

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4768203号  
(P4768203)

(45) 発行日 平成23年9月7日(2011.9.7)

(24) 登録日 平成23年6月24日(2011.6.24)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 V	3/12 (2006.01)	GO 1 V	3/12 C
GO 1 S	13/88 (2006.01)	GO 1 S	13/88 G
GO 1 V	3/30 (2006.01)	GO 1 V	3/30

請求項の数 7 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2002-509802 (P2002-509802)	(73) 特許権者	503005847
(86) (22) 出願日	平成13年7月5日(2001.7.5)		ティー アンド エー サーベイ ビー
(65) 公表番号	特表2004-503755 (P2004-503755A)		ブイ
(43) 公表日	平成16年2月5日(2004.2.5)		オランダ国、アムステルダム 1031
(86) 国際出願番号	PCT/NL2001/000509		シー エム、バドウィスウェグ 3
(87) 国際公開番号	W02002/004987	(74) 代理人	100093997
(87) 国際公開日	平成14年1月17日(2002.1.17)		弁理士 田中 秀佳
審査請求日	平成20年7月2日(2008.7.2)	(74) 代理人	100101616
(31) 優先権主張番号	1015651		弁理士 白石 吉之
(32) 優先日	平成12年7月7日(2000.7.7)	(74) 代理人	100107423
(33) 優先権主張国	オランダ(NL)		弁理士 城村 邦彦
(31) 優先権主張番号	1016200		
(32) 優先日	平成12年9月15日(2000.9.15)		
(33) 優先権主張国	オランダ(NL)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ボアホールレーダ装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

使用するボアホールレーダ装置の周囲の地表下における変化を指向性感度をもって位置決定するボアホールレーダ装置であって、このボアホールレーダ装置は、10MHzと200MHzとの間の周波数を有する電磁放射を発生する発生アセンブリと、受信した電磁放射を処理する信号処理手段と、実質的に円筒形の壁体と中心軸とを有するハウジング(2)であって、少なくとも、

発生アセンブリが発生した電磁放射を発射する送信アンテナアセンブリ(6)であって、送信アンテナと導電性反射体(10)とを有する送信アンテナアセンブリと、

周囲の地表下から反射された電磁放射を受信する受信アンテナアセンブリ(7)であって、受信アンテナと導電性反射体(10)とを有する受信アンテナアセンブリと、を収容しているハウジングと、を備えているのであり、送信アンテナおよび受信アンテナの両方がハウジング(2)の軸に平行に延在しており、両方がダイポールアンテナ(8)を備えており、各反射体(10)は、各ダイポールアンテナ(8)に並んで平行に離れて延在する反射表面を備えており、当該反射表面は、ハウジング(2)の軸方向から見た場合に実質的にハウジング(2)の内径の半分に等しい半径を有する少なくとも円の一部分を実質的に形成している実質的に滑らかに曲った表面であり、反射体(10)によって形成される角度が45°と180°との間であり、各反射表面と、その反対側に位置するハウジング(2)のその部分との間の空間(12)は、誘電率が少なくとも10である媒質で充填されているボアホールレーダ装置において、送信アンテナおよび受信アンテナがハ

10

20

ハウジング(2)の壁体の近くに延在しており、送信アンテナおよび受信アンテナのそれぞれに対して直径方向反対側に位置する反射体(10)の少なくともその部分が、同様にハウジング(2)の壁体の近くに延在し、これによって、反射体とハウジング(2)の壁体の間に、発射された電磁放射による干渉を受け易い要素を収容するための空間が残されていることを特徴とするボアホールレーダ装置。

【請求項2】

反射体(10)の少なくとも一方がハウジング(2)の壁体の一部分を形成していることを特徴とする請求項1に記載のボアホールレーダ装置。

【請求項3】

反射体(10)の少なくとも一方が薄板を備えていることを特徴とする請求項1または2に記載のボアホールレーダ装置。

10

【請求項4】

反射体(10)の少なくとも一方によって形成される角度が $145^\circ$ と $155^\circ$ との間であることを特徴とする請求項1に記載のボアホールレーダ装置。

【請求項5】

反射表面と、その反対側に位置するハウジング(2)の壁体のその部分との間の空間(12)にある誘電体が20と100との間の誘電率を有することを特徴とする請求項1~4のいずれか記載のボアホールレーダ装置。

【請求項6】

反射表面と、その反対側に位置するハウジング(2)の壁体のその部分との間の空間(12)にある誘電体が60と100との間の誘電率を有することを特徴とする請求項1~4のいずれか記載のボアホールレーダ装置。

20

【請求項7】

誘電体を実質的に水を備えていることを特徴とする請求項5または6に記載のボアホールレーダ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、その第1の観点では、使用中のボアホールレーダ装置の周囲の地表下における変化を指向性感度をもって位置決定するボアホールレーダ装置であって、このボアホールレーダ装置は、10MHzと200MHzとの間の周波数を有する電磁放射を発生する発生アセンブリと、受信した電磁放射を処理する信号処理手段と、実質的に円筒形の壁体と中心軸とを有するハウジングであって、少なくとも、

30

発生アセンブリが発生した電磁放射を発射する送信アンテナアセンブリであって、送信アンテナと導電性反射体とを有する送信アンテナアセンブリと、

周囲の地表下から反射された電磁放射を受信する受信アンテナアセンブリであって、受信アンテナと導電性反射体とを有する受信アンテナアセンブリと、を収容しているハウジングと、を備え、

送信アンテナおよび受信アンテナの両方がハウジングの軸に平行に延在しており、両方がダイポールアンテナを備えており、各反射体は、各ダイポールアンテナに並んで平行に離れて延在する反射面を備えており、各反射面と、その反対側に位置するハウジングのその部分との間の空間は、誘電率が少なくとも10である媒質で充満されているボアホールレーダ装置に関する。

40

【0002】

このボアホールレーダ装置はWO-A-89/03053に記載されている。この文献には、地層の断裂を位置決定するためのボアホール(ボーリング穴)で使用するレーダ装置であって、指向性感度を有する送信アンテナおよび受信アンテナを備えたレーダ装置が記載されている。発射手段が、30MHzと300MHzとの間の周波数範囲で出力されるパルスレーダ信号を発生する。この信号は、反射体、より詳しくはV.A受信アンテナの形状に配置された2つの導電性板から成る反射体、を介して放射されるのであり、また、類似の反射体を用いて、地層から反射されたレーダ信号が捕捉される。ハウジング内で

50

放射が伝播する空間はチタン酸バリウム粉末 / 空気の混合物で満たされている。その誘電率は周囲の誘電率と整合しており、より詳しくは、その値は約 80 である。

【0003】

この型式のボアホールレーダ装置を用いれば、ある程度の指向性感度を達成できる。多くの用途では、可能な最大の指向性感度を得ることと、可能な限り多くの放射を地表下に侵入させることとの両方の必要性がある。好ましい直径が最大 20 cm であることや調査する地表下の電磁的特性を含めたボアホールレーダ装置に対する制約によって、従来は、指向性感度を向上できることは示されていなかった。

【0004】

本発明の第 1 の観点の目的は上述の問題を解決することである。この観点では、その目的のために、送信アンテナおよび受信アンテナがハウジングの壁体の近くに延在しており、送信アンテナおよび受信アンテナのそれぞれに対して直径方向反対側に位置する反射体の少なくともその部分が、同様にハウジングの壁体の近くに延在していることを特徴とする。

10

【0005】

この型式のボアホールレーダ装置を用いれば、地表下へ侵入する放射のより高いパワーと共に、より高い指向性感度を達成できる。この文脈では 2 つのパラメータを考慮しなければならない。第 1 のパラメータは、ターゲット方向での発射パワーと、その他の方向での発射パワーとの比である。この比は可能な限り大きいことが必要である。第 2 のパラメータは、ターゲット方向に発射される全パワーである。明らかに、これも可能な限り大きいことが必要である。これは、可能な最大の侵入パワーを達成するために必要である。こうして、費用の掛かるボアホールの数を可能な限り少なくして地表下の良好な画像が得られる。

20

【0006】

本発明の第 1 の観点到に係る構成は満足できるレベルで機能することが分かっている。このような構成では反射体はある程度の表面積を持たなければならない。実際には、反射体には最適な寸法が存在する。これはハウジングの寸法制約に大きく依存する。

【0007】

本発明の第 1 の観点では、更に、送信アンテナおよび / または受信アンテナから反射面までの距離が可能な限り大きくなる。これは、本発明の第 1 の観点到に係るボアホールレーダ装置によって達成される。この文脈での「距離」という用語は、反射面と送信アンテナまたは受信アンテナとの間の平均距離を意味する。

30

【0008】

この文脈での「ハウジングの壁体の近く」という用語は、反射体の関係部分、または送信アンテナおよび / または受信アンテナのそれぞれの中心、がハウジングの内壁から最大でもハウジングの内径の 1 / 4 の距離に位置していることを意味する。より詳しくは、ハウジングの内壁と反射体の関係部分、または送信アンテナおよび / または受信アンテナのそれぞれ、との間の距離は最大で 2 cm、好ましくは 1 cm 未満である。したがって、簡単な方法によってアンテナと反射面との間の距離を可能な限り大きくできる。特別な条件、たとえば非常に高い周波数の場合やこの装置が非常に高い誘電率を有する誘電体で満たされている場合には、その距離を 2 cm より大きくできる。

40

【0009】

或る特定の実施例では、たとえば、ハウジングをプラスチック等の非導電性材料の円筒として構成できる。この円筒の一部は、金属などで製作した反射部で形成されている。

【0010】

別の実施例では、反射体の少なくとも一方が薄板を備えている。この実施例では、反射体とハウジングとの間に狭い空間が存在して、この空間には例えば送信アンテナおよび / または受信アンテナへのケーブル配線が収容される。反射面と、その反対側に位置するハウジングの壁体のその部分との間の空間に存在する電磁放射からこのケーブル配線を遮蔽することが重要である。反射体はその遮蔽物として機能できる。

50

## 【 0 0 1 1 】

反射体、より詳しくは反射面、の形状は特に制約を受けない。好適な形状は、たとえば、一端で相互に接触する2つの真直ぐな板である。この両方の板の各端はハウジングの壁体の近くに位置しており、これがV字型反射体を構成している。

## 【 0 0 1 2 】

好適には、少なくとも1つの反射面は、ハウジングの軸方向から見た場合に少なくとも実質的には円錐曲線の一部を形成している実質的に滑らかに曲った表面である。このような形状の反射面を用いれば、反射面がハウジングの壁体の形状を少なくとも大まかに沿うことができ、反射体から送信アンテナおよび/または受信アンテナまでの平均距離を可能な限り大きくできる。

10

## 【 0 0 1 3 】

この文脈での「実質的に滑らかに曲った」という用語は、反射面の形状からのずれの寸法が使用波長より十分に小さければ、より詳しくは電磁放射の波長の最大1/10より小さければ、よいことを意味する。電磁放射の波動の性質によって、この反射面は滑らかに曲っているように見える。このような形状のずれの例としては、配線用の穴や平面形状の反射体の折れ曲り端部などが挙げられる。

## 【 0 0 1 4 】

円錐曲線は可能な限り有利なものを選ぶことが好ましい。好適には、円錐曲線は、ハウジングの内径の半分に実質的に等しい半径を有する円である。この方法では、反射面と送信アンテナおよび/または受信アンテナとの間の平均距離がその最大値となることが保証される。反射面がハウジングの内壁で形成される場合には、その円の半径はハウジングの内径の半分に等しい。反射体がハウジングの内壁の近くにある薄板である場合には、その円の半径はハウジングの内径の半分から板の厚さを引き、更に、板とハウジングの内壁との間の距離を引いたものに等しい。より詳しくは、この最後の距離は2cm未満であり、好適には1cm未満である。

20

## 【 0 0 1 5 】

好ましくは、反射体の少なくとも一方によって形成される角度が45°と180°との間である。角度がこの限度の間にある場合には、反射面が十分に大きくて、所望の方向以外の方向で発射される放射や遮られる放射の反射によって失われる放射が大きくないので、満足できる発射特性が得られる。

30

## 【 0 0 1 6 】

より好ましくは、反射体の少なくとも一方によって形成される角度が145°と155°との間である。これらの角度では、より良好な発射特性、すなわちより良好な指向性感度、が得られる。

## 【 0 0 1 7 】

別の好適な実施例では、円錐曲線が放物線である。より詳しくは、放物線の焦点距離が、ハウジングの内径の0.5倍と0.75倍との間である。多くの場合には、送信アンテナおよび/または受信アンテナの中心が放物線の焦点に位置する。しかし、反射面と送信アンテナおよび/または受信アンテナとの間の距離が可能な限り大きいことの方がより重要であることが分っている。

40

## 【 0 0 1 8 】

本発明の第1の観点に係るポアホールレーダ装置では、反射面と、その反対側に位置するハウジングの壁体のその部分との間の空間が誘電体で満たされている。誘電体の機能は、一方では、アンテナと反射面との間の領域での電磁放射の波長を短縮することである。これによって、反射面の平行化特性が向上する。この目的から、誘電体の誘電率は原理的には可能な限り高く選択される。

## 【 0 0 1 9 】

他方では、誘電体の誘電率の値は、周囲の地表下に対する変化部分において、その地表下の誘電率の値と整合する必要がある。たとえば、オランダにおける地表下の誘電率は、±5（乾燥砂地）と±40（湿潤砂地、粘土）との間で変化し、水に対しては±80（た

50

例えば地下水)である。地表下と誘電体との誘電率の差異が小さいほど、発生させた電磁放射が実際に地表下に侵入する割合が高くなる。これは、1回の測定で、より大きな地表下の部分をサンプルできるようになるので好ましい。侵入パワーが大きくなれば測定をより長い距離で行うことができ、したがって、費用の掛かるボアホールが比較的少数で済む。このような構成では、ハウジングの壁体に隣接する上述の空間の一部分を適切な誘電体で満たすことができる。実際に、反射面と、その反対側に位置するハウジングの壁体のその部分との間の空間を1つの誘電体で満たすことができる。

【0020】

好ましくは、反射面と、その反対側に位置するハウジングの壁体のその部分との間の空間にある誘電体が20と100との間の誘電率を有するのであり、より好ましくは60と100との間であり、最も好ましくは約80である。誘電率のこれらの値では、良好な平行化特性を得るために波長を適切に短縮することと、放射の大部分が地表下に侵入するようにすることが満足できるレベルで両立する。

10

【0021】

本発明第1の観点に掛かるボアホールレーダ装置の或る特定の実施例では、誘電体が実質的に水を備えている。約80の誘電率を有する全ての誘電体材料の中で水が特に適切である。しかし、WO-A-89/03053に記載されているチタン酸バリウム粉末/空気の混合物なども同様に満足のいくものである。

【0022】

本発明は、その第2の観点では、一般に、物体の電磁的コントラスト情報を決定することに関する。

20

【0023】

電磁的コントラスト情報を用いれば、地点の電磁的性質の変化を決定できる。このような変化は、たとえば、その地点の地層構造内の断層、不連続、異なる電磁的性質を有する材料の存在、その他の変化を示している。

【0024】

本発明の第2の観点の範囲内で言及する地点は、その用語の本質以外には何らの制約をも受けない。しかし、より詳しくいえば、ここでの地点は、大地(の一部)、または、少なくとも部分的に金属製であるパイプラインを意味する。大地である場合には、観測される電磁的コントラスト情報は、埋設されている物体や、たとえば石油のような、鉱物の位置を決定するために利用できる。パイプラインの場合には、この情報を用いて、たとえば腐食部位の位置や厚さを決定したり、パイプ部のジョイントの位置を決定することができる。

30

【0025】

電磁的コントラスト情報の決定は、通常、地球物理学的画像化法を用いて行われる。地球物理学的画像化法には、通常、いわゆる地表下測定装置が用いられる。この文脈での地表下測定装置とは、周囲の地表下に侵入する、電磁場を発生したり電磁放射を放射できる装置である。この文脈での電磁場は、純粋な電場であるか純粋な磁場であると理解すべきである。地表下によって、特にそこに位置する電磁的变化によって反射され、又は電磁場の場合には、地表下の電磁的变化または物体での誘導によって発生され放射された放射の電磁場の部分は、地表下測定装置により捕捉されていくつかの出力信号の形で記録される。いくつかの出力信号が収集された後、これら进行处理することによって大地の調査部分のコントラスト特性の画像が得られる。地表下測定装置の例としては、既知の、地表下レーダ、ボアホールレーダ装置、いわゆるナノTEM測定装置、が挙げられる。

40

【0026】

このようにして得られた測定データは2つのグループに分けられる。第1のグループを「波動データ」と呼ぶことがある。これは、電磁場すなわち電磁放射が周囲の地表下を波動のように伝播することに起因している。この場合には、電磁エネルギーは波動の特性を有している。

【0027】

50

第2のグループは「拡散データ」と呼ぶことがある。これは、たとえば熱の場合のように、電磁場が媒質中を拡散することに起因している。この場合には、電磁エネルギーは場の特性を有している。この場合は、地表下に位置する電磁的变化または物体が放射を反射すること、または、誘導によって放射を発射する、言い換えると、二次的な場や放射の源を形成することを確かにする。

【0028】

波動データまたは拡散データの処理では、同様に2つのグループに分けられるアルゴリズムを使用するが、これらは、原理的には波動データと拡散データの両方に適用できる。

【0029】

アルゴリズムの第1のグループは「反転」アルゴリズムという名前で呼べる。アルゴリズムのこのグループは、物体の形状および位置または地表下の変化と、未知の電磁的パラメータの同時決定を取扱う。

10

【0030】

アルゴリズムの第2のグループは、実際には「画像化」アルゴリズムと呼ばれる。アルゴリズムのこのグループでは、電磁的变化の形状および位置を再生することのみが可能である。特に、これを拡散データに適用した場合に実際に決定されるものは二次的な場や放射の源の形状および位置であって、これらが、地表下の電磁的变化の徴候を示唆することになる。画像化アルゴリズムの処理速度および数学的安定性は反転アルゴリズムより優れている。したがって、画像化アルゴリズムが大規模に利用されている。

【0031】

20

本発明の第2の観点は、より詳しくは、明細書末尾記載の発明12～34のうち発明12の前文に係る、地点の電磁的コントラスト情報を決定するために使用されるアルゴリズムに関する。

【0032】

この種のアルゴリズムは、通常、「逆射影」アルゴリズムという名前で呼ばれ、たとえば、US - A - 6005916に記載されている。

【0033】

逆射影アルゴリズムは波動データの処理における画像化アルゴリズムとして広く利用されている。逆射影アルゴリズムは、本質的には、ボルン近似で線形化した随伴積分演算子を測定データに適用することから成っている。

30

【0034】

このアルゴリズムは単純であり、したがって効率的である。しかし、これを修正せずに拡散データに適用した場合には正しくない画像化が起こる。物体の位置が正しく再生されないのである。特に、地点の表面に近すぎる位置、すなわち、たとえば、地表面やパイプラインの外表面に近すぎる位置、に表示される。

【0035】

したがって拡散データに対しては、逆射影アルゴリズムを従来形式では適用できない。コンピュータを集約的に使用する反転アルゴリズムを用いることが必要である。このような反転アルゴリズムを用いる画像化はノイズに対して、より敏感であり、また、コンピュータの容量の理由から、3次元では(すぐには)利用できない。

40

【0036】

したがって、本発明の第2の観点の目的は、上述の問題を解決することである。この目的は、発明12に記載のアルゴリズムを用いて達成される。

【0037】

発明12～19に記載のE関数は複素伝播関数  $(\quad)$  のグリーン関数である。伝播関数は、(角)周波数  $\omega$  の関数として(場の)強度と位相角の両方に関して電磁場がどのように変化するかを記述する。上述の定数C1は、通常、 $1/(16 \cdot \quad^2)$  に等しく設定される。

【0038】

荷重因子を適切に使用すれば画像化収差の大部分を補正できる。したがって、拡散デー

50

タに基づく画像化の場合に逆射影アルゴリズムを使用することによって初めて正確な画像化が可能になる。

【0039】

荷重因子Wは、これを用いて見出される変化または物体（実際には、二次的な場や放射の源）の形状および位置が実際の変化および物体の形状および位置に対応するように選択しなければならない。これを達成する手順は後述する。

【0040】

$x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x^j$  に対する値の組合せの各々に対して異なる値の荷重因子Wを使用しなければならないことがあり得る。言い換えれば、Wはこれらの変数の関数である。 $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x^j$  の関数としての荷重因子Wの数学的依存性は、原理的には、達成すべき目的によってのみ制約される。更に、荷重因子Wは、使用する測定装置の種類や調査地点の基盤物質やその他の条件にも依存し得る。

10

【0041】

本発明のアルゴリズムに係る或る特定の実施例では、少なくとも  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x^j$  のいくつかの値に対して、荷重因子Wは

$$W(x^s_m, x^r_n, x^j) = C 2 \cdot (x^s_m - x^j \cdot x^r_n)^{nd} \cdot (x^j)^n$$

の形を取る。ここで、

C 2 は定数であり、

nd は - 2 と + 5 との間の実数であり、

n は - 4 と + 4 との間の実数である。

20

【0042】

実験からは、荷重関数の数学的形式は測定装置にのみ依存し、実験データの特性には依存しないことが分かっている。したがって、測定装置の各々に対して、詳細は後述する少数の簡単な実験を行って、上述の形の荷重関数Wを適切な方法で決定できる。

【0043】

好適な実施例では、 $n_d$  が 2 . 5 と 3 . 5 との間であり、n が 1 . 5 と 2 . 5 との間である。より好ましくは、 $n_d$  が 3 に等しく、n が 2 に等しい。この形の荷重関数は、たとえば、いわゆるナノTEM装置に適している。同様にして、他の測定装置に対しても適切な荷重因子Wを選択できる。

30

【0044】

本発明は、また、本発明の第2の観点に係るアルゴリズムを用いて、電磁場すなわち電磁放射を用いた測定によって地点の電磁的コントラスト情報を決定することに関する。この目的のため、アルゴリズムは、コンパイルされた形式またはコンパイルされない形式で電子的演算装置のメモリ上に保持でき、または、ディスク、磁気テープ、ハードディスク装置、等のデジタルデータ記憶装置に記録できる。電子的演算装置以外の手段によって、たとえば手動によって、データを処理することも可能である。効率の観点からは、後者は推奨できない。

【0045】

第2の観点では、本発明は更に、発明 16 に記載した、地点の電磁的コントラスト情報を決定する方法に関する。

40

【0046】

本発明の第2の観点に係る方法の好適な実施例は発明 17 および 18 に記載してある。

【0047】

更に、第2の観点に係る本発明は、発明 19 に記載したように、測定装置に適用可能な荷重因子Wを決定する方法に関する。この測定装置という用語は、地表下測定装置やパイプライン測定装置などの、電磁的コントラスト情報を決定するための測定装置を意味する。

【0048】

実際には、たとえば、地表下測定装置を調整する際には既知の物体を試験地の既知の位

50

置に埋設する。または、先行技術における別の既知の方法で土壌の電磁的特性が分かっている試験地を用いる。本発明の第2の観点に係るこの方法は、まず第1に、試験地の土壌の電磁的実験値を地表下測定装置を用いて決定することを含んでいる。次いで、実測または予測に基づいて荷重因子 $W$ の数 $n_d$ および $n$  に対する値を選択する。このようにして選択した荷重因子 $W$ を用いて実験値を処理し、コントラスト情報、したがって埋設物体の形状および位置を含む土壌の画像を作成する。

【0049】

埋設物体の形状および位置に対する観測値は実際の状況に対応しない。すなわち、所望の精度を有しない。荷重因子 $W$ は、数 $n_d$ および $n$  に対して別の、より適切な値を選択することによって実際のものに調整される。次いで、実験値を再び処理して、コントラスト情報、したがって土壌の画像を作成する。この画像は再び実際と比較される。

10

【0050】

観測画像が未だに所望の精度で実際と対応しない場合には、所望の精度が達成されるまで、 $n_d$ および $n$  の値を再び調整し、測定値を処理する、等を行う。この手続きで達成できる精度には限度があることに留意すべきである。実際には、その地点で調査すべき各々の点、各々の源の位置、各々の受信器位置、各々の使用周波数、に対して別の荷重因子を決定することになり、これらの荷重因子全体は極度に複雑な関数となる。実際上からは、これは利用できない。本発明の第2の観点に係るここで述べる方法は、簡単なやり方でこの荷重関数に対する良い近似を見出す方法を提供する。

【0051】

20

類似のやり方によって、この種の方法を、たとえば、少なくとも部分的に金属製であるパイプラインにおける腐食部位やその他の不連続の位置や厚さを決定するために利用できる。この目的のためには、パイプラインにおける腐食部位の位置や厚さ、すなわち電磁的コントラスト特性、を先行技術における別の既知の方法で事前に決定しておく。次いで、埋設されていても埋設されていなくても良いパイプラインを測定装置で調査して、観測されたコントラスト特性すなわち腐食部位が既知のものに対応するまで荷重因子 $W$ を調整するプロセスを行う。

【0052】

第2の観点では、本発明は更に、発明20および21に記載したように、電磁放射すなわち電磁場を用いて地点の電磁的コントラスト情報を決定する測定装置を提供する。

30

【0053】

本発明の第2の観点に係る測定装置の好適な実施例では、この測定装置で使用される荷重因子 $W$ は、本発明の第2の観点に係る適切な方法を用いて決定される。見出された荷重因子 $W$ は、別の電子的演算装置を用いて、測定装置によって決定された測定データを処理するために適用することができる。または、荷重因子を用いて測定データを処理することは、測定装置に内蔵された電子的演算装置によって行うこともできる。これによって、補足的な測定が必要かどうかの判定がその場でできる。結果として、システム全体がより柔軟で、より効率的になる。

【0054】

本発明の第2の観点は更に、コンピュータ内にロードされ得るコンピュータプログラムであって、このようにしてプログラムされたコンピュータが本発明に係るアルゴリズムを実行するのに適しているコンピュータプログラムに関する。

40

【0055】

更に、第2の観点に係る本発明は、コンピュータ内にロードされ得るコンピュータプログラムであって、このようにしてプログラムされたコンピュータが本発明の第2の観点に係る電磁的コントラスト情報を決定する方法を実行するのに適しているコンピュータプログラムに関する。

【0056】

この文脈では、観測データを同様に更に処理することは、この目的に適したコンピュータプログラムのモジュールを用いて実行できる。したがって、観測データを、モニタに適

50

した形式、または印刷の形式で表現できる。

【 0 0 5 7 】

第2の観点では、本発明は更に、発明 25または26に記載のコンピュータプログラム製品に関する。これは、本発明の第2の観点に係る電磁的コントラスト情報を決定するアルゴリズムまたは方法を実行するコンピュータプログラムを記録したコンピュータプログラム製品を含んでいる。このコンピュータプログラム製品は、たとえば、磁気テープ、ディスク、ハードディスク装置、CD-ROMを備えることができる。別の実施例では、このコンピュータプログラム製品は、コンピュータまたは地表下測定装置の読出専用で消去不可のメモリ部の一部分を構成している。この1つの可能なオプションは、いわゆるプラグインカードである。

10

【 0 0 5 8 】

第2の観点では、本発明は更に、本発明の第2の観点に係るコンピュータプログラムの使用に関する。1つの可能なオプションは、コンピュータまたは地表下測定装置に本発明の第2の観点に係るコンピュータプログラムをロードし、次いで使用することを含んでいる。

【 0 0 5 9 】

考えられる別の可能性は、未処理の測定データを或る特定の場所から、本発明の第2の観点に係るコンピュータプログラムをコンピュータにロードしてある別の場所へ送ることである。これによって、未処理の測定データが、本発明の第2の観点に係るコンピュータプログラムを用いて処理され、次いで、処理済みデータを必要な場所まで送ることができる。

20

【 0 0 6 0 】

未処理データおよび/または処理済みデータの伝送は様々な方法で実行できる。たとえば、データを、磁気テープ、ディスク、またはCD-ROM等の情報担体に記録でき、次いで、これを送ることができる。また、電話回線やインターネット等のネットワークを介して、デジタル形式またはその他の形式でデータを送ることもできる。

【 0 0 6 1 】

本発明の第3の観点は、地表下調査を行う方法であって、1以上の電磁的パルス信号を発生するステップと、この1以上のパルス信号を地表下に発射するステップと、各パルス信号に対応する1以上の応答信号を受信するステップと、1以上の応答信号をサンプリングするステップと、応答信号ワードを取得するために各応答信号サンプルをデジタル形式に変換するステップと、応答信号ワードを処理して地表下の構造の画像を取得するステップと、を備えている方法に関する。本発明の第3の観点は更に、この方法を実施する装置に関する。

30

【 0 0 6 2 】

この種の方法は先行技術、たとえば国際特許出願PCT/US88/03196、において知られている。アナログ応答信号値をデジタル応答信号値に変換する機器(A/D変換器)の速度の限界によって、また、デジタル応答信号ワードを処理する機器の速度の限界によって、既知の方法ではサブサンプリングが行われている。このサブサンプリングは、連続する一連の応答信号の各応答信号から1つのサンプルが取得されることを意味する。そのサンプリング周期は応答信号周期より若干長い。このようにして得られた一連の応答信号サンプルは、応答信号の1つの完全なサンプルを形成して、オリジナルのアナログ応答信号を忠実に再生する。このサブサンプリングによって、高周波数の信号を低周波数でサンプリングできる。これによって、利用可能な機器の技術的容量内で応答信号ワードを処理できる。

40

【 0 0 6 3 】

原理的には、電磁的パルス信号は、表面(水面上または水面下)からでも地表下の穴からでも地表下に発射できる。応答信号は、同様に、表面(水面上または水面下)でも地表下の穴でも受信できる。

【 0 0 6 4 】

50

この既知の方法にはいくつかの欠点がある。

【0065】

第1の欠点は、完全な一連の応答信号サンプルは、時間とエネルギーとの点で比較的高いコストを掛けて、多数の応答信号に基づいて得られるだけであるということである。これは、各応答信号サンプルに対して、応答信号を生じるパルス信号を地表下に発射することが必要だからである。

【0066】

更なる欠点は、各々から各時点で1サンプルを取得する連続した応答信号が高いレベルで同一でなければならないことである。したがって、一連の応答信号サンプルを取得するに必要な時間中に地表下の特性が変化しないと仮定しても、応答信号を生じるパルス信号の1様性に対して高いレベルでの要求が生じる。同時に、パルス信号の反復周波数が高いレベルで一定であるか、少なくともサンプリング周波数に同期していなければならない。

10

【0067】

もう1つの欠点は、既知の装置のA/D変換器が、応答信号の振幅とは独立のサンプリングを行うことである。したがって、振幅が小さい場合には、得られる振幅精度が比較的低い。したがって、最終的な目的である地表下構造画像の品質が劣化する。

【0068】

一般に当てはまることであるが、より高い精度(たとえば16ビット、または32ビット)を望む場合には、この目的に使用できるA/D変換器の変換速度は低下する。したがって、上述のサブサンプリングの必要性が生じる。逆に、比較的高い変換速度を求める場合には比較的低い精度(たとえば8ビット)となる。

20

【0069】

本発明の第3の観点の目的は、上述の欠点を解消するか、少なくとも著しく軽減することである。この目的は、発明27で特徴づけられるような上述の種類の方法で達成できる。本発明の第3の観点到に係る装置は発明31で特徴づけられる。

【0070】

本発明の第3の観点到に係る方法および装置では、各応答信号に対して複数のサンプリング操作が行われる。したがって、応答信号を適切に記述する完全な一連のサンプルを得るために必要な応答信号の数がより少なくて済む。好ましくは、これらの全ての応答信号サンプルは、応答信号を実質的に完全に特徴づけるに必要な各応答信号から取得される。これによって、時間およびエネルギーが非常に高いレベルで節約される。更に、パルス信号が互いに対して一様である必要がなく、また、パルス信号の反復周波数が一定であるまたはサンプリング周波数に同期するなどの必要がない。

30

【0071】

高いサンプリング速度を選択したにも拘らず応答信号ワードを低い速度で処理できるように、いくつかの連続した応答信号ワードをバッファリングしてデータワードを形成する。次いで、データワードを処理して地表下の構造の画像を得る。

【0072】

本発明の第3の観点到に係る方法および装置の好適な実施例では、受信時の各応答信号の振幅が、そのサンプルに適用可能な最大振幅に調整される。これによって、高い変換速度であっても、および/または、A/D変換器が比較的小振幅に対して低い精度を有する場合であっても、良好な振幅精度が達成される。

40

【0073】

【発明の実施の形態】

本発明の様々な観点到を、図面を参照しながら、以下の図面の説明を参照してより詳細に説明する。

【0074】

様々な図において、同一の参照符号は、同一の要素、または同一の機能を有する要素を意味する。

【0075】

50

図1において、1は本発明の第1の観点に係るボアホールレーダ装置である。これは、その上部および下部で密封要素3を用いて密封されたハウジング2を備えている。密封要素3は、ボアホール内にボアホールレーダを設置する際のガイドとなる、たとえば車輪13を備えている。上部密封要素3はつり上げ耳14を備えており、これによって、ボアホールレーダ装置1が上下に移動できる。

【0076】

4は、その詳細は示さないが、たとえば、制御電子回路や、アンテナ要素をハウジング内で回転させる手段や、アンテナ要素の配向を決定するジャイロを備えた部分である。

【0077】

5は、送信アンテナアセンブリ6および受信アンテナアセンブリ7がそれぞれ回転できる軸である。この回転によって、ボアホールレーダ装置が所望の方向で測定を行える。

10

【0078】

本発明の第1の観点に係るボアホールレーダ装置1を用いれば、測定は、たとえば以下のように行える。ボアホールレーダ装置1がボアホールに導入される。これは、地上から制御できるようにする制御手段に接続されている。特定の深さで、地球に対するボアホールレーダ装置1の配向が決定される。次いで、電磁放射を放射し、反射された放射を捕捉し、これを信号の形で記録することによって、測定サイクルが開始される。これに続いて、送信アンテナアセンブリ6および受信アンテナアセンブリ7が小さな角度、たとえば2°ないし3°、だけ回転され、次の測定が行われる。全ての所望の方向で測定が完了するまで、以上のステップが反復される。次いで、ボアホールレーダ装置1が別の深さに移動され、上述の全てのステップが反復される。

20

【0079】

しかし、これとは別に、ボアホールレーダ装置は自律的に測定と移動とを行う機能を備えることもできる。そのためには、たとえば、電池などのエネルギー源と、電動ケーブルリール等の推進手段と、制御および測定プログラム等の内蔵制御手段とを設けることが必要である。

【0080】

これによって、ボアホールの周囲の特定の地域の電磁的プロファイルを決定できる。このプロファイルには、地表下で電磁的特性が変化するいくつかの変化が含まれている。これは、地表下の断層や、組成の変化（たとえば、瀝青炭や石油）を示していることもあり、また、不発弾などの物体の存在を示すこともある。データの評価と解釈は引続いて行える。

30

【0081】

本発明の第1の観点に係るボアホールレーダ装置1は、様々な分野で使用できる。たとえば、鉱物の採掘や、地表下に存在する不発爆弾や不発砲弾などの物体の追跡、等の目的でボアホールの周囲を調査することなどに使用できる。ボアホールレーダ装置の設置は、所望の用途や、測定を行う地表下に応じて行うことができる。

【0082】

この一例は、放射される電磁放射について、異なる周波数範囲を選択する可能性である。たとえば、より低い周波数ではより大きな侵入パワーが得られるが、解像度が低下する。侵入パワーは地表下の特性にも依存する。地下水面上の砂のように地表下が高いレベルで侵入可能であれば、解像度を上げるために周波数を上げるという選択が可能である。しかし、実際にはボアホールの費用の点から、まず、侵入パワーが優先される。したがって、特別な場合に限って周波数を上げる。結論として、使用周波数は、好ましくは20MHzと200MHzとの間である。

40

【0083】

更に、適切ならば、水以外の誘電体を選択できる。たとえば、地下水面上の砂質土壌（乾燥砂）の誘電率は水で飽和した砂より著しく低い。したがって、十分な放射パワーを維持するためには、充満させる誘電体の誘電率を、より低い値に選択しなければならない。これによって、ハウジング内の電磁放射の波長が増大し、反射体の平行化特性に悪影響が及

50

ぶ。これは、たとえば、より高い周波数を用いることによって解消できる。電磁放射の侵入パワーは周波数の増大に伴って一般に減少するが、この効果は、砂質土壌のより良好な侵入特性によって補償される。別の選択は、反射体の形状および/または寸法を調整することである。

【0084】

図2には、アンテナ要素の模式断面図を示す。ハウジング2に沿っているのはダイポールアンテナ8である。その直径方向反対側にあるのは反射体10であり、ほぼ半円形の導電性板の形式である。反射体10とアンテナ8との間の空間は水で満たされている。

【0085】

このアンテナ8は反射体10の焦点に位置していない。したがって、実質的に平行な放射は得られない。この文脈では、円筒形反射体の場合には、その中心が焦点と見なされることに留意されたい。厳密に言えば、これは、反射体の小部分についてのみ、また、近似によってのみ成立つ。しかし、ボアホールレーダ装置の大部分では、使用波長はボアホールレーダ装置の直径、すなわち反射体の寸法、と同程度である。アンテナ8と反射体10との間の距離が、送信器が反射体10の焦点に位置する場合のその距離より大きいことの結果として、焦点位置にないことによる悪影響は、距離の増加によって、十二分に補償される。

【0086】

好ましくは、送受信部の反射体は、それぞれ接地されていない。これによって、特に受信部は、送信部との結合が最小となるので問題が最小になる。

【0087】

図3には、ボアホールレーダ装置1の送信アンテナ要素の模式断面図を示す。ダイポールアンテナ8はハウジング2の壁体に(ほぼ)沿っている。アンテナ8は2つの吊り腕15によって正しい位置に保持されている。アンテナ8はケーブル9を介して駆動され得る。このケーブル9は、送信アンテナ8に対して直径方向反対側にある反射体10と、ハウジング2の壁体との間に位置する。11は、送信アンテナから受信アンテナに向かって直接放射された電磁放射を吸収する絶縁材料である。同時に、材料11は吊り腕15を固定している。反射体10と送信アンテナ8との間の空間12は誘電体材料、この場合は水、で満たされている。

【0088】

この実施例では、反射体10は、ハウジング2の壁体に完全には載っていない。これによって、発射された電磁放射による干渉を受け易いケーブル9やその他の要素のための空間が確保されるという利点を得られる。しかし、送信アンテナ8と反射体10との間の距離を可能な限り大きく保つことはやはり重要である。同じ要件が受信アンテナに対しても等しく適用される。

【0089】

図4aおよび図4bには、いわゆるナノTEM機器を用いた測定を模式的に示してある。21は地表面であり、22は、給電および制御機器24に接続された同調コイルである。同調コイル22は、たとえば、1辺が数メートルから100メートルまでの正方形であるが、原理的には、所望の如何なる形状や寸法にすることができる。23は、処理装置26に接続できる測定装置25に接続された測定コイルである。

【0090】

図4aおよび図4b、およびこれに附随する説明によって、本発明の第2の観点をナノTEM機器を用いた大地の調査に適用する状況が示されている。本発明の第2の観点を、少なくとも部分的に金属製であるパイプラインにおける腐食部位の調査に適用する場合には、同様のセットアップを用いることができるが、同調コイルおよび/または測定コイルの寸法は、調査すべきパイプラインに合わせて調整される。この場合には、同調コイルをパイプ上に置くことができ、測定コイルをパイプラインの外部または内部に沿って移動する。

【0091】

27は、同調コイルによって発生され発射された磁場の力線である。位置 $x'$ にある物体28での誘導によって、これが電磁場29の二次的な源となる。

【0092】

概略としては、ここに示した地表下測定装置は以下のように動作する。たとえば32Hzの比較的低い周波数 $f_j$ で給電および制御機器24は同調コイル22に矩形波電流を発生させる。その結果、同調コイル22に磁場27が発生する。この場27は同調コイル22の下の大地に侵入する。

【0093】

電流の方向、したがって磁場27の方向、が反転する瞬間には、地下の物体28での誘導により、この物体28に電磁場29が発生する。言い換えれば、物体28は(二次的な)場の源となる。この二次的な電磁場29は、原理的には全ての方向に放射される。この場の一部分は、位置 $x_r$ に中心を有する測定コイル23によって捕捉される。同調コイル22の中心Mは、源の位置 $x_s$ と仮定される。捕捉された場は、測定装置25によって出力信号の形で記録され、オブションとして、これに内蔵されてもよく内蔵されなくてもよい処理装置26によって更に処理される。

10

【0094】

測定の過程では、磁場27の鉛直成分に対して特定の強度が設定される。全体が実質的に同調コイル22の面内にある測定コイル23は、原理的には、戻った場29の鉛直成分のみを測定する。その他の成分も、たとえば測定コイル23の配向を変えることによって、測定できる。

20

【0095】

この種のセットアップを、たとえば領域 $D^{SC}$ と呼ぶ大地の未知の部分を調査するために使用できる。使用する測定方法の目的に合わせて、領域 $D^{SC}$ は、通常、同調コイル22で区切られた大地の部分として定義され、機器の感度によって下方に区切られている。または、荷重関数を決定するためには、大地の既知の部分も調査できる。

【0096】

一連の測定は、たとえば以下のように行われる。最初に、同調コイル22すなわち送信器と、測定コイル23すなわち受信器とが、それぞれ位置 $x_{s1}$ および $x_{r1}$ に置かれる。ここで、磁場27が送信器22によって発生され、1以上の周波数 $f_j$ で発射される。この場合の周波数は実際には角周波数であって、 $f_j = 2 \cdot \pi \cdot f$ であり、 $f$ は毎秒の振動数である「実際の」周波数であることに留意されたい。

30

【0097】

大地と、特にその中にある何らかの物体28とが二次的な放射すなわち場29を発生させる。原理的には全ての方向から受信器23によって捕捉される電磁放射すなわち電磁場29は、いくつかの周波数 $f_j$ で測定され、同調コイル22に対する測定コイル23の位置データと共に処理装置26に伝送される。

【0098】

次いで、受信器23が異なる位置に移動され、測定ステップが反復される。領域 $D^{SC}$ に対する所望の数の測定データが決定されるまで、以上のステップが何度か反復される。次いで、本発明の第2の観点に係るアルゴリズムまたは方法を用いて、処理装置26によって測定データが処理できて、たとえばモニタ上に地表下の画像として再生できる電磁的コントラスト情報が得られる。

40

【0099】

この文脈では、電磁的コントラスト情報は、1つの位置すなわち1つのステップでの測定によって正確に決定できるのではないことに留意されたい。これは、収集された情報は、球体表面上に位置する領域 $D^{SC}$ の多数の、理論的には全ての、位置から潜在的な影響を受けているからである。したがって、特定の位置 $x'$ に関する情報は、 $x'$ があるのと同じ球体表面上の領域に位置する全てのその他の位置の情報に依存しており、それとの関連においてのみ決定可能である。受信された出力信号、たとえばこの場合には受信された場の強度すなわち放射強度の鉛直成分、を用いれば、(二次的な)場の源すなわち放射源の形

50

状および位置を決定でき、したがって所望の電磁的コントラスト情報を決定できる。

【0100】

この不正確さは、異なる角度でその領域の位置  $x'$  を調査すれば著しく改善できる。これは、たとえば、測定コイルおよび/または同調コイルの位置を変えて測定することによって実行できる。したがって、位置  $x'$  のコントラスト情報は多数の重複する測定から決定されることになり、誤差は平均化される。

【0101】

図5には、荷重因子  $W$  を用いて電磁的コントラスト情報を決定するための本発明の第2の観点に係る方法のフロー図を示す。これは1組の測定データ  $f^{sc}(x_m^s, x_n^r, j)$  から開始される。この測定データは、上述のナノTEM機器などの既知の地表下測定装置を用いて、送信器22および受信器23のいくつかの位置  $x_m^s$ 、 $x_n^r$  と、使用する電磁放射すなわち電磁場のいくつかの周波数  $j$  とに対して決定されたものである。

10

【0102】

次いで、各測定データに、数  $E(x_m^s, x_n^r, j, x')$  と、適用可能な荷重関数  $W(x_m^s, x_n^r, j, x')$  とを乗じる。

【0103】

次のステップは、全ての、使用した送信器位置  $x_m^s$ 、使用した受信器位置  $x_n^r$ 、使用した放射周波数  $j$ 、に渡って得られた積を加算することから成る。これが、領域  $D^{sc}(x')$  における大地の電磁的コントラスト情報  $X(x')$  を与える。次いで、この電磁的コントラスト情報を、解釈のために、たとえばモニタやプリンタ装置に送ることができる。

20

【0104】

図6には、フロー図として、測定装置に対して適用可能な荷重関数を決定するための本発明の第2の観点に係る方法を示す。

【0105】

最初に、電磁的コントラスト特性が既知である測定環境すなわち測定セットアップを用意しなければならない。これは、たとえば、1以上の既知の物体を所定の方法で地下に埋設することによって得られる。別の可能性は、基準測定を行って調査大地の電磁的コントラスト特性を決定するための、別の、正確な、しかし高価で処理が遅い機器を用いることである。

【0106】

30

以下のステップでは、調整すべき測定装置を用いて、一連の測定結果  $f^{sc}$  を決定するために測定環境の測定を行う。

【0107】

次いで、 $nd$  および  $n$  の値を、本発明に規定する限度内で選択する。これらの値は、測定を行うところの調整すべき測定装置に関連している。

【0108】

次いで、観測された測定結果は本発明の第2の観点に係るアルゴリズムを用いて処理される。荷重関数  $W$  は選択された  $nd$  および  $n$  の値に基づいて決定され、次いで、この荷重関数は、本発明の第2の観点に係る一連の測定データを処理する際に使用される。こうして、一連の処理済み測定データの結果が得られる。これに基づいて、調査した測定セットアップの電磁的コントラスト特性が決定できる。

40

【0109】

次いで、観測された電磁的コントラスト特性が、事前に分かっているコントラスト特性と比較される。観測されたコントラスト特性が、事前に分かっているコントラスト特性に所望の精度内で整合する場合には、この手続きは完了する。そうでない場合には、 $nd$  および  $n$  に対して新たな変更された値を選択し、これを用いて処理ステップと比較ステップとを反復しなければならない。

【0110】

このループは、測定された電磁的コントラスト情報が、事前に分かっているものと所望の精度内で一致するまで反復される。

50

## 【0111】

次いで、このようにして見出された  $n_d$  および  $n$  の値は測定装置に記憶できる。これらの値は、1度だけ設定され、測定装置にのみ依存し、選択した測定環境（調査すべき地点の種類や配置する物体など）には依存しない。

## 【0112】

図7aには、たとえば1msの周期Tで発射されたパルス信号を示す。各パルスの期間は、たとえば1~50nsであり、立上り時間は1~3nsである。パルス信号は、たとえば50~600MHzの中心周波数を有する。図7bには、図7aのパルス信号に対する応答として受信される応答信号を図7aと同じ時間スケールで示してある。図7cには、図7bの応答信号のサンプリングを図7aおよび図7bと同じ時間スケールで示してある。

10

## 【0113】

図8には、たとえば1kHzの周波数  $f_s$  を有するクロック信号を発生すべく設計されたクロック発生器32を示す。矢印4で記号化してあるように、クロック発生器32によって発生されたクロック信号は、受信器38からのアナログ応答信号をクロック信号周波数（サンプリング周波数とも呼ぶ）  $f_s$  でサンプリングすべく設計されたA/D変換器36に供給される。A/D変換器36はアナログ入力電圧をデジタル表現、たとえば8ビットの長さを有する応答信号ワード、に変換する。実用的な用途では、A/D変換器36はデマルチプレクサー（詳細は図示していない）を内蔵できる。これによって、いくつかの応答信号ワードをバッファリングでき、1度に  $n$  応答信号ワードがA/D変換器36の出力に現れるようにできる。ここで、 $n$  は1に等しいかこれより大きい整数である。したがって、A/D変換器36がデジタル情報を供給する周波数  $f_0$  は、周波数  $f_s$  と  $n$  との商である。図8の特定の実施例では、 $n = 2$  である。

20

## 【0114】

A/D変換器36の出力40はデマルチプレクサー回路42に接続されている。これは、いくつかの（図8の特定の実施例では、5つの）デマルチプレクサーを備えており、この内の4つは、それぞれ、いくつかの応答信号ワード（図8の特定の実施例では、4つの応答信号ワードすなわち32ビット）を連続してバッファリングできる。したがって、デマルチプレクサー42の出力44では、いくつかの（図8の特定の実施例では、16の）応答信号ワードを含むデータワードが現れる。このデータワードは、周波数  $f_s$  とデータワード当たりの応答信号ワード数との商に対応する周波数  $f_d$  で得られる。図8の回路でサンプリング周波数  $f_s$  が150MHzであると仮定すれば、データワード周波数  $f_d$  は9.4MHzとなる。この周波数  $f_d$  は、デマルチプレクサー42に接続した処理回路46で処理できる。

30

## 【0115】

A/D変換器36内またはその下流に1以上のデマルチプレクサーを使用して適切な周波数  $f_d$  を選択すれば、データワードの長さを変更できることは明らかであろう。これによって、非常に高速のA/D変換器36を採用し、これを用いて1周期以内でサンプリングを完了するという可能性が開ける。

## 【0116】

トリガー回路48は、線52で記号化してあるように、送信器50に供給されるトリガー信号を発生し、地表下に発射されるパルス信号を発生する。送信器50は、パルス信号を発生するパルス発生器（詳細は図示していない）を備えている。トリガー回路48と送信器50の間には、送信器50の遅延を補償できるプログラム可能な遅延線（図示しない）を設けることができる。トリガー信号は、線54で記号化してあるようにA/D変換器36にも供給される。これは、好ましくは、受信器38とA/D変換器36とにおける遅延を補償できるように、プログラム可能な遅延線（図示しない）を介して行われる。このようにしてA/D変換器36は、アナログパルス信号をデジタル応答信号サンプルに変換する命令を受取る。最後に、トリガー信号は、線58で記号化してあるようにデマルチプレクサー56に供給され、データワードの出力を処理回路46に同期させる。

40

50

【0117】

図9に示したように、受信器38は、入力回路60と、前置増幅器62と、帯域通過フィルタ64と、「設定」入力を介して調整可能な利得調整回路66と、出力増幅器68とを備えている。好ましくは、受信器38とA/D変換器36との間に減衰器70が設けられている。これは、「設定」入力を介して調整され、受信器38からの信号に対して1つまたはいくつかの電圧範囲（たとえば0～10mV、0～20mV、0～30mV、0～40mV、0～50mV）を設定するものであり、これによって、A/D変換器の精度が制限されているにも拘わらず、特に小振幅の応答信号に対して、可能な最大の振幅精度が得られる。

【0118】

以上、本発明について説明したが、本発明に関連して以下の発明12～34（出願当初の請求羽12～34）が提案される。

【0119】

[発明12]

地点の電磁的コントラスト情報を決定するために使用するアルゴリズムであって、電磁場(27)すなわち電磁放射が、1以上の異なる送信器位置 $x^s_m$ において1以上の異なる離散周波数 $\omega_j$ で、これに適した1以上の装置(22)を用いて発生されるのであり、前記電磁場すなわち電磁放射はその地点に侵入するのであり、1以上の異なる受信器位置 $x^r_n$ に戻った電磁放射(29)が、これに適した測定装置(23、25)を用いて1以上の出力信号 $f^{sc}(x^s_m, x^r_n, \omega_j)$ の型式で記録されるのであり、

前記アルゴリズムは、

$f^{sc}(x^s_m, x^r_n, \omega_j)$ の値に、対応する値 $E(x^s_m, x^r_n, x', \omega_j)$ を乗じるステップと、

これらの全ての積を加算するステップであって、ここで、 $m$ は、1から、使用する送信器位置の総数 $M$ までの両端を含む範囲で変化する整数であり、 $n$ は、1から、使用する受信器位置の総数 $N$ までの両端を含む範囲で変化する整数であり、 $j$ は、1から、使用する電磁放射の離散周波数の総数 $J$ までの両端を含む範囲で変化する整数であるステップと、を備えているのであり、ここで、

$f^{sc}(x^s_m, x^r_n, \omega_j)$ は、電磁放射すなわち電磁場(27)の源(22)が位置 $x^s_m$ にあり、電磁放射(29)の受信器(23)が位置 $x^r_n$ にあり、使用する電磁放射すなわち電磁場(27)の角周波数が $\omega_j$ である場合に測定される電磁放射(29)またはその成分であり、

【数1】

$$- E(x^s_m, x^r_n, x', \omega_j) = -C1 \cdot (\gamma(\omega_j))^2 \cdot \exp(-\gamma(\omega_j) \cdot (|x^r_n - x'| + |x' - x^s_m|)) / (|x^r_n - x'| \cdot |x' - x^s_m|)$$

は電磁場(27、29)に対する影響パラメータを表しており、 $x^s_m, x^r_n, \omega_j$ は上に定義した通りであり、 $x'$ は調査地点における位置であり、 $C1$ は定数であり、

【数2】

$$\gamma(\omega_j)$$

は周波数 $\omega_j$ でのその地点の伝播係数の複素共役であるアルゴリズムにおいて、

全ての $x^s_m, x^r_n, x', \omega_j$ について1に等しくない荷重因子 $W(x^s_m, x^r_n, x', \omega_j)$ を、加算の前に各々の積 $f^{sc} \cdot E(x^s_m, x^r_n, x', \omega_j)$ に対して更に乗ずることを特徴とするアルゴリズム。

[発明13]

10

20

30

40

50

発明 1 2 に記載のアルゴリズムであって、 $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x'$ 、 $j$  の少なくともいくつかの値に対して荷重因子  $W$  が実質的に

$$W(x^s_m, x^r_n, x', j) = C_2 \cdot (x^s_m - x' \cdot x' - x^r_n)^{nd} \cdot (j)^n$$

の形を取るものであり、ここで、

$C_2$  は定数であり、

$nd$  は - 2 と + 5 との間の実数であり、

$n$  は - 4 と + 4 との間の実数である、ことを特徴とするアルゴリズム。

【 0 1 2 0 】

[ 発明 1 4 ]

$nd$  が 2 . 5 と 3 . 5 との間であり、 $n$  が 1 . 5 と 2 . 5 との間であることを特徴とする発明 1 3 に記載のアルゴリズム。

【 0 1 2 1 】

[ 発明 1 5 ]

電磁場すなわち電磁放射 ( 2 7 ) を測定することによって地点の電磁的コントラスト情報を決定する際の先行発明 1 2 ~ 1 4 のいずれか記載のアルゴリズムの使用。

【 0 1 2 2 】

[ 発明 1 6 ]

地点の電磁的コントラスト情報を決定する方法であって、電磁場すなわち電磁放射 ( 2 7 ) が、1 以上の異なる送信器位置  $x^s_m$  において 1 以上の異なる離散周波数  $j$  で、これに適した 1 以上の装置 ( 2 2 ) を用いて発生されるのであり、前記電磁場すなわち電磁放射はその地点に侵入するのであり、戻った電磁放射 ( 2 9 ) が、1 以上の異なる受信器位置  $x^r_n$  において、これに適した測定装置 ( 2 3 、 2 5 ) を用いて 1 以上の出力信号  $f^{sc}$  (  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $j$  ) の型式で記録されるのであり、

前記方法は、

$f^{sc}$  (  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $j$  ) の値に、対応する値  $E$  (  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x'$ 、 $j$  ) を乗じるステップと、

これらの全ての積を加算するステップであって、ここで、 $m$  は、1 から、使用する送信器位置の総数  $M$  までの両端を含む範囲で変化する整数であり、 $n$  は、1 から、使用する受信器位置の総数  $N$  までの両端を含む範囲で変化する整数であり、 $j$  は、1 から、使用する電磁放射の離散周波数の総数  $J$  までの両端を含む範囲で変化する整数であるステップと、を備えているのであり、ここで、

$f^{sc}$  (  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $j$  ) は、電磁放射すなわち電磁場 ( 2 7 ) の源 ( 2 2 ) が位置  $x^s_m$  にあり、電磁放射 ( 2 9 ) の受信器 2 3 が位置  $x^r_n$  にあり、使用する電磁放射すなわち電磁場 ( 2 7 ) の角周波数が  $j$  である場合に測定される電磁放射 ( 2 9 ) であり、発明 1 2 の数式 1 が電磁場 ( 2 7 、 2 9 ) に対する影響パラメータを表しており、 $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $j$  は上に定義した通りであり、 $x'$  は調査地点における位置であり、 $C_1$  は定数であり、発明 1 2 の数式 2 は周波数  $j$  でのその地点の伝播係数の複素共役である方法において

全ての  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x'$ 、 $j$  について 1 に等しくない荷重因子  $W$  (  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x'$ 、 $j$  ) を、加算の前に各々の積  $f^{sc} \cdot E$  (  $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x'$ 、 $j$  ) に対して更に乗ずることを特徴とする方法。

【 0 1 2 3 】

[ 発明 1 7 ]

発明 1 6 に記載の方法であって、 $x^s_m$ 、 $x^r_n$ 、 $x'$ 、 $j$  の少なくともいくつかの値に対して荷重因子  $W$  が

$$W(x^s_m, x^r_n, x', j) = C \cdot (x^s_m - x' \cdot x' - x^r_n)^{nd} \cdot (j)^n$$

の形を取るものであり、ここで、

$C$  は定数であり、

10

20

30

40

50

$nd$  は - 2 と + 5 との間の実数であり、

$n$  は - 4 と + 4 との間の実数である、ことを特徴とする方法。

【 0 1 2 4 】

[ 発明 1 8 ]

$nd$  が - 2 . 5 と 3 . 5 との間であり、 $n$  が 1 . 5 と 2 . 5 との間であることを特徴とする発明 1 7 に記載の方法。

【 0 1 2 5 】

[ 発明 1 9 ]

発明 1 2、1 3、1 4、1 6、1 7 または 1 8 の何れか 1 に記載の測定装置に適用できる荷重因子  $W$  を決定する方法であって、前記方法が、

a) 所望の精度で電磁的コントラスト特性が分かっている地点を荷重因子を適用せずに調査するステップであって、少なくとも電磁場 ( 2 7 ) の源 ( 2 2 ) と電磁放射 ( 2 9 ) の受信器 ( 2 3 ) とを備えている測定装置を使用するのであり、一連の測定データ  $f^{sc}(x_m^s, x_n^r, x_j')$  と、一連の  $E(x_m^s, x_n^r, x_j')$  に対する値とが決定できるのであり、ここで、

$f^{sc}(x_m^s, x_n^r, x_j')$  は、電磁放射すなわち電磁場 ( 2 7 ) の源 ( 2 2 ) が位置  $x_m^s$  にあり、電磁放射 ( 2 9 ) の受信器 ( 2 3 ) が位置  $x_n^r$  にあり、使用する電磁放射すなわち電磁場 ( 2 7 ) の角周波数が  $x_j'$  である場合に測定される電磁放射 ( 2 9 ) またはその成分であり、

$E(x_m^s, x_n^r, x_j')$  は電磁場 ( 2 7、2 9 ) に対する影響パラメータを表しており、 $x_j'$  は調査地点における位置であるステップと、

b)  $nd$  および  $n$  に対する値の組を選択するステップと、

c)  $nd$  および  $n$  に対して選択した値に基づく荷重因子  $W$  を使用して、 $f^{sc}(x_m^s, x_n^r, x_j')$  および  $E(x_m^s, x_n^r, x_j')$  の値から電磁的コントラスト情報を計算するステップと、

d) このようにして求めた電磁的コントラスト情報が、所望の精度で既知の電磁的コントラスト情報に対応しない場合には、所望の精度が達成されるまで  $nd$  および  $n$  に対する値の組を調整してステップ c) を反復するステップと、を備えている方法。

【 0 1 2 6 】

[ 発明 2 0 ]

電磁放射すなわち電磁場 ( 2 7 ) を用いて地点の電磁的コントラスト情報を決定する測定装置であって、電磁場すなわち電磁放射 ( 2 7 ) の源 ( 2 2 ) と、電磁放射 ( 2 9 ) の受信器 ( 2 3 ) と、源 ( 2 2 ) を制御するための制御手段 ( 2 4 ) と、捕捉した電磁放射 ( 2 9 ) の測定データを決定するための少なくとも 1 つの測定器 ( 2 5 ) と、測定データを記録および処理するためのデータ処理手段 ( 2 6 ) とを備えている測定装置において、この測定装置が発明 1 1 ~ 1 4 の何れか 1 に記載のアルゴリズムを用いたコントラスト情報の決定に適していることを特徴とする測定装置。

【 0 1 2 7 】

[ 発明 2 1 ]

電磁放射すなわち電磁場 ( 2 7 ) を用いて地点の電磁的コントラスト情報を決定する測定装置であって、電磁場すなわち電磁放射 ( 2 7 ) の源 ( 2 2 ) と、電磁放射 ( 2 9 ) の受信器 ( 2 3 ) と、源 ( 2 2 ) を制御するための制御手段 ( 2 4 ) と、捕捉した電磁放射 ( 2 9 ) の測定データを決定するための少なくとも 1 つの測定器 ( 2 5 ) と、測定データを記録および処理するためのデータ処理手段 ( 2 6 ) とを備えている測定装置において、この測定装置が発明 1 6 ~ 1 8 の何れか 1 に記載の方法を用いたコントラスト情報の決定に適していることを特徴とする測定装置。

【 0 1 2 8 】

[ 発明 2 2 ]

測定装置で使用する荷重因子  $W$  が発明 1 9 に記載の方法を用いて決定されることを特徴とする発明 2 0 または 2 1 に記載の測定装置。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 9 】

[ 発明 2 3 ]

コンピュータ内にロードされ得るコンピュータプログラムであって、このようにしてプログラムされたコンピュータが発明 1 2 ~ 1 4 の何れか 1 に記載のアルゴリズムを実行するのに適しているコンピュータプログラム。

【 0 1 3 0 】

[ 発明 2 4 ]

コンピュータ内にロードされ得るコンピュータプログラムであって、このようにしてプログラムされたコンピュータが、発明 1 6 ~ 1 8 の何れか 1 に記載の電磁的コントラスト情報を決定する方法を実行するのに適しているコンピュータプログラム。

10

【 0 1 3 1 】

[ 発明 2 5 ]

コンピュータ可読媒体を備えたコンピュータプログラム製品であって、媒体上には発明 2 3 または 2 4 の何れか記載のコンピュータプログラムが記録されており、コンピュータがコンピュータプログラム製品を読取った後に、記録されたコンピュータプログラムを実行できるコンピュータプログラム製品。

【 0 1 3 2 】

[ 発明 2 6 ]

発明 2 3 または 2 4 に記載のコンピュータプログラムの使用。

【 0 1 3 3 】

[ 発明 2 7 ]

地表下調査を行う方法であって、  
1 以上の電磁的パルス信号を発生するステップと、  
この 1 以上のパルス信号を地表下に発射するステップと、  
各パルス信号に対応する 1 以上の応答信号を受信するステップと、  
1 以上の応答信号をサンプリングするステップと、  
応答信号ワードを取得するために各応答信号サンプルをデジタル形式に変換するステップと、  
応答信号ワードを処理して地表下の構造の画像を取得するステップと、を備えている方法において、  
各応答信号から少なくとも 2 つの応答信号サンプルが取得されることを特徴とする方法

20

30

【 0 1 3 4 】

[ 発明 2 8 ]

応答信号の実質的に完全な特性評価のために必要な全ての応答信号サンプルが各応答信号から取得されることを特徴とする発明 2 7 に記載の方法。

【 0 1 3 5 】

[ 発明 2 9 ]

いくつかの連続した応答信号ワードがバッファリングされてデータワードを形成し、このデータワードが処理されて地表下の構造の画像が取得されることを特徴とする発明 2 7 または 2 8 に記載の方法。

40

【 0 1 3 6 】

[ 発明 3 0 ]

受信時の各応答信号の振幅が、そのサンプルに適用可能な最大振幅に調整されることを特徴とする発明 2 7 ~ 2 9 の何れか 1 に記載の方法。

【 0 1 3 7 】

[ 発明 3 1 ]

地表下調査のための装置であって、  
1 以上の電磁的パルス信号を発生するパルス発生器と、  
この 1 以上のパルス信号を地表下に発射する送信器 ( 5 0 ) と、

50

各パルス信号に対応する 1 以上の応答信号を受信する受信器 ( 3 8 ) と、  
1 以上の応答信号をサンプリングし、応答信号ワードを取得するために各応答信号サン  
プルをデジタル形式に変換する A / D 変換器 ( 3 6 ) と、  
地表下の構造の画像を取得するために応答信号ワードを処理する処理回路 ( 4 6 ) と、  
を備えている装置において、A / D 変換器 ( 3 6 ) が、各応答信号から少なくとも 2 つの  
応答信号サンプルを取得するように設計されていることを特徴とする装置。

【 0 1 3 8 】

[ 発明 3 2 ]

応答信号の実質的に完全な特性評価のために必要な全ての応答信号サンプルを各応答信  
号から取得するように A / D 変換器 ( 3 6 ) が設計されていることを特徴とする発明 3 1  
に記載の方法。

10

【 0 1 3 9 】

[ 発明 3 3 ]

A / D 変換器から供給されたいくつかの連続した応答信号ワードをバッファリングして  
データワードを形成して、このデータワードを処理回路 ( 4 6 ) に出力するために A / D  
変換器 ( 3 6 ) と処理回路 ( 4 6 ) との間に設けたデマルチプレクサー回路 ( 4 2 ) を特  
徴とする発明 3 1 または 3 2 に記載の方法。

【 0 1 4 0 】

[ 発明 3 4 ]

各応答信号の振幅をそのサンプルに適用可能な最大振幅に調整するために受信器 ( 3 8  
) と A / D 変換器 ( 3 6 ) との間に設けた調整可能減衰器 ( 7 0 ) を特徴とする発明 3 1  
~ 3 3 の何れか 1 に記載の方法。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 4 1 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の観点に係るボアホールレーダ装置の模式断面図である。

【 図 2 】 本発明の第 1 の観点に係るボアホールレーダ装置の模式横断面図である。

【 図 3 】 本発明の第 1 の観点に係るボアホールレーダ装置の送信部の軸方向断面図である。

。

【 図 4 a 】 大地の電磁的コントラスト情報を決定する方法を用いた装置の上面模式図であ  
 る。

30

【 図 4 b 】 大地の電磁的コントラスト情報を決定する方法を用いた装置の側面模式図であ  
 る。

【 図 5 】 電磁的コントラスト情報を決定するための本発明の第 2 の観点に係る改良された  
 アルゴリズムを用いた方法のフロー図である。

【 図 6 】 本発明の第 2 の観点に係る測定装置に適用可能な荷重関数を決定する方法のフロ  
 ー図である。

【 図 7 】 ( a ) は本発明の第 3 の観点に係る発射パルス信号を時間 t に渡って示した図、  
 ( b ) は同じく受信応答信号を示した図、( c ) は同じく応答信号サンプリングを示した  
 図である。

【 図 8 】 本発明の第 3 の観点に係る方法を実施する電子回路のブロック図である。

40

【 図 9 】 図 8 の電子回路の一部をより詳しく示した図である。

【 符号の説明 】

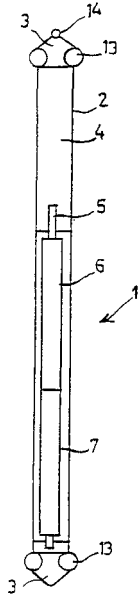
【 0 1 4 2 】

- 1 ボアホールレーダ装置
- 2ハウジング
- 3 密封要素
- 4 矢印
- 6 送信アンテナアセンブリ
- 7 受信アンテナアセンブリ
- 8 送信アンテナ ( ダイポールアンテナ )

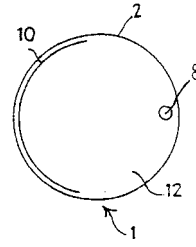
50

9	ケーブル	
1 0	反射体	
1 1	材料	
1 2	空間	
1 3	車輪	
1 4	耳	
1 5	吊り腕	
2 2	送信器 (同調コイル)	
2 3	受信器 (測定コイル)	
2 4	制御機器	10
2 5	測定装置	
2 6	処理装置	
2 7	磁場	
2 8	物体	
2 9	電磁場	
3 2	クロック発生器	
3 6	変換器	
3 8	受信器	
4 0	出力	
4 2	デマルチプレクサー回路	20
4 4	出力	
4 6	処理回路	
4 8	トリガー回路	
5 0	送信器	
5 2 , 5 4	線	
5 6	デマルチプレクサー	
5 8	線	
6 0	入力回路	
6 2	前置増幅器	
6 4	帯域通過フィルタ	30
6 6	利得調整回路	
6 8	出力増幅器	
7 0	減衰器	

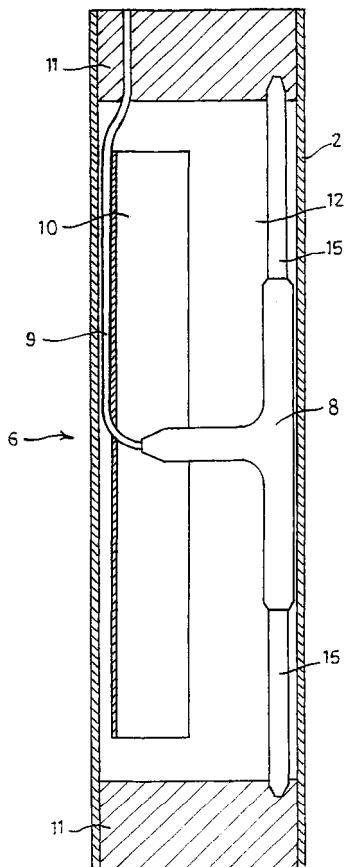
【図 1】



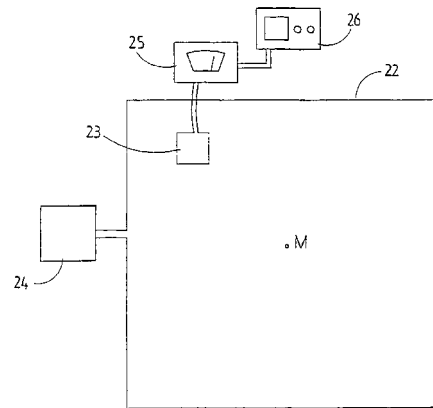
【図 2】



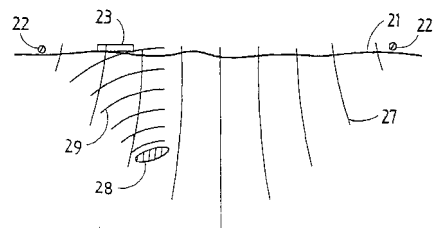
【図 3】



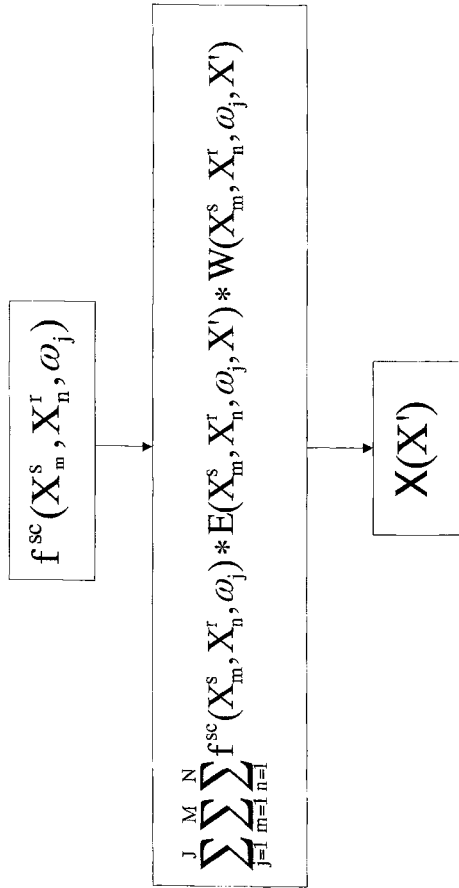
【図 4 a】



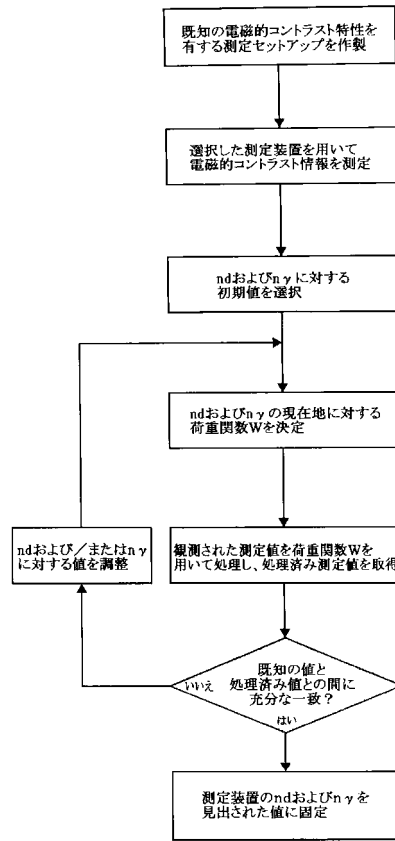
【図 4 b】



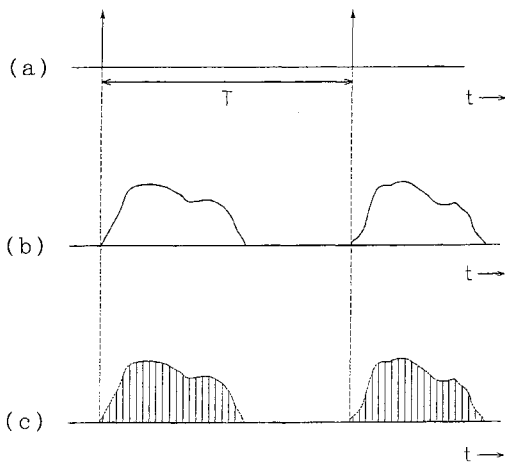
【図5】



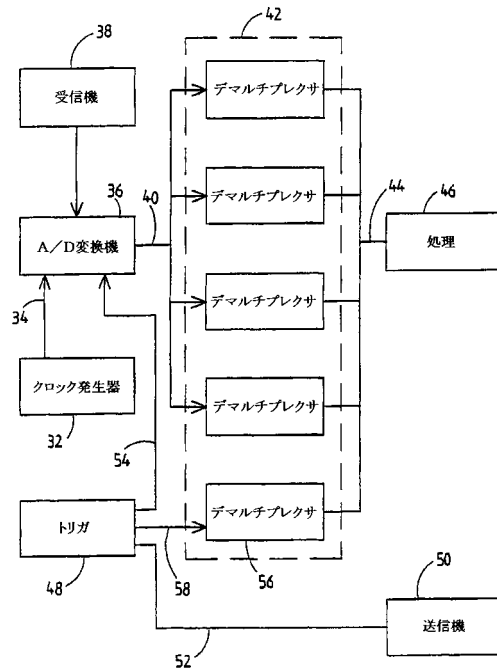
【図6】



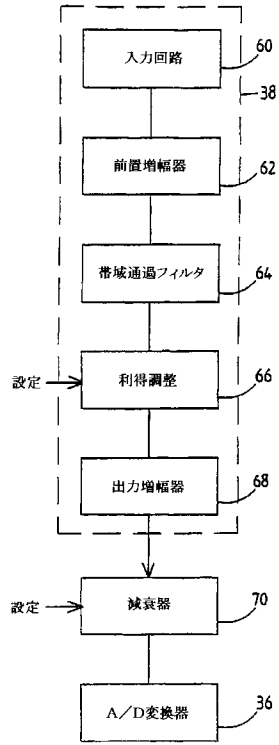
【図7】



【図8】



【図9】



## フロントページの続き

- (31)優先権主張番号 1016363  
(32)優先日 平成12年10月9日(2000.10.9)  
(33)優先権主張国 オランダ(NL)
- (72)発明者 ファン オエルス ミハエル セバスチャン  
オランダ国、ウトレヒト 3571 ダブリュー ビー、エイチ エフ ファン リエラーン 4  
4
- (72)発明者 ファン ドンゲン コーエン ウィレム アントン  
オランダ国、レイデン 2312 エー ケイ、ステーションスプレイン 36
- (72)発明者 ファン デン ベルグ ペトラス マリア  
オランダ国、ピナケール 2641 アール ブイ、ドクトル ダブリュー ファン デン ホル  
ストラーン 14
- (72)発明者 フォッケマ ヤコブ ティエールド  
オランダ国、シーダム 3118 エル ピー、ファン デル リーウラーン 6
- (72)発明者 ファン インゲン ロベルト  
オランダ国、ヌールドウィック 2201 エイチ ビー、オッフエンウェッグ 3
- (72)発明者 ブドコ ネイル ブラディミロビッチ  
オランダ国、デルフト 2624 ズィー エフ、ダブリュー ビルデルディコフ 89
- (72)発明者 レミス ロベルト フランス  
オランダ国、ロッテルダム 3071 エー シー、ラーン オブ ズイド 1068

審査官 田中 秀直

- (56)参考文献 英国特許出願公開第02100544(GB, A)  
米国特許第04045724(US, A)  
特開平08-292270(JP, A)  
実開平07-042945(JP, U)  
特表平03-500451(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01V 1/00-11/00  
G01S 13/88  
JSTPlus(JDreamII)