

2022年度 JPECフォーラム

次世代に向けた輸送用液体燃料の
導入可能性調査

2022年5月11日

一般財団法人石油エネルギー技術センター
調査国際部

1. 背景

- 各部門での背景
- 陸上、航空、海運部門での背景

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

- 欧州、米国、中国でのゼロエミッション車（ZEV）の普及状況
- 各機関の燃料需要予測とバイオ燃料の生産予測
- 代替燃料のLCA評価とCO2削減効果推定

3. 航空部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

- 航空会社のCO2削減目標
- 持続可能な航空燃料（SAF）の種類と需給の計画
- SAFの製造方法や燃料性状

4. 海運部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

- 日本のお手海運会社のCO2削減方針
- 海運部門における代替燃料候補の特徴
- 代替燃料普及の将来予測

5. まとめ

1. 各部門での背景

運輸部門での気候変動対策は、化石燃料需給に直結し、石油精製業に大きな影響を与える。

陸上部門

電動化に向けた動きが大きく、欧州では2030年代に内燃機関車の販売禁止を計画している国が多い。他方で欧州の自動車メーカーは、電動化では後れを取っており、内燃機関車の販売禁止に間に合わないとの見方もある。

航空部門

国際航空運送協会（IATA）は2021年10月の総会で、2050年までにネットゼロという新たな目標を採択した。IATAはネットゼロにおける持続可能な航空燃料（SAF）の寄与度を65%と設定しており、今後SAFの製造量が、ジェット燃料の需要に対して、十分な規模になるかが課題となる。

海運部門

IMOは2050年までに2008年比で船舶のGHG総排出量50%削減という目標を設定しており、2050年ネットゼロへの動きもある。将来的な燃料とし、アンモニア、水素などで意見が分かれており、さらに回収CO₂を原料とする合成燃料への期待もある。

いずれにしても、運輸部門においては、構造的・技術的な観点から一足飛びに脱・低炭素化を図ることが難しく、液体燃料を活用する内燃機関との共存を踏まえながら、新たな対策を見出していく必要がある。

1. 陸上部門の背景

2021年11月に開催されたCOP26において、議長国の英国は「2035年までに主要市場で、2040年までに全世界でバンを含むクルマの新車販売をすべてZEVにする」との宣言を発表した。38カ国、46の自治体、自動車メーカー11社・団体などが署名した。一方、大手の自動車メーカーを有する**日本、米国、中国、インド、韓国**のほか、**欧州のドイツ、フランス、イタリア**などは、**国としては参加しなかった。**

参加	政府 (27カ国)	オーストリア	キプロス	リヒテンシュタイン	ポーランド
		アゼルバイジャン	デンマーク	リトアニア	スロベニア
		ベルギー	エルサルバドル	ルクセンブルグ	スウェーデン
		カナダ	フィンランド	マルタ	パチカン市国
		カーボベルデ	アイスランド	オランダ	英国
		チリ	アイルランド	ニュージーランド	ウルグアイ
		クロアチア	イスラエル	ノルウェー	
	新興市場および発展途上国の政府や組織 (11カ国)				
	都市、州、地方自治体 (米国カリフォルニア州など46)				
	メーカー (11社)	ジャガー・ランドローバー	メルセデス・ベンツ	ボルボカーズ	ゼネラルモーターズ
		フォードモーター	BYDオート (中国)	アベラEV (インド)	ガヤムMW (インド)
Etio (インド)		Quantum (ポリビア)	MOBI (非営利団体)		
フリートの所有者とオペレーターまたは共有モビリティプラットフォーム (28社)					
他、自動車産業に出資している投資会社や投資家など (36)					
不参加	主な国	日本	米国	中国	フランス
		ドイツ	イタリア	韓国	インド
		オーストラリア	ロシア	タイ	

出所：COP26ホームページを基にJPECで作成

1. 航空部門の背景

- IATAが2050年までにCO2排出量をネットゼロに目標変更

国際航空運送協会（IATA）は、2050年までに業界の環境目標を純ゼロ排出量に引き上げ従来の2050年までにCO2排出量を2005年レベルの50%にするという目標から、**2050年までに正味ゼロの炭素排出量を達成**するという目標に変更した。**中国の航空会社から2060年までの期間延期の要請があったが却下され**、10月4日にボストンで開催されたIATA年次総会で承認されました。

なお、国際民間航空機関（ICAO）が各国政府によって構成される国際機関であるのに対し、IATAは民間航空会社からなる業界団体であり、環境問題にも積極的に関与し、ICAOおよび各国政府に対して活発にロビー活動を実施している。

現在のIATAの2050年炭素排出量削減シナリオ

SAF :	65%
新推進技術 :	13%
CCS :	11%
オフセット :	8%
航空ルート改善 :	3%

IATA は、2050年には少なくとも約4.5億KLのSAFが必要としている。

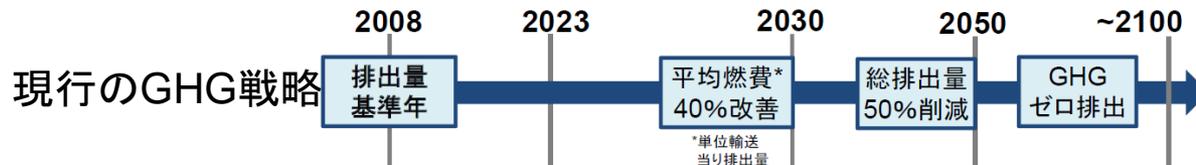


出所：IATAプレスリリース

1. 海運部門の背景

・IMO MEPC77（2021年11月開催）の審議結果

「2050年までにGHG排出を全体としてゼロ（2050年カーボンニュートラル）」とする新たな目標提案



結論

- 審議の結果、上記**決議案は採択されず**、その目標、影響評価、および燃料の入手可能性のレビューを含むGHG戦略をレビューおよび更新する必要性について合意した。各国の合意が得られた為、改正IMO GHG戦略の最終草案を作成し、具体的な提案を次回MEPC 78（2022年6月開催）に提出、**MEPC80（2023年春開催）での採択を目指す**。

代表団からの主なコメント

- 第四次 IMO GHG スタディ 2020 および IPCC 第六次評価報告書を含む科学的証拠は、2050年までの海運のゼロカーボン目標の採用を支持するのに十分明確である。
- IMO は、気候変動対策を強化する意思があることについて、明確かつ強力なシグナルを外部に発信すべき。
- 改訂戦略は、1.5℃の気温目標に沿った削減経路を確保するために、**2030年と2040年の中間削減目標を含むべき**。
- 今回の提案には、目標達成に必要な具体的な措置に言及しておらず、資金調達や実現可能性、**途上国への技術移転等の問題**にも触れられていないが、早期に改訂を開始する事が大事である。

出所：欧州事務所や各種報道の情報より

陸上部門におけるRenewable-fuelの 供給可能性評価・分析

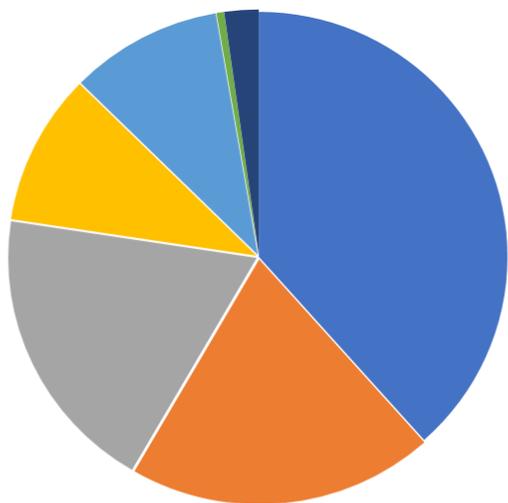
2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

EUの新車販売の割合（2021年）

EU内でも、西欧諸国と中・東欧諸国では傾向が大きく異なる。

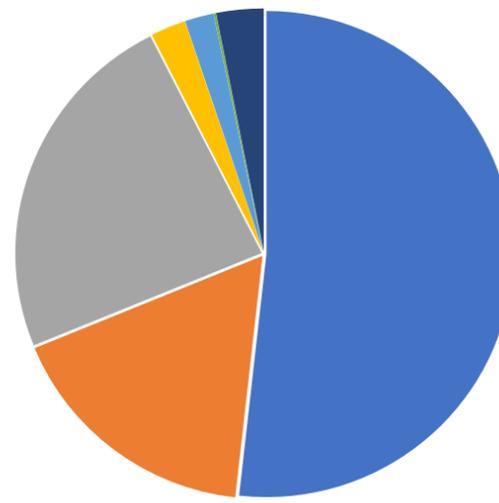
西欧諸国では、ガソリン車が38%まで減少したが、中・東欧諸国では新車販売の半数以上を占めている。

西欧諸国では、HVEがディーゼル車とほぼ同じ割合になったが、中・東欧諸国では、この1年でHEVとディーゼル車の比率が逆転し、HEV販売が大幅に伸びた。



■ ガソリン ■ ディーゼル ■ HEV ■ BEV ■ PHEV ■ CNG車 ■ その他

EU14: 2004年4月以前のEU加盟国(主に西欧諸国)



■ ガソリン ■ ディーゼル ■ HEV ■ BEV ■ PHEV ■ CNG車 ■ その他

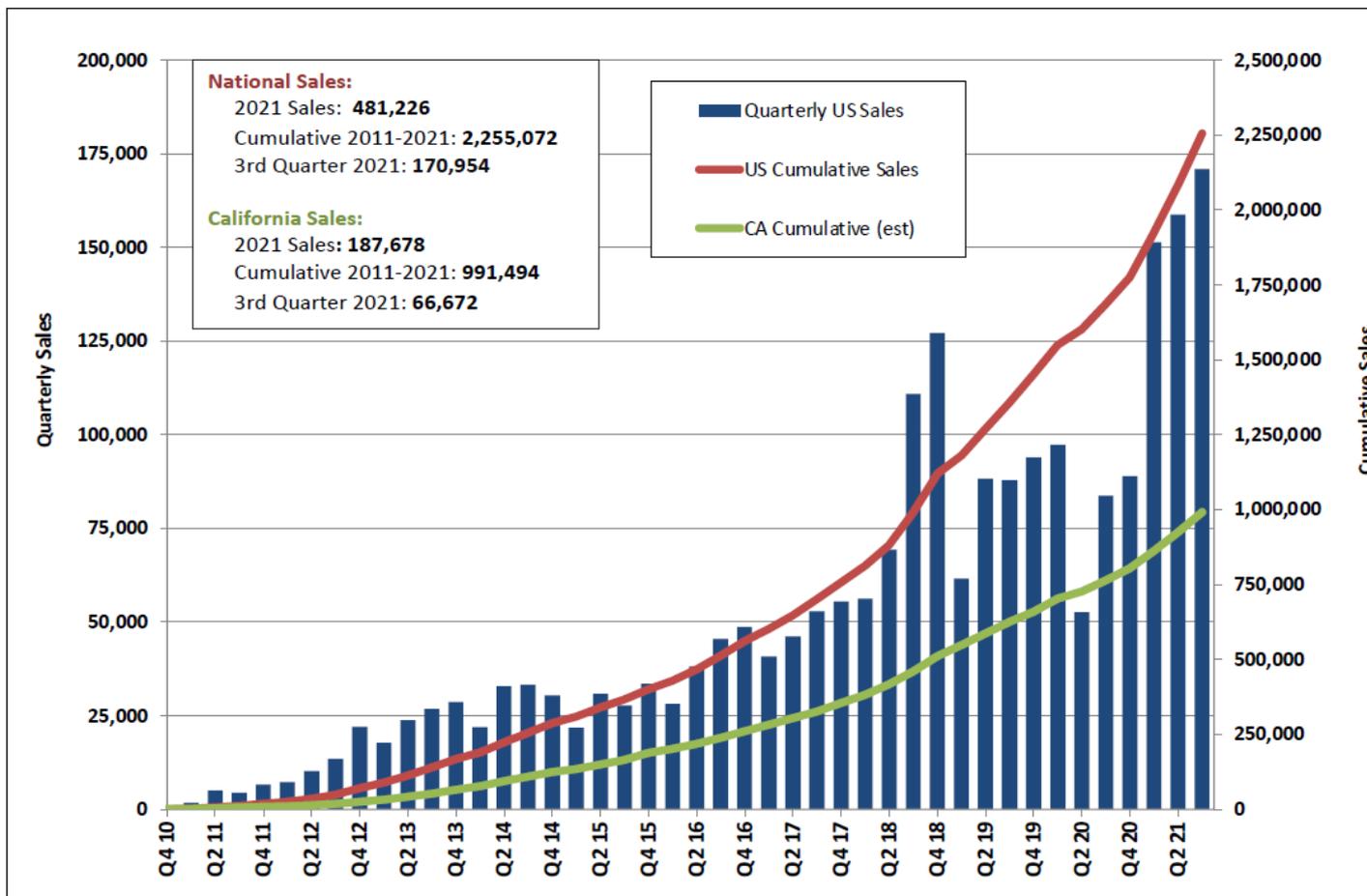
EU12: 2004年4月以降のEU加盟国(主に中・東欧諸国)

出所：欧州自動車工業会（ACEA）発表データを基にJPECで作成

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

米国のZEVの新車登録台数と米国とカリフォルニア州のZEVの累計台数

2021年第2四半期までの米国におけるZEVの累計台数は、カリフォルニア州が39%を占める。

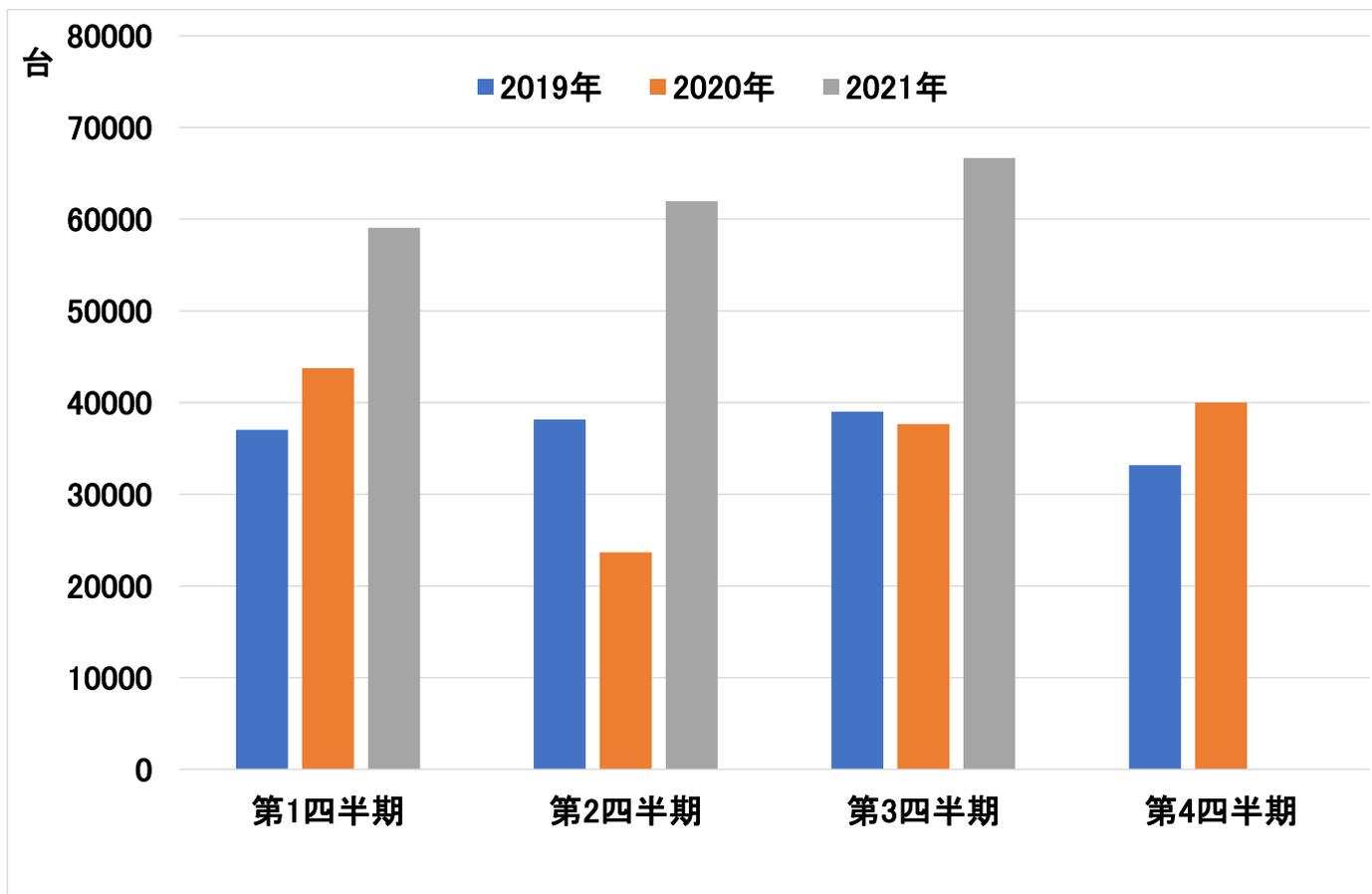


出所：米国カリフォルニア州エネルギー委員会（CEC）発表データを基にNPOのVELOSが作成して公開

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

カリフォルニア州のZEV新車登録台数

2020年は新型コロナにより販売台数が伸び悩んだが、2021年は売り上げを伸ばしている。



出所：米国カリフォルニア州エネルギー委員会（CEC）発表データを基にJPECで作成

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

カリフォルニア州のZEV普及のための目標値と実績

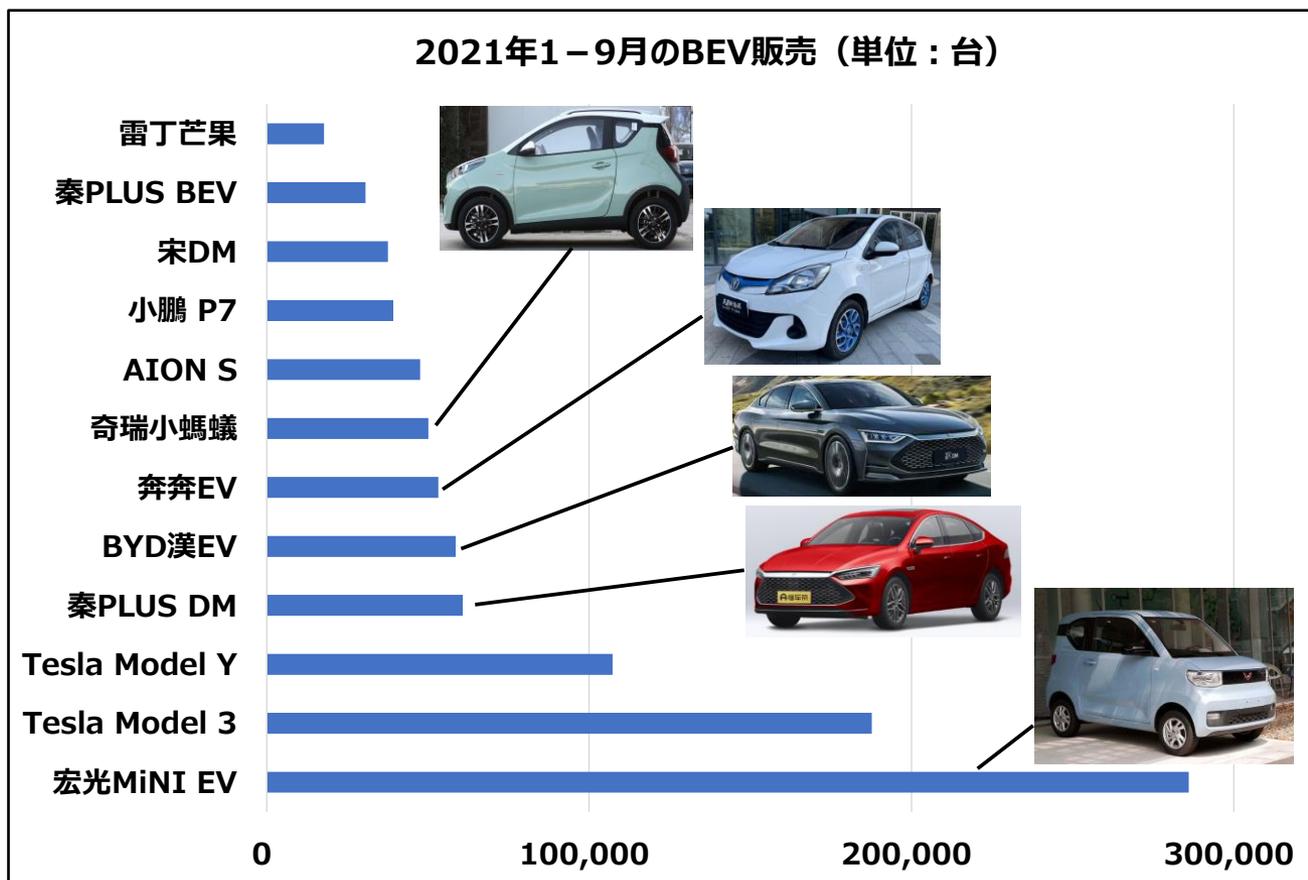
カリフォルニア州では、新車に占めるZEVの割合は高くなりつつあるが、カリフォルニア州のゼロエミ達成のために必要な指標においては、大きく遅れをとっている。

	目標値/推計値	期限	実績（～2021年6月）
ゼロエミッション車 （乗用車）	800万台	2030	約92万台
ゼロエミッション車 （中・大型車）	18万台	2030	
充電ステーション （乗用車向け）	120万カ所	2030	7万4,459カ所
充電ステーション （中・大型車向け）	15万7,000カ所	2030	
水素ステーション	200カ所	2025	52カ所

出所：JETRO【ウェビナー】現地所長が語る！ 2022年の米国政治経済を占う

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

中国の電気自動車販売の半数はLSEV（Low Speed EV）である。
今後のBEVは、LSEVと一部の高級車で2極化が進むと考えられる。



出所：各種情報よりJPECで作成

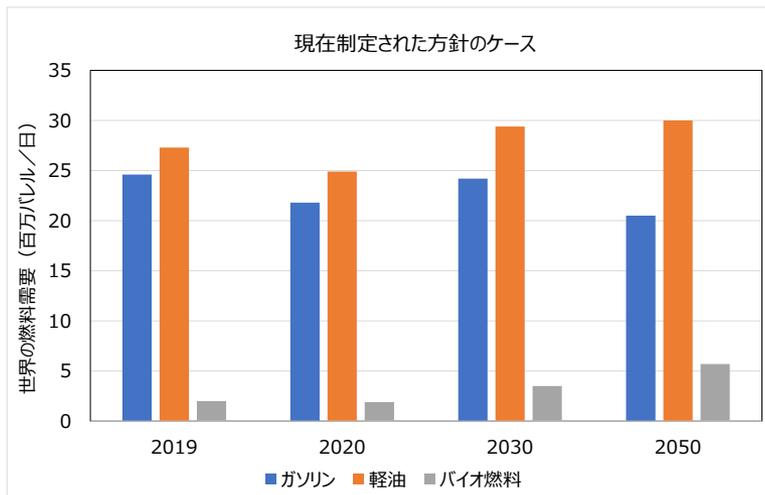
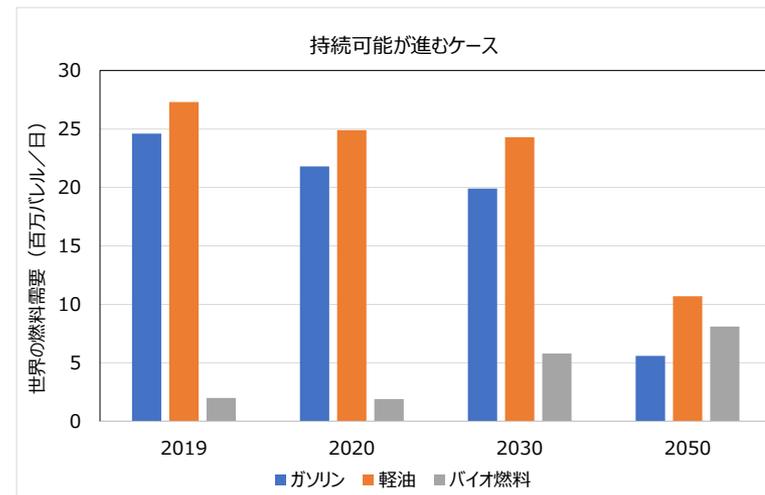
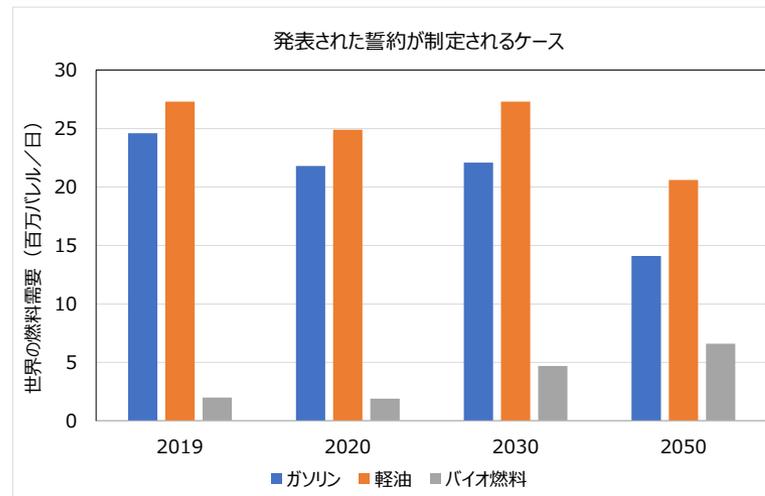
2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

世界の燃料需要

国際エネルギー機関（IEA）は、世界の燃料需要の予測をしている。

現在制定された方針が続くケースでは、2050年でもガソリン需要は2,000万バレル／日を超えており、軽油需要は現在より増加している。

持続可能が進むケースでは、2050年のガソリン需要は560万バレル／日、軽油需要は1,070万バレル／日まで激減すると予測している。このケースでは、2050年にバイオ燃料は810万バレル／日まで増加するとも予測されている。



出所：IEA World Energy Outlook 2021のデータを基にJPECで作成

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

米国の軽量自動車の動力源の予測

米国エネルギー情報局（EIA）は、米国の軽量自動車の動力源の予測をしている。

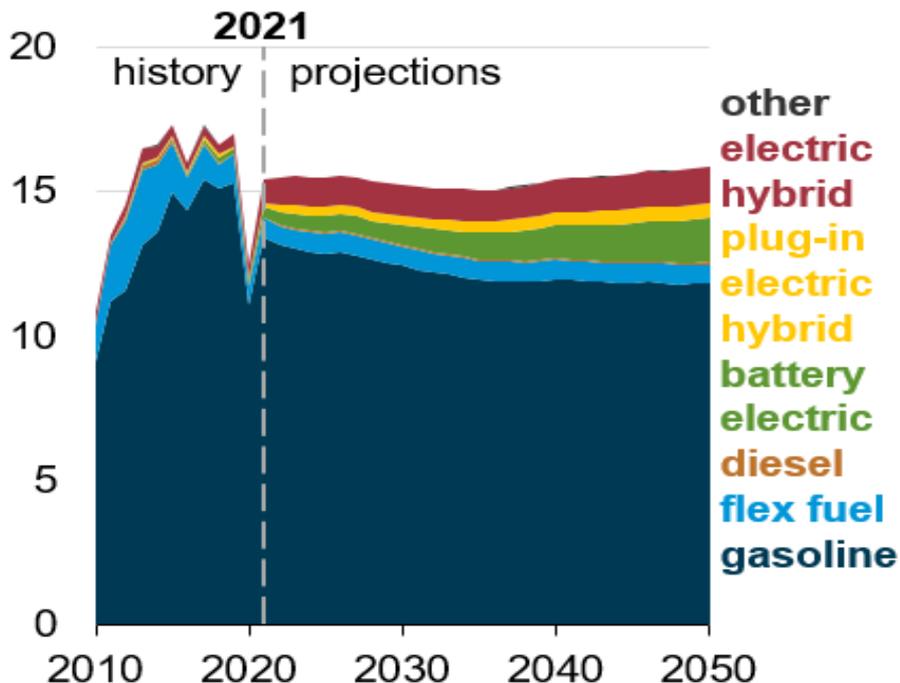
ガソリン、軽油、エタノール混合燃料、天然ガス、プロパンを含む内燃機関（ICE）の軽量自動車の合計シェアは、2021年の92%から2050年には79%に減少すると予測している。

2050年には、BEVとPHEVとの合計でLDVの総販売台数の13%を占めると予測している。

EIAでは、軽量自動車の電化が進むと、リファレンスケース（石油・ガス価格が中間のケース）では、2019年から2050年の間に、**輸送部門が電力の総エネルギー消費量の0.5%未満から2%以上に増加する**と予測している。

Light-duty vehicle sales by technology or fuel

AEO2022 Reference case
millions of vehicles



出所：EIA Annual Energy outlook 2022

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

米国のバイオディーゼルおよび再生可能ディーゼルの生産能力

JPECが米国のInternational Technology and Trade Associates, Inc. (ITTA) 社に独自に調査依頼した結果による、米国でのバイオディーゼル (FAME) および再生可能ディーゼル (HVOなど) の生産能力を下の表に示す。

現時点で、8万6千バレル/日の生産能力があるが、計画中也含めると将来的には約60万バレル/日の生産能力になる可能性を秘めている。

	確定容量	増産計画を
	(b/d)	含む容量
		(b/d)
稼働中の再生可能燃料製造施設	86,030	122,155
建設中の再生可能燃料製造施設	85,500	264,500
発表された製油所から再生可能燃料製造施設への転換計画	29,000	34,000
未開発地域のプロジェクトによる建設中の施設	18080	18080
未開発地域のプロジェクトで計画中の施設	155035	155035
総合計	373,645	593,770

出所：ITTA社の調査結果

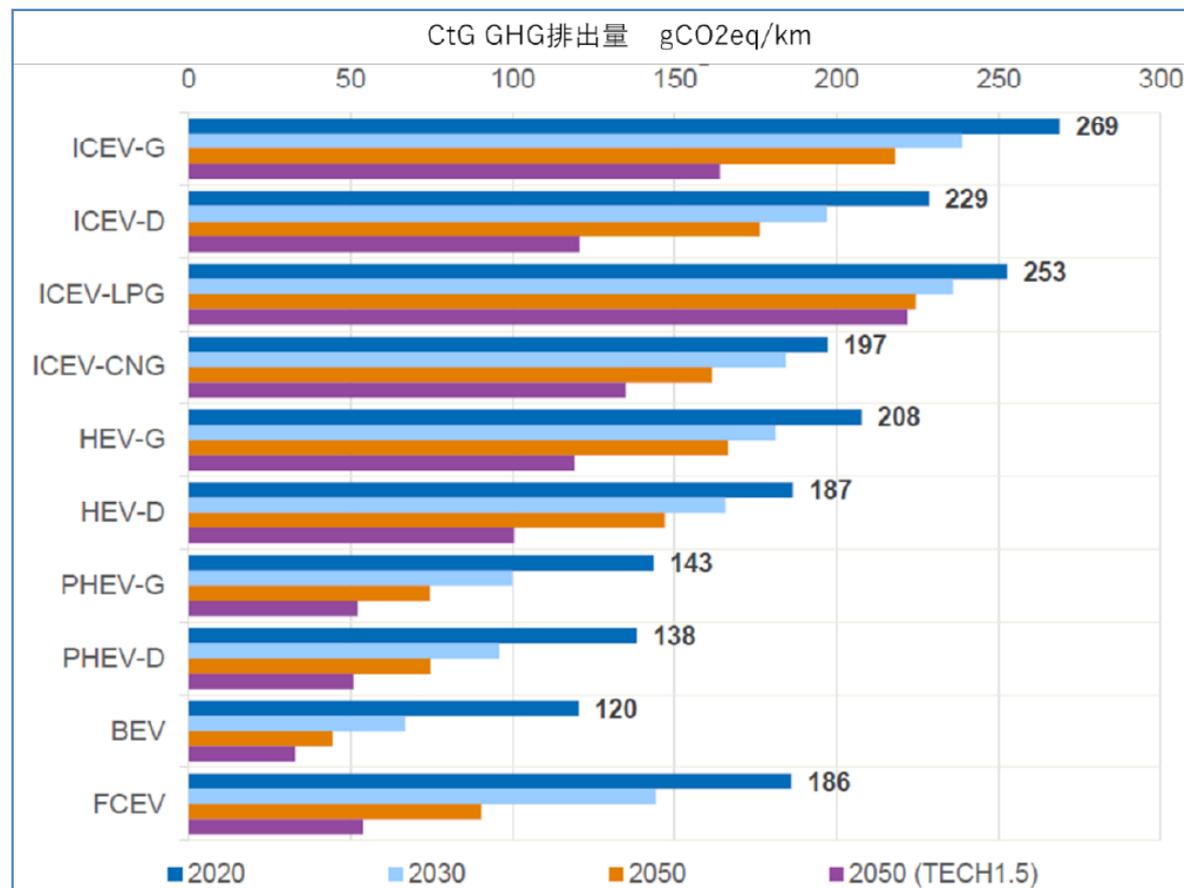
2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

- Renewable-fuel（合成燃料、バイオ燃料等）のW T W等、L C A 評価に関する動き・検討状況

RicardoのCtG(Cradle to Grave=ゆりかごから墓場)評価結果

民間研究開発機関であるRicardoが、ECからの委託により検討を実施したもの。2050年は1.5℃シナリオでも、PHEVの方がFCEVよりもGHG排出が少ない。

Ricardoは、「こういう前提でやってみたらこうなりました」「関係者のコンセンサスを得たものではない」と強調しており、今後はそれぞれの前提データの精査と、燃料インフラ構築に係るGHGも含めてはどうかと提案してまとめている。



出所：Ricardo Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

日本の自動車需要とWtW推計に基づくCO2削減効果推定

推定の前提

手順① 保有台数の設定

乗用車・二輪車：

個人使用が主であることから、人口の増減に比例すると想定した。日本自動車検査登録協会による2020年の保有実績と、国立社会保障・人口問題研究所による「日本の将来推計人口」に基づき試算した。

手順② 廃車台数の設定

原則として、車種ごとの平均使用年数実績をもとに、「当該年－使用年数」の年に販売された台数を当該年の廃車台数と想定した。

手順③ 販売台数の設定

手順①で設定した保有台数と手順②で設定した廃車台数の差分を、当該年の販売台数とした。

手順④ 各車種でのパワートレイン別内訳

各車種でのパワートレイン別内訳は、政府目標（販売割合）と、上記③を組み合わせた。

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

日本の自動車需要とWtW推計に基づくCO2削減効果推定

保有台数の設定

2020年パワートレイン/車種別保有台数

	乗用車	軽トラック	小型トラック	大型トラック	特殊車両	バス	二輪車
ガソリン	50,943,600	8,277,706	1,889,935	0	549,143	18,231	3,676,903
ディーゼル	1,318,396	0	1,577,124	2,389,450	1,196,314	210,889	0
LPG	144,177	0	9,428	0	7,062	151	0
HEV	9,145,172	0	12,897	19,540	11,157	1,380	1
PHEV	136,208	0	1	0	148	4	1
BEV	117,317	0	1,408	0	329	101	4
FCEV	3,695	0	29	29	5	58	0
CNG	0	0	2,229	3,377	1,944	237	0
合計	61,808,565	8,277,706	3,493,051	2,412,396	1,766,102	231,051	3,676,909

出所：日本自動車検査登録協会

日本の将来推計人口に基づく保有台数予測

年	実績		推定						
	2020.3	2021.2	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
人口	-	125.48	124.31	122.54	119.13	115.22	110.92	106.42	101.92
乗用車保有台数	61.81	62.24	61.66	60.79	59.09	57.15	55.02	52.79	50.56
二輪車保有台数	3.68	3.80	3.76	3.71	3.61	3.49	3.36	3.22	3.09

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

日本の自動車需要とWtW推計に基づくCO2削減効果推定

廃車台数の設定

原則として、車種ごとの平均使用年数実績をもとに、当該年に販売された台数を、使用年後の廃車台数と想定した。なお、特殊車両とバスは、当該年の販売台数と同じ台数が廃車されるものとした。

車種	平均使用年数
乗用車	13.51
軽トラック	15.31
小型トラック	
大型トラック	
特殊車両	18.31
バス	17.01
二輪車	15.53

出所：自動車検査登録協会

2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

日本の自動車需要とWtW推計に基づくCO2削減効果推定

各車種でのパワートレイン別内訳

政府公表のパワートレイン別販売割合目標

		2030	2035	2040
乗用車	ガソリン	30~50%	-	-
	ディーゼル	5~10%		
	HEV	30~40%	100%	←
	PHEV	20~30%		
	BEV			
	FCEV	~3%		
中小型商用車 <8t	HEV	20~30%	-	100%*
	PHEV			
	BEV			
	FCEV			
大型商用車 ≧8t	HEV	~5,000 保有	-	2030年まで に決定
	PHEV			
	BEV			
	FCEV			

*カーボンニュートラルに適用できる車両も含む

出所：グリーン成長戦略、総合エネルギー調査会等資料より作成

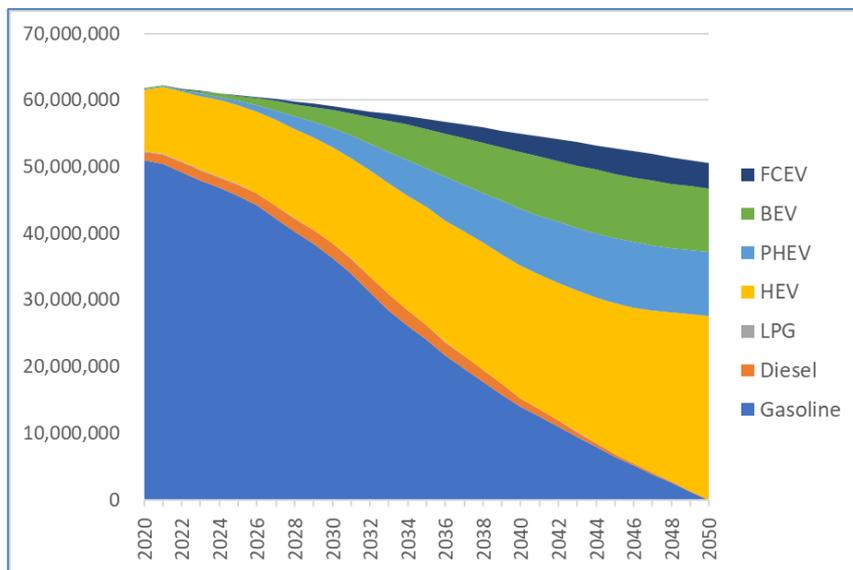
2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

日本の自動車需要とWtW推計に基づくCO2削減効果推定

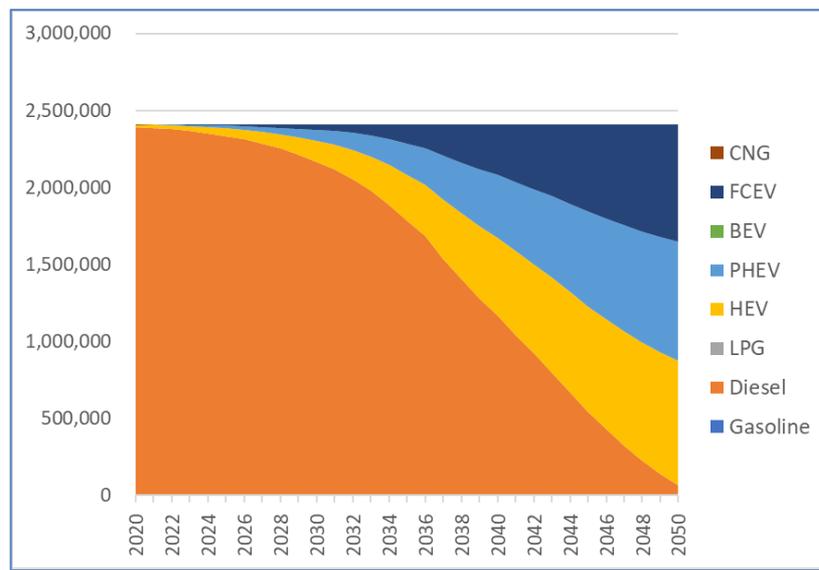
保有台数の推定結果の例

乗用車では、2050年でHEVが大きな割合を示しており、ガソリンの需要は残る結果となった。大型トラックでは、BEV化は難しいと言われているので、2050年はHEV、PHEV、FCEVがほぼ同じ割合である。

乗用車パワートレイン別保有台数



大型トラックパワートレイン別保有台数

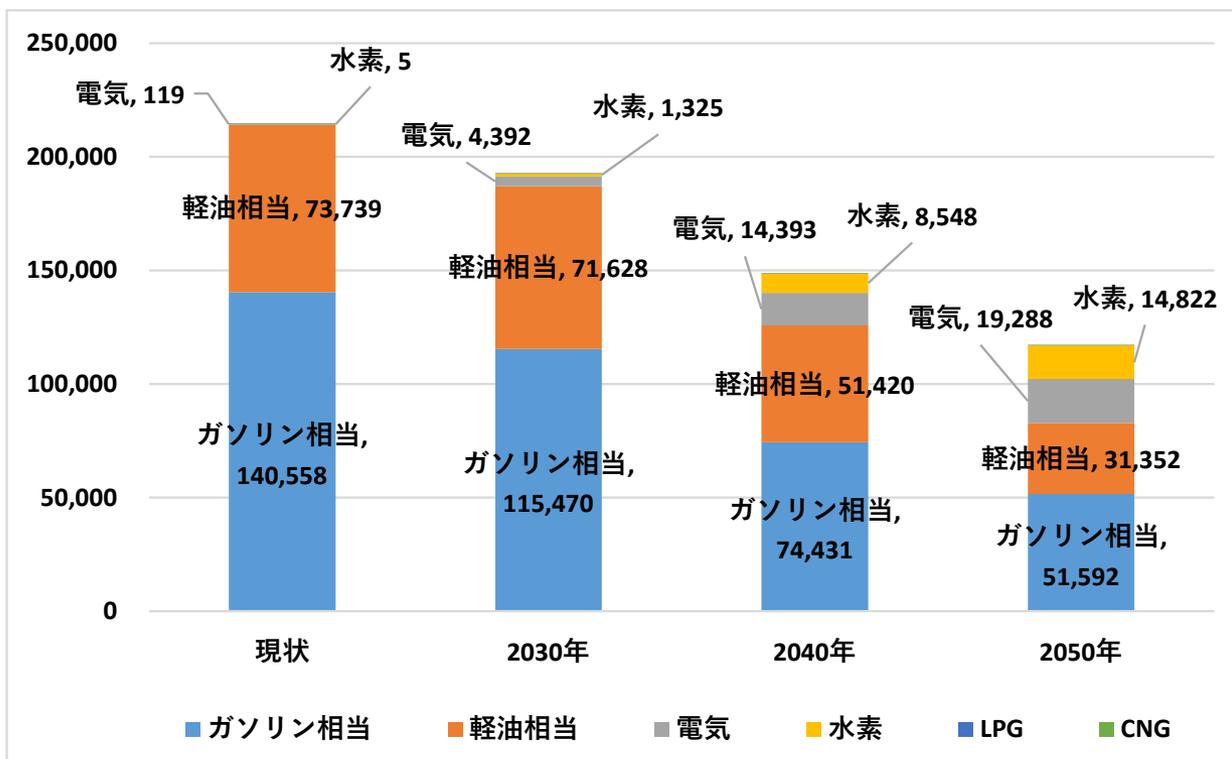


2. 陸上部門におけるRenewable-fuelの供給可能性評価・分析

日本の自動車需要とWtW推計に基づくCO2削減効果推定

CO2削減効果推定結果

乗用車や大型車で保有台数の3分の1程度がBEVまたはFCEVとなっているが、本試算では電気や水素の炭素強度が現状のまま（電気は日本平均、水素はメタン改質）としたことから、2050年でも電気、水素によるWtWのCO2排出が見られる。また、2050年でもHEVが保有台数の半数を占める想定であることから、ハイブリッド化による燃費改善で大幅にCO2は減少しているものの**2050年で現状と比較して40%程度の減少**である。

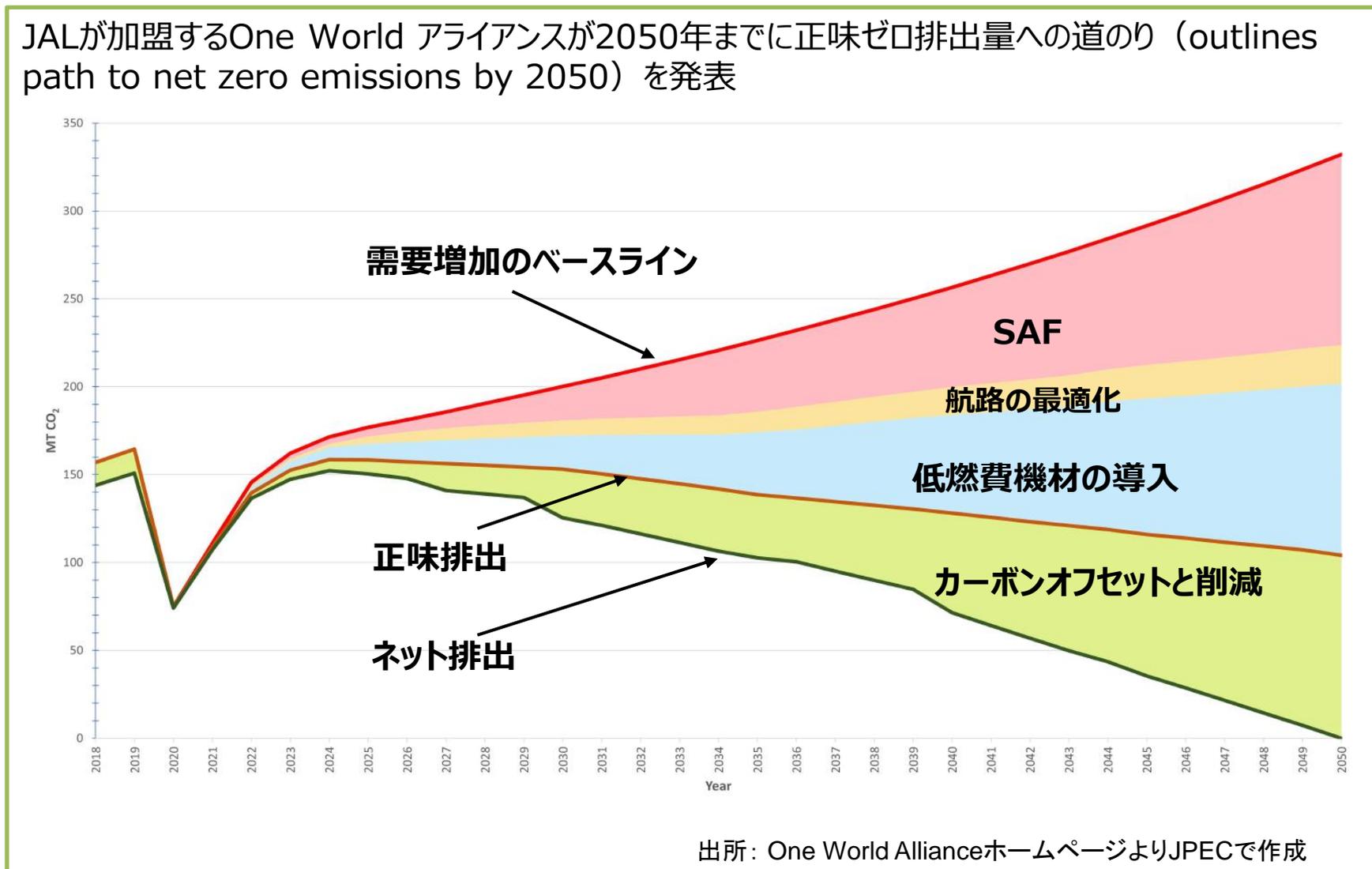


航空部門におけるRenewable-fuelの 供給可能性評価・分析

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

- One World アライアンスの2050年までに正味ゼロ排出量への道のり

JALが加盟するOne World アライアンスが2050年までに正味ゼロ排出量への道のり（outlines path to net zero emissions by 2050）を発表



3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

各航空会社のCO2排出削減目標

航空会社	2025年	2030年	2035年	2040年	2045年	2050年
デルタ航空		SAF10%				正味ゼロ排出量
ユナイテッド航空						正味ゼロ排出量
アメリカン航空			科学ベースの中間目標を設定			正味ゼロ排出量
Jetblue		SAF10%		正味ゼロ排出量		
アラスカ航空				正味ゼロ排出量		
IAG（プリティッシュ・エアウェイズ、イベリア航空）		SAF10%				正味ゼロ排出量
ルフトハンザカーゴ						正味ゼロ排出量
エールフランス－KLM		SAF5%				正味ゼロ排出量
スカンジナビア航空	2005年比で25%削減	スカンジナビア内は全てSAF				
フィンエアー	2019年比で50%削減				正味ゼロ排出量	
日本航空		SAF10% 2019年比で10%削減				正味ゼロ排出量
ANA		SAF10%				正味ゼロ排出量
キャセイパシフィック航空		2018年比で地上排出量を32%削減				正味ゼロ排出量
マレーシア航空						正味ゼロ排出量
シンガポール航空						正味ゼロ排出量
カンタスグループ						正味ゼロ排出量
カタール航空						正味ゼロ排出量

出所：各種情報を基にJPECで作成

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

ASTM D7566で認証されている製造技術と混合上限

現在、SAF100%であるニートの持続可能な航空燃料に関する国際規格は、7種類の製造技術が認証されている。ジェット燃料との混合割合の上限は、最大50%となっている。

ASTM D7566	製造技術	従来の燃料との混合上限	原料
Annex1	Fischer-Tropsch 法により精製される合成パラフィンケロシン (FT-SPK)	50%	有機物全般
Annex2	植物油等の水素処理により精製される合成パラフィンケロシン (Bio-SPK 又は HEFA)	50%	生物系油脂
Annex3	発酵水素化処理糖類由来のイソ・パラフィン (SIP)	10%	バイオマス糖
Annex4	非化石資源由来の芳香族をアルキル化した合成ケロシン (SPK/A)	50%	有機物全般
Annex5	アルコール・ジェット由来の合成パラフィンケロシン (ATJ-SPK)	50%	バイオマス糖 紙ごみ
Annex 6	Catalytic Hydrothermolysis Jet (CHJ)	50%	生物系油脂
Annex 7	Hydrocarbon-HEFA (HC-HEFA)	10%	微細藻類

出所：国土交通省 航空機運航分野におけるCO2削減に関する検討会資料

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

各航空会社のSAF導入計画例

航空会社	供給場所	製造事業者	製造方法*	時期	数量
ユナイテッド (米国)	ロサンゼルス空港	World Energy (Honeywell UOP)	HEFA	2019年から 2年間	最大計1,000万ガロン (約3.8万kL)
		Fulcrum	FT	2020年から 10年以上	計0.9~1.8億ガロン (約34~68万kL)
	不明	Alder Fuels	熱分解	不明	計15億ガロン (約570万kL)
エールフランス -KLM (オランダ)	スキポール空港 (アムステルダム)	SkyNRG (Haldor Topsoe)	HEFA	2022年から 10年間	計7,500トン (約9.4万kL)
		Neste	HEFA	2019から	未確認
ルフトハンザ (ドイツ)	フランクフルト空港	Neste	HEFA	2019から	未確認
デルタ (米国)	シアトル・タコマ空 港、他 (米西海岸)	Gevo	ATJ	2022年から 10年間	年間1,000万ガロン (約3.8万kL)
				2025年から7 年間	年間7,500万ガロン (約28.5万kL)
	不明	Aemetis (Axens Vegan)	HEFA	2023年から 10年間	計2.5億ガロン (約95万kL)
ワンワールド (アメリカン、 BA、JAL等)	サンフランシスコ空 港、他	Aemetis (Axens Vegan)	HEFA	2024年から 7年間	計130万kL
サウスウエスト (米国)	サンフランシスコ空港	Marathon Phillips 66	HEFA	2025年まで	計3億ガロン (約110万kL)
ジェットブルー (米国)	JFK空港、他 (ニューヨーク)	SG Preston	HEFA	2023年から 10年間	計6.7億ガロン (約250万kL)

出所：各種情報を基にJPECで作成

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

稼働中および稼働予定の主なSAF製造プロジェクト

製造技術	原料	製造事業者	事業所等	生産能力 (kT/年)	国	ライセンサー	プロセス名	状況
HEFA (Annex2)	動植物油 (廃食油、獣脂)	Neste	Porvoo	3か所計で100以下	フィンランド	Neste	NexBTL	稼働中
			Rotterdam	→ 500	オランダ			2023年増強
			Singapore	→ 1000	シンガポール			2023年増強
		World Energy	Paramount	120 → 900	米国	UOP Honewell	Ecofining	増強時期不明
		Eni	Venice	10	イタリア			2022年増強
			Gela	150		2024年増強		
		Total	La Mede	100	フランス	Axens	Vegan	稼働中
			Grandpuits	170	フランス	UOP Honewell	Ecofining	2024年稼働
		UPM	Lappeenranta	100	フィンランド	UPM	-	稼働中
		SkyNRG	Delfzijl	10	オランダ	Haldor Topsoe	HydroFlex	2022年稼働
		Phillips 66	San Francisco	360	米国	不明	不明	2021年稼働が 遅延
			Humber	150	英国	不明	不明	稼働中
Aemetis	Riverbank	270	米国	Axens	Vegan	2024年稼働		
ガス化・FT (Annex1)	都市ごみ(MSW)	Fulcrum	Sierra	30	米国	Fulcrum	-	2021年稼働
			Stanlow	10	英国			2020半ば稼働
	木質	RedRock	Lakeview	50	米国	Velocys	-	2022年稼働が 遅延
	都市ごみ(MSW)	Velocys	Altalto	60	英国			2025年稼働
	木質		Bayou	100	米国			未定
風力発電	atmosfair	Werlte	0.02	ドイツ	-	-	稼働中	
ATJ (Annex4)	イソブタノール	Gevo	Silsbee	30	米国	South Hampton Resources	-	稼働中
			Lake Preston (Net-Zero1)	135	米国	Axens(低重合)	-	2024年稼働
	エタノール	LanzaTech	Freedom Pines	30	米国	PNNL(低重合)	-	2022年稼働
			(FLITE)	30	(欧州)			2024年稼働

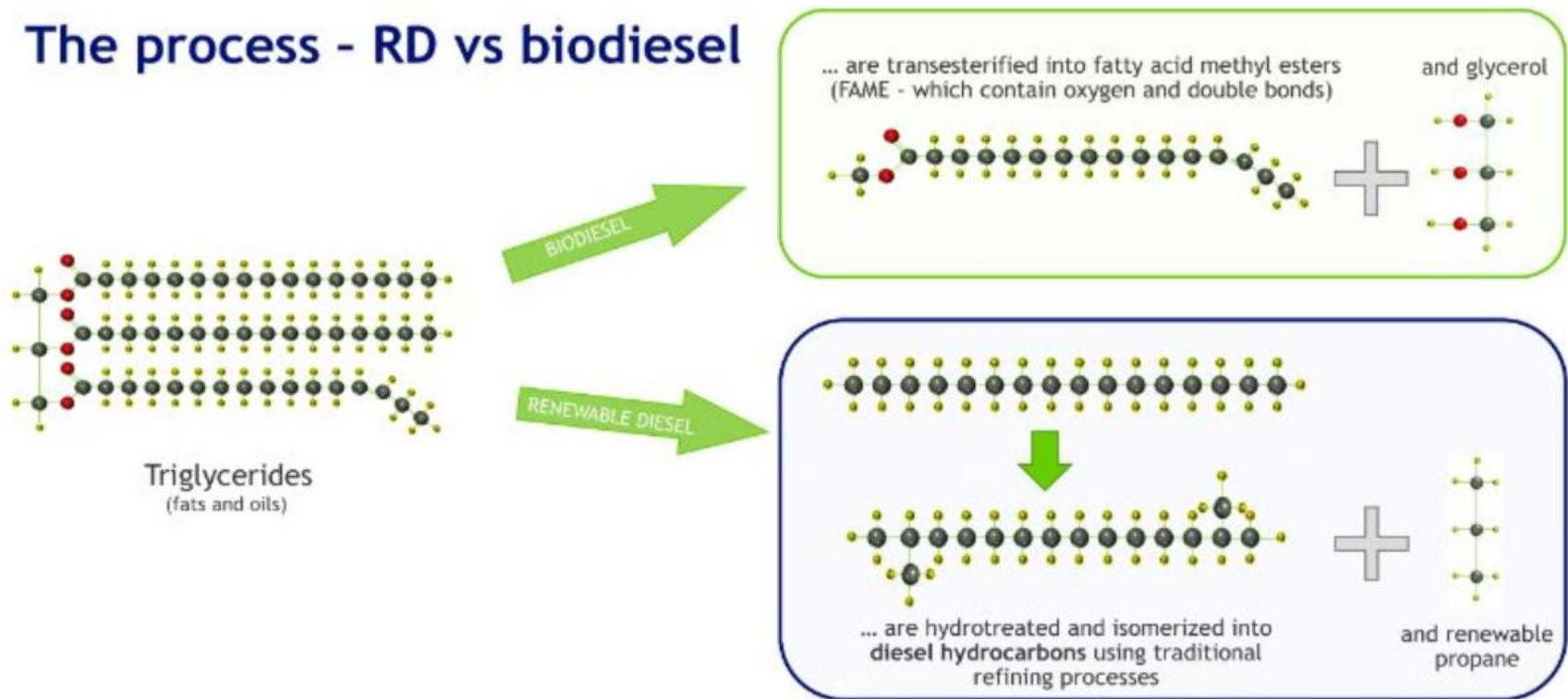
出所: 各種情報を基にJPECで作成

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

Nesteの技術

再生可能ディーゼルとバイオディーゼルの製造方法は以下のとおり公開しているが、SFAは再生可能ディーゼルと同様な技術で製造しており、さまざまな原料を検討していることだけを公表している。

The process - RD vs biodiesel



Copyright © 2018 Neste. Use for Neste and Neste designed recipients only. No redistribution.

NESTE

出所： Oh My Neste MY: The Digest's 2019 Multi Slide Guide to Neste's Renewable Diesel

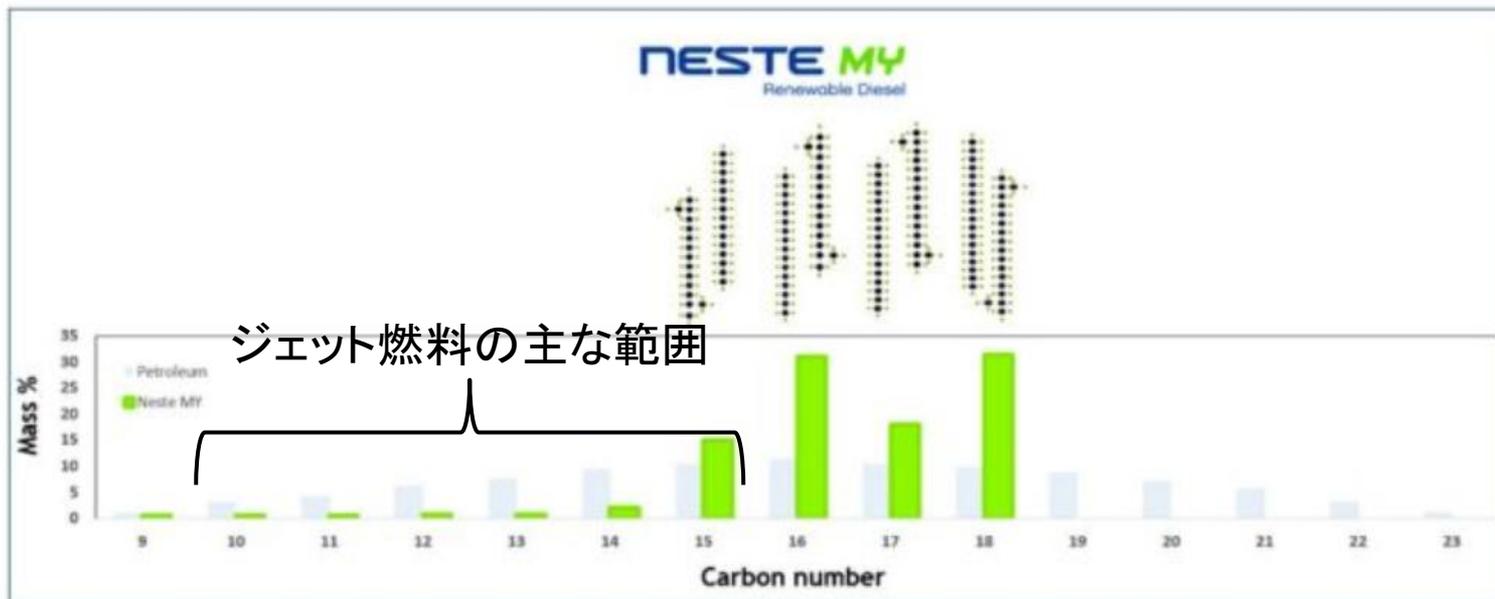
3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

Nesteの技術

再生ディーゼルと石油系軽油の炭素数の比較しており、再生可能ディーゼルでは、炭素数が15～18が主体と説明している。しかし、**ジェット燃料に必要な組成は少ない**。

Renewable diesel

- Nearly all C₁₅ - C₁₈ - no aromatics or olefins



出所： Oh My Neste MY: The Digest's 2019 Multi Slide Guide to Neste's Renewable DieselにJPECで加筆

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

主な天然油脂、廃食油の成分割合

天然油脂や廃食油の成分割合を調べてみると、**ジェット燃料に適する炭素数の油種は限られる。**

	C6 カプロン酸	C8 カプリル酸	C10 カプリン酸	C12 ラウリン酸	C14 ミリスチン酸	C16:0 パルミチン酸	C16:1 パルミトレイン酸	C18:0 ステアリン酸	C18:1 オレイン酸	C18:2 リノール酸	C18:3 リルン酸	C20 アラキジン酸	C22 ベヘン酸
パーム油				0-1	0-3	42-46	0-1	3-7	37-41	8-12	0-1	0-1	
パーム核油	0-1	1-5	1-5	45-49	14-18	8-12	0-1	0-4	14-18	0-4	0-1		
オリーブ油						9-13	0-3	2-6	75-79	5-9	0-3		0-1
ナタネ油						3-7	0-1	0-4	56-66	21-25	9-13	0-1	0-3
ゴマ油					0-1	8-12	0-1	4-8	38-42	42-46	0-1	0-1	0-1
大豆油						9-13		2-6	23-27	50-54	5-9		0-1
ヒマワリ油					0-1	4-8	0-1	2-6	17-33	66-75	1-5	0-1	0-1
ヘビ花油					0-1	5-9		0-4	11-19	71-80	0-1		0-1
コーン油						11-15	0-1	0-4	25-33	52-60	0-3		0-1
ヤシ油	0-1	4-8	5-9	47-51	16-20	8-12		0-4				0-1	
アマニ油						5-9	0-1	1-5	12-19	13-17	57-63		
牛脂			0-1	0-1	1-5	25-35	3-7	16-20	38-50	1-5	0-1		
豚脂			0-1	0-1	0-3	22-32	1-5	14-20	37-43	4-15	0-2	0-1	
魚油					3-7	18-22	6-10	5-9	11-15	0-4	0-4		
廃食油 (京都市)						9-10		2-3	42-47	33-36	6-7		

出所：各種情報よりJPECで作成

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

ジェット燃料に適した油脂を含む天然素材

パーム核油は、シュロ科のオイルパームの実の核油である。ヤシ油は、ココナッツの巨大な種子内部の胚乳から抽出精製される。約6割が洗剤・石鹼などの工業原料として、4割がマーガリンなどの食用として用いられる。

Nesteは2023年以降、パーム油は使用しないと宣言しているが、パーム核油については言及していない。



パーム油 (C16、C18が多い) パーム核油 (C12、C14が多い)



ヤシ油 (C12、C14が多い)

出所：各種ソースにJPECで加筆

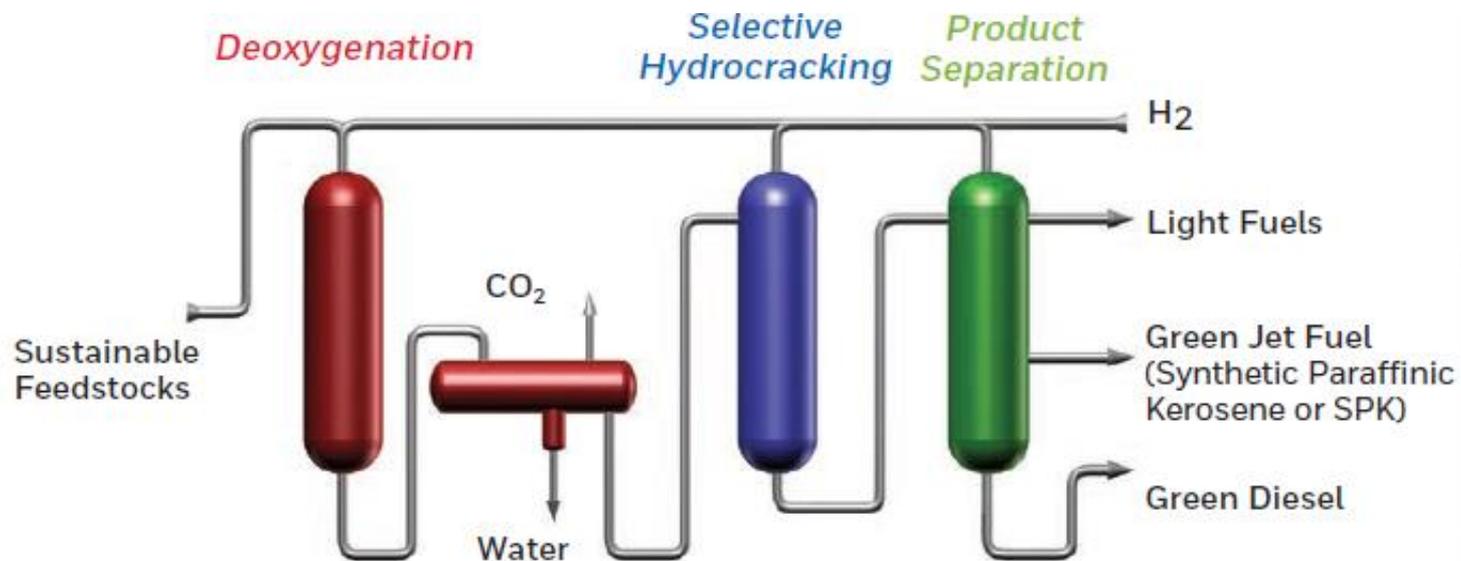
3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

Honeywell UOPの技術

UOPエコファイニングプロセス技術と呼ばれるプロセスは、原料となる油脂を脱酸素と分解異性化の二段階で炭化水素に変換する。分解では、炭素の長さを短くして、分子をSAF沸点範囲にし、異性化では、低温流動性や収率を高める触媒を採用している。

2021 UOP European Refining Seminarにおいて、生成した分子構造が示されているが、**メチル基（CH₃）の側鎖が非常に多く**、析出点が低くなると思われる。

SAFの製造では、World Energy、Total、Eni、bpが採用している。

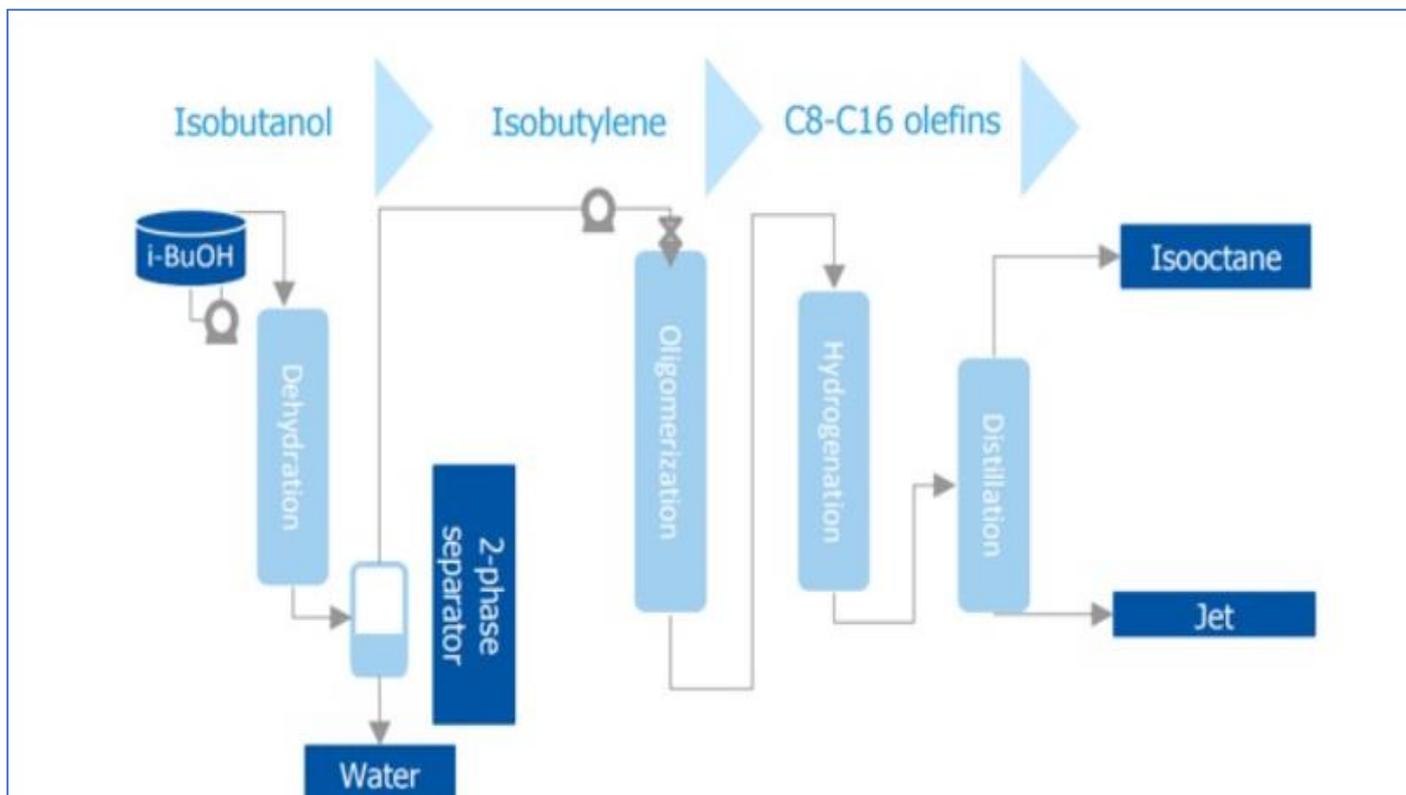


出所: Honeywell UOPホームページ

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

Gevoの技術

廃木材等を分解して得られる糖を発酵させて**イソブタノール**とし、脱水後の**イソブテンのオリゴメリゼーション（低重合）**によりC8～C16オレフィンに変換後、水素化装置でパラフィン化して、イソオクタンおよびジェット燃料（SAF）を製造している。



出所： Gevoホームページ

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

SAFの代表性状の比較

Nesteは、HoneywellやGevoと比較して、析出点や密度がJet A1規格に対して余裕がないので、炭素数の多いパラフィン多く含まれていると推測できる。

	Jet A1規格	Annex2 (廃食油・植物油を原料とした炭化水素製造)		Annex5 (糖化発酵アルコール経由)
		Honeywell Green Jet Fuel	Neste MY Renewable Jet Fuel	Gevo ATJ-SPK
引火点 (°C)	38以上	45	47	45-50
析出点 (°C)	-47以下	-57	-50	<-78
密度 (15°C) kg/m ³	730-772		771.5	760
真発熱量 (MJ/kg)	42.8以上	43.9		44.0
芳香族 (vol%)	25以下	<0.3	0.1	0
硫黄 (mass%)	0.3以下	<0.001	<0.001	<0.01
熱安定性 圧力差 (mmHg)	25以下	0.0	1	pass
熱安定性 堆積物の評価	3以下	1	<1	pass

出所：各種情報よりJPECで作成

3. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（航空）

SAF100%での試験動向

現時点では、SAFは最大50%を既存のジェット燃料に混合できるが、各社が将来に向けてSAF100%での試験を実施している。

報道日	会社	内容
2021/10/19	ロールスロイス ボーイング World Energy	ボーイング747機のエンジン4基のうち、1基で100%SAFを使用してアリゾナ州を飛び立ち、ニューメキシコとテキサスを通過しアリゾナ州に戻る 3時間54分の試験飛行に成功 。残り3基のエンジンは標準のジェット燃料を使用した。
2021/10/29	エアバス TotalEnergies	フランスのトゥールーズ地域での飛行試験中に、エアバスA319neo試験機のエンジン1基が100%SAFで動作した。TotalEnergiesは、主に使用済み食用油や廃脂肪を水素化処理し製造されたニートのSAFを提供した。
2021/11/29	エアバス ロールスロイス DLR（ドイツの研究所） Neste	エアバスは、A350機の 両方のエンジンでSAF100%を使用した場合の影響 に関して有望な初期の結果をもたらしたと述べた。地上試験の研究は、2021年初めに開始されており、2022年末または2023年にその結果を学術雑誌に発表する予定。
2021/11/29	エミレーツ航空 GEアビエーション	ボーイング777ER機で、2022年末までにSAF100%を使用した試験飛行プログラム開発に向けた覚書を締結した。SAF100%採用することで、 石油燃料と比較してCO2排出量削減効果を検証する 。
2021/12/2	ユナイテッド航空	12月1日に 100人以上の乗客を乗せた ボーイング737 MAX 8機で、エンジン1基にSAF100%を使用し、シカゴのオヘア空港からワシントンD.C.のナショナル空港間で デモフライトを実施 した。プレスリリースでは乗客を乗せたのは初の試みと伝えている。

出所：各種情報よりJPECで作成

海運部門におけるRenewable-fuelの 供給可能性評価・分析

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

日本の大手海運会社のCO2削減方針

会社名	将来のCO2削減策
NSUナイテッド海運	代替燃料では LNG、アンモニアの2つにフォーカスを当てて 、将来のゼロエミッションの実装化への準備を進める。一方、LNG焚きだけではゼロエミッションは難しく、 風力のサポート で実現しようと名村造船所と風力補助推進装置の研究開発も行っている。さらにアンモニア燃料とアンモニア輸送にフォーカスしていく。
商船三井	クリーンエネルギーには選択肢が多く、どこがお金を稼げる事業になるか、正直言ってまだわからない。水素、アンモニア、メタネーションなど 全方位に取り組んでいく 。アンモニアは陸上の発電燃料として有望だ。LNGよりも輸送・保管が容易という利点があり、当社は最近アンモニア輸送事業を再開しており、強みを発揮したい。
日本郵船	アンモニア・水素などの次世代燃料の開発動向についても アンテナを高くて急激な変化にも機敏に対応していく つもりだ。ゼロエミッション化に向け研究開発に年間数十億円規模を投じ、水素やアンモニア燃料の研究、スタートアップへの出資を進めていく。
川崎汽船	低炭素化、脱炭素化が進むとはいえ、 従来の化石燃料も人々の生活に必要であり、すぐに全てが消えるわけではない 。低炭素化に向けた技術を磨くとともに、脱炭素化の進展やタイミングをしっかりと見極め、その状況に応じた環境に優しいサービスでカーボンニュートラルに貢献していく。
飯野海運	従来型燃料からメタノールやLPG、LNGなどの代替燃料に転換しても、CO2排出削減効果は2割程度にとどまる。 LPG燃料を実際に使用することで 、次世代燃料の有力候補と目される燃焼時にCO2を排出しない アンモニア燃料の知見を蓄積していく 。

出所：日本海事新聞電子版【海運トップに聞く21年度の舵取り】(1)～(5)よりJPECで作成

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

海運部門における代替燃料候補の利点と課題

	利点	課題
LNG (液化天然ガス)	<ul style="list-style-type: none"> • 実用化済(-163°Cで貯蔵) 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂削減量が不十分(重油から約26%減)。 • メタンスリップ(温室効果がCO₂の約25倍)対策が必要。
メタノール	<ul style="list-style-type: none"> • 実用化済 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂削減量が不十分(重油から約10%減)。
水素	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂排出量ゼロ。 	<ul style="list-style-type: none"> • 極低温(-253°C)での液化貯蔵が必要。 • 燃焼性が高く、制御が難しい。 • タンク容積が大きい(重油の約4.5倍)。
アンモニア	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂排出量ゼロ。 	<ul style="list-style-type: none"> • 毒性があり、燃えにくい。 • 排ガス中に、N₂O(温室効果がCO₂の約300倍)が発生する可能性がある。
バイオメタン・ カーボンリサイクルメタン(※)	<ul style="list-style-type: none"> • 実質的にCO₂排出量ゼロ。 • LNG燃料船やLNGの供給インフラをそのまま使用可能。 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂排出量ゼロと取り扱うための国際的な仕組みが必要。
船上CO ₂ 回収	<ul style="list-style-type: none"> • 脱炭素燃料の供給に依らず、船舶で排出抑制が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂回収・貯蔵装置の小型化・回収効率の向上が必要。
風力	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂排出量ゼロ(自然エネルギーを利用)。 	<ul style="list-style-type: none"> • 不安定、自然条件や進路に依存。
バッテリー	<ul style="list-style-type: none"> • 小型船用は実用化済。 	<ul style="list-style-type: none"> • 容量不足、充電に時間を有する。 • 一定年数で交換が必要。

(※) 水素と回収したCO₂によって、人工的に製造されるメタン燃料

出所：社会資本整備審議会・交通政策審議会 グリーン社会WG（第1回）説明資料

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

海運部門における代替燃料候補の性状

代替燃料において一つの大きな問題は、重油と比較して体積当たりの発熱量が低く、**タンクの容量が大きくなる**ことである。さらに、常温で気体である燃料では、液化するために高圧にして、**天然ガスと水素は極低温に冷却する必要もある**。そのため、**タンクの形状**は圧力に耐えるために**円柱にして**、外壁に冷却保温の装置を追加する必要があるため、**タンク内の容積でばかりではなく、外側を含めたタンクの積載場所の確保**が、長距離を運航する外交船には重要である。また、アンモニアについては、毒性があることから、漏洩防止などの対策が必要とされている。

	重油	天然ガス (液体)	メタノール	水素 (液体)	アンモニア (液体)
発熱量	42.7 MJ/kg	49.2 MJ/kg	19.9 MJ/kg	121 MJ/kg	22.5 MJ/kg
密度	900 kg/m ³	460 kg/m ³	798 kg/m ³	70.8 kg/m ³	695 kg/m ³
CO2排出係数	3.0 t/kL	2.7 t/t _{fuel}	1.45 t/kL	0	0
体積当たりの発熱量 (重油比)	38.4 GJ/m ³ (100%)	22.6 GJ/m ³ (59%)	15.9 GJ/m ³ (47%)	8.6 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	2.4	4.5	2.5

※熱効率が同一の動力源を使用するとして試算。

※断熱構造を含めたタンク寸法については要検討。

出所：各種情報を基にJPECで作成

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

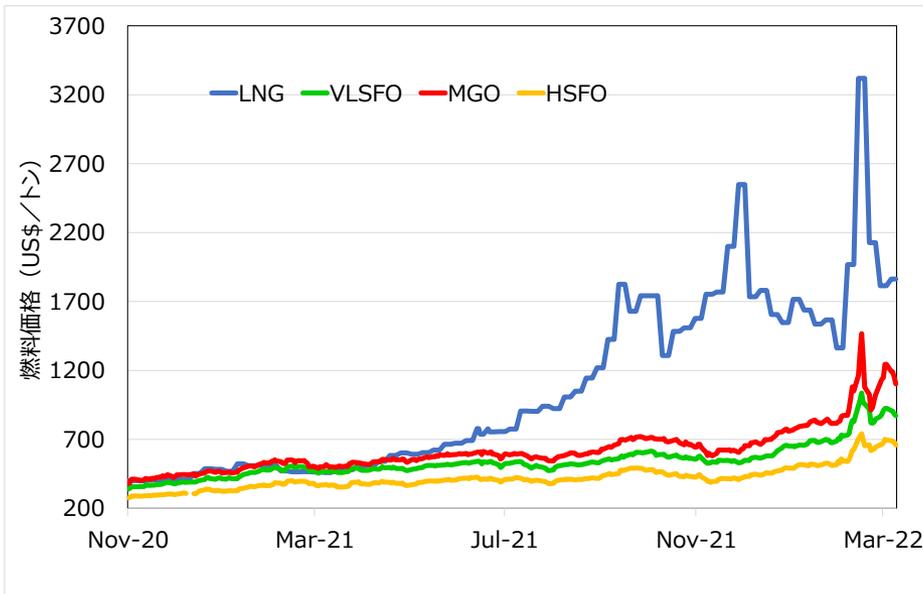
LNG燃料船の課題

従来の2~3倍の大きさの燃料タンクや再液化装置などエンジン以外の設備投資も必要。

2021年後半からLNG価格が急激に上昇し、2022年になって下降傾向にあったが、ウクライナ情勢に伴って、再び急激に上昇している。ロシアからのLNGの輸入が多い欧州では、さらにLNGの価格が上がる可能性も秘めている。



出所：日本郵船プレスリリース



出所：Ship & Bunkerホームページ情報よりJPECで作成

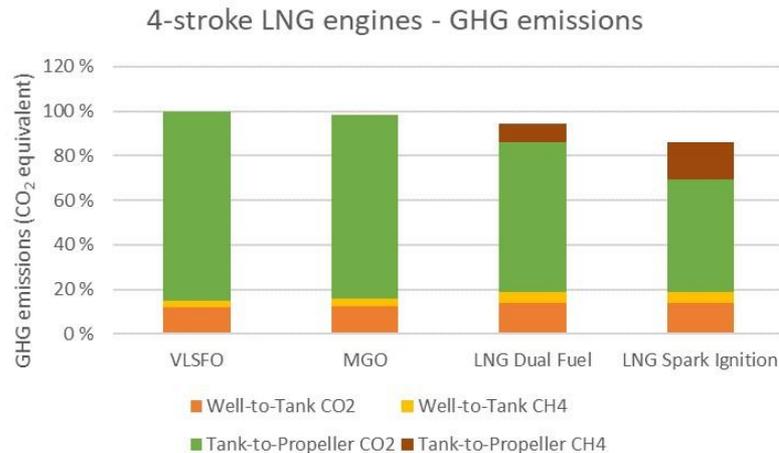
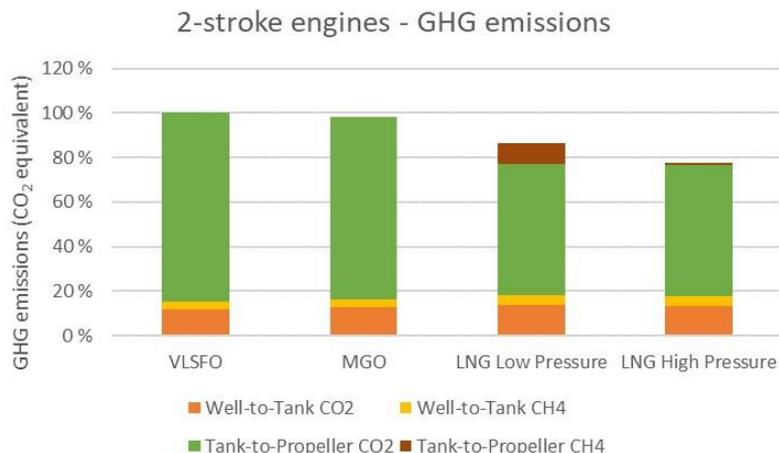
4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

LNG燃料船のGHG削減効果

船舶のエンジンは、2ストロークエンジン（低速）と4ストロークエンジン（高速）がある。LNGはセタン価が低いので、着火用に重油や軽油をパイロット噴射（1~5%）して着火するか、またはスパークプラグで点火する必要がある。現在、実用化されているスパークプラグでの点火は、4ストロークエンジンのみ。2ストロークエンジンは、LNGの噴射圧力によって、低圧タイプと高圧タイプに分類される。

船級協会DNVによると、LNG燃料船のGHG排出量に関しては、CO₂とCH₄（メタン）の両方を考慮に入れると、削減のレベルは選択したエンジンのタイプによって異なる。

メタンスリップは、2ストロークエンジンよりも4ストロークエンジンの方が高く、2ストロークエンジンは、LNGが低圧噴射か高圧噴射かによっても異なる。高圧噴射の2ストロークエンジンは、他の設計よりもメタン排出量がかなり少なくなる。



出所：DNV ホームページ

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

メタノール燃料船

メタノールはLNGと同様に船舶燃料として実用化されている燃料である。下の表にカナダのWaterfront海運が所有するメタノール燃料タンカーを示す。8隻が韓国の現代重工で建造され、残り3隻は日本の南日本造船が建造している。

VESSEL NAME	IMO NUMBER	OWNER	BUILDER
<i>Creole Sun</i>	9850214	IINO LINES and Mitsui	HMD
<i>Takaroa Sun</i>	9850202	NYK	HMD
<i>Mari Kokako</i>	9848687	Marinvest	HMD
<i>Mari Couva</i>	9848584	Marinvest	HMD
<i>Lindanger</i>	9725299	Westfal-Larsen	HMD
<i>Leikanger</i>	9725304	Westfal-Larsen	HMD
<i>Cajun Sun</i>	9724025	MOL Mitsui OSK	Minami Nippon
<i>Taranaki Sun</i>	9751406	MOL Mitsui OSK	Minami Nippon
<i>Manchac Sun</i>	9724013	MOL Mitsui OSK	Minami Nippon
<i>Mari Boyle</i>	9732979	Marinvest	HMD
<i>Mari Jone</i>	9725316	Marinvest	HMD

出所：ABS SUSTAINABILITY WHITEPAPER METHANOL AS MARINE FUEL

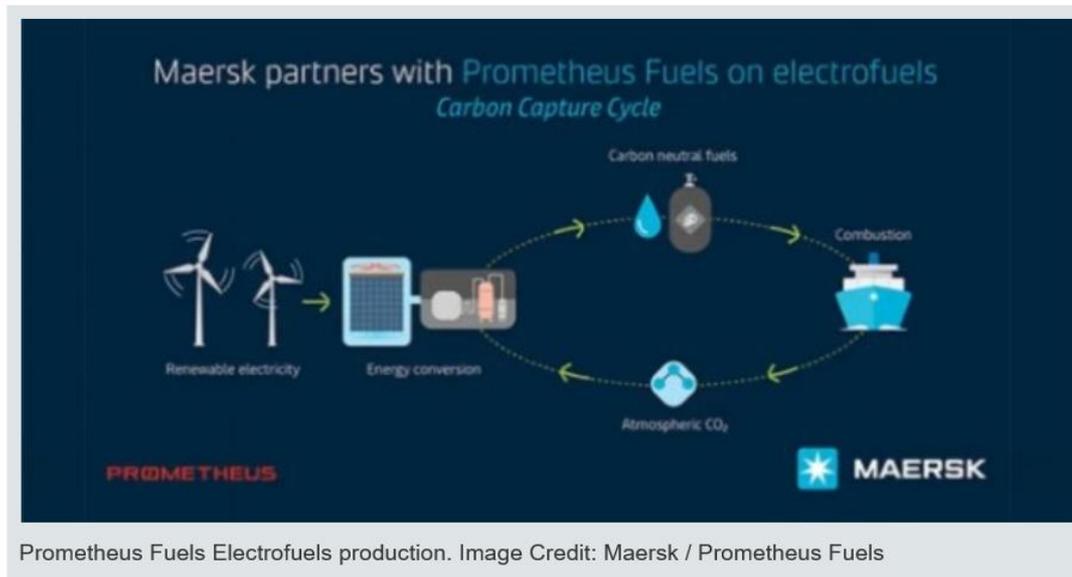
4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

Maerskがe-fuelのスタートアップに投資

海運業界の売上高2位のA.P. Moller-Maersk（マースク）は、シリコンバレーを拠点としてe-fuelプラントをスタートアップするPrometheus Fuelsの株式を取得したと発表した。

マースクは、グリーンメタノールなどの合成アルコールに加えて、バイオベースの燃料と比較して**長期的な拡張性の利点があるため、e-fuelが輸送の脱炭素化において重要な役割を果たすと考えている。**

マースクの副社長は、9月下旬に開催された「アジア太平洋石油会議」（APPEC）で講演し、**LNGはCO2排出を減らせるが、メタンスリップが、特に低圧エンジンでの燃焼時に発生するため、過渡期の燃料として考えておらず、メタノールとアンモニアを2軸に、直接移行する考えを表明した。**



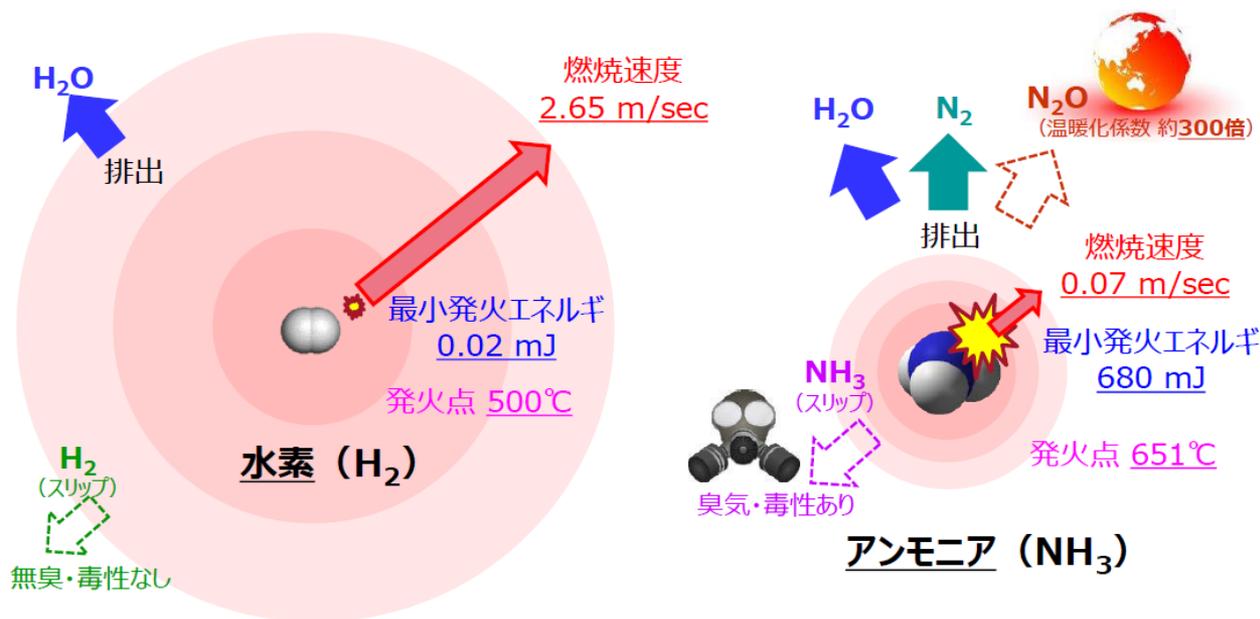
出所：Ship & Bunkerホームページ

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

水素・アンモニアの特徴

水素は燃焼性の良い燃料であるが、燃焼速度が速くて着火のタイミングが少しでもズレると暴走する（暴れ馬のようになる）ので、**着火のコントロールが難しい**。

アンモニアは難燃性なので、既存燃料との**混焼が原則**となり、単独でカーボンニュートラルはほぼ不可能。



水素は、発火点は高いが、燃焼速度が速く 点火エネルギーも小さい**燃焼性の良い燃料**である。
アンモニアは、発火点が高く、燃焼速度が遅く 点火エネルギーも大きい**難燃性の燃料**である。

出所：令和3年(第21回)海上技術安全研究所講演会 講演資料

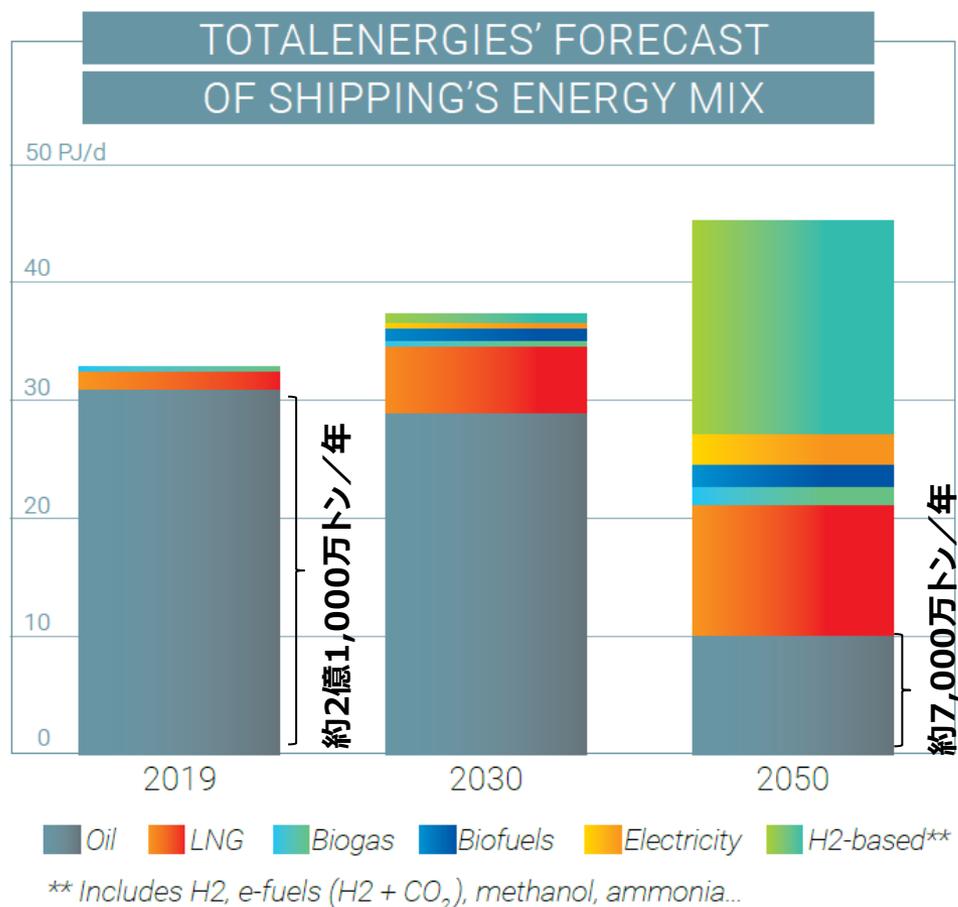
4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

TotalEnergiesは、化石燃料バンカーが2050年の需要のほぼ50%を占めると見ている

TotalEnergiesは、世界の船舶燃料消費量が2050年までに約45 Petajoules (PJ)/日に増加すると予測している。そのうち、**約10 PJ/日が従来の石油ベースのバンカーで、さらに12 PJ/日が化石由来のLNG**であると予想している。

バイオガスまたはクリーン水素と天然ガスの混合を含む、**低炭素LNG**を生産する計画の概要を説明しているが、「これらの**燃料の液化と輸送にかかるコストが高い**ため、即時のスタンドアロンソリューションとしては不経済である」と述べている。

2050年に石油ベースは7千万トン/年残る予想である。



出所：TotalEnergies公開 The Drive for Cleaner Marine FuelsにJPECで加筆

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

RicardoがOil and Gas Climate Initiative (OGCI) とConcaweからの依頼調査の最終レポートを公開

レポートでは、2050年に向けて排出量を削減するための海上輸送のための技術的、運用的、およびエネルギー経路、航路により、次の3つのパッケージで評価した。

パッケージ1-「ゼロカーボン燃料の早期追求」

アンモニアと水素は、2025年から一部の新造船に使用され、2035年までにすべての新造船で増加する。代替燃料は「グレー」から「ブルー」、「グリーン」の経路への移行がある。減速航海では、10%の速度低下が想定されている。

パッケージ2-「化石燃料をドロップイン液体および気体バイオ燃料に置き換える」

2025年以降、重油、軽油、およびLNGの使用は、ドロップインバイオ燃料（FAME、HVO）およびBioLNGに置き換わるようになる。減速航海では、20%の速度低下が想定されている。

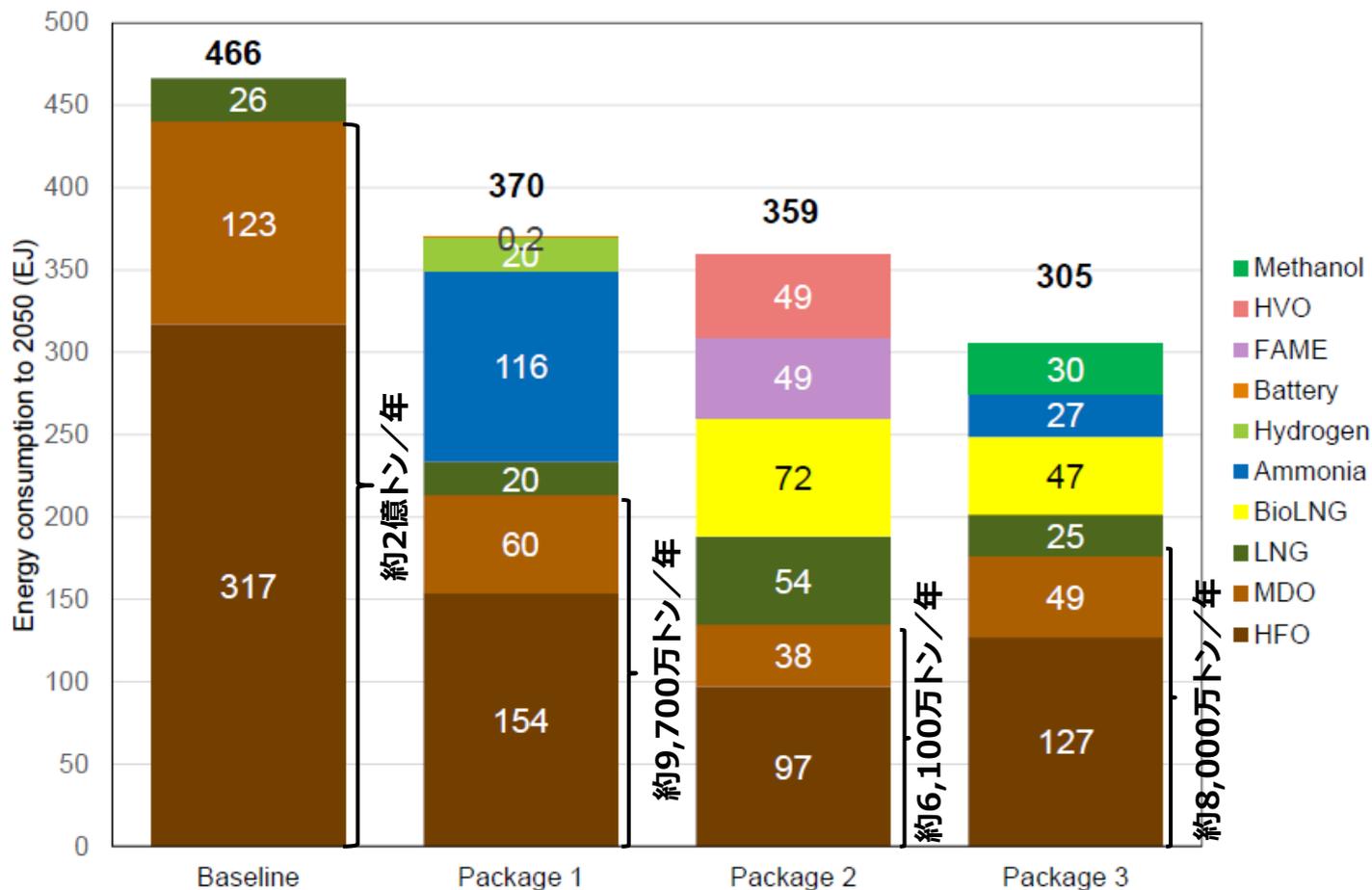
パッケージ3-「船舶の脱炭素化対策の初期最大化」

脱炭素化技術の採用を最大化し、その後代替燃料に移行することに焦点を当てている。エネルギー効率化技術と運用手段が高く取り上げられる。減速航海では30%の速度低下が想定される。船内のCCSは、2030年以降の一部の新しい船舶（炭素含有燃料を使用）に含まれる予定。

出所：Ricard Technological, Operational and Energy Pathways for Maritime Transport to Reduce Emissions Towards 2050

4. 次世代に向けた輸送用液体燃料の導入可能性（海運）

Ricardoの2050年の船舶用燃料消費の予測（2020年対比）



出所：Ricard Technological, Operational and Energy Pathways for Maritime Transport to Reduce Emissions Towards 2050にJPECで加筆

5. まとめ

陸上部門

欧州や中国では、乗用車の電動化は進みつつあるが、十分な普及とはいえない。IEAやEIAでは、2050年でもガソリンや軽油は残る予想をしている。米国では、バイオディーゼルや再生可能ディーゼルの増産が進みつつある。

航空部門

民間航空会社は、SAFを積極的に導入する計画を次々と発表している。しかし、現在のSAFの製造計画では、これらの需要に対して不十分である。ジェット燃料は規格が厳しいので、SAFの製造においては、いかに収率を高めるかが重要である。

海運部門

IMOのGHG総排出量削減目標は、2050年でのネットゼロは見送りとなったが、近い将来改定される見通しである。LNGやメタノールは実用化されているが、アンモニアや水素は課題が多そうである。将来予測でも、2050年において従来の石油系燃料が残る結果が示されている。

本調査は経済産業省・資源エネルギー庁の
「令和3年度燃料安定供給対策に関する調査事業
(石油産業に係る環境規制等に関する調査)」
として JPEC が実施しています。
ここに記して、謝意を表します。