

バイオ燃料関連の試験結果 ～ジャトロファBDF陸上試験結果【中間報告】～

目次

1. はじめに
2. 試験に使用する燃料油
3. 動粘度・密度の計測
4. 混合安定性試験
5. ゴム材料の浸漬試験
6. 陸上エンジン試験
7. まとめ

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所

1. はじめに

- 船舶燃料油として利用可能性のあるバイオ燃料について、船舶利用時の技術的な観点による評価の検証を行う（2022年度国交省事業）。
- バイオ燃料は従来から使用されている船用重油（A重油，高硫黄C重油HSC，低硫黄C重油LSC）と混合して使用されることが想定される。
- 陸上試験では、幅広い条件で燃料を混合し、基本的な燃料特性の計測・評価を行う。

No.	試験・評価項目	陸上試験	実機試験
①	性状（動粘度、密度、流動点等）	○	
②	燃焼性の特性	(○)	○
③	バイオ燃料と重油の混合安定性、スラッジの発生状況	○	○
④	エンジン等のエンジンルーム内の機器の腐食、劣化に及ぼす影響 【陸上試験ではゴム材料の浸漬試験を実施】	○	○
⑤	燃費		○
⑥	排出ガスの成分		○
⑦	燃料油の切替え及びバンカリング時における影響		⊖

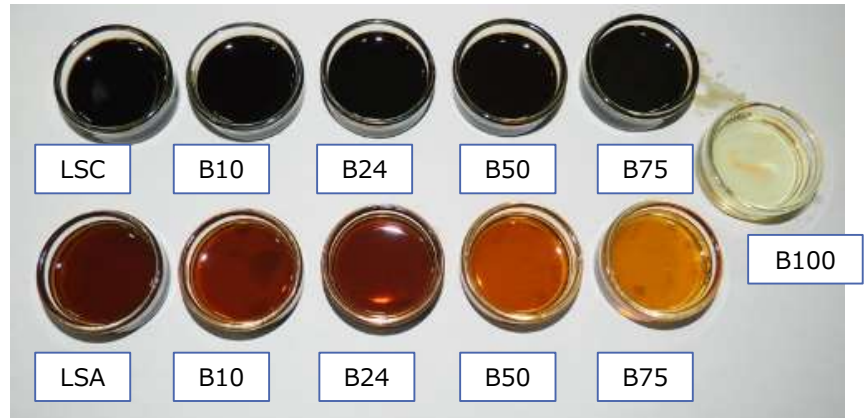
※ ジャトロファBDFの試験では、実船試験は行わず、基本的な陸上試験と陸上エンジン試験を実施する。

※ 試験装置の不具合があり、現時点で定容燃焼装置（FCA）による試験は実施されていない。

2. 試験に使用する燃料油

- 各種試験に使用する燃料油（A重油，LSC，バイオ燃料，それらの混合油）は下表の通りである。

※ 別途実施しているFAMEを使用した試験と整合を取るため、とよふじ丸から採取したLSCを使用する。



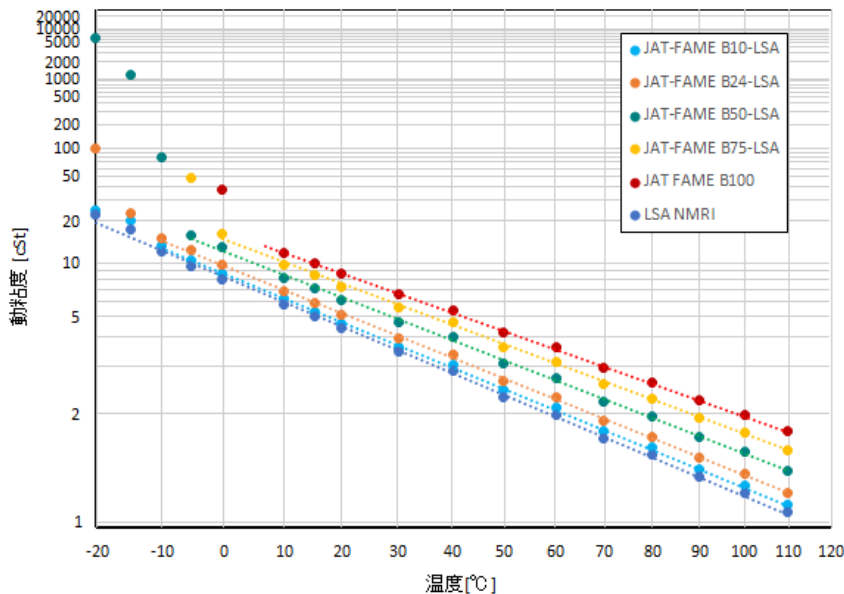
種類・項目	A重油	LSC	LSC-ジャトロファ混合油 (A重油-ジャトロファ混合油)				バイオ燃料 B100 (ジャトロファ)
			B10	B24	B50	B75	
動粘度@50℃ [cSt]	2.29	28.0	21.1 (2.42)	14.8 (2.63)	8.55 (3.10)	5.82 (3.63)	4.23
密度@15℃ [g/cm ³]	0.8562	0.9656	0.9578 (0.8593)	0.9469 (0.8633)	0.9258 (0.8707)	0.9056 (0.8781)	0.8853
硫黄濃度 [%]	0.0708	0.4298	0.3495 (0.0646)	0.3335 (0.0581)	0.2274 (0.0461)	0.1233 (0.0438)	0.0253
総発熱量 [J/g]	45,260	41,010	---	---	---	---	---
備考	海技研で 使用している LSA。	2022年7月 末にとよふじ 丸より採取し たLSC。					南国殖産殿 より提供いた だいたサンプル 油。

※ 括弧内の数値はA重油-ジャトロファ混合油である。 ※ 総発熱量を除き、海技研における計測値である。

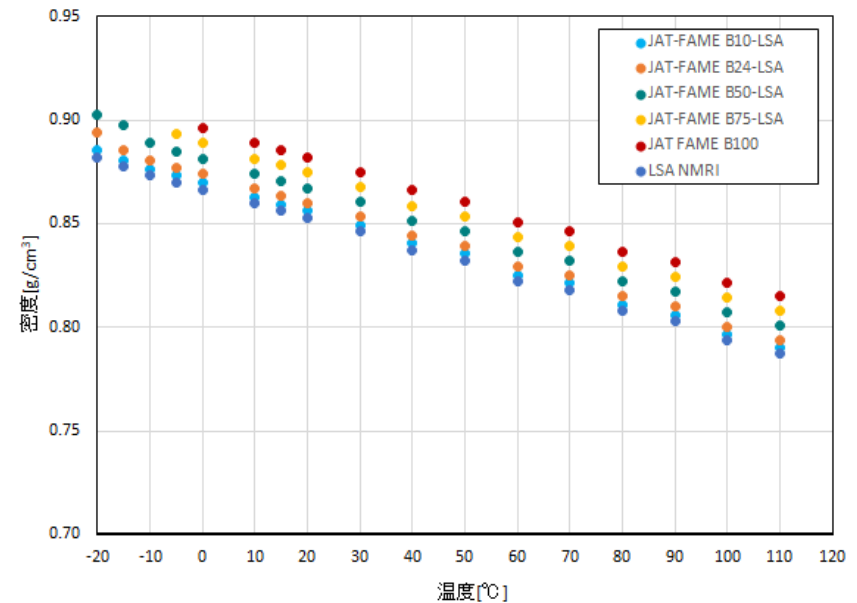
3. 動粘度・密度の計測

- バイオ燃料ジャトロファとLSA（A重油）の混合油について、動粘度および密度の計測を行った。
- B100の動粘度および密度はLSAよりも高く、ジャトロファとLSAの混合油はその間となる。
- 温度0～10℃以上におけるジャトロファ（B10～B100）の動粘度は、温度-動粘度チャートにおいて直線で表される。

※ 現状、流動点の計測は行っていないが、0℃以下の動粘度の傾きが変化しているため、各燃料油の流動点は0～-10℃以下であると考えられる。



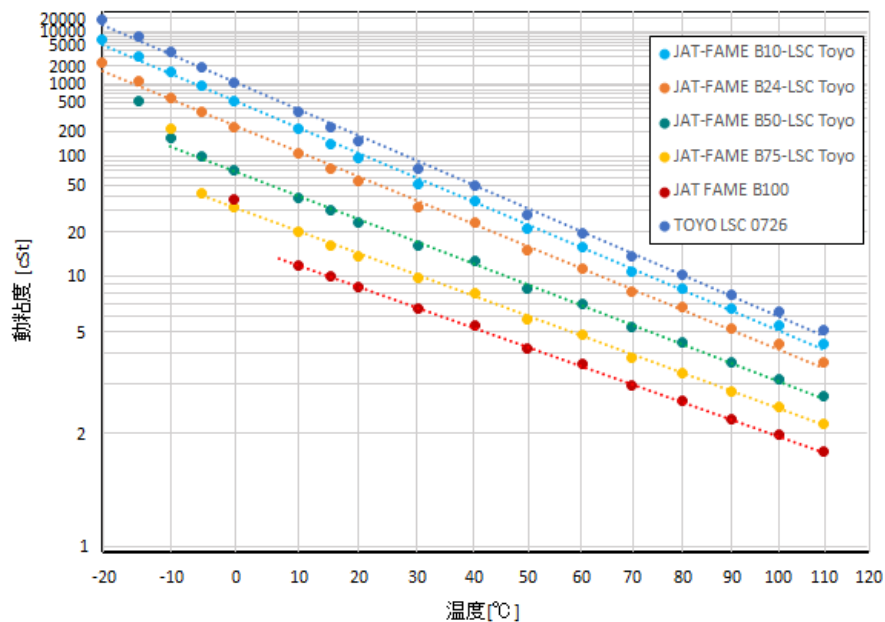
(a) 動粘度（ジャトロファ-A重油）



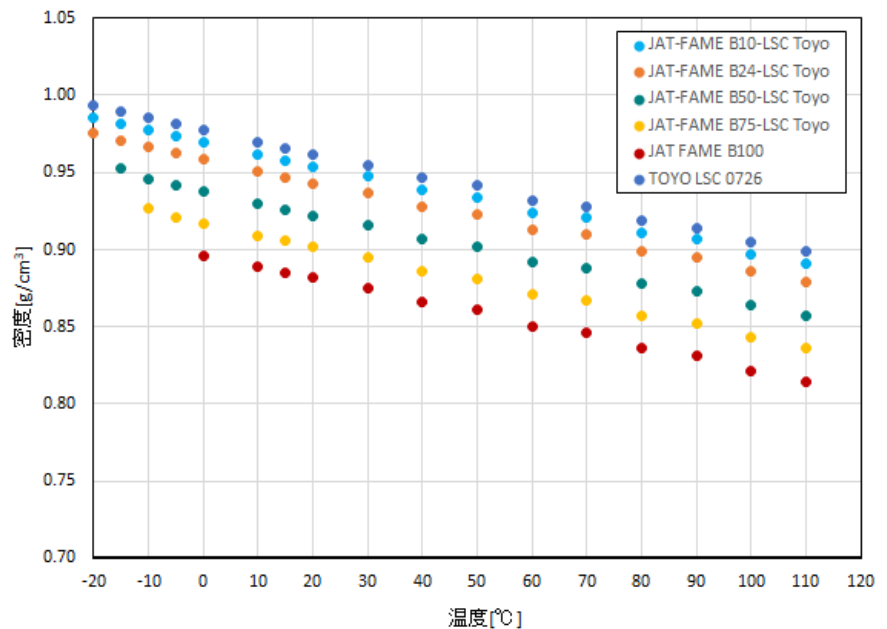
(b) 密度（ジャトロファ-A重油）

3. 動粘度・密度の計測

- バイオ燃料ジャトロファとLSC（低硫黄C重油）の混合油について、動粘度および密度の計測を行った。
- バイオ燃料B100の動粘度および密度はLSCよりも低く、ジャトロファとLSCの混合油はその間となる。



(a) 動粘度（ジャトロファ-LSC）

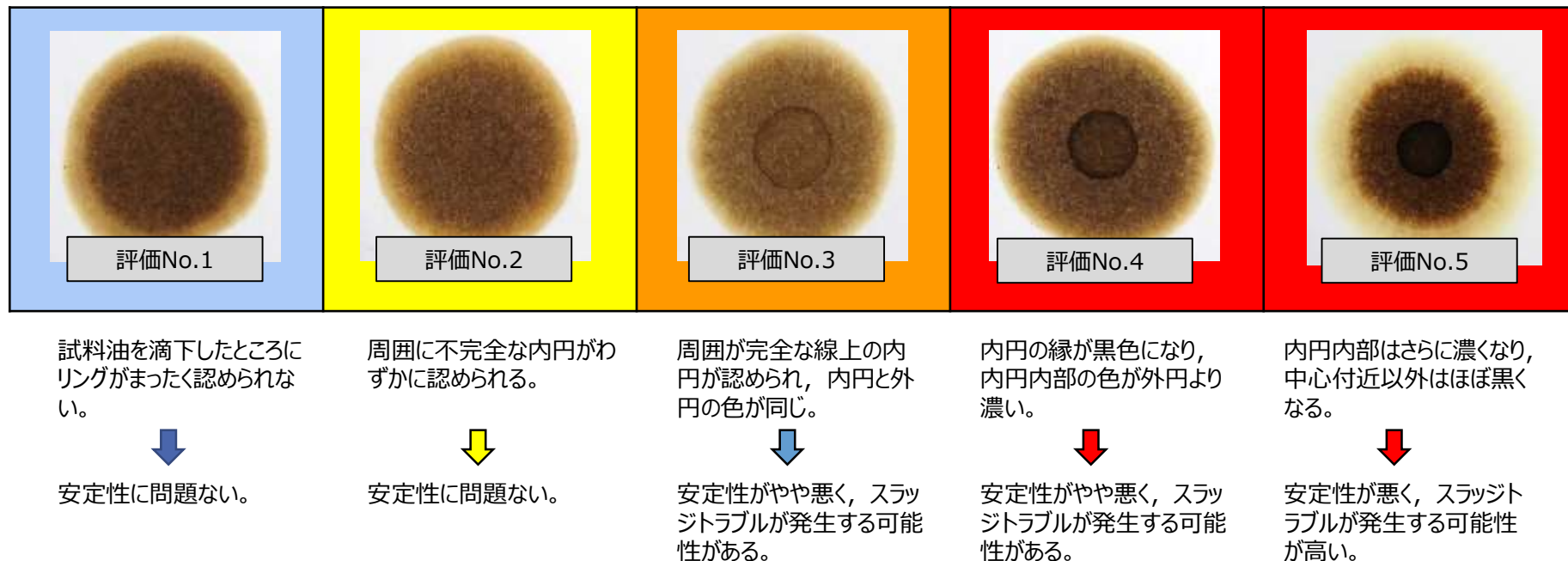


(b) 密度（ジャトロファ-LSC）

4. 混合安定性試験

(1) スポットテストの概要

燃料油のスポットテスト評価 ASTM D4740



【参考】試験方法



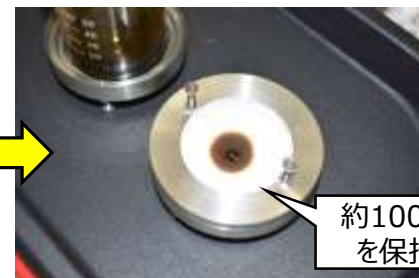
決められたろ紙（5B）を準備する。



サンプル油とろ紙を約100℃に加熱する。



サンプル油を1滴だけ落とす。



約100℃を保持

4. 混合安定性試験

(2) 試験方法

- スポットテストにより、バイオ燃料と重油（LSC, LSA）の混合比を変えたときの混合安定性を確認する。
- 船内での長時間の貯蔵を想定して、異なる温度条件において、混合後の長期変化を調べる。

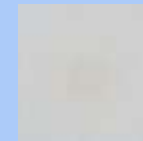
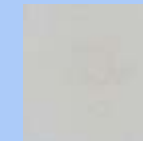
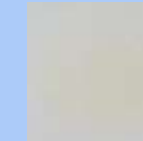
試験方法の概要

No.	試験 (温度条件)	概要	備考
(1)	常温	● バイオ燃料と重油を混合した後、直ちに試験を開始する。 ● 安定性試験に使用する混合油は少量である。短時間ではあるが、スポットテスト毎に約100℃までの加熱を繰り返して行う（常時、常温保管をしたサンプル油ではない）。	LSCは実船より採取した燃料である（他のバイオ燃料と同じ）。採取後、陸上で長期に常温保存していた燃料である。
(2)	80℃	● バイオ燃料と重油を混合した後、直ちに試験を開始する。 ● 安定性試験に使用する混合油は少量である。スポットテスト毎に約100℃まで加熱し、試験終了後は80℃に加熱した恒温槽内で保管する。	
参考	55℃	● バイオ燃料と重油を混合した後、常温状態において約1ヶ月間保管したサンプル油であり、参考データとする。	後述のゴム材料浸漬試験と同じ時期に実施する。

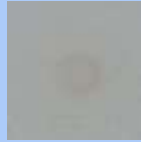
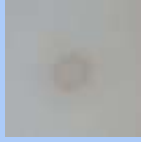
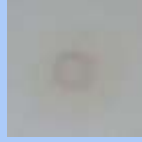
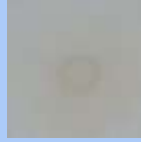
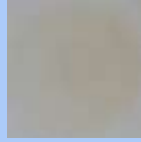
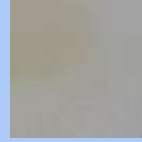
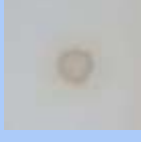
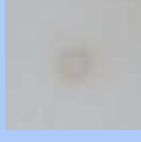
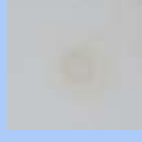
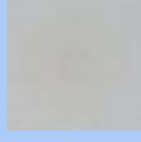
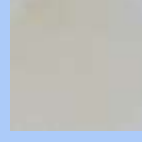
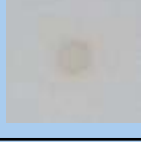
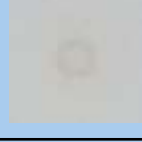
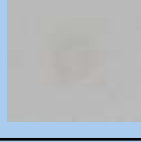
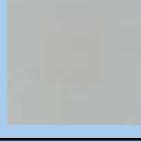
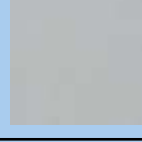
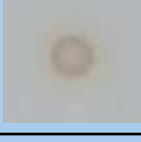
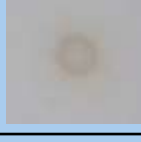
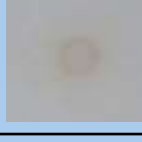
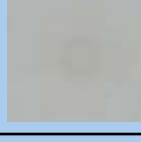
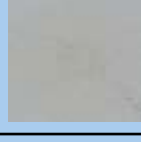
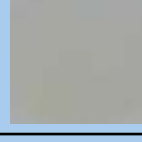
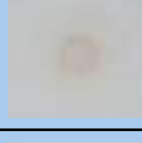
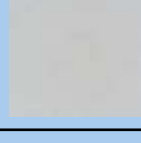
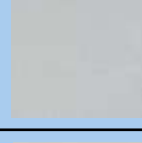
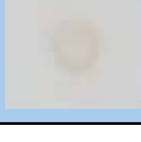
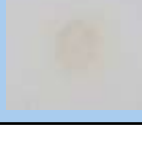
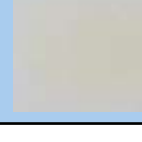
4. 混合安定性試験

(3) 試験結果の概要

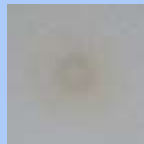
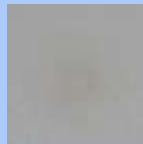
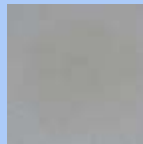
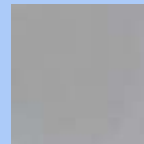
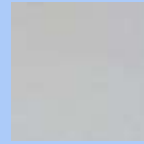
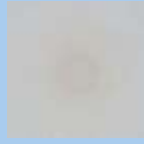
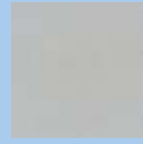
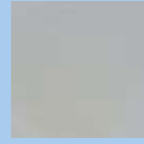
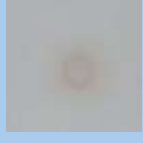
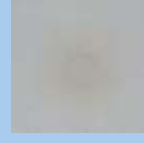
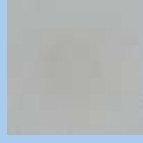
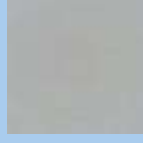
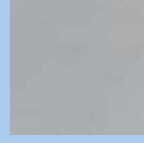
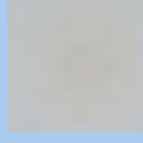
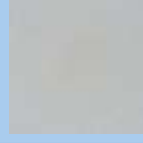
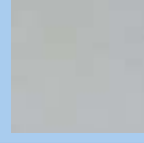
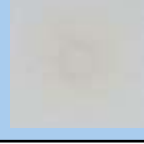
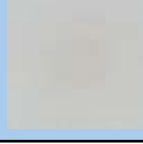
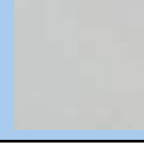
- ジャトロファとA重油の混合油の混合安定性は、本試験範囲内においてすべて問題ないと判断される。
- ジャトロファとLSCの混合油の混合安定性は、時間経過や保管状態によって悪化し、保管温度が高いほど悪化の度合いが大きいように見受けられる。ただし、LSC単体の安定性も悪化するため、ジャトロファとの混合が原因であるかは判断できない。

	LSA	B10	B24	B50	B75	B100	
A重油 常温・500h							すべて評価 No.1であり、 安定性に問題 ないと判断され る。
	LSC	B10	B24	B50	B75	B100	
LSC 常温・500h							やや安定性の 悪化が進んでい る。
LSC 80℃・500h							B0 (LSC) ~ B75の悪化が 確認される。

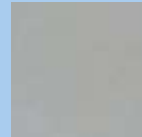
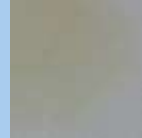
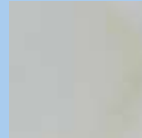
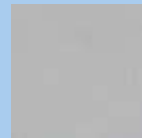
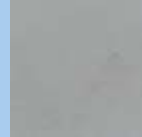
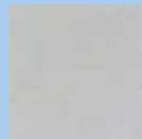
(a) LSA-ジャトロファ, 常温貯蔵 (テスト時加熱)

時間	LSA	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
50h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
100h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
200h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
300h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
400h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
500h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。

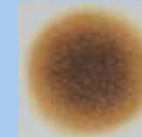
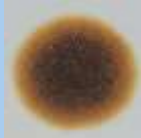
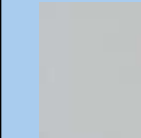
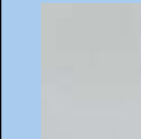
(c) LSA-ジャトロファ, 80℃恒温槽

時間	LSA	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
50h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
100h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
200h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
300h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
400h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
500h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。

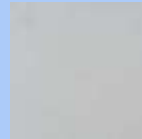
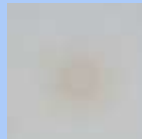
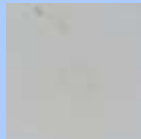
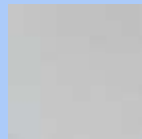
(c) LSC-ジャトロファ, 常温貯蔵 (テスト時加熱)

時間	LSC	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							B50～75は評価No.2, それ以外は評価No.1である。
50h							全体的に内円がはっきりとしてきているが, 前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。
100h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。
200h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。
300h							やや安定性の悪化が進んでいる。
400h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。
500h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。

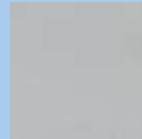
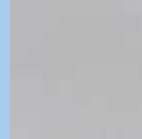
(d) LSC-ジャトロファ, 80℃恒温槽

時間	LSC	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							B50～75は評価No.2, それ以外は評価No.1である。
50h							B75などがやや悪化している。
100h							全体的に悪化が確認される。前回の計測と比べて、大きい変化は確認できない。
200h							悪化が進んでいるように見受けられる。
300h							B24～B75の悪化が確認される。
400h							悪化が進んでいるように見受けられる。
500h							B0 (LSC) ～B75の悪化が確認される。

【参考】LSA-ジャトロファ, 55℃恒温槽

時間	LSA	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
100h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
200h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。

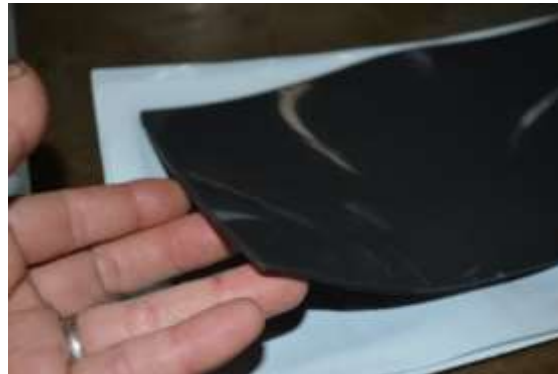
【参考】LSC-ジャトロファ, 55℃恒温槽

時間	LSC	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							B75は評価No.2, それ以外は評価No.1である。
100h							B50とB75は評価No.2～3, それ以外は評価No.1である。
200h							前回の計測と大きくは変わらない。

5. ゴム材料の浸漬試験

(1) ゴム材料の試験片

- 3種類のゴム材料（厚さ約2mm）を準備した（下表参照）。
- 以下の浸漬試験においては、JIS K 6258を参考として、厚さの寸法変化を計測した。



準備したゴムシート



切り出したゴム試験片

浸漬試験に用いたゴム試験片

整理記号	A	B	D
種類	中高ニトリルゴム (中高NBR)	高ニトリルゴム (高NBR)	フッ素ゴム (FKM)
アクリロニトリル 含有量	31～35%※	36～42%※	---
備考	一般的なニトリルゴム	一部の燃料移送ポンプに 使用されている材料	耐熱性、耐油性が高い 材料

※ 資料（<https://www.packing.co.jp/GOMU/GOMU1/nbr.htm>）の参考値であり、ゴム試験片の計測値ではない。

5. ゴム材料の浸漬試験

(2) 試験方法

(a) 試験環境

- 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。



恒温槽



恒温槽内の試験片

(b) 寸法計測

- 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寸法変化率を算出する。



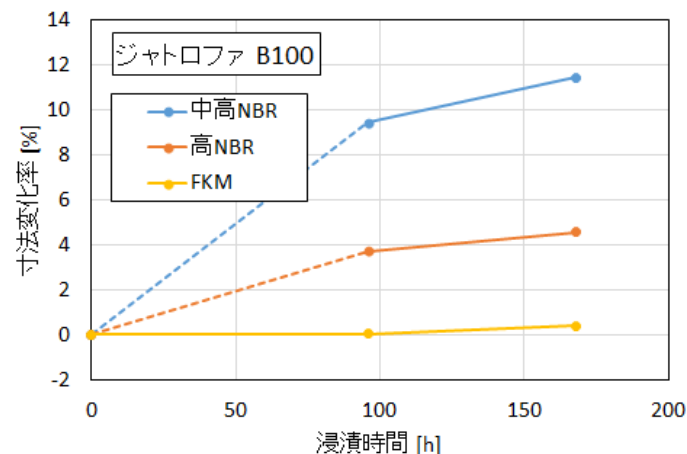
ゴム試験片の寸法計測

5. ゴム材料の浸漬試験

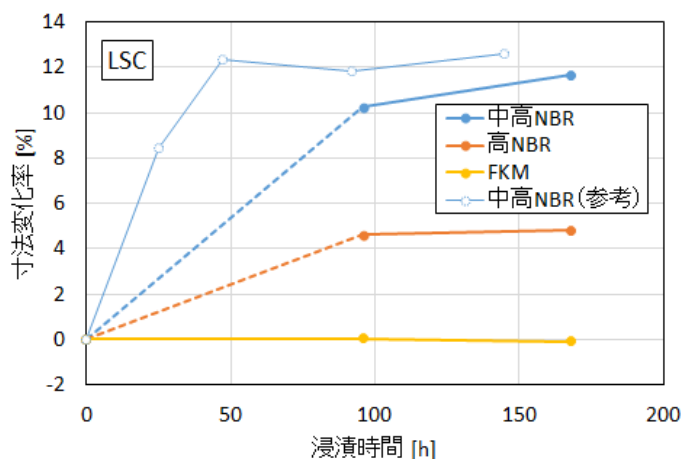
(3) 時系列変化

- 各燃料油における浸漬試験の寸法変化は、浸漬時間50～100時間程度で概ね安定する。
- 中高ニトリルの寸法変化は大きく、高ニトリルおよびフッ素ゴムの寸法変化は小さい。

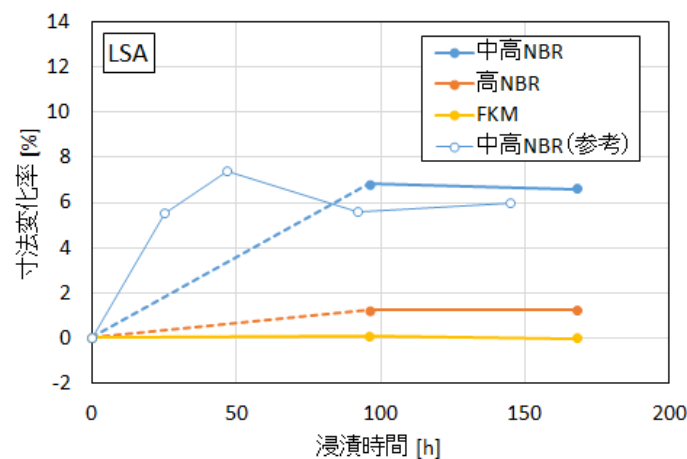
※ LSCおよびLSAにおける浸漬試験の寸法変化は、別途実施した結果とほぼ同程度である（下図の参考）。



(a) ジャトロファ（B100）の時系列変化



(b) LSCの時系列変化

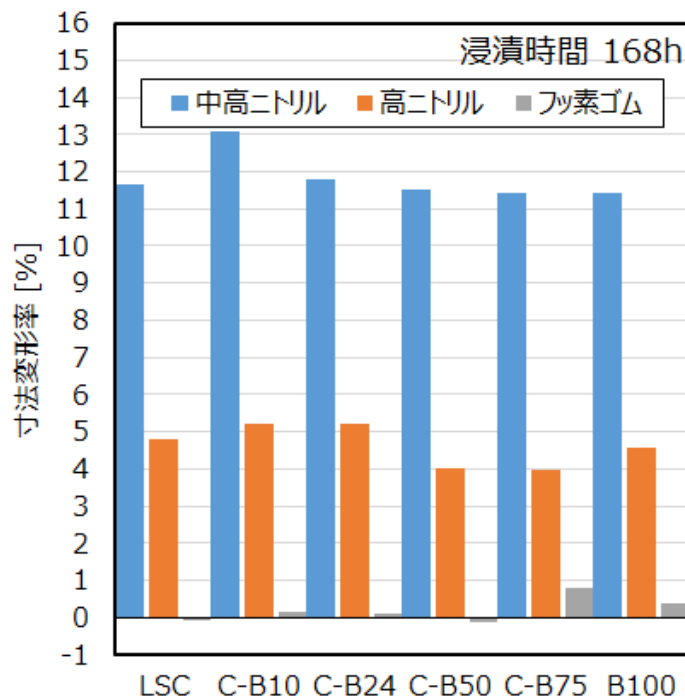


(c) LSAの時系列変化

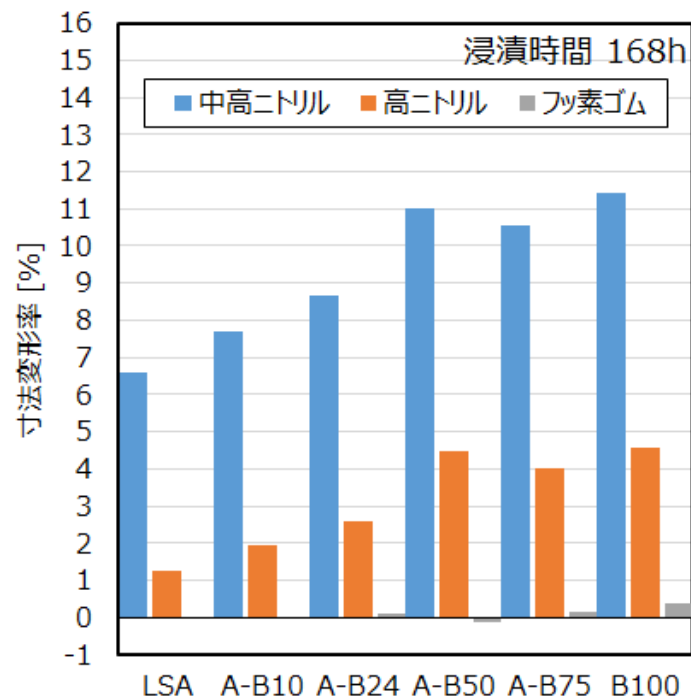
5. ゴム材料の浸漬試験

(4) 試験結果

- 中高ニトリルおよび高ニトリルにおけるジャトロファ（B100）の寸法変化率は、LSCと同程度であり、LSCとの混合油の寸法変化率もほぼ同程度である。
- 中高ニトリルおよび高ニトリルにおけるジャトロファ（B100）の寸法変化率は、LSAと比べて大きい。LSAとの混合油の寸法変化率はその間にある。
- フッ素ゴムにおけるジャトロファ（B100）並びに混合油の寸法変化はほとんど確認できない。



(a) LSCとジャトロファの混合油



(b) LSAとジャトロファの混合油

6. 陸上エンジン試験

(1) 小型ディーゼルエンジン発電機

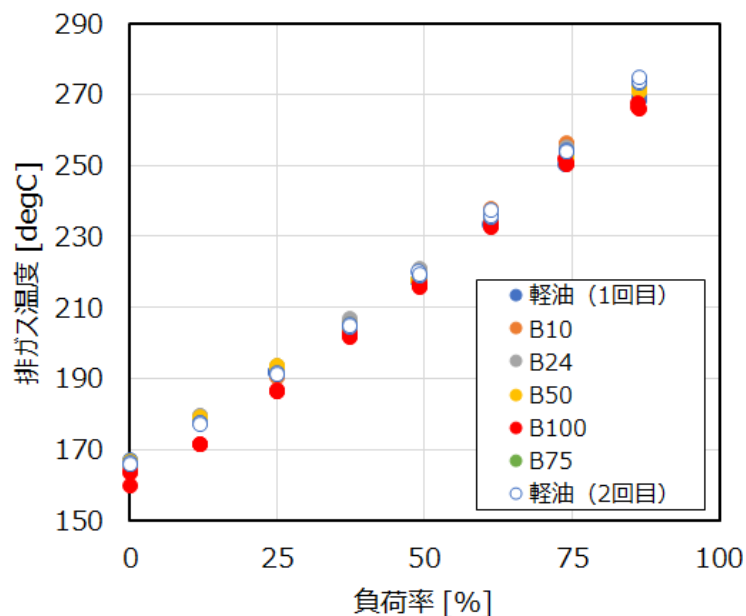
- ジャトロファの入手量が少なかったこともあり、定格発電出力3kWの小型ディーゼルエンジン発電機による簡易的な運転試験を実施する。
- 計測項目は、発電出力に対する排ガス温度、排ガス成分（NO_x, CO, CO₂）であり、燃焼圧力波形等の詳細な計測は行わない。
- 本エンジンの仕様に合わせて、軽油とジャトロファの混合油（B0～B100）を使用する。
- 通常の軽油を使用した際のデータを計測し、バイオ燃料使用時と比較する。

項目	ディーゼルエンジン
定格発電出力	3000W（AC100V 3.1kVA）
エンジン形式	水冷2気筒ディーゼル式（自然吸気）
発電機型式	デンヨー DA-3100SS-IV
燃料	軽油
排気量	400cc
定格回転数	3000min ⁻¹
外観	
備考	・エンジン：クボタ製Z402（5.5kW） ・燃料タンク：15L

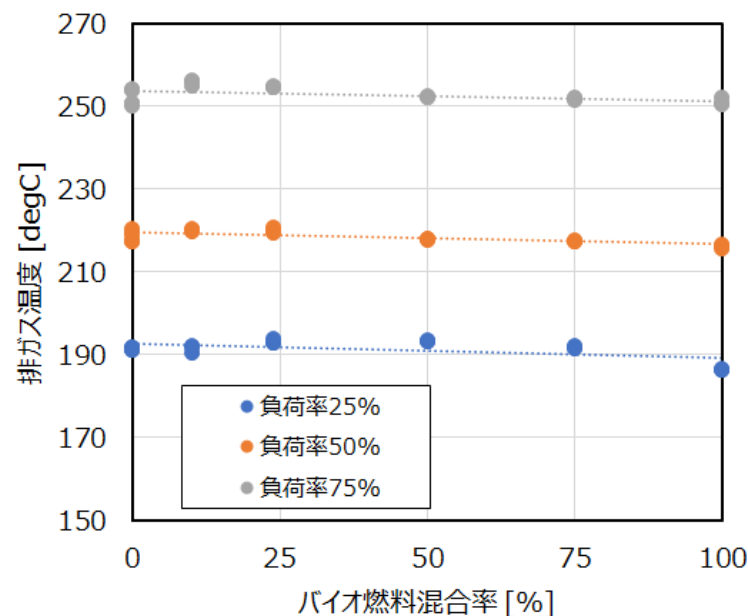
6. 陸上エンジン試験

(2) 排ガス温度

- 排ガス温度は、負荷率の上昇にしたがって増加する。
- 排ガス温度は、バイオ燃料混合率の影響をほとんど受けていない。



(a) 負荷率に対する排ガス温度

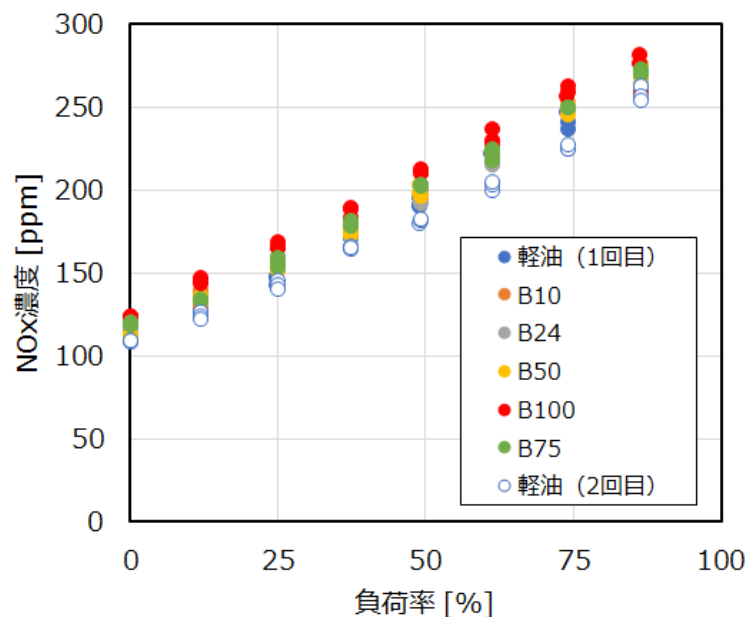


(b) バイオ燃料混合率に対する排ガス温度

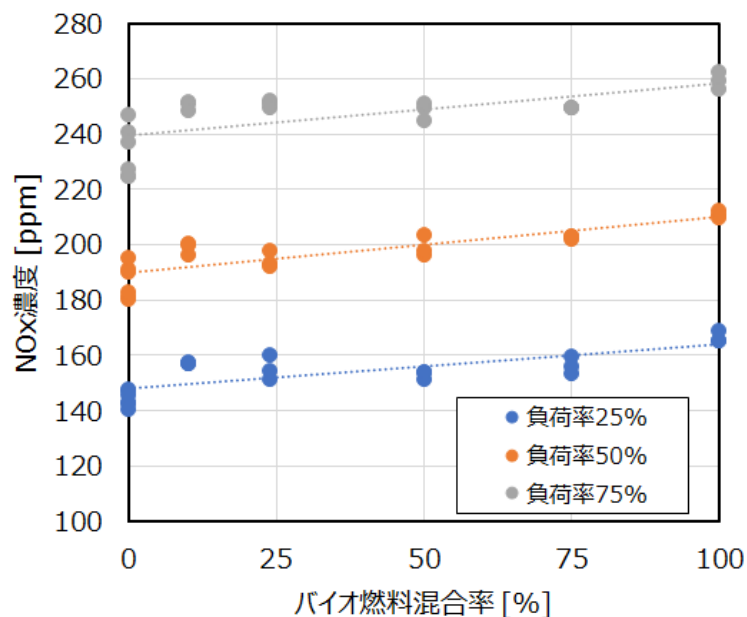
6. 陸上エンジン試験

(3) NOx濃度

- 排ガス中のNOx濃度は、負荷率の上昇にしたがって増加する。
- NOx濃度は、バイオ燃料混合率の上昇にしたがって、わずかに上昇する傾向がある。



(a) 負荷率に対するNOx濃度

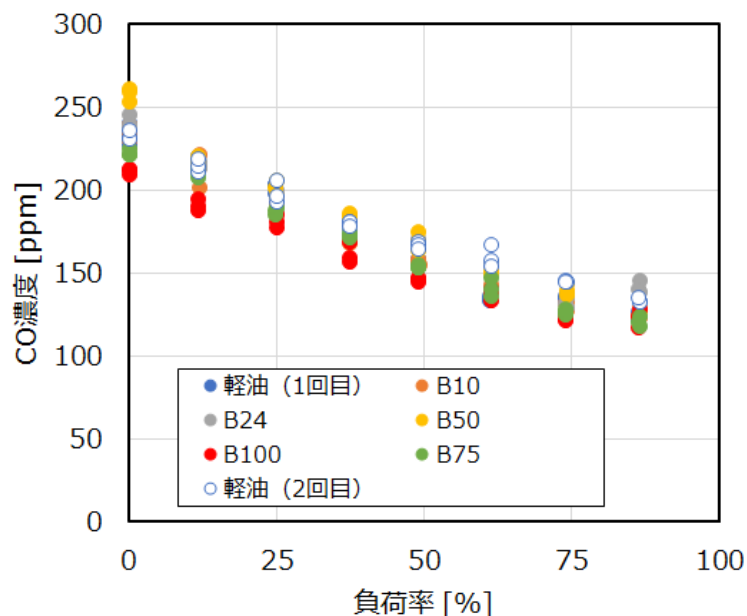


(b) バイオ燃料混合率に対するNOx濃度

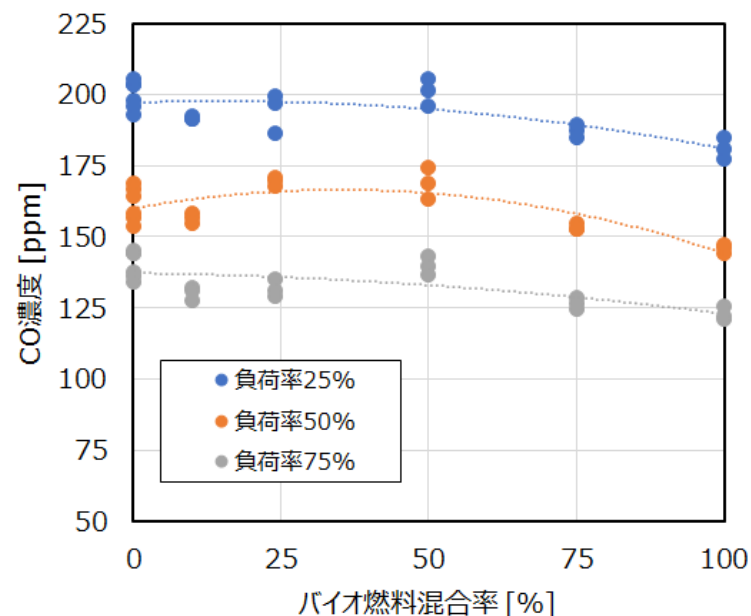
6. 陸上エンジン試験

(4) CO濃度

- 排ガス中のCO濃度は、負荷率の上昇にしたがって低下する。
- CO濃度は、バイオ燃料混合率の影響をほとんど受けない。(計測データのばらつきがやや大きいものの、バイオ燃料混合率の上昇に伴って、わずかに低下する傾向があるように見受けられる。)



(a) 負荷率に対するCO濃度

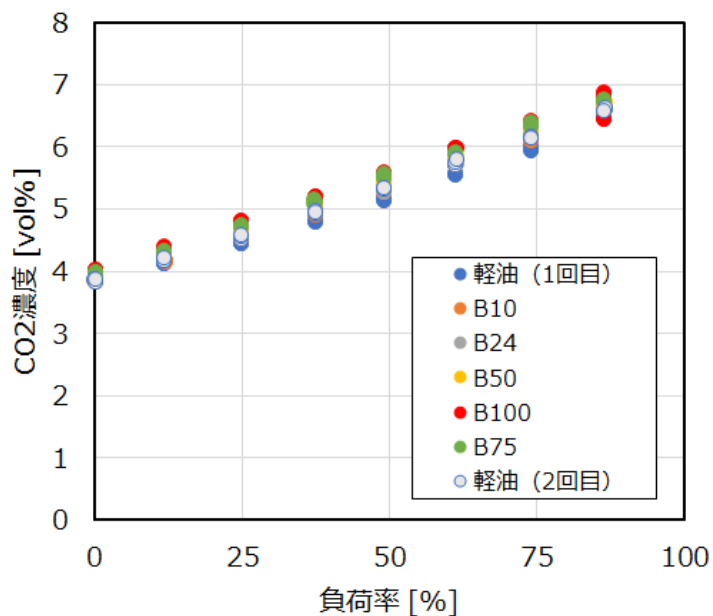


(b) バイオ燃料混合率に対するCO濃度

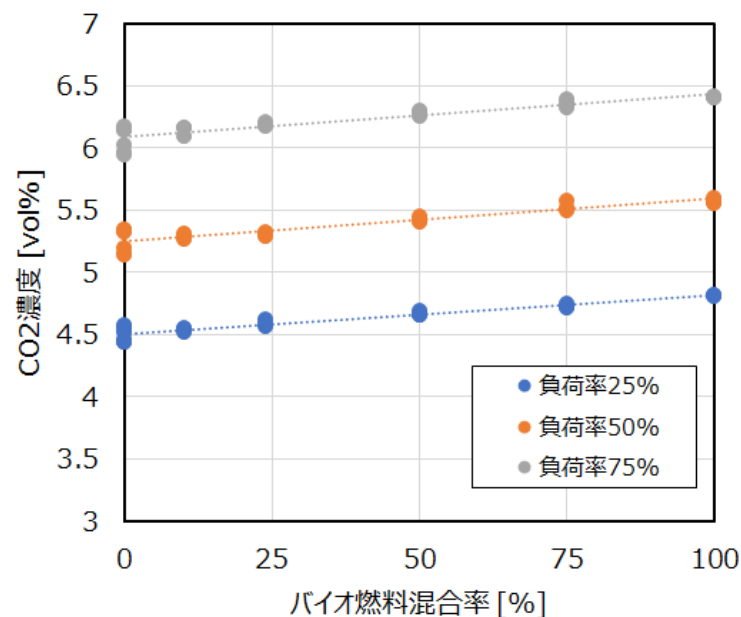
6. 陸上エンジン試験

(5) CO₂濃度

- 排ガス中のCO₂濃度は、負荷率の上昇にしたがって増加する。
- CO₂濃度は、バイオ燃料混合率の上昇にしたがってわずかに増加する。



(a) 負荷率に対するCO₂濃度

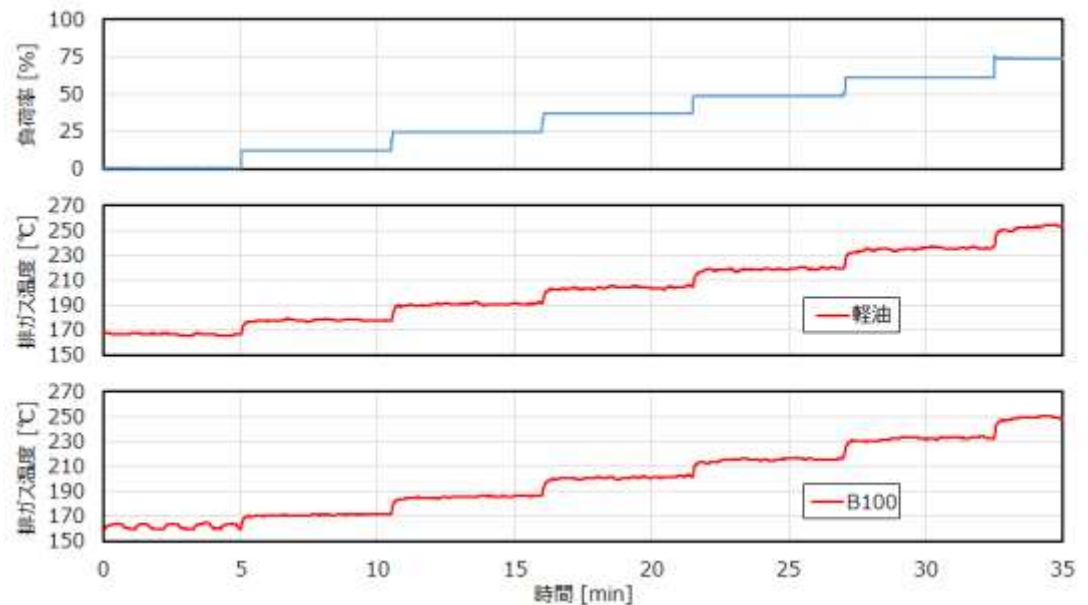


(b) バイオ燃料混合率に対するCO₂濃度

6. 陸上エンジン試験

(7) 陸上エンジン試験のまとめ

- 軽油とジャトロファの混合油を使用して、小型ディーゼルエンジン発電機の運転試験を実施した。
- ジャトロファを使用した場合であっても、排ガス温度や排ガス性状に大きい変化は確認されなかった。そのため、ジャトロファを使用した場合の燃焼性は、軽油と同程度であると考えられる（詳細は不明）。
- B0（軽油）～B100（ジャトロファ100%）のエンジン運転において、不具合は確認されず、排ガス温度の変動も軽油運転と同程度であり、安定した運転ができることを確認した。

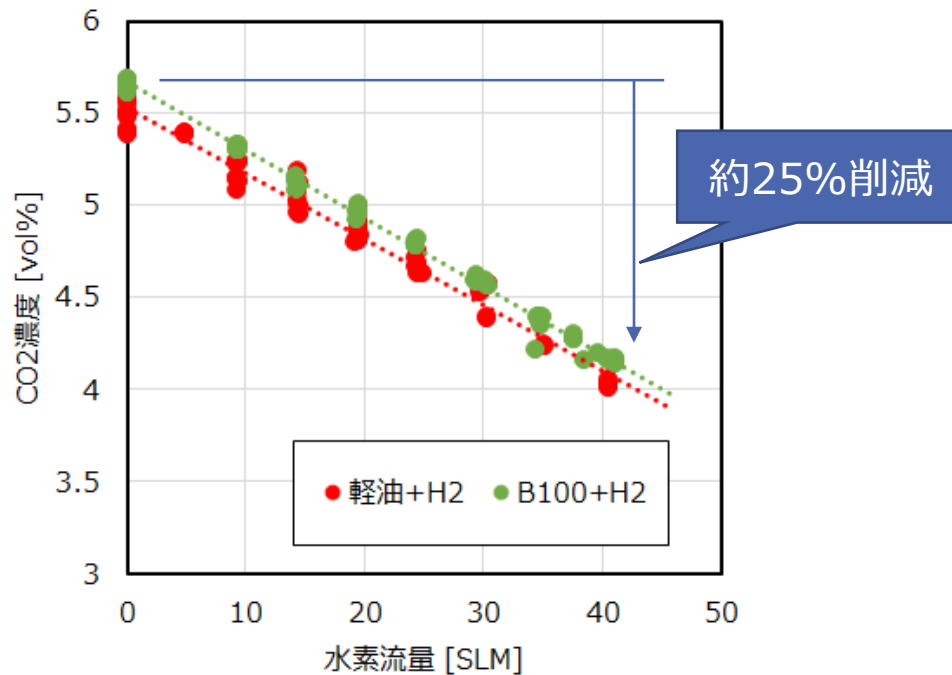


陸上エンジン試験の時系列データ

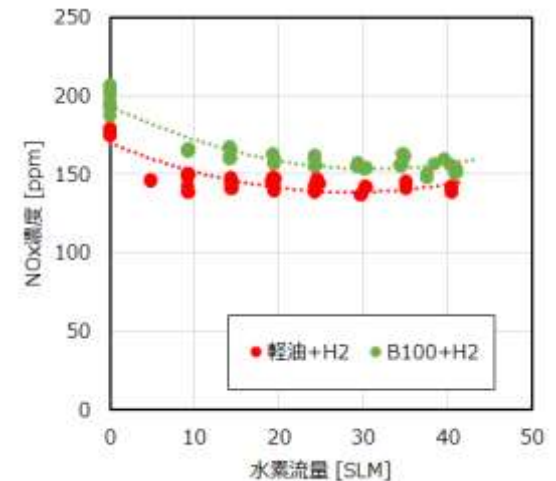
【補足】CNデモンストレーション運転

バイオ・水素混焼運転

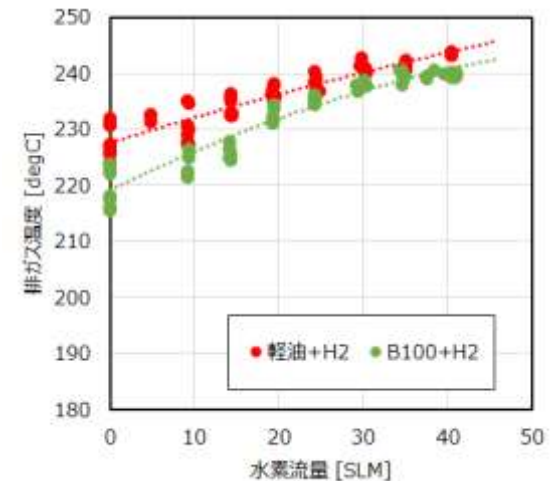
- 50%負荷としたB100（ジャトロファ100%）運転時，短時間ではあるが，水素混焼運転を行った。
- 軽油・水素混焼と同様，水素流量の増加にしたがって排ガス中のCO₂濃度が低下することを確認した。



(a) 水素混焼運転時のCO₂濃度



(b) NO_x濃度



(c) 排ガス温度

8. まとめ

(1) 動粘度および密度

- バイオ燃料B100の動粘度および密度は、LSAよりも高い。ジャトロファとLSAの混合油の動粘度および密度は、LSAとB100の間にある。
- バイオ燃料B100の動粘度および密度はLSCよりも低く、ジャトロファとLSCの混合油はその間となる。

(2) 混合安定性

- バイオ燃料ジャトロファとLSAの混合油の混合安定性に問題ないと判断される。
- バイオ燃料ジャトロファとLSCの混合油の混合安定性は、時間経過とともに悪化する傾向がある。また、保管温度が高いほど悪化の度合いが大きいように見受けられる。ただし、LSC単体の安定性の悪化も確認されており、バイオ燃料の混合による影響であるかは判断できない。

※ ジャトロファとLSCの混合油において、B50～B75の混合安定性は他の混合割合と比べて悪く評価されている。特異性の有無については不明である。

※ バイオ燃料等の軽質燃料は配管の洗浄効果があると思われる。実運用時にはフィルタの状況を確認することが重要である。

8. まとめ

(3) ゴム材料の浸漬試験

- 中高ニトリルおよび高ニトリルにおけるジャトロファ（B100）の寸法変化率は、LSCと同程度であり、LSCとの混合油の寸法変化率もほぼ同程度である。
- 中高ニトリルおよび高ニトリルにおけるジャトロファ（B100）の寸法変化率は、LSAと比べて大きい。LSAとの混合油の寸法変化率はその間にある。
- フッ素ゴムにおけるジャトロファ（B100）並びに混合油の寸法変化はほとんど確認できない。

(4) 陸上エンジン試験

- 軽油とジャトロファの混合油を使用して、小型ディーゼルエンジン発電機の運転試験を実施した結果、ジャトロファ使用時と軽油使用時の排ガス温度や排ガス性状に大きい変化は確認されなかった。
- B0（軽油）～B100（ジャトロファ100%）のエンジン運転において、不具合は確認されず、排ガス温度の変動も軽油運転と同程度であり、安定した運転ができることを確認した。