

消化ガスの高品質化と高濃度CO₂の有効利用の研究

小菅博明、伊熊信男、〇片山尚樹（横浜市環境科学研究所）

1 はじめに

横浜市では、下水汚泥を全量消化処理しており、その処理過程で発生するメタン（以下「CH₄」という。）を主成分とする下水汚泥消化ガス（以下「消化ガス」という。）を、発電等の燃料として有効利用し、年間約 18,000 kℓに相当する化石燃料とそれに伴う温室効果ガスの削減に努めている。しかし、昨今の省エネルギー、温室効果ガス排出量削減及び資源の有効利用の観点から、さらなる効率的、又用途の拡大を行う必要がある。そのためには、消化ガスを精製しメタン濃度を高めた、利用価値の高い「高品位な消化ガス」（以下「精製ガス」という。）とする必要がある。なお、高品質化の過程で発生するカーボンニュートラル*な高濃度の二酸化炭素（以下「CO₂」という。）も、有効利用方法を検討し、いっそうのCO₂排出量削減の可能性についても調査する必要がある。

2 研究の目的

消化ガスの主成分であるCH₄を高濃度に濃縮するとともに、燃焼時に酸化し硅砂となって機器の摩耗・損傷の原因となっているシロキサンといった不純物を効率よく分離精製する方法を研究した。また、分離したCH₄及びCO₂の有効利用方法も検討し、事業性の検討を行った。今回、公募型共同研究者2グループのうち、月島機械(株)から提案のあった、「ガス吸収法（物理吸収法）」〈逆混合防止型圧力水接触方式〉（図1参照）の研究成果を報告するものである。

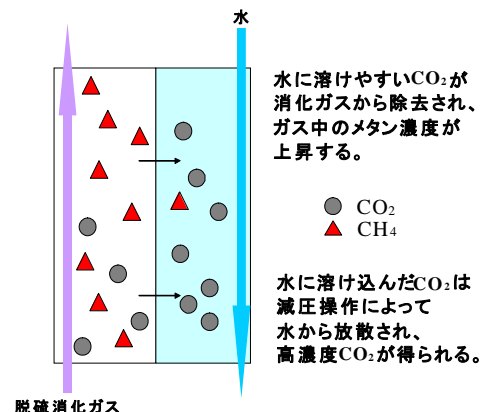


図1 圧力水接触方式

3 実験方法

横浜市南部汚泥資源化センターに設備を設置し、硫化水素を除去した消化ガスと下水再生水を用いて試験を行った。精製ガスの目標値は、CH₄濃度 95%に加え、分離したCO₂濃度も 95%とした。（図2参照）

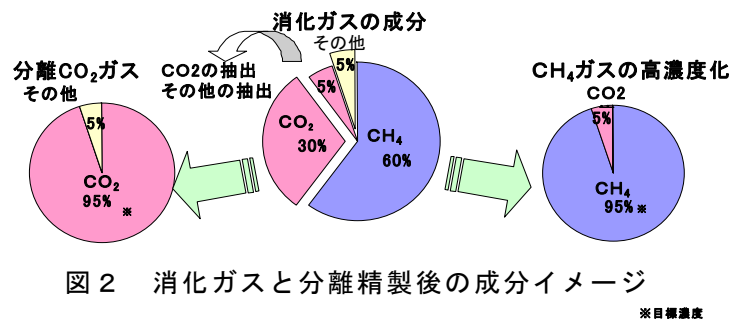


図2 消化ガスと分離精製後の成分イメージ

*目標濃度

3-1 逆混合防止型圧力水接触方式による消化ガスの精製

CO₂が水に溶けやすい性質を利用した方式であり、精製塔において0.8MPaの圧力下で消化ガスと水を接触させ、CO₂を溶解させる。高濃度CH₄は精製塔上部から採取することが出来る。このガスと水が接触する過程で、ガスの逆流防止が施され、精製効率を向上させているのが、本方式の特徴である。

一方、水に溶け込んだCO₂は洗浄塔で0.2~0.4MPaに減圧し、一部溶解していたCH₄とCO₂の一部が放出され、再度精製塔に戻される。残りのCO₂は水と共に脱気塔へ送られ、真空ポンプにより減圧され、水から放散されることにより、高濃度CO₂を得ることができる。(図3参照)

4 実験結果

4-1 精製能確認試験

4-1-1 接触比及び作用圧力の試験

設計値の接触比(ガス流量 8.2Nm³/h、液面負荷 50m³/m²・h)を基準に流量を変化させる実験を行った。以下にCH₄及びCO₂精製ガスの濃度を測定した実験結果を示す。(表1参照) この実験の結果で、CH₄濃度はガス流量が少なく水量が多いほど高まる傾向があり、CO₂濃度はガス流量が多く水量が少ないほど高まる傾向である。(表1参照) ただし、この実験ではCO₂濃度が十分高いとは言えないため、洗浄塔圧力を0.4MPaから0.2MPaへ低下させて実験を行った。

表1 洗浄塔圧力：0.4MPaの場合 上段：CH₄/下段：CO₂ (vol%)

供給ガ 液ス 面負荷	A			B			C		
	8.2 Nm ³ /h	12.3 Nm ³ /h	16.4 Nm ³ /h	8.2 Nm ³ /h	12.3 Nm ³ /h	16.4 Nm ³ /h	8.2 Nm ³ /h	12.3 Nm ³ /h	16.4 Nm ³ /h
50 m ³ /m ² ・h	99.3	90.7	86.9	99.9	92.3	—	99.4	91.8	—
	91.4	96.0	95.9	90.0	95.6	—	95.4	97.6	—
75 m ³ /m ² ・h	—	—	94.6	—	99.3	94.1	—	99.0	94.2
	—	—	94.4	—	90.7	93.7	—	93.3	96.3
100 m ³ /m ² ・h	—	—	98.2	—	>99.9	98.2	—	99.8	—
	—	—	89.5	—	81.4	90.3	—	86.9	—

この実験では接触比は一定に保ったまま、設計値の0.5倍、1.0倍、1.5倍の各流量で条件を変化させ、精製塔断面積当たりの負荷量を変化させた場合の影響を把握した。(表2参照) この実験の結果、いずれの場合にも洗浄塔圧力が0.4MPaの時と比べ、0.2MPaへ下げたことによるCO₂濃度の向上が見られた。また、表2の実験結果からも分かるとおり、精製塔断面積当たりの負荷量は、CO₂濃度を高める運転条件としては、設計値の接触比(×1.0)が好ましいとい

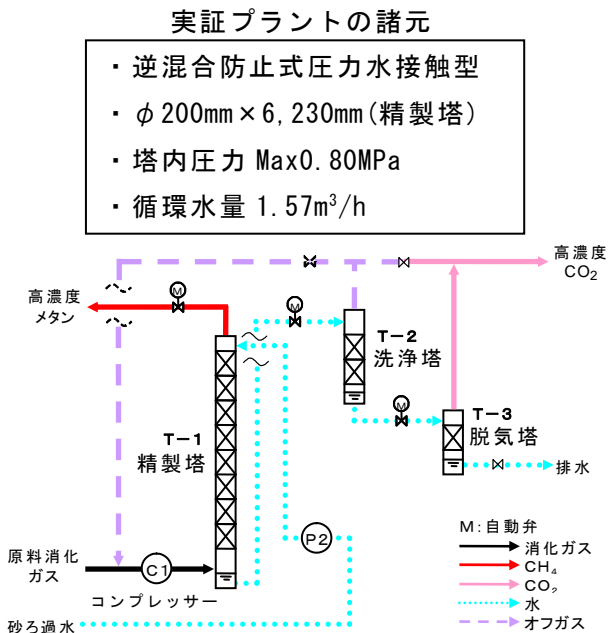


図3 精製能確認試験のフロー

える。(表 2 参照)

表 2 洗浄塔圧力：0.2MPa の場合 上段：CH₄ / 下段：CO₂ (vol%)

供給 ガス 液面 負荷	A			B			C		
	4.1 Nm ³ /h ×0.5	8.2 Nm ³ /h ×1.0	12.3 Nm ³ /h ×1.5	4.1 Nm ³ /h ×0.5	8.2 Nm ³ /h ×1.0	12.3 Nm ³ /h ×1.5	4.1 Nm ³ /h ×0.5	8.2 Nm ³ /h ×1.0	12.3 Nm ³ /h ×1.5
25m ³ /m ² ・h ×0.5	99.9 94.4	—	—	99.8 97.5	—	—	99.8 98.7	—	—
50m ³ /m ² ・h ×1.0	—	99.3 96.2	—	—	98.6 97.9	—	—	97.8 99.0	—
75m ³ /m ² ・h ×1.5	—	—	99.4 93.8	—	—	98.6 96.5	—	—	98.0 97.3

表 1、表 2 の供給ガス条件：(Aタイプ)消化ガスだけ、(Bタイプ)消化ガス+洗浄塔排ガス、(Cタイプ)消化ガス+洗浄塔排ガス+CO₂ボンベガス (液化装置オフガス想定)

4-1-2 精製ガスの回収率

CH₄の回収率は平均 95%となり、CO₂の回収率は、真空ポンプの封水にCO₂が巻き込まれ系外へ排出される現象により、今回の実験設備では測定できなかった。

4-2 消化ガスの高品質化についての考察

4-2-1 精製能力と精製ガス濃度

CH₄とCO₂を安定的に分離精製することに成功し、CH₄とCO₂の精製濃度は、一方を高めると他方が下がる、相反する作用であり、高濃度化ガスをどの様な使い方とするかにより、濃度バランスを決定する必要がある。

4-2-2 シロキサンの除去

シロキサン(D4, D5)に代表される微量有機成分については、通常 50～100mg/Nm³程度含有(トルエン換算値。以下同じ)されているが、精製後のCH₄ガス側で13～15mg/Nm³、CO₂ガス側で4～7mg/Nm³程度まで除去されている。これは、精製装置において、コンプレッサーとアフタークーラーを備えているため、消化ガスの圧縮・冷却過程において微量有機成分が凝縮され、精製塔へ達する前に大部分が除去されたと考えられる。残存する微量有機成分については精製後のCH₄ガス側及びCO₂ガス側において、活性炭除去による処理をすることが好ましい。

4-3 有効利用方法について

4-3-1 CH₄ガス(濃度 95%以上)の利用

- (1) 都市ガス仕様のコージェネレーションへの適用
- (2) CH₄ガスの販売及びCNG車への燃料利用

4-3-2 CO₂ガス(濃度 95%以上)の利用

- (1) 粗製液化炭酸ガスへの加工
 - ・ゴミ埋立処分場浸出水高度処理(カルシウム除去)への利用
 - ・アルカリ水の中和処理への利用

4-4 事業の実現可能性の検討

稼働中の設備の有効活用を考慮に入れ、「採算性」を優先し、設備の冗長性や既設設備の更新が容易なものとなるよう検討した。

4-4-1 設備建設のケース

既設の消化ガスエンジンが稼働していることから、既設のラインと別系統に、精製設備、コージェネレーション設備及び液化設備を設置することにより以下の効果が見込める。(図6参照)

〈効果〉

- ・ガス発生量の変動を既存ライン側で吸収させ、精製設備の運転効率を向上させることが出来る。
- ・既設ガスエンジンの延命化等がはかれ、更新が容易に行える。
- ・消化ガスの全量利用及び効率的な精製運転が可能となる。
- ・ガスホルダに貯蔵余裕が生じるため、将来の消化ガス増量施策にも対応が可能である。

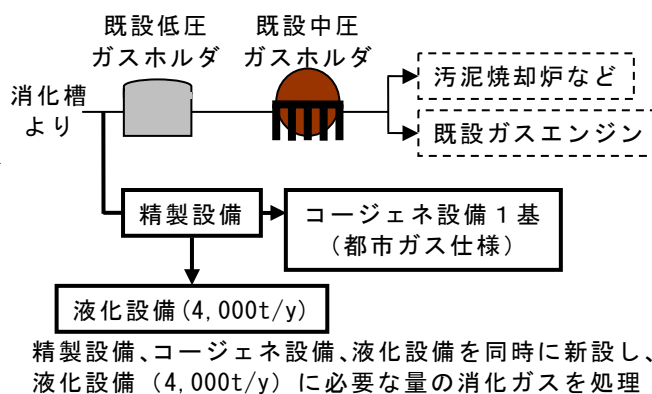


図6 設備建設のケース

4-4-2 採算性

図6のケースの場合、イニシャルコストを、収入からランニングコストを差し引いた値で割り戻すLCC(ライフサイクルコスト)で検討すると、全ての設備で国庫補助(55%)の導入が可能な場合、18.5年程度で採算が取れる計算となる。ただし、これはCH₄ガスの有効利用で得られる採算が良いためであり、今回の液化設備4,000t/年ペースでは、事業規模が小さく採算性が悪いため、事業化にあたっては十分な検討が必要である。

4 おわりに

今回の共同研究を通し、消化ガスの高品質化について良好な研究結果が得られた。今後は、精製装置の長期安定性を阻害する因子を調査し、実設備への効果的な導入方法を検討する必要がある。また、精製ガス(CH₄及びCO₂)の有効利用については、汚泥資源化センター内でのエネルギー収支を考え、場内利用を積極的に進めるのか、場外へ用途を広げていくのかなど、詳細に検討する必要がある。

※【カーボンニュートラル】バイオマス(生物資源)燃焼によるCO₂発生は、成長過程で光合成により吸収したCO₂を発生しているにすぎないと見なされ、ライフサイクルで見ると大気中のCO₂の増減に影響を与えない性質のこと。消化ガスもバイオマスとして位置づけられている。

引用文献

- 1) 横浜市環境科学研究所、月島機械株式会社(2006年)公募型共同研究「消化ガスの高品質化と高濃度CO₂の有効利用の研究」報告書。