

低炭素輸送への 針路設定



2030 OUTLOOK | 2050 VISION

© Herbert-ABS



CONTENTS

エグゼクティブサマリー	1
序章	3
SECTION 1 – 課題の範囲	4
2030年/2050年の課題	4
IMO GHG戦略と目標	4
2050年 GHGに関する課題(概数)	5
可能性のあるソリューション	6
経済と貿易成長の見通し	7
SECTION 2 – IMO 初期 GHG 戦略	10
排出規制	10
加盟国からの提案	12
第4回 IMO GHG 研究	15
SECTION 3 – 運用、設計および燃料ソリューション	16
近海輸送 VS. 遠洋輸送	16
近海	17
遠洋	17
運航オプション: スピード、稼働時間およびジャストインタイム輸送	18
減速	19
ジャストインタイム輸送	21
船舶利用	22
船舶技術のオプション	23
船型の最適化	23
船体摩擦の低減	23
規制の代替燃料に及ぼす影響	24
インフラストラクチャー	25
再生可能燃料 VS. 再生不可燃料	26
燃料の調達源	26
燃料生産プロセス	26
「WELL-TO-WAKE」VS. 「TANK-TO-WAKE」	26
生産プロセスにおける再生可能電力の使用	27
LNG	28
液化石油ガス(LPG)	31
メタノール	33
アンモニア	36
水素	39
バイオ燃料	42
炭素捕捉と合成燃料	45
燃料電池	47
バッテリー	50
ソーラー	54
風力	57
SECTION 4 – 2030年に向けた概念設計	60
未来の船舶設計	60
ベースライン船	60
2030年の液体バイオ燃料船	61
2030年の水素燃料電池船	62
SECTION 5 – 2050年ビジョン	64
船舶への影響	64
結論	68

While ABS uses reasonable efforts to accurately describe and update the information in this Publication, ABS makes no warranties or representations as to its accuracy, currency or completeness. ABS assumes no liability or responsibility for any errors or omissions in the content of this Publication. **TO THE EXTENT PERMITTED BY APPLICABLE LAW, EVERYTHING IN THIS PUBLICATION IS PROVIDED WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, OR NON-INFRINGEMENT. IN NO EVENT WILL ABS BE LIABLE FOR ANY DAMAGES WHATSOEVER, INCLUDING SPECIAL, INDIRECT, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES OR DAMAGES FOR LOSS OF PROFITS, REVENUE, OR USE, WHETHER BROUGHT IN CONTRACT OR TORT, ARISING OUT OF OR CONNECTED WITH THIS PUBLICATION OR THE USE OR RELIANCE UPON ANY OF THE CONTENT OR ANY INFORMATION CONTAINED HEREIN.**

エグゼクティブサマリー

当文書は、低炭素海洋輸送に向けた、可能性のある進路を明確化するアウトブックです。当文書の目的は、船舶からの温室効果ガス（GHG）の排出削減につながる可能性のある技術や問題点に関する現在の知識を、簡潔に体系化することによって情報提供することです。総合的な参考文書として役立つことを意図しており、推奨・勧告として捉えないでいただきたい。

既存の技術や戦略をよく理解することは、海事業界が国際海事機関（IMO）のGHG 2030年目標を達成するために役立つでしょう。しかし、2050年向けに設定されたなお一層意欲的な排出目標には、既存技術の力では達成が不可能と思われる。この目標達成には、2030年より以前に発現する研究とイノベーションを主な推進力として新技術（燃料を含め）を開発し、新製品および新アイデアを開発・熟成させる時間を確保する必要があるでしょう。

第3回 IMO温室効果ガス研究は2014年に実施されましたが、2012年以前のデータを基にしており、2007～2012年に国際海運が世界の二酸化炭素（CO₂）排出量の2.6%（平均）を寄与していることを指摘しています。これは、世界貿易のほぼ90%を手掛ける輸送者としての海運業界固有の効率を示していますが、第3回研究では、海運ビジネスが通常通り継続していけば、世界貿易の伸びが海運への需要を押し上げ、海運からのCO₂アウトプットが他の業界より速い速度で上昇すると推測されています。

第4回 IMO GHG研究は、現状評価における基本的な統計資料の更新と、第3回研究で2050年の海運からのGHGアウトプットの非常に広範囲にわたる可能性予想に使われた旧経済モデルの差し替えの任務が与えられています。その目的は、前回予測の不確実な点を一部縮小し、2012年から2018年までのGHGおよび汚染物質の世界全体での年間インベントリを確立することです。これらの理由により、第4回研究は今後の決定において極めて重要な根拠を提供するでしょう。

短期的には、海運業界のIMO 2030年排出目標を目指した主要戦略としては、速度制限の設定、船舶の港湾への「ジャストインタイム」到着の調整、船体の最適化やプロペラの最適化等に向けた設計改良点、およびIMOエネルギー効率設計指標（EEDI）が要求する設計効率の向上等があります。

2015年には、「スロースターミング」によって海運からのCO₂アウトプットが全般的に削減され、炭素集約度が2008年レベル比で30%低減したと推定されています。ジャストインタイム輸送および他のデジタル処理に後押しされたイニシアティブは、船舶速度および航路を最適化し、炭素を誘発する待機時間を追加のキャパシティなく短縮することで、燃料消費量および排出量をさらに削減することが可能になりました。

代替燃料も非常に重要視されており、最も入手可能なものは液化天然ガス（LNG）です。今までのところ、「well-to-wake（ライフサイクル）」（GHGアウトプットを調達源から燃焼まで追跡した場合）の観点で評価を行った場合、「ゼロ炭素」燃料ソリューションは存在せず、「カーボンニュートラル」な燃料ソリューションもほとんどありません。（現在知られている代替燃料の一部は有望であるものの、すべての代替燃料には限界があります。）

船内貯蔵やエネルギー集約度からインフラおよび供給システムの支援まで、実際の海外輸送の観点からは、各代替燃料とエネルギー源には欠点があります。

現在、未来の世界の船舶に対する明快な燃料選択肢はありません。近い将来、海外輸送の大部分への燃料ソリューションは、依然として様々な蒸留燃料油またはLNGの中からの選択が残ることでしょう。

LNGは、世界で代替燃料を採用する際に内在する課題を如実に表しています。LNGバンカリングインフラの開発には10年を要しましたが、世界の船舶のなかで使われているのは1%未満です。他の代替燃料も、同様の開発、規制、サプライチェーン関連の問題に直面すると思われる。技術的な変換が必要になるのは船舶だけではなく。一部の燃料は従来のバンカリングプロセスへの適合が可能かもしれませんが、多くの燃料には、特殊なインフラ、取扱い方法、トレーニングおよび専用の生産、貯蔵および流通のバリューチェーンが必要となるでしょう。

たとえば、水素には多くの期待が寄せられており、船舶の推進力としての使用を促進するために、多くの実証実験が行われています。しかしながら、現在の水素を燃料として使用する発電技術では、電力出力は極めて限られたものになります。また、燃料用の水素の生産は依然として非常にエネルギー消費が高く高価です。さらに、水素の貯蔵では、克服しなければならない重要な問題が発生します。

メタノールは好ましい印象を受けるもう一つの代替燃料ですが、難点があります。たとえば、メタノールは毒性が高く空気より重質なため、漏洩は放散されずに累積されます。また、その腐食性は、燃焼機関や燃料供給ラインに使用される物質の一部にとって危険な存在になります。同様に、バッテリーや他のエネルギー貯蔵システムは、少なくとも一部のセクターにおける排出削減を目指す海外輸送の意欲を後押しする可能性があります。短距離運航以外にも広く採用される前に、スペース要件や重量、荷電容量に関わる問題を解決する必要があります。

船舶からの排出問題に対するグローバルソリューションを、複数の戦略と未来の技術（新燃料を含む）を組み合わせで見出すことは完全に可能です。一つの業界ではそのような多様な運用要件を扱える確実な方法はないかもしれません。グローバルソリューションがない限り、妥協する必要が出てくるでしょうが、業界は各技術の総コストと利益を把握するまでは、こうした決定を下すことができません。

ABSはHerbert Engineering Corporationと協働して、2隻の切望される最先端のコンテナ船の設計要件を特定しました。1隻はフィーダー船（2,000 TEU）、他隻はネオパナマックス（14,000 TEU）で、従来の技術、運航プロファイル、および低硫黄分重質燃料油（HFO）燃焼の推進ユニットを搭載しています。概念設計が完全査定された後、関連業界の現在の技術知識を活用して、水素燃料電池と液体バイオ燃料の各燃料で航行可能なバージョンを作成するために修正されました。査定では、何が可能かだけでなく、何が限界となるのかを見る手段が提供されます。現時点では、その設計を基にした建造はできませんが、2030年には可能となるかもしれません。当プロジェクトにより、燃料、設計基準（たとえば、船内配置）、貨物積載量および可能な推進出力に対して洞察を得ることができます。

これらの概念設計により、今日の最先端技術と2050年GHG目標が要求するものとのギャップが明らかになります。設計において使われる燃料は、どの燃料が採用される可能性が高いかを予測するためではなく、2030年までに利用可能となり得る様々な戦略を象徴するように選択されています。たとえば、バイオ燃料はドロップイン燃料で、既存の技術・インフラの使用向けに採用が可能です。バイオ燃料の使用は船舶設計において若干の進化しか必要ないと思われるものの、地球規模での利用可能性および生産用の原材料については未知です。

その他のオプションとしては水素燃料電池があり、発電用の新燃料源と新技術を象徴しています。当該技術の進化は、2030年までに実現可能となるために、特により大きなパワーと耐久性を開発するために、大幅なスピードアップが必要となるでしょう。しかし、再生可能エネルギーを使って生産されれば、ゼロ炭素未来の可能性が象徴されます。

市場はイノベーションにとって強い動機となり、共通目標を確立するために規制が必要となります。船舶向けのGHG排出削減に関して言えば、規制支援が船舶設計や燃料選択、船舶運用に影響を及ぼす可能性があるだけでなく、通商路・船舶サイズだけでなく、輸送する貨物の選択にも影響を与えるかもしれません。

その点からすれば、業界は技術的に証明され、安全で商業的に持続可能な適応枠組みを提供する規制、新技術の早期採用者に不利益をもたらすことのない規制が必要です。こうした規制なしには、今後30年間の計画を立てる際に規制リスクが船主にのしかかることになるでしょう。

最後に、世界貿易のほぼ90%を輸送する業界のカーボンフットプリントを低減させることは、重要な事業です。その規模での変換は迅速には進まないでしょう。海運の世界貿易への積極的な関与や経済に関わるすべての者への更なる透視化を確保するためには、多大な努力が必要になるでしょう。早期で効果的な規制であっても、炭素未来への道には、新たな技術や作業手順が関係してくると思われれます。その点で、業界は安全性を重要視する必要が出てくるでしょう。こうした変換により、今日の基準では適切に管理・除去されないかもしれないリスクが新たに導入される可能性も否めません。

序章

現代の海事業界の規制状況は、主に事故および 汚染事故への反応の結果であり、安全性 (SOLAS) を改善し、環境 (MARPOL) への負の影響を低減することに重点が置かれています。技術革新の推進力は、燃料効率 (エンジン開発) の改善への熱意と規制要件 (バラスト水処理技術) への適応によるものでした。

規制の最前線において、各変化は業界内の長年の懸念、疑問および議論によって始まり、安全・環境目標を技術規制に転換するための国際海事機関 (IMO) による大規模な作業がそれに続きました。

1990年油濁防止法 (OPA 90) 以降、いかなる場合も法的概念や策定、特に実施の全プロセスが、問題を要約しソリューション提供する総合的な随時更新文書の存在によって支援されてきました。

そのような文書が存在しなかったため、すべての新たな規則の目標内容の理解に努め、その意図を満足する技術規制を作成した後、最終的に立法化された形態に適応させるなか、業界はしばしば長い不確実な時代を経験しました。

2020年向けに策定された規制の変更は、- 2030年および2050年向けに変更が想定される規制 - 過去のどの環境規制よりも混乱を招くものになり、よりクリーンで低炭素排出の達成を目指す業界に対するそれらの挑戦は大きいです。その主要なものは、IMOの温室効果ガス (GHG) 予備戦略の低炭素排出目標を支援する新たな規制になるでしょう。

二酸化炭素 (CO₂) および他のGHGの削減は、人間の健康および環境衛生への脅威となる、窒素酸化物 (NO_x) や硫黄酸化物 (SO_x) 等の汚染物質の排出を削減するという同時目標とは別個の挑戦で、現在、世界中で積極的に追求されています。これは、何十年にもわたる展望を備えた熱望される目標で、その目標の具体的内容は、船舶の設計や技術、慣習において引き起こされる変化に並行して進化する可能性が高いです。

海事セクターが、今日よりもっと効率よく利益の多い持続可能な産業として浮上していくならば、こうした動向が示す問題全般を、マインドフルネスと知力を使い、並行的・総体的に対処しなければなりません。そのことを認識し、ABSは当該アウトLOOK文書を作成しました。当該アウトLOOKでは、2030年以前に実行可能な炭素削減戦略および2050年目標の達成にあたっての技術ギャップに言及し、2030年/2050年排出問題という未知の領海への旅に立つ海運業界に情報を提供します。当該アウトLOOKは、今日の希望から明日の現実へと発展していく中、脱炭素化の動きを巡る数多くの問題を明確化するお手伝いをします。

こうした問題のうち、直近の問題は新燃料、エネルギー源、排出緩和システムの選択に関わるものですが、当該アウトLOOKを、装置や技術を選択する際の予測書や勧告書、ショッピングアドバイスと見なさないでください。当文書は、船主が今後の課題の複雑性を理解するお手伝いをすることを目指し、低炭素運航への移行、さらに海運のゼロ炭素未来への移行の際の選択肢を評価して、効果的に前進するのに役立つことを目指したツールです。

2030年 | 2050年の課題

低炭素およびクリーンな排出の未来への移行は、業界にとっては、商業的・技術的に実行可能で安全なソリューションを見出さなければならぬ難しい課題です。2018年4月、国際海事機関（IMO）は、船舶からの二酸化炭素（CO₂）のトンマイル当たり排出量（輸送量当たり）を、2008年レベル比で、2030年までに少なくとも40%削減（その後、2050年までに70%に削減）し、2050年までにGHG排出量を全体で50%削減するという暫定目標に同意しました。

2018年10月に、全世界の海運バリューチェーンのCEO 34名が、脱炭素化を支援する行動要請に署名しました。

「署名したCEOは、2050年までに低炭素経済にシフトすることは、技術モデル、ビジネスモデルのイノベーションを通して、ビジネスにおいて新たな機会を生み出す可能性があると考えています。海運業界は100年に一度の重大な技術チャレンジを受けて立つ必要があり、規制は長期にわたる確実性を投資家、建築業者、船主及び傭船主に対して提供し、低炭素技術において必要な投資を行うための長期にわたる確実性を提供しなければなりません。CEOは変化を推進するために、透明性の必要を認めています。」 – *Global Maritime Forum*

IMOのGHG戦略と目標

第3回 IMO GHG研究（2014年）によると、2007～2012年に、海外輸送による年間CO₂排出量は平均で、世界全体の排出量の2.6%を占めていました。この比較的低い比率は、世界の貿易のほぼ90%を輸送する際の効率を表しています。

しかし、世界貿易および海運の推測される伸びから、今後も今まで通りにビジネスが行われるとすると、船舶からのCO₂のアウトプットは他の産業より速いスピードで伸びていくと見られます。

海運はすでに効率的なモードにあり、最近では設計と運航の改善によって燃料消費量の大幅な削減が達成されているため、GHG関連のさらなる有意義な前進を既存技術の利用だけによって見出すのは難しいと思われる。

2030年の削減目標は厳しいものですが、炭素集約関連の対策であり、貿易成長を見越したものです。しかし、当該目標の達成に向けて実施される対策には、2050年目標も考慮に入れる必要があります。こうした対策が、貿易成長および輸送需要を考慮に入れたものであるならば、GHG排出量を削減しながらも、新たな技術が必要になります。



Spring 2018 (MEPC 72)	Adoption of the Initial Strategy including, inter alia, a list of candidate short, mid and long-term further measures with possible timelines, to be revised as appropriate as additional information becomes available
January 2019	Start of Phase 1: Data collection (ships to collect data)
Spring 2019 (MEPC 74)	Initiation of Fourth IMO GHG Study using data from 2012-2018
Summer 2020	Data from 2019 to be reported to IMO
Autumn 2020 (MEPC 76)	Start of Phase 2: data analysis (no later than autumn 2020) Publication of Fourth IMO GHG Study for consideration by MEPC 76
Spring 2021 (MEPC 77)	Secretariat report summarizing the 2019 data pursuant to regulation 22A.10 Initiation of work on adjustments on Initial IMO Strategy, based on Data Collection System (DCS) data
Summer 2021	Data for 2020 to be reported to IMO
Spring 2022 (MEPC 78)	Phase 3: Decision step Secretariat report summarizing the 2020 data pursuant to regulation 22A.10
Summer 2022	Data for 2021 to be reported to IMO
Spring 2023 (MEPC 80)	Secretariat report summarizing the 2021 data pursuant to regulation 22A.10 Adoption of Revised IMO Strategy, including short, mid and long-term further measure(s), as required, with implementation schedules.

2050年GHGに関する課題（概数）

第3回 IMO GHG研究の試算によると、2008年の海外輸送では921百万トンのCO₂が排出され、2050年の同排出量は、最大で250%、2,300百万トンまで増加するとみられます。

CO₂アウトプットを460百万トン（少なくとも目標の50%削減を達成）削減するには、拡大する貿易需要に応えながら、船舶からの排出量を2008年比で、1,840百万トン減らす必要があるでしょう。

主に弱気市況でのスローステッピングの結果として、2012年CO₂の推定排出量は796百万トンまで落ち込み、2008年比で14%の削減となっています。

第3回IMO GHG研究および国連貿易開発会議（UNCTAD）のデータを利用して算出した炭素集約度目標は（IMO初期戦略には明記されていない）：

- ・ 2008年ベンチマーク：トンマイル当たり22グラムのCO₂, 41.9兆超トンマイル¹
- ・ 2030年目標：トンマイル当たり13.2グラムのCO₂
- ・ 2050年目標：トンマイル当たり6.6グラムのCO₂

2015年の推定量は810百万トンのCO₂で53.3兆トンマイル、またはトンマイル当たり15.2グラムの炭素集約度で、2008年比で30%減です。

2030年目標が、現在入手可能な技術、速度の低減、効率の改善、および低炭素燃料の限定的利用によって達成できると仮定した場合でも、2030年排出量と2050年目標量のギャップは、依然として大きなままでしょう。

課題の重大性に関する見通しはまた、単純計算と保守的な見積もりを使って得ることができます。世界貿易および国際航行が増大する中、CO₂排出量が2015年から2030年まで増加しないと仮定した場合、2050年までにCO₂排出の年間排出量が350百万トン縮小することが示唆されます。貿易量が2030年から2050年までに90%拡大する中での達成が必要となるでしょう。過去の平均年率3.2%に基づいて、年率1.5%という保守的な比率を使用しても、同期間の貿易量としては依然として35%が見込まれるでしょう。

¹ Seaborne transport data from the United Nations Conference on Trade and Development 'Review of Maritime Transport'

可能性のあるソリューション

海運の脱炭素化に貢献するポテンシャルがあると思われるエネルギー関連のイニシアティブおよび技術は、数多くあります。

船舶設計におけるエネルギー効率の改善は、IMOのエネルギー効率設計指標（EEDI）の次のフェーズで必要となりますが、GHG削減目標の寄与度は低炭素燃料の導入がない場合、最小限のものとなるでしょう。船舶技術のさらなる進化も寄与の一部となる可能性があります。2050年目標を達成するには、新しい低炭素・ゼロ炭素のエネルギー源が必要となるでしょう。

多くの新エネルギー源および推進技術について試験が行われていますが、海外輸送において実施可能なものになるためには、更なる開発が必要です。

チャーター船と貨物船の比率が低く運賃率が標準的な、最近の商業環境において、スロースチーミングのイニシアティブによって船舶からの全体的なCO2アウトプットが低減しました。たとえ規制が複雑化しても、スロースチーミングおよびスピードの最適化は、市場動向に応えるべく既に業界で広く使われているため、適応オプションとして考慮されるべきです。

輸送業務の簡素化に向けてデジタル技術を利用することは、船舶のスピードと航路を最適化し、待機時間を短縮し、契約業務を合理化することで、燃料消費と排出量を削減できる可能性があります。

たとえば、情報化されたジャストインタイム輸送によって、スピードの低速化が、それを強制とする規制がなくても、導入される可能性があります。船舶の有効活用が改善することにより、必要となる追加容量が低減すると思われます。同様に、デジタル技術と接続性の向上により、次のレベルのパフォーマンスの最適化、予防メンテナンス、および貨物への船舶のマッチングが促進されるでしょう。

市場を基盤とした対策は、船舶の脱炭素化に関わる最も物議を醸しているトピックです。炭素価格の設定は、低炭素技術投資へのインセンティブになり、関連R&Dへの資金提供を目的としています。

各技術オプションの影響と有効性、成熟度を理解することは、投資決定を行うために不可欠のものです。一部の技術の即応性は船舶セクターが異なれば、違ってくる可能性があります。たとえば、一部のバッテリー技術は運航距離の短い船舶においては利用が可能かもしれませんが、長距離航路向けの船舶には利用できません。

2030年と2050年の排出量には、対策の組み合わせが必要となるでしょう。これらのうち、代替燃料が最も高い可能性を有していますが、大規模消費に対応できるようにするためには、最大の投資が必要となります。

船主が低炭素航行への道を設定するためには、熟練したナビゲーションが必要になるでしょう。

SECTION 1 | 課題の範囲

経済と貿易成長の見通し

海運業界が低炭素の未来へ向けた針路を定める中、実務レベルではエネルギー資源および耕作可能地へ競争の激化を把握し、同様に進路を決めると考えられます。国連経済社会局の最新データによると、現在地球を共有している人々の数（76億人）は2030年には86億人、2050年には98億人に達すると予測されています。同データは、毎年8300万人増えるだろうと推測しています。したがって、世界人口は10年ごとに、インドの現在の人口と同数の人々が追加されていることになります。

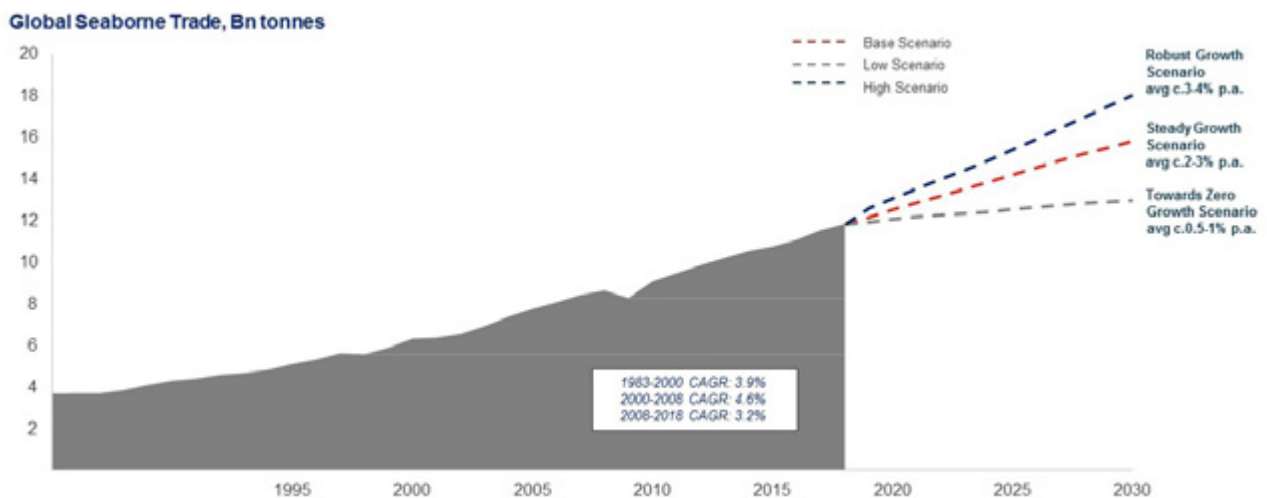
実際、国連は、2050年までにインドが中国を超え世界最大の人口国になり、ナイジェリアは米国を追い越し世界第3位の人口国になると予測しています。

人口増加の大部分は発展途上世界に集中し、それらの国々では食料需要、住宅、運輸および新インフラを満足させるために工業化のブームに火がつくでしょう。これに十分な資本力のある先進経済国からの引き続きの需要が合わさり、ほぼすべてのタイプの商品について貿易流量の増加が促進され、究極的には海運への需要が伸びると考えられます。

Clarksons Researchは2030年に向けた海運業界に関する報告書において、世界経済成長率が年率2.4%の一定の割合で上昇するならば、現在の海上貿易量は2030年まで毎年40億トンの割合で拡大し、世界の船舶は新たに13,000隻が必要となると述べています。

第3回IMO GHG研究（2014年）は、世界GDPが例外的に高い率で拡大するならば、その結果として船舶からの温室効果ガス（GHG）排出量は、20%（通常通りの商取引がある場合）から85%までの範囲で増加する可能性があるとして述べています。

2030年以降については、世界の船舶の基礎となる地政学的、発展的、商業的な影響が現代とは非常に異なるものになる可能性が高いため、船舶に関する予測はますます投機的なものになります。そうは言うものの、IMOの第3回研究は、世界のエネルギー消費量、GDP成長率および海上貿易輸送需要を組み合わせさせた様々なシナリオを使い、船舶からの炭素排出量が2050年までに50～250%の範囲で増加し得ると試算しています。



Source: Clarkson Research Services Limited ("Clarksons Research"). © Clarkson Research 2019. All rights in and to Clarkson Research services, information and data ("Information") are reserved to and owned by Clarkson Research. Clarkson Research, its group companies and licensors accept no liability for any errors or omissions in any Information or for any loss or damage howsoever arising. No party may rely on any Information contained in this communication. Please also see the disclaimer at <https://www.clarksons.net/Portal/disclaimer>, which also applies.

No further distribution of any Information is permitted without Clarkson Research's prior written consent. Clarkson Research does not promote, sponsor or endorse the content of this communication.



IMOの研究は今もなお、入手可能なGHG研究のなかで最良で最も包括的なものです。しかし、排出量予測が広範囲にわたることについて、世界最大の国際海運協会で業界にガイダンスを提供する長い実績を持つバルチック国際海運協議会（BIMCO）が疑問を持ちました。BIMCOは今年（2019年）初頭に、IMOの第3回研究が実施されてから5～6年以内には、貿易パターン、エネルギー利用および一般的な状況が大幅に変化しているであろうと主張し、第4回 IMO GHG研究においては、より現実的な経済モデルを使うよう要請しました。

特に、BIMCOは、今後のGHG研究では、IMOの第3回研究で使用された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の Shared Socio-economic Pathways からの2つのGDPシナリオを明確に避けるべきだと述べています。これは、経済協力開発機構（OECD）による予測等の現在の動向・予測より、大幅に高い（最大2パーセントポイント）中期経済成長率を予測しているためです。

第3回IMO研究でのモデル作成と試算を提供したコンサルタント会社であるCE Delftと協働して、BIMCOは、OECDからのGDPの最新予測を含めてGHG計算を修正しました。BIMCOは、状況が引き続き着実に進展するならば、2050年までに海運は排出絶対量を20%（2008年値との比較で）削減でき、IPCCによる地球の世界気温目標を支援するコースをおおむね予定通りに進んでいると考えます。

また、世界海事大学（WMU）が最近、国際運輸労連と共同で、技術および自律船舶の将来の船員需要に及ぼす影響に関する報告書、「運輸 2040：自動化、技術、雇用 – The Future of Work」（2019年）、を発表しました。

IMOのGHG研究のように炭素を中心としたものではありませんが、WMU報告書は、2030年以降のGDP成長率と輸送需要との関連性を切り離れた点で意義深い報告書です。両者間に存在する以前からの相互関係は、石炭と石油への需要減少により大きく様変わりするだろうという考えに基づいています。

WMU報告書は、BIMCO/CE Delftによる再試算値をはるかに下回るGHG排出量予測を提示しています。これを受けて、BIMCOはIMOに対し、第4回GHG研究においては、GDP成長率と輸送需要の切り離しを検討することを提案しました。

これらの予測データすべてにより、脱炭素化への道を進み始めていくにつれて採用する技術と慣習に関して、今日の船主は、具体的な解決策をほとんど持っていない（そして疑問点は増えていくばかり）という好ましくない立場に置かれています。

これらの異なる予測値は、世界貿易の拡大と国際航行船舶数の増加に関する仮定に基づいています。そして単に船舶の合計隻数ではなく、セクター、サブセクター、配備される航路、踏襲する取引パターン、および航行スピード等も仮定に含まれています。

将来のGHG排出量の試算はどれも、これらの事項の分析から必然的に引き出されたもので、試算が数学的には妥当なものだとしても、資産結果は必然的に、一連の変数がどのように進化する可能性が高いかに関して分析者が使用した仮定を反映しています。

そして何よりも、予測が明確に示しているのは、現在の炭素アウトプットに基づいたIMOの2030年・2050年のGHG目標やエネルギー消費・海運需要の拡大予想に内在する課題の大きさです。

船主にとって、人口予測が示唆するものは、エネルギー（再生可能エネルギー、あるいは他のエネルギー）、食糧（つまり、バイオマス等の再生可能エネルギーの原材料が栽培可能な耕作可能地）、および再生可能燃料や炭素系燃料の生産に使われる原材料に向けた競合が差し迫っているということです。

結局、船主は今日示されている数字を好ましく思わないかもしれませんが、現実主義者やビジョナリストは、低炭素未来への道は不可逆であり、より持続可能な業界が着実に進んでいくことができると承知しています。



排出規制

国際海事機構 (IMO) の排出目標は、業界の温室効果ガス (GHG) の排出量を2050年までに2008年比で少なくとも50%削減するための対策に取り組んでいます。GHG削減への同意は2018年4月に築かれ、気候変動と戦う国連パリ協定を支援する加盟国のコミットメントを明示しています。

IMOの大気への排出規制の重点的取り組みは、船舶による汚染防止のための国際条約 (MARPOL) に加わることで、1997年にスタートしました。MARPOL条約は、汚染物質、窒素酸化物 (NOx)、硫黄酸化物 (SOx)、揮発性有機化合物、ポリ塩化ビフェニルと重金属、およびクロロフルオロカーボンに焦点を当てています。MARPOL条約 Annex VI は2005年5月に発効されましたが、船舶からの大気排出を制限しています。これらの制限は2008年10月に更に厳しくなり、その改正は2010年7月に有効となっています。

二酸化炭素 (CO₂) 排出量を測定するために、IMOは以下の3つの温室効果ガス研究を発注しました。

1. 2000年の第1回研究は、1996年に国際海運からの排出量が人為的に作り出されたCO₂排出量の約1.8%を占めると推測。
2. 2009年の第2回研究は、2007年の国際海運からの総排出量が880百万トン、人為的に作り出されたCO₂アウトプットの約2.7%を占めると推測。
3. 2014年の第3回研究は、2012年の国際海運からの排出量が796百万トン低下、人為的に作り出されたCO₂排出量の約2.2%を占めると推測。また、第2回研究時の推測値を885百万トンまたは2.8%に上方修正。

2011年、MARPOL条約 Annex VI は改正され、船舶のエネルギー効率に関する新たな要件が付け加えられました。エネルギー効率設計指標 (EEDI) と船舶エネルギー効率管理計画書 (SEEMP) が2013年初頭から強制指標になりました。これらのイニシアティブは、運航効率改善計画と相まって、貨物輸送能力に関連した設計効率に重点を置いています。業界が炭素削減目標を採用する準備を進める第一歩でした。

EEDI指標は新造船に対し、エネルギー効率を2015年からは10%、2020年からは20%、2025年からは30%の改善を要求しています。IMOの第74回海洋環境保護委員会 (MEPC) 会合において議論された規制措置によって、これらの要件はさらに強化され、特定の船舶タイプや重量トンセグメントについては実施タイムラインが前倒しされました。

IMOのMEPC第74回会合において、加盟国は一部の船舶タイプについて、EEDIフェーズIII要件を前倒しすることを決定し、MEPC 75において採択される予定です。開始日を (2025年から2022年に) 早め、特定のタイプ・サイズの新造船エネルギー効率目標を強化します (下記表参照)。



Ship type	Starting year	Reduction rate for Phase 3
Gas Carriers	2022 (15,000 dwt and above)	30% (retain)
	2025 (10,000-15,000 dwt)	30% (retain)
	2025 (2,000-10,000 dwt)	0-30% (retain)
Containerships	2022 (200,000 dwt and above)	50%
	2022 (120,000-200,000 dwt)	45%
	2022 (80,000-120,000 dwt)	40%
	2022 (40,000-80,000 dwt)	35%
	2022 (15,000-40,000 dwt)	30% (retain)
	2022 (10,000-15,000 dwt)	15-30%
General Cargo Ships	2022 (15,000 dwt and above)	30% (retain)
	2022 (3,000-15,000 dwt)	0-30% (retain)
Refrigerated Cargo Ships	2025 (5,000 dwt and above)	30% (retain)
	2025 (3,000-5,000 dwt)	0%-30% (retain)
Combination Carriers	2025 (20,000 dwt and above)	30% (retain)
	2025 (4,000-20,000 dwt)	
LNG Carriers	2022 (10,000 dwt and above)	30% (retain)
Cruise Passenger Ships having Non-conventional Propulsion	2022 (85,000 gt and above)	30% (retain)
	2022 (25,000-85,000 gt)	0-30% (retain)

MEPC 74 approved amendments to MARPOL Annex VI to accelerate EEDI Phase 3 in 2022 (from 2025) and to increase the reduction rates for specific ship types/sizes

EEDI適合と暫定ガイドラインの要件の間での、船上の最小推進動力が不一致する可能性に関しては、Shaft Power Limitation ([SPL] MEPC 74/5/5) の作成と適用が幅広く支持されています。SPLは、最小動力、特に大型バルクキャリア及び原油タンカー向けの最小動力に関わる懸念に対処する一方、エネルギー効率の改善要求を解決できる可能性のある一つオプションとして見なされました。

船舶用ディーゼルエンジンのNOx認証にはどのエンジン出力を使用すべきか、最適なプロペラ設計の基準は悪天候の中での使用または通常の運航状況を織り込むべきか等の、今なお対処しなければならない相当大きな技術的障壁が存在しています。委員会は加盟国政府および国際機関に対し、今後のセッションでの軸動力への規制に関する提案書の提出を求め、最小動力についての暫定ガイドラインの修正を迅速に完了するよう働きかけました。

欧州は2015年7月に、EUおよびノルウェーとアイスランド内の港湾に入港する5,000GTを超える大型船舶に対し、船主・運航者に毎年CO2排出量の監視、報告、点検を義務付ける法律である、燃費消費実績報告制度に関する欧州規則 (EU MRV) を導入しました。2018年初頭から航海ごとにデータ収集が実施されています。

IMOはまた、業界の燃料消費を監視する強制データ収集要件を採択し、輸送業務の代用を含む他のデータ記録が、海外輸送のCO2排出量の約85%を占める同一クラスの船舶に求められました。データは更なる対策の基盤となるでしょう。

2018年4月に、IMO MEPCは、船舶からのGHG削減および海外輸送の炭素集約度に関する戦略を採択しました。初期目標は、「輸送業務ごと」の平均CO2排出量を2030年までに少なくとも40%削減し、「できる限り早期に」2050年の50%削減目標を達成するために尽力することです。具体的には、当該戦略では、パリ協定の気温目標と整合性のある、海外輸送からのGHG排出の削減を初めて予測しています。

MEPCはまた、「船舶からのGHG排出削減に向けたIMOの総合戦略」開発を目指すロードマップ (2017~2023年) を承認しました。最終的な戦略は、2019年にスタートする船舶からのデータ収集および第4回IMO GHG研究からの裏付けを得て、2023年に予定されています。当該戦略のタイムラインとロードマップには、2018~2023年、2023~2030年および2030年以降のそれぞれの期間に完結する短期・中期・長期的対策が含まれています。

加盟国からの提案

2018年4月に、国際海事機関（IMO）は、船舶からの温室効果ガス（GHG）排出削減を目指す初期戦略を採択し、2015年の国連のパリ協定で設定された気温目標を支援するコミットメントを明確化しました。IMO加盟国は、輸送業務当たりの二酸化炭素（CO₂）排出量を2030年までに少なくとも40%削減（2008年比）し、GHG年間排出量を2050年までに最低50%削減（2008年比）することを公約しました。

「早期実施を目指し、2023年までに海外輸送からのGHG排出削減量の将来目標を達成することを視野に入れて、短期対策のタイムラインは、IMOが早期に開発可能な対策を優先すべきである」と、IMOは目標発表の際に述べています。

それに応じて提出された、短期的対策に関する各国の提案には、多くの代表による、実行可能なソリューションを見出す決意が反映されています。提案の多くは、強制的速度制限、ジャストインタイム輸送、運航効率の評価方法の3つの分野に集中しています。

ギリシャは、100社を超える業界リーダーからIMOへ送られた手紙によって支持されたコンセプトである、速度制限の採用を提案しました。フランスは、世界全体での速度制限、および海運会社に対し全船舶の年間 排出量の上限を2023年までに義務付けるアイデアを提案しましたが、どのようにして速度制限を実施するについては明確ではありませんでした。

フランスの提案には、実施に関わるアイデアも含まれていましたが、これらのアイデアが同意に達するには、恐らく問題が多いと思われる。提案書には、競争上の優位性を失いたくなかったため、あるいは契約上の義務に抵触することを恐れたために、減速の機会を捉えなかった運航者の実例が記載されています。提案書は、これに対するソリューションは「国際的に拘束力のある規制を作成し、考えられる契約上の義務の枠組みと制限を設け」、強制速度制限のための準備を整えることであるとしています。

IMOの試算によると、海事業界のGHGアウトプット削減に関して、船舶と港湾は本質的に結びついており、船舶は燃料の約15%を港湾で使用しています。

フランスからの提案提出を踏まえて、港湾をベースにした連携組織からの提案書は、同様の契約関連問題に留意し、その代替ソリューションを提案しています。ジャストインタイム輸送のコンセプトを支援するために組織間のコミュニケーションとデータ分析を改善することによる、排出削減のポテンシャルに注目することを推奨しています。

提案書に引用されているロッテルダム港による最近の分析では、2018年にロッテルダム港を訪れたすべての入港コンテナ船の水先案内人乗船地への到着時間を12時間前に把握していたならば、航海の最後の12時間に船舶から排出される量を、年間で4%（あるいはCO₂を134,000トン）削減できたかもしれないと述べています。

提案書によると、バルカーとタンカーの約70%は、最低速度を維持し、最高のディスパッチングで港に赴くように契約で義務付けられています。また、これらの船舶には、船長が契約違反になることなく減速できるような 船契約条項を含める必要があるとしています。

アルゼンチン、カナダ、クック諸島、イラン、ニュージーランド、パナマ、シンガポール等の国々による共同提案では、GHGソリューションの開発に向けた港湾と国際海運との連携の強化が求められています。

提案書は、航海の最適化に向けた連携を提唱しており、港湾での排出量の測定と削減戦略の開発のために、IMOの海洋環境委員会が主導するGlobal Maritime Energy Efficiency Partnerships (GloMEEP) プロジェクトによって開発された排出ツールキットを利用することを奨励しています。

これとは別に、デンマーク、ドイツ、スペインは、目標に基づいたより柔軟な排出削減アプローチを提唱しています。船主が目標の達成方法を決める一方、船体洗浄等の業務改善に対してインセンティブを提供するというものです。

2030年に、相当数の船舶が依然としてIMOのエネルギー効率設計指標 (EEDI) の発効前に建造された船舶であることを認識して、提案書は「既存船に向けた短期的対応策」の必要性を挙げており、当該対策に関しては強制減速が関係してくると述べています。



しかし、チリとペルーは、船舶の減速が傷みやすい日用品を距離的に離れた市場に輸出する国々に悪影響を及ぼしかねないことを指摘しています。強制低速スチーミングは商品の質の低下を招き、経済的悪影響のある市場のひずみを作り出す可能性があることも指摘しています。

中国と日本は、運航効率に関する複雑な問題に関して提案を行いました。

中国は、「船舶の運航エネルギー効率と設計効率の間に固有の差異が存在することを考慮すると」、炭素集約度削減に向けたエネルギー効率の枠組みの改善は難しいと考えました。

そして、実際のソリューションの追求に向けた3つの前提条件を提示しました。船舶運航のエネルギー効率の測定について、企業の機密に関わるデータを使用しない代替方法を探索すること、海運業界の炭素集約度の測定方法（全体または特定部分）を開発すること、運航におけるエネルギー効率の改善を促すベンチマークの確率を検討することの3つです。

「すべての船舶への技術的なゴールベースで公平なアプローチ」を追求して、日本はIMO文書に基づいた既存船のためのエネルギー効率に関する対策を提案しました。エネルギー効率のパフォーマンスを計算するために簡素化した指標の開発を提唱しています。指標は既存船の燃費性能の算定（EEXI）と名付けられています。

日本の代表団は、EEDIのメトリックスと互換性があるメトリックスである、EEXI用に開発された特定の算定方法を見極め、「達成EEDIがEEXIの代替として使用が可能」にしたいと考えます。採択された場合、これらの設計効率の改善は、MARPOL条約のAnnex VIの支配下に置かれます。

当該提案により、各船舶は、シャフト/機関出力への制限、燃料の変更または省エネ機器の利用等、エネルギー効率の改善に独自の方法を選択することが可能です。エネルギー効率目標の達成に向けてのゴールベースのアプローチは、「規制対策の本質的な基盤となるべきでしょう」と提案書は述べています。

当該提案は、世界の船舶のエネルギー効率を向上させるアプローチ方法の一部における根本的な差異を強調する一方で、排出パフォーマンスを向上させる共同決意を示しています。

第4回 IMO GHG研究

船舶からの温室効果ガス（GHG）排出削減に関する国際海事機関（IMO）の初期戦略は、国際海運セクターにおける、炭素集約度の低下と年間 GHG排出量の削減に向けた「熱意のレベル」を明確にし、IMOの改正戦略の2023年春の採択につながるフォローアップアクションの概要を述べます。フォローアップアクションにより、主に2012～2018年に収集されたデータと第4回IMO GHG研究の完了によって、初期戦略の修正につながるでしょう。

当該研究の付託事項は、2019年5月13～17日に開かれた海洋環境保護委員会の第74回会合（MEPC 74）において決定されました。第4回研究の目的は、排出試算に関わる不確実な部分の一部を縮小することにあります。2012～2018年に国際海運により発生した（そして運輸全般からの）世界のGHG排出量および関連汚染物質の年次インベントリを確立することにあります。

第3回IMO GHG研究（2014年）では、国際輸送と国内輸送が船舶のタイプ・サイズに基づいて区別されていました。同一船が国際取引と国内取引の両方に従事することがあり得るため、第4回研究では、国際輸送を異なる国の港湾間の輸送と分類し、国内輸送は同国内の港湾間の輸送と定義します。これによって、集計の重複への懸念に対処します。

国連気候変動枠組条約で設立したプロセスで検討するGHGには、二酸化炭素（CO₂）、メタン、亜酸化窒素、ハイドロフルオロカーボン類、パーフルオロカーボン類、および六フッ化硫黄などがあります。気候変動に寄与している可能性のある他の物質には、窒素酸物、非メタン揮発性有機化合物、一酸化炭素、粒子状物質、硫黄酸化物および黒色炭素などがあります。

第4回研究は、設置した推定インベントリを利用して、炭素集約度の推定値、つまり輸送業務ごとのCO₂排出量も提供できるでしょう。第3回研究では、基準年である2008年の炭素集約度の推定値を提供していませんでしたが、第4回研究では提供されると思われます。

第4回研究では、「通常通りにビジネスが行われた場合」のシナリオの開発や、2050年までの輸送需要と海運からの排出量の予測も期待されます。当該研究の最終報告書は、2020年の秋に開かれるMEPC76に提出される予定です。



近海輸送 VS 遠洋輸送

海上貿易がますます広範囲にわたり、国際規制が適用される地域では、業界が燃料の脱炭素化への進路を定めれば、船舶はすべて平等に作られると容易に想定できるでしょう。しかし、実際は違います。船主は、自社船舶のカーボンフットプリントの低減を目指した最も戦略的な進路を見出そうとしているため、沿岸航路や限られた地域航路を定期航行する船舶と大陸間貿易に使われる船舶とは、明確に区別することが重要になります。

近海船と遠洋船は両方とも国際貿易に使われ、類似したタイプの商品の輸送が可能ですが、この二つの市場は、技術採用の適合性やペース、入手可能な資源、および規制制度の複雑性と監視等の領域で明確に異なります。

たとえば、近海貿易では、大部分の船舶は、バルト海等の環境規制区域や排出が比較的厳重に監視・規制されている都市部に近い河川や湖を定期航行します。

遠洋船の船主は、サプライチェーンリスク（貿易制裁等）により脆弱な傾向にありますが、国際貿易・国際関係が好調な場合は、規模の経済からのメリットを得ることができます。

最近、地域貿易が増加すれば、サプライチェーンが短縮し、船舶の温室効果ガス（GHG）のアウトプット全般が低減するであろうという提言がされました。しかし、大陸間貿易に使われる大型船舶は自船内の貨物輸送用の運航効率（そして炭素効率性）を特にトンマイルベースでを高めるため、世界的な排出規制との両立が図れます。

どのように規制が作成・適用されるのかについて、影響を及ぼす可能性のあるセクター間の相違点を以下に提示しています。また、どのようにどれだけ速く、船主が低炭素燃料および持続可能なエネルギー形態の採用を目指した進路計画を立てることが可能かも示唆されています。



近海

近海航路は貨物の専門化に適しており、取引実績が比較的少数の国々に依存しているため、国際航路ほど不安定ではない傾向にあります。

たとえば、欧州の海上貿易の約60%（容量ベースで）は、地中海等の沿岸区域、北海・アイルランド海横断、バルト海国間、および大陸国間の河川航路における沿岸輸送によってもたらされています。アジア、アフリカ、北南米においても、同様の国内・地域貿易クラスターが存在しています。

近海船のビジネスに依存する国の数は比較的少ない傾向にあるため、近海貿易企業は通常、地元・地域の規制からの影響を大きく受けます。近海船の船主は傾向として、政府イニシアティブで支援されない限り、資本集約的な技術（またはプログラム）を採用するのに十分な資金源を見出すことに悪戦苦闘していると思われる、小規模なプレイヤーのネットワーク内に散在しています。

Connecting Europe Facility and Horizon 2020 は、政府インセンティブの一例であり、また他国政府も様々なプログラムを通じて、地元の海事業界における新技術の活用を支援しています。

沿岸貿易の短距離輸送は、新たなエネルギー技術やバッテリーや液化天然ガス（LNG）等の代替燃料の使用に理想的で、規制支援、頻繁な再充電、または特化したインフラが必要な場合もあります。また、近海輸送は陸上輸送と競合していることに留意することが重要です。規制環境が競合を禁止した場合は、輸送業務は陸上輸送にシフトする可能性があります。

したがって、近海貿易はしばしば、新たな燃料と技術の性能試験場となっています。

遠洋

遠洋船の船主は、世界規制を支持する傾向にあります。たとえば、船主は通常、複数の国々にわたって運航するため、地域的な炭素排出規制の傾向が強まれば、適合性を獲得・維持するのがますます複雑化することになるでしょう。

遠洋貿易は、多くの世界最大級の船舶によって行われています。その多くは規模の経済からのメリットを受けられるように作られているものの、それぞれ特異な貨物用に設計されたもので、そのような船舶の供給は、市場の変動の影響を受けやすい傾向にあります。

サプライチェーンのリスクおよび重要性が沿岸貿易に比べ高いので、遠洋船の船主は、技術面・規制面を問わず、変化に対し警戒心が高い傾向にあり、新エネルギー源または代替燃料技術の採用に関しては、早期採用者であるよりもむしろ、海事市場において立証された後に徐々に進めることが多いです。

大型船舶の船主はまた、船舶のGHG排出について平均以上の性能を装備するよう傭船者から圧力をかけられることもあります。

近海・遠洋貿易の間には、類似点もあります。両者とも国際間の貿易を担い、ハンディー型バルカーや大型フィーダー船等の船舶タイプは、両セクターの運航に携われる柔軟性があります。

しかし、多くの場合、両者は非常に異なる運航プロファイルを持つため、新たな燃料やエネルギー源を採用する前に慎重な検討が必要です。世界規模の排出ソリューションでは、IMOの2030年以降の目標の達成と同時に、両市場に対応できる柔軟性を十分持たせる必要があります。

運航オプション：スピード、稼働時間 およびジャストインタイム

IMOの2030年排出目標を達成するかどうかは主に、海運業界が既存の資源と技術から良好な運航効率をどの程度絞り出せるかにかかってくるでしょう。達成可能な方法についてのアイデアに事欠くことはなく、加盟国は最近、IMOにおいて、数々のアプローチで船舶からの温室効果ガス（GHG）排出削減を目指した提案書を提出しています。たとえば以下の提案がありました。

- ・ IMOのエネルギー効率設計指標（EEDI）から枠組みを構築して、既存船のエネルギー効率を改善
- ・ 新船用にEEDIの枠組みを更に展開
- ・ IMOの船舶エネルギー効率管理計画書（SEEMP）から枠組みを構築して、既存船のエネルギー効率を改善
- ・ 運航エネルギー効率の指標を特定
- ・ スピードの最適化および減速のメカニズムの開発
- ・ メタンスリップを削減する規制措置を作成
- ・ 揮発性有機化合物の排出を削減する規制措置を作成
- ・ 国家活動計画の開発を奨励
- ・ 港湾開発およびGHG排出削減に向けた活動を奨励
- ・ 研究開発活動を開始・支援
- ・ 先発者へのインセンティブ制度を奨励
- ・ すべての燃料タイプについて、ライフサイクルGHGおよび/または炭素集約度のガイドラインを開発

主な利用可能な運航オプションの可能性を評価するために、Maritime Strategies International（MSI）は、ABSについて報告書をまとめました。当該オプションおよび業界のカーボンフットプリントへの潜在的な影響は、以下の副題の下に評価されています。

基本として、MSIは 2019~2030年に主要船舶タイプごとに、以下の複合年間成長率を試算しています：

- ・ ドライバルクで0.9%
- ・ 油タンカーで0.9%
- ・ コンテナ船で3.9%

減速

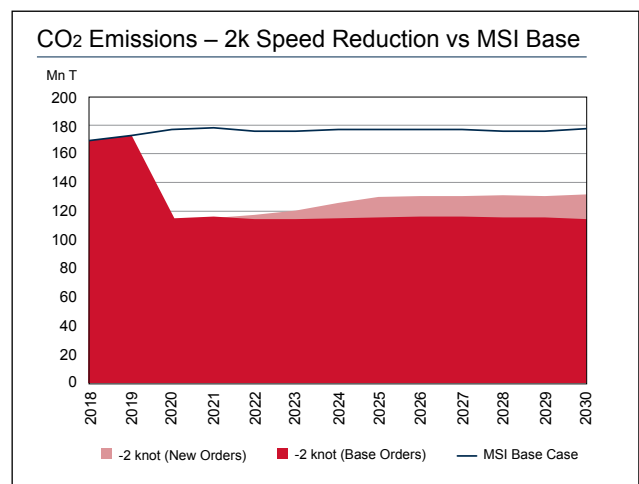
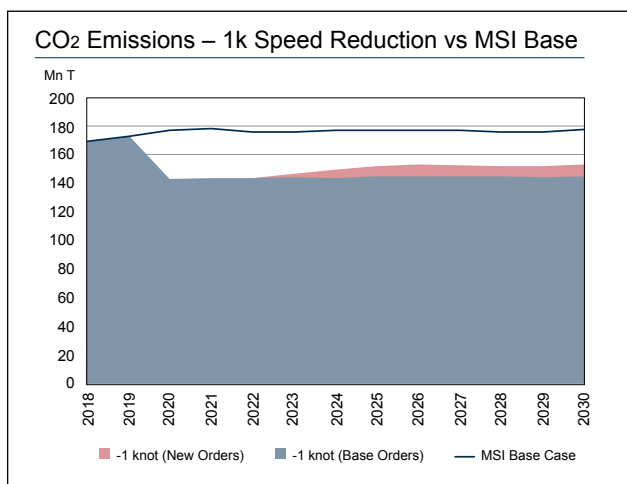
減速は、GHGの排出削減に対し、比較的短時間に重大な影響を及ぼす可能性のある運用対策です。フランスは、多くの海運会社の支援を得て、低い傭船料や貨物運賃が標準的な状況となっている商業環境における最近の経験に基づいて、船舶の減速に向けた規制命令の策定を提案しました。

ご存知のように、2015年の「スロースターミング」により、海運の炭素集約度を2008年レベル比で30%削減し、海運からの二酸化炭素（CO₂）アウトプット全般が減少したと推測されています。

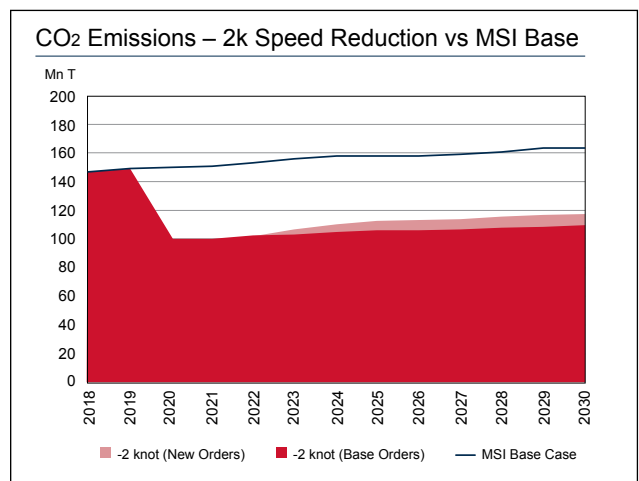
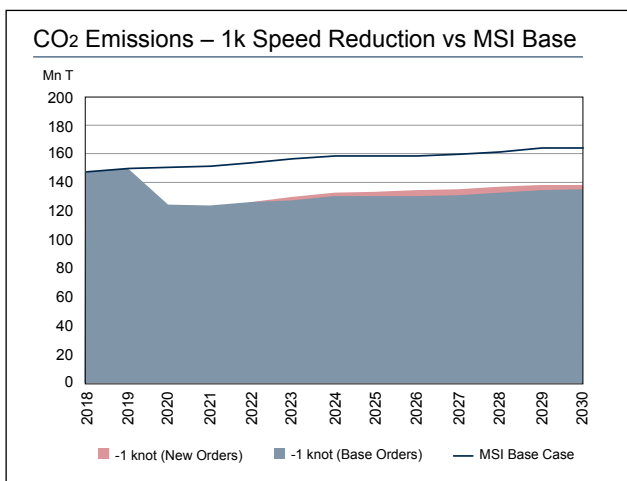
独自開発した計量経済学モデルを使い、MSIは船舶の平均速度を1~2ノット削減した場合に、各セクターの所要貨物輸送能力に与える影響をモデル化しました。

所要貨物輸送能力の向上は、供給側に変化がない場合、船舶使用及び収益の急上昇をもたらし、その後MSIの基本ケースに沿って利用回復を図るための新造に関わる要件が徐々に増加していきます。

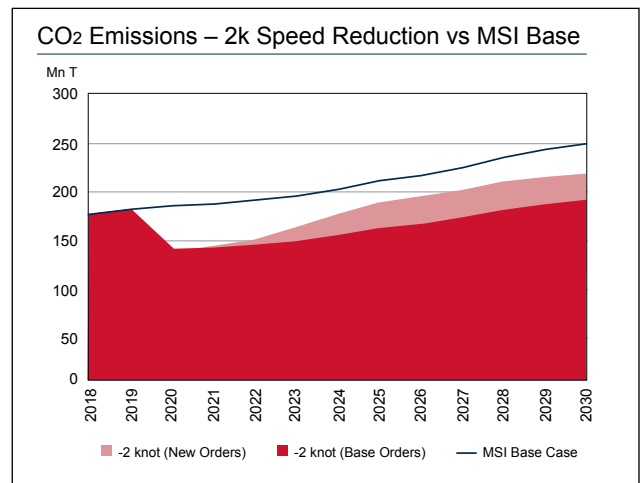
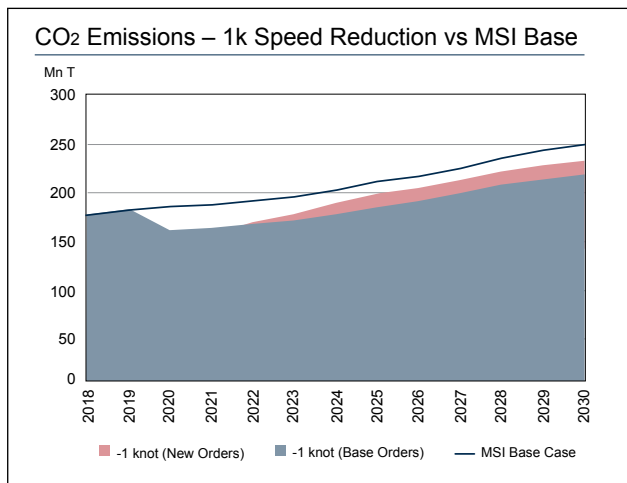
BULK CARRIER



TANKER



CONTAINERSHIP



MSIは、3つの主要船舶タイプに関して、1ノットの減速によりdwt能力に関わる年間平均要件が下のように上昇すると考えています。

- ・ ドライバルクで6%
- ・ 油タンカーで3.8%
- ・ コンテナ船で8%

船舶のスピードを2ノット減速すると、キャパシティに対する需要が以下のように増大します。

- ・ ドライバルクで13.4%
- ・ 油タンカーで8.2%
- ・ コンテナ船で17.4%

上記の数字は、減速したスピードの所要キャパシティへの影響を相殺するために必要となる注文量の増分を表しています。

注文の増分が船舶数に追加される前に、減速は重大で短期的な影響を有し、2025年までのトン数の増加、およびCO2排出全般が削減されことを示唆されます（下記の図表を参照）。

Ship type	CO ₂ Emissions Reduction	
	1-knot Speed Reduction	2-knot Speed Reduction
Dry Bulk	13%	25%
Oil Tankers	15%	28%
Containerships	6%	11%

ジャストインタイム輸送

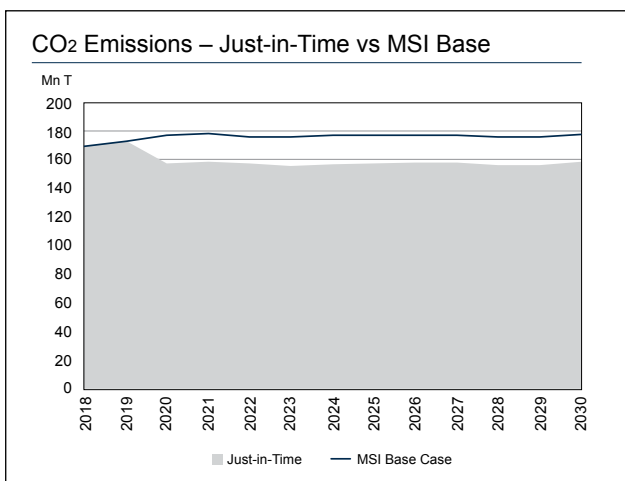
何年にもわたり、自動IDシステムからのデータの使用により、業界は、到着予定時刻、到着港、航行スピード等の詳細を把握することから運航上の恩恵を受けることが可能になっていました。

これらのデータポイントは、今日では船舶追跡および航海計画の多少の調整を支援するために使われています。しかし、船位および停泊場所の利用可能性に関するデータを深く分析すると、「ジャストインタイム」輸送の実現を可能にする種類の情報が明らかになっています。

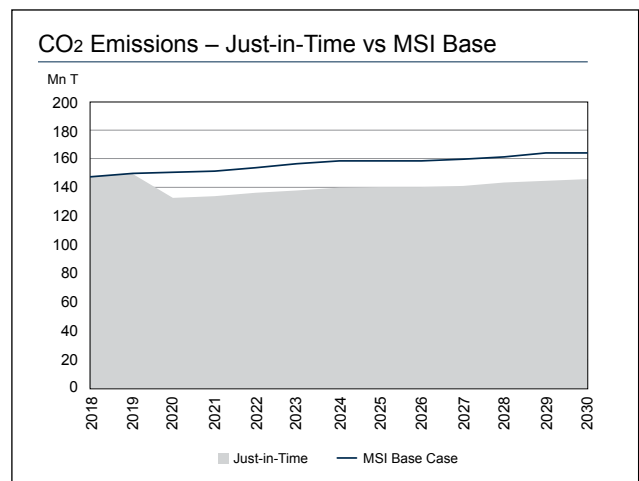
停泊場所の利用可能性およびタグ運航者等の付随的サービスプロバイダに関して、船舶と港湾間のコミュニケーションの効率を高めることで、すべての商業的・環境的利益とともに、海上交通を最適化できると考えられます。

MSIは、貨物輸送能力に影響がなく、船舶サイズの調整がないと仮定して、平均5%減速の場合のジャストインタイム輸送によって作られる効率改善の可能性の効果をモデル化しました。この基礎解析に基づくと、CO₂ 排出の貯蓄量は年間約10~11%になります。

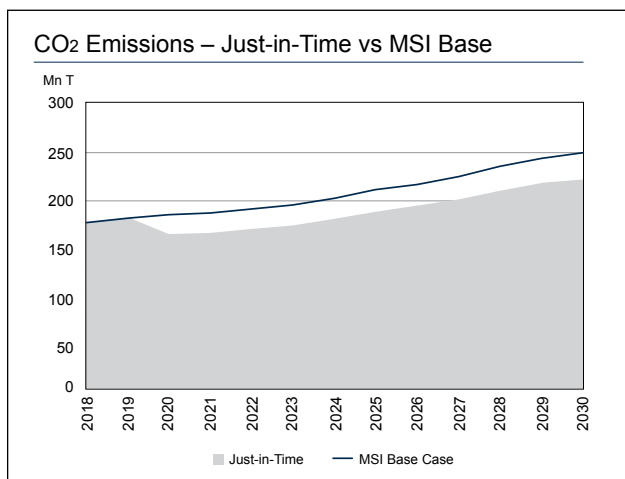
BULK CARRIER



TANKER



CONTAINERSHIP



船舶利用

バラスト状態に費やされる時間の計画・短縮によって、船舶の利用を拡大することも期待できます。

高度分析を利用して荷動きを調査し、バラスト状態での時間短縮に向けた - または輸送中の準最適な積荷物 - 関連戦略を作成することで、船舶の活用を改善し、業界の船舶要件の総量を減らすことが可能となります。

MSIは3つの主要船舶セクターにおいて調査を実施し、バラスト率を10%改善しました。

もし、船舶利用の改善が燃料が少なくてすむ燃料効率の良い船舶の廃止や造船注文の縮小につながるならば、CO2排出削減量は、バルカーで3.3%、タンカーで3.6%、コンテナ船で3.7%にモデル化されます。

個別の適用または一斉適用を問わず、これらの運用イニシアティブは、2030年の排出削減目標を達成する上で可能性のある進路の一部です。



船舶技術のオプション

海運業界のより高い燃料効率への探究 – トンマイル当たりの温室効果ガス (GHG) の排出削減 – により、設計事務所や船舶模型水槽はしばらく多忙を極めました。既存技術の更なる最適化は商業海運の脱炭素化において一役買っています。以下は、複数のアプローチを組み合わせている場合など、効率の向上の評価が困難な場合がありますが、設計者が燃料効率のさらに良い船舶を生み出すために実施しているアプローチです。

船型の最適化

船舶の主要細目の最適化プロセスには、流体力学、船舶構造、環境パフォーマンスおよび安全パフォーマンス等の複数の技術分野を調査する先進的な分析ツールが必要です。設計の最適化プロセスにおいては、経済性評価も、各主要細目の評価に使われます。

船舶のエネルギー効率の最適化には、複数のプロジェクトが関与する可能性があります。たとえば、主要細目が既定されている場合の船型の最適化（線図の開発）、プロペラの最適化による船体からの流動の改善、機関からの動力の転送、プロペラや流動線に関連したラダーの設計および配置、および省エネ機器の調査などが含まれます。

船型の最適化には、プロペラとラダーを強化し省エネ機器を最大化する方法の模索等、数値流体力学を利用した包括的な一連のモデル試験 および評価が必要です。

省エネ機器としても知られる推進改善機器類は、推進効率の改善に向けての使用が可能で、通常以下のタイプに分類されます。

- ・ ウェイクイコライザー：船体周辺の流動状態を改善し、プロペラの組み立てへとつながる
- ・ プレスワール装置：プロペラの羽への流れによる攻撃の角度を改善し、プロペラ後の回転流量の推進力を削減する
- ・ ポストスワール装置：効率的な流動に有害な特性を抑え、流れの回転成分をプロペラの伴流から軸推力に変換する、またはラダーの効率を改善する流動に調整する
- ・ 高効率プロペラ（ダクトプロペラ、二重反転プロペラ等）：既定の運用条件において推進効率を改善するために、船型と連携して最適化する

船体摩擦の低減

船体の表面粗度は、流体力学的な効率を減少させる物理的及び生物的原因によって影響を受けることがあります。機械的な損傷および塗装不良は対処する必要があり、ファウリングは、船体の粗度管理目的で設計されたプログラムによって管理される必要があります。

塗装の効果を上げることにより、船体表面に長期間にわたり好条件を維持し、流体力学的摩擦を低位に抑えることができます。

「空気潤滑」は、革新的なエネルギー効率技術で、輸送量当たりの船舶設計のエネルギー効率レベルを測定するIMO規制の船舶のエネルギー効率設計指標 (EEDI) の計算に含めることが可能です。

規制の代替燃料に及ぼす影響

IMOが設定した排出の中期・長期目標を達成するためには、技術的な進歩と並行して、低炭素・ゼロ炭素燃料が、世界の海運にとって実行可能なオプションとして浮上する必要があります。その実行可能性が実証されれば、これらの燃料の大規模入手可能性のタイムラインや輸送・配達のためのインフラが、幅広い採用の達成、業界の削減目標達成を後押しするために、各燃料にとって不可欠となります。

従来は、規制も燃料の採用率に影響を与えていました。下記では、歴史的背景と現在の進行状況について述べています。SOLAS条約は従来、非常用発電機への使用を除き、商業船舶における低引火点（60°C未満）燃料油の使用を禁止していました。非常用発電機に使用する場合は43°Cを上限とし、規制に詳述されている他の要件の対象となります。

IMOがInternational Code of Safety for Ship Using Gases or Other Low-flashpoint Fuels (IGFコード)を採用し際、SOLASは改正され、IGFコードが強制となり、これらの改正点もIMOによって採択されました。

それ以前は、IMOが発行した天然ガスの燃料使用に関する唯一のガイダンスは、2009年6月に採択された「暫定ガイドライン」です。IMOのIGFコードの採択により、SOLAS下での60°C未満の引火点燃料の燃焼に関する枠組みと要件が導入されました。

「One ship, one code」の方針のもと、IMOは、IGCコード(The International Code of the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk)に従って貨物を燃料として燃焼する船舶を除き、IGFコードが、2016年以降に建造された低引火点燃料を使用する500 GT超のすべての新造船（および改造船）に決定的な影響を与えることを明確化しました。

IGFコードには、天然ガスおよびリスク評価に関する詳細な規範的要件が含まれていますが、リスク評価の適用は、ドリフトレイのサイズや一般的な燃料格納装置を取り扱う分野等の、特定の分野についてのみ必要となります。

他の低引火点燃料は、IGFコードの目標および機能要件が意図するところを満足するならば、海洋燃料としての使用が可能で、同等レベルの安全性を提供します。

より長期的には、IGFコードが、他の低引火点燃料を工業利用として取り扱えるように拡大され、その利用が増加する見通しです。それ以前には、メタンまたはエチルアルコールを燃料として使用する船舶を統括するガイドライン（2018年9月に原則承認）を含め、IMOは他の暫定ガイドラインを発効する予定です。

ガスキャリアについては、天然ガスの燃料使用がIGCコードのもとで許可されています。2014年、「代替燃料と技術」に関して、天然ガス以外の貨物の燃焼を、有毒ではない場合には許可する新セクションが導入されました。

同様に、2016年のIGCコードでは、天然ガスに要求される安全性と同等レベルの安全性が確保される場合は、代替燃料の燃焼が許可されています。この取り組みを検討するプロジェクトは、リスク評価に関するいかなる取り組みと同様に、承認へのロードマップをIGCコードの管理者と討議する必要があります。

IGFコードおよび2016年IGCコードの採択により、IMOは安全に関する規制要件、および天然ガスや他の低引火点燃料を使用する全タイプの船舶のための枠組みを確立しました。

インフラストラクチャー

船主が様々な燃料タイプを評価し、海運の低炭素化の実現可能な道を見出していくにつれて、それを支援するインフラの供給の可能性と状況が、当該プロセスにおいて非常に重要な変数であることが明らかになってきています。国際エネルギー機関 (IEA) によると、2018年の船舶用燃料（主に重燃料油 [HFO] や海洋ガスオイル [MGO]）への需要は一日当たり約4.3百万バレルでした。世界的な資産ネットワークを一部でも新燃料が使用できるように差し替える、またはレトロフィットすることは、極めて重要且つ資源集約的なプロセスです。

化石燃料の供給を差し替えるために検討されているどの燃料も、まず最初に、ヒューストン、ロッテルダム、シンガポール、フジャイラ等の主要港において、同様の容量と入手可能性を提供できなければなりません。

さらに、様々な国々で、特に地域使用の船舶向けに、採用されている新しい低炭素・ゼロ炭素燃料については、選択した技術にもよりますが、新たなインフラを相当量開発・改造が必要になると思われます。

海洋燃料用インフラは、世界の各港湾の供給量を超える収容能力を持ち、製造、加工、流通と貯蔵、およびエンドユーザーへの配送を支援する資産の完全なバリューチェーンから成り立っています。

液化天然ガス (LNG) は、代替燃料を世界規模で採用するためには何が必要かを明確に物語っています。LNGバンカリング・インフラが開発されるのに10年を要しましたが、LGNを供給している船舶数は世界で1%未満です。他の代替燃料も同様の問題や、規制・サプライチェーン・商業開発の面からの逆風に直面することになるでしょう。

現在の貯蔵・物流ネットワークと異なり、将来のインフラ要件は、各船舶が使用する様々な技術（燃料）を扱うのに必要な柔軟性がある必要があるかもしれません。運航者が低炭素の時代にシフトしていく中、船舶は、推進・発電に複数のタイプの燃料を使用する必要性が出てくる可能性があります。

新燃料の一部は、従来のバンカリングプロセスに適応が可能かもしれませんが、多くの新燃料は、特別な取扱い手順、陸上・オフショアの従業員へのトレーニング、および生産・貯蔵・物流に向けた専用バリューチェーンが必要となるでしょう。技術の変容が必要になるのは、船舶だけではないと思われます。

また、地域要件と運用制約により、船舶の一部は、専用区域においてのみ広く提供されている燃料技術を採用する必要がある可能性があります（環境規制区域、さらに厳しい燃料規制のある管轄区域等）。

制限航路や港湾作業を最小に抑えるために、世界的なオプションが大規模運航において存在する必要があるでしょう。代替燃料のうち、LNGの供給は、最も定評のある海洋インフラネットワーク の一つ（年間約8百万トンの燃料を提供）によって賄われていますが、それでもHFO・MGOバンカリングに比べ、取扱量は依然として非常に限られています。

アンモニアおよびメタノール等の代替燃料オプションの多くには、化学または加工業界の定着した大規模インフラがあり、これらのインフラは港湾ターミナルおよび港湾への配送用に活用・拡大が可能です。検討されるその他の代替燃料はどれも、サプライヤーとディストリビューターを設け、海運ネットワークへの支援を拡大できる能力が必要となるでしょう。

船主にとって、燃料選択の進路を判断する基準は、排出低減に向けた探究以上のものになる事は明白です。



再生可能燃料 VS 再生不能燃料

再生可能燃料を巡って討議される2つの主要分野は、ソーシングと燃料生産プロセスです。以下に述べるように、液化天然ガス(LNG)、液化石油ガス(LPG)、メタノール、アンモニア、水素、バイオ燃料および合成燃料を含め、代替燃料という用語は、現在は海洋用途向けにはフル生産されていない燃料であることを示唆しています。

燃料の調達源

再生可能エネルギー・燃料 は天然資源から得られ、比較的短期間に入れ替えが可能です。

- ・ 再生可能エネルギーとしては、太陽、風力、水力、地熱等。
- ・ 再生可能燃料はバイオマス燃料で、バイオマス燃料は生育し(農作物や樹木等)、その原材料の大部分は消耗品なので再生可能。
- ・ 再生可能エネルギーまたは再生可能燃料を使って生産された電気による分解で、水から得られた水素は再生可能。

再生不能エネルギーは入れ替え可能な資源から得られますが、石炭、ガス、石油等の、何世紀にもわたる天然プロセスによってもたらされたものです。海事業界において最も一般的なものは重燃料油(HFO)です。原子力は再生不能エネルギーで、核分裂に使われるウランの入手可能性に限界があります。

燃料生産プロセス

多くの燃料は、船舶用途で使用できるように加工する必要があります。使用により適した形態にするために精製や改質を行います。「well-to-wake (ライフサイクル)」の排出を査定する場合、エネルギー集約度の面で生産プロセスに大幅なばらつきがあり、生産プロセスの評価の実施が不可欠です。

「WELL-TO-WAKE」対「TANK-TO-WAKE」

「Tank to wake」では、エネルギー源の燃焼・使用による排出のみを考慮に入れ、燃料調達または船舶への搬入のプロセスは含まれません。

純カーボンインパクトを測定するプロセスは、生産、輸送および使用を含め、燃料のライフサイクルを調べるので、「well-to-wake」排出を代替燃料向けに検討する必要があります。たとえば、水素は燃料として使用される場合は非常にクリーンです。燃料電池に使われる場合は、電気や水、熱が産出されます。しかし、水素は、主として天然ガス(再生不能)から、非常にエネルギー集約的な活動を通して産出され、出力源から相当量の排出が学校生み出されます。その代替方法としては、再生不能燃料によって生産されたエネルギーを使った電気分解での生産が可能です。

生産プロセスにおける再生可能電力の使用

代替燃料からの排出削減を最大にするためには、生産プロセスにおいて再生可能資源からの電力が必要になります。

相当量の風力エネルギーを生産できる地域では、ピーク時以外の時間帯には需要が減るので、一部の研究では、代替燃料の生産とエネルギー貯蔵に余剰分を充てる方法を検討しています。

オプションの一つは、水を電気分解することで水素を生産する方法です。水素が水という豊富な資源から入手可能であるばかりか、燃料電池で使用されるプロセスから副産物として水が発生し、再生可能エネルギーのサイクルが作られます。

アンモニアは、同様のプロセスから利益を得ることが可能です。アンモニアは通常、メタンの改質反応から得られる水素を窒素と混合することで得られます。水素が再生可能プロセスから得られるならば、アンモニアはその生産に化石燃料を必要としません。





液化天然ガス (LNG)

液化天然ガス(LNG)の大部分は、炭素含有量が最小の炭化水素であるメタンで、化石燃料のなかでは、船舶輸送におけるカーボンフットプリントを削減する可能性が最大です。LNG燃料は船舶用途として増加していますが、世界の船舶のうち極めて僅かな数の船舶で使われているにすぎません。国際ガス連合 (IGU) の数字によると、2018年末時点で、782隻のLNGキャリアや非ガスキャリアがLNGを使用している、またはLNG燃料用として建造されていました。

LNGは、現在広く入手可能な化石燃料のなかで、最も完全燃焼する燃料です。船舶用燃料としての使用は、実地に裏付けられた高度エンジン技術によって支援されています。燃料として、窒素酸化物 (NO_x) の排出を削減し、硫黄酸化物 (SO_x) と粒子状物質の大部分を排除し、二酸化炭素 (CO₂) の削減に寄与します (重燃料油 [HFO]と比較して最大21%の可能性)。これだけでは、IMOの2030年または2050年の温室効果ガス (GHG) 目標の達成は無理ですが、他の技術と合わせると、重要な役割を果たす可能性があります。

技術

天然ガスは炭化水素ガスの混合物で、多くの場合、石油鉱床の近くで発見されます。天然ガスは圧倒的にメタン (70~99質量%、源泉により変化) を含んでおり、少量のエタン、プロパンとブタン、微量の窒素も含まれます。約-162°Cまで冷却されると液体になり、容量がガス状態時の1/600に減少し、貯蔵・輸送においてより安全で取り扱いが容易になります。

LNG密度は、重燃料油 (HFO) の約半分ですが、発熱量はおおよそ20%高くなります。LNGを燃料使用する場合、同じ距離範囲の輸送において、極低温タンクに適切な形状、断熱および分離が必要なため、HFOの約1.8倍のタンク貯蔵容量が必要となり、燃料の格納・供給システムは多くの場合、船上の3~4倍のスペースが必要になります。

世界の天然ガスの埋蔵量については、米国国際エネルギー機関 (IEA) が2017年に7,124兆立方フィートと試算、世界の現行消費量で計算すると、少なくとも60年間の消費に十分な量があり、液化石油ガス (LPG) 埋蔵量よりもはるかに多いと推測しています。

用途

LNGキャリアの初期世代は、LNGを燃料とする蒸気ボイラーを使って、推進用タービンに電力を供給していましたが、新世代のLNGキャリアは、推進・発電用に二元燃料ディーゼルエンジン (DFDE) を使用しています。2018年12月時点で、525隻を超えるLNGキャリアが航行中または受注中で、その大部分は、LNGボイルオフガスを燃料使用するように設計されています。運航可能な船舶のうち、約30%がDFDE発電装置を搭載し、少数は低速二元燃料 (SSDF) ディーゼルエンジンによって操縦されています。受注中の船舶の大部分は、DFDE (40%) またはSSDF (50%) 駆動型となる予定です。LNGキャリア以外では、2019年1月末時点で、世界に163隻のLNG燃料船が存在しますが、最も数が多いサブセクター (フェリーとオフショア支援船) においては、その存在は圧倒的に特定の地域に限られています。

過去10年間、LNG燃料の適用は、タグボート、VLCC、タンカーおよびクルーズ船を含め、様々な船舶タイプに広がっています。クルーズ船においては、新造船注文への関心の高まりがみられます。

燃料特性

Chemical Composition	CH ₄
Boiling Point, °C 1 bar	-162°C
LHV, MJ/kg	48
Auto Ignition Temp, °C	650
Flammable Range, % vol in air	5-15%
Energy Density, MJ/lt	21.6
Volume Comparison HFO (Energy Density)	1.85
Carbon Content	0.75
Carbon Content Reduction (Compared to HFO)	12%
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh	0.2061
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh Reduction (Compared to HFO)	26%
Low Flashpoint Fuel	Yes

課題

LNGの船舶用燃料としての使用が増加しているものの、その採用ペースを妨げる障害が存在します。バンカリングインフラは現在限られており、新たな建設や改造にかかるコストは比較的高く、業界の意欲的な排出削減目標をLNGだけで達成する可能性は限られています。

規制: LNG向けのIGFコードは2017年から有効ですが、主にその供給に関連した世界レベルでは対処されていない局面があります。すべての港湾が、LNGバンカリング手順を規定する現地規制を設置しているわけではありませんが、国際船級協会連合 (IACS)、Society for Gas as a Marine Fuel (SGMF)、および国際標準化機構 (ISO) 等の一部の組織や産業団体が、共通の規制の採用に向けて作業を進めており、バンカリング提供に関わるガイドを発行しています。

バンカリング: 世界全体では、LNGバンカリング用インフラは限られています。北欧では港湾と船主が先頭を切って開発を進めています。米国では、一部の湾岸港では設備能力を、少なくとも初期段階には、造船所から生まれる米国所有のLNG燃料船の数に合ったペースで構築していました。また、アジアでは、シンガポール港の主導により進められています。

メタンスリップ: ディーゼルサイクルエンジンの燃焼プロセスはメタンエスケープの量を最小化しますが、予備混合されたオットーサイクルのバージョンでは、排気を通して漏洩が起り、低負荷時やアイドル状態では増加する可能性があります。しかし、オットーサイクルエンジン技術は改善されてきており、メタンスリップの量は減少し続けると考えられます。

燃料供給システム: 燃料供給の複雑性は、技術によって変化します。燃料格納システムの数とタイプおよび供給圧力が、特定のシステムの複雑性に関係してきます。一般的に、ガス燃料システムは、従来燃料油の時より高機能とみられる高度な技術を使い、さらなる船員へのレーニングも必要になります。

資本支出: LNG燃料推進を使う場合の初期投資コストは、従来燃料使用の船舶に比べ1.25~1.4倍高くなりますが、LNG燃料のコストは従来燃料と比べて依然として低く、運用コストも低くなると考えられます。

運用コスト: ガス燃料エンジンの熱効率率は液体ディーゼルエンジンのそれに類似しており、天然ガスの発熱量が高いことから、ガス燃料エンジンのエネルギー消費量は、HFOまたは海洋ガスオイル (MGO) の燃焼によるものとほぼ同等です。ガス燃焼の方がクリーンなので、保守要件は比較的厳しくありません。現在までのところ、オーバーホールの間隔はほぼ同一です。



© Harvey Gulf



GHGの実績

LNGからのCO₂の潜在的削減量は（HFO/ディーゼルに対して）最大で21%で、LNGだけではIMOの2030年GHG目標の達成には十分ではありません。たとえば、海運からのライフサイクル排出やメタンスリップを考慮に入れると、GHG削減の総体的な効果全般は、実際に5~10%下落する可能性があります。それでもなお、海運のカーボンフットプリント全体の削減およびクリーンな燃料の使用促進に関して建設的な役割を有しています。LNGは硫黄分を含まないため、もしSO_x排出があれば、それは液体パイロット燃料と潤滑油からのものになります。

ディーゼルと比較して、燃焼時のLNGは粒子状物質を大幅に削減します（90~99%）。エンジン技術にもよりますが、ディーゼルサイクルで稼働するエンジンにおいて、NO_xアウトプットが25%削減される可能性があり、オットーサイクルで稼働するエンジンについては著しい削減が見られる可能性があります。

安全性

国際海上人命安全条約（SOLAS）は長い間、60°C未満の引火点燃料の使用を禁止してきました。IGFコードと新たな2016IGCコードが導入されて以来、IMOは、LNGおよび他の低引火点燃料の業界全体における使用について、規制・安全性の枠組みを策定しています。

メタンの特性・特徴をよく把握していることは、LNGの船舶燃料としての使用に関連した安全面での問題を理解する上で非常に重要です。メタンは腐食性があり、有毒であるとはみなされていません。

危険要因は貯蔵、輸送及び燃焼に関係したもので、極低温や可燃性蒸気、窒息が含まれます。断熱材を通してLNG極低温タンクへの熱が進入するため、内容物の一部が継続的に蒸発し、ボイルオフガスを発生させます。このボイルオフガスによってタンク圧力が上昇し、LNGやメタンを蒸気放出するリスクが増大する可能性があります。これらの蒸気は引火性で、作業員を窒息させる可能性があります。

漏出した蒸気が船舶の構造物と接触すると、脆性と破損を引き起こされます。LNGまたは無防備な格納システムに誤って接触した従業員は凍傷になる可能性があります。LNGは、液状では引火性があるとはみなされず、着火は不可能です。しかし、LNG蒸気は引火性となり、空気中のメタンの割合が5~15%に達した場合は、発火源があれば発火する可能性があります。

メタンの自動発火温度は比較的高く、595°Cです。LNGから放出されると、メタン蒸気は最初は空気より重く、その後-100°C以上に温まると、急速に空気より軽くなります。したがって、安全防護装置を適性配置して引火性混合物の発生を阻止する、そして、いかなる発火源をも近くに置かないことが非常に重要です。



液化石油ガス（LPG）

液化石油ガス（LPG）は、主に液状のプロパンとブタンで構成される炭化水素混合物です。石油・ガスの生産または石油精製プロセスの副産物で、バイオディーゼル生産から派生することもあります。LPGの燃料使用は国際輸送産業において比較的新しい概念で、LPGキャリアに限られると予想されています。このほど、二元燃料エンジンでLPG使用向けに設計された一連の大型ガスキャリアが発注されました。

技術

LPGの使用は陸上用途においては普及しており、知識と経験が豊富にあります。LPGターミナルとキャリアの専用ネットワークは、バンカー提供用に再構成される可能性があります。バンカーインフラを開発する必要がありますが、LPGは取り扱いや貯蔵が液化天然ガス（LNG）より容易なため、バンカリング供給システムが簡素化されます。

LPGの発熱量は重燃料油（HFO）より12~15%高く、一般的に発熱量も高いです。しかし、LPGの単位当たりエネルギー集約度は燃料油より低くなります。したがって、LNGや他の低引火点燃料を使用する場合と同様に、船舶用燃料油の代替として同等のエネルギー含量を生み出すための必要容量は大きくなります（通常、1.5倍）。

LPGは大容量の場合、約18バールの圧力容器または5~8バールで-10~-20°Cの半加圧/冷蔵タンクによって貯蔵・輸送されます。

燃料特性

Chemical Composition	COMBINATION*
Boiling Point, °C 1 bar	-26.2
LHV, MJ/kg	46.06
Auto Ignition Temp, °C	428
Flammable Range, % vol in air	1.6-10%
Energy Density, MJ/lt	24.88
Volume Comparison HFO (Energy Density)	1.6208333
Carbon Content	0.82148
Carbon Content Reduction (Compared to HFO)	3.3%
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh	0.2353
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh Reduction (Compared to HFO)	15.6%
Low Flashpoint Fuel	Yes

*60% Propane, 40% Butane





適用

海運会社はパートナー（エンジンメーカー、システム設計者および船級協会）と協力し、新造船にLPGエンジンを使用、またはその技術をレトロフィットしています。現在、船舶用二元燃料エンジンはMAN ME-LGIの一種類だけで、代替燃料としてのLPG専用に設計されていますが、他のメーカーも代替エンジンを提供すると予想されています。MANはまたLPGに加えて、ガス、エタンまたはメタン等の複種類の燃料を燃焼する能力があるエンジンのジェネリックな類似品を提供します。ガスキャリアが数種類の製品を輸送すると見込まれる場合は、特に有益であると思われる。

通常、LPGタンクはHFO用タンクより3倍の容量が必要です。LPG燃料タンクは主に、非冷蔵または半冷蔵のCタイプタンクです（最大5,000 m³）。LNG貯蔵に関連した極低温による複雑性はなく、極低温への耐性も必要ありません。

船上装置等のLPGバンカリングインフラが提供されると、LNGに必要な運用システム・装置よりコストは低くなると考えられます。

課題

LPGは、自動車、化学製品製造、繊維、農業および金属を含め、多くの産業で広く使われているので、海運が燃料としての使用を大幅に拡大すれば、LPG製品へに対する競合が定着する可能性があります。

ますます厳しくなっていく排出規制の要件により、LPGの採用は大幅に制限される可能性があります。HFOやディーゼルより多くの環境上の便益を提供しているにもかかわらず、LPGからの二酸化炭素（CO₂）および窒素酸化物（NO_x）排出量はLNGより高くなります。

GHGの実績

燃焼温度が低いHFOに比べて、LPGのNO_x排出量は15～20%低くなります。また、硫黄含有量が非常に低いため、LPGの燃料使用により、硫黄酸化物（SO_x）排出量が90～97%縮小し、CO₂アウトプットは、13～18%減少します。

安全性

主にプロパンとブタンで構成される、低引火点石油ガスの特性・特徴を把握することは、LPGを船舶用燃料として使用する場合の安全上の危険要因を理解するための鍵となります。腐食性や毒性はありません。

石油ガスの貯蔵・輸送および燃焼に関わる危険要因は、高圧貯蔵タンク、可燃性ガスおよび窒息等、低温利用に関連したものです。

断熱材を通してLPGタンクに熱侵入するために、常時蒸発してボイルオフガスを発生させ、保守管理されないと、ボイルガスが圧力を上昇させます。乗組員が誤ってLPGと接触した場合、皮膚に凍傷を負う可能性があります。

LPGは急速に蒸発し、空気中の石油ガスの割合が1.5～11%の場合、蒸気は引火性を有します。発火源に導入されると発火する可能性があります。LNGに比べ、蒸気量が小さい場合は、危険な環境を創出します。

石油ガスの自然発火温度は、製品混合物内の比率（プロパン、ブタン等）によって決まり、365°Cまで下がる可能性があります。この比較的低い自然発火温度により、表面温度等級T1の電気機器が必要になります。（LNGではT1が必要）。

LPGは空気より重く、漏洩はスペースの低い部分に累積する傾向があります。ダブルバリア構造物（タンク等）や機関スペース内の換気と検出装置の設置場所に特別の注意を払う必要があります。

メタノール

メタノールは世界各地で入手可能で、化学製造業など、様々な分野で何十年間にもわたって活用されています。通常、天然ガスから工業規模で生産されますが、バイオマス等の再生可能資源からも生産が可能で、燃料として使用する際の二酸化炭素(CO₂)フットプリントを大幅に削減することができます。

船舶用燃料からのCO₂アウトプットを削減する可能性があることから、メタノールの利用は、旅客船および貨物船双方の船主から幅広い関心が寄せられています。

外気温度と大気圧下では無色で無味な液体で、ガス燃料や極低温燃料に比べ貯蔵・取り扱いが容易です。また、液化天然ガス(LNG)等のガス燃料に比べ、メタノールの船舶用燃料利用に関連した問題も少なくなります。

しかし、その利用を制限しかねない数々の制約があります(後述)。

技術

メタノールは、すべての液体燃料のなかで水素の炭素に対する比率が最も高く、従来の燃料油と比較した場合、燃焼によるCO₂排出を低減する可能性のある関係性があります。環境の観点からは、メタノールは容易に水溶し、漏出した場合の影響が弱くなります。

メタノールのエネルギー集約度と所定のエネルギー値は、従来の燃料油に比べ大幅に低くなります。同等のエネルギー含量に対して約2.4倍の貯蔵容量が必要になります。

生産

メタノール生産には様々な原材料が使われますが、天然ガスが現在のところ最も一般的です。エネルギー集約的なそのプロセスは、合成ガス(合成ガス)の準備、メタノールの合成およびメタノールの精製/蒸留の3つのステップをを組み合わせたものです。

バイオマスも原材料として使用が可能で、そのプロセスは、天然ガスを原材料として使用する場合と類似しており、原材料が特定の温度と圧力に暴露されると合成ガス(synガス)が生成されます。

メタノールのバイオマスからの生産は、温室効果ガス(GHG)のニュートラルなプロセス(ライフタイム中は、放出炭素量と植物物質が吸収する炭素量とがほぼ同一である)と見なされますが、プロセスのためのエネルギーが発生する際に、排出が作り出される可能性があります。

メタノール生産に石炭を原材料として使用することは可能ですが、GHG排出に負の影響を与えることとなります。

燃料特性

Chemical Composition	CH ₃ OH
Boiling Point, °C 1 bar	65
LHV, MJ/kg	19.9
Auto Ignition Temp, °C	440
Flammable Range, % vol in air	6.0-36%
Energy Density, MJ/lt	15.7
Volume Comparison HFO (Energy Density)	2.54
Carbon Content	0.375
Carbon Content Reduction (Compared to HFO)	56%
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh	0.2486
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh Reduction (Compared to HFO)	11%
Low Flashpoint Fuel	Yes

船舶用燃料としてのメタノール

メタノールの船舶用燃料としての利用は技術的には可能ですが、大規模使用に向けた開発には、バンカリング設備、船内格納システムと燃料供給システム、および船舶用エンジンのすべてが必要となります。

しかし、化学業界や他の業界では、何十年も世界中にメタノールを輸送しているため (Clarkson Platouの推計によると、2017年に26.7百万トン輸送)、現在、港湾にはメタノールの輸送・供給用のインフラが多く存在しています。

液状では、従来の船舶用燃料に使われていたシステムとインフラを変更するために、若干の改良が必要になると思われます。

メタノールの船内格納はLNGほど困難ではなく、バンカー船も水上物流や燃料装荷に対する一つの実行可能な選択肢です。

推進オプション

MAN Energy Solutionsは、メタノール等の低引火点液体燃料の高圧噴射用の「ME-LGI」エンジンを開発しています。インジェクタ内の高圧ポンプを使って比較的低压のサプライを使用します。現在運航に使われているメタノール燃焼ME-LGIエンジンは10台未満です。Wärtsiläは、レトロフィットコンバージョンのオプションを開発しており、これはHP-DFエンジン技術の変異系になります。

適用

メタノール燃料で航行する、最初の大型海洋レトロフィット船は、RoPaxフェリーのStena Germanicaで、バンカリング・支援設備があるヨーテボリとキール間を航行しています。当該船舶は、メタノール燃焼用のレトロフィットエンジンを使用し、パイロット燃料（ディーゼル5%とメタノール95%）が必要です。

カナダのWaterfront Shippingは現在、貨物輸送用に設計された船舶、メタノールキャリアを7隻を運航し、4隻が受注済みです。これら11隻はすべて、メタノール、燃料油、船舶用ディーゼルオイルまたはガスオイルでの稼働が可能な2ストローク二元燃料エンジンがその特徴となっています。

Swedish Maritime Administrationもまた、メタノール燃料を使用する高速パイロットボートを運航しています。

課題

海運業界は、メタノール使用に向けて設計された船舶用エンジンの稼働に関しては、限られた経験しかありません。そのため、業界の乗組員に必要なレベル、および当該燃料を陸上で安全かつ大規模な使用を確保するには、相当な学習曲線が必要となると思われます。

低いエネルギー集約度

メタノールの発熱量およびエネルギー集約度は、LNGや従来の液体燃料より大幅に低いため、より広いタンクスペースが必要です。この結果、貨物スペースが狭まるため、メタノールの代替燃料としての利用が限られてきた可能性があります。

同等の発熱量を得るために、メタノールに必要な容量は、LNGのほぼ1.5倍になります。

腐食性

メタノールは腐食性で、燃焼機関で現在使われている原材料の一部の脆弱性が増加します。エンジン部品の一部の再設計、あるいは腐食抑制剤（燃料への添加剤として）と特殊コーティングが必要になるかもしれません



規制

現行のIGFコードは燃料としてのメタノールを扱っていませんが、どの低引火点燃料も、代替設計に関する規定（IGFコードの2.3）およびリスク評価（4.2）に従った取り扱いを受ける可能性があります。IMOレベルでは、IGFコードを修正し、船舶用燃料としてのメタノール使用のための要件を含める提案が出されています。

GHGの実績

IMOによると、業界の研究では、メタノールからのライフサイクル窒素酸化物（NO_x）および硫黄酸化物（SO_x）の排出量が、それぞれ従来燃料の約45%と8%（単位エネルギー当たり）であると示唆されています。メタノールのGHG排出実績は、原材料および生産に使用されるエネルギー源によると思われる。

天然ガスが原材料として使われる場合は、well-to-tankのGHG排出量が高くなるため、well-to-propellerの排出量は従来燃料より若干多くなると考えられます。

安全性

低引火点メタノールガスの特性・特徴を理解することは、メタノールを船舶用燃料として使用する際の安全上の危険要因を把握するために、非常に重要です。

メタノールの貯蔵・輸送・燃焼に関わる危険要因には、低温輸送、高圧貯蔵タンク、および可燃性ガス等があります。メタノールは腐食性と毒性も有するため、窒息を引き起こす可能性があります。

危険毒性物質として、大量の暴露が死につながる可能性があります。腐食性があるため、皮膚や眼の接触によって炎症が起こったり、低温状態のメタノールに接触すると皮膚に火傷を負う可能性もあります。

メタノールは可燃性の液体で、液化ガスのように急速に蒸発しません。蒸気は空気中の割合が6~26%であれば引火性で、発火源に導入されます。

メタノールガスの自然発火温度は440°Cで、この温度では、表面温度等級がT2である電気機器が必要になります。

メタノールの蒸気は空気より重いため、漏洩は、ビルジやスペースの低い部分に蓄積する傾向があると考えられます。したがって、二重防護壁や機関区域内での換気装置の設置場所や検知装置の配置に対し、特別の注意が必要です。



アンモニア

窒素と水素の化合物で、大気圧および常温下で、無色のガスとして自然界でよくみられます。

75年にわたり陸上で内燃機関の燃料に使われてきましたが、アンモニアは海洋推進の分野では開発の初期段階にあります。現在、アンモニアを使用している船舶はありませんが、アンモニア燃料用エンジンは開発中で、燃料電池での使用も模索されています。

アンモニアの燃焼では、温室効果ガス (GHG) や他の汚染物質を従来燃料と比べて大幅に削減することが可能である一方で、アンモニア製造時のGHGへ排出量を鑑みても、その使用は若干優れています。

アンモニアは、二酸化炭素 (CO₂) フリーの代替バンカーになる可能性があります。生産には再生可能エネルギーを使う必要があります。コストがかかります。さらに、エンジンの燃焼には、アンモニアは通常、燃料促進剤が必要で、促進剤を使用することで、全体のカーボンフットプリントが増加する可能性があります。

技術

アンモニアは、二番目に広く使われている化学物質で、肥料、医薬品、精製水の生産、および他の多くの化学的施用を支援します。天然ガス等の化石燃料を原材料として、または再生可能エネルギーを使つての生産が可能です。

無炭素アンモニアの一つの形態は、水素を発生させる再生可能電力によって生産され、その後アンモニアが、水素を大気中の窒素と組み合わせるHaber-Boschプロセスによって生産されます。

高圧下では、アンモニアは液体になり、輸送・貯蔵がより容易になります。大容量の場合、LPGキャリアでの輸送が可能で、沸点は-33°Cです。

アンモニアの典型的な発熱量は、メタノールの発熱量に類似しています。多くの代替燃料と同様に、エネルギー集約度が燃料油より低いため、同一のエネルギー含量を生み出すためには約2.4倍の容量が必要になります。

適用

アンモニアは、触媒によってパーク点火システムまたは圧縮点火システムを使用する内燃機関に、触媒によって亀裂することで、燃料として使用することが可能です。水素はアンモニアとともに発火・燃焼し、水、窒素および窒素酸化物 (NO_x) を発生させます。

現在、エンジンメーカーのうち一社だけがアンモニア燃料を提案しています。その低速火災速度および燃焼固有の問題により、点火を達成するには、高い比率の通常のパイロット油燃料が必要になります。アンモニアのオクタン価は重燃料油 (HFO) より高いので、高圧縮エンジンでの使用が促される可能性があります。エネルギー集約度はガソリンより低いです。

燃料特性

Chemical Composition	NH ₃
Boiling Point, °C 1 bar	-33
LHV, MJ/kg	22.5
Auto Ignition Temp, °C	630
Flammable Range, % vol in air	15-33.6%
Energy Density, MJ/lt	15.7
Volume Comparison HFO (Energy Density)	2.55
Carbon Content	0
Carbon Content Reduction (Compared to HFO)	100%
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh	0
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh Reduction (Compared to HFO)	100%
Low Flashpoint Fuel	No

燃料電池

水素燃料電池への供給装置としてアンモニアを利用することへの関心が高まっています。一旦亀裂が入ると、アンモニアからは、電池が電力を産み出すのに十分な量の水素が発生します。一部のタイプの燃料電池は内部で、投入前に水素と窒素を分離することなく、アンモニアで直接稼働するように改質することができます。

貯蔵

アンモニアは高温下または低温下で液状を維持します。工業規模の貯蔵には、エネルギー保有には低温が使われます。しかし、この選択肢は、鋼鉄が多く使われる加圧方式よりも資本コストが少なく済みます。アンモニアはまた、同量のエネルギーを生み出すのに、HFOに比べ約2.5倍のタンク容量が必要です。

輸送

アンモニアは陸上でも海上でも、パイプライン、船舶、トラック、鉄道を使って輸送が可能です。海運では液状・ガス状を問わず、比較的大容量の輸送が可能です。道路輸送・鉄道輸送は安全性と簡索性から加圧貯蔵容器を用いますが、その重量、すなわち容量には限度があります。





NH₃

課題

現在のところ、アンモニア燃料は海運業界にとっては採算性がとれていません。その利用範囲を専用アンモニアキャリアから発展させるためには、大規模生産が必要になるでしょう。工業規模の容量のアンモニアを生産するのは困難で、費用が掛かります。肥料業界にはインフラが存在していますが、海運業界にはありません。

他の代替燃料技術と同様に、アンモニアを燃料使用するための生産・加工技術は精緻化されておらず、HFOの場合より費用がかかります。船主が船舶推進に利用する前に、主要な船内装置の改造が必要になるでしょう。

内燃機関に使用される場合、アンモニアは水、窒素、未燃アンモニアおよびNO_xを発生させます。その燃焼はカーボンフリーですが、燃焼から発生する副産物の管理が、主な環境的課題となるでしょう。

ディーゼルサイクル内で稼働する内燃機関からのNO_xアウトプットを管理するために、選択還元触媒装置 (SCR) または同等の措置が必要になるでしょう。しかし、アンモニアはSCR内で基本反応物なので、緩和装置がディーゼル設置よりも効果的となるでしょう。

アンモニアは、炭酸マンガ鋼またはニッケル鋼で作られた格納・燃料供給システムに亀裂を引き起こす可能性があるため、特別なシーリング材が必要になる可能性があります。

アンモニアは液状の場合は可燃性とみなされず、着火できませんが、急速に蒸発し、蒸気の大気中の割合が15~34%に達した際には可燃性となります。

アンモニアガスの自然発火温度は630°Cで、この温度では表面温度等級がT1である電気装置が必要になります。

タンクに熱が断熱材を通して侵入するため、アンモニアは常時蒸発してボイルオフガスを発生します。そのため、管理維持がなされていないと、タンク内圧は上昇します。

GHGの実績

再生可能な電力源によって合成される場合、アンモニアはカーボンフリーで、そのプロセスもカーボンフリーです。水素と同様に、二酸化炭素貯留や再生可能エネルギーの「グリーンな」手法を使って化石燃料からの生産が可能ですが、これらの手法は共にコスト競争力に影響を与える可能性があります。

カーボンフリー技術を使って十分な量のアンモニアを生産できれば、アンモニアは、IMOの2050年GHG削減目標の達成に向けた経路となる可能性が高いです。

安全性

アンモニアガスの特性・特徴を理解することは - 低温使用、加圧貯蔵タンク、可燃性ガス、腐食性・毒性のある原材料との関係動作を含め - アンモニアを船舶用燃料として使用する場合の安全上の危険要因に対処するための鍵となります。

アンモニアは毒性・腐食性があり、接触すると炎症、失明および死をもたらす可能性があります。急速に吸引すると鼻、喉および胸部上部に火傷を引き起こします。

低温アンモニアに誤って接触すると、皮膚に火傷を引き起こす可能性があります。

水素



水素は元素としては豊富に存在しますが、他の化合物の一部として見つけられる場合がほとんどで、船舶用燃料として使用できる前に、分離が必要になります。分離後は、たとえば、電気化学的プロセスを利用して電気を産み出すために、燃料電池内で空気中から得られた酸素と一緒に使用することができます。

水素の約95%は天然ガスや石油等の化石燃料から生成されます。

現在利用可能な船舶用燃料のなかで、窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x) および粒子状物質の燃焼アウトプットの面では、最もクリーンな燃料です。同時に、再生可能エネルギーによって生産される場合には、温室効果ガス (GHG) の排出はほぼゼロです。

船舶推進に向けた使用を促進し、国際海運における持続可能な輸送オプションとしての役割を評価するために、多くの実証実験が行われています。しかし、現行の使用方法では、提供できる電力アウトプットは極めて限られており、水素の生産には非常に大きなエネルギー消費が必要で、高価であり、大規模利用は不可能です。

技術

水素の最大の消費者は化学業界と精製所で、世界の生産量の90%以上を使用しています。これらの産業では水素は燃料としてではなく、関連プロセスでの反応剤として使われます。

水素は、複数のプロセスを経て発生が可能ですが、主に天然ガスの熱処理によって作られます (約95%)。当該プロセスが幅広く採用されるにはコストを含め、いくつかの大きな障壁が存在しますが、クリーンな生産が模索されることから、電気分解および再生可能性が重要な経路になります。

最も一般的な水素生産の形態は、高温蒸気を使用するために、時にスチームメタン改質として知られている天然ガスの改質です。蒸気と熱に暴露されると、メタンの炭素原子が分離し、その後、天然ガスを必要とする作業によって水素と二酸化炭素を別々に発生します。これらの資源から生産される水素燃料はIMOの2050年GHG排出削減目標を満足しませんが、メタノール等の再生可能液体を改質することも可能です。

石炭のガス化プロセス (バイオマスも使用する可能性あり) には、主に石炭と水が必要です。化学反応炉において極高温 (1200~1500°C) で燃焼されると、石炭は、水素と一酸化炭素を分離・産出するガスを放出します。

水素はまた、電気を使って水を電気分解することでも生産が可能です。電気によって水が酸素と水素に分解されます。この手法は、化石燃料によって電力供給される場合は、排出効率が比較的低くなりますが、再生可能エネルギーによって電気分解するならば、最良のソリューションになり、ほぼゼロ炭素のフットプリントを提供します (太陽光電池等、再生可能エネルギー技術の製造に向けて生産される炭素を除く)。

燃料特性

Chemical Composition	H ₂
Boiling Point, °C 1 bar	-253
LHV, MJ/kg	120.2
Auto Ignition Temp, °C	535
Flammable Range, % vol in air	4-74%
Energy Density, MJ/lt	9.2
Volume Comparison HFO (Energy Density)	4.33
Carbon Content	0
Carbon Content Reduction (Compared to HFO)	100%
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh	0
CO ₂ , kg CO ₂ /kWh Reduction (Compared to HFO)	100%
Low Flashpoint Fuel	Yes

電気分解関連の他のプロセスが模索されています。たとえば、「高温水分解」で、太陽光集光機や原子炉で発生する熱を使い、水素を産出する水分解をもたらす化学反応を起こします。また、「高生物学的水分解」では、太陽光の下で水を消費する緑藻類等の微生物を使い、副産物として水素を産出します。「光電気化学的水分解」では、高電気化学システムを使い、特別な半導体と太陽光エネルギーを利用して水から水素を産出します。

適用

船舶用燃料として、現行の限られた適用においては、水素は、ピストンエンジンまたはガスタービン内での燃焼による発電用に使われるか、燃料電池用の燃料として直接使用されるかのどちらかです。

内燃機関

水素は、内燃機関では燃料として使用されますが、燃料電池での使用に比べ、効率は大幅に低下します。通常、炭素系パイロット燃料と組み合わせて使われるので、純排出量が増加します。完全燃焼型代替燃料で、化石燃料の代替品としての、今後も関連技術に関する研究が続けられるでしょう。

燃料電池

水素燃料電池の最も一般的なタイプは、プロトン交換膜（陽子交換膜）ですが、他のタイプのものも多くあり、それらの詳細はABS Advisory on Hybrid Electric Power Systemsに記載されています。

課題

貯蔵

水素は、圧縮ガスまたは液体として貯蔵され、船舶用燃料としてより広く採用されるには、関連貯蔵技術の進歩が鍵となります。ガス形態では貯蔵に高圧タンクが必要で、容積密度が低いことから貯蔵タンクは大型になり（従来燃料のタンクサイズの約4倍）、重く収容が困難になります。液体形態では、小型タンクが可能ですが、 -235°C の極低温に耐性がある必要があります。閉鎖空間での漏洩は、急速に窒息を引き起こすため、貯蔵システムの設計と適用の際には、適切な材料、換気、漏洩探知を考慮する必要があります。



© Hydrogenics



水素の発熱量は、すべての可能性のある燃料のなかで最も高いですが、単位体積当たりのエネルギー密度は、液体形状にあっても、水素蒸気よりも大幅に低くなります。たとえば、ディーゼルと同一のエネルギー含量を生み出すには、約4.1倍の水素容量が必要となります。現在、純水素の圧縮貯蔵や液体貯蔵は、小型船舶においてのみ実用可能であるように見られるかもしれませんが、エンジンメーカーは現在、外洋航行船における使用に向けた技術を模索しています。

輸送

水素の輸送は、貯蔵と同様の問題があります。分子のサイズが小さいことから、可燃性ととともに、漏洩が起こる可能性が高くなるため、輸送が難しくなります。多くのオプションの評価が行われていますが、配送を担保するためには、効果的な輸送とロジスティクスの開発が船舶用燃料として採用する鍵になります。

規制と基準

水素の船舶用燃料としての使用はIGFコードが取り扱っていますが、船舶用燃料としての利用が初期段階にあるため、IMOは現在、水素に焦点を当てた要件を作成していません。燃料として、IGFコード下では代替設計として扱われ、同等の審査が必要となるでしょう。

漏洩/危険要因

水素は最も小さな分子によって構成されていますが、そのような分子が含まれている分、技術的に扱いが難しくなります。容器の壁を抜けての透過率が高いことが明らかになっているため、どのようなシステムでも漏洩を想定する必要があり、システムの設計には換気と空間構成を重視する必要があります。漏洩によって重質な凝縮が形成され、それにより火災の危険性が生まれるので、液体形態では、鋼構造物が脆弱化します。

再生可能生産 VS 標準生産

水素を標準的エネルギー集約的に炭化水素から生産すると、炭化水素の使用により純GHG削減量が削減されます。再生可能資源へ推移すれば、水素から最大の効果を引き出すことができるでしょう。

経済的実現可能性

水素の生産・加工の技術はエネルギー集約的で、化石燃料の燃焼時よりも多くの純GHG排出量を発生させる可能性があります。再生可能性への推移と追加技術の開発によって、水素の実現可能性は高まるでしょう。

社会の認識

水素は爆発性で、他にも安全上の問題があるため、社会一般の懸念に対処する必要があるかもしれません。

GHGの実績

水素の燃焼は炭素を含まず、再生可能な電力から合成されるならば、ほぼ無炭素プロセスで、水と電気により発生した水素を使用した主要製品は、燃料電池です。しかし、標準的メタン改質によって産出される場合、純炭素生産量は従来燃料より悪化する可能性があります。

安全性

安全面での主要課題には、安全な格納の確保、乗員へのリスクの特定、船舶の物理的レイアウト、運航および保守に関連した危険要因などがあります。水素の格納・貯蔵は安全面で、陸上・海上の従業員と大きく関わっています。窒息や爆発は特に注目されているリスクの一部です。

利用者にとって、水素の大規模な物理的レイアウト、運航、保守、移動および輸送に関連した危険要因を測定するにはかなりの量の作業が必要になるでしょう。船内の換気、警報装置および防火戦略 - そして漏洩の可能性とその影響を抑えるための他の対策 - は、広範囲にわたるリスク評価後に、水素に特化した資産に対しデザインを行う必要が出てきます。



バイオ燃料

バイオマスは再生可能燃料源で、船舶用燃料としての使用が、エネルギー生産のカーボンニュートラルな手法とみなされる可能性があります。その理由は、バイオ燃料の生産に使われる有機物質はそのライフタイムに、燃焼時に放出する量とほぼ同量の二酸化炭素 (CO₂) を吸収するからです。バイオ燃料は、主に食糧や餌には不向きな有機物質から生産されますが、通常の食糧生産に割り当てられる耕作地を減らす可能性があることが懸念されます。

一部のタイプのバイオ燃料は温室効果ガス (GHG) 削減を後押ししますが、窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x) および粒子状物質に関しては、バイオ燃料は究極的には「よりクリーンな」燃料とは言えない可能性があります。International Transport Forum (ITF) の最近の報告書では、原料の栽培時に炭素が吸収されるため、たとえばバイオディーゼル生産の標準的手法では、従来燃料と比べGHGを70~80%削減可能ですが、酸素含量が高いため、NO_xの排出量が若干増えると述べられています。

バイオ燃料が将来の需要を完全に満たすことが可能かどうかについては疑問があり、ITFが使用した保守的な見積もりでは、これらのタイプの燃料が提供できるのは、世界の船舶の一部に過ぎないのではないかと示唆されています。

技術

第1世代: バイオ燃料は原料を、トウモロコシ、大豆、サトウキビ、でんぷん、植物油、動物性脂肪、および生物系廃棄物等、油脂の生産用に加工される食用作物に頼っています。最も一般的なバイオ燃料には、バイオディーゼル、バイオガス、バイオアルコール、合成ガスおよび植物油があります。

しかし、世界人口の増加予測 (国連によると、2000~2050年の期間に60%増加して約98億人になる見込み) に伴って、実行可能な食糧や耕作可能地への需要は増大すると予想されます。第1世代のバイオ燃料の生産能力を削減する提案 - たとえば、欧州では、2020年に発効される規制では備蓄食糧から作られる割合を7%に制限 - は、業界の取り込みに影響をもたらすでしょう。

第2世代: バイオ燃料はリグノセルロースバイオマスから生産されます (スイッチグラス、樹木、低木およびトウモロコシの茎等、セルロース、ヘミセルロースおよびリグニンから成る乾燥植物)。熱化学燃料およびバイオ化学燃料生産処理を含め、加工技術の改善により、「高度なバイオ燃料」として知られています。

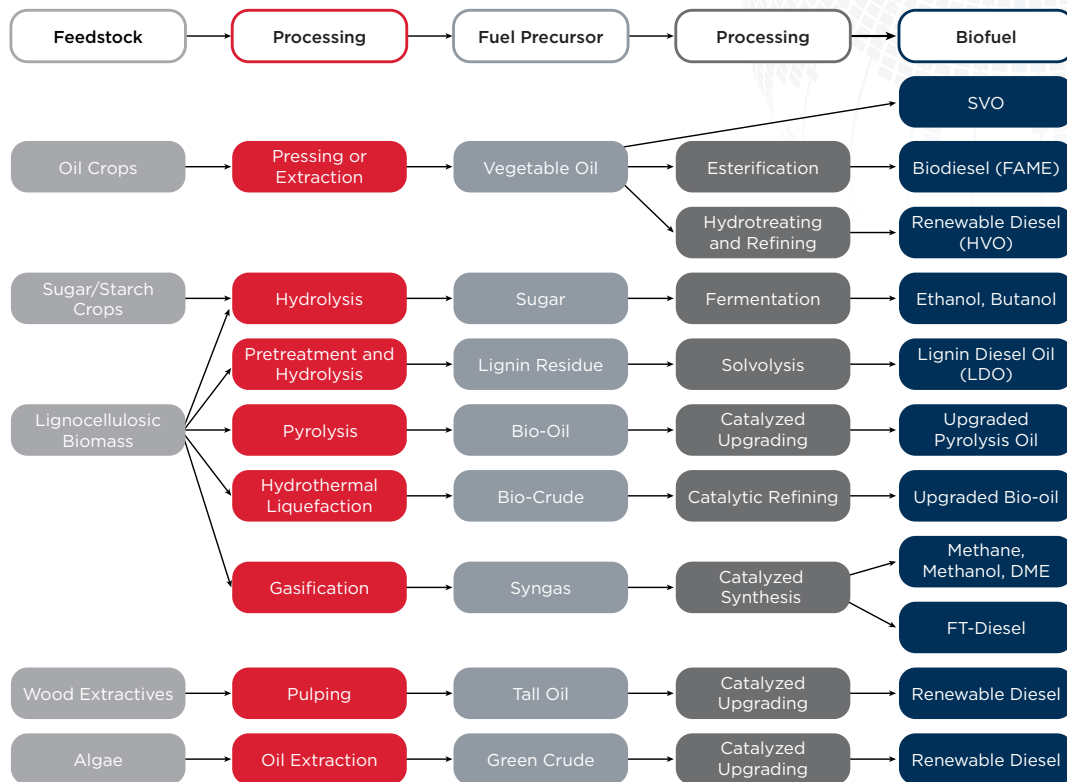
第3世代: バイオ燃料は藻類から作られます。藻類は他の原料よりも少ない資源でより多くの収穫が見込まれます。バイオディーゼル、ブタノール、ガソリン、メタン、エタノール、植物油およびジェット燃料はすべて、藻類から生産が可能です。これに関連した活動のほとんどは、今なお研究段階にあります。

第4世代: バイオマスの派生物と違い、エレクトロバイオロジカル燃料やフォトバイオロジカルソーラ燃料等の、第4世代のバイオ燃料の生産では、食料生産に必要な耕作可能地の争奪はありません。

適用

バイオ燃料はすでに、輸送、発電および熱の分野において利用されています。大規模な研究により、バイオリファイナリーと様々な原料の可能性が探究されています。船内試験では、処理装置とエンジンへの高価な改善が押さえられる、バイオ燃料と化石燃料の混合 (「ドロップイン」燃料として知られる混合物) が調査されています。

ISO8217(2017)の最新の仕様書では、蒸留燃料油中の脂肪酸メチルエステル (FAME) の比率を7%に制限するよう奨励しています。バイオ燃料の提供に関する、燃料油の初期業界基準を作成しています。一部の港湾では低炭素燃料へのインセンティブを提供しており、一部の企業では現在、船舶をバイオディーゼルのシフトする実現性を模索しています。



© IEA

課題

バイオ燃料の安全性と信頼性を裏付ける経験とデータは最小限に限られています。他の障害は、以下の通りです。これらの問題点の一部は、時間と共に技術が進化し生産コストが下がるにつれて消えていく可能性があります。

貯蔵

バイオ燃料は、貯蔵中に（数か月間で）酸化・劣化する傾向があります。バイオ燃料は水よりも速く劣化が進み、油流出にプラスの影響があるのは事実ですが、長期間の貯蔵には負の影響をもたらします。バイオディーゼルの劣化では、腐食性が非常に高い硫化水素が産出される可能性があります、スチール製の貯蔵タンク等の金属を腐食します。

バイオ燃料の混合物は、B100バイオディーゼル（100%バイオディーゼル）の生分解性もあって、微生物の生育から経時的に影響を受けやすい傾向があります。水とスラッジの蓄積を最小限に抑え、微生物の活動を助成する諸条件を生み出すリスクを減らすために、タンクの適切な排水（最低1日2回）が奨励されます。

B100（100%バイオディーゼル）は、従来のディーゼル油燃料よりもずっと速いペースでワックスを形成する傾向があるので、貯蔵温度を常に監視する必要があります。グッドプラクティスとしては、流動点より10°C高い温度を維持し、燃料タンクを船内の寒冷区域から距離を置いた場所に配置することです。

燃料特性

バイオディーゼルにおいて、燃料の潤滑性、電導度、導伝性・腐食性は懸念すべき領域です。長年の間に酸化により潤滑性を失いやすく、基幹構成要素に摩耗が生じる可能性があります。電気伝導性が静電気を起こす可能性があるため、帯電防止剤が必要となる可能性が高いです。腐食性によって、タンクやパイプラインを保持するスチールが経時的に弱体化する可能性があり、その結果、貯蔵と輸送を損なうことになります。

酸度の高いバイオ燃料は、エンジン部品に摩耗を高める可能性があるため、運航者が、従来型のエンジン内にFAMEの使用を検討している場合は、エンジンメーカーに助言を求める必要があります。



コモンレール噴射システムについては、再循環される燃料の加熱・冷却サイクルが頻繁で水の蓄積を生みやすいことから、特別な注意が必要になります。一般的に、バイオ燃料を使用する前に、エンジンメーカーに相談する必要があります。

Properties and Indicative Prices

Properties	HFO	MDO	LNG	FAME	HVO	Ethanol	Methanol
Heating Value (MJ/kg)	39	43	48	38	43	27	20
Sulfur (% m/m)	<3.5	2	0	0	0	0	0
Price (USD/Mt)	290	482	270	1040	542	503	464

コスト

バイオ燃料を生産する比較的複雑なプロセスはコストを増大させる可能性があります。現在、バイオ燃料の生産が化石燃料と競合するのは無理があります。椰子、大豆、菜種等の第1世代のバイオ燃料でさえ、比較的高価で入手可能性が限られています。

生産

どの世代のバイオ燃料であれ、その生産には、様々な原料と種々の化学反応および精製プロセスが必要です。バイオ燃料の工業的生産に特化して設計されたプロセスよりむしろ、共通反応プロセスが利用される場合が多くあります。多くの原材料と、生産プロセス、試験および基準化が要求されます。

原料の入手可能性

国際海運のニーズを満足させるためには、ますます限られてくる農業資源を巡り競合して原材料を得、バイオ燃料を工業的規模で生産する必要があります。量産体制にないため、バイオマスの供給は信頼性を欠き、地理的に限定・循環され、環境条件に左右される可能性があります。

食糧安全保障への要求が増すにつれて、原料の適切な使用と農業資源についての疑問がエスカレートする可能性があります。他の関連課題としては、一般的なエンジニアリング、水の入手可能性と汚濁、肥料効果、および生物学的多様性等があります。

GHGの実績

化石燃料に類似した特性をもつバイオ燃料を燃焼すると、CO₂アウトプットを純削減させる可能性があります。これは、バイオ燃料の生産では炭素集約的プロセスが比較的いためです。しかし、木材等のバイオマスは通常、化石燃料と同等のエネルギーのために、より多くの温室効果ガスを排出します。

バイオ燃料の硫黄分は非常に低く、2020年要件に適合し、排出ガス洗浄システムの需要が排除される可能性があります。

したがって、一部のバイオ燃料を化石燃料への代替として使用すると、GHG効果を減らし、いかなる損傷をも排除する可能性は極めて低いです。

炭素捕捉と合成燃料

海事産業が低炭素海運を目指した針路を示す中、今後予測される影響力のあるエネルギーミックスが引き続き、中期的に炭素系燃料に関して大きな役割を果たすと思われる。もしこの予測が正しければ、IMOの温室効果ガス（GHG）2030年と2050年目標を達成するためには、炭素捕捉、貯蔵（CCS）技術および合成燃料の海洋利用を急速に開発する必要が示唆されます。

炭素捕捉

炭素捕捉には、収集、輸送および貯蔵二酸化炭素排出が関係します。また、捕捉技術そのものが低炭素への代替ソリューションと見なされ、炭素系燃料（発電機、工業プラント等に使用）の燃焼からの二酸化炭素（CO₂）を捕捉し、燃焼によって作り出された他の物質からCO₂を分離することで、これらの排出源からの排出を管理します。

捕捉は燃焼の前または後に起こります。燃焼前プロセスは、燃料電池で使用する水素を発生させるために使用する改質プロセスに類似したプロセスによって、炭素系燃料（個体、液体および気体）から水素とCO₂を発生させます（ページ47を参照）。

燃焼後のプロセスは、溶媒や触媒の使用やフィルター処理、CO₂吸収以外の分離等の手法によって、CO₂を他の燃焼生成物から分離させます。

業界の枠を超えた適用

発電所や工業プラントで、輸送および貯蔵用に選ばれるオプションは、利用可能なスペースの広さに基づいています。多くの業界で、CO₂は何十年にもわたり安全に輸送・使用されており、船舶、トラックまたはパイプラインによる移送が可能です。

現在、永久貯蔵の場所としては、安全で適切な地下が求められています。CO₂注入のプロセスは、オフショア業界では確立されており、強化回収法として使われています。吸収を最大にするために、貯蔵場所は深度、気圧および気温を基に選ばれます。

一般に、CCSに関する規制と方針の大部分は策定中ですが、欧州では早期に採用されているのが注目されます。欧州連合はCCS Directive on Geological Storage of Carbon Dioxideを2009年に施行し、貯蔵に関する規制要件を規定しています。

また、英国のエネルギー・気候変動省では、比較的新しい技術を支援するプロジェクトが進行しています。米国では環境保護局（EPA）が、国内CCS活動を追跡し安全な慣行を確保するための規制の策定に取り組んでいます。

船舶用の炭素捕捉技術

船内での炭素捕捉技術を展開することは可能です。排気ガスからCO₂を吸収・ろ過するための同様の燃焼後オプションが存在しています。CO₂は更なる燃料生産のために、船内で捕捉、貯蔵、陸上への輸送が可能です。

海洋環境における課題は、捕捉したCO₂の取扱いと貯蔵です。このプロセスには、貯蔵用に冷却・液化する場合、ガス状態のCO₂用に大量のスペースと電力が必要になると考えられます。

各船舶にとっての他の課題は、CO₂の最終地間での輸送になると考えられます。この輸送には、各船舶が最終貯蔵に向けて輸送するための港湾施設において、CO₂を放出するためのシステムを保有する必要があります。

合成燃料

「合成燃料」は、構成とエネルギーの面で自然燃料に匹敵する、製造された燃料すべてに適用される用語です。

再生可能合成燃料を開発するための主要プロセスは、水素（水の電気分解によって得られた）と炭素源（バイオマスから、または捕捉されたCO₂から）を結合することです。その生成物、合成ガス（synガス）は、様々な形態の燃料への変換が可能です。

当燃料タイプの主要目的は、カーボンニュートラルな燃料源を提供することです。燃料生産用に捕捉された炭素は、燃焼プロセスからのCO₂排出をオフセットします。

合成燃料は、再生可能な資源からの電力を使って作られた場合にのみ、カーボンニュートラルであるといえます。製造プロセスは極めて高価で、多くの人手を要しますが、技術は進化し続けているので、今後のコスト削減につながり、未来の燃料としての機会が促進されるでしょう。

現在のところ、再生可能合成燃料が海運関連で使用されたという報告はありません。再生可能合成燃料の使用の主要メリットは、既存の船舶装置やシステムに必要な改造が最小源で収まるであろうということです。

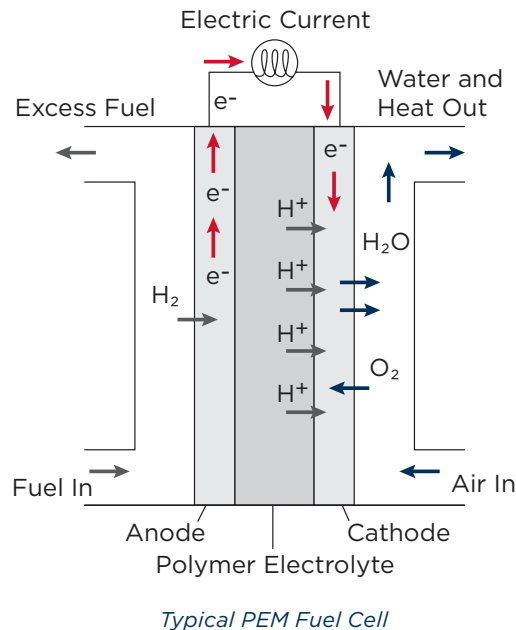
SECTION 3 | 運用、設計および燃料ソリューション

燃料電池

燃料電池は化学プロセスを使い、燃料を電気に変換するもので、バッテリーと違い、再充電する必要がなく、燃料源がある限り電力を発生します。燃料電池は、負電極（陰極）と正電極（陽極）、電解溶液、燃料および酸素系（空気）、電気端子および補助装置によって構成されています。

燃料電池に使われる燃料は通常、水素ですが、メタノールおよびアンモニアも代替燃料として可能です。水素等の燃料は陽極側に供給され、空気は陰極側に供給されます。触媒はノードにおいて、水素分子をプロトンと電子に分解します。プロトン交換膜がプロトンを陰極に配向します。

電子は、外部電気回路を通り抜け、ロードを充電し、プロトンは電解液を通して陰極に行き、そこで酸素（空気）および電子と結合し、熱と水を発生させます。



燃料電池から電力供給を受ける船舶の開発を目指した政府出資によるイニシアティブが数多くあるものの、以下の理由から、関連技術の採用は限定されると思われます。

- ・ 資本コストが比較的高い。政府による出資およびインセンティブプログラムは現在、当該技術を実行可能なものにするを要求されている。
- ・ バンカリングインフラを開発する必要がある。水素へのアクセスは限定されており、メタノールの方がより広く受け入れられている。
- ・ 水素とメタノールは船内にかなりの貯蔵容量が必要である。
- ・ 排出節量を最大にするために、燃料インプットは再生可能である必要がある。

これらの制約を考慮すると、燃料電池は当初は、一次燃料や船舶のエネルギー源としてよりはむしろ、補助的な燃料として使用される可能性があります。

技術

燃料電池のタイプの違いは主に電解液によるもので、通常、以下のように分類されています。

プロトン交換膜型 (PEM) 燃料電池は、電解液に固体ポリマーを使い、白金または白金合金の触媒を含む多孔性炭素電極です。稼働には水素、(空中の) 酸素および水のみが必要で、通常、貯蔵タンクまたは改質装置 (炭化水素またはアルコール燃料から純水素を抽出する装置) から供給される純水素から燃料を得ます。

PEM燃料電池は、通常120°C (248°F) 未満の比較的低温で稼働し、多くの場合、水素の電子とプロトンを分離するのに貴金属(白金)の触媒が使われます、

アルカリ燃料電池 (AFC) は、陽極と陰極において、電解液として水酸化カリウム溶液を触媒として種々の非貴金属を使用します。AFCは、100~250°Cの温度で稼働します。AFCに供給される燃料は、CO₂では燃料電池の性能を低下させる可能性があるため、純水素でなければなりません。

リン酸燃料電池は、テフロン補強の炭化ケイ素マトリックスに含まれる液体リン酸を電解液として、また白金触媒を含む多孔性炭素電極を使用します。当該電池は150~220°Cの温度で稼働し、水素に改質された化石燃料からの不純物への耐性が比較的高いです。

熔融炭酸塩燃料電池は、高温燃料電池で、多孔性で化学不活性なセラミック酸化アルミニウムリチウムマトリックスに懸濁した熔融炭酸塩混合物から成る電解溶液を使用します。

当該電池は600~700°Cで稼働し、天然ガスやバイオガス等の燃料を水素に変換するための外部改質装置は必要ありません。高温で稼働するため、燃料中のメタンや他の軽炭化水素が、「内部改質」と呼ばれるプロセスによって燃料電池内で水素に変換されます。

固体酸化物型燃料電池は、硬質の非多孔性のセラミック配合物を電解溶液として使用します。650~1000°Cで稼働し、白金等の貴金属触媒は必要ありません。燃料を内部で改質するため、天然ガス、バイオガスおよび石炭から作られるガス等、様々な燃料を使用することができます。

海事使用への適用と課題

水素燃料電池は、液体水素および/または酸素燃料電池システムを装備した海軍潜水艦にうまく配備されています。フェリーや小型船への適用も一部では完了しています。

電氣的観点からすると、燃料電池の使用は、海洋環境において配備できる程度まで十分に進化しています。燃料電池をACまたはDC型電気ネットワークに接続するために、パワーエレクトロニクス変換装置はすぐに利用可能で、電圧、周波数調整および負荷分担を提供するようにプログラム可能です。燃料電池のパワーアウトプットは1キロワットから数メガワットまで幅があり、さらなる電力供給できるような統合が可能です。

燃料電池の設置に関する規範的要件を提供する海事規制はありません。海上・オフショアでの設置の検討は主として、特定の設計やシステムの設定に関連したIMO規制、IACS要件および業界基準を組み合わせ、リスクベース研究でなされています。IGFコードは現在、燃料電池システムに関する要件に向けて、修正が行われています。

課題

コストの増加

燃料電池システムは、内燃機関より2～3倍高価になる可能性があります。現在のところ、多くの燃料電池システムは陸上で組み立てられ、白金のような高価な触媒が必要です。しかし、より安価な触媒の使用と大量生産が普及してきており、販売数の増加に伴い、価格は低下すると思われます。

重量の増加

燃料電池、サポートシステムおよび燃料貯蔵の重量の合計は現在、比較可能な燃焼機関システムの重量より大きいですが、燃料電池システムは一般的に、比較可能なバッテリーシステムより軽量です。

複雑性の増加

燃料電池は複雑なサポートと制御システムが要です。サポートシステムには、気化器、改質装置、燃料浄装置、ポンプ、熱交換装置、電力変換装置等が含まれることもあります。

非伝統的な燃料に精通していないことや、安全性、揮発性および危険エリアに対する懸念から、そして動的荷重の大きな変化に対処するためのエネルギー貯蔵の統合が必要となる可能性がある燃料電池の比較的低速なダイナミック応答とあいまって、複雑性が増大しています。

バンカリングの利用可能性

気体・液体水素または他の水素資源（LNG、メタノール、アンモニア等）用のバンカリングステーションは限られているため、これらの燃料は多くの場合、現場への輸送が必要です。海運業界において広く受け入れられる前に、燃料電池への電力供給に向けた燃料用の生産・流通ネットワークを開発する必要があるでしょう。

GHGの実績

燃料電池は、使用時にゼロ排出の電力を提供しますが、複数のフィーダー燃料を保有します。

燃料電池のタイプによりますが、燃料電池の導入や内部導入の前に、改質 - 炭化水素やアルコール燃料から純水素を抽出するプロセス - が必要です。

燃料源として水素を使用する場合、水素燃料はカーボンフリーで（再生可能電力によって合成される場合）で、副産物は水と電気のみです。他の多くのフィーダー燃料を使うため、海洋エネルギー用に燃料電池を使用する際のカーボンフットプリントは増加すると思われます。

安全性

燃料の管理、人員へのリスクの特定、船舶の物理的レイアウトに関連した危険エリアの管理、運用と保守のすべてが、燃料電池システムに関わる重要な安全性の問題です。有害物質への暴露、窒息および爆発は、比較的注目される乗組員へのリスクの一部です。

空気より軽い水素、メタンおよび他の気体燃料（プロパンは空気より重い）の場合、危険エリアの創出を避けるために、特別な換気装置の配置が必要です。多くのタイプの燃料電池では、供給される非水素は、燃料電池への導入前に外部で水素および他の副産物に改質されるため、（改質装置から電池まで）燃料システムの水素の割合については、特別な考慮が必要となります。

他の問題点は、空気流や排圧の許容範囲等、吸気・排気に関する安全要件の識別にあります。



バッテリー

エネルギー貯蔵システム (ESS) により、現在、化石燃料によって電力供給されている船上発電機を補足・置換することで、船舶は余剰エネルギーを後日使用のために貯蔵することができます。主要なタイプには、電気化学的 (海運業界において現在最も普及している高度貯蔵技術であるリチウムイオンバッテリー等)、電氣的 (スーパーコンデンサ) および機械的 (フライホイール) があります。

現在、海洋用途において広く使われているのはバッテリーのみで、しかもその用途は、極めて短距離を航行する小型船舶において主な電力源として使われているだけです。技術は引き続き改善されていますが、コスト・重量・スペース要件や充電時間、耐性範囲によって、一日以下の航行をする船舶を除き、中期的には使用が阻まれる可能性があります。

技術

どのタイプのESSを使うにしても、エネルギー貯蔵装置 (電池、モジュールおよびパック)、冷却装置、変圧器、電力変換措置、特注ケーブル、制御・監視装置のための資本コストが追加されます。

技術は一般的に、エネルギーの貯蔵方法、充電スピードまたは放電プロセスにおいて異なり、充電時間ごとの貯蔵容量、劣化前の充電・放電サイクルの回数、およびエネルギー保持可能時間において異なります。

リチウムイオンバッテリーは、急速に進化しつつある技術で、他の間欠的なグリーンエネルギー (風や太陽光) および従来燃料との協働が可能で、カーボンフットプリントの低い、柔軟性のある堅固な発電設備を提供します。

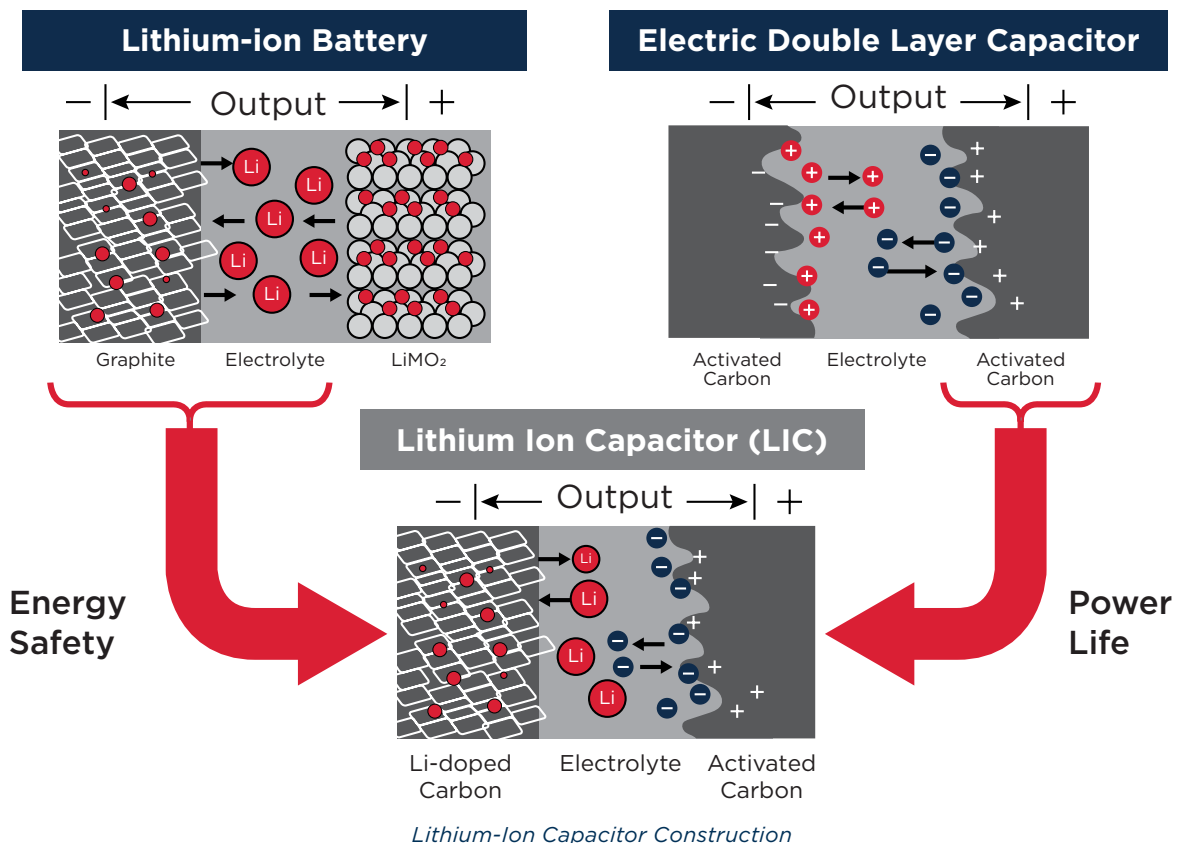


Image courtesy of JSR Micro, Inc.



リチウムイオンバッテリーシステムの主要要素はリチウムイオン電池で、電池内で電気化学的反応によりエネルギーが吸収・放出されます。当該バッテリーは、他のバッテリータイプに比べ、水素ガスのゼロ排出および、より高いエネルギー集約度（重量・スペース要件は低下）、保守の低減、および他のエネルギー貯蔵オプションよりも低い内部抵抗（高効率）を提供します。

リチウムイオン電池は、運用プロファイルや環境条件によりますが、寿命（約10年）がある限り充電・放電が何回もできます。

スーパーキャパシタは電場にエネルギーを貯蔵しますが、そのエネルギー容量は、電極部に使われる材料、構造、配置に直接関係してきます。その商業的利用は比較的新しく、電極材料の開発によって可能となっています。

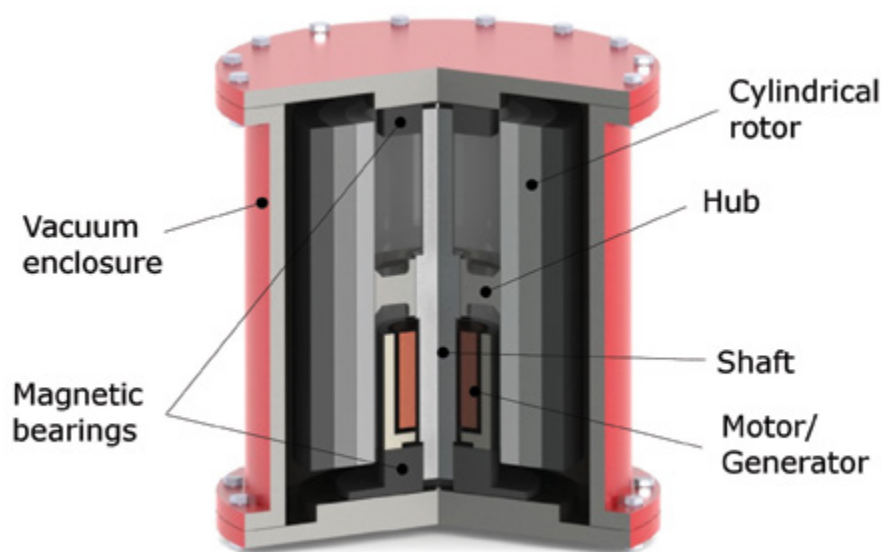
スーパーキャパシタは、著しく高い出力密度、高い充電・放電プロセス、および高いサイクル数により、バッテリーより効率が良い可能性があり、バウスラストに必要な高電力や「パルス」電力の高速提供に適切となり、発電機・モーターおよびオフショアのヘビーリフティングをスタートさせます。

フライウィルはエネルギー貯蔵装置（フライウィル）から成る回転組立台で、機械的またはマグネット電気的エネルギー転換装置です。エネルギーは回転組立台にキネティック型式で貯蔵されます。現在、商業海洋船舶で、フライウィルESSを搭載した船舶はありませんが、当該技術は、掘削装置上のヒーブ補正システムにおいて利用される可能性があります。

一般的に、高度エネルギー貯蔵技術 - 主にリチウムイオンバッテリー - は徐々に、従来のバッテリー（鉛酸、ニッケルカドニウム、アルカリ等）に取って代わろうとしています。高度エネルギー貯蔵技術は通常の操作において、可燃性ガスを排出せず、圧倒的に高いエネルギー密度（重量を低減）、高い比エネルギー（カーボンフットプリントを削減）、はるかに長い貯蔵寿命を保有しています。

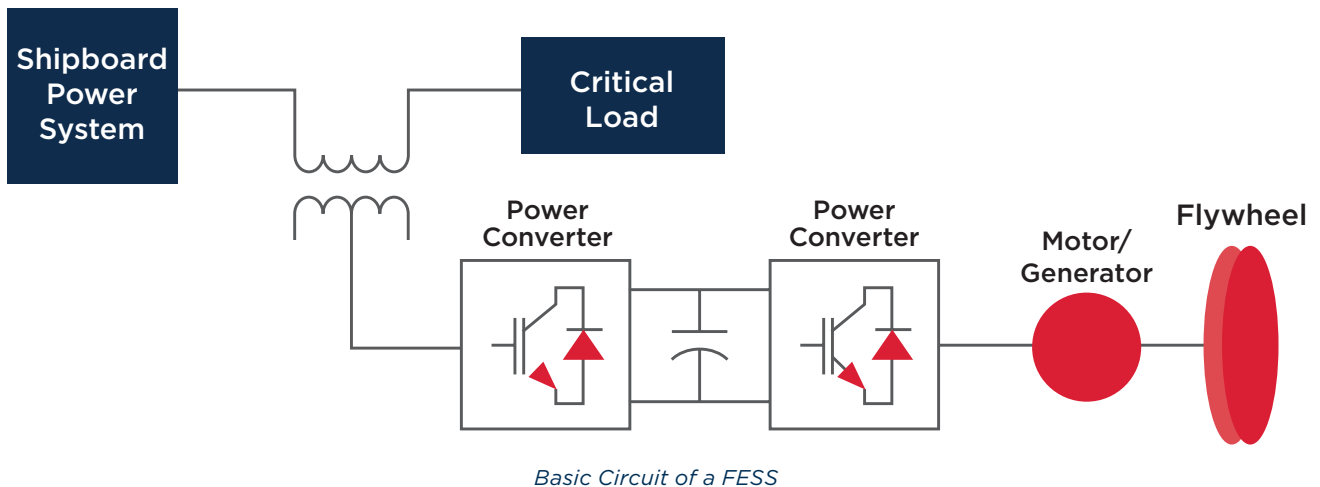
適用

現在のエネルギー集約度では、ESSは未だに長距離航行船舶において内燃機関に取って代わってはいませんが、地域のフェリー航行や排出制御区域内を定期航行する調査船の主電力源になっています。



Cross-Section of a Typical Flywheel Enclosure

© Pjrensburg/Wikimedia Commons



ハイブリッド利用では、ディーゼルエンジンで運航される自動船位保持装置と増加する電力需要への補足的な役割を果たしており、騒音を低減し、保守を簡素化します。従来のエンジンの補助機能を担うハイブリッド利用には、- すなわち、入港中のデッキ上の機器の稼働、または電力要件における突然の変動を支援 - 温室効果ガス(GHG)の相対的なメリットがあります。

ESSはゼロ排出、省エネルギーの技術で、環境規制が強化されるなか、海洋産業の内燃機関への依存の低減が可能です。陸上から、または海上で、船舶が生み出す余剰電力による充電が可能となる融通性があります。

課題

ESSのサイズ設定は、各船舶にとって非常に重要で、運航プロファイルや予想電力需要、スケジュール、距離、システムの保守コスト、重量と体積、排出削減目標によって決定されます。

コストと規模

省エネルギー性能と投資額とのバランスは綿密に扱う必要があります。バッテリーシステムからの電力によってのみ推進される船舶においては、搭載コストがバッテリーの必要数によって大きく影響を受けます。

従来の動力用に設計された船舶においては、動力伝達装置や燃料タンクが電力推進システムのバッテリーや補助装置、機関用のスペースを十分に保有していない可能性があります。新たな搭載場所やバッテリーシステムの重量を反映して、船体構造を設計し、安定性を再計算する必要があるかもしれません。

フェリーのような小型船舶においては、運航距離が限られており、標準的な港湾インフラにおいて運用されるため、ESSリチウムイオンバッテリーの利用が、普及しています。

それより大型の船舶の場合には、運航距離が長くなることから、より広いバッテリー収納スペースが可能ですが、従来型の動力を使った船舶に比べ、バッテリー貯蔵スペースが貨物満載状態での能力に制約を課す可能性があります。

ESSが補助推進動力を提供するハイブリッド利用の場合は、バッテリーコストは相応に削減され、主要電機プラントのサイズ設定計画も、運航プロファイルに従って同様に修正される必要があります。



運用上の問題

バッテリーの充電中、船舶のAC配電システムにおいて、ESSと配電網間のエネルギー移送が効率的ではなくなる可能性があります。

ESSを再生可能エネルギーと統合し、原動機の効率的な稼働につなげるために、直流電流の配電用の新たな技術を電力推進システムに導入する必要があるかもしれません。これには、一部の装置およびシステムの防護方法についての完全設計が要求される可能性があります。

電力およびバッテリーの充電が入港中に供給される場合は、沿岸のインフラが船内の新たな配置に合わせてアップグレードする必要があるかもしれません。

技術的な課題

Technical Challenges for Lithium-ion Batteries	Technical Challenges for Supercapacitors	Technical Challenges for Flywheels
<ul style="list-style-type: none"> Complicated Monitoring and Protection Circuits Aging Temperature Sensitivity Thermal Runaway 	<ul style="list-style-type: none"> Low Energy Density (Can only supply high power for short time period which is not suitable for long duration loads) High self-discharge rate 	<ul style="list-style-type: none"> Design issues related to a dynamic shipboard environment (vibration and unpredictable movement) High self-discharge rate

Technical Issues of Energy Storage Systems

GHGの実績

完全電力（バッテリー）およびハイブリッド（バッテリーとディーゼル）の形状を使用する場合、二酸化炭素（CO₂）や窒素酸化物（NO_x）、硫黄酸化物（SO_x）が削減されます。電力推進システムのエネルギー効率 - ギアボックスおよび軸ロスを含む - が、従来のディーゼルエンジンを使った場合の約40%の推進力に比べ、90%を超える可能性があります。

報告書によると、極・南極での巡航用に設計された探索船クラスの船舶においては、フルバッテリーで推進する30分間の航海を含め、燃料消費量が20%低減する可能性があるとして示唆されています。またその結果として、CO₂排出の削減量が年間6,400立法トンと試算されています。

安全性

リチウムイオンバッテリーは、鉛酸バッテリーが通常運用で生産する水素ガスを発生させませんが、過充電されたり、長時間放電されたり、損傷があった場合に、その内部構造および電池の電極用材料が短絡することがあります。

リチウムイオンバッテリーからの熱暴走は、深刻な火災危険要因になります。流出した電解溶液は、船舶の構造強度を損なう可能性があります。その蒸気は有毒です。安全性のより高い電極材料が続々と発見されていますが、特定設計された温度管理、消防、換気のシステムが必要です。

海洋用途向けのESS基準は、引き続き完成に向かっていますが、ABSはこれらの技術を扱ったガイドを複数発行しています。



ソーラー

太陽電池技術の開発により、以前は不経済的であるとみなされた太陽エネルギーの各種利用への統合が奨励されています。海事業界は主に、当該技術の小型船舶への配備に力を入れていましたが、大型船舶での光電池（PV）ソーラー技術の利用は徐々に注目を集めてきており、船舶からの温室効果ガス（GHG）削減に寄与する実行可能な経路の一つとみられています。

PVモジュールの単価は過去10年間に大幅に下がりましたが（国際再生可能エネルギー機関 [IRENA]によると80%）、同期間に電池効率は著しく上昇しました（最大39%）。

技術

光電池は通常、一つまたは二つの半導体材料（通常はシリコン）の層によって構成されています。光が電池上に照射されると、これらの層に電界が作られ、この電界がソーラーパネル端末においてDC電圧を生産します。光の強度が高ければ高いほど、利用可能な電圧量が増加します。

PV電池は多くの場合、完全日射条件下で変換されるエネルギー量によって参照され、これはキロワットピークとして知られています。

ソーラー電池は、ソーラーPV技術の基本的なビルディングブロックです。電池は配線接続され、モジュールまたはパネルを形成し、パネルは結合され、PVソーラーパネルシステムを形成します。

パワーエレクトロニクスコンバータは多くの場合、ソーラーパネルとロードの間に配置され、PVモジュールから提供される電圧を安定させます。一部のケースでは、コンバータがDC/DC変換を行います。他のケースでは、直流電力を交流電力（AC電源）に変換する特殊コンバータであるインバータとして働きます。

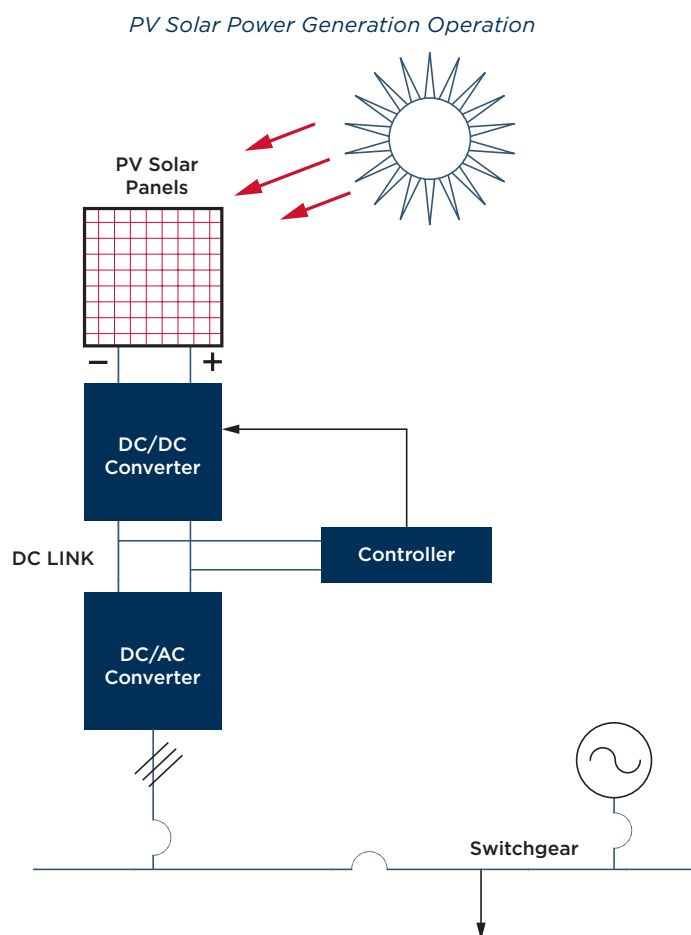
海洋用途での設置では通常、ハイブリッド発電セット、PVモジュールおよびエネルギーの貯蔵場所（通常、バッテリー）が必要で、統合システム内で一体となって働き、船舶の電力システムの性能を向上させます。

適用

大規模なソーラーパネルの船上設置は今のところ、ヨットや帆船の小規模な「宿泊用」積荷や、照明、計装設備向けの利用に限られていました。PVシステムからの標準的な発生出力は、100~200ワット/平方メートルですが、この比率を改善する技術が出回ってきています。

より大型の商業用船舶においては、技術的に類似したソーラーパネルの搭載が数点ありました。

商業船舶に必要とされる電力負荷により、ソーラーシステムは、配置に必要なスペースが拡大します。



変換装置の物理的制約により、大型船舶におけるソーラーパワーは、発電プラント（発電セット）、港湾内の作業中の原料負荷、および近距離航海の補助に限られてきました。昨今のソーラーの活用例には、以下のものがあります。

Auriga Leader: ハイブリッド自動車運搬船で、そのソーラー発電量は推進電力の0.05%、電気利用の1%です。（下図参照）。

Emerald Ace: ソーラーパネル搭載のハイブリッド自動車運搬船で、2.2MWhのリチウムイオンバッテリーで、入港中は発電機が不要となります。

Planet Solar: ソーラー発電の31mヨットで、93kWのソーラーパネル（537m²）と8.5トンのリチウムバッテリーを搭載しています。2012年の世界周航をしました。

Blue Star Delos: ソーラーパネル配列を搭載したフェリーで、実行可能性を調査中。

課題

PVソーラー技術の商業船への活用は、物理的な課題があり、その一部は海洋環境に関係しています。たとえば：

運用エリアがソーラーエネルギーからの照射が最適なエリアに限られる可能性が高いです。しかし、PV追跡技術は、陸上での利用において広範囲に使われており、船上でのソーラーエネルギーシステムの性能の向上に向けて活用される可能性があります。



Image courtesy of NYK Line



湿度、遮光、腐食問題等の環境的な悪条件（パネ上の塩の堆積を含む）および風は、PVシステムの技術が直面する問題です。

多くの船舶において、PVの配置向けのデッキスペースが限られるため、技術の最新の進歩を持ってしても、潜在集合電力アウトプットが低く抑えられてしまいます（平均 $\sim 150\text{W}/\text{m}^2$ ）。これにより現在、小型船舶に限って適格となります。

PVシステムの電力寄与度は比較的低いです。現在のソーラーエネルギー技術による電力アウトプットが低いことから、PV電池の設置は、スペース制約の悪化及び重量増加の可能性のある利用可能性の改善に向けて、貯蔵システムの統合を行う必要があるでしょう。

GHGの実績

ソーラーエネルギーからの電力寄与度により、PVシステムによって発生する電力量にほぼ並行して従来燃料の消費は減少するでしょう。現在のソーラー技術では、CO₂排出の節減量は、ごく一部はトランジットによる可能性があるものの、主に入港中の燃料消費量の低下から発生している可能性があると思われます。

IMOエネルギー効率設計指標（EEDI）（トンマイル当たり10%）が設定した自発的初期CO₂削減目標に達するかどうかについては、船舶の積載重量、搭載したPVの電力容量、稼働モード等の要因によって決まると考えられます。

新たなソーラーシステムによる重量の増加に対しても、構造変更等を検討する必要があるでしょう。

安全性

PVソーラーモジュールおよび船舶の安定性への支持構造による重量増加についての潜在的効果については、特に小型船において、設計段階で解明しなければなりません。推進システムの稼働効率を確実に維持するために、変更が必要になるかもしれません。

風力



風のもつ動力的エネルギーは、推進力としての電力の供給、または機械的業務の実施に向けた電力エネルギー変換装置に利用することが可能です。風によって補助された推進は、従来の適用とは根本的に異なります。風力は船舶推進の補助として利用されており、これにより一定速度における燃料消費量が削減されています。商業船用においてはまだ、唯一の電力源としては使われていません

風力補助船のサイズは設計において、広大な障害のないデッキの必要性、最低限のリギング、船舶の安定性、および乗組員数の制限によって制約されます。これらの制約要素すべてによって、風力活用装置から提供される潜在的推進力が限定される可能性があります。

技術

Flettner Rotorは、デッキ上に垂直に設置される大型シリンダーで、機械的に（または電氣的に）回転します。風が回転ローターに出会うと、空気流がローターの一方で速度を増し、他方で減速します。空気流の速度の変動により様々な気圧が生み出され、ウィンドフローの方向に対し垂直の揚力が発生します。制御可能な内部メカニズムにより、推進力を方向付ける風力の方向を変化させます。

Kite Sail (カイトセール) の概念は、船首に配備された巨大な風が関係していて、その風が牽引力を生み出し、船を引っ張ります。もう一つの方法としては、風が拡張・収縮して電力を発生させる方法です。

当該技術のメーカーによると、カイトセールのレトロフィットは、当該プロセスによって船舶構造との障害が最低限に抑えられるために、比較的 low cost で済みます。一部の自動デプロイメントシステムには問題があることがわかりましたが、コンピュータ制御により、風の理想的な角度と位置を決定することができます。

Towing Kite Sail の概念は、カイトセールと類似していますが、異なる点は、牽引力を生み出して船をけん引するために、二層の翼形の生地で構成されていることです（揚力によっても発生します）。

固定帆

日本の商船の一部は1980年代に、燃料消費削減に向けて固定帆を装備しました。当該システムは、小型貨物船にレトロフィットされ、燃料インパクトの評価に使われました。この研究結果では、燃料消費の15~25%削減の可能性が示唆されました。

適用

上記の4つの技術は生産可能で、船舶への搭載が提供されています。

FLETTNER ROTOR

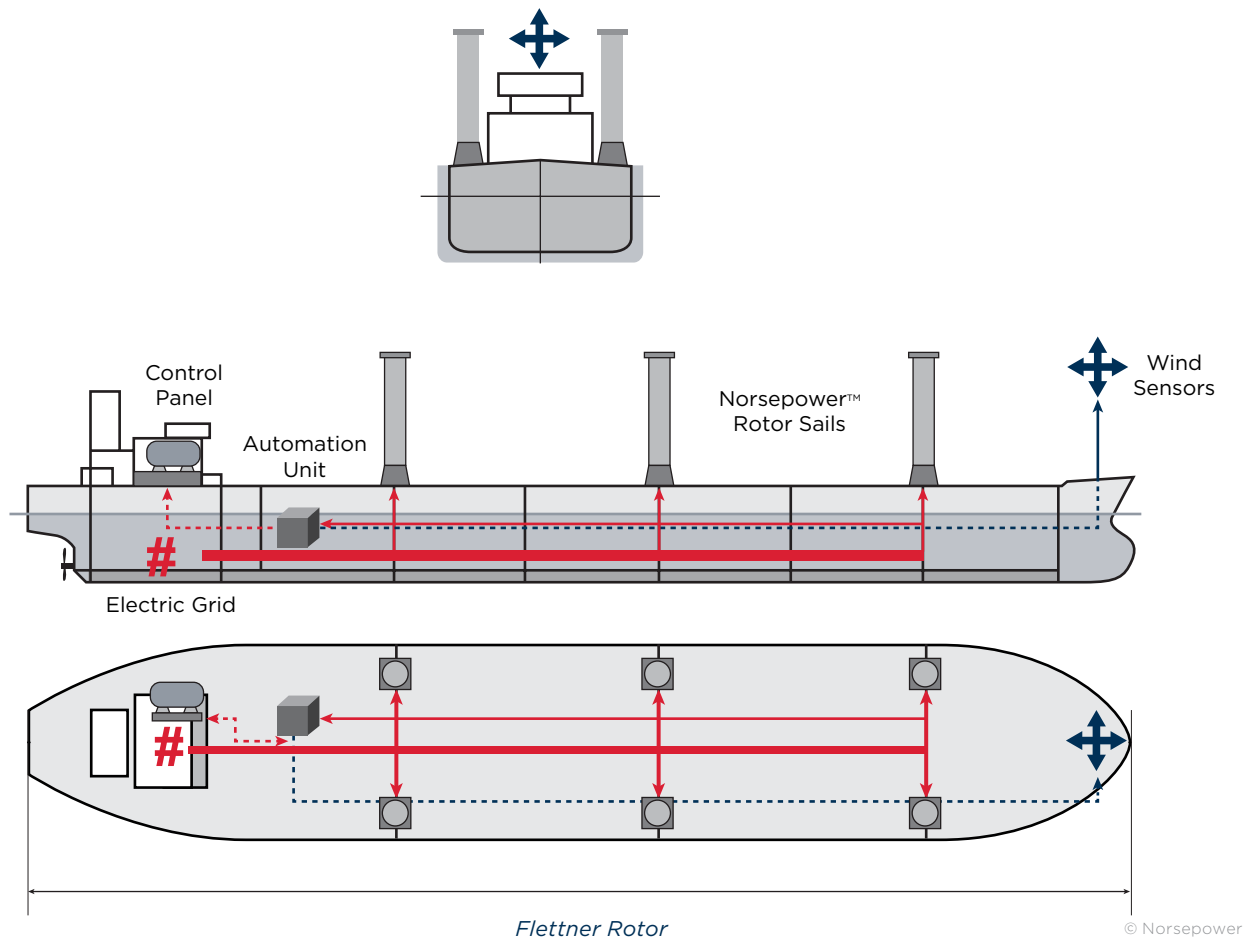
Flettner Rotorsは、早くも1926年に大西洋横断船において実演されましたが、その後は限られた場面で見られるだけでした。2010年に、9,700 dwtの貨物船が4台のFlettner Rotorsを搭載し、燃料効率の向上における役割の評価が行われました。

2018年半ばに、2台のNorsepowerローターが欧州の船主が所有する109,647 dwtの長距離製品タンカーに搭載されました。当該プロジェクトについては、結果待ちの状態です。

Vessel Shin Aitoku Maru with rigid sails



Image courtesy of Bluebird



当該技術において、制御を要する要素は回転速度だけなので、作業者のインプットは比較的少なくて済みます。

メーカーによると、ローターは特にタンカー、RORO船、一般貨物船及びバルクキャリアに向いており、既存船にレトロフィットが可能です。必要なローター帆の数とサイズは各船舶の寸法や速度、運航プロフィールによります。

KITE SAIL: SKYSAILS

当該システムは最近、一部の船舶で見受けられますが、最も注目に値するのがMS Beluga Skysailsという、カイトセールシステム搭載用に設計された商船です。2008年第1四半期の処女航海において、Beluga Skysails はドイツからベネズエラ、米国まで航行した後、北欧に戻りました。2008年10月には米国軍事海上輸送司令部 (MSC) に傭船され、英国への貨物輸送に使われました。

メーカーによると、カイトセールは従来の帆推進よりも、帆面積の平方メートル当たりで大きな推進出力を生み出します。これには2つの理由があります：船舶の前面で、8の字型に「動的に」ナビゲートするための自動操縦能力が、風の対気速度を実際の風速の数倍にまで押し上げます。また、風を高度100～500mで作動すると、水面近くの風よりも強さと安定性が高い風にアクセスが可能となるためです。

課題

これらの技術はすべて、風力補助推進の特性により、同様の課題があります。すなわち：

- ・ 性能は、地理的位置、季節、入手可能性、風の強さと方向等の外部要因に左右されます。
- ・ 風の方向と船舶性能、風上・風下に関する問題
- ・ 追加乗組員が必要とする電力の負荷需要
- ・ 投資の保守と耐用年数
- ・ 修理用部品の入手可能性、およびアップグレードの可能性

GHGの実績

Flettner Rotorシステムがもたらす利益は、ローター帆によって発生する推進力から来ており、これにより、船舶は主機関の減速、燃料油消費の削減が可能になり、二酸化炭素 (CO₂) 排出の削減につながります。

BoreのM/V Estraden (9,700 dwtのRORO船) の、オランダ~英国間の北海航行中に行った、単一の小型ローター帆を使った船上試運転では、2.6%の燃料節約があったと述べられています。これらの試運転に基づいて、船主と帆メーカーは、M/V Estraden に2台のローターをを搭載したフルシステムでは、確実に5%の燃料節約がもたらされ得ると考えました。

けん引と電気カイト

けん引カイトシステムによって発生する推進力により、船舶は主機関の出力を抑制し、燃料油消費を削減することが可能となり、CO₂ 排出量の低減につながります。

メーカーによると、同一システムをすべての船舶タイプに利用可能で (カイト面積が400m²、最適な風状態では約2MW主機関に相当)、最適な風状態では1日当たり最大で10トンの、準最適な風状態では1日当たり平均2~3トンの炭素節約が可能になります。

安全性

一般的に、上述した3点のセーリング技術は、長年にわたって利用可能でした。スカイセーリングとリジッドセーリングは港湾に近づく際や他の船舶の近くでは高さ制限の対象になります。

航行海域に暴風雨が予想される場合には、システム、船舶または近くにいる他の船舶、インフラへの損傷や乗組員の負傷の可能性を回避・縮小するために、これらのシステムを保護する必要があります。

貨物の積載・荷揚げの作業中には、帆の大きさや乗組員の作業の熟知度によっては、安全上の危険要因がもたらされます。さらに、船舶のサイズや風力発電に基づいた安定性に関して、風力システムによる船舶の積載の変化を考慮に入れる必要があります。

未来の船舶設計

海運業界がIMOの2030年炭素削減目標は既存の技術と入手可能な燃料を活用して達成可能であると想定するならば、IMOの2050年目標の達成には、新しい燃料と技術がさらに必要となるでしょう。コンプライアンスによって、研究とイノベーションについて新しい考え方が要求されるでしょう。

2050年までに全炭素排出量を（2008年レベル比で）半減させるという現在の決定は、低炭素・ゼロ炭素燃料へのかなりの需要を呼び起こすことになるでしょう。どの燃料、そしてどの技術が商業的に優位になるかは確かではありません。

これを踏まえて、ABSはHerbert Engineering Corporation (HEC)と連携して、従来の技術や運航プロファイルを使い、低硫黄分重燃料油 (LSHFO) を燃焼する推進装置を活用した2隻の最新鋭コンテナ船向けの設計要件を特定しました。1隻は feeder ship (2,000 TEU) で、もう1隻はネオパナマックス (14,000 TEU) です。

これらの綿密な評価を受けた概念設計は、その後、水素燃料電池および液体バイオ燃料で航行可能なタイプの船舶を創出するために改修されました。下記の最終結果は、今日の知識と技術を使って何が可能なのかを示し、そして、将来の進展予想まで拡大した手段を提供しています。

これらの設計は、商業的・技術的な理由により、現在は建造されることはないと思われませんが、2030年には建造が可能になるかもしれません。その設計図面は、今日の技術の限界、未来燃料（今日の測定基準による）、および船内配置や貨物積載量、可能性のある推進動力等の設定基準に関してこれらの設計が意味するものについて洞察しています。

それらの設計が相当レベルの適性評価を受けたものの -ベンダーによる調査等を含め - それは意欲的なもので、いかなる燃料タイプやプロセス、手法も承認されたということでは決してありません。

ベースライン船

2,000 TEU コンテナ船

下記の概略図からわかるように、ベースライン船は、直接接続された単動内燃機関と従来型の補助装置を従来型に配置しています。通常、スクラバーなしにLSHFOによって、環境制御区域 (ECA) ではディーゼル油 (MDO) によって推進されます。

シーマージンが15%と仮定した場合、設計案用のスピードと85%の最大連続出力 (MCR) は18ノットで、当該船舶は、最新鋭の船体とプロペラ最適化機能を採用しています。



14,000 TEU コンテナ船

設計全般は、現世代のネオパナマックス 14,000 TEU キャリアに相当します。当該船舶は直接接続された単動エンジンを、従来型の補助装置と共に搭載し、通常はスクラバーの搭載なくLSHFOIによって、ECA海域ではMDOによって運航されます。

シーマージンが15%と仮定した場合、設計案用のスピードと85%のMCRIにおいて22.5ノットです。当該船舶は、最新系の船体とプロペラ最適化機能を有しています。



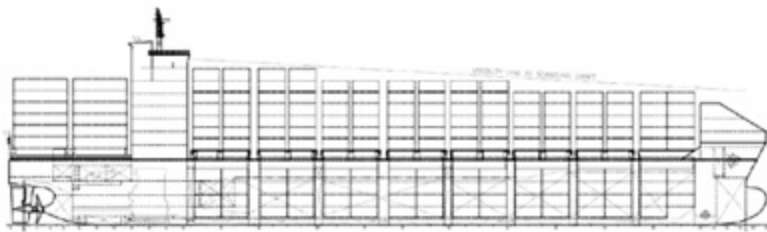
2030年液体バイオ燃料船

2,000 TEU、バイオ燃料のコンテナ船

当該船舶は、直接接続した単動内燃機関（ICE）と従来型の補助装置を従来通りに配備しています。

最適な船体設計、大きな低速旋回、低出力の主機関に基づいた最適プロペラ設計、小規模の空気力学的フェアリングに基づいたベースライン船に比べて全体で6%の改善が推定されます。

液化バイオ燃料の従来型の燃料貯蔵および取り扱いは、現在の設計実践に類似しています。設計案における16ノットの設計速度は、現世代型フィーダー船よりも約2ノット低くなり、当該船舶はベースライン設計の60%以下の類似した推進出力を有します。



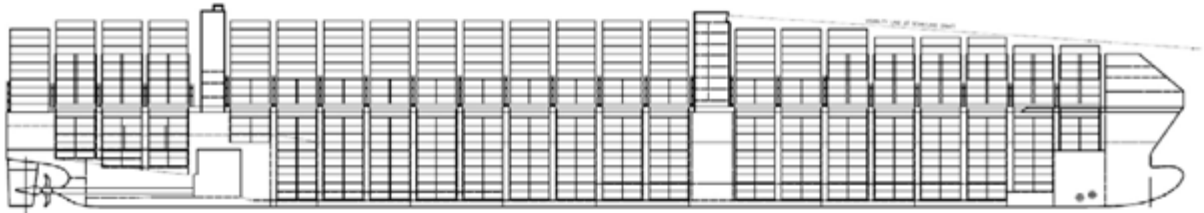
14,000 TEU、バイオ燃料コンテナ船

当該設計は全般的に、現世代のネオパナマックス14,000 TEUキャリアから本質的には変わっていません。直接接続された単動ICEを、従来型の補助装置と共に使用します。

最適船体設計、大きな低速旋回、低出力の主機関に基づいた最適プロペラ設計、小規模の空気力学的フェアリングに基づいたベースライン船に比べ、船体効率において約5~6%の改善が見られると推測されます。

液化バイオ燃料の従来型の燃料貯蔵と取扱いは、現在の設計実践に類似しています。設計案における21.5ノットの設計速度は、現世代の超大型コンテナ船（ULCV）より1ノット低くなり、当該船舶の推進出力全般は、ベースライン設計の80%以下になります。

一般的に、液体バイオ燃料船には、バイオ燃料の構成要素が提供する炭素削減技術があり、現在のコンテナ船からの効率改善の度合いは低めです。当該船舶は、2030年には利用可能となる技術力で十分賄えます。低炭素・ゼロ炭素のバイオ燃料に向けたインフラが、将来の需要を満たすように規模を拡大できるならば、海運の低炭素未来への道に船舶設計上必要な進展の度合いは低くなるでしょう。



2030年の水素燃料電池船

2,000 TEU, 水素燃料電池コンテナ船

当該設計は、高度な未来の特性・技術を組み込んでいますが、それらの技術の一部は現在の最先端技術のレベルをはるかに超えています。当該船舶は完全電化で、すべての電力は水素燃料電池によって賄われます。

燃料電池の容量は、補助装置用には最大電力容量3.5MW、推進用には6.3MWを満たすサイズとなるため、合計容量は9.8MWになります。電力は、各電池が最大約2.5MWの燃料電池4台によって供給され、推進出力は二重反転プロペラによって提供され、従来型シャフトプロペラ1台は3.8MWの電気モーターによって、2台目は2.5MWの操舵可能ポッドによって推進されます。

最小約6.3MWhの電池容量がインストールされ、出力調整およびエネルギーの安定性に使われます。

下記の設計図では、単層のメンブレンタンクでの水素の貯蔵を表しています。当該タンクは、2,000海里の距離に十分な量である約1,200m³の極低温液体水素を貯蔵します。代替燃料用タンクはタイプBまたは複数のタイプCの円筒タンクである可能性があります。

コンテナ収容を最大にし、デッキ上コンテナ向けの空気力学的フェアリングを提供するために、収容設備は前方に移動します。船体効率は、バイオ燃料船に比べ更なる8%の改善が見込め、また、船体最適設計、大きな低速旋回、低出力の主機関に基づいた最適二重反転プロペラ設計、完全な空気力学的フェアリングをふまえると、ベースライン船に比べ4%の改善が推測されます。

設計案における16ノットの設計速度は、現世代のフィーダー船より約2ノット低速で、ベースライン設計の約53%の推進出力に相当します。



14,000 TEU, 水素燃料電池コンテナ船

当該設計も、高度な未来の特性・技術を組み入れており、そのサイズを考慮に入れると、それら技術の一部は現代の最新鋭技術のレベルをさらにはるかに超えています。当該船舶は完全電化で、全電力は水素燃料電池によって供給され、補助装置用に最大電容量15MW、推進用に最大電容量43MW、合計で58MWを満たす電池サイズになります。電力は、3MW未満容量の燃料電池、20台によって供給されます。

推進力は複数の二重反転プロペラによって提供されます。ひとつは26MW 電気モーターによって稼働する従来型の軸プロペラで、二つ目は17MWの操舵ポッドによって稼働します。

最小電池容量約36MWhは、出力調整およびエネルギーの安定性に使われます。

下記の設計図は、約31,000m³の極低温液体水素を輸送する多重面ブランタンクが12,000海里の航行距離に十分であることを示しています。代替燃料用のタンクはタイプBである可能性があります。

コンテナ収納を最大化し、デッキ上コンテナに空気動力的フェアリングを提供するために、収容設備は前に移動します。

設計範囲は12,000海里で、運航速度は現世代の遠洋船より遅く、それに対応して出力削減および燃料容量削減型をしています。

当該設計では、水素のエネルギー集約度が低いことや、燃料輸送にウィングや二重底スペースを使用できないことから、妥当な燃料貯蔵要件を保持することが重要になります。

船体効率は、バイオ燃料船に比べさらに7%改善し、また、船体最適設計、大規模低速旋回や最適二重反転プロペラ設計、完全な空気力学的フェアリングをふまえると、ベースライン船に比べ15%の改善が見込まれます。

設計案上の設計速度は21.5ノットで、現世代の遠洋船より約1ノット低速で、それに対応するベースライン設計の約75%の推進動力があります。



これらの概念設計では、現代の最新鋭技術と2050年温室効果ガス (GHG) 目標からの要求のギャップが強調されています。当該設計に使われる燃料には、将来採用される可能性の高い燃料を見込んでではなく、2030年までに実施可能と思われる様々な戦略を象徴する燃料が選択されました。

たとえば、バイオ燃料は、既存の技術とインフラの使用に適したドロップイン燃料です。バイオ燃料の使用では、船舶設計において若干の進化が必要となりますが、地球ベースでの入手可能性と生産に使う原材料については解明されていません。

水素燃料電池は、発電用の新しい燃料源と新しい技術を象徴しています。当該設計の進化は、2030年までに実現可能になるためには、大幅に加速する必要があるでしょう。特に、より大きい電力源と耐久性を開発する必要があります。しかし、水素燃料電池は、ゼロ炭素未来の可能性を象徴しています。

船舶への影響

船舶からの炭素排出量削減を目指した長期目標（2030～2050年）は、現在、ソリューションが見いだせない課題です。しかし、これだけははっきりしています：既存の技術だけでは、将来の効率性や大気汚染、炭素排出要件を達成することはできません。IMOの2030年温室効果ガス（GHG）の削減目標は、運輸業務に関連しており、貿易拡大による影響を幾分軽減します。

しかし、2050年目標は、すべての温室効果ガス（GHG）の排出削減を基礎としており、たとえ、貿易成長が過去に比べ低迷したとしても、既存の技術ではこの目標を達成することは不可能と思われる。したがって、イノベーションとコラボレーションを検討する新たな手法が必要になるでしょう。

2050年という年は遥か先のことのように見えるかもしれませんが、新技術の開発、採用および実施のプロセスは、技術・ロジスティック面でのトラブルシューティングに十分な時間が必要なため、2030年より前にスタートしなければなりません。

本アウトルックが示すように、脱炭素化への最大の寄与は、バイオマスから生産される、カーボンニュートラルな燃料、又は再生可能エネルギーから生み出されるほぼゼロ炭素の燃料によってもたらされる可能性があります。

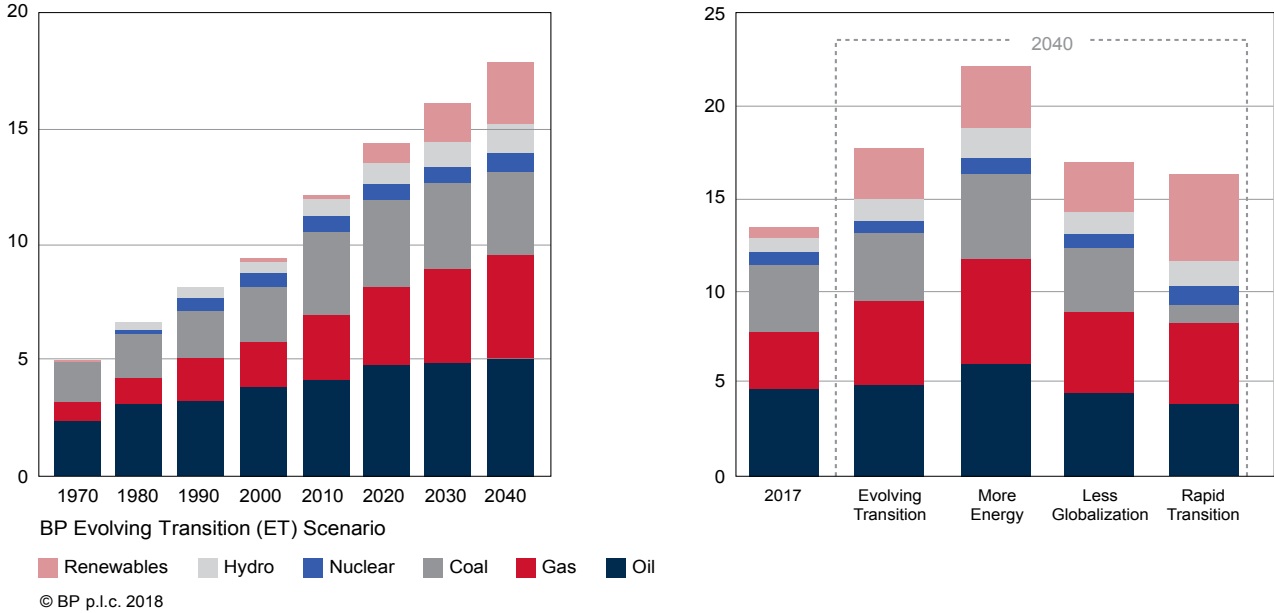




すべての燃料を以下の基準によって比較すると、化石燃料はエネルギー集約度が高く、容易に入手可能で、取り扱いや貯蔵において安全性が高く容易です。

- ・ 既存のまたは適応が容易なバンカリングインフラの入手可能性
- ・ 大規模な需要を満足する世界的な生産が可能
- ・ 燃料のエネルギー集約度と船内貯蔵に関する要件
- ・ 二酸化炭素 (CO₂) および硫黄酸化物 (SO_x) の排出
- ・ 取り扱い、貯蔵及び消費に関わる安全性リスク

Primary Energy Consumption by Fuel
Billion toe



液化天然ガス (LNG) および液化石油ガス (LPG) は、全体的に期待に沿いますが、CO2アウトプットの削減に向けた寄与度が高くありません。代替燃料はすべて、利用可能なインフラおよび供給面で欠点があります。バイオ燃料以外のすべての燃料は、エネルギー集約度の面で基準に達していません。すべての燃料はいくばくかの可能性を持っていますが、未来の国際海運のための明白な燃料選択肢はありません。

一方、複数の燃料選択肢を開発し、独立したインフラを持つという選択肢は、業界にとって最も費用効果が高いソリューションとなる可能性は低いです。

未来のエネルギー源

業界が未来燃料に目を向けるなか、入手可能なエネルギー源を検討することが重要です。下記のグラフでは、BP 2019 Energy Outlook が、2040年までの「進展する移行シナリオ」における燃料用エネルギー源の混合についての予測を表し、「進化する移行」から「急速な移行」まで様々なシナリオを比較しています。

再生可能エネルギーを使った低炭素燃料混合への移行が最も伸び率が高いことを示していますが、化石燃料の寄与度は相変わらず高く、ガス燃料は安定した成長を見せています。シナリオでは、特に再生可能燃料や石炭からの寄与を識別していますが、炭化水素は依然として高い値を示しています。また、炭素捕捉・隔離利用や合成燃料の可能性を含む化石燃料の継続使用を可能にする戦略を支持しているように見受けられます。

投資リスク

炭素を削減し、究極的には排除するために必要な投資額は大規模で、世界の経済情勢が通常の不確実性にある時代に生じることになります。一部のビジネスモデルの長期的持続可能性については、既に疑問が浮上しています。

業界として、海運業界は商業的なリスクとチャンスの均衡を保つことに慣れていますが、規制リスクは、今に始まったものではありませんが、より大きなリスク要因になってきています。早期の取り組みおよび新たな規制への早期適合が推奨され、規制の不確実性によって不利益を被るべきではありません。

業界には、公平な競争環境と技術的に実証された安全で商業的に持続可能なプロセスを提供する規制が必要です。これらの重要な基準がなければ、2030~2050年に大きな規制リスクが迫ることになります。

各ステークホルダーは – 船主、傭船主、投資家を問わず – 、未来の低炭素と究極のゼロ炭素を目指した投資決定を行う場合、資産価値へのライフサイクルリスクを検討する必要があります。こうしたリスクには、新たな規制からの影響、傭船主や消費者による持続可能性要件の達成、コスト競争力などが含まれます。

これらのリスクを軽減するには、新技術の早期採用者に報い（ペナルティを課すのではなく）、追隨者に確信を与える戦略が必要になります。技術オプションは、開発投資の道を開くためには – レトロフィットに加えて – 、新船建造の段階で組み入れる必要があると思われます。

GHG排出削減に向けた規制は、船舶設計、燃料の選択、船舶運用に影響を与えるだけでなく、輸送する貨物の種類、通商航路および船舶サイズを選択に対しても影響を及ぼすこととなります。現行のコンプライアンス枠組みにも課題を与える可能性があります。

数多くの重要な問題は、2050年への旅に明確な方向付けができる前に、答えを見つける必要があります。低炭素未来への移行は、海運へのコストが増加する可能性が高いです。どの程度の増加額かはまだ把握できませんが、業界の長期的な持続可能性への代価となるでしょう。

公平な結果を得るためには、海運の世界経済および世界貿易への積極的な寄与が完全に理解されることが重要です。我々は結果的に相応の負担を負うこととなりますが、自分たちが購入する製品の環境フットプリントへの認識を高めているので、世界貿易における我々のユニークな役割が消費者によって認識される必要があります。

結論

- ・ 国際海事機関（IMO）の第3回温室効果ガス（GHG）研究によると、世界の年間二酸化炭素（CO₂）排出量に関して、国際海運は2007～2012年に平均で2.6%を占めており、これは世界貿易のほぼ90%の輸送を手掛けているなかで非常に効率が良いと言えます。商取引が通常通り続くなれば、世界貿易と海上輸送の期待成長率から、海運からのCO₂アウトプットが他の産業よりも速い速度で成長するとみられます。
- ・ 低い傭船・運輸料金が普通であった昨今のビジネス環境において、スロースターミングにより、海運からのCO₂アウトプット全般が削減されました。2015年の炭素集約度削減率（2008年比）は30%と試算されています。たとえ規制が複雑化しているとしても、スロースターミングと速度の最適化は、IMOの2030年までのCO₂削減目標の適合に向けた選択肢として検討するべきです。
- ・ 海運の慣習を簡素化するためにデジタル技術を利用して、船舶速度と航路の最適化や待機時間の短縮、効率の良い契約取引により、燃料消費と排出量を削減することが可能です。
- ・ たとえば、情報化やジャストインタイム輸送によって、エネルギー使用を最適化し、低速化の導入を実現できる可能性があります。船舶利用の改善によって、法定速度制限が課された場合よりも、追加として必要となるキャパシティが少なくて済みます。
- ・ 2030年目標は利用可能な技術を用いて達成できると仮定しても - スピードの低速化や運用効率の改善、低炭素燃料の限定的使用 - 2030年の排出量と2050年目標のギャップがなお縮まることはないでしょう。
- ・ 船舶からの炭素排出量を削減するという長期的目標（2030年以降）は大きな課題で、現時点ではそのソリューションがありません。今日の技術のみでは、未来の効率や大気汚染、炭素排出要件を満足することは不可能でしょう。
- ・ 2030年までに必要とされるゼロ炭素船の設計は、現代の最先端技術よりはるかに優れた技術が必要です。
- ・ 船舶設計のエネルギー効率の改善が、IMOのEnergy Efficiency Design Index（EEDI）の次のフェーズまでに必要となると思われますが、代替となる低炭素燃料がなくては、エネルギー効率の改善がGHG削減目標に寄与する割合は小さいでしょう。

- ・ 脱炭素化への最大の寄与は、バイオマスから生み出されるカーボンニュートラルな燃料、又は、再生可能エネルギーから生み出されるほぼゼロ炭素燃料からもたらされる可能性があります。
- ・ 世界の未来の海運のための明快な燃料の選択はなく、すべての代替燃料は現在のインフラや供給に関して短所があり、バイオ燃料を除くすべての燃料のエネルギー集約度は目標値に達していません。
- ・ 各ステークホルダー – 船主、傭船主、または投資家を問わず – は、低炭素未来や究極的なゼロ炭素未来に関して投資判断を行う際に、資産価値に対するライフサイクルリスクを考慮する必要があります。このようなリスクには、規制の実行可能性、傭船主や消費者の持続可能性要件の達成、およびコスト競争力等があります。
- ・ 業界は、公平な競争環境、および技術的に実績のある、安全で商業的に持続可能なコンプライアンスの枠組みを提供する規制を必要としています。これらの極めて重要な基準がなければ、2030~2050年に大きな規制リスクが立ちまわることになるでしょう。
- ・ 運用プロファイル（例えば、近海 vs 遠洋輸送）は適切な技術を選択する際に重要な役割を担うでしょう。ソリューションの選択は、インフラの可用性による結果となる可能性があります。
- ・ GHG排出量削減に向けた規制は、船舶設計、燃料の選択、船舶の運航に影響を与えるだけでなく、輸送貨物、運航航路、および船舶サイズを選択する際にも影響を及ぼすでしょう。また、既存のコンプライアンスの枠組みにおいても課題となる可能性があります。
- ・ 低炭素未来への移行では海上輸送のコストが増大する可能性が高く、その増大規模はまだわかりませんが、長期的にわが業界の持続可能性を維持するための対価となるでしょう。
- ・ 公平な結果に達するためには、海運業界からの世界経済およびグローバルな貿易へのプラスの貢献が十分に理解されることが極めて重要です。
- ・ 今日の基準では軽減・除去ができない可能性のあるリスクがもたらされるにつれ、新技術が採用され、捜査上の変更が安全性においてより重要な焦点となるでしょう。



WORLD HEADQUARTERS

1701 City Plaza Drive
Spring, TX 77389 USA
P 1-281-877-6000
F 1-281-877-5976
ABS-WorldHQ@eagle.org
www.eagle.org

© 2019 American Bureau of Shipping.
All rights reserved.



This document was printed using a 100% waterless process, in a factory powered by 100% renewable energies, producing zero waste to landfill having a positive impact in reducing climate change.