

土木研究所資料

低温下における建設施工の環境負荷低減に関する検討

平成24年8月

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所
技術開発調整監付寒地機械技術チーム

Copyright © (2012) 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。

低温下における建設施工の環境負荷低減に関する検討

技術開発調整監付 寒地機械技術チーム 上席研究員 柳沢 雄二
主任研究員 国島 英樹^{※1}
研究員 長瀬 楨^{※2}
研究員 平 伴斉

要 旨

京都議定書や日本政府の温室効果ガス削減目標を達成するためには、国をあげての取り組みや国民一人一人の常日頃からの努力が必要であるが、その一助としてバイオエネルギーが注目されている。

しかし、燃料として使用可能なバイオディーゼル燃料やバイオガスは、排出ガスの成分、動力性能、及び積雪寒冷地における適応性が不明である。そこで、本検討では各種のデータ測定試験や冬期性能試験を実施することにより、低温下における燃料としての適応性を確認した。

その結果、問題点や課題を整理することで、積雪寒冷地における燃料としての適応性も確認することができ、地域導入モデルとしてまとめた。

キーワード: バイオディーゼル燃料、バイオガス、積雪寒冷地、除雪車、道路パトロールカー、
ガーベジ

※1 現 北海道開発局留萌開発建設部施設整備課

※2 現 北海道開発局帯広開発建設部施設整備課

目 次

低温下における建設施工の環境負荷低減に関する検討

1. まえがき	1
2. 積雪寒冷地におけるバイオディーゼル燃料導入	1
2.1 バイオディーゼル燃料の長短所	1
2.2 地域の取り組み	3
2.3 バイオディーゼル燃料に関する法律	4
2.3.1 改正揮発油品質法	4
2.3.2 オフロード法	5
2.3.3 高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のための ガイドライン	9
2.4 検討方針	10
2.5 除雪トラック、除雪ドーザによる加速試験	10
2.6 乗用車による出力・トルク計測試験	12
2.7 除雪ドーザによる牽引力試験	13
2.8 排出ガス計測試験	14
2.9 機関始動性試験（低温特性）	16
2.10 冬期間使用時における燃料消費量計測試験	18
2.11 バイオディーゼル燃料における地域モデル	19
3. 積雪寒冷地におけるバイオガス燃料導入	19
3.1 バイオガスの活用	20
3.2 精製圧縮充填装置	21
3.3 試験車両	23
3.4 検討方針	23
3.5 機関始動性調査	24
3.6 CNG車両による出力・トルク計測試験	24
3.7 バイオガスにおける排出ガス計測試験	26
3.8 バイオガス圧縮充填装置の導入における問題点	26
3.8.1 バイオガス精製圧縮装置の冬期適用試験	27
3.8.2 膜分離装置の改造	27
3.8.3 膜分離装置の評価	28
3.8.4 低圧圧縮機の改造	30

3.8.5	改造の効果	31
3.8.6	バイオガスにおける燃料消費量・冬期間使用試験	31
4.	まとめ	32
4.1	バイオディーゼル燃料	32
4.2	バイオガス燃料	33
4.3	温室効果ガス削減	33
	参考文献	33
	巻末資料	
	バイオガス精製圧縮充填装置の操作手順	34
	CNG車への充填操作手順	46

1. まえがき

現代社会は、18世紀後半に始まった産業革命より発展し、物質面で豊かな生活をもたらした。これは、原油など化石燃料の大量消費によって今日まで支えられてきている。

20世紀後半に入り、大量生産などによって化石燃料の需要がますます加速するなか、大量のCO₂などの温室効果ガス排出が一因とされる地球規模での環境破壊が除々に進行し、国レベルでの対策が実施されている。

また、原油・天然ガスをはじめとする化石燃料は枯渇する可能性がある。

しかし、近年、化石燃料を大量に必要とする自動車など運輸部門の温室効果ガス排出量は増加傾向にあるため、化石燃料を使用せず、CO₂などの温室効果ガスを排出しないクリーンエネルギーや再生可能エネルギーの活用検討が必要となっている。

このような状況から、次期エネルギー候補の一つとして、バイオマスエネルギーが注目されている。バイオマスエネルギーは、カーボンニュートラルとされ、温室効果はゼロカウントであるが、積雪寒冷地におけるバイオディーゼル燃料使用時の機関出力や機関始動性などの知見が十分ではない。

そこで、本検討では、バイオマスエネルギーであるバイオディーゼル燃料とバイオガスについて、1台当たりの排気量の多い除雪トラックなどの大型車両や乗用車を用いて冬期適用性調査を行い、積雪寒冷地における活用効果について検証した。

2. 積雪寒冷地におけるバイオディーゼル燃料導入

2.1 バイオディーゼル燃料の長短所

バイオディーゼル燃料とは、植物・動物油脂を原材料として精製された燃料であり、軽油の代替燃料として使用されている。

国内のバイオディーゼル燃料は、家庭や事業者より排出された天ぷら油などの廃油を回収し、バイオディーゼル燃料工場で精製されている。このため、原料の品質が一定ではなく、燃料の色や品質が異なっている（写真－1）。



写真－1 バイオディーゼル燃料

精製方法は数多く存在するが、図-1に示す「アルカリ触媒法」が最も普及している。アルカリ触媒法とは、メタノールなどのアルコール類を触媒として反応させることによって、廃食油から流動性低下などの原因となるグリセリンを取り除き、油脂を脂肪酸メチルエステルという燃料に変換する方法で、精製した燃料はディーゼル機関用の燃料として使用可能となる。

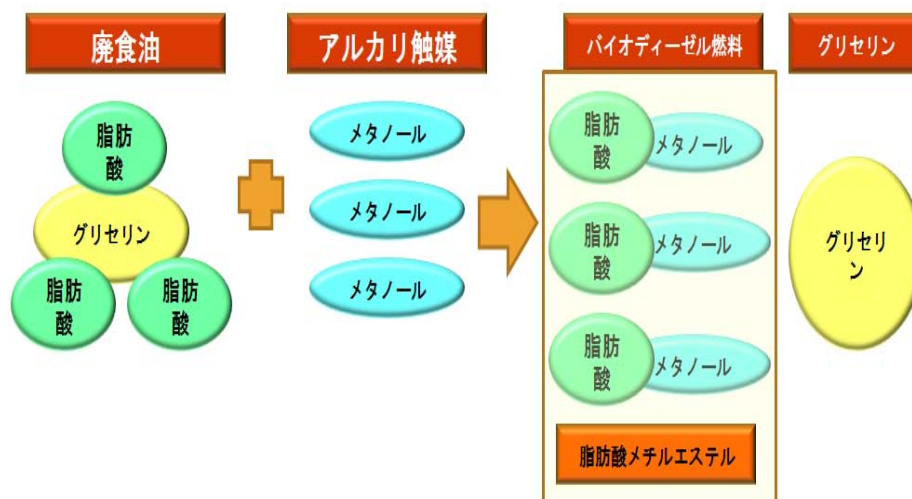


図-1 アルカリ触媒法（油脂のエステル反応）

バイオディーゼル燃料は、以下に示す長所・短所が一般的に知られている。

(1) バイオディーゼル燃料の長所

- ・ バイオディーゼル燃料の主原料は、菜種、大豆、オリーブ等の植物油や動物油脂のいわゆる生物由来油であるため、生育過程にてCO₂を吸収していることになる。よって、バイオディーゼル燃料を燃焼しCO₂を排出しても、元は植物が吸収したCO₂であることからカーボンニュートラルであり、CO₂の排出量にカウントされない。
- ・ 廃棄物を原料としているため、リサイクル促進につながり、循環型社会の形成に寄与できる。
- ・ 毒性が少なく、生分解性を有しているため、環境に調和することが可能である。
- ・ 大部分のディーゼル機関に改造を加えずに使用可能である。
- ・ 軽油と比較し、バイオディーゼル燃料分子が含酸素燃料であるため着火性に優れ、完全燃焼しやすい。
- ・ 軽油よりも硫黄分が少ないため、喘息や酸性雨の原因物質である硫黄酸化物(SO_x)を削減できる。
- ・ バイオディーゼル燃料は潤滑油として使用され、軽油よりも潤滑性が向上する。
- ・ 販売価格が安価である（軽油と同程度以下）。

(2) バイオディーゼル燃料の短所

- ・ バイオディーゼル燃料は、改正揮発油品質法、道路運送車両法、オフロード法、地方税法などの適用を受ける。改正揮発油品質法では、軽油に対して5%を超えての混合ができない（但し、100%使用については規制がない）。
- ・ 軽油にバイオディーゼル燃料を5%以上混合する場合には、燃料フィルタの目詰まりや燃料ホースの膨張による燃料漏れが起きる可能性がある。
- ・ DPF (Diesel Particulate Filter) などの触媒を有する車両は、DPFの目詰まりを起こす可能性がある。
- ・ 主原料が廃食油であるため、燃料の一定の品質確保や安定した原材料の確保が難しい。
- ・ 主原料が植物油や動物油であるため、化石燃料である軽油よりも酸化しやすい燃料である。
- ・ 表-1のとおり、分子構造が軽油と異なるため、機関始動性などの低温特性や機関出力などの機械特性に影響が出る。
- ・ 軽油の発熱量が10,600kcal/kgに対し、バイオディーゼル燃料の発熱量は9,000kcal/kg程度と低い。¹⁾

表-1 分子構造

軽油	脂肪酸メチルエステル
$C_{15}H_{32} \sim C_{17}H_{36}$ (混合)	R_1COOCH_3 R_2COOCH_3 R_3COOCH_3 (R:炭化水素基)

2.2 地域の取り組み

全国でバイオディーゼル燃料を利用した取り組みを行っている。

以下に、代表的な取り組みを紹介する。

(1) 菜の花プロジェクト（滋賀県）

菜の花プロジェクトとは、菜の花を栽培して菜種油を製造し、てんぷら油として使用した後に通常は産業廃棄物として廃棄する油を廃食油として回収するものである。回収した油は、アルカリ触媒と反応させることでバイオディーゼル燃料として精製される。精製した燃料は、スクールバスや農作業用機械などに利用されている。滋賀県が全国に先駆け地産地消のモデルとして行われた事業として有名である。

(2) とうべつふれあいバス（北海道当別町）

当別町では、使用済み天ぷらなどの廃食油を回収し、バイオディーゼル燃料として精製している。精製された燃料は、町の循環コミュニティバスに利用されている。なお、北海道内ではこのような取り組みが各地で行われている。

2.3 バイオディーゼル燃料に関する法律

バイオディーゼル燃料の使用にあたり、遵守すべき関係法令や機械の使用上で注意すべき点が多々ある。特にバイオディーゼル燃料を軽油と混合して使用する場合は、5%以下の混合率で使用しなければならない。

2.3.1 改正揮発油品確法

2008（平成20）年5月に改正された「揮発油等の品質の確保等に関する法律」、2011（平成23）年3月に施行された「揮発油等の品質の確保等に関する法律施行規則」について一部抜粋し記す。

(1) 揮発油等の品質の確保等に関する法律（平成20年5月30日法律第48号）³⁾

（目的）

第一条 この法律は、国民生活との関連性が高い石油製品である揮発油、軽油及び灯油について適正な品質のものを安定的に供給するため、その販売等について必要な措置を講じ、もつて消費者の利益の保護に資するとともに、重油について海洋汚染等の防止に関する国際約束の適確な実施を確保するために必要な措置を講ずることを目的とする。

（規格に適合しない軽油の販売の禁止等）

第十七条の七 軽油販売業者は、軽油の規格として経済産業省令で定めるもの（以下「軽油規格」という。）に適合しない物を、自動車の燃料用の軽油（軽油と同じ用途に用いることができる石油製品であつて経済産業省令で定めるものを含む。）として消費者に販売してはならない。

2 第十七条の二及び前条の規定は、軽油販売業者に準用する。この場合において、第十七条の二第一項中「第十三条」とあるのは「第十七条の七第一項」と、前条第一項中「揮発油の基準として経済産業省令で定めるもの（以下「標準揮発油の基準」という。）」とあるのは「軽油の基準として経済産業省令で定めるもの（以下「標準軽油の基準」という。）」と読み替えるものとする。

(2) 揮発油等の品質の確保等に関する法律施行規則（平成23年3月22日経済産業省令第6号）³⁾

（軽油規格）

第二十二條 法第十七条の七第一項の軽油の規格として経済産業省令で定めるものは、次の各号に掲げるとおりとする。

- 一 硫黄分が〇・〇〇一質量百分率以下であること。
- 二 セタン指数が四十五以上であること。
- 三 九十パーセント留出温度が三百六十度以下であること。
- 四 トリグリセリドが〇・〇一質量百分率以下であること。
- 五 次のイ又はロの要件を満たすものであること。
 - イ 脂肪酸メチルエステルが〇・一質量百分率以下であること。
 - ロ 脂肪酸メチルエステルが〇・一質量百分率を超え五質量百分率以下であつて、次に掲げる要件を満たすこと。

- (1) メタノールが〇・〇一質量百分率以下であること。

- (2) 酸価（軽油一グラムのうちに含まれる酸の中和に要する水酸化カリウムのミリグラム数をいう。以下同じ。）が0・一三以下であること。
 - (3) ぎ酸、酢酸及びプロピオン酸の合計が0・〇〇三質量百分率以下であること。
 - (4) 酸価の増加が0・一二以下であること。
- 2 前項第一号に定める数値は、日本工業規格K二五四一一号（原油及び石油製品—硫黄分試験方法）で定める試験方法、日本工業規格K二五四一一二号（原油及び石油製品—硫黄分試験方法）で定める試験方法、日本工業規格K二五四一一六号（原油及び石油製品—硫黄分試験方法）で定める試験方法又は日本工業規格K二五四一一七号（原油及び石油製品—硫黄分試験方法）で定める試験方法により測定した場合における数値とする。
 - 3 第一項第二号に定める数値は、日本工業規格K二二八〇号（石油製品—燃料油—オクタン価及びセタン価試験方法並びにセタン指数算出方法）で定める四変数方程式を用いたセタン指数の算出方法により算出した場合における数値又はセタン価試験方法により測定した場合における数値とする。
 - 4 第一項第三号に定める数値は、日本工業規格K二二五四号（石油製品—蒸留試験方法）の常圧法蒸留試験方法で定める試験方法により測定した場合における数値とする。
 - 5 第一項第四号又は同項第五号イ若しくはロに定める数値（同号ロ（1）から（4）までに定める数値を除く。）は、軽油中の脂肪酸メチルエステル又はトリグリセリドの濃度の測定方法として経済産業大臣が定める方法により測定した場合における数値とする。
 - 6 第一項第五号ロ(1)で定める数値は、軽油中のメタノールの濃度の測定方法として経済産業大臣が定める方法により測定した場合における数値とする。
 - 7 第一項第五号ロ(2)に定める数値は、日本工業規格K二五〇一号（石油製品及び潤滑油—中和価試験方法）の電位差滴定法（酸価）で定める測定方法により測定した場合における数値とする。
 - 8 第一項第五号ロ(3)に定める数値は、軽油中のぎ酸、酢酸又はプロピオン酸の濃度の測定方法として経済産業大臣が定める方法により測定した場合における数値を合計したものとする。
 - 9 第一項第五号ロ(4)に定める数値は、軽油中の酸価の増加の測定方法として経済産業大臣が定める方法により測定した場合における数値とする。

（軽油規格の特則）

第二十二條の二 軽油生産業者、軽油輸入業者、法第十七條の八第三項において準用する法第十七條の四第二項の規定により確認を行うべき者（以下「軽油加工業者」という。）又は軽油特定加工業者が次條に規定する軽油試験研究計画の認定を受けた場合であつて、当該認定を受けた軽油試験研究計画（以下「認定軽油試験研究計画」という。）において定められた試験研究の用に供する軽油を販売又は消費しようとする場合における軽油規格については、前條の規定にかかわらず、当該認定軽油試験研究計画に定められた試験研究の用に供する軽油の品質とする。

2.3.2 オフロード法

2006（平成18）年4月に施行された「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律」、2010

(平成22)年3月に施行された「特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律施行規則」、また、関係する告示等について一部抜粋し記す。

(1) 特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（平成17年5月25日法律第51号）³⁾

(目的)

第一条 この法律は、特定原動機及び特定特殊自動車について技術上の基準を定め、特定特殊自動車の使用について必要な規制を行うこと等により、特定特殊自動車排出ガスの排出を抑制し、もって大気の汚染に関し、国民の健康を保護するとともに生活環境を保全することを目的とする。

(定義)

第二条 この法律において「特定特殊自動車」とは、道路運送車両法（昭和二十六年法律第百八十五号）第二条第二項に規定する自動車（同条第五項に規定する運行の用に供するものを除く。）であつて、次に掲げるもの（けん引して陸上を移動させることを目的として製作した用具その他政令で定めるものを除く。）をいう。

一 道路運送車両法第三条に規定する大型特殊自動車及び小型特殊自動車

二 建設機械抵当法（昭和二十九年法律第九十七号）第二条に規定する建設機械に該当する自動車（前号に掲げるものを除く。）その他の構造が特殊な自動車であつて政令で定めるもの

2 この法律において「特定原動機」とは、特定特殊自動車に搭載される原動機及びこれと一体として搭載される装置で主務省令で定めるものをいう。

3 この法律において「特定特殊自動車排出ガス」とは、特定特殊自動車の使用に伴い発生する一酸化炭素、炭化水素、鉛その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある物質で政令で定めるものをいう。

(国の責務)

第三条 国は、特定特殊自動車排出ガスの規制に関する国際的な連携の確保、特定特殊自動車排出ガスの排出の抑制に関する啓発及び知識の普及その他の特定特殊自動車排出ガスによる大気の汚染の防止に関する施策を推進するよう努めなければならない。

(2) 特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律施行規則（平成22年3月18日経済産業省・国土交通省・環境省令第1号）³⁾

(特定原動機技術基準)

第二条 法第五条の主務省令で定める基準は、次のとおりとする。

一 特定原動機は、排気管から大気中に排出される排出物に含まれる一酸化炭素、炭化水素、窒素酸化物、粒子状物質及び黒煙を多量に発散しないものとして、燃料の種別等に応じ、性能に関し主務大臣が告示で定める基準に適合するものであること。

二 前号の規定に適合させるために特定原動機に備える特定特殊自動車排出ガスの発散防止装置は、当該装置の機能を損なわないものとして、構造、機能、性能に関し主務大臣が告示で定める基準に適合するものであること。

2 前項の基準は、告示で定める燃料が使用される場合に特定特殊自動車排出ガスによる大気の汚染の防止が図られるよう定めるものとする。

(3) 特定特殊自動車排出ガスの規制等に関して必要な事項を定める告示（平成 22 年 3 月 18 日 経済産業省・国土交通省・環境省告示第 107 号）⁴⁾

（燃料の規格）

第 3 条 規則第 2 条第 2 項の燃料は、細目告示第 3 条の表の左欄に掲げる燃料の種類ごとに設けられた同表の右欄に掲げる基準を満たすものとする。但し、当分の間、次の表の第一欄に掲げる特定特殊自動車については、同表第二欄に掲げる規定は、同表第三欄に掲げる字句を同表第四欄に掲げる字句に読み替えて適用する。

読み替えに係る特定特殊自動車	読み替える規定	読み替えられる字句	読み替える字句
脂肪酸メチルエステルが質量比 0.1% 以下の軽油を使用することを前提に製作された特定特殊自動車	細目告示第 3 条の表軽油の項	次のイ又はロの要件を満たすものであること。 イ 脂肪酸メチルエステルが質量比 0.1% 以下 ロ 脂肪酸メチルエステルが質量比 0.1% 超 5% 以下であり、かつ、次に掲げる要件をいずれも満たすこと。 (1) メタノールが質量比 0.01% 以下 (2) 酸価が 0.13 以下 (3) ぎ酸、酢酸及びプロピオン酸の合計が質量比 0.003% 以下 (4) 酸価の増加量が 0.12 以下	脂肪酸メチルエステルが質量比 0.1% 以下

(4) 建設業に係る特定特殊自動車排出ガスの排出の抑制を図るための指針（国土交通省告示第 1152 号）⁵⁾

第 1 趣旨

我が国における大気環境の状況は、大都市地域を中心として依然として厳しい状況にある。特に、自動車全体の排出量に占める公道を走行しない特殊自動車からの排出割合は、他の発生源に対する規制強化ともあいまって、窒素酸化物で約 25%、粒子状物質で約 12% を占めるなど、看過できない水準に達している。このような状況を改善するためには、特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律（平成 17 年法律第 51 号。以下「法」という。）第 2 条第 1 項に規定する特定特殊自動車を業として使用する者が排出ガスの排出の抑制への意識を高めるとともに、特定特殊自動車の特性を理解し正しく使用することが必要である。この指針は、法第 28 条第 1 項の規定に基づき、建設業法（昭和 24 年法律第 100 号）第 2 条第 2 項に規定する建設業を営む者で特定特殊自動車を使用する者（以下「使用する者」という。）が特定特殊自動車（法の施行の前に製作等されたものを含む。）の排出ガスの排出の抑制を図るために取り組むべき措置に関して定めるものである。

第 2 特定特殊自動車排出ガスの排出の抑制を図るための措置

使用する者は、法第 2 条第 3 項に規定する特定特殊自動車排出ガスの排出の抑制を図るため、

次に掲げる措置を実施するものとする。

1 排出量を増加させないための燃料の使用

軽油を燃料とする特定特殊自動車の使用にあたって、燃料を購入して使用するときは、当該特定特殊自動車の製作等に関する事業者又は団体が推奨する軽油（ガソリンスタンド等で販売されている軽油をいう。）を選択すること。

(5) 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）⁶⁾

（燃料の規格）

第 3 条 保安基準第 1 条の 2 の規定による燃料は、次表の左欄に掲げる燃料の種類ごとに設けられた右欄に掲げる基準を満たすものとする。

燃料の種類	基準
ガソリン	鉛が検出されないこと。
	硫黄が質量比 0.001%以下
	ベンゼンが容量比 1 %以下
	メチルターシャリーブチルエーテルが容量比 7 %以下
	メタノールが検出されないこと。
	エタノールが容量比 3 %以下
	酸素分が質量比 1.3%以下
	灯油の混入率が容量比 4 %以下
	実在ガムが 100ml 当たり 5 mg 以下
軽油	硫黄が質量比 0.001%以下
	セタン指数が 45 以上
	90%留出温度が 360℃以下
	次のイ又はロの要件を満たすものであること。 イ 脂肪酸メチルエステルが質量比 0.1%以下 ロ 脂肪酸メチルエステルが質量比 0.1%超 5 %以下であり、かつ、次に掲げる要件をいずれも満たすこと。 (1) メタノールが質量比 0.01%以下 (2) 酸価が 0.13 以下 (3) ぎ酸、酢酸及びプロピオン酸の合計が質量比 0.003%以下 (4) 酸価の増加量が 0.12 以下
	トリグリセリドが質量比 0.01%以下

備考

- 「鉛が検出されないこと」とは、日本工業規格 K2255 の原子吸光 A 法又は原子吸光 B 法で定める試験方法により測定した場合において、その結果が当該方法の適用区分の下限值以下であることをいう。
- 「メタノールが検出されないこと」とは、メタノールの混入率を容量比で測定でき、かつ、メタノールの混入率の定量下限が容量比 0.5%以下である分析設備により測定した場合において、その結果が当該方法の適用区分の下限值以下であることをいう。
- 「酸素分」とは、日本工業規格 K2536 号の 2、日本工業規格 K2536 号の 4 又は日本工業規格 K2536 号の 6 に定める方法により測定した場合における数値とする。

- 4 「セタン指数」とは、日本工業規格 K2280 で定める方法で算出した軽油の性状をいう。
- 5 「90%留出温度」とは、日本工業規格 K2254 に定める方法で測定した軽油の性状をいう。
- 6 「酸価」とは、軽油 1g のうちに含まれる酸の中和に要する水酸化カリウムの mg 数をいい、日本工業規格 K2501 号の電位差滴定法（酸価）により測定した数値とする。
- 7 「酸価の増加量」とは、軽油中の酸価の増加の測定方法として経済産業大臣が定める方法（平成 19 年経済産業省告示第 81 号）により測定した数値とする。

2.3.3 高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン⁷⁾

バイオディーゼル燃料を軽油に 5%以上混合する場合には機械的なトラブルの原因となることがある。これらをまとめたものが国土交通省のホームページにて公開されている「高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン」である（図-2）。

バイオディーゼル100%燃料を使用しても、燃料性状によっては、不具合が起きない可能性もあるが、十分に注意して使用すべきである。

高濃度バイオディーゼル燃料等を
使用される皆様へ

—高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のために—

バイオディーゼル100%燃料や混合率5%を超えるバイオ混合軽油(注)を自動車燃料として使用する場合には、燃料品質、車両構造、点検整備に留意が必要です。

注：改正揮発油等の品質の確保等に関する法律の施行により、混合率5%を超えるバイオ混合軽油は、試験研究のための特例措置を受けた場合を除き、使用できません。

想定される不具合の例	対策事例(注)
燃料フィルター目詰まり	・燃料エレメント大型化 ・エレメントの交換頻度を上げる
燃料噴射ポンプの焼き付き、寿命低下	・高効率燃料エレメントの使用 ・酸化防止剤や無灰型清浄剤の添加
燃料噴射ノズルのコーキング	・酸化防止剤や無灰型清浄剤の添加
燃料系ホース等の劣化	・燃料ホースなどのゴム製部品をフッ素系ゴム部品等に交換
燃料系金属部品の腐食	・燃料タンクにターンシートが使用されていないものを選択

この表は、想定される主な不具合と対策の事例を掲げたものであり、不具合等のすべてを網羅したものではありません。
注：対策事例の詳細はガイドライン本文をご参照下さい。ガイドライン本文は国土交通省よりダウンロードが可能です。

図-2 高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン (http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000004.html)

2.4 検討方針

低温下でのバイオディーゼル燃料使用時には、流動性が悪化し、燃料フィルタなどの目詰まりによって、機関が始動不可能となる可能性がある。また、除雪作業は深夜の作業がほとんどであり、低温下の機関始動や高負荷作業の繰り返しのため、バイオディーゼル燃料の使用には悪条件となる。

本検討では、これらの問題に対して実際にバイオディーゼル100%燃料を除雪車両などに用いて各種測定試験を行った。試験に使用した車両及びその諸元を表-2に示す。

表-2 各種試験車両・諸元

	除雪トラック1	除雪トラック2	除雪ドーザ	乗用車
写真				
車両総重量	18,750kg	23,520kg	13,660kg	2,720kg
総排気量	16.99ℓ	21.20ℓ	6.48ℓ	2.83ℓ
長さ	1,198cm	1,000cm	780cm	461cm
幅	330cm	330cm	370cm	169cm
高さ	339cm	345cm	348cm	199cm
エンジンタイプ	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
初年度登録	1993	1994	1991	1995
Max. Power	261kW	308kW	118kW	92kW
測定試験	・加速試験	・排出ガス計測試験 ・機関始動性試験 ・燃料消費量計測試験	・加速試験 ・牽引力試験	・出力・トルク計測試験

2.5 除雪トラック、除雪ドーザによる加速試験

バイオディーゼル燃料を除雪車両などの低温・高負荷の条件の下で使用した場合、作業遅延が発生し、交通渋滞の原因になるおそれがある。そのため、走行時における出力特性調査として、軽油とバイオディーゼル燃料を用いた追い越し加速試験を実施し、基本特性の検証を行った。

試験方法は、追い越し加速を想定し、スタート地点より加速を開始した車両が、任意の設定速度に達した地点より70m走行後地点までの速度・時間を計測し、加速度を算出した。

計測条件を表-3、試験方法を図-3、試験結果を図-4、試験状況を写真-2及び写真-3に示す。

図-4より、除雪トラックの加速度は変わらないが、除雪ドーザの加速度は軽油よりも若干上回っていることを確認した。

また、除雪トラックの70m地点速度では、軽油使用時48.2km/hに対し、バイオディーゼル燃料は、軽油使用時とほぼ同等の速度であった。一方、除雪ドーザの70m地点速度は、軽油使用時約21.4km/hに対し、バイオディーゼル燃料3種の70m地点速度が約1~3km/h上昇していることを確認した。

バイオディーゼル燃料使用時における加速性能は、軽油と比較し、同等以上であると判断できる。

表－3 加速試験の計測条件

車両	除雪ドーザ	除雪トラック
登録年度	H3	H5
試験日	12月16日	12月17日
気温	-1.3℃	5.6℃
路面状況	圧雪アイスバーン	ウェット
タイヤ	スパイク	スタッドレス
試験項目	図－2の試験方法による 追越加速	図－2の試験方法による 追越加速



$$a = (V - V_0) / t$$

a : 加速度 (m/s²)

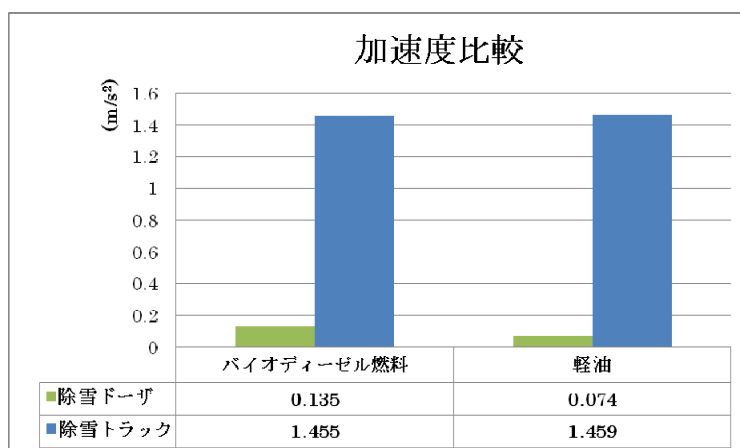
V : 70m地点速度 (km/h)

V₀ : 0m地点速度 (km/h)

t : 70mに到達した時間 (s)

図－3 加速試験方法

図－4 加速度比較





写真－2 除雪ドーザ加速試験



写真－3 除雪トラック加速試験

2.6 乗用車による出力・トルク計測試験

実際の機関出力を確認するため、軽油とバイオディーゼル燃料を用いた出力・トルク計測試験を行った。機関出力は、道内に大型車対応のシャシーダイナモメータがなかったため、乗用車による機関出力を計測した。計測状況を写真－4、出力・トルク曲線を図－5に示す。

この結果、30km/h時における最大出力は、軽油 16.1PS (11.8kW) に対し、バイオディーゼル燃料の平均出力は 23.1PS (17.0kW) と 4割程度高くなった。50km/h 台後半までは、バイオディーゼル燃料が軽油よりも高い値を示すが、その後の最大出力はバイオディーゼル燃料の平均が 82.4PS (60.6kW) に対し、軽油が 84.9PS (62.4kW) と 3%軽油が上回る結果となった。

同様にトルクについては、30km/h 時で軽油 6.6kgm に対し、バイオディーゼル燃料の平均トルクは 8.7kgm と 3割程度高くなった。50km/h 台後半までは、バイオディーゼル燃料が軽油よりも高い値を示すが、その後のトルクはバイオディーゼル燃料の平均が 17.8kgm に対し、軽油が 16.8kgm と 6%軽油が下回る結果となった。



写真－4 出力・トルク計測状況

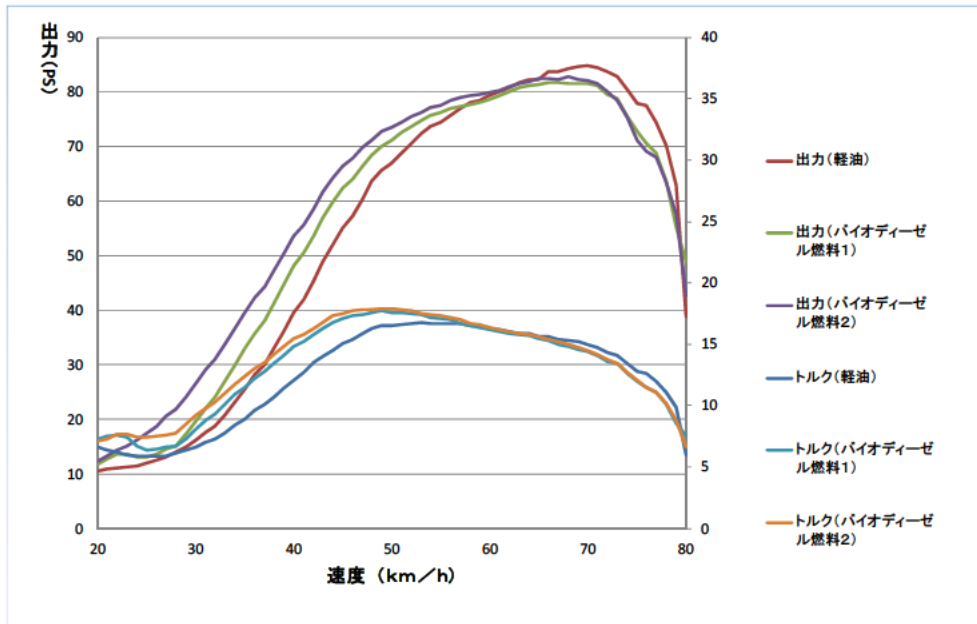


図-5 出力・トルク曲線

2.7 除雪ドーザによる牽引力試験

除雪作業時における機関出力を確認するため、実際の除雪作業時における最大出力の影響について高負荷作業時を想定し、軽油とバイオディーゼル燃料を用いて牽引力試験を行った。

計測方法は、地面に固定されたアンカーにワイヤーロープを掛け、ロードセルを介して、除雪ドーザの牽引力を計測した。試験概要図を図-6、試験結果を図-7、試験状況を写真-5に示す。

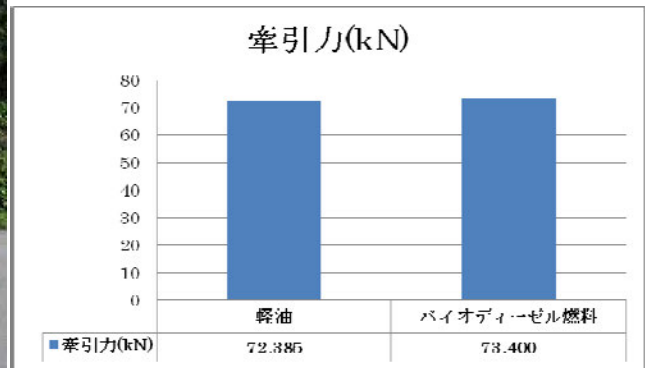
図-7より、バイオディーゼル燃料は軽油に対して、牽引力が1～2%高い数値を示した。バイオディーゼル燃料を使用した場合の機関出力は、軽油と比較し、同等以上である。



図-6 牽引力試験概要図



写真－5 牽引力試験状況



図－7 牽引力試験結果

2.8 排出ガス計測試験

除雪トラックと除雪ドーザの排出ガスが環境に及ぼす影響や機関燃焼状況を確認するため、バイオディーゼル燃料と軽油を使用した場合の排出ガスを計測し成分分析を行った。計測状況を写真－6、計測結果を図－8～11に示す。

その結果、バイオディーゼル燃料の排出ガスは軽油と比べ次のことがわかった。

- ① 除雪ドーザ、除雪トラックとも一酸化炭素 (CO) は減少する。
- ② 二酸化炭素 (CO₂) は若干増加する。
- ③ 酸素 (O₂) は若干減少する。
- ④ ①～③によりバイオディーゼル燃料が軽油よりも完全燃焼しているといえる。
- ⑤ 一酸化窒素 (NO) は、除雪ドーザでは若干減少するが、除雪トラックでは増加する。これは、機械の個体差が影響していることが考えられる。



写真－6 排出ガス計測

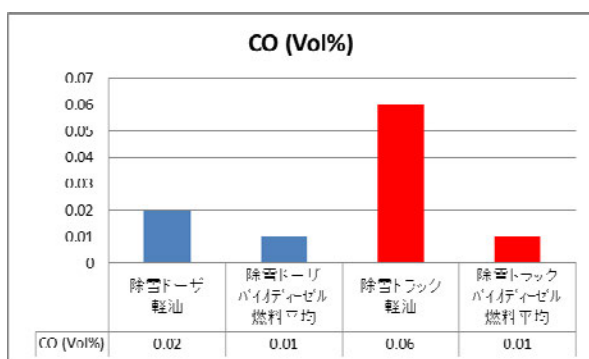


図-8 排出ガスCO計測結果

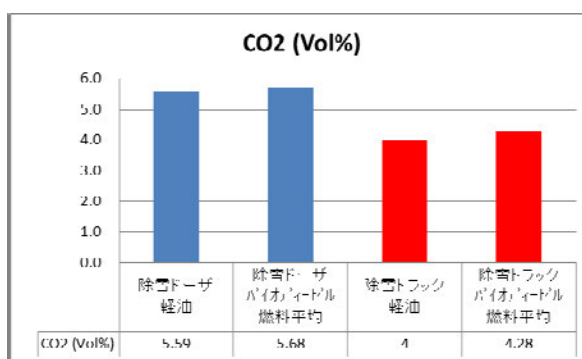


図-9 排出ガスCO₂計測結果

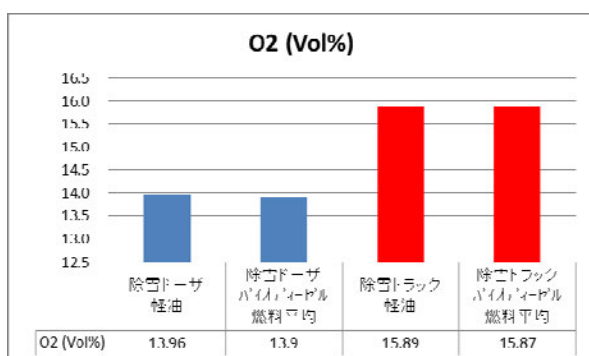


図-10 排出ガスO₂計測結果

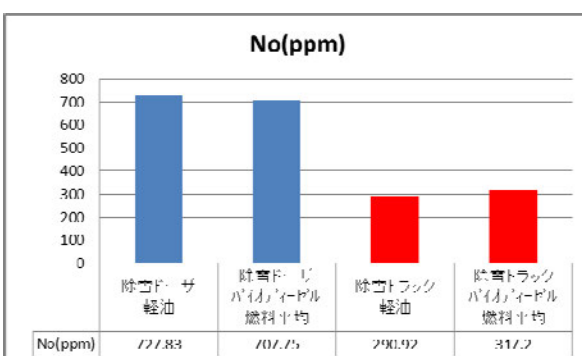


図-11 排出ガスNO計測結果

さらに、酸性雨や光化学スモッグの原因となる粒子状物質（PM）について、燃料の違いによってどの程度影響が出るのかを調査するため、除雪トラックによる測定試験を行った。試験結果を図-12、計測状況を写真-7に示す。

除雪トラックの光吸収係数は、軽油が 0.59m^{-1} の値を示したが、バイオディーゼル燃料は 0.22m^{-1} であり、バイオディーゼル燃料を使用した方が軽油より63%程度クリーンな値であることがわかった。

バイオディーゼル燃料使用時における排出ガス成分は、含酸素燃料であることから軽油よりも完全燃焼しやすいため、CO₂の排出量は若干増加するが、バイオディーゼル燃料が動植物の廃油を原料としていることから、カーボンニュートラルであり、粒子状物質（PM）も減少することからクリーンな燃料であるといえる。

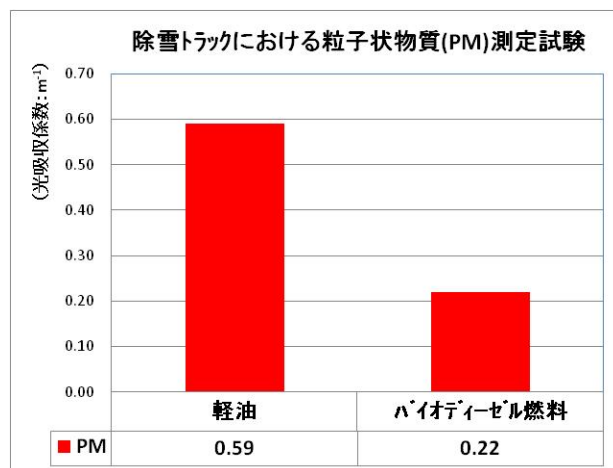


図-12 除雪トラックにおける粒子状物質測定試験 (PM)



写真-7 粒子状物質 (PM) 測定試験

2.9 機関始動性試験 (低温特性)

低温下における機関始動性を確認するため、始動時間計測を行い、軽油とバイオディーゼル燃料の評価を行った。試験方法は、セルモータ始動時より計測を開始し、機関が完全始動するまでの時間を計測した。計測結果を表-4、5に示す。

バイオディーゼル燃料は、軽油と比較し気温が5.4℃高い好条件であったが、軽油と同等の機関始動性であるといえる。また、バイオディーゼル燃料は機関始動が1秒を切っており、-2.1℃の気温では機関始動には支障がない。

しかし今回の試験では、-2.1℃の気温になることがなかったため、実作業時における機関始動性が不明である。そこで厳冬期の機関始動性試験を実施した。

平成22年及び23年の冬期に機関始動が可能であることを確認した。結果を表-4に示す。外気温は、0℃以下となる気温が続いていたが、バイオディーゼル燃料の温度は外気温よりも6℃まで高くなっていた。通常の外気温は、-7~0℃にて推移していたが、平成22年2月4日は気温が14.7℃となり、セルモータの回転は確認できたものの機関の始動は不可能であった。この際、燃料フィルタを車体より取り外したところ、写真-8のとおり燃料フィルタは、ヘドロ状の白いグリセライドが表面に付着しており、これが抵抗となって目詰まりを起こしたと想定される。

また、燃料タンク内の燃料（写真－9左）を抜き取り、常温にて保存していた同燃料（写真－9右）と比較した結果、透明度が低下していた。この時、燃料温度は-10℃であり、バイオディーゼル燃料内の物質が結晶化して透明度や流動性が低下することがわかった。

燃料配管は金属製であるため、確認はできなかったが、バイオディーゼル燃料が燃料フィルタや燃料配管などで目詰まりを起こし、エンジン内まで到達不可能となったため、機関始動不能となったものと考えられる。これらの対策として、特に低温が見込まれる時期は車両を車庫にて保管することや燃料タンクの加温装置などを用いて燃料をなるべく冷やさない対策が必要である。

表－4 機関始動性試験

油種	軽油	バイオディーゼル燃料
外気温	-7.5℃	-2.1℃
1回目(s)	0.66	0.66
2回目(s)	0.60	0.56

表－5 機関始動性（バイオディーゼル燃料）

	外気温	燃料温度	機関始動性
平成22年2月1日	-3	-1	○
2月2日	-7	-3	○
2月4日	-14.7	-10	×
2月7日	-4	0	○
2月8日	0	3	○
2月13日	-5	1	○
2月16日	-6	0	○
2月19日	-4	0	○
3月1日	-2	1	○
平成23年1月31日	-6.4	-6.2	○
2月1日	-5.2	-1.4	○
2月7日	-1.5	-1.8	○
2月10日	-2.4	-2.7	○
3月14日	3.9	1.9	○



写真－8 粒子状物質(PM)測定試験



写真－9 始動不能時の燃料フィルタ及び燃料の状態

2.10 冬期間使用時における燃料消費量計測試験

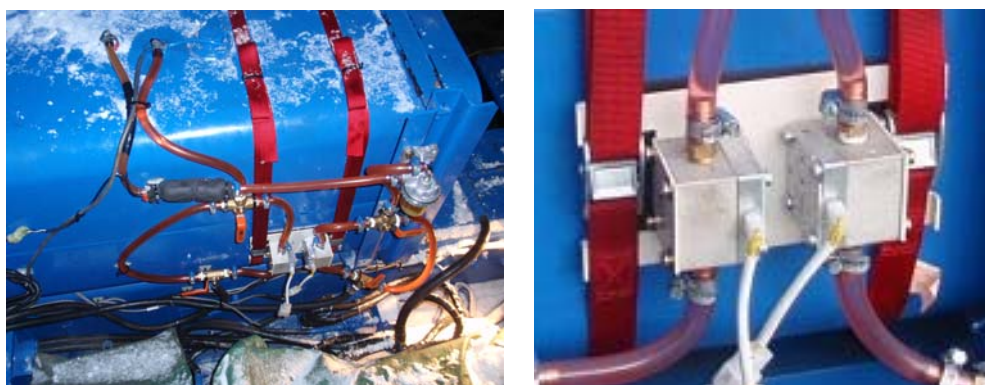
除雪作業時は、機関が高負荷運転になることが多く、バイオディーゼル燃料は軽油よりも発熱量が低いことから、燃料消費量が増加することが考えられる。そこで、実際の除雪作業時において軽油及びバイオディーゼル燃料を使用した場合の燃料消費量について比較を行った。

試験では、除雪トラックに流量計を2個設置し、供給側と戻り側の差分量を消費量として比較した。燃料消費量の比較を表－6、流量計を写真－10に示す。

除雪作業には、降雪量や作業条件など作業負荷の違いがあるが、軽油と比較しバイオディーゼル燃料における平均燃費(km/ℓ)は、28%悪化した。その要因は、バイオディーゼル燃料特有の潤滑性向上効果によって、エンジン気筒内に軽油よりも多量の燃料が供給されたことが考えられる。

表－6 燃料消費量

油種	走行距離(km)	消費量(ℓ)	平均燃費(km/ℓ)
軽油	740.2	832	0.89
バイオディーゼル燃料	665.2	1,039	0.64



写真－10 流量計

2.11 バイオディーゼル燃料における地域モデル

バイオディーゼル燃料の精製には、廃食油を確保することが重要である。地域生産モデル例として、A市における廃食油の生産量を表-7に示す。A市の人口は35万人であり、年間プラント生産能力は407,700ℓあるが、実年間生産量は、348,509ℓと約85%程度である。理由として、廃食油の確保は、人口や飲食店などの事業者数に比例するため、プラント生産能力よりも原料である廃食油量に影響を受けるからである。バイオディーゼル燃料の精製には、このような問題があるが、学校・家庭・事業者と連携し、さらに廃食油回収など地域モデル事業に向けた取り組みが必要となる。

A市の国道を除雪するには45台の除雪車が必要であり、全台数をバイオディーゼル燃料にて走行するには、524,400ℓ程度が必要であるが、プラント生産能力及び実年間生産量を上回ることや、保存期間の問題から全ての除雪車両に使用できない。ただし、年間のCO₂削減量は、348,509ℓ×2.62(kg-CO₂/ℓ) (軽油のCO₂排出係数) =913,093kg≒913 tとなる。

このような取り組みを行うことによって地球温暖化対策に貢献することが可能となり、地産地消によるエネルギーの有効活用となる。

表-7 A市におけるバイオディーゼル燃料の生産モデル

項目	数量
A市人口(人)	350,000
A市面積(km ²)	747
A市を走る除雪車両台数(必要数)(台)	45
除雪車バイオディーゼル燃料必要数(ℓ)	524,400
プラント生産量能力(ℓ)	407,700
実年間生産量(ℓ)	348,509

3. 積雪寒冷地におけるバイオガス燃料導入

「バイオマス・ニッポン総合戦略」では、地球温暖化対策、循環型社会の形成、バイオマスの利活用が推進されており、これらの目標を達成する上で、家畜糞尿・稲わら・生ゴミなどを有効活用することが期待されている。

北海道は、雄大な土地を利用した酪農業が盛んな地域であることから、エネルギー資源として家畜糞尿や生ゴミの有効利用が可能である地域である。

家畜排泄物や生ゴミは、堆肥などの有効活用事例としてよく知られているが、メタン発酵させることで、バイオガスとなり、車両や家庭用燃料など多角的なエネルギーとして利用可能である。

北海道では、バイオマスエネルギーの1つであるバイオガスプラントがいくつかの地域で導入され、バイオガスを燃料とした発電施設や暖房に利用している事例があるが、余剰ガスが発生し、通常は焼却処分されている。この余剰ガスの有効活用方法としてバイオガスを車両などの燃料として利用する方法がある。しかし、車両へバイオガスを充填する精製圧縮充填装置や車両本体は、積雪寒冷地での導入事例が少なく、機関始動性など低温下における影響が不明である。

そこで、積雪寒冷地における影響の調査として、車両にバイオガスを充填する精製圧縮充填装置への影響や車両の機関始動性・動力性能調査を行った。

3.1 バイオガスの活用

バイオガスの発生源は、食料品の残渣などによる生ゴミや家畜糞尿であり、これらを原料として、メタン発酵させ精製している。以下に生ゴミや家畜糞尿を原料としたバイオガスを活用している地域の代表例を示す。

(1) 滝川市におけるガーベジバイオガスの活用

中空知衛生施設組合は、北海道滝川市に位置し3市2町（滝川市、芦別市、赤平市、新十津川町、雨竜町）にて運営管理を行っている。この中空知衛生施設組合が、ごみ処理広域化計画に基づき、ごみを資源として再利用するとともに、エネルギーを有効活用し、埋立量やダイオキシン類の発生をできるだけ抑える循環型社会を目指し、平成15年度より稼働している。受け入れごみの処理能力は、生ごみが55 t/日、資源・粗大・不燃・その他ごみは選別を行っており18t/日、可燃ごみは58t/日である。平成18年度のごみの処理実績としては、3市2町（人口約9万人）で約62 t/日となっており、内訳は、可燃ごみが約50%、生ごみが約33%である。

生ごみから得られるガーベジ（生ゴミ）バイオガスは、**図-13**に示す高速メタン発酵処理施設にて精製後、発電機の燃料としても利用されており、得られる電力は施設内利用のほか、余剰電力は売電されている。

また、施設内のボイラ燃料としても利用し、温水は発酵槽の加温、冷暖房や冬期間の敷地内ロードヒーティングにも利用している。さらに発酵後の汚泥は、堆肥として加工し農地へ還元している。

ここではバイオガスの生成量83,000m³/月（H18年度実績）に対し、余剰量が10,000～27,000 m³/月程度発生している。

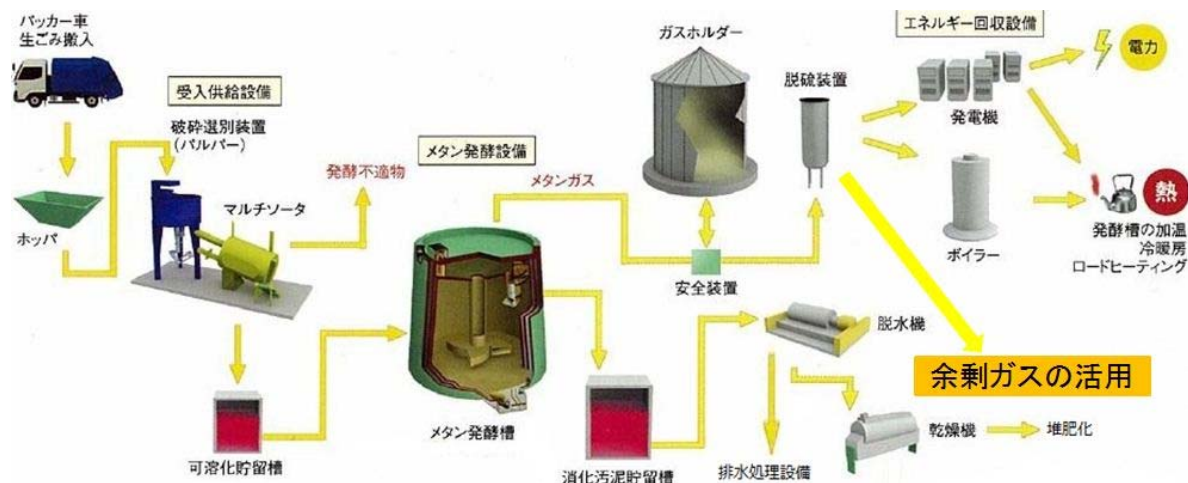


図-13 高速メタン発酵処理施設（滝川市、リサイクル）

(2) 鹿追町におけるバイオガスの活用

北海道鹿追町の鹿追町環境保全センター⁸⁾では、牛や豚などの家畜より排出される糞尿を原料とし、中温発酵（38℃）にて約20日～30日間程度発酵槽で滞留させることによってバイオガスを精製している。このプラントで生産されたバイオガスは、108kWh・200kWhのコジェネレーション発電機・殺菌槽の蒸気ボイラ・発酵槽加温用の温水ボイラの燃料として利用されている。この内、

発電された電力は、センター内の必要な施設内の電力に使用され、余剰電力は北電に売電されている。

また、バイオガス発生時の副産物である消化液は、採草地や飼料作物地の液肥として使用されている。余剰ガスは車両の燃料として利用されている（写真－11）。



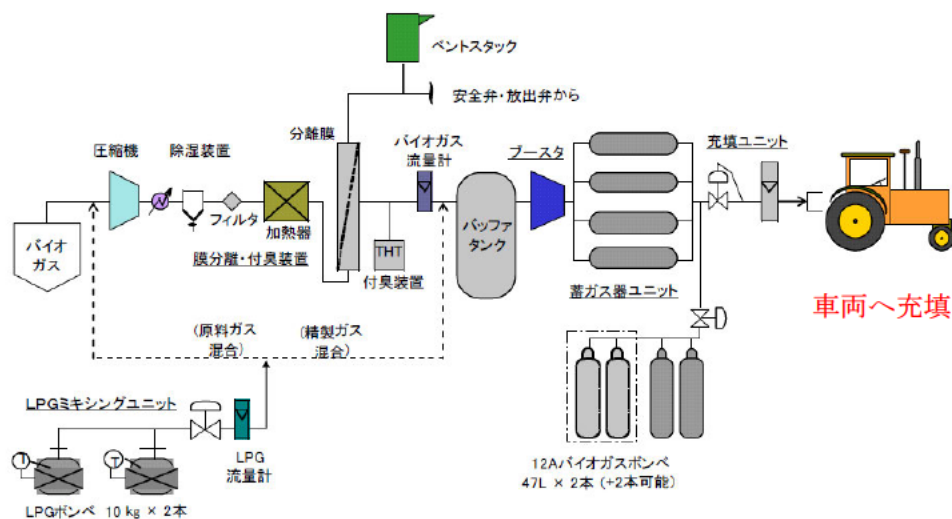
写真－11 鹿追町環境保全センター

3.2 精製圧縮充填装置

バイオガスをCNG（圧縮天然ガス）車へ充填するには、バイオガス精製圧縮充填装置を使用するが、これは、北海道開発局が「バイオマス・ニッポン総合戦略」の目標を達成すべく、バイオガス多角的利用に関する地産地消モデル構築調査の一環として、エア－ウォーター（株）との協力により開発した装置である。

特徴としては、すべての機器・配管類を20フィート（約6 m）コンテナ内に搭載し、車両での移動を可能としているところである。

また、メタン濃度が50～60%の原料バイオガスを膜分離装置によって約93%程度まで精製することにより、熱量を都市ガスの12A相当に調整可能になる。さらに、CNG車などのボンベに充填するために圧縮機を用いて約20MPaまで昇圧する。処理フロー及び主要諸元を図－14及び表－8に示す。



図－14 バイオガス精製圧縮充填装置の処理フロー

表－8 バイオガス精製圧縮充填装置主要諸元

大気条件		
	温度	-20～40℃
	湿度	30～80%RH
原料バイオガス条件		
組成	メタン	50～60%
	二酸化炭素	35～45%
	窒素	5%
	硫化水素	5ppm以下(脱硫処理後)
精製ガス(想定値)		
組成	メタン	93.0%
	二酸化炭素	0.5%
	窒素	5.5%
	硫化水素	1ppm以下
	付臭剤	微量(THT)
発熱量	12A相当	約38MJ/Nm ³
精製量	96Nm ³ /日程度	
精製方式	膜分離方式	
充填能力		
	上限充填能力	24.5MPa(35℃)
	設置場所	50Nm ³
使用条件		
	運転期間	通年
	設置場所	屋外
使用電力		
	200V 三相	
コンテナ		
	長さ	5,919mm
	幅	2,340mm
	高さ	2,380mm

この装置により精製したバイオガスを車両に充填し、積雪寒冷地における機関始動性、加速性能などの評価や精製圧縮充填装置自体の低温性能評価を行った（写真－12）。



写真－12 バイオガス精製圧縮充填装置

3.3 試験車両

試験に使用する車両は4台であり、A車（パトロールカー）及びB車（RV車）はガソリンとCNG（圧縮天然ガス）を切り替えて使用することが可能なバイフューエルタイプである。これらの車両は、必要に応じ、バイオガス精製圧縮充填装置を用いてガスの充填を行い、通常の道路巡回業務や鹿追町における公務にて使用されている。両車両ともにガソリンエンジンをベースとし、CNGも燃料として使用できるように車両を改造したものである。今回は、CNGに変えてバイオガスを使用した。

CNG車両の主要諸元を表－9に示す。B車（RV車）は、ガソリンにて始動後、エンジン温度が70℃に到達しないとガソリンからCNGに切り替えられない構造である。

また、大型車両として、C車（CNG専用車）及びD車（ディーゼル車）を比較した。

表－9 主要諸元表

	A車(パトロールカー)	B車(RV車)	C車(CNG専用車)	D車(ディーゼル車)
写真				
全長	4,770mm	4,450mm	6,150mm	4,690mm
全幅	1,875mm	1,760mm	2,090mm	1,690mm
全高	2,120mm	1,650mm	3,220mm	1,990mm
車両総重量	2,325kg	1,795kg	3,470kg	2,780kg
乗車定員	5名	5名	2名	2名
機関	形式:ガソリン機関、 CNG切替使用可 最高出力 (ガソリン):120kW 最大トルク(ガソリン):246Nm	形式:ガソリン機関、 CNG切替使用可 最高出力(ガソリン) :110kW 最大トルク(ガソリン) :200Nm	形式:CNG専用 最高出力:88kW 最大トルク:323Nm	形式:Diesel専用 最高出力:90kW 最大トルク:294Nm
排気量	2,700cc	1,998cc	4,334cc	4,334cc
クラッチ形式	トルクコンバータ式	ロックアップ機構付 トルクコンバータ	トルクコンバータ式	マニュアル5速
駆動方式	前2駆動(選択)-後2駆動	前2駆動-後2駆動(選択)	後2駆動	後2駆動
タンク容量	ガソリン 87ℓ CNG 27Nm ³	ガソリン 60ℓ CNG 66.2Nm ³	-	-
主な使用地	滝川市	鹿追町	鹿追町	鹿追町
試験項目	・機関始動性試験 ・出力・トルク計測試験 ・排出ガス計測試験 ・燃料消費量試験	・排出ガス計測試験	・機関始動性試験	・機関始動性試験

3.4 検討方針

バイオガスは、生ゴミや糞尿などの有機物が原料であり、食物連鎖を考慮すると光合成を行う植物が起源となる。そのため、最終的にガスが燃焼されCO₂が排出されても再び植物が吸収して循環されるとの考えから、カーボンニュートラルであるとされている。しかしながら本検討では、バイオガスを燃焼として使用した際のCO₂排出量を把握し、ガソリン使用時と比較することで、実質的なCO₂排出量や経済性について比較を行うとともに、年間を通してバイオガスを使用すること

による積雪や凍結など寒冷地ならではの課題やバイオガス使用時の車両の機関始動性や動力性能などの課題を抽出し、対応策を検討した。

3.5 機関始動性調査

CNG（圧縮天然ガス）車の機関始動は、燃料の燃焼カロリーの違いにより、ガソリンよりも時間がかかる場合がある。バイオガスの場合も機関始動性に影響する可能性があり、特に気温が下がり着火性が悪くなる冬期間においては懸念がある。よって、A車（パトロールカー）、C車（CNG専用車）及びD車（ディーゼル車）を対象とし、冷間時に機関始動時のセル動作時間を計測した。B車（RV車）は、エンジン温度が70℃に達しないとバイオガスに切替が不可能な構造であるため始動試験は対象外とした。

なお、計測は手動であり、若干の誤差が想定される。セル動作時間は、エンジンが掛かった段階ですぐに止めて2回目以降を繰り返して計測した。試験結果を表-10に示す。気温に対し、エンジン表面温度が低いのは、ボンネットの中にあるエンジンが前夜に冷え込んだまま、翌日の午前中もまだ外気温まで上昇していないためである。

セル動作時間は、A車（パトロールカー）の1回目が4～5秒程度と最も時間がかかり、2回目以降は3秒程度で安定しているが、ガソリンは、1秒程度で始動することから、始動時間は3倍程度かかることがわかった。

D車（ディーゼル車）は、1秒以下で安定しているが、C車（CNG専用車）の機関始動性は、1回目が2.15秒と最も始動時間がかかり、2回目以降はほぼ同じ時間を要することがわかった。また、エンジン表面温度による影響はないことがわかった。

表-10 セル動作時間

	A車（パトロールカー）			C車（CNG専用車）	D車（ディーゼル車）
	10月28日	12月25日	2月12日	2月9日	2月9日
月日	10月28日	12月25日	2月12日	2月9日	2月9日
測定時間	AM10:30頃	AM10:30頃	AM11:00頃	AM9:07	AM9:00
気温	8.3℃	4.3℃	2.1℃	-3.6℃	-3.6℃
湿度	68%	67%	57%	—	—
エンジン表面温度	5.3℃	-2.0℃	-2.9℃	-15℃	-16℃
セル始動時間(s)					
1回目	5.4	3.6	5.4	2.15	1.00
2回目	2.8	3.0	3.5	1.78	0.69
3回目	2.7	3.2	3.5	1.61	0.71
4回目	2.7	3.0	3.1	1.60	0.91
5回目	3.1	3.1	3.3	1.45	0.69
6回目（ガソリン）	0.8	0.9	1.1	—	—

3.6 CNG車両による出力・トルク計測試験

一般的にCNG（圧縮天然ガス）車両の機関出力は、ガソリン車に比べて低下する可能性がある。ガソリンの主成分でオクタン価（ノッキングの起こりにくさ）の指標値を100としているイソオクタン（C₈H₁₈）と比較すると、天然ガスの主成分であるメタン（CH₄）のオクタン価は130程度であ

ることから、燃焼効率からだ機関出力は向上すると考えられるが、天然ガスは気体であり、単位容積当たりの発熱量が少ないため、機関出力は低下する。また、バイオガスの主成分はメタンでありCNG車と同様の結果になると考えられるが、バイオガス使用時の知見がないため、ガソリン燃料使用時とバイオガス使用時の出力及びトルクをシャーシダイナモを用いて測定し、比較した。なお、測定は後輪駆動のみとした。今回は、燃料の違いにおける基本的な出力特性を計測するため、A車（パトロールカー）の1車種のみを計測した。計測状況を写真-13、測定結果を図-15に示す。



写真-13 シャーシダイナモ測定状況

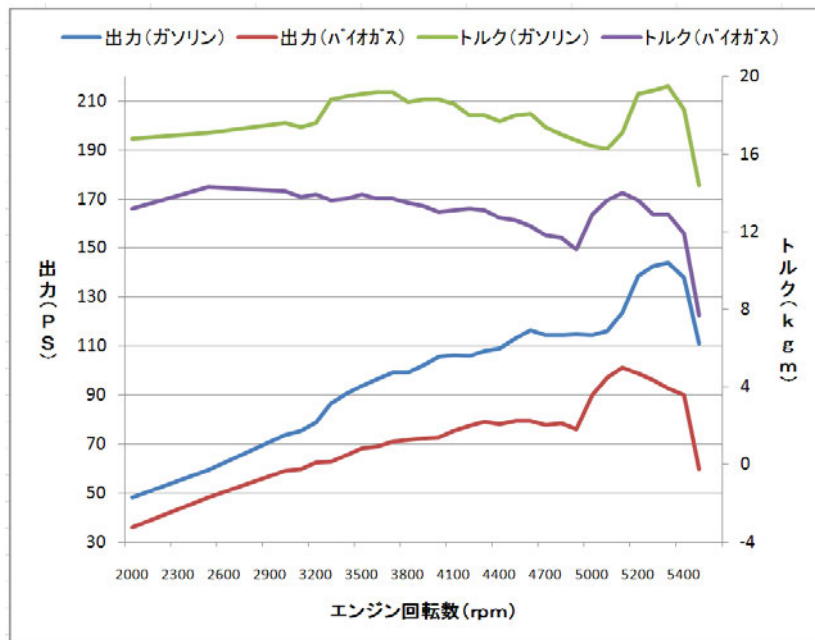


図-15 出力・トルク曲線（シャーシダイナモによる）

測定結果より、ガソリン使用時の最大出力は、143.9PS（105.8kW）となっているが、バイオガス使用時における最大出力は101.2PS（74.4kW）であった。よって、約30%程度バイオガス使用時

の機関出力がダウンしている。トルクについてもほぼ同様な傾向が見られる。市販されているガソリン車の機関出力で100PS (73.5kW) 程度の車両は、排気量が1,500ccクラスであり、一般的な使用方法では影響はないと考えられる。また、実運用時におけるエンジン回転数は、50km/h走行時に約2,000rpmであり、CNG車使用時における機関出力の落ち込みは30%程度であるため一般走行には影響は少ない。通常乗車している運転員の聞き取りからも、登坂時に力不足を感じるが、一般道での走行では特に問題ないとのフィードバック結果を得ている。

3.7 バイオガスにおける排出ガス計測試験

排出ガス測定は、ハンディ型測定器「Auto 5.1」を用いて、CO₂を比較計測した。なお、測定はアイドリング状態で5分程度行い、測定値が安定した1分間を比較した。測定結果を図-16に示す。A車（パトロールカー）のバイオガス使用時のCO₂は、ガソリン使用時と比較し30%程度減少した。

また、B車（RV車）の場合は、40%程度減少した。よって、バイオガスは、カーボンニュートラルでありCO₂排出量は0とみなされるが、この考え方を利用しなくともCO₂が30%~40%程度削減されることから、クリーンエネルギーであると言える。

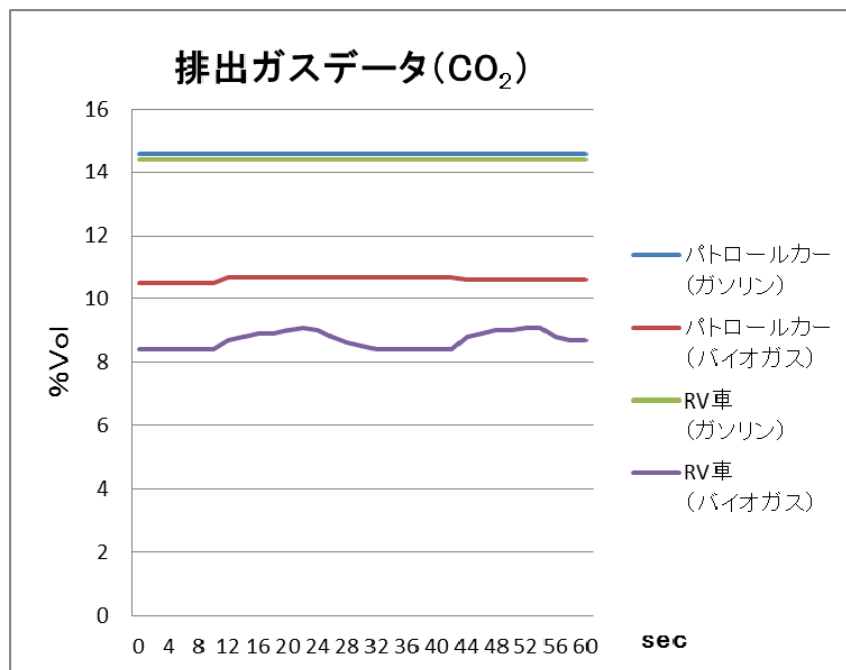


図-16 排出ガス測定結果 (CO₂)

3.8 バイオガス精製圧縮充填装置の導入における問題点

バイオガス精製圧縮充填装置の導入価格は、約4,000万円であり、装置購入者の負担を考慮すると普及が難しい。また、電気代や消耗部品などのランニングコスト低減を図ることが装置普及の必要条件である。さらに、冬期使用時における凍結などの問題がある。これらの問題を解決するために装置を改造し、冬期適用性試験を行い、バイオガス精製効率の向上やコストの削減について検討した。

3.8.1 バイオガス精製圧縮装置の冬期適用試験

試験にあたり積雪や気温を考慮し、コンテナにビニールシートなどを用いて冬囲いを行った(写真-14)。

冬囲い後、冬期間を通した試験を行った結果、圧縮機の出口圧力が0.4MPaに対し、膜分離装置の入口圧力が0.2MPaと低下したため、膜分離装置や膜分離装置付近の配管を外し確認した。その結果、コンプレッサー出口付近の配管やフィルタ中に結露が発生し、抵抗となっていたため十分な圧力が得られなくなったことがわかった。配管結露状況を写真-15に示す。

原料バイオガスは、圧縮機によって圧縮熱が発生し、圧縮熱を持ったバイオガスが金属配管内を通り膜分離装置へ流れるが、冷気と接触した配管内で急激にバイオガスが冷却され、配管内が結露する。

結露の問題を解決するため、ドレンポットより除水後、圧縮機から出ている配管に熱交換機による冷却装置を設置し、バイオガスに熱をなるべく残さない対策をとった(写真-16)。対策後は、問題がなく良好に稼働した。



写真-14 冬囲い状況



写真-15 配管結露状況



写真-16 冷却配管設置状況

3.8.2 膜分離装置の改造

原料バイオガスは、メタン濃度が60~63%程度であり、そのままでは発熱量が不足するため、膜分離装置を用いて、メタン濃度を90%以上に高める必要がある。

旧膜分離装置は、膜分離装置本体に断熱材や電熱線を巻き付けた簡易的な構造であったため、膜分離装置が運転可能温度である50℃に達するまでに時間がかかることや温度維持に電気代がかかる。そのため、膜分離装置本体にカーボンヒータを巻き付け、それを金属枠内に設置し断熱塗料を塗布した。膜分離装置全景を写真-17、膜分離装置改造部品を写真-18に示す。装置の運転可能温度である50℃に達するまでの時間を計測した結果、1時間程度となり、有効性を確認した。

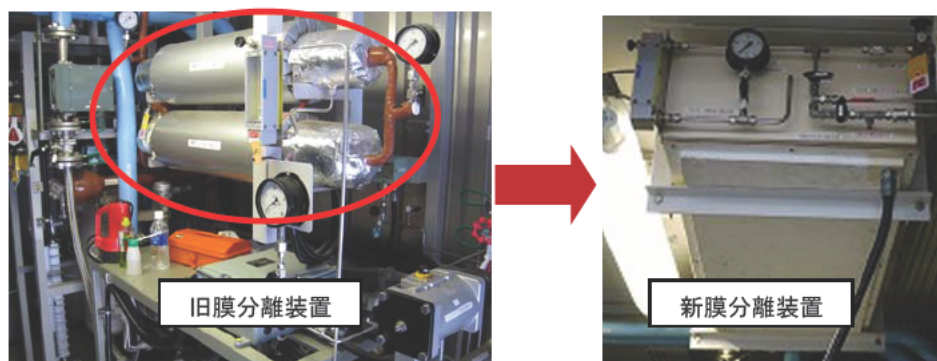


写真-17 膜分離装置改造全景

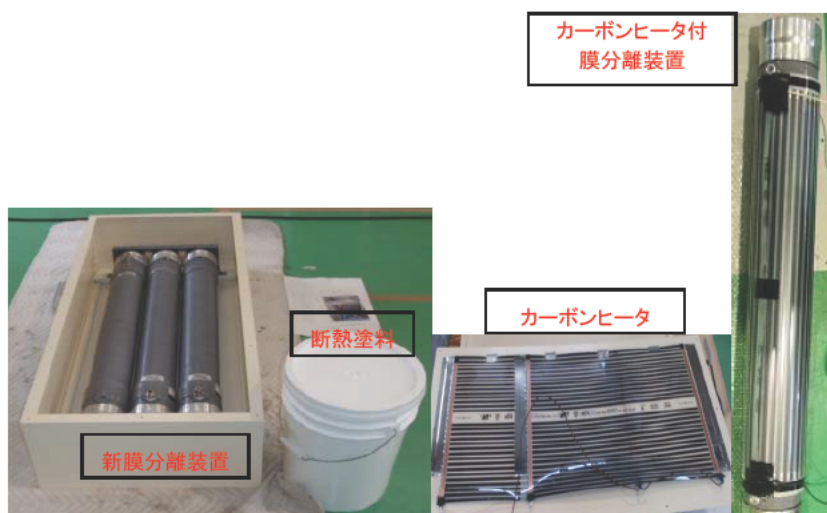


写真-18 膜分離装置改造部品

3.8.3 膜分離装置の評価

3.8.2のとおり改造した膜分離装置の精製能力を評価する。試験は、配管やバルブの切替によって、2段精製と3段精製の比較を行う。また、2段精製は、膜分離装置内圧を0.1、0.2、0.3MPaに変化させメタン濃度や、回収率（原料ガスに対するメタン量）を比較した。2段精製フローを図-17、3段精製フローを図-18、試験結果を図-19に示す。

2段精製によるメタン濃度は95.8%であり、車両の燃料として十分な燃焼カロリーが取得できたことから、調整のためのLPG添加が必要なくなり、メタン濃度が高いガスを必要とする車両には有効であることを確認した。一方、3段精製は膜分離装置内圧0.2MPaでメタン濃度が92.5%であり、車両の燃料としては、95%以上の濃度が必要であるため、LPG添加による調整が必要であるが、

メタン回収率が98.0%であり、原料ガスに対してメタン回収率を高める場合には、有効であることを確認した。

よって、車両の燃料として使用する場合には2段式が最良であり、3段式はプラント施設内などの暖房やヒーティングなどに使用する場合に有効である。

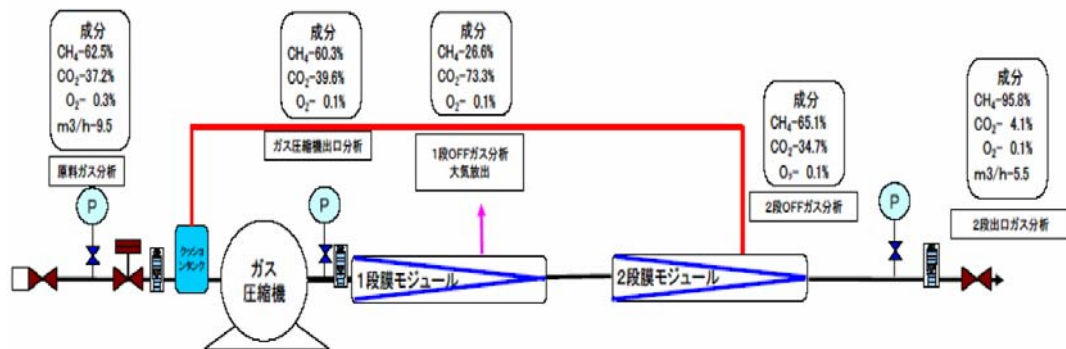


図-17 2段精製フロー

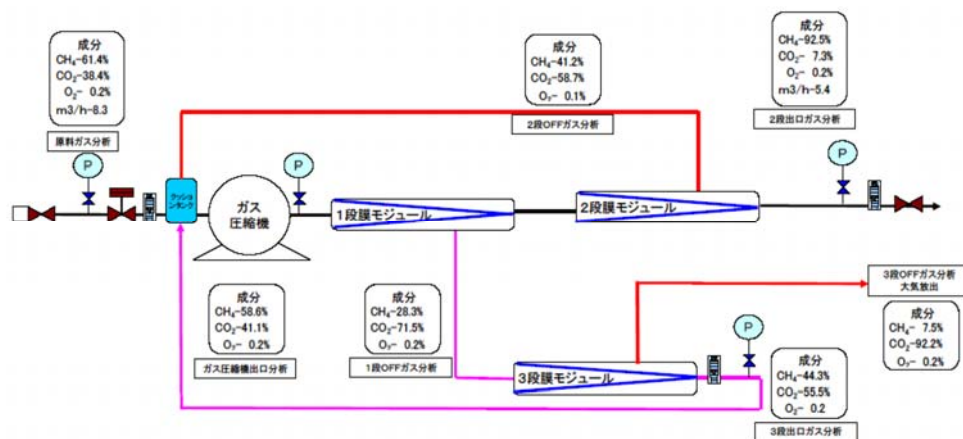


図-18 3段精製フロー

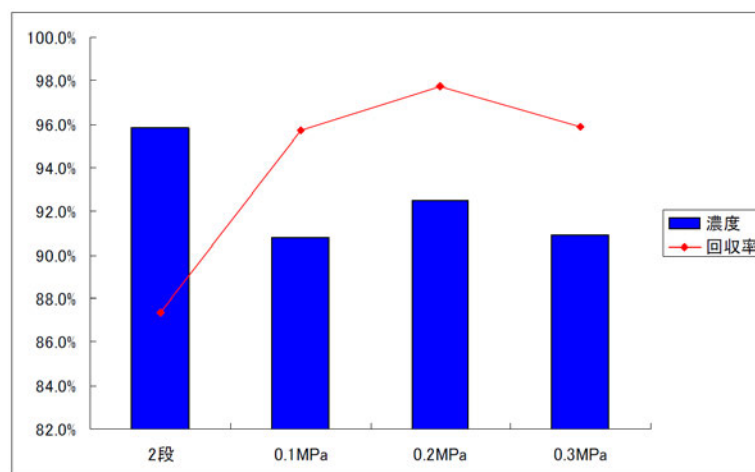


図-19 精製ガス濃度とメタン回収

3.8.4 低圧圧縮機の改造

既存の可燃性ガス専用低圧圧縮機の価格は約400万円と高価であり、精製圧縮充填装置全体の約1割に該当する。導入時のコスト削減やバイオガス精製の効率化を図るため、汎用品である空気圧縮機の改造を行った。改造内容を以下に示す。

- ・ 通常の空気圧縮機は、気密性は考慮されずに製作されていることから、気密性を保つため各部品接合部にシールパッキンや液体パッキンを用いて外部への漏れをなくした（写真-19）。
- ・ ピストンの気密性を確保するため、ピストンリングを交換し、空気の混入を遮断した（写真-20）。
- ・ 静電気防止のため接地を行った。
- ・ モータを防爆タイプとした。

改造を行った結果、既存の低圧圧縮機よりも圧力が1.2MPa上昇し、また、圧縮機のみでも335万円のコストを削減することができた。

このほか、防爆や接地を行っているため、安全性も向上している。



写真-19 気密性の保持



写真-20 ピストンリング取付状況

3.8.5 改造の効果

膜分離装置や圧縮機の改造効果を検証するため、時間当たりのバイオガス精製量を計測した。試験結果を表-11に示す。バイオガス精製量が時間当たり1.1m³増加していることを確認した。これは、圧縮機の改造によって1.2MPa圧力が上昇したことや膜分離装置の効率化を行ったことによって、システム全体の精製能力が向上したためである。

また、圧縮機のモータ出力低減や膜分離装置を改造したことによって、消費電力が5.5kWhより3.7kWhとなり、1.8kWh程度減少した。

この結果をもとに、年間の稼働率を50%、4,380時間(24h×365日×0.5)とし、年間消費電力料金を算出した。なお、北海道電力の料金表より、基本料金1,785円/kW・月、電力量料金12.29円/kWhにて試算した。その結果、年間約15万円の電気料金の削減が可能である。

さらに、既存の圧縮機の消耗部品推奨交換時間が4,000時間とされていたが、圧縮機の改良により消耗品の部品点数が減少したため、部品交換にかかる費用も安価となり、年間18万円程度のコスト縮減が見込まれる。

維持費や電気代などのランニングコストが減少した効果によって、1m³当たりの精製バイオガス単価が98.0円/m³から53.0円/m³に削減された。

車両にバイオガスを充填するシステムの場合には、圧縮機による日当たりの精製効率が向上し、LPG添加装置が不要となったことなどによって、最大1千万円程度の導入コスト削減が可能となった。

また、LPG添加が不要となったことで、LPGや消耗部品の交換費用が年間最大で約23万円程度削減された。

但し、今回バイオガス精製圧縮充填装置を設置した滝川市のリサイクルクリーンでは、硫化水素の除去のため、生ガスに大量の空気を混合して生物脱硫を行う構造であったため、原料ガス濃度が50%を下回ることがあった。原料ガス濃度が50%を下回ると車両に必要なガス濃度が十分に得られなくなるため、新たに乾式脱硫を行った。乾式脱硫には、プラントの構造にもよるが脱硫剤が122kg/年必要となる場合がある(脱硫剤210円/kg)。

そのほか、蓄ガス器が性能を保持しているかを調べる法定自主点検に年間約30万円、機器の総合動作点検に年間約25万円程度かかる。

表-11 バイオガス精製量

	既存	改造後
バイオガス精製量	3.2m ³ /h	4.3m ³ /h

3.8.6 バイオガスにおける燃料消費量・冬期間使用試験

改造した精製バイオガス圧縮充填装置を用いてバイオガスを車両に充填し、車両の燃料消費量及び経済効果を評価した。燃料消費量試験は、道路パトロールカーのA車(パトロールカー)のみとした。道路パトロールカーは、ほぼ毎日の道路点検、緊急時点検及び異常時点検などに使用されている。年間の走行実績を表-12、車両の燃料消費量及び経済効果を表-13に示す。

表-13からバイオガスを使用した場合の燃料費は、ガソリンと比較すると約1/3になる。

また、鹿追町や滝川市は-10℃以下になる低温地域であるが、バイオガスを用いた車両の通年稼働を行った結果、車両に全く問題がなかった。

表-12 年間走行実績

平成22年度	ガソリン 走行距離 (km)	ガソリン 消費量 (ℓ)	バイオガス 走行距離 (km)	バイオガス 消費量 (m ³)
4月	5,904	767		
5月	6,098	729		
6月	5,878	707		
7月	2,555	372		
8月	5,610	754		
9月	2,919	394		
10月	5,932	754		
11月	2,372	350	536	58.1
12月	5,428	752	533	71.0
1月	3,254	474	837	106.6
2月	3,782	541	531	66.0
3月	2,678	381	1,340	145.0
合計	52,410	6,975	3,777	446.7

表-13 車両の燃料消費量及び経済効果

項目	数量	備考
バイオガス燃料消費量(年間)	8.5km/m ³	3,777km ÷ 446.7m ³
ガソリン燃料消費量(年間)	7.5km/ℓ	52,410km ÷ 6,975km
総走行距離(年間)	56,187km	52,410km + 3,777km
上記のガソリン代換算	116万円	56,187km ÷ 7.5km/ℓ ≒ 7,492ℓ 7,492ℓ × 155円/ℓ = 1,161,260円 ≒ 116万円
バイオガス1km走行時の必要額	6.3円/km	53円/m ³ ÷ 8.5km/m ³
ガソリン1km走行時の必要額	20.7円/km	155円/ℓ ÷ 7.5km/ℓ

※ 155円/ℓは平成23年4月25日時点での北海道平均価格

4. まとめ

4.1 バイオディーゼル燃料

バイオディーゼル燃料を積雪寒冷地に使用した場合、以下のことがわかった。

- ① 加速性能は軽油と比較し同等以上である。
- ② 牽引力（機関出力）は軽油と比較し同等である。
- ③ 排出ガス中の粒子状物質（PM）は軽油と比較し60%程度減少する。
- ④ 使用燃料の性状にもよるが、燃料温度が-10℃以上の場合、機関始動には問題がない。
- ⑤ 燃料温度が-10℃以下になる場合、燃料タンク加温装置や車庫保管など燃料を冷やさない処置が必要である。
- ⑥ 燃料消費量は、軽油に対し約28%程度増加する。

4.2 バイオガス燃料

積雪寒冷地において、バイオガス精製圧縮充填装置やバイオガスを燃料とする車両を導入した場合、以下のことがわかった。

- ① バイオガスを用いた車両の機関始動性はガソリンと比較し、始動時間が3秒程度増加するが特に問題はない。
- ② バイオガスを用いた車両の機関出力はガソリンと比較し30%程度低下するが、一般走行では問題ない。
- ③ 排出ガス中のCO₂量は、ガソリンと比較し30~40%削減される。
- ④ 積雪寒冷地において、バイオガスを用いた車両の冬期間における使用には問題がない。
- ⑤ 圧縮充填装置の効率化を行った結果、イニシャルコスト及びランニングコストが削減された。

4.3 温室効果ガス削減

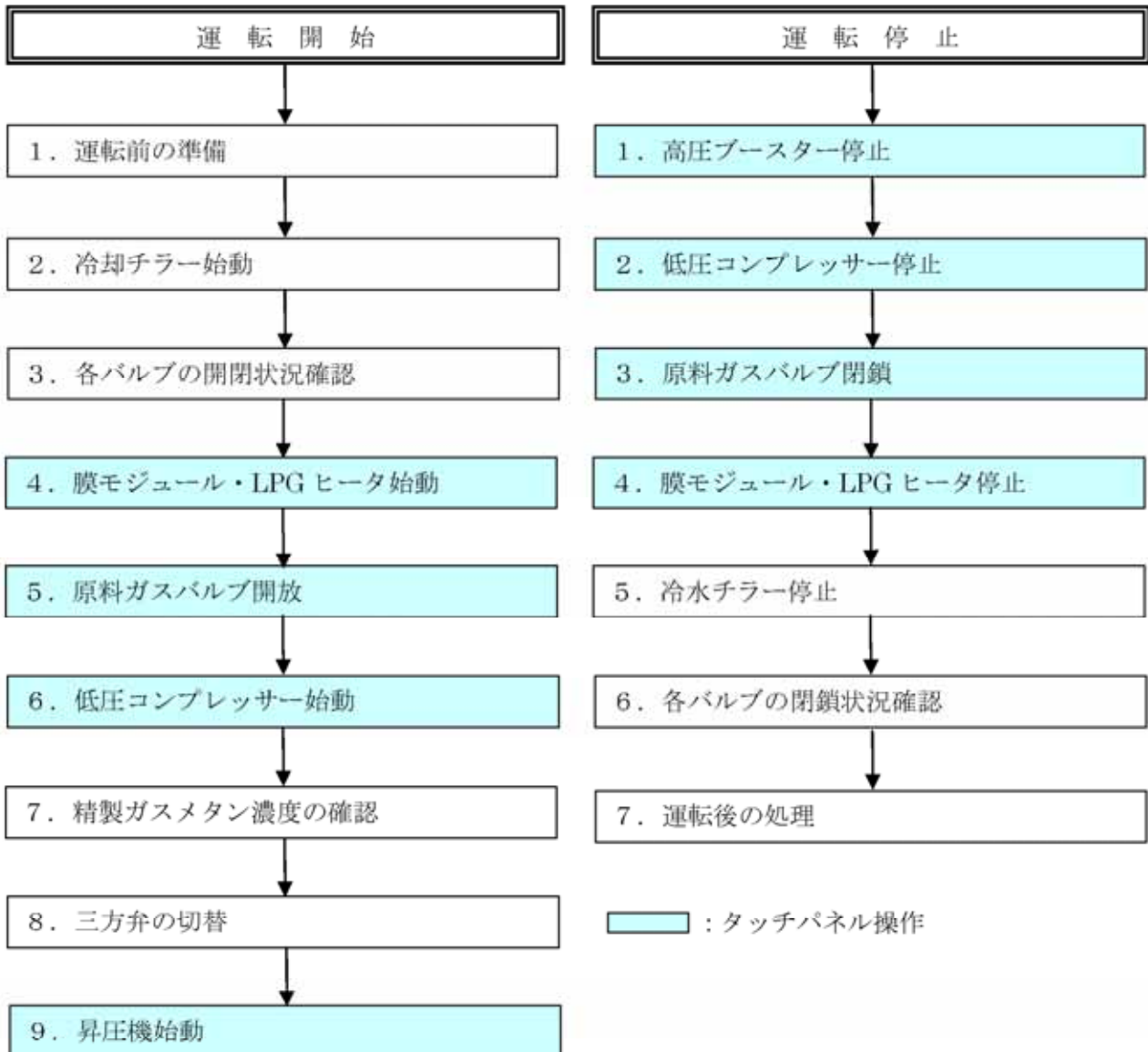
導入コストなどの問題はあるが、地球環境負荷が少ないクリーンな自然エネルギーやバイオマスエネルギーなど再生可能エネルギーの導入が進めば、地球温暖化の一因となっている温室効果ガス削減に寄与できるものとする。

参考文献

- 1) 池上 詢：改訂版 バイオディーゼル・ハンドブック 日報出版（株） pp.7-8
- 2) 滋賀県立大学 山根教授資料「バイオディーゼル燃料は最新排気規制車両に対応可能か」
- 3) 揮発油等の品質の確保等に関する法律
揮発油等の品質の確保等に関する法律施行規則
オフロード法
特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律
特定特殊自動車排出ガスの規制等に関する法律施行規則
法令データベース <http://law.e-gov.go.jp/cgi-bin/idxsearch.cgi>
- 4) 特定特殊自動車排出ガスの規制等に関して必要な事項を定める告示
http://www.env.go.jp/air/car/tokutei_law/nt22-107.pdf
- 5) 建設業に係る特定特殊自動車排出ガスの排出の抑制を図るための指針
<http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/kensetsusekou/kankyoku/haigas.htm>
- 6) 道路運送車両の保安基準の細目を定める告示
http://www.mlit.go.jp/jidosha/ki_jyun/saimokukokuji/saikoku_003_00.pdf
- 7) 「高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン」
http://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000004.html
- 8) 城石 賢一：鹿追町環境保全センターにおける地域
バイオマスの資源循環利用の取り組み

バイオガス精製圧縮充填装置の操作手順

I. 操作手順基本フロー



II. 精製装置操作手順

1. 運転前準備

① コンテナ制御室空調ファン運転確認

コンテナ制御室入り口付近の空調ファン運転スイッチを入れて下さい。



② 原料供給バルブ切替(ブロー室)

ブロー室内乾式脱硫槽付近のバルブを開いて下さい。

※原料ガスラインを窒素パージする場合には、下写真バルブを必ず閉じて下さい。



③ 機械室扉の開放

機械室扉の鍵はナンバーロック方式となっております。

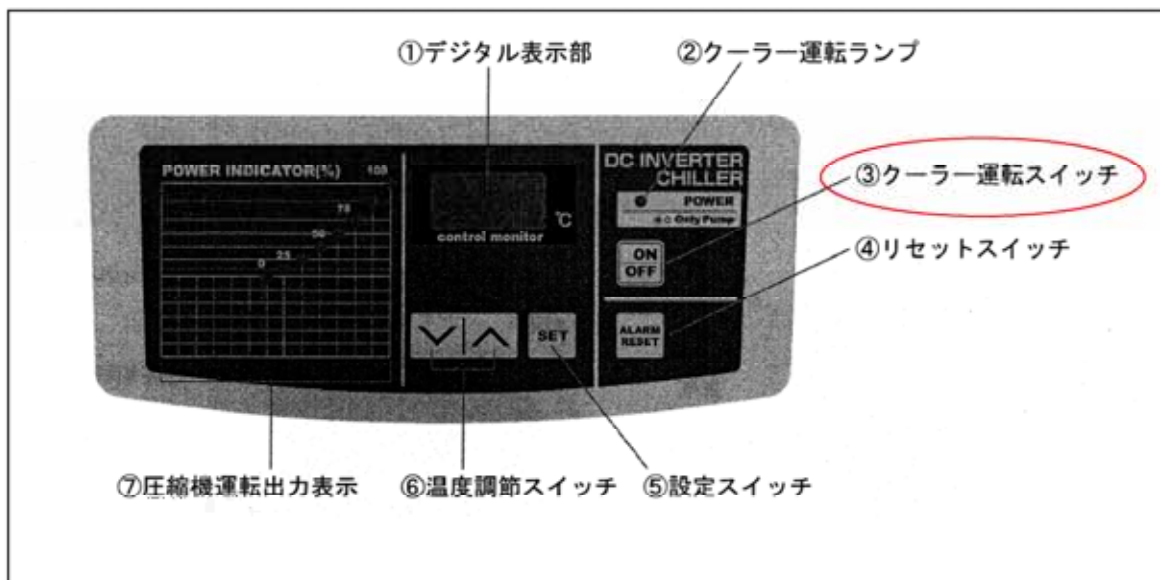
暗証番号は「0・3・5・6」です。

2. 冷却チラー始動

- ① 不凍液液面レベルを確認して下さい。
- ② 制御パネル上のクーラー運転スイッチを「ON」して下さい。
- ③ 停止する場合にはクーラー運転スイッチをもう一度押して下さい。



制 御 パ ネ ル



3. 各バルブの開閉状況確認

① 三方弁「V112」の方向確認

下写真の三方弁が「排ガス」側に向いているか確認して下さい。



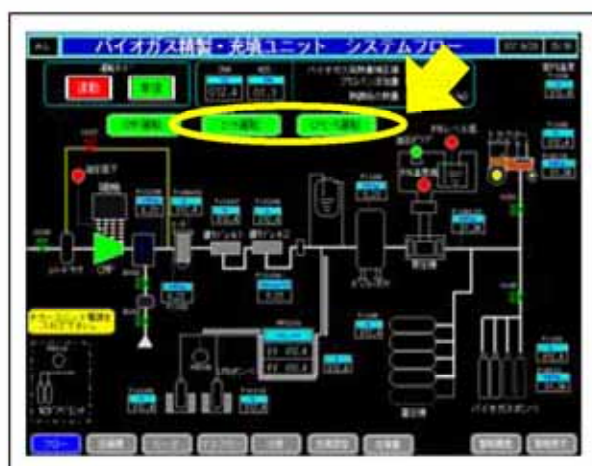
② バッファータンク出入弁の開放

バッファータンクの入口弁「V124」と出口弁「V125」を開いて下さい。



4. 膜モジュール・LPG ヒータ始動(タッチパネル操作)

- ① 左上の運転モード表示が「連動」を押し、「赤色」となっていること確認して下さい。
- ② 「ヒータ運転」を押すと「ヒータ運転」表示が出てきます。運転スイッチを押して下さい。
- ③ 「LPヒータ運転」を押すと「LPヒータ運転」表示が出てきます。運転スイッチを押して下さい。
- ④ 両ヒータを停止させる場合には、「ヒータ運転」表示及び「LPヒータ運転」表示を開き、「停止」スイッチを押して下さい。



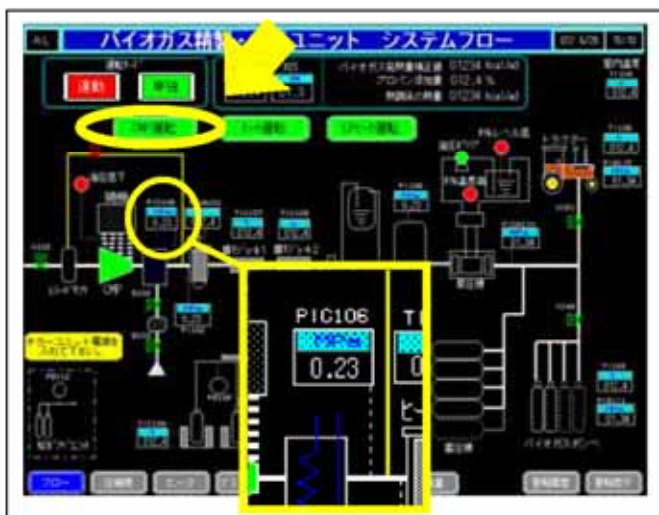
5. 原料バルブ開放(タッチパネル操作)

- ① タッチパネル上の「V103」を押し、「ガス遮断弁」を表示させて下さい。
- ② 「開」スイッチを押すと開き、「閉」スイッチを押すと閉まります。



6. 低圧コンプレッサの始動(タッチパネル操作)

- ① 「CMP運転」スイッチを押し、「CMP運転」を表示させて下さい。
- ② 「運転」を押すとコンプレッサが始動します。「停止」を押すとコンプレッサは停止します。
- ③ コンプレッサは出口側の圧力で運転が制御されます。「PICA106」が0.8MPa以上(初期設定)であるとコンプレッサは起動しません。

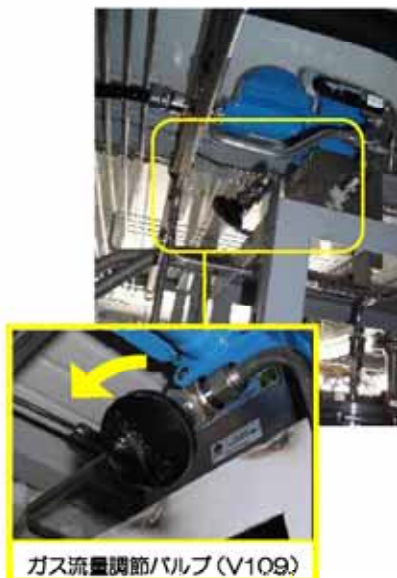


7. 精製ガスメタン濃度の確認

- ① 機械室三方弁付近の精製ガス流量計「VI301」が「4.0m³/h」になっていることを確認して下さい。
- ② 「4.0m³/h」になっていない場合には、ガス流量調整バルブ「V109」を調整し、「4.0m³/h」に合わせて下さい。



VI301



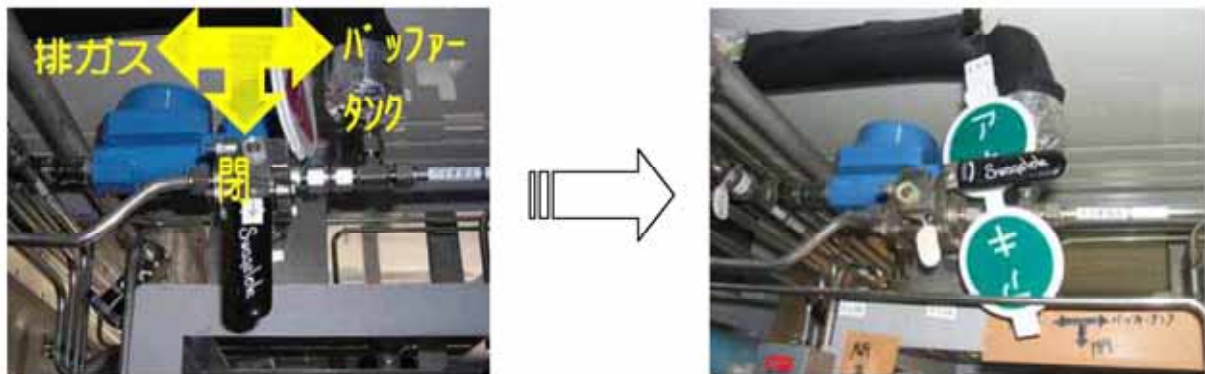
ガス流量調整バルブ (V109)

- ③ メタン濃度計付属の「AV103」、「AV105」、「AV106」を開いて下さい。
- ④ メタン濃度計付属の両流量計を「0.5m³/h」に調整して下さい。
- ⑤ メタン濃度が 90.0%以上になっていることを確認して下さい。



8. 三方弁の切替

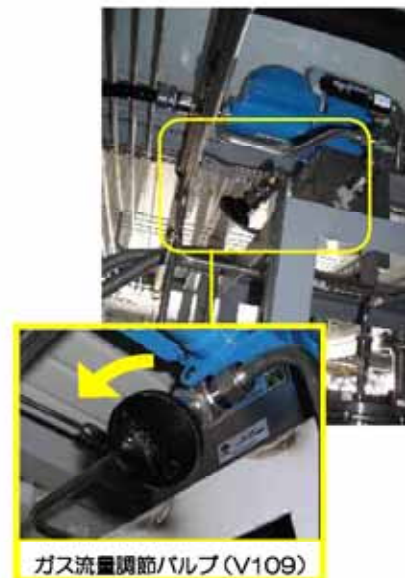
- ① 三方弁を「バッファータンク」側に切換えて下さい。



- ② 三方弁切替によりガスの流量が変化します。ガス流量調整バルブ「V109」を再度調整し、「4.0m³/h」に合わせて下さい。



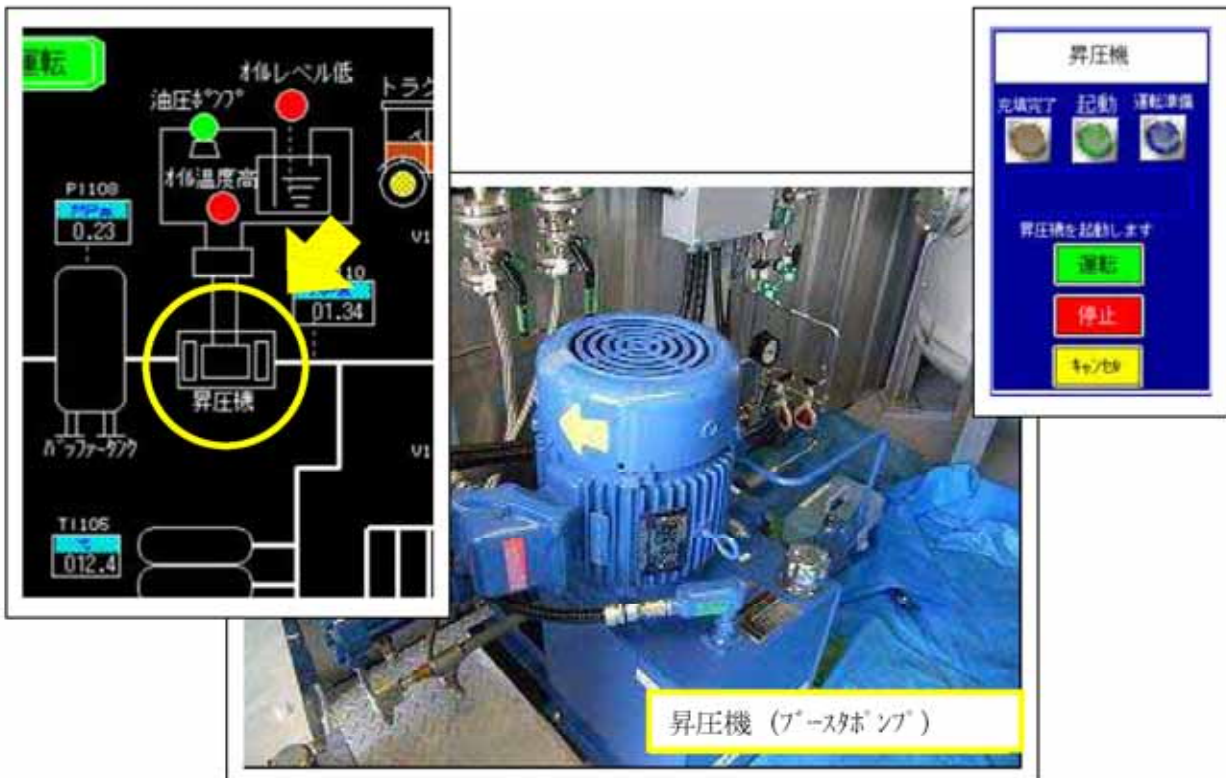
VI301



- ③ メタン濃度計付属の両流量計を「0.5m³/h」に再度調整して下さい(上記参照)。

9. 昇圧機始動(タッチパネル操作)

- ① タッチパネル上の「昇圧機」を押して下さい。
- ② 「昇圧機」表示を開き運転スイッチを押して下さい。
- ③ 停止左折場合には「昇圧機」表示の「停止」スイッチを押して下さい。
- ④ 昇圧機は入口側・出口側の圧力(バッファータンク圧力PI107)で運転が制御されます。
入口側：バッファータンク圧「PI107」が0.3MPa以下(初期設定)であると昇圧機は起動しません。
出口側：蓄ガス器圧「PICA110」が24.5MPa以上(初期設定)であると昇圧機は起動しません。



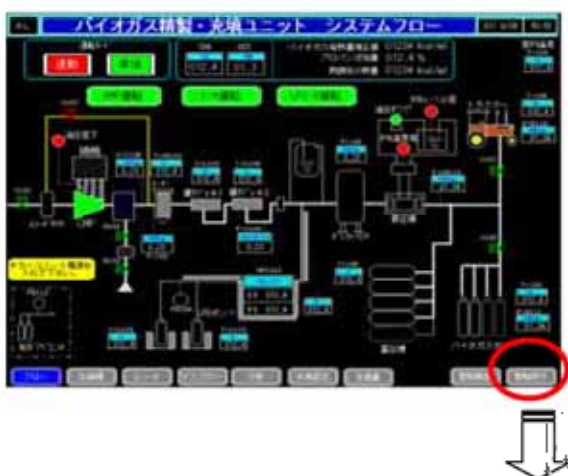
10. 装置停止手順

- ① 昇圧機を停止させて下さい(タッチパネル操作)。
- ② 低圧コンプレッサーを停止させて下さい(タッチパネル操作)。
- ③ 原料ガスバルブの閉鎖(タッチパネル操作)。
低圧コンプレッサーが完全に停止した事を確認してから閉鎖してください。
- ④ 膜モジュール・LPG ヒータを停止させて下さい(タッチパネル操作)。
- ⑤ 冷水チラーを停止させて下さい。
- ⑥ 各バルブの閉鎖状況確認
 - ・三方弁「V112」を「排気」側に戻してください。
 - ・バッファータンク出入弁「V124」、「V125」を閉じて下さい。
 - ・メタンガス流量計附带弁「AV103」、「AV105」、「AV106」を閉じて下さい。
 - ・乾式脱硫槽付近の原料供給弁×2(フロアー室)を閉じて下さい。
- ⑦ 機械室入口扉下部に附带している原料ガス供給弁のドレンを抜いてください。

Ⅲ. システム異常の対応

1. 異常警報の停止

- ① タッチパネル画面の右下「警報表示」を押して下さい。
- ② 「バイオガス精製・充填ユニット 警報表示」画面の右下「ブザー停止」を押して下さい。
- ③ 異常があった箇所の表示は「赤」若しくは「黄」に変色されます。
- ④ 異常が復帰した場合には「警報リセット」を押して下さい。リセットされない場合には機器が稼働しない場合があります。
- ⑤ 復帰できない異常があった際にはグリーンプランまで御連絡下さい。

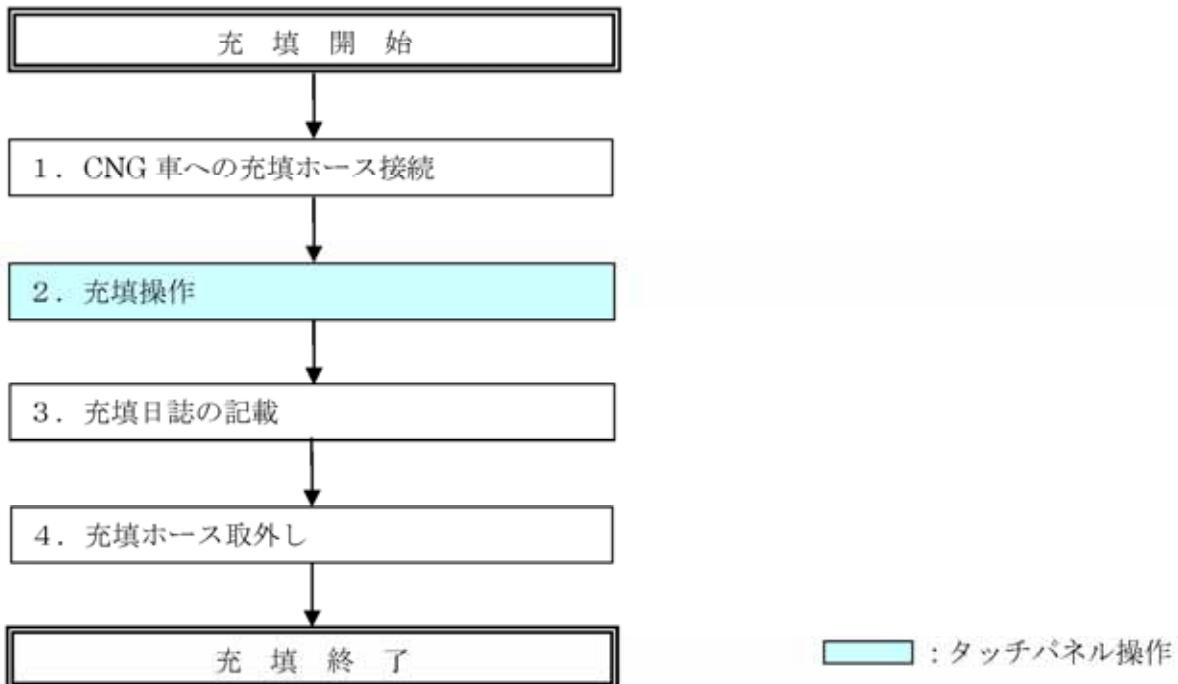


2. 簡易トラブルの対応

警 報	対 応
メタン濃度低下	メタンガス濃度計にサンプルガスが十分に供給されていない場合に起こります。低圧コンプレッサーを稼働させ、メタン濃度計へのサンプルガス供給量調整後、警報をリセットしてください。
LPG ガス圧力低下	外気温が低下した場合 LPG ポンベ内の圧力が低下し、供給圧に達しない事があります。LPG ガスヒータ運転状況確認後、圧力が上昇するまで装置の運転を止めて下さい。
昇圧機吸引圧低下	低圧コンプレッサーの供給量が低下した為、バッファータンク内の圧力が低下したと考えられます。「VI301」の精製ガス流量を確認して下さい。

CNG 車への充填操作手順

I. 操作手順基本フロー



II. 精製装置操作手順

1. 充填ホース接続

- ① コンテナ内機械室に設置しております充填ホースを CNG 車に接続して下さい。
- ② ホース接続後、充填レバーを「On」状態にして下さい。
※ホースの差込が不十分な場合、レバーは回転しません。
- ③ 充填終了後、充填レバーを「Off」状態に戻し、ホースを収納して下さい。



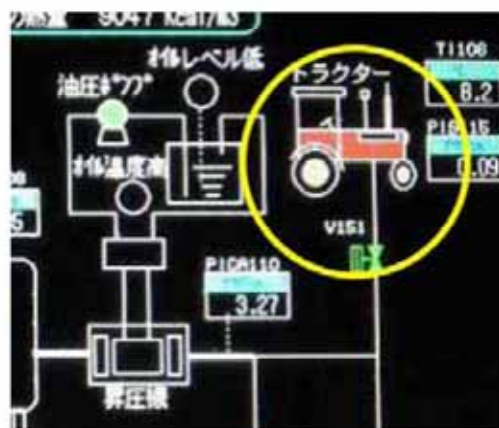
Off



On

2. 充填操作

- ① タッチパネル上の「トラクター」を押し、「トラクター充填」を表示させて下さい。
- ② 「開始」スイッチを押すと充填が開始されます。
- ③ 充填操作は、充填圧力が「充填圧力設定」に達した場合、自動的に停止します。
- ④ 充填速度は充填ホース付近の「V153」で調整が出来ます。
※「V153」充填速度が早すぎると CNG 車へ十分な量のガスが供給されない場合があります。
- ⑤ 充填が終わりましたら「トラクター充填」の「終了」スイッチを押して下さい。
- ⑥ フロー図の「トラクター」上に、「トラクター充填終了」と赤く表記が出ます。この表記を押すとフロー図上から削除できます。



3. 充填日誌の記載

- ① 充填量 (m³)
- ② 蓄圧機圧力 開始・終了 (MPa)
- ③ 充填時間 開始・終了
- ④ 蓄圧機温度 開始・終了 (°C)+

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of P.W.R.I.
No.4237 August 2012

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所
寒地土木研究所 寒地技術推進室

〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046