

特集：下水道における地球温暖化対策

バイオ天然ガスの利用 —下水からつくる自動車燃料—

岡本誠一郎* 落 修一** 田中裕子*** 豊久志朗****

1. はじめに

下水道は、下水や汚泥の処理過程で多くの温室効果ガス(GHG: Green House Gas)を排出しており、公的部門における排出量のシェアは比較的大きい¹⁾。今後、地球温暖化対策への取り組み強化が求められる中で、下水道は、公的部門のGHG排出抑制のためには重要な役割を担うこととなる。一方で、下水道施設は、下水汚泥の処理工程で発生するバイオガス(消化ガス)の利用等、再生可能エネルギーの生産・活用拠点となるポテンシャルを有する。

こうしたことを背景に、神戸市、(独) 土木研究所、(株) 神鋼環境ソリューションでは、消化ガスの利用促進、用途拡大に向けて、消化ガス中の二酸化炭素や硫化水素を除去し、発熱量等の性状を天然ガスに近い状態にまで精製する「バイオ天然ガス化装置」の開発を行ってきた²⁾。本稿では、本開発技術の概要等について紹介する。

2. 下水汚泥消化ガスの特性

下水処理場は、下水処理で発生した汚泥の処理施設を有するが、このうち、汚泥を嫌気(無酸素)状態で発酵させる消化プロセスが全国約300箇所の処理場で採用されている。消化プロセスでは、臭気・病原菌等の低減、汚泥の減量化と共に、その副産物として消化ガスが発生する。消化ガスはメタンと二酸化炭素を主成分とする可燃性ガスで、従来からガスエンジン等の発電機やボイラーの燃料として利用されてきた。消化ガスはカーボンニュートラルな環境にやさしいエネルギーであり、この利用拡大によりGHG排出削減に貢献できる。

しかし消化ガスは、都市ガスに比べて熱量が低いことに加え、硫化水素やシロキサン(有機珪素化合物の一種で燃焼するとシリカとなり機器を損

傷させる)に起因して利用機器が損傷・劣化し、メンテナンス費用がかさむこともあり、利用可能な用途が限定され、その活用が十分に進んでいなかった。全国の消化プロセスを採用している下水処理場では、発消化ガスの1/3程度は余剰ガスとして焼却処理されており³⁾、新たな用途拡大が可能な技術の開発が望まれていた。

3. 開発経緯と開発目標

神戸市では、1995年1月の阪神淡路大震災により下水道施設も甚大な被害が発生し、その後の復旧に注力してきた。近年、市内最大規模の東灘処理場では、消化ガス中の硫化水素を除去する脱硫設備や、その後ガスを貯留する低圧ガスタンクの老朽化のため、脱硫・貯留設備を高機能化する更新により消化ガスの有効利用率を高めることが求められていた。また、本処理場は震災時の被害も大きかったことから、消化ガスを自動車燃料として地域へ供給することにより、震災復興のシンボルとする取組みを進めることとし、その一環としてバイオ天然ガス化装置の開発を開始した。なお、「バイオ天然ガス」とはバイオガス(消化ガス)を天然ガス成分に近いものにまで精製したガスを指し、「こうべバイオガス」とは、神戸市で当該ガスの名称を公募により決定した愛称である。表-1に、本技術の開発経緯を示す。

本技術では、下水処理場の消化ガスを対象として以下の開発目標を設定し、消化ガス処理量80 m³N/hの実証機による実証試験により性能確認を

表-1 「バイオ天然ガス」技術開発の経緯

年 月	事 項
2004年 7月	「消化ガスのバイオ天然ガス化」に関する共同研究を開始(神戸市、株式会社神鋼環境ソリューション、東灘処理場で消化ガス精製装置の実証実験設備製作・建設開始)
2004年10月	実証設備の運転開始
2004年12月	試験機内で精製ガスを使った自動車試験(普通車、大型バス)を実施
2005年7月	共同研究に独立行政法人土木研究所が参加
2005年10月	市バスでの公道試験走行開始
2005年11月	試験機内で精製ガスを使った自動車試験(中型バス)を実施
2006年4月	こうべバイオガス活用設備事業が新世代下水道支援事業に採択される
2006年10月	市バス営業運転車両へのこうべバイオガス供給開始(1台/日)
2008年2月	東灘処理場こうべバイオガス活用設備 竣工
2008年4月	こうべバイオガス供給開始
2009年1月	第1回循環のみち下水道賞資源のみち部門国土交通大臣賞受賞
2009年6月	第35回優秀環境装置表彰経済産業大臣賞受賞

行ってきた。

1)処理能力

- i) メタン濃度97%以上、硫化水素濃度0.1ppm以下、シロキサン濃度1.0mg/m³N以下
- ii)メタン回収率が平均で97%程度

2)既存天然ガス自動車への適用が可能

3)既設消化タンク脱硫設備の高機能化

実証機による試験によって開発目標が十分達成可能であることが確認されたことから、神戸市東灘処理場において実機建設を開始し、既に2008年4月より本格的にバイオ天然ガスの供用を開始している。

4. バイオ天然ガス化装置の開発

4.1 消化ガス精製の原理

消化ガスの主成分であるメタンは、水にはほとんど溶解しないが、二酸化炭素や硫化水素は水に溶解しやすく、加圧下ではメタンとの溶解度の差がより一層大きくなるため(図-1)、この特性を利用してメタンを抽出することが可能であり、この原理による精製方法は「高圧水吸収法」と呼ばれている。また、水温が低下するとさらに溶解度の差が大きくなる。

一方、シロキサンは、水に難溶解性のため、常圧下での水との接触では除去できないが、加圧により凝縮し液滴となり、吸収塔内で水に叩き落とされることでガスから分離され、水と共に吸収塔から排出されるメカニズムが本技術開発研究の過程で明らかとなった²⁾。これらの原理、メカニズムにより、高圧水による二酸化炭素、硫化水素およびシロキサンの同時除去が可能となる(図-2)。

4.2 バイオ天然ガス化装置の概要

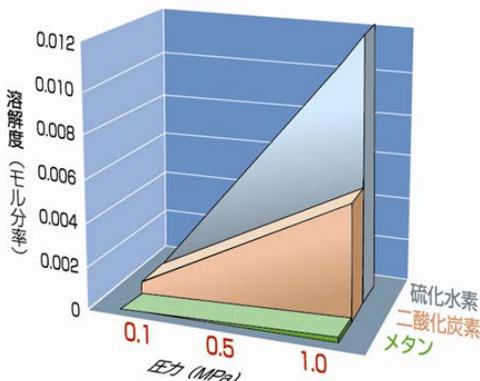


図-1 各物質の圧力と水への溶解度との関係⁴⁾
[化学便覧 基礎編 掲載データをグラフ化]

本装置は、4.1の高圧水吸収法により下水処理水と電力のみで消化ガスを精製する。まず消化ガスから固形物および水分を除去したあと、圧縮機で0.8 MPa から0.9MPa の範囲に昇圧して吸収塔下部から投入する。次に吸収塔上部から散水された水と気液接触させ、ガス中の二酸化炭素、硫化水素を水へ溶解させる。また、精製されたガスは除湿器で除湿される。水に溶解した二酸化炭素や硫化水素、シロキサンなどは、減圧塔を介して排出される。こうして本システムでは、従来型の脱硫装置等を設置することなく、メタン濃度は97%以上、硫化水素は0.1ppm以下、シロキサンは1.0mg/m³N以下となり、天然ガスに近い性状のバイオガスが得られる。

バイオ天然ガス化装置の給水方式は、一過式と循環式の2つの方式がある(図-3)。一過式は消化ガスと接触させる水を減圧塔から直接排水する方式で、循環式は水を系内で循環させる方式であり、例えば処理水が多量に使用できる場合は一過式、水の使用量が限られ、消化ガスとの接触に必要な水量が確保できない場合は循環式での対応な

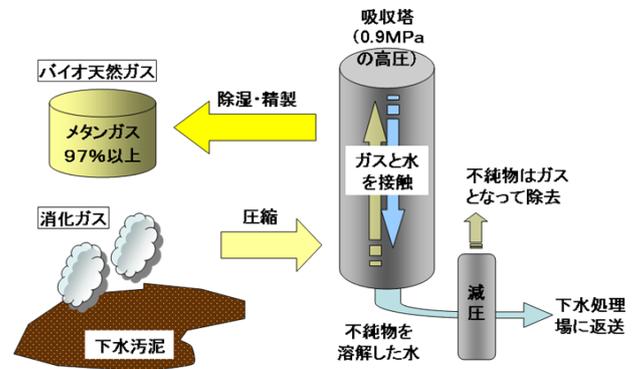


図-2 バイオ天然ガス化装置の原理⁵⁾

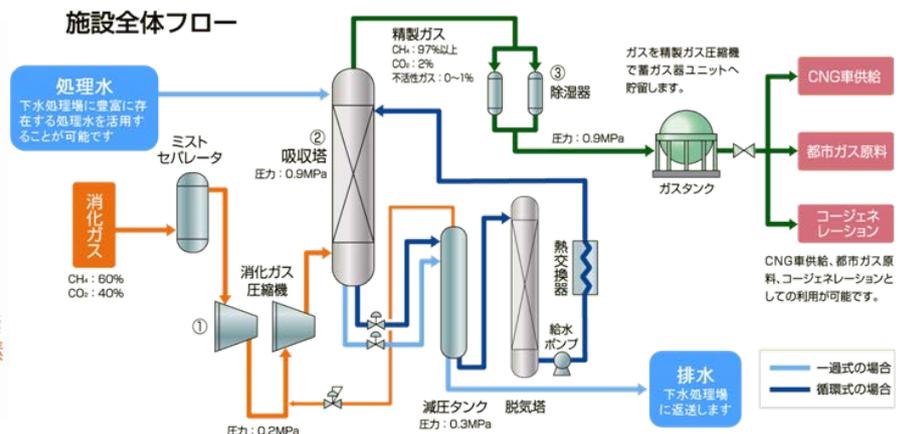


図-3 施設全体のフロー

ど、状況に応じた方式が選択できる。

4.3 天然ガス自動車燃料への適用

バイオ天然ガスを使って以下の自動車試験を実施し、都市ガスの代替燃料として問題の無いことを確認した^{2),6)}。

①既存の天然ガス自動車（普通車および大型・中型バス）について、財団法人日本自動車輸送技術協会およびDRD（旧社名：日産ディーゼル技術研究所）による動力および排出ガス試験を実施し(写真-1)、都市ガス13Aと実用上有意差のない動力性能および排出ガス性能を確認した(図-4、図-5)。

②長期の公道試験走行を、国土交通省兵庫国道事務所神戸維持出張所道路維持作業用パトロールカーにより実施し、試験期間を通して問題なく走行することができた。



写真-1 普通車試験実施状況

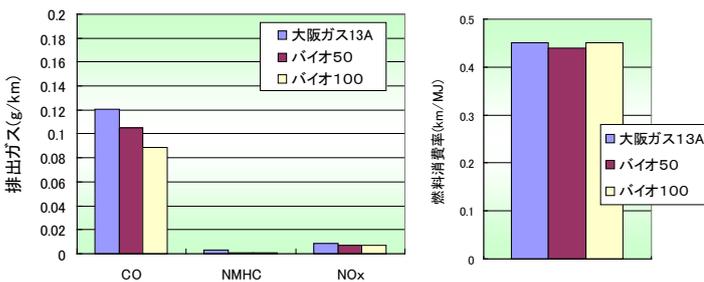


図-4 普通車排ガス試験結果 図-5 普通車燃料消費量

(バイオ50は、大阪ガス13A 50%+バイオ天然ガス50%、
バイオ100は、バイオ天然ガス100%)

表-2 ガス分析結果

		消化ガス (未脱硫)	排気	精製ガス (付臭後)	精製ガス 運転管理値
メタン	%	59.5	0.8	98.6	97以上
二酸化炭素	%	38.9	27.6	<0.1	—
酸素	%	<0.1	15.1	0.2	4未満
窒素	%	0.4	56.5	1.2	—
硫化水素	ppm	480	510	<0.02	0.1以下
水分	%	1.2	1.1	—	—
露点	℃	—	—	<-60	-51以下
シロキサン (D3~D6の合計)	mg/m ³ N	12.6	7.1	0.014	1.0以下
高位発熱量 (計算値)	MJ/m ³ N	24.0	—	39.4	—
	kcal/m ³ N	5,740	—	9,410	—
臭気濃度	—	—	—	3,000	2,000以上

③短期の公道試験走行として、神戸市交通局市バス、神戸市環境局ごみ収集車、神戸市建設局東水環境センター公用車、民間事業者運送用車両による各種試験を実施した。その結果一般の天然ガス自動車と同等であり、実験期間中のバイオ天然ガス使用によるトラブルはなかった。また、市バスにおける排気ガスの成分についてもCOやHC(炭化水素)とも基準値以下であることを確認した。

5. こうべバイオガスステーション

現在、実施として供用しているバイオ天然ガス化装置を写真-2に示す。実施の処理フローとしては、まず、既設の消化タンクから発生した消化ガスは、バイオ天然ガス化装置に直接供給され、精製される。その後中圧ガスホルダへ一時貯留され、こうべバイオガスステーションで天然ガス自動車に燃料として提供されるとともに、処理場の場内利用として、消化タンクの加温、空調用ボイラー燃料にも利用されている。

実施のガス分析結果（循環式による運転時）を表-2に示す。消化ガス量241m³N/h、給水量31.3m³/h、水温は7℃で、吸収塔圧力は0.9MPaである。分析結果より、各項目とも精製ガスの運転管理値を満足していることを確認した。硫化水素およびシロキサンは99%以上の高い除去率が得られており、精製ガス中の濃度は極めて低い値である。メタンの回収率は実施でも98%を確認しており、高い性能を達成している。

精製に要する消費電力は、表-2の分析を行った1日の平均で、消化ガス1m³Nあたり0.36kWh、精製ガス1m³Nあたり0.63kWhであった。この結果から、精製に要する電力は、精製ガスの保有エネルギーの6%程度であり、精製によるエネルギーロスは十分低い値となっている。

現在、こうべバイオガスステーションでは、前記の公道試験走行に参加した車両に加え、下水汚泥脱水ケーキ運搬車を含めて、登録台数が約120台を超え、バイオ天然ガスを安定的に供給している(写真-3)。

6. 今後の展望

本技術は、下水処理場で発生する消化ガスの精製のほか、生ゴミからのメタン発酵や、ゴミの埋立地から発生するバイオガスの精製など、適用範

囲の拡大が期待される。精製されたバイオガスはメタンガスが主成分のため、天然ガスグループ12Aに相当する。これをさらに熱量調整等の技術によって天然ガスグループ13Aに調整すれば、ガス事業者への導管接続も可能となる。2009年7月には、通称「エネルギー供給構造高度化法」が成立した。今後、ガス事業者等はバイオガスなどの再生可能エネルギーの一定利用を義務づけられる

こととなっており、バイオガス利用の拡大に一層の弾みがつくと考えられる。東灘処理場においても、2009年10月より下水道バイオガス都市ガス導管注入実証事業が実施されているところである。

本技術は、その性能・品質や環境保全、環境装置産業の振興への貢献が高く評価され、2009年に第35回優秀環境装置表彰において経済産業大臣賞を受賞した。地球温暖化対策の一環としてバイオガス利用への期待は高まっており、今後とも本技術の普及拡大が期待されるところである。



写真-2 バイオ天然ガス化装置（実施設）の状況
（神戸市東灘処理場）



写真-3 こうべバイオガスステーション

参考文献

- 1) 岡本誠一郎：下水道分野の温室効果ガス対策技術、水環境学会誌、Vol.32、No.7、2009
- 2) 神戸市、独立行政法人土木研究所、株式会社神鋼環境ソリューション、消化ガスのバイオ天然ガス化、共同研究報告書、第353号、2006
- 3) 石井宏幸：下水汚泥資源利用の動向と今後の課題について、第22回下水汚泥の有効利用に関するセミナー資料、2009
- 4) 神鋼環境ソリューション(株)、バイオ天然ガス化設備(パンフレット)より転載
- 5) (独)土木研究所リサイクルチーム、「バイオ天然ガス化装置」が経済産業大臣賞を受賞しました、土木研究所Webマガジン、Vol.12、2009 より転載
- 6) 豊久志朗、田中裕子、岡本誠一郎：バイオ天然ガス化装置（経済産業大臣賞）、機関誌「産業機械」、No.708、2009

岡本誠一郎*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループリサイク
ルチーム 上席研究員
Seiichiro OKAMOTO

落 修一**



財団法人下水道新技術
推進機構資源循環研究
部副部長（前(独)土木
研究所リサイクルチ
ーム総括主任研究員）、
工博
Dr. Shuichi OCHI

田中裕子***



神戸市建設局下水道河
川部工務課主査
Yuko TANAKA

豊久志朗****



株式会社神鋼環境ソ
リューション水処理事
業部技術部汚泥処理室
長
Shiro TOYOHISA