

# 海運分野における 代替燃料CO<sub>2</sub>排出量評価手法(LCA)に関する調査研究

運輸総合研究所

2022年6月20日

# 海運分野における代替燃料CO<sub>2</sub>排出量評価手法(LCA)に関する調査研究 背景

## 背景：IMO(国際海事機関)におけるGHG削減への議論の加速

- IMO GHG 削減戦略（2018年採択）：国際海運のGHG排出量を2050年に半減、今世紀中早期にゼロとすることを目指している
- 世界的にカーボンニュートラルへの取組が加速する中、IMOの削減戦略もより野心的な目標に見直しへ（日本は2050ネットゼロを提唱）。決定は2023の予定。

これまでの具体的対策：  
船舶の省エネ化など運航効率化が中心



ネットゼロに向け、実排出量の削減と、  
化石燃料からゼロ炭素燃料への船舶の燃料転換へ

欧米を中心に総合的なGHG削減への要求 → 燃料のライフサイクル評価指針「LCAガイドライン」

船舶からのGHG排出量を減少するために、燃料生産時に、より大量のGHGが発生するのでは意味がない

燃料のサプライチェーンの段階を含めてGHG排出量を評価(LCA)・認証し、適時モニタリングすることが必要  
➡ 現在、IMOにおいてライフサイクルベースでGHG排出が少ない燃料を選択できるよう、ガイドライン策定に向け審議中

## WtT排出量の重要性

好ましくない世界

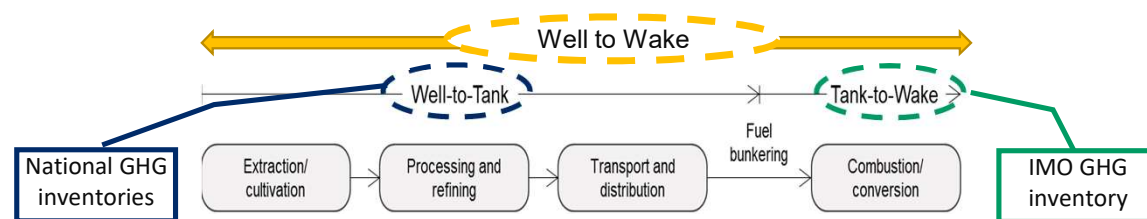


TtW排出量ゼロを目指すことにより、WtT排出量が大きく増加し、結果としてトータルの排出量(WtW)も増加。

あるべき世界



- 燃料生産者・供給者は、代替燃料の生産工程の改善、再生可能エネルギーやCCS/CCUの利用により、WtT排出量を削減する努力をする。
- このような努力とその結果(WtT排出量)が、燃料ユーザー等に対して定量的に「見える化」される。
- 燃料ユーザー(海運)は、WtT排出量の少ない燃料を選択することで自身のWtW排出量を最小化する。



IMOで審議中のLCAガイドラインは、  
この目標を達成するための第一歩

# 海運分野におけるLCAに関する調査研究方針

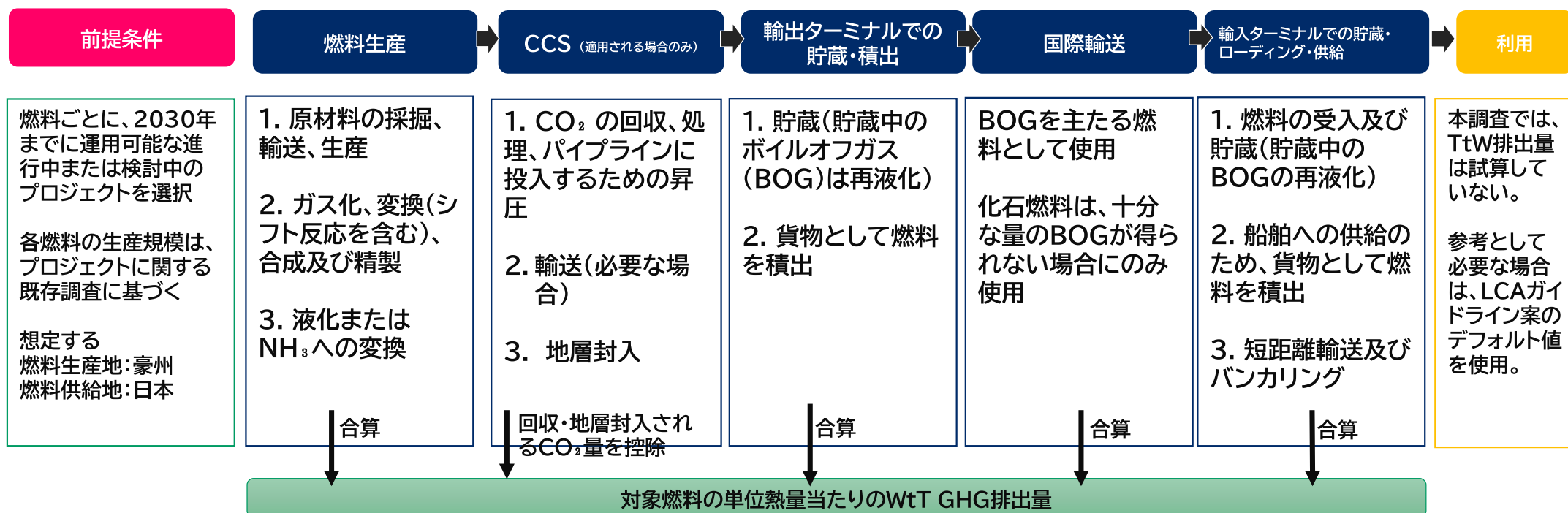
## ①調査対象範囲

対象燃料の生産・輸送・供給の全過程について、年間GHG排出量(g-CO<sub>2</sub>eq/year)を算出。年間GHG排出量を燃料の低位発熱量(MJ/year)で除することで、地域間、プロジェクト間及び燃料間での比較を行う。

【類型1】 改質や精製などによるマテリアルフロー(原料に含まれている炭素由来)としての排出

【類型2】 電力の投入や熱供給による間接的な排出

【類型3】 貯蔵、輸送及びバンカリングにおける燃料使用による間接的な排出



## ②対象燃料の種類

| 燃料及び<br>生産工程                               | 生産プロセスの概要                                                                                                                                                                                                                                  | 製品の輸送形態                                            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 褐炭由来液化水素                                   | <p>炭素から水素への変換</p> $2C + O_2 \rightarrow 2CO \quad (\text{ガス化反応})$ $CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2 \quad (\text{シフト反応(Water-Gas Shift)})$ <p>WGSに必要な水は海水淡水化により供給。水素と同じモル数のCO<sub>2</sub>が副生成物として生成される。CO<sub>2</sub>は回収され、海底に地層貯留される。</p> | <p>液化水素(LH<sub>2</sub>)</p> <p>BOGは燃料として使用</p>     |
| 再生可能エネルギー利用、水電解による液化水素                     | <p>淡水を使った水電解（アルカリ法又はPEM）:</p> $2H_2O + \text{electrical energy} \rightarrow 2H_2 + O_2$ <p>淡水は4.1と同様の方法により生成。</p>                                                                                                                          | <p>液化水素(LH<sub>2</sub>)</p> <p>BOGは燃料として使用</p>     |
| 再生可能エネルギー利用、水電解による液化アンモニア                  | <p>アンモニア生成（ハーバーボッシュ法）:</p> $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ <p>水素は、4.2と同様の方法により生成。窒素は、大気から分離して生産。</p>                                                                                                                                        | <p>液化アンモニア(LNH<sub>3</sub>)</p> <p>BOGは燃料として使用</p> |
| 再生可能エネルギー利用、排ガス回収CO <sub>2</sub> を用いた合成メタン | <p>合成メタン生成の概要:</p> $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ <p>CO<sub>2</sub>は産業排出源からの排気ガスから回収し、4.2と同様の方法で生成された水素と反応させて合成メタンを生成。</p>                                                                                                         | <p>液化合成メタン</p> <p>BOGは燃料として使用</p>                  |

## ③試算の留意点

WtT排出量試算における留意点:

### 1. 電力のCO<sub>2</sub>排出原単位

生産や貯蔵等の各プロセスにおいて、消費電力(kWh) の由来(風力、自家発電、豪州又は日本の系統電力)を特定したうえで、それぞれのプロセスについて、2030年までの改善を考慮した排出原単位を適用。

### 2. プロジェクトの想定年

すべてのプロジェクトが2030年までにフル稼働すると想定。2030年までに予想される最高効率を適用。

### 3. 評価対象範囲

プラント建設及び廃棄は、本LCAのバウンダリー外とする。

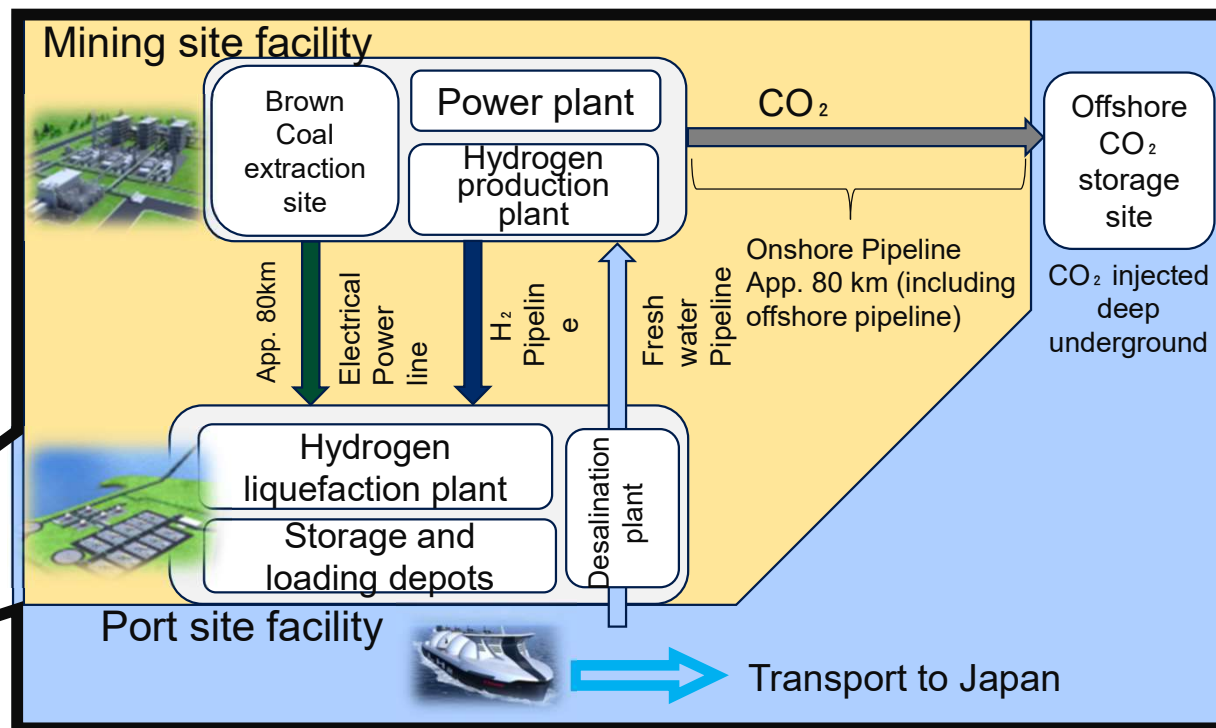
### 4. バイオ燃料

バイオ燃料についてのLCAは実施していない。

|                           | 現状                              | 2030年                           |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 効率                        |                                 |                                 |
| 水素燃料GTCC                  | Not available                   | 40% (HCVベース)*1                  |
| 水素液化                      | 13.6 kWh/kg                     | 6.17 kWh/kg                     |
| アルカリ水電解                   | 4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>         | 4.3 kWh/Nm <sup>3</sup>         |
| PEM水電解                    | 4.9 kWh/Nm <sup>3</sup>         | 4.5 kWh/Nm <sup>3</sup>         |
| 系統電力CO <sub>2</sub> 排出原単位 |                                 |                                 |
| 豪州:ビクトリア州                 | 0.98 kg-CO <sub>2</sub> eq/kWh  | 0.51 kg-CO <sub>2</sub> eq/kWh  |
| 豪州:西豪州WEM                 | 0.68 kg-CO <sub>2</sub> eq/kWh  | 0.45 kg-CO <sub>2</sub> eq/kWh  |
| 日本                        | 0.441 kg-CO <sub>2</sub> eq/kWh | 0.370 kg-CO <sub>2</sub> eq/kWh |

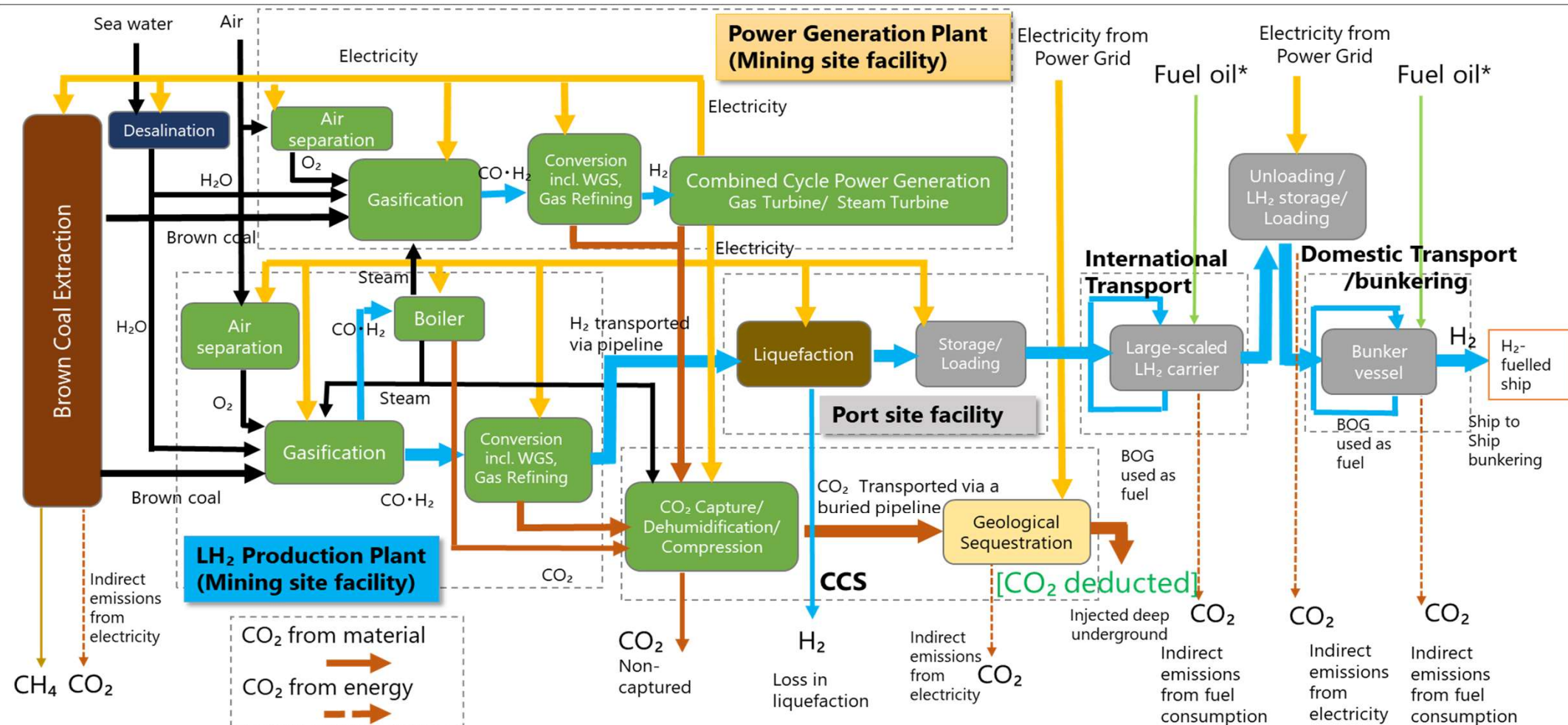
\*1 水素燃料GTCCの効率は、CCSによるCO<sub>2</sub>回収率90%を想定した日本の実プロジェクトの目標値(約40%:HHVベース)を採用。

# 燃料種ごとの調査 例：褐炭由来LH<sub>2</sub>-サプライチェーン概念図

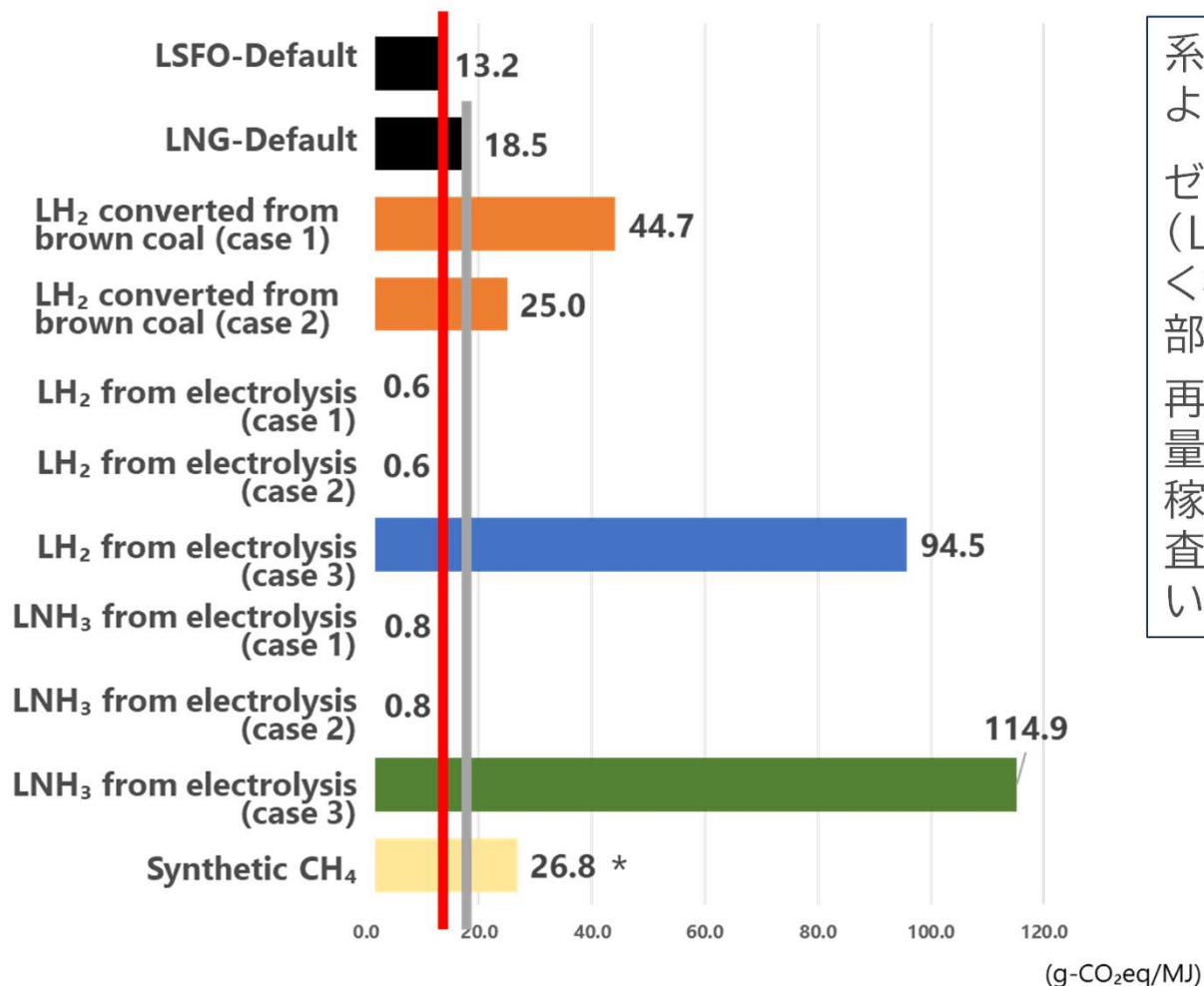


1. 豪州には、水素生産用の褐炭採掘現場（内陸）施設と液化・積出用の臨海施設の2つのサイトがあると想定。両サイトは、水素ガスパイプライン、淡水パイプライン及び専用電力線により接続。
2. 内陸サイトと沖合のCO<sub>2</sub>貯留サイトの間のCO<sub>2</sub>パイプライン及び地層封入はCarbonNet\*により提供及び運用される予定。

\* CarbonNetプロジェクトは、豪州のビクトリア州に商業規模の炭素回収貯留(CCS)ネットワークを確立することを目的としている。このネットワークは、ビクトリア州のラトロブバレーに拠点を置く様々な産業から回収されたCO<sub>2</sub>を、地下パイプラインを介してバス海峡のオフショア貯留サイトに供給。プロジェクトは2030年までに運用可能になる予定。



## ①WtT排出量の比較



系統電力のCO<sub>2</sub>原単位は、国・地域・電力会社によって大きく異なる。

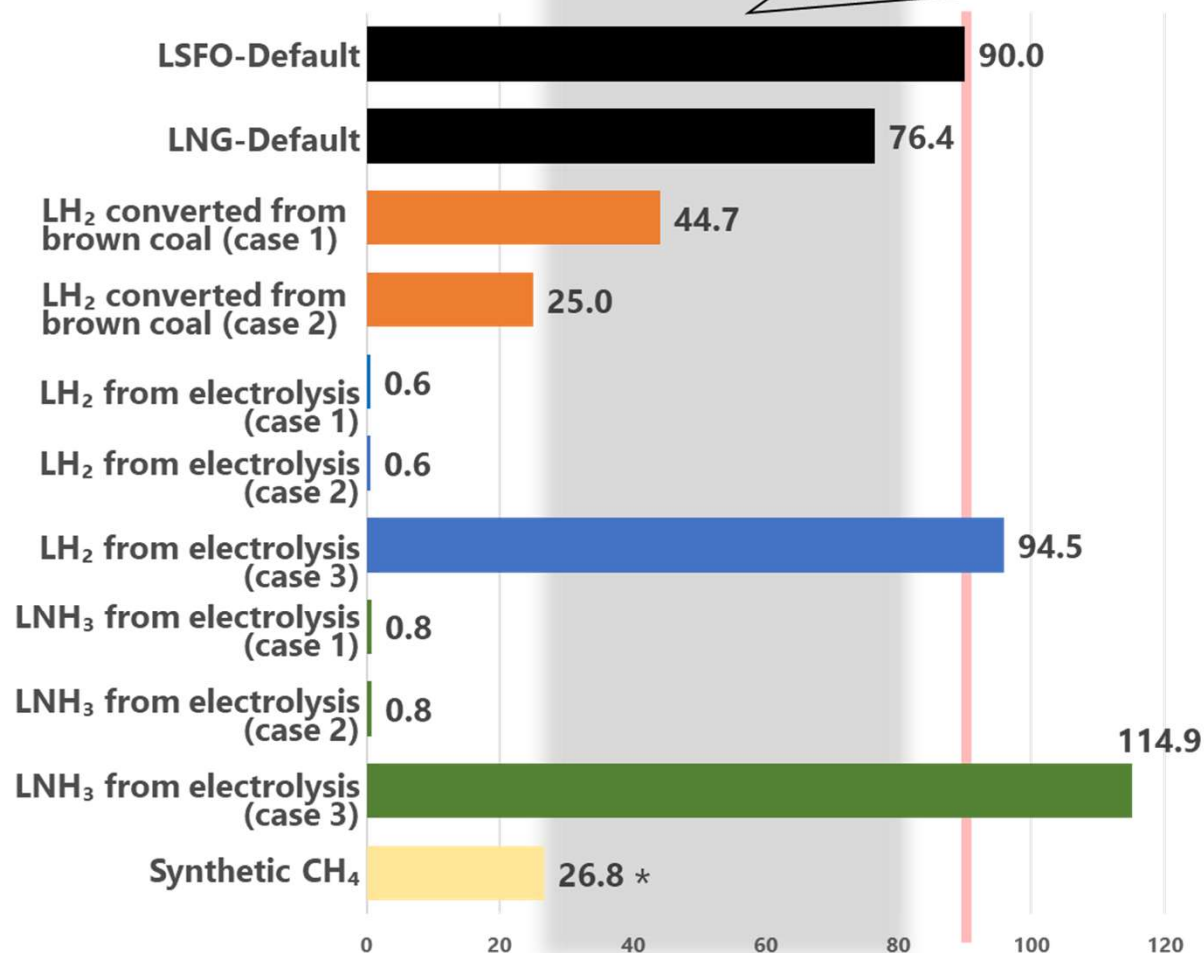
ゼロ・低炭素燃料のWtT排出量は、化石燃料（LSFO、LNG/天然ガス）のデフォルト値より高くなる可能性がある。特に、必要な電力供給の一部を系統電力で賄う場合、排出量は高くなる。

再生可能エネルギーを100%使用すれば、排出量はほぼゼロとなる。その場合、プラントの安定稼働やコストに影響が出る可能性がある。本調査では、この点について定量的な評価は行っていない。

\*日本国内のGHGインベントリにCO<sub>2</sub>の回収量が計上される場合、TtW排出量はゼロ(SF=0)とみなされる。

## ②WtW排出量の比較

[at least XX%] lower than for LSFO?  
(see para.6.4 of ISWG-GHG 11/2/3)



LSFO(低硫黄重油)のデフォルトWtW排出量と比較すると、褐炭由来のLH<sub>2</sub>では72%、水電解によるLH<sub>2</sub>とLNH<sub>3</sub>では99%以上、合成メタンでは70%低くなっている。

2030年までに実用化が見込まれる水素液化やCO<sub>2</sub>回収の技術レベルを適用した場合には、これらの燃料は十分な持続可能性を持っていると考えられる。

\*日本国内のGHGインベントリにCO<sub>2</sub>の回収量が計上される場合、TtW排出量はゼロ(SF=0)とみなされる。

(g-CO<sub>2</sub>eq/MJ)

## 海運分野におけるLCAに関する考察・提言①

- 2030年時点で我が国で導入予定のゼロ炭素燃料のLCAは良好と見込まれ、十分な持続可能性があると期待(2030までに予定される製造効率化技術等を考慮)
- 同じゼロ炭素燃料であっても、  
事業者(燃料生産者／供給者等)による生産・輸送における最新技術の導入、プラント設計やサプライチェーン全体の最適化等の促進が重要。
- ユーザーにおいてGHG排出量がより少ない燃料を選択できるようにするため、製造事業者の説明責任とトレーサビリティを確保した認証制度 早期確立が必要

1. LSFOのデフォルトWtW排出量と対象燃料のWtW排出量を比較した結果は以下の通り：
  - 褐炭由来LH<sub>2</sub>の場合 72%減
  - 水電解によるLH<sub>2</sub>とLNH<sub>3</sub>のいずれにおいても 99%以上減
  - 合成メタンの場合 70%減今回調査した燃料は、2030年までに開発中の効率化技術や回収技術等を適用した場合、十分な持続可能性を持つ。
2. 系統電力のCO<sub>2</sub>原単位は、国や地域、さらには電力会社によって大きく異なる。また、パリ協定に基づくNDC(国が決定する貢献)を考慮すると、2030年までに大きな改善が見込まれる。  
したがって、LNGを含む燃料の生産効率は、地域ごとに異なるパラメーターと将来予想される技術改良を用いて、ケースバイケースで設定する必要がある。
3. 上記のような考え方から、各燃料に単一のデフォルト値を固定する代わりに、
  - 生産工程の電力消費量のデフォルト値を設定し、そのうえで、
  - 地域別のCO<sub>2</sub>原単位を個別に適用して、WtT排出量をケースごとに計算する、ことが考えられる。このような方法は、ゼロ炭素燃料と化石燃料の両方に適用できる。

## 海運分野におけるLCAに関する考察・提言②

4. 似たような生産方法であっても、事業者(燃料生産者／供給者等)による生産・輸送における最新技術の導入、プラント設計やサプライチェーン全体の最適化等によって、WtT排出量を大幅に削減できることが示された。
5. そのような事業者の努力にインセンティブを与えるためには、
  - ゼロ・低炭素燃料のデフォルトWtT排出量は、保守的な仮定のもと、ばらつきを考慮してGHG排出量の振れ幅の上限値に設定すべきである。
  - デフォルト値より良い(少ない)WtT排出量は、IMOが認める認証制度を適用してその値が証明できた場合に受け入れられるべき。認証制度は、説明責任とトレーサビリティを確保するべきである。この考え方は、ゼロ・低炭素燃料だけでなく、LNGを含む化石燃料にも適用するべきである。
6. 水素液化及びCO<sub>2</sub>回収プロセスは、他のプロセスよりも電力消費量が多く、WtT排出量に大きく影響する。そのため、これらのプロセスの効率化を促進すべき。
7. また、国際海上輸送に伴うGHG排出量は、在来の化石燃料を使用した場合、無視できない量となる。2030年までにゼロ炭素燃料のBOGを利用(専焼)できる主機の実用化が肝要である。