

# IMO船用燃料ライフサイクルGHG強度ガイドライン

三宅 竜二\*

## 1. はじめに

国際海事機関（IMO）はGHG削減に関する取り組みとして、GHG削減と経済発展の両立の観点から個船のエネルギー効率の改善に着目し、2013年から設計上の燃費規制のEEDI（エネルギー効率設計指標）と運航上の燃費規制のSEEMP（船舶エネルギー効率管理計画）を実施している。さらに、2018年にGHG削減戦略が合意され、その短期対策として、2023年からEEXI（就航船の燃費性能指標）と燃費実績の格付け制度（CII格付け）が開始されている。2023年7月に開催されたMEPC 80において、GHG削減戦略が見直され、新たに「遅くとも2050年頃までにGHGネットゼロ排出を目指す」という野心的な目標が掲げられた。2018年のGHG削減戦略では、図1に示すように、Tank-to-Wakeと呼ばれる、船上からのGHG排出のみに焦点が当てられていたが、2023年の改定戦略では、Well-to-Wakeと呼ばれる、船舶で使用する燃料のライフサイクル全体におけるGHG排出を考慮することが盛り込まれた。船上から排出されるGHGは国際海運に割り当てられるが、船用燃料の製造や流通過程において陸上で排出されたGHGはその国に割り当てられる。そのため、IMOにおけるEEDI/EEXI、DCSやCII格付け等のGHG排出規制においては、これまで船上から排出されたCO<sub>2</sub>にのみ焦点が当てられてきた。一方、アンモニアや水素などの次世代燃料であっても、例えば化石燃料から発電された電気を使って製造された水素の場合、発電時に大量のGHGが排出されるため、ライフサイクル全体では、図2に示す通り、重油よりもGHG排出量が多くなる。このため、GHG削減戦略の改定においても、削減目標が船上排出からライフサイクル全体での排出削減に変更された。このライフサイクル全体における評価については、欧州連合（EU）においても、地域規制として、「FuelEU Maritime」と呼ばれる「船用燃料ライフサイクルGHG強度規制」が2025年に開始される予定である。さらに、国際民間航空機関（ICAO）においても、第41回ICAO総会において、2050年までにライフサイクル全体でカーボンニュートラルを目指す脱炭素化長期目標が採択されている。IMOにおいて、GHG削減目標が船上排出からライフサイクル全体における排出に変更されたことにより、例えば、化石由来のLNG燃料については、船上排出では重油比で約18-26%改善するが、ライフサイクル全体では液化による影響により重油比で約10-17%の改善に留まり、改善効果が大幅に目減りする。また、ライフサイクル全体でネットゼロ排出を達成するためには、全ての船舶でブルーもしくはグリーン燃料を使用する必要があるため、ブルー／グリーン燃料の供給状況に大きく左右される。

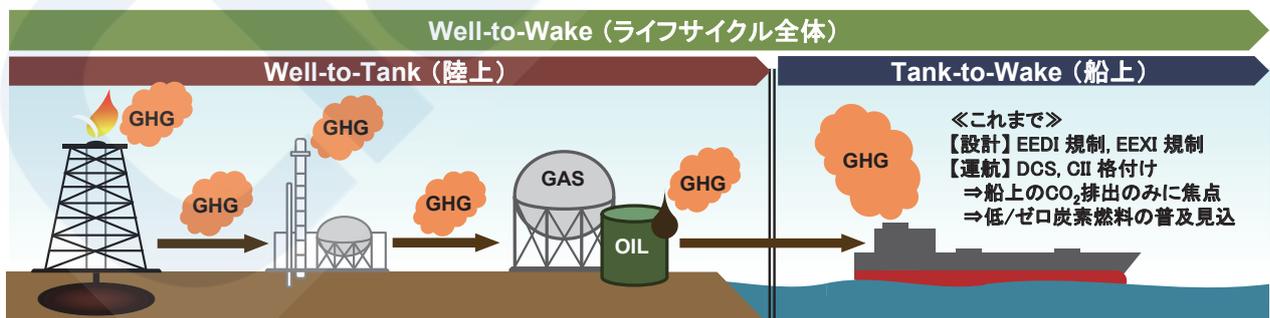


図1 船用燃料のライフサイクルにおけるGHG排出のイメージ図

2023年のGHG削減戦略において、削減目標が船上排出からライフサイクル全体でのGHG排出を考慮することが盛り込まれたことから、MEPC 80（2023年7月）において、「船用燃料ライフサイクルGHG強度ガイドライン」<sup>1)</sup>も併せて採択された。一方、多くの課題があったため船用燃料LCA通信部会が設置され、通信部会において、GHG強度のデフォルト値開発のためのデータ収集用テンプレートの見直しをはじめ、デフォルト値の検

\* 開発本部 技術研究所

討, 土地利用変化に伴う炭素, メタン漏出, 合成燃料の原料としての回収炭素, 及び船上CCSの回収炭素の取り扱い等について議論された。MEPC 81 (2024年3月)において, 通信部会による改正案<sup>2)</sup>を含む「2024年版船用燃料ライフサイクルGHG強度ガイドライン」<sup>3)</sup> (以下「LCAガイドライン」) が採択され, バイオ燃料の生産に関する排出量算定方法の詳細化及びパラメータの数値化, 生産に使用する電力のGHG排出強度及び実際の船上でのGHG排出量に関する算定方法が追加された。本稿では, LCAガイドラインについて, 最新情報を交えて解説する。

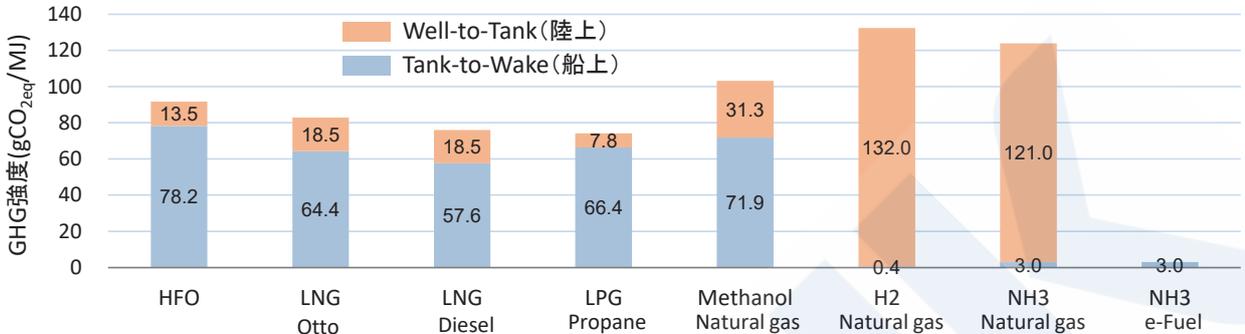


図2 船用燃料におけるGHG強度の例<sup>4)</sup>

## 2. 船用燃料ライフサイクルGHG強度ガイドライン

LCAガイドラインは, 大きく分けて, ① 船用燃料の製造, 輸送, 船上での使用に至るライフサイクル全体でのGHG排出量の評価手法, ② 持続可能な船用燃料のテーマ/側面 (持続可能性基準), ③ 検証及び認証の三つで構成されている。

LCA (ライフサイクルアセスメント) とは, 一般的には, ある製品又はサービスのライフサイクル全体における環境負荷を定量的に評価する手法で, 国際標準化機構 (ISO) においても, その評価手法が規格化されている。詳細は以下の通り。

- ◇ LCAとは, 製品又はサービスに係る原料の調達から製造, 流通, 使用, 廃棄・リサイクルに至るライフサイクル全体を対象として, 各段階の資源又はエネルギーの投入量と様々な排出物の量を定量的に把握し (インベントリ分析), これらによる様々な環境影響又は資源・エネルギーの枯渇への影響等を客観的に可能な限り定量化し (影響評価), これらの分析・評価に基づいて環境改善等に向けた意思決定を支援するための科学的・客観的な根拠を与える手法である。
- ◇ ISOでは, ライフサイクル評価の実施事例の増加に伴い, その共通基盤を確立することが望ましいと判断し, 評価手法を規格化し, ISO 14040:2006にはLCAの原則と枠組み, ISO 14044:2006にはLCAの技術的要求事項や指針が記述されており, この2つの基準によってLCAの実施方法を規定している。

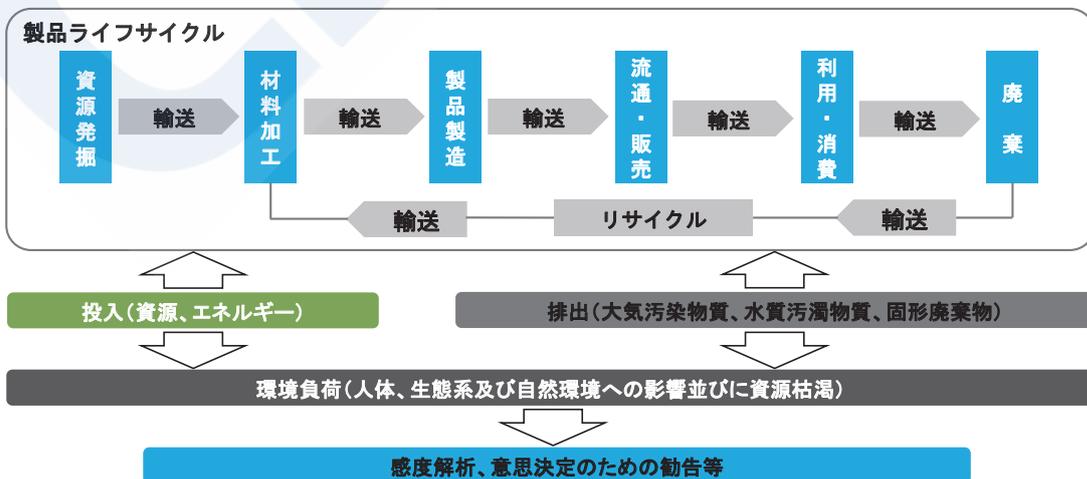


図3 LCA (ライフサイクルアセスメント) の概念<sup>5)</sup>

## 2.1 船用燃料のライフサイクルにおけるGHG排出量の評価

LCAガイドラインでは、図4に示すように、原料の採掘から加工，燃料製造，輸送及びバンカリングまでをWell-to-Tank，船上排出をTank-to-Wakeとし，ライフサイクル全体をWell-to-Wakeとして定義している。各工程で排出されるGHGを足し合わせることで，ライフサイクル全体でのGHG排出量を評価し，メタンスリップやN<sub>2</sub>Oも考慮する。さらに，回収CO<sub>2</sub>の輸送や貯蔵等，その経路に応じて評価範囲（システム境界）を設定し，(1)式に示す通り，GHG排出量の評価には，GHG強度，すなわち，単位エネルギーあたりのGHG排出量を用いる。

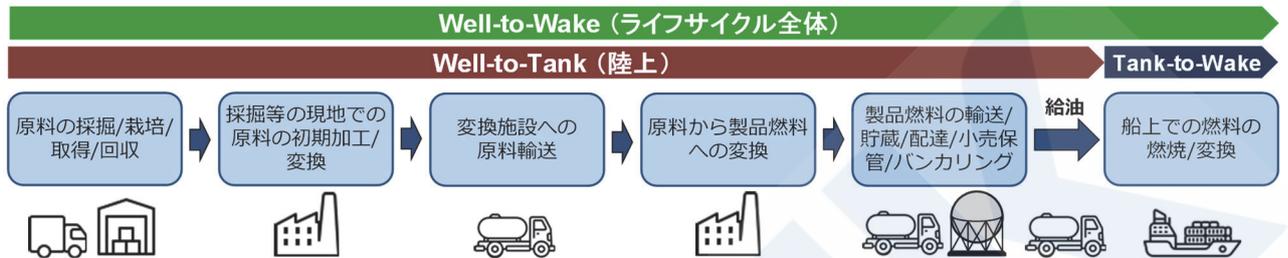


図4 船用燃料のライフサイクルサプライチェーンの例

$$GHG_{WTW} = GHG_{WtT} + GHG_{TtW} \quad (1)$$

|             |                             |  |
|-------------|-----------------------------|--|
| $GHG_{WTW}$ | gCO <sub>2eq</sub> /MJ(LCV) | 燃料の製造，輸送，船上での使用に至るライフサイクル全体での単位エネルギーあたりのGHG排出量 |
| $GHG_{WtT}$ | gCO <sub>2eq</sub> /MJ(LCV) | 燃料のライフサイクルの上流（原料の採掘，加工，輸送等）での単位エネルギーあたりのGHG排出量 |
| $GHG_{TtW}$ | gCO <sub>2eq</sub> /MJ(LCV) | 燃料のライフサイクルの下流（船上での使用）での単位エネルギーあたりのGHG排出量       |

## 2.2 GHG強度の計算方法

LCAガイドラインでは，Well-to-Tank，すなわち陸上におけるGHG強度は(2)式を用いて計算され，原料の採掘から製造，輸送及びバンカリングまでに排出されたGHGを計算するが，土地利用変化や土壌改善に関する排出量については，計算方法が確立されるまではゼロとすることになっており，現状，これらは考慮できない。一方，陸上におけるCO<sub>2</sub>回収・貯留（CCS）については，考慮できる計算式となっているため，CCSを用いたブルー燃料は考慮できる。さらに，Tank-to-Wake，すなわち船上におけるGHG強度は(3)式を用いて計算される。(3)式は燃料の燃焼時に排出されるメタンやN<sub>2</sub>Oをはじめ，燃料タンクからエンジンまでの間で漏れたメタンも考慮できる計算式となっているが，燃料タンクからエンジンまでの間で漏れたメタンについては，更なる技術的作業で適切な係数が決定されるまではゼロとすることになっており，現状，考慮できない。さらに，船上排出において，バイオ燃料のGHG削減量は考慮できるが，合成燃料や船上CCSについては，その取り扱いが確立されるまでは，その削減量はゼロとすることになっており，現状，考慮できない。

$$GHG_{WtT} = e_{fecu} + e_l + e_p + e_{td} - e_{sca} - e_{ccs} \quad (2)$$

|            |   |
|------------|---|
| $e_{fecu}$ | 原料の採掘/栽培/取得/回収に関連するGHG排出量   |
| $e_l$      | 直接的な土地利用の変化による炭素ストックの変化から生じるGHG排出量（20年間）を年率換算したもの<br>※このパラメータの方法論がさらに改良されるまでこの値はゼロ。 |
| $e_p$      | 採掘等の現地における原料の加工及び/又は変換に関連するGHG排出量と，発電を含む原料から最終燃料製品への変換に関連するGHG排出量                   |
| $e_{td}$   | 変換工場までの原料輸送に関連するGHG排出量，及び完成燃料の輸送・貯蔵，現地配送，小売店での貯蔵，バンカリングに関連するGHG排出量                  |
| $e_{sca}$  | 改善された農業管理による土壌炭素蓄積によるGHG排出削減量（20年間）の年換算値<br>※このパラメータの方法論がさらに改良されるまでこの値はゼロ。          |

炭素回収・貯留( $e_{ccs}$ )による排出権のうち、 $e_p$ にまだ計上されていないもの。これは燃料の採掘、輸送、加工、流通に関連し、排出されたCO<sub>2</sub>を回収・貯留することによって回避されたCO<sub>2</sub>排出量を適切に計上するもの。  
上記の排出権から、CO<sub>2</sub>の回収・輸送から最終的な貯留に至る過程に起因する全てのCO<sub>2</sub>排出量（圧入等に関連する排出量を含む）を差し引く必要がある。この要素は以下の式で計算される。

$$e_{ccs} = C_{sc} - e_{cc} - e_t - e_{st} - e_x$$

|           |          |  |
|-----------|----------|--|
| $e_{ccs}$ | $C_{sc}$ | 回収・貯留した正味のCO <sub>2</sub> に相当する排出権（長期：100年）  |
|           | $e_{cc}$ | CO <sub>2</sub> の回収、圧縮、冷却、一時貯蔵に関連するGHG排出量  |
|           | $e_t$    | 長期保管場所への輸送に関連するGHG排出量  |
|           | $e_{st}$ | 回収CO <sub>2</sub> の貯留（長期：100年）に関連するCO <sub>2</sub> 排出量（長期貯留中や貯留地へのCO <sub>2</sub> 圧入中に発生する可能性のある漏出を含む） |
|           | $e_x$    | CCSに関連する追加のGHG排出量  |

$$GHG_{TtW} = \frac{1}{LCV} \left\{ \left( 1 - \frac{1}{100} (C_{slip\_ship} + C_{fug}) \right) \times (C_{fCO_2} \times GWP_{CO_2} + C_{fCH_4} \times GWP_{CH_4} + C_{fN_2O} \times GWP_{N_2O}) + \left( \frac{1}{100} (C_{slip\_ship} + C_{fug}) \times C_{sfx} \times GWP_{fuelx} \right) - S_{Fc} \times e_c - [S_{Fccu} \times e_{ccu}] - [e_{OCCS}] \right\} \quad (3)$$

|                  |   |   |
|------------------|---|---|
| $C_{slip\_ship}$ | 酸化されずにエネルギー変換器から漏れた燃料の割合（船舶に供給された燃料の質量に対する割合）（燃焼室/酸化プロセス及びクランクケースから排出される燃料を含む）<br>$C_{slip\_ship} = C_{slip} * (1 - C_{fug}/100)$   |   |
| $C_{slip}$       | 酸化されずにエネルギー変換器から漏れた燃料の割合（エネルギー変換器内の消費燃料に対する割合）（燃焼室/酸化プロセス及びクランクケースから排出される燃料を含む）   |   |
| $C_{fug}$        | 燃料タンクとエネルギー変換器までの間で漏れた燃料（システム内の漏出、排出、あるいは消失した燃料）の割合（船舶に供給された燃料の質量に対する割合） <b>※更なる技術的作業で適切な係数が決定されるまでこの値はゼロ。</b>  |   |
| $C_{sfx}$        | 燃料に含まれる温室効果ガスの割合を示す係数（単位：g GHG/g 燃料）。例：LNGの場合は1   |   |
| $C_{fCO_2}$      | 燃料の燃焼及び/又は酸化過程による排出のCO <sub>2</sub> 排出換算係数（g CO <sub>2</sub> /g 完全燃焼した燃料）   |   |
| $C_{fCH_4}$      | 燃料の燃焼及び/又は酸化過程による排出のCH <sub>4</sub> 排出換算係数（g CH <sub>4</sub> /g 船舶に供給された燃料）<br>LNG/CNG燃料では、 $C_{slip\_engine}$ が $C_{fCH_4}$ の役割を担っているため、これらの燃料では $C_{fCH_4}$ はゼロとする。   |   |
| $C_{fN_2O}$      | 燃料の燃焼及び/又は酸化過程による排出のN <sub>2</sub> O排出換算係数（g N <sub>2</sub> O/g 船舶に供給される燃料）   |   |
| $GWP_{CH_4}$     | CH <sub>4</sub> の100年間の地球温暖化係数（IPCC 第5次評価報告書に基づく）：28  |   |
| $GWP_{N_2O}$     | N <sub>2</sub> Oの100年間の地球温暖化係数（IPCC 第5次評価報告書に基づく）：265   |   |
| $GWP_{fuelx}$    | 燃料に含まれる温室効果ガスの100年間の地球温暖化係数（IPCC 第5次評価報告書に基づく）  |   |
| $LCV$            | 低位発熱量（指定された燃料の完全燃焼によって放出される熱量）  |   |
| $S_{Fc}$         | バイオマスの生育により発生する排出権が、TtW値の算出において考慮されるかどうかを決定するための炭素源係数。0又は1とする。  |   |
| $e_c$            | バイオマスの生育による排出権  |   |
| $S_{Fccu}$       | 燃料製造工程で合成燃料を製造するための炭素ストックとして回収された使用済みCO <sub>2</sub> からの排出権が、TtW値の計算に考慮されるかどうかを決定するための炭素源係数。0又は1とする。  |   |
| $e_{ccu}$        | 燃料製造工程及び利用において回収したCO <sub>2</sub> を合成燃料を製造するための炭素ストックとして使用することによる排出権（ $e_{recc}$ 及び $e_p$ では計上されなかったもの） <b>※更なる方法論が開発されるまで <math>[S_{Fccu} \times e_{ccu}]</math>の値はゼロ。</b>   |   |
| $e_{ccs}$        | 船上でCO <sub>2</sub> を回収する炭素回収貯留( $e_{ccs}$ )による排出権。CCSが船上で行われる場合、排出されたCO <sub>2</sub> の回収・貯留によって回避された排出量を適切に算定する必要がある。排出されたCO <sub>2</sub> の回収・貯留によって回避された排出量を適切に計上しなければならない。<br>上記の排出権から、CO <sub>2</sub> を回収( $e_{cc}$ )し、最終貯留まで輸送( $e_t$ )する過程から生じる全ての排出（注入などに関する排出を含む）を差し引く必要がある。この要素は以下の式で計算される。 <b>※更なる方法論が開発されるまでこの値はゼロ。</b> |   |
|                  | $e_{ccs} = C_{sc} - e_{cc} - e_t - e_{st} - e_x$  |   |
|                  | $C_{sc}$  | 回収・貯留したCO <sub>2</sub> に相当する排出権（長期：100年）  |
|                  | $e_{cc}$  | CO <sub>2</sub> の回収、圧縮、船上での一時貯蔵に関連するGHG排出量  |
|                  | $e_t$   | 長期保管場所への輸送に関連するGHG排出量   |
|                  | $e_{st}$  | 回収CO <sub>2</sub> の貯留（長期：100年）に関連するGHG排出量（長期貯留中や貯留地へのCO <sub>2</sub> 圧入中に発生する可能性のある漏出を含む） |
| $e_x$            | CCSに関連する追加のGHG排出量   |   |

### 2.3 Fuel Lifecycle Label (FLL)

LCAガイドラインには、Fuel Lifecycle Labelと呼ばれる技術ツールが規定されている。これは船舶で使用された燃料やバッテリー等のエネルギーキャリアのライフサイクルアセスメントに関する情報を収集・伝達する

ための技術ツールで、ライフサイクルにおけるGHG排出量の評価に使用される。Fuel Lifecycle Labelは表1に示すように、Part AからPart Eまでの5つの主要部分から構成されている。Part Aは燃料種類、燃料経路、発熱量、燃料のブレンド比及び上流のGHG強度を、Part Bはバイオ燃料や合成燃料による削減量を、Part Cはバイオ燃料や合成燃料の削減量を考慮した場合としない場合の船上排出によるGHG強度及びエンジンの種類を、Part Dはライフサイクル全体でのGHG強度を、Part Eは持続可能性の認証に関する情報を記載する。

表1 Fuel Lifecycle Label (FLL)

| Part A-1  | Part A-2          | Part A-3  | Part A-4   | Part A-5   |
|---|-------------------|---|--|--|
| Fuel type (blend)   | Fuel Pathway code | Lower Calorific Value (LCV, MJ/g)   | Share in fuel blend (%MJ <sub>(LCV)</sub> /MJ <sub>(LCV)</sub> ) | WtT GHG emission factor (GWP100, gCO <sub>2eq</sub> /MJ <sub>(LCV)</sub> ) |
| Part B-1  |                   | Part B-2  |  |  |
| Emissions credits related to biogenic carbon source (e <sub>c</sub> , in gCO <sub>2</sub> / g fuel based on GWP100)                             |                   | Emissions credits related to source of captured carbon (e <sub>ccu</sub> , in gCO <sub>2</sub> / g fuel based on GWP100)                    |  |  |
| Part C-1  |                   | Part C-2  |  | Part C-3   |
| TtW GHG intensity Value 1 (carbon source NOT taken into account):<br>TtW GHG emission factor (GWP100, gCO <sub>2eq</sub> /MJ <sub>(LCV)</sub> ) |                   | TtW GHG intensity Value 2 (carbon source taken into account):<br>TtW GHG emission factor (GWP100, gCO <sub>2eq</sub> /MJ <sub>(LCV)</sub> ) |  | Energy Converter   |
| Part D  |                   | Part E  |  |  |
| WtW GHG emission factor (GWP100, gCO <sub>2eq</sub> /MJ <sub>(LCV)</sub> )<br>Note: Part D = Part A-5 + Part C-2                                |                   | Sustainability (Certification)  |  |  |

## 2.4 Fuel list with fuel pathway codes

LCAガイドラインでは、原料の種類、起源、製造方法及び使用するエネルギーに応じて、燃料経路を分類しており、合計128種類の燃料経路が規定されている。128種類の燃料リストから代表的な燃料として、重油、LPG、LNG、メタノール、水素、アンモニア、電力及び風力を表2に示す。

表2 Fuel list with fuel pathway codes 例

| Order | Group           | Fuel type   | Feedstock structure                                |   | Conversion/Production process   |                            | Fuel Pathway Code    |
|-------|-----------------|---|--|---|---|----------------------------|----------------------|
|       |                 |   | Feedstock Type                                     | Nature/Carbon Source  | Process Type  | Energy used in the process |                      |
| 1     | HFO (VLSFO)     | Heavy Fuel Oil (ISO 8217 Grades RME, RMG and RMK, 0.10 < S ≤ 0.50%) | Crude Oil  | Fossil  | Standard refinery process   | Grid mix electricity       | HFO(VLSFO)_f_SR_gm   |
| 11    | LPG             | Liquefied Petroleum Gas (Propane)                                   | Crude Oil  | Fossil  | Standard refinery process and liquefaction                                    | Grid mix electricity       | LPG(Propane)_f_SR_gm |
| 31    | LNG             | Liquefied Natural Gas (Methane)                                     | Natural Gas  | Fossil  | Standard LNG production including liquefaction                                | Grid mix electricity       | LNG_f_SLP_gm         |
| 35    | LNG             | Liquefied Natural Gas (Methane)                                     | CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>                   | CO <sub>2</sub> : Fossil Point Source Carbon Capture<br>H <sub>2</sub> : Fossil Steam Methane Reformation     | Methanation and liquefaction  | Grid mix electricity       | LNG_fCO2_fH2_M_gm    |
| 90    | Methanol        | Methanol  | 2 <sup>nd</sup> and 3 <sup>rd</sup> Gen. feedstock | Biogenic  | Gasification of Biomass and Methanol Synthesis                                | Grid mix electricity       | MeOH_b_G_MS_gm       |
| 110   | Hydrogen        | Hydrogen  | Water + Electricity                                | Renewable   | Dedicated Photovoltaic and/or Wind and/or other Electrolysis and liquefaction | Renewable electricity      | LH2_EL_r_Liquefied   |
| 120   | Ammonia         | Ammonia   | N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>                    | N <sub>2</sub> : separated with renewable electricity<br>H <sub>2</sub> : produced from renewable electricity | Haber Bosch process   | Grid mix electricity       | NH3_rN2_rH2_HB_gm    |
| 126   | Electricity     | Electricity   |  | Fossil/Renewable  | -   | Grid mix electricity       | Electricity_gm       |
| 128   | Wind propulsion |   |  |   |   |                            |                      |

表3 Initial default emission factors per fuel pathway code

| Order | Fuel type   | Fuel Pathway Code                                     | WtT GHG intensity (gCO <sub>2eq</sub> /MJ) | LCV (MJ/g) | Energy Converter                       | C <sub>f</sub> CO <sub>2</sub> (gCO <sub>2</sub> /g fuel) | C <sub>f</sub> CH <sub>4</sub> (gCH <sub>4</sub> /g fuel) | C <sub>f</sub> N <sub>2</sub> O (gN <sub>2</sub> O/g fuel) | C <sub>airp</sub> /C <sub>fuel</sub> (mass %) | e <sub>c</sub> (gCO <sub>2eq</sub> /g fuel) | T&W GHG intensity (gCO <sub>2eq</sub> /MJ) | NOTE   |
|-------|---|---|--|------------|--|---|---|--|---|---|--|--|
| 1     | Heavy Fuel Oil (ISO 8217 Grades RME, RMG and RMK, 0.10 < S ≤ 0.50%)             | HFO(VLSFO)_f_SR_gm (Fossil)                           | 16.8                                       | 0.0402     | ALL Internal Combustion Engines (ICEs) | 3.114   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 2     | Heavy Fuel Oil (ISO 8217 Grades RME, RMG and RMK exceeding 0.50% S)             | HFO(HSHFO)_f_SR_gm (Fossil)                           | 14.1                                       | 0.0402     | ALL ICEs                               | 3.114   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 3     | Light Fuel Oil (ISO 8217 Grades RMA, RMB and RMD maximum 0.10% S)               | LFO(ULSFO)_f_SR_gm (Fossil)                           |  | 0.0412     | ALL ICEs                               | 3.151   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 4     | Light Fuel Oil (ISO 8217 Grades RMA, RMB and RMD, 0.10 < S ≤ 0.50%)             | LFO(VLSFO)_f_SR_gm (Fossil)                           |  | 0.0412     | ALL ICEs                               | 3.151   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 5     | Marine Diesel/Gas Oil (ISO 8217 Grades DMX, DMA, DMZ and DMB maximum 0.10 % S)  | MDO/MGO(ULSFO)_f_SR_gm (Fossil)                       | 17.7                                       | 0.0427     | ALL ICEs                               | 3.206   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 6     | Marine Diesel/Gas Oil (ISO 8217 Grades DMX, DMA, DMZ and DMB, 0.10 < S ≤ 0.50%) | MDO/MGO(VLSFO)_f_SR_gm (Fossil)                       |  | 0.0427     | ALL ICEs                               | 3.206   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 11    | LPG (Propane)   | LPG(Propane)_f_SR_gm (Fossil)                         |  | 0.0463     | ALL ICEs                               | 3.000   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 21    | LPG (Butane)  | LPG(Butane)_f_SR_gm (Fossil)                          |  | 0.0457     | ALL ICEs                               | 3.030   | 0.00005   | 0.00018  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
| 31    | LNG (Methane)   | LNG_f_SLP_gm (Fossil)                                 |  | 0.0480     | LNG Otto (dual fuel medium speed)      | 2.750   | 0   | 0.00011  |   |   |  | Resolution MEPC.364(79) Fourth IMO GHG study |
|       |   |   |  |            | LNG Otto (dual fuel slow speed)        |   |   |  |   |   |  |  |
|       |   |   |  |            | LNG Diesel (dual fuel slow speed)      |   |   |  |   |   |  |  |
|       |   |   |  |            | LBSI (Lean-Burn Spark-Ignited)         |   |   |  |   |   |  |  |
|       |   |   |  |            | Steam Turbines and boilers             |   |   |  |   |   |  |  |
| 33    | LNG (Methane)   | LNG_b_AD_gm (Biogenic)                                |  |            | LNG Otto (dual fuel medium speed)      | 2.750   |   |  |   |   |  |  |
|       |   |   |  |            | LNG Otto (dual fuel slow speed)        |   |   |  |   |   |  |  |
|       |   |   |  |            | LNG Diesel (dual fuel slow speed)      |   |   |  |   |   |  |  |
|       |   |   |  |            | LBSI (Lean-Burn Spark-Ignited)         |   |   |  |   |   |  |  |
|       |   |   |  |            | Steam Turbines and boilers             |   |   |  |   |   |  |  |
| 62    | Diesel (FAME)   | FAME_b_TRE_gm_2ndgen (2 <sup>nd</sup> Gen. feedstock) | 20.8                                       | 0.0372     | ALL ICEs                               |   |   |  |   |   |  |  |
| 77    | Renewable Diesel (HVO)  | HVO_b_HD_gm_2ndgen (2 <sup>nd</sup> Gen. feedstock)   | 14.9                                       | 0.0440     | ALL ICEs                               |   |   |  |   |   |  |  |
| 105   | Hydrogen  | H2_f_SMR_CCS_gm (Fossil)                              |  | 0.1200     | ALL ICEs<br>Fuel cell                  | 0   |   |  |   |   |  |  |
| 121   | Ammonia   | NH3_rN2_fh2_HB_gm (Renewal, Fossil)                   |  | 0.0186     | ALL ICEs<br>Fuel cell                  | 0   |   |  |   |   |  |  |

2.5 デフォルト値と実際の値に関する規定

GHG強度や各種係数を実際に計算/計測するには、かなりの時間と労力を要するため、LCAガイドラインではデフォルト値の使用が認められており、デフォルト値は代表的かつ保守的な仮定を基に設定される。デフォルト値を設定するには、少なくとも3つの異なる代表的な排出源において、各排出源でGHG強度や各種係数を

求め、その中の上限値（保守的な値）がデフォルト値として採用される。デフォルト値よりも優れた値を使用したい場合は、第三者認証を条件にLCAガイドラインに規定された方法論に従い求められた、実際の値を使用することができる。一方、純粋な化石由来燃料の場合は、GHG強度の実際の値の使用は認められていないため、デフォルト値のみを使用することになっている。LCAガイドラインには128種類の燃料経路（Fuel Pathway）が設定されているが、燃料経路がLCAガイドラインに設定されていない燃料の場合は、経路の詳細情報を提出し、第三者認証を受ければ、実際の値を使用することができる。デフォルト値については、まだほとんど設定されておらず、Well-to-Tank、すなわち上流のGHG強度のデフォルト値を表3に赤字で示す通り、化石由来の重油とバイオ燃料のFAME及びHVOの合計5種類しか設定されていない。さらに、メタンスリップに関するデフォルト値については、表3に示す通り、LNGエンジンのオットーサイクルや高圧式などの種類に応じて設定されているが、漏出メタンやアンモニアエンジンのN<sub>2</sub>Oに関するデフォルト値はまだ設定されていない。一方、排ガス後処理システムについては、処理能力が様々なため、デフォルト値は設定せずに、第三者による検証及び認証を条件に実際の排出係数を使用することが規定されている。

## 2.6 船用燃料の持続可能性基準（Sustainability Criteria）

船用燃料についても、持続可能性を考慮する必要があるため、LCAガイドラインでは、以下に示す10種類の環境テーマや側面が設定されている。しかしながら、具体的な認証基準は規定されていないため、今後、検討される予定である。また、持続可能な船用燃料として、LCAガイドラインでは、ライフサイクルベースで従来の船用燃料よりもGHG排出量が少ないことを規定しているが、国際航空のICAO CORSIAでは基準燃料に対してGHG強度が10%減を、EU再生可能エネルギー指令（RED III）では70%減（非生物由来の再生可能燃料及びリサイクル炭素燃料）を要求していることから、今後、より厳しくなる虞がある。

1. GHG：持続可能な船用燃料は、ライフサイクルベースで従来の船用燃料（DCSデータ3年分の液体石油製品のエネルギーベース加重平均）よりもGHG排出量が少ない。
2. 炭素源：持続可能な船用燃料は、化石エネルギー源の使用によるGHG強度を増加させず、回収・貯留された炭素の永続性を確保すると同時に、経済部門間のダブルカウントを回避する。
3. 電力／エネルギー源：Well-to-Tankで大量の電力投入を必要とする持続可能な船用燃料や、船舶に直接供給される電力は、再生可能、原子力、生物由来の電力・エネルギーを使用することで生産される。これらは、現在又は長年の需要レベルに追加されるか、オフピーク時に余剰電力を使用することで生産される。
4. 直接的土地利用変化：持続可能な船用燃料は、炭素蓄積量の多い土地から得られるバイオマスから作られるものではない。持続可能な船用燃料の生産は、直接的な土地利用の変化に起因する排出を最小化する。
5. 間接的土地利用変化：持続可能な船用燃料の原料の栽培は、評価される製品システムの外で発生する土地の使用や管理に否定的な変化を引き起こすことを最小限に抑える。
6. 水：持続可能な船用燃料の生産は、水質と利用可能性を維持又は向上させる。
7. 空気：持続可能な船用燃料の生産は、空気の質への悪影響を最小限に抑える。
8. 土壌：持続可能な船用燃料の生産は、土壌の健全性を維持又は向上させる。
9. 廃棄物と化学物質：持続可能な船用燃料の生産は、廃棄物の責任ある管理と化学物質の使用を維持又は強化する。
10. 環境保全：持続可能な船用燃料の生産は、生物多様性と生態系、あるいは保全サービスを維持又は強化する。

## 2.7 検証及び認証

Fuel Lifecycle Label (FLL) は、今後、IMOが開発するガイダンスに従って、以下の通り、第三者による検証及び認証を受けることがLCAガイドラインに規定されている。

- ◇ FLLのPart A, Part B, Part C及びPart Eは異なる認証機関により検証及び認証を受けられるが、Part DはPart A, Part B及びPart Cの検証結果を基に検証及び認証を受けること。
- ◇ FLLのPart A-1からPart A-4及びPart C-3が検証されている場合、LCAガイドラインに含まれるデフォルト値は追加検証せずに適用できる。
- ◇ デフォルト値よりも優れた実際の値を使用するには、今後、IMOが開発するガイダンスに従って、第三者による検証及び認証を受けること。

一方、FLLの検証及び認証には、関連する認証スキーム／規格を使用することや、使用する認証スキーム／規格はIMOが策定したガイダンスを考慮してMEPCが承認し、承認された認証スキーム／規格のリストは、一

般に公開され、常に見直されることが規定されている。さらに、認証スキーム／規格を承認するための提案は、今後開発される基準による評価結果と共に、検討のためにMEPCに提出することや、IMOの枠組み全体の品質、信頼性及び堅牢性を保証し、認証スキーム間の公平性を確保するために、認証スキームの承認に繋がる枠組み、基準及び手続きは、統一的に実施されることが規定されている。しかしながら、LCAガイドラインには、詳細が規定されていないため、今後、認証スキーム及び第三者認証に関するガイダンスを開発する必要がある。

### 3. 船用燃料ライフサイクルGHG強度に関するGESAMP作業部会の付託事項

上述の通り、LCAガイドラインには、デフォルト値や認証方法など、未だ多くの課題があり、課題解決には専門知識が必要なため、MEPC 81（2024年3月）において、GESAMP（海洋環境保護の科学的側面に関する合同専門家グループ）に船用燃料ライフサイクルGHG強度に関する作業部会（GESAMP-LCA WG）を新設することが合意され、作業に向けた付託事項が作成された。GESAMP-LCA WGは、LCAガイドラインの実施に関連する問題について、科学的・技術的に最良の評価を行う専門家グループであり、付託事項は以下の通り。

- LCAガイドラインにおける排出量算定方法の改良
  - ✓ LCA手法の科学的レビュー
  - ✓ 燃料生産経路と技術のGHG強度（WtT）のデフォルト値の科学的レビュー
  - ✓ 燃料使用と船上技術のGHG強度（TtW）のデフォルト値の科学的レビュー（船上CCSの境界の明確化を含む）
  - ✓ LCAに関するサンプル計算と、その結果を既存のFLL（Fuel Lifecycle Label）に反映させる
- 持続可能性に関するテーマ／側面
  - ✓ LCAガイドラインの持続可能性テーマ／側面の下での指標と測定基準の精緻化と更なる探求
  - ✓ 間接的土地利用変化に関するリスク分類へのアプローチ
- 認証に関するLCAガイドラインの方法論的要件
  - ✓ WtT及びTtWの実際の値を含む、燃料経路認証のための可能な要求事項の開発及び／又は識別のための外部経験及び更なる情報を提供する

注：GESAMP（Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection）は、1969年に国連が海洋環境保護のための第三者機関として設立した合同専門家グループで、現在、海洋環境に関心又は権限を持つ10の国連機関が共催し、IMOが事務局を務めている。現在、GESAMPには9つの作業部会があり、個人の資格で独立した専門家として参加している。GESAMPの作業部会には、例えば、船舶が運搬する有害物質の評価に関するGESAMP WG 1や、バラスト水管理システムに使用する「活性物質」の申請審査に関する作業部会（WG 34）などがある。独立性を確保するために、GESAMPが性別や地理的なバランスに最大限注意を払いつつ、当面の課題に最適な専門家を選出する。MEPC 80（2023年7月）に設置された船用燃料LCA通信部会において、著者はEC／ブラジルと共にコーディネータを務めており、GESAMP-LCA WGにおいても、12名の専門家の中の一名に選出された。

### 4. 船用燃料LCA通信部会の新たな付託事項

船用燃料の持続可能性基準には、土地や水の使用権、地域と社会の発展、人権や労働権、食料安全保障などの「社会的・経済的持続可能性のテーマ／側面」が規定されていないため、MEPC 81（2024年3月）において、船用燃料LCA通信部会に新たな付託事項として、「船用燃料のその他の社会的・経済的持続可能性のテーマ／側面」について検討し、MEPC 83（2025年4月開催予定）に報告書を提出することが合意された。

### 5. 非CO<sub>2</sub>のGHG排出及び船上CCSに関する通信部会の付託事項

MEPC 81（2024年3月）において、LCAガイドラインの改正にあたり、メタン（CH<sub>4</sub>）及びN<sub>2</sub>Oの船上排出や船上CCSについては、更なる検討が必要なため、GESAMP-LCA WGや船用燃料LCA通信部会とは別に、新たに「非CO<sub>2</sub>のGHG排出及び船上CCSに関する通信部会」を設置することが合意された。通信部会の付託事項は以下の通り。

- CH<sub>4</sub>及びN<sub>2</sub>Oの船上排出に関して
  - ✓ 船上におけるCH<sub>4</sub>及びN<sub>2</sub>Oの実際の排出係数やエネルギー変換器におけるC<sub>slip</sub>値に関して、測定と検証の枠組みをどのように開発するかを検討する。
  - ✓ LCAガイドラインに適用するために、認証に関する方法的枠組みをどのように開発するかを検討する。
  - ✓ 必要な規制又は推奨される規定を開発することを視野に入れ、既存の規定との差異を特定し、推奨を提案する。
- 船上CCSに関して
  - ✓ 船上CCSに関連する問題を検討し、船上で回収されたCO<sub>2</sub>の算定に関する事項を除き、船上CCSの使用に関する規制枠組みを開発するための作業計画を策定する。
- MEPC 83 (2025年4月開催予定) に報告書を提出

## 6. おわりに

LCAガイドラインについては、今後、GESAMP-LCA WGをはじめ、船用燃料LCA通信部会や非CO<sub>2</sub>のGHG排出及び船上CCSに関する通信部会において、実用化に向けて更なる検討が行われる予定である。検討にあたり、著者はGESAMP-LCA WGのメンバーの一人として、引き続き、貢献できれば幸いである。とりわけ、認証の専門家として、船用燃料の認証スキーム／第三者認証に関するガイダンスの開発に貢献できれば幸甚である。

### 参考文献

- 1) IMO : GUIDELINES ON LIFE CYCLE GHG INTENSITY OF MARINE FUELS (LCA GUIDELINES), IMO RESOLUTION MEPC.376(80)
- 2) Brazil, Japan and EC : Report of the Correspondence Group on the Further Development of the LCA Framework, IMO MEPC 81/7/4, 2024
- 3) IMO : 2024 GUIDELINES ON LIFE CYCLE GHG INTENSITY OF MARINE FUELS (2024 LCA GUIDELINES), IMO RESOLUTION MEPC.391(81)
- 4) EU : FuelEU Maritime, Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC (Text with EEA relevance)
- 5) 環境省 : 水素サプライチェーンにおける温室効果ガス削減効果に関するLCAガイドライン Ver.2.1, 2020