

航空分野の脱炭素 ー現状と課題、今後の展望ー

電力・新エネルギーユニット

新エネルギーグループ

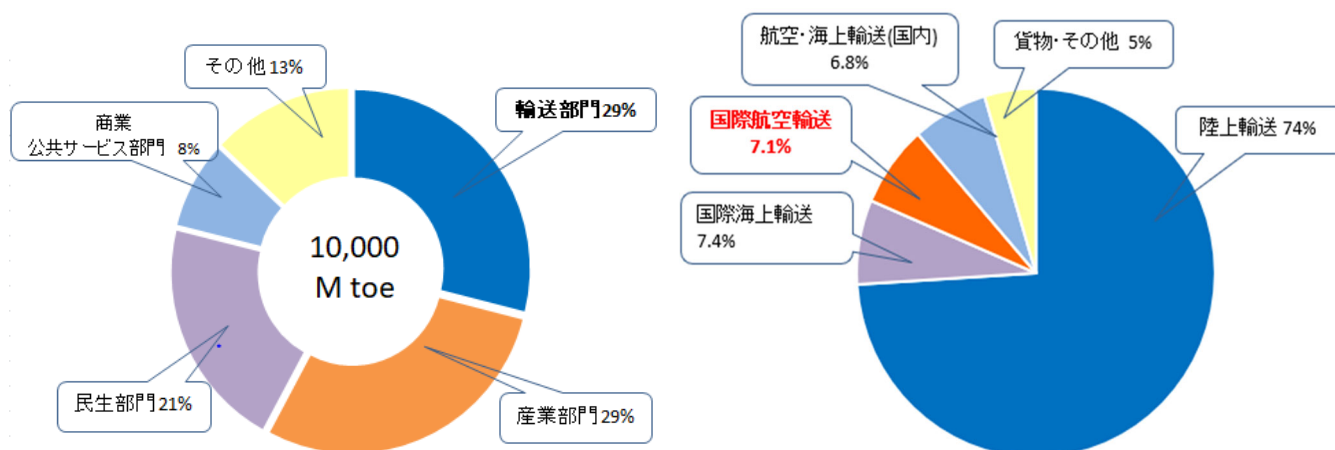
吉田 昌登

はじめに

航空分野は鉄鋼や重工業等とならび「脱炭素が困難な産業分野(Hard-to-Abate Sectors)」の1つに挙げられる。各国政府は自らのGHG排出量削減目標の達成に向けて様々な産業分野の脱炭素化に取り組んできている。しかし、国際航空分野に関しては、国境を跨ぐことによる複雑さ、国際協調の枠組み構築の困難さ、および、選択可能な対策オプションが限定的であること等により、取り組みは遅れていた。このような状況のなか、昨今、「持続可能な航空燃料」の導入が世界規模で急拡大しており、多くの注目を集めている。本稿は、持続可能な航空燃料を取り巻く現状を概説したうえで、普及拡大に向けての課題や今後の展望について考察を行う。

1. 「航空分野の脱炭素」の現状

まず、空の脱炭素の現状を確認したい。下図 1-1 は世界全体の最終エネルギー消費量と部門別シェアを、下図 1-2 は輸送部門における最終エネルギー消費の内訳を示している。2019 年の世界全体の最終エネルギー消費量は石油換算 100 億トンであり、そのうち輸送部門は 29%を占める。さらに、輸送部門における最大のエネルギー消費先は陸上輸送(74%)であり、国際航空輸送は 7.1%である。つまり、世界全体で見た場合、航空輸送の最終エネルギー消費量のシェアは約 2.0%とインパクトは比較的小さい。

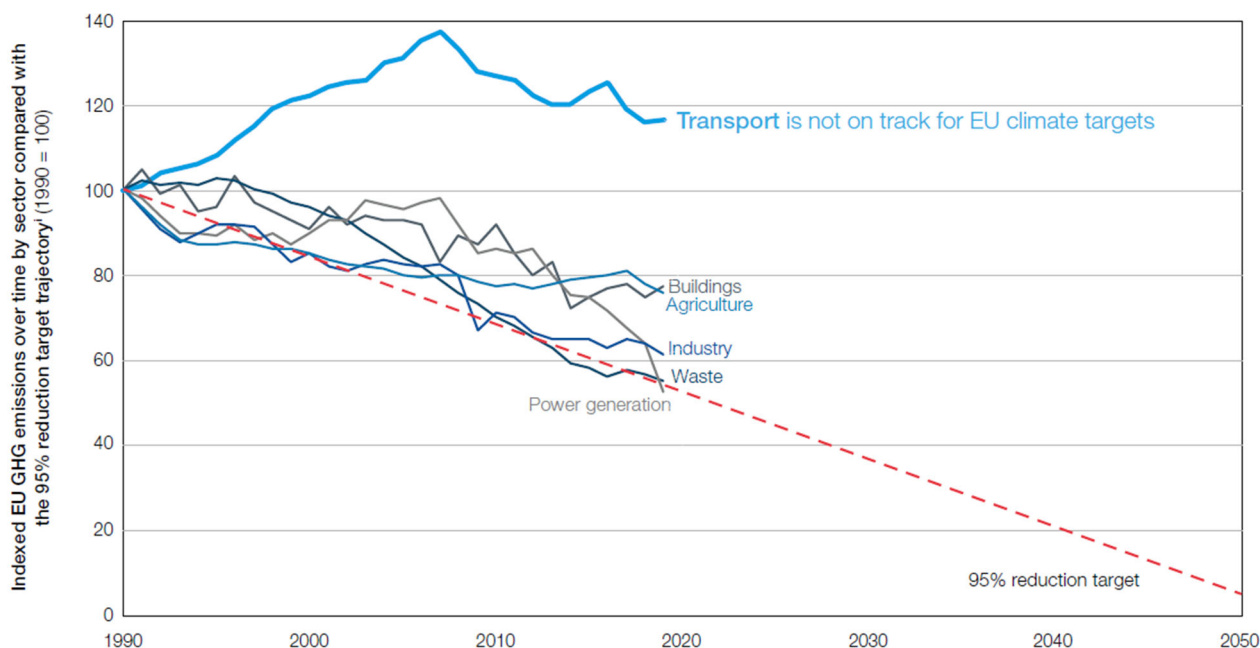


(出所) IEA World Energy Statistics and Balances (July 2021)を基に筆者作成

図 1-1 部門別最終エネルギー消費 (2019 年) 図 1-2 輸送部門の最終エネルギー消費の内訳 (2019 年)

それにも関わらず、いま航空分野の脱炭素化に注目が集まるのは、GHG 排出量の削減が極めて困難なためだ。下図 1-3 は、欧州連合(European Union, EU)の部門別 GHG 排出量の推移を、EU の GHG 排出量削減目標(2050

年時点までに 95%削減)実現への軌道と比較したものである。発電・産業・農業・民生部門の GHG 排出削減は順調に進展している反面、輸送部門は理想的な軌道から大きく乖離している。厳しいガイドラインを自ら導入し、いち早く取り組みを進めてきた EU でさえも、輸送分野の脱炭素化には苦勞している現実が窺える。



(出所) World Economic Forum, Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation¹ (November 2020) (原典: European Federation for Transport and Environment)

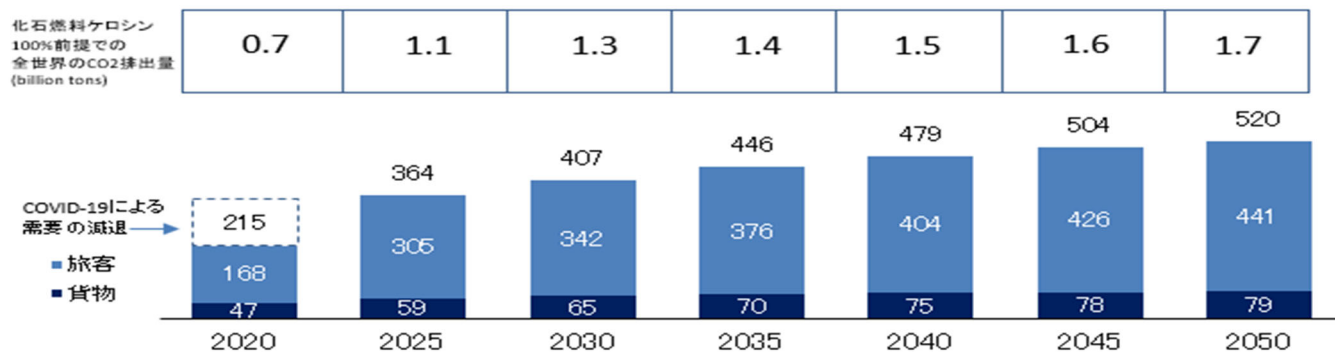
図1-3 EUの部門別GHG排出量の推移(2050年目標実現軌道との比較、1990年=100)

そのため、欧州各国の脱炭素への取り組みの軸足はすでに航空分野に移行している。それには、COVID-19の影響で一時的に需要は落ち込んだものの、航空産業は世界全体の経済成長に伴い高成長が続くことが予想され、それに伴い CO₂ 排出量の増加も予想されること² (図 1-4)、他の産業と比べて対策が後回しになっていたこともあり GHG 排出量の削減ポテンシャルが非常に大きい反面、航空分野をはじめとした輸送部門は、他の産業に比べて脱炭素に要するコストが高いと見積もられている³こと (図 1-5)、国際的な協調による法的枠組みが不可欠であるが調整には時間を要すること、加えて、旅客機の更新サイクルは 25 年程度とロングスパンであり、GHG 排出削減に資する革新的な技術が開発され航空機に導入されたとしても、市場に投入されて効果が発現するまでにはかなりの年月を要することなどが主な理由となっている。

¹ World Economic Forum (in collaboration with Mckinsey & Company) (November 2020), *Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation*, World Economic Forum, p.7

² *Ibid.*, p.8

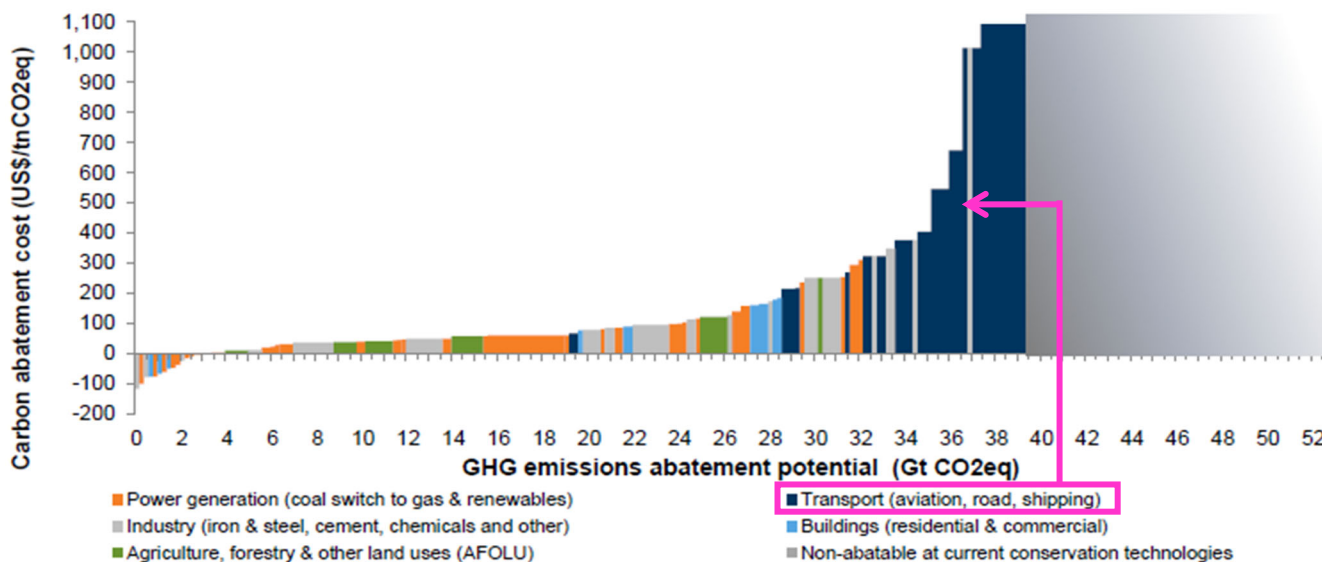
³ 航空分野の GHG 排出削減ポテンシャルは大きいですが、脱炭素に要するコストは発電・農業の 5 倍以上と指摘されている、Goldman Sachs Global Investment Research (December 11, 2019), "Carbonomics: The Future of Energy in the Age of Climate Change," <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/gs-research/carbonomics-f/report.pdf>



(注) 化石燃料由来ケロシン 1 トンあたり 3.15 ton-CO₂ 排出と仮定

(出所) World Economic Forum, Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation⁴ (November 2020) (原典: Energy Insight's Global Energy Perspective, Reference Case A3 October 2020; IATA; ICAO)を基に筆者作成

図1-4 全世界の航空燃料需要見通し (～2050年、単位: 100万トン/年)

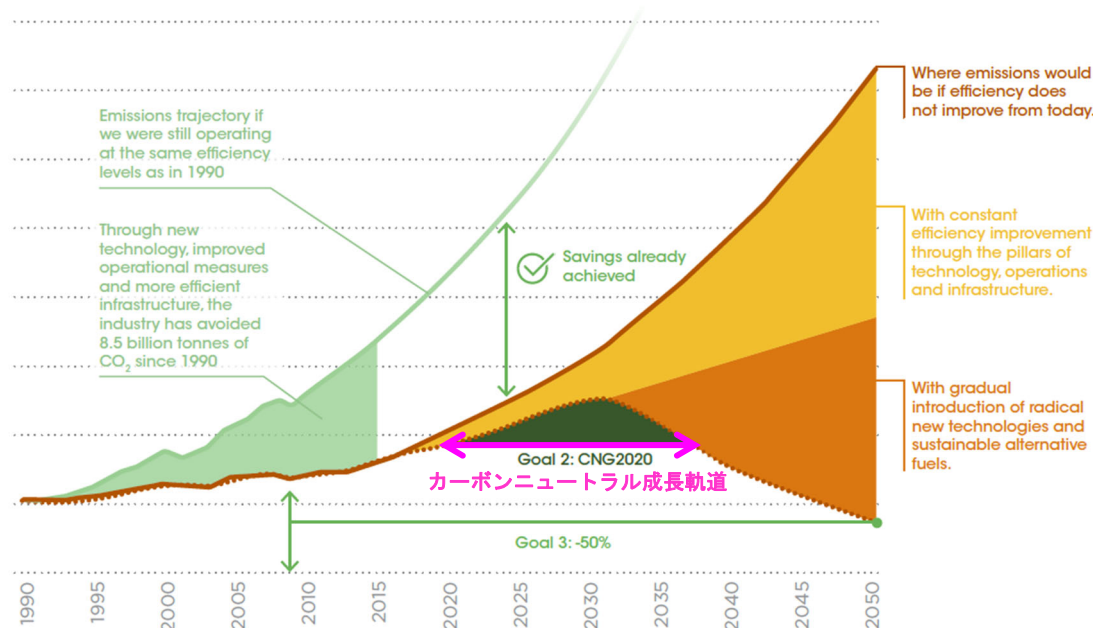


(出所) Goldman Sachs Global Investment Research (December 11, 2019)

図 1-5 GHG 排出削減ポテンシャルと CO₂ 排出削減コスト(現時点で利用可能な技術に基づく)

航空業界はGHG排出削減に向けた自主的な取り組みを進めている。国際航空はパリ協定の対象ではないものの、International Civil Aviation Organization (ICAO)の加盟国は「国際民間航空のためのカーボン・オフセット及び削減スキーム(The Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA)」を批准しており、2020年以降のカーボンニュートラル成長軌道(図1-6)の実現を目指している。

⁴ World Economic Forum (in collaboration with Mckinsey & Company) (November 2020), *Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation*, Swiss: World Economic Forum, p.7

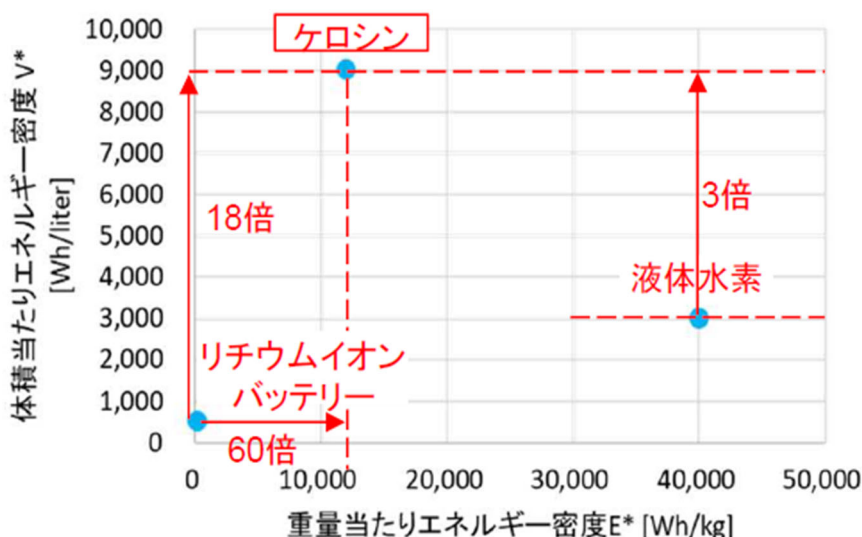


(出所) IRENA (July 2021)⁵に筆者加筆

図1-6 航空業界のGHG排出削減ロードマップ

CORSIAに適合するGHG排出量削減手法として、いま注目を集めるのが持続可能な航空燃料(Sustainable Aviation Fuels, SAF)である。航空燃料として現在利用される化石燃料由来のケロシン(通称: ジェット燃料)は、体積エネルギー密度・重量エネルギー密度ともに非常に優れた燃料(図1-7)である。航空分野の脱炭素化のためには、ジェット燃料を同じ特性を有する液体燃料で代替する、あるいは、動力源の電動化や燃料電池・水素エンジンの利用(図1-7)が必要になるが、後者に関しては実用化に向けて解決すべき課題がある。まず、動力源の電動化に関して、航空分野からのGHG排出量の80%以上は1,500km超の長距離飛行であり、このカテゴリーへの導入が不可欠であり、それにはエネルギー密度の非常に高いバッテリーが必要となる。しかし、現在利用可能な技術によればバッテリーのエネルギー密度の大幅な向上は難しく、動力源の電動化が導入されたとしても当初は対象が短・中距離(～1,000km)に限定される見通しにある。液化水素は重量エネルギー密度がジェット燃料の3倍程度と非常に高いことから、燃料電池や水素直接燃焼エンジンでの水素利用が期待されているが、飛行距離2,000km超に対応した燃料電池の商用化は2040年代となる見通しである。フランスAirbusは2,000kmを超える長距離飛行が可能な水素直接燃焼エンジン航空機を開発中だが、商用化は早くても2035年頃になる見通しにある。つまり、向こう10-15年といったスパンで見た場合には、ジェット燃料を代替可能なほどエネルギー効率に優れた現実的な打ち手はSAFくらいしか存在しない状況といえる(図1-8)。

⁵ IRENA (July 2021), *Reaching Zero wWith Renewables: Biojet Fuels*, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, p.19



(出所) 国土交通省 (原典: Electric Flight – Potential and Limitations, Institute of Aerodynamics and Flow Technology, Martin Hepperle, German Aerospace Center)⁶

図1-7 航空燃料の体積・重量エネルギー密度の比較

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Commuter » 9-19 seats » < 60 minute flights » <1% of industry CO ₂	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Regional » 50-100 seats » 30-90 minute flights » ~3% of industry CO ₂	SAF	SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF	Electric or Hydrogen fuel cell and/or SAF
Short haul » 100-150 seats » 45-120 minute flights » ~24% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF	Hydrogen and/or SAF
Medium haul » 100-250 seats » 60-150 minute flights » ~43% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen	SAF potentially some Hydrogen
Long haul » 250+ seats » 150 minute + flights » ~30% of industry CO ₂	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF	SAF

短距離輸送用機・小型機

2030 年以降

電動化、水素の導入の可能性

中型機・大型機

2050 年まで、殆どのケースで

SAF 以外に選択肢がない

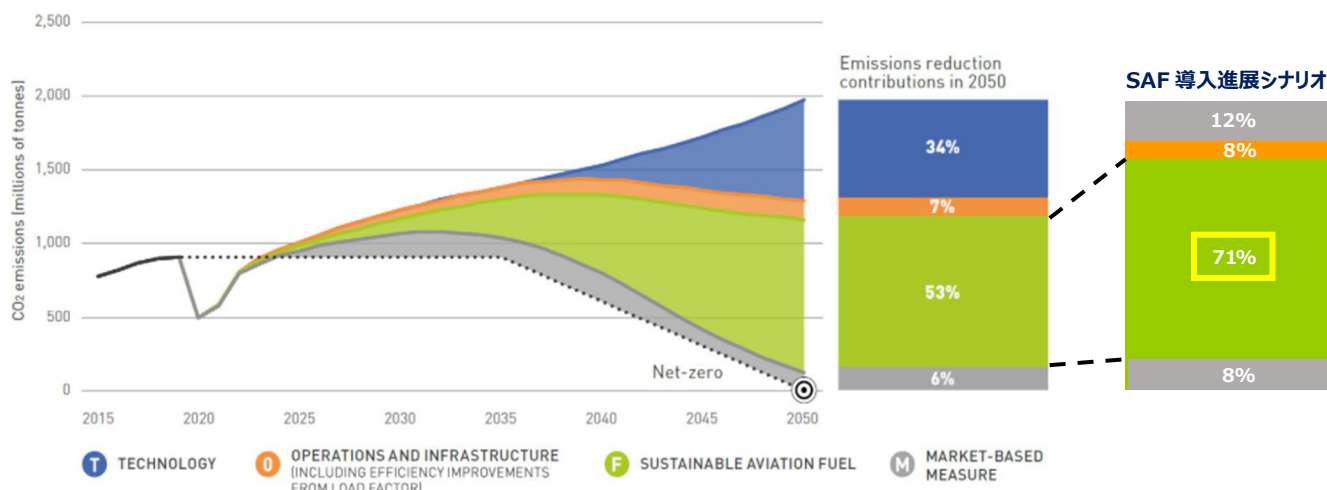
(出所) Waypoint 2050 (ATAG, September 2021)⁷に筆者加筆

図1-8 航空機への脱炭素技術導入の展望

Air Transport Action Group (ATAG)は、航空分野の2050年ネットゼロ実現へのシナリオを複数検討している。そのなかで、2050年断面でのGHG排出量削減におけるSAFの貢献度について、技術進展シナリオでは53%、SAF導入進展シナリオではさらに大きく71%がSAFによる貢献と予想している(図1-9)。

⁶ 国土交通省航空局 (2021 年 3 月 22 日)、「航空機運航分野における CO₂ 削減に関する検討会 (第 1 回)」

⁷ ATAG(September 2021), *Waypoint 2050*, Swiss: Air Transport Action Group, p.54



(出所) Waypoint 2050 (ATAG), p.26に筆者加筆

図1-9 航空分野におけるGHG削減ロードマップ

先行する欧州諸国や米国はすでに政策目標を設定しSAFの導入促進を後押ししている(表1-1)。日本においても、2030年までに航空燃料需要の10%をSAFに置き換える導入目標が検討されている⁸。

表1-1 各国・地域政府のSAF導入目標

対象国・地域	SAF導入目標・義務量
	ReFuelEU Aviation Initiativeを通じたSAF導入の推進 (EU域内の空港におけるSAF混合義務量を提案：2030年5%、2040年38%、2050年63%)
	SAF導入促進のためのロードマップ策定(2025年2%、2030年5%) * advanced feedstocksにフォーカス
	SAF0.5%混入義務開始(2020年)。2030年目標として30%を検討中
	2030年30%まで、SAF混合義務量を段階的に増加させる方針
	SAF混入率を段階的に上昇させ、2030年30%とする法案を提出
	2030年に2%のSAF割当義務量を見込む * Power-to-Liquidケロセンのみが対象
	混合義務量を含めたSAFロードマップを策定中 * advanced feedstocksにフォーカス
	2025年にSAF混入義務量2%(Climate Change Law) * wastesおよびresiduesにフォーカス
	2050年までに航空部門(軍事・非軍事双方含む)の燃料を全てSAFに置き換える 2030年までの航空分野のCO ₂ 排出量20%削減、2年間30億ガロンのSAFの生産・供給を目指す これら目標の達成のため、SAF混入事業者に対する税控除の導入を表明

(出所) 各国・地域政府プレスリリース等⁹に基づき筆者作成

⁸ 日本経済新聞(2022年2月15日)、「「空の脱炭素」へ再生燃料推進 政府、30年に1割目標」、
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA089TK0Y2A200C2000000/>

ここまで空の脱炭素を取り巻く現状について概説してきた。次章では、航空分野の脱炭素化に向けて世界中で導入が進むSAFについて、基本特性、製造技術・原料、ならびに、需供の現状と将来見通しを確認したい。

2. 持続可能な航空燃料 (SAF)

(1) SAF とは何か？

SAF は、バイオマス、廃食油・都市ゴミなどの廃棄物、排ガス中の炭素と水素等を原料に製造される航空燃料である。ケロシンと同じ機能を有するが、化石燃料由来のものを使用した場合と比較して約 60～80%の CO₂ 削減効果があるとされている。International Air Transport Association (IATA)は「化石燃料由来ではない航空燃料。持続可能であり、原油を代替する原料から製造される航空燃料」¹⁰と定義している。また、ICAO は「化石燃料由来のケロシンよりライフサイクルで低 CO₂ 排出を実現するポテンシャルを有する燃料」と定義している¹¹。本稿では、ICAO の定義を採用し論考を進めたい。

(2) SAF の国際標準規格と CORSIA の持続可能性基準

ASTM インターナショナルは、ASTM D7566 の Annex 1～6 として製造技術・原料別に SAF の国際標準規格を整理・認証している(下表 2-1)。対象となる製造技術により製造された SAF が ASTM の性状を充足する場合、ジェット燃料と SAF との混合燃料(混合上限は最大 50%)もジェット燃料の国際標準規格(ASTM D1655)を充足することになり、追加の安全対策やインフラの変更が不要という扱いになる。

表 2-1 SAF の国際標準規格 (ASTM D7566 Annex)

D7566	製造技術・概要		原料	混合上限
Annex 1	FT SPK	ガス化、FT合成 (+ Upgrading)	有機物全般	50%
Annex 2	HEFA SPK	水素化処理 (+ Upgrading)	生物系油脂	50%
Annex 3	SIP SPK	発酵水素化処理	バイオマス糖	10%
Annex 4	SPK/A	非化石資源由来の芳香族のアルキル化	有機物全般	50%
Annex 5	ATJ	アルコール変換(iso-butanol)	バイオマス糖	50%
		アルコール変換(ethanol)	バイオマス糖 紙ごみ	
Annex 6	CHJ	水熱処理による改質 + 水素化処理	生物系油脂	50%
Annex 7	HC-HEFA	炭化水素の水素化 + 脱酸素処理	微細藻類	10%

(出所) IEA Bioenergy¹²等を基に筆者作成

⁹ 米国における SAF 混入事業者に対する税控除導入は、Reuters(April 14, 2022), “Biden renews push for sustainable aviation fuel tax credit,” <https://www.reuters.com/business/energy/biden-renews-push-sustainable-aviation-fuel-tax-credit-2022-04-12/>

¹⁰ IATA, “What is SAF?,” <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-what-is-saf.pdf>

¹¹ ICAO, “Alternative Fuels: Questions and Answers,” <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/AltFuel-SustainableAltFuels.aspx#:~:text=WHAT%20ARE%20SUSTAINABLE%20ALTERNATIVE%20JET,on%20a%20life%20cycle%20basis.>

¹² IEA Bioenergy (May 2021), *Progress in Commercialization of Biojet/Sustainable Aviation Fuel (SAF): Technologies, potential and challenges*, IEA Bioenergy Task 39, France: International Energy Agency, pp.13-16.

ASTM 規格のみならず、国際航空燃料として SAF が利用されるためには、SAF の製造事業者は ICAO の「持続可能性認証スキーム(Sustainable Certification Schemes, SCS)」で承認されたトレーサビリティ認証、および、CORSIA の「SAF の持続可能性基準」の認証を取得する必要がある(下表 2-2)。

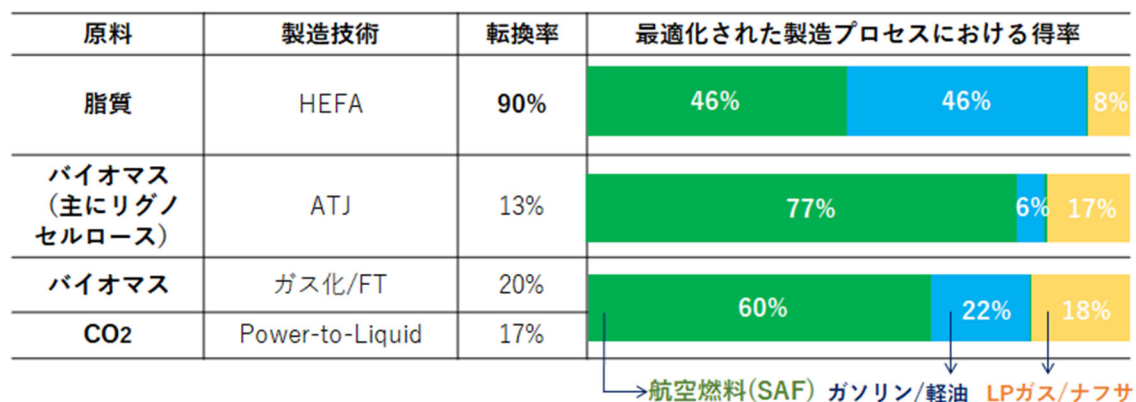
表 2-2 CORSIA における SAF の持続可能性基準

温室効果ガス	原則	ライフサイクルベースで炭素排出量を削減
	基準	航空燃料のベースラインの値と比較して、ライフサイクルベース（間接的土地利用の変化を含む）で少なくとも10%正味の温室効果ガス削減を実現
炭素ストック	原則	高い炭素ストックを有する土地から得られるバイオマスから製造されていない
	基準1	かつて原生林、湿地帯、泥炭地であった土地から2018年1月1日以降に転換された土地、および／または、原生林、湿地帯、泥炭地における炭素ストックの減少を引き起こすような土地から得られたバイオマスから製造されていない
	基準2	・ 2018年1月1日以降の土地変化利用を伴う場合には、IPCCの土地区分を用いて直接的土地利用変化による排出量を算定 ・ 直接的土地利用変化による排出量が間接的土地利用による排出量のデフォルト値を超える場合、直接的土地利用変化による排出量で間接的土地利用変化のデフォルト値を置き換える

(出所) CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels (ICAO)¹³を基に筆者作成

(3) 製造技術 —技術成熟度・原料・得率—

前掲表 2-1 のとおり、これまでに 7 種類の SAF の製造技術が ASTM の認証を取得している。Annex 2 の Hydrotreated Esters and Fatty Acids – Synthesized Paraffinic Kerosene (HEFA-SPK)は生物系油脂を原料に水素化処理を行う製造技術であり、技術的成熟度が最も高く既に商用化されている。SAF の得率が最大となるよう製造プロセスを最適化した場合、原料投入量の最大 46%程度の SAF を製造することが可能である(図 2-1)。



(出所) World Economic Forum, Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation (November 2020)

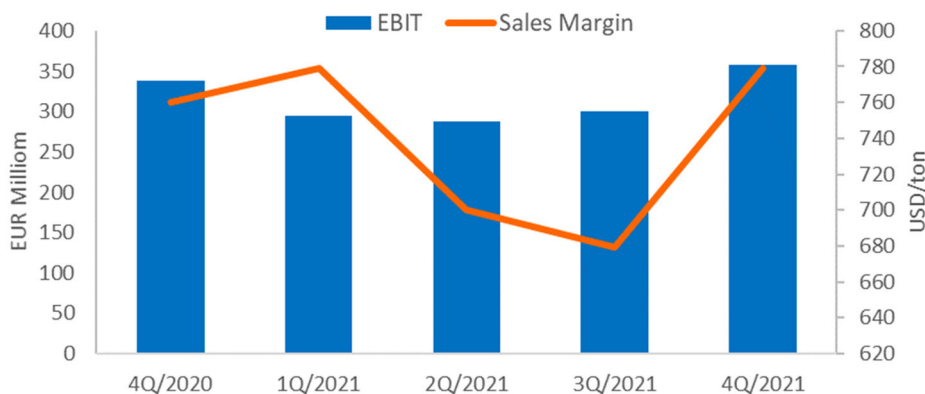
(原典 : Mckinsey Global Energy Practice; ICCT; IRENA 等)を基に筆者作成

図 2-1 SAF の製品得率比較(技術別)

¹³ ICAO (June 2019), *CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels*, CANADA: International Civil Aviation Organization

(4) 需要と供給 ―現状および将来の見通し―

2020年の世界全体のSAFの供給量は5万トン未満と、全世界の航空燃料需要の0.03%程度とみられている。一方、旺盛な需要を背景に、世界中で数多くのSAF製造・能力拡張プロジェクトが進められており、数年以内にSAF製造量は急増する見通しにある。なかでも、フィンランドNESTEはシンガポールのSAF製造プラント(100万トン/年)の稼働を2023年第一四半期に見込むなど、世界有数のSAF供給能力を有している(表2-3)。また、Renewable Dieselを含むRenewable Productsセグメントは四半期あたりの営業利益(EBIT)で3億ユーロ、製品販売マージンで700~800米ドル/トンを安定的に移ぎ出す高付加価値事業となっている(図2-2)。



(注) NESTEのRenewable Productsセグメント： 同社独自の特許技術に基づくRenewable Diesel, SAF, Renewable Solvents および Bioplastics 原料の製造と国内市場および国際卸売市場への販売

(出典) NESTE Annual Report 2021¹⁴および四半期決算資料¹⁵を基に筆者作成

図2-2 NESTEのRenewable Products部門の四半期営業利益(EBIT)と製品販売マージン推移

表2-3は、SAFの製造事業者・ロケーション・製造技術・原料・キャパシティを整理したものである。一部の製造事業者のキャパシティはRenewable Diesel等と合算のため正確な分析は困難だが、現在の全世界のジェット燃料需要(約1.67億トン)の10%をSAFに置き換える場合には1,600万トンのSAFが必要であり、依然として供給能力は圧倒的に不足している。現在商用化されているSAF製造技術は実質的にHEFA-SPKのみであり、商用生産を行っているSAF製造事業者の殆どがHEFA-SPKを採用している。FT-SPKやATJといった製造技術によるSAF製造の実証事業が世界中で進められているが、商用化には未だ数年を要するものと見られている。そのため、SAF原料の安定確保を前提として、向こう5-10年での供給面のボトルネックの解消には、さらなるプロセスの最適化や技術的ブレイクスルーによるHEFA-SPKのSAF製造量の増強が鍵となる。また、SAF向けの原料は世界各地に遍在しており、世界各地におけるSAF生産量は小規模とならざるを得ない。そのため、SAFの安定供給に向けては小規模・分散型の供給体制の整備が必要な点に留意する必要がある。SAFの製造・供給面に関して、これまではWorld Energyなどの独立系事業者や、いち早くRenewable Products事業に注力したフィンランドNESTEなどが市場を牽引してきたが、近年では、フランスTotalEnergiesやイタリアENI、スペインRepsolといったメジャー・準メジャーの石油会社の参入もみられる。SAFはジェット燃

¹⁴ https://www.neste.com/sites/neste.com/files/attachments/corporate/investors/corporate_governance/neste_annual_report_2021.pdf

¹⁵ <https://www.neste.com/investors/materials>

料と混合してサプライチェーンで展開することから、石油精製技術と大型設備を有し、既に航空燃料の供給網を確立しているそれらの石油会社は既存のプレーヤーから市場シェアを奪うことも比較的容易とみられる。

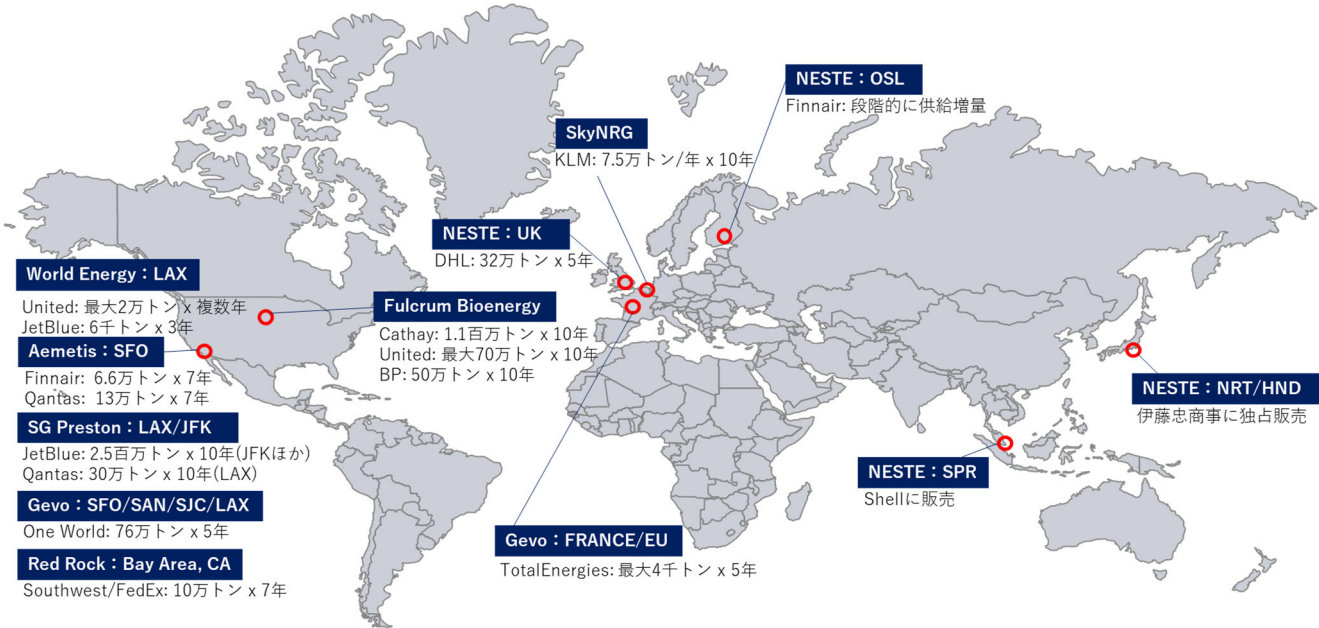
表 2-3 SAF 供給力サマリー

製造者	ロケーション	製造技術	原料	キャパシティ(ton/年)
NESTE	Rotterdam(オランダ)	HEFA	植物油 / 廃食油 / 獣脂	450,000
	Porvoo (フィンランド)	HEFA	植物油 / 廃食油 / 獣脂	100,000
	Delfzijl (オランダ)	HEFA	植物油 / 廃食油 / 獣脂	100,000
	Singapore (シンガポール)	HEFA	植物油 / 廃食油 / 獣脂	1,000,000(2023年1Q)
World Energy	Paramount (米国)	HEFA	非食用油 / 廃棄物	570,000(*)
Diamond Green Diesel	Norco (ルイジアナ、米国)	HEFA	植物油 / 獣脂 / 廃食油	1,500,000(*)
	Port Arthur (テキサス、米国)	HEFA	植物油 / 獣脂 / 廃食油	1,800,000(2023年)(*)
UPM	Lappeenranta (フィンランド)	HEFA	粗トール油	500,000(*)
Renewable Energy Group (Chevron)	Geismar (ルイジアナ、米国)	HEFA	遊離脂肪酸	1,300,000(2023年)(*)
ST1	Göteborg (スウェーデン)	HEFA	トール油	70,000
Preem	Göteborg (スウェーデン)	HEFA	獣脂 / 生トール油	270,000(2024年)
TotalEnergies	La Mede (フランス)	HEFA	廃食油 / 植物油	100,000
	Granpuits (フランス)	HEFA	廃食油 / 植物油	170,000
ENI	Gela (イタリア)	Ecofining	廃食油 / 脂肪	150,000(2024年)(*)
Repsol	Cartagena (スペイン)	Co-processing	植物油	N.A.
	Puerto Real (スペイン)	Co-processing	植物油	N.A.

(注 1)(*) Renewable Diesel の生産量との合算 (注 2) FT-SPK・ATJ 等、実証段階は除外

(出所) IRENA (July 2021), Argus Media ほか各社 HP・プレスリリース等を基に筆者作成

SAF の需要を強力に牽引するのは航空会社・航空貨物会社・石油会社である。近年、世界中で数多くの SAF 引取契約が締結されており、欧州や米国を中心に SAF の供給体制が次第に整備されつつある(図 2-3)。



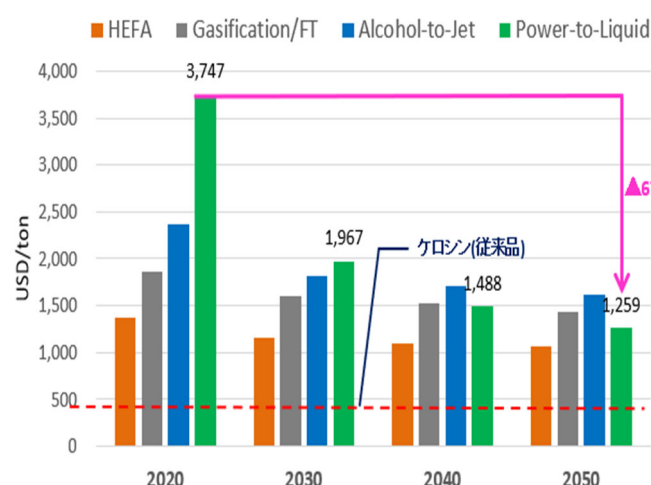
(出所) The State of Sustainable Aviation Fuel (SAF)(CAAFI)および各社プレスリリース等を基に筆者作成

図2-3 全世界のSAF供給体制マップ

3. 普及拡大に向けての課題・今後の展望

前章ではSAFの性状、製造技術・原料、需給の現状と見通しについて概説した。空の脱炭素の切り札として昨今期待と注目を集めるSAFであるが、将来の普及拡大に向けて乗り越えるべき課題はないのだろうか？本章では、SAFが直面する課題と今後の展望について考察する。

将来のさらなる普及拡大に向けて、SAFが乗り越えるべき最大の課題は製造コストの低減である。下図3-1は、2020年現在および2050年に向けてのSAF製造コストを製造技術別に整理したものであるが、**2020年現在のSAF製造コストはジェット燃料(500ドル/トンと仮定)の3~7倍程度**と非常に高い。将来のコスト低減の実現可能性については、最も技術成熟度が高く商用化されているHEFAが現在最もコスト競争力を有しており、将来にわたってもコスト競争力を維持する見通しにあるが、製造コストのうち約60%を占める原料コストを大幅に低減させることは困難であり、2050年に向けてのコスト低減余地は20%程度と予想されている(図3-2)。一方、ドイツ等が注力するPower-to-liquid (E-Fuel)の現時点の製造コストは3,500ドル/トン超と他の製造技術との比較において製造コストが突出して高いものの、再生可能エネルギーの発電コストと設備投資費・操業費に中長期的に大きな低減余地があることを踏まえ、2050年に向けては67%程度のコスト低減が期待されている(図3-1)。



(出所) World Economic Forum, Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation (November 2020)
を基に筆者作成

図 3-1 SAF 製造コストの現状と見通し

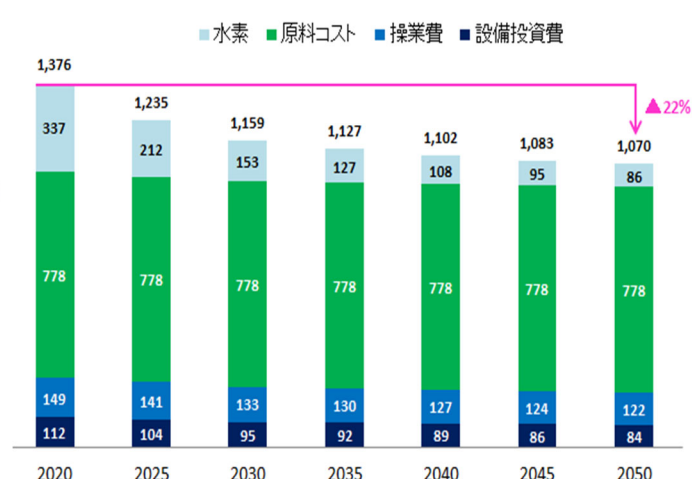


図 3-2 SAF 製造コストの内訳 (HEFA)

原料確保には課題がないのだろうか？World Economic Forum は、advanced feedstock や waste など食料と競合しない原料のポテンシャルを基に約5億トンものSAFの製造・供給が可能と推計しており、これは2030年時点の航空燃料の需要4億トンの120%に相当する¹⁶。供給可能量について、バイオマス・残渣・都市ゴミといったSAF原料はそのまま燃やすことで熱エネルギーとして利用可能である。また、バイオマス発電やゴミ焼却発電にも利用されるなど1次エネルギー源として競合している。そのため、理論ポテンシャルほどにはSAFの製造に必要な原料が確保できない可能性も否定できない。また、将来、原料の確保が難しくなるほど価格が高騰する可能性もある。すでに商用スケールでSAFを製造している、あるいは、現在実証が進められている

¹⁶ World Economic Forum (in collaboration with Mckinsey & Company) (November 2020), *op.cit.*, p.27

プロジェクトは原料の確保が比較的容易なものと推察され得る。将来、SAF 需要が高まるにつれ、それらの原料の価値が再認識されたり、都市ゴミなど回収コストの負担と引き換えにこれまでは無料で確保できてきた原料が有価で取引されたりする可能性もある。潜在的な原料価格の高騰はそのまま SAF の販売価格に転嫁されるため、普及拡大の阻害要因になるであろう。

国産 SAF 製造への取り組みは、輸送費削減の観点からも重要である(下表 3-1)。これまでのところ日本国内には商用の SAF 製造設備は存在しないため、当面は海外からの輸入に頼ることになる。国際市場における需給の逼迫は SAF の市場価格の高騰を招くばかりではなく、十分な量的確保が困難になる恐れがある。

表 3-1 国産 SAF 製造事業一覧

	原料	製造技術	事業者	ステータス
油脂	廃食用油	HEFA-SPK	日揮HD・日揮、レボインターナショナル、コスモ石油、	NEDO実証中 (~2024年)
	微細藻類	HC-HEFA	IHI	NEDO実証済 国内便に供給
	ユーグレナ	HC-HEFA	ユーグレナ	NEDO実証中 (~2024年)
バイオマス	木質・パルプ	FT-SPK	JERA、三菱パワー、 東洋エンジニアリング、伊藤忠商事	NEDO実証中 (~2024年)
		ATJ	Biomaterial in Tokyo 三友プラントサービス	NEDO実証中 (~2024年)
	エタノール	ATJ	ANA、三井物産 (米LanzaJet技術を活用)	GI基金(*) 検討中
都市 排気ガス	一般廃棄物	FT-SPK	JAL、丸紅、ENEOS、日揮ほか (米Fulcrum BioEnergyの技術を活用)	実証中
	プラスチック			
	排気ガス	ATJ	N.A.	N.A.
合成燃料	CO ₂ +グリーンH ₂	CO ₂ 電解	ANA、東芝ES・東芝、出光興産、 東洋エンジニアリング、日本CCS調査	事業性 評価中
	CO ₂ +H ₂ O	共電解	成蹊大学、ENEOS、名古屋大学、横浜国立 大学、出光興産、産業総合技術研究所、石油 エネルギー技術センター	NEDO実証中 (~2024年)
	CO ₂ +グリーンH ₂	直接FT合成		

(出所) 日本航空¹⁷、NEDO・各社プレスリリース、および、その他各種情報を基に筆者作成

SAF の供給量の拡大には、依然として技術的ブレイクスルーに頼る部分が少なくないことも認識しておく必要がある。前述のとおり、足元の市場は HEFA が牽引しているものの、2050 年に向けて大幅なコスト低減が期待されるのは Power-to-Liquid (E-Fuel) である。Power-to-Liquid には再エネなどのクリーン電力の供給が求められるが、世界的なカーボンニュートラルの潮流の中で再エネ電力は需給がタイトになっている。今後さまざまな用途での奪い合いが予想される中で、安価で大量のクリーン電力を確保していく必要がある。日本においては、2050 年の SAF 導入量の目安を 2,300 万 kl(1,800 万トン)と見積もられているが¹⁸、HEFA・ガス化・FT 合成・ATJ 合計の 2050 年時点の SAF 製造・供給量の見積もりとは 1,100 万 kl(800 万トン)以上もの乖離があり、

¹⁷ 日本航空(2022 年 2 月 17 日)、「国産 SAF の果たす役割」、<https://www.jttri.or.jp/seminar220217-05.pdf>

¹⁸ 日本航空 (2021 年 10 月 8 日、プレスリリース)、「ANA と JAL、2050 カーボンニュートラルに向けた SAF (持続可能な航空燃料) に関する共同レポートを策定」、<https://press.jal.co.jp/ja/release/202110/006263.html>

藻類を原料とする SAF 製造等でこのギャップを埋めることが想定されている¹⁹。藻類からのバイオ燃料の製造開始は2度のオイルショックに見舞われた1970年代にまで遡り、2010年前後の原油価格の高騰時には米国を中心に多くのベンチャー企業が勃興したものの、殆どの事業者は量産化を実現できず撤退している。このことを踏まえると、藻類からのバイオ燃料製造の量産化には依然として一段の技術的ブレイクスルーが求められる。国産 SAF の製造が順調に進展しなければ国外からの輸入に頼り続けることになり、高い輸送コストを負担し続けることになる。エネルギーセキュリティを向上させる観点からも、さまざまな技術に幅広く投資しておくことが重要といえるだろう。

以上の述べてきたように、日本においては現在、NEDO による研究開発資金といった政策支援の活用を中心として、早期の国産 SAF の製造体制の確立とコスト低減実現に向けたさまざまな取り組みが進められている。しかし、未だ商用化された SAF 製造プロジェクトが存在しない状況のなか、短期間に製造コストを大幅に低減することは困難である。そのため、政策支援に加えて、SAF を利用することで生じるコスト上昇を社会全体で負担する仕組みも並行して検討する必要があるだろう。一例として、エールフランスや KLM といった欧州の航空会社では、SAF の利用による燃料コストの増分を Biofuel Surcharge として航空券代金に加算する仕組みを導入済である²⁰。また、従業員の国際航空便を利用した出張に伴う GHG 排出量のオフセット費用を企業が自主的に負担する動きも広がりつつある²¹。今後の SAF のさらなる普及拡大に向けては、このような行動変容を促す民間レベルの取り組みも検討される必要があるだろう。

おわりに

昨今、SAF に対する注目度が日増しに高まっていることが実感される様になってきている。すでに民間主導の SAF 製造・供給プロジェクトが各地で進められているが、これまでのところ世界全体での SAF の供給量は少なく、ジェット燃料と比較した場合、コストも数倍高いのが実情である。また、SAF の製造に利用される原料は持続可能であることが絶対条件であることから、中長期的には原料コストが上昇するリスクがあるといった課題もある。一方で、状況を総合的に判断した場合、有効なオプションが限定的な国際航空分野の脱炭素において、SAF が中長期にわたり重要な役割を果たす可能性は高いだろう。将来の普及拡大に必要なコスト低減に向けて、政策メニューの活用による技術的ブレイクスルーの実現と、社会全体でのコスト負担の仕組みの検討と導入が期待される。

お問い合わせ : report@tky.iej.or.jp

<https://eneken.iej.or.jp/>

¹⁹ 一般財団法人運輸総合研究所(2022年2月17日)、「我が国における SAF の普及促進に向けたサプライチェーン全体の課題・解決策(報告)」、<https://www.jttri.or.jp/seminar220217-06.pdf>

²⁰ France24 (January 10, 2022), “Air France-KLM adds biofuel surcharge to plane tickets,” <https://www.france24.com/en/live-news/20220110-air-france-klm-adds-biofuel-surcharge-to-plane-tickets>

²¹ BCG’s Net-Zero Strategy, <https://www.bcg.com/about/net-zero>