



# 調査・研究報告書

第12号



- メンブレンパネル式散気装置における省エネ効果と経年劣化状況について
- 脱水ケーキの低含水率化に関する研究

平成26年3月

公益財団法人 千葉県下水道公社

# 目 次

## メンブレンパネル式散気装置における省エネ効果と経年劣化状況について

(この研究内容は平成 24 年に開催された第 49 回下水道研究発表会で発表されました。)

1. はじめに	2
2. 反応槽の設備概要	3
3. 調査結果	
(1) 送風倍率の推移	3
(2) 電力使用量の推移	3
(3) 処理水質への影響	4
(4) メンブレンの経年劣化	4
(5) メンブレンの維持管理性	4
4. まとめ	
(1) 散気装置の更新による省エネ効果	5
(2) メンブレンの経年劣化状況	5
5. 終わりに	5
6. 参考 (メンブレンパネル式装置について)	6

## 脱水ケーキの低含水率化に関する研究

(この研究内容は平成 25 年に開催された第 50 回下水道研究発表会で発表されました。)

1. はじめに	7
2. 調査・研究方法	7
3. 調査結果	
(1) ケーキ含水率	8
(2) 脱水処理する場合の処理コスト試算	8
(3) 固形燃料用原料化を図る場合のコスト試算	8
4. まとめ	9

# メンブレンパネル式散気装置における 省エネ効果と経年劣化状況について

## 1. はじめに

江戸川左岸流域下水道の江戸川第二終末処理場は、千葉県内でも都市化が著しく、人口の増加が進んだ市川市、船橋市、松戸市、野田市、柏市、流山市、鎌ヶ谷市、浦安市の8市を処理区域とする分流式の下水処理場です。処理水量は年々増加しており、平成22年度実績では年間約1億2千万m<sup>3</sup>であり、その処理に約4千9百万kWhの電力を消費しています。この処理水量の増加に伴い増え続ける送風機設備のエネルギー需要への対策として、平成12年度から反応槽の散気方式を効率の高いものに変更しています。(図1、図2)

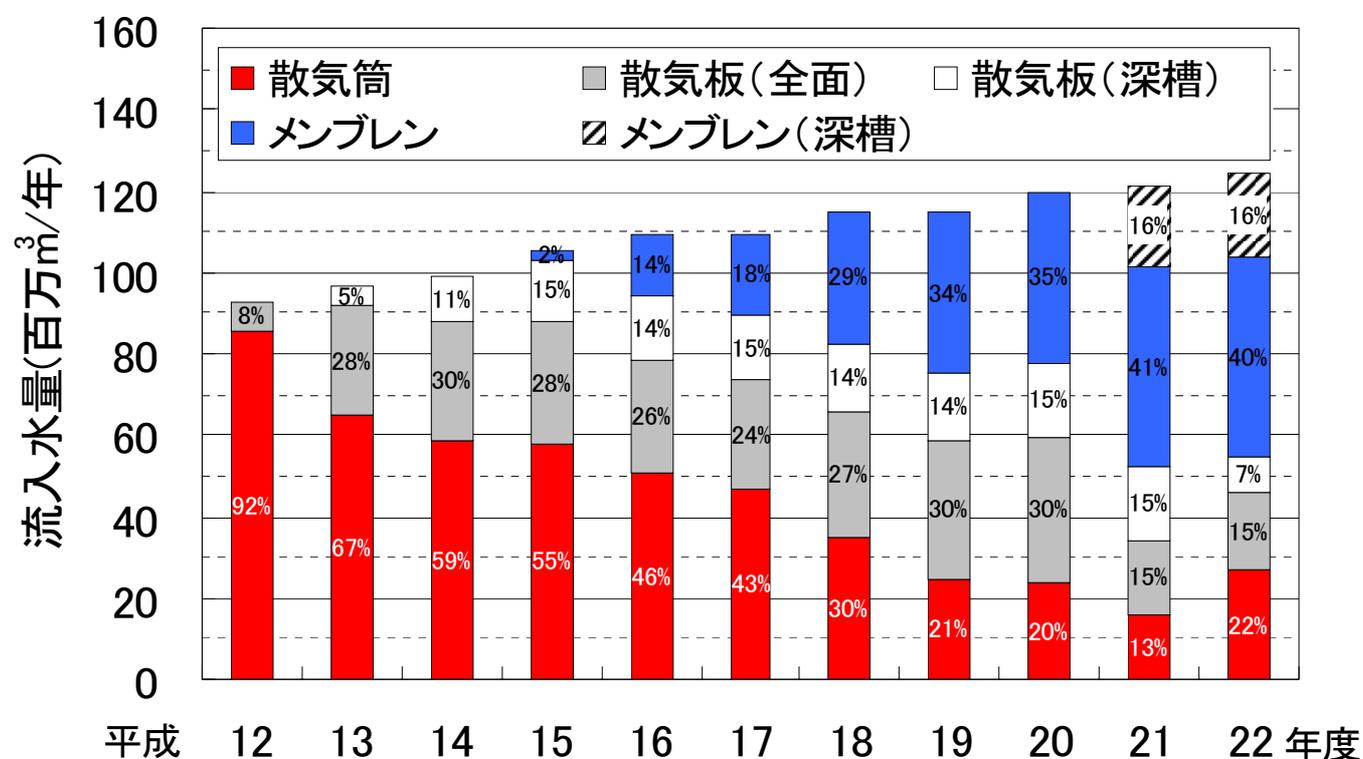


図1 流入水量と散気方式の推移

メンブレンパネル式散気装置（以下、メンブレン）は従来の装置に比べ高い酸素移動効率を有し、生物処理に必要な酸素を少ない空気量で賄えるため、省エネやCO<sub>2</sub>削減対策として期待されていますが、国内に導入されて11年しか経っておらず、経年劣化に関する事例は殆ど報告されていません。江戸川第二終末処理場では平成15年度にメンブレンの導入を開始し、8年以上の長期使用実績があります。また、従来型の機種も多く混在しています。そこで、各機種の運転データの比較・解析及びメンブレンの性能測定、強度試験を行い、省エネ効果と経年劣化状況について検証しましたので報告します。

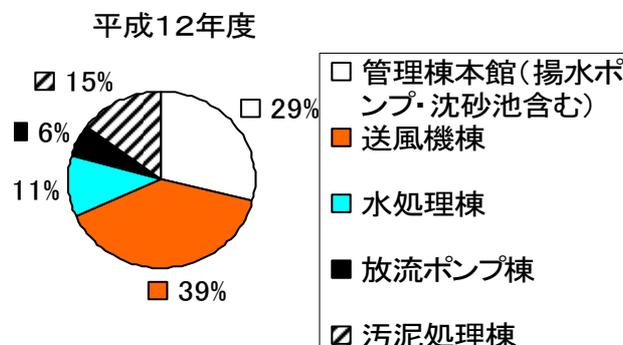


図2 処理場内電力使用量内訳

## 2. 反応槽の設備概要

表1に反応槽の運転方法及び散気方式を示します。当処理場は、糸状菌の発生頻度が高いことから第1～7系列は擬似嫌気・好気法、第8系列は嫌気・好気法を採用し、硝化促進運転を行っています。また、東系列では、嫌気・無酸素・好気法による高度処理を行っています。

表1 水処理系列の運転方法及び散気方式

施設名	処理能力	運転方法	散気方式	供用開始・更新月日	
高級処理	1系列	44,400m <sup>3</sup> /日	擬似嫌気・好気法	旋回流式（散気水深5.4m） セラミック製散気筒	1/2系列：平成11年4月 2/2系列：平成10年8月
	2系列	44,400m <sup>3</sup> /日	擬似嫌気・好気法		1/2系列：平成9年7月 2/2系列：平成8年7月
	3系列	44,400m <sup>3</sup> /日	擬似嫌気・好気法	全面曝気式（散気水深5.6m） セラミック製散気板	1/2系列：平成12年11月 2/2系列：平成12年6月
	4系列	44,400m <sup>3</sup> /日	擬似嫌気・好気法		1/2系列：平成13年5月 2/2系列：平成13年11月
	5系列	44,400m <sup>3</sup> /日	擬似嫌気・好気法	旋回流式（散気水深4.75m） メンブレ® 株式会社散気装置（A型）	1/2系列：平成18年4月 2/2系列：平成17年4月
	6系列	44,400m <sup>3</sup> /日	擬似嫌気・好気法		1/2系列：平成16年5月 2/2系列：平成15年9月
	7系列	44,400m <sup>3</sup> /日	擬似嫌気・好気法		1/2系列：平成19年4月 2/2系列：平成21年4月
	8系列	43,200m <sup>3</sup> /日	嫌気・好気法	深層旋回流式（散気水深5.4m） セラミック製散気板	1/2系列：平成13年6月 2/2系列：平成14年8月
高度処理	東系列	55,000 m <sup>3</sup> /日	嫌気・無酸素・好気法	深層旋回流式（散気水深5.0m） メンブレ® 株式会社散気装置（A型）	1/2系列：平成21年4月

## 3. 調査結果

### (1) 送風倍率の推移

散気装置の更新に伴う送風倍率の経年推移を図3に示します。送風倍率は、反応槽の溶存酸素濃度および硝化状況を踏まえ決定しています。平成12年度時点では全体の送風倍率は7.5倍ですが、高効率散気装置への導入に伴い年々低下していき、平成22年度には5.3倍となっています。また、平成15年度から導入したメンブレンに着目すると、送風倍率は4.3～4.7倍で推移し、安定して高い効率を維持しています。

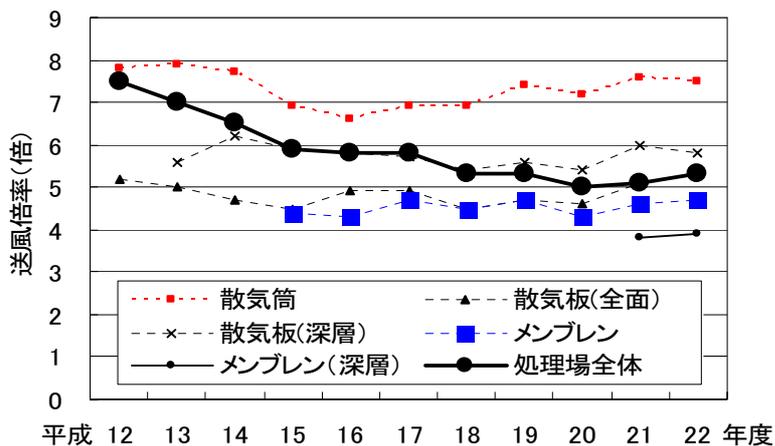


図3 送風倍率の推移

### (2) 電力使用量の推移

反応槽の電力使用量（送風動力のみ）とその内訳の推移を図4に示します。電力使用量は、平成12年度から平成15年度にかけて段階的に減少し、平成15年度以降は横ばいになり、平成21年度から増加しています。この要因として、負荷変動（水量、水質）の影響が考えられることから、必要酸素量（AOR）1kg当たりの電力使用量（電力原単位 kWh/kg-O<sub>2</sub>）を用いて電力削減効果の評価しました。図5より、平成22年度において平成12年度比約27%（0.329kWh/kg-O<sub>2</sub>/日）の電力削減効果が見られていることが確認されました。なお運転方法が同一である第1～7系列を散気方式別に見るとメンブレンの電力原単位が最も低く、散気筒に対して約38%、散気板（全面）に対して約12%の優位性が見られました（図6）。

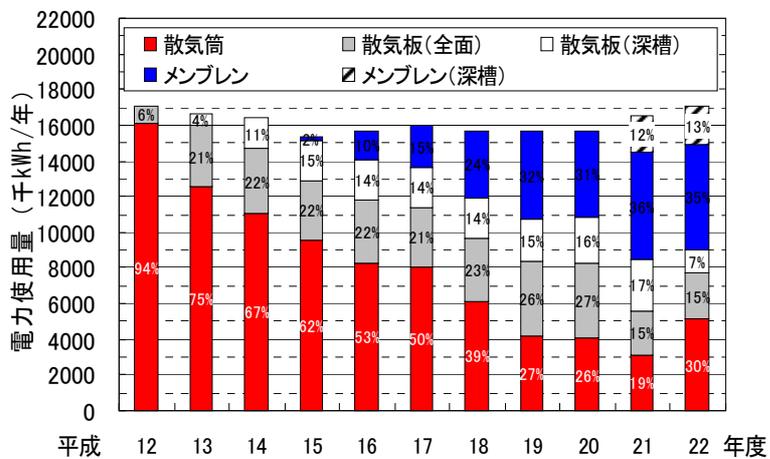


図4 電力使用量の推移

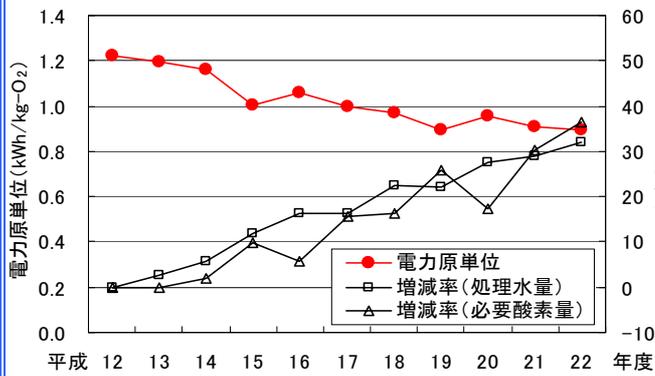


図5 電力量原単位の推移

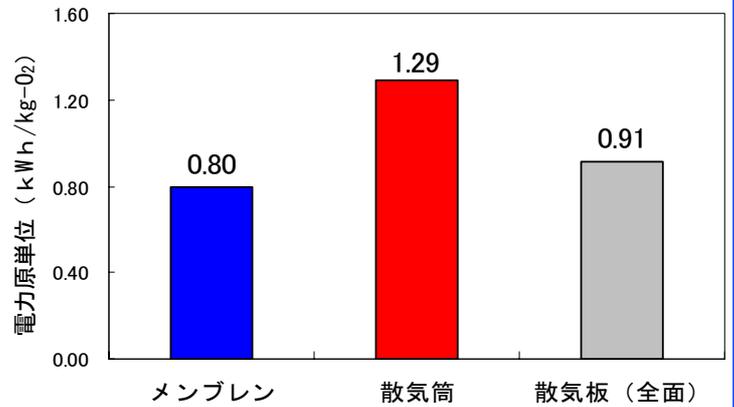


図6 散気方式別送風電力原単位

(3) 処理水質への影響

平成22年度の処理水質を表2に示します。

高級処理施設の処理水質は散気方式によらず同等であり、高効率散気装置の導入によって送風倍率が低下しても、必要な酸素供給と硝化が行われ、処理水質への影響は見られませんでした。

表2 水質試験結果 (平成22年度平均値)

散気方式	処理水質 (mg/L)			
	C-BOD	SS	T-P	T-N
散気筒	2.2	1.6	0.49	14.9
散気板 (全面)	2.2	1.7	0.39	15.5
メンブレン	2.1	1.4	0.41	13.9
散気板 (深層)	1.9	1.3	0.43	14.2

(4) メンブレンの経年劣化

供用開始から8年が経過した6系メンブレン劣化状況について調査しました。

1) 酸素移動効率測定

定期整備による休止に合わせてメンブレンを反応槽から取り外し、実パネル(150×2,500mm×8枚)を使用して試験水槽にて酸素移動効率を測定しました(写真1)。測定方法は非定常法、散気方式は全面曝気式(散気水深4.9m)としました。測定結果を表3に示します。

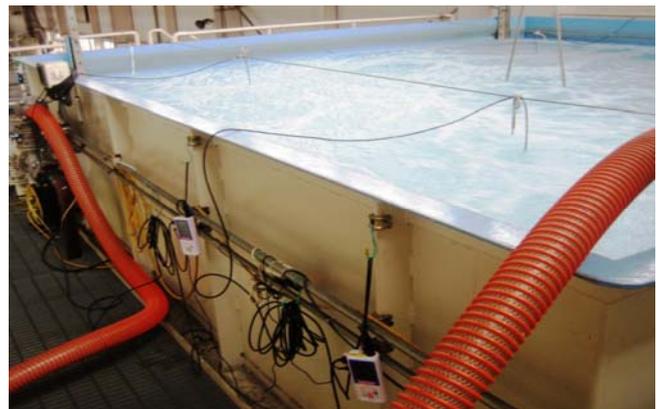


写真1 酸素移動効率測定状況

測定結果は、30.4%であり、技術マニュアルの設計値(27.4%)以上の結果となり、変化は生じていないことが確認されました。

	酸素移動効率 (%)	備考
1回目	30.3	(財)下水道新技術推進機構 技術マニュアル設計値 27.4%
2回目	30.1	
3回目	30.7	
平均	30.4	

表3 酸素移動効率測定結果

2) 散気膜強度試験

メンブレン中央部より散気膜のサンプルを切り取り、強度試験を行いました。試験結果を表4に示します。未使用膜の引張強度は16.3MPa、引裂強度は100kN/mであったのに対して、使用済み膜は18.2MPa、104kN/mでした。8年使用した膜の強度は未使用膜と同等であり、変化は生じていないことが確認されました。

サンプル名	引張強度 (MPa)		引裂強度 (kN/m)	
	長手方向	短手方向	長手方向	短手方向
使用済み膜①	16.8	18.5	105	104
使用済み膜②	17.5	19.9	106	99.8
平均	18.2		104	
未使用膜	16.2	16.3	99.9	101
平均	16.3		100	

表4 強度試験結果

#### (5) メンブレンの維持管理性

維持管理面における優位性について、メンブレンと他の散気装置を比較・評価しました(表5)。故障はいずれも0件であり、保守管理・運転操作性も同等でありました。なお、経年的な目詰まりによって第5,6系列の散気筒は約9年、第4系列の散気板(全面)は約10年で更新していますが、メンブレンは8年の使用実績において酸素移動効率、膜強度に変化は見られず、また運転圧力の上昇傾向も見られないことから更新頻度において優位になることが示唆されます。

散気方式	故障頻度	保守管理 運転操作性	更新頻度
メンブレン	0件	同等	—
その他 散気装置	0件		約9~10年

表5 維持管理性評価結果

#### 4. まとめ

##### (1) 散気装置の更新による省エネ効果

散気装置の更新により、反応槽における電力原単位を10年前に比べ約27%削減することができました。また、メンブレンは散気筒に対して約38%、散気板(全面)に対して約12%の電力削減効果を得られていることが確認できました。平成12年度からのCO<sub>2</sub>削減量の累計は約1万7千t(平成22年度処理場全体CO<sub>2</sub>排出量の約0.93年分相当)が見込まれ大幅に環境負荷が軽減されました。

##### (2) メンブレンの経年劣化状況

8年間使用したメンブレンの酸素移動効率、膜強度に劣化は見られませんでした。このことから、目詰まりによって更新した散気筒や散気板(全面)の実績と比べて、同等以上の耐用年数を有することが示唆されます。

#### 5. 終わりに

同一運転条件化における散気装置のライフサイクルコスト(LCC)を今回の調査結果で得られた省エネ効果をかみして試算すると、メンブレンは他の散気装置に対して10年以上の使用でコスト的に優位になることが確認されました。

#### 6. 今後の展望

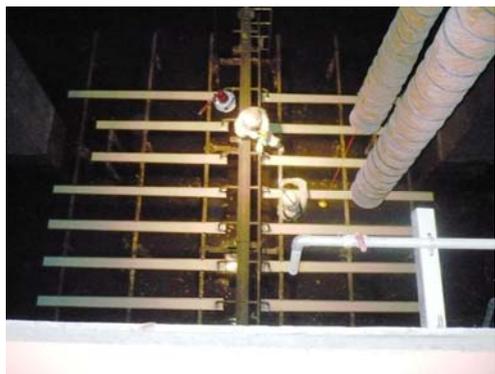
メンブレンの膜のみを交換できれば長寿命化対策として有効であると考えられます。また、メンブレンの特性を最大限発揮するための最適設置水深の検討、加えて既設との圧損差の調整が容易な装置の開発が期待されます。

## (参考) メンブレンパネル式散気装置について

メンブレンパネル式散気装置は、発生する気泡が従来の散気筒、散気板に比べ小さく酸素移動効率が高いため、生物処理に必要な酸素を少ない空気量で賄える電力削減と温室効果ガスの排出抑制効果が大きい散気装置です。

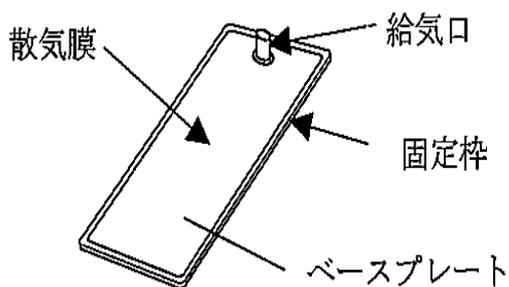
形状は細長タイプのA型と幅広タイプのP型の2種類があり、当処理場では細長タイプのA型を導入しています。

### メンブレンパネル式散気装置



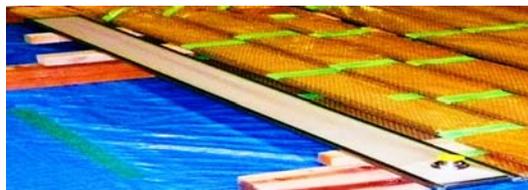
メンブレンパネル式散気装置は散気部に特殊ポリウレタン製の膜を使用し、形状は矩形で、空気を散気装置上面の給気口から取り入れる構造をした散気装置です。

### 構造図



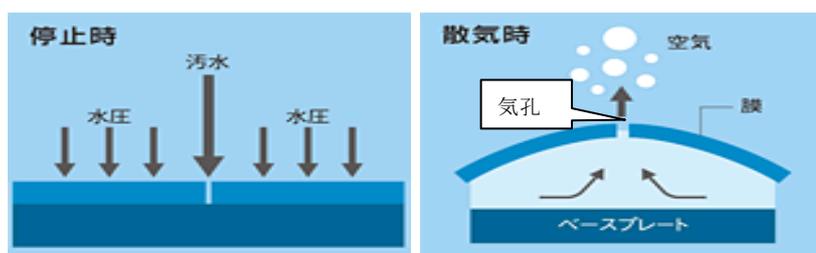
散気膜、ベースプレート、固定枠、給気口から構成されています。

### メンブレンパネルA型 (T-2.5タイプ)



細長タイプA型は (T-2.0、T-2.5、T-3.0、T-3.5、T-4.0) の5種類に分類されます。

### 停止時、散気時の散気膜の状態



メンブレンパネル式散気装置は、給気口よりベースプレートと散気膜の間に空気を吹込み散気膜が空気では膨らむと、気孔から超微細気泡が発生する仕組みになっています。

# 脱水ケーキの低含水率化に関する研究

## 1. はじめに

平成8年の下水道法改正により、発生汚泥等の減量化の努力義務規定が追加されましたが、処理場によっては未だ埋立処分が大きな割合を占めています。場外搬出する脱水ケーキの低含水率化は、脱水ケーキ発生量の低減、処理コスト削減、更には固形燃料化にあたってのコスト削減が期待できるものです。

本研究では、脱水助剤として効果が期待される未利用バイオマスの中で、千葉県内で発生量の多い木質チップなどを利用し、脱水ケーキの低含水率化を図ることを目的に行いました。

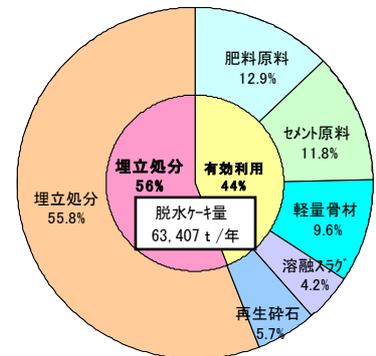


図1 平成22年度 A終末処理場脱水ケーキ処分状況

## 2. 調査・研究方法

本調査では、A終末処理場の混合汚泥（重力濃縮+機械濃縮）に脱水試験機を用いて木質チップまたはおが粉を副資材として添加した脱水試験を行い、脱水ケーキの低含水率化に関するデータを採取しました。

### (1) 使用副資材

千葉県内で豊富にある資源のうち下水汚泥に混合でき調達が容易である木質チップとおが粉を使用



写真1 木質チップ(膨張軟化処理)

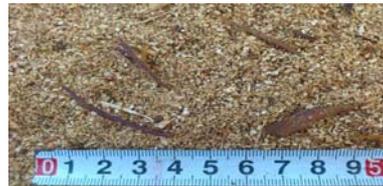


写真2 木質チップ(膨張軟化処理+破碎)



写真3 おが粉

### (2) 脱水試験機仕様と脱水フロー

表1 脱水試験機仕様

脱水機種	圧入式スクュー濃縮脱水機
スクリーン径	φ300mm
処理量	51kg-ds/h
ケーキ含水率	72%
凝集剤添加率	約1.0%
固形物回収率	95%

※上記条件  
 混合生汚泥濃度 3.5%  
 強熱減量 80~83%

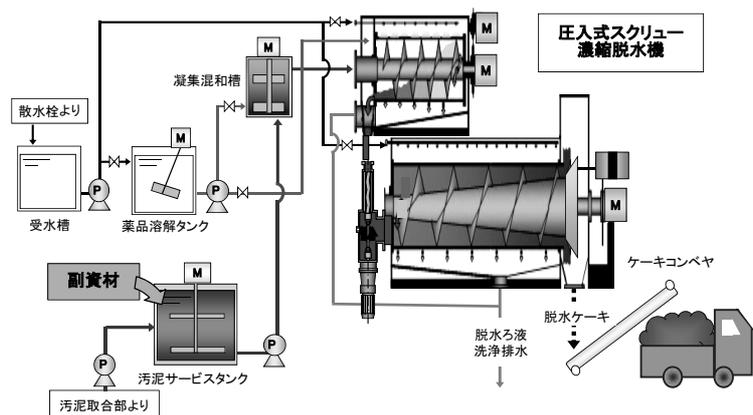


図2 脱水試験フロー

### (3) 試験方法

下水汚泥性状に差のある夏季と冬季にて以下の試験を実施。

1) 脱水試験汚泥に適合する高分子凝集剤の選定と適正添加率を机上試験にて調査。(副資材無添加)

2) 机上試験結果から凝集剤添加率を固定し、脱水試験機の標準処理量にて各副資材の添加率を変えて脱水試験を実施。

3) 各脱水ケーキの含水率を測定し、その結果から副資材を差し引いたケーキ含水率を算出することで低含水率化の効果比較を行いました。

表2 脱水試験の設定

脱水試験汚泥	生・余剰混合汚泥
処理量	標準約50kg-ds/h
凝集剤添加率	約0.4%
副資材添加率	約0~40%

### 3. 調査結果

#### (1) ケーキ含水率

副資材を含んだケーキ含水率 (A) は、木質チップ (膨張軟化処理)、木質チップ (膨張軟化処理+破碎)、おが粉の全てにおいて副資材添加率が高くなるほど低下する傾向であり、添加率約 10%では 夏季: 約-3 ポイント、冬季: 約-4 ポイント のケーキ含水率の低減が見られました。(図 3)

また、副資材量を差し引いて試算したケーキ含水率 (B) では、木質チップ (膨張軟化処理+破碎) を除き副資材添加率約 10%までケーキ含水率 (A) と同様の傾向を示し副資材が脱水助剤の役割を果たしていると見られ、約 10%を超える副資材添加率では含水率の低減効果が減少する傾向となりました。(図 4)

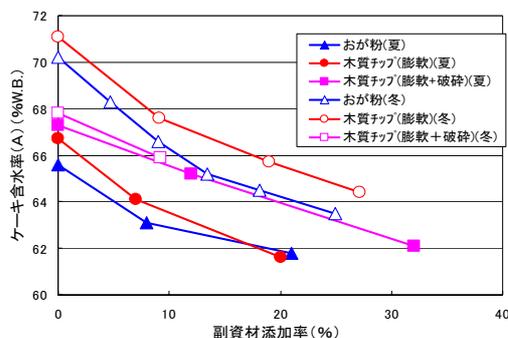


図 3 副資材添加率とケーキ含水率(A)

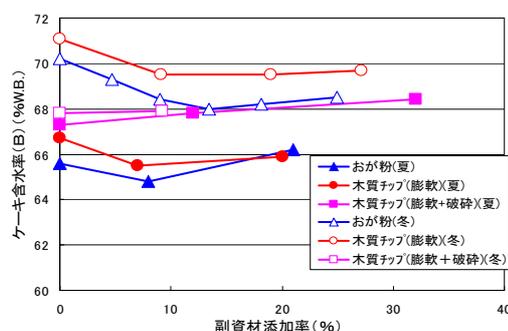


図 4 副資材添加率とケーキ含水率(B)

#### (2) 脱水処理する場合の処理コスト試算

低含水率化の効果が見られた木質チップ (膨張軟化処理) またはおが粉を添加した場合での処理コスト {薬品費+副資材費+脱水ケーキ運搬・処分費} を試算した結果、冬季における副資材添加率 10%のおが粉で約 2%コスト面での優位性が見られましたが、その他では優位性は見られませんでした。また、副資材添加率が約 10%を超えると処理コストが上昇する傾向が見られました。(図 5)

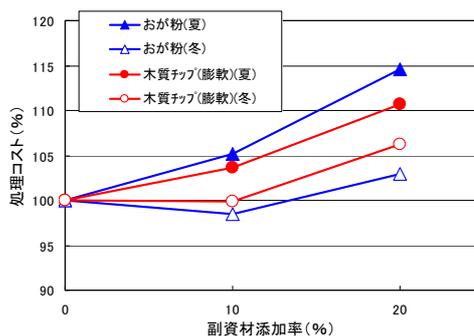


図 5 副資材添加率と処理コスト

表 3 処理コスト試算条件

凝集剤単価	820円/kg
副資材単価	2,000円/m <sup>3</sup>
脱水ケーキ処分単価	20,000円/t
脱水ケーキ運搬単価	2,700円/t

#### (3) 固形燃料用原料化を図る場合のコスト試算

下水汚泥の固形燃料化は乾燥または炭化が考えられ、原料の含水率が燃料化に必要なエネルギーに大きく影響します。そこで、某下水汚泥固形燃料化システムでは、炭化の前処理として脱水ケーキの含水率を約 25%まで乾燥させることから、その乾燥に必要なエネルギーを加味した固形燃料用原料化コスト {薬品費+副資材費+脱水ケーキ運搬費+乾燥用燃料費} を試算しました。試算結果から、冬季における副資材添加率 10%のおが粉で約 4%、木質チップ (膨張軟化処理) で約 1%コスト面での優位性が見られ、副資材添加率が 20%を超えると全てにおいて優位性は見られない結果となりました。

(図 6)

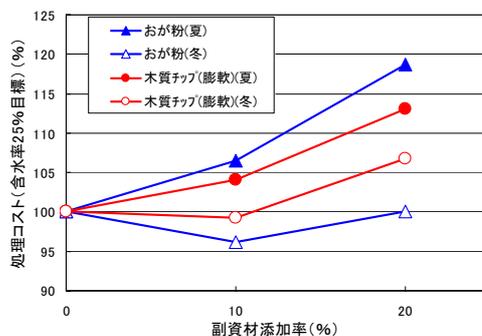


図 6 副資材添加率と処理コスト(含水率25%目標)

#### 4. まとめ

##### (1) 副資材添加による脱水ケーキの低含水率化技術の検証

今回の試験結果から副資材を活用しての脱水ケーキの低含水率化技術は、一定の条件範囲内で効果が発揮されることが確認できました。特に木質チップ（膨張軟化処理）またはおが粉を副資材として約10%添加した脱水処理において、脱水ケーキの場外搬出量の削減が期待できます。また、季節による汚泥性状の差によるものと考えられますが、夏季に比べ冬季での効果が高い傾向を示しました。

##### (2) 脱水処理する場合の処理コスト削減効果

コスト削減効果は、冬季におけるおが粉約10%添加時のみ効果がみられる結果となりましたが、夏季においては、おが粉より木質チップ（膨張軟化処理）の優位性が高く見られることから、年間を通してのコスト削減効果を得るためには季節変動に対応した副資材の使い分けなどの調査が必要と考えます。

##### (3) 固形燃料化への優位性

下水汚泥の固形燃料化を図る場合、冬季において、おが粉または木質チップ（膨張軟化処理）を添加することで固形燃料用原料化コストの削減に期待できる結果となりました。

また、副資材を添加することで、より高カロリーの燃料化が図れる可能性を期待し発熱量を調査しましたが、下水汚泥脱水ケーキ、木質チップ（膨張軟化処理）、おが粉自体に大きな差は見られませんでした。

表4 副資材添加による脱水性及び処理コストの評価

		脱水性 ケーキ含水率(B) (副資材を差し引いて 試算したケーキ含水率)	処理コスト		評価
			産業廃棄物処分 薬品費+副資材費+ 脱水ケーキ運搬・処分費	固形燃料用原料化 (ケーキ含水率25%目標) 薬品費+副資材費+ 脱水ケーキ運搬費+乾燥用燃料費	
夏季	おが粉	○ (含水率0.8ポイント低減)	×	×	△
	木質チップ (膨張軟化処理)	○ (含水率1.2ポイント低減)	×	×	△
	木質チップ (膨張軟化処理+破砕)	×	— (脱水性に効果が期待できないため、試算対象外)		×
冬季	おが粉	○ (含水率1.8ポイント低減)	○ (約2ポイントのコスト削減)	○ (約4ポイントのコスト削減)	○
	木質チップ (膨張軟化処理)	○ (含水率1.6ポイント低減)	×	○ (約1ポイントのコスト削減)	△
	木質チップ (膨張軟化処理+破砕)	×	— (脱水性に効果が期待できないため、試算対象外)		×

凡例  
○:効果有り  
×:効果なし  
△:部分的に  
効果あり

※1 表中の値は、副資材無添加に対する副資材添加率(約10%)のものである。

※2 脱水機処理量:標準性能(51kgDS/h) 高分子凝集剤添加率:(0.4%/TS)

以上から脱水助剤としての副資材を評価すると、副資材購入後の前処理の必要が無く取扱いが容易なおが粉を利用した方が、①脱水ケーキ発生量が低減できる。②脱水処理する場合の処理コストが削減できる。③固形燃料化など有効利用する場合のコスト削減で優位性が高い。なお、今回は副資材の単価を2千円/m<sup>3</sup>と仮定すると、各副資材の実勢価格によってはコスト面での優位性評価が変わるため、状況に応じた確かな選択が必要になります。最後に間伐材などの未利用資源を活用し脱水ケーキの低含水率化を図ることは、維持管理コスト削減や下水汚泥の有効利用に繋がり、敷いては循環型社会や低炭素社会への貢献になるものと考えます。

【参考文献】日本下水道事業団：下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書平成20年3月  
千葉県：千葉県バイオマス活用推進計画（資料編）平成23年度





発行：公益財団法人 千葉県下水道公社

TEL 043-278-1631 <http://www.chiba-gesui.or.jp>