5-(2)-6　汚泥調質における凝集制御技術の開発

計画調整部技術開発課
廣繁　直治

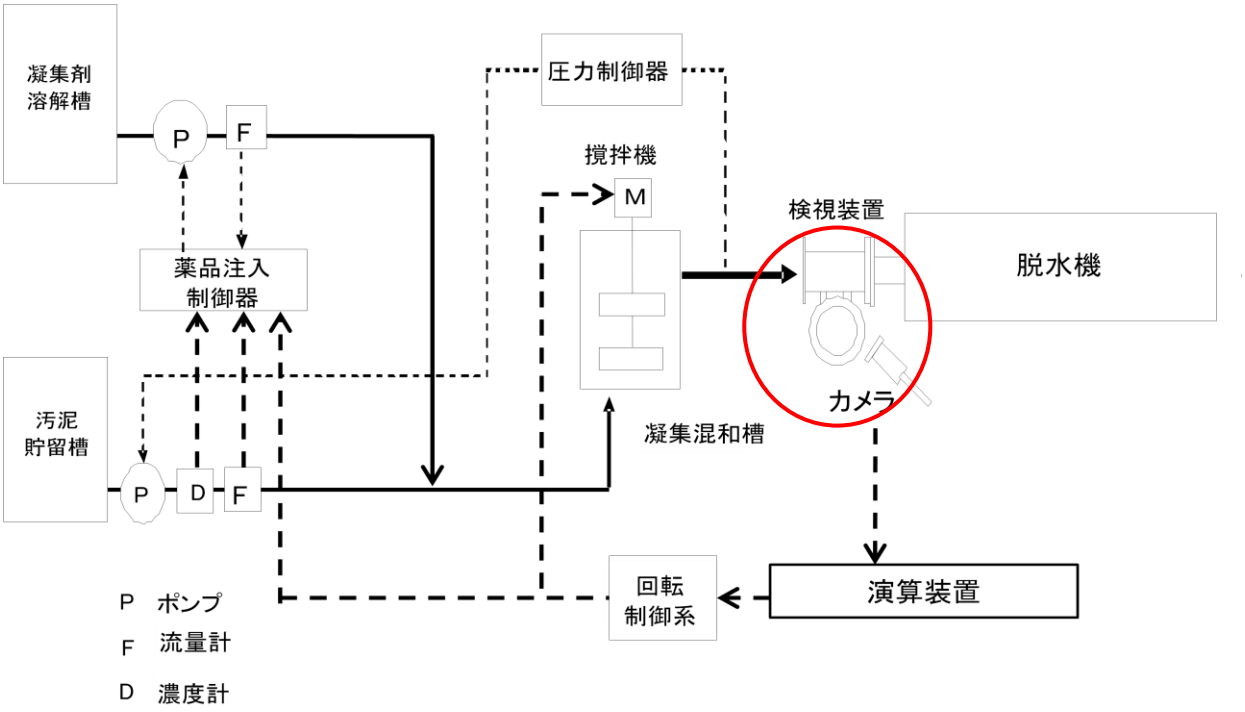
１．開発の目的

汚泥の脱水工程における高分子凝集剤の注入率の制御は、脱水ケーキ含水率や処理量、固形物回収率等の脱水機の能力に影響を与える重要な運転管理のポイントである。脱水工程ならびに後段の焼却工程等の省エネルギー化、効率化を進めるために、高分子凝集剤の注入率制御の精密化、自動化が求められている。

本技術は、脱水工程における高分子凝集剤混和後のフロック形状の画像を取得し、画像解析することによって、リアルタイムでの凝集状態の監視を行いながら、薬注制御に対するフィードバック手法を確立することを目的として開発したものである。

２．開発した技術の概要

今回開発した技術の概要を図－１に示す。

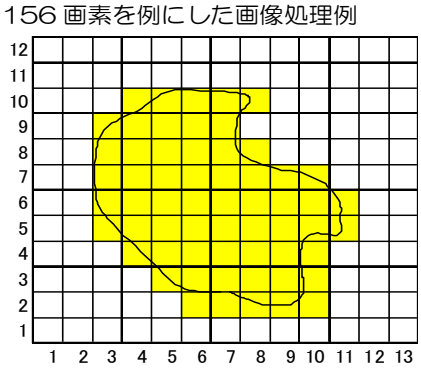


図－１

本技術では、凝集混和槽から脱水機に凝集汚泥を供給する配管に検視装置を組み込み、フロックの状態を撮影して画像を取得する。得られた画像について二値化処理*を行って数値化し、この情報から高分子凝集剤の注入率を最適化するとともに、汚泥供給量、凝集混和槽における撹拌強度等を調整することで、安定した汚泥含水率での運転を可能にするものである。

＊二値化処理

画像の各画素の輝度（明るさ）に対して、ある「しきい値」を設定する。ある画素がこのしきい値より小さい輝度であれば“０”、大きければ“１”とし、設定したしきい値以上の画素数を求める方法である。図－２に二値化処理のイメージを示す。



図－２　二値化処理の例

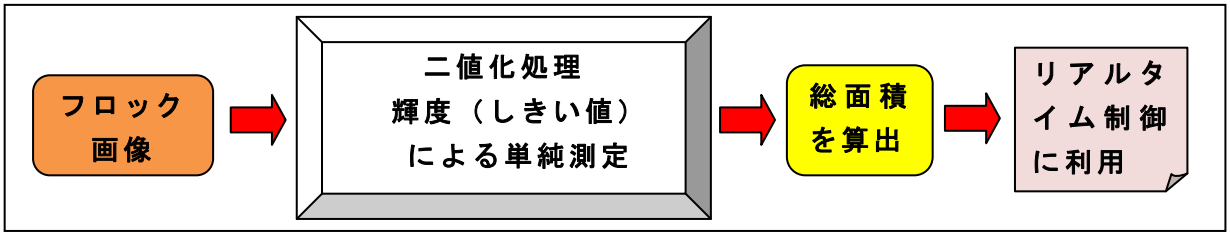
ここでは、曲線で囲まれた部分がフロックを表し、総画素数１５６のうち、設定したしきい値以上の６０画素（着色部分）がフロックの面積となることを示している。

３．二値化処理と制御方法

（１）開発当初の技術内容

本技術の開発は、高分子凝集剤で調質した凝集汚泥を撮影して、この画像を二値化処理して数値化し、人による経験値によらずに凝集剤の注入率設定を最適化することを目的としてきた。

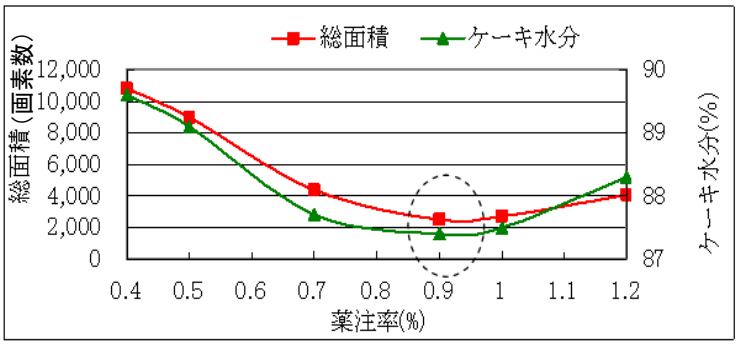
開発当初の画像処理のフローを図－３に示す。



図－３　画像処理のフロー

このフローでは、撮影したフロックの画像を二値化処理してフロックが占める全体の面積(総面積､単位:画素数)を算出し､リアルタイムで注入率制御を行うものである。

ビーカーテストにより、しきい値による二値化処理で得られた総面積と凝集剤注入率との関係および凝集剤注入率とケーキ含水率との関係を図－４に示す。



図－４

このグラフから、次のことが確認できる。

① 凝集剤の注入率が上がるにつれて総面積ならびにケーキ含水率が減少していくこと

② 総面積が最小になる凝集剤注入率においてケーキ含水率が最低になっていること

③ さらに凝集剤注入率が高くなると総面積、ケーキ含水率ともに上昇すること

これらのことから、総面積から薬注率と汚泥含水率を制御できる可能性を見出した。

しかしながら、開発を継続する中で次の問題が明らかになった。

① 総面積と薬注率の関係は図－４に図示したように、谷型の曲線となっているため、運転の途中で総面積が変動した場合に、薬注不足によるものなのか、薬注過多によるものなのかを迅速に判断できないこと。

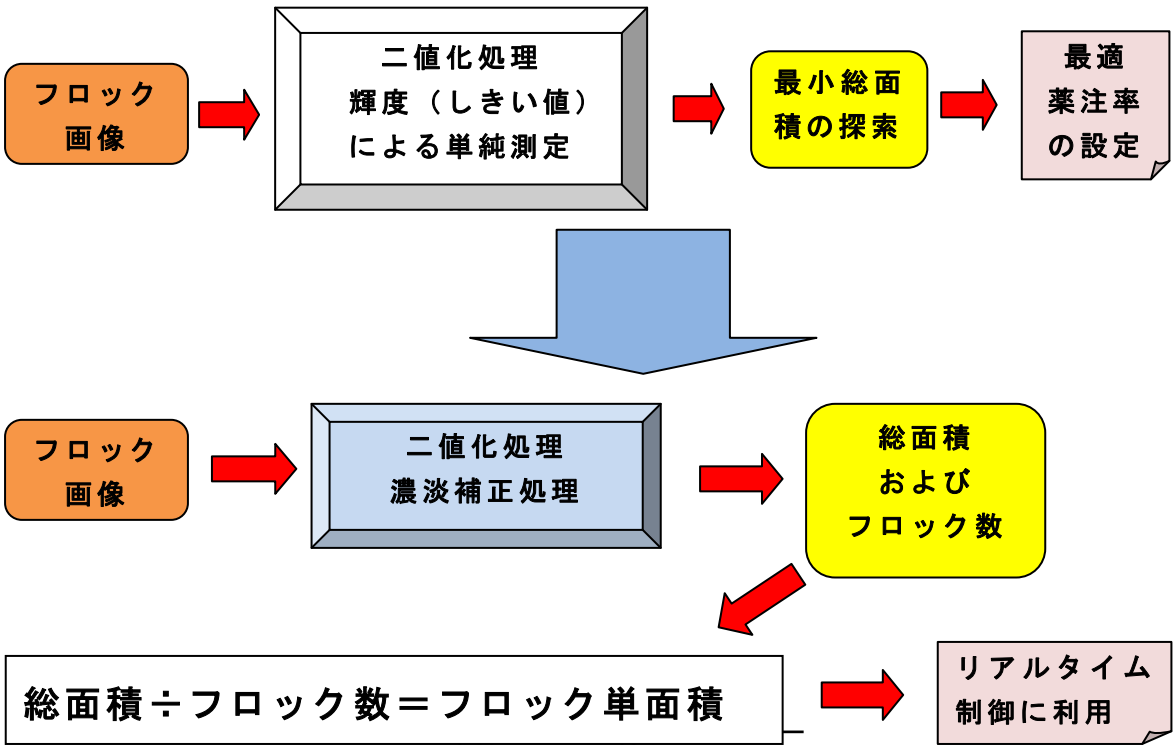
② 最小総面積を決定するには７点以上の探索が必要であり、一点の探索に約２分必要であることから、１４分以上の時間がかかること。そのため、この間に最適状態でない凝集汚泥が脱水機に投入されてしまうこと。

以上の理由から、二値化処理で算出した総面積だけでは、リアルタイム制御への利用は困難であると結論した。

（２）リアルタイム制御の確立に向けて、新たに開発した技術内容

課題解決のため、個々のフロックの大きさに着目したリアルタイム制御の検討を行なった。

考案した制御方法は、まず「しきい値」方式で二値化をおこなって最小総面積となる薬注率を探索する。つぎに、濃淡補正による画像処理方法でフロック単面積を算出（総面積／フロック数、単位：画素数）し、これを制御因子として用いるものである。（図-５）

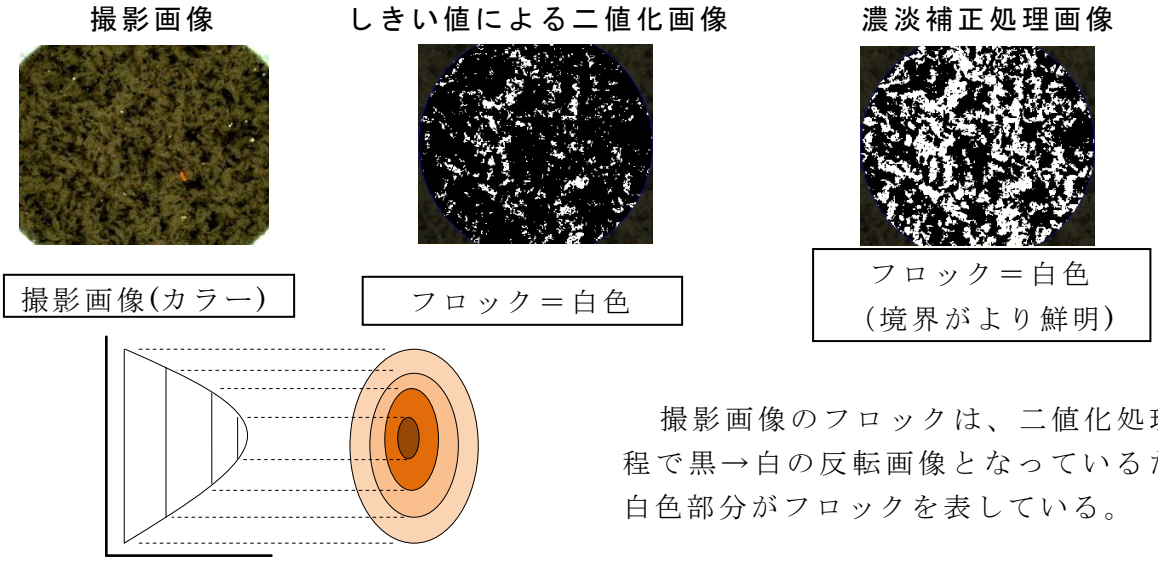


図－５

1）フロック数の精密な測定方法の開発

しきい値方式は、カラー画像を白黒画像に変換したのち、１つの輝度（しきい値）で区別する方法である。

これに対して、濃淡補正処理方式では、変換した白黒画像をあらかじめ数段階で設定した輝度（濃淡度）にグループ分けし、このグループ毎に再度しきい値処理をおこなう。凝集したフロックは中央部と周縁部では色調に差があるが、この段階的なしきい値による処理を行うことで、フロックの境界をより鮮明に判別することが可能になり、フロック数を精密に計測できることが確認できた。（図－６）

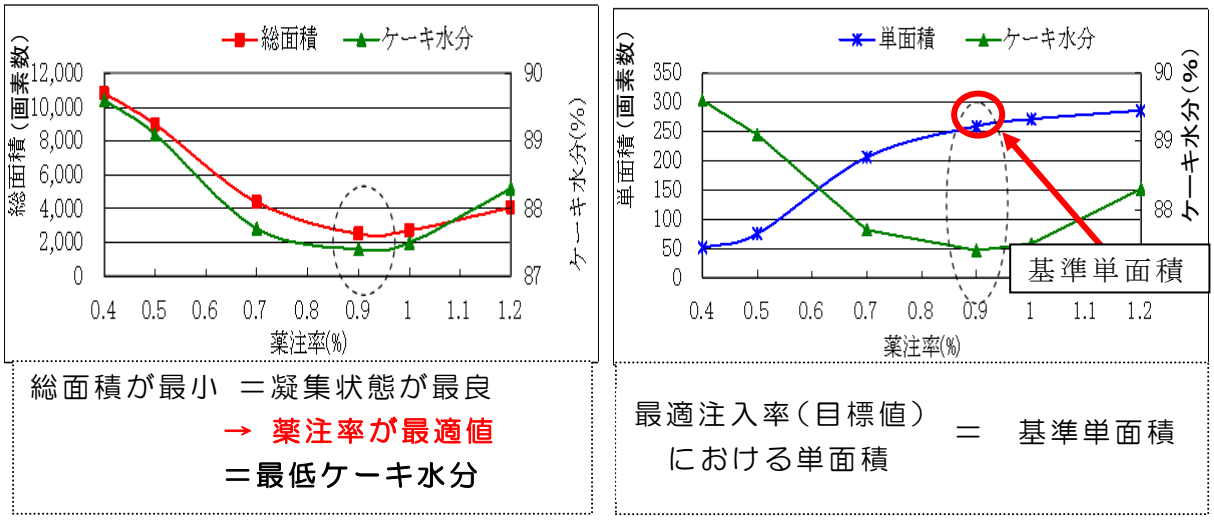


撮影画像のフロックは、二値化処理の過程で黒→白の反転画像となっているため、白色部分がフロックを表している。

図－６　処理法別の画像

2）制御方法の確立

二値化処理で得られた総面積と薬注率の関係（前出、図－４中）と、フロック単面積と薬注率の関係を図－７に示す

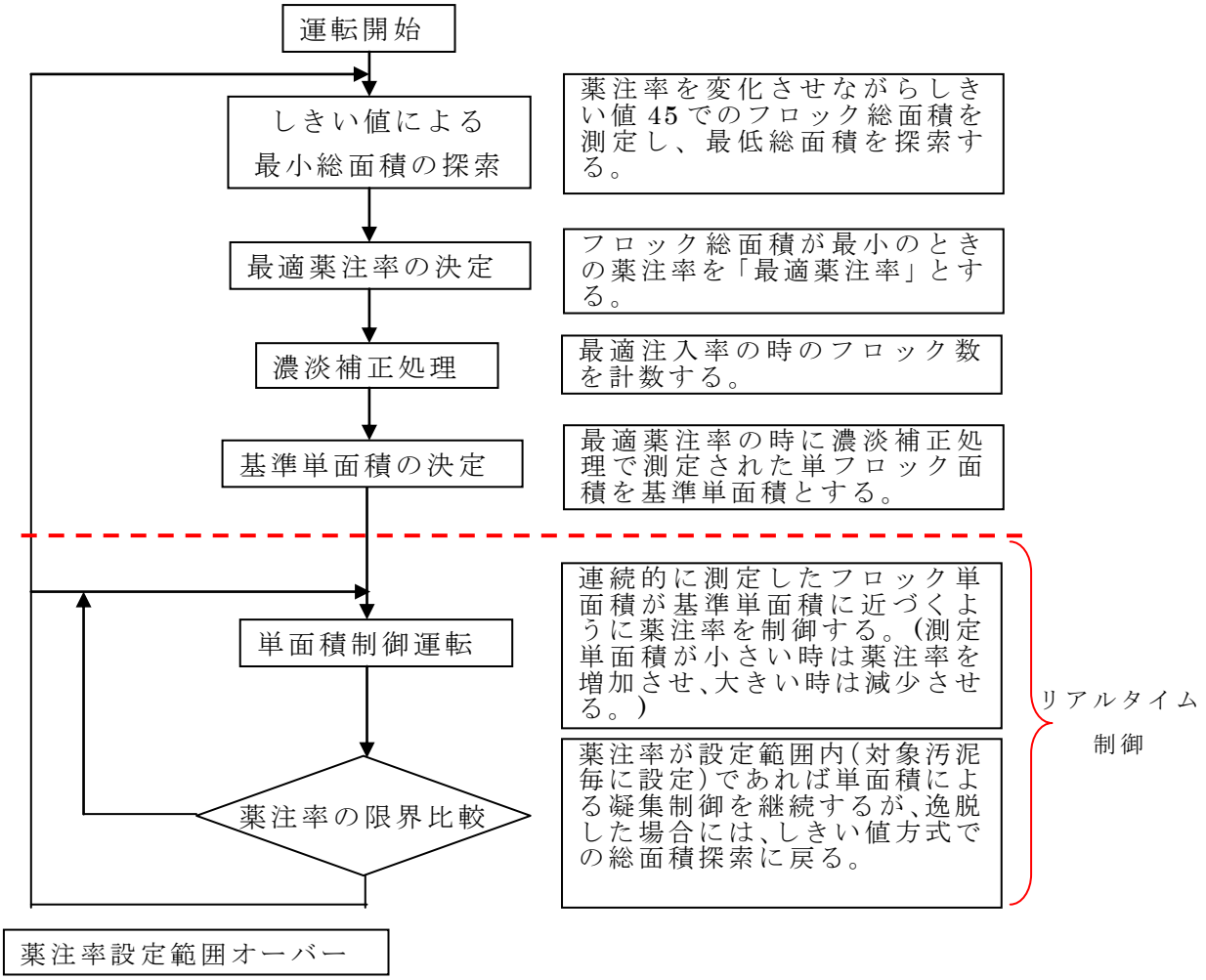


図－７　薬注率と総面積（しきい値法）および単面積（濃淡処理法）の関係（ビーカーテスト）

リアルタイム制御では、総面積が最小となる薬注率の時に得られたフロック単面積を基準単面積とし、計測したフロック単面積が基準単面積より大きい場合は薬注率が過剰と判断して、薬注率を減少させる。逆に基準単面積より小さい場合には、薬注率が低いと判断して薬注率を増加させる制御を行う。

（３）制御方法

以上をまとめると、制御方法は次のフローとなる。（図－８）



図－８　構築した制御フロー

４．研究目標と結果

目標１：既存設備に影響を与えず、かつ保守点検が容易な画像処理装置の開発

本技術の開発にあたっては、常に流動している汚泥フロックの画像を、安定して取得できる検視装置が必要となる。このため、以下の項目について検討をおこなった。

（1）検視装置の仕様
（2）検視窓洗浄用スクレーパー装置
（3）撮影装置の仕様

（１）検視装置の仕様

設置箇所として、凝集混和槽と脱水機を連絡している配管に直接設置する方法と、同配管から分岐配管を用いて検視装置に試料を導入する二つの方法について検討した。その結果、分岐配管方式を採用することとした。

１）連絡配管に直接設置した場合

①流速と被写体深度が大きいためフロックの画像が安定しなかったこと、②流量の低下や汚泥濃度の上昇があった場合、検視窓内部のわずかなデッドスペースにフロックが滞留し、誤差を生じることがわかった。

２）分岐配管を用いて設置した場合

適切な分岐配管形状とすることでフロックの形状を損なわずに試料を検視室に導入でき、制御に利用できる安定した画像を得ることができた。

検視窓は耐久性と透明度を勘案して、厚さ 10mm のアクリル樹脂製とした。

（２）検視窓洗浄用スクレーパー装置

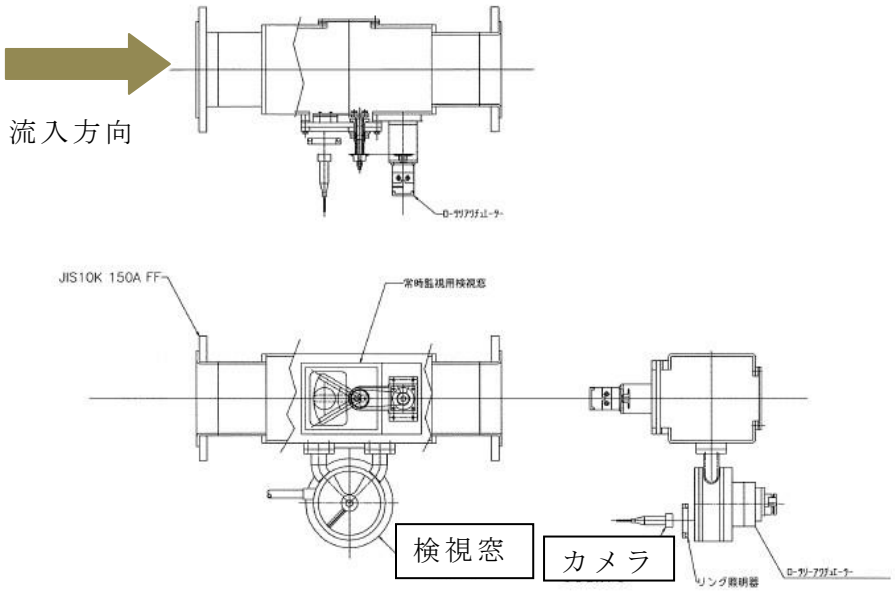
回転パドル式とした。材質については検視窓への密着性と、硬さ、耐久性から、軟質天然ゴムが最良と判断し、テーパー状の形状とすることで洗浄効率を高めた。1日１回洗浄することで検視窓を清浄に保ち、鮮明な画像取得が可能であることを確認した。

脱水終了時に検視窓内部を洗浄するために、洗浄水の注入口を２か所設置した。

（３）撮影装置の仕様

工業用として市販されているキーエンス社製 CV5000 型 CCD カメラ（24 万画素、カラー仕様）をテーブル実験から使用してきたが、実機導入に際しての問題は生じなかった。（図－９）

解析には、シャッタースピード 1/120～1/240 秒で取得した静止画像を用いた。



図－９　検視装置の詳細

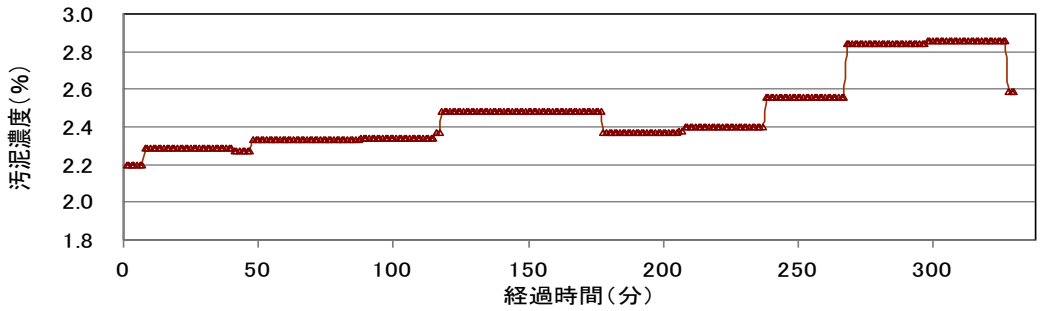
目標２：汚泥性状の変化に追随できる凝集剤注入制御の方法の開発

供給汚泥濃度の変化と、開発した制御システムによって制御目標値（基準単面積）に追随する状況、ならびにケーキ含水率と薬注率の変化を次に示す（図－１０～１２）。

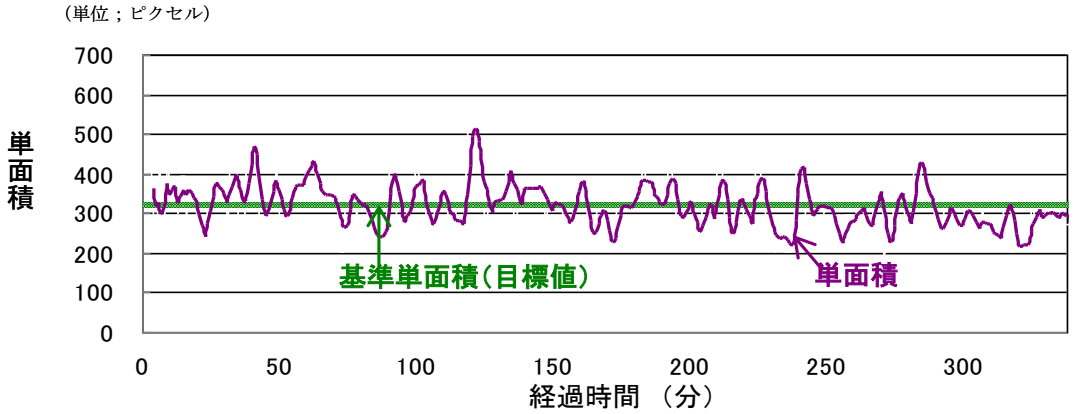
供給汚泥濃度は 2.2～2.8%の間で変動していた（図－１０）。このとき、基準単面積を 321 画素に設定し、フロック単面積をもとに薬注率の制御（フィードバック間隔 3 分/回）を行った結果、フロック単面積が基準単面積（目標値）に追随できていることが確認できた（図－１１）。

薬注率は、ほぼ 0.4～0.5%で推移しており、この制御の結果、脱水ケーキ含水率が安定していたことも確認できた（図－１２）。

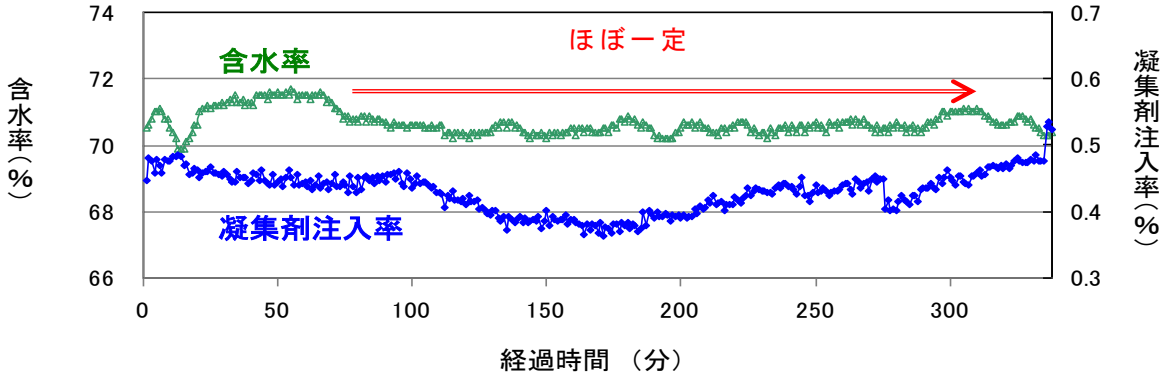
なお、起動後約 1 時間の含水率の変動は、投入された汚泥が脱水機から脱水ケーキとして排出されるまでの滞留時間の影響と考えられた。



図－１０　供給汚泥濃度の経時変化



図－１１　計測単面積の基準単面積への追随性



図－１２　脱水ケーキ含水率と凝集剤注入率の経時変化

目標３：既存含水率計を用いた薬注制御方式と比較して優位となるシステムの開発

ケーキ含水率の目標を７４％以下程度として設定し、脱水ケーキ含水率の標準偏差と脱水ケーキ含水率とを比較するために調査を実施した（表－１）。

同一汚泥での調査が不可能であるため、必ずしも同一条件下での結果ではないが、今回開発した凝集制御方法は、含水率計による制御方法と比較しても、ケーキ含水率を安定化させることができることを確認した。

運転条件	ケーキ含水率 標準偏差	ケーキ含水率	供給汚泥濃度	高分子凝集剤 注入率
凝集制御(本技術)	0.33	73.2%	2.29%	0.43%
含水率計による制御	0.54	71.9%	1.92%	0.37%
目視による状態監視	0.81	71.4%	2.10%	0.48%

表－１　各制御方法の脱水ケーキ含水率の標準偏差（平均値）と処理状況

５．コスト比較

今回開発した凝集制御と、既に実用化されている含水率計を用いた含水率制御について、付帯設備として脱水機とともに新規導入する場合のイニシャルコスト比較を表－２に示す。

凝集制御はコスト面で優れていることが確認できた。

項目	凝集制御	含水率計制御
価格	約400万円	約1000万円

表－２　凝集制御と含水率計制御とのコスト比較

凝集制御の導入は、凝集混和槽から脱水機に汚泥を供給する配管に設置するため、既設設備へ比較的簡単に導入できる。

一方含水率計制御では、必要な含水率計を設置するために脱水機本体の改造が必要となるため、既設設備の改良による導入は難しい。

６．期待される効果等

凝集制御の導入により、以下の効果が期待できる。

- 安定した含水率の脱水汚泥が供給できるため、焼却炉等の運転が安定的に実施できる。また、これにより、焼却炉等で使用する補助燃料の削減も期待できる（特に炭化炉やガス化炉における効果が期待できる)。
- 凝集剤の過剰注入等を抑制でき、凝集剤使用量の削減が期待できる。
- 自動制御であることから、現場作業量の低減が期待できる。
- 常時、汚泥性状や脱水機等を監視できることから、安全対策の向上につながる。

本開発は、平成２１年度のノウハウフィールド共同研究として、東京都下水道サービス株式会社と、株式会社　石垣との３者によって行われた。