

液体合成燃料一貫製造プロセスの製造効率改善への取組み

◇温室効果ガスの排出削減、及び新たな資源の確保という 2 つの課題解決を両立させる技術として、CO₂ を原料とした液体合成燃料が期待されている。

◇JPEC では、2020 年度から 2024 年度に新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 委託事業の一環として CO₂ を原料とした液体合成燃料一貫製造プロセスの研究開発を行った。2025 年度から開始された後継事業では、よりエネルギー効率に優れた先進的な合成燃料製造技術の開発に取り組んでいる。

◇本レポートでは、e-fuel の需要ポテンシャルと e-fuel 製造に取り組む意義や、JPEC のこれまでの一貫製造プロセスの製造効率改善への取組みについて紹介する。

1. はじめに

温室効果ガス (GHG) の排出削減とエネルギー安定供給の両立が求められる中、CO₂ と再生可能エネルギー由来電力等から得られるグリーン H₂ を原料とする合成燃料は、脱炭素化と資源制約対応の両面から注目を集めている。

欧米では技術開発・実証事業が進展するとともに、制度面でもその位置付けの整理が進みつつある。欧州では 2035 年以降の新車 CO₂ 排出基準強化が基本方針とされる一方、カーボンニュートラル燃料のみを使用する車両の扱いについても制度的検討が進められており、合成燃料を巡る議論は、単なる技術論ではなく、制度設計を含めた現実的な導入条件の検討段階に入っている。

わが国では、2021 年 6 月に策定された「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」¹⁾において、燃料のカーボンニュートラル化が重点分野の一つに位置付けられ、2030 年までの高効率・大規模製造技術の確立、2030 年代の導入拡大・コスト低減、2040 年頃までの自立商用化が方向性として示された。さらに、「GX 実現に向けた基本方針」²⁾や合成燃料官民協議会の「2023 年中間とりまとめ」³⁾では、技術的・経済的・制度的課題の整理に加え、実証・実装フェーズを支える投資支援の必要性が示されている。JPEC は、2020～2024 年度に NEDO の委託事業⁴⁾に参画し、CO₂ を原料とした液体合成燃料製造技

1. はじめに
2. e-fuel の需要ポテンシャル
3. e-fuel 製造に取り組む意義
4. 製造効率改善への取組み
5. まとめと今後の取組み

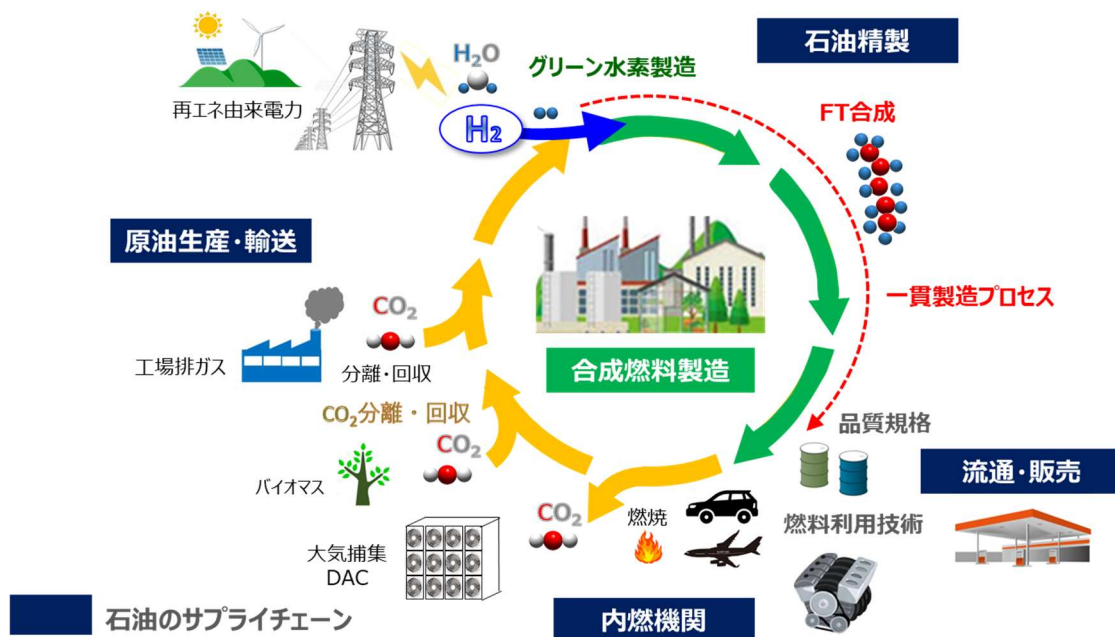
1) 経済産業省「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」 2021 年 6 月。

2) 経済産業省「GX 実現に向けた基本方針」 2023 年 2 月。

3) 経済産業省「合成燃料 (e-fuel) の導入促進に向けた官民協議会 2023 年中間とりまとめ」 2023 年 6 月 30 日。

4) NEDO「CO₂ からの液体合成燃料一貫製造プロセス技術の研究開発に着手ーガソリン・軽油・ジェット燃料を代替し、温室効果ガスの大幅削減を目指すー」 2021 年 2 月 22 日。

術の高度化に取り組んできた。現在は、その後継となる 2025～2029 年度の事業⁵⁾において、基盤要素技術の高度化に加え、一貫製造プロセスの構築・最適化、品質・規格・認証に資する取組みを進めている。e-fuel に係るカーボンニュートラル社会の将来イメージを下図に示す。液体合成燃料の実用化に向けては、要素技術の高度化だけでなく、これらを統合した一貫製造プロセスとしての製造効率向上が重要となる。本レポートでは、e-fuel 需要ポテンシャルや e-fuel 製造に取り組む意義と、JPEC が進める製造効率改善への取組みについて紹介する。



e-fuel に係るカーボンニュートラル社会の将来イメージ

2. e-fuel の需要ポテンシャル

一定の揺り戻しの潮流は受けつつも世界的に脱炭素化が進展する中、輸送分野における e-fuel の役割は、用途別により具体的に議論される段階に入っている。航空、陸運、海運では、電動化だけで一気に置き換えることが難しい用途、いわゆる *hard-to-abate* 領域が残るため、e-fuel を含むカーボンニュートラル燃料は単なる移行期のつなぎではなく、中長期的にも一定の役割を持ち続ける可能性が高い。航空では SAF 全体の需要拡大の中で eSAF の位置付けが高まり、陸運では電動化の進展と並行して液体燃料需要が残る領域が存在する。海運では EU の規制と IMO の国際目標が低 GHG 燃料への転換を後押ししている。したがって、e-fuel の将来需要は、「必要か否か」という抽象論ではなく、「どの分野で、どの用途に、どのような制度条件のもとで必要となるか」という観点から整理することが重要である。航空分野では、まず SAF 全体の需要拡大が見込まれている。国土交通省の資料⁶⁾では、

5) NEDO「先進的な合成燃料製造技術の実用化に向けた研究開発」に係る実施体制の決定について 2025 年 4 月 15 日

6) 国土交通省航空局「第 4 回 SAF の導入促進に向けた官民協議会 説明資料」 2024 年 1 月 31 日。

2030 年時点の日本国内における SAF 利用量は約 172 万 kl（本邦＋外航）と見込まれており、ANA と JAL の共同レポート⁷⁾では、2050 年に日本で必要となる SAF 量は最大約 2,300 万 kl と試算されている。また、国土交通省資料⁶⁾では、ICAO LTAG ベースで世界の SAF 需要量が 2030 年に約 8,800 万 kl、2050 年に約 6.5 億 kl と見込まれている。ここでいう SAF は、バイオ由来燃料に加え、eSAF を含む総量概念である。つまり、航空分野でこれから必要になるのは「eSAF だけ」ではなく、まずは SAF 全体の大きな拡大であり、その中で eSAF の比重が上がっていくという見方が基本になる。この流れをよりはっきり示しているのが EU の ReFuelEU Aviation⁸⁾である。同規則では、空港で供給される航空燃料に占める SAF の最低比率が、2030 年に 6%、2040 年に 34%、2050 年に 70%へと引き上げられる。さらに、その SAF の中でも synthetic aviation fuels、実務上の eSAF に相当する燃料について、2030 年に 0.7%、2035 年に 5%、2040 年に 10%、2050 年に 35%という最低比率が定められている。言い換えると、EU は「SAF を増やす」だけでなく、「その中で eSAF の割合も増やす」制度設計を取っている。したがって、今後の規則見直しが無限り、2035 年以降の航空燃料市場では、eSAF の存在感が徐々に大きくなっていくと考えるのが自然である。なぜ航空でこうした流れが起きるのかといえば、航空は典型的な hard-to-abate 分野だからである。長距離・大量輸送を担うジェット機は、少なくとも当面、電動化や水素だけで全面的に置き換えることが難しい。そのため、既存の航空輸送システムを維持しながら脱炭素化を進めるには、液体燃料の形を保ちながら炭素強度を下げられる SAF が重要になる。バイオ系 SAF には先行する役割があり、eSAF には長期的に比重を高めていく役割がある。航空分野における e-fuel 需要は、まさにこの「SAF 全体の拡大の中で、eSAF が徐々に主役に近づいていく」という形で理解するのが分かりやすい。

陸運分野では、一定の BEV 化が進展すると仮定しても、それだけで将来像を語るのは単純すぎる。現実には、車両の更新には時間と投資コストを要し、既販車も長く存続する。さらに、商用車や長距離輸送のように、高いエネルギー密度や長い稼働時間が求められる領域では、液体燃料の利点が引き続き大きい。したがって、陸運における e-fuel の役割は、「電動化が進まないから必要」なのではなく、「電動化が進んでもなお、液体燃料の価値が残る領域があるから必要」と捉えた方が実態に近い。そのことを定量面から補うのが、経済産業省委託報告書⁹⁾で整理された陸上輸送用合成燃料の需要ポテンシャルである。同報告書では、陸上輸送用合成燃料の需要ポテンシャルを、2030 年に 10 万 kl、2040 年に 700 万 kl、2050 年に 1,400 万 kl としている。ここで重要なのは、この数字が「商用車だけ」の話ではなく、陸上輸送全体の中でカーボンニュートラル燃料が担い得る役割を示したものだという点である。つまり、陸運分野における e-fuel 需要は、重量車向け需要だけでなく、既販車の脱炭素化や、HEV・PHEV を含む内燃機関系車両の継続利用も含めて支えられている。

7) 全日本空輸株式会社・日本航空株式会社「2050 年航空輸送における CO2 排出実質ゼロへ向けて」2021 年 10 月 8 日

8) [Regulation \(EU\) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport \(ReFuelEU Aviation\)](#)

9) 資源エネルギー庁資源・燃料部石油精製備蓄課『令和 4 年度燃料安定供給対策に関する調査事業（合成燃料の導入及び活用拡大に向けた検討事業）調査報告書』2023 年 3 月 31 日。

JAMA のシナリオ分析¹⁰⁾も、この見方を後押ししている。JAMA は、急速な BEV 化だけが唯一の道ではなく、HEV・PHEV を含む多様な電動化とカーボンニュートラル燃料の組み合わせにも可能性があるとして整理している。日本の CNF シナリオでは、2050 年時点の燃料構成について、カーボンニュートラル燃料（合成燃料・バイオ燃料）と電力、水素が大きな比重を占める方向性が示されている。これは、陸運の脱炭素化が「すべてを電気に置き換える」一本道ではなく、複数の手段を組み合わせることで進む可能性を示している。読み物として素直に言えば、陸運では今後も「電動化」と「液体カーボンニュートラル燃料」が競合するというより、かなり長い間で並走すると考える方がしっくりくる。

海運分野では、将来需要の具体的な内訳に先立って、まず制度面が燃料転換を強く促している点が特徴である。FuelEU Maritime¹¹⁾ は EU に寄港する船舶・船社に対する具体的な事業条件であり、IMO の 2023 GHG Strategy¹²⁾ は国際海運全体の中長期的な方向付けを与える枠組みとして位置付けられる。EU の FuelEU Maritime¹¹⁾ では、EU に寄港する船を運航する海運会社に対し、船で使うエネルギー 1 単位あたりの排出量を段階的に下げることが求められている。具体的には、2025 年に 2%、2030 年に 6%、2040 年に 31%、2050 年に 80% の削減が規定されている。これは努力目標ではなく、EU 市場に関わる海運会社にとっての実際の事業条件であり、従来型燃料だけに依存した運航を難しくしていく。それに加えて、IMO の 2023 GHG Strategy¹²⁾ では、国際海運全体の総 GHG 排出について、2030 年に少なくとも 20%、2040 年に少なくとも 70% の削減目標が示されており、2050 年頃のネットゼロも掲げられている。さらに、2030 年時点で、温室効果ガス排出が極めて低い燃料・技術・エネルギー源を少なくとも 5%、努力目標として 10% 導入する目標も置かれている。ここで大事なことは、IMO が個別燃料の内訳、たとえば e-メタノールが何%、e-アンモニアが何%というところまでは決めていないことである。つまり、海運では「どの燃料が勝つか」はまだ流動的な一方で、「低 GHG 燃料・技術を一定割合入れていく方向」自体はかなりはっきりしてきている。このため、海運における e-fuel 需要は、特定の種類の燃料がすぐ主流になるというより、制度と目標のもとで複数の候補燃料が並走しながら形成されていくと見る方が自然である。e-メタノール、e-アンモニア、水素由来燃料などはその候補としてよく挙がるが、現時点では IMO がその比率を定めているわけではない。海運では、「どれが本命か」を早く決め打ちするより、「低 GHG 燃料への転換を求める制度がすでに走っている」という事実を押さえることが大切になる。FT 合成由来の e-fuel は、その転換先の有力な選択肢群の一つとして、今後の需要拡大が期待される。

こうして見ると、航空、陸運、海運における e-fuel 需要の意味合いはそれぞれ異なる。航空では、まず SAF 全体の需要が大きく増え、その中で eSAF の比重が制度的に高まってい

10) 一般社団法人日本自動車工業会『2050 年カーボンニュートラルに向けたシナリオ分析』2022 年 9 月。

11) Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC OJ L 234, 22.9.2023, pp. 48-100.

12) IMO, Resolution MEPC.377(80), adopted on 7 July 2023, “2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships”

く。陸運では、電動化が進んでも、既販車や内燃機関係車両の継続利用を背景に、合成燃料の需要が一定程度残る。海運では、EU と IMO の動きによって、低 GHG 燃料・技術への転換が制度面から後押しされている。三分野に共通しているのは、「電動化や効率化が進んでも、それだけでは置き換えにくい hard-to-abate 領域が残る」という点である。だから e-fuel は、将来の脱炭素化の中で“余った領域に使う燃料”というより、どうしても残る用途を支えるための燃料として位置づけた方が分かりやすい。さらに言えば、こうした需要は市場だけで自然に立ち上がるというより、ある意味規制や政策ドリブンであって、政策によって方向付けられている面も大きい。実際、航空では ReFuelEU Aviation⁸⁾ が SAF と eSAF の最低比率を段階的に引き上げ、海運では FuelEU Maritime¹¹⁾ と IMO の 2023 GHG Strategy¹²⁾ が低 GHG 燃料・技術の導入を促している。日本でも SAF 官民協議会や e-fuel 官民協議会といった枠組みはすでに立ち上がっており、今後は技術開発や供給拡大だけでなく、導入目標、認証、オフテイク、価格差支援など、需要側を後押しする制度設計をどのように進めるかが重要になる。今後 e-fuel の需要を考えると、技術の優劣だけでなく、制度、既存インフラ、用途特性、認証、オフテイク、価格差支援等を含めて総合的に捉える必要がある。

e-fuel需要ポテンシャル整理表（完成版・維持）					
航空					
項目	国内	EU	海外	引用文献	メモ
2025	—	2025年 SAF 2%	—	6), 10)	
2030	SAF 172万kl	SAF 6% eSAF 0.7%	SAF 8,800万kl	6), 10)	
2035	—	SAF 20% eSAF 5%	—	10)	
2040	—	SAF 34% eSAF 10%	—	10)	
2050	SAF 最大2,300万kl	SAF 70% eSAF 35%	SAF 6.5億kl	6), 7), 10)	
現行市場規模	2025年 jet燃料消費 1,029万kl	—	2023年 jet fuel 7.2 mb/d (年換算 約4.2億kl/年)	19), 20)	
陸運					
項目	国内	EU	海外	引用文献	メモ
2030	需要ポテンシャル 10万kl	—	—	8)	
2035	2030年代前半 商用化目標	2035年以降 新車乗用車のCO ₂ 排出を100%削減	—	16), 18)	
2040	需要ポテンシャル 700万kl	—	—	8)	
2050	需要ポテンシャル 1,400万kl	—	—	8)	
現行市場規模	2022年国内向け販売 ガソリン 4,478万kl 軽油 3,204万kl	—	道路輸送=世界石油需要の約 45% (193 EJ→約86.9 EJ)	13), 14), 17)	86.9 EJ = 193 EJ × 45%。
海運					
項目	国内	EU	海外	引用文献	メモ
2025	—	GHG強度 -2%	—	11)	2025年上限 89.34 = 91.16 × (1-2%)。
2030	—	GHG強度 -6%	GHG -20% (努力30%) ZNZ 5% (努力10%)	11), 12)	
2035	—	GHG強度 -14.5%	—	11)	2035年上限 77.94 = 91.16 × (1-14.5%)。
2040	—	GHG強度 -31%	GHG -70% (努力80%)	11), 12)	
2050	—	GHG強度 -80%	GHGネットゼロ (2050年頃)	11), 12)	
基準値/参考母数	—	基準値 91.16 gCO ₂ e/MJ 2025年上限 89.34 gCO ₂ e/MJ	2023年 4.2 mb/d (世界石油使用量の約5%)	11), 15)	EUはGHG強度上限、海外は石油消費母数。 mb/d = 百万バレル/日。
注記：航空・陸運は需要量または現行市場規模、海運は導入目標・GHG強度規制を示す。指標は同一ではない。「—」は同程度の公表値なし。IMOは総GHG削減目標とZNZ導入目標を分離。FuelEU MaritimeはGHG強度要件。					

e-fuel の需要ポテンシャル（航空・陸運＝需要量、海運＝導入目標・GHG 削減要件）

- 13) IEA, [Global Energy Review 2025](#) 2025.
- 14) IEA, ["Road transport fuels – Sheltering From Oil Shocks"](#) 2026.
- 15) IEA, ["How the shipping sector could save on energy costs"](#) Commentary, 28 March 2025.
- 16) 資源エネルギー庁「次世代燃料（バイオ燃料、合成燃料）政策について」最終更新日：2026 年 3 月 10 日。
- 17) 経済産業省 資源エネルギー庁資源・燃料部『石油統計（確報）年報（石油）令和 4 年（2022）』
- 18) [European Parliament and the Council, Regulation \(EU\) 2019/631, as amended by Regulation \(EU\) 2023/851, consolidated version: 9 July 2025.](#) Current consolidated version: 9 July 2025.
- 19) 国土交通省「航空輸送統計速報（令和 7 年（2025 年）分）」2026 年 3 月 19 日。
- 20) IEA, [Oil Market Report - February 2023](#)

3. e-fuel 製造に取り組む意義

カーボンニュートラルの議論は、ともすると「動力源を電気に置き換えること」に収斂しがちである。しかし、社会を支える素材・化学品の多くは炭素化合物である。再生可能エネルギー由来電力の活用が進んでも、非化石由来の炭素をどのように確保し、循環させるかという課題は残る。電気は重要なエネルギー媒体であっても、電気（電子）のみから物理的な素材（重合体）を合成することはできず、電気のみ依存する社会システムは化学資源に依存する現在の巨大な素材産業（石油化学インフラ）を代替する手段を持ち合わせていないという、根源的な限界を抱えている。したがって、e-fuel 製造に取り組む意義は、単に内燃機関を延命することではなく、CO₂ を新たな炭素資源として捉え直し、将来のエネルギー利用と素材利用の両方を支える炭素循環のルートを社会に残しておく点にある。

この観点から見ると、FT 合成の価値は、単なる「燃やして終わる代替燃料論」だけで片付けるには惜しい広がりを持っている。大気から回収した CO₂ と水の電解によって得られるグリーン H₂ から、強固な物理的実体である長い炭素鎖を連続的に構築できる点に、その本質がある。CO₂ とグリーン H₂ から液体炭化水素を合成できるということは、飛行機や大型商用車を動かすための高密度エネルギーキャリアを供給できるだけでなく、ナフサ留分やワックス等を介して現代の石油化学インフラへそのままマテリアルとして投入し、化学品・材料分野にもつなげられることを意味する。言い換えれば、FT 合成は、燃料用途と材料用途を一つの炭素循環の中で扱える技術である。電力は、そのままでは長期・大規模な貯蔵や輸送に制約がある一方、炭化水素は貯蔵・輸送が可能であり、材料としても利用できる。この違いは、単なるエネルギー効率の比較だけでは捉えきれない。さらに、将来的に耐久材としての利用が広がれば、化石由来炭素の代替や大気中の炭素固定の観点から、条件次第では追加的な気候便益が期待される余地もある。もちろん、その評価には LCA や用途別条件の精査が必要であるが、FT 合成がエネルギー転換と素材利用の双方に接続し得る点は、他の多くの選択肢にはない大きな特徴である。

FT 合成由来の液体炭化水素の価値は、少なくとも 4 つに整理できる。第一は、既存インフラとの親和性である。液体燃料である以上、貯蔵、輸送、供給、利用の各段階で現在世界中にあるガソリンスタンド、巨大な備蓄タンク、配管、船舶、洗練されたエンジンなどのインフラを大きく活用できるため、他の選択肢と比べて追加的なインフラ投資や社会全体の移行コストを抑えやすい。第二は、いわば「重さの壁の突破（重量・体積制約が厳しい用途への適合性）」に対する現実解である。ジャンボジェット機や長距離大型トラック、太平洋を横断する大型船のように、重量や体積の制約が厳しい用途では、少なくとも当面、高エネルギー密度の液体燃料の価値はなお大きい。第三は、貯蔵・備蓄性である。液体燃料は電力に比べて長期貯蔵や輸送との親和性が高く、供給安定性やエネルギー安全保障の観点でも重要な意味を持つ。電力は貯蔵形態に制約がある一方、液体合成燃料は既存の備蓄設備を活用しやすく、長期備蓄に適する。この点は、有事や供給途絶時のエネルギー防衛を考える上でも大きな利点である。第四は、燃料で終わらず材料にも展開できる点である。これは、脱炭素を「車両を走らせる技術」の問題に閉じず、「社会に必要な炭素化合物をどう非化石化

するか」という問題に接続できることを意味する。

もちろん、これは他の脱炭素オプションを一律に否定する議論ではない。BEV は都市内乗用や比較的軽負荷の用途では有力であり、直接電化は多くの用途で高効率な中心解となる。一方で、輸送全体の一般解としてみた場合には、重量増、実質航続距離、充電時間、稼働率、資源制約、さらに使用後電池の回収・再利用・リサイクル体制といった論点が残っていることも事実である。実際、UNEP（国連環境計画）は、修理・回収・リサイクルの能力やインフラが不十分な市場では、中古 EV が新たな負担となり得ると指摘している²¹⁾。したがって、電動化を唯一の正解として扱うよりも、用途ごとに適した手段を組み合わせる視点が必要である。e-メタンも、既存ガスインフラ活用や需給調整面で一定の意義はあるものの、建物の給湯や低温熱需要のように直接電化が有効な用途まで広く正当化することは、限られたグリーン電力・グリーン H₂ の使い方として必ずしも合理的ではない。特に低温熱分野では、ヒートポンプのような高効率な直接電化手段が存在するため、用途に応じた優先順位付けが必要である。e-メタノールは海運等で有力候補の一つであるものの、既存燃料と異なる取扱いや船側設備への対応が必要であり^{22) ~24)}、既存の炭化水素に比べて体積エネルギー密度が低いため^{23) ~24)}、用途や航路条件によってはタンクの大型化や搭載設計、航続面に制約が生じる場合がある。その結果として、用途によっては有償積載量（ペイロード）に影響し、また給油（バンカリング）頻度の増加を通じて稼働率低下につながる可能性がある²³⁾。さらに、毒性を有する可燃性液体であり^{25)~26)}、海上流出時には水に完全に混和するため、従来の油流出事故で用いられるブーム、スキマー、吸着材等による回収が効きにくい²⁷⁾。蒸気は可燃性を持ち、水面付近を広がり得るうえ、火炎が見えにくいといった特性も指摘されている^{25)~27)}。長期残留性や生物蓄積性は低いものの、閉鎖性水域や流出直近では局所的な水質悪化や生物影響を生じ得る²⁷⁾。したがって、e-メタノールは有力候補の一つではあるが、既存炭化水素の単純代替として扱うのではなく、用途適合性、安全性、漏えい時対応を含めて評価すべきである。要するに本質は、「どれか一つを信仰すること」ではなく、「どの用途で何が最も筋が良いか」を見極めることである。その意味で、FT 合成由来の液体炭化水素は、hard-to-abate 領域と炭素資源循環の双方に資する、現実的かつ戦略的な中核選択肢として位置付けることができる。

21) Kendall, A., Dayemo, K., Helal, N. et al., Electric Vehicle Lithium-ion Batteries in Lower- and Middle-income Countries: Life Cycle Impacts and Issues United Nations Environment Programme / Institute of Transportation Studies, UC Davis, 2023.

22) Lloyd's Register, Introduction to Methanol Bunkering: Technical Reference July 2020. Available via Lloyd's Register press release.

23) DNV, "Methanol as an alternative fuel for container vessels." 24 November 2022.

24) DNV, "DNV report: Methanol as marine fuel at high readiness level, but adoption hurdles remain." 01 December 2025.

25) Centers for Disease Control and Prevention (CDC), "Methanol: Systemic Agent | NIOSH | CDC."

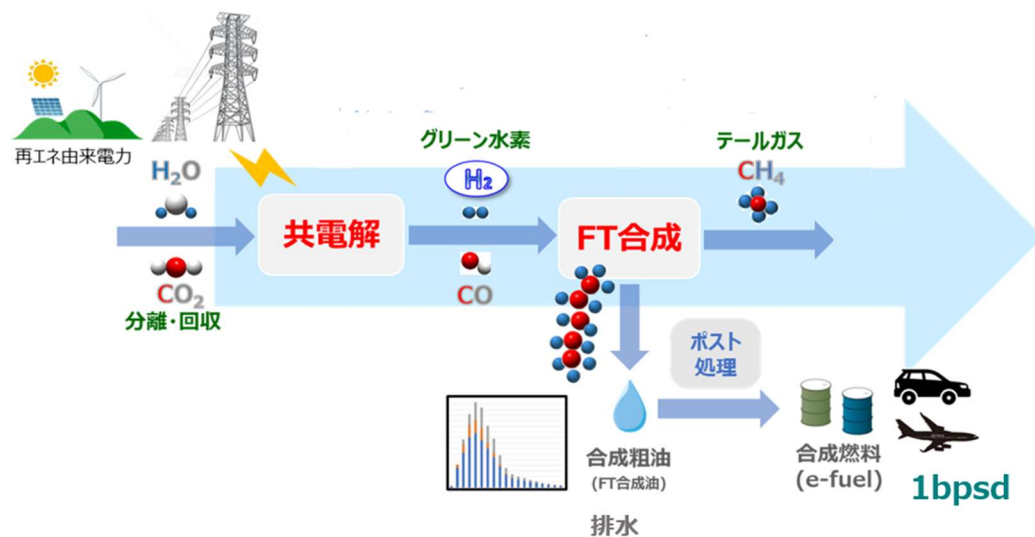
26) NOAA, "METHANOL | CAMEO Chemicals | NOAA."

27) U.S. Coast Guard, "Operational Guide for Response to Alternative Fuels Incidents: Methanol Quick Response Guide." July 2025.

4. 製造効率改善への取組み

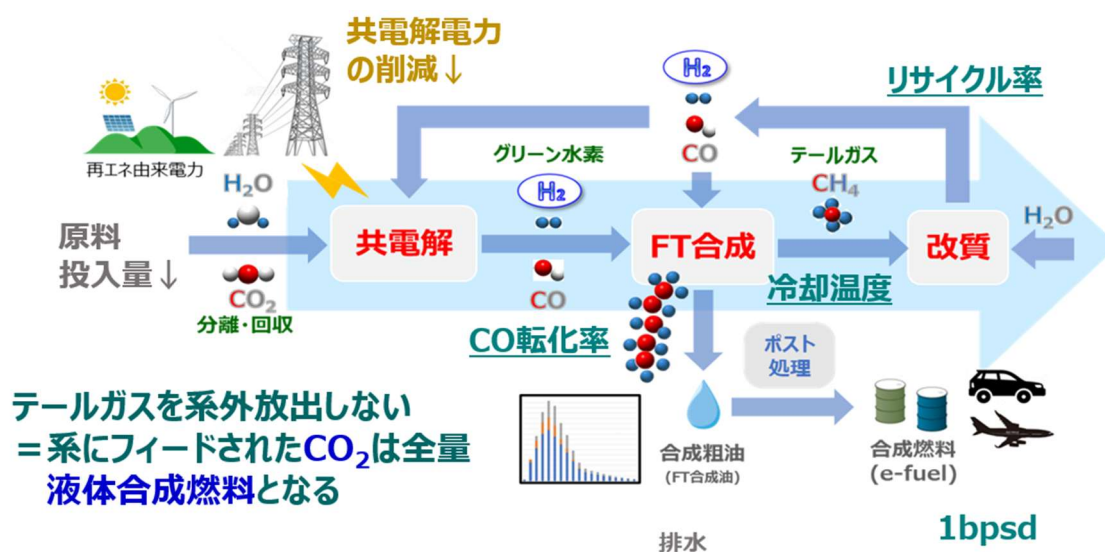
液体合成燃料の実用化に向けては、個々の要素技術の性能向上に加え、これらを一貫製造プロセスとして統合した際に、いかに高い製造効率を実現できるかが重要となる。製造効率向上に取り組む理由は、投入電力を削減することにより低コスト化を行うためである。特に、SOEC 共電解による合成ガス製造と FT 合成を組み合わせた一貫製造プロセスでは、FT 合成の反応熱の有効利用や副生するテールガスの改質・リサイクルを適切に設計することで、再生可能電力の使用量低減が期待できる。本節では、一貫製造プロセスの考え方と、製造効率改善に向けた取組みについて述べる。

合成燃料の製造コストの大部分を占める水素製造費の低減に向け、JPEC では前身事業から SOEC による高温電解に注目して取り組んできた。SOEC は、代表的な高温運転条件下ではセル電圧 1.3 V 程度での電解運転が可能であり、従来型の水電解セルが 2.0 V 付近で作動する場合と比べて、電力消費の抑制が期待できる。また、水蒸気に加えて CO₂ を供給することで、ワンステップで合成ガスを製造できる点も特徴である。この SOEC 共電解による合成ガス製造と、当該合成ガスを原料として液体合成燃料を製造する FT 合成とを組み合わせることで、一貫製造プロセス全体の製造効率向上が可能となる。



液体合成燃料一貫製造プロセス（ワンスルー）

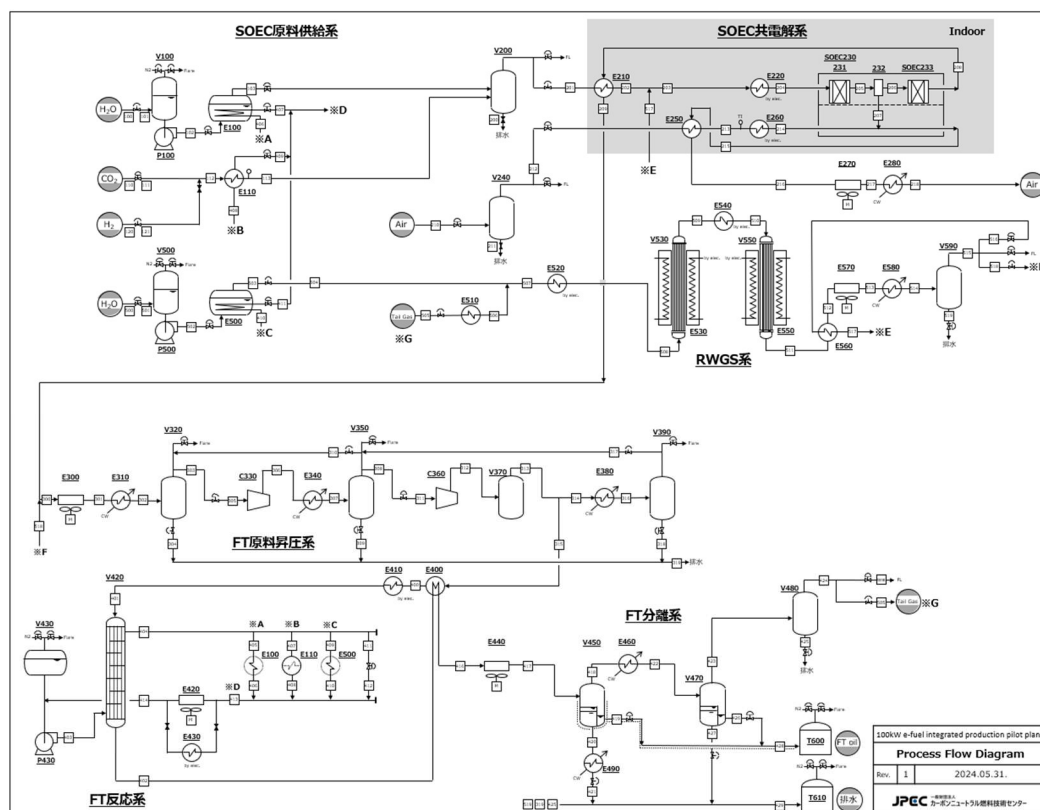
具体的なインテグレーションとしては、FT 合成装置で回収した熱を共電解で用いる水の加熱に利用するとともに、FT 合成で副生する未反応の水素、一酸化炭素、二酸化炭素、メタン、エタン、プロパン、ブタン留分（以下、テールガス）を改質して合成ガスへ戻し、リサイクルする構成を採用している。特にテールガスの組成は、FT 合成におけるワンパス CO 転化率やメタン選択性によって変動するため、改質・リサイクル条件の最適化がプロセス全体の製造効率に大きく影響する。このため、テールガス改質リサイクル系では、析出コークによる改質触媒の活性低下を抑えつつ、最小のエネルギーで所定の合成ガス組成へ安定的に改質できる条件の検討を進めている。



液体合成燃料一貫製造プロセス（テールガスリサイクル）

本研究開発で扱う規模のベンチプラントでは、これらの基盤要素技術を全て一体として実評価することが難しいことから、JPEC ではプロセスシミュレーションを活用した検証を進めている。シミュレーションモデルは、AVEVA 社のプロセスシミュレータ PRO/II を用いて構築した。原料の H₂O と CO₂ を合成ガスに転化する SOEC のセクション、合成ガスをコンプレッサーで所定の圧力まで上げる昇圧セクション、合成ガスから FT 粗油を生産する FT 合成のセクション、それからテールガスを改質反応で処理するセクション、大きく分けて 4 つのセクションに分かれており、全体のマスバランス、ヒートバランスを算出している。製造効率は、生産された e-fuel の発熱量を投入エネルギーで除することで試算している。また、テールガス改質系にはカーボン析出防止に必要な量の H₂O を供給し、原料の H₂O および CO₂ 流量は FT 粗油流量が 1 BPSD となるように調整した。FT 合成反応のテールガスを改質してリサイクルすることで、一貫製造プロセスに供給された CO₂ をほぼ全量液体合成燃料へ転化でき、その結果として共電解に必要な再生可能電力使用量の削減が

期待できる。実証データから得られたプロセス条件を反映してシミュレーションを行った結果、一定の一貫製造運転条件の範囲ではあるものの、目標とする製造効率 50%達成の目途を得た。一方で、テールガス処理においてはカーボン析出抑制を十分考慮する必要があり、今後はその点を踏まえたプロセス設計の高度化が求められる。



一貫製造プロセス フローシート

5. まとめと今後の取組み

本レポートでは、e-fuel の需要ポテンシャル、e-fuel 製造に取り組む意義、ならびに JPEC が進める液体合成燃料一貫製造プロセスの製造効率改善への取組みを紹介した。特に、SOEC 共電解による合成ガス製造と FT 合成を組み合わせた一貫製造プロセスについて、反応熱利用とテールガス改質・リサイクルを組み込んだプロセス設計の考え方を整理するとともに、シミュレーションにより目標製造効率 50%達成の目途を得た。今後の社会実装に向けては、共電解による合成ガス製造技術の大型化、FT 触媒による合成粗油製造の生産性改善、ならびにテールガス改質系を含む一貫製造プロセス全体の最適化を進めることが重要である。また、実証運転を通じた運転データの蓄積と検証を継続し、パイロット規模へのスケールアップを通じて、実用化に必要な技術的・運用的課題を段階的に解決していく必要がある。

JPEC は、製造効率 50%達成の道筋をより確実なものに仕上げるとともに、これを上回

る製造効率の実現に必要な各要素基盤技術の達成レベルを明確化し、CO₂ を原料とした液体合成燃料一貫製造プロセスの確立を通じてカーボンニュートラルの実現に貢献することを目指している。今後も関係機関と密接に連携しながら、研究開発、実証、規格・認証面の取組みを着実に進めていく。

謝辞

本稿に関する成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業によるものである。ここに関係各位に謝意を表する。

（問い合わせ先）

一般財団法人カーボンニュートラル燃料技術センター 合成燃料技術開発本部
jrepo-4@pecj.or.jp

本研究開発は、一般財団法人カーボンニュートラル燃料技術センター（JPEC）が国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託により実施しているものです。

無断転載、複製を禁止します。

Copyright 2026 Japan Petroleum and Carbon Neutral Fuels Energy Center
all rights reserved