

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4870874号  
(P4870874)

(45) 発行日 平成24年2月8日(2012.2.8)

(24) 登録日 平成23年11月25日(2011.11.25)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>GO 1 V</b>	<b>3/12</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 V	3/12	B
<b>GO 1 S</b>	<b>13/88</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 S	13/88	G

請求項の数 8 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2001-77605 (P2001-77605)</p> <p>(22) 出願日 平成13年3月19日 (2001.3.19)</p> <p>(65) 公開番号 特開2002-296356 (P2002-296356A)</p> <p>(43) 公開日 平成14年10月9日 (2002.10.9)</p> <p>審査請求日 平成20年3月7日 (2008.3.7)</p>	<p>(73) 特許権者 390009531                  インターナショナル・ビジネス・マシー                  ズ・コーポレーション                  INTERNATIONAL BUSIN                  ESS MASCHINES CORPO                  RATION                  アメリカ合衆国10504 ニューヨーク                  州 アーモンク ニュー オーチャード                  ロード</p> <p>(74) 代理人 100086243                  弁理士 坂口 博</p> <p>(74) 代理人 100091568                  弁理士 市位 嘉宏</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非破壊探査システム、非破壊探査方法、非破壊探査を実行するためのプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

誘電体を含むマトリックスに電磁波を放出することにより前記マトリックス内に埋設された探査対象物を非破壊探査するシステムであって、

前記マトリックスの表面に対向して配置され、前記マトリックスに対して前記電磁波を放出すると共に、前記電磁波の反射により形成されるレーダ反射信号を検出する探査用プローブと、

前記レーダ反射信号から探査対象物の反射信号を算出するための信号処理手段とを含み、

前記信号処理手段は、

前記レーダ反射信号のピーク強度を使用して所定のグループを生成するための手段と、

前記レーダ反射信号を、前記所定のグループごとに記憶する記憶手段と、

前記所定のグループごとに記憶された前記レーダ反射信号から標準バックグラウンド信号を算出する手段と、

前記所定のグループごとに前記レーダ反射信号と、前記標準バックグラウンド信号との差分信号を算出する手段と、

前記差分信号から前記探査対象物の反射信号を特定する手段とを含む非破壊探査システム。

【請求項2】

前記標準バックグラウンド信号を、同一の前記所定のグループに分類されるバックグラ

ウンド信号の平均値、中央値、最大値、または最小値として算出する、請求項 1 に記載の非破壊探査システム。

【請求項 3】

前記マトリックスは、土壌である、請求項 1 または 2 に記載の非破壊探査システム。

【請求項 4】

前記電磁波は、10 GHz 以下である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の非破壊探査システム。

【請求項 5】

誘電体を含むマトリックスに探査用プローブを配置し、該探査用プローブから前記マトリックスに向けて電磁波を放出することにより前記マトリックス内に埋設された探査対象物を非破壊探査する方法であって、

前記マトリックスの表面に対向してアンテナを配置するステップと、

前記探査用プローブから電磁波をマトリックスに向けて放出してレーダ反射信号を検出するステップと、

前記レーダ反射信号のピーク強度を使用して所定のグループを生成するステップと、

前記レーダ反射信号を、前記所定のグループに分けて記憶するステップと、

前記グループごとの標準バックグラウンド信号を決定するステップと、

前記選択されたグループに属する前記レーダ反射信号と、前記標準バックグラウンド信号との差分信号を算出するステップと、

前記差分信号から埋設された前記探査対象物からの反射信号を抽出するステップとを含む非破壊探査方法。

【請求項 6】

前記標準バックグラウンド信号を、同一の前記グループに分類されるレーダ反射信号の平均値、中央値、最大値、または最小値を含む群から選択して算出するステップを含む、請求項 5 に記載の非破壊探査方法。

【請求項 7】

誘電体を含むマトリックスの表面に対向して探査用プローブを配置するステップと、前記探査用プローブから電磁波をマトリックスに向けて放出してレーダ反射信号を検出するステップと、探査対象物からの反射を含むレーダ反射信号を信号処理手段により処理するステップと、を含む非破壊探査方法を実行するためのプログラムであって、

該プログラムは、前記信号処理手段に対して、

前記探査用プローブから電磁波をマトリックスに向けて放出してレーダ反射信号を検出するステップと、

前記レーダ反射信号のピーク強度を使用して所定のグループを生成するステップと、

前記レーダ反射信号を、前記所定のグループに分けて記憶するステップと、

前記所定のグループごとの標準バックグラウンド信号を決定するステップと、

前記選択されたグループに属する前記レーダ反射信号と、前記標準バックグラウンド信号との差分信号を算出するステップと、

前記差分信号から埋設された前記探査対象物からの反射信号を抽出するステップとを実行させるプログラム。

【請求項 8】

前記標準バックグラウンド信号を、同一の前記グループに分類されるレーダ反射信号の平均値、中央値、最大値、または最小値を含む群から選択して算出するステップを含む、請求項 7 に記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は非破壊探査に関し、より詳細には、誘電体を含むマトリックス内に埋設された探査対象物を非破壊、かつ高精度に探査することを可能とする非破壊探査システム、非破壊探査方法、非破壊探査を実行するためのプログラム、および該プログラムが記憶されたコンピュータ可読な記憶媒体に関する。

## 【 0 0 0 2 】

## 【 発明の属する技術分野 】

## 【 従来技術 】

誘電体を含むマトリックス中に電磁波、特に高周波数の電磁波を送って、マトリックス中に埋設された探査対象物である物体または空洞といった構造を非破壊で検査または探査するレーダ探査法は、探査対象物を非破壊で探査することができるため種々の分野において使用されている。

## 【 0 0 0 3 】

通常、レーダ探査法は、探査対象物が埋設されたマトリックスの表面に対して、探査用プローブとして使用される送受信用のアンテナを隣接させて、マトリックス中に埋設された探査対象物からの反射を検出することによってレーダ反射信号生成している。

10

## 【 0 0 0 4 】

しかしながら、レーダ反射信号は外来ノイズ、機器内部から発生するノイズといった種々の雑音により影響を受け、レーダ反射信号を分析して探査対象物の存在を確認しようとしても、探査対象物と、ノイズとの差異が不明確となりがちであるという不都合がある。このような不都合を解決するべく、これまで種々の検討が行われてきている。例えば特開 2 0 0 0 - 2 5 8 5 4 9 号公報においては、レーダ反射信号とバックグラウンド信号とを比較して差分信号を算出し、探査精度を向上させる検討がなされている。図 1 には、従来のバックグラウンド信号を除去するための概略的なプロセスを示す。

## 【 0 0 0 5 】

図 1 に示された従来のプロセスにおいては、ステップ 1 0 1 においてレーダ反射信号を取得する。次いで、ステップ 1 0 2 において探査対象物からの反射信号を含むレーダ反射信号を平均してバックグラウンド信号を算出する。この後、ステップ 1 0 3 においてバックグラウンド信号の平均値と、すべてのレーダ反射信号との差分を算出することにより、ステップ 1 0 4 においてバックグラウンドの影響を除去したレーダ反射信号を得るものである。

20

## 【 0 0 0 6 】

また、特開 2 0 0 1 - 4 6 6 8 号公報においては、測定波形データと、測定波形データを選択して平均波形データを算出し、測定波形データと、平均波形データとを表示させる波形観測装置および方法が開示されている。

30

## 【 0 0 0 7 】

上述した方法によってもバックグラウンドを確か有効に除去することで、探査対象物の探査精度を向上させることができる。しかしながら、レーダ探査においては、ある場合には、マトリックス表面が著しく不均一、すなわち凸凹である場合や、砂、礫、砂利といった物体が土壌に混在して表面に露出し、マトリックスを構成している場合もある。この場合には、探査用プローブを地表面に完全に接することができず、探査対象物からの反射信号に加え、ダイレクト・カップリング信号、マトリックス表面から生じる表面反射信号が同時に入力されることになる。

## 【 0 0 0 8 】

このような場合であってもマトリックスの表面を平坦化することができる場合にはマトリックス表面からの表面反射信号のばらつきの影響を低減させることができるものの、常にマトリックスの表面を平坦化してレーダ探査を行うことができるわけではない。

40

## 【 0 0 0 9 】

例えば、小型対人用地雷の除去を行う場合には、種々のフィールドに埋設された小型対人用地雷の埋設位置を、例えば土壌といったマトリックスの表面も保存しながら高感度、かつ高精度に探査する必要がある。このような場合には、上述したような土壌といったマトリックス表面からの反射が埋設された探査対象物である小型対人用地雷により発生する反射信号と共にレーダ反射信号として観測されてしまうことになる。この場合であっても、マトリックス表面からの反射信号の影響をできるだけ排除して、マトリックス中に埋設された探査対象物をきわめて高感度、かつ高精度に検出することが必要である。

50

## 【 0 0 1 0 】

さらに、マトリックスの表面と、探査用プローブとの間の距離を、マトリックス表面の凹凸の影響をキャンセルするほどに大きくして測定することも可能ではあるものの、測定精度が低下すること、また距離を常に同一に保持することは必ずしも容易でないこと、といった不都合があった。

## 【 0 0 1 1 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

このため、これまで、マトリックス内に電磁波を放出し、レーダ反射によりマトリックス内部の探査対象物を、マトリックス表面と、探査用プローブとの間の実質的な距離が変動しても十分に高感度、高精度に、かつ表面状態までを非破壊に保存しつつ、探査対象物を検出または探査するためのシステム、方法、そのためのプログラム、および該プログラムが記録されたコンピュータ可読な記憶媒体が必要とされていた。

10

## 【 0 0 1 2 】

## 【 課題を解決するための手段 】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、本発明の上記課題は、本発明の非破壊探査システム、非破壊探査方法、そのために用いられるプログラム、および該プログラムが記録されたコンピュータ可読な記録媒体を提供することにより解決される。本発明は、マトリックスの表面からの表面反射のレーダ反射強度が、探査用プローブと、マトリックス表面の実質的な距離に対して良好に相関することを見出すことにより完成されたものである。即ち、本発明においては実質的な距離の変動の幅に対応してレーダ反射信号をグループ分けし、グループ分けしたレーダ反射信号ごとに標準バックグラウンド信号を算出し、グループごとに、レーダ反射信号と、標準バックグラウンド信号との差分信号を算出させる。このため、探査用プローブと、マトリックス表面との間の距離が大きく異なる信号どうしの信号が互いに差分されないようにすることで、検出精度、検出感度を向上させることを可能とするものである。

20

## 【 0 0 1 3 】

すなわち、本発明によれば、誘電体を含むマトリックスに電磁波を放出することにより前記マトリックス内に埋設された探査対象物を非破壊探査するシステムであって、前記マトリックスの表面に対向して配置され、前記マトリックスに対して前記電磁波を放出すると共に、前記電磁波の反射により形成されるレーダ反射信号を検出する探査用プローブと、前記レーダ反射信号から探査対象物の反射信号を算出するための信号処理手段とを含み、前記信号処理手段は、前記レーダ反射信号から所定のグループを生成するための手段と、前記レーダ反射信号を、前記所定のグループごとに記憶する記憶手段と、前記所定のグループごとに記憶された前記レーダ反射信号から標準バックグラウンド信号を算出する手段と、前記所定のグループごとに前記レーダ反射信号と、前記標準バックグラウンド信号との差分信号を算出する手段と、前記差分信号から前記探査対象物の反射信号を特定する手段とを含む非破壊探査システムが提供される。

30

40

## 【 0 0 1 4 】

本発明においては、前記レーダ反射信号の所定のグループは、前記探査用プローブと、前記マトリックスの表面との間隔に対応して生成される。また、本発明においては、前記レーダ反射信号のグループは、前記レーダ反射信号のピーク強度を使用して生成される。

## 【 0 0 1 5 】

本発明においては、前記標準バックグラウンド信号を、同一の前記所定のグループに分類されるバックグラウンド信号の平均値、中央値、最大値、または最小値として算出される。本発明においては、前記マトリックスは、土壌とされる。本発明においては、前記電磁波は、10GHz以下である。

50

## 【 0 0 1 6 】

また、本発明においては、誘電体を含むマトリックスに探査用プローブを配置し、該探査用プローブから前記マトリックスに向けて電磁波を放出することにより前記マトリックス内に埋設された探査対象物を非破壊探査する方法であって、  
前記マトリックスの表面に対向してアンテナを配置するステップと、  
前記探査用プローブから電磁波をマトリックスに向けて放出してレーダ反射信号を検出するステップと、  
前記レーダ反射信号から所定のグループを生成するステップと、  
前記レーダ反射信号を、前記所定のグループに分けて記憶するステップと、  
前記グループごとの標準バックグラウンド信号を決定するステップと、  
前記選択されたグループに属する前記レーダ反射信号と、前記標準バックグラウンド信号との差分信号を算出するステップと、  
前記差分信号から埋設された前記探査対象物からの反射信号を抽出するステップとを含む非破壊探査方法が提供される。

10

## 【 0 0 1 7 】

本発明においては、前記レーダ反射信号の所定のグループを、前記探査用プローブと、前記マトリックスの表面との間隔に対応して生成するステップを含む。本発明においては、前記レーダ反射信号の所定のグループを、前記レーダ反射信号のピーク強度を使用して生成するステップを含む。また、本発明においては、前記標準バックグラウンド信号を、同一の前記グループに分類されるレーダ反射信号の平均値、中央値、最大値、または最小値を含む群から選択して算出するステップを含む。本発明においては、前記マトリックスは、土壌である。また、本発明においては、前記電磁波は、10GHz以下の周波数とされる。

20

## 【 0 0 1 8 】

さらに、本発明においては、誘電体を含むマトリックスの表面に対向して探査用プローブを配置するステップと、前記探査用プローブから電磁波をマトリックスに向けて放出してレーダ反射信号を検出するステップと、探査対象物からの反射を含むレーダ反射信号を信号処理手段により処理するステップと、を含む非破壊探査方法を実行するためのプログラムであって、該プログラムは、前記信号処理手段に対して、  
前記探査用プローブから電磁波をマトリックスに向けて放出してレーダ反射信号を検出するステップと、  
前記レーダ反射信号から所定のグループを生成するステップと、  
前記レーダ反射信号を、前記所定のグループに分けて記憶するステップと、  
前記所定のグループごとの標準バックグラウンド信号を決定するステップと、  
前記選択されたグループに属する前記レーダ反射信号と、前記標準バックグラウンド信号との差分信号を算出するステップと、  
前記差分信号から埋設された前記探査対象物からの反射信号を抽出するステップとを実行させる  
プログラムが提供される。

30

## 【 0 0 1 9 】

本発明においては、前記レーダ反射信号の所定のグループを、前記探査用プローブと、前記マトリックスの表面との間隔に対応して生成するステップを含む。また、本発明においては、前記レーダ反射信号の所定のグループを、前記レーダ反射信号のピーク強度を使用して生成するステップを含む。本発明においては、前記標準バックグラウンド信号を、同一の前記グループに分類されるレーダ反射信号の平均値、中央値、最大値、または最小値を含む群から選択して算出するステップを含む。本発明においては、前記電磁波は、10GHz以下の周波数とされる。

40

## 【 0 0 2 0 】

また、本発明によれば、誘電体を含むマトリックスの表面に対向して探査用プローブを配置するステップと、前記探査用プローブから電磁波をマトリックスに向けて放出してレー

50

ダ反射信号を検出するステップと、探査対象物からの反射を含むレーダ反射信号を信号処理手段により処理するステップと、を含む非破壊探査方法を実行するためのプログラムが記録されたコンピュータ可読な記憶媒体であって、該記憶媒体は、前記信号処理手段に対して、

前記アンテナから電磁波をマトリックスに向けて放出してレーダ反射信号を検出するステップと、

前記レーダ反射信号から所定のグループを生成するステップと、

前記レーダ反射信号を、前記所定のグループに分けて記憶するステップと、

前記所定のグループごとの標準バックグラウンド信号を決定するステップと、

前記選択されたグループに属する前記レーダ反射信号と、前記標準バックグラウンド信号との差分信号を算出するステップと、

前記差分信号から埋設された前記探査対象物からの反射信号を抽出するステップとを実行させる

コンピュータ可読な記憶媒体が提供される。本発明においては、前記レーダ反射信号の所定のグループを、前記探査用プローブと、前記マトリックスの表面との間隔に対応させ、前記レーダ反射信号のピーク強度を使用して生成するステップを実行させる。本発明においては、前記標準バックグラウンド信号を、同一の前記所定のグループに分類されるレーダ反射信号の平均値、中央値、最大値、または最小値を含む群から選択して算出するステップを実行させる。

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を図面に記載した実施の形態をもって説明するが、本発明は後述する実施の形態により制限されるわけではない。図2には、石などの物体が表面に存在する凹凸のある土壤に適用し、土壤中に埋設された探査対象物を非破壊で探査する本発明の実施の形態を示す。図2に示した実施の形態においては、凹凸のある地表面10には、土壤自体の凹凸に加え、石12といった物体が存在しているのが示されている。

【0022】

探査対象物14、具体的には、図2において説明する実施の形態においては小型対人用地雷は、土壤中に埋設されていて、除去作業に先立って、その埋設箇所を高精度、かつ高感度に探査する必要がある。図2に示した実施の形態においては、地表面10に対向して探査用プローブ16が配置されているのが示されている。しかしながら、図2に示すように地表面10は、平坦ではなく、実質的な距離dを決定するにしても平均値とならざるを得ず、また土壤の表面は明確に境界を形成しているとは言い難い場合も生じる。

【0023】

図2に示した探査用プローブ16は、送信用アンテナ18aと受信用アンテナ18bとが別体とされて、探査用プローブ16内に配設されているのが示されている。しかしながら、本発明においては必ずしも送信用アンテナと受信用アンテナとを分離することが必要とされるわけではなく、一体となったアンテナとして探査用プローブ16内に配設される構成とされていてもよい。また、本発明においては、図2に示すように送信用アンテナ18aと、受信用アンテナ18bとは、同一の探査用プローブ16内に配設されている必要はなく、送信用アンテナ18aと、送信用アンテナ18bとを別々の探査用プローブに分けて構成することも可能である。

【0024】

図3には、本発明において使用することができる探査用プローブ16の例を示す。本発明において使用することができる探査用プローブ16の内部には、図2に示したように、電磁波を土壤中に放出させるための送受信アンテナ18a、18bが配設されている。本発明においては電磁波の周波数は、対象マトリックスの特性に応じていかなる周波数の電磁波でも使用することができ、特に本発明では10GHz以下、具体的には土壤に使用する場合には、本発明の実施の形態である探査深度約10cm、探査対象物が10cm以下といった場合には略2GHzとすることが好ましい。しかしながら、より探査深度が深く

、かつより大きな探査対象物については2 GHz以下の周波数の電磁波を使用することもできる。図3に示した実施の形態においては、探査用プローブ16は、送信用アンテナ18aから電磁波が土壌内部へと放出し、地表面10からの反射信号と、探査対象物14からの反射信号とが、受信アンテナ18bにより検出されるようにされている。また、受信アンテナ18bは、送信用アンテナ18aからのダイレクト・カップリング信号も受け取り、受信アンテナ18bには、上述した3種類の信号が重畳されて入力されることになる。

#### 【0025】

図4は、上述したダイレクト・カップリング信号と、地表面10からの反射信号と、探査対象物14からの反射信号との発生、および検出を示した概略図である。探査用プローブ16（地中レーダ）から土壌中に向けて放出された電磁波は、まず地表面10により反射され、地表面10からの反射信号20を形成し、この反射信号20が地表面からの反射信号として探査用プローブ16により検出される。

10

#### 【0026】

また、土壌中に向けて放出された電磁波のうち、地表面10により反射されなかった部分は、より長距離を走行して探査対象物14により反射され、探査対象物14からの反射信号22が、探査用プローブ16により検出される。この他、送信アンテナ18aから受信アンテナ18bへと直接カップリングする成分がダイレクト・カップリング信号24を形成し、このダイレクト・カップリング信号についても探査用プローブ16へと入力される。したがって、本発明においては、上述した3種類の反射信号が、レーダ反射信号を形成する。

20

#### 【0027】

また、図4に示すように、探査用プローブ16は、適切なバス・ライン19により、図示しない信号処理システムへと、検出されたレーダ反射信号を送信している。

#### 【0028】

図5は、本発明において使用することができる信号処理手段を含んだ、非破壊探査システムを示した概略図である。地表面10に対向して配置された探査用プローブ16により検出されたレーダ反射信号は、バス・ライン19を介して信号処理手段30へと入力される。図5に示すように、信号処理手段30は、信号入力部32と、ピーク高さ検出手段34と、記憶手段36と、差分信号発生手段38とを含んで構成されている。

30

#### 【0029】

信号入力部32は、探査用プローブからバス・ライン19を介して送信されるレーダ反射信号を受信して、信号処理手段30がさらに処理を行うことが可能なデータ形式として図示しないバッファ・メモリへと記憶させる。バッファ・メモリといった記憶手段に記憶されたレーダ反射信号は、ピーク高さ検出手段34での処理を行わせるために呼び出されるまで、保持される。ピーク高さ検出手段34は、地表面10と探査用プローブ16との間の実質的な距離dに対応して変動するレーダ反射信号のピーク強度を検出し、検出されたレーダ反射信号のピーク強度の最大値および最小値を決定する。さらに、ピーク強度検出手段34は、得られた最大値と最小値の間をn分割（nは、1以上の自然数である。）して、ピーク強度に対応した所定のグループを生成する。

40

#### 【0030】

また、記憶手段36は、ピーク強度に対応して生成されたグループごとに、レーダ反射信号を記録する。また、図5に示された実施の形態においては、信号処理手段30は、所定のグループごとに記憶されたレーダ反射信号を、グループごとに例えば平均して、グループごとの標準バックグラウンド信号を算出する。図5に示した記憶手段36には、グループごとにレーダ反射信号を記憶する領域36aと、標準バックグラウンド信号を記憶するための領域36bとが形成されているのが示されている。

#### 【0031】

図5に示した差分信号算出手段38は、レーダ反射信号と、標準バックグラウンド信号との差分信号を算出し、例えばメモリ40へと結果を出力させている。このメモリ40に記

50

憶された結果は、後に表示手段 42 へと出力できるように構成されている。本発明において上述した記憶手段 36、メモリ 40 といった各種の構成については、図面に示した以外でもこれまで知られたいかなる構成でも採用することができる。

【0032】

さらに、図 5 において示した本発明の非破壊探査システムの実施の形態においては、差分信号算出手段 38 からの出力は、メモリ 40 を介して表示手段 42 へと送られて、検出された探査対象物 14 の情報を数値データ、画像データとして表示する構成とされている。

【0033】

本発明の上述した信号処理手段 30 は、例えばパーソナル・コンピュータ、ワークステーションといったコンピュータ手段から構成することができ、例えば P E N T I U M (商標：インテル社) といった CPU 又はこれと互換性のある CPU、または P o w e r P C (商標：インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション) を搭載することが可能で、W I N D O W S (商標：マイクロソフト・コーポレイション)、W I N D O W S N T (商標：マイクロソフト・コーポレイション)、O S / 2 (商標：インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレイション)、マック OS (商標：アップル・コンピュータ)、A I X (商標：インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレイション)、ユニックス、リナックスといったオペレーティング・システムを動作させることが可能なパーソナルコンピュータ、ワークステーションを挙げることができるが、これらのものに限定されるわけではない。

【0034】

図 6 は、図 5 に示した本発明の非破壊検査システムにより測定されるレーダ反射信号を示した図である。縦軸には信号の相対強度(レーダ反射強度)を示し、横軸には、サンプリング時間を、時間分解測定を行う測定機器のチャンネル番号として示している。図 6 においては、探査用プローブ 16 と、地表面 10 との間の距離を 0 ~ 50 mm の範囲で変化させており、それぞれの距離に対応する反射波形が、0 mm (a)、10 mm (b)、20 mm (c)、30 mm (d)、40 mm (e)、50 mm (f) として示されている。

【0035】

図 6 に示されるように、概ねどの距離の反射波形についても 0 ~ 40 サンプル番号までの間に複数の極大値を有し、40 チャンネル以降において土壌中の埋設物といった探査対象物からの反射に対応する極大値および極小値を含む反射波形が得られているのがわかる。

【0036】

検出される反射信号において、地表面 10 により反射される成分は、土壌中に埋設された探査対象物 14 に比較して反射経路が短く、かつ反射強度も強いので、時間的に早い時点で、より強い反射信号を与えることが予測される。この観点から図 6 を参照すると、地表面 10 からの距離を変化させた場合には、サンプリング番号の小さい、すなわち時間的に早い部分における変化が大きいことに着目すれば、この部分が地表面 10 からの反射信号を主に含む極大・極小値であるものと判断することができる。図 7 には、本発明において使用することができるレーダ反射信号のピークの実施の形態を示す。図 7 に示すように、本発明者らはサークルで示したピークに特に着目し、これらの極大ピーク・極小ピークを使用してそのピーク値および地表面 10 と探査用プローブ 16 との距離の相関性について検討を加えた。

【0037】

図 8 には、図 7 に示した極大値および極大値のレーダ反射信号強度を、地表面 10 と探査用プローブ 16 との間の距離  $d$  に対してプロットした図を示す。図 8 に示すように極大ピーク(+ピークで示す)と、極小ピーク(-ピークで示す)と、距離  $d$  とは、良好な相関関係を示すことがわかる。図 8 に示されるように本発明においては反射信号の特に初期の極大・極小値が地表面 10 により生じる反射信号を主として含み、かつ地表面 10 からの反射信号を補正するために有効に利用できることが見出された。

【0038】



従来のように、探査用プローブ16と、地表面10との距離が常に一定に設定できる場合には、単に地表面10からの反射信号を含んで検出されることになるレーダ反射信号と、地表面10からの反射信号との差分信号を算出することにより、有効に地表面10からの反射信号を取り除くことが可能である。

【0039】

しかしながら、本発明において使用される探査プローブ16は、多くの場合、作業者が手持ちで地表面10に対して配置して探査を行う場合も多く、また地表面10についても地表面10の形状および状態により、探査用プローブ16の下側において距離が一定とすることができない場合が通常に発生する。このため、探査対象物14からの反射信号を含むレーダ反射信号は、ある一定の範囲での地表面10からの距離を平均した反射信号が重畳されて形成されているものと考えられる。このため、レーダ反射信号から差し引くべきバックグラウンド信号は、すべての信号を単に平均して用いることは適切ではなく、埋設された探査対象物14からの微少なレーダ反射信号がバックグラウンド信号により埋もれてしまう場合も生じ、このことが探査精度、探査感度を低下させることになる。

10

【0040】

このため、本発明においては、図8に示すように地表面10と、探査用プローブ16との間の実質的な距離dが、レーダ反射信号の比較的時間的に早く検出されるピークとの良好な相関関係にあることに基づき、地表面10との間の実質的な距離を考慮することなく、ピーク強度を直接使用してレーダ反射信号を、複数のグループへと分類する。さらに、これらのグループごとに標準バックグラウンド信号をレーダ反射信号の平均値、中央値、最大値、最小値のいずれかとして算出する。その後、標準バックグラウンド信号と実際のレーダ反射信号との差分信号をグループごとに算出させる。

20

【0041】

図9には、実質的な距離dを変化させて得られたレーダ反射信号に対するグループ分けの実施の形態を示す。図9においては、10mmから45mmまで実質的な距離dを変化させた得られたa~hまでのレーダ反射信号が、それぞれ10~15mmのグループG1、15~25mmのグループG2、25~35mmのグループG3、35~45mmのグループG4へとグループ化されているのが示されている。図9においては、本発明においては上述したグループを構成する距離dの範囲は、測定されたレーダ反射信号の極大値のピークの最大および最小値を検出し、その差を例えばn等分することなどにより決定することができる。しかしながら、本発明においては、図8に示すようなピーク強度と実質的な距離dの依存性に応じて、ウエイト付けしたグループを生成させることも可能である。

30

【0042】

したがって、グループの数については、図9に示された以外にも適宜探査精度、作業性などを考慮して設定することができる。また、図9には、それぞれのグループG1~G4には、例えばG1に(a、b)、G2には、(c、d)というように、レーダ反射信号が2組含まれているのが示されているが、本発明においては、探査精度、作業性といった観点から適宜いかなるサンプル数のレーダ反射信号でも含むように測定を行うことができる。

【0043】

図10には、本発明に従い、ピーク強度のグループごとに分類されたバックグラウンド信号とそれに対応する標準バックグラウンド信号SBとを含んで構成される本発明の非破壊探査システムに含まれるデータ構造を示す。また、図10に示した実施の形態においては標準バックグラウンド信号SBは、それぞれのグループに含まれるレーダ反射信号の平均として与えられているのが示されている。

40

【0044】

図11には、上述したようにしてレーダ反射信号がそれぞれのグループについて確定された後に、グループに含まれる単一のレーダ反射信号を示す。図11に示されるように、地表面10からの反射信号を含むレーダ反射信号は、地表面10からの反射信号が主要な構造を有し、それ以後のサンプリング番号において検出されることが予測される探査対象物14の信号に比較して著しく大きく、実質的な距離dの変動により、探査対象物14から

50

の信号は、簡単にうち消されてしまうことが理解できる。

【0045】

図12には、本発明の非破壊探査システムにより得られる標準バックグラウンド信号SBの実施の形態を示す。図12に示した実施の形態においては、標準バックグラウンド信号は、例えば図9に示したG1に分類されたレーダ反射信号を平均することにより得ることができる。

【0046】

図13には、図11に示されたレーダ反射信号と、このレーダ反射信号が属すると判断されたグループの標準バックグラウンド信号との差分信号を、本発明に従い算出した結果を示す。図13に示されるように図11および図12に示された地表面10からの反射信号を含む大きなピークは消失し、サンプリング番号50付近に検出される埋設された小型対人用地雷といった探査対象物14のピークが明確に検出されていることがわかる。上述したように本発明の非破壊探査システムは、探査用プローブ16の地表面10に対する実質的な距離dが変動する場合、または一義的に距離が定められずに実質的な値しか使用できない場合であっても高感度、かつ高精度の探査を可能とする。

【0047】

以下、本発明の非破壊探査システムに適用される非破壊検査方法をさらに詳細に説明する。

【0048】

図14は、本発明の非破壊探査方法のプロセスを概略的に示した図である。図14に示されるように本発明の非破壊検査方法においては、測定されたレーダ反射信号LRは、上述した極大・極小ピークの値でグループG<sub>1</sub>～G<sub>n</sub>へとグループ分けが行われる。次いで、グループG<sub>i</sub>（iは、2以上の自然数である。）ごとにレーダ反射信号LRから標準バックグラウンド信号を算出し、グループG<sub>i</sub>に分類されたレーダ反射信号LRと標準バックグラウンド信号との差分信号を生成する。このようにグループごとに適切な標準バックグラウンド信号を使用してバックグラウンドの影響を除去することにより、生成された差分信号を使用して、探査対象物14の位置を判断する。

【0049】

レーダ反射信号LRは、例えば探査対象物14が存在することが予測されるフィールドを所定の探査グリッドに区分して、そのグリッドまたはメッシュごとに得られる多数のレーダ反射信号LRを測定することにより得られる。この場合1つのグリッドに対して複数回探査用プローブ16を、特に手作業により配置させる必要があり、距離dは、探査測定のたびごとに変化し、特に地表面10に石、凹凸が存在する場合にはこのような距離dの変動は不可避である。本発明の非破壊探査方法によれば、現実のフィールドにおける上述した問題に対して、充分に対応することが可能となる。

【0050】

図15は、本発明の非破壊探査方法のプロセスを詳細に示したフローチャートを示す。図15に示すプロセスは、ステップ110から開始し、ステップ111において探査フィールドに形成されたグリッドまたはメッシュ単位で、探査用プローブ16の送信用アンテナ18aから送信された電磁波の反射によりm個のレーダ反射信号を取得する。

【0051】

ステップ112においては、得られた極小値および極大値についてのそれぞれm個のピーク値データを取得する。なお、本発明においては極大値、極小値のいずれか一方のみを使用してグループ分けを行うことも可能であるが、スパイク状のノイズ、電源サージといった突発的なノイズの影響を時間的に分離するため、複数のピークについて、極大値および極小値をリレーショナルに使用して、さらに検出精度を向上させることができる。

【0052】

次いで、ステップ114においてはm個のレーダ反射信号LRをピーク値の順にソーティングしてピーク値の最大値、最小値を決定し、ステップ115において、これらの間隔を分割してピーク値の大きさに対応するn個のグループを生成する。このn個への分割は等

10

20

30

40

50

分でなくとも良く、例えば実質的な距離  $d$  が小さい場合にはピーク値への影響が大きいので幅を狭く設定することもできる。

【0053】

ついで、ステップ116において、レーダ反射信号  $LR$  を解析し、複数のレーダ反射信号を含む  $n$  個のグループに帰属させる。この後ステップ117において、各グループに分類されたそれぞれのレーダ反射信号  $LR$  を使用して、平均、中央値、最大最小といった基準に基づき標準バックグラウンド信号  $SB$  を算出し、 $n$  個のグループそれぞれについて、標準バックグラウンド信号を生成する。次いで、ステップ118において、それぞれのグループごとに、グループに含まれるレーダ反射信号  $LR$  と、標準バックグラウンド信号  $SB$  との差分信号  $(LR - SB)_i$  を生成し、ステップ119においてトータルで  $m$  個のバックグラウンドが除去されたレーダ反射信号、すなわち差分信号を得る。

10

【0054】

このようにして得られたバックグラウンド信号が除去されたレーダ反射信号から、探査対象物14の反射を解析し、好ましくは、グリッドまたはメッシュごとに探査対象物からの反射強度をプロットしてグラフィカルに探査対象物の存在を表示手段40へと表示させることにより、探査対象物の存在を作業者に指示することが好ましい。

【0055】

図16には、本発明の非破壊検査方法を探査フィールドに適用する際の、探査フィールドの平面図を示す。図16に示すように探査対象物14が埋設されたフィールドは、複数のグリッドまたはメッシュ50へと区分されている。本発明においては、グリッドまたはメッシュ50ごとに、探査用プローブ16を配置して複数のレーダ反射信号を取得し、グループ分けされた標準バックグラウンド信号を取得する。このようにして得られた探査領域のレーダ反射信号  $LR$  と、グループごとに算出された標準バックグラウンド信号  $SB$  とから差分信号  $(LR - SB)_i$  を生成させ、差分信号から探査対象物14の位置、および可能である場合にはサンプリング番号に対応した反射距離から深さを算出する。

20

【0056】

図17は、本発明の非破壊検査方法を探査対象物14として小型対人地雷に適用する場合の実施の形態を示した図である。図17(a)が図1で説明した従来方により得られた結果であり、図17(b)が本発明を使用して得られた結果である。図17(a)では、2つの反射領域52、54がほぼ等しい強度で観測されているのが示されている。しかしながら、本発明の非破壊検査方法を使用することにより得られた結果を示した図17(b)では、反射領域52のコントラストが増加し、反射領域54のコントラストが減少しており、明らかに反射領域52に探査対象物が埋設されていることがわかる。また、反射領域54は、本発明の処理方法によりコントラストが減少しており、検査対象物以外の物体であることが判断される。

30

【0057】

なお、図17(b)においても、反射領域52と、反射領域54とは完全に区別されていないものの、さらに条件を最適化することによりさらに感度および精度を向上させることができる。

【0058】

図18は、図17に示した本発明の非破壊探査方法を使用して特定された反射領域54において、埋設されていた探査対象物14を、実際に掘り出したところを示した図である。図17および図18に示すように、本発明の非破壊検査方法によれば、バックグラウンド信号を効率的に除去することが可能となり、高精度、かつ高感度に探査対象物の探査を行うことができることが示されている。

40

【0059】

上述した本発明の非破壊探査方法は、本発明に使用する信号処理手段により実行されるプログラムとして構成することができる。また、本発明の非破壊探査方法を実行させるためのプログラムは、これまで知られたいかなる計算方法を使用し、例えばC言語や、C言語以外のオブジェクト指向のいかなるプログラミング言語においても記述することができる

50

。

【0060】

さらに、本発明の非破壊探査方法を実行させるためのプログラムは、フロッピー・ディスク、ハード・ディスク、CD-ROM、光磁気ディスク、DVD、磁気テープといったこれまで知られたいかなる記憶媒体にでも記憶させることができ、記憶媒体を上述した信号処理手段に読み取らせることにより、信号処理手段30に対して本発明の非破壊探査方法を実行させることができる。

【0061】

これまで、本発明を図面に示した特定の実施の形態を使用して説明してきたが、本発明においては、図面に示した実施の形態以外にも、種々の別の実施の形態が存在しうる。例えば、誘電体を含むマトリックスとして土壌を例として説明してきたが、本発明はマトリックスとしてコンクリート、モルタル、プラスチックといった土壌以外のいかなるマトリックスに埋設された探査対象物にでも適用することができる。また、探査対象物についても小型対人用地雷の他、金属、プラスチック、コンクリート、モルタル中の中性化により発生する空洞、異物、クラックといった空間の検出、プラスチック中の異物、ボイドなどの検出にも適用することが可能であり、本発明は、工業上および産業上多大な貢献を与えるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のバックグラウンド信号を除去するための概略的なプロセス

【図2】本発明の非破壊探査システムを、石などの物体が表面に存在する凹凸のある土壌に適用する実施の形態を示した図。

【図3】本発明において使用することができる探査用プローブの例を示した図。

【図4】ダイレクト・カップリング信号と、地表面からの反射信号と、探査対象物からの反射信号との発生、および検出を示した概略図

【図5】本発明において使用することができる信号処理手段を含んだ、非破壊探査システムを示した図。

【図6】図5に示した本発明の非破壊検査システムにより測定されるレーダ反射信号を示した図。

【図7】レーダ反射ピークの極大値・極小値について地表面と、探査用プローブとの距離との間の相関性を示した図。

【図8】図7に示した極大値および極小値のレーダ反射信号強度を、地表面と探査用プローブとの間の距離に対してプロットした図。

【図9】実質的な距離 $d$ を変化させて得られたレーダ反射信号に対するグループ分けの実施の形態を示した図。

【図10】ピーク強度のグループごとに分類されたバックグラウンド信号とそれに対応する標準バックグラウンド信号 $S_B$ とを含んで構成される本発明の非破壊探査システムに含まれるデータ構造を示した図。

【図11】グループに分けられた後の単一のレーダ反射信号を示した図。

【図12】本発明の非破壊探査システムにより得られる標準バックグラウンド信号 $S_B$ の実施の形態を示した図。

【図13】図11に示されたレーダ反射信号と、このレーダ反射信号が属すると判断されたグループの標準バックグラウンド信号と、レーダ反射信号の差分信号を、本発明に従い算出した結果得られた差分信号の実施の形態を示した図。

【図14】本発明の非破壊探査方法のプロセスを概略的に示した図。

【図15】本発明の非破壊探査方法のプロセスを詳細に示したフローチャートを示した図。

。

【図16】本発明の非破壊検査方法をフィールドに適用する際にグリッドまたはメッシュへと区分されたフィールドの平面図。

【図17】本発明の非破壊検査方法を小型対人地雷に適用する場合の実施の形態を示した図。

10

20

30

40

50

【図18】図17に示した本発明の非破壊探査方法を使用して特定された反射領域において、埋設されていた地雷が確認されたところを示した図。

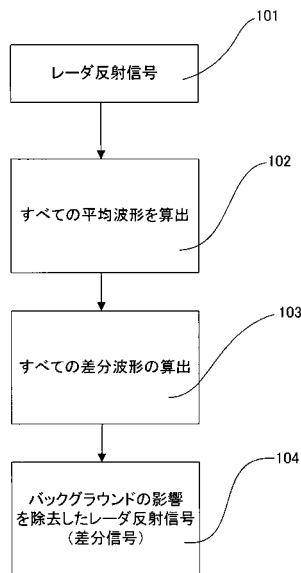
【符号の説明】

- 10 ... 地表面
- 12 ... 石
- 14 ... 探査対象物
- 16 ... 探査用プローブ
- 18 a ... 送信用アンテナ
- 18 b ... 受信用アンテナ
- 19 ... バス・ライン
- 20 ... 地表面からの反射信号
- 22 ... 探査対象物からの反射信号
- 24 ... ダイレクト・カップリング信号
- 30 ... 信号処理手段
- 32 ... 信号入力部
- 34 ... ピーク高さ検出手段
- 36 ... 記憶手段
- 36 a , 36 b ... 記憶領域
- 38 ... 差分信号発生手段
- 40 ... メモリ
- 42 ... 表示手段
- 50 ... メッシュ
- 52 ... 反射領域
- 54 ... 反射領域

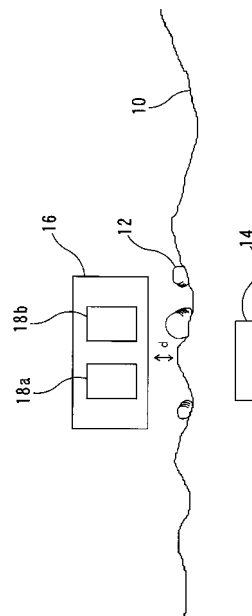
10

20

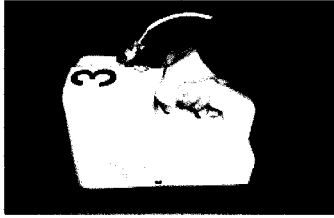
【図1】



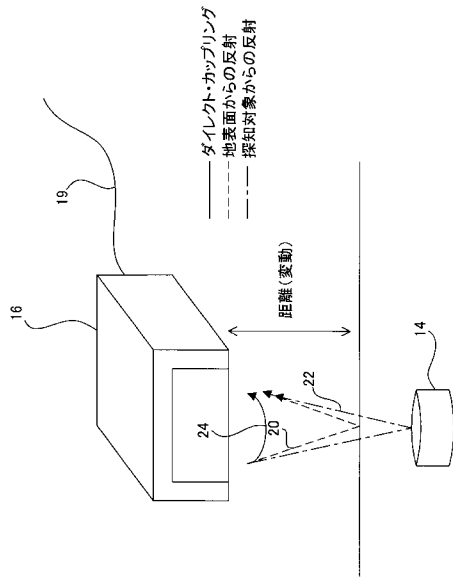
【図2】



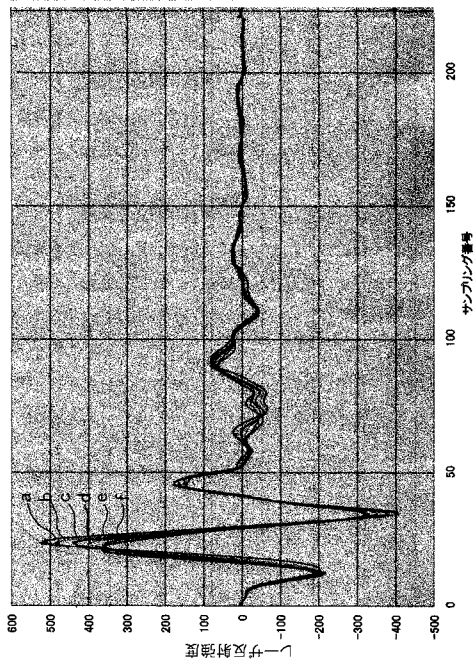
【図3】



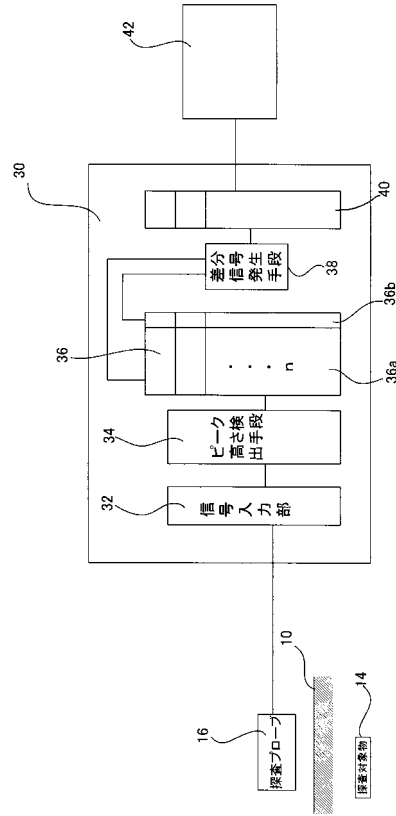
【図4】



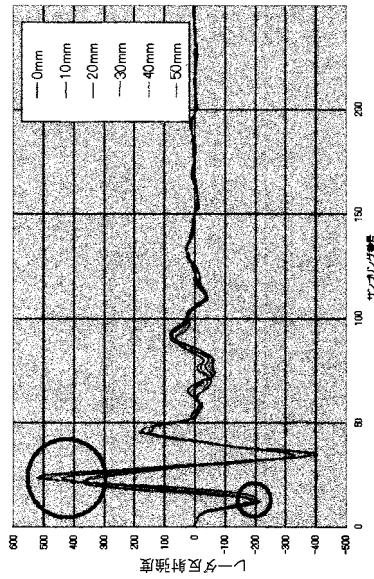
【図6】



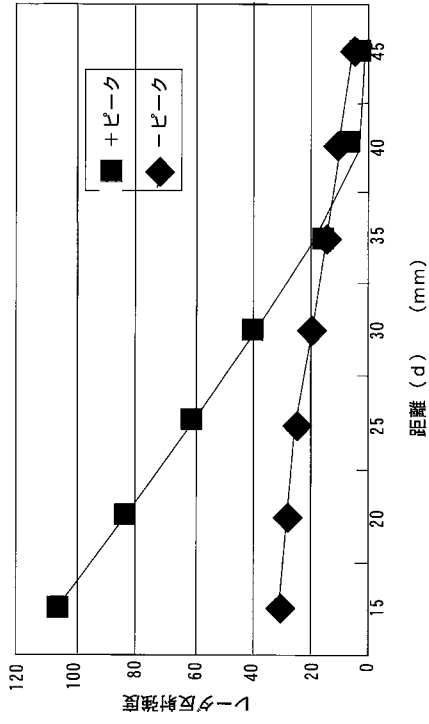
【図5】



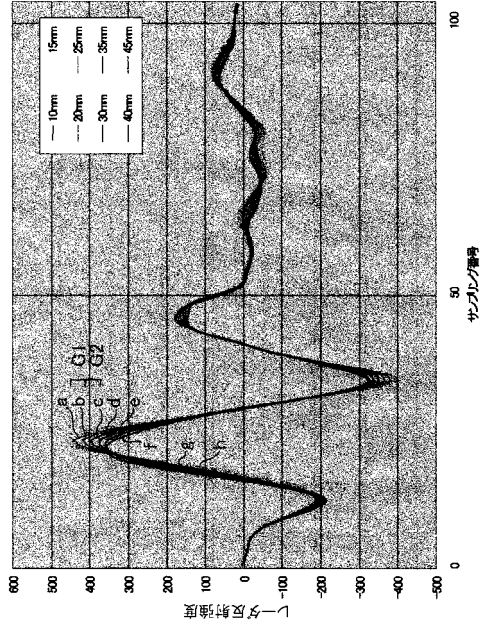
【図7】



【図8】



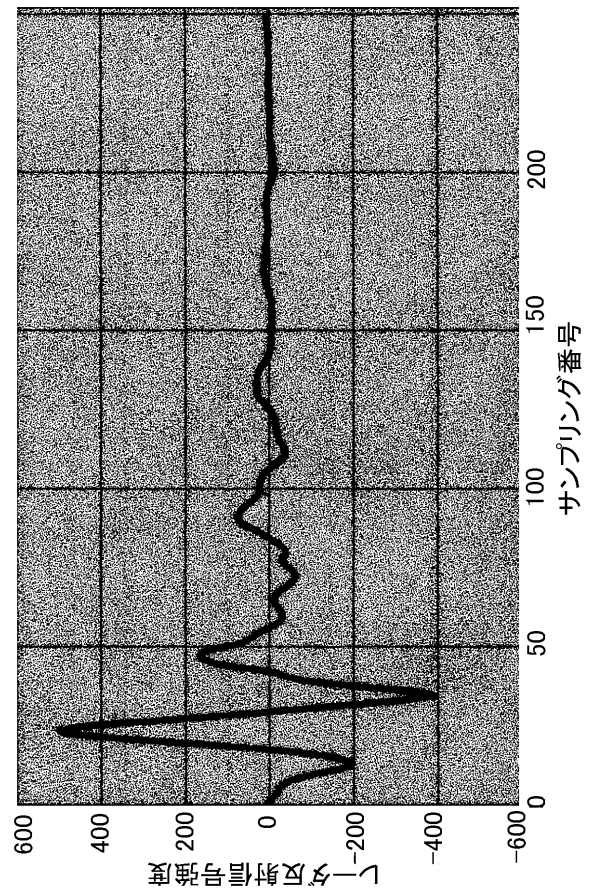
【図9】



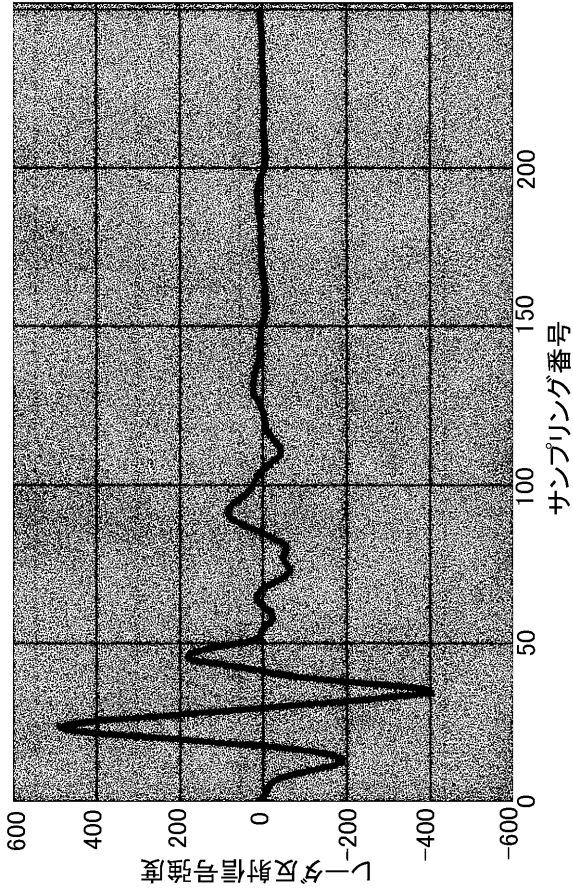
【図10】

	レーダ反射信号	標準バックグラウンド信号
G1	a, b	$SB=(a+b)/2$
G2	c, d	$SB=(c+d)/2$
G3	e, f	$SB=(e+f)/2$
G4	g, h	$SB=(g+h)/2$

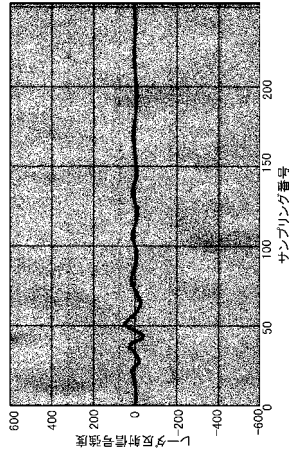
【図11】



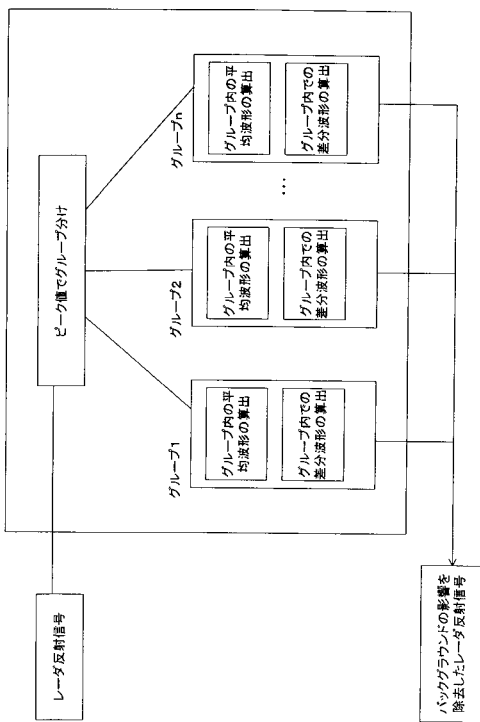
【図12】



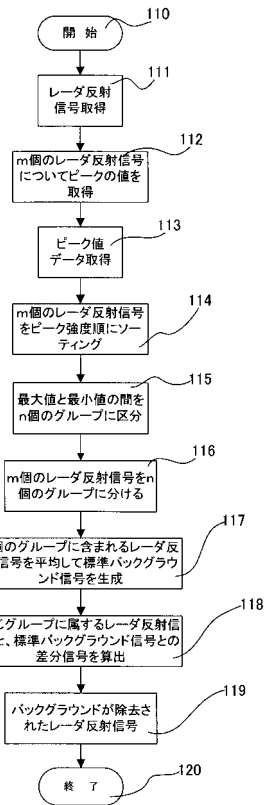
【図13】



【図14】

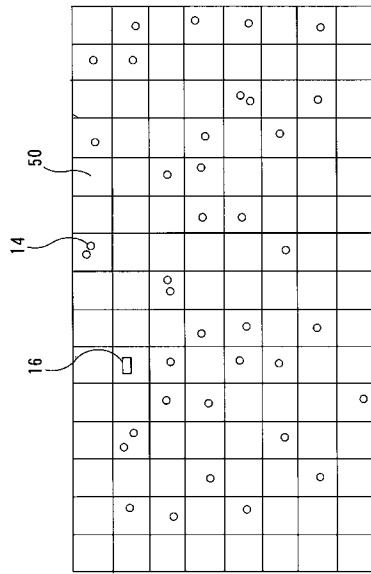


【図15】

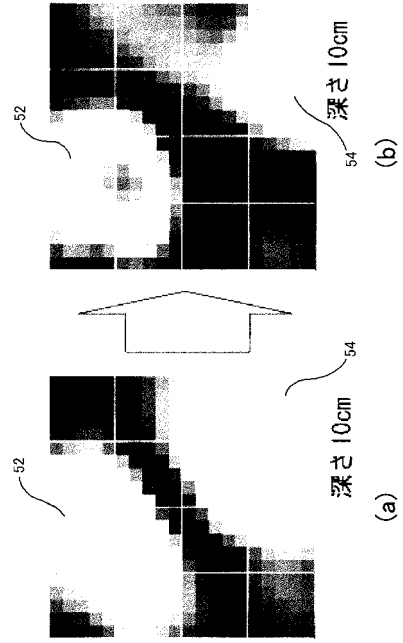




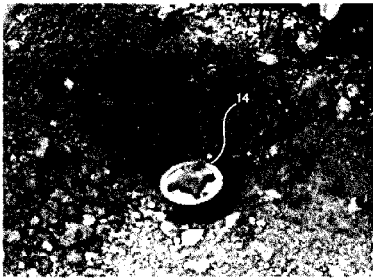
【図 16】



【図 17】



【図 18】



---

フロントページの続き

(72)発明者 杉山 健太郎

神奈川県大和市下鶴間1623番地14 日本アイ・ピー・エム株式会社 大和事業所内

(72)発明者 安部 敦

神奈川県大和市下鶴間1623番地14 日本アイ・ピー・エム株式会社 大和事業所内

審査官 田中 秀直

(56)参考文献 特開平04-204080(JP,A)

特開平11-109045(JP,A)

特開平09-133642(JP,A)

特開平08-320930(JP,A)

特開2000-258549(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01V 3/00-3/12

G01S 13/88