

I-5 下水汚泥保有エネルギーの高度利用システムに関する調査

研究予算：受託業務費

研究期間：平 12～平 15

担当チーム：材料地盤研究グループ（リサイクル）

研究担当者：鈴木穰、落修一、越智崇、長沢英和

【要旨】

下水汚泥が持つ潜在的な保有エネルギーは、下水道施設全体の大幅な省エネルギー、省コストに繋げられる可能性を秘めた固有資源であり、それを高度に開発・利用するシステム構築が求められる。本調査は、現有の焼却プロセスを発電プロセスに改変して、これと嫌気性消化プロセスとの一体化を図ることにより、メタンガスの再資源化を組み入れた電力・熱回収システムの構築を目指すものである。調査では、エネルギー生産が可能な高温燃焼システムと消化ガスの吸着貯蔵システムを開発し、その効果をケーススタディーにより評価した。開発した高温燃焼システムは約 0.3MPa の加圧流動燃焼炉に集塵セラミックフィルターと過給機を組み込んだものであり、稼働時に外部からの動力を必要とせず、多量に生産する圧縮空気を下水処理のエアレーションタンクに供給できるものである。消化ガスの吸着貯蔵システムは、従来の常圧（大気圧に近い圧力）貯蔵法の 20～30 倍、1MPa 未満（10 気圧未満）の圧力で貯蔵する加圧貯蔵法の 3～7 倍の貯蔵能力を有するものである。

キーワード：下水汚泥、エネルギー、燃焼、焼却、発電、嫌気性消化、消化ガス、ガス貯蔵

1. はじめに

下水汚泥は固形物当り 19,000 kJ/kg ほどを有するエネルギー資源である。しかし、これまでの汚泥処理は安定的な処分を図ることを前提とした単位プロセスの組み合わせでしかなかったために、汚泥の処理には多くの電力や化石燃料を必要とし、下水汚泥が保有しているエネルギーの 3 割ほどしか利用されて来なかったのが実情である。また、水処理プロセスにおいても汚泥処理プロセス以上のエネルギーを消費してきた。

下水道の人口整備率が 6 割を越えた現在、これからの下水道事業が使用料収入を主体とする経営形態となっていくことを踏まえると、今まで以上に事業運営の効率化が求められる。特に、人件費を除く維持管理費の大部分を占めているエネルギー経費の削減は今後の大きな課題である。下水汚泥が持つ潜在的な保有エネルギーは、下水道施設全体の大幅な省エネルギー、省コストに繋げられる可能性を秘めた固有資源であり、それを高度に開発・利用するシステム構築が求められる。

2. 調査の目的および方法

本調査は、現有の汚泥処理プロセスをエネルギー生産プロセスに変革すべく、下水汚泥が持つ保有エネルギーを高度に開発、利用するシステムを構築することを目的とする。そのために、現有の焼却プロセスを発電プロセス

に改変して、これと嫌気性消化プロセスとの一体化を図ることにより、メタンガスの再資源化を組み入れた電力・熱回収システムの構築を目指すものである。調査では、高温燃焼システムおよび消化ガス吸着貯蔵システムを開発するとともに、既設下水処理場のエネルギー消費実態に基づいたケーススタディーを行い、開発プロセスを評価した。

3. 調査結果

3.1 高温燃焼システムの開発

3.1.1 開発経緯および方法

開発は、株式会社クボタ、月島機械株式会社、石川島播磨重工業株式会社ならびに独立行政法人産業総合技術研究所との共同研究により進められた。開発では、まず基本システムを構築し、それを基に早期の実現が可能なプロセス・システムへと検討、改良を進め、最終の開発システムを得た。ただし、開発の過程で検討して得たプロセス・システムが失敗・不要となったものではなく、将来、エネルギーや環境をとりまく社会情勢が更に高度な利用・保全を求めるようになったときには実現可能な有用なプロセス・システムである。

(1) 基本システム

開発当初に検討、設定した基本システムを図-1に示す。下水汚泥発電の場合、その主原料は脱水汚泥と消化

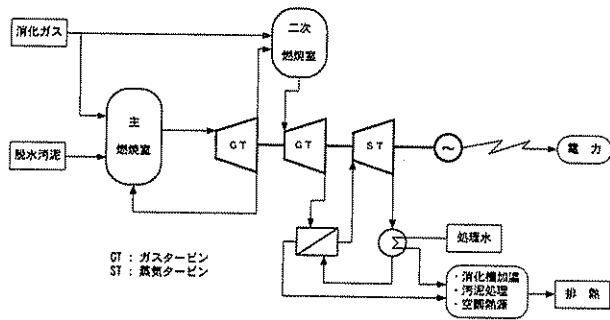


図-1 燃焼・発電の基本システム

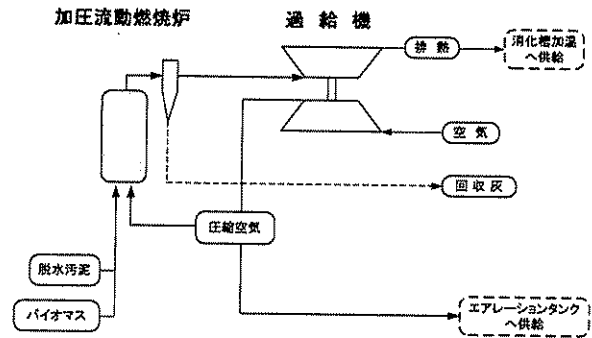


図-3 開発システム

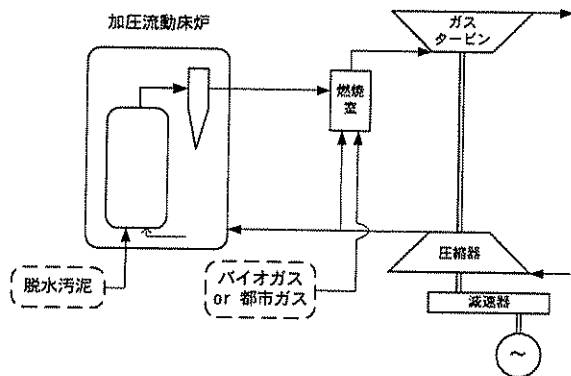


図-2 加圧流動燃焼・発電システム

ガスである。図-1は、これらを有効に活用する発電システムとして最大のプロセス構成を検討した結果である。下水処理場の規模や嫌気性消化プロセスの有無、或いは消化ガスの用途、熱の用途等により、図-1のシステムから二次燃焼室やガスタービン、蒸気タービン等が減ぜられ、最もシンプルなシステムは[主燃焼室] - [ガスタービン] - [発電機]となる。

(2) 一次開発システム

タービン発電の効率は供給する流体ガスが高温高压であるほどに高まる。このために、一次検討では燃焼プロセスに加圧流動床式の燃焼炉を適用することとし、燃焼ガスをガスタービンに導入・発電することとした。そのシステムを図-2に示す。

ここでは、加圧流動床式の燃焼炉とすることで、下水汚泥固形物の他に、脱水汚泥に含まれる重量の約80%を占める水分も蒸気に変換して発電できるものであり、その燃焼炉の圧力を約1MPaとした。専用のガスタービンの開発には、相当の期間とコストを必要とすることから実在する小型の高効率のものを適用することとし、2,000kW出力規模のものを導入することとした。これは100,000m³/日規模の下水処理場の稼働動力に相当する規模である。システムは、このガスタービンを効率よく

稼働させるために、脱水汚泥だけでは不足する熱源を消化ガス（バイオガス）や都市ガスで補うシステムとなっている。また、図には記載されていないが、ガスタービンからの排出熱は蒸気回収して蒸気タービンにて二次発電することも可能とした。

研究では、本システムの実現性について検討を行った結果、直ちの実用化は困難との結論に至った。そこでは、技術的には十分に実現可能であるものの、法的に施設全体が発電施設と位置付けられる可能性が高く、その場合、建設の基準や検査、維持管理に相応の高度なレベルが要求され、下水道事業者には直ちに受け入れがたいと判断した。また、維持管理従事者は加圧流動燃焼炉の10気圧（1MPa）相当の圧力には容易に馴染めない可能性も高いと思われた。このようなことから、本システムは将来用のシステムと位置付けた。

(3) 開発システム

特別に高度な技術を必要とせずとも現状において容易に受け入れられるであろうプロセス・システムについて検討した。開発システムを図-3に示す。

システムは、燃焼形式が一次開発システムと同様に加圧流動燃焼炉となっているが、炉内圧力が異なり、0.3MPaの設定となっている。これにより従来の炉の外観、形状と類似した燃焼炉となり、従来よりも高圧燃焼となっている分、炉はコンパクトになる。一方、炉内圧力が一次開発システムよりも1/3ほどに低くなったことから、産する燃焼ガスのエネルギーレベルも相当に低くなり、効率よく発電機を回せるまでには至らない。このために、研究では、ガスタービンの替わりを検討し、過給機を導入することとした。これにより、燃焼ガスだけの動力から得られる圧縮空気量に、燃焼炉への供給に必要なとする量以上の相当量の余力が生じることから、これを下水の処理を行っているエアレーションタンクへの曝気用空気として用いることとした。

表-1 解析・検討条件および基礎数値

項目	設定値	
脱水汚泥	含水率	75 %
	揮発分(乾燥重量基準)	80 %
	発熱量(乾燥重量基準)	17.6 MJ/kg-DS
補助燃料	種類	灯油
	高位発熱量	46.0 MJ/kg
燃焼炉	規模(脱水汚泥処理量)	100 t/日
	大気温度	20 °C
	燃焼空気温度	650 °C
	フリーボード出口温度	850 °C
	燃焼空気比	1.3
CO ₂ 排出原単位 ¹⁾	灯油	2.528 kg-CO ₂ /L
	電力	0.384 kg-CO ₂ /kWh

表-2 各システムにおける熱・CO₂解析結果

システム	補助燃料 炉+G/T (kg/h)	消費 (kW)	電力 発電 (kW)	買電 (kW)	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年 ^{注1)})
従来の流動燃焼システム <発電なし>	5.1	480	-	480	1,600
従来の流動燃焼システム <蒸気タービン(S/T)発電>	5.1	480	164	316	1,090
一次・開発システム <1.1MPa-G加圧流動炉 ガスタービン(G/T)発電>	402.3	272	1,775	-1,503	5,550
開発システム <0.2MPa-G加圧流動炉、 タービン空気過給機>	0	272	-	272	836
開発システム <余剰圧縮空気の曝気槽供給 による削減電力考慮>	0	272	-	200	614

注1) 運転時間を 8,000 hr/年とした。

3.1.2 開発システムの評価

開発の過程では、プロセスやシステムにおける熱解析や環境影響(CO₂放出)解析を行いながら、実現・実用性を追究した。検討・解析に用いた条件および基礎数値を表-1に示す。また、各開発段階から得られたシステムについて行った熱解析、CO₂解析の結果を表-2に示す。開発システムでは、加圧流動炉の表面積が従来の流動炉よりも小さくなり放熱量を抑制できることから補助燃料を必要とせず、下水汚泥の保有熱量のみで燃焼が可能となった。また、流動ブローおよび誘引ブローの消費電力が削減され、余剰圧縮空気を水処理のエアレーションタンク(曝気槽)へ供給した場合、曝気槽消費電力を72kW削減できると示された。これらの結果からCO₂排出量についても開発システムの有効性が示された。

研究開発では、実際の下水汚泥を用いた加圧流動燃焼の実験を行い、燃焼特性や燃焼ガス性状、灰回収方法および灰性状などについて調べ、良好な燃焼プロセスとなることが示された。更に、開発システムに関して、100t脱水汚泥/日の燃焼能力を有する規模について詳細な設計を行い、図書を整備した。

3.2 消化ガス吸着貯蔵システムの開発

3.2.1 開発経緯および方法

消化ガスの完全利用や生産施設の拡充を制限している要因として、消化ガス利用上の量的な価値が挙げられる。消化ガスを何らかの原料や熱源に用いる場合、量的に安定供給されるものでなければならない。パイオガスの生産では外気温度の影響を受け易く、生産時の温度を一定に保つのに必要な加温熱源に、生産したガスが使われることが多い。このために、加温以外に利用できるガスの量は、時間的に、季節的に大きく変動することになる。これが利用上の価値低下を招く要因となっている。

解決方法としては、ガスを大量に貯蔵し、変動を吸収させることが考えられるが、その場合はガスタンクの大容量、大型化が避けられない。このために、鶴岡市並びに財団法人下水道新技術推進機構と共同研究を行い、従来の常圧(大気圧に近い圧力)で貯蔵する低圧式ガスタンクに対して20~30倍、1MPa未満(10気圧未満)の圧力で貯蔵する加圧式タンクに対して3~7倍の貯蔵能力を有する消化ガスの吸着貯蔵技術を開発した(写真-1)。

3.2.2 開発研究

研究では、吸着剤選定のための試験や実用システム構築のためのパイロットプラント実験を行った。

(1) 吸着剤の特性

消化ガスの吸着剤には、一般の市販活性炭が適用可能であった。その実用上の性能は「JIS H 7201:水素吸蔵合金の圧力組成等温線(PCT線)の測定方法」により把握

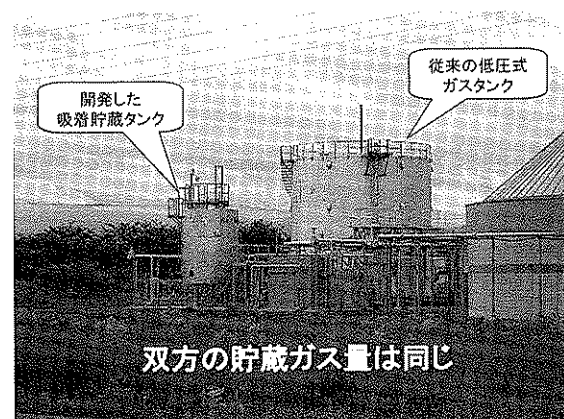


写真-1 吸着貯蔵システムの実用化

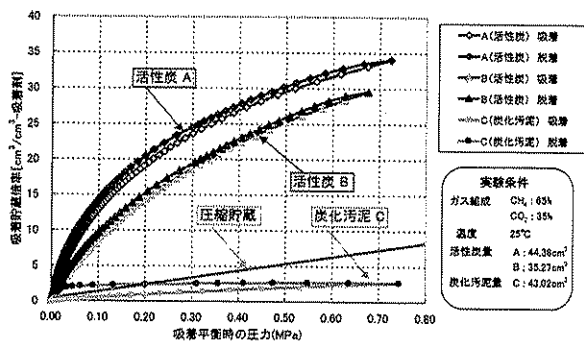


図-4 同一温度条件下における吸・脱着性能曲線

できた。測定例を図-4に示す。活性炭AやBを用いた吸着貯蔵法では従来の圧縮貯蔵法に比べて遥かに高い貯蔵能力が得られること、そして、その場合の貯蔵能力には吸着剤の種類が大きく影響するであろうことを示している。また、高圧貯蔵地点から圧力を徐々に開放することにより得られる脱着性能曲線は、加圧時の吸着性能曲線上をなぞるように発現しており、これは、加圧により吸着貯蔵されたガスの全量が圧力を自然に開放するだけで容易に取り出せることを意味する工学的に有利な特徴である。

吸着剤では、消化ガスの吸着・貯蔵時に発熱が、脱着・放出時に吸熱が生じる。その吸・発熱にともなう吸着剤の温度変化量は、ガスの吸・脱着量（圧縮倍率の変化量）に比例したものであった。

(2) システム化

パイロットプラント実験により実際の消化ガスの吸・脱着を繰り返し、そこから得られた知見をもとに吸着貯蔵システムを構築した。システムのフローは次のとおりである。

＜消化ガス・貯蔵＞→ [ガス圧縮機] → [水取器] → [脱湿器] → [前処理器] → [吸着貯蔵タンク] → [ダストフィルタ] →＜消化ガス・利用＞

吸着剤の性能は、消化ガス中の水分の結露による影響を大きく受ける。このために、[吸着貯蔵タンク]の前に [水取器] と [脱湿器] を配置した。また、冬季の脱着・放出時には吸着剤の温度が凍結温度まで低下する可能性が高いため、[吸着貯蔵タンク]にはヒータの装備と保温加工についても検討した。

消化ガス中には微量の有機炭素類が含まれる。これらは活性炭吸着剤との親和性が高く、長期間の稼働による吸着剤性能の低下が考えられる。この対策として、[吸着貯蔵タンク]の前段に、吸着貯蔵に用いる活性炭吸着剤と同じものを充填した [前処理器] を配置することが有

表-3 主要設備機器の概略仕様

機器名称	数量	基本仕様	備 考
ガス圧縮機	1基	立形1段水冷無油式ガス圧縮機 0.8m³/min×0.7MPaG×11kw	付属品：720×230×150mm (騒音機、貫通金具は防振仕様)
脱湿器	1基	潮解式脱湿装置 形状：立形円筒筒体 600φ×2500H(全高さ) 材質：SS+内面タールエポキシ	充填物：脱湿剤(凍水捕)
前処理器	1基	形状：立形円筒筒体 1200φ×1200H(活性炭高さ) 材質：SS+内面タールエポキシ 外面 断熱材施工	充填物：吸着剤(ガス用活性炭)
吸着タンク	1基	形状：立形円筒筒体筒体 3300φ×4000H(吸着剤高さ) 有効容量 30m³ 材質：SS+内面タールエポキシ 外面 断熱材施工	充填物：吸着剤(ガス用活性炭) ヒータ付き 付属品：接点付き温度計×1ヶ 接点付き圧力計×1ヶ 緊急避難弁×2ヶ 電動弁(防凍形)×2ヶ 安全弁×1ヶ

表-4 LCAの解析結果

		吸着貯蔵タンク	低圧ガスホルダー
LCA	(t-CO ₂)	671	696
	(建設)	248	607
内訳	(供用)	448	4.78
	(撤去・整地)	-24.9	85.0

表-5 LCCの解析結果

		吸着貯蔵タンク	低圧ガスホルダー
LCC	(10³ ¥)	183,868	232,582
	(建設)	112,130	189,800
内訳	(供用)	67,990	32,002
	(撤去・整地)	3,748	10,780

効と考えられた。

3.2.3 実用化評価研究

消化ガス吸着貯蔵法は、平成14年6月9日に鶴岡市浄化センターに実用化、供用開始された。実用施設の主要設備機器の概略仕様を表-3に示す。

研究では、約1年間の供用データに基づき性能を評価した結果、当初設計通りの性能を確認した。また、運転データに基づき、日常の運転管理に必要な点検項目を定めるとともに、供用期間を50年としたライフサイクルアセスメント(LCA)^{2,3,4}とライフサイクルコスト(LCC)について解析、評価した。

(1) LCA

LCAの結果を表-4に示す。実用化した消化ガス吸着貯蔵設備のLCCO₂における構成割合は、建設工程が37%、供用工程が67%、撤去・整地工程が-4%となった。従来の低圧ガスホルダでは供用工程において殆どCO₂排出が無かったものが、吸着貯蔵法では吸着動力や吸着剤などを必要とするために、供用過程においてコンプレッサー動力や脱湿剤、および貯蔵タンクヒータによる負荷が生じる。

吸着貯蔵施設は、消化ガスの有効利用を推進するための施設と位置づけられるものであり、消化ガスの有効利用量が進めば進むほどに CO₂ 排出量は削減される。その削減量は、CH₄ 濃度が 60% の消化ガスの場合、利用量当たり約 1kg-CO₂/m³ と見積もられる。そして、前述の供用過程で排出される約 560 t-CO₂ に相当す

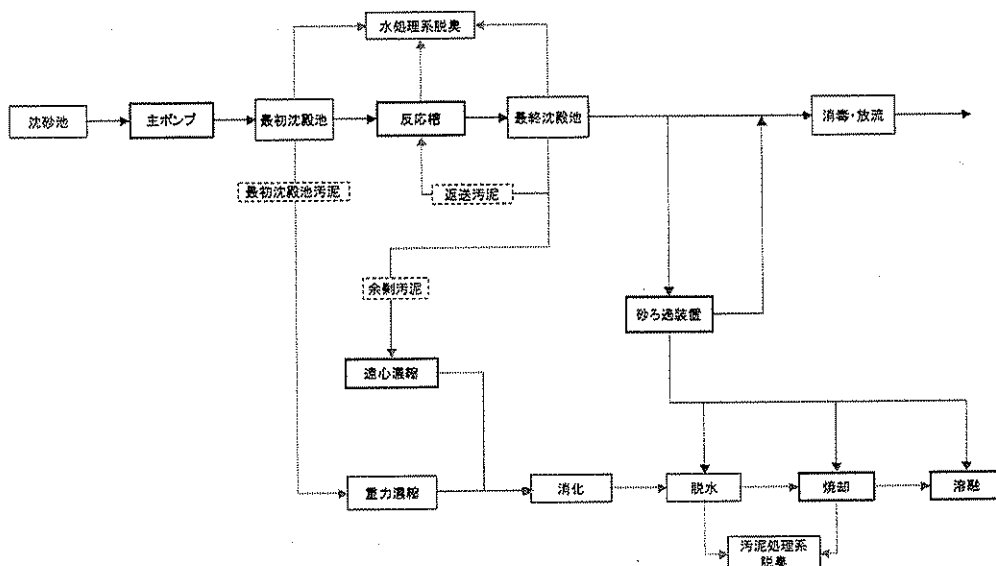


図-5 調査した下水処理場の処理フロー

る消化ガス利用量は 1 日当たり約 30 m³/日となる。これは、当浄化センターで生産される 1 日平均の消化ガス量 2,360 m³/日にとっては約 1.3 % と僅かな量であり、容易に達成できるものである。

(2) LCC 解析

LCC の解析結果を表-5 に示す。消化ガス吸着貯蔵設備の LCC は、184 百万円と見積もられ、その構成は、建設経費が 61%、供用経費が 37%、撤去・整地経費が 2% であった。

従来の低圧ガスホルダと比べた場合、供用経費は吸着動力、吸着剤などを必要とするために約 2 倍の高コストとなっているが、建設や撤去・整地に掛かる経費は施設実容積がコンパクトとなっている効果から相当な低コスト化が図られている。ここで、従来法と比べた場合の供用経費の割高 36 百万円 (72 万円/年) が、消化ガスを安定的に有効利用して行くために必要な貯蔵コストとすることができる

3.3 開発プロセス導入ケーススタディー

3.3.1 方法

本調査では、実際の下水処理場における処理・運転の詳細を把握するためのモニタリング調査を平成 13 年度から平成 14 年度に行った。ここでは、この調査データに基づき、当処理場への消化ガス吸着貯蔵システムおよび加圧流動燃焼システムの導入を想定した解析を行い、効果を調べた。

調査した処理場は、分流式下水道の計画処理人口が 205,400 人、現有処理能力が日最大 124,000m³/日である。処理場の処理フローを図-5 に示す。本処理場は、

他の下水処理場との汚水や汚泥の受け渡しが無く、水処理では高度処理までを行い、汚泥処理では嫌気性消化、焼却、溶融までのプロセスを有する。

3.3.2 結果

(1) 消化ガス吸着貯蔵システムの導入効果

消化ガスの発生量は平均：7,137m³/日であった。消化ガスタンク容量は 7,500m³ あり、約 1 日分の発生ガスの貯蔵能力を有している。発生した消化ガスは嫌気性消化槽の加温、焼却設備、溶融設備で使用され、総使用量は平均：5,432m³/日であり、残りの発生量の 24% に相当する量は燃焼廃棄されている。

ここでは、現在焼却設備に投入されている重油を、消化ガスの貯蔵量を増やすことにより有効利用できる消化ガスで賄えるか否かの可能性についてシミュレーションを行った。ガスタンクが無い場合の結果を図-6 に示す。ここで、Y 軸のプラス (+) の値は余剰の消化ガス量を、

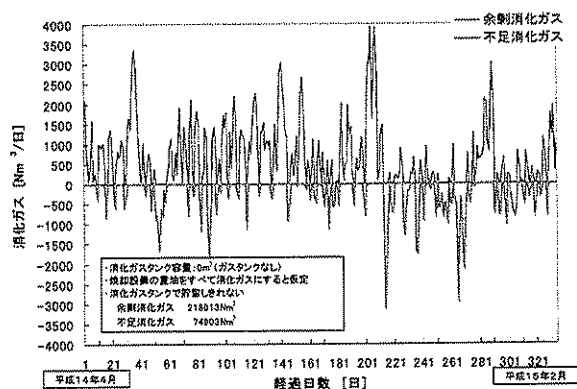


図-6 ガス貯蔵タンクがない場合の結果

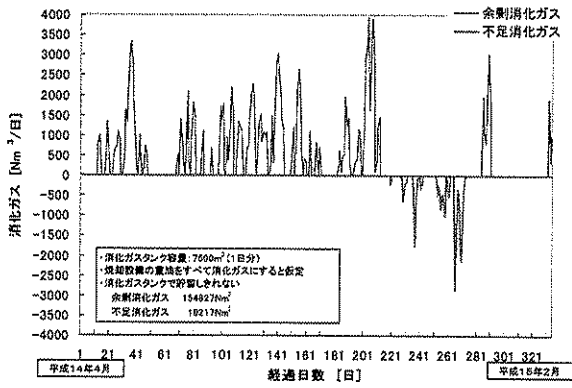


図-7 発生量の1日分の貯蔵能力が場合の結果

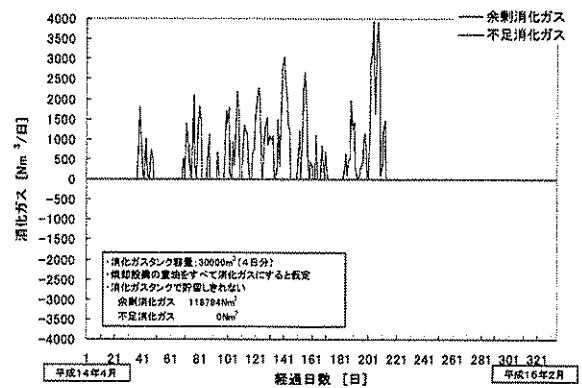


図-8 発生量の4日分の貯蔵能力が場合の結果

マイナス (-) の値は不足している消化ガス量を表している。発生量の約1日分の貯蔵タンクを有する現状に近いケースの結果を図-7に示す。図-8は、不足の消化ガスがなくなる必要貯蔵量を求めた結果であり、その必要貯蔵量は4日分の発生量に相当するものであった。これを、従来貯蔵法で賄うとすると相当な敷地と建設費用を必要とするが、吸着貯蔵システムにて対応するとするならば現有容積の3倍量貯蔵の増設に必要なタンク容積は1,125m³となり、これは現有タンクの約1/7の容積で賄えることになり、十分な実現の可能性がある。

(2) 加圧流動燃焼システムの導入効果

ここでは、開発段階での詳細な設計検討が100t脱水汚泥/日の規模について行われたことから、こ

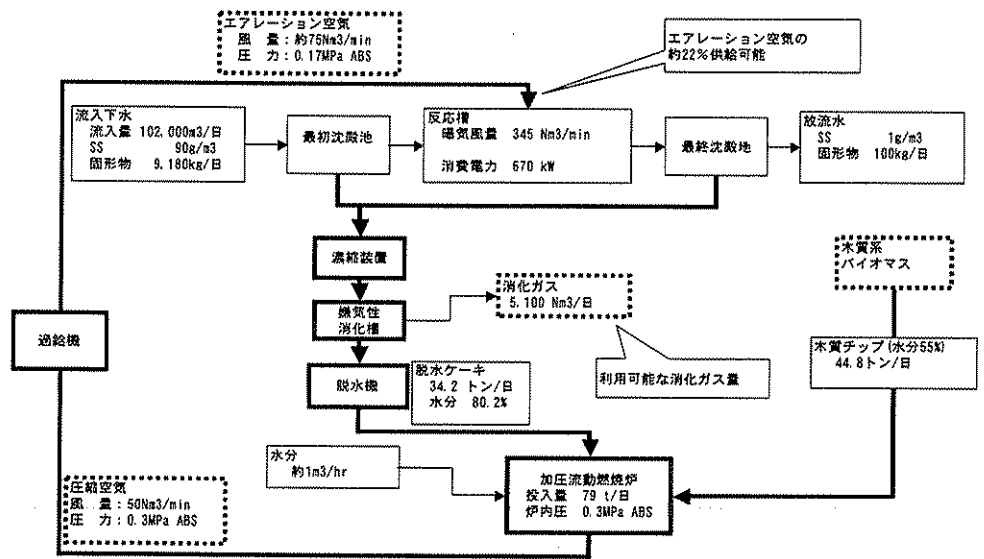


図-9 加圧流動燃焼システム導入解析結果 (1)

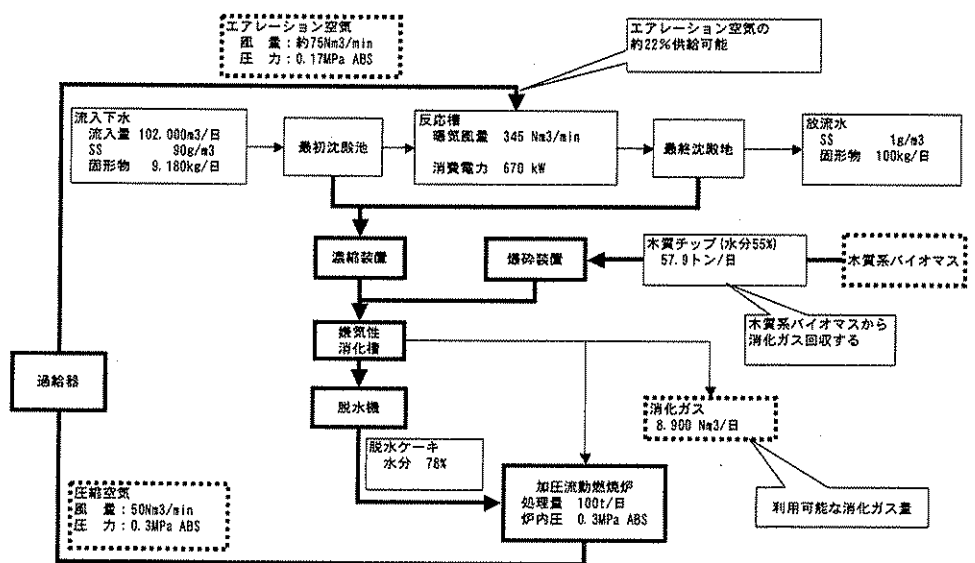


図-10 加圧流動燃焼システム導入解析結果 (2)

の規模のシステムを
導入することと

した。その場合、投
入脱水汚泥量が不足
するために、その分
を木質バイオマスで
補うこととした。

解析の結果を図-
9と図-10に示す。

図-9は、木質チ
ップと下水・脱水汚
泥との混合燃焼の形
態であり、図-10は、

木質を嫌気性消化槽
に導入して、下水汚
泥と一緒にバイogas

を回収した後、既
存ラインにて燃焼シ
ステムに導かれるケ
ースである。いずれ

にしても炉の燃焼熱
量能力を同一として

いることから、得ら
れる圧縮空気量は同
じとなり、当処理場

で必要としているエ
アレーション用空気
量の22%を賄える

結果となった。これ
は、年間約 1.3×10^6

kWh の削減に相当
する。また、従来の

焼却炉に必要とし
ていた稼働動力(約

200kW)が不要とな

ることをも考慮す
ると、年間約 3.0×10^6

kWh のエネルギー
自給が図れること
になる。更に、木質

バイオマスの導入
により増産された消
化ガスには相当の余

剰が生じ、有効利
用の用途が広がる
ものである。

図-11と図-12
は、流入下水量が

$100,000\text{m}^3/\text{日}$
の下水処理場を「下
水道施設計画・設計

指針と解説-2001
年版-社団法人日本
下水道協会」³⁾に基
づき仮想設計⁴⁾し、

そこに適用した結
果である。ここで
も、開発段階での

詳細検討が 100t
脱水汚泥/日規模
について行われた

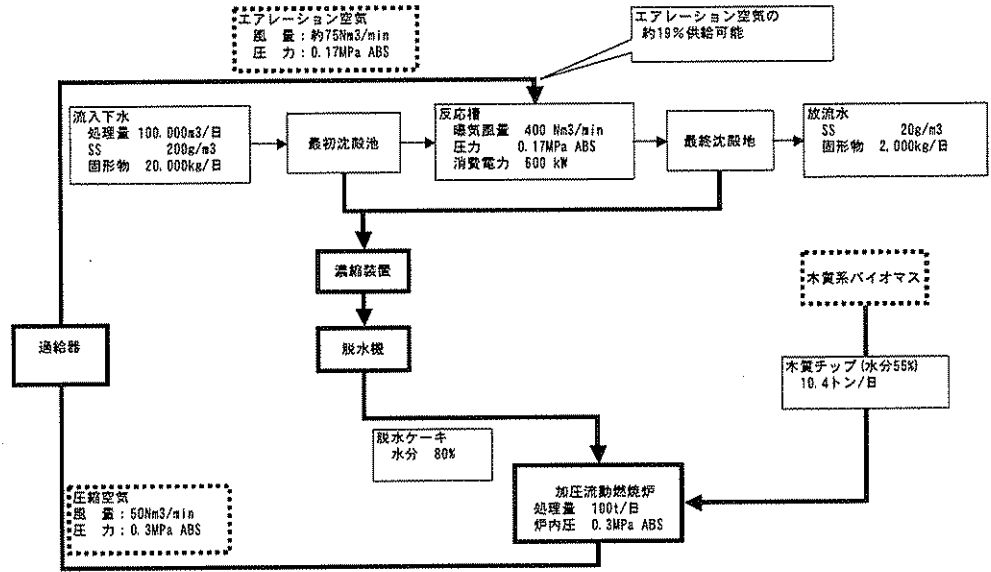


図-11 加圧流動燃焼システム導入解析結果(3)

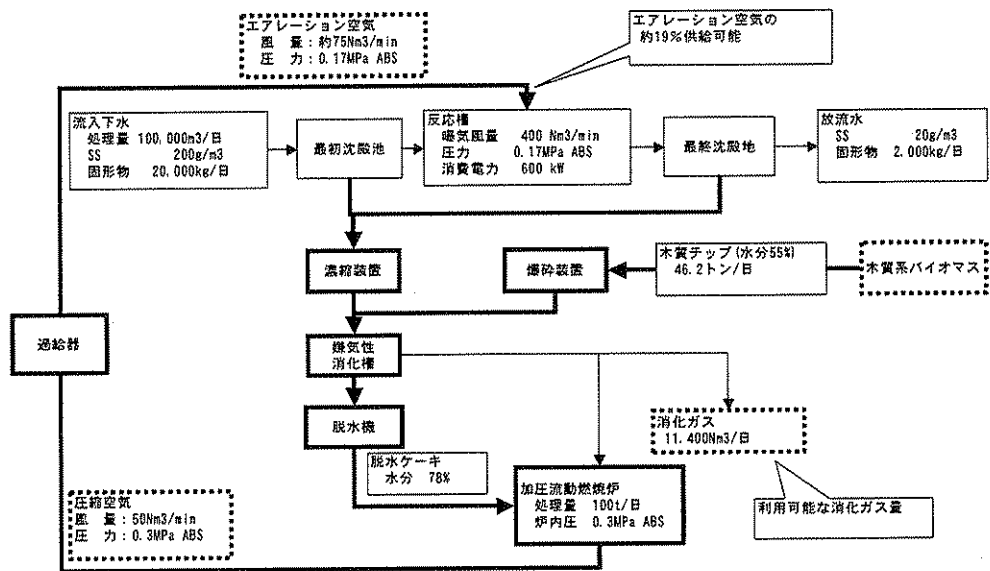


図-12 加圧流動燃焼システム導入解析結果(4)

から、投入熱量不足を木質バイオマスで補うことにしている。本ケースにおける余剰圧縮空気の水処理系への供給によるエアレーション用空気量削減率は19%となった。この削減率が前掲の実処理所のケースよりも低くなったのは、本ケースの流入下水の濃度が濃いために、エアレーションタンクでの必要空気量が多くなっていることによるものである。それでも、開発システムの導入は相当な省エネルギー化をもたらすことを示している。

4. まとめ

高温燃焼システムおよび消化ガスの吸着貯蔵システムの開発を行い、以下の結果を得た。

- (1) 高温燃焼システムとして、0.3MPaの加圧流動燃焼炉とセラミックフィルタおよび過給機からなるシステムを開発した。本システムは、炉の稼働動力および燃料を必要とせず、また、脱水汚泥が含有する水分もエネルギーとして活用できる。
- (2) 開発した加圧流動燃焼システムからは、大量の圧縮空気が生産される。この圧縮空気の内、加圧燃焼炉の加圧用に用いた残余は下水処理のエアレーション用空気として供給できる。
- (3) 実際の現有処理能力が日最大 124,000m³/日の下水処理場に 100t脱水汚泥/日規模の加圧流動燃焼システムを適用する仮想解析を行った結果、木質バイオマスの導入のもと、エアレーション用空気の22%が賅えるものであった。100,000m³/日規模の標準設計に基づいた場合は、19%賅えると示された。
- (4) 消化ガスの吸着貯蔵システムを開発、実用化した。本システムは、従来の常圧（大気圧に近い圧力）貯蔵法の20～30倍、1MPa未満（10気圧未満）の圧力で貯蔵する加圧貯蔵法の3～7倍の貯蔵能力を有するものである。
- (5) 実用化した吸着貯蔵システムの約1年間の運転実績に基づき、LCAおよびLCCについて解析した結果、消化ガスの効果的な利用を図るための貯蔵システムとして有効であることが示された。

参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会、「下水道における地球温暖化防止実行計画策定の手引き」, p19, 平成11年8月(1999)
- 2) 日本建築学会、「建物のLCA指針(案)－地球温暖化防止のためのLCCO₂を中心として－」, 丸善株
- 3) 建設省土木研究所材料施工部化学研究室、「資源・エネルギー消費量、環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書(その2)－資源、エネルギー消費量及びCO₂発生量の積み上げ計算－」, 土木研究所資料第3256号, 平成6年3月(1994)
- 4) 建設省、「建設省総合技術開発プロジェクト, 省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発－第二編建築分野－, 最終報告書」, 平成8年10月(1996)
- 5) 社団法人日本下水道協会、「下水道施設計画・設計指針と解説－2001年版－」

- 6) 国土交通省土木研究所下水道部汚泥研究室、「下水処理施設主要設備・機器仕様一覧」, 土木研究所資料第3827号, 平成13年3月(2001)

謝辞

本調査では、共同研究に株式会社クボタ、月島機械株式会社、石川島播磨重工業株式会社、独立行政法人産業総合技術研究所、鶴岡市並びに財団法人下水道新技術推進機構に参画願うとともに多くの方々に協力頂き、当初の目的を達成できる十分な成果を得ることができた。ここに記して感謝の意を表します。

本調査は、国土交通省国土技術政策総合研究所委託事務「下水処理水・汚泥の再利用の適正化に関する研究一部委託」の中で行ったものである。