

# 下水汚泥濃縮乾燥技術 の実用化研究

## 1. 研究目的

汚泥の溶融処理プロセスでは、大量の熱エネルギーが発生し、その一部は一次空気の余熱や脱水ケーキの乾燥に用いられているものの、まだかなりの余剰熱エネルギーがある。大阪府の実績においても、現状のプロセスでは全体の約40%がこの余剰熱エネルギーとなっている。このため、熱エネルギーをより有効に利用できる技術の開発が望まれている。

本研究の対象とする技術は、汚泥を遠心濃縮脱水機で脱水した後、遠心薄膜乾燥機により乾燥し溶融炉に供給するもので、濃縮と脱水を一体化することで汚泥処理工程が簡素化されるとともに、比較的高含水率の汚泥の乾燥に適した乾燥機の採用で、溶融炉において発生する熱エネルギーの有効利用と、濃縮脱水における凝集剤の低減をはかるものである。

図-1に対象技術のフローを示す。

本研究は、新技術活用モデル事業として平成6年度～9年度の4カ年にわたって、大阪府と財団法人下水道新技術推進機構が共同で実施するもので、上記技術について、設計手法、運転管理手法等の評価を行い、実用化のための手法を確立することを目的とするものである。

なお、大阪府では本新技術を

New Expanded (Sludge) Treatment System

(新規に発展させた汚泥処理システム)

の頭文字をとり、「NEXTシステム」と命名している。

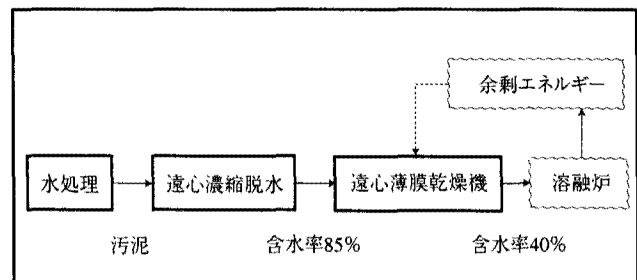


図-1：対象技術のフロー

## 2. 研究内容

### 2.1 研究項目

本実用化研究の研究項目は以下のとおりである。

- (1) 汚泥処理プロセスの簡素化及び省スペース化
- (2) 溶融炉からの余剰熱エネルギーの有効利用
- (3) 汚泥処理プロセス運転経費の節減

### 2.2 研究工程及び内容

表-1に、本研究の全体工程を示す。

本年度は、実施設(80t/日汚泥溶融設備)で春季データ(4・5月)、夏季データ(7・8月)の収集を行い、平成8年度の冬季データ及び平成7年度の実証機予備実験データと合わせ、性能評価の総まとめ、実機による乾燥機ブレードの摩耗に対する耐久調査、本システムと従来システムとの比較の他、設計手法の検討評価の見直し、運転管理手法の確立を行った。

表-1: 全体工程

項目	H 6	H 7	H 8	H 9
設計手法の検討・評価	—			
実証実験計画の検討	—			
実証機による予備実験		—		
予備実験結果のまとめ			—	
実機による性能評価実験			—	
まとめ				—

### 2.3 遠心薄膜乾燥機の概要

遠心薄膜乾燥機の動作原理は、供給された汚泥を回転する分配リングとブレードにて薄膜状にし、加熱蒸気でこの薄膜状の汚泥を乾燥脱水するものである。すなわち本装置は従来の汚泥を機械的に脱水する方法とは異なり、加熱蒸気を用いることにより低含水率の乾燥汚泥が得られるとともに、汚泥を薄膜状にすることにより熱伝達効率が良好となり、汚泥性状に左右されにくい乾燥ができる方法である。

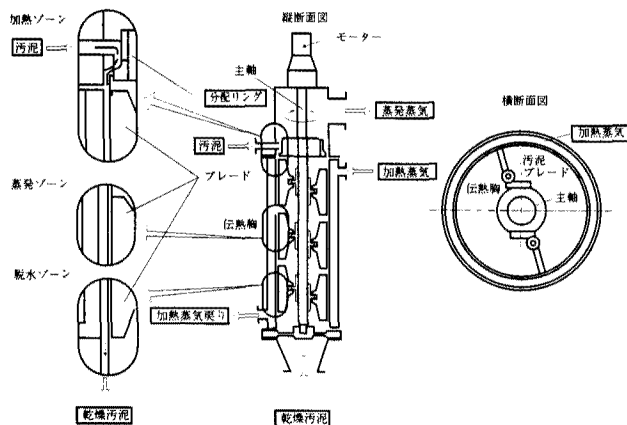


図2: 遠心薄膜乾燥機の原理

## 3. 研究結果

### 3.1 実証機と実機による実験結果の総まとめ

#### 3.1.1 遠心濃縮脱水設備

平成7年度に行った実証機（小型機）、平成8～9年度で行った実機による性能評価実験の結果は次の通りである。

#### (1) 汚泥性状

##### ① A汚泥

TSは、小型機実験時が平均1%台であるがバラツキが多い。これは、実験設備の都合によるものである。

VTS/TSは、小型機実験時の夏季が55～70%であるが、これを除くと70～75%となっている。

また、粗浮遊物（濃縮脱水の促進因子）は、何れの実験時も2.2～10.9%と混合生汚泥として低い値である。

粗タンパク（濃縮脱水の阻害因子）は、小型機実験時が19～28.7%と低いが、実機実験時は36.5%～49.7%と高い値である。

##### ② B汚泥

TSは、小型機実験時が3～4%、実機実験時が4～4.5%と実機実験時の方がやや高めている。

VTS/TSは、何れの実験時も70～80%程度である。又、粗浮遊物は、3.3～13.6%と混合生汚泥として低い値である。

粗タンパクは、実機実験時の春季、夏季は、17.8%、28.7%と比較的低いが、これを除くと36～41.1%と高い。

これらの結果から、小型機実験時、実機実験時と約2年間にわたる汚泥性状は、B汚泥、A汚泥とも濃縮脱水性の良い汚泥とは言えない。

#### (注記)

A汚泥：処理場の第1水処理系列の最初沈殿池から引抜かれた混合汚泥（濃度約1%）

B汚泥：処理場の第2水処理系列の余剰汚泥を遠心濃縮した汚泥と、第2水処理系列の最初沈殿池汚泥と第1水処理系列の混合生汚泥とを合わせて重力濃縮した汚泥を混合した汚泥（濃度約3%）

#### (2) 性能実験

##### ① 供給量の影響

図-3～4に供給量とケーキ含水率・SS回収率の関係を示す。

実証機（小型機）は、供給量を増加させた場合SS回収率が低下する傾向がある。これはキャリアオーバー現象によるものである。

実機にこの傾向が見られないのは、標準処理量を大幅に上回る量を供給していないためである。実証機、実機ともそれぞれの標準処理量60kg/h、360kg/hにおいては十分に良好な処理を行うことができた。

##### ② 薬注率の影響

図-5～6に薬注率とケーキ含水率・SS回収率の関係を示す。

薬注率は、下げるとケーキ含水率が高くなりSS回収率が低下する傾向がある。

実証機（小型機）、実機ともシーズンによって適正薬注率にわずかに変化はあるが、薬注率0.4%以下で良好な処理が行えた。

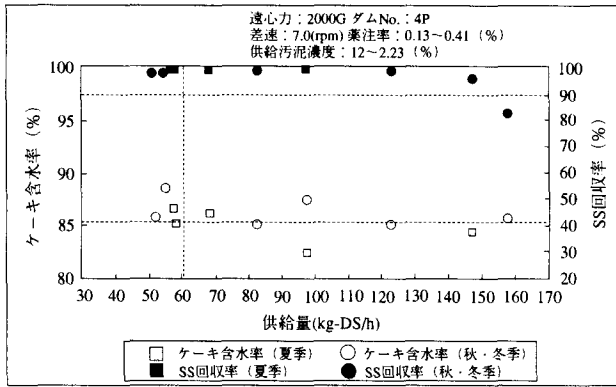


図-3: 供給量とケーキ含水率・SS回収率の関係(実証機・A汚泥)

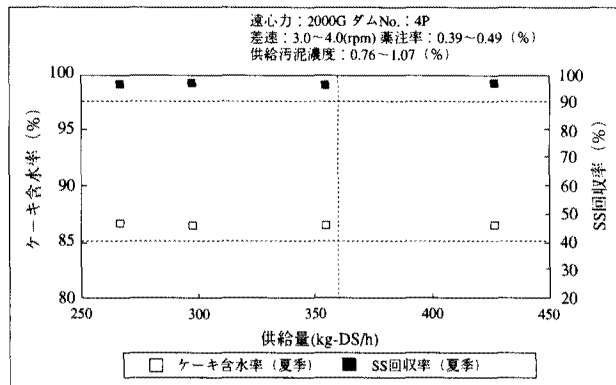


図-4: 供給量とケーキ含水率・SS回収率の関係(実機・B汚泥)

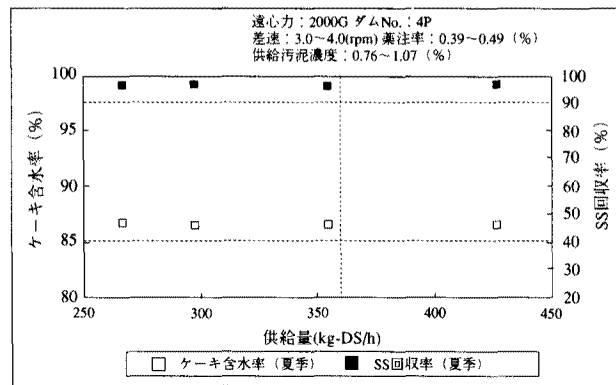


図-5: 薬注率とケーキ含水率・SS回収率の関係(実証機・B汚泥)

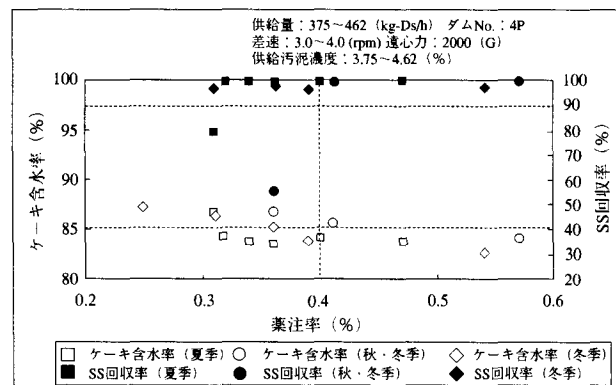


図-6: 薬注率とケーキ含水率・SS回収率の関係(実機・B汚泥)

(3) 運転操作性実験

図-7に、差速一定制御運転におけるケーキ含水率・SS回収率の変化を示す。

① 差速一定制御運転, トルク一定制御運転

差速一定制御運転は、実証機(小型機)、実機ともすべてのシーズンにおいてケーキ含水率85%前後、SS回収率97%以上と安定して良好な運転が行えている。

なお、長時間の汚泥性状の変化に対しては、設定差速を変えることで対応しなくてはならないが、性状変化があまりない場合、処理量も変化しても設定差速を変えず差速一定制御運転で良好な運転ができる。

一方、トルク一定制御運転は、汚泥性状によってトルクとケーキ含水率の関係が変わってくるため、長時間で考えた場合、設定トルクを頻繁に変える必要があり、差速一定制御運転より劣ると考えられる。

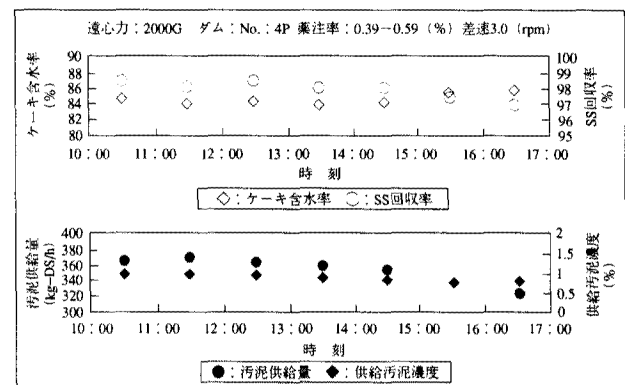


図-7: 差速一定制御運転におけるケーキ含水率・SS回収率の変化(実機・A汚泥)

② 固形物供給量, 薬注率一定制御運転

図-8に、固形物・薬注率一定制御運転におけるケーキ含水率・SS回収率の変化を示す。

本運転は、固形物量260kg/h、薬注率0.4%に設定した運転であり、両方ともほぼ安定しているが、固形物量は設定値よりやや高め、薬注率は設定値よりやや低めとなった。

これは供給汚泥濃度計の計測値が手分析よりやや低めであったためであるが、ケーキ含水率85%前後、SS回収率99%以上と安定して良好な運転が行えている。

3.1.2 遠心薄膜乾燥設備

(1) 脱水ケーキ供給量と乾燥ケーキ含水率の関係

図-9に、脱水ケーキ供給量と乾燥ケーキ含水率の関係を示す。

実証機、実機を通して200ℓ/h付近の低流量域

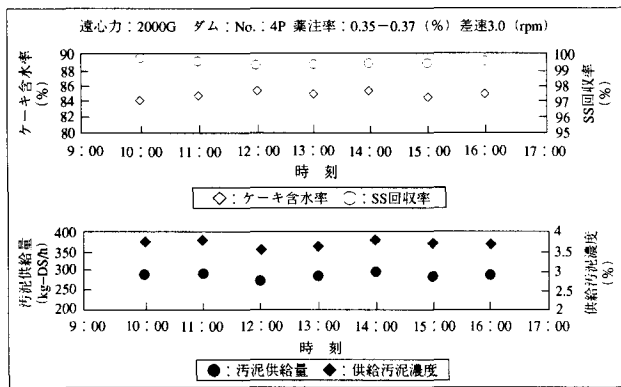


図-8：固形物・薬注率一定制御運転におけるケーキ含水率・SS回収率の変化 (実機・B汚泥)

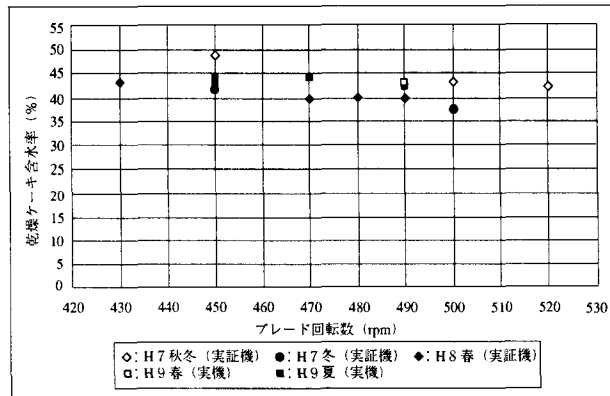


図-10：ブレード回転数と乾燥ケーキ含水率の関係

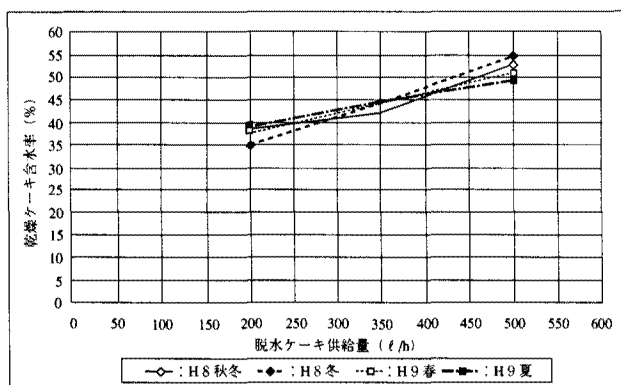


図-9：脱水ケーキ供給量と乾燥ケーキ含水率の関係

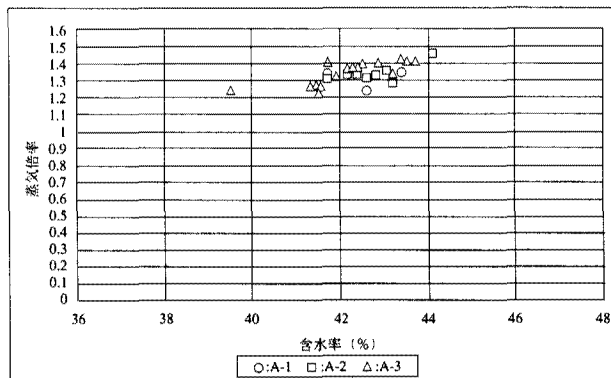


図-11：冬季蒸気倍率 (実機試験)

における過乾燥傾向が少ないという特性を示している。また、1年を通して特性が安定していることから、安定した乾燥処理が行えている。

(2) ブレード回転数と乾燥ケーキ含水率の関係

図-10に、ブレード回転数と乾燥ケーキ含水率の関係を示す。

実証機試験、実機試験を通して、ブレード回転数を上げることで乾燥ケーキ含水率を低減する効果は認められるものの、季節によって効果の程度は異なり、顕著な効果は見られなかった。

(3) 蒸気倍率

図-11に、冬季の蒸気倍率を示す。

蒸気倍率は、実証機試験において、夏季が1.0~1.3の範囲であったが、秋・冬季は1.2~1.5であった。一方、実機試験においては、春・夏・冬季で1.2~1.4程度であった。

蒸気倍率とは、理論必要蒸気量に対する使用蒸気量の倍率を言う。

3.1.3 NEXTシステム

(1) システムとしての運転確認

本システムの遠心濃縮脱水設備及び遠心薄膜乾燥設備は、3シーズン (冬・春・夏季) の汚泥に

対し所定性能を発揮すること、熔融炉からの発生蒸気を乾燥工程に使用することでエネルギーの有効利用を図ることが確認できた。

(2) システムの返流水負荷

濃縮脱水機の分離液及び乾燥排ガスのスクラバー排水は、返流水負荷として小さい。

(3) システムの蒸気バランス

表-2に、蒸気バランスの測定結果を示す。

システムの蒸気バランスは、ケーキ発熱量、放熱量に影響を受けるが春季・夏季運転からみると脱水ケーキ含水率を86%以下とすることでバランスすることがわかった。

3.2 乾燥機ブレードの摩耗に対する耐久性調査結果

摩耗箇所は、7~10段を中心に摩耗が進行している。また、1年間 (運転時間7,000~8,000時間) での摺動部摩耗量が0.5mmであり、限界摩耗量を2mmとしていることから設計仕様の交換周期3年は達成できる見込みである。一方、ブレード先端部の摩耗は、段落による摩耗量の差異が見られなかった。

表-2: 蒸気バランス測定結果

	測定日	ケーキ処理量			蒸気量 (kg/h)			ボイラー用灯油 (L/日)
		t-DS/日	ケーキ含水率 (%)		発生	使用	余剰	使用量
			脱水	乾燥				
	設計値	12.0	85.0	40.0	4077	3845	232	0
冬季	'96.12.17	13.8	84.5	40.3	4100	3970	130	0
春季	'97. 4.22	11.2	86.6	36	3410	3411	▲1	259
	'97. 4.23	11.3	85.3	~	3370	3131	239	0
	'97. 4.24	10.9	85.6	40	3410	3061	349	0
	'97. 4.25	12.6	86.9	~	3530	3765	▲215	1007
夏季	'97. 8. 4	12.8	84.8	37	3871	3084	787	0
	'97. 8. 5	13.0	84.9	~	3881	3262	619	0
	'97. 8. 6	(8.5)	83.2	40	3345	2413	932	0

注記 1: 余剰汚泥量は発生蒸気量から使用蒸気量(乾燥機他)を差し引いたものである。  
2: 汚泥性状分析値  
設計値: ケーキ発熱量 4292kcal/kg-DS VS 74.0%  
12月17日: ケーキ発熱量 4330kcal/kg-DS VS 80.5%  
4月23日: ケーキ発熱量 4100kcal/kg-DS VS 75.5%  
8月26日: ケーキ発熱量 4180kcal/kg-DS VS 74.3%

の比率であった。

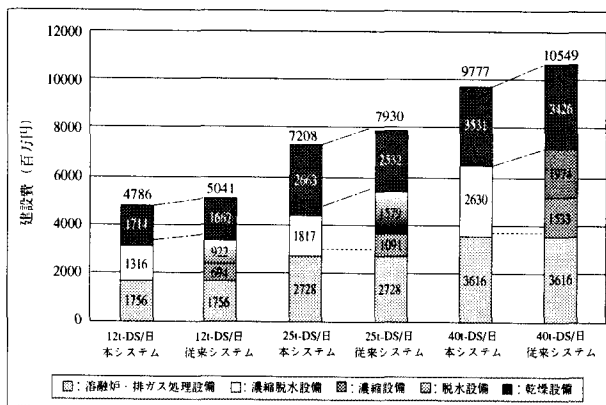


図-13: 建設費比較

### 3.3 本システムと従来システムの比較結果

システムの比較は、溶融炉での固形物処理量が12t-DS/日、25t-DS/日、40t-DS/日の3ケースの規模に対し、機械設備の設置スペース、建設費、維持管理費について比較検討を行った。

#### 3.3.1 設置スペース (用地面積)

図-12に、設置スペース比較を示す。

濃縮～乾燥設備の設置スペースで比較すると、3ケースの規模とも本システムの方が従来システムよりも約20%少ない面積である。

これは、主に濃縮と脱水工程を1工程に簡略化した効果によるものである。

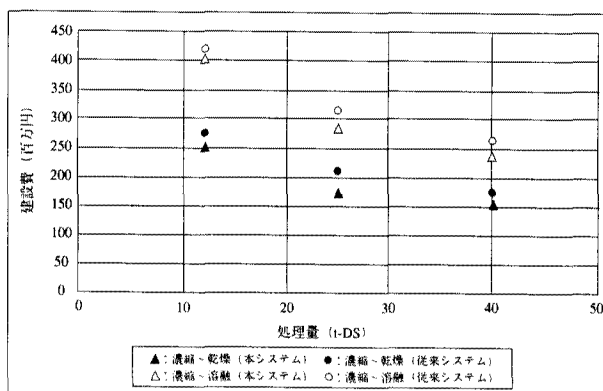


図-14: 建設費比較 (t-DS当たり)

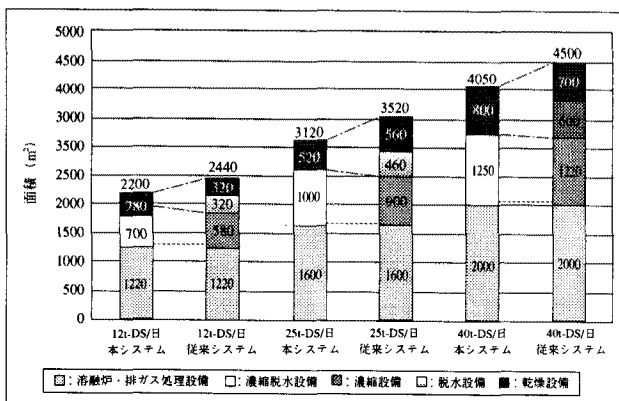


図-12: 設置スペース比較

#### 3.3.2 建設費

図-13～14に建設費比較を示す。

濃縮～乾燥設備の機械設備の建設費で比較すると、3ケースの規模とも本システムの方が従来システムよりも約10%程度安価である。これは、設置面積と同様に主に濃縮工程と脱水工程を1工程にした効果によるものである。また、ton当たりの建設費で見ると、両システムともスケールメリットは同程度

#### 3.3.3 維持管理費

##### (1) ランニングコスト

図-15～16にランニングコスト比較を示す。

濃縮～乾燥設備の機械設備のランニングコストで比較すると、3ケースの規模において本システムの方が従来システムより約16～18%安価である。

なお、ton当たりのランニングコストで見ると、本システムの乾燥設備は処理規模の増加に対して乾燥機台数も増加するためスケールメリットはにくい傾向にある。

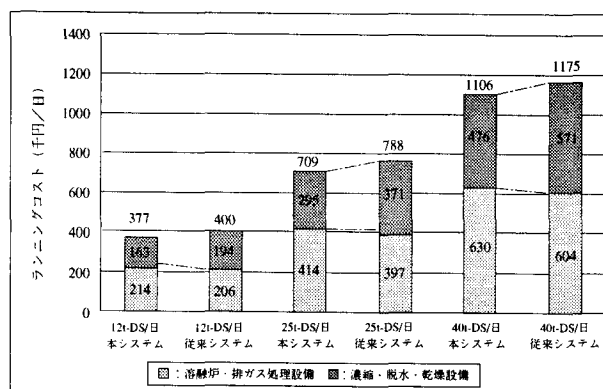


図-15: ランニングコスト比較

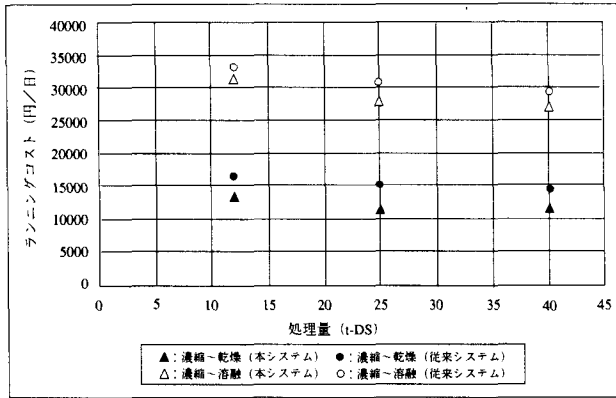


図-16: ランニングコスト比較 (t-DS当たり)

(2) 維持管理費

図-17に、維持管理費比較を示す。

補修費は、処理規模によって上下にばらつきがあり、両システムはほぼ同等と考えられる。

濃縮～乾燥設備の機械設備のランニングコストと補修費を合計した維持管理費で比較すると、3ケースの規模において本システムの方が従来システムより約6～10%安価であった。

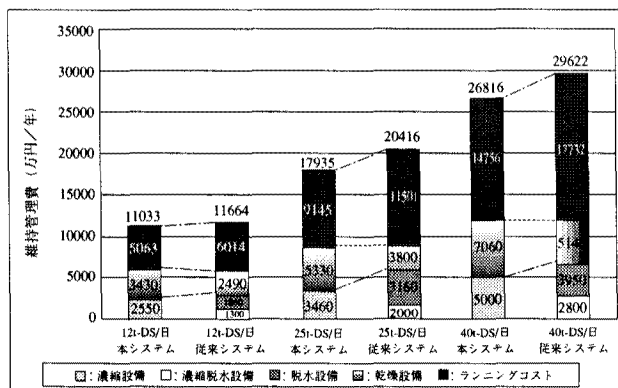


図-17: 維持管理費比較 (年間のランニングコスト+補修費)

3.4 設計手法の見直し結果

実機による運転実績で得られた知見をもとに、平成6年度に作成した設計マニュアルを見直した。

また、汚泥貯留槽と補助ボイラーの役割及び使用方法を追加した。

(1) 設計マニュアルについて

主な見直しは、脱水ケーキ含水率を85±2%としていたがシステムの蒸気バランスの観点から、今回の対象汚泥においては86%以下とした。

(2) 汚泥貯留槽の役割について

汚泥貯留槽は、日常の汚泥濃度の経時変化に対応するために設置するが、合流式下水道において

は、雨天時の流入SS変化に伴う汚泥濃度と汚泥量の変化に対応するための役割を担うものとする。

また、重力濃縮槽がある場合は、通常時は汚泥貯留槽として、雨天時に流入SSが増加した時に重力濃縮槽として使用する。

(3) 補助ボイラーの使用方法の見直し

現在の補助ボイラーは、システム立ち上げ時などの使用を前提として設計されているが、本ボイラーを蒸気制御系に組み込むことで、システムの熱不足時に対応できるようにする。

3.5 運転管理手法の確立

実機による運転実績で得られた知見をもとに、各設備の性能が良好に発揮できるよう、また、プラント全体の円滑な運転管理ができるよう運転管理手法を整理した。

4. 本年度の研究結果のまとめ

4.1 遠心濃縮脱水設備の性能実験結果

- (1) 薬注率は、シーズンによってわずかに差があるが、0.4%以下が適正であった。
- (2) 実証機(小型機)、実機とも標準処理量(60kg/h, 360kg/h)において良好な運転が行えた。
- (3) 差速一定制御運転を行えば処理量を変化させてもケーキ水分はほとんど変化せず安定した運転が行え、長期的な汚泥性状の変化には差速の設定値を変えることで対応できる。
- (4) 固形物・薬注率一定制御運転も安定した運転が行え、前記の差速一定制御運転と組み合わせた運転が適正である。

4.2 遠心薄膜乾燥設備の性能実験結果

- (1) 脱水ケーキ供給量と乾燥ケーキ含水率の関係は、比例関係にあり低流量域においても過乾燥にならず35%程度であった。  
また、定格供給量(350l/h)における乾燥ケーキ含水率は、40~45%程度であった。
- (2) ブレード回転数と乾燥ケーキ含水率は、回転数をあげることでケーキ含水率が低下する傾向にあるものの、季節により多少差異がある。
- (3) 蒸気倍率は、年間を平均すると約1.3倍であった。

4.3 NEXTシステム

- (1) 遠心濃縮脱水機の分離液や乾燥排ガススクラバ

一の排水は、返流水負荷として小さい。

- (2) システム全体の熱収支は、ケーキ発熱量や放熱量に影響をうけるが、脱水ケーキ含水率を86%以下とすることで蒸気バランスが成立することを確認した。

#### 4.4 乾燥機ブレードの摩耗に対する耐久性調査結果

- (1) 1年間のブレード摺動部での摩耗量が0.5mmであり、設計摩耗量から判断すると交換周期3年は達成できる見込みである。
- (2) ブレード先端部の摩耗量は、段落によって摩耗量の差異の傾向が見られなかった。

#### 4.5 本システムと従来システムの比較結果

溶融炉で固形物処理量が12t-DS/日、25t-DS/日、40t-DS/日の3ケースの規模に対し、機械設備の設置スペース、建設費、維持管理費について比較検討を行った結果、

- (1) 設置スペースは、従来システムより約20%少ない設置面積で済み、濃縮、脱水工程の簡素化により省スペース化を図ることができる。
- (2) 建設費（機械設備費）は、従来システムより濃縮、脱水工程の簡素化により約10%安価である。
- (3) 補修費は、ほとんど大差ないと考えられるが、ランニングコストを含めた維持管理費は、従来システムより約6～10%安価であり、運転経費の節減を図ることができる。

#### 4.6 設計手法の見直し、運転管理手法の確立

実機による運転実績で選ばれた知見をもとに

- (1) 平成6年度に作成した設計マニュアルを見直すとともに、汚泥貯留槽及び補助ボイラーの役割、使用方法を追加した。
- (2) 各設備、プラント全体の円滑な運転ができるよう運転管理手法を整理した。

## 5. 全体の研究結果のまとめ

- (1) 汚泥処理プロセスの簡素化及び省スペース化  
従来システムに対し、濃縮・脱水工程の簡素化により設置面積で、約20%の省スペース化を図ることが可能である。
- (2) 溶融炉からの余剰熱エネルギーの有効利用  
システム全体の熱収支は、ケーキ発熱量や放熱量に影響をうけるが、脱水ケーキ含水率を86%以下とすることで蒸気バランスが成立し、余剰熱エネルギーの有効利用が可能である。
- (3) 汚泥処理プロセスの運転経費の節減  
従来システムに対し、建設費は約10%、補修費はほとんど大差ないと考えられるが、ランニングコストを含めた維持管理費は、約6～10%の節減が可能である。

●この研究に関する問い合わせは

研究第一部長	山根	昭
研究第一部主任研究員	横川	佳重
研究第一部研究員	平野	裕司
研究第一部研究員	高嶋	健一