

# 〔9〕超音波汚泥濃度計を用いた下廃水処理システムの計装

（株）西原環境衛生研究所 機器事業部 ○古里 明 瑠 黒 見 立

## 1. はじめに

公害問題の深刻化は、水質保全にかゝる下廃水処理システムの整備拡充をうながした。そして、処理施設の増加と処理水質の厳しい規制は、これら下廃水処理システムへ本格的な計装導入の機運をもたらした。すなわち、これまでの、どちらかと言えば熟練運転員の勤とプロセスに大きな余裕を持たせることによって、なりゆきの管理する手法では、取扱い水量の面でも、水質規制への対応の面でも、施設の設置面積の面でも、そして熟練した運転員を確保する面でも対応しきれなくなって来たからである。

さて、下廃水処理の基本操作は、何と云っても固液分離である。すなわち、被処理水の中から不純物である固を、汚泥で代表される形態にして、系外へ除去することである。したがって、下廃水処理システムの各処理過程にあって、固すなわち汚泥の濃度を、即時・正確に計測して最適運転化を目指す計装化は、本格化した下廃水処理システム計装の中にあっても中心課題の一つであると云えよう。

そこで、これら汚泥濃度の計測用の工業計器として、既に定評のある超音波式汚泥濃度計を取りあげ、主な計装の実績をご紹介して、汚泥濃度計装化の参考とすることとした。

## 2. 測定原理の概要

超音波式汚泥濃度計の測定原理は、図1に示すように送信子から打ち出された超音波が、汚泥中の固形物に衝突散乱することによって、減衰して受信子に到達する度合から、固形物濃度を換算するようにしたものである。超音波は、光や放射線などと違って、送信強度以外に周波数を選べるので、汚泥の持つ夾雑性や付着性などに合わせる事が出来て、感度的にも、誤差対策面でも有利である。また、PH、色度、油分などに影響されず、本質的に損耗したり機械的に動作したりする部分がないので、寿命も半永久的で、メンテナンスも殆んど必要としない。さらに、使用エネルギーが小さいので人体に対する危険性もなく、取扱いに資格や免許を必要としないことなど数々の利点を持っている。

## 3. 機種と使用実績

濃度の測定範囲は周波数と送・受信子間距離によってきめられ、周波数が低いほど、また距離が小さくなるほど高濃度用となる。現状では、汚泥濃度換算のフルスケール値が、15%から1.5%まで7系統製品化されている。

形式は、用途に合わせて7形式ある。基本形はパイプに単本で送受信子、変換器を組み合わせたもので、外観的には電磁流量計などと類似している。加圧消泡形は、基本形にコンプレッサと加圧機構を組み合わせたもの、浸漬固定形は、送受信子をヘッドホーン状にして水中に浸漬可能とし、一定深度における濃度変化や汚泥界面検知・警報が出来るようにしたもの。自動汚泥界面形は、浸漬形センサとサウンジング機構を組み合わせ、汚泥界面位置に追従して、その位置を検知すると共に、水面から池底までの濃度分布も測定できるもの。携帯形は、バッテリー駆動式にして、携帯して汚泥濃度分布や界面を検知するもの。さらに、これに加圧容器と手押しポンプを組み合わせ、気泡を含有したサンプリング汚泥を正確に測定できるもの。防爆形は、本質安全防爆の処置を施したものである。納入実績千台中に占める各形式別の割合は、現状では基本形が50%、加圧消泡形が30%、その他20%となっているが、最近の動向から行けば近々に加圧消泡形と基本形が逆転するものと見られる。

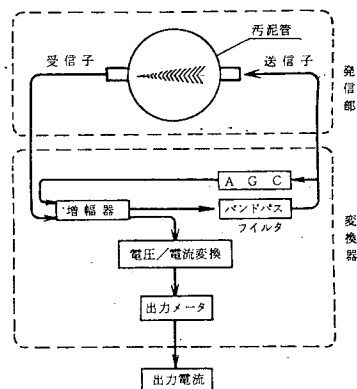


図1 超音波式汚泥濃度計原理図

これらの中で加圧消泡形は、これまで超音波式汚泥濃度計の最大の弱点であった含有気泡による測定誤差の発生（はなはだしい場合は測定不能となる）を、一挙に解決したもので、図2に示す構成となっている。測定動作は、まず、消化汚泥など気泡を含んだ汚泥を2台の自動弁の間に閉じ込めて密閉室を形成し、そこにエアコンプレッサにより空気圧を加圧ゴム管の外部から間接的に加える。この加圧によって汚泥中の含有気泡は、まず、第一段階として、ボイルシャルの法則に従って、その体積が縮小させられ、第二段階として、ヘンリーの法則に従って、その圧力下での液体への溶け込みが行なわれて、超音波の妨害要因とならない程度まで消滅させられる。これらに要する時間は、 $4\text{kg}\cdot\text{f}/\text{cm}^2$  (0.39MPa)で3分程度である。測定そのものは間欠的に行なわれるが、次の測定更新が行なわれるまでは、前回測定値がアナログメモリーで保持されているので、外部からは連続測定と同一に扱うことができる。

#### 4. 用途と計装フローシート

既納入分千台の使用先のうち、96%は水処理分野向けであり、その75%が下废水处理分野で使用されている。海外向けは約7%である。

##### (1) 単純計測

携帯形を含め、用途の約60%程度は、単純に濃度を測定したり記録したりするために使用されているものと見られる。しかし、これらの中で、かなりの台数は、コンピュータの中にデータとして取り込まれており、固形物収支や余剰汚泥の引抜量算出に利用されている。また、濃度や汚泥界面値を監視することにより、汚泥引抜時間や薬注率の目標値として利用するなど、計装として閉ループにはなっていないとしても、人手を介することによって、制御用に使われているものも多い。携帯形は、どこにでも持ち運べるため、これまで挙動が不明確であった嫌気性消化タンク内の汚泥濃度分布や汚泥堆積状況の調査用などに、有効に利用されている。

##### (2) オン・オフ制御（2位置～多位置制御＝不連続制御）

濃度や界面位置が、あらかじめ設定した値に到達したことを検知して、ポンプ等をオンオフ制御する例は、制御システムとしては最も単純で、実施例も多く納入分の25%程度が、この用途に当てられていると見られる。

図3のDIA-2、図3のDIA-3などで示される汚泥引抜ポンプのオンオフ制御は、中でも最も実施例の多いものである。なお、ポンプの起動はタイマで行なう例も多いが、図3に示すように界面形濃度計と組み合わせて汚泥界面上昇で行なう例も増えている。いずれにせよ、これらの計装化により汚泥引抜管の閉塞事故の防止はもちろん、必要以下の低濃度汚泥を引抜なくなるため、汚泥の取扱い量を減少させることになり、後段のプロセスの小形化、省エネルギー化に大きく貢献する。

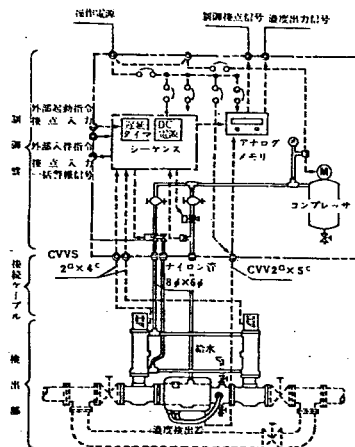


図2 超音波式（加圧消泡形）汚泥濃度計構成図

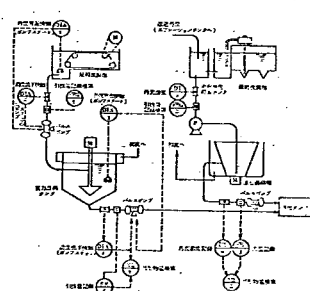


図3 汚泥引抜、壓縮まわりの計装

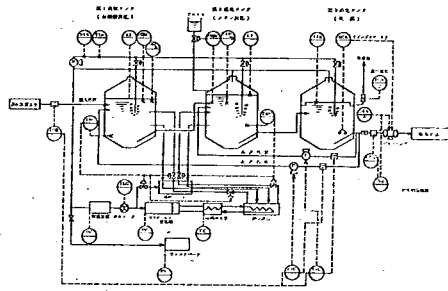


図4 消化タンクの計装

図5は、生コンクリートパッチャープラントのノロ水（生コン洗浄廃水沈殿汚泥）濃度調整用の例である。パッチャープラントでは、ノロ水を含め無排水運転が義務づけられたため、ノロ水を生コン混練用水として再利用

しているが、その濃度が一定範囲内でないと生コンの品質に影響する。このため図5に示すように3位置制御を行なうことによって対処している。

図6は、凝集沈殿タンクの界面制御の例である。上限界面は、もちろん汚泥がキャリオーバーしない高さ以下に制御されなければならないが、下限界面も、あまり低下させ過ぎると凝集効果が下がるので一定値以下にならないように保つ必要がある。このため、自動汚泥界面形1台によるか、浸漬固定形2台によって、上・下限の3位置制御が有効となる。

図7は、排煙脱硫による石膏生成プラントに用いられている濃度計によるオンオフ制御の例を示したものである。

図8は、石灰スラリー濃度を連続フローで希釈調整する例を示したもので、予備希釈を行なうことによって、オンオフ制御ながら、ほど、濃度を一定化している。

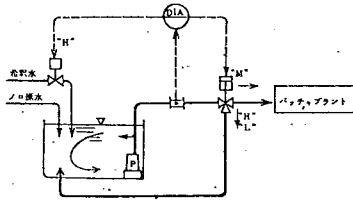


図5 バッチャプラントノロ水調整制御

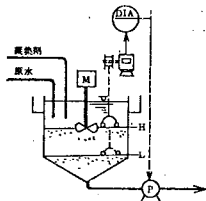


図6 凝集沈殿池引抜制御

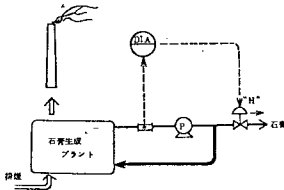


図7 排煙脱硫プラントの石膏引抜制御

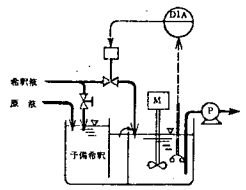


図8 濃度一定制御

(3) 比率制御 (連続制御)

濃度変化の度合いに対応して、連続的に制御を行なう計装システムは、制御を精密に行う上で必須の方法である。これらの用途には、全体としては15%程度が使用されているものと見られるが、加圧消泡形では30%以上に達している。

① 汚泥脱水機薬注制御

連続制御として最も事例の多いのが汚泥脱水機の薬注率の制御システムである。汚泥脱水機では、脱水効率を上げるために、汚泥の調質用に凝集剤や剝離剤などの薬剤が1種ないし数種注入されるが、この薬注量は、処理固形物量に比例することが知られている。このため、流量と濃度を乗算して固形物量を算出し、この値に注入率を掛け合わせれば、必要な薬剤の比例注入量を得ることが出来る。

図9は、遠心分離式汚泥脱水機への適用例を示すもので、一般には実線で示したフィードホワード制御で十分であるが、さらに破線で示した分離液濃度のフィードバック制御ループを付加するとより良い制御結果となる。しかし、この場合は反応時間遅れや、過剰薬注の際の対応策を考慮しておかないと、制御が不安定になるので注意が必要である。図10は、真空ろ過式汚泥脱水機への適用例を示したものである。

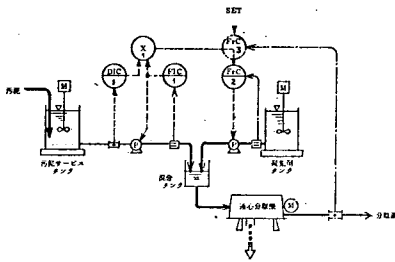


図9 遠心式汚泥脱水装置の薬注制御

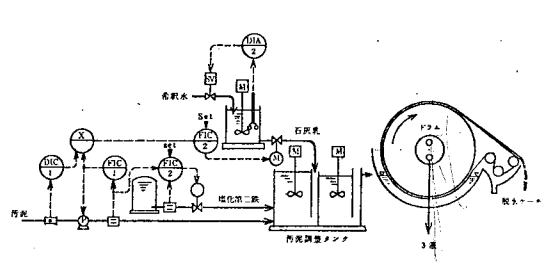


図10 真空ろ過式汚泥脱水機薬注制御

② M L S S 制御と S R T 制御

M L S S を一定に保つことは、 $F/M$  比を一定化することにつながるため重要な管理項目の一つとされる。この制御には、M L S S 計によるフィードバック方式が考えられるが、実際にはエアレーションタンクの容量や反応遅れを考慮すると、図11に示すようなフィードホワード方式の方が安定した制御となる。

一方、余剰汚泥の引抜きは、MLSSとも相関するので、いろいろな提案がなされ実施されているが一般にはSRTを一定化するようにして引抜き量を定めるのが良いとされる。図11の例は、これらを示している。

### ③ シールド工法における固形物収支制御

トンネル工法の一つに圧力水を噴射して土砂を排除する、いわゆるシールド工法があるが、この送水と排水中の固形物量の差を演算することによって、掘進速度の制御はもちろん、切羽の崩落や障害物の確認まで行なう計装システムが実用化され大きな効果を上げている。図12は、その例を示したものである。

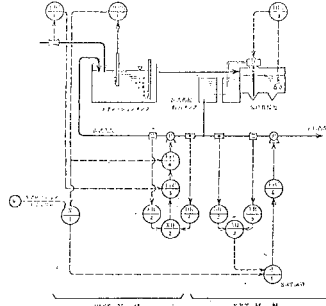


図11 MLSS・SRT制御

### 5. 汚泥濃度計の導入効果

図13は〇市下水処理場における遠心分離式汚泥脱水機の薬注量の日変動を示したものである。計装方式は図9のフィードホワード制御である。流量を一定にしているため固形物量は濃度変動と一致した動きとなる。したがって、例えば、午前10時に単に流量に比例するようにして薬注率を設定したとすると、図中一点鎖線に示すように一定量の注入となる。実際には固形物比例注入制御を行なっているため、それとの差の分、すなわち斜線で示す量が固形物比例注入の効果ということになる。

図14は、同じ脱水機の薬注費を、固形物比例制御前と後とで比較したものである。濃度変動に対する薬注費の変動率が小さくなり、ほぼ一定化しているため、薬注費の合計も少なくなり、汚泥濃度計の導入効果が直接、薬剤購入費の節減につながっていることを明確に示している。

### 6. まとめ

計装例は全てアナログ方式で示したが、演算調節部にCPUを導入すれば、演算精度を上げたり、外乱要因まで補償したり出来る点では有利となる。しかし、CPUはもちろん万能ではないし、計装はあくまで、プロセス全体の効率化に、その目的があるわけであるからバランスの取れた、すなわち必要の度合いに合わせて計装のグレードを決めるよう心がけるべきであろう。

その意味では、原始的ではあっても、安定して動作するセンサ（メンテナンスフリーもしくは、メンテナンスの容易な）を選定して、十分使いこなすと共に、下 wastewater 処理プロセス特有の容量や反応遅れに対応するためには、ロードバランスに注目したフィードホワード的な計装システムを採用すべきであろう。

これらの観点から、超音波式汚泥濃度計のラフでもタフな特性が生かされて、下 wastewater 処理の計装化に有用となればと考え、本小論を述べさせて戴いた。多少とも、ご参考戴ければ幸いです。

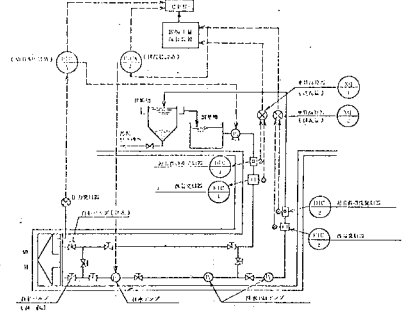


図12 シールド工法における固形物収支制御

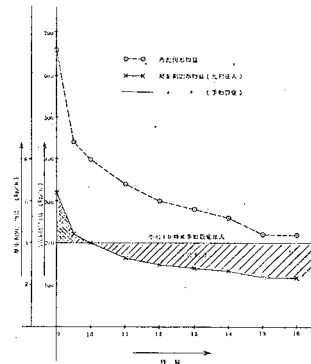


図13 薬注制御(短期データ)

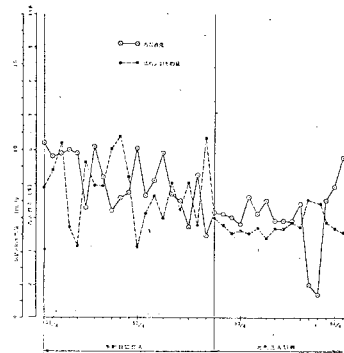


図14 薬注制御(長期データ)