

添付資料目次

- ・添付資料 A
NMRI まとめ

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 ～調査報告～

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。
- 本研究は、（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構（JRTT）が阪神内燃機工業株式会社に依頼した検証試験の一部であり、ユーグレナバイオディーゼル燃料のプレ商業品を使用する。



1. 概要

目的（仕様書より）

- 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共有船舶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。
- ディーゼルエンジンに使用されるバイオ燃料については、現在広く使用されている脂肪酸メチルエステル化バイオディーゼル燃料（FAME）に代わり、最近、次世代バイオ燃料が注目されている。
- 次世代バイオ燃料として、石油由来の軽油と同じ炭化水素の分子構造であり、同じ性状を有しているため、軽油と混ぜる必要がなく、エンジンや燃料インフラを改修せずに使用可能なドロップイン燃料が注目されており、食料生産と競合しない微細藻類由来のバイオディーゼル燃料等が挙げられる。
- 本調査では、微細藻類由来のバイオディーゼル燃料について、A重油を使用するディーゼルエンジンにおけるA重油との混焼にかかる技術的課題とその対処方法を整理し、活用可能性を検討する。

海技研の実施内容

- 海技研では、次世代バイオディーゼル燃料とA重油の混合に関する各種試験として、(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) 定容燃焼試験を実施する。



2. 使用する燃料

(1) サンプル油

- 本調査におけるバイオ燃料には、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。

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
流動点 [°C]	-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]	3.504 (30°C)	2.845 (50°C)	2.630 (50°C)	2.680 (50°C)
密度 (15°C) [g/cm ³]	0.8179	0.8718	0.8682	0.8704

※1：分析報告書の値、※2：代表性状表の値

補足「ユーグレナバイオディーゼル燃料」

- ◆ ユーグレナバイオディーゼル燃料は、石油由来の軽油と同じ炭化水素の分子構造であり同じ性状を有しているため、エンジンや燃料インフラを改修せずに使用可能なドロップイン燃料で、次世代バイオディーゼル燃料と呼ばれている。
- ◆ ユーグレナバイオディーゼル燃料として来年からの本格導入が予定されているプレ商業品は、2025年から供給量が大幅に拡充される予定の商業プラント品に繋げる前段階の製品であり、現状では20%バイオ燃料と80%軽油の混合燃料となる予定となっている。
- ◆ その生産は、ユーグレナ社が委託生産を予定しているが、揮発油等の品質の確保等に関する法律（品確法）及びJIS規格に適合予定となっている。（このサンプルは、本年後半から入手可能予定。）



ユーグレナ社のバイオディーゼル燃料
<https://www.euglena.jp/times/archives/15205>

(2) 試験に使用する混合油

- 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，定容燃焼試験を行う。



混合安定性試験



ゴム材料の浸漬試験

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	



A重油

バイオ燃料

準備したサンプル油

3. 混合安定性試験

(1) 試験方法

- 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。
- 船内で長時間の貯蔵が想定される常温条件については、混合後、約40日を経過した際のスポットテストを行う。
- 別途実施の低硫黄C重油（LSC）のスポットテストにおいて、時間経過200～400hで十分な影響が確認されているため、常温以外は400hとする。

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。



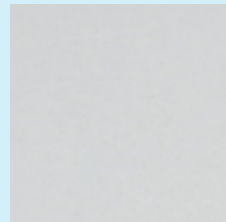
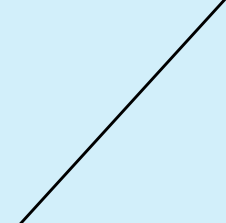
安定性がやや悪く、スラ
ッジトラブルが発生する可
能性がある。

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。

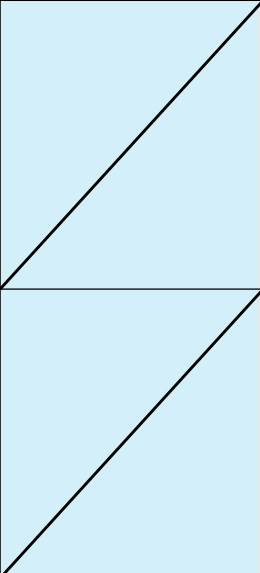


安定性が悪く、スラッジ
トラブルが発生する可能性
が高い。

(2) 試験結果【初期：0h】

	0%	10%	25%	50%	75%	100%	
H							B
N1							B
N2							B
備考	● 混合油を準備した直後，スポット試験を実施した。 ● A重油（100%）はやや色が濃く，バイオ混合燃料の混合割合が多いほど薄くなる。BIO100は目視でほとんど確認できないレベルである。 ● 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。						

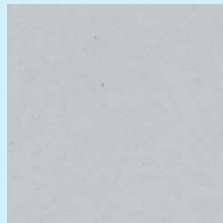
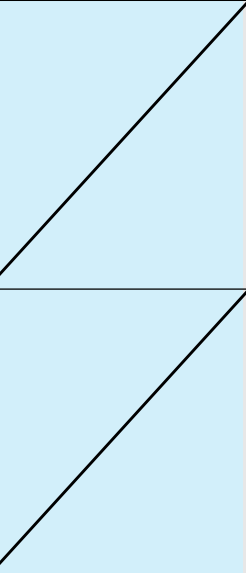
(2) 試験結果【100h, 温度0℃】

	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。						

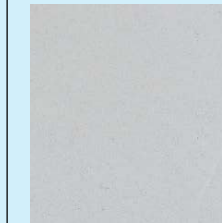
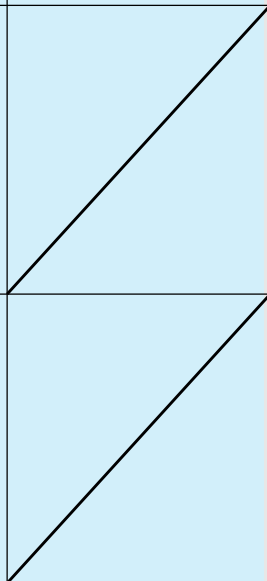
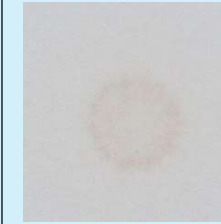
(2) 試験結果【100h, 常温（約23℃）】

	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。						

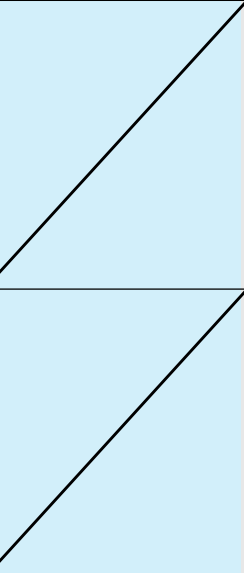
(2) 試験結果【100h, 温度55℃】

	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。						

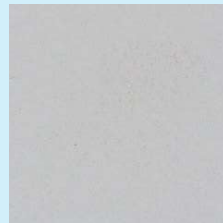
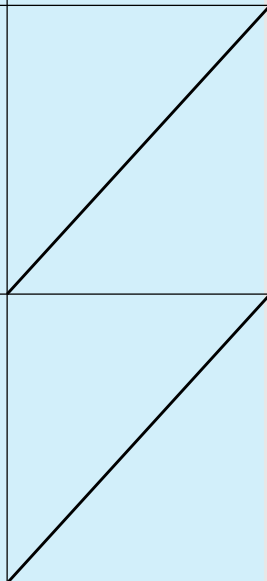
(2) 試験結果【100h, 温度80℃】

	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。						

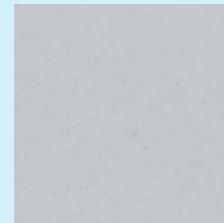
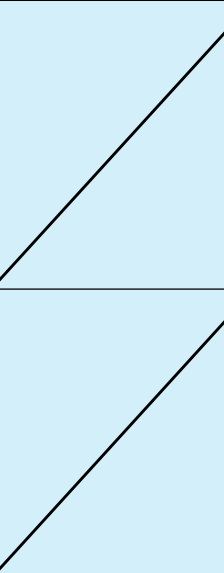
(2) 試験結果【150h, 温度0℃】

	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。						

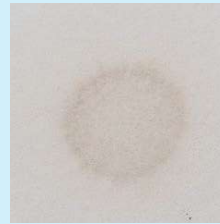
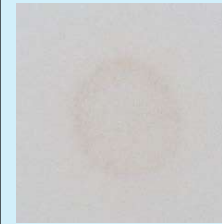
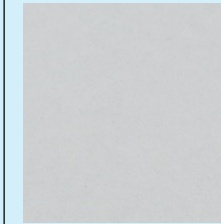
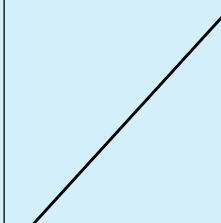
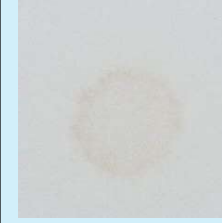
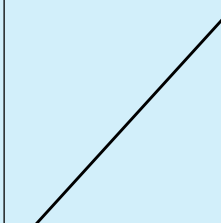
(2) 試験結果【150h, 常温（約23℃）】

	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。						

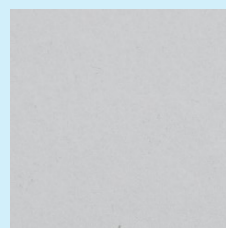
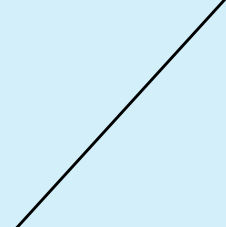
(2) 試験結果【150h, 温度55℃】

	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。						

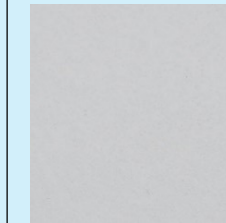
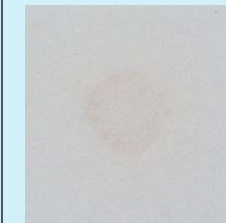
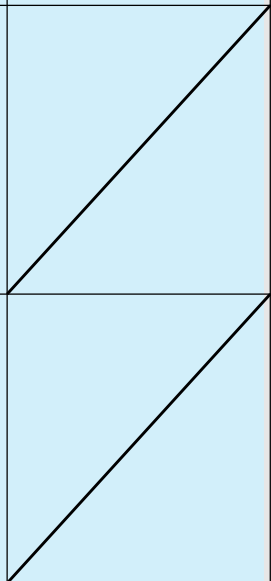
(2) 試験結果【150h, 温度80℃】

	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。						

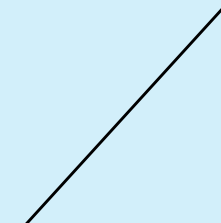
(2) 試験結果【200h, 温度0℃】

	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。						

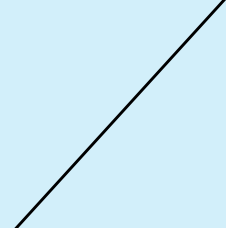
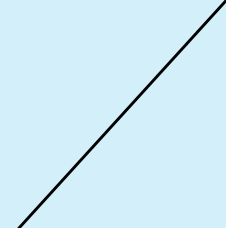
(2) 試験結果【200h, 常温（約23℃）】

	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。						

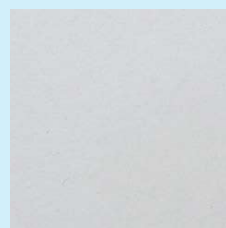
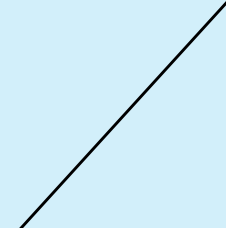
(2) 試験結果【200h, 温度55℃】

	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。						

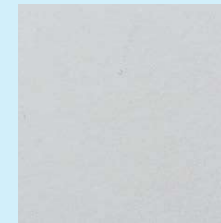
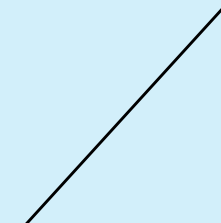
(2) 試験結果【200h, 温度80℃】

	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。						

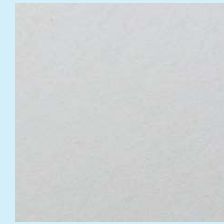
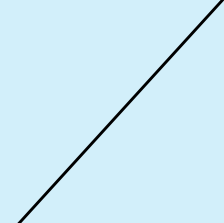
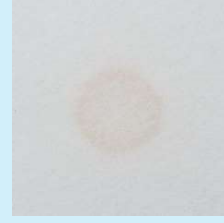
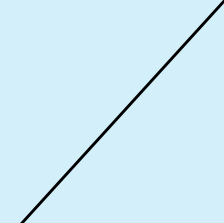
(2) 試験結果【400h, 温度0℃】

	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。						

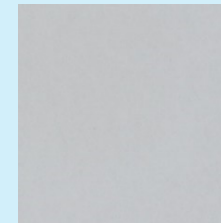
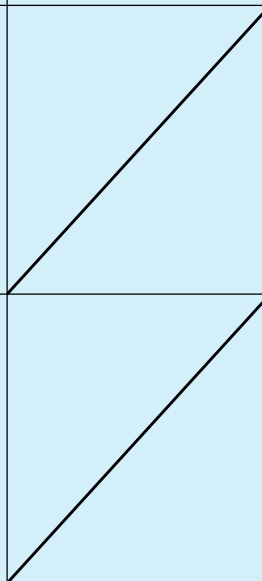
(2) 試験結果【400h, 常温（約23℃）】

	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。						

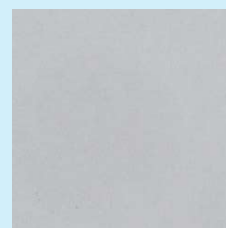
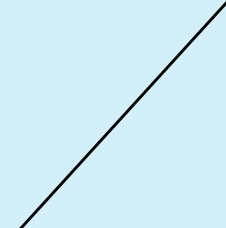
(2) 試験結果【400h, 温度55℃】

	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。						

(2) 試験結果【400h, 温度80℃】

	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。 ※ 400hの試験は、試験設備の都合により、連続加熱では実施していない。200hの試験終了後、一度常温まで冷却した後、再度80℃まで加熱している。						

(2) 試験結果【約40日，常温】

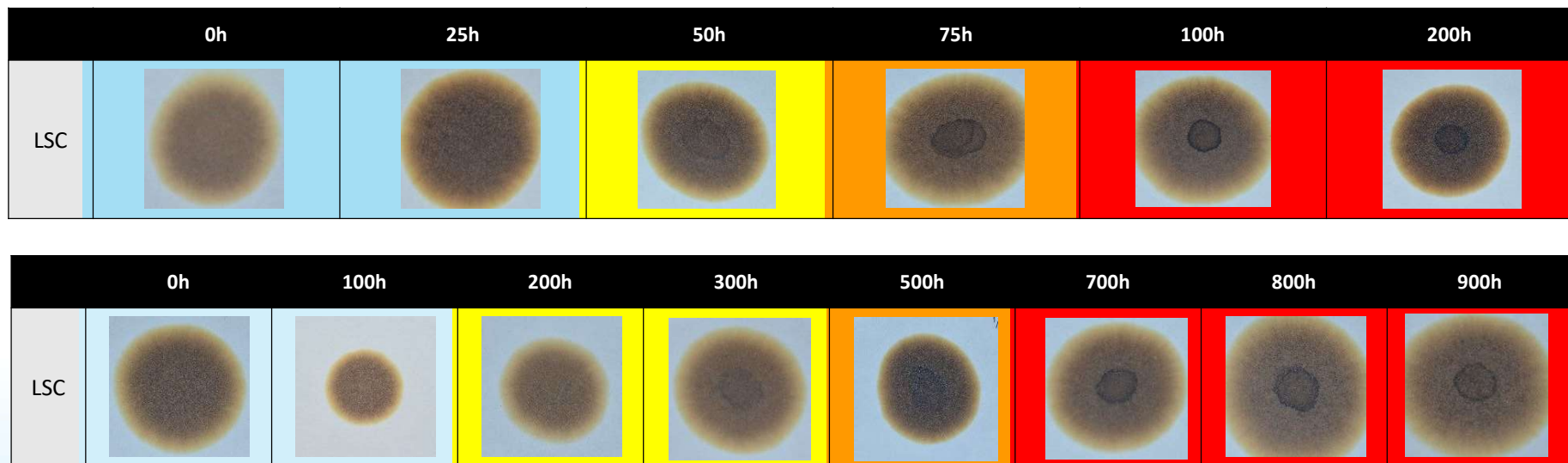
	0%	10%	25%	50%	75%	100%	
H							B
N1							B
N2							B
備考	● 初期状態の結果との違いを確認できない。 ● いずれも試料油を滴下したところにリング（内円）がまったく認められない（評価No.1）。安定性に問題ないと評価される。						

(4) 混合安定性のまとめ

- 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～400h、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。

参考

- 本調査で実施したバイオ混合燃料の混合安定性については問題は確認されなかった。一方、別途実施した低硫黄C重油（LSC）の単体安定性試験においては、温度が高いほど安定性の悪化が早まる結果が得られている（下図参照）。
- バイオ燃料使用時のスラッジ発生は、ベースとなる燃料油の安定性の影響を受けると考えられるため、注意が必要である。



低硫黄C重油（LSC）の単体安定性試験の結果例（上：80℃，下：55℃）

4. 動粘度および密度の計測

(1) 試験方法

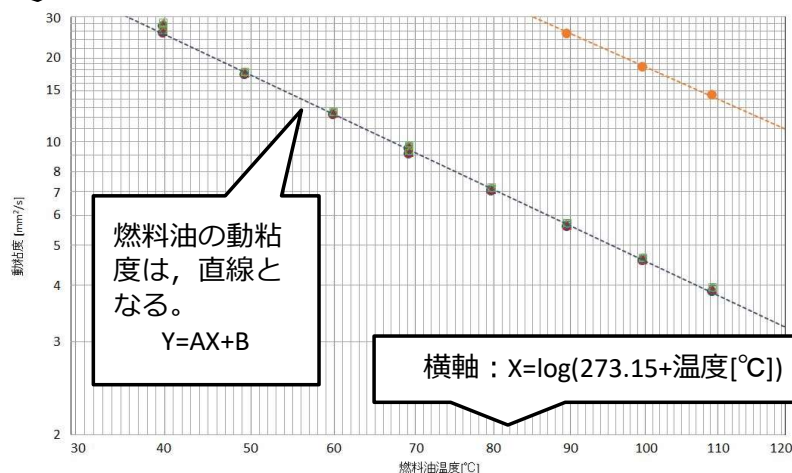
- バイオ混合燃料，A重油およびそれらの混合油の動粘度および密度を，温度0～100℃の範囲で計測する。
- 動粘度および密度の計測には，Anton Paar社製SVM 3001を使用する。

【補足】

燃料油の動粘度は温度が高いほど低下し，JIS K 2283 附属書1に示される動粘度-温度チャート（対数グラフ）に動粘度をプロットすると，直線になることが知られている

縦軸： $Y = \log\{\log(\text{動粘度}[\text{cSt}] + 0.7)\}$

動粘度 $[\text{cSt}] = 10^{10^Y} - 0.7$



動粘度-温度チャート



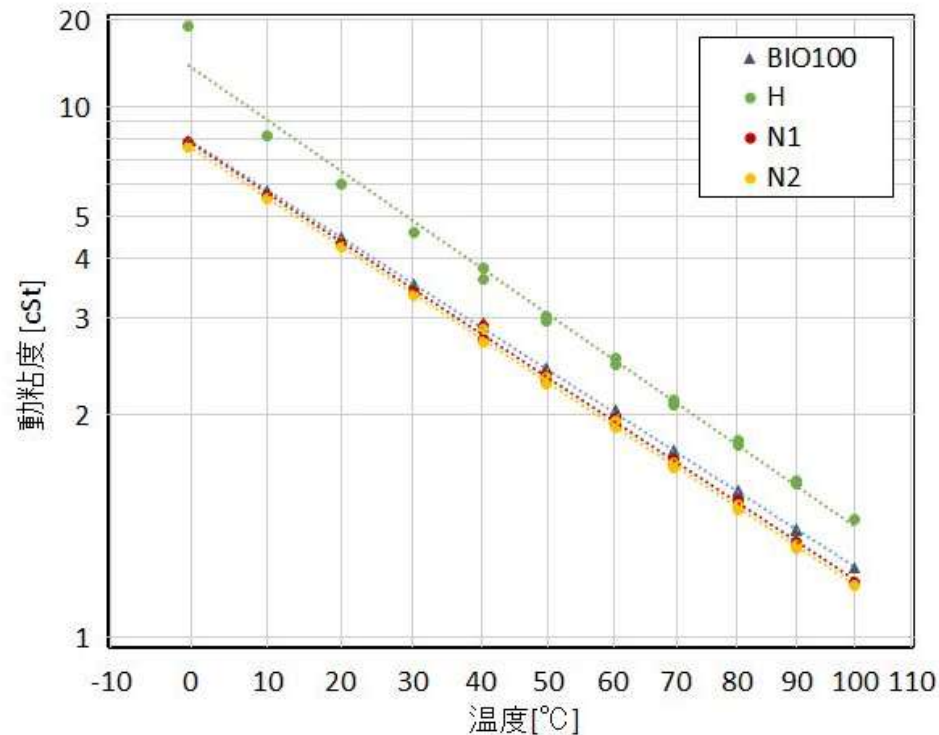
精密動粘度・密度計測器
SVM 3001（Anton Paar社）

メーカーHPより

ジェット燃料やディーゼル油の認定取得にも，潤滑油や重油の測定にも，原油の分類にも，最適なソリューションです。-60～+135℃のあらゆるサンプルを一体型になった1つのセルで測定可能です。ペルチエ素子温度制御により急速な加熱と冷却が可能であり，組み込みのPCで，ASTM D445準拠のバイアス補正された結果，API度，粘度指数など，幅広い自動計算が可能です。

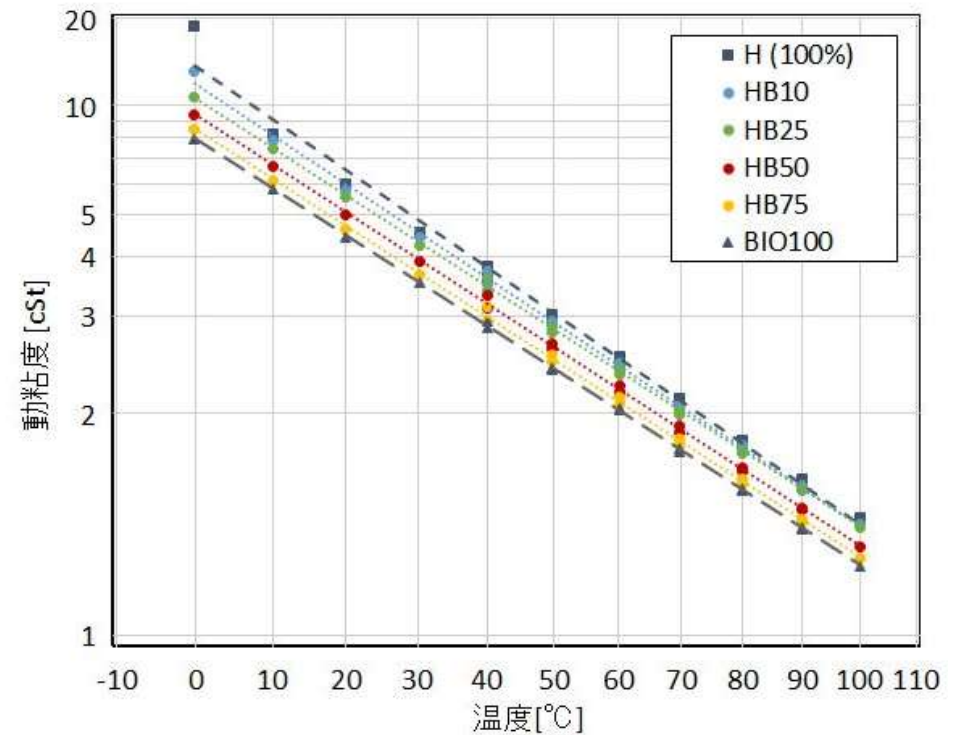
<https://www.anton-paar.com/jp-jp/products/details/svm-3001/>

(2) 動粘度の計測結果



(a) バイオ混合燃料およびA重油（100%）

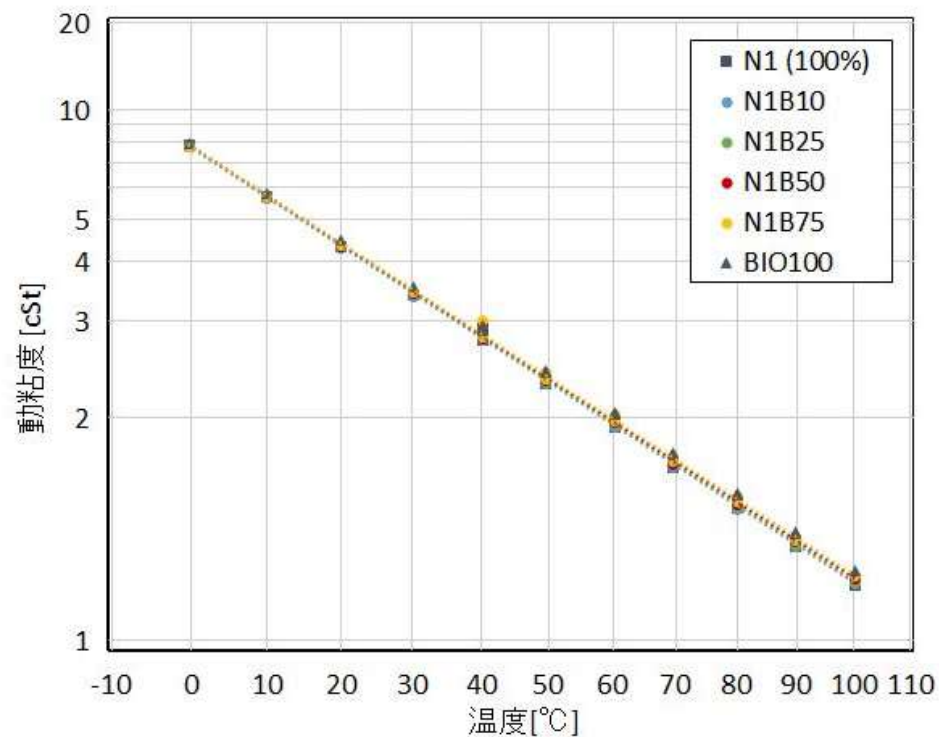
- バイオ混合燃料とA重油N1, N2の動粘度はほぼ同じである。
- A重油Hの動粘度は、バイオ混合燃料よりもやや高い。



(b) バイオ混合燃料およびA重油Hとの混合

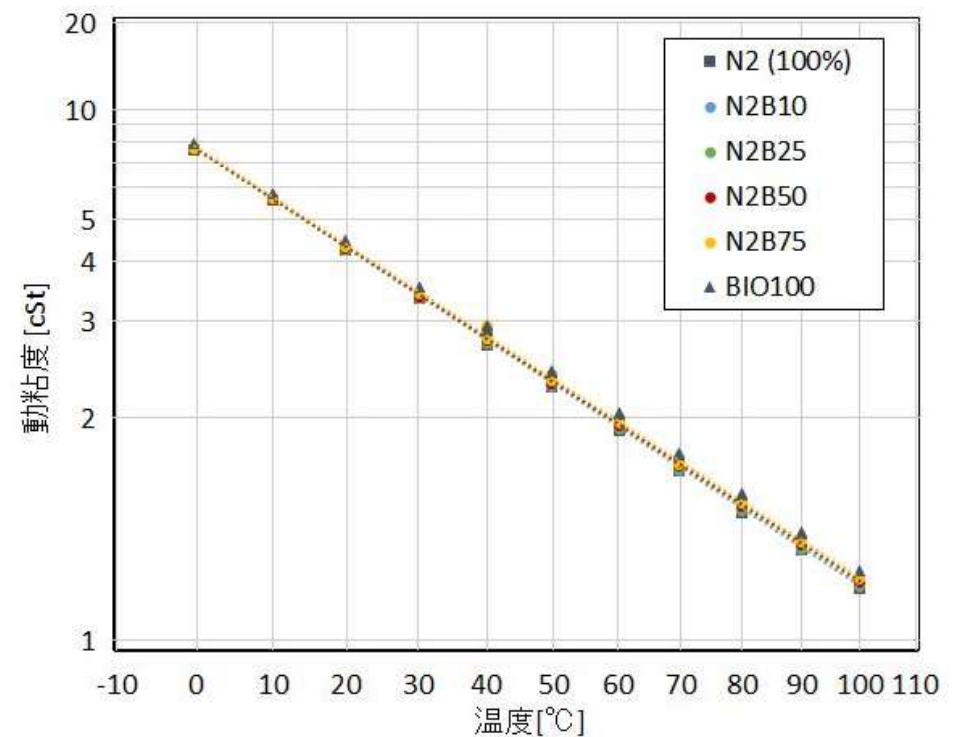
- 混合油の動粘度は、バイオ混合燃料とA重油Hの間にある。

(2) 動粘度の計測結果



(c) バイオ混合燃料およびA重油N1との混合

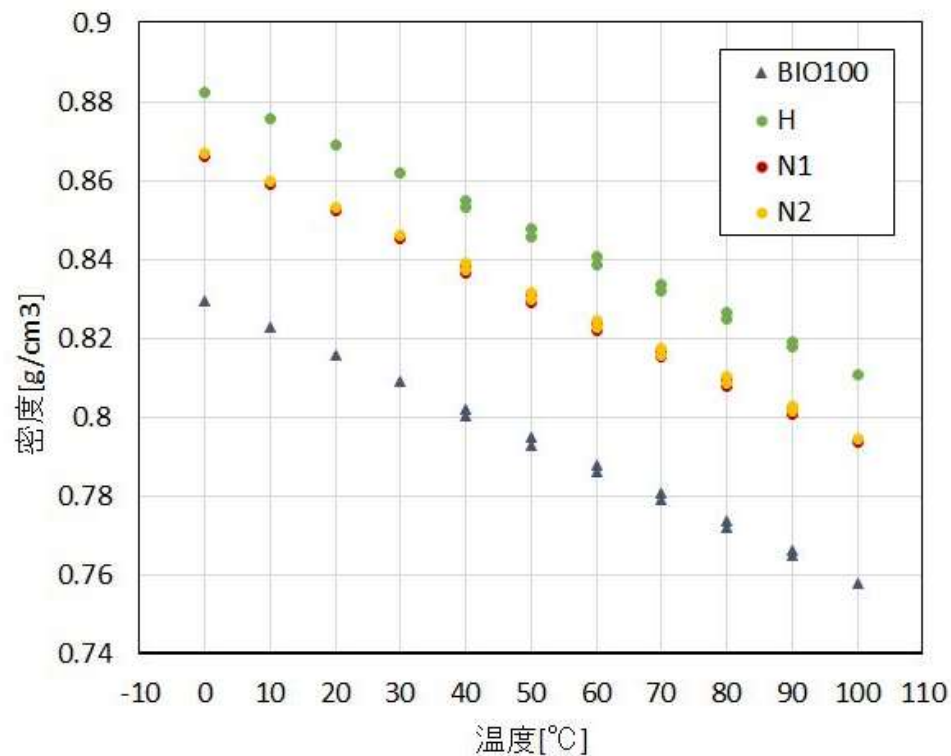
- バイオ混合燃料とA重油N1の動粘度はほぼ同じであり，混合油の動粘度は混合割合の影響をほとんど受けない。



(b) バイオ混合燃料およびA重油N2との混合

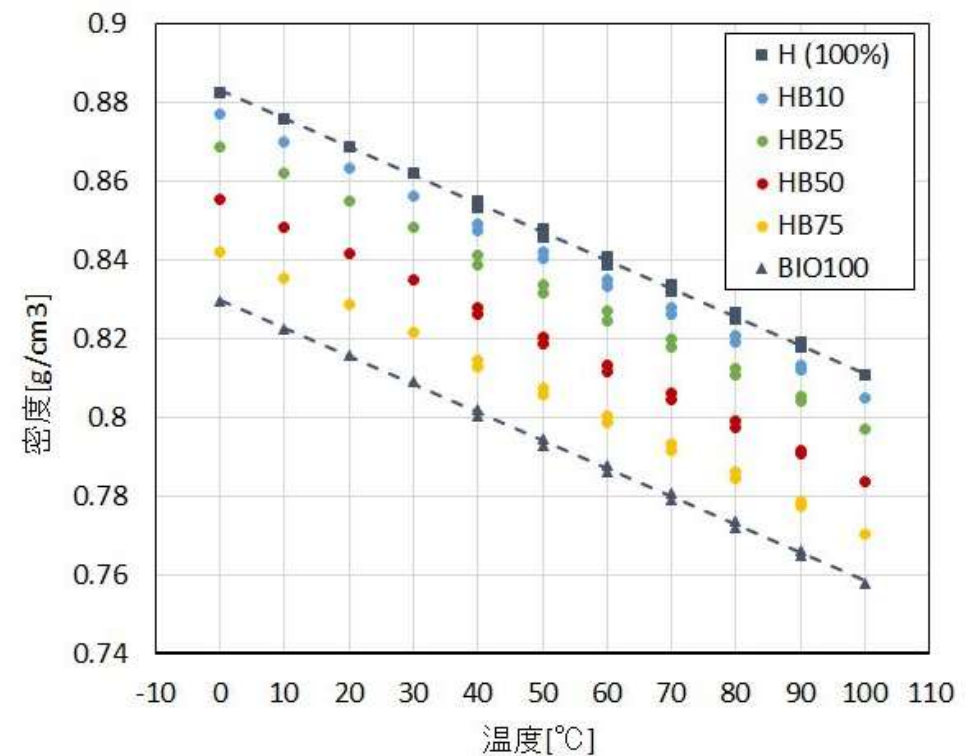
- バイオ混合燃料とA重油N2の動粘度はほぼ同じであり，混合油の動粘度は混合割合の影響をほとんど受けない。

(3) 密度の計測結果



(a) バイオ混合燃料およびA重油（100%）

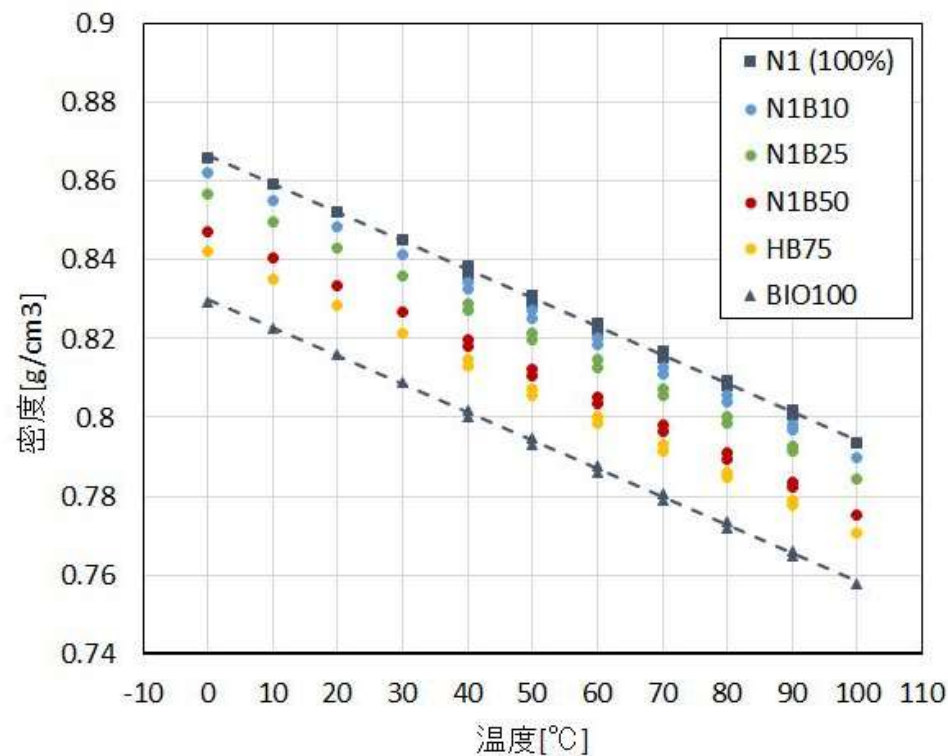
- バイオ混合燃料の密度はA重油（H, N1, N2）よりも低い。



(b) バイオ混合燃料およびA重油Hとの混合

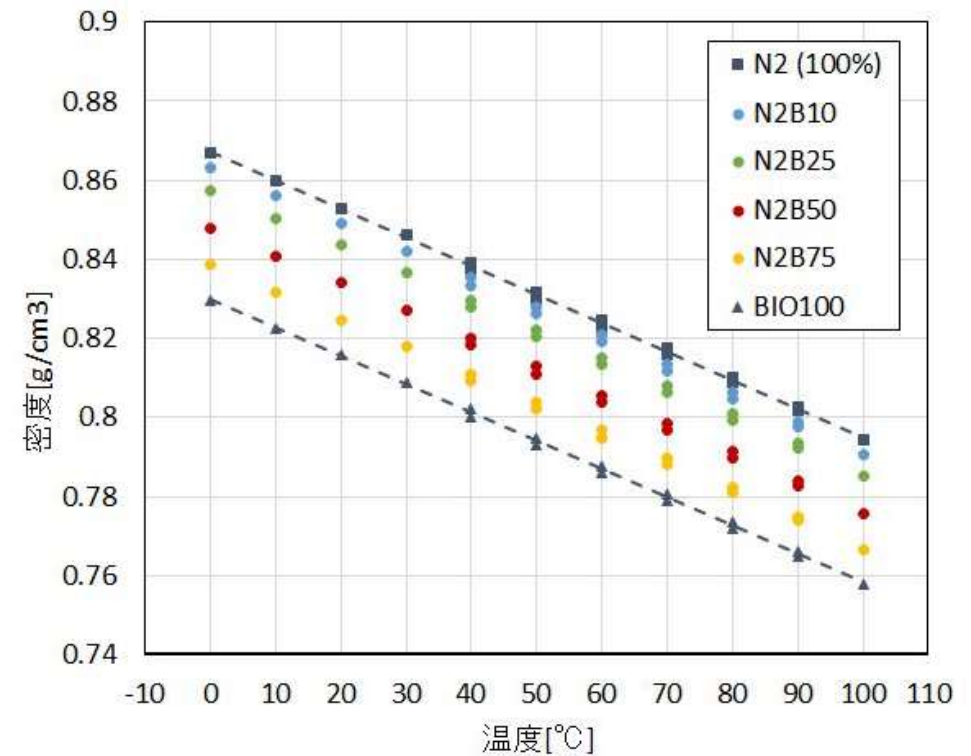
- 混合油の密度は、バイオ混合燃料とA重油Hの間にある。

(3) 密度の計測結果



(c) バイオ混合燃料およびA重油N1との混合

- 混合油の密度は、バイオ混合燃料とA重油N1の間にある。



(d) バイオ混合燃料およびA重油N2との混合

- 混合油の密度は、バイオ混合燃料とA重油N2の間にある。

(4) 流動性の確認

- バイオ混合油, A重油およびそれらの混合油を0℃以下に冷却し, そのときの流動性を確認した。
- いずれの混合油においても, -7℃以下の温度状態で固まることはなく, 流動性は良好であった(流動点は0℃以下)。



A重油の低温流動性



バイオ混合油の低温流動性



混合油HB50の低温流動性

(5) 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。

5. ゴム材料の浸漬試験

(1) ゴム材料について

- ゴムには多くの種類があり、その特徴を踏まえて使用することが重要である。

ニトリルゴム

- 燃料油のシール部品などでは、ニトリルゴム（NBR）がよく使われている。
- NBR（アクリロニトリル-ブタジエンゴム）は、アクリロニトリルとブタジエンを共重合して得られる合成ゴムである。
- ニトリルゴムは、成分や製造方法により特性が異なる。例えば、結合アクリロニトリル量が増加すると、耐溶剤性が向上するとされている。

(ref) 吉村務, ゴムの工業的合成法 第4回 アクリロニトリル-ブタジエンゴム, 日本ゴム協会誌, 第88巻, 第10号, 2015

フッ素ゴム

- ニトリルゴムと比べて高価ではあるが、耐油性、耐熱性、耐候性などに優れた高度な性質を有する合成ゴムである。

代表的なゴムの特徴（参考）

油・溶剤	天然ゴム (NR)
ニトリルゴム	ブタジエンとアクリロニトリルとの共重合体からなる合成ゴム。最も一般的なゴム材料であり、適度な弾性を持つためシール性能が高い。耐油性に優れている。
シリコンゴム	耐熱性（最高225℃程度）、耐寒性（最低-60℃程度）、耐候性に優れているが、機械的強度が低い。
フッ素ゴム	分子中にフッ素原子を含む共重合体からなる合成ゴム。シリコンゴムよりも耐熱性が高く（最高250℃程度）、耐油性、耐薬品性にも優れている。
アクリルゴム	ニトリルゴムよりもやや耐熱性に優れている。耐油性に優れており、エンジン油やギヤ油のシールに適している。

ゴムの耐油・耐溶剤性（一部・参考）

油・溶剤	天然ゴム (NR)	ニトリルゴム (NBR)	シリコンゴム (Si)	フッ素ゴム (FKM)
バンカー油	×	◎	○	—
ガソリン・軽油	×	◎	△～×	◎
ケロシン	×	◎	×	◎
ベンゼン	×	×	△	○
トルエン	×	×	△	○

https://kayo-corp.co.jp/common/pdf/rub_propertylist.pdf
https://kayo-corp.co.jp/common/pdf/rub_proof.pdf

(2) ゴム材料の試験片

- ゴムメーカ（株式会社テクノ月星殿）のご協力をいただき、4種類のゴム材料を準備した（下表参照）。
- 提供されたゴム材料は厚さ約2mmのシート状であり、直径約18mmに切り出して試験片とした。
- 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	C	D
種類	中高ニトリルゴム (中高NBR)	高ニトリルゴム (高NBR)	極高ニトリルゴム (極高NBR)	フッ素ゴム (FKM)
アクリロニトリル 含有量	31～35%※	36～42%※	43%以上※	---
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	アクリロニトリル含有 量を高めた材料	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。

(3) 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。



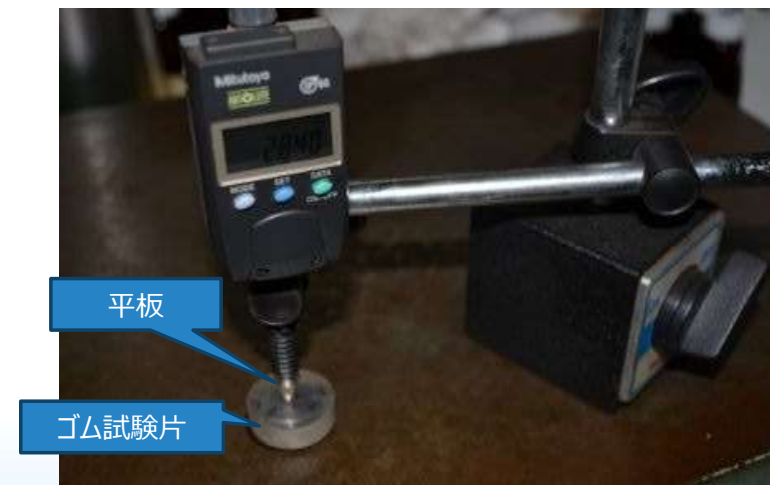
恒温槽



恒温槽内の試験片

(b) 寸法計測

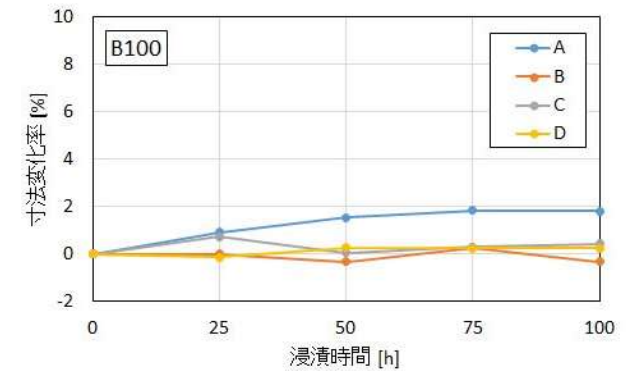
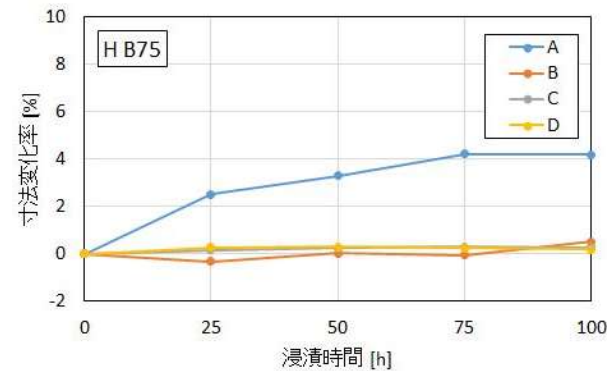
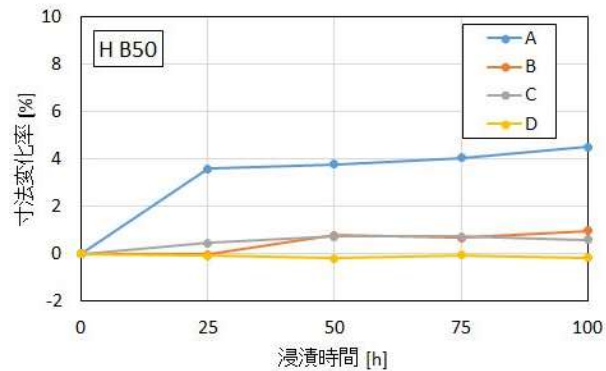
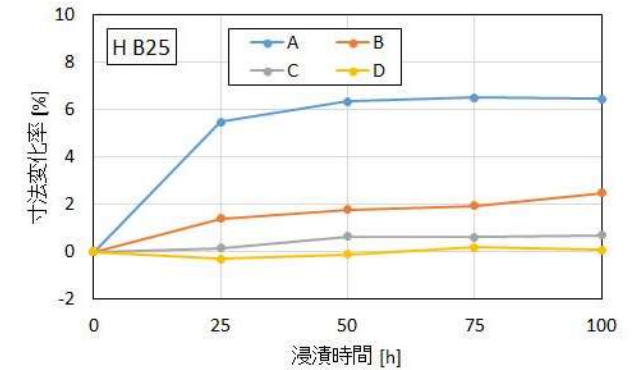
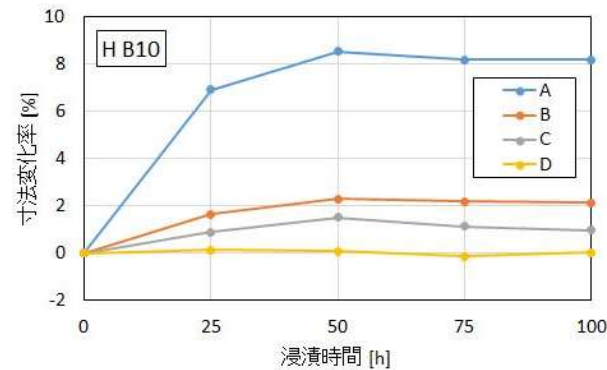
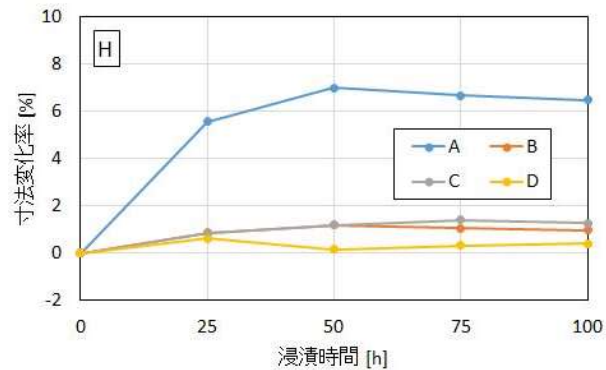
- 定盤の上にゴム試験片を置き、アルミニウム合金製平板による一定加圧条件の下、デジタルマイクロゲージ（分解能1/1000mm）で寸法（厚さ）を計測する。
- ギュ試験片上の4点の寸法を計測をして平均値を求め、あらかじめ浸漬試験の前に個々の試験片において計測していた基準長さに対する変化率（寸法変化率）を算出する。



ゴム試験片の寸法計測

(4) 試験結果【時系列データの例】

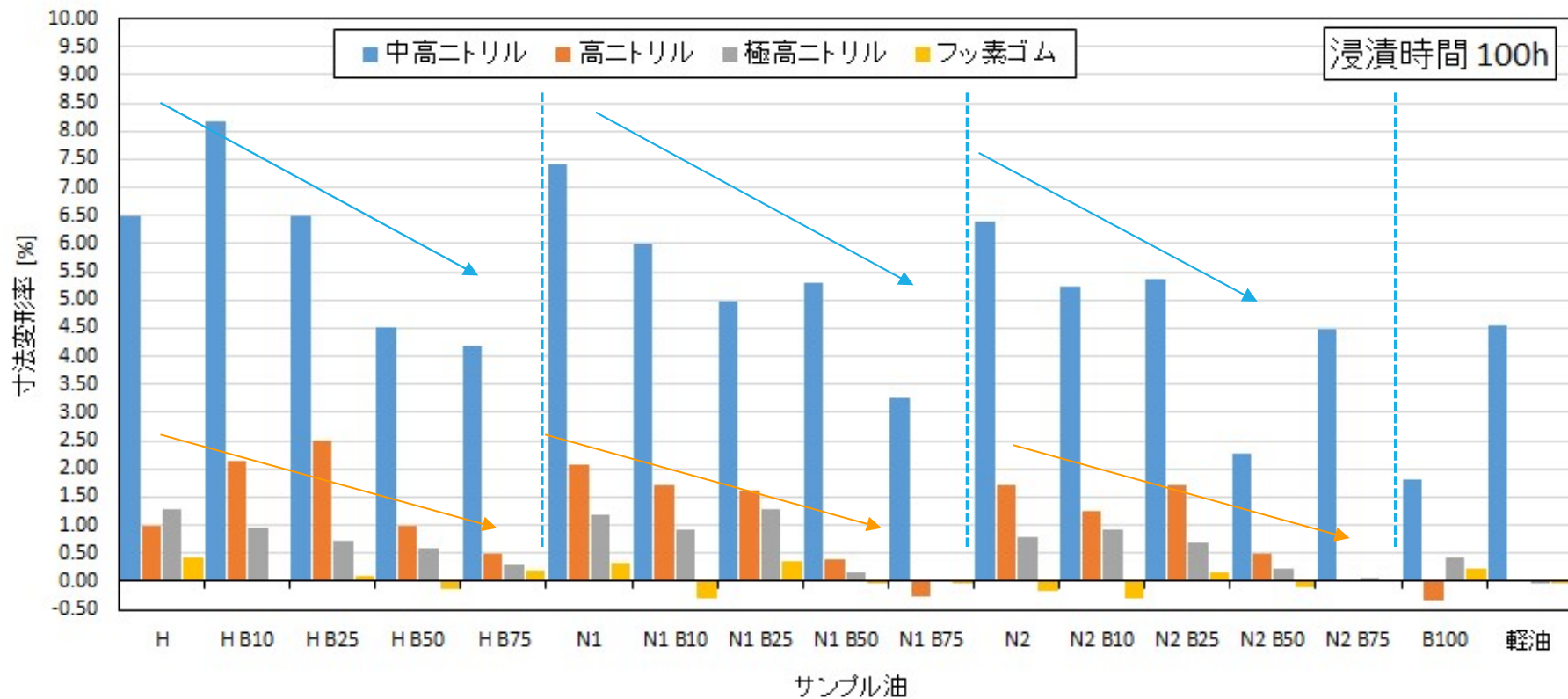
- いずれのサンプル油, ゴム材料においても, 50~75時間程度の浸漬時間で変形量が安定した。
- 変形量が安定した浸漬時間100時間における寸法変形率を整理する。



各種ゴム材料の寸法変形率の時系列データ (A重油H)

(4) 試験結果

- 中高ニトリルゴムの寸法変化率は他のゴム材料と比べて大きい（最大寸法変化率8%程度）。
- 高ニトリルゴムおよび極高ニトリルゴムの寸法変化率は小さい（最大寸法変化率1～2%程度）。フッ素ゴムの寸法変化率はさらに小さい（寸法変化率0.5%以下）。
- いずれのゴム材料に対しても、バイオ混合燃料の寸法変化率は、今回使用したA重油よりも小さい。
- ばらつきはあるものの、いずれのゴム材料に対しても、寸法変化率はバイオ混合燃料の混合割合が増加するほど小さくなる傾向がある。



各種ゴム材料の寸法変形率の計測結果（浸漬時間100h）

(5) 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。

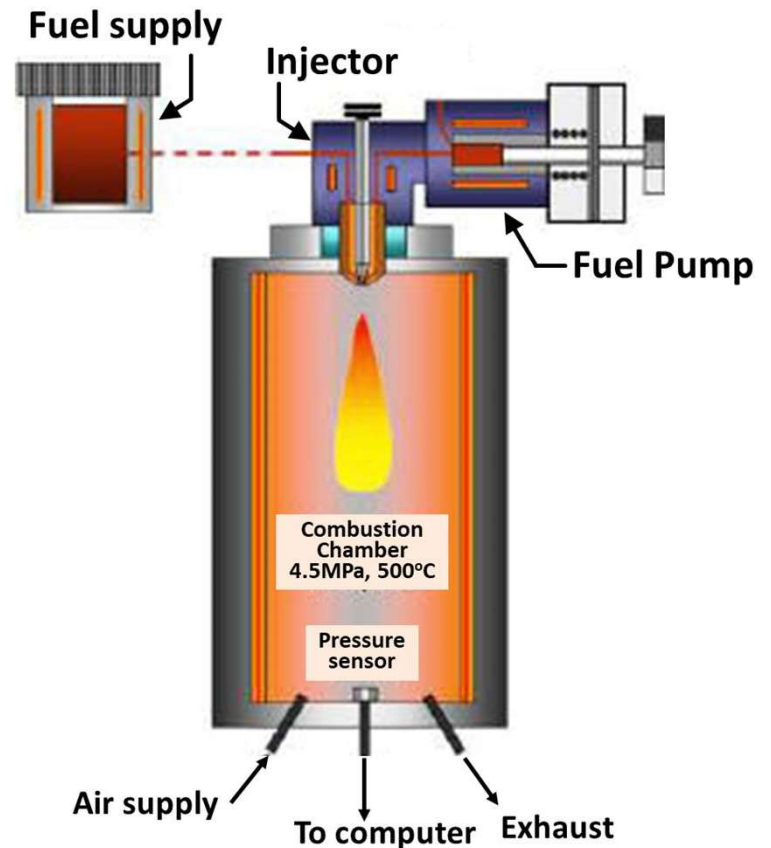
6. 定容燃焼試験

(1) 試験方法

- 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。

* 燃焼過程のパラメータは, 中速エンジンの低負荷時を想定して設定されている。

Process parameters	
Initial chamber temperature	537 °C
Initial chamber pressure	4.5 MPa
Injection pressure	35 MPa
Injected volume	approx. 0.1 ml/injection
No. of injections per test	25

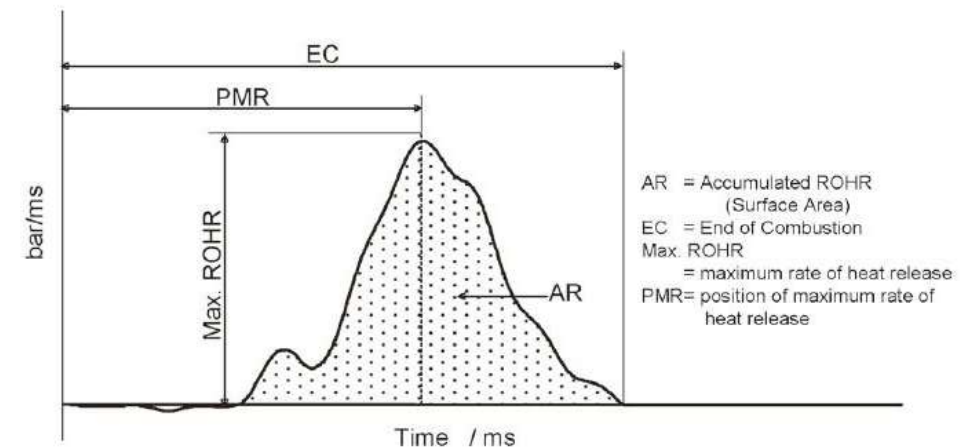
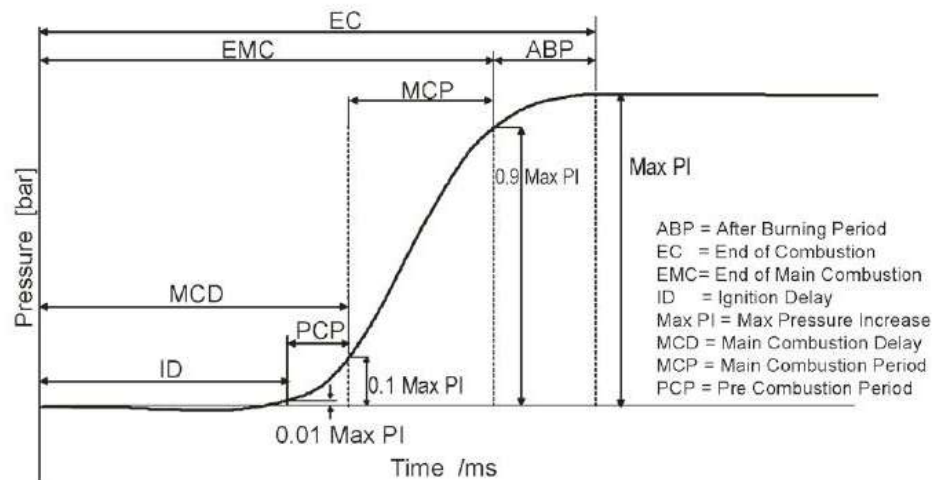


FIA-100 Fuel
Combustion Analyzer
(FCA)

(2) 評価方法

Sample viscosity mm ² /s@50°C	Fuel reservoir (°C)	Injection assembly (°C)	Fuel pump (°C)	Fuel grades ISO 8217:2010
	30	50	50	mch / n-heptane
<25	50	50	50	DM grade, RMA
25 - 800	125	125	125	RMB - RMK
800 -2000	145	145	145	

$$ECN = 153.15e^{-0.2861MCD}$$



Description of parameters from test method IP541/06

- (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

(2) 評価方法

記号	意味
ID Ignition Delay	圧力波形が上昇し始める点。燃焼終了時の最高圧力の1%に達するまでの時間として求められる。
MCD Main Combustion Delay	燃焼終了時の最高圧力の10%に達するまでの時間として求められる。 主燃焼過程がはじまる時間と位置付けられる。
ECN Estimated Cetane Number	MCDの値から次式で求められる。 $ECN = 153.15e^{-0.2861MCD}$
Max ROHR - Max Rate of Heat Release level and PMR - Position of Max ROHR	PMRが遅く、Max ROHRの値が高い場合、エンジンの信頼性が損なわれる可能性がある。さらに、ピストンリングも通常状態ではなくなる可能性がある。 Max ROHRの値が低い場合、一般的に燃焼期間（CP）が長くなる可能性がある。シリンダ内の燃焼が遅くなり、スモークとPMが増加する。 PMRが遅く、Max ROHRの値が低い場合、膨張行程の温度低下をもたらす、スートとPMが増加する。
EC - End of Combustion CP - Combustion Period	長い燃焼期間（CP）は、HFOの重質な成分がシリンダ内で燃えるのに時間がかかることを意味する。すなわち、スートとPMの増加、さらに、過給機トラブルのリスクが増大し、過給機が汚れている場合、過給機回転数の増加や過給機前排ガス温度の上昇をもたらす。
ABP - After Burning Period	ABPの精度は高くないため、比較は難しい。ABPの著しい増加は、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を起こし得る。



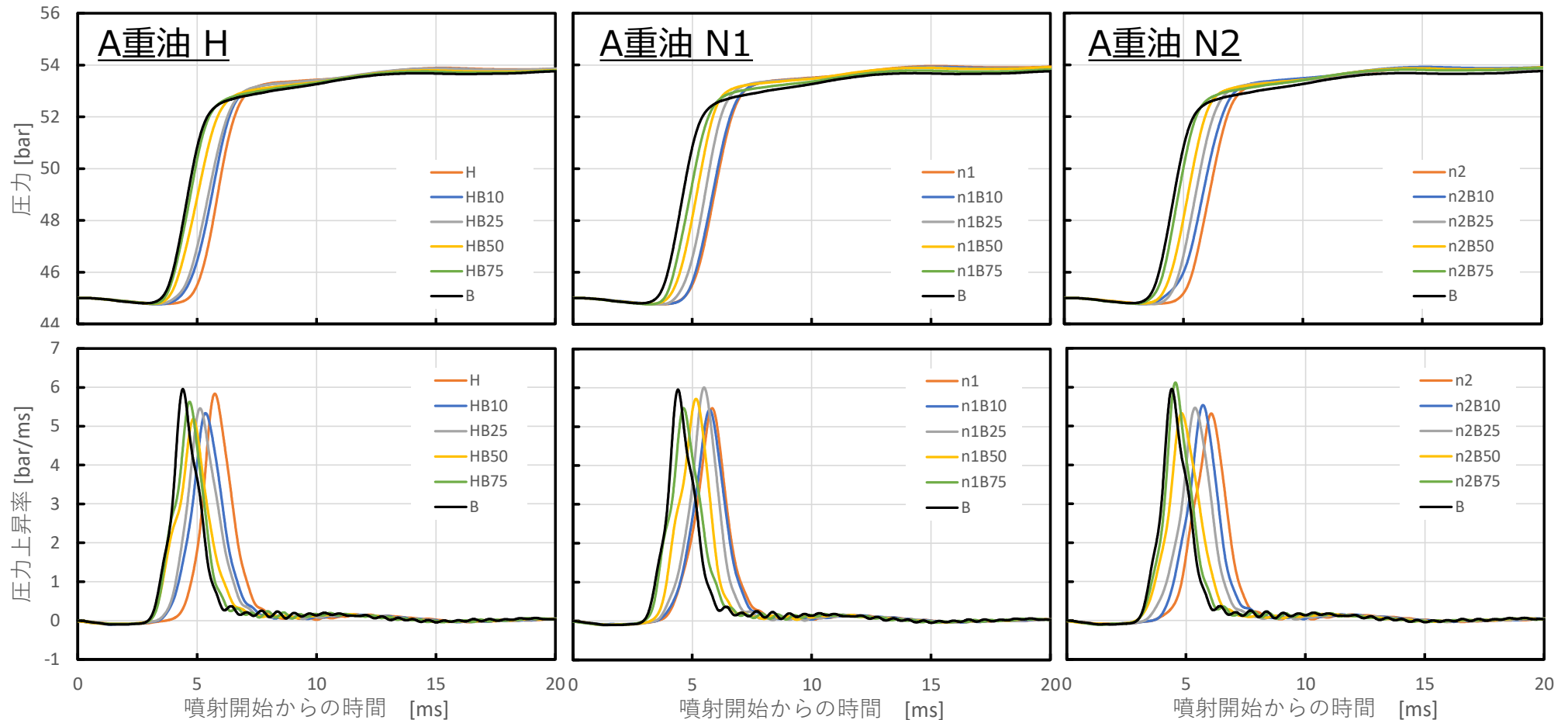
CIMAC "Fuel Quality Guide - Ignition and Combustion", 2011
CIMAC_WG07_2011_Guideline_Fuel_Quality_Ignition_Combustion.pdf



(3) 試験結果

➤ A重油との混合実験の結果

圧力計測結果

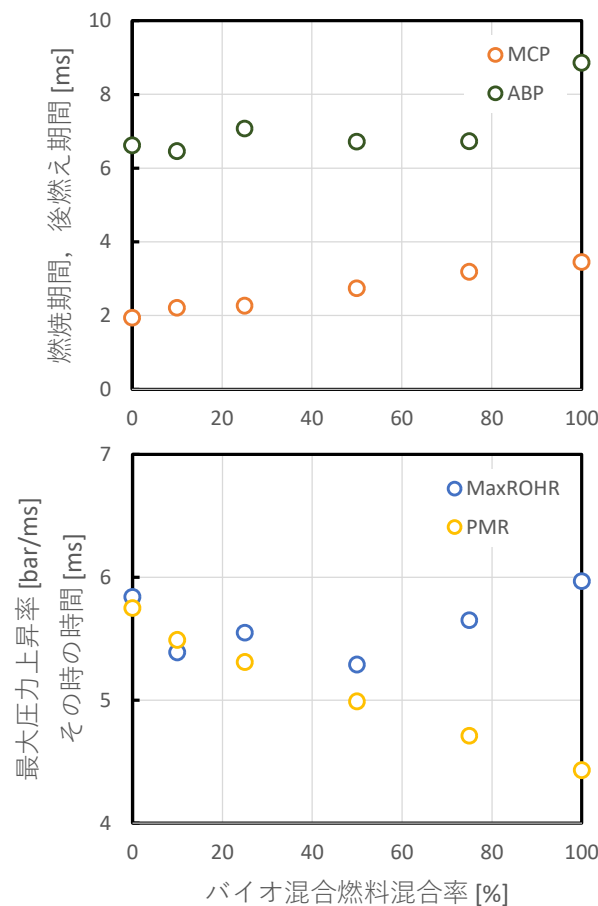
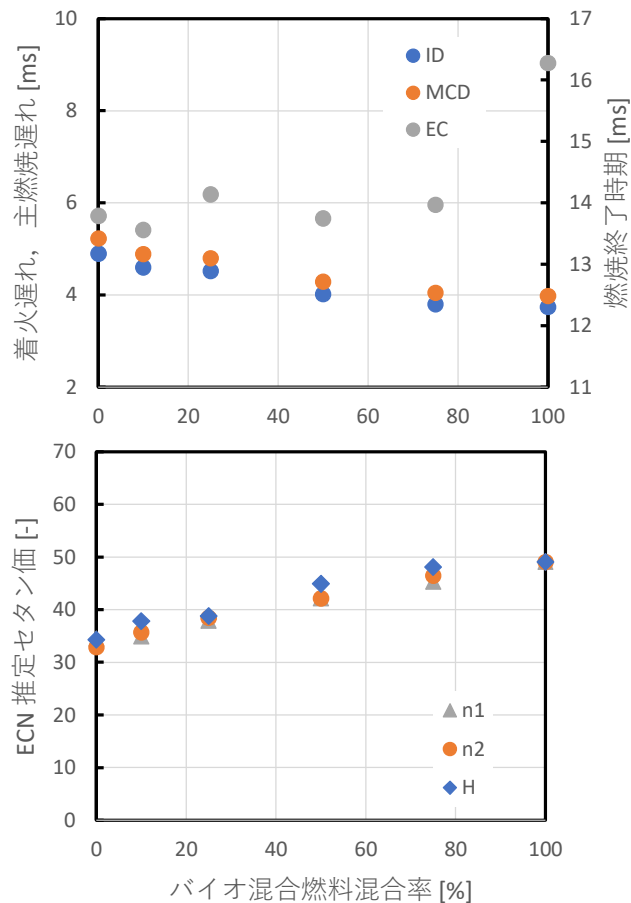


- バイオ混合燃料の混合が増すと着火が促進される。
- バイオ混合燃料の混合を変化させても、最大圧力（最終的な圧力）は変わらない。すなわち、混合した燃料の発熱量はあまり変わらない。
- 圧力上昇率（熱発生率と同等）のグラフ形状はほとんど変わらず、立ち上がりの時期のみ変化する。

(3) 試験結果

➤ A重油Hとの混合実験の結果

圧力解析からの結果



着火関係 (ID, MCD)

- 混合量の増加に伴い, 減少する。

セタン価 (ECN)

- A重油が34.3(H), 34.5(N1), 32.9(N2), 混合率が50%を超えるとECN算出式の範囲を超えるため, 参考値となる。
- 総じて燃焼性は良好である。

燃焼終了 (EC, ABP)

- 混合量の増加に伴い, 増加する。

最大圧力上昇 (MaxROHR, PMR)

- 混合量の増加によって, その時間は短縮化される。

(4) 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 バイオ混合燃料の混合量の増加によって、燃焼期間が長期化した。
- 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。

7. 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。