特集1・下水汚泥の有効利用と資源化

長岡市における消化ガスの都市ガス原料化について

長 部 恵 介*

1. はじめに

本市（人口約19万人）の下水道の歴史は古く、大正12年に市の中心部約242haにおいて上下水道を同時に着工したことに始まる。当初は下水処理場を持たず雑排水は直接河川放流していたが、昭和51年9月に長岡中央浄化センターが供用開始し、漸く本格的な下水道の時代を迎えた。下水道普及率は平成10年度末で90.6%，農業集落排水事業分を含めると92.3%と高く、平成15年度末での概成を目指している（写真1）。

長岡中央浄化センターは水洗化人口約11万人（平成10年度末）の下水処理場で、供用開始当初から汚泥の嫌気性消化処理を行っている。これによる消化ガス^注発生量は年間約150万 m^3 （平成10年度）で、このうちの4割は消化タンク加温ボイラー用に利用し、残りは安全で経済的という理由から余剰ガスとして焼却処分してきた。

この度、地元ガス会社との共同事業により、この余剰ガスを精製したうえで近接するガス工場へ都市ガスの原料（約1,000世帯分に相当）として供給することになったので、本事業の概要をこれまでの実績も交え紹介したい。

2. 経 過

当センターでは以前から余剰ガスの有効利用策を模索し、昭和57年度には隣接するゴミ焼却施設へ助燃材として供給を開始したが、ゴミの高カロリー化により必要量が年間数万 m^3 と少なかったことから、引き続き汚泥乾燥用燃料やガス発電の可能性を探ってきた。

しかし、汚泥乾燥は今後の汚泥の最終処分形態が

写真1 長岡中央浄化センター全景

明確でなかったことから断念し、ガス発電についても多方面から検討したものの、コストおよび騒音対策等の面から事業化に至らなかった。

その後、本市は平成7年に建設省の環境共生モデル都市（エコシティ）の指定を受け、環境負荷の軽減、自然との共生、ゆとりや快適さの創出などを総合的に推進していくためのマスタープランとして「長岡市都市環境計画」を策定し、さらに、平成8年には環境づくりの基本的な方向を定めた「長岡市環境基本計画」を策定した。こうした背景を踏まえ、当センターとしても、今後は余剰ガスの焼却処分は行わず、未利用エネルギーの活用および環境負荷の低減を目指すよりいっそうの取組みが必要となった。

ところで、当センターでは消化ガスの湿式脱硫工程（消化ガスを処理水で洗浄し硫化水素ガスを除去する設備で、以後、「脱硫塔」という。構造は図-1参照）において、消化ガス中の硫化水素がほぼ完全に除去されているが、同時に、二酸化炭素もその約半分が吸収除去されている。

この結果、消化ガス中のメタンガス濃度が高まり、脱硫後の消化ガス（以後、「脱硫ガス」という）のカロリーは7,000～7,500 kcal/m^3 へとカロリーアップし

*長岡市土木部下水道管理課 長岡中央浄化センター
Keisuke OSABE

図-1 脱硫塔の概略図

ている。

これは二酸化炭素が硫化水素と同様に水に溶解しやすいガスなのに対し、メタンガスは水に溶解しにくいいため、メタンガスだけが選択的に濃縮されることによる。

そこで、この点に着目し、もう一段脱硫塔を付加することで、メタンガス濃度をさらに高めた「付加価値の高い消化ガス」が生成でき、これに必要な設備のイニシャルおよびランニングコストも他の有効利用策より低廉で採算ベースに乗るものと考え、長岡技術科学大学の理論的裏付けを得ながら、平成9年1月地元の北陸ガス(株)へ都市ガスの原料としての活用を打診した。

この結果、同社からは全面的な協力を得ることができ、直ちに事業化に向けた協議を開始した。この協議は10回以上に及び、このなかで供給する消化ガスはできるだけ都市ガスに近い成分が求められ、供給条件は表1のとおりとすることで合意した。

その後、供給条件をクリアするための設備仕様

表1 供給条件

項 目	条 件
CO ₂ 濃度	4 % 以下
硫化水素濃度	2 ppm 以下
カロリー	9,000 kcal/ m ³ 以上
露点温度	結露を生じないこと
供給圧力	8.5 kg/ cm ² 以上
供給量の変更	3 回(定時)/日以内
供給単価	23.4円/ m ³

を決定するため、平成9年度後半に長岡技術科学大学の協力のもと(財)下水道新技術推進機構に調査研究を委託し、今後の余剰ガス発生量の予測および大型実験プラントによる実証試験を行った。こうした調査研究過程を経て工事は平成10年9月に着手し、平成11年3月には完成し、現在順調に供給している。

なお、本事業は平成10年3月に建設省から「アイディア下水道モデル事業」として採択され、平成11年2月には関東通産局からガス事業法に基づく「卸供給条件」の認可を得た。さらに、平成11年9月には本事業について建設大臣賞「いきいき下水道賞」(下水道有効利用部門)を受賞した。

3. 研 究 調 査

3.1 余剰ガス発生量の予測

これまでの消化ガス発生量の実績および消化タンクにおける放散熱量のシミュレーションをもとに平成25年度までの余剰ガス発生量の予測を行った。

この結果、余剰ガス発生量の日最大量は3,340 m³ (140 m³/時)と予測され、この量を本設備の精製能力とした。

3.2 実証試験

湿式の脱硫塔は化学プラントにあるガス吸収塔とほぼ同じ構造を有し、ガスと水を接触させながら水に溶解しやすいガスを効率よく分離除去するものである。

この吸収効率脱硫塔の吸収特性の他にガス流量、水量、水温およびpH等さまざまなパラメータに左右される。当センターの脱硫ガス中の二酸化炭素濃度を図-2に示す。消化ガス中の二酸化炭素濃度は年間を通じて35~40%で安定しているが、脱硫ガス中の二酸化炭素濃度はガス流量および水温に大

図-2 脱硫ガス中のCO₂濃度

大きく影響され、5～28%と季節により大幅に変動している。こうした実状から、精製塔の操作条件次第では容易に供給条件を満足できそうなことがわかる。

しかし、脱硫塔と精製塔とでは流入するガスの組成および流量の点でかなりの差があるなど条件はやや異なり、これまで事例はなかった。

そこで、当センターの処理水および既存脱硫塔からの脱硫ガスを用いた実証試験を行い、吸収効率の悪い条件下においても二酸化炭素濃度を供給条件より厳しい3%以下にするのに必要な第2脱硫塔（以後、「精製塔」という）の規模および精製水量を求めることとした。

実証試験では、① 脱硫ガスの二酸化炭素濃度を25%程度から3%以下に低減できるかどうかを確認し、② 各パラメータを計測しながら処理水と脱硫ガスとの間の吸収特性を類推した。

なお、実証試験に用いた吸収塔はアクリル製の内径30cm、高さ4mのカラムで、脱硫ガスをカラム下部から処理水を上部から注入するもので、脱硫塔をスケールダウンしたものである（写真2）。

3.3 試験結果

- ① 脱硫ガス中の二酸化炭素濃度20～28%に対しカラム出口ガスの二酸化炭素濃度は最低で2%程度になり、精製塔の二酸化炭素濃度を3%以下に低減することは十分可能であることが確認できた。
- ② 類推した吸収特性を既存脱硫塔に当てはめ、脱硫ガスの二酸化炭素濃度をシミュレーションすると図-2の実績とほぼ一致し、精製塔の設計に使える数値と判断できた。これにより、精製塔に係るシミュレーションを進め、精製塔の

写真2 実証試験

規模は脱硫塔よりやや大きい、塔高は7m、塔径は2.2mが必要とされ、一方、精製水量は5,800 m³/日と脱硫水量の倍以上の水量が必要とされた。

4. 設備概要

4.1 消化ガスのフロー

消化タンクで発生した消化ガスは脱硫塔で脱硫され一旦ガスホルダーに貯留される。この脱硫ガスのうち余剰分だけが定量的に（約100 m³/h）精製塔で精製された後、圧送機で約9.5 kg/cm²に吸引昇圧され、除湿機を経てガス工場へ供給される、いたってシンプルなおものである。消化ガス設備のフローシートを図-3に示す。

図-3 消化ガス設備のフロー図

表2 設備仕様

	設備名	設 備 仕 様
長岡市	消化タンク	1次タンク2基、2次タンク2基（容積計13,520 m ³ ）
	ガスホルダー	低圧乾式型 容積：3,000 m ³
	脱硫塔	湿式 脱硫水：2,400 m ³ /日 φ 2.1 m×H 6 m 充填材；塩ビ管 φ 5 cm×5 cm
	*精製塔	湿式 精製水：5,800 m ³ /日 φ 2.2 m×H 7 m 充填材；塩ビ管 φ 5 cm×5 cm
	*圧送機	スクリーコンプレッサ 140 m ³ /時×9.5 kg/cm ² ×2台（1台は予備）
	*除湿機	ブライン（－2℃） シェルチューブ式
	*導管	PLP（ポリエチレンライニングパイプ） 80 A×250 m
北陸ガス	*導管	PLP 80 A×500 m
	*付帯設備	圧力調整機 流量計 緊急遮断弁 熱調設備等

*は消化ガス有効利用のため新たに設置した設備。建設費は、長岡市224百万円、北陸ガス70百万円。

4.2 設備仕様

主要な設備の仕様を表2に示す。これらの設備のうち精製設備、供給設備およびセンター構内の導管分までは長岡市が、構外の導管から先の設備についてはガス会社がそれぞれ負担し管理することとした。精製塔以外の主要な設備は次のとおりである。

・圧送機 供給先のガス会社のガスホルダーが最高8 kg/cm²の中圧ホルダーであるため、圧送機の供給圧は9.5 kg/cm²とした。

・除湿機 消化ガス中には若干水分が含まれ、昇圧すると導管中で結露が生じやすく、腐食の原因となる。このため、昇圧後に－2℃の冷水で除湿することとした。

・制御系 ガスホルダーの貯留量、二酸化炭素濃度および供給ガス量が表示され、各操作を中央監視室で行えるようにし、また、二酸化炭素濃度が3.5%を超えた場合は警報を、4%を超えた場合は自動停止するシステムとした。

・付帯設備（ガス会社） 従来ガス会社の都市ガスの原料はすべて新潟県内で産出される天然ガス（カロリーは10,300 kcal/m³）で、これを空気で若干希釈し10,000 kcal/m³に調整していた。消化ガス（カロリーは9,000 kcal/m³弱）の導入に伴い、希釈用空気量を多少少なめに調整し所定のカロリーにする設備を付加えた。

5. 供給実績

5.1 精製ガスの供給量

平成11年4月の供用開始以来精製ガスの供給は順調に行われ、余剰ガスは全量有効利用している。平成12年1月までの実績を図-4に示す。消化ガスの

発生量は13～15万 m³/月、余剰ガス発生量は6～12万 m³/月（消化ガスをベース）で余剰ガスの比率は65%に達している。

一方、精製ガス供給量は、春から夏にかけて概ね6万 m³/月と多いが、冬期間はボイラー使用量が増加し余剰ガスの比率が50%程度に低下するため、約3万 m³/月と少なくなっている。

なお、今年度の精製ガス供給量は55万 m³を予定しているが、これは約1,000世帯分の都市ガス量に相当するものであり、ガス会社が市内に供給する都市ガス量に占める割合は約1～2%である。

5.2 精製ガスの組成について

消化ガス、脱硫ガスおよび精製ガスの平均的なガス組成と、これに関連し、ガス流量のマスのバランスの概略図を図-5～8に示す。

①二酸化炭素濃度

平成12年1月までの精製ガス中の二酸化炭素濃度

図-4 ガス発生量等
（余剰ガス量は脱硫前の組成に換算した）

図-5 精製ガス中のCO₂濃度 図-6 精製ガス量 vs CO₂濃度

を図-5に示す。二酸化炭素濃度は平均2%で予定していた範囲に収まっており、概ね設計どおりの性能が確認でき、今後も安定したガスの品質が確保できると思われる。また、精製ガス量に対応した二酸化炭素濃度を図-6に示す。この実績値から二酸化炭素濃度は1%が精製できる限度と考えられる。

②硫化水素濃度

硫化水素濃度については、工場排水に由来する鉄分（流入下水中の鉄分は約10 ppmと高い）の影響を受け、硫化水素が消化タンク中で鉄分と反応し硫化鉄を生成するため、消化ガス中の硫化水素濃度は最高でも80 ppm程度と低く、条件に恵まれている。このため、脱硫後ですでに0.5 ppm以下、精製後では検出されていない。

③メタンおよび窒素濃度

当初窒素ガスについては重視していなかったが、ガス供給量が少ないと精製工程で予想以上に窒素ガスが混入し、精製ガス中の窒素濃度は約6%とやや

図-7 ガスの組成と体積

高い状況にある。この結果、メタン濃度は約92%で推移し、カロリーは目標より3%低い8,700 kcalとなっている。

これは、精製水中に溶解していた窒素が精製塔内でガス化しやすくなるためと思われる。この量は精

図-8 ガス流量のマスバランス vs 成分

製水量に応じほぼ一定と考えられ、ガス供給量が少ないほど相対的混入率は高まる。

このため、当初最低ガス供給量を30 m³/時としていたが、これを70 m³/時とし極力窒素ガスの混入を抑えた運転を行っている。

5.3 二酸化炭素排出削減量

余剰ガス燃焼装置の試運転分(数百m³程度)を除くと、余剰ガスは全量精製ガスとして有効利用している。このため、余剰燃焼に伴う二酸化炭素排出量はゼロにすることができ、この削減量は年間約1,500 tに達する。この量はCOP3でわが国に課せられた削減目標値と比較すると微々たるものであるが、地球温暖化防止に向けた取組みの好例といえる。

6. 運転管理方法

ガス供給量は以下の条件を満足させながら、できるだけ定量に供給することが求められた。

① ガスホルダーの貯留量が2,900 m³以上になると安全のため自動的に余剰ガス燃焼装置が作動し無駄が生じる。一方、ガス貯留量がほとんどない状態でガスを吸引しつづけるとホルダーが破損する恐れがある。このため、貯留量の変動はこの範囲内に収める必要がある。

② ボイラーは午前中を中心に脱硫ガスを600～1,400 m³/日(季節により異なる)を使用するため、朝にはある程度のガス貯留量を確保しておく必要がある。

③ ガス供給量の設定の変更は1日3回以内とされた。

④ 供給ガスの二酸化炭素濃度を基準以内に抑えるため、ガス供給量は最高で140 m³/時とし、また、窒素混入抑制のため最低量は70 m³/時とした。

こうした制約の中、消化ガス発生量とガス貯留量の時間毎の変動値からその時々最適供給量を予測するシステムを作成した。これにより、特に夜勤者(2名)にとっても安心して運転管理できている。

なお、本設備はコンパクトで構造は簡単であるため、設備の点検は1日2回、それぞれ約5分程度で済み、また、特殊な技術も必要としないためメンテナンス要員は増員せずに済んでいる。

7. 特徴および効果

① 約1000世帯の都市ガス量に匹敵する未利用エネルギーが活用でき、併せて年間約1,500 tに達する二酸化炭素排出量の大幅な削減が可能となった。

② ガスの品質は安定して所定の濃度に保たれている。

③ 余剰ガスの全量を処理場内で利用するには大規模な設備が必要となるが、本方式は精製設備および供給設備だけで済み、経費が廉価なうえ敷地面積も約200 m²程度で十分である。

④ 処理水だけで精製でき、維持管理も容易である。また、機器の点検整備で供給が中断する期間は年間に約1週間と短く稼働率が高いため、採算ベースに乗るものである。

⑤ 一般市民が利用者であることから下水道に対する関心を得やすい。

⑥ 消化ガスを都市ガスに近い成分にまで精製したうえで民間ガス会社へ供給するのは全国で初となる。

⑦ 本事業は地元ガス会社との共同事業という形で事業化され、PFIの一例といえる。さらに、これに必要な調査研究も地元の大学も参画した産官学体制で進め、立案から2年程度で供用開始することができた。

⑧ 課題

・供給先のガス工場までの導管延長が750 mと短かったことなど地理的条件に恵まれたが、より遠隔地でも活用できるシステムの構築が求められる。

・汚泥中の有機分のうち分解される割合(消化率)は現在55～60%であるが、有益な消化ガスの発生量をさらに増加させ、併せて汚泥の減量を促進させるため、この消化率をいかにアップできるかが課題であり、これからの各界の研究開発に期待したい。

8. おわりに

下水道事業は良好な水環境を自ら積極的に創出していく事業で、環境行政の最前線に位置するだけに、環境負荷の低減に対しても率先して取り組む責務を持っている。特に、廃棄物の最終処分地の確保が年々深刻化しているなかで、下水道事業に伴い発生する下水汚泥の減量化は急務となっている。

この点で、汚泥の消化処理方式は消化処理を経ない直接脱水と比較し、下水汚泥の発生量を約半分に減量できるなど大きな利点を持っているが、併せて消化処理の過程で発生する消化ガスについても、これを全量有効利用して初めて消化処理の利点を最大限生かすことになる。

地球温暖化防止に向けたさまざまな取組みが求められ、下水道分野はもとより廃棄物処理分野においても今後消化処理施設がさらに増加することが予想されるが、一方、消化ガスの用途は現在のところ汚泥焼却用燃料やガス発電などに限られていて十分と

はいえ、今後はより多くの選択肢を揃え、地域に適したメニューを選べる体制を構築することが消化ガスの有効利用を促進する鍵といえる。こうした点で本事例が参考になれば幸いである。

注) 消化ガスとは

下水を処理する過程で発生する汚泥を長時間放置しておく

と、汚泥中の有機分が微生物の働きで分解されガスが発生する。このガスを消化ガスと呼ぶ。

この成分は約60%が天然ガスの主成分であるメタンガス、残りの大半は二酸化炭素であって、約5,500 kcal/m³という高いカロリーを持つ可燃性ガスである。

下水処理場では通常、この微生物の働きを促進させるため汚泥を消化タンクで約37℃程度に加温しています。これにより、汚泥中の有機分の約50～60%が消化ガスに分解され、汚泥が大幅に減量される。これが汚泥消化処理の大きな目的である。

●私の環境教育●

北川明照

滋賀県立八幡工業高等学校 地学
〒523-0816 滋賀県近江八幡市西庄町5
TEL 0748-37-7227 FAX 0748-37-1174
Email: kitagawaa@hachiman-th.ed.jp

インターネットを利用した琵琶湖学習

近年普及がめざましいインターネットは、現代の情報化社会では欠かすことのできない情報伝達手段です。そのインターネットを環境教育に取り入れれば、今までに想像できなかった情報を教育に生かすことができるでしょう。

そこで、滋賀県の誇るべき「琵琶湖」について

- ① 琵琶湖の環境汚染の現状を知る
- ② これからの琵琶湖を考える
- ③ 琵琶湖についてのマルチメディア・

バーチャル体験

などを学習することで「人と琵琶湖との共存」についてもう一度考えてみましょう。

特に総合的に琵琶湖についてまとまっているホームページは、info BIWAとTreasures Of BIWAKOです。授業では、現在の琵琶湖の環境問題や水質変

化の資料よりグラフを書かせたり要点をまとめさせ理解させました。また、琵琶湖博物館ホームページより電子博物館仮想見学を行い、教室にいなから博物館を見学しました。なかでも、C展示室「湖の環境と人々のくらし」は、家庭から琵琶湖に排水される水の汚さや琵琶湖に住む生物たちの生態がわかり、生徒は新しい琵琶湖を発見したようでした。

しかし、琵琶湖の環境問題だけでなく、我々はさらに全地球的な問題としてとらえる態度の育成が大切です。インターネットは、その命題に対して大きな貢献を果たしてくれるでしょう。

参考ホームページ（主に授業で活用したもの）

- ・ info BIWA
<http://www.biwa.or.jp/~kawasima/index.html>
- ・ 滋賀県琵琶湖環境部「Treasures Of BIWAKO」
<http://www.pref.shiga.jp/biwako/koai/index.htm>
- ・ 琵琶湖博物館 <http://www.lbm.go.jp/>
- ・ アクア琵琶 <http://www.biwa.ne.jp/~aquabiwa/>
- ・ 滋賀大学環境教育湖沼実習センター
<http://www.sue.shiga-u.ac.jp/WWW/kosyo/kosyo.htm>