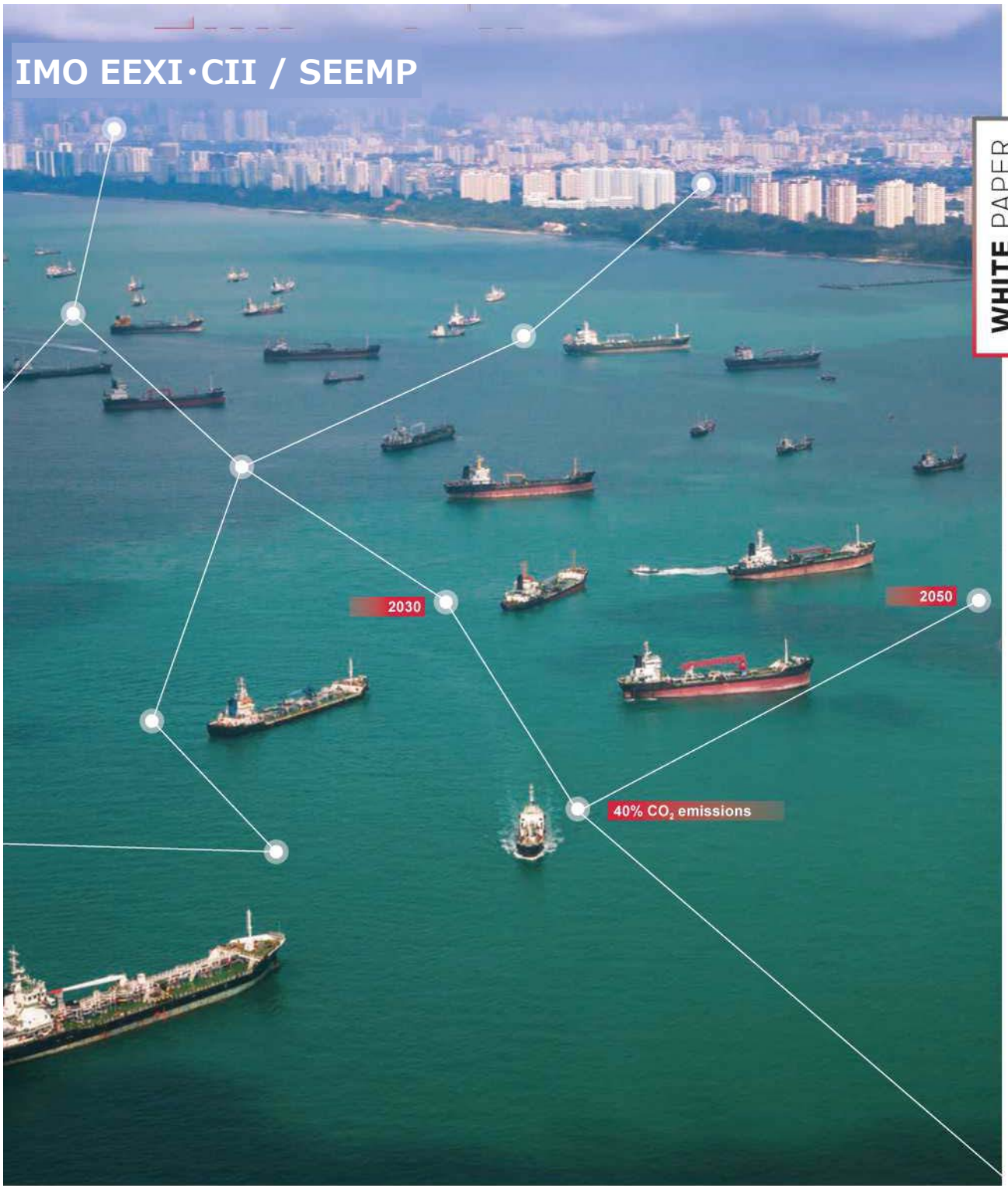
2021 年 6 月

船舶からの GHG 排出削減に向けて



WHITE PAPER

BUREAU VERITAS

目次

1. 序章：排出量削減に対する課題への理解 3

船舶の排出量問題の規模 3

排出削減における Bureau Veritas の役割 3

この白書について 4

2. この白書の目的は？ 5

3. IMO 規制の概要 7

3.1. 目的 7

3.2. 規制の概要とスケジュール 8

次は何が変わるのか？ 8

3.3. 指標とツール 9

就航船における EEXI 準拠のスケジュール 9

4. 新造船 - エネルギー効率設計指標（EEDI） 11

4.1. EEDI 規制の概要 11

4.2. EEDI の改善 13

4.3. EEDI の認証 13

5. 全ての船舶 – IMO データ収集・報告システムの概要 15

6. 既存船に対する規制の導入〔EEXI 及び CII 規制〕 17

技術面及び航行面の措置 17

6.1. 既存船エネルギー効率指標 17

6.1.1. EEXI 規制の概要 17

6.1.2. EEXI 計算式 19

6.1.3. EEXI vs EEDI 20

6.1.4. 重要なパラメーターとその結果 22

6.1.5. 船舶のタイプ・大きさ別の EEXI 計算 24

6.1.6. ShaPoLi 及び EPL の管理 28

6.1.7. EEXI 規制準拠のための ESD 導入 29

6.1.8. EEXI テクニカルファイルの構成 30

6.2. 運航上の年間燃費実績格付け制度(CII) 及び船舶エネルギー効率管理計画 (SEEMP) 30

6.2.1. Attained CII - 定義と方法論 32

6.2.2. Required CII の計算式 33

6.2.3. 船舶の格付け 34

6.2.4. CII 適用の除外条件 35

6.2.5. 是正措置とインセンティブ 35

6.2.6. CII の改善 36

6.2.7. CII 炭素集約度削減スケジュール 36

6.2.8. CII 規制のまとめ 37

6.2.9. SEEMP 37

7. 結論 39

Annex 1： EEDI 適用船 (Phase0-1) vs Required EEXI (2023 年時点) 40

キーワード及び略語リスト 43

1. 序章：排出量削減に対する課題への理解

海運業界は、今後数十年以内で脱炭素化を遂げるという大きな課題に取り組んでいます。これは、世界的なエネルギー移行の一環であり、次の世代のための環境の保全において必要な対策です。

気候変動の脅威に対する国際的な取り組みの中で重要な役割を果たすのがパリ協定です。国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) に基づくこの協定は、2015 年の会議で合意され、2016 年に締結されました。この協定は、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2°C より十分低く保つとともに、1. 5°C に抑える努力を追求することを目標としています。

船舶の排出量問題の規模

この目標は、もちろん、海運部門にも影響を与えます。国際エネルギー機関 (IEA) によると、2019 年では世界の二酸化炭素 (CO_2) 排出量の 24%は、運輸部門からのものであり、そのうち、海運部門が 11%を占めたと報告しています。一方、世界で人為的に排出された CO_2 の中での海運部門の割合は、2012 年の 2.76%から 2018 年には 2.89%に増加しています。言い換えると、海運は、トン・マイル当たりの CO_2 排出に関して最も効率的な手段ではありますが、それでもなお改善策を講じていく必要があるということです。

船舶において主な CO_2 排出源は、内燃機関からの排ガスです。これは言うなれば “tank to wake”（タンクから航走まで）の排出です。しかし、ライフサイクルアセスメントでは、燃料の生産段階での排出（“well to tank”＝油井からタンクまで）も含める必要があります。排出ガスの中でも CO_2 は地球気候に直接影響を及ぼす一方、一酸化炭素 (CO) 、硫黄酸化物 (SOx) 、窒素酸化物 (NOx) 、メタン (CH_4) 、それにブラック・カーボン (BC) のような粒子状物質は、地球気候に加えて局地的な環境の両方に影響を与え、人体と自然の両方に被害を及ぼします。

国際海事機関 (IMO) は、2050 年までに年間の GHG 総排出量を 2008 年比で 50%以上削減することを主とする排出削減のための意欲的な目標を掲げました。この目標を達成、更にはその上を目指すには、海運業界は、技術面・運航面での対策に加え、革新的なソリューションを適切に組み合わせて行く必要があります。これは大変な課題ですが、業界の能力を総動員し、関係者が固い決意のもとに当たれば、克服可能な課題でもあります。そもそも海運は、1840 年頃までは帆が主な推進手段であり、ゼロエミッションの活動だったのです。

排出削減における Bureau Veritas の役割

Bureau Veritas はより広く社会的責任を果たしていくために、海運業界に携わる方々が排出規制について理解し、排出削減を実施するための取り組みをお手伝いして行きたいと思っています。お客様がリスクを低減し、パフォーマンスを向上し、品質・健康・安全・環境保護・社会的責任といった課題に対応するための改革を支援すること、また信頼ある世界の形成を目指すことが Bureau Veritas の使命です。

Bureau Veritas は、“ビジネスから社会へ”（Business to Society）型の企業として、お客様の「企業の社会的責任」（CSR）への支援と Bureau Veritas 自身の CSR 戦略という、外と内の両方から、私たちの住む世界の変革に貢献していきます。

IMO の排出削減目標を達成するため、海運業界は、技術面・運航面での対策に加え、　革新的なソリューションを適切に組み合わせて行く必要がある。

内部的には、Bureau Veritas の活動は、2015 年に国連で採択された「持続可能な開発目標」 (SDGs) の一つ、あるいは複数の項目に沿った 3 つの柱からなっています。すなわち、良い職場(目標 3, 5, 8)及び、より良い環境 (13, 14) 、より良いビジネス慣行 (16) です。

対外的には、Bureau Veritas の CSR のパーフォーマンスは継続的に第三者機関による評価を受けており、その結果を定期的に Bureau Veritas ホームページに掲載しています

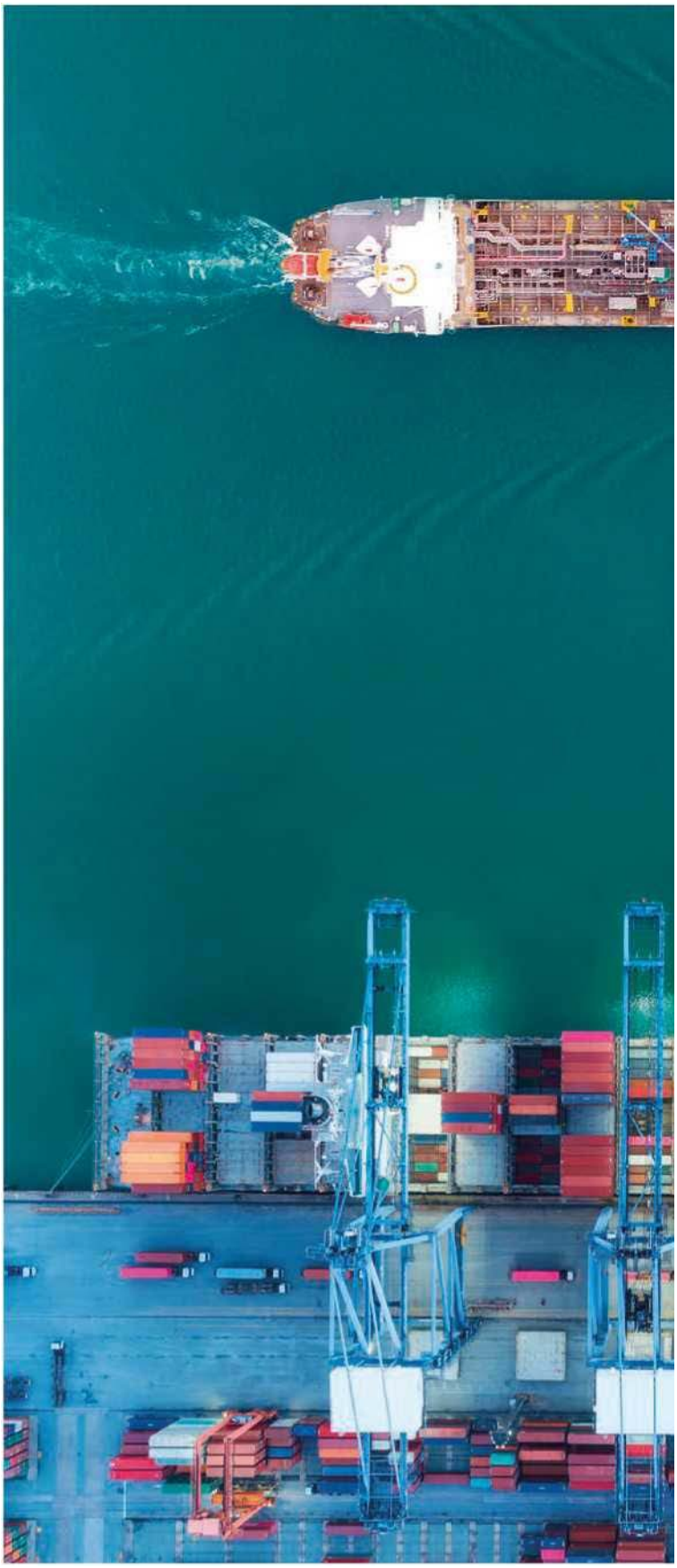
1828 年以来、Bureau Veritas は、船舶と乗組員の環境と安全が最重要であるとの信念のもと、海運業界に船級および付加価値サービスを提供してきました。船主や運航会社は安全や法令を確実に遵守しつつ、競争力を維持するため他の重要な優先事項の管理にも当たらなければなりません。これらの優先事項には、より厳しい環境規制が業界に課される中で、環境関連のパフォーマンスを最適化するという課題も含まれています。

この白書について

炭素集約度の削減のためには、船舶においては技術面・運航面両方のアプローチが必要です。本白書では、IMO の MARPOL 条約附属書 VI の改正項目からいくつかを抽出しその適用について概要を考察します。

エネルギー効率設計指標 (EEDI) に沿った新造船に対する規制は少し前に発効されましたが、既存船に対する新たな規制（既存船エネルギー効率指標：EEXI)）は、船舶の運航に確実に影響を与えると思われます。それは、GHG 排出量削減にかかるコストのため、予想耐用年数が短くなる可能性があるからです。EEDI 規制は EEXI 規制の基盤となっているので、本書では EEDI 規制を取り扱います。

Bureau Veritas のチームは、新しい規制について技術的な詳細を明示し、お客様と討議をすすめながら規則適合に向けてサポート致します。Bureau Veritas は、お客様の信頼できるパートナーでありたいと思っています。お客様が各法規制を守り、未来を発展させていく上で、そのお手伝いができることを楽しみにしております。



2. この白書の目的は？

本白書は、新造船や既存船から排出される温室効果ガス（GHG）の削減に関する IMO の最新の規制に関し、その概要や計算公式、規制適用後の初期の影響等に簡潔な考察を加えるために作成されました。目的は、全ての公式やパラメーターを列挙するのではなく、読む方に対して概要を提示し、Bureau Veritas の専門家と議論する際の出発点として、あるいは、より詳細な IMO ドキュメントを読む前の準備として役立ててもらうことにあります。

我々は本書で、既存船に対する IMO の最新の規制、および EEXI に適合すると推定さえる船舶の比率を検討しています。その中には、2021 年 6 月の第 76 回海洋環境保護委員会（MEPC）での討議結果のうち、最も関連深いと思われる項目も含んでいます。また、船種ごとの適合比率のちがいも見ていきます。

本書は、また、近く CII 規制が最終決定されるに先立ち、運航上の炭素集約度に関する新基準の影響についても検討を行います。

Bureau Veritas は、当社に登録のある 600 隻以上の船舶から得られたデータに、外部ソースから入手可能なデータも加えた上で本書を作成しました。なお、これらのデータは船主や運航会社の検証は経ておらず、船種ごとの精密な結果というより、いくつかの仮定に基づいた推定として扱うべき内容です。

IMO の規制は、国際的な規則の制定という性質上、目下まだ議論が戦わされ詳細が詰められている最中です。本白書は、2021 年 6 月現在の情報を使用しています。付録 1 に示す EEXI の計算例については、第 76 回 MEPC の後も、大きな影響はないと思われますので、更新は行っていません。定期的な更新は、今後の MEPC の諸会合の結果を受けて行う予定です。

3. IMO 規制の概要

3.1. 目的

IMO は 1973 年に MARPOL 条約を採択しました。これは船舶の運航や事故による海洋環境の汚染を防止するための重要な措置です。その後、特定の問題に対処するための要件を盛り込むため、附属書が追加されました。MARPOL 条約は 99 カ国が批准していますが、これらの国々の船舶が世界のトン数合計に占める割合は約 97%にのぼります。

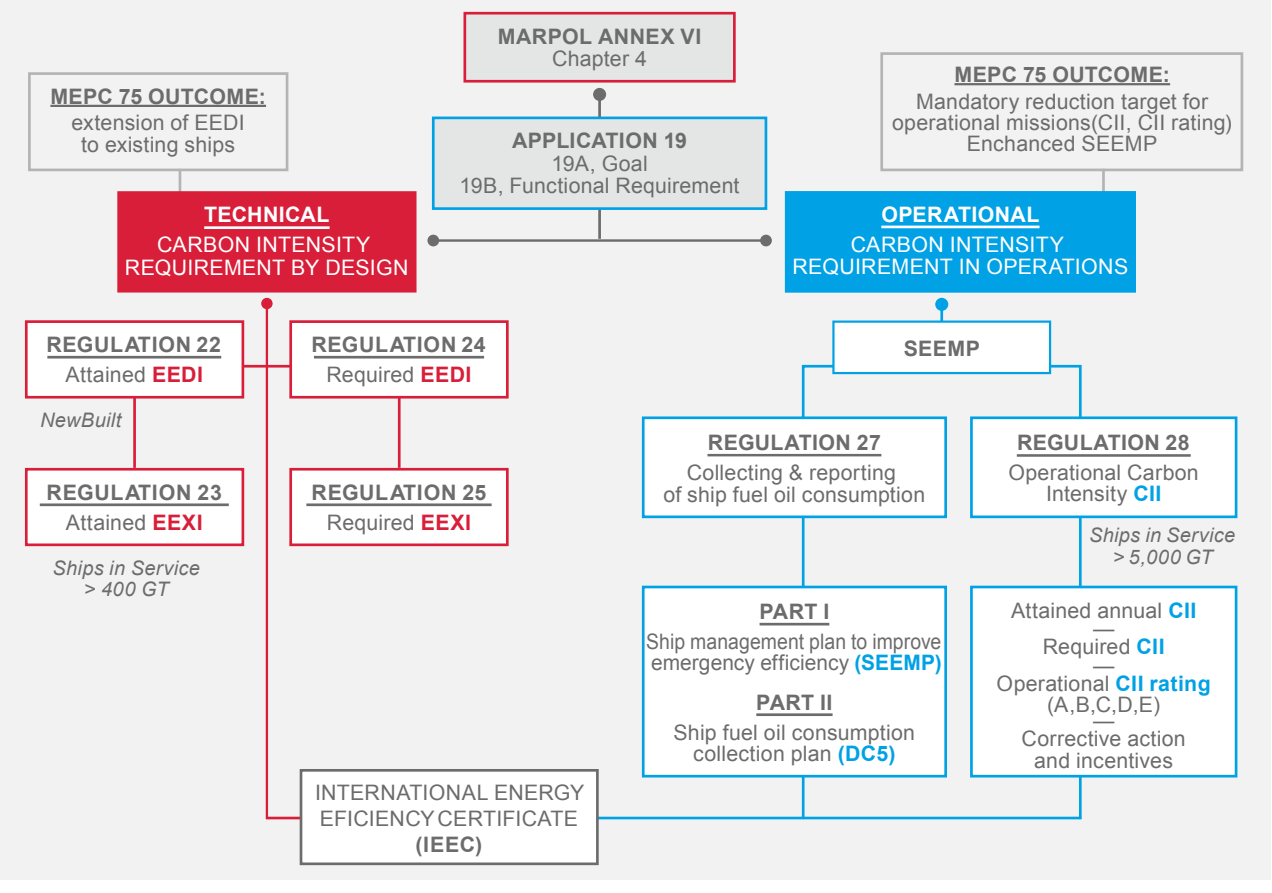
船舶による大気汚染の防止に関する附属書 VI は、2005 年 5 月に発効しました。これは、船舶からの硫黄酸化物や窒素酸化物の排出量に制限を課し、オゾン層破壊物質の排出を禁止しています。また、船舶からの温室効果ガス (GHG) 排出削減への関心の高まりを反映し、技術面および運航面でのエネルギー効率の改善を義務化するため、この附属書は複数回にわたり改訂されています。

IMO の「GHG 排出に関する IMO 中間作業部会 」(ISWG GHG) は、MEPC の戦略策定を技術的に支援するため報告を行っています。MEPC は、MARPOL 附属書 IV の実施に関する最終決定権を持ちます。

最初の IMO GHG 戦略は、2030 年までに国際海運の炭素集約度を 40% (2008 年比) 削減し、さらに、その後も努力を継続して 2050 年までに 70%削減することを目標としていました。また、2050 年までに、国際海運からの年間 GHG 総排出量を少なくとも 50%削減（2008 年比）することも目標に含まれていました。この戦略は、 2019 年に就航した 5,000 GT 以上の船舶の燃料消費に関する最新のデータに基づき、 2023 年に改訂されています。

炭素集約度を 70%削減（2008 年比）するという目標を達成するためには、設計・技術・運航上の対策に加え、革新的な対策 (燃料や技術など) を組み合わせて行く必要があります。

規制の枠組み



3.2. 規制の概要とスケジュール

船舶のエネルギー効率規制の骨子は、IMO GHG 戦略に基づき、MARPOL 附属書 VI の第 4 章に定められています。主な項目は下記の通りです。

要約すると、最新版での変更点は、炭素集約度の低減に関する、既存船に対する技術的要件と、全船舶に対する運航上の要件などです。

第 4 章の更新・修正の最新版は、一番最近の第 76 回 MEPC 会合（2021 年 6 月）の後に作成されました。最近の動向は次のとおりです。

第 76 回 MEPC（2021 年 6 月）

- 炭素集約度の削減に向けた絶対的目標に基づく技術上・運航上の措置 (EEXI および CII) 。
- Attained EEXI の計算ガイドライン。
- EEXI の検査および認証のためのガイドライン。
- シャフト／エンジン出力制限システム に関するガイドライン。(EEXI)
- CII 計算、リファレンスライン、削減率、船舶の格付けのためのガイドライン。

第 75 回 MEPC（2020 年 11 月）

- 既存船への EEDI の適用拡大。EEXI 規制は、タイプ別に船舶に Required EEXI を定めており、また、Attained EEXI は、それぞれの船舶について計算する。
- Required EEXI は、既存の EEDI Phase 0 リファレンスラインと削減率に基づき計算する。
- Annual Efficiency Ratio（AER）（Page 43 参照）と炭素集約度指数 CII。
- 船舶エネルギー効率管理計画書 (SEEMP)。

第 74 回 MEPC（2019 年 5 月）

- 一部の船種に対して EEDI Phase 3 の適用開始を 2022 年に前倒し (本来は 2025 年からの予定)。
- 特定のタイプ船舶に対し削減率を引き上げ(15,000 DWT 以上のガス運搬船、コンテナ船、一般貨物船、LNG 運搬船、非従来型の推進機関を有するクルーズ客船)

第 73 回 MEPC（2018 年 10 月）

- 温室効果ガス (GHG) 排出削減に関する初期戦略の採択。

次は何が変わるのか？

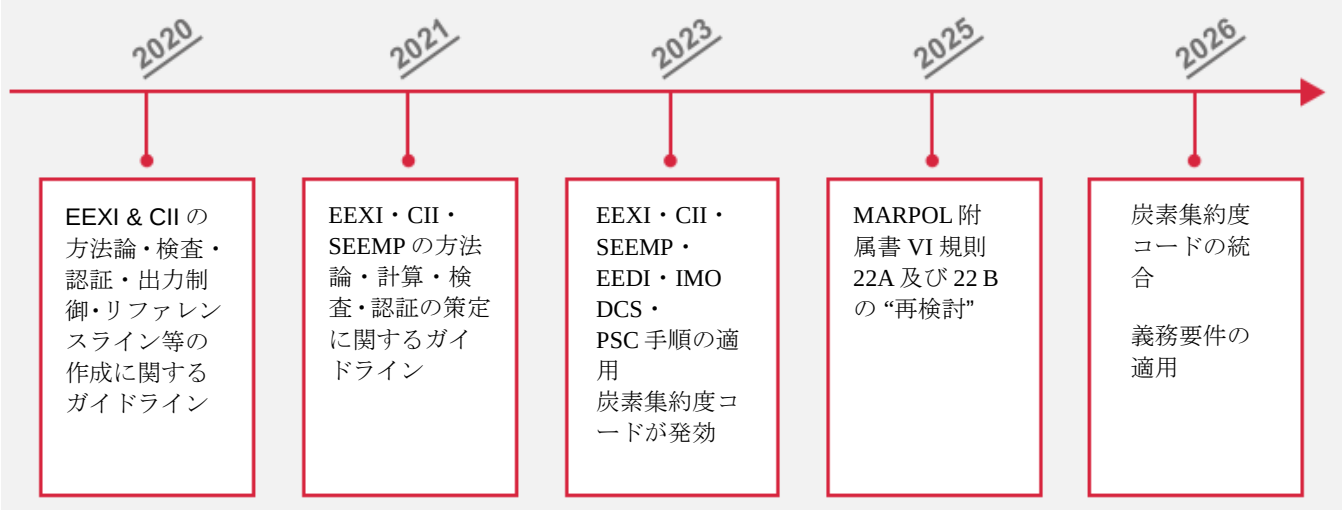
IMO は、現在行われている議論に基づき、近くいくつかのステップを進めると見られています。それらは炭素集約度コード (下記参照) の全体的なスケジュールの達成に貢献するでしょう。短期的には、IMO は初期戦略を見直し、以下の措置を実施すると思われます。

- 既存船への EEXI の遡及適用。
- 船舶エネルギー効率管理計画 書(SEEMP) を改訂し、運航時の排出量の削減目標を義務化。
- 上記両項目を 2022 年末までに発効させる。

以下は、船舶の炭素集約度を少なくとも 40%削減するという IMO の中期的政策に沿った措置です。

- 国際海洋研究開発委員会(IMRB) の設立。これは、IMO 加盟国が監督する非政府系の研究開発 (R&D) 機関である

IMO の炭素集約度に関する規則の適用スケジュール



- GHG と燃料からの炭素の排出係数（二酸化炭素換算（CO2e））。それぞれの排出ガスに、地球温暖化係数(GWP)で決められた固有の係数をかけて CO2 に“変換”する
- 新たなメタン排出規制。
- EEDI 規制の Phase 4 の可能性。

それに伴い、IMO は近く下記の更新したガイドラインを発表する予定です。

- EEXI の計算、関連する検査、認証、およびシャフト／エンジン出力制限に関するガイドライン（第 76 回 MEPC で採択）。
- 燃費実績格付け制度(CII) の計算と認証に関するガイドライン（第 76 回 MEPC で採択）。

3.3. 指標とツール

IMO の最初のステップは、海運業界が直ちにエネルギー効率の高いソリューションの発明・開発を始められるよう、新造船に関する基準を導入することでした。その結果できたのがエネルギー効率設計指標(EEDI) であり、400 GT を超える全ての新造船に義務づけられました。(2011 年 7 月第 62 回 MEPC) 参照：MARPOL 附属書 IV。
なお、最終目標の達成に向けて、今後数年間で規制へのニーズがより高まってくることを勘案すると、この指標にもより厳しい基準が適用されてくる可能性があります。

また前述のように、第 75 回 MEPC の結果を受けて、新造船に対する要件が、既存船にも拡張適用されるようになりました。海運業界は、新造船と同じ計算式に若干の調整を加えることで、この新しい規制の適用に容易に対処することが可能です。

船主と運航会社は今、既存船向けの EEXI に沿ったテクニカルファイルを準備・提出しなければならない必要に迫られています。スケジュール的には、2021~22 年に準備を行い、2023 年に最終的な検証を済ませなければなりません。

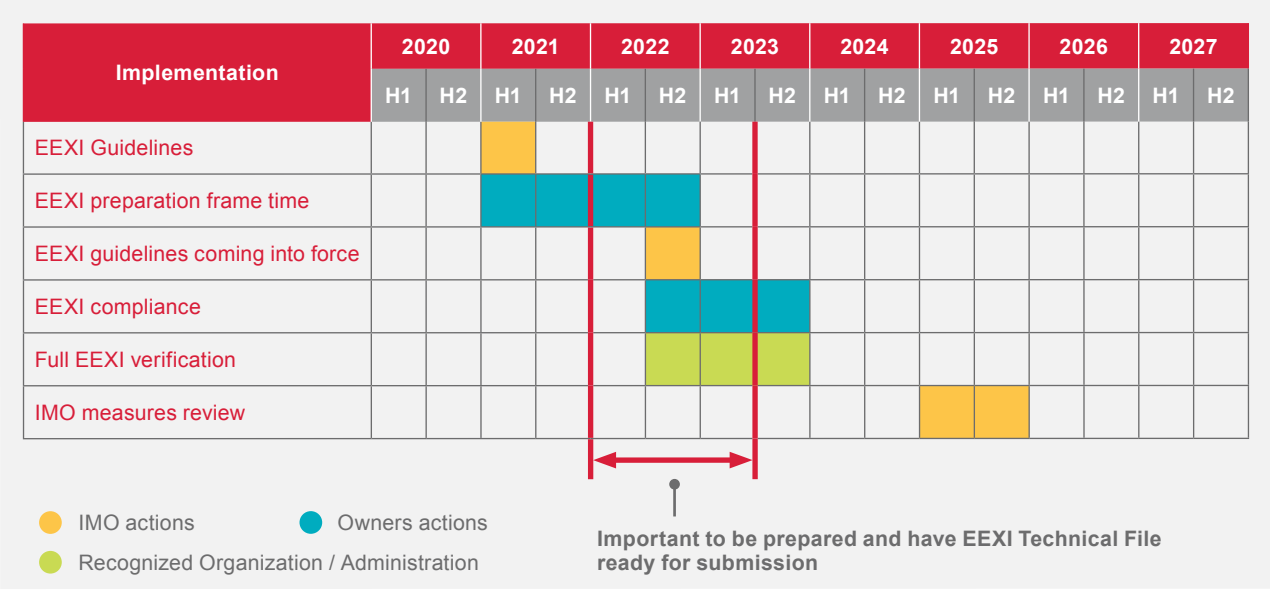
ビューローベリタスは、特定の船舶の EEXI 値を見積もるための計算ツール 「VeriSTAR Green」や、他の脱炭素化に向けたサービスをウェブサイト上で公開しています。私たちは、海運業関係者が新しい基準に確実に準拠できるように、様々な仮定や戦略のテストに使える無料のツールを提供して行きたいと思っています。

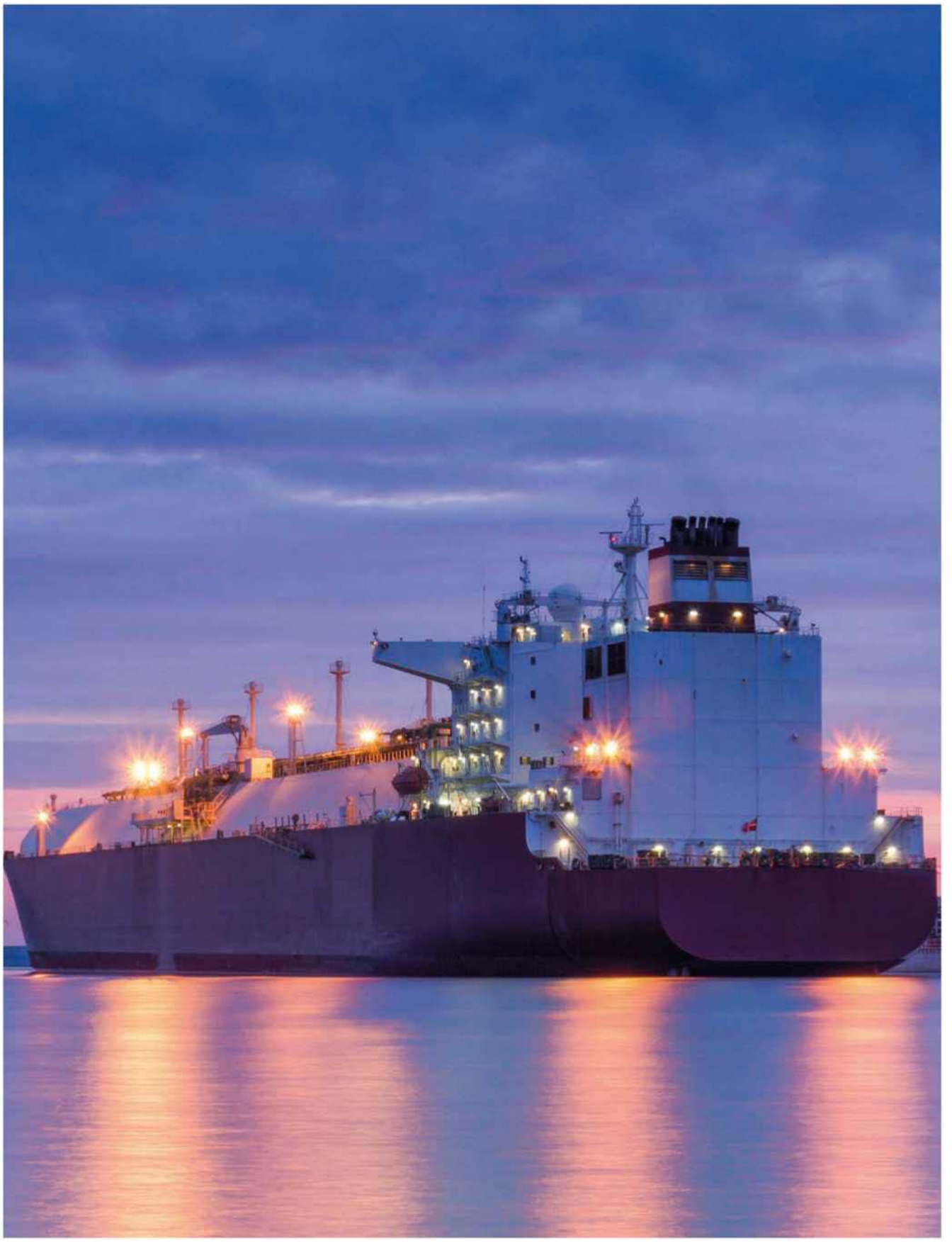
ビューローベリタスは、特定の船舶の EEXI 値を見積もるための計算ツール 「VeriSTAR Green」を導入しました。

就航船における EEXI 規制準拠のスケジュール

次の表は、EEXI 規制に準拠する上でのスケジュールにおけるマイルストーンを示しています。

EEXI スケジュール





4. 新造船- エネルギー効率設計指標 (EEDI)

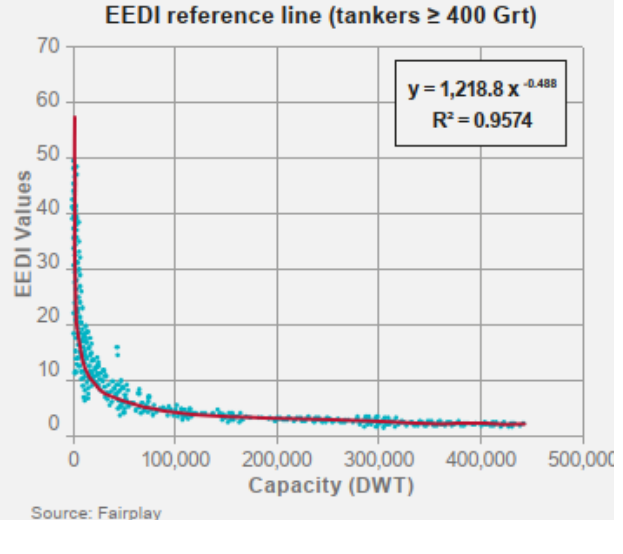
4.1. EEDI 規制の概要

エネルギー効率設計指標 (EEDI) は、今や全ての海運事業者に知られたパラメーターであり、新造船のエネルギー効率の最も重要な技術的尺度として認識されています。

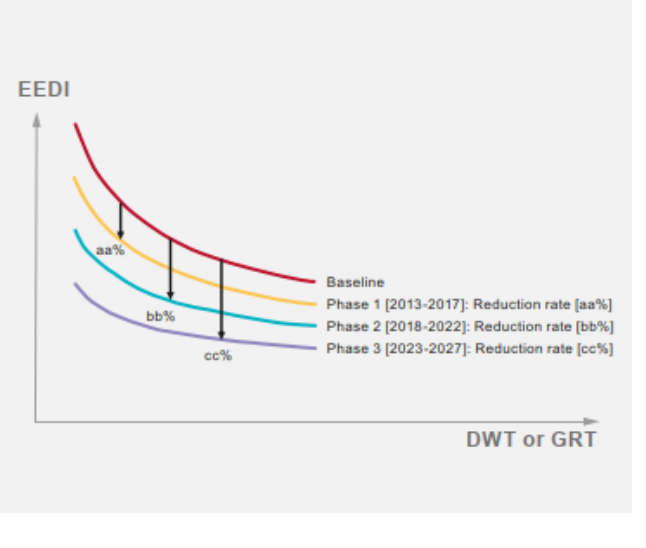
新造船でエネルギー効率の高い設計がなされるように、この指標は積載能力 x 距離（例：tonne mile）当たりの CO_2 排出量 (g)を表しますが、言い換えると、環境への影響と社会への貢献度の比でもあります。なお、この指標は、エンジン・船体・プロペラ等の最適化や非化石燃料の使用など、設計の技術面のみに関わるもので、運航面や商業面は考慮していません。算出に当たっては、船種と大きさが考慮されます。EEDI は定数値であり、船が改造される時にのみ変更されます。

各新造船の Attained EEDI は、Required EEDI 以下でなければならなりません。2013 年に導入され、2 年間の Phase 0 の後、5 年ごとに要求値のレベルが引き下げられ、厳しくなって行きます。そのため海運業界は、より高いエネルギー効率を求めて新技術に投資して行かなければならなりません。

EEDI 基準線の決定



規定された削減率



EEDI 基準線は、特定の船舶グループごとに定義されており、該当船舶の平均値として算出された平均指標値を表す。

削減率は、2025 年初頭までの分が設定されています。

EEDI の計算式とパラメーターの説明

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^{n} f_j\right)\cdot\left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)}\cdot CF_{ME(i)}\cdot SFC_{ME(i)}\right)+\left(P_{AE}\cdot C_{FAE}\cdot SFC_{AE}\right)+\left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j\cdot\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}-\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)}\cdot P_{AEeff(i)}\right)\cdot C_{FAE}\cdot SFC_{AE}\right)-\left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)}\cdot P_{eff(i)}\cdot C_{FME}\cdot SFC_{ME}\right)}{f_i\cdot f_c\cdot f_l\cdot Capacity\cdot f_w\cdot V_{ref}\cdot f_m}$$

パラメーター	説明	出典
CF	燃料消費量と CO 2 排出量の無次元換算係数	『新造船の Attained EEDI 計算に関するガイドライン（2014 年）』（第 66 回 MEPC 245 号決議）
Vref	船舶の船速：海里／時 (ノット)	設計段階：水槽試験から得られた速力-馬力曲線 最終段階：海上試運転結果報告
Capacity	『新造船の Attained EEDI 計算に関するガイドライン（2014 年）』（第 66 回 MEPC 245 号決議 2.3 及び 2.4）に示されるように、積貨重量の関数として計算される。	復原性資料
P_{ME}	主機 MCR (kW 単位)の 75%	NOx テクニカルファイル
P_{AE}	補機出力	『新造船の Attained EEDI 計算に関するガイドライン（2014 年）』（第 66 回 MEPC 245 号決議）
P_{PTI}	シャフト・モーターの定格電気消費量の 75%	
P_{eff}	75%主機出力に対する革新的な省エネ機械技術の出力	
P_{AEeff}	革新的な省エネ電気技術による補機出力の削減量	
SFC	認証を受けた燃料消費率 (g/kWh)	NOx テクニカルファイル
f_j	船舶固有の設計要素に対応するための補正係数（例：Ice classed ships、シャトル・タンカー）	『新造船の Attained EEDI 計算に関するガイドライン（2014 年）』（第 66 回 MEPC 245 号決議）
f_w	波高・波周波数・風速など海上条件による船速の低下を表す無次元係数	
F_i	積載能力の技術上・規制上の制限についての積載能力補正係数	
f_c	容積補正係数(ケミカル・タンカーおよびガス運搬船)	
F_ℓ	クレーンその他の貨物関連装置を備えた一般貨物船に対する、船舶の積貨重量の減少を補うための係数	
f_{eff}	革新的なエネルギー効率化技術の利用可能係数	MEPC .1/Circ.815

4.2. EEDI の改善

EEDI の閾値基準は今後数年で引き下げられて行くので、設計者は、Attained EEDI が要求レベルを下回るようにエネルギー消費の最適化を図らなければなりません。

新規の設計では、経済的に実現可能かという制約はあるものの、 EEDI を改善するための技術は複数存在します。設計者にとって、そうした技術の潜在候補は多数あり、技術的ソリューションのポートフォリオは大きく、自由に選ぶことが可能です。

- 出力の最適化(CFD 最適化船体形状（CFD optimized hull shape）、バルバスバウ形状(bulbous shapes)、トリム最適化など)
- エンジンの最適化／チューニング／ディレーティング(主機や補機の低消費電力化)
- 代替燃料
- 省エネ装置 (帆や空気潤滑システム（ALS）など)
- 塗料およびその他、エネルギー消費の抑制を目的とするもの。

これらの選択肢のいくつかについては、次章で、既存船の改良方法を検討する際に再び取り上げます。

4.3. EEDI の認証

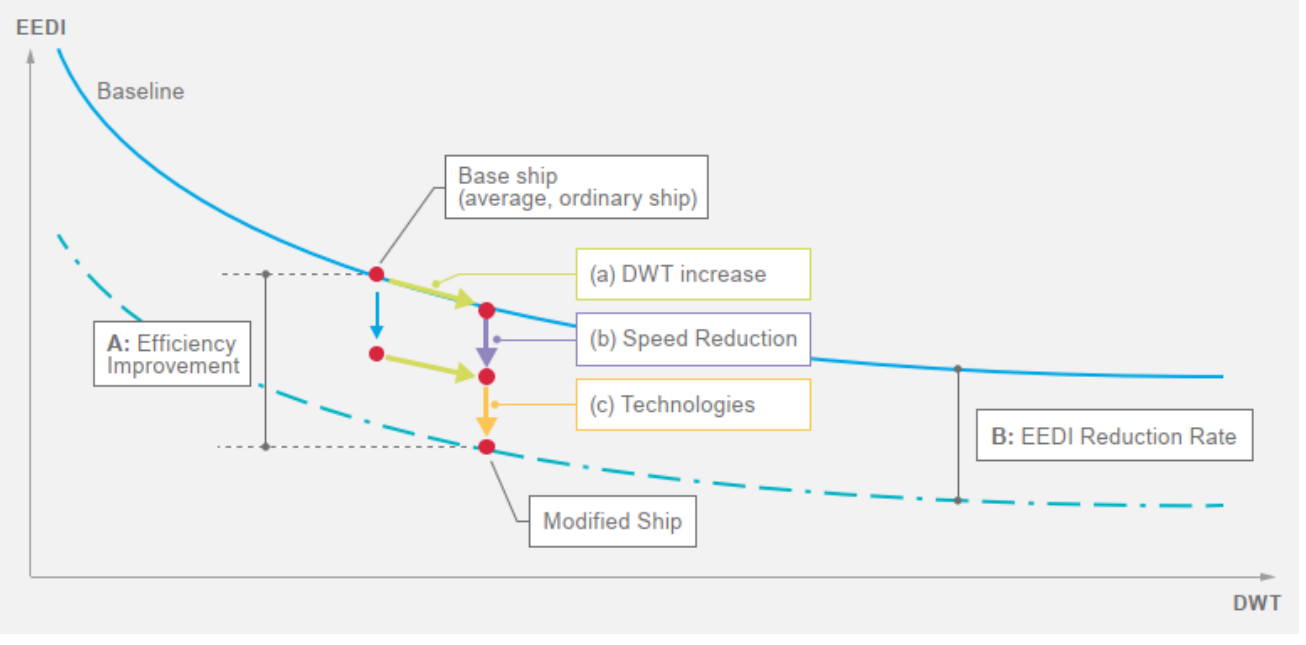
MEPC 254(67) 決議で改訂された要求項目に従い、EEDI の計算及び関連する技術文書は、設計段階で承認を受け、次いで、最初の検査での海上試運転で確認を受けなければなりません。その後に、国際エネルギー効率証書 (IEEC) が発行されます。

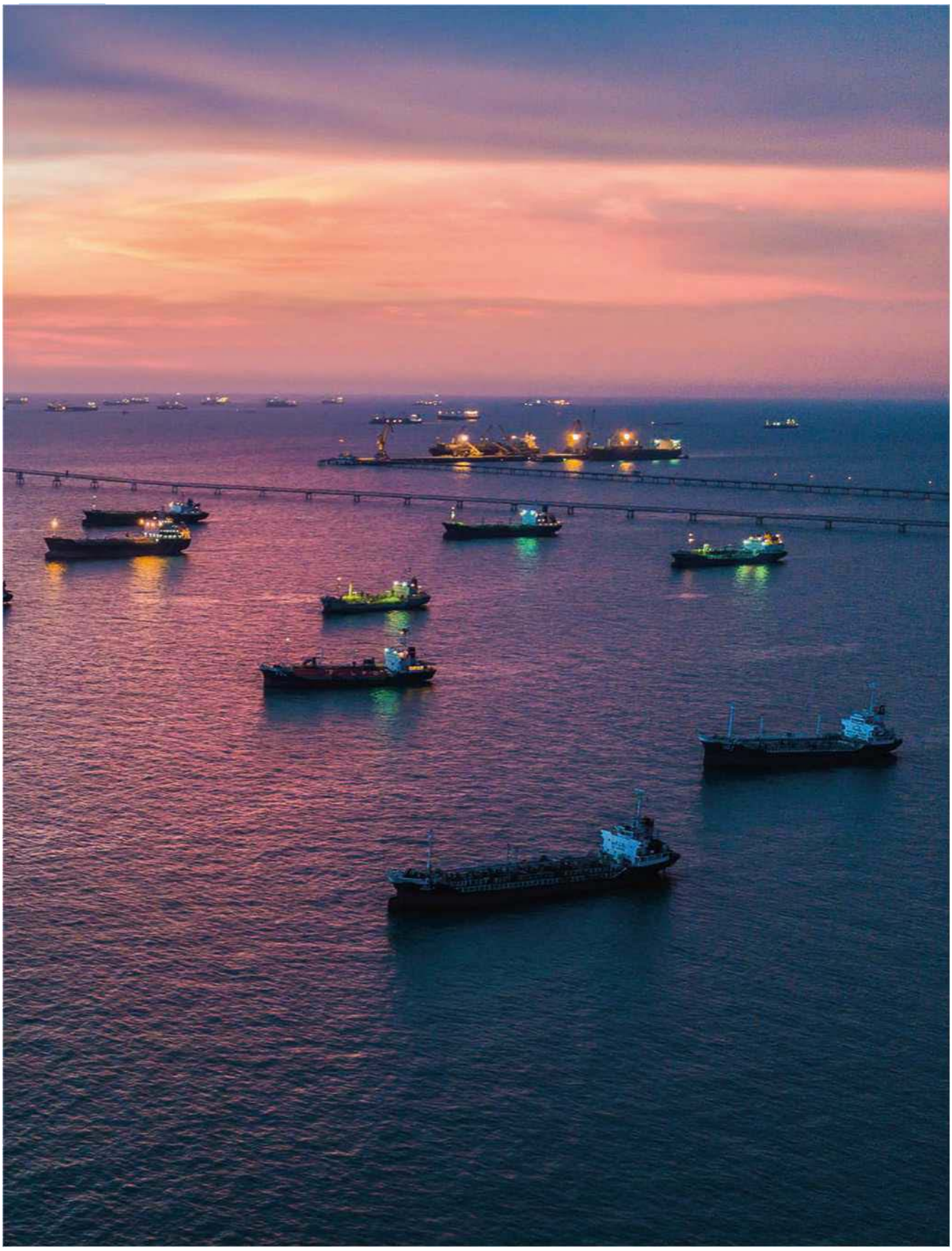
EEDI の計算は、EEDI の規則 20 と 21、Phase 2 と Phase 3、および将来の Phase 4 に規定されているように、規制要件に沿い、かつ、建造スケジュール・造船所との契約日・引き渡し期日等も考慮に入れて行う必要があります。

IEEC は 400 GT 以上の国際航海に従事する船舶全てに対して交付されます。

船舶が革新的な省エネ技術（例：空気潤滑システム、廃熱回収システム等）を装備している場合は、『Attained EEDI の計算及び検証に際しての革新的エネルギー効率化技術の取扱いに関するガイダンス（2013 年）』（IMO MEPC .1/Circ.815）に則り、適切な検証を行わなければなりません。

EEDI 改善の可能性





5. 全ての船舶 - IMO データ収集・報告システムの概要

2016 年 10 月に開催された第 70 回 MEPC において、IMO は、国際航行船舶に対する燃費実績報告制度 (DCS) の義務化を採択しました。これにより、2019 年から 5,000 GT 以上の船舶は、関連データを収集し IMO データベースに報告を行うことになりました。どのような手順かは、MARPOL 附属書 VI の第 4 章 22 A 規則で規定されています。収集したデータは、各暦年末に船籍国当局に報告します。その後当局は、そのデータを IMO に提出し、データは匿名化された上で公表されます。

SEEMP Part II の『船舶燃料油消費量データ収集計画書 (DCP) 』には、船舶の詳細情報・燃料消費量・航行距離・時間等を監視するための手順・システム・責任の所在が記載されています。燃費実績報告制度 (DCS)は、SEEMP Part II で規定されており、適合宣言書（Statement of Compliance）を船上に用意することとしています。

欧州連合 (EU) も、欧州の港に寄港する 5,000 GT 以上の商船に対し燃料消費量の監視・報告・検証（MRV Shipping）等の新しい規則を導入しました。IMO の DCS は匿名の公開データベースですが、EU MRV 規則は記名のデータベースです。

SEEMP の Part II『船舶燃料油消費データ収集計画 (DCP) 』には、船舶の詳細情報・燃料消費量・航行距離・時間等を監視するための手順、システム・責任の所在が記載されている。

6. 既存船に対する規制の導入〔EEXI 及び CII 規制〕

6.1. 技術面及び運航面の措置

船舶からの GHG 排出量を削減するという IMO の意欲的な目標の下、既存船も、エネルギー効率改善のための新たな規制の影響を受けています。第 75 回 MEPC では、以下の二部構成のアプローチが導入されました。

- EEXI 規制が制定される中で、技術要件が提示されました。すなわち、EEDI 規制が既存船舶にも遡及適用されます。EEXI 規制が適用される船舶は、EEDI と同じです (400 GT 以上)。
- 加えて、新たに運航面での措置として、運航上の年間燃費実績格付け制度が導入されますが、これは A~E のランクで評価されます。各船舶の性能レベルは、船舶エネルギー効率管理計画書（SEEMP）に記録されます。

MARPOL 附属書 VI の第 4 章の改訂項目は、SEEMP（2011 年 7 月第 62 回 MEPC で初めて導入）の改善にも触れています。そのため、運航時の排出量も、今後のターゲットに含まれなければならない。

6.2. 既存船エネルギー効率指標（EEXI）

6.2.1. EEXI 規制の概要

EEDI 規制と同様に、EEXI 規制は到達基準が示された義務的措置です。また、設計・機能・大きさの違いを問わず、全て船舶に関し、エネルギー効率改善の豊富な選択肢を提示するものでもあります。

EEXI 規制は 400 GT 以上の就航中の船舶に適用されます。EEXI 規制は、2023 年 1 月に発効する予定で、同年 1 月 1 日より後にくる最初の年次検査、中間検査又は更新検査から適用対象となります。すでに EEDI 規制の対象となっている船舶は、Attained EEDI 計算ガイドライン（2018 年の『新造船に対する Attained EEDI 計算方法についてのガイドライン』：MEPC 308 (73) 決議）に従って計算された EEDI を、再計算や再認証なしに Attained EEXI に代わるものとして使用することができます。ただし、これは当該船舶の Attained EEDI が、Required EEXI を満たしている場合に限ります。

Attained EEXI は、MARPOL 附属書 VI の規則 20 A (第 76 回 MEPC で 「規則」23 に改称) に従って計算されなければなりません。『Attained EEDI 計算方法についてのガイドライン』が、最近の第 76 回 MEPC で採択され、公表されています。

EEXI 規制の枠組みでは、EEDI 規制で使用されるているのと同じ、船舶のタイプ・大きさ・カテゴリ等の区分が用いられています。

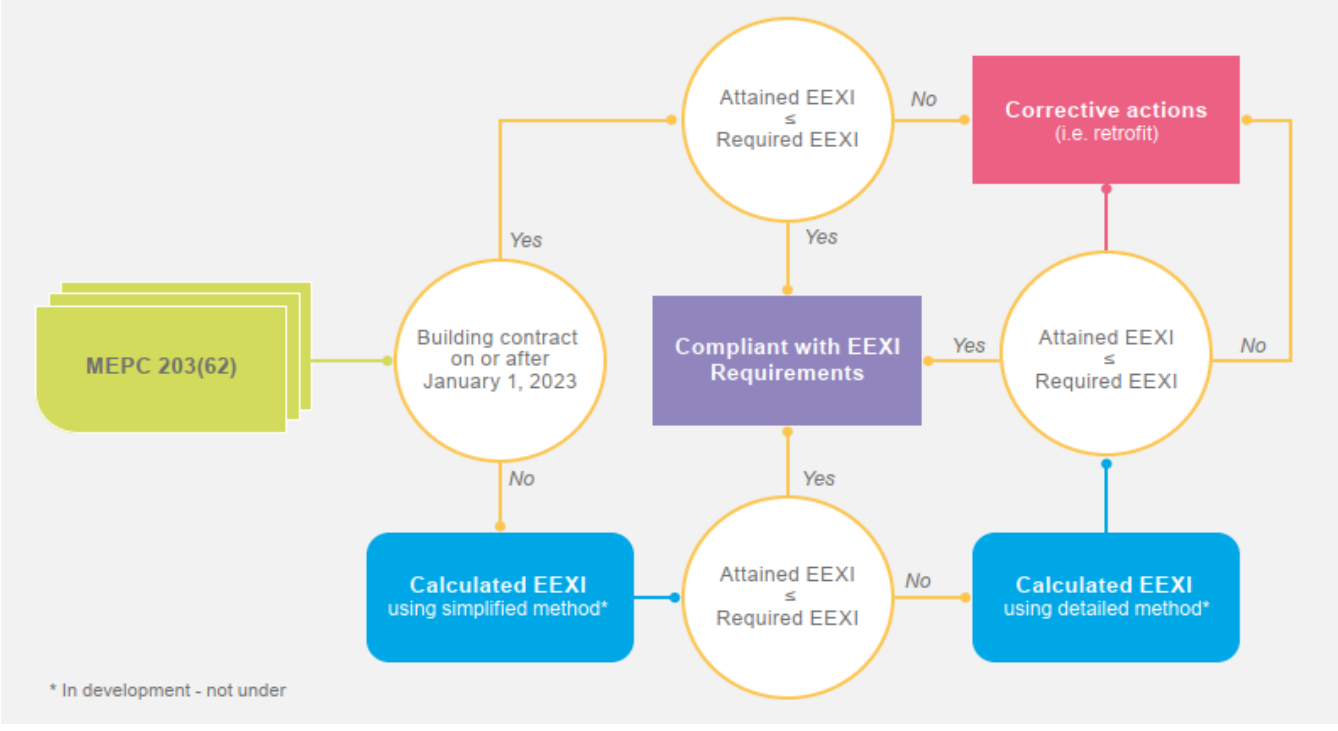
Attained EEXI は、Required EEXI よりも小さくなければなりません。最終的な EEXI テクニカルファイルと SEEMP は、審査のためビューロー・ベリタスに提出され、次いで、新しい IEE 証明書の発行に先んじて、確認検査を受ける必要があります。Attained EEXI が要件を満足しない場合は、その効率指標を要求水準まで上げるため、何らかの解決策を探す必要があります。

なお、ヨット・漁船・浚渫船・タグボートは、これら規制の対象ではありません。

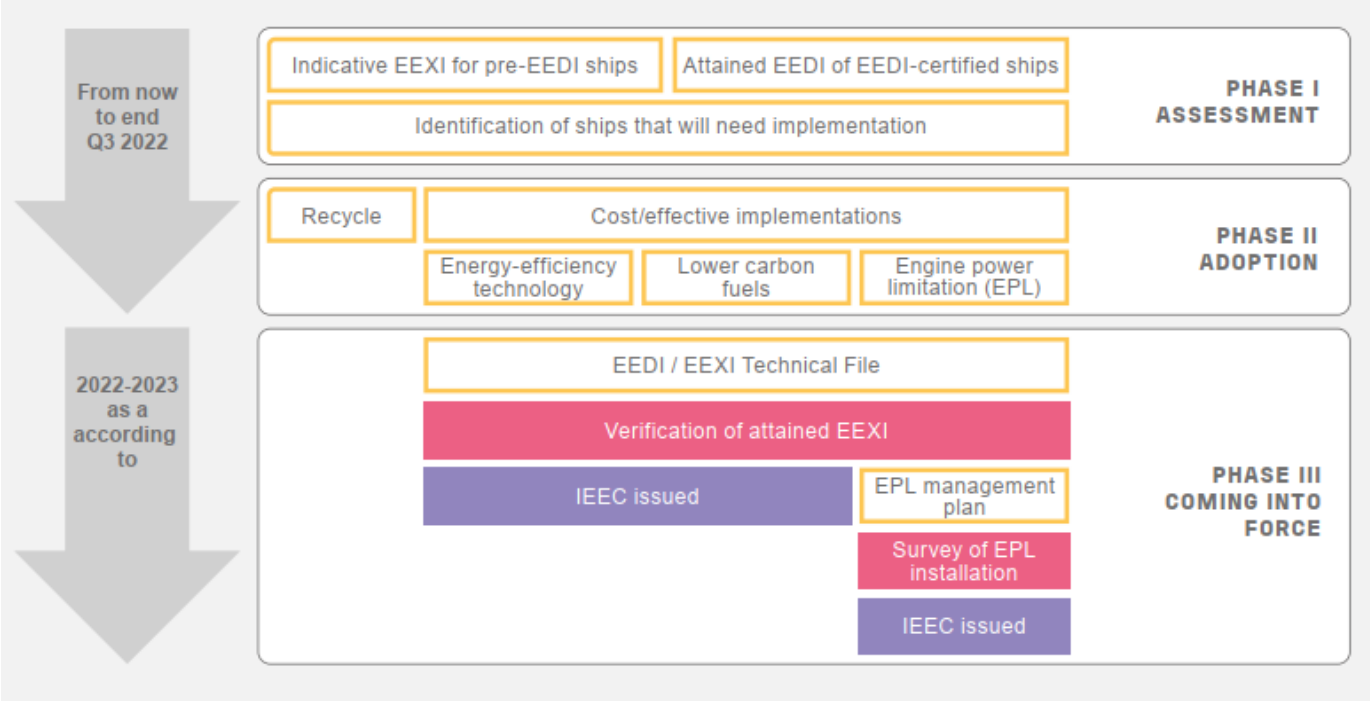
既存船における EEXI 規制準拠のスケジュール

表「EEXI 規制適用スケジュール」 (次ページ) は、EEXI 規制の導入と適用のスケジュール（可能性のある改定を含む）を示しています。

EEXI 規制の適用



EEXI 規制適用スケジュール



6.2.2. EEXI 計算式

EEXI 値は、次の式を使用して計算されます。

EEXI 計算公式

Impact of propulsion | Impact of auxiliary services | Impact of PTI reduced with electrical innovations | Impact reduction due to mechanical innovations

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^{n} f_j\right)\cdot\left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)}\cdot CF_{ME(i)}\cdot SFC_{ME(i)}\right)+\left(P_{AE}\cdot C_{FAE}\cdot SFC_{AE}\right)+\left(\left(\prod_{j=1}^{n} f_j\cdot\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}-\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)}\cdot P_{AEeff(i)}\right)\cdot C_{FAE}\cdot SFC_{AE}\right)-\left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)}\cdot P_{eff(i)}\cdot C_{FME}\cdot SFC_{ME}\right)}{f_i\cdot f_c\cdot f_l\cdot f_w\cdot f_m\cdot Capacity\cdot V_{ref}}$$

Correction factors

Ship's work

f	Correction factors
CF	CO_2 emissions factor (fuel type)
SFC	Specific Fuel Consumption (g/kWh)
P	Power (kW)
$Capacity$	Weight (t)
V_{ref}	Speed (knot)
ME	Subscript for parameters related to Main Engine(s)
AE	Subscript for parameters related to Auxiliary Engine(s)

EEXI Unit
g CO_2 / (tonnes * nautical miles)

6.2.3. EEXI vs EEDI

Required EEXI の計算は、既存の EEDI リファレンスラインに基づき、EEXI の計算に割り振られた削減率の表を用いて行います。これらの削減率 (パーセント) は、船舶の種類や大きさごとの EEDI リファレンスラインに関連しており、2022 年の EEDI 値 (EEDI Phase2 又は 3) に類似します。

Attained EEXI は、Required EEXI と同じかそれ以下でなければなりません。

Vref は、認証を受けた “速力−馬力” 曲線から得られます。この曲線が利用できない場合、船速 Vref は、MARPOL 付属書 VI のガイドラインで導入された計算に従い、船速とエンジン出力の分布の統計平均から推定することができます。

主機及び補機の燃料消費量の標準値は、EEXI 計算ガイドラインに定められています。これらの標準値は控えめな値であり、Attained EEXI は改善する可能性があるため、NOx テクニカルファイルから測定されたショップテストのデータの証拠と文書を提出することが望まれます。

EEXI 計算による規制の影響を受ける船種と、それぞれの減少係数 “Y”は、規則 21 A の表 3 に示されています。

EEDI vs EEXI

MARPOL ANNEX VI Chapter 4			
	EEDI	Versus	EEXI
Ship's type, category and size	New ships Regulation 21	=	New ships Regulation 21
Attained Index Formula	New ships Regulation 20 MEPC 322(74), MEPC 75 draft amendment	=	Regulation 20A Guideline in development
Required Index Formula	Regulation 21	=	Regulation 21A
Reduction factor	X=Regulation 21 table 1	<	Y=Regulation 21A table 3
	Phase 0-1	Adjusted =	
	Phase 2-3	=	
Reference Line Value	Regulation 21.3	=	Regulation 21A.1.2

SEEMP Regulation			
	Regulation 22A (DCS)	Versus	Regulation 22B (CII)*
Ships more than 5,000 GT	Applicable	+	Applicable

* 規則 20A.1 および 22.B.1：附属書 VI の規則 2.25～2.31、2.33～2.35、2.38、2.39 の 1 つ、または、2 つ以上に該当するすべての船舶に適用されます。

規則 21 A 表 3

Ship Type	Size	Reduction Factor
Bulk Carrier	200,000 DWT and above	15
	20,000 DWT and above but less than 200,000	20
	10,000 DWT and above but less than 20,000	0-20*
Gas Carrier	15,000 DWT and above	30
	10,000 DWT and above but less than 15,000	20
	2,000 DWT and above but less than 10,000	0-20*
Tanker	200,000 DWT and above	15
	20,000 DWT and above but less than 200,000	20
	4,000 DWT and above but less than 20,000	0-20*

Ship Type	Size	Reduction Factor
Container Ship	200,000 DWT and above	50
	120,000 DWT and above but less than 200,000	45
	80,000 DWT and above but less than 120,000	35
	40,000 DWT and above but less than 80,000	30
	15,000 DWT and above but less than 40,000	20
	10,000 DWT and above but less than 15,000	0-20*

Ship Type	Size	Reduction Factor
General Cargo Ship	15,000 DWT and above	30
	3,000 DWT and above but less than 15,000	0-30*
Refrigerated Cargo Carrier	5,000 DWT and above	15
	3,000 DWT and above but less than 5,000	0-15*
Combination Carrier	20,000 DWT and above	20
	4,000 DWT and above but less than 20,000	0-20*
LNG Carrier	10,000 DWT and above	30
Ro-ro Cargo Ship (vehicle carrier)	10,000 DWT and above	15

Ship Type	Size	Reduction Factor
Ro-ro Cargo Ship	2,000 DWT and above	5
	1,000 DWT and above but less than 2,000	0-5*
Ro-ro Passenger Ship	1,000 DWT and above	5
	250 DWT and above but less than 1,000	0-5*
Cruise Passenger Ship with non-conventional propulsion	85,000 DWT and above	30
	25,000 DWT and above but less than 85,000	0-30*

* 削減率（Reduction Factor）は、船舶の大きさに応じた 2 つの数値の間で直線的に補間されます。削減率の小さい方の数値は、小さい方の船舶に適用されます。

6.2.4. EEXI – 重要なパラメーターとその結果

計算された EEXI 値が許容閾値に近いか、それを超えている場合には、新しい規制に適合するように、当該船舶に調整を加える必要があります。したがって、どのパラメーターが計算の中で重要であるかを明らかにすることが必要です。

是正方法として、計算された EEXI 値を改善するためにまず行うべきことは、控えめに見積もられた基準船速を “ 速力−馬力 ” 曲線から導出された値で、または燃料油消費の標準値をショップテストデータで置き換えることです。

主機出力

Attained EEXI 算出にあたっての最も重要なパラメーターは、主機の出力(PME)です。EEDI および EEXI の算出では、主機や補機のクランクシャフトの出力を測定して得られた推進出力と補助出力の固定部分が考慮に入れられます。

一般に PME は、全ての主機の MCR の 75%と定義されます。ただし、ディーゼル電気推進システムを装備した LNG 運搬船の場合、PME は、電気推進モーターの定格出力を、電気チェーン（electrical chaine）（補機の出力から推進モーターの出力まで）効率で割った値の 83%です。

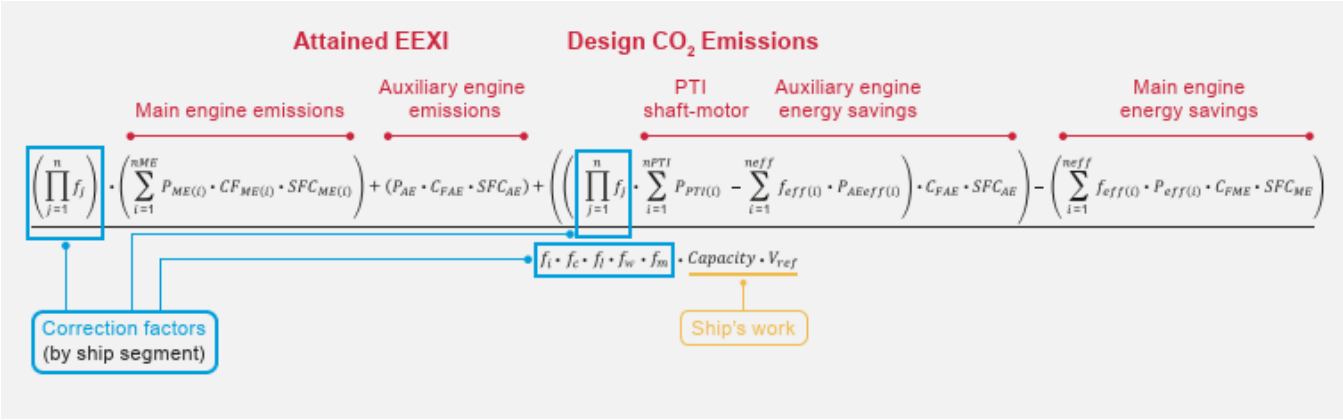
蒸気タービンを有する LNG 運搬船の場合、PME は蒸気タービンの本来の定格出力の 83%です。

最近の MEPC 会合では、前述のとおり、主機の出力は、本来の連続最大出力（MCR）の 75%未満であれば、EPL 後の最大出力 (MCRim) の 83%とする旨が決められました。

PME の決定方法の詳細については、EEDI の計算と検証に関する 2015 年の業界ガイドラインを参照して下さい。

Attained EEXI を改善するための解決策の一つは、緊急時に解除可能なエンジン出力制限 (EPL) またはシャフト出力制限 (ShaPoLi) を用い、エンジン出力を低減することです。これは、EEXI の計算に即座に影響します。

EEXI の重要なパラメーター



補機出力

補機出力 (PAE) も公式に含まれており、特別な注意が必要です。この電力需要は、積み荷（loading）と運航のパターンに大きく依存しており、安全面とも関りがあります補機出力は、一般に、主機出力の一定の割合として考えることができます。詳細は IMO 計算ガイドラインに記載されています。

燃料消費率

EEXI 計算ガイドラインで定義されている主や補機の燃料消費率の標準値が保守的であることは既に述べました。これにはEEDI規制適用以前の船舶や蒸気タービンを備えたLNG 運搬船が影響を受けます。燃料消費率(SFC) は、親エンジンの NOx テクニカルファイルに記録された計測結果から求めることができます。このテクニカルファイルはNOx テクニカルコード 2008 で規定されています。SFC は、補正済みのエンジンの燃料消費率を意味し、g/k Wh で表されます。添え字 ME (i) と AE (i) は、それぞれ主機と補機を指します。SFCae は、各エンジンの SFCae の出力荷重平均です。

ガス燃料が主機または補機の 1 つ以上で主燃料である場合、IMO ガイドラインに記載されているように、Cf 係数、ガス (LNG) の SFC、およびパイロット燃料は、適切な EEDI 負荷点(EEDI load point)で組み合わせなければなりません。

蒸気タービンを推進力とする LNG 運搬船の場合、蒸気タービンの SFC は、主ボイラーと蒸気タービンの稼働試験中、および、海上試運転中に負荷をかけた状態で測定します。

基準船速 Vref

もう一つの重要なデータは、基準船速 V_{ref} です。これは、海上試運転から得られた最大満載喫水に関する “ 速力-馬力曲線 ”（承認されたもの）から得られます。EEDI 適用船については、V_{ref} は、この“ 速力-馬力曲線 ”から求めなければならなりません。

IMO は、過去の海上試運転で値が決まらなかった場合どうすべきかの検討を行っています。第 76 回 MEPC では、“ 速力-馬力曲線 ”を決めるのに、CFD 計算 (船舶ごと) も許容すると決定しました。

船舶の積載能力

船舶の容量も重要なパラメーターであり、IMO ガイドラインに示されているように、クルーズ船は総トン数、他の船種は載荷重量の関数として計算されます。例外として、コンテナ船は載荷重量の 70%が使用されます。

6.2.5. 船舶のタイプ・大きさ別の EEXI 計算

EEDI 適用船

Bureau Veritas は、登録のある 600 以上の船舶のデータに基づいて EEXI 指数を推計し、次のような情報を得ました。

- EEDI 適用船の 70%は、何か調整も加えずとも規制に適合すると思われる。
- 適合しない船舶については、EEXI 規制を満足するために、エンジン出力制限 (EPL) の採用が、最も理にかなった方法であると思われる。

詳細は Annex 1 を参照して下さい。

Bureau Veritas が調べたコンテナ船では、他のタイプの船と比べると、欧州で就航するフィーダー・サイズの船の割合が高く、また、積荷重量を考慮すると出力が相対的に大きいことから、このカテゴリーの船舶に関する見通しはやや悲観的です。

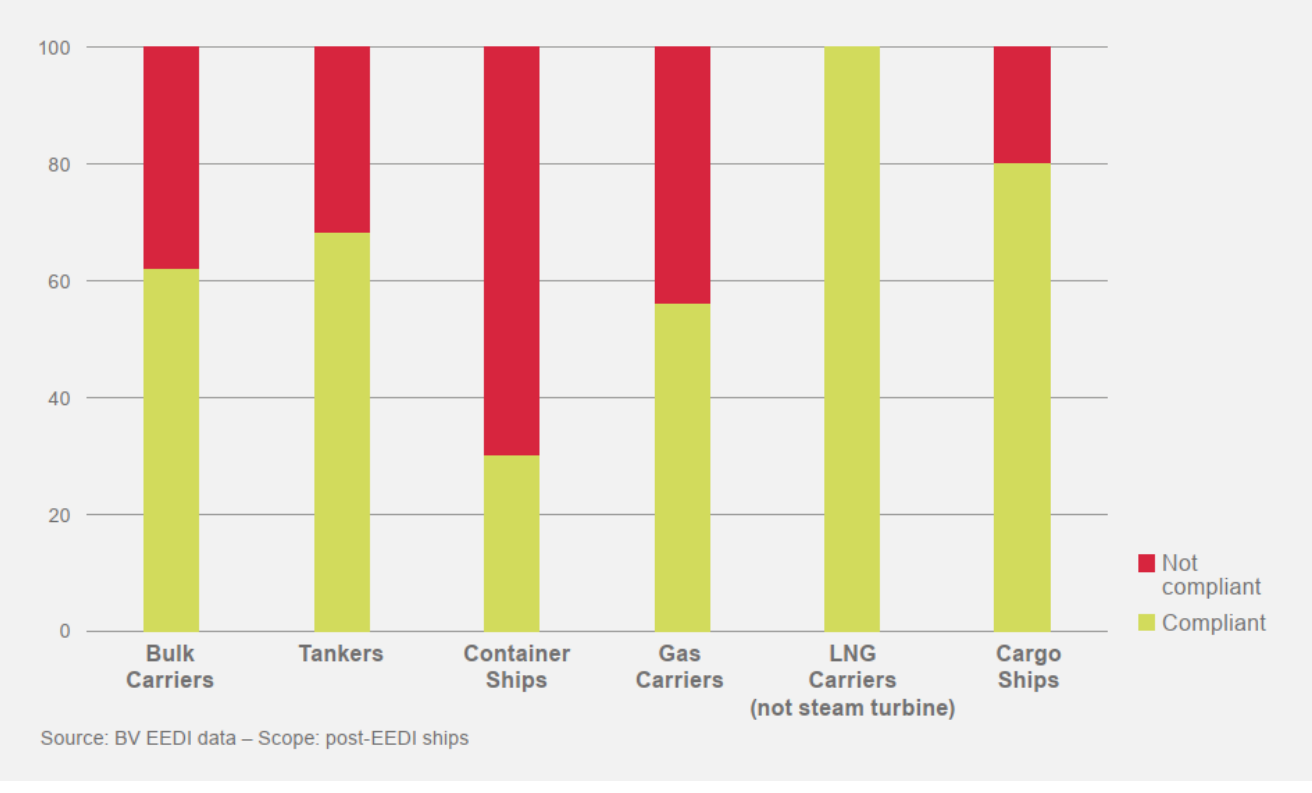
Bureau Veritas が調査した LNG 船には、蒸気タービンを搭載したものはなく、いずれも規制に適合すると思われます

EPL の使用により、出力は 10~40%低減できるので、EEXI 基準の達成が可能であり、全体的には満足のいく結果となりました。現在、出力の平均使用値は船舶によって差がありますが、一般には 50%から 60%の間です。従って、EEDI 適用船への影響はおそらく限定的になる見込みです。EPL の使用については 6.2.6 を参照して下さい。

ばら積み貨物船

Bureau Veritas は、2002 年以降に建造されたばら積み船 150 隻以上についてのデータを分析し、EEXI 基準を満足するに当たって、EPL の使用が EEXI の値にどのくらい影響を与えるかの推計を行いました。
平均で 18%の出力低減により、十分基準を達成できることが分かりました。これにより、基準船速は 6.5%低下します。なお、ばら積み貨物船の大きさによって推計値は異なります。
当然のことながら、使用される EPL は、船の大きさと建造日によって異なってきます。

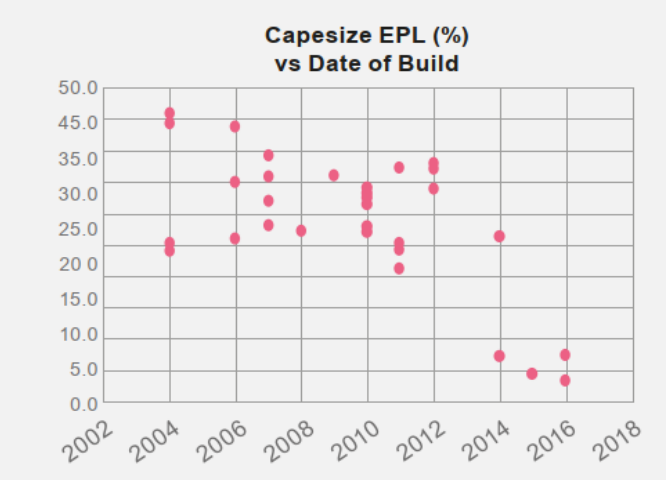
予測される EEXI 準拠の割合

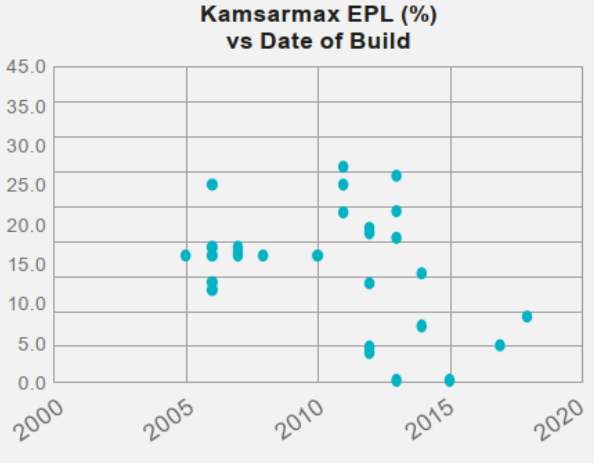


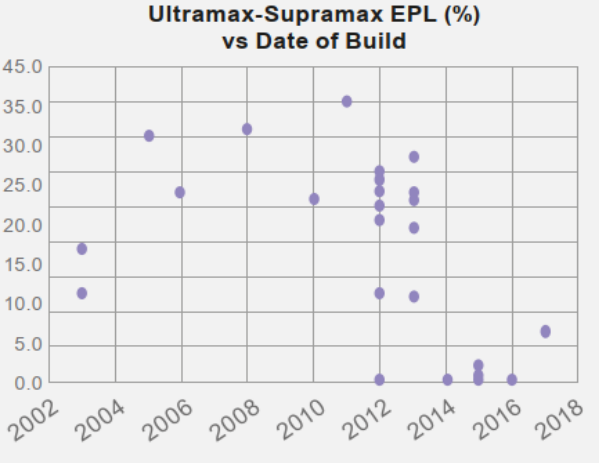
EEXI 規制の効果(2002 年以降に建造された船舶 150 隻以上について BV による計算)

Type	Required EPL Range	Average Required EPL	V_{ref} (75% MCR) before EPL (knots)	V_{ref} (75% MCR) after EPL (knots)	V_{ref} Reduction
Newcastlemax	0% - 6%	1%	14.4	14.4	0%
Capesize	7% - 46%	28%	14.8	13.0	11.6%
Minicapes	24% - 38%	32%	14.7	13.0	11.4%
Kamsarmax-Panamax	0% - 30%	13%	13.8	13.2	4.2%
Ultramax-Supramax	0% - 40%	14%	14.0	13.3	5.0%
Average		18%			6.5%

船舶のタイプ･大きさ別の EPL の適用







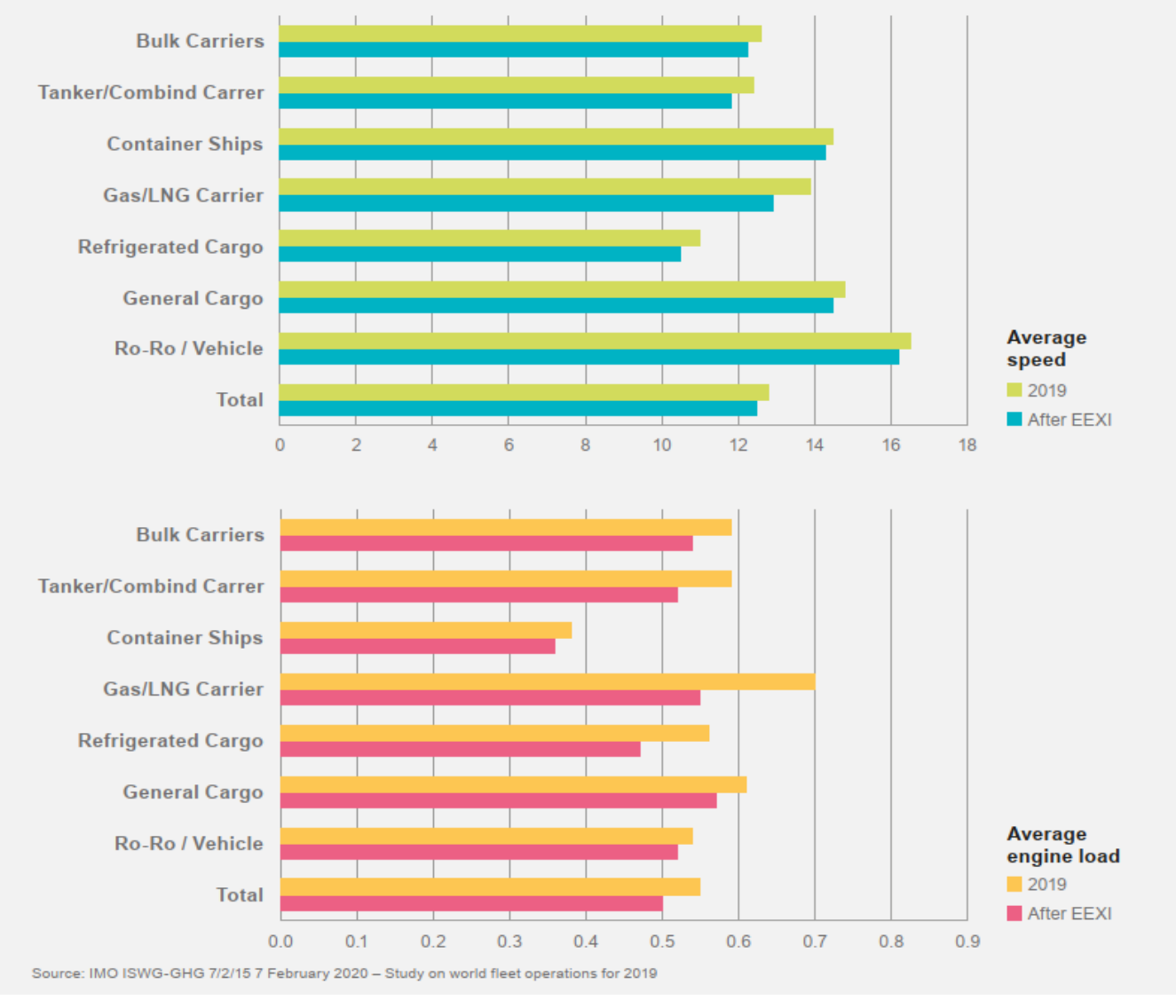
EPL による EEXI への効果に関する IMO 研究

IMO は、2019 年の燃料消費に関する報告結果を受け、EPL による船速の低減を評価するための研究を実施しました。この研究では、全体で船速は 5%以上低下しないと結論されました。前述したように、船速とエンジン負荷は既に、市場の状況や燃料価格のため低下している。EEXI 基準の導入は、平均運航船速には影響しませんが、エンジンに高負荷がかかる時間の短縮にはつながると思われます。

Ice class vessels

Bureau Veritas の計算では、Attained EEXI に Ice class 補正係数を適用した場合でも、Ice class vessel に必要な EPL は、通常の船舶のそれと比較して著しく高くなると出ました。小型船では、Ice class の最小出力をカバーするために、エンジン出力を、船体に不釣り合いな大きさまで増加させる必要があるので、状況はさらに悪くなります。しかしながら、Bureau Veritas の計算から導き出された EPL の数値 (38%から 51%の間) は大きいが、氷海での航行時、Ice class vessel の予備出力は通常必要とされず、EPL は解除できるため、Ice class vessel の航行への影響はないと思われます。したがって、ほとんどの Ice class vessel は、EEXI 規制の影響を受けないと思われます。

船速への EEXI 規制の影響



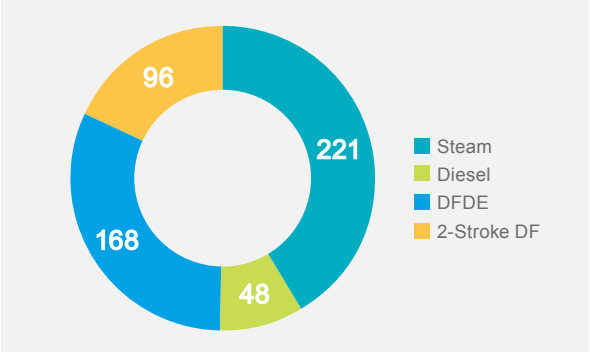
蒸気タービンを備えた LNG 運搬船

蒸気タービン駆動の LNG 運搬船の大部分は、効率の低い推進システムのため、規制には適合できないようです。EEXI に準拠させるためシャフト出力制限(ShaPoLi)を採用すれば、消費レベルは自然のボイル・オフ・レートを下回るようになります。EEXI のガイドラインでは、“過剰なボイル・オフ・ガス”の大気中への放出や、ガス燃料装置やスチームダンピングでの不要な酸化を避けるため、ボイル・オフ・ガスをエンジンまたはボイラーで燃焼させることを許すとしています。この点に関する IMO の詳しい説明は一旦保留にしますが、ボイル・オフ・レートの動作点（operating point）は、このカテゴリーの船にとって最大の制約であり、この制限値は、これら船舶の MCR の約 60%相当です。世界の LNG 運搬船の 1/3 以上で、EEXI への準拠のため、より低速での運航および非効率なタービンの調整が必要となってきます。タービンの調整は CII への準拠の問題を難しくしていますが、排出をさらに削減し、CII 削減率 2%を達成する方法の選択肢は他にはほとんどありません。

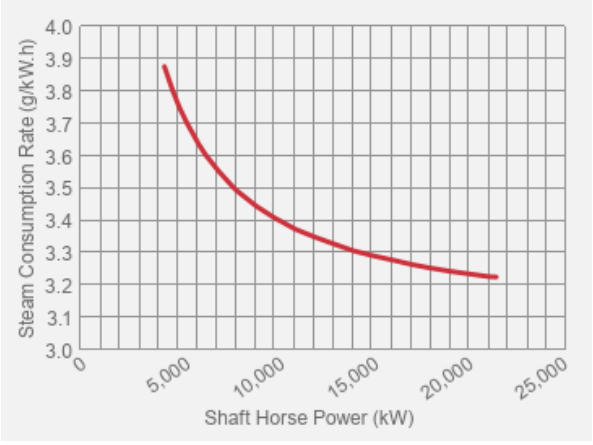
RoPax 船に関する EEXI

船速／出力の低減は人為的に EEXI を増大させ、EEDI 値にも影響を及ぼすため、RoPax 船および Roro 船(自動車運搬船)に提示された EEXI 指標についても課題が残ります。Ro-Ro 船に対する補正係数は、矛盾を避けるために修正されました。

40,000m^3 以上の船舶の FLEET（FSU、FSRU、Laid-up 船を除く）



LNG 運搬船（135,000 m3 ）での MHI 蒸気タービンの典型的な蒸気消費量



各タイプの LNG 運搬船に関する BV による計算のまとめ

Type	DF 2-Stroke	DF Diesel Electric	Steam Turbine
Date of Build (year)	2017-2020	2007-2019	1977-2014
Capacity 100% (m^3)	174,000 – 180,000	155,000 – 174,000	125,000 – 150,000
SGC (g/kWh)	145 – 160	170 – 190	240 – 300
Daily Gas Consumption (t/day)	96 – 104	120 – 125	130 – 170
Natural BOG (t/day)	67 – 69	70 – 78	85 – 102
EEXI attained	4.0 – 4.1	7.4 – 8.0	9.0 – 11.0
EEXI required	6.9 – 7.1	7.2 – 7.4	7.1 – 7.8
Shaft Power Limitation	N/A	0% - 10%	25% – 45%
Daily Gas Consumption (t/day) after ShaPoLi	N/A	Not affected	90 – 76
Reduction of Speed	N/A	Not affected	From 19.5 kn to 16.5 kn

MEPC 76-7-X 1 (TOR 1) : LNG 船の場合、エンジンまたはボイラーの中の過剰な自然ボイルオフガスの燃焼から得られた出力は、大気への放出または不必要な熱酸化を避けるため、検査機関の承認を得た上で PME (i) から控除すべきものとします。

6.2.6. ShaPoLi 及び EPL の管理

EEXI 規制に適合しない船舶については、ほとんどの場合、出力制限が、既に実施されている負荷率の低減よりも負担の少ない方法であり、その中で ShaPoLi 又は EPL の採用が基準を達成するための最も簡便な選択肢であると思われます。

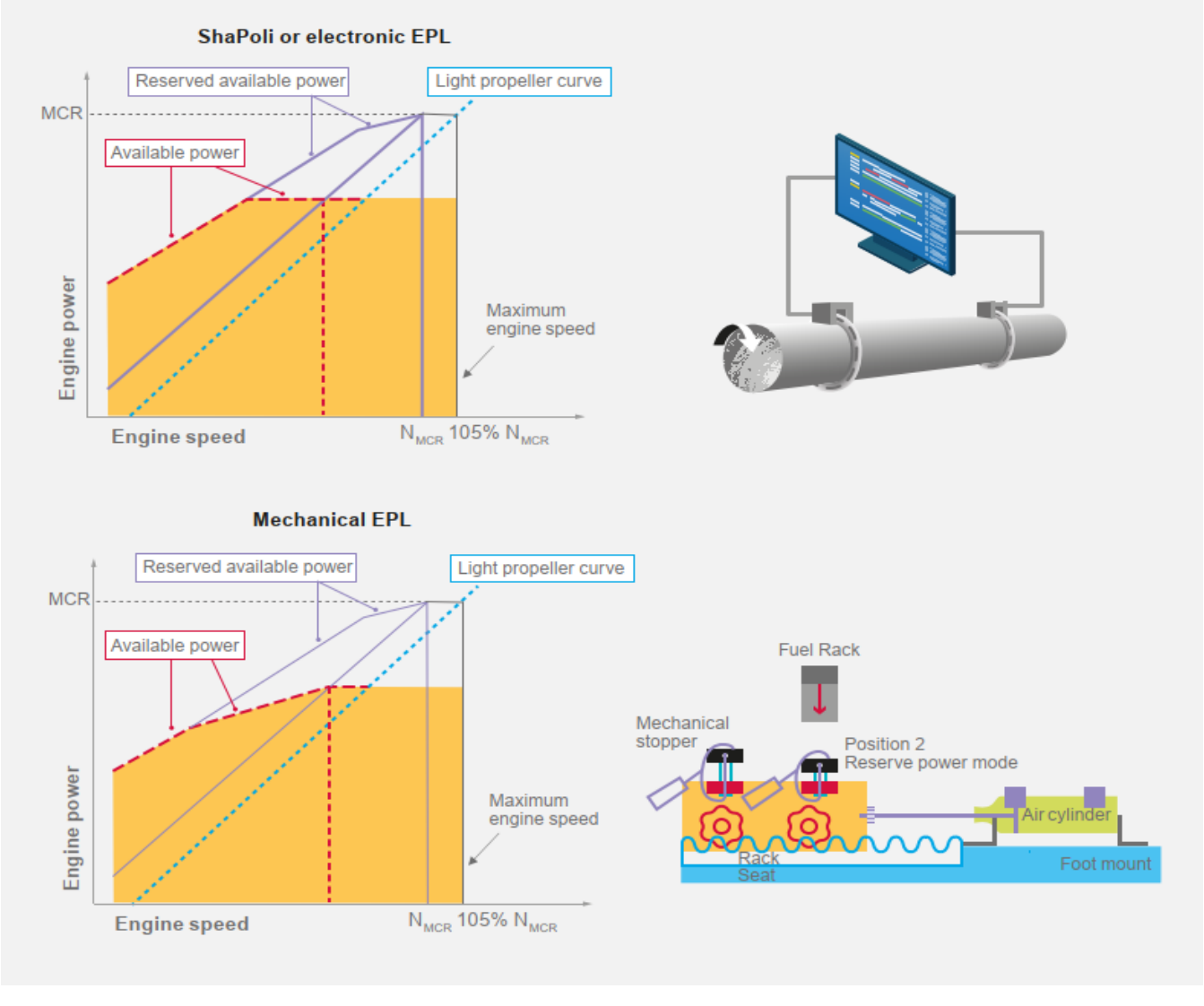
ShaPoLi／EPL は原則として、恒久的なものではありませんが、これを解除するには、乗組員は船長の許可に従って慎重に行動する必要があります。『ShaPoLi および EPL の船上管理マニュアル』（ShaPoLi / EPL Onboard Management Manual ：OMM) は、RO によって検証されています。
IMO 規則(付属書 VI 規則 3.1)に基づき、予備出力は次の場合に使用することができます。

- 悪天候
- 氷に覆われた水域
- 捜索・救助活動
- 海賊からの回避行動
- エンジンのメンテナンス

予備出力システムとその関連稼働状況は OMM に記載する必要があります。

EEXI 規制に適合するためのシャフト／エンジン出力制限および予備出力の使用に関するガイドラインを参照下さい。

電気系統または機械系統によるエンジン出力の制限



6.2.7. EEXI 規制準拠のための ESD 導入

Attained EEXI を改善するための選択肢の一つは、エンジンの本来の連続最大出力に対する基準船速を高めるためにエネルギー効率化技術を導入することです。省エネ装置 (Energy-Saving Divices：ESDs) は、 EEXI の基準超えが僅かであり、かつ、船体／機械の複雑な改造がもたらす利益が大きい場合に取る価値がある方法です。船ごとの ESD の効果を EEXI 計算やテクニカルファイルに反映するのには CFD 計算が使用できます。

解決策の基となる技術：

風力補助推進 (WAP)

船舶の推進力を補助するため、帆や他の風力技術を甲板に設置。

プロペラの効率改善

プロペラ周りの水流を最適化し、プロペラの効率を向上させる様々な方法。

代替燃料

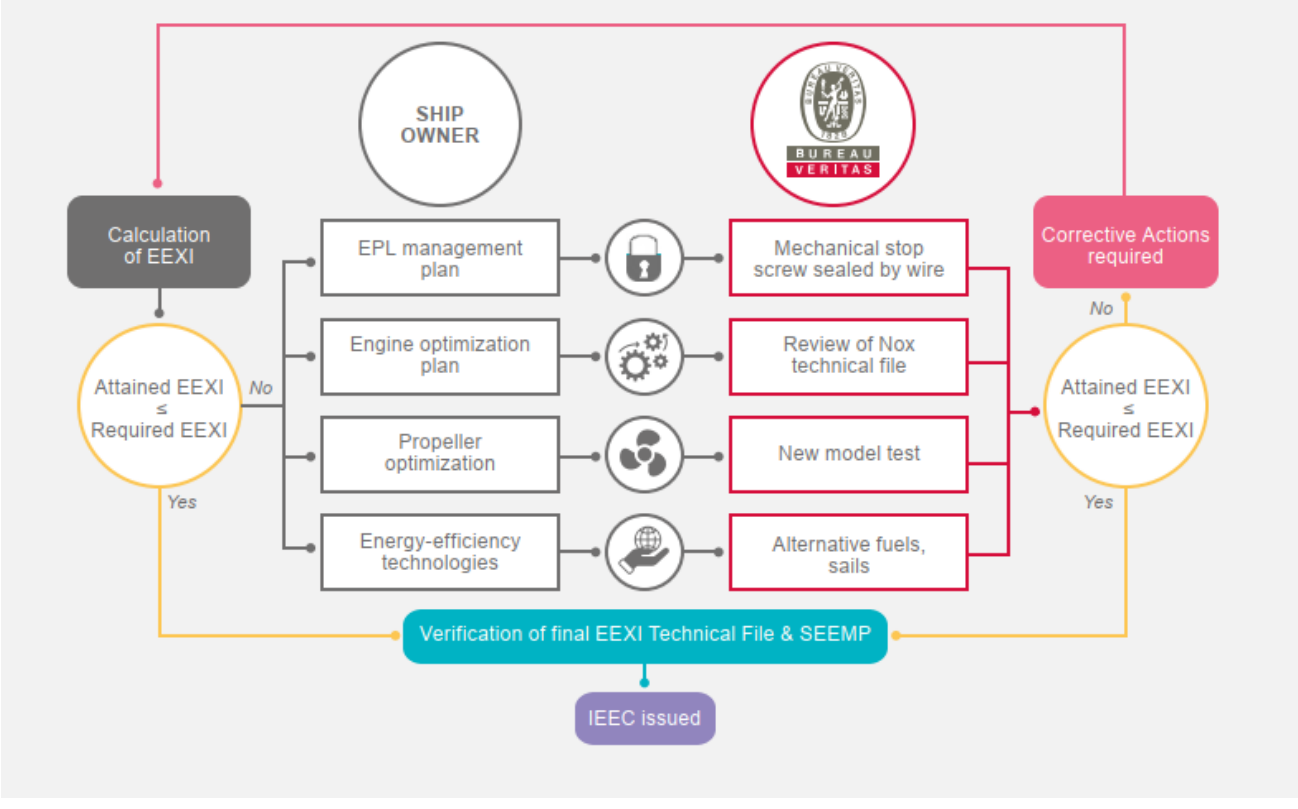
- カーボン・ニュートラルまたはカーボンフリー燃料への切り替え。
- LNG/CNG/LPG 炭素回収;
- バイオメタン
- “グリーン”メタノール
- “グリーン” 水素

しかしながら、 EEXI 計算の基準が確立しているのは、目下のところ、ディーゼル／軽油・軽質燃料油 (LFO)・重質燃料油 (HFO)・液化石油ガス (LPG)・液化天然ガス (LNG)・メタノール・エタノールが使用されてる場合に限られます。

上述のオプションの詳細な検討は、本書の目的外となるので、ここでは、Bureau Veritas は、これら全てに関する専門知識を提供できるということを強調するにとどめたいと思います。これらのオプションのより詳細な検討が必要な場合は、お問い合わせ下さい。

省エネ装置の使用で、エンジンの本来の連続最大出力に対する基準船速を高める

EEXI 準拠と IEE 証明書の発行までの経路

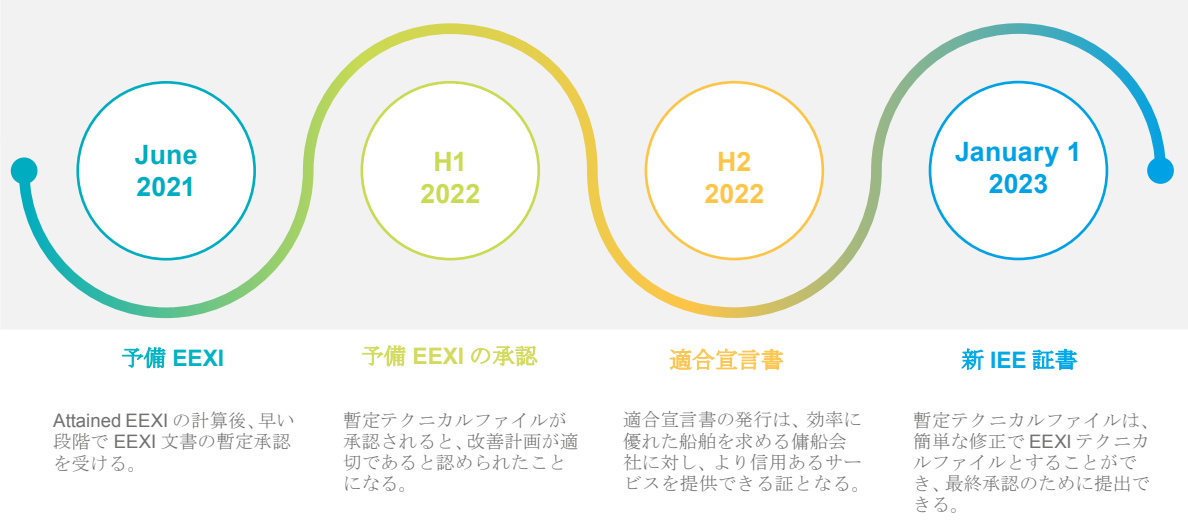


6.2.8. EEXI テクニカルファイルの構成

提出するファイルには、すべての計算を記載し、使用したパラメーターの証拠を示さなければなりません。本船の改造など是正措置が必要とされる場合は下記の図に記載されているように全ての技術的計算をやり直す必要があります。

EEXI テクニカルファイルは、2023 年 1 月より前に作成し、検証を受けておく必要があります。ただし、Bureau Veritas は、船舶がすでに EEXI 規制を満たしている場合には、この日付を待たずに適合宣言書（Statement of Compliance）を発行することができます。これにより、船主は関係者に対し、その船舶が既に IMO の GHG 規制に適合済みである通知することができます。

EEXI 適用のスケジュール



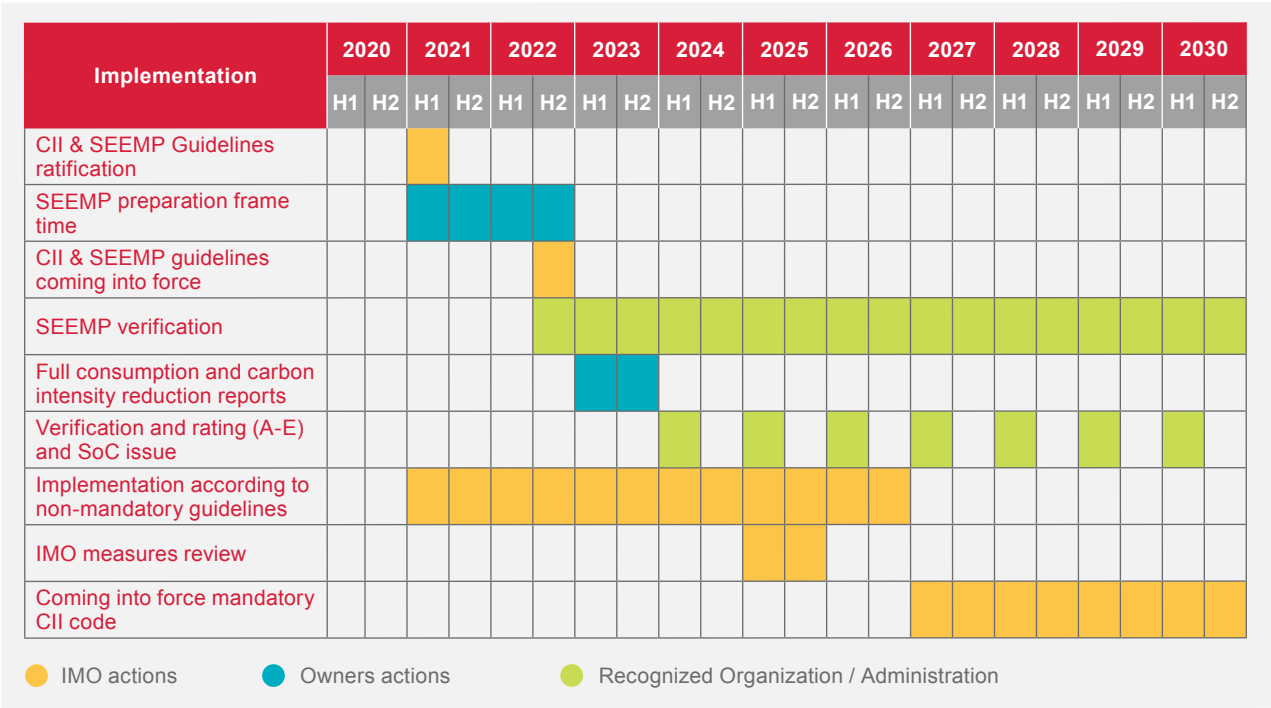
6.3. 運航上の年間燃費実績格付け制度 (CII) 及び船舶エネルギー効率管理計画 (SEEMP)

海運業界は現在、次の MEPC 会合の成り行きを待っています。この会議において CII と SEEMP の適用に関するガイドラインが最終的に決定される予定だからです。現在準備が進められているこの規制では、炭素集約度指標 CII の計算方法（Attained CII と Required CI の両方）と格付けの方法の説明が示されると思われます。計算は、燃費実績報告制度 (DCS) のデータに基づいて行われます。各船舶は、計算された CII が CII 参照値に対してどの程度であるかによってランク付けされます。そして、その船の年間の Attained CII に基づいて、毎年 1 つのランク(A、B、C、D または E)が割り振られます。

SEEMP は、国際安全管理コード（ISM code）と同じく、エネルギー効率管理のツールとなる可能性が高く、船主は所有船舶の排出を削減する手段を選択するに際して、これを使うことになると思われます。

現在入手可能な情報 (今年後半に確定する見込み) によると、この運航上の炭素集約度削減のロードマップは、アセスメントから発効まで 3 つのステップから成っています。次ページの表は、そのスケジュールを示しています。

SEEMP スケジュール



運航時炭素集約度の低減策作成のロードマップ

6.3.1. Attained CII - 定義と方法論

以下に示す定義と方法論は、まだ最終的な承認を受けていません。議論や草案作成はまだ途中であり、要求事項の決定は次回の MEPC 会合でなされる見込みです。

現在のところ、個々の船舶 (5,000 GT を超えるすべての船舶に適用) の年間運航時 CII は、各暦年における総輸送仕事量 (W) に対する CO_2 排出総量(M)の比として計算されることになると見られています 。

“輸送仕事量”の解釈には様々なものがあるので、IMO では Attained CII の算定方法として、IMO DCS のデータに基づく Annual Efficiency Ratio (AER) とエネルギー効率運航指標 (EEOI) の二つのうちどちらにするか検討を行っています。AER は供給ベースのアプローチ、EEOI は需要ベースのアプローチです。IMO は、最終決定に当たっては、EEOI データの高い変動性と IMO DCS との融和性を考慮すると思われます。

IMO DCS の報告データを使うと、年間総燃料消費量・航行距離・載荷重量トン数 (DWT) などのパラメーターを使用して、炭素集約度指標である Annual Efficiency Ratio (AER)を計算することができます。AER は、トン・マイル当たりの CO_2 のグラム表示で表されます(g CO_2/dwt-nm)。

エネルギー効率運航指標 (EEOI) は、AER に類似した炭素集約度指標です。違いは、積載能力が各航海で運ばれた実際の貨物量で表される点です。さらに定義すると、バラスト状態も考慮して往復航海について EEOI を計算します。

EEOI を年間指標として機能させるためには、往復航海ごとの EEOI を計算し、それらを年間の移動平均に換算して報告されなければなりません。EEOI の単位は、輸送された貨物や輸送仕事量の測定方法によります。例：Tons CO_2（トン／海里）、Tons CO_2（TEU／海里）、Tons CO_2（乗客（person）／海里）などです。EEOI は、EU MRV 規制のために収集・報告されたデータとも融和性があります。

第 8 回 ISWG GHG の討議で分かった注目すべき点は、国際海運の炭素集約度は、需要ベースの測定では 31.8%改善（2008 年比）しましたが、供給ベースの測定では 22.0%の改善に留まったことです。
IMO は最終決定に向けて、それぞれの対応策の違いをさらに検討して行くと思われます。第 8 回 ISWG GHG は、IMO DCS に報告された燃料消費データの年次分析と並行して、AER と EEOI の両方を用いた年間炭素集約度の改善状況を継続的にモニタリングしていくことを提案しています。

Attained CII の計算

$$CH = f \cdot \frac{\text{Actual annual } CO_2 \text{ Emissions}}{\text{Actual annual Transport work}} = f \cdot \frac{CO_2\ Emissions}{Capacity \times Distance}$$

$$AER = \frac{\sum CO_2\ Emissions}{DWT_{max} \times Distance}$$

Supply Based

$$EEOI = \frac{\sum CO_2\ Emissions}{Cargo_{actual} \times Distance}$$

Demand Based

6.3.2. Required CII の計算式

船舶は、燃費実績格付け制度(CII)の 削減率に従って、要求に見合う運航上のエネルギー効率 (Required CII) を達成しなければなりません。

運航上の年間 Required CII は、第 76 回 MEPC で採択されたガイドラインに従って計算されます。

運航上の年間 Required CII = (1-Z/100) ×CII ® :

- Z は、その船舶の運航時炭素集約度を継続的に改善し、特定の格付けランクに収まるために必要な年間削減率である。
- CII ®は参照値である。

これら 2 つのパラメーターは、IMO が現在準備中のガイドラインで定義される予定です。

“Z”で示される運航上の年間 CII の削減率は、正の値です。これは、ある年において、その船が、参照値から減らさなければならない最低限の運航上の年間 CII をパーセントで規定したものです。この炭素集約度は各船について四半期ごとに観測されます。

各タイプごとの船のリファレンスラインに関するガイドラインは、第 76 回 MEPC で承認されました。

各タイプの船について、リファレンスラインは次のように定式化されています。

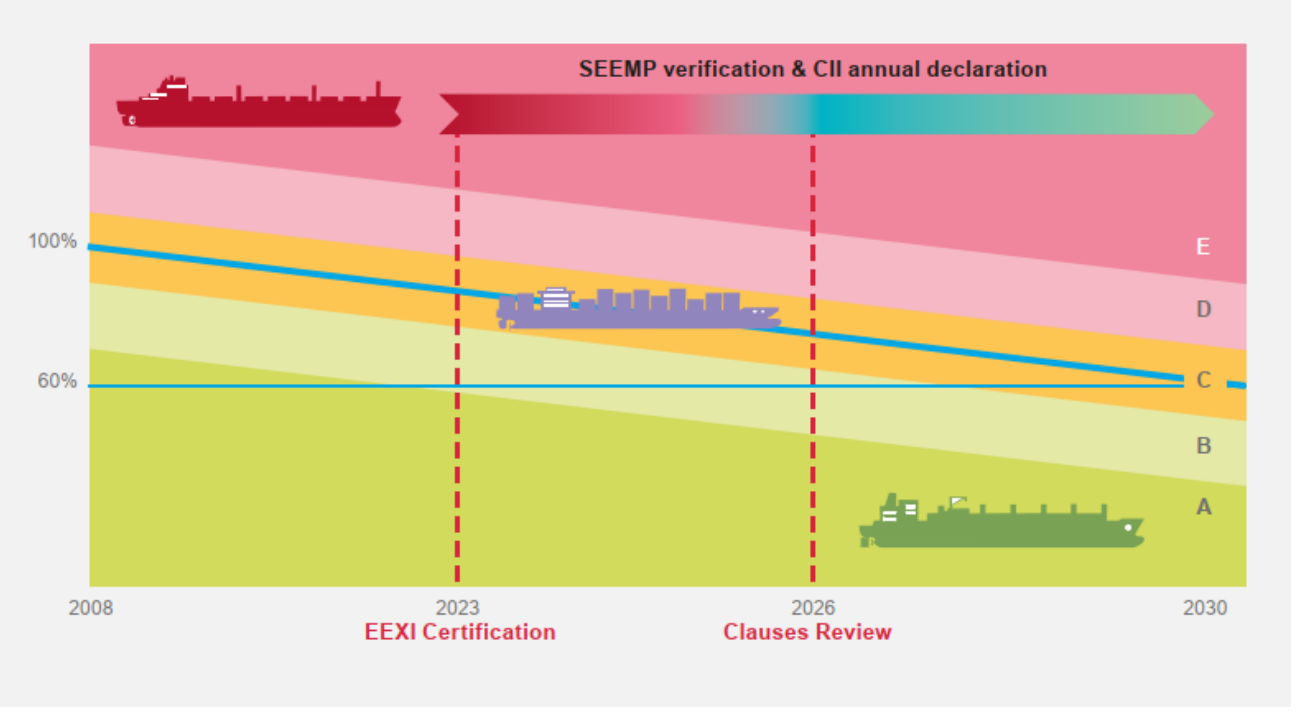
$$CII_{ref} = aCapacity^{-c}$$

CII_{ref} は 2019 年の参照値。

- 積載能力は、CII で船舶のタイプごとに定義されたのと同じ容量である。
- a 及び c は、2019 年に IMO DCS を通じて収集された各船の Attained CII と積載能力をサンプルとして、中央回帰曲線（median regression fits）を用いて推定されたパラメーターである (下記の表を参照) 。

タイプごとの船の削減率の値は、IMO の目標で、輸送仕事量ごとの CO_2 排出量を 2030 年までに少なくとも 2008 年比で 40% 削減するために、時間の経過とともに増加するか、あるいは少なくとも一定の水準を維持します。
運航時炭素集約度の削減率に関するガイドラインは、第 76 回 MEPC で承認されています。

要求される年間運航時炭素集約度 CII



船舶のタイプごとのリファレンスラインを決定するためのパラメーター（2019 年版）

Ship type		Capacity	a	c
Bulk carrier	279,000 DWT and above	279,000	4977	0.626
	less than 279,000 DWT	DWT	4977	0.626
Gas carrier	65,000 DWT and above	DWT	2384E7	1.910
	less than 65,000 DWT	DWT	8032	0.638
Tanker		DWT	5118	0.607
Container ship		DWT	1963	0.487
General cargo ship	20,000 DWT and above	DWT	61293	0.854
	less than 20,000 DWT	DWT	361	0.336
Refrigerated cargo carrier		DWT	6736	0.599
Combination carrier		DWT	151991	0.930
LNG carrier	100,000 DWT and above	DWT	9.860	0
	65,000 DWT and above, but less than 100,000 DWT	DWT	1966E10	2.498
	less than 65,000 DWT	65,000	1966E10	2.498
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)		GT	5831	0.633
Ro-ro cargo ship		DWT	15958	0.677
Ro-ro passenger ship		GT	7691	0.586
Cruise passenger ship		GT	904	0.380

MEPC 76-7-X 1 (TOR 1) : LNG 船の場合、エンジンまたはボイラーの中の過剰な自然ボイルオフガスの燃焼から得られた出力は、大気への放出または不必要な熱酸化を避けるため、検査機関の承認を得た上で PME (i) から控除すべきものとします。

6.3.3. 船舶の格付け

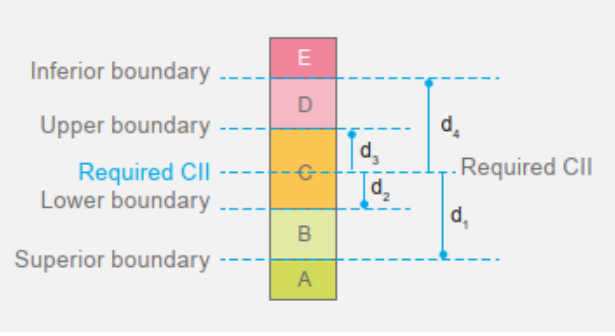
第 76 回 MEPC (MEPC.338 (76)) では、船舶の運航時炭素集約度の格付けに関するガイドラインが承認されました。運航時炭素集約度の格付けは、実際の運航上の年間燃費実績格付け制度に基づき、各船に 5 つのランク (A、B、C、D、E) を割り振っており、これらは、各船の炭素排出量の実績が順に major superior, minor superiur, moderate, minor inferior, inferior であることを示しています。

格付けの評価を容易にするために、2023 年から 2030 年までの間は、5 段階での格付けの手法には 4 つの境界線、すなわち、superior boundary, lower boudary, upper boundary inferior boudaary が設けられます。

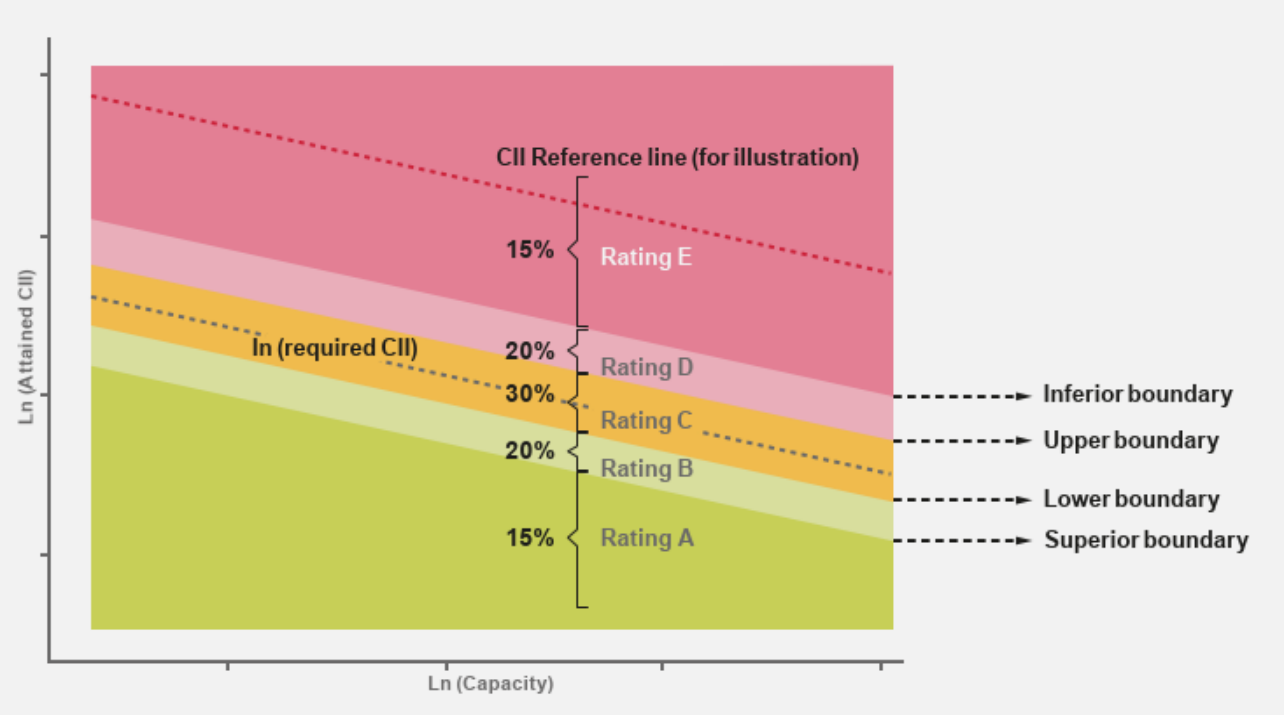
第 76 回 MEPC では、運航時炭素集約度の削減率は年ごと増加して行くので、炭素排出量の実績の格付けの境界もそれに同調させると決まりました。ただし、境界間の相対距離は変えてはならないとされています。船舶の格付けは、他の船舶の Attained CII と比較してではなく、その船の Attained CII と所定の格付け境界との比較によって決定されます。

格付けレベル C の中間点は、規則で決められた年間運航時 CII の値に相当します。Bureau Veritas は、船籍国主管庁の認定代行機関として、IMO が策定したガイドラインに沿い、年間の運航時 Attained CII を検証し、また、それを年間の運航時 Required CII と比較して、運航時炭素集約度ランク（A、B、C、D、E）の割り振りを行います。

格付けの原則



運航時のエネルギー効率パフォーマンスの格付け



6.3.4. CII 適用の除外条件

Bf 7 以上の海況や氷海での航行など、いくつかの条件が CII 計算に反映されていないとの意見があります。

6.3.5. 是正措置と優遇措置

E または 3 年連続 D に格付けされた船舶は、年間運航時 CII の要求値を達成するための是正措置を含んだ計画を作成しなければなりません。SEEMP にも、そうした是正計画を盛り込まなければなりません。

IMO から入手可能な情報によると、SEEMP の修正版は、規則に従って実際の年間運航時 CII を報告してから 1 ヶ月以内に、検証を受けるため船籍国主管庁へ提出するものとされています。

IMO は、行政・港湾当局などの主管庁・その他関係者を奨励し、格付け A 又は B の船舶の船主にインセンティブを与えるよう促しています。

Attained CII と Required CII 要求値の両方について、その定義が正確かつ公正に確定されるには、いくつかのパラメーターと原則が、今後の IMO の会合でさらに検討に付される必要があります。

一定の数の船は、D または E と格付けされると思われますしたがって、IMO は、不測の事態に備えた対応計画及び是正措置に関する現実的なガイダンスも整備していかなければなりません。

是正措置と優遇措置については、今後数年でさらに詳細に検討され、2026 年までに開かれる各 MEPC 会合で議論されると思われます。

6.3.6. CII の改善

CII の改善には、設計や航行面での措置など、いくつかのオプションがありますが、当然のことながら、採用のしやすさについては様々です。改造を決定する際には、適合性や財政的な現実性を確かめるために、船舶やその運航の特性（operational profile）のニーズを慎重に検討すべきです。

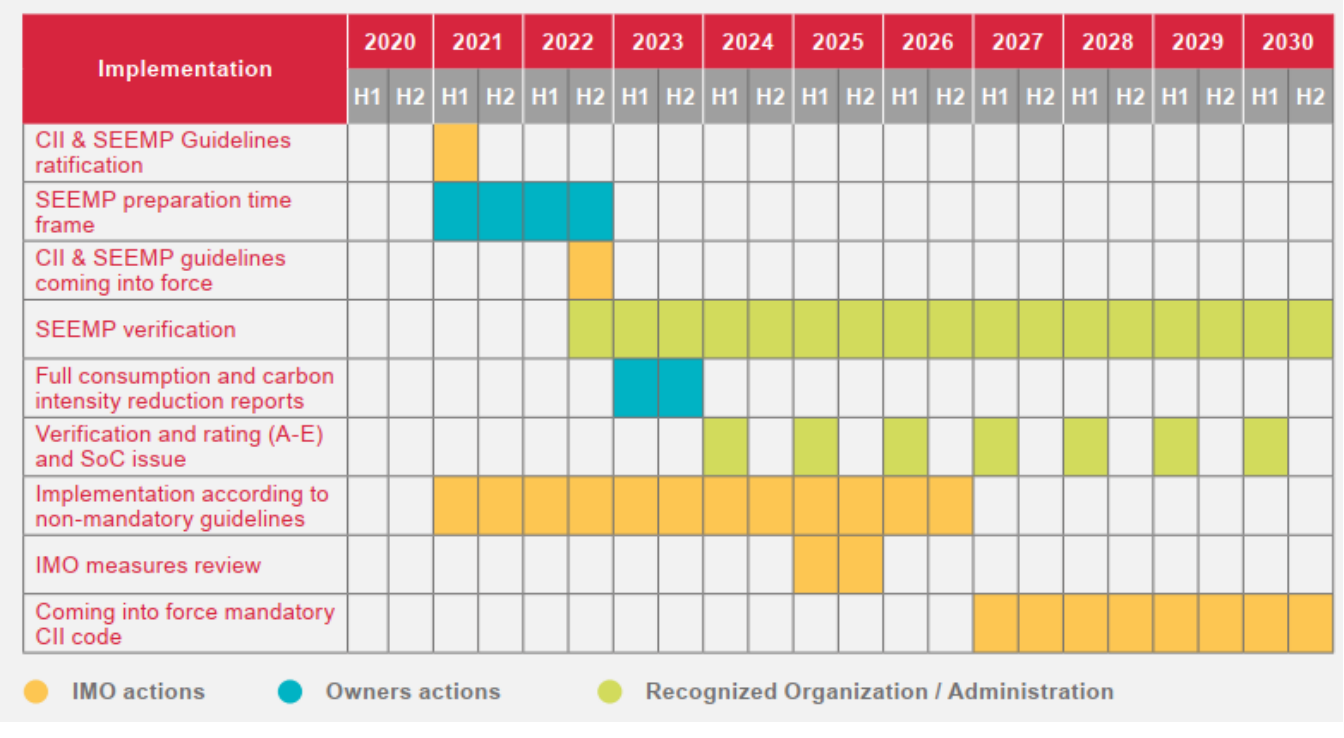
考えられる解決策は次のとおりです：

- 排熱回収システム
- 空気潤滑システム (ALS)
- 代替燃料
- ロジスティックスの改善;
- 省エネ・デバイス (ESD)
- VFD（Variable Frequency Drive）コントロール
- ウエザー・ルーティング
- 風力補助推進システム (WAPS)
- 船上の LED 照明
- 船体の洗浄・コーティング

本白書では、これらのオプションについて詳細な検討は行いませんが、Bureau Veritas は、ここで説明したすべてのソリューションに関して専門知識をご提供できます。詳細については、Bureau Veritas の担当者にお問い合わせください。

6.3.7. CII 炭素集約度削減スケジュール

CII 炭素集約度削減スケジュール

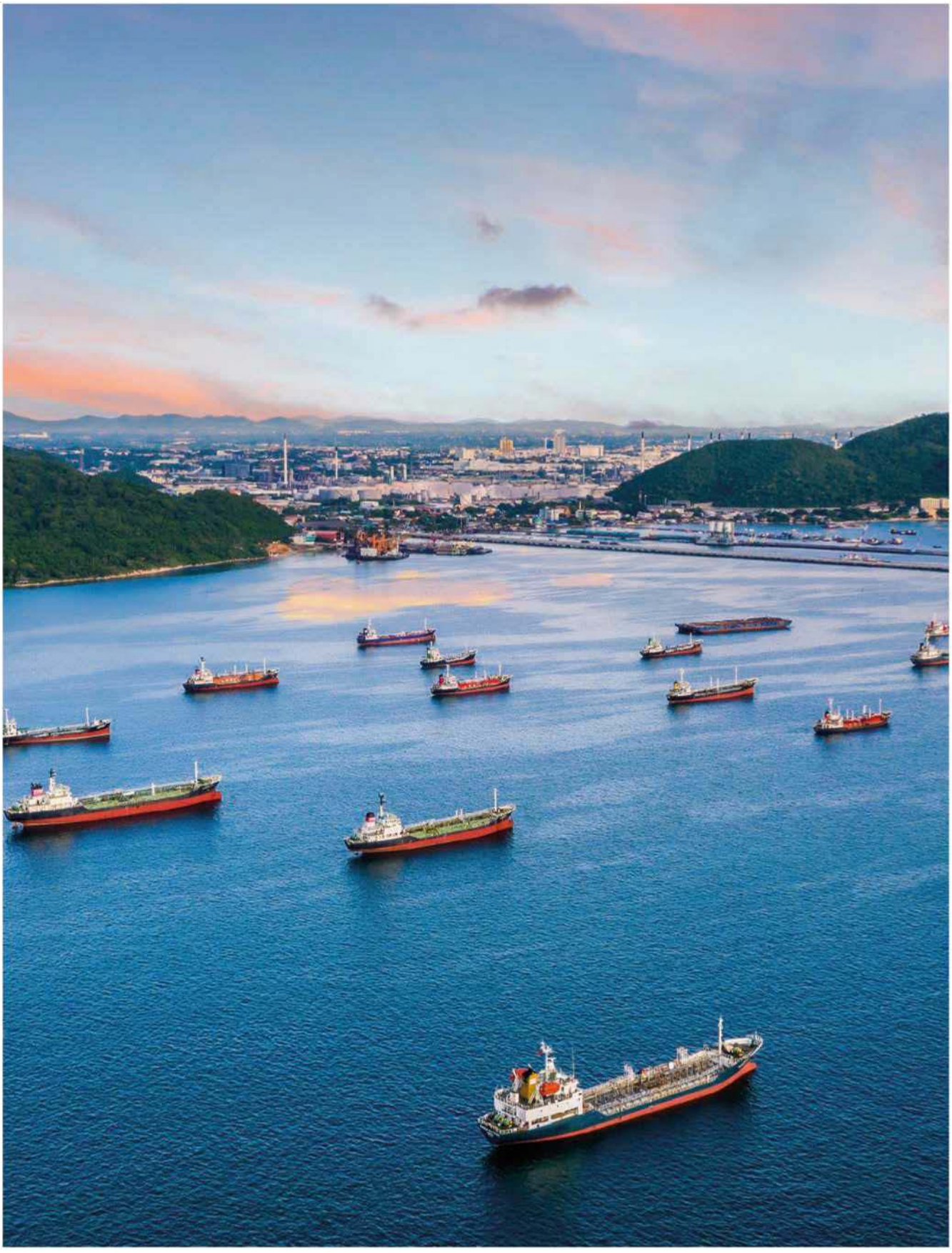


6.3.8. CII 規制のまとめ

- CII は 5,000 GT 以上の全ての船舶に対し要求される。
- 新造船および既存船（400 GT 以上）：SEEMP 規則 22.1。
- 新造船および既存船（5,000 GT 以上）：SEEMP 規則 22.2 および 22 A (IMO DCS) 。
- EEDI／EEXI が適用される船種で、かつ大きさが 5,000 GT 未満の新造船および既存船：SEEMP 規則 22.3、22.4 および 22.5。
- 規則 22 B に基づく CII。
- 第 76 回 MEPC ではさらに、規制番号が以下のように修正された。
  - ・規則 22 を 26 とする。
  - ・規則 22 A を 27 とする。
  - ・規則 22 B を 28 とする。

6.3.9. SEEMP

SEEMP Part I では、会社は船舶ごとに計画を作成し、その船のエネルギー効率向上に向けた取り組みを盛り込まなければなりません。規則 22 B の対象となる船舶は、SEEMP Part I に、当該船舶の年間の運航時 Attained CII 及び Requiered CII の計算と説明、および、運航上の格付け、そして、必要な場合は是正措置も含める必要があります。なお、規則 22 B の対象となっていない船舶については、目標設定は任意であり、目標や結果を公表する義務はありません。
また、会社も船舶も、外部検査の対象とはなりません。目標設定の目的は、関係者とのコミュニケーションを円滑にし、規制の適切な履行を目指した優遇措置を創出し、海運業界に求められているエネルギー効率改善に対する社会的責任への貢献を高めることにあります。



7. 結論

今、海運業界と IMO は意欲的に動いており、業界は大きく変化していくと思われます。IMO は現在、運航上の様々な汚染源を規制する MARPOL 条約（船舶による汚染防止のための国際条約）の更改を進めています。MARPOL 条約は 99 カ国が批准していますが、これらの国々の船舶が世界のトン数全体に占める割合は約 97%にのぼります。

海運業界は、エネルギー効率設計指標 (EEDI) での規制により何が求められているかを認識しています。つまり、エネルギー効率の良い船舶の設計や建造法の改善が漸進的に必要になってくるということです。この効率化の原則は既存船エネルギー効率指標 (EEXI) を通じて既存船にも適用されます。また、運航時炭素集約度削減率 (CII) を用いた運航面でのアプローチと並行して、船舶エネルギー効率管理計画 (SEEMP) の利用と監査の強化なども求められています。

EEXI は 400 GT 以上の船舶を対象としていますが、これには全世界で約 55,000 隻の船が該当します。当社での分析の結果、EEDI 適用船の約 70%は、特別な改造なしに新しい EEXI 規制に適合すると判断されました。適合しない船の場合、EPL (エンジン／シャフト出力制限) の選択は、EEXI を許容範囲にするための最も簡便な方法です。EEXI の枠組みに沿うと、燃料転換や省エネ・デバイスのような他の効率改善方法も採用可能です。EEXI は 2023 年までに発効する予定であり、その時点で適合宣言書（Statement of Compliance）が交付されていなければなりません。

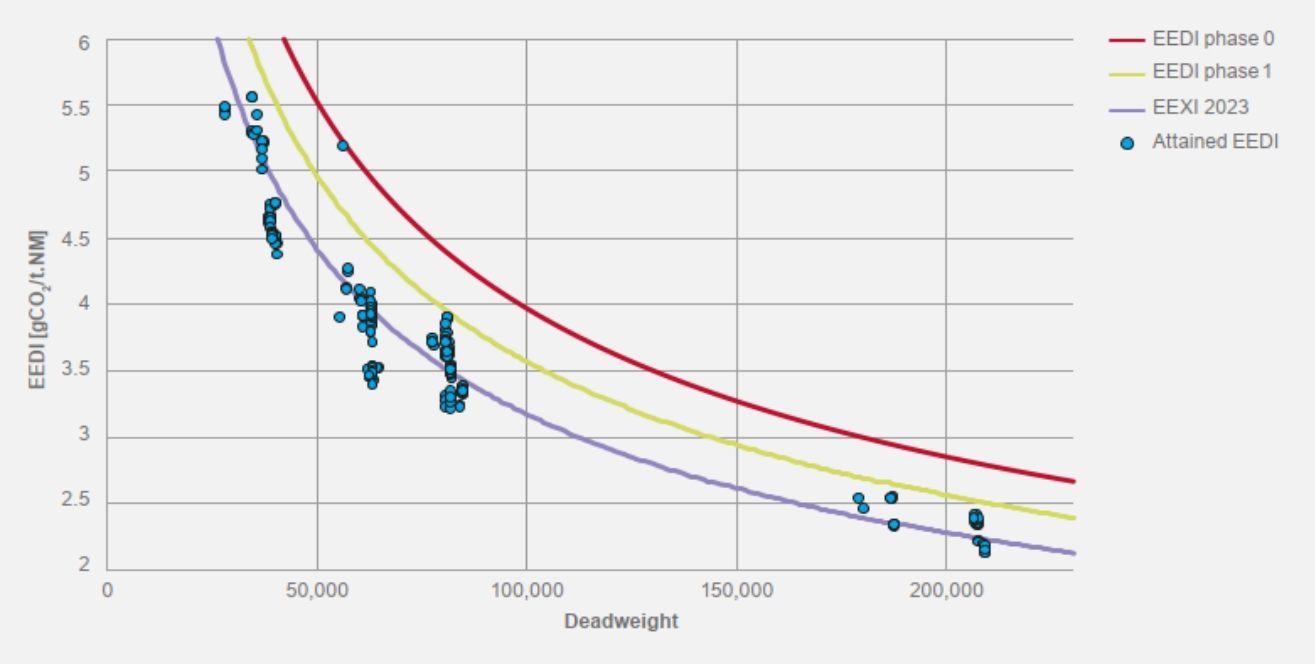
運航上の年間燃費実績格付け制度 CII は、まだ策定中であり、更なる国際レベルでの議論を経て、今後の MEPC 会合で討議されると思われますので、本書では、その原則とパラメーターを示すにとどめました。CII は、船舶エネルギー効率管理計画（SEEMP）の利用と監査の強化といった方策とも組合されていく見込みです。CII の対象となるのは、5,000 GT 以上の船舶のうち約 32,000 隻です。IMO の初期のシナリオと刊行物、および、その他の入手可能な諸々のデータに基づき、Bureau Veritas が推計したところ、該当船舶の 60～90%が 2023 年時点で基準に合格しているものと思われます。これら推計結果は全て、この IMO 規制が採択された後に、改めて確認する予定です。

Bureau Veritas は、今後の第 77 回 MEPC での討議の結果を待ち、また、MARPOL Annex VI の要件も考慮にいれた上で、本白書を更新する予定です。

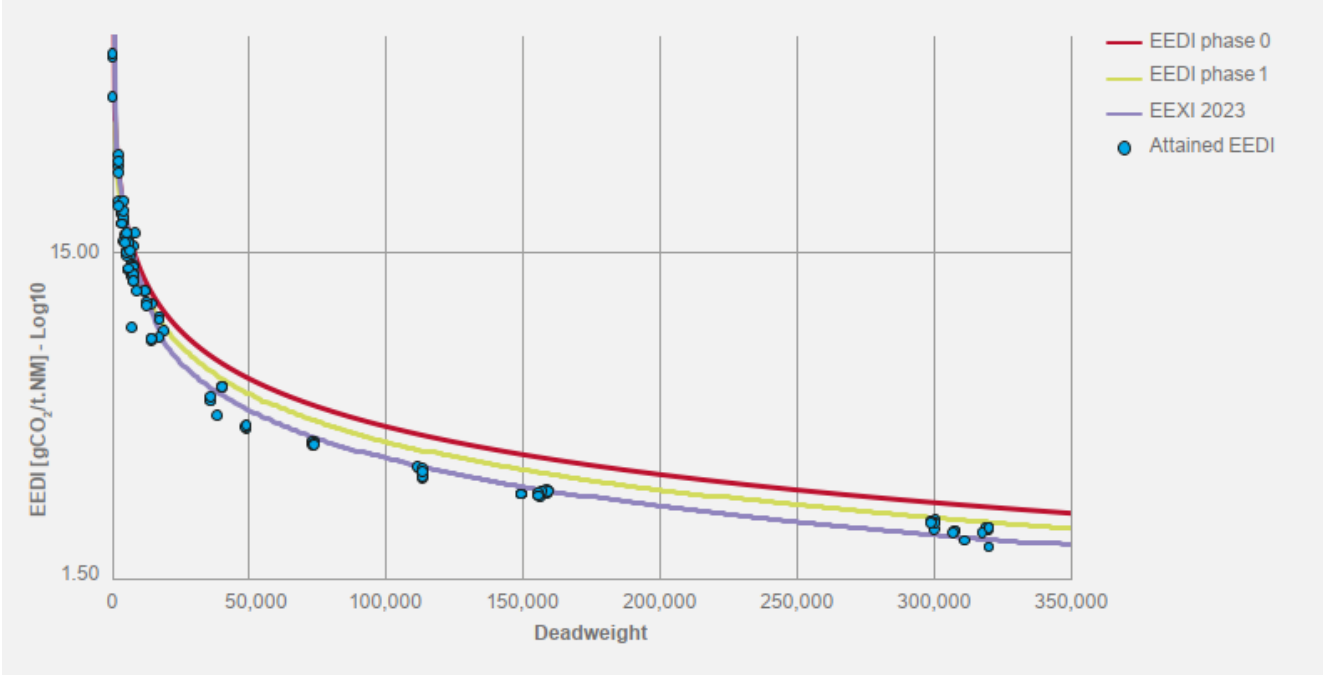
Bureau Veritas は、お客様がより詳細な説明・技術的な討議・ドキュメントの検証などを必要とする場合は、引き続きサービスを提供する用意があります。本白書では、お客様が所有船舶やビジネスに関する技術的な課題を検討できるように、IMO の新しい規制と、それらについて現在進行中の議論ついて概要を提示しました。

Annex 1：EEDI 適用船 (Phase0-1) vs Required EEXI （2023 年時点）

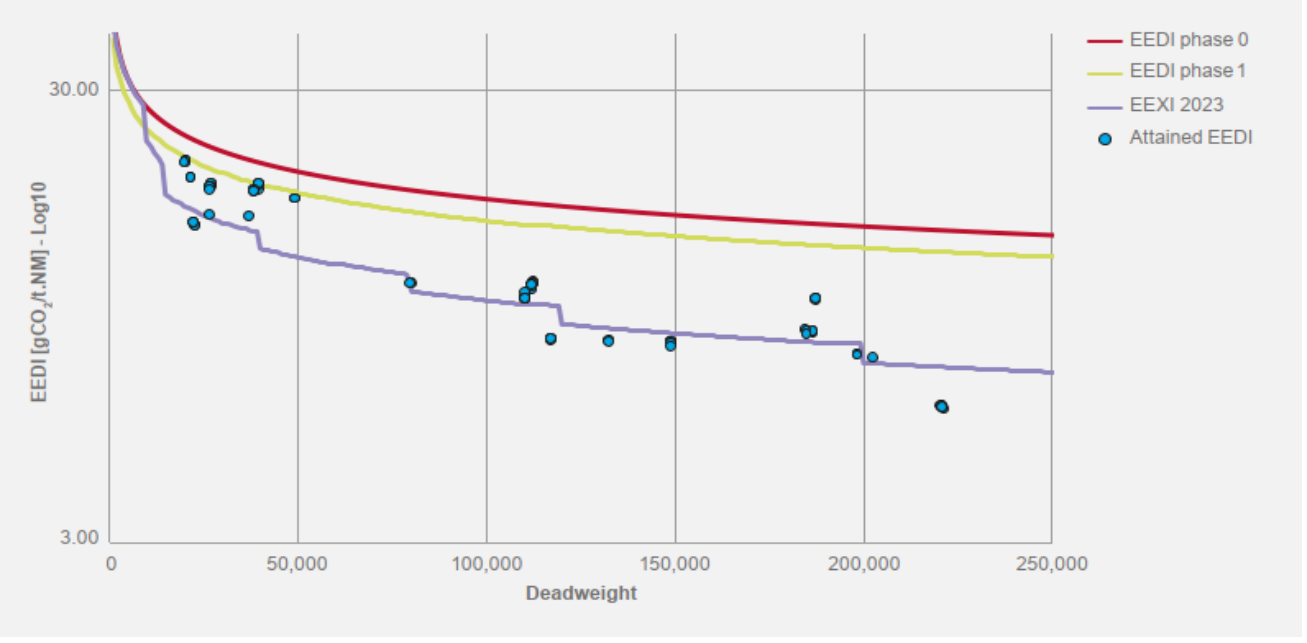
EEDI 適用船 vs Required EEXI (2023 年時点) (Bulk Carrier – BV 登録船)
合計 315 隻 - 60.6% が EEXI 規制に適合



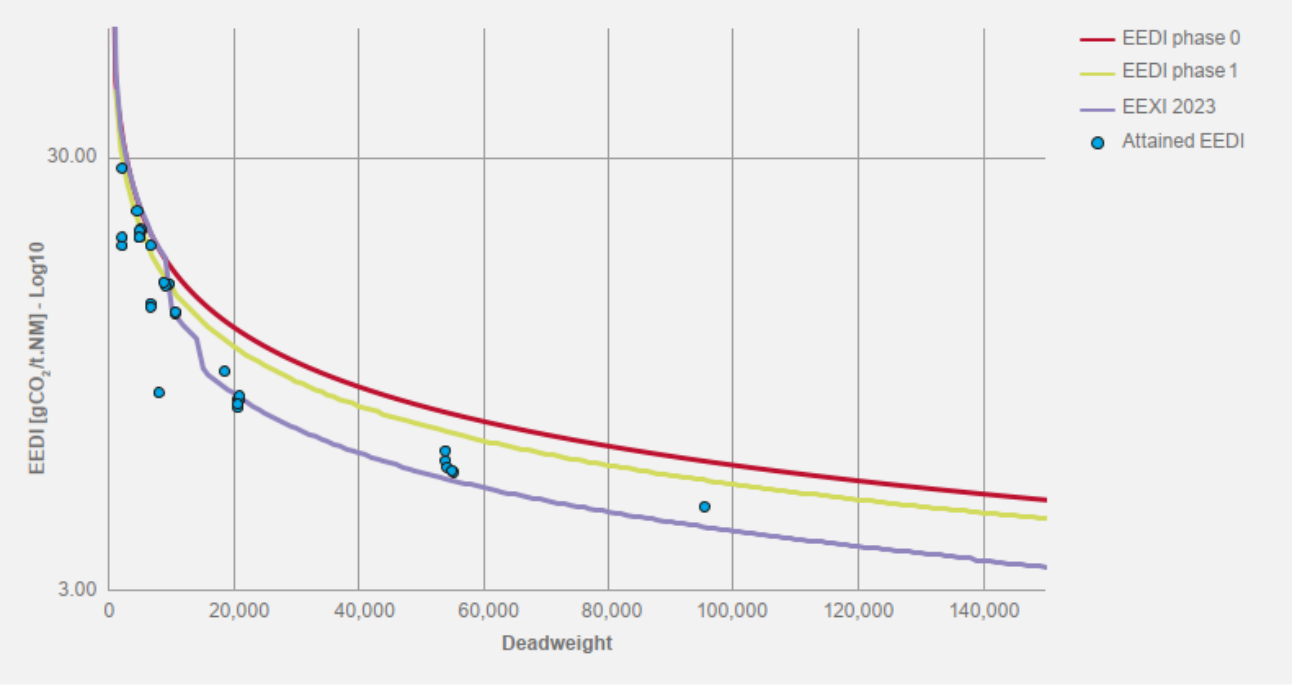
EEDI 適用船 vs Required EEXI (2023 年時点) (Tanker – BV 登録船)
合計 120 隻 - 68.3% が EEXI 規制に適合



EEDI 適用船 vs Required EEXI (2023 年時点) (Container Ships – BV 登録船)
合計 79 隻 - 30.4% が EEXI 規制に適合

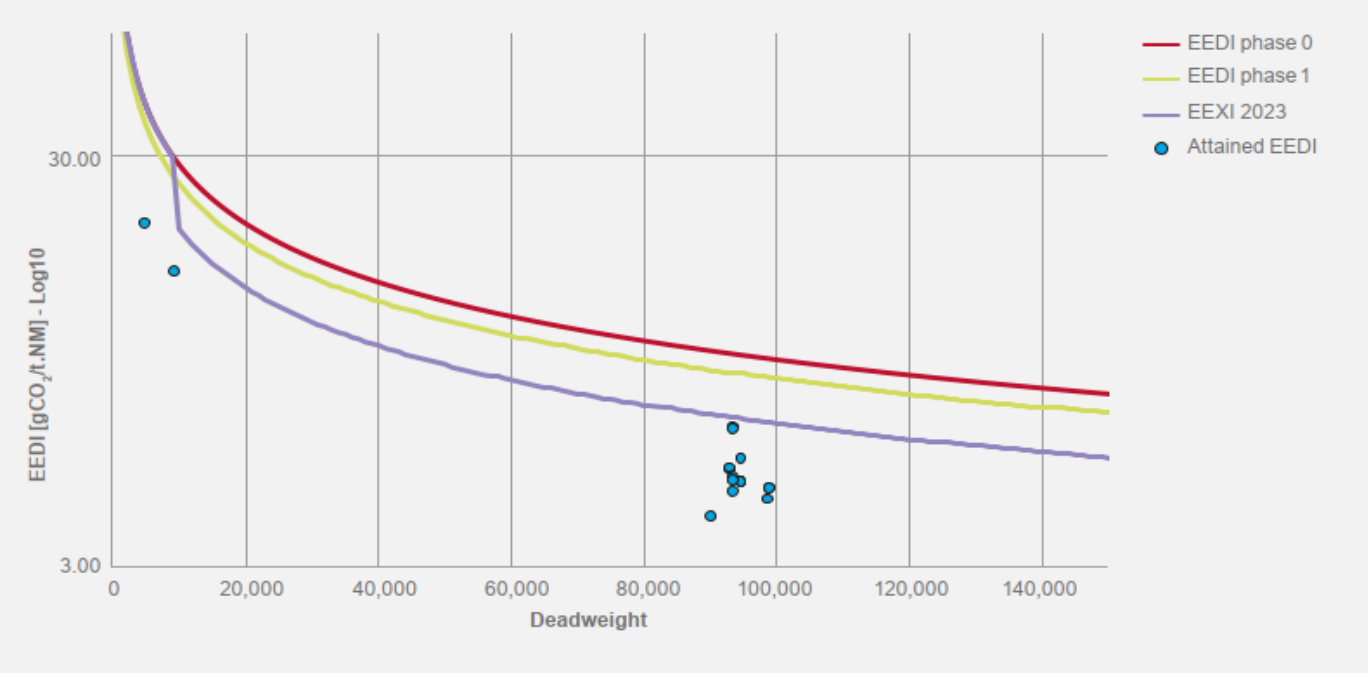


EEDI 適用船 vs Required EEXI (2023 年時点) (Gas Carrier – BV 登録船)
合計 47 隻 - 57.4% が EEXI 規制に適合



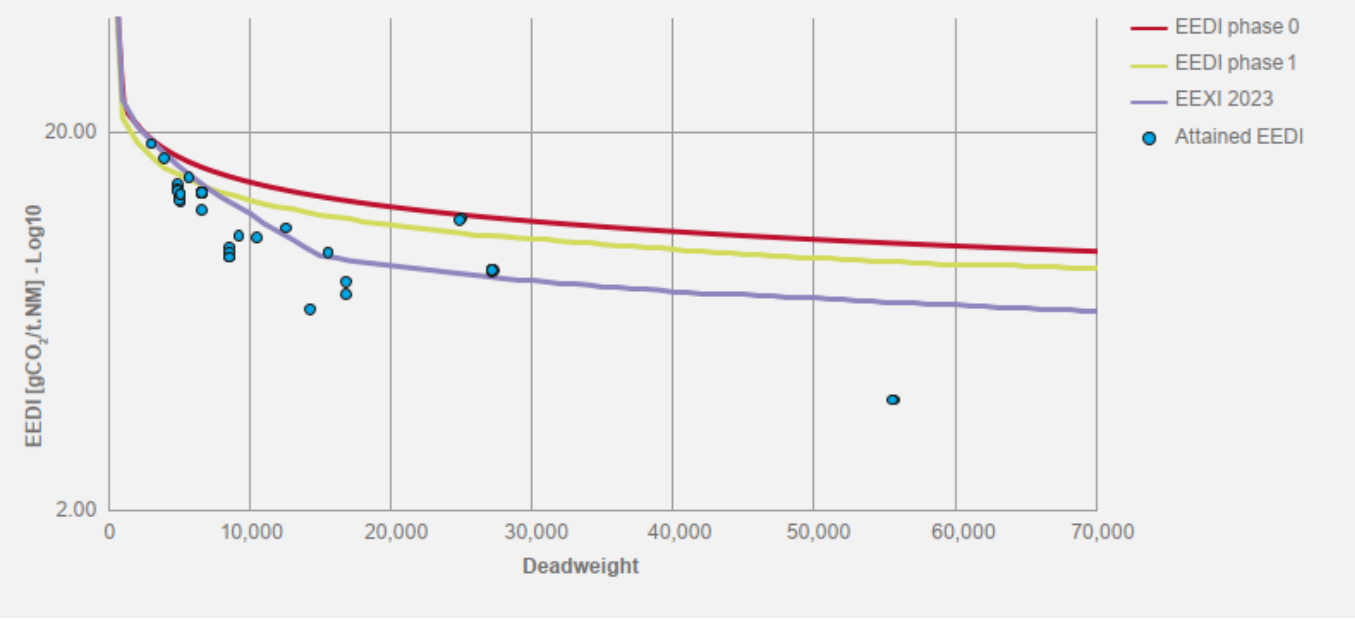
EEDI 適用船 vs Required EEXI (2023 年時点) (LNG Carrier – BV 登録船)

合計 17 隻 - 100% が EEXI 規制に適合（蒸気タービン船を除く）



EEDI 適用船 vs Required EEXI (2023 年時点) (Cargo Ship – BV 登録船)

合計 60 隻 - 80.0% が EEXI 規制に適合



略語

Required EEDI / EEXI / CII

対象船の船種や大きさに応じて課される、それぞれの規制による要求値

Attained EEDI / EEXI / CII

各船ごとの、それぞれの規制の計算方法により算出される固有の値

AER Annual Efficiency Ratio：DWT ベースでの CO_2 年間平均排出量

ALS/ACS 空気潤滑システム。濡れた船体表面へ空気を噴射することにより船舶の流体力学的特性を改善する。空気潤滑システムは、IMO から「革新的エネルギー効率化技術」のカテゴリーB-1 として認証されている (MEPC .1/Circ.815) 。

Carbon Intensity エネルギー消費量単位あたりの二酸化炭素排出量で表される概念であり、経済活動を維持したままでも二酸化炭素排出量を削減させる方法を模索するのに使われる指標。

CII Carbon Intensity Index：運航上の燃費実績格付け制度。上記の Carbon Intensity の考え方より算出する運航上の燃費実績をもとに船舶の GHG 削減への貢献度を格付けする。

CSR 企業の社会的責任

DCS 燃費実績報告制度 (DCS) 。IMO が総トン数 5,000 トン以上の国際船舶に対し義務化。IMO データベースへのデータの収集と報告は 2019 年から開始。

EEDI エネルギー効率設計指標。総トン数 4,000 トン以上の全ての新造船に対し義務化 (2011 年 7 月第 62 回 MEPC) 。参照：MARPOL 附属書 VI 。

EEOI エネルギー効率運航指標(MEPC 1/Circ 684) 。

EEXI 既存船エネルギー効率指標

EPL エンジン出力制限

ESD 省エネ装置

GHG 温室効果ガス。大気中の熱や長波放射を閉じ込める複合ガス。地球から大気中への熱や長波放射の放出を妨げるので、地球表面の温暖化を起こす。

GWP 地球温暖化係数。燃料に関する GHG および炭素の排出係数で二酸化炭素換算(CO_2 e) で表される。各ガスに、GWP で割り振られた固有の係数をかけることで計算される。

IEA 国際エネルギー機関

IEEC 国際エネルギー効率証書 。MARPOL 附属書 VI 第 4 章で規定。

IMO 国際海事機関 (IMO)。1948 年にジュネーブで採択された条約に基づき設立された。1958 年発効。1959 年初会合。2019 年 9 月時点で、173 の国と、非政府組織(NGO)、政府間組織 (IGO)が代表を送っている。

IMBR IMO 提案の国際海洋研究開発委員会。IMO の提案による非政府系研究開発機関で、IMO 加盟国が監督する。

ISWG IMO GHG 排出に関する分野間作業部会

MEPC 海洋環境保護委員会 。IMO の委託で環境問題に取り組む機関。各公式セッションが固有の認識番号を持ち、その番号はセッションでの決議を公表する際の参照番号として使用される。

OMM 搭載管理マニュアル。EPL および ShaPoLi 使用に関する指示を掲載。

Principal GHG's 主な温室効果ガス：二酸化炭素 (CO_2：GHG の 64%)、メタン（CH_4）、 亜酸化窒素 (N_2O) およびフッ素化ガス。

PSC 寄港国の港当局による検査

SDG 持続可能な開発目標

SEEMP 船舶エネルギー効率管理計画書。400 GT 以上の船舶に適用(2011 年 7 月第 62 回 MEPC) 。

ShaPoLi シャフト出力制限

WAPS 風力補助推進システム

参考文献

MARPOL 条約附属書 VI の改正部分に関する IMO の出版物リスト

IMO のウェブサイト：Index of MEPC Resolutions and Guidelines related to MARPOL Annex VI (imo.org)

https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Index-of-MEPC-Resolutions-and-Guidelines-related-to-MARPOL-Annex-VI.aspx

Bureau Veritas の船級規則（NR）と船級ガイドライン（NI）

NR 467 鋼船船級規則

NR 206 風力推進システム

NR 529 ガス燃料船

NR 586 付加船級符号"SEEMP"
(船舶エネルギー効率管理計画書)

NI 525 新技術のリスクに基づく検証 – 方法論的ガイドライン

NI 547 商船への燃料電池システム搭載に関するガイドライン

NI 559 低硫黄燃料油の使用に関するガイドライン (IMO 2020 への準拠)

NI 618 LNG バンカリングのガイドライン

NI 647 LPG 燃料船 (暫定規則)

NI 654 LNG 燃料船への転換に関するガイドライン

その他 Bureau Veritas の出版物
以下 URL でダウンロードが可能です。

●Bureau Veritas 船級規則一覧

https://marine-offshore.bureauveritas.com/rules-guidelines

●第 **76** 回 MEPC 議事録

https://marine-offshore.bureauveritas.com/newsroom/report-mepc-76-meeting-10-17-june-2021

BUREAU VERITAS　問い合わせ先

図面承認部
jpo.marine@bureauveritas.com

神戸事務所（新海まで）
TEL：078-331-6425

横浜事務所（名雪まで）
TEL：045-641-4218

ご不明な点、ご質問がございましたら
何なりとお問合せ下さい。

Design : www.kazoar.fr / Editorial : www.hollisbean.com / June 2021
Photo credits : AdobeStocklanekoho, AdobeStocklAliaksei, AdobeStockIPawinee, AdobeStockImetamorworks, AdobeStocklSHUTTER DIN
AdobeStocklWojciech Wrzesieri、AdobeStocklKalyakan、AdobeStockilly、AdobeStocklKalyakan、Bureau Veritas

BUREAU VERITAS Marine&Offshore（パリ本社）

8 cours du triangle
92937 Paris La Défense Cedex - France
+33 (0)1 55 24 70 00

marine-offshore.bureauveritas.com

Bureau Veritas | Marine & Offshore

@BV_Marine

@bureauveritas_marine

BUREAU VERITAS

Shaping a World of Trust