

# バイオ燃料関連の試験結果

## ～SVO陸上試験結果～

### 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. 定容燃焼装置（FCA）による試験
5. 混合安定性試験
6. ゴム材料の浸漬試験
7. 陸上エンジン試験
8. 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。

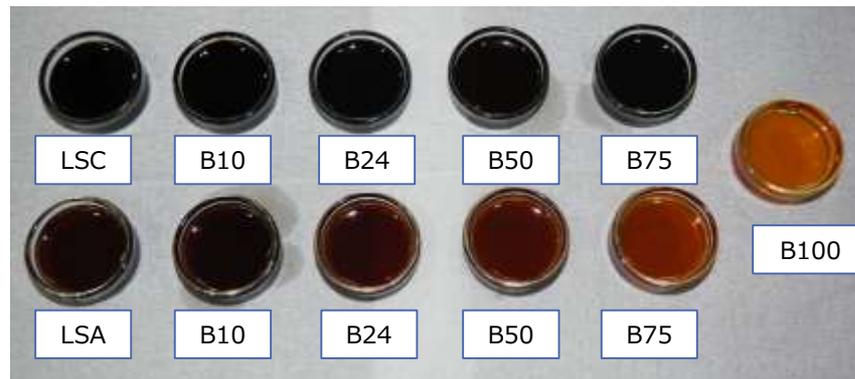
No.	試験・評価項目	陸上試験	実機試験
①	性状（動粘度、密度、流動点等）	○	
②	燃焼性の特性	○	○
③	バイオ燃料と重油の混合安定性、スラッジの発生状況	○	○
④	エンジン等のエンジンルーム内の機器の腐食、劣化に及ぼす影響 【陸上試験ではゴム材料の浸漬試験を実施】	○	○
⑤	燃費		○
⑥	排出ガスの成分		○
⑦	燃料油の切替え及びバンカリング時における影響		⊖

※ SVO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。

## 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，陸上エンジン試験を除き，とよふじ丸から採取したLSCを使用する。
- ※ 陸上エンジン試験は，別途，海技研が購入したLSCとの混合油を使用する。



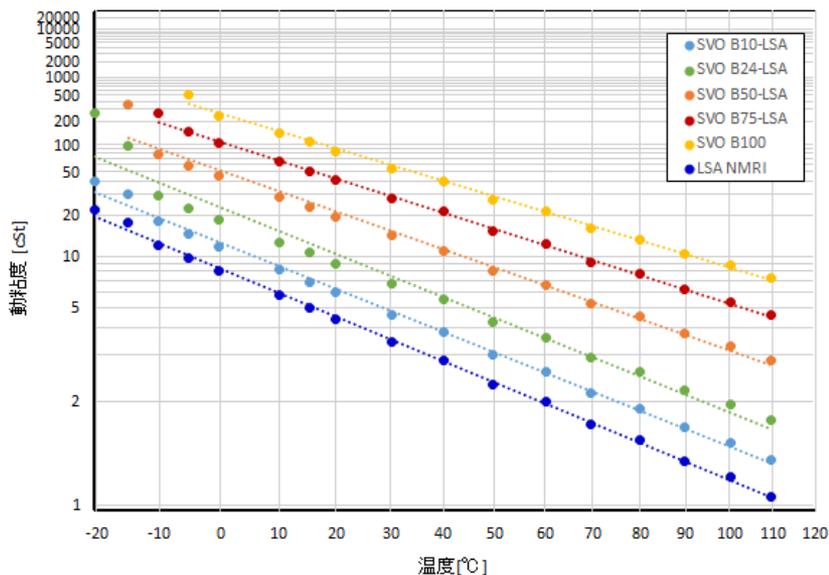
種類・項目	A重油	LSC	LSC-SVO混合油 (A重油-SVO混合油)				バイオ燃料 B100 (SVO)
			B10	B24	B50	B75	
動粘度@50℃ [cSt]	2.29	28.0	27.9 (3.00)	27.7 (4.20)	28.0 (8.05)	27.9 (14.9)	27.2
密度@15℃ [g/cm <sup>3</sup> ]	0.8562	0.9656	0.9615 (0.8632)	0.9562 (0.8730)	0.9458 (0.8912)	0.9357 (0.9083)	0.9253
硫黄濃度 [%]	0.1015	0.4377	0.3914 (0.0883)	0.3236 (0.0773)	0.2171 (0.0562)	0.1207 (0.0382)	0.0228
総発熱量 [J/g]	45,260	41,010					
備考	海技研で使用しているLSA。陸上試験に使用する。	2022年7月末にとよふじ丸より採取したLSC。					阪和興業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-SVO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。

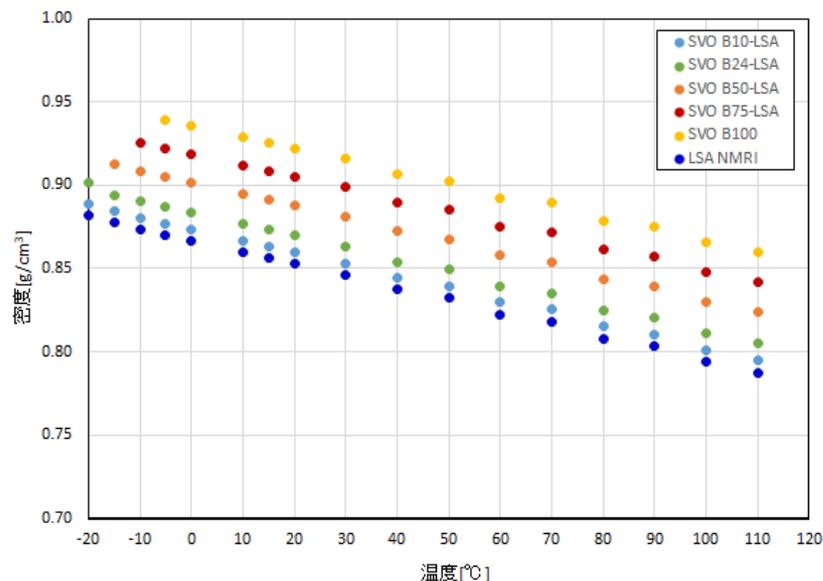
# 3. 動粘度・密度の計測

- バイオ燃料SVO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、SVOとLSAの混合油はその間となる。
- 温度0℃以上におけるSVO（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わずかに変化しているため、各燃料油の流動点は0～-10℃以下であると考えられる（冬季の使用においても概ね問題がないレベル）。



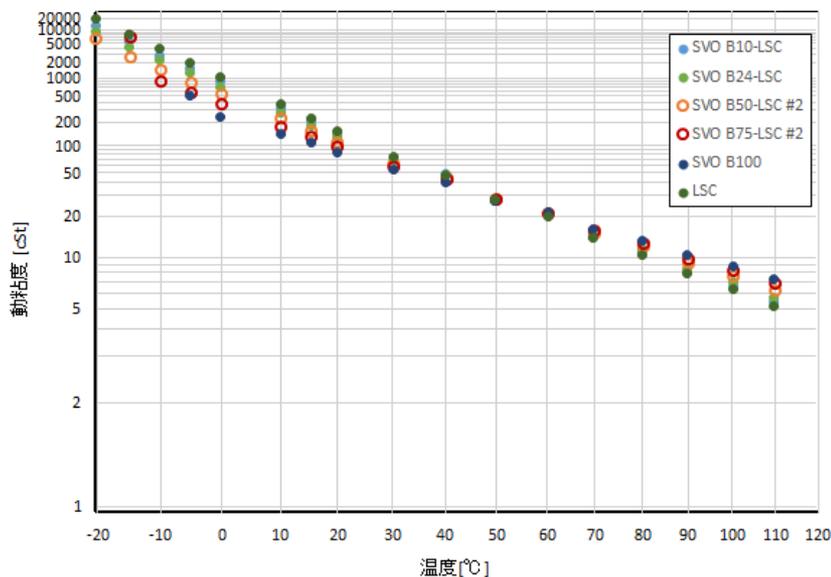
(a) 動粘度 (SVO-A重油)



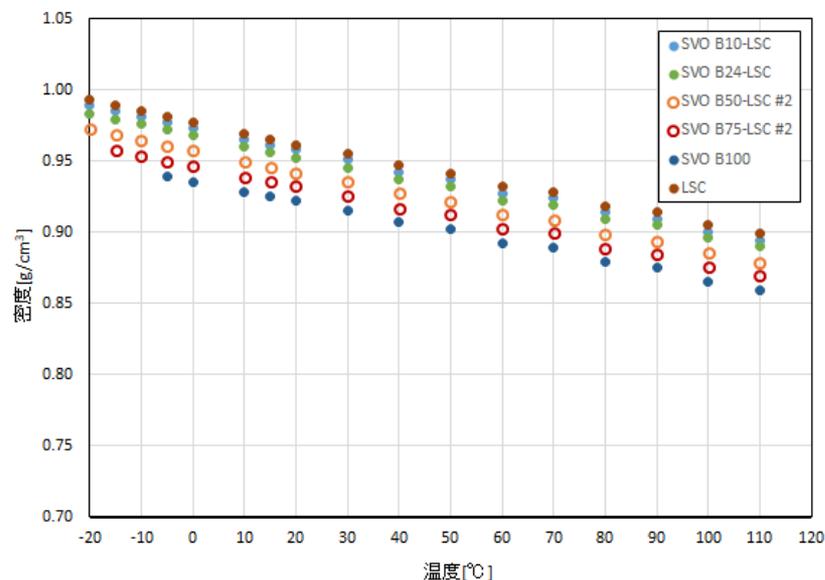
(b) 密度 (SVO-A重油)

# 3. 動粘度・密度の計測

- バイオ燃料SVO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。
- B100の動粘度はLSCと同程度であり、SVOとLSCの混合油も同程度である。
- B100の密度はLSCよりもわずかに低く、SVOとLSCの混合油はその間となる。



(a) 動粘度 (SVO-LSC)



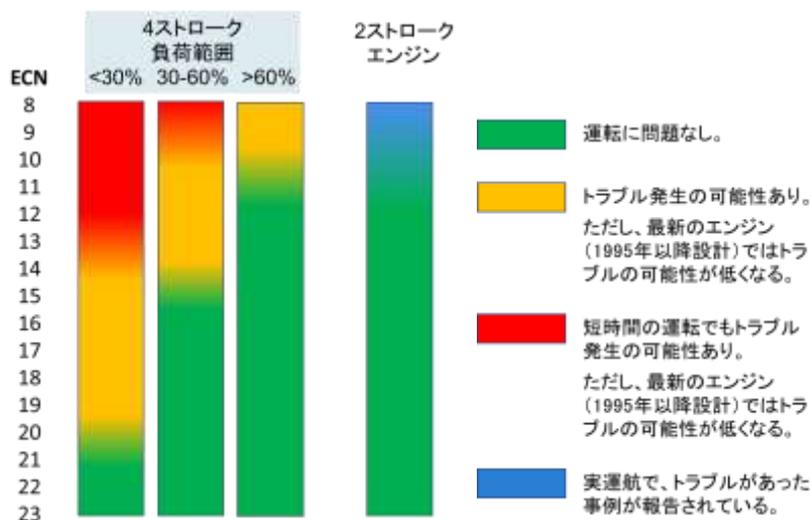
(b) 密度 (SVO-LSC)

※ 陸上エンジン試験に使用するLSCとは異なる。陸上エンジン試験においては、別途、海技研が購入したLSCとの混合油を使用する。

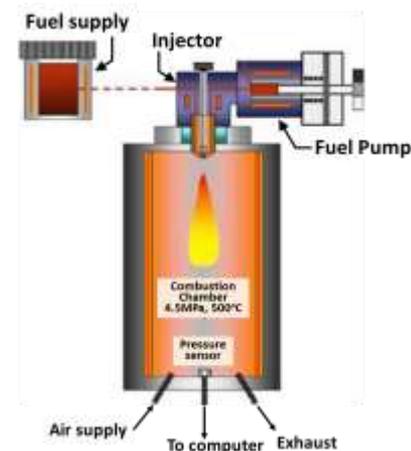
# 4. 定容燃焼装置 (FCA) による試験

## (1) 試験の概要

- バイオ燃料, LSC重油, A重油の燃焼性の相違を調べるため, 定容燃焼装置 (FCA) を用いた燃焼試験を行う。
- FCAでは, 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, 着火性評価指標である推定セタン価ECNなどを求めることができる。
- 例えば, 推定セタン価ECNは, 燃料油の燃焼性 (自己着火のしやすさ, ノッキングのしにくさ) を表す指標である。一般に, ECNが高いほど自己着火しやすく, ノッキングが起こりにくい。



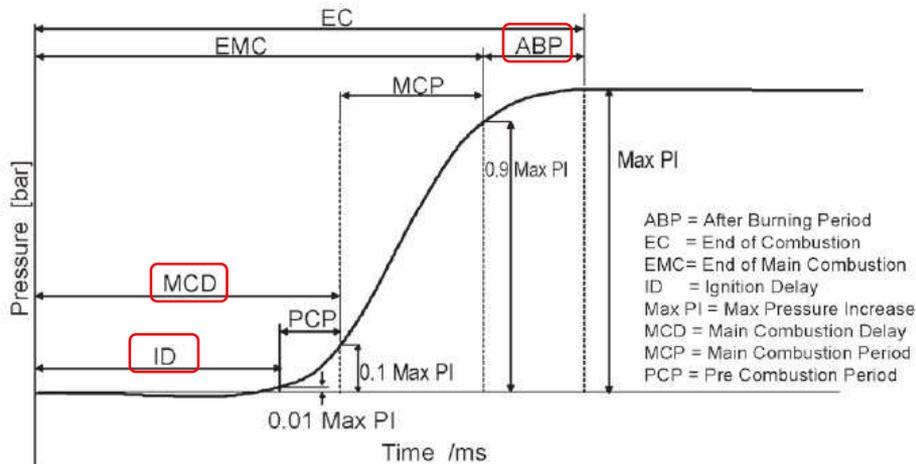
ECNによる燃料の着火性の評価例



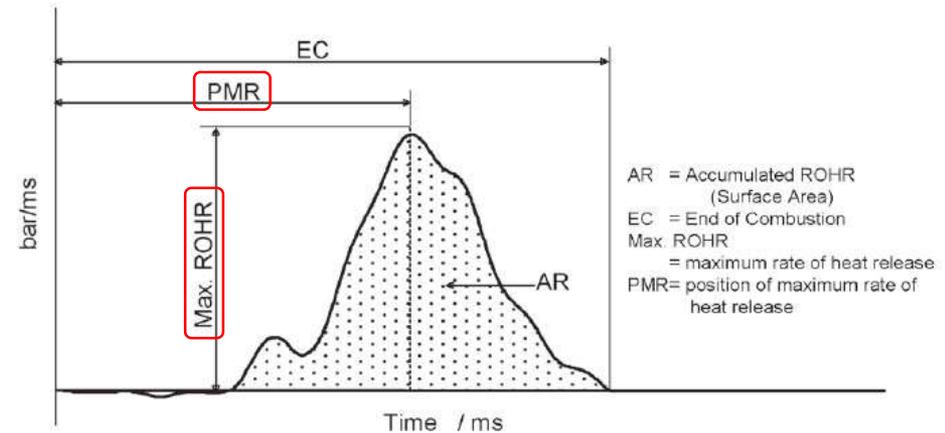
FIA-100 Fuel Combustion Analyzer (FCA)

# 4. 定容燃焼装置 (FCA) による試験

## (2) 試験結果の評価方法



$$\text{推定セタン化 } \text{ECN} = 153.15e^{-0.2861\text{MCD}}$$



試験結果	結果の意味	想定されるトラブル
ID, PMRが遅く, Max ROHRの値が高い	<ul style="list-style-type: none"> <li>遅い着火と急激な燃焼</li> </ul>	エンジン, ピストンリング損傷の可能性
PMRが遅く, Max ROHRの値が低い	<ul style="list-style-type: none"> <li>長い燃焼時間と膨張行程の温度低下による燃焼の遅れ</li> <li>燃料油中の重質成分がシリンダ内で燃えるのに時間がかかる</li> </ul>	スートとPMの増加, 過給機トラブルのリスク上昇
ABPの著しい増加	<ul style="list-style-type: none"> <li>長い燃焼時間</li> </ul>	スートおよびPMの増加, デポジットの発生, 排気管の詰まりなど

(1) CIMAC "Fuel Quality Guide - Ignition and Combustion", 2011

(2) 竹田他, 定容燃焼試験法 (IP541) による船用残渣燃料油の分析結果, JIME学会誌44-4, 2009

# 4. 定容燃焼装置 (FCA) による試験

## (3) FCA試験条件

### (a) 燃料サンプル加熱条件

Sample viscosity mm <sup>2</sup> /s@50°C	Fuel reservoir (°C)	Injection assembly (°C)	Fuel pump (°C)	Fuel grades ISO 8217:2010
<b>&lt;25</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>DM grade, RMA</b>
25 - 800	125	125	125	RMB - RMK
800 -2000	145	145	145	

### (b) 装置設定条件

Process parameters	
Initial chamber temperature	500 °C
Initial chamber pressure	4.5 MPa
Injection pressure	35 MPa
Injected volume	Approx. 0.1 ml/injection
No. of injections per test	25

# 4. 定容燃焼装置 (FCA) による試験

## (4) 試験結果の一覧

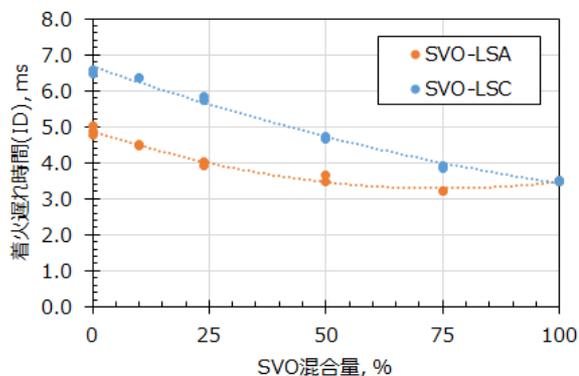
サンプル	BDF 割合	ID	MCD	EMC	EC	PCP	MCP	ABP	Max ROHR	PMR	AR	Max PI	ECN
	%	ms	ms	ms	ms	ms	ms	ms	bar/ms	ms	bar	bar	
LSA	0	4.76	5.08	6.96	15.32	0.32	1.88	8.36	5.92	5.64	8.49	8.55	35.8
LSA-B10	10	4.49	4.76	7.03	17.44	0.27	2.27	10.41	5.95	5.18	8.55	8.70	39.2
LSA-B24	24	4.01	4.28	7.66	18.09	0.27	3.38	10.43	4.69	4.78	8.27	8.43	45.0*
LSA-B50	50	3.47	3.73	8.14	18.30	0.27	4.41	10.16	3.71	4.12	7.84	7.99	52.7*
LSA-B75	75	3.22	3.50	7.99	18.13	0.29	4.49	10.14	3.17	4.01	7.55	7.68	56.3*
B100	100	3.50	3.85	7.39	15.00	0.34	3.55	7.61	3.00	4.46	7.12	7.26	50.9*
LSC	0	6.46	7.32	14.68	23.52	0.85	7.36	8.84	1.77	8.43	7.74	7.89	18.9
LSC-B10	10	6.34	7.08	13.67	22.20	0.73	6.59	8.54	1.80	8.13	7.73	7.88	20.2
LSC-B24	24	5.83	6.47	11.86	19.93	0.64	5.39	8.07	2.06	7.59	7.78	7.93	24.1
LSC-B50	50	4.73	5.25	9.36	17.48	0.53	4.11	8.11	2.55	6.30	7.61	7.75	34.1
LSC-B75	75	3.85	4.25	7.87	15.33	0.40	3.62	7.46	2.80	5.12	7.38	7.52	45.4*
B100	100	3.50	3.85	7.39	15.00	0.34	3.55	7.61	3.00	4.46	7.12	7.26	50.9*

※ 規格上, ECNの適用範囲は40までのため, 40を超えたECN値は参考値である。

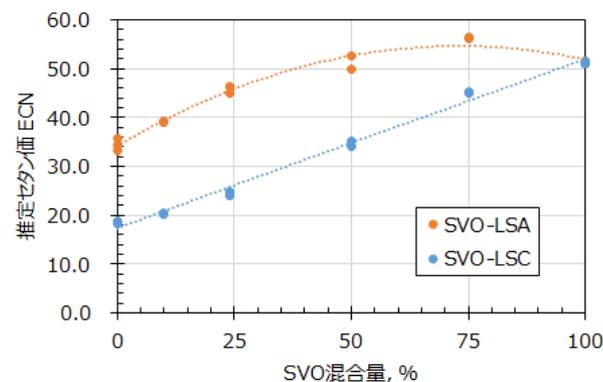
# 4. 定容燃焼装置 (FCA) による試験

## (5) 試験結果の一例

- SVOとLSCの混合油の推定セタン価ECNは、B10～B50の範囲において、LSAとLSCの間であり、燃焼性に問題ないレベルであると推定される。

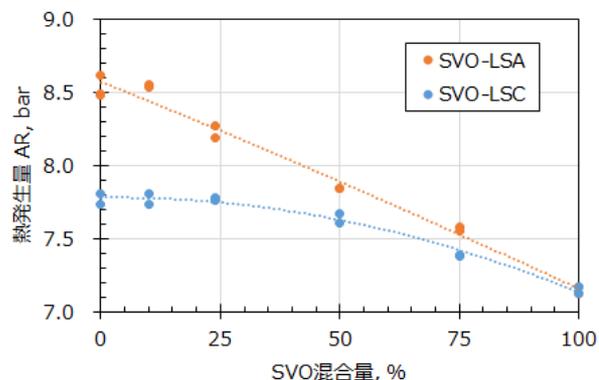


(a) 着火遅れ時間 ID

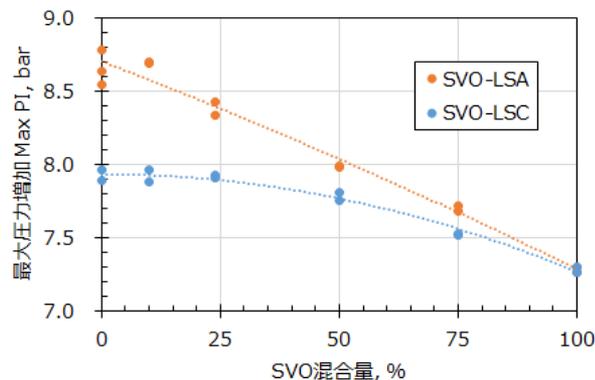


(b) 推定セタン価 ECN

※ 規格上、ECNの適用範囲は40までのため、40を超えたECN値は参考値である。



(c) 熱発生量 AR

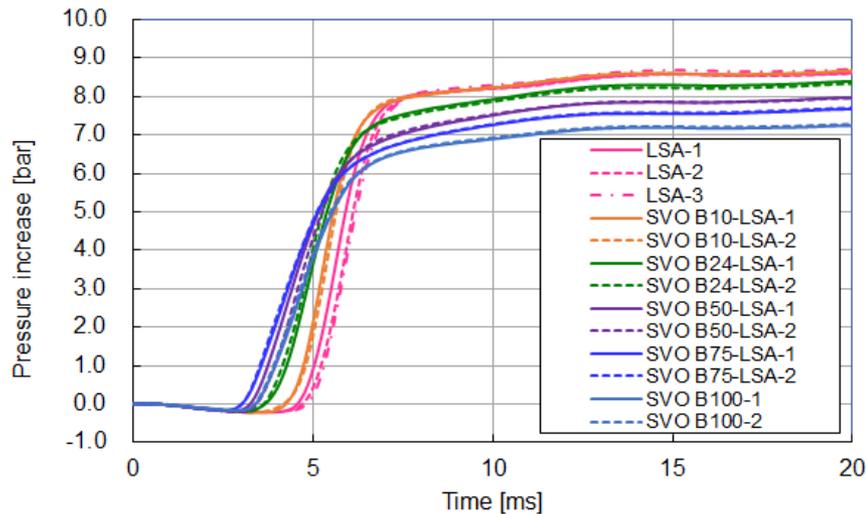


(d) 最大圧力増加 Max PI

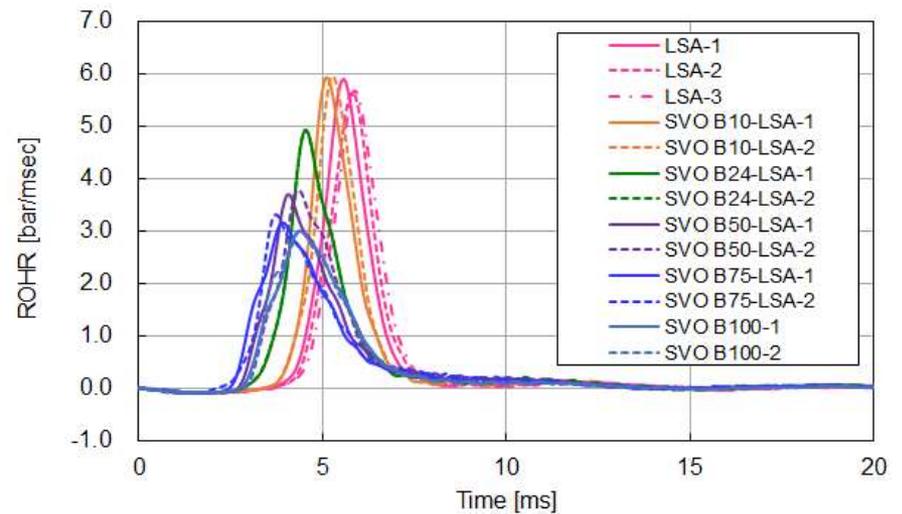
# 4. 定容燃焼装置 (FCA) による試験

## (6) 燃焼波形の評価 (SVO-LSA)

- 圧力変化および熱発生率 (圧力変化率) の結果から着火遅れや燃焼時間を評価できる ((2)参照)。
- 混合油の圧力波形はLSAよりも燃焼が早まる傾向にある。
- SVOの混合比が高まるほど、最高圧力上昇Max PIや最高圧力変化率Max ROHRなどが低下することなどがわかる。



(a) 圧力波形

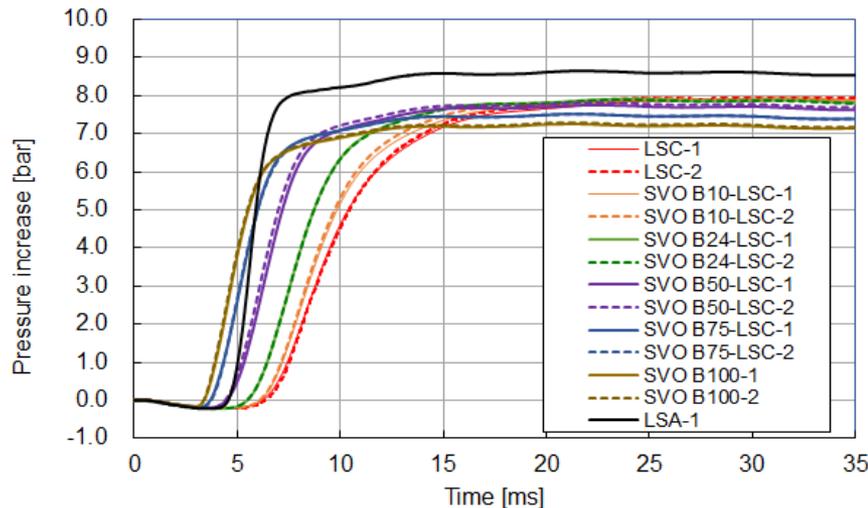


(b) 熱発生率 (圧力変化率)

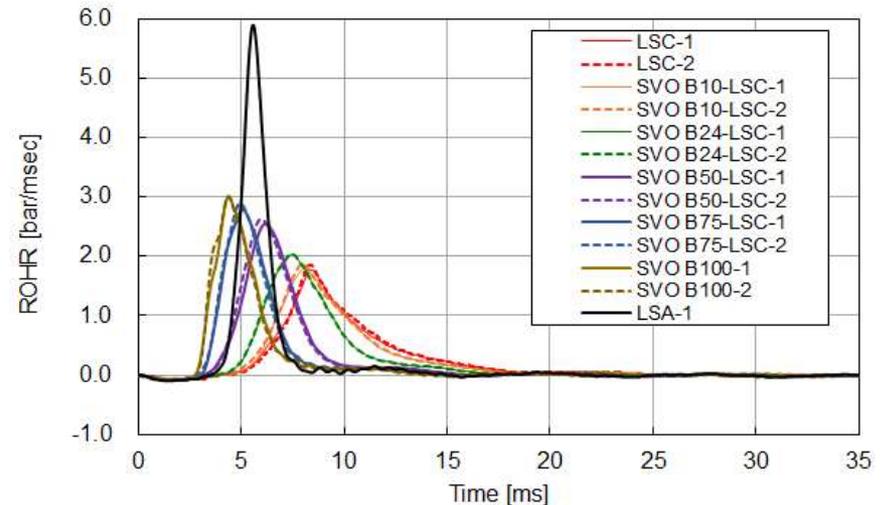
# 4. 定容燃焼装置 (FCA) による試験

## (7) 燃焼波形の評価 (SVO-LSC)

- 圧力変化および熱発生率 (圧力変化率) の結果から着火遅れや燃焼時間を評価できる ((2)参照)。
- B10~B50の範囲において, 混合油の圧力波形はLSAとLSCの間にある。
- B75およびB100の燃焼開始・燃焼終了はLSAよりも早いことがわかる。



(a) 圧力波形



(b) 熱発生率 (圧力変化率)

# 5. 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



試料油を滴下したところにリングがまったく認められない。



安定性に問題ない。

周囲に不完全な内円がわずかに認められる。



安定性に問題ない。

周囲が完全な線上の内円が認められ、内円と外円の色が同じ。



安定性がやや悪く、スラッジトラブルが発生する可能性がある。

内円の縁が黒色になり、内円内部の色が外円より濃い。



安定性がやや悪く、スラッジトラブルが発生する可能性がある。

内円内部はさらに濃くなり、中心付近以外はほぼ黒くなる。



安定性が悪く、スラッジトラブルが発生する可能性が高い。

### 【参考】試験方法



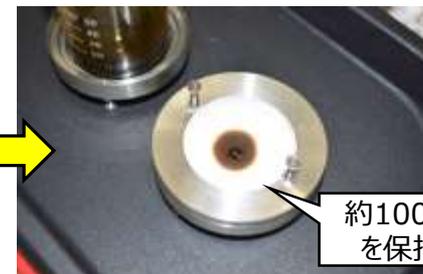
決められたろ紙 (5B) を準備する。



サンプル油とろ紙を約100°Cに加熱する。



サンプル油を1滴だけ落とす。



約100°Cを保持

# 5. 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	<ul style="list-style-type: none"><li>● バイオ燃料と重油を混合した後，直ちに試験を開始する。</li><li>● 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）。</li></ul>	
(2)	80℃	<ul style="list-style-type: none"><li>● バイオ燃料と重油を混合した後，直ちに試験を開始する。</li><li>● 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。</li></ul>	
参考	55℃	<ul style="list-style-type: none"><li>● 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。</li></ul>	後述のゴム材料浸漬試験と同じ時期に実施する。

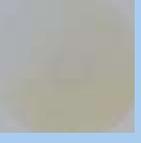
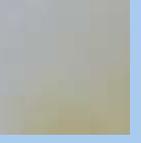
# 5. 混合安定性試験

## (3) 試験結果の概要

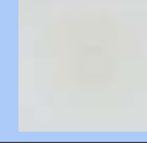
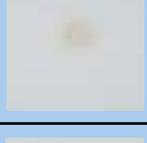
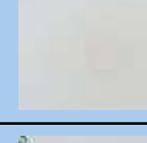
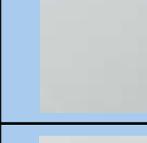
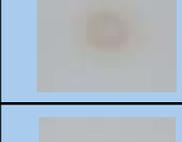
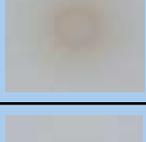
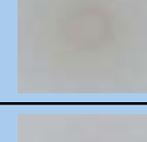
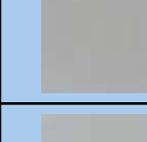
- SVOとA重油の混合油の混合安定性は、本試験範囲内においてすべて問題ないと判断される。
- SVOとLSCの混合油の混合安定性は、時間経過や保管状態によって悪化する。ただし、LSC単体の安定性も悪化するため、SVOが原因であるかは判断できない。

	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							B24～B75は 評価No.4であ る。

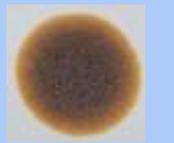
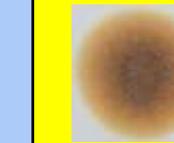
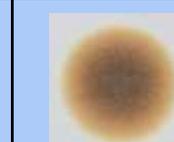
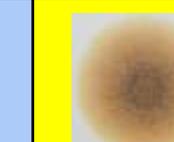
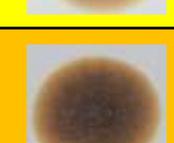
# (a) LSA-SVO, 常温貯蔵 (テスト時加熱)

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。
250h							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。

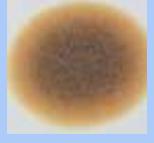
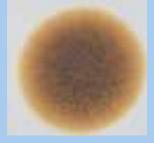
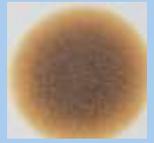
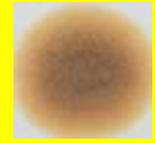
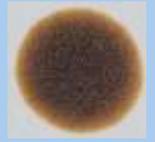
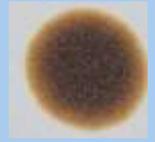
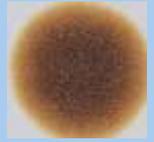
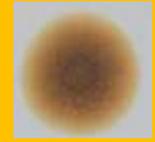
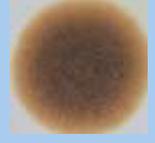
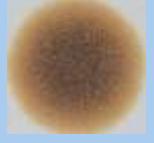
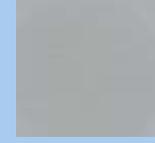
### (c) LSA-SVO, 80°C恒温槽

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。
250h							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-SVO, 常温貯蔵 (テスト時加熱)

時間	LSC	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							B75は評価No.3, それ以外は評価No.1~2である。
50h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。
100h							B75の混合油は, 内円の縁が黒色になり, 内円内部の色が外円より濃くなっている (評価No.4)。
250h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。
300h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。
400h							B50の悪化が確認される。
500h							前回の計測と比べて, 大きい変化は確認できない。

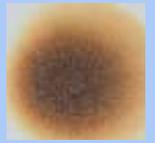
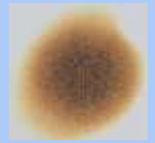
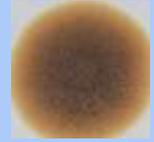
### (d) LSC-SVO, 80°C恒温槽

時間	LSC	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							B75は評価No.3, それ以外は評価No.1である。
50h							B50の内円がはっきりとしてきた (評価No.2)。
100h							前回の計測時から, 大きい変化は確認できない。
250h							前回の計測時から, 大きい変化は確認できない。
300h							B0~B10において, 内円が確認できる (評価No.2)。
400h							前回の計測時から, 大きい変化は確認できない。
500h							前回の計測時から, 大きい変化は確認できない。

## 【参考】LSA-SVO, 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。
150h							すべて評価No.1であり, 安定性に問題ないと判断される。
350h							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-SVO, 55℃恒温槽

時間	LSC	B10	B24	B50	B75	B100	備考
0h							B75は評価No.3, それ以外は評価No.1~2である。
150h							B75の混合油は, 内円の縁が黒色になり, 内円内部の色が外円より濃くなっている (評価No.4)。
350h							全体的に安定性の悪化が確認される。

# 6. 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。

# 6. 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。



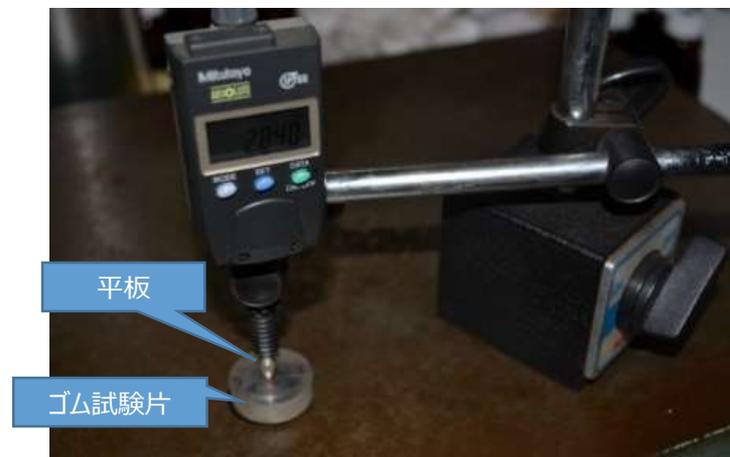
恒温槽



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。

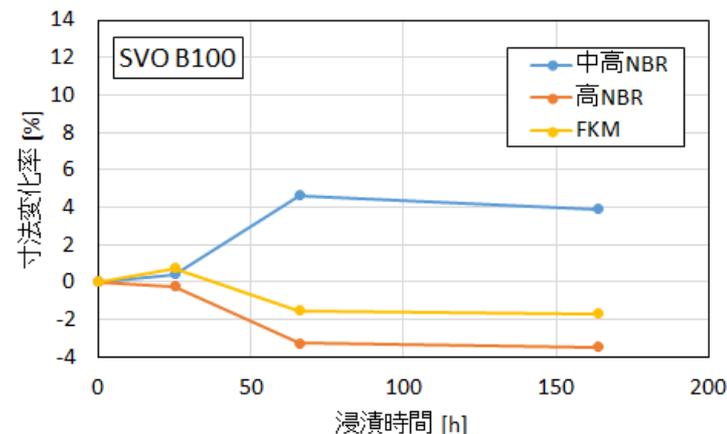


ゴム試験片の寸法計測

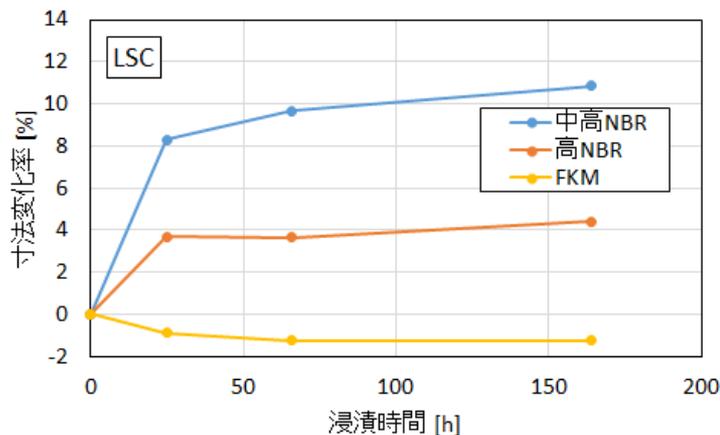
# 6. ゴム材料の浸漬試験

## (3) 時系列変化

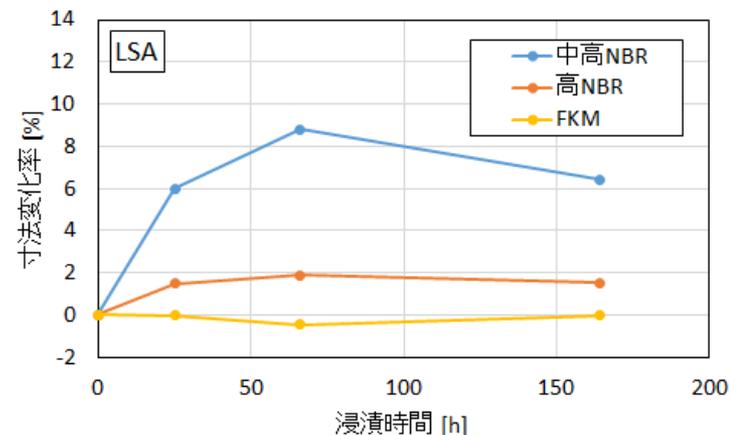
- 各燃料油における浸漬試験の寸法変化は、浸漬時間50～100時間程度で概ね安定している。
- 中高ニトリルの寸法変化は大きく、高ニトリルおよびフッ素ゴムの寸法変化は小さい。



(a) SVO (B100) の時系列変化



(b) LSCの時系列変化

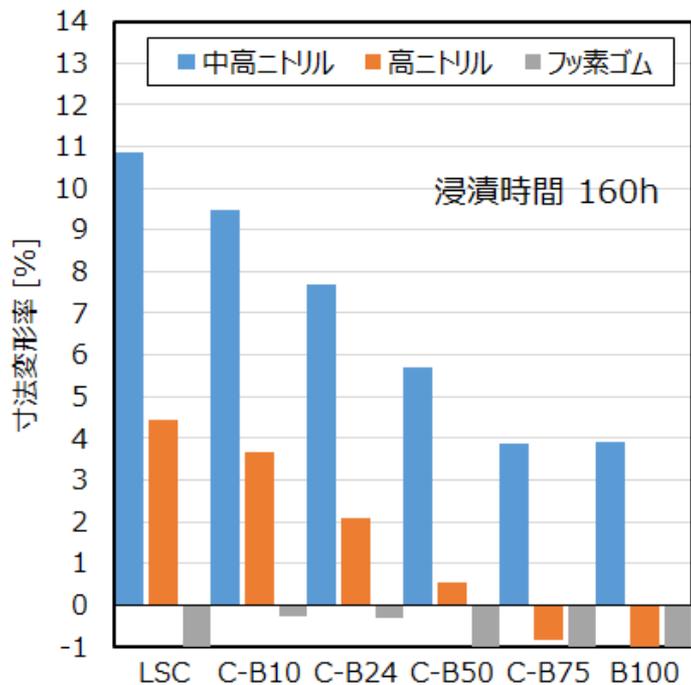


(c) LSAの時系列変化

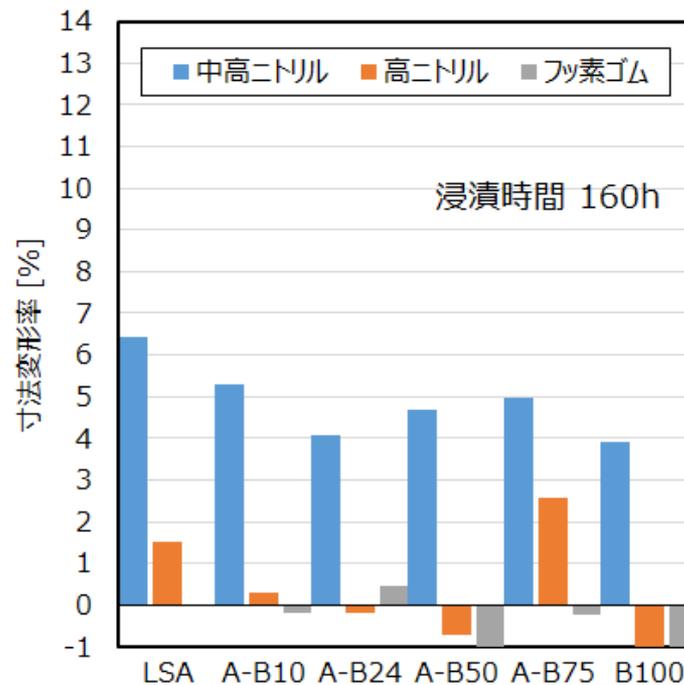
# 6. ゴム材料の浸漬試験

## (4) 試験結果

- 中高ニトリルにおけるSVO (B100) の寸法変化率は、LSC, LSAと比べて小さい。混合油の寸法変化率はその間にある。
- 高ニトリルおよびフッ素ゴムにおけるSVO (B100) の寸法変化はほとんど確認できない。



(a) LSCとSVOの混合油



(b) LSAとSVOの混合油

# 7. 陸上エンジン試験

## (1) 実験用ディーゼルエンジン

- 下表No.2のエンジンを使用し，燃焼圧力波形や各部温度などの燃焼状況，排ガス成分を計測する。
- SVOによる陸上エンジン試験は，今後の船舶利用を踏まえて，SVOとLSCの混合油を使用する。
- 通常のLSC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。

※ 陸上エンジン試験においては，上記の混合安定性やゴム材料浸漬試験で使用したLSCとは異なる燃料油を使用する。

No.	1	2
タイプ	4サイクル中速エンジン（海技研）	
定格出力／回転数 シリンダ数	750 kW / 1000 rpm 6気筒	257 kW / 420 rpm 3気筒
外観		
特徴	中速エンジンの中で，機関回転数が高く，ボア径が小さい。機関回転数が高いため，燃焼期間に余裕がなく，燃料性状の変化に敏感である。	中速エンジンの中で，機関回転数が遅い。そのため，燃焼期間に余裕があり，No.1エンジンと比べて燃料性状の変化に鈍感である。

# 7. 陸上エンジン試験

## (2) 試験の概要

- 混合率は、別途実施したFAME実船試験に合わせてB10とB24とする。さらに、B50の試験を実施する。
- 混合油を準備した後、燃料清浄機を使用し、バイオ燃料使用時の注意点等を取りまとめる。
- エンジンを船用負荷特性において25, 50, 75, 100%としたときの定常データを計測し、バイオ燃料使用時とLSC使用時の試験結果と比較する。



燃料清浄機（三菱化工機製）

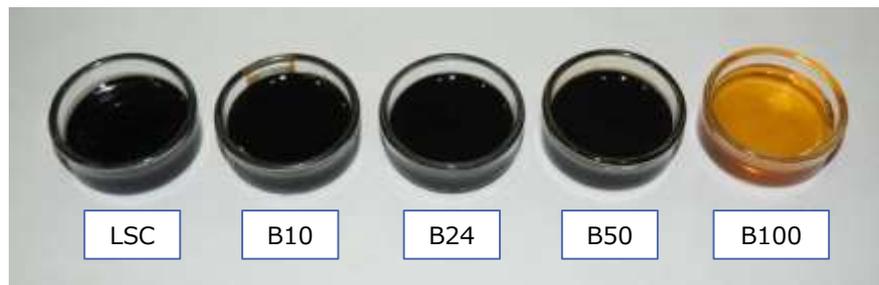


実験用ディーゼルエンジン

# 7. 陸上エンジン試験

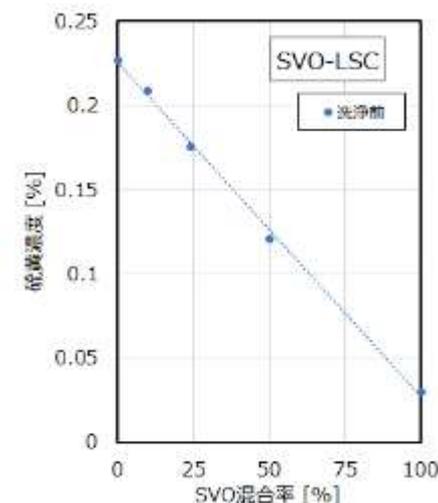
## (3) 陸上エンジン試験に用いる燃料油

- 陸上エンジン試験においては、上記の混合安定性やゴム材料浸漬試験で使用したLSCとは異なる燃料油を使用する。



陸上エンジン試験に用いるLSCの性状

種類・項目	LSC	LSC-SVO混合油			バイオ燃料 B100 (SVO)
		B10	B24	B50	
動粘度@50℃ [cSt]	71.0	61.2	53.1	39.6	27.2
密度@15℃ [g/cm <sup>3</sup> ]	0.9922	0.9317	0.9306	0.9386	0.9253
硫黄濃度 [%]	0.2269	0.2089	0.1754	0.1205	0.0229
総発熱量 [J/g]	(44,370)	---	---	---	---
備考	2022年10月に海技研が購入したLSC。				阪和興業殿より提供いただいたサンプル油。

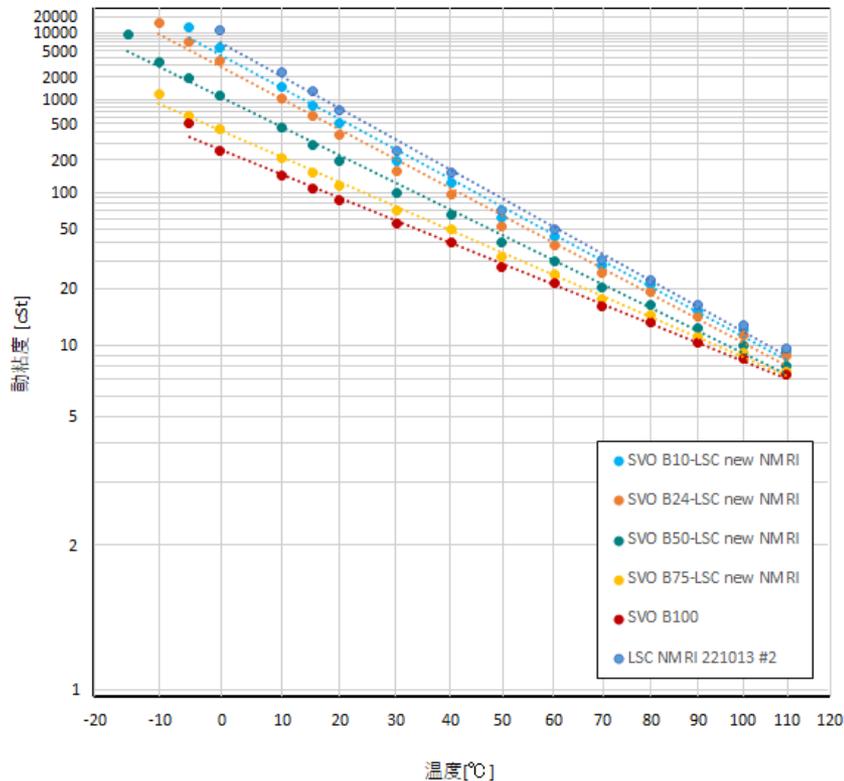


※ 総発熱量を除き、海技研における計測値である。

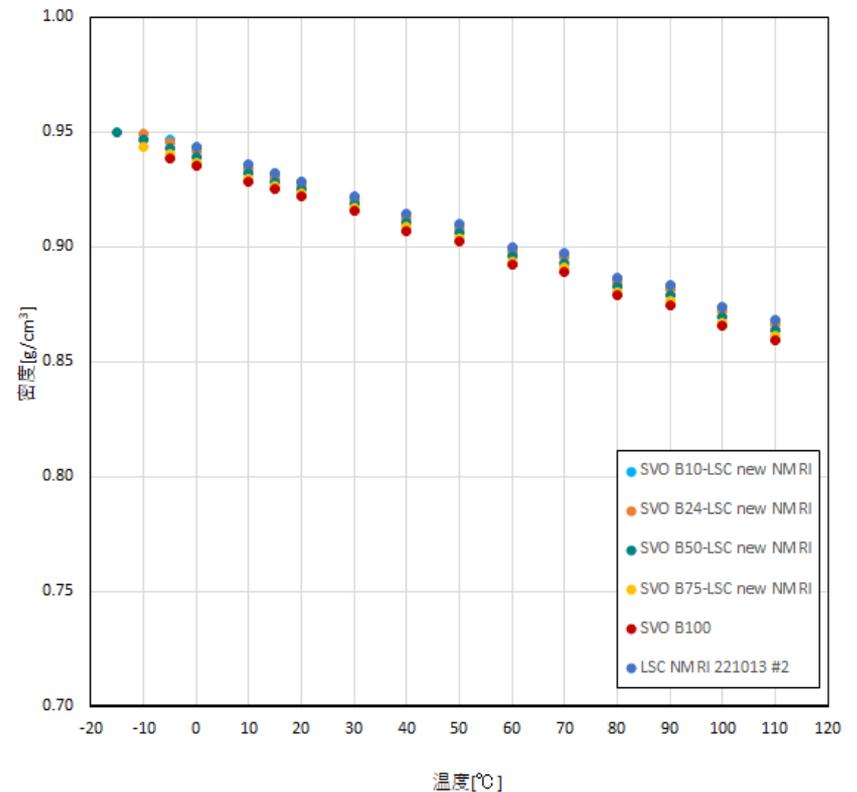
# 7. 陸上エンジン試験

## (4) 動粘度・密度の計測結果

- 陸上エンジン試験に用いるLSCおよびバイオ燃料混合油について、燃料清浄機並びにエンジンの運転に必要な動粘度および密度を計測した。



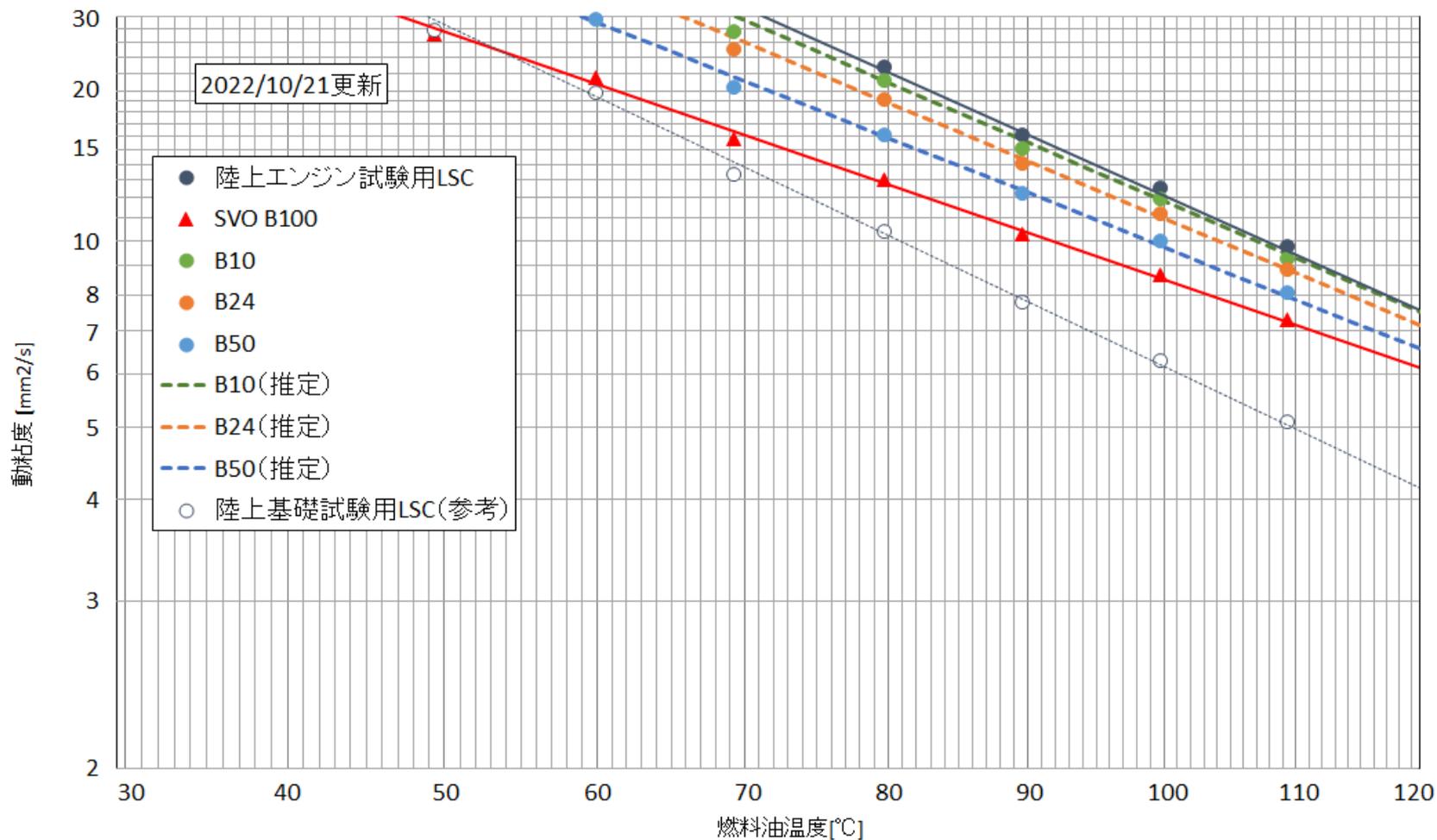
(a) 動粘度



(b) 密度

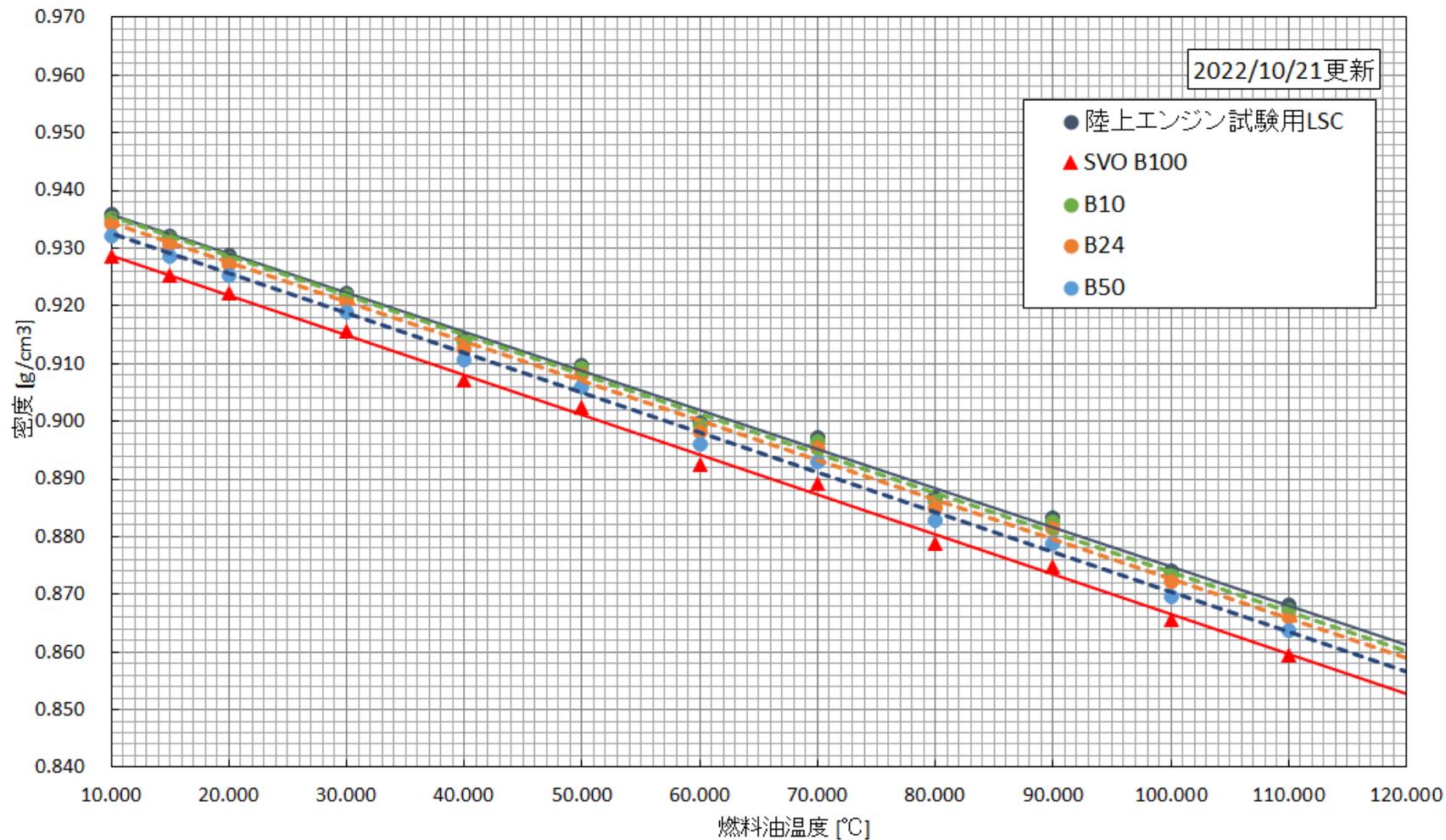
# 7. 陸上エンジン試験

## (a) 動粘度



# 7. 陸上エンジン試験

## (5) 密度



# 7. 陸上エンジン試験

## (6) 混合安定性試験

- 陸上エンジン試験に用いるLSC-SVO混合油について、改めて混合安定性試験を実施した結果、安定性に問題がないことを確認した。

(a) LSC-SVO, 常温

時間	LSC	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。

(b) LSC-SVO, 80℃

時間	LSC	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。

# 7. 陸上エンジン試験

## (7) 燃料清浄試験

- 燃料清浄試験前に三菱化工機殿によるメンテナンスを行った。
- あらかじめ準備したLSCとSVOを混合油をドラム缶に入れておき、別途準備した燃料油移送ポンプにより、混合油を燃料清浄機に送る。清浄後の燃料油を別のドラム缶に入れる。

※ 燃料油系統設備の都合、通常の運転時とは異なる燃料油ラインである。

- 燃料清浄試験には、LSC, B10, B24, B50およびB100を使用する。
- 試験条件として、各燃料油を動粘度37.5cStになるように加熱する。通液量は600L/hに調節する（カタログ処理量の約50%）。



燃料清浄試験時の燃料油の設定温度

種類・項目	LSC	LSC-SVO混合油			バイオ燃料 B100 (SVO)
		B10	B24	B50	
動粘度@50℃ [cSt]	71.0	61.2	53.1	39.6	27.2
動粘度37.5cSt時の温度 [degC]	66.2	63.4	60.0	52.8	46.5

# 7. 陸上エンジン試験

## (7) 燃料清浄試験

- いずれのLSC-SVO混合油においても、通常のオペレーションにより、燃料清浄を実施できることを確認した（異常状態に至ることはなかった）。
- 燃料清浄試験時、燃料清浄機を分解し、内部の汚れ状態を確認したが、通常通りの状態でありバイオ燃料使用における違いは確認されなかった。



燃料清浄試験の様子



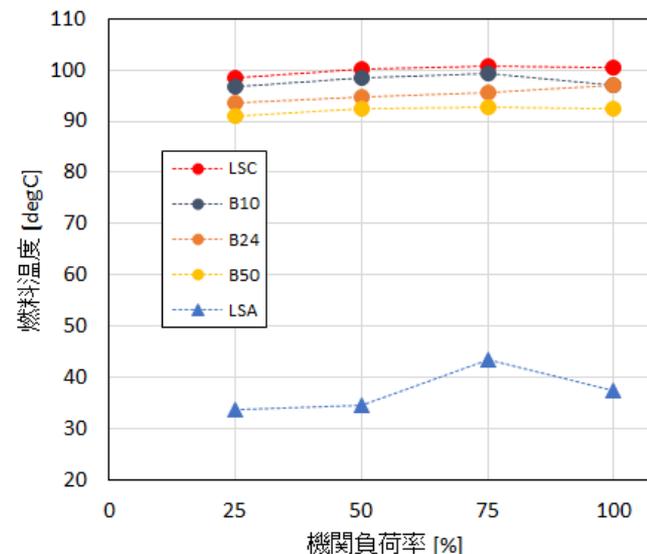
燃料清浄機の分解・点検

# 7. 陸上エンジン試験

## (8) 陸上エンジン試験時の燃料油温度

- 陸上エンジン試験には、LSC, B10, B24, B50およびLSA（参考）を使用する。
- 試験条件として、LSCおよび混合油を動粘度12cStになるように加熱する。（LSAは常温とする。）

※ 本エンジン設備に動粘度制御器（ビスコン）はない。サーモスタットによる温度制御のため、 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 程度の変動がある。



燃料油温度の計測結果

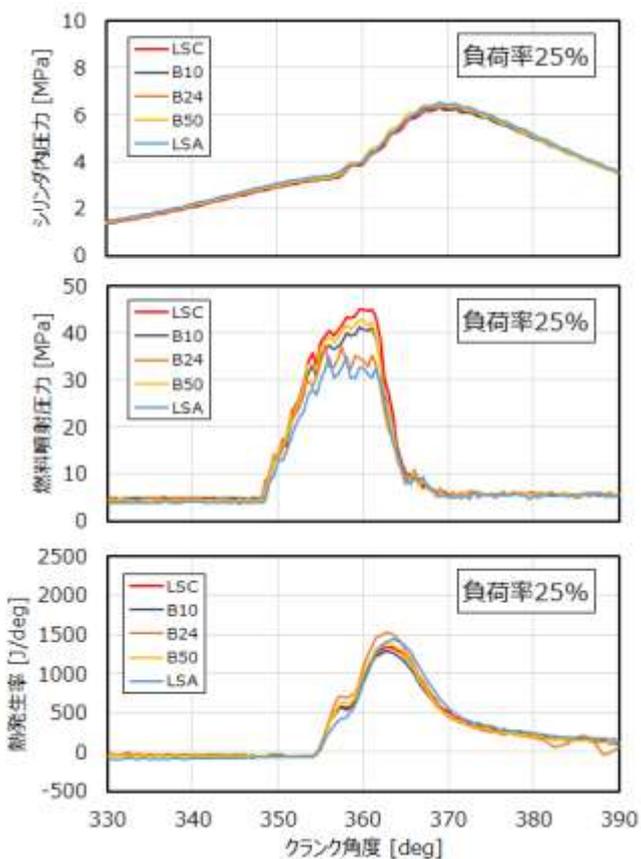
陸上エンジン試験時の燃料油の設定温度および計測結果

種類・項目	LSC	LSC-SVO混合油			LSA
		B10	B24	B50	
動粘度@50℃ [cSt]	71.0	61.2	53.1	39.6	2.29
動粘度12cSt時の温度 [degC] (目標設定温度)	101.0	98.5	96.5	91.0	---
試験時の燃料油温度 [degC]	98~101	97~99	93~97	91~93	33~44

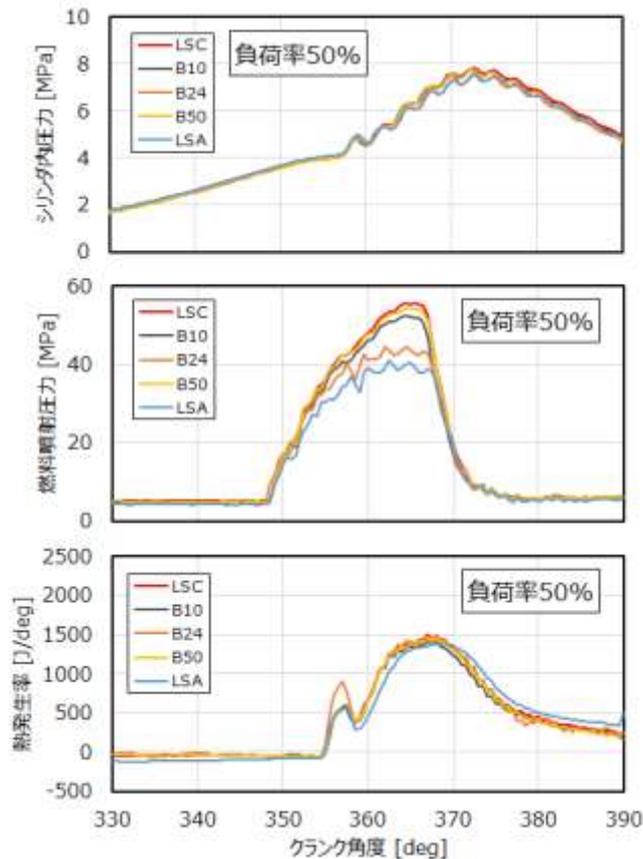
# 7. 陸上エンジン試験

## (9) 筒内圧力波形・燃料噴射圧力・熱発生率

- すべての運転範囲において、バイオ燃料使用時の燃焼波形はLSCと同程度であり、異常燃焼などの状況は確認されなかった。



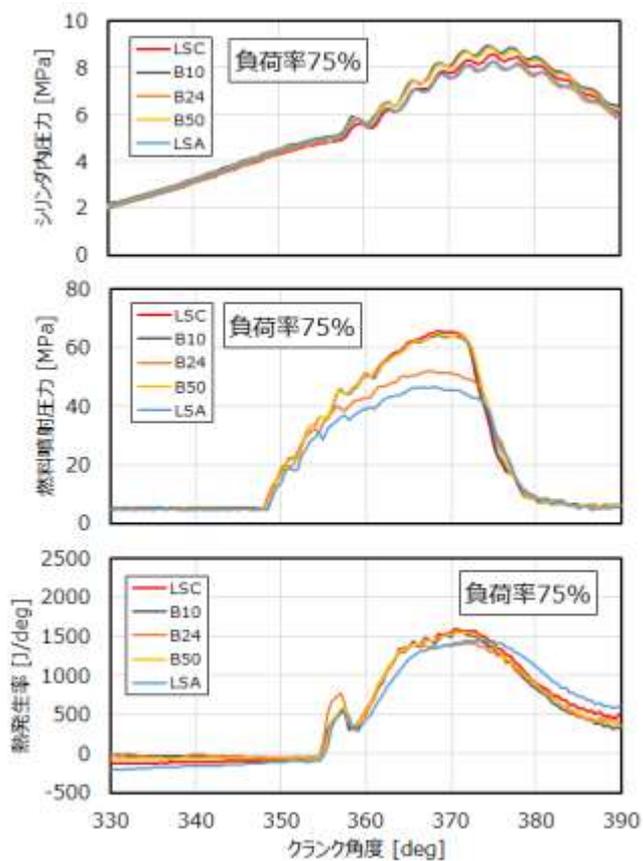
(a) 負荷率25%



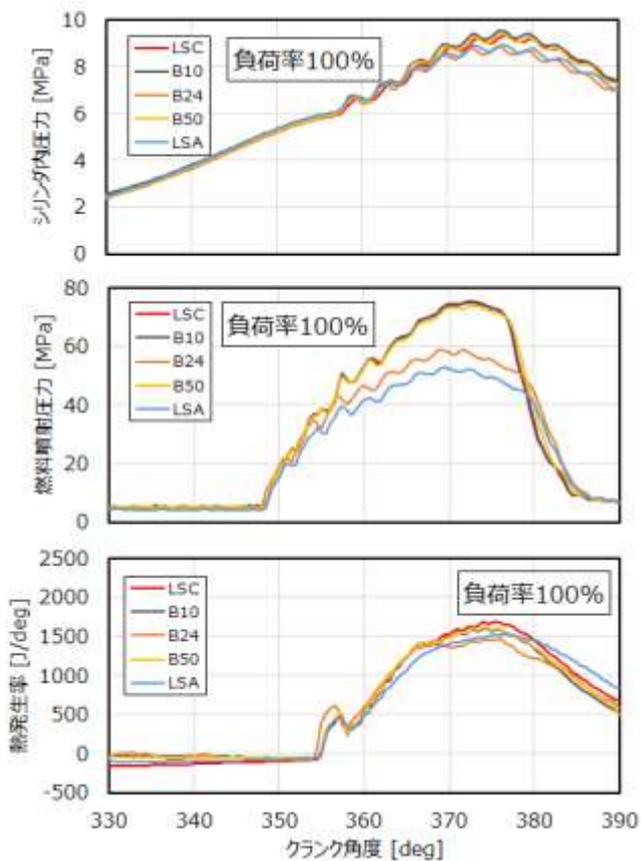
(b) 負荷率50%

# 7. 陸上エンジン試験

## (9) 筒内圧力波形・燃料噴射圧力・熱発生率



(c) 負荷率75%



(d) 負荷率100%

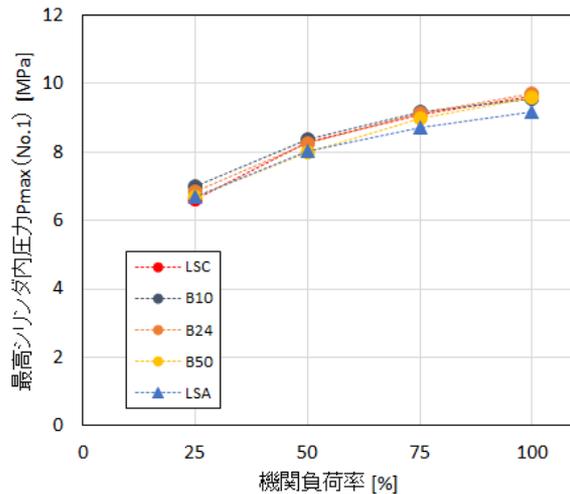
- ※ 燃料噴射圧力の波形は、LSC、B10、B50がほぼ重なっている。
- ※ LSAの燃料噴射圧力はLSCと比べて低い。
- ※ B24の燃料噴射圧力は、LSCやB10、B50と比べてやや低く計測され、LSAの波形に近付いている。その原因は不明である。



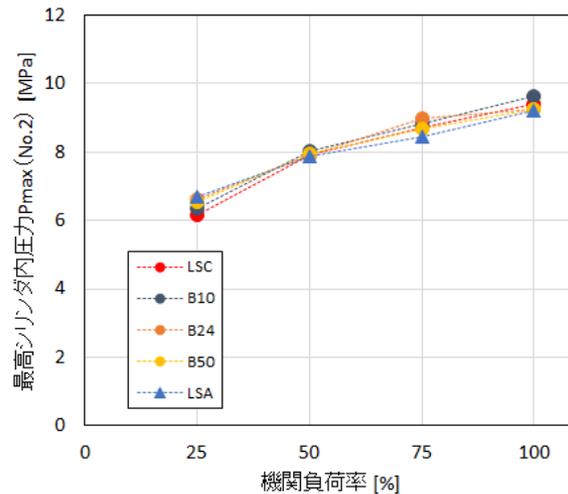
# 7. 陸上エンジン試験

## (11) 最高筒内圧力

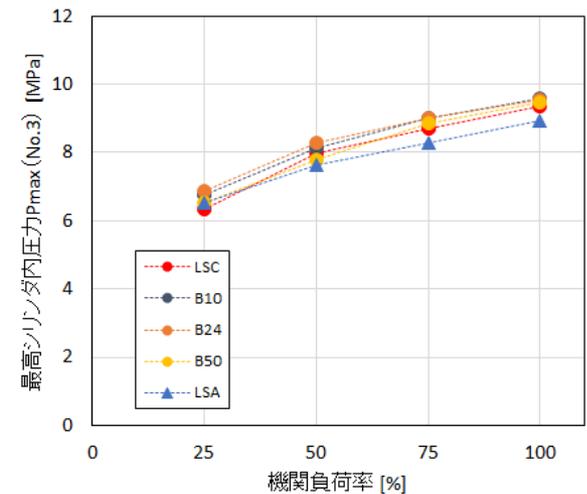
- いずれの運転条件においても、LSC-SVO混合油の最高筒内圧力 $P_{max}$ は、LSCと同程度である。



(a) シリンダ No.1



(b) シリンダ No.2



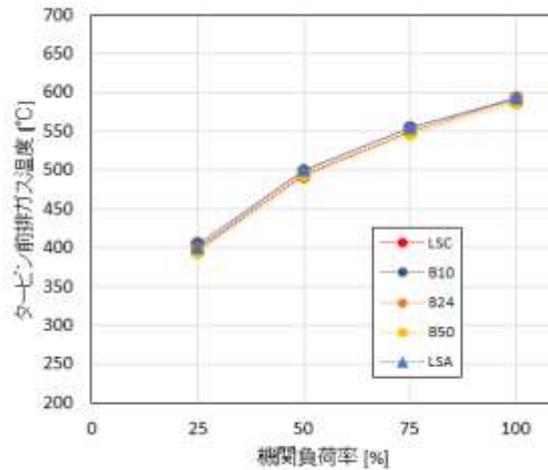
(c) シリンダ No.3

最高筒内圧力の計測結果

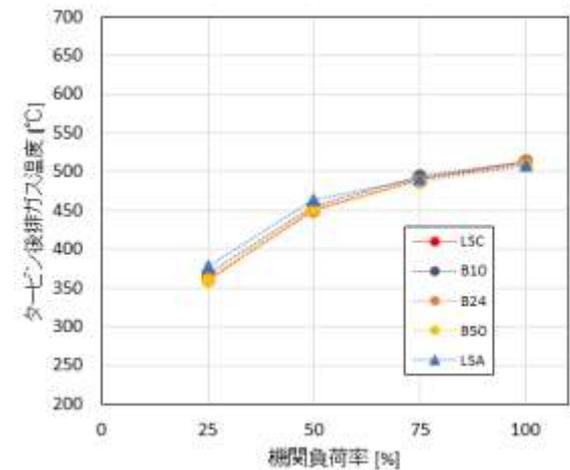
# 7. 陸上エンジン試験

## (12) 排ガス温度

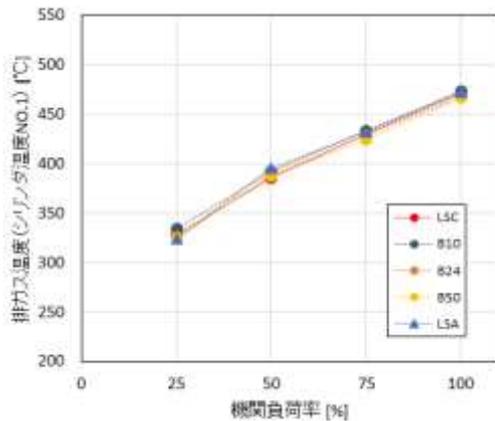
- いずれの運転条件においても，排ガス温度の違いはほとんど確認できない。



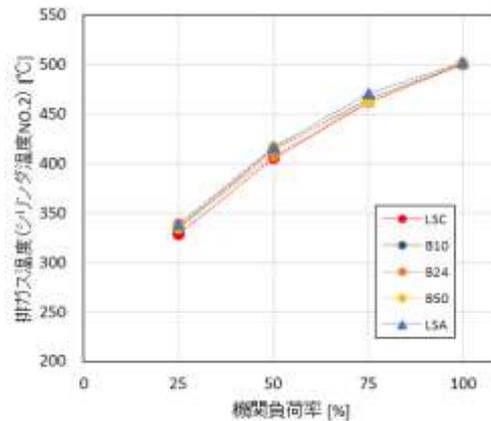
(a) 過給機前排ガス温度



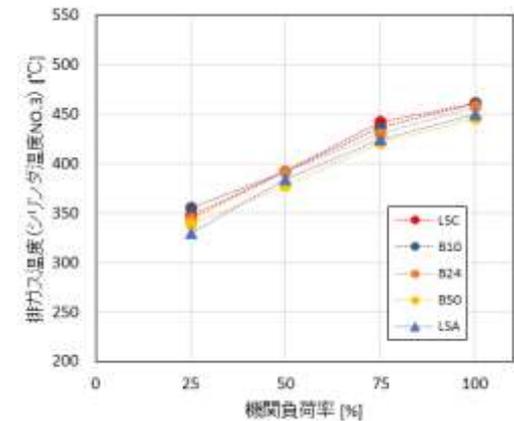
(b) 過給機後排ガス温度



(a) シリンダ No.1



(b) シリンダ No.2



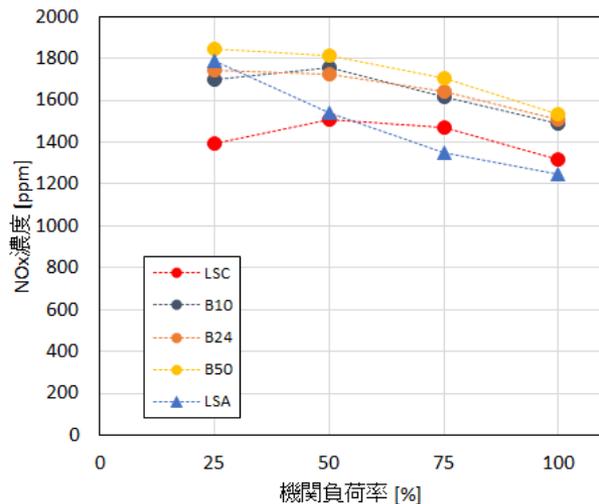
(c) シリンダ No.3

排ガス温度の計測結果

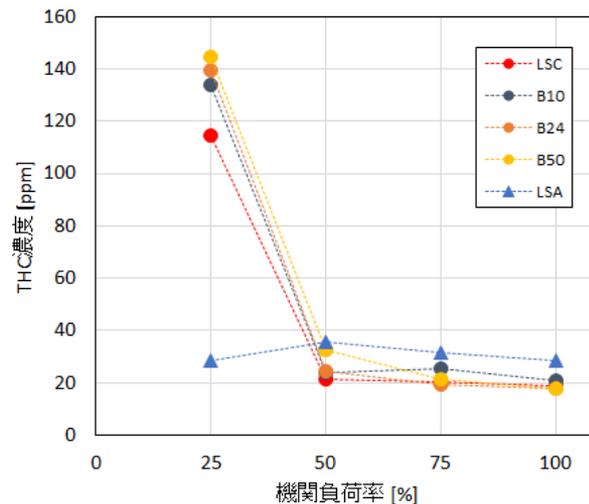
# 7. 陸上エンジン試験

## (13) 排ガス性状

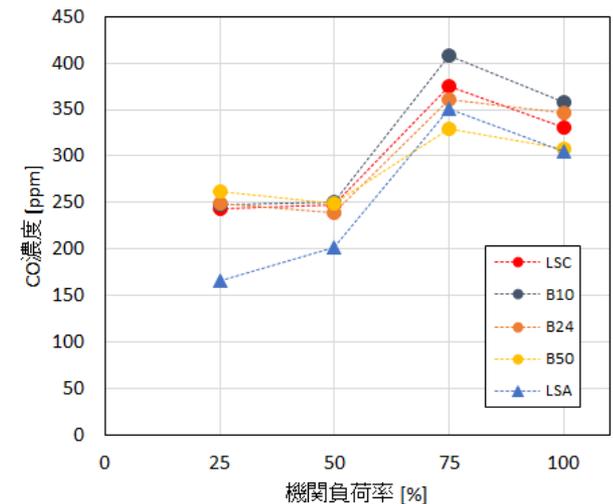
- LSC-SVO混合油使用時のNO<sub>x</sub>濃度は、すべての負荷域において、LSC使用時よりもわずかに高まる傾向がある。
- LSC-SVO混合油使用時のTHC濃度（Total Hydro Carbon）およびCO濃度はLSCと同程度である。



(a) NO<sub>x</sub>濃度



(b) THC濃度



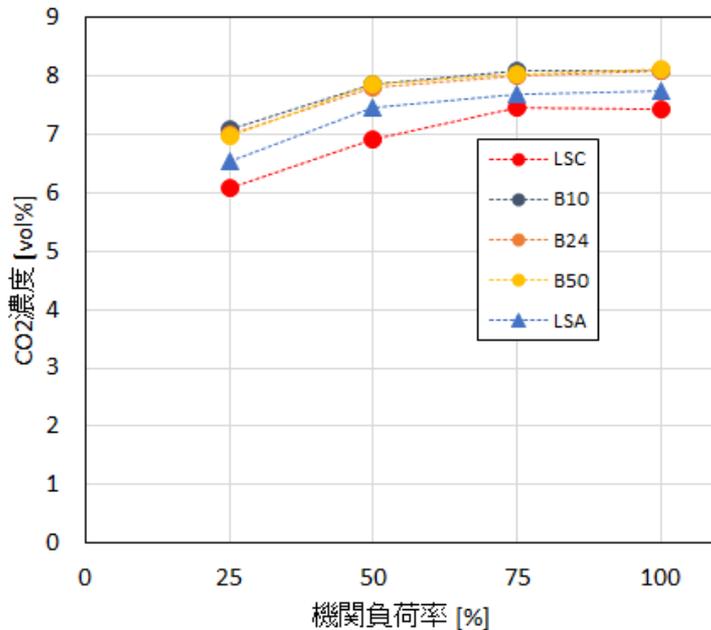
(c) CO濃度

排ガス性状の計測結果

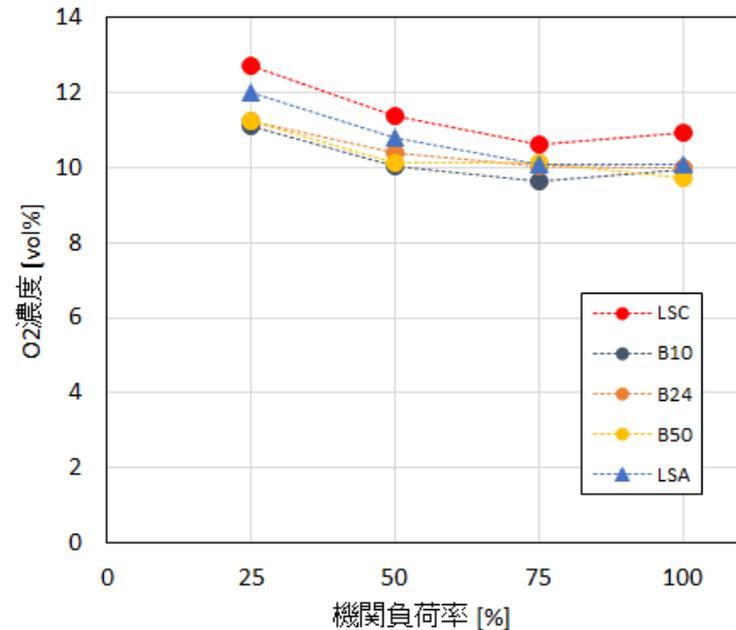
# 7. 陸上エンジン試験

## (13) 排ガス性状

- LSC-SVO混合油使用時のCO<sub>2</sub>濃度は、LSC使用時よりもわずかに高まる傾向がある。
- LSC-SVO混合油使用時のO<sub>2</sub>濃度は、LSC使用時よりもわずかに低下する傾向がある。



(d) CO<sub>2</sub>濃度



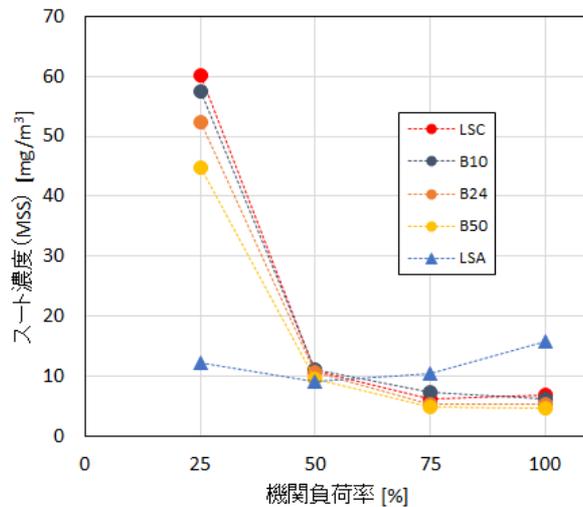
(e) O<sub>2</sub>濃度

排ガス性状の計測結果

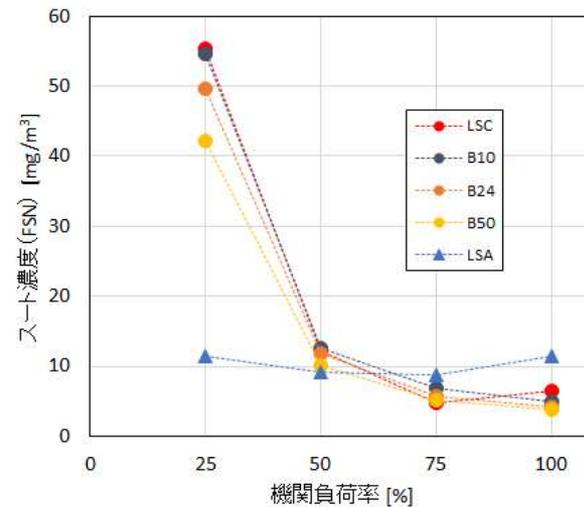
# 7. 陸上エンジン試験

## (13) 排ガス性状

- 2種類のスート濃度計測器を用いて計測した（MSS : Micro Soot Sensor, FSN : Filter Smoke Number）。
- 負荷率50%以上の範囲において， LSC-SVO混合油使用時のスート濃度はLSC使用時とほとんど変わらない。
- 負荷率25%におけるLSC-SVO混合油使用時のスート濃度は， LSC使用時と比べて低下している。



(f) スート濃度 (MSS)



(g) スート濃度 (FSN)

# 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。バイオ燃料SVO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の動粘度は、LSCと同程度であり、SVOとLSCの混合油も同程度である。一方、B100の密度はLSCよりもわずかに低く、SVOとLSCの混合油はその間となる。

## (2) 定容燃焼装置（FCA）による試験

- バイオ燃料SVOとLSAの混合油の圧力波形より、混合油の燃焼はLSAよりも早まる傾向にある。また、混合油の推定セタン価ECNは、LSAよりも高くなる。
- バイオ燃料SVOとLSCの混合油における圧力波形は、B10～B50の範囲において、LSAとLSCの間にある。B75およびB100の燃焼開始・燃焼終了はLSAよりも早い。

# 8. まとめ

## (3) 混合安定性

- 現時点までのスポットテストにおいて、バイオ燃料SVO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SVO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。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。また、高温貯蔵（80℃）による顕著な悪化は確認されなかった。

※ SVOとLSCの混合油において、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。

※ スポットテストはスラッジの有無を評価する試験である。スラッジ以外の固形生成物（例えばバクテリア等の微生物の増殖）については不明であり、注意が必要である。

※ 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。

## (4) ゴム材料の浸漬試験

- 中高ニトリルにおけるSVO（B100）の寸法変化率は、LSC、LSAと比べて小さい。混合油の寸法変化率はその間にある。
- 高ニトリルおよびフッ素ゴムにおけるSVO（B100）の寸法変化はほとんど確認できない。

# 8. まとめ

## (5) 陸上エンジン試験

- SVOとLSCの混合油を使用し、実験用4ストロークディーゼルエンジンによる実機試験を行った。
- すべての運転範囲において、バイオ燃料使用時の圧力波形はLSCと同程度であり、異常燃焼などの状況は確認されなかった。
- 着火遅れ（燃料噴射から着火開始までの時間）は、負荷率50%以上の範囲において、LSCとほとんど変わらないことを確認した。いずれのLSC-SVO混合油を用いた場合の着火遅れも、概ねLSCとLSAの間にあることを確認した。
- いずれの運転条件においても、LSC-SVO混合油の最高筒内圧力 $P_{max}$ や排ガス温度は、LSCと同程度であることを確認した。
- LSC-SVO混合油使用時の $NO_x$ 濃度は、すべての負荷域において、LSC使用時よりもわずかに高まる傾向がある。
- LSC-SVO混合油使用時のTHC濃度およびCO濃度はLSCと同程度である。
- 負荷率50%以上の範囲において、LSC-SVO混合油使用時のスート濃度はLSC使用時とほとんど変わらない。負荷率25%におけるLSC-SVO混合油使用時のスート濃度は、LSC使用時と比べて低下する。