

大規模道路土工工事にバイオディーゼル燃料 (B100) を使用

新東名高速道路 岡崎サービスエリア工事の例

齊藤 栄一・長谷川 博一・副島 幸也

建設工事における CO₂ の削減を目的に、道路土工工事の撒出し・敷均し・締固め工事で使用するブルドーザおよび振動ローラの燃料に、100%濃度のバイオディーゼル燃料「B100」を大量に使用した。B100の使用に際しては、燃料フィルターやポンプの目詰まり等の不具合が発生する場合がありますので、建設機械の整備や部品管理、B100の品質管理結果等から、従来通りの建設機械の施工性が確保できるノウハウの蓄積につとめた。また、建設機械の挙動や締固め密度等に関する施工試験も実施し、その後の施工管理結果と併せ、所定の施工品質が確保できていることを確認した。

キーワード：バイオディーゼル燃料、BDF、B100、建設機械、廃食用油、CO₂排出量削減、カーボンニュートラル、道路土工

1. はじめに

バイオディーゼル燃料は、廃食用油や菜種油、パーム油等の生物由来油から作られるディーゼルエンジン用の燃料である。バイオディーゼル燃料を従来の軽油燃料の代わりに使用すると、カーボンニュートラル¹⁾の考え方に基づいた CO₂ の削減効果が見込まれ、さらには酸性雨などの原因になる SO_x (硫黄酸化物) もほとんど排出されないという効果も期待される。

そこで筆者らは、軽油代替として特に CO₂ の削減効果が大きい、100%濃度のバイオディーゼル燃料（以降、「B100」と呼ぶ）を大規模な道路土工工事に適用した。具体的には、「第二東名高速道路 岡崎サービスエリア工事」に適用を提案したところ、「地球温暖化の抑制」を環境方針に掲げる発注者（中日本高速道路株式会社）の理解も得られ、同工事への採用が実現した。本報は、バイオディーゼル燃料の概要について述べると共に、同燃料を建設工事へ適用するための各種試験や管理方法、および当該工事への適用結果について述べる。

2. 工事の概要と B100 の使用量

今回 B100 を適用した岡崎サービスエリア工事の概要を以下に示す。

工事名称：第二東名高速道路 岡崎サービスエリア工事

企業者：中日本高速道路(株) 名古屋支社

施工場所：愛知県岡崎市宮石町から岡崎市駒立町まで

工期：平成 22 年 12 月 21 日～平成 26 年 10 月 30 日

工事内容：サービスエリア部 (図-1) を含む大規模道路土工工事

- ・工事延長 2,900 m
- ・土工延長 2,498 m
- ・切盛土量 3,800,000 m³
- ・調整池 3 箇所
- ・砂防堰堤 2 箇所
- ・函渠工 4 箇所
- ・橋梁下部工 2 箇所

上記、大規模道路土工工事における盛土部の、撒出し・敷均し工事と締固め工事に B100 を使用した。本



図-1 サービスエリア完成予想図

工事で使用するバイオディーゼル燃料の概要は以下の通りである。

総使用量（予定）：140,000 ℓ

月当り平均使用量： 5,000 ℓ

使用期間（予定）：28 ヶ月

仕様・規格：B100（JIS K 2390 規格適合品）

対象建設機械：ブルドーザ、振動ローラ

3. バイオディーゼル燃料について

(1) バイオディーゼル燃料とは

バイオディーゼル燃料とは、バイオディーゼルフューエルの略で、生物由来油から作られるディーゼルエンジン用燃料の総称であり、Bio Diesel Fuelの頭文字をとって「BDF」と略されることもある。菜種油、パーム油、オリーブ油、ひまわり油、大豆油などの植物油、および廃食用油（いわゆる天ぷら油等）など、様々な油脂がバイオディーゼル燃料の原料となり得るが、日本国内においては、廃食用油から精製されるものが主流となっている。油脂は粘度が高い等の特徴を有しており、そのままディーゼルエンジンの燃料として使用すると、燃料ポンプに析出物が付着してエンジンに不具合が発生することが懸念される。このため、エステル交換反応²⁾などの化学処理を施して原料油脂からグリセリンを取り除き、油脂を脂肪酸メチルエステル等の軽油に近い物性に変換したものがバイオディーゼル燃料である。

バイオディーゼル燃料は、そのまま、あるいは軽油に混ぜてディーゼルエンジンの燃料として使うことができる。混合率 100%未満のバイオディーゼル燃料は軽油引取税の課税対象となるが、100%濃度の場合は非課税となる。当該工事では、カーボンニュートラル



写真一 今回使用した B100

の考え方による CO₂ 排出削減効果をより高めるために、軽油を一切混合しない 100%濃度のバイオディーゼル燃料「B100」を使用した。今回使用した B100 を写真一に示す。

(2) B100 利用のメリット

① CO₂ の削減効果

B100 を軽油の代わりに車両や建設機械等で使用すると、カーボンニュートラル（CO₂ の放出と吸収が相殺されている状態）の考え方に則り、1 ℓ 当り約 2.58 kg の CO₂ 削減効果を有する。今回の工事では、概ね 140,000 ℓ の B100 の使用が見込まれており、これにより約 360 t の CO₂ 削減効果が見込まれる。

② 黒煙および硫黄酸化物の低減効果

B100 を使用すると、排ガス中の黒煙が、軽油を使用した場合に比べて 1/3 ~ 1/6 に低減される。また、酸性雨等の原因となる硫黄酸化物（SO_x）もほとんど排出されないという利点も有する²⁾。

③ コスト低減効果

前述の通り B100 は軽油引取税の対象外となることから、軽油価格が高騰している場合には燃料費が低減される可能性がある。ただし、B100 は軽油に比べて流通量が少なく、製造・貯蔵等のインフラ施設の拠点も限られているため、使用場所や使用量によっては、輸送コストや追加のインフラの設置コストが発生し、軽油よりもコスト高となる場合がある。使用条件を事前に精査する必要がある。

(3) B100 使用時の留意点

2008 年にバイオディーゼル燃料に対する規格 JIS K 2390 が策定されたが、これは B100 に対する規格ではあるものの、軽油燃料に混合して使用することを前提としたものであり、B100 をそのまま使用するには注意を要する。例えば、国土交通省からは、「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」³⁾ が制定されており、使用時の留意点および不具合や対策の事例等が記載されている。また、バイオディーゼル燃料の品質にもメーカー等によりばらつきがあることから、ガイドラインや品質試験結果等を参考に、適切に選定する必要がある。さらに、トラックやバス等の車両系に比べて建設機械での使用実績は少ないことから、事前および使用中の機械整備や燃料の品質管理がより重要になるものと考えられる。

(4) B100 の調達

今回の B100 の調達にあたっては、「自社製造」についても検討したが、製造コスト、原料調達、製造に関する法規制等のリスクを避けるために、メーカーから購入することとした。購入先の選定に際しては、① B100 が JIS 規格該当品であること、②定期的に品質管理を行っており品質の変動が小さいこと、③安定的に供給できる製造能力と輸送手段を有すること、④安定した原料調達のルートを有すること、⑤万が一不具合が発生した場合にバックアップ体制を整えていること等に着目し供給業者を数社選定した。選定した供給業者の中から、① B100 の価格、② PL 法対応、③提供されたサンプルに対する品質（著者らの技術研究所にて品質試験を実施）を精査し、今回の調達先⁴⁾を決定した。写真-2には調達先メーカーのバイオディーゼル燃料の製造プラント⁴⁾を示す。



写真-2 バイオディーゼル燃料製造プラント⁴⁾

4. 使用する建設機械の選定と整備

(1) 建設機械選定時の留意点

B100 を使用する建設機械の選定に際し、以下の点に留意した。

- ①ディーゼルエンジンは近年の排ガス規制強化に伴い、「DPF（ディーゼル微粒子捕集フィルター）」「電子制御」など、排ガス浄化性能を高めるための装置を備えているが、これらは軽油用に開発されたものであり、燃焼温度に違いがある B100 では、逆に不完全燃焼や燃料噴射ポンプの目詰まりなどを起こす恐れがある。
- ② B100 は、軽油と比較して一般的に低温での流動性に難があり、外気温の低い冬季等に燃料噴射系統の目詰まりを起こす可能性がある。
- ③ B100 は軽油と比較して酸化しやすく、それにより析出した劣化物は、燃料フィルターの目詰まりや噴射ポンプへのスラッジ付着などの原因となる場合がある。

ある。

- ④ B100 は燃料タンクなど燃料系統のフラッシング効果を持っており、初期段階で燃料フィルターの目詰まりを起こす原因となる。
- ⑤ B100 はゴム部材に浸透しやすく、ホース類などのゴム製品を膨潤させて劣化を早める場合がある。

(2) 使用する建設機械の選定

前節の①に対応し、「DPF」や「電子制御」を備えていない「第2次排ガス規制」以前の建設機械を使用することとした。選定した建設機械を以下に示す。

<ブルドーザ>

メーカー：CAT（キャタピラージャパン）

機種種：D6R-LGP II

<振動ローラ>

メーカー：酒井重工業

機種種：SV512D

ブルドーザへの B100 の給油状況を写真-3 に、各建設機械の稼働状況を写真-4、5 に示す。



写真-3 B100 の給油状況



写真-4 B100 で稼働するブルドーザ



写真-5 B100 で稼働する振動ローラ

(3) 建設機械の事前整備

前々節②の低温時のB100流動性低下に対しては、建設機械に特別な改造等は施さず、施工中の外気温と、エンジンの始動性や始動後初期のエンジンパワー等の相関を、毎日の機械オペレータへのヒアリングや運行記録から把握し、不具合の抽出につとめた。

前々節③のB100からの析出物に対しては、エンジンオイルおよび燃料フィルターの交換頻度を通常時より上げることで対応した。

前々節④の燃料フィルターの目詰まりに対しては、軽油からB100への入れ替えた後の初期段階にエンジンオイルと燃料フィルターの交換を頻繁に行うことで対応した。

前々節⑤のホース類の劣化に対しては、耐久性の高いフッ素系のホースを準備しつつ、まずは燃料系のゴムホースを全て新品の純正品に交換することで対応し、随時ホース類の劣化を確認しながら工事を進めた。今のところ、純正のホース類を通常の頻度で交換することで、大きな不具合は発生していない。

5. 試験施工の実施

実施工に入る前に、B100を用いて以下の項目を確認した。

(1) エンジン出力の確認

ブルドーザおよび振動ローラのアイドリング状態、およびブースト状態（一般に“ふかした状態”）でのエンジン回転数の変化を確認した。その結果、軽油の場合と比較して、エンジン回転数に顕著な差異は見られなかった。また、建設機械オペレータに対するヒアリングを実施し、ブルドーザを用いた撒出し、敷均し施工、振動ローラを用いた転圧施工において、始動性

やパワー不足は感じられないとの調査結果を得た。

(2) 排ガス性状の確認

FA（フリーアクセル）スモーク測定を実施し、排ガス濃度を測定した。測定結果を表-1に示す。表より、B100の場合、軽油の場合に比べてPM（粒子状物質）が60～70%低減しているのが分かる。また、B100使用時の排ガスのSO_x（硫黄酸化物）濃度、一酸化炭素濃度の測定結果によれば、その値はともに1（vol ppm）未満であり、ほぼ発生が抑えられていることが分かった。

表-1 FAスモーク測定による排ガス濃度測定結果

建設機械	ブルドーザ (D6R)		振動ローラ (SV512)	
	軽油	B100	軽油	B100
排ガス濃度 (%)	34.4	9.5	28.6	12.3

(3) 振動ローラの振動数とローラ加速度応答値

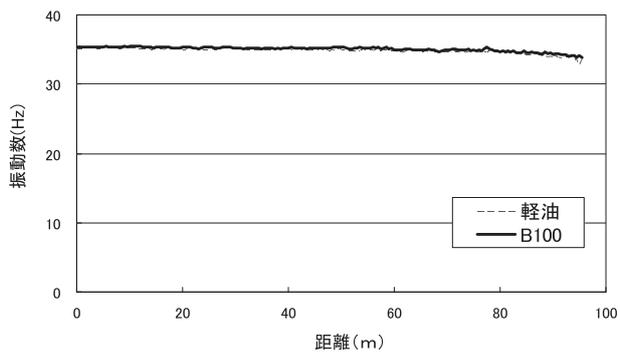
締固め施工が終了した直線距離約100mの道路部において、振動ローラを走行させた時の振動数とローラ加速度応答値⁵⁾（以降、“CCV値”と呼ぶ）を軽油使用時とB100使用時で図-2、3に比較する。図-2は振動数、図-3はCCV値の比較を示したものである。両図には、低速および高速走行時（走行モードは低速・高速の2段階）の、弱振および強振モード（振動モードは弱振・強振の2段階）それぞれでの測定値を示してある。また、各データは振動ローラ進行方向0.5m毎の測定データの平均値を示している。図-3(a)の低速-弱振モードで、B100と軽油のCCV値に一部差異がある部分が見られるが、この原因については現段階では明らかになっていない。その他のモードのCCV値および振動数（図-2）については、概ねB100と軽油で大きな差異は認められず、B100使用による振動数や加速度応答値の低下は見受けられない。

以上に示した結果から、B100を使用した場合、施工能力においては軽油使用の場合と特に大きな差異がないものと判断された。

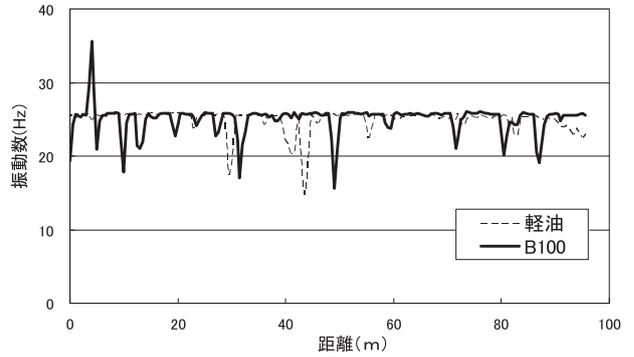
6. 施工中の管理について

(1) B100の使用管理

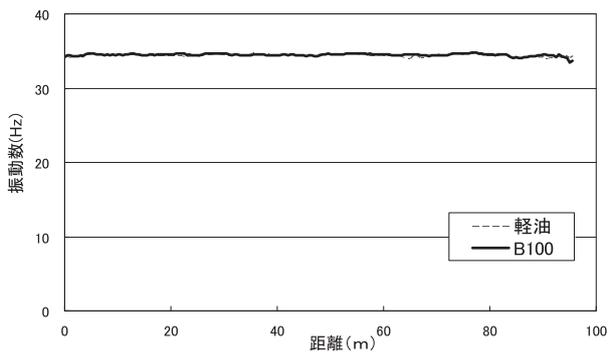
B100の使用に際しては、気温の低下による燃料の粘性増大、およびそれに伴うポンプの目詰まり、始動性の低下等の問題が懸念されたため、継続的な外気温の測定を行った。また、燃料の給油量（使用量）、建



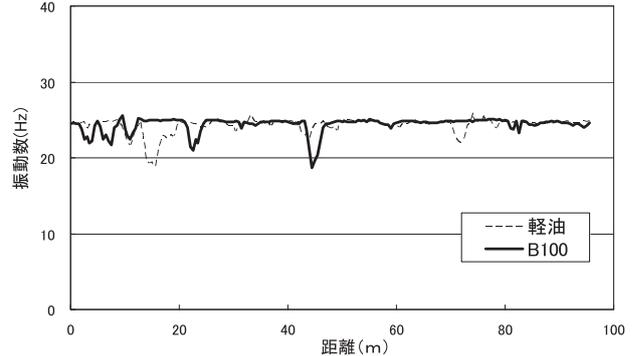
(a) 低速—弱振モード



(b) 低速—強振モード

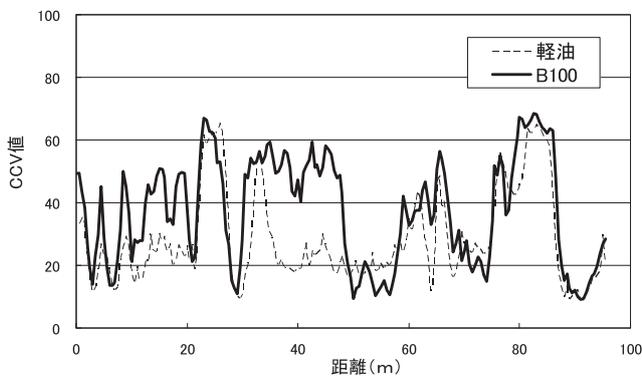


(c) 高速—弱振モード

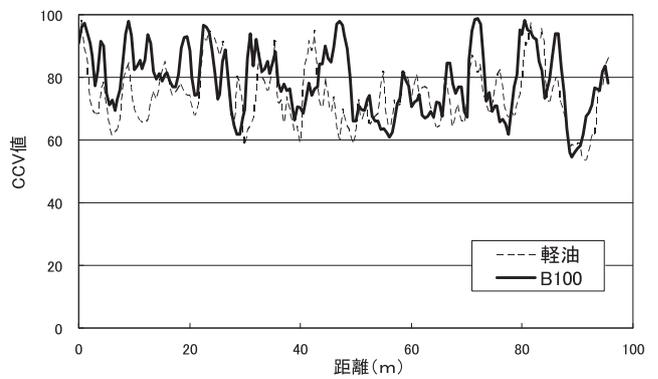


(d) 高速—強振モード

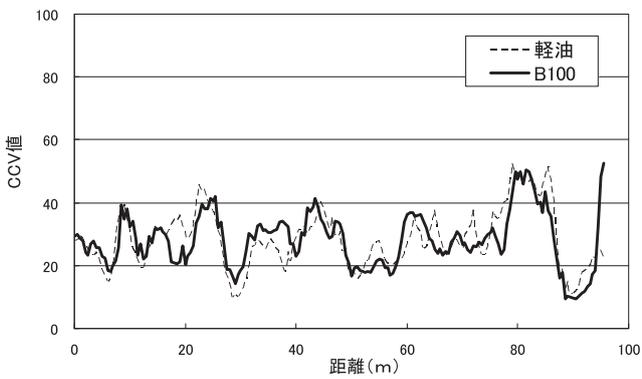
図—2 振動ローラにおける振動数の比較



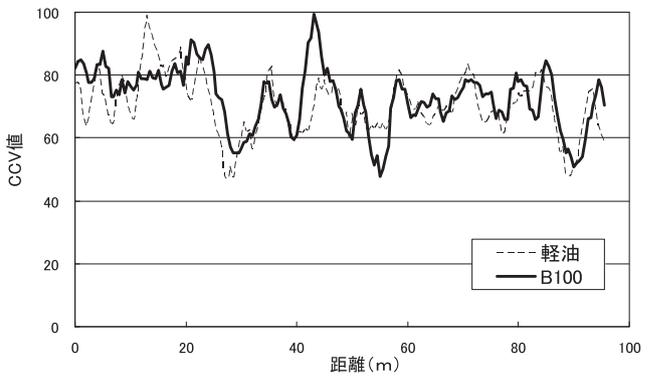
(a) 低速—弱振モード



(b) 低速—強振モード



(c) 高速—弱振モード



(d) 高速—強振モード

図—3 振動ローラにおけるCCV値の比較

設機械の稼働時間、エンジン始動時の回転数（アイドリング時）を毎日記録した。2012年8月30日現在におけるB100の使用実績を表一2にまとめる。

表一2 B100使用実績
(対象期間：2011年11月26日～2012年8月30日)

建設機械	ブルドーザ (D6R-LGP II)	振動ローラ (SV512D)
B100 使用量 (ℓ)	23,600	16,800
建設機械稼働時間 (hr)	1,320	1,610
燃料消費率 (ℓ/hr)	17.8	10.5

(2) 施工品質の管理

締固め施工時における施工品質の管理は、軽油を用いる通常の管理と同様、RI計器を用いた密度比管理にて行った。具体的には、発注仕様通りに、締固め後の路体（表一2に示したB100使用の対象期間においては締固めの対象構造物は路体である）の最大乾燥密度 ρ_{dmax} に対する乾燥密度 ρ_d の比が92%以上になる様、RI計器を用いて管理した。密度比が92%以上となる転圧回数は事前の施工試験で決定するが、対象期間中のRI管理においては、所定の転圧回数で締め固めることにより、毎日の締固め管理全てのケースで所定の密度比（92%）を超えたことを確認している。

(3) B100の品質管理

B100の品質については、燃料の供給業者も試験等を実施し品質管理を実施しているが、ノウハウの蓄積および独自の品質管理手法を確立することを目的に、著者らも自主的に品質管理を実施した。その内容を表一3、4に示す。試験内容は、概ね1～2日程度で早期に品質を確認できる内容とした。表一3は簡単な機器を用いて簡易的に品質を評価する定性的な試験、表一4は試薬等を用いて定量的に評価できる試験である。表一4の試験項目は、「バイオディーゼル燃料の製造・利用に係るガイドライン」⁶⁾を参考に、バイオディーゼル燃料の品質を特定する上で比較的重要とされる項目を選定した。これらの試験は毎月1回、サンプルとなるB100を採取し、筆者らの技術研究所で実施している。

2012年8月30日時点で、これまで10回の品質管理試験を実施したが、簡易試験は表一3の判定基準を、試薬等を用いた試験は表一4中に示したJIS K 2390の規格値をほぼ満足するものであった。

(4) トラブル事例について

今までのところ建設機械の故障等、工程や施工品質に影響を及ぼす様なトラブルは発生していない。しかし比較的軽微なトラブルとして、外気温低下によるエ

表一3 B100の品質管理試験（簡易試験）⁷⁾

試験名	試験方法	判断基準
①水との混合試験	B100と水道水をペットボトルで混合し、ボトルごと水温60℃のお湯に入れそのまま静置する（お湯の加温はしない）。	水の濁りがほとんどとれない。 →反応残渣除去洗浄が不十分
		石鹸・牛乳の様な層の析出 →メチルエステル交換反応が不十分
		振った後の下層水のpH測定 →アルカリ性の場合、反応残渣除去洗浄が不十分
②冷却静置試験	B100をペットボトルに入れ、冷蔵庫で一晩静置する。	B100の曇り発生、粘性の増大 →冬季に燃料ポンプ等に不具合が発生する恐れ有り。

表一4 B100の品質管理試験（試薬等を用いた試験）

測定項目	測定方法	検出範囲	JIS K 2390 規格
①メチルエステル化率（脂肪酸メチルエステル含有量）	試薬混合（簡易測定キット ⁸⁾ ）	3段階 ・96.5%以上 ・95%程度 ・90%程度	96.5%以上
②密度	質量測定	10^{-4} (g/cm ³) 以上	0.86～0.90 (g/cm ³)
③酸価 (AV)	試験紙 ⁸⁾ 浸漬	酸価 0.0～4.0 (mgKOH/g) の範囲で5段階	0.5 (mgKOH/g) 以下
④メタノール	酵素反応（吸光度計使用）	0.02～1.5 (wt%)	0.20 (wt%) 以下
⑤遊離グリセリン	酵素反応（吸光度計使用）	0.01 (wt%) 以上	0.02 (wt%) 以下

ンジン不調が発生した。以下にその概要を記す。

夜半から早朝にかけての外気温が低下した 2012 年 2 月の早朝に、ブルドーザのエンジンを始動後、作業開始のために回転数を上げたところ、エンジンの自動停止が発生した。当日（月曜日）朝の最低気温は -5.8℃、前日（日曜日）の最低気温は -8.8℃と氷点下を記録したことから、これは燃料の粘度増または一部凍結などによる燃料の供給量不足によるエンジンの自動停止と推定された。これまでも -5℃程度の気温を記録したことはあったが、エンジンの不調はなかった。今回はブルドーザを稼働させない日曜日をはさんだことで、燃料が完全に冷え切り、燃料の粘度増、一部凍結に至ったものと考えられた。なお、アイドリングにより車輻温度が上昇した後は、エンジンの停止トラブルは発生しなかった。以降の対策として、前日が休業日で低温状態であった場合や施工当日の明け方が低温状態であった場合には、通常より長めに（10分程度）建設機械のアイドリングを行うこととした。なお、振動ローラについては、外気温低下によるエンジン停止等のトラブルは発生していない。

7. おわりに

B100 はバスやトラック等の車両系においては、その利用例が多かったものの、バックホウやブルドーザ等、建設機械への利用例は比較的少ないのが現状であった。今回、建設機械への大量利用について、その有効性を実証できたことは、今後のバイオディーゼル燃料の拡大、およびそれに伴う CO₂ 削減の推進に、大いに役立つものと考えられる。ただし、現時点では本工事における計画総使用量の約 30% を使用したに過ぎず、今後も継続して建設機械の管理、品質管理等に注力し、更なる知見とノウハウを蓄積していく計画である。

一方、軽油の使用を想定した建設機械のエンジンは、排気ガス対策強化のため、今後ますます軽油使用に特化して最適化が施されていくことが予想される。これは、バイオディーゼル燃料を扱う際において、軽油と

の特性差がより大きな不具合リスクになる面があり、今後の解決すべき課題であるといえる。

謝 辞

本工事における B100 の導入に際し、発注者である中日本高速道路(株)様、B100 の供給者である(株)レポインターナショナル様からは、絶大なるご支援を頂きました。ここに記して深く感謝申し上げます。

JICMA

《参考文献》

- 1) 京都メカニズム情報プラットフォーム
(<http://www.kyomecha.org/info/glossary.php?i=H02>)
- 2) (株)レポインターナショナル：バイオディーゼル燃料
(<http://www.e-revo.jp/bdf/index.html>)
- 3) 国土交通省自動車交通局：高濃度バイオディーゼル燃料等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/report/press/jidosha10_hh_000025.html)
- 4) (株)レポインターナショナル (<http://www.e-revo.jp/index.html>)
- 5) 北村佳則、藤岡一頼、内山恵一、西尾貴至、中島 聡：ローラ加速度応答法を用いた道路路床の品質管理に関する研究（その 2）、地盤（土質）工学研究発表会概要集、pp.1345-1346、2004
- 6) 全国バイオディーゼル燃料利用推進協議会：バイオディーゼル燃料の製造・利用に係るガイドライン、12p、2010
- 7) 関東バイオエナジー(株) (<http://www.kanto-bio-energy.com/top.html>)
- 8) バイオマスジャパン(株) (<http://www.biomassjapan.jp/>)

【筆者紹介】

齊藤 栄一（さいとう えいいち）

(株)間組

技術・環境本部環境部 温暖化対策プロジェクト推進室
室長



長谷川 博一（はせがわ ひろかず）

(株)間組

名古屋支店 土木部 岡崎作業所
課長



副島 幸也（そえじま こうや）

(株)間組

土木事業本部 機電部
課長

