

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6840066号
(P6840066)

(45) 発行日 令和3年3月10日(2021.3.10)

(24) 登録日 令和3年2月18日(2021.2.18)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 M 3/24 (2006.01) GO 1 M 3/24 A
F 1 7 D 5/06 (2006.01) F 1 7 D 5/06

請求項の数 12 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2017-224751 (P2017-224751)
 (22) 出願日 平成29年11月22日(2017.11.22)
 (65) 公開番号 特開2019-95292 (P2019-95292A)
 (43) 公開日 令和1年6月20日(2019.6.20)
 審査請求日 令和2年2月19日(2020.2.19)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 110002365
 特許業務法人サンネクスト国際特許事務所
 (72) 発明者 市毛 健志
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
 審査官 亀澤 智博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 漏水検知システムおよび漏水検知方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

埋設管の漏水を検知するための複数の漏水検知端末と、前記複数の漏水検知端末の各々と通信網を介して接続されるセンタ側装置とを備える漏水検知システムであって、

前記複数の漏水検知端末の各々は、

埋設管内の振動を検知するセンサ部と、

前記センサ部で検知した振動の振動データを処理する端末側処理部と、

前記端末側処理部の処理結果を前記センタ側装置に送信する端末側通信部と、を備え、

前記センタ側装置は、

前記複数の漏水検知端末の各々から送信された処理結果を受信するセンタ側通信部と、

前記処理結果を処理するセンタ側処理部と、

前記センタ側処理部で処理されたデータに含まれる漏水の振動データとは異なる振動データに基づいて、前記複数の漏水検知端末のうち近接して設置されている漏水検知端末間の時刻同期を行う時刻同期部と、を備える、

ことを特徴とする漏水検知システム。

【請求項2】

前記端末側処理部は、前記センサ部で検知された振動の振動データに基づいて漏水の発生度合いに関するデータを生成し、前記センサ部で検知された振動の振動データを周波数変換したデータを生成する、

ことを特徴とする請求項1に記載の漏水検知システム。

10

20

【請求項 3】

前記センタ側処理部は、前記端末側処理部により周波数変換されたデータのうち、背景信号に係る第 1 の周波数の組み合わせに関するデータに基づいて時間軸の補正を行い、漏水現象を示す漏水信号に係る第 2 の周波数の組み合わせに関するデータに基づいて漏水信号の時間差を算出する、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の漏水検知システム。

【請求項 4】

前記端末側処理部は、前記漏水の発生度合いに関するデータが漏水の発生を示すデータでない場合、前記端末側処理部により周波数変換されたデータを前記センタ側装置に送信しないように処理を行う、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の漏水検知システム。

【請求項 5】

前記複数の漏水検知端末の各々には、前記第 1 の周波数の組み合わせに係る設定パラメータが設置位置に応じて設定される、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の漏水検知システム。

【請求項 6】

埋設管の管路網に関するデータを保持する管路網データベースを備え、

前記管路網データベースには、前記端末側処理部が使用する設定パラメータが漏水検知端末ごとに記憶され、

前記センタ側処理部は、前記複数の漏水検知端末の各々に対して、対応する設定パラメータを前記センタ側通信部を介して送信し、

前記複数の漏水検知端末の各々は、前記センタ側装置より送信された設定パラメータを前記端末側通信部を介して受信し、前記端末側処理部の設定パラメータとして設定する、

ことを特徴とする請求項 3 に記載の漏水検知システム。

【請求項 7】

前記管路網データベースには、前記第 1 の周波数の組み合わせに係る設定パラメータと前記第 2 の周波数の組み合わせに係る設定パラメータとが管路条件に対応して記憶され、

前記センタ側処理部は、前記複数の漏水検知端末の各々に対して、設置位置の管路条件に対応する設定パラメータを選択して送信する、

ことを特徴とする請求項 6 に記載の漏水検知システム。

【請求項 8】

前記管路網データベースには、前記複数の漏水検知端末の位置情報が記憶され、

前記センタ側処理部は、

前記複数の漏水検知端末のうち近接する 3 つ以上の漏水検知端末の集合における近接する 2 つの漏水検知端末の組ごとに、時刻ずれを算出すると共に、算出した時刻ずれと第 3 の周波数の組み合わせに関するデータとに基づいて前記 2 つの漏水検知端末の振動検知時間の時間差を算出し、

前記位置情報に基づいて前記集合における近接する 2 つの漏水検知端末間の距離を算出し、算出した距離を管内音速で振動が伝播した場合の伝播時間を算出し、前記集合内の漏水検知端末を順番に伝播する際の各漏水検知端末の通過時刻の期待値を算出し、

算出した時間差と算出した期待値とに基づいて、前記集合内の漏水検知端末が正常に設置されているか否かを判定する、

ことを特徴とする請求項 6 に記載の漏水検知システム。

【請求項 9】

前記複数の漏水検知端末のうち近接する複数の漏水検知端末のうちの 1 の漏水検知端末は、振動発生器を備え、

前記 1 の漏水検知端末は、前記センタ側装置からの振動の要求に基づいて、前記振動発生器により埋設管内に振動を発生させ、

前記近接する複数の漏水検知端末の各々は、前記振動発生器による振動を検知して処理した処理結果を前記センタ側装置に送信し、

10

20

30

40

50

前記時刻同期部は、前記処理結果に含まれる前記振動発生器による振動の振動データに基づいて、前記近接する複数の漏水検知端末について漏水検知端末間の時刻同期を行う、ことを特徴とする請求項 1 に記載の漏水検知システム。

【請求項 10】

前記センタ側処理部は、前記複数の漏水検知端末のうちの選択した 2 つの漏水検知端末について、前記第 1 の周波数の組み合わせに関するデータについてのパワースペクトルの積算値と、前記 2 つの漏水検知端末の時間差の中央値と、前記時間差の分散値とに基づいて、前記 2 つの漏水検知端末間の時刻同期が正常に完了しているか否かを判定する、ことを特徴とする請求項 3 に記載の漏水検知システム。

【請求項 11】

前記センタ側処理部による処理結果に係る表示を行う表示装置を備える、ことを特徴とする請求項 8 または 10 に記載の漏水検知システム。

【請求項 12】

埋設管の漏水を検知するための複数の漏水検知端末と、前記複数の漏水検知端末の各々と通信網を介して接続されるセンタ側装置とを備える漏水検知システムにおける漏水検知方法であって、

前記複数の漏水検知端末の各々が、埋設管内の振動を検知し、検知した振動の振動データを処理した処理結果を前記センタ側装置に送信する第 1 のステップと、

前記センタ側装置が、前記複数の漏水検知端末の各々から送信された処理結果を受信し、前記処理結果を処理し、処理したデータに含まれる漏水の振動データとは異なる振動データに基づいて、前記複数の漏水検知端末のうち近接して設置されている漏水検知端末間の時刻同期を行う第 2 のステップと、

を備えることを特徴とする漏水検知方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は漏水検知システムおよび漏水検知方法に関し、例えば埋設管の漏水を検知する漏水検知システムおよび漏水検知方法に適用して好適なものである。

【背景技術】

【0002】

水道局等の上水道事業者は、広範囲の配水区に対して水道サービスを提供している。日本国内では、高度成長期に配水設備が設置されてから 60 年が経過し、配水設備の老朽化が進行している。そこで、耐震化を含めた更新事業を行っているが、いずれの事業体でも漏水が多発している現状がある。また、水道事業は、人口減少にともなう使用水量の減少による減収、事業職員数の減少の事業課題があり、有収水量を改善する漏水対策に関する効率的な解決策が求められている。

【0003】

ここで、水道管路の漏水を検知する漏水探知機の種類および探知方法に関しては、「水道維持管理指針 2006」に開示されている（非特許文献 1 参照）。その中で位置推定も可能な探知方式として、相関式の漏水発見装置がある。この種類の漏水発見装置では、漏水地点を含む水道管路の 2 箇所に探査用のセンサを設置し、相関器により各センサまでの漏水音および振動の伝播時間差を求め、伝播時間差、センサ間の距離、および管路を伝播する音波の伝播速度より漏水箇所を発見する。

【0004】

また、放送電波受信回路を設置し、各測定地点で漏洩音検出器より入力される漏洩音検出信号とともに放送受信信号を記録し、記録終了後、両装置の記録データを照合し、放送受信信号を基準として記録時間差を補正した上で、相関演算を行う方法が開示されている（特許文献 1 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】特開平 1 0 - 9 0 1 0 6 号公報

【非特許文献】

【 0 0 0 6 】

【非特許文献 1】日本水道協会、「水道維持管理指針 2 0 0 6 」、2 0 0 6 年 7 月

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

これまで漏水に関しては、担当職員が現地へ赴き、移動式の漏水探知機を使用して個別に漏水箇所の探査を行い、漏水箇所を特定し、その後の工事作業を計画していた。広範囲のサービスエリアを巡回して漏水調査を実施することは、維持管理のコスト面でも効率的ではない。今後の効率的な漏水対策方法として、広範囲に多地点の水道埋設管に安価なセンシング端末を配置し、遠隔監視により漏水の発生を検出し、高精度な漏水点位置の推定が行える監視システムを提供することが考えられる。

10

【 0 0 0 8 】

センシング端末のデータ通信方式としては、低電力無線通信 L P W A (Low Power Wide Access) の活用が有効と考えられる。しかしながら、通信網の仕様上の制約により、センシング端末間の時間同期が十分な精度で行えない場合がある。例えば、L P W A の 1 つである L o R a アライアンスが規格化した L o R a W A N 規格では、通信モードによっては時刻同期の信号を受け取ることができない。また、長期間にわたる電池駆動で動作するための省電力運転のために、センシング端末は、通常動作モードと電力をほとんど消費しない休止モードとを繰り返す動作となるために、時間同期が不正確となる。漏水検知に使用する相関法では、正確な時間同期が必要となるため、正確な時間同期が必要となる。

20

【 0 0 0 9 】

本発明は以上の点を考慮してなされたもので、漏水検知端末間の時間同期をとることができる漏水検知システム等を提案しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

かかる課題を解決するため本発明においては、埋設管の漏水を検知するための複数の漏水検知端末と、前記複数の漏水検知端末の各々と通信網を介して接続されるセンタ側装置とを備える漏水検知システムであって、前記複数の漏水検知端末の各々は、埋設管内の振動を検知するセンサ部と、前記センサ部で検知した振動の振動データを処理する端末側処理部と、前記端末側処理部の処理結果を前記センタ側装置に送信する端末側通信部と、を備え、前記センタ側装置は、前記複数の漏水検知端末の各々から送信された処理結果を受信するセンタ側通信部と、前記処理結果を処理するセンタ側処理部と、前記センタ側処理部で処理されたデータに含まれる漏水の振動データとは異なる振動データに基づいて、前記複数の漏水検知端末のうち近接して設置されている漏水検知端末間の時刻同期を行う時刻同期部と、を設けるようにした。

30

【 0 0 1 1 】

また本発明においては、埋設管の漏水を検知するための複数の漏水検知端末と、前記複数の漏水検知端末の各々と通信網を介して接続されるセンタ側装置とを備える漏水検知システムにおける漏水検知方法であって、前記複数の漏水検知端末の各々が、埋設管内の振動を検知し、検知した振動の振動データを処理した処理結果を前記センタ側装置に送信する第 1 のステップと、前記センタ側装置が、前記複数の漏水検知端末の各々から送信された処理結果を受信し、前記処理結果を処理し、処理したデータに含まれる漏水の振動データとは異なる振動データに基づいて、前記複数の漏水検知端末のうち近接して設置されている漏水検知端末間の時刻同期を行う第 2 のステップと、を設けるようにした。

40

【 0 0 1 2 】

上記構成によれば、漏水検知端末で検知された振動の振動データに含まれる漏水の振動データとは異なる振動データに基づいて漏水検知端末間の時刻同期を行うことができる。

50

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、信頼性の高い漏水検知システム等を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】第1の実施の形態による漏水探知システムの構成の一例を示す図である。

【図2】第1の実施の形態による漏水検知端末の設置例を示す図である。

【図3】第1の実施の形態による端末側処理部の構成の一例を示す図である。

【図4】第1の実施の形態による部分的な周波数範囲の一例を示す図である。

【図5】第1の実施の形態によるセンタ側装置の構成の一例を示す図である。

【図6】第1の実施の形態による漏水地点を説明するための図である。

【図7】第1の実施の形態による表示装置における表示例を示す図である。

【図8】第1の実施の形態による管路網データベースのデータ内容の一例を示す図である。

。

【図9】第1の実施の形態による端末側漏水検知処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

【図10】第2の実施の形態による確認処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

。

【図11】第2の実施の形態による漏水検知端末の構成の一例を示す図である。

【図12】第2の実施の形態による第1の確認手法に対応する処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

【図13】第2の実施の形態による第2の確認手法に対応する処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

【図14】第3の実施の形態によるセンタ側装置が実行する処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下図面について、本発明の一実施の形態を詳述する。

【0016】

(1) 第1の実施の形態

図1において、1は全体として第1の実施の形態による漏水探知システムを示す。漏水探知システム1は、複数の漏水検知端末100と、センタ側装置120とを含んで構成される。各漏水検知端末100とセンタ側装置120とは、通信網110を介して通信可能に接続される。かかる漏水探知システム1では、広範囲の埋設管に漏水検知端末100が配置され、遠隔監視により漏水の発生を検出し、高精度な漏水点の位置推定が可能である。以下では、その詳細について主に説明する。

【0017】

漏水検知端末100は、センサ部101、端末側処理部102、端末側通信部103、および電池部104を備える。センタ側装置120は、センタ側通信部121、センタ側処理部122、時刻同期部123、表示装置124、および管路網データベース125を備える。

【0018】

漏水検知端末100は、上水道のサービス圏内の配水区の埋設管（配水管、水道管）各所に分散して配置されるものである。センサ部101は、埋設管内の振動を検出し、振動データに変換する。端末側処理部102は、FFT（ファスト・フーリエ変換処理）等の周波数解析手法により振動データを周波数データに変換する。端末側通信部103は、通信網110を介して、周波数データをセンタ側装置120に転送する。電池部104は、漏水検知端末100の電力供給手段であり、漏水検知端末100の各部に電力を供給する。

【0019】

10

20

30

40

50

なお、漏水検知端末100の機能(例えば、端末側処理部102)は、図示しないCPU(Central Processing Unit)がメモリにプログラムを読み出して実行すること(ソフトウェア)に実現されてもよいし、回路などのハードウェアにより実現されてもよいし、ソフトウェアとハードウェアが組み合わされて実現されてもよい。

【0020】

図2は、漏水検知端末100の設置例を示す図である。図2には、マンホール蓋201、埋設管網に設置された仕切弁202、埋設管203、埋設管203上の地表面204が示されている。漏水検知端末100は、マンホール蓋201が開かれ、マンホール内の仕切弁202の弁キャップ部分(仕切弁202を開閉するための操作部)に取り付けられ、埋設管203内の水を伝播する振動を検出する。

10

【0021】

漏水検知端末100は、上述のように仕切弁202の弁キャップ部分(設置箇所の一例)に設置され、長期間電池のみで動作しなければならないため、通信手段(端末側通信部103と通信網110)としては、低消費電力の方式で、数キロメートルの配水区を伝達できる方式を採用する。そのような通信網として、低電力無線通信網(LPWA)が挙げられ、そのLPWAの通信サービスの1つとして、LoRaWAN規格が今後の有力サービスの候補である。

【0022】

漏水検知端末100は、省電力のため、通常モードと休止モードとの2つの動作モードを持ち、2つの動作モードを自動的に切り替えて動作する。この制御は、端末側処理部102により実行される。通常モードは、漏水を検知するための動作モードであり、比較的電力を消費する動作モードであり、休止モードは、デジタル処理のクロック周波数を下げるなどして、ほとんど電力を消費しない動作モードである。運用の一例として、漏水検知端末100は、外部ノイズが少ない深夜に毎日通常モードで動作し、埋設管の振動データを収集し、センタ側装置120にデータを転送する。それ以外の時間帯については、漏水検知端末100は、休止モードで動作し、次の通常モードまで待機している。

20

【0023】

上水道のサービス圏内の漏水検知端末100全体については、同一時刻にデータ収集を実行するいくつかのグループに分類して運用する。LPWAのサービス仕様上、漏水検知端末100は、秒単位では合わされているが、ミリ秒単位の精度では時刻同期が取られていないことを前提とする。同一時刻にデータ収集を実行することを、センタ側装置120から上記グループ内の各漏水検知端末100に要求する、または事前にプログラムすることにより、グループ内の漏水検知端末100の取得したデータのデータ収集時間の大部分が重なるようにする。かかる構成により、センタ側装置120の計算処理で漏水検知端末100間のデータの相関が計算可能となる。上記グループの漏水検知端末100の数は、通信網110の設計に依存する。つまり、全体で1つのグループとなるか、または設置位置の近い漏水検知端末100を集めた複数のグループとなる。グループの管理は、センタ側装置120の処理に任される。

30

【0024】

センタ側装置120は、通信網110を介して、複数の漏水検知端末100と通信を行う。センタ側通信部121は、漏水検知端末100の設定パラメータ等のデータを送信データとして送信すると共に、漏水検知端末100が送信した周波数変換された振動データ(周波数データ)を受信する。

40

【0025】

漏水検知端末100の送信データには、時刻同期に関するデータが含まれている場合があるが、そのデータからは漏水検知端末100の送信データについて、十分な精度で時刻同期が取れない場合が予想される。この段階で想定される時刻同期の精度の一例としては、測定期間が30秒程度に対して、時刻同期の誤差が1秒程度である。漏水検知端末100間のデータの相関を計算するためには、ミリ秒単位、または入力データのサンプリングレートの時間間隔が必要である。

50

【0026】

センタ側処理部122は、近接（隣接でもよい。）する漏水検知端末100を2つ選択し、データ間の相関などを計算する。センタ側処理部122は、その計算において、時刻同期部123が実行する時間軸補正処理（観測地点2点のセンサ同期をとるための処理）により、漏水検知端末100が送信したデータの時間軸を補正する。センタ側処理部122の処理結果は、管路網データベース125より読み出した埋設管の管路図に重畳して表示装置124により表示される。表示装置124は、カラーの画像表示装置であり、センタ側処理部122による処理結果に係る表示を行う。例えば、表示装置124は、対象の2つの漏水検知端末100について、その間の埋設管上に漏水が検知された場合は、埋設管上の対応する位置に、赤色等の際立つ色、点滅、パターン等による漏水発生の表示を行う。表示装置124の表示例については後述する（図7参照）。 10

【0027】

なお、センタ側装置120の機能（例えば、センタ側処理部122、時刻同期部123）は、図示しないCPUがメモリにプログラムを読み出して実行すること（ソフトウェア）に実現されてもよいし、回路などのハードウェアにより実現されてもよいし、ソフトウェアとハードウェアが組み合わされて実現されてもよい。

【0028】

図3は、漏水検知端末100の構成要素である端末側処理部102の構成の一例を示す図である。端末側処理部102は、データ入力部301、スペクトル解析部302、学習部303、対数尤度算出部304、設定パラメータ入力部305、閾値比較部306、出力部307、スペクトル中間データ生成部308、バッファ部309、および出力部310を備える。 20

【0029】

センサ部101が取得した振動データは、データ入力部301より入力され、スペクトル解析部302で周波数解析が行われる。スペクトル解析部302は、埋設管の振動データとして一定の周波数範囲を対象として、パワースペクトル（電力スペクトル）の計算を行う。周波数範囲の一例は、埋設管の漏水現象に係る信号周波数として、直流成分から1000Hz程度の範囲である。したがって、センサ部101の標本周波数（サンプリング周波数）としては2キロヘルツ、またはそれ以上の周波数を使用する。なお、パワースペクトルは、埋設管内の振動状態を現し、時間と共に変化するため、一定の時間間隔で逐次算出される。 30

【0030】

学習部303は、パワースペクトルについてモデルベースの学習または機械学習を実行する。例えば、学習部303は、予め設定された基本的なモデルパラメータを基に設置箇所に特有（例えば、自動販売機の振動）のモデルパラメータを学習する。学習モデルの一例として、GMMモデル（Gaussian Mixture Model）があり、正常時および漏水時（異常時）のパワースペクトルを学習させる。漏水時の学習が実施困難である場合は正常時のみの学習でもよい。その学習結果は、モデルパラメータ（または特徴量）としてデータ化して学習部303の内部に保持する。モデルパラメータは、必要に応じて、センタ側装置120に送信され、センタ側装置120の管路網データベース125に追加（記憶）して管理されるようにしてもよい。 40

【0031】

なお、設置場所毎に、最初から学習を行うことに困難がある場合は、予め実験的な施設で取得した学習結果（モデルパラメータ）を、学習部303に外部から設定してもよい。

【0032】

対数尤度算出部304は、逐次入力されるパワースペクトルと学習した正常時モデルのパワースペクトルおよび漏水時モデルのパワースペクトルとの間の複合的な対数尤度（モデルパラメータとパワースペクトルとの類似度を示すデータ）を算出する。なお、閾値比較部306は、対数尤度と後述の閾値とを比較して漏水の有無（正常時であるか異常時であるか）を識別する。 50

【 0 0 3 3 】

閾値比較部 3 0 6 は、対数尤度算出部 3 0 4 の算出結果と、設定パラメータ入力部 3 0 5 から入力される閾値とを逐次比較し、漏水が発生しているか否かの推定結果を示す 2 値の信号、すなわち、漏水判定結果を出力する。その信号（比較結果）は、出力部 3 0 7 より出力されると同時に、通信用のバッファ部 3 0 9 への制御信号として入力される。制御信号により、漏水発生している推定時と通常時とで、送信データのデータ内容を切り替えることが可能となる。

【 0 0 3 4 】

スペクトル中間データ生成部 3 0 8 は、データ入力部 3 0 1 から入力される振動データを処理し、相関法等の解析を行う周波数解析用のスペクトル中間データ（中間データ）を生成する。中間データの一例として、FFT スペクトル係数の複素係数データが挙げられる。複素係数データを用いることで、振幅の情報に加えて、位相情報を含めることができる。スペクトル中間データ生成部 3 0 8 の出力情報は、バッファ部 3 0 9 に入力され、一時蓄積される。

10

【 0 0 3 5 】

バッファ部 3 0 9 は、漏水判定結果、対数尤度、中間データの各データを入力とし、それらをバッファ（図示は省略）に一時蓄積する。バッファ部 3 0 9 は、出力部 3 1 0 を介してセンタ側通信部 1 2 1 と接続され、送信用バッファの動作を担う。

【 0 0 3 6 】

データ送信の一例として、漏水検知端末 1 0 0 は、漏水判定結果により漏水が発生していると推定される場合は、対数尤度の情報および中間データを内部に格納し、出力部 3 1 0 より出力する。一方、漏水検知端末 1 0 0 は、漏水判定結果が漏水発生なしと推定する場合は、対数尤度および中間データは入力されるものの、送信データ内容には含めず、出力部 3 1 0 からは漏水判定結果のみを出力する。これにより、送信データの容量を少なく抑えることができ、結果として漏水検知端末 1 0 0 の消費電力を節約することができる。漏水が検出されるタイミングと中間データが生成されるタイミングとは同時ではないため、一時的にバッファ部 3 0 9 によりデータが蓄積され、送信が実行されるときにバッファ部 3 0 9 によりバッファからの読み出しが行われる。

20

【 0 0 3 7 】

ここで、中間データとしては、周波数の全範囲または部分的な周波数範囲に対応するデータが選択され、センタ側装置 1 2 0 に送信される。部分的な周波数範囲に制限する理由は、通信データ容量の削減である。かかる構成により、通信網 1 1 0 の仕様に合致させると同時に、消費電力を低減し、電池交換期間を長期化することができる。

30

【 0 0 3 8 】

図 4 は、部分的な周波数範囲の一例を示す図である。ここでは、2 つの周波数の組み合わせ（周波数範囲）を示しているが、3 つ以上を使用することも可能である。図 4 では、周波数 f_1 から始まる周波数の組み合わせ 4 0 1、周波数 f_2 から始まる周波数の組み合わせ 4 0 2 を示す。周波数の組み合わせ 4 0 1 と周波数の組み合わせ 4 0 2 との周波数範囲が重なり範囲をもつことも許容される。また、周波数の組み合わせでは、周波数が連続している必要はなく、離散的であってもよい。なお、部分的な周波数範囲（周波数の組み合わせ）は、配管の太さ、種類などの管路条件によって周波数帯が変わるものであり、漏水探知システム 1 の設計段階で求められるものである。

40

【 0 0 3 9 】

これら周波数の組み合わせに対応した周波数の中間データが送信され、センタ側装置 1 2 0 でデータ処理される。なお、周波数の組み合わせ 4 0 1、周波数の組み合わせ 4 0 2 は、センタ側装置 1 2 0 で識別される周波数の組み合わせである。

【 0 0 4 0 】

第 1 の周波数の組み合わせは、埋設管の振動に含まれる背景信号の周波数に対応するものであり、第 2 の周波数の組み合わせは、埋設管の振動の漏水現象に付随する周波数に対応するものとする。付言するならば、背景信号は、工場、線路などの大型設備からの振動

50

を示す振動信号、川などによる振動を示す振動信号などである。

【 0 0 4 1 】

図 5 は、センタ側処理部 1 2 2 と時刻同期部 1 2 3 との両方を含むセンタ側装置 1 2 0 の構成の一例を示す図である。センタ側処理部 1 2 2 および時刻同期部 1 2 3 が実行するセンタ側漏水検知処理について説明する。

【 0 0 4 2 】

センタ側装置 1 2 0 は、端末データ選択部 5 0 1、周波数選択部 5 0 2、逆 F F T 部 5 0 3、相互相関関数算出部 5 0 4、ピーク時間算出部 5 0 5、周波数選択部 5 0 6、逆 F F T 部 5 0 7、相互相関関数算出部 5 0 8、ピーク時間算出部 5 0 9、差分算出部 5 1 0、出力部 5 1 1、モデル学習部 5 1 2、漏水判定部 5 1 3、出力部 5 1 4、および表示処理部 5 1 5 を備える。

10

【 0 0 4 3 】

端末データ選択部 5 0 1 は、管路網データベース 1 2 5 に格納（記憶）された位置情報に基づいて、近接する 2 つの漏水検知端末 1 0 0 の送信データの組を選択し、入力を行う。入力されたデータの組のそれぞれについて、周波数選択部 5 0 2 は、周波数の選択を行う。この周波数の選択では、図 4 で説明した周波数の組み合わせのうち、背景信号に対応する第 1 の周波数の組み合わせが選択される。

【 0 0 4 4 】

周波数選択部 5 0 2 で選択されたデータについて、逆 F F T 部 5 0 3 は、フーリエ逆変換により時間ドメインの波形データに復元処理する。

20

【 0 0 4 5 】

逆 F F T 部 5 0 3 により、近接する 2 つの漏水検知端末 1 0 0 のそれぞれの波形データが復元されるので、その波形データの組について、相互相関関数算出部 5 0 4 は、相互相関関数を計算する処理を実行する。相互相関関数においては、一定の遅延時間を持って同じ現象を観測したデータ系列については、その遅延時間に相当する時間差の点で相関値がピークを持つ特性がある。

【 0 0 4 6 】

ここで、近接する 2 つの漏水検知端末 1 0 0 の背景信号については、同じタイミングでセンサ部 1 0 1 に到達して観測されるが、漏水検知端末 1 0 0 の処理系により、データに遅延時間（時刻ずれ）を含んでいる。よって、ピーク時間算出部 5 0 5 は、相互相関関数のピーク時間を算出し、時刻ずれを出力する。なお、周波数選択部 5 0 2、逆 F F T 部 5 0 3、相互相関関数算出部 5 0 4、およびピーク時間算出部 5 0 5 の処理（破線で囲った範囲の処理）が、時刻同期部 1 2 3 の処理に対応する部分の一例である。

30

【 0 0 4 7 】

周波数選択部 5 0 6 は、端末データ選択部 5 0 1 から入力する近接する 2 つの漏水検知端末 1 0 0 のデータから第 2 の周波数の組み合わせ、すなわち、漏水現象に対応する周波数を選択し、逆 F F T 部 5 0 7 に通知する。

【 0 0 4 8 】

周波数選択部 5 0 6 で選択されたデータについて、逆 F F T 部 5 0 7 は、フーリエ逆変換により時間ドメインの波形データに復元処理する。

40

【 0 0 4 9 】

逆 F F T 部 5 0 7 により、近接する 2 つの漏水検知端末 1 0 0 のそれぞれの波形データが復元されるので、その波形データの組について、相互相関関数算出部 5 0 8 は、相互相関関数を計算する処理を実行する。その計算結果は、2 つの波形データの時間差に対する相関値であり、相互相関関数算出部 5 0 4 との違いは、対象の波形データが漏水現象に対応する漏水信号、すなわち、漏水成分である点である。

【 0 0 5 0 】

ピーク時間算出部 5 0 9 で相互相関関数のピーク時間を算出することにより、漏水成分の遅延時間が求まる。ここで求めた遅延時間は、差分算出部 5 1 0 により、ピーク時間算出部 5 0 5 の出力である時刻ずれの量が減算され、出力部 5 1 1 により出力される。出力

50

部 5 1 1 で出力される値は、選択した近接する 2 つの漏水検知端末 1 0 0 の観測結果に基づく、漏水成分の伝播遅延時間である。

【 0 0 5 1 】

図 6 に示すように、漏水が発生している漏水地点 6 0 1 が選択された 2 つの漏水検知端末 6 0 2 , 6 0 3 の間にある場合、伝播遅延時間は、漏水地点 6 0 1 からの振動波形の伝播時間の差 (時間差 t) となる。時間差 t と水中の振動波形の伝播速度 (管内音速) c とより、漏水地点 6 0 1 から近い方の漏水検知端末 6 0 2 までの距離 L を下記の (数式 1) より推定することができる。ここで、2 つの漏水検知端末 6 0 2 , 6 0 3 の距離は、 D とする。

【 0 0 5 2 】

【 数 1 】

$$L = (D - c * t) / 2 \quad \dots\dots \quad (\text{数式 1})$$

【 0 0 5 3 】

漏水地点 6 0 1 が 2 つの漏水検知端末 6 0 2 , 6 0 3 間の外である場合、伝播遅延時間は、2 つの漏水検知端末 6 0 2 , 6 0 3 間を伝播する時間となる。この場合、計算上は、 $L = 0$ に相当し、信号が早く到達する漏水検知端末 6 0 2 または漏水検知端末 6 0 3 と同じ位置で漏水が発生している場合と同様となる。この場合の関係式は、(数式 2) となる。

【 0 0 5 4 】

【 数 2 】

$$D = c * t \quad \dots\dots \quad (\text{数式 2})$$

【 0 0 5 5 】

管内音速 c は、配管 6 0 4 の種類、水質、水圧、温度などの条件により変化するが、漏水を発見した漏水検知端末 6 0 2 , 6 0 3 の組の隣の漏水検知端末 1 0 0 のデータから (数式 2) により、管内音速 c の補正に関する情報を導くことができる。(数式 2) を用いて求めた管内音速 c を c_1 とした場合、その管内音速に基づく漏水地点 6 0 1 までの距離 L_1 は (数式 3) となる。

【 0 0 5 6 】

【 数 3 】

$$L_1 = (D - c_1 * t) / 2 \quad \dots\dots \quad (\text{数式 3})$$

【 0 0 5 7 】

(数式 1) の L と (数式 3) の L_1 の差分 ΔL を求め、漏水地点 6 0 1 までの推定距離の誤差とみなすことができる。

【 0 0 5 8 】

【 数 4 】

$$\Delta L = (c - c_1) * t / 2 \quad \dots\dots \quad (\text{数式 4})$$

【 0 0 5 9 】

このように、標準的な音速 c と測定した音速 c_1 とから L を求めることにより、例えば、漏水工事の際に誤差を考慮して掘削することができるようになる。なお、センタ側装置 1 2 0 は、近接する 2 つの漏水検知端末 1 0 0 の組み合わせ全ての処理結果を表示する。

【 0 0 6 0 】

モデル学習部 5 1 2 は、相互相関関数算出部 5 0 8 から入力される時刻同期前の漏水成分に関する相関データ、および、出力部 5 1 1 からの時刻同期後の伝播遅延時間の 2 種類の情報について、正常モデルからの距離を算出し、それを出力する。モデル学習の一例は、GMM であり、その場合の距離は対数尤度である。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

漏水判定部 5 1 3 は、算出された距離を所定の閾値と比較することにより、漏水の発生の有無を判定し、その判定結果（漏水判定結果）を出力部 5 1 4 より出力する。

【 0 0 6 2 】

漏水判定結果は、表示処理部 5 1 5 で表示用の処理が実行され、表示装置 1 2 4 に表示される。ここでの表示用の処理とは、表示装置 1 2 4 の入力形式に合わせた変換であり、具体的には画像への変換処理である。

【 0 0 6 3 】

図 7 は、センタ側装置 1 2 0 の表示装置 1 2 4 における表示例を示す図である。図 7 では、表示処理部 5 1 5 が処理した結果の画像イメージの一部分のみを拡大表示したものが示されている。符号を付したものは、画像イメージ中の各要素であり、埋設管表示 7 0 0、漏水検知端末表示 7 0 1 A, 7 0 1 B, 7 0 1 C、漏水検知端末 1 0 0 の識別番号表示 7 0 2 A, 7 0 2 B, 7 0 2 C、漏水度表示 7 0 3 A, 7 0 3 B, 7 0 3 C、漏水検知端末 1 0 0 の漏水状態表示 7 0 4 A, 7 0 4 B, 7 0 4 C、漏水検知端末 1 0 0 の時刻同期状態表示 7 0 5 A, 7 0 5 B, 7 0 5 C、漏水発生の位置表示 7 0 6 である。なお、3 つの漏水検知端末 1 0 0 のそれぞれに対応して、A、B、C の符号を付加している。

【 0 0 6 4 】

表示装置 1 2 4 は、管路網データベース 1 2 5 を読み出して、管路図を地図上に重畳して表示するものであり、図 7 に示す画像イメージがさらに重畳して描かれることにより、地図上の地点と埋設管の状態とを対応付けて確認することができる。図 7 には示していないが、必要に応じて、背景部分に地図情報としての道路、建物などが描かれてもよい。

【 0 0 6 5 】

図 7 では、埋設管表示 7 0 0 に接続する 3 つの漏水検知端末表示 7 0 1 A, 7 0 1 B, 7 0 1 C が、その識別番号表示 7 0 2 A, 7 0 2 B, 7 0 2 C と共に示されている。漏水検知端末 1 0 0 単体で判定した単体の漏水度（漏水の発生度合いに関するデータの一例）は、漏水度表示 7 0 3 A, 7 0 3 B, 7 0 3 C で数値表示される。さらに、それを 3 段階のレベルで表示する部分が漏水状態表示 7 0 4 A, 7 0 4 B, 7 0 4 C であり、左からレベル「低」、「中」、「高」の表示となる。低中高の順番で漏水の発生度合いが高まることを意味する。この 3 レベルについては、色、形などを変えることにより、区別しやすくすることも考えられる。

【 0 0 6 6 】

時刻同期状態表示 7 0 5 A, 7 0 5 B, 7 0 5 C は、その漏水検知端末 1 0 0 を含む近接の漏水検知端末 1 0 0 間で時刻同期が正常に処理されているかの状態を示すものである。時刻同期が正常でない場合、相関法に基づく漏水点までの距離推定は正しく行えない可能性が高いことに留意する。なお、時刻同期が正常に処理されているか否かの判定方法については、後述の第 3 の実施の形態において説明する。

【 0 0 6 7 】

位置表示 7 0 6 は、漏水検知端末 1 0 0 間（漏水検知端末表示 7 0 1 A, 7 0 1 B）の配管上に検出した漏水点の位置を示している。地図上の距離関係を反映した位置に、位置表示 7 0 6 が設けられる。

【 0 0 6 8 】

図 8 は、管路網データベース 1 2 5 のデータ内容の一例を示す図である。管路網データベース 1 2 5 は、埋設管の管路網に関するデータを保持するデータベースであり、管路網情報 8 0 1、管種 A パラメータ 8 0 2、管種 B パラメータ 8 0 3、管種 C パラメータ 8 0 4、端末設定パラメータ 8 0 5 を含んで構成される。ここでは、3 種類の埋設管について、符号 A, B, C を対応させて記載しているが、対応する管種の数により増減する。管種として、例えば、A は、鋳鉄管、B は、ダクタイル鋳鉄管、C は、塩化ビニール管に対応するなどが考えられる。管の内径、外形、厚みなどの要素で管種を増やしてもよい。

【 0 0 6 9 】

管路網情報 8 0 1 は、配水区の埋設管に関する管種情報、位置情報、埋設場所の情報（

10

20

30

40

50

地上面の条件、高度、埋設土壌の条件を含む)、埋設管に接続している止水弁、制水弁など配水制御施設に関するデータ、マンホールの位置情報、設置した漏水検知端末100全てに対応した設置位置とその運用状況とに関するデータである。それらのデータには、設置条件に加えて、観測した動作状態(たとえば、流量、水圧等)も含まれる。

【0070】

管種Aパラメータ802、管種Bパラメータ803、および管種Cパラメータ804の各々は、周波数の組み合わせに係る設定パラメータであり、管種に対応する漏水検知端末100の設定パラメータに関する代表データである。

【0071】

端末設定パラメータ805は、設置した漏水検知端末100が使用する設定パラメータであり、全ての漏水検知端末100の個々に対応した設定パラメータを独立したデータとして保持する。

10

【0072】

漏水検知端末100の運用開始時に、センタ側処理部122は、例えば、管路網情報801に基づいて管種に対応した管種パラメータ(802, 803, 804)のうちの1つを選択して端末設定パラメータ805に設定する。なお、端末設定パラメータ805は、センタ側通信部121を介して漏水検知端末100に送信され、漏水検知端末100(端末側処理部102)は、端末側通信部103を介して受信した端末設定パラメータ805を設定する。端末設定パラメータ805は、漏水検知端末100の運用に伴い、適宜変更される。

20

【0073】

図9は、漏水検知端末100が実行する端末側漏水検知処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

【0074】

端末側処理部102は、所定のタイミング(センタ側装置120からの指示、プログラムされた時刻など)で端末側漏水検知処理を開始する(ステップS901)。

【0075】

続いて、端末側処理部102は、漏水検知端末100単体での漏水度(単体漏水度)を算出する(ステップS902)。単体漏水度は、対数尤度算出部304の出力である対数尤度の値に対応する。なお、単体漏水度は、時系列データであり、所定の観測時間に渡る複数個のデータからなるデータ列である。

30

【0076】

続いて、端末側処理部102は、単体漏水度と設定された閾値との比較を行う(ステップS903)。端末側処理部102は、単体漏水度が閾値を超えると判定した場合、ステップS904に処理を移し、単体漏水度が閾値を超えないと判定した場合、ステップS905に処理を移す。なお、端末側処理部102は、単体漏水度が時系列データであるので、観測時間内のデータの中央値または平均値を代表値として閾値との比較を行う。

【0077】

ステップS904では、端末側処理部102は、単体漏水度およびスペクトル中間データを端末側通信部103を介してセンタ側装置120に送信する。

40

【0078】

ステップS905では、端末側処理部102は、単体漏水度のみを端末側通信部103を介してセンタ側装置120に送信する。

【0079】

ステップS906では、端末側処理部102は、端末側漏水検知処理を終了する。

【0080】

本実施の形態によれば、漏水検知端末100を埋設管の止水弁等、設置可能な位置に分散して配置し、無線通信により、その状態を一定間隔(毎日の定刻時など)で送信し、センタ側装置120で受信したデータを集約し、個別の埋設管に関して詳細に分析し、サービス圏内を網羅的に遠隔監視することができる。

50

【 0 0 8 1 】

また、漏水検知端末 1 0 0 が送信するデータに含まれる時刻同期の不正確さは時刻同期部 1 2 3 の働きにより除去されるため、相関法による高精度な漏水位置までの距離推定が可能となる。

【 0 0 8 2 】

また、漏水の発生状況は、管路図と共に表示され、水道管管理に有効な情報を提示することができる。

【 0 0 8 3 】

また、時刻同期処理のためにセンサ部 1 0 1 の検出信号を使用するため、特別な同期処理のための装置を追加することなく、マンホール内に漏水検知端末 1 0 0 を設置した通常

10

【 0 0 8 4 】

(2) 第 2 の実施の形態

本実施の形態では、システム運用の継続をチェックでき、漏水検知端末 1 0 0 の配置変更に伴う設置ミスをチェックできるシステム構成について説明する。例えば、漏水検知端末 1 0 0 の設置作業により、近隣の漏水検知端末 1 0 0 の位置を取り違えることは起こり得ることであり、それを確認する手段はシステム運用において重要である。

【 0 0 8 5 】

センタ側装置 1 2 0 の構成は、図 1 と同じであるが、その処理内容が異なる。処理内容については、図 1 0 に示すフローチャートを用いて後述する。

20

【 0 0 8 6 】

漏水検知端末 1 0 0 の構成については、設置ミスの確認手法に応じて、2通りの構成を例に挙げて説明する。第 1 の確認手法では、振動発生器 1 1 0 2 を追加した漏水検知端末 1 1 0 0 を用い、漏水検知端末 1 1 0 0 の構成の一例を図 1 1 に示す。第 2 の確認手法では、図 1 の漏水検知端末 1 0 0 の構成と同一のものをを用いる。また、第 1 の確認手法に対応した漏水検知端末 1 1 0 0 が実行する処理に係るフローチャートの一例を図 1 2 に示し、第 2 の確認手法に対応した漏水検知端末 1 0 0 が実行する処理に係るフローチャートの一例を図 1 3 に示す。

【 0 0 8 7 】

なお、第 1 の確認手法によれば、センタ側装置 1 2 0 からの命令でいつでも確認を開始することができるが、第 2 の確認手法によれば、作業者が現場で漏水検知端末 1 0 0 の設置時に、漏水検知端末 1 0 0 を設置した付近で打音等の特別な振動を発生させる必要がある。以下、詳細について説明する。

30

【 0 0 8 8 】

図 1 0 は、第 1 の確認手法における、センタ側装置 1 2 0 が実行する漏水検知端末 1 1 0 0 の設置位置の確認に関する確認処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

【 0 0 8 9 】

センタ側処理部 1 2 2 は、所定のタイミング（定期的、指定時刻、管理者からの指示など）で確認処理を開始する（ステップ S 1 0 0 1 ）。

【 0 0 9 0 】

まず、センタ側処理部 1 2 2 は、確認端末（漏水検知端末 1 0 0 および / または漏水検知端末 1 1 0 0 ）として N 個（集合）を選択する（ステップ S 1 0 0 2 ）。ここで、N は、設置位置を確認する確認端末の個数であり、3 以上の数である。

40

【 0 0 9 1 】

続いて、センタ側処理部 1 2 2 は、確認端末 N 個のデータから近接する 2 つずつの中間データの組をつくり、時刻同期部 1 2 3 は、それぞれで時刻同期処理を行い、N 個すべての時刻同期処理を完了する（ステップ S 1 0 0 3 ）。時刻同期処理の方法は、第 1 の実施の形態と同様であり、第 1 の周波数の組み合わせによる方法を用いる。

【 0 0 9 2 】

続いて、センタ側処理部 1 2 2 は、後述する第 3 の周波数の組み合わせについて、集合

50

内の近接する2つの確認端末のデータ間（振動検知時間）の時間差を求める（ステップS1004）。ここで求める時間差は、ステップS1003で算出した時刻同期による補正を含めた値とする。センタ側処理部122は、確認端末N個に関して、近接する2つの確認端末の組み合わせすべてについて、上記の処理を行い、各確認端末を通過する振動の通過時刻を算出する。なお、第3の周波数の組み合わせは、確認端末間の位置関係を調べるために使用する振動の周波数成分であり、第1の確認手法では、漏水検知端末1100に付加する振動発生器1102の振動成分に対応する。

【0093】

また、ステップS1002に続いて、センタ側処理部122は、選択したN個の確認端末について、管路網データベース125の位置情報を参照し、近接する2つの確認端末間の距離を求め、その距離を管内音速で振動が伝播した場合の伝播時間を計算し、確認端末N個を順番に伝播する際の各確認端末の通過時刻の期待値を求める（ステップS1005）。

10

【0094】

付言するならば、ステップS1005の処理は、ステップS1003およびステップS1004と並行して行われてもよいし、ステップS1003の前に行われてもよいし、ステップS1004の後に行われてもよい。

【0095】

続いて、センタ側処理部122は、ステップS1004とステップS1005とで求めた各確認端末の通過時刻を比較する（ステップS1006）。具体的な計算方法としては、各確認端末の通過時刻のそれぞれについて、ステップS1004の実際の値（実測値）とステップS1005の期待値（理論値）との差分を計算することである。設置ミスがあり、確認端末の設置位置が入れ替わっている場合、所定の設置位置と異なる場所に設置する設置ミスがある場合、上記の比較結果（順序またはずれの大きさ）に現れるので、それにより設置ミスを識別することができる。

20

【0096】

続いて、センタ側処理部122は、ステップS1006の比較結果に基づいて、表示処理を行う（ステップS1007）。より具体的には、センタ側処理部122は、各確認端末の設置が正常に行われたか否かを判定する（ステップS1008）。センタ側処理部122は、正常に行われたと判定した確認端末については、ステップS1009の処理を行い、正常に行われなかったと判定した確認端末については、ステップS1010の処理を行う。

30

【0097】

ステップS1009では、センタ側処理部122は、対応する確認端末について、設置位置の確認が正常に行えたことを意味する表示を行うように表示装置124に指示する。例えば、図7の表示例では、漏水検知端末表示701A, 701B, 701Cの色、パターンを所定のものに設定するなどが、上記正常を意味する表示である。

【0098】

ステップS1010では、センタ側処理部122は、対応する確認端末について、設置位置の確認が異常であることを意味する警告表示を行うように表示装置124に指示する。具体的な警告のメッセージを表示することでもよいし、ステップS1008と同様の方法で、警告を意味する色、パターンなどを用いる方法でもよい。

40

【0099】

ステップS1011では、センタ側処理部122は、確認処理を終了する。

【0100】

次に、第2の確認手法における、センタ側装置120による確認端末の設置位置に関する確認処理について説明する。当該確認処理は、基本的には図10に示す処理の流れと同じである。異なる部分は、ステップS1004で使用する第3の周波数の組み合わせであり、それ以外のステップS1001からステップS1011の処理は同じ処理内容である。

50

【 0 1 0 1 】

第2の確認手法では、作業者が現場で設置する漏水検知端末100または漏水検知端末1100の付近の配管部分に打音または手持ちの振動発生器による振動を加えるので、ステップS1005では、その加えた振動に対応する周波数成分を第3の周波数の組み合わせとして設定する。なお、そこで用いる振動発生器が第1の確認手法で用いる振動発生器と同一の周波数特性であるならば、第3の周波数の組み合わせも一致し、第1の確認手法に対応する処理と同じになる。

【 0 1 0 2 】

図11は、第1の確認手法に対応する漏水検知端末1100の構成の一例を示す図である。漏水検知端末1100は、センサ部101、端末側処理部1101、振動発生器1102、端末側通信部103、および電池部104を備える。第1の実施の形態の漏水検知端末100と同じ構成要素については同じ符号を割り当てている。

10

【 0 1 0 3 】

漏水検知端末1100の基本的な動作内容は、第1の実施の形態の漏水検知端末100と同様である。振動発生器1102が追加となっており、その制御が追加になっている。

【 0 1 0 4 】

端末側通信部103は、センタ側装置120からの振動発生の命令（振動の要求）を受信すると、その命令を端末側処理部1101に伝達する。端末側処理部1101は、その命令を受け、振動発生器1102を駆動し、一定時間だけ振動を発生させる。振動発生器1102の振動周波数は、第3の周波数の組み合わせに対応する周波数成分であり、第2の周波数の組み合わせに対応する漏水成分とは異なる周波数成分である。

20

【 0 1 0 5 】

図12は、漏水検知端末1100が実行する第1の確認手法に対応する処理に係るフローチャートの一例を示す図である。この処理は、センタ側装置120からの要求に応じて、設置位置の確認のための処理を含む。

【 0 1 0 6 】

端末側処理部1101は、所定のタイミングで（センタ側装置120からの指示、プログラムされた時刻など）に処理を開始する（ステップS1201）。

【 0 1 0 7 】

端末側処理部1101は、センタ側装置120から命令を受信したか否かを判定し、受信したと判定した場合、ステップS1203に処理を移し、受信していないと判定した場合、処理を終了する（ステップS1202）。

30

【 0 1 0 8 】

続いて、端末側処理部1101は、センタ側装置120からの命令に振動発生器1102での振動を命令する部分（振動の要求）が含まれているか否かを判定する（ステップS1203）。端末側処理部1101は、振動の要求が含まれていると判定した場合、ステップS1204に処理を移し、含まれていないと判定した場合、ステップS1205に処理を移す。

【 0 1 0 9 】

ステップS1204では、端末側処理部1101は、振動発生器1102を駆動して振動を発生させる。この振動の周波数成分は、漏水成分とは異なる周波数成分であり、漏水成分の測定を同時に行えるようにしている。

40

【 0 1 1 0 】

ステップS1205では、端末側処理部1101は、センサ部101を介して振動データを取得する処理を行う。この処理では、周波数成分として、第1の周波数の組み合わせ、第2の周波数の組み合わせ、および第3の周波数の組み合わせを含み得る振動データを取得する。

【 0 1 1 1 】

続いて、端末側処理部1101は、端末側処理を実行し、単体漏水度およびスペクトル中間データを生成する（ステップS1206）。

50

【 0 1 1 2 】

続いて、端末側処理部 1 1 0 1 は、生成したデータを端末側通信部 1 0 3 を介してセンタ側装置 1 2 0 に送信する（ステップ S 1 2 0 7）。端末側処理部 1 1 0 1 は、センタ側装置 1 2 0 からの命令に振動発生器 1 1 0 2 の振動の要求が含まれる場合、第 3 の周波数の組み合わせに対応するデータを含めて送信するように処理する。

【 0 1 1 3 】

ステップ S 1 2 0 8 では、端末側処理部 1 1 0 1 は、一連の処理を終了する。

【 0 1 1 4 】

図 1 3 は、漏水検知端末 1 0 0 が実行する第 2 の確認手法に対応する処理に係るフローチャートの一例を示す図である。この処理は、センタ側装置 1 2 0 からの要求に応じて、設置位置の確認のための処理を含む。

10

【 0 1 1 5 】

端末側処理部 1 0 2 は、所定のタイミングで（センタ側装置 1 2 0 からの指示、プログラムされた時刻など）に処理を開始する（ステップ S 1 3 0 1）。

【 0 1 1 6 】

端末側処理部 1 0 2 は、センタ側装置 1 2 0 から命令を受信したか否かを判定し、受信したと判定した場合、ステップ S 1 3 0 3 に処理を移し、受信していないと判定した場合、処理を終了する（ステップ S 1 3 0 2）。

【 0 1 1 7 】

続いて、端末側処理部 1 0 2 は、センタ側装置 1 2 0 からの命令に作業員による振動発生を指示する内容（振動の要求）が含まれているか否かを判定する（ステップ S 1 3 0 3）。端末側処理部 1 0 2 は、振動の要求が含まれていると判定した場合、ステップ S 1 3 0 5 に処理を移し、含まれていないと判定した場合、ステップ S 1 3 0 6 に処理を移す。

20

【 0 1 1 8 】

ステップ S 1 3 0 4 では、作業員がハンマーにより打音を発生させる、または手持ちの振動発生器等を用いて埋設管に振動を印加する。この振動の周波数成分は、第 3 の周波数の組み合わせに対応するものであり、漏水成分とは異なる周波数成分であるため、漏水成分の測定を同時に行えるようにしている。

【 0 1 1 9 】

ステップ S 1 3 0 5 は、第 3 の周波数成分の振動を待ち受けるステップである。打音による印加または振動発生器による振動印加は、信号の強度としても、背景信号に含まれる強度を卓越しており、待ち受けが可能である。振動の要求がセンタ側装置 1 2 0 から指示された場合のみ、ステップ S 1 3 0 5 の待ち受けが行われる。

30

【 0 1 2 0 】

ステップ S 1 3 0 6 では、端末側処理部 1 0 2 は、センサ部 1 0 1 を介して振動データを取得する処理を行う。この処理では、周波数成分として、第 1 の周波数の組み合わせ、第 2 の周波数の組み合わせ、および第 3 の周波数の組み合わせを含み得る振動データを取得する。

【 0 1 2 1 】

続いて、端末側処理部 1 0 2 は、端末側処理を実行し、単体漏水度およびスペクトル中間データを生成する（ステップ S 1 3 0 7）。

40

【 0 1 2 2 】

続いて、端末側処理部 1 0 2 は、生成したデータを端末側通信部 1 0 3 を介してセンタ側装置 1 2 0 に送信する（ステップ S 1 3 0 8）。端末側処理部 1 0 2 は、センタ側装置 1 2 0 からの命令に作業員による振動の要求が含まれる場合、第 3 の周波数の組み合わせに対応するデータを含めて送信するように処理する。

【 0 1 2 3 】

ステップ S 1 3 0 9 では、端末側処理部 1 0 2 は、一連の処理を終了する。

【 0 1 2 4 】

本実施の形態によれば、第 1 の実施の形態と同様に、分散して配置した漏水検知端末 1

50

00, 1100とセンタ側装置120とを用いて、無線通信により、サービス圏内を網羅的に遠隔監視し、相関法による高精度な漏水位置までの距離推定が実現できる。また、本実施の形態によれば、システム運営に伴う漏水検知端末100, 1100の設置位置の変更に際して、設置ミスを検出する機能を備えたシステムを提供することができる。

【0125】

(3) 第3の実施の形態

本実施の形態では、漏水検知端末100間の時刻同期が取れない場合の検出方法および表示方法について説明する。

【0126】

図14は、本実施の形態におけるセンタ側装置120が実行する処理に係るフローチャートの一例を示す図である。

10

【0127】

センタ側処理部122は、所定のタイミング(定期的、指定時刻、管理者からの指示など)で処理を開始する(ステップS1401)。

【0128】

センタ側処理部122は、漏水検知端末100の対を選択する(ステップS1402)。

【0129】

続いて、時刻同期部123は、選択した2つの漏水検知端末100のデータについて、時刻同期処理を行う(ステップS1403)。時刻同期処理の方法は、第1の実施の形態と同様であり、第1の周波数の組み合わせによる方法を用いる。

20

【0130】

続いて、センタ側処理部122は、第2の周波数の組み合わせについて、選択した2つの漏水検知端末100のデータ間の時間差を求める(ステップS1404)。ここで求める時間差は、ステップS1403で算出した時刻同期による補正を含めた値とする。第2の周波数の組み合わせは、漏水成分に対応するものである。時間差については、データを観測時間に渡って集計し、その中央値および分散値を算出する。例えば、観測時間が30秒であり、0.1秒ごとに観測した場合、300個のデータが得られるので、300個のデータの中央値および分散値が求められる。

【0131】

ここで求めた時間差の中央値は、漏水検知端末100間の距離および管内音速で決まる一定の範囲内の値に収まっていなければならない、その範囲を逸脱する場合は時間差が不正な値と判断できる。

30

【0132】

また、時間差の分散値に関しても、一定の閾値を設定して、異常時を識別することが可能である。

【0133】

また、ステップS1402に続いて、センタ側処理部122は、第1の周波数の組み合わせについてのパワースペクトルの積算値(信号の電力)を算出する(ステップS1405)。パワースペクトルについては、センタ側装置120でスペクトル中間データから再計算してもよいし、漏水検知端末100で計算したパワースペクトルを、漏水検知端末100からセンタ側装置120に送信するようにしてもよい。また、パワースペクトルについては、選択した2つの漏水検知端末100のパワースペクトルの積算値を算出して用いてもよいし、何れか一方のパワースペクトルの積算値を算出して用いてもよい。

40

【0134】

パワースペクトルの積算値についても、時刻同期が可能である場合は、一定の値以上であることが想定され、それに対応する閾値を設定して、異常時を識別することが可能である。

【0135】

付言するならば、ステップS1405の処理は、ステップS1403およびステップS

50

1404と並行して行われてもよいし、ステップS1403の前に行われてもよいし、ステップS1404の後に行われてもよい。

【0136】

ステップS1406では、センタ側処理部122は、時間差の中央値、時間差の分散値、およびパワースペクトルの積算値の3つの特徴量に基づいて、時刻同期が正常に完了しているか否かを判定する。

【0137】

より具体的には、センタ側処理部122は、時間差の中央値が所定の範囲を超えていない、時間差の分散値が所定の閾値を超えていない、かつ、パワースペクトルの積算値が所定の値を超えていると判定した場合、正常に完了していると判定する。他方、センタ側処理部122は、時間差の中央値が所定の範囲を超えている、時間差の分散値が所定の閾値を超えている、またはパワースペクトルの積算値が所定の値以下であると判定した場合、正常に完了していないと判定する。

10

【0138】

センタ側処理部122は、正常に完了していると判定した場合、ステップS1407に処理を移し、正常に完了していないと判定した場合、ステップS1408に処理を移す。

【0139】

ステップS1407では、センタ側処理部122は、各漏水検知端末100について、時刻同期処理が正常に行えたことを意味する表示を行うようにセンタ側処理部122に指示する。例えば、図7の表示例では、時刻同期状態表示705A, 705B, 705Cの色、パターンを所定のものに設定するなどが、上記正常を意味する表示である。

20

【0140】

ステップS1408では、センタ側処理部122は、各漏水検知端末100について、時刻同期処理が不正であることを意味する警告表示を行うように表示装置124に指示する。具体的な警告のメッセージを表示することでもよいし、ステップS1407と同様の方法で、警告を意味する色、パターンを用いる方法でもよい。

【0141】

ステップS1409では、センタ側処理部122は、一連の処理を終了する。

【0142】

本実施の形態によれば、第1の実施の形態と同様に、分散して配置した漏水検知端末100とセンタ側装置120とを用いて、無線通信により、サービス圏内を網羅的に遠隔監視し、相関法による高精度な漏水位置までの距離推定が実現できる。また、本実施の形態では、時刻同期処理の異常を検出し、警告を表示する機能を備えた信頼性の向上したシステムを提供することができる。

30

【0143】

上述した構成によれば、遠隔監視によりサービス圏内を監視し、漏水発生時には、その発生をセンタ側装置に送信された情報より検出することができ、また、その発生箇所を漏水検知端末間の時間差の情報を用いて正確に推定できる。

【0144】

(4) 他の実施の形態

なお上述の実施の形態においては、本発明を漏水検知システムに適用するようにした場合について述べたが、本発明はこれに限らず、この他種々のシステムに広く適用することができる。

40

【0145】

また上述の実施の形態においては、振動発生器を用いて設置位置を確認する場合について述べたが、本発明はこれに限られない。例えば、近接する複数の漏水検知端末のうちの一の漏水検知端末は、振動発生器を備え、一の漏水検知端末は、センタ側装置からの振動の要求に基づいて、振動発生器により埋設管内に振動を発生させ、近接する複数の漏水検知端末の各々は、振動発生器による振動を検知して処理した処理結果をセンタ側装置に送信し、時刻同期部は、処理結果に含まれる振動発生器による振動の振動データ(振動の時

50

間差)を用いて、近接する複数の漏水検知端末の漏水検知端末間の時刻同期を行うようにしてもよい。例えば、背景信号が弱いときに、振動発生器による振動信号が背景信号の役割を果たすように構成してもよい。

【0146】

また上述の実施の形態においては、第1の確認手法と第2の確認手法とのそれぞれについて述べたが、本発明はこれに限られない。例えば、上記2つの確認手法は、同じシステムで平行して実施することが可能である。全ての漏水検知端末100が振動発生機能を持つ必要はないので、設置する漏水検知端末100のうち選択した一部の漏水検知端末100について、その機能がある漏水検知端末1100で置き換え、その機能があるものについては第1または第2の確認手法を実行し、その機能がない漏水検知端末100については第2の確認手法を実行してもよい。

10

【0147】

また上述の実施の形態においては、端末設定パラメータ805が通信によって漏水検知端末100に設定される場合について述べたが、本発明はこれに限らず、端末設定パラメータ805が手動で(例えば、作業員により)漏水検知端末100に設定されてもよい。

【0148】

また上述の実施の形態においては、センタ側装置120が管路網データベース125を備える場合について述べたが、本発明はこれに限らず、データベースサーバなどの情報処理装置を設け、情報処理装置が管路網データベース125を備えるようにしてもよい。

【0149】

20

また上述の実施の形態においては、漏水検知端末100が仕切弁の弁キャップ部分に設置される場合について述べたが、本発明はこれに限らず、埋設管に直接設置されてもよいし、その他の配管設備に設置されてもよい。

【0150】

上述した構成については、本発明の要旨を超えない範囲において、適宜に、変更したり、組み替えたり、組み合わせたり、省略したりしてもよい。

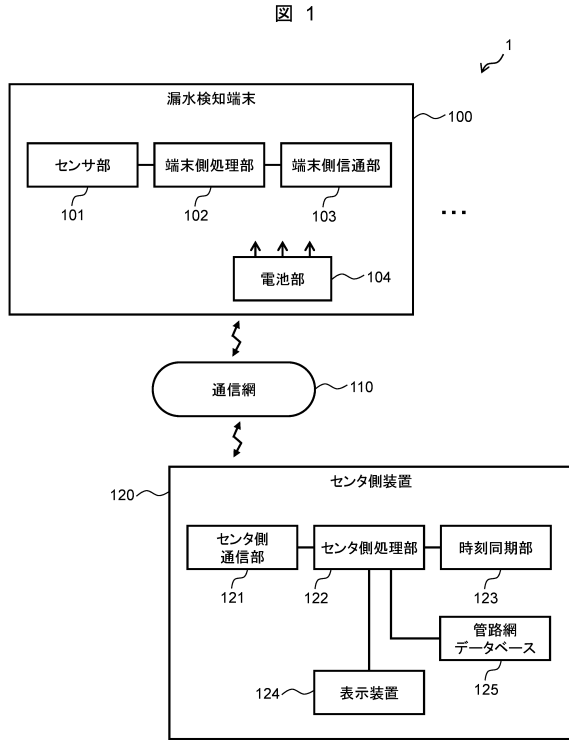
【符号の説明】

【0151】

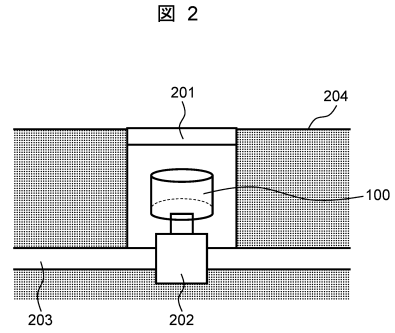
1.....漏水探知システム、100.....漏水検知端末、101.....センサ部、102.....端末側処理部、103.....端末側通信部、104.....電池部、110.....通信網、120.....センタ側装置、121.....センタ側通信部、122.....センタ側処理部、123.....時刻同期部、124.....表示装置、125.....管路網データベース。

30

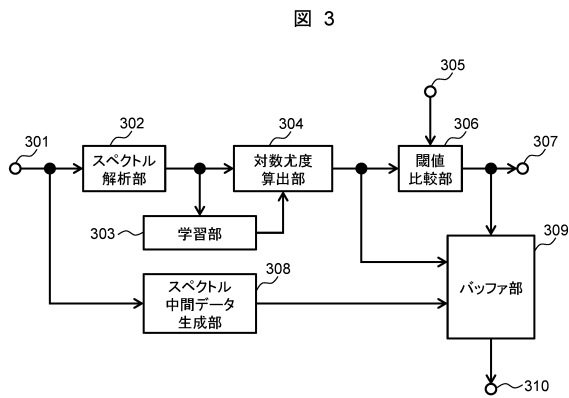
【図1】



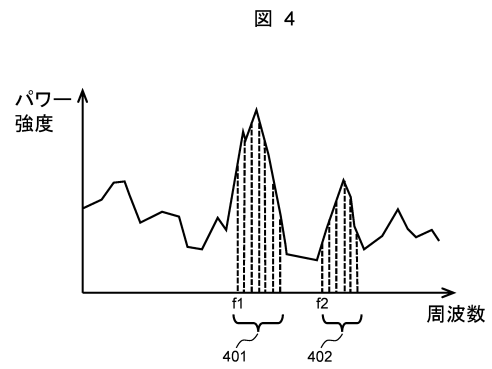
【図2】



【図3】

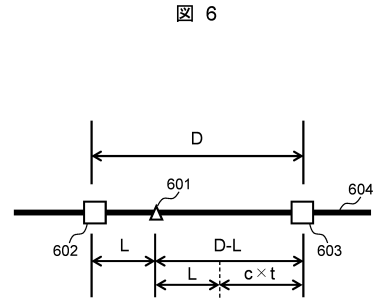
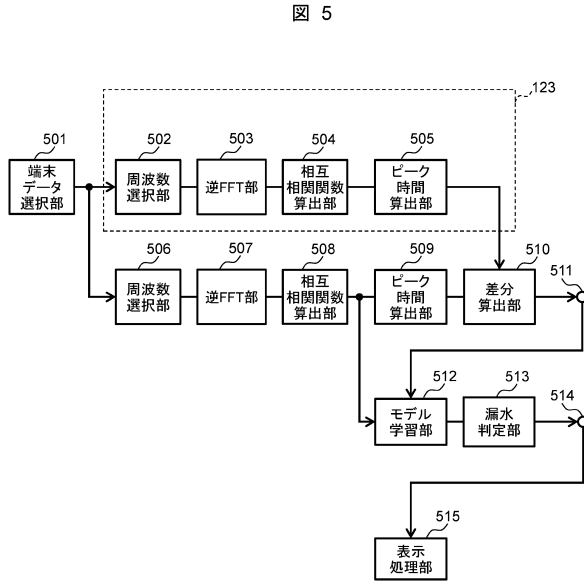


【図4】



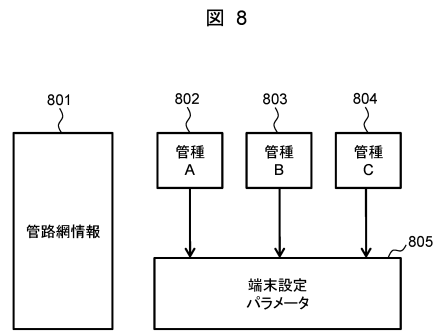
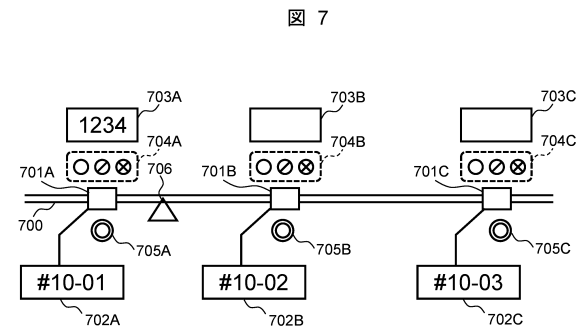
【図5】

【図6】



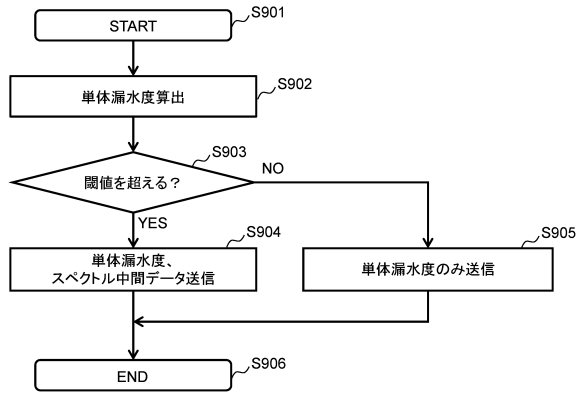
【図7】

【図8】



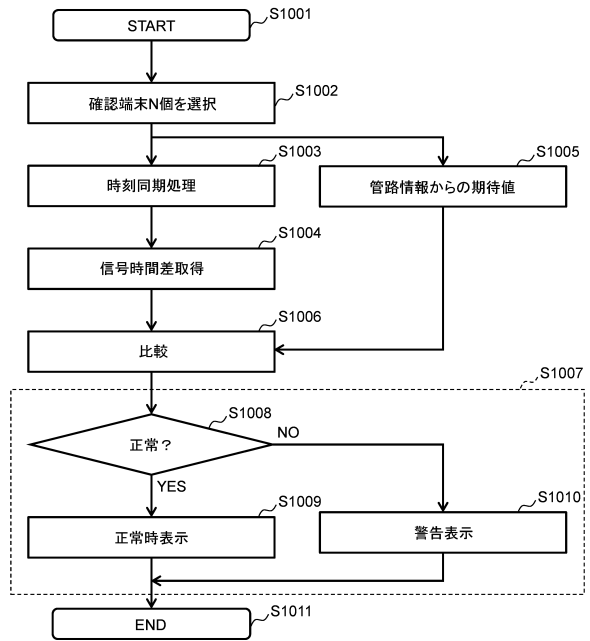
【図9】

図9



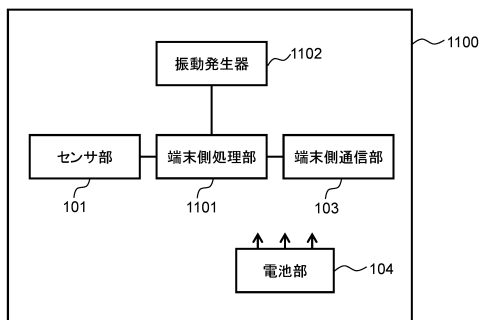
【図10】

図10



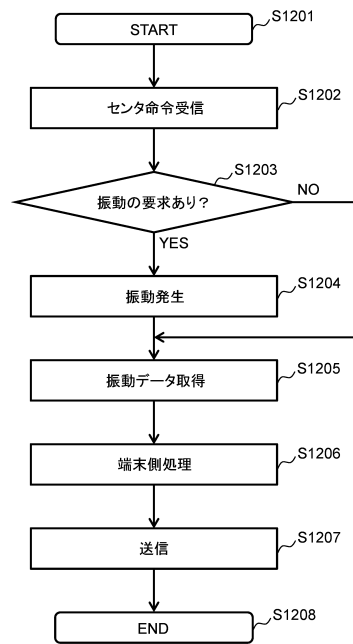
【図11】

図11



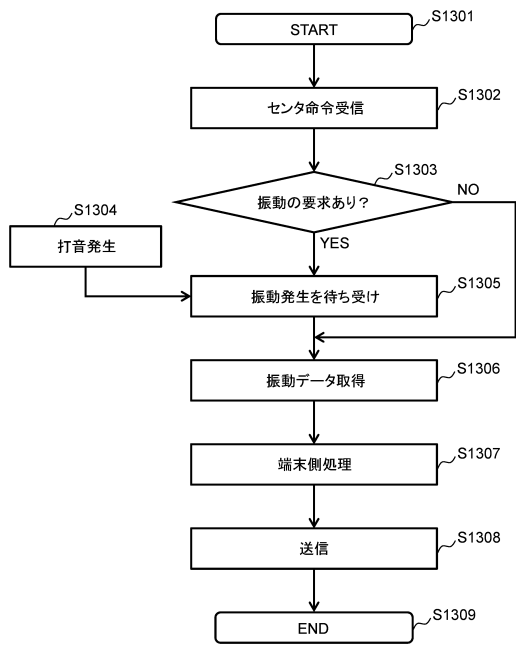
【図12】

図12



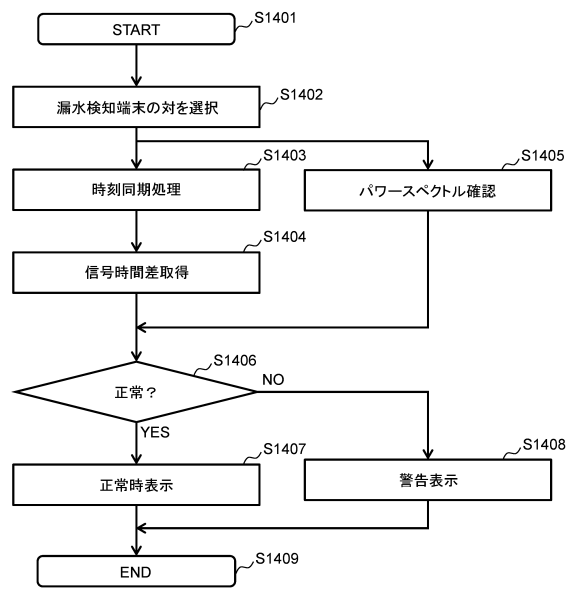
【図 13】

図 13



【図 14】

図 14



フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2015/068343(WO, A1)
国際公開第2014/050923(WO, A1)
国際公開第2016/208167(WO, A1)
特開2013-210347(JP, A)
国際公開第2014/046122(WO, A1)
特開2000-266626(JP, A)
米国特許出願公開第2015/0052979(US, A1)
特開2015-163903(JP, A)
国際公開第2015/146082(WO, A1)
特開2017-187337(JP, A)
特開平11-201858(JP, A)
特開昭62-297741(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M	3/00	-	3/40
F17D	5/00	-	5/08