

低温下における建設施工の環境負荷に関する検討

研究予算：運営費交付金
研究期間：平 20～平 22
担当チーム：寒地機械技術チーム、寒地技術推進室
研究担当者：片野浩司、国島 英樹、上野仁士、長瀬 禎、平 伴斉、光野昭宏、大山健太郎、尾崎佑介、小岩祐太、佐藤武志、西山章彦、幸田勝

【要旨】

京都議定書や鳩山前総理の国連での表明における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着目されている。

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ことから、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を確認することができたので、地域導入モデルをまとめた。

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

1. はじめに

現代社会は、18 世紀後半に始まった産業革命より経済発展し、物質面で豊かな生活をもたらした。これは、原油など大量エネルギーの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、大量生産を原因とするエネルギー需要は益々加速し、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徐々に進行し、人類の生存も脅かされている状態である。

また、原油・天然ガスをはじめとする化石エネルギーは、近い将来枯渇する可能性がある。

しかし、近年、化石エネルギーを大量に必要とする世界の自動車を始めとする運輸部門の台数は、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が必要である。

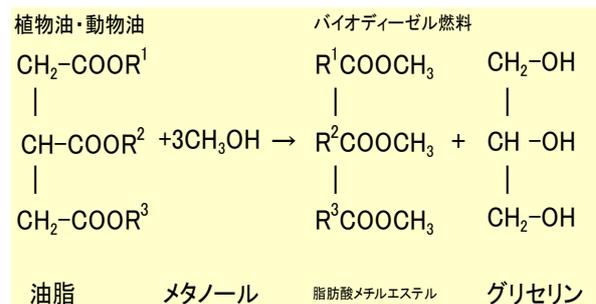
このような状況から、次期エネルギー候補の一つとして、バイオマスエネルギーが注目されている。バイオマスエネルギーは、カーボンニュートラルとされ、温室効果ガスを抑制するが、積雪寒冷地における出力や始動性などの知見が充分ではない。

そこで、本検討では、代替え燃料としてバイオマスエネルギーであるバイオディーゼル燃料及びバイオガスに着目し、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を用いて冬期適用性調査を行い、地域におけるモデル作りを提案する。

2. バイオディーゼル燃料における適用調査

2. 1 バイオディーゼル燃料の基本特性

国内のバイオディーゼル燃料は、植物油・動物油を原料とし、家庭や事業者より排出された植物油などの天ぷら油の廃油を回収し、バイオディーゼル燃料工場にて精製されている。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。



図一1 アルカリ触媒法（油脂のエステル反応）

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、原料油より流動性低下などの原因となるグリセリンを取除き、油脂を脂肪酸メチルエステル(Fatty Acid Methyl Ester)の頭文字を取ってFAME、以下「FAME」という)と呼ばれる燃料に変換することで、ディーゼル機関用の燃料として使用可能となる。

FAMEには、以下に示す長所・短所が一般的に知られている。

(1)FAMEの長所

- FAME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、FAME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。
- 元々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、FAME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。
- エステル化したFAMEは、潤滑油として使用される程潤滑性が良い。そのため、軽油よりも潤滑性が向上する。
- 販売価格は、軽油と同程度以下にて販売されている。

(2)FAMEの短所

- FAMEは、改正揮発油品確法（以下、「品確法」という）、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。品確法では、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FAMEを5%以上混合する場合には、燃料フィルター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ため使用できない可能性がある。
- 主原料が廃食油であり、使用頻度が異なる原材料

であるため、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・動物油であるため、酸化しやすい燃料である。
- 軽油の発熱量が10,600kcal/kgに対し、FAMEの発熱量は9,000kcal/kg程度である。
- 低温使用時には、始動性などの機械特性に影響がでる。

3. バイオディーゼル燃料における研究方法

3.1 研究方針

低温下でのFAME使用時には、流動性が悪化し、燃料フィルター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。

一方、除雪作業は深夜の作業がほとんどであり、低温下の始動や低温下での高負荷作業を繰り返すため、FAME使用時には悪条件となる。

本研究では、これらの問題に対して実際にバイオディーゼル燃料100%を除雪車両に用いた各種測定試験を行い、「作業時における出力（牽引力試験）」、「低温下における始動性」「粒子状物質測定試験(PM値)」「燃料消費量」の評価を行った。

3.2 使用車両・使用燃料

実際の低温下における大型除雪車両に100%のFAMEを使用し、始動性や排出ガスなど比較を行うため、JIS軽油特3号及び2種類のFAMEを用いた。燃料性状を表一1に示す。使用車両は、除雪車両として最も大型車両である除雪トラック及び除雪ドーザとした。諸元を表一2に示す。

表一1 燃料性状

	単位	JIS K 2390	FAME2	FAME3	JIS軽油特3号
FAME含有量	質量%	96.5以上	86.7	92.8	—
密度(15℃)	g/cm ³	0.860-0.900	0.8882	0.8834	0.86以下
動粘度(40℃)	mm ² /s	3.5-5.0	5.564	4.576	1.7以上(30℃)
引火点(PMCC)	℃	120以上	179	163	45以上
セタン価	—	51.0以上	53	58.8	45以上
目詰まり点(CFPP)	℃	当事者合意	-10	-9	-19以下

表-2 諸元表

	除雪トラック	除雪ドーザ
写真		
車両総重量	23,520kg	13,660kg
総排気量	21.20ℓ	6.48ℓ
長さ	10.0m	7.8m
幅	3.3m	3.7m
高さ	3.45m	3.48m
エンジンタイプ	Diesel	Diesel
初年度登録	1994	1991
最大出力	308kW	118kW
試験項目	<ul style="list-style-type: none"> ・始動性試験 ・粒子状物質測定試験 ・燃料温度計測試験 ・燃料消費量計測試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・牽引力試験

4. バイオディーゼル燃料における牽引力試験、粒子状物質測定試験

4. 1 牽引力試験（出力試験）

除雪車などの大型車両にバイオディーゼル燃料を実際に使用した場合には、燃焼カロリーが軽油よりも低いことから、出力低下の懸念がある。特に除雪作業では、高負荷が断続的に継続する作業であるため、出力低下は作業効率低下を招くことになり、作業時間の遅延に繋がる。

そこで、実際の除雪作業時における作業能力の影響について高負荷作業時を想定し、軽油及び2種のFAMEを用いて牽引力を評価する。

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、除雪ドーザにて牽引力を計測する。計測条件は、乾燥路にてホイールズピンをおこさない2速ギヤ固定とし、アクセル全開時の計測を行った。試験概要図を図-2に、結果を図-3に示す。

図-3より、FAME2、FAME3はいずれも、軽油と比較しほぼ同等であることがわかった。



図-2 牽引力試験概要図

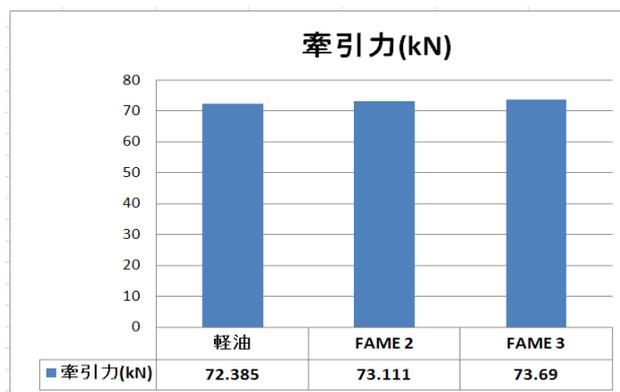


図-3 牽引力試験結果

4. 2 粒子状物質測定試験（PM）

軽油を使用するディーゼル車両において、FAME 使用時における排出ガスの環境に対する影響を確認するため、FAME 及び軽油を用いた粒子状物質（PM）測定を行った。試験は、オパシメータを用いて各 3 回計測し、平均値を評価した。結果を図-4 に示す。

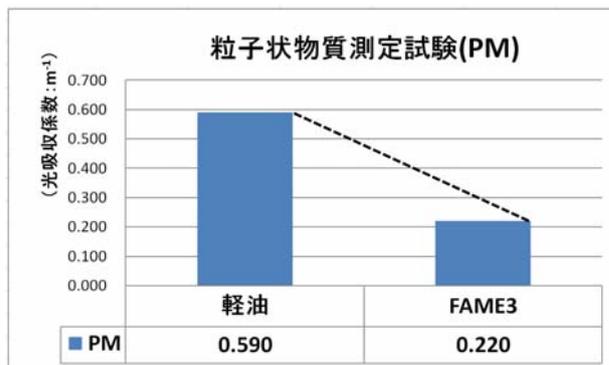


図-4 粒子状物質（PM）測定試験結果

軽油の光吸収係数は、0.59m⁻¹であり、FAME を使用した方が軽油より 60%程度減少していることがわかった。粒子状物質が低減できるクリーンエネルギーであるといえる。

5. 低温下におけるバイオディーゼル燃料試験

5. 1 機関始動性試験

低温下における始動性を確認するため、始動時間計測を行い、軽油と FAME 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-3 に示す。

FAME3 は、軽油と比較し気温が 5.4℃高い好条件であったが、軽油と同等の始動性であることが判断される。また、FAME2, 3 とともに、1 秒を切っており、氷点下の気温でもエンジン始動には支障がないと考えられる。

表-3 機開始動時間

油種	軽油	FAME2	FAME3
気温	-7.5℃	3℃	-2.1℃
1回目(s)	0.66	0.87	0.66
2回目(s)	0.6	0.78	0.56

また、今回の計測試験時では、-2.1℃以下の気温になることがなかったため、実作業時における始動性が不明である。

このため、除雪トラックにFAME3を用いて長期始動性試験を行った。

試験は、平成22年及び23年の2月～3月の各1カ月間とし、機開始動が可能であったかを判断した。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るが、燃料温度は外気温よりも+0.2～6℃高い温度となっている。

通常の外気温は、0～-7℃にて推移していたが、平成22年2月4日気温が-14.7℃時においてセルモータの回転は確認できたが、機関の始動は不可能であった。この時、燃料フィルターを車体より取り外し、確認を行った。結果を写真-1に示す。燃料フィルターは、ヘドロ状の白いグリセライドが表面に付着し、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-1左)を抽出し、常温にて保存していた同燃料(写真-1右)と比較した結果、透明度が失われていた。その時、燃料温度は-10℃であり、FAME内の物質が結晶化して透明度や流動性が失われることがわかった。

燃料配管は金属製であり、確認はできなかったが、FAMEが燃料フィルター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 始動性 (バイオディーゼル燃料)

平成22年	外気温	燃料温度	始動性
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-1 始動不能時の燃料フィルター及び燃料の状態

5.2 長期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、FAME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FAME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、サプライ側とリターン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-5に、流量計を写真-2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FAMEにおける平均燃費(km/l)は、28%悪化している。

悪化の要因は、FAME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。また、出力を補うためにオペレータがアクセルをより多く踏み込んだことなどが考えられる。

表-5 燃料消費量

	走行距離(km)	消費量(L)	平均燃費(km/L)
軽油	740.2	832	0.89
FAME	665.2	1,039	0.64

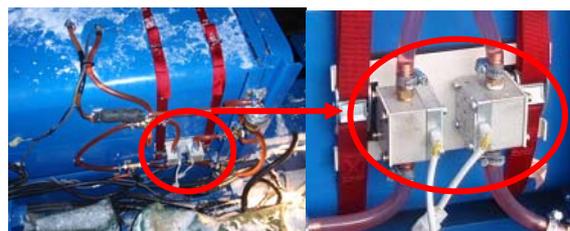


写真-2 流量計

6. バイオディーゼル燃料における地域モデル

6. 1 CO₂削減のための事業

持続可能である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。地域モデル例として、A市における廃食油の生産量を表-6に示す。年間プラント生産能力は407,700ℓであるが、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。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、地域におけるモデル事業として、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。

なお、精製された生産済みのバイオディーゼル燃料を全て使用した場合における年間のCO₂削減量は、 $348,509ℓ \times 2.62(kg/CO_2) = 913,093kg \approx 913t$ となる

これを北海道の国道除雪を行っている除雪車両に換算すると、年平均軽油使用量が、6,800ℓ/台・年であり、計算すると、 $348,509ℓ \div 6,800ℓ \approx 51$ 台分に相当する。全道の直轄除雪車両は1000台程度で、すべてをカバーするには、少ない台数ではあるが、このような取り組みを地方自治体などで進めていくことで、多少なりとも地球温暖化対策に貢献することが可能となる。

さらに、地域に存在する地産地消のエネルギー活用地域モデルの提案が可能となる。

表-6 A市におけるバイオディーゼル燃料生産量

項目	生産量(ℓ)
プラント生産能力	407,700
実年間生産量	348,509

7. バイオガスにおける適用調査

7. 1 バイオガスの有効性（地産地消におけるエネルギー事業）

「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、バイオマスを利用することが推進されており、これらの目標を達成するうえで、家畜排泄物・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。

また、北海道には、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、エネルギーとして家畜排泄物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、バイオガスプラントがいくつかの地域にて導入され、バイオガスを燃料として発電施設や暖房に導入している事例がいくつかあるが、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、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、車両に充填を行う圧縮充填装置への影響や、車両の始動性・動力性能調査を行った結果を報告する。

7. 2 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を原料とし、メタン発酵させている。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する地域代表例を示す。

7. 2. 1 滝川市におけるガーベージ・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する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、生ゴミが55t/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/日を圧縮処理できる。平成18年度の実績としては、3市2町（人口約9万人）で約62t/日となっており、内訳としては、可燃ごみが約50%、生ごみは約33%である。

生ゴミから得られるガーベージ（生ゴミ）バイオガスは、図-5に示す高速メタン発酵処理施設にて生成後、発電機の燃料として利用し、得られる電力は施設内利用や余剰電力は売電として活用されている。

また、施設内のボイラー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還元している。ここで、

バイオガスの生成量 83,000m³/月 (H18 年度実績) に対し、余剰量が 10,000~27,000m³ /月程度発生しており、この余剰ガスを車両に充填し使用した。



図-5 高速メタン発酵処理施設(滝川市、リサイクル)

7. 2. 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発生させている。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ー・発酵槽加温用の温水ボイラーの燃料として利用されている。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として、消化液は、採草地や試料作物地の液肥として使用されている。余剰ガスは、滝川市と同様に車両の燃料として充填されている。(写真-3)



写真-3 鹿追町環境保全センター

7. 3 精製圧縮充填装置

バイオガスを CNG 車へ充填する際には、精製圧縮充填装置を使用するが、これは、北海道開発局において、「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、エアー・ウォーター(株)との協力により開発された装置である。

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

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-6 及び表-7 に示す。

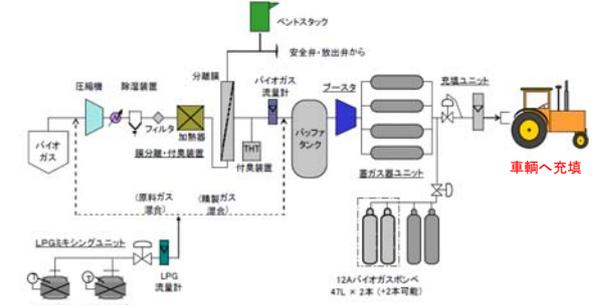


図-6 バイオガス精製圧縮充填装置の処理フロー (エアー・ウォーター(株))

表-7 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			
		上限充填圧力	24.5MPa(35℃)
		有効蓄ガス量	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始動性・加速性能などの評価や装置自体の低温性能評価を行った。(写真-4)



写真-4 バイオガス精製圧縮充填装置

7. 4 試験車両

試験に使用する車両は 2 台で、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を燃料としても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-8に示す。両車種ともにガソリンと切替可能なバイフューエルタイプであるが、エクストレイルは、ガソリンにて始動後、エンジン温度が70℃に到達しないとCNGに切り替えられない構造である。

表-8 主要諸元表

項目	仕様	仕様
		
ベース車種	トヨタ ハイラックスサーフ	日産 エクストレイル
全長	4,770mm	4,450mm
全幅	1,875mm	1,760mm
全高	2,120mm	1,650mm
車両総重量	2,325kg	1,795kg
乗車定員	5名	5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
排気量	2700cc	1,998cc
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
駆動方式	前2駆動(選択)-後2駆動	前2駆動-後2駆動(選択)
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

7.5 バイオガスにおける研究方針

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ことから、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。しかしながら本研究では、バイオガスを燃焼使用した際のCO₂排出量を把握し、ガソリン使用時と比較することで、実質的な排出量や経済性比較を行うとともに、年間を通して使用することで、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。

7.6 エンジン始動性調査

CNG車のエンジン始動は、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エンジン始動性には難がある可能性があり、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、10月と12月の冷間時にエンジン始動させた場合のセル動作時間を計測した。

なお、計測は手動であり、若干の誤差は想定される。セル動作は、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計測した。結果を表-9に示す。両日とも気温に対し、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、午前中は、まだ気温まで上昇していないためである。

セル動作時間は、両日とも1回目が4~5秒程度と最も時間が掛かり、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。

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-9 セル動作時間

月日	10月28日	12月25日
測定時間	AM10:30頃	AM10:30頃
気温	8.3℃	4.3℃
湿度	68%	67%
エンジン表面温度	5.3℃	-2.0℃
セル動作時間		
1回目	5.4sec	3.6sec
2回目	2.8sec	3.0sec
3回目	2.7sec	3.2sec
4回目	2.7sec	3.0sec
5回目	3.1sec	3.1sec
6回目(ガソリン)	0.8sec	0.9sec

7.7 CNG車両における出力特性(出力、トルク計測試験)

一般的にCNG車の出力は、ガソリン車に比べて低下する。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程度であり、燃焼効率から考慮すると向上するが、天然ガスは気体であり、単位容積における発熱量が少ないため、エンジン出力は低下する。バイオガスの主成分もメタンであり同様の結果になると考えられるため、実際のガソリン燃料使用時との比較をシャーシダイナモを使用し、出力及びトルク測定を実施した。なお、

測定は後輪駆動のみとし、ガソリン使用時とバイオガス使用時で比較測定した。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、一車種(ハイラックスサーフ)のみ計測とした。計測状況を写真-5に、測定結果を図-7に示す。



写真-5 シャーシダイナモ測定状況

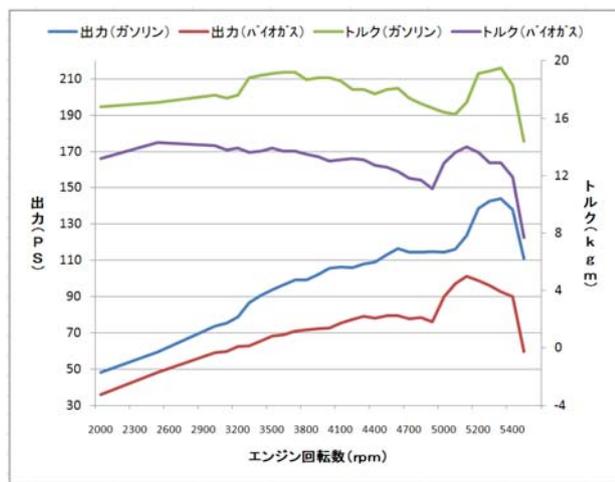


図-7 出力・トルク曲線(シャーシダイナモによる)

測定結果より、ガソリン使用時の最大出力は、105.8kW (143.9PS) となっているが、バイオガス使用時における最大出力は 74.4kW (101.2PS) であった。よって、約 30%程度バイオガス使用時の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出力で 73.5kW(100PS)程度 of 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、その場合における出力の落ち込みは 20%程度であるため影響は少ない。通常乗車している運転員の聞き取りからも、登坂時に力のなさを感じるが、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。

7. 8 バイオガスにおける排出ガス計測試験

排出ガス測定は、ハンディ型である「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、安定した 1 分間を比較することとした。測定結果を図-8 に示す。ハイラックスサーフのバイオガス使用時の CO₂ は、ガソリン使用時と比較し 30%程度減少する。また、エク

ストレイルの場合は、40%程度減少する。よって、バイオガスは、カーボンニュートラルであり CO₂ 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、クリーンエネルギーである。

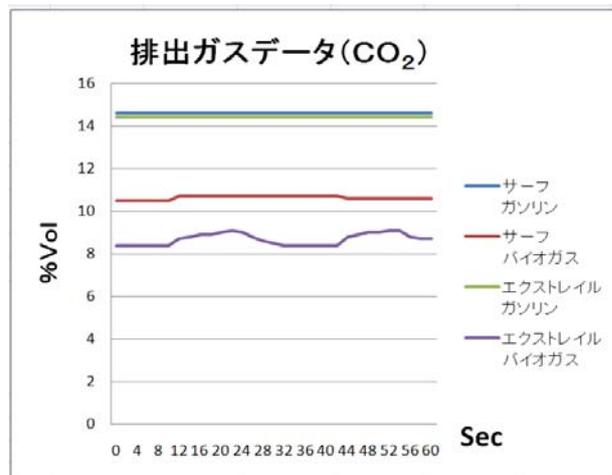


図-8 排出ガス測定結果 (CO₂)

7. 9 バイオガスにおける燃料消費量・長期使用試験

バイオガスを車両に充填し、車両の燃料消費量や経済効果を評価する。燃料消費量試験は、道路パトロールカーであるハイラックスサーフのみとした。道路パトロールカーは、ほぼ毎日のように定期的な道路点検、緊急時点検及び、異常時点検などに使用しているが、今回バイオガス圧縮充填装置改造が、11月に終了したことから、バイオガスの使用が11月からとなった。年間の走行実績を表-10に示す。

- ・バイオガスを用いて走行した燃料消費量は、8.5km/m³(3,777km÷446.7m³)である。
- ・年間のガソリン燃料消費量は、7.5km/ℓ(52,410km÷6,975km)である。
- ・年間の総走行距離は、56,187km(52,410+3,777)であり、ガソリン代(経済効果)を算出すると 117万円である。
(56,187km÷7.5km/ℓ ≒ 7,492ℓ
7,492ℓ × 155円/ℓ = 1,161,200円)

*155円/ℓ は、4/25時点での北海道平均価格
また、ヒアリング調査を行ったところ、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-10 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	0	0
5月	6,098	729	0	0
6月	5,878	707	0	0
7月	2,555	372	0	0
8月	5,610	754	0	0
9月	2,919	394	0	0
10月	5,932	754	0	0
11月	2,372	350	536	58.1
12月	5,428	752	533	71
1月	3,254	474	837	106.6
2月	3,782	541	531	66
3月	2,678	381	1,340	145
合計	52,410	6,975	3,777	446.7



写真-6 冬囲い状況写真

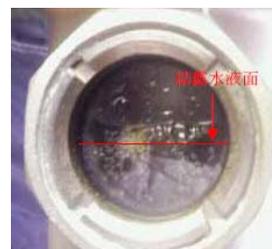


写真-7 配管結露状況

8. バイオガス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困難である。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、装置の改造を行い、冬期適用性試験・バイオガス精製効率向上やコストの削減を行う。

8.1 バイオガス精製圧縮装置冬期適用試験

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-6)

冬囲い後長期試験を行った結果、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ー中に結露が発生し、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-7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行くが、冷気と接触した配管にて急激にバイオガスが冷やされ、配管内が結露する。

対処として、ドレンポットより除水後、圧縮機より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とした。(写真-8)対策後は、問題がなく良好に稼働している。



写真-8 冷却配管設置状況

8.2 膜分離装置の改造

原料ガスは、メタン濃度が60~63%程度であり、そのままでは熱量が不足しているため、膜分離装置を用いて、メタン濃度を90%以上に高める。

その旧膜分離装置は、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℃までに達する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ーを巻き付け、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-9に、膜分離装置改造部品を写真-10示す。規定の温度50℃に達する時間を計測した結果、1時間程度であり、有効性が確認された。

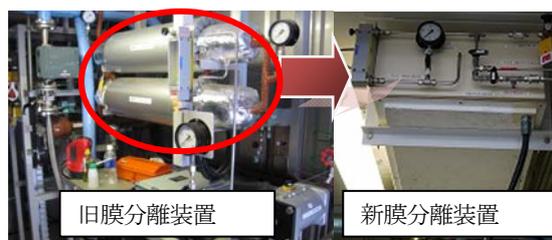


写真-9 膜分離装置改造全景

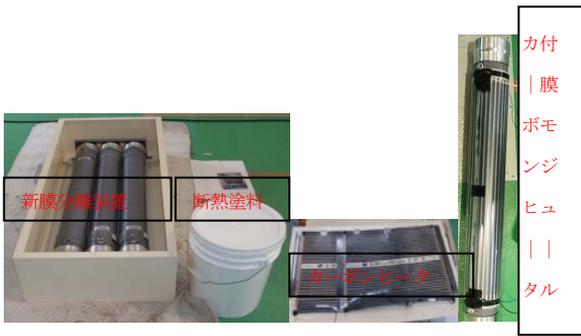


写真-10 膜分離装置改造部品

8.3 膜分離装置の評価

膜分離装置の改造ともない、精製能力を評価する。試験は、配管やバルブの切替えによって、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（原料ガスに対してのメタン量）を比較した。2段精製フローを図-9、3段精製フローを図-10、結果を図-11に示す。

2段精製メタン濃度は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るため、調整のためのLPGガス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が、確認された。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、メタン濃度92.5%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、有効であることが確認された。

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は、有効である。

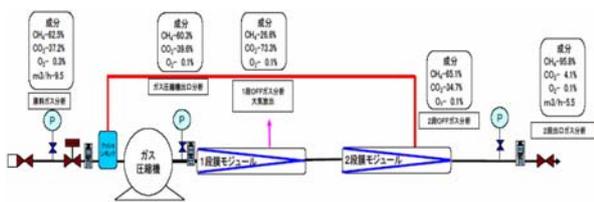


図-9 2段精製フロー

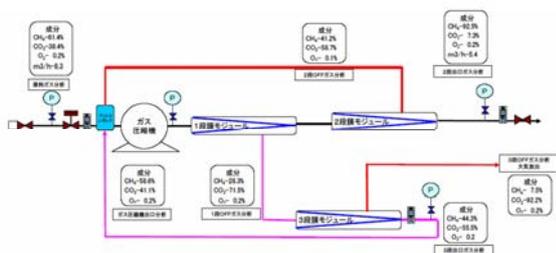


図-10 3段精製フロー

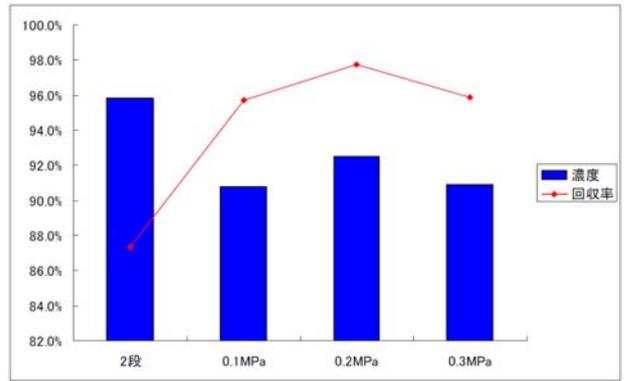


図-11 精製ガス濃度とメタン回収

8.4 低圧圧縮機の改造

従来の可燃性ガス専用低圧圧縮機は、約400万円と高価であり、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。概要及び写真を以下に示す。

- 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。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の漏れをなくした。(写真-11)
- 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、空気混入をなくした。(写真-12)
- 静電気防止のため接地を行った。
- モーターを防爆タイプとした。

通常の空気圧縮機を流用し、改造を行った結果、現行システムよりも圧力が1.2MPa上昇し、圧縮機のみでも335万円のコスト削減が確認された。

また、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-11 気密性の保持



写真-12 ピストンリング取付状況

8. 5 改造の効果

総合的な改造効果を計測するため、膜分離装置や圧縮機の改造を行い、時間当たりのバイオガス精製量を計測した。結果を表-11 に示す。バイオガス精製量が時間当たり 1.1 m³向上していることが確認された。これは、圧縮機変更によって 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、圧縮機のモーター出力ダウンや、膜分離装置を変更したことによって、システム消費電力が 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 万円の縮減が可能である。

さらに、圧縮機の消耗部品推奨交換時間が 4,000 時間とされているが、消耗品の部品点数が減少したため、工賃も安価となり、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、1 m³当たりの精製バイオガス単価が 98.0 円/m³より 52.5 円/m³に削減された。

車両に充填するシステム構成を目的とする場合には、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 千万程度の導入コスト削減が可能となった。導入コストやランニングコスト削減によって、地域導入モデル提案が可能となる。

表-11 バイオガス精製量

	既存	新規
使用原料ガス量	2.3m ³	1.6m ³
バイオガス精製量	3.2m ³ /h	4.3m ³ /h

9. CO₂削減効果の例

バイオディーゼル燃料やバイオガスにて、CO₂削減効果について評価する。

年間のバイオガス精製ガス量を 17,520 m³(4,380 時間×4.0 m³(時間精製量))とし、CO₂削減量を算出した結果を表-12 に示す。年間の CO₂削減量は、既存のものとは変わらないが、年間電気消費量が減少したため、既存と比較した場合では、4.2t CO₂削減量が増加している。

また、除雪車両 2 台にバイオディーゼル燃料を使用した場合の単純計算は、年間約 36t(6,800ℓ × 2.62kg/CO₂×2 台)の CO₂削減量となる。

この算出結果より、環境省などが提案するオフセットクレジット(J-VER)を導入した場合には、約 69 万円((29.8+36)×10,500 円=690,900 円)の経済効果となる。

*高知県木質資源エネルギーにて試算

表-12 バイオガスにおける CO₂削減量

	既存	新規	計算根拠
精製ガス消費による CO ₂ 削減量	37.1t/年	37.1t/年	17,520m ³ /年×2.12t/千 m ³
精製ガス生産に係る CO ₂ 消費量	11.5t/年	7.3t/年	消費電力量×0.479 千 kWh
年間 CO ₂ 削減量	25.6t/年	29.8 t/年	削減量-消費量

10. まとめ

今回の試験結果より、積雪寒冷地において、バイオディーゼル燃料やバイオガス燃料などを導入した場合、以下のことが確認できた。

10. 1 積雪寒冷地におけるバイオディーゼル燃料導入について

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) 牽引力(出力)は軽油と比較し、同等である。
- 2) 排出ガス中の粒子状物質(PM)は 60%程度減少する。
- 3) 使用燃料性状にもよるが、気温が-10℃以上の始動には、問題がない。
- 4) 気温が-10℃以下になるときは、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。
- 5) 燃料消費量は、軽油に対し約 30%程度増加する。

10. 2 積雪寒冷地におけるバイオガス燃料導入について

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始動性はガソリンと比較し、始動時間が 3 秒程度かかるが特に問題はない。
- 2) バイオガスを用いた車両の出力はガソリンと比較し 30%程度低下する。
- 3) 排出ガス中の CO₂量は、ガソリンと比較し、カーボンニュートラルを適用しなくとも 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

の長期使用には、問題がない。

5) 圧縮充填装置の効率化を行った結果、イニシャルコストやランニングコストが削減された。

10. 3 温室効果ガス削減について

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の再生可能エネルギーの地域導入が進めば地球温暖化防止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) 平伴斉、国島英樹、長瀬禎：「バイオディーゼル燃料の除雪車等適応性検討」、寒地土木研究所月報 2011年1月号

2) 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

3) 国島英樹、長瀬禎、光野昭宏：ガーベージ・バイオガスの道路パトロールカーへの適応性について、第52回(平成20年度)北海道開発技術研究発表会、2009年2月号

4) 国島英樹、五十嵐匡、山崎貴志、長瀬禎、平伴斉：ガーベージ・バイオガスの道路パトロールカーへの適応性について、寒地土木研究所月報 2009年10月号

5) 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

6) オフセット・クレジット(J-VER)市場の動向
<http://www.j-cof.org/document/jver/marketrend.pdf>