

代替燃料を使用した場合の GHG排出量推定手法

海上技術安全研究所
横田早織、杣原直人

目次

1. 背景
2. 代替燃料について
3. GHG排出量算出方法
4. 算出例
5. まとめ

背景

- IMOによるEEDI規制により、段階的にGHG排出量の規制が厳しくなっている
- GHG排出量削減のための効果的手法のひとつとしてC重油から代替燃料の利用への移行がある
- 代替燃料の研究は現在も多く行われており、代替燃料を利用する船舶も多くなっている
- 代替燃料の燃料消費率や燃料消費量の計算など、C重油とは異なるが、実海域での運航シミュレーションにおいて、標準的な計算手法がない
- 代替燃料のGHG削減量などが算出できれば、既存船や計画船における代替燃料の利用をより推進することができる。

☆ 代表的代替燃料を使用する上での
燃料消費率、燃料消費量およびGHG排出量の算出手法について調査
➡ 実運航シミュレーションを使用した算出例

代替燃料について

■ 対象の代替燃料

- ・ LNG
- ・ LPG
- ・ アンモニア
- ・ メタノール
- ・ 水素
- ・ バイオ燃料

■ GHG排出量：CO₂換算係数を使用して算出

代替燃料について

■ LNG : Liquefied Natural Gas (液化天然ガス)

- ✓ 石炭、石油に比べて二酸化炭素排出量が少なく、環境負荷の低いエネルギーといわれている
- ✓ 重油に変わる船舶燃料として、昨今導入がすすんでいる
- ✓ LNGは燃焼時に燃焼されず大気中に放出される成分(スリップ)が存在する

■ LPG : Liquefied Petroleum Gas (液化石油ガス)

- ✓ ブタンやプロタンなどを液化した燃料であり、すでに低炭素なエネルギーとして活用されている
- ✓ 燃焼時の排出ガスがクリーン

代替燃料について

■ アンモニア

- ✓ 代替燃料として積極的に提案されている燃料のひとつ
- ✓ 燃焼してもCO₂を排出しないが、燃焼時に亜酸化窒素が発生する
亜酸化窒素：CO₂換算係数が298と大きく、排出量によってGHG排出量が大きく変わる

■ メタノール

- ✓ 環境負荷の低減が可能
- ✓ 大きなタンクが必要

■ 水素

- ✓ 運航時にCO₂を排出しない

代替燃料について

■ バイオ燃料

- ✓ 動物や植物を原料とする燃料でカーボンニュートラルとして注目
- ✓ 混合して利用することが多い
 - 混合率によってGHG排出量は変わる
- ✓ パイロット燃料として使用することも考えられている

GHG排出量算出方法

GHG排出量を算出する上で各燃料で必要な入力事項

燃料	燃料消費率	メタン スリップ率	亜酸化窒素 発生率	CO ₂ 換算係数	パイロット燃 料情報	混合比
LNG	○	○		○	○	
LPG	○			○	○	
アンモニア	○		○		○	
メタノール	○			○	○	
水素	○				○	
バイオ燃料	○			△ (混合するもの について)		○

GHG排出量算出方法

重油炊き主機関の場合

1日当たりの燃料消費量

$$FPD_{FO} = 24 \cdot \lambda_{FO}(P_{ME}) \cdot P_{ME} / 10^6 \text{ [ton/day]}$$

λ_{FO} : 重油の燃料消費率[g/(kWh)]

P_{ME} : 主機出力[kW]

1日当たりのGHG排出量

$$CO_{2EFO} = C_{F_{FO}} \cdot FPD_{FO} \text{ [ton/day]}$$

$C_{F_{FO}}$: CO_2 換算係数(重油の場合 : 3.206)

燃料消費量に CO_2 換算係数を乗じることによってGHG排出量を求めることができる

GHG排出量算出方法

LPG、メタノール、水素の場合

1日当たりの燃料消費量

$$FPD = FPD_{GF} + FPD_{PF} \text{ [ton/day]}$$

主機(代替燃料)の燃料消費量

$$FPD_{GF} = 24 \cdot \lambda_{GF}(P_{ME}) \cdot P_{ME} / 10^6 \text{ [ton/day]}$$

パイロット燃料の燃料消費量

$$FPD_{PF} = 24 \cdot \lambda_{PF}(P_{ME}) \cdot P_{ME} / 10^6$$

燃料	CO ₂ 換算係数
LPG	3.000
メタノール	1.375
水素	0.000

λ_{GF} : 代替燃料の燃料消費率[g/(kWh)]

λ_{PF} : パイロット燃料の燃料消費率[g/(kWh)]

1日当たりのGHG排出量

$$CO_{2EGF} = C_{F_GF} \cdot FPD_{GF} + C_{F_PF} \cdot FPD_{PF} \text{ [ton/day]}$$

C_{F_GF} : CO₂換算係数(代替燃料)

C_{F_PF} : CO₂換算係数(パイロット燃料)

GHG排出量算出方法

LNGの場合

メタンスリップを考慮する必要がある

$$CO_{2EFG} = C_{F_GF} \cdot (1 - \underbrace{\varepsilon}_{\text{スリップ率}}) FPD_{GF} + C_{F_PF} \cdot FPD_{PF} + C_{Slip} \cdot \varepsilon FPD_{GF}$$

$$= \{(1 - \varepsilon)C_{F_GF} + \varepsilon C_{Slip}\} FPD_{GF} + C_{F_PF} \cdot FPD_{PF}$$

C_{Slip} : CO_2 換算係数(メタン : 25) C_{GF} : CO_2 換算係数 (LNG : 2.75)

メタンは CO_2 換算係数が大きいいため、スリップ率が低いほどGHG排出量は少なくなる

GHG排出量算出方法

アンモニアの場合

亜酸化窒素を考慮する必要がある

N₂O（亜酸化窒素）が δ g/kWh発生するとする

$$FPD_{N_2O} = 24 \cdot \delta \cdot P_{ME} / 10^6$$

$$CO_{2EGF} = C_{F_{N_2O}} \cdot FPD_{N_2O} + C_{F_{PF}} \cdot FPD_{PF} \quad [\text{ton/day}]$$

$C_{F_{N_2O}}$: CO₂換算係数(N₂O（亜酸化窒素） : 298)

N₂OはCO₂換算係数がかなり大きく、

N₂Oが発生するほどGHG排出量が多くなる

GHG排出量算出方法

バイオ燃料の場合

重油などとの混合比率を考慮する必要がある

パイロット燃料は使用しない

重油とバイオ燃料の混合比率を n %とする

$$CO_{2EGF} = \left(1 - \frac{n}{100}\right) \cdot C_{F_{FO}} \cdot FPD_{FO} \quad [\text{ton/day}]$$

GHG排出量算出方法

代替燃料の燃料消費率の推定

代替燃料の燃料消費率 λ_{GF} は、

C重油の燃料消費率 λ_{FO} と代替燃料の低位発熱量 H_{GF} から求める(H_{FO} ：C重油の低位発熱量)

$$\lambda_{GF} = \frac{H_{FO}}{H_{GF}} \lambda_{FO}$$

燃料	低位発熱量
A重油	31.3 MJ/kg ¹⁾
C重油	37.0 MJ/kg ¹⁾
LNG	49.3 MJ/kg ¹⁾
LPG	46.5 MJ/kg ¹⁾
アンモニア	18.6 MJ/kg ²⁾
メタノール	19.9 MJ/kg ³⁾
水素	120.0 MJ/kg ⁵⁾
バイオ燃料	37.0 MJ/kg ⁴⁾

1)岩谷産業株式会社：総合エネルギー・各種燃料比較

<https://www.iwatani.co.jp/jpn/business/energy/basic-knowledge/fuel/>

2)大地昭生：脱炭素化に向けた火力発電のアンモニア直接燃焼の最近の動向、火力原子力発電大会論文集、2021

3)METHANEX：メタノール技術情報および安全な取り扱いの手引き、第3版、2006

4)ClassNKテクニカルインフォメーション TEC-1307

5)国際環境経済研究所 水素社会を拓くエネルギー・キャリア

<https://ieei.or.jp/2014/09/expl140916/>

(補機の取り扱い)

補機についてはEEDI/EEXIと同じ考えとし、補機出力は以下の式を参照する。
また補機燃費は215[g/kWh]とする

2.2.5.6.1 For ships which total propulsion power ($\sum MCR_{ME(i)} + \frac{\sum P_{PTI(i)}}{0.75}$) is 10,000 kW or above, P_{AE} is defined as:

$$P_{AE (\sum MCR_{ME(i)} \geq 10,000kW)} = \left(0.025 \times \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \right) + 250$$

2.2.5.6.2 For ships which total propulsion power ($\sum MCR_{ME(i)} + \frac{\sum P_{PTI(i)}}{0.75}$) is below 10,000 kW, P_{AE} is defined as:

$$P_{AE (\sum MCR_{ME(i)} < 10,000kW)} = \left(0.05 \times \left(\sum_{i=1}^{nME} MCR_{ME(i)} + \frac{\sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)}}{0.75} \right) \right)$$

"2018 GUIDELINES ON THE METHOD OF CALCULATION OF THE ATTAINED ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI) FOR NEW SHIPS "より (MEPC.308(73))

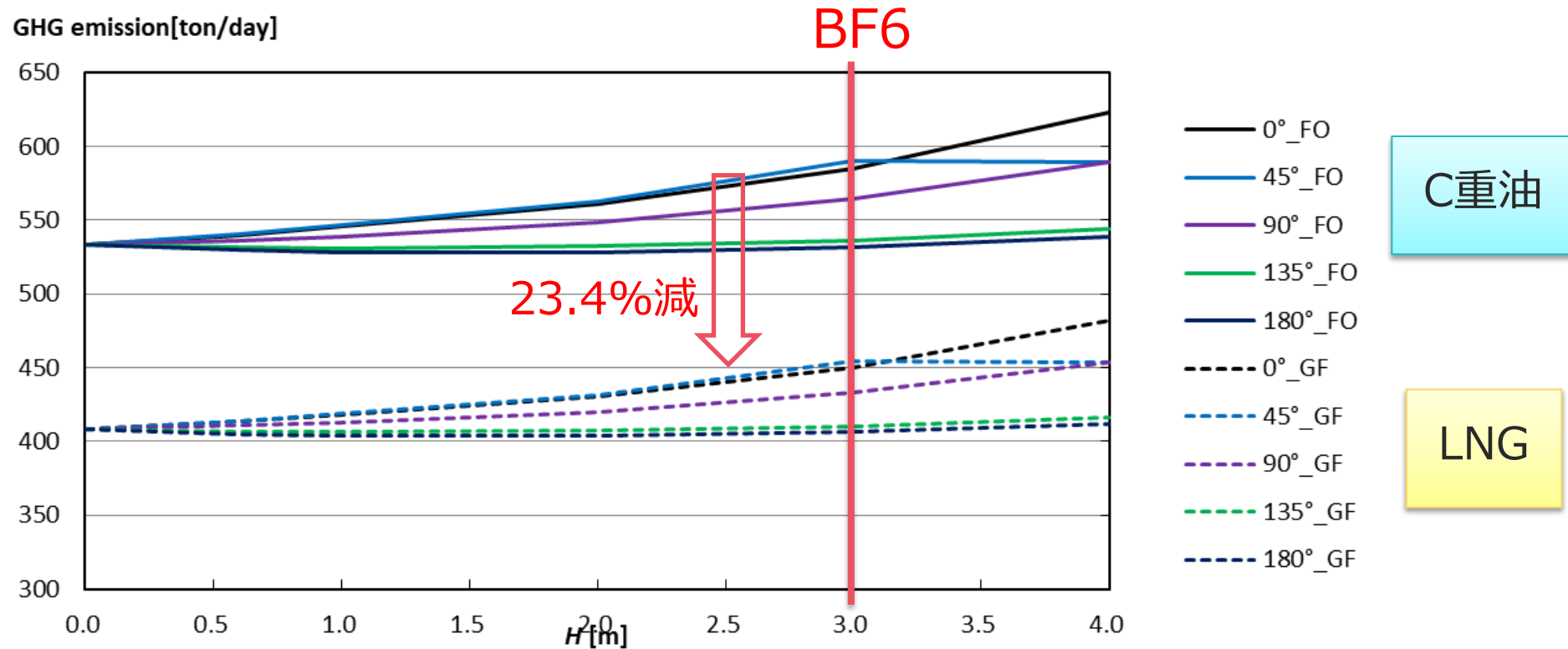
算出例

以上の算出方法を使用し、海象毎のGHG排出量を求める

対象船：船長300m、主機最大連続出力59,540kW、船速27.4knotのコンテナ船

主機燃料：LNGと C重油

(メタンスリップ率：0.9%)

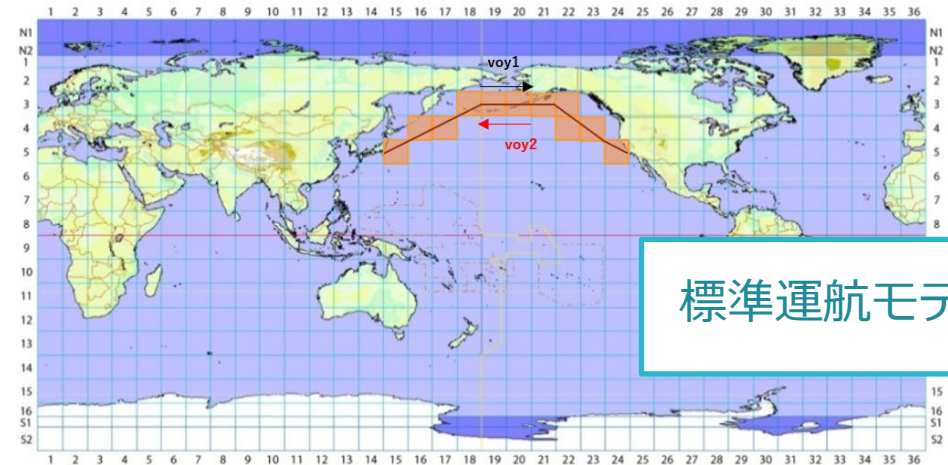
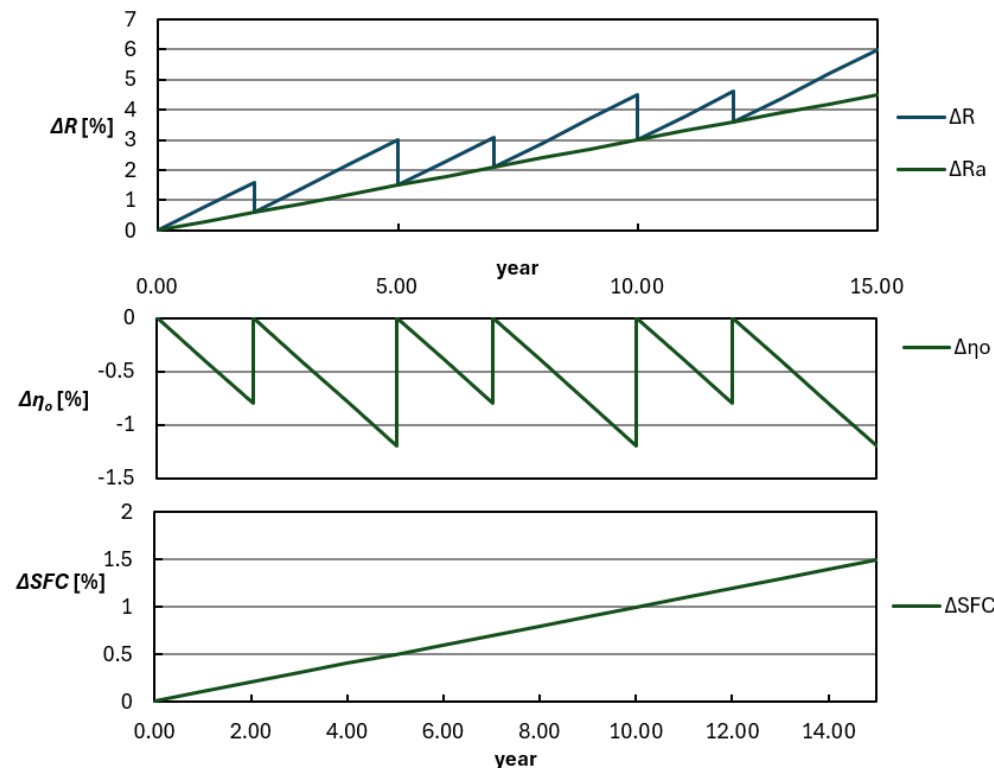


算出例

船舶のライフサイクルGHG排出量を求め、代表代替燃料でそれぞれの変化を確認
対象船：船長300m、主機最大連続出力59,540kW、船速27.4knotのコンテナ船

航路：北太平洋航路

経年劣化・生物汚損パラメータ



標準運航モデル※1

※1 Kuroda, M. et al.: Development of the Evaluation Method for Life Cycle Ship Performance, J. JASNAOE, Vol. 34, 2021.

評価期間：15年

メタンスリップ率：0.9%

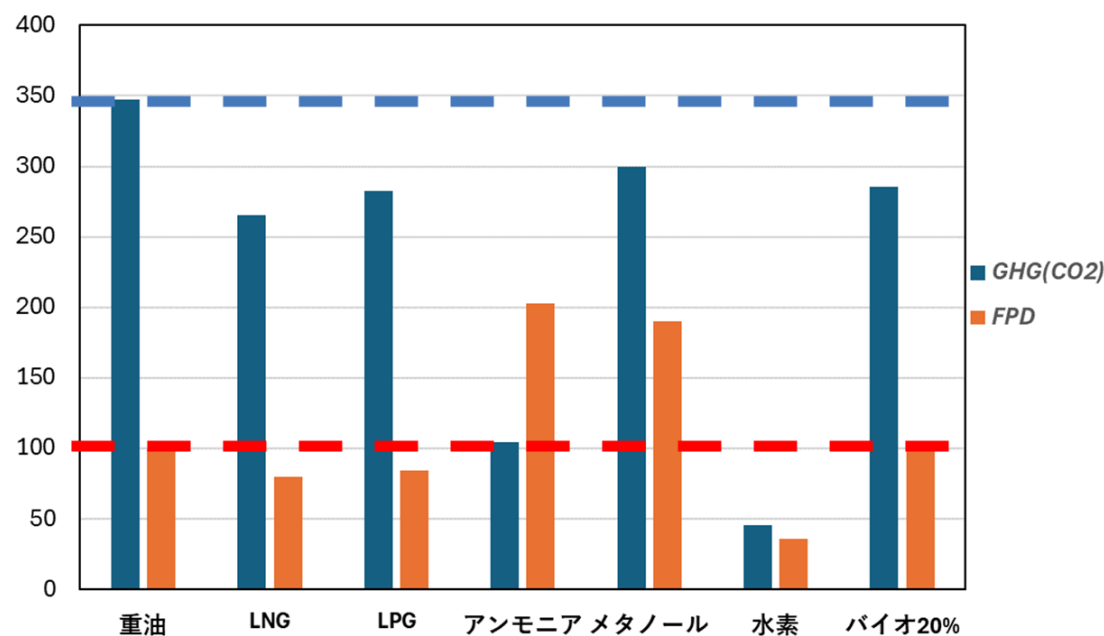
亜酸化窒素発生率：0.1%

バイオ燃料混合比率：20%

算出例

ライフサイクルGHG排出量

GHG(CO₂), FPD[ton/day]



C重油と比較すると・・・

- ✓ LNG、LPG、水素は燃料消費量もGHG排出量も減
- ✓ アンモニアやメタノールはGHG排出量は減だが、燃料消費量は増
- ✓ バイオ燃料は燃料消費量は重油と変わらないが、GHG排出量は減
- ✓ ただしLNG、アンモニア、バイオ燃料などはメタンスリップ率、亜酸化窒素発生率、混合比率などの計算条件によって変化する

燃料	C 重油	LNG	LPG	アンモニア	メタノール	水素	バイオ燃料 (20%)
1 日当たり GHG 排出量 (GHG(CO ₂)) (ton/day)	347.0	265.4	282.5	104.1	299.4	45.4	285.4
GHG 排出削減率	-	-24%	-19%	-70%	-14%	-87%	-18%
1 日当たり燃料消 費量 (FPD) (ton/day)	99.3	79.8	84.2	202.8	189.9	35.8	99.3
燃料消費量増加率	-	-20%	-15%	104%	91%	-64%	0%

まとめ

- 代替燃料のそれぞれの特徴を捉えた燃料消費量およびGHG排出量の標準算出手法について示した
- 実海域性能シミュレーションを実施し、船舶のライフサイクル評価導入判断を可能とした

本研究は海事クラスタ共同研究実海域性能評価プロジェクト フェーズ2 (OCTARVIA2)によって実施しました。

本研究の実施にあたり、株式会社三井E&S 島田一孝様、三井E&S造船株式会社 秋林秀聡様には多くご協力をいただきました。感謝申し上げます。