

内航船舶のカーボンニュートラル推進 に向けた短期的取り組みの検討

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
GHG削減プロジェクトチーム
平田 宏一



1. はじめに

国土交通省では、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CO₂排出量157万トン削減（2013年度比）を目標に掲げ、省エネ技術の開発・普及を進めるとともに、鉄道・運輸機構の船舶共有建造制度や船舶の特別償却制度等により省エネ船舶の普及を図ってきた。



2030年頃までの「短期的取り組み」を検討する。

① GHG削減を突き詰めた船舶

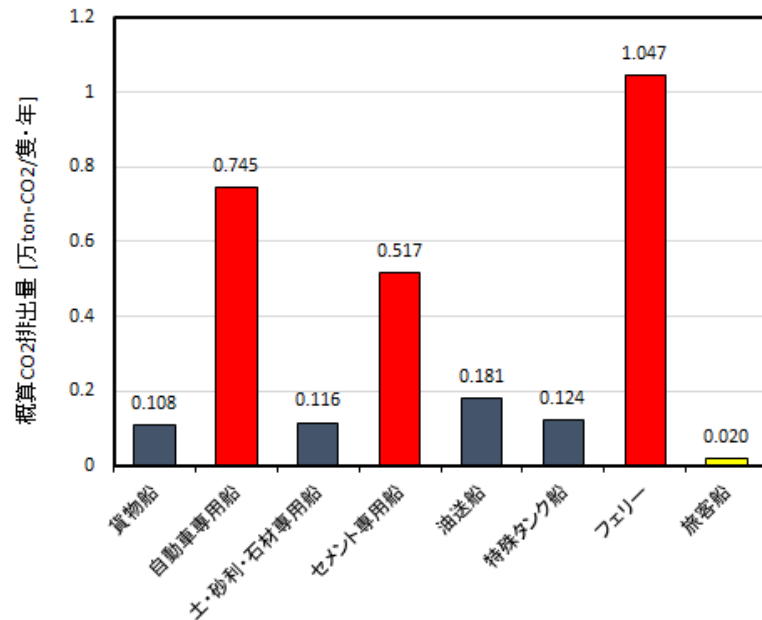
代替燃料利用や動力システムの形態を検討し、実用性が高く、理想的なGHG削減船を検討する。

② カーボンニュートラル技術適用マップ

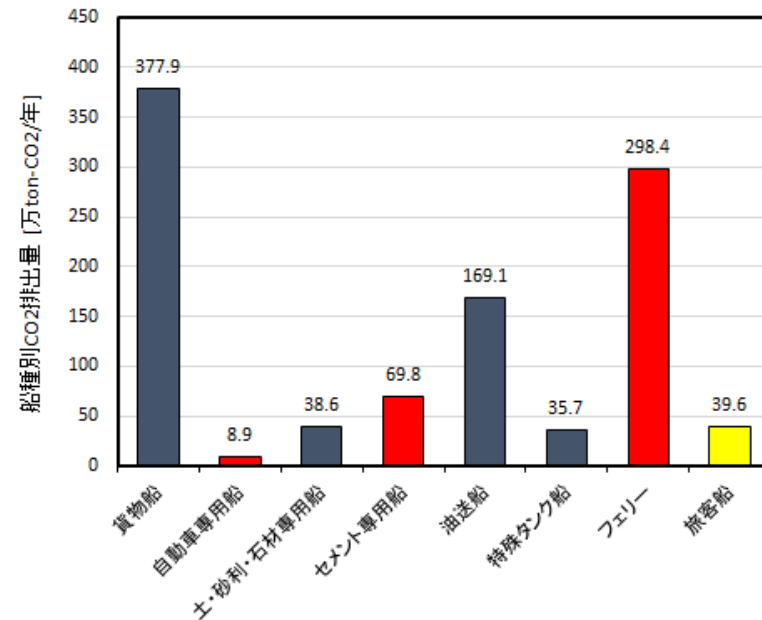
船種・航行距離・船のサイズを踏まえて、それぞれに対応しやすいカーボンニュートラル技術を提案する。

2. 内航船舶のGHG排出量と削減目標

- 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CO₂排出量並びに船種毎の総CO₂排出量を概算した。
- 自動車専用船、セメント専用船、フェリーの平均総トン数は大きく、1隻あたりのCO₂排出量が多い。
- 隻数が多い貨物船（平均約600GT×3500隻）やフェリー（平均約3000GT×300隻）の総CO₂排出量が大きく、これらの船種のCO₂削減対策が内航船舶全体の総排出量低減に有効であると考えられる。



1隻あたりのCO₂排出量の推定
(2019年)

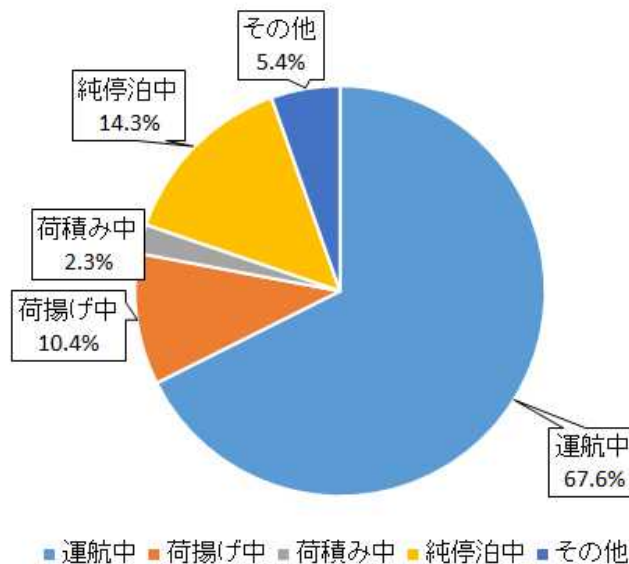


船種毎の総CO₂排出量の推定
(2019年)

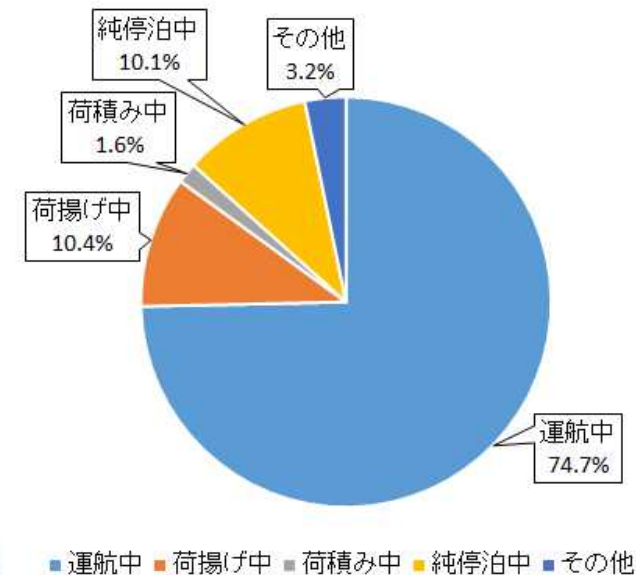
●内航貨物船のCO₂排出量

- 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CO₂排出量（燃料消費量）をまとめた。
- 運航中のCO₂排出量の割合は70～75%程度、純停泊中のCO₂排出量の割合は10～15%程度、荷役時のCO₂排出量の割合は10%程度である。
- 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CO₂排出量がやや多い。



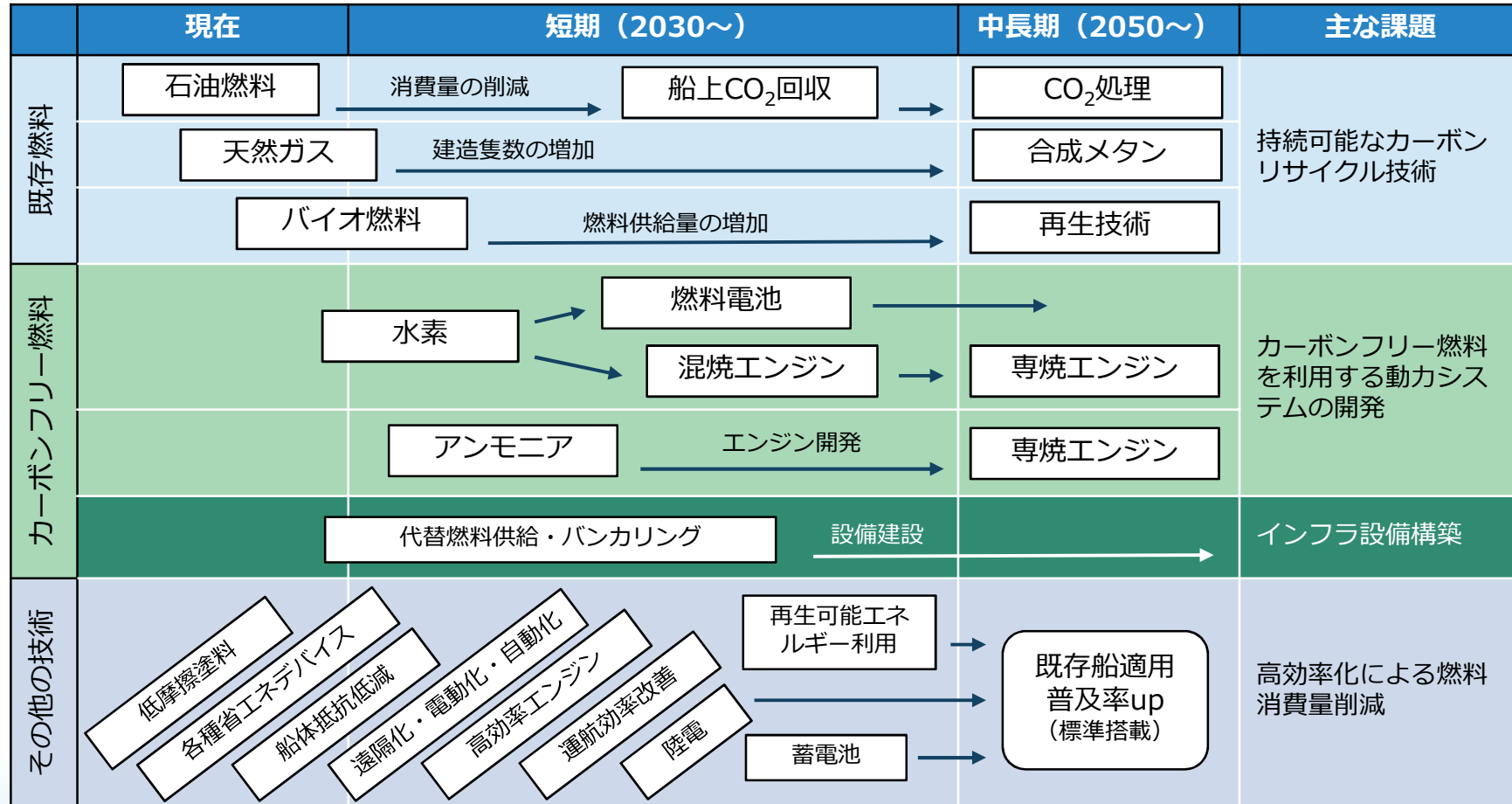
749GTセメント運搬船のCO₂排出の内訳（2020年）



5,000GTセメント運搬船のCO₂排出の内訳（2020年）

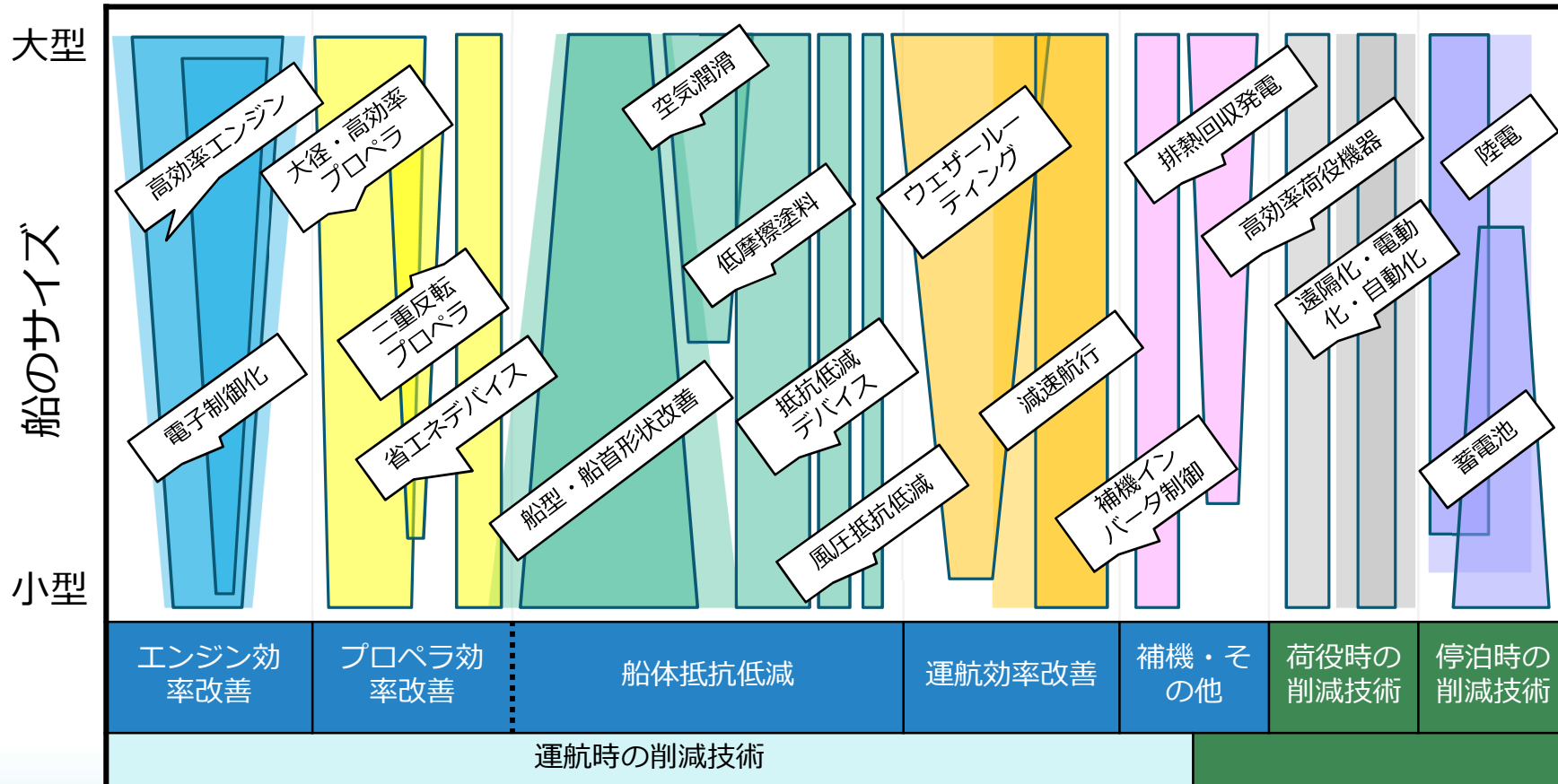
3. GHG削減技術と課題

- ▶ 様々なGHG削減技術の選択肢があり、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する必要がある。



● GHG削減技術マップ

- ▶ 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。

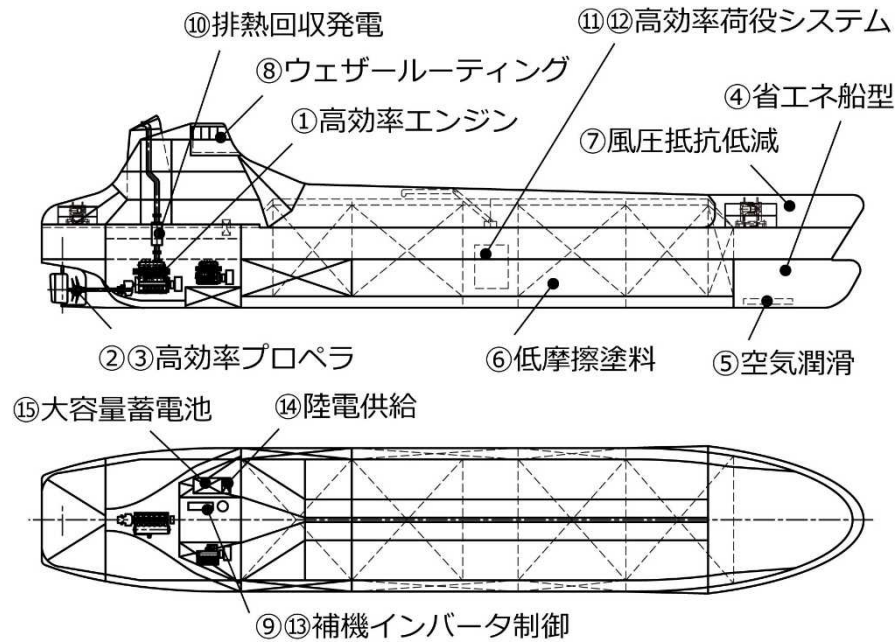


GHG削減技術



● 各種省エネ技術を導入した船舶の検討例

- ▶ 様々な既存省エネ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CO₂削減と試算される。



各種省エネ技術を導入した船舶のイメージ

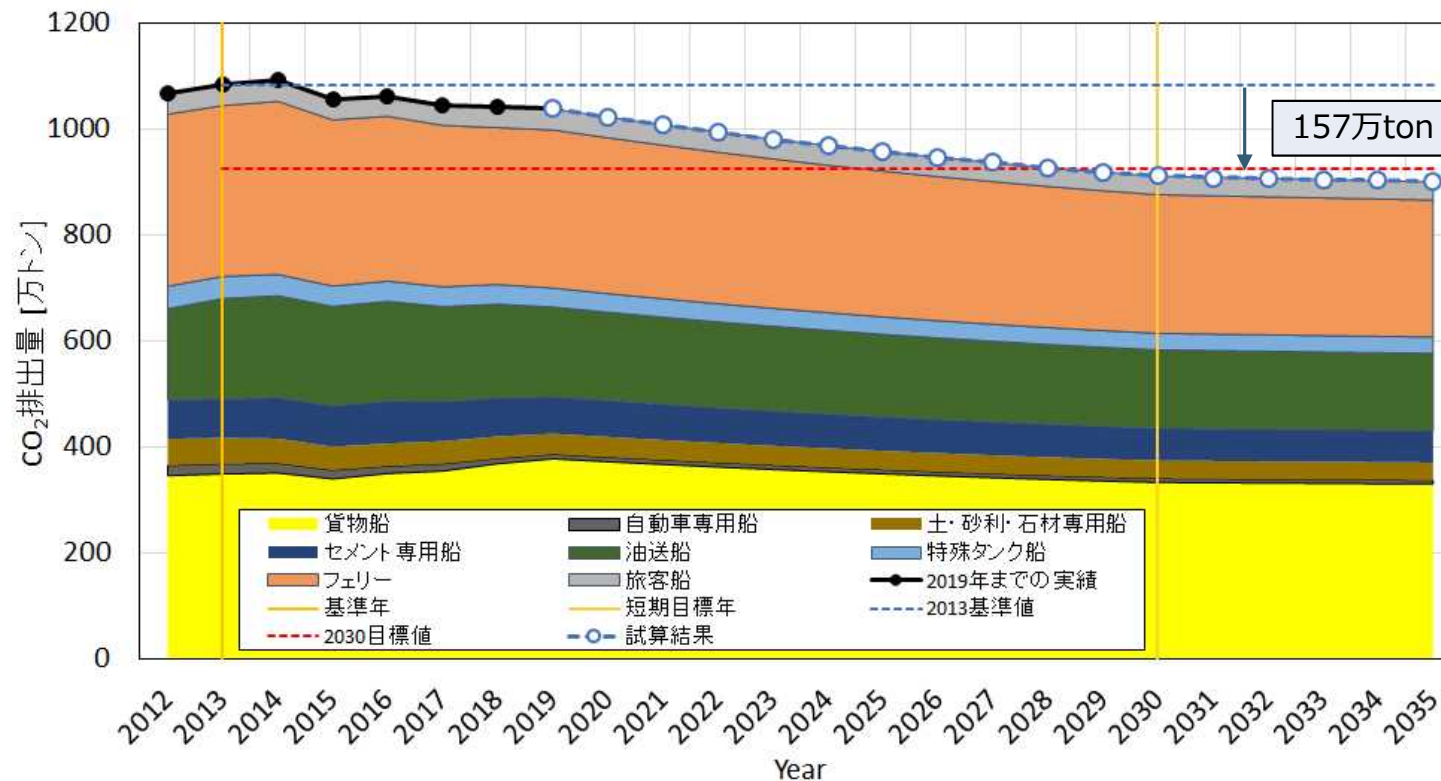
導入するCO₂削減技術

No.	モード	省エネ技術の導入例	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 ₂ 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 ₂ 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 ₂ 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削減船導入によるCO₂排出量の試算例

- 下図は、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%CO₂削減船、その他の新造船および既存船を10%CO₂削減とした場合の試算結果である。
- 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CO₂削減も重要である。



GHG削減船導入によるCO₂排出量の試算例

4. 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。

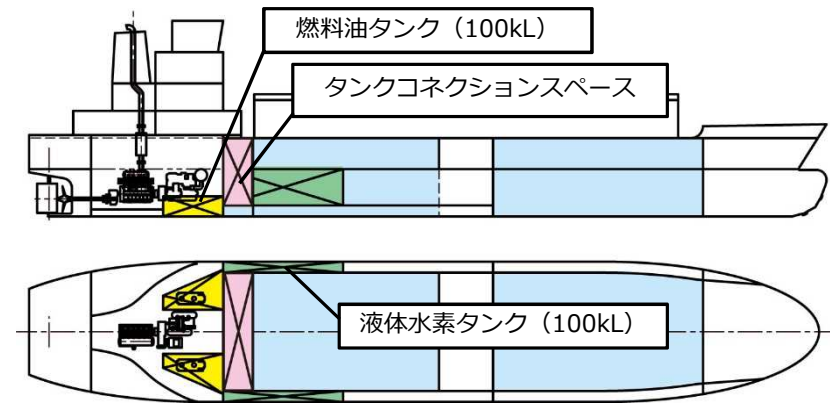
各種燃料の物性値

	重油	天然ガス (液体)	圧縮水素 (70MPa)	液体水素	水素燃料の有機 機ハイドライド 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 ³	460 kg/m ³	---	70.8 kg/m ³	770 kg/m ³	695 kg/m ³
水素密度	---	---	700 Nm ³ -H ₂ /m ³	717 Nm ³ -H ₂ /m ³	527 Nm ³ -H ₂ /m ³	---
CO ₂ 排出係数	3.114 t/t _{fuel}	2.75 t/t _{fuel}	0	0	0	0
体積あたりの発熱量 (重油比)	38.4 GJ/m ³ (100 %)	22.6 GJ/m ³ (59 %)	7.6 GJ/m ³ (22 %)	8.6 GJ/m ³ (22 %)	5.7 GJ/m ³ (22 %)	15.6 GJ/m ³ (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)。
- CO₂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CO₂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、CO₂削減50%を維持できる。



※ 液体水素タンクの断熱や配置は考慮していない。

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の液体水素タンクが必要 (重油の4.5倍)	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。

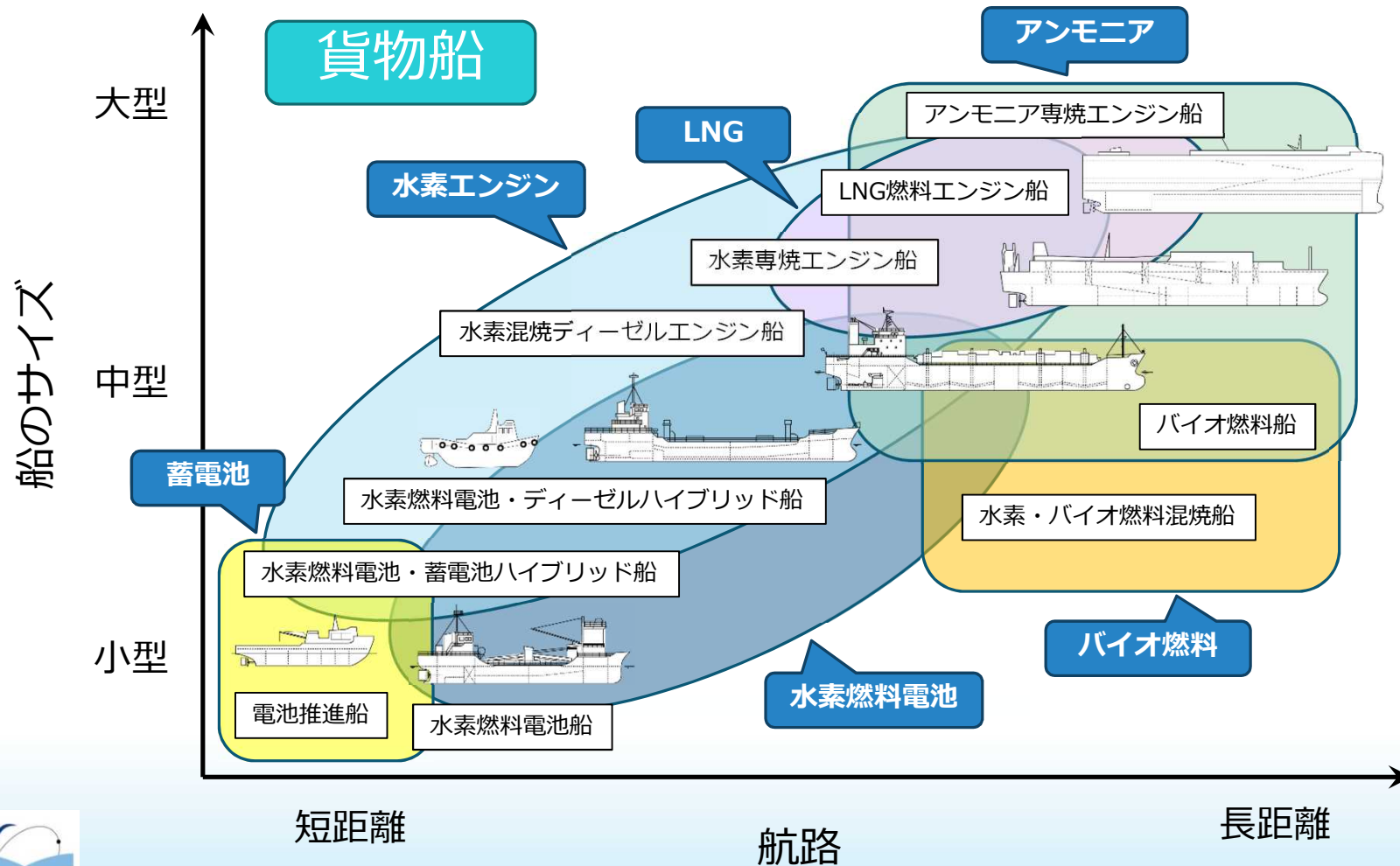
5. 代替燃料を利用するGHG削減内航船の検討

- ▶ 燃料や動カ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，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，メンテナンス性を踏まえて，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。
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。	
中長期	高 (100%)	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	アンモニア専燃エンジンを搭載	大型船への適用性がやや高い。
		水素専焼エンジン船	水素専燃エンジンを搭載	中・小型の船舶への適用性がやや高い。

6. 内航船舶の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。また、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。

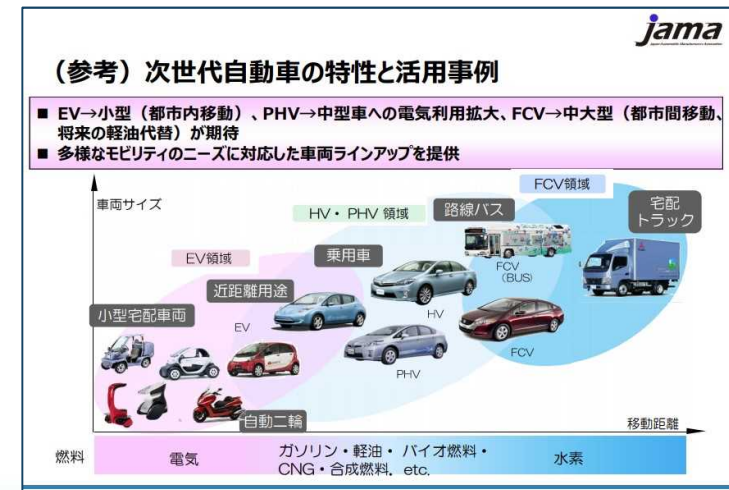


【補足】カーボンニュートラル技術適用マップの課題

- 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、これらの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。ただし、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。

【参考】次世代自動車の検討事例

- 自動車分野におけるカーボンニュートラル化においては、移動距離が短い車両は電池（EV）、移動距離が長い車両は水素燃料電池（FCV）、その中間は石油を含めた既存燃料を利用するハイブリッド車（HV）が期待されている。



7. 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CO₂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CO₂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。