Supported by
日本財団
THE NIPPON FOUNDATION

シンガポール及びマレーシアにおける船舶の次世代燃料への転換動向調査

２０２５年３月

一般社団法人　日　本　舶　用　工　業　会
一般財団法人　日本船舶技術研究協会

はじめに

世界的な脱炭素化に向け、国際海事機関（IMO）は、2023年7月に開催された第80回海洋環境保護委員会（MEPC80）において、「2050 年までに国際海運からの GHG 排出を全体としてゼロ（2050 年カーボンニュートラル）」I という新たな目標を掲げ、2023年版の GHG 削減戦略を策定しました。

本戦略では、ゼロエミッション燃料等の使用割合に関する目標も新たに合意されたため、これに対応するため、水素やアンモニア、メタノールなどを燃料として使用した船舶の需要が高まっているところ、シンガポールをはじめとした東南アジアにおいても、代替燃料への転換の動きが進められています。特に、シンガポールやマレーシアにおいては、政府や石油会社によって、バイオ燃料やアンモニア燃料といった次世代燃料を使用した実証実験やプロジェクトを開始しようとしているところ、次世代燃料船に関する動きが各方面で活発になってきております。

本調査にあたっては、上記を踏まえ、環境に配慮した船舶の導入に向けた政策や規則の制定状況、船舶の代替燃料・次世代燃料（電動化を含む）への転換の動向などについて調査しました。

本報告書が、我が国舶用工業事業者をはじめとして、船舶の代替燃料や次世代燃料への転換について、ご関心をお持ちの海事関係者の皆様の今後の事業展開等の参考資料となれば幸いでございます。

ジェトロ・シンガポール事務所舶用機械部
（一般社団法人　日本舶用工業会共同事務所）
ディレクター　貴　島　高　啓

目　次

1．シンガポール ……1
1.1　舶用燃料に関する規制及び次世代燃料の促進策 ……1
1.1.1　規制・基準 ……1
1.1.2　促進策 ……3
1.2　政府の次世代燃料に関する取り組み ……10
1.2.1　政府の政策や事業、プロジェクト内容 ……10
1.2.2　次世代燃料のバンカリングに関する状況 ……21
1.2.3　民間・スタートアップの技術開発 ……35
1.3　造船所や船主の次世代燃料船に関する情報 ……37
1.3.1　造船所の次世代燃料船建造に関する情報 ……37
1.3.2　船主の次世代燃料船に関する情報 ……43
1.4　日本企業等の参画状況 ……55

2．マレーシア ……57
2.1　舶用燃料に関する規制及び次世代燃料の促進策 ……57
2.1.1 規制・基準 ……57
2.1.2　促進策 ……57
2.2　政府及び石油会社の次世代燃料に関する取り組み ……58
2.2.1　政府の政策や事業、石油会社のプロジェクト内容 ……58
2.2.2　次世代燃料のバンカリングに関する状況 ……61
2.3　造船所や船主の次世代燃料船に関する情報 ……65
2.3.1　次世代燃料船の建造実績 ……65
2.3.2　船主による次世代燃料への転換動向 ……66

終わりに ……67

別添　PMC No. 3 2024 の原文

略語一覧

ABS	American Bureau of Shipping	米国船級協会
AiP	Approval in Principle	基本設計承認
BPMB	Bank Pembangunan Malaysia Berhad	マレーシア開発銀行
BV	Bureau Veritas	フランス船級協会
CSA	Coastal Sustainability Alliance	沿岸の持続可能な企業間連携
DNV	Det Norske Veritas	ノルウェー船級協会
EMA	Energy Market Authority	エネルギー市場監督庁
FAME	Fatty acid methyl ester	脂肪酸メチルエステル
FSRU	Floating Storage and Regasfication Unit	浮体式 LNG 貯蔵・再ガス化設備
GCMD	Global Centre for Maritime Decarbonisation	国際海事脱炭素化センター
GCNS	Global Compact Network Singapore	グローバル・コンパクト・ネットワーク・シンガポール
GTFS	Green Technology Financing Scheme	グリーンテクノロジー融資スキーム（マレーシア）
HSFO	High Sulphur Fuel Oil	高硫黄燃料油
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil	水素化植物油
KMG	Kuok Maritime Group	クオク・マリタイム・グループ
LR	Lloyd's Register	ロイド船級協会
MEPC	Marine Environment Protection Committee	IMO 海洋環境保護委員会
METF	Maritime Energy Training Facility	海事エネルギー訓練施設
MGO	Marine Gas Oil	舶用ガス油
MGTC	Malaysian Green Technology and Climate Change Corporation	マレーシアグリーンテクノロジー気候変動庁
MLTS	Maritime, Logistics, and Transportation Scheme	海事物流交通スキーム（マレーシア）
MMMCZCS	Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping	炭素ゼロ海運のためのマースク・マッキンニーモラー・センター
MPA	Maritime and Port Authority of Singapore	シンガポール海事港湾庁
MSGI	Maritime Singapore Green Initiative	シンガポール海洋環境イニシアチブ
NTU	Nanyang Technological University	南洋理工大学
NUS	National University of Singapore	シンガポール国立大学
ONE	Ocean Network Express	オーシャン・ネットワーク・エクスプレス
PIL	Pacific International Lines	パシフィック・インターナショナル・ライン
PMC	Port Marine Circular	MPA 発出サーキュラー
RINA	Registro Italiano Navale	イタリア船級協会
SLNG	Singapore LNG Corporation	シンガポール LNG コーポレーション
SMA	Singapore Maritime Academy	シンガポール海事アカデミー
SMI	Singapore Maritime Institute	シンガポール海事研究所
SSA	Singapore Shipping Association	シンガポール海運協会
TR	Technical Reference	技術的参考資料
UCOME	Used Cooking Oil Methyl Ester	使用済み調理植物油メチルエステル
VLSFO	Very Low Sulphur Fuel Oil	低硫黄燃料油

1. シンガポール

1.1 舶用燃料に関する規制及び次世代燃料の促進策

1.1.1 規制・基準

シンガポールで供給される舶用燃料は、ISO8217「舶用燃料規格」を遵守することになっている。ISO8217 は、舶用燃料の品質要件を規格化したもので、燃料の種類、物理的・化学的特性、汚染物質、試験方法、文書及びトレーサビリティなどについて定めている。2024 年 5 月 30 日に発行された ISO8217 の最新版では、燃料油の分類、分析方法等が改定された他、バイオ燃料 100%の舶用燃料が認められ、その試験方法等が含まれている。

一方、世界最大の舶用燃料供給ハブとして、ISO の改定よりも早く、シンガポールの舶用燃料基準が改定されることもある。シンガポールでは 2022 年、高濃度の有機塩素系化合物（Chlororganic Carriers : COC）を含む高硫黄燃料油（High Sulphur Fuel Oil : HSFO）が約 200 隻の船舶に供給され、そのうち約 80 隻の船舶が燃料ポンプやエンジンに問題が生じるという舶用燃料汚染事案[1]が発生した。この事案を受けて、2024 年 2 月、シンガポール海事港湾庁（Maritime and Port Authority of Singapore : MPA）は、舶用燃料の品質と検査に関する港湾海事規則（Port Marine Circular -PMC No. 3, 2024）を発表した。PMC No. 3, 2024 では、2024 年 6 月 1 日より、シンガポール港で供給されるすべての残渣燃料及びバイオ残渣燃料は、COC の含有量が 50mg/kg を超えてはならず、無機酸を含んではならない等の事項やこれらの検査方法について規定している。検査方法は EN14077[2]、ISO8217、ASTM D664[3]などに従うこととなっている（PMC No. 3 2024 の原文は別添のとおり）。2024 年 5 月に発表された ISO8217 でも、COC 含有量の 50mg/kg 制限などが盛り込まれた。

また、シンガポールは代替燃料を促進するため、基準策定にも取り組んでいる。2022 年 10 月、MPA は舶用バイオ燃料供給を推進するため、舶用バイオ燃料の暫定的な国家基準[4]を設けた。MPA のウェブサイトでは、バイオ燃料供給に関する条件として、以下をあげている[5]。

シンガポール港内でのバイオ燃料供給に関する条件

- バンカー供給業者は、バンカリング船に設置された質量流量計がバイオ燃料の測定向けのものであり、質量流量計のサプライヤーによってサポートされ、測定の不確実性が 0.5%を超えないことを確認する。
- 供給されるバイオ燃料は、バンカリング船に対して MPA から発行された質量流量計承認書に記載された密度及び動粘度仕様の要件を満たす。

---

[1] 問題の燃料は Glencore Singapore Pte Ltd が供給したブレンド製品で、PetroChina International （Singapore） Pte Ltd に販売された。
[2] 欧州標準化委員会（CEN）が策定した欧州の有機ハロゲン含有の試験方法の基準
[3] 米国試験材料協会（ASTM）が定めた石油製品、潤滑剤、バイオディーゼル、及びバイオディーゼルブレンドの酸性成分を測定するための試験方法
[4] 「WA:2 2022, Specifications for Marine Biofuel」 https://www.singaporestandardseshop.sg/Product/SSPdtDetail/9b6fce21-d5dc-4099-9da6-304737d74e4b から購入が可能。
[5] https://www.mpa.gov.sg/port-marine-ops/marine-services/bunkering/biofuel-bunkering

- バンカー供給業者は、バンカリング船の旗国当局及び船級協会がバイオ燃料の積載、輸送、及び供給に対して承認または異議がないことを確認する。IMO サーキュラー（MSC-MEPC.2/Circ.17）に従い、バイオ燃料混合物の輸送要件は、以下の容量比組成に基づいて、異なる MARPOL 附属書の規定が適用される。
  - ✓ バイオ燃料混合物に MARPOL 条約附属書 I 貨物油が 75%以上含まれる場合、MARPOL 条約附属書 I の対象となる。
  - ✓ バイオ燃料混合物に MARPOL 条約附属書 I 貨物油 1%以上 75%未満含まれる場合、MARPOL 条約附属書 II の対象となり、国際バルクケミカルコード（IBC コード）第 17 章に規定される輸送要件に従う。
  - ✓ バイオ燃料に含まれる MARPOL 条約附属書 I 貨物油が 1%以下の場合は、混合物とは見なされず、IBC コードの適切な製品項目に基づいて MARPOL 条約附属書 II に従って輸送される。
- バンカー供給業者は、MPA の基準調査部門（Standard and Investigation - Marine Fuels：SIMF）がバイオ燃料バンカーの供給の通知を受けていることを確認する。バンカー供給業者が提出する月次報告書には、供給されたバイオ燃料（例：HSFO180、VLSFO380、MGO に基づく燃料種別と等級）も含む。
- バンカー供給業者とバンカー購入者の売買契約には、舶用燃料としてバイオ燃料が供給されることを記載する。
- バンカー供給業者は、バンカー供給前に、受領船舶の船長及び所有者が、船舶の排出削減に関する技術の研究のための試験を実施する際に必要な免除[6]を関連する旗国当局から取得していることを確認する。
- バイオ燃料の混合を、シンガポール港内のバンカリング船上で行ってはならない。
- 品質証明書（COQ）は、積み込み施設が発行し、シンガポールでのバイオ燃料供給前に提供される。燃料の SPEC は、契約上の合意に基づき、ISO 8217：2017 に定める SPEC（ただし、ISO 8217：2017 の FAME レベルに関する 5.1 条は除く）に準拠する。
- すべての積載作業は、関連する法定及び港湾・沿岸国の要件（例：MSC-MEPC.2/Circ.17、バイオ燃料と MARPOL 条約附属書 I 貨物油の混合物の輸送に関するガイドライン）に従って実施する。
- バイオ燃料混合物は FAME のテストも受け、その結果は品質証明書に組み込まれる。
- 品質証明書は、バイオ燃料のバンカー供給の少なくとも 1 日前に SIMF に送付する。バイオ燃料に関する追加情報は、MPA の要請に応じて提供する。
- 供給されるバイオ燃料製品の名称はバンカーデリバリーノート（Bunker Delivery Note：BDN）に記入する。
- バンカー供給業者は、すべての関連書類に関する記録を保持する。

[6] MARPOL Annex VI Reg. 3.2（船舶からの排出の削減及び制御に関する技術の研究のための試験）に記載されている、排出削減及び管理技術研究の実験を行う船舶に認められている免除を指す。

また、シンガポールでは、メタノールの基準とアンモニアの基準も策定中で、2025 年に発表される予定である。国の規格基準策定を担っているのは、シンガポール企業庁（Enterprise Singapore）であり、シンガポール企業庁はシンガポール規格審議会（Singapore Standards Council）とシンガポール認証評議会（Singapore Accreditation Council）の 2 団体と協力して規格策定に取り組んでいる。

さらに、MPA は、2050 年までにハーバークラフト、プレジャーボート、タグボートをすべてネットゼロにする計画で、2023 年 3 月に、2030 年以降、新規に導入されるハーバークラフトは、全て電動化とする、あるいは 100%のバイオ燃料（B100）や水素などのネットゼロ燃料を用いることを義務付けた。ハーバークラフトの電動化を推進するため、MPA は、電動ハーバークラフトの設計・開発、充電インフラのコンセプト、電動ハーバークラフト導入のための資金調達に関する提案募集を実施している。（1.2.1 章（2）参照）。2024 年 4 月には充電設備の実証試験も開始された。MPA は、電動ハーバークラフトの充電及びバッテリー交換システムの技術的参考資料（Technical Reference：TR）も作成中である。

1.1.2　促進策

（1）海洋シンガポール環境イニシアチブ

MPA は海運業界による環境保全を促進するため、2011 年に 1 億 S ドルの奨励金制度「シンガポール海洋環境イニシアチブ（Maritime Singapore Green Initiative：MSGI）」を立ち上げた。当初は、①環境負荷の少ない燃料を使用する外国籍船舶を対象に、シンガポール港湾の使用料金を引き下げる「グリーン港湾プログラム」、②低燃費で低排出量の船舶設計を採用したシンガポール籍船の登録費用やトン税を引き下げる「グリーン船舶プログラム」、③環境技術を開発・採用した国内海事関連企業に補助金を与える「グリーン技術プログラム」、の 3 つのプログラムが柱となっていた。2016 年にはこれに、④持続可能な海運業に向けて環境認識を創出する「グリーン啓蒙プログラム」と⑤クリーンな代替燃料の利用を促進する「グリーンエネルギープログラム」という 2 つのプログラムが新たに導入された。これらのプログラムは 2019 年 12 月 31 日が期限となっていたが、2019 年 11 月に期限が 2024 年末まで延長された。

2025 年から新たに開始する MSGI のため、2024 年 10 月 9 日、MPA はプレスリリースにて、5,000 万 S ドルを拠出すると発表した。新 MSGI の支援プログラムの枠組みは、①グリーン船舶プログラム、②グリーン港湾インフラプログラム、③グリーンハーバークラフトプログラム、④グリーンエネルギー・技術プログラム、⑤グリーン啓蒙プログラムの 5 つで構成される。

図 1　2025 年 1 月 1 日からの新シンガポール海洋環境イニシアチブの概要

出典：MPA Press Release 9 Oct 2024

2024 年 10 月 29 日に MPA が発表した海運規則 2024 年第 12 号（Shipping Circular：SC No. 12, 2024）で、新 MSGI の改定「①グリーン船舶プログラム」の内容が一部発表された。新たなグリーン船舶プログラムでは以下のインセンティブが与えられる。

表 1　2025 年 1 月 1 日からのグリーン船舶プログラムインセンティブ

対象船舶	初期登録料割引率	トン税減税率
IMO の MARPOL Annex VI Phase 3 EEDI（エネルギー効率設計指標）要件を 10%以上上回るシンガポール籍船	20%	20%
CF（燃料消費量と CO2 排出量の換算係数）値が 1.375 より高く 2.750 より低い燃料を主燃料として使用できるエンジンを採用するシンガポール籍船	50%	20%
CF 値が 1.375 より低い燃料を主燃料として使用できるエンジンを採用するシンガポール籍船	75%	50%
ゼロカーボン燃料（例：パイロット燃料がエネルギー基準で 25%以下に抑えられ、アンモニアスリップ、NOx、N2O の対策がとられているアンモニア）を主燃料として使用できるエンジンを採用するシンガポール籍船	100%	80%
ゼロエミッション燃料（水素、バッテリーなど）を主燃料として使用できるエンジン・技術を採用するシンガポール籍船	100%	100%

追記

① CII（Carbon Intensity Indicator：燃費実績の格付け制度）の A 格付けを達成したシンガポール籍船は、トン税がさらに 5%減免される。ただし最大減免率は 100%である。

② すでにシンガポール隻船として登録されているが、グリーン船舶プログラムの適用を受けていない船舶は、基準を満たしても過去に申請していない場合、または基準を満たすために船舶を改造した場合は、申請が可能となる。

③ 既存のシンガポール籍船の船主が変更となる場合、登録料は初期登録料とみなされないため、新船主の登録料に対する減免は適用されない。しかし船舶がグリーン船舶プログラムの対象となる場合、トン税に対応する減免が適用される。

出典：MPA SC No 12 of 2024, 29 Oct 2024 より作成

なお、改定前のグリーン船舶プログラムのインセンティブは表 2 のとおりであった。

表 2　2024 年 12 月 31 日までのグリーン船舶プログラムのインセンティブ

対象船舶*	初期登録料割引率	トン税減税率
IMO の EEDI Phase 3 の要件値より 10%以上省エネ効果の高い設計の船	50%	20%
低炭素燃料に適用するエンジンを搭載した船。低炭素燃料とは、LNG あるいは CF が LNG より低いもの（バイオ LNG、バイオメタノール、バイオエタノールなど）	75%	50%
ゼロカーボン燃料対応エンジンを搭載している船	100%	100%

*注：1 つ以上の条件を満たす船の場合、高い方の割引率が適用される。

出典：MPA SC No 07 of 2022, 22 April 2022

MPA は 2024 年 12 月 24 日の港湾海事規則 2024 年第 13 号（Port Marine Circular：PMC No. 13 of 2024）、及び 2024 年 12 月 31 日の 2024 年第 15 号（PMC NO. 15 of 2024）により、新 MSGI の一部内容をさらに発表した。2025 年 1 月 1 日から、従来の「グリーン港湾プログラム」で供与していた低炭素あるいはゼロエミッションの船舶に対する港湾料の割引プログラムは、新 MSGI の「①グリーン船舶プログラム」に統合され、新たに「①グリーン船舶プログラム-グリーン港湾（GSP―GP）」と名称を変更、従来のグリーン港湾プログラム下で供与されていた低炭素あるいはゼロエミッションハーバークラフトに対する港湾使用料の割引プログラムを表 3 のとおり、「③グリーンクラフトプログラム」として導入した。

「①グリーン船舶プログラム-グリーン港湾（GSP―GP）」のスキームでは、シンガポール港に寄港する 4 日以内の滞在をする外航船に対して引き続きインセンティブを提供することとなっている。対象となる船舶は、以下のいずれかの基準を満たす必要がある。

- ゼロエミッション燃料・技術（例：水素、完全電動、水素燃料電池と電動ハイブリッドなど）を主要燃料または推進手段として使用する船舶。対象の外航船舶は、寄港料が 100%免除される。
- ゼロカーボン燃料（例：パイロット燃料が最大 25%で、アンモニアスリップ/NOx/N2O に対応したアンモニア、B100 バイオ燃料、グリーンメタノールなど）を使用する船舶。対象の外航船舶は、寄港料が 100%免除される。
- CF 値 1≦1.375 の低炭素燃料（メタノールなど）、メタンスリップが最大 1%の LNG 対応エンジン、または B50 以上 B99 までのバイオ燃料を主燃料として使用する船舶。対象の外航船舶は、寄港料が 30%免除される。
- CF 値 1.375 < CF 値 ≦ 2.750 の低炭素含有量の燃料（例：メタンスリップが対処されていないエンジンで使用される LNG）や、B24 以上 B49 までのバイオ燃料を使用する場合対象の外抗船舶は、寄港料が 20%免除される。

また、GSP・GP の補助を受けるには、船主または傭船者はシンガポール港に到着する前に、船舶が digitalPORT@SGTM（シンガポールの港湾手続きのワンストップサービス）を通じて GSP・GP に事前登録されていることを確認する必要がある。

一方、「③グリーンクラフトプログラム」として、2025年1月1日以降、MPAに登録する新造のハーバークラフトについては、下記のインセンティブが与えられる。

表3　代替燃料を使用するハーバークラフトへのインセンティブ

新造ハーバークラフトの燃料/エネルギー		ハーバークラフトの港湾料減免率と期間
ゼロエミッション燃料・技術（水素、100%電化、水素燃料電池と電化のハイブリッド等）		120GT 以下の船舶：10年間100%港湾料免除 120GTを超える船舶：8年間100%港湾料免除
ゼロカーボン燃料（例：パイロット燃料は25%以下で、スリップに対応しているアンモニア燃料、パイロット燃料が25%以下のグリーンあるいはバイオメタノール、B100のバイオ燃料）		10年間100%港湾料免除
低カーボン燃料	メタンスリップに対応しておりメタンスリップが1%以下のLNG B55～B99のバイオ燃料メタノール	3年間30%港湾料免除
	メタンスリップ対応していないLNG B24-B49のバイオ燃料	3年間10%港湾料免除

出典： MPA PMC No 15 of 2024, 31 Dec 2024

なお、現在既に、これまでのグリーン港湾プログラムにより、港湾料の5年免除を受けているゼロカーボン燃料・完全電動のハーバークラフトは5年間の港湾免除期間の終了、あるいは2027年12月31日のいずれか早い期限まで、同じインセンティブを享受できる。2027年12月31日時点で5年間の期限を迎えていない船舶は、MPAにゼロカーボンであることを証明する書類を提出する必要がある。

（2）2050年シンガポール海運脱炭素化ブループリント

またシンガポール政府は2022年3月、2050年までに達成すべき戦略や目標を定めた指針「2050年シンガポール海運脱炭素化ブループリント」を発表した。少なくとも3億Sドルを投じ、海運の脱酸素化を支援する。この指針では、①港湾ターミナル、②国内港湾船舶、③将来の舶用燃料、燃料供給基準とインフラ、④シンガポール船籍（Singapore Registry of Ships：SRS）、⑤IMOやその他の国際機関による取り組み、⑥研究開発・人材開発、⑦炭素意識（carbon awareness）、炭素会計とグリーンファイナンスの7つの分野に焦点を当てている。

MPAによると、シンガポールの港湾ターミナルでは、2030年までに炭素排出量を2005年比で少なくとも60%削減し、2050年までにネットゼロ排出を目指しており、そのため、よりクリーンなエネルギーを導入し、自動化・デジタル化を進めることとしている。目標では、フェリーやタグボートなど、1,600隻の港湾船舶が2030年までに低炭素エネルギーソリューションで運航し、2050年までに完全電気推進とネットゼロ排出を実現することを目指す。これにより、2030年までに2021年比で15%、2050年までに2030年比で50%の炭素排出量を削減する。またシンガポールでは、バイオ燃料、メタノール、アンモニア、水素などの低炭素・ゼロエミッション燃料や、炭素の回収・貯留・活用など

のグリーンテクノロジーを提供する準備を整えている。これまで、シンガポールは船舶用の LNG 燃料を促進するためのさまざまな施策を実行してきたが、LNG 以外の低炭素・ゼロエミッション燃料導入への研究や実証実験も進めている（1.2.1 章参照）。

（3）プロジェクト・研究開発への支援

シンガポール政府は、「2050 年シンガポール海運脱炭素化ブループリント」の目標を達成するために、さまざまな実証実験プロジェクト、研究開発、代替燃料船舶の設計や建造を支援している。これらは、対象となるプロジェクトの分野を MPA 等が定めて、「提案募集」という形式をとることが多い。これまでに、ハーバークラフトの電動化、メタノールのバンカリング、アンモニア発電とバンカリングについて、提案募集を実施し、採択プロジェクトを支援している。採択プロジェクトについては、1.2.1 章（2）～（4）を参照のこと。

研究開発支援としては、シンガポール海事研究所（Singapore Maritime Institute: SMI）の基金がある。SMI は、MPA、シンガポール科学技術研究庁（A*STAR）、シンガポール経済開発庁（Economic Development Board：EDB）が 2011 年に設立した海事産業の戦略・プログラム策定機関で、港湾、船舶、海事サービスなどの分野の研究戦略の策定の他、産業と学界の R&D（研究開発）の連携を促進している。SMI は、研究開発促進のための SMI 基金、海事変革プログラム基金（Maritime Transformation Programme Fund：MTP Fund）を運用しており、シンガポールの高等教育機関や研究所における海事関連の研究開発に助成金を拠出している。SMI がこれまでに助成した代替燃料に関する研究開発は以下の 2 つがある。

① 2013 年の海事エネルギーシステム研究

SMI が LNG、電気推進、港湾・海運のエネルギーマネジメントシステム、バイオ燃料に関する研究開発の提案を募集し、以下のプロジェクトが助成対象となった。

- 海洋生物の付着に対処するための塗装や接着技術の開発
- 船舶用エンジン向けバイオディーゼル発電機の開発に関する調査
- 航路ごとのエネルギー消費量と排出量の分析
- 電動推進式水中ロボットの長時間の作業を可能にする大型リチウムイオンバッテリースタック電源システムの開発
- 空気で満たされた凹面構造を用いた船舶の抗力低減に関する研究
- 薄膜氷潤滑（TFIL）技術による船体抵抗の低減に関する研究
- 船舶の抵抗力低減のための新しい空気潤滑システム開発
- 電動推進船の信頼性、運用コスト、性能、効率（ROPE）の向上を目指したインテリジェント電力管理システムの開発
- 異なるタイプの海洋電気システムの性能を評価し、燃料消費、効率、炭素排出量などの面で、最適なアーキテクチャーを特定する研究
- 船舶用変圧器の状態監視と予知保全システムの開発
- 船首ウィングの取り付けによる船舶の抵抗低減に関する研究

② 2020 年のハーバークラフト電動化研究開発

2020 年に SMI と MPA が共同でハーバークラフト電動化研究開発の提案募集を行い、2021 年に 3 つのプロジェクトへの補助金供与を発表した。プロジェクトはそれぞれ Keppel FELS、SembCorp Marine、船舶設計会社の SeaTech Solutions International（SeaTech）が主導し、合計 30 社が参画する。各プロジェクトの概要は以下のとおり。

表 4　ハーバークラフト電動化研究開発プロジェクト

主導	Keppel FELS
コンソーシアムメンバー	DNV：船級協会 Eng Hup Shipping：船主・オペレーター Envision Digital：環境テクノロジー企業 Surbana Jurong：都市計画コンサルタント会社 南洋理工大学（NTU） Singapore Offshore Marine Technology Centre：シンガポール科学技術庁とシンガポール国立大学の合弁研究所
プロジェクト概要	コスト競争力のある電動港湾タグボートの開発、陸上充電インフラを含む電動船のサプライチェーンの構築。Eng Hup Shipping が所有する既存の 30 人乗りフェリーを改造して電動化し、試験運航と陸上充電インフラの実証実験を行う。

主導	SeaTech Solutions International
コンソーシアムメンバー	RINA：船級協会 Yinson Green Technology：船主 Batam Fast Ferry：フェリー運航会社 など合計 8 社 シンガポール工科大学 Singapore Offshore Marine Technology Centre
プロジェクト概要	SeaTech が定員 12 人、30 トンの貨物を搭載できる電動タグボートを設計。タグボートの船主は Yinson Green Technology。シンガポールの造船所 Lita Ocean が建造し、2023 年 11 月に進水。試験運航の実施後、商用化を目指す。

主導	SembCorp Marine
コンソーシアムメンバー	ABB：スイスのエンジニアリング会社 Bureau Veritas Marine（BV）：船級協会 Durapower Holding：リチウムイオンバッテリー開発設計生産 Rolls Royce Marine：エンジンメーカー など合計 9 社 Institute of High Performance Computing：A*STAR 傘下の研究所 南洋理工大学（NTU） シンガポール国立大学（NUS） シンガポール工科大学
プロジェクト概要	SembCorp Marine は 200 人乗りの電動フェリーを開発、建造する。

出典：MPA Press Release 5 August 2021

Keppel FELS のプロジェクトは、2023 年 5 月 23 日の報道によるとフェリーを改造中で、2025 年の完成を目指している。SembCorp のプロジェクトは、Keppel との合併（Seatrium 発足）や COVID の影響により、遅延したが、300 人乗りのフェリーの設計が終了し、Penguin 造船所で建造されたとのことである[7]。SeaTech プロジェクトについては、電動タグボート（貨物船）が建造され、試験運航を実施後、2024 年 9 月から商業試験運航が始まっている。

また 2022 年、シンガポール政府は向こう 5 年間で、舶用燃料としてのアンモニアの利用や次世代多目的港の代替エネルギー源の研究に 2,200 万 S ドルを投入すると発表した。SMI が、NTU と NUS の 2 校と協力して、代替エネルギーや脱炭素化技術、港湾業務のリアルタイム管理などの研究を進める。

まず SMI は、NTU の海事エネルギー・持続可能な開発研究所（Maritime Energy and Sustainable Development Centre of Excellence : MESD）に 1,200 万 S ドルを供与する。MESD は 2017 年に SMI と NTU により設立され、港湾及び船舶で使うエネルギーの管理、港湾や船舶からの温室効果ガス排出管理、持続可能な海事産業のためのイノベーションなどの研究を行っている。MESD は、舶用燃料としてのアンモニアの利用を含む、14 の海事関連の脱炭素研究開発プロジェクトに取り組んできた。MESD は、産業界のパートナーや MPA からの情報提供を得て、2022 年 9 月から取り組むべき研究開発プロジェクトをさらに 16 件特定した。これらのプロジェクトは、排出量の管理と海上輸送の脱炭素化に焦点を当て、低炭素型燃料への転換を目指すシンガポールのエネルギー戦略を支援する。

さらに、NUS の設計工学部に属する次世代港湾モデリング・シミュレーションセンター（Centre of Excellence in Modelling and Simulation for Next Generation Ports : C4NGP）には、1,000 万 S ドルが提供される。C4NGP は 1,800 万 S ドルの予算で 2018 年に設立され、シンガポールの海事港湾業界のイノベーション力とグローバル競争力を高める研究を行っている。C4NGP は、先行段階のプロジクトのうち、過去・現在・未来のシミュレーションデータに基づいて海運業務を計画するシミュレーションプラットフォームを開発した。

（4）人材育成

次世代燃料に対応できる人材育成のため、MPA は海事エネルギー訓練施設（Maritime Energy Training Facility : METF）を設立した。メタノールやアンモニアといった代替燃料を利用する船舶の運航や取り扱いについて、海事業界の人材を育成することを目的としている。METF は独立した新たな施設を建設するのではなく、国際機関、船級協会、企業、高等教育機関などが持つ既存あるいは計画中の施設を利用した分散型の訓練ネットワークとなる。METF については、1.2.1 章（7）で概説する。

[7] 2024 年 11 月の Offshore Energy Asia （OSEA）2024 における Seatrium 担当者からのヒアリング

（5）国際協力

上記以外にも、MPA はグリーン・デジタル海運回廊の覚書を多くの国の港湾と締結し、各国と協力しながら、海運の脱炭素化を図っている。また、船級協会とも密な連携を図っており、2023 年 4 月には、8 つ[8]の船級協会と、海運のデジタル化と脱炭素化に向けた新技術とソリューションを開発することで意向表明書（Letter of Intent：LoI）に署名した。その開発内容にはスマート・自律型船舶、サイバーセキュリティ、電動化、ゼロ・低炭素燃料などの分野が含まれ、海運のデジタル化と脱炭素化に向けた規格と技術参考資料（TR）を共同で作成する。産業発展や人材開発もパートナーシップの焦点となる。MPA と 8 つの船級協会は、外航船・内航船設計の安全性、セキュリティ、効率性の向上に注力し、デジタル化と脱炭素化に向けた新しい研修カリキュラムも開発する。

MPA は民間企業とも積極的に協力しており、2023 年 4 月、フィンランドの大手エンジンメーカーWartsila と次世代再生可能エネルギー、デジタル港湾最適化、人材開発に関する覚書に調印した。MPA はフランスの海運会社の CMA CGM グループや日本郵船等とも、海運の脱炭素化、デジタル化、イノベーション分野の協力に関して覚書を結んでいる。

1.2 政府の次世代燃料に関する取り組み

1.2.1 政府の政策や事業、プロジェクト内容

シンガポールでは、MPA が中心となって、バイオ燃料、アンモニア、メタノール、水素、バッテリーといった次世代燃料を利用した船舶の研究、実証実験、導入に力を入れている。LNG は化石燃料であり、次世代燃料とはいえないが、他の次世代燃料の供給量が限られる中、重要な「つなぎ」の燃料であり、シンガポール政府も導入に力を入れていたため、LNG についても概説する。

（1）LNG

海事産業の低炭素化のため、シンガポール政府が最初に導入したが LNG である。しかし、シンガポールは天然ガス産出国ではないため、LNG の輸入が必要となる。もともと、シンガポールは発電原料の 95%をインドネシアからパイプラインで輸入する天然ガスで賄っていたが、将来の需要増に対応するため、エネルギー市場監督庁（Energy Market Authority：EMA）は 2006 年に LNG の輸入を決定した。当初は民間企業に LNG ターミナルの建設運営を任せるスキームとしており、LNG ターミナルの建設・運営事業はパワーガスと、フランスの GDF スエズの企業連合（現 Engie Energy International）が受注した。しかし 2009 年の金融危機で、資金調達が困難となり、2009 年 6 月にターミナルを所有し監督する政府系企業シンガポール LNG コーポレーション（SLNG）が設立された。2024 年 10 月現在、SLNG の LNG ターミナルは、4 基 80 万立方メートルの規模となっている。

EMA は 2016 年から 2 カ所目の LNG ターミナルの建設の実現可能性調査を実施してきたが、2023 年 10 月に SLNG が LNG 第 2 ターミナルを開発・運営すると発表した。既存の LNG ターミナルはジュロン島に設置された陸上ターミナルだが、第 2 ターミナルに

[8] 米国船級協会（ABS）、フランス船級協会（BV）、中国船級協会（CCS）、ノルウェー船級協会（DNV）、韓国船級協会（KR）、ロイド船級協会（LR）、日本海事協会（NK）、イタリア船級協会（RINA）

ついては、移動が容易な浮体式 LNG 貯蔵・再ガス化設備（FSRU）が利用される。2024 年 11 月、SLNG は、商船三井の子会社から新造の FSRU を用船することで合意した。FSRU の貯蔵能力は 20 万立法メートル、再ガス化能力は年に 500 万トンで、韓国の Hanwha Ocean が建造する。また同月、SLNG はジュロン港と、FSRU 停泊用のバースをジュロン港に開発することで合意した。また、英国のエンジニアリング会社 Wood PLC と、基本設計（FEED）の実施で契約した。FEED は 2025 年半ばに完了する予定となっている。第 2LNG ターミナルの開発により、LNG の供給能力は年間 1,500 万トンになる。SLNG は、2020 年代末までに第 2LNG ターミナルの操業を開始することを目指している。

（2）ハーバークラフトの電動化

シンガポール政府は 2030 年から新規に登録するハーバークラフトについて、電動船あるいはゼロエミッション燃料の船舶とすることを義務付けている。この実現に向けての最初のプロジェクトは、1.1.2 章（3）②で概説した、SMI と MPA 共同のハーバークラフト電動化研究開発支援であった。その後 MPA は、電動ハーバークラフトの設計、充電施設、資金調達に関して提案募集を実施し、採択プロジェクトを支援している。

表 5　ハーバークラフト電動化関連提案募集の概要

電動巡視艇設計開発の提案募集	
2024 年 10 月 14 日	電動巡視艇の設計に際しては、高度バッテリー管理システムや耐火性、気密性、防水性を確保したバッテリー格納部分、温度管理を最適化するための冷却システムを備える必要がある。また、設計には効率的な充電、バッテリー交換システムも含まれる。電動巡視艇は、陸上管制室での無線操縦、高度衝突検出システムなどの自動化、デジタル化能力を統合する必要がある。安定性、耐航性、エネルギー効率を維持しながら巡視艇の運航性能を確保するため、船体の軽量化も求められる。電動巡視艇は全長およそ 17 メートルとする。

完全電動ハーバークラフトの設計と普及のための提案募集	
2023 年 7 月 10 日	MPA は、シンガポールにおける完全電動ハーバークラフトの設計と普及のための提案募集を開始した。効率性、統合バッテリー管理、エネルギー貯蔵システム、緊急バックアップ、サイバーセキュリティ、消火機能などの安全システムを最適化した船舶構造の設計基準やガイドラインを策定する。提出締め切りは 2023 年 9 月 15 日。
2024 年 2 月 23 日	7 社・コンソーシアムによる 11 件の設計案を選定。 7 社・コンソーシアムは、①Coastal Sustainability Alliance（CSA）、②marinEV、③Pyxis Maritime、④Contemporary Amperex Electric Vessel Technology Co. Ltd.（CAEV）が主導するコンソーシアム、⑤China Everbright Environment Group、⑥Cyan Renewables Consortium、⑦Gennal Engineering（注*）。 提出された設計案には、最適化されたアルミニウム船体形状、アクティブ液体冷却を備えた高エネルギー密度バッテリー、バッテリー熱検知・保護システムなど、高度な技術が用いられていた。MPA は提案募集参加者や高等教育機関・研究機関と協力し、船舶のエネルギー効率と安全性を強化するための船体と電気システム設計の最適化、耐火バッテリールームの設計、サイバーヘルスモニタリングシステムなどについて、電動ハーバークラフト設計をさらに改良する。

	なお、7 社・コンソーシアムのうち、②marinEV は、1.1.2 章（3）②で記載した、MPA と SMI によるハーバークラフト電動化研究開発補助金を受け、すでに完全電動貨物船を建造し、2024 年 9 月から商用試験運航を実施している。
電動港湾船舶（e-HC）充電ポイントの開発及び運用のパイロットプロジェクト	
2023 年 8 月 29 日	MPA は、電動ハーバークラフトの充電施設の開発、運営、保守の 2 年間のパイロットプロジェクト実施に関する提案募集を発表した。2023 年 10 月 19 日の提案募集の締め切り時点で、MPA は企業やコンソーシアムから 12 件の提案を受領した。
2024 年 1 月 10 日	12 件の提案の中から、①Pyxis Energy Pte Ltd、Pyxis Maritime Pte Ltd と SP Mobility Pte Ltd のパートナーシップ、②Seatrium O&G（International） Pte Ltd、③Yinson Electric Pte Ltd の提案が選定された。Pyxis と SP Mobility の提案は Marina South Pier で実施する。Seatrium 及び Yinson の提案については、MPA が協力して、試験運用前にコンセプトをさらに改良する。
2024 年 4 月 10 日	Pyxis と SP Mobility のパートナーシップによる、電動ハーバークラフトの充電設備のパイロットプログラムの一環として、Marina South Pier に 150 kW の陸上直流急速充電器が設置された。パイロットプログラムは 2024 年 3 月から 2026 年 3 月まで実施される予定で、さらに 1 年間延長するオプションがある。 なお、MPA は他の政府機関や業界関係者、学界と協力して、電動ハーバークラフトの充電及びバッテリー交換システムの技術参考資料（TR）を開発中。国家電気自動車充電基準 TR25：2022 が、電動ハーバークラフト充電の国家基準の策定の参考として使用される。
電動ハーバークラフト導入のための資金調達に関する提案募集	
2023 年 10 月 19 日	MPA は電動ハーバークラフトを導入する事業者に資金、保険を提供する企業の募集を開始した。融資の提案募集に参加する企業は、提案するサービス・商品の金利や融資期間、実現に必要な最低融資規模などを提示する。保険の提案募集に参加する企業は、保険料の内訳や条件、限度額、免責事項などの提示を求められる。提案募集の締め切りは 2023 年 12 月 19 日まで。
2024 年 4 月 11 日	MPA は、19 件の提案（融資 12 件、保険 7 件）を受領したことを公表。資金提供に関して、12 件のうち、シンガポールの DBS 銀行、UOB 銀行、フランスのソシエテ・ジェネラル、BNP パリバのシンガポール支店、ドイツ復興金融公庫（KfW）系の KfW IPEX バンクの 5 行に絞り込んだ。オルタナティブ金融（代替金融）での資金提供を提案したコンソーシアムもあり、MPA は前向きに検討するとしている。保険については、地元保険大手インカム・インシュアランス、オーストラリアの保険大手 QBE インシュアランスなどが 7 件の提案を提出した。

注：

①Coastal Sustainability Alliance（CSA）：シンガポールの財閥 Kuok Group 傘下の Kuok Maritime が主導し、AI を使った IoT 開発の Ampotech（シンガポール）、船舶運航会社の Columbia Ship Management Singapore や、シンガポール工科大学（Singapore Institute of Technology）など 11 社・組織から成るコンソーシアム

②marinEV：マレーシア上場のエネルギーインフラ事業に従事する Yinson Holdings 傘下で環境関連ビジネスを手掛ける Yinson GreenTech の子会社

③Pyxis Maritime：海運の電動化技術を開発するシンガポールのスタートアップ企業

④Contemporary Amperex Electric Vessel Technology Co. Ltd.（CAEV）：中国のリチウムイオンバッテリー開発製造会社

⑤China Everbright Environment Group：廃棄物処理、廃棄物発電、水処理、バイオマス利用技術開発、その他の環境関連の R&D を行う中国企業

⑥Cyan Renewables：シンガポールに本社を置く洋上風力発電向け船舶投資・所有会社

⑦Gennal Engineering：建設、内装、海洋、石油ガス産業向けに電気システムを提供するシンガポール企業

出典：MPA プレスリリース、関連企業ウェブサイト等より作成

（3）メタノール

MPA は、メタノールを舶用燃料として普及させるためのインフラ整備を進めており、2023 年 12 月 14 日、メタノール燃料供給ソリューションの導入に向けた提案募集を開始した。

MPA が募集するメタノール舶用燃料供給に関する提案は、メタノール供給源、シンガポールにおける商業規模のメタノールバンカリング事業のモデル、メタノール輸送に焦点を当てる。提案書の提出期限は 2024 年 2 月末日で、2024 年 4 月、MPA は 50 件の提案を受領したと明らかにした。エネルギー企業、燃料供給企業、商社、燃料供給オペレーター、貯蔵企業など 60 社が参加し、提案の 40%は 3 分野を網羅していた。提案されたプロジェクトの中には、すでに操業中、あるいは最終投資決定済のものもあり、提案企業の多くは、シンガポールの貯蔵インフラの利用を計画している。

MPA は 2025 年までに商業規模のメタノール燃料供給インフラを整備し、燃料供給地としてのシンガポールの主導的役割を維持することを目標として掲げている。

（4）アンモニア

2022 年 12 月 5 日、EMA と MPA は共同声明を出し、ジュロン島にアンモニアを使った小型発電及びバンカリング施設の建設・所有・運営に関する提案募集を発表した。提案するプロジェクトの条件は、以下のとおりである。

- 輸入した低炭素またはゼロ炭素のアンモニア由来の発電所（最低 50MW）を 2027 年までに稼働させ、最長 25 年間運用すること
- プロジェクト実行者がアンモニア、及び可能な場合はアンモニア由来の水素の調達、輸入、貯蔵、分配にも責任を負うこと
- 輸入ターミナル及び貯蔵施設は、発電及びバンカリングの両方の要件に対応するよう設計すること

この提案募集に対し、26 件の提案が提出され、2023 年 10 月に 6 つの提案が選定された。その後、さらなる選考により 2024 年 7 月に、SembCorp[9]と SLNG が主導するコンソーシアムと Keppel[10]主導のコンソーシアムが選定された。

次の段階では、2 つのコンソーシアムのうち 1 つがプロジェクトの主導事業者として選定される。主導事業者は、①低炭素またはゼロカーボンの輸入アンモニアから、複合サイクルガスタービンで直接燃焼させることにより、55～65MW の電力の発電し、②陸から船へのバンカリングに続き、船から船へのバンカリングを開始し、少なくとも年間 10 万トンのアンモニアバンカリングを実施するために必要なソリューションを開発する。主導事業者は、2025 年第 1 四半期までに発表される予定となっている。

一方、アンモニアバンカリングの実証実験の実施主体候補は、2024 年 11 月現在、①伊藤忠商事、②日本郵船、③住友商事、④三井物産、及び⑤オーストラリアの鉱物会社

[9] SembCorp グループには、Keppel との合併で Seatrium となったことにより、別会社となった SembCorp Marine の他に電力、再生可能エネルギー、都市開発部門等がある。

[10] Keppel グループには、SembCorp と合併して Seatrium となった造船部門以外に、不動産、脱炭素事業、電力、通信などの事業部門がある。

Fortescue とシンガポールのバンカーサプライヤーEquatorial Marine Fuels のコンソーシアムの 5 陣営となっている。

アンモニアパイロットプロジェクトの主導事業者は、2025 年第 1 四半期までに発表される予定である。

また、MPA が 2021 年 8 月に業界関係各社と共同で設立した海事脱炭素化国際センター（Global Centre for Maritime Decarbonisation : GCMD）が、次世代船舶用燃料の実証実験や脱炭素技術の開発を進めている。GCMD の研究開発には、アンモニアバンカリングの安全性、ドロップインバイオ燃料、船上での二酸化炭素回収、船上で回収して液化した二酸化炭素の安全な陸揚の研究などがある。アンモニアバンカリングの安全に関する研究のフェーズ 1 では、GCMD は複合都市開発・インフラ開発に関するシンガポールのコンサルティング会社 Surbana Jurong、船級協会の DNV と共同で調査し、調査は 2023 年 4 月に完了した。

アンモニアバンカリング調査のフェーズ 2 では、GCMD は船舶間アンモニア供給をシンガポール港で行うために、船舶、位置、オペレーションを特定した安全アセスメントを実施する。アンモニアバンカリング船が建造されていないため、アンモニア輸送船から別のアンモニア輸送船へのアンモニア貨物の輸送になる。フェーズ 1 の調査完成時、GCMD は 2023 年末までにアンモニアのパイロットプロジェクトを開始できると発表していたが、MPA は、2023 年末までのパイロットプロジェクトの実施は現実的ではなく、アンモニアのバンカリングは早くても、アンモニア燃料の VLCC が納入される 2026 年以降になるとしている。

また GCMD は、オーストラリアでノルウェーの大手化学メーカーYara International、商船三井等とともに、アンモニアを船から船へ輸送する船舶間バンカリング実証実験を 2024 年 9 月 13～14 日に実施した。オーストラリアでの実証実験は、アンモニアの生産量が多く将来的にアンモニア燃料供給ハブとして期待される西オーストラリア州 Pilbara 地域の Dampier 港沖において、商船三井の LPG・アンモニア輸送船「Green Pioneer」と、英国の LNG 輸送会社 Navigator Gas が保有する LPG・アンモニア輸送船「Navigator Global」の間で 2 度にわたり、4,000m^3 のアンモニアを輸送した。この取り組みでは、GCMD が 2023 年に発表したアンモニアバンカリング実証実験と運用計画に関する安全性研究の結果に基づいて、リスクと安全性の研究を行い、船舶間バンカリングに対する緊急対応手順を開発した。

さらに、GCMD は英国の舶用燃料ガス協会（Society of Gas as a Marine Fuel : SGMF）と、2023 年 9 月 7 日にアンモニア舶用燃料利用ガイドラインの策定に関する 2 年間のパートナーシップ契約に署名した。

（5）バイオ燃料

GCMD は 2022 年からバイオ燃料の実証実験を行っている。この実証実験では、シンガポール、オランダのフリッシンゲン、ロッテルダムという 3 つの主要港におけるサプライチェーンの試験として、コンテナ船、タンカー、ガス運搬船セグメントにおける 7 隻の船舶へのバンカリングを実施した。実証実験には、VLSFO、HSFO、MGO に HVO や廃食用油メチルエステル（Used Cooking Oil Methyl Ester : UCOME）などの既に市場に

あるバイオ燃料を最大 30%混合したバイオ燃料ブレンドを使用した。実験には、実証実験がこれまでに実施されたことがない藻類バイオ燃料も使用された。実証実験には、海運会社、エンジンメーカー、エネルギー企業等 23 社が協力しており、日本郵船、オーシャン・ネットワーク・エクスプレス（ONE）等が参画した。

2024 年 7 月 18 日、GCMD は実証実験を全て終了したと発表した。最後の実証実験では、Hapag Lloyd の 19,870TEU のコンテナ船に廃食用油から生産された FAME を VLSFO に混合したバイオ燃料混合率 30%（B30）舶用燃料 4,500 トンを供給した。この実証実験では、VLSFO を使った場合よりも 27.9%の排出量削減が達成できた。GCMD は今後、実証実験で得た知見をもとに、包括的なバイオ燃料保証フレームワークを策定することになっている。

また 2024 年 6 月、GCMD は、「海上サプライチェーンにおけるバイオ燃料の劣化傾向の追跡」報告書を公表している。報告書では FAME の品質について、サプライチェーンから船上での消費に至るまで追跡調査しているが、報告書によると、FAME ベースのバイオ燃料は従来の舶用燃料とは異なり、天然油脂が大気中の酸素にさらされると徐々に酸化するため、不安定になる可能性がある。FAME は酸化すると分解され、過酸化物、アルコール、スラッジなどの副生成物を生成し、エンジンの寿命や性能に影響を及ぼすことがあり、水や不純物、汚染物質、光や熱にさらされることでさらに劣化することもある。

さらに同報告書においては、FAME が海上サプライチェーンにおける条件下で著しく劣化することにより、脱炭素ソリューションとしての FAME の可能性が妨げられないか、という問題に焦点が当てられた。具体的には、シンガポール外で生産された UCOME をシンガポールのバイオ燃料ターミナルに輸送し、そこで、VLSFO 及び HSFO と混合し、B24[11]と B20[12]を生成、1 カ月から 1 カ月半貯蔵した後、それぞれ 2 隻の船舶に燃料として供給した。また同報告書には、研究チームがどのように FAME の特性や品質パラメーター（酸価、粘度、FAME 含有量、エネルギー含有量、微生物汚染）を追跡したかが詳しく説明されており、標準的な商業運用条件下で FAME の酸化や微生物汚染による著しい劣化は認めらなかったとしている。

（6）国際コンソーシアム、国際協力への参加

MPA は積極的に海運脱炭素化の国際コンソーシアムや国際協力の枠組みに参画している。これらの取り組みは、MPA が主導しているものではないが、その例をいくつか挙げる。

① The Silk Alliance

The Silk Alliance は、LR と業界 11 社が 2021 年に立ち上げた、グリーン回廊を形成するために必要なプロセスを実証するためのプロジェクト。MPA は 2023 年に、LR の海事脱炭素ハブ（Maritime Decarbonisation Hub : LR MDH）と、The Silk Alliance への協力に関する覚書に調印した。この連携の目的には、舶用向け代替燃料供給インフラへの投資促進も含まれる。代替燃料供給インフラは、まずは The Silk Alliance のメンバー

[11] バイオ燃料混合率 24%
[12] バイオ燃料混合率 20%

の需要を満たす規模とし、将来的には広く域内の代替燃料需要にも対応できるよう、拡張可能なインフラ開発とする。MPA としては、そうした燃料供給インフラ投資をシンガポールに誘致したい考えである。

2024 年 11 月現在のメンバーは、LR、MPA、PSA コーポレーション（PSA）、NUS 海事学センター（Centre for Maritime Education : CFME）、造船所の Seatrium、船舶管理会社の MSC Ship Management、Wilhelmsen Ship Management、海運会社の Pacific International Lines、MPC Container Ships、Wan Hai Lines、Yan Ming、X-Press Feeders、Singfar International、エンジンメーカーの Wartsila、ノルウェー窒素肥料世界大手 Yara International 子会社の Yara Clean Ammonia、オーストラリアのエネルギー会社の Woodside Energy、メタノール産業の業界団体として 1989 年に発足した Methanol Institute[13]、金融機関のアジア開発銀行、ING となっている。

② Castor Initiative

Castor Initiative も、2020 年に LR が中心となって立ち上げたアンモニア燃料タンカーの設計プロジェクトで、MPA は 2021 年に参画した。同プロジェクトの一環として、2020 年 9 月、LR がサムスン重工業のアンモニアタンカー設計に AiP を発行し、2021 年 9 月にはサムスン重工業のアンモニア燃料供給貯蔵システムに AiP を発行した。サムスン重工業で建造されるアンモニア燃料タンカーは、マレーシアの国営石油会社 Petronas 子会社の上場海運会社である MISC のシンガポール子会社 AET Tankers が所有運航する予定となっている。MISC の 2023 年度年次報告によると、2027 年の納入を目指している。

2024 年 11 月現在の Castor Initiative のメンバーは、LR、MISC、TotalEnergies、サムスン重工業、MAN Energy Solutions、MPA、Yara Clean Ammonia（Yara）、シンガポールのジュロン港である。

③ SABRE[14] Consortium

SABRE プロジェクトは、Mærsk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping（MMMCZCS）が、中心となって、シンガポールにおけるアンモニア燃料のサプライチェーンを検証し、アンモニア燃料コンテナ船を設計することを目的として設立された。MMMCZCS は 2020 年に設立された、デンマークを拠点に海運業の温室効果ガス削減に関して研究する独立系研究所である。実現可能性調査では、サプライチェーンの経済効率性、アンモニアバンカリング船の設計、及び関連するサプライチェーンインフラなど、さまざまな角度から調査を実施する。

プロジェクトは 2 つのフェーズに分かれ、2021 年 3 月から 2022 年 4 月までのフェーズ 1 では、シンガポールにおけるアンモニアバンカリングの技術的及び商業的な実現可能性についての調査を実施し、アンモニアバンカリング船の予備設計を作成した。フェーズ 2 では、商業的な実現可能性をさらに検証し、サプライチェーン全体の契約条件を整備し、シンガポールでのアンモニアバンカリングの運営を確立することを目指している。さらにフェーズ 2 では、コンソーシアムがシンガポールでのアンモニアバンカリングの標準を確

[13] シンガポール、ワシントン DC、ブラッセル、北京、デリーに事務所を持つ。
[14] Singapore ammonia bunkering feasibility study の略

立し、仮のバンカリング許可証とアンモニア燃料船に対する AiP を取得することを目指している。

2022年4月にはフェーズ1の実現可能性調査の結果が発表され、2022年5月にKeppel Offshore & Marine（Keppel O&M）が設計したアンモニアバンカリング船が、ABS の AiP を取得した。フェーズ 2 に関連して、フィンランドの船舶設計会社 Foreship が設計した、香港のコンテナ海運会社 Seaspan の 15,000TEU のコンテナ船が ABS の AiP を取得した。この船は、SABRE プロジェクトのアンモニアバンカリング船からアンモニア燃料の供給を受ける実証実験の船舶の候補となる。

MPA はこの SABRE プロジェクトに 2022 年 4 月に参画した。SABRE プロジェクトのメンバーは、2024 年 11 月現在、ABS、A.P. Moller - Maersk、Fleet Management Limited、Seatrium（元 Keppel Offshore & Marine）、MMMCZCS 及び住友商事、川崎汽船となっている。

④　Eastern Pacific Shipping（EPS）主導のアンモニア燃料船プロジェクト

MPA はシンガポールの海運会社 EPS が主導するアンモニア燃料船プロジェクトにも参画している。プロジェクトでは、現代重工業、MAN Energy Solutions、ABS、LR、さらに中国の青島北海船舶重工（Qingdao Beihai Shipbuilding Heavy Industry）、江南造船所（Jiangnan Shipyard）と協力する。EPS が中国で建造するアンモニア燃料の 4 隻のニューキャッスルマックス・バルクキャリアと 2 隻のアンモニア運搬船の計 6 隻がシンガポール籍船として登録される。本プロジェクトについては、1.3.2 章（1）を参照。

（7）次世代燃料トレーニング

2024 年 4 月、シンガポールは、メタノールやアンモニアなどのクリーンな燃料の使用について、国際的な海事人材を育成するための海事エネルギー訓練施設（METF）を設立することを発表した。METF の設立には、国際機関、船級協会、企業、高等教育機関を含む 22 の業界パートナーが協力することで合意している。METF は新たに設備を建設するのではなく、既存の研修施設や既に計画中の施設を活用することになっている。Singapore Polytechnic（SP）のシンガポール海事アカデミー（Singapore Maritime Academy : SMA[15]）、船員やマリンエンジニア向けのフルタイムプログラムや短期プログラムを実施している Wavelink Maritime Institute、Singapore Polytechnic と SMI が共同で 2018 年に設立した研究及び人材育成機関である海上安全研究所（Centre of Excellence in Maritime Safety : CEMA）等の施設を利用することになる。船主や船舶運航会社は、これらの施設を利用することで、人材育成費用を削減できる。2030 年代までに、船舶のエンジニアや港湾労働者など、約 1 万人の海事関係者が研修を受ける見通しである。米国企業でアンモニア発電システム技術を開発したスタートアップ企業の Amogy[16]も、METF における代替燃料船のオペレーションの人材育成に協力することで、

[15] SP には建築、ケミカル＆ライフサイエンス、電気電子エンジニアリング、数学＆科学等、10 学部がある。SMA はその 1 つで、SP の海事学部という位置づけになる。
[16] 1.2.1 章最後の参考コラム参照

意向表明書（Letter of Intent：LoI）に署名した。METF ではメタノールとアンモニアの 2 つの燃料を取り扱うが、将来的には水素も追加される可能性がある。

2024 年 3 月、METF とは別に、舶用エンジンメーカーの MAN Energy Solutions が 2,000 万ユーロで、サービス施設と研修アカデミー「MAN PrimeServ Training Academy」をシンガポールに設立した。研修アカデミーも MAN が開発する代替燃料エンジンのオペレーションの人材育成機関として機能する。MAN PrimeServ は、物流センターとしてアジアの倉庫、MAN Energy Solutions の代替燃料エンジンを含む製品のメンテナンスと修理サービスセンターの機能も果たす。

Full Mission Ship Simulator	Mini Bridge Simulator

図 2　Wavelink Maritime Institute の設備

出典：Wavelink Maritime Institute ウェブサイト[17]

Singapore Polytechnic には 2021 年に Kongsberg の高度航行リサーチシミュレーター（Advanced Navigation Research Simulator：ANRS）が設置された

図 3　Singapore Polytechnic の ANRS

出典：Singapore Polyechnic ウェブサイト[18]

また、メタノールの取り扱いに関する研修は、Singapore Polytechnic（SP）の SMA で開始している。メタノール研修で扱うトピックは次のとおり。

[17] https://wavelinklms.com.sg/facilities/simulators
[18] https://www.sp.edu.sg/industry/news/Detail/commissioning-of-advanced-navigation-research-simulator-（anrs）-in-may-2021

SMA のメタノール研修内容（基礎コース）

- メタノールを燃料として使用する場合の MSDS（化学物質安全データシート）の解釈、潜在的な危険、適切な取り扱い手順、及び必要な予防措置。
- メタノール燃料の漏洩、静電気放電、互換性、火災、健康影響（毒性）及び環境への影響に関連するリスクと危険性の評価。
- メタノールガス濃度を測定するための化学ガス検出器の原理と、有害な揮発性有機化合物や有害な汚染物質が大気中に放出されないようにするための蒸気回収手順の説明。
- 緊急時または異常時の船舶及び乗員の安全を確保するための制御されたシャットダウンシステム（緊急シャットダウン）及び船上海洋汚染・緊急対応計画の説明。
- 実践的な自給式呼吸器訓練、及びメタノールの飛散に対する個人防護具の正しい使用方法。これには、フェイスシールド、ポリビニリデン・クロライド製手袋、化学防護エプロンまたはスプラッシュスーツが含まれる。
- アルコール耐性フォーム消火器（乾式化学粉末、二酸化炭素を用いたメタノール火災消火）及び火災を検出するための赤外線カメラの機能と操作についての適切な取り扱いと配備手順の実践的なセッション[19]。

SMA のメタノール研修内容（上級コース）

基礎コースと同じ 6 科目に加えて次の 2 科目が加わる。

- メタノールを燃料として燃焼させた際の CO2 排出量に基づく EEOI（エネルギー効率運航指標）の測定方法、一般配置図、配管及び機器の概略図、ならびにメタノールタンク及び燃料配管システムに関連するリスク。
- メタノール流出による環境への影響、ガスプルームの動態及び関連するリスクの評価、メタノール流出に関連するリスクを正確に評価するための科学的モデル、シミュレーションツール、及びデータ分析手法[20]

基礎コースは 1 日 10 時間のコースで対象は船員、上級コースは 2 日間 16 時間コースで対象は船長、監督、陸上職で海技免状（Certificate of Competency）所持者である。講習では、SP が MPA の補助金で開発したバーチャルリアリティー（VR）を用いたソフトウェアを使用し、防護服や必要な機材の選択、バンカーホースの取り付けや取り外しを「体験」する。VR による座学の他に、消火についての講習も実施されるが、メタノールの炎は太陽光のある場所では透明になるので、温度センサーでの感知や耐アルコール消火器を使った消火作業などを行う。国際的に認定されたメタノール舶用燃料の研修は、2024 年 12 月現在存在しないが、シンガポール海域でメタノールのバンカリングを実施する際には、SP の研修を受けることを MPA が義務付けている。SP ではアンモニア舶用燃料取り扱いの研修も開発中である。

[19] https://www.sp.edu.sg/pace/courses/all-courses/course-details/basic-training-for-handling-of-methanol-as-fuel-for-maritime-personnel

[20] https://www.sp.edu.sg/pace/courses/all-courses/course-details/advanced-training-for-handling-of-methanol-as-fuel-for-maritime-personnel

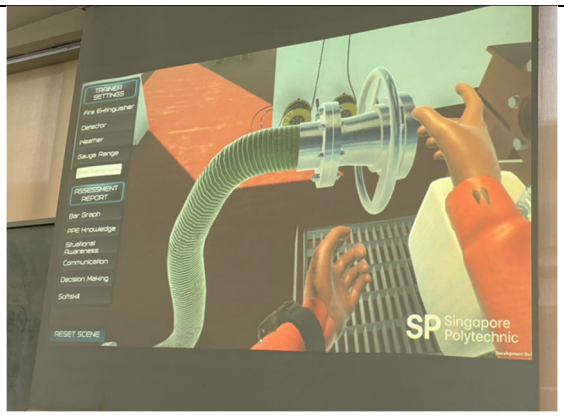


図 4　SP における VR を使った研修の様子

出典：2024 年 12 月 SP 訪問時に撮影

さらに、2024 年 8 月に、MPA は国連機関の Global Compact Network Singapore（GCNS[21]）と提携して、海運業界のカーボンアカウンティング（炭素会計）や経営管理の強化のための研修を強化するための覚書に調印したと発表した。MPA と GCNS は、持続可能性報告に関する研修を海運企業に提供することを含む覚書を 2017 年に締結している。また 2021 年には、両者にシンガポール海運協会（Singapore Shipping Association: SSA）が加わり、研修と認定システムを通じて炭素会計を支援することとなった。この取り組みを通じて、過去 3 年間に 15 社が脱炭素化計画と炭素会計について評価され、「Maritime Singapore LowCarbon50 Award」を受賞した。今回の覚書の下、MPA と GCNS は Association of Regional Ferry Operators や、シンガポール海事・オフショアエネルギー産業協会（Association of Singapore Marine and Offshore Energy Industries：ASMI）、Singapore Association of Ship Suppliers and Services（SASS）、SSA などと協力し、二酸化炭素排出量を測定・監視する二酸化炭素排出量記録ツール（CERT）の取り扱いに関する研修を企業に提供することとなった。また両者は、低炭素・ゼロエミッション技術や船舶設計の導入コストの削減を図るために海運企業が利用できるグリーンファイナンスや資金調達スキームに関する情報共有など、海運企業の炭素会計・管理ニーズを満たすための研修も提供する。

参考：Amogy について

Amogy はマサチューセッツ工科大学の卒業生 4 人が設立した輸送業界脱炭素化の技術開発会社で、船内にアンモニア貯蔵施設を搭載し、アンモニアから水素を生産、水素を必要に応じて生成し、燃料電池などにして船の動力に使用する技術を開発している。2023 年 3 月に資金調達を実施。シンガポール政府の投資会社 Temasek の他、サウジアラビアの Aramco Venture や、韓国の SK Innovation、Korea Zinc の他日本からも

[21] GCNS は、国連グローバル・コンパクトのシンガポール支部。国連グローバル・コンパクトは、1999 年に Kofi Annan 国連事務総長（当時）がダボス会議で提唱し、2000 年に発足した。国連と民間（企業・団体）が協力して健全なグローバル社会を築くための世界最大のサステナビリティイニシアチブであり、2021 年までに世界約 160 カ国、1 万 7,500 を超える企業・団体が署名している。

商船三井グループの MOL Plus、ヤンマーのベンチャー投資部門、三菱商事が投資している。また、三菱重工が、アンモニア分解水素の船舶利用に関する実現可能性調査を Amogy と共同で実施しており、2024 年 6 月に調査を終了している。また、三菱商事も 2023 年 12 月、Amogy、韓国の SK Innovation とともに、東アジア、特に日本・韓国において、Amogy が持つアンモニア分解技術を活用した大規模水素輸送事業に関する協業可能性を検討するための共同調査をすると発表した。

1.2.2　次世代燃料のバンカリングに関する状況

（1）LNG

舶用燃料としての LNG の利用は、MPA と EMA が中心となり、2010 年から検討が進められた。当初は LNG バンカリングを軌道に乗せるため、MPA は LNG バンカリング船や、LNG を燃料とするタグボートの建造に助成金を拠出していた。具体的には 2016 年と 2017 年に MPA は次の施策を発表している。

1) MPA と SLNG[22]は、共同で LNG 燃料供給用の暫定的トラック燃料供給施設を開発。MPA がこの施設に 200 万 S ドルを拠出する。
2) シンガポールで基準認証制度を担う政府機関である規格・生産性・革新庁（SPRING Singapore）とともに、燃料供給基準向け技術参考資料（TR）を作成する。
3) LNG を燃料とする船舶の建造の補助に 1,200 万 S ドルを投じる。1 隻当たり最大 200 万 S ドルを助成する。
4) 新たに登録する LNG 燃料使用のハーバークラフトの港湾料を 5 年間無料とする。
5) LNG 燃料のハーバークラフトを利用する船舶の港湾使用料を 10%割り引く。
6) シンガポール港の LNG バンカリング事業に対し、追加で 1,200 万 S ドルを助成する。1,200 万 S ドルのうち、半分をシンガポール港で船舶間 LNG 燃料供給を行うためのバンカリング船の整備に充てる。1 隻当たりの助成金は 300 万 S ドル。LNG バンカリング船はシンガポール船籍とし、バンカリング事業に 5 年以上従事することなどが助成受給の資格要件となる。残りの半分で LNG を燃料とする船の建造資金を助成する[23]。

2）の TR については、2017 年 4 月に MPA が、「LNG バンカリング」に関する包括的な技術的枠組みを定めた基準「TR56」を発表している。2019 年 11 月には、2020 年 1 月からの燃料の硫黄分濃度規制に対応するため、TR56 を改訂した新たな LNG 燃料供給の基準 SS648「バンカー質量流量計作業基準」を策定した。

3）については、2020 年までに少なくとも次の 5 隻の船が MPA の補助を受けて建造された。

[22] 2009 年 6 月に設立されたターミナルを所有し監督する政府系企業。1.2.1 章参照。
[23] LNG を燃料とする船舶の建造の補助金は、最初の 1,200 万 S ドル（項目 3）と、項目 6）の 1,200 万 S ドルの半分で 1,800 万 S ドルとなる。1 隻当たり 200 万ドルで 9 隻の建造が可能だが、表 6 の 5 隻以外は公開データからは把握できなかった

表 6　MPA の補助を受けて建造された LNG 燃料船の例

船名	船主	造船所	設計	GT	建造年
KST Liberty	Keppel Smit Towage*	Keppel Singmarine	Keppel	497	2019
Maju Loyalty	Maju Maritime**	Keppel Singmarine	Keppel	497	2019
Marine Vicky	Sinanju Tankers***	Keppel Nantong Shipyard	SeaTech	5,310	2020
PSA Aspen	PSA Marine	Pax Ocean Shipyard Zhuhai	Robert Allan	448	2019
PSA Oak	PSA Marine	Pax Ocean Shipyard Zhuhai	Robert Allan	491	2019

注：* 2022 年に Rimorchiatori Medeterranei SpA（RMED）に買収され、KST Maritime に名称変更。
**社名は変更していないが、2022 年に RMED に買収されている。
***2020 年にスイスのバンカーサプライヤーVitol が買収し、社名は V-Bunkers Tankers に変更。

出典：IHS Maritime、各社ウェブサイト、報道などより作成

4）については、2022 年の MPA PMC No 10 of 2022 により、LNG を含む低炭素燃料を用いる船舶の寄港については 2024 年 12 月末まで港湾料を減免、低炭素燃料を用いるハーバークラフトについては登録から 5 年間、港湾料の免除が定められていたが、1.1.2 章（1）で述べたとおり、2024 年 12 月 31 日の Port Marine Circular No. 15 of 2024 により、代替燃料を使用するハーバークラフトに対する新たなインセンティブが発表され、2025 年 1 月 1 日から適用されている。5）については新たな措置は 2025 年 1 月 18 日現在発表されていないが、MPA の港湾料減免措置に関するウェブサイト[24]には記載がないため、廃止されたものと考えられる。

6）については、2017 年に LNG バンカリングのライセンスを取得した Pavilion Energy と、Keppel O&G と Shell の合弁会社である FueLNG に、LNG バンカリング船を建造する資金の一部として、それぞれ 300 万 S ドルを助成すると発表した。この助成金を使って、FueLNG は Keppel Nantong Shipyard から LNG バンカリング船「Bellina」を調達し、Pavillion Energy は、SembCorp Marine から LNG バンカリング船「Brassavola」を調達した[25]。なお、Pavilion Energy は、シンガポール政府系投資会社 Temasek Holdings 傘下の企業だが、2024 年、英エネルギー大手 Shell が買収することが決まった。2025 年に買収が完了する見込みである。

2020 年には、さらに最大 2 社にライセンスを認可するための提案を募集し、その結果、フランスの大手エネルギー会社 Total の子会社の TotalEnergies Marine Fuels がライセンスを取得した。したがって 2024 年 12 月現在、LNG バンカリングライセンスを所有するのは、Pavillion Energy、FueLNG、TotalEnergies Marine Fuels の 3 社となっている。TotalEnergies Marine Fuels は 2018 年に Pavilion Energy と、LNG バンカリング船の共同使用と、LNG の供給協力について合意している。また、2023 年 4 月には FueLNG の 2 隻目の LNG バンカリング船「Venosa」が建造された。同船は現代尾浦造船が建造し、船主は Korea Line LNG Co., Ltd で、FueLNG が用船している。従って 2024 年 10 月現在、シンガポールには LNG バンカリング船が 3 隻運航しているが、LNG

[24] https://www.mpa.gov.sg/finance-e-services/tariff-fees-and-charges/ocean-going-vessels/port-dues-concessions
[25] 船主は商船三井のシンガポール子会社で、Pavilion Energy は用船している

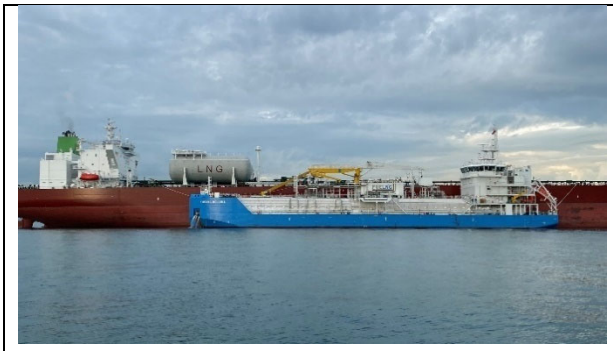
バンカリングの需要の上昇に伴い、さらに 1 隻あるいは 2 隻の LNG バンカーバージが必要になると予測されている。

表 7　シンガポールの LNG バンカリング船

船名	ｵﾍﾟﾚｰﾀｰ	船主	造船所	設計	GT	建造年
Bellina	FueLNG	FueLNG	Keppel Nantong Shipyard	Keppel Marine and Deepwater Technology	8,391	2021
Brassavola	Pavilion Energy	商船三井（Indah Singa Maritime Pte Ltd*）	SembCorp Marine	LMG Marin**	12,123	2023
Verosa	FueLNG	Korea Line LNG	現代尾浦造船	不明	18,723	2023

注：*Indah Singa Maritime は商船三井のシンガポール子会社
**LMG Marin は SembCorp Marine のノルウェー子会社

出典：IHS Maritime Database、報道、各社ウェブサイト等より作成



FueLNG の LNG バンカリング船「Bellina」

Pavillion Energy の LNG バンカリング船「Brassavola」

図 5　LNG バンカリング船「Bellina」と「Brassavola」

出典：FueLNG ウェブサイト[26]、商船三井ウェブサイト[27]

船舶への LNG 燃料供給については、Pavilion Energy も FueLNG もトラックを使ったバンカリングを先行して行っていたが、2021 年 3 月、FueLNG の LNG バンカリング船「Bellina」から CMA CGM のコンテナ船に 7,100m^3 の LNG が供給された。これはアジア初の船舶間 LNG バンカリングである。その後、同社の船舶間 LNG バンカリングは順調に増え、2023 年 10 月には 100 回目の船舶間 LNG バンカリングを実施したと発表した。Pavilion Energy が運航する「Brassavola」の最初のバンカリングは 2024 年 2 月で、1,970 トンの LNG を Rio Tinto が用船した二元燃料ばら積み船「Mount Api」に供給した。Pavilion Energy は海外でも LNG バンカリングを実施しており、2023 年 8 月、中国で初めて、LNG 燃料の大型原油タンカー（VLCC）への船舶間 LNG バンカリングを実施

[26] https://www.fuelng.com.sg/fuelng-completes-singapores-first-ship-to-ship-bunkering-of-an-lng-fuelled-oil-tanker/
[27] https://www.mol.co.jp/en/pr/2024/24025.html

した。これは、同社が海外で LNG バンカリングを提供する初の試みであり、中国海洋石油集団（CNOOC）が所有する LNG バンカリング船「Hai Yang Shi You 301」を使って実施された。Pavilion Energy は 2022 年 11 月にフィンランドの国有エネルギー会社 GASUM、中国の CNOOC と LNG バンカー供給ネットワークの強化のための連携で合意している。

LNG 舶用燃料の販売量は、2021 年の 4 万 9,200 トンから、LNG 価格の上昇もあり 2022 年には 1 万 6,300 トンまで減少したが、2023 年は 11 万 900 トンと大幅に増加した。2024 年 1～9 月の販売量は 32 万 7,300 トンで、前年同期の 7 万 8,400 トンの 4 倍になった。

また、化石燃料由来の LNG ではなく、バイオ LNG の実証実験も行われている（次の（2）バイオ燃料の項参照）。

LNG 舶用燃料の需要が増加する中、その供給体制を強化するため、MPA は 2024 年 12 月 12 日、シンガポール港内での LNG の海上再積載と舶用燃料の E バイオメタン（再生可能な原料でつくられたメタン）供給事業に関し、提案募集を開始すると発表した。「LNG 輸送船からバンカリング船への LNG の積み替えを含む海上での LNG 供給規模の拡大」「液化バイオメタンなど LNG 代替燃料の供給」「バンカリングの安全性と効率性を向上させるための浮体プラットフォームの新しい概念」の 3 件について提案を募集する。応募企業は、3 件全てに提案する必要はなく、1 件でも 2 件でもよい。提案募集の締め切りは 2025 年 2 月 28 日となっている。

（2）バイオ燃料

バイオ燃料については、1.2.1 章（5）で述べたとおり、2022 年、GCMD が 18 企業と協力して舶用バイオ燃料供給の実証実験を開始した。GCMD の実証実験以外にも、バイオ燃料は幅広く供給されている。当初の実証実験では、従来のバンカータンカーで輸送できる B24 舶用燃料（バイオ燃料の混合率 24%の舶用燃料）が使われていた。2021 年以来、日本郵船、川崎汽船、Oldendorff Carriers、CMA CGM、COSCO、ONE などの大手国際海運会社が、国際航海船舶の燃料に B24 を使用する実験を行った。2024 年には、TotalEnergies Marine Fuels とデンマークの Norden が 100%バイオ燃料の B100 を用いた実証実験をシンガポールで実施した。バイオ燃料の混合量が 25%以上の場合は、IMO／IBC コードタイプ II のケミカルタンカーを使う必要がある。

また 2024 年 4 月 15 日、シンガポールとロッテルダムの港湾当局は、両港間のグリーン&デジタル海運回廊のパートナー企業が、2024 年から 2025 年にかけて、バイオ LNG バンカリングの試験を実施するとの共同声明を発表した。SEA-LNG[28]が主導するグリーン&デジタル海運回廊のバイオメタン作業部会がバイオ LNG バンカリング試験を実施する。

また 2024 年 5 月、日本郵船と GCMD は、6 カ月のバイオ燃料プロジェクトを実施すると発表した。日本郵船所有の自動車専用船を使って、バイオ燃料が船舶のエンジン性能などに与える影響を調査する。「プロジェクト LOTUS」と名付けられたこの調査では、

[28] 2016 年に設立されたロンドンに本部を置く団体で、海運会社、港湾、LNG サプライヤー、バンカーサプライヤー、インフラ供給会社、船級協会、銀行、ブローカー等が会員となり、舶用燃料としての LNG を促進する。https://sea-lng.org/

バイオ燃料の安全利用に関するガイドラインの策定を目指している。同燃料使用時の追加メンテナンスにかかる総費用の算定や、同燃料の継続使用による潜在的な課題の特定と緩和策の提言もまとめる。使用済み食用油などを加工して作るバイオ燃料と低硫黄重油の混合燃料を利用する。2024 年 7 月には三菱化工機が、2024 年 10 月にはダイハツディーゼルがプロジェクト LOTUS に参加した。

さらに 2024 年 10 月には、中国船級協会（CCS）、中国のエンジンメーカーWeichai のシンガポール法人、NTU の MESD、アルミニウム船舶建造所で Weichai のディストリビューターでもある Pinnacle Marine が、B100 バイオ燃料の実証実験を 1,000 時間実施することで合意した。

過去 2 年間（2022 年 11 月～2024 年 10 月）に実施されたバイオ燃料バンカリングの例は表 8 のとおり。

表 8　バイオ燃料バンカリングの例

2022 年 11 月	Aqiarois LNG Shipping（商船三井グループ会社）	商船三井は 15 日、香港のグループ会社 AQUARIUS LNG SHIPPING LIMITED が保有する LNG 輸送船「Papua」が、バイオ燃料を使った航行試験を実施したと発表。「Papua」は、パプアニューギニアでの米石油大手エクソンモービルの LNG 事業に長期用船契約で派遣中。シンガポール港で ExxonMobil からバイオ燃料約 1,500 トンの供給を受けた。
2022 年 12 月	Ocean Network Express（ONE）	ONE は 2023 年 2 月 21 日、4 回目の船舶用バイオ燃料航行試験に成功したと発表。この試験は、GCMD の実証実験の一環。2022 年 12 月 21 日、シンガポール港で商船三井所有の貨物船に 992 トンの B24 バイオ燃料が供給。同船は 2023 年 1 月 7 日にバイオ燃料での航行を開始。神戸港を出て、台湾・基隆、香港に寄港の後、東南アジアに向かった。その後マレーシア・クラン港から日本に向かう 26 日までバイオ燃料で航行。ONE によるバイオ燃料の実証実験の 1 回目は、2021 年 2 月 10 日に実施。
2022 年 12 月	飯野海運、BP	飯野海運は 2023 年 3 月 1 日、運航するケミカルタンカー「Chemroad Echo」でバイオ燃料の実証実験を実施したと発表。2022 年 12 月 18 日、シンガポールで BP 社が B24 バイオ燃料を供給し、中東からアジアに向けて出航。
2023 年 1 月	TotalMarine Fuels, Hapag Lloyd	TotalEnergies Marine Fuels、Hapag Lloyd とジュロン港は、バイオ燃料供給の実証試験で合意。その一環として 2023 年 1 月、TotalEnergies Marine Fuels は Hapag Lloyd に B24 バイオ燃料 2,000 トンを供給した。
2023 年 3 月	日本郵船、アストモスエネルギー	日本郵船は、アストモスエネルギーと共同で LPG 船「Lycaste Peace」に B24 バイオ燃料実証実験を実施したと発表。
2023 年 4 月	Evergreen Lines, ExxonMObil	2023 年 4 月、Evergreen Line のコンテナ船「Ever Ulysses」が、ExxonMobil のバイオ燃料の供給を受けた。
2023 年 4 月	Golden Island Diesel Oil Trading	シンガポールのバンカーサプライヤー、Golden Island Diesel Oil Trading は、自社のバンカリング船「Double Happiness」に B30 バイオ燃料を供給し、試験運航を行うと発表。同社は、他の自社船にも B30 を供給して問題がないか検証。
2023 年 4 月	Pacific International	PIL と PSA はバイオ燃料実証実験を行うことで合意。実証実験では、バイオ燃料による船の運航の GHG 排出削減だけでなく、コンテナがエンドユーザーに届くまでのすべてのオペレーション（PSA

	Lines（PIL）	のターミナルにおける排出削減、コンテナの鉄道輸送部分の排出削減）も併せて検証した。実証実験は 2024 年 4 月に完了。
2023 年 10 月	Equatorial Marine Fuel, OOCL	2023 年 10 月、Equatoria Marine は、Orient Overseas Container Line（OOCL）のコンテナ船に B24 バイオ燃料を供給。.
2023 年 11 月	Oldendorff, Vale	ブラジルの鉱山大手 Vale は、海運会社 Oldendorff と協力して、鉄鋼輸送では初めてのバイオ燃料実証実験を実施。B24 バイオ燃料がバルクキャリア「Hinrich Oldendorff」に供給され、ブラジルからアジアへの航路で使用。
2023 年 11 月	Kenoil Marine Services	シンガポールのバンカーサプライヤーKenoil Marine Services は、B24 バイオ燃料 200 トンをジュロン港において、バンカリング船「Kosmos Lily」に積み込んだ。
2023 年 11 月	KPI Ocean Connect	シンガポールのバンカーサプライヤー、KPI OceanConnect は 2023 年 11 月、B24 バイオ燃料を Orient Overseas Container Line（OOCL）に供給。
2024 年 3 月	V Bunkers	オランダのエネルギー及び穀物商社 Vitol のシンガポール子会社 V Bunkers が、1,100 トンの VLSFO B30 バイオ燃料を 2024 年 3 月 14 日、現代グロービス所有の「Grand Hero」に供給。バンカリングを行ったのは、浙江神舟日光重工業（Zhejiang Shenzhou Sunshine HI）が建造した IMO／IBC コードタイプ II のケミカルタンカー「Marine Future」。
2024 年 5 月	日本郵船	2024 年 5 月、日本郵船が、VLCC でのバイオ燃料の試験運航を実施。実証実験期間は 3 カ月。日本郵船はこれまでにバルクキャリア、自動車運搬船、LPG 船でのバイオ燃料の利用実験をしてきたが、VLCC にバイオ燃料を使うのはこれが初めて。実証実験に使われた VLCC は、IHI 呉造船所が 2008 年に建造した 159,927GT のタンカー。
2024 年 6 月	Global Energy	2024 年 6 月 11 日、Global Energy のタンカー「MT MAPLE」が、290 トンの B100 バイオ燃料を海運会社 Norden 所有のバルクキャリア「NORD TAURUS」に供給。バンカー供給オペレーションは、当該船舶を運航する Stellar Shipmanagement Pte Ltd が実施した。
2024 年 7 月	Monjasa	国際的なバンカーサプライヤーMonjasa は、シンガポールで初めてのバイオ燃料供給を実施。2024 年 7 月に、2,000 トンの B24 バイオ燃料を同社が運航するバンカーバージでコンテナ船に供給。
2024 年 8 月	Global Energy	2024 年 8 月、TotalEnergies Marine Fuels が、Global Energy のバンカリング船「MT MAPLE」を使って、現代 Glovis が所有する自動車運搬船「Glovis Cosmos」に B100 バイオ燃料を供給した。

出典：報道、各社ウェブサイト等から作成

前述のように、バイオ燃料を 25%以上含有する舶用燃料は、化学品とみなされ、IMO／IBC コードタイプ II のケミカルタンカーを利用する必要がある。シンガポールのバンカーサプライヤーConsort Bunkers やオランダの石油取引会社 Vitol のシンガポール子会社 V-Bunkers などが、IMO タイプ II ケミカルタンカーを発注している。シンガポールのバンカーサプライヤーによるメタノールの例を次章（3）メタノールの表 9 にまとめたが、これらのタンカーは IMO タイプ II ケミカルタンカーをメタノールにも対応できるように処置しており、B25 以上のバイオ燃料にも対応可能である。

バイオ燃料の販売量は、2021 年の 2,000 トンから 2021 年には 14 万 200 トン、2023 年には 52 万 3,800 トンと前年比 3.7 倍となり、2024 年は 1～9 月までで 51 万 5,300 トンに達した。

また、第二世代のバイオ燃料[29]を開発・商業化する動きもある。Kuok Maritime グループ（KMG）が主導する CSA[30]のメンバーで、グリーンエネルギーソリューション企業 Ken Energy は、バイオ廃棄物からバイオ燃料を生成するシンガポールのスタートアップ企業の GreenCOP と提携して、バイオブタノールを生産する計画である。バイオブタノールのプロトタイプ工場の建設費用をエンジェル投資により 50 万 S ドル調達して、マレーシアのジョホール州に月産 4 万トン規模のパイロット工場を設立し、2024 年 5 月に最初の出荷を行った。Green COP の Hanson Lee CEO によると、バイオブタノールはエタノールやメタノールに比べて吸湿性が低く、保存期間が長いため、ドロップイン型の海上燃料としてより適している[31]。Ken Energy のパートナーでバンカーサプライヤーの Kenoil Marine は、バイオブタノール混合物を自社の船舶で実証実験を行う予定である。Green COP と Ken Energy は、東南アジアのいずれかの国で、B50 バイオ燃料混合物の商業生産を 2026 年に開始する計画である。

（3）メタノール

メタノールについては、化石燃料に代わる最も実現性の高い低炭素燃料と考えられるようになっており、大手海運会社によるメタノール燃料船の発注が増加している。シンガポールでは、2023 年 7 月に世界初の船舶間のメタノールバンカリングの実証実験が実施された。1.2.1 章（3）で記載したとおり、MPA は、2025 年からメタノールバンカリングを開始する計画で、その準備のための提案募集も開始した。

シンガポールでは 2024 年 10 月までに 3 回のメタノールバンカリング実証実験が実施されている。シンガポールで実施されたメタノールのバンカリング実証実験は次のとおり。

① 2023 年 7 月、シンガポールのバンカーサプライヤーHong Lam Marine の船舶「MT Agility[32]」が、デンマークの海運大手 AP Moller-Maersk が所有するメタノール二元燃料コンテナ船に約 300 トンのグリーンバイオメタノールを供給。このメタノールバンカリングには、MPA、三井物産、ABS 等も協力した。バンカリングに先立ち、2022 年 10 月、三井物産の原油・石油製品トレーディング部門の Mitsui & Co. Energy Trading Singapore Pte. Ltd.（METS）、A.P. Moller - Maersk 傘下の Maersk Oil Trading（MOT）、ABS は、シンガポールにおけるメタノール燃料供給事業の詳細調査を共同で実施することに合意していた。2023 年 7 月のバンカリングオペレーションを受け、シンガポール化学産業評議会（Singapore Chemistry Industry Council：SCIC）の標準開発機関（Standards Development Organisation：SDO）[33]と MPA は、メタノール燃料供給の運用と安全要件に関する技術参考資料（TR）を作成する。MPA はまた、ライセンスやインフラ要件など、メタノール事業

[29] 食料と競合しない非食用のバイオマスを原料とするバイオ燃料
[30] 1.3.1 章（3）を参照
[31] https://www.spglobal.com/commodityinsights/pt/market-insights/latest-news/agriculture/050624-interview-singapores-kenoil-to-test-biobutanol-marine-fuel-with-its-engines-this-year
[32] 2007 年に中国の Yangzhou Kejin Shipyard が建造した 9,259GT のケミカルタンカー
[33] SCIC の SDO は、国の規格基準策定を担うシンガポール企業庁から化学品に関する規格の運営の委託を受けている

を構築するために必要な基盤を整備していく。

また、MPA は、初めてのメタノールバンカリングに先立ち、科学技術研究庁（A*STAR）及び A*STAR 傘下のハイパフォーマンスコンピューティング研究所（Institute of High Performance Computing : IHPC）、NUS、NUS に立地する熱帯海洋科学研究所（Tropical Marine Science Institute : TMSI）、シンガポールオフショア海事技術センター（Technology Centre for Offshore and Marine, Singapore ：TCOMS[34]）と共同で、事故等によりメタノールが流出した場合のメタノール汚染物質の分散経路を予測するためにリスク警告モデルを開発した。

② 2024 年 5 月 24 日、20%の ISCC 認証[35]バイオメタノールと従来のメタノールからなる混合メタノール約 1,340 トンが、バンカーサプライヤーGlobal Energy Trading の子会社 Stellar Shipmanagement Services が運航する IMO タイプ II ケミカルタンカー「MT Kara」を使用して、大手メタノール製造会社、Proman が運航する、4 万 9,900DWT IMO II MeMAX タンカー「Stena Prosperous」に供給された。「MT Kara」を建造したのは日本の佐々木造船で、同船は 2024 年 3 月に納入された。同船は、主機 2 基・プロペラ 2 軸の「2 基 2 軸」を採用している。

MPA の港湾オペレーションコントロールセンターに設置された緊急オペレーションセンターは、大気中へのメタノール漏出や、偶発的な漏出時のメタノール火炎を検知するための赤外線カメラや揮発性有機化合物検知器を搭載したドローンを使用し、作業を監督した。また、バンカリングに向けた訓練と安全対策の一環として、MT Kara の乗組員は SMA が実施する MPA 認定のメタノール燃料取扱研修コースを受講した。

③ 2024 年 5 月 29 日、Tuas 港において、初のコンテナ船の貨物積み下ろしとバイオメタノール船舶間燃料供給の同時作業を行った。コンテナ海運 X-Press Feeders のコンテナ船に、バンカーサプライヤーの Global Energy Trading の IMO タイプ II ケミカルバンカータンカー「MT Kara」からバイオメタノール燃料 300 トンを供給。同時にコンテナ船では貨物のコンテナ積み下ろし作業を行った。

また、SMA によるメタノール研修の他に、英国に本部を置く国際バンカー産業協会（International Bunker Industry Association : IBIA）とデンマークのメタノール・コンサルタント会社の Green Marine による、メタノール・バンカー研修プログラムも開始された。Methanol Institute[36]もプログラムの開発を支援する。Green Marine は、メタノール二元燃料船の設計、建造監督、技術管理、船舶の運航、メタノール二元燃料に携わる船員のトレーニングなどに従事し、2015 年から 2023 年の間に、16 隻のメタノール二

[34] A*STAR と NUS が共同で設立。NUS キャンパス内に立地
[35] バイオマスや再生品などの持続可能な原材料を使用して製品を製造する企業や団体を認証する国際的な認証制度。ISCC は International Sustainability & Carbon Certification の略。
[36] 1.2.1 章（6）①参照。

元燃料 MR タンカーの建造監督を行った。3 者（IBIA、Green Marine、Methanol Institute）は 2023 年 7 月に協力の覚書を締結し、シンガポールにおける第一回目のワークショップは 2024 年 3 月 20 日に開催された。

さらに、2023 年 6 月には TotalEnergies Marine Fuels と Green Marine のシンガポール子会社 Green Marine Bunkering が、シンガポールにおける新しい舶用燃料としてのメタノールに関する共同開発研究に関する覚書を締結した。両社はシンガポールで実行可能なメタノールバンカリング・サプライチェーンの実現可能性を調査することになっている。

メタノールに対応できるバンカリング船を発注するバンカーサプライヤーも増えている。シンガポールのバンカーサプライヤーのメタノール対応バンカリング船の発注例は表 9 のとおり。

表 9　メタノール対応バンカリング船発注例

会社名	発注時期	調達状況	造船所
Consort Bunkers	2023 年 4 月 2024 年 1 月 2024 年 7 月	6,500DWT x 6 隻 うち 2 隻は 2024 年 9 月、10 月に納入 6,500DWT x 2 隻 7,999DWT x 4 隻	招商局集団有限公司（China Merchants Group Limited）傘下の南京金陵船渠有限公司（Nanjing Jinling Shipyard Co., Ltd.） 中遠海運重工業（COSCO SHIPPING Heavy Industry Co., Ltd）（広東省）
Equatorial Marine Fuel	2022 年 8 月 2023 年 11 月 2024 年 4 月	7,999DWT x 2 7,999DWT 7,999DWT	浙江神舟日光重工業（Zhejiang Shenzhou Sunshine HI）
Fratelli Cosulich*	2022 年 9 月 2024 年 1 月 2024 年 2 月	7,957DWT 2024 年 5 月納入 8,000DWT** 7,990DWT	浙江神舟日光重工業（Zhejiang Shenzhou Sunshine HI） 泰州楓葉造船有限公司（Taizhou Maple Leaf Shipbuilding）**
Global Energy	2022 年 6 月 2022 年 12 月	4,097DWT 2023 年 12 月納入 4,075DWT 2024 年 3 月納入	佐々木造船
Golden Island Diesel Oil Trading	2023 年 9 月 2023 年 12 月	8,000DWT x 2 8,000DWT x 2	浙江神舟日光重工業（Zhejiang Shenzhou Sunshine HI）

*Fratelli Cosulich の本社はイタリアだが、シンガポールの子会社が船主となり、これらのバンカリング船の船籍もシンガポールとなる。

**Fratelli Cosulich が 2024 年 1 月に発注した船については、MAN Energy Solutions が 2023 年第 3 四半期に発売を開始した MAN L21/31 プラットフォームのメタノール二元燃料 4 ストローク発電機 3 基が搭載される。

出典：IHS Maritime 及び報道等より作成

Consort Bunkers 所有のバンカリング船
Pearl Loyal

佐々木造船所建造した Global Energy の
バンカリング船 KARA の進水式

図 6　メタノールバンカリング船の例

出典：Consort Bunkers ウェブサイト、Manifold Times 記事

なお、バイオ燃料のバンカリングを行う V Bunkers も、B100 のバンカリングが可能な IMO タイプ II ケミカルタンカー8 隻を 2021 年から 2023 年にかけて、浙江神舟日光重工業に発注しており、そのうち 3 隻は納入済である。これらのケミカルタンカーも、メタノールに対応できるよう改造することが可能である。

一方、メタノールのバンカリングを商業規模で実施するためには、燃料となるメタノールの供給が必要となる。2022 年 4 月に、海運大手の A.P. Moller - Maersk、タイ石油公社関連会社の石油開発生産会社 PTT Exploration and Production Public Company、フランスの産業ガス大手 Air Liquide、マレーシアのコングロマリット YTL 傘下のシンガポールの発電所 YTL PowerSeraya、ドイツ石油貯蔵大手のシンガポール法人 Oiltanking Asia Pacific、シンガポールの舶用燃料サプライヤーKenoil Marine Services の 6 社が協力して、シンガポールに東南アジア初のグリーンメタノールパイロットプラント設立の実現可能性調査を実施すると報じられたが、その後の進捗は報じられていない。

また日系企業では、2022 年 10 月に、三井物産が AP Moller Maersk 傘下の Maersk Oil Trading（MOT）、ABS、Mitsui & Co. Energy Trading Singapore Pte. Ltd.（三井物産 100%子会社）とともに、シンガポール港で船舶向けメタノール燃料バンカリング事業の共同検討を行うことに合意した。

（4）アンモニア

アンモニアのバンカリングについては、1.2.1 章（4）で記載したとおり、MPA と EMA がアンモニアを使った小型発電及びバンカリング施設の建設・所有・運営の提案を募集している他、GCMD がアンモニアバンカリングの安全性の調査を実施している。MPA は当初、アンモニアのバンカリング実証実験は、アンモニア燃料船が納入される 2026 年になるとしていたが、2024 年 3 月、オーストラリアの大手鉱山会社 Fortescue が世界で初めて、アンモニアを舶用燃料として使用する試験をシンガポールで実施したと発表した。この実証実験では、ジュロン島の Vopak Banyan ターミナルにある既存のアンモニア貯蔵設備から、シンガポール船籍の二元燃料船「FFI Green Pioneer」に液体アンモニアが供給された。同船はインドネシアのバタム島の PT Batamec が 2010 年に建造した 2,874 トンのオフショア支援船で、Fortescue がアンモニア対応に改造するために買収したものである。

Fortescue は、2022 年に 4 ストロークエンジンをアンモニア燃料対応に改造し、陸上でのエンジン試験を西オーストラリア州のパースで実施した。その成功を受け、シンガポールの Seatrium の造船所で、2023 年 7 月から、「FFI Green Pioneer」の 4 基のエンジンのうち 2 基をアンモニア対応へと改造し、ガス燃料供給システムの据え付けなどを行った。残りの 2 基のエンジンは、必要に応じて従来の重油で稼働する。MPA と Fortescue によると、7 週間にわたり、同船のアンモニア貯蔵システム、ガス燃料供給システム、改造エンジン、耐航性に関する試験が実施された。2023 年 12 月、同船はシンガポールから中東に向けて出航し、ドバイで開催された国連気候変動枠組条約（UNFCCC）第 28 回締約国会議（COP28）で披露された。

図 7　Fortescue の FFI Green Pioneer

出典：Fortescue ウェブサイト

一方、1.2.1 章（6）②で記載したように、MPA が 2021 年から参加する Castor Initiative では、創設メンバーである LR、サムスン重工業、MISC のシンガポール子会社 AET Tankers（AET）が、2 隻のアンモニア燃料 VLCC の建造に合意している。MISC はマレーシアの国営石油会社 Petronas の子会社だが、AET はシンガポールのタンカー会社で、アンモニア燃料の VLCC は AET が所有運航する。

2024 年 11 月現在、アンモニアバンカリングの実証実験は Fortescue による 1 件のみとなっているが、アンモニアバンカリング事業を見据えた提携や研究開発は実施されている。

その 1 つが、前述の「SABRE Consortium」で、同プロジェクトの下、Keppel O&M のアンモニアバンカリング船が 2022 年に ABS の AiP を取得した（1.2.1 章（6）③参照）。

また、シンガポールの船舶設計会社 SeaTech は、バンカーサプライヤーの Fratelli Cosulich、RINA と共同で、アンモニアバンカリング船を設計し、2023 年 5 月に RINA の AiP を取得した。

高等教育機関におけるアンモニアバンカリングの研究も実施されている。NTU の MESD は 2018 年より、環境に優しいエネルギー源として、アンモニアの可能性を研究しており、2022 年に、研究提携先の ABS 及び米国のアンモニア安全トレーニング研究所（Ammonia Safety & Training Institute : ASTI）とともに、アンモニア燃料供給に関する研究報告を完了させた。

研究では、バンカリング方式をトラックから船（truck-to-ship）、船から船（ship-to-ship）、陸上パイプラインから船（shore pipeline-to-ship）、cassette bunkering[37]の 4 つに分類した。また、液体アンモニア液を完全冷蔵、半冷蔵、非冷蔵の各条件で貯蔵し、輸送した。海運業界でアンモニアを導入するには、その毒性や、乗組員の経験・知識の欠如が障壁となる。しかしアンモニアは、肥料・冷媒・化学業界では、何十年にもわたって世界中で管理・輸送され、確立された手順や規制があり、幅広い知識もある。一方、アンモニア燃料供給の手順は、貨物としてのアンモニアの取り扱いと重なる点もある。貨物取扱との主な違いは、輸送されるアンモニアの量、タンクの種類と容量、運転モード、頻度などである。調査では、水幕、吸収スプレー、膜分離などは、他の業界でアンモニア漏れの可能性がある際に一般的に採用されている対策を見直したが、アンモニアバンカリング作業の要件を満たす手法として確立されていない。これに対処するため、バンカリングに際しての安全性の問題に対処する必要がある。MESD は、アンモニア燃料供給手順を改善し、偶発的なアンモニア放出による被害を最小限に抑える対策を研究する。水、土壌、大気中に放出されたアンモニアの影響についても、今後の研究で取り上げられる予定である。

さらに NTU は、海運会社でガス輸送を得意とする Eastern Pacific Shipping と、合同でアンモニアを燃料とする海上輸送の研究も行っている。

アンモニアバンカリング船の開発も行われている。2022 年 8 月、シンガポールのバンカリング船運航会社 Hong Lam Marine、船級協会 BV と造船会社 PaxOcean は、アンモニア燃料供給船の共同設計に関する覚書に調印した。Hong Lam Marine は運航データを提供し、商業運航に適した船舶設計を支援・検証する。BV は、アンモニア輸送・運航に関する専門知識と、舶用燃料としてのアンモニアに関する過去の技術調査をもとに、アンモニアの取り扱いに関する最新の規則への適合性を検証する。PaxOcean は、アンモニア燃料船とアンモニアバンカリング船の設計開発を行う。

また、メタノールと同様、グリーンアンモニア、ブルーアンモニアといった、生産工程で化石燃料を使用しないアンモニアも必要となる。SembCorp Marine が 2016 年に 50%出資したノルウェーの設計エンジニアリング会社 Aragon AS は、回収した二酸化炭素や、再生可能エネルギーからブルーアンモニア、グリーンアンモニアを生成する浮体式設備を開発中である。

[37] 持ち運び可能なタンクを用いたバンカリング

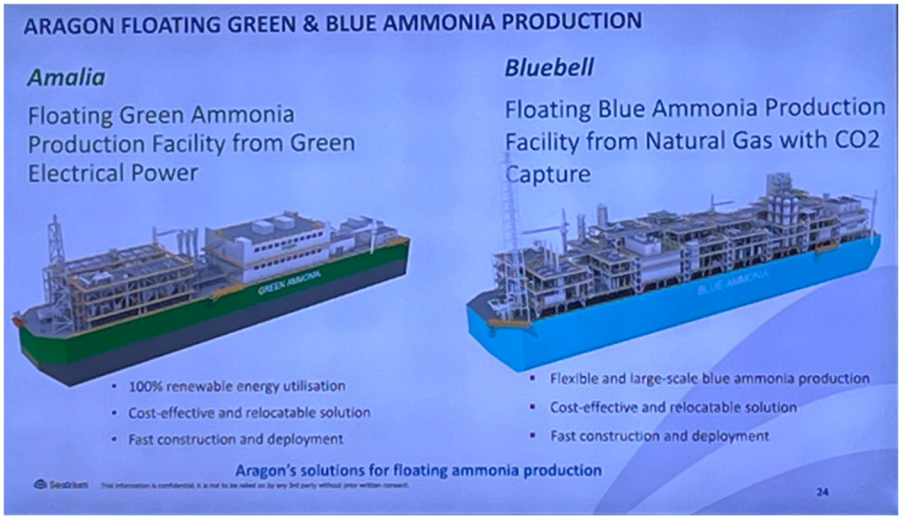


図 8　Aragon が開発中のグリーンアンモニア、ブルーアンモニア生産設備

出典：Offshore Energy Week 2024（2024 年 11 月シンガポール開催）における Seatrium のプレゼン資料より抜粋

（5）水素燃料電池・電動船

水素燃料電池や電動船においても、いくつか動きがある。

①　Ro-Ro 船向けの水素燃料電池システムの試験運航

シンガポール上場フェリー運航会社兼造船所の Penguin International、SembCorp Marine、Shell は、2021 年に水素燃料電池システムを使った Ro-Ro 船の開発、試験運航の実施で合意した。Sembcorp Marine が船舶を設計・建造し、Shell が水素燃料を供給し、試験船を用船、Penguin International が所有し運航する計画で、Ro-Ro 船「Penguin Tenacity」が建造された。その後、2022 年に海運向けの再生エネルギーを使った推進システムやバッテリーソリューションを供給する韓国の Vinssen 社が同船に水素燃料電池を設置する契約を Shell と締結し、2023 年 12 月に Vinssen の水素燃料電池がシンガポールに納入された。試験運航は 2024 年から 1 年間実施される。試験で収集したデータをもとに水素燃料電池システムの安定性や性能などを検証する予定である。

Vinssen の水素燃料電池システム

Penguin Tenacity

図 9　Vinssen の水素燃料電池システムと試験運航用 Ro-Ro 船 Penguin Tenacity

出典：Vinssen ウェブサイト

② 完全電動フェリー3 隻の本格稼働

2024 年 1 月 2 日、Penguin International は、完全電動フェリー3 隻、急速陸上充電器 3 基、充電設備を支えるジブクレーン 3 基から成る「Electric Dream」プロジェクトをシンガポールで本格稼働させた。3 隻は、それぞれ乗客定員 200 人で、Pasir Panjang フェリー・ターミナルと、Bukom 島の Shell Energy and Chemicals Park Singapore 間を、最大 21 ノットで運航する。通勤用フェリーとして活用され、3 隻で 1 日 3,000 人以上の乗客を輸送する。充電にはノルウェーの Zinus 社の自動充電システムを使用し、Zinus が陸上に 3 つの充電タワーと、船内に 1 隻当たり 2 つの充電プラグを設置した（1.3.1 章（5）参照）。

Penguin の完全電動フェリー

Zinus の充電タワー

図 10　完全自動フェリーと充電タワー

出典：Penguin International ウェブサイト、Zinus Press Release10 March 2022

③ バンカリング船の電動化

バンカリング船の電動化の動きもある。1.2.2 章（5）で紹介したように、V-Bunkers はバイオ燃料のバンカリングに取り組んでいるが、バンカリング船自体の脱炭素化の一環として、ハイブリッド電気推進バンカリング船を導入している。同社が中国で建造した 2 隻のハイブリッド電気推進バンカリング船のうち 1 隻「Marine Dynamo」を Chevron が用船し、シンガポールで Chevron の顧客に燃料供給の試験運航を開始している。同船の船主兼オペレーターは V-Bunkers となっている。Marine Dynamo の載貨重量トンは 8,750DWT で、シンガポールの SeaTech が設計し、中国の浙江神州陽光重工業が建造した。BV の船級認証を取得しており、カナダのエネルギー貯蔵システム開発企業 Shift Clean Energy が開発した 480kWh の蓄電システムを搭載する。従来、このサイズのバンカリング船は補助エンジン 3 基を搭載していたが、同船は補助エンジン 2 基と配電システムを搭載する。船内の電力消費が少ない時間帯には、管理システムがバッテリーを充電し、電力消費が多い時間帯には追加の電力を供給する。ピーク負荷時には、バッテリーシステムが負荷平準化を行い、エンジンを最適な性能で維持するために電力を補完する。

図 11　V Bunkers の「Marine Dynamo」

出典：IHS Maritime Database

④　電動ハーバークラフトの開発

1.1.2 章（3）②で紹介したハーバークラフト電動化研究開発の助成金を受けた 3 つのプロジェクトのうち、SeaTech が主導するコンソーシアム「Goal Zero」のプロジェクトについては、メンバーの Yinson GreenTech が、完全電動小型貨物船の商業試験運航を開始した。同社は完全電動のクルー輸送船（通船）も開発しており、これらの船舶は将来的な自律航行を視野に入れたセンサー（LIDAR）などが搭載されている。詳細は 1.3.2 章（9）を参照。

また 2024 年 11 月、Goal Zero のメンバー数社とノルウェーのスタートアップ企業との 2 件の提携が発表された。このうち 1 つは、Goal Zero メンバーの SeaTech 及び Lita Ocean が、ノルウェーの Pascal Technologies AS 及び Evoy AS による完全電動の高速ハーバークラフト開発に関する提携で、もう 1 つは、Yinson GreenTech と Evoy AS によるアジア全域の海事産業の電動化に取り組むための提携である。Pascal Technologies AS は 2020 年に設立され、水の抵抗を低減する AirHull という船体の開発や、船の摩擦抵抗を低減して性能を向上させることができる空気潤滑を使った船舶のコントロールシステムの開発等を行っている。Evoy AS は、120 馬力から 300 馬力までの電気船外機、120 馬力から 400 馬力の電気船内機を開発している。

1.2.3　民間・スタートアップの技術開発

電動船や水素燃料電池の分野では、シンガポールの民間企業やスタートアップ企業による技術開発、プロジェクトも進行している。その例を紹介する。

（1）Pyxis

2024 年 3 月 27 日、シンガポールのスタートアップ海運企業 Pyxis は、新造の完全電動作業艇「X Tron」を発表した。X Tron は全長 14.8 メートルで、定員数は乗客 12 人と乗組員 2 人。双胴船の船体が特徴で、安定性が高く、バッテリー駆動となる。航続距離は最大 50 海里。X Tron は電気自動車と同じ充電ポートを使い、150kW の高速充電器で満充電となるまで約 2 時間半かかる。

同社はX Tronの他に2つの製品を開発中である。「Pyxis R」は定員50人の電動リバーボートで、シンガポール川での観光ツアー用に設計されている。「Pyxis L」は、Pyxis Rの高級バージョンとなる。3モデルとも船体デザインは共通で、軽量・高強度のアルミニウム製となる。船体はシンガポール国外の造船所で建造され、最終的な艤装と試験運航はシンガポールで実施する。

PyxisはX Tronを含む合計13隻の船を受注しており、2026年までにすべての船の引き渡しを目指している。さらに、2030年までにアジア太平洋地域で電動船100隻以上を就航させることを目標としている。Pyxisによると、同社の電動船は同等のディーゼル船と比較して、1時間当たり最大120kgの二酸化炭素排出量を削減できる見込みである。

2024年4月8日、電動ハーバークラフト充電設備がMarine South Pierに開設された。この設備はPyxisの子会社Pyxis Energyが所有し、シンガポールの国有電力会社のSP Groupの子会社で、電気自動車用の充電設備構築と運営を行うSP Mobilityが運営する。Pyxis以外のユーザーにも開放されているが、主にX Tronの試験運航に利用される。

また、Pyxisは2023年8月、Sydrogen Energyとハーバークラフト向けの水素燃料電池ソリューションの開発で協力することで合意している。Sydrogen Energyは、水素燃料電池部品の製造業者で、シンガポールの上場のナノテクノロジーソリューションプロバイダーのNanofilm Technologiesの子会社である。

さらにPyxisは、2023年11月に商船三井と電動船舶の開発、及び日本とシンガポールでの電動船舶のマーケティングで協業することに合意している。

なお、Pyxisは2022年に、シンガポールの海事サービスプロバイダーであるEng Hup Shippingのディレクターで、海運業界で10年の経験を持つTommy Phun氏が設立した。

図12　Pyxis（2024年3月27日撮影）

（2）Sydrogen

2024 年 7 月、シンガポールの燃料電池部品システム企業 Sydrogen は、Shanghai Hydrogen Propulsion Technology Co., Ltd と共同で、海事産業向けの 250kW 燃料電池モジュールを開発した。このシステムでは、複数のソースの水素をカーボン排出なしでクリーンな電気に変換する。今後、船級協会の認可を取得し、2025 年の商用化を目指している。

（3）Durapower

2023 年 4 月、シンガポールの Durapower Group とオランダの EST-Floattech は、船舶向けのバッテリー「Octopus Series」を共同開発した。EST-Floattech は、舶用燃料貯蔵ソリューションの開発企業で、世界的な船舶向けバッテリーサプライヤー。Durapower はリチウムイオン電池の製造、研究開発、バッテリーシステムの統合などを行う。電気自動車、ハイブリッド自動車等に同社のバッテリーシステムが統合されている。

Octopus Series は高エネルギーでの高出力が可能で、新造船、改造船いずれも使用でき、完全電動船、ディーゼルハイブリッド船両方に搭載できる。高エネルギー電池システムは、夜間に充電する中型・大型の長距離電動船向けに設計されている。一方、高出力モジュールは充電・放電時間が短く、短距離航行の急速充電フェリーに適している。

Octopus Series は異なるバッテリータイプや電源構成に対応しており、さまざまな種類の船舶を所有する企業が単一のプラットフォームで簡単に使用できる。また遠隔監視、診断、サービスが可能なユーザーフレンドリーなインターフェースを備える。システムは、船舶のバッテリールームに設置することも、「コンテナ型ソリューション」として改造船や新造船のコンテナ内に設置することも可能となっている。

Durapower は、このシステムのアジアにおける独占販売代理店となっている。

（4）Sea Forrest / Gen Plus

シンガポールで海事向けエネルギー貯蔵ソリューション、ハイブリッドソリューション、電気推進システム等を開発する Sea Forrest と、エネルギー貯蔵システム・再生可能技術ソリューション開発会社の GenPlus は協同で、110kWh の舶用リチウムイオンバッテリーシステムを開発し、2024 年 2 月に RINA の認証を取得した。

1.3 造船所や船主の次世代燃料船に関する情報

1.3.1 造船所の次世代燃料船建造に関する情報

政府系大手造船所の Keppel Offshore & Marine、SembCorp の他、民間造船所も次世代燃料船や電動船の建造に取り組んでいるが、これまでシンガポールで建造されているのは、LNG 燃料船とハイブリッド船、電動船で、メタノールやアンモニア燃料の船舶はまだ建造されていない。ただし、Seatrium を中心に次世代燃料船の設計開発や、次世代燃料対応船への改造は実施されている。本章では、各社の実績をまとめた。なお、Keppel Offshore & Marine、SembCorp Marine は 2023 年に合併し現在は Seatrium となっているが、合併前のプロジェクトについては、旧社名で紹介する。

（1）Keppel Offshore & Marine（Keppel O&M）

1.2.2 章（1）で記載したとおり、LNG 燃料船については、2016 年に受注した LNG 燃料タグボートや、LNG バンカリング船を建造した実績があり、海外の船主向けにも LNG 燃料船を建造している。2022 年にはオランダの海運会社 Van Oord に 2 隻の LNG 燃料ドラグサクション浚渫船を引き渡した。また、Keppel O&M の米国子会社の Keppel AmFELS は、2022 年と 2023 年に米国の海運会社 Pasha Hawaii 向けに LNG 燃料コンテナ船を 2 隻建造した。

LNG 燃料のドラグサクション浚渫船以前には、合計 5 隻（3 隻は中国の Keppel Nantong Shipyard で建造、2 隻はシンガポールの Keppel Singmarine で建造）のディーゼル電気二元燃料ドラグサクション浚渫船をルクセンブルクの海洋エンジニアリング会社 Jan De Nul に引き渡している。

Keppe O&M は 2022 年に、1.2.1 章（6）③の SABRE プロジェクトの一環で、ABS からアンモニア燃料タンカーの設計の AiP を取得しているが、アンモニア燃料船の建造実績はない。しかし 2023 年、Seatrium となってからオーストラリアの鉱山大手 Fortescue Metal Groups（Fortescue）所有の「FFI Green Pioneer」をグリーンアンモニア燃料対応船へ改造した。改造は、Seatrium の Benoi Yard（旧 Keppel Benoi Yard）で実施され、2023 年 3 月に完了した。1.2.2 章（4）でも記載したとおり、「FFI Green Pioneer」は、2010 年建造、2,874 トンのオフショア支援船で、2022 年に Fortescue が中速 4 ストローク 8 エンジンのうち 2 基をアンモニア二元燃料エンジンに改造するために買収した。アンモニア燃料システムはエンジンルームや貨物取扱システムの設計を行うオランダの Marine Service Noord が設計した。

図 13　Keppel O&M が設計したアンモニア燃料タンカーイメージ図

出典：Offshore Energy.biz, 17 May 2022

（2）Sembcorp Marine

Sembcorp Marine は 2018 年にノルウェーのフェリー運航会社 Norled からディーゼルバッテリーハイブリッドの Ro-Pax フェリーを受注し、2022 年から 2023 年にかけて引き渡した。フェリーは Sembcorp Marine の 100%子会社でノルウェーの船舶設計会社 LMG Marin AS が設計したもので、リチウムイオン電池を搭載し、水力発電による電気で充電

する。同船は、陸上での高速充電プラグ、高効率の推進システム、熱回収システムなど、エネルギー効率の高い機能を備える。

図 14　Norled に引き渡した 3 隻目のフェリー「Leikanger」

出典：Seatrium ウェブサイト[38]

LMG Marine は Norled 向けに、世界初の液体水素を燃料とするゼロエミッション船「MF HYDRA」も設計した実績がある。同船を建造したのはノルウェーの Westcon Shipyard で 2021 年に納入された。

LMG Marin はアンモニア燃料船も設計している。2021 年にもノルウェーの海運大手、Grieg Maritime Group から、世界初のグリーンアンモニア燃料タンカー「MS Green Ammonia」の設計を受注した。Grieg Maritime は 2021 年 1 月にエンジン、エネルギー機器製造の Wartsila とアンモニア燃料タンカー建造計画を発表していた。Wartsila は海事産業のアンモニアプロジェクトに複数関わっており、パワーテクノロジー、アンモニア貯蔵と流通システムの供給やアンモニア燃料を使った舶用エンジンの開発を担う。「MS Green Ammonia」プロジェクトにはノルウェー政府から補助金 4,630 万クローネ（540 万米ドル）が拠出される。2022 年 6 月、LMG Marin が設計したアンモニア燃料タンカーは、DNV の AiP を取得した。また、アジアでは、LMG Marin と SembCorp Marine が設計したアンモニアバンカリング船が 2022 年 1 月に ABS の AiP を取得した。このプロジェクトには商船三井、伊藤忠商事、TotalEnergies Marine Fuel、Pavilion Energy が協力している。

[38] https://investors.seatrium.com/newsroom/20230109_194339_S51_M0M2A3IDD7Q6H0FB.1.pdf

図 15　商船三井、伊藤忠商事が協力して設計されたアンモニアバンカリング船

出典：商船三井ウェブサイト[39]

また、SembCorp Marine は、2018 年に世界初の LNG ハイブリッドタグボートの設計・建造を開始した。100%子会社のタグボートオペレーター、Jurong Marine Services が運航する既存のディーゼル動力タグボート船隊を順次置き換えるために、LNG ハイブリッドタグボート船隊を構築する計画で、1 隻目の「JMS Sunshine」が 2023 年に完成した。設計は LMG Marin が行った。「JMS Sunshine」は、世界初の LNG ハイブリッドタグボートで全長は 29 メートル、50 立方メートルの LNG 燃料タンクと 900kWh のバッテリー貯蔵設備、及び 2 基の 16 気筒 MTU Series 4000M55RN ガスエンジンとガス調整ユニットを備える。

LMG Marin は、1.2.2 章（5）で記載した、SembCorp Marine が Shell、Penguin International と共同で進めている水素燃料電池船も設計した。

図 16　ハイブリッドタグボート JMS Marine

出典：Singapore Business Review 30 May 2024

[39] https://www.mol.co.jp/pr/2022/22003.html

（3）Pax Ocean

マレーシア発祥のコングロマリットで、現在では物流、不動産、海運、海事関連ビジネスなど幅広い事業を展開する Kuok Group の海事ビジネス部門、Kuok Maritime グループ（KMG）傘下の造船所 PaxOcean は、電動タグボートを開発する業界連合の CSA を主導している。CSA は 2022 年 3 月に設立され、1.2.1 章（2）表 5 に記したとおり、完全電動ハーバークラフトの設計と普及のための提案募集に応募し、2024 年 2 月に設計案の 1 つに選定された。

2024 年 4 月、PaxOcean は初の電動タグボートと電動サプライボートの建造を開始した。KMG 傘下の曳船サービス会社 Pacific Workboats Pte Ltd（PWPL）が曳航サービスを顧客に提供するために電動タグボートを用船し、2025 年に運航を開始する予定である。また KMG は、電動サプライボートの建造と海上公試に投資する。CSA にはジュロン港もメンバーとして参画しており、KMG はジュロン港と協力して電動船の充電インフラも提供する予定である。PaxOcean は、電動タグボートと電動サプライボートを複数建造する予定で、複数の CSA メンバーが用船に関心を示している。CSA は持続可能なサプライチェーンを構築することを目指し、電動タグボートと電動サプライボートの原材料や部品の 50%以上はシンガポールで調達する。例えば、シンガポールで海事向けエネルギー貯蔵ソリューション、ハイブリッドソリューション、電気推進システム等を開発する Sea Forrest Power Solutions が、モーター、バッテリーマネージメントシステム、バッテリーを供給する。CSA は当初、KMG のグループ企業 6 社でスタートしたが、現在は金融、グリーンエネルギー、環境コンサルタント、海事港湾サービス等、さまざまな分野の 27 社がメンバーとなっている。

また、PaxOcean の中国の舟山造船所（Zhoushan Shipyard）では、2024 年 7 月、中国の新大洋造船（New Dayang Shipbuilding）で建造されたばかりの 1,170TEU の新造メタノール二元燃料コンテナ船「Eco Umande」の改造を行った。当該船舶には MAN Energy Solutions 5S50ME エンジンが搭載されている。メタノールに対応できる船舶として建造されたが PaxOcean でさらに、ステンレススチールのパイプや、既存の燃料システムの改造を行った。同船の船主はシンガポールの X-Press Feeders である。

PaxOcean は 2022 年 8 月、シンガポールのバンカリング船運航会社 Hong Lam Marine、船級協会 BV と、アンモニア燃料供給船の共同設計に関する覚書にも調印した。（1.2.2 章（4）参照）

（4）Strategic Marine

シンガポールの民間造船所 Strategic Marine は、2022 年 6 月に、Sea Forrest Power Solutions[40]及び Danfoss Power Solutions[41] Singapore と協力して、洋上風力発電用ハイブリッド高速クルー輸送船（CTV）を開発すると発表した。24 人乗り、最高 26 ノットのハイブリッド船で、BV の仕様に合わせて設計される。同社は 2023 年 1 月には、英国

[40] 海事向けエネルギー貯蔵ソリューション、ハイブリッドソリューション、電気推進システム等を開発するシンガポール企業

[41] デンマークに本社を置くダンフォス社（Danfoss A/S）が 100%出資するフルードパワー機器メーカー。フルードパワーは、流体 [気体、液体] のエネルギーを利用して、機械や装置を動かしたり停止させたりする駆動方式（日本フルードパワーシステム学会ウェブサイトより　https://www.jfps.jp/）

のオフショア船オペレーターHST Marine からハイブリッド CTV4 隻を受注した。同社はタイやマレーシア向けにもハイブリッド CTV を納入している。

また Strategic Marine は、MPA の完全電動ハーバークラフトの設計と普及のための提案募集に応募したコンソーシアムにも参画している。同社が参加するコンソーシアムは、シンガポールに本社を置く洋上風力発電向け船舶投資・所有会社 Cyan Renewables が主導するコンソーシアムで、メンバーには Cyan Renewables、Strategic Marine の他、Bureau Veritas Marine、PSA Marine、技術プロバイダーの SeaCabbie、Sea Forrest Power Solutions、Victory で構成され、シンガポールのコンテナ海運会社 PIL が支援している。SeaCabbie は、2016 年にシンガポールで設立され、世界で唯一のハーバークラフト予約アプリの開発企業である。Victory はバンカーサプライヤーである。同コンソーシアムの設計も、2024 年 2 月に MPA から選定された 11 件[42]の 1 つである。

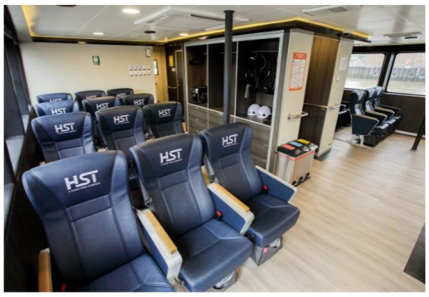


図 17　Strategic Marine の高速ハイブリッドクルー輸送船

出典：Strategic Marine ウェブサイト[43]

（5）Penguin International

シンガポールの上場造船会社 Penguin International は 2020 年半ば、シンガポール初のハイブリッド電動船を Shell に納入した。続いて 2022 年 4 月には、MPA 向けに 34 メートルのハイブリッド電動巡視船を納入した。

図 18　Penguin International が建造したハイブリッド電動巡視船「MPA Guardian」

出典：Riviera Maritime Media, 22 June 2022

[42] MPA が 2024 年 2 月に選定した案件については、1.2.1 章（2）表 5 を参照のこと。
[43] https://www.strategicmarine.com/wp-content/uploads/2022/03/SC27-hybrid-R1.pdf

さらに 1.2.2 章（5）でも触れたが、シンガポール南沖の Bukom 島の Shell Energy and Chemicals Park Singapore 向けに、完全電動フェリー3 隻と急速充電設備を建造した。このプロジェクトは「Electric Dream Project」と名付けられ、3 隻はシンガポール初の完全電動フェリーで、1 隻当たりの定員乗客数 200 人。Shell の Bukom 島にある石油精製所に毎日 3,000 人を輸送する。2023 年第 1 四半期に 1 隻目が就航し、2024 年 1 月には全 3 隻が稼働開始した。フェリーのスピードは 20 ノット。ピーク時には、1.2Mwh のバッテリーを 8 分で充電し、回転の速さが必要な従業員輸送に対応する。2021 年の報道によると、Penguin は、オーストラリアの海洋エンジニアリング会社 Incat Crowther、シンガポールのエネルギーシステムコンサルタント会社 Razor Blunt Labs 等と提携して船舶を開発した。

図 19　Bukom 島の Shell Energy and Chemicals Park Singapore に係留する電動フェリー

出典：Penguin International Limited 2023 年度年次報告書

1.3.2　船主の次世代燃料船に関する情報

<u>複数の代替燃料に取り組んでいる船主</u>

（1）Eastern Pacific Shipping（EPS）

EPS はシンガポール有数の船主、船舶管理会社で、300 隻以上を運航する。早くから代替燃料船に投資しており、2019 年には LNG 燃料タンカー、2021 年にはハイブリッド推進システムの自動車運搬船、2022 年に LNG 燃料コンテナ船、2023 年にはアンモニア燃料船を発注しており、2024 年 12 月現在、同社のウェブサイトによると、船隊のうち 74 隻が代替燃料船となっている。74 隻のリストや内訳は公表されていない。IHS Maritime のデータベースと報道等から確認できた同社の代替燃料船は、75 隻あり、そのうち 11 隻が納入中、残り 64 隻は発注残となっている。75 隻の内訳は表 10 のとおりである。

表 10　EPS の代替燃料二元燃料船船隊

船名	燃料	船種	造船所	GT	DWT	発注年	建造年
就航済船舶							
LAKE HERMAN	LNG	Vehicles Carrier	China Merchants Jl Jiangsu	71,706	19,138	2021-06	2023-10
LAKE ANNECY				71,706	18,969	2021-09	2023-12
CMA CGM MONACO				71,706	19,086	2021-06	2024-01
LAKE LUGU				71,706	19,070	2021-06	2024-06
LAKE QARAOUN				71,706	19,166	2021-06	2024-09
LAKE SHIRASAGI				71,631	18,600	2023-06	2024-12
CMA CGM INDIANAPOLIS			China Merchants JL Weihai	71,675	19,157	2021-09	2023-12
CMA CGM SILVERSTONE				71,631	19,138	2021-09	2024-07
CMA CGM MONZA				71,631	19,800	2021-08	2024-10
GREENWAY		Crude Oil Tanker	Guangzhou Shipyard Intl Co	86,855	157,327	2019-12	2022-06
STARWAY				86,855	157,552	2019-12	2022-09

燃料	船種	造船所	GT	DWT	TEU	発注残隻数	建造予定時期
発注残							
Ammonia	Bulk Carrier	Qingdao Beihai Shipbuilding HI	111,177	210,600		10	2026 ~ 2028
Ammonia	LPG Tanker	Jiangnan Shipyard Group Co Ltd	82,000	86,000		6	2027 ~ 2028
LNG	Container Ship	HD Hyundai Mipo Co Ltd	18,340	21,023	1,400	4	2025
LNG	Container Ship	New Times Shipbuilding Co Ltd	173,000	192,500	18,450	12	2027 ~ 2029
LNG	Crude/Oil Products	Guangzhou Shipyard Intl Co Ltd	65,145	111,000		8	2026 ~ 2028
LNG	Crude/Oil Products	Xiamen Shipbuilding Industry	65,500	113,600		4	2028
LNG	Vehicle Carrier	China Merchants Jl Jiangsu	72,000	18,600		5	2025 ~ 2026
LNG	Vehicle Carrier	China Merchants Jl Jiangsu	55,000	7,800		4	2027 ~ 2028
LNG	Vehicle Carrier	China Merchants JL Weihai	71,631	19,800		1	2024
LNG	Vehicle Carrier	China Merchants JL Weihai	72,800	19,800		2	2025
LNG	Vehicle Carrier	Fujian Mawei Shipbuilding Ltd	55,000	7,800		6	2027 ~ 2028
LNG	Vehicle Carrier	Xiamen Shipbuilding Industry	55,000	7,800		2	2027
					合計	64	

出典：IHS Maritime、報道より作成

図 20 LNG 二元燃料自動車運搬船「Lake Annecy」

出典：https://lngprime.com/asia/eps-takes-delivery-of-second-lng-powered-pctc-in-china/100008/

なおアンモニア燃料船については、1.2.1 章（4）で記載したとおり、EPS はアンモニア燃料船の開発、建造で 2022 年以来、MPA、現代重工業等と複数の覚書を交わしている。まず、2022 年 6 月に MPA、現代重工業、ABS とアンモニア二元燃料タンカーの開発に関する覚書を交わした。2023 年 9 月には、MPA、現代重工業、ABS、MAN Energy Solutions、LR、青島北海船舶重工（Qingdao Beihai Shipbuilding Heavy Industry）、江南造船所（Jiangnan Shipyard）と、アンモニア燃料エンジンの開発等に関する複数の覚書を交わした。また、ABS と現代重工業は、現代重工業による EPS 向けのアンモニア二元燃料アンモニア運搬船の設計を ABS が評価することで合意した。さらに 2024 年 4 月、アンモニア燃料船の 4 隻の Newcastlemax バルクキャリアと 2 隻のアンモニア運搬船を建造し、6 隻をシンガポール籍船とすることで、MPA、ABS、LR と覚書を交わした。アンモニア燃料バルクキャリアは青島北海船舶重工、アンモニア燃料アンモニア運搬船は江南造船所が建造し、6 隻すべてに MAN Energy Solutions のエンジンを搭載する。

EPS は世界最大の非上場海運会社ともいわれており、イスラエルの大富豪 Idan Ofer が所有する。

<u>主に LNG に取り組んでいる船主</u>

（2）Pacific International Lines（PIL）

シンガポールの海運会社 PIL は、2022 年、中国の江南造船所に 14,000TEU の LNG 二元燃料コンテナ船 4 隻、揚子江造船（Yangzijiang Shipbuilding）傘下の江蘇新揚子造船（Jiangsu New Yangzi Shipbuilding）に 8,000TEU の同 4 隻を発注した。8 隻は全て WinGD のエンジンと、フランスの GTT が開発した Mark III メンブレンシステムを搭載する。また 8 隻とも、将来的にはアンモニア燃料にも対応が可能である。なお、8,000TEU のコンテナ船の LNG ガス供給システム、推進コントロールシステム、アラームモニタリングとコントロールシステムは Wartsila が供給する。14,000TEU のコンテナ船のうち 1 隻は 2024 年 10 月に納入された。

さらに、PIL は 2024 年 8 月に、滬東中華造船（Hudong-Zhonghua Shipbuilding）に 13,000TEU の LNG 二元燃料コンテナ船 5 隻を、さらに同年 10 月に同造船所に 9,000TEU の同 5 隻を追加発注した。2026 年から 2028 年にかけての納入を予定している。

表 11　Pacific International Lines の LNG 二元燃料コンテナ船船隊

船名	発注時期	建造時期	TEU	GT	DWT	Status	造船所
KOTA EAGLE	2022-01	2024-10	14,000	139,136	156,620	就航済	Jiangnan Shipyard Group Co Ltd
KOTA EMERALD	2022-01	2024-11	14,000	136,455	116,300	進水	Jiangnan Shipyard Group Co Ltd
KOTA EBONY	2022-03	2024-12	14,000	136,455	116,300	進水	Jiangnan Shipyard Group Co Ltd
KOTA EMBUN	2022-03	2025-01	14,000	136,455	116,300	建造中	Jiangnan Shipyard Group Co Ltd
KOTA OCEAN	2022-07	2025-06	8,200	77,850	97,700	建造中	Jiangsu Newyangzi Shipbuilding
KOTA OASIS	2022-07	2025-08	8,200	77,850	97,700	建造未着	Jiangsu Newyangzi Shipbuilding
KOTA ODYSSEY	2022-07	2025-11	8,200	77,850	97,700	建造未着	Jiangsu Newyangzi Shipbuilding
KOTA ORKID	2022-07	2026-03	8,200	77,850	97,700	建造未着	Jiangsu Newyangzi Shipbuilding
NA	2024-08	2026-12	13,000	129,500	145,600	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-08	2027-02	13,000	129,500	145,600	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-08	2027-04	13,000	129,500	145,600	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-08	2027-06	13,000	129,500	145,600	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-08	2027-09	13,000	129,500	145,600	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-10	2027-09	9,000	85,000	110,000	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-10	2027-12	9,000	85,000	110,000	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-10	2028-03	9,000	85,000	110,000	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-10	2028-06	9,000	85,000	110,000	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding
NA	2024-10	2028-09	9,000	85,000	110,000	建造未着	Hudong-Zhonghua Shipbuilding

出典：IHS Maritime、報道より作成

図 21　LNG 二元燃料コンテナ船「Kota Eagle」

出典：Baird Maritime, 18 Oct 2024

また、PIL は 2023 年 12 月に、ドバイの港湾運営会社 DP World と海運産業の脱炭素化に向けたグリーンソリューションを共同開発する覚書を締結した。ドバイのジュベル・アリ港に寄港する PIL の航路上で、バイオ燃料混合の舶用燃料による試験航行を実施する。また、同港でのバイオ燃料のバンカリング、再生可能エネルギーを利用した港湾荷役機器も導入することとなっている。

また PIL は 2024 年 5 月に、PSA と協力して B24 バイオ燃料の実証実験も実施した。

主にメタノールに取り組んでいる船主

（3）AAL Shipping（AAL）

海運会社 AAL は、2021 年 11 月に 3 万 2,000DWT のメタノール二元燃料の重量物運搬船 4 隻を中国広東省の黄埔文冲造船所（Huangpu-Wenchong Shipyard）に発注していたが、2022 年 2 月 22 日に 2 隻を追加し、合計 6 隻を発注すると発表した。AAL は、1995 年にオランダで設立され、2009 年にシンガポールに本社を移した海運会社で、重量物運搬船、ブレークバルクキャリア、ドライバルクキャリアを運航する。

同船は、AAL のエンジニアリングチームとコマーシャルチームが、キプロスに本社を置く船舶管理会社の Columbia Shipmanagement（CSM）と共同で設計した。7,380kW の MAN の主エンジンとディーゼル発電機 3 基（1,700kW を 2 基と 1,065kW を 1 基）を搭載する。2024 年 11 月現在、6 隻のうち 3 隻が就航している。

表 12　AAL Shipping のメタノール二元燃料船隊

No.	船名	発注時期	建造時期	GT	DWT	Status	造船所
1	AAL HAMBURG	2021-10	2024-07	25,784	32,537	就航済	Huangpu Wenchong Shipyard
2	AAL HOUSTON	2021-10	2024-09	25,784	32,506	就航済	Huangpu Wenchong Shipyard
3	AAL LIMASSOL	2021-10	2024-05	25,784	32,517	就航済	Huangpu Wenchong Shipyard
4	AAL ANTWERP	2021-10	2025-05	25,660	32,000	進水	Huangpu Wenchong Shipyard
5	AAL DAMMAM	2022-01	2025-10	25,660	32,000	起工済	Huangpu Wenchong Shipyard
6	AAL DUBAI	2022-01	2025-07	25,784	32,000	起工済	Huangpu Wenchong Shipyard

出典：IHS Maritime、報道より作成

（4）Berge Bulk

シンガポールのバルクキャリア運航会社の Berge Bulk は、2023 年 4 月、既存のバルクキャリアをメタノール燃料に対応できるように改造する計画を発表した。そのため、船級協会の ABS と、船舶をメタノール燃料推進システムに改造するための詳細な実現可能性調査を行う共同プロジェクト契約を締結した。メタノール燃料の供給状況からバンカリングの実用性、改造の技術的及び経済的な実現可能性の検証に至るまで、幅広い課題について協力する。

また、同社は 2023 年 10 月、所有するバルクキャリア「Berge Olympus」に、4 枚の巨大な鋼鉄製の帆を設置する改造を完了した。同船は 2018 年に中国の渤海船舶重工（国営造船会社中国船舶集団有限公司の子会社）が建造した総トン数約 11 トン、載貨重量トン約 21 万トンの船。設置された帆は「WindWings」という商品で、イギリスの BAR Technologies が開発し、ノルウェーの Yara Marine Technologies が製造した。この技術により、船主は 1 日平均約 6 トンの燃料を節約し、二酸化炭素排出量を 1 日約 19.5 トン削減できる。Berge Bulk は複数の自社船に WindWings を設置することを検討している。2022 年、Berge Bulk は、船隊効率の改善、最新の海事技術の活用、新燃料の試験導入、炭素回収への投資の 4 つの施策を柱とする脱炭素化計画を実行するため、3 年間で 10 億米ドル（14 億 S ドル）を投資すると発表していた。

WindWings を搭載した船舶としては、「Berge Olympus」は 2 隻目。1 隻目は、アメリカの穀物商社大手 Cargill が用船する三菱商事所有のバルクキャリア「Pyxis Ocean」で、2023 年 8 月に WindWings を搭載後、2023 年 8 月に海上公試を行った。

さらに、Berge Bulk は 2024 年 2 月、青島北海船舶重工有限責任公司にアンモニア二元燃料船 2 隻を発注した。2 隻は 21 万 DWT の Newcastlemax 船で、2028 年に納入される予定である。

図 22　Break Bulk 保有の帆付きバルクキャリア Berge Olympus

出典：Break Bulk ウェブサイト[44]

（5）Pacific Carriers Limited（PCL）

PCL は、KMG 傘下のバルクキャリア、タンカー船主で、業界アライアンスの CSA[45]に参加している。2023 年 1 月に、PaxOcean、ABS と連携して船隊の脱炭素化を図るため、PCL 船隊の代替燃料として、メタノールを検討する共同開発プロジェクトを進めると発表した。これについての進捗状況などはその後発表されていない。

2024 年 2 月、同社は韓国の K 造船（旧 STX 造船海洋）から、LNG 二元燃料に対応可能なタンカー「Piura Pacific」の納入を受けた。

図 23　Pacific Carriers 保有の Piura Pacific

出典：Pacific Carriers ウェブサイト[46]

[44] https://www.bergebulk.com/wp-content/uploads/2023/10/Berge-Olympus-with-WindWings-2400px.jpg
[45] 1.3.1 章（3）を参照
[46] https://pclsg.com/2024/02/28/pacific-carriers-limited-unveils-new-mr-tanker-piura-pacific/

（6）Stamford Shipping

2023 年 10 月、シンガポールの Stamford Shipping とデンマークの Green Marine グループは、メタノール燃料船に投資する合弁会社を設立した。Stamford Shipping は、2016 年に設立され、ドライバルクキャリア及びタンカーの船主であるとともに、第三者の資金で船舶投資を行うため、シンガポール金融庁に登録されたファンドマネージメント会社でもある。Green Marine は、メタノールによる海運業界の脱炭素化を促進する事業を実施しており、プロジェクトの実現可能性調査やマネジメント、メタノール二元燃料システムの設計・エンジニアリング、資金調達、メタノール燃料の供給などを行っている。合弁会社は、さまざまな船種のメタノール二元燃料船の建造・運航・保守管理を行う予定である。

（7）Winning International

2023 年 9 月、シンガポールの海運会社 Winning International グループは、中国の青島北海造船と 32 万 5,000DWT のメタノール二元燃料バルクキャリア 2 隻を建造する契約を締結した。同船は、1 万 2,000 立方メートルのメタノール燃料貯蔵タンクを 2 基搭載し、全長 329.9 メートル、幅 60 メートル、喫水 22 メートル、速力 13.9 ノット。同船は金属鉱石輸送用で、青島北海造船グループの設計会社 CSDC が独自に設計した。

さらに同社は、2024 年 6 月に中国の恒力重工（Hengli Heavy Industry）に 6 隻のメタノール二元燃料鉄鋼運搬船を発注した。鉄鋼運搬船は 1 隻 32 万 5,000DWT で、中国国営造船 CSSC 傘下の上海船舶設計院（SDARI）が設計した。

Winning International グループは、船主事業、海運業、海上積み替え、船舶管理、鉱山開発、鉄道建設・運営などに従事する複合企業で、世界有数のボーキサイトの海上輸送会社である。所有船舶は 40 隻のケープサイズバルクキャリア、運航船舶は所有船舶を含め約 100 隻で、年間貨物量は 5,000 万トン以上である。

表 13　Winning International のメタノール二元燃料鉄鋼運搬船隊

No.	船名	発注時期	建造時期	GT	DWT	Status	造船所
1	NA	2023-09	2026-09	173,000	325,000	建造未開始	Qingdao Beihai Shipbuilding HI
2	NA	2023-09	2027-06	173,000	325,000	建造未開始	Qingdao Beihai Shipbuilding HI
3	NA	2024-09	2026-10	175,000	325,000	建造未開始	Hengli Shipbuilding Dalian
4	NA	2024-09	2026-12	175,000	325,000	建造未開始	Hengli Shipbuilding Dalian
5	NA	2024-09	2027-02	175,000	325,000	建造未開始	Hengli Shipbuilding Dalian
6	NA	2024-09	2027-04	175,000	325,000	建造未開始	Hengli Shipbuilding Dalian
7	NA	2024-09	2027-06	175,000	325,000	建造未開始	Hengli Shipbuilding Dalian
8	NA	2024-09	2027-08	175,000	325,000	建造未開始	Hengli Shipbuilding Dalian

出典：IHS Maritime、報道より作成

（8）X-Press Feeders

X-Press Feeders は 2021 年に揚子江造船グループの江蘇新揚子造船会社と江蘇揚子新福造船（Jiangsu Yangzi Xinfu Shipbuilding Co., Ltd.）に 1,264TEU のメタノール二元燃料コンテナ船を 4 隻発注しており、2024 年 5 月から 9 月にかけて引き渡された。また同年、新大洋造船にも 1,170TEU のメタノール二元燃料船を 4 隻発注した。

また 2023 年には、1,250TEU のメタノール二元燃料船 6 隻を中国の広州文沖造船所 Guangzhou Wenchong Shipyard）に発注した。2023 年 6 時点の報道で、X-Press Feeders のメタノール二元燃料船の船隊は発注残も入れて 14 隻と報じられている。なお、同社は 2022 年に上海外高橋造船（Shanghai Waigaoqiao Shipbuilding）に 7,000TEU のコンテナ船 10 隻を発注しているが、これらはメタノール二元燃料船ではない。

さらに 2024 年、同社は上海外高橋造船に 11,000TEU のメタノール二元燃料コンテナ船 6 隻を発注しており、2024 年 11 月現在の同社のメタノール二元燃料コンテナ船隊は、発注残を含めて 20 隻となる。

表 14　X-Press Feeders の LNG 二元燃料コンテナ船船隊

No.	船名	発注時期	建造時期	TEU	GT	DWT	Status	造船所
1	ECO MAESTRO	2021-11	2024-05	1,264	16,242	13,675	就航済	Jiangsu Newyangzi Shipbuilding
2	ECO PONENTE	2021-11	2024-08	1,264	16,242	13,661	就航済	Jiangsu Newyangzi Shipbuilding
3	ECO LEVANT	2021-11	2024-06	1,264	16,242	13,684	就航済	Jiangsu Yangzi Xinfu Shbldg
4	ECO ZEPHYR	2021-11	2024-09	1,264	16,242	13,665	就航済	Jiangsu Yangzi Xinfu Shbldg
5	ECO UMANDE	2021-11	2024-03	1,170	16,226	13,736	就航済	New Dayang Shipbuilding
6	ECO MARIN	2021-11	2024-06	1,170	16,226	13,684	就航済	New Dayang Shipbuilding
7	ECO OSTRO	2021-11	2024-10	1,170	16,242	13,686	就航済	New Dayang Shipbuilding
8	ECO TRAMONTANE	2021-12	2024-11	1,170	16,114	13,900	進水	New Dayang Shipbuilding
9	NA	2023-06	2025-08	1,250	14,780	14,000	建造未着	Guangzhou Wenchong Shipyard Co
10	NA	2023-06	2025-10	1,250	14,780	14,000	建造未着	Guangzhou Wenchong Shipyard Co
11	NA	2023-06	2025-11	1,250	14,780	14,000	建造未着	Guangzhou Wenchong Shipyard Co
12	NA	2023-06	2026-01	1,250	14,780	14,000	建造未着	Guangzhou Wenchong Shipyard Co
13	NA	2023-06	2026-03	1,250	14,780	14,000	建造未着	Guangzhou Wenchong Shipyard Co
14	NA	2023-06	2026-05	1,250	14,780	14,000	建造未着	Guangzhou Wenchong Shipyard Co
15	NA	2024-05	2027-08	11,000	94,000	119,000	建造未着	Shanghai Waigaoqiao Shbldg
16	NA	2024-05	2027-10	11,000	94,000	119,000	建造未着	Shanghai Waigaoqiao Shbldg
17	NA	2024-05	2028-09	11,000	94,000	119,000	建造未着	Shanghai Waigaoqiao Shbldg
18	NA	2024-05	2028-11	11,000	94,000	119,000	建造未着	Shanghai Waigaoqiao Shbldg
19	NA	2024-07	2028-06	11,000	94,000	119,000	建造未着	Shanghai Waigaoqiao Shbldg
20	NA	2024-07	2028-08	11,000	94,000	119,000	建造未着	Shanghai Waigaoqiao Shbldg

出典：IHS Maritime、報道より作成

図 24　X Press Feeder 所有のメタノール二元燃料船 Eco Maestro

出典：X Press Feeders ウェブサイト[47]

[47] https://www.x-pressfeeders.com/news/x-press-feeders-starts-europes-first-feeder-network-powered-by-green-methanol-ushering-in-new-era-of-sustainable-shipping

主に電動船に取り組んでいる船主

（9）Yinson Green Technologies

1.1.2 章（3）②で紹介した「2020 年のハーバークラフト電動化研究開発」では、Keppel FELS、SembCorp Marine、SeaTech が主導する 3 つのハーバークラフト電動化プロジェクトが支援対象に選定されたが、このうち最も進捗しているのが、SeaTech が主導する Goal Zero Consortium のプロジェクトである。同プロジェクトの主要メンバーで、オフショア石油ガス業界向けの FPSO などを事業に持つマレーシア上場の Yinson Holdings の子会社で、海事、モビリティー、エネルギー分野の環境技術に投資している Yinson Green Technologies が、電動船の船主として、大きく貢献している。

このプロジェクトでは、SeaTech が、全長 18.5 メートル、最大貨物積載量 25 トン、定員 12 名、航海速力 8～10 ノット（最大速力 12 ノット）の完全電動貨物船「Hydromover」を設計した。「Hydromover」は、235 キロワットの電気推進器を 2 基搭載し、422 キロワットアワーのリチウムイオンバッテリーを利用する、GHG 排出ゼロのアルミニウム製のカタマランである。最大貨物積載量 25 トンで、40 海里まで運航が可能。バッテリーにはモニターが装着され、セル 1 つ 1 つの状態がわかるようになっており、異常が発生するとアラームが鳴る仕組みとなっている。バッテリーは充電器につないで充電することも、交換することも可能である。また同船には、陸上で運航管理できるシステムや、将来的な完全自動運航を目出した非航操船支援システム（LIDAR など）、太陽光パネル（船内用の補助電源として利用）が搭載されている。

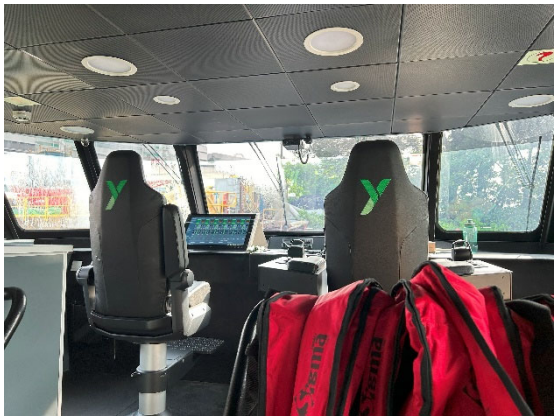
同船はシンガポールの Lita Ocean が建造し、Yinson GreenTech がプログラム管理、システムソリューション、商業化を担当し、カナダの Shift Clean Energy[48]がバッテリー技術を提供した。RINA のシンガポール支部が同船の船級を付与した。

2024 年 6 月、「Hydromover」によるシンガポールで初めて貨物と乗組員の輸送が行われた後、2024 年 9 月から商用試験運航が開始された。シンガポールの港湾内外への物資や人員を輸送する船舶運航会社（Ship Chandler）等、6 社が商用試験への参加に名乗り出ている。商用試験の費用は、Ship Chandler に業務を委託している長期航路運航の海運会社が負担する。

Yinson GreenTech によると、「Hydromover」の建造費は、従来の同クラスの船よりも高いが、エネルギー効率が高くメンテナンスコストも低いため、従来の船に比べて 50%程度のオペレーションコストの削減も可能である。

[48] プロジェクト開始時は、Sterling PlanB（SPBES）の名称だったが、2021 年に社名が Shift Clean Energy に変更された。https://www.offshore-energy.biz/sterling-planb-rebrands-as-shift-plans-new-clean-energy-service/

Hydromover（前方と後方）



（ブリッジ内外）

（バッテリーモニタリングパネル）　　ブリッジ上の太陽光パネル）

図 25　Hydromover の写真

出典：2024 年 10 月訪問時撮影

Yinson GreenTech は、「Hydromover」の改訂版「Hydromover2.0」の設計をオーストラリアの Incat Crowther に既に委託している。「Hydromover2.0」にはエネルギーの最適化、航路地点情報計算、衝突検知、遠隔操作と自律機能の調整機能などの意思決定機能を組み込まれ、2025 年に海上公試を実施する予定となっている。

また、Yinson GreenTech は、完全電動のクルー輸送船「Hydroglyder」も開発しており、2024 年 11 月にシンガポールで開催されたオフショアエナジーアジア（OSEA）2024

でその概要を発表した。Hydroglyder の定員は船員 2 名、乗客 12 名。運航速力 20～25 ノット、最高速力 30 ノット、全長 11.9 メートル、重量 10 トンのカタマランで、船体は、グラスファイバーフォームコアパネル（E-glass Sandwich Foam Core）製、水中翼は、FRP 金属ハイブリッド（Composite Metallyc Hybrid）となっている。水中翼技術を開発するノルウェーの Lift Ocean、自律航行ソリューションを開発するノルウェーの Zeabuz が協力して開発した。最新のセンサーと航行システム、Zeabuz が開発した状況判断を自動的に行うためのソフトウェア ZeaMate を取り入れ、自動接岸、自律航行も将来的は可能となる。Hydroglyder の開発には、ノルウェーの政府系銀行で、イノベーションや起業を促進する「イノベーション・ノルウェー」の支援も受けた。シンガポールの Lita Ocean で建造され、既に完成している。同社によると、2025 年初頭から、試験運航を実施する予定である。

図 26　Hydroglyder イメージ図

出典：Yinson Green Tech メディア資料[49]

さらに、Yinson GreenTech は遠隔モニタリング、炭素排出削減トラッキング、船舶予約、航路最低化ができる Marine Digital Platform も開発した。将来的はライドシェアを予約するように、船も予約できるようになる。また 50 人乗り、100 人乗り、150 人乗りの電動フェリーの開発も視野に入れている。さらに 1.2.2 章（5）④で述べたとおり、2024 年 11 月、Yinson GreenTech はノルウェーのスタートアップ企業 Evoy AS と協力してアジア全域の海事産業の電動化に取り組むことで合意した。

[49] OSEA2024 で QR コード配布

（10）First Offshore Supply

2022 年 12 月、アジア有数のオフショア石油ガス産業向けに作業員輸送船（CTV）を運航するシンガポールの Fast Offshore Supply は、Shift Clean Energy、寺崎電気シンガポール法人 Terasaki Electric Co.（F.E） Pte Ltd（寺崎）、RINA と提携し、同社の CTV を電動化すると発表した。Shift の固定式バッテリーシステムを搭載して、クルー輸送船を従来のディーゼル船からハイブリッド船に改造する。寺崎は、船舶の電気系統のメインスイッチボードとメンテナンスシステム計画を改良し、Shift が最新の船舶用蓄電池と運用ソフトウェア「OnWätch」を提供する。RINA はエネルギー貯蔵システムを評価し、AiP を発行する。

（11）Synergy Marine

Synergy Marine は、シンガポールで 500 隻以上の船舶を管理する世界有数の船舶管理事業者。2022 年 7 月、同社は米国の Alsym Energy、日本の日鮮海運と共同で、船舶用電池を開発すると発表した。Alsym は米国マサチューセッツ州本社の次世代充電式電池の製造企業。Alsym は Synergy と日鮮海運に対し、量産初年度から 3 年間、年間 1GW 電池を供給する。Alsym の声明によると、同社の電池は、貨物船やタンカーの入出港時の推進力、停泊中の船舶への電力供給、海上でのピークカットに使用される。2022 年 7 月の発表時の情報によると、Alsym は、電気自動車、船舶、電力貯蔵設備向けに、2025 年からの大量生産を開始する計画を立てている。

なお Synergy Marine は、2024 年 3 月に米国メリーランド州ボルティモアの橋に衝突した、貨物船「DALI」の船舶管理会社。

（12）Vallianz

Vallianz Holdings は、シンガポール上場のオフショア支援船オペレーターで造船所も持つ。2022 年 2 月、同社は SeaTech、Shift Clean Energy、ABS と提携し、電動タグボートを建造すると発表した。同船は、インドネシア・バタム島に立地する Vallianz の子会社の造船所、PT United Sindo Perkasa で建造される。同船のバッテリーシステムは、SeaTech の「E-Volt Electric Tug」設計に基づき、Shift が提供する。電動タグボートの電池設計は、ABS の「海洋・オフショア産業におけるリチウム電池の使用に関するガイド」及び「海洋及びオフショア用ハイブリッド電力システムに関するガイド」を遵守する。

同船は、全長約 24 メートル、曳航力（ボラード・プル）は 60 トン、航海速力は 12 ノット。Vallianz の 2023 年度年次報告書によると、同プロジェクトは、設計作業中で、バッテリーソリューションの統合の最終段階となっている。

<u>主にアンモニアに取り組んでいる船主</u>

（13）AET Tanker

1.2.1 章（6）②でも紹介したとおり、AET Tankers は、Castor Initiative の下、建造されるサムスン重工業で建造されるアンモニア燃料タンカーを所有運航するなど、代替燃料船に関わっている。ただし、AET Tankers はマレーシアの国営タンカー会社 MISC の

シンガポール子会社であるため、AET Tankers の動きについてはマレーシアの章で記載する。

（14）Marco Polo Marine

Marco Polo Marine は、シンガポール上場のオフショア支援船・洋上風力発電向け船舶の運航、海上輸送及び造船業を担う。2023 年 4 月、同社はノルウェーのアンモニア電力ソリューション会社 Amogy と覚書を締結し、同社の既存・新造の風力発電向けのサービスオペレーション船等に Amogy のアンモニア発電システムを搭載する。

1.4 日本企業等の参画状況

日本の商社や海運会社も、シンガポール MPA やシンガポールに立地する地場、世界各国の海事関連企業と連携する動きがある。いくつかの例を紹介する。

① 伊藤忠商事、日本シップヤード、日本海事協会、MPA によるアンモニア燃料船の安全・安定運航に必要となる仕様に関する協議

2024 年 7 月、伊藤忠商事、日本シップヤード、日本海事協会、MPA は、アンモニア燃料船の安全・安定運航に必要となる仕様に関して協議することに合意し、覚書を締結した。この覚書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「グリーンイノベーション基金事業・次世代船舶の開発・アンモニア燃料船の開発」にて共同採択された、「アンモニア燃料船開発と社会実装の一体型プロジェクト」において、代替設計承認プロセスを適用し、アンモニア焚機関を搭載した載貨重量 20 万トン級大型バルクキャリアを日本シップヤードが建造することを前提にしている。当該アンモニア燃料船の商用化に際して、シンガポールでアンモニアバンカリングを実施するために必要な仕様について協議する。

② 日本海事協会、シンガポールバンカー運航会社、日系 2 社の覚書

2024 年 7 月、日本海事協会は、代替燃料に対応するバンカリング船の導入推進に向け、シンガポールでバンカリング船を運航する Consort Bunkers、ヤンマー・アジア（シンガポール）コーポレーション、大晃機械のシンガポール子会社 TAIKO アジア・パシフィックと覚書を締結した。1.2.2 次世代燃料のバンカリングに関する状況のメタノールの項で記載したとおり、Consort Bunkers は、メタノールに対応できるケミカルバンカータンカー合計 10 隻を、中国の造船所に発注している。最新の発注は 2024 年 7 月の中遠海運重工（COSCO SHIPPING Heavy Industry）向け 7,999DWT のケミカルタンカー4 隻。過去 10 年に渡り、Consort Bunkers は船主、日本海事協会は船級協会、ヤンマー・アジアは主機関・発電機の提供、TAIKO アジア・パシフィックはカーゴポンプ・各種ポンプパッケージの提供とそれぞれの役割で連携してきた。今回の新規発注でも、引き続き同様の役割を担う。

③ 日本郵船と MPA の提携

1.1.2 章（5）で触れたとおり、日本郵船が MPA と脱炭素化等で協力する覚書を結んでいる。MPA と日本郵船は、2024 年 7 月、海事産業の持続可能性やデジタル化、人材開発で提携する覚書を交わしたと発表した。バイオ燃料やメタノール、低炭素またはゼロ炭素のアンモニア燃料の安全な使用を段階的なアプローチで推進する。両者はまた、アンモニア燃料船の船員向け訓練プログラムや、地元専門職向けリーダーシッププログラムなど、海事産業の代替燃料、低炭素または炭素ゼロ燃料への移行を支援する持続可能性に関連した技能についても協議する。

④ オーシャン・ネットワーク・エクスプレス（ONE）のグリーン海運サービス

2024 年 4 月、シンガポールを拠点とする日系の定期コンテナ船事業会社オーシャン・ネットワーク・エクスプレス（ONE）は、炭素排出量の削減に配慮した新たなグリーン海運サービス「ONE LEAF+」の導入を発表した。顧客の事業活動全体での炭素排出量削減に貢献することが狙い。サービス名の一部の「LEAF」は、Low Emission-Able Freight（低排出貨物輸送）の略称。コンテナ船にバイオ燃料などの代替燃料を使うことで、炭素排出量の削減に努め、顧客には第三者機関による認証を受けた炭素削減証明書を発行する。

⑤ アンモニアバンカリング船設計協力

1.3.1 章（2）ので記載したとおり、商船三井、伊藤忠商事が、TotalEnergies Marine Fuel、Pavilion Energy とともに、LMG Marin と SembCorp Marine によるアンモニアバンカリング船の設計に協力した。ABS は 2022 年 1 月にアンモニアバンカリング船の設計に AiP を供与した。

このほか、1.2.1 章でも触れたように、GCMD のさまざまな取り組み、特に代替燃料バンカリングの実証実験等でも、日本の海運会社等が協力している。

2. マレーシア

2.1 舶用燃料に関する規制及び次世代燃料の促進策

2.1.1　規制・基準

マレーシアにおける船舶に関する基準は、「Merchant Shipping Ordinance 1952」に船主の責任、船舶の運航における安全性や環境保全に関して要件が定められている。同法セクション 306 において、船舶による環境汚染防止に関する規制が記載されているが、規制対象物質は油及び有害物質のみであり、舶用燃料に関する規制は記載されていない。マレーシアでは、舶用燃料に関する規定は IMO の規則に準じており、IMO の規則に沿った国内規則を制定している。MARPOL 条約附属書Ⅵ（大気汚染防止）に関する規制は、MALAYSIA SHIPPING NOTICE（MSN）でその運用に関する情報が周知されている。MSN 06/2019 には、2020 年以降マレーシアの水域を運航するすべての船舶に、MARPOL 条約附属書Ⅵに定められた燃料中の硫黄分濃度の上限規制（0.5% m/m）を適用することを明記されている。

2.1.2　促進策

① グリーンテクノロジー融資スキーム（Green Technology Financing Scheme : GTFS）

促進策の 1 つとしては、海事産業に特化したものではないが、船舶調達にも利用できる融資制度として、グリーンテクノロジー融資スキーム（GTFS）がある。参画する金融機関から、グリーンテクノロジーの生産業者、ユーザー、エネルギーサービスプロバイダー（ESCOs）に融資が提供されるが、これに政府保証や、利子のリベートを政府が提供する。天然資源環境サステナブル省（Ministry of Natural Resources and Environmental Sustainability : MNRES）傘下のマレーシアグリーンテクノロジー機構変動公社（Malaysian Green Technology and Climate Change Corporation : MGTC）が案件を審査し、金融機関が融資を提供する。

GTFS は 2010 年予算で導入され、総額 35 億リンギ（約 10 億 8,700 万米ドル[50]）の基金で 2017 年まで続いた。その後、20 億リンギ（約 4 億 8,300 万米ドル[51]）の GTFS2.0 が 2019 年に導入され、2020 年 12 月 31 日まで実施された。GTFS3.0 は、2021 年予算で導入されたが、対象は社債とイスラム債のみであった。現在は、10 億リンギ（2 億 1,800 万米ドル[52]）の基金の GTFS 4.0 が 2025 年 12 月まで実施されており、60～80%の政府保証と、利子リベート 1.5%が提供される。

対象となる業種は、エネルギー、水、建築、輸送、廃棄物、製造業で、輸送の中には海上輸送も含まれる。MGTC によると、海上輸送にはグリーン船舶への投資も含まれるが、これまでにグリーン船舶の案件の申請はなかった。

[50] 2010 年の平均対米ドルレート 3.22 で計算。平均レートはマレーシア中銀のデータより算出
[51] 2019 年の平均対米ドルレート 4.14 で計算。同上
[52] 2024 年 1 月 2 日から 12 月 6 日の平均対米ドルレート 4.58 で計算。同上

② マレーシア開発銀行（Bank Pembangunan Malaysia Berhad：BPMB）の融資

政府系の開発銀行である BPMB では、サステイナビリティ開発スキーム、デジタル化変革スキームなど複数の融資スキームを運営している。そのうち、海事物流交通スキーム（Maritime, Logistics, and Transportation Scheme：MLTS）は次のような資本支出に対して融資できる。

- 船舶や航空機の調達
- 土地の取得、造船所・格納庫、インフラ、機械及び設備の建設
- 建物、工場、保税倉庫、港湾用地の建設及び海運、航空宇宙活動を含む輸送業務
- 倉庫、車両、関連機器を含む物流サービスのための資産取得
- 石油・ガス関連の活動及びサービス
- 輸送関連の活動及びサービス
- 運転資本の一部資金調達

上記のように船舶の調達も対象となっているが、グリーン船舶に特化しているわけではなく、従来の重油燃料の船舶調達でも MLTS を使用できる。2024 年 10 月に BPMB に確認したところ、これまでに低硫黄燃料の船舶調達に融資したことはあるが、LNG などの代替燃料の船への融資はしていないとのことであった。MLTS のスキームを使った場合、銀行に支払う利子のうち 1.5%については政府の補助が供与される。

環境対策に関わるスキームとしては、サステイナビリティ開発スキーム（Sustainable Development Financing Scheme：SDFS）があり、グリーン船舶も対象となるが、BPMB によると、SDFS は太陽光発電などのプロジェクトへの融資を主に行っているのが現状である。

2.2 政府及び石油会社の次世代燃料に関する取り組み

2.2.1 政府の政策や事業、石油会社のプロジェクト内容

（1）政府の政策

マレーシアでは、気候変動問題への対応として、「2030 年までに炭素排出量を 2005 年比で 45%削減する」という目標を掲げている。この目標は、5 年ごとに策定される国家中期計画である「第 11 次マレーシア計画（2016～2020 年）」で定められた。同計画では、国家の発展のための 6 つの戦略的推進力が定められ、その 1 つに「グリーン成長」が掲げられ、その一環として、低炭素化については、さまざまな具体的取り組みが盛り込まれた。同計画の実現のため、2017 年には「グリーンテクノロジーマスタープラン（2017～2030 年）」が発表され、エネルギー、製造、運輸、建設、廃棄物、水の主要 6 分野に注力し、環境技術の適用や各分野における目標が設定された。運輸分野では、公共交通機関や省エネ車普及率の向上が掲げられているが、グリーンテクノロジーマスタープランには、海事分野の脱炭素化については言及されていない。

2019 年に発表された「国家運輸政策 2019～2030 年（National Transport Policy：NTP）」では、政策の 1 つに「グリーン交通エコシステム（Green Transport Ecosystem）」の推進が掲げられている。その内容は、「国際的な環境基準の準拠」、「大都市における公共交通利用の促進」、「迅速な低炭素移動手段の導入」、「輸送部門における汚染、騒音、廃棄物を制御するための対策の導入」、「持続可能な輸送の実践に

向けた行動変容を促進するための効果的なコミュニケーション、教育、公共意識の育成」となっており、海事産業の脱炭素化に関する内容は含まれていない。

さらに、マレーシアは 2020 年に「低炭素モビリティーブループリント行動計画 2021～2030 年（Low Carbon Mobility Blueprint Action Plan）」を策定した。対象は陸上交通における公共交通や、電気自動車等におけるバイオディーゼルの利用促進などで、海事産業については触れられていない。

2022 年に発表された「国家エネルギー政策 2022～2040 年（National Energy Policy）」にてようやく、マレーシアは舶用燃料に占める LNG の割合を、2018 年の 0%から 2040 年には 25%に引き上げることを目標に掲げた。海事関連のアクションプランとしては、LNG バンカリングハブを目指すこと、舶用燃料としてのバイオ燃料の利用に向けた研究開発が挙げられている。また代替燃料については、水素の生産国となり、水素輸出を目指すことが記載されているが、生産量などの数値目標は掲げられておらず、水素を含むアンモニアやメタノール等の舶用燃料利用についても記載されていない。

翌 2023 年、マレーシア政府は「国家エネルギー転換ロードマップ（National Energy Transition Roadmap : NETR）」を発表した。その中で海事産業については、舶用燃料に占める低炭素燃料の割合を 2050 年までに全体の 40%とすることを掲げた。利用する代替燃料としては、e メタノール、e アンモニアが商業的に調達可能になるまでは、バイオ燃料を活用することとしている。また、IMO が脱炭素にフォーカスしたことを受け、LNG については、国家エネルギー政策 2022-2040 の目標（2040 年までに 25%）より低くするとしているが、具体的な数値は掲げていない。

また、NETR に掲げた海事産業に関する内容を推進するためのイニシアチブとしては、下記を実施することとなっている。

① プランテーション・コモディティ省（Kementerian Perladangan dan Komoditi : KPK）
- ✓ 研究開発や実証実験を実施し、舶用燃料としてのバイオ燃料の技術的商業的実用可能性を推進する。
- ✓ バイオ燃料の輸出を視野に、国内のバイオ燃料を海運業界で利用することを奨励する。

② 運輸省
- ✓ 代替燃料に関するパイロットプロジェクトを選択的に採用し、またその進捗をモニターし、これらの燃料の商業的実現可能性が達成された際に、国としての戦略を策定する。
- ✓ インセンティブの供与、燃料供給コストの低減、燃料供給の効率の向上などにより、将来の舶用燃料のバンカリングについて、国内の港の競争力を高める。
- ✓ 中長期的には国内の沿岸輸送船による代替燃料導入の計画を策定する。

（2）政府の事業

連邦政府が自ら実施するプロジェクトはないが、州政府や州のスルタンが関連するプロジェクトがいくつかある。

① サラワク州のグリーンメタノールのバンカリングハブ構想

東マレーシアのサラワク州は、グリーンメタノールのバンカリングハブを目指しており、2024 年 7 月に 70 億リンギを投じ、年間生産能力 175 万トンのメタノール工場を稼働させた。マレーシアでは Petronas に次ぐ 2 位の規模のメタノール工場となる。立地は Petronas の第 2 メタノール工場と同じサラワク州 Bintulu で、運営するのは、サラワク州が設立した Sarawak Petchem Sdn Bhd である。同州はマレーシアのオフショア石油ガス開発の拠点でもあり、Bintulu 港はマレーシア唯一の LNG 輸出港となっている。オフショア石油ガス開発向けの造船所、修繕ヤードも集積している。

一方、サラワク州沖は、現在の外航船の航路からは外れており、バンカリングのために外航船を誘致するためには、インセンティブが必要になるだろうとする業界関係者もあった[53]。

② ジョホール州の Maharani Energy Gateway

2022 年 2 月に、ジョホール州のスルタンが所有する Maharani Energy Gateway（MEG）社とシンガポールの LNG Easy 社は、ジョホール州の Muar に、浮体式 LNG ハブを開発することで覚書を交わした。Muar はジョホール州の北部、マラッカ州との境に立地し、船舶の航行が多いマラッカ海峡に面する。LNG Easy 社は 2016 年に海運業界の経験者が設立した企業で、LNG に関する新たなビジネスモデルを開発している。その 1 つとして、固定式桟橋に比べてコストが低い移動式充填ポンツーン（mobile filling pontoon：MFP）を開発し、2020 年にミャンマーに導入した。MFP は浮桟橋として使われる。

Maharani Energy Gateway プロジェクトは、29 万立法メートルの浮体式貯蔵施設と Q-Max サイズの LNG 船が接岸できる 4 つのバース等を設立する計画で、プロジェクトの総面積は 1,275 ヘクタールとなっている。

2024 年 1 月の報道によると、中国国営企業の中国能源建設集団（China Energy Engineering Corporation）が 20 億米ドルを出資して、ガス発電所とグリーン水素、グリーンアンモニアプラントを建設することが決まった。

なお、国営石油会社 Petronas 傘下のバンカリング会社 Petronas Marine によると、MEG における LNG バンカリングについて、協力の要請を受けている[54]。

（3）石油会社のプロジェクト

マレーシアでは国営石油会社 Petronas とその関連会社が代替燃料に関するプロジェクトを推進している。その一例として、Petronas 子会社の海運会社である MISC が世界初のアンモニア燃料タンカーを建造するためのパートナーシップ、Castor Initiative に参

[53] 2024 年 8 月 Malaysia Maritime Week での情報
[54] 2024 年 8 月 Malaysia Maritime Week での情報

画している。Castor Initiative は 1.2.1 章（6）②で紹介したとおりである。2021 年に LR は、サムスン重工業のアンモニア燃料タンカーの設計に AiP を発行した。建造するタンカーは MISC のシンガポール子会社、AET Tankers（AET）が所有、運航する予定となっている。

また、AET は Castor Initiative で調達する VLCC 以外にもアンモニア燃料タンカーを調達する。AET のアンモニアタンカー調達については、2.3 章に記載する。

2.2.2　次世代燃料のバンカリングに関する状況

マレーシアにおける次世代燃料のバンカリングは、2024 年 10 月現在、Petronas による LNG バンカリングのみとなっている。

（1）Petronas の LNG バンカリング事業

Petronas は 2020 年 11 月に、マレーシア初の船舶間 LNG バンカリングをジョホール州の Pasir Gudang で行った。バンカリングに使用したのは、2020 年に Keppel Nantong Shipyard が建造し、Avenir LNG 社[55]から Petronas が用船している LNG バンカリング船「Avenir Advantage」である。それ以来、LNG バンカリングは増加し、2023 年 10 月の報道によると、ジョホール港だけで 100 回、10 万トンの LNG バンカリングが実施された。

LNG バンカリングを担っているのは Petronas 子会社の Petronas Marine で、2024 年 10 月現在、ジョホール州 Pengerang の LNG ターミナル、サラワク州 Bintulu LNG コンプレクス、2 基の浮体式 LNG 施設 PFLNG Satu、PFLNG Dua に貯蔵している LNG を、3 隻の船を使って供給している。Petronas Marine の LNG バンカリング船は次のとおりで、いずれも同社が用船している。

表 15　マレーシアの LNG バンカリング船

船名/船主	GT	船籍	建造年	造船所
Avenir Advantage/ Avenir LNG	7,817	マレーシア	2020	Keppel Nantong Shipyard Co Ltd - Nantong JS （Hull） Yard
Paolina Cosulich/ Fratelli Consulich	8,847	マレーシア	2024	Nantong CIMC Sinopacific Offshore& Engineering Co Ltd
Titan Vision/ Titan LNG	11,327	キプロス	2011	AVIC Dingheng Shipbuilding Co Ltd 改造はシンガポールの PaxOcean Shipyard が所有するインドネシアのバタム島に立地する造船所

出典：IHS Maritime、各社ウェブサイト等より作成

表 15 にある「Paolina Cosulich」は、イタリアの海運会社 Fratelli Consulich が中国の南通中集太平洋海洋工程（Nantong CIMC Sinopacific Offshore& Engineering Co Ltd：南通 CIMC SOE）で建造し 2024 年に引き渡しを受けた船舶。「Titan Vision」は、

[55] Avenir LNG 社は、ノルウェーの大手物流 Stolt-Nielsen、ノルウェーの FSRU プロバイダーの Hoegh LNG、LNG 関連インフラ大手 Golar LNG が 2018 年に設立した LNG バンカー船に投資を行う合弁会社。

2011 年に建造された中古の LNG 船を、オランダの LNG バンカリング会社が買い取り、インドネシアのバタム島にあるシンガポール資本の PaxOcean 造船所で、LNG バンカリング船に改造したものである。

図 27　LNG バンカリング船「Avenir Advantage」

出典：Petronas ウェブサイト[56]

さらに Petronas は、サバ州 LNG バンカリングインフラの拡充を計画中である。サバ州の北は、オーストラリアからの鉱物などを中国、台湾、韓国、日本に輸送する大型のバルクキャリアが航行する主要航路となっており、Petronas によると、年間 7,000 隻程度が航行している。将来的には 400 万トン相当の LNG バンカリング需要が見込まれるという[57]。Petronas は、サバ州向けに浮体式 LNG 貯蔵施設（FLNG）を調達し、Avenir Advantage を常駐させ、Kota Kinabaru、Sandakan、Labuan、Lahad Datu を LNG バンカリングハブとすることを検討している。Petronas はサムスン重工業と日揮のコンソーシアムに 3 基目の FLNG を発注しており、2024 年 4 月に建造が始まった。この FLNG は、2027 年下半期に完成予定で、サバ州の Sipitang 石油ガス工業団地沖に設置される。

[56] https://www.petronas.com/media/media-releases/petronas-marks-start-business-lng-bunkering-completion-first-delivery
[57] Malasia Maritime Week 2024 年 8 月 Petronas プレゼンテーション

図 28　オーストラリアから北アジアへの航路

出典：2024 年 8 月 Malaysia Maritime Week における Petronas のプレゼンテーション資料

図 29　サバ州の LNG バンカリングハブ候補地

出典：Google Map より作成

もともと Petronas は従来の重油ベースの舶用燃料をバンカー事業者に販売する立場であり、バンカリング事業は行っていなかった。しかし、LNG バンカリングは資本投下も大きく、民間で事業を開始できるところはなかったため、Petronas が事業をスタートさせた。2024 年 8 月の Malaysia Maritime Week のスピーカー、Petronas Marine のバン

カリングアセット・設備部長 Mohd Rafe bin Mohamed Ramli 氏は、民間が参入できるようになれば、Petronas は LNG バンカリングから撤退してもよく、ローカル資本企業と協業する用意があると発言していた。しかし、関心を持つ企業がいないとのことである。また、現状の LNG バンカリング船は海外建造だが、地元の造船所での建造も協議中であり、用船している LNG バンカリング船もできるだけマレーシア籍船にするとのことであった。

なお、マレーシア海事局は 2019 年に LNG バンカリングのガイドラインを発表済である[58]。

（2）ジョホール州 Tanjung Pelepas 港（PTP）のグリーンバンカリングハブ化

マレーシアは IMO とノルウェーが支援する「GreenVoyage2050[59]」に参画しており、Tanjung Pelepas 港（PTP）が GreenVoyage2050 の Green Boat Project において、タグボートとパイロットボートのグリーン化のパートナーとなっている。2024 年 4 月に実施したワークショップでは、PTP におけるタグボートから発生する二酸化炭素排出のベース値の算出を支援した。PTP によると、2024 年 10 月現在、PTP で使用するグリーンなタグボート、パイロットボートの設計パートナーを募集中とのことであった[60]。

さらに、PTP はオーストラリア政府による「インフラストラクチャーのためのパートナーシップ（P4I : Partnerships for Infrastructure[61]）の支援を受け、代替燃料バンカリングハブを目指している。P4I の支援では、特にメタノールに焦点を当て、PTP におけるメタノールバンカリングの実現可能性調査を実施した。技術アセスメントは終了し、制度設計、安全基準などの策定を実施する段階となっている。2024 年 8 月の Malaysia Maritime Week において、オーストラリア総領事館のコンサルタント Dr Jonathan Beard は、「マレーシアは自国でのグリーン燃料生産が可能であり、グリーンシッピングのハブとなる可能性がある。グリーン燃料を生産が困難な国で、燃料を遠くから運んでくるのは現実的ではない。マレーシアに不足しているのは、制度とインセンティブである。」と発言し、マレーシア政府のイニシアチブを促した。また PTP は、舶用燃料のサプライヤーではないため、マレーシアにおけるグリーンバンカリングに関心がある企業を誘致することになる。

（3）バイオ燃料のバンカリング

マレーシアではシンガポールのようなバイオ燃料バンカリングのパイロットプロジェクトは実施されていない。

マレーシアで最初にバイオ燃料のバンカリングが実施されたのは 2024 年 5 月で、ジョホール州の Tanjung Pelepas 港（PTP）にて、マレーシアの上場企業 Straits Energy

[58] https://www.marine.gov.my/jlm/admin/assets/uploads/images/contents/20201022132301-4834e-sgmf-simops.pdf
[59] IMO が主導する発展途上国の海事産業脱炭素化を支援するプロジェクトで、フィンランド、フランス、ドイツ、オランダ、ノルウェーが資金を拠出して 2030 年まで実施する。
[60] Malaysia Maritime Week Aug 2024 PTP プレゼンテーション
[61] P4I はオーストラリア政府による東南アジア諸国の脱炭素化支援プログラムで、カンボジア、インドネシア、ラオス、マレーシア、フィリピン、タイ、東チモール、ベトナムが対象となっている。

Resources の子会社 Tumpuan Megah Development が、4,500 トンの B24 バイオ燃料を Maersk のコンテナ船に供給した。

マレーシア最大の港、Klang 港初のバイオ燃料バンカリングは、2024 年 6 月と 7 月に、実施された。香港の舶用燃料会社 Banle Energy International が、台湾の陽明海運のコンテナ船に B24 バイオ燃料バンカリングを行った。

一方、マレーシアではバイオ燃料製造の動きもある。Petronas、イタリアの大手エネルギー会社 Eni 傘下の Enilive S.p.A、日本のユーグレナは、2024 年 7 月にバイオ燃料製油所をジョホール州に建設することで、最終投資判断に達した。3 社は 2022 年 12 月に、バイオ燃料製油所の実現可能性調査を実施すると発表していた。3 社は合弁会社をマレーシアに設立し、生産能力年間 65 万トンの工場を立ち上げ、航空業界や輸送業界でニーズが高まっているバイオジェット燃料、HVO、バイオナフサ等を生産する計画で、2028 年下半期の稼働を目指している。Petronas のプレスリリースでは、舶用バイオ燃料には言及していないが、生産物は、ジェットバイオ燃料以外にも、舶用バイオ燃料、車両向けのバイオ燃料等の用途に利用できる。

また 2023 年 6 月、香港と中国のガス会社の支援でマレーシアに設立されたバイオ燃料生産業者 EcoCeres が、ジョホール州 Pasir Gudang にバイオ燃料生産設備を設立すると発表した。年間生産量は 35 万トンで 2025 年下半期の稼働を予定している。

なお、米国農業省のレポートによると、2023 年現在、マレーシアのバイオ燃料製油所は 18 カ所、生産能力は 25 億 6,500 万リットルであるが、原材料の不足などもあり、2023 年の生産量速報値は 10 億 7,800 万リットルであった。

（4）サラワク州のグリーンメタノールのバンカリングハブ構想

2.2.1 章（2）の政府の事業で記載のとおり、サラワク州のグリーンメタノールのバンカリングハブを構築する構想がある。

2.3 造船所や船主の次世代燃料船に関する情報

2.3.1 次世代燃料船の建造実績

マレーシアの造船所は、メタノール、アンモニア、水素といった次世代燃料の船舶や、LNG 燃料の船舶も建造実績はない。環境に配慮した船舶の建造としては、ディーゼルエンジンと電動モーターを使うハイブリッド推進船の建造実績はある。

例えば、マレーシアの大手オフショア支援船造船所の Nam Cheong は、2012 年にマレーシア初のディーゼル電気ハイブリッドのオフショア支援船を建造した。設計はフィンランドの Wartsila が行った。2014 年には 5 社から 12 隻のディーゼル電気ハイブリッドのオフショア支援船を受注したと報じられたが、その後の動きは報じられていない。2013 年には、シンガポールの Focal Marine & Offshore が設計したディーゼル電気ハイブリッドのプラットフォームサプライ船を、大手造船所 Muhibbah Marine Engineering が建造したが、こちらもその後の動きは報じられていない。

また 2022 年 7 月に、シンガポールの船舶設計会社 Evolution Concept と、マレーシアの造船所 3 社が協力して、マレーシア初のバッテリー駆動 OSV 建造することで合意した。マレーシアの造船所 3 社は、Grade One Marine Shipyard Sdn Bhd、Muhibbah Marine

Engineering Sdn Bhd、Shin Yang Shipyard Sdn Bhd。Grade One Marine Shipyard は 2005 年に設立され、Perak 州 Lumut 港工業団地に立地する造船所。Shin Yang Shipyard はマレーシアの上場海運企業 Shin Yang Shipping のグループ会社。Evolution Concepts は 2015 年設立の船舶設計会社。Evolution Concepts はこれまでに自律昇降装置、AHTS、水界地理学調査船、カタマラン警備艇などを設計している。その後、プロジェクトの進捗についての報道はないが、2024 年 10 月に Evolution Concepts に問い合わせたところ、プロジェクトは徐々に推進中で、将来的にはマレーシアで建造されるとのことであった。

2.3.2　船主による次世代燃料への転換動向

代替燃料船に注力しているのは、Petronas 傘下の MISC やその子会社の AET Tankers である。Petronas 傘下の企業の取り組みは、2.2.1 章（3）でも記載したが、MISC、AET Tankers によるプロジェクトは以下のとおりである。

① Castor Initiative でのアンモニア燃料タンカーの設計建造

1.2.1 章（6）②で記載のとおり、アンモニア燃料タンカーを建造するためのパートナーシップ、Castor Initiative の下、サムスン重工業がアンモニア燃料タンカーを建造し、AET Tankers が所有運航する予定である。MISC の 2023 年度年次報告書によると、2027 年に 1 隻目のアンモニア燃料船の納入を目指している。

② 中国へのアンモニア二元燃料タンカー発注

2024 年 4 月、AET Tankers は 11 万 5,000DWT のアンモニア二元燃料アフラマックスタンカー2 隻を中国の大連船舶重工（Dalian Shipbuilding Industry）に発注した。竣工後は Petronas 傘下の Petco Trading Labuan Company（PTLCL）に定期貸船する。タンカーには、スイスのエンジンメーカーWinGD の 6 気筒の X62DF-A エンジンが搭載される。AET は 2023 年 6 月、WinGD 及び船級協会 DNV とアンモニア二元燃料のエンジン開発に関する協力協定を締結していた。協定にはアンモニアエンジンを搭載した船舶を安全に管理できる船員の育成・訓練が含まれ、MISC 子会社で、マレーシアのマラッカにキャンパスを持つ船員教育機関の Akademi Laut Malaysia（ALAM）も参加する。なお、2017 年に中国の CSSC グループが Wartsila から WinGD の株式を買い取り、現在、WinGD は中国の CSSC グループの 100%子会社となっている。

③　タイの PTT 向けのアンモニア燃料タンカーを調達

2022 年 10 月、AET Tankers は、2 隻のアンモニア燃料タンカーの開発建造で、タイの国営石油ガス会社 PTT と覚書を交わしたと発表した。AET が造船所を選定して、2 隻建造し、PTT に長期用船する。しかし、このプロジェクトについてはその後の進捗は発表されていない。

終わりに

2050 年の海運ネットゼロの目標に向けて、次世代燃料への動きは世界各地で加速している。その中で話題となるのは、将来、主流となる次世代燃料は何か、という点である。シンガポール等で開催される、海運関連での国際会議でもしばしば話題となるが、現状では、どれが主流になるかはわからない、というのが、業界専門家の一致した意見のようだ。次世代燃料の扱いの技術的なハードルもあるが、アンモニアやメタノールは、現在、重油が担っている舶用燃料の量を単独で賄うことはできない。ネットゼロの達成のためには、単なるアンモニアやメタノールではなく、グリーンアンモニア、グリーンメタノールの供給を増やさなければならない。そのため、シンガポールは「全方位体制」で、バイオ燃料、メタノール、アンモニア、水素、電動化すべてに取り組んでいる。

船主からは、「代替燃料船は、船価が通常船舶よりも 1,200 万～2,000 万米ドル高い。それに見合った用船料収入が見込めなければ、発注は困難」という意見もあるが、新造船に占める代替燃料船の割合は徐々に増加している。2024 年 7 月 23 日の Riviera Maritime Media の記事によると、2023 の新造船発注総トン数のうち約 40%に当たる 3,500 万 GT、578 隻が代替燃料船で、最も多いのが LNG 燃料船の 221 隻、次いでメタノール燃料船の 135 隻であった。2024 年上半期は、新造船発注総トン数の 41%に当たる 1,720 万 GT、310 隻が代替燃料船であった。2024 年上半期にアンモニア燃料船の初発注があったが、安全性のハードルが高いアンモニア燃料船は時期尚早であり、LNG に次いで新造船の発注が多いのは、メタノール燃料船である。シンガポールでも、メタノール燃料船に投資する船主が増えてきている。しかし、グリーンメタノールはコストが高い。そのため、LNG 燃料と低速航行等のオペレーション最適化で 2030 年～2035 年くらいまでの低炭素化目標は達成でき、そのころにアンモニアを安全にバンカリングに使える技術が確立できれば、アンモニアのバンカー需要が高まるのではないか、という意見もある。

しかしアンモニアは、それほどクリーンな燃料ではない、という報告もある。2024 年 7 月、マサチューセッツ工科大学が、アンモニア舶用燃料の燃焼は大気汚染の悪化と健康被害をもたらす可能性がある、という調査報告を発表した[62]。その調査によると、アンモニアを燃焼すると一酸化二窒素（N_2O）が生成されるが、これは二酸化炭素よりも約 300 倍強力な温室効果ガスである。また、窒素酸化物（NO 及び NO_2、総称して NOx）として窒素を排出し、未燃焼のアンモニアが漏れ出すこともある。このアンモニアは最終的に大気中で微細な粒子状物質を形成し、肺深くまで吸い込まれ、心臓発作や脳卒中、喘息などの健康問題を引き起こす可能性がある。そのため、規制を強化し、よりクリーンなエンジン技術を導入する必要があるとしている。

安全性、供給量、生産コストや、重油より低いエネルギー密度など、どの次世代燃料をとっても、課題は多い。どの次世代燃料も研究開発途上で、当面はマルチ燃料対策を続けることが必要になる。

一方、シンガポールにとっての最大の課題は、メタノールやアンモニアといった代替燃料の供給量の確保となる。前述のように、2024 年 8 月の Malaysia Maritime Week に

[62] MIT News, 11 July 2024

おいて、オーストラリア総領事館のコンサルタント Dr Jonathan Beard は、「グリーン燃料を生産が困難な国で、燃料を遠くから運んでくるのは現実的ではない。」と発言しているが、これは明らかにシンガポールを指している。従来の舶用燃料については、シンガポールは石油生産国ではないが、早い時期に石油精製所の誘致に成功したおかげで、バンカリングのハブとなった。しかし、石油精製所を誘致した 1960 年代と異なり、コストも大幅に上昇し、土地も限られたシンガポールで、大規模な次世代燃料の生産工場を誘致するのは現実的ではない。次世代燃料の生産のポテンシャルが高い国との協業が不可欠となると思われる。

マレーシアは資源大国でもあり、次世代燃料のポテンシャルはある。しかし、マレーシア上場 Yinson が子会社を通じて、脱炭素に力を入れているのはシンガポールである。代替燃料のハブとなるには、明確で一貫した政策やインセンティブなどが必要だ。

世界最大のバンカリングのハブ港であるシンガポールは、その地位を維持するために、代替燃料の取り組みも国を挙げて積極的に実施している。当初は政府主導で LNG バンカリングに取り組み、軌道に乗せた。政府による出資や援助だけでなく、内外の民間企業の投資を引き出すことにも成功している。海外との連携も活発で、常に最先端の情報や技術を、いち早く取り入れている。また、既に多くの日本の海事関連企業もシンガポールと協業しているが、海事産業のハブを維持するために、次世代燃料のフロントランナーを目指すシンガポールとの協業は、日本の海事産業にとっても重要となろう。

MARITIME AND PORT AUTHORITY OF SINGAPORE
PORT MARINE CIRCULAR
No. 03 OF 2024

08 February 2024

Bunker Suppliers / Bunker Craft Operators / Bunker Surveying Companies / Bunker Surveyors / Shipping Community / Laboratory Testing Community

ADOPTION OF TESTING ENHANCEMENTS FOR MARINE FUEL INTENDED TO BE DELIVERED AS BUNKERS IN THE PORT OF SINGAPORE

1. This circular serve to inform all bunker suppliers licensed by the Maritime and Port Authority of Singapore (MPA) on the implementation of enhanced testing parameters for marine fuel batches intended to be delivered as bunkers in the port of Singapore in addition to the existing quality assurance measures. These testing enhancements are intended to be carried out at the upstream supply chain for system efficiencies and cost effectiveness compared to doing so for each delivery.

2. Arising from the bunker contamination incident in Singapore in February 2022, where about 200 ships were supplied with High Sulfur Fuel Oil (HSFO) containing high levels of Chlorinated Organic Compounds (COC) in the Port of Singapore, an Industry Expert Group (IEG)[1] co-chaired by the MPA and Singapore Shipping Association (SSA) was formed to strengthen the quality assurance of bunkers supplied in the Port of Singapore.

3. The IEG had provided its recommendations to MPA in mid-2023, as attached in Annex A of this circular.

4. Taking into account the IEG's recommendations and industry feedback, the following testing enhancements (to be carried out upstream) would be mandatory <u>from 1st June 2024</u> (in addition to existing quality assurance measures):

[1] The IEG comprised of experts from international associations such as the International Bunker Industry Association (IBIA) and the International Council on Combustion Engines (CIMAC), representatives from fuel oil testing laboratories, bunker suppliers, shipowners, engine manufacturer from MAN Energy, and the Singapore's Health Sciences Authority (HSA).

I. For all residual and bio-residual bunker marine fuel supplied in the Port of Singapore, bunker suppliers must ensure that they do not contain COC above 50mg/kg, and must be free from inorganic acids. Specifically,

   a. COC must be tested for using the EN 14077 accredited test method (concentration of total organic chlorine must not exceed 50mg/kg) and shall be reported in the "Certificate of Quality" (COQ) provided to receiving vessels;

   b. Inorganic acids must be tested for using ASTM D664 accredited test method as prescribed in ISO 8217 and the Strong Acid Number (SAN) (in addition to the Total Acid Number (TAN)) shall be reported in the COQ (i.e. SAN = 0) provided to receiving vessels;

II. For all distillate and bio-distillate bunker marine fuel supplied in the Port of Singapore, bunker suppliers must ensure that they are free from inorganic acids, which must be tested for using ASTM D664 test method as prescribed in ISO 8217 and the SAN (in addition to the TAN) shall be reported in the COQ (i.e. SAN = 0) provided to receiving vessels.

5. Residual marine fuels should also be free from polystyrene, polypropylene and polymethacrylate. For the general detection of these polymers, the fuel can be tested using a test method which consists of filtration, microscopic examination, and Fourier-Transform Infrared spectroscopy (FTIR) analysis to qualitatively determine if they are present in the fuel. It is recommended that all MPA licensed bunker suppliers maintain proper test records to indicate that the current batch of bunker fuel supplied as bunkers in the port of Singapore is free from these polymers. Bunker buyers are also encouraged to consult the bunker suppliers in advance and have proper contractual agreement for the quality of fuel bunkered. MPA is working with relevant agencies and stakeholders to enhance polymer testing capabilities and establish standardised test method for these polymers in Singapore.

6. For marine fuel which is blended using batches of different fuel or feedstock, the tests prescribed in Para 4 must be carried out after the blending, and before being delivered as bunkers in the Port of Singapore. Blending is not permitted on board the MPA licensed bunker craft and the COQ must be of the fuel prior loading to the bunker tanker before the product is delivered as bunkers in the port of Singapore.

7. Please refer to Annex B for FAQs. Should you have any queries, please write to us at bsd@mpa.gov.sg.

CAPT DAKNASH GANASEN
SENIOR DIRECTOR (OPERATIONS & MARINE SERVICES)
for CHIEF EXECUTIVE
MARITIME AND PORT AUTHORITY OF SINGAPORE

ANNEX A

Residual Marine Fuel

Compound Group	Recommendation
Chlorinated Organic Compounds	Residual marine fuels shall not contain chlorinated organic compounds. De minimis levels are taken as when the concentration of total organic chlorine does not exceed 50 mg/kg using the EN 14077 test method.
Inorganic Acids	Residual marine fuels shall be free of inorganic acids. The Strong Acid Number (SAN) (in addition to the Total Acid Number (TAN)) shall be reported within the Certificate of Quality (COQ) (i.e. SAN = 0) and according to test method ASTM D664 as prescribed in ISO 8217.
Polymers	Residual marine fuels should be free from polystyrene, polypropylene, and polymethacrylate. Due to the lack of standardised test methods for the general detection of polymers, the fuel can be tested using a test method which consists of filtration, microscopic examination, and Fourier-Transform Infrared spectroscopy (FTIR) analysis to determine if they are present in the fuel.

Distillate Marine Fuel

Compound Group	Recommendation
Inorganic Acids	Distillate marine fuels shall be free of inorganic acids. The Strong Acid Number (SAN) (in addition to the Total Acid Number (TAN)) shall be reported within the Certificate of Quality (COQ) (i.e. SAN = 0) and according to test method ASTM D664 as prescribed in ISO 8217.

ANNEX B

Frequently Asked Questions (FAQs)

No.	FAQ	Answer
1	What are these testing enhancements for?	They are preventive measures introduced to reduce the occurrence of bunkering contaminated fuels by sieving out contaminants from the upstream bunker supply chain.
2	Are the test enhancements required for each bunker delivery?	No. These testing enhancements are to be carried out for the batch of fuel upstream and not for each bunker delivery.
3	Who is responsible for the testing enhancements?	MPA licensed bunker suppliers must ensure that the bunker fuel that they are supplying in the port of Singapore conforms with the requirements laid out in this PMC.
4	When must the enhanced testing be carried out?	For residual fuel / bio-residual bunker marine fuel, the COQ of the fuel loaded onto the bunker tanker must contain the tests results of the COC and SAN. For polymers, (polystyrene, polypropylene and polymethacrylate) suppliers are recommended to maintain proper test records, that the current batch of bunker fuel supplied is free from polymers. For distillate / bio-distillate bunker marine fuel batches, SAN must be tested and reported in the “Certificate of Quality” (COQ). The testing enhancements are to be carried out after blending of feedstocks/fuels (if any) in shore/floating tanks and before being intended to be delivered as bunkers in the Port of Singapore.
5	Are bunker suppliers allowed to adopt these testing enhancements before 1st June 2024?	Yes, MPA licensed bunker suppliers are highly encouraged to adopt these testing enhancements as early as possible. However, from 1st June 2024, bunker suppliers must comply with the requirements of this PMC.

6	Are there testing laboratories capable of conducting these testing enhancements available?	Yes, there are several laboratories in Singapore which have acquired the respective capabilities. Suppliers should approach them for further enquiries.
7	I have concerns due to the lack of standardised testing for polymers. How can we test for it?	Due to the lack of standardised test methods for the general detection of polymers (polystyrene, polypropylene and polymethacrylate), the IEG has hence recommended that the fuel can be tested using a test method which consists of filtration, microscopic examination, and Fourier-Transform Infrared spectroscopy (FTIR) analysis to qualitatively determine if such polymers are present in the fuel. There are several laboratories in Singapore that are or will be undergoing accreditation by SAC-SINGLAS to perform the qualitative polymers testing. MPA is working with relevant agencies to enhance the polymer testing capabilities in Singapore. More details will be announced in due course.
8	Is it compulsory for me to test for all of the polymers?	No, only three polymers (polystyrene, polypropylene, and polymethacrylate) are recommended to be tested for, as they are identified as detrimental when present in marine fuel.
9	Will these testing enhancements affect my turnaround time or impact the bunker supply in Singapore?	The testing enhancements are not expected to affect the current turnaround time to test bunker samples against the existing ISO 8217 testing parameters. As such, MPA does not expect these testing enhancements to have an adverse impact on the supply system.
10	What happens when the new ISO 8217 is published?	The ISO 8217 is expected to be published by early 2024. We will still require MPA bunker suppliers to comply and report the respective testing enhancement results in accordance with the PMC. Further details will be provided once the standard have been released.
11	Are these testing enhancements also included in the revised 8217?	The revised edition of ISO 8217 is yet to be released. The final version is expected to be released by early 2024.

12	Will the fuel be deemed off-spec if they do not meet these enhanced requirements?	Bunker fuel that does not meet the requirements of this PMC must not be supplied as bunkers in Singapore. Licensing action may be taken against the supplier that do not comply with the requirements of this PMC.

この報告書はボートレースの交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました。

シンガポール及びマレーシアにおける
船舶の次世代燃料への転換動向調査

2025 年（令和 7 年）3 月発行

発行　一般社団法人 日 本 舶 用 工 業 会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 1-13-3
虎ノ門東洋共同ビル 5 階
TEL 03-3502-2041　FAX 03-3591-2206

一般財団法人 日本船舶技術研究協会

〒107-0052 東京都港区赤坂 2-10-9
大阪ガス都市開発赤坂ビル
TEL 03-5575-6426　FAX 03-5114-8941

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。