

欧州造船業・海運業等の脱炭素化の動向

2022年3月

一般社団法人 日本中小型造船工業会
一般財団法人 日本船舶技術研究協会

はじめに

気候変動問題への対応が世界的に喫緊の重要課題となっている中、今後も輸送量の増大が見込まれる海運分野においては、多くの関係国政府や企業が2050年のカーボンニュートラルに向けて、脱炭素化の取組を加速化させている。

2021年6月に開催された国際海事機関（IMO）第76回海洋環境保護委員会（MEPC）では、世界の大型外航船への新たなCO₂排出規制「既存船燃費規制（EEXI）・燃費実績（CII）格付け制度」に関する条約を採択し、当該規制を2023年から開始することを決定した。また、同年11月にグラスゴーで開催されたCOP26に合わせて、国際海運からの GHG 排出削減のため、GHG を排出しないゼロエミッション船が運航されるグリーン海運回廊の開設を目指す「クライドバンク宣言」への署名が行われた。

産業界においても、省エネルギー技術の開発や代替燃料の導入に向けた検討が進められている。脱炭素化に関する技術開発やソリューションの提供は、環境保全に貢献することに加え、企業や産業の国際競争力の源泉にも直結するものである。特に欧州においては、造船業・船用工業は、最も研究開発に力を入れているセクターの一つであり、脱炭素化に向けた研究開発の投資に力を入れている。また、欧州の荷主や海運会社においても、脱炭素化に向けた新技術などの導入を積極的に進めている。欧州の海事産業の脱炭素化の動向を把握することは我が国の海事産業にとっても有益であるため本調査を実施した。

ジェトロ・ロンドン事務所（ジャパン・シップ・センター） 船舶部
（一般社団法人日本中小型造船工業会 共同事務所）
ディレクター（船舶部長）高橋 信行

目 次

1. 概要	1
2. 欧州海事セクターの脱炭素化の背景	4
2.1 欧州海運業の GHG 排出	4
2.2 グローバルな政策：京都議定書	6
2.3 パリ協定と国連持続可能な開発目標	7
2.4 海運セクターからの GHG 排出量削減に向けた国際的目標	8
2.5 欧州連合（EU）の海運からの GHG 排出削減に関する政策	10
2.6 ノルウェーと英国のグリーン SHIPPING 戦略	10
3. 欧州における代替燃料開発の現状	12
3.1 代替燃料の概要：現状と課題	12
3.1.1 重油	12
3.1.2 代替燃料の検討	12
3.1.3 液化天然ガス	13
3.1.4 液化石油ガス（LPG）	15
3.1.5 メタノール	15
3.1.6 水素	18
3.1.7 アンモニア	20
3.1.8 バイオ燃料	22
3.1.9 電力	24
3.1.10 原子力	25
3.1.11 グリーン燃料製造のスケール拡大とコスト削減への課題	26
3.2 欧州海運会社の船用代替燃料の利用に関する戦略	29
3.2.1 Maersk（デンマーク）	31
3.2.2 MSC（スイス）	33
3.2.3 CMA CGM（フランス）	35
3.2.4 Hapag-Lloyd（ドイツ）	37
3.2.5 Carnival Group の欧州子会社	37
3.2.6 Wallenius Wilhelmsen（ノルウェー）	39
3.2.7 Oldendorff Carriers（ドイツ）	39
3.2.8 Euronav（ベルギー）	39
3.2.9 Navios Group（ギリシャ）	40
3.2.10 Danaos（ギリシャ）	40
3.2.11 Fredriksen 傘下の企業（ノルウェー／キプロス）	40
3.2.12 Anglo American（英国）	42
3.2.13 Fjord1（ノルウェー）	43
3.2.14 Color Line（ノルウェー）	43
3.2.15 Hurtigruten Group（ノルウェー）	43
3.2.16 Höegh（ノルウェー）	44
3.2.17 Rosatom（ロシア）	44
3.2.18 Stena Group（スウェーデン）	45
3.2.19 Shell（オランダ／英国）	46
3.2.20 Equinor（ノルウェー）	47
3.2.21 BP Shipping（英国）	48

3.2.22	Navigator Gas (英国)	49
3.2.23	Exmar (ベルギー)	49
3.2.24	Scandlines (デンマーク)	49
3.2.25	Yara (ノルウェー)	50
3.2.26	ASKO (ノルウェー)	50
3.2.27	Stolt Tankers (オランダ)	50
3.2.28	Terntank (デンマーク)	51
3.2.29	Viridis Bulk Carriers (ノルウェー)	51
3.2.30	その他の欧州海運会社	51
3.3	欧州船用エンジンメーカーとエネルギー変換企業の動向	54
3.3.1	Wärtsilä (フィンランド)	55
3.3.2	WinGD (スイス)	58
3.3.3	MAN Energy Solutions (ドイツ)	58
3.3.4	Rolls-Royce (英国)	61
3.3.5	Alfa Laval (スウェーデン)	62
3.3.6	ABB Marine and Ports (スイス)	63
3.3.7	Siemens Energy (ドイツ)	64
3.3.8	Corvus Energy (ノルウェー)	64
3.3.9	Ballard Europe (ノルウェー)	65
3.3.10	Freudenberg (ドイツ)	65
3.3.11	Ceres (英国)	65
3.3.12	ヨーテボリ港 (スウェーデン)	65
3.3.13	PowerCell (スウェーデン)	66
3.3.14	Core Power (英国)	67
3.3.15	Seaborg (デンマーク)	68
3.4	欧州港湾による代替燃料インフラ供給の動向	68
3.4.1	ロッテルダム港 (オランダ)	69
3.4.2	アムステルダム港 (オランダ)	71
3.4.3	アントワープ港 (ベルギー)	72
3.4.4	ハンブルク港 (ドイツ)	73
3.4.5	ブレーメン港/ブレーマーハーフェン港 (ドイツ)	73
3.4.6	ピレウス港 (ギリシャ)	74
3.4.7	アルヘシラス港 (スペイン)	74
3.4.8	マルセイユ港 (フランス)	74
3.4.9	フェリクストウ港 (英国)	74
3.4.10	その他の欧州港湾	75
3.5	欧州の燃料サプライヤーの代替燃料供給状況	75
3.5.1	Shell Marine Fuels (オランダ/英国)	76
3.5.2	BP Marine (英国)	76
3.5.3	TotalEnergies Marine Fuels (フランス)	77
3.5.4	Equinor (ノルウェー)	78
3.5.5	Gasum (フィンランド)	78
3.5.6	Liquid Wind (スウェーデン)	78
3.5.7	Titan LNG (オランダ)	79
3.5.8	GoodFuels (オランダ)	79

3.5.9	REIntegrate/European Fuels (デンマーク)	80
3.6	欧州の大学、研究機関、船級協会の船用代替燃料開発の動向	80
3.6.1	Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping (デンマーク)	81
3.6.2	University Maritime Advisory Services (英国)	83
3.6.3	コペンハーゲン大学科学学部 (デンマーク)	85
3.6.4	MARIN (オランダ)	85
3.6.5	TU Delft (オランダ)	85
3.6.6	サウサンプトン大学 (英国)	86
3.6.7	NTNU (ノルウェー)	86
3.6.8	SINTEF (ノルウェー)	87
3.6.9	CEA (フランス)	88
3.6.10	DNV (ノルウェー)	88
3.6.11	Bureau Veritas (フランス)	91
3.6.12	Lloyds Register (英国)	92
3.6.13	RINA (イタリア)	92
4.	欧州の船舶からのカーボン排出削減に向けたエネルギー削減技術の動向	93
4.1	欧州燃料サプライヤーの代替燃料供給とエネルギー削減技術導入の動向	93
4.1.1	船舶設計と流体力学	93
4.1.2	動力支援システム	96
4.1.3	ロジスティックスとデジタル化	97
4.1.4	エネルギーの二次的回収	98
4.1.5	カーボン回収・貯蔵	98
4.2	欧州船主のエネルギー削減技術導入状況	98
4.2.1	Maersk (デンマーク)	99
4.2.2	MSC (スイス)	101
4.2.3	CMA CGM (フランス)	102
4.2.4	Hapag-Lloyd (ドイツ)	103
4.2.5	Carnival Group の欧州子会社	103
4.2.6	Wallenius Wilhelmsen (ノルウェー)	104
4.2.7	Oldendorff Carriers (ドイツ)	104
4.2.8	Euronav (ベルギー)	105
4.2.9	Navios Group (ギリシャ)	105
4.2.10	Danaos (ギリシャ)	105
4.2.11	Fredriksen 傘下の企業 (ノルウェー/キプロス)	105
4.2.12	Anglo American (英国)	106
4.2.13	Fjord1 (ノルウェー)	106
4.2.14	Color Line (ノルウェー)	106
4.2.15	Hurtigruten Group (ノルウェー)	106
4.2.16	Höegh (ノルウェー)	107
4.2.17	Rosatom (ロシア)	107
4.2.18	Stena Group (スウェーデン)	107
4.2.19	Shell (オランダ/英国)	108
4.2.20	Equinor (ノルウェー)	108
4.2.21	BP Shipping (英国)	108
4.2.22	Navigator Gas (英国)	109

4.2.23	Exmar (ベルギー)	109
4.2.24	Scandlines (デンマーク)	109
4.2.25	Stolt Tankers (オランダ)	110
4.2.26	Terntank (デンマーク)	110
4.2.27	その他の欧州海運会社	110
4.3	欧州の船舶設計企業及び造船所のエネルギー削減技術開発動向	111
4.3.1	Deltamarin (フィンランド)	112
4.3.2	Ulstein Design & Solutions (ノルウェー)	112
4.3.3	Damen (オランダ)	112
4.3.4	Fincantieri (イタリア)	113
4.3.5	VARD (ノルウェー)	114
4.3.6	Meyer Werft (ドイツ)	114
4.3.7	Navantia (スペイン)	115
4.3.8	Chantiers de l'Atlantique (フランス)	115
4.4	欧州の船用メーカー及び船用システム企業のエネルギー削減技術開発動向	115
4.4.1	Wärtsilä (フィンランド)	116
4.4.2	Kongsberg Maritime (ノルウェー)	121
4.4.3	Alfa Laval (スウェーデン)	123
4.4.4	Schottel (ドイツ)	124
4.4.5	Yara Marine Technologies (ノルウェー)	125
4.4.6	Becker Marine Systems (ドイツ)	126
4.4.7	ABB (スイス)	127
4.4.8	Mecklenburger (MMG) (ドイツ)	128
4.4.9	Berg Propulsion (スウェーデン)	129
4.4.10	The Switch (Finland)	129
4.4.11	Silverstream (英国)	130
4.4.12	Anemoui Marine (英国)	130
4.4.13	Norsepower (フィンランド)	132
4.4.14	Eco Flettner (ドイツ)	133
4.4.15	Airseas (フランス)	133
4.4.16	Ayro (フランス)	134
4.4.17	Econowind (オランダ)	135
4.4.18	Inmarsat (英国)	136
4.4.19	Siglar (ノルウェー)	136
4.4.20	International Paint (英国)	136
4.4.21	Jotun (ノルウェー)	137
4.4.22	Hempel (デンマーク)	137
4.4.23	その他の欧州船用メーカーと船用システムサプライヤー	137
4.5	欧州港湾のエネルギー削減への技術とオペレーションの導入状況	137
4.5.1	ロッテルダム港 (オランダ)	138
4.5.2	アムステルダム港 (オランダ)	139
4.5.3	アントワープ港 (ベルギー)	139
4.5.4	ハンブルク港 (ドイツ)	139
4.5.5	ヨーテボリ港 (スウェーデン)	139
4.5.6	ブレーメン港/ブレーマーハーフェン港 (ドイツ)	139

4.5.7	ピレウス港（ギリシャ）	139
4.5.8	アルヘシラス港（スペイン）	139
4.5.9	マルセイユ・フォス港（フランス）	139
4.5.10	フェリクストウ港（英国）	140
4.6	欧州の大学及び研究機関によるエネルギー削減技術開発動向	140
4.6.1	Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping（デンマーク）	140
4.6.2	MARIN（オランダ）	141
4.6.3	TU Delft（オランダ）	141
4.6.4	Center for Maritime Futures（英国）	141
4.6.5	NTNU（ノルウェー）	142
4.6.6	SINTEF（ノルウェー）	142
5.	欧州の船舶運航企業及び荷主企業のゼロエミッション政策	143
5.1	ゼロエミッション化促進政策の概要	143
5.1.1	ESG 報告内の国連持続可能な開発目標	143
5.1.2	海事セクターの排出削減へのファイナンス政策	143
5.1.3	用船者及び荷主の環境目標イニシアティブ	144
5.1.4	その他の ESG イニシアティブ	146
5.2	欧州の大手海運会社のグリーンエネルギー政策	148
5.2.1	Maersk（デンマーク）	148
5.2.2	MSC（スイス）	151
5.2.3	CMA CGM（フランス）	151
5.2.4	Hapag-Lloyd（ドイツ）	152
5.2.5	Carnival Group の欧州子会社	152
5.2.6	Wallenius Wilhelmsen（ノルウェー）	152
5.2.7	Oldendorff Carriers（ドイツ）	153
5.2.8	Euronav（ベルギー）	153
5.2.9	Navios（ギリシャ）	153
5.2.10	Danaos（ギリシャ）	153
5.2.11	Fredriksen 傘下の企業（ノルウェー／キプロス）	154
5.2.12	Fjord1（ノルウェー）	155
5.2.13	Color Line（ノルウェー）	155
5.2.14	Hurtigruten（ノルウェー）	155
5.2.15	Höegh（ノルウェー）	155
5.2.16	Rosatom（ロシア）	156
5.2.17	Stena Group（スウェーデン）	156
5.2.18	Navigator Gas（英国）	156
5.2.19	Exmar（ベルギー）	156
5.2.20	Scandlines（デンマーク）	157
5.2.21	Stolt Tankers（オランダ）	157
5.3	欧州の大手荷主企業のグリーンエネルギー政策	158
5.3.1	Shell（オランダ／英国）	158
5.3.2	TotalEnergies（フランス）	160
5.3.3	BP（英国）	160
5.3.4	Equinor（ノルウェー）	160
5.3.5	Repsol（スペイン）	161

5.3.6	Glencore (スイス)	161
5.3.7	ArcelorMittal (Luxembourg)	161
5.3.8	Anglo American (英国)	161
5.3.9	Yara (ノルウェー)	161
5.3.10	Unilever (英国)	162
5.3.11	PUMA (ドイツ)	162
5.3.12	Adidas (ドイツ)	163
5.3.13	Ikea Group (オランダ)	163
5.3.14	Volkswagen (ドイツ)	163
5.3.15	BMW (ドイツ)	164
5.3.16	BHP (オーストラリア)	164
5.3.17	Rio Tinto (英国)	165
5.3.18	Cargill (米国)	165
5.3.19	Trafigura (シンガポール)	166
5.3.20	Michelin (フランス)	166
5.3.21	Volvo (スウェーデン)	167
5.3.22	Heineken (オランダ)	168

1. 概要

欧州の船用代替燃料

- 現時点では、LNG が最も広く採用されている代替燃料である。610 隻前後の LNG 燃料船及び約 200 隻の LNG 対応 (LNG-ready) 船が既に就航中、または発注済みである。LNG 燃料を導入済みの欧州海運会社は、CMA CGM、Hapag-Lloyd、Höegh Autoliners、Wallenius Wilhelmsen、MSC Cruises、Carnival Group の欧州子会社、Shell などである。欧州の LNG バンカリングインフラは、徐々に構築されつつある。しかしながら、LNG は移行期の燃料であると認識されている。短期的には IMO の目標を満たすが、長期的にはゼロエミッション目標の達成は不可能である。
- Maersk の戦略は、低排出燃料及びゼロエミッション燃料に一気に移行することである。同社は長期的な代替燃料としては、バイオディーゼル、メタノール、リグニンバイオ燃料、アンモニアを想定している。既にアンモニア駆動コンテナ船 6 隻を発注済みで、さらに 4 隻のオプション発注も視野に入れている。また、現在既存の大型コンテナ船数隻にメタノール燃料導入のためのレトロフィットを検討中である。
- 調査対象となった欧州海運会社の半数以上は、長期的なゼロカーボン燃料としてアンモニアを挙げている。船用エンジンメーカー Wärtsilä、MAN、WinGD は、2024/2025 年にはアンモニア駆動の内燃機関を市場化する計画である。Viridis Bulk Carriers と Grieg Maritime などは、アンモニアエンジンを搭載した貨物船を開発中である。短距離海運分野では、Equinor や Aker BP などのノルウェー石油ガス企業が、アンモニア燃料電池搭載のオフショア補給船 (OSV) の用船を計画中である。
- 現時点では水素燃料の開発は、主に短距離海運が対象となっている。Heidelberg Cement は、2020 年代半ばまでに水素駆動船 1 隻を運航する計画である。また、Green City Ferries、Fincantieri、Future Proof Shipping、Echandia、Acta Marine、DFDS は、バッテリーエネルギー貯蔵システムを持つ水素燃料電池の開発プロジェクトを実施中である。
- 代替燃料の普及は、現在ごく小規模にとどまっている低炭素燃料やグリーン・ブルー水素燃料の製造設備の拡大に依存している。グリーン・ブルー水素ベースの燃料の利用可能性は今後 10 年間に拡大すると予想されている。しかしながら、グリーン・ブルー水素ベースの燃料は、税制や化石燃料の価格設定の考慮なしには、その競争力に疑問が残る。
- バイオ燃料は短期的な代替燃料としては有効なソリューションであるが、長期的な代替燃料になることは考えにくい。バイオ燃料は、カーボンニュートラルな燃料ではあるが、燃料の使用の際に GHG 排出は伴う。また、入手に関しては食品メーカーとの競合もある。多くの海運会社は、バイオ燃料を化石燃料または LNG と混合し、短期的なカーボン排出の削減を行っている。欧州のコンテナ海運会社 Maersk、MSC、CMA CGM、Hapag-Lloyd、及び RORO 海運会社 Wallenius Wilhelmsen、Höegh Autoliners、及び石油メジャー Shell、BP、Equinor は全てこの方法を採用している。
- 欧州の短距離海運は、電池推進船、燃料電池船、ハイブリッド船など電気推進船の採用が進められている。主にノルウェー企業の主導によって、発注済みの船舶を含めて 500 隻以上の電池推進船が導入されている。例えば、ノルウェーのフェリー運

航企業 Fjord1 と Norled はフリート全体で電池推進船や燃料電池船の導入を進め、Yara と ASKO は、電気推進の自動運航技術の先駆者となっている。

- 欧州では、原子力導入への関心も高まっている。Rosatom は、原子力駆動船のフリートと浮体式原子力発電施設を運航・運営し、さらに 2033 年までに原子力駆動砕氷船 8 隻を建造する計画である。しかしながら、同社技術の大部分はロシア国外の商船向けではない。MSC は、代替燃料の一つとして原子力を挙げている。原子力技術の商船への導入に関しては、規制と設備投資の問題を解決する必要がある。
- いくつかの海運会社は、燃料供給をビジネスモデルに統合している。燃料供給の長期契約に加え、Maersk、CMA CGM、Frontline、Golden Ocean などの欧州海運会社は、バイオ燃料メーカーに投資をしている。Maersk と Anglo American は、グリーン水素製造への投資も行っている

船舶のカーボン排出削減を目指した欧州の省エネ技術

- トン・マイルベースの効率向上のための輸送能力の増加、船体設計の最適化、プロペラとラダーの効率化、先進的塗装システムその他の省エネ技術、及び航路の最適化、減速運航などの手法は既に広く採用されている。欧州ではこれらの分野の研究開発を継続し、温室効果ガス（GHG）の削減につながるエネルギー効率改善が進んでいるが、同時に収益の低下につながっている。
- 欧州海運会社のなかには、航路計画、気象管理、定時性向上、機器性能の最適化、自動運航などに IoT 技術を活用して、エネルギー効率改善を実施している。
- 空気潤滑技術に関しては、Shell、Maersk、MSC などの海運会社は、新造船において同技術の試験を行っている。Carnival の欧州子会社は、新造船に空気潤滑システムを搭載している。Rosatom は、原子力砕氷船の氷付着防止のために同技術を採用している。
- 風力支援推進技術に関しては、Wärtsilä、Kongsberg、Alfa Laval、Yara Marine Technologies、Chantiers de l'Atlantique、Damen などの欧州の造船所や船用機器メーカーが同技術を製品群に加えている。また、Wallenius Wilhelmsen、Proman Stena Bulk、Oldendorff、Scandlines などの欧州海運会社は、自社船隊に風力支援推進技術を採用している。
- 船内カーボン回収・貯蔵技術は、排ガススクラバーの延長線上にある技術であるが、同技術は未だ開発段階初期にあり、コストが高い。Stena Bulk や Visser Shipping などの海運会社が同技術の試験を行っている。海運からのカーボン排出は避けることができず、GHG 排出の少ない企業から排出権を買い取ることを検討している海運会社もある。

欧州海運会社のゼロエミッション及び省エネ戦略

- ESG（Environmental, Social and Governance：環境、社会、ガバナンス）の重要性は高まっており、欧州の海運会社の多くは、国連の SDGs（Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標）の 17 目標の全てまたはいくつかの順守を戦略としている。
- Maersk、MSC、Hapag-Lloyd、Wallenius Wilhelmsen、Euronav、Fredriksen 傘下の企業、Hurtigruten、Höegh、Navigator Gas などの欧州海運会社は、グリーンファイナンス原則に従った船舶ファイナンスを行っている。ポセイドン原則（Poseidon Principles）では、合意された手法を用いた融資先のカーボン排出量の年間アセスメントが融資元の銀行に報告される。

- EU のグリーン SHIPPING 投資の要件は、2022 年に発表される予定である。

荷主のゼロエミッション戦略

- 欧州の荷主は、意思決定過程に ESG 基準を導入し、その遵守を進めてきた。一例として、Unilever は、2030 年までの同社のフリートのネットゼロ化を目標としている。2,000 隻以上の船舶と 400 港以上を接続、監視する Ocean Control Tower デジタルプラットフォームを用いて、同社の海上輸送活動からの排出を監視する手法を導入した。
- 海上貨物憲章 (Sea Cargo Charter) は、荷主・用船社の責任ある環境的活動を推進するフレームワークである。Anglo American、Cargill、Dow、Total、Trafigura などが同憲章に早期に参加している。同憲章は、エネルギー効率運航指標 (Energy Efficiency Operational Indicator : EEOI) を用いて報告することを規定している。
- クリーンカーゴ (Clean Cargo) は、BMW、Daimler、Heineken、Michelin、Volvo などの欧州の荷主や Trafigura、Kuehne & Nagel、Schenker などの企業が支援する ESG イニシアティブである。
- 新イニシアティブ「Cargo Owners for Zero Emission Vessels : coZEV」は、参加企業の 2040 年までの海上貨物輸送の脱炭素化を目標とし、遅くとも 2050 年にはセクター全体の脱炭素化を目標としている。同イニシアティブの設立メンバーは、Amazon、Ikea、Unilever、Michelin などである。

2. 欧州海事セクターの脱炭素化の背景

同章では、欧州海事セクターの脱炭素化への動きを検証し、ゼロエミッション海運の実現への産業全体のイニシアティブとなる主な国際政策を概説する。

2.1 欧州海運業の GHG 排出

温室効果ガス（GHG）は、化石燃料の燃焼により自然発生し、排出される。排出される GHG には、二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、亜酸化窒素（N₂O）、フッ素化ガスが含まれ、総合的に CO₂e または二酸化炭素換算値として報告される。

EU（欧州連合）は、GHG 排出を 2 つのカテゴリーに大別するという気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change）の定義を採用している。最初のカテゴリーは「長寿」の GHG で、長期に渡って蓄積され、影響も長期的である。これには CO₂ と N₂O が含まれる。もうひとつのカテゴリーは「短命」な GHG で、これは現在または最近の排出によるもので、影響も短期的である。このカテゴリーにはメタンとブラックカーボンが含まれる。

海運からの排出される GHG の大部分は CO₂ で、船舶内の機関の化石燃料の燃焼により発生する。EU によると、2019 年の欧州経済領域（EEA）の CO₂ 排出量のうち 1 億 4,400 万トンが海運に由来する。これは、EU 全体の CO₂ 排出量の 2~4% に相当し、また交通機関の排出量の約 11% に相当する。

EU の水上輸送による CO₂ 排出量に関する年次報告書（2020 年）は、2019 年に EEA 域内の港湾において貨物の荷役または旅客の乗船下船を行った 5,000 GT 以上の全船舶からの排出量データを要約している。12,100 隻の船舶からの排出量データを収集、検証した結果、同報告書では EU 港湾に寄港する全船舶の排出量の 90% 以上を収集したと述べている。表 1 は、2019 年に EEA 域内の港湾に寄港した船舶の CO₂ 排出量データを船種別に分析したものである。コンテナ船（30%）、石油タンカー（14%）、ばら積み貨物船（12%）が 2019 年の CO₂ 排出量の半分を占めている。船舶あたりの CO₂ 排出量が最も多い船種は、ROPAX フェリー、旅客船、LNG タンカーである。全排出量のうち、64% は EEA 域外からまたは域内への航海、32% は EEA 域内の移動、6% は停泊中の船舶によるものである。

IMO による第 4 次 GHG 報告書（2020 年）は、さらに海運業の GHG 排出の深刻さを裏付けている。世界の海運による GHG 排出量のシェアは、2012 年の 2.76% から 2018 年には 2.89% に増加している。また、国際海運からのメタン排出量も、2012 年の 59,000 トンから 2018 年には 148,000 トンへと大幅に増加している。IMO はメタン排出増加の理由として、船用燃料としての LNG の使用量が増加したことを挙げている。

表 1 EEA 域内港湾に寄港した船舶の船種別 CO₂ 排出量 (2019 年) (単位 : 100 万トン)

船種	隻数	EEA からの航海時の排出量	EEA への航海時の排出量	IEEA 内の航海の排出量	停泊中の排出量	排出量合計	1 隻当たりの平均排出量
コンテナ船	1,801	14.6	16.2	11.5	1.7	44.0	0.02
タンカー	1,985	7.3	7.7	3.0	2.2	20.1	0.01
ばら積み船	3,594	6.4	8.1	1.7	0.8	17.1	0.00
RoPax フェリー	389	0.6	0.6	12.5	1.1	14.8	0.04
ケミカルタンカー	1,345	2.7	3.1	2.7	1.0	9.5	0.01
LNG タンカー	256	3.3	3.6	0.7	0.3	7.9	0.03
旅客船	197	0.7	0.7	4.8	0.8	7.0	0.04
一般貨物船	1,180	2.1	2.0	1.9	0.3	6.3	0.01
RoRo 船	275	0.9	0.8	4.2	0.3	6.2	0.02
自動車運搬船	411	1.5	1.4	1.4	0.2	4.5	0.01
ガス運搬船	341	1.1	1.0	0.7	0.3	3.0	0.01
冷凍船	145	0.6	0.9	0.1	0.1	1.6	0.01
RoRo 貨物船	76	0.3	0.4	0.6	0.2	1.5	0.02
その他	129	0.4	0.4	0.3	0.1	1.2	0.01
多目的貨物船	11	0.04	0.04	0.02	0.01	0.11	0.01
合計	12,135	42.4 29%	46.9 32%	46.3 32%	9.3 6%	144.8	0.2

(出典: 2020 Annual Report on CO₂ Emissions from Maritime Transport, European Commission)

IMO によると、2012 年から 2018 年の間に、世界の NO_x 排出量は 2.5% 前後増加し、2,020 万トンとなった。同時期の硫黄酸化物 (SO_x) 排出量は約 5.5%、粒子状物質排出量は 4% 増加している。

IMO は、現在の海運活動が続いた場合 (business-as-usual) の 2050 年までの海運による排出量の予測に関するいくつかのシナリオを発表している。これらのシナリオでは、船舶の排出量またはエネルギー効率に影響する新たな規制がない場合を仮定している。この場合、CO₂ 排出量は 2018 年の 10 億トンから 2050 年には 15 億トンに増加する。即ち、2018 年レベルからの 50% 増加、2008 年レベルの 90~130% 増加である。図 1 は、経済成長率が比較的 low、温度上昇が 2℃であることを仮定した際の 2050 年までの各船種の排出量予測である。このシナリオでは、IMO は、ばら積み船の排出量は 10~50% 増加 (貨物輸送の内容と手法によって異なる) すると予測している。タンカーからの排出量は 10% 減少、または石油輸送が減少してもケミカルやガスの輸送が増加した場合は 30% の増加と予測している。コンテナ船の排出量は、輸送量の 70~140% 増加と船舶大型化による輸送効率向上に伴い、20~70% の増加となる。

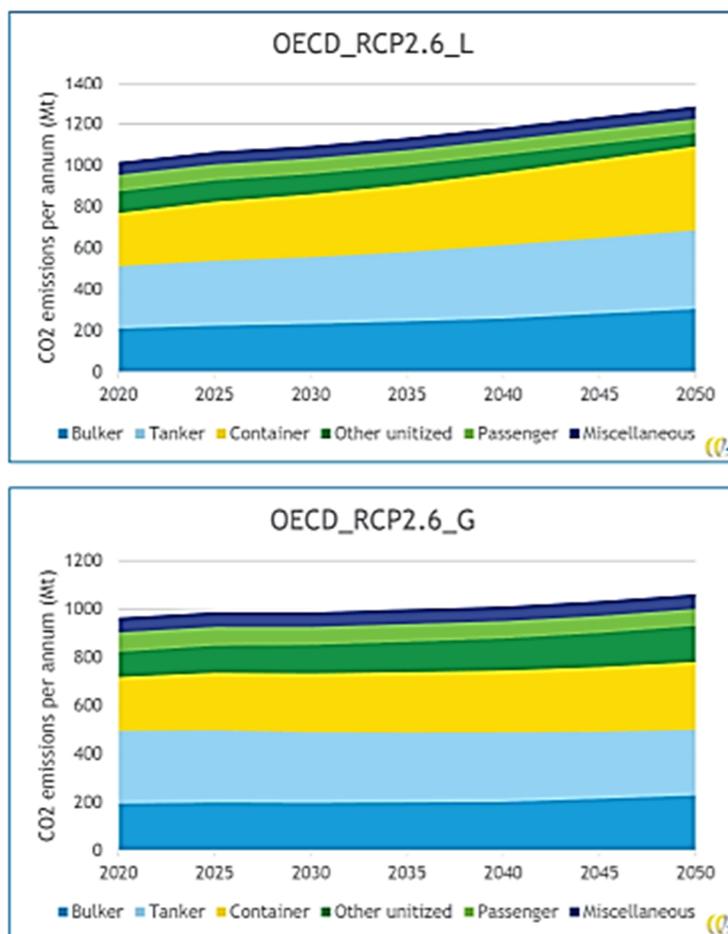


図1 2050年までの船種別CO₂排出量予測
 現状の海運活動が続いた場合（business-as-usual）の2つのシナリオ
 注：2つのシナリオは、異なる貿易量成長率予測に基づく

（出典：Fourth IMO Greenhouse Gas Study）

船舶による現在のGHG排出量と今後30年間の「business-as-usual」シナリオから、GHG排出量削減への対策が必要なことは明白である。しかしながら、GHG排出量の削減には、資本コストと経費の増加が避けられない。また、海運会社は競争力を低下させる可能性のある高コストな排出量削減策を導入するとは考えられない。そのため、GHG排出量削減には、全てのステークホルダー排出量削減目標と時期に合意するという産業全体の努力が必要である。

2.2 グローバルな政策：京都議定書

2005年に発効した1997年京都議定書（気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書）は、気候変動に関する国際フレームワークの基礎となっている。同議定書では、締結国は合意された独自目標に従ってGHG排出量を制限、削減する。船舶からの排出に関する政策は特定されていないが、国際海事機関（IMO）に対し、船用燃料からのGHG排出を制限または削減する政策を委任している。

2.3 パリ協定と国連持続可能な開発目標

2015年には、海運の脱炭素化の促進に直結する「パリ協定」と「国連の持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals : SDGs)」が採択された。

第 21 回気候変動枠組条約締約国会議 (COP21) において締結された 2015 年パリ協定では、気温上昇を産業革命前と比較して 2°C未満に抑え、1.5°Cに制限する努力を行うというグローバルな目標を定めた。パリ協定は、海運または IMO への言及はない。

また、2015 年には、国連の全加盟国が「2030 アジェンダ - 持続可能な開発目標 (SDGs)」を採択した。図 2 に示す通り、17 項目の目標を定めている。これらの目標は、現在では環境、社会、ガバナンス (Environmental, Social and Governance : ESG) 政策、排出基準、船主、運航者、荷主の報告義務などとして機能している。特に SDG13 (気候変動へのアクション) と SDG14 (水中生物) は海運に関連する目標である。



図 2 国連持続可能な開発目標 (SDGs) (出典: IMO)

2021 年に開催された 第 26 回気候変動枠組条約締約国会議 (COP 26) では、16 かが、現在の IMO 目標を超えた、2050 年までの海運のゼロエミッション実現に向けた 2030 年及び 2040 年の中間目標の採択に関する作業で IMO と協働するという宣言に加盟した。加盟国は、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、ホンジュラス、ハンガリー、アイスランド、マーシャル諸島、ノルウェー、パナマ、スウェーデン、英国、米国である。

しかしながら、COP26 後に開催された IMO の第 77 回海洋環境保護委員会 (MEPC77) では、8 か国のみがマーシャル諸島及びソロモン諸島が提案する 2050 年までのゼロエミッション化目標の決議案を支持した。8 か国とは、カナダ、アイスランド、日本、ニュージーランド、ウクライナ、英国、米国、バヌアツである。EU 加盟国 27 か国、ノルウェー、韓国、バハマを含む他の 31 か国は、2050 年までの海運のゼロエミッション化目標を原則しとして支持するが、決議案の支持は控えた。EU は、MEPC77 では、2050 年までのゼロエミッション達成目標を審議する時間が不十分で、その詳細なしに決議案を支持することはできないとしている。一方、2050 年目標自体への反対を表明しているのは、ブラジル、中国、ロシア、サウジアラビア、南アフリカ、UAE である。

EU と米国は、COP26 においてメタン排出削減に関するイニシアティブ「グローバル・メタン・プリッジ (Global Methane Pledge)」を発表した。100 かが参加するこのアライアンスでは、2020 年代末までに、世界のメタン排出量を 2020 年レベルから 30%削減することを提案している。この対策は、船用燃料としての LNG の利用に影響する可能性がある。

また、COP26 では、米国、日本、ドイツ、ノルウェー、オランダ、英国、オーストラリア

を含む 19 か国が、クリーンな海運回廊に関する「クライドバンク宣言 (Clydebank Declaration)」に署名し、世界の主要港間にゼロエミッション航路を開発することに合意した。さらに、COP26 では、50 か国で構成される「気候弱者フォーラム (Climate Vulnerable Forum)」が「CVF ダッカ・グラスゴー宣言 (CVF-Dhaka-Glasgow Declaration)」を発表した。この宣言においては、海運からの GHG 排出に対して課税することを IMO に提案している。この提案は、マーシャル諸島及びソロモン諸島が 2021 年 11 月の MEPC77 で提案した、5,000GT 超の船舶への燃料課税導入の提案と連動している。MEPC77 では採択は見送られたが、EU27 か国、カナダ、日本、リベリア、太平洋島嶼諸国などが燃料課税導入を支持しており、2022 年に審議が続けられる。

2.4 海運セクターからの GHG 排出量削減に向けた国際的目標

IMO は、2011 年、エネルギー効率設計指標 (EEDI) 及び船舶エネルギー効率管理計画 (SEEMP) を導入した MARPOL 条約の改正により、CO₂ 排出に関する法的規制の制定に着手した。

2018 年には、IMO の船舶からの温室効果ガス排出削減戦略 (Strategy of Greenhouse Gas Emissions from Ships) が採択され、2030 年及び 2050 年の GHG 排出量に関する国際的な基本目標を以下のように制定した。

- 中期的目標 (2023~2030 年) : CO₂ 排出量を 2030 年までに 2008 年レベルの最低 40%削減する。
- 長期的目標 (2030~2050 年) : CO₂ 排出量を 2050 年までに 2008 年レベルの最低 50%削減する。
- さらに長期的な目標 : 2050 年以降、できるだけ早期に GHG のゼロエミッションを達成する。

注 : 上記の目標は IMO の戦略であり、加盟国に対する法的拘束力はない。

図 3 は、2050 年までの海運の排出量 50%削減を達成するためのアクションである。GHG 削減目標達成には、船舶設計、運航、技術の進歩を想定している。

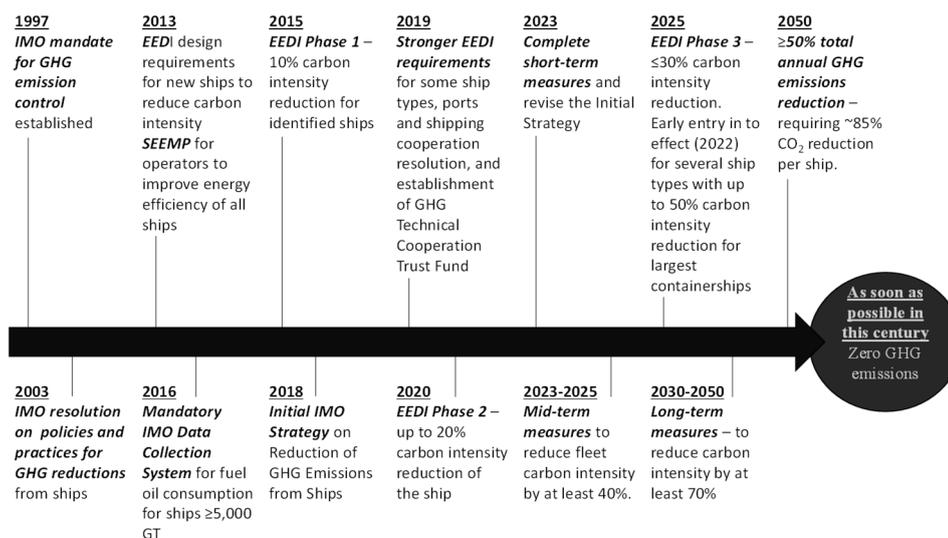


図 3 船舶からの GHG 排出削減に向けた IMO の戦略スケジュール

(出典: IMO Action to Reduce Greenhouse Gas Emissions from International Shipping)

図 4 は、IMO の GHG 削減策の例とそのポテンシャルを示す。水素、合成燃料、第三世代バイオ燃料が、GHG 排出量削減へのポテンシャルが高いことがわかる。

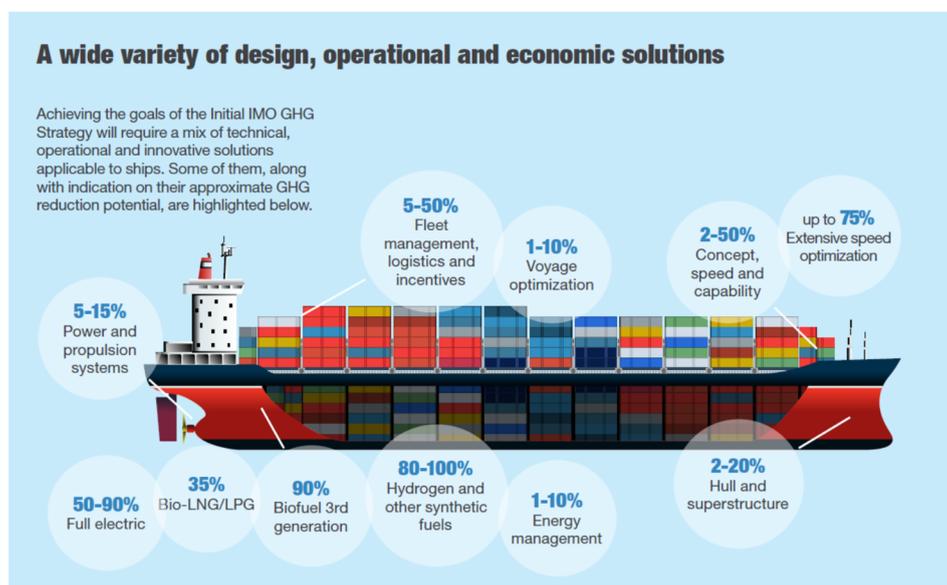


図 4 IMO の GHG 削減策とそのポテンシャル

(出典: IMO Action to Reduce Greenhouse Gas Emissions from International Shipping)

2023 年 1 月以降、新造船のみならず既存船も燃費効率が基準値を満たすことが義務付けられ、エネルギー効率既存船指標 (Energy Efficiency Existing Ship Index : EEXI) を計算する必要がある。EEXI は、エネルギー効率設計指標 (EEDI) と同様の船種とサイズに適用され、建造年にかかわらず全船舶に適用される。2013 年に義務化された EEDI は、汚染の少ないエンジンと機器の導入を促進するものである。EEDI は、全てのコンテナ船、ガス運搬船、一般貨物船、LNG 運搬船が、2014 年に建造された船舶よりも最低 30% 効率化されることを要求している。さらに、2022 年以降に建造される 200,000 DWT 以上の新造コンテナ船が、2014 年に建造された船舶よりも最低 70% 効率化されることを要求している。

5,000 GT 以上の全ての貨物船、ROPAX 船、クルーズ船は、2023 年以降、年間カーボン排出量指標「Carbon Intensity Indicator : CII」を計算しなければならない。2024 年からは、船舶はエネルギー効率に関する A (最高) から E (最低) の CII 格付けを取得する。E 格付けとなった船舶又は 3 年続けて D 格付けとなった船舶は、改善策の提出を要求される。

短期的措置としては、CII が適用される全船舶は、SEEMP 証明書を船内に保持しなければならない。SEEMP は、船舶または船隊の継続的なエネルギー効率改善への運航計画である。SEEMP は特定のアクションとタイムラインを持ち、定期的な評価と改善の根拠として、船舶の効率パフォーマンスが測定され、監視される。SEEMP のガイドライン発表と並行して、IMO は自主的なガイドライン「エネルギー効率運航指標 (Energy Efficiency Operational Indicator : EEOI)」を発表した。その適用は任意であるが、いくつかの海運会社は、運航中の船舶の燃料効率の測定と報告のため、また航路計画、プロペラ洗浄、排熱回収システム、新型プロペラなどのエネルギー効率化措置の効果を知るために、既に EEOI を採用している。

IMO は、船用燃料のライフサイクルを通じた GHG 排出量の特定と評価を、優先課題のひとつとしている。そのガイドラインは現在策定中で、最初のバージョンは 2022~2023 年に完成することが予定されている。

ライフサイクルでの排出は以下の 2 つのカテゴリーに分けられる。

- Tank to Propeller : 船上における GHG 排出。現行の IMO 規制では、船上からの CO₂ 排出量のみを対象としている。
- Well to Tank : 燃料の生産から船舶までの輸送における GHG 排出。

現在、メタンスリップに関する規制はないが、対応が必要な課題として IMO に提出されている。IMO の中・長期的政策は今後議論が進められる予定である。

2.5 欧州連合 (EU) の海運からの GHG 排出削減に関する政策

EU は、IMO のグローバル政策を支持しているが、一方で、EU 独自の政策も実施しようとしている。

EU は、2030 年までに GHG 排出量を 1990 年レベルの最低 55%削減するという目標を採択しており、さらに、2050 年までの気候中立化を目指している。

EU が実施している MRV 規則 (Monitoring, Reporting and Verification Regulations : 監視、報告、証明規則) では、2018 年以来、EEA (欧州経済領域) 内の港湾で貨物の荷役または乗客の乗船下船を行う 5,000GT 以上の全船舶に対し、燃料消費量に基づく CO₂ 排出量の監視、報告、証明を義務付けている。その結果、EEA 内の港湾に寄港する全船舶は、IMO のデータ収集システム (IMO Data Collection System) 及び EU MRV 規則両方の報告義務を持つ。EU は MRV 規則を IMO のデータ収集システムに合わせることを検討中である。

なお、2021 年以降、EU 規制は英国内の港湾には適用されない。

2021 年 7 月に発表された環境政策パッケージ「Fit for 55 Package」では、欧州委員会 (EC) は、欧州排出権取引制度 (European Emissions Trading System : EU ETS) に海運を含める提案や「FuelEU Maritime」の提案などを行った。「FuelEU Maritime」には、「Well to Tank」及び「Well to Propeller」の排出量を測定、2025 年以降に EEA 港湾に寄港する船舶の GHG 排出の基準適合などを盛り込んでいる。さらに、2030 年以降、EEA 港湾に寄港する全てのコンテナ船及び旅客船は、2 時間以上の停泊中には陸上電力に接続することも提案している。

欧州共同体船主協会 (European Community Shipowners Association : ECSA) と国際海運会議所 (International Chamber of Shipping : ICS) は、「FuelEU Maritime」イニシアティブに関する研究を委託した。2021 年 6 月の研究結果を受け、ECSA は、EU 域外で購入された燃料にも規制が適用されることに懸念を表明している。また、特に代替燃料の入手が困難な長距離海運にとっては、国際市場で購入された燃料で規制を満たすのはバイオ燃料しかないと述べている。EU 燃料基準の規制遵守の責任は海運会社が負うのではなく、燃料供給者の責任であるべきだとしている。EU の基準を満たす代替燃料を使用できない、または入手できない運航者は、他の運航者からクレジットを購入することが必要となることを、ECSA は懸念している。

EU ETS に関しては、これまで対象でなかった海運部門を追加することを提案しており、排 5,000GT 以上の船舶に適用することが検討されている。欧州委員会 (EC) の提案は、EU 域内の航海及び EU 港湾に停泊中の船舶からの排出の 100%、EU 港湾から EU 域外、または EU 域外から EU 港湾への航海の排出量の 50%をカバーする。2023 年には排出量の 20%、2026 年には排出量の 100%と段階的に適用する。

2.6 ノルウェーと英国のグリーン SHIPPING 戦略

ノルウェーは EU には加盟していないが、欧州経済領域 (European Economic Area : EEA) の加盟国であるため、EEA 域内の港湾と海運に適用される EU 規制を順守する必要がある。

ノルウェー政府は、2019 年に独自のグリーン SHIPPING 計画を打ち出した。同計画は、

2030年までに内航海運からの排出量を50%削減し、ノルウェーが海上交通のゼロエミッション化をリードして進めることを目標としている。具体的な計画（アクションプラン）は以下の通りである。

- 公共交通機関であるフェリーや高速船などの調達において、電気推進船などのゼロエミッション船の導入を促進する。この移行を支援するため、地方自治体が補助金を利用できるようにする。
- フェリーや沿岸シャトルなどの短距離航路において電池推進船の導入を促進する。また、オフショア支援船（OSV）や養殖船分野では、ハイブリッド船の導入を進める。
- 新たに建造されるOSVには、低炭素技術の導入を義務化する。
- 炭素の導入、Enova、Innovation Norway、Research Council of Norwayからの補助金拡大、商船向けの低率電気税導入、船舶の環境性能に応じた港湾使用料の導入。
- 持続可能なバイオディーゼル及びバイオガスの海運向け割り当て導入の影響を調査。
- ノルウェーNIS及びNCR船籍船のゼロエミッション化、低炭素化へのインセンティブの導入。

ノルウェーの計画では、メタン排出への懸念を表明しながらも、長距離海運のCO₂削減にはLNGが有効なソリューションであると表明している。長期的には、ノルウェー政府は、水素のサプライチェーンを構築する計画である。水素は、高出力が必要な船舶や電池推進が難しい長距離船に適した燃料である。ノルウェー政府は、船用燃料の候補として、グリーン水素から生成されるアンモニアの利用に関する研究を継続する。

EUから脱退した英国は、2019年に、IMOの排出削減戦略に関連するアクションプランを発表した。ノルウェーのアクションプランと同様に、英国は、ゼロエミッションや低炭素の燃料の開発における協力と、海運からの排出削減に関してリーダーとなることの経済的利点を強調している。英国の計画は以下の通りである。

- 2025年までに、英国領海を航行する新造船はゼロエミッション推進能力を持つ設計とする。
- 2035年までに、ゼロエミッション又は低炭素の船用燃料のバンカリングインフラを構築し、英国船籍船をクリーンな海運のグローバルリーダーとする。
- 2050年までに、ゼロエミッション船を普及させる。
- 英国政府は、海運のゼロエミッション化を支援する税制以外のインセンティブを見直し、また「再生可能な輸送燃料義務」（Renewable Transport Fuel Obligation）を低炭素燃料の促進に役立てる政策の見直しを行う。
- LNG、水素、アンモニア、電池を中心に、全ての代替燃料オプションを検討する。

なお、英国沿岸警備庁は、英国船籍の商船の原子力利用、及び外国船籍の原子力駆動船の英国港湾への寄港に関する法律の諮問を行っている。

3. 欧州における代替燃料開発の現状

本章では、まず、欧州の海運セクターが利用中または利用を検討中の船用燃料のオプション、現状、課題、利点、問題点などを検証する。続いて海運会社、エンジンメーカー、港湾運営企業、燃料サプライヤーの政策、及び大学・研究機関の重油（HFO）に変わる燃料の開発状況を概説する。

3.1 代替燃料の概要：現状と課題

大型商船の大部分は、原油の精製過程で製造される高粘度残油である重油（HFO）で駆動されている。HFO は比較的安価な大型船用の燃料として広く入手可能であるが、燃焼時に GHG を排出するため、代替燃料の導入が検討されている。

3.1.1 重油

EU の 2020 年の海運の CO₂ 排出に関する年次報告書によると、HFO は、2019 年に EEA 域内で消費された船用燃料の 69% を占めている。軽燃料油は 8%、MGO は 13%、MDO は 5%、LNG は 5%、その他の燃料は 0.5% 以下である。メタノールと LPG の消費量は全体の 0.01% 以下である。

2020 年以来、排ガス浄化システム（スクラバー）を搭載しない限り、硫黄分が 0.50% を超える燃料は使用できなくなった。DNV によると、現在世界で運航されている、または新造発注済みのスクラバー搭載船の隻数は、4,700 隻近くとなっている。バルト海や北海など排出制限海域においては、NO_x 排出規制により IMO Tier III 規制対応型エンジン及び／または選択触媒還元（SCR）システムまたは排ガス再循環（EGR）システムの搭載が要求される。なお、ノルウェーでは、1,000GT 超の船舶には Tier III と同等の規制が 2025 年に発効する。

3.1.2 代替燃料の検討

代替燃料の利用に関しては、船舶の運航の形態によって、必要とするエネルギー密度や燃料の入手可能性が大きく変わる。長距離航路は、燃料の貯蔵スペースを最低限に抑え、貨物スペースを最大限にするために、エネルギー密度の高い燃料でなければならない。また、主に世界各地で入手可能な燃料を必要とするケースも多い。一方、旅客フェリーやオフショア船などの短距離船は、燃料の貯蔵スペースの制限が少なく、また特定の場所で代替燃料が供給されれば良いため、バッテリーや水素燃料の利用が進みやすい。

図 5 は、従来の燃料や代替燃料に関して、用途やエネルギー転換のオプションなどを示している。

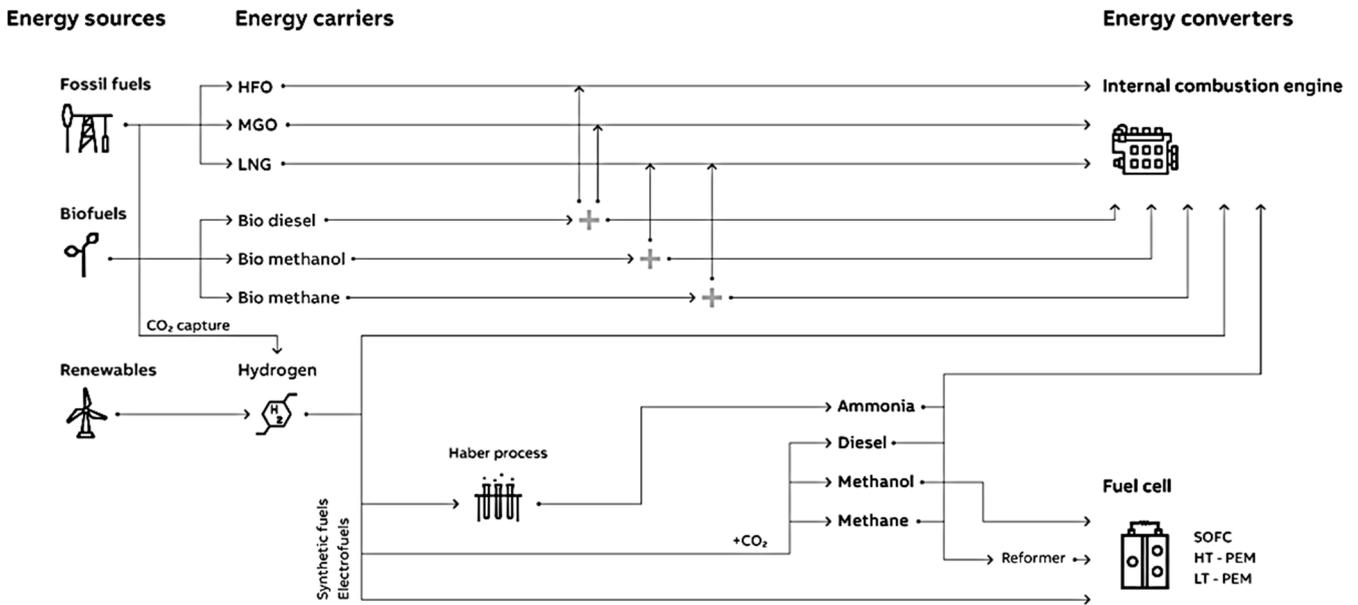


図5 各燃料における用途、エネルギー転換のオプション（出典: ABB）

それぞれの燃料に関して、燃料の製造過程における GHG 排出量を考慮し色が指定されている。

- グレー燃料：カーボン回収と貯蔵を使用しない天然ガスから製造された燃料。
- ブラウン／ブラック燃料：石炭と石油から製造された燃料。
- ブルー燃料：カーボン回収と貯蔵を使用した天然ガスから製造された燃料。ブルー e 燃料は、他の燃焼過程からのカーボン回収による CO₂ を利用して製造された e 燃料もブルー燃料に分類。
- グリーン燃料：再生可能エネルギー由来の電力から製造された燃料。グリーン e 燃料は、大気中から直接取り出された CO₂ を利用して合成された燃料。グリーンバイオ燃料は、サステナビリティ要求を満たすバイオ燃料である。
- パープル／ピンク燃料：原子力を用いた電気分解により製造された水素。

3.1.3 液化天然ガス

LNG は、 -162°C で液化させた天然ガスで、体積はガス状態の 600 分の 1 となる。LNG の成分は通常 85～95 パーセントがメタン、その他エタン、プロパン、ブタンが数パーセントと微量の窒素である。成分は、生産地と顧客要求により変化し、売買契約には最低及び最高の熱含量、最低のメタン含有量、最高の H₂S（硫化水素）、硫黄、N₂（窒素分子）、エタン、プロパン、ブタンの含有量が定められている。

輸送中の LNG は、液状で船内の超低温タンクに貯蔵される。液状を維持できない LNG はボイルオフガスとなり、燃料として船舶の動力に利用されるか、船内で再液化される。燃料としての LNG は、バンカー供給体制にもよるが、短距離及び長距離船の両方に適している。

DNVによると、2021年12月現在、世界では245隻のLNG燃料船が運航されており、さらに407隻のLNG燃料船またはLNG対応（LNG-ready）船が発注済みである。約3分の2は、欧州海域で運航又は欧州企業が所有している。42隻の車両・旅客フェリーが運航中で、LNG燃料船の最大のセグメントとなっている。運航中のLNG燃料のオフショア補給船及び石油・

ケミカルタンカーはそれぞれ約 30 隻である。発注済みの LNG 燃料船に関しては、コンテナ船 (98 隻)、原油タンカー (56 隻)、自動車運搬船 (56 隻) となっている。

欧州のコンテナ海運会社 CMA CGM が最大の LNG 燃料船の運航企業で、現在発注済みの LNG 燃料船が竣工する 2024 年には、約 45 隻の LNG 燃料のコンテナ船を運航することとなる。Hapag-Lloyd は LNG 燃料のコンテナ船 12 隻を発注済みで、既存船の改造による LNG 燃料船の導入も行っている。MSC は LNG-ready 船を建造中で、燃料の柔軟性を維持する戦略である。

Shell は、船用燃料としての LNG を推進しており、自社の LNG 運搬船に加え、Shell とその提携企業は LNG 燃料の原油タンカー 5 隻を運航している。また、LNG 燃料の新造原油タンカー 23 隻以上及びケミカルタンカー 4 隻が 2021~2023 年期中に竣工予定である。

Volkswagen や BMW などの欧州自動車メーカーのイニシアティブが追い風となり、Fredriksen 傘下の SFL、Höegh Autoliners、Siem Car Carriers、Wallenius Wilhelmsen 及び UECC は、LNG 燃料の自動車運搬船への投資を行っている。

クルーズ船分野では、MSC Cruises 及び Carnival Group の欧州子会社である Aida、Costa Cruises、P&O は、11 隻以上のクルーズ船の燃料として LNG を選んでいる。

2020 年末時点で、欧州では、世界の LNG バンカリング船の 3 分の 2 に相当する 18 隻が運航中である。2023/2024 年には 28~37 隻に増加する予定である。

Shell の「LNG Outlook 2021」報告書によると、2020 年の世界の LNG 供給量は 3 億 6,000 万トンで、そのうち海運が 250 万トン消費している。Shell は、世界の LNG 需要は 2040 年までに 6 億 5,000 万~7 億 5,000 万トンに増加すると予測している。

表 2 に、LNG の利点、機会、問題点、課題を要約する。

表 2 LNG の利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> ● LNG は低炭素燃料で、「Tank to Propeller」の排出が HFO に比べて 20%以下である。 ● SOx の排出はゼロ、粒子状物質は少ない。 ● 低圧オットーサイクルガスエンジンは、排ガスの後処理なしで IMO Tier III NOx 規制要求を満たす。 ● LNG 燃料船は 10 年以上の運航実績があり、バンカリングインフラも整備が進んでいる。 ● 既存の LNG インフラ及びエンジンシステムと互換性のある燃料としては、液化ボイルオフガス (LBOG)、及び再生可能エネルギーで製造された合成燃料 (e 燃料) がある。 ● 歴史的には LNG は、HFO、低硫黄燃料油に対して競争力のある価格であった。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 従来の LNG は、「Tank to Propeller」の排出がゼロではない。「Well to Tank」の CO₂ とメタンの排出量が多い。 ● メタンスリップは、GHG 排出の原因となる。 ● バイオ LNG 及び合成 LNG (e-LNG) の供給量は少ない。 ● LNG 燃料船の燃料タンクの体積は、VLSFO/MGO の 2 倍となる。エネルギー貯蔵は困難で高コストである。 ● 価格変動が大きい。2020 年の低価格から、LNG のスポット価格は 2021 年 1 月に史上最高を記録した。2021 年の供給危機により、短期的価格は高レベルを維持している。供給不足により長期的にも高レベルが予想される。

3.1.4 液化石油ガス (LPG)

LPG は、液状のプロパン、ブタン、イソブテンの混合である。LPG は、石油精製過程やガス生成過程の副産物として製造される。

DNVによると、現在約 97 隻の LPG 燃料船が運航中または建造中である。その 3 分の 2 以上はガス運搬船で、特に貨物として LPG を輸送する運搬船が多い。その他は石油・ケミカルタンカーである。

欧州で船用燃料としての LPG を推進している企業は、Equinor とその子会社、Exmar、Fredriksen 傘下の Avance Gas である。欧州の LPG 輸送大手である BW LPG は、現在自社の超大型ガス運搬船を LPG 及び従来燃料の両方で駆動するための改造を行っている。Gas Processing&LNG 誌によると、2019 年の世界の LPG 生産量は 3 億 3,000 万トン、石油換算で 3 億 6,000 万トンである。

船用燃料としての LPG は、低速及び高速ディーゼルエンジン、ガスタービンを含む多様な船用エンジンで使用が可能である。MAN は、性能、効率に影響を与えることなく VLSFO、MGO、LPG 燃料の切り替えが可能な液化ガス噴射式二元燃料エンジン ME-LGIP を市場に投入している。Wärtsilä は、LPG と蒸気をメタンに転換するガス改質装置を市場に投入している。メタンは、ガスエンジンまたは二元燃料エンジンの性能を低下させることなく利用される。

表 3 に、LPG の利点、機会、問題点、課題を要約する。

表 3 LPG の利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> 「Well to Tank」の CO₂ 排出量は HFO よりも約 16% 低い。 メタンスリップがない。 硫黄分の排出はほぼゼロで、ECA の SO_x 排出規制を満たす。 欧州には多数の LPG 輸入・輸出ターミナルがあり、その多くはバンカリングインフラとしての開発に適している 多くの種類の船用エンジンで利用可能。 硫黄/SO_x 排出量がほぼゼロ。 	<ul style="list-style-type: none"> LPG は「Tank to Propeller」のゼロカーボン燃料ではない。 LPG スリップ：ブタンとプロパンの GHG への影響は CO₂ の 4 倍である。 LPG 燃料船の燃料タンクは、VLSFO/MGO タンクの約 2 倍の体積となる。 現時点ではエンジンの選択肢が少ない。 ディーゼルサイクルの 2 ストロークエンジンは NO_x を排出するため、SCR システムまたは EGR システムが必要。 LPG は現時点では IMO の IGF コードに含まれていない。 歴史的に LPG 価格は LNG 価格よりも高い。

3.1.5 メタノール

メタノールは合成ガスから製造される液体である。通常フィードストック（原料）としては天然ガスが用いられるため、「Well to Tank」の排出量は従来燃料よりも若干多い。図 6 に示すように、製造には再生可能なフィードストックの利用も可能であり、グリーンやブルー原料から製造されたメタノールは、環境にやさしい船用燃料となる。

現在運航中または発注済みのメタノール駆動船は、LNG 船、LPG 船に比べてごく僅かである。2021 年 12 月現在の世界で運航中または発注済みのメタノール船は 47 隻で、その大部分はメタノールタンカーである。2021 年には、初のバージから船へのメタノール燃料のバンカリ

ングがロッテルダム港で行われた。

メタノールは、船用エンジン及び燃料電池向けの代替燃料として、市場導入が進められている。Wärtsilä は、2015 年に初のメタノール燃料船向けに 4 ストロークメタノール/ディーゼル二元燃料エンジンを提供した。Stena Group は、初めてメタノールを船用燃料として同社 RORO フェリーに使用した企業である。また、同社は複数のメタノール燃料のタンカーを建造中である。同船はメタノールを貨物として輸送すると同時に、燃料として使用する。MAN は、2 ストローク ME-LGIM メタノールエンジンを開発し、Maersk の新造コンテナ船向けに受注している。メタノール燃料電池は、2016 年の Viking Line のフェリーを皮切りに、欧州の短距離船で採用されている。燃料電池は、特に短距離セグメントには、バッテリー貯蔵システムと組み合わせたハイブリッド推進システムとして利用されることが多い。燃料電池は電気高率が高く、騒音と振動が低い。燃料電池の代表的な 3 タイプは、固体酸化物形燃料電池 (SOFC)、固体高分子形燃料電池 (PEMFC)、高温固体高分子形燃料電池 (HT-PEMFC) である。他に直接メタノール形燃料電池 (DMFC) がある。

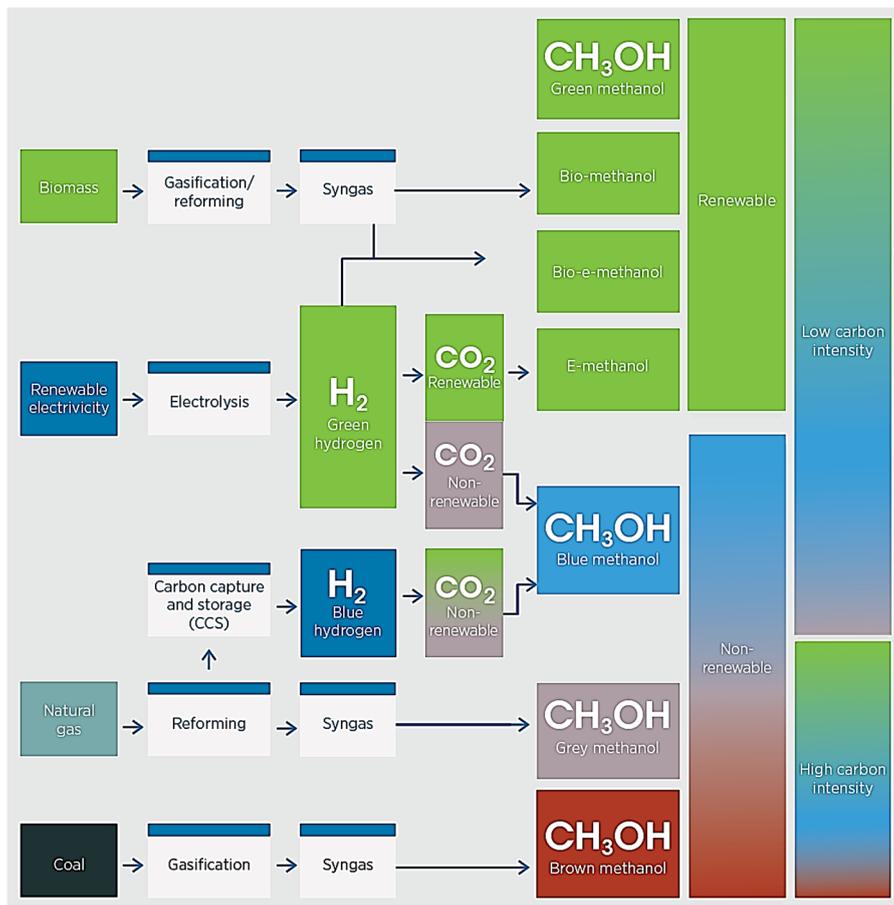


図6 メタノールの製造方法 (出典: IRENA)

国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) は、メタノールの年間製造量を 9,800 万トンと推定しており、そのほぼ全量が天然ガスまたは石炭から製造されている。IRENA は、過去 10 年間にメタノール製造量は倍増しており、中国のシェアが最も高い。現在の成長が続いた場合、メタノール製造量は 2050 年には年間 5 億トンになると IRENA は予測している。

バイオメタノールはバイオマスを原料として製造される。バイオマスには、林業、農業廃棄

物、ゴミ埋め立て地のバイオガス、自治体の廃棄物、パルプ・製紙業からの黒液などがある。グリーン/eメタノールは、グリーン水素及び大気中から回収されたCO₂を用いて製造される。

IRENAは、現在のeメタノールの製造コストは、カーボンキャプチャーとバイオエネルギーを用いた場合は1トン当たり800~1,600ドル、大気中からのCO₂直接回収の場合は1,200~2,400ドルと見積もっている。

図7に示す通り、メタノールのコストは今後30年間に低下すると予想されるが、将来的な利用促進のためにはグリーン/eメタノールの価格が課題となる。2050年時点のeメタノール及びバイオメタノールのメガワット/時(MWh)当たりのコストは、天然ガス由来のメタノールを含む化石燃料よりも高いと予測される。

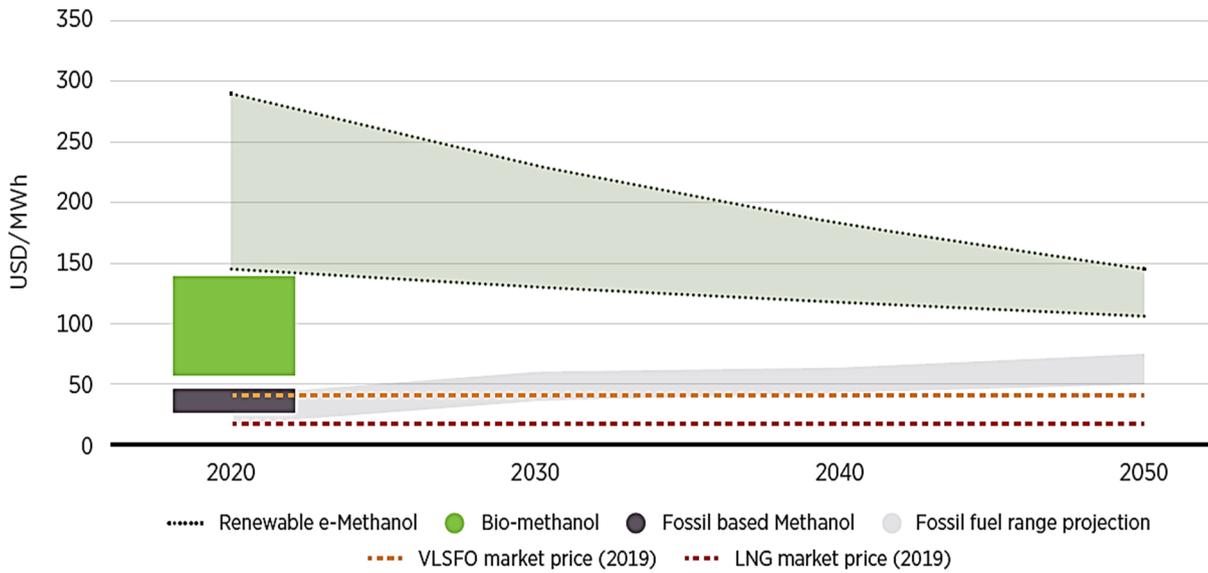


図7 再生可能eメタノールのコスト予測 (出典: IRENA)

表 4 は、船用燃料としてのメタノールの利点、機会、問題点、課題の要約である。

表 4 メタノールの利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> ● 「Tank to Propeller」の CO₂ 排出量は石油燃料よりも約 10%少ない。 ● 合成/e メタノールの CO₂ 排出量は少ない。 ● 硫黄はほぼゼロで、ECA の SO_x 排出規制を満たす。 ● メタノールは粒子状物質を排出せず、NO_x の排出も少ない。 ● メタノールはほぼ通常のタンクに貯蔵可能である。 ● メタノール焚き内燃エンジンの実績がある。 ● LNG、アンモニア、水素よりも貯蔵と取り扱いが容易で、船舶の既存燃料システムの変更も少ない。 ● メタノールは特定の港湾で入手可能。 ● メタノール燃料船に関して国際的なルールが存在する。 ● メタノールは大気中、海中で分解されるため、流出事故の場合も環境への影響が少ない。 	<ul style="list-style-type: none"> ● メタノールは燃焼の過程で CO₂ を排出する。 ● 従来のメタノールは、他の石油由来燃料よりも「Well to Propeller」の排出量が多い。 ● メタノールはエネルギー含有量当たりのタンク容積が、従来の燃料や LNG よりも最高 2.5 倍大きくなる。 ● 現在メタノールは低硫黄 MGO よりも高く、再生可能メタノールは化石燃料由来のメタノールよりもさらに高い。 ● グリーンメタノールの製造には、再生可能水素の製造のスケールアップが必要である。 ● 水素フィードストックの確保は、他の再生可能エネルギー源及びユーザーとの競争となる。 ● メタノールは特定の物質に対して腐食性があるため、特殊なタンクコーティング、パイプ、配管設備が必要となる。 ● NO_x 排出には、SCR システムまたは EGR システムが必要となる。 ● メタノールは非常に可燃性、有毒性が高く、吸入した場合は死に至る可能性がある。

3.1.6 水素

水素は水またはメタンの化合物として自然に存在している。通常の状態では、水素は無色、無臭、無味、無毒で、比較的的非反応で非常に可燃性の高いガスである。

水素は様々な再生可能エネルギーから生成することが可能で、燃焼時の GHG 排出量はゼロとなる。水素燃焼のエンジンは開発中であるが、水素燃料電池は船舶への搭載が進められている。

長距離輸送のセグメントでは、これまで水素燃料を導入した船舶は少ないが、欧州の海運企業の多くは、今後 10 年間に導入されるゼロエミッション燃料として、水素及び水素由来の燃料に興味を示している。

短距離輸送のセグメントでは、内燃機関及び燃料電池向けの水素燃料の試験が進んでいる。小型旅客船「CMB Hydrolville」は、2017 年以來、水素燃焼の二元燃料エンジンを搭載している。また、CBM は、アントワープ港向けに水素燃焼エンジンを搭載したタグボートを開発中である。Heidelberg Cement 及び Felleskjøpet は、水素燃焼エンジンを搭載した Egil Ulvan Rederi のばら積み貨物船「With Orca」を 2024 年に運航する計画である。Green City Ferries、Fincantieri、Future Proof Shipping、Echandia、Acta Marine、DFDS などは、現在水素燃

焼の船舶の開発プロジェクトを実施中である。大部分のプロジェクトでは、水素燃料電池とバッテリーシステムのハイブリッドを採用している。

今後の課題は、グリーン水素の需要を満たすために十分な再生可能エネルギーの拡大である。EUは、2030年までに風力や太陽光などの再生可能エネルギーによる30GWの電解装置をEU域内に設置することを目指している。さらに、北アフリカなどの近隣諸国にも40GWの電解装置設置を目指している。これらの電解能力は、海運だけではなく全需要セグメント向けに年間約7,000万トンの水素を生成する。もうひとつの課題は、船用燃料として競争力を持つために必要となる、グリーン水素の価格の低減である。図8は、化石燃料に対するグリーン水素のコスト予測である。化石燃料の価格が炭素税により上昇しない場合、グリーン水素の競争力は再生可能エネルギー由来の電力の価格に連動する。

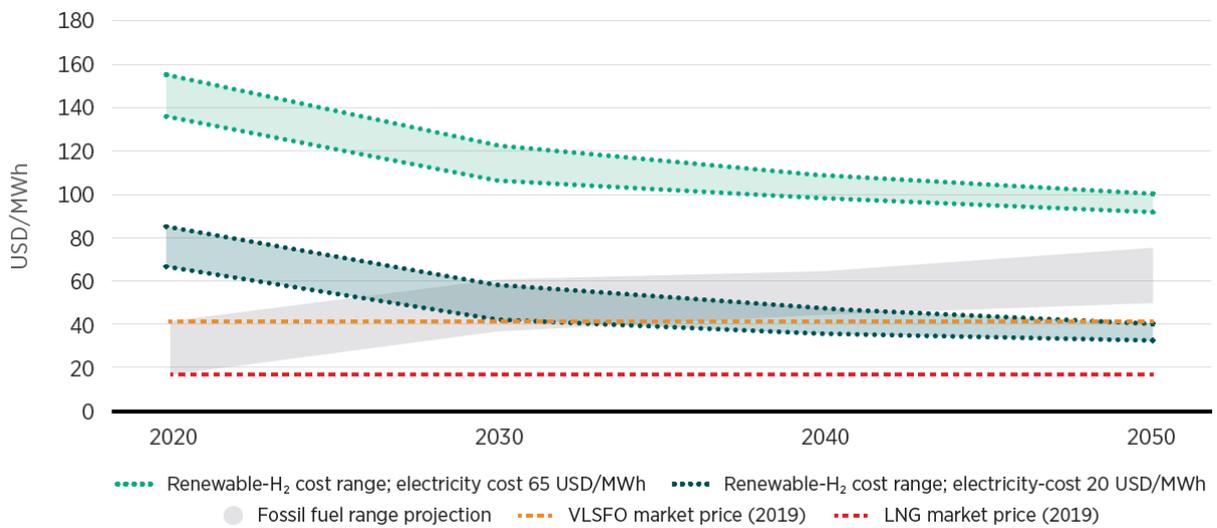


図8 他の燃料に対するグリーン水素のコスト予測（出典: IRENA）

表 5 は、船用燃料としての水素の利点、機会、問題点、課題の要約である。

表 5 水素の利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> ● 高いエネルギー含有量と燃料速度 ● 「Tank to Propeller」のカーボンの排出ゼロ。 ● 燃料電池に使用される水素は、CO₂、NO_x、SO_x、粒子状物質を排出しない。 ● 水素は従来燃料またはガスと混合し、従来のガス及び二元燃料エンジンで使用可能。 ● 水素は硫黄分ゼロ。 ● 水素は超低温液体、圧縮ガスとして貯蔵が可能、または他のケミカルと結合してエネルギーを運ぶ。 ● 液体水素タンカーが 2020 年代半ばに就航予定。 ● 漏洩した場合には、水素は消散する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 内燃エンジンに使用される場合には NO_x を排出する。 ● 水素は非常に可燃性が高く、狭い空間では爆発の危険が高い。 ● 水素を液化して貯蔵するには、350-700 バールまで圧縮するか、-253°C で液化しなければならないため、エネルギーコストが高い。 ● 液体水素から同じエネルギー量を得るには、MGO の 4~5 倍、LNG の約 2 倍の量が必要である。 ● 水素のみで駆動されるエンジンは大きく、標準エンジンよりも大型のシリンダーが必要となる。 ● 現在、船用水素供給システムまたはバンカリングシステムは存在しない。 ● 特定の物質は水素により脆化する。 ● 水素 PEM 燃料電池は高価なプラチナを使用する。 ● 燃料としての再生可能水素への競争は、グローバルなエネルギー転換の中で激化する。 ● 現行の IGF コードは水素をカバーしていない。

3.1.7 アンモニア

アンモニアは窒素と水素で構成されている。燃料電池、内燃エンジンともアンモニアを使用できる。常温・常圧では、アンモニアは刺激臭を持つ無色透明のガスである。大量の貯蔵には、10 倍に加圧または-33°Cまで冷却し、アンモニアを液化する必要がある。

アンモニアは豊富で、再生可能電力、水、空気を用いて製造することができる。製造はグリーン、ブルー、またはグレーで、従来のアンモニア製造はグレーである。世界の年間生産量は約 1 億 7,500 万トンで、主にハーバー・ボッシュ (Haber Bosch) 法を用いたアンモニア合成にフィードされた水素の水蒸気改質により生成される。

アンモニア輸送用の港湾インフラは既に整備されており、船舶のアンモニアバンカリングにも利用できる可能性がある。図 9 は、世界のアンモニアの積み下ろし設備を持つ港湾の分布である。

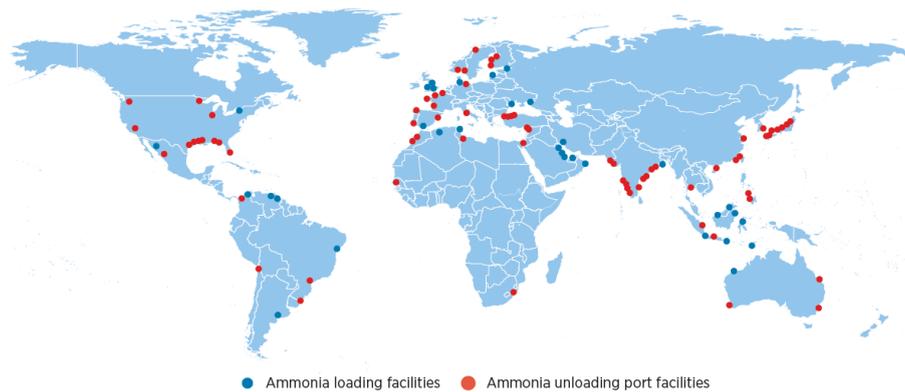


図9 アンモニアの積み下ろしインフラ（出典: IRENA/Roque）

この無色透明の燃料は、燃焼時に二酸化炭素を排出しない。しかしながら、従来のアンモニア製造方法は、化学産業で最も CO₂ 排出量が多い過程のひとつである。化石燃料から製造されるアンモニア 1 トンにつき、約 1.6 トンの CO₂ が排出される。

船用燃料としてのアンモニアへの関心は高まっている。調査対象となった欧州海運会社の半数以上が、代替燃料としてアンモニアを挙げている（3.2 章参照）。Greig Maritime Group と Wärtsilä は、現在世界初のアンモニア駆動の沿岸タンカーを開発中で、2024 年に引渡しが予定されている。欧州の全ての大手エンジンメーカーは、アンモニアエンジンの設計を開発中で、Wärtsilä は 2023 年までにアンモニア駆動の 4 ストロークエンジンを発表、MAN は 2024 年までにアンモニア駆動の 2 ストロークエンジンを設置予定、WinGD は 2025 年までにアンモニア焚き 2 ストロークエンジンを市場化する計画である。

図 10 は、化石燃料と再生可能 e アンモニアの製造量の予測である。e メタノールと違い、e アンモニアの製造コストは、カーボンキャプチャーと貯蔵コストの影響を受けない。

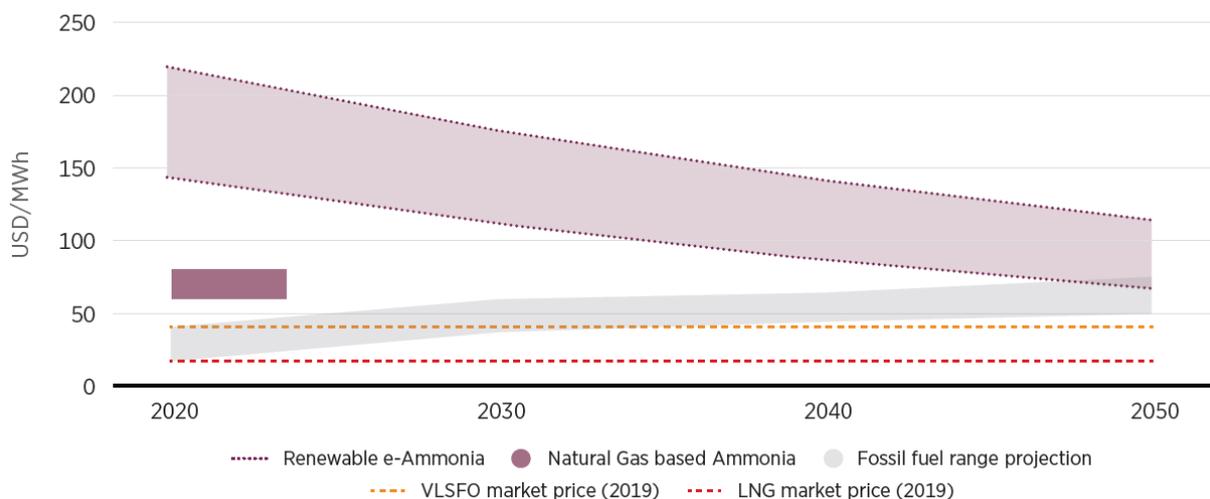


図 10 再生可能 e アンモニアの製造コスト（出典: IRENA）

表 6 は、船用代替燃料としてのアンモニアの利点、機会、問題点、課題の要約である。

表 6 アンモニアの利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> ● アンモニアはカーボンフリーで、「Tank to Propeller」ゼロエミッションである。 ● アンモニアの引火リスクは低い。 ● 液体としての貯蔵と輸送が可能。 ● アンモニア貯蔵・輸送インフラは確立しており、世界の燃料市場への参入は比較的容易である。 ● アンモニアは柔軟性の高いエネルギーキャリアで、内燃エンジンと燃料電池に使用可能なソリューションである。 ● SOFC 形燃料電池には前処理なしに直接使用できる。これは確立された技術で、プラチナなどの希少金属を必要としない。 ● アンモニアは柔軟性の高いエネルギーキャリアである。アンモニアを分解し、精製水素を PEM 形燃料電池にフィードする手法は、特にアンモニアを貨物として輸送するタンカーに有効である。 ● いくつかの燃料電池は、アンモニアによる直接駆動が可能であり、水素と窒素に分解する必要がない。 	<ul style="list-style-type: none"> ● グリーンアンモニアの供給・バンカリングインフラのスケールは小さい。 ● 有毒性により厳格な取り扱いが必要。 ● 法規制の欠如。 ● 大型のシリンダー型、球状、または角柱型貯蔵タンクが必要。石油由来燃料よりも 2.4 倍の貯蔵量が必要。 ● アンモニア燃料の貯蔵、バンカリング設備、輸送パイプ、ボイルオフガス処理、再液化、ガスバルブユニット、窒素製造プラント、散水設備、作業員の防護設備などへの投資が必要。 ● 燃焼特性が悪く、多くのパイロット燃料が必要となるため、NO_x 排出量が増加。 ● アンモニアは特定の物質を腐食させる。 ● 燃料電池に使用する前にアンモニアを水素に転換する装置が必要。さらに、製品ガスからアンモニア濃縮を処理するための酸性洗浄装置（スクラバー）が必要。 ● アンモニアスリップの可能性。 ● 燃料コストの高さ。

3.1.8 バイオ燃料

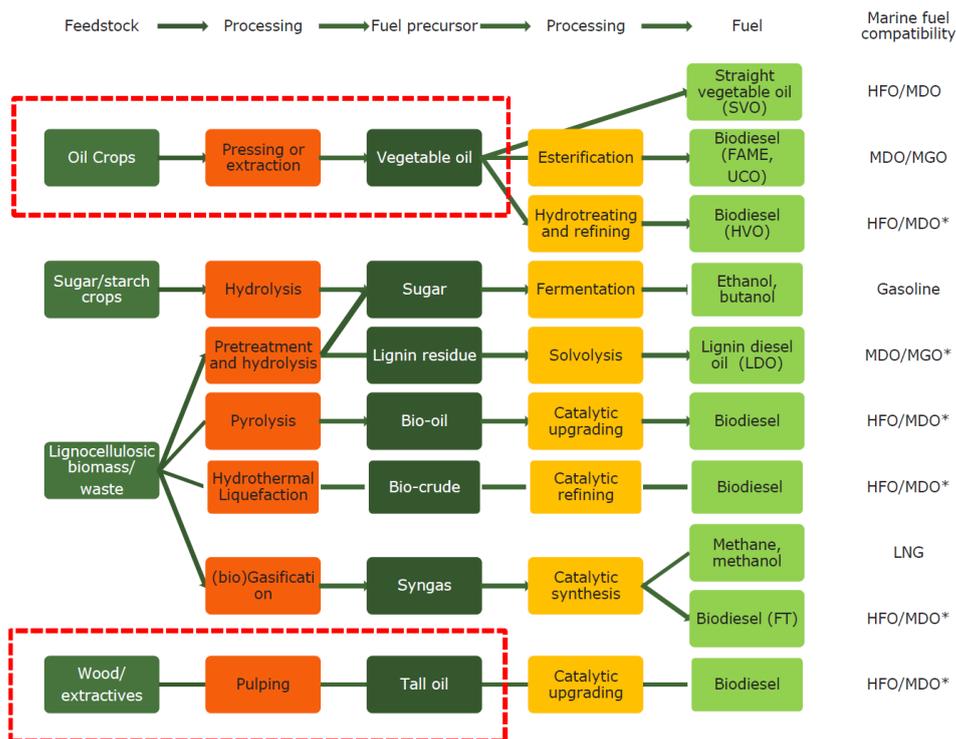
バイオ燃料とは、バイオマスまたは生物系廃棄物に由来する液体類またはガス類の総称である。一般的にバイオ燃料は、その炭素源により分類される。

第一世代バイオ燃料の原料は、植物から直接抽出された砂糖、でんぷん、脂質で、脂肪酸メチルエステル（fatty-acid methyl ester : FAME）バイオディーゼル、水素化植物油（hydro treated vegetable : HVO）、水素化食用植物油廃棄物及び動物性脂肪廃棄物、バイオマスの水熱液化（Hydrothermal liquefaction : HTL）、パルプ・紙からの水素化トール油などのバイオ燃料が製造される。これらのバイオ燃料の供給量は限られている。

第二世代バイオ燃料の原料は、木質資源作物、非食用作物フィードストック、廃棄物／残留物などである。第二世代バイオ燃料は、バイオエタノール、バイオメタノール、バイオブタノール、バイオ LNG 用バイオガスなどである。液化バイオガス（LBG）は LNG の代替となる。

第三世代バイオ燃料は、微生物及び微細藻類のバイオマスから製造される。第三世代バイオ燃料は、2011 年に「Maersk Kalmer」で実船実験が行われて以来、ほとんど進展はない。

図 11 は、様々なバイオ燃料技術の概要である。



* Can be blended with conventional fuels or used as a drop-in fuel

図 11 バイオ燃料技術の概要

(出典: University of Copenhagen)

硫黄分の少ない炭素ベースの安定した液体であれば、ほとんどあらゆるものが船用ディーゼルエンジン向けのバイオ燃料の原料になり得る。バイオ燃料は、既存船の燃料タンクに変更を加えずに、混合燃料として、またはドロップイン燃料としてそのまま既存燃料の代替としての利用が可能である。HFO の代替となり得るバイオ燃料には、植物油 (straight vegetable oil : SVO)、熱分解バイオ油、HTL バイオ原油などである。また、精製油 (MGO) の代替となるバイオ燃料は、FAME、HVO、水嶼化处理再生可能ディーゼル、フィッシャー・トロプシュ法 (Fischer-Tropsch : FT) ディーゼル、ジメチルエーテル (dimethyl ether : DAME)、バイオメタノールなどである。

表 7 は、船用代替燃料としてのバイオ燃料の利点、機会、問題点、課題の要約である。

表 7 バイオ燃料の利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> 製造過程におけるカーボンオフセットにより、「Tank to Propeller」の排出が少ない。 バイオ燃料は船用ドロップイン燃料として広く利用されている。 バイオ燃料の取扱いは安全である。 フィードストックは硫黄を含まない。 HVO は、燃焼中の微粒子排出がディーゼルよりも少ない。 船用バイオ燃料は高度な精製が必要ない。 バイオ燃料は既存のバンカリングインフラと互換性がある。 バイオ燃料は特定の港湾で入手可能。 	<ul style="list-style-type: none"> バイオ燃料は液体炭化水素燃料であり、「Well to Propeller」の排出量は、そのフィードストックと製造方法による。 将来的な需要への対応。2020 年の EU のバイオ燃料製造量は 660 ペタジュールである。 農業、自動車、航空セクターとのバイオ燃料の獲得競争。 船用バイオ燃料の長期的な試験結果はない。 燃料貯蔵と酸化の問題。酸化物質を含むバイオ燃料は劣化し、不溶性物質を形成する。そのため乾燥した暗所で貯蔵する必要がある。 FAME と HVO のエネルギー容量は従来のディーゼルよりも低いいため、同じエネルギーを得るには大型の貯蔵タンクが必要となる。 いくつかのバイオ燃料の酸性は素材を腐食させるため、タンクと燃料処理システムの特許コーティングと艀装品が必要となる。 水分を含む場合、菌類増殖の恐れがある。 いくつかのバイオ燃料は低温で濁り、ゲル化するため、その温度よりも 10~15℃ 以上高い温度で保管する必要がある。 コストは、フィードストック、ロケーション、規制、作物、輪作、人件費に影響される。IRENA は、バイオ燃料は 2040 年以前にはコスト競争力がないと予想している。

3.1.9 電力

完全電気推進船及び部分的電気ハイブリッド船は、短距離海運、オフショア、旅客船セグメントで増加している。

完全電動システムでは、船舶は内燃エンジンを搭載していない。推進力はバッテリーが駆動する電動機により、バッテリーは船舶が港湾に停泊中に充電される。部分的電気ハイブリッド推進システムでは、エンジンまたは燃料電池がバッテリーを充電する動力源となる。

DNV によると、2021 年 12 月現在、410 隻以上のバッテリー駆動船が就航または建造中である。これらの 40% 以上は車両／旅客フェリー、66 隻はオフショア船である。

船内電化に加え、船舶が港湾に停泊中に陸上電力施設に接続して電力を得る「cold-ironing」

も増加している。陸上電力の利用により停泊中の船舶の燃料消費量は減少し、港湾における排出量も減少する。陸上電力がグリーン電力により製造される場合には、さらに恩恵が増す。

表 8 は、海運の電力利用に関する主な利点、機会、問題点、課題である。

表 8 電力の利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> ● バッテリー作動中の排出はゼロである。 ● ノルウェーの研究では、電動短距離船の地球温暖化への影響は、従来システムよりも大幅に少ない。 ● バッテリー駆動の電動システムは、制御機能を向上させ、運航の安全性を高める。 ● バッテリー技術は急速に進化している。製造は拡大し、価格は低下している。 ● 充電は安全である。船級協会はバッテリーの安全基準を制定している。 ● バッテリーは技術的に交換が容易である。 ● 港湾の充電設備は増加している。陸上電力がグリーン電力から製造される場合には、さらに排出量が減少する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● バッテリーの利用は、短距離フェリーや OSV に限られている。 ● バッテリーのサイズとコストにより、長距離船へのバッテリー導入は不可能または競争力がない。 ● 自動車産業など他産業とのバッテリー獲得競争。 ● グラファイト、コバルト、リチウム、ニッケルなどリチウムイオン電池原料のサステナビリティの問題。 ● 再生可能エネルギー電力供給のスケールの不足。 ● エネルギー価格の変動は、電力価格の変動につながる。

3.1.10 原子力

1969 年以来、原子力駆動の商船を運航しているロシア Rosatom は、現在でも唯一の企業であるが、少なくとももう 1 社の欧州海運会社 MSC が、代替燃料としての原子力推進に言及している。MSC が原子力推進の利用を真剣に検討しているか否かは不明であるが、どちらにしても長期的なビジョンであると考えられる。

世界では約 200 隻の艦艇が原子力を動力としており、主に加圧水型原子炉を使用している。これらの艦艇は通常、軍用高濃縮ウランで駆動される。セキュリティの観点から、高濃縮ウランは民間海運には適していない。また、1~2 週間ごとの補給が必要な低濃縮ウランも、商船への利用には適していない。

欧州では、Rosatom は、船用推進向け及び浮体式発電施設向けの加圧水型原子炉のシリーズを開発している。現在進行中の原子力砕氷船の新造計画では、2020~2026 年間に第三世代砕氷船 5 隻、2027~2033 年に第四世代砕氷船 3 隻を竣工する予定である。同社の現在の原子力技術の大半は、ロシア国外の商船への利用には適していない。

第 4 世代原子力システムに関する国際フォーラム (Generation IV International Forum) は、過去 20 年間に渡り、安全性、サステナビリティ、経済性が改善された次世代原子力システムの利用を促進してきた。同時に、原子力の拡散に反対し、テロリスト攻撃への耐性があり、核廃棄物の少ない原子力システムを提唱している。同フォーラムは、6 つの原子炉概念を開発されるべき次世代システムとして選定した。選ばれたシステムは、ガス冷却高速炉 (GFR)、ナトリウム冷却高速炉 (SFR)、鉛冷却高速炉 (LFR)、超臨界水冷却炉 (SCWR)、超高温炉 (VHTR)、熔融塩炉 (MSR) である。

国際原子力機関 (IAEA) の 2020 年版「小型モジュール炉の技術開発の進展 (Advances in

Small Modular Reactor Technology Developments) 」報告書で、海塩ベースの溶解塩炉、鉛冷却高速炉、水冷却炉の設計が、欧州ではデンマーク、ロシア、英国、その他カナダ、中国、日本、韓国、米国各国で開発中であると述べている。

船用小型モジュール水冷却炉技術は数か国で研究中であるが、西欧諸国及び米国で民間商船向けとして注目されている技術は、小型高速スペクトル型・熔融塩高速炉（FS-MSR）である。溶解塩高速炉の特徴は、燃料と冷却材の両方が液体塩であるということで、原子炉は超高温であるが周囲圧力で運転する。従って圧力格納容器の必要がない。また同技術はメルトダウンを起こさないとされている。船用 MSR は、2020 年代半ば以降に実証試験が行われると予想される。

核分裂技術の研究に加え、商船への核融合炉の搭載の可能性に関する研究もおこなわれているが、研究は初期段階にある。核融合炉のエネルギー純製造量、即ち融合炉のエネルギー製造量が融合炉運転のために必要なエネルギーを超えた分は、今後の実証試験を待つこととなる。核融合炉は画期的な技術で、今後も研究開発が続けられる。

図 9 は、原子力の主な利点、機会、問題点、課題の要約である。

表 9 原子力の利点、問題点、課題

利点と機会	問題点と課題
<ul style="list-style-type: none"> ● 現在約 200 隻の原子力駆動船が就航しており、その大部分は艦艇である。 ● 原子力駆動商船は、米国の「Savannah」（1962～1971 年）及びロシア Rosatom の原子力船隊である。 ● 「Tank to Propeller」の排出はゼロ。 ● モジュール型溶解塩高速炉（MSR）は、大型船へのソリューションとなる可能性がある。 ● 商船向け小型溶解炉のモデルは、コスト競争力とパフォーマンス改善を示している。 ● いくつかの技術は、安全性の向上、廃棄物の削減、25～30 年間燃料補給の必要がない、という利点を提供する。 ● 陸上原子力は、グリーン水素や e 燃料の製造に利用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 一般的な原子力への安全性懸念が、商船への採用の障害となる。 ● 原子力駆動商船は数例あるが、概して技術は民間船で試験されていない。 ● 法規制が制定されていない。 ● 原子力に関する認証プロセスの長さ。 ● 船員の特殊訓練要求を確立する必要がある。 ● 安全性及びセキュリティーの問題。

3.1.11 グリーン燃料製造のスケール拡大とコスト削減への課題

国際エネルギー機関（IEA）の 2021 年グローバル水素調査報告書では、グリーン水素由来の燃料製造に関して幾分希望を示しているが、同時に警告も発している。同報告書の主な結論は以下の通りである。

- 現在、水素のほぼ全量が化石燃料を用いて製造されている。2020 年の水素需要は約 9,000 万トンで、9 億トン近くの CO₂ を排出している。
- 水素の供給はクリーン化しているが、そのペースは遅い。電解能力は 2016 年半ば以降から倍増し、2021 年半ばには 300MW 超となった。世界では約 350 件のプロジェクトが開発中で、2030 年には世界の供給能力は 54GW となると予想される。さらに、40 件のプロジェクト、即ち 35GW 以上の電解能力が開発の初期段階にあ

る。全てのプロジェクトが稼働した場合には、2030年には電解製造能力は800万トンを超える。IEAの「グローバルエネルギーセクターのネットゼロへのロードマップ」では、2030年までに8,000万トンの再生可能水素供給を提唱している。

- 欧州は電解装置の設置で世界をリードしており、世界の約40%の電解能力を持つ。IEAは、EUと英国の戦略により、欧州は短期的には最大のグリーン水素市場の地位を維持すると予想している。
- 2020年、カナダと米国は、世界のブルー水素製造量700,000トンの約80%を製造している。ブルー水素は、カーボンキャプチャー・貯蔵法を用いて化石燃料から製造される。現在、50件のブルー水素プロジェクトが開発中で、2030年には年間生産量は900万トン超に増加すると予想される。
- 船用燃料電池やグリーンアンモニア製造など水素利用の拡大を目指した数多くの研究開発プロジェクトが進行中である。しかしながら、大規模に商業化されたものはまだない。
- 現時点では、再生可能エネルギーを使用した水素製造は高コスト（1kgあたり1~2ドル）である。天然ガスから製造される水素は、1kgあたり0.5~1.7ドルである。

欧州北西部では、エネルギー転換を支援する水素製造の拡大は、洋上風力発電能力の拡大と連動することが多い。太陽光発電や陸上風力発電よりも利用率は高いが、洋上風力発電は変動のあるベースロード発電に留まっている。水素製造と電子の分子への変換は、風力の変動を解決するひとつのソリューションである。以下は、欧州の洋上風力を利用したグリーン水素プロジェクトの主な例である。

- オランダ「PosHYdon」プロジェクトには、TNO、Gasunie、Neptune Energy、DEME、三菱傘下のオランダENOECOが参加している。PosHYdonプロジェクトは、北海の3つのエネルギーシステム、即ち洋上風力、海洋天然ガス、海洋水素の統合の実証を目指している。洋上風力タービンによって製造される電力が、1日あたりの電解能力1MW/400kgの水素プラントの動力となり、海水を脱塩水に変換した後、電解により水素に変換する。
- 「REFHYNE」プロジェクトでは、ShellとITMが共同で、Shellのドイツラインラント精製所の10MWパイロットプラントにおいて、年間最大1,300トンのグリーン水素を製造する。工業用としては最大級であるITMの電解装置は、2021年7月に稼働した。
- 「Gigastak」プロジェクトでは、ITM Power、Ørsted、Phillips 66、Element Energyのコンソーシアムが、業界初の100MW級電解装置のポテンシャルを研究する。同電解装置は、ITMの電解装置モジュールのスタックから20MWずつ段階的に設置し、2022年に洋上風力発電所「Hornsea Two」に接続される予定である。グリーン水素は、Phillips 66のハンバー精製所に供給される。
- 「NorthH2」プロジェクトでは、RWEとEquinorが、Shell、Gasunie、Groningen Seaportsの「NorthH2」コンソーシアムに参加し、オランダ北部を拠点とした欧州北西部に大規模なグリーン水素サプライチェーンを構築する。計画では、2026年までに洋上風力により1GWのグリーン水素を製造、2030年までに4GW（年間400,000トンの水素）、2040年までには10GW超（年間100万トンの水素）を製造する。
- また、RWE、Shell、Equinorは、Vattenfall、Gasunie、Siemens、Parkwind、Vestasと協働し、ヘルゴラントとドッガーバンク間の北海の洋上風力発電所からのグリーン水素製造を支援する複数のプロジェクトを行っている。プロジェクトの目

的は、2028年までに300MWの大型電解装置を持つ100%オフグリッド（電力網に接続されていない）水素風力エリアを構築し、2030年には1GW、年間100,000トンの水素を製造することである。

- Ørsted は、ノルウェー肥料企業 Yara と共同で、Ørsted の洋上風力発電所「Borssele 1」及び「Borssele 2」からの電力で駆動される100MWの電解装置によりオランダスライスキルにおけるアンモニア製造を支援する。
- 「Green Hydrogen Catapult」イニシアティブでは、6企業が共同で、2026年までに25GWのグリーン水素製造を行う。参加企業は、ACWA Power、CWP Renewables、Envision、Iberdrola、Ørsted、Snam、Yara である。同イニシアティブは、国連の「Race to Zero」キャンペーンと連動しており、グリーン水素のコストを現在の半分、即ち1kgあたり2ドル以下に低下させることを目指している。

上記のプロジェクトにより、欧州のグリーン水素ベースの燃料製造能力は拡大するが、これが短期的に船用燃料を完全にグリーン化するに足りるとは考えられない。グリーン燃料製造のスケール拡大は、依然として最大の課題である。

3.2 欧州海運会社の船用代替燃料の利用に関する戦略

本節では、カーボン排出のための代替燃料の開発、利用に関する欧州海運会社 29 社の戦略を調査した。表 10 は、これらの海運会社の戦略を燃料別に示している。「√」は、海運会社が当該代替燃料を使用中または調査中であることを示す。各社の戦略の詳細は後述する。

表 10 各海運会社の代替燃料の開発と利用に関する戦略

	LN G	LP G	メタノー ル	水素	アンモニ ア	バイオ 燃料	電力	原子力
Maersk			√	√	√	√	√	
MSC	√		√	√		√	√	√
CMA CGM	√			√	√	√		
Hapag-Lloyd	√					√		
Carnival	√		√	√			√	
Wallenius Wilhelmsen						√		
Oldendorff						√		
Euronav	√		√	√	√	√		
Navios					√			
Danaos				√	√	√		
Fredriksen 傘下の企業	√	√				√	√	
Anglo American	√			√	√	√		
Fjord 1	√						√	
Color Line					√		√	
Hurtigruten							√	
Höegh	√				√	√		
Rosatom								√
Stena Group	√		√		√	√		
Shell	√		√	√	√	√		
Equinor	√	√		√	√	√	√	
BP Shipping	√							
Navigator Gas	√				√			
Exmar		√			√			
Scandlines							√	
Yara					√		√	
AKSO							√	
Stolt Tankers	√			√	√	√	√	
Terntank	√					√	√	
Viridis					√			

3.2.1 Maersk (デンマーク)

Maersk は、世界最大の海事ロジスティクス企業のひとつである。同社は遠洋船、短距離船合わせて 1,500 隻以上を運航、75 か所のコンテナターミナルを運営している。主幹事業であるコンテナ部門では、315 隻のコンテナ船を保有し、さらに 420 隻を運航している。その他の事業としては、230 隻のタンカーを管理・運航、425 隻のターミナルタグボート、うち欧州内の港湾で 135 隻を運航し、さらに 44 隻の OSV 及び 20 基の掘削リグを保有・管理している。他の海事企業と同様に、Maersk は、代替燃料の導入による海運カーボンフットプリント削減に積極的で、代替燃料のオプションの研究、代替燃料開発を行う企業の買収、代替燃料駆動船の発注などを行っている。

しかしながら、競合他社と異なり、Maersk は LNG をゼロエミッションへの有効なオプションとは見ていない。2020 年末には、同社コンテナ部門の CEO は、投資家に向け、同社は化石燃料由来の LNG が移行期の燃料として大きな役割を果たすと考えておらず、直接カーボンニュートラルな代替燃料を採用することを選ぶ、と述べている。

同社は、ゼロエミッション達成のための代替燃料として、バイオディーゼル、メタノール、リグニンバイオ燃料、アンモニアを挙げている。それぞれの限界と解決すべき課題はあるにしても、これらは一気に低排出、ゼロ排出を実現する画期的な燃料である。同社はこれらの代替燃料の利点と問題点を以下のように見ている。

- バイオディーゼル燃料は、既存エンジンで使用が可能という利点がある。しかしながら、Maersk はバイオマスのフィードストックの供給拡大が最大の課題であるとし、将来的には他産業との獲得競争による価格上昇を予想している。同社の最大顧客 10 社は既に、顧客が自社貨物の輸送に認証済みのサステナブルなバイオ燃料を選ぶことのできる「ECO Delivery」オプションを採用している。
- メタノールは短期的に有望な代替燃料で、既に船用燃料として使用されており、メタノール駆動エンジンも市場化されている。Maersk は、メタノールは液体であり、取り扱いが比較的容易であることを利点として挙げている。一方、バイオマスの供給量の限界が、将来的なバイオメタノールの供給拡大に影響するとしている。また、e メタノールの供給量は、バイオジェニック CO₂ の供給量、将来的なコスト、電解技術の進歩などに影響される。
- バイオマスの残留リグニンとメタノールまたはエタノールなどのアルコールから製造されるリグニンバイオ燃料は、最も価格競争力のあるネットゼロ燃料になり得ると Maersk は見ている。リグニン燃料のコストは化石燃料とほぼ同等となり、取扱いはメタノールと同様である。一方、リグニンの場合も原材料の限界が問題となる。新燃料のバリューチェーンとインフラ構築のためには、製造規模の拡大が必要である。
- グリーンアンモニアは完全なゼロエミッション燃料で、再生可能エネルギーのみを使用した大規模な製造が可能である。Maersk は、グリーンアンモニアの安全性確保と有毒性への対応、及び港湾インフラの拡大が課題であるとしている。将来的なコストは、再生可能電力のコストと電解技術のコスト及び成熟度に影響される。

以下は、代替燃料の開発と利用による海運のカーボン排出削減に向けた Maersk の最近の動向である。

2021 年初頭、Maersk は、2019/2020 年時点の計画を 7 年間前倒し、2023 年までに世界初のカーボンニュートラルなコンテナ船を運航する計画を発表した。現代尾浦造船が建造中の同 2,100TEU 型コンテナ船は、バルト海内航路に投入される。同船は、バイオ燃料をパイロット燃料とし、超低硫黄燃料油、e メタノール、またはグリーンメタノール焚きの二元燃料エンジンで駆動される。2021 年 7 月には、MAN Energy Solutions が同船向けに MAN B&W

6G50ME Tier III 対応エンジンを受注した。同エンジンは現代重工 Hyundai Engine and Machinery がライセンス製造する。

2021年8月、Maerskは、従来の低硫黄燃料に加え、カーボンニュートラルなeメタノールまたはサステナブルなバイオメタノールでも駆動可能な二元燃料エンジンを搭載した16,000TEU型コンテナ船8隻を発注した。同社はさらにオプション4隻の権利を持つ。同船隊にはMANがエンジンを供給し、現代重工業が建造する。最初の8隻は2024年までに、オプションが発注された場合には、さらに4隻が2025年までに、それぞれ引き渡される。Maerskは、二元燃料エンジンへの追加投資は10~15%としている。新船隊は旧船隊を代替し、これによる年間CO₂排出削減量は約100万トンと見積もられている。

Maerskは、メタノール駆動船の利用を拡大する計画である。2021年11月のArtic Securities エネルギー転換サミットにおいて、Maerskの脱炭素化部門長は、現在のメタノール価格はVLSFOの3~5倍であるにもかかわらず、同社は既存大型コンテナ船にメタノール駆動エンジンをレトロフィットする計画があると述べている。

2020年5月、自動車、船舶、航空機向けの水素由来燃料の製造を支援するため、Maerskは、デンマークの再生可能エネルギー企業Ørsted、DSV Panalpina、DFDS、SASと提携し、工業規模のグリーン燃料製造の拡大に着手した。計画では、2023年に10MW電解装置1基で製造を開始し、2027年までには250MW、2030年までには1.3GWに製造能力を拡大、年間250,000トンのe燃料を製造する。同プロジェクトの水素製造電解装置は、Ørstedの洋上風力発電所の電力で駆動される。製造された水素は、サステナブルな方法で回収されたCO₂と組み合わせて、Maersk船隊にサステナブルなメタノールを供給する。

2021年9月、Maerskは、米国のスタートアップ企業Prometheus Fuelsを買収した。同社は、Prometheus Fuelsが開発したコスト効率の高い大気からの直接カーボンキャプチャー技術を、船用カーボンニュートラルe燃料に利用する計画である。

また、2021年9月には、Maerskは、カリフォルニアのスタートアップ企業WasteFuelへの投資を行った。WasteFuel社は、廃棄物をバイオメタノール及びバイオガスに転換する技術を持つ。今回の投資は、A.P. Mollerのベンチャー部門Maersk Growthを通じて行われた。同社は、メタノール駆動船隊へのグリーン燃料の調達は大きな課題であり、グローバルな生産拡大が急務であるとしている。サステナブルな燃料の生産と供給拡大のためには、WasteFuelをはじめとする他社との提携や協力は不可欠であると述べている。

2021年10月、Maerskは、同じくベンチャー部門Maersk Growthを通じたVertoroへの投資を発表した。Vertoroは、船用リグニン燃料技術を開発しているオランダのスタートアップ企業である。同社は、Brightland Chemelot Campus、DSM、Chemelot InSciTe、マーストリヒト大学、エイントフォーヘン大学の官民協力から生まれた企業である。同社のリグノセルロース系バイオマス技術は、未加工の植物系バイオマスではなく残渣バイオマスを利用する。このプロセスは、固形リグニンをメタノールやエタノールなどの極性有機溶媒中で、圧力50バール、200℃で30分間加熱する。Maerskは今回の投資により、Vertoroの特許技術である液体リグニン技術をさらに開発、商品化し、2022年に稼働予定の同社の試験プラント建設を後押しする。同プラントからの製品は、Maerskと共同で船用燃料の開発に利用される他、素材及びケミカル市場向けに利用される。

Maerskは、過去10年以上、バイオ燃料の研究を行っている。2011年には米国海軍と共同で、ブレーマーハーフェン（ドイツ）からピパバブ（インド）に向けて航海中のコンテナ船「Maersk Kalmar」上で、藻類由来のバイオ燃料（7~100%ブレンド）の試験を行った。

最近では、MaerskはUnilever、Friesland、DSM、Shell、Philips、Heinekenから成るオランダ企業連合と共同で、入手が容易なバイオ燃料を用いて、船用バイオ燃料利用の技術的、環境的、商業的な可能性に関する世界最大のバイオ燃料の評価試験を実施した。試験では、コ

コンテナ船「*Mette Maersk*」が、ロッテルダム - 上海間の往復航海中に、バイオ燃料（使用済み料理油）のブレンド油により駆動された。燃料は Shell が供給した。

2019 年 10 月、Maersk は、Wallenius Wilhelmsen Logistics、BMW、Levi's、Marks & Spencer と共同で、海運向けのリグニン混合エタノールバイオ燃料の環境への影響と市場化の可能性に関する研究開発プロジェクトを開始した。

2021 年 9 月、Maersk と中国船級協会は、グリーン燃料の供給などに関する基本合意を締結した。

2020 年 6 月、Maersk は、ABS、Cargill、MAN Energy Solutions、三菱重工業、日本郵船、Siemens Energy と協力し、新研究所 Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping を設立した。新研究所では、IMO の 2050 年目標達成及び海運の将来的な完全ゼロカーボン化を目指し、新燃料及び技術の研究開発を行う。

Maersk 傘下の企業も、それぞれ代替燃料導入への努力を行っている。Maersk Supply Service は、オランダの非営利エンジニアリング・環境組織 Ocean Cleanup への支援を行っている。

2021 年 7 月には、2009 年建造の「*Maersk Tender*」が、水素化植物油（HVO）を 15%ブレンドしたバイオ燃料を使用して、プラスチック回収の試験プロジェクトに参加した。バイオ燃料油は Maersk Oil Trading が供給した。この試験で Maersk Supply Services は 13.5%の CO₂ 排出量削減を実現したが、HVO の価格は MGO の 4 倍であった。

Maersk の短距離ターミナルタグ部門 Svitzer は、Alfa Laval、DTU、Haldor Topsoe、Maersk-Mc-Kinney Moller Center for Zero Carbon Shipping と共同で、アンモニア、水素、バイオメタンなどのグリーン燃料を使用した固体酸化物形燃料電池（SOFC）の開発促進を目指したプロジェクトを開始した。2021 年 11 月には、Svitzer は、世界初のグリーンメタノール燃料電池・バッテリーハイブリッドの港湾タグボートの設計を、Robert Allan に発注した。80 トンのボラードプルタグボートは、将来的な Svitzer タグの試験的設計となる。新タグは 2024 年に欧州で就役の予定である。

厳しい気象状況に対応する大水深石油・ガス掘削リグ船隊を運航する Maersk Drilling は、2030 年までにカーボン排出量を 50%削減するという目標に向けた戦略を打ち出している。方策としては、ジャッキアップ装置のバッテリー駆動低排出リグへのアップグレード、ジャッキアップの陸上電力利用、低カーボン燃料の利用拡大、船隊へのエネルギー性能の追跡・最適化を行うセンサー及びソフトフェアを搭載、リグ 4 基に NO_x スクラバーを搭載などがある。

また、Maersk Drilling は、水素及びアンモニア由来の動力と燃料電池を含む低カーボンの燃料及び添加物の利用拡大を計画している。2021 年 11 月の Maersk Drilling と Noble の合併による影響は不明である。2022 年半ばに合併手続き完了が予定されている新企業の社名は、「Noble Corporation」となる。

3.2.2 MSC（スイス）

世界第二位のコンテナ海運会社及び大手クルーズ海運会社である MSC Group は、貨物部門で 600 隻以上のコンテナ船を運航、62 か所のコンテナターミナルを運営し、MSC ブランドで 20 隻のクルーズ船、GNV ブランドで 19 隻の旅客フェリー、SNAV ブランドで多数の短距離フェリーを運航している。

MSC は、LNG、水素、メタノール、バイオ燃料、さらに核燃料まで幅広い代替燃料の調査を行っている。

MSC は同社 2020 年サステナビリティ報告書で、主要パートナーと協力し、船隊への低排出及びゼロ排出燃料の開発と導入を支援していくと述べている。また、コンテナ船隊には移行期の燃料を導入し、低排出、ゼロ排出燃料の供給、インフラ、安全性などの課題に関する商業的試験を行う。MSC は代替燃料の供給量の少なさを問題視しており、排出量の 50%削減とい

う IMO 目標達成のためには、2030～2050 年間に代替燃料への 1 兆～1.4 兆ドルの投資が必要であるとの UMAS の予測に言及している。

MSC の *Gülsün* 級 23,000TEU 型コンテナ船 11 隻は、LNG 対応 (LNG-ready) で、将来的な燃料の変更が可能である。サムスン重工業及び大宇造船海洋で建造された同船隊は、MAN D&T 11G95ME-C9.5 型主機を搭載している。

MSC と Wärtsilä は、将来的な燃料変更のための改造プラットフォームとなる 2 ストロークエンジンの開発において協力している。同技術は 2 ストローク電子制御主機を LNG 焚きに改造するが、入手可能になった場合には、グリーンな代替燃料やブレンド燃料の使用も可能である。Wärtsilä RT-flex96C-B 型主機を搭載した MSC の大型コンテナ船の初の改造は、2023 年半ばに予定されている。

MSC は、水素及び派生燃料の将来的な船用燃料としてのポテンシャルは大きいと考え、その有効性の研究を行っている。MSC は、水素協議会 (Hydrogen Council) に加盟し、水素技術の研究開発を行っている。MSC は水素のポテンシャルを評価すると同時に、現在ほとんどの水素が化石燃料により製造されていると指摘している。水素が主要燃料となるための最大の課題は、グリーン水素の製造、貯蔵、供給の拡大である。

MSC は、入手と取り扱いの容易さから、メタノールの使用も検討中である。メタノールの「Well to Tank」の排出量と、供給の確保が問題である。MSC は、グリーンな合成メタノールその他のアルコール燃料のポテンシャルは大きいと、環境持続性のあるフィードストックと製造方法が前提条件となるとしている。

MSC のコンテナ船船隊は、2019 年以来、ロッテルダム港で 30～47%ブレンドの第二世代バイオ燃料のバンカリングを受けている。また、MSC は、Quadris Fuels International と共同で、MAN 及び Wärtsilä のエンジンで代替燃料 MSAR 及び bioSARTIM を使用する実船実験を行っている。MSAR は合成 HFO である。

他の多くの海運会社と異なり、MSC Group は、原子力は検討されるべき多数のオプションのひとつであると述べている。MSC は、原子力の利点として、化石燃料、代替燃料よりも高い出力密度、高い重量比出力、補給間隔の長さ、陸上電力要求が少ないことを挙げている。

MSC は、コンテナ船運航の脱炭素化に加え、ロジスティクスサプライチェーン全体の脱炭素化計画を進めている。これにはターミナルの荷役装置の電化とグリーン電力の利用を含む。また、MSC は、トラックの使用削減、鉄道貨物と設備の拡充、貨物列車とターミナルトラクターのリニューアルとエネルギー効率化、可能な場合はグリーン電力を利用することなどへの投資を行っている。

MSC Group は、脱炭素化戦略を進める数多くの産業団体に加盟している。その例としては、Global Industry Alliance to Support Low Carbon Shipping、European Clean Energy Alliance、Clean Cargo、North American Marine Environment Protection Association である。

2021 年 9 月、MSC は、中国水運科学研究院 (China Waterborne Research Institute) と 3 年間にわたる海運脱炭素化促進における協力を基本合意した。

MSC Cruises は、同社クルーズ船運航事業からの GHG 排出量を 2050 年までにネットゼロとする戦略を持っている。2021～2027 年期の 12 隻のクルーズ船新造計画の一環として、MSC Cruises は、*Meraveglia* クラス 1 隻と *World* クラス 4 隻に LNG 燃料を採用した。*World* クラス船隊は現在 Chantiers de l'Atlantique で建造中である。シリーズ 1 番船「*MSC World Europa*」は 2022 年末に引渡ししが予定されている。同船は、排ガス処理装置を搭載し、陸上電力の接続も可能である。MSC は、将来的なバイオ LNG、合成 LNG の利用を検討している。

2019 年、MSC Cruises と Chantiers de l'Atlantique は、固体酸化物燃料電池 (SOFC) の

LNG 燃料クルーズ船への搭載に関する共同研究開発プロジェクト「Blue Horizon」を開始した。「MSC World Europa」には出力 50 kW の LNG 燃料 SOFC が搭載される。同燃料電池は、Chantiers de l'Atlantique と CEA が共同開発を行っている新燃料電池技術のクルーズ船への統合のフィジビリティに関する「PACBOAT」プロジェクトとして実証実験が行われる。MSC Cruises は、燃料電池を World クラス船全 4 隻に搭載する計画である。燃料電池から発生した熱は回収され、船内システムに利用される。

また、MSC Cruises は、GE Power Conversion、Lloyds Register、Ceres Power と共同で、大型船への燃料電池搭載に関する研究開発プロジェクトを行っている。

2021 年、Chantiers de l'Atlantique は、15 年前に建造された MSC のクルーズ船 3 隻に SOx 排ガススクラバーを搭載する 4 年間プロジェクトを完了した。これにより、MSC Musica、MSC Orchestra、MSC Poesia は引き続き従来の船用燃料油を使用することができる。

2020 年には、MSC Cruises は、Chantiers de l'Atlantique、Wärtsilä、BV と共同で、次世代クルーズ船の脱炭素化に向けた新燃料の利用に関する研究を行った。

2021 年 7 月、MSC のクルーズ部門は、Fincantieri 及び Snam と提携し、世界初のハイブリッド水素/LNG 燃料クルーズ船に関する 12 か月間のプロジェクトを開始した。このプロジェクトでは、水素燃料電池で駆動されるクルーズ船の設計と建造工程の研究を行う。

MSC Cruises は、海運脱炭素化の研究を行う CHEK コンソーシアムのメンバーである。他のメンバーは、ヴァーサ大学、国際海事大学、Wärtsilä、Cargill、Lloyds Register などである。

3.2.3 CMA CGM (フランス)

世界大手コンテナ海運会社 5 社のひとつである CMA CGM は、560 隻以上のコンテナ船を運航し、48 か所のターミナルを運営している。同社は代替燃料の導入に積極的である。

CMA CGM は、2050 年までのカーボンニュートラル化を目標とする同社にとって、現在入手可能な最良の燃料は LNG であるとの結論に達した。同社は、ガス二元燃料エンジン駆動船への投資を 2017 年に開始している。同船隊は、LNG 及びバイオメタンが使用可能である。2024 年までには、同社は 23,000TEU 型コンテナ船 9 隻を含む LNG 燃料が可能な二元燃料船 44 隻の船隊を運航する。CSSC Hudong または CSSC Jiangnan で建造される同船隊は、CMD-WinGD 12X92 DF 型エンジンを搭載する。2020 年に竣工した 23,000TEU 型新造コンテナ船隊の 1 番船「CMA CGM Jacques Sade」は、2020 年 11 月に、13%バイオメタンがブレンドされた LNG の初回バンカリングを行った。

CSSC 傘下の造船所 Jiangnan Shipyard (江南造船)、Hudong (滬東) Zhonghua (滬東中華造船)、Qingdao Beihai (青島北海) は、CMA CGM から LNG 二元燃料駆動の 15,000TEU 型コンテナ船 6 隻及び 13,000TEU 型コンテナ船 6 隻を受注済みで、2023~2024 年期の引き渡しが予定されている。同時に、CMA CGM は、VLSFO 駆動の 5,500TEU 型コンテナ船 10 隻を Qingdao Beihai に発注している。

2021 年 9 月、CMA CGM は、LNG 二元燃料駆動の 7,500TEU 型コンテナ船 6 隻をサムスン重工業に発注した。契約価格は 7 億 1,800 万ドルで、6 隻は 2024 年 11 月までに引渡しが予定されている。その 2 か月後には、同社は現代尾浦造船に、LNG 二元燃料駆動の 2,000TEU 型コンテナ船 10 隻を発注した。10 隻の契約価格は 6 億 2,700 万ドルで、同船隊は 2024 年 9 月までに引渡しが行われる。

これに先駆け、2017 年 9 月には、CMA CGM は、LNG バンカリング戦略の一環として、TotalEnergies と、2020 年からの年間 300,000 トンの LNG 供給に関する 10 年間の契約を締結している。

CMA CGM は、複数の造船所と、氷海仕様の 2,000TEU 型フィーダーコンテナ船シリーズの

建造に関する交渉を行っている」と報道されている。アイスクラス船級を持つ同船隊は、主に LNG で駆動される MAN ME-GI 型 2 ストローク二元燃料エンジンを搭載し、燃料タンクはデッキに設置される。45 フィートコンテナの積載能力があり、居住区は船首部に設置される。同船隊はバルト海のフィーダー貿易に投入されると予想されている。

2021 年 4 月、CMA CGM は、欧州の有機廃棄物、植物性廃棄物のメタン化により製造される再生可能メタン 12,000 トンの製造を支援すると発表した。これは 1,400TEU 型コンテナ船 2 隻の 1 年間の供給に十分な量である。

2021 年末、Shell はロッテルダム港において、CMA CGM の保有する 14,000TEU 型コンテナ船「*Aurora*」に、両社の初めての試みとしてバイオ LNG の 10%ブレンド燃料のバンカリングを行った。

2021 年半ば、CMA CGM、TotalEnergies、EveRé、Elengy は、EveRé がメタン化施設を運営するマルセイユ・フォス港において、家庭ごみからバイオメタンを製造するプロジェクトを開始した。製造されるメタンは液化され、同港の Elengy の貯蔵施設で貯蔵される。TotalEnergies は、2022 年 1 月から同港にバンカリング船を配備する。

2021 年 11 月、CMA CGM とフランスのエネルギー企業 Engie は、カーボンニュートラル燃料の開発に合意した。特に、海事産業向けの合成メタンとバイオ LNG の製造と供給に焦点を当てる。

Ikea と提携し、CMA CGM は再生食用油から製造されたバイオ燃料の試験を行った。GoodFuels が、ロッテルダム港でのバンカリング試験として第二世代バイオ燃料を「*CMA CGM White Shark*」に供給し、2019 年には北ヨーロッパからアジアに向かう「*CMA CGM Alexander Von Humboldt*」に供給した。

CMA CGM、GTT、DNV は、LNG 燃料のコンバインドサイクルガス・蒸気タービン発電プラントを持つ電気推進の 20,000TEU 型コンテナ船の設計・建造の技術及び経済性に関する高度なフィジビリティ研究を共同で行っている。同プロジェクトは「*Piston Engine Room Free Efficient Containership*」プロジェクトと呼ばれている。初期段階の推定では、同船の資本投資額は、従来燃料駆動船よりも 20~24%増加する。プロジェクトの次の段階では、動力供給システムと船舶設計の最適化を行う。

コンテナ船 34 隻、トラック 700 台、その他の内陸水運機器を運用する CMA CGM の子会社 Containerships 社は、陸上から海上サービスまで一貫して LNG を主燃料として使用する欧州初のオペレーターである。2018~2019 年に引渡しが行われた Containerships の最初の LNG 燃料コンテナ船 4 隻は、EU の「*Door2LNG*」プロジェクトに使用された。Containerships 主導の同プロジェクトには、パートナーとして欧州北部の港湾運営企業 3 社、即ちティースポートの PD Ports、ロッテルダムの Rotterdam Short Sea Terminals、ヘルシンキの Multi-Link Terminals が参加した。Containerships によると、同プロジェクトはこの 3 つの主要港の短距離海運リンクの環境性向上を実現した。

CMA CGM は、将来的なエネルギーオプションを研究する産業連合「*Coalition for Energy of the Future*」のメンバーである。2021 年 7 月、同連合は、マルセイユ港におけるバイオ LNG の製造に関する研究を開始した。このバイオ LNG は家庭廃棄物から製造され、TotalEnergies の「*Gas Vitality*」がバンカリング船として、CMA CGM 所有船 1 隻にバイオ LNG を供給する。研究パートナーは、Airbus、Air Liquide、AWS、Bureau Veritas、Carrefour、Cluster Maritime Français、CMA CGM Group、Crédit Agricole CIB、ENGIE、Faurecia、Kuehne & Nagel、Michelin、PSA International、Rolls-Royce、Schneider Electric、TotalEnergies、Wärtsilä である。また、同連合は、海運向けの再生可能合成メタン製造に関するプロジェクトも開始している。

「Coalition for Energy of the Future」から派生して、CMA CGM と Engie は、2021 年 11 月、合成メタンとバイオ LNG の工業規模の製造と供給に関する協力を開始した。

CMA CGM は、伊藤忠商事が主導する船用アンモニア燃料に関する 34 社の共同研究開発プロジェクトに参加している。プロジェクト合意では、CMA CGM はこれらの燃料の工業生産に投資し、また長期購買契約を結ぶ。

3.2.4 Hapag-Lloyd (ドイツ)

世界第 5 位のコンテナ海運会社である Hapag-Lloyd は、240 隻超のコンテナ船を運航し、そのうち 115 隻を自社保有している。

Hapag-Lloyd の 15,000TEU 型コンテナ船「*Brussels Express*」は、2020 年末に世界で初めて LNG 燃料システムをレトロフィットした大型コンテナ船である。同船には MAN 9S90ME-C10.2 型主機が搭載された。レトロフィットには、1,300 トン型メムブレ燃料タンク 1 基、換気マストの変更、LNG バンカーステーションを含む。Hapag-Lloyd はこの改造により、CO₂ 排出量の 15~25% 削減、SO_x 排出量の 100% 削減、95% の粒子状物質削減、IMO Tier III 排出規制を満たす NO_x の排出量を予想している。Hapag-Lloyd は、入手可能な場合には、合成 LNG 燃料の利用を検討している。

Hapag-Lloyd は、さらに 17 隻の LNG 燃料のレトロフィットが可能な「LNG-ready」船を運航している。

Hapag-Lloyd は、LNG 燃料が可能な二元燃料エンジンを搭載した 23,000TEU 型コンテナ船 6 隻を発注済みである。同船隊は LNG 燃料を使用するが、従来燃料でも運転可能な容量のタンクを持つ。大宇造船海洋で建造されるこれらのコンテナ船は、10 億ドル規模の投資計画の一環である。

新造船及びレトロフィットには、ポセイドン原則 (Poseidon Principles) 及びグリーンボンドである「Climate Bond」イニシアティブにより融資が行われる。

2020 年、Hapag-Lloyd は、欧州からカナダに向かう 4,400TEU 型コンテナ船「*Montreal Express*」上で、食用油由来のバイオディーゼル 20% と低硫黄燃料油 80% のブレンドを用いた試験を行った。バンカリングはロッテルダム港で行われた。

2018 年には、Hapag-Lloyd は、ハンブルク港及び Becker Marine Systems と共同で、停泊中の 20,000TEU 型コンテナ船にコンテナ型港湾 LNG 発電装置から陸上電力を供給する試験を行った。同発電装置「Becker LNG PowerPac」は 40 フィートコンテナ 2 基のサイズで、LNG 貯蔵タンクとガス駆動発電機から構成される。この 1.5MW の発電装置は、コンテナガントリーにより停泊中の船舶に引き揚げられる。

Hapag-Lloyd は、「Clean Cargo」及び「EcoTransit World」イニシアティブに参加している。また、キューネロジスティクス大学 (Kühne Logistics University) の Hapag-Lloyd Center for Global Logistics and Shipping と共同で、複数の研究開発プロジェクトを実施している。

2021 年には、Hapag-Lloyd Cruises は、VARD から新造エクスペディションクルーズ船の 3 番船の引き渡しを受けた。同クルーズ船隊「*Hanseatic Nature*」、「*Hanseatic Inspiration*」、「*Hanseatic Spirit*」は全て MGO を主燃料とし、NO_x 排出は選択触媒還元 (SCR) 装置で処理している。

3.2.5 Carnival Group の欧州子会社

Carnival Group 傘下の全企業は、共通の 2030 年気候戦略目標をシェアしている。目標は、2030 年までにカーボン排出量を 2008 年レベルから 40% 削減、陸上電力接続能力を船隊の 60% に拡大、LNG の導入拡大、バッテリー、燃料電池、バイオ燃料の利用能力拡大である。2050 年までには全ての船舶運航をカーボンニュートラル化し、陸上電力接続能力を 100% とす

る。

2020年のCarnivalのグローバルクルーズ船隊93隻の燃料は、53%が高硫黄燃料油、1%が低硫黄燃料油、39%がMDO/MGO、1%がLNGであった。

同社の2020年サステナビリティレポートでは、代替燃料としての3種類のLNG燃料に行ってきた投資と今後の計画を以下のように述べている。

- 従来のLNG：Carnivalは自らをクルーズ業界にLNGを導入したパイオニアであるとし、将来のクルーズ船の標準燃料となるLNGへの投資を拡大、継続してゆく計画である。
- バイオLNGまたは液化バイオメタン：NOx、SOx、粒子状物質の排出の少ないバイオ燃料に関して、CarnivalはShellと共同で、技術の拡大と信頼性の高い供給インフラの構築を進めている。
- 合成LNGまたは液化合成メタン（LSM）：Carnivalの長期的な代替燃料研究開発計画では、再生可能原料からの水素と、カーボンキャプチャーまたは大気から直接回収したカーボンを組み合わせ、メタン製造に利用する。

Carnivalは、Shellと、欧州を航行するCarnivalの初回LNG燃料クルーズ船隊へのLNG燃料全量供給に関する基本合意を締結している。

Aida、Costa、P&Oブランドを統括するCarnival Maritimeは、15企業・組織が実施中のEUの共同研究開発プロジェクト「NAUTILUS」（Nautical Integrated Hybrid Energy System：船用統合ハイブリッドエネルギーシステム）に参加している。同プロジェクトでは、LNGを燃料源とする燃料電池（SOFC）の大型クルーズ船への利用に関する研究を行う。他の主要参加企業は、Chantiers de l'Atlantique、Meyer Werft、MAN Energy Solutions、Lloyd's Registerである。

ドイツを本拠とし、14隻のクルーズ船を運航するAidaは、Carnival Corporationの100%子会社である。Aida/Carnivalの最初のLNG利用は2015年で、ハンブルク港に停泊中の「AIDA Sol」にハイブリッドLNGバージから電力が供給された。

Aidaは、2018年、世界初のLNG燃料クルーズ船「AIDA nova」をMeyer Werftで建造した。同船は、Carnivalが発注したLNG燃料の次世代クルーズ船隊11隻の1番船で、Caterpillarの二元燃料ハイブリッドエンジン4基を搭載している。

「Pa-X-ell2」プロジェクトの一環として、クルーズ船「AIDA nova」は、海洋船向けの次世代燃料電池の試験に使用されている。旅客船に初搭載される燃料電池は、メタノールから製造された水素で駆動される。Carnival以外の主なプロジェクト参加企業・組織は、Meyer Werft、Lürssen Werft、DNV GL、German Aerospace Center、EPEAである。

イタリアを本拠とするCosta Cruisesは、Carnival Corporationの100%子会社で、現在9隻のクルーズ船を運航している。Costa初のLNG燃料クルーズ船「Costa Smeralda」は、Meyer Werftで建造され、2019年に引き渡された。

Meyer Werftで建造された2番船「Costa Toscana」は、2021年12月に引渡しが行われた。同船の引き渡しに際し、Costa Cruisesのプレジデントは、同社は燃料電池やバッテリーなどのさらなるイノベーションを試験中であると述べている。

英国を本拠とするP&Oも、同じくCarnivalが100%保有する欧州子会社で、現在、2020年に竣工した同社初のLNG燃料クルーズ船「Iona」を運航している。2番船は2022年の引き渡しが予定されている。

3.2.6 Wallenius Wilhelmsen (ノルウェー)

現在世界最大の RORO 船運航企業である Wallenius Wilhelmsen は、135 隻以上の RORO 船を運航し、9 か所のターミナルを運営している。うち自社保有船は約 80 隻である。

同社はスクラバー設置を 2022 年に完了する計画で、短中期的には HFO の使用を継続すると考えられる。

長期的計画としては、Wallenius Wilhelmsen は以下のサステナビリティ目標を挙げている。

- 2022 年末までにターミナル及びヤードの全ての新設備をゼロエミッション化する。
- 2025 年までに、停泊中の保有船隊は全てゼロエミッション化する。
- 2025 年までに同社のエネルギー100%をサステナブルな原料からのものとする。

同社によると、2021 年末に天津新港船舶重工 (Tianjin Xingang Shipbuilding) で竣工した最後の *Hero* 級 RORO 船「*Nabucco*」が、従来燃料技術を持つ同社最後の船舶となる。

2021 年の投資家向けプレゼンテーションでは、Wallenius Wilhelmsen は、ネットゼロエミッション化への戦略目標を強調した。同社は数多くのオペレーション方策に加え、目標達成のためのポテンシャルのあるソリューションとして、リグニンエタノール、バイオ燃料、風力支援推進を挙げている。

同社は、サステナブルな海運へのひとつのソリューションとして、Maersk、BMW、H&M、Levi Straus、Marks & Spencer、コペンハーゲン大学などと共同で、リグニンエタノール燃料の研究開発を行っている。

2019 年には、Wallenius は、45%FAME と VLSFO のブレンドを用いたバイオ燃料の試験を行った。試験では、アムステルダム港において「*MV Figaro*」に 2,000 トンのバイオ燃料ブレンドのバンカリングを行った。同船は、ゼーブルッヘとブレーマーハーフェンから南アフリカとオーストラリアに Mercedes-Benz 車を輸送した。

Wallenius Wilhelmsen は、「Getting to Zero Coalition」のメンバーである。

3.2.7 Oldendorff Carriers (ドイツ)

Oldendorff は世界最大手の乾貨物輸送企業のひとつである。同社は約 740 隻を運航し、うち 170 隻は自社保有船または裸用船として長期チャーターされている。

2021 年、Oldendorff は 61,000~182,000DWT 型乾貨物船 9 隻を、江蘇韓通船舶重工 (Hantong Shipyard)、名村造船所、DACKS (大連中遠海運川崎船舶工程) に発注した。これに加え 82,000DWT 型のオプション 7 隻を江蘇韓通に発注した。また、燃料油駆動の中古乾貨物船 7 隻を購入した。

Oldendorff 保有船の大部分は HFO 燃料を使用し、排ガス浄化システムを搭載している。その理由として、同社は、「Well to Propeller」の GHG 削減には、HFO と排ガス浄化システムの組み合わせが、現時点では船舶にとって最良の方法であるとの調査結果を挙げている。

Oldendorff は、風力支援推進、バイオ燃料などの代替ソリューションの研究開発プロジェクトに参加している。2021 年 4 月には、Oldendorff は、BHP、GoodFuels、シンガポール港湾管理局と共同で、シンガポールにおいてカムサマックス型「*Kira Oldendorff*」(81,000DWT) にバイオ燃料と従来型化石燃料のブレンド燃料のバンカリングを行った。

Oldendorff は、「Getting to Zero Coalition」と「Sustainable Shipping Initiative」のメンバーである。

3.2.8 Euronav (ベルギー)

Euronav は、VLCC 及びスエズマックス型原油タンカーの大手オペレーターで、約 70 隻の

タンカーと 12 隻以上の他船種を運航している。

Euronav は、ひとつの燃料を長期的ソリューションとして見ておらず、タンカーへの最も可能性のある燃料オプションとして LNG、水素、アンモニア、メタノール、バイオ燃料を挙げている。Euronav は各燃料の利点と問題を、以下のように評価している。

- LNG は現在入手可能であるという利点があるが、CO₂ 排出量が問題である。
- Euronav は、水素は 2030 年以降には代替燃料として使用可能となるが、サステナブルな燃料源としての問題がある。
- 2020 年代半ば以降に利用可能となるアンモニアは、長期的ソリューションとなり得るが、最大の問題はそのコストである。
- メタノールは現在でも一部入手可能であるが、将来的な製造拡大に問題がある。
- バイオ燃料は現在利用可能であるが、将来的な製造拡大と他産業との入手競争が問題となる。

2021 年 4 月、Euronav は「LNG-ready」の VLCC2 隻を現代三湖重工業 (Hyundai Samho) に発注し、現在、船級協会及び造船所と同船隊が「アンモニア-ready」船級を持つことを確認中である。同船隊は HFO 焚きとして建造され、排ガススクラバーを搭載する。Euronav はもう 1 隻の VLCC の建造オプションを持つ。

2021 年 9 月、Euronav は、ロッテルダムからアンゴラに向かうスエズマックス型タンカー「*Statia*」に 30% バイオ燃料、70% VLSFO のブレンド燃料 360 トンを使用する 2 週間の実証試験を完了した。試験用の燃料はロッテルダムの BP が供給した。試験は成功し、Euronav は、続いてアンゴラからブラジルまでの航海にも、同船の主機及び補機にブレンド燃料を使用した。

Euronav は、「Getting to Zero Coalition」のメンバーで、また「Call for Action for Shipping Decarbonization」に加盟している。

3.2.9 Navios Group (ギリシャ)

Navios Group は、乾貨物ばら積み船 93 隻、タンカー 53 隻、コンテナ船 43 隻を保有または長期用船しており、同グループ内の主要運航企業は Navios Maritime Partners と Navios Maritime Holdings である。

Navios は、IMO 目標への順守を目的に、代替燃料技術の評価を行っているが、どの燃料かは明確にしていない。しかしながら、同社は、伊藤忠商事が主導する 34 企業・組織の船用アンモニアに関する共同研究プロジェクトに参加している。

3.2.10 Danaos (ギリシャ)

Danaos は、2,200TEU～13,100TEU のコンテナ船 71 隻を保有している。同社のビジネスモデルは、Maersk、MSC、CMA CGM、Hapag-Lloyd など欧州大手コンテナ海運会社に自社船を長期間の定期用船として貸し出すことである。

Danaos の 2021 年 1 月の投資家向けプレゼンテーションによると、同社の現在の戦略は、一定の船舶にスクラバーを搭載し、VLSFO で運航することである。これ以前に、同社の研究開発部長は、現行の船用燃料が今後 10 年間は主要燃料として存続すると述べている。一方、Danaos は、中期的にはバイオ燃料、長期的にはアンモニアと水素の利点、問題点を調査し、将来的な新造計画へのソリューションとすることを検討している。

3.2.11 Fredriksen 傘下の企業 (ノルウェー/キプロス)

Fredriksen は、主に持ち株会社 Seatankers を通じて、大手海運会社数社の筆頭株主となっている。同社がコントロールする海運会社は、Frontline (タンカー)、Golden Ocean (乾貨物

ばら積み船)、Flex LNG (LNG タンカー)、SFL (自動車運搬船)、Avance Gas (ガスタンカー)、Seadrill (オフショア石油ガス掘削船) などである。また、Fredriksen は、OSV 分野では Solstad Offshore の主要株主であり、さらに Euronav の株式 9.8%を保有している。

Fredriksen 傘下の海運会社 Frontline、Golden Ocean、SFL、Flex LNG、Avance Gas は、共通の ESG フォーラム内で協力を行っている。これらの企業のサステナビリティ報告は、同じ形式を持ち、自社の GHG 削減目標を IMO の目標と連動させている。

Frontline、Golden Ocean、SFL の短中期戦略は、排ガスクラバーを搭載した HFO 焚きの船舶の保有と運航である。Avance Gas の新造 LPG タンカー船隊には、LPG 燃料が可能な二元燃料エンジンを搭載し、同時に「アンモニア ready」とする。Flex LNG は、2018~2021 年期中に、M 型電子制御ガス噴射型 LNG タンカー 9 隻と Generation X 型二元燃料 LNG タンカー 4 隻を建造した。

Frontline は、HFO 焚き船舶向けの SOx スクラバーの市場リーダーである Clean Marine 社への投資を行い、Fredriksen 企業である Seatankers、Golden Ocean、Avance Gas へのスクラバー供給を確実なものとした。Clean Marine は 130 基近くのスクラバーを供給済みで、受注残は 270 基超に及ぶ。同社は、BP、Equinor、Navig8 など他の欧州企業にもスクラバーを供給している。

大手原油・プロダクトタンカー運航企業である Frontline は、合計 65 隻の VLCC、スエズマックス型及びアフラマックス型/LR2 型タンカーを運航している。Frontline の 2020 年サステナビリティ報告書では、「船用燃料の改善」を主な戦略のひとつとしているが、その詳細には言及していない。しかしながら、同社船隊の 47%には 2019 年末時点でスクラバーが搭載済みであることを考慮すると、同社は短中期的には従来燃料の使用を継続すると考えられる。Frontline が大手スクラバーメーカーに投資を行っていることも、同社の選択に影響を与えると予想される。

2020 年には、Trafigura、Frontline、Golden Ocean の合併会社であるバンカー企業 TFG Marine が、Trafigura の裸用船「*Marlin Amethyst*」で、30%の第二世代 FAME バイオ燃料ブレンドの実船試験を行った。2021 年、TFG は、オランダのロッテルダム港、アムステルダム港、フリッシンゲン港でバイオ燃料の供給を開始した。

Golden Ocean は、合計 94 隻のケープサイズ型、パナマックス型、ウルトラマックス型の乾貨物ばら積み船を運航している。Golden Ocean は、現在、二元燃料対応型カムサマックス 7 隻を CSSC Shanghaiguan で建造中である。同船隊は、同社が長期的な代替燃料ソリューションの調査中には、従来型燃料油で駆動される。

SFL は、タンカー 9 隻、ばら積み船 22 隻、コンテナ船 41 隻、オフショア船 2 隻を所有している。同社のビジネスモデルは、安定した収入を得るために、保有船を長期用船として貸し出すことである。主要用船者は、MSC、Maersk、Golden Ocean などである。

Avance Gas は、13 隻の VLGC を所有し、うち 6 隻は 2019 年末時点でスクラバーが搭載されている。2020 年のサステナビリティ報告書で、同社は、残渣油焚きとスクラバーの使用がグローバルな CO₂ 排出量削減に役立つとの最近の調査結果に言及している。しかしながら、同社は、種類を特定せずに代替燃料の研究を行っており、また「LPG-ready」の二元燃料 VLGC6 隻を建造中である。新造船隊は、将来的にはアンモニア燃料も選択肢となっている。

Seadrill は、45 隻の掘削リグを運航し、うち 34 隻を保有している。Seadrill は、2019 年、半没水型掘削リグ「*West Mira*」にリチウムイオン貯蔵システムを搭載し、ハイブリッド動力駆動にアップグレードした初の企業である。搭載された Siemens のバッテリーはリグのディーゼルエンジンの補助動力として、ピーク要求を支援する。Seadrill によると、リグのディーゼルエンジンの使用は 42%削減され、同時に CO₂ 排出量は 15%、NOx 排出量は 12%、それぞれ削減された。2020 年には、同社の半没水型掘削リグ「*West Bollsta*」にクローズド・バスタ

イ (closed bus-tie) 型選択触媒還元システムが搭載された。同システムは、ディーゼルエンジンの排気に尿素を噴射し、NOx 排出量を削減することにより、リグのカーボンフットプリントを最小化する。

Fredriksen は Solstad Offshore の株主であるが、経営権を持つ株主ではない。Solstad は 100 隻以上の OSV を運航している。同社は 2050 年までのゼロエミッション実現を目標としており、同社「グリーンオペレーション」計画の一環として、船隊へのバッテリーハイブリッドシステムの搭載と陸上電力接続を進めている。2020 年末までには、既存船にバッテリーシステム 8 基が搭載されている。

3.2.12 Anglo American (英国)

鉱業企業 Anglo American は、約 30 隻のばら積み貨物船の船隊を運航し、年間 7,000 万トン以上の乾貨物を輸送している。最近まで、同社のビジネスモデルは、長期用船であったが、2021 年に自社船の発注を開始した。

Anglo American は、2040 年までのオペレーションのカーボンニュートラル化を目標としており、2021 年 11 月には、目標は運航する海上輸送活動全てに適用されると認めた。中期目標としては、2030 年までに 30% の削減を目指している。

その供給量と従来燃料に比べた場合の排出量の低さから、同社は代替燃料として LNG を選択している。また、同社は、技術ソリューションによりメタンスリップの低減は可能であるとされている。

過去 2 年間に、同社は複数のケープサイズ型 LNG 二元燃料ばら積み船を上海外高橋造船所 (Shanghai Waigaoqiao) に新造発注している。2020 年 11 月には、台湾 U-Ming と新造 LNG 二元燃料ばら積み船 4 隻の 10 年間用船契約を締結している。2021 年 4 月には、さらに複数の二元燃料船を新造発注した。これらの船舶は、MAN Energy Solutions の ME-GI 型高圧 2 ストロークエンジンを搭載する。Anglo American は、これらの船舶は、従来燃料で駆動される同等の船舶よりも CO₂ 排出量が 35% 少ないとしている。

2021 年 6 月、Anglo America は、日本郵船から用船したケープサイズ型ばら積み船「*Frontier Jacaranda*」のシンガポールから南アフリカへの航海中に、7% バイオディーゼル混合油の試験を行った。

Anglo American のベンチャーキャピタル子会社 Platinum は、2014 年に液体有機水素貯蔵 (Liquid Organic Hydrogen Storage : LOHC) 技術を持つドイツのスタートアップ企業 Hydrogenous Technologies に出資した。LOHC 技術はグリーン水素製造を基礎とし、グリーン水素は水素生成過程で触媒反応により液体キャリアと結合される。2021 年 7 月、Hydrogenous Technologies とノルウェー海運会社 Østenjø は合弁会社 Hydrogenous LOHC Maritime 社を設立した。同社は LOHC 技術を基礎とした海運向けのソリューションを開発し、2025 年までに市場化する計画である。「HyNjord」と名付けられたプロジェクトは、ノルウェー政府の Enova 基金からの補助金を獲得した。

Anglo American は、海上貨物憲章 (Sea Cargo Charter) の創設メンバー、「Getting to Zero Coalition」のメンバー、「Call to Action for Shipping Decarbonization」の加盟企業、「Global Maritime Forum」のパートナーである。

Anglo American は、2021 年 6 月に開始された 23 企業・組織による船用代替燃料としてのアンモニア燃料に関する共同研究開発フレームワークのメンバーである。23 参加企業・組織は、ABS、Anglo American、日本海事協会、DNV、Equinor、INPEX、伊藤忠商事、Fortescue Metals、Genco Shipping & Trading、JERA、川崎汽船、MAN Energy Solutions、三井 E&S、日本シッピングヤード、NS ユナイテッド海運、Pavilion Energy、TotalEnergies、Trafigura、宇部興産、Uniper、上野トランステック、Vale、Vopak Terminal Singapore である。

3.2.13 Fjord1 (ノルウェー)

Fjord1 は、ノルウェー最大のフェリー及び高速旅客フェリー運航企業で、50%の市場シェアを持つ。

同社の2021年第1四半期の株主向けプレゼンテーションで、Fjord1は、低排出、ゼロ排出技術への投資と、ノルウェーのフィヨルド内の海運の電化政策を強調している。

Fjord1は、2000年に世界初のLNG燃料商船である車両・旅客フェリーを建造し、その後2006~2011年期にはさらに9隻を建造した。現在、同社は自社船隊の電化を推進中である。

2020年末時点で、同社は80隻近くの船隊を保有しており、うち約40隻は従来の船用ディーゼル油で駆動されている。30隻は完全電化され、残りはLNG燃料である。同社は船隊の完全電化を進めており、2023年までには約50%を完全電化する計画である。同社は、ノルウェー沿岸に13か所の船舶向けの充電施設を持つ。

3.2.14 Color Line (ノルウェー)

Color Lineは、ノルウェー、スウェーデン、デンマーク、ドイツの短距離海上輸送における大手海運会社である。同社は合計7隻のROPAX及びRORO船を運航している。

Color Lineは、HFO 焚きの自社船にはSOx削減のためのスクラバーシステムを搭載済みである。Color Lineは、自社船隊に、ノルウェー国内の全4港及びキール港(ドイツ)において陸上電力の利用を可能にする電力接続システムを搭載している。

2019年、Color lineは、世界最大のプラグイン・ハイブリッド船を就航した。このROPAX船「*Color Hybrid*」は、Fosen Yardが設計し、Ulstein Verftが建造した。同船は、Rolls-RoyceのBergen B33:45L型ディーゼルエンジンと65トンのバッテリーパックを搭載している。バッテリーパックは、陸上電力により1時間で充電、または船舶の主機から充電される。同船のバッテリーは特定のロケーションのみで使用される。

2020年、Color Lineは、世界最大のROROクルーズフェリー「*Color Fantasy*」でアンモニア燃料の試験を行う計画を発表した。その目的は、CO₂の40%削減というIMOの2030年目標達成の手段として、アンモニアを混合燃料の材料として利用する可能性の評価である。

3.2.15 Hurtigruten Group (ノルウェー)

Hurtigrutenは、2つの事業部門であるノルウェー沿岸旅客船市場及びグローバルなエクスぺディションクルーズ市場において、14隻のクルーズ船を運航している。同グループの目標は、同社船隊の完全ゼロエミッション化である。この10年間、同社はHFOを使用していない。

Hurtigrutenは、ノルウェー国内で7隻を運航している。2021年末までには、全船隊に陸上電力接続装置がレトロフィットされる。さらに、Hurtigrutenはノルウェー国内の3隻にLNG燃料をレトロフィットする計画を発表している。しかしながら、2021年5月、同社は計画を変更し、Kongsberg Maritimeと2022~2023年期に同3隻をバッテリーハイブリッド推進に改造する契約を締結した。これにより「*Richard With*」、「*Nordlys*」、「*Kong Harald*」には、Bergen B33:45V型ディーゼルエンジン2基、選択触媒還元システム、SAVe Energyの1,1200kWh型リチウムイオン電池2基が搭載され、動力は主機軸発電機から供給される。

Hurtigruten Expeditionsは、7隻の小型クルーズ船を運航している。Green Yard Klevenで建造された2019年竣工の「*Roald Amundsen*」と2020年竣工の「*Fridtjof Nansen*」は、世界初のバッテリーハイブリッド駆動のクルーズ船である。2021年には、Green Yard Klevenで「*Finnmarken*」と「*Otto Sverdrup*」にレトロフィット作業が行われ、バッテリーハイブリッド駆動となった。ハイブリッドパッケージは、Siemensが供給した。

3.2.16 Höegh (ノルウェー)

Höegh Group は、Höegh Autoliners ブランドで自動車運搬船を運航し、Höegh LNG ブランドで LNG 輸送と再ガス化事業を行っている。

Höegh Autoliners は、約 40 隻の RORO 船を運航している。同社は規制に適応する燃料のみを使用し、2040 年までのネットゼロエミッション化を目標としている。

2021 年 10 月、Höegh Autoliners は、中国造船（江蘇）（China Merchants Heavy Industry (Jiangsu)）と多燃料、アンモニア対応の Aurora 級船隊の建造に関する基本合意を発表した。2024 年下半期に引渡しが予定されている最初の 2 隻は、DNV の新船級「アンモニア ready」ノーテーションを持つ。同 2 隻は当初は LNG で駆動され、バイオ燃料の使用も可能である。Höegh Autoliners は合計 12 隻の Aurora 級船を計画している。自動車 9,100 台の積載能力を持つ Aurora 級自動車運搬船は、世界最大で最も環境にやさしい自動車運搬船になると、同社は述べている。

2021 年 3 月、Höegh Autoliners は、航行中の「Höegh Trigger」でバイオ燃料の試験を行った。同燃料は GoodFuels が供給した。

Höegh LNG は、浮体式貯蔵・再ガス化ユニット 10 基と LNG タンカー 2 隻を運航している。同社のサステナビリティロードマップでは、自社 FRSU からの余剰ボイルオフガスの管理の改善、2030 年までのネットゼロカーボン FSRU の開発、2030 年までの自社 FSRU からのグリーンアンモニアと水素供給インフラの開発、を目標として挙げている。

3.2.17 Rosatom (ロシア)

ロシア国営原子力企業 Rosatom は、原子力砕氷船の船隊を運航する世界で唯一の企業である。同社は、北極海航路を航行する船舶を支援するために、現在 5 隻の原子力砕氷船を運航している。

1989 年及び 1990 年に竣工した Tamyr 級砕氷船 2 隻は、Rosatom の新造船隊に代替される予定である。また、1992 年及び 2007 年に竣工した現在運航中の Artika 級砕氷船のうち少なくとも 1 隻が新造船に代替される計画も報道されている。

Rosatom は、新世代 Project 22220/LK-60Ya 型原子力砕氷船の 1 番船「Artika」を 2020 年に竣工した。同船はサンクト・ペテルブルグの Baltic Shipbuilding で建造された。Rosatom はさらに 4 隻を建造中で、1 隻当たりの船価は 12~13 億ドルと報道されている。新造船は 2022~2026 年間に引渡しが予定されている。

Rosatom は、さらに大型の LK-120 / Project 10510 Lider 型原子力砕氷船 3 隻の建造プロジェクトを開始している。これらの新造船は 2027~2033 年間に引渡しが予定されている。これらの全長 205m、幅 50m の新造船は、Zezda 造船所及び Zalyv 造船所で建造される。

Rosatom は、原子力砕氷船輸送船 1 隻も運航している。1989 年建造の「Sevmorput」は、これまで建造された世界最大の非軍事用原子力貨物船である。同船は 2022 年以降、北極海航路で定期運航を行う。

また、Rosatom は、ペヴェク（ロシア）で浮体式原子力発電プラント「Akademik Lomosov」を運営している。2020 年に稼働した同船は、70MW の電力及び 300MW の熱エネルギーを製造する原子炉モジュール 2 基を支援している。

Rosatom の動力エンジニアリング部門 AtomEnergoMash は、GMK Baimsky 金探鉱・処理プラントに電力を供給する浮体式原子炉プラント 4 基を建造中である。中国 Wison で建造中のバージ 2 基は、2023 年 10 月と 2024 年 2 月に引渡しが予定されている。残りのバージ 2 基は、サンクト・ペテルブルグの Baltiysky 造船所で建造される。

3.2.18 Stena Group (スウェーデン)

Stena は、フェリー、RORO、LNG、原油、石油プロダクト、オフショア採掘などのセグメントで、130 隻以上の船舶を運航している。

タンカー74 隻、LNG タンカー3 隻、シャトルタンカー3 隻を運航する Stena Bulk は、代替燃料としてバイオ燃料とメタノールの使用を促進している。2020 年 4 月には、同社はプロダクトタンカー「*Stena Immortal*」の 10 日間の大西洋航海中に、GoodFuels の 100% 廃棄物由来のバイオ燃料の試験を行った。バンカリングはロッテルダム港で行われた。この試験結果をもとに、Stena は顧客に対し、20%~100%のバイオ燃料を選択するオプションを提供している。このオプション提供は、Stena Bulk 船隊で使用されるバイオ燃料の相殺プログラムの一環である。顧客は特定航路の燃料供給状況にかかわらず、低カーボン排出燃料のオプションを利用することができる。また、Stena Bulk は、オペレーションは貨物輸送への影響なく行われると保証している。

Stena Bulk は、ExxonMobil が供給した VLSFO と FAME の混合バイオ燃料の試験も行った。同燃料の CO₂ 排出量は、従来の超低硫黄燃料よりも 40% 少なかった。

Stena Bulk とスイスのメタノール製造企業 Proman との合弁会社 Proman Stena Bulk は、メタノール駆動の 49,900DWT 型 18 タンク MR タンカー3 隻を広船国際 (Guangzhou Shipyard) に発注した。2022 年に引渡し予定の同船隊には、MAN の二元燃料エンジンが搭載され、各エンジンは年間約 12,500 トンのメタノールを消費する。Proman は、独自に IMOMEMAX 船 3 隻も発注しており、2023 年に引渡し予定されている。これらの 3 隻は合弁会社 Proman Stena Bulk が管理する。Proman Stena Bulk は、既存船のレトロフィットを希望する船主向けに、メタノールソリューションの供給とレトロフィット技術を開発中である。同社は Stena Group の既存船隊と船主をターゲットとしている。

Stena Line は、欧州北部航路で 29 隻の ROPAX 船、8 隻の RORO フェリーを運航している。陸上電力供給は、同社の CO₂ 排出量削減に大きく寄与している。同社船隊の約 40% は、スウェーデン、ドイツ、オランダのターミナルにおいてグリーンな陸上電力への接続を行っている。2015 年、「*Stena Germanica*」は船用燃料としてメタノールを使用した世界初の船舶となった。Methanex と協働し、Wärtsilä/Sulzer 8ZA40S 型 4 ストローク二元燃料エンジン 4 基をレトロフィットした同船は、2021 年には、製鉄工程の副生ガスから製造されたブルーメタノールで駆動された。

Stena RORO は、RORO 船 4 隻と ROPAX フェリー7 隻を保有し、Stena Line、Brittany Ferries、DFDS、Marine Atlantic などの海運会社に用船を行っている。Höegh Autoliners のアプローチと同様に、船舶の大型化により貨物ユニットあたりの CO₂ 排出量を削減するという戦略を持つ Stena RORO は次世代船 *E-Flexers* を建造中である。同社は Deltamarin が設計した 12 隻の *E-Flexer* を中航威海船廠 (CMI Jinling Weihai Shipyard) で建造している。

2021 年 12 月までに、Stena RORO は、Brittany Ferries に対し、長期用船として *E-Flexer* 級フェリー5 隻のうち 2 隻の引き渡しを完了した。その 1 隻「*Salamanca*」は、従来燃料の他に LNG、バイオ燃料、メタノール、アンモニアの使用が可能な LNG 二元燃料エンジンを搭載している。Stena RORO は、さらに 3 隻の LNG 燃料 *E-Flexer* を、2023~2025 年期中に Brittany Ferries に引き渡す予定である。

Stena Drilling は、掘削船 4 隻と半没水型掘削リグ 2 基を保有している。同社は、代替燃料ではなく、エネルギー効率の改善に焦点を当てている。

Stena Barge & LNG Solutions は、LNG の積み込み、貯蔵、再ガス化が可能で、同時に 100~300MW の電力を発電する統合動力バージの建造を計画している。Stena は同コンセプトの権利を、ノルウェーの LNG-to-power 企業 Blystad Energy の買収により取得した。

3.2.19 Shell (オランダ/英国)

大規模な LNG タンカー、石油・ケミカルタンカー船隊及び LNG バンカリング船 1 隻を管理する Shell Trading and Supply は、海運脱炭素化への短期的な代替燃料としては LNG、中期的なソリューションとしては水素を提唱している。

2021 年、Shell Shipping & Maritime のグローバル部門長は、同社のグローバル船隊に高排出船を増やさないために、現在及び近い将来の新造船向け燃料としては LNG を選び、同時にゼロエミッション燃料の開発に尽力すると述べている。この発言に加え、プレスリリースでは、同社の長期用船原油タンカーの半数を 2021 年までに LNG 二元燃料エンジンで駆動すると発表した。

2021 年、Shell は同社の海運 GHG 排出削減レポートで、液体水素は他のゼロエミッション燃料候補よりも利点が多く、したがって成功の可能性も高いと述べている。Shell によると、水素の利点は、船舶に供給するために最も少ない転換過程を持つゼロエミッション燃料であることである。

Shell は、特に排熱回収システムと組み合わせたグリーン水素とグリーンアンモニアを利用した燃料電池技術の研究に注目している。また、その中間段階として、LNG 燃料の燃料電池の研究も行っている。短期的な低排出燃料ソリューションとしては、LNG とバイオ燃料を継続する。バイオ燃料はサステナビリティの問題とフィードストックの獲得競争から、長期的なソリューションとは考えられていない。

同社の海運脱炭素化レポートでは、Shell は以下のような研究開発プロジェクトを挙げている。

- 長距離商船向けの燃料電池の開発と試験を行うコンソーシアムを設立し、燃料電池のサステナビリティの評価と燃料電池搭載による船舶設計への影響を研究する。
- ロッテルダム港及び「NorthH2」プロジェクトを通じ、欧州北部に数件のグリーン及びブルー水素の製造プロジェクト（施設）を開発する。これは Shell の洋上風力発電施設への投資と連動する。
- 英国サウサンプトン大学の海事研究所 Centre for Maritime Futures における脱炭素化技術と将来的な燃料の研究開発のスポンサーとなる。
- 「HySTRA」水素サプライチェーン構築プロジェクトにおいて、川崎重工業と協力して液体水素運搬船「すいそ ふろんていあ」の水素格納・処理システムを開発・製造し、2021 年に同船でオーストラリアから日本にブラウン水素を輸送。
- DNV と共同で、英国スペードアダム研究所で船用燃料としての水素の試験を行う。Shell は、水素のバンカリング、貯蔵、使用に関する DNV の「MarHySafe」プロジェクトでも協働している。
- 産学パートナーと共同でアンモニア、メタノール、合成燃料の研究を行う。

2015 年、Shell は、ロシア Sovcomflot と共同で、LNG 焚きの次世代アフラマックス型石油タンカーの設計を開発した。同船隊には NOx 排出に関する IMO Tier III 規制を満たすために SCR システムが搭載された。1 番船は、2018 年に Shell に長期用船された。その後、さらに 5 隻の LNG 焚きアフラマックス型タンカーが竣工した。

2019 年、Shell Tankers は、サムスン重工業で建造される韓国 Sinokor の LNG 二元燃料アフラマックス型原油タンカー 10 隻の長期用船契約を締結した。また、Shell は、JP Morgan Asset Management と LNG 焚き石油・ケミカルタンカー 4 隻の長期用船契約も締結した。

2020 年 5 月、Shell は中国 Bocomm Financial Leasing と、LNG 燃料の 120,000DWT 型 LR2 プロダクトタンカー 12 隻の 15 年用船契約を締結した。このタンカー 1 隻の船価は 5,400

万ドルで、上海外高橋造船（Shanghai Waigaoqiao）と広船国際（Guangzhou Shipyard）で建造される。

2021年5月、Shellは、Advantage Tankersと、新造VLCC4隻の7年用船契約を締結した。この船隊は大宇造船海洋で建造され、二元燃料LNGエンジンで駆動される。同時に、Shellは、同造船所で建造中の二元燃料焚きVLCC合計6隻の用船契約を締結した。この船隊は、AETとInternational Seawaysから3隻ずつの用船である。

「SH2IPDRIVE」は、舶用水素燃料の開発を焦点とするオランダ企業25社のコンソーシアムである。2021年12月、同コンソーシアムは、水素燃料船の開発促進のために、オランダ政府から2,420万ユーロの資金を調達した。コンソーシアムの8つの研究グループのうち、Shellはバンカリングと貯蔵に関する研究グループを主導しており、また、燃料電池、システム統合、船舶設計に関する研究を支援している。

Shell、Equinor、TotalEnergiesの合弁会社であるNorthern Lightsは、ノルウェーでカーボンキャプチャー・貯蔵施設を運営する。2021年10月、Northern Lightsは、LNG燃料のCO₂運搬船2隻の受注を発表した。同船隊は大連船舶重工（Dalian Shipbuilding）で建造され、2024年に引渡しが予定されている。液化CO₂は、欧州中の工業施設から欧州北西部の受入基地に運搬された後、パイプラインで海底から2.6kmの深さのオフショア貯蔵槽に送られる。

2021年11月、Shellとオフショアエンジニアリング・設置請負企業McDermottは、低カーボン燃料の利用を含む、オフショア石油・ガス建造作業からの排出削減手法に関する共同研究を開始した。

3.2.20 Equinor（ノルウェー）

Equinorは、石油・ガス製造、石油製品輸送、洋上風力発電の事業部門を持ち、250隻以上の長距離及び短距離船を用船している。うち150隻は、原油、ガス液体、LNGの運搬船である。

Equinorは、運航船のエネルギー効率改善のため、現在タンカーと補給船の代替とリニューアルを進めている。

同社は、Tsakos Energy Navigationから115,000DWT型新造原油タンカー4隻を長期用船しており、LR2型プロダクトタンカー2隻のオプションを持つ。韓国Daehan Shipbuildingで建造中の同船隊はLNG二元燃料エンジンを搭載している。引渡しは2023年後半の予定である。

同社は、代替燃料候補として幅広い種類のエネルギーキャリアを検討している。Equinorは、LNGが硫黄を排出しないこと、NO_x及びCO₂排出量が少ないことを利点としながら、長期的なソリューションとなる障害としてメタン排出を挙げている。Equinorは、この問題は産業の努力により解決されると信じている。

Equinorは、液化揮発性有機化合物（liquefied volatile organic compounds : LVOC）燃料ブレンドの試験を行っている。シャトルタンカーの貨物積み込み時に、原油成分の蒸発による悪影響が発見されている。LVOCシステムは、石油蒸気を回収、圧縮、液化し、LNGとのブレンド油として利用する。Equinorはこのコンセプトの試験を、新造用船シャトルタンカー2隻、Alteraの「Rainbow Spirit」及びAETの「Eagle Blane」を用いて北海で開始した。Equinorは両船主からさらに1隻ずつのLNG/LVOC駆動船をチャーターする計画である。この試験プロジェクトには、WinGDとWärtsilä Gas Systemsが協力し、2018年に20%LVOCブレンド燃料の試験を行った。

Equinorは、LVGC及び中型LPGタンカー数隻を長期用船し、2021年末から舶用燃料としてのLPGの使用を本格的に開始する。Exmarは86,000m³型VLGC2隻を江南造船（Jiangnan Shipyard）において建造中で、2021年末に引渡しが行われる。Eastern Pacific

は、38,553m³型 LPG タンカー3 隻を現代尾浦造船で建造しており、2022 年に引渡しが予定されている。

Equinor は、船用液体水素のグリーンな製造、輸送、バンカリング施設の開発に関するノルウェーの共同研究開発プログラム「PILOT-E」に参加している。研究パートナーは、BKK、Wilhelmsen、Air Liquide、Norled、Norsea Group、Viking Cruises などである。「PILOT-E」では、水素燃料駆動の旅客フェリー「WINTED」を開発した。同船は 2022 年に就航予定である。

2021 年 10 月、Equinor の支援を受け、ノルウェーのオフショア船オペレーター Eidesvik Offshore は、バッテリーハイブリッド駆動の「Viking Energy」をアンモニア燃料電池駆動に改造することで、Wärtsilä との提携合意を発表した。同船は、既に Wärtsilä が実験室試験に成功している 70%アンモニア混合燃料で駆動される。Equinor は、同船を最低 5 年間チャーターする契約に合意し、同船の日常的な動力要求の 60~70%をアンモニアでカバーする。残りの動力はバッテリー及び LNG 焚きエンジンが供給する。

Equinor は、OSV などの短距離オペレーションには、バッテリーが従来型エンジンの補助システムとして有効であると考えている。欧州で運航されている同社の補給船は、約 20 隻がバッテリーハイブリッド駆動である。Equinor は、バッテリーの最大の問題は、船舶の全動力をバッテリーで賄う場合の船内貨物スペースへの影響であるとしている。同社は、バッテリーハイブリッド駆動の洋上風力発電サービス船隊の 10 年用船契約を締結している。

Equinor は、船用燃料としてのバイオ燃料の利用も拡大する計画である。

Equinor は、Shell 及び TotalEnergies とともに合弁会社 Northern Lights のパートナーである。同社はノルウェー国内でカーボンキャプチャー・貯蔵施設を運営する。2021 年 10 月、Northern Lights は LNG 燃料 CO₂ 運搬船 2 隻を発注した。両船は 2024 年に引渡し予定されている。

3.2.21 BP Shipping (英国)

BP Shipping は、190 隻前後の船舶を運航し、そのうち約 40 隻は BP 保有船、150 隻はチャーターである。

同社は、LNG 燃料を主体とした低カーボン戦略を進めてきた。同社の LNG 運搬船は LNG で駆動されており、石油タンカーは HFO 駆動で排ガススクラバーを搭載している。

BP Shipping は、2019 年に竣工した「Partnership」の多元燃料 LNG 運搬船 6 隻を運航している。同船隊は MAN の ME-GI 型 2 ストロークエンジンを搭載している。BP によると、新造 LNG タンカーのガス燃料システムは、大気中へのメタン排出のリスクを最小化し、また、各タンカーは NO_x 排出量を削減する排ガス再循環システムを搭載している。

同社の Gem 級 LNG 運搬船 4 隻は二元燃料ディーゼル推進を採用している。エンジンはディーゼルサイクルで重油または天然ガス焚きが可能で、プロペラを駆動する電力を製造する。

BP 保有船の大部分は従来燃料駆動船である。2016~2017 年に引渡しが行われた BP の Century 級スエズマックス型原油タンカー3 隻は、従来燃料焚きの Tier II 規制対応型 MAN 7G60ME-C9.2 エンジンを搭載している。また、2016~2017 年に引渡しが行われた R 級アフラマックス型原油タンカー9 隻は、従来燃料焚きの Tier II 規制対応型 MAN 6G60ME-C9.2 エンジンを搭載している。同じく 2016~2017 年期中に引渡しが行われた Mariner 級ハンディサイズ型タンカー9 隻は、従来燃料焚きの Tier II 規制対応型 MAN 6G50ME-B9.3 エンジンと排ガススクラバーを搭載している。同じく 2016~2017 年期中に引渡しが行われた中距離 Cloud 級タンカー5 隻も従来燃料で駆動され、排ガススクラバーを搭載している。

3.2.22 Navigator Gas（英国）

液化ガス運搬船 36 隻を運航する Navigator Gas は、カーボンフットプリントを削減する計画を進めている。短期的には、LNG 燃料焚きのガスタンカーを配備する。さらに長期的なソリューションとしては、アンモニアの使用、カーボンキャプチャー・貯蔵、カーボン・オフセッティング、船舶の最適化などを検討する。

同社は、2018 年から 2021 年の 4 年間、エチレン貨物を輸送するタンカーにエチレンを燃料として使用する試験を行った。同社の「*Navigator Aurora*」は、燃料としてエチレンを使用するために改造された最初の船舶となった。同船を 10 年間用船している Borealis が、アップグレードを支援した。同船は HFO、MGO、LNG、メタンの使用が可能な多元燃料船で、2016～2017 年に竣工した新造船プログラム 4 隻のうちの 1 隻である。全 4 隻には同様の燃料処理能力を持つ MAN の 2 ストロークエンジンが搭載されている。

Navigator Gas は、MAN Energy Solutions、Babcock International、ノルウェー海事庁を含む産業コンソーシアムと協働しており、DNV からアンモニア焚きガス運搬船設計の基本承認を取得している。

3.2.23 Exmar（ベルギー）

Exmar は、LPG、アンモニア、LNG、石油化学ガスを輸送する液体ガス運搬船 35 隻を運航している。これに加え、LNG バージ 2 隻を運航している。うち 1 隻はガス液化装置、もう 1 隻は再ガス化装置を搭載している。

2020 年、Exmar 船隊が使用した燃料の 60% は HFO で、2019 年の 67% から低下している。その他の燃料のほぼ全量は MGO であった。

Exmar は、代替燃料としての LPG とアンモニアの利用を含め、最もクリーンで高度な船舶とインフラへの投資を推進すると述べている。

2021 年、同社は江南造船から新造 VLGC2 隻を受け取った。同船は LPG 焚きの二元燃料エンジンを搭載している。Equinor が、この 2 隻を少なくとも 5 年間チャーターする。

Exmar は、米国の低カーボンアンモニア製造企業 Nutrien と共同で、2025 年までにアンモニア焚きタンカーを開発、建造する計画である。Nutrien は同船に燃料を供給する。2021 年 3 月、Exmar はアンモニア焚き中型ガス運搬船に関する基本承認を Lloyds Register から取得した。

Exmar は、2019 年以来、船用及びターミナル向けの燃料としての水素利用を研究するベルギー水素輸入連合（Belgium Hydrogen Import Coalition）に参加している。同連合の研究では、アンモニア、メタノール、合成メタンなど水素由来の分子は、輸送機関による使用に対応可能であると結論付けている。連合のメンバーは、DEME、ENGIE、Exmar、Fluxys、アントワープ港、ゼーブルッヘ港、WaterstofNet である。

3.2.24 Scandlines（デンマーク）

Scandlines は、デンマーク - ドイツ航路でフェリーを運航している。同社はフェリー 7 隻を保有している。うち 6 隻はハイブリッド推進であり、同社は世界最大のハイブリッドフェリー船隊を保有・運航している。

Scandlines は、2013 年のフェリー「*Prinsesse Benedikte*」を皮切りに、フェリー 4 隻のハイブリッド改造プロジェクトを開始した。その後、同社はさらに複数のディーゼルバッテリーエレクトリックハイブリッドフェリーを投入した。

バッテリーエレクトリック技術をベースとしたゼロエミッションフェリー導入への長期計画の一環として、同社は 2021 年 11 月、ゼロエミッション航行が可能なハイブリッドエレクトリックフェリーを発注した。同フェリーはトルコ Cemre Shipyard で建造中である。同船のバツ

テリー充電のために、同社は利用するデンマークのフェリーバース何か所かに 50kV/25MW のケーブルを設置した。

3.2.25 Yara (ノルウェー)

世界最大のアンモニア製造企業である Yara は、クリーンな水素経済は急速に発展しており、アンモニアがその転換への原動力となっていると信じている。Yara は、ブルー及びグリーンアンモニアが、肥料製造、産業用、発電、そして船舶用の燃料として使用されると予想している。

Yara の最初のグリーン海運プロジェクトは、完全電動船である。Yara と Kongsberg Maritime は共同で世界初のゼロエミッションの完全電動・自動運航コンテナ船「*Yara Birkeland*」を開発した。同船は、ミネラル肥料を Yara のノルウェー Porsgrunn 工場から輸出港 Brevik に輸送し、年間 40,000 回のトラック輸送を代替する。Vard で建造された 120TEU 型オープントップコンテナ船は、完全バッテリー駆動である。同船のプロジェクトは、ノルウェーの気候・エネルギー技術支援基金 Enova から 1,500 万ドルの補助金を調達した。

2021 年 12 月、「*Yara Birkeland*」は、オスロフィヨルド内で処女航海を行った。同船は Horten のオペレーションセンターから Massterly が操船した。Massterly は、Kongsberg と Wilhelmsen の合併会社である。

最初の 2 年間は乗員 1 人が乗船して運航し、認証を取得した後、乗員なしの完全自動運航に行こうとする。

3.2.26 ASKO (ノルウェー)

ノルウェー最大の食品小売り企業 ASKO は、Kongsberg Maritime と共同で、オスロフィヨルド内で食品配達を行う自動運航電動船 2 隻を建造している。両船はバッテリー駆動のゼロエミッション船で、最大積載能力各 29 トンの貨物トレーラー 16 台を輸送する。ASKO によると、両船は 200 万 km 分の道路輸送の代替となり、カーボン排出量を年間 5,000 トン削減する。

この完全電気船は Naval Dynamics が設計し、Cochin Shipyard で建造中である。

計画では、少ない乗員数で 2022 年春に新サービスを開始する。約 2 年間の試験期間中に、2 隻のうち 1 隻は徐々に自動運航能力を拡大してゆく。完全自動運航への認証取得は、2024 年に予想されている。両船は、Massterly の Horten オペレーションセンターから操船される。

3.2.27 Stolt Tankers (オランダ)

Stolt Tankers の目標は、2030 年までに同社のカーボン排出量を 2008 年レベルから 50%削減し、2050 年までに完全にカーボンニュートラル化することである。同社は同社船隊にバイオ燃料と LNG の導入を検討しており、2030 年までには最低 1 隻のカーボンニュートラル船を建造する計画である。

2020 年、Stolt Tankers は、船用燃料としてのアンモニア使用に関する研究を行う船主及び船用メーカーのコンソーシアムに参加した。同グループは、アンモニア使用に関する安全性とオペレーションの評価を行う。Stolt 以外の同グループのメンバーは、Alfa Laval、BV、Capital Ship Management、C-Job Naval Architects、CMB、DFDS、Engie、Exmar、Gaslog、GTT、MAN ES、商船三井、日本郵船、現代重工業、Shell、SGMF、Star Bulk、Stena Teknik である。

Stolt Tankers は、2021 年 4 月、同社の 37,000DWT 型ケミカルタンカー「*Stolt Inspiration*」でバイオ燃料の試験を開始した。ロッテルダム港で GoodFuels が供給するバイオ燃料のバンカリングを受けた同船は、ヒューストンへの航行を行った。

Stolt Tankers は、「HySHIP」プロジェクトで共同研究開発を行っている欧州 14 企業の 1 社である。プロジェクトの目的は、液体グリーン水素で駆動される実証船となる RORO 船の設計

と建造である。同時に、液体水素サプライチェーンとバンカリング施設を構築する。Wilhelmsen が開発された RORO 船を運航する。運航開始は 2024 年に予定されている。HySHIP プロジェクトでは、液体水素駆動の内陸水路タンカー、高速フェリーへの適用及びケープサイズ型ばら積み船などの海洋船へのスケールアップの研究も行っている。

BASF は、超浅水時のライン川を航行可能な新型内陸水路タンカーの設計、建造、運航を Stolt Tankers に発注した。全長 130m の同船は、2022 年に引渡し予定されている。同船では複数のディーゼル発電機が電動機 3 基を駆動する。

3.2.28 Terntank (デンマーク)

Terntank は、10,000~15,000DWT の小型ケミカル/プロダクトタンカー 11 隻を運航している。

招商局金陵船舶(威海)(China Merchants Jinling)で建造され、2020年に引き渡しが行われた Terntank の 15,000DWT 型タンカー 2 隻はハイブリッド技術を搭載している。Kongsberg Maritime Ship Design が設計した両船は、陸上電力接続、バッテリーパック、従来型エンジンを組み合わせている。港湾における荷役作業は、100%電力で行われる。また、航行中には、LNG と 100%バイオ燃料による運転が可能な設計となっている。

Terntank は、2018年に、WindGD X-DF 型エンジンを搭載した自社船で、初回の液体バイオガス混合燃料の試験を行った。

3.2.29 Viridis Bulk Carriers (ノルウェー)

Viridis Bulk Carriers は、世界初のゼロエミッション海運会社となると主張している。同社は、2024年及び2025年の引き渡しを念頭に、アンモニアハイブリッド駆動の新造短距離ばら積み貨物船 5 隻の建造に関する交渉を複数の造船所と行っている。

Kongsberg Maritime が開発した *FlexBulk* 船型は、アンモニア焚き内燃機関とバッテリーエネルギー貯蔵システムを搭載する。

Viridis Bulk Carriers は、ノルウェーの PILOT-E プログラムから約 150 万ドルの開発資金を調達した。また、同社は、Yara、Elkem、Fanzefoss Minerals、Vestkom、Saltimport を含む 7 社の用船者との契約に基本合意 (MoU) している。

3.2.30 その他の欧州海運会社

上記の欧州海運会社に加え、欧州では多くの企業が様々な舶用代替燃料の利用または試験を行っている。以下のその例を概説する。

前述のプロジェクトに加え、メタノールを代替燃料としたプロジェクトには、以下の 4 件がある。

- ヘルシンキ - スtockホルム間を航行する Viking Line の旅客フェリー「*MS Mariella*」では、5年間にわたってメタノール燃料電池システムが使用されている。
- 2017年に就航したドイツの遊覧船「*MS Innogy*」は、ドイツ初のグリーンメタノール駆動燃料電池を搭載している。この燃料電池は、デンマークのメーカー SerEnergy が供給した。
- ドイツの Alfred Wegener Institute は、メタノール駆動の新造調査船「*Unicorn*」を Fassmer Shipyard に発注した。
- Fugro は、同社が主導するオランダの「Methanol as Energy Step Towards Emission-Free Dutch Shipping : MENENS」コンソーシアムの舶用メタノール燃料開発プロジェクトの一環として、オランダ政府機関からディーゼルエレクトリック調査船「*Fugro Pioneer*」への補助金を調達し、2023年にメタノールによる運航

を開始する。

水素は、以下を含む多くの欧州海運プロジェクトで使用または試験が行われている。

- Energy Observer は、Accor、CMA CGM、Engie、Hydrogen Council を含むコンソーシアムを主導し、2017 年にカタマラン型調査船に圧縮水素貯蔵システムと水素燃料電池をレトロフィットした。
- ベルギーCMB Tech は、2017 年に初の水素駆動旅客フェリー「Hydroville」の運航を開始した。同船は、Anglo-Belgium と CMB Tech が開発した Behydro 水素・ディーゼル二元燃料エンジンで駆動される。
- アントワープ港は、CMB Tech と協力し、2021 年末までに水素焚き内燃エンジンで駆動される水素タグボートの運航を開始する。
- また、CMB Tech は、同社が主導する「HydroCat」プロジェクトで、Vattenfall 向けに水素駆動の洋上風力発電施設支援船を開発している。同船は 2022 年に引き渡しが予定されている。
- スウェーデン Green City Ferries は、30km 以上の航路において、既存船を水素駆動船に代替、または水素駆動システムをレトロフィットする計画である、30 km 未満の航路では、ハイブリッドバッテリーシステムを採用する。
- EU の「FLAGSHIP」プロジェクトでは、2021 年、ノルウェーのフェリー運航企業 Norled がバイオ燃料駆動フェリー「Hidle」を水素燃料電池推進に改造、またフランス船主 CFT は貨物船「Zulu」をハイブリッドディーゼルエンジン／水素燃料電池推進に改造する。
- Future Proof Shipping は、2021 年に内陸水路コンテナ船「Maas」に水素燃料電池、バッテリーパック、電気推進システムをレトロフィットする。
- フランスのオクシタニー地域圏政府は、2021 年 9 月、Piriuo にエアリフト浚渫船の建造を発注した。LMG Marin が設計した同船は、水素燃料電池で駆動される初のエアリフト浚渫船として、2023 年の引き渡しが予定されている。
- 2021 年 10 月、スウェーデン Echandia は、Beluga24 型新造高速カタマランに水素燃料電池と統合バッテリー貯蔵システムを搭載し、2022 年までに就航する計画を発表した。
- Acta Marine は、既存 OSV への水素ハイブリッド推進システムの搭載に関するフィジビリティ研究を行っている。液化水素は、甲板に設置されたコンテナ型貯蔵槽に貯蔵される。
- Heidelberg Cement と Felleskjøpet AGRI は、Egil Ulvan Rederi に、2024 年引渡し予定の水素焚き内燃エンジンで駆動されるばら積み貨物船「With Orca」の建造と運航を発注した。Norwegian Ship Design が設計した 5,500DWT の同船は、内燃エンジンを駆動する圧縮水素を船内コンテナに貯蔵する。また、風力支援推進システムと陸上電力接続システムを搭載する。Statkraft と Skagerrak が水素を供給する。Egil Ulvan Rederei は同船の商業運航を 2024 年までに開始する計画である。
- Knud E Hansen は、DFDS が 2027 年にノルウェー - デンマーク間航路に投入する大型水素燃料電池駆動旅客・車両フェリー「Europa Seaways」の設計を行っている。Ballard Power Systems Europe が固体高分子形燃料電池、ABB が電力系統を供給する。

アンモニアは、さらに長期的な燃料ソリューションとして、欧州の海運会社数社が研究を行っている、その例は以下の通りである。

- ノルウェーSimon Mokster Shipping は、Wärtsilä と共同で、二元燃料エンジンでアンモニアと LNG を使用する可能性に関する研究プロジェクトを行っている。
- ノルウェーの OSV オペレーター Eidesvik は、Aker BP 及び Alma に、同社 OSV2 隻へのアンモニア燃料電池のレトロフィットに関するプロジェクトを発注した。同社は Equinor にも同様のプロジェクトを発注している。この契約では、Alma の高温燃料電池が Eidesvik 所有の PSV「*Viking Lady*」及び Aker BP 所有の PSV「*NS Frayja*」に搭載される。
- Greig Maritime Group と Wärtsilä は、ノルウェー沿岸輸送に投入される世界初のアンモニア駆動のアンモニアタンカーの設計と建造に対し、ノルウェー政府の補助金を調達した。LMG Marin が同船「*Green Ammonia*」の設計を受注した。2022 年上半期に船級協会の基本認証を取得した後、詳細エンジニアリングを開始する計画である。2024 年の引き渡しを予定している。
- Bourbon 及び Evergas の所有者であった Jacques de Chaeauviex は、自身の企業投資会社を通じて、CSSC 江南造船 (Jiangnan Shipyard) に、アンモニア駆動の 93,000 m³ 超大型アンモニア運搬船 4 隻を新造発注した。引渡し日程の発表はないが、最初の 2 隻は 2023/2024 年期中に竣工の見込みである。

いくつかの短距離海運会社は、既に完全電化ソリューションを開発している。ノルウェーのフェリー業界がこの動きを主導している。ノルウェー以外では、英国 Wightlink が、2020 年代半ばにワイト島航路に完全電動フェリーを投入する計画である。また、ポルトガルのアヴェイロ県では、燃料油駆動の既存フェリーを完全電動フェリーにリプレースする計画を進めている。

バイオ燃料は既に多くの欧州海運会社によって試験が行われている。LNG 焚きエンジンで液体バイオガスやバイオ LNG を使用すること以外のプロジェクトの例は、以下の通りである。

- フィンランド Meriaura Group の 2012 年建造の多目的甲板積み貨物船「*MS Meri*」は、世界初のサステナブルなバイオ燃料駆動の貨物船である。同船は、船用重油 (intermediate fuel oil : IFO)、液体バイオ燃料、MGO による駆動が可能である。バイオ燃料は、Meriaura Group 企業の VG Eco Fuel Ltd. が供給している。Meriaura Group は、その後 2016 年に廃棄物由来のバイオ燃料の使用が可能ならば積み貨物船 2 隻「*Eva VG*」及び「*Mirva VG*」を就航した。
- Boskalis、Wärtsilä、GoodFuels は、2015 年から 2 年間、バイオ燃料プロジェクトで協働した。Wärtsilä は幅広いバイオ燃料の実験室試験を行い、その結果、Boskalis は最低 30% のバイオ燃料をブレンドした燃料油を自社船に使用する計画を開発した。
- 2020 年、Depth RoRo の RORO 船「*Patara*」で、Volkswagen 向けのバイオ燃料の試験が行われた。試験には、GoodFuels の 100% サステナブル原料由来のバイオ燃料を使用し、ドイツ、ポルトガル、スペイン、アイルランド間の航海中に、CO₂ 排出量を 85% 削減し、SO_x 排出はゼロであった。同船は MAN の船用ディーゼルエンジンを搭載している。試験の成功を受け、Volkswagen は同航路を運航する 2 隻に GoodFuels のバイオディーゼルを使用している。
- 2020 年、United European Car Carriers は、BMW 及び GoodShipping プログラムと共同で、UECC の 2,080CEU (車両相当ユニット) 型 RORO 船「*Autosky*」で船用バイオ燃料の試験を行った。燃料はロッテルダム港で GoodFuels が供給した。

- 2019年末、Jan de Nulのホッパー浚渫船「Alexander Von Humboldt」は、100%再生可能バイオ燃料を使用した2,000時間の航行試験を完了した。同社がMAN Energy Solutions及びGoodFuelsと共同で行った同試験プロジェクトでは、CO₂排出量の85%削減を達成した。この試験結果を受け、Jan de Nulは自社船隊へのバイオ燃料導入を拡大した。
- 船主DFDSとAlfa Laval試験トレーニングセンターは、2020年にバイオ燃料製造企業MASHと提携し、バイオマスバイオ燃料の試験を開始した。Alfa Lavalは4ストロークエンジンでこのバイオ燃料の試験を行い、成功した場合にはDFDSの「Pearl Seaways」がデンマークの港湾に停泊中に、船内の温水製造支援に使用する。Alfa Lavalは、不純物ろ過用の高速セパレーターを供給する。
- 2021年8月、Destination Gotlandは、同社のLNG燃料船2隻に、10%バイオLNGブレンドを使用すると発表した。同船は、1隻につきWärtsilä 12V50DF型エンジン4基で駆動されている。
- 2021年10月、GoodFuelsは、デンマーク企業Unifeederの自社船「Elbsummer」のロッテルダムからヘルシンキへの航海に、バイオディーゼルを供給すると発表した。

3.3 欧州船用エンジンメーカーとエネルギー変換企業の動向

本節では、欧州船用エンジンメーカー及びエネルギー変換企業14社による、代替燃料の使用が可能な推進システムの開発動向を調査した。表11は、これらの企業の開発動向を要約したものである。「√」は、当該燃料を研究中または開発中であることを示す。

表11 船用エンジンメーカー及びエネルギー変換企業による代替燃料向け推進システムの開発動向

	LNG	LPG	メタノール	水素	アンモニア	バイオ燃料	電力	原子力
Wärtsilä	√	√	√	√	√	√	√	
WinGD	√		√		√	√		
MAN ES	√	√	√	√	√	√	√	
Rolls-Royce	√		√	√	√	√		
Alfa Laval	√		√					√
ABB Maritime				√	√		√	
Siemens Energy				√			√	
Corvus Energy				√			√	
Ballard				√			√	
Freudenberg			√	√	√		√	
Ceres				√		√		
PowerCell				√				
Core Power								√
Seaborg								√

3.3.1 Wärtsilä（フィンランド）

船用 4 ストローク中速エンジンの最大手メーカーである Wärtsilä は、燃料に固執せず、海運会社が使用したい燃料で駆動するエンジンを提供する。同社の目標は、自社のオペレーションを 2030 年までにカーボンニュートラル化することである。

Wärtsilä は、海運の GHG 削減は、データと技術ソリューションの組み合わせで実現されると信じている。代替燃料に関しては、燃料柔軟性があり、グリーン燃料で駆動するためのレトロフィットやアップグレードが容易なパワートレインシステムを提供している。Wärtsilä は、バイオ LNG、合成 LNG、メタン、アンモニア、メタノール、水素、バイオ燃料など幅広い燃料に関する研究開発を行っている。

表 12 は、現在の Wärtsilä の燃料別エンジン技術の開発状況をまとめたものである。「√」は、当該ソリューションが試験され、広く利用されていることを示す。「IN」は、技術試験は行われているが、商業的競争力を持つためには産業化が必要であるソリューション、「DN」は当該技術が比較的未熟であることを示す。

Wärtsilä は、LNG 焚きエンジンに関しては 10 年以上にわたる実績を持つ。Viking Line の 2013 年就航のクルーズフェリー「*Viking Grace*」は、LNG の使用が可能な Wärtsilä の 4 ストロークオットーサイクル二元燃料エンジンで駆動されている。

表 12 Wärtsilä の燃料別 4 ストロークエンジン開発状況

		燃料源				
		ディーゼル	二元燃料	火花点火ガス	ガスディーゼル	液体ガス
Wärtsilä の技術	ディーゼル	√	√	√	√	DN
	LPG		√	√	√	√
	LNG		√	√	√	
	FAME/HVO	√	√		√	√
	バイオメタン		√	√	√	
	水素		DN	DN		
	アンモニア	DN	DN	DN	DN	DN
	メタノール	IN	IN		IN	IN
	合成メタン		√	√	√	

(出典: Wärtsilä)

2018 年、Wärtsilä は、WinGD 及びフランス GTT と提携し、それぞれの専門技術を組み合わせて LNG 燃料船の建造を計画する船主への支援を開始した。この提携は、2017 年に 3 社が共同で、CMA CGM の 23,000TEU 型 LNG 燃料コンテナ船 9 隻の建造をサポートした実績をもとに開始された。このプロジェクトでは、Wärtsilä は燃料ガス供給システム、WinGD はエンジン、GTT はガス貯蔵システムを供給した。

2015 年、Wärtsilä は、初のメタノール駆動商船となる Stena Line の ROPAX フェリー「*Stena Germanica*」に 4 ストローク二元燃料エンジンを供給した。同船は、メタノールを主燃料として使用するための改造が行われた。エンジンは、Wärtsilä HP-DF エンジンの改造バージョンである。同プロジェクトは、Methanex、ヨーテボリ港、キール港の協力を得て実施された。

Wärtsilä は、2020 年 12 月まで船用燃料としての再生可能メタノールの使用に関する研究を行った「オランダ船用グリーンメタノール」プロジェクトに参加した。同プロジェクトでは、Caterpillar の 3508 型火花点火式エンジンと MAN の 4L20/27 型プロトタイプエンジンで、100%メタノールの試験を行った。

Wärtsilä は、アンモニアの燃焼に関する実験室試験を行い、2021 年 7 月には、70%アンモニア駆動の船用 4 ストロークエンジンの実証試験を完了した。Knutsen OAS と Repsol が同プロジェクトに協力した。Wärtsilä は、2021 年末までにアンモニア混合燃料駆動エンジンを開発し、2023 年までに純アンモニア駆動エンジンを市場化することを目標としている。2021 年 11 月、Wärtsilä とノルウェー船主 Simon Møkster Shipping は、LNG 燃料を代替燃料とする二元燃料エンジンでアンモニアを主燃料として使用する研究における協力を発表した。このプロジェクトでは、既に Wärtsilä の二元燃料エンジンを搭載している Simon Møkster の OSV 「Stril Pioneer」で試験を行う。

Wärtsilä は、アンモニア燃料電池開発に関する EU 助成プロジェクト「ShipFC」にも参加している。開発された燃料電池は、2023 年にノルウェーの OSV 船主・運航企業 Eidesvik Offshore の「Viking Energy」に搭載される。

同社は、1990 年代からバイオ燃料の実験を行っており、W20、W31、W32、W46 型ディーゼルエンジン及び二元燃料エンジンなどではバイオディーゼルの使用が可能である。

Wärtsilä の二元燃料及び火花点火式ガスエンジンは、15～25%水素の混合燃料の使用が可能である。同社は、2015 年に自社ガスエンジンで水素の実験を行い、2021 年 7 月には、純水素で駆動される実寸エンジンの実験室試験を完了し、2025 年までには純水素燃料駆動エンジンの実用化を目指している。

Wärtsilä は、RINA、ABB、Helbio、リベリア船級協会、及びエネルギーメジャー1 社（社名不明）と共同で、船内の LNG から船用燃料となる水素を製造するプロジェクトを行っている。このコンセプトでは、蒸気と LNG を混合して水素と CO₂ を製造する。製造された水素は、直接内燃エンジンまたは燃料電池に使用される。その結果、船内に水素を貯蔵する必要がなくなる。CO₂ は、超低温 LNG 燃料流を用いて液化され、陸上のカーボン貯蔵槽に輸送される。Wärtsilä は、同プロジェクトでは内燃エンジン内の水素使用に関する研究を主導し、ABB が燃料電池技術で支援を行う。

2013～2016 年期には、Wärtsilä は、Evergas と共同で、世界初の液化エタンガス（LEG）ボイルオフで駆動される LNG・ガス運搬船「INEOS Intrepid」を開発した。同船は Sinopacific Offshore and Engineering で建造された Evergas の Dragon 級 LNG・マルチガス運搬船 8 隻の 1 番船である。同船隊は、Wärtsilä 6L50DF 型二元燃料エンジンを搭載し、LNG を主燃料として使用する。Dragon 級ガス運搬船は、INEOS が米国東海岸から英国にエタンを輸送するための 15 年間チャーター向けに建造された。

Wärtsilä は、HFO、LFO、液体バイオ燃料、LNG で駆動が可能な以下の 4 機種の 4 ストローク二元燃料エンジンを提供している。

- 46 DF は、IMO Tier II 規制対応型二元燃料エンジンで、LNG 運搬船、クルーズ船、RORO フェリー、その他の大型船の主機として設計された。
- 34 DF は、主に OSV、小型 LNG 運搬船、フェリー、タグボートの主機、及び大型船の補機に適した二元燃料エンジンである。同エンジンは、ガスモードでは IMO Tier III 規制に対応、燃料油モードでは IMO Tier II 規制に対応し、選択触媒還元システムの使用により Tier III を満たすことが可能である。
- 31D は、ディーゼル、ピュアガス、または二元燃料バージョンのある中速エンジンで、主機として、またはディーゼルエレクトリックシステムに利用される。同エンジンは、OSV、掘削船、半没水型掘削船などの多くの船種に適している。同エンジ

ンは、ガスモードでは IMO Tier III 規制に対応、燃料油モードでは IMO Tier II 規制に対応し、選択触媒還元システムの使用により Tier III を満たすことが可能である。

- 20DF は、補機／発電装置として設計された二元燃料エンジンであるが、小型船の主機としても使用可能である。同エンジンは、ガスモードでは IMO Tier III 規制に対応、燃料油モードでは IMO Tier II 規制に対応し、選択触媒還元システムの使用により Tier III を満たすことが可能である。

Wärtsilä の主なピュアガスエンジンは、Wärtsilä 31 型 4 ストロークエンジンで、クルーズ船、RORO 船、ROPAX フェリー、小中型タンカー、ばら積み船、コンテナ船、OSV、掘削船、半没水型掘削船の主機として設計されている。

Wärtsilä は、Wärtsilä Vasa 32/32LN 型、W32 型、W46 型エンジンの LNG 二元燃料対応への改造を提供している。

2021 年 10 月、Wärtsilä と Global Energy Ventures は、圧縮水素運搬船への基本認証を ABS から取得した。同船は、Wärtsilä の二元燃料エンジンと電動固定ピッチプロペラを搭載する。

2 ストロークエンジン向けソリューションとして、Wärtsilä は、「Wärtsilä Fuel efficiency boost」アップグレードを開発した。このソリューションは、圧縮率の向上と改良型噴射ノズルにより、燃料消費量を約 4%削減する。

2021 年末、Wärtsilä は、「Two Stroke Future Fuels Conversion Platform」を発表した。MSC と共同開発したこのモジュラーレトロフィットにより、既存の燃料油焚き 2 ストロークエンジンにおいて LNG 燃料の使用を可能にし、入手可能になったときにさらにグリーンな燃料に移行するという柔軟性を船主に提供する。同システムは、超低温燃料供給システムを持つ。Wärtsilä は、燃料油から LNG 燃料に変更することにより、CO₂が 25%削減されるとしている。Wärtsilä と MSC は、2023 年に同システムを既存コンテナ船にレトロフィットする計画である。

同社は、以下のようなエンジン向けの GHG 排出削減ソリューションを提供している。

- バッテリーハイブリッドシステム：短距離船の従来型ディーゼルエンジン及び二元燃料エンジン向けのソリューション。
- 完全バッテリーエレクトリック推進システム：Wärtsilä は、ロッテルダム港、Engie、ING と共同で、内陸水運のサステナブル化を目指した「Zero Emission Services」を 2020 年に開始した。Wärtsilä は、再生可能エネルギーで充電されるコンテナ型バッテリー「Zepack」を供給している。Zepack システムを使用した最初の船は、ハイネッケン向けの内陸水路船「Alpenaar」であった。
- 陸上電力接続システム「SAMCon」：新造船及びレトロフィット向けのコンテナ型システム。
- 選択触媒還元 (SCR) システム：NO_x 排出に関する IMO Tier II 規制を満たすために Wärtsilä の 4 ストロークエンジンに搭載。

Wärtsilä は、将来的な燃料オプションを研究する産業連合「Coalition for Energy of the Future」のメンバーである。2021 年 7 月、同連合はマルセイユ港におけるバイオ LNG 製造に関するプロジェクトを開始した。バイオ燃料は家庭ごみから製造される。TotalEnergies の「Gas Vitality」がバンカリング船となり、CMA CGM の船舶にバイオ LNG を供給する。同連合は、海運向けの合成メタン製造に関するプロジェクトも開始している。

3.3.2 WinGD（スイス）

低速 2 ストロークディーゼルエンジンの大手サプライヤーである WinGD は、元 Wärtsilä Switzerland をリブランドした企業で、現在は中国国営造船グループ CSSC が 100% 保有している。

WinGD は、同社の受注の 50% を、2030 年までにサステナブル燃料及び再生可能燃料による駆動が可能な多元燃料エンジンとすることを目標としている。また、2025 年にはメタノール及びアンモニア駆動が可能なエンジン技術を市場化する計画である。

同社の提供する 2 つの主要内燃エンジンシリーズは、液体燃料で駆動される X-Engine 及び二元燃料 X-DF エンジンである。初の LNG 焚き X-DF 船は 2017 年に竣工した。X-DF 技術は、低速 2 ストローク二元燃料リーンバーンエンジンで、ガスモードではオットーサイクルで運転する。オットーサイクルでは、ごく微量の液体パイロット燃料が噴射され、圧縮された空気と燃料の混合気を点火する。ガスはエンジンの両側に位置するガスマニホールド内を循環し、各シリンダーに供給される。シリンダーライナー壁に設けられた油圧作動式ガス噴射弁が各シリンダーに直接ガスを噴射する。

WinGD の計画は、現在入手可能な船用燃料による駆動が可能で、また将来的な燃料の利用も可能な燃料柔軟性の高いエンジンを提供することである。X 型及び X-DF 型エンジンは、既に液体燃料、LNG、バイオ LNG、合成/e-LNG による駆動が可能である。天然ガス焚きの場合、X-DF 型エンジンは、IMO Tier III 規制を満たしている。WinGD は、両型エンジンのメタノール及びアンモニアバージョンをそれぞれ 2024 年と 2025 年までに実用化する計画である。

WinGD は、Wärtsilä 及び GTT と、数々の LNG 燃料船プロジェクトで協力を行っている。WinGD はエンジン、Wärtsilä は燃料供給システム、GTT は貯蔵タンクを供給する。

WinGD の研究開発部門は、幅広い種類の燃料を使用する内燃エンジン向けの噴射システム「Fuel Flexible Injection System」を開発した。

同社は、リグニンベースの産業廃棄物を第二世代バイオ燃料に変換する手法に関する EU 助成研究開発プロジェクト「FALCON」を支援している。プロジェクトパートナーは TotalEnergies、ウェステルダイク菌類多様性研究所、ヘルシンキ大学、Progression Industry、SUPREN、MetGen、Bio Base European Pilot Plant などである。

WinGD と Wärtsilä Gas Systems は、2018 年、Equinor の 20% 液化揮発性有機化合物 (LOVC) 混合燃料の試験で協力した。その後、Equinor は、Altera と AET から新造シャトルタンカー 4 隻の用船を決定した。この LVOC システムは、シャトルタンカーが油田において原油を積み込み中に、原油の軽成分を回収、圧縮、液化し、LNG との混合油として使用する。

WinGD は、日本郵船、株式会社 MTI、ABS と共同で、大型商船の主機へのバッテリーハイブリッドシステム統合に関する研究開発プロジェクトを実施している。プロジェクトでは、軸発電機の負荷変動の管理と、変化する気象条件下で一定の速力を維持するために回転数が増加、減少する問題に焦点を当てる。プロジェクトパートナーは、デジタルモデリングを作成した後、同コンセプトを日本郵船の船舶に適用する。

3.3.3 MAN Energy Solutions（ドイツ）

MAN Energy Solutions は、大部分の代替燃料で駆動が可能な幅広い 2 ストローク及び 4 ストロークエンジンの開発を行っている。

表 13 は、現在利用可能、または試験中の燃料別のエンジンソリューションの要約である。LNG 及び大部分のバイオ燃料による駆動が可能な 2 ストローク及び 4 ストロークソリューションが実用化されている。アンモニア焚きエンジンは、2024 年に市場化される。4 ストローク水素二元燃料エンジンは、2030 年までに実用化される予定である。

表 13 MAN Energy Solutions の燃料別 2 ストローク及び 4 ストロークエンジンの開発動向

		LNG/バイオ LNG/液化バイオ ガス/液化メタン	LPG	メタノール	アンモニア	水素	バイオ燃料
2 ストローク Twostroke	二元燃料 エンジン	MAN B&W ME-GI、ME- GA	MAN B&W ME- LGIP	MAN B&W ME- LGIM	2024 年ま でにエンジ ン実用化	ソリューショ ンなし	全二元燃料エ ンジン
	適用船種	コンテナ船、タ ンカー、LNG、 ばら積み船、 Ro-Ro	LPG 運搬 船、シャト ルタンカー	メタノール 運搬船、そ の他船種	-	-	タンカー、 コンテナ船、 ばら積み船、 Ro-Ro
4 ストローク	二元燃料エンジン Dual-fuel	MAN 51/60DF、 35/44DF、 28/32DF、 23/30DF	ソリューシ ョンなし	ソリューシ ョンなし	ソリューシ ョンなし	20%混合油が 2021 年まで に利用可能。 2030 年まで に二元燃料エ ンジン実用化	バイオ燃料の 種類に応じた 特定のエンジ ン設計
	適応船種	コンテナ船、 タンカー、LNG 運搬船、ばら積 み船、Ro-Ro、 フェリー、 クルーズ船、 OSV、漁船	-	-	-	-	コンテナ船、 浚渫船で試験 中

(出典: MAN Energy Solutions)

MAN B&W の高圧 2 ストローク二元燃料ガス噴射 (ME-GI) 型エンジンは、ディーゼルサイクルで HFO、LNG、LPG、エタン、メタノールによる運転が可能である。二元燃料 ME-GI エンジンでは、2 基または 3 基のガス燃料バルブが高圧天然ガスをエンジンの燃焼室に噴射する。少量のパイロットオイルが 2 基または 3 基の従来燃料油インジェクターから同時噴射され、燃焼を最適化する。

MAN は、オットーサイクルで LNG 焚きの ME-GA 型エンジンも開発した。2012 年に低引火点燃料向けに開発された ME-GA 型 2 ストローク低速エンジンは、ME-LGI シリーズとして LNG 燃料船の主要ソリューションとなっている。MAN は、ME-LGI シリーズの LPG 燃料バージョン (ME-LGIP、P はプロパン)、メタノールバージョン (ME-LGIM、M はメタノール) を開発した。LGIM-W 機種は、メタノールと水の混合燃料の使用により、IMO Tier III 規制を満たす。

MAN は、BW LPG と共同で、2020~2022 年期中に BW の LPG タンカー15 隻の HFO 焚きエンジンを LPG 二元燃料 ME-LGIP 型エンジンにレトロフィットするプロジェクトを行っている。また、MAN は、2020 年、CIMC Sinopacific Offshore & Engineering が建造中の Hartmann Gas Carriers の LPG タンカー3 隻向けに ME-LGIP 型エンジンを受注した。同船隊は 2021 年末に竣工する。

MAN は、カナダ Methanex の既存の 50,000DWT 型ケミカルタンカー11 隻に 二元燃料メタノール/ディーゼルエンジンを供給した。また、さらに現代尾浦造船で建造され、2021~2023 年期中に引渡しが予定されている同社の新造 50,000DWT 型ケミカルタンカー8 隻に、ME-

LGIM 型二元燃料メタノールエンジンを供給している。

MAN は、広船国際で建造中の Proman Stena Bulk の 49,900DWT 型 MR タンカー3 隻に二元燃料エンジンを供給している。引渡しは 2022 年の予定である。搭載される二元燃料エンジンは、年間 12,500 トン前後のメタノールを使用すると推定されている。MAN は、現代重工で建造される Maersk のコンテナ船 8 隻+オプション 4 隻向けのエンジンも受注した。引渡しは 2023 年の予定である。同エンジンは、低硫黄ディーゼル、e メタノールまたはバイオメタノールで駆動される。MAN は、同船隊向けに現代重工エンジン部門 と共同で 6G50-LGM 型メタノール主機、及びメタノール駆動が可能な発電機を開発している。

2020 年、MAN 4L20/27 型プロトタイプエンジンが、オランダ軍事アカデミーの船用メタノール試験に使用された。この試験は、船用燃料としての再生可能メタノールの可能性を研究する「オランダグリーン船用メタノール」プロジェクトの一環である。

MAN は、ME-LGI 型エンジンシリーズの、エタノール、ジメチルエーテル、アンモニアなどの他の低引火点燃料機種の開発を行っている。

アンモニアに関しては、MAN は、Navigator Gas、Babcock International、ノルウェー海事庁などとともに、国際産業プロジェクトに参加している。開発されたアンモニア焚きガス運搬船の設計は、DNV の基本認証を取得した。また、MAN は、2019 年以来、九州大学と共同でアンモニア焚きエンジン向けのソフトウェア制御燃料噴射技術の開発を行っている。MAN は、大型海洋船向けの 2 ストロークアンモニア焚き二元燃料エンジンを 2024 年までに市場化する計画である。MAN は、既に商船三井とアンモニア焚きエンジン供給に関する基本合意を締結済みである。

表 14 は、MAN のアンモニア焚きエンジンの開発スケジュールである。

表 14 MAN の 2 ストロークアンモニア焚きエンジン開発スケジュール

年	開発段階	開発状況
2019	事前研究	アンモニアとの互換性研究完了。
2020	プロジェクト開始	<ul style="list-style-type: none"> 4T50ME-X 試験エンジンがアンモニアエンジン開発のプラットフォームとして選ばれた。 危険要素の特定作業が完了。
2021	初回エンジン試験	<ul style="list-style-type: none"> コペンハーゲン研究所にて初回エンジンの確認。 基本エンジンコンセプトの決定。 アンモニア供給システムと補助システムの決定。
2022	排出仕様	排ガス後処理の仕様を決定。
2023	エンジン実証試験	コペンハーゲン研究所にて実証試験を完了。
2024	造船所への 1 号機引渡し	アンモニア焚きエンジンの 1 号機を造船所で実船搭載。

(出典：MAN)

2025 年には、既存船にアンモニア燃料を導入するためのレトロフィットパッケージを実用化する計画である。

MAN Energy Solutions は、ドイツ連邦経済エネルギー省、ミュンヘン大学、Neptun Ship Design、WTZ、Woodward L'Orange と共同で、2021 年から 2023 年にかけて「AmmoiaMot」プロジェクトを実施している。プロジェクトの目的は、船用ディーゼル及びアンモニアが使用可能な 4 ストローク中速エンジンの開発準備である。

MAN Energy Solution は、2021 年 6 月に開始された 23 企業・組織による船用代替燃料としてのアンモニア燃料に関する共同研究開発フレームワークのメンバーである。23 参加企業・組織は、ABS、Anglo American、日本海事協会、DNV、Equinor、INPEX、伊藤忠商事、Fortescue Metals、Genco Shipping & Trading、JERA、川崎汽船、MAN Energy Solutions、三井 E&S、日本シップヤード、NS ユナイテッド海運、Pavilion Energy、TotalEnergies、Trafigura、宇部興産、Uniper、上野トランステック、Vale、Vopak Terminal Singapore である。

MAN は、米国 Aspin Kemp & Associates と協力し、ハイブリッドエレクトリックソリューション及び同システム向けの全要素、即ち配電盤、コンバーター、電動機、エネルギー貯蔵システムを供給している。MAN は、2 ストローク及び 4 ストロークエンジン向けにハイブリッドエレクトリックソリューションを開発した。

3.3.4 Rolls-Royce (英国)

Rolls-Royce は、MTU 及びノルウェーBergen ブランドを通じて船用エンジンを供給している (2021 年 12 月現在)。

MTU は、短距離海運向けのソリューションを専門としており、主なセグメントは ROPAX 船、フェリー、タグボート、OSV、洋上風力発電所支援船、ヨット、石油ガス設備などである。同社の長期ビジョンは、グリーン電力と水素製造を基礎とした海運の脱炭化である。

- グリーン電力で電解装置を駆動し、グリーン水素を製造する。グリーン水素は CO₂ との合成により船用燃料電池向けの e 燃料を製造する。
- さらにグリーン水素を処理し、e メタン、e メタノール、e ディーゼル燃料を製造する。
- グリーン電力により船内バッテリーシステムを充電する。
- グリーン水素により内燃エンジンを駆動する。

Rolls-Royce Power Systems は、現在、単気筒型水素エンジンを開発中で、「MethQuest」プロジェクトの一環として 2021 年末まで試験を行う予定である。同研究開発プロジェクトは、ドイツ連邦経済エネルギー省が出資している。

Kongsberg Maritime は、Rolls-Royce Bergen の商船向け液体燃料・ガス駆動 4 ストローク中速エンジンの独占ディストリビューターである。同社の LNG 燃料エンジンの供給実績は、Fjord Line が Rolls-Royce の 100% LNG 焚き火花点火式エンジンを 2013 年竣工の「*Stavangerfjord*」に発注したことに始まる。それ以来、Bergen は、数多くのノルウェーのフェリー、漁船、OSV、RORO 船、ROPAX 船に 100 基以上の LNG 燃料エンジンを供給してきた。

同社は、カーボンニュートラル燃料への移行は、現行の LNG エンジンから開始し、入手可能になった時点で LNG とカーボンニュートラル燃料またはゼロカーボン燃料との混合比率を高めてゆくことが最良のアプローチであると考えている。Bergen は、2050 年までの 3 つの経路 (pathway) を想定している。全経路は 100%LNG から始まり、段階的に 50%から 0%に削減する。

- 経路 1 : LNG から液化バイオガスへの移行。
- 経路 2 : LNG からアンモニアへの移行。Bergen は、ディーゼル及びオットー両サイクルのアンモニア燃料エンジンの研究を行っている。
- 経路 3 : LNG から水素への移行。

2021年12月、EU助成プロジェクト「HySeas」の一環として、Kongsbergは、Bergenの試験施設において、実寸の水素燃料電池駆動系の実証試験に成功したと発表した。試験データは、スコットランドのフェリーオペレーターCaledonian Maritime Assets (CMLAL)の水素駆動小型ROPAXフェリーの設計に活用される。同フェリーは、2022年第1四半期の設計後、建造される。

MTUは、「オランダグリーン船用メタノール」プロジェクトのメンバーである。同プロジェクトでは、Caterpillar 3508型火花点火式エンジンとMAN 4L20/27型プロトタイプエンジンで100%メタノール駆動の試験を行った。Bergenは、アンモニア、メタノール、水素、他の合成燃料による駆動への改造が可能なディーゼルエンジンの研究を行っている。

Rolls-Royceは、将来的なエネルギーオプションを研究する産業連合「Coalition for Energy of the Future」のメンバーである。マルセイユ港におけるバイオLNGの製造に関する研究を開始した。このバイオLNGは家庭廃棄物から製造され、TotalEnergiesの「Gas Vitality」がバンカリング船として、CMA CGM所有船1隻にバイオLNGを供給する。同連合は、海運向けの再生可能合成メタン製造に関するプロジェクトも開始している。

3.3.5 Alfa Laval (スウェーデン)

Alfa Lavalは、従来燃料焚きのエンジン向けの排ガス処理ソリューションを提供している。Alfa Lavalは、MAN Energy Solutionsと協力し、NOx排ガス再循環システムの水処理モジュールを提供している。Alfa Lavalは、SOxスクラバーの設計・製造も行っている。

Alfa Lavalは、WinGDのLNG焚きX-DF型エンジンのガスモード運転時に発生するメタンスリップ問題に対処する排ガス冷却システム「PureCool」を開発した。同システムは、排ガスの約50%を冷却、再循環することにより、メタンスリップを約50%低減、燃料消費量を約3%削減する。図12は、WinGD X-DF型エンジンに搭載されたAlfa Laval PureCoolシステムである。

また、Alfa Lavalは、二元燃料ディーゼル電気エンジン及び二元燃料エンジンで駆動される数多くのLNGタンカーで使用されているガス燃焼ユニット (Gas Combustion Unit)を開発した。同システムは、船舶の推進システムに利用されない余剰ボイルオフガスを燃焼させ、LNG貨物タンクの圧力を調整する。

2021年12月、米国船級協会ABSは、Alfa Lavalに初の船用メタノール焚きボイラーの型式認証を与えた。Alfa Lavalによると、ピュアメタノールとメタノールと水の混合を使用した試験では、メタノールは点火が容易で、排出が非常に少ないとの初期結果が得られた。Alfa Lavalは、メタノール焚きボイラーが燃料油及びガス焚きの場合と同量の蒸気を製造するソリューションを実現したと述べている。同社は現在、同ソリューションの海洋船への試験設置を計画中で、開発完了後には市場化する。



図 12 WindGD X-DF 型エンジンに搭載された Alfa Laval PureCool システム
(出典: Alfa Laval)

Alfa Laval は同社研究所 Copenhagen Innovation House 内に技術企業 Copenhagen Atomics を持つ。Copenhagen Atomics は、船舶への搭載が可能なコンテナ型溶融塩原子炉を開発中である。この Copenhagen Atomics 技術は、フッ化物塩をベースとし、燃料切れにより格納コンテナは 3 年ごとに交換する必要がある。同社は、2020 年代半ばまでに同技術の実証試験を行うとしている。

3.3.6 ABB Marine and Ports (スイス)

ABB は、電化、ロボット、自動化技術ソリューションの大手プロバイダーである。海運産業向けビジネスは、同グループの「Marine and Ports」部門が担当している。

ABB は、電力ベースの動力システムが全セグメントにおける海運のゼロカーボン化実現のためのソリューションで、新たなエネルギー源に対応する将来的にも有効な手段であるとしている。同社は、排出削減のために電気推進システムの 3 つのオプションを提案している。即ち、液体またはガス燃料焚き内燃エンジンと、バッテリーハイブリッド駆動、または完全バッテリー駆動、または燃料電池との組み合わせである。

ABB は、完全水素電動大型クルーズ船のコンセプトを開発した。ABB の水素燃料電池ソリューションは、水素駆動の固体高分子形燃料電池である。このコンセプトでは、船内の水素燃料タンク 4 基が燃料電池内で空気と混合される液体水素を供給、電気化学反応により電力を製造し、電動機を駆動する。副産物として製造された水は、船内システムへ再循環される。

ABB は、VARD Engineering が主導する「ZeroCoaster」コンソーシアムのメンバーである。ABB 以外のコンソーシアムパートナーは、Trosvik Maritime、SINTEF、HK Shipping である。ZeroCoaster は、2021 年末にアンモニア駆動ばら積み貨物船の設計の基本認証を取得した。

同船のコンセプトは、AFC Energy の「S」シリーズのコンテナ型アルカリ燃料電池と内蔵アンモニア分解装置の組み合わせである。VARD は、顧客向けに同船型の市場化を開始した。

ABB は、短距離船及び長距離船向けに多様な電気駆動システムを提供してきた。フェリーには、船舶の全動力需要を満たすバッテリーパックを提供している。港湾タグボートには、オペレーション中の動力を供給するディーゼルエレクトリックシステムと小型ディーゼルエンジンの組み

合わせ、待機中にはバッテリー動力システムを提案している。ABB は、EU の「FLAGSHIP」プロジェクトの一環として、フランス Compagnie Fluviale de Transport の内陸水路引き船向けに水素燃料電池電動システムを供給した。

ABB は、オフショア船向けにバッテリー貯蔵機能を持つディーゼルエレクトリックソリューションとバッテリー貯蔵を供給している。近年の例としては、2017 年に Kleven が建造したケーブル敷設船「*NKT Victoria*」がある。ABB が供給した船内バッテリー貯蔵システムと DC 配電網により、同等の船舶と比較して 60%低い CO₂ 排出量を実現した。もうひとつの例は、2018 年にトルコ CEMRE で建造された Louis Dreyfus の洋上風力発電サービス船「*Wind of Change*」で ABB はバッテリーセット 2 基と船内 DC 配電網を供給した。

バッテリーシステムの大きさによるスペースの制限から、ABB は、バッテリー貯蔵システムを、短期的には主機の補助動力として、長期的には燃料電池の補助動力としての利用を推奨している。ABB は、このようなアプリケーションのために、1~3MW の燃料電池を開発中である。ABB は、船舶向けに AC 配電網または DC 配電網と組み合わせたモジュラー型及びコンテナ型バッテリー貯蔵装置を多数開発している。

3.3.7 Siemens Energy (ドイツ)

Siemens Energy は、一般船及びオフショア船を含む複数の産業セクター向けに、幅広い電子・駆動システムソリューションを提供している。

Siemens は、ノルウェーで短距離船及びオフショア掘削船向けのリチウムイオン電池貯蔵モジュール「*BlueVault*」を製造しており、Norled のフェリーや Seadrill の半没水型掘削リグ「*West Mira*」などに採用されている。

また、同社は、潜水艦向けの水素駆動固体高分子形燃料電池を製造している。

3.3.8 Corvus Energy (ノルウェー)

2009 年設立の Corvus Energy は、バッテリーエネルギー貯蔵システム及び水素燃料電池を提供している。同社によると、世界のハイブリッド及びゼロエミッション船の 50%以上が同社のバッテリーエネルギー貯蔵システムを利用している。

Corvus Energy の船用市場における主な実績は以下の通りである。

- 2012 年、世界初のバッテリーハイブリッド OSV となる Eidesvik の「*Viking Lady*」にバッテリーを供給し、実証実験をおこなった。
- 2013 年、Scandlines の旅客 1,000 人以上の積載能力を持つフェリー「*Princesse Benedikte*」に世界で初めてバッテリーを供給。
- 2015 年、Norled の世界初の完全電化カーフェリー「*Ampere*」にバッテリーを供給。
- 2017 年、Rederiet Stenersen 所有の世界初のハイブリッドケミカルタンカーにバッテリーを供給。

2021 年、Corvus は、トヨタの燃料電池技術を基礎とした、船舶向けの大型モジュール型水素駆動固体高分子形燃料電池の開発を開始した。目標は、2023 年に燃料電池の実船実験を行い、2024 年に商業生産を開始することである。同プロジェクトのパートナーは、Equinor、Norled、Wilhelmsen、LMG Marin、ノルウェー海事クラスター NCE Maritime CleanTech、ノルウェーノースイースタン大学である。

Equinor、BW Ventures、Norsk Hydro、Shell が、Corvus Energy に出資を行っている。

3.3.9 Ballard Europe（ノルウェー）

カナダ Ballard Power Systems の子会社 Ballard Europe は、欧州の燃料電池市場のリーディングカンパニーのひとつである。Ballard のコアテクノロジーは、水素駆動固体高分子形燃料電池である。

Ballard Europe の研究開発、製造、販売事業は、ノルウェー、デンマーク、ドイツ、フランス、英国に焦点を当てている。同社ホーブロー（デンマーク）の船用技術センターでは、年間約 40MW の水素燃料電池モジュールが製造されている。

Ballard Europe は、大型燃料電池の開発促進を目指した幅広いプロジェクトで他社と協働している。同社は、ABB と共同で、フランスの燃料電池駆動の河川押し船の設計を行っている。また、燃料電池をフェリーのハイブリッドエレクトリック駆動系に統合する共同研究開発プロジェクト「HySeas」に参加している。さらに、EU の「H2PORTS」では、新燃料電池技術による欧州港湾産業のゼロエミッション化を支援している。

3.3.10 Freudenberg（ドイツ）

Freudenberg Sealing Technologies は、海洋船、短距離船向けのモジュール型燃料電池とバッテリー貯蔵システムの設計と製造を行っている。

同社は、過去 30 年以上にわたって燃料電池技術の開発を行っており、低温及び高温固体高分子形燃料電池を提供している。その製品群は、メタノールや e メタノールなどの燃料向けの直接水素システム及び改質器統合型システムである。同社は、燃料電池とバッテリーをひとつのシステムに組み合わせたハイブリッドシステムを提供している。

Freudenberg と Meyer Werft は、旅客船向け次世代燃料電池の開発を目指す「Pa-X-eII2」プロジェクトでパートナーとして協働している。同プロジェクトでは、2021 年に Carnival の「AIDANova」に水素燃料電池を搭載した。水素は、船内の改質器によりメタノールから製造される。

3.3.11 Ceres（英国）

英国の技術企業 Ceres は、従来の天然ガス及びバイオガス、エタノール、水素などのサステナブル燃料が使用可能な燃料柔軟性のある固体酸化物形燃料電池（SOFC）「SteelCell」の開発を行っている。同技術は、インペリアルカレッジロンドンの研究から派生したものである。

2021 年 3 月、Doosan Fuel Cell と Korea Shipbuilding & Offshore Engineering は、Ceres の技術を用いた船用 SOFC の開発に基本合意した。これは 2020 年 10 月の Ceres と Doosan の提携及びライセンス合意に続くものである。この合意では、Doosan は、韓国に 50MW 規模の SOFC 施設を建設し、両社は船用及びオフショア向けの共同研究開発プロジェクトを行う。

2020 年 11 月、Doosan Fuel Cell は、英国 Navig8 と、試験プロジェクトとして Ceres SOFC システムを 50,000DWT 型ケミカルタンカーに搭載することに基本合意した。

3.3.12 ヨーテボリ港（スウェーデン）

ヨーテボリ港は、コンテナ船、RORO 船、自動車船、旅客船、エネルギー輸送船のターミナルを持ち、年間約 4,000 万トンの貨物を取り扱っている。CO₂ 削減に向けた同港のイニシアティブには以下がある。

- ヨーテボリ港は、船用燃料としての LNG の利用を積極的に促進しており、トラック及び ship-to-ship のバンカリングを提供している。LNG 燃料船には、港湾諸料金の 10%割引がある。
- 停泊中の船舶の陸上電力利用も促進しており、利用船には港湾使用料の割引がある。現在、陸上電力接続は、Stena Lines 埠頭と ROLO ターミナルで利用可能である。

2023年にはタンカー埠頭でも陸上電力の供給を開始する。

- 設定された指標で環境パフォーマンスの高い船舶には、港湾諸料金の割引を提供する。
- アマモ（水中海洋植物）の生態系に破壊する港湾ターミナル拡張時には、別の湿原にアマモを植えることによりカーボン・オフセットを行う。

2021年11月以来、同港と近隣の倉庫やディストリビューションセンター間の輸送トラックは、完全に再生可能燃料「HVO100」を使用している。HVO100は、再生可能なディーゼル燃料で、エンジンの改造をせずに小型及び大型ディーゼルエンジンに使用できる。合成ディーゼルの製造には、水素で処理された残余物と廃棄物を成分とする原料が用いられる。

2021年11月、ヨーテボリ港とエネルギー企業 Statkraft は、1日あたり2トンのグリーン水素の製造が可能な4MW級電解装置の建設計画を発表した。Statkraftはスウェーデン第4位の発電企業で、54か所の水力発電所と4か所の風力発電所を運営している。電解装置の能力は、重要増加によって拡大される。

3.3.13 PowerCell（スウェーデン）

Volvo Groupの子会社として2008年に設立されたPowerCellは、船用を含め多様なアプリケーション向けの水素駆動低温固体高分子型燃料電池（Polymer Electrolyte Fuel Cell）スタックを製造している。

2000年2月、PowerCellは、Fincantieriの燃料電池電気駆動系と発電システムの試験用にPEMFC（プロトン交換膜燃料電池）システムを供給した。

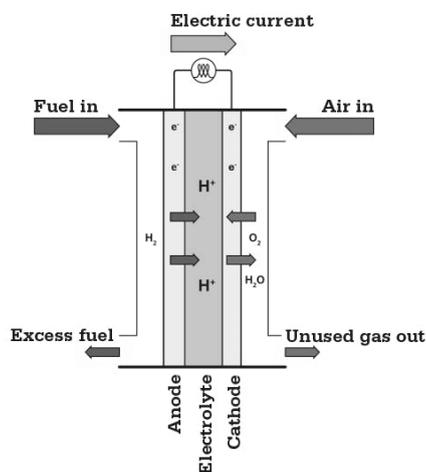


図 13 水素燃料電池

(出典: PowerCell)

2021年5月、PowerCellは、船舶を電化するカスタム設計の小型、軽量、高出力燃料電池モジュール「PowerCellution Marine System 200」を発表した。同製品は、多数の燃料電池システムから構成され、ひとつのユニットに統合されたシステムである。各モジュールが200kWの出力を持ち、モジュール同士を並列接続することにより、メガワット級に拡大する。Marine System 200は、PowerCellの船用完全水素電気ソリューションの構成要素となる。

PowerCell は、ノルウェーのガイランゲルフィヨルドにフェリー及びクルーズ船への水素燃料供給のための水素製造施設を開発するノルウェーの「Hellesylt Hydrogen Hub」プロジェクトのメンバーである。

3.3.14 Core Power (英国)

Core Power は、海運及び重工業向けのスケラブルな核融合炉の開発を専門に行う企業である。

Core Power は、TerraPower、Southern Company、Orano、3M と共同で、船用溶融塩炉 (m-MSR) の開発を行っている。この原子炉の燃料は、低濃縮ウラン (High-Assay Low-Enriched Uranium : HALEU) である。m-MSR 内の塩化物塩は 400°C 前後で溶解し、沸点は約 1,400°C である。

Core Power は、MSR 技術には安全性実績があり、冷却材が燃料で、燃料が冷却材であるため、チェルノブイリや福島原発のような冷却材損失のリスクは限定的である。Core Power によると、過熱は不可能である。燃料冷却材の塩は冷却されると緊縮して反応性が増し、熱を発生させ加熱する。原子炉は、周囲圧力で運転するため、圧力リークの影響を受けない。過熱が発生した場合には、冷凍プラグが溶解し、燃料塩の全量を船内ヒートシンクに排出する。共同研究開発プロジェクトでは、第一段階としてクリーンな陸上電力を開発し、小型船向けの合成燃料を製造し、その後、大型海洋船に m-MAR を搭載する。原子炉の初回プロトタイプは、完全に資金を調達している。2021 年 11 月、Southern Company と米国エネルギー省は、世界初の溶融塩高速炉 (fast-spectrum salt reactor) となる溶融塩実験炉 (Molten Chloride Reactor Experiment) の設計、製造、運転に関する基本合意を締結した。TerraPower、Idaho National Laboratory、Core Power、Orano Federal Services、Electric Power Research Institute、3M Company が同プロジェクトに参加している。

Core Power は、同社の船用 MSR 「m-MSR」は、大型船の電気推進に使用可能な原子力バッテリーであるとしている。m-MSR は、船舶の寿命である 30 年間、燃料補給なしに運転する発電する設計である。Core Power の推定では、VLCC が 20 年間に必要とする 35MW の動力のコストは、燃料補給のための停泊の必要がないために向上する船舶の生産性を考慮に入れない場合でも、VLSFO よりも 30% 低く、グリーンアンモニアよりも最大 70% 低い。さらに、m-MSR の利用により、大型燃料タンクや排ガスシステムの必要がないため、貨物スペースが拡大する。図 14 は、Core Power の m-MSR である。



図 14 Core Power の船用溶融塩炉 「m-MSR」
(出典: Core Power)

Core Power は、多様な船種及び燃料オプションと m-MSR 駆動船の生涯コストを比較した経済モデルを作成した。各モデルでは、m-MSR への投資コストは、他の燃料オプションよりも大幅に高くなる。しかしながら、ライフタイム全体の投資コストは低い。図 15 は、m-MSR または他の代替燃料オプションを使用した場合の 22,000TEU 型コンテナ船のライフタイムコストに関する Core Power の予測である。

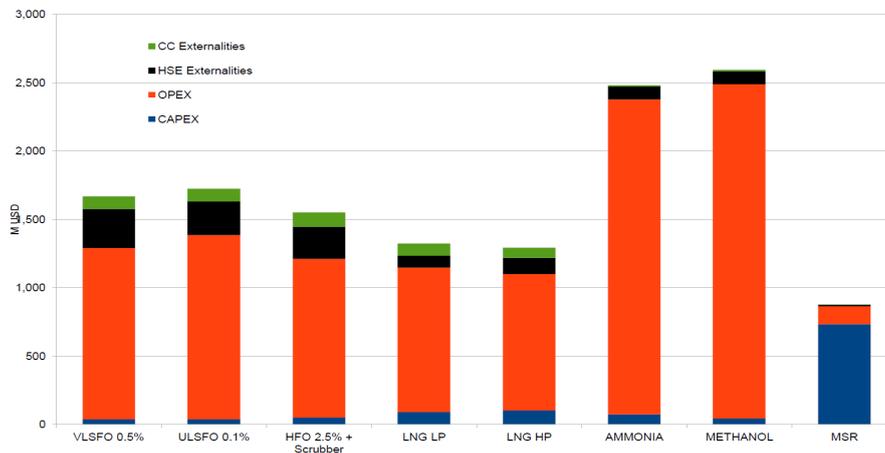


図 15 m-MSR または他の代替燃料オプションを使用した 22,000TEU 型コンテナ船のライフタイムコスト

(出典: Core Power)

3.3.15 Seaborg (デンマーク)

Seaborg も、船舶向けの熔融塩高速炉の開発を行っている。

同社の原子炉技術は「Compact MSR」と呼ばれる。しかしながら、Core Power と異なり、Seaborg の MSR は民間海洋船を対象としていない。同社のビジネスモデルは、200~800MW の動力を製造するパワーバージのシリーズ製造である。パワーバージは使用されるロケーションと離れた場所で製造される。24 年間の寿命の間、洋上で使用され、陸上電力網または水素電解装置に接続される。

2020 年、ABS は、MSR に関するフィジビリティーステートメントを発表した。100MW の MSR2 基から成る商業用プロトタイプは 2024 年に完成予定、パワーバージのシリーズ製造は 2026 年に開始される予定である。Seaborg は、韓国の造船所及び原子力産業と提携している。

3.4 欧州港湾による代替燃料インフラ供給の動向

本節では、欧州の港湾 10 か所の船用代替燃料供給インフラ構築に関する動向、港湾作業における代替燃料導入に関する動向を概説する。表 15 は、各港湾の燃料別インフラの状況である。「√」は、当該港湾が特定燃料の供給インフラを構築または計画中であることを示している。

表 15 欧州港湾の代替燃料別供給インフラの構築状況

	LNG	LPG	メタノール	水素	アンモニア	バイオ燃料	電力	原子力
ロッテルダム	√	√	√	√		√	√	
アムステルダム	√		√	√		√	√	
アントワープ	√		√	√			√	
ハンブルク	√							
ヨーテボリ	√			√		√	√	
ブレーメン/ ブレーマーハーフェン			√	√			√	
ピレウス	√							
アルヘシラス	√						√	
マルセイユ	√					√	√	
フェリクストウ				√			√	√

3.4.1 ロッテルダム港（オランダ）

欧州最大の港湾であるロッテルダム港は、液体貨物船、乾貨物船、RORO 船、コンテナ船向けの設備を提供している。2020 年の貨物取扱量は 4 億 3,700 万トンで、港湾周辺地域は多様な付加価値産業のハブとなっている。ロッテルダム港は欧州最大のバンカリング港でもある。ロッテルダム - モールダイク港産業クラスターの年間 CO₂ 排出量は、オランダ全体の約 20% に及ぶ。

ロッテルダム港湾局は、海運からの排出削減とカーボンニュートラルな産業活動の促進を積極的に進めてきた。同港の初期の活動としては、LNG バンカリングインフラの開発により、HFO から LNG への移行を推進した。現在同港が供給している代替燃料は、LPG、メタノール、バイオ燃料などである。

ロッテルダム港は、バイオ燃料プロジェクトを過去 10 年に渡って行っている。2011 年には、同港の巡視船でバイオ燃料の試験を行った。港湾局によると、現在同港の巡視船の約 3 分の 1 は、100%バイオ燃料で駆動されている。

ロッテルダム港は、停泊中の船舶の陸上電力への接続を促すために必要なインフラの整備を進めている。ロッテルダム港とロッテルダム自治体は、2020 年 10 月に停泊中の海洋船向けの陸上電力システムの共同開発プロジェクトを開始した。同プロジェクトの目的は、2030 年までに停泊中の海洋船の大部分を陸上電力に接続することである。プロジェクトでは、船種別に 8 ～10 件の陸上電力システムを開発する。同港は現在 Stena Line 及び Heerema と協力し、両社の何隻かの船舶に陸上電力を供給する設備を開発中である。

ロッテルダム港湾局は、地域港湾グループ「Walstroombartijen」を主導している。同グループには、ロッテルダム港の他に、アムステルダム、オランダ北海港、ドレヒトステーデン、アントワープ港、De Vlaamse Waterweg が参加している。グループの目的は、内陸水運及び河川クルーズ船向けに共通の陸上電力システムを構築することである。

2020 年、ロッテルダム港湾局は、Wärtsilä、Engie、ING と共同で、内陸水運のサステナブル化を目指した「ゼロエミッションサービス」(Zero Emission Services : ZES) を設立した。ZES は、CO₂、窒素、粒子状物質を排出しない 100%グリーンエネルギーの供給を目的として

いる。コンテナ型バッテリー「Zepack」は、再生可能エネルギーで充電される。バッテリーが空になれば、船舶運航者は充電ロケーションでコンテナを交換する。ZESは、2050年までに、20か所以上の係船ステーションにおいて、少なくとも400隻向けに650基のZepackシステムを供給する計画である。Zepackシステムを使用した初の船舶は、Heinekenの貨物を輸送する内陸水路船「Alpenaar」で、Alpen-den Rijn-Merdijk間を航行している。

ロッテルダム港は、産業の電力、水素、グリーン水素などへのエネルギー転換を目的とした数々のプロジェクトを実施中である。CO₂回収・貯蔵技術は、CO₂ニュートラルなブルー水素製造に利用される。グリーン電力は、オランダ国内の陸上及び洋上風力発電施設から供給される。プロジェクト例は以下の通りである。

- 港湾エリアの陸上風力タービンの能力を200MWから350MW超に拡大。
- ロッテルダム港は、Gasunie、送電システムオペレーターTenneT、Energienetとともに、「北海風力ハブ」コンソーシアムのパートナーである。同コンソーシアムは、10～15GWの風力送電ハブの段階的な設置により、オランダ、ドイツ、デンマーク、英国を接続するエネルギー網の構築を促進している。2040年までに70～150GWの送電能力を目標としている。
- ロッテルダム港は、「H-Vision」プロジェクトのパートナーである。同プロジェクトにはロッテルダム港産業エリアを中心とした16企業・組織が参加し、天然ガス及び精製所ガスから製造されるブルー水素の製造と利用に関する研究を行っている。製造過程で発生したCO₂は回収され、枯渇した北海ガス田に貯蔵、またはメタノールなど他のケミカルの製造に使用される。プロジェクトのパートナーは、Air Liquide、BP、Deltalings、Gasunie、Onyx Power、EBN、Equinor、Shell、Uniper、Royal Vopak、Exxon Mobilなどである。
- 2021年9月、ロッテルダム港湾局は、Uniperと、マースヴラクテ (Maasvlakte) にグリーン水素製造拠点を開発することで合意した。初期エンジニアリング研究では、第一段階で100MWの電解能力で年間13,000トンの水素を製造し、第二段階では500MWの電解能力で年間65,000トンの水素を製造する計画である。
- ロッテルダム港湾局とGasunieは、共同で港湾内に水素パイプライン網を構築し、2024年には運用を開始する計画である。パイプラインの最初の顧客はShellで、同社はMaasvlakte 2にグリーン水素製造工場を建設する計画を発表している。Maasvlakte 2で製造されたグリーン水素は、新パイプラインでShellのペルニス精製所に輸送される。第二の顧客としては、2025年の「H2 Fifty」プロジェクトが予定されている。同プロジェクトでは、BPとNouryonが共同で、ロッテルダムのBP精製所に250MWの電解装置を建設し、年間32,000トンのグリーン水素を製造する。
- ロッテルダム港におけるグリーン水素ハブ構築計画の一環として、Shellは、港湾内に200MWの電解装置を建造し、2023年までに1日当たり50～60トンのグリーン水素を建造する予定である。電解装置は、Shellの洋上風力発電所Hollandse Kustからの電力を使用する。
- 2021年8月、ロッテルダム港湾局は、ノルウェーのエネルギー企業Horisont Energiと、カーボンキャプチャー技術を用いて天然ガスから製造されたブルーアンモニアのノルウェーからロッテルダム港への供給に関する基本合意を締結した。この合意では、2022年にFID（最終投資計画）に合意し、ブルーアンモニアは2025年にBarents Blueプラントから輸送を開始する予定である。Barents Blueは、年間100万トンのアンモニアを製造する計画である。製造されたアンモニアは、船用燃料として利用、または分解され、主な製品として水素を生成する。

- 2021年7月、ロッテルダム港、Koole Terminals、千代田化工建設、三菱商事は、海外から商業規模の水素輸入を行い、千代田化工の SPERA 水素貯蔵・輸送システムを用いて Koole のターミナルのひとつに貯蔵する共同研究開発プロジェクトに基本合意した。千代田化工の SPERA 技術は、メチルシクロヘキサン (MCH) という液体有機水素キャリアの使用を基礎としている。千代田化工、三菱商事、三井物産、日本郵船は、2020年にブルネイから日本への MCH 輸送実験に成功した。プロジェクト研究は 2022 年末に完了予定である。プロジェクトでは、2025 年までに年間 100,000~200,000 トン、2030 年までには年間 300,000~400,000 トンの水素を輸入する計画である。
- 2021年12月初頭、ロッテルダム港は、オーストラリアにおける再生可能水素の製造・貯蔵と、ロッテルダムへの輸送に関する西オーストラリア州政府との合意を発表した。同港は、2050年までに年間 2,000 万トンの水素を取り扱い、その 90%は輸入されると予想している。
- ロッテルダム港は、Deltalings、Innovation Quarter、FME、TNO とともに、化石燃料をグリーン電力駆動のプロセスに置き換えることにより産業の電化を実現する新技術の研究と試験を行う「Fieldlab」プロジェクトに参加している。研究されるプロセスは、電気エネルギーを熱に変換 (power-to-heat)、水素に変換 (power-to-hydrogen)、ケミカルに変換 (power-to chemicals) である。
- ロッテルダム港湾局は、2019年2月に発足したオランダの「船用グリーンメタノール」プロジェクトのメンバーである。同プロジェクトでは、再生可能メタノールの船用燃料としての利用に関する研究を行っている。同プロジェクトは、Caterpillar 3508 型火花点火式高速ガスエンジンをを用いた 100%メタノールの試験に成功した。

ロッテルダム港のテナントの動向の一例としては、シンガポールのエネルギー貯蔵・ターミナルオペレーター Global Energy Storage が、2021年11月、ロッテルダム港 Stargate Terminal への投資を発表した。既存の石油ターミナルに加え、Global Energy Storage はバイオ燃料貯蔵を統合、ガス貯蔵とガスからケミカルへの変換、グリーン及びブルー水素の輸入と貯蔵、アンモニアなどの水素エネルギーキャリアの貯蔵を計画している。現在のターミナルオーナー Gunvor は、プロジェクトパートナーとして残る。

3.4.2 アムステルダム港 (オランダ)

欧州第4位の港湾であるアムステルダム港は、年間1億トン前後の貨物の取り扱いを行っている。また、同港は、バイオ産業、リサイクル、ケミカル、エネルギーなどを含む幅広い製造、プロセス産業のベースを提供している。

アムステルダム港湾局は、2030年までに欧州で最も持続可能な港湾のひとつとなることを目標としている。そのための5つの計画は以下の通りである。

- エネルギー転換と循環型経済：代替エネルギー源の開発、製造、貯蔵、輸送、及びリサイクル可能な原材料の加工。
- 環境：2025年までに CO₂ 排出量を 2015年レベルから 10%削減。
- クリーンで安全な海運：短中期的には LNG とバイオ燃料を使用し、2025年までには同港の貯蔵能力の 12.5%を代替燃料に使用する。2020年時点では 5%である。
- 作業と知識：持続可能なエネルギーに関する共同研究開発プロジェクトへの参加。

- 責任のある商業活動：2025 年までに非化石燃料ベースの収入を全収入の 65%とする。

アムステルダム港湾局は、海洋船、内陸水路船の両方に対し、LNG の利用を促進している。同港湾局は、最近、条例を改正し、ship-to-ship の LNG バンカリングを開始し、内陸水運向けの LNG バンカリングステーションをアメリカハーヴェンに設置した。また、同港は、メタノール、水素などのサステナブルなエネルギーキャリア及び水素エネルギーキャリアのバンカリングと貯蔵インフラを開発している。

アムステルダム港の既存の第二世代バイオ燃料製造・貯蔵施設に加え、IGidara Energy は、年間 87,500 トンのバイオメタノールを製造する施設を建設し、2023 年に稼働させる計画を発表した。

Bio Energy Netherlands は、バイオマスからバイオガスを製造している。当初はグリーン熱とグリーン電力製造に用いられ、将来的にはグリーン水素と CO₂ を製造する。

アムステルダム港は、船用代替燃料としての再生可能メタノールの研究を行う「オランダ船用グリーンメタノール」のメンバーである。同プロジェクトでは、Caterpillar 3508 型火花点火式エンジンと MAN 4L20/27 型プロトタイプエンジンで、100%メタノールの試験を行った。アムステルダム港は、グリーンメタノールを巡視船の燃料とする研究を行っている。

同港は、水素の製造と使用の拡大を目指し、Shell、Gasunie、Remeha、Stedion、Groningen Seaports とともに、オランダ国内におけるグリーン水素利用を促進している。同港は、Gasunie と協力し、港湾内に地域的水素供給インフラを構築する計画である。

アムステルダム港は、欧州北西部における水素駆動の水素輸送を促進する「H2SHIPS」イニシアティブに参加している。最初のプロジェクトとして、同港の巡視船「MS Havenbeheer」に水素燃料電池とバッテリーで駆動される電気駆動システムを搭載した。水素は、パウダー状の水素化ホウ素ナトリウムとして貯蔵される。同船の引き渡しは 2022 年に予定されている。

同港は、Tata Steel 及び Nouryon と共同で、Tata Steel のエイマイデン拠点に 100MW 級電解装置を建設する。

また、Gasunie、EBN、アムステルダム港、Tata Steel は、2019 年に CO₂ の回収、輸送、貯蔵、再利用に関する フィジビリティ研究を行った。研究では、CCUS (CO₂ 回収・利用・貯留) ネットワークは技術的に可能であるとの結論を得た。

その他の排出関連イニシアティブとしては、アムステルダム港は 2021~2025 年戦略で、同港に寄港するサステナブルな船舶には有利なレートを提供することによりクリーンな水上輸送を促進するとしている。また、2022 年以降は、停泊中の海洋クルーズ船及び河川クルーズ船に対し、陸上電力の利用を義務化する計画である。

ロッテルダム港と同様に、アムステルダム港は水素、蒸気、電力の供給インフラを構築し、産業ユーザー及び近隣の国内ユーザーを支援する。また、グリーン電力の大部分を北海洋上風力発電施設から調達する。同港は、洋上風力発電施設を開発し、新エネルギー貯蔵ターミナルを 2025 年にエイマイデンに開設する計画である。

3.4.3 アントワープ港（ベルギー）

欧州第 2 位の港湾であるアントワープ港は、年間約 2 億 3,100 万トンの貨物を取り扱っている（2020 年）。また、同港は欧州第 2 位のコンテナ港で、2020 年の年間貨物取扱量は約 1,200 万 TEU であった。同港のサステナビリティ戦略は、国連の SDGs (sustainable development goals) と連動している。

アントワープ港は世界最大のバンカリング港のひとつでもあり、通常年間約 500 万トンの従来型燃料を取り扱っている、2020 年は 350 万トンに減少した。LNG バンカリングも提供して

いるが、2020年時点の供給量は比較的限られており、約750トンであった。同港は、2025年までにメタノール、水素、電力などの代替燃料供給を開始する計画である。同港の「Future Fuel Port」プロジェクトでは、LPG、ジメチルエーテル、アンモニア、エタン、ギ酸などの代替燃料の開発動向に注目している。

2019年、アントワープ港は世界初の水素駆動タグボート「Hydro tug」を発注した。同船では、水素と従来型燃料のブレンド燃料が、二元燃料内燃エンジンを駆動する。同船は、燃料としてディーゼルと組み合わせて水素が使用される世界初のタグボートである。Compagnie Maritime Belgeが同船を建造中である。

2021年6月、アントワープ港は、EU助成プロジェクト「Fastwater」内の「Methatug」プロジェクトの一環として、既存タグボートをメタノール駆動に改造する計画を発表した。ベルギーのエンジニアリング企業Multiが、「Methatug」のフィジビリティ研究を行った。スウェーデンの船舶設計企業ScandiNAOSが、同船のレトロフィットに関する詳細設計とエンジニアリングを担当した。Anglo Belgium Corporationが、エンジン改造と燃料貯蔵及び配管システムを担当する。Heinzmannは、噴射装置の改造を行っている。

3.4.4 ハンブルク港（ドイツ）

ハンブルク港は欧州第3位の規模を持つ港湾である。年間貨物取扱量は約1億2,600万トンで、コンテナ850万TEUを含む。2020年には7,400隻近くが寄港した。最大級の超大型コンテナ船の入港も可能である。

ハンブルク港では、2018年以来、トラックによるLNGバンカリングを提供している。German LNG Terminal社は、ハンブルク港から3時間の距離にあるエルベ川河口のブルンスビュッテルにLNG輸入ターミナル建設の許可を申請している。ユーザーとしては、ハンブルク港に寄港するコンテナ船やクルーズ船を想定している。

LNG以外では、ハンブルク港が供給可能な代替燃料は比較的限られている。

3.4.5 ブレーメン港／ブレーマーハーフェン港（ドイツ）

ブレーメンとブレーマーハーフェンのツイン港の、2020年の貨物取扱量は6,700万トンで、コンテナ480万TEUを含む。2020年に寄港した海洋船約6,000隻のうち、40%はコンテナ船である。

両港は、海洋環境保護を促進する「Greenports Strategy」を実施している。イニシアティブのひとつ「H2Bx-MariTransGate」プログラムでは、両港をグリーン水素技術の試験エリアとする。グリーン水素技術には、メタノールや合成メタンなどの水素派生燃料を含み、電化できないアプリケーションに使用する。「H2Bx-MariTransGate」プログラムでは、以下のような多くのプロジェクトを行っている。

- HyGrid：風力及び太陽光により発電された電力と、電解装置、水素貯蔵、バッテリー電力貯蔵とのインターフェイスを持つスマートなマイクログリッドを構築。
- HyDistriTerm：電力、水素、水素エネルギーキャリアの貯蔵とディストリビューションネットワーク。
- HyShunter：水素駆動の機関車、及び機関車への水素燃料補給。
- HyShipSol：水素駆動の巡視船及びホッパーサクシオン浚渫船の試験。
- HyLiner：フェリーオペレーターWeserfähre Bremerhavenと共同で、メタノール燃料電池駆動の海洋船「Geestemünde II」を開発。
- HyFuel：船舶向けの合成メタンとメタノール燃料を製造。
- HyCompany：産業トラック向けの水素供給。

3.4.6 ピレウス港（ギリシャ）

ピレウス港は欧州で最も旅客数の多い港で、年間 1,700 万人近くの旅客が利用している。また、同港は年間約 550 万 TEU のコンテナを取り扱っている。

トラックによる LNG バンカリングは 2021 年末、船による LNG バンカリングは 2022 年に開始が予定されている。これ以外の代替燃料に関する計画は限定的である。

3.4.7 アルヘシラス港（スペイン）

スペイン最大の港であるアルヘシラス港は、年間約 1 億 700 万トンの貨物を取り扱っており、その 61%はコンテナである。同港は一般的な環境政策を持ち、サステナビリティに関する年次報告書を発表している。

アルヘシラス港は、現在、LNG バンカリング船を現代尾浦造船で建造中である。同船の引渡しは 2023 年に予定されている。

同港のテナントである APM Terminals Algeciras は、同社従業員のクリーンなモビリティを促進を目的に、2021 年、従業員駐車場に電気自動車向けの充電ポイントを設置した。APM の CEO は、地球の片隅での小さなアクションの積み重ねが、サステナブル化というグローバルな課題に大きな影響を与えると述べている。

3.4.8 マルセイユ港（フランス）

フランス最大の港であるマルセイユ港は、年間約 8,000 万トンの貨物と 300 万人の旅客を取り扱っている。同港は、「ブルー経済に寄与するグリーンな港」であるとし、以下のようなサステナビリティイニシアティブを進めている。

- 船舶に対し、排ガススクラバーの搭載または MGO の使用を奨励。
- 陸上電力接続システムの設置を推進。
- まず、トラックによる LNG バンカリングサービスを提供し、その後バージによる供給を開始。
- 港湾作業に 100%再生可能エネルギーを使用。

マルセイユ・フォス港は、フランスで初めて埠頭で船舶向けの電力供給を開始した港で、2017 年には La Méridionale のコルシカ航路のフェリー、2019 年には Corsica Linea と陸上電力接続を行った。2023 年までには完成し、北アフリカ航路の船舶が使用する予定の Cap Janet ターミナルにも、陸上電力供給網を構築する計画である。

マルセイユ港は、格納庫と倉庫の屋根に太陽光発電装置の設置を行っている。現在、同港は、国営 ENEDIS 電力網の 100%再生可能エネルギーを使用しているが、今後数年間に太陽光発電による 100%エネルギー自給を目指している。

マルセイユ港は、将来的なエネルギーオプションを研究する産業連合「Coalition for Energy of the Future」を支援している。2021 年 7 月、同連合は、マルセイユ港内のバイオ LNG 製造に関する研究を開始した。バイオ燃料は家庭ごみから製造される。TotalEnergies の「Gas Vitality」がバンカリング船として、CMA CGM の船舶にバイオ LNG を供給する。

3.4.9 フェリクストウ港（英国）

フェリクストウ港は英国最大のコンテナ港である。コンテナ取扱量は年間約 400 万 TEU で、年間約 2,000 隻が寄港している。

同港の環境戦略は、英国政府の排出戦略「CleanMaritime Plan」及び「Clean Air Strategy 2019」と連携している。排出戦略では、汚染燃料のユーザーが、エネルギー効率改善し、クリーンな代替燃料に投資、または燃料消費を削減すること奨励するための優遇税率を提唱してい

る。フェリクストウ港を所有する **Hutchinson Ports** は、ディーゼル駆動の機器を電気／バッテリー駆動ソリューションに代替し、将来的に入手可能になった場合には、グリーン水素などの技術を採用すると述べている。

今後 5 年間に排出量を 20%削減するという目標に向けて、同港はバッテリー駆動のターミナルトラクター48 台、ゼロエミッションのゴムタイヤガントリークレーン 17 基への投資を発表した。また、同港の高圧電力網のアップグレードを行う。

同港は、2022 年 1 月から、搭載されたコンテナ 1 基あたり 8.75 ポンドのグリーンエネルギー転換税を導入する。

フェリクストウ港は、クランフィールド大学、**Sizewell C** 原子力発電所、**EDF** と共同で、**Freeport East** をネットゼロ排出港及び船舶や他企業へのネットゼロエネルギーハブとする計画に関するフィジビリティ研究を行っている。このプロジェクトでは、**Freeport East** のネットゼロ化は、既存及び新たな **Sizewell** 原子力発電所からの電力を直接利用及び水素駆動の港湾機器の動力として使用することにより実現する。プロジェクトは、英国運輸省の「**Clean Maritime Demonstration Competition**」が支援を行っている。

2020 年に **British Ports Association** が発表した報告書によると、高い投資コスト、電力コスト、需要の欠如が、陸上電力利用への障害となっている。同報告書は、陸上電力プロジェクトは高コストで困難なものであり、政府の支援なしにはほぼ実現不可能であると述べている。港湾は近隣にエネルギー供給網を持たないことが多く、エネルギーシステムの規制は複雑である。同報告書は、陸上電力の促進には、補助金や優遇税率などの公的支援が必要であるとしている。

3.4.10 その他の欧州港湾

サンクト・ペテルブルグ（ロシア）の多目的深水港であるブロンカ港は、2022 年 1 月より、LNG 燃料またはハイブリッド推進システムを持つ船舶向けの港湾施設使用料の 10%割引を開始する。

3.5 欧州の燃料サプライヤーの代替燃料供給状況

本節では、代替燃料を供給する燃料サプライヤー9 社の動向を調査した。表 16 は、これらの企業の燃料別の供給状況の一覧表である。「√」は、企業が当該燃料の製造または試験を行っていることを示す。

表 16 燃料サプライヤーの代替燃料供給状況

	LNG	LPG	メタノール	水素	アンモニア	バイオ燃料	電力	原子力
Shell	√			√		√		
BP	√			√	√	√		
TotalEnergies	√			√	√	√		
Equinor	√	√		√	√	√	√	
Gasum	√					√		
Liquid Wind			√					
Titan LNG	√					√		
GoodFuels						√		
REIntegrate			√					

3.5.1 Shell Marine Fuels (オランダ/英国)

Shell は、コスト競争力の高い代替燃料として LNG を推奨しており、その 4 つの利点を以下のように述べている。

- LNG は、海運向けの燃料として利用可能であり、現時点における既存インフラの供給力も大きい。
- LNG は、従来の船用燃料油に比べ、窒素酸化物と粒子状物質の排出量が大幅に少ない。硫黄酸化物の排出も 90%以上少なく、規制を満たすレベルである。
- LNG は、使用エンジンにもよるが、従来の船用燃料油に比べ、温室効果ガス排出量が最大 23%少ない。
- LNG は、バイオ LNG として、また将来的には合成 LNG やメタン原料の使用により、さらなる脱炭素化のポテンシャルがある。

欧州においては、Shell は、バルセロナで船舶向けの LNG バンカリングを行っており、ジブラルタルでも LNG バンカリングを開始する計画である。2019 年以来、Shell は、Victrol と Sogestran の合弁会社が所有する全長 110m のバンカリングバージ「*LNG London*」を長期用船しており、主にアムステルダム港、ロッテルダム港、アントワープ港における LNG バンカリングに運用している。LNG は真空タンク 4 基で輸送され、上甲板でカバーすることにより保護されている。

Shell は、Carnival Corporation と、同社の LNG 燃料船向けの LNG バンカリング契約を締結している。

欧州において、Shell は、同社の再生可能精製プロセス (Renewable Refining Process) を使用して HVO、バイオディーゼル、バイオジェット燃料、バイオナフサ油の製造を行っている。2021 年 9 月、Shell は、サステナブルな航空燃料とバイオディーゼル供給のために、ロッテルダムで年間 82,000 トンのバイオ燃料を製造する精製所への投資決定を発表した。

また、Shell は、再生可能水素の製造にも投資しており、ロッテルダム港にグリーン水素ハブを建設中である。このプロジェクトの基礎となるのは、現在建設中の 760MW 級の *Hollandse Kust North* 洋上風力発電所である。同風力発電所が 200MW の陸上電解装置を駆動し、1 日あたり約 50~60 トンのグリーン水素を製造する。

Shell は、2021 年 6 月、REFYHNE プロジェクトの一環として、ドイツラインラントの同社エネルギー・ケミカルパークにおいて 10MW の電解装置を稼働させた。この電解装置は、年間 1,300 トンのグリーン水素を製造する。これは、2030 年までに 5 か所のコア精製所をエネルギー・ケミカルパークとして統合するという Shell のエネルギー戦略「*Powering Progress Strategy*」の第一段階である。2030 年までに、これらの精製所の従来燃料製造量を 55%削減し、低カーボン燃料の生産に切り替える。

Shell は、国際産業コンソーシアム「*NorthH2*」で、Gasunie、RWE、Equinor、Groningen Seaports と協力している。*NorthH2* の目的は、2040 年までに欧州最大のグリーン水素製造施設をオランダに建設することである。同施設は、10GW の北海洋上風力発電能力を利用し、年間 800,000 前後のグリーン水素を製造する。

3.5.2 BP Marine (英国)

BP は、IMO の 2020 年規制対応燃料の供給に焦点を当てているが、多様なバイオ燃料及び水素、アンモニア、LNG など他の低カーボン代替燃料の研究と開発を通じて海運のゼロエミッション化を支援している。同社の運航船にも代替燃料の導入を進めており、また主要港では、代替燃料市場の拡大に応じて船用顧客向けの代替燃料の供給を増加させている。

2021 年 9 月、BP と日本郵船は、海運と重工業の脱炭素化を支援するソリューション開発に

における戦略的パートナーシップに合意した。両社は、バイオ燃料、LNG、水素、アンモニアなどの船舶向けの代替燃料の開発と、重工業及び発電向けのアンモニア供給において協力を行う。

2020年2月、BPは、2050年までに石油・ガス生産の上流部門を含む同社の全オペレーションをネットゼロ化するという目標を設定した。BPのCEOは、2030年までに石油生産量を40%削減し、再生可能エネルギー生産を20倍増加させると述べている。また、低カーボン、ゼロカーボン事業への投資を増加させる。2021年の同社の資本投資の16%は低炭素ソリューションであるが、39%は石油、24%はガスへの投資である。

新エネルギーに関しては、BPの低炭素投資は、洋上風力及び太陽光発電、バイオエネルギー、ブルー及びグリーン水素を対象としている。BPは、英国では洋上風力によるグリーン水素製造、オーストラリアでは太陽光発電によるアンモニア製造を計画中である。

3.5.3 TotalEnergies Marine Fuels（フランス）

TotalEnergiesは、低硫黄燃料、MGO、LNG、バイオLNG、バイオ燃料を供給している。同社はLNGのサプライチェーンに大規模な投資を行っており、世界で10%の市場シェアを持つ世界最大の民間LNG供給企業である。

TotalEnergiesの初のLNGバンカリング船「*Gas Agility*」は、2020年にロッテルダムで稼働した。現在滬東中華造船で建造中の同社2隻目のLNGバンカリング船「*Gas Vitality*」は、2022年にマルセイユ港で稼働し、CMA CGMのコンテナ船及びMSCのクルーズ船にLNG燃料を供給する予定である。両船は商船三井の子会社が所有し、TotalEnergiesに長期用船されている。

TotalEnergiesは、将来的なエネルギーオプションを研究する国際産業連合「Coalition for Energy of the Future」のメンバーである。2021年7月、同連合は、マルセイユ港において家庭ごみからバイオLNGを製造するプロジェクトに関する研究を開始した。TotalEnergiesの「*Gas Vitality*」がバンカリング船として使用され、CMA CGM船にバイオLNGを供給する。プロジェクト参加企業・組織は、Airbus、Air Liquide、AWS、Bureau Veritas、Carrefour、Cluster Maritime Français、CMA CGM Group、Crédit Agricole CIB、ENGIE、Faurecia、Kuehne & Nagel、Michelin、PSA International、Rolls-Royce、Schneider Electric、TotalEnergies、Wärtsiläである。同連合は、海運向けの再生可能合成メタンの製造に関するプロジェクトも開始している。

TotalEnergiesは、将来の燃料としての水素とアンモニアに関する研究を行っている。同社の船用燃料担当副社長は、アンモニアは海運からの排出削減に寄与する将来的に有望な燃料であるが、安全性、技術成熟度、コストが克服すべき課題である、と述べている。

2020年7月、TotalEnergiesは、クリーン水素の大量生産における市場リーダーとなることを目指し、クリーン水素事業部門を設立した。

TotalEnergiesは、2021年6月に23企業・組織が開始した、船用代替燃料としてのアンモニアの研究を行う共同研究開発フレームワークのメンバーである。23参加企業・組織は、ABS、Anglo American、日本海事協会、DNV、Equinor、INPEX、伊藤忠商事、Fortescue Metals、Genco Shipping & Trading、JERA、川崎汽船、MAN Energy Solutions、三井E&S、日本シッピングヤード、NSユナイテッド海運、Pavilion Energy、TotalEnergies、Trafigura、宇部興産、Uniper、上野トランステック、Vale、Vopak Terminal Singaporeである。また、TotalEnergiesは、アンモニアを含む将来的燃料に関するもうひとつのプロジェクトにも参加している。同プロジェクトは、Maersk-McKinney Møller Center for Zero Carbon Shippingが管理を担当している。

TotalEnergiesは、アンモニアエネルギー協会（Ammonia Energy Association）の会員企業である。

3.5.4 Equinor (ノルウェー)

Equinor は、カーボン効率の高いエネルギー製造におけるリーダーとしての地位の強化を目指し、2026 年までに再生可能エネルギーの生産量を 10 倍増加させるというアグレッシブな戦略を進めている。同社は、2030 年までに同社のグローバルオペレーションをカーボンニュートラル化するとの目標を設定している。Equinor の目標達成に向けた計画は、同社の石油・ガス生産の脱炭素化、風力及び太陽光発電の拡大、水素や CCS（カーボン回収・貯蔵）などの低炭素化ソリューションの産業規模へ拡大などである。燃料サプライヤーとして、Equinor は、2030 年までの低炭素燃料の製造拡大、2050 年までのゼロエミッション燃料の製造拡大を目標としている。

Equinor は、自社貨物の輸送を行う用船にも、LNG、LPG、バッテリーハイブリッド、アンモニア燃料電池の導入を促進している。また、船用燃料におけるバイオ燃料の割合を引き上げ、さらにブルー及びグリーン水素とアンモニア製造を計画している。

Equinor は、ノルウェーの官民プロジェクト「Green Shipping Program」に参加し、世界でも最も効率的で環境にやさしいノルウェー海運を実現するというノルウェー政府の政策を支援している。

3.5.5 Gasum (フィンランド)

Gasum は、北欧諸国における LNG 供給のリーディング企業である。同社は、現時点で最もコスト効果の高い船用低炭素燃料は LNG と液化バイオガスであると信じている。Gasum は、2017 年以来、LNG バンカリング船「*Coralius*」を運用しており、LNG 供給インフラの建設に投資を行っている。

Gasum は、フィンランド、スウェーデン、ノルウェーにおけるバイオガスと生分解性廃棄物処理のリーディングサプライヤーである。Gasum の工場では、家庭、農業、産業廃棄物からバイオガスを製造している。同社の目標は、バイオガスの利用により、2025 年までに顧客の温室効果ガス排出量を、CO₂ 換算で 100 万トン削減することである。目標達成に向け、自社工場及び認証された欧州パートナー企業からの 4 TWh のバイオガスを生産する計画である。

2020 年 3 月、Gasum は、スウェーデンの最大手燃料企業 Preem と、同社の期間用船タンカー 2 隻「*Tern Ocean*」及び「*Thun Evolve*」に、LNG と 10%再生可能液化バイオガスの新混合油を供給することに合意した。これは、Gasum が船用顧客向けに再生可能燃料混合油を定期的に供給する初めての契約である。

3.5.6 Liquid Wind (スウェーデン)

Liquid Wind は、大口投資家に安定した長期投資の機会を提供する、商業規模の e メタノール施設の開発、投資、建設、管理を目的に設立されたスウェーデン企業である。同社は合成メタノール、即ち e メタノールを、グリーン水素及び大気中で回収された CO₂ から製造する。

Liquid Wind は、現在スウェーデン北東部エルンシェルツビク (Örnsköldsvik) に建造予定の最初の商業スケールのメタノール製造施設の設計を行っている。2021 年 6 月、同社はこの e メタノール製造施設開発のための株式投資による 400 万ユーロを調達した。同施設のパートナー企業は、Alfa Laval、Carbon Clean、Falkor、Haldor Topsoe、Siemens Energy、Uniper などである。同社は、2022 年に投資の最終決定を行い、2024 年にはメタノール製造を開始する計画である。さらに、2030 年までにさらに 9 か所の商業スケールの製造施設の建設を計画している。

3.5.7 Titan LNG (オランダ)

Titan LNG は、欧州の大手 LNG サプライヤーである。同社は、LNG が今後数 10 年間のエネルギー転換に最良で不可欠な輸送燃料であると信じている。同社はバイオ LNG も供給している。

同社は、欧州でも最も活動的に LNG バンカリングを行っている企業のひとつで、アムステルダム、ロッテルダム、アントワープで LNG バンカリングサービスを提供している。同社は、欧州北西部で最初に稼働した LNG バンカリングバージ「*Titan LNG FlexFueller*」2 隻を設計、建造した。同バンカリングバージシリーズの 1 隻はゼーブルッヘ港、もう 1 隻はリュウベック港で稼働している。同社は、もう 1 隻のバンカリングバージ「*Titan Hyperion*」及びバンカリング船「*Titan Krios*」を発注済みである。「*Titan Krios*」は、ゼーブルッヘ港及びイギリス海峡沿いの港湾でバンカリングサービスを提供する予定である。

また、同社はバンカリング船の長期用船も行っており、2021 年には日本郵船の「*Green Zeebrugge*」をチャーターした。

3.5.8 GoodFuels (オランダ)

GoodFuels は、サステナブルなバイオ燃料の大手製造企業である。使用済み食用油、動物性脂肪廃棄物から製造されたバイオ燃料は、エンジンや燃料インフラの変更をせずに、既存の船用燃料油の代替または混合油として使用可能である。GoodFuels は、2015 年に世界初のサステナブルな船用バイオ燃料を市場化した。

近年、同社のバイオ燃料を使用、または試験を行った企業の例は以下の通りである。

- Unifeeder は、2021 年 10 月、ロッテルダム港においてコンテナ船「*Elsummer*」に、初めてバイオ燃料バンカリングを行った。
- Stolt Tankers が運航する Tufton 所有のケミカルタンカー「*Monax*」は、2021 年に欧州北部からカナダへの航海を 100%バイオ燃料で行った
- Berge Bulk は、2021 年 7 月、ロッテルダムにおいて、181,000DWT 型ばら積み船「*Berge Tsurugi*」でバイオ燃料の試験を完了し、使用継続することを決定した。
- 商船三井の子会社 Euro Maritime Logistics は、2021 年 4 月、自動車船「*City of Oslo*」でバイオ燃料を使用した試験航海を実施し、使用継続を決定した。
- BHP と Oldendorff Car Carriers は、2021 年 4 月、シンガポールでばら積み船「*Kira Oldendorff*」に GoodFuels のバイオ燃料をバンカリングし、初回試験を完了した。
- Höegh Autoliners の自動車船「*Höegh Tigger*」は、2021 年 3 月、GoodFuels のバイオ燃料を用いて初のカーボンニュートラル航海を完了した。
- Ocean Network Express は、2021 年 2 月、「*MOL Experience*」の欧州から米国への航海で、GoodFuels の燃料と従来型化石燃料の混合油の試験を行った。
- Volkswagen は、2020 年 11 月、化石燃料を使用しない自動車輸送に、GoodFuels の 100%バイオ燃料を選んだ。バイオ燃料のバンカリングを受けた船舶は、Depth Ro-Ro 社の RORO 船「*Patara*」で、ドイツからアイルランド、スペイン、ポルトガルへの航海を行った。
- Stena Bulk は、2020 年 6 月、49,646DWT 型スエズマックスタンカー「*Stena Immortal*」で、HFO に相当するバイオ燃料 BFO の試験を行った。
- 2020 年 6 月、Jan de Nul、MAN Energy Solutions、GoodFuels は、ホッパー浚渫船「*Alexander von Humboldt*」で、100%BFO を使用した 2,000 時間の運転試験を完了した。

- 短距離 RORO オペレーター UECC は、2020 年 3 月、RORO 船「Autosky」のベルギーからスペインへの航海で 3 か月間のバイオ燃料使用試験を完了した。

GoodFuels によると、「油井から排気まで」(well-to-exhaust) の CO₂ 排出量を、同等の化石燃料と比較して 80~90%削減する。

3.5.9 REIntegrate/European Fuels (デンマーク)

REIntegrate は、オールボー大学のスピンオフ企業として 2018 年に設立され、2020 年にデンマーク再生可能エネルギー企業 European Energy の子会社となった。

2021 年 8 月、REIntegrate と European Energy は、デンマークに年間 10,000 トンの合成/e メタノールを製造する工場を設立する計画を共同発表した。燃料製造は 2023 年に開始する。メタノールは太陽光発電による再生可能エネルギーを用いて製造され、バイオ廃棄物からの CO₂ を用いて合成/e メタノールを製造する。製造された燃料は、Maersk のメタノール駆動コンテナ船に供給される。新施設は、REIntegrate の 3 か所目の施設となる。同社はオールボーに試験設備を持ち、また 2022 年にはスキューベ (Skive) にグリーン e メタノール施設を開設する。

3.6 欧州の大学、研究機関、船級協会の船用代替燃料開発の動向

本節では、欧州の様々な大学、研究機関、船級協会による船用代替燃料の開発状況を調査した。表 17 は、調査対象となった 12 企業・組織の燃料別研究状況である。「√」は、企業・組織が当該燃料を使用、または研究を行っていることを示す。各企業・組織の詳細は後述する。

表 17 欧州の大学、研究機関、船級協会の船用代替燃料開発状況

	LNG	LPG	メタノール	水素	アンモニア	バイオ燃料	電力	原子力
Maersk Mc-Kinney Møller Center	√		√	√	√	√		
UMAS			√	√	√	√	√	
コペンハーゲン 大学						√		
MARIN			√	√	√		√	
TU Delft	√			√				
サウサンプトン 大学				√	√		√	
NTNU	√	√	√	√	√	√	√	
SINTEF				√	√	√	√	
CEA	√		√	√	√	√	√	√
DNV	√	√	√	√	√	√	√	√
BV	√	√	√	√	√	√	√	√
Lloyds Register	√	√	√	√	√	√	√	√
RINA	√	√	√	√	√	√	√	

3.6.1 Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping（デンマーク）

Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping は、海運のネットゼロカーボン化への迅速な移行を支援する非営利独立系研究開発機関である。

2020年6月にA.P. Moeller Foundationが開設した同センターの課題を設定、資金と人材を提供する戦略的パートナーはMaersk、American Bureau of Shipping、Alfa Laval、BP、Cargill、Haldor Topsoe、John Swire、MAN Energy Solutions、三菱重工業、三井物産、Norden、日本郵船、Seaspan、Siemens Energy、Stolt Tankers、TotalEnergiesなどである。また、同センターの知識パートナーは、Boston Consulting Group、Danske Rederier、米国Environmental Defense Fund、McKinsey、英国Royal Institute of Naval Architects、英国海事沿岸警備庁、V. Groupなどである。

2021年10月、同センターは、「海運産業の転換戦略」報告書を発表した。同報告書では、現在の状況では、2050年までに海運のGHG排出量は現在よりも20%増加し、船主が目標通りに脱炭素化を進めた場合でも、2050年までにネットゼロ化するのは世界の海上輸送の22%に過ぎない、と指摘している。また、脱炭素化のリーダーとなっているのはコンテナ船セグメントで、タンカーとばら積み船セグメントの努力は断片的であるとしている。問題点としては、規制が整備されていない状況で新技術を採用する企業には財政的リスクが伴うこと、現在従来燃料よりも高い代替燃料の導入への躊躇などを挙げている。

燃料の選択に関しては、同センターは、現在の状況では、2050年までのグローバルな船用燃料は、LSFOとLNGが大部分を占めることになるとしている。カーボン税が導入されない場合、化石燃料は現在及び2050年でも最もコスト効果の高いエネルギーキャリアである。同センターの戦略では、短中期的には、大部分の代替エネルギーキャリアの製造コストは、従来型燃料の2～8倍であるとしている。

表18は、電力と原子力を除いた各種代替燃料の現状と課題に関する同センターの見方である。

表 18 脱炭素化に向けた代替燃料の現状

エネルギーキャリア	原料の供給量	燃料の製造	燃料の貯蔵、ロジスティクス、バンカリング	船用燃料の貯蔵、転換、排出制御	燃料の安全性、管理（有毒性、可燃性、爆発性）	規制
化石燃料						
e 水素						
ブルー水素						
e アンモニア						
ブルーアンモニア						
e メタノール						
バイオメタノール						
e メタン						
バイオメタン						
バイオオイル						

技術的に成熟／実績がある	
ソリューションを特定済み	
大きな課題がある	

（出典: The Maersk Mc-Kinney Møller Centerfor Zero Carbon Shipping Industry Transition Strategy）

同センターの戦略報告書は、製造コストの低さと技術成熟度から、バイオオイル、バイオメタン、バイオメタノールが現時点で新規導入が容易な燃料であるとしている。長期的には、安全性と環境性の問題が解決された場合には、e アンモニアは最も安価に製造できる e 燃料で、製造の拡大も容易である。また、ブルーアンモニアは、移行期の燃料として重要である。

同報告書は、2050 年までに海運がゼロカーボン排出を達成するためには、以下の 5 点の政策が必要であると強調している。

- 代替燃料製造の拡大とコスト削減のためには、陸上における代替エネルギー及び燃料の促進が必要である。
- 新造船への代替燃料とエネルギー効率化技術の導入が必要である。
- 顧客のゼロカーボン海運への出費の覚悟が必要である。コンテナ船セグメントでは、顧客の理解が高まっているが、ばら積み船とタンカーセグメントでは、依然として価格が最も重要な購買理由となっている。
- ゼロカーボン船に従来船よりも低金利の融資を提供することにより、金融セクターはゼロカーボン海運を促進することができる。
- 代替燃料と従来型化石燃料のギャップを埋めるためには、政策と規制が最も重要な要因となっている。代替燃料や新技術の早期導入者を支援するために、公平な市場環境と規制環境を整備する必要がある。

市場ベースのソリューションとして、同センターはカーボン税導入を支持しており、カーボン税に代わるいくつかの手法を提案している。その例としては、2025 年から CO₂ 排出量 1 トンにつき 250 ドルのグローバル税を導入することを提案している。他の方策に加え、この手法は燃料コストのギャップを縮小し、2050 年までのネットゼロ海運実現を支援する。

同センターは、2030 年以前には平均して 3 分の 1 以下の海運顧客のみが代替燃料使用による輸

送コストの10%以下のプレミアムを支払うことに同意する、と推測している。

同センターは、船主、技術企業、顧客、港湾、燃料プロバイダーによる実証実験や共同開発プロジェクトを通じて新燃料や技術の早期導入を支援する計画である。また、パリ協定の2°C目標よりも低い、産業革命以前からの気温上昇1.5°Cという目標達成のため、代替燃料の供給と既存船へのレトロフィット方法などへの要求に関する2回目の研究を計画している。

3.6.2 University Maritime Advisory Services (英国)

University Maritime Advisory Services (UMAS) は、ユニバーシティーカレッジロンドンの海運チームの専門性を活かした商業的アドバイザリーサービスである。UMAS は、IMO、EU 欧州委員会、世界銀行、Intertanko、英国運輸省、海運会社、用船者、船舶金融企業などへのサービス提供実績がある。

2021年10月、UMAS は、「Getting to Zero Coalition」に対し、「ゼロエミッション海運への転換戦略」報告書を提出した。その要点は以下の通りである。

- 現在の政策フレームワークは、必要なエネルギー転換の実現には不十分である。同報告書では、排出削減、効率向上、ゼロカーボン燃料の製造、化石燃料供給のフェイズアウトなどに向けた15の短中期及び長期的な政策を提案している。
- 海運のエネルギー転換は IMO だけの責任ではなく、国、地域、産業によるアクションが要求される。同報告書では、ゼロカーボン燃料を促進するための10件の公的及び民間のイニシアティブ、及び需要側からのゼロカーボン燃料促進のための10件のアクションを提案している。
- 海運のエネルギー転換を決定する要因のひとつは、陸上における代替燃料供給拡大のスピードである。水素及び水素ベースの燃料への需要増加は、製造拡大とコスト低下につながる。一方、バイオマス原料の供給量は限られており、需要増加はコスト上昇につながる。同報告書では、エネルギー転換のピーク時のゼロカーボン燃料の年間需要を満たすためには、45GWの再生可能エネルギー能力が必要であると予測している。さらに、代替燃料導入のためにレトロフィットが必要な既存船数は、新造船数とほぼ同レベルとなる。新造船は将来的にゼロカーボン燃料に対応する設計、またはレトロフィットが容易な設計を採用しなければならない。
- ゼロカーボン燃料は、2030年までに海運の総需要の5~10%を満たす。水素ベースのゼロカーボン燃料が最も適しているセグメントは、旅客・車両フェリー、コンテナ船、タンカー、ばら積み船である。同報告書は、ゼロカーボン燃料の早期導入者に対するインセンティブ提供を提案している。また、初期開発段階から市場化までの代替燃料の利用に関する11件のハイレベルな公的及び民間企業のアクションを提案している。

2021年4月、世界銀行は、UMASの研究をベースとした海運脱炭素化への機会に関する数件の報告書を発表した。報告書は、海運産業は化石ベースのバンカー燃料の使用を放棄し、ゼロカーボン燃料を採用しなければならないと結論付けている。さらに、アンモニアと水素が現時点で最も有望な船用ゼロカーボン燃料であり、バイオ燃料や合成カーボン燃料よりも生産拡大が容易でコスト競争力があると述べている。海運脱炭素化へのLNG燃料の役割は限定的で、世界の国々はバンカー燃料としてのLNGを支援する新たな公的政策を打ち出すべきではなく、また既存政策を見直し、メタン排出を規制するべきである、と述べている。世界銀行はこのような調査結果により、IMO海洋環境保護委員会(MEPC)の将来的な燃料としてのLNG振興政策に反対している。同報告書は、LNG燃料推進者の批判を受けている。

2020年、UMASは、「ゼロエミッション船：移行への経路」と題された数件の報告書でLloyds Registerに協力した。ゼロカーボン燃料に関する報告書では、グリーン及びブルー水素、アンモニア、メタノール、バイオガス、及び最終的なエネルギーキャリアとしての電力の製造、輸送、船内貯蔵に関する課題を調査した。図16は、UMASによる、2030年、2040年、2050年時点におけるゼロカーボン燃料と従来型燃料の「Well to Tank」のコストの予想である。従来型燃料のコストは2050年まで上昇を続けるが、グリーン及びブルー燃料のコストは生産拡大に従って低下する。同調査によると、グリーン水素（図16ではgreen H2）は最も低い「Well to Tank」のコストとなる。

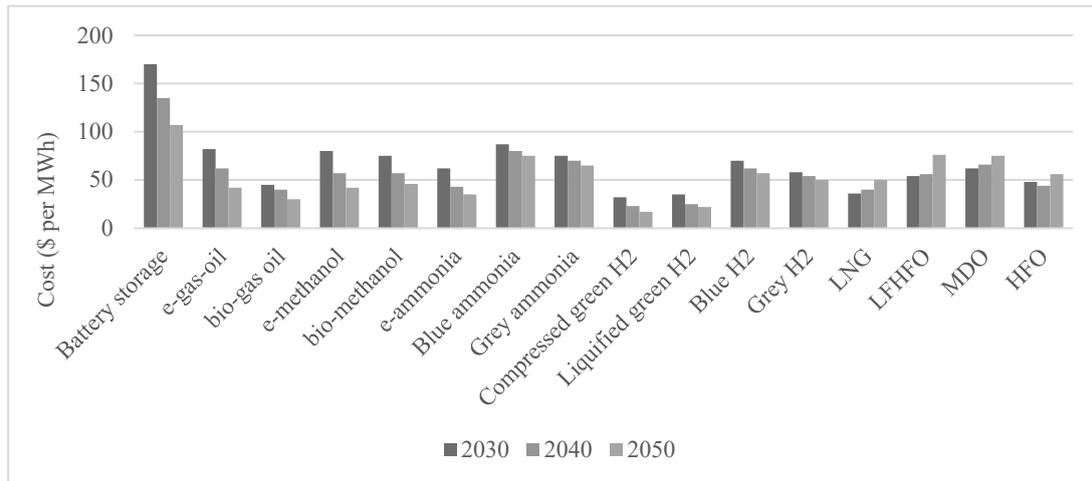


図16 ゼロカーボン燃料の「Well to Tank」(Well-to-Tank)のコスト予測

(出典: Fuel Production Cost Estimates and Assumptions, Lloyd's Register and UMAS)

さらに、UMASは、ゼロカーボン燃料の船舶への投資額や運航コストへの影響に関する研究を行った。「ゼロエミッション船」報告書で船主調査を行った結果、船主は、CO₂1トンにつき50ドル程度のカーボン価格、また新造船への投資額が大幅に上昇しなければ許容できるとしている。UMASは、ばら積み船、コンテナ船、タンカー、クルーズ船、ROPAX船の内燃エンジン、燃料電池、バッテリーなど幅広いエネルギー転換オプションを調査した。調査対象となったエネルギーキャリアは、グリーン電力、グリーン水素、グリーンアンモニアである。燃料別の調査結果は以下の通りである。

- 第二世代バイオ燃料は、投資額及び燃料コストへの影響が少ないため、最も魅力的なゼロエミッション燃料のオプションである。しかしながら、食品製造などのベーシックな需要との競争を避けるため、第二世代バイオ燃料のサステナビリティ認証が必要である。バイオ燃料の供給量は限られており、需要が増加すれば価格は上昇する。
- 水素、アンモニアなどの合成燃料/e燃料は、中長距離海運向けには、燃料電池よりも内燃エンジンへの使用において競争力を持つ。合成燃料/e燃料は、燃料電池よりも効率は低いが、内燃エンジンによる推進システムのコストの低さから、全体的なコスト競争力が増す。燃料電池はエネルギー密度の低さから多くのスペースを必要とするため貨物スペースが縮小し、また投資額も高い。燃料電池は、バンカリング基地の間隔が短い場合、または短距離海運には魅力的なオプションとなる。ア

アンモニアは、内燃エンジンに利用された場合には、船内貯蔵コストが高い水素よりも、比較的成本の低いオプションである。

- バッテリーは、中長距離海運にはコスト競争力がないが、フェリーなどの短距離海運には理想的なオプションである。

3.6.3 コペンハーゲン大学科学学部（デンマーク）

コペンハーゲン大学は、第二世代バイオ燃料であるリグニンエタノールオイル（LEO）の生産拡大に関する研究プロジェクトを実施した。

LEO は、最大 40%のリグニンをエタノールに溶解させることで製造される。リグニンは、リグノセルロースエタノールとパルプ、製紙工程の副産物である。現在、リグニンは、蒸気や電力製造のために焼却されることが多い。LEO のエネルギー密度は 1kg あたり約 30 メガジュールで、液体ガス噴射型船用ディーゼルエンジンに直接使用することができる。エンハンサーを加えることにより、LEO は船用ディーゼルエンジンを改造せずに使用できる。

コペンハーゲン大学は、Maersk、Wallenius Wilhelmsen、BMW、H&M、Levi's、Marks & Spencer によるグローバル海運への LEO 利用に関するフィジビリティ試験を支援している。

3.6.4 MARIN（オランダ）

オランダ海事研究所 MARIN (Maritime Research Institute Netherlands) は、海事セクターと政府向けに流体力学及び航海に関する研究を行っている。

2019 年、MARIN は、オランダ防衛省向けに補助艦の排出を削減する代替燃料と動力システムの研究を行った。研究対象となった補助艦は、2~3 週間のミッション期間を持つ。MARIN は、基本燃料としての MDO と比較した場合の水素、メタノール、アンモニア、ジメチルエーテル、電力などのエネルギーキャリアの特性を調査した。MARIN は、MDO、ジメチルエーテル、メタノール、アンモニアで駆動される内燃エンジン、水素とメタノール燃料電池、バッテリー貯蔵電力などのエネルギー転換オプションを調査した。その結果、調査対象となった補給艦には、メタノール焚き内燃エンジンによる動力供給が、CO₂ の 70%削減を満たす最もコスト競争力の高いソリューションであると結論付けた。設備投資は、MDO 焚きの場合と比較して 10%の上昇と算出された。

「SH2IPDRIVE」は、サステナブルな舶用水素アプリケーションを促進するオランダ企業 25 社のコンソーシアムである。2021 年 12 月、同コンソーシアムは、水素駆動船の実用化のためにオランダ政府からの補助金 2,240 万ユーロを確保した。コンソーシアムの 8 件の研究作業のうち、MARIN は、データ収集とシステム実証の研究を主導する。

3.6.5 TU Delft（オランダ）

オランダ最大の工科大学である TU Delft (デルフト工科大学) は、長年にわたり、多様なエネルギーキャリアとエネルギー転換に関する研究を行ってきた。

TU Delft は、船用燃料としての水素を燃料電池に貯蔵する方法に関する研究を行っている。

TU Delft は、水素化ホウ素ナトリウム (NaBH₄) の水素エネルギーキャリアとしての使用を目指した「H₂Fuel-Systems BV」プロジェクトのメンバーである。水素化ホウ素ナトリウムは、洗濯用粉石けんの成分としてなじみがあり、通常大気で粉末として貯蔵される。浄水及び触媒と反応した場合、水素化ホウ素ナトリウムは、技術的に可能な水素の 95%以上を粉末から取り出し、処理水からも水素をリリースする。H₂Fuel システムは、短距離船の燃料電池、及び海洋船の内燃エンジンへの直接水素噴射用に適用可能である。同技術は未だ開発の初期段階にあるが、水素貯蔵の課題解決のための手法となり得る。

同大学は、欧州北西部における水素駆動の水上輸送を目指すアムステルダム港の研究開発イニシアティブ「H2SHIPS」に参加している。H2SHIPS 内の最初のプロジェクトは、同港の実証船「*MS Havenbeheer*」の電気駆動システムに水素燃料電池とバッテリーを搭載することである。水素は、粉末状の水素化ホウ素ナトリウムに貯蔵される。同船は 2022 年の引き渡しが予定されている。

サステナブルな船用水素アプリケーションの開発を行う「SH2IPDRIVE」コンソーシアムの 8 件の研究作業のうち、TU Delft は、水素燃料キャリアの研究を主導し、データ収集とシステム実証作業では MARIN の支援を行っている。

TU Delft は、15 企業・組織が実施中の EU の共同研究開発プロジェクト「NAUTILUS」(Nautical Integrated Hybrid Energy System : 船用統合ハイブリッドエネルギーシステム)に参加している。同プロジェクトの長期的目標は、LNG を燃料源とする燃料電池 (SOFC) で大型クルーズ船を駆動することである。プロジェクトの実施期間は 2020~2024 年である。15 企業・組織は、Chantiers de l'Atlantique、Meyer Werft、MAN Energy Solutions、Lloyds' Register、及びスイス、ドイツ、オランダ、フィンランド、スウェーデンの研究機関である。TU Delft は、国際エネルギー機関 (IEA) の水素と燃料電池の海運への利用ノウハウの開発を行う 4 年間プロジェクト「Task 39」のパートナーであった。同プロジェクトは 2021 年 10 月に完了した。

3.6.6 サウサンプトン大学 (英国)

Shell との提携により 2019 年に設立されたサウサンプトン大学海事研究所「Center for Maritime Futures」は、海運のエネルギー転換に関する研究開発を行っている。同センターは、完全電気駆動の海洋船の燃料としての水素及びアンモニアの研究を行ってきた。その他実施中の研究開発プロジェクトには、液体水素貯蔵用のステンレスタンクの利用、大型商船向けのカーボン回収・貯蔵システムなどがある。

サウサンプトン大学は、国際エネルギー機関 (IEA) の水素と燃料電池の海運への利用ノウハウの開発を行う 4 年間プロジェクト「Task 39」のパートナーであった。同プロジェクトは 2021 年 10 月に完了した。また、英国運輸省の「Clean Maritime Demonstration Competition」内の、アンモニアベースの燃料電池を Ocean Infinity の「*Armada*」船隊に搭載し、試験を行うプロジェクトにも参加している。同プロジェクトでは、オクスフォード大学と Oxford Green Innotech がパートナーとなっている。

3.6.7 NTNU (ノルウェー)

ノルウェーを代表する科学工科大学である NTNU (The Norwegian University of Science and Technology) は、船用代替燃料の研究を実施している。

NTNU は、国際エネルギー機関 (IEA) の水素と燃料電池の海運への利用ノウハウの開発を行う 4 年間プロジェクト「Task 39」のタスクリーダーであった。2021 年 10 月、NTNU はその報告書で、プロジェクトの成果を概説し、水素は、短距離船、海洋船の両方に適した、サステナブルな低カーボン燃料、将来のゼロエミッション燃料であると強調している。また、水素燃料駆動船の本格的な実用化に向けた十分な知識を得るために、さらなる大規模な実証試験が必要であると述べている。燃料電池及び電気推進のオプションとしては、主機としての内燃エンジンと補機としての燃料電池の組み合わせ、ベースロード動力としての固体酸化物形燃料電池 (SOFC) と変動負荷用の PEMFC の組み合わせ、SOFC と蒸気またはガスタービンの組み合わせなどの研究を行った。

同大学は、ノルウェー海運のグリーン化を支援し、2025 年までにノルウェーを世界一の環境にやさしい海事クラスターとすることを目指した「SFI Smart Maritime」プロジェクトに参加

している。プロジェクトの研究パッケージのひとつは、LNG、LPG、メタノール、バイオ燃料、水素などの代替燃料、及び燃料電池、バッテリーなどのエネルギーコンバーターの研究である。NTNUの研究パートナーは SINTEF Ocean である。プロジェクトの産業パートナーは、ABB、Bergen Engines、Hav Design、Jotun、Norwegian Electric Systems、Kongsberg Maritime、Siemens Energy、Card Design、Wärtsilä MOSS、Grieg Star、KGJS、Solvang、Wallenius Wilhelmsen、Höegh Autoliners、Torvald Klavness、Bergesen Worldwide Odjfell、DNV である。

3.6.8 SINTEF（ノルウェー）

SINTEF は欧州最大の独立系研究機関のひとつで、公共部門及び民間部門向けの研究開発活動を行っている。SINTEF は、NTNU と提携し、ノルウェーの研究システムの要となっている。この提携は、長期研究センター約 30 か所、200 か所に及ぶ実験室と機器の共同利用を含む。SINTEF Energy Research を通じ、SINTEF は、バッテリーシステム、バイオ燃料、水素、エネルギー効率、ゼロエミッション輸送などの研究開発を行っている。

SINTEF が実施した船用燃料プロジェクトには、以下のような例がある。

- 「LH₂ Pioneer」は、液体水素の長距離輸送のための 40,000~45,000 m³型液体水素貨物タンクの概念設計を開発するプロジェクトである。SINTEF と NTNU がプロジェクトを主導し、Equinor、Gassco、Air Liquide が産業パートナーである。
- SINTEF と NTNU は、漁業及び養殖業からの排出量を 2030 年までに 50%削減するために、既存及び新造漁船のゼロエミッション化に向けた実証実験を行う「ZeroKyst」プロジェクトに参加している。計画では、再生可能電力でバッテリー貯蔵システムと水素燃料電池を駆動する。同時に、バッテリーと燃料電池のサプライチェーンとバンカリングインフラも開発する。
- 2021 年 9 月、グリーン船用燃料としてのアンモニアの研究を行う「アンモニア燃料バンカリングネットワーク」プロジェクトが、政府補助金を確保した。SINTEF は、アンモニア駆動エンジン及び燃料電池の研究を主導している。Azane Fuel Solutions は、船用アンモニア燃料バンカリングネットワークを開発し、実証試験を行う。他のプロジェクトパートナーは、Yara、Fjord Base、Global Ocean Technology、Viridis Bulk Carriers、HYEX Safety、Arena Ocean Hyway Cluster である。
- SINTEF は、アンモニア燃焼過程からの廃熱を、未燃焼のアンモニアの部分的分解に利用する研究を行っている。アンモニアは点火が難しく、燃焼性も悪い。SINTEF の研究によると、燃料としての純粋な水素は、内燃エンジンでは反応が高すぎ、また点火が早すぎる。アンモニアは点火するが、燃焼速度が遅すぎる。SINTEF によると、どちらの燃料も内燃エンジンには適していないが、船用エンジンからの廃熱を利用して、船内でアンモニアを部分的に分解し、アンモニア、水素、窒素の混合燃料を製造する。SINTEF は、既存船のエンジンを調整し、カーボンフリーの混合燃料を使用することは可能であると述べている。
- SINTEF と NTNU は、リグニンセルロース由来の第二世代バイオ燃料と水生バイオマス由来の第三世代バイオ燃料に関する多様な研究開発を行っている。これらの代替燃料は主に航空機向けであるが、船舶にも適用可能である。SINTEF は、食品製造業との原料獲得競争のため、第一世代バイオ燃料の研究は行っていない。
- SINTEF は、船舶向けのスタンドアロン動力として、また、化石燃料焚き内燃エンジンに統合されたハイブリッド動力システムとしてのバッテリーと燃料電池の開発用に実験室試験設備を提供している。

NTNU と SINTEF に加え、プロジェクトパートナーは、Roll-Royce Bergen Engines、Vard Design AS、Havyard、Norwegian Electric Systems、ABB、Siemens、Jotun、Wärtsilä、Moss、WWL、Solvang、Grieg Star、KGJ Skipsrederi、DNV、ノルウェー船主協会、ノルウェー海事局、沿岸海運協会 Kystrederiene である。

3.6.9 CEA (フランス)

フランス代替エネルギー・原子力庁 (CEA) は、公共の科学、技術、産業研究を行う機関である。CEA は、低炭素エネルギー、防衛とセキュリティ、産業向け技術基礎研究、ライフサイエンスの 4 つの分野における研究開発を行っている。低炭素エネルギー分野の研究対象は、バッテリー、バイオマス、水素製造と貯蔵、太陽光技術などがある。CEA は、グルノーブル拠点において、プロトン交換膜形燃料電池技術の開発、試験、実証を行っている。

CEA-Liten は、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 技術の特許を持つ。2019 年に開始されたフランス政府助成の 5 年間プロジェクト「PACBOAT」では、CEA の SOFC 技術が、実証試験のために Chantiers de l'Atlantique が建造した MSC の新造クルーズ船「*World Europa*」に搭載された。試験が成功した場合には、同燃料電池は他の *World* クラスクルーズ船にも搭載される。SOFC 技術は、メタン、メタノール、水素、アンモニアなどによる駆動が可能であるという燃料柔軟性から選ばれた。高温 SOFC が製造する熱は、回収され、船内の温水製造などへの利用も可能である。CEA-Liten は、次の段階として、さらに高出力の燃料電池の開発を計画している。

CEA は、フランスの発電向け及び産業向けの原子力技術の研究を主導している。CEA の主な研究の焦点は、ナトリウム冷却高速炉技術である。現在、CEA の船舶向けの原子力プロジェクトは非公開であるが、将来的には原子力の船用利用の可能性があると予想される。

3.6.10 DNV (ノルウェー)

DNV は、オンラインツール「Alternative Fuels Insights Platform」(AFI) を開発した。AFI は、代替燃料のインフラが利用可能、または開発中、計画中かを表示し、また、どこで代替燃料使用船が運航しているかを示すインターアクティブデータプラットフォームである。AFI は、LNG、LPG、メタノール、アンモニア、陸上電力接続、エネルギー貯蔵システムの他、スクラバーを搭載した従来燃料駆動船の情報をカバーしている。同プラットフォームには、Shell、Alfa Laval、Yara Marine Technologies、Wärtsilä、WinGD、Caterpillar、Sea-LNG、Clean Marine、GTT が共同出資を行っている。プラットフォームからは月間サマリーレポートも利用可能である。

DNV は同社の「Energy Transition Outlook 2021」報告書で、現在及び将来的な代替燃料の使用に関する調査を行った。主な調査結果は以下の通りである。

- 発注済みの新造船の 12% 近くは代替燃料システムを搭載している。電化されたフェリー以外では、LNG が新造船の独占的な代替燃料である。
- 現在進行中の水素及びアンモニアの実証プロジェクトは、今後 4~8 年間に同燃料の商業利用への基礎となる。
- メタノールは、水素とアンモニアよりも技術的に進化しており、既に商業利用も始まっている。
- 全種類の燃料のエネルギーコンバーターとしての燃料電池技術は、内燃エンジンに比べて未熟である。
- 水素とアンモニアが将来的な燃料となるためには、安全性に関する規制とガイドラインが必要である

- 燃料柔軟性のある船舶と機器は、不確実性と資産リスクを軽減するための有効な手段である。
- 海運向けに十分な電力燃料を供給するために、太陽光発電能力は 2050 年までに 8,000GW に達する可能性がある。
- 海運向けに十分なブルー燃料を供給するためには、年間 7 億 5,000 万トンのカーボン回収・貯蔵能力が必要となる。

DNV は同社の 2050 年までの予測「Maritime Forecast to 2050」で、燃料柔軟性による船内燃料タンクへの影響に言及している。表 19 は、現在 LNG 燃料を使用し、将来的にはアンモニアを使用する船主向けの DNV の意見の要約である。

表 19 LNG 燃料タンクのアンモニア燃料への互換性

量	タンクの種類	LNG 燃料	アンモニアと LNG
少	円筒形真空 C 型タンク	ステンレス鋼	LNG に適したマテリアル
中	円筒形／バイロブ型 C 型タンク	9% ニッケル鋼	アンモニアに不適応なマテリアル
中	円筒形／バイロブ型 C 型タンク	ステンレス鋼	アンモニアに適したマテリアル
中	プリズム型 B 型タンク	9%ニッケル鋼	アンモニアに不適応なマテリアル
中	プリズム型 B 型タンク	ステンレス鋼	アンモニアに適したマテリアル
中	プリズム型 B 型タンク	アルミニウム	アンモニア向けに認定されていないマテリアル
中	プリズム型 B 型タンク	高マンガン鋼	アンモニア向けに認定されていないマテリアル
中	プリズム型メンブレンタンク	ステンレス鋼	アンモニア向けに認定されていないタンク形状
中	プリズム型メンブレンタンク	インバー（ニッケル・鉄合金）	アンモニア向けに認定されていないタンク形状

	適応
	通常 LNG に推奨されない
	不適応
	アンモニア向けに認定されていないマテリアルまたはタンク

(出典: DNV)

DNV は技術進歩に関する報告書「Technology Progress Report」、及びエネルギー報告書「Energy Transition Outlook 2021」で、原子力の核分裂技術及び融解技術の船用アプリケーションに関する調査を行っている。主な調査結果は以下の通りである。

- 国際原子力機関 (IAEA) によると、現在世界で約 70 種類の小型モジュール炉 (small modular reactor : SMR) 核分裂設計 が開発中で、うち 6 種類は船舶向けである。DNV は、 熔融塩炉 (molten salt reactor : MSR) 技術を使用した SMR は、世界の海運からの排出削減に有望であると、長距離海運にも適した特性を持っていると述べている。サーマルスペクトラム MSR は、放射性黒鉛を 5～

7年ごとに交換する必要があるが、高速スペクトラム MSR は、燃料または部品の交換は生涯必要ない。高速スペクトラム MSR は、サーマルスペクトラム MSR よりも多くの燃料を必要とし、サイズは 30%大きく、投資額は若干高い。DNV は、その固有安全性と受動的安全性、及び燃料補給サイクルの長さから、技術的十分成熟した場合には、MSR 技術は海運に最も適した原子力技術となると結論付けている。

- 小型核融合炉 (small nuclear fusion reactor) 技術は、技術的に可能になった場合には、船舶に適した技術である。融合炉の利点は、固有安全性、放射性廃棄物が比較的少ないこと、燃料コストが低いことである。しかしながら、融合炉技術の開発は進行中で、エネルギーとしての実用化には至っていない。
- DNV は、日本郵船、ABB、General Fusion、ジャパンマリユニテッドと共同で、核融合炉を搭載した 20,000TEU 型超大型コンテナ船の研究を行っている。この概念では、製造された蒸気が発電機を駆動して電動機 6 基を駆動、その動力がツインプローペラを駆動する。追加機器の搭載により、コンテナ積載量は 19,338TEU に減少する。プロジェクトでは、平均速力 18 ノットでスエズ運河を經由して東アジアから欧州に向かう従来型コンテナ船と、同航路を 28 ノットで航行する核融合コンテナ船 の比較を行った。コスト分析では、核融合駆動コンテナ船は、燃料価格が低い場合は 3 年間で、燃料価格が中程度の場合は 5 年間、燃料価格が高い場合は 10 年間で、累積コストは従来型コンテナ船よりも低くなる。DNV は、核融合駆動コンテナ船は、輸送コストの削減、迅速なサービス、ゼロエミッションを提供すると要約している。

DNV は、2019 年の代替燃料・技術報告書「2019 Assessment of Selected Alternative Fuels and Technologies」で、多様なエンジンオプションの IMO 規制遵守に関する調査を行った。その要点は以下の通りである。

- ディーゼルサイクルの HFO 駆動船は、スクラバー、排ガス再循環、選択触媒還元などの追加装置により IMO 規制を満たすことができる。しかしながら、規制遵守には、燃料消費量と CO₂ 排出量の増加を伴う。
- ディーゼルサイクルの LSHFO、MGO エンジンには、燃料中の硫黄分が少ないため、SO_x 排出規制を満たす。HFO 使用時には、Tier III 規制遵守のためには、排ガス再循環及び選択触媒還元装置が必要である。選択触媒還元装置は CO₂ 排出量を増加させる。
- ディーゼルサイクルの LNG エンジンには、LNG は硫黄分を含有しないため、SO_x を排出しない。Tier III 規制遵守は、HFO/LSFO/MGO よりも容易である。しかしながら、排ガス再循環及び選択触媒還元装置は依然として必要である。依然として
- オットーサイクルの中速・低速エンジンは、追加的な排ガス後処理装置なしで Tier III 規制を満たすことができる。しかしながら、CO₂ 削減の利点はメタンスリップで相殺される。
- LNG または水素焚きのオットーサイクルエンジンは、排ガス処理なしで IMO の Tier II 規制を満たす可能性がある。多くの場合、燃料の変更のみでは、IMO Tier III NO_x 規制を満たすには十分ではない。

DNV は、課税または補助金なしには、バイオ燃料、水素、e 燃料が、LNG と LPG を含む化石燃料と価格的に競争することは困難であると信じている。

3.6.11 Bureau Veritas（フランス）

BV は、船用代替燃料の利点と問題点を、以下の表 20 のように要約している。燃料は、カーボン燃料、カーボンニュートラル燃料、ゼロカーボン燃料に分類し、評価を行った。

表 20 BV による船用代替燃料の評価

		利点	問題点
カーボン燃料	LNG	クリーンな燃料、世界中で入手可能、確立されたインフラ、取り扱いが安全	設備投資コストの増加、メタンスリップ、ゼロエミッション燃料ではない
	LPG	クリーンな燃料、世界中で入手可能、確立されたインフラ、LPG 運搬船に適している	ゼロエミッション燃料ではない、バンカリングインフラは限定的
	メタノール/エタノール	取り扱いと船内貯蔵が容易、開発が進んだターミナルネットワーク	設備投資コストの増加、燃料供給量が少ない、燃料コストが高い、補給が困難で、安全性に問題あり
カーボンニュートラル燃料	バイオ燃料/バイオメタン	取り扱いが安全、船用燃料としての利用増加中、混合燃料として利用可能	燃料コストが高い、供給量が限定的、大量生産はサステナブルではない
	合成メタン/SNG	取り扱いが安全、LNG インフラに用意に対応、混合燃料として利用可能	燃料コストが高い、大量生産には大量の再生可能エネルギー源が必要
ゼロカーボン燃料	水素	体積エネルギー密度が低い、重量エネルギー密度が高い	設備投資コストの増加、燃料コストが高い、貯蔵が困難
	アンモニア	内燃エンジンと燃料電池向けのソリューション	設備投資コストの増加、燃料コストが高い、バンカリングが限定的、人体に有害

(出典: BV)

BV は、船舶向けのバッテリーエネルギー貯蔵システムの利用を支援しており、バッテリーのオプションを以下のように評価している。

- リン酸鉄リチウムイオン電池は出力密度が高く、安全である。コストは中程度で、エネルギー密度は低い。寿命が短い。
- 三元系（ニッケルマンガンコバルト）電池は出力密度とエネルギー密度が高い。安全性、コスト、寿命は中程度。
- チタン酸リチウム電池は安全性が高く、寿命が長い。出力密度は中程度。エネルギー密度は低く、コストは高い。
- コバルト酸リチウム電池はエネルギー密度が高く、出力密度、コスト、寿命は中程度。安全性は低い。
- マンガン酸リチウム電池の出力密度、安全性、エネルギー密度は中程度。寿命は短く、コストは低い。

BV は、伊藤忠商事が主導する、2021 年 6 月に開始された 34 企業・組織による船用代替燃料としてのアンモニアに関する共同研究プロジェクトのメンバーである。同プロジェクトでは、船用燃料としてのアンモニアの利用、バンカリングの安全性、燃料の仕様、「Well to Tank」の排出を調査する。

また、BV は代替ソリューションとしての原子力にも注目している。

3.6.12 Lloyds Register (英国)

Lloyds Register は、UMAS と共同で、ゼロエミッション船と燃料の評価、及び技術的、商業的な課題に関する研究を行っている。両社は 2020 年に、「ゼロエミッション船：移行への経路」と題された報告書を発表した。(3.6.2 参照)

BV や DNV と同様に、Lloyds Register は、船舶への利用を念頭に、溶融塩高速炉 (MSR) の開発動向に注目している。また、同社も伊藤忠商事主導の船用代替燃料としてのアンモニアに関する共同研究プロジェクトに参加している。

3.6.13 RINA (イタリア)

RINA は、Accenture と共同で、水素に焦点を当てた再生可能エネルギーの開発とビジネス機会に関する研究を行っている。

最近発表された「The Colors of Hydrogen」と題された報告書で、RINA は、現時点では電化が困難または不可能なセクターからの需要が増加し、水素市場は今後数年間で開発が進むと予想している。鉄鋼、ケミカル、セメントなどの工業にとって、水素は技術的及びロジスティックスの大きな変更なしに製造工程の使用燃料を脱炭素化する、交換コストの低い代替燃料である。大規模な電力供給やバッテリー貯蔵が高コストで実用性にも乏しい重量物輸送セクター（船舶、鉄道車両、トラック、フォークリフトなど）も、代替燃料としての水素の利点がある産業である。

2021 年 2 月、RINA は、中国の船舶研究機関 SDARI (Shanghai Merchant Ship Design & Research Institute：上海船舶研究設計院) と、アンモニアまたはメタノールで駆動可能なタンカーの設計に関する共同開発プロジェクトに合意した。SDARI が設計開発を主導し、RINA はコンプライアンス認証と評価を担当する。

4. 欧州の船舶からのカーボン排出削減に向けたエネルギー削減技術の動向

本章では、欧州海事産業からカーボン排出削減に向けたエネルギー削減技術の動向を調査した。まず、現在利用可能な省エネ技術とその脱炭素性能を概説し、続いて欧州海運会社、造船所、船舶設計企業、システムサプライヤー、港湾運営企業、大学・研究機関による省エネ技術の開発、利用状況を概説する。

4.1 欧州燃料サプライヤーの代替燃料供給とエネルギー削減技術導入の動向

代替燃料の導入以外にも、直接的及び間接的に GHG 排出削減と船舶の EEDI/EEXI（エネルギー効率設計指標/就航船のエネルギー効率指標）評価を向上させる多くのエネルギー削減技術が存在する。本節では、これらの技術を 5 つのグループ、即ち船舶設計と流体力学、補助的エネルギー、ロジスティクスとデジタル化、エネルギーの二次的回収、排ガス後処理に分類した。表 21 に、そのサブグループを示す。

表 21 利用可能な海運脱炭素化技術

船舶設計と流体力学	補助的エネルギー	ロジスティクスとデジタル化	エネルギーの二次的回収	排ガス後処理
<ul style="list-style-type: none"> 船体設計、船舶の大きさ、推進向上機器、プロペラ、ラダー、材料の最適化 空気潤滑 船体塗装/洗浄 プロペラ洗浄 	<ul style="list-style-type: none"> 風力 太陽光 	<ul style="list-style-type: none"> 減速運航 定時到着 ウェザー・ルーティング トリム、喫水、バラストの最適化 オートパイロット・ソフトウェア エンジンのディレーティング 運航船隊の調整 船舶のサイズ 	<ul style="list-style-type: none"> 廃熱回収、電力回収 	<ul style="list-style-type: none"> カーボン回収・貯蔵

4.1.1 船舶設計と流体力学

船体と推進システムの改良は、船舶の全体的なエネルギー効率を改善し、消費燃料が減少することで、結果的に GHG 削減につながる。船舶のエネルギー効率に影響を与えた近年の船舶設計及び流体力学の進歩を、以下に概説する。

バウと船型の最適化は、新たな技術トレンドではない。バウと船体形状は、幅広い速力と運転条件において効率的でなければならない。DNV によると、2008 年前後までは、船舶の約 95% はシングルポイント設計で建造されていた。即ち、船体形状、バウ及びエンジンは、ひとつの特定速力と喫水において最適な性能を発揮するよう設計されていた。この設計概念は、過去 10 年間に進化し、現在の新造船の設計は、ひとつの運転条件のみに集中していない。新たな設計手法では、通常 4~9 件の速力、気象条件、貨物積載量の条件で、波力抵抗を計算する。設計トレンドは、従来の大型バルバスバウから、最適化されたスレンダーな形状に移行した。コンテナ船は、最初にシングルポイント設計からマルチポイント設計に移行した船種のひとつである。

船尾ダクト、後流均等化ダクト (wake equalizing duct)、プレスワール・ステーター (pre-swirl stator)、ボルテックス・ジェネレーター・フィン (vortex generator fin)、プロペラ・ボスキャップ・フィン、ラダーバルブなどの推進改善及び動力節約装置は、燃料消費量の削減、究極的には GHG 排出量削減のために開発された技術である。

船体の洗浄と塗装は、燃料消費量、即ち GHG 排出量にも直接影響する。IMO は、2018 年 12 月に開始された 5 年間の生物付着管理プログラムである「GloFouling」パートナーシップの主要パートナーである。COP26 会合の開催に合わせ、「GloFouling」は、船体への生物付着による燃料消費量と GHG 排出への影響に関する予備調査結果を発表し、海運産業は生物付着の影響を歴史的に軽視してきたと指摘している。図 17 に示す、この予備調査報告書では、船型、速力、その他の条件にもよるが、船体の表面に付着した生物の僅か 0.5mm の層が、GHG 排出量を 20~25%増加させると述べている。フジツボやチューブワームなどのさらに深刻な生物付着では、平均的な長さのコンテナ船の GHG 排出量を 55%も増加させる。2022 年 2 月に発表予定の最終報告書では、最適な防汚塗料、船体洗浄、プロペラ洗浄、超音波付着防止システムなどを紹介する。

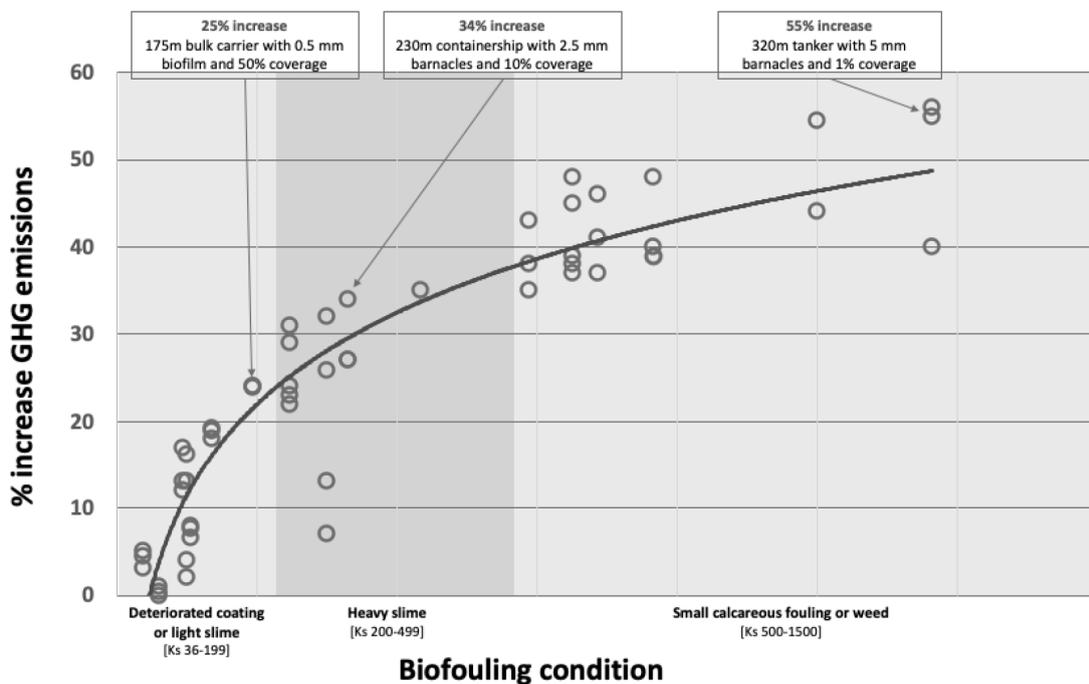


図 17 船体の生物付着による GHG 排出量への影響

(出典: GloFouling Preliminary Results, Impact of Ship's Biofouling on Greenhouse Gas Emissions)

空気潤滑システムは、船体の摩擦抵抗を軽減し、GHG 排出量を低減させる技術である。同システムは 4 つのカテゴリー、即ちマイクロバブル、エアフィルム、エアキャビティ、エアチャンバーに分けられる。表 22 は、空気潤滑システムのこの 4 つの技術オプションの概要である。この中では、マイクロバブル空気潤滑技術に注目が集まっている。

表 22 空気潤滑システムの技術概要

システム	技術概要
マイクロバブル 摩擦抵抗低減	船体と水との境界にごく小さい気泡の層を作ることにより、摩擦抵抗を大幅に低減する。影響は下流方向に限られた長さ、実船の場合は 2m 程度。 既存船への採用に適している。
エアキャビティ	キャビテーター（エアインジェクター上流の横断ビーム）の後方に空気の空洞を作る。必要な空気供給量は比較的少なくて済む。
エアレイヤー/ エアフィルム	同システムは船体に沿ってより長いエアフィルムを作る。大量の空気が必要。 開発中の技術。
エアチェンバー	船底に複数の大型チェンバーを装着。チェンバーには空気が充填され、水と接する面積を縮小する。 システムは実験室で試験中。

(出典: ABS, TU Delft)

図 18 は、マイクロバブル空気潤滑システムの主要要素である。同システムは、コンスタントに気泡を噴射し、船底の平らな部分を潤滑する。エアコンプレッサーが圧縮空気をパイプシステム経由で、船首方向の船底に位置する複数の噴射ポートに送り込む。

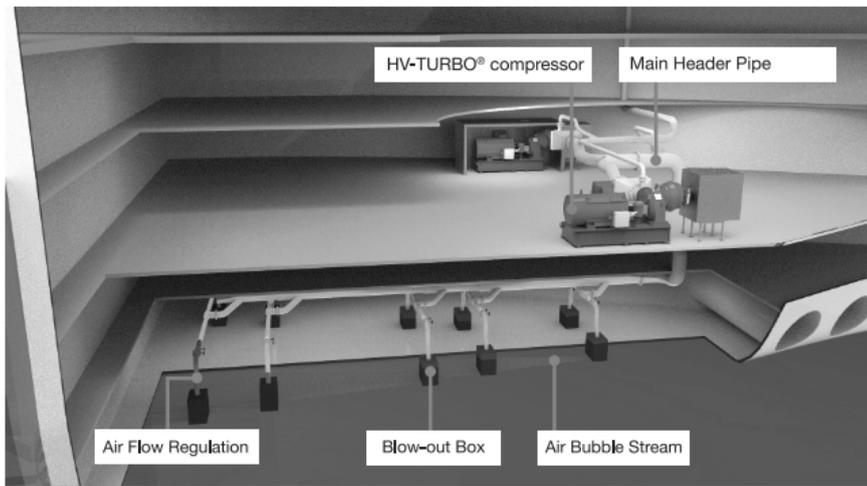


図 18 空気潤滑システムの要素

(出典: Howden)

船齢の若い船舶の多くには、既に省エネルギー型のプロペラ、船型、生物付着防止ソリューションが導入されており、エネルギー効率化のための従来の流体力学ソリューションを採用する余地は限られている。空気潤滑などの新たな流体力学技術は、次世代のエネルギー効率改善を実現する。

4.1.2 動力支援システム

この技術グループは、補助動力として風力と太陽光を利用した推進ソリューションである。現時点では特に風力支援推進が注目されている。表 23 は、風力支援推進技術を用いた各ソリューションの利点と問題点、及び欧州のシステム開発企業である。

表 23 利用可能な風力支援推進技術

	利点	問題点	欧州の開発企業
ローターセイル (フレットナーローター)	<ul style="list-style-type: none"> コンパクトな設置/低い重心 1 m²あたりの推力が大きい 荒天時にも対応 	<ul style="list-style-type: none"> 設備投資コストが高い 小型船には不向き 	<ul style="list-style-type: none"> Anemoi/Wärtsilä Norsepower Eco Flettner Mangnuss
カイト	<ul style="list-style-type: none"> 港湾内操船に影響がない 高所の強風が利点となる 運転コストとメンテナンスコストが低い 	<ul style="list-style-type: none"> 大型商船では実証されていない 大型カイトが必要 複雑な制御システム 	<ul style="list-style-type: none"> Airseas Skysails
硬質セイル	<ul style="list-style-type: none"> 実証済みの技術 折り畳みが容易/港湾内操船への影響が少ない パワー入力が必要ない 統合が容易 荒天にも対応 	<ul style="list-style-type: none"> ローターセイルの5分の1の推力(セイル面積比) 大きなセイルエリアが必要 設備投資コストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> AlfaWall AYRO/Oceanwings Oceanfoil Windship Yara Marine/BAR Technologies Chntiers de l'Atlantique.
ソフトセイル	<ul style="list-style-type: none"> 豪華ヨットセグメントで実証済みの技術 統合はシンプル 	<ul style="list-style-type: none"> 大型船では実証されていない 大きなセイルエリアが必要 設備投資コストが高い 	<ul style="list-style-type: none"> Neoline
サクシオンウィング	<ul style="list-style-type: none"> 実証済みの技術 折り畳みが容易/港湾内操船への影響は少ない 荒天にも対応 運転コストとメンテナンスコストが低い 	<ul style="list-style-type: none"> ローターセイルの2分の1の推力(面積比) 大きなセイルエリアが必要 大型商船では実証されていない 	<ul style="list-style-type: none"> Econowind Crain Technologies

(出典: Wärtsilä)

太陽光エネルギー回収システムは、補助動力供給ソリューションとして、船用セクターでも利用が始まっている。通常、太陽が照っているときには風がなく、その反対の場合もあるため、ソーラーパネルと風力支援システムは、互いに補うシステムとなり得る。

4.1.3 ロジスティクスとデジタル化

多くの船主にとって、ロジスティクスとデジタル化のソリューションは、比較的容易にエネルギー消費を削減し、結果的には GHG 削減を実現できる手法である。DNV によると、ロジスティクスとデジタル化を選択した場合、20%以上の排出削減が可能である。

Wärtsilä は、大部分の船主は、EEXI を順守するために、エンジン動力または軸動力を制限すると述べている。即ち、既存船のカーボン排出を削減するために、多くの船主は、プロペラに伝達される動力を削減することにより、エネルギー効率の最低要求を満たしている。

フィンランドの船用ソフトウェア企業 NAPA は、EEXI 要求を満たすためにばら積み船のエンジン動力を制限することによる影響を調査した。2019 年に 12 か月にわたって 1,500 隻のばら積み船の実際のデータを分析した結果、エンジン動力の制限により、CO₂ 排出量は 6.6%、カーボン排出強度 (carbon intensity) は 4.6%、それぞれ減少したと、NAPA は推定している。調査では、EEXI 要求を満たすためのエンジン動力制限は、高速運転時のみに有効であり、そのため 1 年のほとんどの期間は、EEXI の効力はあるも運航にはほとんど変わりはない、としている。また、EEXI 要求を満たすために減速を行った場合、最終的には貨物積載量は約 2%減となるとしている。

エンジン及び軸動力の制限に加え、船主が採用することのできるエネルギー効率化オプションとしては、減速運航 (slow steaming)、及び航路、気象、貨物スペースの有効活用を考慮した効率的な運航計画がある。その全ては、船舶と陸上拠点の迅速で詳細なデータ交換により支援される。

IoT プラットフォームは急速に進化している。IoT は、複数のデバイスをインターネットに接続する。海運では、船内及び陸上のプラットフォームがリアルタイムのデータ監視を行い、航路計画、燃料管理、排出制御、修繕とメンテナンス、船員の配乗などに利用することができる。IoT を活用するため、船主は多数のデータ収集センサーとアクチュエーターを新造船に統合し、幅広い船舶の機能からのデータ収集と分析を行っている。図 20 に IoT コンセプトを示す。

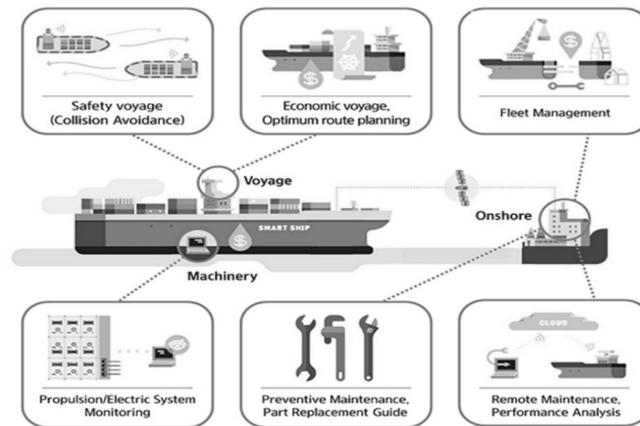


図 20 IoT プラットフォームの概念

(出典: Hyundai Heavy Industries Integrated Smart Ship Solution)

4.1.4 エネルギーの二次的回収

船舶の機関・機器から損失された熱とエネルギーを回収して電力に変換することにより、燃料駆動のエネルギー製造の需要を低減することができ、GHG 排出量削減につながる。

4.1.5 カーボン回収・貯蔵

カーボンキャプチャーと貯蔵（CCS）は、近年注目されている新技術で、船用セクター向けのソリューションも開発されている。

開発されたソリューションのひとつは、船内の排気から CO₂ を回収し、船内貯蔵システムとしての CO₂ バッテリーをチャージする。バッテリーは港湾で下され、CO₂ は農業セクターで再利用される。オランダ Value Maritime が開発した同システムは、ロッテルダム港の協力を得て、Visser Shipping の小型コンテナ船で実証実験が行われている。

もうひとつのアプローチでは、船内の排気から回収した CO₂ を液化し、船内の低温タンクに貯蔵、港湾でタンクを下した後に陸上 CCS 貯蔵施設に輸送する。回収されたカーボンは、合成燃料製造などのカーボン消費産業のフィードストックとして利用される。この手法の問題点は、低温タンクシステムの大きさとそのエネルギー需要である。ノルウェー企業 TECO 2020 と米国 Chart Industries は、2021 年にこの船内 CO₂ 回収アプローチを利用したソリューションの開発を行う 3 年間プロジェクトを開始した。

2021 年 11 月、Stena Bulk は、「Oil and Gas Climate Initiative」と共同で、CCS の実船搭載に関するフィジビリティ研究を行った。この研究では、CCS は技術的に可能で、スエズマックス型タンカーに CCS を搭載した場合、海上で排出された CO₂ の 90% を回収可能なシステムへの投資コストは約 2,800 万ドル、50% を回収するシステムは 2,000 万ドルのコストがかかるとしている。また、1 隻につき年間約 200 万ドルの追加コストが発生する。

4.2 欧州船主のエネルギー削減技術導入状況

GHG 排出削減努力を公表している船主の大部分は、代替燃料の導入を戦略としているが、同時に EEDI/EEEXI コンプライアンスのためのエネルギー削減手法の導入も検討している船主も多い。表 24 は、欧州海運会社 26 社のエネルギー削減技術へのアプローチである。「√」は、当該企業が使用中または検討中のエネルギー削減技術を示す。

表 24 欧州海運会社のエネルギー削減技術へのアプローチ

	船舶設計と流体力学	補助エネルギー	ロジスティクスとデジタル化	排出回収	排出後処理
Maersk	√	√	√	√	
MSC	√	√	√	√	√
CMA CGM	√	√	√		
Hapag-Lloyd	√	√	√	√	
Carnival	√		√	√	
Wallenius Wilhelmsen	√	√	√		
Oldendorff	√	√	√	√	
Euronav	√		√		
Navios	√		√		
Danaos	√		√		
Fredriksen傘下の企業	√		√		
Anglo American	√				
Fjord 1	√				
Color Line	√				
Hurtigruten	√			√	
Höegh	√	√		√	√
Rosatom	√				
Stena Group	√	√	√	√	√
Shell	√	√			√
Equinor	√	√	√		√
BP Shipping	√				
Navigator Gas	√		√		√
Exmar	√		√		√
Scandlines	√	√			
Stolt Tankers	√	√	√	√	
Terntank			√		

4.2.1 Maersk（デンマーク）

Maersk は、長年にわたって自社コンテナ船隊に新たなエネルギー効率化技術を導入してきた。その一例としては、2013 年、減速運航を行うために、コンテナ船 10 隻のバルバスバウの交換を完了した。このレトロフィットにより、燃料コストは約 5～8%減少した。

サイズと設計による効率化は、同社の「Triple E Class」コンテナ船で実証された。同クラスの第一世代は 2013～2015 年、第二世代は 2017～2019 年に引き渡しが行われた。その U 型

船体は、従来型コンテナ船よりも 1 列多いコンテナの積載が可能である。機関室は船体後方に移動し、ブリッジとエンジンコンパートメントの間の船体に、さらにコンテナを積み込むことができる。コンテナ積載量が増加したため、コンテナスロットあたりのエネルギー支出は減少した。

Triple-E クラス船は、Alfa Laval の廃熱回収システムにより船内サービス向けの電力を製造することで、燃料消費量を約 10%削減している。同船隊の平均速力は 17~18 ノットで、従来の 25 ノットよりも遅く、省エネにつながっている。

2021 年 5 月、Maersk は、Wärtsilä と Silverstream に空気潤滑システムを発注し、自社コンテナ船で試験を行うと発表した。同システムは、2023 年に引き渡しが始まる Maersk のメタノール駆動の新造コンテナ船隊の 1 隻への搭載が予想される。16,000TEU 型メタノール駆動コンテナ船は新設計を採用しており、コンテナあたりのエネルギー効率は、業界平均比 20% 向上すると Maersk は述べている。新船型では、ブリッジと居住区は船首に置かれ、コンテナ積載量は増加している。設置面積が縮小したファンネルは、船尾の片側に位置する。燃料タンクは 16,000 m³のグリーンメタノールを貯蔵し、ゼロカーボン燃料を使用した往復航海が可能である。

Maersk は、同社のロジスティクス全体とコンテナ貨物輸送チェーン向けのデジタルツールに多額の投資を行ってきた。その例としては、コンテナロジスティクスの効率的な管理のための「Maersk Logistics Hub」がある。燃料消費量を増加させずに、航海時間を短縮することは、GHG 排出量削減につながる。

Maersk のタンカー運航部門 Maersk Tankers は、排出削減のためにデジタルイノベーションを利用している。Maersk Tankers は、2019 年 6 月、同社のタンカー船隊に「Optimise」ソフトウェアを導入した。このソフトウェアは、運賃動向、バンカー価格、天候、各船舶の性能を含む複数のデータポイントからの情報を利用して各船の最適な速力を決定する。これにより消費燃料は削減され、Maersk は、「Optimise」は最初の 1 年間で 800 万ドルの節約を実現したと述べている。最近、Maersk は、不定期船の CO₂ 排出削減を目的に、「Optimise」ソフトウェアを他の海運会社に提供する新ビジネス「ZeroNorth」を開始した。現在 ZeroNorth は 6 社の顧客を持ち、300 隻以上が「Optimise」を利用している。Maersk Tankers が現在 ZeroNorth を所有しているが、同社の発展と製品開発のために、不定期船運航業からの戦略的投資を求めている。

また、Maersk Tankers は、船舶の排出削減とパフォーマンス向上のための新技術を導入している。その一例としては、同社の LR2 型タンカー「Maersk Pelican」は、風力技術を補助動力として採用した世界初のプロダクトタンカーである。2018~2019 年に実施された試験では、Maersk Tankers、Norsepower Oy、Shell、Energy Technologies Institute が協力した。

「Maersk Pelican」には Norsepower のローターセイル 2 基が搭載され、1 年間の試験期間中に 8% の燃料消費量削減と排出削減が実現した。その後同船は、Buana Lintas Lautan Indonesia に売却され、船名は「Timberwolf」となった。

Maersk 内の他の事業部門も、代替技術の導入を進めている。Maersk Supply Service は、オランダの非営利エンジニアリング環境組織 Ocean Cleanup に支援を提供している。2021 年 7 月、2009 年建造のタグボート「Maersk Tender」は、プラスチック回収試験用に使われた。Maersk Supply Service は、同船に一連の技術アップグレードを行い、ライブトラック燃料流量計の設置や、特に DP モードでスラスタ 4 基が、必要な電力のみを消費するように監視する周波数制御装置を設置した。

厳しい気象条件下でオフショア石油・ガス掘削リグを運航する Maersk Drilling は、エネルギー消費監視と最適化のための各種センサーとソフトウェアを全船隊に搭載した。

4.2.2 MSC (スイス)

MSC は、同社の 2020 年サステナビリティ報告書で、エネルギー効率化は CO₂ 排出削減に有効な手段ではあるが、2050 年までのネットゼロ化を達成するには、ゼロカーボン燃料の使用が最も重要であると述べている。MSC は、同社の考えを以下のようにまとめている。

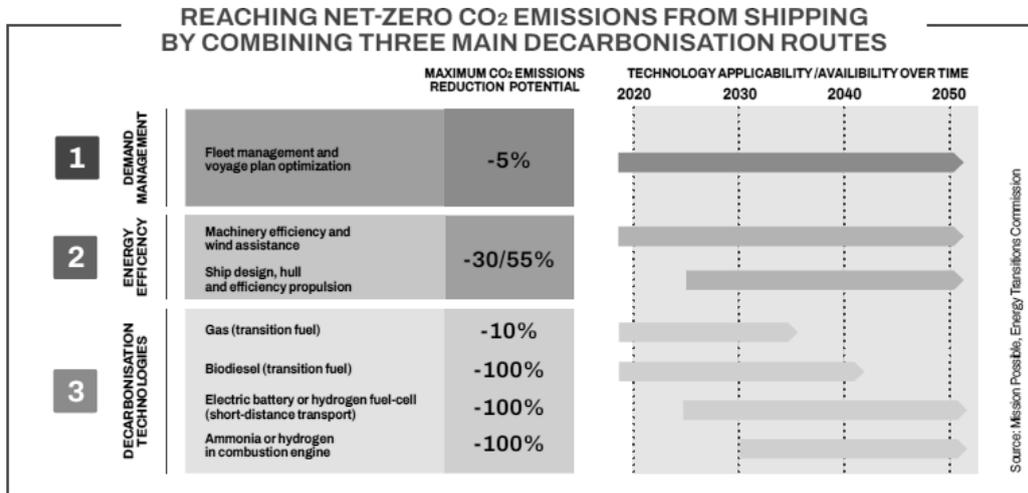


図 21 MSC – 海運脱炭素化の 3 段階

(出典: MSC/Mission Possible Energy Transitions Commission)

MSC は、船舶の効率を最大化するために、既に航路最適化とリアルタイム監視技術を採用している。

Maersk と同様に、MSC は、トン・マイルあたりの CO₂ 排出量を削減するために、さらに大型で効率的な船舶への投資を行っている。MSC の *Gülsün* クラスの 23,750TEU 型新造コンテナ船隊 11 隻は、トン・マイルあたり 7.5g の CO₂ を排出する設計となっている。この性能を発揮するには船舶のサイズが最も重要なファクターであるが、同船隊には、最適化されたラダーバルブを持つ新世代プロペラ、陸上電力接続システム、横風抵抗の軽減、補機への排ガスエコノマイザー搭載など、様々なエネルギー効率化技術が搭載されている。同クラスの 1 番船「*MSC Gülsün*」には、サムスン重工業の空気潤滑システム「SAVER」が搭載され、同じくサムスンで建造される姉妹船 5 隻にも搭載が予定されている。

また、MSC は、エネルギー効率化のために、既存船に新型バウと改良型プロペラのレトロフィットを行っている。さらに、低速での運転を効率化するためにエンジンのディレーティングを行い、船体には新世代防汚塗料を採用している。

同社は、2020～2024 年期の新造船建造計画向けに、Silverstream の空気潤滑システムを 30 基以上発注済みである。同システムは、船体に気泡の層を形成し、船体と水の間の摩擦抵抗を低減することにより、燃料消費量を 5～10%削減する。

廃熱を利用して発電用の蒸気を作る ABB の廃熱回収ボイラーは、2015～2016 年に竣工した MSC の 8,800TEU 型新造コンテナ船 14 隻に搭載されている。同システムは、船舶の出力を 4%増加させる。

MSC は、カーボン回収・貯蔵システム、風力、太陽光、最新の船内エネルギー回収システムなどの導入を検討している。また、エネルギー効率化戦略の一環として、コンテナターミナル作業のデジタル化への投資を行っている。

MSC Cruises は、同社船隊の全体的効率の監視を行う専用デジタル分析プロセスを導入している。同プロセスは、船舶からのリアルタイムデータ収集と陸上のデジタルツインを組み合わせ、陸上の船舶管理者が、船舶のオペレーションと運航パフォーマンスを改善する手段を指示することを可能にする。2019 年に行われた「*MSC Grandiosa*」での試験では、このシステムにエネルギー需要が 4%削減された。

MSC Cruises は、フィンランドのヴァーサ大学が主導する共同研究開発プロジェクト「CHEK」に参加している。同プロジェクトは、EU の「Horizon 2020」プログラムからの補助金を確保している。同プロジェクトでは、超音波防汚システム、船体空気潤滑、排熱回収システム、デジタル最適化ソフトウェアなどの幅広いエネルギー効率化技術の研究を行う。プロジェクトの成果は、2023 年に発表される予定である。

4.2.3 CMA CGM (フランス)

競合他社 Maersk、MSC と同様に、CMA CGM の排出削減戦略は、代替燃料に主軸を置いている。を中心としている。同時に、船隊とターミナル運営に幅広いエネルギー効率化手法を導入している。

2020 年のサステナビリティ報告書で、CMA CGM は、流体力学性能の改善と航路と船速の最適化により、2008~2020 年期の TEU・マイルあたりの CO₂ 排出量を 49%削減したと述べている。

2020 年、CMA CGM は、新フリートセンターを開設し、最新のデジタル技術による船舶のパフォーマンスのリアルタイム監視と最適化を開始した。船隊の燃料消費と船速の最適化は、同社の環境フットプリントの削減に寄与している。

また、競合他社と同様に、CMA CGM は、究極的にはトン・マイルベースの CO₂ 排出削減につながる燃料消費率の向上のために船舶の大型化への投資を行っている。2020 年に引き渡しが行われた LNG 燃料の 23,000TEU 型コンテナ船「*Jacques Saadé*」は、同社の次世代コンテナ船隊 9 隻の 1 番船である。船体の大型化によるユニットあたりのコスト経済性の向上に加え、新船隊は、トン・マイルベースの排出量を削減するエネルギー節約機能を導入している。船体にバルブを加え、船首形状を直線化した新船型により、流体力学性能は向上した。Becker 社の「Twisted Fin プロペラ」は船体周辺の水流を最適化し、CO₂ 排出量を 4%削減する。また、データ収集と報告を効率化する最新のデジタル技術が採用されている。さらに、冷蔵コンテナに導入されたスマートな換気システムが、CO₂ 密度を測定し、コンテナ内の換気を最適化することで、エネルギー消費量を削減する。

ロジスティクス分野では、2020 年、CMA CGM は港湾から、また港湾へのコンテナ輸送を、トラックから鉄道とバージに切り替える計画を開始した。同社は、貨物輸送では、最終顧客までのトラックによる最後の数マイルのカーボン排出量の割合が高いとし、1 度に数 100 基のコンテナ輸送能力のある鉄道とバージの利用により、環境にやさしい輸送を実現すると述べている。同社は、陸上貨物輸送の 71%を鉄道と内陸船より輸送しており、今後世界各地でその比率を高める計画である。例としては、アジアと南米では、CMA CGM グループは、陸上貨物輸送にブロックトレイン（コンテナ専用列車）を採用した初めての輸送・ロジスティクス企業である。

2021 年 12 月、CMA CGM は、e コマースのロジスティクス・プラットフォームを強化するため、米国 Ingram Micro 社のコマース&ライフスタイル・サービス事業の過半数株を買収した。

CMA CGM は、国際航海中に水素及び風力推進技術の試験を行う「Energy Observer」プロジェクトのメンバーである。同プロジェクトで試験される風力推進システムは、Ayro 社のウィングセイル「Oceanwings」である。

4.2.4 Hapag-Lloyd (ドイツ)

競合他社と同様に、Hapag-Lloyd は、トン・マイルベースの CO₂ 排出量削減を目指し、23,500TEU の大型コンテナ船隊への投資と、数多くのエネルギー効率化手法を新造船及び既存船に導入している。

エネルギー効率化手法の例は以下の通りである。

- バルバスバウのレトロフィット：2016 年に、設計速力である 25 ノットよりも低い 15~18 での運航を目的とした大型船 24 隻のレトロフィットプログラムを完了。また、数隻には、直径が大きく、軽量化されたプロペラを採用。
- 「Networks Operations」プラットフォーム：船舶と陸上チームを接続するリアルタイムの中央データ監視ネットワーク。
- 貨物管理：フルコンテナの船舶への積載を最適化。
- 航行の最適化：航路最適化とアクティブウェザーナビゲーション。
- 減速運航：燃料消費量の削減。
- エネルギー節約型の軽量化冷凍コンテナ。
- 船体の状態管理：乾ドックサイクルの間に水中の船体の洗浄と研磨を行う。低摩擦塗料の採用と船体抵抗の監視。
- 高効率の推進機器：現代重工業が開発した高効率ラダーとスラストフィンを採用。
- ディレーティング：ディレーティングされた主機、軸発電機、排熱回収システム、エアタイプ船尾管シール。

Hapag-Lloyd Cruises は、最近、VAR D から新造エクスペディションクルーズ船 3 隻を受け取った。「*Hanseatic Nature*」、「*Hanseatic Inspiration*」、「*Hanseatic Spirit*」は、全て Kongsberg の特殊設計プロペラを持つラダー「Promas」を搭載し、また、陸上電力接続機能を持っている。船体はこの推進システム搭載のために最適化され、高い燃料効率を持ち、バンカー燃料消費量は減少する。搭載された SCR システムにより、NO_x 排出量は約 95%削減される。

4.2.5 Carnival Group の欧州子会社

Carnival Group 内の全企業は、共通の 2030 年気候目標を持っている。Carnival Corporation の 2021 年サステナビリティ報告書では、効率向上のための幅広い新技術に注目している。

Carnival は、クルーズ船隊のエネルギー効率を高める数々の手法を導入、または検討中である。その例としては、燃焼を改善し、燃料消費量を削減する燃料ホモナイザーの導入、効率向上のためのディーゼル発電機の使用の最適化、ボイラーの代わりにエンジンからの廃熱を利用した温水製造などがある。その他の手法としては、可変周波数型ファン・ドライブモーターとその圧力及び温度調節システム、燃料効率の高い航海日程の設定と航海最適化ツールの利用、航海中及び港湾におけるディーゼル発電機の使用の最適化、蛍光灯と LED 照明の使用、自動 HVAC 調整システム、シリコンベースの防汚塗料、定期的な船体とプロペラの洗浄、利用可能な場合は停泊中の陸上電力の使用、などを挙げている。

Carnival は、現在 Meyer Werft で建造中の「*P&O Arvia*」を含む最低 6 隻の新造船及び既存船に Silverstream 社の空気潤滑システムを採用している。空気潤滑システムを搭載した Carnival 船では、燃料消費量と排出量が 5%以上削減されたことを、Lloyds Register が実証済みである。

4.2.6 Wallenius Wilhelmsen（ノルウェー）

多くの海運会社と同様に、Wallenius Wilhelmsen は、同社船隊向けに IoT プラットフォームを開発し、船舶から収集した大量のデータを陸上で分析し、運航管理の意思決定に活用している。Wallenius Wilhelmsen の陸上チームは、船舶データの分析をさらに向上させる目的で、船舶のデジタルツインを開発中である。

船舶サイズのスケールアップによるトン・マイルベースの CO₂ 排出削減戦略の一環として、最近、同社は新 HERO クラスの新造 RORO 船 4 隻を投入した。この高効率大型 RORO 船には、ドラッグと波力抵抗を軽減する特殊設計の船体、ラダー、バウを採用している。パナマ運河の拡張により、HERO クラス船は、貨物・バラスト比を向上させる全幅の拡大が可能となった。バラストの減少は、燃料消費量に直接好影響を与える。HERO クラス船は、ウェーブピアシング型の船首形状を持ち、統合型バルブにより垂直化した船型になっている。Wallenius Wilhelmsen は、同船型を、運航のカーボンフットプリントを削減する「環境のフロントランナー」であると宣伝している。

Wallenius Wilhelmsen は、世界初の風力推進 RORO 船「*Orcelle Wind*」を開発中である。グループ企業 Wallenius Marine が設計した同船は、AlfaWall Oceanbird の風力支援概念を採用している。2022 年半ばまでに設計を完了し、2025 年に同新造船の引き渡しを受ける計画である。同船は高さ 80m のウィングセイル 5 基を搭載し、風力を主推進力とする。ウィングセイルは入れ子式になっており、橋の下を通過時、または強風時にはセイルを低くしてセイル面積を縮小することが可能である。同船は補助エンジンを搭載する。

4.2.7 Oldendorff Carriers（ドイツ）

Oldendorff の「グリーンシッププロジェクト」は、同社の既存船の 90%を燃料消費量が 20%低減された「エコシップ」に置き換えることにより、CO₂ 排出量を削減するという戦略である。同プロジェクトの一環として、Oldendorff は、省エネルギー機器、新型船型、運航監視、低摩擦燃料、トリム最適化を採用する。

2021 年、Oldendorff は、「環境にやさしい」カムサマックス型ばら積み船 5 隻プラスオプション 7 隻を江蘇韓通船舶重工（Hantong）に発注した。引渡しは 2022 年 7 月に開始される。同船隊は SDARI（Shanghai Merchant Ship Design & Research Institute）で設計された Sdari-82（2020）型船型を持つ。Oldendorff は、また、ケープサイズ型新造船 1 隻を名村造船に発注しており、2022 年末に引渡しが予定されている。同船は、三井 MAN B&W 6G70ME-C9.5（EGRBP）型 NO_x Tier III 対応型主機を搭載し、新船型により燃料消費量が非常に低くなっている。

2021 年 1 月、Oldendorff は、Anemoi Marine Technologies、Lloyd's Register、Shanghai Merchant Ship Design and Research Institute と、ローターセイル技術を用いた RORO 船向けの風力支援推進技術の共同開発プロジェクトに合意した。2022 年末まで行われる同プロジェクトでは、Anemoi の垂直型機械式ローターセイルを Oldendorff の 207,000DWT 型 H-クラスのニューカッスルマックス型ばら積み船に搭載する。同システムの試験が成功した場合、Oldendorff は 19 隻の H-クラス船の 1 隻に同システムを本格搭載する。このローターセイルは、荷役作業中または船舶の高さ制限のある場合には、折りたたんで水平にすることが可能である。

H-クラスの新造船 19 隻に採用された省エネルギー技術は、新型スプーンバウ、補機に搭載された排熱回収装置、大型プロペラ、Becker Mewis Duct、ラダーバルブなどである。ラダーバルブは、プロペラ後方の水流を整合させ、Mewis Duct とともに燃料消費量を 5~8%削減する。

Oldendorff の L-クラスのニューカッスルマックス型 RORO 船 6 隻も、Becker Mewis Duct を採用している。

4.2.8 Euronav (ベルギー)

Euronav の戦略は、比較的シンプルな技術とデータ収集・分析を組み合わせることで脱炭素化目標を支援することである。

Euronav は、IoT を利用して船隊を「スマートで接続された物体」とする「FAST」(Fleet Automated Statistics and Tracking) プロジェクトを開始した。FAST プロジェクトでは、船舶に各種センサーを搭載し、船舶及び陸上の意思決定者を接続し、リアルタイムデータにより両者のコミュニケーションと協力を促進する。Euronav は、このイノベティブなプロジェクトにより、同社船隊のパフォーマンスと燃料効率を、さらに一歩前進すると述べている。2020 年中に、同社船隊全てに必要なハードウェアを装備する。

また、Euronav は、減速運航と航路の特定部分で速力を制限することにより、引き続き CO₂ 排出量を削減する。

4.2.9 Navios Group (ギリシャ)

2020 年の財務状況年次報告書で、Navios は、船舶の環境性能を向上させるクラウドベースのデータ収集・分析プラットフォーム、及び新推進システムの導入に言及している。

その例として、Navios は、2021 年 6 月、川崎重工業で建造された 81,000DWT 型ばら積み貨物船「Navios Star」を受け取った。同船は、高効率推進システムであるカワサキフィン付きラダーバルブ及びコントラフィン付セミダクトを搭載している。

4.2.10 Danaos (ギリシャ)

Danaos は、IMO の 2030 年排出削減目標を、航路計画、バルバスバウとプロペラの改造により、2019 年に達成したと報告している。

Danaos は、2008~2019 年間に 41.5%の CO₂ 削減を達成した。同社は、船舶と陸上のデータを統合するデータ解析プラットフォーム「WAVES」の導入が、この排出削減を支援したと述べている。「WAVES」プラットフォームは、航海計画から船体状態に関連した問題の特定、乾ドック入渠の管理まで同社の全オペレーションをカバーする。

Danaos は、この「WAVES」パフォーマンス掲示板の顧客向けバージョンを作成する計画である。新掲示板では、一定期間の船舶性能評価のユーザーフレンドリーなビジュアル分析を提供し、主要基準のトラッキングを容易にし、必要なデータ収集を迅速化する。

4.2.11 Fredriksen 傘下の企業 (ノルウェー/キプロス)

2021 年、DNV、Frontline 及びその他の Fredriksen 傘下の企業は共同で、「Veracity」社内プラットフォームの船舶パフォーマンスの 100%デジタル化を完了し、短期的、長期的なパフォーマンス指標を設定し、船内エネルギー利用の管理、分析、最適化を行う計画を発表した。

Fredriksen のタンカー企業 Frontline は、同社の排出コントロール戦略を、5 つのカテゴリー、即ち、摩擦抵抗を低減する船舶設計、船用燃料の改良、船体とプロペラのクリーニングシステム、運航の効率化、エンジン技術と最適化、に分類している。

Fredriksen のばら積み船企業 Golden Ocean は、エネルギー及び排出削減を 5 つの行動分野に分類している。燃料削減への行動目標は以下の通りである。

- ウェザー・ルーティング：1~2%の削減。
- プロペラの研磨と洗浄：1~2%の削減。
- 主機及び補機の最適化：2~3%の削減。
- 防汚システムの慎重な選択：10~15%の削減。
- 慎重な航路計画による船速の最適化：削減効果は未定。

Golden Ocean が、船体防汚システムが最もポテンシャルのある燃料及び排出削減手段であると考えていることは明らかである。Golden Ocean のチームは、同社が導入を検討中の技術の試験を行う Frontline Technical に協力している。

Flex LNG は、定期的な船体の検査及び状態に応じたクリーニング、及び年に 2 回のプロペラクリーニングなど従来のエネルギー効率化手法を実施してきた。2020 年には、航路計画と燃料効率の追跡を行うデジタルプラットフォームを導入し、また、同社の LNG 運搬船向けにカーボン回収・貯蔵技術を導入する方法を検討中である。

他の Fredriksen 企業と同様に、SFL のエネルギー効率化は、同社船隊へのスクラバー搭載を中心としている。同社のサステナビリティ報告書では他の手法への言及はない。Avance Gas は、多数のエネルギー効率化技術を検討中であるとしながら、そのソリューションの特定はしていない。Seadrill は、リグの効率化向上を支援するクラウドベースのデータプラットフォーム「PLUTO」を、米国 Marsden Group 及び Microsoft と共同開発中である。

4.2.12 Anglo American (英国)

鉱業企業 Anglo American は、約 30 隻のばら積み貨物船隊を運航している。最近まで、同社のビジネスモデルは長期用船であった。排出削減戦略の重要性の高まりから、同社は LNG 燃料の新造船の用船に切り替えを行った。

しかしながら、2021 年、同社は LNG を主燃料、ディーゼルを補助燃料とする新造ケーブサイズ型バルカー 2 隻を自社発注した。両船の引き渡しは 2023 年の予定である。これに加え、同社は、U-Ming 所有の新造 LNG 燃料ばら積み船 4 隻の長期用船契約を確保した。新造船 6 隻は全て上海外高橋造船 (Shanghai Waigaoqiao) で建造され、通常のケーブサイズよりも大型であるため、トン・マイルあたりの排出量は低減する。しかしながら、船体の大型化以外では、Anglo American の主な排出削減技術は、主燃料としての LNG の利用である。

4.2.13 Fjord1 (ノルウェー)

3.2.13 で述べた通り、Fjord1 のエネルギー効率化と排出削減戦略は、同社フェリー運航の電化を中心としている。

4.2.14 Color Line (ノルウェー)

Color Line は、航路の輸送量を拡大するために、新造船を大型化してきた。これは間接的に、旅客あたり及び輸送トンあたりの排出量を低減している。最近のアップグレードは、プラグイン・ハイブリッドのクルーズフェリー「*Color Hybrid*」である。同船は、代替した既存船「*Bohus*」の 2 倍の大きさである。

4.2.15 Hurtigruten Group (ノルウェー)

ノルウェー沿岸及び世界のエクスペディションクルーズ市場でクルーズ船 14 隻を運航している Hurtigruten は、新造船に大型バッテリーパックを搭載することにより、排出量を大幅に削減している。バッテリー動力の利用に加え、同社の新造船は数々の最新のグリーン技術、環境ソリューションを採用し、また船体とバウの設計は改良されている。

2019 年及び 2020 年に Green Yard Kleven で竣工した同社のバッテリーハイブリッド駆動クルーズ船「*Roald Amundsen*」及び「*Fridtjof Nansen*」は、改良された船体とバウ設計を持ち、IMO の Tier III NOx 排出規制を満たすために選択触媒還元 (SCR) システムを搭載している。主機からの廃熱は、船内温水タンクの加熱に利用されている。同船の完全電気推進システムは、永久磁石モーターで駆動されるアジマス式スラスタ「*Azipull*」2 基及びトンネルスラスタ 2 基で構成されている。

4.2.16 Höegh (ノルウェー)

Höegh Autoliners の *Aurora* クラスの新造自動車運搬船 12 隻は、大型化によりトン・マイルベースの排出量を削減している。9,100CEU の積載量を持つこの新造船隊は、多元燃料駆動で、アンモニアにも対応する設計となっている。また、ソーラーパネル及び補助システム向けの電力を貯蔵するバッテリーを搭載、さらに全エンジンには廃熱回収システムが搭載されている。既存 RORO 船に関しては、Höegh Autoliners は、数隻に新型バルバスバウとプロペラをレトロフィットし、また、全船隊の定期的な船体とプロペラのクリーニングを行っている。Höegh LNG は、既存船及び新造船に、カーボン回収・貯蔵システムの導入に関するポテンシャルを研究中である。

4.2.17 Rosatom (ロシア)

ロシアの国営原子力企業 Rosatom は、世界で唯一の原子力砕氷船の船隊を所有し、運航を行っている。同船隊の主な役割は、北極海航路を他の船舶の航行のために開けておくことである。北極海航路経由の欧州・アジア間の航海は、スエズ運河経由の航海よりも 2~3 週間短いため、サプライヤーと市場を結ぶ貨物輸送航海全体の排出量は削減される。航行中の船舶に同行中の原子力砕氷船は、CO₂ を排出しない。

Rosatom の砕氷船は、空気潤滑システムの 1 種である「pneumatic washing」(空気洗浄)システムを搭載している。同システムの主な目的は、船体への氷付着の防止である。また、同船は氷海仕様の特種バウを採用している。

4.2.18 Stena Group (スウェーデン)

Stena Teknik が設計した Proman Stena Bulk のメタノール駆動の新造 MR タンカー 3 隻は、風力発電用フレットナーローターセイル 2 基と太陽光発電用ソーラーパネルを搭載している。また、主機及び補機用の廃熱回収システム、抵抗を軽減した船体設計、効率向上のために最適化された 4 ブレード型プロペラ、風力抵抗を軽減する居住区設計、イナートガス発生装置よりも燃料効率の高いタンク洗浄用窒素生成装置などの技術が採用されている。

Stena RORO の E-Flexer シリーズ新造船「*Stena Scandica*」及び「*Stena Baltica*」は、大型化による排出削減を目指している。同シリーズ船は、現在カールスクルーナ・グディニャ航路を運航している既存船隊よりも大幅に大きい。各新造船は、既存フェリーよりも 33%多い旅客数 1,200 人の積載能力があり、貨物レーンは 25%増の 3,600m である。大型化の結果、トン／旅客マイルの排出量は大幅に削減される。また、新造船は、改良された船体、バルブ、ラダーの設計を持ち、Stena によると、エネルギー効率は 30%改善する。

2021 年、Stena Bulk と石油・ガス気候イニシアティブは、船内カーボン回収・貯蔵 (CCS) システムに関するフィジビリティ研究を共同で行った。同プロジェクトでは、内燃エンジン駆動のスエズマックス型タンカー、MR 型タンカー、LNG 運搬船へのカーボン回収システム搭載を想定したが、最終的にはスエズマックス型タンカーに焦点を当てたフィジビリティ研究を行った。Stena Bulk によると、大型タンカーへの CCS システムの搭載は技術的に可能であるが、克服すべき最大の課題は、システム設置と運用のコスト、及び多大な初期投資コストであると述べている。さらに、CCS システムを効果的に運転するためのエネルギーにもコストがかかる。一方、エンジンが CCS との互換性を持つように改造された場合には、これらのコストは大幅に低減すると予想している。

プロジェクトチームは、短中期的には、コストが CCS 導入の障害になるが、技術が進歩するにしたがって運転コストは低下し、海運の脱炭素化への有望なオプションとなり得ると結論づけている。

Stena Drilling は、リアルタイム監視及びデジタルツインなどの IoT ソリューションの導入により、船舶のパフォーマンスを向上させている。

4.2.19 Shell (オランダ/英国)

Shell は、産業パートナー及び大学、研究機関と共同で、カーボン回収・貯蔵技術の研究を行っている。また、空気潤滑システムと風力支援推進技術によるカーボン削減を検討している。

サウサンプトン大学と共同で、Shell は、喫水とトリムの最適化を行うシステム「JAWS」(just add water system) を社内開発し、同社が運航するタンカー60 隻以上に搭載している。同システムは、燃料消費量を 7%削減し、それに伴う排出削減を実現した。Shell は、Kongsberg Maritime に「JAWS」のライセンスを供与し、海運産業に広く提供する。

Shell は、同社がチャーターしている Danneborg Rederi 所有のプロダクトタンカー「Amalienborg」へ Silverstream 社の空気潤滑システムの搭載を支援し、業界初の試験を行った。2014 年に実施された試験では、3.8~4.3%の燃料削減が実証された。Shell は 2020 年にも、2010 年建造の LNG 運搬船「Methane Patricia Camila」にも空気潤滑システムを搭載し、2021 年第 1 四半期の試験では、6.6%の燃料消費量削減を実現した。Silverstream の空気潤滑システムは、Shell へのチャーター向けに現代重工業と現代三湖重工業で建造中の LNG 運搬船 8 隻に搭載される。Shell は 5~8%の燃料削減を予想している。

Shell は、「Maersk Pelican」へのフレットナーローターセイル搭載プロジェクトで、Norsepower 及び Maersk と協働している。また、Shell は、Norsepower、BAR Technologies、Smart Green Shipping と共同で、風力支援推進技術の研究を進めている。

Equinor、Shell、TotalEnergie の合弁会社 Northern Lights は、LNG 燃料の CO₂ 運搬船 2 隻を発注した。両船は大連船舶重工 (Dalian Shipbuilding Industry) が建造中で、2024 年の引き渡しが予定されている。各船には風力支援推進システム 1 基と空気潤滑システムが搭載され、従来船と比較してカーボン強度を 34%削減すると予想されている。

4.2.20 Equinor (ノルウェー)

Equinor は、同社の石油・ガス掘削、石油輸送、洋上風力発電事業をサポートする長距離船及び短距離船 250 隻以上をチャーターしており、業界の CO₂ 排出削減努力を主導している。

これまでの Equinor の CO₂ 排出削減努力は、海運からの排出を低減する代替燃料の開発が中心で、船舶のエネルギー消費量を削減する技術には焦点を当てていなかった。しかしながら、Equinor は、船隊の効率化を管理するために船隊最適化ソフトウェアを利用している。Northern Lights ジョイントベンチャーを通じ、Equinor は大連船舶重工で建造中の CO₂ 運搬船 2 隻を部分的に所有している。両船には、風力支援推進システム 1 基と空気潤滑システムが搭載され、従来船と比較してカーボン強度を 34%削減すると予想されている。

また、同社は、DNV と共同で、カーボン回収・貯蔵の安全性を高めることを目的とした DNV の CO₂ 計算流体力学ソフトウェアの開発に関する 3 年間プロジェクトを行っている。同ソフトウェアは、貯蔵設備からの CO₂ 漏出事故、またはパイプライン、トラック、船舶からの CO₂ 漏れのシミュレーションを作成する。

4.2.21 BP Shipping (英国)

BP Shipping は、190 隻を管理下に置き、うち 40 隻を運航している。BP は最近、船隊リニューアル計画を完了し、32 隻の新造船を竣工させた。新造船の何隻かは、特定の速力と出力条件で運転するようプログラム化された低速エンジン、及び Mewis Ducts を搭載している。

4.2.22 Navigator Gas（英国）

Navigator Gas は、同社のサプライヤー政策の一環として、船体塗料の入札に参加する船用塗料メーカーに対し、予想される燃料及び CO₂ 排出削減性能に関するデータの提出を要求している。Navigator Gas は、外部コンサルタント企業を用いて排出削減データを確認し、入札を検討する。

同社は、燃料消費と排出の最小化を目的に、ウェザー・ルーティング技術を採用している。同技術を使用した場合、平均して燃料を 6 トン、CO₂ を 19 トン削減することが可能であると同社は述べている。

Navigator Gas は、排出目標達成のためにカーボン・オフセット手法の試験を行っている。2021 年、同社は米国 - モロッコ間を航行する同社の半冷蔵ガスタンカーで、カーボンニュートラルな航行試験を行った。同社は、認証された換算係数を用いて、同航海の CO₂ 排出量は 1,068 トンであると算出した。ノルウェーの気候技術企業 CHOOOSE の協力により、同社はこの排出量を相殺できる他のプロジェクトを特定した。この試験航海の排出相殺の手段として、同社はフィリピンの再生可能エネルギープロジェクトを選び、支援を行った。Navigator Gas は、このようなカーボン・オフセット手法を提供製品に統合し、サプライチェーンの他の部分でカーボン排出を相殺していく計画である。

4.2.23 Exmar（ベルギー）

Exmar は、燃料消費量と排出削減のために様々な改善を行ってきた。同社の新造中型 LPG タンカー13 隻は、最適化された船体設計と新型プロペラを搭載し、同社によると、旧船型の中型 LPG タンカーと比較して燃料消費量を 10%低減している。新船型には、SO_x 排出量を 95%以上、粒子状物質排出量を 60%削減する排ガススクラバーのレトロフィットも可能である。

2021 年 10 月、Exmar は、韓国／ノルウェーLattice Technology 社と共同で、Lattice Technology 社の革新的な CO₂ 輸送タンクを搭載した新型 CO₂ 運搬船の開発を開始した。同プロジェクトでは、40,500 m³の貨物積載量を持つ全長 195m のパナマックス型タンカーは、年間 2~10mtpa（百万トン）の規模の CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）プロジェクトを支援する。また、同タンクは、荒天時のスロッシングを防止する設計となっている。

Exmar の LNG 運搬船「*Excalibur*」及び「*Excellence*」は、最近、シリコンベースの防汚塗料による多層のコーティングを施された。さらなるコーティングも検討されている。

同社は、エネルギー効率を最適化するデジタルプラットフォーム 3 基を運用している。プラットフォームは、船舶のパフォーマンスと蒸気プラントの効率の監視、運航時間を最小限にするウェザー・ルーティングとトリムの最適化などの機能を持つ。また、LPG タンカー上で内燃エンジンの運転状態を分析するソフトウェアも導入している。

4.2.24 Scandlines（デンマーク）

Scandlines は、ディーゼル - バッテリー電気ハイブリッド動力の導入に加え、自社フェリーにいくつかのエネルギー効率化技術を採用している。

新型スラスタは、水流を均等化し、燃料消費量を削減する。同社のプロジェクトのひとつは、従来のプッシュスラスタをプルスラスタに交換することである。同社によると、2019 年に同社フェリー「*Schleswig Holstein*」、2020 年に「*Deutschland*」に新型スラスタを搭載した結果、CO₂ 排出量は 10~15%削減された。2021 年と 2022 年には、さらに 2 隻のフェリーの推進システムのアップグレードを行う計画である。

Scandlines は、摩擦を軽減するシリコンベースの塗料を、2015 年にフェリー「*Princesse Benedicte*」、2020 年に「*Deutschland*」に採用した。これにより、CO₂ 排出量の 4%削減を実現した。

2020 年、Scandlines は、同社フェリー「*Copenhagen*」で、燃料消費分析ツールの支援を行った。試験の結果は、燃料消費と排出のさらなる削減に向けた方法の決定に利用する。

2020 年、Scandlines は、同じく「*Copenhagen*」に高さ 30m の Norsepower ローターセイル 1 基を設置し、4~5%の燃料消費量削減を実現した。同社は 2 隻目のフェリー「*Berlin*」にもローターセイルを採用することを決定し、その基礎は既に設置されている。2022 年にはセイルが設置される予定である。

4.2.25 Stolt Tankers (オランダ)

Stolt Tankers は、同社タンカー船隊の排出削減を目的に、様々な方策を実施してきた。同社は、船体とプロペラの状態監視と洗浄、機関の調整と最も効率的な設計点での運転、排熱の削減または回収、電量消費量の削減などの方策を挙げている。同社の航海管理システムは、最適なルートで最適な速力とトリムで船舶を運航することにより、燃料消費量を削減する。また、船隊に搭載された後流ダクト、新型ステーターフィン、プロペラ・ボスキャップ・フィンなどのデバイスにより、効率を向上させている。

Stolt Tankers は、燃料消費量削減のためにさらなる手法の導入を研究している。その例としては、船内流量計による高精度なエネルギー監視、風力支援推進システム、新造船の船型と推進システムの最適化などがある。

同社は、ターミナル設備への投資と、カーボン排出を削減するために運営手段の変更を行っている。同社は、2020 年、ヒューストン港湾内の船舶移動を最小限に抑えることにより、CO₂ 排出を 2,000 トン削減した。ターミナルには、貨物が蒸気を大気中に排出することを防ぐ蒸気回収システム、スクラバー、フレア (flares)、内部浮体式ルーフ (internal floating roofs)、窒素ブランケット (nitrogen blankets) などを設置している。2020 年、Stolt Tankers は、ニュージーランドのマウント・マウンガヌイターミナルの溶剤タンクをアップグレードし、蒸気排出を 50%削減した。また、天津では、蒸気回収システムをカーボン設備に統合し、揮発性有機化合物の大気中への排出を大幅に削減した。さらに、オランダ・ムールダイクの倉庫のレイアウトを変更し、コンテナ移動の効率化により消費燃料を削減した。

4.2.26 Terntank (デンマーク)

運航の最適化と排出削減を目的に、Terntank は運航計画に定時 (just-in-time) 入港アプローチのプラットフォームを採用している。このプラットフォームにより、同社は運航中の船舶の速力を管理し、沖合での待機を回避し、バースが利用可能になった時点で入港させることができる。また、同社は、燃料節約と排出削減方法を特定するデジタルプラットフォームへの投資を行っている。

4.2.27 その他の欧州海運会社

その他の欧州海運会社による最近のエネルギー削減戦略の例を、以下に要約する。

- オランダ Vroon は、スウェーデン Berg Propulsion と共同で、同社が地中海で運航している 2008 年建造のコンテナ船「*Indian Express*」向けの新型プロペラを開発した。新型プロペラは 2021 年に搭載され、旧プロペラよりも 50%の効率向上を実現した。燃料消費量は削減され、排出量は IMO の CII (カーボン強度指標) 目標以下に削減された。

- ギリシャ Blue Planet Shipping は、2018 年、64,000DWT 型ばら積み船「Afros」にレール式垂直型ローターセイル 4 基を搭載し、平均 4～8%の燃料削減を実現した。同社は、82,000DWT 型ばら積み船「Axios」にも同様の風力支援推進システムを搭載し、試験を行う計画である。レールは設置済みであるが、セイルはまだ搭載されていない。
- オランダ Spliethoff Group の子会社 Bore は、同社の RORO 船「Estraden」に、補助動力としてローターセイルを搭載した。
- フランス Alizés (Jifmar Offshore Services と Zéphyr & Borée の合弁会社) は、フランス ArianeGroup から、同社のロケット「Ariane 6」の部品を欧州から発射基地のあるフランス領ギアナへ輸送する風力支援船の設計と建造を受注した。新造船「Canoupee」は、機械式折り畳み可能ソフトウィングセイル「Oceanwings」4 基を搭載し、ディーゼル主機の補助動力となる。これにより 30%の燃料及び CO₂ 削減が予想されている。
- 航空機部品を欧州から米国に輸送する RORO 船 4 隻を運航している Airbus は、2018 年、フランス Airseas の「SeaWing」システムを発注した。SeaWing は、パラフォイル技術を基礎とした自動カイトである。
- オランダ Visser Shipping は、2021 年 10 月、同社の 1,040TEU 型コンテナ船「Nordica」に船内カーボン回収・貯蔵システムを搭載した。燃焼による排気中の CO₂ は 100%回収され、船内バッテリーをチャージする。同船のロッテルダム港寄港時に、バッテリーは船から下され、カーボン利用施設でディスチャージされた後、船に返却される。CO₂ はロッテルダムの温室で作物栽培に利用される。Visser Shipping は、同システムの型式認証に協力している。オランダ Value Maritime は、近い将来にハンブルクとブレーマーハーフェンにバッテリー処理施設を開設する計画である。

4.3 欧州の船舶設計企業及び造船所のエネルギー削減技術開発動向

本節では、欧州の設計企業及び造船所 8 社の動向を調査した。表 25 にこれらの企業によるエネルギー削減技術の開発状況を要約し、次に各社の動向を概説する。「√」は、当該企業が特定技術を開発中または利用中であることを示す。

表 25 欧州の船舶設計企業及び造船所のエネルギー削減技術開発状況

	船舶設計と 流体力学	エネルギー 支援技術	ロジスティ ックスと デジタル化	エネルギー 回収	排ガス後処理
Deltamarin	√	√	√	√	
Ulstein	√		√	√	
Damen	√				
Fincantieri	√	√	√		
Vard	√	√	√		
Meyer Werft	√	√	√	√	
Navantia	-	-	-	-	-
Chantiers de l'Atlantique	√	√		√	

4.3.1 Deltamarin (フィンランド)

Deltamarin は、既存船向けの EEXI コンプライアンスサービスを提供し、要求される EEXI 順守のための最適化ソリューションを提案している。また、同社は、Höegh Autoliners の Aroras クラス RORO 船や Stena Line の *E-Flexer* シリーズ船などの省エネ船の設計を手掛けている。

同社は、船舶設計の最適化と革新的なエネルギー技術を組み合わせて GHG 排出量の 99%削減を目指す「CHEK」プロジェクトに参加している。同プロジェクトはヴァーサ大学が主導し、Deltamarin の他、WMU、Wärtsilä、Cargill、MSC Cruises、Lloyds Register、Silverstream Technologies、Hasytec、Climeon、BAR Technologies が参加している。研究される主な技術は、セイル動力、水素推進、排熱回収、バッテリー電力、船体空気潤滑、革新的な防汚技術、オペレーションのデジタル化などである。技術のいくつかはフルスケールの実証実験が行われる。例としては、エネルギーが最適化されたばら積み船、実際の運航プロファイルをベースにした水素駆動クルーズ船などがある。

Deltamarin は、CHEK プロジェクトで船舶設計とデジタルモデリングを担当している。モデリングと最適化は、「デジタルプロトタイプ」から「デジタルツイン」まで様々な形態で行われ、既存船で記録された実際の運航プロファイルを使用する。プロジェクトでは、CHEK プロジェクト船だけではなく、主要船型全てに適用可能な「将来的にも対応可能な船舶設計プラットフォーム」を開発する。

2020 年 10 月、Deltamarin は、BAR Technologies 及び Cargill と共同で、BAR Technologies の海洋船向け風力支援推進システムの利用を促進すると発表した。

4.3.2 Ulstein Design & Solutions (ノルウェー)

Ulstein は、特にオフショアセクター向けの船舶設計で存在感を強めた企業である。同社の設計は、グループ造船所 Ulstein Verft と外部造船所の両方で建造されている。

コアセグメントであるオフショア事業以外では、Ulstein は、China Merchants Heavy Industries で建造中の極海エクスペディションクルーズ船 5 隻の設計を提供した。同船の船体は、ULSTEIN X-BOW 船型を用いて最適化され、燃料消費量を削減している。ULSTEIN X-BOW 船型は、元来オフショア船向けに開発されたソリューションであるが、近年クルーズ船にも採用されるようになった。新造クルーズ船隊は、全て SCR システムを搭載した低排出の Tier III 対応エンジンで駆動され、また廃熱回収システム、LED 照明、排出前に排水を浄化する排水処理システムなどを搭載している。

Ulstein は、2005 年に X-BOW 型の上下が反転した船首形状を発表した。X-BOW は、波高が低い場合にはウェーブピアシング機能を改善し、荒天時には安定性を向上させ、エネルギー効率を改善する。2016 年に発表された「X-STERN」は、船舶の船尾部分に X-BOW 原理を応用した船型で、そのオペレーション特性から後進の多い洋上風力発電サービス船への利点が特に大きい。

Ulstein の IoT プラットフォーム「Blue Box」は、船内データ収集センサーを「Ulstein X-Connect」プラットフォーム経由で陸上データ分析及び管理機能に接続する。Ulstein は、船主 Remøy Shipping は、このプラットフォームの利用により 10%の燃料削減を実現したと述べている。

4.3.3 Damen (オランダ)

Damen は、世界で 35 か所の造船所及び修繕所を運営している。新造船分野では、Damen は、港湾及びターミナル船、オフショア船、浚渫船、公共輸送船、船艇、漁船を建造している。Damen のビジネスモデルは、共通の機器を搭載した標準船型の製品を投機的に建造し、顧客

に提供することである。同社は、全事業のデジタル化と運営効率化により世界で最もサステナブルな造船所をなることを目標としている。

同社は、空気潤滑システム「Damen Air Cavity System」(DACS)を開発した。同システムは、海洋船の燃料消費量を最大 5%削減、内陸水路船では 10~20%の削減を実現する。DU Delft との共同プロジェクトで開発された同システムは、ブリッジ制御システム、エアコンプレッサー、エアバルブ、エアパイプ、横方向及び縦方向の船体補強材で構成されている。Damen は、同システムは特にハイブリッド及び電動船に適していると述べている。図 22 は、DACS のイメージ図である。

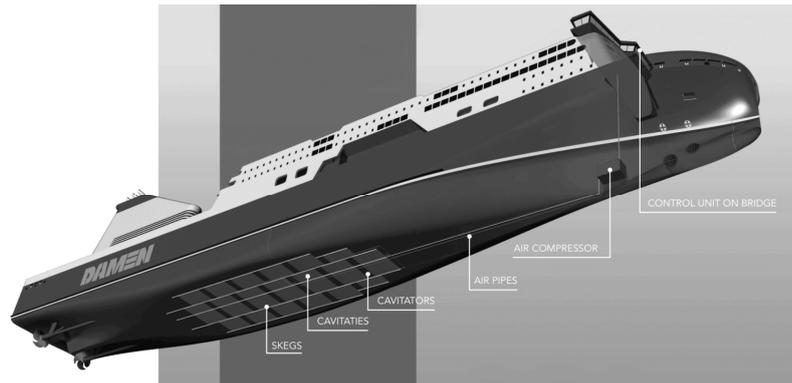


図 22 Damen Air Cavity System (DACS)

(出典: Damen)

4.3.4 Fincantieri (イタリア)

世界に 18 か所の造船所を経営する Fincantieri は、船舶のエネルギー効率向上へのポテンシャルが高い 5 つの研究開発分野を特定している。第一の分野は、低カーボンまたはゼロカーボン燃料で駆動され、エネルギー効率化技術を搭載したグリーンシップの設計と建造である。第二の分野は、IoT ソリューションを活用したスマートシップの開発、第三は、乗員のいない自動運航船の開発、第四は、革新的な建造技術と船舶のライフサイクル計画を統合したスマートな造船所の開発、第五は、多目的モジュラー型 IT プラットフォームを持つスマートなオフショアインフラ設備の開発である。

この 5 つの分野に関する Fincantieri の計画は以下の通りである。

- エネルギー削減ソリューションと GHG 排出削減技術を開発する 5 件のプロジェクトを、大学や研究機関を共同で行う。2022 年以降、2 年に 1 件のプロジェクトを完了する。
- クリーンな技術の研究開発プロジェクトに対し、年間 5,000 万ユーロ超の研究開発予算を計上する。
- 最低 8 件のサステナブルな商船の船型を特定し、開発プロジェクトを行う。
- Fincantieri Dragaggi Ecologici が所有する革新的な浚渫技術を持つ浚渫船「Decomar」を貸し出すエコロジカルなサービスを開発する。
- 2025 年までに、クルーズ船の効率向上と廃棄物削減に向けた循環経済に関する研究開発プロジェクトを実施する。
- グリーン技術ソリューションの開発により、2030 年までに船舶のエネルギー効率を 30%向上させる。

- 2021年までに、サプライヤー選択に ESG 基準を導入し、サステナブルなサプライチェーンを構築する。
- 2020年までに、イタリアとルーマニアでのオペレーションに 100%再生可能電力を使用する。

また、Fincantieri は、EU 助成プログラム「Horizon 2020」内の多くの共同研究開発プロジェクトに参加している。その例としては、新造船、既存船の次世代推進・操船システム向けにゲートラダーシステムを開発する英国ストラトクライド大学主導の「GATERS」プロジェクトがある。プロジェクトの一環として、同システムを沿岸貨物船に搭載する。同システムの原型は、日本で開発された特許技術である。船舶の後方に位置する従来のラダーと異なり、ゲートラダーはプロペラを囲む U 型ラダーである。そのダクト効果により、ノズルとして追加的な推力を発生させる。Wärtsilä は、同技術の開発とグローバルな市場化のためのライセンスを取得している。

同社は、船舶の完全電化アプリケーション向けの大型バッテリーの試験を行う「SEA-BAT」プロジェクト、燃料電池の欧州標準を開発する「STASHH」プロジェクト、造船工程への新素材導入の利点を研究する「RANSSES」プロジェクトなどにも支援を行っている。

4.3.5 VARD (ノルウェー)

Fincantieri のノルウェー造船子会社 VARD は、9 シリーズの船型を提供している。VARD 1～3 シリーズは OSV の船型、VARD 4 シリーズは洋上風力発電建設・支援船の船型、Vard 6 シリーズは旅客船の船型、7 シリーズはオフショアパトロール船の船型、8 シリーズは漁船の船型、9 シリーズはその他の特殊船型をカバーする。Vard 6 シリーズでは、同造船所は、風力支援推進などの技術を採用したゼロエミッションのエクスペディションクルーズ船の船型を開発中である。

VARD の「SeaQ」は、動力管理、ブリッジと航海、船舶制御向けの船用電子・電気システムである。同社は、船舶の運航プロファイルに応じて調整された「SeaQ Energy Storage System」は、余剰エネルギーを貯蔵して必要な場合に使用可能とすることにより、燃料消費量と排出量を削減し、同時にエンジンへの負荷を軽減すると述べている。

4.3.6 Meyer Werft (ドイツ)

ドイツとフィンランドに造船所を持つ Meyer Werft は、ゼロエミッションのクルーズ船の実現を目指し、燃料電池を含む数多くの環境技術ソリューションを研究、開発してきた。また、船内システムの効率向上を目的に数多くのセンサーの微調整を行い、排熱回収技術と断熱によりエネルギー効率をさらに向上させた。船内のエネルギー需要の全ては船用エンジンで製造されるため、エネルギー効率の高い運転により消費燃料を削減し、環境を保護すると同時に運転コストを減少する。

同社のクルーズ船の「グリーンシップ戦略」には、二元燃料エンジン、排ガススクラバー、陸上電力接続の採用、新造船建造における排水管理などが含まれる。水流抵抗を軽減するために船体の水流力学性能が改善され、新型塗料を採用している。船上にソーラーパネルを設置し、補助動力源としている。廃棄物処理システムには廃熱回収システムが追加された。自動エネルギー管理システムにより、ポンプ、ファン、空調設備、その他の電力需要の変動するシステムの環境性能が向上した。船内に廃熱回収ループが設置され、ランドリー室と機関スペースからの熱で、船内プールやその他の場所を加熱している。

Meyer Werft は、風力支援推進の利用と、船内廃棄物のガス化によるバイオ燃料製造に関する研究を行っている。

エネルギー管理システムの一環として、同社は環境関連の幅広いデータを収集し、エネルギー利用と廃棄物管理の監視を行っている。その結果は、排熱回収システム、エネルギー消費量の低い機器、造船所車両の圧縮天然ガス利用、同社パーペンブルク造船所の大型建造ドックにソーラーパネルを設置して再生可能電力発電など数々の環境プロジェクトにつながっている。

4.3.7 Navantia (スペイン)

Navantia は、スペイン国営の船舶設計・造船企業である。近年の造船活動は艦艇建造に集中しているが、同社は固定式及び浮体式の洋上風力発電所向けの基礎構造の製造にも力を入れている。

同社は 2022 年までにカーボンフットプリントを 10%削減するという目標を持ち、LNG 及びハイブリッド推進向けのサービス提供、船内電力消費の最適化、乗員向けの環境トレーニングと意識の改善などのプロジェクトを行っている。

Navantia は、GHG 排出をオフセットするために、カーボントレーディングを採用している。例としては、Navantia は、出張やイベントによる排出を相殺している。同社の全イベントをカーボンニュートラル化し、環境が最優先事項であるというメッセージを明確化している。

4.3.8 Chantiers de l'Atlantique (フランス)

Chantiers de l'Atlantique は、クルーズ船、艦艇、洋上風力発電所の設計及び建造を行っている。

2008 年、Chantiers de l'Atlantique は、同社の造船活動のエネルギー効率向上と環境負荷低減に向けた研究開発プロジェクト「Ecorizon」を開始した。その結果、流体力学性能の改善、排主機に搭載された熱回収システムによる船内サービス用及びプール温水用の電力供給などのソリューションが開発された。

「Ecorizon」プロジェクトから派生した興味深いソリューションのひとつは、Chantiers de l'Atlantique が自社開発した大型クルーズ船に適した風力支援システム「Aeol Drive Solid Sail」である。同システムは、グラスファイバーとカーボンファイバー複合材製パネルである硬質セイルで構成される。試験用セイルは、長さ 95m、幅 2.20m、厚さ 4cm で、カーボンファイバー 20 トンを使用している。同セイルは、現在サン・ナゼールの陸上拠点に設置されている。試験が成功した場合には、同セイルは風力支援推進用としてクルーズ船に搭載される。

Chantiers de l'Atlantique は、海事セクターのイノベーションに焦点を当てた数々の国内及び欧州共同研究開発プロジェクトに参加している。同社は、「Ships of the Future」などの研究開発プロジェクトへの財政支援を行っているフランスの環境転換機関 ADEME のメンバーである。

また、同社は、洋上風力、潮汐、波力エネルギー及び海洋熱エネルギー転換に関するイノベーションプロジェクトを実施する西大西洋海洋エネルギーセンター (West Atlantic Marine Energy Center) にも参加している。さらに、Mer Bretagne-l'Atlantique や EMC2 などのフランスの地域海事クラスターに参加し、複合材、金属、ハイブリッド構造の製造技術の開発を専門とする技術研究機関 Jules Verne Technological Research Institute の設立メンバーでもある。

4.4 欧州の船用メーカー及び船用システム企業のエネルギー削減技術開発動向

本では、欧州の船用機器・システムメーカー 20 社以上の船舶向けエネルギー削減技術及び製品お開発動向を調査した。表 26 はその一覧表で、「√」は各社が関与しているエネルギー削減分野である。続いて各社のエネルギー削減技術を概説する。

表 26 欧州の船用機器・システムメーカーのエネルギー削減技術開発状況

	船舶設計と 流体力学	エネルギー 補助	ロジスティ ックスと デジタル化	エネルギー 回収	排ガス後処理
Wärtsilä	√	√	√	√	√
Kongsberg	√	√	√	√	
Alfa Laval		√	√	√	√
Schottel	√				
Yara		√	√		
Becker	√				
ABB	√		√	√	
Mecklenburger	√				
Berg	√				
The Switch			√	√	
Silverstream	√				
Anemoi		√			
Norsepower		√			
Eco Flettner		√			
Airseas		√			
Ayro		√			
Econwind		√			
Inmarsat			√		
Siglar			√		
Int Paints	√		√		
Jotun	√				
Hempel	√				

4.4.1 Wärtsilä（フィンランド）

Wärtsilä は、船舶のエネルギー効率向上のための幅広い統合推進システム、船舶設計、デジタルツールを提供しており、この分野では特に活動的な企業である。下記に概説した製品には、自社開発ではなく、Wärtsilä がライセンス製造を行っている技術も含まれている。

Wärtsilä の 2 ストローク低速エンジン向け減速運航アップグレードキットは、エンジンの連続運転の負荷範囲を、従来の 60～100%から 10～100%に拡大する。これにより、船主がエネルギー効率向上の手段として減速運航を選んだ場合でも、エンジンのディグレーディングの必要がなくなる。

同社は、プロペラ、エンジン、船体の性能をモデル化する CFD ソフトウェア「OPTI Design」ツールを開発した。同ツールは、流体力学性能の改善によりエネルギー効率向上を支援する。

Wärtsilä は、栗林商船株式会社と、ゲートラダー技術の開発、販売、サービスに関するライセンス契約を締結した。栗林商船は、同技術の他の特許保持者であるかもめプロペラ、海上・港湾・航空技術研究所、山中造船、佐々木紀幸教授を代表している。プロペラ後方に設置される従来のラダーと異なり、ゲートラダーは、図 23 のように 2 基のラダーがプロペラを囲むよ

うに設置されている。同システムは、従来型ラダーのドラグを軽減し、推進効率を高めている。Wärtsilä は、操船性の向上に加え、最低 5% の燃料削減を予想している。



図 23 Wärtsilä ゲートラダー
(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä の「EnergoProFin」(図 24) は、フィンの付いたプロペラキャップがプロペラと同時に回転することにより、エネルギー消費量を 2% 程度削減するプロペラキャップである。



図 24 Wärtsilä 「EnergoProFin」 プロペラキャップ
(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä の「EnergoFlow」は、船尾流の一方をプロペラ回転の反対方向にガイドすることにより、プロペラへの水流を最適化するプレスワール・ステーター (pre-swirl stator) である。同ソリューションは、複数のカーブしたフィンと、船体の横に装着されたリングで構成される (図 25)。10% の燃料消費量削減が可能である。

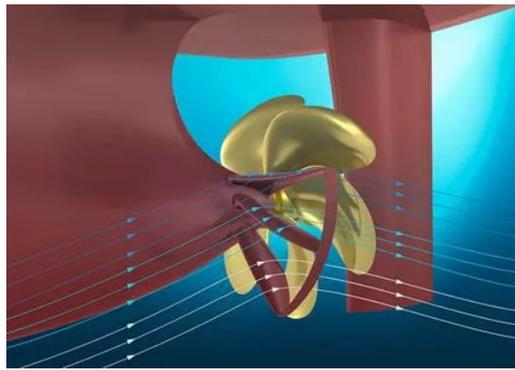


図 25 Wärtsilä「Energoflow」プレッシャー・ステーター
(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä は、風力支援推進技術も提供している。Wärtsilä と英国 Anemoi Maritime Technologies 社は、2020 年にライセンス及び協力合意を締結し、Wärtsilä は Anemoi のローターセイル技術を推進技術事業に完全統合した。Anemoi は、システムの自社販売を継続する。

Anemoi のローターセイルはフレットナーローター技術を採用し、マグナス効果により発生する推力で船舶の推進を支援する。ローターセイルでは、甲板に設置された複数の垂直型シリンダーに吹き付けた風が、前方への牽引力を発生させる。Wärtsilä は、ローターセイルが推進力の 20%を供給した場合、25%の燃料消費量削減が実現されると述べている。ローターセイルはほぼ全ての船種に搭載が可能である。Wärtsilä によると、風力支援推進システムを搭載した船舶は、同システムによって発生するドリフトを補完するため、ラダーの横力を増加させる必要がある。Wärtsilä は、図 26 に示すように、ゲートラダーがこの問題解決に最適なソリューションであるとしている。

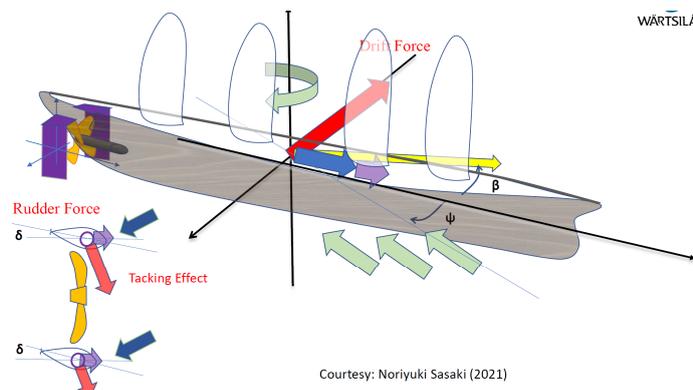


図 26 ゲートラダーによるローターセイル風力支援推進の補完
(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä は、6 基のローターセイルを搭載した超大型鉍石運搬船 (VLOC)、及び 4 基のローターセイルを搭載したアフラマックス型タンカーへの影響をモデル化した。表 27 に示す通り、モデル化では燃料消費量削減率は 18~24%となった。

表 27 Anemoi ローターセイルを搭載した VLOC と
アフラマックス型タンカーのエネルギー及び排出削減モデル

	30m のローターセイル 6 基 を搭載した VLOC 乾貨物船	35m のローターセイル 4 基 を搭載したアフラマックス型 タンカー
ローターセイルによる最高推力 (スラスト)	1,774 kN	1,310 kN
グローバル航路における平均推力	598 kN	311 kN
動力削減	1,200 kW	1,100 kW
エネルギー削減	1.3 kWh/ローター	1.4 kWh/ローター
燃料/排出削減	18.4%	24.1%

(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä は、船舶の平らな船底全体にマイクロバブルの層を形成することで船体の摩擦抵抗を軽減し、燃料及び排出を 5~10%削減する Silverstream 社の空気滑走システムの公認販売・サービスパートナーである。直径 1~3mm のマイクロバブルは、船底に設置された気泡生成装置で生成される。同システムの主な構成要素を図 27 に示す。

2021 年 5 月、Maersk は、Silverstream 空気潤滑システムを同社の大型コンテナ船の 1 隻に搭載する契約を Wärtsilä に発注した。

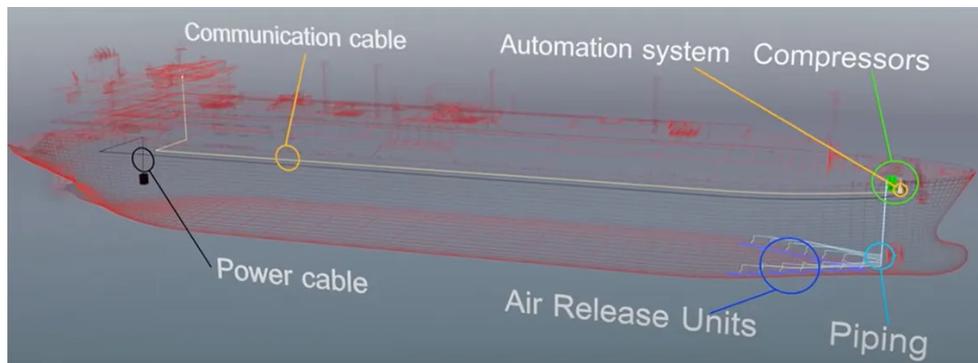


図 27 Silverstream 船体空気潤滑システム

(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä は、Becker Marine Systems 社と共同で、プロペラ、ラダー、操船システムを統合した推進・操船システム「EnergoPac」(図 28)を開発した。同システムは、固定ピッチプロペラ、可変ピッチプロペラの両方に適している。

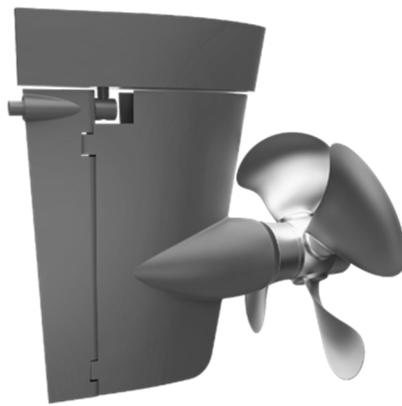


図 28 EnergoPac プロペラ・ラダーシステム
(出典: Wärtsilä)

図 29 に示す高性能ノズル「Wärtsilä High Performance Nozzle」は、推進性能を向上させ、最高 14 ノットの低・中速で航行する OSV、タグボート、漁船、浚渫船、貨物船などの燃料消費量と排出を 2～5%削減する。

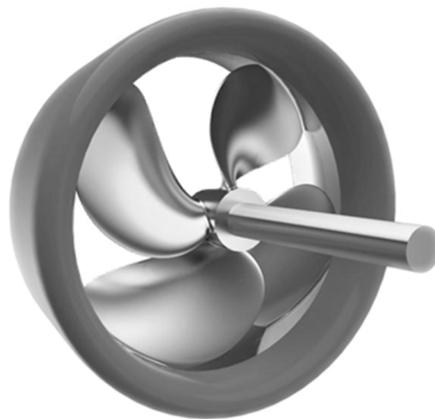


図 29 Wärtsilä 高性能ノズル「High Performance Nozzle」
(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä の「EcoControl」ツールは、燃料流量とエンジン負荷を最適化するスマートな制御システムである。

Wärtsilä は、船舶のエネルギー効率向上のために、550 基以上の軸発電システムの供給実績がある。そのうち 40%近くはコンテナ船に搭載され、35%はばら積み船及びガス運搬船に搭載されている。同システムでは、主機により駆動される軸発電機がプロペラを駆動し、船内電力網に電力を供給する。同システムは、電力網のコンスタントな電圧要求と変化する主機の回転速度に対応するために周波数変換装置を必要とする。完全に統合されたシステムは、船舶のプロペラ、スラスタ、電力網に電力を供給し、バッテリー貯蔵と陸上電力接続を統合する。同システムを図 30 に示す。

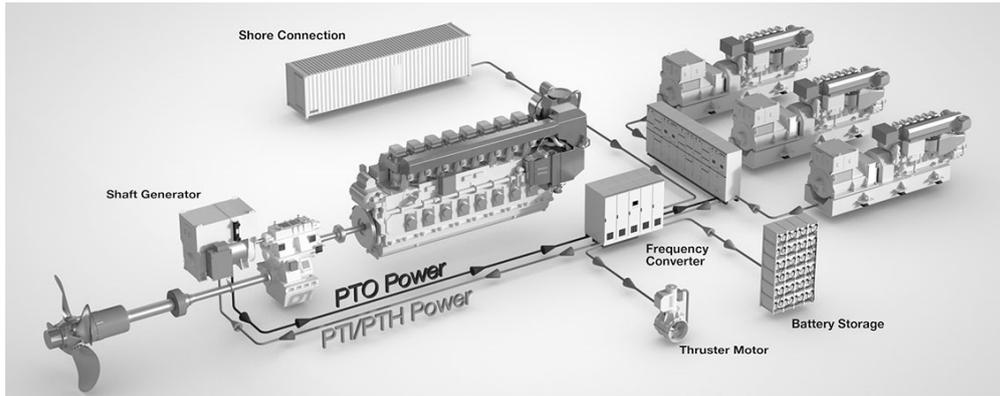


図 30 完全統合ハイブリッド軸発電システム

(出典: Wärtsilä)

Wärtsilä Exhaust Treatment は、カーボン回収・貯蔵システムを開発し、船舶のカーボンフットプリント削減を目指した計画の一環として、2023年に Solvang 所有の 21,000 m³型エチレン運搬船「*Clipper Eos*」にレトロフィットする予定である。

2023年に発効する EEXI 規則へのコンプライアンスのため、Wärtsilä は、通常運転中にエンジンと軸発電の動力を効果的に制限する 2 ストローク及び 4 ストロークエンジン向けの動力制限ツールのシリーズを発表した。

Wärtsilä は、ノルウェーリサーチカウンシルが支援する産業イノベーションプロジェクト「LINCCS」の船用分野の研究を主導している。同プロジェクトは、カーボン回収・貯蔵プロジェクト「Northern Lights」と連携している。Wärtsilä は、同社のモス（ノルウェー）拠点に 1 MW のカーボン回収・貯蔵試験プラントを建造中である。その目的は、船用カーボン回収技術を開発し、技術コストを 70%削減することである。SINTEF と Sustainable Energy Catapult が、同プロジェクトの船用技術研究に参加している。

Wärtsilä のもうひとつのエネルギー削減プロジェクトは、幅広いデジタルソリューションを組み合わせた統合デジタルプラットフォーム「Wärtsilä Voyage」の提供である。同システムは、運航計画と気象条件を最適化する情報を船舶と陸上に提供、船舶のリアルタイムパフォーマンスデータを収集、用船契約及び環境報告義務の監視、定時到着のための船と陸上の接続性、衝突回避人工知能ソフトウェア、自動運航制御システムなどの機能を含んでいる。2021年11月、Wärtsilä Voyage 社は、シンガポール海事港湾局と提携契約を締結した。Wärtsilä とシンガポール港のデジタルプラットフォームのシナジー効果により、ジャスト・イン・タイム運航、船陸間のデータ交換、自動運航船技術などを支援する。

4.4.2 Kongsberg Maritime（ノルウェー）

Kongsberg は、船舶のエネルギー効率向上のためシステム開発を非常に積極的に行っている欧州企業のひとつである。船舶設計企業、エンジン・船用機器メーカーとして、同社は、流体力学改善により EEDI、EEXI、CII 規則に対応するソリューション及び機器選択への統合アプローチを提供している。2019年には、Rolls-Royce Commercial Marine 部門を買収し、同社の製品提供体制に完全統合した。

同社は、エネルギー効率改善による CO₂ 排出削減への統合アプローチの利点として、Nor Lines 社の船隊リニューアルプログラムの例を挙げている。Nor Lines は、同社の新造 RORO 船「*Kvitbjørn*」及び「*Kvitnos*」が、要求される運航速度 14.3 ノットを維持しながら、排出を削減する手法を模索していた。そのソリューションは、新設計のパウを採用した船型の最適化、LNG 燃料エンジン、ラダーとプロペラの最適化の組み合わせである。これにより、従来の船舶

よりも 40%低い CO₂ 排出量を実現した。Kongsberg によると、ウェーブピアシング型バウは CO₂ 排出量を 5~8%削減、統合ラダー・プロペラシステム「Promas」は 5~8%、ハイブリッド軸発電機は 4~6%、統合設計アプローチは 4~6%、それぞれ CO₂ 排出量を削減した。

Kongsberg は、Hurtigruten 社の既存クルーズ船 6 隻、及び Havila Kystruten 社の新造クルーズ船 4 隻にも統合アプローチを採用した。両船隊には、LNG エンジン、バッテリー、最適化されたラダーとプロペラ、動力管理システム、排熱回収システムから成る統合ソリューションが搭載された。

図 31 に示す統合プロペラ・ラダーシステム「Promas」は、燃料消費量を削減する操船ソリューションの例である。プロペラに接続された「Costas」バルブへの水流を調整し、プロペラ直後の分流発生を軽減する特殊ハブキャップをプロペラに装着することにより、流体力学性能を向上させる。Kongsberg によると、このシステムにより、シングルスクリュー船では 3~8%、ツインスクリュー船では 2~6%の効率向上が実現される。

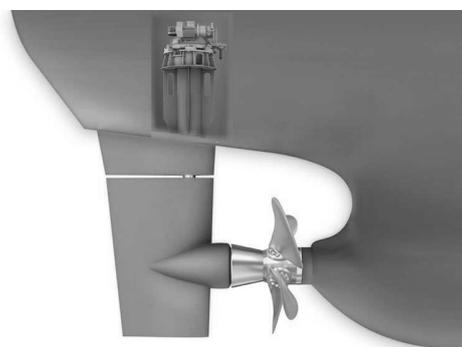


図 31 Kongsberg 「Promas」推進・操船システム
(出典: Kongsberg)

Kongsberg は、キャビテーショントンネル 2 基を持つ自社流体力学研究センターで、可変ピッチプロペラ、固定ピッチプロペラ、調整可能ボルト付きプロペラの開発を行っている。また、同センターでは、トンネルスラスタ、アジマススラスタの開発と最適化も行っている。

Shell は、海運業への利用拡大を目的に、同社の喫水・トリム最適化ソフトウェア「JAWS」のライセンスを、Kongsberg Maritime に供与した。Shell 運航船 60 隻以上に搭載されている同システムは、燃料消費量と関連排出を 7%削減する。

Kongsberg は、燃料効率向上を実現するデジタルプラットフォーム「Kognifai」を開発した。同プラットフォームは、データ収集を行う複数の船内センサーとデータ転送、保存、分析、プレゼンを行うシステムで構成された統合デジタルシステムである。

2018 年、Kongsberg と Wilhelmsen は新合弁企業 Massterly を設立した。同社は、設計、開発、制御システム、ロジスティックスサービス、運航を含む自動運航船の全バリューチェーンに関するソリューションを提供する。Massterly は、ノルウェーにおいて、Yara のフィーダーコンテナ船 1 隻及び ASKO の RORO 船 2 隻、合計 3 隻の自動運航船を管理する契約を発表している。

Wärtsilä と Anemoui のライセンス契約と同様に、Kongsberg と Norsepower Oy は、2021 年 11 月に風力支援推進システムに関する契約を締結した。Kongsberg は Norsepower のローターセイル風力支援推進システムを、Kongsberg の動力・推進システム製品として販売する。Norsepower は、自社製品として同システムの販売を継続する。

4.4.3 Alfa Laval (スウェーデン)

Alfa Laval は、エネルギー、環境、食品、海事産業向け熱交換、分離、流体処理システムの大手メーカーである。

同社の Aalborg ボイラー製品は、主機及び補機用廃熱回収システムを含む。Alfa Laval の推定では、主機の燃料エネルギーの約 50%が推進に使われ、残りのエネルギーは熱として放出される。廃熱回収システムはそのエネルギーの最大 14%を回収する。図 32 は、排熱回収ボイラーのシステム内の動きを示したものである。同ボイラーは、従来型燃料駆動エンジン及び LNG 燃料エンジンの両方に適応する。

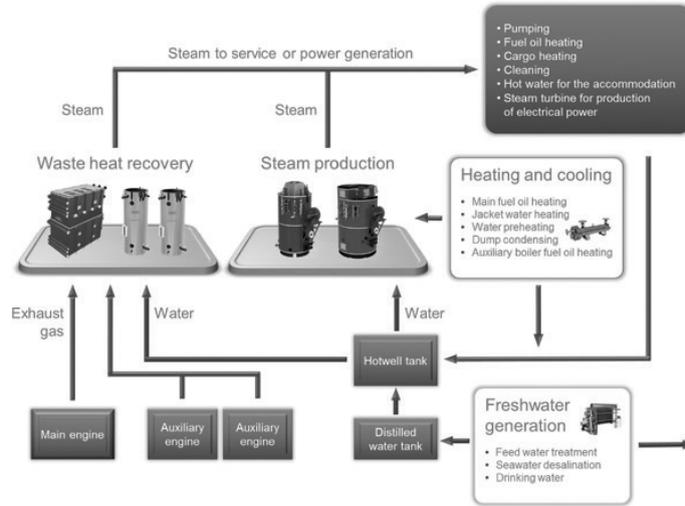


図 32 廃熱回収と蒸気製造システム

(出典: Alfa Laval)

Alfa Laval の廃熱回収システムは、様々なアプリケーションで使用されている。例としては、コンテナ船では廃熱から製造された蒸気が電気エネルギーに転換され、冷蔵コンテナの動力となる。また、廃熱は、クルーズ船の空間、シャワー、プール、ギャレー、ランドリーの熱源として使用される。新世代の廃熱回収システムは、軸系に電動機を統合することにより、船舶の推進力の補助となる。蒸気タービンからの電力が電動機を駆動する。図 33 は、船舶の補機からの廃熱回収を最適化する廃熱システムである。

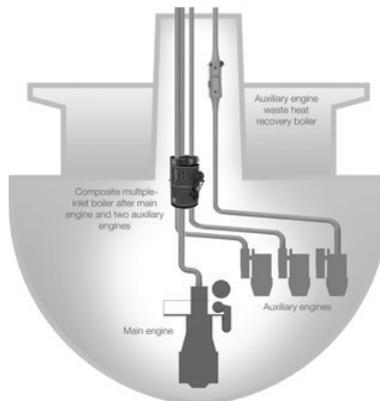


図 33 補機の廃熱回収システム

(出典: Alfa Laval)

2021年半ば、Alfa Laval は、日本の海上技術安全研究所のカーボン回収・貯蔵技術の実船試験プロジェクトの支援を行った。この試験では、改造された Alfa Laval のスクラバー「PureSOx」が補機の排ガスを処理し、スクラバーによる船内 CO₂回収が可能であることを実証した。同試験では CO₂の貯蔵は行われなかった。

Alfa Laval と Wallenius Group は、合弁会社 AlfaWall Oceanbird を設立し、貨物船向けの風力支援推進ソリューションの開発を行っている。同社は、2020 年代半ばに引渡し予定の 7,000CEU 型大西洋横断自動車運搬船「*Orcelle Wind*」向けの風力支援推進システムを開発する計画である。同船は Wallenius Wilhelmsen が運航する。同船には高さ 80m のウィングセイル 5 基を搭載し、風力を主な推進エネルギーとする。ウィングセイルは入れ子式に格納することが可能で、強風時にセイル面積を縮小する必要がある場合、または橋の下を通過する場合には、セイルを低くすることができる。風力エネルギーは十分でない場合に備え、同船は補機を備えている。図 34 は、「Oceanbird」のイメージ図である。



図 34 AlfaWall の風力支援推進システム「Oceanbird」
(出典: Alfa Laval)

デジタルソリューション拡大戦略の一環として、Alfa Laval は 2021 年にノルウェー StormGeo 社を買収した。StormGeo の気象情報プラットフォームにより、船主はウェザー・ルーティングや航路計画を管理して運航効率を最適化し、排出量を削減する。

4.4.4 Schottel (ドイツ)

Schottel は、アジマス式推進・操船システムの大手メーカーである。Schottel のシステムは、特に港湾タグボートやフェリーへの利用に適しているが、小型クルーズ船、LNG バンカリング船、洋上風力サービス船、浚渫船など他の船種にも採用されている。

Schottel のアジマスシステム製品群のひとつ「EcoPeller」は、パワフルなプロペラ推力とフィンの保針性を統合したサステナブルで高効率の多機能システムである、と同社は述べている。Schottel は、EcoPeller の流体力学的に最適化された設計は、最大限のステアリング能力を発揮し、全体効率と保針性に優れているとしている。これにより、燃料消費量は削減され、運転コストと排出量も低減する。

2021 年 11 月、Schottel は、FinFerries 社の電気駆動ハイブリッドフェリー「*Altera*」向けに「EcoPellers」2 基を受注した。同船は完全バッテリー駆動で、バッテリーは再生可能電力により充電される。ディーゼル発電機 2 基がバックアップとして搭載される。推進システムは、電気駆動アジマススラスタ Schottel SRE 430 型「EcoPeller」2 基で構成される。1 基の定

格は 950kW、プロペラ直径は 2.35m である。このアジマススラスタは氷海対応で、フィンランド・スウェーデンの「Ice Class 1B」ノーテーションを持つ。現在ポーランドで建造中の同フェリーは、2023 年の引き渡しが予定されている。

ノルウェーのフェリー運航企業 Fjord1、Norled、Torghatten は、全て新造船のいくつかに「EcoPellers」を選んでいる。図 35 は、EcoPeller のイメージ図である。



図 35 Schottel EcoPeller

(出典: Schottel)

4.4.5 Yara Marine Technologies (ノルウェー)

IoT 製品拡大を目指し、Yara は 2021 年 7 月にスウェーデン Lean Marine を買収し、同社が開発した「FuelOpt」ツールとクラウドベースのプラットフォーム「Fleet Analytics」の権利を取得した。

「FuelOpt」は、船速、エンジン出力、燃料の最大許容消費量のバランスをとるデジタルツールで、200 隻以上への搭載実績がある。Lean Marine は、固定ピッチプロペラを搭載した船舶では 3~4%、可変ピッチプロペラ搭載船では最大 15%の燃料消費量を削減すると述べている。顧客は、Color Line、UECC、Rederiet Stenersen などである。

クラウドベースの「Fleet Analytics」プラットフォームは、船舶の運航データを収集、分析し、効率の動向、自動環境及び航海レポート、船隊の状況と位置情報を提供する。データはサンプルでクリアな情報に変換され船舶の運航と報告を改善する。

同社は、「Fleet Analytics」は、船舶の日常的なフォローアップと長期的なパフォーマンス分析の両方に利用可能であるとしている。また、「Fleet Analytics」が提供する船舶の詳細な技術情報により、船主は問題の可能性を発見、または運航の理解を深めることができる。さらに、他の船舶の情報と比較することで、自船のパフォーマンスを改善することができる。

「FuelOpt」と「Fleet Analytics」は、Yara Marine の舶用グリーン技術製品の一部となり、同社のグローバルサービス及びサポートインフラにより支援されている。

2021 年 4 月、Yara と英国 BAR Technologies 社は、BAR の風力推進技術「WindWings」の開発と販売に関する独占契約に合意した。Yara は、今後「WindWings」の資材調達、建造、設置、サービスを担当する。BAR Technologies は、研究開発とイノベーションプロセスを担当する。この硬質セイルシステムはヒンジ上に搭載され、使用しない場合は甲板上に横にすることができる。BAR Technologies は、同システムにより 30%の燃料消費削減が可能であるとしている。

現在 Deltamarin が、2022 年に予定されている Cargill のばら積み船への「WindWings」システムのレトロフィットの設計を行っている。図 36 は、船上に設置された「WindWings」システムのイメージ図である。



図 36 Yara Marine Technologies の「BARTech WindWings」
(出典: Yara Marine Technologies)

4.4.6 Becker Marine Systems (ドイツ)

Becker Marine は、操船システムの大手企業である。また、同社は、LNG ハイブリッドバージや船用バッテリーシステムなどのエネルギー削減ソリューションの開発も行っている。

Becker Marine の主力製品は各種ラダーで、1960 年代に発表された「Becker Flap Rudder」で市場リーダーとなった。同社が提供するラダー製品群には、スピードラダー、ねじりラダー、メンテナンスフリーラダー、ラダーバルブなどが含まれる。さらに近年の製品としては、船舶のパフォーマンスと燃料効率を向上させる省エネ型ラダー「Mewis Duct」と「Mewis Duct Twisted」が追加された。

「Mewis Duct」は、プロペラ前方に位置するダクトと統合フィンシステムから構成されている。ダクトは船体の後流を強力にして加速し、プロペラに送り込むと同時に推力を増加させる。フィンシステムは船体の後流にプレスワール（旋回流）を発生させ、プロペラ後流による損失を軽減する。図 37 は、「Mewis Duct」のイメージ図である。

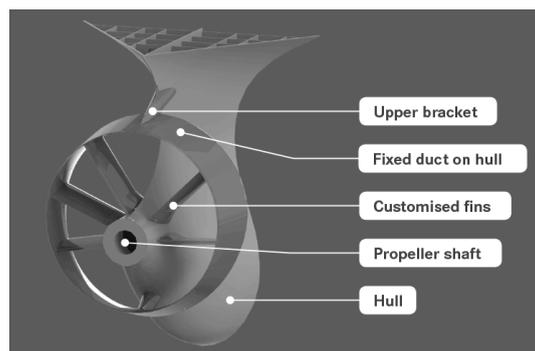


図 37 Becker Marine 「Mewis Duct」
(出典: Becker Marine Systems)

Becker Marine の近年の新製品は、さらに高速な船舶、特にコンテナ船のエネルギー削減を実現する「Mewis Duct Twisted」である。「Mewis Duct」と同様に、「Mewis Duct Twisted」は小型ノズル、ドラッグの小さいフラットなプロファイル、ノズルの外側に装着されたフィンが特徴である。同システムは、平均 3% のエネルギー削減を実現する。

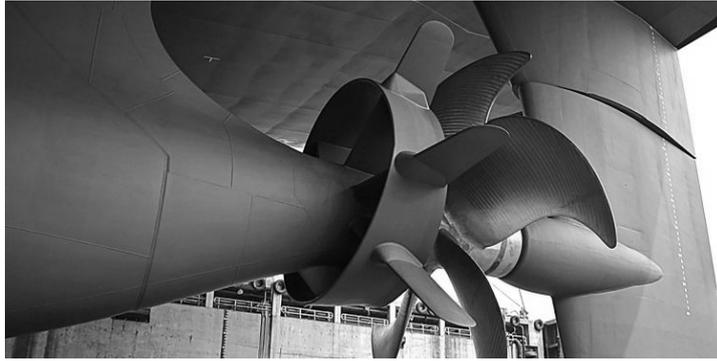


図 38 Becker Marine 「Mewis Duct Twisted」

(出典: Becker Marine Systems)

最大の操縦性と燃料効率を得るためには、Becker Marine は、「Mewis Duct」、「Mewis Duct Twisted」と、「Becker Flap」、「Becker Twist」または「Becker Shilling Rudder」を組み合わせることを推奨している。

4.4.7 ABB (スイス)

ABB は、電動機で駆動されるポッド推進システムのパイオニアである ABB の「Azipod」システムは過去 30 年間にわたって開発されてきた。船底に設置された 360°回転する Azipod は、電動機に直接接続され、軸系やメカニカルな駆動系を持たない。

30 年ほど前にクルーズ船に初搭載されて以来、Azipod は、その 2,000 万時間以上の稼働時間に 100 万トン前後の燃料を削減してきた。ABB によると、全ての大手クルーズ海運会社は、Azipod が搭載された発注済みまたは建造中の新造船を持つ。クルーズ船セグメント以外でも、Azipod はフェリー、ROPAX 船、近年急速に成長しているエクスペディションクルーズ船、オフショア石油・ガス掘削船、建造船、シャトルタンカー、ガス運搬船、ばら積み船などの分野においても大きな市場シェアを持っている。ABB は、さらに大きな推力が必要な船種向けには、ノズル付きの Azipod を提供している。図 39 は、クルーズ船向けの大型 Azipod である。



図 39 ABB XO 14~22MW 型 Azipod

(出典: ABB)

ABB は、近代的な船は電力を基礎に建造されるとの信念を持っている。3.3.6 では、ABB の陸上電力接続、バッテリー及び燃料電池技術に言及した。ABB は、船舶の「電気バックボーン」を支援するために、幅広い自動化及び制御システムも開発している。

従来の AC システムに加え、ABB は、可変速度発電装置、軸発電機、バッテリー、燃料電池などの代替エネルギー源を統合する船内 DC グリッド技術を開発した。その例としては、2017 年建造のケーブル敷設船「*NKT Victoria*」に ABB DC グリッド、バッテリー貯蔵システム、Azipod スラスタ、運転管理システムを搭載した。同船は、従来型ケーブル敷設船に比べ、CO₂ 排出量の 66% 削減を実現した。

軸発電機からエネルギーを回収する ABB の永久磁石パワーテイクオフ・ソリューションは、船舶を効率化する設計となっている。2021 年 11 月、ビルマ Himalaya Shipping は、同社が江蘇新時代造船 (New Times Shipbuilding) で建造中のケープサイズ型二元燃料ばら積み船 (210,000DWT) 12 隻に、ABB のパワーテイクオフ・ソリューションを搭載すると発表した。同船隊は 2023 年に引き渡しの予定である。同システムは、船舶のエネルギー効率を 3~4% 改善する。

発電用の蒸気を製造する ABB の廃熱回収ボイラーは、比較的安定した運航プロファイルを持ち、推進負荷の高い船舶に適している。2015~2015 年に竣工した MSC の新造 8,800TEU 型コンテナ船 14 隻は、搭載された廃熱回収システムにより、船舶の出力が 4% 増加した。

また、ABB は、船舶の運航のデータ収集、分析、自動化を支援する各種デジタルツールを開発している。

4.4.8 Mecklenburger (MMG) (ドイツ)

Mecklenburger Metallguss (MMG) は、あらゆる大きさの船舶向けの大型固定ピッチ及び可変ピッチプロペラの設計と製造を行っている。また、同社はプロペラのレトロフィットサービスも提供している。

MMG のエネルギー節約型「Espro」プロペラは、それぞれの船舶の要求に応じて設計される。同社は、10% の燃料消費量削減が可能であるとしている。また、「Escap」ボスキャップは、船舶の効率を 3% 改善する。MMG のエネルギー節約パッケージは、プロペラとラダーの統合し、最適化された推進システムより最大 14% の燃料消費量削減が可能である。図 40 は、「Espro」固定ピッチプロペラとエネルギー節約型プロペラボスキャップである。



図 40 MMG 「Espro」固定ピッチプロペラと「Escap」ボスキャップ
(出典: MMG)

4.4.9 Berg Propulsion (スウェーデン)

MMG と同様に、Berg Propulsion は、船舶の流体力学性能を最適化する可変ピッチプロペラの設計と製造を行っている。また、Berg Propulsion は、アジマススラスタ、固定及び可変ピッチ電動トンネルスラスタ、アジマススラスタ向けの燃料効率の高いツインフィンシステム、電気駆動装置をスラスタに統合するシステムなどの製造も行っている。

2021年11月、Berg Propulsion と安川電機の子会社 Yaskawa Environmental Energy/The Switch は、プロペラ軸を電動機が駆動する推進システムに関する両社の技術を統合するサプライヤー・提携合意を締結した。The Switch は永久磁石機関とパワーエレクトロニック製品を供給し、Berg Propulsion はシステム設計、設置、試運転、アフターセールスサービスを担当する。両社は、カナダ海運会社 CSL の大型ばら積み船向けの可変速ディーゼルエレクトリック発電装置の供給で協力した実績がある。同発電装置は、Berg Propulsion のツインフィン付き可変ピッチプロペラを駆動する。The Switch によると、永久磁石軸発電機は、全負荷運転で誘導/AC 機種に比べて 24%以上燃料効率が高く、部分負荷では 10%高い。図 41 は、The Switch の永久磁石発電装置である。

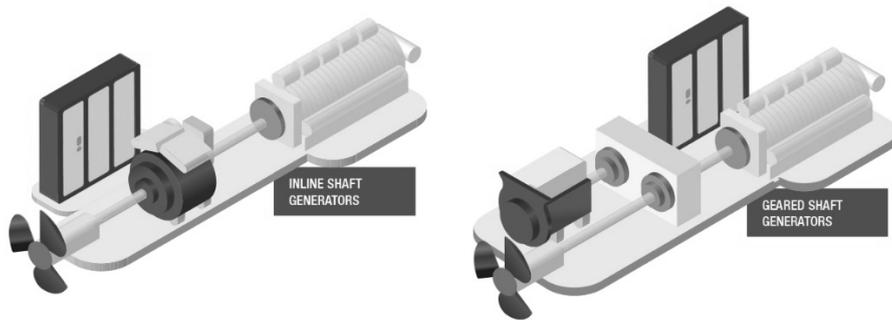


図 41 The Switch 永久磁石発電装置

(出典: Yaskawa Environmental Energy/The Switch)

Berg Propulsion は、Stena Line 及び Deltamarin と共同で、2020～2021年に引き渡された Stena Line の新造メタノール対応型 LNG 燃料 ROPAX フェリー3隻「*Stena Estrid*」、「*Stena Edda*」、「*Stena Lagan*」の開発を行った。Stena Teknik のプロジェクトマネージャーは、「*Stena Estrid*」は Stena の歴史の中で最も高効率の船舶であると述べている。

4.4.10 The Switch (Finland)

The Switch は、駆動技術、自動化技術、産業ロボット製造大手の安川電機の子会社である。The Switch は、電気駆動系ソリューション、サステナブルなエネルギー転換ソリューション、効果的なエネルギー貯蔵技術の開発を行っている。

Berg Propulsion と共同開発を行っている電気駆動システムソリューション以外に、The Switch は、船用機器の運転により発生したエネルギーを回収し、利用する船舶向けの動力管理ソリューションを提供している。

大型クレーンとジャッキアップシステムを搭載した洋上風力発電建設船の例を挙げ、The Switch は、従来の AC 配電・供給システムは DC ソリューションよりもエネルギー効率が低いとしている。AC ソリューションは、クレーン等の大型機器から回収されたエネルギーを効率的に利用できず、また大型システムは大きな短絡電流の影響を受ける。The Switch は、特定の

アプリケーションには DC ハブが効率的なソリューションであると述べている。

DC ハブは、電子バスリンクと電子 DC ブレーカーを含む。同システムは、AC システムよりも約 13% 軽量で、サイズも 15% 小さい。DC システムでは、変圧器の要求は最小限、または全く必要がない。このバスリンクシステムの利点は、燃料消費量の削減である。

4.4.11 Silverstream (英国)

Silverstream の空気潤滑システムは、新造船への搭載及び既存船へのレトロフィットの両方に適している。同システムは気泡を発生させ、船体と水の間の摩擦抵抗を軽減する。これにより 5~12% の燃料削減が可能である。

Silverstream の顧客は、MSC、Shell、Knutzen OAS、KLC、Grimaldi Group、Carnival、Princess Cruises、Pan Ocean、Norwegian Cruise Lines などである。

Silverstream は、同社のシステムの性能を実証する以下のようなケーススタディーを発表した。

- 2021 年半ば、Vale は、空気潤滑システムを搭載した初のチャーター船「*Sea Victoria*」を受け取った。このグアイーバマックス型鉱石運搬船 (320,000DWT) は、韓国船主 Pan Ocean が所有している。Vale は、現在試験を実施中で、5~8% の燃料消費量削減、4.4% の排出削減が予想されている。
- 2020 年、Shell は、Sembcorp Marine Singapore で乾ドック中の 2010 年建造の LNG 運搬船「*Methane Patricia Camila*」に、空気潤滑システムをレトロフィットした。2021 年第 1 四半期に行われた試験では、6.6% の燃料消費量削減が達成された。
- Grimaldi Group は、China Merchants Jinling で建造されたハイブリッド RORO フェリー 9 隻に Silverstream 空気潤滑システムを搭載した。同船隊は 2020 年に引き渡しが行われ、5~7% の燃料消費量削減を実現した。Grimaldi Group の子会社 Finnlines も、同システムを搭載した姉妹船 3 隻と ROPAX フェリー 2 隻を建造中である。
- Carnival Cruises は、2017 年にクルーズ船「*Diamond Princess*」に Silverstream システムをレトロフィットし、5% 以上の燃料削減を実現した。
- Shell は、Dannebrog Rederi からチャーターしたプロダクトタンカー「*Amalienborg*」に Silverstream を搭載し、実船試験を支援した。試験では、3.8~4.3% の燃料削減が実証された。

Silverstream は、数多くの造船グループと提携している。その例は Meyer Weft、現代三湖重工業、CSSC、Sembcorp、China Merchants などである。

Wärtsilä との合意に加え、Silverstream は、英国の設計パートナー Houlder 及び ICE Marine Design、産業パートナー Atlas COPCO、Sembcorp、Safinah Group とも技術提携を行っている。

4.4.12 Anemol Marine (英国)

Anemol は、フレットナーローターと呼ばれるローターセイル風力支援推進システムを開発した。同社は 8 種類の標準サイズのシステムを開発し、またローターセイルのカスタム製造も行っている。船舶に搭載されるセイルのサイズと数は、船舶の大きさ、甲板スペース、運航プロファイルに応じて決定される。図 42 は、Anemol ローターセイルシステムの概要である。同システムには、折りたたみ式、レール式がある。

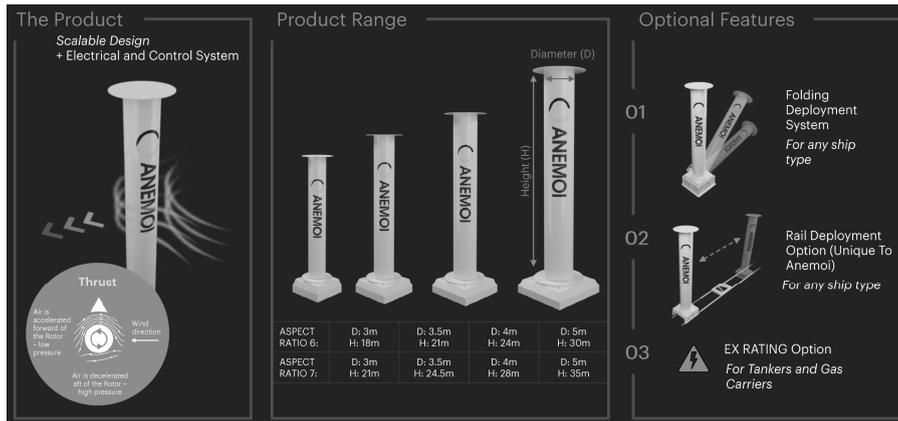


図 42 Anemoi ローターセイル

(出典：Anemoi)

同システムは、各船舶向けにカスタム設計されたソフトウェア制御ブリッジディスプレイシステムを持ち、乗員による操作がほとんど必要のない自動化運転を行う。同ソフトウェアは、船舶及び環境センサーから情報を収集し、最適な速力を発揮するために、ローターセイルの向きを自動的に調整する。図 43 は、電気及び制御装置のレイアウトの例である。

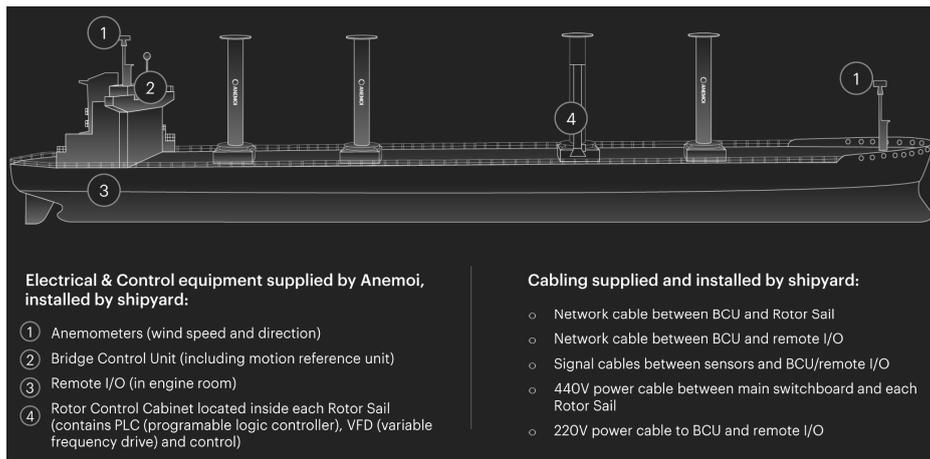


図 43 Anemoi ローターセイルの電気・制御装置

(出典: Anemoi)

Anemoi は、異なる船舶の燃料消費量削減の予測を行っている。表 28 は、8 種類の船種の例である。

表 28 Anemoi ローターセイルによる燃料及び CO₂ 排出量削減の予測

船種	セイル数	燃料削減率	燃料削減量 (トン/年)	CO ₂ 削減量 (トン/年)	航路
300,000DWT 型 VLCC	6	17.3%	2,197	7,044	ナイジェリア - 中国 - ナイジェリア
114,000DWT 型 アフラマックスタンカー	4	24.2%	1,434	4,597	USA-オランダ-USA
50,000DWT 型 MR タンカー	2	16.9%	557	1,786	USA-オランダ-USA
350,000DWT 型 VLOC バルカー	6	18.0%	1,671	5,357	中国-ブラジル-中国
180,000DWT 型 ケープサイズバルカー	6	21.9%	1,413	4,530	USA-中国-USA
82,000DWT 型 カムサマックスバルカー	4	18.1%	873	2,798	USA-中国-USA
64,000DWT 型 ウルトラマックスバルカー	4	15%	539	1,728	中国-カナダ-中国
18,700DWT 型 RoRo 船	4	29.8%	698	2,238	USA-オランダ-USA

(出典: Anemoi)

2018 年、レール搭載型 Anemoi ローターセイルが、Blue Planet Shipping 所有の 64,000DWT 型ウルトラマックスばら積み船「Afros」に搭載され、12.5%の燃料及び排出削減が記録されている。レール式システムは、Blue Planet Shipping の 82,000DWT 型カムサマックスばら積み船「Axios」にも搭載され、同船は「wind-ready」となっている。

2021 年 1 月、Anemoi、Lloyd's Register、上海船舶研究設計院 (SDARI)、Oldendorff は、乾貨物ばら積み船向けのローターセイル風力支援推進技術の共同開発に合意した。2022 年にかけて実施される同プロジェクトでは、Anemoi の垂直型機械式ローターセイルを Oldendorff の 207,000DWT 型 H クラスのニューカッスルマックスばら積み船 19 隻の 1 隻に搭載し、試験を行う。その後、1 隻に本格的に設置する計画である。搭載されるセイルは、荷役作業中または高さ制限のある場合には、水平に倒すことが可能である。

4.4.13 Norsepower (フィンランド)

2012 設立の Norsepower は、ローターセイルシステムの設計と販売を行っている。同技術は、マグナス効果を利用したフレットナーローターの現代版である。マグナス効果は、回転するローターセイルと空気の接触時に、気流がローターの片側で加速し、反対側では減速する現象である。気流の速度の変化が圧力の違いとなり、気流と垂直の揚力が発生する。

Spliethoff Group の子会社 Bore は、2014 年、同社の RORO 船「Estraden」にローターセイル 1 隻を搭載し、2015 年にはもう 1 基搭載した。これにより同船は 6.1%の燃料削減を実証した。

2018 年には、Maersk Tankers の LR2 タンカー「Maersk Pelican」(現「Timberwolf」)に

Norsepower ローターセイルが搭載された。この試験プロジェクトは、Shell の支援により実施され、Lloyd's Register が同船の運航 1 年目に 8.2% の燃料削減を確認した。

同じく 2018 年、Norsepower は、Scandlines のハイブリッドフェリー「*Copenhagen*」にローターセイル 1 基を搭載した。Scandlines は、4~5% の CO₂ 削減を報告している。

Viking Lines は、2018~2021 年間に LNG 燃料クルーズフェリー「*Viking Grace*」で、ローターセイル 1 基の実証試験を行い、年間 231~315 トンの燃料削減を実現した。試験後の 2021 年には、ローターセイルは同船から取り外された。

2021 年、Norsepower の傾斜が可能な (tilting) ローターセイルが、北海で運航される Sea-Cargo 所有の RORO 船「*SC Connector*」に搭載された。排出削減目標は 25% である。

Norsepower は、高さ 24m の傾斜式ローターセイル 5 基を Vale が韓国船主 Pan Ocean からチャーターする 320,000DWT のグアイーバマックス型鉱石運搬船「*Sea Zhousan*」に搭載した。Norsepower は最大 8% の効率向上を目標としている。Vale は同社船隊の約 40% にローターセイルを搭載することを検討中である。図 44 は、ローターセイルを搭載した「*Sea Zhousan*」である。



図 44 Norsepower ローターセイルを搭載した 325,000DWT 型鉱石運搬船
(出典: Vale)

4.4.14 Eco Flettner (ドイツ)

Eco Flettner は、マグヌス効果を利用したローターセイルの設計と販売を行っている。同社のローターセイルは、高さ 18~31m の 3 種類の標準設計である。

2018 年、Eco Flettner ローターセイル 1 基が、小型コンテナ船「*Fehn Pollux*」の船首に搭載された。燃料削減率は風力により異なるが、欧州海域では 15~20%、大西洋では 25% 近くと予想されている。2021 年 4 月には、ヒンジ付きのローターセイル 1 基が、Rörd Braren の一般貨物船「*Annika Braren*」に搭載された。

4.4.15 Airseas (フランス)

Airseas 社の風力支援推進システム「SeaWing」は、パラフォイル技術に基づく自動化カイトである。Airseas は、海面から 200m 上空に揚げられた帆面積 1,000 m² のカイト 1 基は、燃料消費量及び排出量を 10~40% 削減する。図 45 に、そのコンセプトを示す。

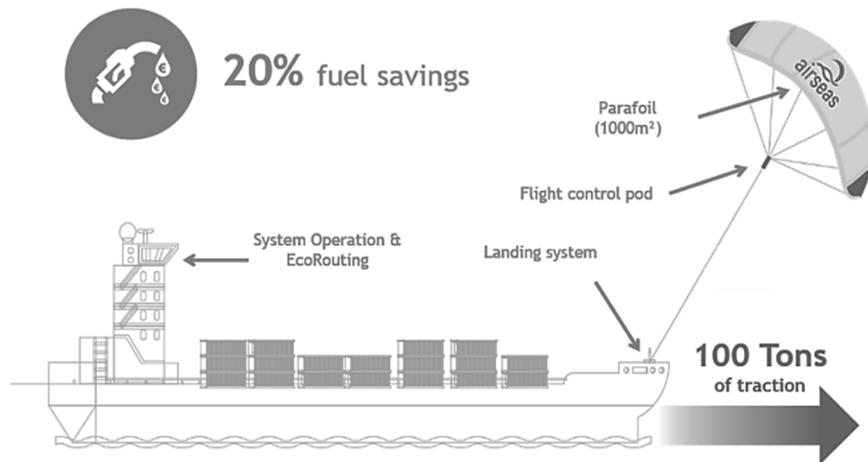


図 45 Airseas 「SeaWing」

(出典: Airseas)

欧州から米国への航空機部品輸送のための RORO 船 4 隻を運航する Airbus は、Louis Dreyfus Armateurs による 21,500DWT 型 RORO 船「*Ville de Bordeaux*」への「SeaWing」システムの搭載を支援した。このアップグレードは、2020 年に行われた。

4.4.16 Ayro (フランス)

Ayro は、硬質セイルを用いた風力支援推進システム「Oceanwings」を開発した。同セイルは 140 ノットまでの風速で機能する設計である。

2021 年末、AYRO は、ウィングセイル技術の開発を目的とした「WIINEW」プロジェクト向けに、欧州海事漁業基金から 240 万ユーロの補助金を支給された。同社は、この補助金を用いて同技術の試験、実証、市場化の準備を行う。

2021 年 2 月、AYRO は DNV から同システムの基本認証を取得した。

CMA-CGM が支援を行っている技術実証船「Energy Observer」以外では、「Oceanwings」は、2022 年末に商船に初搭載される予定である。

Ariane Group は、Ariane 6 ロケットの部品を欧州から発射基地のあるフランス領ギアナに輸送する風力支援船「*Canoupee*」の設計及び建造プロジェクトを、Alizés に発注した。VPLP がオリジナル設計を開発した同船には、高さ 30m の機械折り畳み式ソフトウィングセイル 4 基が搭載され、同船のディーゼル主機を補助する。同システムによる CO₂ 削減率は 30% と予想されている。全長 121m の「*Canoupee*」は、Neptune Marine がオランダとポーランドで建造中である。

図 46 は、同船のイメージ図である。



図 46 Oceanwings を搭載した「Canoupee」

(出典: Neptune Marine)

4.4.17 Econowind (オランダ)

Econowind は、船舶設計・エンジニアリング企業 Conoship の関連会社で、風力支援推進システムの開発企業である。同社の折りたたみ式サクシオンウイングは、40 フィートコンテナに固定、ラック搭載、または収納が可能なシステムである。同システムは一般貨物船とタンカーへの搭載に適している。Econowind は、大型サクシオンウイング「Ventifoil」を開発した。

Econowind システムは、2018～2019 年に「*Lady Christina*」で初めて搭載され、オランダ - 英国 - フィンランドの航海で燃料を 7～11%削減した。

2020 年には、「Ventifoil」2 基が Jan van Dam Shipping の「*Ankie*」に搭載された (図 47)。また、2021 年には、Boomsa の貨物船「*Frisian Sea*」に搭載された。

「*Ankie*」と「*Frisian Sea*」のアップグレードは、欧州の風力支援推進プロジェクト (Wind Assisted Propulsion Project : WASP) の一環である。各研究作業パッケージのリーダーは、Netherland Maritime Technology Foundation、International Windship Association、Catholic University Leuven、Kühne Logistics University、SSPA である。同プロジェクトでは、Scandlines の「*Copenhagen*」に搭載された Norsepower ローターセイルの実証も行われた。また、Ecoflettner ローターセイルは Rörd Braren の「*Annika Braren*」で、硬質ウイングセイルは Tharsis の「*Tharsis*」で、それぞれ実証試験が行われた。



図 47 Econowind「Ventifoil」風力支援推進システム
(出典: Econowind)

4.4.18 Inmarsat (英国)

Inmarsat は、通信衛星による移動体通信サービスのグローバルプロバイダーである。同社の通信衛星 14 基は、約 160,000 隻の船舶にコネクティビティを提供している。Inmarsat は、海上の安全確保のための各種通信プラットフォーム、音声及びデータ通信、IoT プラットフォームの基礎となる無制限の広帯域カバレッジを提供している。

Inmarsat の 2018 年産業 IoT 調査報告書は、IoT による海事産業のコスト節約率は 2023 年までに 14% となると予測している。

IoT の初期段階で、Inmarsat の「Fleet Xpress」は、IoT プラットフォームを支援する無制限広帯域カバレッジを提供した。「Fleet Xpress」は、10,000 隻以上の船舶で利用されている。2021 年 11 月、Maersk Supply Services は、Inmarsat との「Fleet Xpress」サービス契約を拡大し、同社船隊に個別の専用帯域での IoT コネクティビティを提供すると発表した。この動きは、燃料消費と排出性能を含む船舶管理の効率化のために事業をデジタル化するという Maersk Supply Services の戦略の一環である。

音声・データ要求の増加に伴い、Inmarsat は、統合ハードウェア（センサーではない）「Fleet Data」、インフラ、コネクティビティパッケージの提供を開始した。収集された船内センサーデータは、専用帯域を用いて Inmarsat のクラウドベースの中央データベースに送信される。船主は、そのデータベースにアクセスし、クラウドストレージからの船舶データを分析することができる。

4.4.19 Siglar (ノルウェー)

Siglar は、カーボン排出の監視と報告を行うデジタルプラットフォームを提供している。同プラットフォームはデータダッシュボードから情報を収集し、様々な環境報告要求へのコンプライアンス状況を計測し、カーボン排出コストを算出する。これは、発効が予定されている排出量取引制度（ETS）のコンプライアンスに便利な機能である。Siglar のカーボン指標により、用船者と船主は、貨物を輸送する船舶のカーボン効率を比較することができる。

4.4.20 International Paint (英国)

International Paint の「Intertrac HullCare」パッケージにより、船主は、乾ドック間隔を 5 年、7 年半、または 10 年に計画することができる。同パッケージは、高性能船体塗料技術、

ROVによる港湾での水中検査、データ性能監視、ウォータージェットを使用した定期的な水中船体の洗浄を組み合わせたサービスである。船舶のデータ分析結果は、四半期毎にオンライン解析プラットフォーム「Intertrac Perform」を通じて提供される。International Paintは、典型的な5年間の防汚システムと比較した場合、同パッケージは10年間で、CO₂排出量を最大34,000トン削減し、400万ユーロの燃料費の節約を実現すると述べている。

4.4.21 Jotun（ノルウェー）

Jotunは船用塗料の製品群を製造している。同社によると、市場の平均的な製品と比較した場合、同社の船体性能ソリューションは、流体力学効率を15%向上させ、燃料消費量及び排出量を8.5%削減する。投資回収期間は通常1年以内である。Jotunは、同社の船体保護システムを採用した船主として、MSC、Maersk、UASC、Berge Bulk、Gear Bulkを挙げている。

4.4.22 Hempel（デンマーク）

Hempelによると、同社の船用塗料製品は、燃料消費量を最大6%削減する。International Paintと同様に、港湾でROVを使用した船体の塗装状態を検査するサービスを提供している。

Hempelは、燃料効率向上手段としての中間的な船体洗浄には反対している。その理由は、機械的な洗浄により塗料が損なわれる可能性があり、また、多くの港湾では船体洗浄が禁止されているからである。同社は、適切な塗料を新造船及び乾ドック時に使用することを推奨している。

高性能塗料「Hempaguard MaX」製品は、機械的洗浄による船体への悪影響なしに、5年間の速力損失を1.2%以下に保証している。Hempelは、市場の平均的防汚塗料を使用した場合、5年間の速力損失は5.9%としている。Hempelは、同社の塗料の利用により、ローターセイル風力支援推進システムよりも、大きい燃料節約を低いコストで実現できると主張している。

4.4.23 その他の欧州船用メーカーと船用システムサプライヤー

前述の主要企業以外にも、欧州では多くの企業が海運向けのエネルギー節約技術の開発を行っている。以下はその例である。

- フランス Zéphyr & Borée は、ウィングセイル風力支援推進システムの搭載実験を行う 1,800TEU 型オープントップコンテナ船の基本承認を、Bureau Veritas から取得した。全長 186m の同船には、エネルギー効率向上のために、非対称型ウィングセイル 8 基、軸発電装置、廃熱回収システムが搭載される。搭載されるウィングセイルは、高さ制限がある場合には半分に折りたたむことのできる設計である。
- フィンランドの排ガススクラバーメーカー Langh Tech は、既存のクローズドループ型 SO_x スクラバーシステムを利用して、船舶の主機から排出される CO₂ を回収する実験を行っている。また、同社は、回収した CO₂ を貯蔵及び／または船内や陸上で有効活用する方法の研究を行っている。

4.5 欧州港湾のエネルギー削減への技術とオペレーションの導入状況

港湾のエネルギー効率化は、2つの主なカテゴリー、即ちターミナルインフラとオペレーション設備に関連する。

ターミナルインフラ関連のエネルギー効率改善策には、代替燃料バンカリング設備、陸上電力供給設備、デジタル化、港湾周辺地域への排出削減産業の誘致、トラックの利用削減のための鉄道と内陸水路輸送の改善などがある。港湾オペレーションのエネルギー効率改善策は、ターミナル荷役設備の効率化と排出削減、港湾内の輸送システム、港湾作業船と巡視船の効率改

善などがある。

欧州の主要港湾が実施しているエネルギー及び排出削減策を、表 29 に要約する。続いて各港湾の政策の概要を述べる。

表 29 欧州港湾のエネルギー削減技術の導入状況

	エネルギー 支援	ロジスティ ックスと デジタル化	エネルギー 回収	排出後処理
ロッテルダム		√	√	√
アムステルダム	√	√	√	
アントワープ		√		
ハンブルク		√		
ヨーテボリ		√		
ブレーメン/ブレー マーハーフェン		√		
ピレウス	-	-	-	-
アルヘシラス	-	-	-	-
マルセイユ	√	√		
フェリクストウ		√		

4.5.1 ロッテルダム港（オランダ）

ロッテルダム港は、港湾インフラの効率化と CO₂ 削減を目的に、以下のような政策を実施している。

- ロッテルダム港は、Gasunie と共同で、港湾内の産業からの余熱を、天然ガスの代替として家屋や温室の暖房を行うプロジェクトを行っている。
- CO₂ の輸送ハブとオフショア貯蔵に関する「Porthos」プロジェクトは、港湾内の産業から排出された CO₂ を回収し、北海ガス田に貯蔵することを目指している。投資の最終決定（FID）は 2022 年、オペレーション開始は 2024 年に予定されている。Porthos プロジェクトの最初のクライアントは Shell で、同社はペルニス（ロッテルダム）の Shell エネルギー・ケミカルパークに年間 820,000 トンのバイオ燃料を製造する施設を開発中である。同社はバイオ燃料製造過程から排出されるカーボンを回収する技術を導入する計画である。同施設では 2024 年にバイオ燃料の製造を開始する。製造されるバイオ燃料の半分以上はサステナブルな航空機燃料で、残りは再生可能ディーゼルである。
- ロッテルダム港湾局は、蒸気と水素の利用拡大を支援するパイプラインインフラの構築、及び電力需要増加に対応する送電網の整備を計画している。
- ロッテルダム港は、吸着性の粘度から油分を回収して新たな原材料に変える新設備を港内に建設する計画を持つ。回収された油分はバイオ燃料として、残りの粘度は建材として利用する。
- REKO は、港内に汚染アスファルトを浄化する新工場を建設中である。浄化過程で発生した熱は、近隣住宅への電力を製造する。
- Indaver は、港内に塩素リサイクル工場を開設し、新たな原材料とエネルギーを製造する。
- TES は、港内にリチウムイオン電池リサイクル工場を建設中である。

4.5.2 アムステルダム港（オランダ）

アムステルダム港は、2025年までにデジタルプランニングプラットフォームを開発し、「ジャスト・イン・タイム」原則を目指した95%以上の定時入港・出港を実現する。

ロッテルダム港と同様に、アムステルダム港は、産業ユーザーと近隣住民のために、水素、蒸気、電力製造インフラの開発を進めている。同港は、グリーン電力の大半を北海風力発電施設から入手しており、2025年には洋上風力発電支援を目的とした新エネルギー用のターミナルをエイマイデンに開設する計画である。また、港内でのソーラーパネルの利用を拡大し、22.5MWの発電能力を追加する。

4.5.3 アントワープ港（ベルギー）

アントワープ港は、スマートな港湾を目指し、数々の技術の試験を行っている。その例としては、同港のデジタルツイン「Antwerp Port Infrastructure & Control Assistant」を作成し、港湾全体の管理を改善する。また、データ量の増加に対応する5Gネットワークの整備と拡大を行っている。

同港はアントワープ大学と共同で、港内の水深測定に遠隔操作船を導入するプロジェクトを行っている。また、道路輸送削減を目指し、同港と内陸水路を結ぶ運河への小型自動運航船の導入を計画している。

同港の陸上風力発電及びソーラーパネルによる発電能力は、2020年末時点で250MWである。

4.5.4 ハンブルク港（ドイツ）

ハンブルク港は、最新のデータ通信システムとデータ処理設備、優れた鉄道網以外のエネルギー効率化、排出削減策の詳細を公表していない。

同港はハンブルク船舶コーディネーションセンターを運営し、船舶の出入港の最適化、ジャスト・イン・タイム運航を支援している。

4.5.5 ヨーテボリ港（スウェーデン）

ヨーテボリ港は、数々のCO₂排出削減策を打ち出しており、その大部分は既に概要を述べた代替燃料関連の政策である。これ以外では、同港は港湾拡張時には、湿原にアマモの栽培を行っている。また、港湾貨物の輸送に鉄道の利用を促進している。

4.5.6 ブレーメン港／ブレーマーハーフェン港（ドイツ）

両港のグリーンポート戦略では、「海運の悪影響を軽減する技術的に可能で、経済的に適切な手法」への支援に言及しているが、その手法の詳細は不明である。これ以外では、両港は鉄道ターミナル向けの新ITシステムへの投資を計画している。

4.5.7 ピレウス港（ギリシャ）

LNGバンカリング施設の整備計画以外には、同港の環境政策は発表されていない。

4.5.8 アルヘシラス港（スペイン）

同港は一般的な環境政策を持つが、そのためのプロジェクトは不明である。同港の2020年サステナビリティ報告書は発表されていない。

4.5.9 マルセイユ・フォス港（フランス）

マルセイユ・フォス港は、自らを「ブルー経済に貢献するグリーン港」としている。前述し

た LNG バンカリング施設の整備に加え、以下のようなエネルギー削減策を実施している。

- 貨物の道路輸送に代わる河川及び鉄道輸送の促進。
- 湿原、砂丘、農業プロジェクトなどの生物多様性プロジェクトを支援。
- 倉庫やハンガーの屋根にソーラーパネルを設置し、100%の電力自給を目指す。

4.5.10 フェリクストウ港（英国）

多くのコンテナ海運会社によるトン・マイルあたりの排出量削減のためのコンテナ船大型化に対応し、フェリクストウ港はバースの数を増やし、同時に大型化を行っている。また、貨物の道路輸送に代わる鉄道輸送を促進している。現在、同港の国内貨物輸送の 27%は鉄道を利用しているが、鉄道輸送能力をさらに 25%拡大する計画である。

フェリクストウ港は、英国本土内及び北アイルランドの港湾向けに、道路輸送よりも燃料効率の高い海上輸送による週 16 回のフィーダーサービスを提供している。同港は、デジタルプラットフォーム「ポートコミュニティシステム」により、港湾作業の生産性を改善している。また、地元企業と協力し、港湾周辺地域の環境保護と生物多様性プロジェクトを支援している。

4.6 欧州の大学及び研究機関によるエネルギー削減技術開発動向

表 30 は、欧州の 6 つの大学及び研究所機関による海運向けのエネルギー削減技術の研究開発動向である。「√」は、その組織が研究中のエネルギー削減技術を示す。続いてその詳細を概説する。

表 30 大学・研究機関によるエネルギー削減技術の開発動向

	船舶設計と流体力学	エネルギー支援	ロジスティクスとデジタル化	エネルギー回収	排ガス後処理
Maersk Mc-Kinney Møller Center	√	√	√		
MARIN	√	√			
TU Delft	√	√			√
Center for Maritime Futures	√	√	√		√
NTNU	√	√	√		√
SINTEF		√	√	√	√

4.6.1 Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping（デンマーク）

Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping は、海運の迅速なネットゼロ化を支援する独立系の非営利研究開発組織である。

2021 年 10 月、同センターは海運転換戦略に関する報告書を発表し、その中で 2050 年のゼロエミッション目標に向けた以下のような戦略の重要性を強調している。

- 代替燃料の生産拡大とコスト削減。
- フレットナーローター、空気潤滑、運航のデジタル化及び最適化などのエネルギー効率化技術の開発と新造船への導入促進。
- 排出削減への顧客要望を鼓舞し、ゼロカーボン海運への支出を促す。
- 金融セクターを動員し、ゼロカーボン船向けの低コスト融資によりゼロカーボン海運を促進する。

同センターによると、海運の代替燃料と従来型化石燃料の利用比率を改善するためには、法規制の導入が最も効果的である。代替燃料と新技術の先駆的導入者を支援するために、規制による公平な市場環境の整備が必要である。同センターはエネルギー効率規制の厳格化を支援している。市場ベースの手段として、同センターはカーボン課税導入を支持している。

4.6.2 MARIN (オランダ)

オランダ海事研究所 MARIN (Maritime Research Institute Netherlands) は、海事セクター向けの流体力学及び海事技術の研究を行っている。MARIN は、過去 10 年間、年に 1 度の「ブルーウィーク」を開催し、ゼロエミッション海運と代替エネルギーの促進と知識の共有を行っている。従来の流体力学研究に加え、風力支援推進分野の研究開発に力を入れている。

MARIN は、ABS と共同で、共同産業プロジェクト「船用風力支援推進」を開始した。現在、同プロジェクトは第 2 フェーズに入っており、EEDI、EEXI、CII の要求に対するローターセイルとウィングセイル技術の評価フレームワークの構築を行っている。プロジェクトパートナーは、CSSRC、DSIC、Norsepower、Anemoi、CWS、Ayro、Dealfeng、Magnuss、BV、Blue Wasp、マーシャル諸島共和国海事局、IWSA、Azolla、D-ICE、Econowind、Wärtsilä、Wallenius、Vale、C-Job/DIGIWIND、Bound4Blue、株式会社 MTI (Monohakobi Technology Institute) である。

4.6.3 TU Delft (オランダ)

デルフト工科大学 (TU Delft) の流体工学チームは、船体抵抗軽減のための流体力学モデリングソリューションに加え、空気潤滑技術と商船向け風力支援推進技術の研究を行っている。

同大学の空気潤滑技術研究は、マイクロバブル、エアキャビティ、エアレイヤー、エアチャンバーという潤滑技術に焦点を当て、流体力学、空気力学の両面からの研究を行っている。同大学は、ミラノ工科大学、Damen Shipyards、Dykstra Naval Architects、MARIN などの共同研究も行っている。

また、TU Delft は、高度なカーボン回収・貯蔵技術 (CCS) の研究も進めている。研究中の CO₂ 回収と電気化学変換の 3 つのオプションは、CO₂ をひとつのマシンで回収し、別のマシンで変換する、統合されたひとつのマシンで回収と変換を行う、または液体中に溶解した CO₂ の化学変換を行うことである。

4.6.4 Center for Maritime Futures (英国)

Center for Maritime Futures は、サウサンプトン大学と Shell Shipping and Maritime のパートナーシップにより、2019 年に設立された研究機関である。同センターは、海運の低排出化を目的に、デジタル技術その他の技術の研究開発を行っている。

Shell の支援により、同センターでは英国最大の全長 183m の牽引水槽による流体力学実験と、スパコン「UoS Iridis 5」を使用した CFD モデリングを組み合わせた研究が可能である。同センターは、船体、プロペラ、ラダーの相互関係のモデル化、AI 技術を応用した喫水とトリム最適化などを行っている。また、気泡発生ユニットの位置を決定するため、空気潤滑システムを搭載した船舶の CFD モデリングを、Shell に提供している。

排出削減研究を目的として、同センターと Silverstream Technologies は 2 年間のパートナーシップに合意し、空気潤滑システムの制御改善と自動化を促進するマシンラーニング技術の適用に関する共同研究を行っている。また、船体とラダーの汚染による影響を理解するため、同センターは船体とラダーの個別の汚染監視手法を開発した。さらに、2019 年には、サウサンプトン大学内の Wolfson Unit for Marine technology and Industrial Aerodynamics と共同で、石油タンカーと LNG 運搬船向けのフレットナーローターセイルの研究開発を行った。

同センターは、中型タンカー向けのカーボンキャプチャー技術によるメタノール製造に関するフィジビリティ研究を行っている。

4.6.5 NTNU（ノルウェー）

NTNU（Norwegian University of Science and Technology）は、ノルウェーを代表する科学工科大学である。NTNU の海事技術グループは、ノルウェー海運業を支援する流体力学研究を行っている。

電気駆動船の開発を支援するため、NTNU は、同船の電力網に風力支援推進を統合する研究を行っている。

また、NTNU は、セルフラーニング、適応システム、人工知能（AI）を導入した次世代意思決定システムの開発を行ってきた。このプロジェクトでは、NTNU は、トロンハイム港とノルウェー海事庁の協力を得て、Kongsberg Seatex、Kongsberg Maritime、SINTEF、Maritime Robotics と協働している。

NTNU は、カーボン回収・貯蔵技術の全バリューチェーンに関する研究を行っている。現時点では、陸上のカーボン排出の液体化、液体カーボンのオフショア貯蔵施設への海上輸送などの研究が焦点となっている（図 48）。

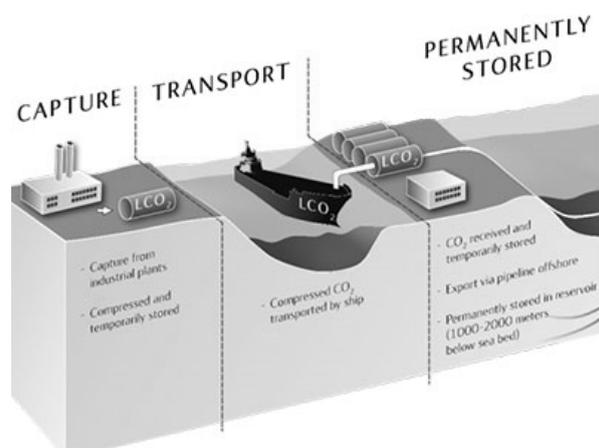


図 48 カーボン回収・貯蔵バリューチェーン
(出典: NTNU)

4.6.6 SINTEF（ノルウェー）

SINTEF は、公的及び民間セクター向けの研究開発を行う欧州最大の独立系研究機関のひとつである。SINTEF は NTNU と提携し、ノルウェーの研究システムの中心となっている。両機関の提携により、約 30 か所の長期研究センターと約 200 か所の実験室と装置の共同利用が可能となっている。

SINTEF は、デジタル化技術、風力支援推進技術、廃熱回収技術、燃焼全及び燃焼後の CO₂ 回収・輸送技術などの研究を行っている。

5. 欧州の船舶運航企業及び荷主企業のゼロエミッション政策

本章では、欧州海運業のゼロエミッション政策と、各船舶運航企業及び海上貨物輸送を利用する企業のカーボン排出削減政策の概要を述べる。

5.1 ゼロエミッション化促進政策の概要

国連の持続可能な開発目標（SDGs）、ポセイドン原則、及び海上貨物憲章、クリーンカーゴ、その他の産業 ESG（環境、社会、ガバナンス）政策に沿った欧州海事セクターの気候関連政策の概要を以下に述べる。

5.1.1 ESG 報告内の国連持続可能な開発目標

従来の財務状況報告義務の一部ではないが、船舶運航企業と荷主企業は、その ESG（環境、社会、ガバナンス）政策の報告を年次報告に含めるか、または個別のサステナビリティ報告書として公表することが多くなっている。海運産業の投資家と金融機関は、これらの財務含まれない要素を、投資の決定に適用している。

欧州海事セクターの ESG 報告のトレンドは、国連 SDGs の 17 項目に関する自社の達成度を示すというものである。CO₂その他の GHG 削減に関して最も関連する SDG は、気候温暖化を 2°C以下に抑え、1.5°C以下に抑える努力を行う目標 13 の「気候政策」である。また、目標 14 の「水中生物」は、バラスト水管理や船からの排水に関連し、海運会社の SDGs のひとつである。

欧州連合（EU）は、上場企業、銀行、保険会社、従業員 500 人以上の企業を含む大企業に対し、様々な ESG 報告義務を課している。報告ガイドラインは未だ決定されておらず、企業は、国際的、欧州または各国の報告基準に従っている。EU は 2022 年 10 月に、最初の報告基準を採択する予定である。これらの基準は海事セクターの企業にも適用され、国連 SDGs の要素を統合したものとなることが予想される。

5.1.2 海事セクターの排出削減へのファイナンス政策

特定活動による環境への影響を考慮したデットファイナンス（借入れ金融）や債券発行をカバーするいくつかの「グリーンファイナンス」イニシアティブが実施されている。

2019 年、総額 1,850 億ドル規模の船舶金融を手がける銀行 28 行が、船舶金融ポートフォリオの気候目標へ整合性を評価、公表するフレームワークであるポセイドン原則（Poseidon Principles）に参画した。同原則は、産業に適した気候目標への整合性を評価する手法であり、慎重に考慮された責任と施行要求に基づいている。

ポセイドン原則は、Citibank、Société Générale、DNB の 3 行と、AP Møller Maersk、Cargill、Euronav、Gram Car Carriers、Lloyd's Register 及び法律事務所 Watson Farley & Williams が共同で創設したフレームワークで、Global Maritime Forum、Rocky Mountain Institute、University College London が支援を行った。

ポセイドン原則の基本要素は以下の 4 点である。

- 年間評価：船主は、合意された手法に基づく融資ポートフォリオのカーボン強度を、年に 1 回評価し、当該銀行に報告する義務がある。
- 責任原則：収集されたデータは、IMO の燃料消費及び排出データ収集規則に基づき、船級協会及び他の IMO 認証機関により認められなければならない。
- 施行原則：船主によるデータ収集と報告は、融資契約の条件となる。
- 透明性要求：情報は年に 1 回公表されなければならない。

ポセイドン原則に加盟している銀行は、ABN Amro、Amsterdam Trade Bank、BNP Paribas、BPIFrance、Crédit Industriel et Commercial、Citi、Credit Agricole、Credit Suisse、Danish Ship Finance、Danske Bank、日本政策投資銀行、DNB、DVB、Export Credit Norway、Finnvera、ING、三菱 UFJ 銀行、Nordea、SACE、SEB、新生銀行、Société Générale、SpareBank 1 SR、Sparebanken Vest、Standard Chartered、三井住友銀行、三井住友ファイナンス&リース、三井住友トラストである。

2021年12月、海上保険会社6社が、海上保険向けのポセイドン原則を発足させた。同原則は、船体と機器の保険契約ポートフォリオに、国連のネットゼロ保険連合（Net-Zero Insurance Alliance）の2050年GHGネットゼロ目標との整合性を持たせる。同原則の発足メンバーは、Swiss Re、Gard、Hellenic Hull Management、SCOR、Victor International、Norwegian Hull Clubである。Willis Towers Watson、Cefor、EF Marineは、同原則を支持する準メンバーである。

その他の海運セクターの排出削減に関連したファイナンスイニシアティブとしては、以下のような例がある。

Loan Market Association は、融資者が環境持続性のある経済活動を特定することを支援する「グリーン融資原則」（Green Loan Principles）を開発した。同協会には、欧州、中東、アフリカの融資市場に関連する770社以上の銀行、保険会社、法律事務所が会員となっている。グリーン融資原則のひとつは、クリーンな輸送ソリューションの導入による有害排出の削減である。

国際資本市場協会（International Capital Markets Association）は、グリーンで、社会的持続性のある債券のための原則「グリーン債券原則」（Green Bond Principles）を開発した。2021年6月にアップデートされた同原則は、環境的利点のある新規プロジェクト及び既存プロジェクト向けの資本調達を支持している。

気候債券イニシアティブ（Climate Bonds Initiative）は、気候変動ソリューションを支援する債券のみを対象としている。イニシアティブでは、開発した評価基準へのコンプライアンスを調査する。同イニシアティブでは、化石燃料専用運搬船には、グリーン債券の発行はできない。

EU内で債券投資が「グリーン」であると認められるためには、EUタクソノミー（分類）規制（EU Taxonomy Regulation）に準拠しなければならない。EUタクソノミー規制は、EUの気候変動目標に合致するサステナブルなプロジェクトと活動への直接投資を目的としている。現時点では、海運向けの特別な基準はないが、2022年中には発表されると予想されている。

5.1.3 用船者及び荷主の環境目標イニシアティブ

荷主向けの主要環境フレームワークには、海上貨物憲章（Sea Cargo Charter）とクリーンカーゴ（Clean Cargo）イニシアティブの二つがある。海上貨物憲章は、乾貨物及び液体貨物のばら積み船の船主及び用船者の環境パフォーマンスを対象としている。クリーンカーゴイニシアティブは、コンテナ船の船主、荷主、運航企業が順守すべき環境政策を設定している。

2020年10月に発足した海上貨物憲章は、海上貨物輸送者の責任ある環境的行動のフレームワークを定めている。対象は、国際航海に従事する5,000GT以上の乾貨物ばら積み船、ケミカルタンカー、原油及びプロダクトタンカー、LNG運搬船の定期用船者及び不定期用船者である。そのルールは、GHG排出量を、2050年までに2008年レベルから最低50%削減するというIMOの目標と連動している。

海上貨物憲章は、荷主5社（Anglo American、Cargill、Dow、Total、Trafigura）及び船主3社（Euronav、Norden、Stena Bulk）がStephenson Howard、Global Maritime Forum、UMAS、Smart Freight Centreの支援を得て開発した。

ポセイドン原則と同様に、海上貨物憲章は以下の4つの基本要素を持っている。

- 年間評価：エネルギー効率運航指標（Energy Efficiency Operational Indicator）に基づくカーボン強度の報告。
- 責任原則：収集されるデータは、海上貨物憲章が定める技術ガイダンスに基づいたものとする。
- 施行原則：データ収集と報告は、用船者側の義務である。
- 透明性要求：情報は年に1回公表されなければならない。

海上貨物憲章に加盟した23社は、ADM、Anglo American、Bunge、Cargill、COFCO International、Diamond Bulk Carriers、Dow、Eagle Bulk、Enviva、Equinor、Gunvor、Holcim、Klavness Combination Carriers、Louis Dreyfus Company、Maersk Tankers、Norden、Nova Marinen Carriers、日本郵船、Shell、Tata Steel、Torvald Klavness、TotalEnergies、Trafiguraである。

クリーンカーゴの会員企業85社は、世界のコンテナ輸送能力の85%を代表している。クリーンカーゴの作業グループは20年近く前に発足し、グローバルな貨物輸送の環境負荷の削減をミッションとしている。クリーンカーゴの会員企業は、以下の4つの活動を通じてミッションを支援している。

- 透明性のあるデータ収集と報告。
- ベストプラクティスの共有。
- 公的政策への参画と支援
- サステナビリティ改善を支援するプロジェクトへの参加。

クリーンカーゴの会員企業は、荷主、船主、貨物輸送者に分類される。

- 荷主：Amazon、Baxter、BMW、Daimler、Danone、Disney、Electrolux、Esprit、Gap、Heineken、H&M Group、HP、Ikea、Inditex、Levi's、Lindex、Marks & Spencer、Meelunie、Michelin、Moët Hennessy、Nestlé、Nike、Persorp、Primark、Ralph Lauren、Tchibo、VF、Volvo。
- 船主：APL、Akas Line、CMA CGM、COSCO Shipping、Crowley、Evergreen、Hamburg Süd、Hapag-Lloyd、HMM、Höegh Autolines、Maersk、Matson、商船三井、MSC、オーシャン・ネットワーク・エクスプレス、OOCL、Siem Car Carriers、Unifeeder、Wan Hai Lines、X-Press Feeders、Yang Ming、ZIM。
- 貨物輸送：Agility、APL Logistics、BDP、Bolloré、C Land、Cargo World、CEVA、CWT Globelink、Schenker、DHL、DVS、ECU、EFL、Expeditors、EXP、Forto、Geodis、Hermes、Hillebrand、CARGO Alliance、Kuehne & Nagel、Metro、商船三井、OIA Global、RES Logistics、Rokit Cargo、Trafigura、SAT Albatross、Stolt Tank Containers、Unsworth、UPS、Vanguard、WorldWide Alliance

GHG排出を2050年までに最低50%削減するというIMOの目標と連動した海上貨物憲章とクリーンカーゴに加え、「Cargo Owners for Zero Emission Vessels (coZEV)」は、2040年までに貨物輸送を脱炭素化し、2050年までにはセクター全体を脱炭素化するという目標を持っている。大手荷主9社が、この「coZEV」イニシアティブのビジョンを支援している。その9社は、Amazon、Ikea、Inditex、Unilever、Michelin、Brooks、Patagonia、Frog、Tchiboである。同イニシアティブは、Aspen Institute Energy と Environment Program が開発し、

Clean Air Task Force、Environmental Defense Fund、Ocean Conservancy、UMAS が支援を行った。

5.1.4 その他の ESG イニシアティブ

上記のイニシアティブ以外にも、海運と関連ロジスティックスの環境負荷削減を目指した数多くの国際的なマルチセクターのイニシアティブが存在する。これらのイニシアティブの多くは欧州のみを対象としたものではないが、欧州の組織が主導的な役割を担っている場合が多い。以下に、主要イニシアティブの例を挙げる。

世界経済フォーラム内の産業連合「Getting to Zero Coalition」は 2019 年に発足し、150 以上の船舶運航企業、ロジスティックス企業、システムメーカー、海運会社、研究機関が参画している。同連合は、ゼロエミッション燃料で駆動される商業的に可能な海洋船を 2030 年までに就航させることを支援している。

同連合の主な研究作業は以下の 4 件である。

- 燃料と技術：技術オプション、安全性、法規制、燃料製造の拡大。
- 早期導入の促進：新技術を最初に導入する企業を後押しし、投資リスクを軽減するメカニズムを開発。
- 競争力のギャップを縮小：市場ベース手法及びそれ以外の手法により、カーボン燃料と代替燃料の公平な市場を構築。
- ゼロエミッション燃料の輸出：ゼロエミッション燃料の輸出が可能な国を特定する。

「グローバルマリタイムフォーラム」は、海事セクターのビジネス機会と課題を検討する海運会社のフォーラムである。海事コンサルタント UMAS は、世界の海運が 2030 年までにゼロエミッション燃料を 5% 使用し、2045 年までには 100% 使用するというグローバルマリタイムフォーラムも目標を支援するレポートを作成中である。

「低炭素海運へのグローバル産業連合」(Global Industry Alliance for Low Carbon Shipping) は、IMO とノルウェーのプロジェクト「GreenVoyage2050」の枠組み内で 2017 年に設立された官民パートナーシップである。同連合は、エネルギー効率化技術、低カーボン及びゼロカーボンの代替燃料、港湾における船舶からの排出などの研究を行っている。同連合の会員は、ABB、Maersk、BV、DNV、Grimaldi、MarineTraffic、MSC、Panama Canal Authority、Port of Rotterdam、Royal Caribbean、Shell Trading and Shipping、Silverstream、Stena Group、TotalEnergies、Wärtsilä を含む 18 企業・組織である。

「サステナブル海運イニシアティブ」(Sustainable Shipping Initiative : SSI) は、海運のサステナブルな開発促進を目的に設立された。SSI の目標は、海運の 2050 年までのゼロエミッション化達成である。会員は、船主 Maersk、Bunge、IMC、Louis Dreyfus、Oldendorff、Wilhelmsen Ship Management、及び Lloyds' Register、ABN、Standard Chartered Bank、Forum for the Future、World Wildlife Fund NGOs、RightShip など 15 企業・組織である。

SSI は、国連の 2050 年 SDGs 目標と連動したロードマップを作成した。ロードマップには以下の 6 要素を含んでいる。

- 海洋：海洋資源の健全な利用を促進。
- コミュニティ：責任感があり、信頼できるパートナーとしての企業。
- 人：健康的で安全安心な職場を提供。
- 透明性：公開された情報と報告責任による改善。
- ファイナンス：サステナブルな政策とサステナブルな技術開発及び技術導入を支援する金融ソリューションを開発する。
- エネルギー：ゼロカーボンのエネルギー源を促進。

「ネットゼロへの転換」(Transform to Net Zero)は、2050年までのグローバル経済のネットゼロ化を目指す企業のセクターを超えた産業イニシアティブである。同イニシアティブは、2020年に Maersk、Danone、Mercedes Benz、Microsoft、Natura、Nike、Starbucks、Unilever、Wipro、Environmental Defense Fund により設立された。会員企業は個別に活動するが、継続的な改善、報告の透明性、説明責任などへのコミットメントを共有している。

「水素協議会」(Hydrogen Council)は、グローバル企業のCEOが主導するフォーラムで、エネルギー企業、技術プロバイダー、船級協会、金融機関が参加し、エネルギー転換を支援する水素製造の拡大とコスト削減を目指している。

船用燃料としてのガスを促進する企業連合「Society for Gas as a Marine Fuel」には、LNG燃料船への転換を目標とする148企業が参加している。会員は、エネルギー企業、荷主、港湾局、技術プロバイダー、船級協会、海運会社である。

将来的なエネルギーへの企業連合「Coalition for the Energy of the Future」は、2019年にCMA CGMにより設立された18企業による連合で、サステナブルな海運を実現する将来的なエネルギーと技術の開発促進を目指している。会員企業は、Airbus、Air Liquide、AWS、Bureau Veritas、Carrefour、Cluster Maritime Français、Crédit Agricole CIB、ENGIE、Faurecia、Kühne and Nagel、Michelin、PSA International、Rolls-Royce、Schneider Electric、TotalEnergies、Wärtsiläである。同連合は、現在、グリーン水素、バイオ燃料、LNG、グリーン電力、ゼロエミッション輸送機関、輸送網のエコカリキュレーター、インターモーダルグリーンハブなどの開発プロジェクトを行っている。

輸送ロジスティックスからの排出削減を目指す「Global Logistics Emissions Council (GLEC)」は、マルチモーダルサプライチェーンのGHGフットプリントの計算と報告方法を開発した。クリーンカーゴのGHG排出報告方法は、GLECの「油井から車輪まで」のGHG排出量の計算方法を参考としている。

「EcoTransIT World Initiative (ETW)」ツールは、GLECフレームワークと同様の手法である。ETWツールは、航空、陸上、海上輸送を含むグローバルな輸送及びロジスティックスセクターの排出データの算出方法である。このツールは、ロジスティックス企業と荷主の両方に利用されている。

金融安定理事会(Financial Stability Board)は、「気候関連の財政情報開示(Climate-related Financial Disclosures : TCFD)に関するタスクフォース」を創設した。TCFDの目的は、気候関連のリスクによる実際及びポテンシャルな影響を開示することである。TCFDタスクフォースはBloombergが議長を務め、Deloitte、EY、KPMG、PwCが支援を行っている。TCFDデータユーザーは、BlackRock、BNP Asset Management、JP Morgan Chase、UBS Asset Management、Generation Investment Management、Citibanamex、CP Investments、Andurand Capital、PGGM、the Industrial and Commercial Bank of China、AXA、Aviva、Swiss Reを含む大手金融機関と保険会社である。

2018年に発足した船舶リサイクルの透明性イニシアティブ「Ship Recycling Transparency Initiative」は、船舶リサイクルに関するデータの収集と報告を行うオープンオンラインプラットフォームである。プラットフォームに報告することにより、サステナブルな船舶リサイクル手法の透明性を促進する。プラットフォームのメンバーには、以下の企業を含む。

- 海運会社：Maersk、Altera、CMA CGM、Crowley、Evergreen、Hapag-Lloyd、Norden、日本郵船、Stolt Nielsen、Swire Pacific Offshore、Teekay、Swire/China Navigation、Wallenius Wilhelmsen。
- 荷主：BMW、Bunge、John Deere、Louis Dreyfus、Scania
- 投資会社：Magistre & Psykologer、Nykredit、Paedagogernes Pension
- 保険会社：American Hellenic Hull、Gard、Swiss Re

- 銀行：Standard Chartered
- NGO：Forum for the Future
- 関連産業：Bollore、GES International、RightShip
- 船級協会：Lloyds' Register.

カーボン税またはカーボン排出の価格設定は、グリーン技術、エネルギー効率化技術と手法を早期に導入する企業に対する公平な市場競争を促進する。

5.2 欧州の大手海運会社のグリーンエネルギー政策

本節では 20 社以上の欧州海運会社の政策について、グリーンエネルギー目標達成への企業努力を調査した。表 31 は、調査対象となった海運会社とそのグリーンエネルギー政策の一覧表である。「√」は、前述した 4 つのグリーンエネルギー項目のうち、当該企業が力を入れている分野を示す。

表 31 欧州海運会社のグリーンエネルギー政策

	国連 SDG 報告	グリーンファイナンス	用船契約のイニシアティブ	その他
Maersk	√	√	√	√
MSC	√	√	√	√
CMA CGM	√		√	√
Hapag-Lloyd	√	√	√	√
Carnival	√			√
Wallenius Wilhelmsen	√	√		√
Oldendorff				√
Euronav	√	√	√	√
Navios				√
Danaos				√
Fredriksen 傘下の企業	√	√	√	
Fjord 1	√			√
Color Line	√			√
Hurtigruten	√	√		√
Höegh	√		√	
Rosatom	√			
Stena Group	√		√	√
Navigator Gas	√	√		√
Exmar	√			√
Scandlines	√			√
Stolt Tankers	√		√	√

5.2.1 Maersk (デンマーク)

Maersk は、グリーンエネルギーとサステナビリティ目標達成に向けた活動に最も積極的な海運会社のひとつである。

Maersk のコンテナ事業のサステナビリティ戦略は、国連 SDGs と連動している。同社の目標は、コンテナ輸送事業の排出量を、2030 年までに、2008 年レベルから 60%削減し、2050

年までのゼロエミッション化に向けた努力を行うことである。また、商業的に可能なネットゼロコンテナ船隊を 2030 年までに運航し、ネットゼロ目標を全事業及び同社のバリューチェーン全体に拡大する。

Maersk は、コンテナ事業部門の 2020 年 ESG 報告書の中で、以下のように目標を設定している。(以下スコープ①～③は同様の定義。)

- スコープ①直接的削減：3,390 万トンの GHG 排出削減、バンカー燃料から 96%。
- スコープ②間接的削減：電力購入により排出を 305,000 トン削減。
- スコープ③バリューチェーンからの削減 1,900 万トン：バリューチェーンからの排出が最も大きい分野は、上流輸送・配送からの 1,330 万トンである。

多くの海運会社とは違い、Maersk のコンテナ海上輸送には、LNG のような移行期の燃料を使用していない。その代わりに、同社はネットゼロ燃料への直接移行を狙っている。Maersk は、Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping と協力し、代替燃料ソリューションの開発を進める計画である。

エネルギー移行委員会 (Energy Transition Commission) の分析を引用し、ネットゼロ燃料により燃料コストが 100% 上昇するというシナリオでも、Maersk の輸送運賃の上昇率は約 20% で、エンドユーザーへの価格影響はほとんどないと述べている。

Maersk は、同社のような先駆的な企業への平等な市場環境を整備するインセンティブの必要性を主張している。

Maersk のサステナビリティガバナンスフレームワークでは、同社のコンテナ輸送ビジネスに直接関連する 3 つのプログラムがある。それは、ロジスティックスの脱炭素化、健康・安全及び環境、責任感のある船舶リサイクルである。

2020 年、Maersk は、同社の CO₂ パフォーマンスと連動した 50 万ドルのリボリングクレジットを確保した。このクレジットファシリティの-margin は、同社のコンテナ輸送事業の排出量を、2030 年までに 2008 年レベルから 60% 削減するという目標の達成状況によって調整される。

2021 年 11 月、Maersk はグリーンファイナンスフレームワークの発足を発表した。同フレームワークにより、社債、ローン、プロジェクトファイナンスなどのサステナブルな資金調達手段が可能になる。グリーンボンドに関するセカンドオピニオンを提供する独立系企業 Cicero Shade of Green 社が、同フレームワークの評価と、国際資本市場協会 (ICMA) のグリーンローン及びグリーンボンド原則へのコンプライアンスの認証を行う。同フレームワーク内の最初のファイナンスは、メタノール駆動大型コンテナ船 8 隻及びメタノール駆動フィーダー船 1 隻の建造資金調達のために発行したグリーンボンド 5 億ユーロであった。

Maersk Mc-Kinney Møller Center for Zero Carbon Shipping との協力に加え、Maersk は幅広いパートナーシップ、及びサステナブルな目標を共有する数多くの組織のメンバーシップを維持している。同社はクリーンカーゴ原則の締結企業であり、以下のような組織のメンバーである。

- グローバルロジスティックス排出協議会「Global Logistics Emissions Council」：マルチモーダルサプライチェーンのロジスティックスからの GHG 排出の統一された算出と報告方法を開発。
- グローバルマリタイムフォーラム「The Global Maritime Forum」：海事セクターのビジネス機会と課題を検討するフォーラム。
- サステナブル海運イニシアティブ「The Sustainable Shipping Initiative」：海運の持続性のある開発を促進。
- 道路貨物のゼロ排出プログラム「Road Freight Zero」：2030 年までにゼロ排出の

道路輸送とインフラの開発を促進する、世界経済フォーラム内のプログラム。

- サステナブルな航空貨物アライアンス「The Sustainable Air Freight Alliance」：航空輸送からの CO₂ 排出を追跡、削減を目指す荷主、貨物輸送企業、航空会社の協力体制。
- ネットゼロへの変換イニシアティブ「Transform to Net Zero」：世界経済の 2050 年までのネットゼロ排出達成へのエネルギー転換を促進する多産業イニシアティブ。
- 船舶リサイクリング透明性イニシアティブ「The Ship Recycling Transparency Initiative」：船舶リサイクルに関するデータの収集と報告を行うオープンプラットフォーム。
- 世界経済フォーラム：世界のビジネスリーダーによるポジティブな変革を促進する官民フォーラム。Maersk は、米国エネルギー省が COP26 で発足させた同フォーラム内の「First Movers Coalition」のメンバーである。その目的は、2050 年までの GHG 排出の最低 50%削減という目標に向けた技術の開発である。この多産業連合の設立メンバーは 35 社・組織である。
- 海事汚職防止ネットワーク「The Marine Anti-Corruption Network」：汚職のない海運産業を促進するグローバルビジネスネットワーク。
- 「ITC SheTrades」：女性が所有するビジネスを支援。
- 責任あるトラック輸送「Responsible Trucking」：道路輸送セクターの労働環境改善を支持。

Maersk は、インドのいくつかの造船所と提携し、船舶リサイクル方法の改善を支援している。同社はポストパナマックス型コンテナ船のサステナブルなリサイクルを行う造船所がない可能性を問題視しており、世界で適切な造船所を開発することを目標としている。

Maersk Tankers の ESG 報告も国連 SDGs に連動しているが、目標はコンテナ部門ほど厳格ではなく、サステナビリティ報告書の内容も総合的ではない。同社の排出削減目標は、2008 年の水準から、2030 年までには 45%減、2050 年までに 75%減となっている。

Maersk Tankers は、海上貨物憲章に加盟しており、また世界経済フォーラムの「Getting to Zero Coalition」のメンバーである。

2020 年、Maersk Tankers は、Cargill 及び三井物産と共同で、海事産業向けの新たな排出削減技術製品を提供すると発表した。

Maersk Tankers は、化石燃料を使用する海運へのカーボン課税を提唱している。2021 年 11 月、同社 CEO は、カーボンに価格を設定することにより、規制当局は、市場では調整することのできない化石燃料とゼロエミッション燃料の競争ギャップを縮小できると述べている。

Maersk Drilling の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 9 つの目標と連動しており、3 本の柱、即ち、持続性のある将来のエネルギー。人々への配慮、責任感のあるビジネス、にグループ化されている。同社の計画の中心となるのは、2030 年までに GHG 排出を 50%削減することである。コンテナ部門と同様、Maersk Drilling は、気候関連の財政状況の開示ガイドラインに従って自社のサステナビリティの報告を行っている。

Maersk Drilling は、英国 INEOS Oil & Gas とともに、カーボン回収・利用・貯蔵に関するデンマークのプロジェクト「Wintershall Project Greensand」に参加している 2025 年までに CO₂ の貯蔵を開始し、長期計画としては、2030 年までに年間 350 万トンの CO₂ を貯蔵する。

5.2.2 MSC (スイス)

Maersk と同様に MSC のコンテナ事業の ESG 戦略は、国連 SDGs と連動している。以前は、IMO のカーボンニュートラル目標と連動していたが、MSC コンテナ部門の CEO は、2021 年 9 月、同社は 2050 年までのカーボン排出ネットゼロ化へのコミットメントを表明した。

2020 年には、ABN AMRO がサステナビリティコーディネーターとして、MSC の 13 億ドルのリボルビークレジットファシリティをアレンジした。このクレジットファシリティのマーゲンは、IMO の 2050 年までに GHG を 50%削減する目標に対する MSC の達成度に連動する。

Maersk と同様に、MSC はクリーンカーゴ原則に加盟しており、また以下のような組織のメンバーである。

- 2030 年までに、商業的に可能なゼロエミッション燃料で駆動されるゼロエミッション海洋船を開発する世界経済フォーラムの「Getting to Zero Coalition」に参加している。
- MSC は、ノルウェーの「Green Voyage 2050」プロジェクトの枠組み内で設立された官民パートナーシップ「Global Industry Alliance for Low Carbon Shipping」の設立メンバーである。同連合は、エネルギー効率化技術、低カーボン及びゼロカーボンの代替燃料、船舶と港湾の排出に関する研究を行っている。
- 水素協議会「The Hydrogen Council」：エネルギー転換を支援する水素を促進する企業 CEO 主導のフォーラム。
- 北米海洋環境保護協会「The North American Marine Environment Protection Association」：サステナブルな海事産業を促進する産業主導の組織。
- 船用燃料としてのガス協会「The Society for Gas as a Marine Fuel」：LNG 燃料船への移行を支援。
- 国際海運会議所「The International Chamber of Shipping」
- 世界海運評議会「The World Shipping Council」

MSC は、同社のターミナルとロジスティックスのオペレーションを脱炭素化する技術の研究を行っている。COVID 以前の年間 CO₂ 排出量は、年間燃料消費量 570,000~650,000 トンから算出された 170~210 万トンであった。

コンテナ部門とは異なり、クルーズ部門 MSC Cruises は、IMO の排出削減目標をフォローしている。即ち、2030 年までにカーボン強度を 2008 年レベルから 40%削減、2050 年までに 70%削減、2050 年までに全体的な GHG 排出を 50%削減という目標である。

5.2.3 CMA CGM (フランス)

CMA CGM のサステナビリティへのアプローチは、国連 SDGs と連動し、2050 年までに海運活動をカーボンニュートラル化すると発表している。その戦略は 3 本の柱、即ち、人々のための行動、地球のための行動、責任ある貿易のための行動、に分類されている。

海運の脱炭素化は同社の戦略の柱「地球のための行動」に入っている。同社は LNG を移行期の燃料として採用し、同時にゼロエミッションソリューションの研究開発を継続している。

同社は 2019 年に将来的なエネルギーへの産業連合「Coalition for the Energy of the Future」を結成し、グリーンな輸送を維持するための将来的なエネルギー及び技術の開発を加速している。同連合は、現在、7 件のプロジェクトを実施している。プロジェクトの対象は、グリーン水素、バイオ燃料、LNG、グリーン電力、ゼロエミッション車両、輸送チェーン向けのエコカリキュレーター、インターモーダルグリーンハブである。

CMA CGM は、クリーンカーゴ、船用燃料としてのガス協会、船舶リサイクリングの透明性

イニシアティブのメンバーである。また、以下のようなフランスの組織にも参加している。

- LNG プラットフォーム：船主、港湾、LNG サプライヤー、船級協会、船舶設計企業、船用メーカーが共同で、フランスの海運及び内陸水運における LNG の利用を促進する。
- 「Fondation de la Mer」：フランスの海事企業により 2015 年に設立された、ステークホルダーの「ポジティブな海洋への影響を強化、加速する」組織。

CMA CGM の船用燃料に関連する CO₂ 排出量は、2020 年の年間燃料消費量 780 万トンから算出された約 2.330 万トンと推定されている。また、2020 年のトラック及びロジスティクス事業からの CO₂ 排出量は約 120,000 トン、倉庫事業からの排出量は 75,000 トンである。

5.2.4 Hapag-Lloyd (ドイツ)

Hapag-Lloyd の ESG 政策は、気候行動に関する SGD 目標 13 を含む国連 SDGs の 6 目標に連動している。

同社はグリーンファイナンスフレームワークを開発し、その枠組み内でグリーンボンド、グリーン私募、グリーンローン、グリーンリースなどの債券を発行している。全ての債務手段は、国際資本市場及び融資市場協会の勧告に従ったものである。債務から調達した資金は、効率的な LNG 燃料船隊への投資に用いられる。また、効率化された船体設計と高性能塗料、バイオ燃料などの代替燃料の試験、運航管理と運転の効率化のためのデジタルソリューションの導入などにも利用される。

クリーンカーゴ、世界経済フォーラムの「Getting to Zero Coalition」、グローバルロジスティクス排出評議会、グローバルマリタイムフォーラム、船舶リサイクルの透明性イニシアティブなどの業界組織のメンバーシップに加え、Hapag-Lloyd は、輸送機関統一された排出算出方法を開発するイニシアティブ「EcoTransIT World Initiative」に参加している。

5.2.5 Carnival Group の欧州子会社

Carnival Group 内の全企業は、国連 SDGs と 2030 年気候行動目標に連動した共通の ESG フレームワークを持っている。具体的には、2030 年までにカーボン強度を 2008 年レベルから 40%削減、陸上電力接続能力を船隊の 60%に拡大、LNG プログラムの拡大、バッテリー、燃料電池、バイオ燃料の使用拡大などである。各社ごとの排出量は未だ報告されていない。

Carnival は、EU、IMO、ILO、バーゼル条約の要求を満たす船舶リサイクルプログラムを実施している。同社の船舶は、トルコの造船所でリサイクルされている。

Carnival は、将来的にカーボンオフセットバンクを開発する気候保護に関する複数のプロジェクトを検討している。

5.2.6 Wallenius Wilhelmsen (ノルウェー)

Wallenius Wilhelmsen の ESG 政策は、気候行動に関する目標 13 を含む国連 SDGs の 7 目標に連動している。同社は、気候関連財政情報開示タスクフォースのガイドラインに沿ったサステナビリティに関する報告を行っている。

同社の 2020 年のスコープ①の船舶からの GHG 排出量は 380 万トン、スコープ②の排出量は 6,200 トンと算出されている。

同社の目標は、カーボン強度を 2030 年までの毎年 2.5%削減、また、2030 年までの全体的な GHG 強度を 2019 年レベルの 27.5%減とすることである。

Wallenius Wilhelmsen のクレジットファシリティーは、ポセイドン原則に従っている。

同社は、世界経済フォーラムの「Getting to Zero Coalition」のメンバーである。

5.2.7 Oldendorff Carriers (ドイツ)

Oldendorff は、2050 年までに CO₂ のゼロ排出を達成するための準備を行っているとして述べている。同社は、HFO と排ガス後処理装置の組み合わせが、現時点における GHG 排出削減の最良の手段であるという「Well to Propeller」の調査結果を挙げ、排ガス浄化システムへの投資を進めている。

Oldendorff は、新技術、運転技術、将来的な代替燃料などの研究も続けると述べている。

同社は、「サステナブル海運イニシアティブ」、世界経済フォーラムの「Getting to Zero Coalition」、メタノール研究所のメンバーである。また、同社は、排ガス浄化システムによる排ガス制御努力を促進するクリーン海運連合「Clean Shipping Alliance」の創設メンバーでもある。

5.2.8 Euronav (ベルギー)

Euronav は、化石燃料を輸送する多くの他社と同様に、主力貨物である原油への需要と、パリ協定の気候目標達成のバランスを取ろうとしている。同社は、海運はトン・マイルあたりの排出量が最も少ない輸送手段であるとし、今後も最も効率的な方法で原油の輸送を行うと述べている。

Euronav の 2020 年のスコープ①の GHG 排出量は約 310 万トン、スコープ②の排出量は 232 トン、スコープ③排出は 640,000 トンであった。同社の消費エネルギーの 87%は重油燃料であった。

同社の排出データは、世界の資本市場資本の 50%を保有するグローバル企業 95,000 社をカバーする非営利環境情報開示フレームワークである「カーボン情報開示プロジェクト」(Carbon Disclosure Project) に承認されている。

Euronav の ESG 報告は、国連 SDGs の 9 目標と連動している。同社はポセイドン原則の開発の主要パートナーで、また海上貨物憲章の創設メンバーである。同社はカーボン排出データの収集と開示を 2017 年に開始し、そのデータを第 3 章及び第 4 章で概説した代替燃料やエネルギー効率化技術の戦略的決定に活用している。

2020 年 9 月、既存の 2 件の融資を、ポセイドン原則に定められたよりも厳格な排出目標を持つ 7 億 1,300 万ドルのサステナビリティ融資に統合した。

Euronav は、世界経済フォーラム内の 140 メンバーを持つ産業連合「Getting to Zero Coalition」の創設メンバーのひとつである。同連合の目標は、2030 年までに商業的に可能なゼロエミッション燃料で駆動されるゼロエミッション海洋船を開発することである。

5.2.9 Navios (ギリシャ)

Navios の目標は 2050 年までのネットゼロ化達成で、提案されている全ての環境規制を発効よりも 2 年早く順守することを目指している。

同社は ESG フレームワーク内で事業を行っているが、そのフレームワークが国連 SDGs と連動しているか否かは不明である。

5.2.10 Danaos (ギリシャ)

Danaos は、IMO の 2030 年カーボン強度目標を、目標よりも 11 年も早い 2019 年に達成したと報告している。同社の 2020 年のスコープ①の GHG 排出量は、二酸化炭素換算の数値で 310 万トンであった。

2021 年 11 月の投資家向けプレゼンテーションで、Danaos は「ポセイドン原則創設者とのパートナーシップ」に言及しているが、2021 年の投資家向けプレゼンや債務再編の発表時には

その詳細は発表されていない。

同社は ESG フレームワーク内で事業を行っているが、そのフレームワークが国連 SDGs と連動しているか否かは不明である。

5.2.11 Fredriksen 傘下の企業（ノルウェー／キプロス）

Fredriksen 傘下の海運会社である Frontline、Golden Ocean、SFL、Flex LNG、Avance Gas の各社は、共通の ESG フォーラムで協働している。これらの企業のサステナビリティ報告は同じ形式を持ち、国連の SDGs 及び IMO の GHG 削減目標に連動している。ESG 報告は、サステナビリティ会計基準審議会（Sustainability Accounting Standards Board）の投資家向け財政的に重要な（financially-material）サステナビリティ情報報告基準に則している。

Frontline は、IMO の 2030 年及び 2050 年の GHG 排出削減目標を支持している。同社は、DNV に、Frontline のエネルギー効率化プロジェクト「IMO 2030 - 2050 への脱炭素化過程」（Decarbonization Journey Towards IMO 2030-2050）の開発への支援を依頼した。プロジェクトの目的は、現行及び近い将来の船隊最適化のためのオプションの特定である。

Frontline の 2020 年のスコープ①の GHG 排出量は、CO₂換算で 180 万トン、購入した電力のスコープ②排出量は 5 トンであった。VLSFO 及び ULSFO への転換により、HFO 燃料消費量は、2019 年の 1,900 万トンから 2020 年には 1,000 万トン近くまで低下した。HFO は、同社の 2020 年の消費エネルギーの 41%を占めている。

Frontline の ESG 報告は、国連 SDGs の 3 目標に連動している。即ち、気候行動（13）、水中生物（14）、平和、公正、強力な組織（16）である。

Golden Ocean の 2020 年のスコープ①の GHG 排出量は、CO₂換算で 160 万トン、スコープ②排出量は 41 トンであった。VLSFO 及び ULSFO への転換により、HFO 燃料消費量は、2019 年の 2,500 万トンから 2020 年には 700 万トン近くまで低下した。HFO は、同社の 2020 年の消費エネルギーの 24%を占めている。

Golden Ocea は、Frontline と同様に、国連 SDGs の目標 13、14、16 に連動しているが、同社は目標 9「産業、イノベーション、インフラ」も加えている。

2021 年 9 月の投資家向けプレゼンテーションで、Golden Ocean は、短期間で高炭素モデルから低炭素モデルへ、また将来的にはゼロ炭素モデルへと移行する必要性を強調している。また、同社の顧客は海上貨物憲章のメンバーで、同社はポセイドン原則に準拠した資金調達を行っている」と述べている。

SFL の 2020 年のスコープ①の GHG 排出量は、CO₂換算で 390 万トン、スコープ②排出量は 19 トンであった。VLSFO 及び ULSFO への転換により、HFO 燃料消費量は、2019 年の約 2,300 万トンから 2020 年には 1,120 万トンに低下した。HFO は、同社の 2020 年の消費エネルギーの 53%を占めている。

Golden Ocean と同じく、SFL の ESG 政策は、国連 SDGs の目標 9、13、14、16 に連動している。

SFL のサステナビリティと関連した債券のフレームワークは、国際資本市場協会のガイドラインに従って開発された。同フレームワークは、2021 年 4 月に発行された 1 億 5,000 万ドルのサステナビリティリンク無担保シニア社債のベースとなった。

Flex LNG の 2020 年のスコープ①の GHG 排出量は、CO₂換算で 490,000 トンであった。HFO 燃料消費量は、2019 年の約 495,000 トンから 2020 年にはゼロとなった。Golden Ocean 及び SFL と同様、Flex LNG の ESG 政策は、国連 SDGs の 9、13、14、16 と連動している。また、SDG 3「健康と福利」も採用している。同社は、2020 年に、気候関連財政情報開示のタスクフォースのガイドラインに沿ったリスク評価を開始した。

Avance Gas の 2020 年のスコープ①の GHG 排出量は、CO₂換算で 450,000 トンであった。HFO 燃料消費量は、2019 年の約 700 万トンから 2020 年には 150 万トンに低下した。Avance Gas の ESG 政策は、国連 SDGs の 3、13、14、16 に連動している。SeaDrill の排出量データは、2012 年以来、非営利環境情報開示フレームワークである「カーボン開示プロジェクト」で認証されている。SeaDrill の排出量データと ESG 報告は公表されていない。

2021 年 11 月、John Fredriksen は、自ら会長を務める最新のベンチャー企業 ST Energy Transition I Ltd の新規株式公開 (IPO) をニューヨークで行い、2 億 5,000 万ドルを調達すると発表した。ST Energy Transition I は、エネルギー変換ソリューションとクリーンエネルギー技術を開発する。

5.2.12 Fjord1 (ノルウェー)

Fjord1 の ESG 報告は、気候行動と水中生物に関する目標を含め、国連 SDGs の 6 目標に連動している。同社の 2020 年の CO₂排出量は約 175,000 トン、そのうち約 100,000 は、ディーゼル燃料と LNG 関連の排出である。

将来の競争入札にはゼロエミッション技術を含めるという 2015 年のノルウェーの規制要求に対応するため、Fjord1 は、同社のオペレーションの電化計画を開始した。

フェリーサービスに関する入札による長期契約を確保した同社は、2017 年 12 月以来、新造バッテリーハイブリッドフェリー 25 隻、完全バッテリーハイブリッド推進に改造された既存フェリー 5 隻を投入し、2021 年には LNG 燃料船 3 隻を電気ハイブリッド駆動に改造している。2023 年までには、同社所有船 80~85 隻のうち最低 45%を電化する計画である。2021 年には、同社の定期航路で陸上電気供給設備を持つフェリーストップ数を、39 か所に拡大する計画である。

5.2.13 Color Line (ノルウェー)

Color Line の ESG フレームワークは、国連 SDGs に準拠している。前述したと通り、Color Line は、新造プラグイン・ハイブリッドフェリーへと陸上電力接続への投資を行ってきた。しかしながら、現時点では同社のサステナビリティ報告は公表されていない。

5.2.14 Hurtigruten (ノルウェー)

Hurtigruten Group の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 9 目標に準拠している。

Hurtigruten Group は、同社船隊への HFO の使用廃止に加え、ノルウェー沿岸及び北極海域を航行する全船に対し、HFO の使用を廃止するよう呼び掛けている。同社船隊のうち 9 隻には、2020 年末までに陸上電力接続設備を搭載し、残りの船にもできる限り早く設備を搭載する計画である。

2021 年 11 月、Hurtigruten Group は、Danske Bank 及び DNB Markets に、3 年満期のノルウェークローネ建て無担保シニア社債への市場要望に関する調査を委託した。

5.2.15 Höegh (ノルウェー)

Höegh Autoliners の ESG 報告は、国連 SDGs の 10 目標に準拠している。同社の 2020 年のスコープ①の排出量は、100 万トンであった。同社は、クリーンカーゴのメンバーで、世界経済フォーラムの「Getting to Zero Coalition」に加盟している。

同社が発注済みの Aurora クラス新造 RORO 船 4 隻及びオプション 8 隻を含む低排出、ゼロ排出船への資金調達を目的に、同社はオスロの「Euronext Growth」証券取引所への上場と新規株式の発行計画を発表している。株式公開前に、Leif Höegh は 同社の 60.5%株式を保有、

Maersk は 38.2%、同社 CEO は 1.3%を保有している。同社は、約 10 億ノルウェークローネを調達し、*Aurora* クラス新造 RORO 船 4 隻の建造資金とする計画である。

Höegh LNG は、ESG フレームワークを確立し、グローバル報告イニシアティブのサステナビリティ報告フレームワークに則したデータ収集を行っているが、現時点では ESG 報告書を発表していない。

5.2.16 Rosatom (ロシア)

ロシア国営原子力企業 Rosatom State Atomic Energy Corporation は、国連 SDGs の 6 目標に準拠した ESG フレームワークを持っている。6 目標には、入手可能な価格のクリーンエネルギー（目標 7）及び気候行動（目標 13）が含まれる。原子力発電企業で原子力駆動船を運航する Rosatom は、ゼロ GHG 排出技術への投資は行っていない。

5.2.17 Stena Group (スウェーデン)

Stena Group の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 10 目標に連動している。

同グループ全体の 2020 年の船舶運航活動からの CO₂ 排出量は、330 万トンであった。うち、Stena Bulk が最も大きい割合（54%）を占めている。排出量が次に大きい企業は Stena Line で、グループ排出量の 38%である。その他、Stena Ro-Ro emissions は 3%、Stena Drilling は 5%である。グループ全体では、トン・マイルあたりの CO₂ 排出量は、2017~2019 年は 0.46 トンとコンスタントであったが、2020 年は 0.49 トンへの若干上昇している。

Stena Group は、同グループ最大のサステナビリティ課題とリスクとして、化石燃料への依存を挙げており、「再生可能燃料への転換と電化への努力をさらに拡大する必要」を認識している。

Stena Lines、Stena Ro-Ro、Stena Bulk は、全て多元燃料技術、電化、エネルギー効率化技術への投資を行っている。

Stena Bulk は、海上貨物憲章の創設メンバーのひとつである。2021 年 4 月、Stena Bulk は、2040 年までに完全にカーボンニュートラルなタンカー運航者となり、2050 年までにはネットゼロエミッションビジネスとなることを目標として掲げた。従って、Stena Bulk が輸送する全貨物は 2050 年までにカーボンニュートラルとなる。

5.2.18 Navigator Gas (英国)

Navigator Gas の ESG 報告は、国連 SDGs の 5 目標に連動している。

同社の 2020 年サステナビリティ報告書によると、Navigator Gas はポセイドン原則の加盟企業からの資金を確保し、同社の環境目標は、現行の IMO 目標に準拠している。

Navigator Gas の 2000 年の CO₂ 排出量は、680,000 トンであった。

エタンや LNG などの代替燃料の導入に加え、Navigator Gas は、ノルウェー気候技術企業 CHOOSE と提携し、カーボンオフセットクレジットを増やすための投資に関するプロジェクトを検討中である。

5.2.19 Exmar (ベルギー)

Exmar の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 6 目標に連動し、報告方法はサステナビリティ会計基準評議会（Sustainability Accounting Standards Board）の投資家向けに財政的に重要なサステナビリティ情報報告基準（standards for reporting financially material sustainability information to investors）に準拠している。

同社の 2020 年の CO₂ 排出量は 600,000 トンで、HFO が同社の消費エネルギー全体の約 60%を占めている。

Exmar の GHG 削減活動は、前述のように使用燃料の選択とエネルギー効率化技術をベースとしている。

5.2.20 Scandlines (デンマーク)

Scandlines の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 5 目標に連動しており、ゼロエミッションを目標としている。

同社が運航するフェリー7 隻のうち、6 隻はハイブリッド船である。同社は船隊のエネルギー効率化を目的に、高効率スラスタ、データ監視システム、高性能塗料、ローターセイル風力支援推進技術への投資を行っている。また、2021 年以降は、同社が使用する全陸上電力を再生可能源から供給する計画である。

Scandlines の 2020 年のスコープ①の排出量は、約 130,000 トンであった。

5.2.21 Stolt Tankers (オランダ)

Stolt Nielsen のグループ企業は全社が共通の ESG フレームワークを持ち、国連 SDGs の 3 目標に連動している。2020 年のスコープ①の排出量は 190 万トンであった。スコープ②及び③の排出量は発表されていない。同社は GHG 排出強度の算出と管理に EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator : エネルギー効率運航指標) を使用している。

Stolt Tankers は、同社のカーボン強度を 2030 年までに 2008 年レベルから 50%削減し、2050 年までに完全にカーボンニュートラルなビジネスとなることを目標としている。

短期的には、Stolt Tankers は IMO 規制へのコンプライナスが可能である。しかしながら、同社は EU や IMO の規制の厳格化を予想しており、詳細は発表されていないが、幅広い代替燃料とエネルギー節約手法の研究開発を行っている。

グループ企業の Stolt Tank Containers は、クリーンカーゴに加盟している。

5.3 欧州の大手荷主企業のグリーンエネルギー政策

本節では、自社貨物の海上輸送を行う欧州の大手荷主企業 20 社以上のグリーンエネルギー政策を調査した。表 32 は、各企業が発表しているグリーンエネルギー政策の分野の一覧である。「√」は、各企業が行動しているエネルギー政策分野を示す。

表 32 欧州大手荷主企業のグリーンエネルギー政策

企業名	国連 SDGs	用船契約イニシアティブ	その他
Shell	√	√	√
TotalEnergies	√	√	√
BP	√		√
Equinor	√	√	√
Repsol	√		√
Glencore	√		√
Arcelor Mittal			√
Anglo American	√	√	√
Yara			√
Unilever	√	√	√
PUMA	√		√
Adidas	√		√
Ikea		√	√
Volkswagen	√		√
BMW	√	√	√
BHP	√		√
Rio Tinto	√		√
Cargill	√	√	√
Trafigura	√	√	√
Michelin	√		√
Volvo	√		√
Heineken	√		√

5.3.1 Shell (オランダ/英国)

Shell は、化石燃料への反対派の意見に対抗し、カーボン排出量削減へのイニシアティブを積極的に打ち出している。2021 年 10 月には、COP26 の開催に先立ち、同社は 2050 年までのネットゼロ排出への転換を加速する「Powering Progress」戦略を発表した。同戦略の 3 本の柱は、上流、成長、転換である。

- 石油・天然ガス製造の上流部門は、同社株主への配当と同社の変換の財源となる柱である。2021 年の上流部門への設備投資予算は 120 億ドルである。
- 転換の柱では、同社のガス、ケミカル、製品ビジネスへの努力を深め、持続性あるキャッシュフローを実現する。

- 成長の柱では、電力、水素、バイオ燃料、カーボン回収・貯蔵などへの転換による成長を実現する。2021年の再生可能エネルギーへの投資予算額は20～30億ドルである。

株主からはこの戦略への反発がある。活動家株主 Third Point は、同社を石油関連のビジネスに焦点を当てる「Legacy Shell」と、ガス及び再生可能エネルギーに集中する「Future Shell」に分割すべきであると主張している。しかしながら、Shellの主要株主全員がこの主張に賛同しているわけではない。分割は複雑すぎる上、付加価値はないとの意見もある。

2021年5月、Shellは、オランダにおける訴訟に敗訴した。オランダ裁判所は、Shellに、2030年までにカーボン排出量を2019年レベルから45%削減するよう命じた。Shellは、同社だけが標的されるのは不当であるとし、このような行動は特定の1社だけではなく全体的であるべきだと抗議している。

2019年末、Shellは既存のクレジットファシリティを、利子と手数料が同社の短期的ネットカーボンフットプリント削減目標に連動した100億ドルのリボルビングクレジットファシリティに変更した。

2020年、Shell Shipping & Maritimeは、海運脱炭素化に関する同社の意見を、2本の報告書にまとめた。報告書のタイトルは、「Decarbonizing Shipping - All Hands on Deck」及び「Decarbonizing Shipping - Setting Shell's Course」である。

「Decarbonizing Shipping - All Hands on Deck」報告書は、Shell Shipping & Maritimeの幅広いステークホルダーからの情報をベースに、脱炭素化への数多くの障害を特定している。これには、グローバルな法的枠組みの欠如、エネルギー転換に必要な代替燃料の供給量不足などがある。同報告書では、これらの障害を克服する方策として、以下を挙げている。

2020～2023年間に完了すべき短期的方策：

- 顧客の需要拡大：用船者や荷主の低排出、ゼロ排出海運への需要を拡大する。
- グローバルな法規制の整合性：2023年に決定されるIMOの次期ガイドラインを、EU、米国、中国などの地域的及びローカルな法規制を整合させる。Shellは、IMOはネットゼロ目標を2050年、新造船及び既存船向けの厳格な中間目標を2030年及び2040年に設定すべきであると主張している。また、同社はカーボン排出へのグローバルな価格設定を支持している。
- ゼロ排出、低排出燃料に関するセクターを超えた共同研究開発の促進。
- 実証プロジェクトの拡大：コンテナ船などの定期運航海運向けのグリーンエネルギーのサプライチェーンソリューションに焦点を当て、これらの船舶が定期的に寄港する港湾における実証プロジェクトにより、海運がグリーンエネルギーにアクセスできるインフラを構築する。
- クリーンカーゴ、「Getting to Zero Coalition Coordinated」などの産業全体のコミットメントを促進。

さらに長期的な行動には、燃料の製造とバンカリングインフラの拡大が必要である。

運航の効率化は、脱炭素化への移行過程を通じた長期的で継続的な行動である。Shellは、船体形状の最適化、空気潤滑システム、風力支援推進、ウェザー・ルーティング、定時（just-in-time）入港、高性能潤滑油などを、運航効率化手法の例として挙げている。

Shellは、これらの方策の実行方法として、液体水素などの新燃料と排出削減を加速するエネルギー効率化技術の開発を行う。将来的な燃料の開発を支援するため、Shellは内燃エンジン技術の代替となる燃料電池の研究開発を進める。また、排出を削減する空気滑走技術、流体力学の最適化、風力支援推進、高性能塗料などの技術開発も継続する。同社はサウサンプトン

大学の Centre for Maritime Futures と共同で、脱炭素化技術と次世代燃料の開発を計画している。

さらに、Shell は、排出削減に関し、顧客との協働も計画している。これには LNG やバイオ燃料などの低カーボン燃料の利用拡大が含まれる。

Shell は、排出削減が困難な分野に関しては、高品質なオフセットを見つける計画である。同社は、韓国 GS Energy、東京ガス、台湾 CPC、中国 CNOOC と提携し、自然由来のカーボンクレジットの購入をベースに、アジアでカーボンニュートラルな LNG を供給する。

5.3.2 TotalEnergies (フランス)

他の欧州大手石油ガス企業と同様に、TotalEnergies は、「エネルギー転換の世界クラスプレーヤー」となることを目標に、事業分野を拡大している。同社の目標は、2050 年までに、直接及び間接排出量をネットゼロにすることである。

TotalEnergies の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 6 目標に連動し、報告方法はサステナビリティ会計基準評議会 (Sustainability Accounting Standards Board) の投資家向けに財政的に重要なサステナビリティ情報報告基準 (standards for reporting financially material sustainability information to investors) に準拠している。

TotalEnergies は、海運の LNG 燃料の利用を促進しており、LNG バンカリング船 2 隻を建造している。1 隻は欧州北部で既にオペレーションを開始しており、もう 1 隻はマルセイユをベースとする予定である。

今後 10 年間に TotalEnergies が販売する燃料は、石油 30%、天然ガス 50%、バイオ燃料 5%、風力及び太陽光電力 15% をする計画である。また、同社は水素サプライチェーンに関する研究開発を行っている。

TotalEnergies は、海上貨物憲章原則の創設メンバーのひとつである。

TotalEnergies は、2020 年に世界経済フォーラム内の産業連合「Getting to Zero Coalition」に加盟した。同連合は、2030 年までに商業的に可能なゼロエミッション燃料で駆動される海洋船を就航することを目標としている。

5.3.3 BP (英国)

2020 年、BP は、遅くとも 2050 年までのネットゼロ化実現に向けた戦略を発表した。石油ガス部門は BP のコアビジネスとして存続するが、同社は低カーボン電力やエネルギーへの関与を深めてゆき、自社を統合エネルギー企業とする。Shell と同様に、BP は、カーボンクレジットを生み出すために、自然由来のプロジェクトへの投資を行っている。

BP の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 6 目標に連動している。

BP Shipping の脱炭素化努力としては、同社の最新の LNG 運搬船の船隊に多元燃料エンジンを採用し、また石油タンカー船隊には、Mewis ダクトプロペラと排ガススクラバーを搭載している。

5.3.4 Equinor (ノルウェー)

Equinor の ESG フレームワークは、国連 SDGs の全 17 目標に連動している。

同社のスコップ①の GHG 排出には、同社のシャトルタンカー、OSV、オフショア石油ガス開発を支援する掘削リグが含まれている。クリーンな製品の輸送からの排出は、スコップ③の報告に含まれる。

Equinor の目標は、2050 年までにスコップ①、②、③全てのネットゼロ排出を達成することである。また、同社は、2030 年までにノルウェーにおける海運からの排出を 2008 年基準から 50%削減、グローバルには 2050 年までに 50%削減を目標としている。この目標達成に向けて、

Equinor は、2030 年までに低カーボン燃料の製造を拡大し、2050 年にかけてはゼロカーボン燃料の製造と利用を実現する。

Equinor は、海上貨物憲章に加盟している。

5.3.5 Repsol (スペイン)

Repsol の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 17 目標のうちの 6 目標に連動している。同社は、2019 年に、2050 年までにネットゼロエミッション企業となる目標を設定した。

他の欧州大手石油ガス企業と同様に、Repsol のエネルギー転換戦略は、今後も石油ビジネスを継続するが、天然ガス（及び LNG）をエネルギー転換燃料とし、また発電ビジネスを強化する。エネルギー転換戦略の一環として、同社は 2025 年までに低カーボン電力 7,500MW を製造する計画である。

5.3.6 Glencore (スイス)

Glencore の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 6 目標に連動している。

同社は、低質の石炭ビジネスを縮小し、エネルギー転換技術のサプライチェーンの重要な要素となる燃料炭と金属ビジネスを拡大する計画である。Glencore は、同社全体の排出量を 2035 年までに 2020 年基準から 40%削減し、2050 年までにはネットゼロ排出を実現することを目標としている。これには貨物の海上輸送を含む直接及び間接排出の両方が含まれる。

5.3.7 ArcelorMittal (Luxembourg)

世界 17 か国で鉄鋼生産を行う最大手鉄鋼・鋳業企業のひとつである ArcelorMittal は、2050 年までに欧州でカーボンニュートラルとなることを目標としている。中間目標としては、2030 年までにカーボン排出量を 30%削減する。同社の海上輸送政策に関する情報はない。

5.3.8 Anglo American (英国)

これまで用船者であった Anglo American は、2021 年に自社船の発注を開始した。同社の詳細な ESG 報告は、鋳業サプライチェーン全体をカバーしているが、海運への言及はほとんどない。

同社のサステナビリティ報告は、気候関連財務情報開示のタスクフォース（Task Force on Climate-related Financial Disclosures）のガイドラインに準拠している。

Anglo American の目標は、2040 年までに全事業をカーボンニュートラル化することである。2021 年 11 月には、これには同社がコントロールする海上輸送活動も含まれることを明確にした。また、同社は、2030 年までに CO₂ 排出を 30%削減するという中間目標を設定している。

Anglo American は、海上貨物憲章原則の創設メンバーのひとつである。

5.3.9 Yara (ノルウェー)

Yara は、世界最大手の肥料メーカーである。同社の戦略は、サステナブルな価値成長と気候にやさしい肥料及びゼロエミッションエネルギーソリューションの促進である。

Yara は、クリーンな水素経済は迅速に開発されており、アンモニアがその転換の原動力となるとし、肥料製造用、産業用、発電用及び船用燃料としてのブルー及びグリーンアンモニアの供給量の成長を予測している

同社は、「アンモニアは、水素よりも優れた水素キャリア」であるとし、Yara の戦略のコアとなる要素は、ゼロカーボン船用燃料としてのグリーンアンモニアの製造拡大を支援する再生可能な水素の製造である。

Yara は、同社はアンモニア製造拡大において他社を引き離していると述べている。同社は既

にアンモニア製造大手であり、17ユニットで年間850万トン前後のアンモニアを製造している。同時に、同社は、200,000トンのアンモニアの海上輸送能力を持ち、17か所の海上アンモニアターミナルを運営し、580,000トンのアンモニア貯蔵能力を持つ。

Yaraは、以下の3件のグリーンアンモニアに関する実証プロジェクトを行っている。

- オランダの「Skuiskil」プロジェクトでは、Ørstedと共同で、風力エネルギーを用いて70,000トンのグリーンアンモニアを製造する。同プロジェクトは現在フィジビリティ段階で、商業生産は2025年開始を予定している。
- Yaraは、水素製造・貯蔵技術企業NFLを共同で、ノルウェーPorstrunnの同社アンモニア工場において、水力発電を利用したグリーンアンモニア20,000トンの製造を2023年に開始する。ノルウェーの水力発電供給と政府の財政支援がある場合、同工場では500,000トンに製造を拡大することが可能である。
- また、Yaraは、Engieと提携し、西オーストラリアのピルバラで、太陽光発電を利用した能力3,500トンのグリーンアンモニア製造施設の建設を行っている。製造開始は2023年の予定である。

注目すべきYara初のグリーン海運イニシアティブは、完全電気船の開発である。YaraとKongsberg Maritimeは、世界初の完全電気駆動のゼロエミッション自動運航コンテナ船を共同開発した。同船の推進システムは、アジマス式プルスラスタとトンネルスラスタである。

「Yara Birkeland」と命名された同船は、YaraのノルウェーProgrunn工場から輸出港ブレビックにミネラル肥料を輸送する年間4,000回のトラック輸送を代替する。VARDで建造された120TEU型の同オープントップコンテナ船は、完全バッテリー駆動である。

同船は2021年11月に短距離の海上試験を行い、2022年に就航の予定である。最初の2年間は船員1人が乗船し、2年間の認証試験後に無人の自動運航に移行する。

5.3.10 Unilever (英国)

同社は、Maersk、FrieslandCampina、DSM、Shell、Philips、Heinekenとともに、オランダの持続可能な成長連合(Dutch Sustainable Growth Coalition)のメンバーである。同連合は、2019年に、入手可能なバイオ燃料の船用燃料としての利用の技術的、商業的な可能性とサステナビリティに関する世界最大のバイオ燃料の実証プロジェクトを行った。実証試験では、コンテナ船「Mette Maersk」が、バイオ燃料(使用済み料理油)を含む混合燃料を使用し、ロッテルダム-上海間の往復航海を行った。Shellが同燃料を供給した。

Unileverは、Maersk、Microsoft、Nikeなどの多国籍企業とともに、遅くとも2050年までのネットゼロ経済への転換を支援する多産業プラットフォーム「Transform to Net Zero Initiative」に加盟している。

また、Unileverは、最大1.5℃の温度上昇と2030年までに排出量を半分にするという目標を持つビジネス連合「Exponential Roadmap Initiative」のメンバーである。

Unileverは、「Cargo Owners for Zero Emission Vessels」(coZEV)イニシアティブのビジョンを採択している大手荷主企業9社のひとつである。coZEVの加盟企業は、2040年までに自社船隊の脱炭素化、及び2050年までにセクター全体の脱炭素化を支援している。

5.3.11 PUMA (ドイツ)

Pumaは同社のサステナビリティ戦略「10FOR25」を、国連SDGsに連動させている。同戦略では主にスコープ①及びスコープ②の排出に焦点を当て、海上輸送からの間接排出には特に言及していない。

5.3.12 Adidas (ドイツ)

Puma と同様に、Adidas の ESG フレームワークは、国連 SDGs と連動している。同社の戦略は主にスコープ①及びスコープ②の排出に焦点を当て、海上輸送からの間接排出には特に言及していない。同社のサプライチェーン全体の目標は、製品あたりの CO₂ 排出量を、2017 年の基準値から 2025 年までに 15%削減、2030 年までに 30%削減することである。

Adidas は、同社の社内環境フットプリントの約 90%をカバーする詳細な環境データの記録・報告システムを構築している。

2020 年には、Adidas 及び Reebok 製品の 80~98%は海上輸送された。同社は排出量の追跡を行っているが、そのデータは公表していない。

5.3.13 Ikea Group (オランダ)

Ikea は、年間 200 万回の貨物の海上輸送を行う大手荷主である。同社は、海運産業の気候政策に好影響を与える責任と機会があると述べている。また、脱炭素化ソリューションの開発、実施、拡大に向けて、バリューチェーン全体のステークホルダー間の協力が不可欠であるとしている。

同社は、2030 年までに、バリューチェーンが排出する以上の GHG を削減し、気候ポジティブとなるという目標を掲げている。同社によると、製品のサプライヤーから倉庫及び世界中の店舗への輸送に係る排出量は、同社全体のカーボンフットプリントの約 5%を占めている。同社の目標は、輸送関連の平均排出量を、2030 年までに 2017 年レベルから 70%削減することである。

Ikea は、この 2030 年カーボン削減目標へのロードマップを発表した。ロードマップは以下の 3 項目からなっている。

- 全輸送をできる限り効率化し、気候フットプリントを削減する。
- 化石燃料を、サステナブルな代替燃料と代替する。
- 革新的な技術と燃料の統合方法の再考と、脱炭素化ソリューションを促進するための協力。

Ikea は、2019 年に、CMA CGM と共同で、CMA CGM の「*White Shark*」を用いてロッテルダム港で第二世代バイオ燃料のバンカリング実験、及び CMA CGM の「*Alexander Von Humboldt*」の欧州北部からアジアへの第二世代バイオ燃料を使用した航海実験を行った。

Ikea はクリーンカーゴに加盟しており、また、2040 年までに船隊の脱炭素化、2050 年までにセクター全体の脱炭素化を実現するという原則を持つ「ゼロエミッション船を支持する荷主」(Cargo Owners for Zero Emission Vessels) に加盟している大手荷主企業 9 社のひとつである。

5.3.14 Volkswagen (ドイツ)

同社は、欧州 19 か国の 64 工場を含む 116 工場を運営している。同社の政策は、原料の抽出から製品寿命の最後までを含む製品の全ライフサイクルの環境負荷を最小化することである。

Volkswagen の ESG フレームワークは、国連 SDGs の 17 目標、及びパリ協定の 2°C 気候目標に連動し、2050 年までのカーボンニュートラル化を目標としている。同グループの中間目標は、ライフサイクル GHG 排出量を 2025 年までに 2015 年レベルから 30%削減することである。

Volkswagen Group Logistics は、年間約 7,700 回の海上貨物輸送を管理・調整している。同グループは、定期貨物船による輸送に加え、同グループ専用の自動車運搬船 11 隻を利用している。同グループは、年間約 250,000 基のコンテナ輸送も行っている。

Volkswagen は、特定の代替燃料を指定することにより、海運からの排出量削減への努力を積極的に行っている。同社は、海外への製品輸送に低排出 LNG 船を使用した最初の自動車メーカーである。Volkswagen 専用の自動車運搬船 11 隻のうち、欧州沿岸航路の 2 隻にはバイオ燃料を使用している。同社は、2020 年 11 月にオランダ GoodFuels 社と提携し、RORO 船「Patara」のドイツ、ポルトガル、スペイン、アイルランド間の航海で、GoodFuels の 100% サステナブル原料由来のバイオ燃料を使用した実験を行い、CO₂ 排出量の 85%削減と SO_x のゼロ排出を達成した。実験の成功を受け、Volkswagen は、この航路を航行する 2 隻に GoodFuels の biodiesel を採用した。

将来的には、同社は 11 隻中 6 隻を LNG 燃料とする。「*Siem Confucius*」及び「*Siem Aristotle*」の 2 隻は、2020 年に欧州 - 北米航路に就航した。さらに、Volkswagen は、Wallenius Marine 及び SFL Corporation 所有の LNG 燃料船 4 隻の長期用船契約を締結している。この 4 隻は 2023 年末までに引渡しが予定されている。全 6 隻は、MAN の多元燃料 2 ストロークエンジンを搭載している。

5.3.15 BMW (ドイツ)

Volkswagen と同様に、BMW は、2050 年までにバリューチェーン全体の気候ニュートラル化を実現することを目標としている。中間目標としては、輸送ロジスティックスを含む同社サプライチェーン内の自動車 1 台あたりの排出を、2030 年までに 2019 年レベルから 20%削減する。同社はクリーンカーゴに加盟している。

BMW は、輸送企業とともに「ライトハウス」と呼ばれるプロジェクトを実施しており、プロジェクトには代替燃料の試験も含まれている。このプロジェクトの一環として、2020 年には、同社は United European Car Carriers 及び GoodShipping Program と共同で、船用バイオ燃料を UECC の 2,080CEU 型 RORO 船「*Autosky*」上で行った。燃料は、ロッテルダム港にて GoodFuels が供給した。

BMW は、Maersk のコンテナ部門、Wallenius Wilhelmsen Logistics、H&M、Levi's、Marks & Spencer とともに、LEO (リグニンとエタノールの混合) バイオ燃料の海運への導入に関する研究開発プロジェクトを行っている。

BMW は、Wallenius Wilhelmsen の風力支援推進システムを搭載した自動車船「*Orcelle Wind*」のコンセプトに興味を示していると報道されている。

5.3.16 BHP (オーストラリア)

BHP の長期目標は、2050 年までに全社的なネットゼロ排出を達成することである。同社の ESG フレームワークは国連 SDGs と連動しており、サステナビリティ報告は、気候関連財務情報開示タスクフォース及びサステナビリティ会計基準審議会のガイドラインに準拠している。

同社はスコップ③の排出削減目標として、2030 年までに 2020 年レベルから 40%削減すると述べている。

BHP Freight と Rio Tinto は、2001 年、大型ばら積み船の安全基準の改善を目的に RightShip 社を設立した。2007 年には、Cargill がイコールパートナー及び株主として、RightShip に加盟した。RightShip チームは、船舶の CO₂ 排出量を計測する GHG レーティングを開発した。また、RightShip は、データ収集と分析を行うデジタルプラットフォームを開発した。RightShip が開発したツールは、船主、用船者、港湾及びターミナル、金融機関、保険会社に提供されている。将来的な船用燃料としての LNG に関する RightShip の最近の報告書では、LNG は海運にとって長期的な燃料とはなり得ず、移行期の燃料であるとみている。

2021 年、シンガポールの海運脱炭素化グローバルセンター (Global Centre for Maritime

Decarbonization) の創設メンバーとなった。BHP は、2021 年に Oldendorff からチャーターしたばら積み船でバイオ燃料の試験を行い、2022 年には、Eastern Pacific 所有の LNG 焚きニューカッスルマックス型ばら積み船隊の運航を開始する。さらに、エネルギー効率の高い船舶の選択を支援するために、同社はサステナビリティ分析プラットフォームを開発中である。

5.3.17 Rio Tinto (英国)

多くの大手企業と同様に、Rio Tinto の ESG フレームワークは、国連 SDGs に連動している。同社の目標は、スコープ①及びスコープ②の排出量を、2030 年までに 2018 年レベルから 15% 削減することである。

Rio Tinto Marine & Logistics は、17 隻の船舶を保有、210 隻以上をチャーターし、年間 3 億トン以上の鉄鉱石を西オーストラリアからアジアの製鉄所に輸送している。同社保有船は、Anglo Eastern 及び ASP Ship Management が管理している。

RightShip の創設メンバーである Rio Tinto は、同社の GHG レーティング手法を用いて、用船のエネルギー効率と CO₂ 排出量を計測している。

5.3.18 Cargill (米国)

Cargill は、食糧、農業、栄養のグローバル大手サプライヤーである。同社の目標は、2025 年までに GHG 排出量を 2017 年レベルから 10%削減、2030 年までにはサプライチェーンの排出を製品 1 トンあたり 30%削減することである。

Cargill は、300 隻以上の船隊をチャーターし、2020 年の海上輸送量は、乾貨物が 1 億 8,500 万トン、液体貨物が 1,000 万トンであった。欧州向け及び欧州からの貨物輸送量は多い。

RightShip のメンバーである Cargill は、その GHG レーティング手法を用いて船舶のエネルギー効率と CO₂ 排出量を比較し、最もレーティングの高い船舶を優先的に選んでいる。同社の利用する全船舶は RightShip 手法による審査を受けている。

Cargill は、2020 年海上輸送サステナビリティ報告書で、同社が 2020 年に実施した海上輸送の脱炭素化に向けたイニシアティブを以下のように述べている。

- Cargill は、同社のチャーター船隊のうち 13 隻に、300 万ドルを投資し、エネルギー節約デバイスをレトロフィットした。
- チャーター船の EEOI (エネルギー効率運航指標) の改善のため、Cargill は、船舶の効率化と燃料消費量削減のためのデジタルツールを提供するスタートアップ企業 ZeroNorth への投資を行った。
- Cargill は、2020 年 10 月に開始された海上貨物憲章の創設メンバーのひとつである。同憲章は、GHG 排出量を 2050 年までに、2008 年レベルから最低 50%削減するという IMO 目標と連動している。
- Cargill、Deltamarin、BAR Technologies は、BAR Technology の「WindWings」硬質セイル概念に基づいたばら積み船向けの風力支援推進システムを開発する共同プロジェクトを行っている。同技術は CO₂ 排出量を最大 30%削減すると Cargill は述べている。MR プロダクトタンカー上での実船試験は、EU の「CHEK」プロジェクトからの資金支援を受け、2022 年に開始される予定である。これと並行して、Cargill は、風力支援推進のばら積み船の開発を継続する。実験が成功した場合、同社は「WindWings」システムを搭載した複数の船舶を発注する計画である。また、同社は、2020 年に顧客企業 2 社と、WindWings を含むグリーンソリューションの研究に関する基本合意を締結した。
- 2020 年、Cargill は、Maersk Tankers 及び三井物産と、海運産業向けの新排出削減技術の製品供給における提携に合意した。

- Cargill は、研究機関 Maersk McKinney Møller Center for Zero Carbon Shipping のメンバーとして、代替燃料及び技術の研究を行う。
- Cargill は、世界経済フォーラム内の産業連合「Getting to Zero Coalition」の設立に参画した。同連合の目標は、2030年までに商業的に可能なゼロエミッション燃料で駆動される海洋船を開発することである。
- Cargill は、同社は船舶運航ベースのカーボン排出をオフセットするカーボンクレジット手法は使用しない意向である。

Cargill は、2030年までに初のゼロエミッション海洋船を運航するという目標の一環として、アンモニアなどのe燃料に関する実証試験を行う計画である。

5.3.19 Trafigura (シンガポール)

Trafigura は、商品取引及びロジスティクス企業で、エネルギー、金属、ミネラルの総合ソリューションを提供している。同社は、液体貨物船 45~65 隻、乾貨物船 50~55 隻を常時運航している。

Trafigura は、SEEMP (船舶エネルギー効率管理計画書) と EEDI (エネルギー効率設計指標) の条件を満たす船舶を用船することにより、排出に関する IMO のガイドラインと規制を順守している。また、同社はジャスト・イン・タイム輸送を支援する航路計画を行っている。

Trafigura は、スマート貨物センター (Smart Freight Centre) の Global Logistics Emissions Council (GLEC) のカーボン算出フレームワークを採用している。

2020年8月、Trafigura は、「ゼロカーボン及び低カーボン燃料を経済的に可能で、競争力のある燃料とするため、船用燃料に CO₂換算で 1 トンあたり 250~300 ドルのカーボン税を導入する」という提案を IMO に書面で提出した。

Trafigura は 2021 年決算で、同社の海運関連の排出量を、2030年までに 2019年レベルから 25%削減するという目標を示している。この目標は、同社の 2020年のスコープ③排出量の 70%に相当し、同社の保有船及び用船のカーボン排出量を、IMO の 2008年産業基準から 48%削減しなければならない。

Trafigura は、米国エネルギー省と世界経済フォーラムが COP26 で創設した「First Mover Coalition」のメンバーである。同連合へのコミットメントとして、Trafigura は、2030年までに同社のアンモニア運搬船 6 隻を、主燃料としてのゼロカーボン燃料を使用する船舶に改造する計画である。

Trafigura は、海上貨物憲章原則の創設メンバーのひとつである。

5.3.20 Michelin (フランス)

Michelin の ESG フレームワークは国連 SDGs の 17 目標と連動している。同社の目標は、製造拠点、ロジスティクス、サプライチェーンを 2050年までにカーボンニュートラル化することである。同社の気候戦略は以下の 4 つの柱からなる。

第一の柱は、同社の製造拠点とバリューチェーンの CO₂ 排出量の削減である。中間目標として、2030年までに製造からの CO₂ 排出量を 2010年基準から 50%削減、ロジスティクスからの CO₂ 排出量を 2018年基準から 10%削減、タイヤ製造のエネルギー効率を 2020年基準から 10%向上、また、原材料サプライヤーの 70%を CO₂削減目標に加える。

第二の柱では、同社のグローバルなサプライチェーンを気候リスクに適用し、ビジネスの継続を図る。

第三の柱として、Michelin は排出力削減の透明性を重視する。同グループの CO₂ 排出量削減目標は、科学根拠に基づく目標「Science Based Targets」(SBT) に基づいて設定されている。

第四の柱は、海上輸送に関連する。その一環として、Michelin は、グローバルなカーボンの価格化による輸送セクターの脱炭素化を提唱している。

Michelin は、CMA CGM が主導する「Coalition for the Energy of the Future」、及び「Transport Decarbonization Alliance」、「Movin'On」などの産業連合に加盟し、海運脱炭素化を支援している。

14 メンバーからなる「Coalition for the Energy of the Future」は、現在 7 件のプロジェクトを実施している。その 7 プロジェクトは、①長距離トラック輸送へのグリーン水素燃料電池、②船用バイオ燃料のサプライチェーン、③カーボンニュートラルなバイオ LNG 製造、④補給所、ターミナル、倉庫、輸送向けのグリーン電力、⑤陸上、航空、海上向けのゼロエミッション輸送機関、⑥ドア・ツー・ドアの CO₂ 排出計算機、⑦港湾のグリーンインターモーダルハブへの転換、である。

輸送脱炭素化連合「Transport Decarbonization Alliance」は、2050 年までの輸送の脱炭素化を支持する企業の連合である。

「Movin'On」は、300 企業・組織が参加する多産業イノベーションネットワークである。同ネットワークの一環として、Michelin Research & Development は、スイスの投資会社 2 社と共同で、収納可能な膨張式自動ウィングセイルを開発する「Wing Sail Mobility」(WISAMO) プロジェクトを実施している。2022 年には商船に同システムを搭載する計画である。

2030 年までにロジスティックスからの排出量を 2018 年レベルから 15%削減するという目標に向けて、2021 年 2 月、Michelin はフランスのスタートアップ企業 Neoline と、Neoline の風力支援推進システムを搭載した 1 番船で、Michelin の貨物をカナダからフランスに輸送することに基本合意した。同船は、4,200 m²のソフトセイルと従来型機械推進を組み合わせている。Neoline は、全長 136m の同船を 2023 年に大西洋横断航路に投入し、2024 年には 2 番船を引き渡す計画である。この合意では、Michelin は、帆船による同社のコンテナ輸送量を最低 50%増加させる。1 番船はフランスの造船所 Neoploa Mobility で建造中である。Neoline のサービスの利用契約を締結した他の企業としては、Renault、Longchamp、Clarins、Hennessy などがある。

COP26 開催に先駆け、Michelin は、気温上昇を 1.5°C以下に抑えるというパリ協定の目標を共有するビジネス連合「Race to Zero」に加盟した。

5.3.21 Volvo (スウェーデン)

Volvo の ESG フレームワークは、国連 SDGs の全 17 目標に連動している。同社の目標は、全サプライチェーンの気候ニュートラル化を 2040 年までに実現することである。同社の自動車向け製品及び船用製品に関しては、バイオ燃料及び水素由来燃料で駆動される内燃エンジンの利用拡大と、バッテリーまたは水素燃料電池による自動車及びトラックの駆動系の電化を目指す。

同社は短期目標達成にはカーボン・オフセット手法を用いないが、カーボンクレジットの購入を長期計画に含めている。

Volvo の CO₂ 排出量目標は、科学根拠に基づく目標 (Science Based Targets : SBT) に基づいて設定されており、同社の排出データ報告は、GHG プロトコル (Greenhouse Gas Protocol) の報告基準に準拠している。

同社は海上輸送に関する脱炭素化政策の詳細を発表していないが、2019 年に自動車輸送の方法を変更し、ベルギーのゼーブルッヘ港から中国までの鉄道輸送を開始した。所要時間は約 20 日で、1 週間に 4~6 回のサービスを行っており、年間 24,000 台の自動車を輸送する計画である。鉄道輸送の利用により、輸送所要時間は従来の輸送方法の約半分となる。

Volvo は、米国エネルギー省と世界経済フォーラムが COP26 で創設した「First Mover

Coalition」のメンバーである。同連合の目標は、GHG 排出量の 2050 年までの最低 50%削減の実現に向けて、新技術を開発・拡大することである。

BMW と同様に、同社は Wallenius Wilhelmsen の風力支援推進自動車運搬船「*Orcelle Wind*」のコンセプトへの興味を表明している。

Volvo は、2010 年以来、浙江吉利控股集团（Zhejiang Geely Holding）が保有している。この中国の親会社は、2025 年までにカーボン排出量を 25%削減し、2045 年までにはカーボンニュートラルを達成することを目標としている。

5.3.22 Heineken（オランダ）

Heineken の環境政策は、パリ協定の 1.5°C 目標に連動している。同社の「Brew a Better World」戦略で、Heineken は、2030 年までの製造過程のゼロ排出達成と、2040 年までのバリューチェーンのカーボンニュートラル化を目標としている。また、「Brew a Better World」戦略は、国連 SDGs と連動して変更された。

Michelin や Volvo と同様に、同社の CO₂ 排出量目標は、科学根拠に基づく目標（Science Based Targets : SBT）に基づいて設定され、認証されている。

同社は、Maersk、Unilever、FrieslandCampina、DSM、Shell、Philips とともに、オランダの企業連合「Dutch Sustainable Growth Coalition」に加盟している。同連合は、2019 年、海運向けの入手可能なバイオ燃料の技術的、環境的、商業的可能性に関する世界最大のバイオ燃料実証試験を行った。同プロジェクトでは、コンテナ船「*Mette Maersk*」にバイオ燃料（使用済み料理油）混合油を使用し、ロッテルダム - 上海間の往復航海を行った。Shell が同燃料を供給した。

2020 年、Heineken は、ロッテルダム港湾局、Wärtsilä、Engie、ING とともに「Zero Emission Services」(ZES) プロジェクトを開始した。その目的は、内陸水運のサステナビリティ向上である。ZES は、CO₂、窒素、粒子状物質の排出のない 100%グリーンエネルギーの開発を行う。ZES のコンセプトは、新造及び既存の内陸水路バージ向けの交換可能なエネルギーコンテナである。コンテナ化されたバッテリー「Zepack」は、再生可能エネルギーでチャージされ、バッテリーが空になると、船員はコンテナをドッキングステーションで交換する。

ZES の 2050 年目標は、最低 650 基の Zepack を 400 隻以上に導入し、20 か所のドッキングステーション網を構築することである。Zepack システムを最初に採用した内陸船「*Alpenaar*」は、Heineken の貨物のアルフェン・アーン・デン・レイン - ムールデイク間の輸送を行った。Heineken は、この方法で年間 45,000 コンテナのビールを輸送する計画で、これには 2030 年までに電気駆動船 150 隻が必要となる。

Heineken は、マルチセクターの気候グループ「RE100」イニシアティブに加盟している。RE100 の 300 以上の加盟企業は、100%再生可能エネルギーの利用にコミットしている。また、Heineken は、パリ協定の 1.5°C 目標を支援する「We Mean Business Coalition」及び国連のゼロカーボン経済を促進する「Race to Zero」キャンペーンにも参加している。

この報告書は、ポートレース事業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。

欧州造船業・海運業等の脱炭素化の動向

2022年（令和4年）3月発行

発行 一般社団法人 日本中小型造船工業会

〒100-0013 東京都千代田区霞が関 3-8-1 虎ノ門三井ビルディング
TEL 03-3502-2063 FAX 03-3503-1479

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 ラウンドクロス赤坂
TEL 03-5575-6426 FAX 03-5114-8941

本書の無断転載、複写、複製を禁じます。

