

## 新技術開発探訪

積雪寒冷地における建設施工の  
バイオディーゼル燃料の適合性調査

## 1. はじめに

現代社会は、18世紀後半に始まった産業革命により発展し、物質面で豊かな生活をもたらした。これは、原油など大量な化石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、大量生産などによってエネルギー需要がますます加速するなか、大量のCO<sub>2</sub>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、国レベルでの対策が実施されている。

しかし近年、化石エネルギーを大量に必要とする自動車を始めとする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、CO<sub>2</sub>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出力や始動性などの知見が十分ではない。

そこで、本調査では、代替燃料としてのバイオディーゼル燃料について、1台当たりの排気量の

多い除雪車などの大型車両や乗用車を用いて冬期適合性調査を行い、積雪寒冷地における活用について検証した。

## 2. 積雪寒冷地におけるバイオディーゼル燃料導入

## (1) バイオディーゼル燃料

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、植物油・動物油を原料とし、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、一定の材料ではなく、色や材料の品質が異なっている。

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。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ことでディーゼル機関用の燃料として使用可能となる。

## (2) 調査方針

低温下でのバイオディーゼル燃料使用時には、

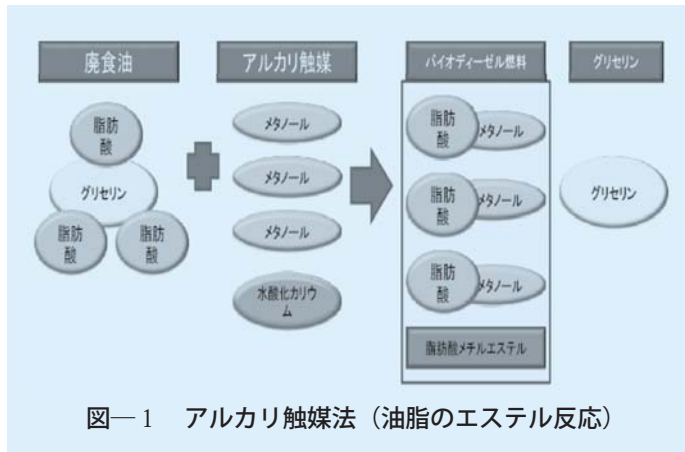


表-2 加速試験の計測条件

車 両	除雪ドーザ	除雪トラック
登録年度	平成 3	平成 5
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	ウエット
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

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。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、バイオディーゼル燃料使用時には悪条件となる。

本調査では、これらの問題に対して実際にバイオディーゼル燃料100%を除雪車などに用いた各種測定試験を行った。試験に使用した車両およびその諸元を表-1に示す。

### (3) 加速試験

バイオディーゼル燃料を除雪車などに使用すると低出力などが原因により作業遅延が発生し、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加速試験（表-2、写真-1）を実施し、基本特性の検証を行った。

試験方法は、図-2のとおり追越加速を想定し、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。

表-1 諸元表

	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	ディーゼル	ディーゼル	ディーゼル	ディーゼル
初年度登録	平成 5	平成 6	平成 3	平成 7
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



写真一 1 加速試験

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

$a$  : 加速度 ( $m/s^2$ )

$V$  : 70m地点速度 ( $km/h$ )

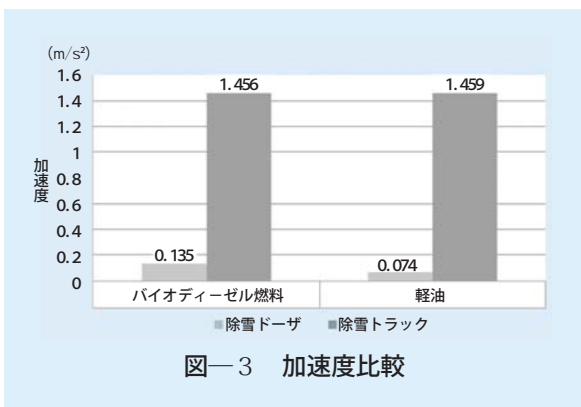
$V_0$  : 0m地点速度 ( $km/h$ )

$t$  : 0~70mに要した時間 (s)

図一3から、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の70m地点速度が約1~3 km/h上昇していることを確認した。

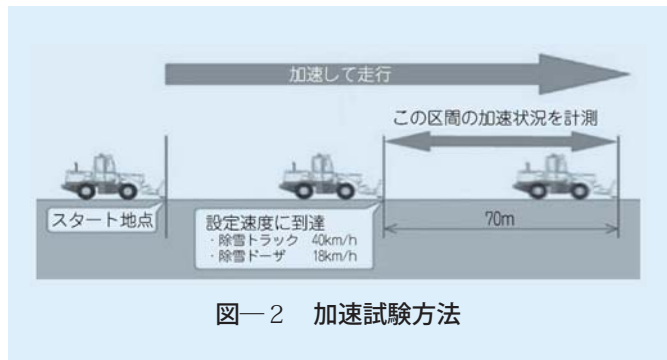
バイオディーゼル燃料使用時における加速性能は、軽油と比較し、同等以上であると判断できる。



図一3 加速度比較

#### (4) 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



図一2 加速試験方法

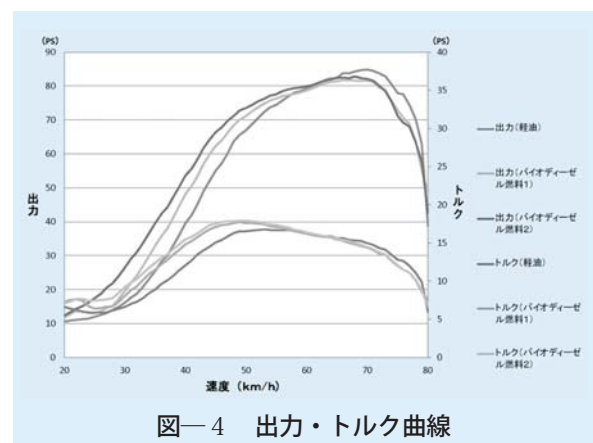


写真一2 出力・トルク計測

ーダイナモメータがなかったため、乗用車により機関出力を計測した(写真一2, 図一4)。

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割程度高くなったことを確認した。

また、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の平均が82.4PS (60.6kW) に対し、軽油が84.9PS (62.4kW) と3%下回る結果となった。



図一4 出力・トルク曲線

(5) 牽引力試験

除雪作業時における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（写真—3）。

計測方法は、図—5のとおり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、除雪ドーザにて牽引力計測を行った。

図—6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。

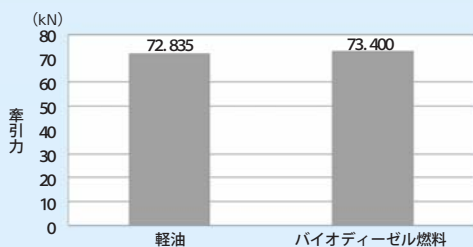
バイオディーゼル燃料の出力は、軽油と比較し、同等であるといえる。



写真—3 牽引力試験



図—5 牽引力試験概要図



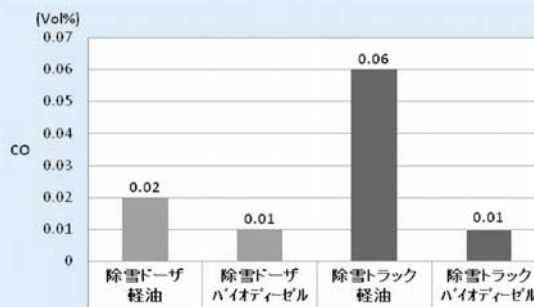
図—6 牽引力試験結果

(6) 排出ガス計測試験

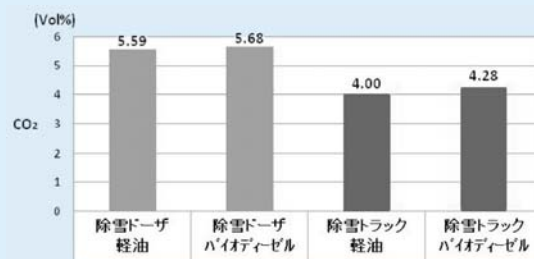
除雪トラックと除雪ドーザの排出ガスが環境に及ぼす影響や機関燃焼状況を確認するため、バイオディーゼル燃料における排出ガスを計測し成分



写真—4 排出ガス計測



図—7 排出ガスCO計測結果



図—8 排出ガスCO<sub>2</sub>計測結果



図—9 排出ガスNO計測結果

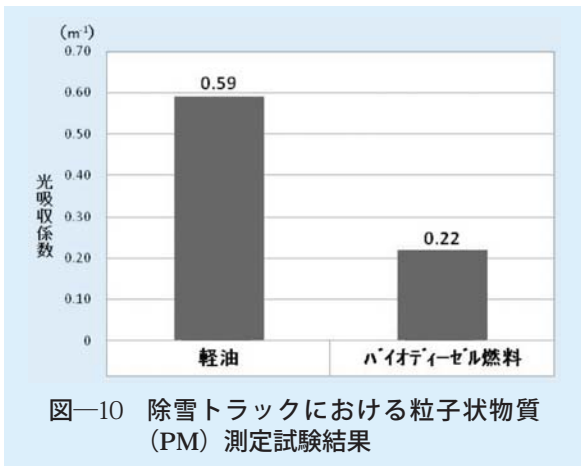
分析を行った（写真—4）。

その結果、軽油と比較し以下のことが分かった。

- ① 除雪トラック、除雪ドーザとも一酸化炭素（CO）は減少する（図—7）。
- ② 二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）は若干増加する（図—8）。
- ③ 酸素（O<sub>2</sub>）は若干減少する。



写真一5 粒子状物質 (PM) 測定試験



図一10 除雪トラックにおける粒子状物質 (PM) 測定試験結果

- ④ ①～③によりバイオディーゼル燃料が軽油よりも効率良く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 (図一9)。

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、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 (写真一5)。

図一10から、除雪トラックの光吸収係数は、軽油が0.59m<sup>-1</sup>の値を示したが、バイオディーゼル燃料は0.22m<sup>-1</sup>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分かった。

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、CO<sub>2</sub>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る。

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。

(7) 機関始動性試験 (低温特性)

低温下における始動性を確認するため、除雪トラックの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。

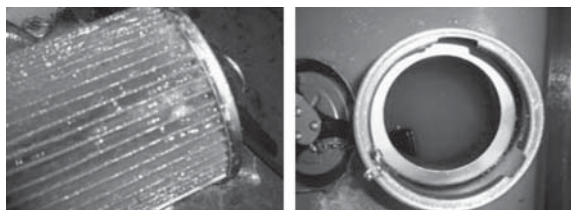
表一3から、バイオディーゼル燃料は、気温が5.4℃高い条件であったが、軽油と同等の始動性であるといえる。また、バイオディーゼル燃料は機関始動が1秒を切っており、-2.1℃の気温ではエンジン始動には支障がない。

しかし今回の試験では、-2.1℃以下の気温になることがなかったため、実作業における始動性は不明である。そこで厳冬期の始動性試験を実施した。

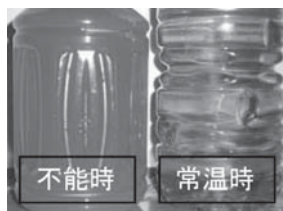
平成22年および23年の冬期に機関始動が可能であるかを確認した。結果を表一4に示す。外気温は、0℃以下となる気温が続いていたが、バイオ

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

試験日	外気温	燃料温度	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	◎



写真一六 機関始動不能時の燃料フィルタの状態



写真一七 機関始動不能時の燃料の状態

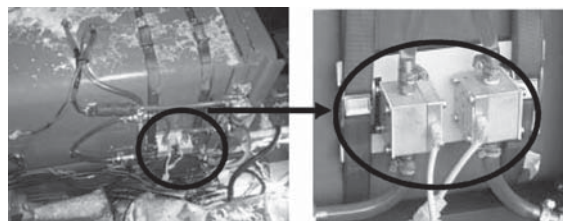
ディーゼル燃料の温度は外気温よりも6℃まで高くなっていた。通常の外気温は-7～0℃で推移していたが、平成22年2月4日は-14.7℃となり、セルモータの回転は確認できたものの機関の始動は不可能であった。この際、燃料フィルタを車体より取り外したところ、写真一六のとおり燃料フィルタには、ヘドロ状の白いグリセライドが表面に付着しており、これが抵抗となって目詰まりを起こしたと想定される。

また、燃料タンク内の燃料（写真一七左）を抜き取り、常温にて保存していた同燃料（写真一七右）と比較した結果、透明度が低下していた。その時、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分かった。

燃料配管は金属製であり、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。

(8) 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、バイオディーゼル燃料は軽油よりも発熱量



写真一八 流量計

表一五 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

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およ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（写真一八）。

表一五から、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。その原因は、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。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も考えられる。

(9) 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

表一六 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 <sup>2</sup> )	747
A市を走る除雪車両台数(必要数)	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

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一6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。

また、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、実年間生産量を上回ることや、保管期間の問題から全ての除雪車に使用できない。ただし、実年間生産量分の年間のCO<sub>2</sub>削減量は、 $348,509 \ell \times 2.62(\text{kg}/\ell \text{ CO}_2) = 913,093\text{kg} \div 913\text{t}$ 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、地域に存在するエネルギーの有効活用となる。

### 3. まとめ

バイオディーゼル燃料を積雪寒冷地に使用した場合、以下のことが分かった。

- ① 加速性能は軽油と比較し同等以上である。
- ② 牽引力（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60%程度減少する。
- ④ 使用燃料性状にもよるが、燃料温度が-10℃以上の始動には問題がない。
- ⑤ 燃料温度が-10℃以下になるときは、燃料タンク加熱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28%増加する。

導入コストなどの問題はあがるが、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地域導入が進めば、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考えられる。

#### 【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

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地機械技術チーム 総括主任研究員 かたの こうじ 片野 浩司  
主任研究員 やまぐち かずや 山口 和哉  
研究員 たいら ともなり 平 伴斉