

## 2-3-1 ポリマー注入量制御システムの開発と評価について

計画調整部 技術開発課 豊嶋 喜貴  
東京都下水道サービス株式会社 曾根 啓一  
月島機械株式会社 栄川 満

### 1 はじめに

汚泥処理において脱水工程では、高分子凝集剤（以下「ポリマー」という）を汚泥に添加して脱水処理を行っている。ポリマーの使用については汚泥性状に応じて最適な注入率となるように運転員が調整を行っている。しかし注入量の調整は難しく、個人差の解消や、汚泥性状の急激な変動などに対しても追従して調整することが求められている。

これに応えるため既報<sup>1)</sup>では、ポリマー注入量を最適値に自動調整するシステムの開発を行い、制御性等について報告した。本報では制御システムで長期間実証運転を行い、含水率やコストについて従来運転の場合と比較を行った結果、良好な結果が得られたことを報告する。

なお本研究は、東京都下水道局（以下「当局」とする）並びに東京都下水道サービス株式会社、月島機械株式会社との共同研究として、東部スラッジプラントにおいて行った。

### 2 ポリマー注入量制御システムの導入

#### 2.1 汚泥脱水機の効率的な運転に向けた課題

濃縮後の下水汚泥は、そのままでは負に帯電した粒子が分散しているため、互いに反発し合っ  
て凝集せず脱水が困難である。そのため、脱水工程では正の電荷を持つカチオン性ポリマーで電  
氣的に中和し、汚泥を凝集させて脱水処理を行っている。ポリマー注入量は脱水ケーキ含水率が  
最小になる最適値があり、過不足いずれの場合も含水率が上昇する。含水率の上昇は焼却工程に  
おいて補助燃料使用量の増加、過剰注入はポリマー使用量の増加で、いずれもランニングコスト  
の増加を招く。

現状ではポリマーは定量注入で、必要に応じて注入量の調整を行っている。注入量の調整は含  
水率（一日数回測定）、汚泥性状及び脱水機運転状況等を総合的に判断して行っている。この判  
断には熟練を要するほか、降雨時など急激に汚泥性状が変化する場合、きめ細かく汚泥性状を把  
握して調整を行うのは作業量上限界がある。また、長時間汚泥性状の確認を行うことは、臭気発  
生源での作業であることなど、作業環境の面からも負担が大きい。

#### 2.2 制御システムの原理と構成

上記の課題に応えるため、汚泥性状を連続測定して最適な注入量に自動調整する  
システムの開発に取り組んだ。ポリマー添加による凝集状態の良否は、脱水ケーキ含水率のほ  
か、脱水分離液の性状で判断することができる。液中では汚泥粒子の一部がコロイド状に  
分散している。この粒子が持つ電荷量がマイナス側であればポリマーが不足、プラス側であ  
れば十分もしくは過剰で、残留ポリマー濃度の指標になる。コ

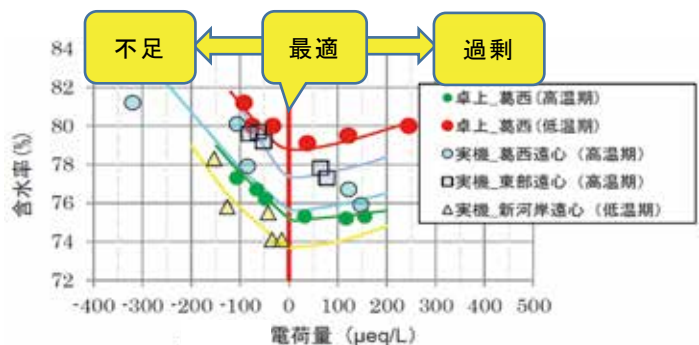


図1 脱水分離液の電荷量と脱水ケーキ含水率の関係

ロイド粒子が持つ電荷の符号、大小を測定できるものとして、製造業等で利用されているコロイド電荷量計がある。この計器は試料と逆の電荷を持つ薬品で滴定し、電荷量をゼロ（等電点）に中和するのに要する滴定量から、単位容積当たりの電荷量として測定するものである。実際に測定した脱水分離液の電荷量と、脱水ケーキ含水率の関係を図1に示す。電荷量がマイナス側、プラス側、いずれも大きい場合は含水率は上昇し、等電点で含水率は最小となる。

これらの知見から、汚泥濃度、含水率及び電荷量を計測することにより、最適なポリマー注入量に自動制御するシステムを製作し、東部スラッジプラントの脱水設備に設置した。制御には汚泥濃度計、含水率計及びコロイド電荷量計を組み合わせ用い、計測値をポリマー注入量の演算に取り込んだ。電荷量の連続測定には、製紙業界で紙の品質向上等に使われているオンライン測定装置（海外製）を採用した。システムの構成と機器仕様を図2に示す。

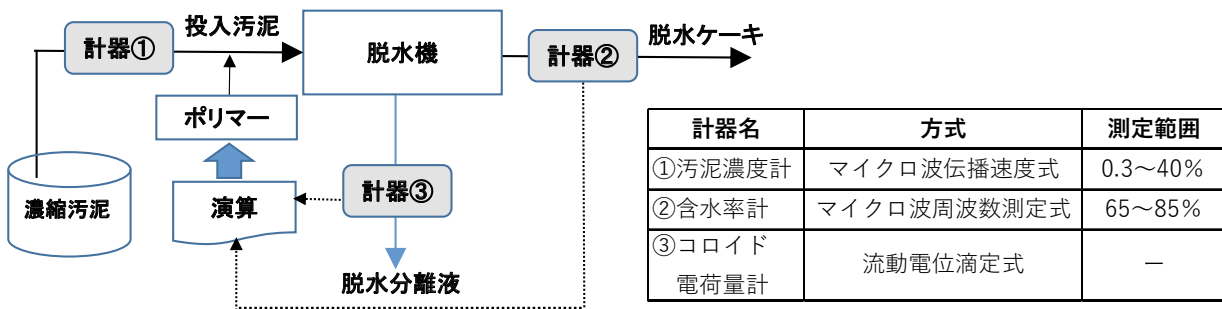


図2 制御システムの構成と機器仕様

### 3 制御方法の検討

制御方法を決定するにあたり、各センサーを用いて可能な制御方法について、以下のパターンについて検討を行った。

#### 3.1 含水率一定制御（汚泥濃度計+含水率計）

脱水ケーキの目標含水率を設定し、含水率計測定値が設定値より低い場合はポリマー注入率を減少、高い場合は増加させる制御である。汚泥の脱水性が良好な場合（図3、汚泥A）にポリマー削減効果を得やすく、有利な方式である。また、含水率が低下し過ぎると、脱水後の焼却工程へのケーキ圧送ポンプに負荷がかかるため、下限値を設定することでこれを防ぐこともできる。

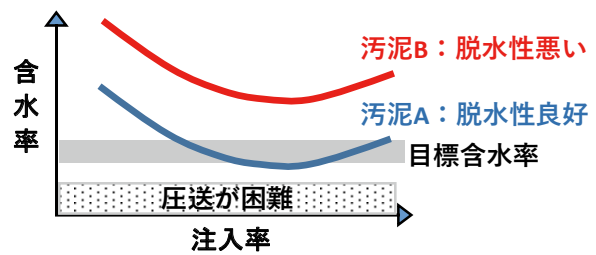


図3 含水率一定制御のイメージ

一方、汚泥性状によって低減が可能な含水率は異なるため、脱水性の悪い汚泥（図4、汚泥B）では含水率の設定が適切でないと、目標含水率まで下がらないままポリマー注入率が増加する。

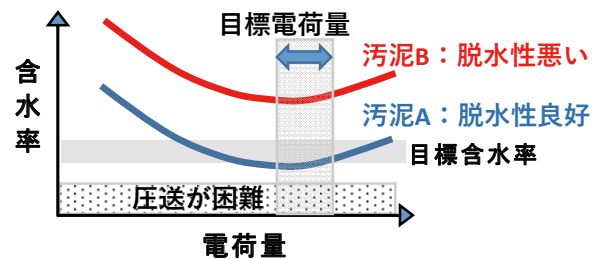


図4 電荷量一定制御のイメージ

#### 3.2 電荷量一定制御（汚泥濃度計+コロイド電荷量計）

脱水分離液の電荷量最適値を設定し、電荷量計測定値が設定値より低い場合（マイナス側）は

ポリマー注入率を増加、高い場合（プラス側）は減少させる制御である。適切な電荷量を設定すれば、汚泥性状に応じて含水率が最小となるよう制御され過剰注入を防ぐことができるため、汚泥性状が良好でない場合（図 4、汚泥 B）に有利な方式である。

一方、生汚泥（第一沈殿池引抜汚泥）の割合が大きい降雨後などで、脱水性が良好な汚泥（図 4、汚泥 A）では、電荷量設定範囲を下回るポリマー注入率でも含水率は低い。場合によっては必要以上に含水率を低下させることも懸念されるため、使用量削減の余地がある。

### 3.3 制御方法の組合せ

そこで、それぞれ単一制御で行った場合の短所を打ち消すため、これらを組み合わせて相互補完する制御方法とした。ケーキ圧送に支障のないレベルとして目標含水率の範囲を設定し、設定範囲以下で脱水性が良好な場合は含水率計に基づいてポリマー注入率を制御する。一方、設定範囲を上回り脱水性が良好でない場合は電荷量設定値に基づいて制御する。各計器による設定値を表 1 のとおりとした。電荷量設定については図 1 からわかるとおり、等電点から若干プラス側で含水率が最も低くなる範囲があることから、安全側に 100～150  $\mu\text{eq/L}$  とした。

表 1 各制御項目の設定条件

	設定値	説明	
含水率計	75.5%超	電荷量一定制御 (100～150 $\mu\text{eq}$ ) /L	
	74.5～75.5%	注入率維持	含水率
	74.5%未満	注入率削減	一定制御
注入率 演算周期	15分	設定周期ごとに演算	
注入率 変化幅	0.05% (DS当たり)	設定周期ごとに 1段階増減	

## 4 評価方法

前述の制御方法を採用して、以下の評価項目について検証を行った。

### (1) 制御の追従性

雨天時等、汚泥性状の著しい変化にも追従できること

### (2) 脱水ケーキ含水率

調査期間中の手分析平均値について、実験機が従来運転号機と同等以下となること

### (3) 維持管理性

センサー類の保守・点検が月 1 回程度であり、容易であること

### (4) コスト削減効果

全ての脱水機を制御運転した場合、10 年間のポリマー使用量および焼却補助燃料削減による

コスト削減が、イニシャルおよび 10 年間のランニングコストを上回ること

### (5) 汎用性

当局に導入されている全ての脱水機方式に適用できること

(1)～(4)については、平成 29 年 4 月から 9 月までの長期間連続運転による調査結果から評価した。東部スラッジプラントの遠心脱水機 1 号を実験機として、2 号を従来運転号機としてデータを比較した。実験機と従来運転号機の運転条件は注入量の制御方法以外同一とする。

## 5 結果

各評価項目の目標達成状況は以下のとおりである。

### 5.1 制御の追従性

連続運転の結果から、降雨で汚泥性状が著しく変化した日の一例を図5に示す（平成29年4月11日）。当日の総降雨量は34.5 mm、最大降雨強度5.5 mm（14時、15時）であった。

- ① 当初は電荷量一定制御でポリマー注入率が調整され、脱水分離液中のコロイド電荷量は100～150  $\mu\text{eq/L}$ の範囲に収まっていた。
- ② 15時以降に含水率の低下が続いた。生汚泥の比率が高まるなど、降雨の影響が顕著になったと考えられる。
- ③ 含水率が設定範囲内に到達すると、含水率一定制御に切り替わるが、ポリマー注入率は一定であった。
- ④ 含水率が設定の下限を下回ると、ポリマー注入率を段階的に削減して、含水率は設定範囲内に戻った。その後はポリマー注入率がほぼ一定であった。

この結果に示されているとおり、指示値に呼応して制御方法が切り替わり、ポリマー注入率増減の方向等は降雨時においても適切に制御されていた。これらの事例から、汚泥性状の急変時にも含水率を過度に低下させず安定化に制御が働くなど、追従性は良好と判断出来た。

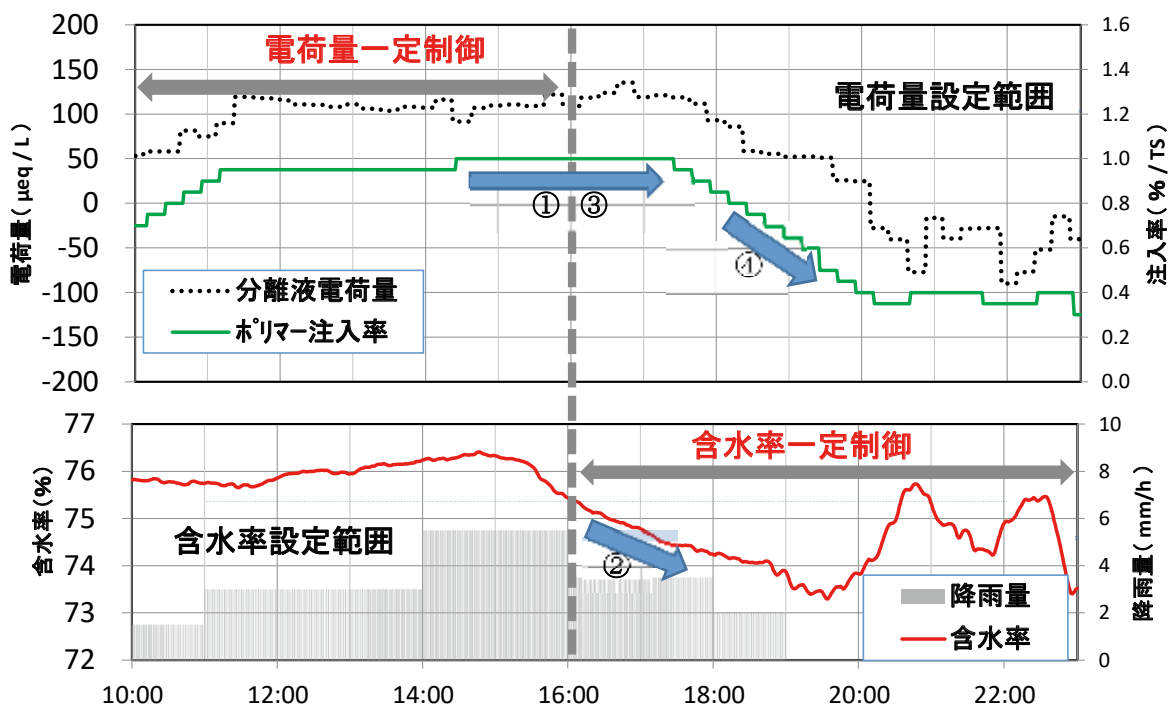


図5 降雨時の制御結果（平成29年4月11日）

## 5.2 脱水ケーキ含水率

平成29年4月～9月の日常試験結果における、実験機と従来運転号機の含水率実測値を表2のとおり比較した。実験機はポリマー注入量の低減効果が確認されたうえ、含水率は従来運転号機より僅かながら低下した。

表2 脱水ケーキ含水率およびポリマー注入率の比較

	脱水汚泥 含水率 (%)		ポリマー 注入量 (m <sup>3</sup> /h)		ポリマー 注入率 (%)	
	実験機	従来運転 号機	実験機	従来運転 号機	実験機	従来運転 号機
平均	76.86	77.03	4.8	5.2	0.92	1.00

### 5.3 維持管理性

調査期間中、含水率計については配管内でシール部分からの漏洩が発生し、シール材質を変更するなどの改良を行った。それ以外、汚泥濃度計を含めて大きなトラブルは発生していない。これらの計器については、月1回程度の保守点検で十分運用が可能である。

コロイド電荷量計については、試料と滴定薬品を反応させる測定セル（図6右上）に汚泥が付着すると測定値の信頼性が損なわれるため、二次処理水による自動洗浄機能が働いている。しかし汚れの除去が十分でない（図6右下）ため、セルを分解して行う内部洗浄が2週間に1回以上発生した。この結果から、「保守・点検が月1回程度であること」については目標を達成できなかった。



図6 コロイド電荷量計測定セル内部  
右上：清浄な状態、右下：汚泥が付着した状態

### 5.4 コスト削減効果

東部スラッジプラントの脱水設備に本システムを導入し、遠心脱水機7台を制御運転とした場合のコスト削減効果について、表3のとおり算出した。イニシャルコストは、計器故障や保守点検等を考慮して2セットを導入することで算出した。制御運転によるポリマーや焼却補助燃料のコスト削減効果については、5.2の結果から算出した。この条件で算出した結果、制御運転を行った場合の10年間のコスト削減額が、イニシャルコストおよびランニングコストの合計を上回っており、目標を達成した。

### 5.5 汎用性

導入にあたり脱水機形式については、当局に導入されているいずれの形式についても適用が可能である。ただし、ベルトプレス脱水機については以下のとおり、試料採取箇所について留意する必要がある。

#### (1) 脱水ケーキ

幅広い形状のため、中央と両端で含水率が異なるため、代表にふさわしい採取箇所とする。

#### (2) 脱水分離液

集合排水管で採水した場合はろ布洗浄水も含まれるため、測定試料として適切ではない。中間の脱水分離液のみを受皿で受け、配管を接続して採取する構造とする。また、上流側と下流側では脱水分離液の性状が変化していることから、電荷量と脱水ケーキ含水率との関係を把握できる採取箇所として適切かを確認する。

表3 コスト試算条件および試算結果

項目	条件	備考
発生汚泥量	130DS-t/日	H29実績
注入率の差 (実験機-従来運転)	0.08ポイント	表2より
ポリマー削減量	104kg/日	
ポリマー単価	480円/kg	H29データ
<b>ポリマー削減額</b>	<b>182,210千円/10年</b>	
含水率の差	0.17%	表2より
水分量の差	4.16t/日	表2より
水の比熱	4.184MJ/t・°C	
水の蒸発潜熱	2,257MJ/t	
水分差分の必要熱量	10,695MJ/日	汚泥温度25°C
都市ガスの熱量	45MJ/Nm <sup>3</sup>	
補助燃料削減量	238Nm <sup>3</sup> /日	
都市ガス単価	66.5円/Nm <sup>3</sup>	H29データ
<b>補助燃料削減額</b>	<b>57,770千円/10年</b>	
<b>制御運転による コスト削減額(a)</b>	<b>239,980千円/10年</b>	
<b>イニシャルコスト(b)</b>	<b>111,600千円</b>	2セット導入
<b>制御システム ランニングコスト(c)</b>	<b>126,940千円/10年</b>	消耗品、 滴定薬品等
<b>費用削減効果</b>	<b>1,440千円/10年</b>	a-(b+c)

## 6 まとめ

汚泥濃度計、コロイド電荷量計、含水率計を用いてポリマー注入量を演算する制御システムを製作し、東部スラッジプラント遠心脱水機において検証を行った。各評価項目について検証の結果、以下のとおり概ね目標を達成した。

- (1) 制御の追従性については、含水率制御と電荷量制御を組み合わせた設定とし、含水率の変化に応じて適切に切り替えるなど、降雨時の汚泥性状変動時においても良好に機能した。
- (2) 脱水ケーキ含水率については、実験機の方が従来運転号機よりも低い値であった。
- (3) 維持管理性については、コロイド電荷量計が自動洗浄のみではセル内部の汚れが除去できず、「月 1 回程度の保守点検」を達成できなかった。
- (4) コスト削減効果については、東部スラッジプラント遠心脱水設備に 2 セット導入する条件で 10 年間の汚泥処理削減コストが、イニシャルコスト及び 10 年間のランニングコストの合計を上回った。
- (5) 当局に導入されている全ての脱水機方式に対して適用が可能である。

今後の課題として、コロイド電荷量計の耐久性等、維持管理性の向上についての取組を別途行っていく必要がある。本制御システムを安定的に運用することができれば、コスト削減効果に加えて、汚泥性状を確認する作業が軽減できるなど、作業量の軽減も期待できる。

## 参考文献

- 1) 塩見 浩、ポリマー注入量制御システムの開発（東京都下水道局技術調査年報 2018）