な変更が行えることは言うまでも無い。

【 0059】

（付記 1）レーダ信号の送信手段及び受信手段を大地の目標点に関して互いに略ブリュースター角となる位置に配置し、前記送信手段から目標点に向けて送信した入射面に平行な偏波についての大地からの反射波を前記受信手段で受信すると共に、該受信手段による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知することを特徴とする地中探知方法。

40

【 0060】

（付記 2）レーダ信号の送信手段及び受信手段を大地の目標点に関して互いに略ブリュースター角となる位置に配置し、前記送信手段から目標点に向けて送信した入射面に平行な偏波についての大地からの反射波を前記受信手段で受信すると共に、該受信手段による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知する信号処理手段を備え

50

ることを特徴とする地中探知装置。

【0061】

(付記3) 各飛行体に送信手段及び受信手段の双方を搭載し、同一の目標点に対してレーダ信号の送信位置と受信位置を切り替えることにより複数回探知することを特徴とする付記3記載の地中探知方法。従って、広範囲にわたる効率のよい地中探査が行えると共に、検出の信頼性が向上する。

【0062】

(付記4) レーダ信号の送信手段及び受信手段を大地の目標点に関して互いに略プリュースター角となる位置に配置し、前記送信手段から送信した入射面に平行な偏波を前記受信手段で受信すると共に、該受信手段による受信信号の振幅が所定以上であることにより地中の目標物を探知する信号処理手段を備えることを特徴とする地中探知装置。

10

【0063】

(付記5) 送信手段はパルス圧縮可能なレーダパルスを入射面と平行な方向にスキャンして送信すると共に、受信手段は前記送信手段に同期してパルス圧縮処理を行い、各受信パルスの信号振幅を時系列に検出し、信号処理手段は該検出された各信号振幅を時系列に比較することにより、入射面に平行な方向の地中探知を行うことを特徴とする付記4記載の地中探知装置。

【0064】

(付記6) 受信手段の3次元位置を検出する受信位置検出手段を更に備え、信号処理手段は各検出された信号振幅が減少から上昇に転じる時点の受信位置を目標点に関するプリュースター角と認識することを特徴とする付記5記載の地中探知装置。従って、地中の金属等を確実に検出できると共に、受信手段が現在プリュースター角上にいるか否かを容易に把握できる。

20

【0065】

(付記7) 送信手段の3次元位置を検出する送信位置検出手段を更に備え、送信手段は信号処理手段が認識したプリュースター角に従って該送信手段からの送信電波を目標点に関するプリュースター角上に維持することを特徴とする付記6記載の地中探知装置。従って、レーダ波の送信手段及び受信手段を共に現在のプリュースター角上に容易に誘導し、維持できる。

【0066】

(付記8) 送信手段及び受信手段を入射面と垂直な方向に移動させつつ、信号処理手段は受信手段による受信信号を周波数分割して周波数毎の各受信信号振幅を時系列に比較することにより、入射面に垂直な方向の地中探知を行うことを特徴とする付記4又は5記載の地中探知装置。

30

【0067】

(付記9) 送信手段及び又は受信手段は大地と垂直な方向に分散配置された複数のアンテナと、各アンテナの送信/受信信号を選択する選択手段とを備えることを特徴とする付記4記載の地中探知装置。

【0068】

(付記10) 探査領域の地図データを表示する表示手段と、信号処理手段により探知された目標物の像を前記表示された地図上に重ね合わせて表示する情報処理手段とを備えることを特徴とする付記6記載の地中探知装置。従って、金属(地雷等)の分布状況を把握しやすくなり、その後の地雷等の除去作業を効率よく行える。

40

【0069】

【発明の効果】

以上述べた如く本発明によれば、広範囲の地中に埋設された地雷等の金属物を短時間で安全・確実に探知可能となり、金属探査の能率向上に寄与するところが極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の原理を説明する図である。

【図2】実施の形態によるバイスタティック地中探査装置のブロック図である。

50

【図 3】実施の形態による地中探知原理を説明する図である。

【図 4】第 1 の実施の形態による地中探査動作を説明する図 (1) である。

【図 5】第 1 の実施の形態による地中探査動作を説明する図 (2) である。

【図 6】第 2 の実施の形態による地中探査動作を説明する図 (1) である。

【図 7】第 2 の実施の形態による地中探査動作を説明する図 (2) である。

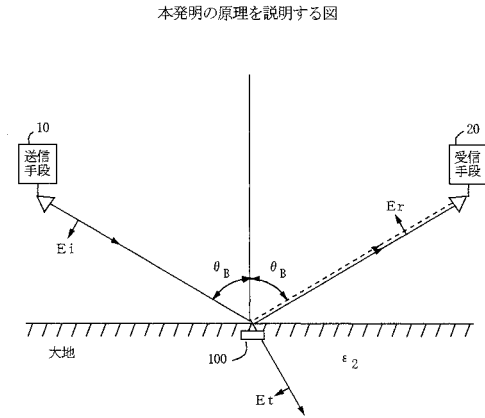
【図 8】第 3 の実施の形態による地中探査動作を説明する図である。

【図 9】従来技術を説明する図である。

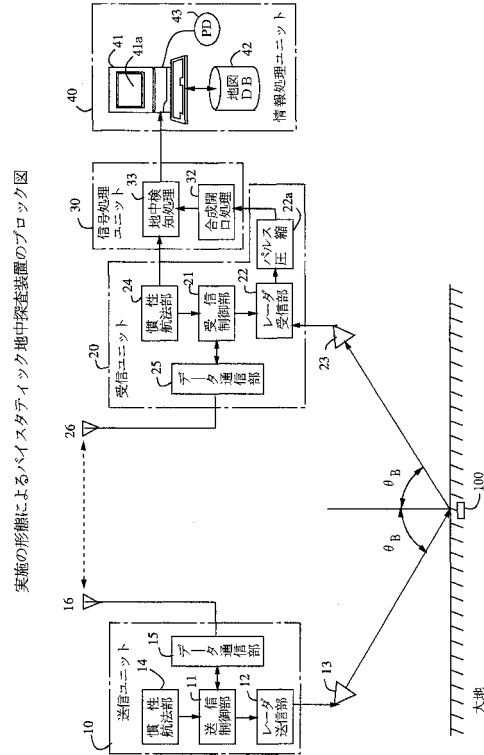
【符号の説明】

1 0	送信ユニット	
1 1	送信制御部	10
1 2	レーダ送信部	
1 3	送信アンテナ	
1 4	慣性航法部	
1 5	データ通信部	
1 6	送受信アンテナ	
2 0	受信ユニット	
2 1	受信制御部	
2 2	レーダ受信部	
2 2 a	パルス圧縮部	
2 3	受信アンテナ	20
2 4	慣性航法部	
2 5	データ通信部	
2 6	送受信アンテナ	
3 0	信号処理ユニット	
3 2	合成開口処理部	
3 3	地中検知処理部	
4 0	情報処理ユニット	
4 1	ワークステーション	
4 1 a	表示部	
4 2	地図データベース (D B)	30
4 3	ポインティングデバイス (P D)	
1 0 0	地雷 (金属)	

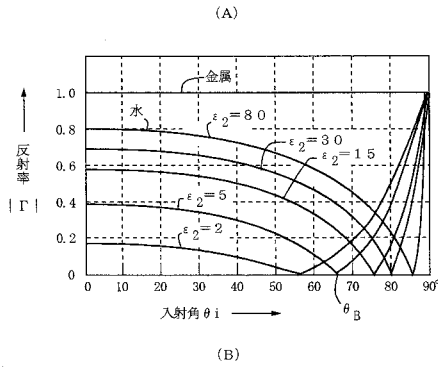
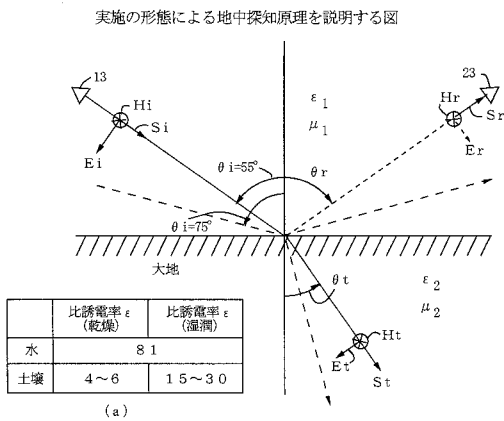
【 図 1 】



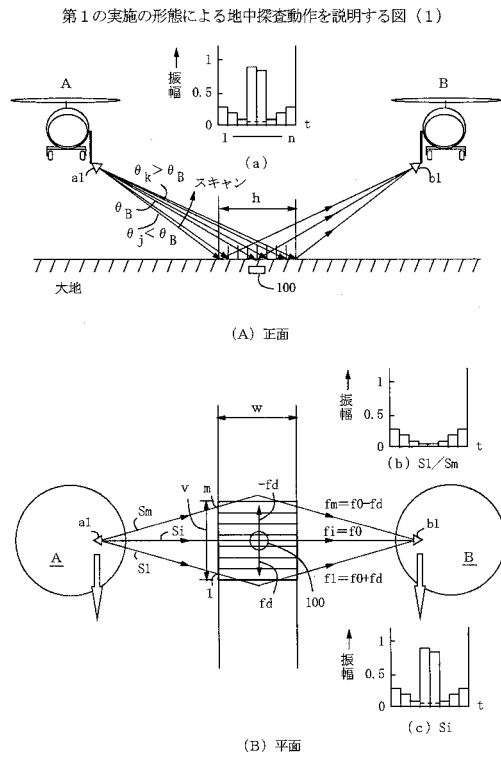
【 図 2 】



【 図 3 】

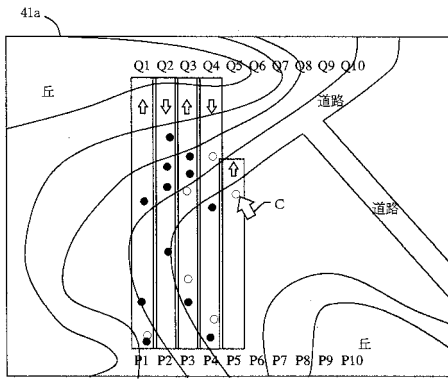


【 図 4 】



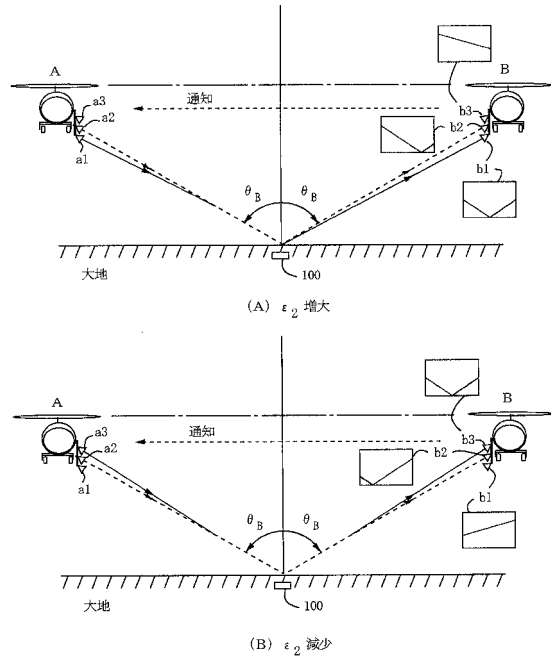
【 図 5 】

第1の実施の形態による地中探査動作を説明する図(2)



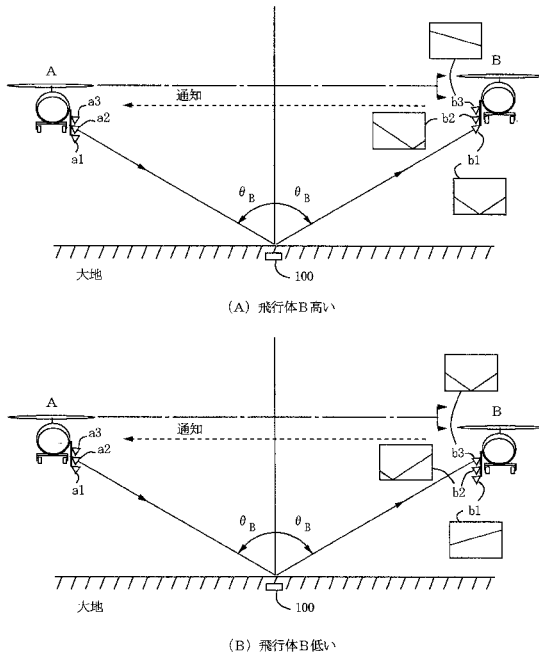
【 図 6 】

第2の実施の形態による地中探査動作を説明する図(1)



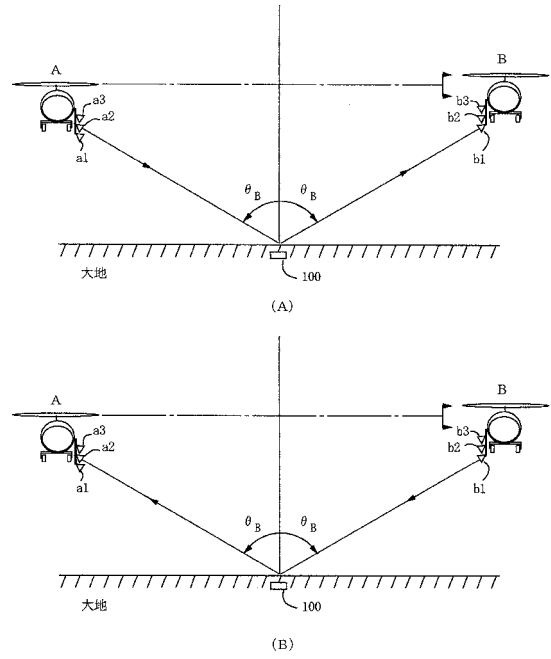
【 図 7 】

第2の実施の形態による地中探査動作を説明する図(2)



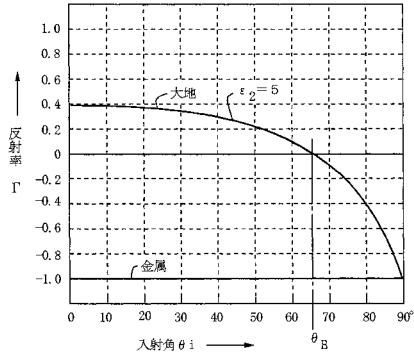
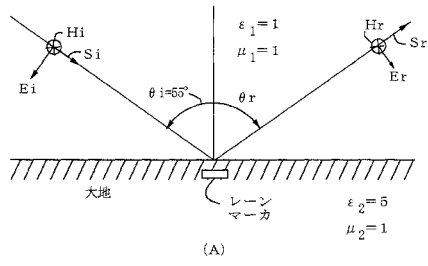
【 図 8 】

第3の実施の形態による地中探査動作を説明する図



【 図 9 】

従来技術を説明する図



フロントページの続き

(72)発明者 三好 壮人

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 株式会社富士通システム統合研究所内

(72)発明者 増田 順二

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 株式会社富士通システム統合研究所内

Fターム(参考) 5J070 AB01 AB08 AC01 AC03 AD02 AE11 AE20 AF06 AF10 AH14

AH15 AH36 AH50 AK14 AK15 AK22 AK28 AK37 BG09