

令和3年(第21回)海上技術安全研究所研究発表会

# GHG削減船の実現に向けた検討



GHG削減プロジェクトチーム  
平田 宏一



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所

## 講演内容

1. はじめに
2. 内航船のGHG排出
3. GHG削減技術の概要と課題
4. 各種GHG削減技術を導入する船舶の検討
5. 代替燃料利用技術
6. まとめ



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所

# 1. はじめに

- ▶ IMOのGHG削減戦略では、2030年までに国際海運全体の燃費効率を40%以上改善、2050年までにGHG排出量を50%以上削減（2008年比）、さらに今世紀中のできる限り早い時期にGHG排出をゼロとするといった目標を掲げている。
- ▶ 内航海運においては地球温暖化対策計画で2030年度までにCO<sub>2</sub>排出量157万トン削減（2013年比）を目標に掲げ、省エネ技術の開発と省エネ船舶の普及が図られてきた。



本講では、主に内航船に着目する。

## ① GHG削減技術の導入

実用性が高く、理想的なGHG削減船を検討する。

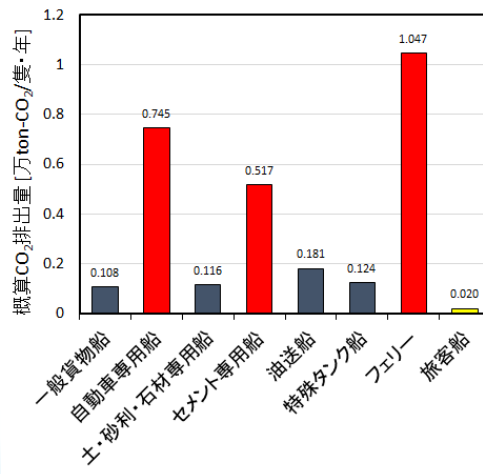
## ② 代替燃料を利用する動力システムの検討

動力システムの特徴を踏まえて、船種・航行距離・船のサイズを踏まえた適用性を検討する。

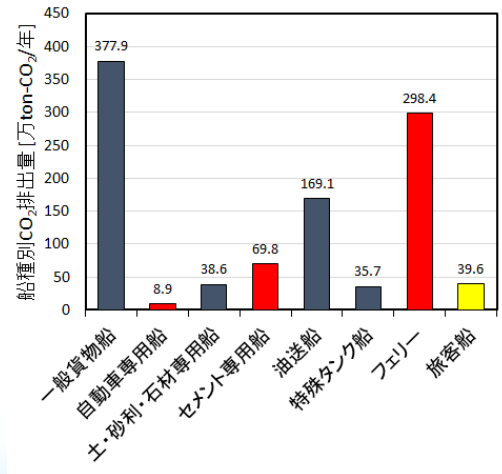


# 2. 内航船のGHG排出

- ▶ 船種毎の隻数および合計総トン数のデータから、船種毎の1隻あたりのCO<sub>2</sub>排出量並びに船種毎の総CO<sub>2</sub>排出量を概算した。
- ▶ 1隻あたりのCO<sub>2</sub>排出量は、大型船が多い自動車専用船、セメント専用船、フェリーが大きい。
- ▶ 船種毎の総CO<sub>2</sub>排出量は、隻数が多い一般貨物船や大型船が多いフェリーが大きく、これらのCO<sub>2</sub>削減対策が海運全体の総排出量低減に有効である。



1隻あたりのCO<sub>2</sub>排出量の推定 (2019年)

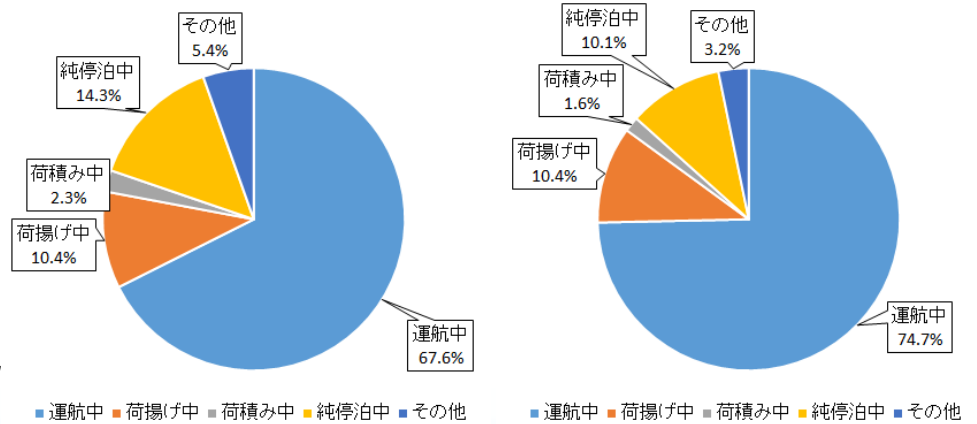


船種毎の総CO<sub>2</sub>排出量の推定 (2019年)



# ●内航貨物船のCO<sub>2</sub>排出量

- 749GTおよび約5,000GTのセメント運搬船における、約1年間のデータを整理し、それぞれの運航モードにおけるCO<sub>2</sub>排出量（燃料消費量）をまとめた。
- 運航中のCO<sub>2</sub>排出量は70～75%程度、純停泊中のCO<sub>2</sub>排出量は10～15%程度、荷役時のCO<sub>2</sub>排出量は10%程度での割合がある。
- 船種や航路によって異なるが、運航時ばかりでなく、停泊時や荷役時の省エネ技術も有効であると考えられる。



※ 本セメント運搬船は荷揚げ時に主機駆動コンプレッサを使用するため、荷役中のCO<sub>2</sub>排出量がやや多い。



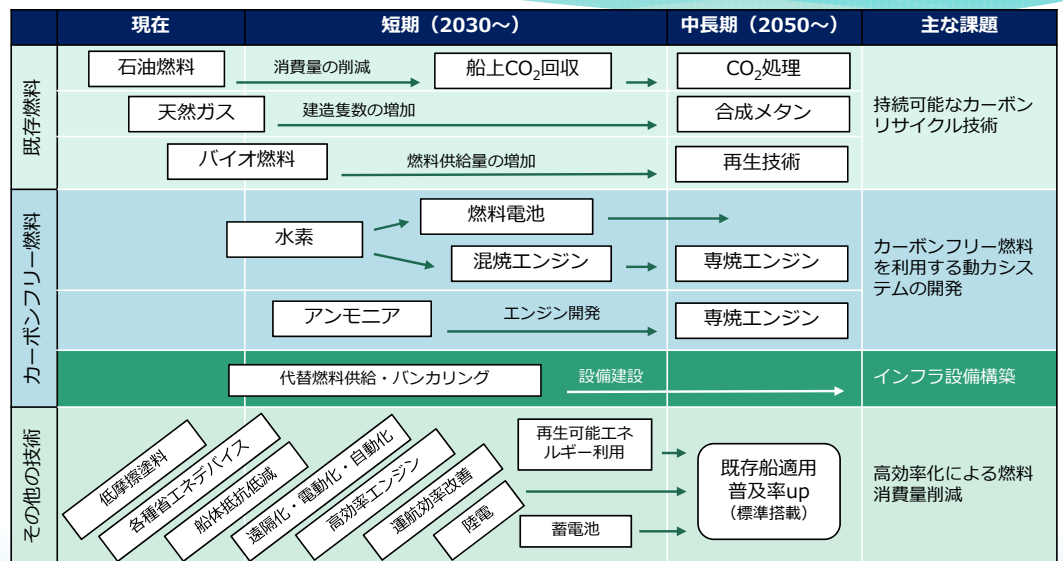
749GTセメント運搬船のCO<sub>2</sub>排出の内訳 (2020年)

5,000GTセメント運搬船のCO<sub>2</sub>排出の内訳 (2020年)



## 3. GHG削減技術の概要と課題

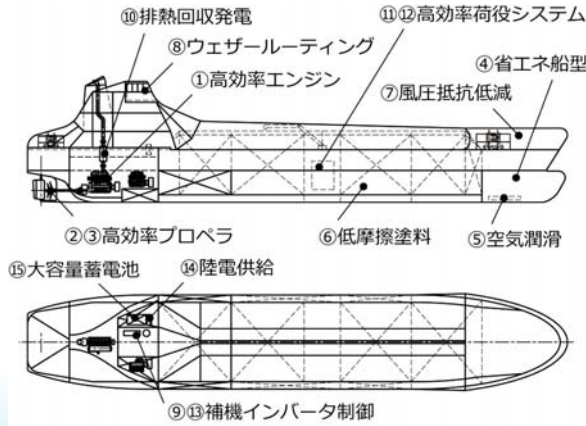
- GHG削減には様々な選択肢がある。
- それぞれの技術開発と実装に取り組むことで、短期のGHG削減と中・長期のカーボンニュートラルを実現できる。
- CO<sub>2</sub>削減技術のいくつかを新造船だけでなく既存船にも適用する必要がある。



# 4. 各種GHG削減技術を導入する船舶の検討

導入するCO<sub>2</sub>削減技術

- ▶ 様々な既存技術の内航船への導入を検討し、そのとき省エネ効果を試算した。
- ▶ 省エネ効果が数%の技術を組み合わせることで、トータル22%のCO<sub>2</sub>削減と試算される。



各種技術を導入した船舶のイメージ

No.	モード	削減技術の導入例	省エネ効果 [%]	
1	運航	高効率エンジンの採用	2.5	運航時のCO <sub>2</sub> 排出量を22%削減
2		二重反転プロペラ	4.0	
3		省エネダクト	2.0	
4		船型・船首形状改善	5.0	
5		空気潤滑	2.5	
6		低摩擦塗料	2.5	
7		風圧抵抗低減形状	1.0	
8		ウェザールーティング等	3.5	
9		補機インバータ制御	0.6	
10		排熱回収発電	1.5	
11	荷役	高効率機器の採用	5.0	荷役時のCO <sub>2</sub> 排出量を7%削減
12		運用効率改善	2.0	
13	停泊	補機インバータ制御	5.0	停泊時のCO <sub>2</sub> 排出量を31%削減
14		陸電利用	25.0	
15		大容量蓄電池搭載	3.0	

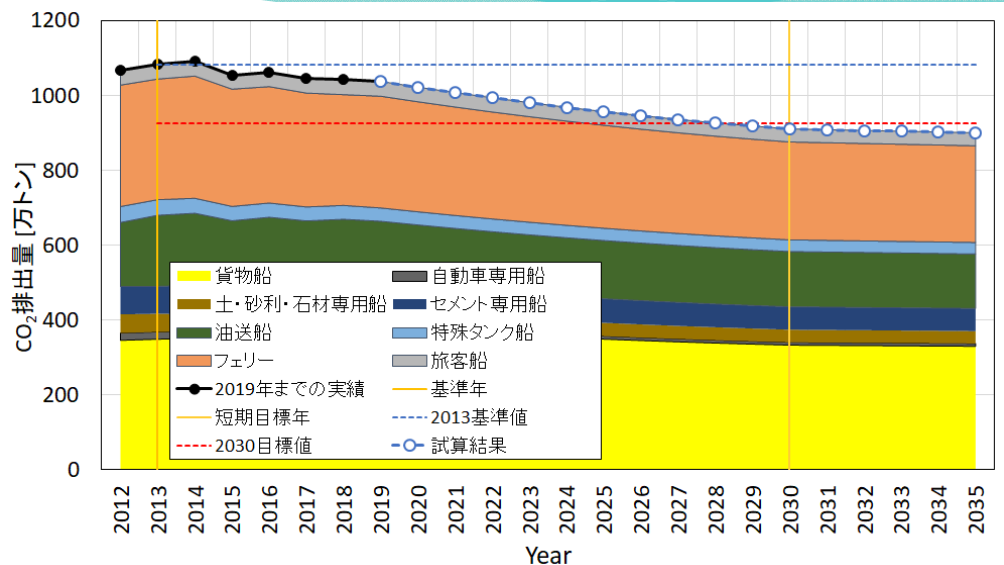
※ 省エネ効果はそれぞれのモードにおける割合としている。



# ● GHG削減技術導入によるCO<sub>2</sub>排出量の試算例

- ▶ 既存船の寿命を25年として、今後建造される新造船の50%を20%CO<sub>2</sub>削減船、その他の新造船および既存船を10%CO<sub>2</sub>削減とした場合の試算結果を示す。
- ▶ 2030年時には現在の3/5の既存船が残るため、新造船ばかりでなく、既存船のCO<sub>2</sub>削減も重要である。

※ 船種毎のCO<sub>2</sub>削減の違いや隻数の変化は考慮していない。

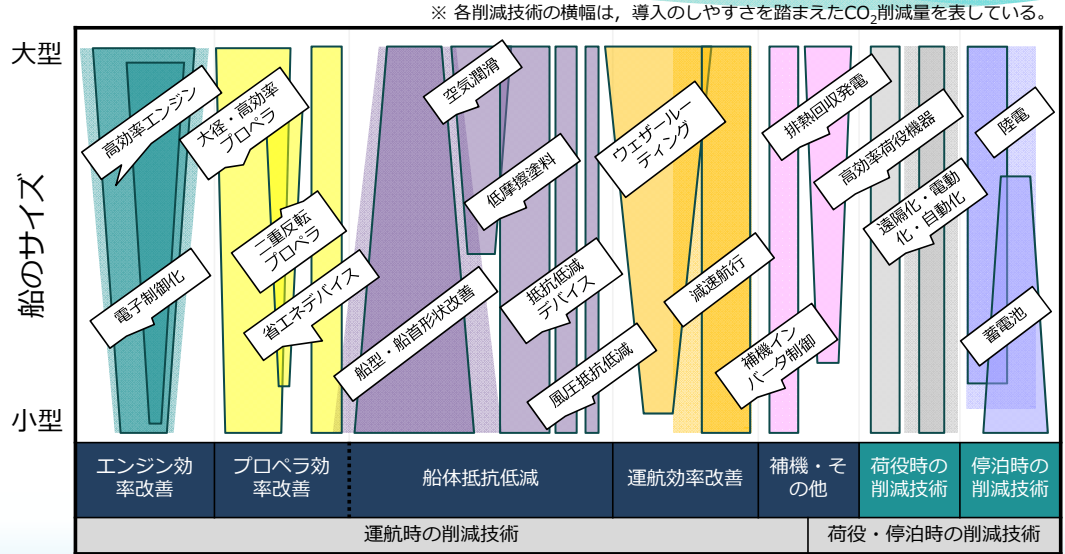


GHG削減船導入によるCO<sub>2</sub>排出量の試算例



# ●GHG削減技術の導入

- ▶ 様々な既存省エネ技術を内航船へ導入することができる。
- ▶ それぞれの省エネ効果は、船種や船のサイズその他、対象船の運航形態によって大きく異なる。



GHG削減技術



## 5. 代替燃料利用技術

- ▶ 船舶に代替燃料を使用する際のタンク寸法や燃料供給量を推定するために、各種燃料の体積あたりの発熱量などをまとめている。
- ▶ 同一の航続距離を運航する場合、天然ガスやアンモニアは従来船の2倍程度、水素は4~6倍程度のタンク寸法となることが課題である。

各種燃料の物性値

	重油	天然ガス (液体)	圧縮水素 (70MPa)	液体水素	水素燃料の有機ハイドライド貯蔵	アンモニア (液体)
発熱量	42.7 MJ/kg	49.2 MJ/kg	121 MJ/kg		---	22.5 MJ/kg
密度 (液体)	900 kg/m <sup>3</sup>	460 kg/m <sup>3</sup>	---	70.8 kg/m <sup>3</sup>	770 kg/m <sup>3</sup>	695 kg/m <sup>3</sup>
水素密度	---	---	700 Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	717 Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	527 Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	---
CO <sub>2</sub> 排出係数	3.114 t/t <sub>fuel</sub>	2.75 t/t <sub>fuel</sub>	0	0	0	0
体積あたりの発熱量 (重油比)	38.4 GJ/m <sup>3</sup> (100%)	22.6 GJ/m <sup>3</sup> (59%)	7.6 GJ/m <sup>3</sup> (22%)	8.6 GJ/m <sup>3</sup> (22%)	5.7 GJ/m <sup>3</sup> (22%)	15.6 GJ/m <sup>3</sup> (41%)
燃料タンク内容積 (重油タンク比)	1.0	1.7	5.0	4.5	6.6	2.5

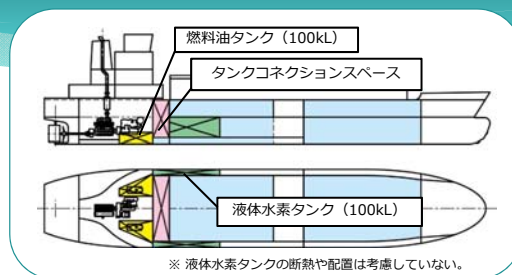




# ● 749GT水素燃料貨物船の検討例

- 例えば、熱量比で50%の水素を利用することを想定し、既存重油タンクの1/2を液体水素タンクに置き換える（No.3）。
- CO<sub>2</sub>削減50%の水素運転は4日程度となる。
- 残りを重油で運航した場合、トータルのCO<sub>2</sub>削減は15%程度となる。

※ 水素バンカリングの頻度が高ければ、CO<sub>2</sub>削減50%を維持できる。



749GT水素燃料貨物船の検討例（No.3）

No.	タンク寸法	設定モード	性能	特徴・備考
1	変更	100%水素利用（FCまたは専焼エンジン）	既存船と同じ航続距離 900kLの液体水素タンク（重油の4.5倍）が必要	タンク寸法が大きくなる。
2	変更なし	100%水素利用（専焼エンジンなど）または重油運転の併用 既存重油タンクの1/2（100kL）に液体水素	85%負荷時、約2.5日の水素運転が可能	水素運転時間が短い。
3		50%水素利用（水素混焼エンジンなど） 既存重油タンクの1/2（100kL）に液体水素	85%負荷時、約4日の水素運転が可能、残りの重油で約12日の運転が可能 全航続距離は既存船の1/2	検討初期段階としては妥当と考えられる。
4		50%水素利用（水素混焼エンジンなど） 既存重油タンクの3/4（150kL）に液体水素	85%負荷時、約7日の水素利用運転、残りの重油で約5日の運転が可能 全航続距離は既存船の1/3	連続航続距離がやや短い。



# ● 代替燃料を利用するGHG削減内航船の検討

- 燃料や動力システムの種類毎に、GHG削減率、実用時期、タンク容積・航続距離、燃料供給のしやすさ、機器構成等を踏まえて、実現性が高いと考えられるGHG削減船を取りまとめた。

	GHG削減	呼称	概要	特徴・適用性
短期	低 (20%程度)	水素混焼ディーゼルエンジン船	水素混焼率10~30%程度の水素・重油混焼エンジンを搭載	技術的ハードルがやや低く、早期に実現できる。
		LNG燃料エンジン船	LNG専焼ガスエンジンを搭載	既存技術で対応できる。
	中 (50%程度)	水素混焼ディーゼルエンジン船	水素混焼率50%程度の水素・重油混焼エンジンを搭載	水素混焼率を高めることでGHG削減率を高める。
		水素燃料電池ハイブリッド船	水素燃料電池と重油炊きディーゼル発電機を組み合わせた電気推進船	バランスがよく、中・小型の船舶への適用性が高い。
	高 (100%)	電池推進船	蓄電池だけのエネルギーで推進	短距離航路の船舶に有効である。
		水素燃料電池船	主に水素燃料電池で推進	比較的小さい船舶に有効である。
中長期	高 (100%)	水素燃料電池・蓄電池ハイブリッド船	蓄電池と水素燃料電池のハイブリッド電気推進船	バランスがよく、既存技術で対応しやすい。
		バイオ燃料船	バイオ燃料炊きエンジンを搭載	技術的ハードルが低く、燃料供給ができれば既存船を適用しやすい。
		水素・バイオ燃料混焼船	バイオ燃料炊きエンジンの一部を水素混焼（10~50%）	燃料供給のバランスが取りやすくなる可能性がある。
		アンモニア専焼エンジン船	アンモニア専焼エンジンを搭載	大型船への適用性がやや高い。
		水素専焼エンジン船	水素専焼エンジンを搭載	中・小型の船舶への適用性がやや高い。



# ● 各項目の評価基準

点数	混焼率 (GHG削減率)	実現性 (実用時期)	タンク容積・航続距離	不純成分を含む水素の利用可否	燃料供給のしやすさ	機器構成 (導入コスト)	メンテナンス性
5	100%GHG削減を達成	開発が容易 (2025年までの普及が可能)	現状の重油炊きエンジン船と同等	水素エンジン (不純成分があっても問題ない)	現状の重油炊きエンジン船と同等	現状の重油炊きエンジンと同等	現状の重油炊きエンジンと同等, または単一燃料で複雑な機器がない
4	最大80%程度のGHG削減を達成	開発がやや容易 (2030年までの普及が可能)	タンク容積が2倍, または航続距離が1/2程度 (LNG燃料船程度)	⇕	ほとんど重油と同じ, 少量の代替燃料を供給	新たな機器が必要	複数の燃料を使うが, 複雑な機器はない
3	50%GHG削減	開発がやや必要 (2025年までにプロト機が運航)	⇕	⇕	アンモニアやLNGなどの液体代替燃料	電気推進船+単一の代替燃料機器	⇕
2	最大30%程度のGHG削減を達成	開発が必要 (2030年までにプロト機が運航)	⇕	⇕	多量の水素供給など	⇕	複数の複雑な機器が搭載されている
1	20%以下のGHG削減	開発がかなり必要 (2040年までにプロト機が運航)	タンク容積が4倍以上, または航続距離が1/4以下 (水素100%利用)	水素燃料電池 (不純成分不可)	複数の代替燃料 (水素+アンモニア)	複数の複雑な機器が必要	⇕
備考	厳密には運航形態の考慮が必要	最新情報に応じて適宜更新が必要	ほぼ使用燃料のエネルギー密度に関連 (航路に応じた評価が必要)	水素エンジンが有利, 燃料電池が不利	現状では供給方法や供給形態 (液 or ガス) が不明確	より具体的な調査・検討が必要	代替燃料を使用する際のメンテナンス性が不明



# ● 各種船舶への適用性

- 様々な船舶があるため, 船種・サイズに対する適用性の評価は難しい。
- 概ね下表のような船舶を想定し, 適用性を検討した。

評価	大型船への適用性 (3000GT~)	中型貨物船への適用性 (~749GT)	小型貨物船への適用性 (~499GT)	小型船舶への適用性 (20GT未満)
特徴 (想定)	・長距離航路を航行する。 ・機器の設置スペースには余裕があるが, 大型タンクの搭載はやや難しい。	・機器の設置スペースにやや余裕があり, 設計の自由度が高い。	・機器の設置スペースに制限があり, 新たな機器や大型タンクの搭載が難しい。 ・比較的短距離を航行し, バンカリングはややしやすい。	・短距離航路を航行する。バンカリングがしやすい。 ・推進出力は数百kWとする。(小型高速船は想定しない。)
◎	適用性が特に高い			
○	適用性が高い			
△	適用可能			
×	適用性が低い			
---	現時点では判断できない			



# ● 動カシステムの定量的評価の例

➤ 各システムに対して主観的なランキング（点数付け）を行っている【一部抜粋】。

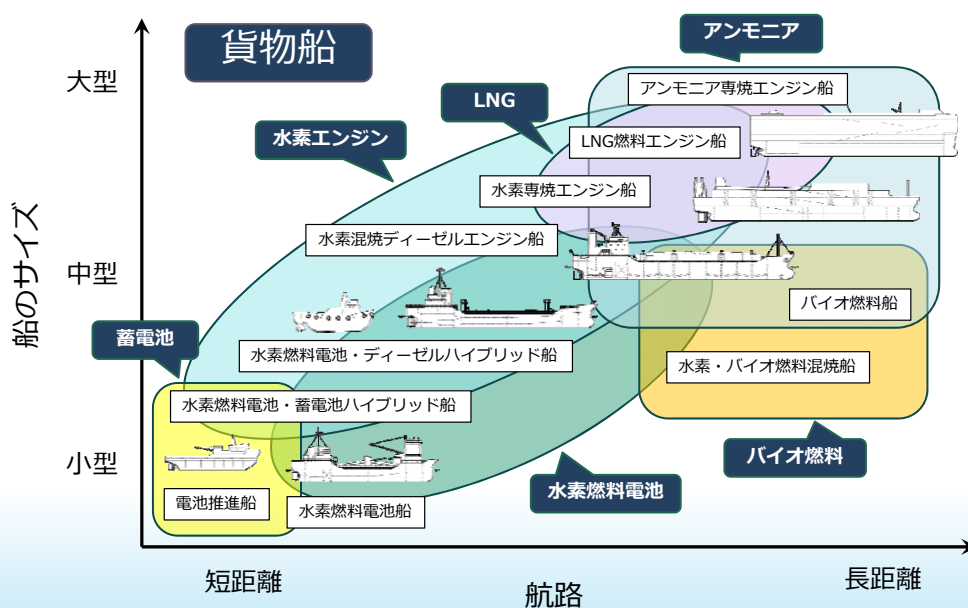
整理 No.	呼称	ベース燃料	混焼率 (GHG削減率)	実現性 (実用時期)	タンク容積・航続距離	水素の不純成分	燃料供給のしやすさ	機器構成 (導入コスト)	メンテナンス性	総合評価 (平均)	大型船への適用性 (3000 GT)	中型貨物船への適用性 (749G T)	小型貨物船への適用性 (499G T)	小型船舶への適用性 (19GT)
1	水素混焼ディーゼルエンジン船	水素・重油	20%	2	4	4	4	4	4	3.7	○	○	○	○
2	水素混焼ディーゼルエンジン船	水素・重油	50%	3	2	3	4	3	4	3.3	△	○	△	△
7	バイオ燃料船	バイオ燃料	100%	5	3	5	---	3	5	4.3	△	△	○	○
8	水素・バイオ燃料混焼船	水素・バイオ	100%	5	3	4	4	3	4	3.9	△	○	○	△
10	水素専焼エンジン船	水素	100%	5	2	1	5	2	4	3.4	△	○	○	○
11	水素FC・DGハイブリッド船	水素	50%	3	4	3	2	3	3	3.1	△	○	○	○
12	水素燃料電池船	水素	100%	5	4	1	1	2	3	3.0	△	△	△	○
16	アンモニア専焼エンジン船	アンモニア	100%	5	3	4	---	3	4	3.8	○	△	×	×
18	LNGエンジン船	LNG	20%	1	5	4	---	3	4	3.7	○	○	△	△
20	水素タービン船	水素	100%	5	1	1	5	3	3	3.3	○	×	×	×
22	電池推進船	蓄電池	100%	5	4	1	---	3	3	3.5	×	△	△	○
23	水素FC・LiBハイブリッド船	水素・蓄電池	100%	5	5	1	1	3	2	3.0	×	△	△	○

※ 現状における国内外の技術開発状況に基づく主観的評価であり、今後の技術開発によっては評価が異なってくる可能性がある。



# ● カーボンニュートラル技術適用マップの検討

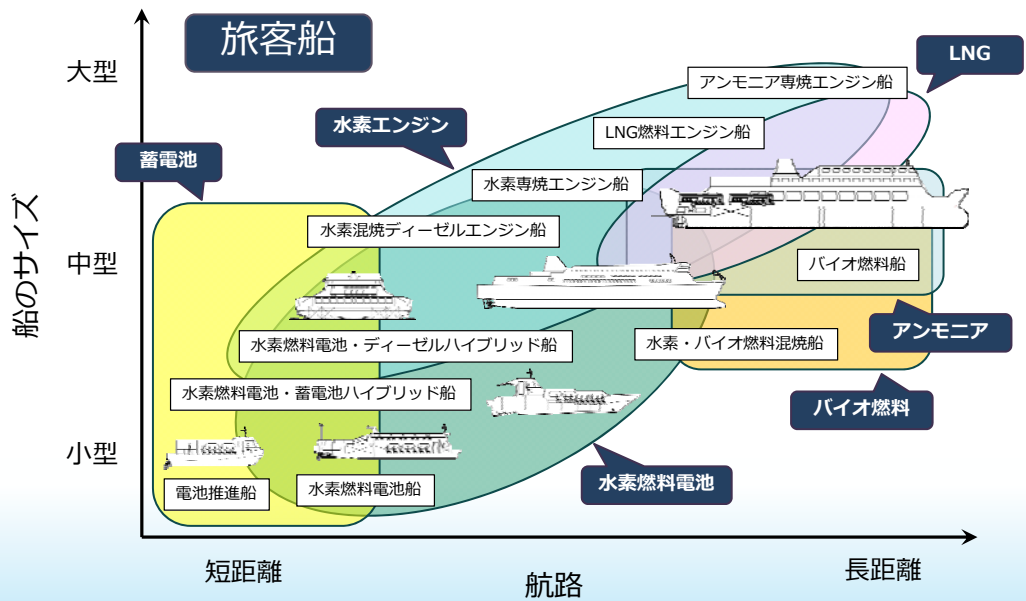
- 水素燃料は小型から大型の船舶まで幅広く利用できる。
- 短距離航路の船舶においては蓄電池の利用，長距離航路の船舶においてはアンモニアやバイオ燃料が期待できる。





# ●カーボンニュートラル技術適用マップの検討

- ▶ 短距離航路の旅客船においては、蓄電池や水素を使用しやすく、静粛性に優れた燃料電池の利用が期待できる。



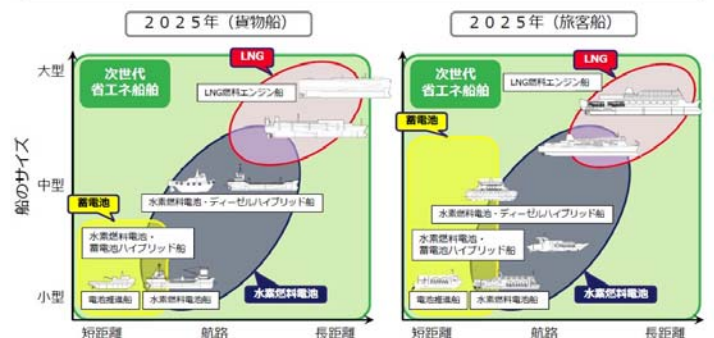
# ●カーボンニュートラル技術適用マップの課題

- ① 水素燃料は小型から大型の船舶まで幅広く利用できる可能性が高い。ただし、カーボンフリー燃料を普及させるためには、動力システムの技術開発ばかりでなく、十分な燃料供給インフラ設備の構築と燃料供給のしやすさが重要である。
- ② 現状のエンジン開発状況を踏まえると、アンモニア燃料は長距離航路の大型船に有望であると考えられる。なお、今後の技術開発によっては使用範囲が拡大する可能性がある。
- ③ バイオ燃料の供給量は不明である。供給量が少ない場合、燃料消費が多い大型船への適用は難しく、中・小型船への適用が妥当である。
- ④ 前ページまでの検討には中・長期の適用が含まれている。短期的にはハイブリッド船が有望である（右図参照）。

## 技術適用可能性マップ 案



- 2025年に新造船を建造する際に、内航海運の低・脱炭素化推進の観点から、船のサイズ・航路距離を踏まえ適用可能な技術を例示。
- 電池推進船、水素燃料電池船、LNG燃料船については、給電や燃料補給施設等のインフラ等の条件も実際の適用可能性に大きく影響。



注)2025年に新たに船舶を建造する際に図中の船舶から選択しなければならないものではなく、新規建造検討の一助となるよう示したものです。図中の適用範囲の大きさは普及割合を示すものではありません。

国土交通省「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」資料  
<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001411773.pdf>



## 6. まとめ

➤ 内航船舶のカーボンニュートラル化への取り組みと課題、今後の検討事項をまとめる。

- ① 様々な既存省エネ技術を内航船へ導入することによって、20%程度のCO<sub>2</sub>削減が可能であると試算される。
- ② 現在、一部の船舶だけに利用されている省エネ技術を既存船にも適用し、普及率を上げる必要がある。
- ③ 短距離航路の船舶においては蓄電池の積極的な利用が対策となり得る。
- ④ 水素燃料は小型から大型の船舶まで幅広く利用できる可能性が高い。カーボンフリー燃料を利用した短期的な対策として、水素混焼ディーゼルエンジン船や水素燃料電池とディーゼル発電機などを組み合わせたハイブリッド電気推進船が有望である。
- ⑤ 石油燃料や天然ガス、バイオ燃料などの燃焼時にCO<sub>2</sub>を発生する燃料を利用する場合、持続可能なカーボンリサイクル技術の開発が必要不可欠である。



本講で紹介したGHG削減の検討にあたっては、国土交通省の「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」における議論を参考にしています。関係各位にお礼申し上げます。

