

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
豊田通商株式会社に委託して実施したものである。

廃食油回収・バイオ燃料活用の 地産地消トライアル実証調査

調査報告書

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

2025年2月

目 次

1. はじめに
2. 港湾における廃食油回収の実態・課題調査
 - 2.1 ヒアリング結果
 - 2.2 港湾における廃食油回収のための定量的検討
 - 2.3 実現可能性および課題点の整理
3. バイオ燃料への活用の調査
 - 3.1 廃食油およびバイオ燃料の取り扱いの現況
 - 3.2 調査結果および課題
4. 陸上試験設備でのバイオ混合燃料を用いた試験
 - 4.1 試験に使用する燃料油
 - 4.2 動粘度・密度の計測
 - 4.3 定容燃焼装置（FCA）による試験
 - 4.4 陸上エンジン試験
 - 4.5 その他の試験
 - 4.6 まとめ
5. 内航船舶での廃食油回収とバイオ燃料実証試験
 - 5.1 実船試験に使用する燃料油
 - 5.2 動粘度・密度の計測
 - 5.3 混合安定性試験
 - 5.4 廃食油回収とバイオ燃料の実証試験
 - 5.5 課題の抽出と整理
6. まとめ

1. はじめに

調査目的（仕様書より）

2021年の地球温暖化対策計画の改定を受けて様々なカーボンニュートラルの施策が進展する中、内航海運における取り組みのひとつとして、既存船においてエンジンや燃料インフラの大規模改修をせずにドロップイン燃料として使用可能なバイオディーゼル燃料（以下、バイオ燃料という）の活用可能性が注目されている。

また、地球温暖化対策・SDGsの社会的な認識の高まりを受け、家庭やレストラン、食堂から回収された使用済みてんぷら油などの廃食油を原料としたバイオ燃料を製造する取り組みが自動車業界、航空業界などを中心に注目されている。しかし、内航船からの廃食油については現状、その多くが再生されることなく廃棄されている。

このような状況をふまえ、内航海運分野における廃食油回収の促進とこれを原料としたバイオ燃料活用の拡大による地産地消型リサイクルシステムの構築やカーボンニュートラル推進について、その実現可能性の検証や技術的課題点の抽出整理を目的とする、各種実態調査や実証試験を実施する。

2. 港湾における廃食油回収の実態・課題調査

調査の概要

港湾の管理者や関係者へのヒアリング等により、船舶から排出される廃食油やその他の廃棄物の現状の取り扱い状況を整理するとともに、船舶から排出される廃食油の港湾内での一時保管（集積場の設置）や廃食油回収業者による回収作業の実施について、手法の検討やその実現可能性、現時点での課題点を整理する。

調査対象とする港湾は、本プロジェクトで廃食油の回収又はバイオ燃料の供給を実施する名古屋港とする。

実現可能性や課題点の整理にあたっては、技術面のほか、回収にあたっての法制面での課題点や、一時保管中の廃食油が気象影響等により海上流出した際の取扱いを含めることとする。また、船舶から排出される廃食油の量や寄港する船舶の隻数、廃食油回収業者の回収頻度などをふまえた定量的な検討も織り込む。

名古屋港管理組合へのヒアリング

港湾管理者へのヒアリングは、以下のとおり実施した。

ヒアリング日時：2024年12月26日 13:00-14:00

ヒアリング先：名古屋港管理組合企画調整室 次世代エネルギー推進担当

ヒアリング実施者：豊田通商株式会社，海上技術安全研究所

2.1 ヒアリング結果

(1) 廃食油の現状の取り扱い状況

- 現状，廃食油の回収は行っていない。
- 産廃回収を行っている関連会社に聞き取り調査を実施した結果，廃食油は取り扱い量が少ないことから，原則受け入れをしていないとのことである。

(2) 船舶から排出される廃食油の港湾内での一時保管について

- 名古屋港臨港地区（都市計画法に基づいて指定された地区）では，地区内の分区における構築物の規制に関する条例があり，分区の目的に合わない構築物の建設や用途の変更を禁止している。
- その上で，廃食油保管場所というのは，これまでにない施設であり，前例もないため，検討なしに禁止されることはないという判断であるとのことであった。
- すなわち分区用途に合えば設置可能であると考えられ，廃食油回収の場合，第8号保管施設に相当し，集積所を倉庫とみるか，貯油施設とみるかで，設置可能な分区が変わるという説明であった。
- 貯油施設の場合，工業港区，特殊物質港区，保安港区での設置が可能であり，倉庫の場合はそれに加え商港区にも設置が可能であるということである。（商港区：旅客，一般の貨物を扱う区）。

2.1 ヒアリング結果

(3) 港湾内での土地利用について

- 土地利用に関し、民間所有の土地が多く、管理組合の管理している土地には、ほとんど遊休地がない。
- 土地探しをする前に、管轄している港営部との調整が必要である。また、期間限定の貸借の方が、場所の選択肢が広がる。仮に管理地の一部を無償貸与したとしても、恒久的ではなく、一定期間後に負担金が生じる。
- 社会実証の一環として協力するスキーム（例：JRTT事業、国交省事業）であれば、別件で協力例もあり、やりやすい。名古屋港として新たな取り組みとして宣伝できると良い。

(4) 船舶以外からの回収について

- 周辺の食堂等の廃油を港湾に設置した集積所に集めることに問題はない。
- ただし、港湾と無関係の集積のみでは実施が難しいため、集めた廃食油をバイオ燃料に加工し、それを名古屋港の船に補油するようなスキームが必要である。

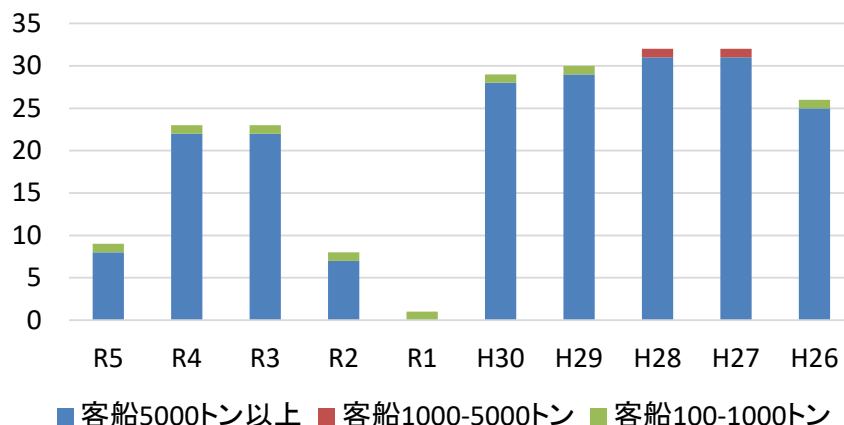
(5) 実現可能性や現時点での課題

- 名古屋港が母港ではない船舶も多い。荷役のみで短時間で出航する船種でも、食料・水等の補給があるため、廃食油回収の時間はとれると思われる。しかし、名古屋港入港の船舶すべてからどのように回収し、集積所に集めるのか想像がつかない。これまでにないものをつくるハードルもあるため、港営部に説明するための概念図が欲しい。
- 実現可能性への課題については、事業を進めながら検討および経済合理性を探っていく、という方針に賛同する。

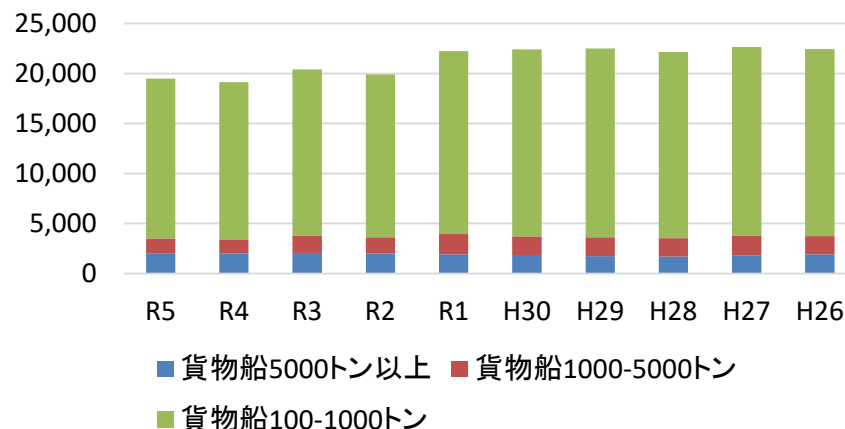
2.2 港湾における廃食油回収のための定量的検討

- 名古屋港管理組合ホームページに平成26年から令和5年の統計データがある。
- 外航船から産業廃棄物として廃油を回収する場合には、関税法に基づき、輸入申告、検査を受け、許可を受ける必要がある。そのため、本調査の対象から除外した。
- 100トン以上の内航船舶について、客船と貨物船の年間隻数は、定期船・不定期船を合わせると下図のとおりである。
- 内訳は、客船では5000トン以上の大型船が多く、貨物船では100～1000トンの比較的小型な船舶が大半を占めている。

客船年間隻数

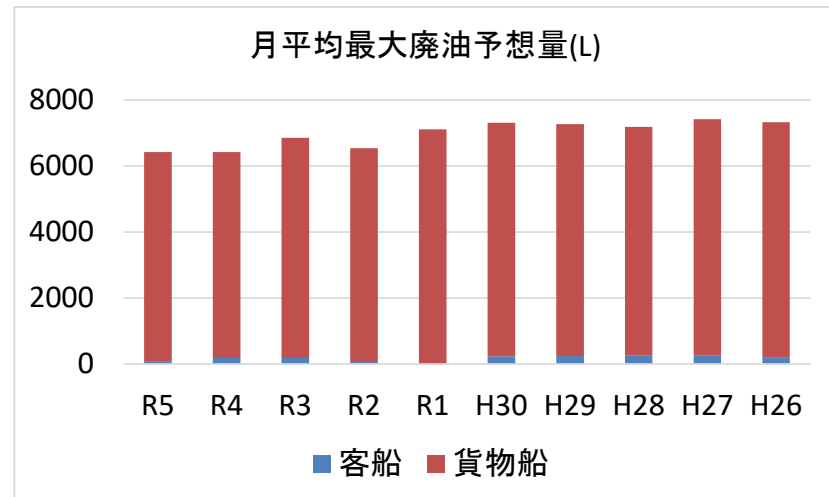


貨物船年間隻数



2.2 港湾における廃食油回収のための定量的検討

- 昨年度の調査をもとに、5000トン以上の客船は月当たり100L、貨物船は10Lの廃食油を排出するとして試算した。5000トン未満～100トンまでの船舶については、乗組員数と廃油排出量が比例すると仮定した場合、月平均の最大排出量は6000～7000Lと算出される（下図）。
- 統計には同じ船舶が重複してカウントされている可能性がある。同一の船舶が1週間に1回名古屋港に寄港する場合、4回の寄港毎に1ヶ月分の廃食油を回収することとなり、月平均1750Lの排出と試算される。2日に1回名古屋港に寄港する場合、月平均465Lの排出量となる。
- 5000トン以上の客船は廃油量/18Lのペール缶、5000トン以上の貨物船およびそれ以下の内航船は、1隻あたりペール缶を月1缶排出すると仮定すると、最大でおよそ1800缶のペール缶となる。これを集積所に保管し、1ヶ月に1回回収するためには、ペール缶を2段積み保管するとして、9m×9mのスペースが必要となる。（ペール缶直径30cm、高さ37cmで試算）。ただし、上述のとおり、寄港頻度を加味すると、7m×3m～3m×2m程度のスペースとなる。
- より多くの廃食油を回収するためには、100～1000トンの貨物船からも、廃食油を回収しやすくする仕組みづくりが重要である。なお、数百GT以下の船舶では平均5人程度の少人数乗組員となっており、その場合、個食のことも多く、使用する食用油が大幅に少ない可能性がある。



2.3 実現可能性および課題点の整理

以下、船舶から排出される廃食油等の現状の取り扱い状況を整理する。さらに、船舶から排出される廃食油の港湾内での一時保管（集積場の設置）や廃食油回収業者による回収作業の実施について、手法の検討やその実現可能性、現時点での課題点を整理する。

- ① 多くの船舶が入出港する名古屋港であっても、現状、廃食油は取り扱い量が少ないといったことから、廃食油の回収は行われていない。廃食油を回収するためには、調査事業等を進めながら経済合理性を探っていく必要があると考えられる。
- ② 船舶から排出される廃食油の港湾内での一時保管（集積場の設置）については、都市計画法等の制限に留意する必要がある。少なくとも、名古屋港においては前例がないため、実現のためには、より詳細な検討と関係者への丁寧な事前説明が必要である。
- ③ 昨年度の調査より、大型フェリー等の廃食油量が多い船において、廃食油回収業者による回収作業の実施は可能であると考えられる。一方、廃食油量が少ない貨物船については、指定容器が一杯になってなくとも定期的に回収を行うなど、より詳細な回収方法の検討が必要である。
- ④ 定量的な検討から、1隻あたりの廃油量が少ない貨物船であっても隻数が多いため、その想定廃油量は、客船全体より遙かに多いことがわかった。これらの少量多数の廃油をいかに効率良く回収するかも課題である。
- ⑤ また、昨年度の調査より、廃油回収は回収業者が船内に立ち入っての回収を希望する船が多かったことから、短時間寄港の船舶も含め、指定容器の回収・交換をスムーズに行えるような手法の検討が必要である。

2.3 実現可能性および課題点の整理

- ⑥ より多くの廃食油を回収するため、港湾周辺の飲食施設等からの廃油回収スキームも検討を要する。
- ⑦ 一時保管中の廃食油が気象影響等により海上流出した際、あるいは廃食油を回収する際に海上流出の取扱いについては不明である。いずれの場合であっても、海上流出を防ぐ対策が必要である。
- ⑧ 他の港との比較検討は難しいが、名古屋港特有の課題は確認されない。

2.4 課題解決の提案

以下，上記に記した課題に対する解決策について，昨年度の調査結果を踏まえつつ提示する。

- ① 船内で発生する廃食油を回収し，陸上でバイオ燃料を製造した後，船舶の燃料として使用するリサイクルの仕組みを一般化することによって，今まで廃棄処理されていた廃食油を有効に利用することができる。
- ② 効率的な運用，安心できる運用のためには廃食油回収の事業者ガイドラインの策定や一連の運用における検証試験が重要になると考えられる。
- ③ 船舶だけからの廃食油の回収量は必ずしも十分ではなく，地産地消モデルを実現するためには，荷主工場などの陸上における廃食油回収との連携が必要になると考えられる。
- ④ 1隻あたりの廃油量が少ない貨物船であっても隻数が多いため，トータルの廃油量は多い。これらの少量多数の廃油を，経済合理性を踏まえて効率よく回収する仕組みが必要となる。
- ⑤ 昨年度の調査より，大型フェリーにおいては，回収業者が船内に立ち入っての廃油回収を希望する船が多かった。不定期航路の貨物船では，港側に専用の廃食油置き場を準備し，業者が定期的に回収するなど、別の回収方法の検討が必要となる。いずれの場合も，指定容器の回収・交換をスムーズに行えるような手法を整備する必要がある。

3. バイオ燃料への活用の調査

調査の概要

廃食油回収業者，バイオ燃料精製業者，バンカリング業者へヒアリング等により，船舶から回収された廃食油からのバイオ燃料への精製およびバイオ燃料の船舶へのバンカリングについて，手法の検討やその実現可能性，現時点での課題点を整理する。

調査対象は第5章の実船試験において廃食油の回収およびバイオ燃料の供給を実施する名古屋港を基本とする。

廃食油およびバイオ燃料については，品質基準や品質管理体制，トレーサビリティの現状を調査し，既存の規格（ISOやJIS，JAS等）との比較検証を行う。また，従来燃料との硫黄分などの性状の違いによる従来潤滑油等との親和性への影響も確認する。

船舶へのバンカリングについては，供給体制，輸送方法，従来燃料との混合等について技術面，法制面での課題点を検証する。

3.1 廃食油およびバイオ燃料の取り扱いの現況

名古屋港地区の供給廃食油回収業者，バイオ燃料精製業者，バンカリング業者と情報交換を行い，廃食油からのバイオ燃料精製とバイオ燃料の船舶へのバンカリングについての取扱い現況を調査した。

- ① 回収する廃食油は，PETボトルやペール缶等の回収容器に入れられた状態で引き渡される。
- ② 廃食油からバイオ燃料（FAME）への製造は，船舶，陸上からの回収にかかわらず同じ手順，陸上設備で行われる。
- ③ 陸上からバンカー船へバイオ燃料（B100）を供給した後，バンカー船内で重油とバイオ燃料を混合する方法により，給油の準備をする。
- ④ バイオ燃料のバンカー船から船舶への給油は，通常の重油と同じ作業手順で行われる。



廃食油回収容器の例



バイオ燃料（B10）を搭載したバンカー船



燃料供給管の本船への接続

3.2 調査結果および課題

廃食油およびバイオ燃料について、品質基準や品質管理体制、トレーサビリティの現状を調査し、既存の規格との比較検証を行う。また、従来燃料との硫黄分などの性状の違いによる従来潤滑油等との親和性への影響を確認する。さらに、船舶へのバンカリングについて課題点を整理する。

No.	項目	現状と課題
1	品質基準	● 現時点で船用に特化した品質基準はない。 ● 自動車分野においては、JIS K 2390「自動車燃料－混合用脂肪酸メチルエステル（FAME）」で要求品質が規定されている。
2	品質管理体制	● 廃食油の品質管理体制（トレーサビリティを含む）が整備されつつある。 ● 例えば、日本農林規格JAS0028「廃食用油のリサイクル工程管理」では、保管用容器や管理方法、トレーサビリティの必要性などが規定されている。
3	既存規格との比較	● ISO 8217:2017における、FAMEの最大含有量は7.0vol%である。その要件を除いて、バイオ燃料B10～B24は、船用燃料規格ISO 8217の要件を概ね満足すると考えられる。
4	エンジン潤滑油との親和性	● 本事業の陸上試験（第4章）および実船試験（第5章）で使用したバイオ燃料は、短時間のエンジン運転試験であり、従来燃料との硫黄分などの性状の違いによる従来潤滑油等との親和性への影響は確認されなかった。 ● ただし、本事業ではB10～B24（体積比10～24%）のバイオ燃料（廃食油FAME）であり、より高濃度のバイオ燃料を長期間使用する場合や異なる性質のバイオ燃料を使用する場合は、詳細な解析と評価が必要となり得る。

3.2 調査結果および課題

No.	項目	現状と課題
5	バンカリングの技術面の課題	● バイオ燃料と既存燃料との混合において、本事業では課題は確認されなかった。しかし、バイオ燃料は多様であり、異なる原材料・製造方法でつくられたバイオ燃料を混合する場合や高濃度のバイオ燃料を使用する場合など、技術課題が生じる可能性がある。 ● 混合油の陸上保管、バンカー船による輸送、対象船への供給に技術面の課題は確認されない。
6	バンカリングの法制面の課題	● バイオ燃料と既存燃料との混合、混合油の陸上保管、バンカー船による輸送、対象船への供給において、法制面は、バイオ燃料の普及の観点から、十分に整備されているとはいえないのが実情である。 ● 陸上でバイオ燃料と既存燃料とを混合する場合、燃料製造となり、消防法などの危険物に関連する規制に準拠する必要がある。資格や設備の制限により、小規模な業者などでは新規参入が難しい。 ● バンカー船による輸送に関して、国際海事機関（IMO）による危険化学薬品や有害液体物質を海上でばら積み運送するための国際的な安全基準であるIBCコードにより、通常の油送船では、体積濃度25%を超えるバイオ混合油を輸送できない。
7	バイオ燃料の普及に関する課題	● バンカリングの方法としては、本事業で実施したバンカー船による方法（Ship to ship）のほか、タンクローリによる方法や陸上基地などから直接給油する方法などがある。いずれの場合も、普及のためにはインフラ設備を十分に整備する必要がある。 ● インフラ設備が整っていないため通常の重油補油と比べて手間とコストがかかっている現状であり、バイオ燃料を通常使用するには、供給インフラの整備や補助制度が必要となり得る。

4. 陸上試験設備でのバイオ混合燃料を用いた試験

調査の概要

以下にあげる内容の試験を実施し、陸上エンジンにおけるバイオ燃料の燃焼や燃焼性状を確認、比較する。

(1) 使用する燃料油

2種類のバイオ燃料（FAME）と従来燃料2種類（A重油およびC重油）とを体積比10：90および体積比24：76の2種類の混合率で混合した燃料油を使用する。

(2) 使用する陸上試験設備

陸上運転試験で使用する陸上試験設備は、海上技術安全研究所に設置されている最大出力257kWの4サイクル中速ディーゼルエンジンを使用する。

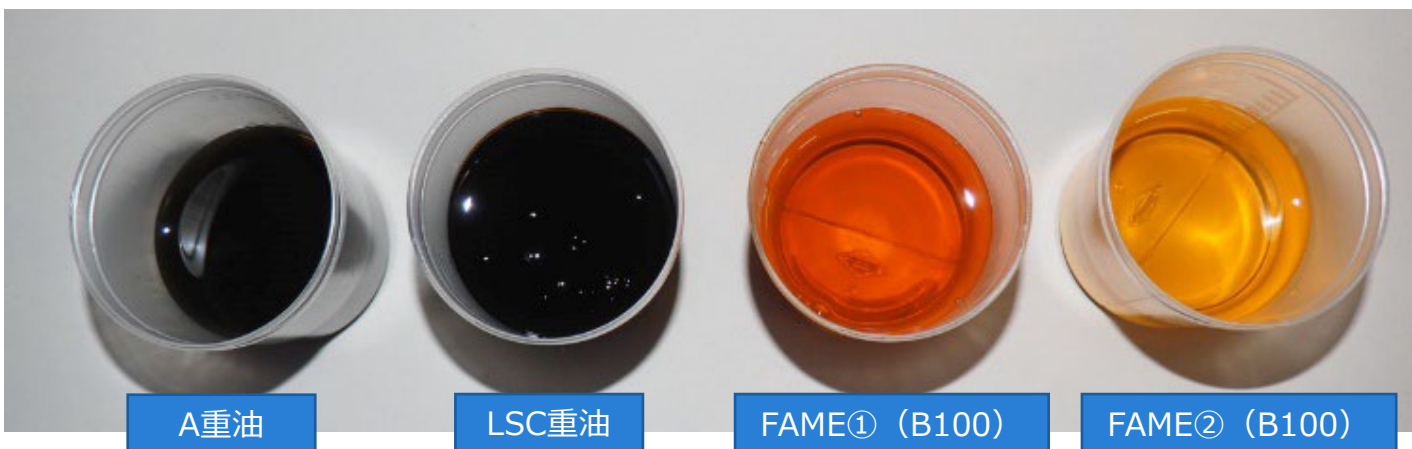
(3) 試験の内容

上記(1)の燃料油について、①、②の調査を実施するとともに、上記(2)にあげる陸上試験設備を用いた③の調査を実施する。さらに、追加調査として④を実施する。

- ① 動粘度および密度の計測
- ② 定容燃焼試験（FCAによる燃焼試験）による推定セタン価，着火遅れなどの計測
- ③ 陸上運転試験による内燃機関における一般的な性能の計測と燃焼解析
- ④ その他（混合安定性試験，酸化安定性試験，ゴム材料浸漬試験，低温特性）

4.1 試験に使用する燃料油

- 廃食油から精製されたバイオ燃料2種類（異なる精製業者により精製されたもの、以下FAME①，FAME②と記す）と従来燃料2種類（A重油およびLSC重油）とを体積比10：90（B10）および体積比24：76（B24）の2種類の混合率で混合した，計8種類の燃料油を使用する。
- バイオ燃料は，廃食油を原料として精製されたFAME（脂肪酸メチルエステル）を使用する。
- 従来燃料（A重油およびLSC重油）は，日本産業規格（JIS規格）K2205（重油）に規定されるものであり，硫黄分が0.5質量％以下の船用燃料油を使用する。



燃料油の外観

4.1 試験に使用する燃料油

- 各種試験に使用するA重油，LSC重油およびバイオ燃料，それらの混合油は右表の通りである。
- 当所が所有するA重油およびLSC重油と2種類のバイオ燃料をB10～B75の割合で混合した。（燃焼試験にはB10～B24を使用）。

(a) FAME①

種類・項目	A重油	A-B10	A-B24	A-B50	A-B75	B100
動粘度@50℃ [cSt]	2.302	2.432	2.598	---	---	3.721
密度@15℃ [g/cm ³]	0.8550	0.8580	0.8628	---	---	0.8857
酸価 [mg-KOH/g]	0.20555	0.24617	0.40708	0.61565	0.72759	0.90877
硫黄濃度 [%]	0.0605	0.0555	0.0478	0.0328	0.0214	0.0088

種類・項目	C重油	C-B10	C-B24	C-B50	C-B75	B100
動粘度@50℃ [cSt]	20.807	16.197	11.446	---	---	3.721
密度@15℃ [g/cm ³]	0.9211	0.9175	0.9118	---	---	0.8857
酸価 [mg-KOH/g]	0.34784	0.38618	0.47081	0.52263	0.59326	0.90877
硫黄濃度 [%]	0.3459	0.3109	0.2557	0.1394	0.0767	0.0088

(b) FAME②

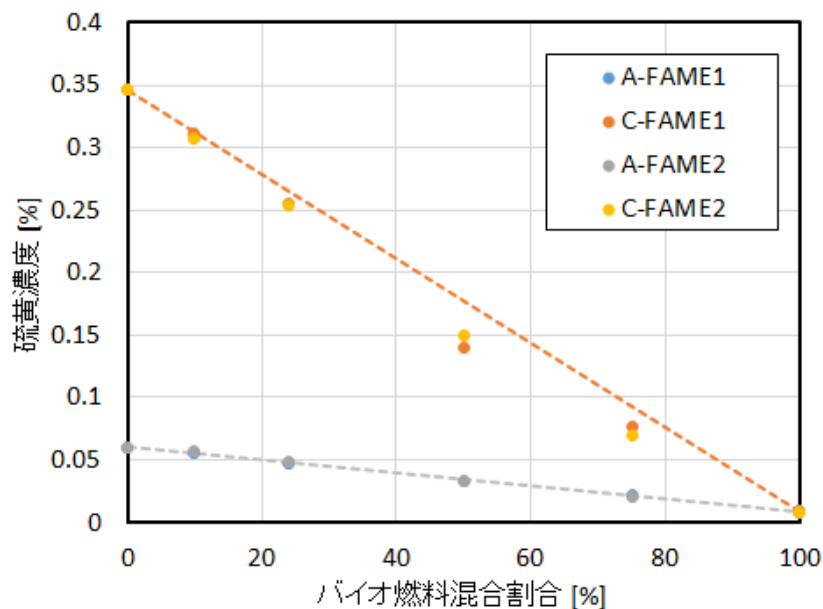
種類・項目	A重油	A-B10	A-B24	A-B50	A-B75	B100
動粘度@50℃ [cSt]	2.302	2.425	2.624	---	---	3.740
密度@15℃ [g/cm ³]	0.8550	0.8580	0.8628	---	---	0.8856
酸価 [mg-KOH/g]	0.20555	0.22828	0.28110	0.36955	0.49652	0.72632
硫黄濃度 [%]	0.0605	0.0570	0.0482	0.0338	0.0206	0.0080

種類・項目	C重油	C-B10	C-B24	C-B50	C-B75	B100
動粘度@50℃ [cSt]	20.807	16.270	11.439	---	---	3.740
密度@15℃ [g/cm ³]	0.9211	0.9175	0.9117	---	---	0.8856
酸価 [mg-KOH/g]	0.34784	0.30740	0.31053	0.43316	0.48567	0.72632
硫黄濃度 [%]	0.3459	0.3075	0.2539	0.1492	0.0697	0.0080

※ 上表の値は，海技研がバイオ燃料を入手後に計測した値である。

4.1 試験に使用する燃料油

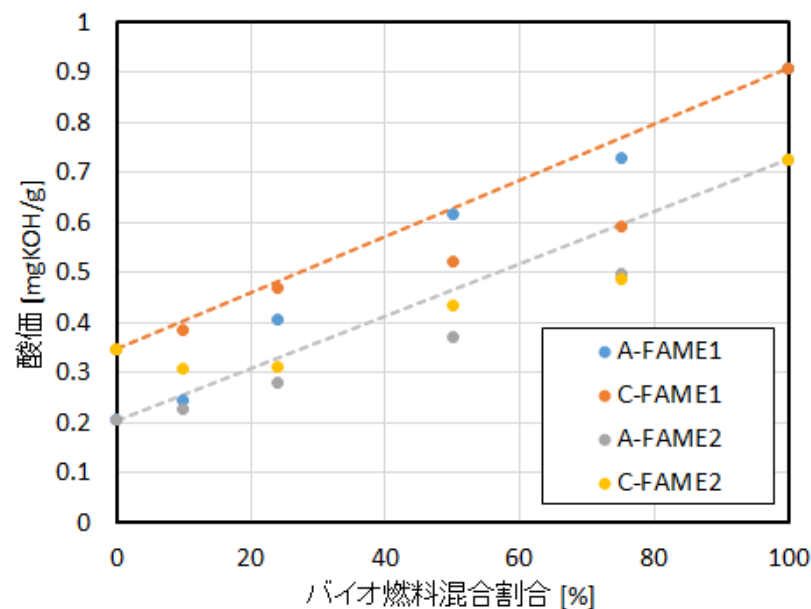
- バイオ燃料（B100）の硫黄濃度は、A重油およびLSC重油と比べて低い（ $<0.01\text{ppm}$ ）。
- バイオ燃料と重油の混合油の硫黄濃度は、バイオ燃料混合割合に対してほぼ直線的に変化する。



バイオ燃料混合割合に対する硫黄濃度

- バイオ燃料と重油の混合油の酸価は、ややばらつきが大きいものの、バイオ燃料混合割合の増加に従って、上昇する。

※ バイオ燃料B10～B24の酸価は、船用燃料規格ISO 8217におけるA重油の基準 0.5mg-KOH/g 以下およびJIS K 2390における自動車用FAMEの基準 0.5mg-KOH/g を満足している。

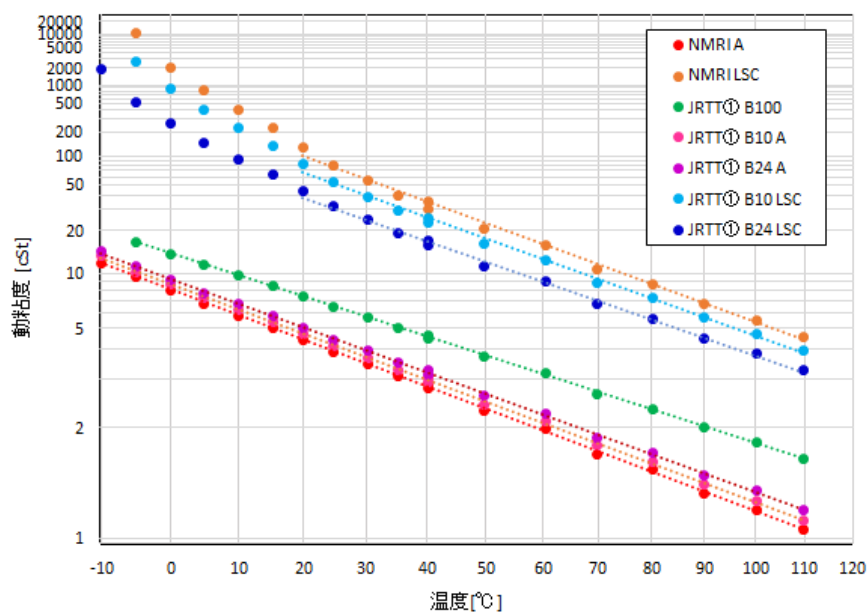


バイオ燃料混合割合に対する酸価

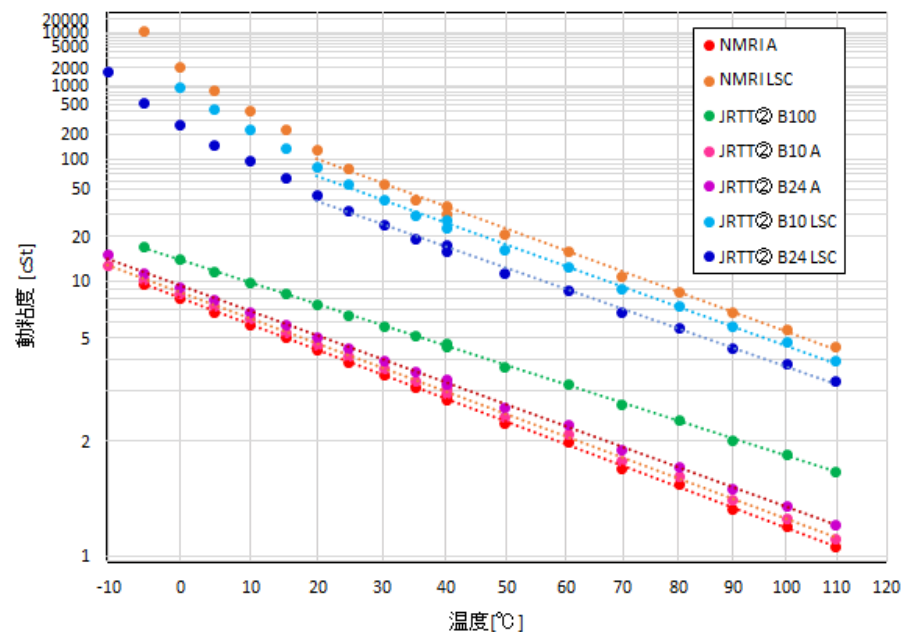
4.2 動粘度・密度の計測

(1) 動粘度

- サンプル油の温度に対する動粘度の計測結果を整理した。
- B10～B100において，温度20℃以下のLSC重油との混合油を除き，いずれもチャート上に概ね直線で表される。
- B10～B24によりエンジンを運転する場合，従来の重油と同程度の温度条件でよい。



(a) FAME①

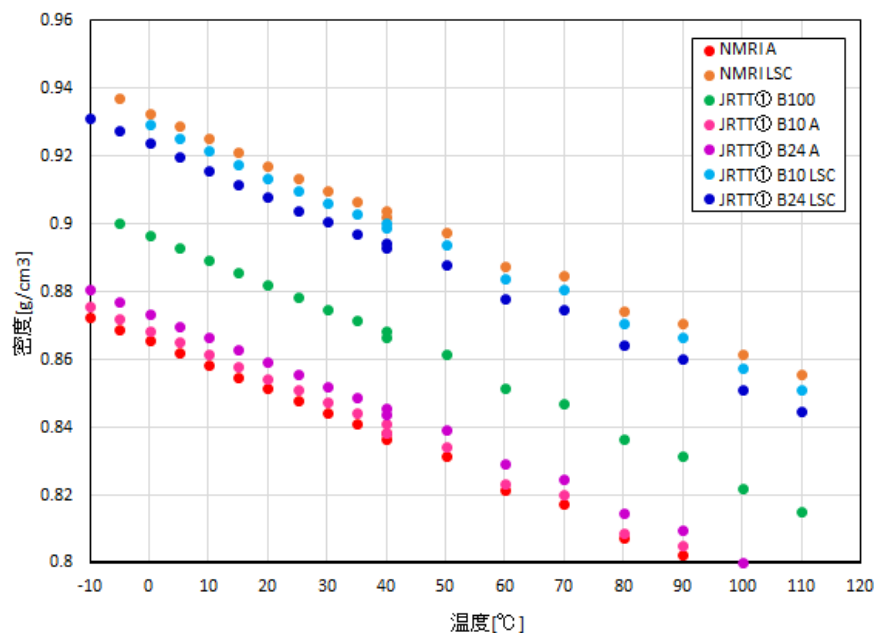


(b) FAME②

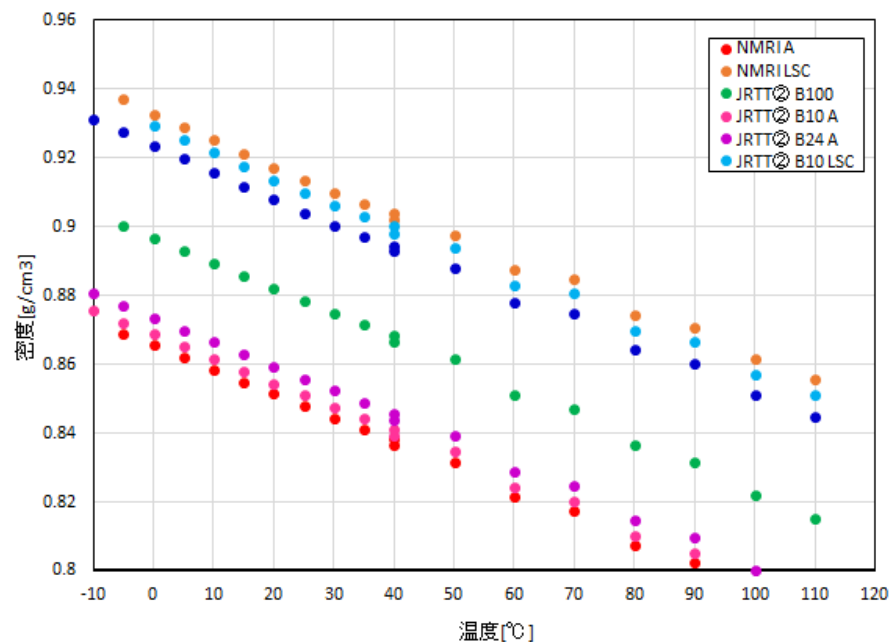
4.2 動粘度・密度の計測

(2) 密度

- サンプル油の温度に対する密度の計測結果を整理した。
- B10～B100において、いずれもチャート上に概ね直線で表される。
- B100の密度は、A重油とLSCとの間にあり、混合割合によって燃料清浄機の調整が必要となり得る。

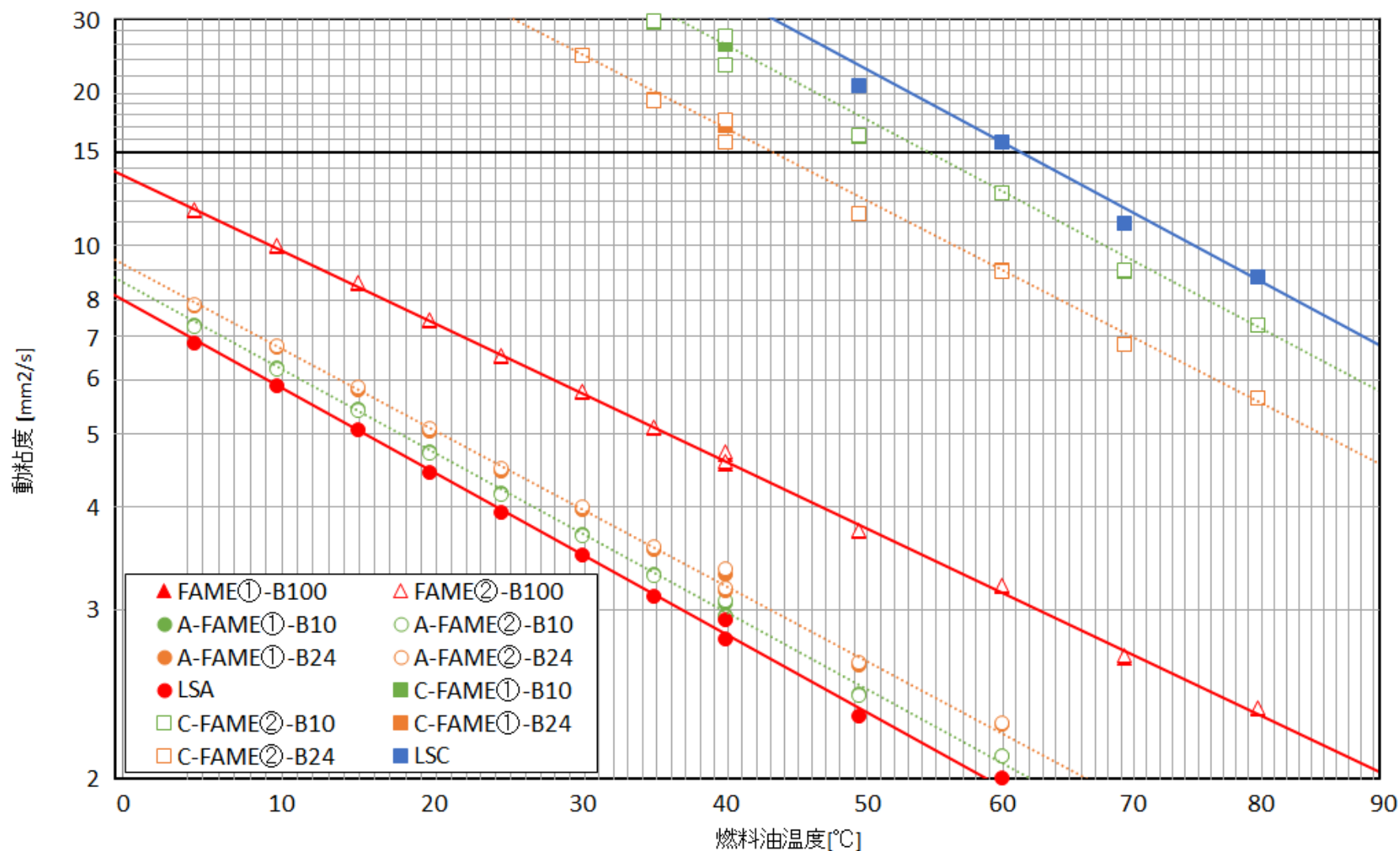


(a) FAME①



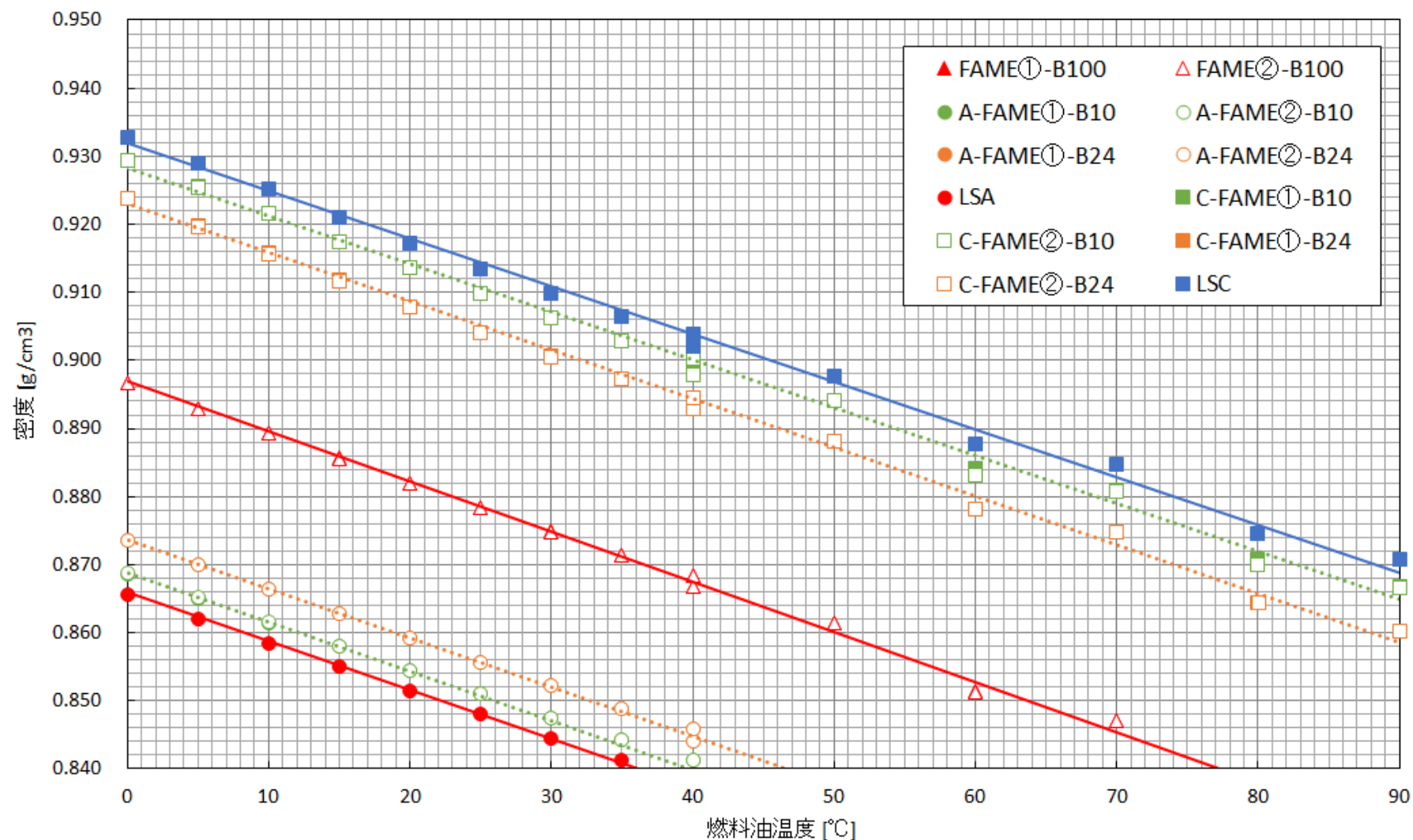
(b) FAME②

4.2 動粘度・密度の計測



温度-動粘度チャート (FAME①, FAME②)

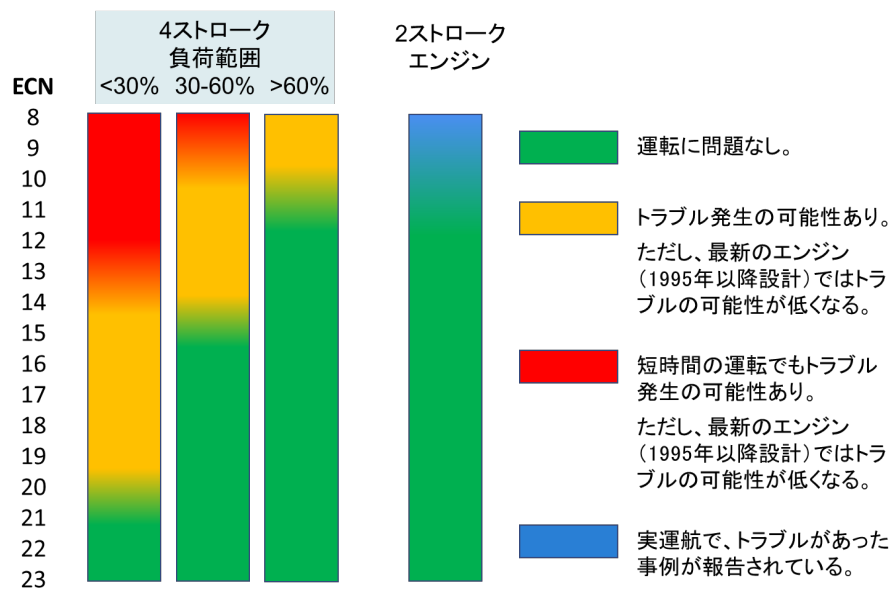
4.2 動粘度・密度の計測



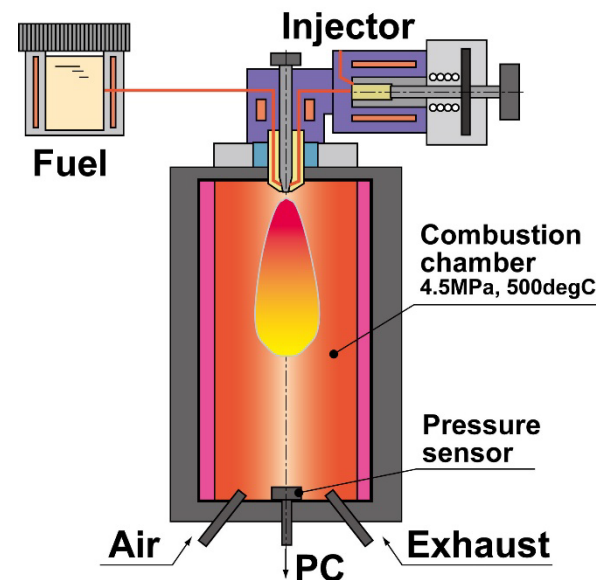
4.3 定容燃焼装置（FCA）による試験

(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。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。



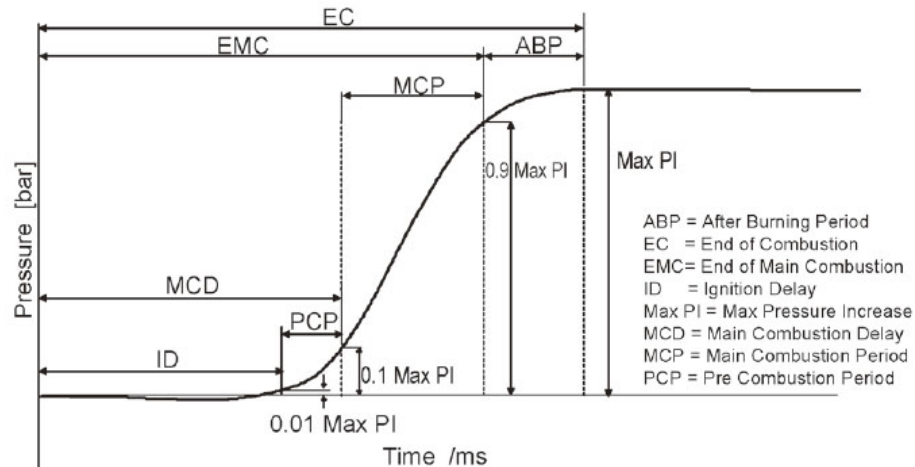
ECNによる燃料の着火性の評価例



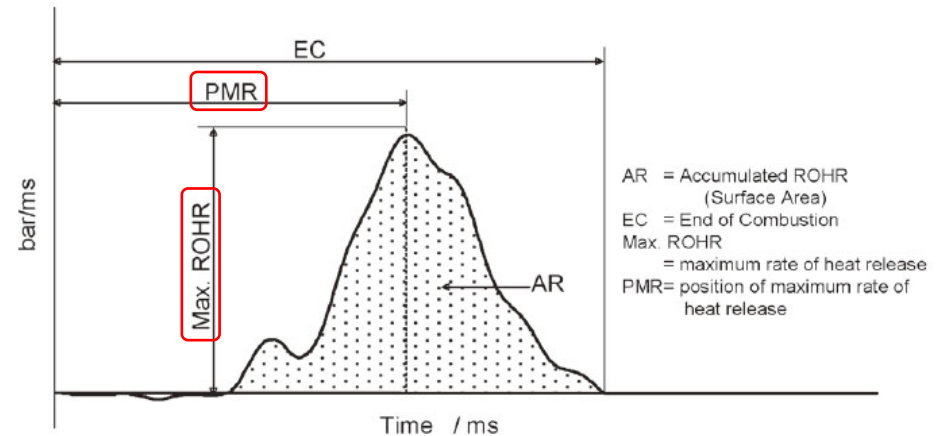
FIA-100 Fuel Combustion Analyzer (FCA)

4.3 定容燃焼装置（FCA）による試験

(2) 試験結果の評価方法



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



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	遅い着火と急激な燃焼	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	- 長い燃焼時間と膨張行程の温度低下による燃焼の遅れ - 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	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	長い燃焼時間	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

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

※ 以下のFCA試験において、すべてのサンプル油に対してDM grade, RMAの加熱条件としている。

(b) 装置設定条件

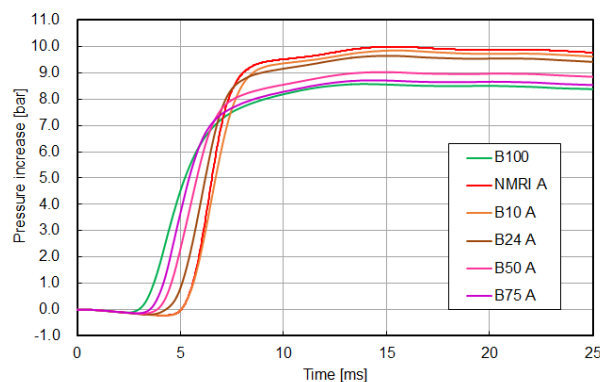
Process parameters	
Initial chamber temperature	500 °C
Initial chamber pressure	4.5 MPa
Injection pressure	35 MPa
Injected volume	Approx. 0.1 ml/injection
No. of injections per test	25

※ FCA試験装置の設定条件は、中速ディーゼルエンジンの低負荷運転に近い条件となっている。実際のエンジン内での燃焼を模擬する目的ではなく、燃料そのものが持つ着火・燃焼特性を評価する試験法である。

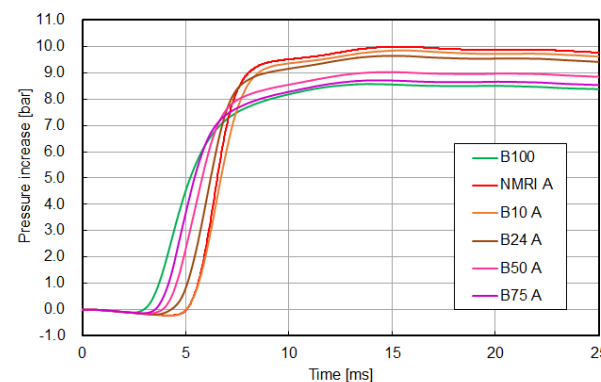
4.3 定容燃焼装置（FCA）による試験

(4) 各種サンプル油の試験結果（A重油との混合）

- B10～B100のサンプル油において、着火性（推定セタン価ECN）はA重油よりも高く、着火遅れIDの増加などの燃焼悪化も確認されなかった。



(a) FAME①



(b) FAME②

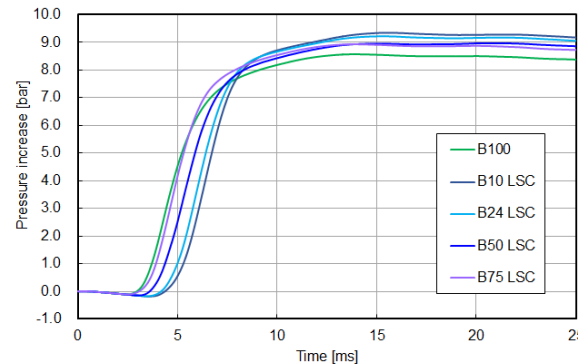
サンプル	BDF 割合	ID	MCD	EMC	EC	PCP	MCP	ABP	Max ROHR	PMR	AR	Max PI	ECN
	%	ms	ms	ms	ms	ms	ms	ms	bar/ms	ms	bar	bar	
A重油	0	5.95	6.34	8.45	14.13	0.39	2.11	5.68	5.18	7.17	9.47	9.65	24.99
A-FAME①-B10	10	5.58	5.98	8.34	13.83	0.39	2.36	5.49	4.54	6.94	9.24	9.42	27.70
A-FAME②-B10	10	5.58	5.95	8.02	13.64	0.37	2.07	5.62	5.33	6.63	9.25	9.43	27.91
A-FAME①-B24	24	5.63	6.02	8.27	13.86	0.39	2.25	5.59	4.76	6.94	9.09	9.27	27.36
A-FAME②-B24	24	5.50	5.85	8.04	13.57	0.35	2.19	5.53	4.97	6.61	9.04	9.21	28.68
FAME①-B100	100	5.00	5.35	8.01	13.33	0.35	2.66	5.33	4.27	6.09	8.57	8.73	33.15
FAME②-B100	100	5.08	5.43	8.10	13.34	0.34	2.67	5.24	3.88	6.23	8.44	8.60	32.41

※ 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。

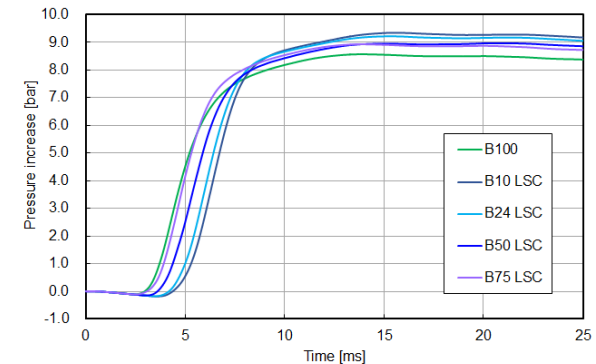
4.3 定容燃烧装置（FCA）による試験

(5) 各種サンプル油の試験結果（C重油との混合）

- B10～B100のサンプル油において、着火性（推定セタン価ECN）はLSC重油よりも高く、着火遅れIDの増加などの燃烧悪化も確認されなかった。



(a) FAME①



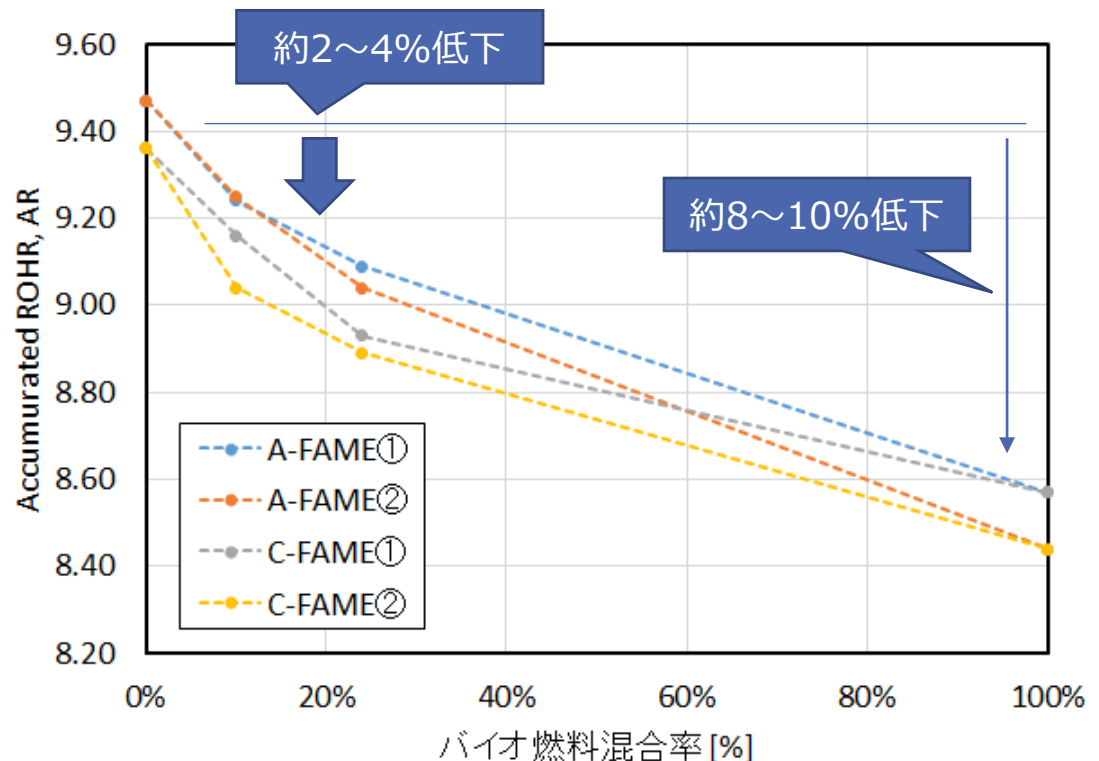
(b) FAME②

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	
LSC重油	0	5.28	5.68	8.86	13.66	0.4	3.18	4.8	4.23	6.39	9.36	9.54	30.12
C-FAME①-B10	10	5.30	5.70	8.84	13.64	0.40	3.15	4.80	4.08	6.38	9.16	9.33	30.00
C-FAME②-B10	10	5.5	5.85	8.04	13.57	0.35	2.19	5.53	4.97	6.61	9.04	9.21	28.68
C-FAME①-B24	24	5.40	5.79	8.72	13.55	0.38	2.93	4.83	4.19	6.54	8.93	9.10	29.23
C-FAME②-B24	24	5.29	5.72	8.87	13.55	0.43	3.14	4.69	3.98	6.50	8.89	9.06	29.78
FAME①-B100	100	5.00	5.35	8.01	13.33	0.35	2.66	5.33	4.27	6.09	8.57	8.73	33.15
FAME②-B100	100	5.08	5.43	8.10	13.34	0.34	2.67	5.24	3.88	6.23	8.44	8.60	32.41

4.3 定容燃焼装置（FCA）による試験

(6) 発熱量について

- FCA試験により求まるAR（Accumulated ROHR）は、熱発生率の積分値であり、サンプル油の発熱量に相当する。
- 本試験に使用したFAME（B100）は、A重油またはLSC重油と比べて8～10%程度低い。
- B10～B24は、A重油またはLSC重油と比べて2～4%程度低い。



4.4 陸上エンジン試験

- 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，排ガス成分を計測した。
- A重油およびLSC重油とバイオ燃料の混合油（B10～B24）を使用し，通常のA重油およびLSC重油を使用した際のデータと比較する。
- 運転負荷は25%～100%とし※，各負荷における運転時間は20～30分程度とする。

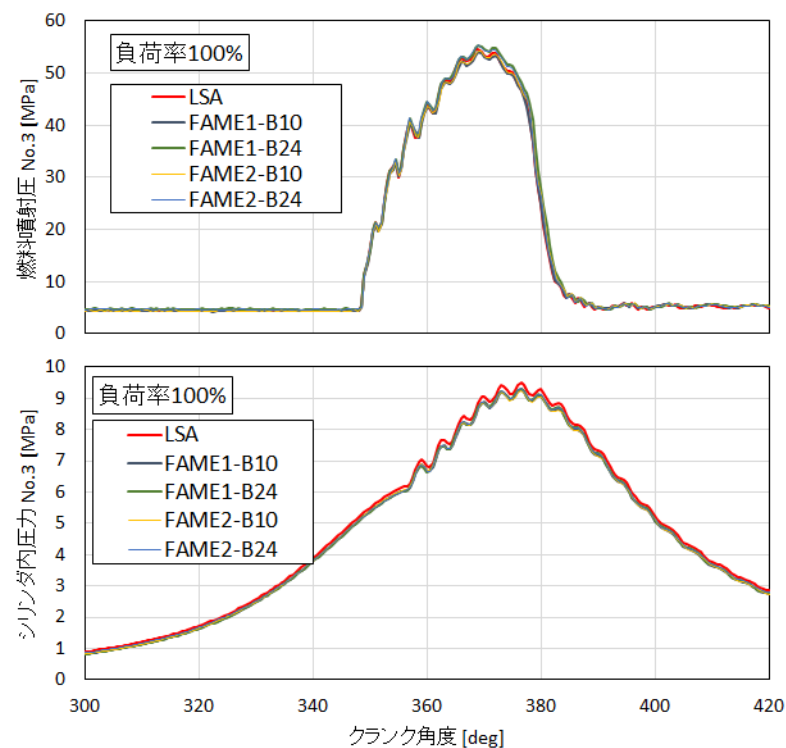
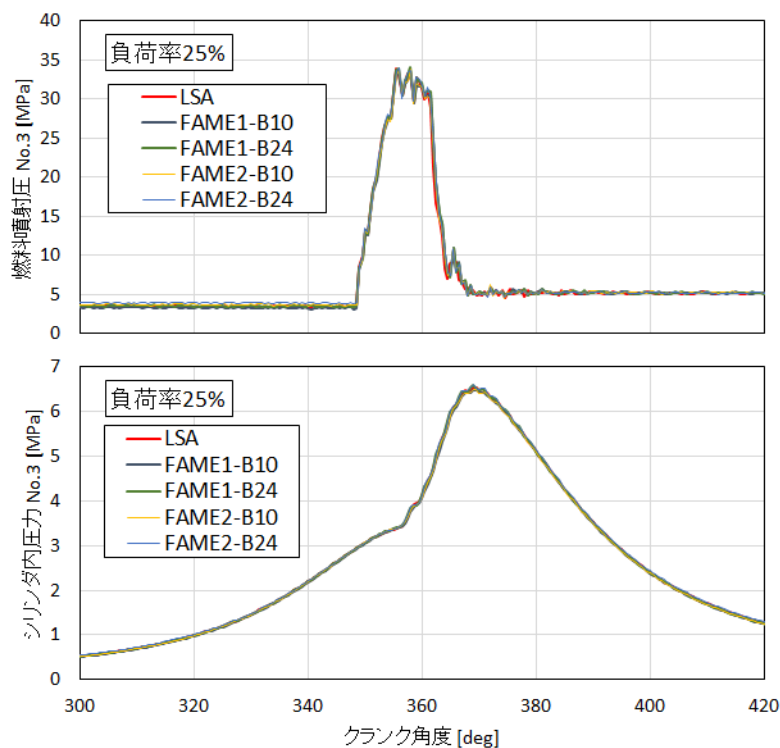
※ 当初，アイドリング時の計測を実施する予定であったが，アイドリング運転は燃焼圧力や温度のデータが安定しないため解析は行っていない。

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。機関回転数が速いため，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。

4.4 陸上エンジン試験

(1) 燃料噴射圧および筒内圧力波形（A重油との混合）

- B10～B24において，燃料噴射圧および筒内圧力波形は，A重油運転時とほとんど変わらない。

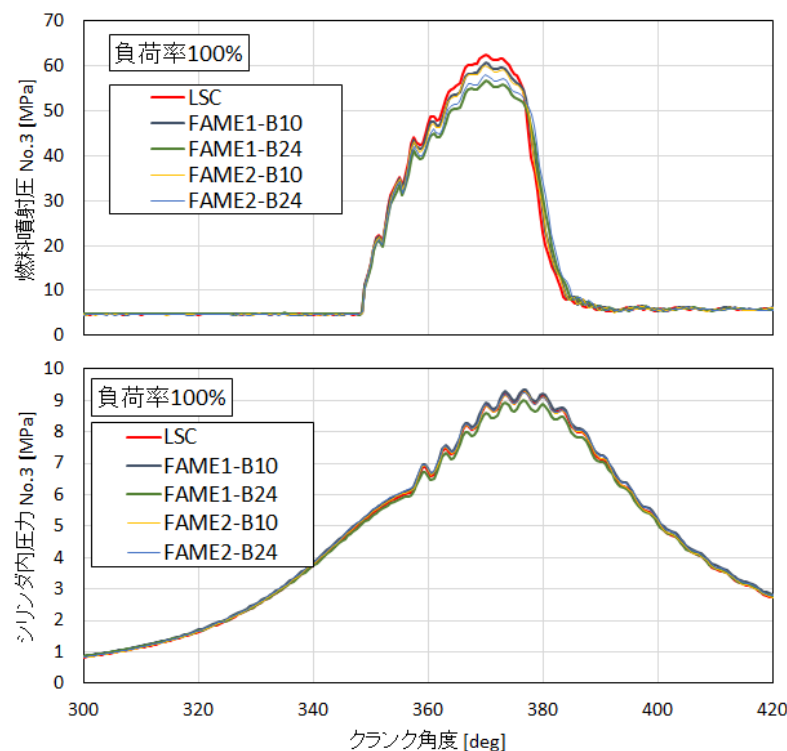
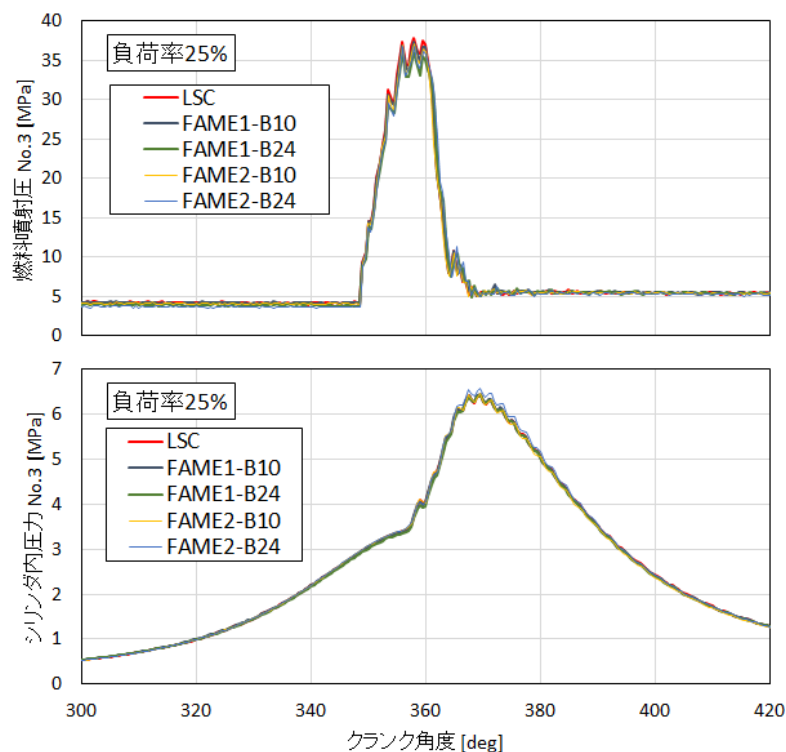


燃料噴射圧および筒内圧力波形（A重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(1) 燃料噴射圧および筒内圧力波形（LSC重油との混合）

- B10～B24において、高負荷時の燃料噴射圧はわずかに変化するものの、低負荷時および筒内圧力波形は、LSC重油運転時とほとんど変わらない。

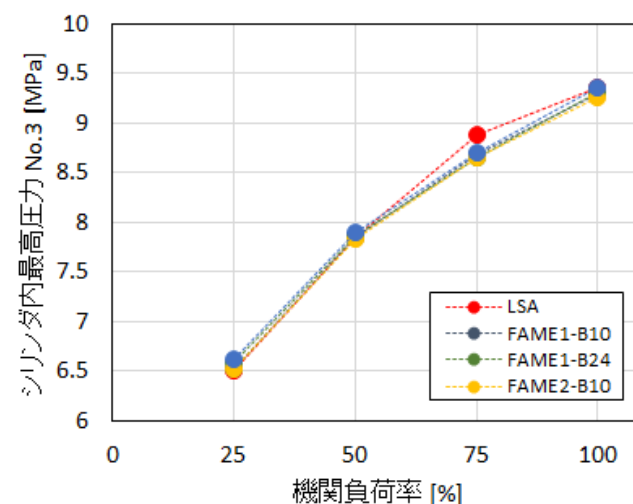
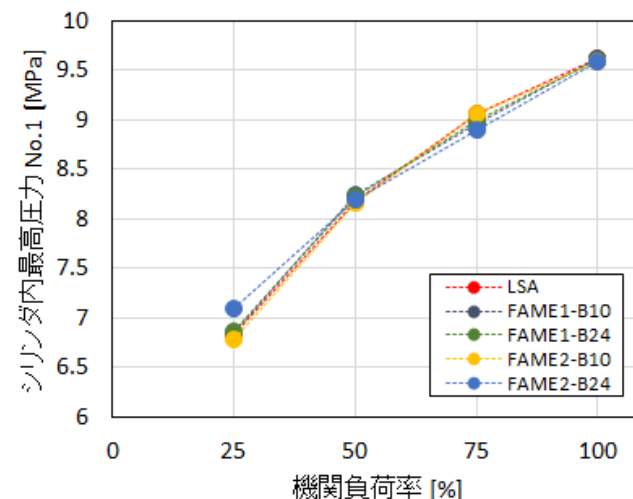
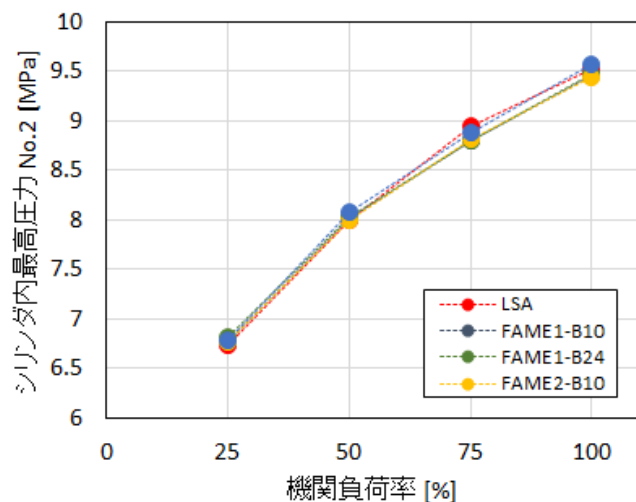


燃料噴射圧および筒内圧力波形（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(2) 最高筒内圧力 (A重油との混合)

- バイオ燃料混合油を使用した際の最高筒内圧力は、No.1～No.3シリンダともに、ほとんど変わらない。

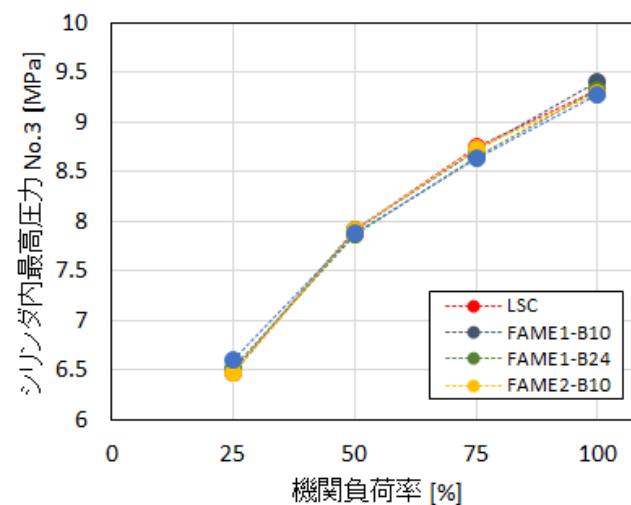
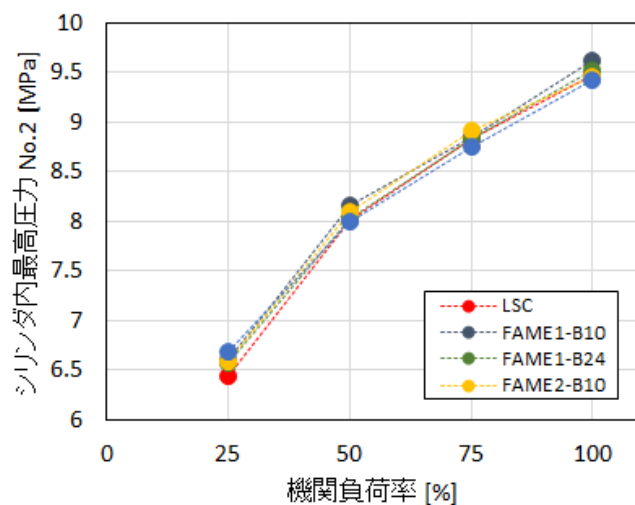
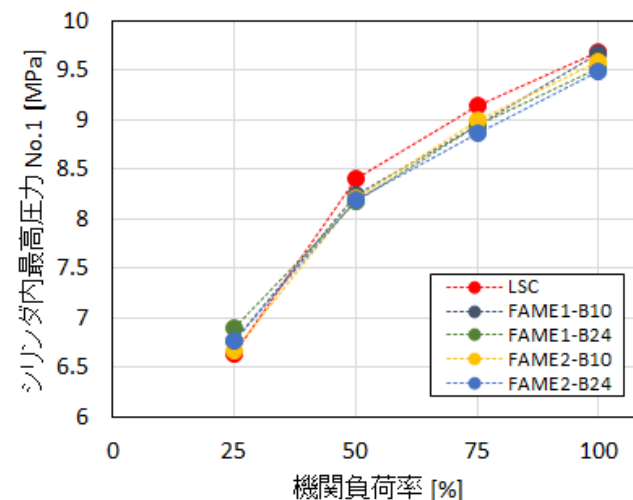


最高筒内圧力 (A重油との混合)

4.4 陸上エンジン試験

(2) 最高筒内圧力（LSC重油との混合）

- バイオ燃料混合油を使用した際の最高筒内圧力は、計測結果に若干のばらつきがあるが、No.1～No.3シリンダともにほとんど変わらない。

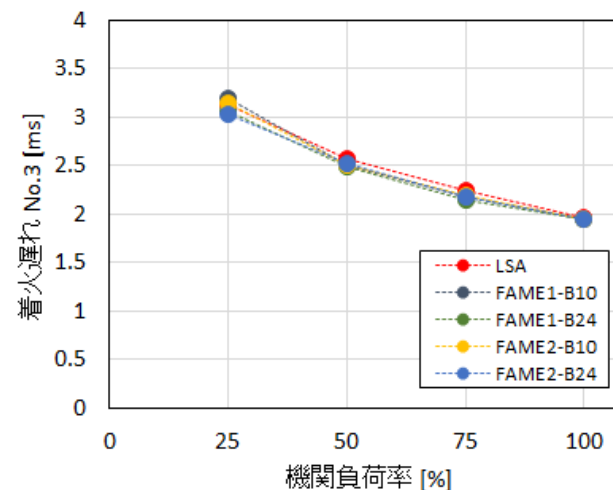
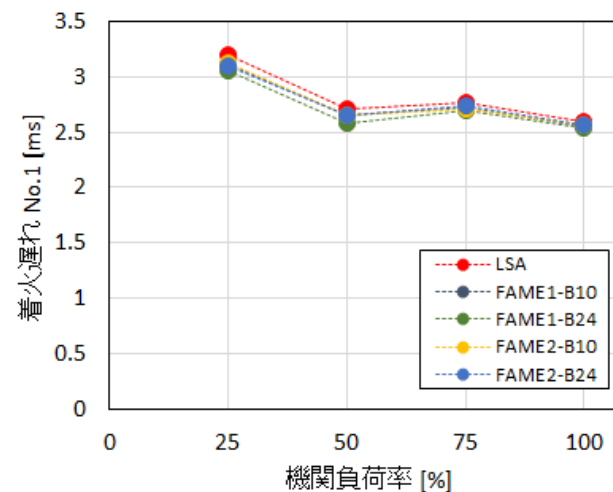
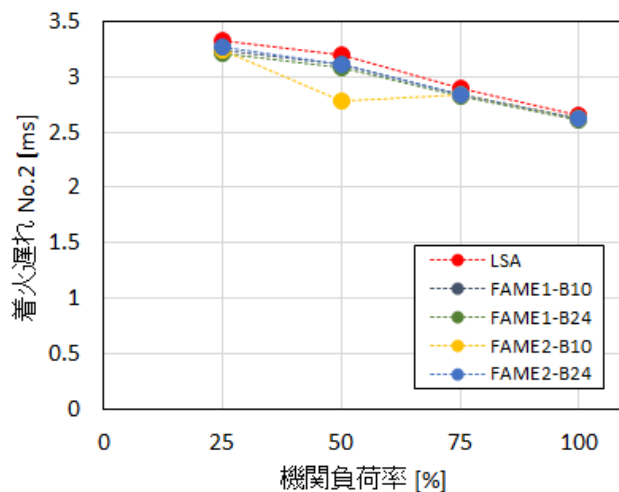


最高筒内圧力（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(3) 着火遅れ (A重油との混合)

- バイオ燃料混合油を使用した際の着火遅れは、No.1～No.3シリンダにおいて、LSAとほとんど変わらない。

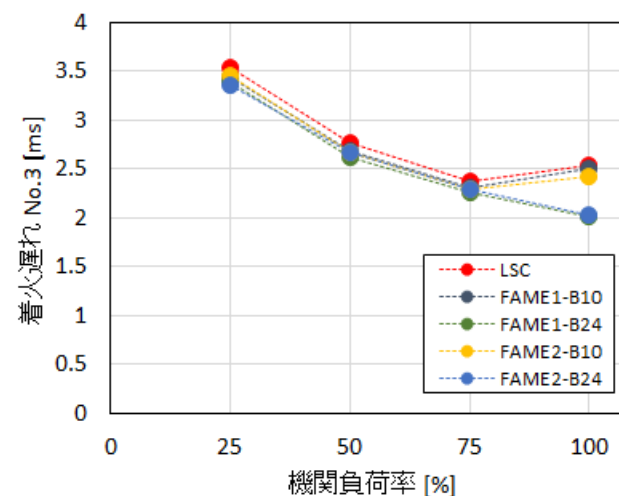
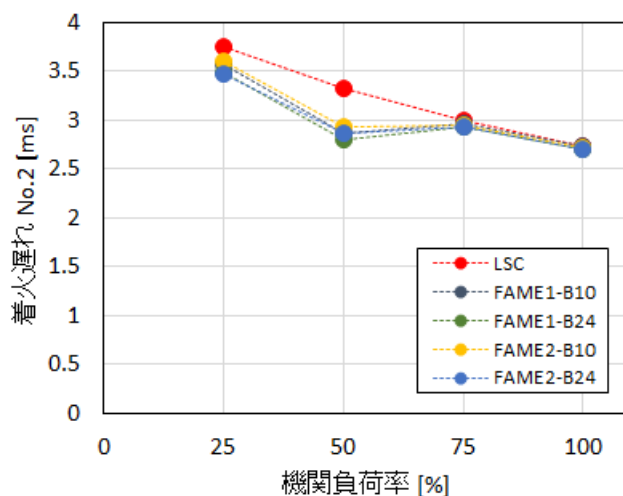
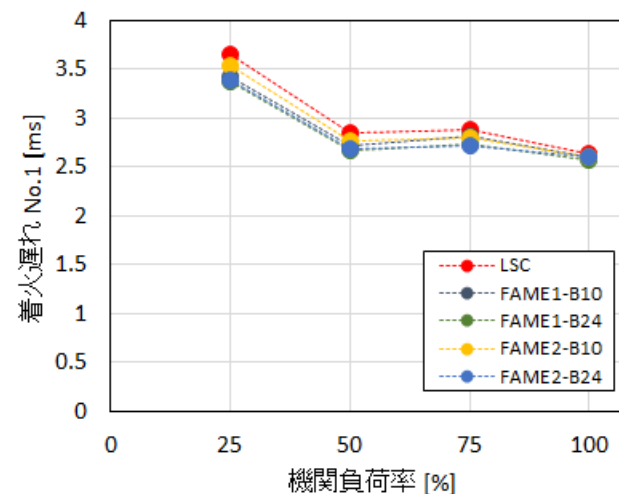


着火遅れ (A重油との混合)

4.4 陸上エンジン試験

(3) 着火遅れ（LSC重油との混合）

- バイオ燃料混合油を使用した際の着火遅れは、計測結果に若干のばらつきがあるが、No.1～No.3シリンダにおいて、LSCとほとんど変わらない。



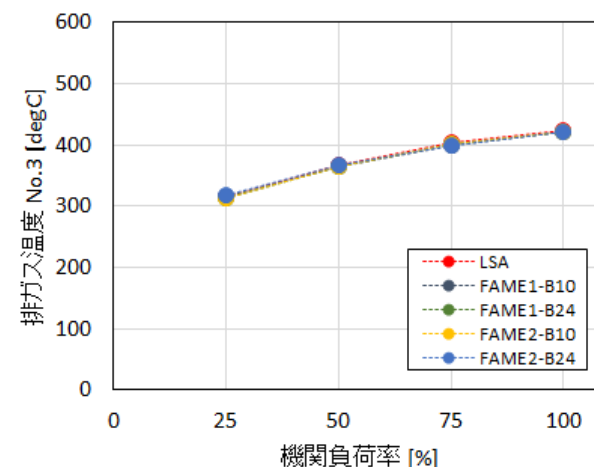
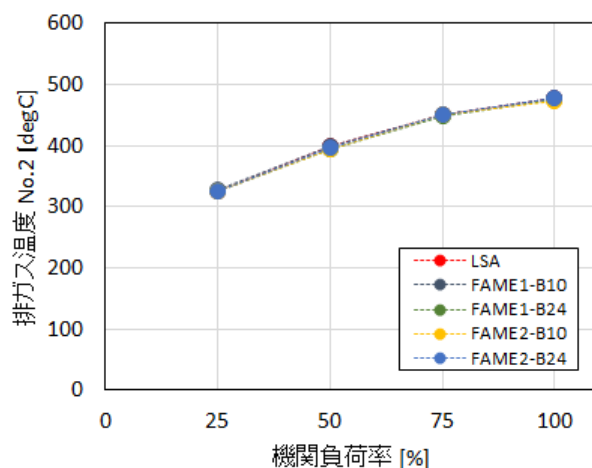
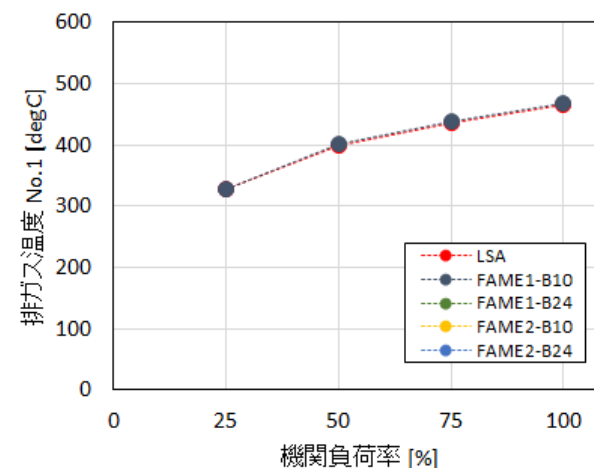
着火遅れ（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(4) シリンダ出口排ガス温度（A重油との混合）

- バイオ燃料混合油のシリンダ出口排ガス温度は，No.1～No.3シリンダともに，LSAとほぼ変わらない。

※ 一部の運転条件において，No.1シリンダの温度センサに不具合があったため，計測できていない。



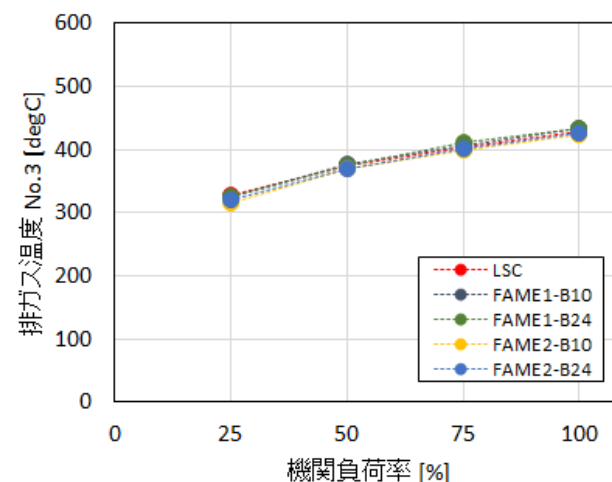
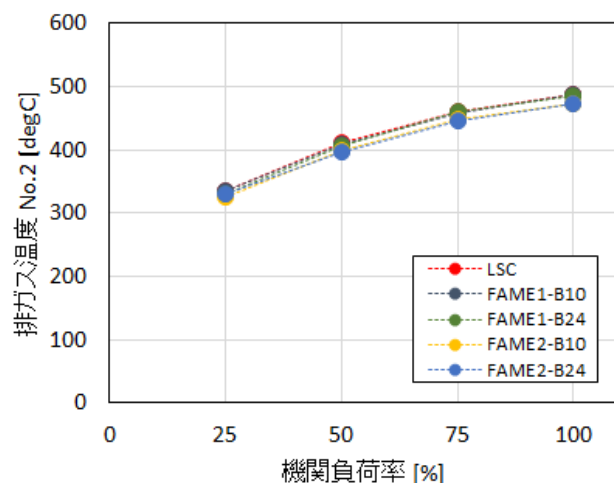
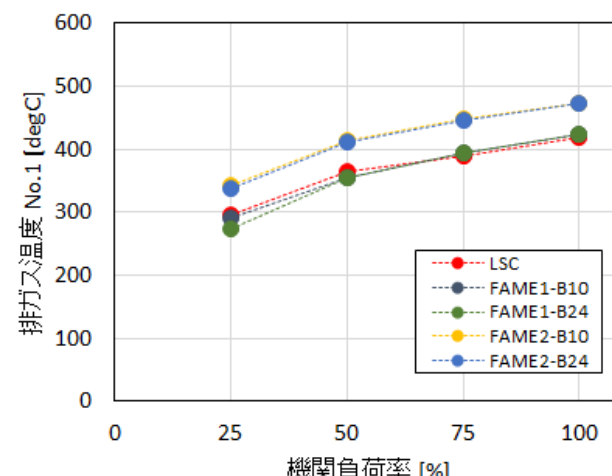
シリンダ出口排ガス温度（A重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(4) シリンダ出口排ガス温度（LSC重油との混合）

- バイオ燃料混合油のシリンダ出口排ガス温度は，No.1～No.3シリンダともに，LSCとほぼ変わらない。

※ No.1シリンダの温度センサを修理・交換したため，一部の計測値がやや異なっている。

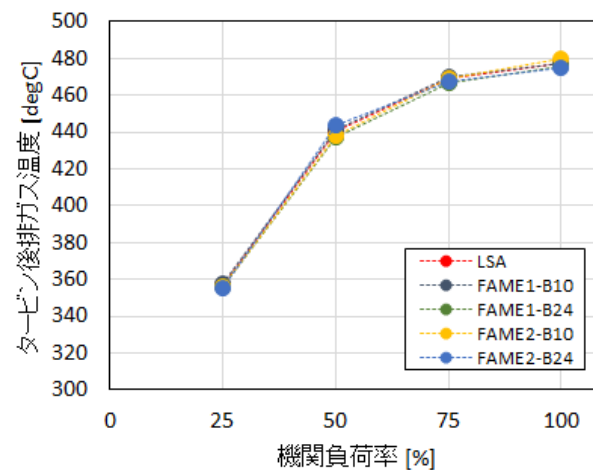
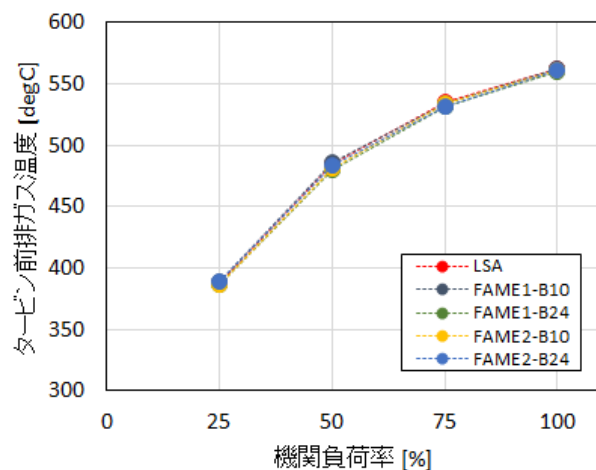
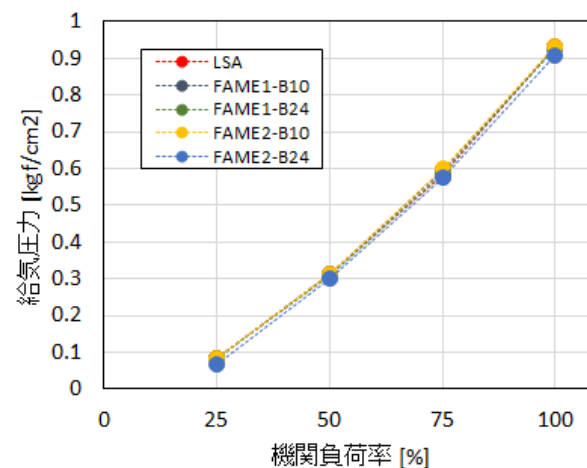


シリンダ出口排ガス温度（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(5) 給気圧力および過給機前後排ガス温度（A重油との混合）

- バイオ燃料混合油の給気圧力および過給機前後排ガス温度は，LSAとほぼ変わらない。

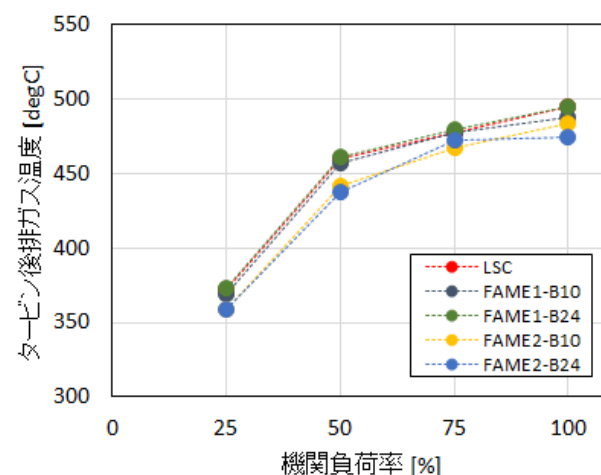
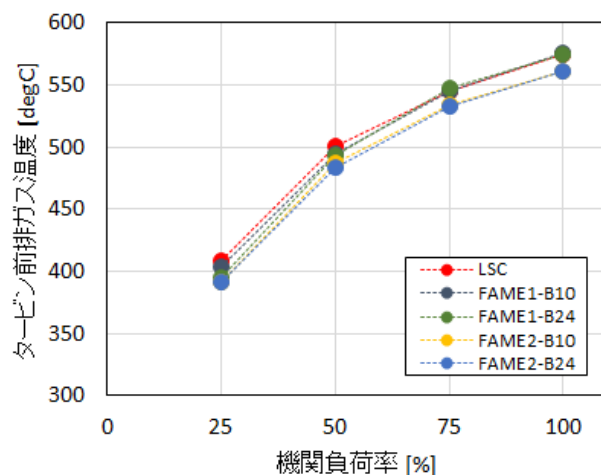
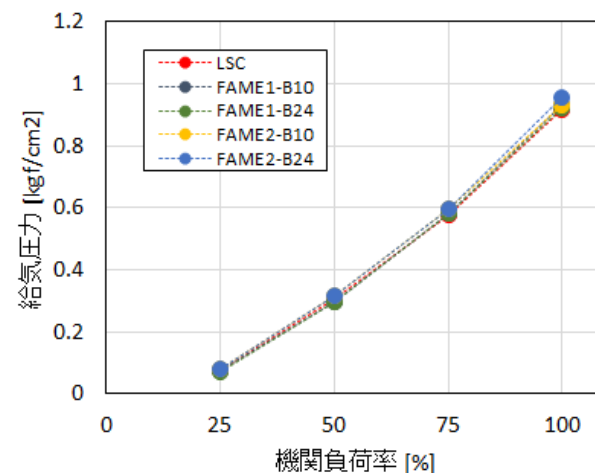


給気圧力および過給機前後排ガス温度（A重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(5) 給気圧力および過給機前後排ガス温度（LSC重油との混合）

- バイオ燃料混合油の給気圧力および過給機前後排ガス温度は，LSCとほぼ変わらない。

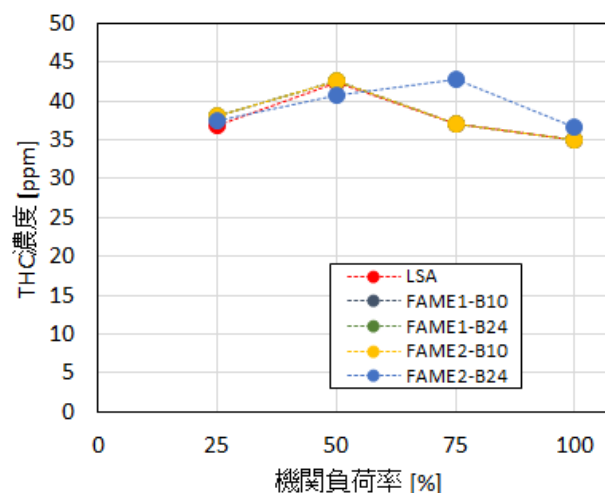
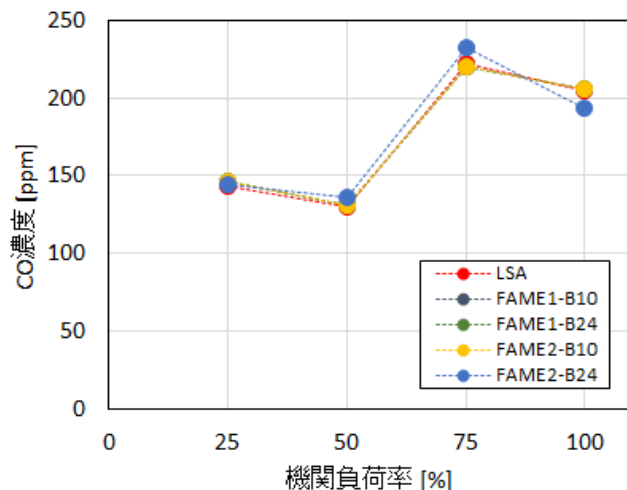
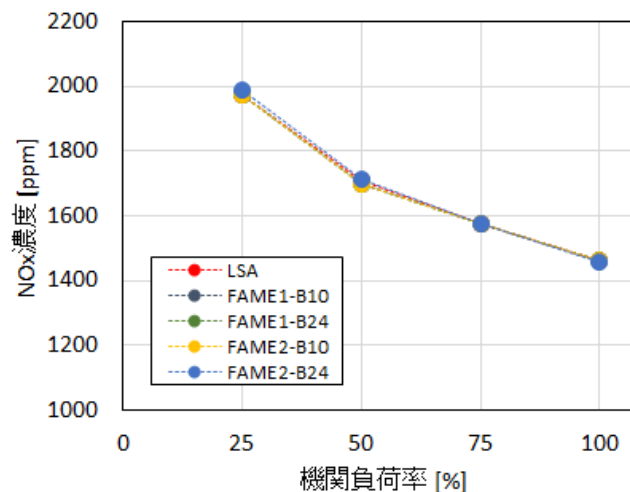


給気圧力および過給機前後排ガス温度（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(6) 排ガス性状 (A重油との混合)

- 排ガス中のNO_x濃度, CO濃度およびTHC濃度は, バイオ燃料混合割合の影響をほとんど受けていない。

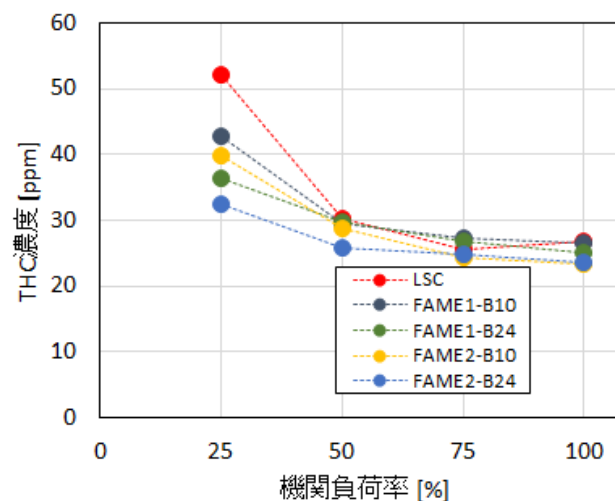
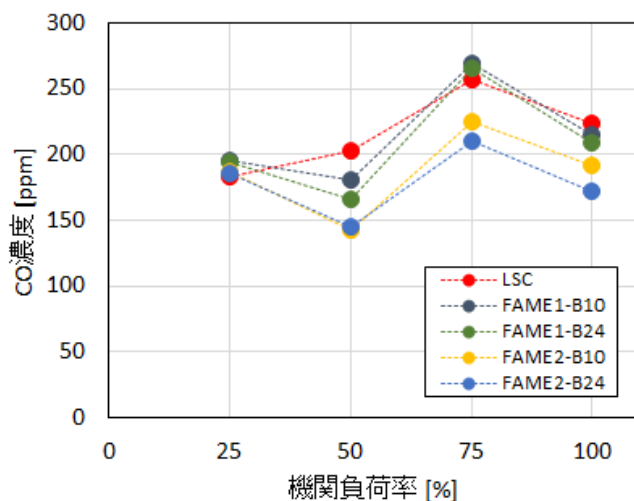
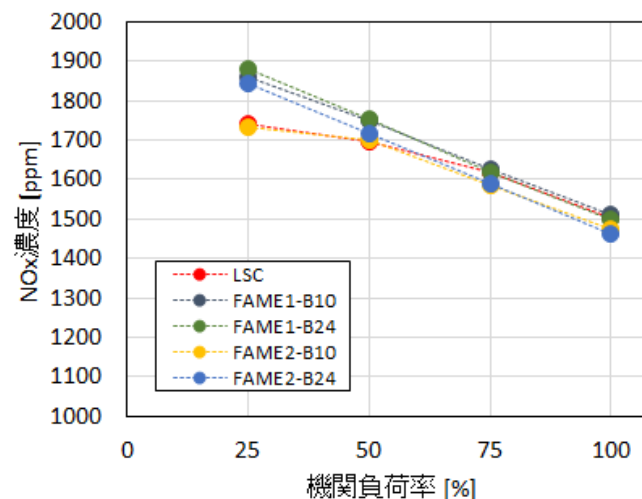


排ガス性状 (A重油との混合)

4.4 陸上エンジン試験

(6) 排ガス性状（LSC重油との混合）

- 排ガス中のNO_x濃度，CO濃度およびTHC濃度は，計測結果のばらつきがやや大きいものの，バイオ燃料混合割合の影響をほとんど受けていない。

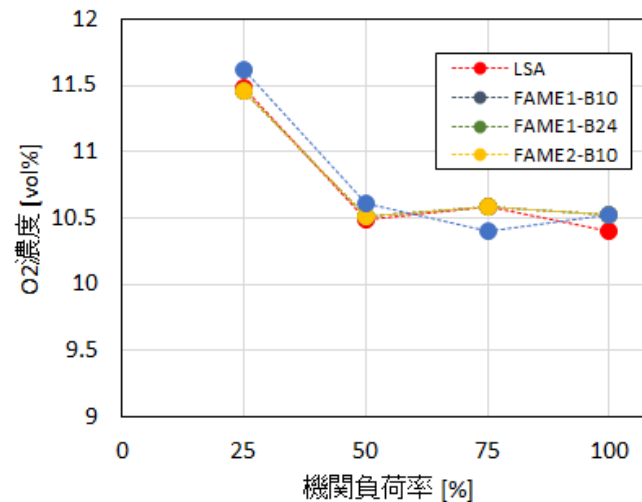
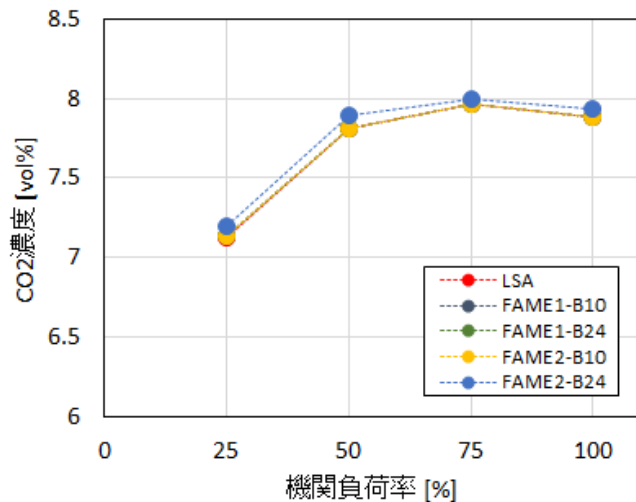


排ガス性状（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(6) 排ガス性状（A重油との混合）

- 排ガス中のCO₂濃度およびO₂濃度は，バイオ燃料混合割合の影響をほとんど受けていない。

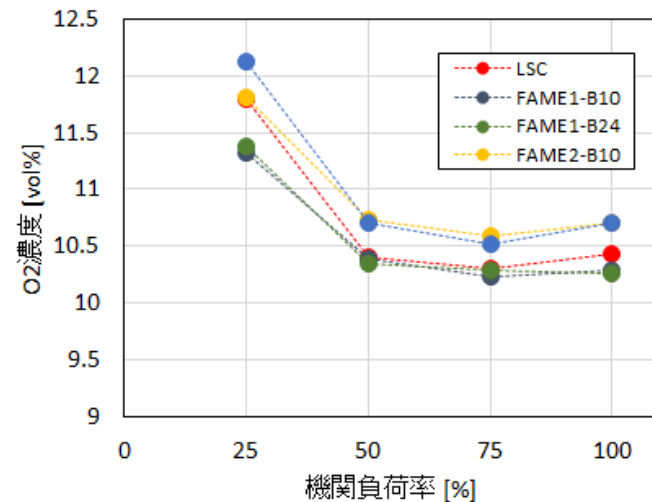
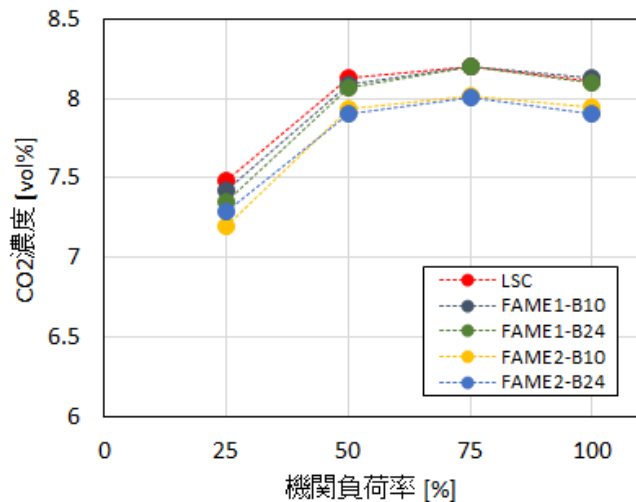


排ガス性状（A重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(6) 排ガス性状（LSC重油との混合）

- 排ガス中の CO_2 濃度および O_2 濃度は，バイオ燃料混合割合の影響をほとんど受けていない。

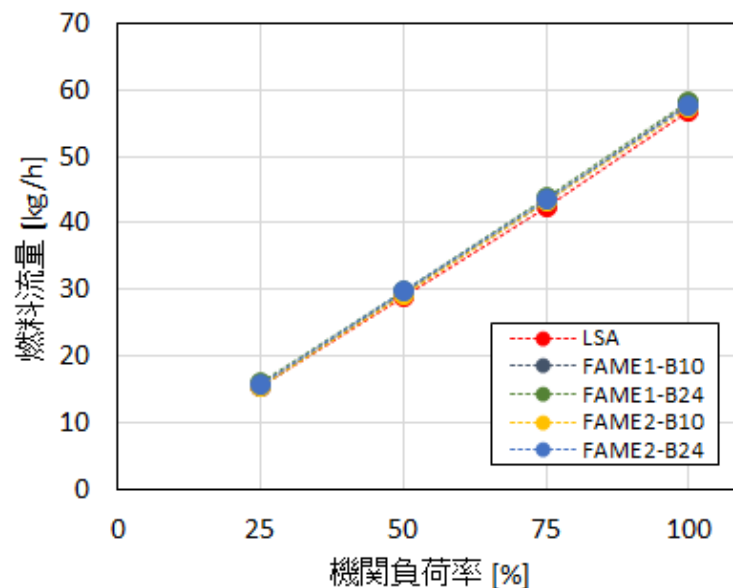
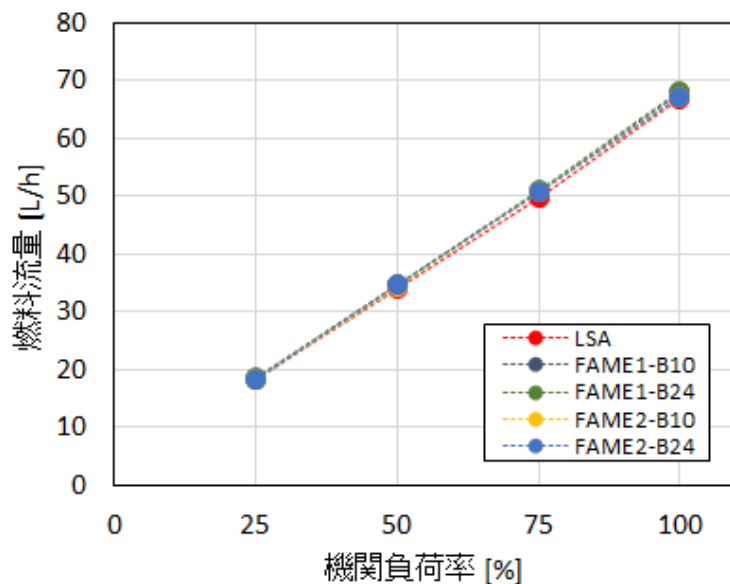
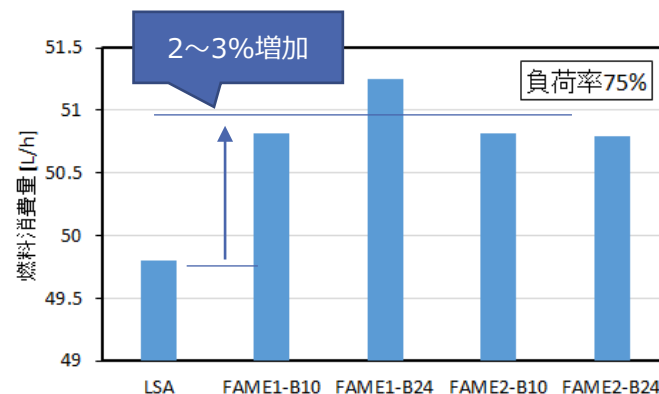


排ガス性状（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

(7) 燃料消費量 (A重油との混合)

- バイオ燃料混合油を使用した際の燃料消費量は、A重油使用時とほとんど変わらない。
- 負荷率75%において、B10～B24における燃料消費量の増加は2～3%である。

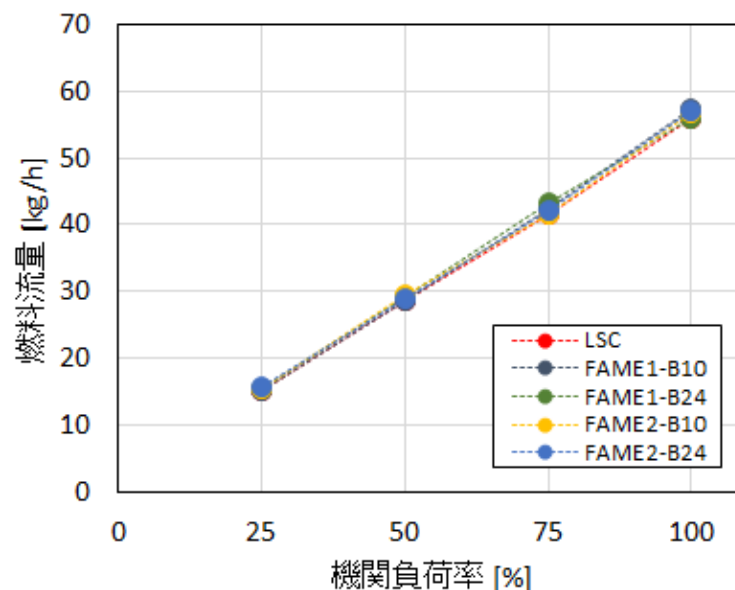
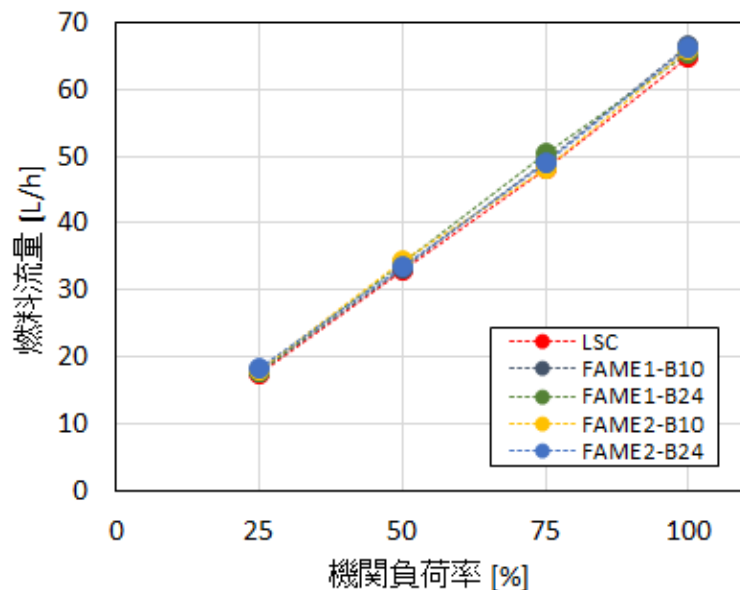


燃料消費量 (A重油との混合)

4.4 陸上エンジン試験

(7) 燃料消費量（LSC重油との混合）

- バイオ燃料混合油を使用した際の燃料消費量は，LSC重油使用時とほとんど変わらない。



燃料消費量（LSC重油との混合）

4.4 陸上エンジン試験

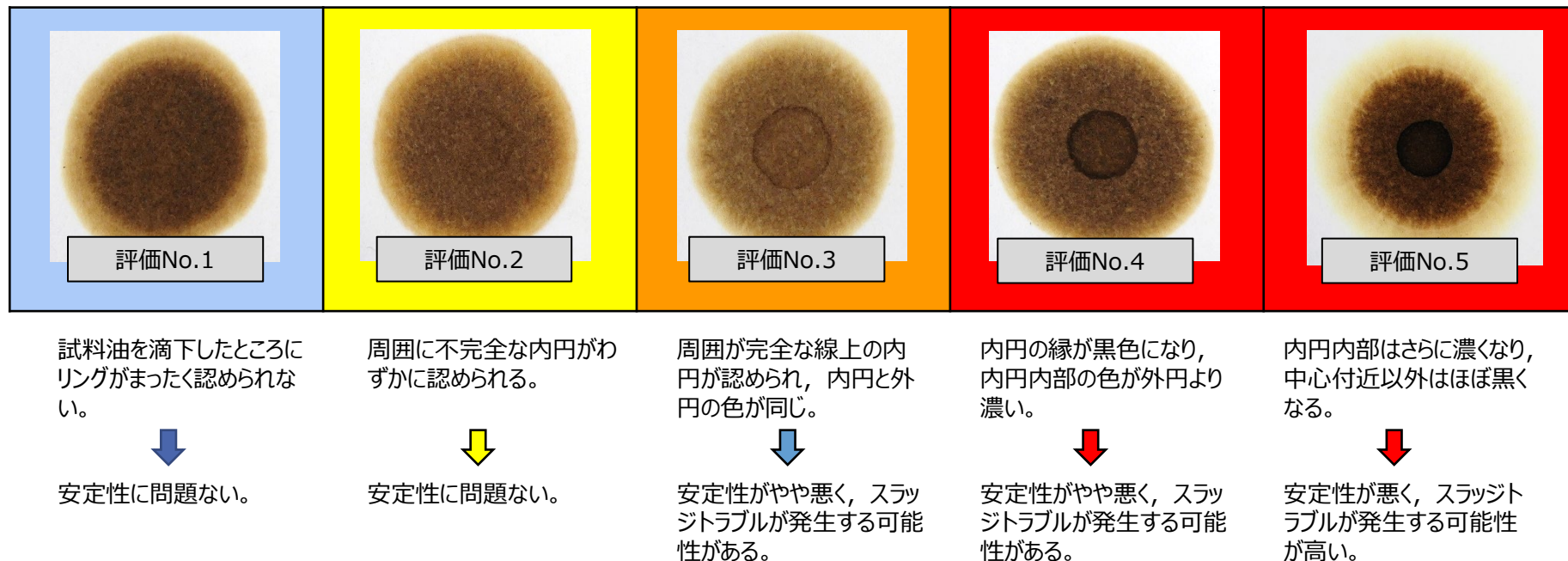
(8) 陸上エンジン試験のまとめ

- ① A重油並びにLSC重油とバイオ燃料との混合油（B10～B24）を用いて、陸上エンジン試験（トータル10時間程度の運転）を行った結果、エンジン運転の不具合は確認されなかった。
- ② A重油並びにLSC重油とバイオ燃料との混合油を使用した場合の筒内圧力波形や最高筒内圧、着火遅れ、排ガス温度などはそれぞれの重油運転時とほぼ同等であり、燃焼性の違いは確認されなかった。
- ③ A重油並びにLSC重油とバイオ燃料との混合油を使用した場合の排ガス性状は、それぞれの重油運転時とほぼ同等であり、顕著な違いは確認されなかった。
- ④ A重油並びにLSC重油とバイオ燃料との混合油を使用した際の燃料消費量は、それぞれの重油運転時とほとんど変わらない。

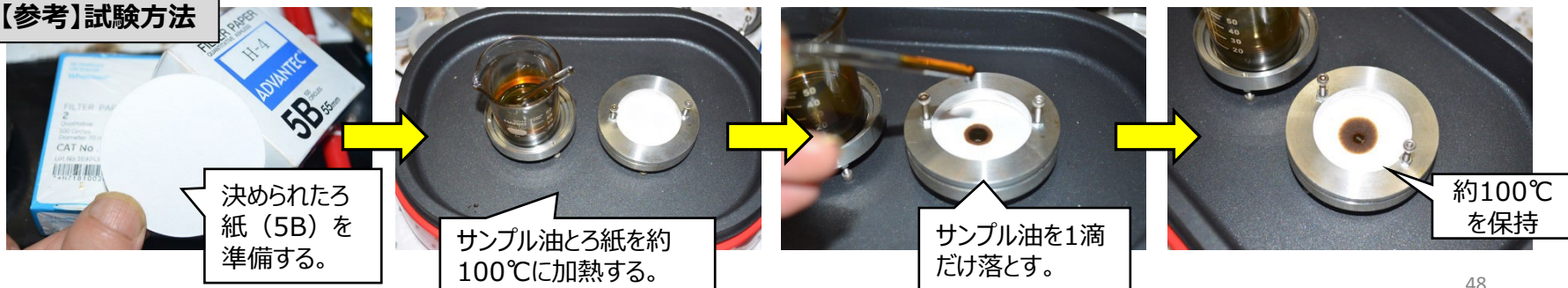
4.5 その他の試験

(1) 混合安定性試験の概要

燃料油のスポットテスト評価 ASTM D4740



【参考】試験方法

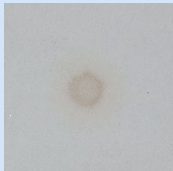
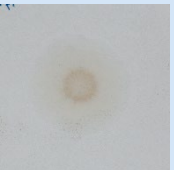
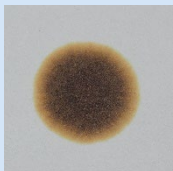
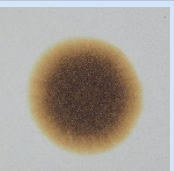
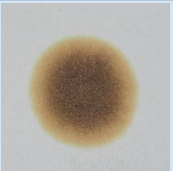
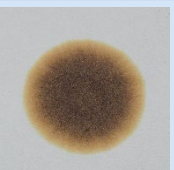
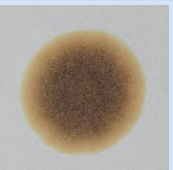


4.5 その他の試験

(2) 混合安定性試験の結果

- 混合直後、混合安定性はすべて問題ないと判断された（評価No.1）。

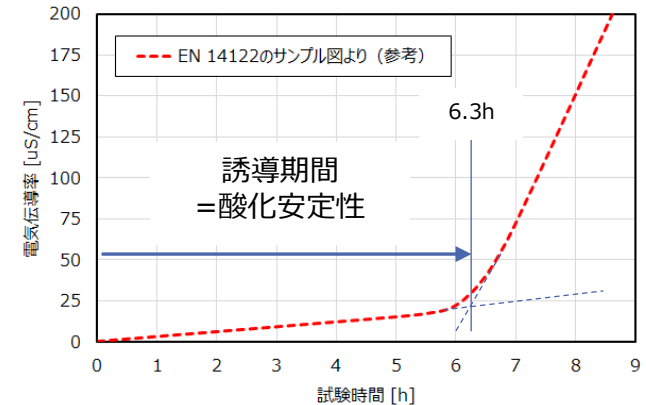
※ 温度が高い状態で保管した場合、混合安定性が悪化することがあるので注意が必要である。

燃料	B0	B10	B24	B100	備考
A-FAME①					試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
A-FAME②					試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
C-FAME①					試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
C-FAME②					試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。

4.5 その他の試験

(3) 酸化安定性 (Oxidation stability)

- 測定を開始した瞬間から酸化生成物の生成が急速に増加し始めるまでの時間を誘導期間 (induction period) という。
- 酸化安定性は、決められた手順に従って決定される誘導期間であり、時間 (単位: h) で表される。
- 計測方法は欧州規格EN 14122に規定されている。



【計測原理】

サンプル油を規定で定められた目標温度110℃まで加熱し、乾燥空気を通すことによって、酸化プロセスが生じ、揮発性化合物が生成される。生じた揮発性化合物は空気とともに、蒸留水を入れた計測容器に送られる。計測容器に備えた導電率電極は計測・記録装置に接続されており、蒸留水に吸収された揮発性カルボン酸の解離による導電率の急速な増加に至るまでの時間 (誘導期間) が求められる。この誘導期間が酸化安定性の指標となる。

【酸化プロセスの詳細】

欧州規格EN 14112においては、酸化プロセスを2つの段階に分けて酸化安定性を求める (右上図参照)。

- 第1段階 (誘導期間) は、酸素によって過酸化物が生成されるゆっくりとした反応を特徴とする。
- 第2段階は、過酸化物が生成されるだけでなく、高温条件下において過酸化物が解離する急速な反応を特徴とする。この段階では、アルデヒド、ケトン、低級脂肪酸などが生成される。

欧州規格EN 14112は、酸化プロセス中に生成される揮発性の解離生成物 (主にギ酸と酢酸) による導電率の変化を測定する方法である。

【電気伝導率 (導電度)】

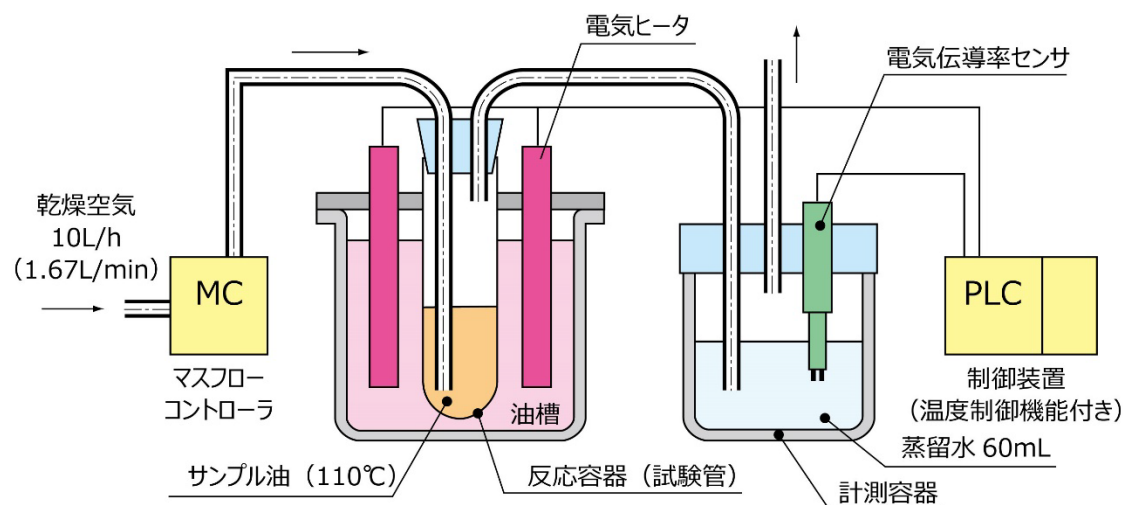
固体や液体などの電流の流れやすさを示す物性値である。単位は S/m (ジーメンズ・パー・メートル) で表され、 S は電気抵抗の逆数 ($\text{S}=1/\Omega$) である。純水の電気伝導率は $5\mu\text{S/cm}$ 以下、水道水の電気伝導率は $100\sim 300\mu\text{S/cm}$ 程度である。

4.5 その他の試験

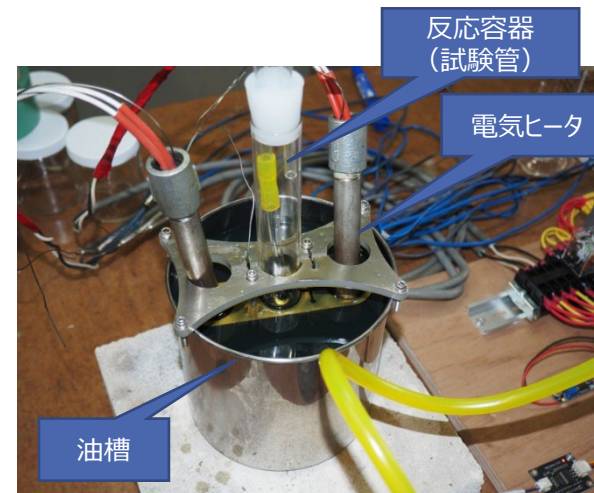
(4) 酸化安定性試験装置

- 欧州規格EN 14122に記載されているランシマット法を参照して，試験装置を構築した。

- ◆ サンプル油を入れた反応容器を温度制御された油槽（110℃）に設置する。
- ◆ 乾燥空気はマスフローコントローラを介して反応容器に送られる（10L/h）。反応容器から排出される気体は電気伝導率センサを取り付けた計測容器に送られる。
- ◆ 電気伝導率はPLC（Programmable Logic Controller）によって計測・記録される。



酸化安定性試験装置（ランシマット法）



反応容器部の外観



計測容器の外観

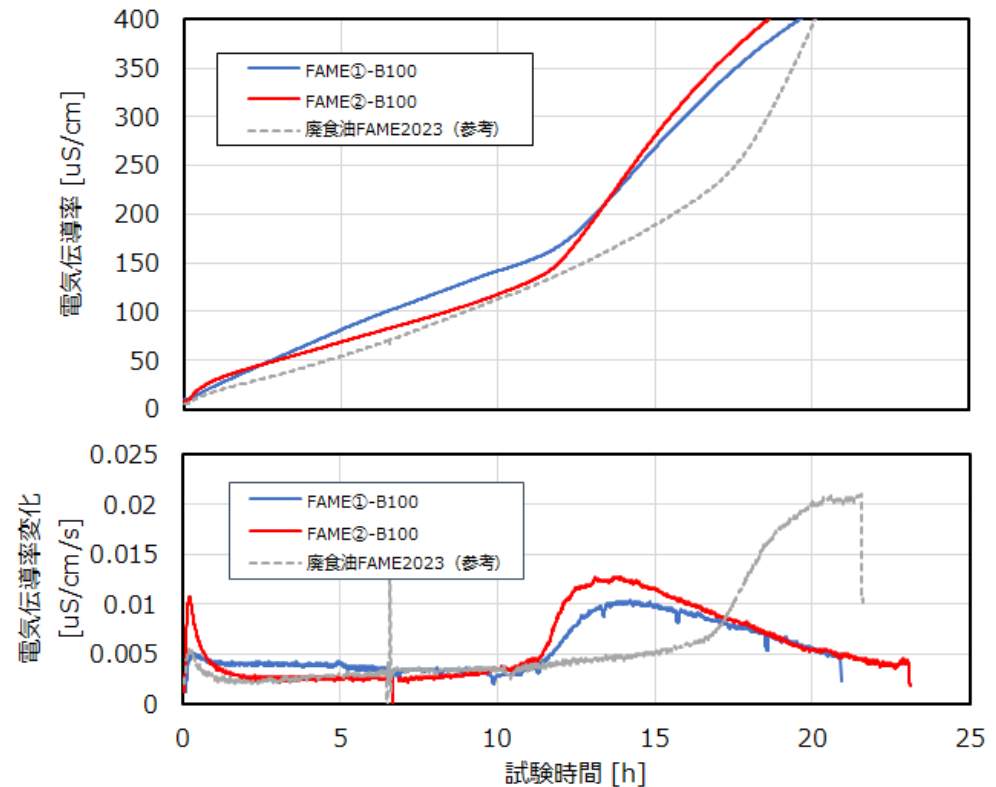
4.5 その他の試験

(5) 酸化安定性試験の結果

- JIS K 2390「自動車燃料－混合用脂肪酸メチルエステル（FAME）」の品質基準は酸化安定性10h以上であり，2種類のFAME（B100）はこの基準を満たしている。
- 20時間の酸化安定性試験後の酸価は増加している。

酸化安定性の計測結果

種類・項目		FAME①	FAME②
酸化安定性 [h]		12.3	11.8
試験時間 (110℃) [h]		21.0	23.1
酸価 (参考) [mg-KOH/g]	試験前	0.90877	0.72632
	試験後	3.20017	3.58043



酸化安定性の計測結果

4.5 その他の試験

(6) ゴム材料浸漬試験

- 材質が異なる2種類のゴム製Oリング（P15，線径2.4mm±0.09）を準備した（右表参照）。
- 以下の浸漬試験においては，JIS K 6258を参考として，恒温槽を温度55℃に設定し，経過時間に対する線径の寸法変化を計測した。

浸漬試験に用いたゴム製Oリング

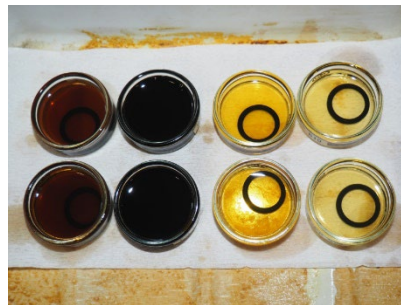
整理記号	NBR	FKM
材質	ニトリルゴム	フッ素ゴム
JIS B 2401	NBR-70-1	FKM-70
旧JIS規格	1種A	4種D
メーカー・品番	NOK CO0014A	NOK CO0014U2
メーカー該当記号	A305	F201
備考	耐鉱物油用（一般的なニトリルゴム）	耐熱用（耐熱性，耐油性が高い材料）

試験方法

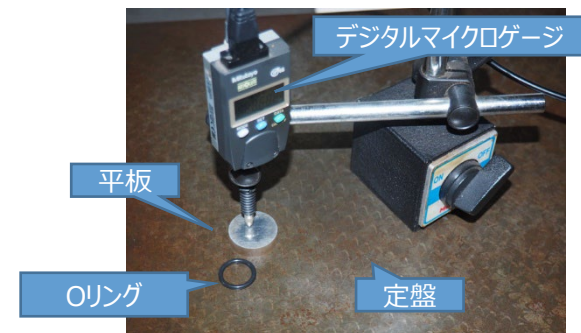
- 定盤の上にゴム試験片（Oリング）を置き，アルミニウム合金製平板による一定加圧条件の下，デジタルマイクロゲージ（分解能1/1000mm）で寸法（厚さ，Oリングの直径に相当）を計測する。
- ゴム試験片上の4点の寸法を計測をして平均値を求め，あらかじめ浸漬試験の前に個々の試験片において計測していた基準長さに対する寸法変化率を算出する。



準備したOリング



浸漬試験



ゴム製Oリング試験片の寸法計測

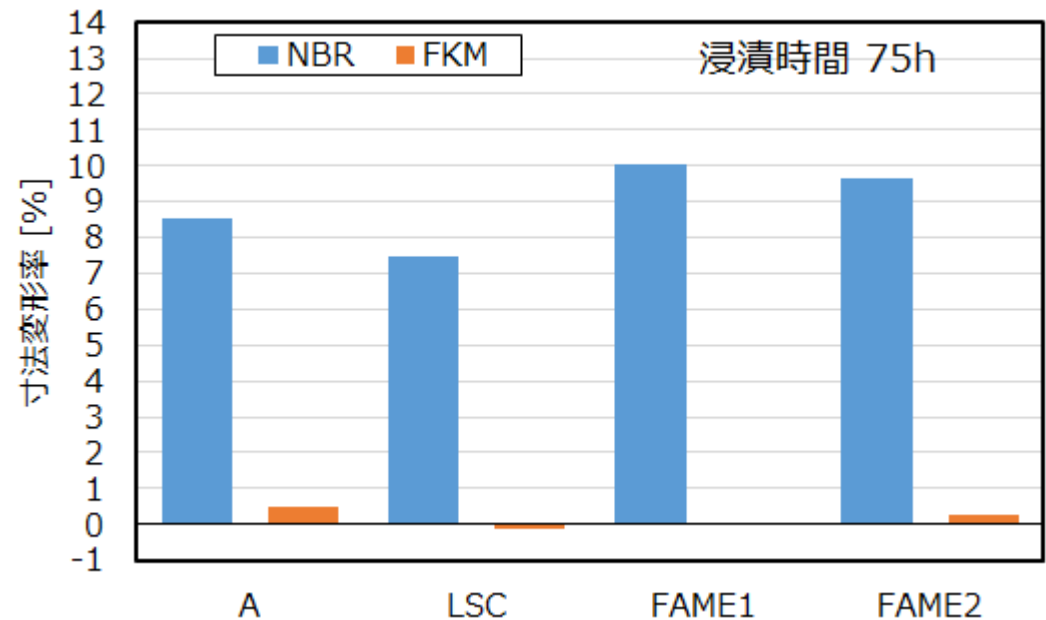
4.5 その他の試験

(7) ゴム材料浸漬試験の結果

- 2種類のバイオ燃料
(B100) におけるニトリル
ゴム (NBR) の寸法変化
は, A重油およびLSC重油
と比べてわずかに大きい。
- フッ素ゴム (FKM) の寸法
変化はほとんど確認できない。

各種燃料油における変形率 [%]

種類・項目	A重油	LSC重油	FAME①	FAME②
ニトリルゴム (NBR)	8.54	7.45	10.02	9.66
フッ素ゴム (FKM)	0.49	-0.12	0.01	0.25



ゴム材料浸漬試験の結果

4.5 その他の試験

(8) 低温条件時の状況

- 2種類のFAME (B100) は約0℃の低温状態においても固化しない。
- A重油とFAMEの混合油 (B10～B24) は、0℃程度の低温状態であっても固化しない。また、目視では、固形物の析出や分離も確認されなかった。

※ LSC重油との混合油は0℃程度で固化する。そのため、固形物の析出や分離の有無はわからない。



FAME① (B100)



FAME② (B100)



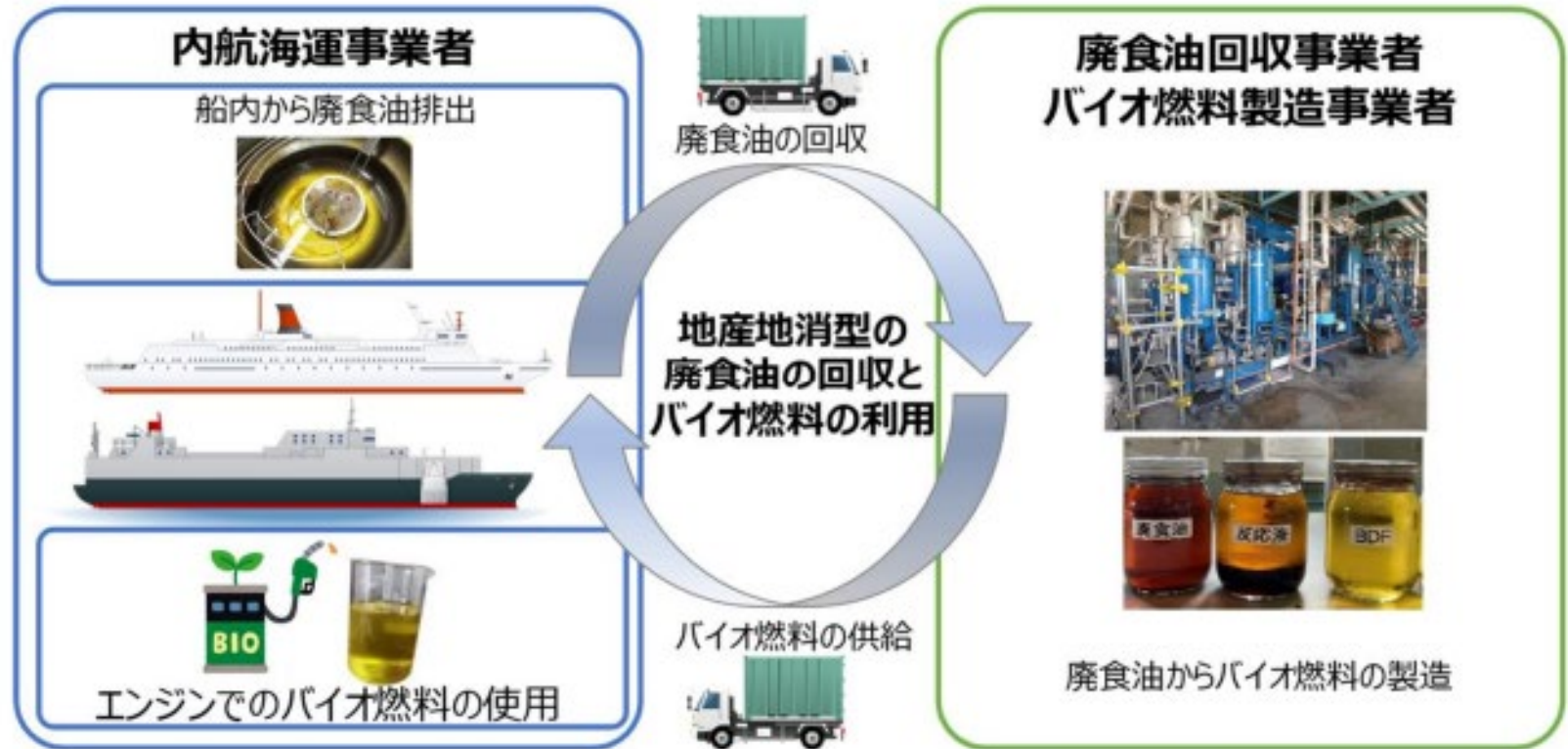
A重油との混合油
(FAME①-B24)

4.6 まとめ

- ① 本事業で用いた2種類のバイオ燃料の動粘度および密度はほぼ同じである。
- ② 本事業で用いた2種類のバイオ燃料B100の動粘度はA重油とLSC重油の間にある。バイオ燃料混合率が低い条件（B10～B24）でエンジンを運転する場合、従来の重油と同程度の温度条件で問題ないと考えられる。
- ③ 本事業で用いた2種類のバイオ燃料B100の密度は、A重油とLSC重油との間にあり、混合割合によっては燃料清浄機の調整が必要となり得る。
- ④ 定容燃焼装置（FCA）による試験を実施した結果、B10～B24、B100のサンプル油において、着火性（推定セタン価ECN）はA重油およびLSC重油よりも高く、着火遅れの増加などの燃焼悪化も確認されなかった。
- ⑤ 定容燃焼装置（FCA）による試験結果を解析した結果、本試験に使用した2種類のバイオ燃料（B100）の発熱量は、A重油またはLSC重油と比べて8～10%程度低く、B10～B24は、A重油またはLSC重油と比べて2～4%程度低いと推測される。
- ⑥ 中速船用ディーゼルエンジンによって、A重油並びにLSC重油とバイオ燃料の混合油（B10～B24）を使用し、通常の重油を使用した際のデータと比較した結果、燃焼圧力波形や各部温度などの燃焼状況、排ガス成分に大きい相違は確認されなかった。
- ⑦ 混合安定性および酸化安定性の試験、低温条件時の状況の目視による確認を行ったが、問題は確認されなかった。

5. 内航船舶での廃食油回収とバイオ燃料実証試験

廃食油回収とバイオ燃料実証試験の一連の流れ



内航海運事業者: MUアークライン

廃食油回収事業者: 中川油脂商店

バイオ燃料製造事業者: ダイセキ環境ソリューション

全体コーディネート: 豊田通商

5. 内航船舶での廃食油回収とバイオ燃料実証試験

調査の概要

内航船を対象に(1)および(2)にあげる内容の試験を実施し、船舶から回収した廃食油をバイオ燃料に精製し、船舶へバンカリングして使用する一連の流れの検証を行うとともに、課題点の抽出整理を行う。

(1) 船舶からの廃食油の回収

第2章で検討した手法をふまえ、廃食油回収業者による船舶からの廃食油の回収（回収過程における廃食油の一時保管等を含む）を試行する。

(2) 船舶でのバイオ燃料の燃焼

第3章で検討した手法をふまえ、廃食油から精製されたバイオ燃料を含む混合燃料の船舶へのバンカリングを試行する。使用する燃料は、第4章で使用したバイオ燃料と対象船が通常航海中に使用するC重油を体積比10：90で混合した燃料油とする。

延べ24時間以上、バンカリングされた混合燃料を船舶の航海中に実際に燃焼させ、使用にあたっての問題の有無を検証する。実証試験の対象となる船舶にヒアリングを行い、機関システムへの影響や居住環境への影響等について調査する。

なお、対象船へのバンカリング並びにエンジン使用に先立って、バイオ混合油を安全に使用できることを確認するため、第4章の一部の試験を実施する。

5.1 実船試験に使用する燃料油

- 本プロジェクトにおけるバイオ燃料の実船試験においては、LSC重油（コスモ石油，以下LSC①）とバイオ燃料FAME（ダイセキ環境ソリューション，以下FAME①）を混合して使用する。
- 今までの陸上試験で用いてきたLSC重油とは性状が異なるため，実船試験に向けて，改めて動粘度および密度を計測する。
- また，本船の残油であるLSC 重油（ENEOS，以下LSC②）と新たなLSC重油，あるいはバイオ混合油とが船内で混合されるため，実船試験に先立ち，様々な条件における混合安定性試験を行う。

本報告資料で用いる燃料油

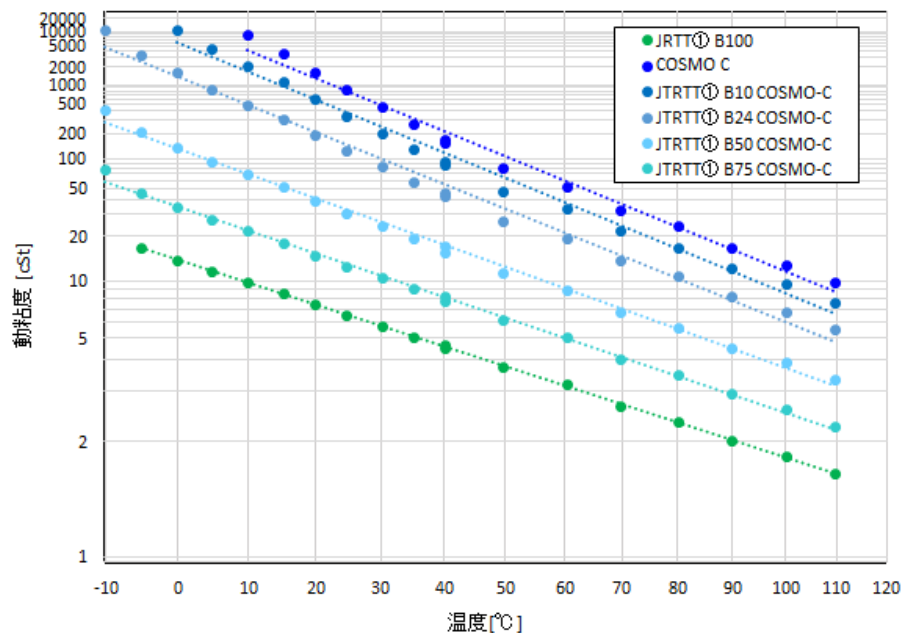
種類・項目	LSC①	LSC②	FAME①
動粘度@50℃ [cSt]	79.333	51.6～85.2	3.721
密度@15℃ [g/cm ³]	0.9511	0.9261 ～0.9267	0.8857
備考	コスモ石油 上記物性は海 技研において計 測した値である。	ENEOS 上記物性は試 験成績表に記 載された値である。	ダイセキ環境ソ リューション 第4章の陸上試 験における FAME①と同じ である。

5.2 動粘度・密度の計測

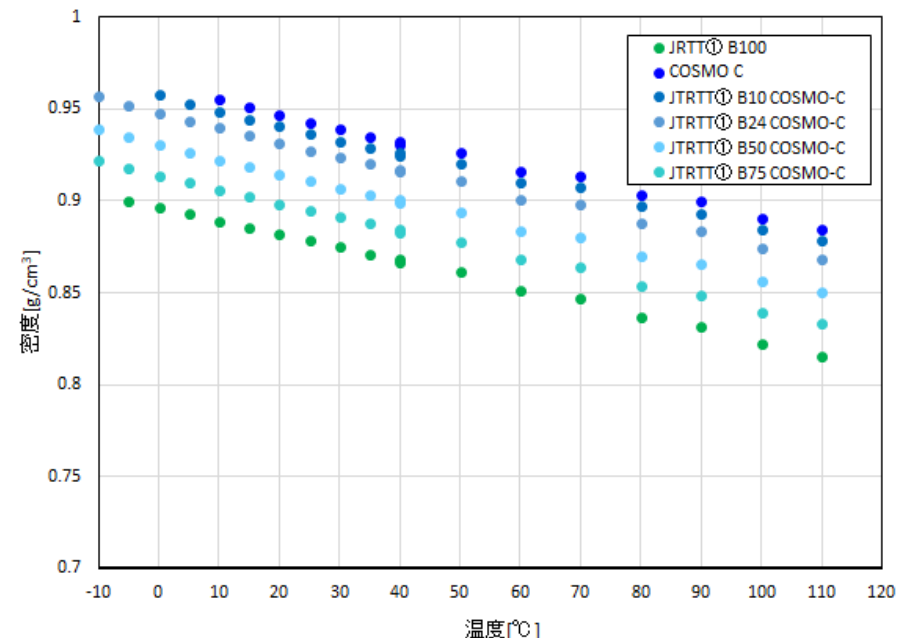
- 実船試験で使用するLSC①とFAME①の混合油の動粘度・密度を計測した。これらを参考にして，エンジン運転時の燃料油温度の調整や燃料清浄機の設定をする必要がある。

計測結果

種類・項目	LSC①	C-B10	C-B24	C-B50	C-B75	B100
動粘度@50℃ [cSt]	79.333	48.414	26.637	11.281	6.113	3.721
密度@15℃ [g/cm ³]	0.9511	0.9446	0.9356	0.9185	0.9022	0.8857

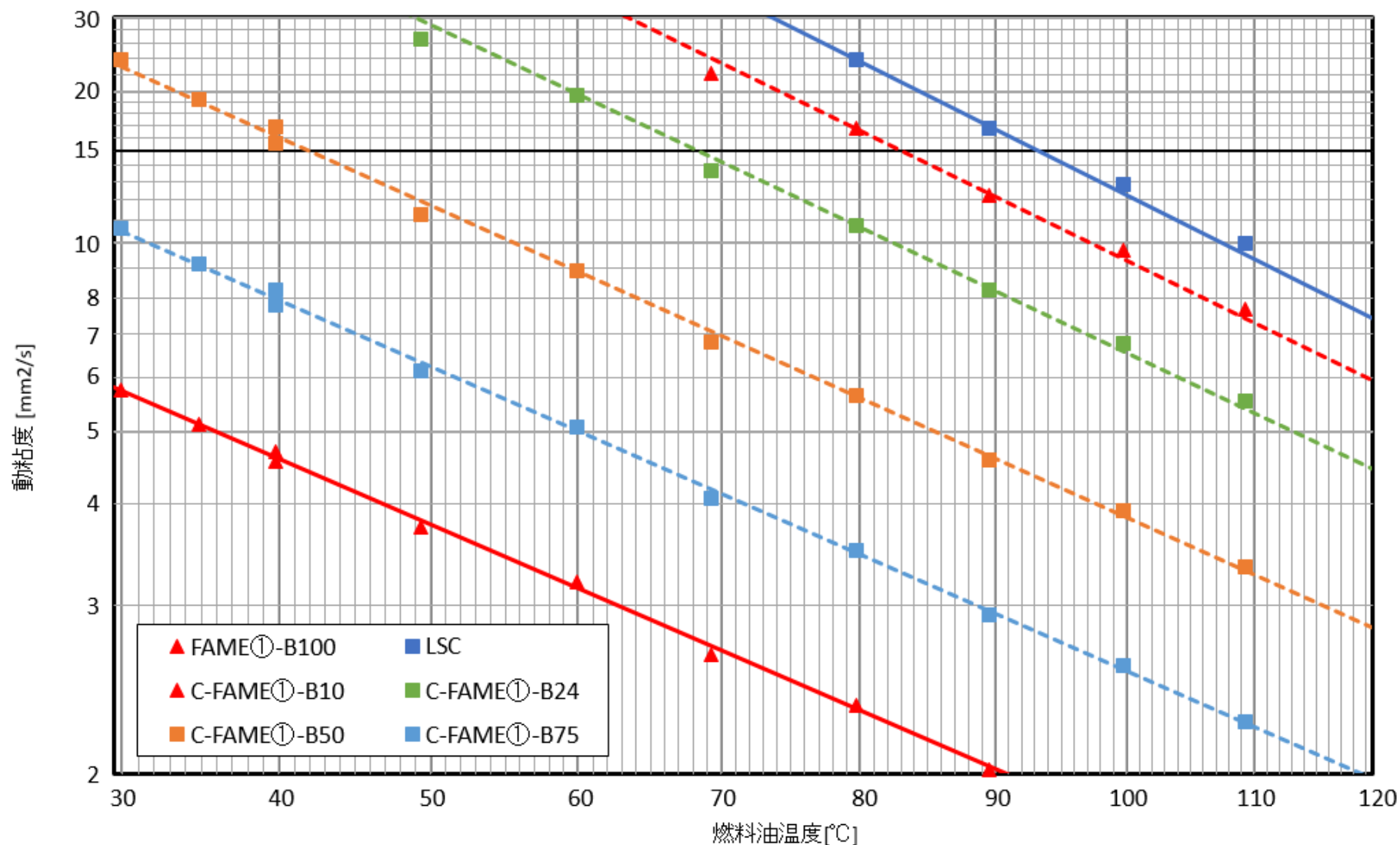


(a) 動粘度

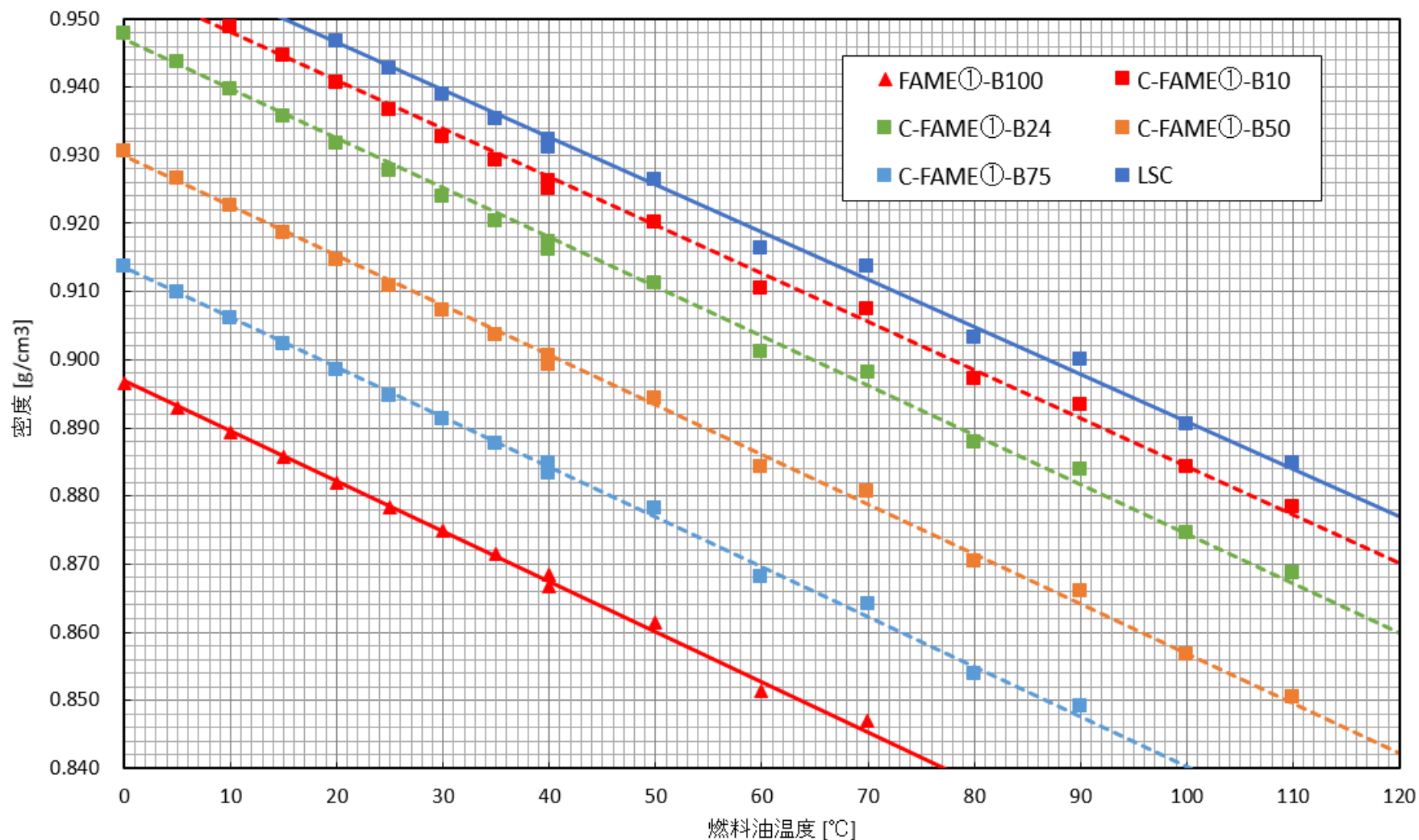


(b) 密度

5.2 動粘度・密度の計測



5.2 動粘度・密度の計測

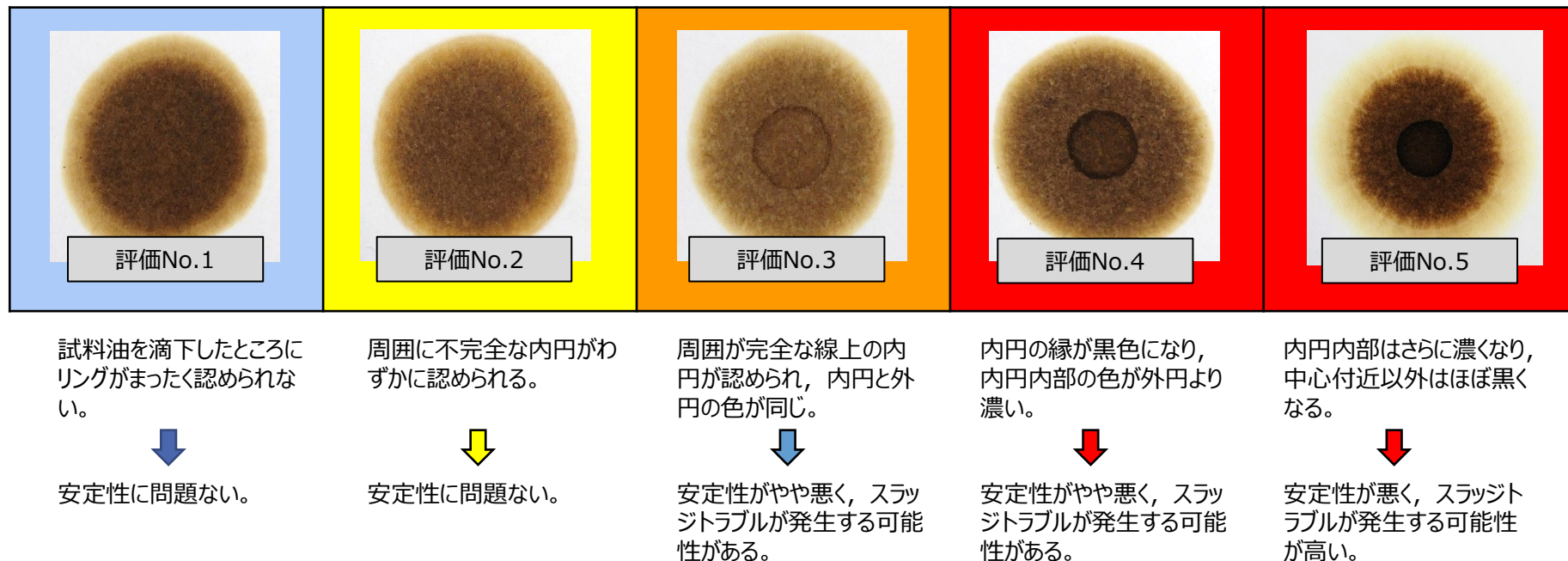


温度-密度チャート (LSC①-FAME①の混合油)

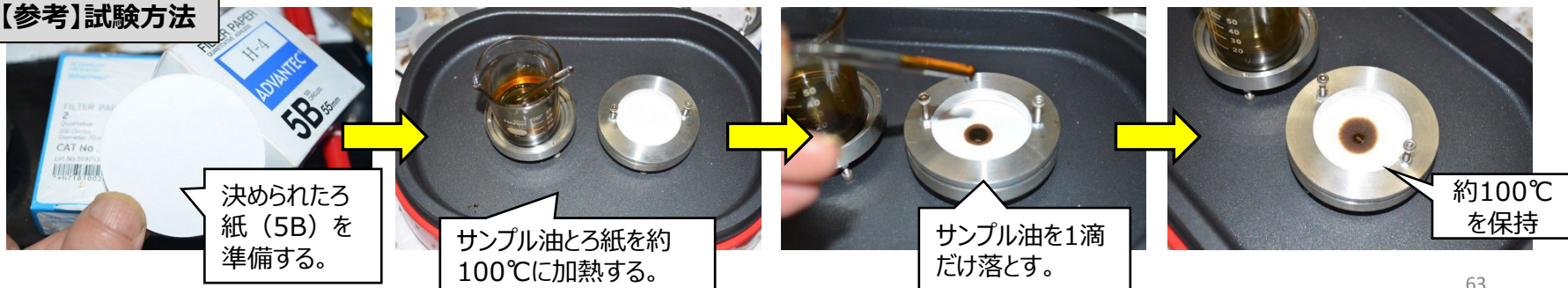
5.3 混合安定性試験

(1) 混合安定性試験の概要

燃料油のスポットテスト評価 ASTM D4740



【参考】試験方法



5.3 混合安定性試験

(2) 混合安定性試験の結果

- 下表の4種類の条件において、混合安定性試験を実施した。

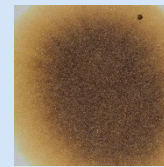
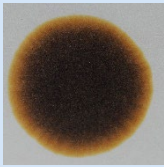
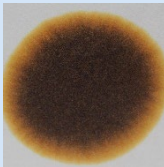
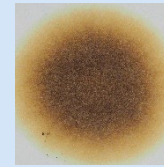
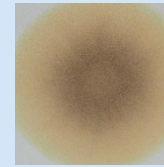
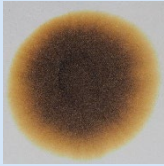
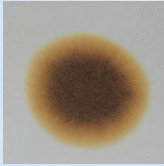
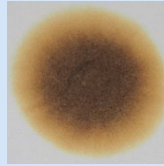
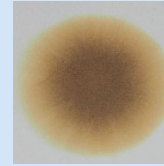
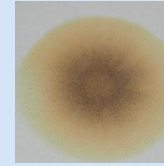
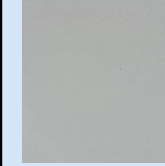
No.	燃料	備考
(a)	LSC①とFAME①の混合油	● 実際の海上試験で使用するバイオ燃料混合油に相当する。 ● バイオ燃料の混合割合を0～100%の範囲で試験をする。
(b)	LSC②とFAME①の混合油	● 本船の残油とバイオ燃料との混合油である。 ● 実際の海上試験では起こり得ない条件であるが、参考として試験を実施する。
(c)	LSC①とLSC②の混合油	● 異なる製油所のLSCの混合安定性である。 ● バイオ燃料は含まない。
(d)	LSC①とLSC②の混合油 + FAME①	● 2種類のLSCの混合油に、さらにバイオ燃料を混合している。 ● バイオ燃料の混合割合を10%として試験を行う。

5.3 混合安定性試験

(2) 混合安定性試験の結果

(a) LSC①とFAME①の混合油

- 混合直後および80℃の高温条件下の混合安定性は、200hの経過時間後であっても、すべて問題ないと判断された（評価No.1）。

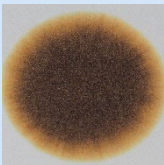
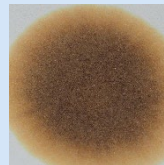
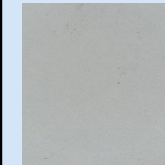
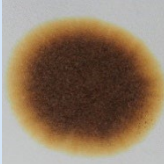
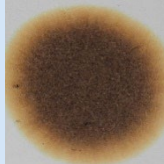
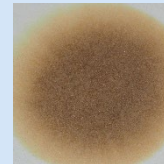
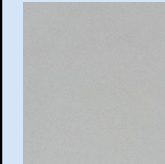
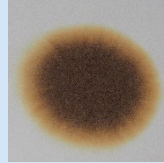
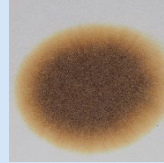
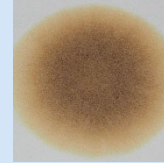
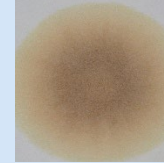
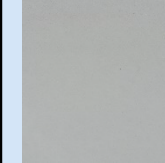
燃料	LSC	B10	B24	B50	B75	B100 FAME①	備考
LSC① 混合直後							試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC① (高温100h)							試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC① (高温200h)							試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。

5.3 混合安定性試験

(2) 混合安定性試験の結果

(b) LSC②とFAME①の混合油

- 混合直後および80℃の高温条件下の混合安定性は、200hの経過時間後であっても、すべて問題ないと判断された（評価No.1）。

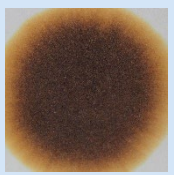
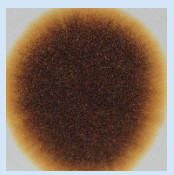
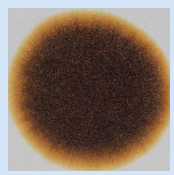
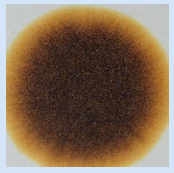
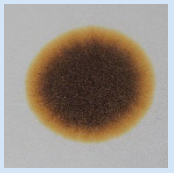
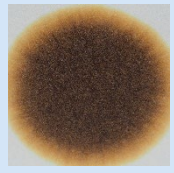
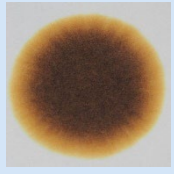
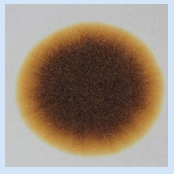
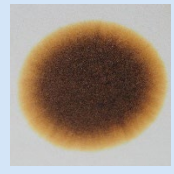
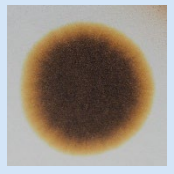
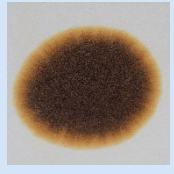
燃料	LSC	B10	B24	B50	B75	B100 FAME①	備考
LSC② 混合直後							試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC② (高温100h)							試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC② (高温200h)							試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。

5.3 混合安定性試験

(3) 混合安定性試験の結果

(c) LSC①とLSC②の混合油（バイオ燃料なし）

- 混合直後および80℃の高温条件下の混合安定性は、200hの経過時間後であっても、すべて問題ないと判断された（評価No.1）。

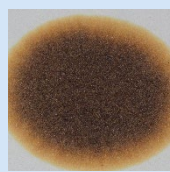
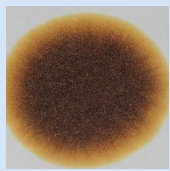
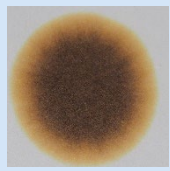
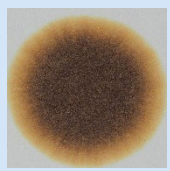
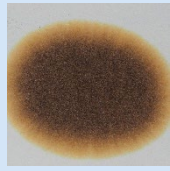
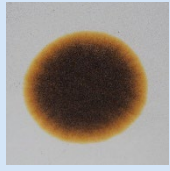
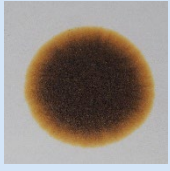
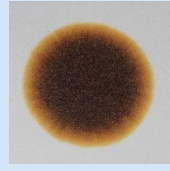
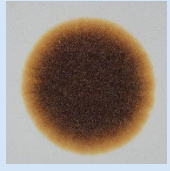
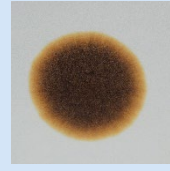
燃料	LSC①	①75 ②25	①50 ②50	①25 ②75	LSC②	備考
LSC①+② 混合直後						試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC①+② （高温100h）						試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC①+② （高温200h）						試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。

5.3 混合安定性試験

(3) 混合安定性試験の結果

(d) LSC①とLSC②の混合油（B10）

- 混合直後および80℃の高温条件下の混合安定性は、200hの経過時間後であっても、すべて問題ないと判断された（評価No.1）。

燃料	LSC①	①75 ②25	①50 ②50	①25 ②75	LSC②	備考
LSC①+② B10 混合直後						試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC①+② B10 （高温100h）						試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。
LSC①+② B10 （高温200h）						試料油を滴下したところにリングが認められない（評価No.1）。

5.4 廃食油回収とバイオ燃料の実証試験

(1) 廃食油の回収と燃料化

対象船である内航16,000積トンセメント船「貴興丸（たかおきまる）」では、約2ヶ月、船内で発生した廃食油をパール缶およびペットボトルに収集した。

名古屋港着岸中、本船で回収した廃食油約15Lを、本船の船員らが陸上に降ろし、岸壁において廃食油回収業者の中川油脂商店に引き渡した。

その後、中川油脂商店からダイセキ環境ソリューションへ輸送し、問題なく燃料化（FAME化）できることを確認した。

※ 昨年度の調査では、廃食油回収業者が船内に立ち入り、回収することを希望する船側のコメントがあったが、不定期航路の貨物船では、そのような対応は難しくなる可能性が高い。また、廃食油の回収数量が多い定期旅客船を除き、船内ではなく一時保管場所ですべて回収したいという回収業者側のコメントがあった。今回の実証試験では、多くの関係者が参加していたため、岸壁上で引き渡しをしている。

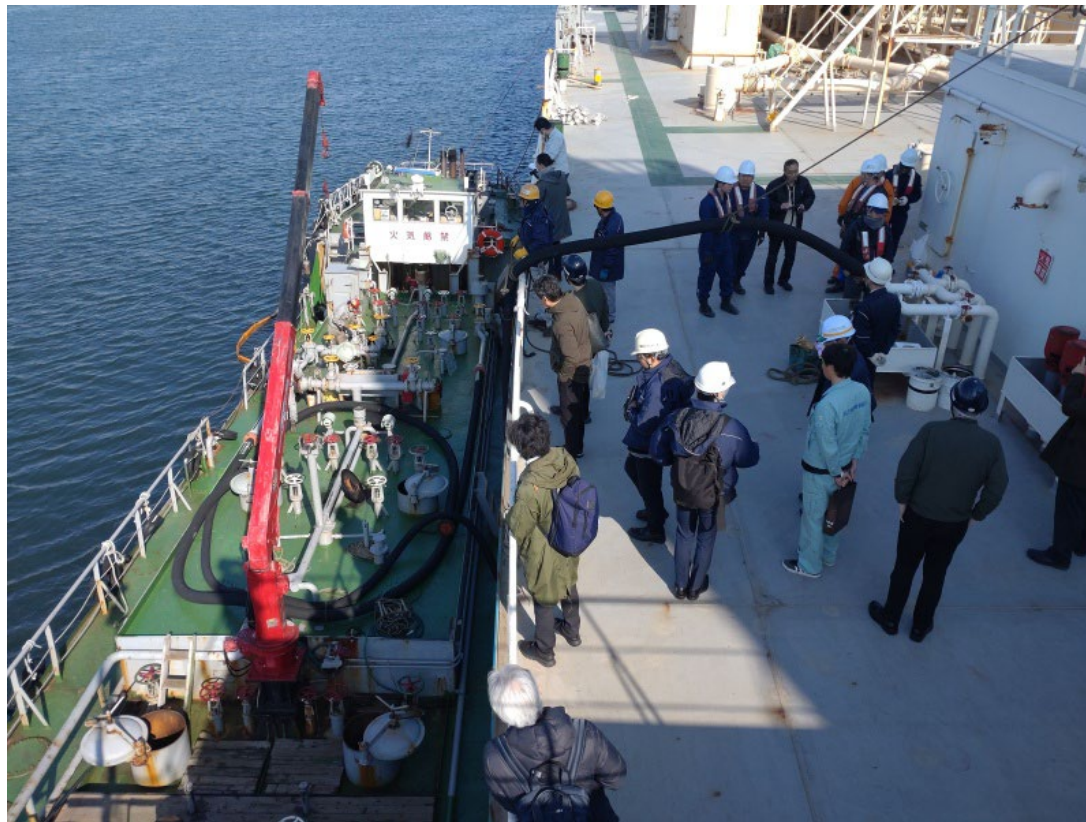


「貴興丸」と廃食油回収の様子

5.4 廃食油回収とバイオ燃料の実証試験

(2) バイオ燃料のバンカリング

バイオ燃料の供給は、事前にバンカー船内でバイオ燃料（B100）とLSC重油が混合され、バイオ燃料（B10）の状態にてバンカー船からのShip to Ship形式にて実施された。



バイオ燃料の供給の様子

5.4 廃食油回収とバイオ燃料の実証試験

バイオ燃料の供給後、バイオ燃料（B10）による延べ24時間の運航を実施した。

- 運航中、機関不具合や重油使用時との大きな相違点は確認されなかった。
- 居住環境への影響等は特段見受けられなかった。
- 特記事項として、ストレーナーの詰まりが一度発生し、掃除を行った。

内航海運事業者へのヒアリングコメントによると、ストレーナーの詰まりはバイオ燃料利用に起因する不具合ではなく、今回の実証実験に向けて燃料タンクを一旦空にした関係で、下に溜まっていたスラッジが攪拌され析出したことによるものと考えられる。対策としては、バイオ燃料受け入れ前に燃料タンクの洗浄を行っておくことがよい。

全体として、廃食油の回収やバイオ燃料の給油、バイオ燃料での運航において、不具合や重油使用時との大きな相違点は確認されず、廃食油回収～バイオ燃料利用の一連のサイクルが内航船舶で実施可能なことを確認した。



内航セメント船「貴興丸」

5.5 課題の抽出と整理

廃食油回収～バイオ燃料利用の一連のサイクルが内航船舶で実施可能なことを確認できた。一方、第2章～第4章の調査結果を含めて、以下にあげるような課題がある。

- ① 一般に船舶からの廃食油は取り扱い量が少なく、廃食油の回収が難しい。廃食油を回収するためには、その回収方法を含めて、調査事業等を進めながら経済合理性を探っていく必要があると考えられる。
- ② 船舶から排出される廃食油の港湾内での一時保管（集積場の設置）については、関連法令の制限に留意する必要がある。
- ③ バイオ燃料と既存燃料との混合、混合油の陸上保管、バンカー船による輸送、対象船への供給に技術面の課題は少ない。一方、これらの法制面は、バイオ燃料の普及の観点から、十分に整備されているとはいえないのが実情である。また、供給インフラが整っていないため通常の重油補油と比べて手間とコストがかかるといった課題がある。バイオ燃料を通常に使用し、CN化を加速するためには、供給インフラの整備や補助制度が必要となり得る。
- ④ 本事業の陸上試験および実船試験で使用したバイオ燃料は、船用エンジンの運転や親和性に問題は生じなかった。一方、より高濃度のバイオ燃料を長期間使用する場合や異なる性質のバイオ燃料を使用する場合は、詳細な解析と評価が必要となり得る。

6. まとめ

本事業では、内航海運分野における廃食油回収の促進とこれを原料としたバイオ燃料活用の拡大による地産地消型リサイクルシステムの構築やカーボンニュートラル推進について、その実現可能性の検証や技術的課題点の抽出整理を目的とする各種実態調査や実証試験を実施した。以下、調査結果をまとめる。

- ① 船舶から排出される廃食油等の現状の取り扱い状況を整理し、回収方法や経済合理性など、現時点での課題点を整理した。
- ② 廃食油回収業者、バイオ燃料精製業者、バンカリング業者へヒアリング等により、船舶から回収された廃食油からのバイオ燃料への精製およびバイオ燃料の船舶へのバンカリングについて、手法の検討やその実現可能性、現時点での課題点を整理した。
- ③ 中速船用ディーゼルエンジンにおけるバイオ燃料の燃焼や燃焼性状を確認などを実施した。その結果、通常为重油を使用した際のデータと比較して、燃焼圧力波形や各部温度などの燃焼状況、排ガス成分に大きい相違は確認されなかった。
- ④ 廃食油の回収やバイオ燃料の給油、バイオ燃料での運航において、不具合や重油使用時との大きな相違点は確認されず、廃食油回収～バイオ燃料利用の一連のサイクルが内航船舶で実施可能なことを確認した。