

バイオ燃料を使用した運航について

適用機種: 全機種

1. はじめに

本サービスレターは、バイオ燃料を使用した運航に関する情報とガイダンスを提供するものです。多くのガイドラインと推奨事項は、硫黄分 0.5%以下燃料(VLSFO)での運航と同じです。

2. バイオ燃料: 種類の定義と一般的性質

現在、MAN B&W の 2 ストローク主機関に使用出来るバイオ燃料の種類は下記の通りです。

- 脂肪酸メチルエステル (FAME)
- 加水分解植物油 (HVO)
- 類似の FAME タイプ燃料
- 上記と ISO 8217 準拠の化石燃料との混合

本サービスレターでは、上記の燃料を一般的に「バイオ燃料」と記載します。表 1 にバイオ燃料と化石燃料の特性の概要を示します。重要なことは、どの種類のバイオ燃料が提供および供給されているかを知ることです。明確でない場合はサプライヤーに問い合わせる必要があります。ISO8217 規格の最新版を参照してください。なお本サービスレターは ISO8217:2017 第 6 版を参照しています。

2-1 脂肪酸メチルエステル (FAME)

FAME は一般的にバイオディーゼルと呼ばれています。FAME の特性は EN14214 または ASTM D6751 規格に従うべきです。ISO8217 の新版に FAME が導入された場合、新版の規格に従うことを推奨します。

ISO8217 に準拠した化石燃料(留出油(DM)または残留油(RM))と混合した FAME は、しばしば BX と呼ばれています。例えば B30 は化石燃料に FAME が約 30% 混合しているものになります。この名称は変更することが出来るので、サプライヤーによって名称が異なる可能性があります。

2-2 加水分解植物油 (HVO)

HVO は ISO 8217:2017 (第 1 項適用範囲) で「石油留分燃料に組成が類似した合成または再生可能な供給源からの炭化水素」と定義されています。

HVO の特性は DMA に非常に類似していて、ISO8217 DMA 等級に従って供給されるべきです。軽油に近い発熱量で硫黄分が非常に低く 40°C で 2-3cSt 前後の粘度であるので、100% HVO で潤滑性をチェックすることを推奨します。

HVO は一般的に再生可能ディーゼルまたは加水分解エステルおよび脂肪酸 (HEFA) と呼ばれています。

HVO は酸素、窒素、芳香族を含まないパラフィン系炭化水素で構成されています。

備考:

2-3 類似の FAME タイプ燃料

FAME を主成分とする燃料、または"FAME エステル化ボトム"のような類似の FAME タイプ燃料は、一定の条件下で許容されています。遊離脂肪酸、メタノール、グリセロール、塩化物物を大量に含んではいけません。またリン含有量は 15mg/kg 未満でなければなりません。

これらの燃料は、燃料の低温流動性に影響を及ぼす様々な特性を持つ分子を含んでいる可能性があることに注意してください。

従来の燃料と同じくこれらの燃料はセパレータや濾し器などの燃料洗浄システムを通すことを推奨します。

2-4 バイオ燃料の持続可能性

脱炭素化を持続するためには、持続可能な原料から生産されるバイオ燃料を優先するべきです。

持続可能性を示す文書は、バイオ燃料を選択する際の意思決定プロセスを支援出来ます。

2-5 その他のバイオ成分燃料の可能性

非化石燃料の種類は他にもあるかもしれませんが、本サービスレターではここで記載しているバイオ燃料のみを対象としています。

その他のバイオ燃料については、現時点で船舶用燃料として適切かどうかは不明であるから、もしこれらのバイオ燃料を使用する場合は注意を要します。

具体的には、燃料システム、燃料噴射システムならびに主機関に損傷を与える恐れがあります。従って、これらの燃料による運航は自己責任で行ってください。

表 1 様々なバイオ燃料および化石燃料の重要な特性の概要

Components	Properties						
	FAME FAME	HVO Paraffinic hydrocarbon	Similar FAME-type FAME + residuals from production	Blends FAME/HVO + fossil fuel	ULSFO DM-grade (diesel)	VLSFO RM-grade (heavy fuel)	HSFO RM-grade (heavy fuel)
Nitrogen [%]	~0.1	~0	~0.1	~0.1-0.4	~0.1	~0.4	~0.4
Oxygen [%]	~10	~0	~11	~0-10	~0	~0	~0
Sulphur [%]	~0	~0	~0	Low ¹⁾	≤0.10	≤0.50	>0.50. Average: 2.9
LCV [MJ/kg]	37	43	36-37	37-43	42-43	39-42	39-41
Kin. viscosity [mm ² /s]	3-5 at 40°C	2-3 at 40°C	15-40 at 50°C	Low ¹⁾	2-11 at 40°C	2-500 at 50°C	200-700 at 50°C
Pour point [°C]	<-6 to >+6 ²⁾	low	~0	¹⁾	ISO 8217	ISO 8217	ISO 8217
Stability	Low-high ²⁾	Very high	Medium-high	Medium-high	Very high	High	High
Lubricity	Analyse ³⁾	Analyse ³⁾	Analyse ³⁾	Analyse ³⁾	ISO 8217	ISO 8217	ISO 8217
Standard ³⁾	EN 14214, ASTM D6751	EN 15940:2016+ A1:2018+AC, ISO 8217 DMA grade	No standard	No standard ⁴⁾ ISO 8217:2017: up to 7% FAME in DM	ISO 8217	ISO 8217	ISO 8217

※本表は完全ではなく、分析が重要となる可能性があるその他の特性、要素、コンポーネントがあります

- 1) バイオ燃料の混合比率とバイオ成分と化石燃料の特性によって異なります
- 2) FAME の原料によります
- 3) 硫黄含有量が 0.05% S(500 ppm S) 未満の燃料に最も適しています
- 4) 規格は随時更新されます。常に最新版を参照してください

表 1 に様々なバイオ燃料および化石燃料の重要な特性の概要 (一般的な数値)を示します。表は完全ではありません。

他にも分析するために重要となる特性、成分、要素があります。

2-6 このサービスレターに含まれていない燃料における他の種類のバイオ成分使用の可能性

市場にはこの他にも利用可能な非化石燃料があるかもしれませんが、このサービスレターはこの中で述べているものだけを対象としています。現時点では他のバイオ燃料が船舶用燃料として適しているか明確ではないので、これらの燃料の使用に注意することを忠告します。燃料システム、燃料噴射システム、そして機関を損傷する危険性があります。これらの燃料を使用した運航は自己責任で行って下さい。

3. バイオ燃料利用における主機関設計、Tier3、パイロット燃料

表 2 にバイオ燃料の使用を許可している設計の概要を示します。

現在ラインナップしている全ての主機関で適用可能で、バイオ燃料は仕様に準拠し最善のガイドラインと推奨事項に従って処理されなければなりません。

長期間の使用経験がないため、コンポーネントの寿命が短くなる可能性があります。特に燃料噴射装置の寿命が短くなる可能性があります。低発熱量、低粘度のバイオ燃料は、燃料ポンプや燃料噴射装置の設計によっては、リスク要因となる可能性があります。

3-1 バイオ燃料に関するルール

① NOx 適合

IMO MEPC 79 は、MARPOL 附属書 VI 規則 18.3 の統一解釈 (UI) を採択し、NOx 排出量の評価なしにバイオ燃料およびバイオ燃料混合物の使用を許可しました。このとき、NOx の重要なコンポーネントの変更や主機関で承認されたテクニカルファイルにある設定値、運転値を変更することなく主機関を運転することが出来る場合に限りです。

文書 (MEPC.1/Circ.795/7) は IMO のホームページで入手出来ます: Unified Interpretations to MARPOL Annex VI and the NOx Technical Code 2008. MEPC インデックス MARPOL 附属書 VI に関する決議およびガイドラインの索引 (imo.org)。常に最新版を参照してください。

本サービスレターで規定しているバイオ燃料で運転する MAN B&W 製 2 サイクル主機関の場合、NOx に重要なコンポーネントの変更、または主機関の承認済みテクニカルファイルで規定している以外の設定/運転値を変更する必要はありません。また燃料を変更する場合、常に運転者の責任でテクニカルファイルに記載された設定値/運転値が遵守されていることを確認する必要があります。

② CII におけるバイオ燃料のカウント

IMO MEPC 80 は、炭素原単位指数 (CII) におけるバイオ燃料の算定方法に関する暫定ガイダンスを採択し、2023 年 10 月 1 日から適用することになりました。

ガイダンスは MEPC80/WP.11 の付録 I に掲載されており、MEPC サーキュラーとして IMO のウェブサイトに掲載されています。

国際民間航空機関 (ICAO) により承認された認証スキームにより認証された well to wake ベースで化石 MGO (ISO 8217DMA グレードおよび ULSFO-DM グレードの一部と同等の船舶用軽油) の基準値 94gCO_{2e}/MJ と比較して、温室効果ガス (GHG) 排出量が 65% 以上削減されたバイオ燃料は、認証書に基づく燃料の well to wake での GHG 排出量 (gCO_{2eq}/MJ で表示) にその燃料の低位発熱量 (LCV、MJ/g で表示) を乗じた値に等しい Cf を割り当てることが出来ます。混合燃料の場合、Cf はそれぞれの燃料の Cf の加重平均 (エネルギーによる) に基づくべきです。

この暫定ガイダンスは、IMO ライフサイクルアセスメント (LCA) ガイドラインがさらに策定され、IMO で合意された時点で取り下げられます。

表 2 バイオ燃料の使用を許可しているデザインの概要

Technology	Biofuel			
	FAME	HVO	Similar FAME-type	Blends
Engine design: MC/MC-C, ME/ME-C, ME-B, ME-GI, ME-GIE, ME-LGIM, ME-LGIP and ME-GA	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Tier III: EGR, EcoEGR	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Tier III: HPSCR ²⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Tier III: LPSCR ^{2), 3)}	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾
Pilot fuel in dual-fuel engines	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾	Acceptable ¹⁾

1) コンポーネントの寿命が短くなる可能性があります

2) バイオ燃料運転中に NOx がわずかに増加する可能性があるため、尿素消費量がわずかに増加する可能性があります

3) LPSCR は最大 0.10% S 燃料のみに使用出来ます

表 2 は異なる技術 (例えば主機関デザイン、Tier III 機器、DF 機関におけるパイロット燃料) におけるバイオ燃料の使用許可の概要を示しています。特定のエンジンサイズで利用可能な技術を確認してください。

4. バイオ燃料の分析と標準

このサービスニュース発行時点では、バイオ燃料に関する国際船舶燃料基準はありません。基準が出来るまでは、ISO 8217 などの他の燃料規格や追加の燃料分析方法を使用する必要があります。結果の解釈と評価は慎重に行う必要があります。

現在の ISO 8217:2017 では、HVO (最大 100%) および FAME (最大 7%) は特定の留出物グレードに含まれています (ISO 8217:2017 の表 1)。残留燃料と混合した FAME は含まれません。ISO 8217:2017 には、7% を超える FAME 含有量を測定するための分析方法はありません。

注記:

保険、保証、契約には ISO 8217 準拠に関する条項が含まれる場合がありますが、これらにはバイオ燃料が含まれない場合があることに注意してください。燃料が規格全体に準拠している場合、その燃料は ISO 8217 に準拠しているとみなされます。例えば、ある燃料が ISO 8217 の表 2 RM グレードの制限内の特性を備えているが ISO 8217 でカバーされていないバイオ成分を含んでいる場合、ISO 8217 に準拠していると主張することは出来ません。

4-1 低位発熱量 - 正味比エネルギー

LCV、つまり正味比エネルギー (NSE) は、通常、実験室分析からの燃料分析レポートに記載されています。燃料のエネルギー含有量は、ISO 8217 (付録 H: 比エネルギー) に記載されている式を使用して、燃料の特性 (密度、水分含有量など) から計算されます。これらの方程式は、**FAME** または **FAME** ブレンドには無効です。この方程式をバイオ燃料に適用すると、計算値は実際よりも高くなります。バイオ燃料のエネルギー含有量を知るには、ASTM D240 (「ポンプ熱量計による液体炭化水素燃料の燃焼熱の試験方法」) に従って燃料を分析する必要があります。

主機関が効率的に動作するためには、正しい低位発熱量 (エネルギー量) に従って主機関を調整することが重要です。100% FAME タイプの燃料の場合、ISO 8217 Annex H に従って正しく測定された値と誤った計算値の差は 10% にもなる可能性があります。

4-2 酸価

燃料の酸価 (AN、ASTM D664) と腐食傾向は複雑です。酸価を測定すると、酸性化合物の存在を示すことが出来ます。

ほとんどの化石燃料には測定可能な AN を持つ天然成分が含まれており、ISO 8217 の制限はこれに基づいています。酸性化合物から生じる AN が高い燃料は、損傷を加速する可能性があります。このような損傷は主に燃料噴射装置に見られます。

ナフテン系原油から作られた化石燃料は、酸価が 2.5 を超える場合もありますが、それでも使用可能です。ただし、酸価が ISO 8217 の制限値を下回っていても、燃料に酸性化合物の存在に関連する問題がないことは保証されません。現在、酸価試験の結果と化石燃料の腐食活性との間に相関関係は認められていません (ISO 8217:2017)。

バイオ燃料は上記とは異なります。FAME 燃料中の酸は通常、次の 2 つの発生源に由来します。

- (i) バイオディーゼルの製造に使用され、製造プロセスで完全には除去されなかった酸
- (ii) FAME の分解生成物として作られた酸

遊離脂肪酸は燃料ポンプの腐食を引き起こす可能性があります。過剰な水は酸の生成と腐食を促進する可能性がありますので、酸価 (値) を出来るだけ低く保つことを推奨します。

強酸の存在と燃料の腐食活性の間には相関関係があるため、燃料が石油ベースであるかバイオベースであるかに関係なく、燃料には無機酸 (強酸) が含まれていない必要があります。強酸価 [SAN] はゼロ (nil/0) である必要があります。

4-3 潤滑性

MAN Energy Solutions は、硫黄含有量が 0.05%S (500 ppm S) 未満の燃料に最も適切な ISO 8217 の制限を採用しています。潤滑限界、高周波往復リグ (HFRR) の摩耗痕は最大 520 μ m (ISO 8217:2017) です。

注記！ 研究所で潤滑性の測定を依頼する必要がある場合があります。

4-4 燃料分析

- ① ブレンド時に FAME は EN 14214 または ASTM D6751 の要件に準拠する必要があります。
- ② バイオ成分の種類と量を分析します。例: FAME、30%
- ③ 完全な ISO 8217 分析に従って最終燃料を分析します。これには下記の特徴が含まれますが、これらに限りません。
 - a. 粘度
 - b. 低温流動特性
 - c. 含水量
 - d. 灰分含有量
 - e. 化学元素 (リン (P)、カルシウム (Ca)、カリウム (K) など) を含める必要があります。
 - f. 留出物 (HVO を含む) および残留燃料の酸価、および酸価 (100%FAME の場合)。
 - i. 酸価は低くなければなりません。バイオ燃料部分の酸価は、EN14214 または ASTM D6751 を満たす必要があります。
 - ii. HVO は ISO 8217:2017 または最新版の DMA グレードに準拠します。
 - iii. バイオ燃料ブレンドおよび HVO については ISO 8217 に従って、100%FAME については EN14214 (または ASTM D6751) に従って測定されます。

g. ISO 8217 に基づく潤滑性（燃料に含まれる S が 0.05%未満の場合）。

④ 低発熱量 -測定値 (ASTM D240) を使用します。

5. 技術的および運用上のガイドラインと推奨事項

バイオ燃料の運転を開始する前に、主機関と関連システムが良好な作動状態にあり、バイオ燃料の運転に適していることを確認してください。事前に乗組員と船を準備してください。乗組員は、適切に準備出来るよう、新しい種類の燃料を積み込んで知っていることを知っておく必要があります。

5-1 材料

FAME およびその他のバイオ燃料は、すべての材料やエラストマー（粘弾性を持つ高分子）と相性が良いわけではありません。主機関の高圧燃料システムに使用する材料とエラストマー（テフロンまたはバイトタイプ）は、FAME、FAME タイプの燃料および HVO と相性が良いです。エラストマー（シール材）および燃料油補助システムの材料がバイオ燃料またはバイオ燃料混合物と適合するかどうかを確認することを推奨します。

5-2 装置

バイオ燃料は粘度が低いことが多いため、燃料システムと燃料噴射システムが良好で許容可能な状態にあることを確認することが重要です（HSD-B23101 を参照）。

高圧燃料ポンプがひどく摩耗し、燃料の粘度が非常に低い場合、つまりドレン漏れが多くなる場合（HSD-B19102-R1）、各シリンダーユニットが最大負荷に達せない可能性があります。これは、MC および MC-C エンジンにとって特に重要です。

バイオ燃料は、通常の船用留出燃料よりも低位発熱量 LCV が低い場合があります。そのため、燃料油供給ポンプの容量が十分であるか、それとも容量を増やす必要があるか評価する必要があります。評価は式 1 を使用して計算出来ます。

Installed fuel oil pump capacity [m³/h] > SFOC100% × Power100% × [42.7/(densitybio × LCVbio)] [m³/h] …式 1

SFOC100% [g/kWh] – specific fuel oil consumption at 100% load

Power100% [kW] – power at 100% load

42.7 kJ/g is the LCVref、 the lower calorific value for the reference fuel: 42.700 kJ/kg / 1000 g/kg = 42.7 kJ/g

Densitybio is the density of the biofuel or biofuel blend [kg/m³]

LCVbio is the lower calorific value for the biofuel or the biofuel blend [kJ/kg]

設置されている燃料油ポンプ容量[m³/h]と計算値を比較してください。設置されているポンプ容量は計算値より大きければ十分です。既設ポンプは経年劣化により能力が低下する可能性があり、ポンプ能力が十分であるかどうかを総合的に判断する必要があります。式 1 は評価にのみ使用出来、設計目的には使わないでください。

燃料ポンプがひどく摩耗している場合、または他の機器が正常に動作していない場合は、いつものようにメンテナンスを実行することを推奨します。

5-3 燃料管理

燃料管理プロセスに関する一般的な良好な作業を行う必要があります。バイオ燃料を使用する際の考慮事項、準備、手順は基本的に ULSFO および VSLFO の場合と同じです。

新しいタイプの燃料をテストする前に、粘度、温度、低温流動特性の概念および船上での燃料の管理方法を理解することが重要です。情報は論文「0.50%S 燃料運用 2020」で入手出来ます。

<https://www.man-es.com/marine/products/planningtools-and-downloads/technical-papers>

5-4 性能

一般的な FAME または FAME タイプの低位発熱量は約 36~37MJ/kg です。これは、主機関にとっては課題となる可能性があります。主機関は低い発熱量を補うために、主機関負荷に見合った噴射量を自動的に調整することが出来ません。

B30 などの FAME ブレンドでは、発熱量の差が小さくなります。同じ効果は依然として有効ですが、B100 と比べてブレンドした影響は大幅に小さくなります。

【ME 主機関】

1. 主機関制御システム (ECS) に正しい LCV (NSE) を入力します。このとき測定値 (ASTM D240) を使用します。
2. ECS の自動調整機能 (利用可能な場合) を使用して、主機関の燃焼の最適化および監視をします。使用する燃料に応じて主機関を自動的に調整するのに役立つ場合があります。
[\(詳細については、弊社アフターサービス部にお問い合わせください。\)](#)
 - a. 最新の自動調整制御機能 ACCo は、バイオ燃料 (FAME) の発熱量が標準設定に対して低すぎる可能性があるため 100% 処理出来ない可能性があります。ACCo は手動で設定出来ます (ACCo はオプション仕様です) が、テクニカルファイルに記載されている性能に関するパラメータを維持する必要があります。

【MC/MC-C 主機関】

1. 必要に応じて、燃料ポンプのタイミング (噴射タイミング) を調整して、最大筒内圧力が達成するようにします。
2. 低位発熱量が低い場合は、ガバナのリミッターの調整が必要になる場合があります。具体的には、要求された回転数を維持するために Fuel index を増やせるようにガバナで調整します。
3. バイオ燃料で運転する場合、最大運航負荷と主機関からの煙の排出を確認します。
4. 主機関出力制限 (EPL) が搭載されている機関の場合、低発熱量の燃料を使用すると最大出力が低下する場合があります。この時、同等の出力を得るためにはポンプラックの調整が必要になることが考えられますので、船級へご相談の上ご対応いただきますようお願いいたします。

5-5 タンクおよび配管システム

1. バイオ燃料を積み込む前に、燃料タンクを洗浄し空にするか、少なくとも可能な限り空にする必要があります。
 - a. これは親和性の問題を避けるためです。
 - b. 燃料が混合してしまう場合は、燃料が適合していることを確認してください。
2. 燃料タンクおよび燃料システム内の温度を燃料に適した温度に調整します。
 - a. 粘度と低温流動特性を確認し、それに応じてシステムを調整します。
 - b. 燃料温度は流動点より少なくとも 10°C 高く保つ必要があります。

3. 余分な水を確実に排出出来るようにして、水を除去します。
 - A. 水を除去すると、微生物の増殖のリスクと燃料が不安定になるリスクが減少します。
4. 燃料フィルター - 流量を監視します。適切で安定した正常な流量を得る必要があります。
5. 燃料の洗浄 - 常に重要であり、洗浄する必要があります。HSD-B18101 を参照してください。

5-6 粘度と温度

表 3 に MAN B&W 2 ストローク主機関のエンジン入口における推奨バイオ燃料粘度範囲を示します。

表 3. 主機関入口でのバイオ燃料における推奨粘度

Range	Biofuel viscosity at engine inlet
Minimum	2 cSt
Normal (HVO, 100% FAME, FAME or HVO blends with DM grade)	3 cSt or higher
Normal (FAME blends with RM grade, similar FAME-type)	3-18 cSt
Maximum	20 cSt

特定の主機関タイプについては、常に最新の仕様を参照してください。適切な燃料噴射温度と粘度を安定させる必要があります。同等の化石燃料の場合とは異なる場合があります。

5-7 シリンダ潤滑

通常の VLSFO および ULSFO にてシリンダコンディションが許容出来る場合は、現在使用されているシリンダ油と注油率を開始点として維持出来ます。

掃気ドレンオイルの分析と掃気ポートの点検結果に基づいて、シリンダ油の種類と注油率の調整が必要になる場合があります。バイオ燃料の使用前後、または運航条件で必要な場合には、掃気ポート点検を実行することを推奨します。

最新の潤滑ガイドラインを参照してください。

このガイドラインは HSD-B19103-R3 および HSD-B23104 に基づいています。

燃料の噴射時間が長くなるため、シリンダライナの温度がわずかに上昇する可能性があります。

潜在的な問題を回避するために、掃気ドレンオイルを注意深く監視することを推奨します。