

本調査は、独立行政法人鉄道建設・運輸施設
整備支援機構が阪神内燃機工業株式会社に
委託して実施したものである。

A 重油使用ディーゼルエンジンにおける バイオ燃料の利用可能性に関する検証 (概要版)

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構
2022 年 3 月

A重油使用ディーゼルエンジンにおける バイオ燃料の利用可能性に関する検証 — 検証報告 —

検証概要

- ゼロエミッションに向けた地球温暖化対策の強化に伴い、今後急速な普及も想定されるバイオ燃料の内航船への利用促進の可能性を探るため、A重油使用ディーゼルエンジンにおけるバイオ燃料の活用可能性に関する検証を実施する。
- 本検証は（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構（以下、JRTT）が阪神内燃機工業株式会社（以下、当社）に依頼したもので、混合安定性試験は海上技術安全研究所（以下、NMRI）へ委託し、陸上試験は当社で実施した。

I . 次世代バイオディーゼル燃料と混合安定性等に係る各種試験

- 次世代バイオディーゼル燃料とA重油の混合安定性等に係る各種試験として、NMRIで実施した。
(i) 混合安定性試験、(ii) 動粘度および密度の計測、(iii) ゴム材料の浸漬試験、(iv) 定容燃焼試験
- 本試験におけるバイオ混合燃料には、ユーグレナバイオディーゼル燃料のプレ商業品（20%バイオ燃料と80%軽油の混合燃料、以下「バイオ混合燃料」という）を使用する。
- 混合安定性試験や定容燃焼試験に使用するA重油として、下表に示す3種類を準備した。
- 比較用のバイオ混合燃料（100%）と3種類のA重油（100%）およびそれらの混合油（バイオ混合燃料の質量割合：10%、25%、50%、75%）を準備する。
- これらのサンプル油を用いて、混合安定性試験、動粘度・密度の計測、ゴム材料の浸漬試験、定容燃焼試験を行った。

試験に使用したサンプル油

整理No.	B※1	H※2	N1※2	N2※2
入手	ユーグレナ	阪神内燃機	海技研	海技研
油種	バイオ混合燃料	LSA	LSA	LSA
製油所※1		コスモ	エネオス	エネオス
流動点 [℃]	-20.0	-7.5	-32.5	-27.5
硫黄 [%] ※2	0.0005	0.44	0.067	0.079
動粘度 [mm ² /s] ※2	3.504 (30℃)	2.845 (50℃)	2.630 (50℃)	2.680 (50℃)
密度 (15℃) [g/cm ³] ※2	0.8179	0.8718	0.8682	0.8704

※1：分析報告書の値，※2：代表性状表の値

混合油の整理記号

A重油 (100%)	混合割合				バイオ混合燃料 (100%)
	10%	25%	50%	75%	
H	HB10	HB25	HB50	HB75	B100
N1	N1B10	N1B25	N1B50	N1B75	
N2	N2B10	N2B25	N2B50	N2B75	

NMRI報告より抜粋

(i)混合安定性試験

混合安定性試験内容

- バイオ混合燃料とA 重油の混合比を変えた混合油の混合安定性を確認するため、これらの燃料を混合した後、0℃、常温（20～30℃）、55℃および80℃の条件で保持し、混合安定性の時間経過による変化をスポットテストにより確認する。



混合安定性試験

混合安定性試験のまとめ

- ① バイオ混合燃料とA重油の混合油の混合安定性試験を行った結果、バイオ混合燃料の混合割合0～100%の範囲において、混合直後～200h、温度0～80℃の範囲において、安定性に問題はないと評価される。
- ② 混合安定性試験の結果より、バイオ混合燃料およびバイオ混合燃料とA重油の混合油は、従来のA重油炊きディーゼルエンジンにおいて、スラッジ発生等の不具合は生じにくいと考えられる。

(2) 試験結果【100h, 温度55℃】

	0%	10%	25%	50%	75%	100%	
H							B
N1							B
N2							B
備考	● 初期状態の結果との違いを確認できない。 ● いずれも試料油を滴下したところにリング（内円）がまったく認められない（評価No.1）。安定性に問題ないと評価される。						

NMRI報告より抜粋

(ii)動粘度および密度の計測

動粘度および密度の計測

- バイオ混合燃料、A重油およびそれらの混合油の動粘度および密度を、温度0～100℃の範囲で計測する。
- 動粘度および密度の計測には、Anton Paar社製SVM 3001を使用する。



精密動粘度・密度計測器
SVM 3001 (Anton Paar社)

動粘度および密度の計測のまとめ

- ① バイオ混合燃料（100%）およびバイオ混合燃料とA重油の混合油の動粘度は、通常の燃料油と同様、JIS K 2283 附属書1に示される動粘度-温度チャートにおいて直線になる。
- ② バイオ混合燃料とA重油の動粘度が同程度の場合、混合油の動粘度も変わらない。バイオ混合燃料とA重油の動粘度が異なる場合、混合油の動粘度はその間となる。
- ③ バイオ混合燃料およびバイオ混合燃料とA重油の混合油の動粘度は、従来のA重油の性状からかけ離れることはなく、従来のA重油炊きディーゼルエンジンにおいて、従来と同様に使用できると考えられる。
- ④ バイオ混合燃料の密度は、今回使用したA重油の密度よりもやや低い。混合油の密度は、バイオ混合燃料とA重油の間となる。燃料油の密度が関連する船内で使用する機器としては、C重油使用時に用いる燃料清浄機などがあるが、A重油炊きディーゼルエンジンの使用においては影響がないレベルであると考えられる。
- ⑤ バイオ混合油およびA重油との混合油の流動点は0℃以下であり、寒冷地における使用も問題ないと考えられる。

NMRI報告より抜粋

(iii)浸漬試験

ゴム材料の浸漬試験

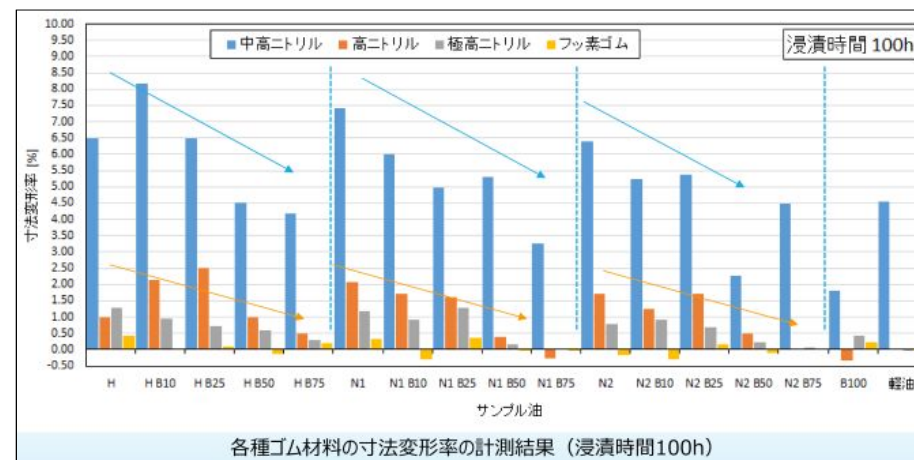
- 恒温槽を温度55℃に設定し、浸漬試験を行った結果を整理する。
- 定盤の上にゴム試験片を置き、アルミニウム合金製平板による一定加圧条件の下、デジタルマイクロゲージ（分解能1/1000mm）で寸法（厚さ）を計測する。
- ゴム試験片上の4点の寸法を計測をして平均値を求め、あらかじめ浸漬試験の前に個々の試験片において計測していた基準長さに対する変化率（寸法変化率）を算出する。



ゴム試験片の寸法計測

ゴム材料の浸漬試験のまとめ

- ① バイオ混合燃料、A重油およびそれらの混合油の浸漬試験の結果、中高ニトリルゴムの寸法変化率は大きく、極高ニトリルゴムおよびフッ素ゴムの寸法変化率は小さいことを確認した。
- ② A重油の性状によって寸法変化率は異なり、今回使用したA重油においては、A重油Hの寸法変化率はA重油N1、N2よりもやや大きい。
- ③ バイオ混合燃料の寸法変化率は、A重油よりも小さい。バイオ混合燃料とA重油の混合油の寸法変化率は概ねその間にある。
- ④ バイオ混合燃料およびバイオ混合燃料とA重油の混合油の寸法変化率はA重油よりも小さいため、ゴム材料はバイオ混合燃料の影響を受けにくいと考えられる。したがって、従来のA重油炊きディーゼルエンジンおよびそれらの配管系統などのゴム材料は、従来と同様に使用できると考えられる。



NMRI報告より抜粋

(iv)定容燃焼試験

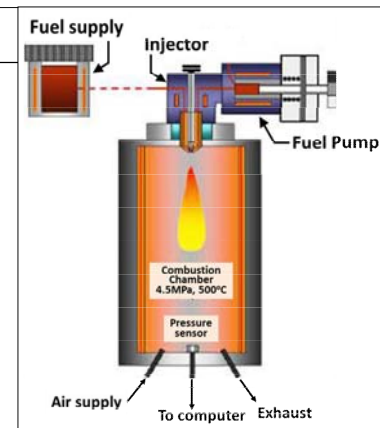
定容燃焼試験

- Fuel Combustion Analyzer (FCA) による各種燃料の定容燃焼試験を実施した (IP541/06に準拠)。
- 約600mLの定容容器内の空気が温度810K、圧力4.5MPa (45bar) に到達したときに燃料を容器内に噴射し、圧力変化および圧力変化率の結果から着火遅れや燃焼時間、推定セタン価ECNなどを求める。

定容燃焼試験のまとめ

- ① バイオ混合燃料およびA重油を用いた定容燃焼試験を実施した結果、バイオ混合燃料の混合量を増加させると、着火性は向上することを確認した。
- ② いずれの条件においても、圧力上昇率 (熱発生率) の形状はほとんど変わらない。
- ③ バイオ混合燃料とA重油との混合では、推定セタン価は34.3、34.5、32.9(A重油)~49(バイオ100%)となり、バイオ混合燃料による着火への問題は生じなかった。
- ④ 燃焼後半および終了時期に関して、混合量の増加によって延長された。
- ⑤ 以上のことから、バイオ混合燃料によって、着火・燃焼は悪化しないことを確認した。

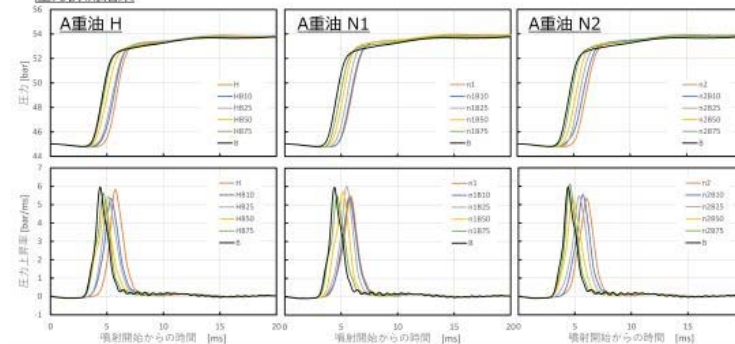
FIA-100 Fuel Combustion Analyzer



(3) 試験結果

➤ A重油との混合実験の結果

圧力計測結果



- バイオ混合燃料の混合が増すと着火が促進される。
- バイオ混合燃料の混合を変化させても、最大圧力 (最終的な圧力) は変わらない。すなわち、混合した燃料の発熱量はあまり変わらない。
- 圧力上昇率 (熱発生率と同等) のグラフ形状はほとんど変わらず、立ち上がりの時期のみ変化する。

NMRI報告より抜粋



HANSHIN DIESEL

(v)まとめ

- ① 混合安定性試験の結果より、バイオ混合燃料およびバイオ混合燃料とA重油の混合油は、従来のA重油炊きディーゼルエンジンにおいて、スラッジ発生等の不具合は生じにくいと考えられる。

※ 軽油を主成分とするバイオ混合燃料には、燃料タンクや燃料配管内に蓄積されているスラッジの洗浄効果があると想定される。すなわち、既に蓄積されていたスラッジによる配管やフィルタの詰まりには注意が必要である。

- ② バイオ混合燃料およびバイオ混合燃料とA重油の混合油の動粘度は、従来のA重油の性状からかけ離れることはなく、従来のA重油炊きディーゼルエンジンにおいて、従来と同様に使用できると考えられる。

- ③ バイオ混合燃料の密度はA重油よりもやや低いものの、A重油炊きディーゼルエンジンの使用において影響がないレベルであると考えられる。

※ バイオ混合燃料の使用時には、従来のA重油と同様の運用が必要である。例えば、C重油からの燃料切り替え時など、不慮の燃料油加熱による動粘度の低下などはエンジントラブルの要因となるので注意が必要である。

- ④ ゴム材料の浸漬試験を行った結果、バイオ混合燃料およびバイオ混合燃料とA重油の混合油の寸法変化率はA重油よりも小さいため、ゴム材料はバイオ混合燃料の影響を受けにくいと考えられる。したがって、従来のA重油炊きディーゼルエンジンおよび燃料配管などのゴム材料は、従来と同様に使用できると考えられる。

※ 一般に、A重油によるゴム材料の寸法変化率はC重油よりも大きい。一部の燃料移送ポンプなどではA重油使用が適さない場合があるので、バイオ混合燃料の使用時には従来のA重油時と同様の注意が必要である。

- ⑤ 定容燃焼試験の結果より、バイオ混合燃料による着火・燃焼の悪化は確認されなかった。すなわち、A重油炊きディーゼルエンジンにおけるバイオ混合燃料の使用は問題ないと考えられる。

NMRI報告より抜粋

Ⅱ．ディーゼルエンジンによる陸上試験

(1) 陸上試験の実施設備

阪神内燃機工業株式会社 LA32E-1 (1618kW/280min⁻¹)

(2) 陸上試験に使用する燃料

- 1) A重油 (100%)
- 2) 混合油 (バイオ混合燃料25%、A重油75%)
- 3) 混合油 (バイオ混合燃料50%、A重油50%)
- 4) 混合油 (バイオ混合燃料75%、A重油25%)
- 5) バイオ混合燃料 (100%)

(3) 陸上試験の内容

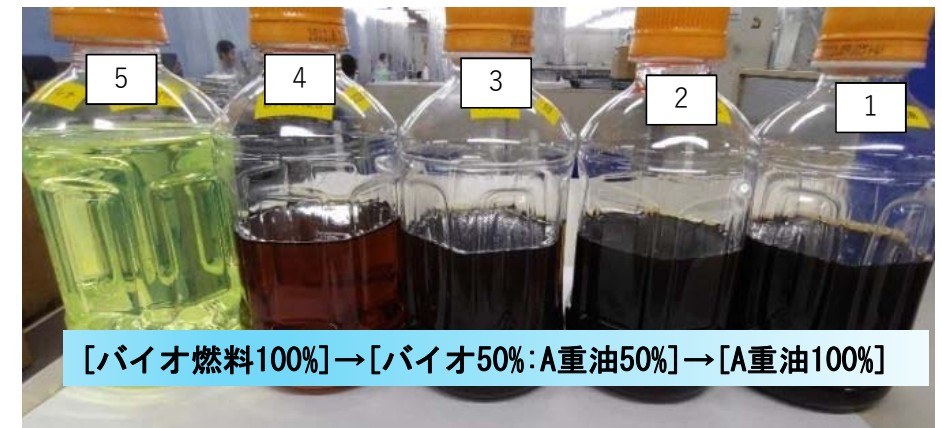
内燃機関における一般的な性能、排気ガスの成分
及び試験条件の計測を実施するとともに燃焼解析を行う

- 1) 船用特性 (プロペラ特性)---出力は回転数の3乗に比例
- 2) 陸用特性 (CPP特性)---回転数一定で出力変化

(4) 陸上試験後の各部の状況調査

- 1) 燃焼室
- 2) 噴射系統
- 3) 燃料系統
- 4) 排気系統

(5) 試験結果の比較・検証



(3)-1 陸上試験結果（舶用特性）

● バイオ混合燃料比率を変更した際の機関性能の変化率

・燃料消費率

100%負荷:-1.9~-0.6%

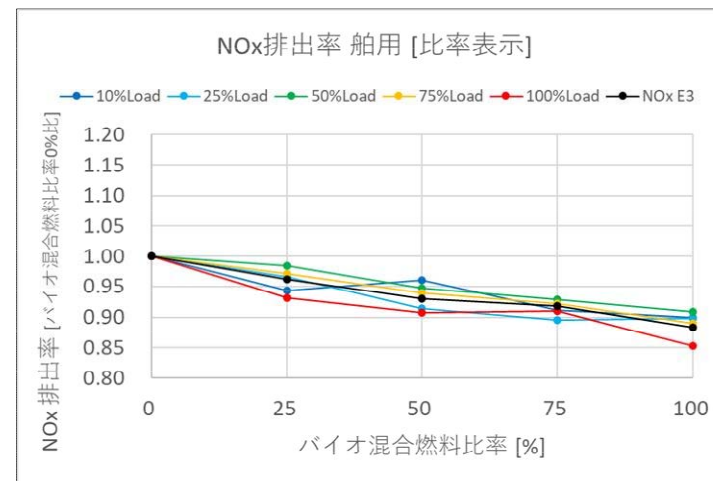
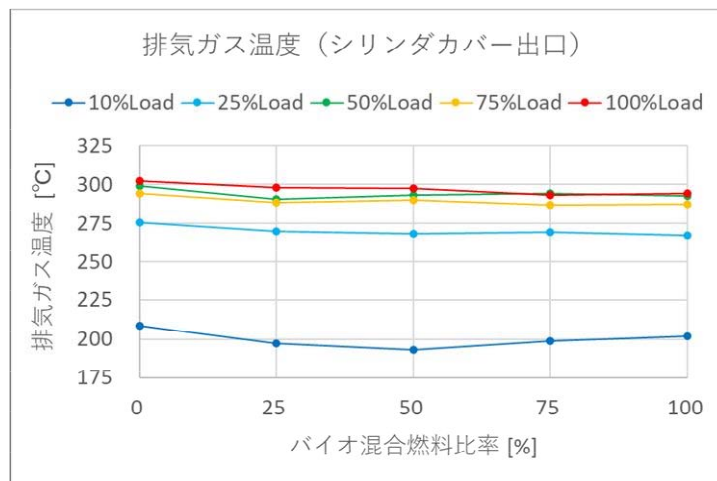
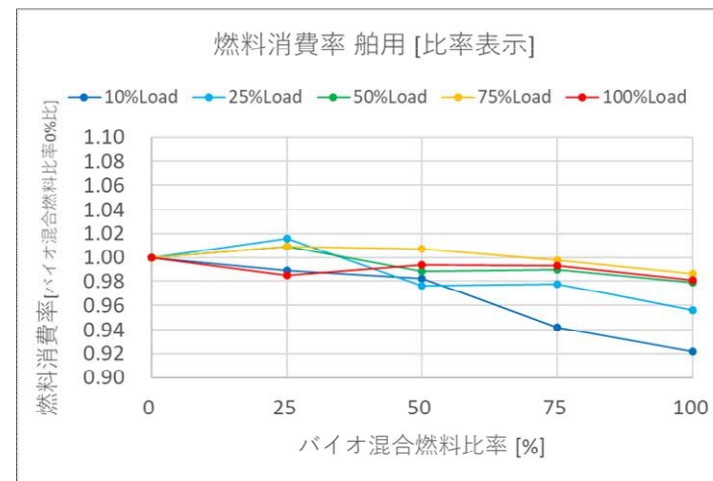
75%負荷:-1.4~+0.9%

・NOx排出率

NOx E3値:-11.7~-3.8%

・排気ガス温度、筒内最高圧、給気圧等

有意な差はない



(3)-2 陸上試験結果（陸用特性）

● バイオ混合燃料比率を変更した際の機関性能の変化率

・燃料消費率

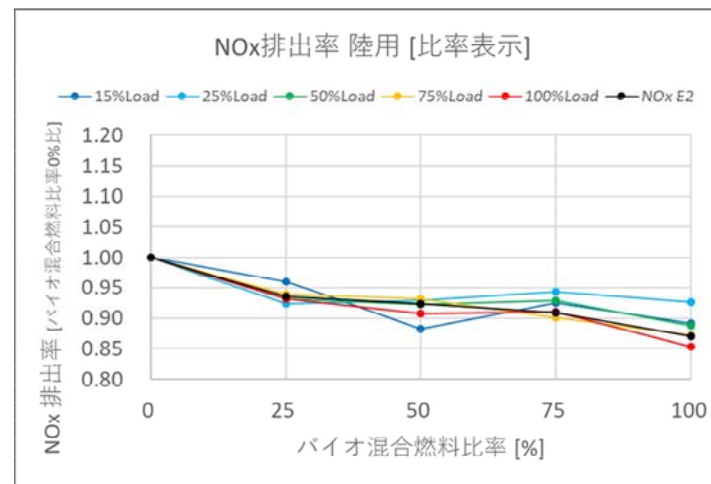
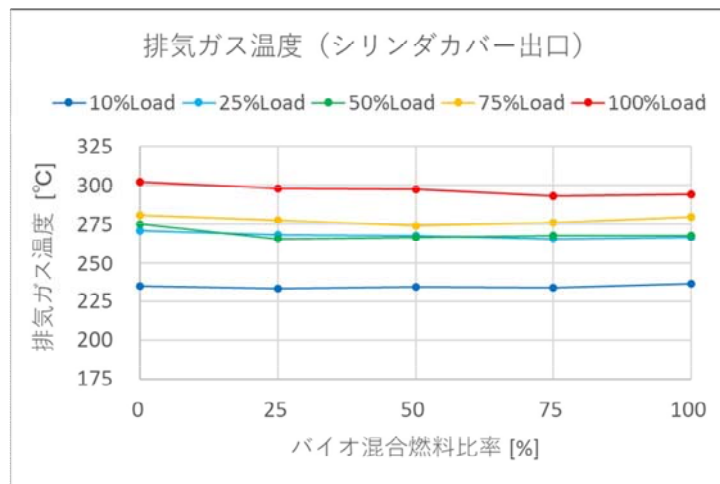
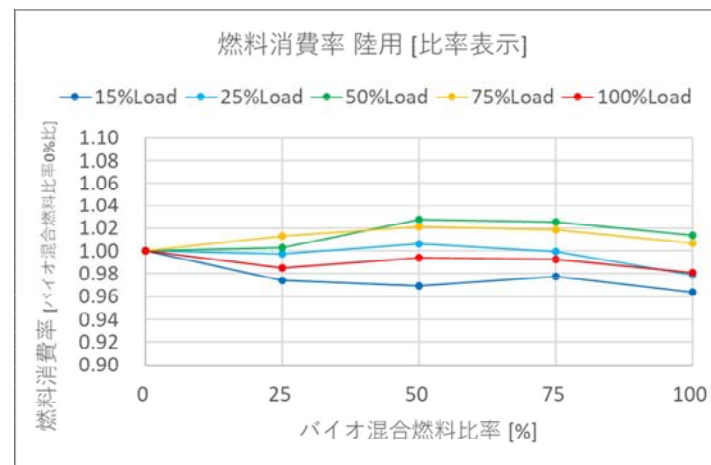
75%負荷: +0.7~+0.9%

・NOx排出率

NOxE2値: -13.1~-6.7%

・排気ガス温度、筒内最高圧、給気圧等

有意な差はない



(4) 陸上試験後の各部の状況調査

- 1) 燃焼室（ピストン、ピストンリング、シリンダライナ、シリンダカバー燃焼面）
- 2) 噴射系統（燃料ポンプ、燃料弁、ノズルチップ）
- 3) 燃料系統（燃料主管、枝管、パッキン、Oリング）
- 4) 排気系統（排気弁、シリンダカバー排気通路、過給機）



各部状況調査の結果異常なし

1) 燃焼室（ピストン）

試験前



試験後



(5) 試験結果の比較・検証

- 燃料消費率
機関負荷率100%では、バイオ混合燃料比率の増加に比例して低減傾向であった
その他の機関負荷率については増大と低減がみられた
- NOx排出率
バイオ混合燃料比率の増加に比例して低減した
- 排気ガス温度、給気圧力
有意な差はなかった
- 陸上試験後の各部の状況調査
いずれの部品にも異常は見られなかった
- 陸上試験において始動性、振動、発熱等の運転安定性に問題は発生しなかった

● 燃料消費率の変化率（バイオ混合燃料比率0%比）

	舶用特性	陸用特性
機関負荷率50%	-2.1～+0.9%	-0.3～+2.7%
機関負荷率75%	-1.4～+0.9%	+0.7～2.1%
機関負荷率100%	-1.9～-0.6%	

● NOx排出率の変化率（バイオ混合燃料比率0%比）

	舶用特性	陸用特性
NOx E3値 or E2値	-11.7～-3.8%	-13.1～-6.7%

Ⅲ. バイオディーゼル燃料の活用可能性の検討結果・まとめ

NMRIによる混合安定性・動粘度・浸漬・定容燃焼試験の結果、スラッジ発生等の不具合は生じにくく、ゴム材料への影響もA重油未満であり、着火・燃焼においても問題は見られなかった。ただし、軽油には洗浄効果があるため、すでに蓄積されているスラッジによる配管やフィルタの詰まりには注意が必要である。また使用中燃料と動粘度差がある場合は、エンジントラブル（燃料噴射ポンプのプランジャの摩耗、焼付等）の要因となる場合があるため注意が必要である。

陸上試験において、始動性・振動・発熱等の運転安定性に問題は発生しなかった。機関性能変化としてバイオ混合燃料比率の増加に比例して、NOx排出率の低減が確認された。また、運転後に機関分解し燃焼室等の状況を確認したが異常は確認されなかった。

以上より、A重油炊きディーゼルエンジンにおけるバイオ混合燃料の使用は問題ないと言える。ただし既出の通り、すでに蓄積されているスラッジおよび動粘度には注意が必要である。一例として、当社の動粘度基準を示す。

● 動粘度基準

	A重油	バイオ混合燃料
燃料油動粘度基準	当社基準 機関入口で2[cSt]以上確保のこと	
燃料油使用可能温度	72℃以下	60℃以下

※NMRI報告の動粘度計測結果より