

脱水機古紙添加設備の 実用化に関する研究

1. 目的

今日、下水汚泥の性状は、全国的に生活水準の向上等の影響で、年々有機質分が増加し、これに伴い脱水性も低下している。さらに大都市では、汚泥集約処理による長距離輸送や長時間滞留によって、汚泥の腐敗が進行し、ますます脱水性が悪化すると懸念されている。

東京都において、汚泥が難脱水性に変質する過程を調査したところ、汚泥に含まれる繊維分が、汚泥腐敗による経時変化で分解減少するためであることが明らかとなった。そこで東京都では、脱水助剤として古紙繊維を添加する手法を見だし、小台処理場にその実証プラントを導入して脱水性能調査を行っている。

このような中、本実用化研究は、東京都と(財)下水道新技術推進機構が、平成9年度から平成10年度の2カ年にわたり、新技術活用モデル事業として共同研究を実施したものであり、葛西処理場実用施設への導入に向け、設備の大規模化、古紙収集システムの確立及び本技術の普及のために調査研究を行ったものである。

研究の目的としては、

- ① 各種難脱水汚泥への適用効果
- ② 各種脱水機への適用効果
- ③ 汚泥集約処理に対応する設備システムの開発
- ④ 添加設備導入時における機能評価

等であり、このうち、平成10年度は③～④の調査を行った。

2. 研究内容

本年度の実用化研究の研究項目と研究内容は以下のとおりである。

- 1) 小台処理場実設備調査
- 2) 葛西処理場実用施設導入前調査
- 3) 葛西処理場実用施設導入後調査
- 4) 中小規模向け古紙供給・添加システムの提示
- 5) 古紙添加脱水システムの意義

2-1 小台処理場実設備調査

小台処理場の実証プラントにおいて、年間を通しての目標含水率一定制御運転、脱水能力が低下した場合の処理量増加運転等を24時間連続運転によって実証した。

2-2 葛西処理場実用施設導入前調査

葛西処理場実用施設導入前調査として、脱水機供給汚泥の汚泥性状、脱水性を把握するため、室内脱水試験、焼却熱バランス調査等を行った。

2-3 葛西処理場実用施設導入後調査

葛西処理場実用施設導入後調査として、古紙添加設備の性能評価を行うため、運転条件と脱水性能の関係調査、補助燃料最小化の実証、古紙添加設備の改善点の調査、使用古紙の性状調査等を行った。

2-4 中小規模向け古紙供給・添加システムの提示

中小規模向け古紙添加脱水システムを構築するために、古紙の種類と共に、古紙の供給・添加システムを検討して提案した。

2-5 古紙添加脱水システムの意義

古紙添加脱水システムの意義について、2ヶ年の研究結果に基づき、汚泥の安定処理、脱水後工程（焼却等）の効率化、経済性の評価、社会的貢献と将来展望についてまとめた。

3. 研究成果

3-1 小台処理場実設備調査

1) 目標含水率一定制御運転調査、処理量増加運転調査

小台処理場において、5月から12月にかけて11回（内10回含水率制御）の連続運転調査を行った。

制御目標含水率は、現行含水率約74~75%に対して69~72%に設定し、目標値に対して概ね±1.0~1.5%で制御できた。

表-1 制御運転調査結果

RUN	月日	目標含水率 (%)	処理量 (m ³ /h)	ろ布速度上下限値 (m/min)	制御結果	降雨等の特記事項
1	5/28, 29	71~69	16	1.8~0.9	±1.0で制御	途中で目標含水率を変更
2	6/18, 19	71	16	1.8~0.9	±1.0	
3	6/25, 26	71	16	1.8~0.9	±1.0	汚泥濃度は安定
4	7/9, 10	71	16	1.7~1.0	±1.5	降雨で汚泥濃度が変化
5	7/29, 30	70	16	1.7~0.9	±1.0	
6	8/25, 26	70	16	1.7~0.9	±1.0	汚泥濃度は安定
7	9/7, 8	70	16	1.6~0.9	±1.0	降雨で汚泥濃度が変化
8	9/21, 22	70	16	1.6~0.9	±1.5	降雨で汚泥濃度が変化
9	10/8, 9	70	16	1.4~0.9	±1.0	
10	11/4, 5	72	21	1.5~1.0	±1.0	処理量増加 (3割)
11	12/8, 9	-	20	1.2	-	処理量増加 (2.5割)

2) 脱水ケーキ保有熱量の安定化について

連続運転調査において、ケーキ保有熱量を計算した結果、対照機に比較して熱量が増加すると同時にその変動幅が1/2以下に減少し、焼却安定化に寄与することが確かめられた。

3) 汚泥性状の考察

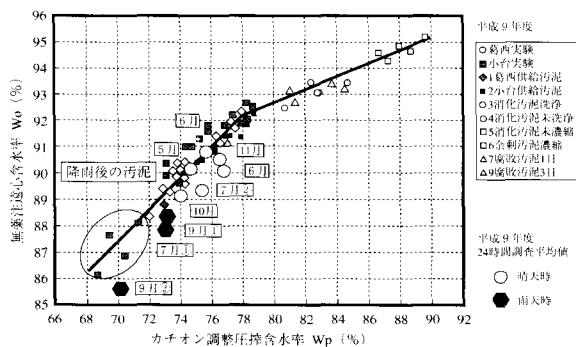


図-1 評価対象汚泥の前年度との比較

脱水性を示す指標であるカチオン調整圧搾含水率 (Wp), 無薬注遠心含水率 (Wo), 正味有機分 (N-VSS) を、平成9年度 (主に冬期データ) と比較すると、平均的に汚泥脱水性は良い状態であった。

3-2 葛西処理場実用施設導入前調査

1) 室内脱水試験

葛西処理場では水処理で発生した汚泥に、小菅処理場からの圧送汚泥を加えて、濃縮、脱水、焼却を行っている。濃縮は、葛西の余剰汚泥だけ遠心濃縮、それ以外は重力濃縮を行っており、両者を混合してベルトプレス脱水を行っている。

① 古紙添加率とケーキ含水率

平成10年6月から11年1月まで計7回の室内試験を行った。その結果、古紙10%/TS添加時の含水率改善度は、平均で3.3%となった (図-2)。

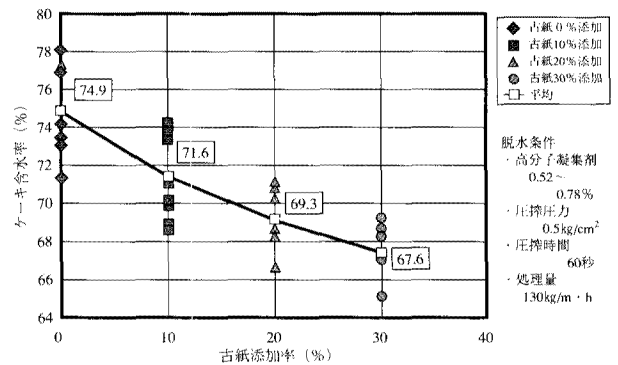


図-2 古紙添加率とケーキ含水率

② 高分子凝集剤添加率とケーキ含水率

古紙添加による凝集剤低減の可能性については、葛西処理場の運転管理等から推察すると、約1割程度であった。

③ 脱水時間 (ろ布速度) とケーキ含水率

古紙添加10%/TS添加の場合、古紙を添加しない場合の圧搾脱水時間 (60秒) に対して、その1/4の脱水時間 (15秒) で、同等もしくはそれ以上の含水率が得られた。したがって古紙添加は、大幅な処理能力の向上も期待できる。

④ 脱水圧力 (ろ布張力) とケーキ含水率

古紙添加による含水率改善幅は、圧搾脱水圧力が高いほど大きくなることを確認した。

2) 焼却熱バランス調査

葛西処理場の脱水設備は、ベルトプレス脱水機 (ろ布幅3m) が22台で、通常は10~12台稼働している。焼却設備は、1号炉から4号炉まであり、焼却能

力は100～300t-cake/dayで、型式は流動焼却炉、補助燃料は都市ガスを用いている。

① 4号焼却炉 (300t/day) 調査

表-2 4号焼却炉データ・解析値 (平均)

項目	焼却ケーキ量	含水率	DS焼却量	都市ガス消費量	単位ガス消費量	ガス熱量	焼却灰量
	t	%	t	Nm ³	Nm ³ /t-cake	kJ/kg-cake	t
記号	A	B	C	D	E	F	G
計算式	日報より	日報より	A×(1-B/100)	日報より	D/A	E×9.9	日報より
平均値	275	78.1	60.3	5,550	20.2	200	13.1
項目	DS可燃分比(VSS)	DS熱量I	ケーキ熱量I	合計熱量I	DS熱量II	ケーキ熱量II	合計熱量II
	—	kJ/kg-DS	kJ/kg-cake	kJ/kg-cake	kJ/kg-DS	kJ/kg-cake	kJ/kg-cake
記号	H	I	J	F+J	L	M	N
計算式	(C-G)/C	※1	※2	608	※3	※4	F+M
平均値	0.7843	4,000	408		3,998	406	607

※1: 4,000kJ/kg-DSと仮定する ※2: $1 \times (1-B/100) - 600 \times B/100$
 ※3: $6,700 \times H - 1,257$ (平成9年度報告書より) ※4: $L \times (1-B/100) - 600 \times B/100$

可燃分補正を行ったケーキ発熱量IIは平均406kJ/kgで、都市ガス消費量との関係から自然直近とするケーキ発熱量は550kJ/kgと判断された。

② 焼却データによる都市ガス削減量試算

表-3 全焼却データ・解析値 (平均)

項目	焼却ケーキ量	含水率	DS焼却量	焼却灰量	DS可燃分比(VSS)	DS熱量
	t	%	t	t	—	kJ/kg-DS
記号	A	B	C	G	H	L
計算式	日報より	日報より	A×(1-B/100)	日報より	(C-G)/C	※1
平均値	435	78.3	95.0	21.0	0.7823	3,984
項目	ケーキ熱量	不足熱量	自然直近含水率	含水率改善幅	古紙添加率	
	kJ/kg-cake	kJ/kg-cake	%	%	%	
記号	M	N	W	DW	P	
計算式	※2	550-M	※3	B-W	※4	
平均値	394.2	155.8	74.8	3.4	10.4	

※1: $6,700 \times H - 1,257$ ※2: $L \times (1-B/100) - 600 \times B/100$ ※3: $(L-550)/(L/100+6)$
 ※4: $DW/3.3 \times 10$ (葛西処理場室内脱水試験結果, 古紙添加10%で含水率3.3%改善より)

◇自然直近含水率とする古紙添加率

ケーキ熱量550kJ/kgに対応する含水率は74.8%, この達成に必要な古紙添加率は10.4%/TSとなった。古紙使用量は、葛西汚泥の半量に古紙添加を行うとして $95.0 \div 2 \times 10.4 \div 100 = 4.94t/day$ となる。

◇都市ガス削減量

不足熱量に相当する都市ガス量 (削減可能量) は、都市ガスの熱量を9,900kJ/Nm³として、以下の計算値が得られた。

都市ガス量(ケーキ1t当たり)

$$= 155.8 \div 9,900 \times 10^3 = 15.74Nm^3/t$$

都市ガス量(固形物1t当たり)

$$= 15.74 \div (100 - 78.3) \times 100 = 72.5Nm^3/t$$

③ 降雨と目標含水率の設定

降雨があると汚泥の可燃分が減少し、焼却に最適な含水率は変化する。焼却のデータから、古紙添加時の目標含水率は標準で75%, 無降雨継続時76%, また、前日、前々日の降雨に対しては、降雨に応じて74-72%に設定すればよいと判断された。

3-3 葛西処理場実用施設導入後調査

1) 古紙添加設備の概要

対象脱水機台数は5台、古紙添加率は15%/TS, 最大古紙使用量は7t/dayである。

古紙移送コンベアは、水平部と傾斜部を連続で移送できる。古紙解体機は、2軸スクリュウ式解砕機で、分配コンベアは正転、逆転させながら2基の溶解槽へ古紙を投入する (図-3)。

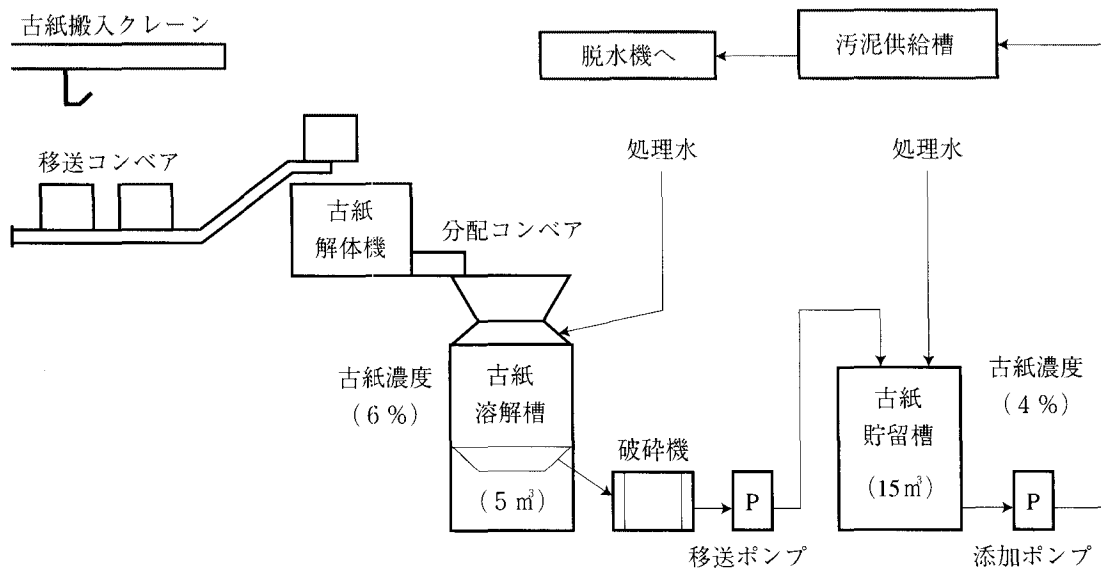


図-3 古紙添加設備フロー (葛西処理場)

2) 運転条件と脱水性能の関係調査

① 古紙添加率とケーキ含水率

古紙10%/TS添加で、対照機と比較した場合、2.0%の含水率改善効果が見られた(図-4)。

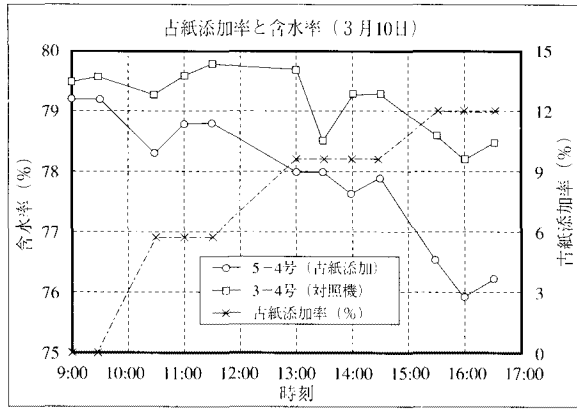


図-4 古紙添加率とケーキ含水率

② ろ布張力とケーキ含水率

空気圧力増加(0.20→0.30MPa)で1.1%の含水率改善が見られた(図-5)。

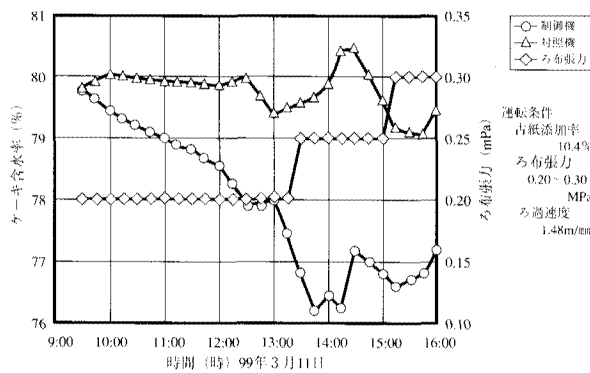


図-5 ろ布張力とケーキ含水率

③ ろ布速度とケーキ含水率

ろ布速度減少(1.48→1.28m/min)で0.3%の含水率改善が見られた(図-6)。

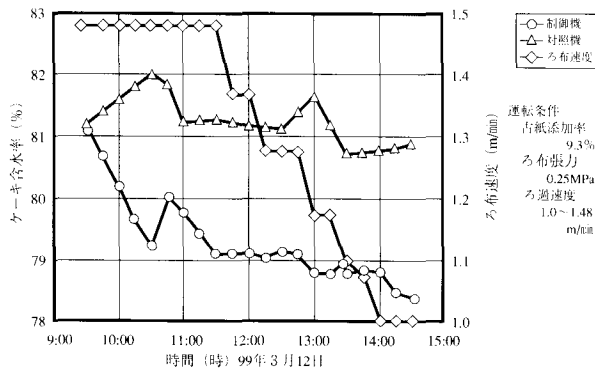


図-6 ろ布速度とケーキ含水率

ろ布張力、ろ布速度を組み合わせた時の古紙10%/TS添加時の含水率改善は3~3.5%で室内脱水試験結果と一致した。

3) 補助燃料削減の調整実証

古紙を添加することにより、脱水ケーキ熱量が増加し、都市ガス消費量が減少することを確認した。

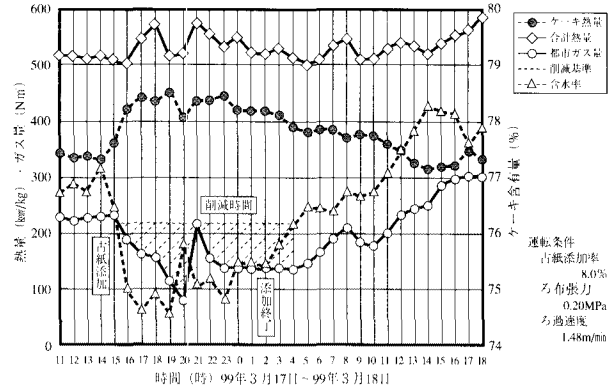


図-7 補助燃料最小化の実証

◇都市ガス消費量削減

調査時は古紙8%/TS添加で約70Nm³/hの削減が確認された。単位処理量当たりでは以下の値となった。

都市ガス削減量(ケーキ1t当たり)

$$= 70 \div 12.5 = 5.6 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

都市ガス削減量(固形物1t当たり)

$$= 70 \div (12.5 \times (1 - 76.3 \div 100)) = 24 \text{ Nm}^3/\text{t}$$

なお、古紙添加時の平均ケーキ含水率は76.3%、平均ケーキ焼却量は12.5t/hであった。

◇焼却熱量

ケーキ熱量と都市ガス熱量の合計が、平均で530kcal/kgとなった。これは、事前解析結果において、自然焼却熱量とした550kcal/kgにほぼ一致した。

3-4 中小規模向け古紙供給・添加システムの提示

1) 設備システム決定の基本要素について

① 古紙使用量

古紙の使用量規模によって、100kg/day未満を小規模、100~1,000kg/dayを中規模、1,000kg/day以上を大規模と分類して、1,000kg/day未満の古紙供給・添加方法の検討を行った。

② システム決定に際しての構成要素

供給する古紙の形状、処理場内での古紙原料の移送、古紙溶解方法、および溶解古紙の添加方法について検討した。

・古紙の形状

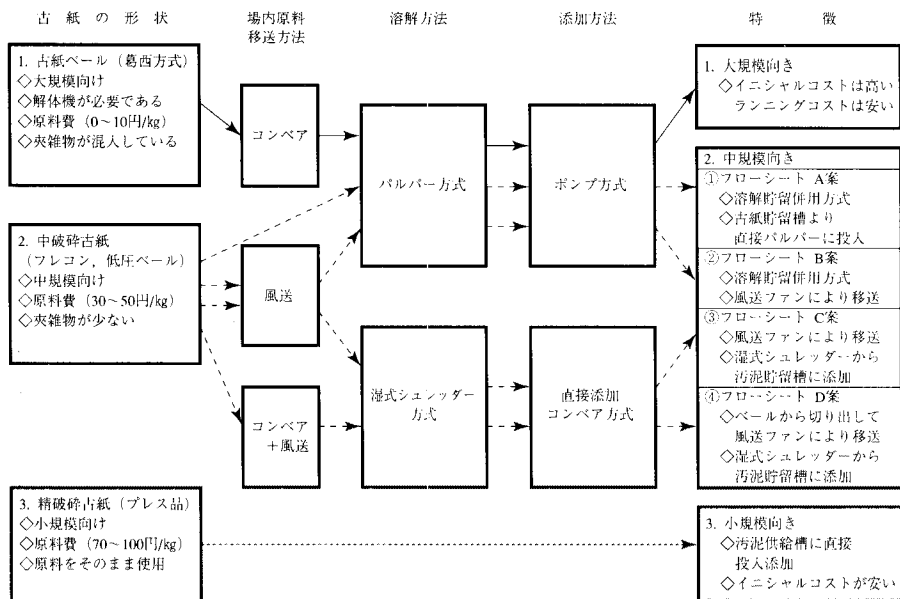


図-8 規模別の古紙溶解・添加システム

搬入容易，夾雑物が少ない，解体機等の大型設備が不要であることが技術条件とされた。

・古紙原料移送方法

スクリュー，コンベア類による方法と風送法があるが，風送の方が自由度が大きく設備も簡素化できる。

・溶解方法

パルパー方式（葛西の溶解方式）と湿式シュレッダー方式があり，状況に応じていずれかを選択する。

・添加方法

パルパー溶解ではポンプ添加，湿式シュレッダー溶解では直接添加またはコンベア方式となる。

図-8に，上記の方法を組み合わせとそれぞれの評価を示す。

2) システムの選択

小規模では，単位使用古紙当たりの設備償却費が非常に大きいため，古紙購入費は大きくとも，そのまま汚泥に添加できる精破砕古紙の使用が適切と判断した。中規模では，設備の自動化，メンテナンス簡略化を考慮し，古紙として中程度に破砕した中間加工品を用いた基本システムを4例提示した。

3) 古紙の供給

現在の古紙回収，収集のルートを活用して供給を行うのが現実的であると判断した。中規模，小規模向け加工古紙は，既に畜産用敷料として製品化されているものが活用できることを確認した。

3-5 古紙添加脱水システムの意義

古紙添加システムの効果，意義には多くの面があるが，研究結果に基づき①汚泥の安定処理 ②脱水後工程の効率化 ③経済性評価 ④社会的貢献について以下にまとめられる。

1) 汚泥の安定処理

表-4 および図-9に汚泥腐敗時の脱水能力の低下と，古紙添加での改善事例（平成9年度研究結果）を示す。

汚泥腐敗等が原因で，汚泥脱水性が低下すると，含水率が通常時に比較して，5%以上も悪くなると同時に，

処理量が半減することもある。その結果，所定の脱水能力が確保できなかつたり，後工程の焼却で処理能力が低下することになる。

古紙添加では，含水率改善と同時に，処理能力の回復も図れる。

表-4 腐敗汚泥の古紙添加効果

汚泥の種類 (混合生汚泥)	含水率 (%)	ろ過速度 (kg/m ² ・h)	100kg/m ² ・h時 補正含水率
元の汚泥 (H9.11.11)	76.6	150	75.1
30℃, 1日腐敗	81.1	89	81.4
30℃, 3日腐敗(A)	83.5	60	84.7
(A)に古紙10%添加	80.5	73	81.3
(A)に古紙20%添加	77.7	86	78.1
(A)に古紙30%添加	75.2	99	75.0
(A)に古紙40%添加	72.7	112	72.2

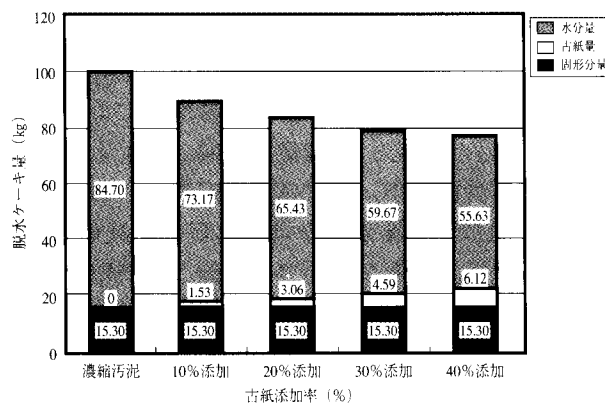


図-9 古紙添加率と脱水ケーキ量

ここで、表-4を用いて、腐敗進行汚泥(A)での水分量、古紙量、固形分量を比較すると次の図のようになる。これは、古紙を添加することにより、固形分は増加するが、それ以上に水分量が減少して、全体のケーキ量が減量させることができる古紙添加効果をよく表している。

2) 脱水後工程(焼却等)の効率化

焼却の効率化には、含水率低下と同時にその安定化を図る必要がある。

現在の焼却炉は、自然(550~600kcal/kg)以上の熱量の脱水ケーキを供給すると、炉内温度が上がりすぎてしまうため、ケーキ焼却量を落としたり、余熱していない空気を吹き込むなど、通常でない運転が必要になってくる。したがって、効率的な焼却には、75%前後の含水率を安定的に保つことが求められ、古紙添加システムはこれを実現することが可能である。

また、コンポスト等でも含水率の低下と安定化が有効で炭素分を高めC/N比を適正化する効果もある。

3) 経済性の評価

古紙を添加することにより、脱水性能(ケーキ含水率改善と処理量増加)が向上すると、次のような経済的効果が考えられる。直接的効果としては、①焼却補助燃料の削減 ②委託処理費の低減 ③高分子凝集剤の節減、間接的効果としては、④古紙がゴミとして処分される場合の費用 ⑤処理量増加による脱水機設備計画の縮小(代わりに古紙添加設備の設置) ⑥脱水の安定化による省力化などであり、以上の経済効果に対して必要な費用項目は、設備償却費、設備補修費、運転人件費、電力費、古紙購入費等である。

葛西においては、古紙使用量4.94t/日、古紙購入費0円/kg、運転員3人として計算した(図-10)。

図に示すとおり、新規設備導入での設備償却+補修費が大きく、古紙使用量が少ない場合は計算上の経済効果はマイナスとなり、使用量増加によりプラスに転ずる。しかし、処理能力が向上による将来の脱水機設置計画縮小、汚泥処理の安定化、および余剰古紙使用に伴う結果的なゴミ処理の削減効果等、現時点では算入できないがマクロ的な経済効果があると判断される。

4) 社会的貢献と将来展望

社会的貢献としては、余剰古紙(そのままではゴ

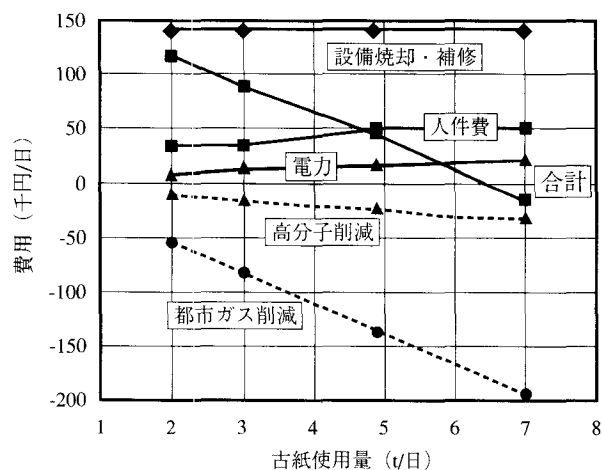


図-10 経済性の評価

ミになる)の活用が第一の貢献である。

第2には高压脱水で、含水率を大幅に下げ、焼却余熱を発電等に活用することが可能である。また、低含水率の脱水ケーキは、大きく減容し、取り扱いもし易く、後工程で焼却しない場合でも、コンポストなど安定化工程を経て、緑農地利用、埋め立て資材などとして活用が期待される。

4. まとめと今後の課題

4-1 まとめ

1) 小台処理場実設備調査について

目標含水率一定制御運転調査を行い、概ね±1.0~1.5%にすることができた。

2) 葛西処理場実用施設導入前調査について

室内脱水試験より、古紙10%添加で、含水率3.3%の改善が得られた。また、脱水時間との関係から、大幅な処理能力の向上が確認された。

焼却熱バランス調査より、葛西で自然直近とする含水率は74.8%(現行78.3%)古紙添加率は10.4%/TSとなった。また、汚泥固形分1t処理当たりの都市ガス削減量は72.5Nm³となった。

3) 葛西処理場実用施設導入後調査について

運転条件と脱水性能の関係調査から、対照機と比較して、古紙10%添加で2.0%、ろ布張力増加と、ろ布速度減少を組み合わせると合計で3~3.5%の含水率改善を確認した。

4) 中小規模向け古紙供給・添加システムの提示について

古紙は、畜産用敷料として製品化されたものを利用し、古紙の溶解方法や添加方法の設備システムを組み合わせて、いくつかの案を提示した。

4-2 今後の課題

1) 古紙添加設備の改良

実際に添加設備を運転してみると、いくつかの改造箇所が判明しており、その改良が必要である。

2) 受け入れ古紙の対応について

夾雑物が混入した古紙でも、受け入れられるシステムを検討、選択する必要がある。

3) 古紙添加脱水システムの展開と課題

① 中小規模向けの簡易な古紙添加設備

中小規模では古紙の使用量に比べて設備償却

費が大きく、ある程度の手作業部分を考慮した簡易な設備も検討し、コスト低減を図る必要がある。

② 地域でのリサイクルモデルづくり

地域での出る古紙を使って、地域の汚泥処理の安定化を図るといふ、リサイクルモデルとしては魅力ある技術と考えられる。

③ 創エネルギーへの展開

古紙添加脱水システムでは、高カロリーの脱水ケーキを、安定して生産することができるので、高速流動炉などの余剰熱を発電エネルギーとして回収できる型式の炉、および高圧力脱水設備を合わせて検討することが望ましい。

●この研究に関する問い合わせは

研究第一部長
研究第一部総括主任研究員
研究第一部研究員

大嶋 吉雄
西村 孝彦
田島 研一