

CO₂等を用いた燃料製造技術開発プロジェクト の研究開発・社会実装の方向性（案）

2021年10月
資源エネルギー庁

目次

1. 背景・目的

2. 各燃料における課題、目標、研究開発項目等

(1) 合成燃料

(2) 持続可能な航空燃料 (SAF)

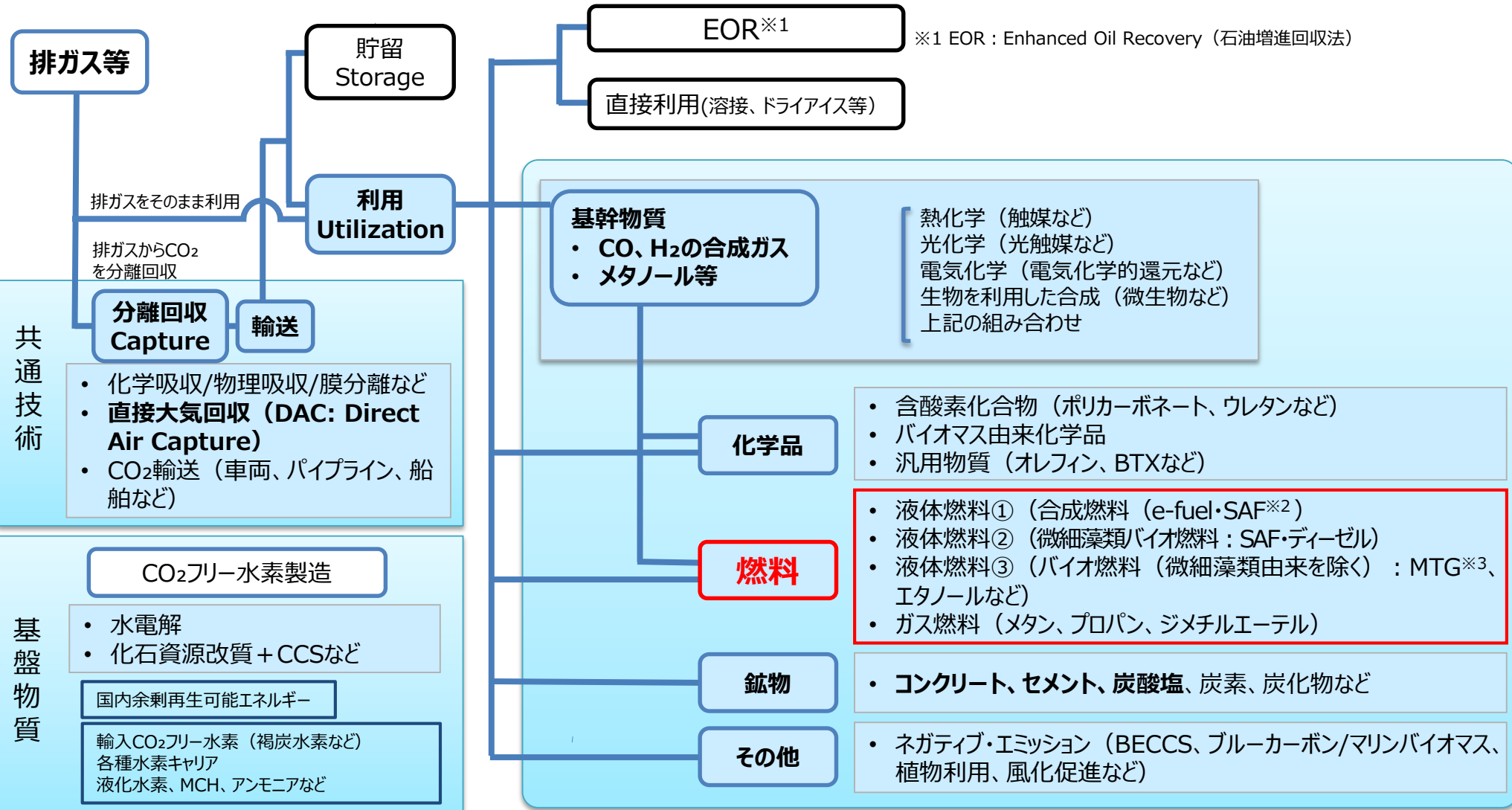
(3) 合成メタン

(4) グリーンLPG

3. スケジュール

カーボンニュートラルに必要なカーボンリサイクルとは

- **カーボンリサイクル**：CO₂を資源として捉え、これを分離・回収し、鉱物化によりコンクリート等、人工光合成等により化学品、メタネーション等により燃料へ再利用し、大気中へのCO₂排出を抑制。



※2 SAF:Sustainable aviation fuel

※3 MTG:Methanol to Gasoline

脱炭素燃料のメリット

- 「脱炭素燃料」は、海外の化石燃料に依存する我が国のエネルギー需給構造に変革をもたらす可能性があり、エネルギー安全保障の観点からも重要。
- 既存インフラを活用することで導入コストを抑えられるメリットが大きく、製造技術に関する課題を解決し製造コストを下げることができれば、社会実装が実現可能。
- 脱炭素燃料にはこうした優位性があることから、脱炭素社会の実現に向けた多様な選択肢の一つとして、技術開発を促進することが必要。

<各部門における脱炭素燃料のニーズ>

	輸送部門				産業部門	家庭部門
	車	トラック	船	飛行機		
2030年	・ガソリン ・LPガス ・バイオエタノール※	・軽油 ・バイオディーゼル※	・重油、軽油 ・LNG ・LPガス ・アンモニア	・ジェット燃料 ・代替航空燃料（SAF）	・グリーンLPG ・都市ガス ・LPガス	・グリーンLPG ・都市ガス ・LPガス
2050年	・合成燃料 ・グリーンLPG ・バイオエタノール※ ・EV ・FCV（水素） ・ガソリン ・LPガス	・合成燃料 ・バイオディーゼル※ ・軽油	・合成燃料 ・合成メタン ・グリーンLPG ・アンモニア ・LNG ・LPガス ・重油、軽油	・SAF ・合成燃料 ・電気 ・水素 ・ジェット燃料	・合成メタン ・グリーンLPG ・都市ガス ・LPガス	・合成メタン ・グリーンLPG ・都市ガス ・LPガス

— : 本プロジェクトで支援する脱炭素燃料 — : 他のプロジェクトで支援する脱炭素燃料

※ : 既に製造技術が確立している脱炭素燃料

本プロジェクトで支援する「CO₂等を用いた燃料製造技術開発」

- 本プロジェクトでは、水素、アンモニア以外の脱炭素燃料のうち、液体燃料として①**合成燃料**、②**持続可能な航空燃料（SAF）**を、気体燃料として③**合成メタン**、④**グリーンLPG**について、技術開発・実証を行う。脱炭素燃料を社会に実装するためには、各製造技術を確立した上で、**燃料収率・変換効率の向上や製造コストの低減等**の技術課題の克服が重要。
- これら「**脱炭素燃料**」について、**商用化レベルでの製造技術を世界に先駆けて我が国企業が確立し、海外各国へ技術や設備、それらの利用に係るノウハウ・知見等を展開**することにより、世界における「**脱炭素燃料**」に係る**市場の獲得及びCO₂の削減に寄与**。

既存燃料の価格

合成燃料

約**135**円/L(ガソリン)

SAF

約**100**円/L(ジェット燃料)

合成メタン

約**40-50**円/Nm³(LNG)

グリーン
LPG

約**800-1000**円/Nm³
(LPガス)

✓技術開発(触媒の開発等)
✓大規模実証 等



コスト目標(達成時期)

約**100-150**円/L(2050年)

約**100-199**円/L(2030年)

約**40-50**円/Nm³(2050年)

約**950-990**円/Nm³(2030年)

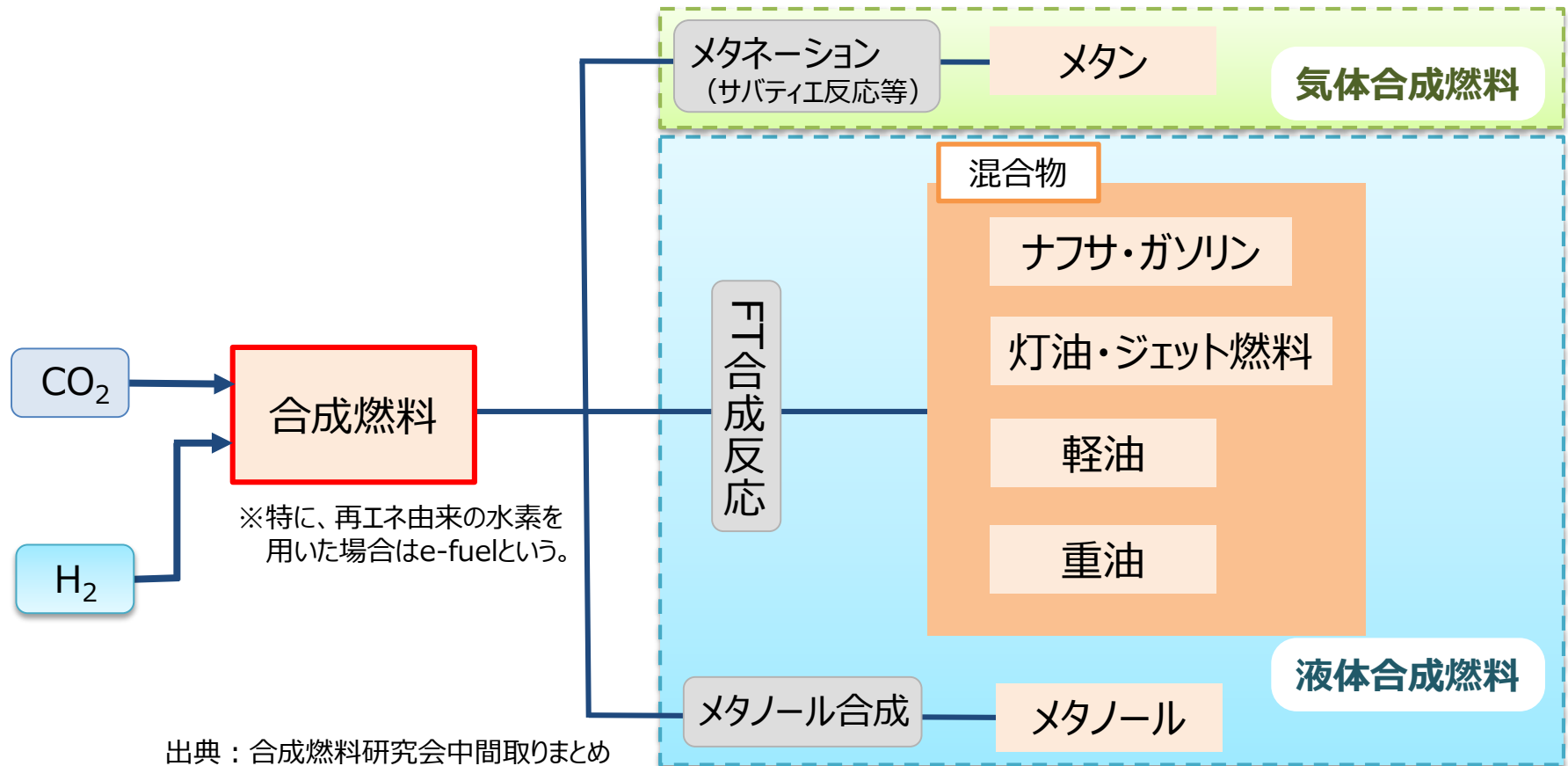
※既存燃料の価格については、所税課税後の価格

目次

- 1. 背景・目的
- 2. 各燃料における課題、目標、研究開発項目等
 - (1) 合成燃料
 - (2) 持続可能な航空燃料 (SAF)
 - (3) 合成メタン
 - (4) グリーンLPG
- 3. スケジュール

合成燃料の定義

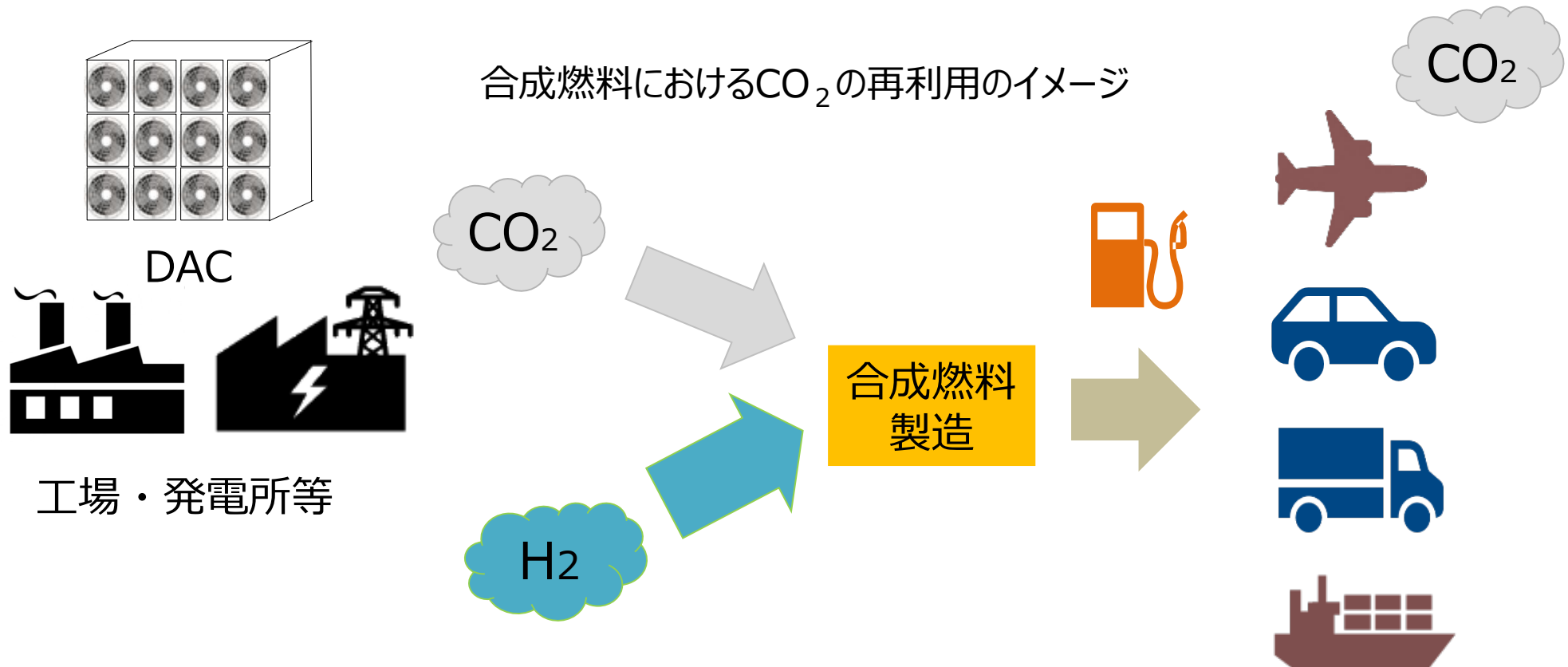
- 本プロジェクトで対象とする合成燃料とは、**CO₂（二酸化炭素）とH₂（水素）を合成して製造される燃料**である。この混合物は、複数の炭化水素化合物の集合体、いわば“人工的な原油”である。
- 合成燃料は、原料となるH₂の製造過程でCO₂が排出されることがないように、**再生可能エネルギー由来電力等で水電解を行ってH₂を調達することが基本**となる。これは、化石燃料からCO₂を分離・貯留したH₂（ブルー水素）を原料とした場合、化石燃料からCO₂を分離した後に、再び別に回収するCO₂と合成をすることとなり、製造プロセスとして非効率となるからである。



出典：合成燃料研究会中間取りまとめ

合成燃料とCO₂排出との関係

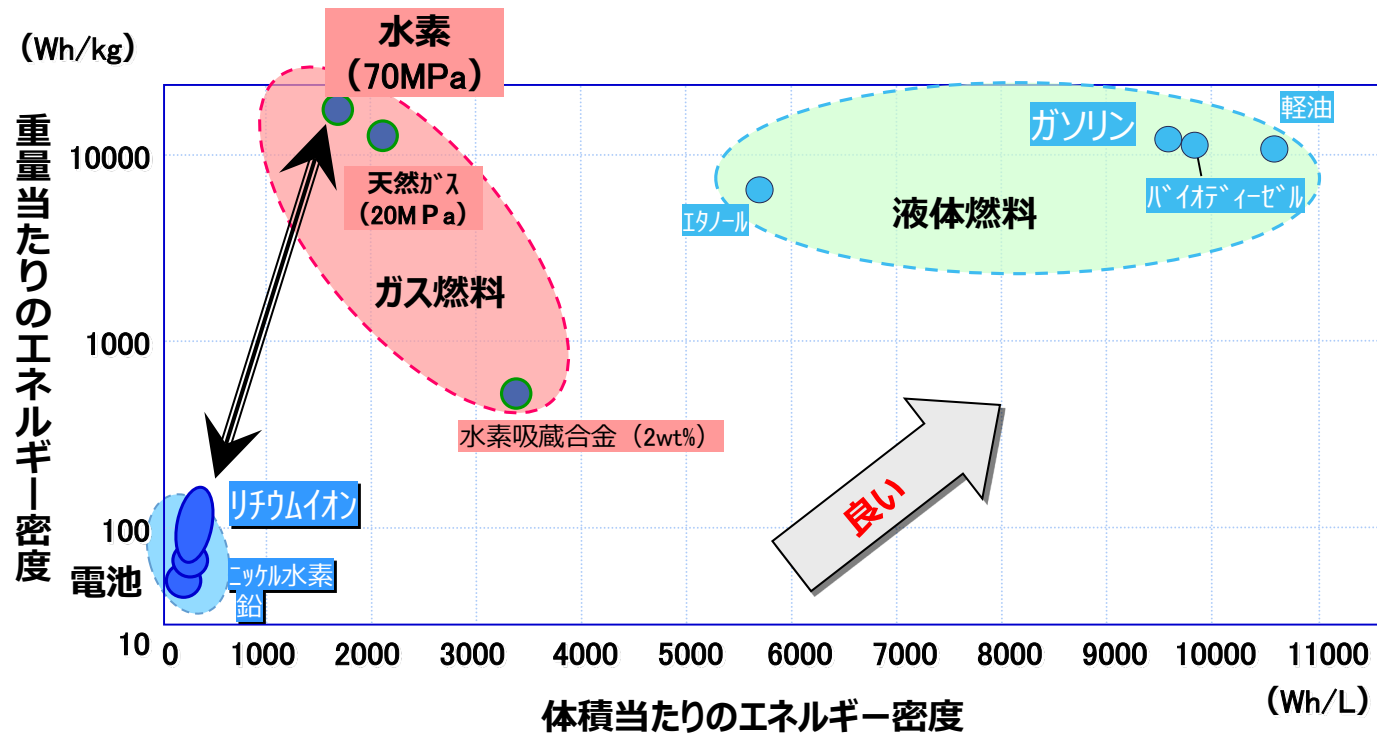
- CO₂を原料とした合成燃料は、発電所や工場等から排出されたCO₂や、将来的には大気中からDAC技術により回収されたCO₂を再利用（カーボンリサイクル）することから、脱炭素燃料とみなすことができる。
- さらに、合成燃料は、原油に比べて硫黄分や重金属分が含まれていないとの特徴があり、排出ガス中に健康影響リスクのあるSO_xを含まないなど、クリーンな燃料である。



液体燃料のエネルギーとしての特徴

- 液体合成燃料は、化石由来のガソリンや軽油等と同様に、エネルギー密度が高いという特徴がある。
- 例えば、大型車やジェット機が電動化・水素化した場合、液体燃料と同様の距離を移動する際、液体燃料よりも大容量の電池・水素エネルギーが必要となる。
- こうした液体燃料は、電気・水素エネルギーへの代替が困難なモビリティ・製品がある限り存在し続ける。

エネルギー密度の比較



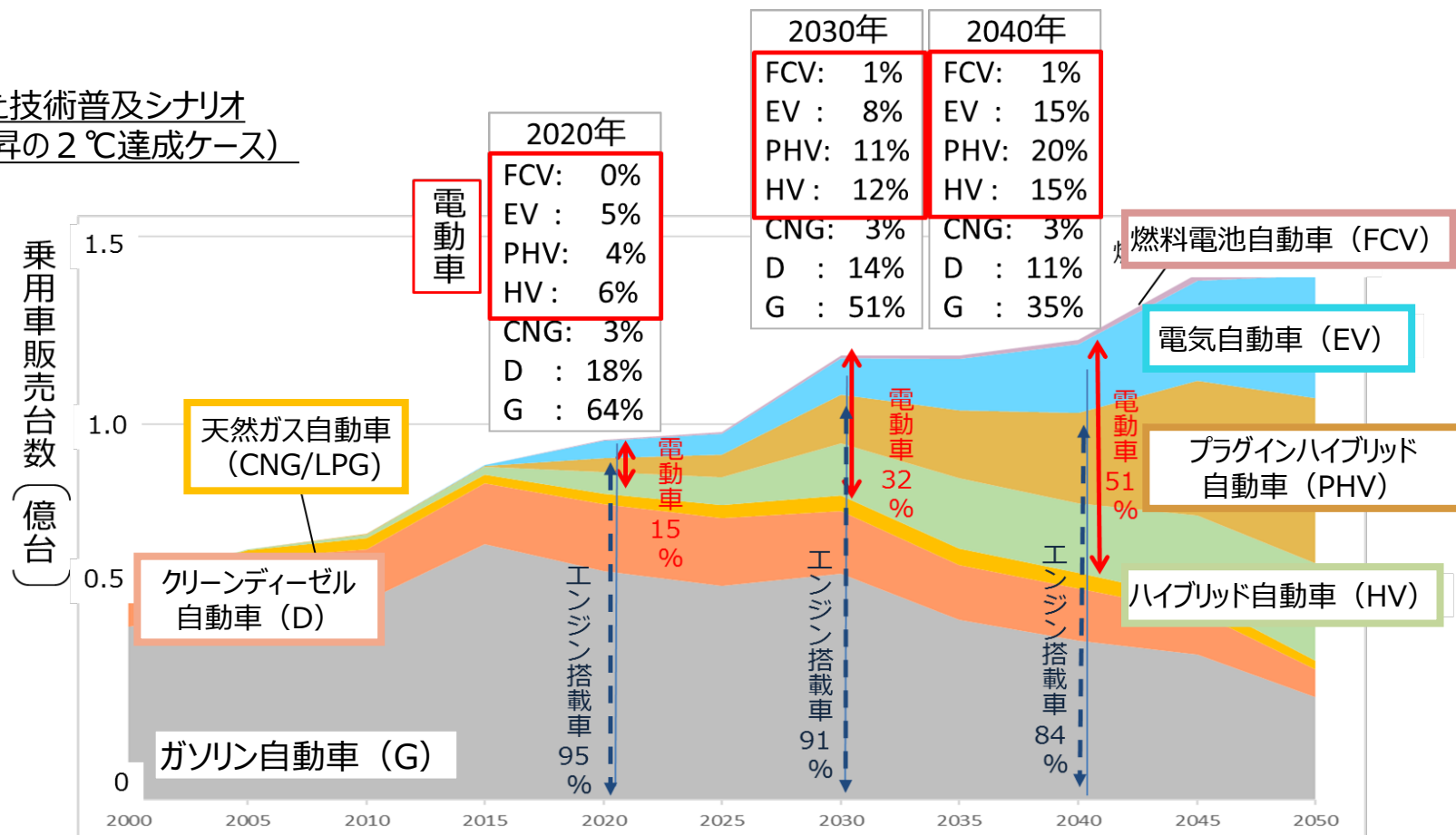
(1) 自動車用燃料としての観点

- 電動車の普及には、車両、蓄電池やインフラなど様々な課題への対応が必要となる。特に、電動化のハードルが高い商用車等については、合成燃料を代替燃料として利用するなど燃料の脱炭素化の取組も追求すべきである。
- 今後、自動車分野においてカーボンニュートラルを実現する上では、バイオ燃料に加え、合成燃料は電動車が潜在的に抱えている課題を克服する解決策の一つとして考えられる。なお、バイオ燃料は原料不足に対する懸念がある一方で、合成燃料は、原料がCO₂とH₂であるため、工業的に大量生産することが可能であるという点で、ポテンシャルがある。
- また、新規の合成燃料開発と合わせた燃料利用技術の最適化を進めることで、相乗効果による更なるCO₂削減が期待される。さらに、将来的に、現在のガソリン、軽油に変わる合成燃料の国際規格の策定についても積極的に関与していく必要がある。

(参考) 2017年IEAによる世界の電動化見通し

- 2017年のIEAの分析によると、世界的な電動化の流れは趨勢だが、エンジン車との併存が続く見通しで、2030年時点では、電動車の割合が32%まで増加する一方で、ガソリン車やハイブリッド自動車等のエンジン搭載車は91%残っている。
- 2040年時点においても、乗用車販売に占める84%はエンジン搭載車のため、世界的にカーボンニュートラルを実現するためには、これらに供給する脱炭素燃料が重要となる。

IEAが示した技術普及シナリオ
(平均気温上昇の2℃達成ケース)

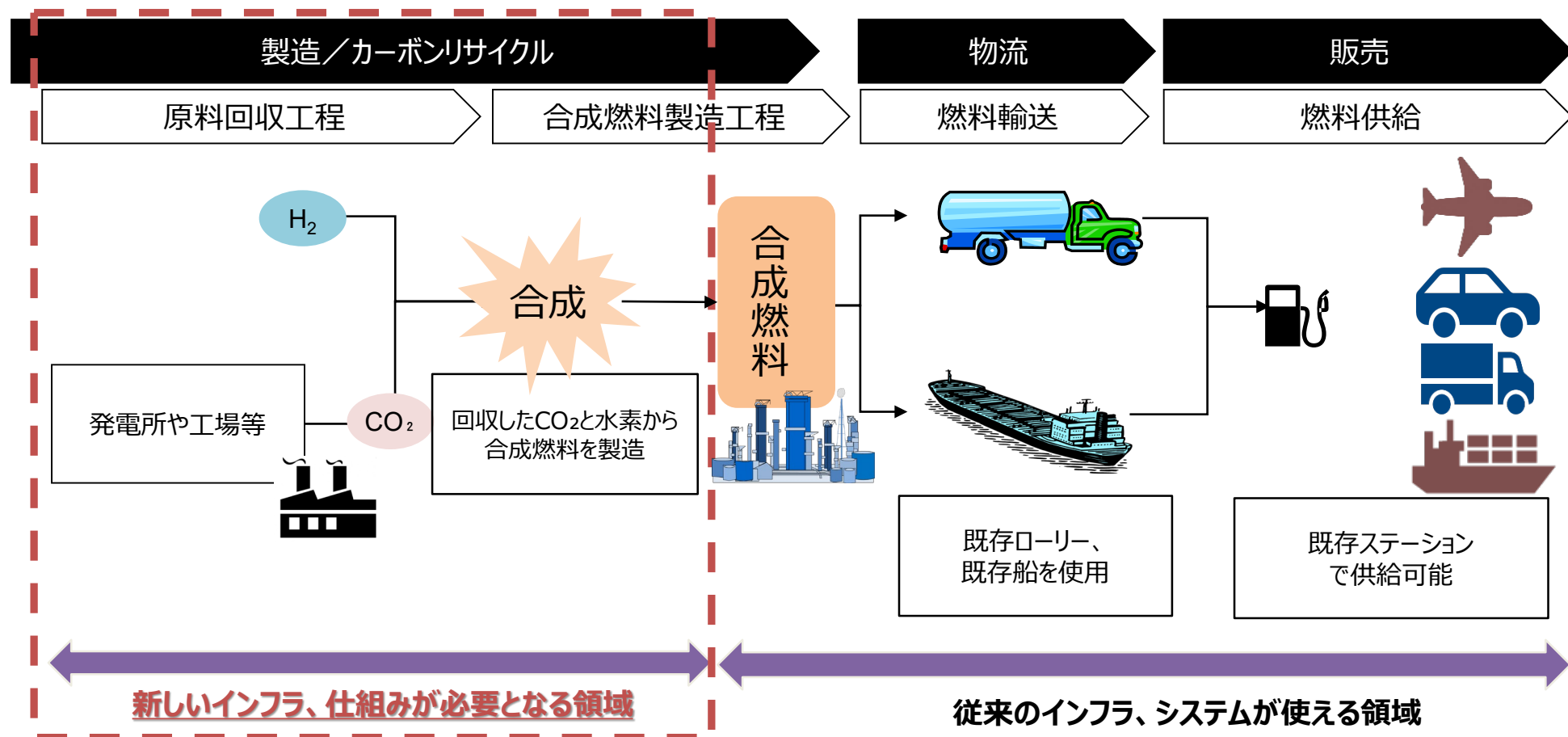


(2) 航空機・船舶用燃料や民生・産業用燃料としての観点

- 航空機・船舶においては、国際機関の要請により、CO₂削減目標が定められており、航空機については、バイオジェット燃料・合成燃料、船舶については水素・アンモニアなどの代替燃料の技術開発をそれぞれ推進。
- 特に航空機については、ICAO（国際民間航空機関）において、2021年以降、国際航空に関してCO₂排出量を増加させないとの目標を採択しており、この目標を達成するための手段としてバイオジェット燃料に加え、合成燃料等の代替燃料の活用が期待。既に商用化されているバイオジェット燃料が先行して活用されることが見込まれるが、バイオジェット燃料の原料不足に対する懸念がある。一方、合成燃料の原料はCO₂とH₂であるため、工業的に大量生産することが可能であるという観点から、SAFとしてのポテンシャルを評価すべき。
- 合成燃料は、そのほかにも、民生用燃料としての利用も想定される。例えば、灯油・LPガス・都市ガスを利用した暖房器具は、エアコンと比較して即暖性が高く、外気温に影響されにくい等の特徴があり、特に寒冷地域では、引き続き需要が残る可能性がある。合成燃料はこうした灯油の特徴を維持することができる。
- また、産業用（ボイラー）燃料として活用するなど、経済的・熱量的・構造的に電化が困難な熱需要の脱炭素化に貢献することも考えられる。

(3) 石油精製業：新たな燃料供給へのチャレンジ

- 合成燃料は、既存の燃料インフラが活用可能であることから、石油精製業のみならず幅広い関連業種にとって、水素など他の新燃料に比べて導入コストを抑えることが可能となり、導入のポテンシャルが高い。
- 特に石油精製業は、国内の石油需要の減少に伴い、精製設備能力の削減が求められるとともに、削減で余剰となったアセット（タンク、土地、人材等）を活かした新規事業への取組が迫られている。こうした中で、既存インフラを活用できる合成燃料の導入は石油精製業にとってもメリットがある。



(4) 液体燃料のレジリエンス／エネルギーセキュリティの観点

- 合成燃料は、レジリエンスの観点からは、化石燃料同様、積雪により停電が発生した地域への燃料配送の継続や、高速道路で立ち往生した自動車に対しても給油することが可能である。加えて、災害対応機能を有するSSなどの既存の燃料供給インフラの活用や既存タンクを活用した備蓄が可能であるなどの特徴がある。
- エネルギーセキュリティの観点からは、合成燃料は国内で工業的に大量生産することができること、常温常圧で液体であるため、水素など他の新燃料に比べて長期備蓄が可能であることといった優位性がある。



積雪により停電が発生した兵庫県香美町や新温泉町では、灯油配送が継続（令和2年12月）



関越自動車道の立ち往生発生状況（令和2年12月18日）
出典：大雪に対する国土交通省緊急発表 令和2年12月28日

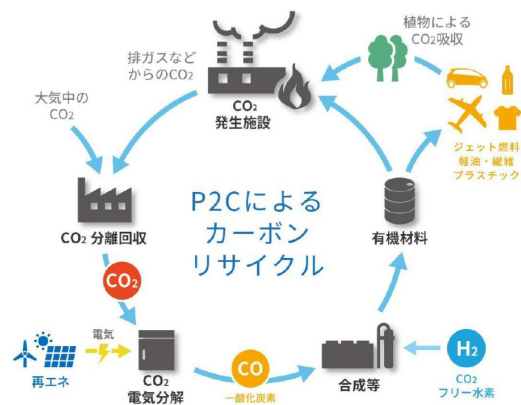
国内の動向

- 東芝エネルギーシステムズ、出光興産等6社は、CO₂をCOに電気分解する技術を用いたプロセスにより排ガスなどからのCO₂を「持続可能なジェット燃料」に再利用する、カーボンリサイクルのビジネスモデル検討を開始。
- 2021年2月から、JPEC（石油エネルギー技術センター）、石油会社（ENEOS、出光興産）等が連携し、CO₂からの液体合成燃料一環製造プロセス技術の研究開発に着手。

カーボンリサイクルの ビジネスモデル検討

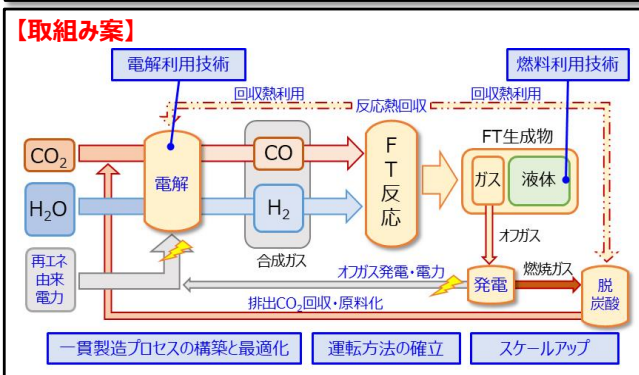
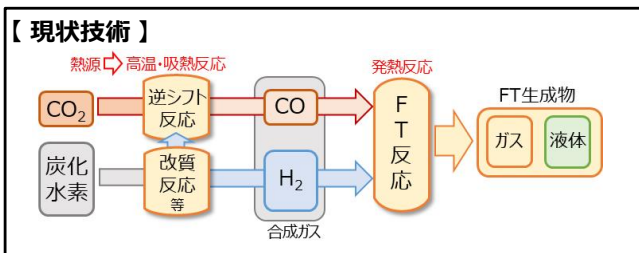


P2C プロセスのイメージ図

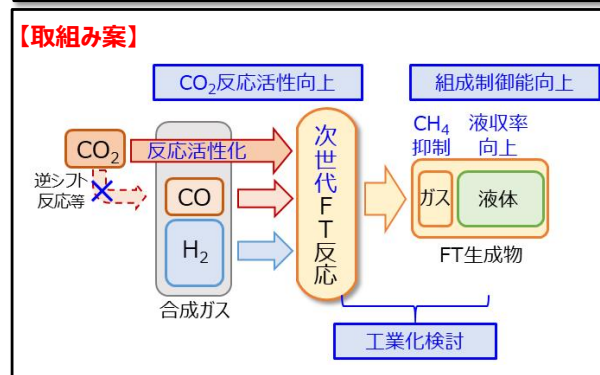
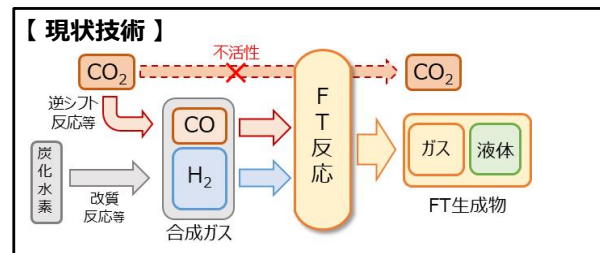


JPEC、石油会社等による研究開発

共電解とFT合成の一貫製造プロセスの研究開発



直接合成（Direct-FT）の研究開発



※各社プレスリリース（2020/12/2）資料より抜粋

海外の動向①

- 近年、欧米を中心に、数多くの研究開発や実証プロジェクトが立ち上がっている。これらのプロジェクトの主体は、欧州の石油会社や自動車会社に加え、水電解やCO₂回収の技術を有するスタートアップやそれらのコンソーシアムが多い。
- 実証フィールドとしては、製油所や、安価な水素調達が見込まれる地域であることが特長。また、特に欧州のプロジェクトについては、政府からの支援を受けて研究開発・実証を行っている場合がほとんど。

企業／大学名（国籍）	a)商用段階、b)実証事業、c)研究開発、d)検討中、e)その他	スケジュール／BD規模／事業費	技術要素／製造プロセス（共電解、D-FTなど）	政府からの支援の有無
Audi（ドイツ）	b)実証事業	2018年に60Lのe-gasolineの生産に成功	—	—
Repsol（スペイン）	c)研究開発（Aramcoと共同）	2024年、50bpd規模で稼働予定 第1弾で6千万ユーロ投資	100MW電解槽 FT合成	欧州イノベーション・ファンド応募（2021年末採否決定）
Total（フランス） パートナー：Sunfire【スタートアップ】	b)実証事業 ドイツTotal Leuna製油所	2021年稼働 150百万ユーロ（メタノール製造 含め一式）	1 MW（SOEC）電解槽	ドイツ政府支援
WESTKUSTE100（ドイツの コンソーシアム名） コンソーシアム：10社	b)実証事業 ドイツHeide製油所を含む工業地帯	2019年7月18日、89百万€の 開発計画公表 2020年8月プロジェクト開始、 5か年	30MW電解槽による製油所 向け水素 本PJ終了後、50～ 100MW（パイロット）、 700MW（大型化）へ移行 FT合成	2020年8月3日、政府支援 予算30百万€承認）
BP（英国）	d)検討中 ドイツBP Lingen製油所	2022年に投資判断	50MW電解槽（将来 500MW）、グリーン水素からサ ステナブル燃料	欧州イノベーション・ファンド応募 （2021年末採否決定）

海外の動向②

会社／大学名（国籍）	a)商用段階、b)実証事業、c)研究開発、d)検討中、e)その他	スケジュール／BD規模／事業費	技術要素／製造プロセス（共電解、D-FTなど）	政府からの支援の有無
Sunfire【スタートアップ】 パートナー：Climeworks【スタートアップ】、INERATEC、KIT	b)実証事業 デモ専用プラント（ドイツ・ドレスデン）	技術ライセンス先 （Norsk e-Fuel、Nordic Blue Crude） より供給開始	共電解（10 kW） Climeworks(DAC)、NERATEC (FT合成)、KIT（水素化分解）	ドイツ連邦教育・研究省BMBFがKopernikus Power-to-Xプロジェクトの一環で資金活用
Norsk e-Fuel（ノルウェー） パートナー：Climeworks【スタートアップ】、Sunfire【スタートアップ】、Paul Wurth	b)実証事業 ノルウェーHeroya	2023年(Phase1) 180bpd 2026年(Phase2) 1,800bpd	SOEC 共電解槽 FT合成	—
Nordic Blue Crude（ノルウェー） パートナー：Norwegian Technological University	b)実証事業 ノルウェーHeroya	2022年 180bpd	アルカリ電解槽 FT合成	独エネルギーロジ会社Marquard & Bahlsが2020年1月、10月に出資
Infinium（米国加州） パートナー：アマゾン、米国三菱重工、英国APベンチャーズ、独Neuman & Esser、グランスム環境トラスト	b)実証事業 （アナウンスがあったが、現状の研究施設情報なし）	(未公表)	e-fuel製造プロセスの概要 ①再生可能エネルギー由来電力を利用し、水電解槽で、グリーン水素を製造 ②独自触媒を使用した反応炉で、CO ₂ とグリーン水素を合成し、合成ガスを生成 ③合成ガスからe-fuelを合成	—

海外の動向③

会社／大学名（国籍）	a)商用段階、b)実証事業、c)研究開発、d)検討中、e)その他	スケジュール／BD規模／事業費	技術要素／製造プロセス（共電解、D-FTなど）	政府からの支援の有無
Haru Oni プロジェクト（チリ） プロジェクトパートナー： チリ電力会社AMF、AIM子会社HIF(Highly Innovative Fuels)、チリ国営石油ENAP、イタリアEnel、ドイツ（Siemens, Porsche, BMWi）、米ExxonMobil	b)実証事業 チリ・マガジャネス州	2022年(パイロット) 130KL/y 2024年(Phase1) 5.5万KL/y 2026年(Phase2) 55万KL/y	Siemens PEM型電解槽 MTG（EM技術）	Siemensは、ドイツ連邦経済エネルギー省（BMWi）から8百万ユーロの補助獲得
航空宇宙センター(DLR)（ドイツ） パートナー：ハンブルク工科大学（ドイツ）、John Brown Voest GmbH（ドイツ）	b)実証事業 パイロットプラント	生産能力は1万トン/年		ドイツ連邦交通・デジタルインフラストラクチャー省（BMVI）からの委嘱によるe-fuel生産プラント
HaldorTopsoe社（デンマーク）	d)検討中 生産検討	—	電解水素とCO ₂ から船舶用再エネメタノールや再エネジェットを生産 10MW in 2023, 250MW in 2027, 1,3GW in 2030	—
オックスフォード大学（英国）	c)研究開発 実験室レベルと思われる	—	鉄系触媒を用い、CO ₂ を直接ジェット燃料に変換	—

合成燃料の製造とコスト（現状の試算値）

- 合成燃料は、現状、化石燃料と比べてコストが高い。国内の水素製造コスト、水素の輸送コストを踏まえると、海外で製造するケースが最もコストを低く抑えられると見込まれる。
- 将来的に、合成燃料のコストは脱炭素燃料であるという環境価値を踏まえて見ていく必要があり、既存燃料と単純な比較をすることは適当ではない。
- 合成燃料のコストを下げるためには、製造効率の向上に加え、CO₂の分離・回収コストやH₂の製造コスト・輸送コストを下げるのが鍵。
- 特に、H₂コストの低減を待つことなく、合成燃料の製造効率向上などの研究開発等の取組を進めることが重要。

H ₂	CO ₂	製造コスト	
100円/Nm ³ ×6.34Nm ³ /ℓ	5.91円/kg×5.47kg/ℓ		※NEDO「CO ₂ からの液体燃料製造技術に関する開発シーズ発掘のための調査（2020.8）」の結果に基づき試算。
= 634円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約700円/ℓ 国内の水素を活用し、国内で合成燃料を製造するケース
(32.9円/Nm ³ + 14.65円/Nm ³) × 6.34Nm ³ /ℓ			
= 301円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約350円/ℓ 海外の水素を国内に輸送し、国内で合成燃料を製造するケース
32.9円/Nm ³ ×6.34Nm ³ /ℓ			
= 209円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約300円/ℓ 合成燃料を海外で製造するケース
20円/Nm ³ ×6.34Nm ³ /ℓ			
= 127円/ℓ	+ 32円/ℓ	+ 33円/ℓ	= 約200円/ℓ 将来、水素価格が20円/Nm ³ になったケース

本事業の目標等と関連する研究開発内容について（液体燃料：合成燃料）

- 本事業では、液体燃料（輸送用）関連として、合成燃料については、高温逆シフト反応とFT合成等を組み合わせた高効率なプロセスの確立を目的として、以下の目標・研究開発内容を設定。

研究開発目標とその考え方等

- 目標（合成燃料）：2040年までの自立商用化（環境価値を踏まえたもの）を目指し、2030年までにパイロットスケール（500BPD規模を想定）で液体燃料収率80%を達成。
- 燃料利用段階のCO₂排出量を現在（110kg-CO₂/km）から半減するための基盤的技術を2027年までに確立。
 - 運輸部門における電動化・水素燃料化のハードルが高い領域について、輸送用燃料の脱炭素化は不可欠。

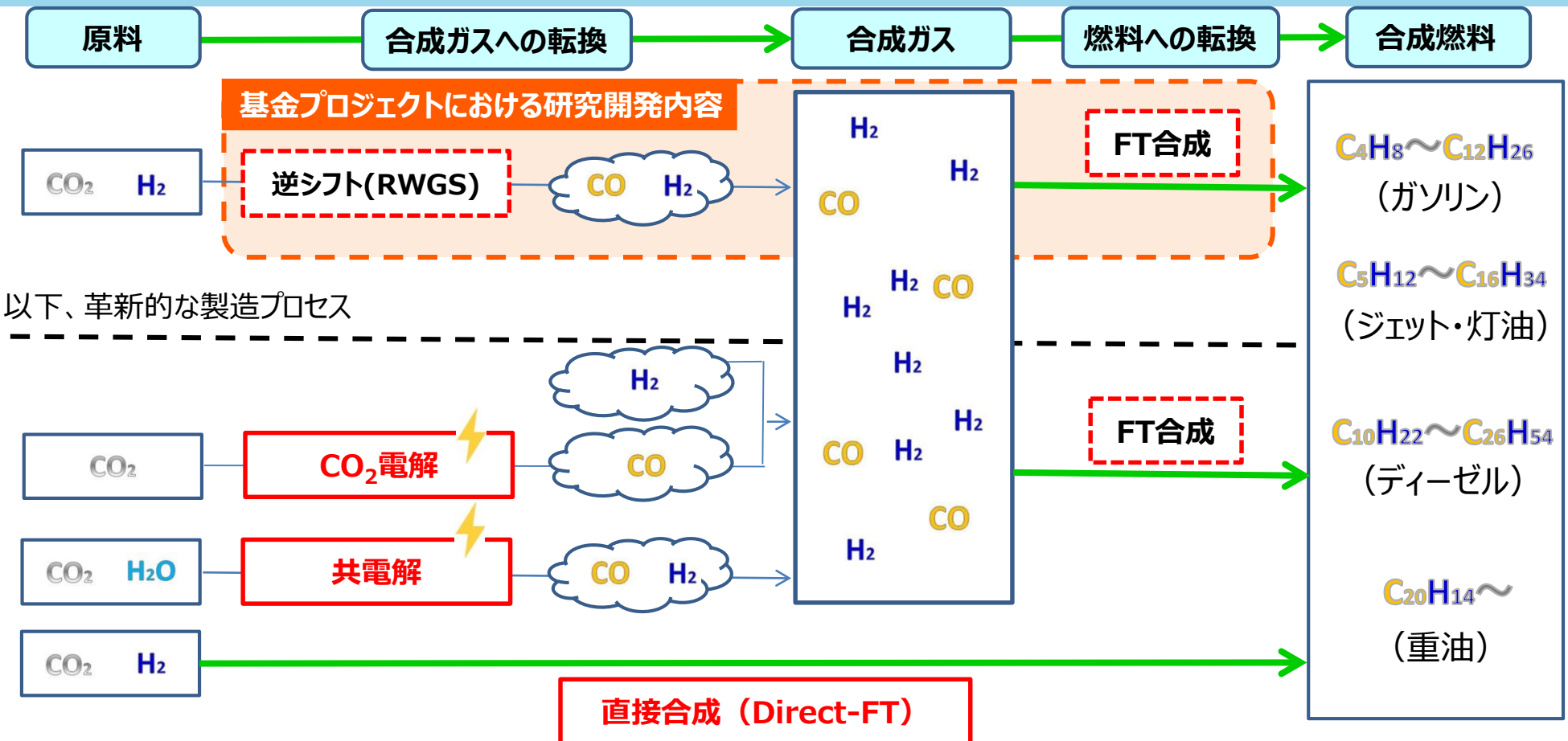
目標 （合成燃料）

内容①：液体燃料収率の向上に係る技術開発

内容②：燃料利用技術の向上に係る技術開発（補助）

合成燃料の製造プロセス

- 合成燃料は、CO₂からCOに転換し（逆シフト反応）、COとH₂を反応（FT合成反応）させて作られる。
- 早期商用化を実現するためには、高効率・大規模な製造技術などエンジニアリングの観点から、既存プロセスを非連続な技術で高効率化するための技術開発・実証を行うことが必要。
- なお、CO₂ 電解、共電解、直接合成（Direct-FT）といった、未だ研究開発段階であるものの、革新的な製造プロセスあり。



合成燃料の製造技術と課題

- 合成燃料を製造する技術として、①CO₂をH₂により還元してCOを製造する逆シフト反応、②COとH₂から炭化水素を製造するFT合成、③FT合成粗油を水素化異性化、分解することでガソリン、SAF、軽油までの製品にアップグレーディングする一貫製造プロセスを開発する。
- CO₂は極めて安定な物質であるため、反応性の高いCOに還元する工程を含めた全体で効率的なプロセス開発を目指す。
- 逆シフト反応により生成したCOを、さらに高効率で燃料に転換するためには、未反応原料を再原料化することやエネルギーの全体最適の観点から、後段のFT合成工程と高度に連携を図る必要があり、プロセス全体の総合効率を高めることが実用上極めて重要となる。

逆シフト反応-FT合成

<化学式> $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ 逆シフト反応
 $n\text{CO} + 2n\text{H}_2 \rightarrow (\text{CH}_2)_n + n\text{H}_2\text{O}$ FT合成

<概要>

- ・熱を加えた触媒反応にてCO₂をCOに還元し、生成したCOとH₂からFT合成粗油製造
- ・逆シフト反応は反応温度によっては理論上はCOの収率を向上することが可能であるが、エネルギー消費等、運転コストや装置コストの観点から条件最適化を目指した一貫製造システムの開発が重要

<技術課題>

- ・高効率に液体燃料製造を実現する一貫製造プロセスの構築

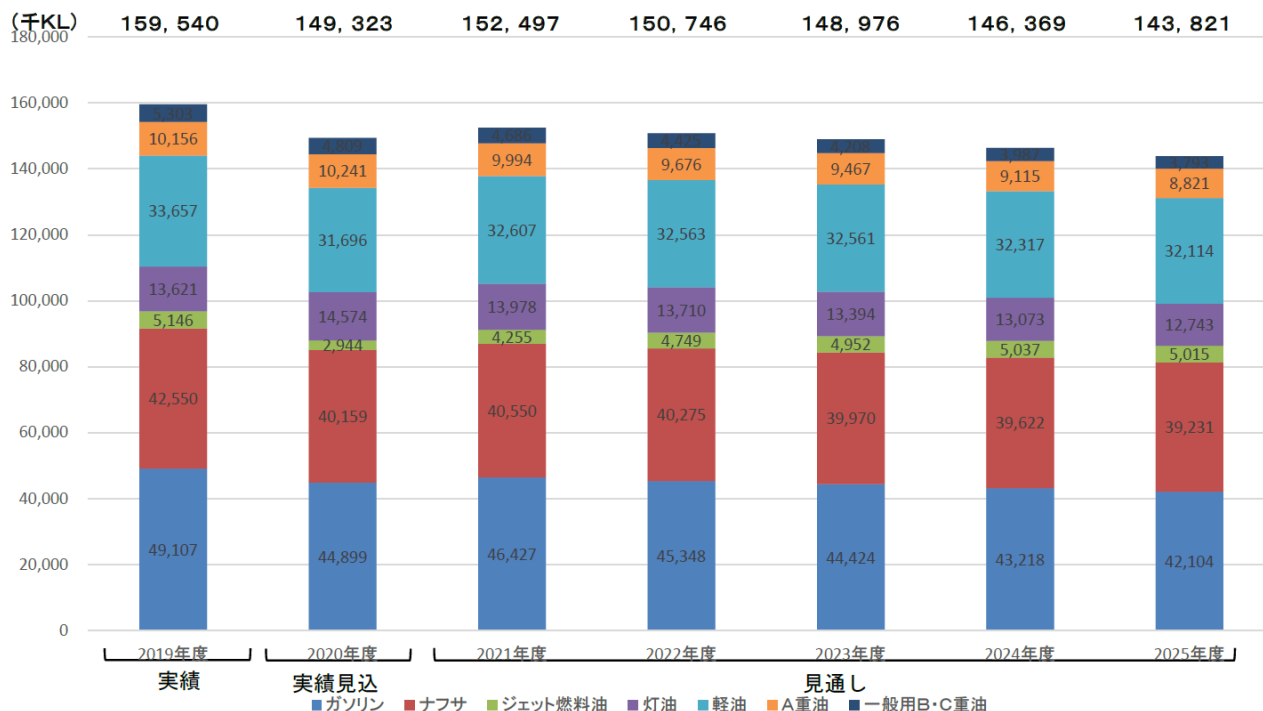
逆シフト反応-FT合成、
アップグレーディング開発
と技術確立

パイロット実験を通じた
一貫通貫プロセス完成

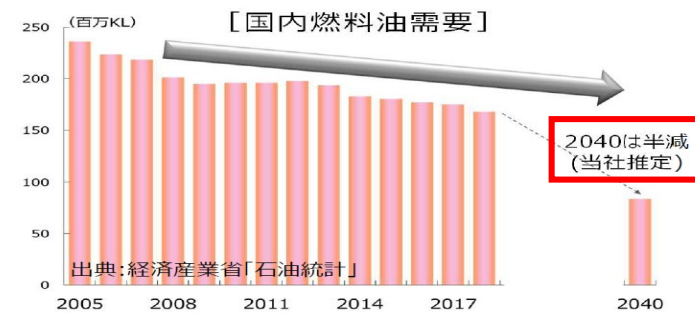
国内の石油製品需要について

- 現在、国内需要は減少傾向が続いており、2021～2025年度平均▲1.5%。特にガソリン需要については、乗用車燃費改善等により、▲2.4%で推移する見通し。
- さらに、石油会社は、中期経営計画において、2040年には石油需要が半減すると見通している。

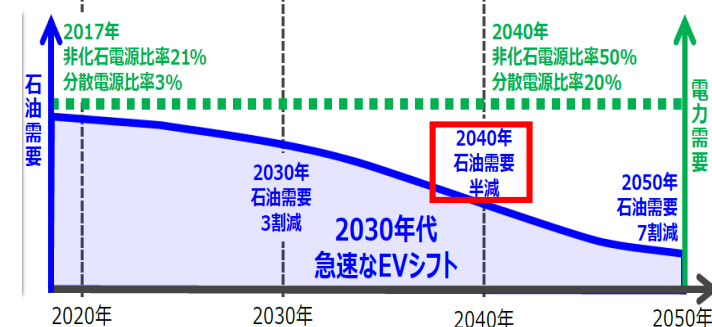
＜国内の石油製品需要＞



＜ENEOSの石油需要見通し＞



＜出光興産の石油需要見通し＞



※両社の中期経営計画から抜粋

合成燃料の研究開発の加速化

- 早期商用化を実現するため、既存技術を最大限活用しつつ、商用可能なレベルに引き上げるには、製造プロセス全体のさらなる高効率化のための技術開発や、大規模かつ長期連続、安定した製造を実現するための製造設備の設計開発や製造実証を引き続き行う必要がある。
- また、CO₂電解等の革新的な製造プロセスは、熱マネジメントによる製造効率の飛躍的向上等の観点から重要であり、その開発にも、産学官で連携するなどにより取り組んでいく必要がある。
- こうした技術開発・実証を今後10年で集中的に行うことで、2030年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し、2030年代に導入拡大・コスト低減を行い、2040年までの自立商用化（環境価値を踏まえたもの）を目指すべき。
- 国内の石油製品需要が減少していく中、合成燃料の早期商用化により、合成燃料を製造する技術を世界に先駆けて我が国企業が確立し、海外各国へこうした技術や設備、それらの利用に係るノウハウ・知見等を展開することで、世界における合成燃料に係る市場を獲得することに繋がる。

< 「グリーン成長戦略」より抜粋 >

		現状と課題		今後の取組						
カーボンリサイクル燃料	合成燃料（※4）	商用化に向けた課題はコストと製造技術の確立			合成燃料の大規模化・技術開発支援					
		・CO ₂ と水素を合成して製造される脱炭素燃料。 ・特徴は、化石燃料と同様に液体燃料であるため、高エネルギー密度と可搬性。 ・商用化に向けた一貫製造プロセス未確立。 （※4）発電所や工場から回収したCO ₂ と水素を合成して作られる液体燃料。			・既存技術（逆シフト反応＋FT合成プロセス）の高効率化や製造設備の設計開発。 ・革新的新規技術・プロセス（共電解、Direct-FT等）の開発。 ・2030年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し、2030年代に導入拡大・コスト低減し、2040年までの自立商用化（※5）を目指す。 ・2050年にガソリン価格以下のコストを実現することを目指す。 （※5）自立商用化フェーズにおける合成燃料のコストは、その環境価値を含めたコストであると想定される					
※代表事例を記載		2021年	2022年	2023年	2024年	2025年	～2030年	～2040年	～2050年	
●カーボンリサイクル燃料（ii）合成燃料 コスト目標 2030年 100円台/L （＝既製品と同等）		合成燃料の製造技術の開発 ・既存技術（逆シフト反応＋FT合成プロセス）の高効率化 ・製造設備の設計開発			大規模製造の実証			導入拡大・コスト低減	自立商用	
		合成燃料の革新的製造技術の開発 ・CO ₂ 電解（＋水電解）＋FT合成プロセスの研究開発 ・共電解＋FT合成プロセスの研究開発 ・直接合成（Direct-FT）プロセスの研究開発								

脱炭素燃料としての国際的評価と枠組みの構築

- 合成燃料は、燃焼時にCO₂を排出するものの、製造時にCO₂を再利用していることから、カーボンニュートラルであるとみなせる。合成燃料の導入拡大のためには、合成燃料が脱炭素燃料であるとの国際的評価を確立することや、発電所・工場等から排出されるCO₂を回収して利用する場合に、CO₂削減分のカウントを発電所・工場等側と燃料製造側とでどのように割り振るべきかといったルールを作ることが重要であり、今後、国際的議論に積極的に参画していく必要がある。
- 合成燃料の製造場所が海外である場合、海外で回収されたCO₂を消費国のCO₂削減分としてカウント（オフセット）しなければならない。合成燃料が国内のみならずグローバルなサプライチェーンの中で製造される可能性が高いことを踏まえれば、カーボנקレジット制度を通じて、合成燃料製造時に回収されるCO₂のオフセットの枠組みを構築していく必要がある。

合成燃料利用時	合成燃料の製造場所		評価
国内 +CO ₂	発電所・工場等 +CO ₂	国内 国内 -CO ₂	国内CN (CO ₂ =0)
		海外 海外 -CO ₂ 海外CO ₂ 減少分を国内カウントする場合 海外CO ₂ 減少分を国内カウントできない場合	国内CN (CO ₂ =0) 国内 +CO ₂
	DAC	国内 国内 -CO ₂	国内CN (CO ₂ =0)
		海外 海外 -CO ₂ 海外CO ₂ 減少分を国内カウントする場合 海外CO ₂ 減少分を国内カウントできない場合	国内CN (CO ₂ =0) 国内 +CO ₂

出典：合成燃料研究会中間取りまとめ

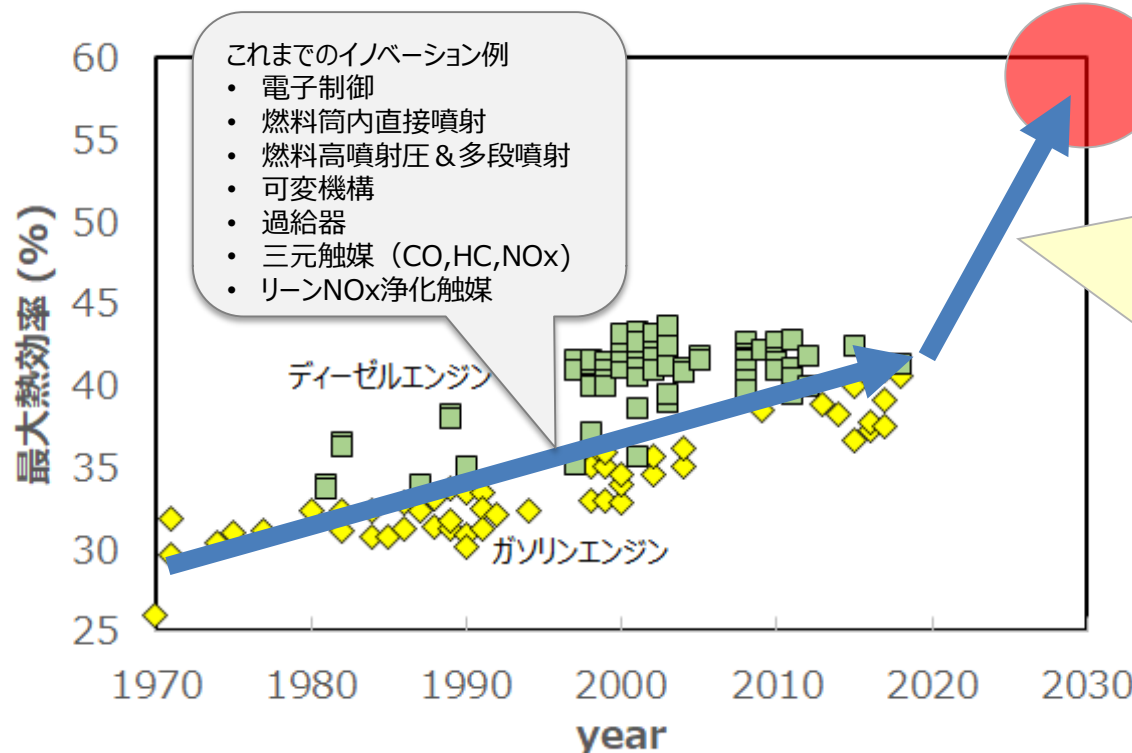
合成燃料と合わせた燃焼関連技術の進化の必要性

- 普及初期段階では、合成燃料の販売価格は、既存の化石燃料と比較して高くなる可能性。
- 合成燃料開発を合わせ、燃費向上による消費者負担の軽減、合成燃料の組成に適合した最適な燃焼関連技術を開発する必要。

⇒合成燃料に適合する超高精密燃焼制御、ゼロエミッション排気浄化触媒等の革新技術が必要

燃焼技術の進化のトレンド

⇒本事業では、革新技術の開発により、
これまでのトレンドの約2倍以上のスピードでの進化を目指す



これから必要となるイノベーション例

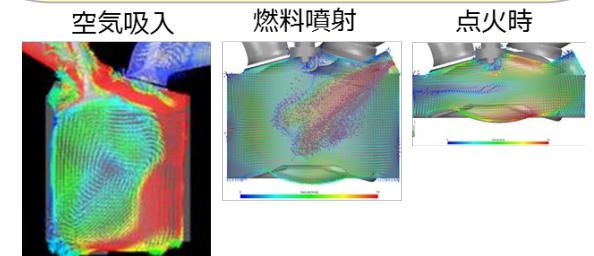
■ 超高精密燃焼制御技術

- ・ 空気・燃料の燃焼室内分布の精密制御、点火/着火・燃焼の一連の化学反応制御により、様々な運転条件で最高効率となる燃焼状態を実現
- ・ フリクション低減のための部品表面形状・コーティング材料等の革新技術開発

■ ゼロエミッション排気浄化触媒技術

- ・ 低温・高温時の浄化性能向上とエネルギーロス低減の両立のための新触媒材料・新構造・機能統合
- ・ 排ガス浄化触媒の劣化機構解明と改善

⇒合成燃料の組成に適合する形で
技術開発を進める必要



エンジン内の燃料流動イメージ

CO₂等を用いた燃料製造技術開発（液体燃料：合成燃料）

直接コントロールできる部分

経済・社会等の変化
（誰が／何が、どう変化することを目指しているか）

（インプット）

（アクティビティ）

（アウトプット）

（短期アウトカム）

（中長期アウトカム）（インパクト）

予算

[2021－
2030年]

（合成燃料）

- ① 高効率な液体燃料製造を実現する触媒等の研究開発
- ② 大規模製造を実現するための製造設備の設計開発

→ **パイロットスケール（500BPD規模）で液体燃料収率80%の達成**

[測定指標]
プラントの運転実績で評価[2031年見込]
上記数値目標達成

**2030年
CO₂削減効果**

[測定指標]
CO₂削減量試算値
[2030年見込]
約7.5万トン

**2050年
CO₂削減効果**

[測定指標]
CO₂削減量試算値
[2050年見込]
約1.2億トン

**2050年
カーボン
ニュート
ラル達成**

（合成燃料）

- ③ 燃焼技術・排ガス処理技術の高度化の基礎研究及び利用実証

→ **燃料利用段階のCO₂排出量を半減する技術の確立**

[測定指標]シミュレーションモデル
[2027年見込]基盤的技術確立

**2030年
経済波及効果**

[測定指標]
－（未商用化）
[2030年見込]
－（未商用化）

**2050年
経済波及効果**

[測定指標]
国内市場規模推算値
[2050年見込]
約7.1兆円

**経済効果
190兆円**

アウトカム（世界市場規模推計）試算の考え方

- ・合成燃料におけるアウトカムは、2021～2025年度石油製品需要見通しを参照して試算された国内需要規模及び削減ポテンシャルを算出したもの

目次

1. 背景・目的

2. 各燃料における課題、目標、研究開発項目等

(1) 合成燃料

(2) 持続可能な航空燃料 (SAF)

(3) 合成メタン

(4) グリーンLPG

3. スケジュール

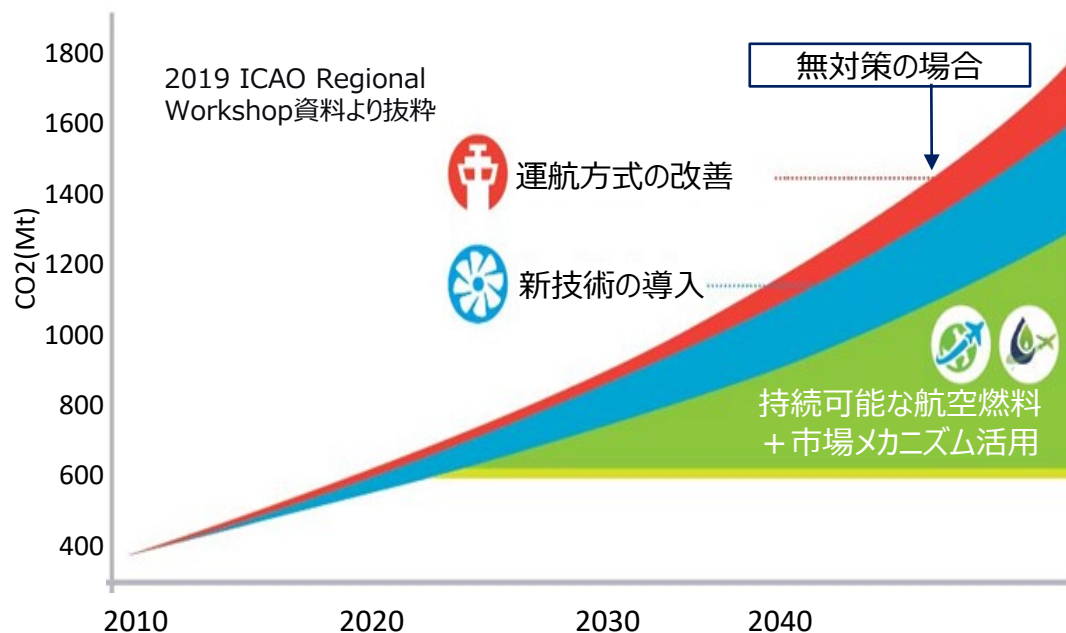
SAFが必要となる背景① ICAOによる国際航空輸送分野でのCO₂排出規制

- 航空業界の国際機関である**ICAO**において、国際航空輸送分野における**2021年以降のCO₂排出量**を、**2019年のCO₂排出量（基準排出量）に抑える**ことが目標とされている。
- 航空会社は、その目標を達成するために、CO₂排出量を削減しなければならない。そのための達成手段として、**持続可能な航空燃料（SAF : Sustainable Aviation Fuel）**の導入が必要とされている。

<国際航空からのCO₂排出量予測と排出削減目標のイメージ>

目標達成の手段

- ①新技術の導入（新型機材等）、②運航方式の改善、
③**持続可能な航空燃料活用**、④市場メカニズム活用



<CO₂削減枠組みスケジュール>

2021年～2026年

- 対象国※のうち**自発参加国**の事業者のみ、排出量を抑制する義務が発生。
- 日本は自発参加国であり、**ANA、JAL**等が対象。

2027年～2035年

- 全ての対象国**の事業者に、排出抑制義務が発生。
- 中国、ロシア**等の一部大国も義務化の対象。これにより、**SAFやクレジットの必要量が増大する可能性有**。

2035年～

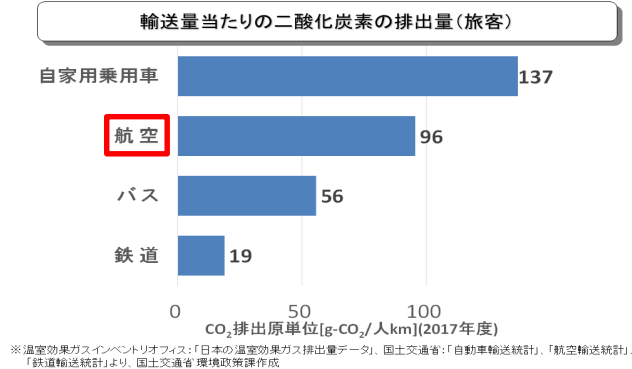
ICAOにおいて**中長期目標検討中**

（※）対象は、最大離陸重量5,700kg以上の事業者。

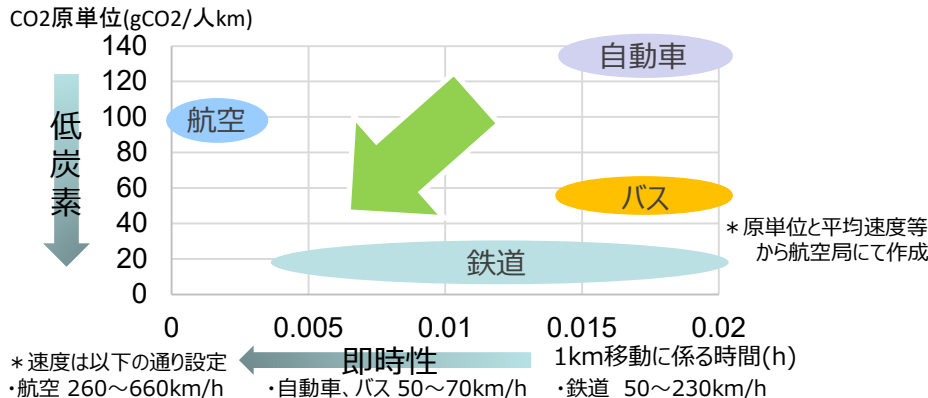
SAFが必要となる背景② 世界的な航空分野における脱炭素化の潮流

- 航空のCO₂排出量は、自家用乗用車と比較すると少ないものの、鉄道等の公共交通と比較すると多い（図①）。CO₂排出の観点から、欧州を中心に、航空の利用を「飛び恥」として懸念する動きも出ている。
- 一方、CO₂の排出量原単位と移動時間の関係を見ると、航空は必ずしも他のモードに代替できるものではないと言える（図②）。また、現在のジェット燃料（ケロシン）に代替できる燃料が直ちにない（図③）。
- 島国である我が国は、外国との往来を航空に依存していることに加え、外国人旅行者の誘致の観点からも、航空セクターの積極的なCO₂削減を推進する必要がある。諸外国の動きに照らせば、気候変動対策の観点のみならず、我が国航空関連産業の国際競争力維持・強化のためにも、脱炭素化の取組は待ったなしの課題である。

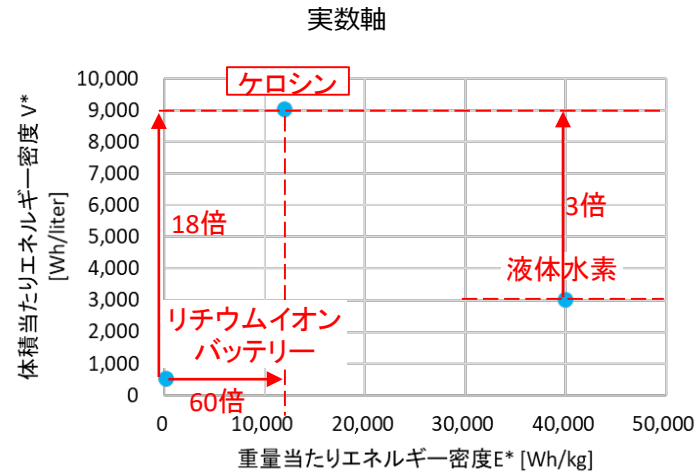
①モード別輸送量当たりのCO₂排出量の比較



②輸送モード別の原単位と移動に係る時間



③航空分野に使用される燃料別のエネルギー密度



出所) Electric Flight – Potential and Limitations, Martin Hepperle, German Aerospace Center, Institute of Aerodynamics and Flow Technology (Martin Hepperle)

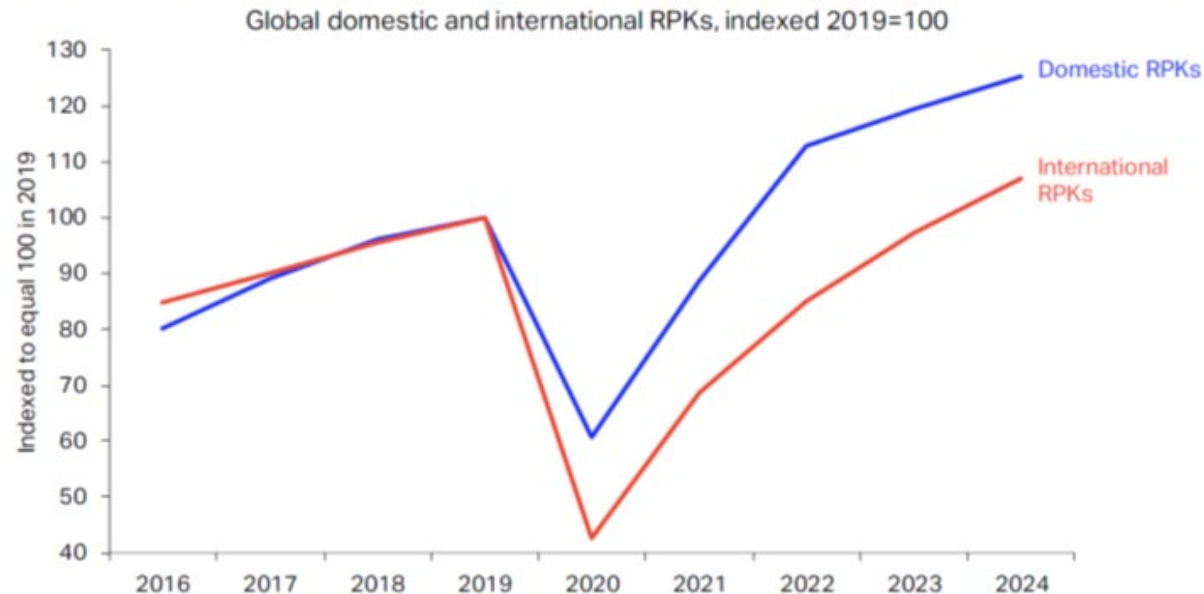
現状使用されている燃料であるケロシンは、
 ・リチウムイオン電池の重量当たり約60倍、
 ・液体水素の体積当たり約3倍
 の高エネルギー密度を有する。

新型コロナウイルス感染症の拡大による航空業界への影響

- 新型コロナウイルス感染症の拡大前、アジア太平洋を中心に、世界の旅客需要は年率約5%で右肩上がりに拡大したが、新型コロナウイルス感染症の拡大による旅客需要が激減。**旅客需要が2019年水準に回復するには2024年まで**かかるとの予測。
- その後は新興国等の経済成長を背景に**約3%程度の持続的な成長**を遂げると見込まれている。

(IATAによる航空需要の見通し)

International RPKs will lag domestic air travel markets
International air travel may not recover 2019 levels until 2023-24



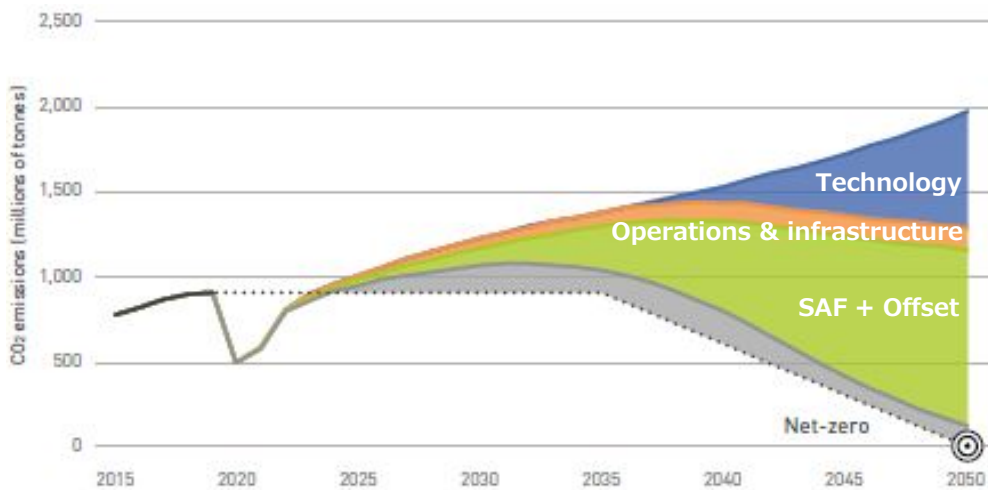
Source: IATA/Tourism Economics, Air Passenger Forecasts, April 2020



世界の航空業界におけるゼロ・エミッション実現に向けた道筋

- 2021年10月、世界の航空会社で構成される業界団体であるIATAは、航空輸送分野における2050年のCO₂総排出量をネットゼロとする目標を発表。
- また、世界の航空機メーカーや業界団体等が参加するATAG（Air Transport Action Group）は、2020年9月に世界の航空業界の気候変動アクションをまとめた「Waypoint 2050」を公表し、航空分野において、2060～2065年までにゼロ・エミッションを実現する道筋を提示。2050年時点での脱炭素のための方策のうち、SAFのシェアは半分以上と想定されている。
- なお、世界のSAF供給量は、2020年時点で約6.3万kL（世界のジェット燃料供給量の0.03%）。

ATAG 技術革新等の想定シナリオに基づく
ゼロ・エミッション実現の排出パス(SAF利用が多くなるケース)



ATAG 世界の年間SAF生産量の推定値

Year		2020	2021E	2022F	2023F	2024F	2025F	2026F	2027F	2028F	2029F	2030F
F1	000 tonnes	50.4	80	376	1,092	1,877	3,071	4,299	4,914	6,142	7,370	9,213
	m litres	63	100	470	1,365	2,346	3,839	5,374	6,142	7,677	9,212	11,516
	% of fuel	0.03%	0.04%	0.15%	0.4%	0.6%	1%	1.3%	1.5%	1.8%	2.1%	2.5%
F1 high	000 tonnes	50.4	95	562	1,632	2,806	4,591	6,427	7,346	9,182	11,018	13,773
	m litres	63	119	703	2,040	3,507	5,739	8,034	9,182	11,477	13,773	17,216
	% of fuel	0.03%	0.05%	0.22%	0.6%	0.9%	1.5%	2.0%	2.2%	2.6%	3.1%	3.7%
F1 high+	000 tonnes	166	978	2,838	4,879	7,984	11,178	12,774	15,968	19,162	23,952	29,940
	m litres	208	1,222	3,548	6,099	9,980	13,972	15,968	19,960	23,952	29,940	37,216
	% of fuel	0.09%	0.4%	1%	1.6%	2.6%	3.5%	3.8%	4.6%	5.3%	6.5%	8.1%
Production facilities (expected date to start producing)		At least 30 additional facilities (or expansions) anticipated in the 2025-2030 timeframe										
		Fulcrum (US)										
		World Energy (US exp)										
		LanzaTech (Nth Asia / EU)										
		SkyNRG (NL)										
		Velocys (UK)										
		Red Rock (US)										
		UPM (US)										
		Gevo (US)										
		Neste (SG exp)										
		ECB (PY)										
		Marathon (US)										
		Total (FR)										
		Repsol (CO)										
		Preem (SE)										
		ST1 (SE)										
		Phillips 66 (US)										

(参考) 本邦エアライン (ANA、JAL) におけるSAFの位置付け

- **ANA**は、**2050年長期環境目標**として、**航空機の運航で発生するCO₂排出量を実質ゼロ**を掲げている。同社は、排出量削減策の中心としてSAFを位置付け、**国産SAFの産業育成、量産体制の構築が課題**と言及。
- **JAL**は、**2050年のCO₂排出量実質ゼロの目標**に向けて、**機体・機材の更新や運航工夫の取組**に加え、**SAFの活用** (CO₂削減への寄与 = 45%) を挙げている。

<ANA>

ANA HOLDINGS NEWS

2021年4月26日

(要旨)

- 長期環境目標：「2050年度までに航空機の運航におけるCO₂排出量実質ゼロ」
- 中期環境目標：「2030年度までに航空機の運航で発生するCO₂排出量総量を2019年度グループ全体の排出量以下（実質）」
- 国産SAFの産業育成・量産体制構築に向けて、今後も積極的に参画してまいります

◆中長期環境目標

	テーマ	2030 年中期環境目標	2050 年長期環境目標
1.	航空機の運航で発生するCO ₂ 排出量総量	2019 年度以下（実質）	実質ゼロ（目標更新）
2.	航空機の運航以外で発生するCO ₂ 排出量	2019 年度比 33%以上削減	実質ゼロ
3.	資源類の廃棄	2019 年度比 70%以上削減	ゼロ
4.	機内食などの食品廃棄率	2019 年度廃棄率 4.6%を3.8%以下に削減	廃棄率 2.3%以下に削減 (2019 年度比廃棄率 50%削減)

◆SAFの安定供給に向けて

ANAグループは航空機の運航において環境貢献価値の高いSAFの活用をCO₂排出量削減策の中心に据えています。環境目標の達成、そして日本の航空業界がCO₂排出量削減に貢献していく為には**SAFの安定供給**ならびに**価格競争力の確保**が必要不可欠と認識しており、その為には**国産SAFの産業育成、量産体制の構築が喫緊の課題である**と考えています。

<JAL>

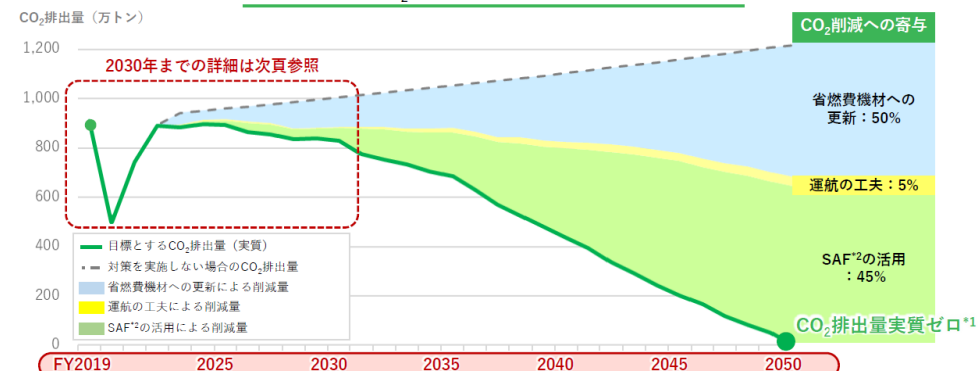


2050年のCO₂排出量実質ゼロに向けて

誰もが豊かさを感じられる未来のために、2050年の目標達成を目指す



JALグループのCO₂排出量実質ゼロ^{*1}に向けたロードマップ



省燃費機材への更新	当面は最新鋭の省燃費機材を活用し、将来的には水素や電動などの新技術を使った航空機を導入
運航の工夫	自社の取組み（JAL Green Operations）に加え、管制機関・航空会社・空港運営会社等、業界全体で協働を推進
SAF ^{*2} の活用	脱炭素社会を目指すステークホルダーとの協働により、SAF ^{*2} の供給量を確保するとともに費用削減を推進

^{*1}：事業活動による実際のCO₂排出量と、施策による削減量との均衡を達成すること = Net Zero Emission（排出権取引やCCS(CO₂吸収技術)などの活用も含む）

^{*2}：Sustainable Aviation Fuel = 代替航空燃料

欧米のエアラインにおける環境対応

- アメリカン航空、ユナイテッド航空、IAG、Finnairが、**2050年までの排出をゼロとする目標**を発表。SAF供給事業者との購買契約や出資、研究開発・実証を通じて、SAFの導入を進める動きがある。

＜欧米エアラインの取組＞

		American Airlines	United Airlines	Delta	IAG	Lufthansa	KLM・AirFrance	Finnair
ジェット燃料消費量 (含国内線)		約1,700万kL	約1,600万kL	約1,600万kL	約1,200万kL	約1,300万kL	約1,100万kL	約140万kL
CO2 削減目標	短中期	2020年以降は純CO2排出量に上限	—	2021～35年の国際線CO2排出増加をカーボンニュートラル化	2020年1月から全ての国内線の排出量のオフセット	2020年からのCO2ニュートラルな成長	2030年にCO2フットプリントを2005年比▲15%	2025年までにネットCO2排出量2019年比▲15%
	長期	2050年までに100%GHG削減(機材更新、航空技術、運航技術、SAF、オフセット)	2050年までに100%GHG削減(オフセットを含まない)	2050年までに純CO2排出量2005年比▲50%	2050年までにCO2排出量をネットゼロ	2050年までに純CO2排出量2005年比▲50%	—	2045年までにカーボンニュートラル
SAF	購買契約	—	World Energy、Fulcrumと調達契約	GEVO、Northwest Advanced Bio-Fuelsと調達契約	LanzaJet社と調達契約	NESTE、GEVOと調達契約、World Energyから供給	NESTE、SkyNRGとの調達契約	Nesteとの調達契約、World Energyから供給
	出資	—	Fulcrumに出資	—	—	—	—	—
	調達スキーム	Deloitte社とSAF Certificateと呼ばれるSAF購入スキームの立ち上げ	—	—	—	—	企業向けSAF購入サービス有り	SkyNRGと提携したサービス
	R&D・実証	HEFA+の導入	Fulcrumと連携 Direct Air Captureに取組むベンチャーに出資	Northwest Advanced Bio-Fuelsと連携	シェル・Velocysと連携。	Power-to-Liquid、CCUSの取組みあり	欧州Flightpathイニシアチブに積極関与	—

(参考) 主要国におけるSAFの開発製造関連の予算措置

- 欧米各国では、SAFに対して研究開発支援、製造支援等の予算措置を講じている。

国	主体	概要
米国	DOE（エネルギー省）など	2021年4月8日に、航空用や海運用の低コスト・低CO₂バイオ燃料の開発に6,140万\$を拠出する計画を発表。 2021年5月14日に、ARPA-Eを通じバイオ燃料生産プロセスにおいて発生するCO₂を減らしつつ生産量を最大化する研究プロジェクトを15件採択、3,500万\$を拠出。 2030年までにSAF生産量を年間30億ガロン（約1,140万kl）以上に増加することを目指した連邦政府の「持続可能な航空燃料のグランドチャレンジ」を推進 - SAFプロジェクト及び製造業者を支援するために総額43億ドルにのぼる資金支援
英国	英国政府	2020年11月18日に「グリーン産業革命」を推し進めるための新政策「10-Point Plan」を発表、1,500万ポンドのSAF製造支援を表明。2021年3～4月に入札を行い、SAF製造技術の実装を支援。
欧州	欧州連合（EU）	- HyFlexFuel：食料や飼料の生産と競合しない、特定の地域の原料を使用するように適応できる輸送用燃料（航空燃料を含む）を生産する技術開発プロジェクト（4年間、504万ユーロ（600万ドル）。ドイツのBauhaus Luftfahrt社がコーディネート） - HIGFLY (Higee to Furanic-Based Jet Fuel Technology) program：麦や稲わら、サトウキビのバガス、綿花の茎、伐採時に出る林地残材など、さまざまな非可食の木質バイオマスからSAFを製造 - 欧州連合（EU）から400万ユーロ（480万ドル）の助成金を受け、オランダのアイントホーフエン工科大学(Eindhoven University of Technology)が主導

(出典)

- https://www.energy.gov/articles/doe-announces-614-million-biofuels-research-reduce-transportation-emissions
- https://arpa-e.energy.gov/news-and-media/press-releases/us-department-energy-invests-35-million-dramatically-reduce-carbon
- https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution/title
- https://www.ainonline.com/aviation-news/air-transport/2020-11-19/new-focus-saf-uks-green-industrial-revolution

- https://avinor.no/globalassets/_konsern/om-oss/rapporter/en/avinors-annual-report-2019_en.pdf (p16)
- https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/09/fact-sheet-biden-administration-advances-the-future-of-sustainable-fuels-in-american-aviation/
- https://www.swedavia.com/contentassets/27ccd93d09b8494a952af82b8f648f5e/saf-incentive-2021.pdf
- https://cordis.europa.eu/project/id/764734
- https://www.higfly.eu/project

海外の主なSAF製造事業者

原料調達

製造

利用

NESTE (フィンランド)	- 事業者：NESTE - 原料：廃食油、動物性脂肪、魚脂肪等 - 量：公表情報なし - 調達場所：フィンランド、オランダ、東南アジア等 - 調達方法：NESTEが供給契約を結び調達	NESTE社が運搬	- 製造者：NESTE - 製造場所：フィンランド、オランダ、シンガポール等 - 製造技術：HEFA - 製造量：188万kL/年（HVOを含む、2023年） - コスト：0.7-1.6ドル/L（IEAによるとHEFA推定値）	Air BP、Shell Aviationが混合、供給	- オフテイカー：ルフトハンザ、KLM、ANA等 - 利用空港：フランクフルト、オスロ、スキポール等
LanzaJet (米)	- 事業者：LanzaJet - 原料：排ガス・エタノール - 量：公表情報なし - 調達場所：米国 - 調達方法：LanzaJetが供給契約を結び調達	公表情報なし	- 製造者：LanzaJet - 製造場所：米国 - 製造技術：ATJ - 製造量：3.8万kL/年（2022年） - コスト：1.08-3.79ドル/L（NRELによる論文レビュー）	不明	- オフテイカー：Virgin Atlantic、ANA - 利用空港：不明
Fulcrum (米)	- 事業者：Fulcrum - 原料：都市ごみ - 量：17.5万t/年 - 調達場所：ネバダ州レノ近郊 - 調達方法：Fulcrumが供給契約を結び調達（Waste Management埋立地）	Fulcrum社が運搬	- 製造者：Fulcrum - 製造場所： - 製造技術：ガス化FT合成 - 製造量：19万kL/年（2025年） - コスト：不明（但し都市ごみのtipping feeを取得と見られる）	Marathon、BP、World Fuels Servicesが混合、供給	- オフテイカー：Cathay Pacific、United Airlines、JAL、米軍 - 利用空港：不明
Enerkem (カナダ)	- 事業者：Enerkem - 原料：都市ごみ - 量：36万t/年 - 調達場所：カナダ - 調達方法：Enerkemが供給契約を結び調達	公表情報なし	- 製造者：Enerkem、Shell - 製造場所：カナダ - 製造技術：ガス化FT合成 - 製造量：8万kL/年（2025年） - コスト：不明	不明	- オフテイカー：不明 - 利用空港：不明

脱炭素化に向けた方策（燃料と新技術（電動化、水素）の比較）

- SAFの利用は、航空機体や空港のハイドラント等の既存インフラを変えることなく（コストをかけることなく）、航空分野での脱炭素化を実現するための有効な方策のひとつ。
- 航空分野の脱炭素化に向けては、電動化や水素利用等の先進技術も検討中。しかしながら、電動化や水素燃料では、比較的小規模な機体や短距離での利用が現実的であり、国際線のような大型かつ長距離の運航には、液体燃料であるSAFの利用は必要不可欠。

<SAFと新技術との比較>

Comparison vs. kerosene	 Biofuels (SAF)	 Synfuels	 Battery-electric	 Hydrogen
Commuter <19 PAX	No limitation of range	No limitation of range	Maximum ranges up to 500-1,000 km due to lower battery density	No limitation of range
Regional 20-80 PAX				
Short-range 81-165 PAX			Not applicable	Revolutionary aircraft designs as efficient option for ranges above 10,000 km
Medium-range 166-250 PAX				
Long-range >250 PAX				
Main advantage	Drop-in fuel – no change to aircraft or infrastructure	Drop-in fuel – no change to aircraft or infrastructure	No climate impact in flight	High reduction potential of climate impact
Main disadvantage	Limited reduction of non-CO ₂ effects	Limited reduction of non-CO ₂ effects	Change to infrastructure due to fast charging or battery exchange systems	Change to infrastructure

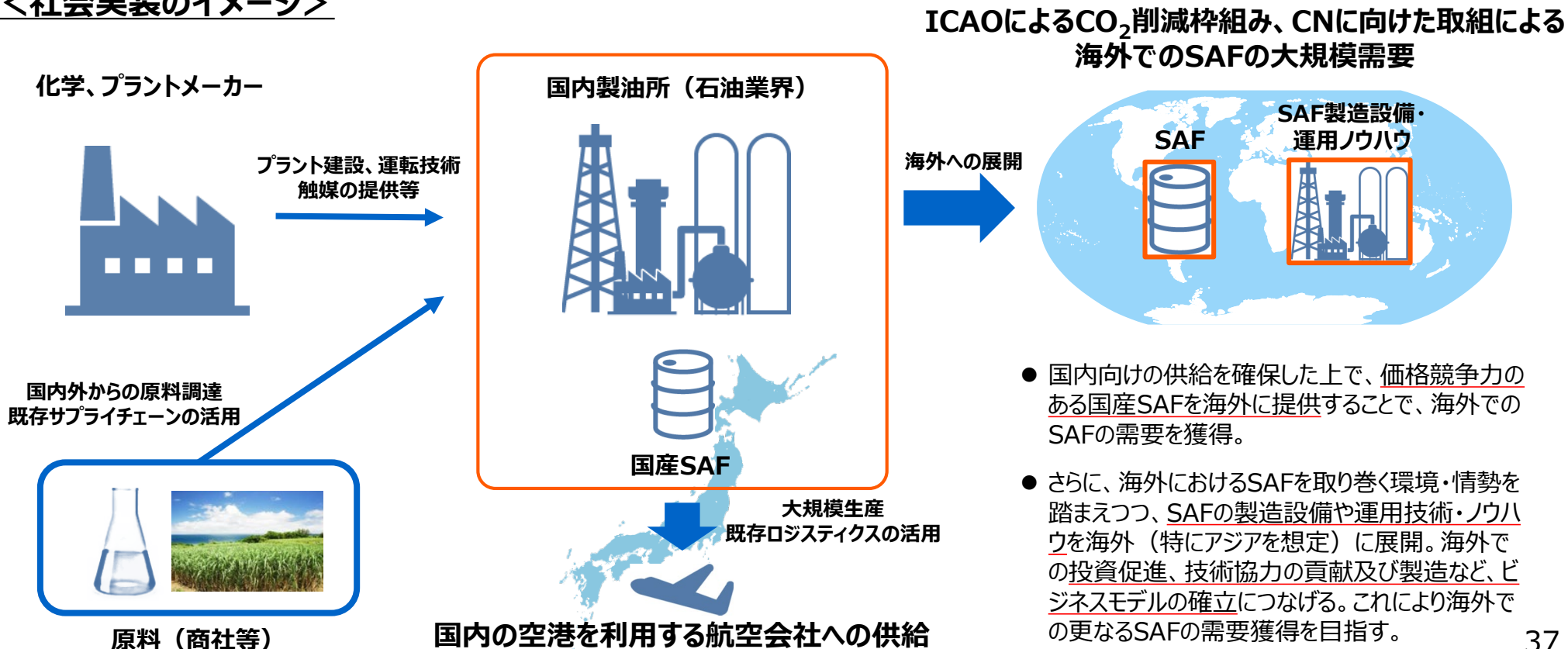
SAF	○積載量・距離ともに制限無し ○ドロップ・インが可能(設備変更が不要) ×原料に制約有り
合成燃料	○積載量・距離ともに制限無し ○ドロップ・インが可能(設備変更が不要)
電動化	○小型・短距離(1,000km以下)では活用可能 ×小型・短距離以上の積載・距離は実現不可能 ×新たに空港インフラの整備が必要
水素航空機	△電動化よりも積載量・距離ともに伸長 ×新たに空港インフラの整備が必要

(出典) Clean Sky 2, FCH2 “Hydrogen-powered aviation”

石油産業と他産業との連携による構造改革・イノベーションのチャンス

- 石油業界は、従来からの国内石油製品需要の構造的な減少に加えて、2050年カーボンニュートラルに向けた世界的な動きの中で、既存設備を有する強みを活かした「SAFの供給インフラ企業」としての地位の確立が緊要。
- 商社や化学、プラントメーカー等の他業種との連携により、SAFの製造・供給を通じて、業界の構造改革・イノベーションを実現。ICAOのCO₂削減枠組みへの対応を、石油産業の更なる成長に向けた新たな機会として捉え、取組を加速。

<社会実装のイメージ>



SAFの想定需要、想定CO₂削減量、想定市場規模

2030年

令和3年5月28日 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(第2回)」事務局説明資料から、2030年におけるSAF想定需要(250万kl～560万KL)、SAFのCO₂削減効果(80%～60%)を引用※1

- ◆ SAF想定需要 : 250万～560万KL/年
- ◆ CO₂削減量 : 506万～849万t
=250～560万KL (SAF想定需要) × 80～60%
(CO₂削減効果) × 0.8 (KL→t) × 3.16 (t→t-CO₂/t)
- ◆ 市場規模(日本) : 2,500億円～1.1兆円
=250～560万KL (SAF想定需要)
× 100～199円/L※2 (SAF コスト目標)

[算定方法]

・ 国際航空のCO₂排出削減枠組みであるCORSIAへの対応の対象となる、国内空港から発つ本邦及び外航航空会社の利用分における試算。

※1 出典 : <https://www.mlit.go.jp/common/001407977.pdf>

※2 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略におけるSAFコスト目標から引用。

2050年

2021年10月8日 全日本空輸(株)・日本航空(株)共同リリース「SAF(持続可能な航空燃料)に関する共同レポート」から、2050年におけるSAF想定需要(2,300万kl)、SAFのCO₂削減効果(90%)、アジアの市場規模(22兆円)を引用※1

- ◆ SAF想定需要 : 2,300万KL
- ◆ CO₂削減量 : 5,233万t
=2,300万KL (SAF想定需要) × 90% (CO₂削減効果)
× 0.8 (KL→t) × 3.16 (t→t-CO₂/t)
- ◆ 市場規模(日本) : 2.3兆円
=2,300万KL (SAF想定需要) × 100円/L※2 (SAFコスト目標)
- ◆ 市場規模(アジア) : 22.0兆円

[算定方法]

・ 日本、及びアジアの航空会社の国内線・国際線利用分における試算。

※1 出典 : (ANA) <https://www.anahd.co.jp/group/pr/pdf/20211008-1-1.pdf>

(JAL) <https://press.jal.co.jp/ja/items/uploads/29b739f32e77631451b59a6c03bf77b906ac9e8a.pdf>

※2 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略におけるSAFコスト目標から引用。

SAFの原料及び製造技術の類型

- SAFの原料・技術は複数存在。原料制約等の観点から、1つの原料・技術に限定することなく、国内の資源を最大限活用し、国産のSAFを供給することが出来るよう技術開発を進める必要がある。
- 本事業では、革新的なSAF製造技術が存在するとともに、2030年時点で大規模な生産量（数十万KL）が見込める製造技術について、支援を実施。

＜主なSAFの原料と製造技術の類型＞



赤字：本事業の支援とする予定の類型

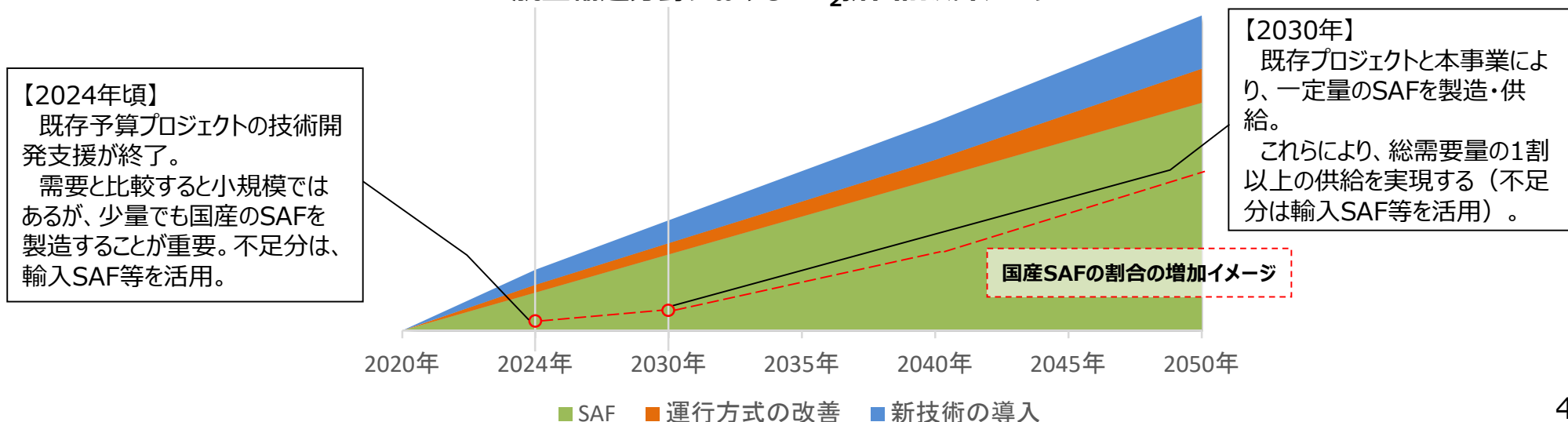
青字：既存プロジェクトで支援する類型

黒字：現時点において、商用化の可能性を事業者において検討中のもの 39

(参考) 既存プロジェクトと本事業の必要性

- ICAOによる国際航空輸送分野におけるCO₂排出削減枠組みにおいて、日本の本邦航空会社は、2021年から規制の対象となっている。航空需要は、2024年頃に2019年水準に回復するとの予測もあり、国内でSAFを製造する技術確立させることが喫緊の課題である。
- 既存プロジェクトは、生産量は小規模（2030年時点で数万KL程度）だが、今後短期間（～2024年）で一貫製造プロセスの検証を終えられる見込みであり、早期から、国産SAFを製造・供給することが可能となる。一方、2050年に向けて増大するSAFの需要に対しては十分な量とはいえず、より大規模な（2030年時点で数十万KL程度）生産量を見込める技術の確立を支援することが必要不可欠。
- 今後、世界的なSAFの需要増大が見込まれ、SAFやその代替となる炭素クレジットの高騰が予測される。我が国重要インフラの維持・発展と、国産エネルギーの供給確保という観点から、国内の資源を最大限に活用し、国産のSAFを製造・供給できる体制を構築していく必要がある。

航空輸送分野におけるCO₂排出削減イメージ



本事業の目標等と関連する研究開発内容について（液体燃料：SAF）

- SAFについては、①原料の多様化・経済性の観点から、多様な原料を利用するための前処理技術等を実装したプラントの設計・開発、②多様な原料から、SAFの収率を最大限高めるための触媒の運用技術開発等を通じたプラント内の化学反応の最適化等の確立を目的とした研究開発を実施。
- SAF製造技術については、商用規模での運転を想定した製造コストの低減、安定的な品質・製造量の確保を研究開発の目標として設定し、委託事業で実施することを想定（その後の実証については補助を想定）。

研究開発目標とその考え方等

- 目標（SAF）：
2030年までの航空機への燃料搭載を目指し、製造する技術（ATJ技術(Alcohol To Jet)を想定）を確立し、液体燃料収率50%以上かつ製造コストを100円台/Lを実現。

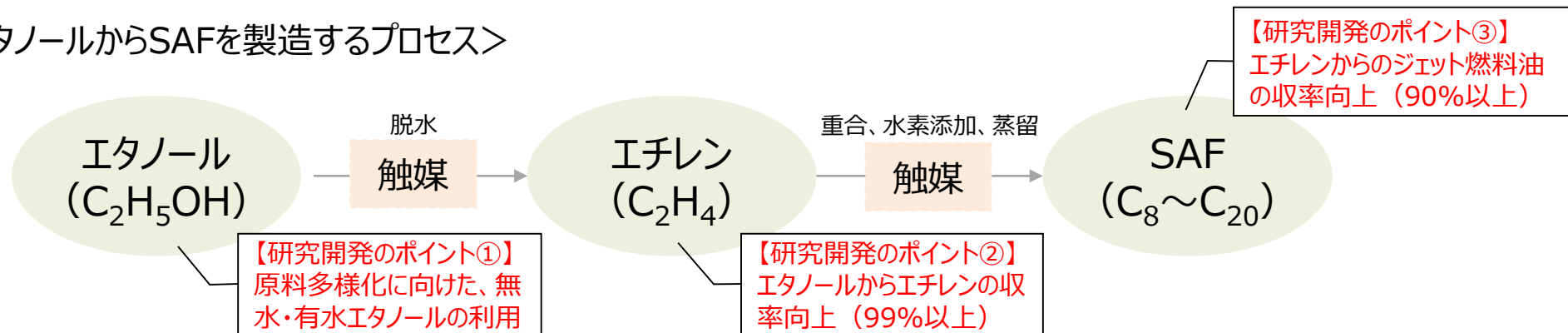
目標
(SAF)

内容：持続可能な航空燃料（SAF）製造に係る技術開発
(委託→補助)

研究開発項目：ATJ（Alcohol to JET）技術

- **ATJ 技術（Alcohol to JET）**は、触媒等を利用して、原料賦存量の豊富なエタノールからSAFを製造することが可能となる技術であり、**SAFの大量生産が実現**出来る。
- ATJ技術を用いて大規模にSAFを生産するためには、エタノールからSAFを製造する際の収率の向上を実現するための、**効率的な運転を可能とするプラントの設計や触媒の開発・運用技術等の確立**が必要。

＜エタノールからSAFを製造するプロセス＞



○研究開発目標（アウトプット）及び設定の考え方（目標）

エタノールから大量のSAFを製造する技術（ATJ）の確立により、液体燃料収率50%程度かつ製造コスト100円台/Lを実現。

（考え方）

既存プロジェクトでは、数万kLのSAFを生産可能な技術を開発中であるが、本事業では、その技術の大幅な向上、大型化を目指すこととし、原料の多角化や液体燃料収率の向上を通じて、生産量拡大及び低コスト化を実現するための目標を設定。

○研究開発内容（例）

- ・エタノールを製造するための原料の多様化・経済性の観点から、無水・含水エタノールの両方を原料とすることが出来る方式を実装したプラントの設計・開発を行う。その際、環境排出基準に適合する排水処理技術もあわせて確立する。【委託→補助】
- ・SAFを大量（十万kL以上を想定）に製造するため、原料となるエタノールからジェット燃料への選択性を最大限高める（50%程度以上）ためのプラント内での化学反応の最適化技術（触媒運用技術等）の確立。【委託→補助】

SAFの社会実装を加速化するための取組① SAF取扱要領の策定

- 石油連盟において、SAF製造事業者が、空港のハイドラント（共同貯油施設）にSAFを供給する際等に参照する取扱要領を新たに策定し、公表。今後、必要に応じて改訂。
- ジェット燃料の取扱いについては、石油連盟が策定する石連指針が参照されているが、SAFに関する具体的な記載は盛り込まれていないため、本取扱要領の策定により、SAF製造事業者が、SAFを円滑に供給できるよう環境整備を行う。

主な項目

○SAFの取扱いについて

- ASTM規格に適合し、SAFとして品質確定した製品は、通常のジェット燃料と同一に取扱い、同じ品質管理を行うことが出来る（施設機器の材質、燃料の分離、検査 等）

○SAFの品質管理について

- 空港給油施設および給油作業における品質管理、取扱いは石連指針に基づき実施されるため、品質管理上は特別の取扱いを行う必要はない。

○SAFの運搬・貯蔵について

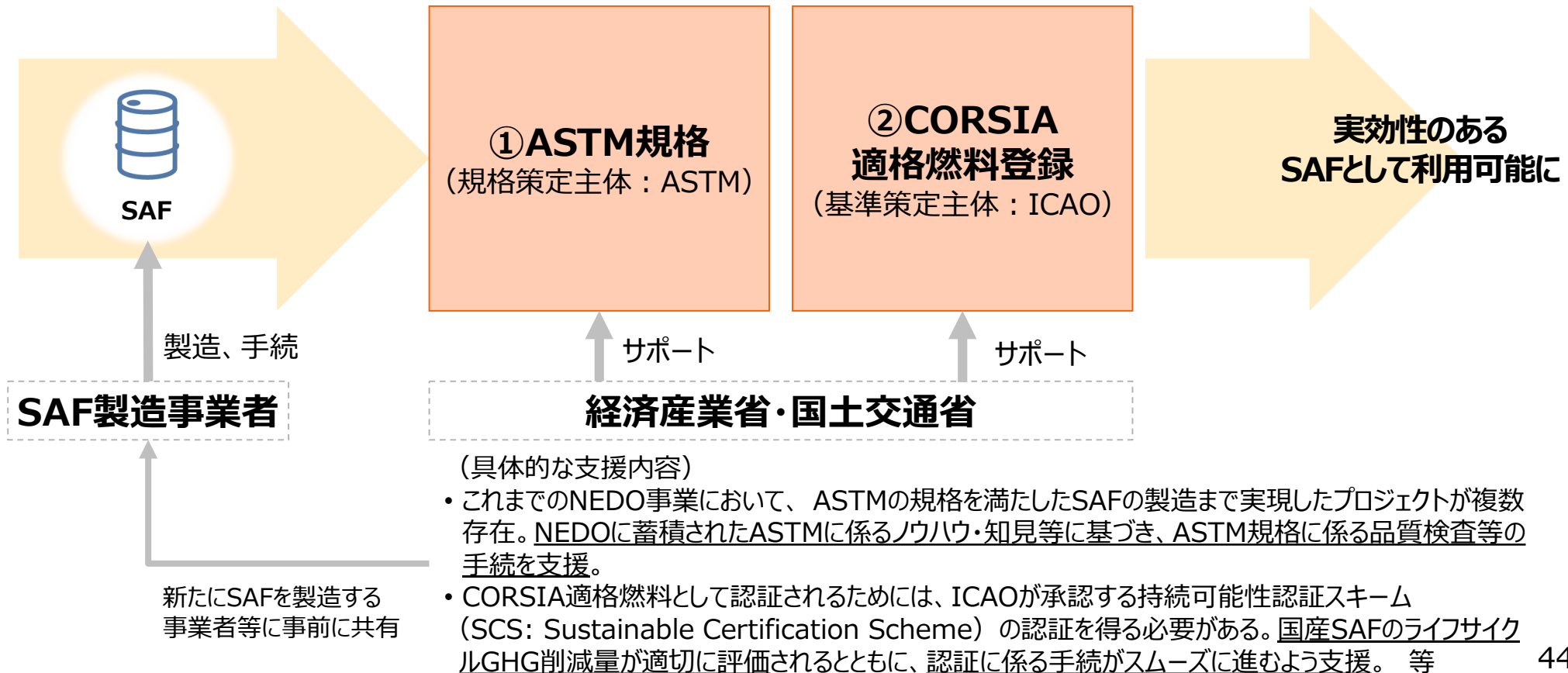
- 運搬や貯蔵にドラム、IBCおよびISOタンクコンテナを用いることも想定されることから、その場合の取扱いについても記載。

SAFの社会実装を加速化するための取組② SAFの認証等の手続支援

- ①SAFをジェット燃料（ケロシン）の代替燃料として利用するためには、燃料の品質が**ASTM^(※1)の規格を満たす必要**がある。②また、SAFをICAOのCO₂排出削減枠組みに対応する燃料とするためには、**CORSIA^(※2)適格燃料として認証を得る必要**がある。
- SAF製造事業者が、ASTMの規格及びCORSIA適格燃料への認証手続を円滑に実施出来るよう、**経済産業省及び国土交通省において支援**を行っていく。

(※1) ASTM：世界最大規模の標準化団体であるASTM Internationalが策定・発行する規格。エネルギーや環境等、130分野の規格を策定。

(※2) CORSIA：ICAOの目標達成のため、オフセットの仕組み（SAFやクレジットの利用）等を規定する制度。2016年のICAO総会において採択。



SAFの社会実装を加速化するための取組③ ASTMの混合率の引き上げ

- 航空機に搭載するSAFは、国際規格（ASTM）に適合していることが必要。製造方法・原料毎にANNEXが規定されている（令和3年9月時点では7つ）。
- 既に規定されているニートSAFの混合可能な割合は、最大でも50%。今後、カーボンニュートラルを実現するためには、ニートSAFの混合割合を更に引き上げることが必要。このため、我が国で貢献可能な方法の調査・検討を実施するとともに、米国当局等と連携してASTMへの働きかけを行う。

（ニートSAF（ASTM-D7566）のANNEX一覧）

ニートSAF（D7566）ANNEX	製造方法	混合上限	原料
ANNEX1	ガス化・FT合成	50%	木質バイオマス、都市ごみ等
ANNEX2	水素化処理（HEFA）	50%	廃食油、動植物油脂等
ANNEX3	糖の直接還元	10%	バイオマス糖
ANNEX4	ガス化FT合成 +合成芳香族	50%	木質バイオマス等
ANNEX5	アルコール触媒反応（ATJ）	50%	バイオマス糖
ANNEX6	触媒水熱分解	50%	微細藻類の油脂及び廃食油
ANNEX7	水素化処理 （ボツリオコッカスに限る）	10%	微細藻類の炭化水素

（※）ニートSAF：化石由来のジェット燃料と混合する前の、バイオマス原料等を基に製造されたジェット燃料を指す。ニートを使用する際には、化石由来のジェット燃料に一定割合を混合した上で、航空機に搭載する必要がある。

（※）新たにニートSAFをASTMに登録する場合は、SAFがエンジンに支障を与えないこと等について、OEM（Boeing、Airbus等）及び米国連邦航空局からの承認等が必要。

(参考) 国交省検討委員会 (航空機運航分野におけるCO₂削減に関する検討会)

- 国土交通省が主催し、航空分野におけるCO₂排出削減のアプローチのうち、特に運航に関わる分野 (SAFを含む) について具体策を検討する。
- これまで3回開催され、第2回の5/28では、政府において初めて2030年のSAFの需要見通しが示されたところ。**本年中に、CO₂削減に向けた方策に基づく工程表を策定する予定。**

(検討会でのSAFに係る主な議論)

第1回 (2021年3月22日)

- SAFを日本で供給することについては依然難しいところがある。最初はコストがかかるかもしれないが、目標をきちんと掲げて、方向性を国として明確に持つことが大事。
- SAFの製造に関しては、海外に比べて日本の製造状況は遅れており、輸入に頼らざるを得ず、輸入SAFについて円滑に進めていく体制も重要だと考えているが、ライフサイクルの排出量 (輸送時のCO₂) 削減という観点から、SAFを地産地消できる環境を推し進めていくことが重要。
- 海外のエアラインと競争していく中では、海外と同等の価格で国産のSAF が調達できるようになるということが大切。
- CO₂削減においてはSAFの安定供給と価格の低廉化が重要であるので、メーカーとエアラインが一体となってオールジャパンでこの問題に取り組んでいきたい。
空港における給油施設といったインフラ関係も、空港の各社とエアラインが共同で使うような形でインフラに対するコストも抑えていくことが重要。

第2回 (2021年5月28日)

- 2050カーボン・ニュートラルの政策というのはかなり経済政策・産業政策だということを念頭におく必要がある。国際的には、国際貿易に大きな影響を及ぼすのは必至で、環境問題に先進している国とそうでない国の間の貿易にかなり負担が出てくることは明らか。その中で、これからSAFのマーケットをどのように作っていくかという根本的な問題が生じている。今マーケットが出来ない中で必要なのは、行政的・政策的なコミットメントかと思われる。産官学の連携というのはすごく重要で、例えばそのコミットメントとして産官学の協議会を作るなど。輸入にしても、国産にしても、サプライチェーンを作るところまで考えないといけない。費用負担の話も非常に重要で、何らかの形で費用負担しながらマーケットを作るということを考える必要がある。
- 目的はいかにCO₂を下げていくかということなので、輸送を含めてトータルでどう下げるかで考えると、SAFによってCO₂削減率は変わる。限られた資金の中で、製造の開発についてサポートをしていただくというところでは、削減率という視点も是非入れてご検討願いたい。

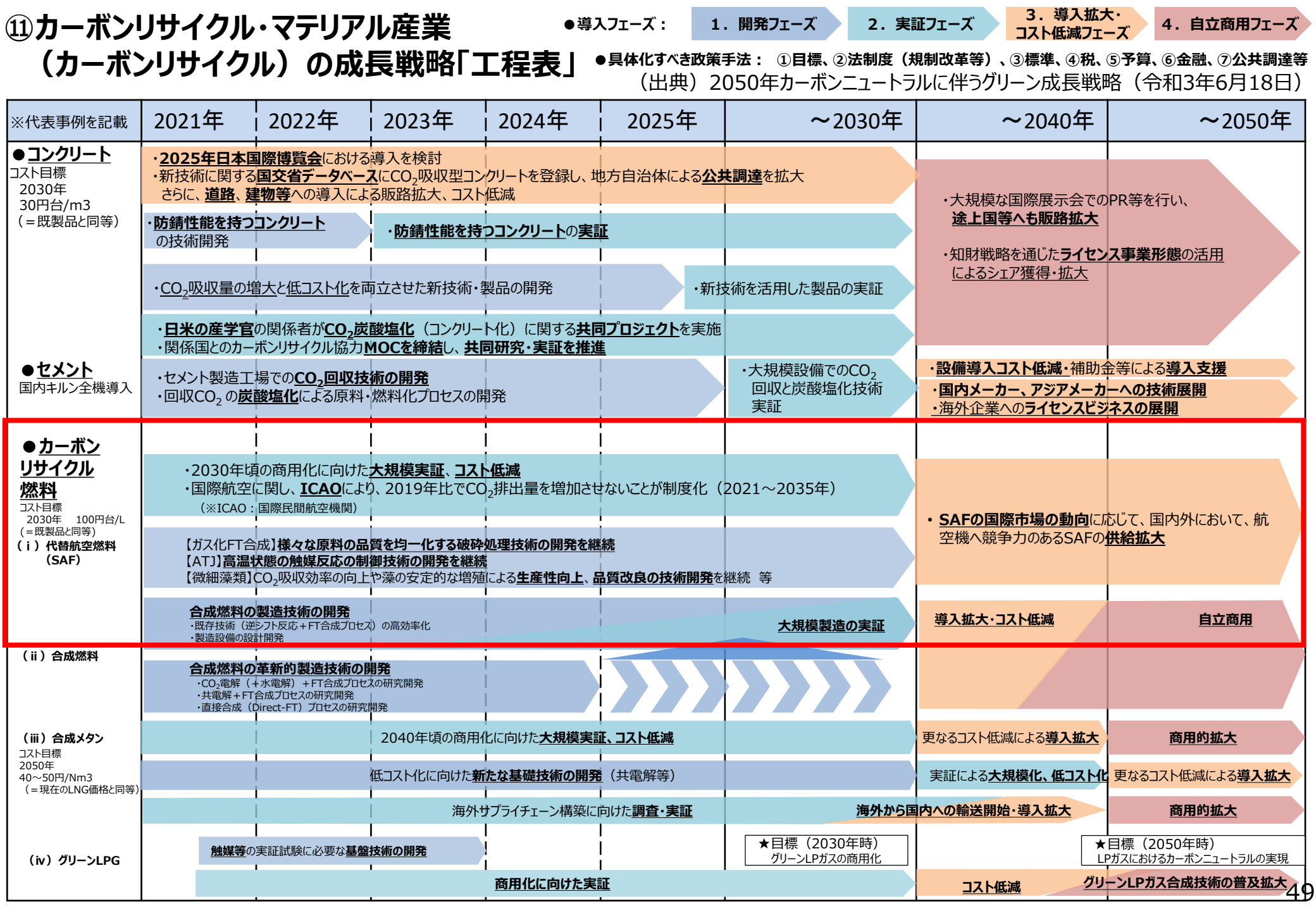
CO₂等を用いた燃料製造技術開発（液体燃料：持続可能な航空燃料（SAF））

直接コントロールできる部分		経済・社会等の変化 （誰が／何が、どう変化することを目指しているか）			
（インプット）	（アクティビティ）	（アウトプット）	（短期アウトカム）	（中長期アウトカム）（インパクト）	
予算 [2021－ 2030年]	（S A F） ①多様な原料を利用するための前処理技術等を実装したプラントの設計・開発 ②様々な原料から、SAFの収率を最大限高めるための触媒の開発等を通じたプラント内での化学反応の最適化技術等の確立	2030年頃に既製品と同等の100円台/Lまでニートの製造コストを低減 [測定指標] 生産コストの算出により評価[2030年頃見込] 上記数値目標達成	2030年 CO₂削減効果 [測定指標] CO₂削減量試算値 [2030年見込] 506万～849万トン 2030年 経済波及効果 [測定指標] 国内市場規模推算値 [2030年見込] 2,500億円～1.1兆円	2050年 CO₂削減効果 [測定指標] CO₂削減量試算値 [2050年見込] 5,233万トン 2050年 経済波及効果 [測定指標] 国内市場規模推算値 [2050年見込] 2.3兆円	2050年 カーボン ニュートラル達成 経済効果 190兆円

アウトカム（世界市場規模推計）試算の考え方

持続可能な航空燃料（SAF）におけるアウトカムは、2050年における国内のSAF想定需要(2,300万kl)とSAFコスト目標(100円/L)から国内需要規模及び削減ポテンシャルを算出したもの

現状と課題		今後の取組
代替航空燃料 (SAF) (※1)	安定供給・高コスト克服のための大規模化が課題 要素技術の開発が進展し、実証開始。ガス化FT合成 (※2) は、様々な原料の品質の均一化、ATJ (※3) は、触媒反応の制御、微細藻類の培養については、CO ₂ の吸収効率向上等の藻を安定的に増殖させることを可能とする技術の確立が必要。 (※1) SAF (Sustainable Aviation Fuel)。 (※2) 木くず等の有機物を蒸し焼き (ガス化) し、触媒により液化する工程によりSAFを製造する技術 (Fischer-Tropsch process (フィッシャー・トロプシュ法))。 (※3) Alcohol to jet の略。バイオエタノールを触媒等を用いてSAFに改質する技術	大規模実証を通じたコスト低減、供給拡大 ・コスト目標として、2030年に、既存のジェット燃料と同価格 (= 100円台/L) を目指す。 ・市場規模は、2030年時点で、国内空港での総需要は約2,500億円～5,600億円を見込む。 ・国際航空に関し、ICAO (国際民間航空機関) により、「 2019年比でCO₂排出量を増加させない 」という 制度が2021年から導入 。SAFの国際市場は拡大。 ①大規模実証を実施し、コストを既存のジェット燃料と同等まで低減。他国に先駆けて2030年頃には実用化。 ②SAFの国際市場の動向に応じて、国内外において、航空機へ競争力のあるSAFの供給拡大 (国際認証取得済み)。
	商用化に向けた課題はコストと製造技術の確立 ・CO ₂ と水素を合成して製造される脱炭素燃料。 ・特徴は、化石燃料と同様に液体燃料であるため、高エネルギー密度と可搬性。 ・商用化に向けた一貫製造プロセス未確立。 (※4) 発電所や工場等から回収したCO₂と水素を合成して作られる液体燃料。	合成燃料の大規模化・技術開発支援 ・既存技術 (逆シフト反応 + FT合成プロセス) の高効率化や製造設備の設計開発。 ・革新的新規技術・プロセス (共電解、Direct-FT等) の開発。 ・2030年までに高効率かつ大規模な製造技術を確立し、2030年代に導入拡大・コスト低減し、2040年までの自立商用化 (※5) を目指す。 ・2050年にガソリン価格以下のコストを実現することを目指す。 (※5) 自立商用化フェーズにおける合成燃料のコストは、その環境価値を含めたコストであると想定される
	実用化・低コスト化のための技術開発が課題 ・メタネーションの基盤技術開発、より高効率な革新的技術の先導的基盤技術開発を実施。 ・メタネーションの設備大型化や高効率化の技術開発、水素とCO ₂ を調達するサプライチェーンの構築、CNに資するCO ₂ 削減量のカウントの検討が必要。	メタネーション設備大型化等の技術開発、海外サプライチェーン構築を通じたコスト低減、供給拡大 ・2030年には既存インフラに合成メタンを1%注入、その他の手段と合わせ5%のガスのCN化、2050年には合成メタンを90%注入、その他の手段と合わせガスのCN化を目指す。 ・メタネーションの設備大型化や高効率化の技術開発、海外サプライチェーン構築、CNに資するCO ₂ 削減量のカウントの検討を進める。 ・2050年までに合成メタンを2,500万トン供給、現在のLNG価格(40～50円/Nm ³)と同水準を目指す。
	商用化に向けた技術確立が課題 ・LPガスは2050年においても一定量の需要が維持される見込み。 ・世界的に見てもグリーンなLPガス合成を主目的とした技術開発は実施されておらず、世界に先立ち、当該技術の確立及び早期の社会実装を目指す。	大規模生産に向けた実証事業を実施 ・商用化に耐え得る生産が可能な触媒等の基盤技術の開発。 ・触媒等の基盤技術と周辺基盤技術を融合させ実証プラントに実装する技術の開発。 こうした取組に対する支援を通じて、2030年の商用化を目指す。



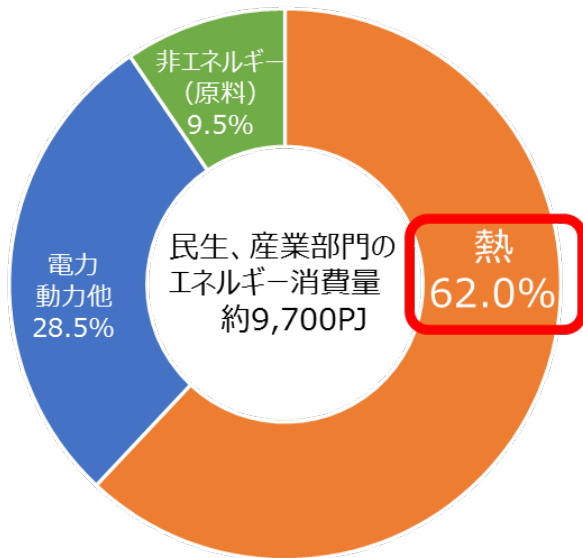
目次

- 1. 背景・目的
- 2. 各燃料における課題、目標、研究開発項目等
 - (1) 合成燃料
 - (2) 持続可能な航空燃料 (SAF)
 - (3) 合成メタン
 - (4) グリーンLPG
- 3. スケジュール

熱需要の脱炭素化の重要性

- 日本の民生・産業部門における消費エネルギーの約 6 割は熱需要。特に産業分野においては、電化による対応が難しい高温域も存在。
- 2050年カーボンニュートラル実現に向けては、熱需要の脱炭素化を実現することが重要。需要サイドに熱エネルギーを供給するガスの脱炭素化が大きな役割を果たす。

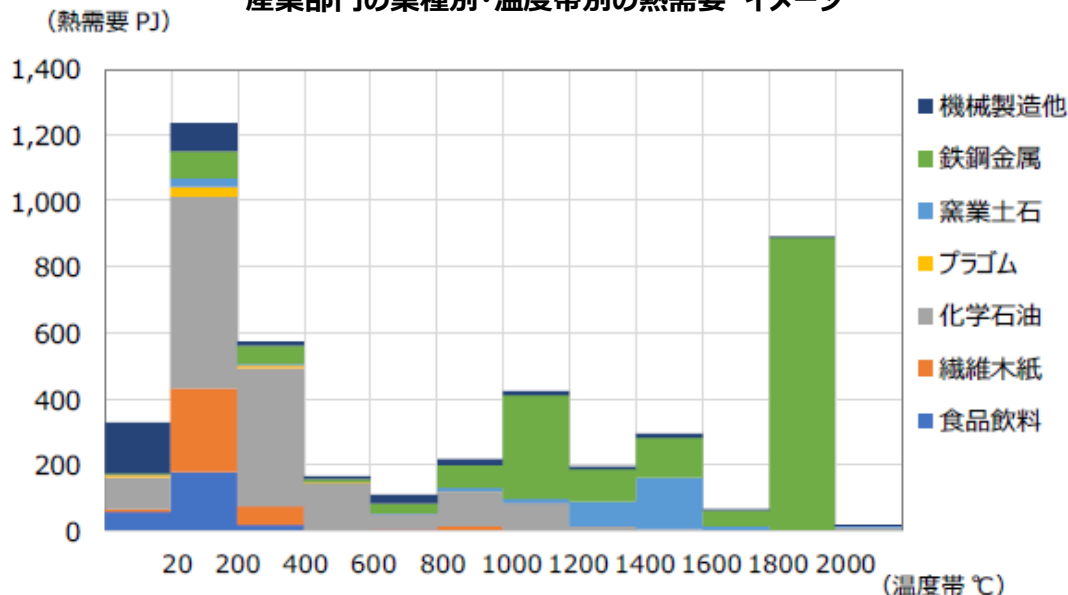
民生、産業部門の 用途別エネルギー消費量



(出典) 2020年エネルギー白書を基に日本ガス協会作成

- 産業部門の熱需要は低温帯から高温帯まで多岐にわたる。
- 例えば、鉄鋼業のような高温帯が必要な業種における熱需要は、電気で経済的・熱量的にも供給することが難しい。化学分野は幅広い温度帯を活用しているが、石油化学のように高温帯を扱う分野では既存の大型設備で適用できる電化設備は存在しない。

産業部門の業種別・温度帯別の熱需要 イメージ



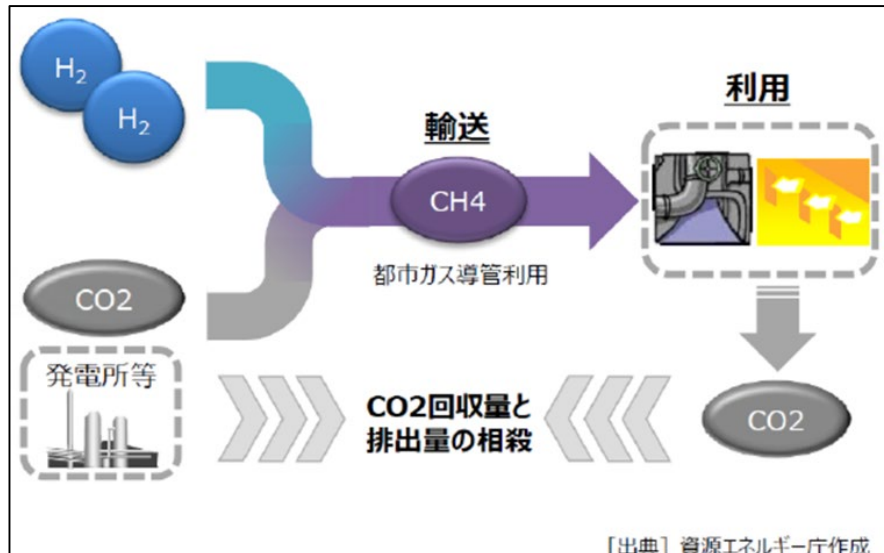
(出典) 平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査

(出典) 令和3年1月27日第36回基本政策分科会資料

合成メタンの可能性

- 合成メタンは、水素とCO₂から人工的に合成（メタネーション）することができるため、再エネ由来等の水素と回収したCO₂を利用すれば、カーボンニュートラルに資すると考えられる。
- また、合成メタンは、都市ガスの主成分であるメタンを代替できるため、都市ガス導管等の既存インフラ・既存設備を有効活用できるなど、熱需要の脱炭素化に向けて大きなポテンシャルを有する。

メタネーションのイメージ



【出典】平成30年2月19日 エネルギー情勢懇談会(第6回)

メタネーションの意義

- メタネーションは3 Eの観点から大きな意義がある。
- 環境適合 (Environment)
 - ✓ カーボンリサイクルしたメタンを都市ガス等として供給することにより脱炭素化を図る
 - 経済効率 (Economic Efficiency)
 - ✓ 既存インフラ・既存設備の活用による投資コストの抑制
 - 安定供給 (Energy Security)
 - ✓ 電力以外のエネルギー供給の確保
 - ✓ 高い強靱性を有する既存インフラ等を活用可能

我が国における合成メタンの導入目標

- 本年6月に策定したグリーン成長戦略では、産業・民生部門の熱需要の脱炭素化を目指し、ガスに替わる次世代の熱エネルギーとして合成メタン等を供給する産業として「次世代熱エネルギー産業」を位置づけ。
- 供給側だけでなく需要側も巻き込んだ取組により、合成メタンの導入量の拡大と供給コストの低減を目指す。合成メタンの導入量及びコスト目標については、日本ガス協会も同じ目標を掲げており、官民一体となって実現に取り組んでいく。

グリーン成長戦略における合成メタンの導入量及びコスト目標

年間導入量

2030年：既存インフラへ合成メタンを1%注入。（28万トン）

2050年：既存インフラへ合成メタンを90%注入。（2,500万トン）

供給コスト

2050年：現在のLNG価格（40～50円/Nm³）と同水準

【参考】2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和3年6月18日）

（3）次世代熱エネルギー産業

我が国の産業・民生部門のエネルギー消費量の約6割は熱需要である。熱は国民生活に欠かせないものであり、2050年カーボンニュートラル実現に向けて、**需要サイドに熱エネルギーを供給するガスの脱炭素化を進めることにより、熱需要の脱炭素化に貢献**できる。

ガスの脱炭素化に向けては、再生可能エネルギー由来等の水素とCO₂から合成（メタネーション）される合成メタンや水素の直接利用などが考えられ、これら**熱需要の脱炭素化に向けた取組を進めることで、カーボンニュートラルを達成した次世代の熱エネルギーを供給する産業（次世代熱エネルギー産業）が誕生**する。

この**次世代熱エネルギー産業の実現に向けては、熱エネルギーの供給サイド（現状ではガス供給事業側）の取組だけでは達成できない。ガスの脱炭素化は、熱需要のある全ての産業・民生部門の脱炭素化に大きく貢献するものであり、次世代の熱エネルギーを利用する**需要サイドを巻き込みながら取り組んでいくことが必要**となる。**

（11）カーボンリサイクル・マテリアル産業

①カーボンリサイクル ②カーボンリサイクル燃料 ウ）合成メタン

＜今後の取組＞

2030年には、既存インフラへ合成メタンを1%注入し、水素直接利用等その他の手段と合わせて5%のガスのカーボンニュートラル化を目標とする。2050年までには、既存インフラに合成メタンを90%注入し、水素直接利用等その他の手段と合わせてガスのカーボンニュートラル化達成を目指す。（略）

水素製造に必要な水電解装置の低コスト化やメタネーション設備の大型化に必要な技術開発、**高効率なメタン合成**やCO₂の分離・回収に**必要な革新的技術開発に取り組む**。（略）

CO₂削減量のカウントについて、カーボンニュートラルに資する方向での検討を速やかに行う。

また、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、合成メタンの生成のために相当量の水素の確保が必要となり、合成メタンのコストを低く抑えるためには、水素コストが相対的に安価な海外で生成した合成メタンを国内に輸送することが有効と考えられる。これらを踏まえ、合成メタンの導入などガスの脱炭素化に向けた海外サプライチェーン構築を進めていく。（略）

これらの取組を進めるためには、供給側・需要側の民間企業や政府など関係する様々なステークホルダーが連携して取り組むことが重要であることから、ガスの脱炭素化に向けて**官民が一体となって取組を推進するメタネーション推進官民協議会を2021年6月に設置し、検討を推進する。**

これらの取組を通じて、2050年までに合成メタンを2,500万トン供給し、**合成メタンの価格が現在のLNG価格（40～50円/Nm³）と同水準となることを目指す。**

日欧米の取組の方向性

- ガス体エネルギーにおけるグリーン水素の利用という観点では、**日欧米は、いずれもガスパイプライン等の既存のガスインフラの活用を指向。**
- 水素利用の形態として、日本は、合成メタンや水素直接利用を、欧州は、水素混合や水素直接利用、合成メタンを想定。

	日本	欧州	米国
水素利用の形態	・合成メタン ・水素直接利用 ※個別地域における混合利用は排除していない。	・水素混合 ・水素の直接利用 ・合成メタン	<輸送・貯蔵> ・既存の天然ガス・都市ガスのパイプライン等を用いた水素又は水素混合物の輸送・貯蔵。
その他のガス	・バイオガスの利用 ・オフセットした天然ガスの利用	・バイオガス、バイオメタンの利用 ・CCUSと天然ガスの利用	<利用> ・産業：CO₂とクリーン水素を反応させた、メタノールや再生可能天然ガスのような汎用性が高いネット・ゼロ・カーボン燃料のオプションを提供するe-fuel製造。 ・コジェネ等定置型発電設備：水素直接利用、天然ガスへの水素混合（既存インフラ・機器への適合性評価、高い水素混合割合（最大100%）に対応するバーナー開発等が必要）
内訳	2050年 ●合成メタン：90% ●水素直接利用：5% ●バイオガス： ●オフセットした天然ガス： ●その他： } 5%	2050年のエネルギーミックスにおけるガス体エネルギーの割合20%。 ●ローカーボンガス：2/3 ・水素の混合 ・バイオガス、バイオメタン ・合成メタン ●CCUSと天然ガス：1/3	
出典	グリーン成長戦略	Hydrogen and Gas markets Decarbonisation Package (Combined Evaluation Roadmap/Inception Impact Assessment)	Department of Energy Hydrogen Program Plan

サバティエ反応によるメタネーションの技術開発に関する動向（国内）

- メタネーションの技術としては、水素とCO₂から触媒反応によりメタンを合成するサバティエ反応（ $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ）が知られており、我が国は世界で初めて合成メタン製造に成功（1995年）。
- 現在、サバティエ反応によるメタネーションの実用化に向けて基盤技術開発の段階であり、今後、サバティエ反応によるメタネーションの設備大型化に向けた技術開発・実証が行われていく予定。

技術開発の事例



8Nm³/h級のメタネーション試験装置

【概要】

- INPEXが日立造船の触媒・反応器等を活用し、NEDO事業で2017～2021年度に試験を実施。
- 技術開発（反応制御、触媒活性化、装置試験）の目標達成。



そうまIHIグリーンエネルギーセンター



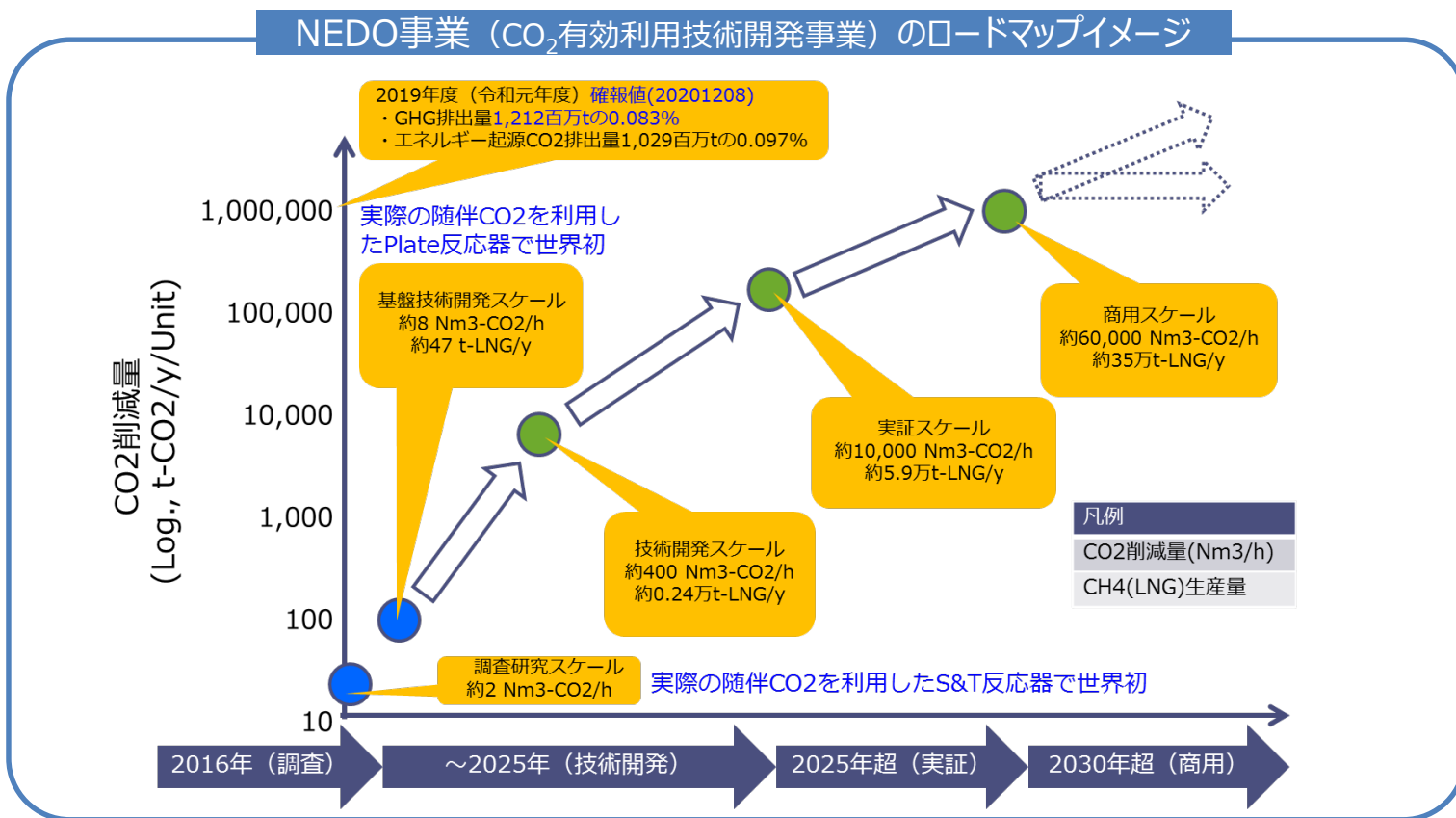
12.5Nm³/h級のメタネーション試験装置

【概要】

- IHIが自社で触媒・反応器等の開発を行い、2020年度に12.5Nm³/h級の試験を実施。
- 技術開発（触媒・反応器の性能確認、システム運用の確認）の目標達成。

【参考】商用化規模

- 現在、NEDO事業（CO₂有効利用技術開発事業）において合成メタン製造の有望な技術としてサバティエ反応によるメタネーションの基盤技術開発が行われており、実用化に向けたNEDO事業におけるロードマップにおいて、現在8Nm³/hスケールでの試験が完了したところ。次期フェーズでは400Nm³/hスケールとなる予定。
- 実証スケールや商用スケール（10,000～60,000Nm³/h）に移行するためには、メタネーション設備の大型化に向けた基盤技術開発が必要。



サバティエ反応によるメタネーションの技術開発に関する動向（海外）

- 海外でも、我が国と同様に基盤的技術開発の段階。一部では合成メタンを実際に供給する実証も行われている。
- 現時点で 我が国の技術は海外と同程度だと考えられる。（世界最大規模のメタネーションプラント（315Nm³/h級）はドイツAudi社が保有。同プラントを建設したETOGAS社を、その後日立造船が買収。）
- 我が国ではサバティエ反応によるメタネーションの次期事業として400Nm³/hスケールでの技術開発が検討されており、そういった合成メタン製造の技術開発を促進することで、我が国が世界の合成メタン製造技術をリードすることができる。

Audi社メタネーションサイト



アルカリ水電解槽



メタネーション反応装置



プラント

【概要】

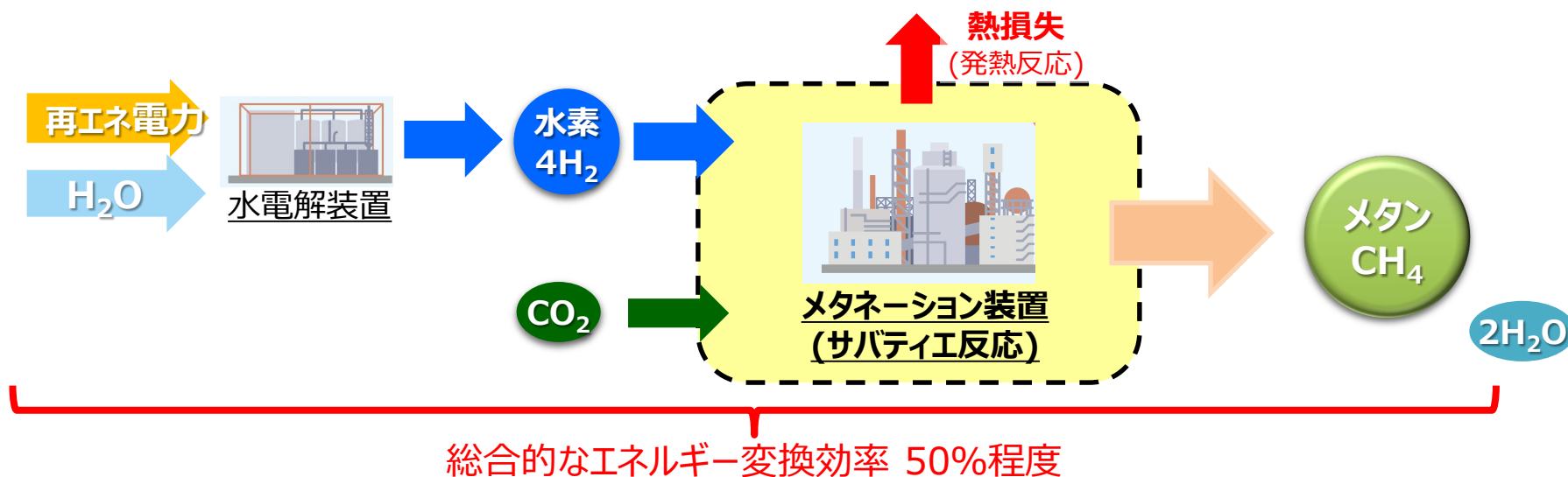
- ドイツAudi社は、隣接するバイオガス工場が排出するCO₂と再エネ由来水素から合成メタン等を生成（Audi-e-gas）。
- 生成された合成メタンは既存インフラを経由して天然ガスステーションに供給されている。
- 世界最大規模のメタネーションプラントはETOGAS社が建設。同社を日立造船が2016年に買収。

サバティエ反応によるメタネーションを活用した合成メタン製造の課題

- 合成メタン製造には、以下①②の**複数プロセス**を要する。②は**発熱反応**であり、社会実装に向けた大型化に当たっては、**大量に生じる排熱の有効利用が課題**。このため、投入電力量に対する**総合的なエネルギー変換効率**は50%程度と低い。
- ①再エネ電力等による**水電解により水素を製造**
- ②その**水素と回収したCO₂をメタン合成（サバティエ反応によるメタネーション）**
- 2050年に向けて合成メタンの価格を現在のLNG価格と同水準とするためには、安価な再エネ電力（水素供給）の確保だけでなく、**熱マネジメントの課題を解決できる方式**であって、①②による**合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率を高めることが必要**。

※ 合成メタン製造コストは、単純化すれば水素コストの4倍（ $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ）、エネルギー変換効率等を考えれば更なるコストを要する。

サバティエ反応によるメタネーションを活用した合成メタン製造プロセス



本事業の目標等と関連する研究開発内容について（気体燃料：合成メタン）

- 本事業では、合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率を高めるために必要な技術として、より高効率にメタン合成できる等の可能性のある革新的技術の開発を通じて、社会実装を見通せる革新的技術によるメタネーションの実現を目指す。
- 革新的技術によるメタネーションは、2040年代の導入拡大を目指すため、委託事業として実施し、革新的要素技術を統合した革新的システムの構築・検証の段階で補助事業への移行を想定。

研究開発目標とその考え方等

- 目標（合成メタン）：
2030年度までに、①再生可能エネルギー等の電力から製造した水素と、
②その水素と回収したCO₂からメタン合成（メタネーション）する合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率60%を上回る合成メタン製造が見通せる革新的技術によるメタネーションを実現。

→社会実装時に数値目標の達成が見通せる目標を設定。

目標
（合成メタン）

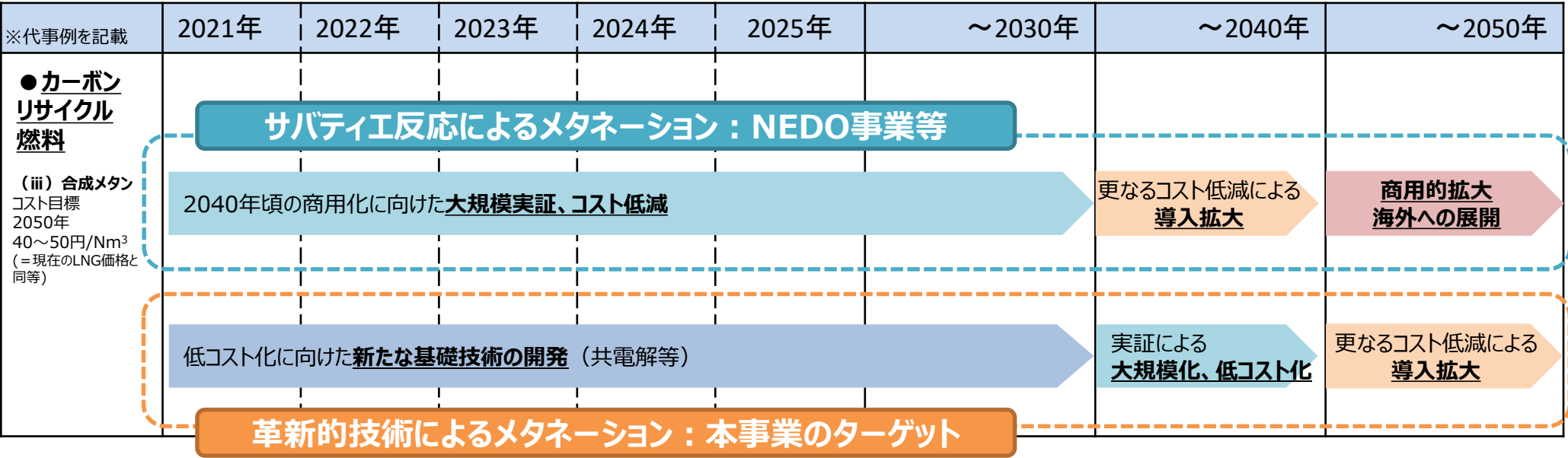
内容：合成メタン製造に係る革新的技術開発（委託→補助）

メタネーションの技術開発に関する工程表

- グリーン成長戦略において、現在技術開発が先行しているサバティエ反応によるメタネーションは、2030年代の導入拡大・2040年頃の商用化が目標。NEDO事業等で技術開発が進められている。
- 革新的技術によるメタネーションは、2030年までに基礎技術を確認し、2030年代の実証、2040年代の導入拡大を目標としている。

グリーン成長戦略（カーボンリサイクル・マテリアル産業）工程表より抜粋・加工

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ



革新的技術によるメタネーション（例）

- 高効率にメタン合成できる可能性がある複数の革新的技術によるメタネーションが検討されており、技術毎に特徴が異なる。
- これらの革新的技術は、先導的研究が終了した段階であって、実用化に向けた技術開発が必要。

革新的技術（例）

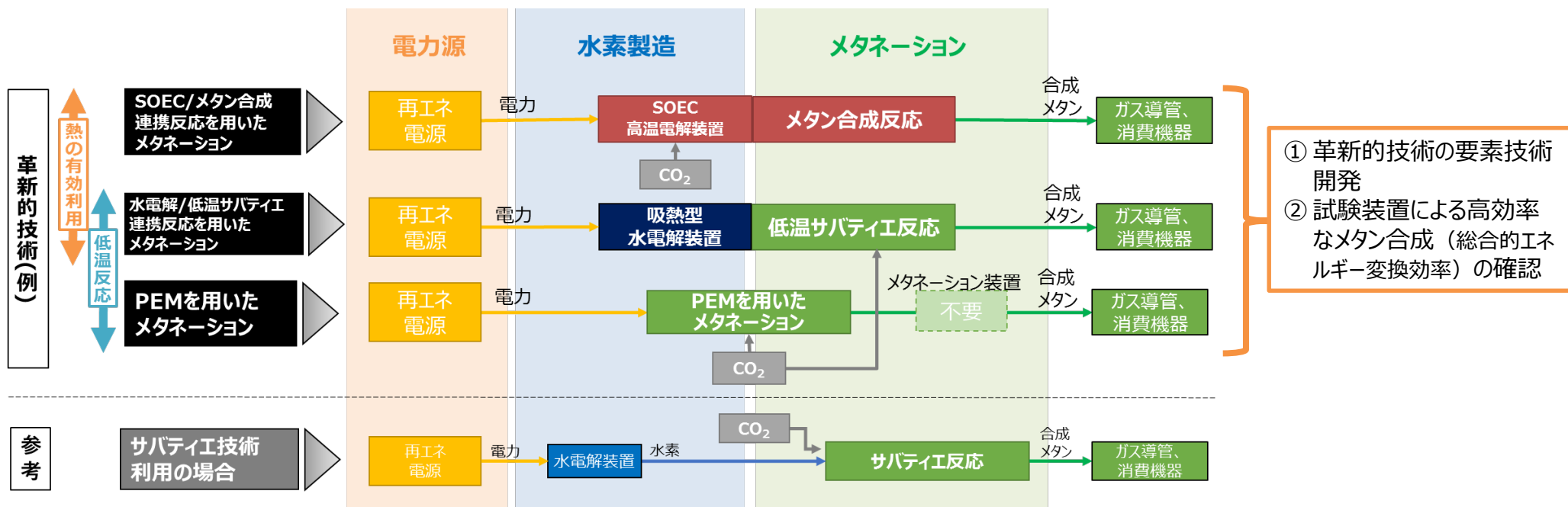
		SOEC/メタン合成連携反応を用いたメタネーション	水電解/低温サバティエ連携反応を用いたメタネーション	PEMを用いたメタネーション
イメージ				
特徴	原料	●水とCO ₂	●水とCO ₂	●水とCO ₂
	反応方法	●電気化学反応	●電気化学反応	●電気化学反応
	温度	●高温（700℃程度）	●低温（200℃程度）	●低温（80℃程度）
メリット		●水素の調達不要 ●高効率（排熱を有効利用）	●水素の調達が不要 ●高効率（排熱を有効利用）	●水素の調達が不要 ●設備コスト低減可能（1段階の反応でメタン合成） ●低温のため大型化が容易
総合効率※		85%	80%	60%
コスト		●高	●中	●低
課題		●高温電解に必要なセル開発 ●メタン合成触媒の耐久性・反応制御の向上 ●高温で一連の反応を連続するシステムの構築	●水電解に必要なセル開発 ●メタン合成触媒の耐久性・反応制御の向上	●メタン合成触媒の耐久性・反応制御の向上

※公表情報より資源エネルギー庁試算。

研究開発内容

- 2050年コスト目標（40～50円/Nm³）を達成するためには、高効率にメタン合成できる可能性がある革新的技術によるメタネーションについて、将来的に実用化できる技術か否かを見極めながら、基盤的技術開発を進めていくことが重要。
- 革新的技術の要素技術の開発を進め、将来的な実用化が見通せる革新的技術に絞り込み、要素技術を試験装置で試験することで、そこで得られた知見を要素技術開発に活用しながら、社会実装が見通せる革新的技術の基盤技術の確立を目指す。

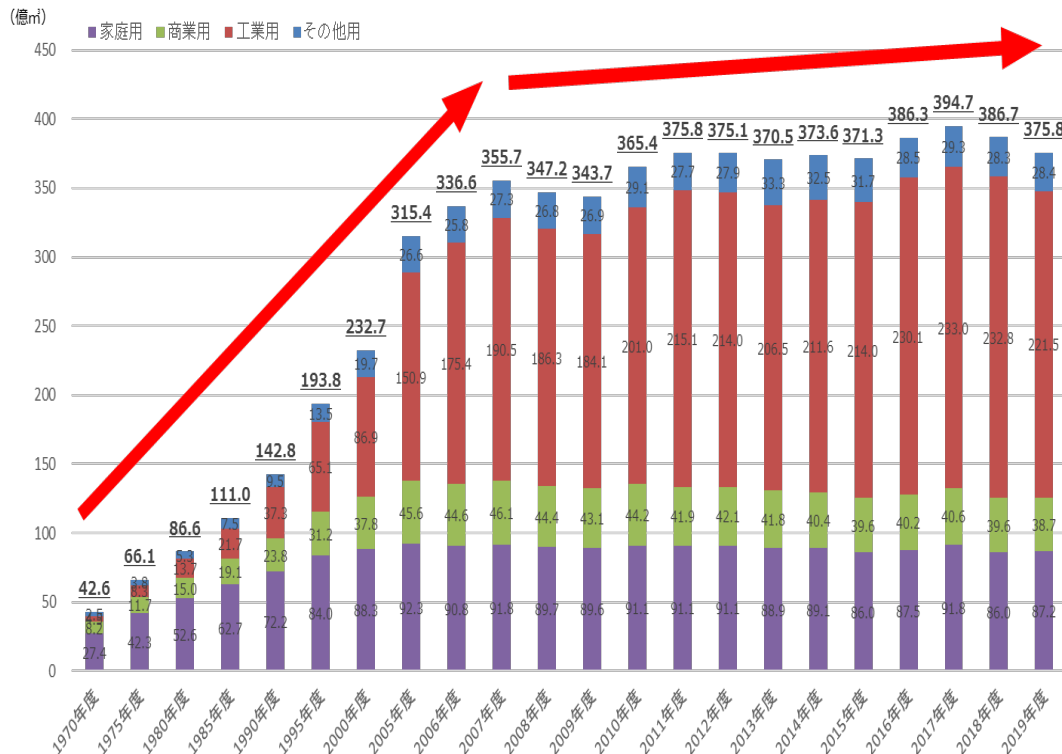
イメージ



国内の都市ガス需要

- 都市ガスの国内需要はゆるやかな漸増傾向。工業用の増加傾向が全体的な下支えとなっている。
- トランジション期の低炭素化のため、石炭・石油から天然ガスに転換する事業者も存在。天然ガスは化石燃料の中でCO₂排出量が最も少なく、燃料転換の動きが増えていくことが予想される。
- こうした中で、既存インフラを活用可能なメタネーションが実用化すれば、将来的な脱炭素化につながる。

都市ガス販売量の推移



出典：ガス事業生産動態統計

燃料転換の事例

TOYO TIRE株式会社



仙台工場（宮城県岩沼市）

石炭ボイラー

燃料転換

ガスコージェネレーション
CO₂削減量：56%減/年
2019年1月より稼働

昭和産業株式会社



鹿島工場（茨城県神栖市）

石炭ボイラー

燃料転換

ガスコージェネレーション
CO₂削減量：40%減/年
2021年9月完成予定

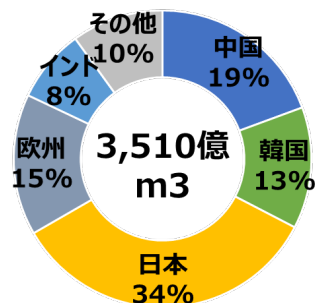
出典：公表情報より資源エネルギー庁作成

国際的な需要予測

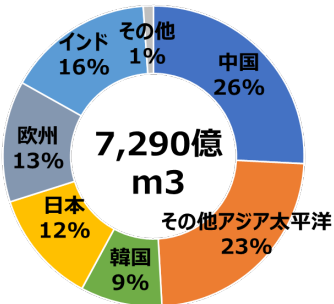
- 世界のLNG需要は、2040年までに倍増、特に中国・インドなどアジアにおける需要が増加する見通し。また、東南アジアにおける燃料転換を日本企業が支援した事例も存在。
- 仮に東南アジアの1割の天然ガス需要をメタネーションで置き換えた場合、約5,000億円規模の投資が見込まれる。
- メタネーションの技術開発・社会実装を進めることにより、アジアの脱炭素化需要の獲得につなげる。

LNG需要の拡大

2018年



2040年



出典：IEA「World Energy Outlook 2019」より経済産業省作成

出典：エネルギー白書2020

燃料転換の事例

エースコックベトナム株式会社

※Sojitz Osaka Gas Energy Company Ltd.
(双日と大阪ガスの共同出資会社) が実施



フニエン工場
(ハノイ近郊)



ビオゾン工場
(ホーチミン近郊)

石炭ボイラー

燃料転換

ガスボイラー

CO₂削減量：18%減/年※
2021年7月より稼働

※JCMの想定GHG排出削減量より試算

出典：公表情報より資源エネルギー庁作成

グリーン成長戦略（令和3年6月18日）（抜粋）

次世代熱エネルギー産業

①供給サイドのカーボンニュートラル化（ガスの脱炭素化）

＜今後の取組＞

（略）アジアで急拡大するLNG需要の一定割合を合成メタンに置き換えることにより、アジアにおける合成メタン市場の開拓と円滑な脱炭素化に貢献していく。仮に東南アジアの1割の天然ガス需要をメタネーションで置き換えた場合、約5,000億円規模の投資が見込まれる。（略）

※ World Energy Outlook 2020より、東南アジアの天然ガス需要（2040年106Mtoe）の1割がメタネーションに置き換わったとして試算

社会実装に向けた取組（メタネーション推進官民協議会）

- 合成メタンの社会実装に向けては、**技術開発**に加えて、合成メタンの生成には相当量の水素の確保が必要であり、合成メタンのコストを低く抑えるため、水素コストが相対的に安価な海外で生成した合成メタンを国内に輸送するなど、**サプライチェーンの構築**を進めていく必要がある。また、**CO₂のカウントについて、カーボンニュートラルに資する方向での検討**が必要。
- これらの課題（①技術開発、②サプライチェーン構築、③CO₂カウント）への取組を推進するため、供給側・需要側の民間企業や政府など関係する**様々なステークホルダーが連携して取り組むメタネーション推進官民協議会を設置**（第1回:6/28開催、第2回:9/15開催）。**官民が一体となって取組を推進**していく。

メンバー

供給側：**ガス**（日本ガス協会、東京ガス、大阪ガス、東邦ガス、INPEX）、**電力**（東京電力、JERA、関西電力）
エンジニアリング（IHI、日立造船、日揮、千代田化工、三菱重工業）

需要側：**鉄**（日本製鉄、JFEスチール）、**自動車**（デンソー、アイシン）、**セメント**（三菱マテリアル）

サプライチェーン：**船**（商船三井、日本郵船）、**商社**（住友商事、三菱商事、シェルジャパン）

研究機関：日本エネルギー経済研究所、CCR研究会/産業技術総合研究所、NEDO

金融：日本政策投資銀行、JOGMEC

学識者：山内弘隆(一橋大学名誉教授)、秋元圭吾(RITE主席研究員)、橘川武郎(国際大学副学長)

※いずれも総合エネ調基本政策分科会委員

政府：経済産業省、資源エネルギー庁、国土交通省、環境省

CO₂等を用いた燃料製造技術開発（気体燃料：合成メタン）

直接コントロールできる部分			経済・社会等の変化 （誰が／何が、どう変化することを目指しているか）		
（インプット）	（アクティビティ）	（アウトプット）	（短期アウトカム）	（中長期アウトカム）（インパクト）	
予算 [2021－2030年]	（合成メタン） 革新的技術（SOEC/メタン合成連携反応や水電解/低温サバティエ連携反応、PEMを用いたメタネーション等）の要素技術を開発し、試験装置で合成メタン製造の試験を重ねることで、基盤的技術を確立	2030年度までに、 ①再生可能エネルギー等の電力から製造した水素と、②その水素と回収したCO₂からメタン合成（メタネーション）する合成メタン製造に係る一連のプロセスの総合的なエネルギー変換効率が60%を上回る合成メタン製造が見通せる革新的技術を実現。 [測定指標] 試験設備での合成メタンを生成し、総合的なエネルギー変換効率を試算して評価 [2030年見込] 上記数値目標達成	2030年 CO₂削減効果 [測定指標] CO ₂ 削減量試算値 [2030年見込] 約90万トン 2030年 経済波及効果 [測定指標] 国内市場規模推算値 [2030年見込] 約200億円	2050年 CO₂削減効果 [測定指標] CO ₂ 削減量試算値 [2050年見込] 約8,000万トン 2050年 経済波及効果 [測定指標] 国内市場規模推算値 [2050年見込] 約1.8兆円	2050年 カーボン ニュートラル達成 経済効果 190兆円

アウトカム（世界市場規模推計）試算の考え方

・合成メタンにおけるアウトカムは、2019年時点の都市ガス需要を参照して都市ガス需要の1%（2030年）もしくは90%（2050年）を合成メタンが代替するとして試算された国内需要規模及び削減ポテンシャルを算出したもの

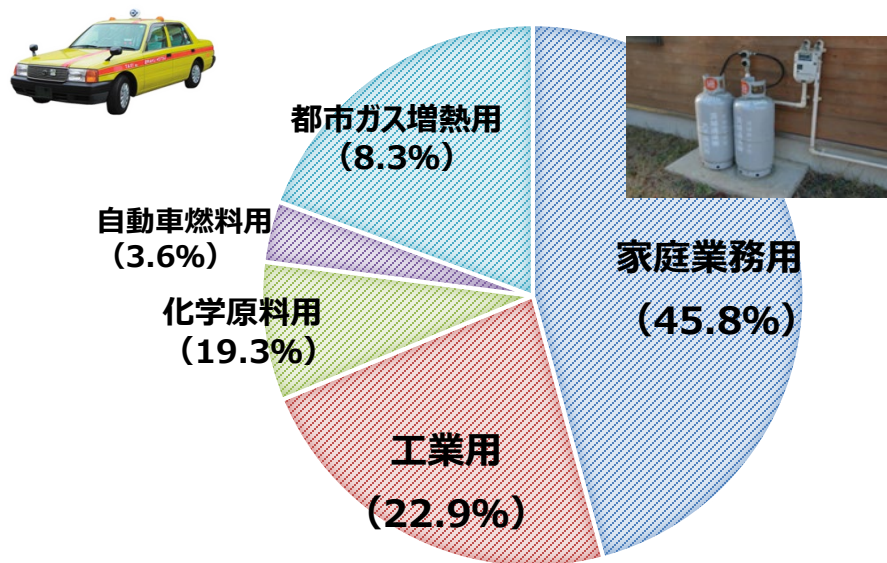
目次

- 1. 背景・目的
- 2. 各燃料における課題、目標、研究開発項目等
 - (1) 合成燃料
 - (2) 持続可能な航空燃料 (SAF)
 - (3) 合成メタン
 - (4) グリーンLPG
- 3. スケジュール

LPガスの概要

- LPガスは、プロパン（ C_3H_8 ）、ブタン（ C_4H_{10} ）からなる可燃性のガスであり、化石燃料の一種。燃焼時の CO_2 排出量はメタンガスに次いで少量。
- LPガスは可搬性、貯蔵の容易性に利点があり、住宅や飲食店、工場でのボイラー燃料や熱加工用、自動車燃料、都市ガス増熱用途等と幅広く利用されている。とりわけ、都市ガスが接続されていない郊外や離島等で普及しており、4割の住宅（2300万世帯）が利用。
- 導管による系統供給ではなく、ボンベによる分散型供給であるため、災害時に施設が被災していなければ利用できるというメリットがある。そのため、病院や福祉施設、避難所になる公共施設では、災害時に備えたLPガスの利用が進んでいる。

LPガス需要の内訳



総需要合計 約1,253万トン（2020年度）

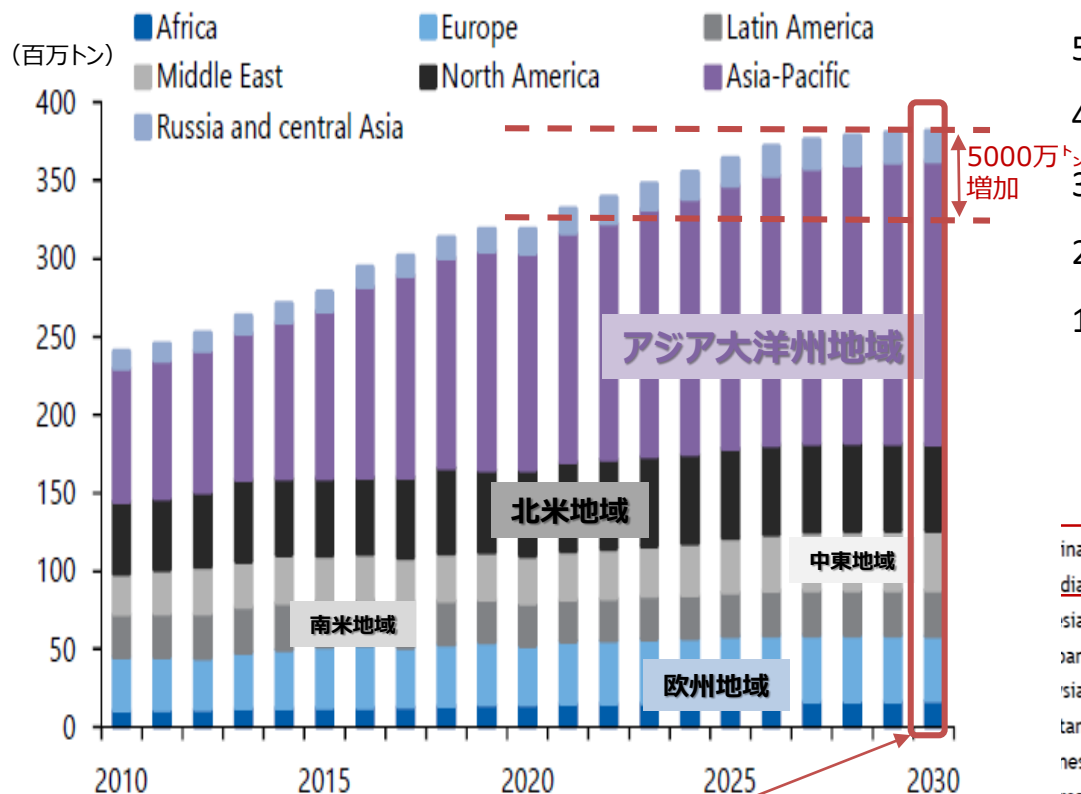
原油精製による製品別の留分割合

LPガス	3%
ナフサ	10%
ガソリン	27%
中間留分 (ジェット燃料、灯油、軽油)	40%
重油	20%

世界のLPガス消費量の推移と見通し

- アジア大洋州でのLPガス消費の拡大が続いており、薪・石炭からの燃料転換により、とりわけ、**中国、インドでは消費が急増**している。2030年までに**5000万トンの需要増**が見込まれている。
- これらの国々の一人当たりの消費量は、依然、日本の半分にも満たない状況であり、生活レベルの向上や経済発展に伴う工業用途の拡大により、世界のLPガス消費量を長期的に牽引。

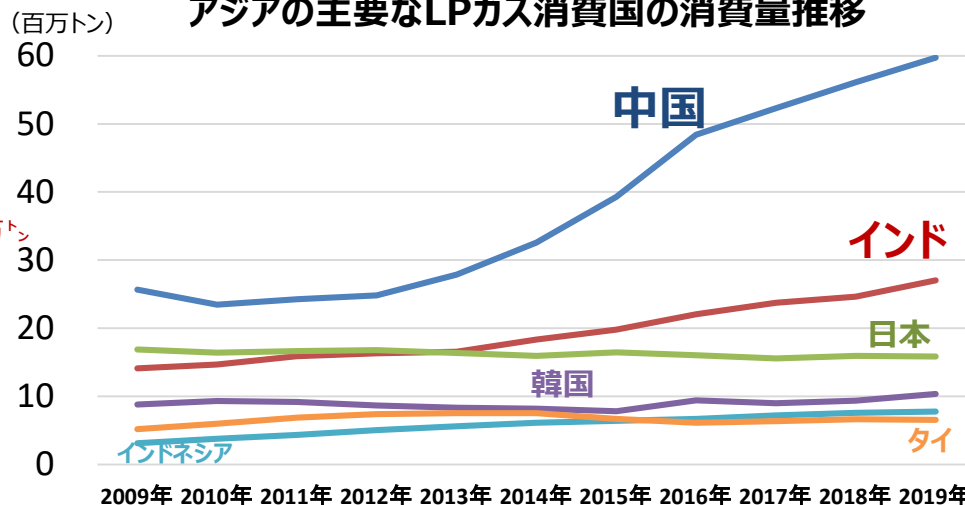
世界のLPガス消費量の見通し



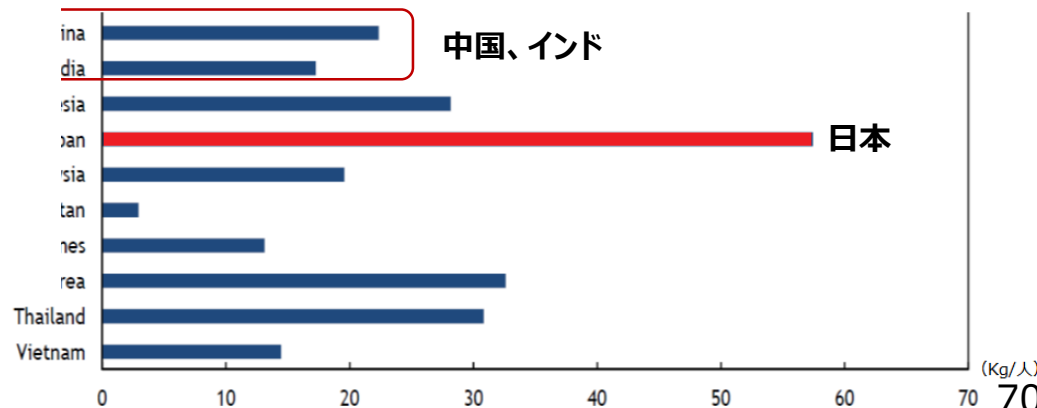
2030年の世界のLPガス市場は推計27兆円

出典：世界LPガス協会 Statistical Review of Global LPG 2020

アジアの主要なLPガス消費国の消費量推移



アジア諸国の一人あたりの家庭用LPガス年間消費量

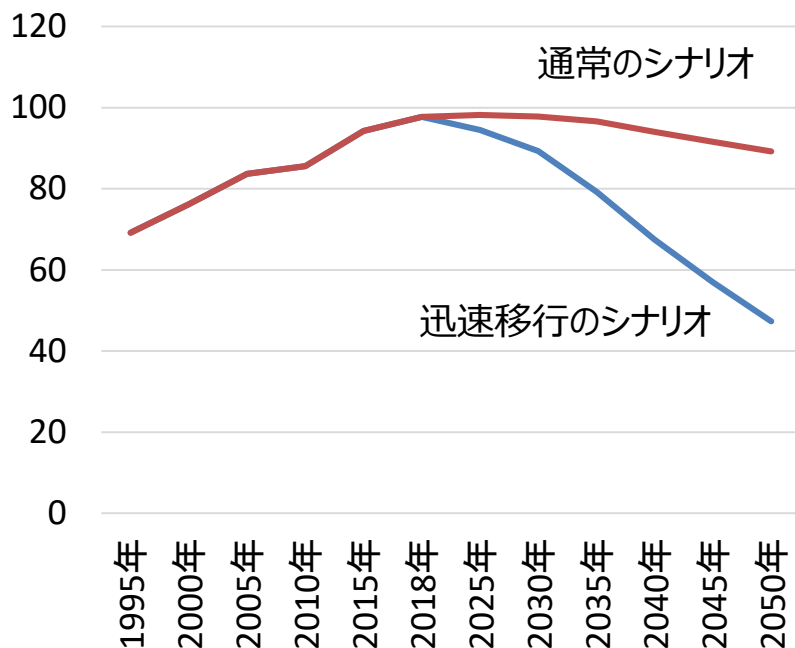


世界のLPガスの供給見通し

- 脱化石燃料の潮流の中で**世界の石油生産は、今後減少**していくことが予測されており、石油精製から生産されているLPガスも石油生産の減少に伴い、生産量が減少していく。
- 一方、中国、インドを中心とした**世界のLPガス消費の拡大は継続**するため、需給がタイトになり、LPガス価格が長期的に上昇していくと見られる。

世界の石油生産見通し

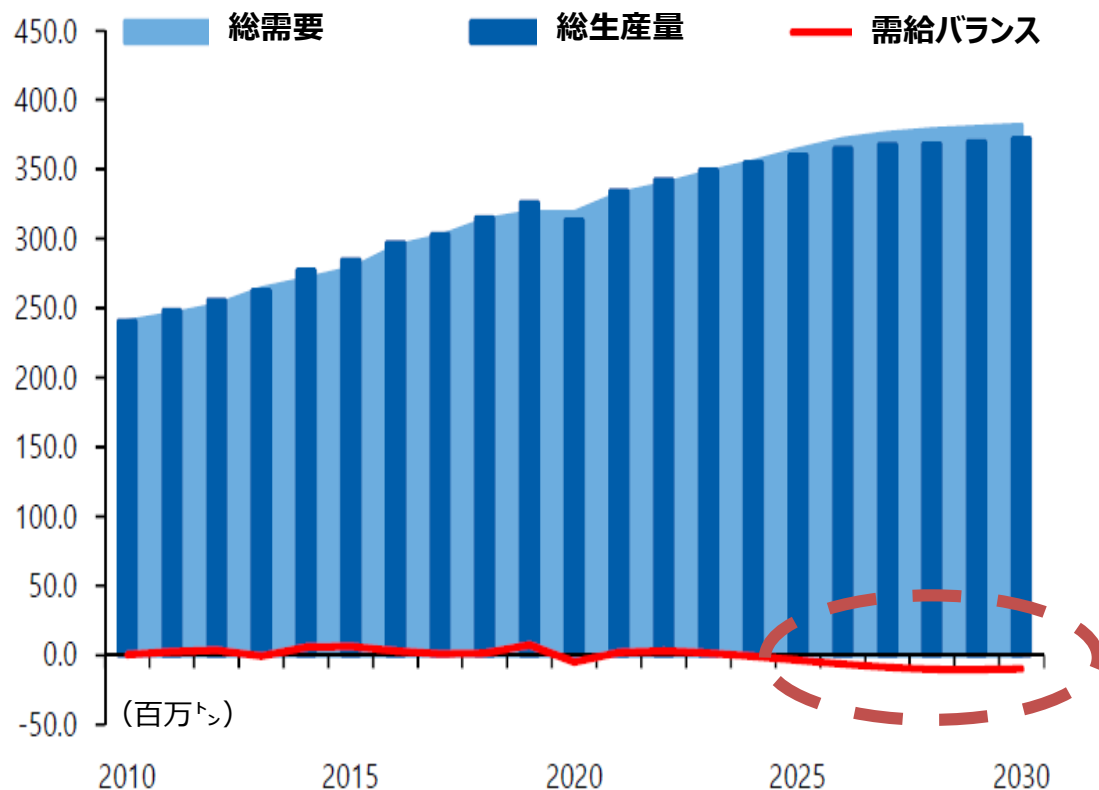
(百万バレル/日)



(留意) 迅速移行のスナリオは、カーボンプライシング等の政策によって脱炭素化が推進された場合の推移。
通常のスナリオは、近年の政策、技術等が引き続き維持されたと仮定した場合の推移。

出典：BP energy outlook 2020

世界のLPガスの需給見通し

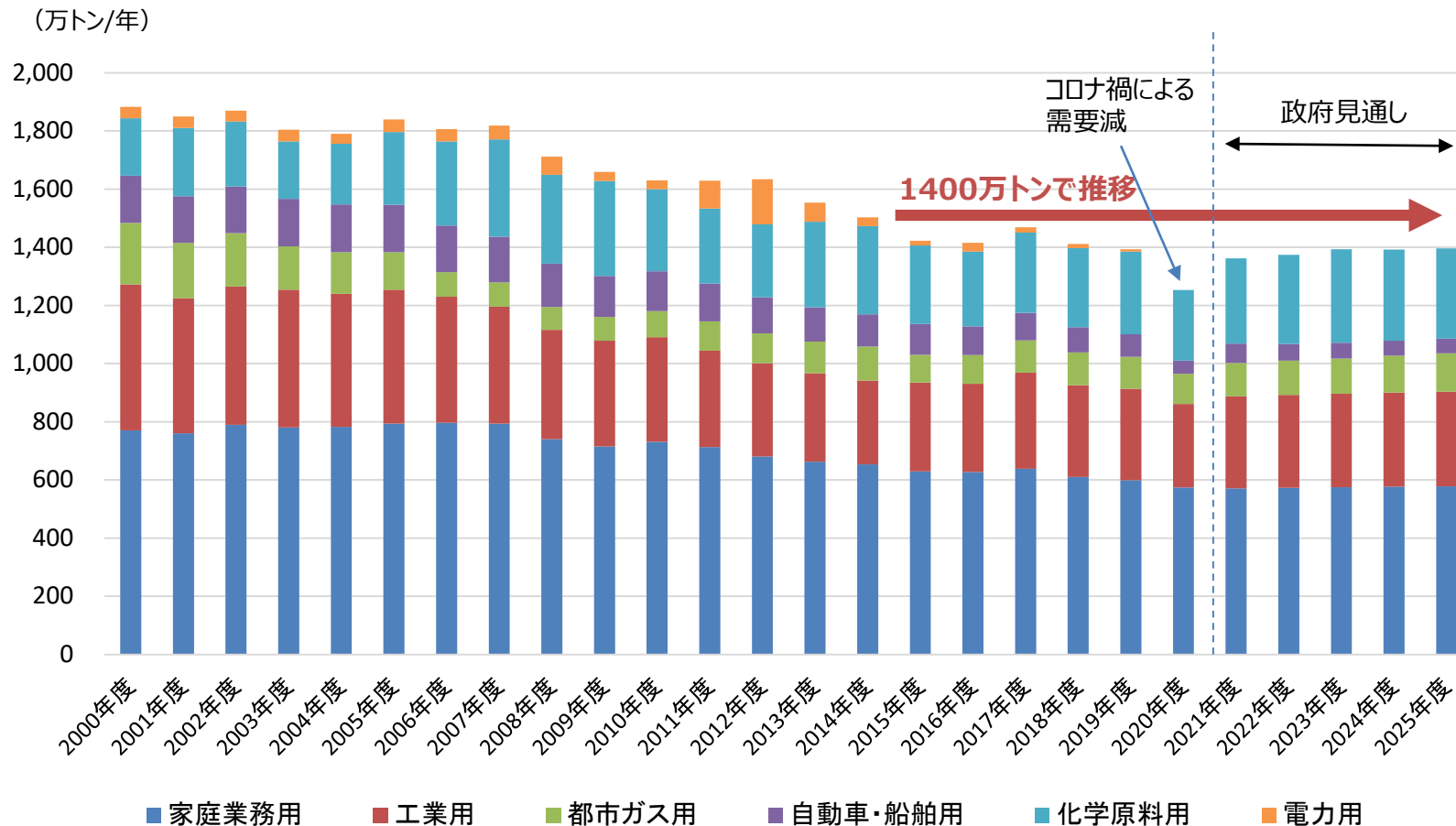


出典：世界LPガス協会 Statistical Review of Global LPG 2020

日本国内のLPガス需要の推移

- 地方での人口減やガス機器の省エネ化、オール電化住宅の普及により減少傾向にあったが、近年は1400万トンで推移。
- 近年増加する災害に備え、学校・病院・福祉施設にバルクタンクを設置したLPガス非常用発電機の設置が増えるなど、長期間保管で劣化せず、保存性の良いLPガスの良さが見直されている。

国内のLPガス需要推移と見通し



LPガス災害バルク



LPガス非常用発電機

脱炭素化されたLPガス供給の必要性

以下の事由により、都市ガス同様に、脱炭素化されたLPガス（グリーンLPガスと呼称）供給は維持される必要がある。

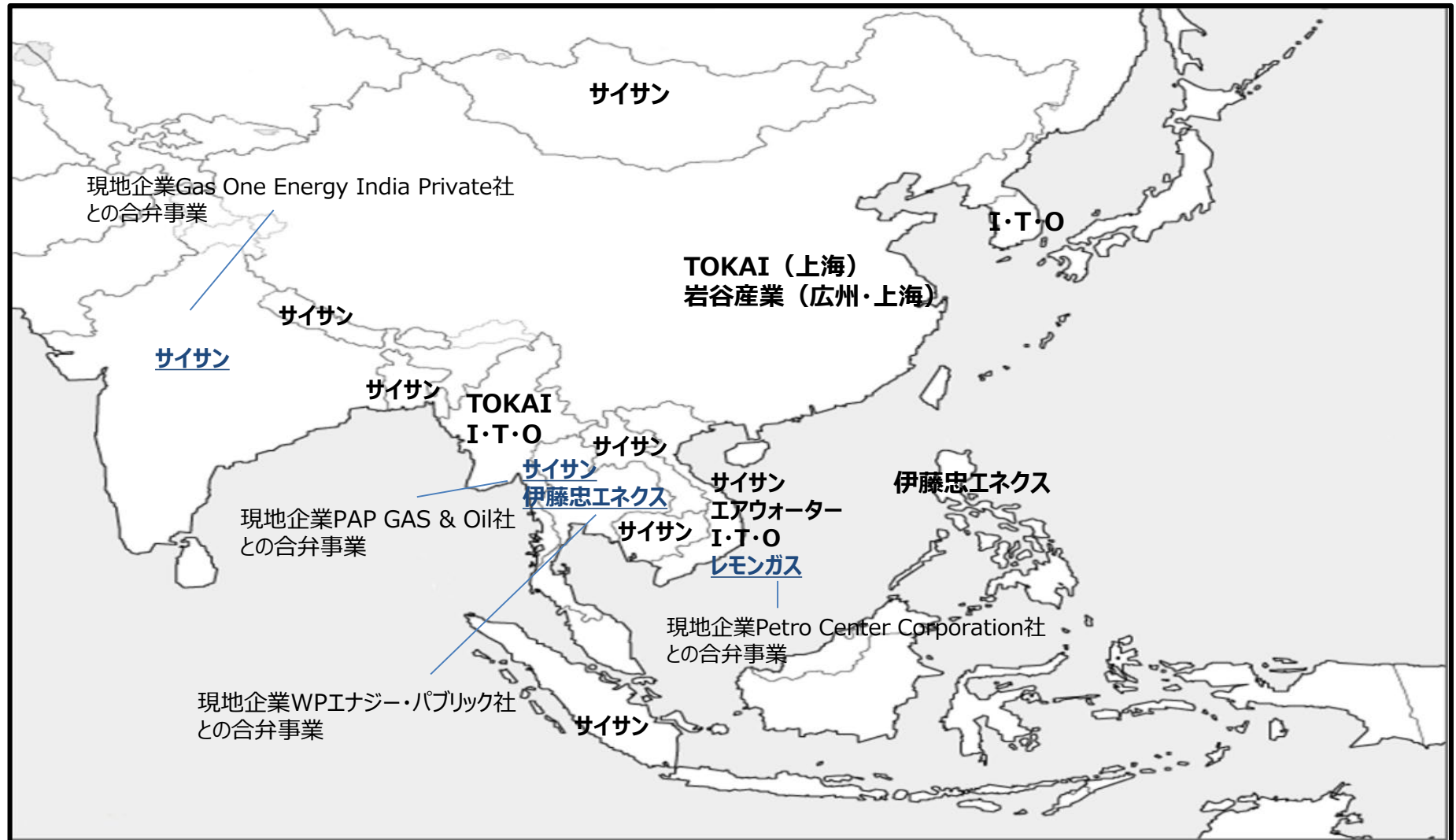
- 我が国の2050年のカーボンニュートラル達成のためには、需要の多寡にかかわらず、現在の燃料の脱炭素化に取り組む必要がある。仮に、**LPガスが脱炭素化されない場合、2050年において国内で2400万トン/年ものCO₂を排出することになる。このCO₂排出量をCCSの取組で、相殺する場合、1680億円/年もの費用※¹がかかる。**
- 太陽光発電やアンモニア/水素といった、ガスの代替エネルギーの開発普及に今後取り組まれるも、エネルギー転換にはコストがかかる。**仮に、現在LPガス利用の2300万世帯を電化しようとする、23兆円※²もの国民負担を求めることになる。**
- また、アジアを中心に薪・石炭からの燃料転換によりLPガス需要は急増している。近年、拡大する市場を求めて、日本のLPガス企業もアジアに進出してきており、グリーンLPガスの生産技術の確立により、アジアを市場として海外展開し、アジアのLPガスの脱炭素化を推進していくことができる。
- これにより、**アジア市場において、グリーンLPガスの展開がされると2.7兆円の市場規模が見込まれ、4050万トン/年ものCO₂を削減できる。**

※¹ CCSによるCO₂回収・地下貯蔵の費用は、現在、7000円/CO₂トン。

※² ガス機器からIHコンロや電気給湯機等の電気機器への転換に工事費含め、1世帯当たり100万円かかるとすると、2300万世帯×100万円で、一般家庭のエネルギー転換に23兆円のコストが発生する。

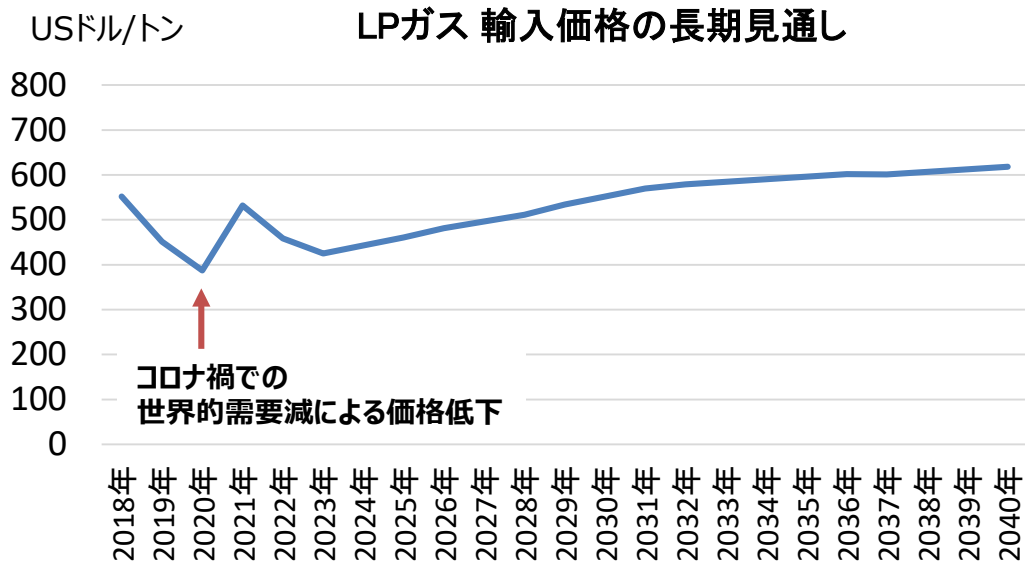
LPガス産業のアジアへの展開状況

- 既に拡大するLPガス需要をにらみ、LPガス大手企業はアジア諸国への海外展開を始めている。
- 我が国も進出したLPガス大手企業のネットワークと世界に先駆けてグリーンLPガスの生産技術確立したプラントの優位性を活かし、グリーンLPガスの海外展開を進め、アジア市場をリードしていく。



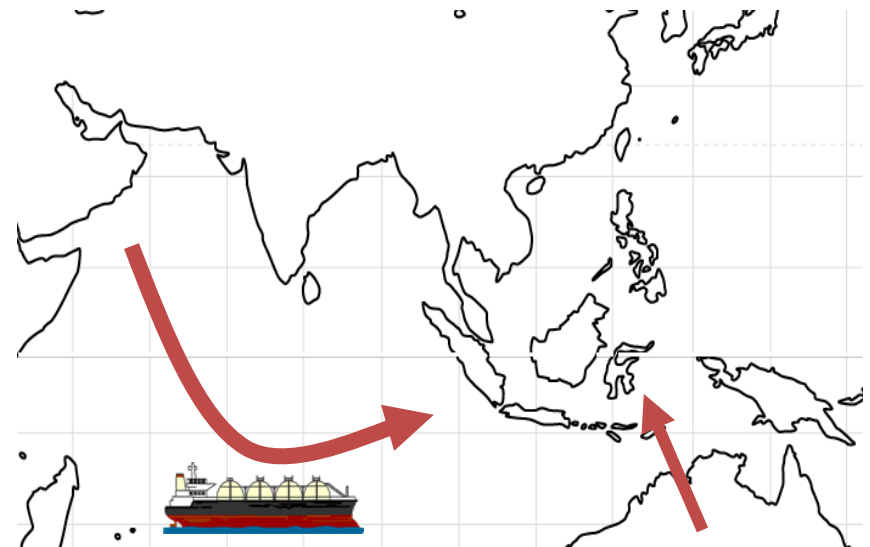
グリーンLPガスの海外展開の展望

- 今後、石油生産が減少し、石油精製からのLPガス生産も減少する一方で、LPガスの世界需要は拡大を続けるので、**長期的には国際的なLPガス価格の上昇**が予見される。そのため、グリーンLPガスの原価のギャップも小さくなっていくと考えられる。
- 需要拡大が見込めるアジアにおいては、**近年、日本のLPガス企業の進出が進んでいる**。現地で日本のLPガス会社と提携することで、グリーンLPガスの販路開拓については円滑に確保できる。なお、アジアのグリーンLPガス市場は推定2.7兆円／年と試算※。
- アジアへのグリーンLPガス供給については、**豪州・中東等の水素生産国でグリーンLPガスを生産し、アジアに輸出するオペレーションが考えられる**。



出典：Argus社 LPG analytics Services - long-term Market review -

アジア市場へのグリーンLPガス供給

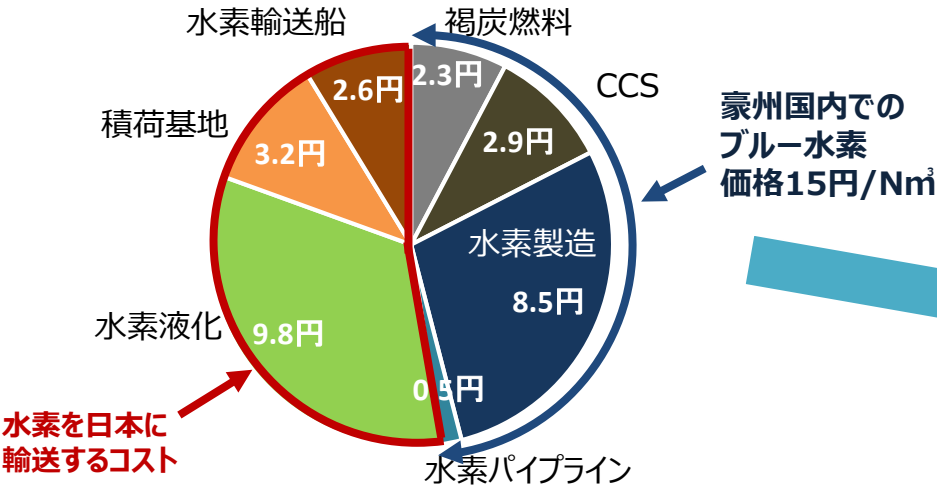


海外でのグリーンLPガス生産のビジネスモデル（案）

- 豪州の褐炭から生産されるブルー水素の価格内訳をみると、コストの半分が日本に輸送するための費用。グリーンLPガスの現地生産を行うことにより、2030年頃には、豪州国内で15円/Nm³程度でブルー水素を調達できる可能性がある。
- 豪州国内でグリーンLPガスを生産し、日本やアジアに輸出した場合のコストは、20.4万円/トンと推計され、現在の小売価格である40～50万円/トンと比べても十分商業ベースに乗ると考えられる。

豪州ブルー水素価格30円/Nm³（2030年目標）
のコスト内訳

豪州ブルー水素を原料に使った
グリーンLPガスのコスト試算（20.4万円/トン）



日本・アジアへの輸送費
0.5万円/トン※1

グリーンLPガス製造原価
19.9万円/トン※2

※1 中東からアジアへのLPガスのフレート価格45ドル/トン（船賃、港費含む）を適用
※2 水素価格15円で試算された製造原価

※経済産業省 長期地球温暖化対策プラットフォーム
「海外展開戦略タスクフォース」第2回会合 川崎重工資料より作成

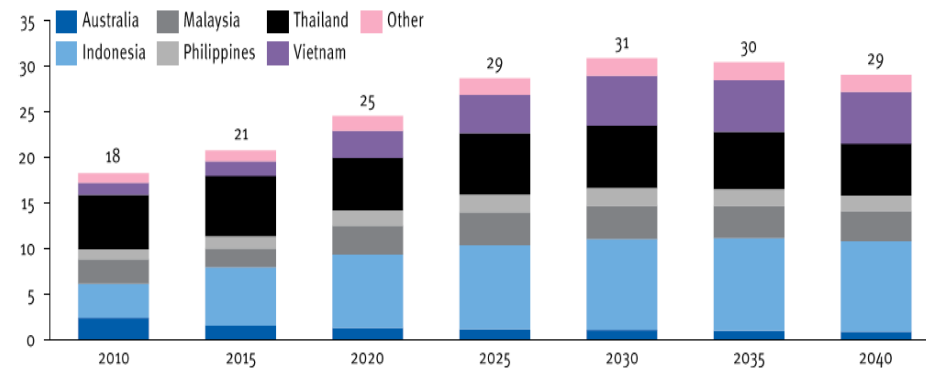
グリーンLPガス製造原価の変化

※ 試算条件：生産量1000トン／年、CO₂は無償で調達

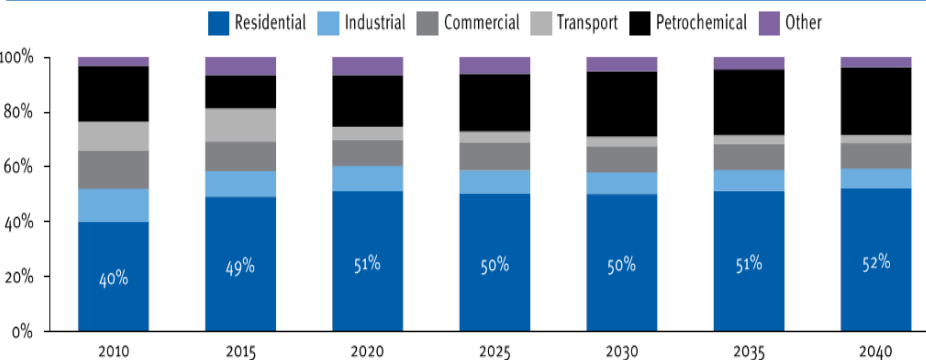
	水素100円/m ³ （現在の価格）	水素50円/m ³	水素30円/m ³ （2030年目標）	水素20円/m ³ （2050年目標）	水素15円/m ³ （2030年頃の豪州国内での価格）
製造原価試算	60.1万円/トン	36.6万円/トン	27.1万円/トン	22.3万円/トン	19.9万円/トン

【参考】 アジアのグリーンLPガス市場

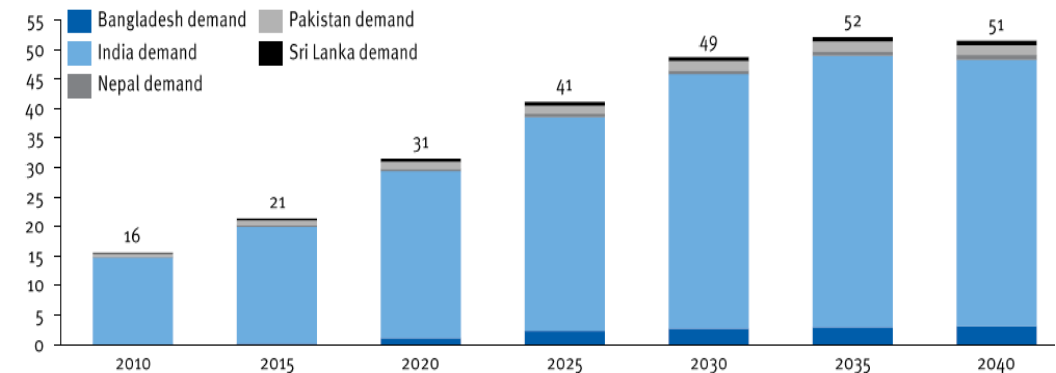
Southeast Asia LPG demand by country 2010-2040, mn t



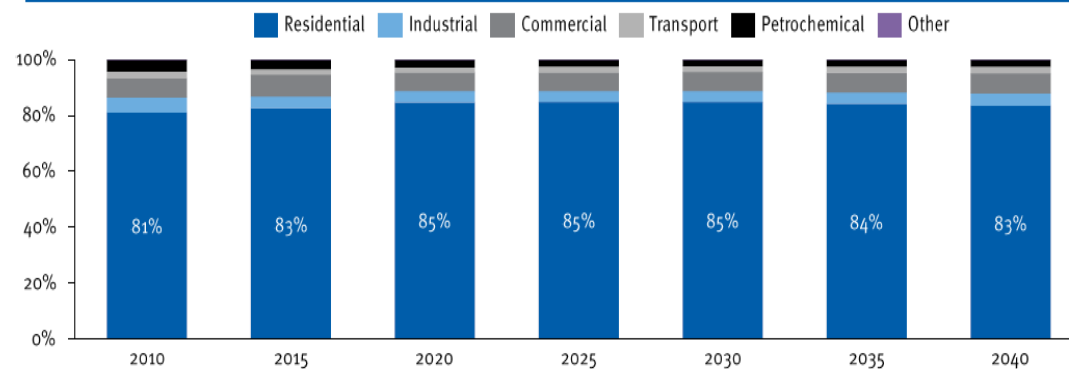
Southeast Asia LPG demand by sector 2010-2040, share of total



South Asia LPG demand by country 2010-2040, mn t



South Asia LPG demand by sector 2010-2040, share of total



出典：Argus社 LPG analytics Services - long-term Market review -

- グリーンLPガスの需要は、SDG s 経営を指向する法人や発注先からカーボンニュートラルな生産によってつくられた製品を求められる企業の需要と考えられる。よって、アジアのグリーンLPガスの需要は、工業/商業用途と考えられる。
 - 東南アジアの2040年時点でのLPガス需要は2900万トン/年。うち、法人需要となる工業/商業用途は、600万トン/年（20%）。
 - 南アジアの2040年時点でのLPガス需要は5100万トン/年。うち、法人需要となる工業/商業用途は、750万トン/年（15%）。
- 東南アジアと南アジアの工業/商業用途のLPガス需要は1350万トン/年の規模になる。この需要に、日本の小売価格の半分である20万円/トンのアジアでの小売価格と見做し、アジアにおけるグリーンLPガス市場規模を2.7兆円と試算。

【参考】 政府のグリーンLPガス海外展開支援

- 日本のLPガス企業のアジアへの海外展開を後押しすべく、LPガス国際セミナーやアジアLPガスフォーラムを開催。アジア諸国のLPガス業者と日本企業とのネットワーク作りに貢献。今後、日本のグリーンLPガスの取組を紹介し、アジア諸国のLPガス業界の啓蒙を図っていく。
- 国際石油ガス協力機構による、現地LPガス企業への日本のLPガスマネジメント技術の指導を通じた、日本企業とのネットワーク作りへの貢献。今後、グリーンLPガスのビジネス基盤となる、認証制度、品質基準、ブランド化ノウハウを指導。
 - ペトロベトナムLPG社等への技術協力（2016年度～2022年度）

アジアLPガスフォーラム 2021

The Asia LPG Forum 2021

◆ 開催日:3月3日(水) 12:30～14:40 ※WEB による開催

The day of the seminar: Mar. 3rd, 2021

12:30～12:40	アジアLPガスセンター Opening Address of the	13:20～13:50	講演：イスラLPG(フィリピン) Presentation: Isla LPG Corporation (Philippines)
	エルピーガス振興センター Mr. IWAI Seisuke, President		CEO ルーベン・マリオ・A・ドミンゴ 氏 Mr. Ruben Mario A. Domingo, CEO 「フィリピンのLPガス市場と日本企業とのJV事業(仮)」 "LPG Industry in Philippines and our Activities with Japanese companies (Tentative)"
12:40～12:50	歓迎挨拶 Welcome Address	13:50～14:20	講演：I-T-O(日本) Presentation: I-T-O Corporation (Japan)
	資源エネルギー庁 資源 Mr. HASHIZUME Masafumi, Director, Natural Resources and Energy		執行役員海外事業部長 内海 由輝子 氏 Ms. UTSUMI Yukiko, Operating Officer, Overseas Div. 「わが社の海外事業活動(仮)」 "Our Overseas' Activities (Tentative)"
12:50～13:20	講演：サイサン(インドネシア) Presentation: Salsan (Indonesia)	14:20～14:40	総括及び閉会挨拶 Concluding Remarks and Closing Address
	海外事業部長 新堀 俊幸 氏 Mr. SHIMBORI Toshiyuki, Managing Director, Overseas Business 「わが社の海外事業活動(仮)」 "Our Overseas' Activities (Tentative)"		エルピーガス振興センター 専務理事 嘉村 潤 氏 Mr. KAMURA Jun, Managing Director, LP Gas Center



海外でのバイオLPガス生産の動向

- 欧米ではバイオマス原料から生産されるバイオディーゼルの副生品として、バイオLPガスが生産され始めている。バイオLPガスはブランド化され、プレミアム価格で取引されている。
- バイオLPガスは、既存の石油精製工場での水素化処理に、パーム油等の植物油を入れてバイオディーゼルとともに生産。既存施設を利用できるため簡易であり、主流となっているが、バイオディーゼルとバイオLPガスの生産比率は10：1であり、バイオLPガスを大量生産はできない。

海外でのバイオLPガスの生産（2018年）

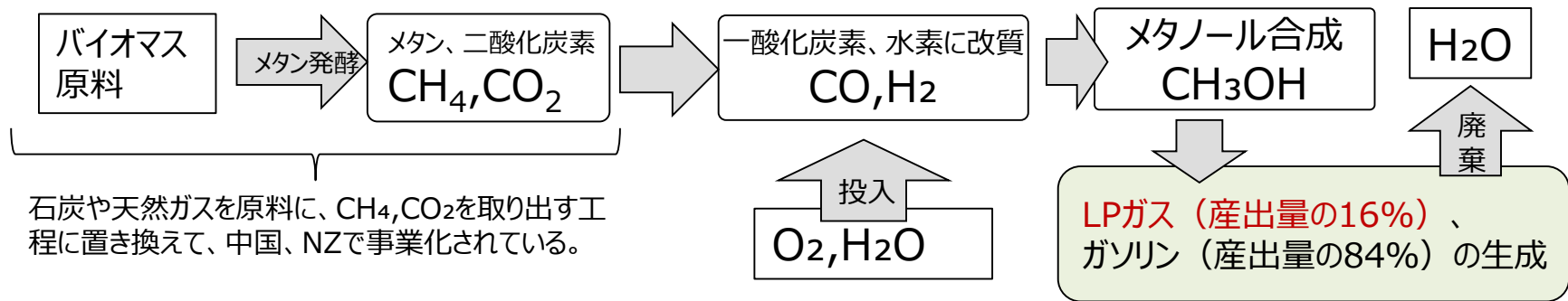
出典：世界LPガス協会報告書

事業者	国	生産量(千トン/年)	バイオLPガスのブランド名
World Energy (旧:AltAir Fuels)	米国	7	
Renewable Energy Group	米国	1.3	Bio Propane
Valero: Diamond Green Diesel	米国	10	Renewable naphtha
Global Bioenergies	デンマーク	0.1	Isonutylene (販売事業者: Butagaz)
Repsol	スペイン	2018年に生産開始	
Total	フランス	30	
Eni	イタリア	20	Green LPG
Irving Oil	アイルランド	3	
Neste Oil	オランダ	90	Bio LPG (販売事業者: SHV Energy)
PREEM	スウェーデン	15	Ecoblem (販売事業者: AGA) Biomix (販売事業者: Kosangas)

海外でのLPガス生産の先進技術の取組状況

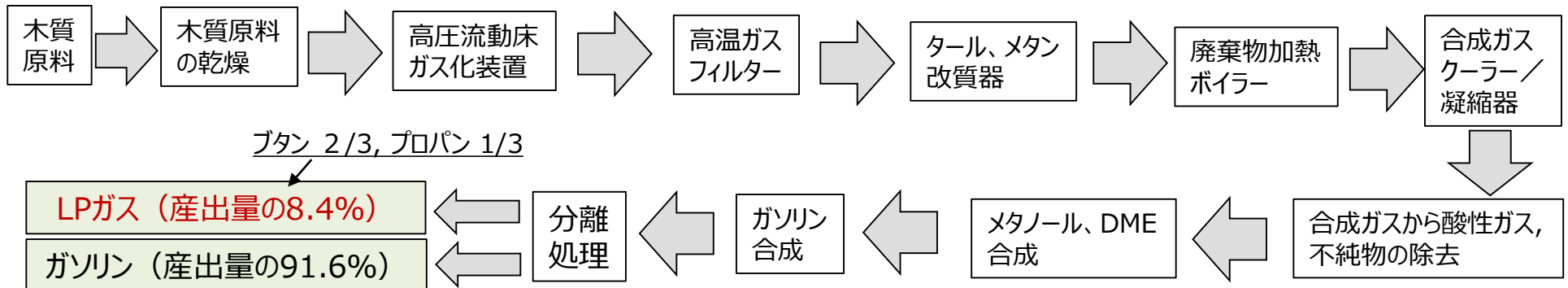
- 世界的に見ても、現在、非化石原料からLPガス生産に特化した先進技術はなく、ガソリンやディーゼル等の燃料の生産の中で、LPガスも副生されるという技術になっている。LPガス生産を主目的とした場合、ガソリンの副生のため、生産効率が悪く、LPガスの生産性が小さいことが課題。

バイオマス原料からのガソリン／LPガス生成技術（エクソンモービル）



木質原料からのガソリン／LPガス生成技術（米国エネルギー省 Gas Technology Institute）

※2010年から2014年に実証運転がおこなわれた。

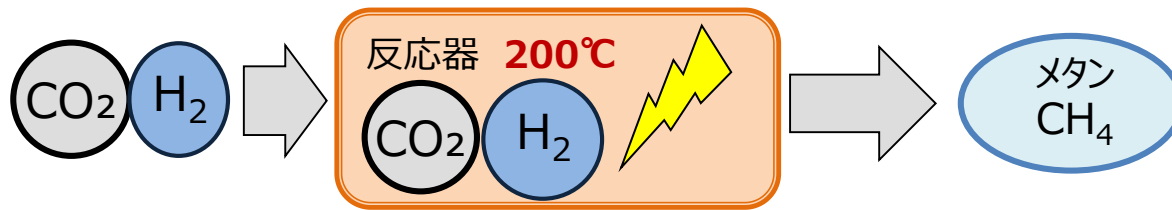


炭化水素の合成技術

- 炭化水素は炭素鎖の長さにより性状や用途が異なり、それぞれに応じた合成法の研究が必要。いずれも原料として水素が必要となっている。
- 特に、プロパン・ブタンの生成（②）については、メタネーションやFT反応合成とは異なり、合成に多量の電力が不要な、メタノールを経由した合成が効率的。現在の生成率は30%と低いため、これを商用ベースに活用できる高効率な触媒の研究が必要。

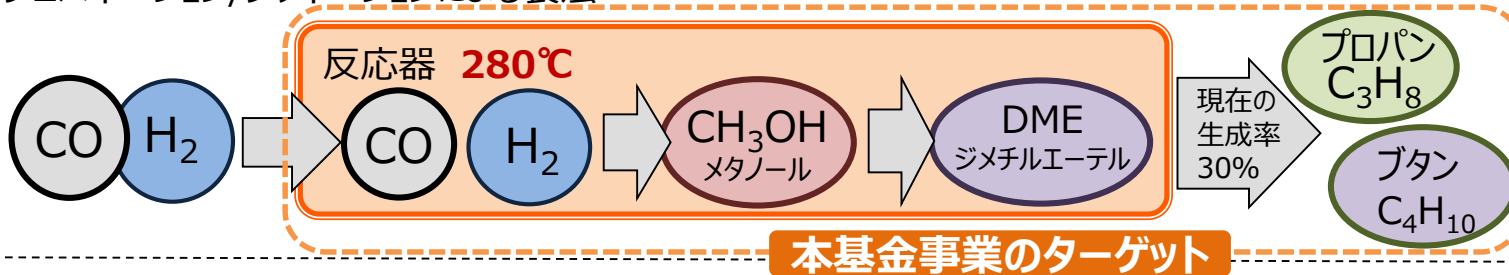
①メタネーションによる製法（サバティエ反応による直接製法）

電加することで、合成を促進



- 主な用途・特徴
- 発電用途
 - 都市ガス用途
 - ※ガス管等インフラ必要

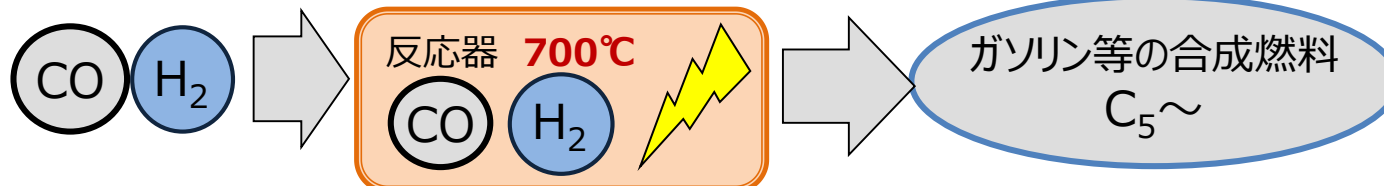
②プロパネーション/ブタネーションによる製法



- 主な用途・特徴
- 家庭・業務等の熱利用
 - ※液化するので可搬性あり、保存性が良く、災害時もあり

③FT反応合成（直接製法）

電加することで、合成を促進



- 主な用途・特徴
- 運輸燃料
 - ※エネルギー密度が大きい、生成時にも大きなエネルギーが必要

グリーンLPガスの社会実装の方向性

- 以下の2つの取組によって、普及を図る。

① 一般のLPガスと混合して、供給する（都市ガスのメタネーションによる合成メタンも同様）

メリット：グリーンLPガスの生産コストをLPガス料金全体に転嫁できる

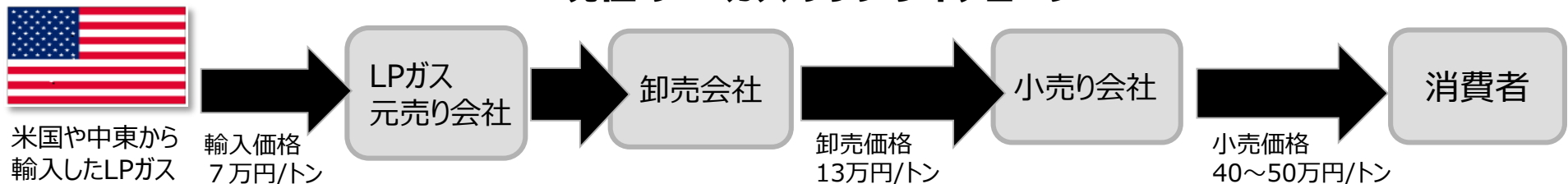
② グリーンLPガスを一般のLPガスと差別化して販売する（欧州のバイオLPガス販売と同様）

メリット：持続可能なエネルギーを求める需要家の要望に応えることができる。

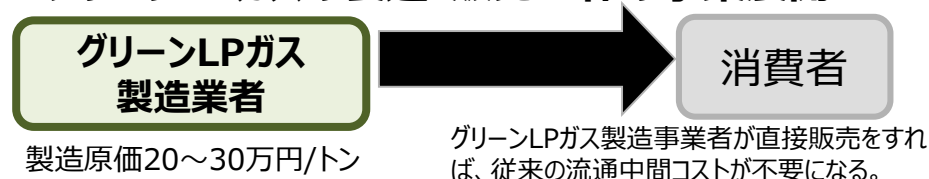
【考察】 グリーンLPガスの生産技術の確立による産業構造の変化

- 現在、LPガスは輸入を行う元売り会社から、卸売会社、小売会社を経由して消費者に届けられており、川上から川下までのLPガスのサプライチェーン構造が長くなっている。それぞれの流通に関わる業者が事業者利益を確保して取引するので、LPガスの小売価格は、輸入・小売をする都市ガスに比べ2倍程度高くなっている。
- グリーンLPガスの生産技術が確立し、事業リスクが低下すれば、LPガス関連会社や産業用ガス製造会社等がグリーンLPガスの生産に参入し、製造・販売に取り組む可能性もある。製造事業者が販売もするようになることで、グリーンLPガスの製造原価が高くとも、流通中間コストがなくなるため、一般のLPガスと価格競争できる可能性がある。

現在のLPガスのサプライチェーン



グリーンLPガスの製造・販売一体の事業展開



【参考】 グリーンLPガスの国内流通に伴うビジネス環境の整備

【品質基準】

- LPガスの国内流通にあたっては、品質基準があり、成分等について適合させる必要あり。従来の石油精製からつくられるLPガスにおいては、確立された製造技術により生産される高品質のLPガスが求められてきたが、従来の品質基準に適合しようとして、改質工程を繰り返すと、過度な製造コストがかかることが懸念される。
- グリーンLPガスの製法によって含有される成分について検証※¹し、必要に応じて、品質基準の見直しを行い、グリーンLPガスが流通しやすいビジネス環境を整備していく。

【第三者認証】

- 非化石原料からの生産されたLPガスについて、第三者認証制度の必要性が世界LPガス協会で議論されている。グリーンLPガスの第三者認証制度を確立をすることで、グリーンLPガスの信頼性の高い取引環境を整備。

【グリーンLPガスのサプライチェーンの在り方】

- 原価が高いグリーンLPガスの流通について、検証し、その在り方や展望を示す。

【業界統一ブランド化】

- グリーンLPガスに取り組む各社がそれぞれの自社ブランドとして取り組むと、需要家への認知を高めていくことが困難なため、業界統一ブランド※²として、呼称、要件、ロゴマーク等を定め、業界を挙げてPRしていく。

※ 1 反応器内でLPガスにならなかった、未反応のDME（ジメチルエーテル）が、そのまま反応器から出てくることが予想される。DME自身は可燃性のガスで物性もLPガスに類似しており、10%～20%は、LPガスに含まれていても支障ないと考えられる。

※ 2 ガス業界ではこれまでも、差別化が必要な商品について、高効率ガス給湯機にエコジョーズ、家庭用燃料電池にエネファームと、業界統一ブランド化を図り、PRする取組が行われてきている。

JIS規格 JIS K 2240										
種類	項目	組成 (mol%)				硫黄分 (質量%)	蒸気圧 (40℃) (Mpa)	密度 (15℃) (g/cm ³)	銅板腐食 (40℃、 1h)	主な用途
		エタン +エチレン	プロパン +プロピレン	ブタン +ブチレン	ブタジエン					
1 種	1 号	5以下	80以上	20以下	0.5以下	0.0050 以下	1.53以下	0.500 ～0.620	1以下	家庭用燃料 業務用燃料
	2 号		60以上 80未満	40以下						
	3 号		60未満	30以上						
2 種	1 号	—	90以上	10以下	— (注)	0.0050 以下	1.55以下	0.500 ～0.620	1以下	工業用燃料 工業用原料 自動車用燃料
	2 号		50以上 90未満	50以下						
	3 号		50未満	50以上 90未満			1.25以下			
	4 号		10以下	90以上			0.52下			

【参考】日本におけるグリーンLPガスの動向

- 非化石燃料由来のLPガス生成の可能性を模索すべく、日本LPガス協会を事務局として、「グリーンLPガス研究会」を立ち上げ、エンジニアリング会社、産業技術総合研究所等の有識者を交えて、メタネーション技術やバイオマス技術等のガス合成に関わる技術動向を確認。

＜委員＞

早稲田大学 先進理工・応用化学 関根泰教授（座長）
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 坂西欣也領域長補佐
（一社）全国LPガス協会 村田光司専務理事
" 田中常務理事
日本LPガス協会 吉田栄専務理事
" 調査部会 熊野匡昭部会長（ENEOSグループ）
" 品質部会 東修平部会長（岩谷産業）
経済産業省 資源エネルギー庁 石油流通課 橋爪優文企画官
" " " 家田和幸課長補佐

＜オブザーバ＞

大阪ガス（株）イノベーション本部エネルギー技術研究所
大西久男副理事
国際石油開発帝石（株）再生可能エネルギー・電力事業本部
巽孝夫テクニカルコンサルタント
（株）サイサン技術開発部 小出達弥部長
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 小熊光晴総括研究主幹
千代田化工建設（株）地域環境プロジェクト事業本部
安井誠本部長補佐
（一社）全国LPガス協会 笠間英樹保安・業務G長
アストモスエネルギー（株）浜口達弥企画開発副部長
ジクシス（株）上林稔環境設備保安部長
（株）ジャパングスエナジー 久松勝之販売促進部長

研究会の開催経過と主な議題

第一回研究会：2020年11月20日

- ・ 非在来型触媒でエネルギーの環境と未来をつくる（関根座長）
- ・ メタネーション関連技術および産総研の取組紹介（産総研）
- ・ バイオ燃料開発を巡る日本LPガス協会のこれまでの動向（日本LPガス協会）

第二回研究会：2020年12月17日

- ・ 水素社会の実現に向けて（岩谷産業（株））
- ・ FT合成について（千代田化工建設（株））
- ・ CO₂-メタネーション技術の現状と課題（国際石油開発帝石（株））

第三回研究会：2021年1月22日

- ・ SOECメタネーションとC 1～4 成分併産への挑戦（大阪ガス（株））
- ・ バイオマスからのDME等のクリーン燃料の製造技術に関する産総研の取組み（産総研）
- ・ JFEエンジニアリングにおける廃棄物ガス化技術及びバイオマスプラント（JFEエンジニアリング（株））

第四回研究会：2021年2月26日

- ・ 地産地消エネルギーによる地域のカーボンニュートラル化（大成建設（株））
- ・ 高効率LPG合成プロセスの開発（HiBD研究所）

第五回研究会：2021年3月25日

- ・ 家畜のふん尿から新しいエネルギーを創出する技術を開発（古河電工（株））
- ・ DME混合によるLPガスの低炭素化（日本DME協会）

【参考】（一社）グリーンLPガス推進協議会の創設

- 今後のグリーンLPガスの研究、普及の事業を実施するため、LPガス元売り5社によって新団体を創設。
- 新団体は、既存の日本LPガス協会の事務局が兼務しつつも、触媒やガス合成の専門家を確保し、グリーンLPガスの研究開発を担える体制とする。

設 立 日：令和3年10月

所 在 地：日本LPガス協会内（虎ノ門）

会 員 企 業：LPガス元売り5社（アストモスエネルギー、ENEOSグローブ、ジクシス、ジャパンガスエネジー、岩谷産業）

役 職 構 成：小笠原 剛 会長（日本LPガス協会会長との兼務、アストモスエネルギー社長）
岩井 清祐 副会長（日本LPガス協会副会長との兼務、ENEOSグローブ社長）
野倉 史章 副会長（日本LPガス協会副会長との兼務、ジクシス社長）
吉 田 栄 業務執行理事（日本LPガス協会専務理事との兼務）
上 平 修 事務局長（日本LPガス協会事務局長との兼務）

研 究 者：藤元 薫氏（元東京大学教授、北九州市立大学名誉教授、ガス合成の専門家）

※上記のほか、数名の研究者を確保する予定。

【参考】日本におけるグリーンLPガスの動向

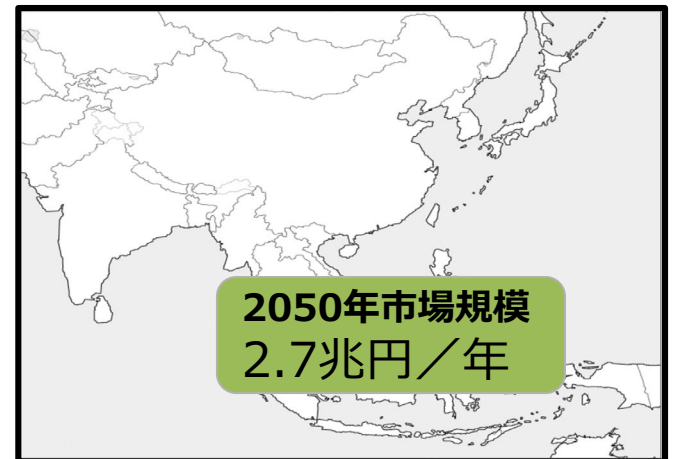
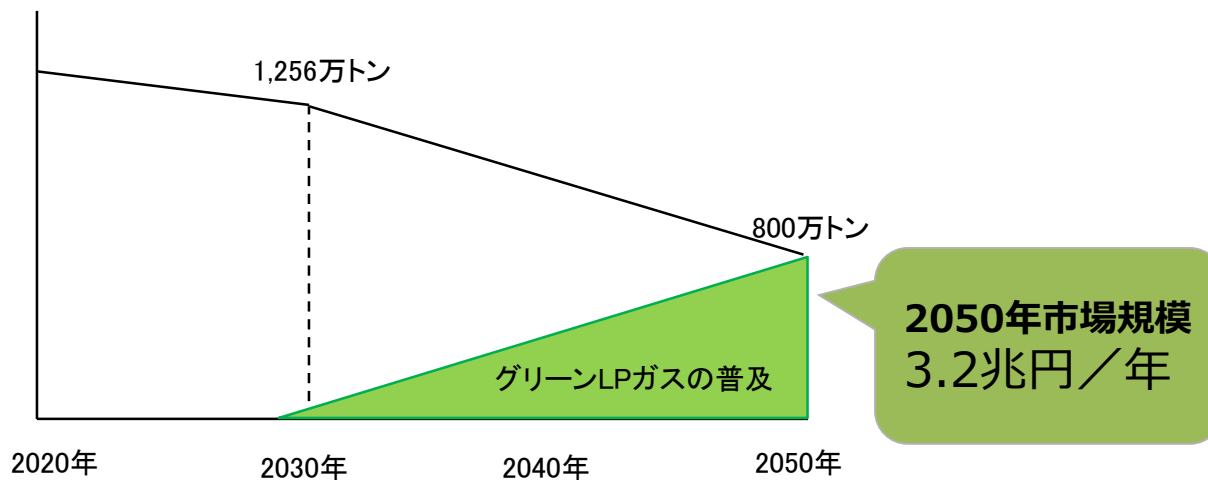
CO₂削減効果

- 2050年においても約800万トンの需要が見込まれるLPガスをグリーンLPガスにすることで、年間約2,400万トンのCO₂削減（LPガスのCO₂排出量：3.0kg・CO₂/kg）。2030年から2050年の累積では、2.4億トンのCO₂削減。

経済効果

- 国内のLPガス需要の全てがグリーンLPガスに置き換わることで、2050年には年間3.2兆円の国内市場を創出。2030年から2050年の累積では32兆円の国内市場を創出。また、アジアを中心とした海外市場では、年間2.7兆円を創出。

今後のLPガス国内需要長期見通しとグリーンLPガスの普及の関係



CO₂等を用いた燃料製造技術開発（気体燃料：グリーンLPガス）

直接コントロールできる部分

経済・社会等の変化

（誰が／何が、どう変化することを目指しているか）

（インプット）

（アクティビティ）

（アウトプット）

（短期アウトカム）

（中長期アウトカム）（インパクト）

予算

[2021－
2030年]

グリーンLPガスを生成するための合成方法・触媒については、生成率が低いため、生成率を改善した合成方法・触媒を開発する。

生成率の目標値：
現在30% → 目標50%

**非化石燃料由来のグリーン
なLPガス合成技術を確立
し、商用化を実現**

[測定指標]
グリーンLPガスの年間生産量

[2030年見込]
1000トン／年

2030年CO₂削減効果

[測定指標]
グリーンLPガス年間生産量

[2030年見込]
3000トン・CO₂削減

2030年経済波及効果

[測定指標]
国内市場規模推算値

[2030年見込]
約4億円

2050年CO₂削減効果

[測定指標]
グリーンLPガス年間生産量

[2050年見込]
約6450万トン・CO₂削減

2050年経済波及効果

[測定指標]
国内市場／アジア市場規模推算値

[2050年見込]
約5.9兆円

**2050年
カーボン
ニュート
ラル達成**

経済効果
190兆円
の一部

アウトカム（国内市場規模推計）試算の考え方

- ・2030年については、その時点のグリーンLPガス生産量に小売価格（40万円/トン）を乗じて試算。
- ・2050年については、2050年のLPガス国内需要推計とアジア市場での需要推計を基に、それぞれの需要をLPガス小売価格（国内40万円/トン、海外20万円/トン）を乗じて試算。
- ・CO₂削減量については、LPガスは燃焼時に、3倍のCO₂を排出することから、2030年については、グリーンLPガス生産量に3を乗じてCO₂削減量を試算。
2050年については、国内/アジア市場での需要量に3を乗じてCO₂削減量を試算。

本事業の目標等と関連する研究開発内容について（気体燃料：グリーンLPガス）

- 本事業では、非化石由来のグリーンLPガス生成技術確立し、グリーンLPガスの商用生産を通じて社会実装していくことを目的として、以下の目標、研究開発内容を設定。
- グリーンLPガスにおいては、基盤技術となる触媒や合成方法、プラント設計に係る周辺基盤技術が未確立であるため、商用化まで10年足らずで実現する革新的な技術開発は委託で開始することを想定。

研究開発目標とその考え方等

- 目標（グリーンLPガス）：
2030年までに生成率50%となる非化石燃料由来のグリーンなLPガス合成技術確立し、商用化のための生産を行う。生産量は、年間1000トンを目指す。
- 考え方：
グリーンLPガスの生成については、現状では30%という非常に低い生成率について、生成率が高い合成方法、触媒を開発することが、事業全体の生産性を大きく改善することにつながる。
グリーンLPガス生産を事業化するためには、生成率50%に達する必要がある。生産量については、事業化するためには、一定の規模の生産量になる必要があり、年間1000トンという規模は事業化のための必要な規模と考えられる。

目標
(グリーンLPガス)

内容：化石燃料によらないグリーンなLPガス合成技術の開発
(委託、補助)

目次

- 1. 背景・目的
- 2. 各燃料における課題、目標、研究開発項目等
 - (1) 合成燃料
 - (2) 持続可能な航空燃料 (SAF)
 - (3) 合成メタン
 - (4) グリーンLPG
- 3. スケジュール

(参考) プロジェクトの想定スケジュール (例)

