

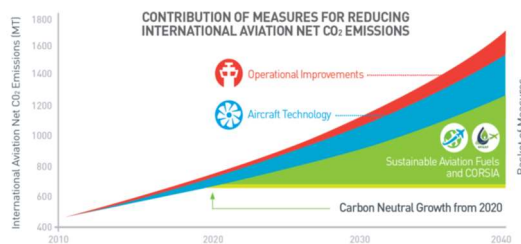
SAF (Sustainable Aviation Fuel)

室井 高城

持続可能な航空燃料についてまとめてみた。

CORSLA

CORSIA は、航空機からの CO₂ 排出量を削減するために合意された国際民間航空のカーボンオフセットおよび削減スキームである。国際民間航空機関 (ICAO) は、航空機による温室効果ガスの排出量を 2020 年の排出量以上増加させないという目標を設定した。実際はコロナ禍で 2020 年の排出量は少なかったため、2019 年と 2020 年の平均値が採用された。この値を基準としてこれ以上 CO₂ の排出量が増加した場合は炭素税を払わなければならない。そのため、航空会社各社は、航空路の見直しや機体の軽量化などを行うが、燃料による CO₂ の排出が最も多い。そのため増加分は再生可能航空燃料(SAF: Sustainable Aviation Fuel)が用いられ始めた(図 1)。

図 1 CORSLA CO₂ 削減計画

航空燃料

航空機は、自動車と違って、燃料消費量が多く、機体重量が大きいために電気や水素燃料電池で飛行させることは困難である。さらに、大量に大気中に排出される CO₂ を捕集、回収することも不可能である。そのためバイオ燃料であるパーム油やひまわり油などの油脂を水素化した HVO* 又は HEFA* は、コストは高いものの代替品が無いために用いられ始めている。しかし、航空機燃料としては世界的な燃料の基準があり、油脂の水素化で製造されている HVO/HEFA の主成分は n-パラフィンであるため低温で固化してしまうために 100% 用いることができない。そのため石油由来のケロシンと混合使用とすることが規定されている。参考に下記に典型的な航空燃料の組成を示す(表 1)。

表 1 航空燃料組成(C₉~C₁₅)

組成	含有量 vol%	
パラフィン	52 (n/i=1/1)	
ナフテン	1 環	22
	2 環	11
芳香族	1 環	14.5
	2 環	0.5

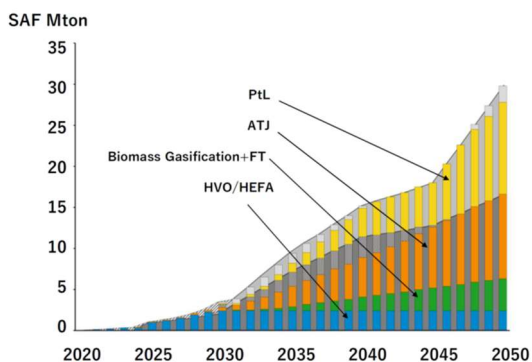
190～270℃蒸留カット成分として混入する芳香族分は、析出点を下げるためWAXができにくくなるが、芳香族分は25vol%を超えると火炎の吹き消え(ブローアウト)が生じやすくなる。さらに、パーム油やひまわり油などのバイオ油脂は、生産量に限界があり、今後、大きく需要が増加することは考え難い。

HVO* : Hydrotreated Vegetable Oil

HEFA*:Hydroprocessed Esters and Fatty Acids

SAF の需要予測

欧州議会に提出された SAF の需要予測によると、次世代 SAF の欧州の需要は、2030 年の 200 万トンから 2050 年には 3,000 万トンに増加する (図 2)。



HVO/HEFA:水素化油脂

Biomass Gasification + FT:廃材ガス化+FT

ATJ: EtOH から SAF

PtL: 再エネ電解水素と CO₂から SAF

図 2 欧州議会提出欧州 SAF 需要予測

ガス化+FT

HVO/HEFA の原料のパーム油やひまわり油、菜種油などの原料は可食資源であり、限られたバイオマス資源のため今後の大幅な増加を期待することは見込めないが、廃材などのバイオマスをガス化した合成ガスから FT 合成によって SAF を製造(ガス化+FT)法は、増加すると予測されている。欧州では COMSYN プロジェクトや BioTfuel プロジェクトなどの大型実証プラントが稼働している。(図 3)。

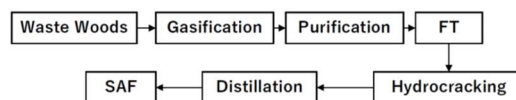


図 3 ガス化+FTによる SAF 製造スキーム

ガス化+FT で、最近の注目すべきニュースは、米国の Fulcrum BioEnergy が、米国ネバダ州で都市廃棄物のガス化+FTで SAF の生産を開始したことである。70 万トン/年の都市ごみから 12.5 万 kL の Jet 燃料が 2022 年 12 月製造開始した。プロジェクトは、丸紅-JAL の \$8M(約 10 億円)の他、British Air Way、United、Catty Pacific が投資している。プロセスは、都市の廃棄物をガス化・精製し、SAF 用の FT 油を合成するもので、ガス化は TRI の Reformer、FT リアクターは、JM-BP 社が開発した小型の CANS 反応器が用いられている。最終的な SAF はマラソンオイルで製造している(図 4)。

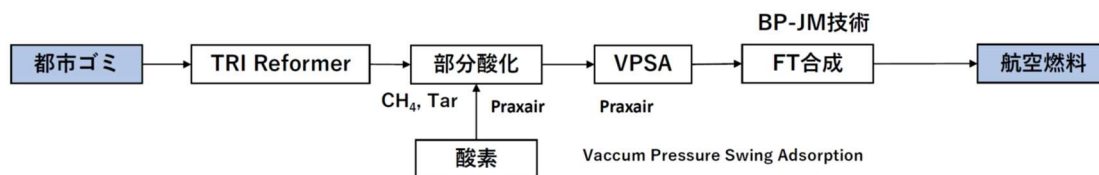


図 4 Fulcrum BioEnergy の都市ゴミから SAF の製造スキーム

CANS 反応器を下記に記す(図 5)。CANS 反応器には 10%Co-1%Mn/TiO₂ (<1mm pellet)が充填されていて CO/H₂はラジアルフローで反応器の上部の中心部から外部に流れ、反応器の外側で冷却されている。CANS 反応器は多段で充填されている。反応条件は 198°C, GHSV=1,250, CO 転化率: 65%, C₅₊ 選択率: 87%, CH₄ の選択率: 7.4%である 2)。

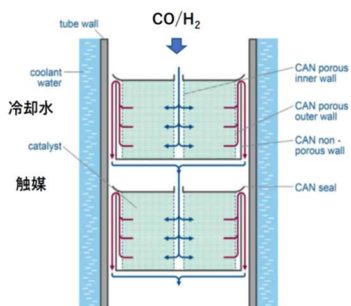


図 5 JM-BP の FT 合成 CANS 反応器 2)

ATJ

ATJ(Alcohol to Jet fuel)は、アルコールからジェット燃料を製造する方法で、アルコールはバイオエタノールとバイオブタノールである。主として日本以外の国で、ガソリン混合に用いられているバイオエタノールは、今後ガソリンエンジンが EV に置き

換わると需要が減少するので、今後この ATJ プロセスによって航空燃料を製造する需要が増加すると見込まれている。ATJ の製造スキームを示す(図 6)。

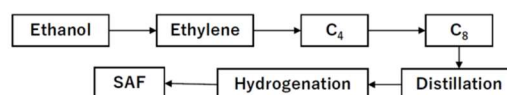


図 6 ATJ production scheme

LanzaTech は、古生菌を用いた発酵法によって CO から合成したエタノールから SAF を製造するために LanzaJet を立ち上げた。ATJ 技術は PNNL と共同開発したものである。エタノールは γ -Al₂O₃ で脱水され C₂ とされた後、Ni/SiO₂-Al₂O₃ で二量化、更に H₂ で二量化され蒸留分離後、水素化されて SAF が製造される(図 7)。米国エネルギー省の \$140M(約 180 億円)の助成金を受け 37,800kL/年の Jet 燃料製造プラントが、米国ジョージア州ソペルトンのフリーダムパインズサイトで建設されているが、まもなく完成する予定である。

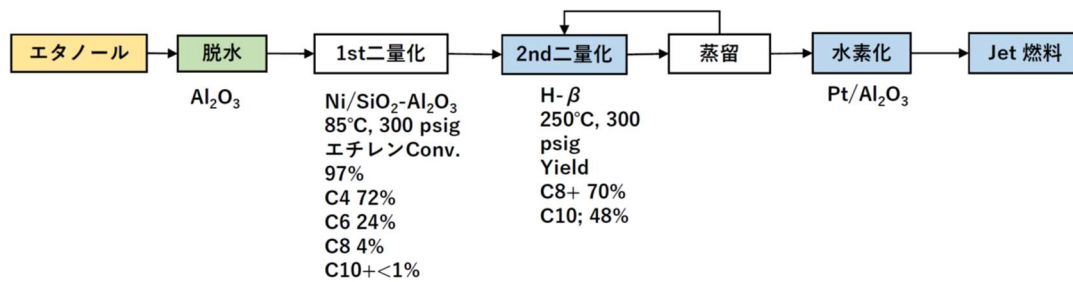


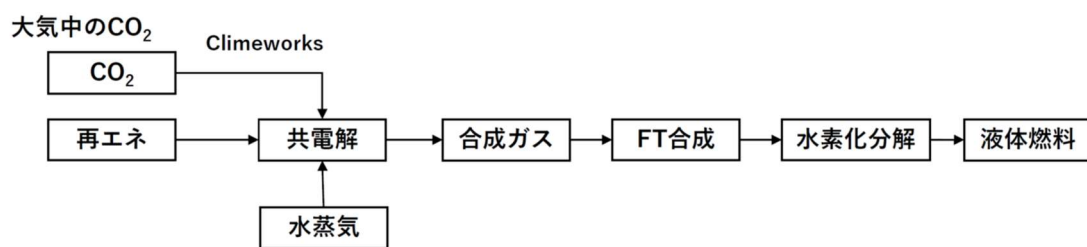
図 7 LanzaTech の ATJ プロセススキーム

LanzaJet のプロジェクトにはカナダの Suncor Energy が\$15M(約 20 億円)、三井物産が\$10M(約 13 億円)の投資をしている他、日本の全日空 (ANA) も参加している。サンコア、三井物産は実証後、商業生産プラントの建設に更に多くの資金を投資する予定である³⁾。

PtL

PtL (Power to Liquid)は、FT 合成により CO₂ と再エネ電解グリーン H₂ をから SAF を製造する方法である。欧州では、ドイツ連邦教育開発省と KIT の進めるコペルニクス

計画など、いくつかのプロジェクトが開始されている。コペルニクスプロジェクトは、CO₂ 源に Climeworks の DAC (Direct Air capture)、合成ガスの製造は、SOEC の共電解を用いている。FT は INERATEC のコンパクトな FT 合成装置と、最後の水素化分解は KIT の技術を用いている。余剰エネルギー貯蔵、電力網の開発、変動エネルギーの供給、再エネと従来エネルギー利用を目的として、ドイツ政府は 2018 年まで €120M(約 160 億円)、2025 年までに更に €280(約 360 億円)の費用を負担している(図 8)⁴⁾。



高温共電解システム

図 8 コペルニクスプロジェクト

M2SAF

新たな SAF の製造法として M2SAF (Methanol to SAF) が注目されている。原料のメタノールは CO₂ と再エネ水素から容

易に合成可能である。メタノールから Ru/TiO₂ を用いると重質分が直接製造できる⁵⁾。又、MTG プロセスを用いれば芳香族を含む SAF を合成することができる。さら

に、メタノールから。SAPO-34 を用いて MTO 類似プロセスで軽質オレフィンを合成し、軽質オレフィンを Ziegler 触媒又は

Ni/Al₂O₃ で二量化することにより、SAF を合成することができる(図 9)⁶⁾。

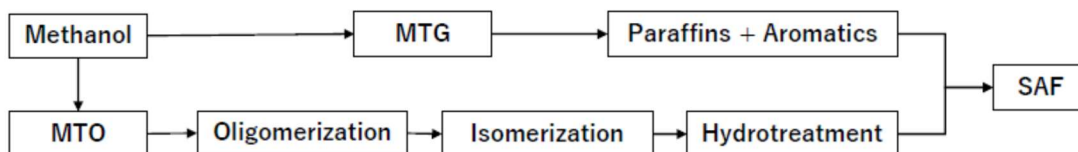


図 9 MTG と MTO を組み合わせた SAF 製造プロセス

ExxonMobil は、M2SAF 技術を開発したことを発表している。プロセスの詳細は不明である。ドイツの CAC は、メタノールからオレフィンへのプロセス段階 (MTO)、オ

レフィンからジェット燃料へのプロセス段階 (OTJ)、水素化仕上げ工程の 3Step の SAF 製造技術を開発している(図 10) ⁷⁾。

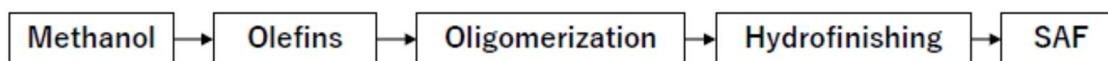


図 10. CAC の SAF 製造スキーム

ドイツでは、BASF、ThyssenKrupp、OMV、DLR、ASG がコンソーシアムを立ち上げた。開発プロジェクトは、既存の工業化装置を使用し、商業化への迅速化を狙っている。ドイツ連邦デジタル運輸省(BMDL)は、2022 年 8 月から 2.5 年間、M2SAF を開発するためコンソーシアムに €5.2M(約 7 億円)の開発資金を授与した ⁸⁾。

ERE

6) US20150191666A1

7) cac-synfuel.com

8) Aviation Week, 2022.11.17

参考資料

- 1) SkyNRG, A market Outlook on Sustainable Aviation Fuel, July, 2021
- 2) M. Peacock, et al., Topics in Catalysis, 63, 328-339 (2020)
- 3) Renewable Now, June 4, 2020
- 4) Yun Zheng, et al, Chemical Society Review, Issue 5, 2017
- 5) US 4,579,995