

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2000-503088

(P2000-503088A)

(43) 公表日 平成12年3月14日 (2000.3.14)

(51) Int.Cl. <sup>1</sup>	識別記号	F I	マーク* (参考)
E 2 1 D 9/06	3 1 1	E 2 1 D 9/06	3 1 1 D
G 0 1 V 3/12		G 0 1 V 3/12	B

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 66 頁)

(21) 出願番号 特願平9-525245  
 (86) (22) 出願日 平成8年12月20日 (1996.12.20)  
 (85) 翻訳文提出日 平成10年7月10日 (1998.7.10)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US96/20734  
 (87) 国際公開番号 WO97/25519  
 (87) 国際公開日 平成9年7月17日 (1997.7.17)  
 (31) 優先権主張番号 08/587, 832  
 (32) 優先日 平成8年1月11日 (1996.1.11)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 パーミア・マニュファクチャリング・カンパニー  
 アメリカ合衆国50219アイオワ州ベラ、ハイウェイ102、2411番  
 (72) 発明者 スタンプ、グレゴリー・エス  
 アメリカ合衆国61943イリノイ州オークランド、ルーラル・ルート2・ボックス191  
 (72) 発明者 アレン、クリストファー・ティ  
 アメリカ合衆国64055ミズーリ州インディペンデンス、イースト・フィフティファースト・コート16913番  
 (74) 代理人 弁理士 青山 稔 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 トレンヂレス地下ボーリングシステム

(57) 【要約】

レーダ上の捜査および探知技術を用いて地下ボーリングツールの位置把握を行う装置と方法に関する。ボーリングツールには、地上から送信される探査信号に反応して特定の固有信号を発生させる装置を装着している。地上レベルの探査信号送信機とボーリングツールに装備された固有信号発生器との協働作業により大きな障害信号の存在があってもボーリングツールの正確な位置把握ができる。ボーリングツールによって作成されるこの固有信号は受動的にも能動的にも発生可能であり、しかも前記探査信号とは時間、周波数、極性などを区別することができる。ボーリング作業に先立ってもしくはボーリング作業と同時に進行されるボーリングサイトの調査により地盤の特性に関するデータや、埋設されたユーティリティなど地下障害物の特定が可能となる。

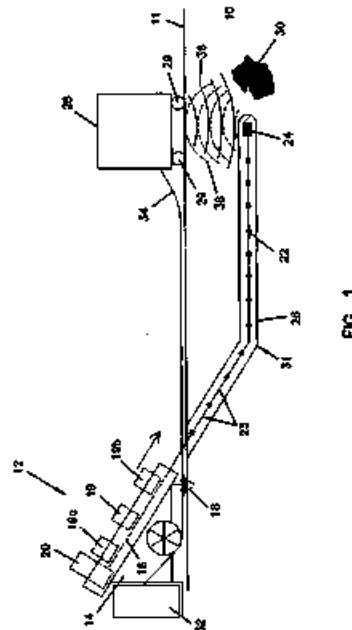


FIG. 1

**【特許請求の範囲】**

1、 ボーリングツールとは分離された探査信号を発生する発生装置と、  
上記探査信号に応答して前記ボーリングツールにて固有信号を作成する作成手段と、

前記固有信号を用いて前記ボーリングツールの位置を探知する探知手段と  
からなる地下のボーリングツールの位置を探知するシステム。

- 2、 前記探査信号が電磁信号である請求項1のシステム。
- 3、 前記探査信号が音波信号である請求項1のシステム。
- 4、 前記作成手段が地盤貫入レーダからなる請求項1のシステム。
- 5、 前記地盤貫入レーダが地下の三次元イメージを作成する請求項4のシステム。
- 6、 前記固有信号が作成手段により受動的に作成される請求項1のシステム。
- 7、 前記固有信号が作成手段により能動的に作成される請求項1のシステム。
- 8、 前記固有信号の極性が前記探査信号の極性に対して直交する請求項1のシステム。
- 9、 前記固有信号が時間変域もしくは周波数変域で所定の特性を有する請求項1のシステム。
- 10、 前記ボーリングツールの地理的位置を特定するための特定手段を有する

請求項1のシステム。

11、 前記ボーリングツールが進むべき予め設定したルートを設定するための設定手段を有する請求項1のシステム。

12、 前記ボーリングツールが作る地下の通路を記録するための記録手段を有する請求項1のシステム。

13、 前記ボーリングツールが掘削して行く地盤の特性把握をするための特性把握手段と、

前記地盤の前記特性把握を蓄積するための蓄積手段と  
を有する請求項1のシステム。

14、 ボーリングツールと、

地下通路を形成するために前記ボーリングツールを駆動する駆動手段と、  
探査信号を発生するための前記ボーリングツールとは分離した探査信号発生機  
と、

前記探査信号に応答し前記ボーリングツールで固有信号を作成するための固有  
信号発生機と、

前記固有信号を使用して地下通路に沿ってボーリングツールの位置を探査する  
位置探査機と、

からなる地下ボーリングシステム。

15、 前記ボーリングツールがボーリングツールの掘削方向を制御するために  
前記駆動手段と共に方向制御装置を含んでいる請求項14のシステム。

16、 前記ボーリングツールの地理的位置を特定するための位置特定装置を有  
する請求項14のシステム。

17、 前記地下通路の土壌成分の特性把握をするための土壌特性把握システム  
と、

前記ボーリングツールへの障害物を回避できるよう前記地下通路を特定するた  
めの前記土壌特性把握システムとつながったコンピュータと、

を有する請求項14のシステム。

18、 前記ボーリングツールによって作成された地下通路と予め設定された地  
下通路とを比較し、前記地下通路と前記予め設定された地下通路との差異を表示  
する比較信号を作成するためのコンピュータであって、

前記比較信号に呼応して前記ボーリングツールの掘削方向を変更するように効  
力を及ぼすコンピュータ、

を有する請求項14のシステム。

19、 予め設定された地下ボーリング通路に関連する土壌特性データを作成す  
る地盤貫入レーダシステムと、

ボーリング作業の生産性見積もり情報を作成するために前記土壌特性把握デー  
タと既存のボーリング作業データとの相関関係を測るコンピュータと、

を有する請求項14のシステム。

20. 前記コンピュータが前記見積もられたボーリング作業生産性情報を使用して前記駆動手段を制御する請求項19のシステム。

21. 前記探査信号発生機が地盤貫入レーダシステムを含んでおり、その地盤貫入レーダシステムは更に前記地下通路に関連する土壌特性把握データを作成し、システムが更に前記地盤貫入レーダシステムと共に前記土壌特性把握情報をデータベースへ蓄積するためのコンピュータを有する、請求項14のシステム。

22. 前記ボーリングツールがセンサを有する請求項14のシステム。

23. 前記ボーリングツールが更に前記センサによって作成されたデータを送信する手段を有する請求項22のシステム。

24. 前記ボーリングツールとは分離した信号源から探査信号を発生するステップと、

前記探査信号にตอบสนองしてボーリングツールで固有信号を作成するステップと、  
前記固有信号を使用して前記ボーリングツールの位置を探知するステップと、  
からなる地下ボーリングツールの位置を探索する方法。

25. 前記発生するステップが電磁探査信号を発生するステップを含む請求項24の方法。

26. 前記発生するステップが音波探査信号を発生するステップを含む請求項24の方法。

27. 前記発生するステップが地盤貫入レーダシステムを使用して前記探査信号を発生するステップを含む請求項24の方法。

28. 前記作成するステップが前記固有信号を受動的に作成するステップを含む請求項24の方法。

29. 前記作成するステップが時間変域と周波数変域とのいずれかの固有信号を能動的に作成するステップを含む請求項24の方法。

30. 前記作成するステップが前記探査信号の極性に対して直交する極性を有する固有信号を作成するステップを含む請求項24の方法。

31. 前記探査するステップが更に地盤貫入レーダシステムを使用して三次元でボーリングツールの位置を探査するステップを含む請求項24の方法。

32. ボーリングツールの前記位置に応じてボーリングツールの生産性効率を変更するステップを更に含む請求項24の方法。

**【発明の詳細な説明】**

## トレンチレス地下ボーリングシステム

## 発明の属する技術分野

本発明は、一般的にはトレンチの無いボーリングに関するものであり、より詳しくは、地下のボーリングツールの位置データを得て、その位置データに基づいて地下ボーリングツールを制御し、そしてそのツールがボーリングを行う地盤の特性を把握するシステムと方法に関するものである。

## 発明の背景

安全性および美的要求から水・ガス・電話・テレビケーブルなどのユーティリティラインはしばしば地下を通っている。多くの場合、これら地下のユーティリティはトレンチに埋設され、後に土が被される。新規建設地域では有用だが、ユーティリティのトレンチへの埋設はいくつかの不利益がある。既存の建設物に囲まれた地域では、トレンチは構造物や道路の障害となる。加えてトレンチの掘削は過去に埋設されたユーティリティを損傷させる確率が高く、又トレンチの掘削により傷害を受けた構造物や道路はまず元通りに回復することはない。又トレンチは作業者や通行人のけがの危険性をはらむ。

上記のような不利益および従来型のトレンチ技術を用いることに拠って生ずるその他の障害を回避するため、水平方向の地下壕を掘る一般技術が最近開発されてきた。このような一般的水平方向の掘削技術に関連し、マイクロ穿孔法又はトレンチレス地下ボーリングと呼ばれる、ボーリングシステムが地表に設置されて地表に対して斜めの角度で穴を掘る方法が知られている。水がドリル駆動軸を通じてボーリングツールの上に流され、掘削土砂を除くために掘削孔を逆流する。ボーリングツールが所定の深さに達すると、ツールは水平の孔を作るためにほぼ水平に向けられる。所定の孔長さに達すると、ツールは今度は上に向けられ地表に向かって進路を掘る。その後ドリル駆動軸にリーマが取り付けられその掘削孔に

引き戻され、より大きな径の孔になるようリーマ通しされる。ユーティリティラインや配管がリーマツールに付けられ、そのリーマと共に穴に引き込むのが通常の方法である。

トレンチレス掘削の一般的な方法についてはゲラー氏ほか（米国特許第4, 787, 463号）およびダン氏（米国特許第4, 953, 638号）によって述べられている。地下のボーリングツールを方向付けする方法についてはこれらの特許で開示されている。ボーリングツールが地下にある間にその位置を知らせるために、ゲラー氏はボーリングツール内にラジオトランスミッタ形式の能動ビーコンを取りつけることを開示している。ラジオ方向探知法によりツールの位置を確かめるために地上に置かれた受信機が用いられている。しかしながら、ビーコンと探知機との間には何の同期化もされていないので、ツール深さを直接測ることができず、ボーリングツールの位置測定は二次元平面に限られていた。ただボーリングツール深さはボーリングツール部の水圧を測定することで間接的に特定することはできたが、そのためにボーリング作業を一時中断せねばならなかった。その上前記先行技術に述べられたラジオ方向探知技術ではボーリングツール位置特定の正確さに限界があった。この限界は、既存の地下ユーティリティや他の人工、天然の障害物がある場所でトレンチレスボーリングを行うときには重大な意義を持つものとなる。というのは、このようなケースでは誤ってユーティリティに障害や損傷を与えないよう、ボーリングツールの位置を正確に把握せねばならないからだ。

計画されたトレンチレスボーリングルートに沿って調査を行う地盤貫入レーダ（GPR）の使用が、カセージ氏（第4回地盤貫入レーダ国際会議議事録、フィンランドの地質学調査、特別寄稿16「水平掘削に先行するGPR」119-124頁、1992年6月）や、ゲウンサ氏ほか（第5回地盤貫入レーダ国際会議議事録、第3巻「GPRを用いたマイクロトンネルプロジェクトに対する掘削障害の地質学的調査」1151-1165頁、1994年6月）によって検討された。彼らは調査した土壌の地質学的特性を把握するのにGPRを使用し、調査結果をデータベースに蓄積することのいくつかの利点を説いている。しかしながらこの調査

で得られたGPRイメージ情報は限られた領域での使用であり、例えば調査データベースへの追加であったり調査データベースによる限られた作業をするときに

使われたものであるとこれら出版物では述べている。

地盤貫入レーダは、地下誘電率の僅かな変化であっても探知する繊細な技術である。その結果、GPRで作りに出されるイメージは非常に微細にわたるもので、そのほとんどは本目的には不要か望まれないものである。つまりボーリングツール位置把握にGPRを使用することの主な難点は、現在技術においては、まとめて雑音と称されるその他要因の諸々の信号から、ボーリングツール発信音を正しく区別することができないことに関連する。その上、ボーリングツールの深さと障害となる地盤の伝播特性によっては、ボーリングツールからの信号がその他の雑音信号に対して非常に弱くなりうることだ。結果としてボーリングツール信号が誤受信されたり聞き逃されたりする。

GPRシステムのように地下にあるボーリングツールの位置を把握するために、三次元で、現在の技術水準を前提に現在得られる以上の正確さで把握できる装置を採用することが望まれる。しかしながら以上述べた理由により、地下にあるボーリングツールの正確な位置を提供できるトレンチレス掘削システムは未だ入手できていない。

#### 発明の概要

本発明はレーダに似た探査機と探知技術を用いて地下にあるボーリングツールの位置把握を行う装置と方法に関する。ボーリングツールには地上から送信される探査信号に反応して特有の固有信号(signature signal)を発生する装置が取り付けられる。この地上にある探査信号送信機と、地下のボーリングツールに装着された固有信号発生装置との協働作用で、大きな外部信号があってもボーリングツールの正確な位置把握ができる。このボーリングツールの正確な探知により作業者は作業中でもボーリングツールの位置を正確に把握でき、方向転換の能力が備わっていればユーティリティやその他埋設障害物を回避させることができる。この探査信号はマイクロ波でも音波でも良い。

このボーリングツールが作る固有信号は受動的にも能動的にも発生させることができる。その上この固有信号は、タイミング、周波数、極性などを含めて、探査機とは一つもしくはそれ以上の特性を変えて発生させることができる。



一つの実施態様に拠れば、ボーリング作業の前もしくはその中間で行うボーリングサイトの調査により、その対象となった地盤の特性に関連したデータを作り出す。この調査の間に得られた土壌特性データが土壌タイプとボーリング生産性に関する既存データと相関比較され、これによってこの調査対象となった地域での全体コストとボーリング生産性の見積もりが可能になる。予定ボーリング通路の正確な調査をすることができ、また同時又は事後での計画通路との対比のためボーリング作業期間を通してボーリングツールの正確な位置測定を可能にする。ボーリングツールが計画通路に沿って進むよう測定結果に応じてボーリングツールの方向を修正することもできる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の実施例に拠るトレンチレス地下ボーリング装置の側面図である。

図2は、図1のトレンチレス地下ボーリングツールと探査機と探知装置の部分詳細図である。

図3は、時間変域固有信号発生を示すグラフである。

図4は、周波数変域固有信号発生を示すグラフである。

図5は、受動マイクロ波固有信号の三つの実施例を示す。

図6は、能動マイクロ波固有信号の四つの実施例を示す。

図7は、能動音波固有信号の二つの実施例を示す。

図8は、能動マイクロ波固有信号発生機を取りつけたボーリングツールの実施例を示す。

図9は、単軸アンテナシステムを用いて地盤貫入レーダにより受信された埋設目標サンプルに対する反射信号を示したものである。

図10は、二次元の地下地質学的イメージを提供する地盤貫入レーダシステム

に通常使用される従来型単軸アンテナシステムを示す。

図11は、三次元の地下地質学的イメージを提供する地盤貫入レーダシステムに使用される直交する方向に向けられた複数アンテナを含む新しいアンテナシステムを示す。

図12は、異種地下地質を持つボーリングサイトを示す。

図13は、位置表示機、地理記録システム、各種データベース、地質学的データ取得装置を備えたトレンチレスボーリングシステムのシステムブロック図を示す。

図14は、位置把握装置を装備したボーリングサイトとトレンチレスボーリングシステムを示す。

図15は、ボーリング事前調査の一般化された方法のステップをダイアグラム形式で示したものである。

図16は、ボーリング作業を制御するトレンチレス地下ボーリングシステム制御装置のシステムブロック図である。

図17-図18は、トレンチレスボーリング作業を実施する一般化された方法のステップをダイアグラム形式で示したものである。

図19は、各種センサを装備したトレンチレス地下ボーリングツールの実施例と、更にセンサ信号情報を示す。

図20は、能動ビーコンセンサおよび各種センサを装備したトレンチレス地下ボーリングツールの実施例と、更にセンサ信号情報を示す。

#### 実施態様の詳細説明

図、特に図1を参照すると、地下のボーリングツールの場所を探知する探知システムを装備したトレンチレス地下ボーリングシステムの実施例が示されている。図1は、ボーリング作業が行われる地盤10の一部の断面と、地表面11上に設けられた多くの探知システム構成要素を示す。システム12としてまとめて示すこのトレンチレス地下ボーリングシステムは、傾斜した長尺メンバ16を備えたプラットフォーム14を含む。このプラットフォーム14は、ピン18もしくは

他の保持メンバによりボーリング作業中にプラットフォーム14が移動しないように地面に固定されている。この長尺メンバの上に前進/後退ポンプ20が載せられ、矢印で示す長手方向へドリル駆動軸22を前進させる。このドリル駆動軸22は、多数のドリル駆動軸要素23が鎖状につながったものである。更に長尺

メンバ16には、その長尺メンバ16の長手方向に沿って移動可能に回転モータ19が載置され、ドリル駆動軸22を回転させる（モータ19は、上部位置19aと下部位置19bの中間に示されている）。作動時にはこの回転モータ19は先端にボーリングツール24を持つドリル駆動軸22を回転させる。

ボーリング作業は以下のように行われる。当初回転モータ19は上部位置19aでドリル駆動軸22を回転させる。ボーリングツール24が回転中に回転モータ19とドリル駆動軸22が前進/後退ポンプ20によって地下の低い方向へ押し進められ、これで孔26を掘削する。ドリル駆動軸22が掘削孔26中へドリル駆動軸メンバ23一本分前進すると回転モータ19はその下部位置19bに到達する。ここでドリル駆動軸22には新たにドリル駆動軸要素23が一本加えられ、回転モータ19は解放されてその上部位置19aへ引き戻される。その後回転モータ19は新しいドリル駆動軸要素に連結され、長くなったドリル駆動軸22を更に押し進め掘削孔26を延長するよう回転/押しのプロセスが繰り返される。通常ドリル駆動軸22を通してポンプで水を流し込み、掘削孔を通して掘り屑、塵その他の残骸を取り出す。もしボーリングツール24に方向を制御する方向操作能力が装着されていれば、所望の方向を掘削孔26に反映する。図1には、掘削孔26が当初の斜めの部分から矢印31付近で地表面11と平行になるよう曲げられて描かれている。地表11上で、トレンチレス地下ボーリングシステム12とは切り離し可能に捜査・探知装置28(PDU)が設けられ、ボーリングツール24の地下通路に対応する通路に沿って地上での移動が可能のようにホイール29もしくは線路上に乗せられている。このPDU28はデータ送信リンク34を介して制御ユニット32とつながっている。

図2を参照に前記PDU28の動作をより詳しく説明する。PDU28は通常探査信号36を地中に発信しその反射信号を探知するために使われる。PDU28は

地中10を探る探査信号36を生み出す発生機52を有する。送信機54が発生機52から探査信号36を受け取り、今度は地面10に向けてその探査信号36(図2に実線で示す)を発信する。第1実施例では、この発生機52はマイクロ波

発生機で、送信機54はマイクロ波探査信号を発信するためのマイクロ波アンテナである。代替実施例では、この発生機52は音波発信機で可聴波を発生し、地面10へ音波を送信する良好な機械的接触を確保するため送信機54は通常地中10に設置される探針である。

PDU28で送信された前記探査信号36は、地中10を伝播し符号30で示すような地中の障害物に突き当たり、これがPDU28に戻る反射信号40(図2で点線で示す)を発生させる。固有信号38(図2で破線で示す)もまた掘削孔26中にあるボーリングツール24からPDU28へ送信される。

PDU28の探知部分には、受信機56、探知機58、信号処理機60が含まれる。受信機56は地面10から応答信号を受信し探知機58へ伝える。探知機58はこの応答信号を電気信号に置き換え、その後これが信号処理機60で分析される。上記の第1実施例の探査信号36がマイクロ波信号のときは、受信機56は通常アンテナを含み、探知機58は通常探知ダイオードを含む。他の実施例で探査信号36が音波のときは、レシーバ56は地上と良好な機械的接触を持つ探針であり、探知機58はマイクロホンのような音-電気変換機である。信号処理機60は、信号増幅器やアナログ-デジタル変換機などの各種予備装置を含み、この後地下の各種障害物30やボーリングツール24を含む地中容量物の二次元もしくは三次元イメージを作り出すより複雑な回路へとつながる。PDU28は更に地下の能動ビーコンからの信号を探知し解析するビーコン受信機/分析機61を含む。このビーコン受信機/分析機61については以下により詳しく説明する。

再度図1を参照して、PDU28は入手した情報をデータ送信リンク34を介して、トレンチレス地下ボーリングシステム12付近に表示されている制御装置32に伝える。このデータ送信リンク34はPDU28とトレンチレス地下ボーリングシステム12との間でデータ移送を取扱うために装備されており、同軸ケーブル、光ファイバ、赤外線交信用フリースペースリンク、もしくは他のデータ送

信媒体にふさわしいものであっても良い。

ここに述べる地下探知技術を装備したトレンチレス地下ボーリングシステムを使用する顕著な利点は、ボーリングツール24によって意図的に避けるべき地下の重要な障害物、特に埋設された電気、水道、ガス、下水、電話線、ケーブル線などを探知することに関する。

地下画像処理の技術領域においては、多種類の地下障害や構造物の存在を探知する地盤貫入レーダ（GPR）など、従来型地下画像処理技術は良く知られている。一つの重要な問題点で未だ従来型ボーリングツール探知技術で言及されていない点は、他の地下障害物や構造物に絡んで発生するまとめて雑音と呼ばれる多くの応答信号の中からボーリングツール信号のみを取り出す能力が未だ欠如していることである。この雑音信号はボーリングツール信号を区別しなければならない背景に存在する騒音からなる。このボーリングツール24からの応答信号は雑音に対して弱い、即ち信号対雑音比が低くこのためボーリングツール信号を明確に区別する能力が低下しているものと理解されている。本発明に係る捜査・探知装置と方法は、雑音からより容易に区別することができる特有な個性あるボーリングツール応答信号の発生を提供する。この固有信号の発生は受動的にも能動的にもすることができる。一つの実施態様におけるこの固有信号発生を図3と4に示す。

図3は、ボーリングツール固有信号の発生と探知とを時間変域で示す図である。線Aは探査信号36Aの発信を時間に対する信号の関数として示したものである。線Bは固有信号を発生することなくPDU28によって探知された応答信号62Aを示す。応答信号62Aは探査信号36A発信の $\Delta T$ 1時間あとにPDU28によって受信された信号を表示したもので、ボーリングツール24からの応答とその他の発散信号との混在を示している。前に述べたごとく、信号対雑音比の低さがボーリングツール24からの応答信号区別を非常に困難にしている。線Cはボーリングツール24とPDU28とが協調して行う有利な探知技術を示すもので、これによれば探査信号36aによる応答反応から $\Delta T$ 2時間後にボーリングツール固有信号を発生し送信するものである。この探知方法によれば障害物からの応答信号40aが先に探知され、ボーリングツール24から受け取る固有信号38

aが $\Delta T 2$ の後に探知される。この遅延時間 $\Delta T 2$ は、探知する際に雑音信号よりも充分に目立ってポーリングツール固有信号が表示されるに充分な長さにセットされる。この場合にはポーリングツール固有信号38aの信号対雑音比が比較的高いので、固有信号38aを背景雑音40aから容易に区別することができるのである。

図4は、ポーリングツール固有信号の探知を周波数変域で示した図である。線Aは、探査信号36aの周波数バンドを周波数に対する信号強さの関数として示したものである。線Bはいかなる協調信号発生も無い状態でのポーリングツール24からの応答信号の周波数バンド62bを示している。ポーリングツール24からの信号と他の発散信号30とは探査信号36bと同様な周波数バンド62bを示すことが分かる。線Cは分散応答信号40bとは異なる周波数バンド38bを有するポーリングツール固有信号を発生し送信するポーリングツール24とPDU28との協調を行った場合を示す。 $\Delta f$ で示される周波数バンドの差は分散信号周波数バンド40bからポーリングツール固有信号を離すに十分大きなものである。このように、信号対雑音比の増加によりポーリングツール固有信号は比較的容易に探知することができる。ハイ・ローパスフィルタリング技術もしくは同等なフィルタリング技術がポーリングツール固有信号探知を強化することに採用可能であることを付記する。

ポーリングツール24がPDU28から受け取る探査信号に反応して固有信号を発生する固有信号発生装置を持つことは本発明の重要な特徴である。もしこのような固有信号が発生装置により発生されなければ、PDU28はポーリングツール24からのエコーを受信し、高い精度で雑音から区別することは従来型探知技術では大変難しいであろう。固有信号発生装置の採用は、ポーリングツール24による固有の信号を発生させることができ、これは雑音からの区別を容易にしそして比較的高い信号対雑音比を得ることになる。概略以上説明したように、協調固有信号の発生は能動、受動どちらのアプローチも可能である。固有信号を発生させるのに使用する能動固有信号回路はこれを実行するためのバッテリーなどの外部からの電源供給が必要である。受動回路では外部電力源は不要である。受動

回路にある電気信号のエネルギー源は受信した探査信号自身である。

この受動手段に拠れば、ポーリングツール24には信号を発生もしくは増幅させる能動装置を含んでおらず、従ってポーリングツール24のヘッドには動力源や電子回路の装着が不要であるためより簡略化されたアプローチとなる。これに対して能動手段は、よりフレキシブルでより幅広い応答固有信号を発生させる機会を提供し、異なる地盤を掘り進むときなどにより区別が容易になることから採用されることにもなる。更に能動手段では固有信号受信装置の複雑さとコストを減ずることができる。

図5には、マイクロ波ポーリングツール探知技術を装備した受動固有信号発生装置の三つの実施例を示す。図5に示された各実施例では固有信号を発生させるマイクロ波アンテナと回路要素を持つポーリングツール24を含む。図5a、5b、5cに示す三つの実施例では、それぞれa) 時間変域、b) 周波数変域、c) クロス極性を使って固有信号の発生を志向したものである。図5aには、二つのアンテナ、探査信号受信アンテナ66aおよび固有信号送信アンテナ68aを含むポーリングツールヘッド64aが示されている。図示のため、これらのアンテナは別要素に描かれているが、マイクロ波送信/受信システムは受信と送信の両方を一つのアンテナを使ってできることが理解されている。本図ならびに以下の実施例では二つの個別アンテナが使われているが本発明の理解を深めるためのみであってこれにより本発明が限定されるように推察をしてはならない。固有信号発生装置の実際の実施例における受信アンテナ66aと送信アンテナ68aは好ましくはポーリングツールの内側に、もしくはその表面で表面形状に一致させて取り付けられる。ポーリングツール内部にあるアンテナについては、少なくともポーリングツールの一部は非金属材料で、好ましくは硬質誘電体から成っており、地面媒体10からポーリングツール24の中にマイクロ波を通すようにすることが理解されている。この目的に相応しい材料はKEVLAR(登録商標)である。

図5aは、時間変域で作動するマイクロ波探知システムの固有信号発生装置を示す。この実施例に拠れば、PDU28からの探査信号70a、例えば数ナノ秒継続する短いマイクロ波信号を受信アンテナ66aが受信する。PDU28から

受け取った雑音から固有信号74aを区別するため、受信した探査信号70aは受信アンテナ66aから好ましくは同軸ケーブルである遅延導波管72aを通り、送信アンテナ68aへ進む。この固有信号74aはその後送信アンテナ68aから発信されPDU28に受信される。ポーリングツール24からの応答を好ましくは10ナノ秒遅らせる遅延回路の使用は、返信固有信号74aの発信をPDU28に受信された雑音のピークが終わるまで遅らせることにある。

もう一つの実施例で、受動時間変域固有信号発生装置の単軸アンテナ実施例は、導波管を点線76aで示した個所で切断し端末部を形成することにより実施が可能となる。この実施例では、探査信号70aは導波管72aにそって進み切断個所76aで反射した後に受信アンテナ66aまで伝播し、そしてPDU28に返信される。この端末部は、電気ショートのように探査信号70aが反射により波形が反転されて実施することも、又は開放回路として探査信号70aが反射により波形反転が無い状態で実施することもできる。

固有信号74aの発生に時間遅延を導入することにより、ポーリングツール64aは実際よりも地面の深い位置に認識される。マイクロ波は土壌により非常に弱められるので、地盤貫入レーダシステムの有効深さ限度は10フィートとされ、それ以上の地点では信頼性の乏しいほどに応答信号が弱められる。ポーリングツール64aからの時間遅延する固有信号返信74aの形成は理論上その深さが10から20フィートと換算され、この深さであればその他の強い応答信号が無いので探知される固有信号74aの信号対雑音比を大幅に高めることができる。

図5bは、周波数変域で作動するマイクロ波探知システムの固有信号発生装置を表す。この実施例に拠れば、ポーリングツール64bに装着された受信アンテナ66bは、マイクロ波探査信号70bをPDU28から受信する。この探査信号70bは好ましくは数ナノ秒継続するマイクロ波発信で、所定の周波数 $f$ に対しその振れ幅 $\Delta f_1$ とすれば $\Delta f_1 / f$ は典型的には1パーセント以下である。PDU28で受信される雑音に絡む周波数領域から返信固有信号74bを外すためには、受信探査信号70bは受信アンテナ66bから導波管72bを通して好ましくはダイオードである非線型の電気装置78bに入り、これがオリジナル信号



から第2・第3の調和信号を発生させる。この調和信号がその後送信アンテナ68bから固有信号74bとして発信され、そしてPDU28によって受信される。PDU28は探査信号70bの調和信号周波数を探知するよう周波数を合わせている。例えば100MHzの探査信号70bであれば、第2調和信号探知機は200MHzに周波数を合わせる。一般的に分散信号はその反応特性が線形であるため探査信号70bと同じ周波数の雑音信号のみを発生する。一般的に他の調和信号源は存在しないので、調和周波数における固有信号74bの信号対雑音比は比較的高い。受動時間変域実施例に関し以上述べてきたのと同様な方法で、受動周波数変域実施例も、単軸アンテナを使用し、点線76bの所で導波管をカットして端末部を形成することで実施することができる。この実施に拠れば、探査信号70bは導波管72bにそって伝播し、非線型要素78bを通過し、端末部76bで反射して非線型要素78bを通り、受信アンテナ66bを伝播してPDU28に返信される。反射電波の極性は上記したように端末部の性質によって決定される。

図5cは、クロス極性モードで作動するマイクロ波探知システムの固有信号発生について示している。この実施例に従えば、PDU28はある特定の線形極性の探査信号70cを発生させ、地面へ送信する。雑音信号は介在物から返されてくる信号により成り立っているが、一般にそれは探査信号70cと本質的に同じ極性を維持する。つまり雑音信号は本質的に探査信号70cと同じ極性を持つ。受信アンテナ66cで分極探査信号70cを受信することにより固有信号74cがポーリングツール内で発生し、この信号が導波管72cを通過して送信アンテナ68cに伝播し、そして固有信号74cはPDU28に返信される。送信アンテナ68cは、発信する固有信号74cが受信した探査信号70cと直行する極性となるように仕組まれている。PDU28もまた探知信号とは直交する極性の信号を優先的に受信する特性を備えることもできる。これによって受信機56は固有信号74cを雑音信号の中から優先的に探知し、このため固有信号対雑音比を改善することができる。

以上述べてきた受動時間変域および周波数変域の実施例と同様な方法で、クロ

ス極性モードの実施例も、単軸アンテナを使用し、導波管を破線76cのところでカットして端末部を形成し、通過する波の極性を変更する極性混合機78cを装着することで実施することができる。この実施例においては、探査信号は導波管72cに沿って伝播し、極性混合機78cを通過、端末部76cで反転、極性混合機78cへ回り、受信アンテナ66cに伝播し、PDU28に返信される。上記したように反射の極性は端末部の性質によって決定することができる。単一アンテナ実施例に使用されるアンテナは、直行する極性のための効率良い放射特性が要求されることは理解される。更にクロス極性実施例においては、円形、長円形分極マイクロ波放射が採用されてもよいことが理解される。更にはクロス極性実施例は、探知固有信号の信号対雑音比を更に高めるため、図5a、5bを参照に上述した受動時間変域もしくは受動周波数変域いずれかの固有信号発生実施例と共に実施することができる点も理解される。

次に図6を参照して、能動固有信号の発生実施例について述べる。図6aはボーリングツール80aへの採用に適した能動時間変域固有信号発生の実施例を示す。表示された実施例では遅延回線導波管86aとつながった受信アンテナ84aに受信される探査信号82aが示されている。導波管86aに沿って増幅器88aが設けられ、導波管86aに沿って伝播する探査信号82aを増幅する。この増幅された探査信号は更に遅延導波管86aを通して送信アンテナ90aまで伝播し続け、そして固有信号92aをPDU28へ送信する。図6bは、長い遅延導波管を信号が伝播する代わりに、時間遅れを発生させる遅延喚起回路を装備した能動時間変域固有信号発生機の代替実施例を示す。表示されているのは導波管86bとつながった受信アンテナ84bに受信される探査信号82bを示している。遅延喚起回路88bは導波管86bに沿って配置されている。この遅延喚起回路は以下の様子で作動する。この遅延喚起回路88bは、探査信号82bを当初受信したとき、その探査信号82bによって誘発され内部のタイマ回路が起動する。このタイマ回路は、好ましくは1-20ナノ秒の初期設定遅延時間に達すると遅延喚起回路88bから出力信号を発生させ、この信号が固有信号92bとして使用される。この固有信号92bは導波管86bに沿って送信アンテナ90bまで

伝播し、その後このアンテナが固有信号92bをPDU28へ送信する。

図6cは、ポーリングツール80c内への装着に適した能動周波数変域固有信号発生機の実施例を示す。この実施例図では導波管86cと非線型要素88cとにつながった受信アンテナ84cに受信される探知信号82cを示している。この非線型要素88cで生成された周波数のずれた信号は増幅器94cを介して送信アンテナ90cへ伝えられ、アンテナはその後この固有信号92cをPDU28に送信する。受動周波数変域固有信号発生装置実施例に比較して能動周波数変域固有信号発生装置実施例を使用する利点は、能動実施例は探知の容易なより強力な固有信号を発生することにある。

図6cに一般的に示される能動周波数変域固有信号発生機の第2実施例においては、探査信号82cは非線型要素88cの前に増幅機94cを通過する。この代替実施例の利点は、この増幅プロセスがより低い周波数で行われるため、実施に当たり増幅機がより低いコストで済むという点にある。

ポーリングツール80c内で使用する能動周波数変域固有信号発生機の第3の実施例を図6dに示す。図6dは、導波管86dを経由して周波数変換機88d更に送信アンテナ90dにつながる受信アンテナ84dを示す。この周波数変換機88dは出力信号92dの周波数 $f_2$ を入力信号82dの周波数 $f_1$ とは $\Delta f$ だけ異なる信号を発生させる装置で、ここに $f_2 = f_1 + \Delta f$ となる。この実施例においては、 $\Delta f$ は好ましくは探査信号82のバンド幅の半分よりは大きく、典型的には1MHzのオーダーである。この周波数変換機88dは固有信号92dを雑音信号の周波数バンドからはずすに十分な周波数変更をするため、探知される固有信号92dの信号対雑音比を高めることができる。この実施例の説明においては、固有信号の意味合いはポーリングツール24からの自然に反射される信号のほか、その他全てのポーリングツール24から発生する応答信号を包含するものとする。

図7は、探査信号が音波信号であるときのポーリングツール96内で使用される固有信号発生機の実施例を示す。図7aに示す音波時間変域実施例においては、好ましくは音波インパルスである音波探査信号98aは、ポーリングツール96a内壁に装備された音波受信機100aによって受信され探知される。この音

## 波受

信機100aは誘起信号を誘起回線102aに沿って遅延パルス発生機104aへ伝える。誘起された後この遅延パルス発生機104aは所定誘起遅れのあと固有パルスを発生する。この固有パルスは送信回線106aを通過してやはりボーリングツール96aの内壁に装備された音波送信機108aに伝えられる。この音波送信機108aは音波固有信号110aを地面を通過してPDU28に探知されるよう送信する。

図7bに示す音波周波数変域実施例においては、好ましくは所定の音波周波数 $f_3$ の音波パルスである音波探査信号98bが、ボーリングツール96a内壁に装備された音波受信機100bによって受信され探知される。この音波受信機100bは受信した周波数 $f_3$ の音波信号98bに対応した入力電気信号を受信回線102bを介して周波数変換機104bへ送信する。周波数変換機104bは入力信号98bに対して $\Delta f_3$ だけずれた周波数を持つ出力電気信号を発生する。この周波数変換機104bからの出力信号は送信回線10bを通過してやはりボーリングツール96bの内壁に装備された音波送信機108bに伝えられる。この音波送信機108bは周波数変換された音波固有信号110bを地面を通過してPDU28に探知されるよう送信する。

図8には、地下ボーリングツール内で能動的に固有信号を発生する装置が示される。図にはボーリングツール24aのヘッドが示されている。ボーリングツール24aの先端にあるのは地下通路を掘るときに土、砂、粘度その他を削るカッタ120である。ボーリングツール壁122の切り欠き部はボーリングツール24aの内部に収納可能に設計された回路基板124を示している。この回路基板124に付属しているのは電力を供給するバッテリー126である。更に基板124に付属しているものは入力探査信号36を受信し、出力固有信号38を送信するアンテナ128である。このアンテナ128はボーリングツール24a内に位置しても良いし、あるいはボーリングツール24aの表面にその表面形状に一致させた同形状デザインであっても良い。ボーリングツール24aは更に一つもしくはそれ以上のボーリングツール24a環境を感知するセンサが収容されても良い

。ボーリングツール24a内にはこの環境情報を地上にある制御装置32へ伝

えるための回路が装備される。これらセンサは例えばボーリングツール24aの向き（上下、左右、回転）や掘削ツールヘッドの温度、ボーリングツール24a部の水圧などを測定するために使われる。

図8にはカット120の後に位置する圧力センサなどのセンサ130が描かれている。電気結線132がこのセンサ130から回路基板124に結ばれ、これにはセンサ130で受け取った信号を分析する回路を含んでいる。この回路基板124ではこの固有信号38を変調させてセンサ出力信号に関連した情報として含めるかあるいは代わりに別個の信号を発生させ、後に地上で探知し分析される。

。地下画像処理技術領域においては、GPRが地面の1区画を一横断するとき、GPRが単一の送信機および受信機を備えた場合には二次元データを生むことが知られている。図9はサンプルテストで得られたGPRシステムデータを示しており、ここでは人工の五つの異なる障害物を1.3メートルの砂地の土壤に埋め、水面層は約4から5メートルの深さに存在している。図9に描かれたデータは、センサーズ・アンド・ソフトウェア社製造のパルスEKKO 1000システムにより、中心周波数450MHzの通常型単軸アンテナを使用して典型的に得られるデータの例である。本適用に適うと思われる他のGPRシステムにはジオフィジカル調査システム社のSIRシステム-2とシステム10a、およびジオレーダ社のモデル1000B STEPPED-FM地盤貫入レーダが含まれる。

図9に示された各埋設された障害物は特徴ある双曲線の時間帯カーブと関連付けられている。この特徴ある双曲線カーブの頂点は埋設障害物の位置と深さを示している。図9のグラフから、各障害物は地表面からの深さ約1.3mで、隣接する障害物からは水平方向に約5m離れていることがわかる。図9のGPRシステムデータは従来型単軸アンテナシステムにより得られた地質学的イメージデータのため、探索された地下の二次元の表示のみが提供されている。これ以降に示す通り、直交する方向へ調整された多軸アンテナ構造により、特定のボーリングサイトに関連する地下地質の三次元の見方を提供する。

図9の二次元データは進行方向に沿って障害物の深さ対場所に関する多くのイメージをグラフィック形式で提示している。三次元データを得るには、単軸アン

テナを採用したGPRシステムを土地区画上を何回も往復させるか、もしくは多軸アンテナを使うかしなければならない。以下にGPRを使用した二および三次元イメージの作成を示す。

図10には、GPRがイメージを作成する土地の一区画500と、その中に埋設された障害502を示す。地表面504はx軸とy軸で構成されるx-y平面にあり、z軸は垂直に地表面内500に向いている。一般にはアンテナA506と表示されz軸に沿って向けられたような単軸アンテナが多回数経路調査508を実施するのに採用される。この多回数経路508はお互いに平行でy軸方向に等間隔を有している。図10に示す多回数経路はx軸方向と平行に走る。一般にGPRシステムは時間測定能力を有し、送信機から発信された信号が目標で反射し、そして受信機に戻るまでの時間測定が可能である。これは送信機と受信機との間でレーダパルスが飛行する時間帯を測定するものであることから、タイムオブフライトテクニックと呼ばれる。この時間値から目標の深さを示す距離測定値に変換する計算が可能である。この計算は誘電率や特定の土壌を通過する波の速さなど土壌特性を示す現場設定値に基づいて行われる。あるGPRシステムの深さ測定能力の校正をするときに使われる単純化されたテクニックは、サンプルを抜き取り、その深さを測り、波が伝播するに要するナノ秒数との関連を取ることである。

このGPRシステムの時間機能能力により作業者が深さの情報を得た後、レーダシステムがx軸方向に沿って水平横方向に動かされ、これにより地下状況の二次元情報構築が可能となる。特定サイト上で平行なパターンで多数回経路調査508を行うことにより、埋設障害物が存在すると思われるサイトの想定三次元図面をつくるための一連の二次元イメージが集積される。しかしながらこの従来型アンテナ装置506の二次元イメージ能力では、特に障害物502が多数回調査経路と平行で多数回調査経路の中間に位置するような場合にはこれを見落とす結果となる可能性が理解される。

図11に示すように、本発明による地質学的アンテナ構造520は、真の三次元イメージを提供するという大きな利点を提供する。一対のアンテナ、アンテナ

A522とアンテナB524が埋設障害526の三次元イメージを提供するために好ましくは直交するようにセットされる。図示したようにアンテナA522はy-z平面上でz軸に対して+45°に向けられる。アンテナB524も同様y-z平面上でしかしZ軸に対しては-45°、アンテナA522に対して90°回転した位置に向けられる。図9に示すような従来型単軸アンテナの利用によって得られた双曲線状の時間-場所データ分布でも、探知された埋設障害526の幅、深さ、長さの各寸法を示す三次元の双曲線形状であるかもしれない点を注記しておく。三次元イメージGPRシステムに抛れば、調査経路528と平行に走る例えば下水管のような埋設障害526であっても直ちに探知可能である点も注記しておく。本発明の一つの実施例に抛れば、直交する送信および受信アンテナの各一対がPDU28の送信機54および受信機56に採用されている。

図12には、地下のボーリングツールの位置を把握し、ボーリングヘッドとPDU28の間に介在する障害媒体の特性を把握するために使用する実施例を示す。この図では、トレンチレス地下ボーリングシステム12が地面10の表面上11でボーリング作業が行われる場所に示されている。制御装置32がトレンチレス地下ボーリングシステム12の近くに配置される。ここに表示された例においては、ボーリング作業は道路の下で行われている。この地面10は各種の異なる地質から形成されており、図12で示す例では砂(地質(GT2))140、粘土(GT3)142、そして自然土(GT4)114である。道路部分は道路埋立土(GT1)146で示された部分である。図12ではドリル軸22は始まりの位置が22cで示され、その末端にはボーリングツール24cが装着されている。PDU28cはボーリングツール24c直上の位置に表示されている。このPDU28cは探査信号36cを発信し、これが道路埋立土を通して地面に伝播する。ボーリングツールが24cに位置するときは探査信号36cは道路埋立土146を通過して粘土142に伝わる。これに回答してボーリングツール24cは固有信号38cを発信し、これがPDU28により探知され分析される。この固有信号38

cの分析により探査信号36cと固有信号38cのタイムオブフライトの計測が分かる。このタイムオブフライトは、PDU28cによって探査信号36cを発信し

てから固有信号38cを受信する間の時間差により決まる。この測定されるタイムオブフライトは、ボーリングツール24cの深さ、障害となる地盤146と142の誘電率、固有信号38cの発生に伴う遅延時間など多くの要素により左右される。この要素の内二つを知ることによって残り三つめの要因時間をタイムオブフライト測定により知ることができる。

前述したように、機械的探知の使用やボーリングツールヘッド24c内にあるセンサ130を使ってボーリングツール24cの水圧を測定すれば、ボーリングツール24cの深さを独立して測定することができる。この水圧測定では、一旦ボーリング作業が中断され水圧が測定される。地上での水中高さが分かるので、公知の技術使用によりボーリングツール24cの深さが計算可能となる。

マイクロ波探査信号を使用する本発明の実施例に対しては、タイムオブフライト測定値から深さや誘電率を計算する一般式は、

$$TE = TF - TD = \sum_j \frac{d_j \sqrt{\epsilon_j}}{c} \quad (1)$$

ここに、

TEは有効なタイムオブフライトであり、探査信号もしくは固有信号が地

面を通して移動するに要した時間である。

TFは実測したタイムオブフライトである。

TDは、探査信号36cの受信と固有信号38c発信の間のボーリングツ

ール内での遅延時間である。

$d_j$ ボーリングツール24c上でj番目の地質の厚さを示し、 $\epsilon_j$ はマイクロ波周波数領域でのj番目の地質の平均誘電率を示し、そしてcは真空中での光の速度である。図12に示すボーリングツール24cの位置においては、道路



埋立土部の厚さが粘土部に厚さに対して無視可能なものとの前提であれば、前記関係式(1)は以下のように単純化される。

$$TE = TF - TD = \frac{d_3 \sqrt{\epsilon_3}}{c} \quad (2)$$

ここで下つき符号"3"はGT3を意味する。タイムオブフライトTFおよびボーリングツール24c深さの直接測定、これに遅延時間TDの知識より、GT3の平均誘電率 $\epsilon_3$ を知ることができる。この特性はGC3と表示する。この誘電率を知ることは、その特徴となる地質と水分含有量に関する情報を得る上で重要である。

図12に返って、ボーリングツール24が第一地点24cから他の地点24dへ移動した状況が示されている。ドリル駆動軸22d(破線で示す)が以前説明したように追加のドリル駆動軸要素を継ぎ足すことによって22dに延長されている。PDU28はボーリングツール24dに接近するため当初位置28cから新たな位置28d(破線で示す)に移動している。自然土GT4の地質特性を示すパラメータGC4は、探査信号36dと固有信号38dとを使用し、前記したタイムオブフライト測定を行うことで把握することができる。同様にして、地質特性GC2も、"e"で表示される場所でタイムオブフライト測定を行うことにより把握可能である。ボーリングツールdが地中を進む間の地質特性の連続把握により地中特性図が製作され、これは制御装置32に記録される。

ボーリングツールが通過した地下通路の詳細記録を残すことは有利である。例えば、将来の掘削やユーティリティの埋設を正しく計画し、これらによる予期せぬ障害を回避するため、これまでどこにユーティリティが埋められたかの詳細なレコードを残しておくことは望ましい。PDU28により収集されたボーリングツール位置データにより掘削地図をマニュアルで作成可能であり、あるいは図13の制御装置32の要素として示してある地理記録システム(GRS)150を使って電氣的に製作が可能である。一つの実施例では、地理記録システム(GRS)150は制御装置32の中央処理装置152と交信し、PDU28の正確な場所を伝えている。この制御装置32はボーリングツールのPDU28に対する位置

に関する情報も受け取るため、ボーリングツールの正確な位置が計算可能であり基礎記録データベース154に蓄積可能である。

他の実施例においては、予め設定されたボーリングルートに関する地理的位置データがそのボーリング作業の前に取得できるのが好ましい。予め設定されたルートはボーリング作業の前に行う調査で算定される。この先行調査にはボーリング作業が行われる地質の種類を予測するためにGPR感知と地球物理的データが含まれ、提案されたボーリング通路に他のユーティリティや埋設障害物があるかどうかを見極める。ボーリング前の調査結果は予め設定されたルートデータセットの一つとして計画ルートデータベース156に蓄積される。予め設定されたルートデータセットはボーリング作業中に計画ルートデータベース156から制御装置32にアップロードされ、地下通路を進む間のボーリングツールに自動操縦のように方向制御を提供する。更に他の実施例においては、GRS150で得られた場所のデータが好ましくはルート地図作成データベース158と交信され、ボーリング作業が進む間に既存のデータベースにボーリングの通路データを追加する。このルート地図作成データベース158は、例えば市内道路網とかゴルフコースなどその下に各種ユーティリティや通信、配管、その他施設が埋設されている既存のボーリングサイトをカバーしている。このルート地図作成データベース158に蓄積されたデータは事後に特定の場所で地下に埋設された各種ユーティリティ配管の場所と深さを正確に示す調査地図を作成するのに使用される。このルート地図作成データベース158に蓄積されたデータは更にボーリング条件、土壌特性、先行するボーリング作業の効率に関する情報も含んでおり、作業者にとっては特定サイトに関する全ての事前ボーリング作業データを参照することができる。

ボーリングツール24の位置を把握する新しいシステムの一つの重要な特色は、そのボーリング通路に沿った地球物理的データの把握と使用に関するものである。論理的に分離した地球物理的データ取得ユニット160(GDAU)が、これは物理的にPDU28から分離していてもいなくても良いが、独立した地球物理的調査と分析を提供することができる。このGDAU160は、好ましくは特定

のボーリングサイト地質の物理的な特性記述を提供する多くの地球物理機材を含んでいる。地震観測地図作成モジュール162は多数の地球物理的圧力センサからなる電子

装置を含んでいる。これらセンサのネットワークはトレンチレス地下ボーリングシステム12に関して一定の方向にアレンジされ、各センサは地面と直接接触できるように配置されている。このセンサネットワークはボーリングツールもしくは他の振動装置によって生まれる地上圧力波を測定する。このセンサネットワークによって把握した地上圧力波の分析は、ボーリングサイトの地下の物理的特性を特定したり、ボーリングツールの位置検知をしたりするための基礎を提供する。これらのデータは好ましくは中央処理装置152に分析されたデータを送付する前にGDAUで処理される。

ボーリングサイトの地下の地球物理的特性を把握するためにポイントロードテスト164が装着されても良い。このポイントロードテスト164は好ましくは荷重測定端子として複数の円錐状の端子を持ち、これが地面と接触して特定の表面が換算された荷重にどこまで対抗できるかの程度をテストする。このポイントロードテスト164で得られたデータはテストされた土の地球物理的特性に対応する情報を提供する。これらのデータもまたGDAU160に送信できる。

このGDAU160はシュミットハンマ166を含むこともでき、これはサンプルの地下地質の反発固さ特性を測定する地球物理的機材である。岩石の相対エネルギー吸収特性、研磨特性、岩石の容量、岩石の性質、その他の物理的特性を測定するためにその他の地球物理的機材もまた採用可能であり、これらも一緒に所定の地質によるボーリングに関連した困難さに係る情報として提供される。このシュミットハンマ166で得られた情報も好ましくはGDAU160に蓄積される。

図13に示された実施例では地球位置決めシステム(GPS)170がGRS150用の位置データを提供するために採用される。地球位置測定システム(GPS)と呼ばれる3種類の軌道に24個の通信衛星を配置する米国政府のプロジェクトに拠れば、一つもしくはそれ以上のGPS衛星から送られる各種信号は、

一ヶ所もしくはそれ以上の特定の参考地点と対比して間接的にボーリングツールの配置場所を把握するために使用できる。一般的に米国政府GPS衛星システムは、予約されたつまり機密保護された通信帯と民間の通信帯とに提供することが知られている。一般に機密保護帯は格付けされた高解像度の位置決めを提供する。しかし

ながらこの機密保護帯は一般に軍事もしくは他の政府目的に制約されており民間用途に対しては実質上使用不能なほど電波変調がされる。民間帯の方は通常100から300フィートの範囲で大幅に正確度が低下するよう変調されている。

しかしながらこの民間GPS帯は一つもしくはそれ以上のGPS信号を一つもしくはそれ以上の地上ベースの参考信号源との組合せで使用することにより、間接的に比較的高い精度適用が可能となる。一般的に微分地球位置特定システム(DGPS)信号処理技術と呼ばれる各種の公知の信号処理技術を用いることにより、今日ではセンチメートルオーダでの正確な位置決めが可能である。図13に示すようにGRS150は少なくとも一つのGPS衛星172の発信信号を少なくとも二つの基礎となるトランスポンダ174の発信信号と共に使用するが、適用によっては一つの基礎となるトランスポンダ174の使用で充分かもしれない。一つもしくはそれ以上の基礎トランスポンダ174を使用したDGPS信号を、GPS衛星172信号および制御装置32につながった移動GPS受信機と共に活用する各種公知方法は、GPS衛星信号源を使って基礎トランスポンダ174参照場所との対比でボーリングツールの動きを正確に把握する手段として用いることができる。

他の実施例では、地上基地のレンジレーダシステム180を用いた位置特定システムが使用可能である。このレンジレーダシステム180は好ましくは複数の基礎ラジオ周波数(RF)トランスポンダ182とPDU28上に装備された移動式トランスポンダ184とを含んでいる。この基礎トランスポンダはRF信号を発信しこれは移動トランスポンダによって受信される。この移動式トランスポンダは好ましくはコンピュータを含んでおり、各基礎トランスポンダに対する移動式トランスポンダの距離を公知各種レーダ技術を使って計算し、その後全基礎ト

ランスポンダに対するその位置を計算する。レンジレーダシステム180によって集められた位置データセットはGRS150に送られルート記録データベース154もしくはルート地図作成システム158に蓄積される。

更に他の実施例では、超音波位置測定システム190が基礎トランスポンダおよびPDU28につながった移動式トランスポンダと共に使うことができる。基

礎トランスポンダ192が既知の時間基準の信号を発信し、これが移動式トランスポンダ194によって受信される。この移動式トランスポンダ194は好ましくはコンピュータを含んでおり、超音波源の時計スピードを参考にして各基礎トランスポンダ192に対する移動式トランスポンダ194の距離を計算する。この移動式トランスポンダ194のコンピュータは全ての基礎トランスポンダ192に対する移動式トランスポンダ194の位置も計算する。各種その他公知の地上ベースおよび衛星ベースの位置測定システムと技術が地下通路に沿ったボーリングツールの通路を正確に把握するために利用可能であることは理解されるべきである。

図14は、あるボーリングサイトで地下通路に沿ってボーリング作業を行っている地下ボーリングツール24を示している。図14に一般的に表示される新しい地理位置測定装置150の重要な利点は、予め設定されたボーリングルートに沿ってボーリングツール24を正確にナビゲートする能力と、制御装置32とつながったルート地図作成データベース158内に正確に地下ボーリング通路の地図を描く能力に関するものである。過去に埋設されたユーティリティや岩石などその他障害物を回避するボーリング通路を正確に確定するために、以下に述べるように、ボーリング作業を始める前に予定ボーリングサイトの事前調査を行うことが望ましい。

ボーリングツール24が予め設定されたボーリングルートに沿って前進すると実際の位置データが地理記録システム150によって収集されルート地図作成データベース158に蓄積される。計画通路データベース156に蓄積された予め設定されたルートからのいかなる意図的な乖離であってもルート地図作成データベース158に正確に記録される。非意図的な乖離はボーリング通路が予め設定

された地下通路に沿って維持されるよう修正されることが好ましい。ボーリング作業が完了すれば、ルート地図作成データベース158に蓄積されたデータはボーリングサイトの「現状」地図を描くためにパーソナルコンピュータ（図示せず）にダウンロードされる。従ってルート地図作成データからはボーリングツールルートに沿って埋設されたユーティリティや配管の正確な地図を作ることができ、

後にその埋設された配管類にアクセスしたいもしくは避けたいと願う人の参考とされる。

再度図14に関連して、ボーリングサイトの正確な地図作成を、図13に関連して説明したグローバル位置決めシステム170、レンジレーダシステム180、もしくは超音波位置測定システム190を利用して行うことができる。GPSシステム170を有する地図作成システムは、第1および第2基礎トランスポンダ200および202と、更にはGPS衛星172から受信した一つもしくはそれ以上のGPS信号206および208とを含んでいることが好ましい。好ましくは制御装置32とつながった移動式トランスポンダ210が、その制御装置32の位置を特定するためにGPS衛星信号206とトランスポンダ200および202からそれぞれ送信される基礎トランスポンダ信号212および214を受信するよう準備される。前述の通り改良された形態の微分GPS位置測定技術が、位置決めの正確度をセンチメートル単位まで引き上げるために採用することができる。好ましくはPDU28とつながった第2移動式トランスポンダ216が、PDU28の位置を特定するためにGPS衛星信号208とトランスポンダ200および202からそれぞれ送信される基礎トランスポンダ信号218および220を受信するよう準備される。

他の実施例では、地上ベースのレンジレーダシステム180は、三つの基礎トランスポンダ200、202、204および制御装置12とPDU28とにそれぞれつながった移動式トランスポンダ210と216とを含んでいる。第3地上ベースのトランスポンダ204は、GPS衛星信号206と208送信が意図的もしくは非意図的に一時的に中断した場合に、GPS衛星信号206と208を

使用するシステム用にバックアップトランスポンダとして準備されることを付記する。制御装置32の位置データは、地上ベースのトランスポンダ200, 202, 204からそれぞれ受信した三つの参考信号212, 214, 222を使用してGRS150により処理され、蓄積されることが望ましい。地上ベースのトランスポンダ200, 202, 204からそれぞれ受信した三つの参考信号218, 220, 224を使用して得たPDU28の位置データは、好ましくはPDU28

とつながったローカルポジションロケータ216により処理、蓄積され、その後データリンク34を経由して制御装置32に送られる。超音波位置測定システム190を採用した実施例も同様三つの基礎トランスポンダ200, 202, 204と、制御装置32およびPDU28とそれぞれつながった移動式トランスポンダ210と216とを使用する。

次に図15を参照、ボーリング作業を開始する前に事前ボーリングサイトの地図を得ること、そしてボーリング作業の最適ルートを見極めること、のために行う事前ボーリング調査プロセスに関連する一般化されたステップをフローチャート形式で示したものである。簡単に言えば事前ボーリング調査により、ボーリング作業が行われる土壌を調べ、最適ルートを見出し、生産性を予測し、そしてボーリング作業全体のコストを見積もることを可能にするものである。

図15に示すように当初、ステップ300で多くの地上ベーストランスポンダがボーリングサイトの適当な場所に配置される。その後ステップ302で制御装置32とPDU28が場所L0とL1にそれぞれ配置される。その後ステップ304で制御装置32とPDU28の初期場所に位置決めするために地理的記録システム150が初期化され校正される。その後の連続する初期化と校正を経て、PDU28が提案されたボーリングルートに沿って移動し、その間にステップ306と308でそれぞれPDUデータと地理的位置データが獲得される。PDU28によって集められたデータは好ましくはステップ306と308で分析される。ステップ312でデータの収集が予定のボーリングルートの終着点に至るまで続けられ、そこでステップ314にあるようにデータ取得を中止する。その後

取得したデータはステップ316で制御装置32（これはパーソナルコンピュータでも良い）にダウンロードされる。ステップ318では制御装置32がボーリング作業の最適な予め設定した通路を、障害物や他の構造物を避けるべく計算する。もしこの予め設定したルートがステップ320でのテストで満足できるものであれば、ステップ322でこのルートが計画データベース156にロードされ、ステップ324で事前調査プロセスは終了する。しかしもし計画ルートをステップ320でテストしたところ例えば調査結果ボーリングツールが岩石障害物にぶ

つかるとか埋設されたユーティリティがボーリングツール作業中に損傷されるおそれがあるなどで不満足なものであることが分かれば、ステップ326で調査ルートの始まりの位置を変更し新たなルートでステップ304-318を繰り返し再度調査することができる。満足できるルートが見つければ、事前調査のプロセスはステップ324で終了する。

他の実施例では、この事前ボーリング調査プロセスは場所位置特定およびPDUデータ収集と同時に、調査通路に沿っての地質学的データ収集を含んでいる。この活動は図15の中で地質学データ取得ユニット160（GDAU）の初期化および校正ステップ328に示されており、地理的記録システム150の初期化および校正と同時に行われる。このGDAU160は、ステップ306と308でそれぞれPDU28と位置データが獲得されるのと同じタイミングで、ステップ330で地質学的データを収集する。この地質学的データ収集の追加は提案されたボーリング通路のより完全な地盤特性を提供し、これによりボーリング作業のためのより正確な作業性とコストの見積もりを可能にする。

第3の実施例では、ボーリング作業の作業性とコスト見積もりの算定のため、この調査データが前回取得されルート地図作成データベース158に蓄積されたデータと比較される。この実施例では前記調査データがステップ316で制御装置32にダウンロードされた後にステップ332でルート地図作成データベースから過去のデータが制御処理装置152へロードされる。このルート地図作成データベース158からダウンロードされるデータはGPRや地質学的性質測定そ



の他関連する作業性データなど以前の調査とボーリング作業の記録が含まれる。ステップ334では、ステップ318で行ったルートの計算と同様に事前予定ルートの計算がされる。PDU28およびGDAU160からの最近の土壤特性と以前の土壤特性調査結果との相関ならびに関連する以前の生産性結果を勘案して、ステップ336で計画されるボーリング作業の生産性データの見積もりが可能となる。ステップ336の見積もり生産データを使用して、ステップ338でボーリング工程のコスト見積もり作成が可能となる。次のステップ320でこの事前計画されたルートが満足できるものか否かの決定が行われる。この決定は第1実

施例のような地下特性のみでなく他の要因例えばボーリング作業の予想期間や見積もられたコストなどを考慮して決めることができる。

次に図16を参照して、制御装置32、その各要素、ならびに制御装置32とその他各種のトレンチレス地下ボーリングシステム12要素との機能的関係を示す。この制御装置32は、地理記録システム150、PDU28、そしてGDAU160からの入力データを受け取る中央処理装置152を含む。この中央処理装置152は入力データからボーリングツール24の位置を計算する。この制御装置152はルート記録データベース154内のボーリングツール24が辿った通路を記録し、そして又はそれをルート地図作成データベース158内の既存データに追加する。

代替実施例では、この中央処理装置152はボーリングツール24に位置するセンサ230から入力処理装置232を介して入力データを受け取る。他の実施例ではこの中央処理装置152は、計画通路データベース156から予め設定した通路に相当するデータを入力し、測定したボーリングツール位置とこの計画位置とを比較する。このボーリングツール24の位置は、PDU28からのデータを受け入れるPDU入力処理装置234から供給されるデータに基づき、中央処理装置152によって計算される。代替実施例では、この中央処理装置152はボーリングツール位置の更に正確な見積もりをするために、地理レコードシステム150によって供給されるPDU28の位置に関するデータを取りこむ。

ボーリング作業中にボーリングツールを所定の位置または経路に戻すためにボーリングツール通路の補正を計算し実施することができる。この中央処理装置152はトレンチレス地下ボーリングシステム制御(GBSC)236を使用してボーリングツール作動の各種態様を制御する。このGBSC236はボーリングツール24の動きを制御するボーリングツール制御装置に制御信号を送る。これらボーリング制御装置には、ドリル駆動軸22を回転させる回転モータ19を制御する回転制御238、ドリル駆動軸22を孔内部の長手方向に進める前進/後退ポンプ20を制御する前進/後退制御242、そしてボーリングを所望に方向へ操作する方向作動機構248を制御する方向制御246を含んでいる。PDU入力処

理装置234はPDU28が作成したデータからユーティリティなどの埋設物を特定することもできる。この中央処理装置152は、ボーリングツール24のために通路を計算し、そのような埋設物との干渉およびそれへの損傷の可能性を避ける。

図17と18には、トレンチレスの孔を地面にあけることに関連した一般化したプロセスと決定ステップをフローチャートで示している。図15、ステップ350に示すごとく、始めにボーリングサイト回りの適当な位置に多くの地上ベースのトランスポンダが配置されている。その後ステップ352に示されたようにトレンチレス地下ボーリングシステム12が適当な当初地点に位置付けられ、ステップ356のボーリング開始に先立ってステップ354でトランスポンダと地理レコードシステムが初期化され校正される。ボーリングがスタートするとステップ358でPDU28が地面を探りステップ360で固有信号を受信し分析する。ステップ358と360の探知と受信とは独立しているが同時並行で、ステップ362でGRSが位置データを受信しステップ364でPDU28の位置を特定する。ステップ362と364が完了すると、この中央処理装置152はステップ366でボーリングツール24の位置を特定する。中央処理装置152はその後測定したボーリングツール24の位置をステップ368で計画通路データベース156に与えられた予想位置と比較し、ステップ370でボーリングツ

ル方向に修正が必要か否かを計算し、そしてもし必要であればステップ372で修正を加える。このトレンチレス地下ボーリング作業12はステップ374で掘削作業を継続し、ステップ376と378でのボーリング作業完了まで続けられる。しかしながらもしボーリング作業が完了していないなら、中央処理装置152はステップ380でボーリングツールの映像を改善するためにPDU28を移動すべきかどうか判断する。もし必要であればステップ382でPDU28が移動され、ステップ358と362で探査とGRSデータ受信を再開する。ボーリングツール24が最終地点に至ったところでこの作業は終了する。

図17と18の破線で示した代替案では、中央処理装置152はステップ366でボーリングツールの位置を決定した後、ステップ384でルート地図作成

データベース158そしてもしくはルート記録データベース154で計算されたボーリングツール24の位置を記録する。他の実施例では、ボーリングツール24の位置を事前計画位置と比較するステップ(ステップ368)と必要な修正を加えるステップ(ステップ370と372)は、破線386で示すように省略される。

ボーリングツール24には追加の特徴を含めることができる。ある状況においては、例えばボーリングツール24の方向、ドリル駆動軸22の剪断応力やボーリングツール24の温度など、ボーリングツール作業状況をもっと詳しく理解するためにある種の測定をすることが所望される。加えて前に述べたように、ボーリングツール24での水圧の測定はボーリングツール24の深さを間接的に測定することができる。図19は二つの追加ボーリングツールヘッド特性の実施例を示す。図19aでは、作業者がボーリングツール24の方向を決めることができる実施例を示す。ボーリングツール24の方向付けをするこの分野のいくつかの公知技術はそのツールの優先方位に頼っているために、ボーリングツール24を地下の通路に沿って方向を調整する時に作業者がボーリングツールの向きを知っておくことが望ましい。もしボーリングツール24の方向が分からなければ、公知のボーリングツール方向把握を必要とする技術に従う限りこのボーリングツール24を好ましい方向に向けることはできない。ボーリングツールの方向をドリル駆動軸22の要素23の方向のみを知ることによって決定することは、ボーリ

ング作業の間にドリル駆動軸22の一つもしくは二つ以上の要素23がお互いに  
振れたり滑ったりしているため、不可能である。ボーリング作業が地下で行われ  
ているため、作業者はこのような振れや滑りが生じていることを知る事が無い  
。従ってボーリングツールの方向を特定することは重要なことである。

図19aは、図5aで説明したような、単一アンテナ402を含み時間遅延回  
路404を介して端末部406に接続された受動時間変域固有信号回路を持つボ  
ーリングツール400の実施例を示す。図19aに示す回路には端末部406近  
くの遅延回線404に沿った地点に水銀スイッチ408を含んでいる。端末部4  
06も浪費荷重を含んでいる。ボーリングツール400が水銀スイッチ408の  
開放される方向にあるときは、水銀スイッチ408の開放回路で入力探査信号4

07に応答して時間変域固有信号を発生している。ボーリングツール400が水  
銀スイッチ408の閉鎖される方向にあるときは、アンテナ402からの回路は  
遅延回線404を介して浪費荷重406で完結している。探査信号407は浪費  
荷重406から反射を受けず従って固有信号は生まれない。PDU28に受信さ  
れた固有信号409の発生が時間の関数として図19bに示されている。一番上  
の線は探査信号407、 $I_p$ を時間の関数でプロットしたものである。ボーリ  
ングツール400が地中通路に沿って回転し移動するときに水銀スイッチ408の  
抵抗 $R_m$ は中央の線に示すように高・低に変動する。水銀スイッチ408の通常  
の開・閉は地表で受け取る固有信号409b、 $I_s$ を変調させる。この変調はボ  
ーリングツールの好ましい方向に対して一定の位相を維持する。下の線は時間遅  
延回線404による効果を示したものではない。というのは時間スケールが極端  
に相違しているからだ(固有信号409の時間遅れは10ナノ秒のオーダーだが、  
ボーリングツール24の一回転は普通0.1から1秒かかる)。PDU28によ  
る変調された固有信号409の探知から作業者はボーリングツールヘッドの方向  
を特定することができる。これまで記された固有信号発生の実施例におい  
ても、ボーリングツールの方向探知ができるように水銀スイッチ408とそして好  
ましくは浪費荷重406を含むことができる点が理解される。

図19cは、ボーリングツール410の環境を感知するセンサを含む実施例を

示す。図は能動時間変域回路416を介して送信アンテナ414に接続される受信アンテナ412を含む能動時間変域固有信号発生回路を示す。センサ418がセンサ導線420を介して能動時間変域回路416に接続されている。この実施例ではセンサ418はボーリングツール410における水圧を測定するためにボーリングツール410の先端につけられる。センサ418の測定値は能動時間変域回路416に検知されこの測定値を変調信号に変換する。この変調信号はその後能動的に発生する固有信号415を変調するために使用される。このプロセスは図19dを参照して説明するが、この図はいくつかの信号を時間の関数で示している。一番上の信号413dは探査信号、 $I_p$ で受信アンテナ412によって受信される。2番目の信号415dは能動的に発生する固有信号、 $I_a$ を示しており、

固有信号の変調が無ければ発生されるものである。3番目の線図416dは振幅変調信号、 $I_m$ で能動時間変域回路416で発生される。そして最後の線422dは振幅変調後の固有信号、 $I_s$ を示している。この変調された固有信号415はPDU28によって探知される。その後のPDU28内の信号処理機60による変調信号の確定によりセンサ418からの出力に関するデータを提供する。

固有信号の変調は、図19に示すような時間変域信号と振幅変調の組合せに限定されるものではない。この組合せは表示目的のみのために提示したものである。その他の実施例には周波数変域固有信号の振幅変調や、時間ならびに周波数変域固有信号の周波数変調が含まれることが理解される。加えてボーリングツール24には前記実施例に示した単一のセンサよりも二つもしくはそれ以上のセンサを含むことができる。

図20aには本発明の他の実施例であって、ボーリングツール430の方向や環境に関する情報をPDU28に送信するために個別の能動ビーコンが採用されている。図20aに示すこの実施例では、ボーリングツール430は、電気信号を反射するために単軸アンテナ432、時間遅延回路434、そして開放端末部436を含む受動時間変域固有信号回路を含んでいる。この単軸アンテナ432は探査信号433を受信し固有/ビーコン信号435を発信するために使用され

る。能動ビーコン回路438は好ましくは50KHzから500MHzの幅の選択された周波数のビーコンを発生し、これは端末436で発生する固有信号と一体にされ、固有／ビーコン合成信号435としてアンテナ432から送信される。水銀スイッチ440が端末436で発生する固有信号によってでなく能動ビーコン回路438からの信号によってのみ作動するように、能動ビーコン回路438とアンテナ432との間に設置されている。ポーリングツール430が水銀スイッチ440の開放するように向けられているときは、ビーコン回路438はアンテナ432からは外され、能動ビーコン回路438からは何の信号も送信されない。ポーリングツール430が水銀スイッチ440の閉鎖するように向けられているときは、この能動ビーコン回路438はアンテナ432に接続され、能動ビーコン回路438からの信号が固有信号と共に固有／ビーコン信号435として

送信される。この水銀スイッチの固有／ビーコン信号に対する効果は前に図19bで説明されている。一番上の線438bは能動ビーコン回路438で発生する信号、 $I_b$ を時間の関数で示したものである。ポーリングツール430が地下の通路に沿って回転し移動するため、水銀スイッチ440の抵抗、 $R_m$ は中央の線440bに示すように高・低に変動する。この水銀スイッチ440の連続する開閉動作は変調された固有／ビーコン信号435b、 $I_m$ を発生させ、これは地表でPDU28によって受信される。信号、 $I_m$ 435bにはビーコン信号要素のみを表示し、固有信号要素は示されていない。この信号、 $I_m$ 435bの変調はポーリングツール430の好ましい方向付けに対して一定の位相を維持している。PDU28のビーコン受信／分析機61によるこのビーコン信号の変調の分析により作業者はポーリングツールヘッドの方向を特定することができる。

図20cは、ポーリングツール450の環境を感知するセンサとセンサのデータを送信するために能動ビーコンが使われている実施例を示す。図は受信アンテナ452、送信アンテナ454、能動時間変域固有信号回路456を含む能動時間変域固有信号発生回路を示し、全ては時間遅延回線457を介して接続されている。能動ビーコン回路460も送信アンテナ454に接続されている。センサ

458がセンサ導線462を介してビーコン回路460に接続されている。この実施例では、センサ458はボーリングツール450の先端近くに配置され、ボーリングツール450における水圧を測定するのに使用されている。このセンサ測定値は能動ビーコン回路460に探知され、センサ458からの信号は変調信号に変換される。この変調信号はその後能動ビーコン回路460で発生した能動ビーコン信号を変調するのに用いられる。PDU28に送信されるこの固有／ビーコン信号455の発生を表示するために、図20dにいくつかの信号が時間の関数で表示されている。信号453は探知信号、 $I_p$ を示し、受信アンテナ452で受信される。2番目の信号456dは時間遅延固有信号、 $I_s$ を示し、能動時間変域回路456で発生する。第3の信号460d、 $I_c$ は時間遅延固有信号、 $I_s$ 456dと能動ビーコン回路460で発生する変調されていない信号との合成を示す。最下段の線は地上で受信する信号、 $I_m$ を表し、これは時間遅延固有信号、 $I_s$

456dと、センサ458の読み取り値に従って変調された能動ビーコン回路460で作成された信号との合成である。PDU28のビーコン信号探知機61による変調された能動ビーコン信号の探知とそれに続く適当な分析により、センサ458からの出力の読みが可能となる。

以上に述べた好ましい実施例に対する多くの改造と追加が本発明の範囲と精神を逸脱することなく可能であることはもちろん理解されるであろう。従って、本発明の範囲は以上に述べた特定の実施例によって制限されるものではなく、それは以下に述べる請求の範囲およびこれと等価のものによってのみ限定されるものである。

【図1】

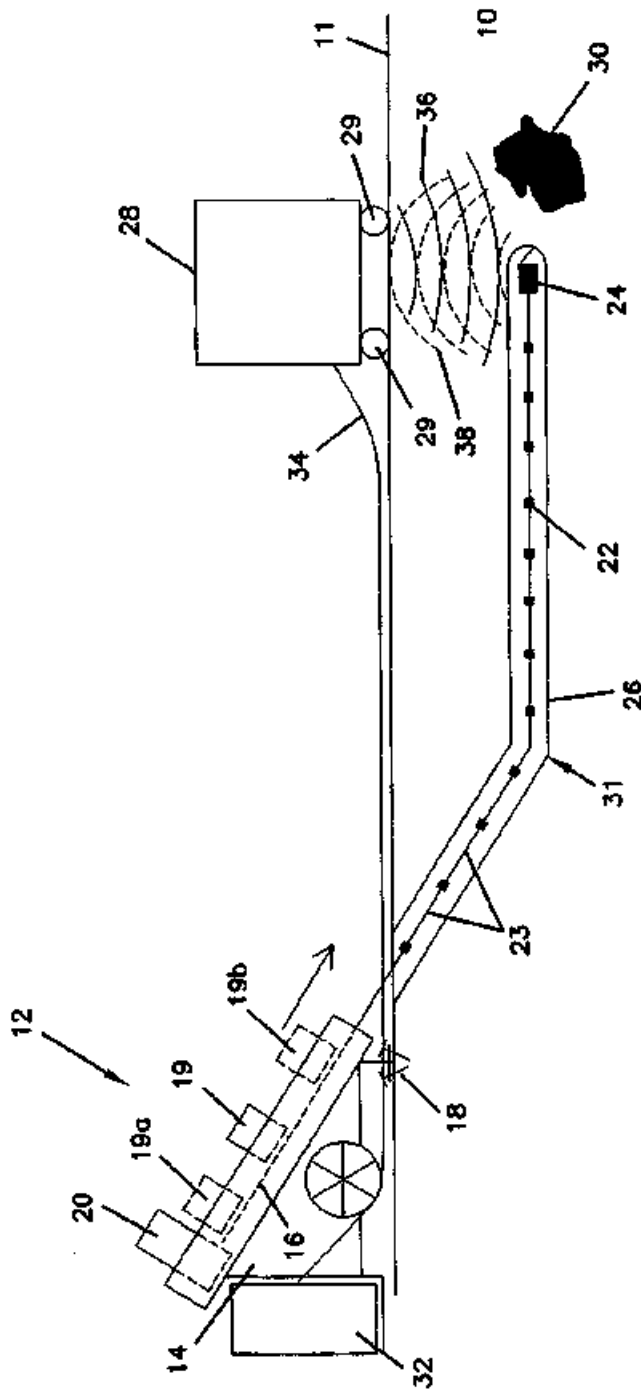


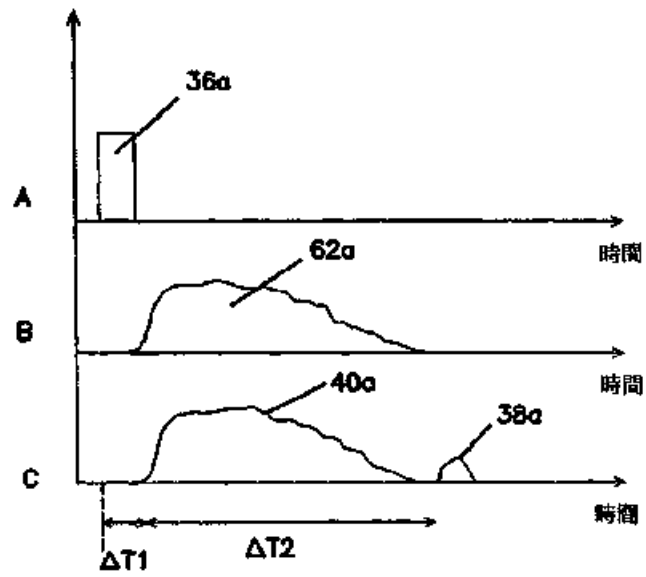
FIG. 1





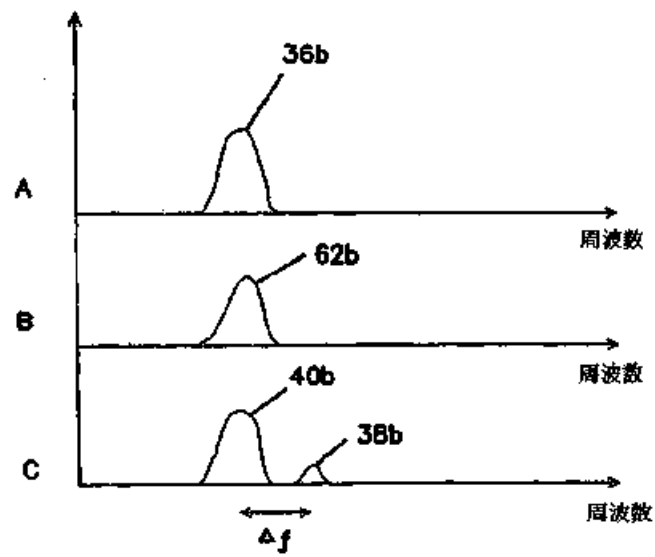
【圖 3】

FIG. 3



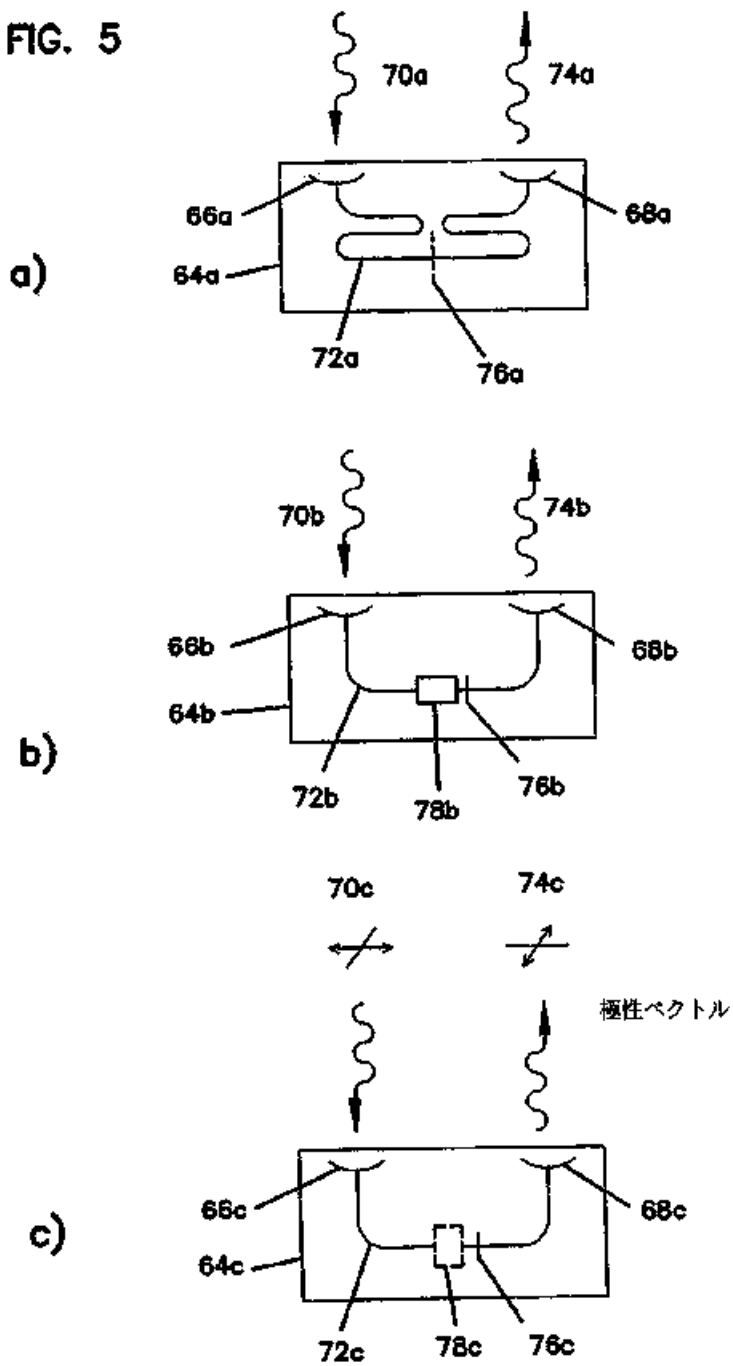
【圖 4】

FIG. 4



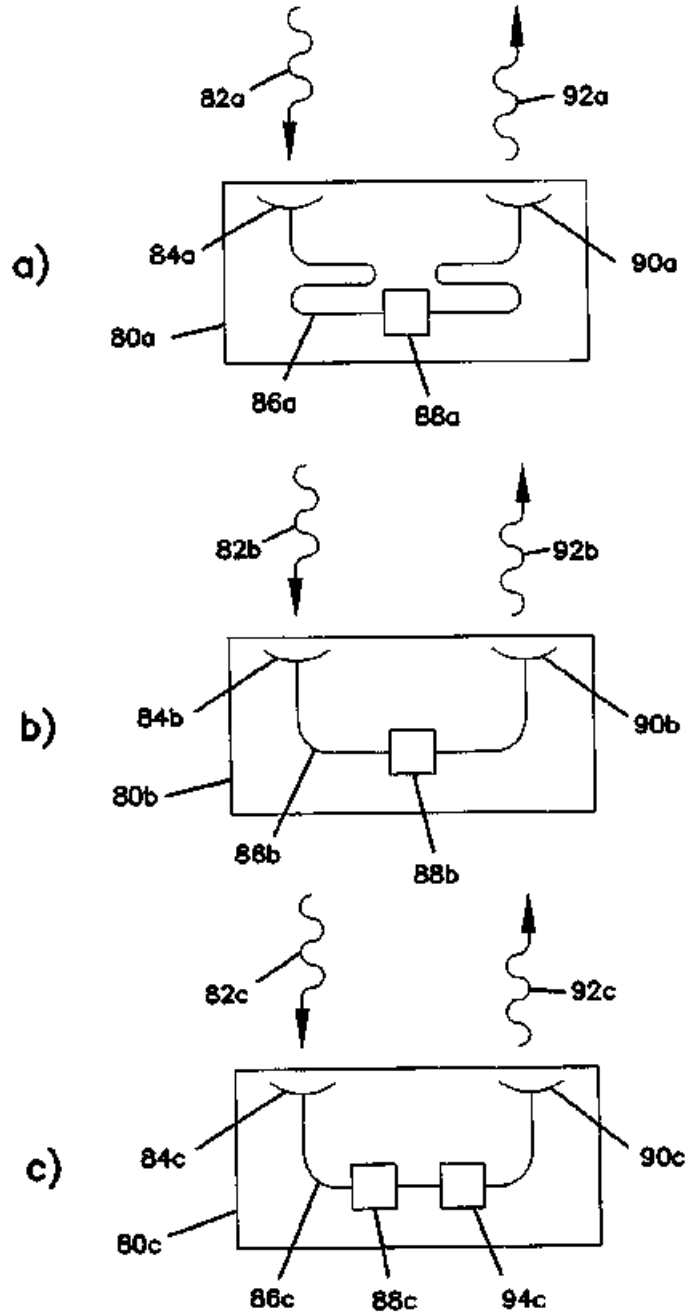
【図5】

FIG. 5



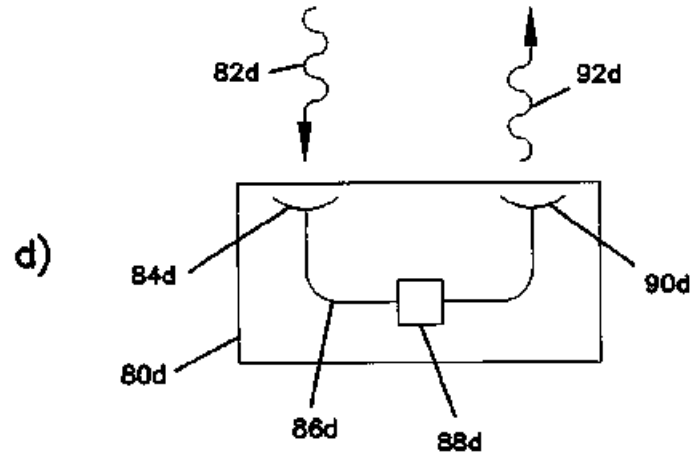
【図6】

FIG. 6



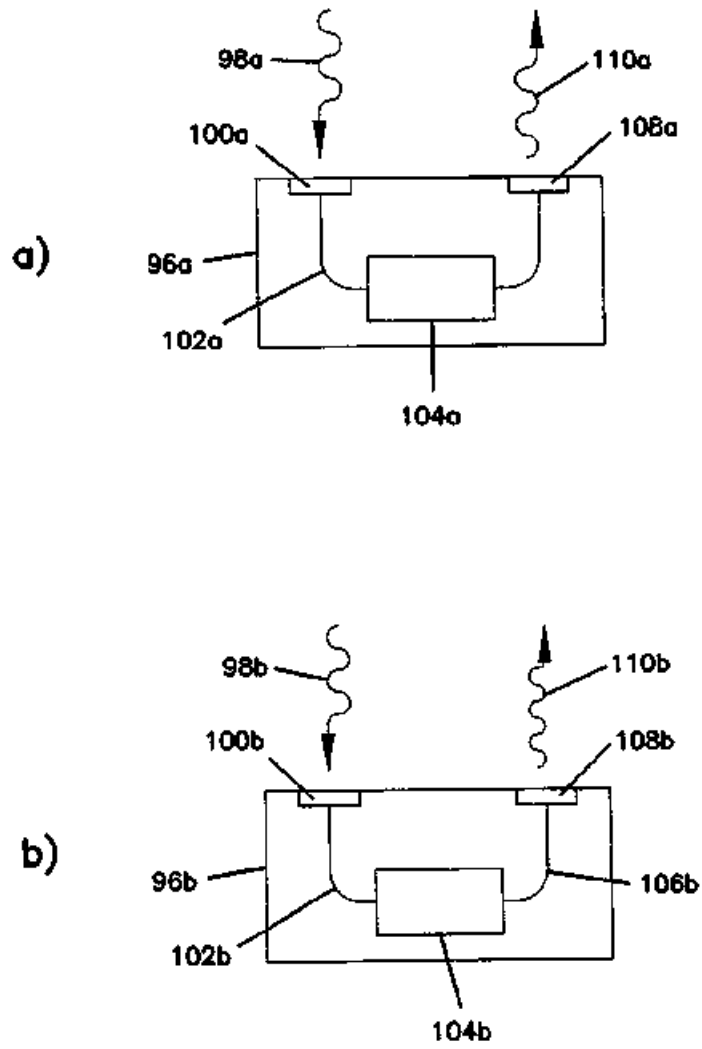
【図6】

FIG. 6



【図7】

FIG. 7



【図8】

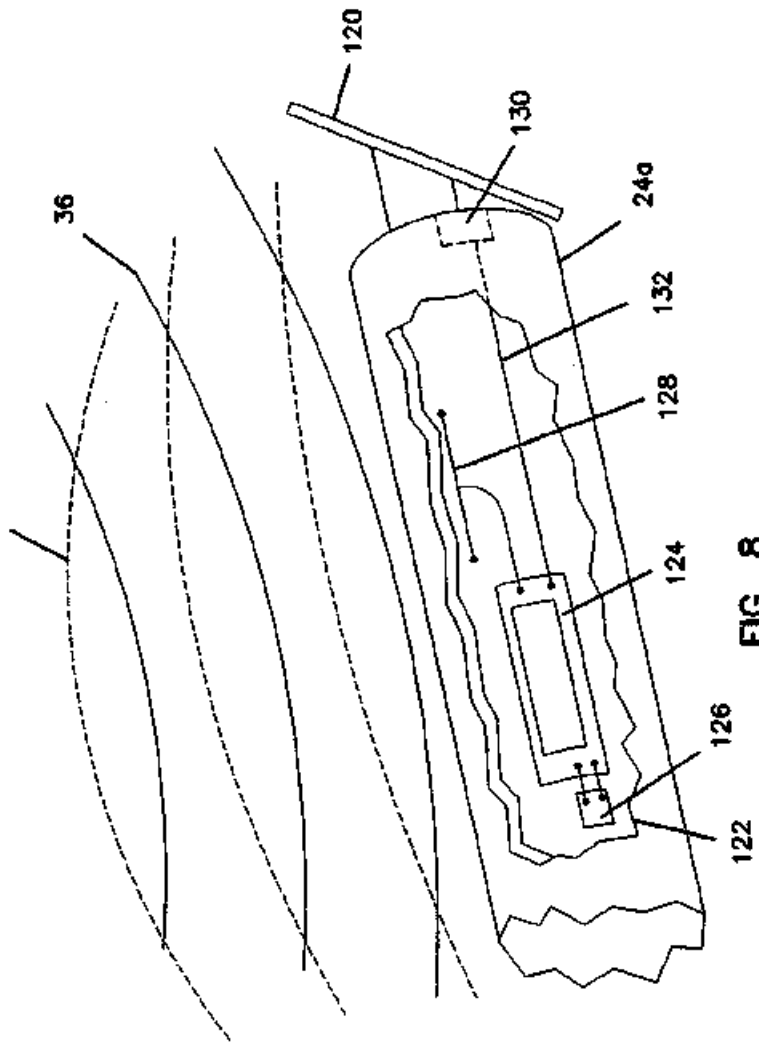


FIG. 8

【図9】

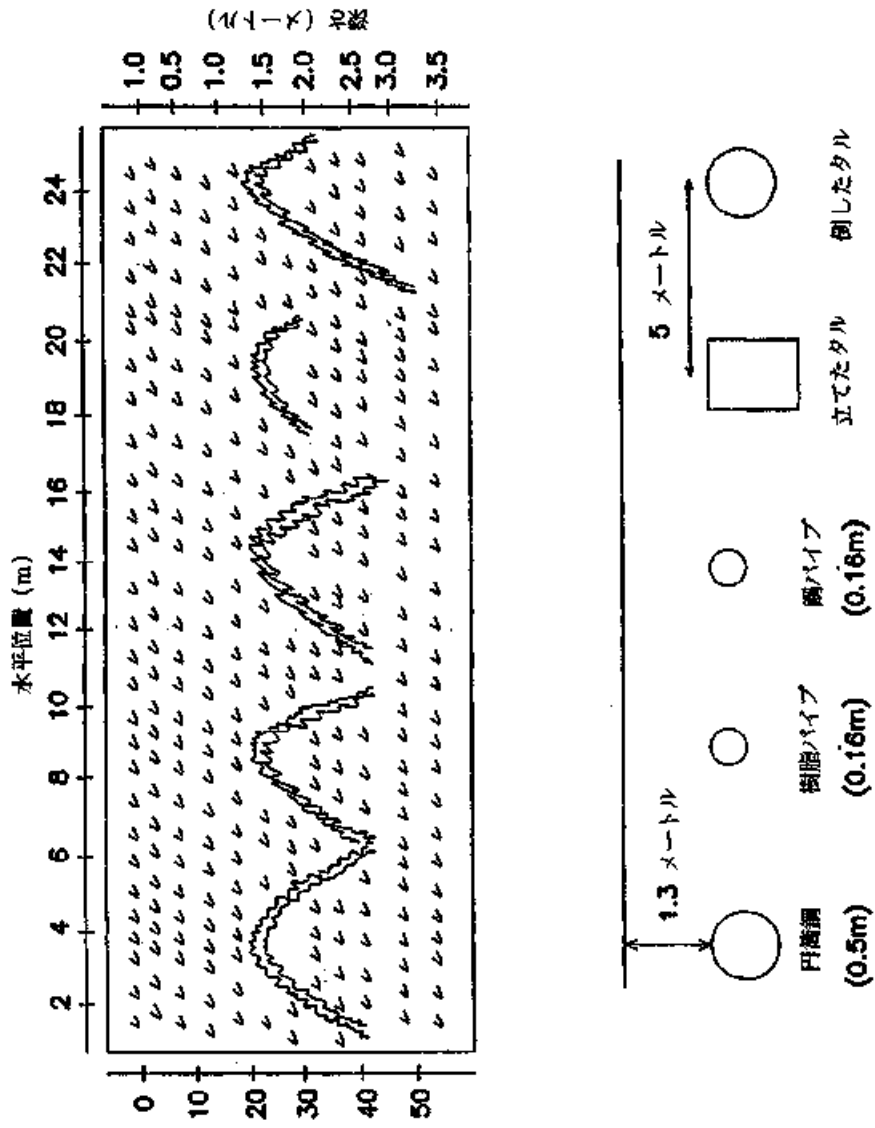


FIG. 9



【図10】

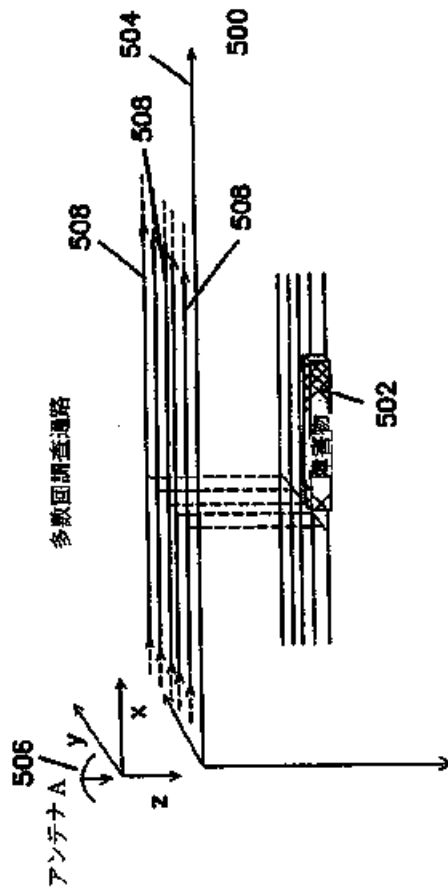


FIG. 10  
先行技術

【図11】

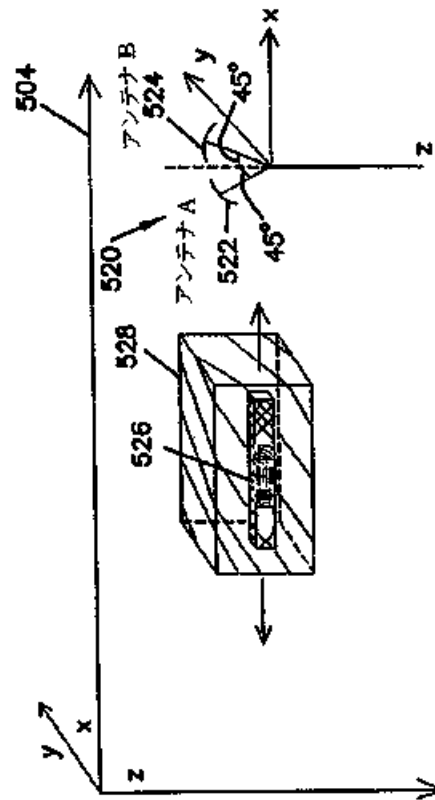


FIG. 11

【図12】

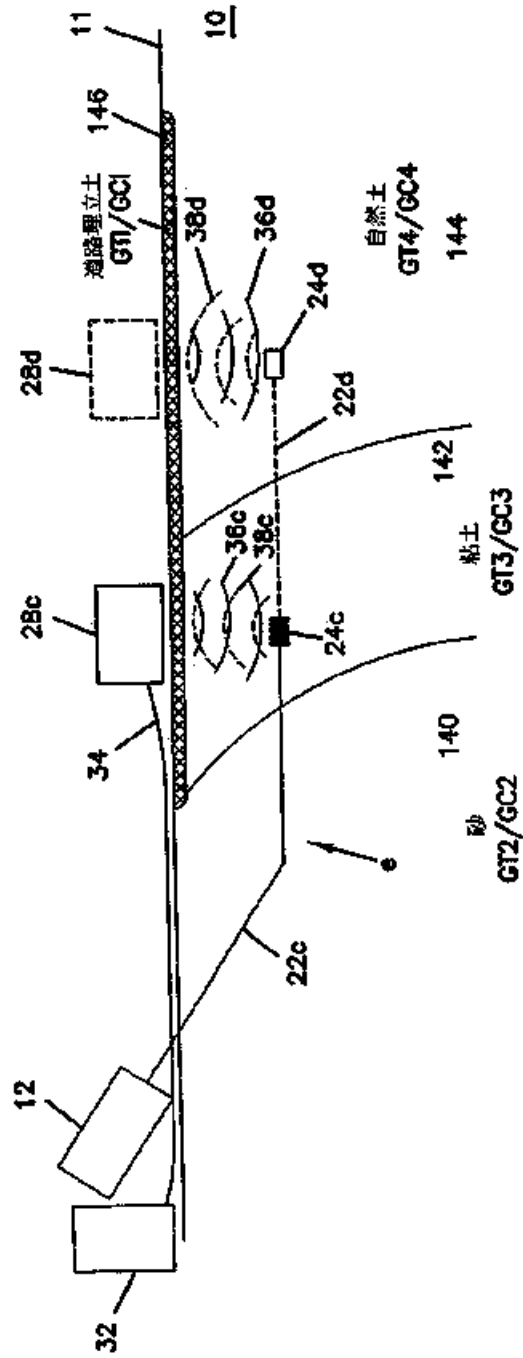
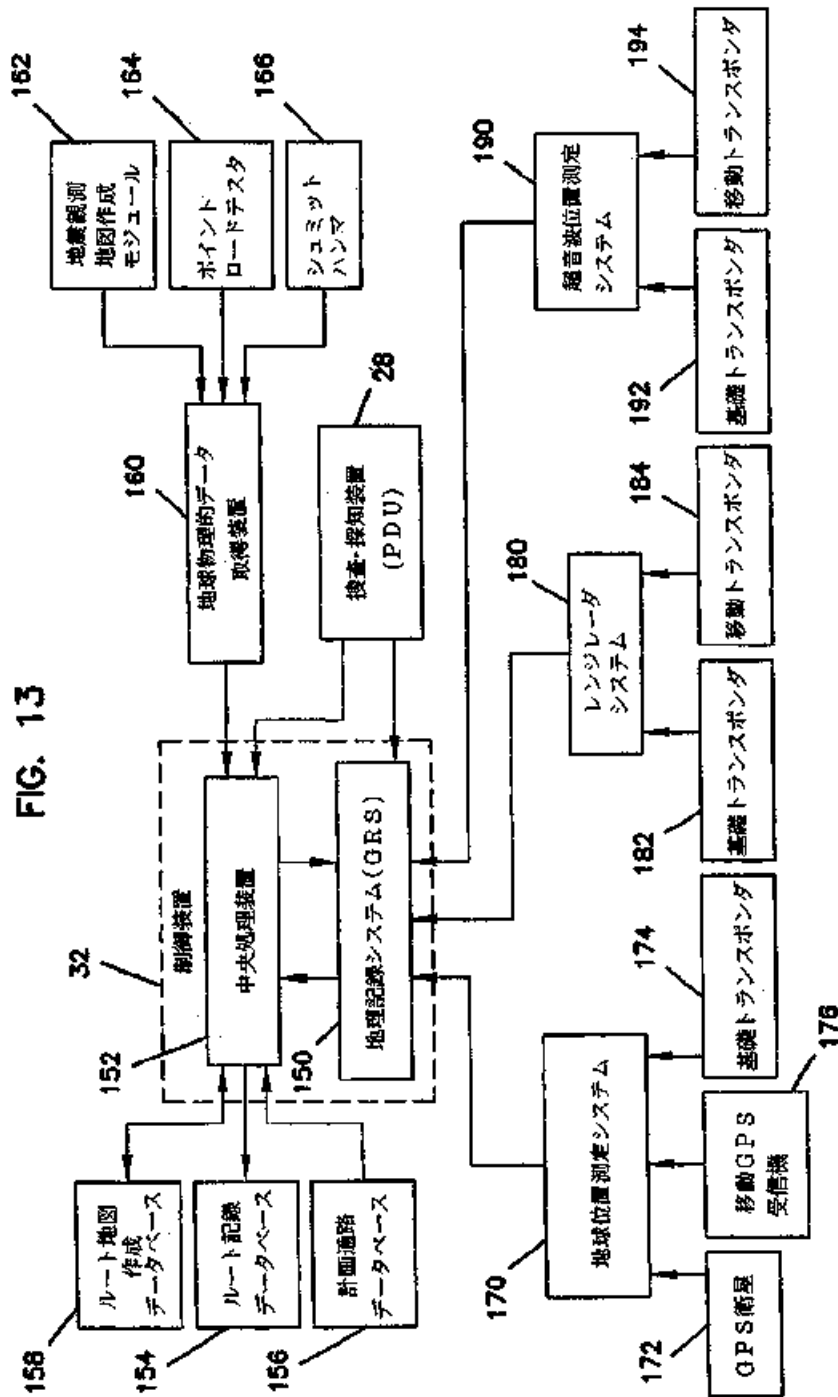


FIG. 12

【図13】



【図14】

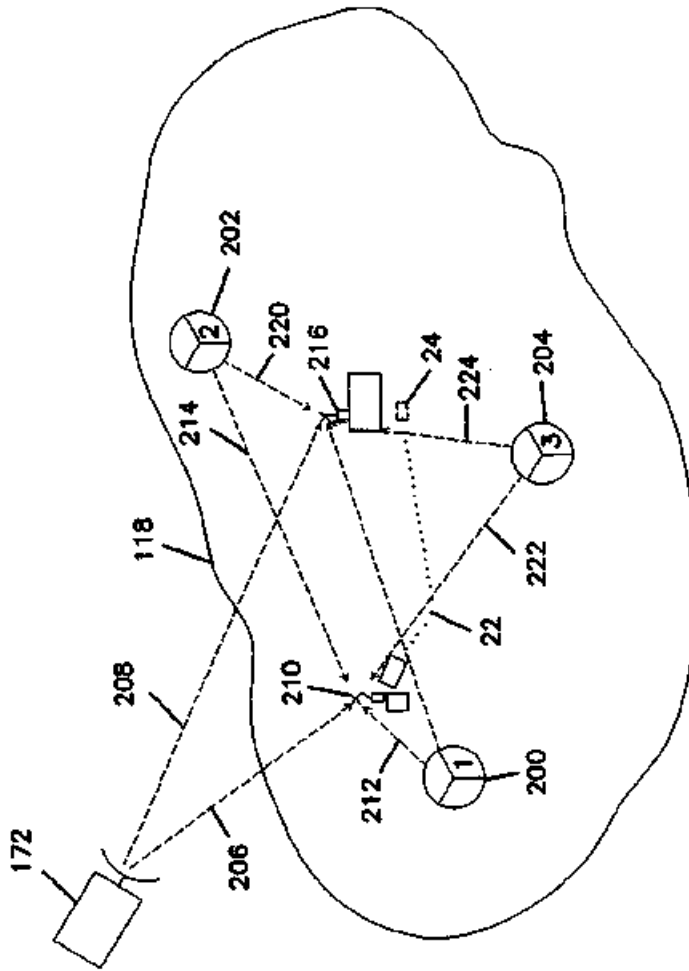
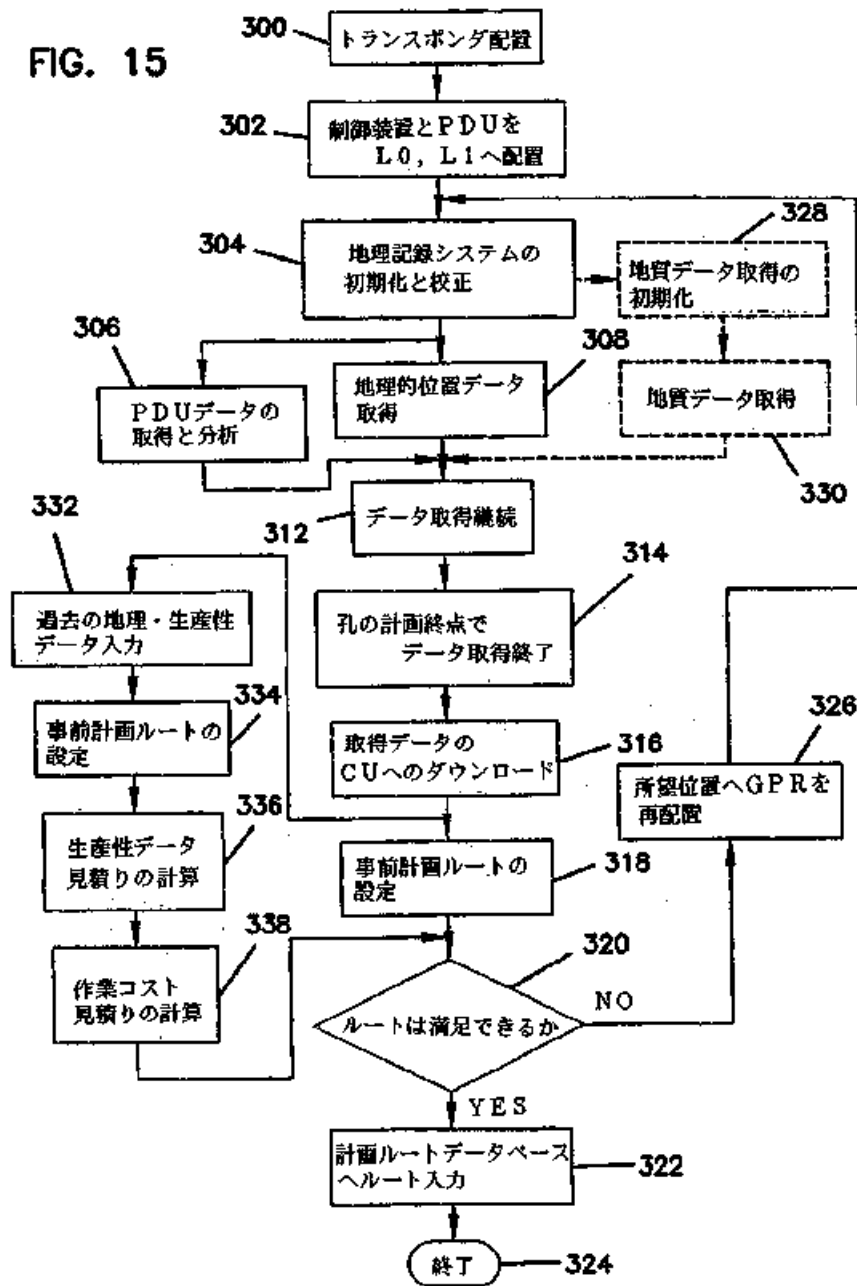


FIG. 14

【図15】

FIG. 15



【図16】

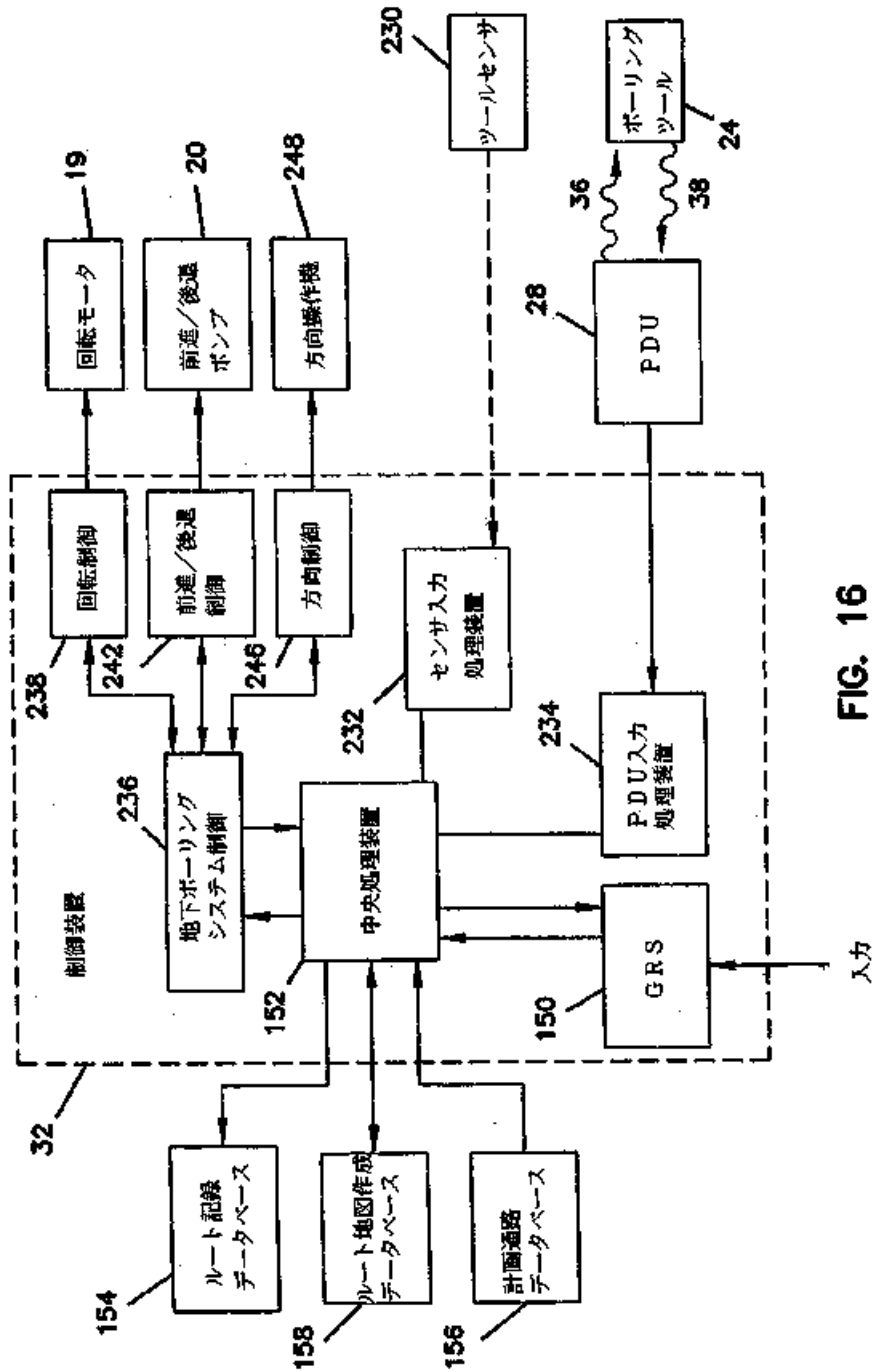
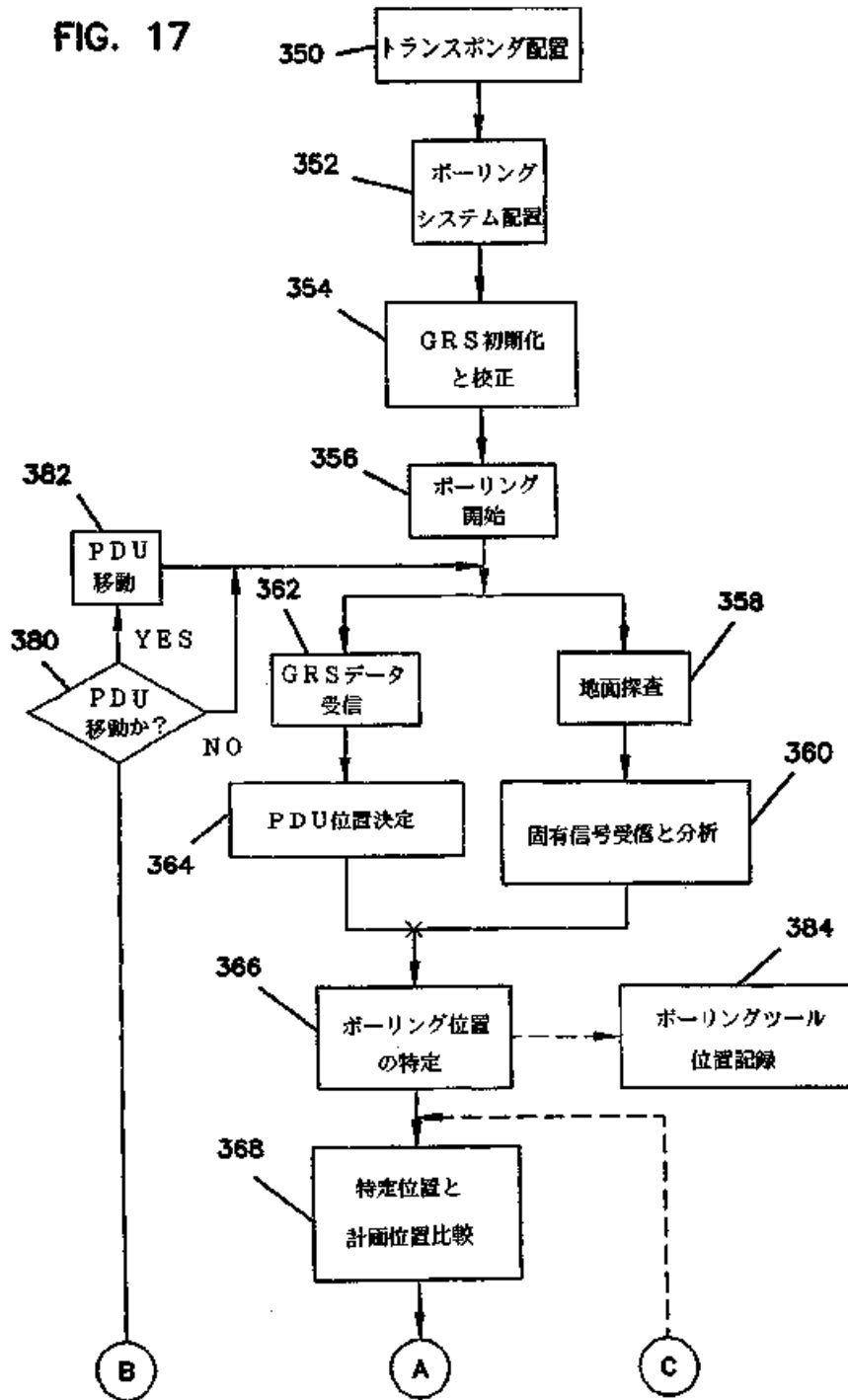


FIG. 16

【図17】

FIG. 17





【図18】

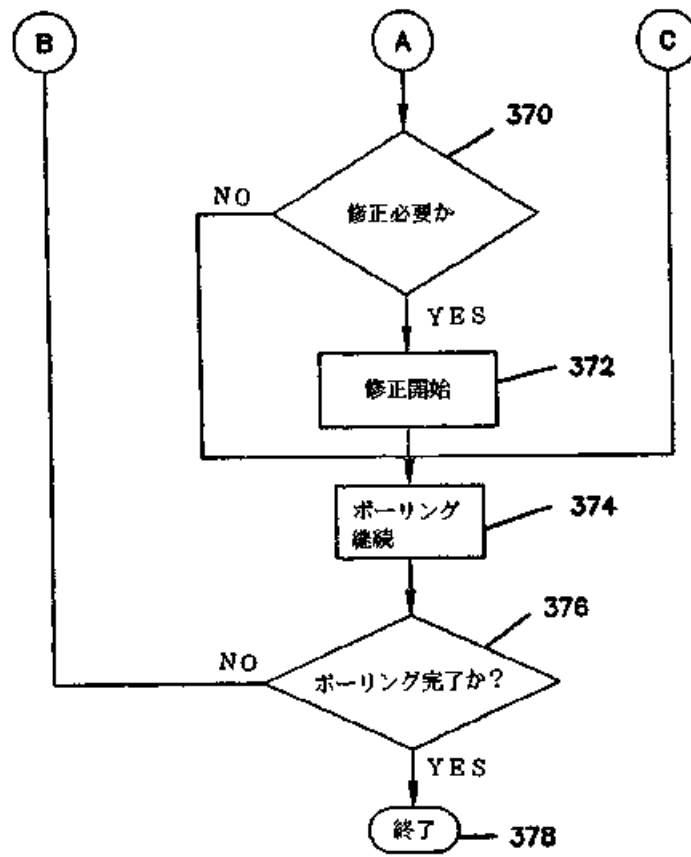


FIG. 18

【圖 19】

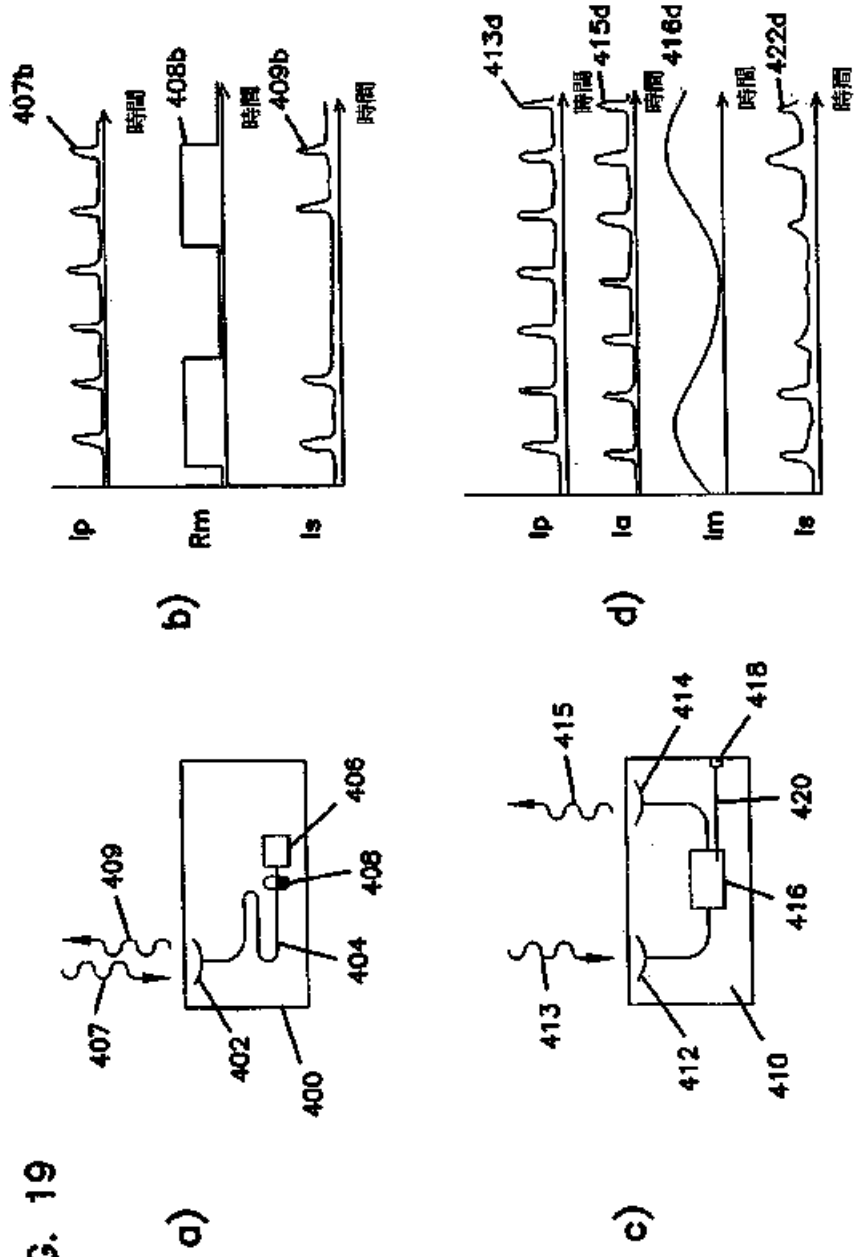
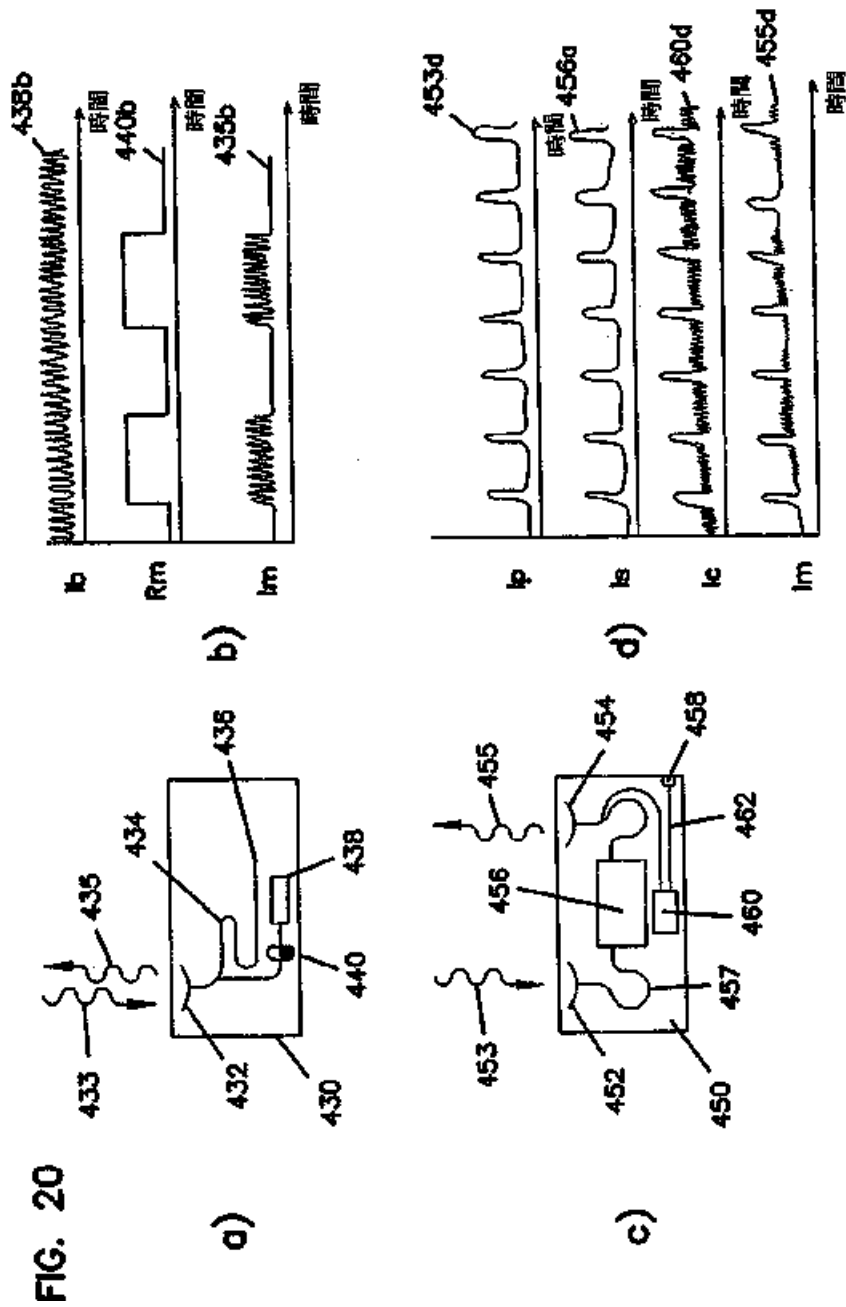


FIG. 19

【図20】



【**手続補正書**】特許法第184条の8第1項

【**提出日**】1998年1月12日(1998. 1. 12)

【**補正内容**】

請求の範囲

1. 地下ボーリングツールと、  
前記ボーリングツールとは分離された探査信号を発生する発生手段と、  
上記探査信号に反応して前記ボーリングツールにて、ボーリングツールポデーからの反射音以外の信号からなる固有信号を作成する作成手段と、  
前記固有信号を用いて前記ボーリングツールの位置を探知する探知手段と  
からなる探知システム。
2. 前記探査信号が電磁信号である請求項1のシステム。
3. 前記探査信号が音波信号である請求項1のシステム。
4. 前記作成手段が地盤貫入レーダからなる請求項1のシステム。
5. 前記地盤貫入レーダが地下の三次元イメージを作成する請求項4のシステム。
6. 前記固有信号が作成手段により受動的に作成される請求項1のシステム。
7. 前記固有信号が作成手段により能動的に作成される請求項1のシステム。
8. 前記固有信号の極性が前記探査信号の極性に対して直交する請求項1のシステム。
9. 前記固有信号が時間変域もしくは周波数変域で所定の特性を有する請求項1のシステム。
10. 前記ボーリングツールの地理的位置を特定するための特定手段を有する請求項1のシステム。
11. 前記ボーリングツールが進むべき予め設定したルートを設定するための設定手段を有する請求項1のシステム。
12. 前記ボーリングツールが作る地下の通路を記録するための記録手段を有する請求項1のシステム。
13. 前記ボーリングツールが掘削して行く地盤の特性把握をするための特性

把握手段と、

前記地盤の前記特性把握を蓄積するための蓄積手段と

を有する請求項1のシステム。

14、 ボーリングツールと、

地下通路を形成するために前記ボーリングツールを駆動する駆動手段と、

探査信号を発生するための前記ボーリングツールとは分離した探査信号発生機

と、

前記探査信号に応答し前記ボーリングツールで、ボーリングツールポデーからの反射音以外の信号からなる固有信号を作成するための固有信号発生機と、

前記固有信号を使用して地下通路に沿ってボーリングツールの位置を探査する位置探査機と、

からなるシステム。

15、 前記ボーリングツールがボーリングツールの掘削方向を制御するために前記駆動手段と共に方向制御装置を含んでいる請求項14のシステム。

16、 前記ボーリングツールの地理的位置を特定するための位置特定装置を有する請求項14のシステム。

17、 前記地下通路の土壌成分の特性把握をするための土壌特性把握システムと、

前記ボーリングツールへの障害物を回避できるよう前記地下通路を特定するための前記土壌特性把握システムとつながったコンピュータと、

を有する請求項14のシステム。

18、 前記ボーリングツールによって作成された地下通路と予め設定された地下通路とを比較し、前記地下通路と前記予め設定された地下通路との差異を表示する比較信号を作成するためのコンピュータであって、

前記比較信号に呼応して前記ボーリングツールの掘削方向を変更するように効力を及ぼすコンピュータ、

を有する請求項14のシステム。

19、 予め設定された地下ボーリング通路に関連する土壌特性データを作成す

る地盤貫入レーダシステムと、

ボーリング作業の生産性見積もり情報を作成するために前記土壌特性把握データと既存のボーリング作業データとを合体させるコンピュータと、

を有する請求項14のシステム。

20、前記コンピュータが前記見積もられたボーリング作業生産性情報を使用して前記駆動手段を制御する請求項19のシステム。

21、前記探査信号発生機が地盤貫入レーダシステムを含んでおり、その地盤貫入レーダシステムは更に前記地下通路に関連する土壌特性把握データを作成し、システムが更に前記地盤貫入レーダシステムと共に前記土壌特性把握情報をデータベースへ蓄積するためのコンピュータを有する、

請求項14のシステム。

22、前記ボーリングツールがセンサを有する請求項14のシステム。

23、前記ボーリングツールが更に前記センサによって作成されたデータを固有信号の一部として含め込む手段を有する請求項22のシステム。

24、前記ボーリングツールとは分離した信号源から探査信号を発生するステップと、

前記探査信号に応答してボーリングツールで、ボーリングツールボデーからの反射音以外の信号からなる固有信号を作成するステップと、

前記固有信号を使用して前記ボーリングツールの位置を探知するステップと、  
からなる地下ボーリングツールの位置を探索する方法。

25、前記発生するステップが電磁探査信号を発生するステップを含む請求項24の方法。

26、前記発生するステップが音波探査信号を発生するステップを含む請求項24の方法。

27、前記発生するステップが地盤貫入レーダシステムを使用して前記探査信号を発生するステップを含む請求項24の方法。

28、前記作成するステップが前記固有信号を受動的に作成するステップを含む請求項24の方法。

29. 前記作成するステップが、時間変域と周波数変域とのいずれかで所定の特性を有する固有信号を能動的に作成するステップを含む請求項24の方法。

30. 前記作成するステップが前記探査信号の極性に対して直交する極性を有する固有信号を作成するステップを含む請求項24の方法。

31. 前記探査するステップが更に地盤貫入レーダシステムを使用して三次元でボーリングツールの位置を探査するステップを含む請求項24の方法。

32. ボーリングツールの前記位置に応じてボーリングツールの生産性効率を変更するステップを更に含む請求項24の方法。

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 96/28734
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 6 E21B47/022 G01V3/12		
According to International Patent Classification (IPC) or to trinational classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 E21B G01V		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 3 831 173 A (LERNER R) 20 August 1974  see column 1, line 67 - column 2, line 17; figure 1  ---	1,2,4-9, 14,24, 25,27-30
Y	WD 90 15343 A (NIROS A S) 13 December 1990  see page 5, line 28 - page 7, line 11; figures  ---	1,2,4-7, 9,14,24, 25,27-29
Y	US 3 781 879 A (STARAS H ET AL) 25 December 1973  see abstract  -----	1,2,6,8, 14,24, 25,30
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of text C.		
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "B" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the prior art date of another document or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to underscore the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is considered with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
28 April 1997		- 4. 06. 97
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5416 Patentstr. 2 NL - 2130 HV Rijswijk Tel. (+ 31-78) 246-2046; Telex 31 658 eps nl. Fax (+ 31-78) 246-2016		Authorized officer  Hoekstra, F



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members:

International Application No.  
PCT/US 96/20734

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3831173 A	20-08-74	NONE	
WO 9015343 A	13-12-90	AU 5820490 A	07-01-91
US 3781879 A	25-12-73	CA 1013452 A	05-07-77
		DE 2333292 A	10-01-74
		FR 2191131 A	01-02-74
		GB 1416504 A	03-12-75
		JP 59024091 A	14-03-75
		US RE28302 E	14-01-75

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AP(KE, LS, MW, SD, SZ, UG), UA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, UZ, VN