

長岡市の消化ガス有効利用 基本計画に関する調査

1. 目的

長岡市の長岡市第一下水処理場において、発生する未利用消化ガスは、安全で経費の安価な燃烧処理を行ってきたが、平成7年7月にエコシティの指定（環境負荷の低減を柱とする都市環境施策を積極的に推進する）を受けた長岡市としては、環境に厳しい燃烧処理は続けられないことから、有効利用策として消化ガス発電の導入も検討してきた。その後、平成9年度から汚泥濃縮工程に重力式に加え機械濃縮を導入し、この未利用の消化ガス量が年々増加することから、その有効利用が課題となっている。

本調査の目的は、下水道資源の一つである消化ガスの有効利用を図るため、この余剰ガスの活用方法を検討し、広く、一般的な技術として確立し、普及を図るものである。

2. 調査内容

本調査の内容は以下のとおりである。

- 1) 下水道資源の有効利用の現状と将来
有効利用に関して、現状を調査し併せて将来展望についても考察した。
- 2) 長岡市の下水道資源に関するテーマ抽出
長岡市の下水道事業から、下水道資源の有効利

用に関して、テーマを抽出した。

- 3) 未利用消化ガスの都市ガス利用の基本計画
消化ガスの都市ガス利用に関して、ガスの発生量の予測、ガスの精製方法から施設計画、運転計画まで基本計画をたてた。また、炭酸ガス除去を目的とした実験も行った。
- 4) まとめ及び今後の課題
調査のまとめと事業化に向けての今後の課題を示した。

3. 調査結果

3.1 消化ガス有効利用自治体における現状

全国において、消化ガスを有効利用している自治体を調査した結果、消化ガスの有効利用用途として

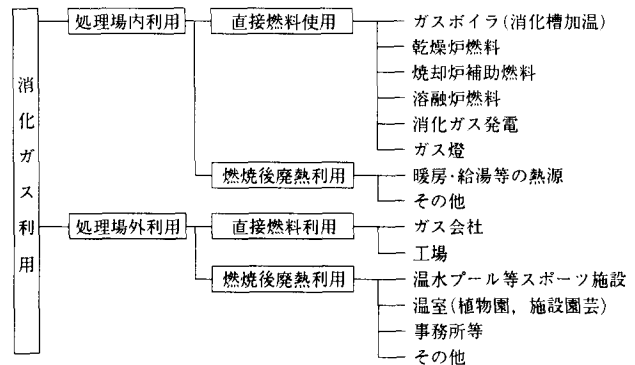


図-1 消化ガス有効利用用途

は、場内で利用する方法と処理場外の用途に供給する方法に大別される。

3.2 流入汚水量と消化ガス発生量の予測

流入汚水量については、過年度の実績を基に予測を行った。また消化ガスの発生量は、消化汚泥の投入量に応じて脱硫前の消化ガス発生量を計算した。ガス量の予測は後段に示す。

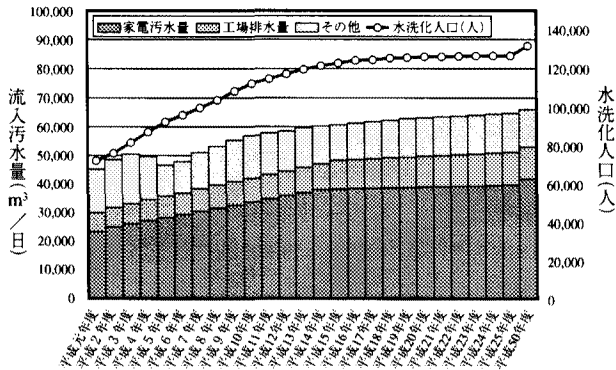


図-2 流入汚水量の予測

3.3 脱硫後のガス量予測

脱硫後のガスは、本来、硫化水素除去を目的とした二次処理水による湿式処理により、消化ガス中の炭酸ガスが液中に溶解した後の量である。溶解量は、消化ガスの発生量や二次処理水の水温によって変動する。ガス量の予測は後段に示す。

3.4 供給ガスの目標品質

北陸瓦斯(株)長岡工場との協議の結果、下水処理場から長岡工場へ供給するガスの発熱量、圧力、炭酸ガス濃度、水分量等について、供給ガスに求められる目標品質は、表-1のとおりである。

表-1 供給ガスの目標品質

項目	目標品質等
日変動	日毎の供給量の変動は可
発熱量	9,000kcal/m ³ 以上
供給圧力	8kg/cm ² 以上
供給方式	圧送コンプレッサー方式
炭酸ガス濃度	3%以下
硫化水素	2ppm以下
水分	ガス導管内で結露が生じない温度とする

3.5 吸収後ガス量及び精製ガス量の予測

脱硫後ガスは、ガスタンクを経由し、一部は消化タンク加温ボイラー用に使用され、残りを都市ガスとして供給できる。加温ボイラー必要ガス量は、投入汚泥量と気温、地中温度等外的条件によって変動し、夏場は少なくすみ、冬場は多量に必要となる。

ガス会社との協議により、所定の品質が得られれば、発生する精製ガスは全量、都市ガス原料として供給できる。炭酸ガス濃度を3%とした時の精製ガス量を計算する。

以上のガス量の予測は各々後段に示す。

3.6 消化ガスの精製方法

1) 消化ガスの精製の目的

都市ガスとして北陸瓦斯(株)に供給するためには、所定の品質までガス成分を調整する必要がある。

特に、消化ガス中には、都市ガス原料としての有用成分であるメタンガスの他に、硫化水素、炭酸ガス、水分、窒素、酸素等が含まれている。このうち、特に硫化水素、炭酸ガス、水分は高度に除去しなければならない。

2) 硫化水素の除去

消化ガス中の硫化水素(H₂S)は無色で独自の不快臭(腐卵臭)を持つ気体である。

硫化水素の脱硫法としては、一般的に、液体に吸収させる湿式脱硫法と、固体に吸着させる乾式脱硫法がある。既設の脱硫塔は湿式である。

3) 炭酸ガスの除去

1. 炭酸ガスの除去技術

除去方式としては、液吸収法、膜分離法、冷凍法、吸着法等の方式があるが、液吸収法以外は、設備機器設置、運転経費が割高になると考えられる。また、下水処理場には、多量で、アルカリ度の高い(100ppm程度)の下水処理水が豊富で、これらの処理水を利用できる。一方、化学工業の分野においては天然ガス、水素ガス、合成ガスなどからの炭酸ガスの除去には専ら“吸収操作”によってきているようである。最近の技術としては膜分離による方法等も見られるが、以下の理由から、液吸収方式を、本計画では採用する。

- ① 本処理場の既存の脱硫装置が吸収式であり、維持管理に手慣れている。
- ② 吸収液として下水二次処理水が利用でき、量的な制約が少ない。
- ③ 既に、脱硫塔において、消化ガス中の炭酸ガスが液中に吸収される現象が発生している。

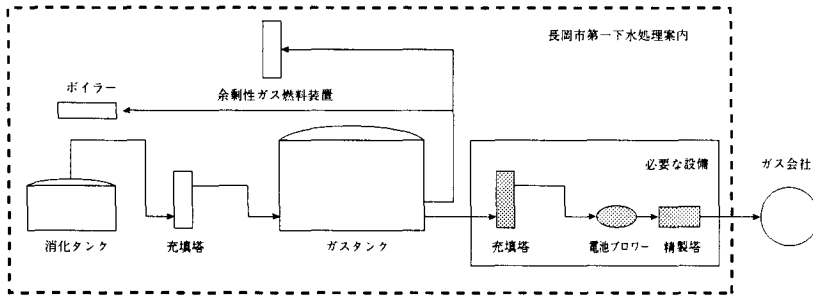


図-3 ガス精製の設備フロー

2. 炭酸ガス除去実験

炭酸ガス濃度の除去方式については、費用的に安価で、下水処理場に豊富な下水処理水を利用できることから、液吸収方式を採用することとしたが、現実には、消化ガス中の炭酸ガスを都市ガスに供給できるまで低減するための装置条件を把握することを目的として実験を実施した。

本実験では、既に行われた実施設における実験結果を考慮して、主に以下に示す項目を目的にカラム規模の実験を行うものとする。

- ① CO₂濃度20%→3%への処理における吸収効率の把握（低濃度範囲での吸収）
 - ・最適液量，液ガス比の決定（塔径の決定）
 - ・装置の吸収効率を表わす総括容量係数KLaの把握（塔の高さの決定）
 - ・吸収CO₂のHCO₃⁻への移行による効率アップの把握（化学吸収的要素）
- ② 充填材の選定
 - ・市販塩ビ管のカット品（VU管50φ×50mm^L）
 - ・同上（VP管25φ×50mm^L）
 - ・専用プラスチック充填材（日鉄化工機製：テラレット）

3. 炭酸ガスの除去実験結果

実験は次の4ケースで行われた。

- ① 1インチVP×2.8m
- ② 2インチVU×3.8m
- ③ 2インチVU×4.8m
- ④ 1インチテラレット×3.8m

実験に供試した脱硫ガスのCO₂濃度は実験期間中に計52検体を測定したが、20.5%から28.8%の範囲にあり、平均は25.0%であった。これらの範囲の中で、2インチVU管×3.8mを充填材とした実験に供した脱硫ガスのCO₂濃度が比較的高く、テラレットの時に比較的低い値であった。

ガス流量を一定としたときには、吸収液量の増加とともに出口処理ガスのCO₂濃度は低くなっ

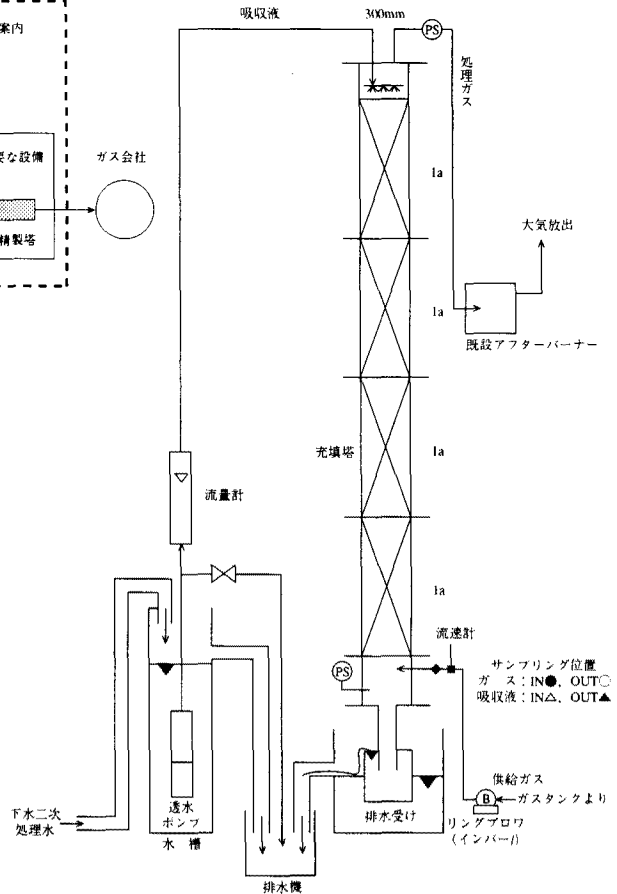


図-4 実験装置の概要

た。また、液流量が一定の場合には、ガス流量が少ないほど出口処理ガスのCO₂濃度は低下した。

液流量と総括容量係数の関係において、吸収液流量40m³/m²・hrを越えるとKLaがほぼ一定となった。

4. 考察

(1) 液ガス比の影響

液流量を最小理論液量に対する比（操作比）で表わし、図-5～図-7に示した。

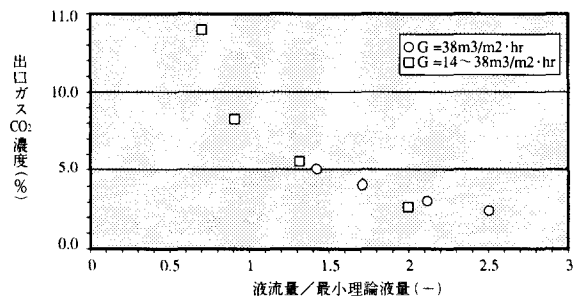


図-5 液ガス比の影響（1インチVP管）

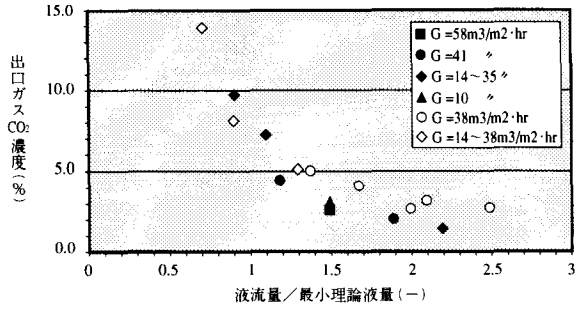


図-6 液ガス比の影響 (2インチVU管)

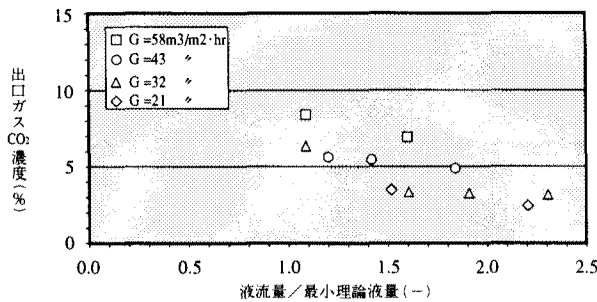


図-7 液ガス比の影響 (1インチテラレット)

ここで、最小理論液量とは、向流で気液接触させる充填塔の塔底において、出口液のCO₂濃度を入口ガスのCO₂濃度と平衡にさせる場合の液量であり、吸収のために必要な理論的最低の液量を意味している。計算で求まる数量であるが、これを達成するためには無限大の長さの充填塔が必要である。

しかし、実際の充填塔は限られた長さであるため、塔底において出口液は入口ガスの濃度と平衡にはならず、したがって実際の操作においては最小理論液量の何倍かの液量を必要とすることになる。

① 1インチVP管の場合

充填高さ2.8mのとき、出口ガス濃度3%以下とするためには、実験した最小のガス流量16N m³/m²・hrにおいては操作比1.7を、ガス流量30N m³/m²・hrでは操作比2.2を必要とした。

② 2インチVU管の場合

出口ガス濃度3%以下とするためには、ガス流量40N m³/m²・hr前後において、充填高さ3.8mでは操作比2.1程度を必要とするが、充填高さ4.8mでは操作比1.5程度まで下げることができる。

③ 1インチテラレットの場合

出口ガス濃度3%以下とするためには、

表-2 実験結果から得られたKLa

充填材×充填高さ	K _L a (1/hr)	吸収液 水温(℃)	備考 (L:液流量, n:データ数)
1インチVP×2.8m	47(42.9~54.3)	22.0	L=40m ³ /m ² ・hr以上, n=7
2インチVU×3.8m	33(30.4~35.4)	19.3	L=40m ³ /m ² ・hr以上, n=4
2インチVU×4.8m	35(29.0~39.4)	13.3	L=40m ³ /m ² ・hr以上, n=4
1インチテラレット×3.8m	27(20.8~32.4)	22.0	L=40m ³ /m ² ・hr以上, n=9

実験した最小のガス流量21N m³/m²・hrにおいても操作比は2.0以上を必要とする。

(2) 液流速の影響

いずれの充填材においても、液流速40 m³/m²・hr程度までは液流量の増加とともにKLaが増加する範囲であり、この液流速を超えるとKLaは概ね一定となる。

この傾向は、ある液流速までは液流速の増加とともに充填層の中でできる液体の表面積が大きくなり吸収効率が順じ高くなり、さらに液流速が高くなってもガスと接触する液体の表面積はそれほど大きくなり、吸収効率も液流速の増加ほど大きくならないことによるもの考えられる。

すなわち、実際の吸収塔は液流速が40 m³/m²・hr以上の領域で運転することが効率的である。

(3) 各種充填材のKLa

各種充填材及び充填高さを変えた実験から、液流量がある値を超えて一定となったKLaを比較して表-2に示した。

2インチVU管を充填材として充填高さを変えた実験からは概ね同じKLaが得られており、また、1インチと2インチの塩ビ管を比較すると、1インチの方が35%ほど高い値となっている。これらの傾向は一般の吸収でいわれていることと同じ傾向が得られた。

(4) 吸収液の性状と出口ガスCO₂濃度の限界

CO₂の吸収に使用する下水二次処理水はCO₂が含まれている。pH、CO₃²⁻、CO₂の3者の解離平衡からpH、CO₃²⁻(アルカリ度)を既知として液中のCO₂濃度を求め、さらにこれに平衡なガス中のCO₂濃度を求めると、図-8、図-9のようになる。

図-8はPHを6.8としてアルカリ度が変わった場合である。アルカリ度が高い時にはCO₂濃度も高く、平衡となるガス中のCO₂濃度が高くなる。

水温25℃の時、pHが6.8でアルカリ度が

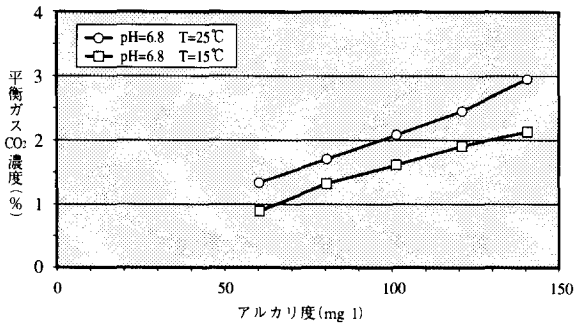


図-8 液中のアルカリ度と平衡CO₂濃度

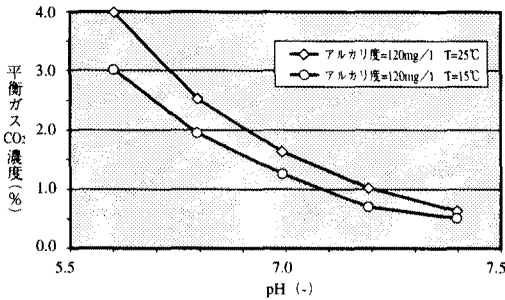


図-9 液中のpHと平衡CO₂濃度

140mg/l程度あると平衡濃度は3%になる。このような場合には、水量をいくら上げてもCO₂濃度を低下させるには無力であり、3%まで低下させることは不可能となる。

図-9はアルカリ度を120mg/lとして、pHが変わった場合であり、25℃でpHが6.7程度まで下がっていると、やはり平衡濃度は3%程度となる。

3.7 設備規模

1) 充填高さ

充填層高さによる出口炭酸ガス濃度の影響について温度をパラメーターとして検討した結果、水温25℃で充填層高さ7m以上、水温15℃では充填層高さ5mで出口炭酸ガス濃度は3%を下回ることとなる。充填層高さは7mとする。また、塔径は既設脱硫塔と同じ2.2mとした。

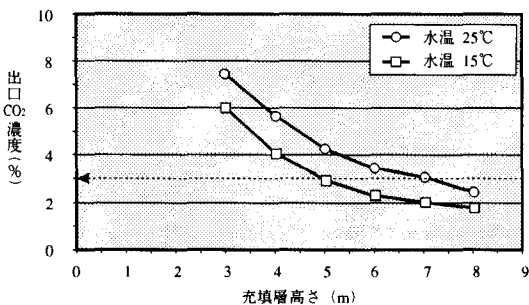


図-10 充填層高さとして出口炭酸ガス濃度

2) 設備概要

充填層高さ7m、塔型2.2mの条件で、ガス量を3,300Nm³/日としたときの液ガス比に応じた出口炭酸ガス濃度を、図-11に示す。

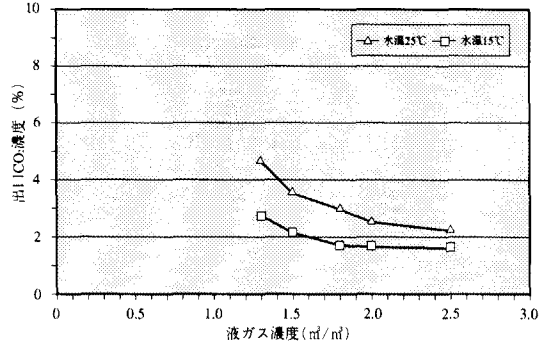


図-11 液量と出口炭酸ガス濃度

吸収塔の設備概要は、以下のとおりである。

充填材は、既設脱硫塔との充填材予備の兼用ができるよう、既設脱硫塔で現在使用している2インチVU管×幅50mmとする。

表-3 炭酸ガス吸収塔の基本形状・操作条件

項目	内容	摘要
充填層高さ	7m	
塔径	2.2m	既設脱硫等と同じ
充填材	2インチVU管×50mm	既設脱硫等と同質
計画ガス量	3,300Nm ³ /日	平成25年度日最大値
液量	5800m ³ /日	最小理論液量に対する比1.4

3) 塔径についての検討

塔径(面積)による出口炭酸ガス濃度への影響を、温度をパラメーターとして計算した。

塔径が大きくなるとともに、出口炭酸ガス濃度は低下しており、出口炭酸ガス濃度が3%以下となる塔径は水温25℃の条件で、今回設定した2.2mとなり、塔径についても、今回採用した規模が最適であると判断できる。

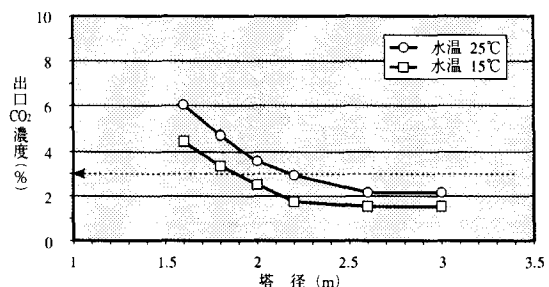


図-12 塔径として出口炭酸ガス濃度

3.8 ガス量の総括

消化ガス発生量，ガスタンク投入ガス量（脱硫後ガス量），ボイラ必要ガス量，未利用ガス量（吸収後ガス量），精製ガス量を総括して図-13に示す。

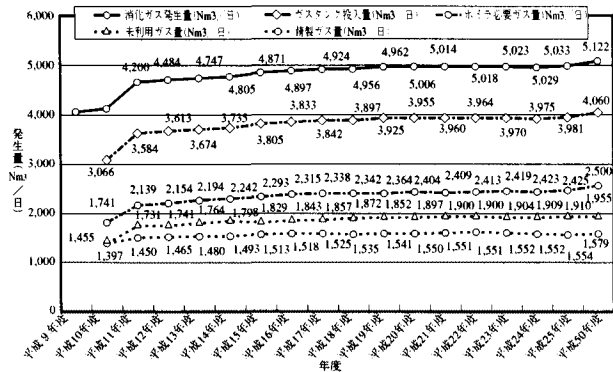


図-13 ガス量等の総括

3.9 法規制

消化ガスの都市ガス原料化に際し、「ガス事業法」が以下のとおり準用される。

- ガス事業法第38条では，ガスを供給する事業または自ら製造したガスを使用する事業者は準用事業者となる。
- ガス事業法第39条では，事業開始，または，廃止したときには遅延なくその旨を通商産業大臣に届けなければならない。
- ガス主任技術者については，導管延長が500m以下であり必要ない。また，工事計画の事前届け出も不要である。

3.10 概算費用

消化ガスの都市ガス原料化に必要な設備の一覧及び費用を以下に示す。

表-4 概算事業費 (下水道事業)

種類	設備名	設置費用	設備仕様等
建築		25,000	RC平屋造り，建築面積：60m ²
機械	精製塔	81,000	脱硫水ポンプ×2台(既設を流用する) ストレーナー×2台 配管含む
	圧送コンプレッサー	23,000	防爆型スクルーコンプレッサー 140m ³ /時×2台(1台予備)
	除湿器	43,000	冷凍機，熱交換器を含む
	場内導管	4,000	φ 80×245m
	計	151,000	
電気		74,000	監視盤(中央操作室)，動力制御盤(汚泥監視盤室)
合計		250,000	

また，北陸瓦斯(株)の場外導管及び付帯設備の費用は，導管施設で30,000千円，付帯設備30,000千円の合計60,000千円の見込みである。

維持管理費については，人件費，電気代込みで，年間，概ね4,000千円程度である。

3.11 未利用消化ガスの活用の意義

未利用消化ガスの活用の意義は次のとおりである。

- ① 下水汚泥資源の有効活用
未利用の下水汚泥資源である消化ガスの有効利用が可能となり，都市の廃棄物処理型の施設から，資源活用型の施設への転換への一助となる。
- ② 維持管理費の低減
都市ガスに供給することで供給料金として下水処理場の処理費用の一部を回収することが可能となり，年々増大する処理場の維持管理の一部を補填することで，下水道経営の健全化に寄与できる。
- ③ 低負荷都市実現への貢献
「長岡市都市環境計画」(平成8年8月，長岡市)では，計画の理想像の一つとして「環境負荷の排出ゼロを目指したまち」をあげ，その中で，低負荷都市形成に向けた施策として，省エネルギー対策の推進をあげている。未利用消化ガスの利用拡大は，低負荷都市実現に向け，下水道分野での未利用エネルギーの活用方策の一つに位置づけられる。
- ④ 下水道整備に対する市民へのPR効果
下水道におけるエネルギー活用方策を，広く市民へPRすることが可能となり，市民に親しまれる下水道の推進が図れる。これにより，下水道整備に対する周辺住民の理解を深めることできる。

4. 今後の課題

消化ガスの都市ガス原料化に当たっての今後の課題を以下に示す。

- 1) 設備的課題
 - ① 今回，設定した設備フローを基本に，個別の設備容量等について，実施設計の中で，詰めていく必要がある。
 - ② 高品質化に湿式処理方式を採用しており，吸収塔後の混合ガス(メタンガス95%)中の水分

は飽和状態にある。メタンガスと水との混合ガスがある一定圧力状態においた場合、メタン水和物（メタンハイドレード）が発生することが知られている。今回は局所的な配管部分において、高圧下になる可能性もあることから、実設計の中で、水和物の生成の可能性について確認する必要がある。

2) 北陸瓦斯(株)との協議

今後、北陸瓦斯(株)と、設備の費用負担、供給ガス単価、供給停止時の対応等について、協定等を交わしておく必要がある。

3) 運転管理の高度化

ガス供給の品質を一定に保つため、処理ガス量・洗浄水の水質と、供給ガス量・ガス成分の因果関係についての運転管理モデルの構築が必要である。

●この調査に関する問い合わせは

研究第一部長

研究第一部主任研究員

研究第一部主任研究員

研究第一部研究員

山根 昭
田島 研一
横川 佳重
王尾 和寿