(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3582616号
(P3582616)
(45)発行日　平成16年10月27日(2004.10.27)　(24)登録日　平成16年8月6日(2004.8.6)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
G01S 13/88	G01S 13/88	G
G01V 3/12	G01V 3/12	B

請求項の数 2　(全 10 頁)

(21)出願番号　特願平7-186021
(22)出願日　平成7年7月21日(1995.7.21)
(65)公開番号　特開平9-33648
(43)公開日　平成9年2月7日(1997.2.7)
審査請求日　平成14年5月31日(2002.5.31)

(73)特許権者　393019931
コマツエンジニアリング株式会社
東京都港区赤坂２丁目３番６号
(73)特許権者　000230973
日本工営株式会社
東京都千代田区麹町５丁目４番地
(74)代理人　100071054
弁理士　木村　高久
(72)発明者　金光　保雄
神奈川県平塚市四ノ宮１１４４－１　コマツエンジニアリング株式会社内
(72)発明者　太田　資郎
東京都千代田区麹町５－４　日本工営株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】レーダの電波伝搬速度推定装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
送信すべきインパルス信号を生成する送信器と、この送信器で生成されたインパルス信号を媒質中に送信する送信アンテナと、この放射波を受信する受信アンテナと、この受信アンテナの受信信号を入力する受信器とを具え、前記受信器の出力に基づき媒質中の電波伝搬速度を推定するレーダの電波伝搬速度推定装置において、
前記送信器と送信アンテナとの間に設けられ、送信器からのインパルス信号を分配する電力分配器と、
この第１の電力分配器の一方の出力端と前記送信アンテナを結ぶ所定長さＬ１の第１のケーブルと、
前記受信アンテナの出力端に接続される所定長さＬ２の第２のケーブルと、
前記第１の電力分配器の他方の出力端に接続される所定長さ（Ｌ１＋Ｌ２－ΔＬ）の第３のケーブルと、
前記第３のケーブルを介して伝搬されるインパルス信号と前記第２のケーブルを介した受信アンテナの受信出力とを合成し、その合成信号を前記受信器に入力する電力合成器と、
前記受信器に入力された電力合成器の出力に基づき、合成信号中の第１番目の受信波と第２番目の受信波の受信時点を求め、これらの受信時点を用いて前記媒質中での電波伝搬速度を演算する電波伝搬速度測定手段と、
を具えるレーダの電波伝搬速度推定装置。
【請求項２】

前記電波伝搬速度測定手段は、送信アンテナと受信アンテナ間の距離をＤ、前記ケーブル中の電波伝搬速度をＶｃ、前記第１番目の受信波の受信時点をＴｒ、前記第２番目の受信波の受信時点をＴ１とした場合、前記媒質中での電波伝搬速度Ｖｇを次式
Ｖｇ＝Ｄ／｛（Ｔ１－Ｔｒ）－ΔＬ／Ｖｃ｝
によって演算することを特徴とする請求項１記載のレーダの電波伝搬速度推定装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
この発明は電磁波を地中等の媒質中に放射し、その反射波を受信することによって媒質中の状況を調査するレーダに関し、特に送信アンテナから受信アンテナへの直接波によって媒質中の電波伝搬速度を精度良く測定可能なレーダの電波伝搬速度推定装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
レーダ方式を用いて媒質中の状況を調査するためには、媒質の誘電率に応じてその値が異なる電波伝搬速度をできるだけ正確に推定する必要があり、各種の方式が提案されている。
【０００３】
例えば、地中埋設物のように局所的に存在するものを調べる場合は、電磁波を送信してから物標からの反射波が受信されるまでの時間を複数の探査位置で測定することにより電波伝搬速度を推定することができる。
【０００４】
また、地層のように面的な広がりを持つものを調べる場合は、例えば特公平６－１６１１６号公報に示されるように、送信アンテナから受信アンテナに直接伝わる直接波を測定することにより、電波伝搬速度を推定することができる。
【０００５】
図４は、かかる直接波測定によって電波伝搬速度の推定を行う従来の地中レーダを示すもので、送信器１で生成されたインパルス状の電気エネルギーは送信アンテナ２に送られそこで電波エネルギーに変換されて地中に放射される。放射された電波エネルギーのうち一部は受信アンテナ４で直接受信され（直接波）、また残りは地中の物標３や異物などで反射されて受信アンテナ４で受信される（反射波）。そして、これらの直接波および反射波は受信アンテナ４で再び電気エネルギーに変換されて受信器５に送られる。
【０００６】
図５は、上記直接波および反射波のモデル化された波形を示すものであり、最初に直接波が受信されその後で反射波が受信される。
【０００７】
上記構成において、送信アンテナ２および受信アンテナ４間の距離Ｄは既知であるので、送信アンテナ２から電波が送信された時点Ｔ０から、受信アンテナ４で直接波が受信された時点Ｔ１までの時間ΔＴ１を測定することができれば、電波伝搬速度Ｖｇ（＝Ｄ／ΔＴ１）を計算する事ができる。
【０００８】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら上記従来方式において、受信アンテナ４で直接波が受信された時点Ｔ１は、受信された反射波の波形から測定することができるが、送信アンテナ２から電波が送信された時点Ｔ０は、同様の手法では測定することができず、通常は送信器１での電波発信時点を時刻Ｔ０としている。
【０００９】
このように従来技術では、時刻Ｔ０を受信出力によってではなく決めているので、電子回路系の温度変化などによる時間軸の変動（原点の位置ズレ）が生じると、それが全て時間ΔＴ１の測定誤差になってしまう。実際、送受信アンテナ間の距離Ｄはそれほど長くはないので、測定すべき時間ΔＴ１は数ｎｓｅｃ程度であり、また前述した時間軸の変動もこ

れとほぼ同じオーダーの数ｎｓｅｃ程度であるので、この従来手法によって電波伝搬速度を推定することは殆ど不可能であった。

【００１０】

この発明はかかる実情に鑑みてなされたもので、送受信アンテナ間の電波伝搬時間を精度良く測定できるようにして、正確な直接波を用いた電波伝搬速度の推定をなし得るレーダの電波伝搬速度推定装置を提供することを目的とする。

【００１１】

【課題を解決するための手段】

この発明では、送信すべきインパルス信号を生成する送信器と、この送信器で生成されたインパルス信号を媒質中に送信する送信アンテナと、この放射波を受信する受信アンテナと、この受信アンテナの受信信号を入力する受信器とを具え、前記受信器の出力に基づき媒質中の電波伝搬速度を推定するレーダの電波伝搬速度推定装置において、前記送信器と送信アンテナとの間に設けられ、送信器からのインパルス信号を分配する電力分配器と、この第１の電力分配器の一方の出力端と前記送信アンテナを結ぶ所定長さＬ１の第１のケーブルと、前記受信アンテナの出力端に接続される所定長さＬ２の第２のケーブルと、前記第１の電力分配器の他方の出力端に接続される所定長さ（Ｌ１＋Ｌ２－ΔＬ）の第３のケーブルと、前記第３のケーブルを介して伝搬されるインパルス信号と前記第２のケーブルを介した受信アンテナの受信出力とを合成し、その合成信号を前記受信器に入力する電力合成器と、前記受信器に入力された電力合成器の出力に基づき、合成信号中の第１番目の受信波と第２番目の受信波の受信時点を求め、これらの受信時点を用いて前記媒質中での電波伝搬速度を演算する電波伝搬速度測定手段とを具えるようにする。

【００１２】

かかる発明によれば、長さ（Ｌ１＋Ｌ２－ΔＬ）の第３のケーブルで接続された電力分配器と電力合成器とを設け、送信すべきインパルス信号の一部をこの第３のケーブルを介して受信器側に伝搬する。受信器側の電力合成器は、この第３のケーブルを介して入力された受信波（基準波と呼ぶ）と、送受信アンテナを介して受信された直接波とを合成し、この合成波を受信器に入力する。

【００１３】

この合成波においては、その電波伝搬距離（Ｌ１＋Ｌ２－ΔＬ）が短い基準波が最初に現れ、その後電波伝搬距離がＬ１＋Ｌ２＋Ｄである直接波が現れる。Ｄは送受信アンテナ間の距離である。

【００１４】

ここで、媒質中での電波伝搬速度Ｖｇは、上記距離Ｄを上記送受信アンテナ間の電波伝搬所要時間ΔＴｄで割る（Ｖｇ＝Ｄ／ΔＴｄ）ことにより求めることができる。

【００１５】

一方、基準波が受信された時点をＴｒ、直接波が受信された時点をＴ１とすると、基準波が受信されてから直接波が受信されるまでの時間（Ｔ１－Ｔｒ）中には、電波が距離（Ｄ＋ΔＬ）だけ伝搬されたことになる。なぜならば、基準波の伝搬距離は（Ｌ１＋Ｌ２－ΔＬ）で、直接波の伝搬距離は（Ｌ１＋Ｌ２＋Ｄ）であるので、これらの差（Ｄ＋ΔＬ）が時間（Ｔ１－Ｔｒ）中での電波伝搬距離になるからである。

【００１６】

他方、ケーブル中での電波伝搬速度Ｖｃは予め知ることができるので、ケーブル中を距離ΔＬだけ伝搬するのに要する時間ΔＴＬは、距離ΔＬを速度Ｖｃで割る（ΔＬ／Ｖｃ）ことによって求めることができる。

【００１７】

したがって、媒質中での電波伝搬速度Ｖｇは下式によって求める事ができる。

【００１８】

$$Vg=D/\Delta Td$$
$$=D/\{(T1-Tr)-\Delta TL\}$$
$$=D/\{(T1-Tr)-\Delta L/Vc\}$$

上式中のＴ１－Ｔｒは、実際の受信波形に基づいて求めることができ、かつその値は両時点の差であるので、たとえ時間軸の変動が生じてもその値自体が影響される事はない。

【００１９】

【発明の実施の形態】

以下この発明の実施例を添付図面に従って詳細に説明する。

【００２０】

図１はこの発明を地中レーダに適用した実施例を示すもので、先の図４に示した従来技術に対して、電力分配器６、長さＬの送信ケーブル７、長さ２Ｌ－ΔＬの基準波ケーブル８、長さＬの受信ケーブル９、電力合成器１０および演算装置２０を追加するようにしている。各ケーブル７、８、９は、例えば同軸ケーブルを用いている。送受信アンテナ間の距離はＤとする。

【００２１】

図１において、送信器１で生成されたインパルス状の電気信号は電力分配器６で分配され、そのごく一部は長さ（２Ｌ－ΔＬ）の基準波ケーブル８を通って電力合成器１０に至る。なお、基準波ケーブルを通って電力合成器１０に入力される電気信号を基準波と呼ぶことにする。

【００２２】

また、前記電力分配器６で分配された大部分の電気信号は長さＬの送信ケーブル７を通って送信アンテナ２に送られ、送信アンテナ２で電波エネルギーに変換された後、地中に放射される。放射された電波のうちの一部は地中の地表面近くを経由して受信アンテナ４で直接受信され（直接波）、またその一部は地中の物標３や異物などで反射されて受信アンテナ４で受信される（反射波）。これら直接波及び反射波は受信アンテナ４で再び電気信号に変換された後、長さＬの受信ケーブルを通って電力合成器１０に送られる。電力合成器１０では、基準波ケーブル８を介して入力された基準波と受信アンテナ４を介して受信された直接波および反射波とを合成して、受信器５に送る。演算装置２０は、受信器５に入力された基準波および直接波の合成波に基づいて地中での電波伝搬速度Ｖｇを演算する。

【００２３】

係る構成においては、基準波は長さ２Ｌ－ΔＬの基準波ケーブルを介して電力合成器１０に入力される。また、直接波は長さＬの送信ケーブル７を伝搬した後、地中を送受信アンテナ２、４間の距離Ｄだけ伝搬し、さらに長さＬの受信ケーブル９を伝搬して電力合成器１０に入力される。さらに、反射波は長さＬの送信ケーブル７を伝搬した後、地中に放射され、物標３で反射された後受信アンテナ４で受信され、その後長さＬの受信ケーブル９を伝搬して電力合成器１０に入力される。

【００２４】

図２は、上記基準波、直接波および反射波のモデル化された合成波形を示すものであり、この場合は、説明の便宜上、送信時点を座標原点にとっている。なお、実際の受信波形では送信時点が座標原点となることはない。

【００２５】

図２において、最も電波伝搬距離（２Ｌ－ΔＬ）の短い基準波が最初に現れ、次に電波伝搬距離が２Ｌ＋Ｄである直接波が現れ、最後に反射波が現れる。そして、基準波が受信された時点をＴｒ、直接波が受信された時点をＴ１、反射波が受信された時点をＴ２とする。

【００２６】

ここで、基準波が受信されてから直接波が受信されるまでの時間（Ｔ１－Ｔｒ）中には、

電波が距離（Ｄ＋ΔＬ）だけ伝搬されたことになる。なぜならば、基準波の伝搬距離は（２Ｌ－ΔＬ）で、直接波の伝搬距離は（２Ｌ＋Ｄ）であるので、これらの差（Ｄ＋ΔＬ）が時間（Ｔ１－Ｔｒ）中での電波伝搬距離になるからである。

【００２７】

一方、地中での電波伝搬速度Ｖｇは、下式のようにして求めることができる。

【００２８】

$$Vg=D/\Delta Td$$

ΔＴｄ：送受信アンテナ間の電波伝搬所要時間

…（1）

また、図２において、直接波を受信した時点Ｔ１を基準にして、送受信アンテナ間の電波伝搬所要時間ΔＴｄだけ前の時点を時刻Ｔｓとすると、上記（１）式は下式のようになる。

【００２９】

Ｖｇ＝Ｄ／Ｔ１－Ｔｓ　　…（２）

ここで、前述したように、基準波が受信されてから直接波が受信されるまでの時間（Ｔ１－Ｔｒ）中には、電波が距離（Ｄ＋ΔＬ）だけ伝搬される。したがって、上記（２）式のＴ１－Ｔｓを求めるためには（距離Ｄは既知）、（Ｔ１－Ｔｒ）から電波が距離ΔＬ伝搬されるに要する時間ΔＴＬを減算すればよい。

【００３０】

したがって、上記（２）式は次のように変形することができる。

【００３１】

$$Vg=D/\{(T1-Tr)-\Delta TL\}$$
$$=D/\{(T1-Tr)-(Ts-Tr)\}$$

…（3）

他方、ケーブル中での電波伝搬速度Ｖｃは予め知ることができるので、ケーブル中を距離ΔＬだけ伝搬するのに要する時間ΔＴＬは、次式によって求めることができる。

【００３２】

ΔＴＬ＝ΔＬ／Ｖｃ　　…（４）

したがって、地中での電波伝搬速度Ｖｇは下式のようになる。

【００３３】

Ｖｇ＝Ｄ／｛（Ｔ１－Ｔｒ）－ΔＬ／Ｖｃ｝…（５）

この（５）式の中で、Ｄ，ΔＬ，Ｖｃは定数であるので、基準波が受信された時点Ｔｒと直接波が受信された時点Ｔ１との差（Ｔ１－Ｔｒ）を求めることにより、地中での電波伝搬速度Ｖｇを求めることができる。

【００３４】

図１の演算装置２０においては、受信器５の出力波形に基づき、基準波と直接波のピーク点又はゼロクロス点を検出することにより、各波形の受信時点Ｔｒ、Ｔ１を求めた後、（Ｔ１－Ｔｒ）を演算する。そして、演算装置２０では、この演算結果（Ｔ１－Ｔｒ）を先の（５）式に代入することにより、地中での電波伝搬速度Ｖｇを演算する。

【００３５】

係る実施例によれば、電波伝搬速度の計算に用いるパラメータ値を全て受信波形に基づいて求めることができるので、電子回路の温度変動などによって時間軸の変動（原点ズレ）が生じても、上記パラメータ値は変動せず、精度の良い電波速度の推定をなし得る。

【００３６】

なお、ケーブルの長さＬは有効探査時間範囲Ｔｅｆｆを考慮して設定する。すなわち、広帯域に亘って送受信アンテナ２，４、電力分配器６および電力合成器１０のインピーダン

スマッチングをとることは不可能なので、ケーブルの両端では必ず反射が生じる。これらの反射波が信号波に重ならないようにするためには、。ケーブルの長さを下式（５）を満足するように長くすればよい。

【００３７】

Ｌ≧０．５×Ｖｃ×Ｔｅｆｆ

Ｖｃ；ケーブル中の電波伝搬速度Ｖｃ

Ｔｅｆｆ；実際に有効な信号波が返ってくる時間範囲

また、値ΔＬは基準波と直接波を分離できる値を採用する。

【００３８】

また、上記の例では、送信ケーブル７と受信ケーブル９は同じ長さＬとしたが、これらを異なる長さＬ１、Ｌ２とするようにしてもよく、その場合は基準波ケーブル８の長さをＬ１＋Ｌ２－ΔＬとすればよい。

【００３９】

図３は、この発明をトンネルの覆工コンクリート巻厚測定用レーダに適用した例を示すものである。

【００４０】

トンネルの維持管理を目的としてトンネル内のコンクリート巻厚をレーダによって測定しようとする試みがなされているが、コンクリート巻厚を測定するためには、コンクリート中の電波伝搬速度を推定する必要がある。このために、従来は、所々にボーリング孔を空けてコンクリート巻厚を実測していた。これでは、時間と手間がかかる上に実測点以外のコンクリート巻厚値の精度に関しては期待できない。

【００４１】

これを解決したのが図３の実施例である。

【００４２】

図３において、３３は地山、３４はトンネルのコンクリート覆工である。

【００４３】

計測車３０の車上には、ダンパー３２が付設されたアンテナアーム３１が突出され、その先端に広帯域化されたダイポール型アンテナで構成される送信アンテナ２および受信アンテナ４が設けられている。アンテナアーム３１の先端には、コンクリート覆工３４の表面を接触走査可能なように複数のコマ（束輪）が設けられている。また、アンテナアーム３１中には、テフロン製の同軸ケーブルから成る送信ケーブル（長さＬ）７、受信ケーブル（長さＬ）９を配線している。

【００４４】

計測車３０の内部には、例えばパルス幅１ｎｓのインパルス信号を発生する送信器１、電力分配器６、長さ２Ｌ－ΔＬの基準波ケーブル８、電力合成器１０、サンプリングオシロスコープのサンプリング部に増幅器を付設した受信器５、各種データ処理の他に先の（５）式による電波伝搬速度推定演算を実行する信号処理器３６、計測車の走行距離を計測する距離計３７、受信合成波形等を表示する表示器３８、受信信号や電波伝搬速度推定演算結果などを例えば磁気記録する記録器３９などが備えられている。

【００４５】

かかる構成においても、送信器１で生成されたインパルス状の電気信号は電力分配器６で分配され、その一部は長さ（２Ｌ－ΔＬ）の基準波ケーブル８を通って基準波として電力合成器１０に至る。

【００４６】

また、前記電力分配器６で分配された残りは長さＬの送信ケーブル７を通って送信アンテナ２に送られ、送信アンテナ２で電波エネルギーに変換された後、コンクリート覆工中に放射される。放射された電波のうちの一部はコンクリート覆工表面近くを経由して直接波として受信アンテナ４で受信され、またその一部はコンクリート覆工３４と地山３３の境界で反射されて反射波として受信アンテナ４で受信される。これら直接波および反射波は受信アンテナ４で再び電気信号に変換された後、長さＬの受信ケーブルを通って電力合成

器１０に送られる。電力合成器１０では、基準波ケーブル８を介して入力された基準波と受信アンテナ４を介して受信された直接波および反射波とを合成して、受信器５に送る。

【００４７】

信号処理器３６では、受信器５の出力波形に基づき、基準波と直接波のピーク点又はゼロクロス点を検出することにより、各波形の受信時点Ｔｒ、Ｔ１を求めた後（図２参照）、（Ｔ１－Ｔｒ）を演算し、この演算結果（Ｔ１－Ｔｒ）を先の（５）式に代入することにより、コンクリート覆工３４中での電波伝搬速度Ｖｇを演算する。

【００４８】

さらに、信号処理器３６は、前記算出したコンクリート覆工３４中での電波伝搬速度Ｖｇと、反射波が受信されるまでの時間（図２、Ｔ２参照）を用いて、コンクリート覆工３４の巻厚を測定する。

【００４９】

係るコンクリート覆工の巻厚測定は、計測車３０を走行させながら、所定の距離間隔で連続的かつリアルタイムに行われ、その測定データは距離計３７の測定データに対応付けられて記録器３９に記憶蓄積される。

【００５０】

このように、図３の実施例では、従来のようにボーリング孔を空けてコンクリート覆工の巻厚を実測する必要はなく、計測車３０をトンネル内で走行させるだけで巻厚測定を行うことができるので、巻厚測定作業の効率を飛躍的に向上させる事ができる。また、その計測処理はコンクリート中の誘電率に依存するコンクリート内の電波伝搬速度を測定して行うので、巻厚計測を精度良く行うことができる。

【００５１】

なお、本発明は地層やコンクリート層などのように面的に広がったものを測定する場合に特に有効であるが、埋設物探査のような局所的な探査に利用するようにしても良い。

【００５２】

【発明の効果】

以上説明したようにこの発明によれば、送信器と受信器とをケーブルで接続し、送信するインパルス信号の一部をこのケーブルを介して受信器に伝搬させ、該ケーブルを介して受信された基準波および送受信アンテナを介して受信された直接波の受信時刻差を求め、この受信時刻差を用いて媒質中の電波伝搬速度を求めるようにしたので、電波伝搬速度の計算に用いる変数値を全て受信波形に基づいて求めることができ、電子回路の温度変動などによって時間軸の変動（原点ズレ）が生じても、上記受信時刻差は変動せず、従来難しいとされていた直接波による電波伝搬速度の推定を高精度に行えるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図１】この発明の実施例を示す図。

【図２】受信合成波形を示す図。

【図３】この発明をトンネルの覆工コンクリート巻厚測定用レーダに適用した場合を示す図。

【図４】従来技術を示す図。

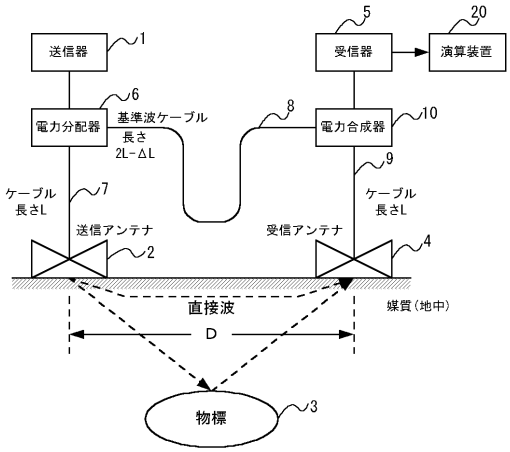
【図５】従来技術の受信波形を示す図。

【符号の説明】

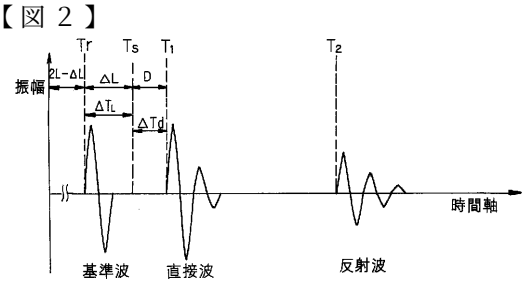
１…送信器
２…送信アンテナ
３…物標
４…受信アンテナ
５…受信器
６…電力分配器
７…送信ケーブル
８…基準波ケーブル
９…受信ケーブル

１０…電力合成器
２０…演算装置

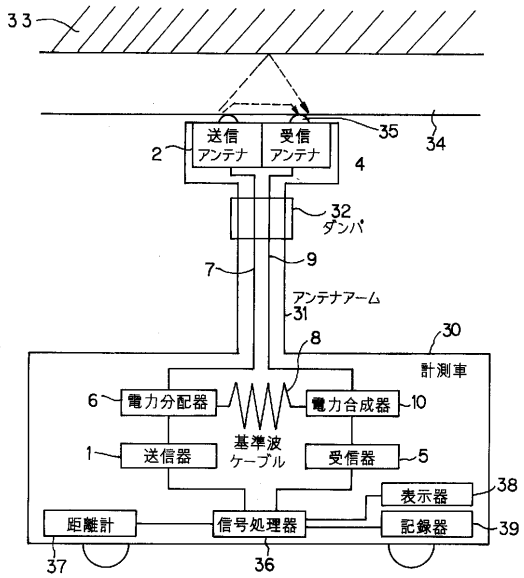
【図１】



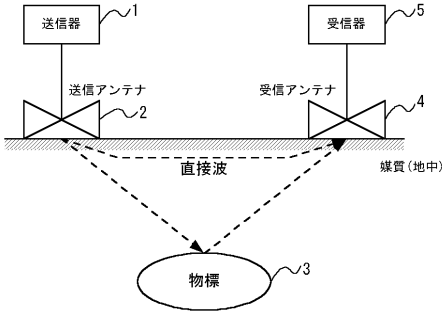
【図２】



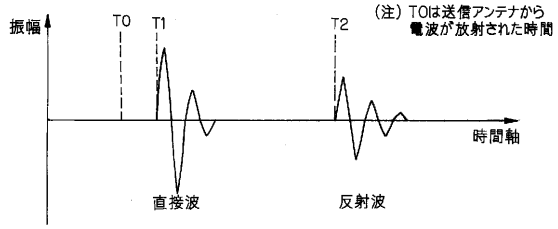
【図３】



【図４】


送信器
1
受信器
5
送信アンテナ
2
受信アンテナ
4
直接波
媒質（地中）
物標
3

【図５】


振幅
T0
T1
T2
(注) T0は送信アンテナから
電波が放射された時間
時間軸
直接波
反射波

フロントページの続き

審査官　中村　直行

(56)参考文献　特開平０２－０２８５８６（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０５２９４９（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２７３１８３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01S 7/00-7/42
G01S 13/00-13/95
G01V 3/12