共同研究報告書
整理番号第３５３号

消化ガスのバイオ天然ガス化

共同研究報告書

平成１８年１２月

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

Copyright © (2007) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第３５３号２００６年１２月

消化ガスのバイオ天然ガス化

共同研究報告書

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

要旨 .....

地球温暖化対策やエネルギー対策として下水汚泥の消化ガス利用が大きく注目されている。本研究は、最も効果的な利用方法と思われる天然ガス自動車の燃料に利用する方法の技術開発に取り組んだものである。研究では、消化ガス精製のための実証設備を用いた実験を行うとともに、得られた精製ガスを用いた数種の天然ガス自動車による公道での走行試験を重ね、消化ガスの精製法を確立した。また、研究では安全、円滑な実用に資するために精製ガスの品質管理基準を定めた。本報告書は一連の研究成果をとりまとめたものである。

キーワード： 下水汚泥、バイオガス、消化ガス、天然ガス自動車、自動車燃料

共同研究担当者

神戸市

✓	竹中　恭三	建設局　下水道河川部　工務課
	小西　章弘	同上
	村谷　和明	同上
	田中　裕子	同上
	岡崎　裕一	同上
	寺岡　宏	同上
	木山　秀一	同上
	高田　淳	同上

独立行政法人土木研究所

尾崎　正明	材料地盤研究グループ　リサイクルチーム
落　修一	同上
牧　孝憲	同上
庄司　仁	同上

株式会社神鋼環境ソリューション

吉ヶ江　武男	技術本部　水処理第一技術部
豊久　志朗	同　汚泥処理室
小山　忠志	同上
丸山　智裕	同　プロポーザル室
宮本　博司	技術開発本部　プロセス技術開発部　廃棄物処理室

はじめに

神戸市では年間約２億㎥の下水を処理している。下水の処理過程から発生する汚泥は全量を嫌気性消化し、そこでは固形物濃度：約 3.5%の濃縮汚泥：約 60 万㎥／年から年間約１千万㎥の消化ガスが発生している。現在、その内の約７０%を消化タンクの加温ボイラーや空調設備などに熱利用しているが、残りは焼却処分している。

消化ガスは化石燃料に由来しないバイオガスであり、その積極的な活用によって化石燃料の消費削減や二酸化炭素排出量削減など地球環境保全に貢献することが大いに期待されている。

そこで、平成１６年度、神戸市と株式会社神鋼環境ソリューションは、消化ガスの天然ガス化に関する共同研究を実施し、下水処理場に適した消化ガス精製装置を用いて高純度のメタンガスを取り出すことに成功するとともに、このガスが天然ガス自動車の燃料である都市ガス１３Ａに近い熱量を有することを確認した。そして、この得られる精製消化ガスを“バイオ天然ガス”と称することとした。

これらの研究成果をふまえ、平成１７年度からは上記２者に独立行政法人土木研究所を加えた３者により、消化ガスのバイオ天然ガス化と天然ガス自動車燃料としての活用の事業化を目指した共同研究に取り組んできた。本報告書は、これまでに得られた研究成果をとりまとめたものである。

目　次

はじめに

第1章　バイオ天然ガスの製造

1. 1　研究の目的 …… 1

1. 2　製造方法および装置 …… 1

1. 3　実証運転結果 …… 6

1. 4　実証運転結果のまとめ …… 17

第2章　バイオ天然ガスによる天然ガス自動車走行試験

2. 1　試験機関における動力・排ガス試験 …… 19

2. 2　公道試験走行 …… 30

第3章　バイオ天然ガスの品質管理基準

3. 1　CNG 車燃料ガスに対する法規制値 …… 42

3. 2　バイオ天然ガスの品質管理基準 …… 43

第4章　消化ガス精製装置実用化の検討

4. 1　基本諸元 …… 46

4. 2　精製システム …… 46

むすび

第１章　バイオ天然ガスの製造

１．１　研究の目的

本研究は、都市ガスに相当する高品位燃料ガスへと消化ガスを精製することによってその有効利用用途を拡大し、発生する消化ガス全量の利活用を達成することを目的とする。具体には、圧縮天然ガス自動車（以下、CNG 車という）の燃料としての消化ガスの利用を図るために、以下の 3 つの項目に取り組んだものである。

- 消化ガスを CNG 車燃料としての利用が可能な性状に精製する技術の確立
- 経済的な精製システムの構築
- 事業化に向けた精製ガス品質管理指針の提案

１．２　製造方法および装置

1.2.1 精製方式比較

CNG 車は圧縮天然ガスを燃料とする自動車であり、構造は基本的にガソリン車あるいはディーゼル車と同じである。異なるのは主に燃料系統であり、燃料である天然ガスは、気体のまま高圧（20～30 MPa）に圧縮されて、自動車に搭載されているガス容器に充填された後、当該ガス容器から燃料配管を通り、減圧弁を介してエンジンに供給される構造となっている。代表的な低公害車の１つであり、社団法人日本ガス協会によると平成 18 年 3 月末現在で国内において約 27,600 台が普及している[1)]。また、CNG 車の燃料である天然ガスとして、国内においてはメタンを主成分とする都市ガス 13A および都市ガス 12A ガスが利用されている。

消化ガスは下水を処理する過程で発生するバイオガスで、メタンを約 60%含む一方、CO_2 を約 40%含むため発熱量が都市ガス 13A の約半分と低いほか、硫化水素等の微量不純物を含んでいる。そのため、消化ガスを CNG 車の燃料として利用するためには、CO_2 を除去して発熱量を高めるほか、水分や硫化水素など、腐食等の悪影響を及ぼす不純物を除去する必要がある。そこでまず、消化ガスから不純物を効率良く除去して、都市ガス 13A の性状に近づけるための、精製方式の検討を行った。

表 1-1 に主なバイオガス精製方法を示す。これらの精製方法のなかで、国内の下水処理場において、豊富に存在する処理水を吸収水として活用出来る方式である常圧水吸収法の採用事例がある[2)]。消化ガス中の不純物である二酸化炭素や硫化水素の水への溶解度が、メタンと比較して大きい特性を利用してメタンを抽出する方法である。しかし、処理水中の溶存酸素および窒素が吸収塔内で放散してガス側に移行することが原因で、当該方式では精製ガスのメタン濃度の上限は 90%程度にとどまっているため、本研究で目指している、精製ガスをそのままで CNG 車の燃料として利用するために必要なメタン純度に達していないと考えられた。

PSA 法（圧力スウィング吸着法）は、ある種の吸着剤が CO_2 等を選択的に吸着する特性を利用して、高純度のメタンを抽出する方式であり、吸着剤としては主にモレキュラーシーブが用いられている[3)]。一般的に精製ガスのメタン純度とメタン回収率にトレードオフの関係があり、精製ガスのメタン濃度を高くするほどメタン回収率が低下する傾向にある。

膜分離法は、メタンと CO_2 のある種の膜に対する透過速度の差を利用してメタンを分離する方式であり、主に高分子膜が用いられている[4)]。一般的に膜を保護するため、予め除湿（または加温）および脱硫が必要となる。PSA 法と同様、精製ガスのメタン純度とメタン回収率にトレードオフの関係があり、また、同じ精製ガスメタン濃度を達成する場合のメタン回収率の値はPSA 法より低い。

高圧水吸収法は、消化ガス中の不純物である CO_2 や硫化水素の水への溶解度が、メタンと比較して大きく、さらに**図 1-1** に示すとおり、加圧下において溶解度の差が拡大する特性を利用して、比較的少ない吸収水で高濃度のメタンを抽出する精製方法である。本方式では、吸収水を再生後冷却し循環利用することが可能であり、**図 1-2** に示す水温が低いほど水への溶解度が大きくなる特性を利用して、より少ない吸収水量での精製が可能である。

これらの精製方法を比較検討した結果、高い精製ガスメタン濃度と高いメタン回収率の双方が達成可能で、かつ、設置場所が下水処理場という特性を生かして豊富に利用可能な処理水を精製に利用できることから、高圧水吸収法を選定し、実証設備を建設することとした。

表 1-1　主なバイオガス精製方法

方式	原理
常圧水吸収法	常圧下において、CO_2 の水への溶解度がメタンに比べて約 25 倍と大きい性質を利用
高圧水吸収法	圧力が高くなるほど CO_2 とメタンの水への溶解度の差が拡大する性質を利用
PSA 法	ある種の吸着剤が CO_2 を選択的に吸着する性質を利用
膜分離法	ある種の膜に対する CO_2 の透過速度がメタンに比べて大きい性質を利用

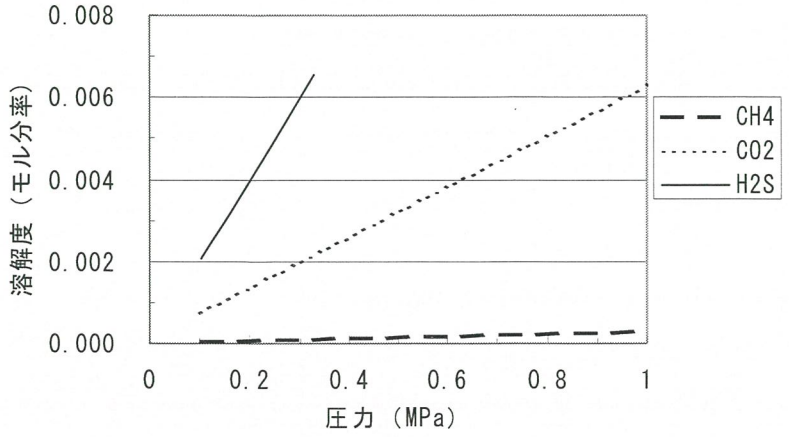


図 1-1　圧力と水への溶解度との関係（18℃、H_2S は 20℃の場合）

［化学便覧 基礎編 掲載データをグラフ化］

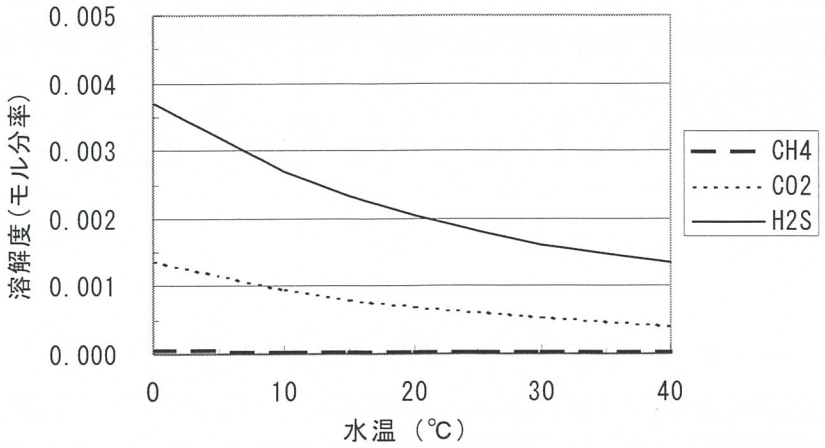


図 1-2 水温と水への溶解度の関係（気体の分圧が 101.3kPa の場合）

［化学便覧 基礎編 掲載データをグラフ化］

1.2.2 実証設備

実証設備は神戸市建設局東水環境センター内東灘処理場に設置した。当該処理場は、処理能力 320,000m^3/日を有する神戸市内最大の終末処理場であり、消化ガス発生量は、日平均で 8,000m^3_N/日程度、日最大で 15,000m^3_N/日程度である。

実証設備は消化ガス精製装置と精製ガスの天然ガス自動車への充填装置からなり、平成 16 年 10 月（充填装置は同年 11 月）に運転を開始した。なお、天然ガス自動車への充填装置は、高圧ガス保安法に基づく高圧ガス（天然ガス）製造事業所として兵庫県知事の許可を受けた設備である。

消化ガス精製装置の定格処理能力は 80m^3_N/h であり、**表 1-2** に主要諸元を、**図 1-3** にフローシートをそれぞれ示す。本施設の消化ガス配管から分岐した未脱硫の消化ガスは、ミストセパレータで液滴およびダストが除去された後、2 段の消化ガス圧縮機によって 0.9MPa（ゲージ圧力、以下同様）まで昇圧される。圧縮されて温度が上昇した消化ガスは、冷却器を通過し凝縮した水分が除去された後、吸収塔に下部から供給される。一方、吸収塔の上部からは、昇圧された吸収水が注入される。吸収塔内部には高い気液接触効率を確保するために充填材が詰められており、消化ガスが吸収塔内を上昇する間に、水への溶解度の差により二酸化炭素および硫化水素が選択的に水に吸収され、吸収塔頂部からは、メタン濃度 98%に濃縮されたガスが抽出される。この精製ガスは、除湿器において大気圧における露点が-80℃程度以下となるよう水分を除去した後、CNG 車燃料として供給している。一方、吸収塔底部から抜き出された二酸化炭素等を吸収した水は、減圧塔にて 0.3MPa 程度まで減圧し、水中にわずかに残存しているメタンを回収して消化ガス圧縮機の中間段に戻している。

この吸収水の供給方法として、一過式と循環式の選択が可能である。一過式では、吸収塔に供給された水は減圧塔から抜き出された後、全量水処理設備に返流している。循環式では、減圧塔から抜き出した水を脱気塔に頂部から導入し、塔内での空気との向流接触によって水中に残存している二酸化炭素等を脱気させて

いる。こうして再生された水は冷却後循環使用している。一過式で吸収水を冷却すると多くの電力を消費するため、冷却は循環式の場合でのみ行っている。また、冷却に要する消費電力を抑制するため、塔および吸収水配管は保温材で被覆している。

消化ガス精製の実証設備に関して、使用している主な測定機器の仕様を**表 1-3** に、実証設備の全景を**写真 1-1** に示す。

表 1-2 消化ガス精製装置の主要諸元

精製方式	高圧水吸収法
吸収水供給方式	一過式または循環式(切替可能)
定格処理量	消化ガス(未脱硫)80m^3_N/h
最高使用圧力	0.99MPa
吸収塔寸法	内径:400mm、全高:約 14m
除湿方式	2 塔式 PSA 吸着剤:モレキュラーシーブ
吸収水種類	砂ろ過水

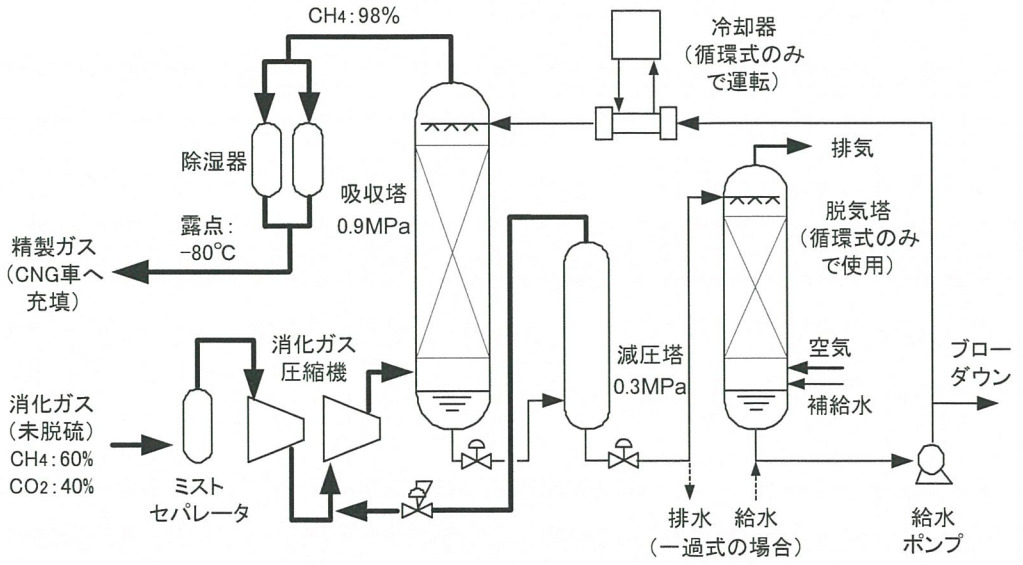


図 1-3 消化ガス精製装置実証設備フロー

表 1-3　測定機器仕様

測定対象	型　式
消化ガス流量	超音波式流量計
精製ガス流量	差圧式流量計
精製ガスメタン濃度	非分散形赤外線吸収式
精製ガス二酸化炭素濃度	非分散形赤外線吸収式
精製ガス酸素濃度	磁気式
精製ガス露点	静電容量式
吸収水量	電磁流量計



写真 1-1　消化ガス精製実証設備

1．3　実証運転結果

1.3.1 精製ガスメタン濃度

（1）水温の影響

吸収塔に供給する吸収水の温度と、得られる精製ガスのメタン濃度の関係を**図 1-4** に示す。循環式については液ガス比［＝吸収水量(m³/hr)／消化ガス量(m³N/hr)、L/G］0.15 の場合の値を、一過式については液ガス比 0.25 の場合の値をそれぞれプロットしている。図 1-4 からわかるとおり、水温が高いほど精製ガスのメタン濃度が低下する傾向にある。吸収水を冷却している循環式においては、精製ガスのメタン濃度は 98%以上となっている。一方、一過式においては、水温が 25℃程度の場合は 98%前後のメタン濃度が得られているが、水温が 30℃程度まで上昇すると 97%程度まで低下する場合があることがわかる。

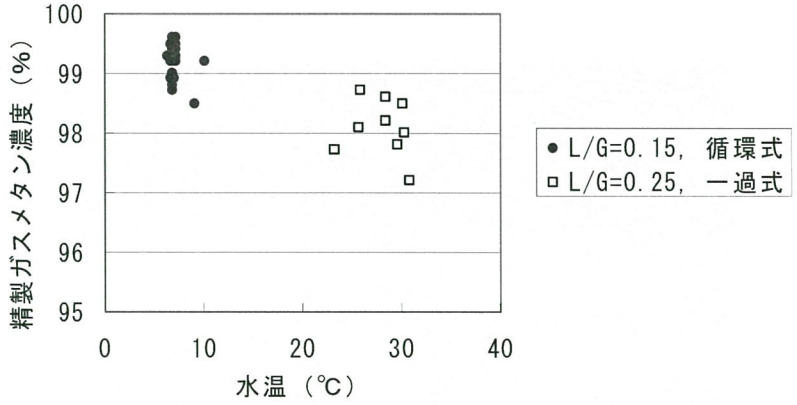


図 1-4　水温と精製ガスメタン濃度の関係

(2)液ガス比

精製ガスのメタン濃度を、液ガス比で整理したデータを**図 1-5** に示す。水温 7℃の循環式および水温 30℃の一過式について、それぞれプロットしている。前傾の図 1-2 に示したように、二酸化炭素の水への溶解度は水温が低いほど大きいため、水温 7℃の循環式では、0.15 程度と小さい液ガス比においても、98%以上のメタン濃度の精製ガスが得られている。一方、水温 30℃の一過式においては、液ガス比 0.3 程度以上で精製ガスのメタン濃度が 98%以上となっている。

ただし、図 1-5 からは、液ガス比を大きくするほど、精製ガスメタン濃度の上限は逆に低下する傾向にあることもわかる。循環式の水温 7℃の場合は、液ガス比 0.15 程度においてメタン濃度が 99%を上回っているのに対し、一過式の水温 30℃の場合、液ガス比を大きくしても 99%以上となることがない。液ガス比を 0.4 より大きくしていくと、メタン濃度がやや低下していることも確認できる。

図 1-6 に液ガス比と精製ガス二酸化炭素濃度との関係を示す。上述のとおり、二酸化炭素の水への溶解度は水温が低いほど大きいため、水温 7℃の循環式の場合、液ガス比 0.15 程度で精製ガスの二酸化炭素は 0.5%以下となっている。一方、水温 30℃の一過式の場合、二酸化炭素を 0.5%以下にするためには、液

ガス比を0.5程度にする必要があることがわかる。

続いて、**図 1-7** に液ガス比と精製ガス酸素濃度との関係を示す。こちらは液ガス比を大きくするほど濃度が増加している。これは、吸収塔において吸収水が二酸化炭素を吸収する一方で、吸収水中の溶存酸素がガス側に放出されているためと考えられる。二酸化炭素を 0.5%以下にするために必要な液ガス比における酸素濃度は、水温7℃（液ガス比0.15）のときは0.05%程度であるが、水温30℃（液ガス比は0.5）のときは0.15%程度と約3倍になっている。吸収水中には酸素以上の溶存窒素も含まれており、酸素と同様に吸収塔内でガス側に移行していると考えられる。図1-5で水温30℃のときに液ガス比0.4以上でメタン濃度が低下しているのは、水量を増加して二酸化炭素の吸収量を増加させても、吸収塔内で吸収水中の溶存ガスが放散してガス側に移行するため、精製ガスメタン濃度が上昇しなくなっているためと考えられる。図1-4において、水温が低いほど精製ガスのメタン濃度が高いのも、小さい液ガス比で二酸化炭素を吸収することが可能なため、精製ガス側への酸素や窒素の混入が少ないためと考えられる。

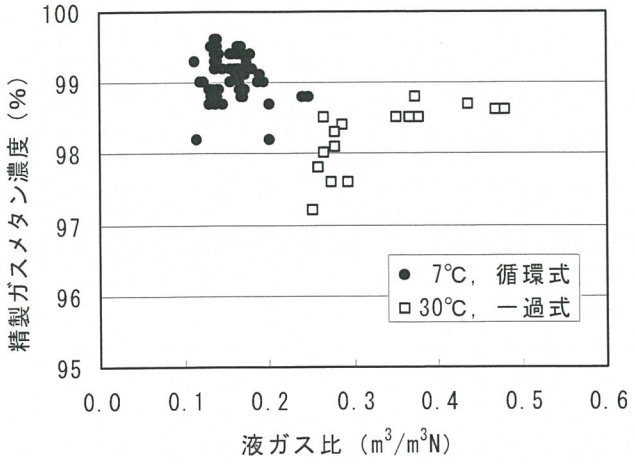


図 1-5 液ガス比と精製ガスメタン濃度の関係

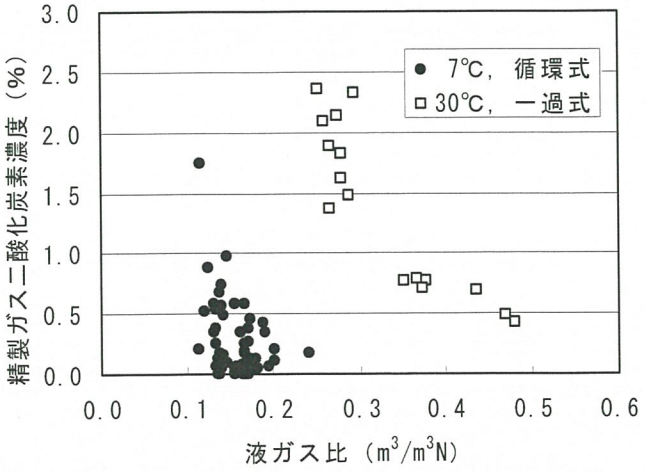


図 1-6 液ガス比と精製ガス二酸化炭素濃度の関係

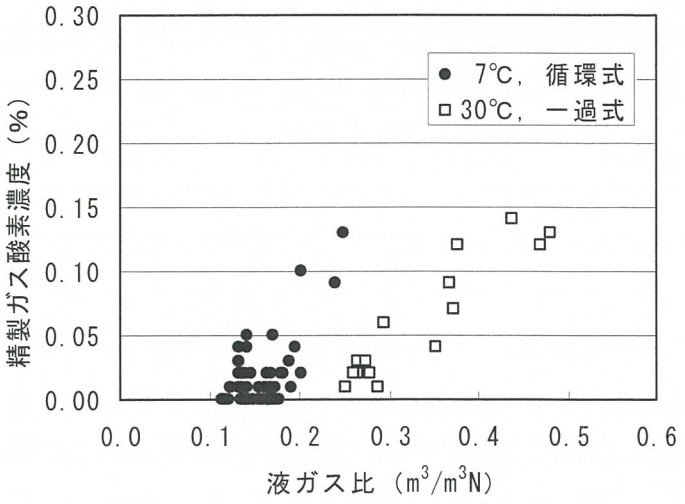


図 1-7 液ガス比と精製ガス酸素濃度の関係

1.3.2 水分(露点)

消化ガス量と精製ガスの大気圧における露点の関係を**図 1-8** に示す。運転条件によらずおおむね-80℃以下となっていることがわかる。吸収塔の後段に設置しているPSA方式の除湿器で、水分を十分に吸着除去できていることが確認できた。なお、大気圧におけるガス中水分の露点が-80℃以下ということは、水分量に換算すると5mg/m^{3}を下回る値である。

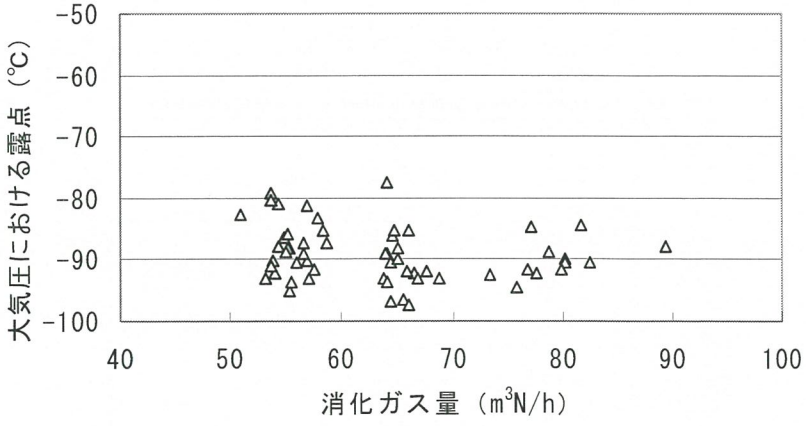


図 1-8 消化ガス量と露点の関係

1.3.3 脱硫性能

実証設備の運転開始当初3ヶ月間は脱硫後のガスを精製していたが、それ以降は未脱硫の消化ガスを精製している。未脱硫の消化ガスを精製した場合の消化ガスおよび精製ガス中の硫化水素濃度を**表 1-4** に示す。

消化ガス中の濃度は310～550ppmであったが、このとき精製ガス中の濃度は、すべての検体において0.1ppm未満であり、極めて良好な除去性能が得られている。なお、装置は硫化水素に対して腐食性のない材質を選定しているため、問題なく未脱硫のガスを処理することが可能である。

表 1-4 硫化水素測定結果

	消化ガス(ppm)	精製ガス(ppm)
H17.4.7	390	<0.1
H17.5.16	320	<0.1
H17.7.19	310	<0.1
H17.8.31	510	<0.1
H17.9.15	550	<0.1
H17.12.19	500	<0.1
H18.2.24	420	<0.1
H18.3.15	500	<0.1
平均	440	<0.1

1.3.4 シロキサン除去性能

シロキサンは、シャンプー、リンス等の添加剤として利用されている有機ケイ素化合物で、下水汚泥由来の消化ガスには一般に数～数十 mg/m^3_N 程度含まれている。シロキサンは分子量が大きいにもかかわらず、比較的高い蒸気圧を有しているため、下水に含まれて流入した消化槽内で一部が揮散し、消化ガス中に移行すると考えられている。シロキサンを除去しないまま消化ガスをガスエンジンあるいはマイクロガスタービンの燃料として利用すると、機器の劣化・損傷を引き起こすことが報告されている[例えば5)]ため、CNG 車燃料として利用する場合もこれを除去する必要があると考えられる。シロキサンの除去方法としては、吸着剤による吸着法、溶剤による吸収法、冷却による凝縮法が知られているが、シロキサンが水に難溶性であることから、吸収液に水を用いた場合吸収塔での除去は困難であるとされているため、その挙動を調査した。

シロキサン除去性能について以下に示す。なお、ここではシロキサンとして、下水汚泥由来の消化ガス中に支配的に含まれることが知られている、ヘキサメチルシクロトリシロキサン（略称：D3）、オクタメチルシクロテトラシロキサン（同：D4）、デカメチルシクロペンタシロキサン（同：D5）、およびドデカメチルシクロヘキサシロキサン（同：D6）の4種類の環状重合体を測定対象とした。

シロキサンの分析は、ガス試料を2連結したガス捕集剤（Waters 社製 PS-Air Cartridge）に 1 L/min で吸引採取したものをヘキサン：アセトン＝70:30 混液に溶出させ、溶出液を J&W 社製 DB-5 カラムを装着したガスクロマトグラフ質量分析装置（サーモクエスト社製 TRACE2000／GCQ Plus）に導入、分析した。

（1）消化ガス中シロキサン濃度

消化ガス中のシロキサン濃度の分析値を**表 1-5** に示す。

表 1-5 消化ガスシロキサン濃度

（単位：mg/m^3_N）

	平均	最大	最小
D3	0.015	0.017	0.012
D4	0.19	0.38	0.04
D5	4.33	7.90	2.70
D6	0.105	0.250	0.022
D3～D6 合計	4.64	8.25	2.85

（2）吸収塔における除去性能

吸収塔圧力と吸収水温度を変数とした場合の、吸収塔におけるシロキサン除去性能を**図 1-9～1-12** に示す。なお、共通の運転条件を**表 1-6** に示す。

図 1-9 から、一定の水温（7℃）のもとで、吸収塔圧力が高くなるほどシロキサン除去率が高くなっていることがわかる。また、図 1-11 からは、一定の圧力（0.9MPa）のもとで、水温の低いほうが高い除去率が得られていることがわかる。圧力が高く、また、水温が低いという、シロキサンが凝縮しやすい条件において除去率が高くなっていることから、圧縮・冷却によって凝縮し液滴（ミスト）となったシロキサンが、吸収塔内での水との接触によって消化ガスから分離・除去されていると考えられる。

なお、図 1-10 および図 1-12 からわかるように、吸収塔圧力 0.9MPa、吸収水温度 7℃における吸収塔出口シロキサン濃度は、$0.5mg/m^3_N$程度となっている。

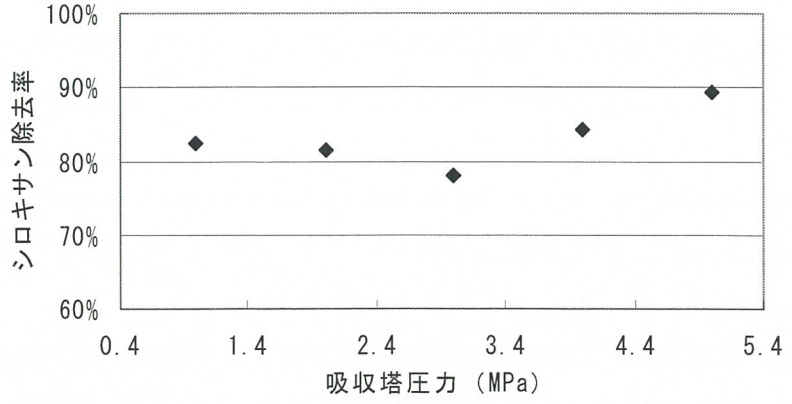


図 1-9 吸収塔における圧力とシロキサン除去率の関係（循環式、水温 7℃）

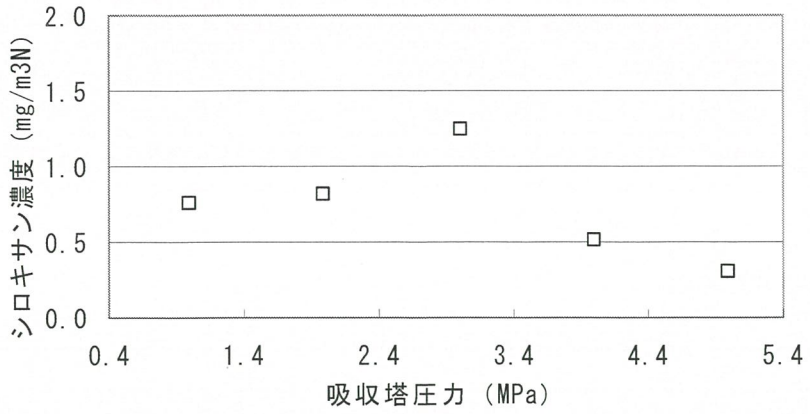


図 1-10 吸収塔における圧力と出口シロキサン濃度の関係（循環式、水温 7℃）

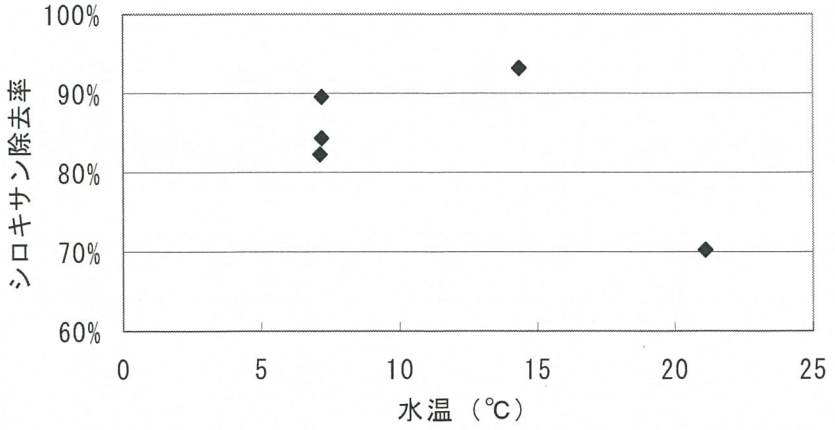


図 1-11 吸収塔における水温とシロキサン除去率の関係

（循環式、吸収塔圧力 0.9MPa）

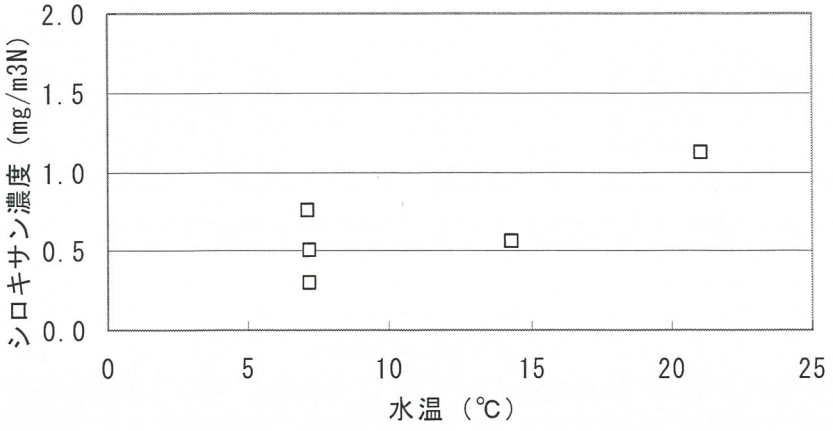


図 1-12 吸収塔における水温と出口シロキサン濃度の関係

（循環式、吸収塔圧力 0.9MPa）

表 1-6 吸収塔の主要諸元および共通運転条件

水供給方式	消化ガス量	吸収水量
循環式	78～82 m^3_N/hr	16m^3/hr

（3）精製ガスシロキサン濃度

吸収塔の後段にはPSA方式の2塔式除湿器が設置されており、塔内には水分除去用の吸着剤（モレキュラーシーブ）が充填されている。吸収塔出口ガス中にわずかに残留しているシロキサンの一部が、この除湿器において吸着除去されており、精製ガス中のシロキサン濃度は、吸収塔出口よりさらに低い値となっている。吸収塔圧力 0.9MPa、水温 7℃における精製ガスシロキサン濃度は、**表 1-7** に示すとおり平均で0.34mg/m^3_Nである。

表 1-7 精製ガスシロキサン濃度

（単位：mg/m^3_N）

	平均	最大	最小
D3	<0.005	<0.005	<0.005
D4	0.057	0.071	0.040
D5	0.273	0.320	0.230
D6	0.007	0.008	0.005
D3～D6 合計	0.34	0.40	0.28

（4）シロキサン排出形態

循環式の場合における、精製装置から排出されるシロキサンの形態を調査した。主要な運転条件を**表 1-8** に、シロキサン排出形態を**表 1-9** に示す。流出量のうち、大部分が排気中に含まれて排出されており、排水中に含まれて水処理設備に返流されるのは17%と少ないことが確認された。

表 1-8 運転条件

消化ガス量 (m^3_N/hr)	吸収水量 (m^3/hr)	補給水量 (L/hr)	吸収水温 (℃)	吸収塔圧力 (MPa)
78.2	15.9	54	7.2	0.89

表 1-9 シロキサン排出形態

排水	2.57 mg/L × 54 L/hr = 139 mg/hr	16.7%
排気	4.21mg/m^3_N × 165m^3_N/hr = 695 mg/hr	83.3%
合計	834 mg/hr	100%

1.3.5 連続運転

循環式で吸収水の温度を 7℃で制御した場合の、24 時間連続運転における精製ガスの連続分析データを**図 1-13** に示す。

図は、精製ガスのメタン濃度が長時間にわたって 98%以上を安定して維持していることを示している。また、図からは、約 15 時間ごとにメタン濃度がやや上昇するとともに二酸化炭素濃度が低下する現象がみられる。これは、PSA 方式による 2 塔式の除湿器の、運転側と再生側の塔の切替に伴うものである。除湿器内部には水分の吸着剤として合成ゼオライト（モレキュラーシーブ）が充填されており、この合成ゼオライトは、再生された状態においては二酸化炭素を吸着する性能を有している。塔の切替後しばらくの間は、再生された状態の合成ゼオライトに通ガスされるため、水分とともにガス中に 1%程度残存している二酸化炭素を吸着し、これによって、精製ガスの二酸化炭素濃度が低くなるとともに、メタン濃度が上昇している。

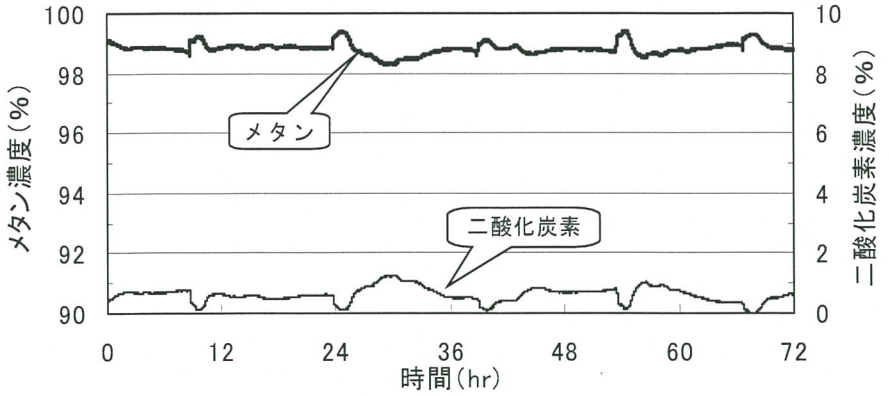


図 1-13 精製ガスの連続運転データ

1.3.6 精製ガスと都市ガスの関係

ガス事業法関連法規である「ガス用品の技術上の基準等に関する省令」（昭和 46 年通商産業省令第 27 号）別表第 3 備考において、都市ガスに対して適用すべきガスグループが規定されている。ガスグループは燃焼速度（MCP）およびウォッベ指数（WI）によって定められており、CNG 車の燃料として使用されている都市ガス 13A および 12A については、**表 1-10** に示すとおりである。本実証設備で得られる精製ガスが、このガスグ

ループのいずれに該当するのかを確認した。

表中の燃焼速度およびウォッベ指数の値は、それぞれ以下の式を用いて算出するよう定められている。また、ウォッベ指数を求めるために必要となるガスの発熱量および比重に関しては、「ガスの熱量及び燃焼性の測定方法を定める件」（昭和45年通商産業省告示第634号）によって、JIS K2301(1992)「燃料ガス及び天然ガス―分析・試験方法」によること、と規定されている。

表1-10 適用すべきガスグループ

ガスグループ	燃焼速度(MCP)	ウォッベ指数(WI)
13A	35以上47以下	52.7を超え57.8以下
12A	34以上47以下	49.2を超え53.8以下

燃焼速度（MCP）

$$MCP=\frac{\sum(S_i f_i A_i)}{\sum(f_i A_i)}(1-K)$$

ここで、

S_i　：ガス中の各可燃性ガスの燃焼速度（メタンにおいては36）

f_i　：ガス中の各可燃性ガスに係る係数（メタンにおいては8.72）

A_i　：ガス中の各可燃性ガスの含有率（体積百分率）

K　：減衰係数であって、次の式により算出した値

$$K=\frac{\sum A_i}{\sum(\alpha_i A_i)}\left\{\frac{2.5CO_2+N_2-3.77O_2}{100-4.77O_2}+\left(\frac{N_2-3.77O_2}{100-4.77O_2}\right)^2\right\}$$

ここで、

α_i　：ガス中の各可燃性ガスの補正係数（メタンにおいては2.00）

CO_2　：ガス中の二酸化炭素の含有率（体積百分率）

N_2　：ガス中の窒素の含有率（体積百分率）

O_2　：ガス中の酸素の含有率（体積百分率）

ウォッベ指数（WI）

$$WI=\frac{H_g}{\sqrt{s}}$$

ここで、

H_g　：ガスの総発熱量（単位：MJ/m³）

s　：ガスの空気に対する比重

水温7℃および水温30℃の場合の精製ガスについて、上述の方法によって燃焼速度およびウォッベ指数を算出し、**図1-14**にプロットした。この図から、バイオ天然ガスは常に12Aに分類されるガスであることがわかる。

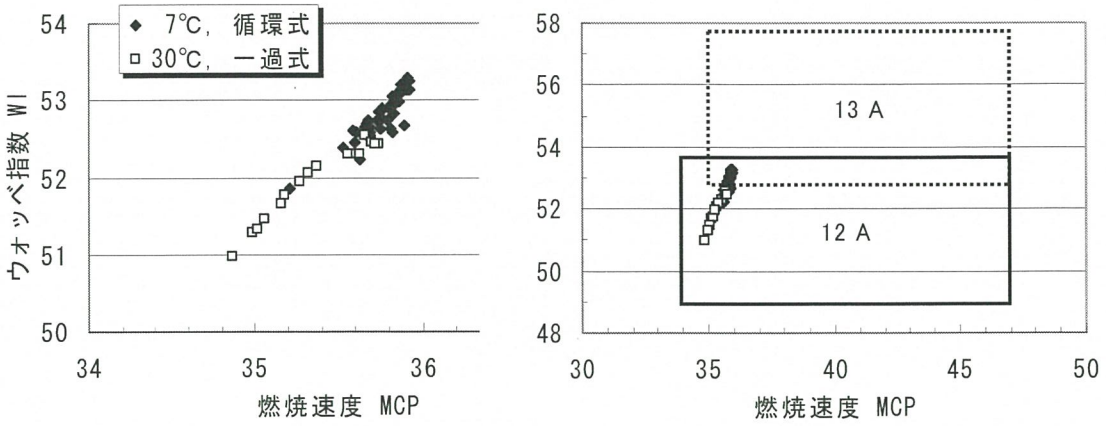


図1-14　精製ガスと都市ガスグループの関係

1.3.7 メタン回収率

メタン収支および回収率の確認を行った結果を**表1-11**に示す。運転条件は、吸収塔圧力：0.88MPa、水温（循環式）：7.1℃、吸収水量：9.67m³/hrである。この表から、精製ガスのメタン濃度は98.3%、メタン回収率は98%であり、いずれも98%以上の高い値が得られていることがわかる。

表1-11　メタン収支

流入量		流出量		
消化ガス	82.8 m^3_N/hr × 61.4% = 50.8 m^3_N/hr	精製ガス	50.7 m^3_N/hr × 98.3% = 49.8 m^3_N/hr	98%
—	—	排気	195 m^3_N/hr × 0.5% = 1.0 m^3_N/hr	2%
合計	50.8 m^3_N/hr	合計	50.8 m^3_N/hr	100%

1.3.8 電力原単位

消化ガス量あたりの電力消費量を図 1-15 に、精製ガスあたりの電力消費量を図 1-16 に示す。定格処理量（消化ガス：80 m^3_N/hr、精製ガス：48 m^3_N/hr）における電力原単位は、消化ガス 1m^3_N あたり 0.4kWh、精製ガス 1m^3_N あたり 0.7kWh であった。

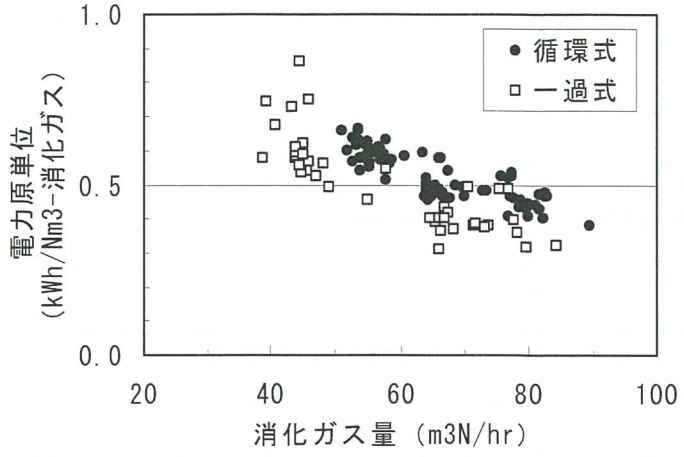


図 1-15 消化ガス量あたりの電力原単位

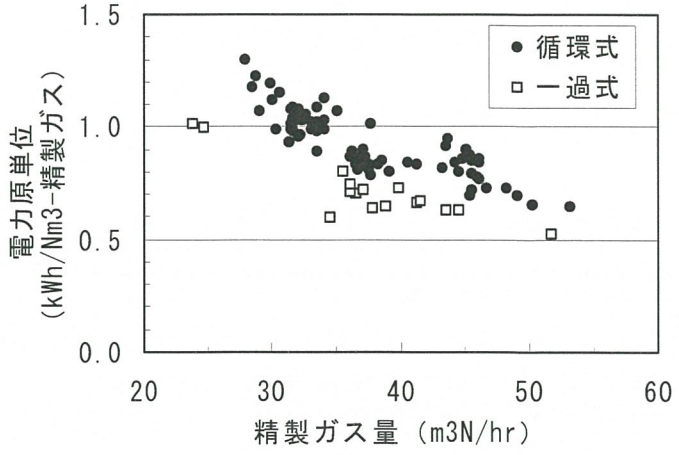


図 1-16 精製ガス量あたりの電力原単位

循環式では一過式より運転する機器が多いため、同一のガス量あたりで比較すると、一過式よりやや大きくなっている。しかし、循環式の場合、前掲の図 1-5 からわかるように水温を低くすることによって液ガス比を小さくすることができるため、吸収塔への給水量を一定に保ったままで、水温の高い一過式よりも多くのガスを処理することが可能である。現在実験を行っている実証設備は当初一過式（水温 25℃）で製作したため、圧縮機の能力の上限が一過式（水温 25℃）での最大処理量である 80 m^3_N/hr 程度であり、これ以上処理量を増加させることができない。しかし、より多くの処理能力を有する圧縮機であれば、循環式の場合さ

らに消化ガス量を増加させることができるため、同一の電力原単位の条件においてより多くの消化ガス量を処理できると考えられる。

なお、精製に要するエネルギーは、精製ガスの保有エネルギー（低位発熱量で35.3MJ/m^3_N≒9.8kWh/m^3_N）の10分の1以下であり、精製によるエネルギーロスは十分低い値であるといえる。

1.4 実証運転結果のまとめ

高圧水吸収法による消化ガス精製装置の実証運転（消化ガス定格処理量：80m^3_N/hr）を行った結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 吸収水の水温が低いほど、高いメタン濃度の精製ガスが得られる。これは、水温が低いほど二酸化炭素の吸収に必要な液ガス比が小さく、吸収塔内でガス中へ移行する吸収水中溶存酸素および窒素の量が少ないためと考えられる。

(2) 水温7℃（循環式）の運転において、精製ガスのメタン濃度を、安定して98%以上に維持することが可能である。

(3) 精製ガス中の水分の露点（大気圧における値）はおおむね-80℃以下である。

(4) 硫化水素の同時除去が可能であり、未脱硫の消化ガスを処理することができる。

(5) シロキサンについては、吸収塔圧力を高くするほど高い除去率が得られている。これは、昇圧によってシロキサンが凝縮しミスト状となり、吸収塔内での水との接触によってガスから大部分が分離除去されるためと考えられる。

(6) 吸収塔で除去されたシロキサンは大半が排気中に含まれて排出されるため、返流水中に含まれて処理場内を循環する量は17%と少ない。

(7) 精製ガスは、都市ガスの分類に用いられているガスグループでは、12Aに該当するガスである。

(8) 精製ガスメタン濃度とメタン回収率を、ともに98%以上とすることが可能である。

(9) 実証設備の定格運転時における電力原単位は、精製ガス1 m^3_Nあたり0.7kWhであり、高品位の精製ガスを得るために必要となるエネルギーは、精製ガスの保有エネルギー（低位発熱量）に比べて1/10以下と小さい。

【参考文献】

1) 社団法人日本ガス協会ホームページ：http://www.gas.or.jp/ngvj/index.html

2) 宇崎一将、「長岡市における消化ガスの都市ガス原料化の取り組みについて」、再生と利用、Vol.25, No.94, pp.55-63,(2002)

3) 松岡正洋、中野茂吉、安部英二、「バイオガスからの精製メタンの回収および貯蔵技術の開発」、第25回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp.95-97,(2004)

4) 浅野悟、梁瀬克介、竹田久人、三井昌文、「横須賀市におけるメタン発酵による生ごみの資源化に関する研究（第２報）」、第26回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集、pp.319-321,(2005)
5) 長藤雅則、清水明、浜口敬三、「消化ガス中のシロキサン化合物の吸着除去」、第38回下水道研究発表会講演集、pp.695-697,(2001)

第2章 バイオ天然ガスによる天然ガス自動車走行試験

CNG 車は都市ガス 13A を標準燃料とする低公害車であるが、都市ガス 12A も燃料として使用されている。バイオ天然ガスを CNG 車燃料として広く普及させるためには、自動車においてエンジンの改造あるいは調整を行うことなく、バイオ天然ガスと標準燃料である都市ガスとを併用できることが必要である。

そこで、既存の天然ガス自動車において、バイオ天然ガスを燃料として使用した際の走行性能を確認するため、自動車試験機関における動力・排ガス試験および公道での自動車試験走行を実施した。

2. 1 試験機関における動力・排ガス試験

2.1.1 概 要

燃料ガスの性状、特に発熱量の差が既存の CNG 車の動力および排出ガスの性能に与える影響を把握するために、自動車試験機関において性能確認試験を 2 回に分けて実施した。試験の概要を**表 2-1** に示す。第 1 回は、公道での試験走行を開始するのに先立ち、バイオ天然ガスを燃料として、既存の CNG 車が問題なく走行可能であるか否かを確認することを目的として実施し、試験車両としては普通車および大型バスを使用した。また、第 2 回は、燃料ガスの発熱量（メタン濃度）と CNG 車の動力・排出ガス性能との関係、および安定走行可能な発熱量下限値を調査することを目的として実施し、試験車両としては中型バスを使用した。

以下に、車種ごとに試験結果を示す。なお、試験に使用した車両は、いずれも都市ガス 13A を標準燃料として調整されている使用過程の CNG 車、すなわち既存の CNG 車であり、バイオ天然ガスに対応させるためのエンジン等の調整および改造は一切行っていない。

表 2-1 自動車動力・排ガス試験概要

	実施時期	目的	試験車両	測定項目
第 1 回	平成 16 年 12 月	公道での試験走行に先立ち、バイオ天然ガスの CNG 車燃料としての適用性を確認するため	普通車	排出ガス 燃料消費率
			大型バス	排出ガス 燃料消費率 出力
第 2 回	平成 17 年 11 月	CNG 車が安定走行可能な、燃料メタン濃度（発熱量）の下限値を調査するため	中型バス	排出ガス 出力

2.1.2 普通車試験結果

（1）試験条件

普通車の試験条件を**表 2-2** に示す。都市ガス（大阪ガス 13A）、バイオ天然ガス、およびそれらを 50%ずつ混合したガスの 3 種類の燃料について実施した。また、試験の実施状況を**写真 2-1** に示す。

表 2-2 普通車試験条件

試験実施機関	財団法人 日本自動車輸送技術協会（JATA） 関西分室（京都市）
試験装置	小型シャシダイナモメータ
試験車両・型式	トヨタプロボックス DFE-NCP52V
車両総重量	1.665t
最高出力	68kW / 6,000rpm
総排気量	1.496L
燃焼方式	ストイキ燃焼 ※1
排ガス処理方式	三元触媒
燃料供給方式	MPI（マルチ・ポイント・インジェクション）方式 ※2
排出ガス認定レベル	SU-LEV（平成 17 年基準排出ガス 75%低減レベル）
試験実施日	平成 16 年 12 月 1～3 日
供試燃料	①大阪ガス 13A ※3 ②バイオ 50（大阪ガス 13A 50%＋バイオ天然ガス 50%の混合ガス） ③バイオ 100（バイオ天然ガス 100%）
燃料切替方法	CNG 車燃料容器の残量を極力減らした後，試験用燃料を充填

※1 空燃比1、すなわち燃焼空気供給量が理論空気量と同量の燃焼方式。

※2 燃料ガスの噴射量や噴射タイミングを気筒ごとに電子制御する方式で、燃料性状の変動にきめ細かに対応することが可能とされている。

※3 標準熱量（高位）45MJ/m^3_N



写真 2-1　普通車試験実施状況

（2）排ガス試験結果

試験車両に対応した公定法である「10・15＋11 モード」法による測定結果を**表 2-3** および**図 2-1** に示す。当該車両は、「圧縮天然ガスを燃料とする自動車の取扱いについて」（平成 15 年 10 月 23 日付国土交通省通達、自技第 150 号、自審第 896 号、自環第 132 号）において定められている、CNG 車に対する最新の排ガス技術指針値である「圧縮天然ガス自動車の排出ガス技術指針（2003）」よりさらに厳しい基準である SU-LEV の認定を受けているが、今回の測定結果は、3 種類のいずれの燃料を用いた場合でも、SU-LEV 認定値を満足していた。

表 2-3　普通車排ガス試験結果

成分	単位	大阪ガス 13A	バイオ 50	バイオ 100	認定レベル (SU-LEV)	技術指針値 (2003)
CO	g/km	0.121	0.108	0.089	1.15	1.15
NMHC	g/km	0.0028	0.0008	0.0007	0.013	0.025
NOx	g/km	0.0084	0.0067	0.0073	0.013	0.025

NMHC ： 非メタン炭化水素

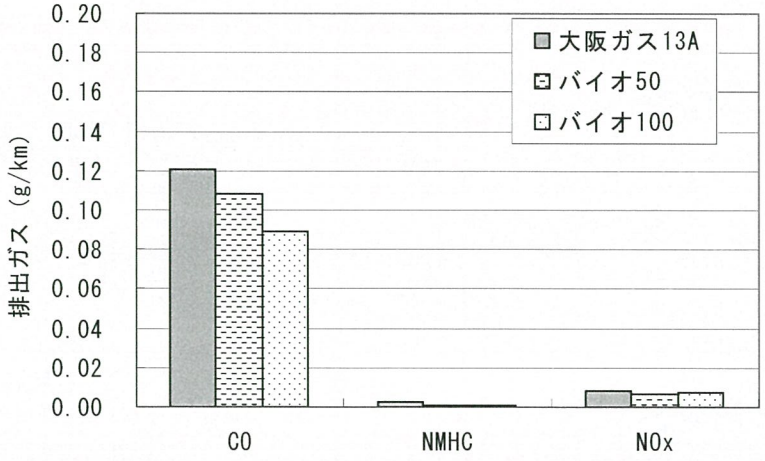


図 2-1 普通車排ガス試験結果

CO_2排出量から換算した燃料消費率を**図 2-2** に示す。燃料の発熱量あたりで比較すると都市ガスとバイオ天然ガスで有意な差はみられなかった。

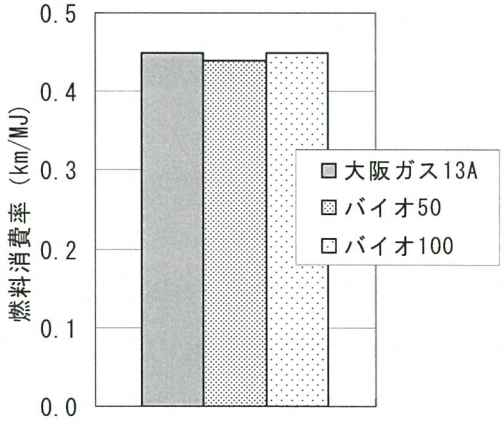


図 2-2 普通車燃料消費率

2.1.3 バス試験結果

（1）試験条件

大型バスおよび中型バスでの試験条件を**表 2-4** に示す。供試燃料は、第 1 回については都市ガス 13A、バイオ天然ガス、およびそれらの混合ガスとした。第 2 回については、都市ガス 13A およびメタン濃度を調整したバイオ天然ガスとし、メタン濃度は 90%、92.5%、95%および 99%とした。

表 2-4 バス試験条件

	第 1 回	第 2 回
試験実施機関	株式会社 DRD（旧社名：日産ディーゼル技術研究所）（埼玉県上尾市）	
試験装置	大型シャシダイナモメータ	
試験車両・型式	日産ディーゼル製大型バス UA440H 改	日産ディーゼル製中型バス RM211-GAN 改
最高出力	173kW / 2,100rpm	154kW / 2,800rpm
総排気量	12.085L	6.925L
燃焼方式	希薄燃焼方式	
燃料噴射方式	ミキサー方式 ※1	
排出ガス認定レベル	平成 7 年技術指針値 ※2	
試験実施日	平成 16 年 12 月 1～8 日	平成 17 年 11 月 12 日～18 日
供試燃料	①東京ガス 13A ※3 ②大阪ガス 13A ③バイオ 50（大阪ガス 13A 50%＋バイオ天然ガス 50%の混合ガス） ④バイオ 75（大阪ガス 13A 25%＋バイオ天然ガス 75%の混合ガス） ⑤バイオ 100（バイオ天然ガス 100%）	①東京ガス 13A ※3 ②メタン 99%（メタン濃度を 99%に調整して製造したバイオ天然ガス） ③メタン 95%（メタン濃度を 95%に調整して製造したバイオ天然ガス） ④メタン 92.5%（②と CO_2 ガスの混合ガスで、メタン濃度 92.5%） ⑤メタン 90%（②と CO_2 ガスの混合ガスで、メタン濃度 90%）
燃料切替方法	①：CNG 車燃料容器から供給 ②～⑤：容器に充填して試験実施場所に持込み、容器からエンジンまで配管を接続して供給。バルブ操作によって燃料の切替を行った。	

※1 ガソリンエンジンにおけるキャブレター方式と同様、燃焼空気ラインに取り付けられたベンチュリ部で発生する負圧に応じて燃料ガスが引き出され、燃焼空気と混合される方式。MPI のような電子制御方式に比べて、燃料の性状変動への対応が難しいとされている。

※2 「圧縮天然ガスを燃料とする自動車の取扱いについて」（平成 7 年 12 月 15 日付運輸省通達、自技第 272 号、自審第 1634 号、自環第 261 号）において定められている「圧縮天然ガス自動車の排出ガス技術指針」

※3 平成 18 年 2 月 21 日より標準熱量（高位）が 45MJ/m^3_N に引き下げられているが、試験実施時の標準熱量は 46.04655MJ/m^3_N であった。

（2）排ガス試験結果

試験は、試験車両に対応した公定法である「ガソリン 13（G13）モード」法によって測定を行った。大型バスでの結果を**表 2-5** および**図 2-3** に、中型バスでの結果を**表 2-6** および**図 2-4** に示す。

表 2-5 大型バス排出ガス試験結果

成分	単位	東京ガス 13A	大阪ガス 13A	バイオ 50	バイオ 75	バイオ 100	技術指針値(H7)
測定回数		1	1	2	2	2	－
CO	g/kWh	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	102
THC	g/kWh	1.57	1.81	2.72	2.75	3.37	6.2
NOx	g/kWh	1.43	1.47	1.33	1.15	1.15	3.6

THC ： 全炭化水素

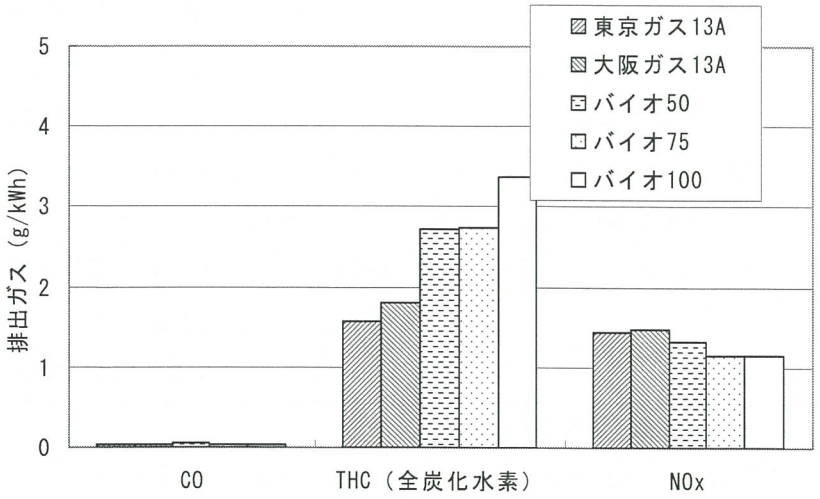


図 2-3 大型バス排出ガス試験結果

表 2-6 中型バス排出ガス試験結果

成分	単位	東京ガス 13A	メタン 99%	メタン 95%	メタン 92.5%	メタン 90%	技術指針値(H7)
測定回数		2	2	2	2	2	－
CO	g/kWh	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	102
THC	g/kWh	3.64	4.94	5.12	5.33	5.85	6.2
NOx	g/kWh	1.61	1.15	0.88	0.91	0.66	3.6

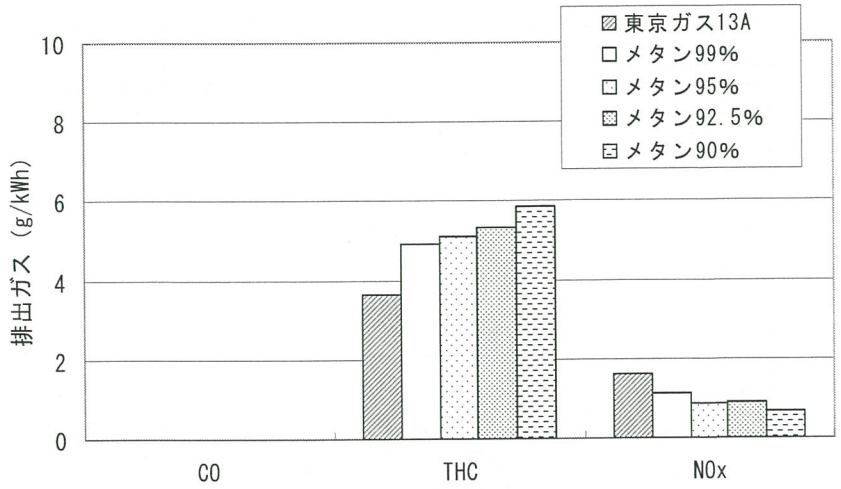


図 2-4 中型バス排ガス試験結果

いずれの燃料を用いた場合でも、各成分とも技術指針値以下の良好な値であった。ただ、大型バス・中型バスともに、発熱量の低い燃料ほど THC が増加し、逆に NOx は減少する傾向がみられた。これは発熱量が低くなるほどエンジン内での燃焼温度が低下し、未燃物質である THC が増加する一方で、サーマル NOx の発生が抑制されて NOx が低下したものと考えられる。

これらの排ガス試験結果を、燃料ガス発熱量との関係に着目して整理した。**図 2-5** に THC について、**図 2-6** に NOx についての燃料ガス発熱量との関係をそれぞれ示す。横軸は燃料ガスの低位発熱量を東京ガス 13A を 100%としたときの比率で表している。また、縦軸は排出ガスの値を技術指針値を 100%としたときの比率で表している。

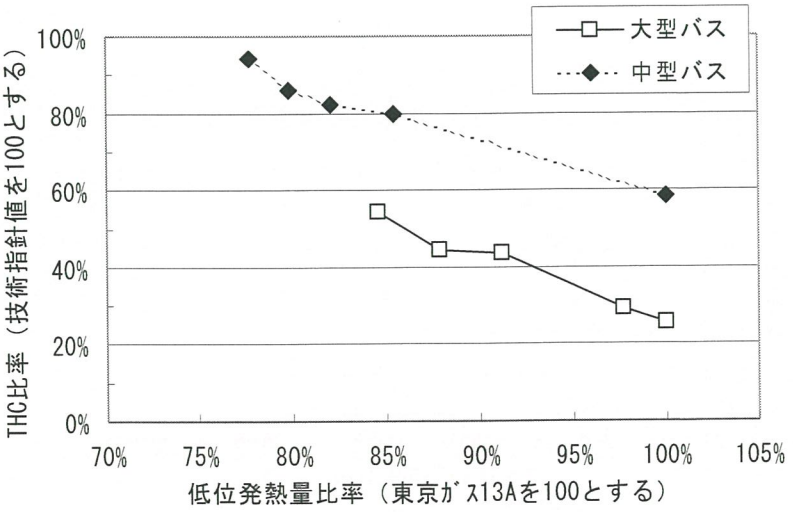


図 2-5 燃料ガス発熱量と THC の関係

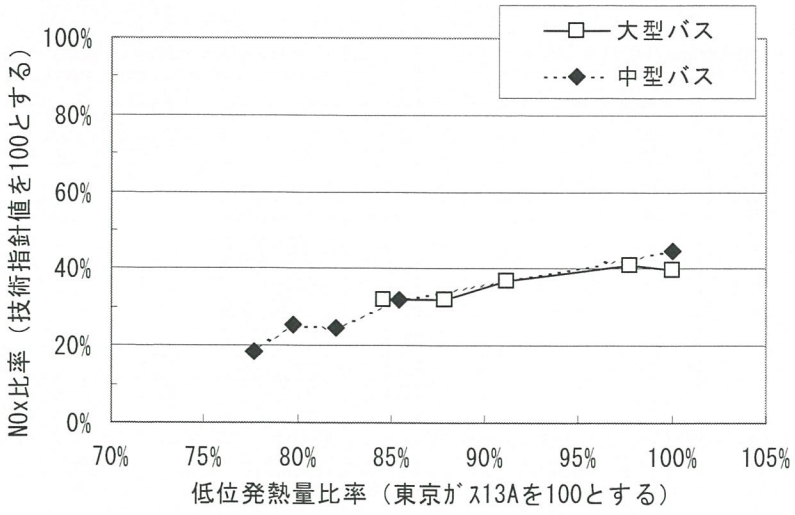


図 2-6 燃料ガス発熱量と NOx の関係

図 2-5 からわかるように、THC に関しては大型バスと中型バスで個体差と思われる差異はあるものの、発熱量が低下するにつれてほぼ同じ傾きで増加しており、今回試験に使用した中型バスでは、発熱量比率 75%（メタン濃度 87%程度に相当）以下の燃料では、技術指針値を超過することが予想される。

一方、図 2-6 からわかるように、NOx に関しては両者ともほぼ同じ値で、発熱量が低いほど排出量は低下する傾向にあるので、発熱量の低い燃料を用いることによる問題は特に生じないと考えられる。

（3）動力性能試験

全負荷（アクセル全開）でエンジンが各設定回転数となるときの、シャシダイナモメータの吸収力を測定することによって、エンジン出力を測定した。図 2-7 に大型バスでの、図 2-8 に中型バスでの結果を、それぞれ示す。

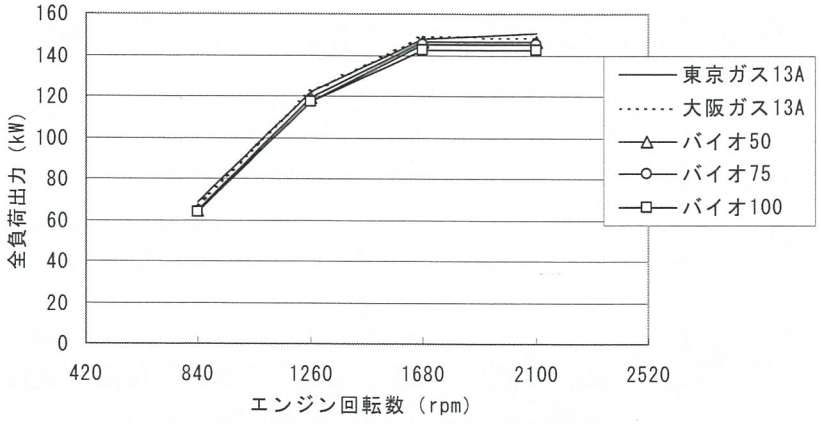


図 2-7 大型バス出力試験結果

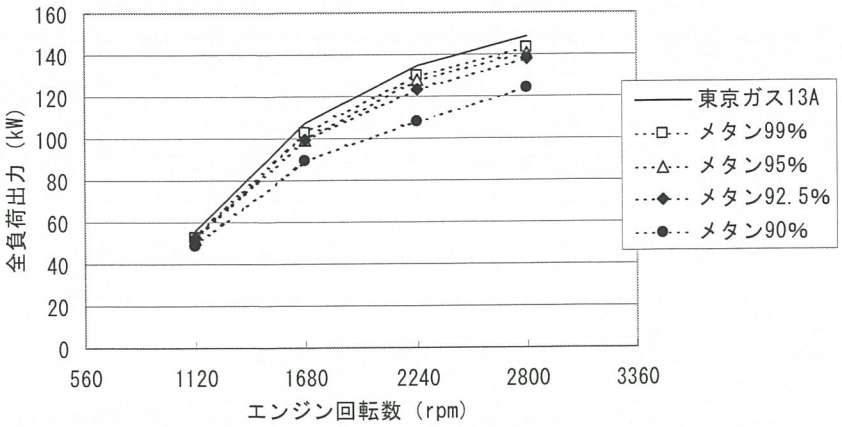


図 2-8 中型バス出力試験結果

図 2-7 からわかるように、バイオ 100 と都市ガス（東京ガス 13A、大阪ガス 13A）の出力の差は数%にとどまっており、発熱量の差（約 13～15%）と比較して小さい値であった。CNG 車のエンジンには排ガスラインに O_2 センサーが設置されており、その値が一定となるよう空燃比が制御されている。バイオ天然ガスの燃料としての特性が都市ガス（13A）に近く、空燃比制御が可能な範囲内であった、すなわち、燃焼空気供給量と燃料供給量との比率を調整することによって排ガス中の O_2 濃度を都市ガス（13A）の場合と同じ値に保つことが可能であり、その場合の入熱が都市ガス(13A)の場合とほぼ同じであったため、出力にほとんど差があらわれなかったと考えられる。

図 2-8 では、出力の差が図 2-7 で示されているよりも大きい。これは試験に用いた燃料ガスの発熱量の幅がより大きいためと考えられる。そこで、2 回の試験で得られた出力の値を燃料ガス発熱量との関係で整理した結果を**図 2-9** に示す。

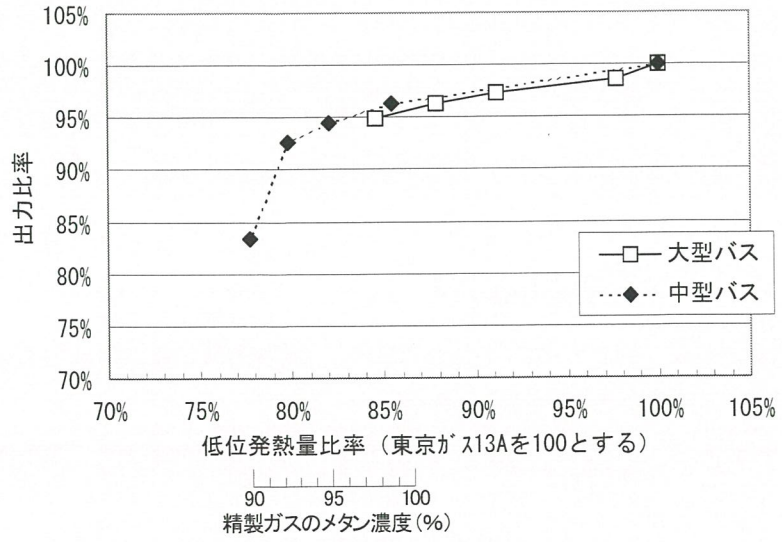


図 2-9 燃料ガス発熱量と出力の関係

横軸は燃料ガスの低位発熱量を、東京ガス 13A を 100%として比率で表している。縦軸は出力を、東京ガス 13A のときの値を 100%として比率で表している。なお、大型バス、中型バスとも、最高出力が得られるエンジン回転数（大型バス：2,100rpm、中型バス：2,800rpm）における出力を表示している。

大型バス、中型バスともほぼ同じ値となっており、発熱量比率が 100～82%程度まで（メタン 95%程度以上）は、出力の低下幅は 5%程度にとどまっており、発熱量が低下しても出力の低下はほとんどみられない。エンジンへの燃料供給量が一定であれば、出力は燃料ガス発熱量の低下分と同程度低下すると考えられる。しかし、実際の出力低下幅はその 3 分の 1 程度にとどまっており、燃料発熱量の低下に対して既存の空燃比制御によって自動的に対応できたことを示している。

中型バスについて、さらに燃料ガスの発熱量が低い場合、都市ガス燃料時と比較した出力の低下幅は加速度的に拡大しており、発熱量 78%（メタン 90%）では都市ガスの場合の 83%程度の出力しか得られていない。燃料性状の差が大きすぎるため、O_2 センサーによる空燃比の自動制御が可能な範囲を超えており、もはや燃料ガスの発熱量の低下を燃料供給量の増加で補うことができないことがわかる。

なお、中型バスにおけるメタン 92.5%（発熱量比率 80%）およびメタン 90%（発熱量比率 78%）燃料での試験において、急激にアクセルを踏み込んだ場合にエンジン回転数を保持できない現象が観測された。アクセルを徐々に踏み込んだ場合には、踏み込み状況に追随した回転数が得られたものの、アイドリング状態から 1～2 秒程度でフルアクセルまで踏み込んだ場合、一時 3,200rpm まで到達するもののこれを保持することができず、フルアクセル状態のままでも徐々に回転が落ちていくことが確認された。通常はエンジン回転数が 3,200～3,250rpm で安定して持続するところであり、これはメタン 95%（発熱量比率 82%）以上の発熱量を有する燃料では観測されなかった状況である。燃料ガスの性状が標準燃料である都市ガス 13A と大きく異なることから、急激に出力を変化させた場合に、O_2 センサーによる空燃比制御が追随出来なかったためと考えられる。

このほか、メタン 92.5%およびメタン 90%燃料での試験においては、アクセルを急激に踏み込んだ際にエンジンでの失火音が顕著に聞き取れたり、高速高負荷域でのデータ取得時に V ベルトの折損が生じたりする現象が確認された。V ベルト折損は、数種あるベルトの中で最も短いベルトで起こったことから、失火によってクランクプーリの回転に過大な速度変動が発生し、張力が過大になったことが原因と考えられる。これらの試験結果から、精製ガスのメタン濃度が 95%を下回る場合、エンジンの調整を行うことなく既存の CNG 車の燃料として利用するには、実用上問題があるといえる。

2.1.4 試験機関における動力・排ガス試験のまとめ

既存の CNG 車（普通車および大型・中型バス）について、自動車試験機関において動力および排出ガス性能試験を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

(1) バイオ天然ガスを燃料とした場合、燃料ガス発熱量あたりの燃料消費率は、都市ガス 13A を燃料とした場合と同等である。

(2) 排出ガスについては、都市ガス 13A 燃料の場合と比較して、バイオ天然ガス燃料の方が THC（全炭化水

素）は高く、NOx は低い傾向がみられたが、いずれも当該車両に適用される技術指針値を満足している。ただし、メタン 90%（都市ガス 13A に対する発熱量比率 78%）以下の燃料ガスの場合、THC が技術指針値を超過する恐れがある。

(3) メタン 95%（都市ガス 13A に対する発熱量比率 82%）以上に相当する発熱量を有する燃料ガスであれば、既存の CNG 車において、都市ガス 13A を燃料に用いた場合と実用上有意差のない動力性能および排出ガス性能が得られる。

(4) メタン 92.5%（都市ガス 13A に対する発熱量比率 80%）以下の燃料ガスの場合、中型バスでの性能試験において、出力が大きく低下したほか、エンジン回転数を保持できず、また、点火プラグの失火や V ベルトの折損が確認された。

(5) 以上の試験結果から、メタン 95%未満の精製ガスを、エンジンの調整を行うことなく既存の CNG 車の燃料として使用することは、実用上問題があると考えられる。

【用語概説】

「10・15＋11 モード」法　低排出ガス車認定実施要領第 4 条、第 5 条において、普通自動車、小型自動車及び軽自動車（車両総重量が 3.5 トンを超えるものを除く）に係る平成 17 年基準排出ガスレベルは、「10・15＋11 モード法」による排出物（10・15 モード法排出物×0.88＋11 モード法排出物×0.12）によって認定を行うよう規定されています。試験車両は車両総重量 1.665 トンの小型自動車であるため、「10・15＋11 モード法」が公定法となります。なお、低排出ガス車認定実施要領は平成 18 年 3 月および 11 月に改正されています。

また、「圧縮天然ガスを燃料とする自動車の取扱いについて」（平成 15 年 10 月 23 日付国自技第 150 号、国自審第 896 号、国自環第 132 号）別添圧縮天然ガス自動車の排出ガス技術指針（2003）を適用した場合も、当該指針中 2.(1)の規定により、試験車両の測定方法は 10・15＋11 モード法になります。なお、当該技術指針の排出ガス値は、低排出ガス車認定実施要領において規定されている平成 17 年基準排出ガス 50%低減レベルの値と同じであり、下記の「SU-LEV」の方が厳しい基準となります。

SU-LEV　排出ガス認定レベル「SU-LEV (Super Ultra-Low Emission Vehicle、スーパーユーレブ)」とは、低排出ガス車認定実施要領（平成 12 年運輸省告示第 103 号）において規定されている平成 17 年基準排出ガス 75%低減レベルのことを指す通称で、自動車業界では広く用いられています。ただし、法令で規定されている用語ではありません。

「ガソリン 13(G13)モード」法　試験に使用した大型バスおよび中型バスは、いずれも平成 14 年以前に製作された車両総重量が 2.5 トンを超える普通自動車であるため、「圧縮天然ガスを燃料とする自動車の取扱いについて」（平成 7 年 12 月 15 日付自技第 272 号、自審第 1634 号、自環第 261 号）別添圧縮天然ガス自動車の排出ガス技術指針中 2.(1)の規定により、ガソリン 13（G13）モード法を用いて測定する必要があります。

2. 2 公道試験走行

実証設備で精製したメタン97%以上のバイオ天然ガスを燃料として、天然ガス自動車の公道での試験走行を行った。以下、車両ごとに、試験走行結果を示す。試験に用いた車両はいずれも既存のCNG車であり、バイオガス向けの改造・調整は行っていない。使用した車両の概要等については、本項末尾の**表2-17**にまとめて示した。

2.2.1 長期試験走行結果

長期にわたり連続してバイオ天然ガスを使用した車両の試験走行結果を示す。

（1）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

1）試験走行期間

平成17年9月1日～平成18年3月31日（データ解析期間）

試験走行は、平成18年4月1日以降も継続されている。

2）バイオ天然ガス使用方法

尼崎～明石間の国道2号線のパトロール業務に使用する車両1台でバイオ天然ガスを使用。

なお、試験車両はガソリンとCNGのバイフューエル仕様である。このため、走行中にガス圧が低下した際はガソリンによる運転に切り替え、CNGとしてはバイオ天然ガスのみを使用した。

3）試験走行結果

① 試験走行期間中のバイオ天然ガス使用状況

試験走行期間を通じたバイオ天然ガス充填量、バイオ天然ガスによる走行距離、および燃費は**表2-7**に示すとおりであった。

表2-7 国土交通省パトロールカーの使用成績

ガス充填量(m^3_N)	走行距離(km)	燃費(km／m^3_N)
1,192.3	7,653	6.4

② 都市ガス使用車両との比較

兵庫国道事務所神戸維持出張所では、試験走行車両の他に、同じ仕様のパトロールカーを1台保有しており、CNGとして都市ガス(13A)を使用して試験走行車両と同じコースを走行している。そこで、この車両を比較車両として、試験走行車両との比較を月ごとに**表2-8**に示す。合わせて、試験走行車両でバイオ天然ガスの使用を開始する以前の走行記録も示す。

試験走行車両でバイオ天然ガスを使用した期間においても、都市ガスとほぼ同等の燃費で走行することができた。

表 2-8 試験走行車両(バイオ天然ガス使用)と比較車両(都市ガス 13A 使用)との比較

月	試験走行車両			比較車両		
	ガス充填量 (m^3_N)	走行距離 (km)	燃費 (km／m^3_N)	ガス充填量 (m^3_N)	走行距離 (km)	燃費 (km／m^3_N)
試験走行車両、比較車両とも都市ガス 13A 使用(平成 17 年4月～8 月)						
平成 17 年4月	49.6	400	8.1	176.6	1,283	7.3
5 月	125.6	783	6.2	138.9	979	7.0
6 月	138.6	914	6.6	181.0	1,299	7.2
7 月	118.9	951	8.0	169.8	1,044	6.1
8 月	170.7	1,169	6.8	162.5	992	6.1
4 月～8 月計	603.4	4,217	7.0	828.8	5,597	6.8
試験走行車両において、バイオ天然ガス使用(平成 17 年 9 月～平成 18 年 3 月)						
9 月	173.9	1,101	6.3	149.9	1,099	7.3
10 月	175.6	1,005	5.7	168.4	1,101	6.5
11 月	159.8	1,081	6.8	146.7	1,100	7.5
12 月	156.0	1,053	6.8	160.3	1,123	7.0
平成 18 年 1 月	148.9	1,052	7.1			
2 月	160.3	1,009	6.3			
3 月	217.8	1,352	6.1			
9 月～18 年 3 月計	1,192.3	7,653	6.4	625.3	4,423	7.1

③ 運転手の感想

バイオ天然ガスは都市ガスと比較して燃料の減り方が少し早いような気がするとの感想があった。

エコ・ステーションでガスを充填する場合、ガス圧 20MPa まで充填が可能であるが、実験設備のガス充填装置では 17MPa 程度までしか充填することが出来ないため、ガス圧が低下するまでの時間が短いことが原因と考えられる。

その他は、バイオ天然ガスと都市ガスの違いは特に感じないとのことであった。

2.2.2 短期試験走行結果

バイオ天然ガスを短期間使用した車両の試験走行結果を示す。

（1）神戸市交通局市バス

試験走行結果は、神戸市交通局「消化ガスを使用した走行実験について（報告）」（平成18年6月8日）に基づく。

1）試験走行期間

平成17年10月17日～平成18年3月16日

2）バイオ天然ガス使用方法

CNG仕様の市バスにバイオ天然ガスを燃料として使用し、MT車及びAT車の各1台について試験走行を実施した。またMT車については点火プラグの状態も調査した。

3）試験走行結果

① 試験走行期間中のバイオ天然ガス使用状況

試験走行期間を通じたバイオ天然ガス充填量、バイオ天然ガスによる走行距離、および燃費を**表 2-9** に示す。また、月別のガス充填量及び走行距離を**表 2-10** に示す。なお、同一車両による都市ガス(13A)を使用した場合の燃費は、MT車1.85km/m^3_N（平成17年10月実績）、AT車2.26km/m^3_N（平成18年2月実績）であった。

表 2-9 神戸市交通局市バスの使用成績

	ガス充填量(m^3_N)	走行距離(km)	燃費(km／m^3_N)
MT車	534.5	876	1.64
AT車	44.3	99	2.23

表 2-10 神戸市交通局市バスの月別ガス充填量及び走行距離

月	交通局番号714号車(MT車)			交通局番号202号車(AT車)		
	ガス充填量 (m^3_N)	走行距離 (km)	燃費 (km／m^3_N)	ガス充填量 (m^3_N)	走行距離 (km)	燃費 (km／m^3_N)
平成17年11月	168.3	273	1.62	－	－	－
12月	113.2	189	1.67	－	－	－
平成18年 1月	253.0	414	1.64	－	－	－
3月	－	－	－	44.3	99	2.23
11月～3月計	534.5	876	1.64	44.3	99	2.23

② 運転手の感想

走行感覚や運転感覚とも変化は感じられない。

③ 点火プラグ

MT 車の点火プラグの状態については、焼け具合や磨耗損傷及び燃焼残渣の付着が無く、異常は見当たらなかった。

(2) 神戸市環境局ごみ収集車

1) 試験走行期間

平成 17 年 6 月 24 日～平成 17 年 7 月 1 日

2) バイオ天然ガス使用方法

東灘区及び灘区のごみ収集作業に使用する車両各 1 台でバイオ天然ガスを使用。

東灘区は、坂道の多い地区である。

試験走行期間中はバイオ天然ガスのみを充填した。

3) 試験走行結果

① 試験走行期間中のバイオ天然ガス使用状況

試験走行期間を通じたバイオ天然ガス充填量、バイオ天然ガスによる走行距離、および燃費を表 2-11 に示す。

表 2-11 神戸市環境局ごみ収集車の使用成績

(東灘区収集車走行記録)

月日	曜日	ガス充填量 (m^3_N)	走行距離 (km)	燃費 (km／m^3_N)	収集回数	ごみ量 (kg)	備考
6 月 24 日	金	15	―	―	―	―	
6 月 27 日	月	14	65	4.6	5	8,520	
6 月 28 日	火	16	64	4.0	5	8,850	
6 月 30 日	木	16	72	4.5	5	8,160	
7 月 1 日	金	20	65	3.3	5	8,050	

(灘区収集車走行記録)

月日	曜日	ガス充填量 (m^3_N)	走行距離 (km)	燃費 (km／m^3_N)	収集回数	ごみ量 (kg)	備考
6 月 24 日	金	16	―	―	―	―	
6 月 27 日	月	15 13	85	3.0	7	11,980	充填回数 2回
6 月 28 日	火	21	72	3.4	5	8,780	
6 月 30 日	木	19	56	2.9	4	7,850	

本試験では、試験走行期間前に車両に充填されていた都市ガスを抜いていないため、燃料を100%バイオ天然ガスとすることは出来ていないが、最終日の測定データはバイオ天然ガス比率の高いものと考えられる。

最終日の燃費は東灘区収集車3.3km／m^3_N、灘区収集車2.9km／m^3_Nであった。

都市ガスによる燃費は、神戸市環境局の実績で約3.2km／m^3_Nである。バイオ天然ガスを使用しても都市ガスと同等の燃費で走行できた。

③ 運転手の感想

バイオ天然ガスについては、走行に特に支障は無く、燃費も都市ガスと比較して特に遜色は無いとのことであった。

(3) 神戸市建設局東水環境センター公用車

1) 試験走行期間

平成18年2月～平成18年3月（データ解析期間）

試験走行は、3台のいずれの車両においても平成18年4月1日以降も継続されている。

2) バイオ天然ガス使用方法

東水環境センターの通常業務においてバイオ天然ガスを使用。

3台とも、CNG（圧縮天然ガス）としてバイオ天然ガスのみを使用。

3) 試験結果

① 試験走行期間中のバイオ天然ガス使用状況

試験走行期間を通じたバイオ天然ガス充填量、バイオ天然ガスによる走行距離、および燃費を表2-12に示す。

当公用車は市街地や処理場内の走行に使用されているがバイオ天然ガスの燃費は7.3km／m^3_N～9.4km／m^3_Nであり、一般的な天然ガス自動車とほぼ同等であった。

表2-12 神戸市建設局東水環境センター公用車の使用成績

車名	ガス充填量(m^3_N)	走行距離(km)	燃費(km／m^3_N)
トヨタ カローラ	73	534	7.3
三 菱 リベロ	58	547	9.4
スバル レガシィ	92	693	7.5

② 運転手の感想

発進時、アクセルを踏み込んだ際の加速が悪いという感想があった。ただしこれは、燃料にバ

イオ天然ガスを使用していることが原因ではなく、天然ガス自動車に共通の現象である。

その他は、特に、普通の自動車とかわりはないとのことであった。

(4) 民間事業者運送用車両

1) 試験走行期間

平成18年2月1日～平成18年3月31日（データ解析期間）

試験走行は、平成18年4月1日以降も継続されている。

2) バイオ天然ガス使用方法

CNG 仕様の運送用車両を保有している日本通運株式会社と株式会社松原商会に依頼し、バイオ天然ガスを燃料として試験走行を行った。バイオ天然ガス充填の CNG 車は通常の運送業務に使用された。

3) 試験走行結果

① 試験走行期間中のバイオ天然ガス使用状況

試験走行期間を通じたバイオ天然ガス充填量、バイオ天然ガスによる走行距離、および燃費を日本通運(株)について**表 2-13** に、(株)松原商会について**表 2-14** に示す。

ここで、両社とも燃料はバイオ天然ガスと都市ガスを混合して充填している。(株)松原商会の車両については、平日はバイオ天然ガスを充填し、土日は都市ガスを充填している。

表 2-13 日本通運(株)の運送用車両のガス充填量及び走行距離

月	普通貨物A(最大積載量 2t)			普通貨物B(最大積載量 2t)			普通貨物C(最大積載量 2.75t)		
	ガス充填量(m^3_N)	走行距離(km)	燃費(km／m^3_N)	ガス充填量(m^3_N)	走行距離(km)	燃費(km／m^3_N)	ガス充填量(m^3_N)	走行距離(km)	燃費(km／m^3_N)
都市ガスのみ使用時									
平成17年4月～平成18年1月	4,008	29,305	7.3	2,172	14,708	6.8	4,326	19,542	4.5
バイオ天然ガスと都市ガスの混合、カッコ内は全充填量のうちバイオ天然ガスの充填量									
平成18年2月	219 (48)	1,866	8.5	272 (117)	1,783	6.6	397 (112)	1,742	4.4
3月	397 (117)	1,944	4.9	285 (97)	1,759	6.2	619 (51)	2,771	4.5
2月～3月計	616 (165)	3,810	6.2	557 (214)	3,542	6.4	1,016 (163)	4,513	4.4

表 2-14 (株)松原商会の運送用車両のガス充填量及び走行距離

月	普通貨物(最大積載量 2t)		
	ガス充填量 (m^3_N)	走行距離 (km)	燃費 (km／m^3_N)
平成 18 年 2 月	480.2	2,861	6.0
3 月	517.6	3,168	6.1
2 月～3 月計	997.8	6,029	6.0

(注) バイオ天然ガスを充填した平日におけるデータ

② 運転手の感想

両社の車両とも都市ガスを混合しており、純粋にバイオ天然ガスの効果を確認することはできないが、混合した場合においても走行に差支えはなかったと聞いている。

また、実験施設の昇圧が少ないため充填に時間がかかる、という意見もあった。

2.2.3 自動車動力性能

バイオ天然ガスによる営業運行を行うとする場合に、バイオ天然ガスの自動車燃料としての性能等を確認するため、神戸市交通局が予備車等による乗務員研修や試運転等で連続使用することにより、営業用車両が安全かつ安定的な運行が確保されることを見極めることを目的に、自動車の動力性能を調べる試験を行った。

試験には既存の CNG 仕様の市バスを使用した。

ここに記述する試験結果は、神戸市交通局「消化ガスを使用した走行実験について（報告)」(平成 18 年 6 月 8 日）に基づくものである。

(1) 試験期間

平成 18 年 3 月 14 日～平成 18 年 3 月 16 日

(2) 試験結果

1) 負荷走行テスト

実営業路線において、負荷（乗車状態）をかけた模擬営業運行走行（交通局番号 202 号車で実施）を行った。

- 負荷条件：約 1,600kg（約 29 人乗車状態)
- 負荷内容：900kg のウェイト＋715kg（人員 13 人×55kg)
- 走行路線：神戸市灘区・東灘区の急坂営業路線

１６系統：高羽バス停～六甲ケーブル下間　　２往復

３１系統：岡本９丁目～渦森台終点　　１往復

負荷走行テストを平均走行速度で評価した結果を**表 2-15** に示す。結果は良好なものであった。

表 2-15 神戸市交通局市バスによる16系統でのバイオ天然ガスと都市ガスの負荷走行テストの平均走行速度(単位:km/h)

測定ポイント	バイオ天然ガス			都市ガス			都市ガスとの比較
	1走目	2走目	平均	1走目	2走目	平均	
①	24	24	24.0	25	26	25.5	94.1%
②	24	24	24.0	25	25	25.0	96.0%
③	26	26	26.0	26	26	26.0	100.0%
④	42	42	42.0	43	45	44.0	95.5%
⑤	32	31	31.5	30	34	32.0	98.4%
⑥	38	38	38.0	38	39	38.5	98.7%
⑦	24	24	24.0	24	25	24.5	98.0%
⑧	24	24	24.0	24	25	24.5	98.0%
⑨	22	23	22.5	23	24	23.5	95.7%
⑩	24	24	24.0	24	24	24.0	100.0%
平均	28.0	28.0	28.0	28.2	29.3	28.75	97.4%

2.2.4 排ガス試験

バイオ天然ガスを使用した神戸市交通局市バスの排ガス試験結果を示す。

実験には既存の CNG 仕様の市バス（交通局番号 714、202 号車で実施）を使用し、バイオ天然ガスと都市ガスについて計測機器による一酸化炭素や炭化水素などのデータ収集を実施した。

ここでの試験結果は、神戸市交通局「消化ガスを使用した走行実験について（報告）」（平成 18 年 6 月 8 日）に基づく。

（1）試験期間

平成 17 年 10 月 17 日～18 年 3 月 16 日

（2）試験結果

一酸化炭素（CO）についてはバイオ天然ガス、都市ガスとも検出下限未満（ND）であった。炭化水素（HC）についても MT 車においてはバイオ天然ガス平均 26ppm と都市ガス平均 40ppm より低く、両者とも好成績となっている。

一酸化炭素や炭化水素の測定データを**表 2-16** に示す。

表 2-16 神戸市交通局市バスの排ガス測定データ

交通局番号 714 号車(MT 車)			交通局番号 202 号車(AT 車)		
バイオ天然ガス	エンジン回転数	600rpm	バイオ天然ガス	エンジン回転数	603rpm
	CO	ND		CO	ND
	HC(×1000ppm)	0.026		HC(×1000ppm)	0.03
都市ガス	エンジン回転数	600rpm	都市ガス	エンジン回転数	600rpm
	CO	ND		CO	ND
	HC(×1000ppm)	0.04		HC(×1000ppm)	0.06

(注) 測定はアイドリング時

MT 車は 10 回測定平均値、AT 車は平成 18 年 3 月 16 日測定値

2.2.5 公道試験走行のまとめ

道路維持作業用パトロールカーによる長期試験、バス・ごみ収集車・公用車・民間運送車両による短期試験を実施した結果、燃費や運転手による運転感覚については一般の天然ガス自動車とほぼ同等であり、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 とも基準値以下であることが確認された。

以上の走行試験の結果、及び第３章で述べるバイオ天然ガスの品質管理基準値内での消化ガス精製により、バイオ天然ガスの天然ガス自動車燃料としての活用が可能と判断される。参考として、神戸市交通局の意見を以下に抜粋する。

【参考】 神戸市交通局の意見(抜粋、一部文章修正)

(1) バイオ天然ガス(39.2MJ/m^3_N)は、都市ガス(45MJ/m^3_N)より約 13%熱量が低いため、燃料消費量は増加しているが、熱量換算した燃費はほぼ同等である。

(2) 都市ガスとバイオ天然ガスとの混合運転時、エンジン制御データ (燃料供給量等) が制御の範囲内で変化する傾向にある。バイオ天然ガスに変わると燃料供給量等データが燃料増の方向で安定する。この状態においても、排気ガスの状態や運転感覚には影響はなかったが、エンジンの制御状態を考えると、混合使用よりも単一使用の方がエンジンのためにも望ましいと思われる。

(3) 今回テストに使用した車両については、各種調査データからバイオ天然ガスに対する改造や調整は不要と考える。また、燃料供給方式が同じであれば、他メーカーの車両についても改造調整など不要と判断している。

(4) バイオ天然ガスは品質管理基準値内 (第３章にて記述) で精製されており、今後も管理基準値内で精製できる目途が立っていることから、自動車燃料として使用可能と判断している。

表 2-17　バイオ天然ガスによる天然ガス自動車試験走行概要

（長期試験）

試験車両 使用者	車名	車両 番号	自動車 の種別	用途	車体の 形状	車両 総重量	最大 積載量	総 排気量	ｶﾞｽﾀﾝｸ 容量	燃料供給 方式	試験期間
国土交通省 兵庫国道事務所	ﾄﾖﾀ ランドクルーザー プラド	神戸 800 す 7077	普通	特種 自家用	公共応急 作業車	2,405kg	―	2.69 ﾘｯﾄﾙ	135.5 ﾘｯﾄﾙ	ミキサー 方式	H17.9.1～ H18.3.31

上記 1 台は平成 18 年 4 月 1 日以降も継続中。

（短期試験）（1／2）

試験車両 使用者	車名	車両 番号	自動車 の種別	用途	車体の 形状	車両 総重量	最大 積載量	総 排気量	ｶﾞｽﾀﾝｸ 容量	燃焼 方式	燃料供給 方式	試験期間
神戸市交通局	日産ディーゼル 交通局番号714号車	神戸22 か5728	普通	乗合	リヤー エンジン	14,440kg	—	12.50ﾘｯﾄﾙ	476ﾘｯﾄﾙ	希薄燃焼 方式	ミキサー 方式	H17.10.17 ～H18.2.6 (12回)
	日産ディーゼル 交通局番号202号車	神戸200 か497	普通	乗合	リヤー エンジン	15,145kg	—	12.50ﾘｯﾄﾙ	660ﾘｯﾄﾙ	希薄燃焼 方式	ミキサー 方式	H18.3.14 ～H18.3.16 (3回)
神戸市環境局	いすゞ	神戸800 さ9374	普通	特種	塵芥車	6,725kg	2,000kg	4.33ﾘｯﾄﾙ	186ﾘｯﾄﾙ			H17.6.24 ～H17.7.1 (連続)
	いすゞ	神戸800 す1652	普通	特種	塵芥車	6,715kg	2,000kg	4.33ﾘｯﾄﾙ	186ﾘｯﾄﾙ			H17.6.24 ～H17.6.30 (連続)
神戸市建設局 東水環境 センター	トヨタ カローラ	神戸46 そ6510	小型	貨物 自家用	バン	1,580kg	400kg	1.45ﾘｯﾄﾙ	52ﾘｯﾄﾙ			H18.2 ～H18.3.31
	三菱 リベロ	神戸46 と8452	小型	貨物 自家用	バン	1,600kg	400kg	1.46ﾘｯﾄﾙ	52ﾘｯﾄﾙ			H18.2 ～H18.3.31
	スバル レガシィ	神戸800 す8610	普通	特種 自家用	セダン	1,725kg	—	1.99ﾘｯﾄﾙ	116ﾘｯﾄﾙ			H18.2 ～H18.3.31

神戸市建設局の3台は平成18年4月1日以降も継続中。

（短期試験）（2／2）

試験車両 使用者	車名	車両番号	自動車の種別	用途	車体の形状	車両総重量	最大積載量	総排気量	ｶﾞｽﾀﾝｸ容量	試験期間
日本通運(株)	いすゞ エルフ	神戸 100 あ 1067	普通	貨物 事業用	バン	3,200kg	2,000kg	4.33 ﾘｯﾄﾙ	233 ﾘｯﾄﾙ	H18.2.1 ～ H18.3.31
	いすゞ エルフ	神戸 100 あ 3677	普通	貨物 事業用	バン	3,810kg	2,000kg	4.33 ﾘｯﾄﾙ	259 ﾘｯﾄﾙ	H18.2.14 ～ H18.3.31
	日産ディーゼル コンドル	神戸 100 あ 9613	普通	貨物 事業用	バン	5,010kg	2,750kg	6.92 ﾘｯﾄﾙ	360 ﾘｯﾄﾙ	H18.2.2 ～ H18.3.31
(株)松原商会	いすゞ エルフ	神戸 100 あ 8701	普通	貨物 事業用	バン	2,920kg	2,000kg	4.33 ﾘｯﾄﾙ	168 ﾘｯﾄﾙ	H18.2.1 ～ H18.3.31

上記4台は平成18年4月1日以降も継続中。

第3章 バイオ天然ガスの品質管理基準

本章では、法規制値および第2章で記述した自動車試験結果に基づいて、バイオ天然ガスをCNG車の燃料として利用する場合の品質管理基準を設定する。なお、ここでは既存のCNG車において、エンジン等に関して何ら改造あるいは再調整を行うことなく、そのままの状態で利用することを前提としており、これは、燃料としてバイオ天然ガスのみでしか走行できない場合は、車の利便性が著しく劣るためである。

3.1 CNG車燃料ガスに対する法規制値

CNG車の燃料である圧縮天然ガスについて、道路運送車両法においては関連告示である「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示」(平成14年国土交通省告示第619号)において、「メタンガスを主成分とする」と規定されているが数値基準は定められていない。また、圧縮天然ガスは高圧ガスであるため高圧ガス保安法の適用を受ける。同法においても圧縮天然ガスの数値基準は定められていないが、同法関連省令である「一般高圧ガス保安規則」(昭和41年通商産業省令第53号)において、不純物およびにおいに関する規定がある。そのほか、(社)日本ガス協会の自主基準である「圧縮天然ガススタンド安全技術指針」(JGA指-NGV03-05、平成17年12月)にもしたがう必要があり、同指針において同じく(社)日本ガス協会の自主基準である「自動車燃料用天然ガス水分指針」(JGA指-NGV05-96、平成8年3月)にしたがうよう定められている。これらの法規および指針で定められている、CNG車燃料ガスの満たすべき性状を**表3-1**に示す。

表3-1 CNG車燃料ガスに対する法規制値および指針値

項目	内容	法規・指針名
メタン	圧縮天然ガスは、メタンガスを主成分とする高圧ガスをいう	道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 第20条第1項第1号イ
水分	容器に有害となる量を含まないこと	一般高圧ガス保安規則 第7条第3項第3号
	自動車燃料容器の最高使用圧力(19.6MPa、ゲージ圧力)におけるガス中水分の露点が、「月間最低気温-5.6℃」以下であること	(社)日本ガス協会「自動車燃料用天然ガス水分指針」 第2章
硫化物	容器に有害となる量を含まないこと	一般高圧ガス保安規則 第7条第3項第3号
酸素	容量で4%以上含まれていないこと	一般高圧ガス保安規則 第6条第2項第1号ハ(イ)
におい	空気中の混入比率が容量で1/1,000である場合において感知できるようなにおいがすること	一般高圧ガス保安規則 第7条第3項第2号ロ

3. 2 バイオ天然ガスの品質管理基準

3.2.1 品質管理基準

表 3-1 に示した法規制値および第 2 章で述べた自動車走行試験結果をもとに策定した、精製装置出口および CNG 車への充填時のガス性状の品質管理基準を**表 3-2** に示す。なお、ここでは精製装置出口ガスに対して付臭のみを行った後、すなわち、熱量調整を行わずに CNG 車燃料として利用する場合を想定している。付臭を兼ねて臭い付き高発熱量ガスを混合することに関しては、CNG 車の標準燃料である都市ガス 13A であれば任意の割合で混合可能であるが、その他のガスについては実証での確認が別途必要である。

表 3-2 こうべバイオガス品質管理基準

管理場所	項目	単位	管理基準	備考
精製装置出口	メタン	vol%	97 以上	
	酸素	vol%	4 未満	
	硫化水素	ppm	0.1 以下	
	露点	℃	−51 以下	
	シロキサン	mg/m^3_N	1 以下	D3〜D6 の合計
CNG 車充填時	臭気濃度	—	2,000 以上	空気中の混入比率が容量で 1/2,000 である場合において感知できるにおいがすること

3.2.2 品質管理基準決定の根拠

前掲の表 3-2 に示した各品質管理基準の決定にいたった根拠を以下に記す

(1) メタン

第 2 章で述べたとおり、自動車試験機関における中型バスでの試験結果によって、既存の CNG 車においてバイオガス向けの調整を行わない状態で、都市ガス 13A 燃料と同等程度の排出ガスおよび動力性能を確保するためには、燃料ガスの発熱量をメタン濃度 95%相当以上の値とする必要があることが示されている。ただし、第 2 章で記述した神戸市バス（大型バス）をはじめとする CNG 車での公道での試験走行は、メタン濃度 97%以上のガスを燃料として実施している。したがって、公道での試験走行によって実証済である 97%以上という値を採用することにした。

(2) 酸 素

法規制値と異なる値に設定する理由がないため、規制値と同じ値である 4%未満とした。

(3) 硫化水素

腐食防止の観点から、できるだけ低い値が望ましいため。

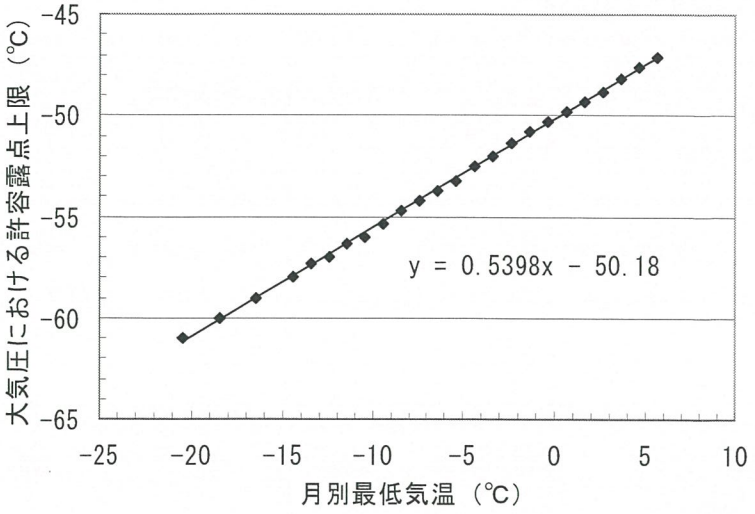


図 3-1 月別最低気温と許容露点上限の関係

(4) 露 点

表 3-1 に示した(社)日本ガス協会「自動車燃料用天然ガス水分指針」にしたがって神戸市における値を算出すると、月別最低気温が-1.4℃、大気圧における露点の上限値が-50.8℃になるため。なお、当該指針に示されている月別最低気温と大気圧における露点の上限値の関係をグラフ化したものを、参考までに図 3-1 に示す。

(5) シロキサン

CNG 車エンジンに対するシロキサンの影響に関する報告例がないため、同様の構造を有する内燃機関であるガスエンジンにおける知見をもとに決定した。過去に実施したガスエンジンでの実証実験において、シロキサン未処理の消化ガスで、570 時間運転後に排ガス中の NOx 濃度が上昇する現象が観測された（平成 14 年度共同研究「消化ガスによるコージェネ実証実験」報告書、平成 15 年 3 月、神戸市・(株)神戸製鋼所)。エンジンを停止して内部点検を実施したところ、排ガス三元触媒の劣化が確認された。また、点火プラグ電極の損耗傾向およびエンジン室内へのシロキサン由来の燃焼残渣物の付着もあり、同条件で運転を継続した場合には燃焼系のトラブルが予測された。このときエンジンに流入したシロキサンの総量は、燃料消費量（25.7m^3_N/hr)、シロキサン濃度（50mg/m^3_N）から、以下の値であったと推定される。

$25.7m^3_N/hr \times 50mg/m^3_N \times 570hr = 732g$

ところで、高圧ガス保安法により、平成 9 年 4 月以降に製造された CNG 車用燃料容器には 15 年を超えて燃料ガスを充てんすることができない（一般高圧ガス保安規則第 6 条第 2 項第 2 号リ、第 18 条第 1 項第 3 号、第 49 条第 2 項)。また、CNG 車のなかで一般的に最も燃料消費量の多い大型バスにおいて、1 日あたりの燃料消費量は最大 100m^3_N程度である。したがって、CNG 車の総運転時間中の総燃料使用量は、最大 100m^3_N/日×365 日/年×15 年＝547,500m^3_Nと考えられる。

よって、CNG 車に許容されるシロキサン濃度の上限は以下のとおりと考えられる。

$732g／547{,}500m^3_N＝1.34mg/m^3_N$

これより、品質管理値としては $1mg/m^3_N$ と決定した。

(6) におい

CNG 車燃料としてバイオ天然ガスを利用する場合、表 3-1 に示したとおり高圧ガス保安法に基づいて付臭をする必要がある。しかし、同法には圧縮天然ガスのにおいの分析方法についての規定がないため、ガス事業法の関連法規である、「ガス工作物技術基準の解釈例」第 77 条第 1 項に規定されている分析方法を採用することにした。同条文では、人の嗅覚によりガスの臭気濃度を算出する官能法と、分析機器で付臭濃度を測定し換算式により臭気濃度を算出する付臭剤濃度測定法の２方法が認められており、そのうち付臭剤濃度測定法では、換算式作成に伴う誤差を考慮し、臭気濃度 2,000 倍（ガスの空気中の混合容積比率が 1/2,000 でにおいが確認できること）以上で管理することと規定されている。したがって、官能法と付臭剤濃度測定法のいずれの分析方法においても、当該規定を満足することができるよう、2,000 倍で管理することとした。

3. 3 まとめ

法規制値および自動車試験結果に基づき、バイオ天然ガスを CNG 車燃料として利用する場合の品質管理基準を前掲の表 3-1 のとおり策定した。

第４章　消化ガス精製装置実用化の検討

4. 1　基本諸元

高圧水吸収法による消化ガス精製装置を実用化するにあたり、第３章で示した運転管理基準を安定して満足するために基本となる諸元を**表 4-1** に示す。まず、第１章において記述したとおり、液ガス比が小さいほど吸収塔内での吸収水から精製ガスへの窒素および酸素の混入が少なく、メタン純度の高い精製ガスが得られる。前掲の図 1-7 からわかるように、液ガス比は循環式の場合 0.10～0.15、一過式の場合 0.30～0.35 であれば、精製ガス中の酸素濃度は 0.05%程度以下と小さく、このことは精製ガス中の窒素濃度も低く抑えることができることを示している。

上述の液ガス比に設定して消化ガス中の二酸化炭素を水に十分吸収させて分離するためには、吸収塔圧力を高く、循環式の場合はそれに加えて、吸収水温度を低く設定する必要がある。ただし、吸収塔圧力に関しては、1MPa 以上の場合、最高使用圧力が高圧のガス工作物となり、初期費用および維持管理費用が上昇するため、実用上 0.85～0.90MPa 程度とするのが好ましい。また、循環式の場合の水温についても、凍結防止を考慮して 5～10℃程度とするのが好ましい。

表 4-1　消化ガス精製装置基本諸元

項目	循環式	一過式	備考
液ガス比	0.10～0.15	0.30～0.35	小さいほど窒素、酸素の混入が少ないため、高いメタン濃度の精製ガスが得られる。
吸収塔圧力	0.85～0.90MPa	0.85～0.90MPa	高いほど液ガス比を小さく設定可能
水温	5～10℃	― （成り行き）	低いほど液ガス比を小さく設定可能

4. 2　精製システム

下水処理場に消化ガス精製装置を導入する場合のシステム例を**表 4-2** に示す。表中の上段の図は、これまで焼却処分していた余剰ガスを新たに精製し有効利用する場合のフローとなっている。既存の設備に追加して精製装置を設置し、ガスタンクから脱硫後の消化ガスを有効利用する量だけ精製装置に導入している。既存の設備を活用したまま消化ガスの有効利用率を向上させることができるシステムである。

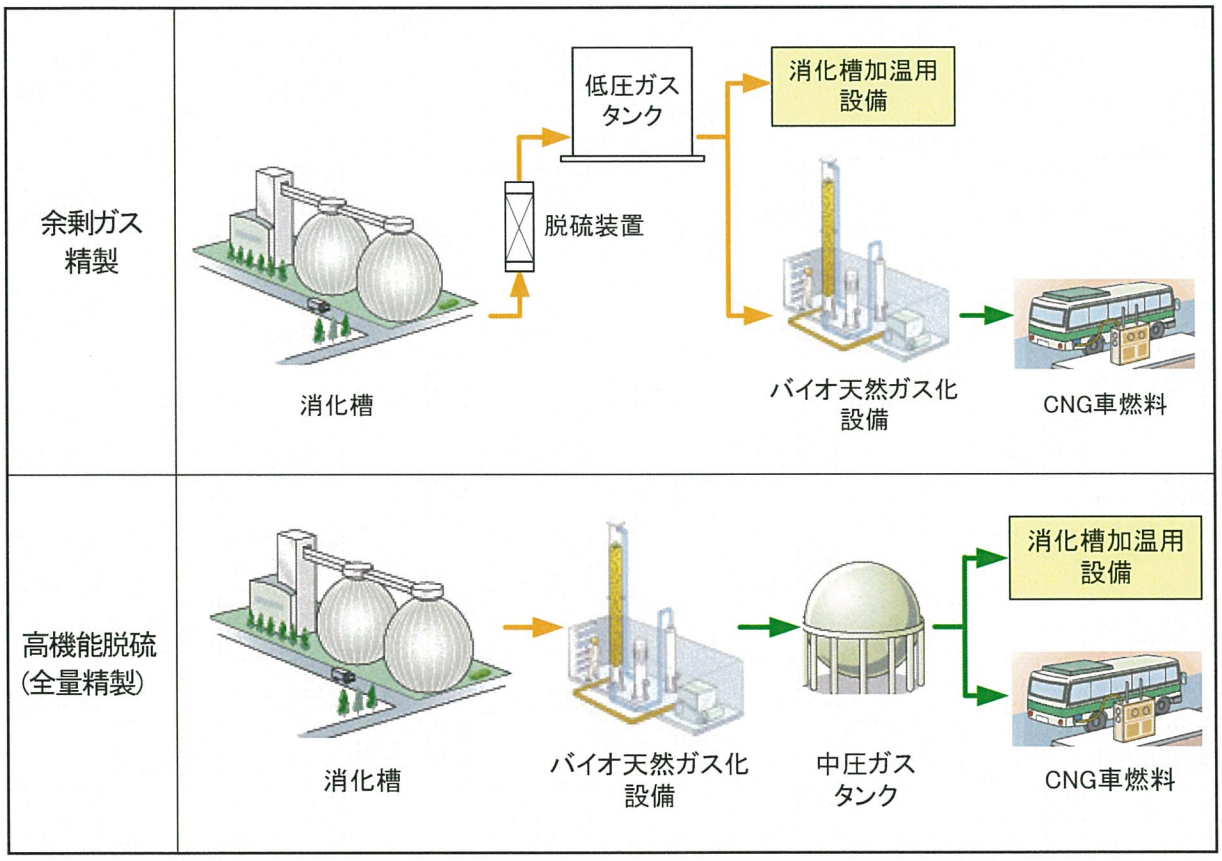
高圧水吸収法においては、第１章で記述したようにメタン濃縮と同時に硫化水素の除去が可能なので、表の下段に示しているように、高機能脱硫設備として精製装置を導入し、発生する消化ガスの全量を精製する

ことも可能である。

なお、CNG 車燃料として利用する場合に法規制上必要となる付臭については、(社)日本ガス協会発行の「付臭の手引き」[1] に詳細な解説があるので、そちらを参照されたい。

バイオ天然ガスの有効利用用途としては、第 2 章で記述したように CNG 車燃料だけでなく、従来から採用事例のあるガスエンジン等のコージェネレーション機器燃料のほか、地域によっては都市ガス原料としての利用が考えられる。これまで場内での十分な利用先がなく、一部の消化ガスが余剰ガスとして焼却処分されていた処理場においても、メタン濃度 97%以上のバイオ天然ガスへの精製システムを導入することによって、CNG 車燃料などへの利用用途が拡大し、最大で発生する消化ガス全量の利活用が可能となる。

表 4-2 精製システム例



【参考文献】

1) 社団法人日本ガス協会、「付臭の手引き」、2001 年 10 月

むすび

神戸市は、バイオ天然ガスの愛称を市民から募り「**こうべバイオガス**」と名付けＰＲを進めている。今後は、東灘処理場内においてガスタンクや脱硫設備の改築に併せて、精製装置、中圧ガスタンク、精製ガス供給設備を建設し、天然ガス自動車へのバイオ天然ガスの供給を平成19年度末までに実現させる予定としている。バイオ天然ガスは、下水由来のバイオガスであり、カーボンニュートラルで下水処理場が存続する限り採取可能なエネルギーである。今後も下水道資源の積極的な利活用に取り組んで行きたい。

最後に、本共同研究には多くの機関の協力を仰いでいる。以下に記して関係者の皆様に感謝の意を表する。また、神戸市からは(独)土木研究所が従前より検討を進めていた「消化ガスの自動車燃料化」に関して協力を頂いていた。それが本共同研究に繋がっているものであり、当時関係された河田義則氏、瀧村豪氏、大西秀明氏に感謝申し上げる。

【研究協力機関】

国土交通省近畿地方整備局兵庫国道事務所
神戸市交通局
神戸市環境局
日本通運株式会社
株式会社松原商会
大阪ガス株式会社
日産車体株式会社
株式会社フラットフィールド
発酵瓦斯燃料自動車・普及促進事業（仮称）研究会

【出願済特許】

本共同研究において出願した特許および商標の一覧を以下に示す。

番号	出願日	名称	出願人
特開 2006-83156	平成 17 年 3 月 25 日	ガス精製方法	神戸市 神鋼環境ソリューション
特開 2006-95512	平成 17 年 7 月 25 日	バイオガスの精製方法及びバイオガス精製設備	同上
特願 2006-240584	平成 18 年 9 月 5 日	バイオガスの精製方法及びバイオガス精製設備	土木研究所 神戸市 神鋼環境ソリューション
特願 2006-240585	同上	メタン回収方法および消化ガス精製装置	同上
特願 2006-240586	同上	消化ガス利用システムにおける消化ガス精製方法およびその精製装置	同上
商標登録 4973289	平成 17 年 4 月 20 日	バイオ天然ガス	神戸市 神鋼環境ソリューション

【発表論文等】

本共同研究の成果の一部は次のとおり報告してきた。

① 竹中恭三「神戸市の下水処理場における消化ガスの精製と天然ガス自動車への活用」、季刊　環境研究、No. 142、pp. 44-50、(財) 日立環境財団、2006

② 竹中恭三「消化ガスのバイオ天然ガス化について」、第 24 回日韓都市開発協力会議、pp. 99-110、国土交通省都市・地域整備局、2006. 10

③ 豊久志朗、宮本博司、小山忠志、「高圧水吸収法を用いた消化ガス精製装置の実証運転報告」、第 43 回下水道研究発表会講演集、pp. 410-412、2006

④ 牧孝憲、落修一、尾崎正明、「消化ガス自動車システム」、第 42 回下水道研究発表会講演集、pp. 25-27、2005

⑤ 豊久志朗、宮本博司、小山忠志、「高圧水吸収法による消化ガス精製装置の実証運転」、第 42 回下水道研究発表会講演集、pp. 52-54、2005

⑥ 河田義則、瀧村豪、大西秀明、「消化ガスの「バイオ天然ガス」化と天然ガス自動車燃料としての活用」、第 42 回下水道研究発表会講演集、pp. 55-57、2005

⑦ 牧孝憲、尾崎正明、「消化ガスで走る自動車」、土木技術資料、Vol. 42、No. 2、pp. 34-39、2005