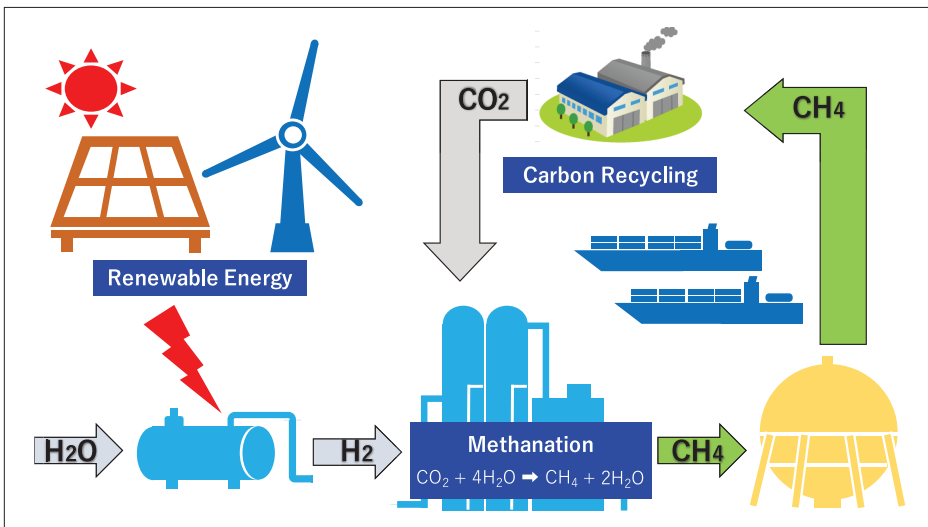


船舶用エンジン燃料としてのカーボンリサイクルメタン ～カーボンニュートラルなゼロエミッション燃料を目指して



村田 直宏 ①
泉屋 宏一 ②

要旨

国際海運分野では、2018年4月、国際海事機関（IMO：International Maritime Organization）において、「GHG 初期削減戦略」が採択され、2008年を基準年として、①2030年までに単位輸送当たりのCO₂排出量を40%以上削減、②2050年までにGHG総排出量50%以上削減、③今世紀中なるべく早期にGHG排出ゼロ、とする目標（Vision）が策定された。

この目標達成のためには、船舶用燃料を重油から低・脱炭素燃料へ転換する必要があり、その候補燃料として、LNG（メタン）、メタノール、アンモニア、水素などがある。

当社は、再生可能エネルギーから生成する水素と産業界から排出する二酸化炭素からメタンを合成するメタネーション技術を開発して事業化を目指している。当社が開発したカーボンリサイクルメタンの製造技術は、ほぼ理論値に近い99%以上の変換効率を実現出来る。また、サプライチェーンの各プロセスにおけるエネルギー収支を試算した結果、カーボンリサイクルメタンがゼロエミッション燃料とみなせ、かつ今後の取組みによりさらに大幅にCO₂排出量を低減出来ることが分かった。

今後、このメタネーション技術で製造するカーボンリサイクルメタンを船舶用エンジン燃料として利用することで、カーボンニュートラルに大いに貢献出来ると考える。

キーワード

海運のGHG削減、カーボンニュートラル、カーボンリサイクル、メタネーション、DFエンジン

1. 緒言

世界全体の地球温暖化防止対策は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC：United Nations Framework Convention on Climate Change）で議論され、2015年12月、第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）で採択された「パリ協定」で「産業革命前からの平均気温上昇を2℃未満に抑制、更に1.5℃に向けての努力」が掲げられた（図1）。

一方、国際海運分野では、2018年4月、国際海事機関（IMO：International Maritime Organization）において、「GHG 初期削減戦略」が採択され、2008年を基準年として、①2030年までに国際海運全体の燃費効率（輸送量あたりのGHG排出量）を40%以上削減、②2050

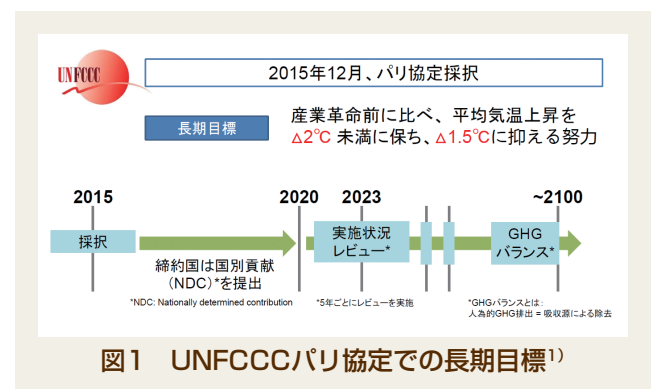


図1 UNFCCCパリ協定での長期目標¹⁾

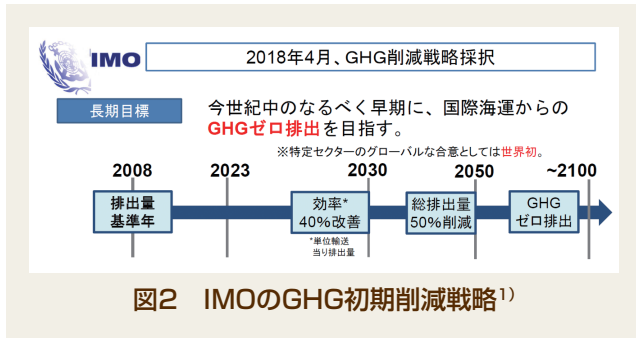
年までにGHG総排出量50%以上削減、③今世紀中なるべく早期にGHG排出ゼロ、とする目標（Vision）が策定された。²⁾この戦略は、5年ごとに見直しを行うことになっている（図2）。

国際海運分野においては、上述した初期削減戦略策定以前から、船舶のエネルギー効率設計指標（EEDI：

① 脱炭素化事業本部 船用機器・脱硝ビジネスユニット

② 脱炭素化事業本部 電解・PtGビジネスユニット プロジェクト部 博士(工学)

Energy Efficiency Design Index、船舶の設計・建造段階の仕様に基づき、1トンの貨物を1マイル運ぶ際に排出するCO₂排出量を導入し、新造船に対する規制値を段階的に強化してCO₂排出を削減してきた。



また初期削減戦略策定以降では、就航している大型外航船舶に対しても、2023年から就航船のエネルギー効率指標 (EEXI: Energy Efficiency Existing Ship Index) と燃費実績の格付け制度 (CII: Carbon Intensity Indicator) を適用し、要求を満足できない場合は、エンジン出力の制限や省エネ装置の追設などの改善措置を義務付けている。

しかし、GHG 排出ゼロという目標達成のためには、EEDI、EEXI、CII格付けの規制強化だけでは不十分であり、船舶用燃料を現状の重油から、低・脱炭素燃料への転換を加速させる必要がある。

低・脱炭素燃料として、液化天然ガス (LNG: Liquefied Natural Gas (主成分はメタン))、メタノール、アンモニア、水素、バイオ燃料などが検討されている。

本稿では、低・脱炭素燃料とそれを燃料とした船舶用エンジンの特徴と課題を整理したうえで、当社固有の高効率なカーボンリサイクルメタンの製造技術と、船舶用ゼロエミッション燃料としてのカーボンリサイクルメタンの有効性検証結果を報告する。

2. 低・脱炭素燃料と船舶用エンジン

2.1 低・脱炭素燃料について 船舶用燃料として現在使われている重油と低・脱炭素燃料の物性値を表1に示す。

表1 重油と低・脱炭素燃料の物性値

	単位	重油 (VLSFO)	メタン (CH ₄)	メタノール (CH ₃ -OH)	アンモニア (NH ₃)	水素 (H ₂)
分子量	g/mol	—	16.0	32.0	17.0	2.0
低位発熱量	MJ/kg	41.5	50.0	21.1	18.8	122.0
	MJ/Nm ³ (0°C, 11m)	39.9	35.8	16.8	24.4	10.7
最大燃焼速度	cm/sec	—	37	48	7	280
最小点火エネルギー	mJ	—	0.28	0.17	170	0.015
着火温度	°C	250	537	385	630	455
可燃範囲	%	—	5~15	6~36	16~25	4~75

メタノール、アンモニア、水素は重油に比べて単位体積当たりの低位発熱量が小さいので、重油利用時と同じエンジン出力を得るためには、より大きな体積が必要になる。これは船舶に搭載する燃料タンク容量が大きくなり積載貨物量が減るというデメリットがあることを意味する。

アンモニアは、着火温度が高い、最小点火エネルギー

が大きい、最大燃焼速度が遅い、低位発熱量が低いことから分かるように燃焼性が悪い。燃焼時に窒素酸化物 (NO_x) や亜酸化窒素 (N₂O) が生成しやすいため、その排出抑制も課題である。さらに毒性があるため漏洩防止や安全管理が必要である。

現在、国内外でアンモニア燃料船の開発プロジェクトが進められているが、その実現には上記課題を解決するアンモニア焚きエンジンの早期開発が必要である。

水素は、メタンに比べて着火温度が低い、最小点火エネルギーが小さい、最大燃焼速度が速いため、着火しやすく燃えやすいので燃焼制御が難しい。

アンモニアと水素は、炭素を含まないので燃焼しても二酸化炭素を発生しない脱炭素燃料として注目されている反面、上述した課題がある。

一方、メタン、メタノールは、着火温度は重油よりも高いが最小点火エネルギーはさほど大きくないので、エンジン燃焼室内でのパイロット燃料着火による燃焼制御が比較的容易で扱いやすい燃料である。

2.2 船舶用エンジンについて 上述した特性を有するLNG (メタン) とメタノールについては、既に国内外のエンジンメーカーが二元燃料 (DF: Dual Fuel) エンジンを製品化し、それらのDFエンジンを搭載した様々な用途の船舶が運航している。

LNG (メタン) 焚きDFエンジンには、燃焼方式の異なるディーゼルサイクルとオットーサイクルの2通りがある。後者の燃焼方式を採用するDFエンジンでは、燃焼室内で燃え残ったメタンが排気と共に大気放出されるメタンスリップが発生しやすい。

大気放出したメタンの地球温暖化係数 (GWP) は、二酸化炭素 (CO₂) の約25倍と大きいため、IMOはメタンスリップの低減や規制のための検討を実施している。

船舶用エンジンのメタンスリップを低減する方法として、排気と共に未燃メタンをエンジン燃焼室に再循環して燃焼する、あるいは排気内の未燃メタンを触媒技術により削減する対策が考えられる。

当社は、(株)商船三井、ヤンマーパワーテクノロジー(株)と共に、グリーンイノベーション基金事業で国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が公募した「次世代船舶の開発プロジェクト」において、「触媒とエンジン改良によるLNG燃料船からのメタンスリップ削減技術の開発」に取り組んでいる。

この開発は、2021年度から2026年度までの6年間でメタン酸化触媒とエンジン改良を組合せることでLNG燃料船のメタンスリップ削減率70%以上を達成し、重油からLNGへの燃料転換による温室効果ガス削減効果を引き上げることが目的としている。

2ストロークDFエンジンと4ストロークDFエンジンでは、一般的に後者の排気温度が高い。現在、4ストロークDFエンジンの排気に含まれるメタンについては、70%削減出来るまで開発は進んでおり、今後は2ストロークDFエンジンの排気温度レベルでのメタン酸化触媒性能向上を目指す予定である (図3)。

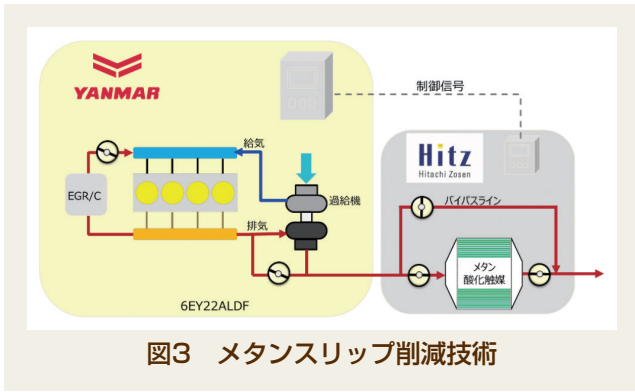


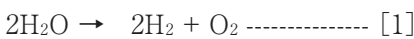
図3 メタンスリップ削減技術

IMOの「GHG削減戦略」の中での新たな政策的動きのひとつとして、船舶用燃料の製造から供給・消費に至るまでのGHG排出量を評価するために、「船舶燃料のGHG排出量に関するライフサイクル評価 (LCA: Life Cycle Assessment) のためのガイドライン案」の検討が進められている。

船上で燃料として利用 (TtW: Tank to Wake) する際に排出するGHGをゼロにしても、その燃料の製造、貯蔵、輸送、船舶への供給 (WtT: Well to Tank) で排出するGHGが大きく増加し、結果としてライフサイクル全体 (WtW: Well to Wake) でのGHG排出量が増加することになれば、地球環境にとって好ましい船舶用燃料であるとは言えない。WtTまでに排出するGHGと、TtWで排出するGHGの両方を評価しなければならない。この観点で、どの低・脱炭素燃料を選び利用するかが重要である。

3. メタネーションによる合成メタン製造

カーボンリサイクルメタンは、再生可能エネルギー由来のグリーン水素および排ガスなどから回収したCO₂から製造される。反応式を[1]および[2]に示す。



水の電気分解反応[1]にて生成された水素と、排ガスなどから回収したCO₂はSabatier反応[2]により、メタンと水に変換される。この反応は発熱反応 (標準生成エンタルピーΔH° = -165 kJ/mol) であるため、一旦、反応が開始すると反応継続のための外部エネルギー投入を必要としない。通常、この水素からメタンへの理論エネルギー変換効率は約83% (低位発熱量基準) である。これに対して当社が開発したNi系の高性能触媒を使用した方法は、ほぼ理論値に近い99%以上の変換効率を実現出来る。³⁾

図4にメタネーションプロセスの概要を示す。CO₂と水素 (容量比1:4) の混合ガスを、触媒を充填した第1段反応器に供給することで[2]の反応が生じる。このとき、1段目反応器では[2]の反応が進むとともに逆反応が生じやすくなる。これを回避するため、1段目反応後の生成ガスをコンデンサーで冷却して生成水を凝縮・除去した後、2段目反応器に通すことで99%を超える高い変換率および高濃度メタンを得ることが出来る。

次章では、このメタネーション技術により合成、製造するメタンを船舶用エンジン燃料として利用する取組みについて解説する。

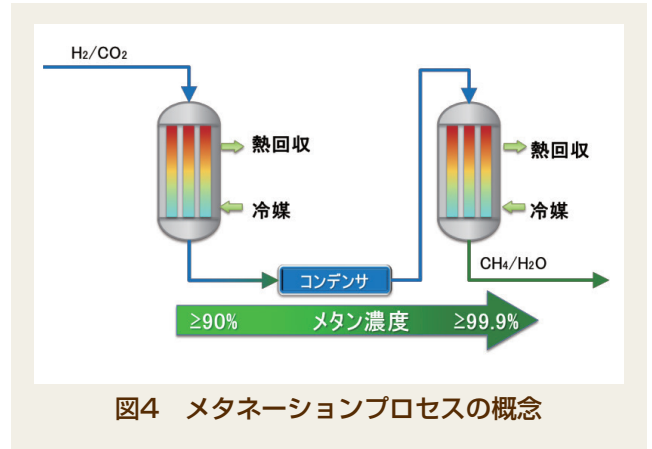


図4 メタネーションプロセスの概念

4. 船舶カーボンリサイクルメタン

IMOの「GHG 初期削減戦略」の採択によるGHG排出ゼロに向けた動きを受け、2018年4月、産学官公連携による「国際海運GHG ゼロエミッションプロジェクト」が設立され、2020年3月に「国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ」が発表された。⁴⁾

このロードマップの中で、GHG総排出量50%以上削減という2050年の目標達成のための代替燃料への移行シナリオとして「LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ」と「水素・アンモニア拡大シナリオ」が挙げられた (図5)。

「LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ」では、LNG燃料船が普及し、同燃料の供給インフラも拡大する一方、水素・アンモニア燃料のインフラは大幅に進まないことを想定している。この場合、2050年に国際海運で消費されるエネルギーの約75%がLNGまたはカーボンリサイクルメタンおよびバイオメタン、約10%が水素・アンモニアにより賄われ、LNG燃料船の約20%が船上でのCO₂回収を導入することで、2050年目標の達成が可能となる。

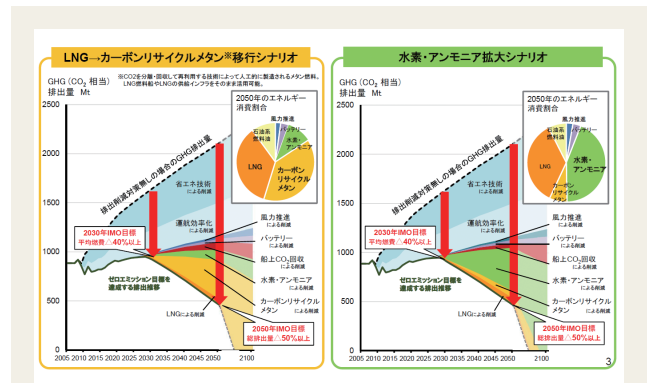


図5 低・脱炭素燃料への移行シナリオ³⁾

「水素・アンモニア拡大シナリオ」では、水素もしくはアンモニアまたはその両方について、船舶の技術開発と燃料供給が拡大することを想定している。

以降、「LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ」において、船舶用ゼロエミッション燃料としてのカーボンリサイクルメタンの有効性検証結果を述べる。

2016年11月に当社と(国研)産業技術総合研究所、日揮(株)、国際石油開発帝石(株)、(株)エックス都市研究所らは、産業界から排出されるCO₂と再生可能エネルギーを利用し生産される水素を組み合わせた代替エネルギーを提供することにより、化石燃料の使用量削減に実効的なカーボンニュートラルを目的としたCCR (Carbon Capture & Reuse) 研究会を設立した。

2020年7月、当社はCCR研究会の会員企業である(株)商船三井、(一財)日本海事協会に加えて製鉄会社、造船会社、エンジニアリング会社などの全9社で「船舶カーボンリサイクルワーキンググループ(WG)」を立ち上げ、ゼロエミッション燃料の実現可能性の検討を始めた(図6)⁵⁾

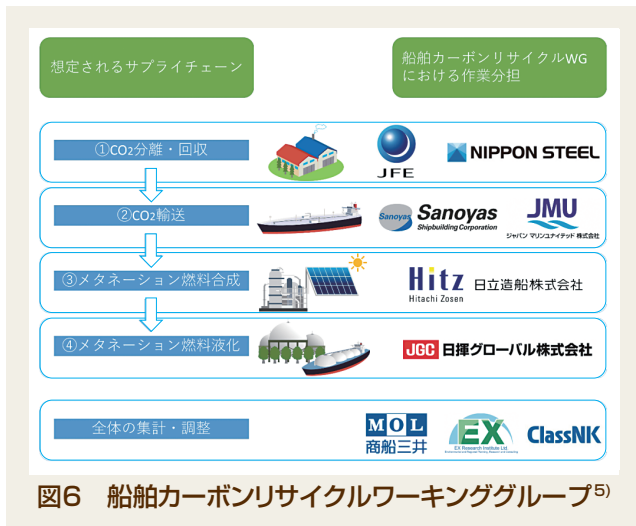


図6 船舶カーボンリサイクルワーキンググループ⁵⁾

この船舶カーボンリサイクルWGは、船舶ゼロエミッション燃料の候補であるメタネーションによるカーボンリサイクルメタンの実現可能性を探るため、次の主要課題I～VIを取上げて検討を開始した。^{6) 7)}

- I. ゼロエミッション燃料としての可能性評価
- II. 大型CO₂輸送船
- III. 再生可能エネルギー由来水素の供給
- IV. メタンスリップ
- V. 供給インフラ
- VI. 経済性

カーボンリサイクルメタンがゼロエミッション燃料とみなせるかを評価するために、①国内の工場などから排出されるCO₂を分離・回収・液化、②液化したCO₂をCO₂輸送船で再生可能エネルギー由来水素が供給される場所に海上輸送、③メタネーションによりCO₂と水素からメタンを合成、④メタンを液化して船用燃料として使用するサプライチェーンを想定し、各プロセスでのエネルギー収支を概算し、排出するCO₂を算出した。

これは、ライフサイクル評価のWtTのエネルギー収支試算に相当する。

以下、各プロセスにおけるエネルギー収支の試算内容

と結果を示す。なお、CO₂の状態、輸送量、輸送距離の条件は下記の通りとし、再生可能エネルギー由来で供給される水素のCO₂排出係数はゼロとした。また、今回想定したサプライチェーンは、複数国に渡るため発生したCO₂を、外航海運を含めてどの国の発生量としてカウントするかという配分(allocation)の問題が生じるが、国際的な枠組みや合意が形成されていないため取扱わないものとした。

条件1: CO₂輸送時はCO₂を0.7MPaG、-46℃の液体状態とする。

条件2: CO₂海上輸送距離は5,000 nautical mile (1 nautical mile=1,852m (1海里))とする。

条件3: CO₂分離・回収量および輸送量は年間150,000tとする。

条件4: 各プロセスは現時点の公知技術・情報を用いて算出する。

条件5: ゼロエミッション船の実現が期待される2030年時点を想定し、電気のCO₂排出係数は0.370kg-CO₂/kWh、蒸気のCO₂排出係数は産業用蒸気の値0.060t-CO₂/GJ、海上輸送で使用したエネルギー効率設計指標(EEDI)はフェーズ3の規制値とする。

4.1 CO₂分離・回収・液化におけるエネルギー収支
CO₂分離・回収技術としては、化学吸収法、物理吸収法、物理吸着法、膜分離法などがあるが、本稿では化学吸収法による試算について記載する。

化学吸収法とは、アミンなどの塩基性物質が酸性物質であるCO₂と化学反応することを利用して、燃焼排ガスや高炉ガスからCO₂を選択的に分離回収する方法である。化学吸収法のプラントは、吸収塔、再生塔、リボイラなどで構成される(図7)。

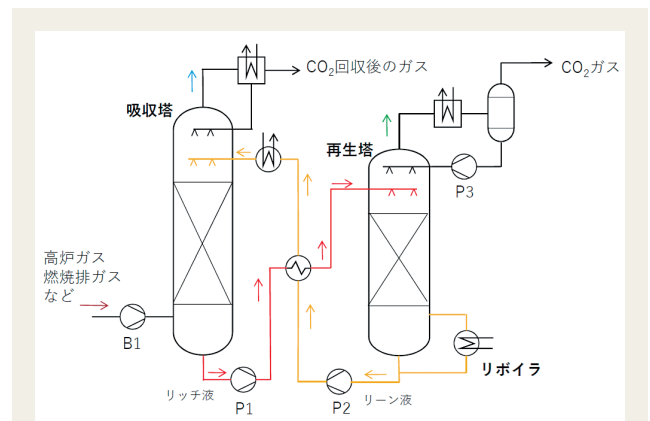


図7 化学吸収法によるCO₂分離回収

化学吸収法のCO₂吸収反応は発熱反応であり、再生塔でCO₂を脱離させるためにはこの反応熱に相当するエネルギーの供給が必要となる。加えて、吸収液の昇温エネルギーと、塔頂で損失する熱のエネルギーの供給がCO₂回収には必要である。これらの吸収液の反応熱、昇温熱、塔頂損失熱の合計がCO₂の分離回収に必要なエネルギーであり、リボイラではこのCO₂回収エネルギーを蒸気で供給する。

表2にCO₂の回収量が150,000tである場合のCO₂回収、液化、貯蔵、移送の各プロセスのエネルギー消費量とCO₂排出量を示す。

化学吸収法によるCO₂回収とCO₂液化のエネルギー消費量は、それぞれ431,000GJ(約119,700MWh)、15,600MWhである。液化CO₂貯蔵タンクでは外部からの熱伝導により蒸発したCO₂全量を再液化して回収する冷却機器が必要であり、その電力は1,220MWhである。貯蔵タンクからCO₂輸送船への移送ポンプの所要電力は75MWhである。

CO₂の分離・回収・液化でのCO₂排出量は、エネルギー消費量にエネルギー源のCO₂排出係数を乗じて求めた。

各プロセスのCO₂排出量は、CO₂回収が25,900t、液化が5,770t、貯蔵が453t、移送が27.8tであり、CO₂発生量の合計は約32,200tである。

表2 CO₂回収、液化、貯蔵、移送でのエネルギー消費量とCO₂排出量

	CO ₂ 回収 化学吸収法	CO ₂ 液化	CO ₂ 液化 (断熱タンク)	CO ₂ 移送 (ポンプ)	CO ₂ 発生量 合計
CO ₂ 取引量	166,667t	150,000t	150,000t	150,000t	150,000t
エネルギー消費量	431,000GJ	15,600MWh	1,220MWh	75MWh	
エネルギー源	蒸気	電力	電力	電力	
CO ₂ 発生量	25,900t	5,770t	453t	27.8t	約32,200t
主要諸元	供給ガス：高圧ガス (CO ₂ 濃度22%) CO ₂ 回収率：90% CO ₂ 回収エネルギー： 2.3GJ/t-CO ₂ 蒸気のCO ₂ 排出係数： 0.060t-CO ₂ /GJ	所要電力： 104kWh/t-CO ₂	液化所要電力： 170kW	移送所要電力： 250kW	

4.2 CO₂輸送プロセスにおけるエネルギー収支
輸送プロセスは、液化CO₂を積地から揚地へと海上を輸送するプロセスであるので、他のプロセスとは異なり、化学反応や、圧力・温度といった状態などの変化によるエネルギー収支はない。

エネルギー収支の対象は、主機関、発電機関、CO₂の荷役や輸送中状態維持に用いられる機器類、その他に船員の居住設備となる。

国際海運に従事する新造船舶に対しては、エネルギー効率設計指標(EEDI)を用いたCO₂排出規制があり、この規制値を元にCO₂排出量を算出し、これに液化CO₂の輸送・荷役時のCO₂排出に対して影響の大きな再液化装置と液化CO₂ポンプを加え、輸送プロセスにおけるCO₂排出量とした。

なお、CO₂輸送船は、液化CO₂輸送の積地から揚地への往路の航海、その復路の空荷航海と停泊中の発電機関稼働中のCO₂排出も算出対象に加えた。

CO₂輸送船は、載貨重量：11,000t、貨物容積：10,000m³、航海船速：10kt、運航隻数：2隻とした。

今回の検討においては、上記で仮定したCO₂輸送船の条件から決まる規制値を、本船のEEDIに等しいものとして、航海時におけるCO₂排出量を算出し、ここに航海時の再液化装置稼働による排出と、揚荷時のCO₂ポンプ稼働による排出、および停泊中の発電機関による排出を加え、輸送プロセスにおける総CO₂排出量を次の通り算出した。

航海日数：42日(1往復航海当たり)、荷役時間：20時間(1往復航海当たり)、停泊時間：4日(1往復航海当たり、荷役時間含む)と仮定し、CO₂輸送船のEEDI(3次規制)：11.257g-CO₂/t・nautical mileとすると、総CO₂排出量：約20,500tとなる。

4.3 メタネーションプロセスにおけるエネルギー収支

4.3.1 CO₂気化の消費エネルギー
CO₂輸送船で輸送された液体CO₂(-46℃、0.7MPaG)を気化してメタネーションプラントに供給するため、貯蔵タンクでの温度維持に必要なエネルギーは170kWhであり、1年間で1,489MWhが必要となる。

この液体CO₂を気化(20℃、0.7MPaG)するためのエネルギーは、エンタルピー差400kJ/kg-CO₂から計算すると、150,000t-CO₂×400kJ/kg-CO₂÷3,600s=16,667MWhである。すなわち、年間の電力消費量は、(1,489+16,667)=18,156MWhとなる。

電力のCO₂排出係数0.370kg-CO₂/kWhを乗じると、18,156MWh×0.370kg-CO₂/kWh=6,718t-CO₂が年間のCO₂排出量となる。

4.3.2 メタネーションプロセスの物質収支

150,000tのCO₂を8,000時間/年間のプラント稼働でメタン化する場合、CO₂流量は、150,000t×22,400/44Nm³/t÷8,000h=9,545Nm³/hとなり、この4倍量の再生可能エネルギー由来水素と併せて反応器に供給される。この場合、メタネーション反応により、年間54,458t-CH₄のメタンが製造される。

4.3.3 メタネーションプロセスのエネルギー消費量とCO₂排出量
メタネーションプロセスは発熱反応であるため、反応のための外部エネルギーは不要であり、電力消費はポンプ、制御盤、起動ヒーターなどの補機の動力である。

プロセスの起動停止を年間15回とすると、起動運転時および8,000hの定格運転時におけるプロセスの電力消費量は2,042MWhとなり、CO₂排出係数0.370kg-CO₂/kWhを乗じると、年間のCO₂排出量は、2,042MWh×0.370kg-CO₂/kWh÷1,000=755t-CO₂となる。

メタネーションプロセスにおいてCO₂タンク内液体CO₂の再液化設備、気化蒸発のための加熱器、プロセス稼働に伴う電力消費量およびCO₂排出量を表3に示す。

メタネーションプロセスにおける年間のCO₂排出量は(551+6,167+755)t-CO₂=7,473t-CO₂となる。

表3 メタネーションプロセスのエネルギー消費量とCO₂排出量

設備	CO ₂ タンク	蒸発器	メタネーション
主な電力消費機器	再液化設備	加熱器	起動時ヒーター、ポンプ、計装、制御
エネルギー源	電力	電力	電力
年間消費電力(MWh)	1,489	16,667	2,042
年間CO ₂ 排出量(t-CO ₂)	551	6,167	755

4.4 メタン液化プロセスにおけるエネルギー収支

メタンガスの液化と貯留、船舶に供給するための主要設備・機器構成を図8に、主要機器のエネルギー消費量から概算した各設備のエネルギー消費量とCO₂排出量を表4に示す。

ここで、タンクの気化ガスを昇温し通気することで脱水しているが、エネルギー消費は僅なため、脱水に伴うエネルギー消費は無視した。

設備全体の消費電力から、タンクの気化ガスを燃料としたガスタービン発電により発生させた電力を差し引いてCO₂排出量を計算した。ただし、ガスタービン発電での燃焼によるCO₂排出量は、本プロセスからのCO₂排出量としてカウントした。消費電力からのCO₂排出量の計算には、CO₂排出係数0.370kg-CO₂/kWhを用いた。

外部供給される電力に対しCO₂排出係数を乗じて計算した年間CO₂排出量は約7,840tとなる。これにガスタービン発電機からの年間CO₂排出量である約9,520tを合計し、本プロセスからの年間CO₂排出量は約17,360tと概算される。

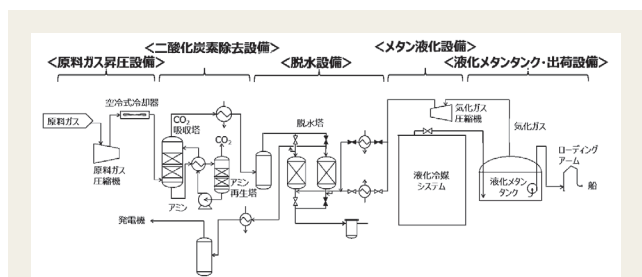


図8 メタン液化プロセスの主要機器構成

表4 メタン液化プロセスのエネルギー消費量とCO₂排出量

設備	原料ガス昇圧	二酸化炭素除去	脱水	メタン液化	液化メタンタンク・出荷	発電機
主要機器	原料ガス圧縮機 空冷式冷却器	循環ポンプ	-	冷媒式圧縮機 空冷式冷却器	出荷ポンプ 気化ガス圧縮機	ガスタービン 発電機
エネルギー源	電力	電力	-	電力	電力	所内気化ガス
消費(発生)電力 kW	1,060	10	-	3,320	60	(1,800)
外部からの受電電力 kW	2,650 (消費電力-発生電力)					
CO ₂ 排出量 (t-CO ₂ /年)	7,840 ^(*) (外部からの受電電力に関わるCO ₂ 排出量)					9,520

(*1) CO₂排出係数は0.370kg-CO₂/kWhをベースとして計算

4.5 サプライチェーン全体の評価

4.1~4.4の各プロセスのエネルギー収支結果をメタンの低位発熱量で除して集計した結果を図9に示す。サプライチェーン全体での単位熱量当たりのCO₂排出量は、約27g-CO₂/MJとなる。

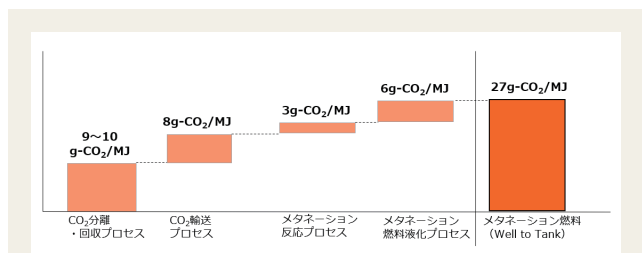


図9 船舶ゼロエミッションメタン燃料の単位熱量当たりCO₂排出量⁶⁾

今後、分離回収技術の効率改善や再生可能エネルギー由来の電力利用、CO₂輸送プロセスの船舶用燃料にメタンを用いることで、このCO₂排出量をさらに少ない約20g-CO₂/MJへ削減することが見込まれる。

本WGで試算した各プロセスのエネルギー投入量に対する単位熱量当たりのCO₂排出量(約27g-CO₂/MJ)は、報告されている主要な低・脱炭素燃料候補の単位熱量当たりのCO₂排出量と比較しても遜色ない数値であることが確認出来た。⁸⁾

5. 結 言

本稿では、再生可能エネルギーから生成する水素と産業界から排出する二酸化炭素を利用した当社固有の高効率なカーボンリサイクルメタンの製造技術と、船舶用ゼロエミッション燃料としてのカーボンリサイクルメタンの有効性検証結果について報告した。

当社が開発したNi系の高性能触媒を使用したカーボンリサイクルメタンの製造技術を用いることで、ほぼ理論値に近い99%以上の変換効率を実現出来る。

また、想定したサプライチェーンの各プロセスにおけるエネルギー収支を試算した結果、カーボンリサイクルメタンがゼロエミッション燃料とみなせ、かつ今後の取組みによりさらに大幅にCO₂排出量を低減出来ることが分かった。

IMOでは、陸上回収したCO₂からリサイクルしたカーボンリサイクルメタンを、船上で燃料として再利用した際のCO₂排出量の集計方法について、考え方を整備していない。我が国は他国と共に、陸上でのCO₂排出量と船上でのCO₂排出量を二重計上しない集計方法を提案している。今後、この集計方法がIMOでルール化されることにより、海運でのカーボンリサイクルメタンの利用、普及が大幅に進むと考えられる。

近い将来、当社のメタネーション技術により製造するカーボンリサイクルメタンが国際海運分野のGHG削減、カーボンニュートラルに大きく貢献することが期待出来る。

SDGsに貢献する技術

再生可能エネルギーから生成する水素と産業界から排出する二酸化炭素からメタン合成するメタネーション技術の普及により、地球温暖化を抑制する効果が期待出来る。カーボンリサイクルメタンを船舶用エンジン燃料として利用することで海運GHG削減、カーボンニュートラルに貢献出来る。

参考文献

- 1) 国土交通省, 国際海運GHGゼロエミッションプロジェクト, 2018.
- 2) Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emission from Ships, IMO MEPC 304 (72), 2018.
- 3) 村田直宏, 泉屋宏一, 熊谷直和, CO₂を利用した再生可能エネルギーの燃料化技術-炭素循環社会を

- 目指して, 日本マリンエンジニアリング学会誌, **2020**, Vol.55, No.6, p102-108.
- 4) 国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ, 国際海運GHGゼロエミッションプロジェクト, **2020**.
- 5) ニュースリリース「CCR研究会 船舶カーボンリサイクルWGが9社で始動～メタネーション技術による船舶のゼロ・エミッション燃料を目指す業界横断の取り組み」, 日立造船, **2020**.
- 6) 村田直宏ほか, CCR研究会・船舶カーボンリサイクルワーキンググループの取り組み—ゼロエミッション燃料を目指して, 日本マリンエンジニアリング学会誌, **2021**, Vol.56, No.4, p134-143.
- 7) 村田直宏, 藤林孝博, 日立造船における環境技術と製品—カーボンニュートラル社会を目指して, 日本マリンエンジニアリング学会誌, **2022**, Vol.57, No.1, p74-83.
- 8) Assessment of selected alternative fuels and technologies, DNV-GL, **2019**.

文責者

日立造船株式会社 脱炭素化事業本部
 船用機器・脱硝ビジネスユニット ICTグループ
 村田直宏
 E-mail : murata_n@hitachizosen.co.jp

Carbon Recycled Methane as Marine Engine Fuel —Toward Achieving Net Zero-Carbon Fuel

Abstract

The International Maritime Organization (IMO) adopted “The Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships” in April 2018, setting out a vision with quantified GHG reduction targets: 1) to reduce carbon intensity (i.e., CO₂ emissions per transport work) of international shipping by at least 40% by 2030 compared to 2008, 2) to reduce the total annual GHG emissions from international shipping by at least 50% by 2050 compared to 2008, and 3) to phase out GHG emissions from international shipping as soon as possible in this century. In order to achieve this goal, it is necessary to convert the fuel for ships from heavy oil to low-carbon and zero-carbon fuel, and candidate fuels include LNG (methane), methanol, ammonia, and hydrogen.

Hitachi Zosen aims to develop and commercialize methanation technology for synthesizing methane from hydrogen generated by renewable energy and from carbon dioxide emitted by industry. The carbon-recycled methane production technology we developed can achieve a conversion efficiency of 99% or more, which is close to the theoretical value. In addition, a trial calculation of the energy balance in each process of the supply chain found that carbon-recycled methane can be regarded as a net zero-carbon fuel, and that CO₂ emissions can be significantly reduced through future efforts.

We believe that using carbon-recycled methane produced by this methanation technology as a marine engine fuel will contribute greatly to carbon neutrality in the future.

Authors

Naohiro Murata (Hitachi Zosen Corporation, E-mail : murata_n@hitachizosen.co.jp)
 Kouichi Izumiya