(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2006-189331
(P2006-189331A)
(43)公開日　平成18年7月20日(2006.7.20)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
G01F 1/66 (2006.01)	G01F 1/66 103	2F035

審査請求 未請求　請求項の数 9　OL　（全 13 頁）

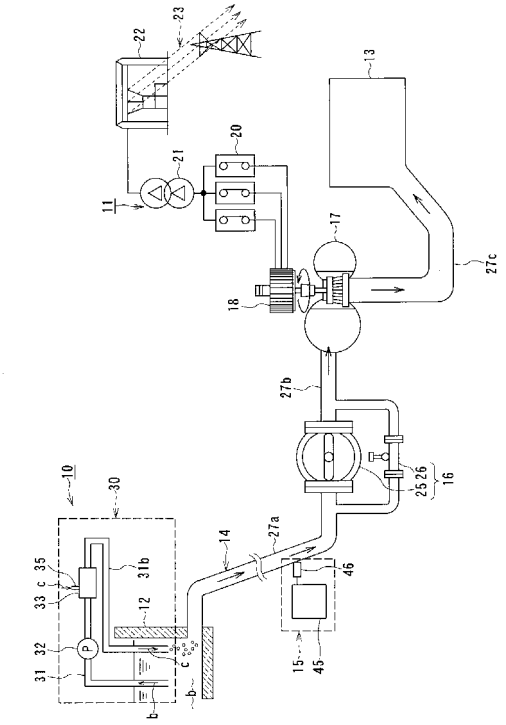
(21)出願番号　特願2005-1596(P2005-1596)
(22)出願日　平成17年1月6日(2005.1.6)

(71)出願人　000003687
東京電力株式会社
東京都千代田区内幸町１丁目１番３号
(74)代理人　100078765
弁理士　波多野　久
(74)代理人　100078802
弁理士　関口　俊三
(72)発明者　森　治嗣
東京都千代田区内幸町一丁目１番３号　東京電力株式会社内
(72)発明者　手塚　健一
東京都千代田区内幸町一丁目１番３号　東京電力株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】超音波流量計測装置およびその流量計測方法

(57)【要約】
【課題】気泡供給部位と流量計測部位との間に高低差に起因する流体の圧力差がある場合にも、流量計測定部位の計測に適した大きさの気泡を十分な密度で存在させ、配管内を流れる流体の流速分布および流量を正確に精度よく精密に測定することができる超音波流量計測装置およびその流量計測方法を提供する。
【解決手段】本発明に係る超音波流量計測装置は、高低差に沿って傾斜している部分を有する配管１４内を流れる流体の流量を高精度にかつ迅速に測定するものである。超音波流量計測装置１０は、配管１４内を流れる流体へ超音波を照射し、流体中の反射体から反射された超音波エコーを受信し、配管１４内を流れる流体の流速分布および流量を計測する超音波流量計１５と、この超音波流量計１５の上流側に、所要の大きさと体積比の気泡を反射体として流体内に供給する気泡供給手段３０とを有し、気泡供給手段３０が超音波流量計１５から配管１４の直径の１０倍以上軸方向に離間して設置されたものである。
【選択図】　図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
高低差に沿って傾斜している部分を有する配管内を流れる流体の流量を測定する流量計測装置において、
前記配管内を流れる流体へ超音波を照射し、流体中の反射体から反射された超音波エコーを受信し、配管内を流れる流体の流速分布および流量を計測する超音波流量計と、
この超音波流量計の上流側に、所要の大きさと体積比の気泡を前記流体内に供給する気泡供給手段とを有し、
前記気泡供給手段が超音波流量計から前記配管の直径の１０倍以上軸方向に離間して設置されたことを特徴とする超音波流量計測装置。
【請求項２】
前記気泡供給手段は、
流体へ気体を混合させる気液混合手段と、
この気液混合手段に前記流体を供給させる流体ポンプとを備え、
前記気液混合手段の気体混合量および流体ポンプのポンプ吐出量の少なくとも一方を調節制御し、前記気泡の大きさおよび体積比を調整可能に構成したことを特徴とする請求項１記載の超音波流量計測装置。
【請求項３】
前記超音波流量計は配管への取付位置を位置調整可能に設けたことを特徴とする請求項１記載の超音波流量計測装置。
【請求項４】
前記気泡供給手段は、配管内を流れる流体の流量計測部位における気泡の体積比が２０ｐｐｍから２０００ｐｐｍの範囲となるように前記流体ポンプのポンプ吐出量および気液混合手段の気体混合量の少なくとも一方を調節設定したことを特徴とする請求項２記載の超音波流量計測装置。
【請求項５】
前記気泡供給手段および超音波流量計は、配管内を流れる流体の流量計測部位における気泡の大きさが、流体に照射される超音波の波長の１／１０～１／２の範囲となるように、前記流体ポンプのポンプ吐出量、気液混合手段の気体混合量、超音波流量計の設置位置および超音波発振周波数のうち少なくとも１つを調節制御したことを特徴とする請求項２記載の超音波流量計測装置。
【請求項６】
前記気泡供給手段および超音波流量計は、設置位置における流体の圧力差に関する情報から前記流体ポンプのポンプ吐出量、気液混合手段の気体混合量、超音波流量計の設置位置および超音波発振周波数のうち少なくとも１つを調節制御したことを特徴とする請求項２記載の超音波流量計測装置。
【請求項７】
高低差に沿って傾斜している部分を有する配管内を流れる流体の流量を測定する流量計測方法において、
前記配管の途中に流体の流速分布および流量を計測する超音波流量計とこの超音波流量計の上流側に配管直径の１０倍以上軸方向に離間させて前記流体内に気泡を供給する気泡供給手段とを設置する工程と、
前記気泡供給手段から流体中に所要の大きさおよび体積比の気泡を注入させる工程と、
気泡が注入された配管内の流体に超音波を照射して流体中の反射体からの反射エコーを受信し、前記配管内を流れる流体の流速分布および流量を計測する工程とを有することを特徴とする超音波流量計測方法。
【請求項８】
前記気泡注入工程は、流体の流量計測部位の気泡の体積比が２０ｐｐｍ～２０００ｐｐｍの範囲となるように、気泡供給手段におけるポンプ吐出量および気体混合量を調節設定することを特徴とする請求項７記載の超音波流量計測方法。

【請求項９】
前記気泡注入工程と流量計測工程とを連係させ、流体の流量計測部位の気泡の大きさが、流体へ照射される超音波波長の１／１０～１／２の範囲となるように、気泡供給手段におけるポンプ吐出量および気体混合量、超音波流量計の設置位置、超音波発振周波数のうち少なくとも１つを調節制御することを特徴とする請求項７記載の超音波流量計測方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、高低差を伴う配管内を流れる流体の流速分布および流量を測定する流量測定技術に係り、特に、水力発電所等の水圧鉄管のように、高低差を伴う配管内を流れる流体の流量分布および流量を計測する超音波流量計測装置およびその流量計測方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来、配管内を流れる流体の流量を測定する流量計として、特開２０００－９７７４２号公報（特許文献１）に示されるように、被測定流体に超音波を照射し、超音波のドップラシフトを利用して流体の流速分布から流量を計測するドップラ式超音波流量計と、特開２００３－３４４１３１号公報（特許文献２）に示されるように、流体中に含まれる反射体からの反射した超音波エコー信号の時間変化から相関法を利用して流体の流速分布および流量を計測する相関式超音波流量計とがある。
【０００３】
従来の超音波流量計は、被測定流体中に存在する反射体により反射した超音波エコー信号を受信して流体の流速分布を計測し、この流速分布から流量を計測している。流体の流量を計測するためには、被測定流体中に十分な量の反射体が存在する必要がある。
【０００４】
被測定流体中に十分な反射体が存在しない場合には、特開平８－６２００７号公報（引用文献３）に示されるように、ポンプを使って流体に気体を直接的に注入することにより、また、特開平６－２９４６７０号公報（特許文献４）に記載されたように、超音波反射器により被測定流体中にキャビテーションによる気泡を発生させ、生じた気泡による反射体を供給している。
【０００５】
従来の超音波流量計を水力発電所、揚水発電所等に用いて、高低差のある配管（水圧鉄管）内を流体の流速分布や流量を測定しようとすると、従来の超音波流量計では高低差に起因する流体の圧力差により、超音波流量計では、流体の流速分布や流量を正確に精度よく測定することができない問題があった。
【特許文献１】特開２０００－９７７４２号公報
【特許文献２】特開２００３－３４４１３１号公報
【特許文献３】特開平８－６２００７号公報
【特許文献４】特開平６－２９４６７０号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
水力発電所等における配管（水圧鉄管）中を流れる流体の流速分布や流量を計測する場合、配管は山腹の斜面に沿って設置されるため、傾斜した配管の途中で流体の流速分布および流量を計測する必要が生じる。
【０００７】
配管の途中に超音波流量計を設置し、その上流側から反射体を構成する気泡を供給しようとすると、気泡供給部位と流量計測部位との高低差は、流体の圧力差と表われ、供給された気泡を小さくするように働く。その結果、気泡供給部位で供給された気泡は、流量計測定部位では、小さくなり、反射体である気泡の流体に対する体積比［一定量の気泡を含む流体中における気泡の占める体積が流体全体中における比率（割合）］も小さくなる。

【０００８】
このため、気泡供給部位から斜面上で十分な気泡を供給したつもりでも、実際の流量計測定部位においては、反射体である気泡が流速分布や流量の計測に適した大きさ、密度となっていないことが生じ、超音波流速計で配管内を流れる流体の流速分布や流量を正確に精度よく測定することが困難である場合があった。
【０００９】
本発明は、上述した事情を考慮してなされたもので、気泡供給部位と流量計測部位との間に高低差に起因する流体の圧力差がある場合にも、流量計測定部位の計測に適した大きさの気泡を十分な密度で存在させ、配管内を流れる流体の流速分布および流量を正確に精度よく精密に測定することができる超音波流量計測装置およびその流量計測方法を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【００１０】
本発明者は、高低差を伴う配管内を流れる流体の流速分布および流量の計測実験を重ねていくうちに、超音波流量計測に適した気泡の大きさと密度が存在することを知見し、しかも、反射体である気泡の大きさと密度は、気泡供給部位と流量計測部位の高低差によって変化することを見出し、本発明をするに至った。
【００１１】
本発明に係る超音波流量計測装置は、上述した課題を解決するために、請求項１に記載したように、高低差に沿って傾斜している部分を有する配管内を流れる流体の流量を測定する流量計測装置において、前記配管内を流れる流体へ超音波を照射し、流体中の反射体から反射された超音波エコーを受信し、配管内を流れる流体の流速分布および流量を計測する超音波流量計と、この超音波流量計の上流側に、所要の大きさと体積比の気泡を前記流体内に供給する気泡供給手段とを有し、前記気泡供給手段が超音波流量計から前記配管の直径の１０倍以上軸方向に離間して設置されたものである。
【００１２】
また、上述した課題を解決するために、本発明に係る超音波流量計測装置は、請求項２に記載したように、前記気泡供給手段は、流体へ気体を混合させる気液混合手段と、この気液混合手段に前記流体を供給させる流体ポンプとを備え、前記気液混合手段の気体混合量および流体ポンプのポンプ吐出量の少なくとも一方を調節制御し、前記気泡の大きさおよび体積比を調整可能に構成したり、さらに、請求項３に記載したように、前記超音波流量計は配管への取付位置を位置調整可能に設けたものである。
【００１３】
さらに、上述した課題を解決するために、本発明に係る超音波流量計測装置は、請求項４に記載したように、前記気液供給手段は、配管内を流れる流体の流量計測部位における気泡の体積比が２０ｐｐｍから２０００ｐｐｍの範囲となるように前記流体ポンプのポンプ吐出量および気泡混合手段の気体混合量の少なくとも一方を調節設定したり、また、請求項５に記載したように、前記気泡供給手段および超音波流量計は、配管内を流れる流体の流量計測部位における気泡の大きさが、流体に照射される超音波の波長の１／１０～１／２の範囲となるように、前記流体ポンプのポンプ吐出量、気液混合手段の気体混合量、超音波流量計の設置位置および超音波発振周波数のうち少なくとも１つを調節制御したり、さらに、請求項６に記載したように、前記気泡供給手段および超音波流量計は、設置位置における流体の圧力差に関する情報から前記流体ポンプのポンプ吐出量、気液混合手段の気体混合量、超音波流量計の設置位置および超音波発振周波数のうち少なくとも１つを調節制御したものである。
【００１４】
一方、本発明に係る超音波流量計測方法は、上述した課題を解決するために、請求項７に記載したように、高低差に沿って傾斜している部分を有する配管内を流れる流体の流量を測定する流量計測方法において、前記配管の途中に流体の流速分布および流量を計測する超音波流量計とこの超音波流量計の上流側に配管直径の１０倍以上軸方向に離間させて

前記流体内に気泡を供給する気泡供給手段とを設置する工程と、前記気泡供給手段から流体中に所要の大きさおよび体積比の気泡を注入させる工程と、気泡が注入された配管内の流体に超音波を照射して流体中の反射体からの反射エコーを受信し、前記配管内を流れる流体の流速分布および流量を計測する工程とを有する方法である。

【００１５】

また、上述した課題を解決するために、本発明に係る超音波流量計測方法は、請求項８に記載したように、前記気泡注入工程は、流体の流量計測部位の気泡の体積比が２０ｐｐｍ～２０００ｐｐｍの範囲となるように、気泡供給手段におけるポンプ吐出量および気体混合量を調節設定する方法であり、さらに、請求項９に記載したように、前記気泡注入工程と流量計測工程とを連係させ、流体の流量計測部位の気泡の大きさが、流体へ照射される超音波波長の１／１０～１／２の範囲となるように、気泡供給手段におけるポンプ吐出量および気体混合量、超音波流量計の設置位置、超音波発振周波数のうち少なくとも１つを調節制御する方法である。

【発明の効果】

【００１６】

本発明に係る超音波流量計測装置およびその流量計測方法においては、気泡供給部位と流量計測部位との間に、高低差に起因する流体の圧力差がある場合にも、流量計測部位で適切な大きさの気泡を計測に適した体積比で供給することができ、高低差のある配管内を流れる流体の流速分布および流量を正確かつ高精度に計測することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１７】

本発明に係る超音波流量計測装置およびその流量計測方法の実施形態について添付図面を参照して説明する。

【００１８】

図１は本発明に係る超音波流量計測装置１０を水力発電所１１に適用した例を簡略的に示す構成図である。

【００１９】

水力発電所１１は、貯水庭である水槽１２と放水庭１３とを水圧鉄管等の配管１４で接続している。配管１４は、山の傾斜面に敷設され、高低差に沿って傾斜している部分を備える。

【００２０】

配管１４の途中には、配管１４内を流れる流体の流速分布および流量を測定する超音波流量計１５、配管１４の開閉を制御する弁装置１６および水車１７が順次設けられる。

【００２１】

水車１７は、発電機１８に機械的に接続され、水車１７の回転駆動力を発電機１８に伝達している。発電機１８は、河川水等の流体により回転した水車１７の運動エネルギを電気エネルギに変換しており、発電機１８によって発電された電力は、遮断機２０、変圧器２１および開閉設備２２を介して送電系統２３に送られる。

【００２２】

水車１７の上流側に設けられた弁装置１６は、主弁２５とこの主弁２５をバイパスするバイパス弁２６とから構成される。水圧鉄管である配管１４は、水槽１２から弁装置１６までの上流側水圧鉄管２７ａと、弁装置１６から水車１７までの（中間）水圧鉄管２７ｂと、水車１７から放水庭１３までの下流側水圧鉄管２７ｃとに分けられる。

【００２３】

水槽１２から上流側水圧鉄管２７ａによって導かれた河川水等の流体ａは弁装置１６から水圧鉄管２７ｂを通って水車１７に案内され、この水車１７を回転駆動させる。水車１７を回転させた流体は、続いて下流側水圧鉄管２７ｃを通って放水庭１３に放水される。

【００２４】

また、水力発電所１１においては、上流側水圧鉄管２７ａの任意の部位に超音波流量計１５が設けられる。上流側水圧鉄管２７ａを流れる流体は、弁装置－水車間の水圧鉄管２

７ｂや下流側水圧鉄管２７ｃを流れる流体に比べ、流れが乱れていないためである。超音波流量計１５の上流側に気泡発生手段を兼ねる気泡供給手段３０が設置され、この気泡供給手段３０と超音波流量計１５とから超音波流量計測装置１０が構成される。

【００２５】

上流側水圧鉄管２７ａにおける超音波流量計１５の設置位置は、気泡供給個所である水槽１２と上流側水圧鉄管２７ａとの取合いから、上流側水圧鉄管２７ａの配管１４の直径の１０倍以上離れていることが好ましい。配管１４は、１ｍφから数ｍφの配管直径のものが適宜選択されて使用される。

【００２６】

気泡供給手段３０を超音波流量計１５より上流側に配管直径の１０倍以上離間させて設置することにより、気泡供給手段３０から供給される気泡が上流側水圧鉄管２７ａの配管１４内で均一に分散し、精密な流体の流量計測に適する条件に超音波流量計測装置１０をセットすることができる。

【００２７】

気泡供給手段３０は、図１および図２に示すように、水槽１２付近に設けられる。気泡供給手段３０は、水槽１２に貯溜された河川水等の流体を循環させる循環配管３１に流体ポンプ３２とこのポンプ吐出側に気液混合手段としてのベンチュリ管３３とが設けられ、ベンチュリ管３３の下流側は、循環配管３１の戻り配管３１ｂが、配管１４と水槽１２の取合い部である取水口を臨むように開口している。ベンチュリ管３３のくびれ部には気体注入手段３４からの気体注入管３５が臨み、開口している。

【００２８】

流体ポンプ３２は、水槽１２に貯溜されている河川水等の流体ｂを汲み上げ、ベンチュリ管３３に導く。ベンチュリ管３３は、流体ポンプ３２からのポンプ吐出量に応じたエゼクタ作用により気体注入手段３４からの気体ｃが積極的に吸い出され、この気体ｃが流体ｂに混合されて気泡を含む流体ｄとなる。気体注入手段３４はエアポンプ等の気体ポンプで構成し、ベンチュリ管３３に気体を積極的に供給させるようにしてもよい。

【００２９】

気泡供給手段３０は、気液混合手段であるベンチュリ管３３における気体混合量と流体ポンプ３２のポンプ吐出量を調節制御して戻り管３１ｂから、水槽１２と上流側水圧鉄管２７ａの取合い部近傍へ放出される気泡の大きさおよび体積比を調整している。

【００３０】

具体的には、流体ポンプ３２のポンプ吐出量を一定として気体注入手段３４からの気体混合量（気体注入量）を増加させると、気泡の大きさが大きくなり体積比も大きくなる。一方、気体混合量（気体注入量）を一定にしてポンプ吐出量を増加させると、気泡は小さく、体積比も小さくなる。ベンチュリ管３３における気体混合量の制御は、気体注入手段３４における注入圧力を変化させることにより行なわれる。

【００３１】

気泡供給手段３０により発生する気泡の大きさは、目視により確認する。具体的にはスケールの入った容器で試験的に気泡を発生させ、気体注入手段３４の注入圧力および流体ポンプ３２のポンプ吐出量と、目視による気泡の大きさの関係をテーブル等として予め記録しておき、この関係テーブルを用いて流体の流量計測時の制御を行なうことが好ましい。

【００３２】

流体の流量計測部位の気泡の体積比は、（流体ｄにおける気泡体積比）×（水圧鉄管中の流体ｄの比率）によって決まるため、気体注入手段３４の注入圧力および流体ポンプ３２のポンプ吐出量によって調整することができる。

【００３３】

水圧鉄管中の気泡の体積比は、河川水の流体ａを採取し気体濃度を測定することで、求められる。具体的には、水槽１２に備えられる計測用ハンドホールから採取し、気体濃度を計測する。また、気泡の体積比についても、気体注入手段３４の注入圧力および流体ポ

ンプ３２のポンプ吐出量と、目視による気泡の大きさの関係をテーブル等として予め記録しておき、この関係テーブルを用いて流体の流量計測時の制御を行なうことが好ましい。

【００３４】

気泡を含む流体ｄを河川水ｂに戻す場所は、水槽１２から上流側水圧鉄管２７ａへの流れが十分に発達している水槽１２と上流側水圧鉄管２７ａの取合い付近が好ましい。流れが発達していないと、気泡は水圧鉄管２７ａへ入らずに、水槽１２に貯溜してしまうからである。このようにして、河川水の流体ｂに十分な大きさと体積比を有する気泡が供給され、流体の流量計測に適したものである。

【００３５】

このようにして、上流側水圧鉄管２７ａの配管１４内を流れる河川水等の流体の流速分布および流量が超音波流量計１５により計測される。

【００３６】

超音波流量計１５は、図３に示すように構成され、配管１４内を流れる被測定流体ａに測定線ＭＬに沿って所要周波数の超音波パルスを入射させる超音波送信手段３７と、入射された超音波パルスの測定領域から反射された超音波エコーを受信し、被測定流体の流速分布を測定する流速分布測定手段３８と、被測定流体１２の流速分布に基づいて演算処理し、半径方向の積分を行なって被測定流体の流量を求める流量演算手段としてのＭＰＵ，ＣＰＵ等のコンピュータ３９と、このコンピュータ３９からの出力を時系列的に表示可能な表示装置４０とを有する。

【００３７】

超音波送信手段３７は、０．２５ＭＨｚ～数ＭＨｚの所要の基本周波数f_0の電気信号を発生させるオッシレータとしての発振器４３と、この電気信号を所定の時間間隔（１／Ｆｒｐｆ）毎にパルス状に出力するエミッタ４４とからなる信号発生器４５を備え、この信号発生器４５から基本周波数f_0のパルス電気信号が超音波トランスジューサ４６に入力される。

【００３８】

超音波トランスジューサ４６は、パルス電気信号の印加により基本周波数f_0の超音波パルスが測定線ＭＬに沿って発信せしめられる。超音波トランスジューサ４６は、上流側水圧鉄管２７ａを構成する配管１４の横断面に対し、角度αだけ河川水の流体流れ方向に傾斜して設けられる。反射した超音波トランスジューサ４６は、超音波の送受信器を兼ねており、超音波トランスジューサ４６から所要周波数f_0の超音波パルスを測定線ＭＬに沿って照射（入射）させると、この超音波パルスは測定線ＭＬ上に一様に分布する反射体としての気泡に当って反射し、超音波エコーが超音波トランスジューサ４６に戻される。超音波トランスジューサ４６は、発信器と受信器を兼ねているが、受信器および受信器を別々に構成してもよい。

【００３９】

超音波トランスジューサ４６にて受信した反射波の超音波エコー信号は増幅器４７で増幅され、ＡＤ変換器４８でデジタル信号に変換されて流速分布算出回路４９に送られて信号処理され、ここで測定線ＭＬに沿った流体の流速分布が算出される。符号５０は音響カップリングである。

【００４０】

流速分布算出回路で算出された河川水の流体の流速分布信号は、流量演算手段であるコンピュータ３９へ送られ、ここで流速分布信号を上流側水圧鉄管２７ａの半径方向に積分し、河川水ａの流量を時間依存で求めることができる。この河川水ａの時刻ｔにおける流量をｍ（ｔ）とすると、流体の流量ｍ（ｔ）は式（１）で表すことができる。

［数１］

$$m(t) = \rho \cdot \int v(x \cdot t) \cdot dA \qquad \cdots\cdots (1)$$

但し、ρ；被測定流体の密度

ｖ（ｘ・ｔ）；時速ｔにおけるｘ方向の速度成分

である。

【００４１】
式（１）から上流側水圧鉄管２７ａの配管１４を流れる時刻ｔにおける流量ｍ（ｔ）は、極座標の式（２）に書き換えることができる。
［数２］
ｍ（ｔ）＝ρ・∬ｖｘ（ｒ，θ・ｔ）・ｒ・ｄｒ・ｄθ　……（２）
但し、ｖｘ（ｒ，θ・ｔ）；時刻ｔにおける配管横断面上の中心から距離ｒ、角度θの管軸方向の速度成分である。
【００４２】
式（２）で表されるように、この超音波流量計１２は、河川水の流体ａの流れの空間分布を瞬時、例えば５０ｍｓｅｃ～１００ｍｓｅｃ程度の応答速度でコンピュータ３９により求めることができる。
【００４３】
求められた河川水の流体ａの流量は、表示装置４０により、時間依存で瞬時に表示することができる。この表示装置４０には、河川水ａの上流側水圧鉄管２７ａ内の測定線ＭＬに沿った流速分布あるいは水圧鉄管横断面の流速分布を併せて表示することもできる。
【００４４】
超音波流量計１５による流量計測に際しては、流量計測部位の気泡の体積比は、２０ｐｐｍから２０００ｐｐｍの範囲が好適である。気泡の体積比が２０ｐｐｍよりも小さいと反射体として十分に機能せず、逆に２０００ｐｐｍよりも大きいと水車効率に影響を与える虞が大きくなる。
【００４５】
さらに、流量計測部位の気泡の大きさは、被測定流体（河川水の流体ａ）へ照射する超音波の波長の１／１０から１／２の範囲が好適である。流量計測部位の気泡の大きさ（直径）が超音波波長の１／１０よりも小さいと反射体として十分に機能せず、逆に超音波波長の１／２よりも大きいと、被測定流体との速度差が蒸しできなくなるとともに、被測定流体中の超音波の透過率が低下し流速分布が高精度で計測できなくなる。超音波波長は、０．２５ＭＨｚ～１ＭＨｚの超音波パルスを用いた場合、１．５ｍｍ～６ｍｍ程度となる。
【００４６】
なお、反射体である気泡の大きさに合わせて、超音波の波長を変化させることも可能である。この超音波流量計１５による流体の流速分布の計測においては、０．２ＭＨｚ～数ＭＨｚ、好ましくは０．２５ＭＨｚ～１ＭＨｚの周波数が適しており、波長の調整はこの範囲、具体的にはおよそ１．５ｍｍ～６ｍｍに限られる。超音波が上限波長よりも長い波長では、空間分解能が低下して十分でなくなり、下限波長よりも短い波長では超音波の減衰が大きくなり、ともに高精度な計測に適さない。
【００４７】
ところで、気泡供給手段３０により気泡が供給される水槽１２と上流側水圧鉄管２７ａの取合い部位（気泡供給部位）は超音波流量計１５によって流体の流速分布が計測される部位（流量計測部位）よりも上流側でかつ高いところにあるので、流量計測部位における気泡は、供給時よりも小さくなり、体積比も小さくなる。
【００４８】
気泡の大きさの変化は、気泡供給部位と流量計測部位の高さの差に起因する流体の圧力差であり、式（３）で示すことができる。

【数３】

$$V_2/V_1 = v_2/v_1 = \frac{1}{\Delta h/10+1} \qquad \cdots\cdots(3)$$

Ｖ１：気泡供給部位の体積比

ｖ１：気泡供給部位における気泡の体積

ｖ２：流量計測定部位における体積比

Ｖ２：流量計測定部位における気泡の体積

Δｈ：気泡供給部位と流量計測部位の高度差（ｍ）

である。

【００４９】

式（３）による、気泡の大きさ、体積比の変化は、気泡供給手段３０の位置と超音波流量計１５の設置位置の高度差から推定することができる。流量計測位置における気泡の大きさ、体積比で予め算出しておくことができる。

【００５０】

算出した気泡の大きさおよび体積比から、気泡供給手段３０におけるポンプ吐出量や気体混合量を補正することで、流量計測部位に計測に適した大きさの気泡を流体の流量計測に適した大きさ、適切な体積比で供給することができる。

【００５１】

さらに、算出した気泡の大きさに基づき、超音波流量計３０が被測定流体ａに照射する超音波の波長を補正することもできる。

【００５２】

超音波流量計１５の設置位置を動かすことにより、流量計測部位と気泡供給部位の高度差を変化させ、気泡の大きさ、体積比を調整することもできる。

【００５３】

また、水力発電所１１の配管１４内を流れる流体の流量の超音波流量計測方法は、下記のように実施される。

【００５４】

配管１４を高低差を伴う傾斜部分に沿って敷設した後、配管１４の途中、好ましくは上流側水圧鉄管２７ａの途中に超音波流量計１５を設置するとともに、この超音波流量計１５の上流側に、配管直径の１０倍以上軸方向に離間させて気泡供給手段３０を設置する。この気泡供給手段３０は、好ましくは上流側水圧鉄管２７ａの流入口部分の水槽１２に設けられる。配管１４には弁装置１６や水車１７も設けられ、配管１４は水槽１２と放水庭１３との間を接続するように配設される。

【００５５】

この配管１４の設置状態で気泡供給手段３０から被測定流体ａ中に所要の大きさ、体積比の気泡を注入させる。この気泡注入工程では、流体の流量計測部位の気泡の体積比が２０ｐｐｍから２０００ｐｐｍの範囲となるように、また、気泡の大きさが流体に照射される超音波波長の１／１０～１／２の範囲となるように、気泡の大きさ、体積比が調節制御される。

【００５６】

超音波流量計１５は、気泡が注入された流体に超音波パルスを測定線ＭＬに沿って照射し、流体中に含まれる反射体としての気泡から反射される超音波エコーを超音波トランスジューサ４６で受信して、この超音波エコー信号を流体分測定手段３８で信号処理し、配管内を流れる流体の流速分布を測定し、この流速分布から流体の流量を瞬時に計測する（流量計測工程）ことができる。

【００５７】

気泡注入工程では、気泡の大きさや体積比を流体ポンプ３２のポンプ吐出量や気体注入手段３４からの気体流入量（気体混合手段における気体混合量）を調節制御することにより調節することができるが、気泡注入工程と流量計測工程とを連係させ、ポンプ吐出量や気体注入量に代えて、超音波流量計１５の設置位置や超音波の発振周波数を調節制御することで、流量計測部位の気泡の大きさ、体積比を超音波波長の１／２～１／１０の範囲となるように調節してもよい。

【００５８】

なお、本発明の実施形態では、水力発電所に適用した例を示したが、揚水発電所に適用してもよい。また、気泡供給手段３０は、流体ポンプ３２とベンチュリ管３３とを組み合わせた機械的気泡発生手段で構成した例を示したが、超音波放射器等の電気的気泡発生による手段や、飽和水を用いた減圧析出法、旋回流等による流れの撹拌作用で気泡を剪断して微細化する方法、微細孔から空気を噴出させる方法などで気泡供給手段を構成してもよい。

【図面の簡単な説明】

【００５９】

【図１】本発明に係る超音波流量計測装置およびその流量計測方法を水力発電所に適用した実施形態を簡略的に示す構成図。

【図２】本発明に係る超音波流量計測装置を構成する気泡供給手段の一例を示す図。

【図３】本発明に係る超音波流量計測装置を構成する超音波流量計の一例を示す図。

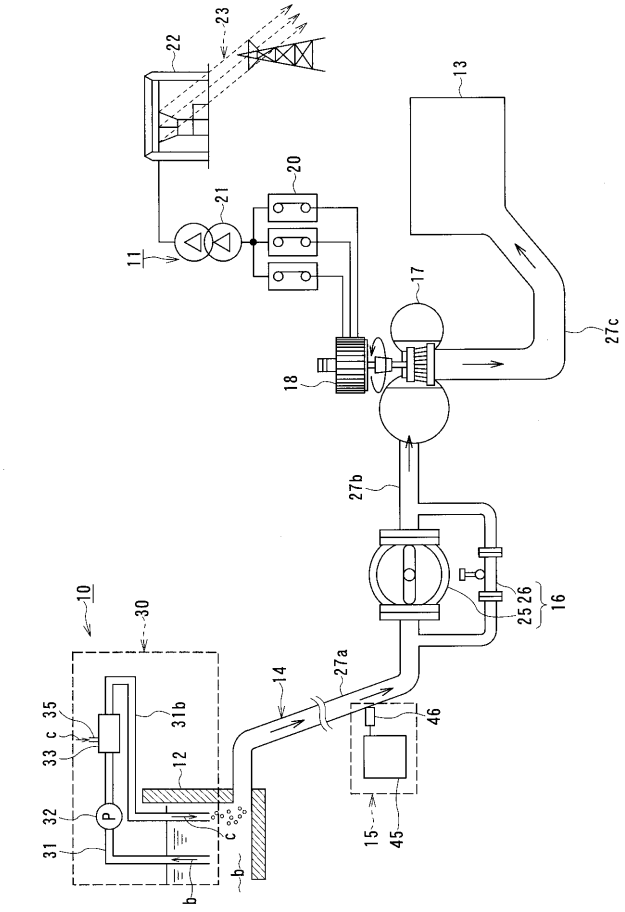
【符号の説明】

【００６０】

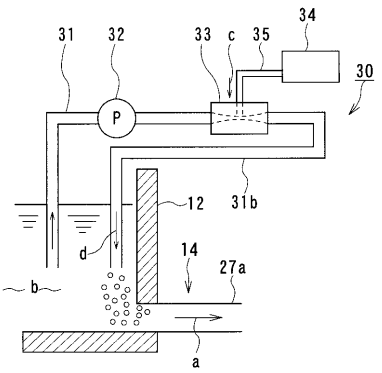
１０　超音波流量計測装置
１１　水力発電所
１２　水槽
１３　放水庭
１４　配管
１５　超音波流量計
１６　弁装置
１７　水車
１８　発電機
２０　遮断機
２１　変圧器
２２　開閉設備
２３　送電系統
２５　主弁
２６　バイパス弁
２７ａ　上流側水圧配管
２７ｂ　（中間）水圧鉄管
２７ｃ　下流側水圧鉄管
３０　気泡供給手段（気泡発生手段）
３１　循環配管
３２　流体ポンプ
３３　ベンチュリ管（気液混合手段）
３４　気体注入手段
３５　気体注入管
３７　超音波送信手段
３８　流体分布測定手段
３９　コンピュータ
４０　表示装置
４３　発振器

４４　エミッタ
４５　信号発生器
４６　超音波トランスジューサ
４７　増幅器
４８　ＡＤ変換器
４９　流速分布計測回路

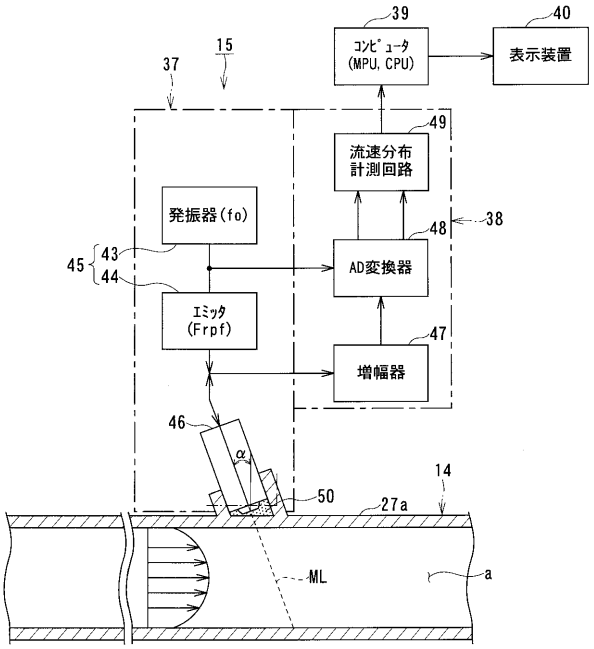
【図１】



【図２】



【図３】


39
40
コンピュータ
(MPU, CPU)
表示装置
15
37
49
流速分布
計測回路
発振器(fo)
38
48
43
45
44
AD変換器
エミッタ
(Frpf)
47
増幅器
46
α
14
50
27a
ML
a

フロントページの続き

(72)発明者　鈴木　武志
東京都千代田区内幸町一丁目１番３号　東京電力株式会社内

Ｆターム(参考) 2F035 DA12