

船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン

令和6年3月

船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン策定検討会
船舶におけるバイオ燃料の利用に関する調査検討委員会
国土交通省海事局

はじめに

世界的に脱炭素に向けた動きが加速するなか、我が国においても令和2年10月に内閣総理大臣より2050年にカーボンニュートラルを目指すことが表明され、産業・民生を問わず様々な分野で、これまで以上にCO₂排出削減に向けた取組を強化、加速することが求められている。内航海運についても、政府全体及び他業界等の動向や技術開発の進捗等を踏まえ、また、港湾等関係分野との連携を図りながら、CO₂排出削減に向けた取組を戦略的に進めていく必要がある。

こうしたことを背景に、令和3年4月、国土交通省海事局は有識者、業界関係者等からなる「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」を設置し、内航海運を取り巻く状況の整理や、内航海運の低・脱炭素化に向けて取り組むべき施策の方向性やロードマップなどについて、検討を行い、令和3年12月にとりまとめを行った。本とりまとめにおいて、既存船における省CO₂対策の一つとして、「バイオ燃料の活用促進」を掲げ、船用エンジンにおける燃焼性、混合安定性、部品腐食などの技術的課題の有無を把握・検討しておくことが重要であり、船舶におけるバイオ燃料の取扱いガイドラインの策定を行っていく旨の方針を示した。

これを踏まえ、関係者が安全かつ円滑に船用バイオ燃料を取扱うことを可能とするためのガイドラインを策定するため、令和4年6月、国土交通省海事局は有識者、業界関係者等からなる「船舶におけるバイオ燃料取扱いガイドライン策定検討会」を設置し、令和5年3月にガイドラインの初版をとりとまとめた。

その後、令和5年7月、新たに「船舶におけるバイオ燃料の利用に関する調査検討委員会」を設置して追加検討を行い、令和6年3月に改訂版をとりとまとめた。

本ガイドラインを策定するにあたって実施した陸上・実船試験は、船用燃料油として利用可能性のある一部のバイオ燃料を使用して行ったものであり、網羅的に全ての燃料で実施したものではない。本ガイドラインの記載は、そのような条件下で行った試験から得られた知見に基づき記載をしているため、その内容は、あらゆるバイオ燃料に必ずしもそのままあてはまるものではない。バイオ燃料の性状は原料、製造工程、混合する燃料油の性状等によって変化するため、バイオ燃料の使用にあたっては、使用するバイオ燃料の特性を把握し、必要に応じて各関連機器メーカーの協力を得て対応することが重要である。

目次

1章	バイオ燃料とは	1
1.1	バイオ燃料の種類	1
1.2	船用利用の可能性のあるバイオ燃料の概要	1
2章	バイオ燃料使用にあたって参考となる燃料品質基準・規格	8
2.1	船用燃料油の品質基準・規格	8
2.2	船用バイオ燃料の品質基準・規格	9
3章	船用バイオ燃料使用に向けた準備・対応	12
3.1	機器の腐食・劣化	12
3.2	動粘度・密度	14
3.3	エンジン等における使用と注意点	15
3.4	スラッジの発生	16
3.5	まとめ	17
	付録1 陸上・実船試験結果の概要	19
	付録1.1 各種試験に用いたバイオ燃料	19
	付録1.2 陸上試験結果の概要	19
	付録1.3 実船試験結果の概要	24
	付録1.4 陸上エンジン試験結果の概要	26
	付録1.5 実船試験使用燃料の分析結果（令和4年度、FAME）	26
	付録1.6 実船試験使用燃料の分析結果（令和5年度、濃度100%のSVO）	27
	付録1.7 実船試験使用燃料の分析結果（令和5年度、SVO混合油）	28
	付録2 船用燃料油関係用語に関する解説	29
	付録3 その他のバイオ燃料の規格に関する参考情報	34
	付録4 バイオ燃料の船舶への供給に係る主要な規制	36
	付録4.1 陸上側に係る規制	36
	付録4.2 船舶側に係る規制	37

1章 バイオ燃料とは

1.1 バイオ燃料の種類

バイオ燃料は運輸部門において広く使用されており、動植物油脂をメチルエステル化処理や水素化処理などして製造し、性状が軽油に類似しているバイオディーゼル燃料と、サトウキビ・麦等の糖質を微生物によって発酵・蒸留して製造し、性状がガソリンに類似しているバイオエタノールがある。これらは燃焼の際にCO₂を排出するものの、原料作物の成長過程においてCO₂を吸収しているため地球温暖化対策計画において排出量の算定に含めなくてよいとされている。一方で、バイオ燃料使用時に排出されるCO₂のみならず、バイオ燃料の原材料の栽培とバイオ燃料の製造・輸送・流通の各過程において排出されるGHG排出量（ライフサイクルGHG排出量）に着目した国内制度（FIT、FIP制度など）もあり、今後の動向を注視する必要がある。

これらのうち、船舶利用が期待されるバイオディーゼル燃料の、我が国における主な原料は廃食油であり、廃棄物の有効利用となるため上記のような懸念がない。国内における廃食油発生源を見ると事業系が大部分を占め（全体の8割程度）、残りが家庭系となっている。バイオディーゼル燃料の生産拡大には原料の確保が必要となるが、我が国において廃食油は燃料原料としての利用のみならず、他産業（飼料、切削油、インク・塗料等）による利用や輸出もされている。現状では国内における廃食油の全体量のうち、飼料向けが最も多い状況となっていることから、他用途の需要の状況を踏まえつつ、燃料生産用として確保することが必要となる。

1.2 船用利用の可能性があるバイオ燃料の概要

バイオ燃料は、軽油・重油の代替として既存のディーゼルエンジンをそのまま又は小規模な改造を行うことで使用可能（ドロップイン燃料）というメリットがあり、船舶用燃料の代替候補として利用に向けた検討が進んでいる。

ディーゼルエンジンで使用が試みられている主なバイオディーゼル燃料として、国内においては主に廃食油を原料としてメチルエステル化処理によって製造するFAME（Fatty Acid Methyl Ester：脂肪酸メチルエステル）や、水素化処理を行って製造するHVO（Hydrotreated Vegetable Oil：水素化処理油）がある。また、廃食油以外にも菜種、パーム、大豆、ジャトロファなどから得られる植物油を原料としたバイオディーゼル燃料も製造されている。

さらには、FAME、HVOのような化学処理をせずSVO（Straight Vegetable Oil：粗植物油）のまま直接利用することも検討されている。

現在、船用燃料油として利用の可能性があるバイオ燃料の種類を図1に示す。

ガイドラインを作成するにあたって実施した陸上・実船試験（以下、「本試験」という。概要は付録 1 参照）においては、図中の赤枠で囲まれた非可食原料を用いて製造された青字のバイオ燃料（FAME、HVO、SVO）を使用している。

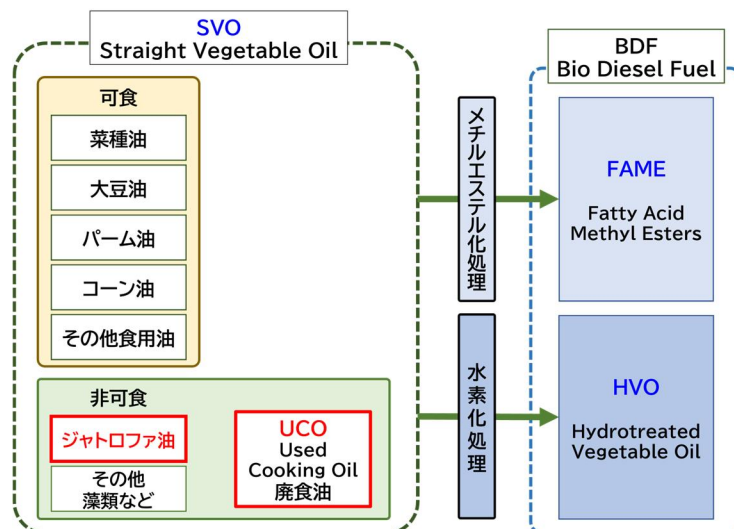


図 1 現在船用燃料油としての利用の可能性があるバイオ燃料の種類

なお、図 1 に挙げたバイオ燃料のほとんどは、従来から船用に使用されている軽油や A 重油、高硫黄 C 重油、低硫黄 C 重油（以下 LSC 重油）と混合して使用されることが想定される。ただし、HVO については、現時点で軽油との混合または専焼による使用が想定される。

また、バイオ燃料の混合比率に応じて「BOO」と表記される（例：混合比率が 20% の場合は、「B20」と表記。）。

後述において、それぞれの概要について整理する。

1.2.1 FAME

FAME は、植物油や動物油から、メタノールとのエステル交換反応によって得られる脂肪酸メチルエステルを主成分とする燃料油であり、動粘度の低いディーゼル燃料として使用できるようにしたものである。

メチルエステル化処理には複数の方法があるが、最も実績のある方法として、アルカリ触媒法の一般的な製造工程とエステル交換反応を図 2 及び図 3 に示す。

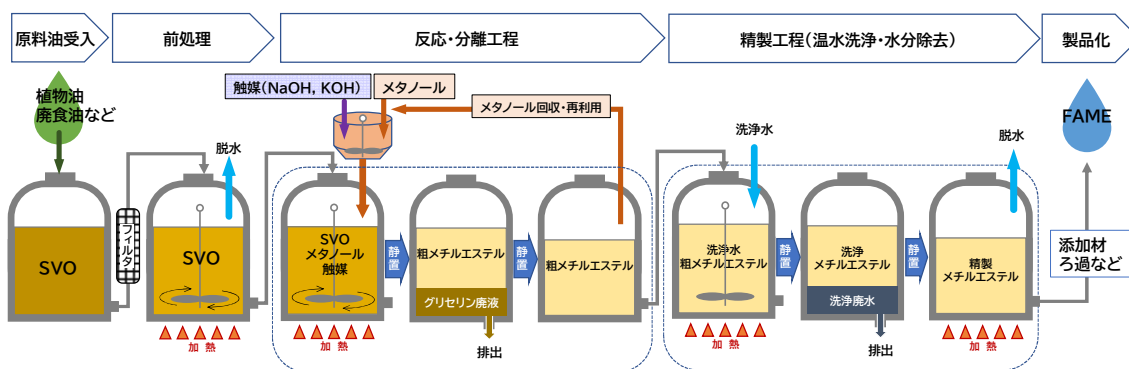


図 2 アルカリ触媒法による FAME 製造工程のフロー図

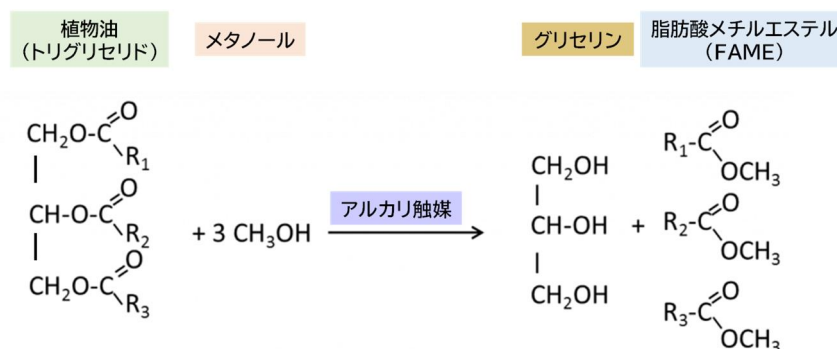


図 3 メタノールとのエステル交換による脂肪酸メチルエステルの生成

欧米では菜種や大豆などから、東南アジアではパームなどを原料に製造されることが多いが、日本において製造される FAME は廃食油を原料にしたものが多い。ただし、欧州においても近年は、原料全体のうち、廃食油を使用する割合が増加する傾向にある。また、バイオ燃料の一つとして、熱帯や亜熱帯に広く分布しているジャトロファを原料として使用したのも船用燃料油として利用する可能性がある。

廃食油を原料とする場合、図 2 に示すように、廃食油に含まれる大きな不純物等は、エステル交換反応の前にもろ過プロセス等を通じて除去する。さらに前処理として不純物（遊離脂肪酸、油脂酸化物、水分、モノグリセリド、ジグリセリド、炭水化物、タンパク質、塩分等）を除去したうえで、エステル交換反応をさせる。この反応で生じたグリセリンは分離・除去される。大きな不純物やグリセリンを分離した後の粗製 FAME は、蒸留工程によって未反応のメタノールを分離した後、蒸留水を加えて洗浄を行う。FAME と水は混ざりあわないため、FAME 内

の不純物のみが水に溶け出し、FAME からその水を分離するための脱水工程を繰り返すことによって、純粋な FAME が得られる。

FAME はメチルエステル化処理が必要なため、製造段階における CO₂ 低減効果やコストの観点で後述の SV0 には劣るが、HVO との比較においては、製造設備がシンプルであることもあり相対的に安価である。また、酸化安定性、低温流動性の点で、航空機燃料として使用することは難しいことから船用燃料油として利用が想定される。

1.2.2 HVO

HVO は、植物油、廃食油または動物性油脂から水素化精製法によって精製したものであり、例えば、石油会社が保有するような水素化処理、水素化分解/異性化装置などを活用して製造される。

HVO の製造方法にもいくつか種類があるが、図 4 に HVO 製造工程の概念図の一例を示す。水素化処理は通常 2 段階のプロセスから構成され、最初の段階では油脂が脱酸素化され、二重結合が飽和して飽和炭化水素（パラフィン）が生成される。この反応ではプロパンも副次的に生成される。さらに低温流動性を改善する目的で、第 2 段階として、飽和炭化水素の水素化分解（クラッキング）と異性化が行われる。図 4 にあるように、最終的に生成される製品は、HVO（ディーゼル留分）以外にもナフサなどの軽質分、ジェット燃料留分も連産される。処理条件を変えれば、各成分の比率を変えることができる。

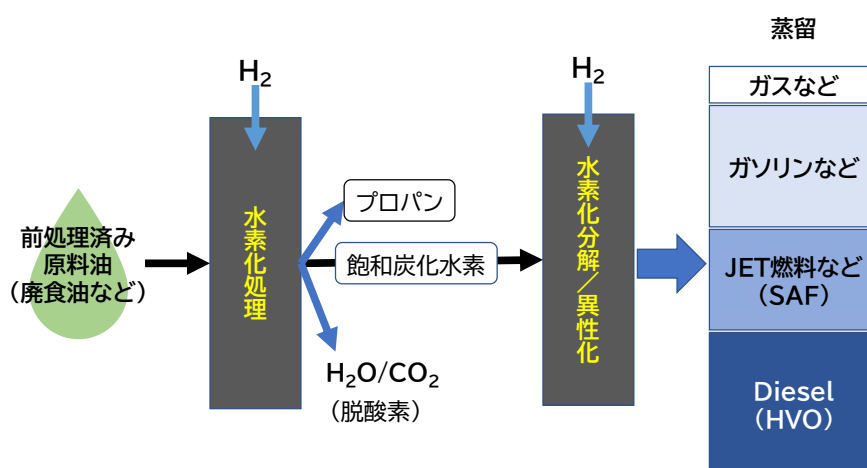


図 4 HVO 製造工程の概念図の一例

ETIP Bioenergy-SABS、Neste 社資料等を参考に作成

HVO はアロマやオレフィン（二重結合をもつ炭化水素）を含まない（パラフィン系）燃料であるため、パラフィンの他にアロマやオレフィン、ナフテンを含む従来の石油系燃料と比べると着火性が良好で、軽油よりもセタン価が 20~30 高い特徴を有する。異性化処理をしない場合（図 4 の 2 段階目の処理）、低温流動性が低くなるが、異性化処理によってイソパラフィン（分子鎖が枝分かれしているパラフィン）を主成分とすることができ、低温での性能を改善することができる。海外の主要な HVO 供給者によれば、HVO の曇り点は -22°C 程度（FAME -5°C 以上）、セタン価は 70 以上（軽油 45 程度、FAME 50-60 程度）とのことである¹⁾。

品質面で優れるが、水素化処理が必要であることから FAME に比較すると製造段階における CO_2 排出量がやや大きくなる。また、FAME と同様に生産量は原材料の調達可能性に依存する。

なお、近年、航空機業界においてバイオジェット燃料（SAF）の需要が増加しており、HVO が SAF の連産品であることから、SAF の需要の高まりによって原材料の調達可能性が増えるのであれば、HVO の生産量も増加する可能性があると思定される。

1.2.3 SVO

SVO は、菜種・パーム・大豆・ジャトロファなどから抽出された純植物油や廃食油について、メチルエステル化処理、または水素化処理を行わずに使用するものである。製造段階における CO_2 低減効果やコストの観点で FAME や HVO に比べてメリットを有する。

しかし、SVO の性状は原料の違いによって大きく異なることが知られており、品質にムラが発生しやすい。また、植物の油脂を含むため、そのまま利用すると噴射ポンプや噴射ノズルに析出物が付着する等の不具合が発生する可能性があり、ディーゼル燃料としては使用が難しい。加えて、長期の貯蔵安定性や燃料システムの腐食、水分が適切に処理されない場合には微生物が繁殖しやすいといった課題も存在する。

他方で、現在日本で検討されている SVO の中には、国内で食品の製造・加工・調理に使用された廃食油、また賞味期限切れなどで使用されずに廃棄された植物油をメチルエステル化処理や水素化処理せずに燃料用途向けに品質管理を行ったものがある。

上述の日本で検討されている国内で集めた廃食油を処理して、船舶用燃料用途向けに品質管理を行った SVO の回収～燃料として使用するための処理～出荷のフローは図 5 の通りとなっている。まず排出場所において廃食油を回収し、処理工場へ運搬する。処理工場において廃食油の状況を確認し、必要に応じて商品化に向けた適正処理を行う。具体的にはフィルターによる異物除去、加熱、静

置等の処理を行うことで、異物や水分の除去を行う。そして、使用目的に合わせた品質となるように調整され、出荷される。

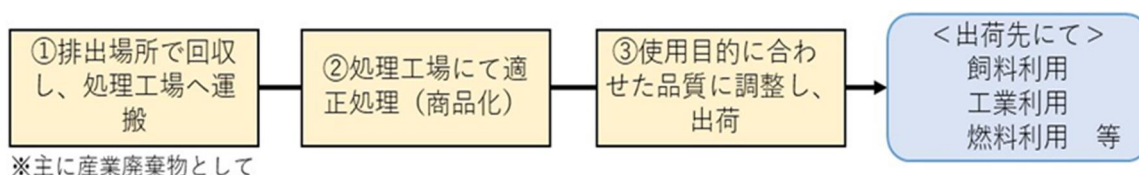


図 5 日本で検討されている国内で収集した廃食油を利用した SV0 の回収～処理～出荷のフロー

当該品質管理を行った SV0 は品質を安定させることができ、今後廃食油の回収・処理の工程や品質について統一規格を整備することになれば、船舶で利用しやすくなる可能性がある。なお、付録 1 にある SV0 の陸上試験及び実船試験で使用した SV0 は当該品質管理を行ったものである。

1.2.4 概要のまとめ

表 1 に上記で記載したバイオ燃料の特徴等について、既存の重油、軽油の特徴と併せて概要として示す。

表 1 重油、軽油、バイオ燃料の概要

船用燃料油	カテゴリー	製造方法及び主な組成	性状の特徴
高硫黄 C 重油 ※1	残渣油	様々な石油精製工程の中間製品を混合して製造される。このため、軽油留分からアスファルテン、レジンの高沸点の炭化水素成分まで、様々な成分を含む。	エンジンの利用時には燃料を加熱する必要がある。アスファルテン及びアロマの多い C 重油では、パラフィンの多い燃料（A 重油、C 重油に限らない）との混合により、アスファルテンやレジンの不安定になり、スラッジが発生することがある。C 重油とパラフィンの多い留出油、特にアロマを全く含まない HVO との混合はなるべく避ける。
低硫黄 C 重油 (LSC 重油) ※2		低硫黄化に伴い、高硫黄 C 重油に比べてアスファルテンなどの高沸点成分が少なくなっているが、不安定な成分を含む場合がある。	高硫黄 C 重油に比べて、低粘度だが、流動点はあまり変わらない。燃料系統の適切な加熱が必要。製油所によって性状は大きく異なる可能性があるため、低硫黄 C 重油同士でも混合によってスラッジが発生する場合がある。パラフィンの多い留出油、特にアロマを全く含まない HVO との混合は避ける。

A 重油	留出油	軽油に少量のC重油を加えたもので、90%以上が軽油分である。	製造工程により、パラフィンの多いA重油、アロマの多いA重油がある。アロマが多いと発熱量が高く、低温流動性が改善されるが、着火性が悪くなる。ただし、ISO規格で着火性が規定されており、その規格に沿ったA重油については燃焼トラブルの恐れは低い。
船用軽油		軽油は一般に、炭素数約12~22の炭化水素（C15~C20を中心）の化合物から成る。	船用の軽油では、いくつかの精製工程からでた軽油留分の中間製品を混ぜて作られている。
HVO (RD) 	水素化 BDF (再生ディーゼル油)	製造工程に起因し、酸素、不飽和結合、アロマを含まない。主にC15~C18の炭化水素で構成されており、一般的な軽油より炭素数の分布範囲が狭い。	軽油と同等の性状であり、軽油と混合して使われることが多い。不飽和結合を含まないため、通常の使用では酸化劣化しにくい。
FAME 	脂肪酸メチルエステル	メチルエステル化処理により、トリグリセリド中のグリセリンがメタノールに置換され、脂肪酸が分解されるため、軽質化される。不飽和結合や酸素を含む構造は変化しないため、燃料特性への原料の影響が残る。	SV0に比べ、一つの分子が小さくなるため、動粘度はA重油と同程度まで下がる。引火点もSV0に比べ低くなるが、一般に170℃程度とA重油に比べ高く、原料によっては低温流動性が悪い場合がある（例えば、パーム油由来のFAMEなど）。脂肪酸の構造は原料とほとんど変わらないので、酸化劣化しやすい。
SV0 	粗植物油	食用精製油の主成分は、グリセリンに3つの脂肪酸分子が結合したトリグリセリドであり、10%程度の酸素を含む。原料の違いによって脂肪酸の構成が異なる。脂肪酸分子に含まれる不飽和結合の数が多いと、酸化劣化しやすくなる。	一般に一つの分子が非常に大きいため、A重油や軽油などの留出油と比べて粘性が高く、流動点、引火点が非常に高い。

※1 高硫黄C重油：硫黄分が0.5%を超えるC重油。HSHFO (High Sulphur Heavy Fuel Oil) あるいはHSC重油などと呼ばれる。

※2 低硫黄C重油：硫黄分濃度0.5%規制に適合したC重油。適合C重油、VLSFO (Very Low Sulphur Fuel Oil)、LSC重油などと呼ばれる。

2章 バイオ燃料使用にあたって参考となる燃料品質基準・規格

バイオ燃料の性状は原料である植物油などの種類、製造工程、また混合燃料の場合は、混合する相手方の燃料油性状によって変化するため、使用に際しては参照可能な品質基準・規格が必要と考えられる。本章では、バイオ燃料を使用するにあたって参考となる品質基準・規格について示す。

2.1 船用燃料油の品質基準・規格

国内には従来の石油燃料においても船用燃料油に特化した規格はないが（全漁連の独自規格などのみ）、重油に関する規格として JIS 規格において、JIS K2205 規格（表 2 参照）と、揮発油等の品質の確保等に関する法律（品確法）による強制規格（表 3 参照）がある。国内では JIS 規格及び品確法を適用しつつ、実質的には国際的な船用燃料油の規格である ISO 8217 Petroleum products – Fuels (class F) – Specifications of marine fuels を参照して供給されていることが多いと言われている。

表 2 重油の JIS 規格（JIS K 2205-1991 抜粋）

項目	種類					
	1 種 (A 重油)		2 種 (B 重油)	3 種 (C 重油)		
	1 号	2 号		1 号	2 号	3 号
反応	中性					
引火点 (°C)	60 以上			70 以上		
動粘度 at 50°C (mm ² /s)	20 以下		50 以下	250 以下	400 以下	400 を超え 1000 以下
流動点 (°C)	5 以下*		10 以下*	—	—	—
残留炭素分 (質量%)	4 以下		8 以下	—	—	—
水分 (容量%)	0.3 以下		0.4 以下	0.5 以下	0.6 以下	2.0 以下
灰分 (質量%)	0.05 以下			0.1 以下		
硫黄分 (質量%)	0.5 以下	2.0 以下	3.0 以下	3.5 以下	—	—

※ 1 種及び 2 種の寒候用のものの流動点は 0°C 以下、1 種の暖候用の流動点は 10°C 以下。

表 3 品確法による重油の強制規格²⁾

項目	満たすべき基準	分類
硫黄分（質量%）	0.5 以下*	環境（大気汚染防止）
無機酸	検出されない	動力トラブル防止

※ 船舶が硫黄酸化物低減装置を設置している場合等は、3.5 質量%以下とする。

一方、国際的な船用燃料油の規格としては、上述のとおり、ISO 8217（表 4 参照）があり、現時点での最新版は 2017 年版であるが、国内では問題となりえないと思われる「硫化水素（H₂S）」と「Used lubricating oils (ULO)」の項目については表 3 への掲載を省略している。なお、ISO 規格は基本的には任意規格であり、当事者間の合意があれば規格外の項目があっても問題がない。また、一般的には 2005 年版の ISO 8217 のもと契約を結ぶことが多いと言われている。

2.2 船用バイオ燃料の品質基準・規格

FAME 混合船用燃料油は ISO 8217 において、留出油グレード（表 4 においては DMA（軽油相当）、DMB（A 重油相当）が該当）のみ FAME B7（FAME 7.0%以下）が規格化（DFA（軽油との混合）、DFB（A 重油との混合））されており、規格値は表 4 の DMA（軽油相当）、DMB（A 重油相当）と同じである。なお、表 4 の各項目に関する解説を付録 2 に記載している。残渣油グレード（表 4 においては RME180 が該当）に関しては FAME を混ぜた場合の規格はない。ISO 8217 では、原料となる FAME（B100）の品質については自動車用規格としてバイオ燃料基材である、EN 14214 または ASTM D6751 の規格（表 5 参照）を要求している。当該規格から ISO 8217 には挙げられていないが、特に注意すべき項目を表 5 に挙げる。

表 4 ISO 8217 (船用燃料油規格) で要求されている項目例

	ISO 8217	DMA ^{※1} (軽油相当) DFA (軽油と FAME7%以下 混合)	DMB ^{※1} (A重油相 当) DFB (A重油と FAME7%以下 混合)	RME180 ^{※1} (C重油相当)	参照試験法 (JISは同等または対応規格)
1)	動粘度 (mm ² /s) DM at 40°C RM at 50°C	2.000 - 6.000	2.000 - 11.000	180.0 以下	ISO 3104 JIS K2283
2)	密度 at 15°C (kg/m ³)	890.0 以下	900.0 以下	991.0 以下	ISO 3675, ISO 12185, JIS K2249
3)	セタン指数	40 以上	35 以上 ^{※2}	—	ISO 4264
	CCAI	—	—	860 以下	
4)	硫黄分(質量%)	0.50 以下	0.50 以下	0.50 以下	ISO 8754, JIS K 2541
5)	引火点(°C)	60 以上	60 以上	60 以上	ISO 2719, JIS K2265
6)	酸価(mg KOH/g)	0.50 以下	0.50 以下	2.5 以下	ASTM D664 JIS K2501
7)	ドライスラッジ TSE(質量%)	—	0.10 以下	—	ISO 10307-1
	ドライスラッジ TSP(質量%)	—	—	0.10 以下	ISO 10307-2 Procedure A
8)	酸化安定性(g/m ³)	25 以下	25 以下 ^{※3}	—	ISO 12205
9)	残留炭素分(質量%)	—	0.30 以下	15.00 以下	ISO 10370, JIS K2270
	10%残留炭素分	0.30 以下	—	—	
10)	流動点(°C)	冬: -6 以下 夏: 0 以下	冬: 0 以下 夏: 6 以下	30 以下	ISO 3016
11)	灰分(質量%)	0.010 以下	0.010 以下	0.070 以下	ISO 6245
12)	外観	透明	—	—	
13)	水分(vol.%)	—	0.30 以下	0.50 以下	ISO 3733, JIS K 2275
14)	潤滑性(WSD) (μm)	520 以下	520 以下	—	ISO 12156 1
15)	Na (mg/kg)	—	—	50 以下	IP 501
	V (mg/kg)	—	—	150 以下	
16)	Al+Si (mg/kg)	—	—	50 以下	IP 501
17)	発熱量 ^{※4}	報告	報告	報告	ASTM D240

※1 日本国内で流通する船用重油は、ISO 8217ではそれぞれ、A重油(1種)=DMBグレード、軽油=DMAグレード、C重油(3種)=RME180グレードに相当する。

※2 国内船用A重油の多くは、セタン指数40以上で提供されている。

※3 残渣分を含む燃料油や非石油由来の成分を含む場合はISO 12205で計測できない。

※4 ISO 8217では報告項目にもなっていないが、燃料取引上、提供される項目。

注1) 水色で表記されている項目は、JIS K 2205にもある項目。

注2) DMAとDFA、DMBとDFBは規格値は同じ。

注3) 付録2において、1)から17)の項目に関する解説を記載。

表 5 EN 14214 及び ASTM D6751 の FAME (B100) の注意項目
(規格からの抜粋及び追加)

分析項目	概要	想定される影響など
エステル含有量	FAME の主成分である脂肪酸メチルエステル	FAME の純度を示す (なるべく高い値の方が望ましい)
残留グリセライド類	メチルエステル化処理の中間生成物	噴射ノズルのスティック、デポジットの生成。10%残留炭素、PM、臭気濃度 (天ぷら臭) 増加など 常温貯蔵安定性が悪化する場合がある。
遊離グリセリン	メチルエステル化処理の副産物 高沸点、高粘度の親水性物質	燃料フィルタの閉塞 噴射ポンプの作動不良
メタノール含有量	分離・精製工程の不良	引火点低下、燃料タンクの腐食 排ガス中のアルデヒド類増加
アルカリ金属 (Na、K)	製造工程の触媒起因	灰分の生成、堆積 →シリンダーやピストンの磨耗
ヨウ素価	不飽和二重結合の総数を表す指標	不飽和二重結合は酸化安定性を悪化させるが、低温流動性を改善。原料となる植物油などの種類に依存。
銅板腐食	非鉄金属への腐食性を評価 JIS K 2513 では、試験温度 50 °C±1 °C、試験時間 3 時間	部材の腐食劣化 銅、真鍮、鉛、錫、亜鉛などの金属材料と反応して、燃料と金属部材の双方に劣化が生じ、腐食劣化やデポジットの形成が促進される可能性があると言われている。このため、長時間の接触は避ける、または燃料配管やガスケットなどの部材の変更が必要。関連機器の腐食性をチェックし、バイオ燃料を使用しても問題ないことを確認する。
C, H, N, O※	含酸素燃料	燃焼温度が上昇し、NOx 増加の可能性

※B100の規格には項目として入っていない評価項目。

3章 船用バイオ燃料使用に向けた準備・対応

本試験においては、船舶燃料油として利用可能性のあるバイオ燃料のうち、廃食油由来のFAME、HVO、SVO及びジャトロファ由来のFAMEを準備し、様々な試験を実施した（付録1参照）。本章では、それらの知見を元に、船用バイオ燃料使用に向けた準備・対応について整理する。

3.1 機器の腐食・劣化

バイオ燃料の使用においては、ゴム材料や金属材料への影響に注意する必要がある。そのため、使用しているゴム材料の確認や必要に応じた交換を行うとともに、燃料配管や関連機器内にバイオ燃料が長時間残る場合、酸化防止剤が添加されたバイオ燃料を使用すること、または通常の燃料に入れ替えておくなどの対応が推奨される。

前章までに述べたとおり、バイオ燃料の種類は多様であり、ゴム材料や金属材料への影響を正確に推定するのは難しい。バイオ燃料導入期の過渡的な時期においては、燃料配管内などにバイオ燃料が長期間残る場合は通常の燃料へ入れ替える対応が望ましい。一方、バイオ燃料を長期に渡って常時使用する場合、燃料配管や関連機器の材質を見直すなどの対応を検討する必要がある。

(1) ゴム材料への影響

本事業で実施したゴム材料の浸漬試験では、使用した4種類のバイオ燃料（FAMEを2種、HVOを1種、SVOを1種）とともに、中高ニトリル（中高NBR）に対する膨潤性は、LSC重油やA重油と同程度であり、大きな違いは確認されなかった。しかし、バイオ燃料の種類は多様であるため、燃料配管系統や燃料移送ポンプ、燃料清浄機などに使用しているOリングなどのゴム製部品には注意する必要がある。燃料系統部品の交換などを関連機器メーカーに確認し、必要に応じて材質を変更するなどの対応を推奨する。

ゴム材料の膨潤性は燃料油の成分の他、ゴム材料の種類によっても大きく異なる。本試験で実施したゴム材料の浸漬試験では、中高ニトリル（中高NBR）、高ニトリル（高NBR）、フッ素ゴム（FKM）の順番に、膨潤性が小さくなることが確認されている（表6参照）。

表 6 ゴム材料の種類と特徴

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 (参考)	31~35% ^{※1}	36~42% ^{※1}	---
バイオ燃料に対す る膨潤性 ^{※2}	LSC 重油や A 重油 と同程度	中高 NBR と比べて 低い	浸漬試験による寸 法変化はほとんど 確認できない
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

※1：資料³⁾の参考値であり、ゴム試験片の計測値ではない。

※2：本試験で実施したゴム材料の浸漬試験の結果であり、すべてのバイオ燃料に対する特徴ではない。

(2) 金属材料への影響

バイオ燃料 (FAME、SV0) が厳しい高温・長時間の条件下に曝された場合、銅合金を腐食させることが確認された (付録 1「(6) 金属腐食試験」参照)。また、付録 2「(13) 水分」の説明項目に記載しているが、バイオ燃料への水の混入は、金属材料の腐食性を高める効果があると言われている。例えば、船付タンク内での長期保管は結露などによって水分の増加を招き、金属性タンクなどの腐食などを誘引する場合がある。バイオ燃料を長期保管しないことが重要である。船内で酸化劣化が進み、燃料油の酸価が高まることが想定される場合、燃料油システムの機器等も含め、材質を見直すなどの対応が必要となり得る。

バイオ燃料と重油との混合油の酸化劣化は高濃度のバイオ燃料 (B100) と比べて遅くなる。しかし、混合油の場合であっても酸価は高まるため、特に高濃度のバイオ燃料を使用する場合、長期保管や高温保管を避ける必要がある。バイオ燃料の酸化劣化は燃料の種類その他、周囲環境や酸化防止剤の添加量によっても大きく異なるため一概には言えないが、通常は半年程度が使用の目安となり得る。

酸化劣化を抑制するためには、酸化防止剤の添加が有効である。酸化安定性は、酸化防止剤の添加量を増やすほど向上する傾向があるが、適量の酸化防止剤 (酸化防止剤製造メーカーの指示する量) が添加されたバイオ燃料の使用が推奨される。

3.2 動粘度・密度

燃料清浄機やエンジンの運転のため、バイオ燃料を使用する前に混合油の動粘度や密度を把握しておく必要がある。

本試験で使用した 13 種類のバイオ燃料（FAME を 6 種、HVO を 1 種、SVO を 6 種）において、他の燃料油と混合しない状態（B100）の動粘度（50℃）は 2.5～30mm²/s 程度、密度（15℃）は 0.78～0.93g/cm³ 程度であり、概ね LSC 重油と A 重油の間であった。

バイオ燃料と重油の混合油の動粘度は、混合する燃料油の間になり、JIS K 2283 の附属書に記載された動粘度－温度チャートにおいて直線で表されることが確認されている（図 6 参照）。一般に船用エンジンは、動粘度が 2～16mm²/s の範囲の燃料油を使用するため、温度調節が必要になることがある。

通常の従来燃料使用時と異なる運転条件となることがあるため、注意が必要である。例えば、バイオ燃料の混合によって、LSC 重油と比べて動粘度が低くなることもある。粘度調節器（ビスコン）による制御ができなくなるといった状況が生じ得る。バイオ燃料使用時は、LSC 重油使用時と同様の温度管理が必要であり、混合油の性状を把握しておくことが重要である。現在の LSC 重油は動粘度のばらつきが大きい。一般にバイオ燃料の動粘度は LSC 重油よりも低いため、混合油の動粘度はベースとなる LSC 重油より低下する。特に動粘度が低い LSC 重油を使用する場合、燃料を加熱しすぎないように調整する必要がある。

バイオ燃料を A 重油と混合して使用する場合、混合油の動粘度は A 重油と比べて高まることもある。特に、バイオ燃料の混合割合を高めた場合、動粘度を 16mm²/s 以下とするために、燃料油のヒーティングが必要となり得る。すなわち、船舶の設備によってはバイオ燃料の種類や混合割合に制限を受ける。

バイオ燃料と重油の混合油の密度は、温度に対して直線的に変化することを確認した（図 7 参照）。燃料清浄機を使用する場合、使用する燃料油の動粘度や密度によって、燃料清浄機の調整が必要になる。バイオ燃料使用時は燃料性状を把握し、各種機器の適切な設定が必要となる。

一部のバイオ燃料および混合油は、0℃以下の低温状態において、一部分が固まったり、液体と固体に分離したりすることがある。バイオ燃料を寒冷地で使用する場合、船付き燃料油タンクを保温・加熱する必要が生じ得る。

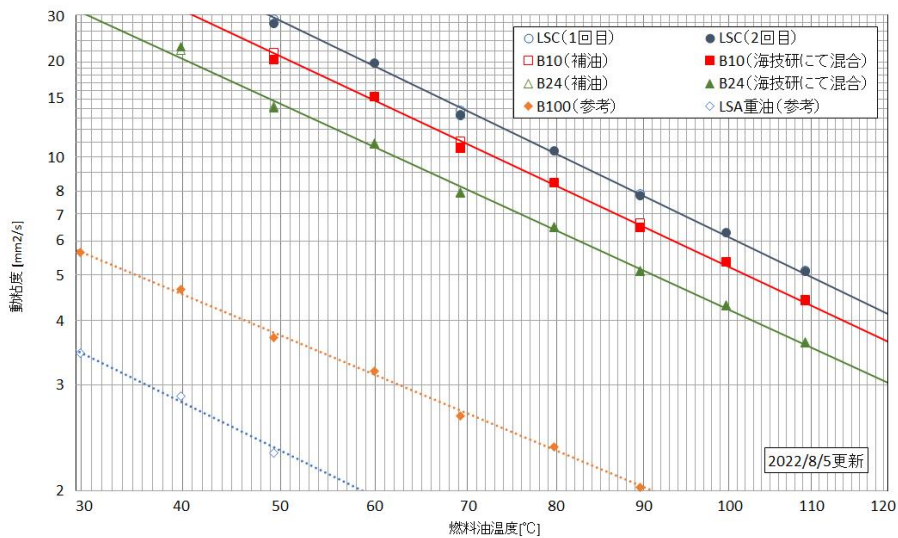


図 6 動粘度－温度チャートの一例

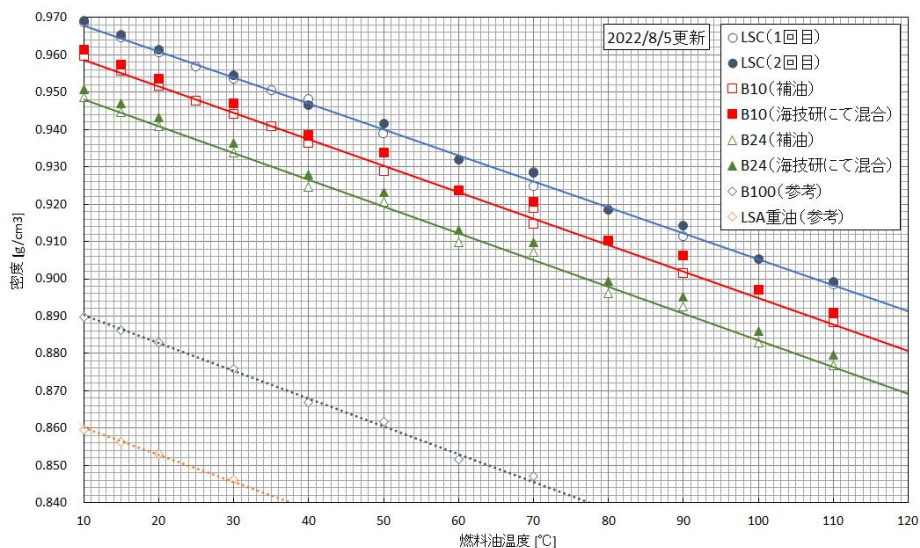


図 7 温度に対する密度の一例

3.3 エンジン等における使用と注意点

バイオ燃料の種類は多様であるため、エンジンの運転制限やボイラへの使用などは、各メーカーに確認し、運転条件などについて協議することを推奨する。

本試験で使用したバイオ燃料 (FAME、HVO、SVO) の着火性は高く、定容燃焼装置 (FCA) による試験やエンジン運転において着火性の問題は確認されなかった。以下、エンジン等にバイオ燃料を使用する際の注意点をあげておく。

- A 重油とバイオ燃料を混合した場合など、燃焼性が従来の A 重油よりも高まる可能性がある。排気温度などを監視し、通常と異なる挙動がある場合はエンジンメーカーに問い合わせるなどの対応が必要である。
- バイオ燃料の性状によっては、エンジン始動時やボイラ点火時の不具合に注意が必要である。
- 発熱量が低いバイオ燃料を使用する場合、エンジンへの最大燃料噴射量が制限を受け、最高出力が低下する可能性がある。特に高負荷運転時の運航には注意が必要である。
- 燃焼性や着火性に問題がないバイオ燃料であっても、エンジンの特性上、バイオ燃料の種類や混合割合の制限を受けることがある。また、気化性が低いバイオ燃料を使用する場合、エンジン内に噴射された燃料の一部が未燃のまま潤滑油に混入することがある⁴⁾。バイオ燃料使用時は、使用可能なバイオ燃料の種類や混合割合、使用する潤滑油の種類や交換時期などをエンジンメーカーに確認することが推奨される。

3.4 スラッジの発生

バイオ燃料と重油を混合した場合や燃料油を長時間貯蔵した場合など、燃料油の安定性が悪化し、スラッジが発生することがあるので、注意が必要である。

本試験で使用した 7 種類のバイオ燃料（FAME を 2 種、HVO を 1 種、SVO を 4 種）と重油を用いた混合安定性試験やエンジン試験において、A 重油との混合油にスラッジ発生の問題は確認されなかった（図 8）。一方、LSC 重油との混合油の混合安定性は、時間経過や保管状態（温度条件）によって悪化することがある（図 9）。ただし、LSC 重油単体の安定性が悪化する場合、バイオ燃料との混合時にも悪化しやすいといった傾向が確認されたため、LSC 重油単体の安定性が主原因なのか、バイオ燃料との混合が主原因であるかの特定はできていない。

いずれの場合も、長時間貯蔵時や燃料切り替え時にバイオ燃料と LSC 重油とが配管内で混合する際など、スラッジが発生する可能性がある。また、バイオ燃料等の軽質燃料は配管の洗浄効果があると言われており、既に配管等に蓄積されていたスラッジが流出する可能性がある。すなわち、運用時にはフィルタの状況等を確認することが重要である。

また、継ぎ足しにおける混合安定性を確認するため、バイオ燃料 4 種類（FAME を 2 種、SVO を 2 種）をそれぞれ LSC 重油に混合し（B24 混合油）、それら同士を更に混合したもの（2 種混合×6、3 種混合×3、4 種混合×1 の計 10 パターン）で混合安定性試験（80℃、500h）を行った結果、いずれの場合においても、安定性の悪化は確認されなかった。







混合率	LSA	B10	B24	B50	B75	B100	
A重油 常温・500h							長期に保管した場合であっても、安定性に問題ないと判断される。

図 8 A 重油とバイオ燃料の混合安定性試験の一例

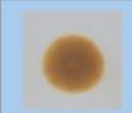




時間	100h	200h	300h	400h	500h	
B50 80℃						時間経過とともに、安定性が悪化している。悪化の進行は周囲状況によって異なると考えられる。

図 9 LSC 重油とバイオ燃料の混合安定性試験の一例

3.5 まとめ

バイオ燃料を使用する場合、動粘度の違いによるエンジン運転条件の変化、バイオ燃料の洗浄効果によってスラッジが流出する可能性、長期船内貯蔵による安定性の悪化や劣化、発熱量の違いによるエンジン出力特性の変化などに注意が必要である。燃料油の切り替え時や使用時には、これらの状態を適切に管理することが重要である。

なお、本章の記載は、本試験において実施したバイオ燃料による試験から得られた知見に基づいている。陸上試験・実船試験ともに、大きな問題が生じるような現象は確認されず、バイオ燃料の種類による大きな違いも確認されなかった。ただし、すべてのバイオ燃料に対して長期の試験を行っているのではない。また、バイオ燃料には様々な種類があることを認識し、使用する燃料油の特性を把握した後、使用することが重要である。

2章、3章の検討から、バイオ燃料購入時に燃料性状表が提供された場合、特に注目すべき燃料性状として、以下の分析項目を挙げる。(表4のISO 8217(船用燃料油規格)で要求されている項目例を再掲)

• 動粘度	• 酸価	• 灰分
• 密度	• 酸化安定性	• 水分
• 硫黄分	• 流動点	• 発熱量

表 4 (再掲) ISO 8217 (船用燃料油規格) で要求されている項目例 (抜粋)

ISO8217	DMA (軽油相当) DFA (軽油と FAME7%以下混合)	DMB (A 重油相当) DFB (A 重油と FAME7%以下混合)	RME180 (C 重油相当)
動粘度 (mm ² /s) DM at 40°C RM at 50°C	2.000 - 6.000	2.000 -11.000	180.0 以下
密度 at 15°C (kg/m ³)	890.0 以下	900.0 以下	991.0 以下
硫黄分 (質量%)	0.50 以下	0.50 以下	0.50 以下
酸価 (mg KOH/g)	0.50 以下	0.50 以下	2.5 以下
酸化安定性 (g/m ³)	25 以下	25 以下	—
流動点 (°C)	冬 : -6 以下 夏 : 0 以下	冬 : 0 以下 夏 : 6 以下	30 以下
灰分 (質量%)	0.010 以下	0.010 以下	0.070 以下
水分 (vol. %)	—	0.30 以下	0.50 以下
発熱量	報告	報告	報告

注) 各項目に関する解説を付録 2 に記載

付録 1 陸上・実船試験結果の概要

本試験においては、船舶燃料油として利用可能性のあるバイオ燃料（FAME、HVO、SV0）を準備し、船舶利用時の技術的な観点による検証を目的とした様々な試験を行った。以下、陸上・実船試験結果について概説する。

付録 1.1 各種試験に用いたバイオ燃料

付表 1 に各種試験に用いたバイオ燃料を示す。それぞれのバイオ燃料は、A 重油、LSC 重油、または軽油と混合し、各種陸上試験や実船試験、陸上エンジン試験等を実施した。

付表 1 各種試験に用いたバイオ燃料

No.	バイオ燃料	原料・製造等	備考
1	廃食油 FAME	廃食油をメチルエステル化処理した燃料	実船試験に使用
2	HVO	廃食油を水素化精製法によって精製した燃料	A 重油と混合して陸上エンジン試験を実施
3	SV0	管理された廃食油	LSC 重油と混合して陸上エンジン試験および実船試験を実施
4	ジャトロファ FAME	ジャトロファ油をメチルエステル化処理した燃料	A 重油と混合して陸上エンジン試験を実施

付録 1.2 陸上試験結果の概要

ディーゼルエンジンによる陸上運転及び実船試験前の陸上試験として、動粘度・密度の計測、定容燃焼装置（FCA）による試験、混合安定性試験、酸価計測、ゴム材料の浸漬試験及び金属材料の腐食試験などを実施した。

（1）動粘度・密度の計測

付表 2 に示すとおり、13 種類のバイオ燃料（FAME を 6 種、HVO を 1 種、SV0 を 6 種）において、他の燃料油と混合しない状態（B100）の動粘度（50℃）は 2.5～30mm²/s 程度、密度（15℃）は 0.78～0.93g/cm³ 程度であり、概ね LSC 重油と A 重油の間であった。また、バイオ燃料と重油の混合油の動粘度は、混合する燃料油の間になり、動粘度－温度チャートにおいて直線で表されることを確認し

た（図 6 参照）。

付表 2 動粘度・密度の計測結果

燃料油	動粘度 (50°C) mm ² /s	密度 (15°C) g/cm ³
廃食油 FAME	3.41~3.70	0.8820~0.8862
HVO	2.53	0.7823
SVO	26.0~28.1	0.9231~0.9253
ジャトロファ FAME	3.94~4.23	0.8837~0.8853
A 重油 (参考)	2.29~2.46	0.8562~0.8581
LSC 重油 (参考)	28.0~34.7	0.9473~0.9656

※ HVO は一のサンプルのみの結果である。

(2) 定容燃焼装置 (FCA) による試験

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った。FCA は、圧力変化及び圧力変化率の結果から着火遅れ時間や燃焼時間、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試験装置である。

付表 3 は、本試験で実施した定容燃焼装置 (FCA) による試験結果の一部であり、推定セタン価 (ECN) と呼ばれる燃焼性の指標である。本試験で使用したバイオ燃料は、LSC 重油や A 重油と比べて、ECN の数値が高く、燃焼性が高いことがわかる。

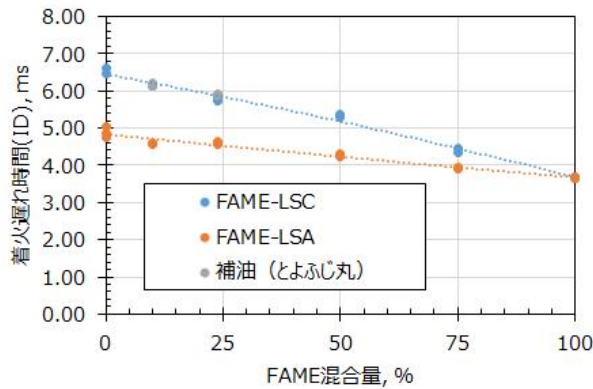
付図 1 は試験結果の一例であり、令和 4 年度の実船試験に用いた廃食油 FAME の混合率に対する着火遅れ時間の結果である。本試験で使いたいずれのバイオ燃料においても、着火遅れ時間は混合率の増加に従って短くなることを確認しており、燃焼性は問題ないレベルであると推定された。

付表 3 各燃料油の定容燃焼装置 (FCA) による推定セタン価 (ECN)

燃料油	推定セタン価 (ECN) ※1
廃食油 FAME	48.2~51.5
HVO※2	62.0
SVO	50.9~56.3
ジャトロファ FAME	51.6~55.9
A 重油 (参考)	35.8~41.1
LSC 重油 (参考)	18.9~27.2

※1 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。

※2 HVO は一のサンプルのみの結果である。



付図1 混合率に対する着火遅れ時間の試験結果（廃食油 FAME）

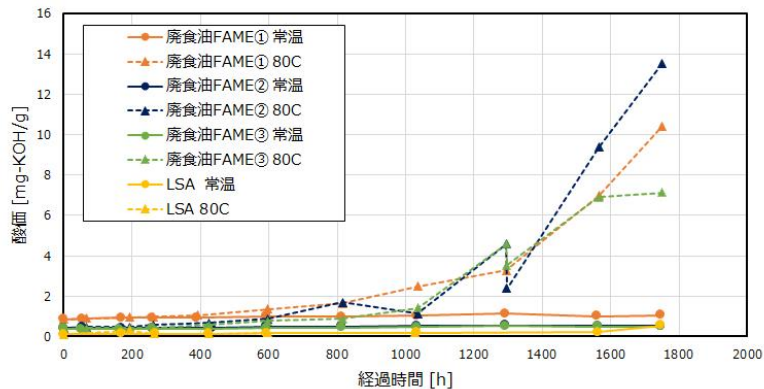
(3) 混合安定性試験

3.4 に述べた混合安定性試験により、バイオ燃料と重油（LSC 重油、A 重油）の混合比を変えたときのスラッジの発生状況を確認した。図 8 に示したとおり、本試験で使用した 7 種類のバイオ燃料（FAME を 2 種、HVO を 1 種、SVO を 4 種）において、A 重油との混合油にスラッジ発生の問題は確認されなかった。また、異なるバイオ燃料を継ぎ足した場合でもスラッジの発生は確認されなかった。

一方、LSC 重油との混合油の混合安定性は、図 9 に示したとおり、時間経過や保管状態（温度条件）によって悪化することがあることを確認した。

(4) 酸価の計測

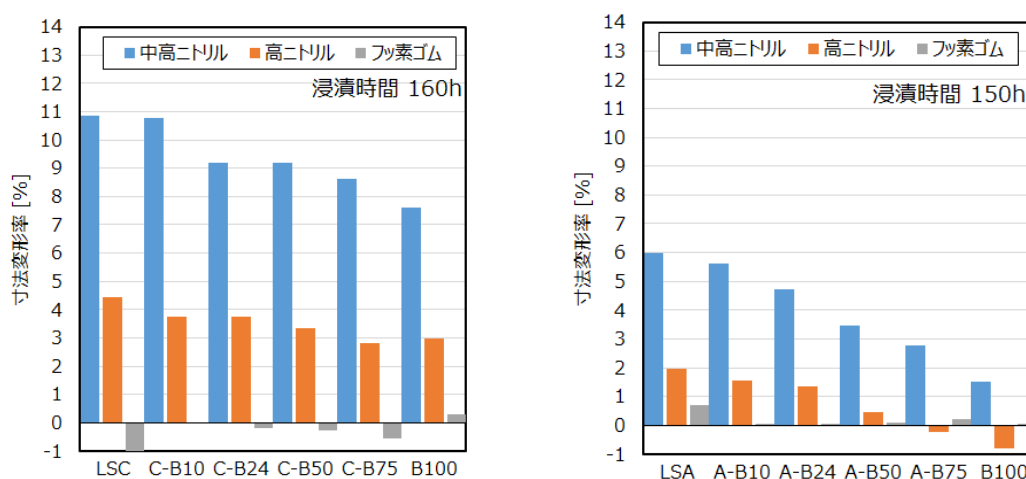
数種類のバイオ燃料（FAME、SVO）および A 重油について、常温および 80°C の高温条件として、経過時間に対する酸価の変化を計測した。付図 2 は試験結果の一例であり、高温条件下の廃食油 FAME は、経過時間 1000h あたりから大幅な酸価の増加が確認された。また、一部のバイオ燃料については、酸価や酸化安定性を計測し、酸化防止剤の効果を確認した。



付図2 酸価の計測結果（廃食油 FAME）

(5) ゴム材料の浸漬試験

3種類のゴム材料を準備し、ゴム材料の浸漬試験を実施した。付図3は試験結果の一例であり、廃食油 FAME と LSC 重油、HVO と A 重油の混合油における結果である。本試験で使用したいずれのバイオ燃料においても、浸漬試験における寸法変化率は LSC 重油及び A 重油と同程度であった。また、フッ素ゴム (FKM) において寸法変化はほとんど確認されなかった。



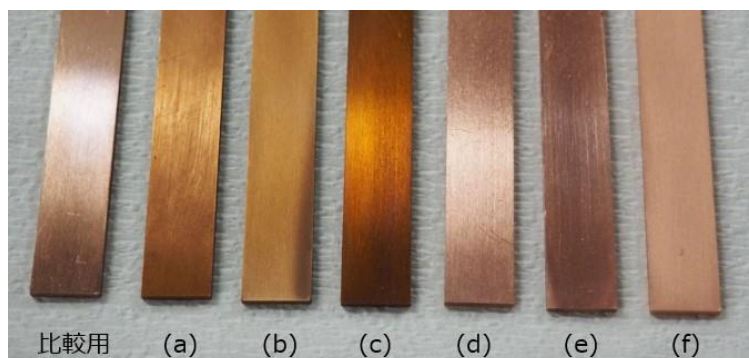
(a) 廃食油 FAME と LSC 重油

(b) HVO と A 重油

付図3 ゴム材料の浸漬試験結果の一例

(6) 金属腐食試験

数種類のサンプル油 (FAME、SV0) を用いて銅板腐食試験を行った結果、JIS K 2390 の試験条件である試験温度 50°C、試験時間 3h において、色の変化はほとんど確認されなかった。しかし、より厳しい高温・長時間の条件下においては、銅板表面の変色や腐食が確認された。付図4は試験温度 80°C、試験時間 500h における試験結果の一例であり、目視によって色の変化を確認できる。また、走査電子顕微鏡による観察から、(f)の表面性状は全体的に変化 (腐食) していることが確認された。



付図4 銅板腐食試験試験結果の一例

【(a) A重油、(b)-(c) FAME、(d)-(e) SV0、(f) 劣化させたバイオ燃料】

【参考】

ASTM D130 - Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test

銅ストリップ試験による石油製品からの銅に対する腐食性の標準試験法

試験法の概要：

石油関連製品（ジェット燃料、ガソリン、灯油、軽油、潤滑油など）の銅（銅を含む非鉄製品）に対する腐食性を評価するテスト。24 時間@100°Cで銅板をサンプル油中に浸漬後、結果は標準チャートを使って評価する。



- 1: Slight tarnish (わずかに変色)
- 2: Moderate tarnish (中程度の変色)
- 3: Dark tarnish (著しい変色)
- 4: Corrosion (腐食)

付録 1.3 実船試験結果の概要

令和4年度は、とよふじ丸（トヨフジ海運株式会社）において廃食油 FAME と LSC 重油との混合油（B10 及び B24）による実船試験を実施した（付図 5、付表 4 参照）。実船試験は、令和4年8月から9月にかけて、B10 及び B24 をそれぞれ 240 kL 補油し、合計約 20 日程度の航海を行った。バイオ燃料の使用割合は、主機 86%、主発電機 11%、ボイラ 3%であった。バイオ燃料による運航中、主機の筒内圧力の計測や燃料消費量、排ガス温度、過給機回転数等の監視・計測、排ガス計測を実施した。付図 6 及び付図 7 は計測結果の一例であり、負荷率に対する排ガス温度並びに筒内最高圧力の計測結果である。いずれの計測結果も LSC 重油使用時と同程度であることを確認した。

令和5年度は、付図 8 に示す 3 隻の内航貨物船において SV0 混合油（B10 及び B24）による実船試験を実施した。付図 9 および付図 10 は試験結果の一例であり、第一鐵運丸における排ガス温度並びに過給機回転数を示している。いずれの計測結果も、時化のときを除いて、A 重油使用時と同程度である。

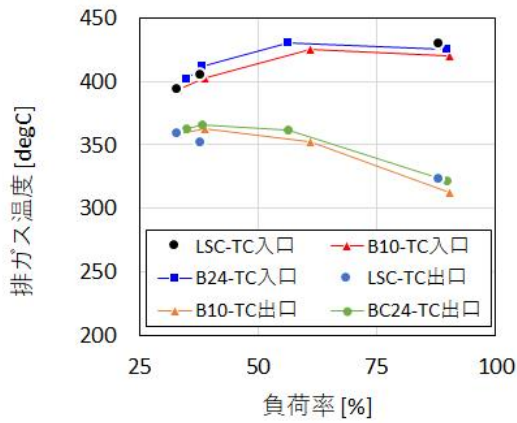
バンカリングを含めた一連の実船試験は、通常のオペレーションによって対応でき、特別な不具合が生じることはなかった。



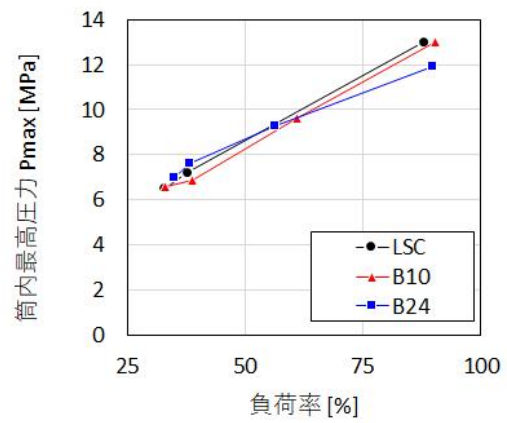
付図 5 とよふじ丸

付表 4 とよふじ丸の諸元

船名	とよふじ丸
船種	自動車運搬船
総トン数	12,687 GT
主機	2 ストロークディーゼル機関 (11,935 kW、127 rpm)
主発電機	4 ストロークディーゼル機関、2 基
ボイラ	ボイラ蒸発量 2.53 ton/h
就航年月	2005 年 11 月



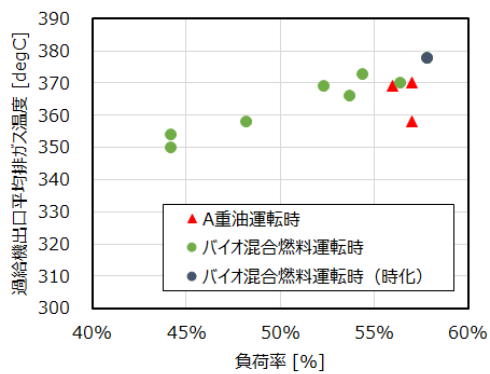
付図6 排ガス温度



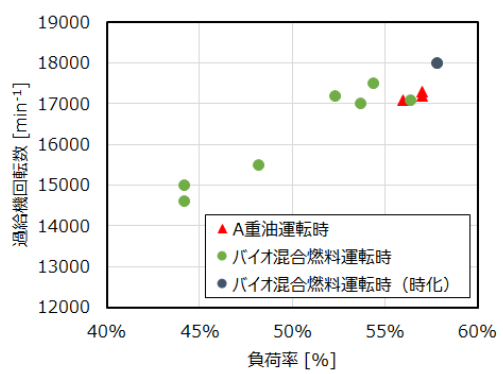
付図7 筒内最高圧力

船名	第一鐵運丸	祥暉丸	海青丸
船種	貨物船	貨物船	貨物船
総トン数	499GT	499GT	748GT
主機関	4 ストロークディーゼル機関	4 ストロークディーゼル機関	4 ストロークディーゼル機関
油種	B24	B10、B24	B24
数量	25kL	各 25kL	80kL
外観			

付図8 実船試験（令和5年度）



付図9 排ガス温度



付図10 過給機回転数

付録 1.4 陸上エンジン試験結果の概要

HVO、SVO 及びジャトロファ FAME については、海上技術安全研究所に設置された実験用ディーゼルエンジンによる運転試験を行った。いずれも短時間の運転ではあるが、重大なトラブルは確認されず、従来の重油燃料と同等の運転が可能であった。

付録 1.5 実船試験使用燃料の分析結果（令和 4 年度、FAME）

	RME180 (C 重油相当)	とよふじ 丸 LSC 重油	B10	B24	
動粘度 (mm ² /s) at 50°C	180.0 以下	30.20	21.61	15.00	
密度 (kg/m ³) at 15°C	991.0 以下	964.1	954.0	943.0	
CCAI	860 以下	859.0	—	—	
(ECN) ※	—	(18.9)	(21.2)	(23.7)	
硫黄分 (質量%)	0.50 以下	0.43	0.36	0.31	
引火点 (°C)	60 以上	99.0	101.0	103.0	
酸価 (mg KOH/g)	2.5 以下	0.02	0.04	0.12	
ドライスラッジ TSE (質量%)	—	0.02	0.01 未満	0.01 未満	
ドライスラッジ TSP (質量%)	0.10 以下	0.03	0.01	0.01	
残留炭素分 (質量%)	15.00 以下	4.72	3.92	3.50	
流動点 (°C)	30 以下	-21	0	-3	
灰分 (質量%)	0.070 以下	0.003	—	—	
水分 (vol. %)	0.50 以下	0.0	0.0	0.0	
元素 分析	炭素 (質量%)	—	88.6	87.6	85.9
	水素 (質量%)	—	10.6	10.8	11.0
	窒素 (質量%)	—	0.12	0.11	0.096
	酸素 (質量%)	—	0.2	1.2	2.6
銅板腐食	—	1a	1a	1a	
発熱量 (J/g)	—	41,010	40,785	40,250	

※ 着火性指標である CCAI が、バイオ燃料に対して適用できないため、参考として推定セタン価 (ECN) の計測値を記載。ECN は数字が大きくなるほど、着火性が良い。

注) 水色で表記されている項目は、JIS K 2205にある項目。

付録 1. 6 実船試験使用燃料の分析結果 (令和 5 年度、濃度 100%の SVO)

		第一鐵運丸 SV0① (B100)	祥暉丸 SV0② (B100)	海青丸 SV0③ (B100)
動粘度 (mm ² /s)	at 40°C	39.05	39.32	39.76
	at 50°C	—	—	—
密度 (kg/m ³) at 15°C		922.7	923.9	923.8
セタン価		—	—	—
CGAI		—	—	—
硫黄分(質量%)		0.03 未満	0.02	0.03 未満
引火点(°C)		238.00	OVER 300	260.00
硫化水素(mg/kg)		0.00	0.00	0.00
酸価(mg KOH/g)		0.77	3.77	3.61
ドライスラッジ TSE(質量%)		0.01 未満	0.01 未満	0.01 未満
ドライスラッジ TSP(質量%)		—	—	—
脂肪酸メチルエステル(vol.%)		79.60	75.60	79.10
残留炭素分(質量%)		0.42	0.48	0.53
流動点(°C)		-6.00	-6.00	-6.00
水分(vol.%)		0.05	0.20	0.20
灰分(質量%)		0.001	0.001	0.001 未満
発熱量 (J/g)		39,490.0	39,325.0	39,350.0
ヨウ素価 (gI ₂ /100g)		105.00	108.00	108.00
MI (Moisture + Impurity) (質量%)		0.09	0.17	0.23
不溶性不純物(質量%)		0.00	0.01	0.01
バナジウム V (mg/kg)		—	—	—
ナトリウム Na (mg/kg)		—	—	—
Al+Si (mg/kg)		—	—	—
カルシウム Ca (mg/kg)		—	—	—
亜鉛 Zn (mg/kg)		—	—	—
リン P (mg/kg)		—	—	—

付録 1.7 実船試験使用燃料の分析結果 (令和 5 年度、SVO 混合油)

		A 重油	SVO①+A 重油 (B24)	LSC 重油	SVO③+ LSC 重油 (B24)
動粘度 (mm ² /s)	at 40°C	3.44	5.93	—	—
	at 50°C	—	—	37.25	33.51
密度 (kg/m ³) at 15°C		872.0	882.9	947.8	940.4
セタン価		43.1	39.8	—	—
CGAI		—	—	839	833
硫黄分 (質量%)		0.44	0.32	0.43	0.33
引火点 (°C)		83.00	85.00	94.00	99.00
硫化水素 (mg/kg)		0.00	0.00	0.00	0.00
酸価 (mg KOH/g)		0.01 未満	0.20	0.37	0.93
ドライスラッジ TSE (質量%)		0.01 未満	0.01 未満	—	—
ドライスラッジ TSP (質量%)		—	—	0.01 未満	0.01
脂肪酸メチルエステル (vol. %)		—	17.00	0.5 未満	—
残留炭素分 (質量%)		0.02	0.16	3.41	3.35
流動点 (°C)		-9.00	-3.00	9.00	-6.00
水分 (vol. %)		0.00	0.00	0.05	0.05
灰分 (質量%)		0.01 未満	0.001 未満	0.008	0.005
発熱量 (J/g)		44,820.0	43,625.0	43,735.0	42,915.0
ヨウ素価 (gI ₂ /100g)		—	—	—	—
MI (Moisture + Impurity) (質量%)		—	—	—	—
不溶性不純物 (質量%)		—	—	—	—
バナジウム V (mg/kg)		—	—	5.00	4.00
ナトリウム Na (mg/kg)		—	—	6.00	6.00
Al+Si (mg/kg)		—	—	15 未満	15 未満
カルシウム Ca (mg/kg)		—	—	3.00	3 未満
亜鉛 Zn (mg/kg)		—	—	1.0 未満	1.0 未満
リン P (mg/kg)		—	—	1.0 未満	1.0 未満

付録2 船用燃料油関係用語に関する解説

(1) 動粘度

燃焼室内に噴霧された燃料の噴霧特性（燃料の粒径）に関連して燃焼性に影響する。C重油を使用する船用エンジンでは、エンジン手前で加熱による粘度コントロールが行われ、一般的にエンジン噴射時の動粘度が $2\sim 16\text{mm}^2/\text{s}$ の範囲に設定される。動粘度が過度に低い場合は燃料ポンプの摩耗等につながる可能性がある。また、C重油を使用してきた船舶では燃料油の低粘度化による押し出し圧力低下の問題が懸念されるが、 50°C における動粘度が $20\text{mm}^2/\text{s}$ 以上の燃料油であればほとんど問題がないとされている⁵⁾。

(2) 密度

質量と容量の変換に利用される。燃料清浄機の条件設定にも必要となる。

(3) 着火性指標

セタン指数(Cetane Index, CI)及びCCAI(Calculated Carbon Aromaticity Index)は、それぞれ留出油と残渣油の着火性指標として使われている。セタン指数は、圧縮比可変の圧縮着火式CFRエンジンを用いて計測するセタン価(ISO 5165、JIS K2280参照)を、蒸留特性を使って簡易に計算する方法である。CCAIは密度と動粘度を用いて簡易的に計算する。いずれも基本的には石油由来の炭化水素をベースとする燃料を対象とし、SVO、FAMEなどの含酸素燃料への適用は検証されていない。2009年のJATOPの報告⁶⁾では、FAME10%以上混合時にはセタン指数とセタン価の乖離が大きくなるため、セタン指数の適用はできないとしている。一般にバイオ燃料の着火性は船用重油に比べて良好であるが、確認をする場合には上記CFRエンジンを用いるセタン価を使うか、英国エネルギー協会の試験規格IP 541に準拠するFCA試験などを利用することができる。

(4) 硫黄分

重油中の硫黄分が多いとディーゼル機関のシリンダーライナーやピストンリングの摩耗の原因となる。また排ガス中のSO_xはPMの主成分であり、排ガス温度が下がると結露硫酸となり腐食性を示す。大気汚染防止を目的とした規制への適合が必要である。低硫黄燃料では、潤滑性が低くなることが指摘されているが、これは自動車用軽油(10 ppm以下)のような極低濃度の場合であり、現在の船用燃料油の硫黄分(0.50%以下)では問題とはならない(実際に問題になるとされるのは0.05%(500 ppm)以下といわれている)。FAME、HVOは硫黄分をほとんど含まないため、混合量が多くなる場合はシリンダー油等の潤滑油の選択など注意が必要である。

(5) 引火点

国際海運においては、SOLAS条約によって船用燃料油の引火点は60°C以上とされており、ISO 8217でもDMXグレード以外は60°C以上となっている。一方で、国内では船用重油の引火点は70~150°Cの範囲にある。引火点は物理的な定数ではなく、試験法などによって値が変わる。また、引火点以下で保管されていてもタンクのヘッドスペースが可燃範囲に入ることもある。FAMEは一般的には引火点が高い（JIS K 2390では100°C以上）が、原料によって異なる（例えば、コーン油FAMEで160°C程度、菜種油FAMEで200°C程度）。また、製造工程で使用されたメタノールの除去が不十分な場合、引火点が下がる可能性がある。なお、国内では消防法において引火点が70°C以上200°C未満であれば第3石油類に、引火点が21°C以上70°C未満であれば第2石油類に分類され、引火点によって消防法上の扱いが異なることとなる。

(6) 酸価

酸価は油の中の酸性成分（弱酸成分と強酸成分）の全量、すなわちナフテン系、添加剤中の酸性物質、使用中に生成した有機酸などすべてを合せた量を意味し、全酸価（Total acid number, TAN）とも呼ばれる。燃料1gに含まれる酸性物質の量を中和するのに必要な水酸化カリウム（KOH）の量（mg）で評価する。FAME（B100）では主に遊離脂肪酸量を推定するために利用されている。酸価は燃料が酸化劣化すると大きくなるが、船用重油には硫黄分が含まれているため、自動車用燃料に比べ酸価は比較的高い値を示す。FAME、SV0においては、デポジット形成や金属の腐食などを引き起こす酸化劣化の指標として利用できることが知られている。

(7) ドライスラッジ⁷⁾

燃料中のスラッジ量を評価することで燃料の安定性を評価する。

7-1) TSE : Total Sediment Existent, 実在セジメント

TSEは、試料を100°Cに加熱してろ過し、フィルタ上に回収されたスラッジ量である。すなわち、TSEは分析時に燃料中に存在するスラッジの総量であり、有機と無機のスラッジが含まれる。

7-2) TSP : Total Sediment Potential, 潜在セジメント

サンプルを所定の条件下で100°C、24時間エージングした後の総スラッジ、すなわち、加熱によって燃料にストレスを与えた時に形成されうるスラッジ量である。

(8) 酸化安定性

表4にある酸化安定性試験ISO 12205は、外観が透明な留出油に対して適用される。ISO 8217では、一部の製油所で酸価安定性が限定的な留出油が生産される可能性のあることや、バイオ燃料の混入による酸化安定性の低下を

指摘している。ガソリンなどでもオレフィン（二重結合をもつ炭化水素）を含むと酸化安定性が悪くなることが知られている。

FAME、SVOは、時間の経過とともに劣化し、ガム状のポリマーや不溶性物質などの不純物を形成し、配管やエンジンにデポジットが形成される可能性がある。また、生成される有機酸は金属材料の腐食やゴム・樹脂の劣化の原因となる。したがって、使用前に燃料を長期間保管したりせずに、比較的短時間で使用することが推奨される。酸化防止剤を早い段階で添加することで、劣化を抑え、保管期間を延長できる可能性がある⁷⁾。

HVOについては、1章でも解説したように、2重結合を含まないため、酸化安定性は良好である。

FAMEの酸化安定性は、JIS K 2390では、EN 14112またはEN 15751に従い、ランシマツ試験機で酸化誘導時間を測定することが要求されている。

(9) 残留炭素分

残留炭素分（以下、残炭分）の試験は重油、原油のほか、軽油やA重油の10%残油などに適用される。残炭分は、ディーゼルエンジンの燃焼室内におけるばいじん発生量に大きな影響を与えるため、燃焼トラブルや大気汚染の観点から重要である。バイオ燃料では残炭分はほぼゼロであるので、基本的には問題はないと考えてよい。ただし、混合相手となる重油基材の安定性によっては混合によりアスファルテンスラッジが生成する場合があるので、船上での混合には注意が必要である。

(10) 流動点

温度が下がると燃料油中に含まれるパラフィンが析出し、燃料フィルタ閉塞などのトラブルが発生する可能性がある。透明燃料では同様の目的で、曇り点、目詰まり点なども計測されるが、国内ではバイオ燃料がA重油、またはC重油に混ぜられることが多いと考えられるため、流動点のみをピックアップする。一般には冬季などでも（流動点+10℃）程度の温度（透明燃料の曇り点に相当）に燃料油を加熱することで、パラフィンの結晶化による燃料フィルタの目詰まりを避けることができるとされている。SVOやFAMEでは、原料の種類や製造工程によって流動点が大きく変わる可能性があるため、季節、地域、加熱設備など個船ごとの使用条件も考慮しながら、検討する必要がある。

(11) 灰分

燃料中に含まれる不燃焼性物質の総量。重油中の灰分は、通常0.00~0.03質量%程度で、原油の性状に影響される。灰分が多いと、ボイラーの加熱面への堆積による熱効率の低下や、エンジンのピストンリングなどを摩耗する。特にバナジウムの酸化物による高温腐食はバナジウムアタックと呼ばれる。

また、ナトリウムやカリウムのようなアルカリ金属は、硫黄酸化物と結合して硫酸化合物を生成する。硫酸化合物はそれ自体が腐食性を持つだけでなく、バナジウム酸化物と反応して融点を低下させるため腐食を促進する。ボイラーの加熱器、エンジンの排気弁などの高温部に付着して金属腐食の原因となる。FAMEでは製造工程において触媒としてアルカリ金属（Na、K）が使用され、これらが残留する精製度の低いFAMEではデポジット生成などの懸念があるが、一般的に流通するFAMEでは問題が生じる可能性は低い。

(12) 外観

クリアな燃料にのみ適用される。酸化劣化により、色が濃くなることがある。

(13) 水分

一般に石油製品は、精製直後には水分は含んでいないが、貯蔵や輸送時に水分が混入することがある。極性の強いアスファルテン及びレジンには乳化性能があり、安定なW/O型エマルジョンを形成するので、重油では水分の許容値が高くなっている。SVOあるいはFAMEでは、製造工程に起因する不純物として混入する可能性がある。過剰な水の混入は、SVOやFAMEの加水分解や腐食性を高め、酸価が高くなる原因となる。船付タンク内での長期保管は結露などによって水分が増加すると、金属製タンクなどの腐食をもたらすことがあるので、特に高濃度のSVOやFAME混合燃料を使用する場合は注意が必要とされている。また、燃料油に水分が含まれ、かつ常温で長期保管する場合、従来のA重油と同様、バクテリアやカビなどの微生物の繁殖を誘引する場合がある⁸⁾。微生物の増殖は、スラッジの過剰生成、フィルタや配管の目詰まりにつながる可能性もある。タンクの排水を頻繁に行い、燃料に殺生物剤を投入することで微生物の増殖の抑制・軽減が可能である。

(14) 潤滑性(WSD)

高周波往復リグ(HFRR)による潤滑性評価法。規定条件のもとで試験鋼球に発生する摩耗痕径を測定する。(4)硫黄分のところでも述べたように、自動車用軽油では低硫黄化によって潤滑性の低下が懸念されたが、船用燃料油の硫黄分濃度ではほとんど関係しないと思われる。ISO 8217においてもHFRR試験が要求されるのは硫黄分0.05%以下の場合である。FAMEに関しては、硫黄分をほとんど含まないが、潤滑性は悪くないと言われている。一方、HVOを高い割合で混合し、自動車用軽油と同等レベルになった場合は注意が必要である。

(15) V, Na

原油由来。高温腐食などの可能性。「(11)灰分」の項目を参照。

(16) Al+Si

石油精製工程のFCC触媒（アルミナ、シリカ）に由来。エンジン内のシリンダライナのスcaffolding・異常摩耗、燃料噴射系の固着・摩耗、ピストンロッドの損傷などに関係する。バイオ燃料には含まれないので、混合量が多くなるとFCC触媒混入によるトラブルの可能性は低くなると考えられる。

(17) 発熱量

バイオ燃料の混入により発熱量が低下する可能性がある。

付録3 その他のバイオ燃料の規格に関する参考情報

(1) FAME

国内では自動車用として、バイオ燃料基材であるFAMEのB100規格があり、品確法に定める軽油の強制規格を満たしていることを条件に、5% (B5) まで混ぜることができる。B5またはそれ以上の高濃度バイオ混合燃料を既存のディーゼル車に使用する場合については、国土交通省自動車交通局（策定当時の部署名）の発行した「高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン」⁹⁾ や、日本建設業連合会の「建設業におけるバイオディーゼル燃料利用ガイドライン」¹⁰⁾ がある。自動車交通局のガイドラインでは、燃料フィルタ、燃料噴射ポンプの目詰まり、ゴム部品の膨潤などの不具合発生の危険性が高まるとして、必要な車両対策や点検が記載されている。これによれば、平成18年度に実施した廃食油由来のバイオディーゼル燃料利用者へのアンケート調査で、127件の回答のうち、不具合有りの回答は57件（45%）で、主に燃料供給系（フィルタ関係、ゴム劣化、噴射ポンプ目詰まりなど）とエンジン本体（始動性低下、回転数不安定化、焼き付きなど）でのトラブルが報告されている。また、同様の調査研究は一般財団法人 石油エネルギー技術センター（JPEC）による2009年度JATOPプロジェクトでも行われているが、問題となった項目としては、常温貯蔵安定性、長期駐車後の始動時不具合、B50以上でゴム部材への影響、NOx増加、後処理装置への影響などが確認されている⁶⁾。船用エンジンでは今まで、C重油などの高硫黄で重質な燃料油を使用してきたので、自動車用の小型高速エンジンと同等のトラブルが発生するとは思われないが、船用での利用でもこれらの項目には注目すべきと考える。

➤ FAME (B100) の規格

- ・ JIS K 2390:2016 「自動車燃料-混合用脂肪酸メチルエステル (FAME)」
- ・ DIN EN 14214 : Liquid petroleum products - Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications - Requirements and test methods
- ・ ASTM D6751 : Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels

(2) HVO

水素化処理により完全な飽和炭化水素（パラフィン）構造となるため（二重結合、酸素を含まない）、単体（B100）でも一般的な自動車用ディーゼル燃料の規格を満たすことができる。すなわち、HVO自体は非常に高品質であり、軽油との混合には全く問題がない。ただし、船用としてA重油やC重油など残渣分（アスファルテン）を含む燃料と混合した場合、重油に含まれるアスファルテンがHVO（パラフィン）の添加によって不安定化し、スラッジを発生させる可能性がある。このため、重油を使用している船舶において利用を検討する場合には、燃料供給元からの十分な情報収集が必要である。スラッジの発生に対する予防策については、国土交通省の発行する「2020年SOx規制適合船用燃料油使用手引書（第3版）」などを参照されたい。また、自動車用規格としてバイオ燃料基材であるHVOのB100の規格がある。

➤ HVO (B100)の規格

- ・ HVO (hydrotreated vegetable oil) または HDRD (hydrogenation-derived renewable diesel)*
 - ・ DIN EN 15940 : Automotive fuels - Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment - Requirements and test methods
 - ・ ASTM D 975 : Standard Specification for Diesel Fuel
- *: 単に RD (リニューアブルディーゼル) と呼ばれることもある。バイオディーゼル燃料 BDF のカテゴリの中で、FAME との差別化を図るために使われる。

(3) SVO

FAME、HVOの原料としても利用されるが、現状国内では品質規格がない。SVOをそのまま燃料として利用する場合には、清浄工程など品質管理が適切に行われていることを確認したうえで、長期保管を避けて速やかに使い切ることが重要となる。

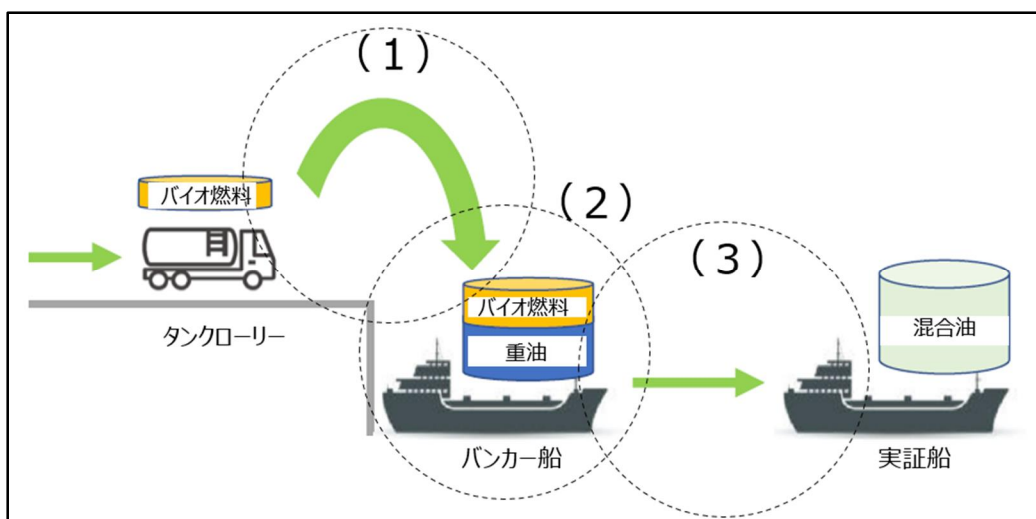
付録4 バイオ燃料の船舶への供給に係る主要な規制

令和5年度の実船試験において使用したバイオ燃料（SV0）については、以下の手順で実施した。

- (1) 陸上からバンカー船へバイオ燃料（B100）を供給
- (2) バンカー船内で重油とバイオ燃料（B100）を混合
- (3) バンカー船から実証船へ混合油（B25未満）を供給

陸上側の規制が適用される（1）と、船舶側の規制が適用される（2）（3）の取扱いに係る主要な規制を記載する。

（イメージ）



付録4.1 陸上側に係る規制

- (1) 陸上からバンカー船へバイオ燃料（B100）を供給

車両に固定されたタンクを含む陸側施設によりバンカー船へ供給するため、バイオ燃料又は混合油の貯蔵又は取扱いを行おうとする場合で、当該バイオ燃料又は混合油が消防法（昭和23年法律第186号）上の危険物に該当し、その量が指定数量以上となる場合は、同法第11条第1項に基づき、その製造所、貯蔵所又は取扱所について市町村長等の許可を得ることが必要であり、当該許可に当たっては、同法第10条第4項に定める基準を満足する必要がある。ただし、その貯蔵又は取り扱いに係る期間が10日以内である場合には、上記にかかわらず同法第10条第1項ただし書きに基づき、所轄の消防長又は消防署長の承認を得ることにより供給を行うことができる。

なお、バイオ燃料又は混合油が消防法上の危険物に該当し、その量が指定数

量未満となる場合や、バイオ燃料又は混合油が消防法第9条の4に規定する指定可燃物該当する場合は、貯蔵及び取扱いについて、市町村の条例に基づき行う必要がある。

付録 4. 2 船舶側に係る規制

(2) バンカー船内で重油とバイオ燃料(B100)を混合

危険物船舶運送及び貯蔵規則（昭和32年運輸省令第30号、以下「危規則」という。）第5条の9に基づき、船長は、船舶に搭載している危険物により災害が発生しないように十分注意を払わなければならない。航海中に重油とバイオ燃料を物理的に混合することは禁止されている。ただし、航海していない間に混合することは禁止されていないため、実証試験においては、バンカー船が岸壁に停泊中の状態で重油とバイオ燃料（B100）の混合を実施した。

(3) バンカー船から実証船へ混合油（B25未満）を供給

B25未満の混合油を輸送する際には、通常为重油と同様の扱いとなるため、重油に関する各種規制を遵守して供給を実施している。

なお、B25以上のバイオ混合燃料については、IBCコードに適合するバンカー船により輸送及び供給を行う必要があるが、船舶の燃料として使用する場合には、25%を境として適用される規制が変わるものではない。

【参考文献】

- 1) Neste Corporation、2023/3/9確認
<https://www.neste.be/en/neste-my-renewable-diesel-be/product-information/renewable-diesel-vs-biodiesel>
- 2) 経済産業省 資源エネルギー庁-石油製品の品質確保について、
2022/12/13確認
https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/hinnkakuhou/
- 3) パッキンランド、2022/12確認
<https://www.packing.co.jp/GOMU/GOMU1/nbr.htm>
- 4) K. Mori, N. Sugimoto, K. Yamane, K. Kawasaki, "Influence of Biodiesel Fuel on Lubricant Oil Oxidative Degradation", SAE Technical Paper Series No.2015-01-2030, pp.1~7
- 5) 国土交通省海事局海洋・環境政策課「燃料油の動粘度低下による燃料ポンプへの影響調査」、2022/12/13確認
<https://www.mlit.go.jp/common/001284717.pdf>
- 6) 石油エネルギー技術センター JATOP成果発表会（平成22年6月）「ディーゼル車バイオ燃料WG報告」、2022/12/13確認
<https://www.pecj.or.jp/fuel/jatop/jatop-01/>
- 7) 2019 CIMAC Guideline – Marine fuel handling in connection to stability and compatibility by CIMAC WG7 Fuels
- 8) DNV GL, TECHNICAL AND REGULATORY NEWS No.21/2020, “Using Biodiesel in Marine Diesel Engines: New Fuels, New Challenges”
- 9) 国土交通省自動車交通局技術安全部環境課「高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン」、平成21年2月10日、2022/12/13確認
https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10_hh_000025.html
- 10) 日本建設業連合会、出版物No.0213「建設業におけるバイオディーゼル燃料利用ガイドライン」、2016年6月

船舶におけるバイオ燃料取り扱いガイドライン策定検討会 委員名簿

氏名	所属・役職
高橋 千織 (座長)	国立研究開発法人 海上技術安全研究所 GHG削減プロジェクト チームプロジェクトリーダー
佐々木 秀次	東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 准教授
平田 宏一	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 特別研究主幹
辻岡 幸司	阪神内燃機工業株式会社 執行役員 技術統括本部 技術部長
花本 健一	ダイハツディーゼル株式会社 技術統括本部 カーボンニュートラル技術部 部長
河上 隆司	大晃機械工業株式会社 船用事業部 船用設計部 部長代理
志方 真帆	伊藤忠エネクス株式会社 産業ビジネス部門 船用製品部 次世代燃料開発課 課長
林 慎也	豊田通商株式会社 カーボンニュートラルフューエル部 サステナブルソリューショングループ 課長補佐
石田 直也	阪和興業株式会社 食品・エネルギー・生活資材 新規事業推進課 課長
高橋 賢次	独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 共有船舶建造支援部 技術企画課長
十倉 拓也	一般財団法人日本海事協会 技術研究所

※所属・役職は 2022 年度当時のもの

船舶におけるバイオ燃料の利用に関する調査検討委員会 委員名簿

氏名	所属・役職
高橋 千織 (座長)	国立研究開発法人 海上技術安全研究所 GHG削減プロジェクトチームプロジェクトリーダー
山根 浩二	滋賀県立大学 工学部機械システム工学科 教授
佐々木 秀次	東京海洋大学 海洋工学部 海洋電子機械工学科 准教授
大谷 明豊	日本内航海運組合総連合会 環境安全対策委員会 工務小委員会委員長
尾形 定行	一般社団法人 日本旅客船協会 工務相談室 室長
田中 孝弘	阪神内燃機工業株式会社 技術統括本部 設計部 部長
花本 健一	ダイハツディーゼル株式会社 技術統括本部 カーボンニュートラル技術部 部長
河上 隆司	大晃機械工業株式会社 船用事業部 船用設計部 部長代理
向井 寛	伊藤忠エネクス株式会社 産業ビジネス部門 環境ビジネス部 次世代燃料開発課 課長
林 慎也	豊田通商株式会社 カーボンニュートラルフューエル部 サステナブルソリューショングループ 課長補佐
松井 裕	独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 共有船舶建造支援部 技術企画課長
十倉 拓也	一般財団法人日本海事協会 技術研究所 主任研究員
平田 宏一	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 特別研究主幹
榎戸 由太	阪和興業株式会社 エネルギー第一部 副部長
柏 賢治	阪和興業株式会社 エネルギー第一部 船用事業課

※所属・役職は 2023 年度当時のもの