

資源エネルギー庁 御中

令和 3 年度燃料安定供給対策に関する調査等
(バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策の在り方に関する調査)
報告書

MRI 三菱総合研究所
サステナビリティ本部

2022 年 3 月 31 日

調査の目的

2020 年 10 月に菅総理が 2050 年のカーボンニュートラル社会を目指すことを宣言したが、その達成に向けてバイオ燃料等の活用も期待されている。我が国ではバイオ燃料は主にガソリン混合用のバイオエタノール(バイオ ETBE)が利用されており、引き続きバイオエタノールの国際的な導入状況や研究開発動向、導入促進策等を把握しておくことが重要となる。また、大型車の電動化は困難なため、今後も堅調な需要が見込まれる軽油に関しても、GHG 排出削減に向けてバイオディーゼル燃料、合成燃料(e-fuel)等のその他の代替燃料の導入が期待されている。本事業においては、これらの代替燃料についても、国内外での導入状況や研究開発動向、導入促進策等について調査・分析を行う。

航空部門については、ICAO(International Civil Aviation Organization)において長期的な低炭素化目標が策定され、目標達成の手段の一つとして持続可能な航空燃料(以下、「SAF」という。)の導入が想定されている。今後 SAF の市場規模が拡大すると予測されていることを踏まえ、諸外国における導入状況や研究開発動向、導入促進策等について調査・分析を行う。

目次

1. バイオエタノール、バイオディーゼル燃料、その他の代替燃料の導入状況や導入促進策、研究開発動向等に関する諸外国の動向調査	1
1.1 各国動向の全体像と今後の見通し	1
1.1.1 バイオ燃料の生産動向	1
1.1.2 バイオ燃料の消費動向	2
1.1.3 バイオ燃料の貿易動向	3
1.2 米国	5
1.2.1 再生可能燃料基準(RFS2)	5
1.2.2 バイオ燃料の導入状況	8
1.2.3 バイオジェット燃料の導入状況	9
1.3 米国カリフォルニア州	11
1.3.1 バイオ燃料の政策動向(LCFS)	11
1.3.2 バイオ燃料の導入状況	13
1.4 ブラジル	15
1.4.1 バイオ燃料の政策動向	15
1.4.2 バイオエタノールの政策動向	17
1.4.3 バイオディーゼルの政策動向	21
1.4.4 バイオ燃料の導入状況	22
1.4.5 バイオジェット燃料の政策動向	26
1.5 EU	28
1.5.1 バイオ燃料の政策動向	28
1.5.2 バイオ燃料の導入状況	34
1.6 英国	38
1.6.1 バイオ燃料の政策動向	38
1.6.2 バイオ燃料の導入状況	39
1.7 ドイツ	43
1.7.1 バイオ燃料の政策動向	43
1.7.2 バイオ燃料の導入状況	46
1.8 フランス	50
1.8.1 バイオ燃料の政策動向	50
1.8.2 バイオ燃料の導入状況	51
1.9 オランダ	53
1.9.1 バイオ燃料の政策動向	53
1.9.2 バイオ燃料の導入状況	55
1.10 スウェーデン	58
1.10.1 バイオ燃料の政策動向	58
1.10.2 バイオ燃料の導入状況	60

1.11 ノルウェー.....	64
1.11.1 バイオ燃料の政策動向	64
1.11.2 バイオ燃料の導入状況	64
1.12 中国	66
1.12.1 バイオ燃料の政策動向	66
1.12.2 バイオ燃料の導入状況	68
1.13 インド	73
1.13.1 バイオ燃料の政策動向	73
1.13.2 バイオエタノールの政策動向	75
1.13.3 バイオディーゼルの政策動向	77
1.13.4 バイオ燃料の導入状況	78
1.14 タイ	81
1.14.1 バイオ燃料の政策動向	81
1.14.2 バイオ燃料の導入状況	83
1.15 フィリピン.....	87
1.15.1 バイオ燃料の政策動向	87
1.15.2 バイオ燃料の導入状況	90
1.16 インドネシア	93
1.16.1 バイオ燃料の政策動向	93
1.16.2 バイオ燃料の導入状況	96
1.17 各国の動向に関する総括表.....	99
 2. SAF の導入状況や研究開発動向、導入促進策等に関する国内外の動向調査 ...	111
2.1 SAF の導入状況や研究開発動向、導入促進策等に関する調査	111
2.1.1 原料の賦存量と SAF の供給ポテンシャルに係る調査	111
2.1.2 原材料・サプライチェーン等の商流に係る事例調査	122
2.1.3 技術開発動向・LCA に関する調査.....	144
2.1.4 導入促進策に係る調査.....	168
2.2 ジェット燃料等に関する国際的な規制に関する調査.....	185
2.2.1 ICAO 等における国際的なルールメイキングの動向等	185
 3. その他の関連制度等に関する調査.....	193
3.1 国内外におけるクレジット制度に関する調査.....	193
3.1.1 CORSIA における認証炭素クレジット制度	193
3.1.2 炭素クレジットの市場動向	198
3.2 国内外における自動車産業分野の動向把握調査.....	201
3.2.1 主要国における電動車関連の政策動向	201
3.2.2 主要国の自動車メーカーにおける電動車関連の動向	209
3.3 国内外における航空産業分野の動向把握調査	212
3.3.1 航空機機材による温室効果ガス削減技術	212

3.3.2 国内外における航空機機材の技術開発計画.....	216
--------------------------------	-----

1. バイオエタノール、バイオディーゼル燃料、その他の代替燃料の導入状況や導入促進策、研究開発動向等に関する諸外国の動向調査

1.1 各国動向の全体像と今後の見通し

OECD-FAO(2021)によれば、2020 年における世界的な輸送用燃料の消費量は、COVID19 の影響により、前年に比べて 8.5%減少し、結果として 2020 年のバイオ燃料の消費量は 2019 年と比較して 8.7%減少した。世界的なバイオ燃料の需要は燃料需要全体の回復に伴い、2022 年に回復すると見込まれている。以下にバイオ燃料の動向を生産、消費、貿易に分けて示す¹²

1.1.1 バイオ燃料の生産動向

OECD-FAO(2021)によれば、バイオ燃料の原料について、世界全体で見れば、エタノールは約 60%がトウモロコシ、25%がサトウキビ、3%が小麦、2%が糖蜜を原料として生産されている。残りの原料は、その他の穀物、キャッサバ、テンサイである。また、バイオディーゼル³については、およそ 75%が植物油(パーム油 30%、大豆油 25%、菜種油 20%)、20%が廃食油から生産されている。各国のバイオ燃料の主要原料を表 1-1 に示す。作物残渣、エネルギー作物、木材などのセルロース系の原料由来の先進的バイオ燃料はバイオ燃料の総生産において大きなシェアを占めるには至っていない。

今後の世界のバイオ燃料生産については、引き続き、殆どのバイオ燃料がサトウキビやトウモロコシといった第 1 世代の農作物から生産されると見込まれている。セルロース系エタノールなどの先進型バイオ燃料の生産については、2030 年までの期間で大幅な増加は見込めない状況である。

表 1-1 各国のバイオ燃料の主要原料

国名	エタノール	バイオディーゼル
米国	トウモロコシ	大豆/廃食油
EU	テンサイ/小麦/トウモロコシ	菜種油/パーム油/廃食油
ブラジル	サトウキビ/トウモロコシ	大豆油
中国	トウモロコシ/キャッサバ	廃食油
インド	糖蜜	廃食油
カナダ	トウモロコシ/小麦	カノーラ油/廃食油/大豆油
インドネシア	糖蜜	パーム油
アルゼンチン	糖蜜/サトウキビ/トウモロコシ	大豆油
タイ	糖蜜/キャッサバ/サトウキビ	パーム油
コロンビア	サトウキビ	パーム油
パラグアイ	トウモロコシ/サトウキビ	ジャトロファ

出所) OECD-FAO, “OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030”, <https://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2021-2030/en/> (2022 年 2 月 16 日閲覧)より MRI 作成

¹ OECD-FAO, “OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030”, <https://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2021-2030/en/> (2022 年 2 月 16 日閲覧)

² IEA, “Renewables 2021 Analysis and forecast to 2026”, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf> (2022 年 2 月 14 日閲覧)

³ OECD-FAO のレポートでは、バイオディーゼルに再生可能ディーゼル(HVO)も含まれている。

続いて、上記原料からのバイオ燃料生産量について見ていく。OECD-FAO(2021)によれば、エタノール生産量については、米国とブラジルの2か国で世界全体の生産量の約75%を占めており、この2か国に続く中国(8.3%)、EU(4.8%)、インド(2.3%)の生産量との間には大きな差が存在している。一方、バイオディーゼル生産量については、EUでの生産量が32.3%で首位であり、米国(18.1%)、インドネシア(15%)、ブラジル(12.2%)がそれに続いている。

IEA(2021)によれば、2021年から2026年の期間において、アジアにおけるバイオ燃料生産量は、ヨーロッパにおける生産量を上回ることが予想される。この駆動力となるのは、国内での強力なバイオ燃料促進政策、液体燃料需要の拡大、輸出志向型の生産の三つである。2026年までの期間において、アジアの国々における生産量は世界全体の1/3近くを占めることとなる。中でも、インドネシアとマレーシアにおけるバイオディーゼル混合率目標及びインドにおけるエタノール政策がこの成長を支えていく。とはいえ、米国とブラジルが需要と生産の双方における中心地であることに変わりはない。

1.1.2 バイオ燃料の消費動向

OECD-FAO(2021)によれば、開発途上国における混合目標の高まりを受けて、世界的なバイオ燃料の消費量は2030年までの期間において緩やかに増加すると見込まれている。とはいえ、2021年から2030年の10年間ににおける世界のバイオ燃料の生産量及び消費量の増加ペースは、2011年から2020年の10年間に比べて緩やかなものとなる見込みである。EUと米国では、合計の燃料使用量は減少し、バイオ燃料の消費量は全体として伸び悩むことが示唆される。EUでは、RED IIにおいてパーム油が間接的土地利用変化(ILUC)のリスクが高いカテゴリに分類されており、パーム油由来のバイオディーゼルのみならずバイオディーゼル全体の消費量の減少という帰結を招くことが予想される。米国では、バイオ燃料の需要はRFS2(Renewable Fuels Standard、詳細後述)により維持されると見込まれるものの、10%ブレンドの壁が国内のエタノール消費の増加を抑制すると見込まれている。

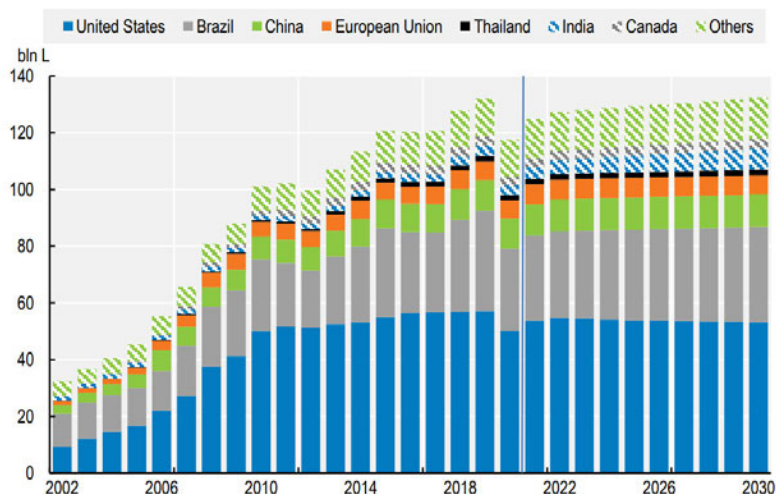


図 1-1 世界のエタノール消費量の推移(2021 年から 2030 年までは予測値)

出所) OECD-FAO, “OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030”, <https://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2021-2030/en/> (2022 年 2 月 16 日閲覧)

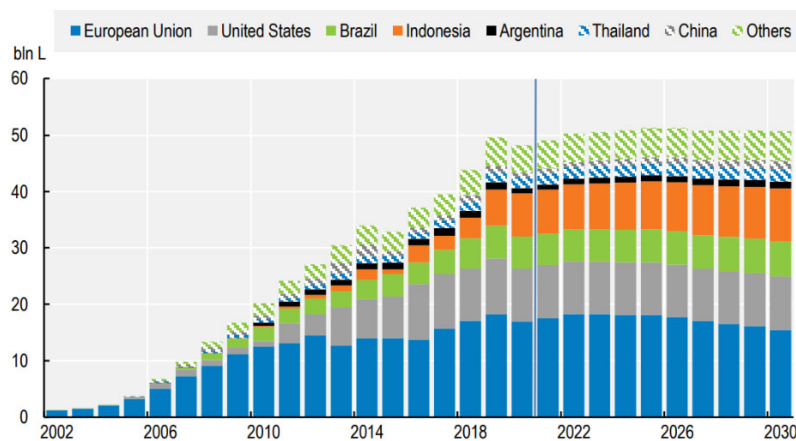


図 1-2 世界のバイオディーゼル消費量の推移(2021 年から 2030 年までは予測値)

出所) OECD-FAO, “OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030”, <https://www.fao.org/publications/oecd-fao-agricultural-outlook/2021-2030/en/>(2022 年 2 月 16 日閲覧)

2026 年までの見通しを示した IEA(2021)によれば、バイオ燃料需要は平均して年間 4%のペースで成長し、2026 年には 1,860 億 L に達すると見込まれる。2020 年に比べて 410 億 L 増加となる。ブラジルと米国が依然として最大のバイオ燃料市場である。これらの地域は、今後 5 年間の需要拡大に最も寄与する。2024 年半ばにはアジアがヨーロッパを上回って 3 番目に大きな需要を有する地域となる。2026 年には、エタノールとバイオディーゼル(FAME)は全体の需要の 87%を占めるものの、それは現在よりも 8%低い値である。また、再生可能ディーゼル(HVO)とバイオジェット燃料が全体の需要に占める割合は、2020 年時点では 5%に過ぎないが、2026 年には 13%まで増加すると見込まれる。これは、ヨーロッパと米国における政策は、再生可能ディーゼル(HVO)とバイオジェット燃料の消費を志向しているためである。

また、再生可能ディーゼル(HVO)需要は 2020 年から 2026 年の間に 3 倍となると予想されている。これは米国とヨーロッパの政策によるところが大きい。しかしながら、エタノール需要は再生可能ディーゼル需要をさらに上回ると見込まれる。エタノールとバイオディーゼル(FAME)の需要は、ラテンアメリカとアジアにおいて、そして COVID19 からの需要回復により、以前として堅調である。インドでは 2025 年までにエタノール混合率を 20%としようとしており、インドネシアでは 2022 年にバイオディーゼル(FAME)の混合率を 40%とする計画があった。同様に、ガソリンとディーゼルの需要が拡大しているブラジルのバイオ燃料政策はバイオ燃料消費をけん引する。

1.1.3 バイオ燃料の貿易動向

2030 年までの見通しを示した OECD-FAO(2021)によれば、世界全体のエタノール貿易量は、生産量に対して低い割合のまま推移し、その割合は 9%から 2030 年までに 8%へと微減すると見込まれている。米国は引き続きトウモロコシ由来のエタノールの純輸出国であるものの、生産が低迷していることを受けてエタノール輸出量は減少していく。また、ブラジルの輸出量は、国内需要を殆ど満たすことができることから、2030 年にかけて年率 0.1%で増加すると予想される。

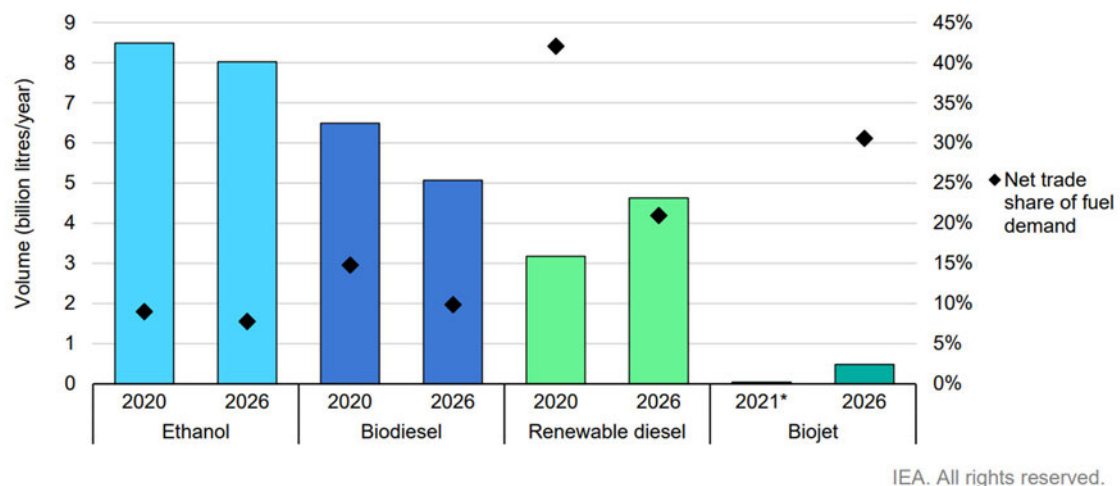
一方、世界のバイオディーゼル貿易については、2030 年までに 71 億 L から 53 億 L に減少すると予想されている。インドネシアによるバイオディーゼルの輸出量は、高い国内需要を受けて激減する見通しである。また、アルゼンチンは引き続きバイオディーゼルの主要な輸出国であり、EU と米国がそれ

に続くと予想されている。

2026 年までの見通しを示した IEA(2021)によれば、2026 年の純貿易量は、体積比で 2021 年と同じくおよそ 180 億 L となると予想されている。また、2021 年から 2026 年の期間において、米国、オランダ、シンガポールは、以前としてバイオ燃料の純輸出国の中のトップ 3 か国であり、カナダ、スウェーデン、英国は純輸入国の中のトップ 3 か国となる見込みである。なお、オランダとシンガポールは中心的なバイオ燃料の輸出国であるが、これらの国々におけるバイオ燃料の生産は輸入原料に依存している。

下図に、2020 年と 2026 年におけるバイオ燃料の貿易量と燃料需要に占める割合を示す。世界的な貿易量は全体として安定しているものの、その内訳は変化する。2021 年から 2026 年までの期間において、再生可能ディーゼル(HVO)とバイオジェット燃料の貿易量は 60%増加すると見込まれている。ヨーロッパと米国を中心とするこれらの燃料の需要国は、その需要を満たす上で輸入に大きく依存している。国内生産の拡大に伴い、貿易量が需要に占める割合は減少するものの、2026 年には、世界の再生可能ディーゼル(HVO)需要の 21%と、バイオジェット燃料需要の 31%が貿易を通じて満たされることが予想される。

一方で、2021 年から 2026 年までに、エタノールとバイオディーゼル(FAME)の純貿易量は 13%減少し、これらの燃料の貿易量がバイオ燃料全体の貿易量に占める割合は 2020 年の 82%から 2026 年に 72%まで減少すると見込まれている。エタノールについて、既に巨大なエタノール市場が形成されている米国とブラジルは今後もエタノールの純輸出国であるものの、インドのような新興のエタノール需要国が自国生産で需要を満たせるようになるため、その貿易量は減少する。バイオディーゼル(FAME)の貿易量もわずかに減少するが、これは EU 域内での生産量が増加するためである。とはいえ、EU はバイオディーゼルの原料を域外から輸入することになる。



* Trade data unavailable for biojet in 2020. Data for 2021 shown.

図 1-3 2020 年と 2026 年における各バイオ燃料の純貿易量および燃料需要に占める割合

出所)IEA, “Renewables 2021 Analysis and forecast to 2026”,
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/5ae32253-7409-4f9a-a91d-1493ffb9777a/Renewables2021-Analysisandforecastto2026.pdf>(2022 年 2 月 14 日閲覧)

1.2 米国

1.2.1 再生可能燃料基準(RFS2)

(1) 制度概要

米国では2005年の包括エネルギー法(Energy Policy Act of 2005)において、再生可能燃料基準(Renewable Fuel Standard, RFS)が策定され、燃料供給事業者は輸送用ガソリン、ディーゼル販売量に対して一定比率の再生可能燃料の供給を義務付けられている。2007年にはエネルギー自立・安全保障法(Energy Independent and Security Act, EISA)において、RFSを改訂した通称「RFS2」が策定された。2022年まで延長し、再生可能燃料の長期目標値を360億ガロンまで引き上げた(表1-2)。

EISAで定められた目標量の達成が経済的・環境的に深刻な影響を与える場合、環境保護庁(EPA)は目標量を修正する権限を持っており、毎年翌年の導入目標を発表することとなっている。本来は6月に翌年の目標量の案を提示し、パブリックコンサルテーション等を経て11月までに確定されるスケジュールとなっているが、2021年目標についてはEPAが2020年5月に案を行政管理予算局(Office of Management and Budget, OMB)に提出したものの、COVID-19感染拡大やそれに伴う燃料需要減少の見通しが困難である等の理由によりOMBの審査が中断した。

表 1-2 RFS2におけるバイオ燃料の導入目標(単位:億ガロン)

	再生可能燃料総計 (バイオ燃料)		先進型 バイオ燃料総計		うちセルロース系 バイオ燃料		うちバイオ ディーゼル	
	当初目標	確定目標	当初目標	確定目標	当初目標	確定目標	当初目標	確定目標
2010	129.5	129.5	9.5	9.5	1	0.065	6.5	11.5
2011	139.5	139.5	13.5	13.5	2.5	0	8	8
2012	152	152	20	20	5	0	10	10
2013	165.5	165.5	27.5	27.5	10	0.008	*	12.8
2014	181.5	162.8	37.5	26.7	17.5	0.33	*	16.3
2015	205	169.3	55	28.8	30	1.23	*	17.3
2016	222.5	181.1	72.5	36.1	42.5	2.3	*	19
2017	240	192.8	90	42.8	55	3.11	*	20
2018	260	192.9	110	42.9	70	2.88	*	21
2019	280	199.2	130	49.2	85	4.18	*	21
2020	300	(171.3)	150	(46.3)	105	(5.1)	*	(24.3)
2021	330	(185.2)	180	(52.0)	135	(6.2)	*	(24.3)
2022	360	(207.7)	210	(57.7)	160	(7.7)	*	(27.6)

1 ガロン=約 3.8L。

*法令では最低 10 億ガロンが設定されているが、EPA は導入量を引き上げることがある。

**()内の数字は 2021 年 12 月 7 日に EPA により発表された目標値の案であり、未確定である。

出所) 左側は EPA, “Renewable Fuel Standard Program -Overview for Renewable Fuel Standard”, <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard>(2020 年 3 月 17 日閲覧)、右側は EPA, “Regulations and Volume Standards for Renewable Fuel Standards”, <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/regulations-and-volume-standards-renewable-fuel-standards>(2020 年 3 月 17 日閲覧)より MRI 作成

(2) 目標達成方法(RIN)

RFS2 では、バイオ燃料の生産量(エタノール 1 ガロン換算)につき RIN (Renewable Identification Number)と呼ばれる売買可能なクレジットが発行され、ガソリンまたはディーゼル燃料の精製業者・輸入業者は、目標達成のために必要量の RIN を調達することが求められる。小規模事業者(石油精製能力 7.5 万 bbl/d)は当該年の目標達成が困難な場合、免除申請を行うことが認められている(Small Refinery Exemption)。EPA は申請内容を踏まえ、免除を認めるかを判断する。

バイオ燃料は原料や化石燃料に対する GHG 削減率により分類され、タイプごとに RIN の識別コード(D コード)が割り当てられている。

表 1-3 バイオ燃料種と D コードの対応

バイオ燃料種			ライフサイクル GHG 削減率 ／ベースライン(2005 年)		D コード
再生可能 燃料総計	従来型バイオ燃料 (≡トウモロコシ由来エタノール)		20%以上※	ガソリン	D6
	先進型バイオ 燃料総計	セルロース系バイオ 燃料	60%以上	ガソリン	D3
				ディーゼル	D7
		バイオディーゼル	50%以上	ディーゼル	D4
		上記以外の先進型 バイオ燃料	50%以上	ガソリンまたは ディーゼル	D5

※2007 年 12 月 19 日より後に着工された新設・増設の設備が対象

RIN による目標達成においては、より大きな GHG 削減ができる燃料を使用して、より小さな GHG 削減ができる燃料の基準を満たすことができる(表 1-4)。なお、セルロース系バイオ燃料については市場の供給量が十分でない場合、燃料供給事業者は EPA から免除クレジット(waiver credit)を購入することで、目標を達成したと見なすことができる。ただし、通常の RIN はセルロース系バイオ燃料の目標達成と同時に先進型バイオ燃料計の目標達成にも用いることができるが、免除クレジットはセルロース系バイオ燃料の目標達成のみに利用可能である。

表 1-4 導入目標の 4 カテゴリに計上できる RIN

RIN	再生可能 燃料計	先進型バイオ 燃料	セルロース系 バイオ燃料	バイオ ディーゼル
D3(セルロース系バイオ燃料)	○	○	○	×
D4(バイオディーゼル)	○	○	×	○
D5(先進型バイオ燃料)	○	○	×	×
D6(再生可能燃料(バイオ燃料))	○	×	×	×
D7(セルロース系バイオディーゼル)	○	○	○	×
免除クレジット	×	×	○	×

(3) RVOs, RFS2 の見直し等に関する検討

EPA は大気浄化法(Clean Air Act)に基づき、RFS2 によるバイオ燃料の導入増が大気環境に与える影響等を評価し、影響が大きいと評価された場合には燃料規制の改定等の措置を講じることが義務付けられている。2021 年 1 月に、EPA は現時点において追加的な燃料規制等の措置は不要と結論付けている。

また、RFS2 では前述のとおり小規模事業者に対して目標達成を免除する措置が用意されているが、第 10 巡回区控訴裁判所は 2020 年 1 月に、EPA が 2016 年、2017 年に関して小規模事業者の目標達成を免除したことを差し戻している。第 10 巡回区控訴裁判所は、目標免除の条件として以下の 2 つの条件を満たすことが必要との判決を下している。

- 目標免除を延長(extend)するためには、前年の目標が免除されている必要がある(前年の目標が免除されていない限り、「延長」には当たらない)
- 経済的な困難の要因が、RFS2 の目標達成によるものであることが必要(他の要因で経済的困難に陥った場合、免除対象にはならない)

2021 年 1 月に米国最高裁判所は、第 10 巡回区控訴裁判所の判決を検討する裁量上訴の請願を認め、EPA は検討を行ったが、第 10 巡回区控訴裁判所の判決を支持する立場を表明した。

2021 年 12 月 7 日、EPA は 2020 年、2021 年、2022 年の目標値(RVOs)案を発表した⁴。2020 年の RVOs に関しては、2019 年に確定した目標があったが、再生可能燃料総計、先進型バイオ燃料総計、セルロース系バイオ燃料の 4 項目で数値を下方修正することが提案された。尚、EPA は 2022 年の目標値に対しては 2 億 5,000 万ガロンの補足義務を追加することを提案しており、2023 年にはさらに 2 億 5,000 万ガロンを追加する意向を表明した。規則に関するパブコメは 2022 年 2 月 4 日まで開催された。2022 年 2 月 22 日、EPA は、Growth Energy との訴訟問題に際し、既に決定が遅れている 2021 年と 2022 年の RVO を 2022 年 6 月 3 日までに最終化することを提案した⁵。

また、the 2021 fall unified agenda によれば、EPA は、2023 年以降の RFS を策定するための NPRM を 2022 年 5 月に発表する予定であり、最終規則は 2022 年 12 月に発表されると見込まれている。RFS を規定している大気浄化法は 2022 年までの RVOs の目標値を定めるものであるため、EPA は 2023 年以降の RVOs を法令が定める要因分析に基づいて定めなくてはならない。OMB によれば、2023 年以降の RVOs は、2023 年の初めに設定される見通しである⁶。

⁴ https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/proposed-volume-standards-2020-2021-and-2022?utm_source=utm_source%3demail&utm_medium=utm_medium%3dpressrelease&utm_campaign=utm_campaign%3dregion7&utm_term=utm_term%3drenewable+fuels&utm_content=renewable+fuels+standard%2c+EPA+Region+7%2c+EPA%2c+USDA%2c+pandemic+funds%2c+volume+obligations%2c+small+refineries (最終閲覧日:2022 年 1 月 14 日)

⁵ S&P Global Commodity Insights, EPA proposes binding June 3 deadline to finalize new biofuel blending mandates, <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/market-insights/latest-news/oil/022322-epa-proposes-binding-june-3-deadline-to-finalize-new-biofuel-blending-mandates> (最終閲覧日:2022 年 3 月 7 日)

⁶ Biodiesel Magazine, OMB reveals expected timeline for post-2022 RFS rule, other rules, <http://biodieselmagazine.com/articles/2517898/omb-reveals-expected-timeline-for-post-2022-rfs-rule-other-rules> (最終閲覧日:2022 年 3 月 7 日)

1.2.2 バイオ燃料の導入状況

(1) RIN の発行状況

RFS2 における RIN の発行状況は表 1-5 のとおり。2021 年の RIN の発行量合計は 199 億ガロンであった。また、D3 RIN の発行量のうち、大半は再エネ由来 CNG 及び再エネ由来 LNG であり、セルロース系エタノール由来の RIN は 55 万ガロンに留まる。

表 1-5 RIN の発行状況(2022 年 1 月 10 日現在)

(万 RINs)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
セルロース系バイオ燃料(D3)	14,204	19,236	25,062	31,235	41,412	50,548	51,917
セルロースエタノール	218	381	1,005	816	982	205	55
セルロース合成燃料※1	0	0	0	0	0	0	0
再エネ由来 CNG※2	8,149	11,658	15,710	22,151	32,805	41,188	44,025
再エネ由来 LNG※2	5,837	7,197	8,348	8,268	7,625	9,154	7,837
バイオディーゼール(D4)	279,580	400,948	384,891	387,322	414,640	448,894	486,239
バイオディーゼール	227,325	329,162	307,528	304,543	284,779	305,073	286,590
非エステル再生可能ディーゼール	52,255	71,545	77,090	82,486	129,472	143,125	198,819
再生可能ヒートイング オイル	0	0	0	0	1	1	27
再生可能ジェット燃料	0	241	274	293	389	737	803
先進型バイオ燃料(D5)	14,624	9,656	14,169	17,650	31,907	33,397	22,513
バイオガス	0	0	0	0	0	0	0
LPG	0	0	0	73	463	451	452
ナフサ	2,399	2,717	3,153	3,210	3,656	3,185	3,244
非セルロースエタノール	11,379	6,146	9,939	10,238	21,950	20,864	8,553
非エステル再生可能ディーゼール	847	793	875	4,013	5,830	8,601	9,899
再生可能 CNG	1	0	202	116	8	8	147
再生可能ヒートイング オイル	0	0	0	0	0	287	216
バイオ燃料(D6)	1,484,590	1,517,572	1,510,920	1,514,881	1,492,821	1,298,565	1,425,163
バイオディーゼール	11,168	16,932	0	50	2	0	0
ブタノール	0	16	0	0	0	0	0
非セルロースエタノール	1,439,332	1,472,461	1,486,422	1,496,724	1,473,039	1,285,599	1,411,696
非エステル再生可能ディーゼール	11,168	16,932	0	50	2	12,966	13,467
セルロース系バイオディーゼール(D7)	28	53	174	245	132	6	25
セルロースディーゼール	0	0	0	1	0	0	0
セルロースヒートイング オイル	28	53	174	244	132	6	25
バイオ燃料合計	1,793,026	1,947,465	1,935,217	1,951,333	1,980,912	1,831,452	1,985,857
先進型バイオ燃料計	308,436	429,893	424,297	436,452	488,091	532,887	560,694
セルロース系バイオ燃料計	14,232	19,290	25,237	31,480	41,544	50,553	51,942
バイオディーゼール計	279,580	400,948	384,891	387,322	414,640	448,894	486,239
免除クレジット販売量	1,172	3,316	1,212	120	147	—	—

※1 農林業残渣や廃棄物中のセルロース系成分を熱分解やガス化等により燃料化したもの(ガソリン代替/混合用)

※2 廃棄物由来のバイオガスを圧縮・液化により燃料化したもの

出所)EPA, RINs Generated Transactions, <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/rins-generated-transactions>(2022 年 2 月 14 日閲覧)

EPA, Annual Compliance Data for Obligated Parties and Renewable Fuel Exporters under the Renewable Fuel Standard (RFS) Program, <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/annual-compliance-data-obligated-parties-and-renewable-fuel-exporters>(2022 年 3 月 7 日閲覧)より MRI 作成

(2) RIN の価格推移

RIN の価格は図 1-4 に示すとおりである。2018 年に入り、トランプ政権による気候変動防止政策の後退等により全体的に価格が下落していたが、2019 年半ばより D3(セルロース系バイオ燃料)を中心に再び上昇に転じている。2020 年以降、他の RIN も上昇傾向にあり、価格は\$1/ガロンを越えている。

なお、バイオジェット燃料を生産すると D4、D5 のクレジットが発行され、これらはバイオジェット燃料製造者にとってインセンティブとなる。



図 1-4 RIN の価格推移

出所)EPA, RIN Trades and Price Information, <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/rin-trades-and-price-information>(2022 年 2 月 14 日閲覧)

1.2.3 バイオジェット燃料の導入状況

(1) 再生可能ジェット燃料に対する RIN 発行状況

再生可能ジェット燃料(≡バイオジェット燃料)の発熱量はエタノールの 1.6 倍であるため、1 ガロンに対して 1.6 ガロンの RIN が発行される。2016 年 8 月以前は、換算係数が設定されていなかったために 1 倍しか発行されなかったと推測される。

2016 年以降、バイオジェット燃料 1,754 万ガロンに対して、RIN(D4)が 2,737 万ガロン分発行されており、発行数は順調に伸びている。なお、発行された RIN は国内生産である。

表 1-6 再生可能ジェット燃料の RIN 発行数

年	RIN(万)	体積(万ガロン)
2016	241	194
2017	274	171
2018	293	183
2019	389	243
2020	737	461
2021	803	502
合計	2,737	1754

出 所) EPA, “RINs Generated Transactions”, <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/rins-generated-transactions>(2022 年 2 月 14 日閲覧)より MRI 作成

(2) RIN の発行を受けたバイオジェット燃料製造企業

Title 40 CFR Part 80 のもと、EPA Fuel Programs に参加している登録企業・設備のうち、設備のアクティビティにジェット燃料が含まれるのは表 1-7 のとおりであり、9 件登録されている。RIN の発行を受けたバイオジェット燃料製造事業者は 5 社であり、D4, D5, D6 のクレジットを受けている。

表 1-7 RIN 発行の企業別実績

	企業	国/州	都市	設備の名称	設備の内容	RIN コード
1	Altair Paramount	米国カリフォルニア	Paramount	Altair Paramount	ジェット燃料の製造、精製、再生可能燃料製造	D4, D5
2	Neste Renewable Fuels Oyj	フィンランド	Espoo	Porvoo	ジェット燃料の製造、再生可能燃料製造	D4, D6
3	Phillips 66 Company	米国テキサス	Houston	Kinder Morgan Perth Amboy NJ Terminal	ECA Marine 燃料ターミナル、ジェット燃料製造、精製、ECA Marine 燃料	—
4	Phillips 66 Company	米国テキサス	Houston	SAN FRANCISCO REFINERY - RODEO	ECA Marine 燃料ターミナル、ジェット燃料製造、精製 -ECA Marine 燃料、再生可能燃料製造	D4
5	Phillips 66 Company	米国テキサス	Houston	Los Angeles Refinery	ジェット燃料製造、精製 -ECA Marine 燃料	—
6	REG Geismar	米国アイオワ	Ames	REG Geismar	ジェット燃料製造、精製、再生可能燃料製造	D4
7	Texmark Chemicals	米国テキサス	Galena Park	Texmark Chemicals	ジェット燃料製造、精製、再生可能燃料製造	D4
8	WRB Refining LP	米国テキサス	Houston	Borger Refinery	ジェット燃料製造、再生可能燃料製造、精製	—
9	WRB Refining LP	米国テキサス	Houston	Wood River Refinery	精製、ジェット燃料製造	—

出所)EPA, “Fuels Registration, Reporting, and Compliance Help-Registered Companies and Facilities in Part 80 Fuel Programs”, <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/registered-companies-and-facilities-part-80-fuel>(2022 年 3 月 7 日閲覧)より MRI 作成

1.3 米国カリフォルニア州

1.3.1 バイオ燃料の政策動向(LCFS)

(1) 制度概要

LCFS(Low Carbon Fuel Standard)は、米国カリフォルニア州において燃料の GHG 排出削減を目的とした制度であり、2030 年までに同州で消費される輸送用燃料の炭素強度(Carbon Intensity, CI:単位燃料 1MJ あたり発生する温暖化ガス排出量 gCO₂e/MJ)を 2010 年比で 20% 削減するという目標が掲げられている。この目標を達成するために、毎年の削減目標を表 1-8 の通り設定している。2020 年については、7.5%という削減目標に対して、7.42%の削減実績であった。

表 1-8 LCFS の 2020 年から 2030 年までの CI 削減目標の推移と CI 削減実績

年	削減目標	削減実績
2020	-7.5%	-7.42%
2021	-8.75%	-
2022	-10.0%	-
2023	-11.25%	-
2024	-12.5%	-
2025	-13.75%	-
2026	-15%	-
2027	-16.25%	-
2028	-17.5%	-
2029	-18.75%	-
2030	-20.0%	-

出所)CARB, “Data Dashboard”, <https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/dashboard/dashboard.htm>(2022 年 1 月 18 日閲覧)より MRI 作成

炭素強度は燃料のライフサイクル GHG 排出量で評価され、直接的な排出量に加え、顕著な間接的な排出量(土地利用変化等)があればそれも含み、原料の製造から回収、燃料の分配及び消費まで、全ての段階について積算することが求められる。ベースラインとなる炭素強度のベンチマークは、ガソリン、ディーゼル、ジェット燃料およびそれらの代替燃料に対して表 1-9 の通り定められている。クレジット量はこの炭素強度からの過不足に応じて計算される。なお、表 1-10 の通りカリフォルニア州の空港でバイオジェット燃料供給の取り組みが開始されたことを背景に、2019 年 1 月 4 日以降、代替ジェット燃料も“オプトインクレジット発行燃料”として新たに対象となっている。

表 1-9 LCFS における炭素強度のベンチマーク

年	ガソリン平均 CI (gCO ₂ e/MJ)	ディーゼル平均 CI (gCO ₂ e/MJ)	ジェット燃料平均 CI (gCO ₂ e/MJ)
2019	93.23	94.17	89.37
2020	91.98	92.92	89.37
2021	90.74	91.66	89.37
2022	89.50	90.41	89.37
2023	88.25	89.15	89.15
2024	87.01	87.89	87.89
2025	85.77	86.64	86.64
2026	84.52	85.38	85.38
2027	83.28	84.13	84.13
2028	82.04	82.87	82.87
2029	80.80	81.62	81.62
2030 以降	79.55	80.36	80.36

出所)CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD, “Low Carbon Fuel Standard”, <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-09/basics-notes.pdf>(2022 年 1 月 31 日閲覧)より MRI 作成

表 1-10 LCFS の適用範囲(2019 年 1 月 4 日施行)

- カリフォルニアの改質ガソリン(“ガソリン”または“カリフォルニア改質ガソリン(California reformulated gasoline :CaRFG)”)
 - カリフォルニアディーゼル燃料(“超低硫黄軽油(Ultra Low Sulfur Diesel :ULSD)”)
 - 化石燃料化天然ガス(“化石 CNG”)化石液化天然ガス(“化石 LNG”)または化石液化圧縮天然ガス“化石 L-CNG”
 - バイオ CNG、バイオ LNG、またはバイオ L-CNG
 - 電気
 - 圧縮水素、液化水素
 - 体積 10%エタノールを超える燃料混合物
 - バイオマス系ディーゼルを含有する燃料混合物
 - 変性燃料エタノール“E100”
 - ニートバイオマスベースディーゼル(“B100”または“R100”)
 - 代替ジェット燃料※
 - プロパン
 - その他液体または非液体燃料

※航空機エンジンや既存の燃料分配インフラ(fuel distribution infrastructure)を改造せずに、従来の石油ジェット燃料と混合して使用できる石油または非石油源から製造されたドロップイン燃料を意味する。

(2) 炭素強度(CI)値

EER-Adjusted CIとは、エネルギー経済比(EER; Energy Economy Ratio)で割って標準化された CI 値である。従来の燃料が代替燃料に置き換えられたときに生じる排出量を表す。図 1-5 のとおり、燃料の製造方法によって、炭素強度は幅広い値をとる。

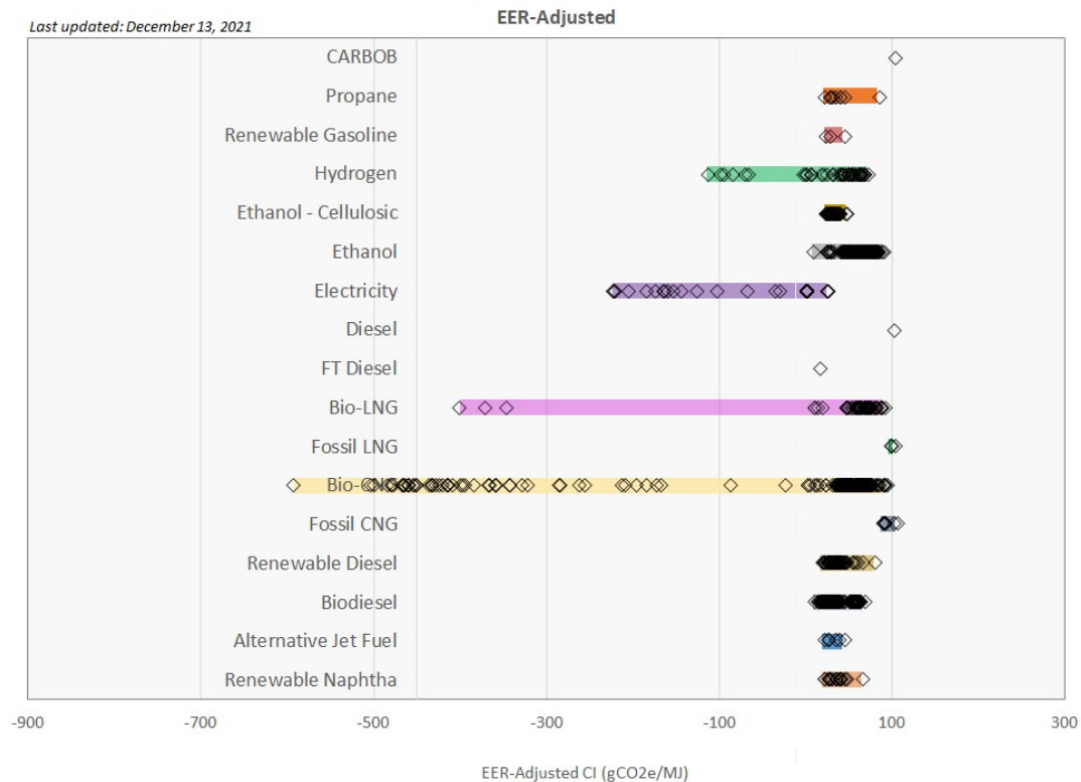


図 1-5 炭素強度(CI)の認定パスウェイ

出所)CARB, "LCFS Pathway Certified Carbon Intensities", <https://ww2.arb.ca.gov/resources/documents/lcfs-pathway-certified-carbon-intensities>(2022 年 1 月 18 日閲覧)

1.3.2 バイオ燃料の導入状況

(1) LCFS クレジットの発行状況

LCFS の対象となる燃料の 2020 年の供給量は前年から減少したものの、クレジットは年々増加傾向にあり(図 1-6)、代替燃料 21 億 6,000 万 GGE に対して 1,520 万 MT のクレジットが発行されている。また、燃料供給量に占めるエタノールの割合は年々減少し、代わりに 2013 年以降再生可能ディーゼルの割合が増加傾向にある。燃料によって単位燃料あたりに発行されるクレジット量は異なり、2020 年のクレジットの比率で見るとエタノールは 3 割弱にとどまっている(表 1-11)。

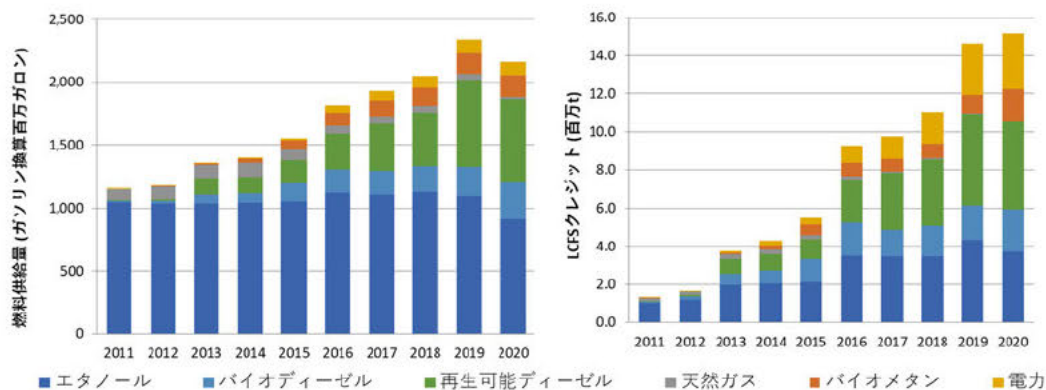


図 1-6 LCFS 対象の代替燃料とクレジット発行量の推移

出所)CARB, “Data Dashboard”, <https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/dashboard/dashboard.htm>(2022 年 1 月 18 日閲覧)より MRI 作成

表 1-11 2020 年における LCFS 燃料とクレジット発行量

	燃料 (百万ガソリン換算ガロン)	クレジット (百万 tCO ₂)
エタノール	914	3.7
バイオディーゼル	290	2.2
再生可能ディーゼル	659	4.6
バイオメタン	177	1.7
電力	105	2.9
天然ガス	14	0.008
代替燃料計	2,160	15.2

出所)CARB, “Data Dashboard”, <https://ww3.arb.ca.gov/fuels/lcfs/dashboard/dashboard.htm>(2022 年 1 月 18 日閲覧)より MRI 作成

1.4 ブラジル

1.4.1 バイオ燃料の政策動向

(1) RenovaBio Program

RenovaBio Program は国内のバイオ燃料生産及び利用を促進し、COP21 に基づく GHG 排出量の削減を目指すプログラムである。2016 年 12 月に鉱山エネルギー省(MME)によって開始され、2017 年 12 月 26 日に「国家バイオ燃料政策」として制定された。その目標は下記の通りである。

1. 国連気候変動枠組条約に基づく COP21 パリ協定におけるブラジル政府の目標達成に貢献すること。
2. ライフサイクルアセスメントのメカニズムに加え、バイオ燃料の生産・販売・使用におけるエネルギー効率及び GHG 排出量削減の適格化へ貢献すること。
3. 国内におけるバイオ燃料の生産及び利用の適切な拡大を促進し、継続的な燃料供給を強調すること。
4. 国内燃料市場において、様々なバイオ燃料の予見性へ貢献すること。

RenovaBio は下記 3 つの施策を導入することを掲げている。

1. 最低 10 年間の炭素排出原単位の年間削減目標(gCO₂/MJ)。年間目標は、化石燃料の商業化におけるそれぞれのマーケットシェアに比例して、すべての燃料調達事業者に展開される。目標を達成できなかった調達事業者は、手数料と罰金の対象となる(下記の GHG 排出削減目標を参照)
2. GHG 排出量の削減効率によるバイオ燃料の認証(Certification of biofuels by efficiency in reducing GHG emissions)
3. 脱炭素クレジット制度(CBio)

(2) 炭素排出原単位削減の目標設定

2018 年 5 月 5 日、ブラジル国家石油・天然ガス・バイオ燃料監督庁(ANP)は Public Consultation #46 を公表し、バイオ燃料取引のための GHG 排出削減の年間強制目標を提案した。2019 年 6 月に同目標を改訂し、輸送用燃料の炭素排出原単位を 2018 年の 73.6gCO₂/MJ から 2029 年には 10.2%削減し、66.1gCO₂/MJ まで削減することを目指している。同目標を達成するには 2029 年時点で年間 9,550 万 tCO₂ 相当の CBIO が取引される必要があるとしている(1 CBIO = バイオ燃料による化石燃料比 1tCO₂ の削減量)。

(3) バイオ燃料認証制度

バイオ燃料の生産・混合は、国家石油・天然ガス・バイオ燃料監督庁(ANP)によって認定された企業による認定プロセスを通して炭素排出原単位に基づいて評価され、「ユニット」が発行される。「ユニット」

が発行されるバイオ燃料は RenovaBio プログラムに自主的に参加することが、法律によって定められている。

バイオ燃料の製造事業者は、次の 3 つの適格基準を満たす必要がある。

- 認証される原料は、2017 年 12 月 26 日(RenovaBio 法の署名日)以降の森林伐採地域からのものであってはならない。(not originate from deforested area)
- サトウキビ生産者は、農村環境登録(CAR, “Cadastro Ambiental Rural”)を更新するか、少なくとも CAR システムで保留中にする必要がある。
- 耕作地は、サトウキビとパーム油の農業生態ゾーンを遵守する必要がある。

認証を行う企業は、RenovaBio プログラムで提供されるツールに基づきエネルギー環境効率グレード(Energy-Environmental Efficiency Grade)を検証し、「バイオ燃料の効率的な生産の証明書(Efficiency Production Certificate for Biofuels)」を発行する。グレードは、代替化石燃料の炭素強度バイオ燃料の炭素排出原単位の差によって決定され、効率的な生産の証明書に記載される。効率的な生産の認定書は 4 年ごとに更新されなければならない。

(4) 脱炭素クレジット制度(CBio)

ブラジル政府は脱炭素化目標を掲げ、バイオ燃料の生産に対してさらなるインセンティブを付与するため、炭素クレジット制度(CBIO)を導入している。このメカニズムによって、エタノール及びバイオディーゼルの新規プラントへの投資に必要な担保(security)が保証され、バイオ燃料の生産者はより多くの収益を得られると期待される。

鉱山エネルギー省(MME)は 2019 年以降の CBios の年間購入目標量を設定していたが、COVID-19 の影響によってブラジルのガソリンとエタノールの消費量が落ち込むことや、燃料卸業者の一部を代表する Association of Fuel Distributors(Brasilcom)から卸業者に対する脱炭素目標を下方修正するべきであるとの抗議声明があったことをうけ、2020 年 10 月、2020 年から 2030 年における累計 CBios 取引目標量を 759 百万 Cbios から 620 百万 Cbios へと引き下げた。さらに、2020 年の目標を当初目標の 28.7 百万 CBios から 14.53 百万 Cbios に、2021 年の目標を当初目標の 41 百万 CBios から 24.86 百万 CBios へ下方修正した。

ANP によれば、ブラジルの脱炭素クレジット市場は、2019/2020 年の目標である 14.898 百万 CBios の取引目標量(取引および償却)を概ね達成した。達成率は 97.6%(14.535 百万 CBios)であった。2020 年の取引価格は R\$15 から R\$65/mt と幅があり、現在の為替レートで US\$2.88 から US\$12.5/mt CO₂ となる。

前述の通り、2021 年の CBios の年間購入目標(GHG 削減目標)は 24.86 百万 CBios であるが、ANP はその年間購入目標値のおよそ 70%に相当する 5 つの燃料供給事業者に対して 2021 年の個別の目標を設定した。また、2021 年 5 月には、ANP は以前の決議(ANP#791)を改訂し、RenovaBio の義務対象ではない事業者により市場から購入されたあるいは償却された CBios と同じ割合で、RenovaBio の義務対象である事業者の個別目標を緩和する新しい決議(ANP#843)を承認している。

2021 年現在、278 件のバイオ燃料工場(ブラジルの全工場の 68%)が CBios の発行を認められている。そのうち、サトウキビを原料とするエタノール工場が 241 件であり、大部分を占める。ANP は、9 つの企業に対して、Cbios の発行を希望する工場を認定する権限を持たせている。

2019 年に RenovaBio が開始した際、バイオ燃料の主な原料はサトウキビであった。しかし、その後、大豆由来のバイオディーゼルやトウモロコシ由来のエタノールといった様々な原料からの生産物にプログラムや規制をどう適合させるかが論点となってきた。サトウキビ由来のエタノール生産工場では、近隣のサトウキビ生産者からサトウキビを直接搬入している一方、多くのトウモロコシ由来のエタノール工場やバイオディーゼル工場では、国全体の様々な供給者から原料を仕入れており、これが CBios の認証を難しくしている。ANP は現在、この問題を克服するための方法論の策定に取り組んでいるが、発表はなされていない。

1.4.2 バイオエタノールの政策動向

(1) 無水エタノール使用義務

ブラジルでは、アルコール委員会(CIMA)がバイオエタノールの義務混合率を決定している。法律第 8723/93「自動車の汚染物質排出量削減に関する法律」上、エタノールの混合率は 18~27.5%の範囲と定められており、2015 年以降現在にかけて 27%に据え置かれている。2006 年以降の無水エタノール混合義務率を表 1-12 に示す。

表 1-12 無水エタノール使用義務付け

年	月	義務付け
2006	1-2	25%
	3-10	20%
	11-12	23%
2007	1-5	23%
	6-12	25%
2008	1-12	25%
2009	1-12	25%
2010	1	25%
	2-4	20%
	5-12	25%
2011	1-9	25%
	10-12	20%
2012	1-12	20%
2013	1-4	20%
	5-12	25%
2014	1-12	25%
2015	1-3/15	25%
	3/16-12	27%
2016	1-	27%

出所)USDA, Brazil: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

(2) エタノールの優遇税率

ブラジルには、連邦、州、及び地方自治体レベルで複雑な税制がある。政策立案者が追求する経済・財政戦略に応じて、ブラジル政府はガソリンやエタノールの使用に対するインセンティブを提供することができる。

各種車両に対する各種税率を表 1-13 に示す。現在、ブラジル政府は、連邦税である工業製品税 (IPI)において、ガソリン車に対するフレックス車の優遇を認めている。なお、2015 年から 2020 年にかけて、エタノールとガソリンに適用される各種税率は変更されていない。

また、ブラジルの複数の州政府は、州税である商品流通サービス税 (ICMS) を利用することにより、エタノールを優遇している。ガソリンとエタノールに対する ICMS の税率は、表 1-14 のとおり州により異なる。ガソリンに対する ICMS が 25%～34%であるのに対し、エタノールに対する ICMS は 13.3%～32%と比較的低く設定されている。

表 1-13 各種車両に対する税率(%)

年	税金	1,000cc	1,001～2,000cc		2,000cc より大型	
		ガソリン車/ エタノール車/ フレックス車	ガソリン車	エタノール車/ フレックス車	ガソリン車	エタノール車/ フレックス車
2013 年	IPI	2	8	7	25	18
	ICMS	12	12	12	12	12
	PIS/COFINS	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
	小売価格に 対する割合	23.6	27.4	26.8	36.4	33.1
2014 年	IPI	3	10	9	25	18
	ICMS	12	12	12	12	12
	PIS/COFINS	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
	小売価格に 対する割合	24.4	28.6	28	36.4	33.1
2015 年～ 2020 年	IPI	7	13	11	25	18
	ICMS	12	12	12	12	12
	PIS/COFINS	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
	小売価格に 対する割合	27.1	30.4	29.2	36.4	33.1

出所)USDA, Brazil: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

表 1-14 2021 年 7 月現在の各州の ICMS 税率(ガソリン、エタノール)

州		ガソリン	エタノール
Acre	AC	25.0%	25.0%
Alagoas	AL	29.0%	25.0%
Amapá	AP	25.0%	25.0%
Amazonas	AM	25.0%	25.0%
Bahia	BA	28.0%	20.0%
Ceara	CE	29.0%	25.0%
Distrito Federal	DF	28.0%	28.0%
Espírito Santo	ES	27.0%	27.0%
Goiás	GO	30.0%	25.0%
Maranhão	MA	30.5%	26.0%
Mato Grosso	MT	25.0%	25.0%
Mato Grosso do Sul	MS	30.0%	20.0%
Minas Gerais	MG	31.0%	16.0%
Pará	PA	28.0%	25.0%
Paraíba	PB	29.0%	23.0%
Paraná	PR	29.0%	18.0%
Pernambuco	PE	29.0%	25.0%
Piauí	PI	31.0%	22.0%
Rio de Janeiro	RJ	34.0%	32.0%
Rio Grande do Norte	RN	29.0%	23.0%
Rio Grande do Sul	RS	30.0%	30.0%
Rondônia	RO	26.0%	26.0%
Roraima	RR	25.0%	25.0%
Santa Catarina	SC	25.0%	25.0%
São Paulo	SP	25.0%	13.3%
Sergipe	SE	29.0%	27.0%
Tocantins	TO	29.0%	29.0%
Rio de Janeiro	RJ	34.0%	32.0%
Rio Grande do Norte	RN	29.0%	23.0%
Rio Grande do Sul	RS	30.0%	30.0%
Rondônia	RO	26.0%	26.0%
Roraima	RR	25.0%	25.0%

出所)USDA, Brazil: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

(3) クレジットライン(与信限度額)

Prorenova プログラムはサトウキビ畑⁷のリニューアルあるいは拡張に資金を提供するための、社会経済開発銀行(BNDES)からのクレジットライン(与信限度額)である。2015 年には 15 億レアルのクレジットラインを継続すると発表した。利率は「長期利子率+2.7%」が適用されるとしていた。

2018 年 7 月 1 日、農畜産物供給省(MAPA)は 2018/19 年ブラジル農作物・畜産計画を発表した。このとき、農業及び畜産プログラムへの資金提供のため、総額 1,943 億レアルが投入される予定であった。エタノールに使われる資金については決められていなかった。

2019 年 6 月、MAPA は 2019/20 ブラジル農作物・畜産計画を発表した。この資金として、総額 2,255 億 9,000 万レアルが投入される。このうち合計 15 億レアルが Prorenova プログラムに割り当てられている。利率は「長期利率+3.7%」が適用され、支払はローン契約後 72 か月以内に行われる。

2021 年 7 月、MAPA は 2020/21 年ブラジル農作物・畜産計画を発表した。この資金として、総額 2,512 億レアルが農作物・畜産プログラムに投入される予定で、前期に比べて 6%の増額となる。このうち 50 億 5,000 万レアルが Green House Gases Emission Reduction Program (“Programa ABC”)に割り当てられており、前年度比で 2 倍以上の額となる。

(4) エタノールの輸入関税

2017 年 8 月、開発商工省と外国貿易会議所は 2017 年 9 月 1 日より、エタノールの輸入に対して年間 6 億 L の関税割当制度(Tariff Rate Quota, TRQ)を課した。2019 年 8 月 31 日には貿易・国際関係局より条例 547 が発令され、今後 1 年間にわたり、年間 7.5 億 L 以上のエタノール輸入に対して 20%の輸入税を課すことを承認した。2020 年 8 月 13 日、ブラジル政府は当初 2020 年 8 月 31 日までであった TRQ を 90 日間延長することを公表した⁸。2020 年 12 月 14 日に TRQ は失効し、その後は全てのエタノール輸入品に対して、20%の輸入関税が適用されることとなった(ただし無税となっているメルコスール諸国を除く)。

(5) EU-メルコスール自由貿易協定(FTA)

2019 年 6 月 28 日、EU とメルコスールは FTA に関する暫定合意に達した。そのなかには以下のものが含まれる。

- 認関税引き下げ:EU はメルコスールの輸入税の 82%を撤廃。メルコスールは EU 製品の 91%の関税を段階的に撤廃。
- 市場アクセス:メルコスールはエタノールを含む数カテゴリーについて、関税割当制度に基づく優遇関税を受ける。EU は年間 5 億 6,200 万 L の工業用エタノールの TRQ 無税と、2 億 5,000 万 L の付加的な TRQ の関税率を引き下げる。
- 基準の保護:この協定には食品、環境、労働基準を守ることが書かれている。

⁷ ブラジルではサトウキビがエタノール生産の主要な原料である。

⁸ <https://www.world-grain.com/articles/14220-brazil-extends-trq-on-us-ethanol>

EU はまた、EU-メルコスール自由貿易協定(FTA)にて、砂糖輸入のための 18 万 mmtTRQ の TRQ 無税を創設する。ブラジル・サトウキビ協会(UNICA)は EU-メルコスール協定が実施されれば、EU への砂糖とエタノールの輸出が急増すると予想している。UNICA によると、ブラジルから EU への砂糖とエタノールの年間輸出額は 20 億レアル(5 億 2,100 万ドル)に達する可能性がある。これは、砂糖とエタノールの総輸出額が 6 億レアルであった 2018 年の輸出収入の 3 倍以上となっている。

メルコスール加盟政府と EU の各国政府および欧州議会は FTA に関して、発効する前に協定を批准する必要がある。2020 年 6 月に行われた年会 Cupula do Mercosur 2020 にて、EU の代表者が最終合意形成を 2020 年末までに行う事を宣言した。

しかし、2020 年 10 月、欧州議会はボルソナロ政権の環境政策に対する懸念を表明し、合意を拒否した。もし仮に協定が批准され、ブラジルによる EU 市場へのアクセスが容易になったとしても、各国の環境サービスを危険にさらす行動に対する罰則を将来的に受ける可能性がある。競争の過熱を懸念する EU の農家の存在もまた、合意を遠ざける要因となった。特に EU の生産者は、メルコスール諸国のエタノールと牛肉に対する優遇を不安視している。

1.4.3 バイオディーゼルの政策動向

(1) バイオディーゼルの使用義務

2018 年 3 月 1 日以降、消費されるすべての鉱物ディーゼルに適用されるバイオディーゼル義務は、10%に設定された。2017 年 11 月の国家エネルギー政策審議会(National Energy Policy Council)Resolution #23 では、2018 年に 1%プラスされることとなった(元々の目標では、#13.263/2016によれば 2018 年に B9 であった)。2019 年 6 月に 11%(B11)であり、毎年 1%ずつ段階的に引き上げ、2023 年 3 月までに 15%(B15)とするよう勧告されている。

2020 年 3 月 1 日に義務混合率は 12%に引き上げられたが、COVID-19 の影響により原料が不足したのを鑑み、ANP は 2020 年 6 月 16 日から 6 月 21 日までの間、義務量を 12%から 10%へと限定的に引き下げた。その後、2020 年 8 月 13 日に 9 月から 10 月にかけても 12%から 10%へ限定的に引き下げる事を公表した⁹。

その後の義務混合率は、10%から 13%の間で変動している。2021 年 1 月に義務混合率は、12%に戻され、2021 年 3 月には 13%に引き上げられたが、原料価格の高騰を受けて、2021 年 5 月に ANP は再度義務混合率を 10%に引き下げた。2021 年 9 月時点での混合率は、12%となっている。ロイター通信によれば、2021 年 11 月、CNEP は、原料となる大豆価格が高騰していることを鑑み、2022 年の一年間の混合義務率を 10%とすると発表した¹⁰。

(2) バイオディーゼルの輸入関税

外国貿易事務局(SECEX)によると、純バイオディーゼルを含む B30 以上のバイオディーゼル混合

⁹ Biodiesel Magazine, "Brazil reduces biodiesel blend to 10% for September, October", <http://www.biodieselmagazine.com/articles/2517117/brazil-reduces-biodiesel-blend-to-10-for-september-october>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

¹⁰ Nasdaq, "Brazil energy council keeps biofuel requirement at 10% for 2022", <https://www.nasdaq.com/articles/brazil-energy-council-keeps-biofuel-requirement-at-10-for-2022>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

物に適用される輸入関税は 14%で固定され、B30 以下のバイオディーゼルを含む石油の輸入関税はゼロである。どちらのレートも変更されていない。

2021 年現在、ブラジルはバイオディーゼルの原料を輸入している。2020 年 11 月、大豆油の価格が増加し続けていることを踏まえ、エネルギー政策国家評議会(National Council for Energy Policy:CNPE)は輸入した大豆や大豆油などをバイオディーゼル生産に原料として利用できるようにする決議を発表した。大豆は、バイオディーゼル生産の原料の約 75%を占めている。決議は、この措置の持続期間については触れていない。

(3) バイオディーゼル市場の新モデル

2020 年 12 月 30 日、CNPE は現行の公売モデルに代わる新市場環境を整備するガイドラインを含めた決議を発表した。ANP が新しいバイオディーゼル市場モデルを統括し、2022 年 1 月 1 日に発効する。これにより、これまで開催されてきた政府によるオークションは終了することとなる¹¹。

CNPE の決議によれば、新モデルでは、ANP が認めた生産工場からのバイオディーゼルのみ販売が認められ、12 か月間の新市場モデルへの移行期間を設定している。また、新しいモデルでは、ブラジルで販売されるバイオディーゼルの最大 80%が、社会バイオ燃料スタンプ(Social Biofuel Stamp)を付与されたバイオディーゼル工場で製造されているものである必要がある。

2021 年 4 月下旬、ANP は、バイオディーゼル取引について、2022 年 1 月より現在の公売モデルからハイブリッド取引モデル(相対取引と市場取引の組み合わせ)へと移行する提案とパラメーターを発表した。新モデルでは、バイオディーゼル生産者と精製流通業者が、向こう 2 カ月間のバイオディーゼル供給の 80%を保証する OTC 契約を結ぶことが出来る。OTC 契約による取引は、バイオディーゼルの売り手と買い手が市場を介さず、相対で取引を行うものである。残りの 20%はスポット市場で取引される。2020 年にいずれかの燃料で少なくとも 5%以上の市場シェアを有する精製流通業者のみ、取引量の 80%を OTC 契約で取引する必要がある。

1.4.4 バイオ燃料の導入状況

(1) バイオエタノールの導入状況

1) 生産

ブラジルは米国に次ぐ世界第 2 位のエタノール生産・消費国である。2021 年のエタノール総生産量は 304 億 3,000 万 L と推定され、2020 年の 350 億 8,000 万 L から 13%減少すると見込まれている。2021 年の燃料用エタノールの生産量は、前年から 42 億 7,000 万 L 減少し、266 億 3,000 万 L となると予想されている。この減少は、2021/22 のサトウキビの生産量の減少と、前年度と同様に、砂糖-エタノール生産プラントが原料であるサトウキビをより砂糖生産に傾ける決定をしたためである。

ブラジルではサトウキビ、次いでトウモロコシがエタノール生産の主要な原料である。2021/22 のサ

¹¹ S&P Global Platts, “Brazil’s FOB soybean oil basis lower than Argentina’s on biodiesel cut”, <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/videos/market-movers-americas/220207-benchmark-argo-drops-to-10-month-low-hydro-forecasts-strong>(2022 年 2 月 9 日閲覧)

トウキビ圧砕高は590百万トンと予測され、これは2020/21の657百万トンから10%の減少となる。2021年のトウモロコシからのエタノール生産量は33億9,000万Lと推定され、2020年の24億3,000万Lから40%増加する見込みである。トウモロコシを原料とするエタノールは、全体のエタノール生産量11%を占めると予想される。

トウモロコシ・エタノール全国組合(UNEM)によると、ブラジルでは2021年現在、19のプラントがトウモロコシからエタノールを生産している(7件がトウモロコシのみ、12件がサトウキビとトウモロコシを原料とする)。また、UNEMによると、ブラジルでは2028年には80億Lのコーン・エタノールを生産すると予測されている。

表 1-15 ブラジルの燃料用および化学製品用エタノールの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	8,232	8,012	8,973	10,401	12,327	14,431
燃料用	7,765	7,520	8,475	9,899	11,820	13,921
生産量	28,405	28,142	33,078	37,383	35,081	30,430
燃料用	25,546	25,170	30,233	34,407	30,897	26,630
内セルロース系	6	17	25	30	32	40
輸入量	835	1,796	1,775	1,457	988	485
燃料用	810	1,791	1,770	1,452	985	480
輸出量	1,789	1,380	1,685	1,941	2,669	2,000
燃料用	400	443	840	1,090	850	200
消費量	27,671	27,597	31,740	34,973	31,296	29,990
燃料用	26,201	25,562	29,740	32,848	28,931	27,990
期末在庫	8,012	8,973	10,401	12,327	14,431	13,356
燃料用	7,520	8,475	9,899	11,820	13,921	12,841

表 1-16 ブラジルの第一世代燃料用エタノールの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	383	384	369	359	347	343
生産能力	39,677	40,012	43,105	43,105	42,800	54,500
稼働率	64%	63%	70%	80%	68%	45%

表 1-17 ブラジルの燃料用セルロース系エタノールの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	3	3	3	3	3	3
生産能力	127	127	127	127	127	75
稼働率	5%	13%	20%	24%	25%	53%

*2021 年は見通し

出所)USDA, Brazil: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

2) 消費

COVID-19 による移動制限およびブラジルの経済悪化により、オートサイクル燃料(ガソリンとエタノール)の消費は深刻に落ち込んでいる。6月から経済復調によって落ち込みは緩和されたが、2019年の消費パターンに戻るには至っていない。

2020年のエタノールの国内総需要量は285億7,000万Lと推定され、2019年の改定値より64億L減少した。2015年3月16日時点でガソリンについて27%(E27)に設定されていたエタノール義務付け量の変更はこれまでなされていない。

ブラジルではエタノールは主に燃料として使用されている。2021年の燃料用エタノールの総消費量は279億9,000万Lと推定され、前年の289億3,000万Lと比較して減少する見込みである。

3) 貿易

ATO/Sao Pauloによれば、ブラジルの2021年のエタノールの総輸出量は20億Lとなり、前年と比較して6億6,900万L減少すると推定されている。この推定値は、全体的なエタノール供給量が減少したことと国内市場価格が上昇したことを反映している。

2020年のエタノールの輸出量は26億7,000万Lとなり、2014年以降で最高値を記録した。主な輸出先は米国、韓国、オランダである。ブラジルの通貨レアルの価値が急落したことにより、ブラジルの製品は、国際的に非常に競争力がある。また、COVID-19 ウイルスの拡大を防ぐ健康製品に必要なエタノール需要が高まった。米国ではCalifornia Air Quality Boardがブラジルのエタノールを低炭素燃料としてクレジットに使用可能であると認証した。

ATO/Sao Pauloによれば、ブラジルの2021年のエタノール総輸入量は4億8,500万Lであり、2020年の9億8,800万Lと比較して5億300万L減少すると見込まれている。エタノールの輸入はほとんどが燃料用であり、米国からの輸入が主だが、2019年よりパラグアイのシェアが拡大しており、全体の約1割を担うまで成長している。一方、米国からのエタノールの輸入は、2020年12月中頃に関税割当制度が終了し、パラグアイを含むメルコスール貿易圏を除くすべてのエタノール製品の輸入に対する20%の輸入税が再設定されて以来、2021年から急激に減少している。

4) 次世代バイオエタノールの導入状況

ブラジルでは2014年に先進バイオ燃料の生産が開始されたが、セルロース系エタノールを生産する技術、中でもプロセスで使用される酵素のコストが高く、まだ大規模生産ができない。現在ブラジルには3つのセルロース系エタノール工場があり、先進エタノール生産能力が1億2,700万Lと推定されているのに対し、2018年の実際の生産量は2,500万Lであった。これらはすべてサトウキビバガス由来である。

2019年3月、Granbio社は、バイオリファイナリー、バイオ燃料、バイオケミカル及びナノセルロースに関する知的財産権ポートフォリオを有する米国企業American Process Inc.の買収を発表した。これによりGranbio社への技術移転が可能となり、大規模生産に寄与すると期待される。

2021年のセルロース系エタノールの総生産量は、4,000万Lと推計されており、2020年に比べて800万Lの増加となると見込まれているが、運営上/機械上の課題があり、工場はフル稼働していない。また、ブラジルのエタノール総生産量に占めるセルロース系エタノールの生産量の割合はわずかである。

表 1-18 ブラジルにおけるセルロースエタノールの生産

企業	所在地	工場	生産能力(万 L)
グランバイオ(Granbio)	アラゴアス州	Bioflex 1	3,000
ハイゼン(Raizen)	サンパウロ州	Costa Pinto Unit	4,220
カナヴィエイラ技術センター(Centro de Tecnologia Canavieira, CTC)	サンパウロ州	CTC 実証プラント	300

出所)USDA, Brazil: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

(2) バイオディーゼルの導入状況

1) 生産

ブラジルは、インドネシアと米国に次ぐ、世界第 3 位のバイオディーゼル生産国である。バイオディーゼル燃料の約 75%は大豆油から、6.5%は動物性脂肪(獣脂)から作られる。また、12%がその他の脂質から作られる。残りは 2%がパーム油、1.4%が食用油、1.7%が綿実油である。

バイオディーゼル生産は、ブラジル政府によって厳格に規制されている。2021 年のバイオディーゼル生産量は 69 億 L と予想され、昨年の 65 億 L から 4 億 L 増加する見込みである。

2) 消費

ブラジルではバイオディーゼルの国内消費は政府によって規制されている。規制内容は、バイオディーゼルの混合率義務と全体の消費量の二つである。

混合義務率について、ブラジルの CNPE の決議では、バイオディーゼル混合率を 2019 年の B11 から 2023 年 3 月に B15 まで年 1%ずつ高めるよう推奨しているが、石油天然ガスおよびバイオ燃料国家機関(ANP)は 2020 年以降、バイオディーゼル混合率を推奨される水準から引き下げるよう調整してきた。これは主要原料である大豆価格の高騰に対処するためである。2021 年のバイオディーゼル消費量は 68 億 9,000 万 L となり、2020 年の 65 億 L と比べて 6%の増加となると予想される。

3) 貿易

ブラジルのバイオディーゼル輸出量は殆どゼロである。これは、ディーゼルと比較して価格競争力がなからである。輸入もまた、ほぼゼロである。2004 年に創設された国家バイオディーゼル生産プログラム(PNPB)は、国内で生産されたバイオディーゼルのみが、市場を規制するために使用されるオークションシステムに参加する資格があることを要求している。

表 1-19 ブラジルのバイオディーゼルの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	89	90	99	111	112	113
生産量	3,801	4,310	5,410	5,925	6,500	6,900
輸入量	0	0	0	0	1	1
輸出量	0	0	0	0	4	0
消費量	3,800	4,301	5,398	5,924	6,496	6,888
期末在庫	90	99	111	112	113	126

*2021 年は見通し

出所)USDA, Brazil: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

表 1-20 ブラジルのバイオディーゼルの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	51	51	51	51	51	50
生産能力	7,191	8,140	8,500	8,500	9,792	11,190
稼働率	52.9%	52.9%	63.6%	69.7%	66.4%	61.7%

*2021 年は見通し

出所)USDA, Brazil: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

1.4.5 バイオジェット燃料の政策動向

(1) ブラジルバイオジェット燃料プラットフォーム(BBP)

Brazilian Biojetfuel Plattform(BBP)は、2020 年からのカーボンニュートラルな成長(CNG2020)の実施努力を支援するために、バイオマス製造、ロジスティクス最適化、普及に焦点を当てた、世界的な共同イニシアティブを構築することを目指すプラットフォームである。

2012 年 6 月の RIO+20 サミット中に開始され、2013 年 8 月に公式に設立された。オープンで、共同的で、原料にとらわれない、マルチプロセスプラットフォームであり、ブラジルにおいてカギとなるステークホルダーに対して、高度に統合されたバイオジェット燃料の導入と、再生可能なバリューチェーンをもたらす。燃料供給事業者、原料生産者、航空会社、航空機製造事業者、大学が参加している。

表 1-21 BBP の概要

時期	2012 年 6 月～継続中
対象地域	ブラジル
目標	2020 年からのカーボンニュートラルな成長(CNG2020)の実施努力支援
アクション	【短期】 - 航空バイオ燃料に関する二国間協定のための民間部門のインターフェースとして、イニシアティブの設定、及び、ブラジルでのバイオジェット燃料生産の需要を生み出す定期的な商用フライトを実施。 - 米 Amyris の DSHC(直接還元糖炭化水素)生産を使用して、2014 年にブラジルにおける低炭素フライトの実施を開始する。 - パイロットプロジェクトとバイオジェット燃料及び生産チェーンにおける家族経営(family farming)の統合についても検討。 【中期】 - 中持続可能な代替燃料開発のために重要な要素、すなわち公共政策、インフラ及び持続可能な代替原料導入を促進。 - カーボンフットプリント管理システムとともに、原料生産、燃料生産及び燃料のエンドユースをカバーするプラットフォーム管理システムの実装。 【長期】 - 南北米での協調行動のための戦略的計画を策定し、パンアメリカンバイオジェット燃料イニシアティブ(Pan American Bio-jet fuel Initiative)を確立することを検討。
パートナー	- ブラジルでバイオジェット燃料のバリューチェーンを実施するために必要な行動を促進するため、Advisory Board と Steering Committee を選出。 - Advisory Board は下記のとおり。 ➢ Mr. Adalberto Febeliano, ABEAR ➢ Mr. Adilson Liebsch, UBRABIO ➢ Mr. Al Bryant, BOEING ➢ Mr. Gilberto Peralta, GE ➢ Mr. Pedro Scorza, GOL Airlines - Steering Committee は下記のとおり。 ➢ Mr. Donato Aranda, UFRJ (Technology) ➢ Mr. Fernando Correa, Byogy (ATJ) ➢ Mr. Jamil Macedo, IICA(Feedstock) ➢ Mr. Mario Fontes, Camelina Company Brasil (Camelina) ➢ Mr. Mike Lu, Curcas (coordinator/integration) ➢ Mr. Rodrigo Gabizo (GE Aviation) ➢ Mr. Santiago Giraldo, SGB (Jatropha) ➢ Mr. Takashi Kono ➢ Mr. Walfredo Linhares, Solazyme (DSHC)
実績	2013 年 10 月 23 日、ブラジルで初のバイオ燃料商用フライトを推進。 “Flying Green Program”というカーボンフットプリントオフセットプログラムを構築し、CNG2020 を達成するための具体的なアクションを決める共同枠組を提供した。

1.5 EU

1.5.1 バイオ燃料の政策動向

(1) 再生可能エネルギー指令(RED II)

1) RED II の概要と改正案の概要

欧州では 2009 年より再生可能エネルギー指令(Renewable Energy Directive, RED I)および燃料品質指令(Fuel Quality Directive, FQD)を施行し、2020 年を目標年として輸送用燃料の低炭素化を進めてきた。2018 年には RED I を改正し、2030 年までの目標を定めた RED-II を施行した。さらに、2021 年 7 月の改正案では、2020 年 12 月に欧州会議で認められた 2030 年までに 1990 年比で 55%温室効果ガス排出を削減するという目標を踏まえ、新たな目標を提案した。RED I、RED II および 2021 年 7 月改正案の比較を下記に示す。

表 1-22 RED I、RED II および 2021 年 7 月改正案の概要

	RED I	RED II	2021 年 7 月改正案
再エネ導入目標 (Article 25)	- エネルギー消費全体の再エネ比率 20% - 輸送用燃料の再エネ比率 10%→目標対象:加盟国政府による	- エネルギー消費全体の再エネ比率 32% - 輸送用燃料の再エネ比率 14%→目標対象:燃料供給事業者¹²	- エネルギー消費全体の再エネ比率 32%→40% - 加盟国は輸送セクターにおける GHG 排出原単位を、2030 年までに Article 27(1) point(b)で算出されるベースラインから少なくとも 13%削減→目標対象:燃料供給事業者。
先進的再生可能燃料の優遇	- セルロース系バイオ燃料は導入量を 2 倍計上 - 再エネ由来電力は、電気自動車への導入を 5 倍、鉄道への導入を 2.5 倍計上	- Annex IX 燃料は 2 倍計上 - 再エネ由来電力は、電気自動車への導入を 4 倍、鉄道への導入を 1.5 倍計上 - 船舶・航空用燃料の場合 2.4 倍(=2×1.2)計上	- Annex IX Part A 由来の先進型バイオ燃料と非バイオ由来再生可能燃料(RFNBO)の導入目標に対する達成状況の計算については、船舶・航空用燃料としてこれらの燃料が供給される場合 1.2 倍計上。 - 左の項目の 1 点目と 2 点目の優遇については廃止。

¹² RED II における燃料供給事業者とは、燃料税の課税対象事業者(電気の場合で該当する課税対象事業者がない場合、加盟国が特定する事業者)を指す。

	RED I	RED II	2021 年 7 月改正案
食物由来 バイオ燃料 の導入上限 (Article 26)	食物由来のバイオ燃料の導入上限 7%	2020 年混合率+1%及び 7.0%を上限 - 各国は更に厳しい導入上限を設定し、その分輸送用燃料の再エネ比率 14%目標を(最大 7%分)緩和することも可能。 - 間接的土地利用変化や土壌炭素ストック流出の懸念が高い食用作物由来のバイオ燃料(高 ILUC リスクバイオ燃料)は原則 2019 年消費量を上限、2023 年以降段階的廃止。	2020 年の輸送部門の最終エネルギー消費に占める割合 +1%以内に収めるとともに、7.0%を上限とする。 7.0%未満に制限されている加盟国、あるいはさらに厳しい導入上限を設けることにした加盟国は、その分輸送用燃料の GHG 排出原単位削減目標を緩和することも可能。その際、食糧や飼料用作物を原料とするバイオ燃料等は GHG 排出量を 50%削減したものとみなす。 - 左の項目の 3 点目については変更なし。
先進型バイオ燃料等の 導入目標 (Article 25 等)	先進型バイオ燃料の導入目標 0.5%	- 先進型バイオ燃料(Annex IX Part A):2022 年に 0.2%、2025 年に 1%、2030 年に 3.5%と段階的に引き上げ - 廃食油・動物性油脂由来バイオ燃料(Annex IX Part B):上限を 1.7%	- 加盟国は Annex IX Part A 由来の先進型バイオ燃料が、輸送セクターへのエネルギー供給量に占める割合が 2022 年に少なくとも 0.2%、2025 年に 0.5%、2030 年に 2.2%となるように、また、RFNBO の比率は 2030 年に少なくとも 2.6%となるように、燃料供給事業者に対して目標を義務付。 - 加盟国は燃料供給業者間でのクレジット売買の仕組みを構築し、購入による目標義務の達成を認めてよい。 - Annex IX Part B の上限は 1.7%で変更なし。

	RED I	RED II	2021 年 7 月改正案
	<u>Annex IX Part A</u> 右記載＋ r. 非生物起源の再生可能液体・ 気体燃料(再生可能電力を用 いた合成燃料等) s. 交通分野における CO2 分離 回収活用(CCUS) t. エネルギー源を再生可能なも のとするバクテリア	<u>Annex IX Part A</u> a. 陸上の培養池や光バイオリアク ターで培養された藻類 b. 一般廃棄物中のバイオマス分 (家庭ごみでリサイクル対象のも のを除く) c. 家庭からのバイオマス廃棄物 d. 産業廃棄物中のバイオマス分 (食用・飼料用で利用可能なもの を除く) e. 糞 f. 家畜糞尿、下水汚泥 g. パーム油工場排水、パーム空果 房 h. トール油ピッチ i. 粗グリセリン j. バガス k. ブドウの搾りかすおよび酒粕 l. ナッツの殻 m. 穀類などの殻、さや、皮 n. トウモロコシの実を除いた穂軸 o. 林業および森林ベースの産業か らの廃棄物および残渣中のバイ オマス分 p. その他の非食用セルロース系材 料 q. 製材及びベニヤ板を除くその他 のリグノセルロース系材料 <u>Annex IX Part B</u> a. 廃食油 b. 動物性油脂	・ 変更なし。
GHG 削減 水準 (Article 29)	・ 2015 年 10 月 5 日以前の 稼働設備は 50%以上、そ れ以降の稼働設備 60%以 上	・ 2015 年 10 月 5 日以前に稼 働を開始した設備で生産され た輸送部門用のバイオ燃料の 消費時の GHG 削減水準は 50%以上、それ以降に稼働し た設備の場合は 60%以上 ・ 2021 年 1 月 1 日以降に稼働 を開始する設備の場合は 65%以上 ・ 2021 年 1 月 1 日以降、輸送 部門で消費される RFNBO に 求められる削減水準は 70% 以上	・ 左の項目の削減水準につい ては変更なし。バイオ燃料が この水準を遵守している場合 のみ、Article25(1)等の目 標に対して計上可能。 ・ 再生炭素燃料(RCF)からの エネルギーは、消費時の GHG 削減率が 70%以上の 場合のみ、Article25(1) point(a)の GHG 削減目標 に計上可能。

2) RED II 改正案の具体的内容

2021 年 7 月の EU RED 改正案では、まず、エネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの割合を現行の 32%から 40%に引き上げを求めている。合わせて、加盟国に対する目標の指標の変更が提案された。具体的には、輸送用燃料に占める再生可能エネルギーの比率を 14%とする現行の目標から、輸送セクターにおける温室効果ガス排出原単位を、2030 年までにベースラインから少なくとも 13%削減する目標に変更するというものである。

また、先進型バイオ燃料と非バイオ由来再生可能燃料(RFNBO)の導入目標もそれぞれ更新、設定することが提案された。具体的には、自国の輸送セクターへのエネルギー供給量に占める先進型バイオ燃料の割合が2030年に少なくとも2.2%(現行RED IIでは2030年に少なくとも3.5%)となるように¹³、そして同供給量に占めるRFNBOの割合は2030年に少なくとも2.6%(現行RED IIでは未設定)となるように、加盟国が自国の燃料供給事業者に対して目標を義務付けることが提案されている。また、先進型バイオ燃料とRFNBOの導入目標の達成を促進するため、船舶・航空用燃料としてこれらの燃料が供給される場合には1.2倍計上することが提案された。一方で、再エネ電力の電気自動車への導入を4倍、鉄道への導入を1.5倍で計上することやAnnex IX燃料の導入を2倍計上する現行の優遇措置については廃止することが提案されている。

EU RED 改正案では新たに、再生炭素燃料(RCF)からのエネルギーは、それらの消費時のGHG削減率が70%以上の場合にのみ、GHG排出原単位削減目標に計上可能とする条件も提案された。

RFNBO および RCF の温室効果ガス排出削減量については、すべての輸送モードに供給されるこれらの燃料の量に Article29a(3)に準じて採択された委任法に従って決定された排出削減率を乗じることにより算出するとしている。Article29a(3)によれば、欧州委員会は、RFNBO および RCF によるGHG削減量を評価する方法を規定するため、委任法を採択する権限を与えられている。この方法論は、CO₂削減量に対して既に他の法律の規定に基づいてクレジットが付与されている場合、クレジットが(二重に)付与されないことを確保するものである。

3) 持続可能性基準(RED II)の見直し

2021年7月改正案においては、現行RED IIの持続可能性基準の見直しについても提案されている。まず、表1-23が示す通り、生物多様性、炭素ストックの高い土地、泥炭地の3項目は現行RED IIにおいては農業バイオマスのみに関する規定となっているが、2021年7月改正案ではこれらの項目を森林バイオマスも適用することが提案された。

表 1-23 RED II と 2021 年 7 月改正案における農業・森林バイオマスの持続可能性基準

項目	農業バイオマス*	森林バイオマス*
生物多様性(パラ 3)	○	●
炭素ストックの高い土地(パラ 4)	○	●
泥炭地(パラ 5)	○	●
持続可能な生産(パラ 6)		○
LULUCF 要件(パラ 7)		○

*○は現行のRED IIで既に適用対象となっていることを表し、●は2021年7月改正案で新たに適用対象となったことを表す。

続いて、持続可能性基準に関して、表1-24において項目別に現行RED IIの内容と2021年7月改正案で提案された具体的内容を比較する。

¹³ 数値だけを見れば減少しているが、目標が緩和されている訳ではない。後に述べるように、現行RED IIの目標はAnnex IX由来のバイオ燃料の2倍計上を認めているのに対し、提案では船舶・航空用燃料としてこれらの燃料が供給される場合に1.2倍計上することを除き、計算上の優遇の廃止を提案している。

表 1-24 バイオ燃料等の持続可能性基準と改正案の比較表

項目	RED II	2021 年 7 月改正案の変更点
例外規定(パラ 1)	- 農業、養殖、漁業、林業残渣物以外の廃棄物・残渣物から生産されたバイオ燃料等は、GHG 排出抑制基準(パラ 10)のみを満たせばよい。この規定は、バイオ燃料等に処理される前に、まず別の製品に処理される廃棄物・残渣物にも適用される。 - 都市ごみが発電・冷暖房用に使われる場合には、温室効果ガス削減水準(パラ 10)を満たさなくてよい。 - 固体バイオマス燃料の場合は 20MW 以上、バイオガス燃料については 2MW 以上の設備で発電・冷暖房用にバイオ燃料が消費される場合、バイオ燃料に対して第 29 条パラ 2、7、10 の持続可能性基準が適用される。	1 点目と 2 点目については変更なし。 - 発電・冷暖房用に消費されるバイオ燃料に対して、固体バイオマス燃料の場合は 5MW 以上の設備で消費される場合に対象を拡大。バイオガス燃料が消費される場合の対象設備の規模については 2MW 以上で変更なし。 - バイオガス燃料の生産設備に対しても、一定水準以上の平均バイオメタン流量¹⁴を有する場合、バイオガス燃料に第 29 条パラ 2、パラ 7、パラ 10 を適用する。
生物多様性(パラ 3)	農業バイオマスから生産されるバイオ燃料等は、2008 年 1 月以降に生物多様性価値の高い土地(天然林やその他の林地等)に該当する土地からの原料で生産してはならない。	本段落は農業バイオマスに関する規定であるが、自然保護対象地に関する項目(c)を除き、森林バイオマスにも適用される。
炭素ストックの高い土地(パラ 4)	- 農業バイオマスから生産されるバイオ燃料等は、2008 年 1 月時点で炭素ストック量の大きい土地(湿地や継続的な植林地等)に該当し現在はその状態が失われている土地からの原料で生産してはならない。 - ただし、原料を入手した時点で、その土地が 2008 年 1 月の状態が維持されていれば、本規定は適用されない。(第 2 サブパラグラフ)	本段落は農業バイオマスに関する規定であるが、第一サブパラグラフの湿地に関する項目と、例外規定を定めた第 2 サブパラグラフについては、森林バイオマスにも適用される。
泥炭地(パラ 5)	農業バイオマスから生産されるバイオ燃料等は、2008 年 1 月時点で泥炭地であった土地から得られた原料で生産してはならない。	農業バイオマスだけではなく、森林バイオマスにも適用される。
持続可能な生産(パラ 6)	- 森林バイオマスから生産されるバイオ燃料等については、森林バイオマスが収集された国が伐採・モニタリング・法の執行に関し適用可能な法律を有し、a(i)～(iv)の基準を担保していなければならない。変更対象となった a(iv)の内容は以下。 - a.(iv) 伐採時に土壌の質や生物多様性に与える負の影響を最小化するような考慮がなされていること。 - では以下のように a.の代替案が示され	- a, b (iv)のみ、ともに次のように具体化された。 - 負の影響を最小にすることを目的として、切り株及び根の収穫、原生林の劣化又は人工林への転換並びに脆弱な土壌での収穫を避けることで、土壌の質及び生物多様性の維持を考慮した収穫が行われること。大規模な皆伐を最小化し、枯れ木の収穫に対する地域的に適切な閾値と、土壌圧縮を含む土壌の質や生物多様性の特徴と生

¹⁴ バイオガスは、家畜糞尿や有機性廃棄物などの有機物を発酵させることで生産される。平均バイオメタン流量は、バイオガス生産設備の規模を表す指標であると考えられる。2021 年改正案においては、標準状態のメタンに換算して 200 m³/h 以上の平均バイオメタン流量を有する設備が対象となる。

項目	RED II	2021 年 7 月改正案の変更点
	ているが、求める条件は同じ。 • b.(a)の根拠が示されない場合、当該土地区間で管理システムを有し、(a)と同じ条件が担保されていること。	息地への影響を最小化する伐木搬出システムの利用要件を確保すること。
LULUCF 要件 (パラ 7)	• 森林バイオマスから生産されるバイオ燃料等は、土地利用・土地利用変化及び林業(LULUCF)に関する要件(森林バイオマスの原産国もしくは該当する地域経済統合組織が、パリ協定を批准していること等)を満たさなければならない。	• 変更なし。
温室効果ガス(パラ 10)	• 2015 年 10 月 5 日以前に稼働を開始した設備で生産される輸送部門用のバイオ燃料、バイオガスおよびバイオリキッドの GHG 削減水準は 50%以上。 • 2015 年 10 月 6 日から 2020 年 12 月 31 日までに稼働を開始した設備で生産される輸送部門用のバイオ燃料等の場合は 60%以上。 • 2021 年 1 月 1 日以降に稼働を開始する設備で生産される輸送部門用のバイオ燃料等の場合は 65%以上。 • 2021 年 1 月 1 日以降、輸送部門で消費される RFNBO に求められる削減水準は 70%以上。 • 2021 年 1 月 1 日から 2025 年 12 月 31 日までに稼働を開始する施設で発電、冷暖房用にバイオ燃料が消費される場合は 70%以上。2026 年 1 月 1 日以降に稼働を開始する施設で発電、冷暖房用にバイオ燃料が消費される場合は 80%以上。	• 輸送部門で消費されるバイオ燃料については変更なし。 • 発電、冷暖房用に消費されるバイオ燃料については変更あり。今後は、稼働開始日が「2021 年 1 月 1 日」以降である設備に限定することなく、2025 年 12 月 31 日までに発電、冷暖房用にバイオ燃料が消費される場合は 70%以上の温室効果ガス排出削減率を達成しなくてはならない。また、2026 年 1 月 1 日以降に発電、冷暖房用にバイオ燃料が消費される場合は 80%以上の削減が必要。
発電効率 (パラ 11)	• バイオ燃料を発電に用いる場合は、(a)～(d)の要件の内一つ以上を満たし、また化石燃料を主たる燃料とする発電設備であってはならない。以下、例として(b)(d)を記載。 • (b). 定格熱投入量が 50-100MW の発電設備の場合は、高効率コージェネレーション技術が導入されているか、もしくは発電のみの設備の場合には導入可能な最善技術(Best Available Technology)に準ずるエネルギー効率レベルを満たすこと。 • (d). Biomass CO2 Capture and Storageを適用して発電していること。	• 左記については変更の言及無し。下記の追加が提案された。 • 2026 年 12 月 31 日以降、次の条件のいずれかを満たさない限り、発電用途のみの森林バイオマス由来の発電に支援を講じてはならない。ただし、以下の二つの要件のうち少なくとも一つを満たす場合はこの限りではない。 • 【要件①】Just Transition Fund (EU におけるトランジション・ファイナンス基金)に整合した欧州委員会承認済みの計画において位置づけられている地域であること。 • 【要件②】Biomass CO2 Capture and Storage を適用かつ、化石燃料を主たる燃料とする発電設備ではなく、高効率コージェネレーション技術を適用しても費用対効果が見込めないこと。
食料・飼料競合	• 食料や飼料用作物を原料とするバイオ	• 1 点目については変更なし。

項目	RED II	2021 年 7 月改正案の変更点
(Article 26)	燃料等の導入割合は、2020 年の輸送部門の最終エネルギー消費量に占める割合 +1% 以内に収めるとともに、7.0%を上限とする。 • 各国は更に厳しい導入上限を設定し、その分輸送用燃料の再エネ比率 14% 目標を(最大 7%分)緩和することも可能。 • 間接的土地利用変化や土壌炭素ストック流出の懸念が高い食用作物由来のバイオ燃料(高 ILUC リスクバイオ燃料)は原則 2019 年消費量を上限とし、2023 年以降段階的廃止。	• 7.0%未満に制限されている加盟国、あるいはさらに厳しい導入上限を設けることにした加盟国は、その分輸送用燃料の GHG 排出原単位削減目標を緩和することも可能。この目的のため、加盟国は食糧や飼料用作物を原料とするバイオ燃料等については GHG 削減率を 50%とみなしてよい。 • 左の項目の 3 点目については変更なし。
RFNBO および RCF	• 2021 年 1 月 1 日以降、輸送部門で利用される RFNBO に求められる削減水準は 70%以上。(Article25)	• 新たに Article 29a として以下の内容を追加する。 • RFNBO からのエネルギーは Article25(1)等と言及されている目標に対して、これらの燃料の消費時の GHG 削減率が 70%以上の場合のみ計上可能。 • RCF からのエネルギーは、それらの GHG 削減率が 70%以上の場合のみ、Article25(1)(a)の GHG 削減目標に計上可能。 • 欧州委員会は、RFNBO および RCF による GHG 削減量を評価する方法を規定するため、委任法を採択する権限を与えられている。この方法論は、CO₂ の回収が既に他の法律の規定に基づいてクレジットを受け取っている場合、回避された GHG 排出量に対するクレジットが付与されないことを確保するものとする。

1.5.2 バイオ燃料の導入状況

(1) 輸送用燃料における再生可能エネルギー源別の導入状況

EU27 加盟国における 2020 年の輸送燃料に占めるバイオ燃料導入量は、24,723ktoe であり、図 1-7 に示す通り目標の 10%に対して 9.02%であった。EU 各国の輸送用バイオ燃料導入量推移を図 1-8 に示す。

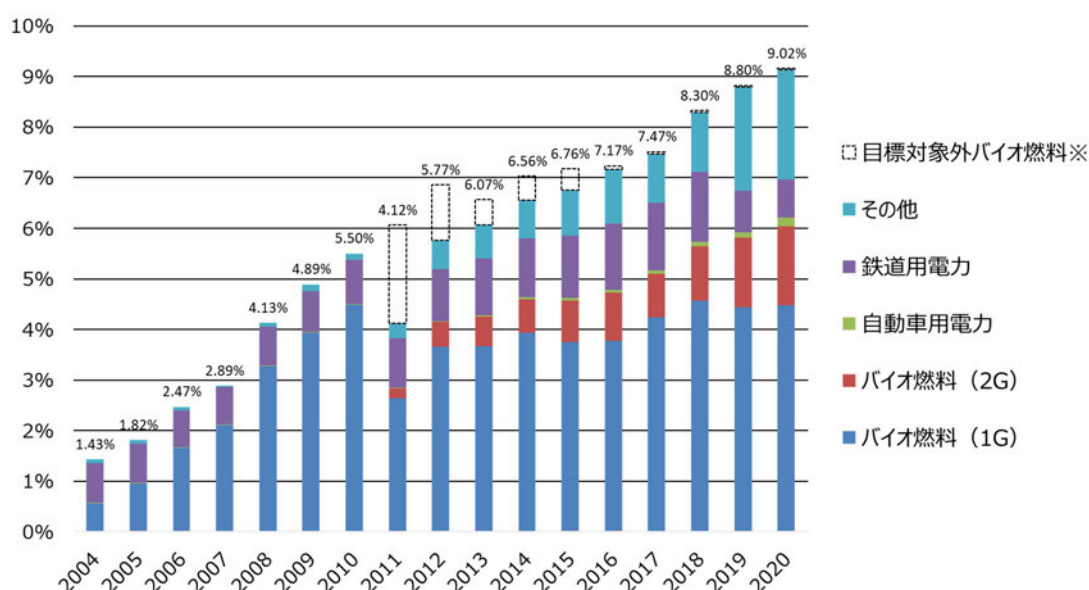


図 1-7 EU27 における輸送用再エネ比率推移

※目標対象外バイオ燃料とは、持続可能なバイオ燃料の基準を満たすことが確認できていないバイオ燃料を指す(2011年以降集計)

出所)Shares 2020 Results, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> より MRI 作成

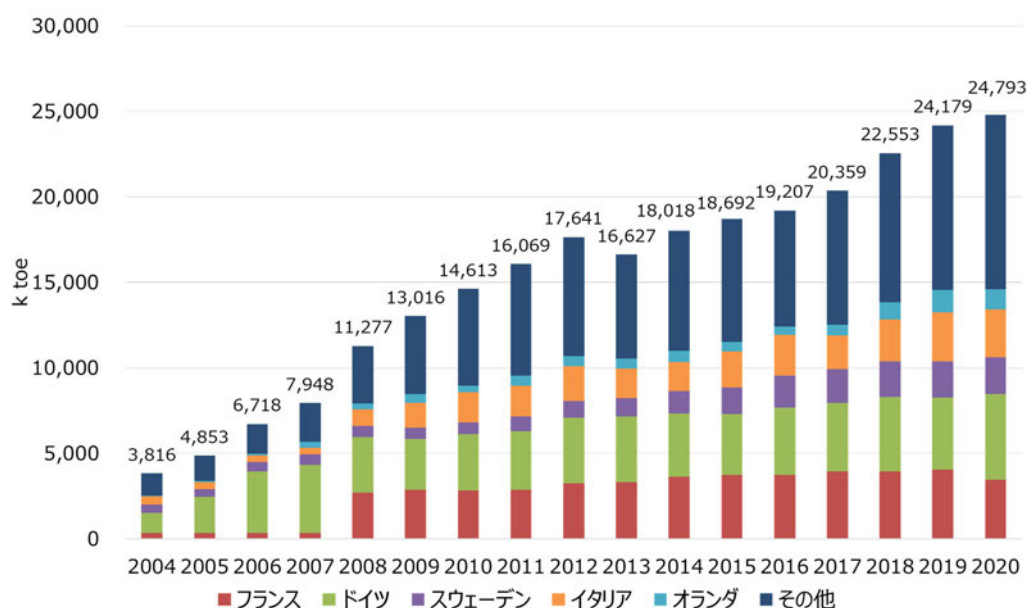


図 1-8 EU 各国の輸送用バイオ燃料導入量推移

出所)Shares 2020 Results, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> より MRI 作成

(2) バイオエタノールの導入状況

2020 年と同様、混合義務の引き上げ(主にフランス、オランダ、ベルギー、ポーランド)と高混合率エタノールの市場導入と更なる拡大(スウェーデン、フィンランド)の動きは、今後の輸送用の燃料消費において重要な影響を与えると見られる。2021 年 8 月にスウェーデンでは E10 の市場導入が開始されている。現在、E10 はベルギー、ブルガリア、デンマーク、エストニア、フィンランド、フランス、ドイツ、ハンガリー、ラトビア、リトアニア、ルクセンブルグ、オランダ、ルーマニア、スロバキアで利用可能である。

2022 年以降については、バイオエタノールの更なる消費拡大は見込めない。これは、従来型バイオ燃料に上限が設けられていることおよび、再生可能ディーゼル(HDRD)が望ましいとされる先進型バイオ燃料の最低水準が引き上げられるためである。もう一つの要因としては、電気自動車の進展およびガソリン消費量の減少が挙げられる。また、2021 年から 2022 年の間において、原料価格の高騰は、化石燃料に対するエタノールの競争力に影響を与えるものと見込まれる。なお、表 1-25 は、EU の燃料用および化学製品用エタノールの生産・消費量であるが、出典データの都合上、すべての項目には英国の値が含まれている。

表 1-25 EU-28 の燃料用および化学製品用エタノールの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	381	417	452	423	393	500
内燃料用	335	381	419	393	364	461
生産量	5,887	6,037	6,101	5,861	5,468	5,615
内燃料用	5,159	5,373	5,497	5,281	4,747	5,000
内セルロース系	50	40	10	10	25	50
輸入量	458	482	954	1,702	1,850	1,850
内燃料用	229	241	477	851	925	925
内 ETBE	24	9	7	13	25	30
輸出量	78	91	146	103	130	158
内燃料用	28	41	96	53	80	108
消費量	6,231	6,394	6,938	7,490	7,082	7,545
内燃料用	5,315	5,535	5,904	6,108	5,495	6,050
期末在庫	417	452	423	393	500	262
内燃料用	381	419	393	364	461	228

表 1-26 EU-28 の燃料用エタノールの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	55	58	57	56	57	57
生産能力	7,153	7,502	7,299	8,112	8,150	8,150
稼働率	71%	71%	75%	65%	58%	61%

表 1-27 EU-28 のセルロース系エタノールの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	1	1	2	2	3	5
生産能力	50	50	60	60	90	200

*2021 年は見通し

出所)USDA, EU-28: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

(3) バイオディーゼルの導入状況

EU は世界最大のバイオディーゼル生産地域である。ディーゼル駆動の大型商用車両は一般車両に比べてロックダウンによる需要減の影響を受けにくいことから、バイオエタノールよりもバイオディーゼルのほうが COVID-19 による需要の減少は少なかった。2021 年初めは COVID-19 第 2 波、第 3 波により EU 加盟国はそれぞれロックダウンを行ったが、その後のワクチン接種率の上昇と、感染率の低下により 2021 年後半には交通量が大幅に増加すると予想されている。2021 年のバイオディーゼル需要については、2020 年から回復するものの 2019 年の COVID-19 以前の水準には戻らないと見込まれている。EU-28 のバイオディーゼルの生産・消費量を表 1-28 に示す。生産能力を表 1-29 に示す。

表 1-28 EU-28 のバイオディーゼルの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	590	610	670	930	750	730
生産量	14,728	15,622	14,946	15,781	15,534	16,110
輸入量	629	1,332	3,781	3,613	3,106	3,100
輸出量	408	372	645	759	465	530
消費量	14,929	16,522	17,822	18,815	18,195	18,660
期末在庫	610	670	930	750	730	750

表 1-29 EU-28 のバイオディーゼルの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	196	187	186	186	187	187
生産能力	21,520	20,124	21,030	21,130	21,230	21,230
稼働率	58%	65%	58%	61%	56%	58%

*2021 年は見通し

出所)USDA, EU-28: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

1.6 英国

1.6.1 バイオ燃料の政策動向

(1) 再生可能燃料導入義務(RTFO)

英国では2008年より再生可能燃料導入義務(The Renewable Transport Fuel Obligation, RTFO)を導入し、バイオ燃料の導入に取り組んでいる。また、REDの輸送規定を英国の法律に導入するため、2015年に修正された。2022年現在の全体の燃料供給量に占める再生可能燃料の比率は、10.4%と設定されている。制度の概要は表1-30のとおり。

表 1-30 RTFO の概要

制度運用者	英国交通省
制度対象者	• 英国内で年間 450 kℓ 以上の輸送用燃料(石油、ディーゼル、再生可能燃料)を供給している事業者。 • 道路用車両および NRMM(non-road mobile machinery)を対象とする。NRMMにはトラクターやレクリエーション用航空機も含まれる。 • 裾きり値を下回る規模の事業者も、RTFC(RTFO上のクレジット)の取得は可能。
供給義務	• 2019年以降、目標期間を4/15～翌年4/14を暦年(1/1～12/31)に変更。 • 義務水準を2021年に10.1%、2022年に10.4%として、2032年に12.4%まで引き上げる(2倍計上を含む)。 • 穀物由来バイオ燃料の上限を2021年に3.83%、2022年に3.67%として、2032年に2.00%まで引き下げる。 • 次世代燃料(development fuel)の導入目標を、2021年に0.5%、2022年に0.8%として、2032年に2.8%まで引き上げる(2倍計上を含む)。 • なお、年間供給量が450～1,000kℓの供給事業者は、450kℓまでは義務率の対象外となる。例)年間供給量が500kℓの場合、(500-450)kℓ×義務率
持続可能性基準	• 欧州の再生可能エネルギー指令の持続可能性基準に準拠。
義務遵守方法	方法① RTFCの償却(redeem) • 持続可能な再生可能燃料を供給した際に発行されるクレジット(Renewable Transport Fuel Certificate, RTFC)を償却。 方法② 買い取りによる支払(Buy Out) • 燃料1ℓあたりの定額を支払うことで、RTFOを買い取ることも可能。通常のバイオ燃料は50ペンス/ℓ¹⁵、次世代燃料は80ペンス/ℓ。
RTFC	• RTFCは、検証済みのバイオ燃料に対して、事業者の申請に応じて随時発行。 • インセンティブ付のための特例として、特定の廃棄物や残渣、エネルギー作物由来の燃料、RFNBOs(非バイオ由来再生可能燃料)については、2単位のRTFCが発行される。 • 遵守に使うRTFCの25%を上限として、前の年度に発行されたRTFCを持越し(carry over)して使うことができる。
罰則規定	• 義務を遵守しなかった場合に、5万ポンドもしくは会社のRTFO対象となるバイオ燃料の年間売上高の10%のうち、より少額な方の罰金(civil penalty)が課せられる。また、RTFCを不正取得した者は、60ペンス/RTFCの支払いをしなければならない。

出 所) Department for Transport, “ RTFO Guidance Part One Process Guidance 2021”, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/953892/rtfo-guidance-part-1-process-guidance-2021.pdf(2022年1月14日閲覧)よりMRI作成

¹⁵ 2021年より30ペンス/ℓから50ペンス/ℓに引き上げ。

各年度の目標達成状況は図 1-9 のとおり。2019 年も全ての事業者が義務を達成した。しかしながら、2 件の義務対象の小規模供給事業者が、権利買取価格による支払い(buy-out)による達成となった。2019 年には 45 億 1,600 万の RTFC が償却され、そのうち 5%にあたる 2 億 1,900 万クレジットが前年に供給された燃料に紐づいている。このうち、上記の buy-out による達成が占める割合は 0.01%である。

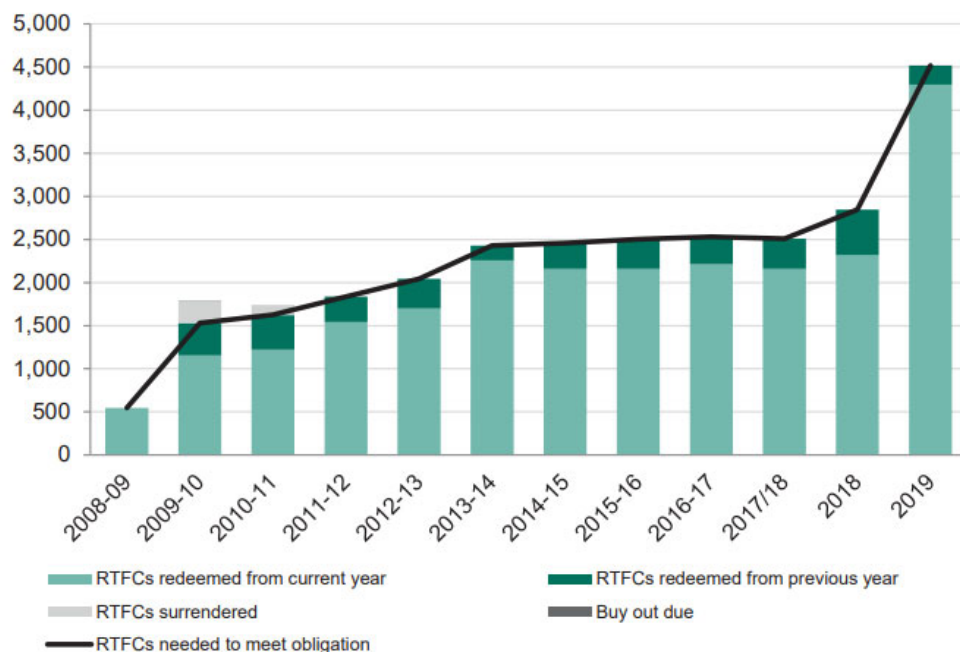


図 1-9 各年度の目標達成状況

出 所) Department for Transport, “ Renewable Transport Fuel Obligation Annual Report 2019”, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/983083/renewable-transport-fuel-obligation-annual-report-2019-web-version.pdf (2022 年 1 月 6 日閲覧)

1.6.2 バイオ燃料の導入状況

(1) 輸送用燃料の動向

1) 再生可能エネルギー源別の導入状況

英国の道路用輸送燃料(road transport fuel)に占める RTFCs の認証を得た再生可能燃料の比率は図 1-10 に示すとおり、2020 年時点で 9.96%と、近年飛躍的に上昇している。これは主にバイオディーゼルの増加に起因する。

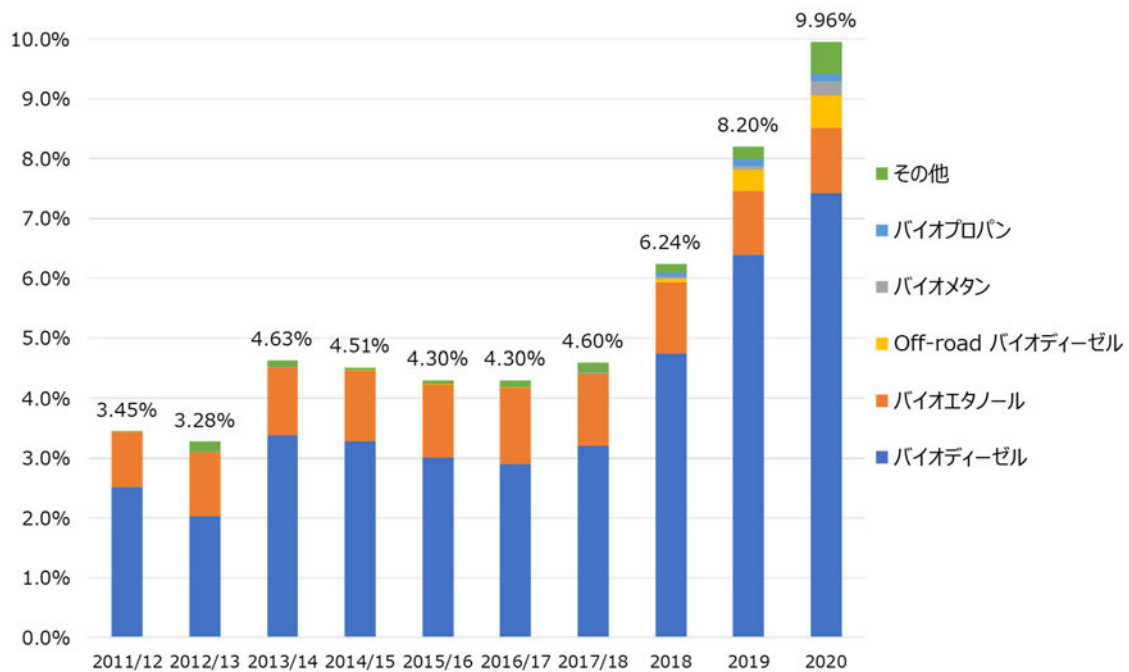


図 1-10 英国における再生可能燃料の比率の推移

出所)GOV.UK, “Renewable fuel statistics 2020: Final report”, <https://www.gov.uk/government/statistics/renewable-fuel-statistics-2020-final-report>(2022 年 2 月 10 日閲覧)より MRI 作成

2) バイオ燃料の内訳

英国の輸送部門における持続可能なバイオ燃料は、図 1-11 に示すとおり、2017 年 948ktoe から 2016 年 1,310ktoe へ増加した。この増加には図 1-12 に示すとおり、バイオディーゼル(FAME)、次世代バイオ燃料(Annex IX Part A、B)の増加が寄与している。次世代バイオ燃料の大半は Annex IX Part B である(すなわち廃食油である)。

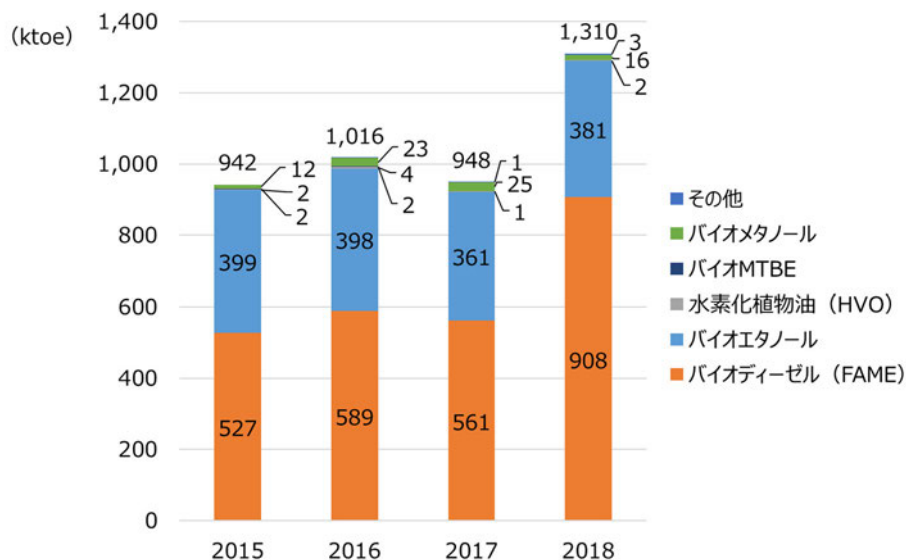


図 1-11 英国における輸送用バイオ燃料の種類別構成(ktoe)

出所)Fifth Progress Report on the promotion and use of energy from renewable sources for the United Kingdom より MRI 作成

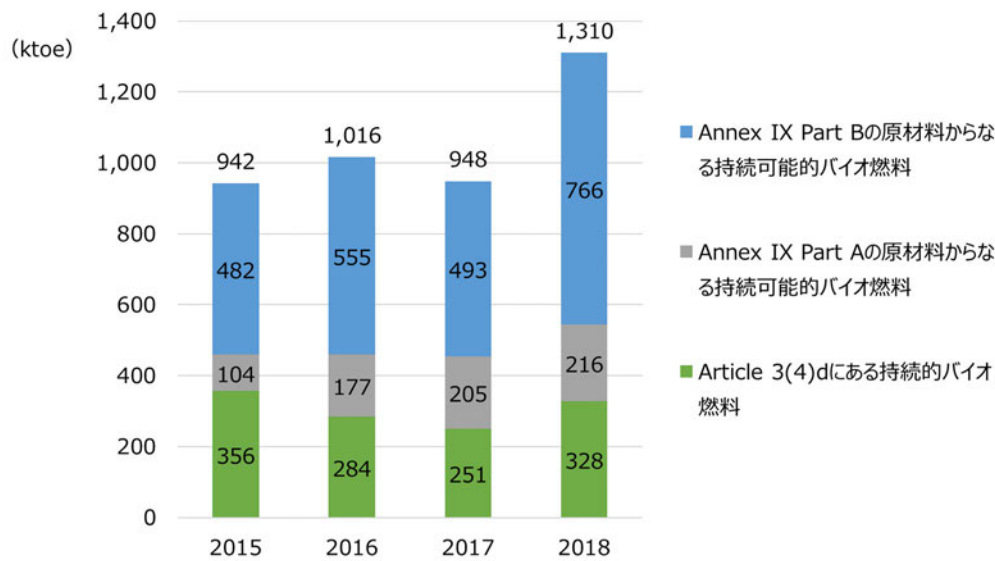


図 1-12 英国における輸送用バイオ燃料の原料別構成 (ktOE)

※Article 3(4)d:第1世代バイオ燃料

出所)Fifth Progress Report on the promotion and use of energy from renewable sources for the United Kingdom より MRI 作成

3) 次世代バイオ燃料の内訳

Annex IX Part A の内訳については図 1-13 に示すとおりである。2017 年には産業廃棄物中のバイオマス分(食用・飼料用で利用可能なものを除く)が182ktOEと Part A の88.7%を占めていた。翌年には188ktOEと微増し、同年 Part A の87%を占めた。

Annex IX Part B の内訳については図 1-14 に示すとおりである。2017 年には廃食油が471ktOEと Part B の95.5%を占め、翌年には719ktOEまで増加したが、Part B に占める割合は93.8%と少し減少した。かわりに、動物性油脂が22ktOEから47ktOEと前年比で倍増した。

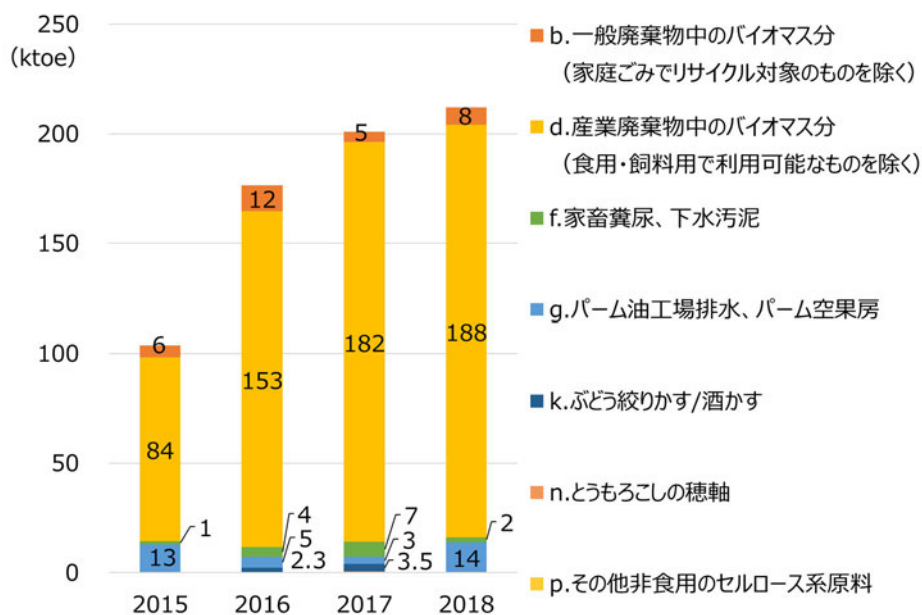


図 1-13 英国における Annex IX Part A の原料別構成 (ktOE)

出所)Fifth Progress Report on the promotion and use of energy from renewable sources for the United Kingdom より MRI 作成

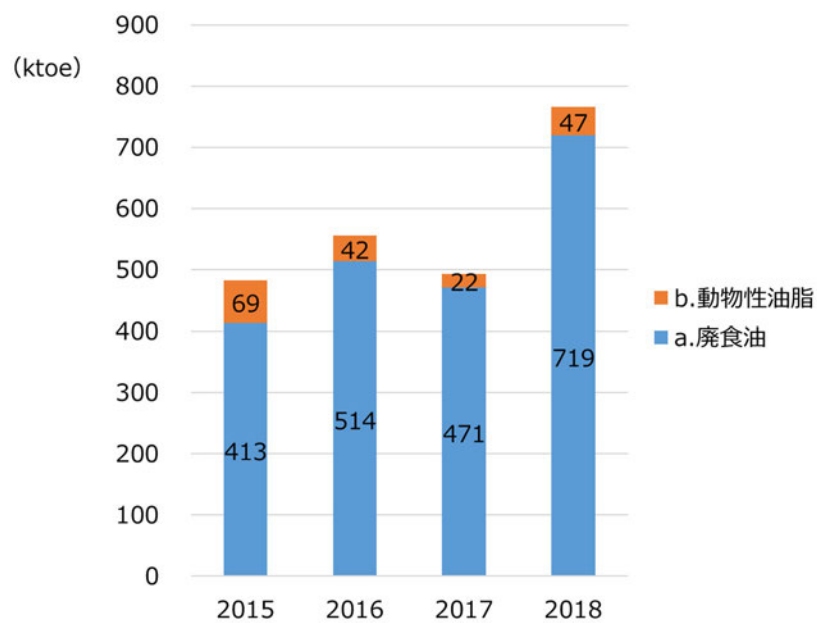


図 1-14 英国における Annex IX Part B の原料別構成(ktOE)

出所)Fifth Progress Report on the promotion and use of energy from renewable sources for the United Kingdom より MRI 作成

1.7 ドイツ

1.7.1 バイオ燃料の政策動向

(1) 温室効果ガス割り当て

2007 年より、ドイツ連邦廃棄規制法における温室効果ガス割り当て”Greenhouse Gas Quota in the Federal Emissions Control Act(BImSchG)”において、石油供給事業者に対して一定量のバイオ燃料の導入を義務付けている(バイオ燃料割り当て法)。2015 年には、バイオ燃料割り当て法が改正され GHG の削減が義務化された。石油供給事業者はバイオ燃料の供給比率(熱量ベース)ではなく、自社が供給する燃料の GHG 排出削減率が義務付けられている。同時に HVO や UCOME ベース(TME は除く)の UCO や廃棄脂肪酸の 2 倍計上も終了した(2011~2014 年)。

ガソリン、ディーゼル、バイオ燃料の使用にあたり、化石燃料の基準値に対して、表 1-31 のとおり削減率が定められている。これを満たさない場合は表 1-32 のとおりペナルティが課される。

表 1-31 BImSchG のバイオ燃料導入義務付け

年	熱量比			GHG 削減率
	バイオエタノール	バイオディーゼル	全体	全体
2007	1.20%	4.40%		—
2008	2.00%	4.40%		—
2009	2.80%	4.40%	5.25%	—
2010-2014	2.80%	4.40%	6.25%	—
2015-2016	—	—	—	3.5%
2017-2019	—	—	—	4.0%
2020-2021	—	—	—	6.0%
2022	—	—	—	7.0%
2023	—	—	—	8.0%
2024	—	—	—	9.25%
2025	—	—	—	10.5%
2026	—	—	—	12.0%
2027	—	—	—	14.5%
2028	—	—	—	17.5%
2029	—	—	—	21.0%
2030	—	—	—	25.0%

バイオエタノールの比率はガソリン+バイオエタノールの供給量に対する比率

バイオディーゼルの比率は軽油+バイオディーゼルの供給量に対する比率

出所)USDA Foreign Agricultural Service Gain Report, “European Union: Biofuel Mandates in the EU by Member State and United Kingdom - 2021”, <https://www.fas.usda.gov/data/european-union-biofuel-mandates-eu-member-state-and-united-kingdom-2021>(2022 年 1 月 25 日閲覧)

Bundesministerium der Justiz, “Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) § 37a Pflichten für Inverkehrbringer von Kraftstoffen” http://www.gesetze-im-internet.de/bimsgg/_37a.html(2022 年 1 月 25 日閲覧)より MRI 作成

表 1-32 石油供給事業者に対するペナルティ

年	ペナルティ
2009-2014	バイオディーゼル:19€/GJ バイオエタノール:43€/GJ
2015 年以降	0.47€/kg CO ₂

出所)USDA Foreign Agricultural Service Gain Report, “European Union: Biofuel Mandates in the EU by Member State and United Kingdom – 2021”, <https://www.fas.usda.gov/data/european-union-biofuel-mandates-eu-member-state-and-united-kingdom-2021>(2022 年 1 月 25 日閲覧)より MRI 作成

(2) 排出規制法に関する燃料の GHG 削減に向けたさらなる規定

2017 年 11 月に、38th Regulation implementing the Federal Emissions Control Act (排出規制法に関する燃料の GHG 削減に向けたさらなる規定)を制定、2018 年 1 月より施行した。

化石燃料の GHG 排出量基準値を改定(83.8kgCO₂/GJ→94.1kgCO₂/GJ)しており、RED II の基準値は 94kgCO₂/GJ であり僅かながら不整合だが、本規定は RED II の先取りではなく RED I や FQD の目標達成に向けた措置である。

各燃料のライフサイクル GHG 排出量は表 1-33 のとおり。バイオ燃料については RED I の既定値を適用し、電力の排出係数は毎年 10 月末に連邦環境庁が発表する。

前述の GHG 削減目標を達成するため、温室効果ガスの排出削減効果の高いバイオ燃料の導入を促進している。表 1-34 にバイオ燃料の導入上限および義務を示す。2020 年以降、次世代バイオ燃料について割り当てが導入されている。2021 年 11 月 12 日、排出規制法に関する燃料の GHG 削減に向けたさらなる規定は改正され、次世代バイオ燃料の導入義務が 2030 年に 2.6%となるまで徐々に引き上げられることとなった。また、食糧及び飼料作物由来のバイオ燃料、廃棄物由来のバイオ燃料、ILUC リスクが高いバイオ燃料に対して、導入上限が設けられた。上限を超えた分については化石燃料として扱われる。

表 1-33 燃料別のライフサイクル GHG 排出量

燃料	原料	GHG 排出量
LPG(液化石油ガス)	化石燃料全般	73.6gCO ₂ /GJ
CNG(圧縮天然ガス)	EU mix	69.3gCO ₂ /GJ
LNG(液化天然ガス)	EU mix	74.5gCO ₂ /GJ
圧縮水素	石炭+CCS	52.7gCO ₂ /GJ
ガソリン、ディーゼル	廃プラスチック	86gCO ₂ /GJ

出所) Bundesministerium der Justiz, “Achtunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes^{1,2} (Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminimierung bei Kraftstoffen – 38. BImSchV)”, https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_38_2017/BJNR389200017.html(2022 年 1 月 25 日閲覧)より MRI 作成

表 1-34 バイオ燃料導入上限および義務

年	食料および飼料作物由来バイオ燃料の上限	廃棄物由来バイオ燃料の上限 ¹⁶	ILUC リスクが高いバイオ燃料の上限 ¹⁷	次世代バイオ燃料の導入義務
2021		1.9%		0.1%
2022	4.4%	※上限を超えた分は化石燃料としてカウント	0.9%	0.2%
2023	※上限を超えた分は化石燃料としてカウント		0%	0.3%
2024			※上限を超えた分は化石燃料としてカウント	0.4%
2025				0.7%
2026				1.0%
2028				1.7%
2030				2.6%

出所)USDA Foreign Agricultural Service Gain Report, Biofuel Mandates in the EU by Member State and United Kingdom - 2021, <https://www.fas.usda.gov/data/european-union-biofuel-mandates-eu-member-state-and-united-kingdom-2021>(2022年1月5日閲覧)
 Bundesministerium der Justiz, Achtunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes^{1,2} (Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminimierung bei Kraftstoffen - 38. BImSchV), https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_38_2017/BJNR389200017.html(2022年1月5日閲覧)よりMRI作成

(3) 導入義務の対象となる次世代バイオ燃料

導入義務の対象となる次世代バイオ燃料は RED I の Annex IX に準拠し、以下のとおり定められている。ただし、ロイター通信によれば、2021年9月、ドイツ政府は2023年以降にバイオ燃料の原料としてパーム油を使用することを禁止すると発表した¹⁸。

- ・ 陸上の培養池や光バイオリクターで培養された藻類
- ・ 一般廃棄物中のバイオマス分(家庭ごみでリサイクル対象のものを除く)
- ・ 家庭からのバイオマス廃棄物
- ・ 産業廃棄物中のバイオマス分(食用・飼料用で利用可能なものを除き、Annex B に挙げられた原料のものを除く)
- ・ 糞
- ・ 家畜糞尿、下水汚泥
- ・ パーム油工場排水、パーム空果房
- ・ トール油ピッチ
- ・ 粗グリセリン
- ・ バガス
- ・ ブドウ搾りかす/酒かす

¹⁶ 廃食油および動物性油脂を指す。

¹⁷ ILUC リスクが高いバイオ燃料は、Regulation (EU) 2019/807 の Article3 で定められている原料としている。すなわち、a) 2008 年以降、原材料の生産量が年率1%以上で増加しており、かつ 10 万 ha 以上生産地が増加している場合 b) そのような拡大の 10%以上が、高炭素蓄積の土地で行われている場合、ILUC リスクが高い原料であるとみなす。

¹⁸ Nasdaq, "Germany to end palm oil use in biofuels from 2023 - ministry", <https://www.nasdaq.com/articles/germany-to-end-palm-oil-use-in-biofuels-from-2023-ministry-2021-09-22>(2022年2月8日閲覧)

- ナッツ殻
- 穀類等の殻
- とうもろこしの穂軸
- 林業廃材中のバイオマス分
- その他非食用のセルロース系材料
- リグノセルロース系原料(製材用・ベニア用丸太を除く)

出所) Federal Republic of Germany Progress report under Article 22 of Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources, (2018 年 11 月 9 日閲覧)
 Bundesministerium der Justiz, “Achtunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes^{1,2} (Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminde- rung bei Kraftstoffen - 38. BImSchV)”, https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_38_2017/BJNR389200017.html(2022 年 1 月 25 日閲覧)より MRI 作成

(4) 温室効果ガス割り当てに対する上流排出削減量のオフセット条例

2018 年 1 月 22 日に、政府は Ordinance offsetting upstream emission reductions against the greenhouse gas quota(温室効果ガス割り当てに対する上流排出削減量のオフセット条例)を発表している。同条例により、前述の GHG 削減率達成のために、燃料の上流(製油所より手前)における GHG 削減を 2020 年以降、計上可能としている。

主な内容は以下のとおり。下記に基づき、2021 年 3 月時点で 16 件のプロジェクトが登録されている。

- EU 排出量取引制度対象事業所における削減は対象外。
- 国内における削減取組のうち、公的補助金を受けた活動による削減は対象外。
- 計上可能な削減率は 1.2%を上限。
- 削減取組は DIN EN ISO 14064、14065、14066(温室効果ガス削減の第三者検証に関する規格)の原則に基づき検証を受ける必要がある。
- 削減量は、CDM(クリーン開発メカニズム)で定められた方法論に基づき算定する。
- 削減取組の実施に先立ち、実施者は連邦環境庁に対して Request for Approval を提出する必要がある。その際、第三者機関により検証されたプロジェクト計画書やモニタリング計画を併せて提出する。
- 連邦環境庁の承認を受けた後、実施者はモニタリング計画に沿ってデータ収集、削減量の算定を行い、第三者機関の検証を受けた後に、削減クレジットの発行を受ける。

1.7.2 バイオ燃料の導入状況

(1) 再生可能エネルギー源別の導入状況

ドイツにおける輸送用再生可能エネルギーの比率は図 1-15 に示すとおり、2020 年時点で 9.9%と、過去最高値となった。これは第 1 世代バイオ燃料の増加によるものである。2010 年以降、ドイツでは第 1 世代バイオ燃料から次世代バイオ燃料への転換が進んでいたが、2018 年以降は第 1 世代の燃料が再び増加傾向にある。

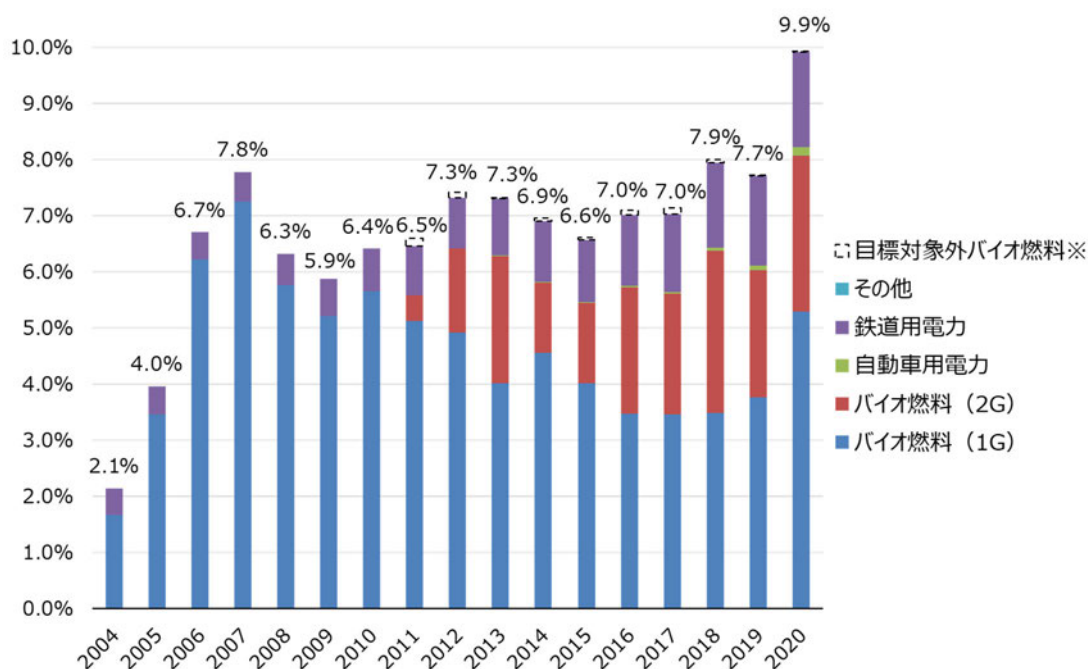


図 1-15 ドイツにおける輸送用再エネ比率推移

※目標対象外バイオ燃料:持続可能なバイオ燃料の基準を満たすことが確認できていないバイオ燃料

出所)Shares 2020 Results, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> より MRI 作成

(2) バイオ燃料の内訳

ドイツの輸送部門における持続可能なバイオ燃料は、図 1-16 に示すとおり、2017 年 2,558toe から 2018 年 2,686ktoe へ微増している。バイオ燃料の種類別構成については、バイオエタノール、バイオディーゼル共に微増した程度で大きな変更はない。

原料別構成については、全体の大半を占める第 1 世代バイオ燃料が 91ktoe 減少した一方で、次世代バイオ燃料 Part B が 183ktoe 増加している。

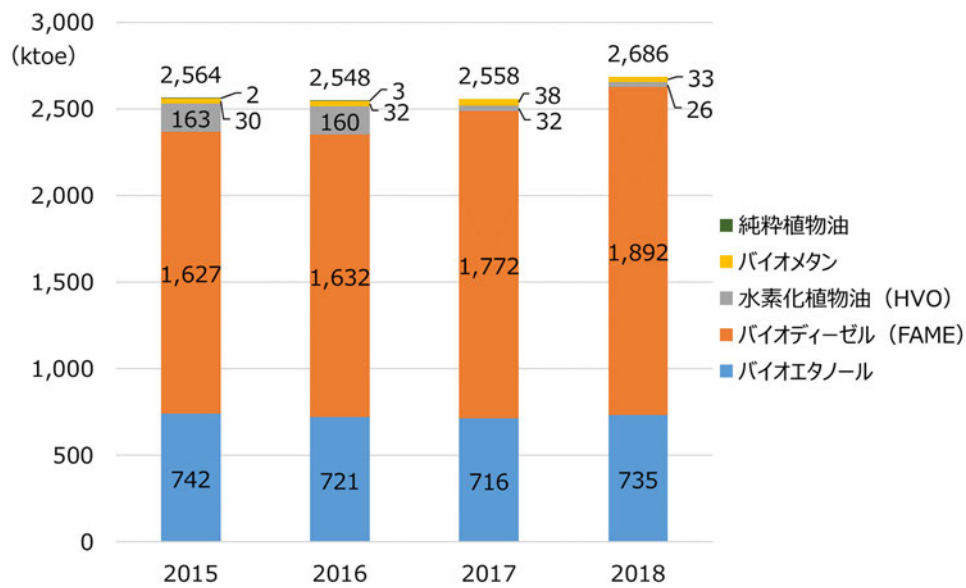


図 1-16 ドイツにおける輸送用バイオ燃料の種類別構成(ktoe)

出所)Federal Republic of Germany, Progress Report under Article 22 of Directive 2009/28/EC on the Promotion of the use of energy from renewable sources(2018.5.3)より MRI 作成

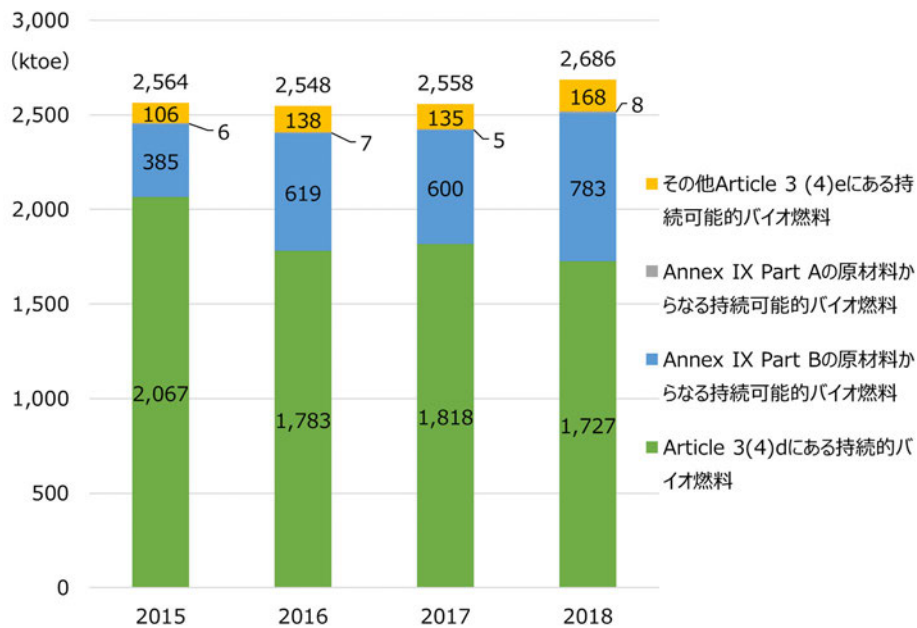


図 1-17 ドイツにおける輸送用バイオ燃料の原料別構成(ktoe)

※Annex IX Part A:次世代バイオ燃料、Annex IX Part B:導入上限付き次世代バイオ燃料(廃食油・動物性油脂)、Article 3(4)d:第1世代バイオ燃料、Article 3(4)e:Annex IX に載っていない次世代バイオ燃料

出所)Federal Republic of Germany, Progress Report under Article 22 of Directive 2009/28/EC on the Promotion of the use of energy from renewable sources(2018.5.3)より MRI 作成

(3) 次世代バイオ燃料の内訳

Annex IX Part A のバイオ燃料導入量は図 1-18 に示すとおり、2017 年に 5ktoe、2018 年に 8ktoe となっており、これは輸送部門における総エネルギー消費量の 0.03%に留まる。両年ともに、家庭で収集されたバイオガスに基づくバイオ燃料が大きな割合を占める。2018 年にはパーム油工場排水、パーム空果房由来バイオ燃料がゼロとなっている。

Annex IX Part B の大半は図 1-19 に示すとおり、廃食油が占めており、2017 年に 646ktoe、2018 年に 841ktoe と増加している。

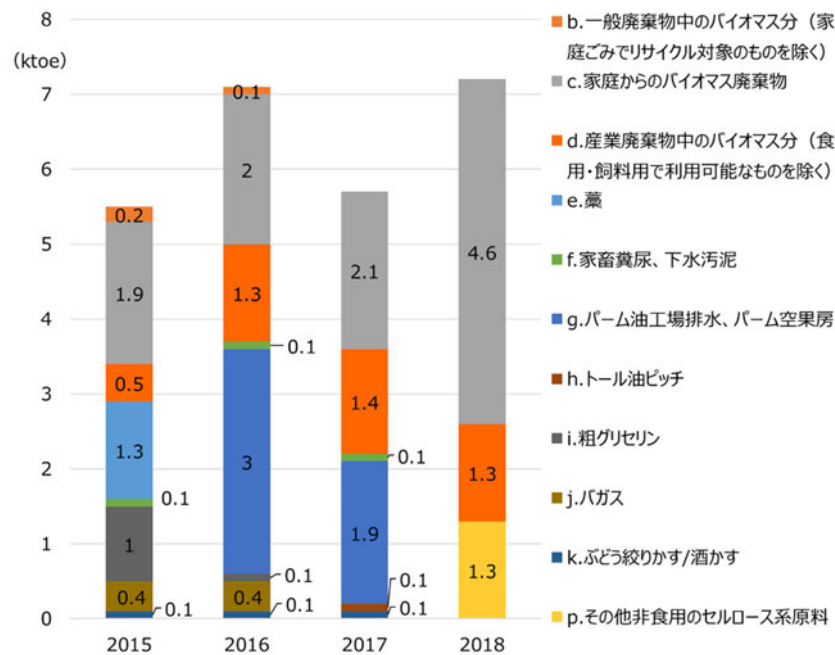


図 1-18 ドイツにおける Annex IX Part A の原料別構成(ktoe)

出所)Federal Republic of Germany, Progress Report under Article 22 of Directive 2009/28/EC on the Promotion of the use of energy from renewable sources(2018.5.3)より MRI 作成

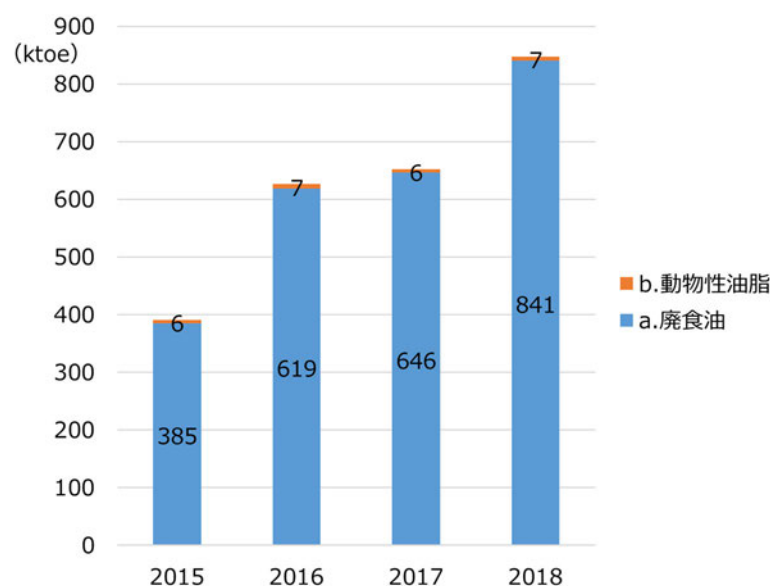


図 1-19 ドイツにおける Annex IX Part B の原料別構成(ktoe)

出所)Federal Republic of Germany, Progress Report under Article 22 of Directive 2009/28/EC on the Promotion of the use of energy from renewable sources(2018.5.3)より MRI 作成

1.8 フランス

1.8.1 バイオ燃料の政策動向

フランスでは、輸送用燃料に対する汚染事業統合税(TGAP)とエネルギー製品の内国消費税(TICPE)の免税措置を実施することにより、バイオ燃料の導入量を拡大してきた。TGAP は 2019 年より TIRIB(“Taxe Incitative Relative à l’Incorporation de Biocarburant”)という名称に変更され、現在も継続しているが、TICPE は 2015 年に終了している。

2005 年の金融法第 32 条により、ガソリンとディーゼルに対する「汚染事業統合税(General Tax on Polluting Activities :TGAP)」が導入され、ガソリン、ディーゼルの売上高に対して課税されることとなった。TGAP はバイオ燃料の導入目標を達成した事業者に対して免税措置が講じられており、事実上の導入義務付け(未達成の場合にペナルティ)となってきた。

導入目標(輸送用燃料販売量に占めるバイオ燃料の熱量割合)は税率と同じ数値であり、その値は徐々に上昇してきた。ディーゼル・ガソリンの混合率年間目標を表 1-35 に示す。例えば 2020 年にディーゼルの販売量に占めるバイオ燃料の割合が 8.2%を超えた場合、TIRIB(TGAP)は免税される。目標未達の場合は、未達分に応じて課税される。

表 1-35 フランスにおけるバイオ燃料の混合率の年間目標

	バイオエタノール(% cal)		バイオディーゼル(% cal)	
		先進型 (% cal)		先進型 (% cal)
2010-2013	7		7	
2014-2016	7		7.7	
2017-2018	7.5		7.7	
2019	7.9		7.9	
2020	8.2		8	
2021-2022	8.6			
2023-2027		1.2		0.4
2028 以降		3.8		2.8

出所)USDA, “ European Union: Biofuel Mandates in the EU by Member State and United Kingdom -2021”, <https://www.fas.usda.gov/data/european-union-biofuel-mandates-eu-member-state-and-united-kingdom-2021>(2022 年 2 月 7 日閲覧)より MRI 作成。

2019 年には金融法を改正し、RED の Annex IX- Part A および Part B で定める先進的バイオ燃料に対して、目標達成に向けて熱量換算で 2 倍カウントする規定を導入した。一方で、大量の廃棄物・廃棄物由来バイオ燃料の輸入を阻止する目的で 2 倍カウントできる量に対する上限も下表のように設定した。

表 1-36 2020 年におけるバイオ燃料の 2 倍計上上限

	ガソリン	ディーゼル
Annex IX- Part A	0.6%	0.5%
Annex IX- Part B	0.05%	0.45%

出所)Progress Report on the promotion and use of energy from renewable sources Fifth report より MRI 作成

2021 年 2 月 24 日、国務院は、バイオ燃料におけるパーム油の使用禁止を承認した。この決定は、バイオ燃料リストと税制優遇対象の製品リストからパーム油製品を除外することとした国会での 2019 年の投票結果を支持するものである。パーム油製品の除外については、2020 年 1 月 1 日に発効している。

1.8.2 バイオ燃料の導入状況

(1) 再生可能エネルギー源別の導入状況

フランスにおける輸送用再生可能エネルギーの比率は図 1-20 のとおり、2020 年時点で 9.2%と、2020 年目標の 10%にわずかに届かなかった。

2011 年に持続可能なバイオ燃料が落ち込んだ理由は、フランスでは 2011 年 9 月に REDI と FQD を踏まえた国内法を整備し翌年 1 月に施行したため、2011 年に持続可能性基準の確認ができなかったためである。

2011 年 9 月 14 日、2011-1105 条例にて、バイオ燃料の持続性可能基準と 2020 年 12 月 31 日までに GHG10%削減する目標を設定し、2012 年 1 月 17 日に施行した。

2005 年からの燃料税軽減措置などにより、バイオ燃料の消費量は増加している。依然として、第 1 世代のバイオ燃料が大きな割合を占めている。

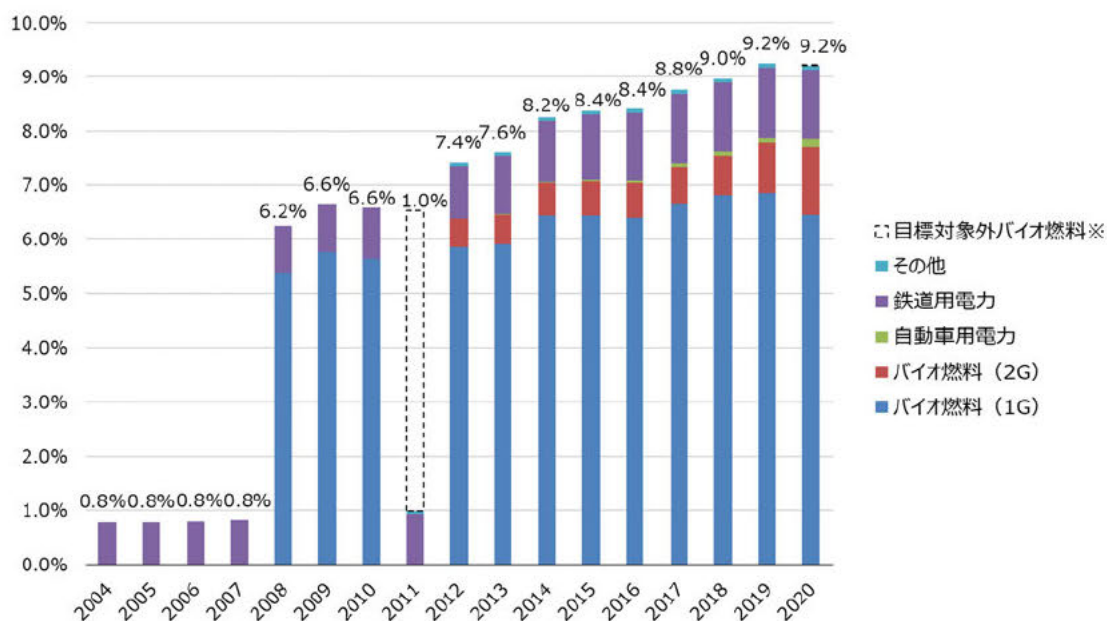


図 1-20 フランスにおける輸送用再生可能エネルギー比率推移

※目標対象外バイオ燃料:持続可能なバイオ燃料の基準を満たすことが確認できていないバイオ燃料

出所)Shares 2020 Results, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> より MRI 作成

(2) バイオ燃料の内訳

フランスの輸送部門における持続可能なバイオ燃料は図 1-21 のとおり、2016 年 3,137ktoe から 2018 年 3,142ktoe と微増した。

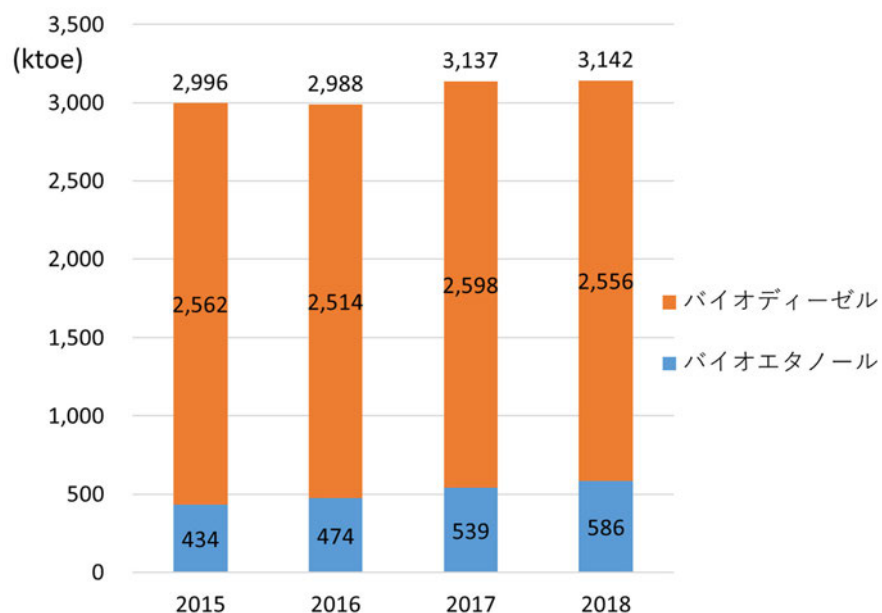


図 1-21 フランスにおける輸送用バイオ燃料の種類別構成(ktoe)

出所)Progress Report on the promotion and use of energy from renewable sources Forth report より MRI 作成

1.9 オランダ

1.9.1 バイオ燃料の政策動向

(1) バイオ燃料証明書 (HBEs)

オランダは、道路輸送用燃料(road transport fuels)の供給者に対し、熱量比で一定割合の再生可能エネルギーを供給することを義務付けている。義務率は下表のとおりである。

表 1-37 再生可能エネルギーおよびバイオ燃料導入義務率

	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年
再エネ導入率 (合計)	8.5%	12.5%	16.4%	17.5%
先進的バイオ燃料、最低導入率	0.6%	0.8%	1.0%	1.2%
従来バイオ燃料、導入上限率	3.0%	4.0%	5.0%	5.0%

出 所) NEA, “Annual obligation”, <https://www.emissionsauthority.nl/topics/obligations---energy-for-transport/annual-obligation>(2021 年 12 月 21 日閲覧)
USDA, “Biofuel Mandates in the EU by Member States and United Kingdom - 2021”, <https://www.fas.usda.gov/data/european-union-biofuel-mandates-eu-member-state-and-united-kingdom-2021>(2021 年 12 月 21 日閲覧)より MRI 作成。

導入率に加えて、燃料の GHG 削減についても義務付けられており、ライフサイクルベースの GHG 排出量について 2020 年には 2010 年比 6%削減が目標とされている。具体的には、2010 年のベースライン排出量 94.1g-CO₂/MJ に対して、2020 年には 88.45g-CO₂/MJ に減少することを目標としている。

導入率および GHG 削減に関する目標達成は、Hernieuwbare Energieeenheden (HBEs)と呼ばれる認証の仕組みで確認されている。HBE は再生可能エネルギーがオランダの輸送市場に 1GJ 供給されたことを意味する。毎年、燃料供給事業者は必要な HBE を Energy for Transport Registry (REV : Register Energie voor Vervoer)に償却することで義務を履行する。HBE は自らバイオ燃料等を生産することで取得できるほか、HBE を保有する他社から購入することでも取得でき、取引可能な証書として流通している。HBE には表 1-38 に示すとおり、HBE Advanced、HBE Conventional、HBE Other の 3 種類がある。上表の先進的バイオ燃料に当たるものが HBE-A であり、燃料供給事業者は最低導入率を満たす必要がある。一方、上表の従来バイオ燃料に当たるものが HBE-C であり、導入上限率を超えて使用することができない。

表 1-38 HBE の種類

HBE の種類	原材料	詳細
HBE Advanced (HBE-A)	先進型バイオ燃料 (液体またはガス)	Annex IX Part A の原料から生成されたバイオ燃料
	再生可能燃料(液体またはガス)	バイオマス以外の再生可能エネルギーから生成された燃料
HBE Conventional (HBE-C)	従来バイオ燃料 (液体またはガス)	農作物及びエネルギー穀物から生成されたバイオ燃料
HBE Other (HBE-O)	その他のバイオ燃料(液体またはガス)	Annex IX Part B の原料から生成されたバイオ燃料 Annex IX で示されず、農作物及びエネルギー穀物からも生成されていない原料から生成されたバイオ燃料
	電力	再生可能な電力

出所) NEA, “Renewable energy units”, <https://www.emissionsauthority.nl/topics/general---energy-for-transport/renewable-energy-units>(2021 年 12 月 21 日閲覧)より MRI 作成

GHG 削減率に関しては、毎年の HBEs の平均的な CO₂ 排出削減量が前年の実績をベースに規定されており、2020 年の場合は 46g-CO₂/GJ である¹⁹。GHG 削減目標に不足する場合は、ドイツの運用する燃料の上流(製油所より手前)における GHG 削減クレジット(Upstream Emission Reductions, UERs)、もしくは京都議定書の定めるクリーン開発メカニズムの一部のタイプのプロジェクトから生じるクレジット(Certified Emissions Reductions, CERs)を活用することができる。

(2) 2 倍計上に関する法令

2009 年に、「より優れたバイオ燃料の 2 倍計上に関する省令(the Ministerial Order on double-counting of better biofuels)」が発効された。オランダはそのような法律を制定した最初の EU 加盟国であった。

その後、オランダの再生可能エネルギー指令と燃料品質指令(FQD)によって置き換えられ、2011 年 1 月 1 日より施行された。当時、2 倍計上に関する法律は、輸送分野の再生可能エネルギーに関する指令 Order on renewable energy for Transport に盛り込まれていた(第 16 条、17 条)。この指令は、2013 年と 2015 年に改正されたが、2015 年の改正で 2 倍計上の規則に変更は加えられなかった。廃棄物、残渣、非食物由来セルロース及びリグノセルロース系材料から製造されたバイオ燃料は、ある条件下で 2 倍計上される。

RED Annex IX Part A 及び Part B の両方が 2 倍計上になるということは、すなわち HBE の 2 倍のクレジットをもたらすことを意味する。REV で 2 倍計上を行いたい企業は、バイオ燃料のダブルカウント証明書を持っている必要がある。

¹⁹ NEA, “Complying with the obligation to reduce greenhouse gas emissions in 2020”, <https://www.emissionsauthority.nl/topics/obligations---energy-for-transport/obligation-to-reduce-greenhouse-gas-emissions-2020/complying-with-obligation-to-reduce-greenhouse-gas-emissions-2020>(2022 年 2 月 7 日閲覧)

(3) E10 義務化

オランダ環境省は 2017 年 4 月 6 日、下院(Lower House of Parliament)に対して国内で E10 を義務化する提案を提出した。同省は、再生可能エネルギー指令のもとで、オランダが目標を達成するのを支援するために E10 を導入するように働きかけ、E10 が EU の 2020 目標を達成するための最も有望な選択肢であると述べた。

2019 年 1 月 25 日には、同年 10 月 1 日から、2 つ以上の給油設備を備えたガソリンスタンドでは、少なくとも半分以上を E10 給油専用に変更する義務があるとする環境大臣提案を閣議決定した。残りの半数未満の給油設備では、引き続き E10 以外のタイプのガソリンも提供することができ、1 つしかない場合はどの燃料を提供するか自ら選択できる。2019 年 10 月 1 日から、オランダの燃料販売者は、ガソリンスタンドにおいて提供するガソリンの少なくとも半分以上は E10 を提供する義務を課されている。

1.9.2 バイオ燃料の導入状況

(1) 再生可能エネルギー源別の導入状況

オランダにおける輸送用再生可能エネルギーの比率は図 1-22 に示すとおり、2020 年時点で 12.6%と、2020 年目標である 10%の目標を既に達成している。また、2017 年より次世代バイオ燃料が順当に増加している。ただし、後述する通り、次世代バイオ燃料の中では廃食油が占める割合が高い。

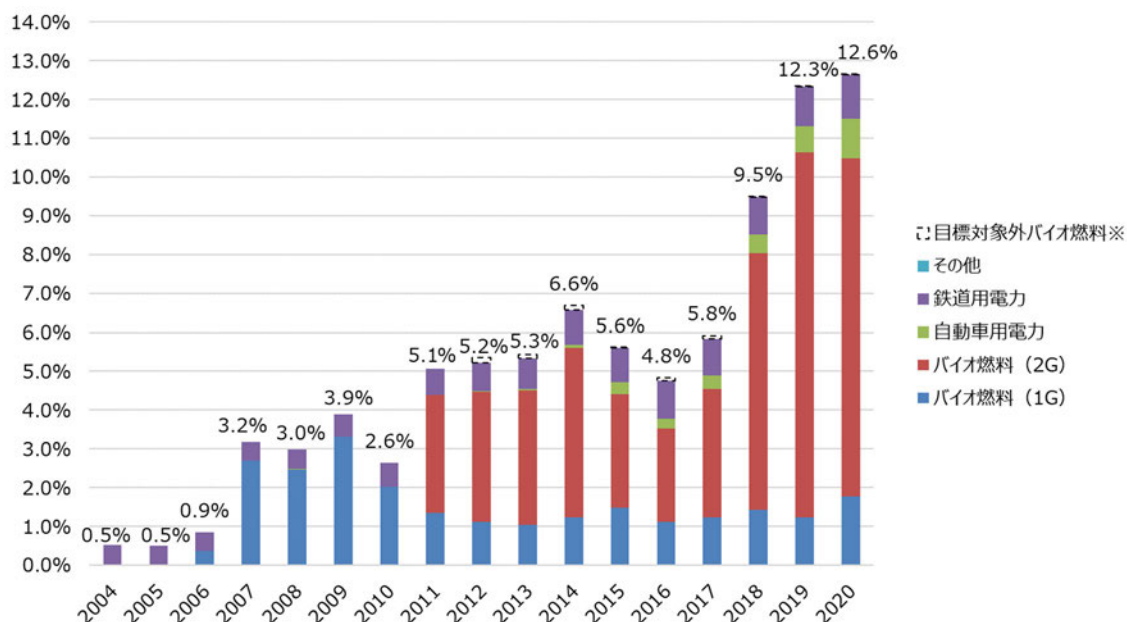


図 1-22 オランダにおける輸送用再生可能エネルギー比率推移

※目標対象外バイオ燃料:持続可能なバイオ燃料の基準を満たすことが確認できていないバイオ燃料

※Annex IX(次世代バイオ燃料)は 2 倍計上された値

出所)Shares 2020 Results, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> より MRI 作成

(2) バイオ燃料の内訳

オランダの輸送部門における持続可能なバイオ燃料は、図 1-23 に示すとおり、2017 年 303ktoe から 2018 年 507ktoe へと大幅に増加した。バイオディーゼル(FAME)の生産増加によるところが大きい。図 1-24 に示すとおり、次世代バイオ燃料(廃食油・動物性油脂)が占める割合が増え、6 割以上を占めている。

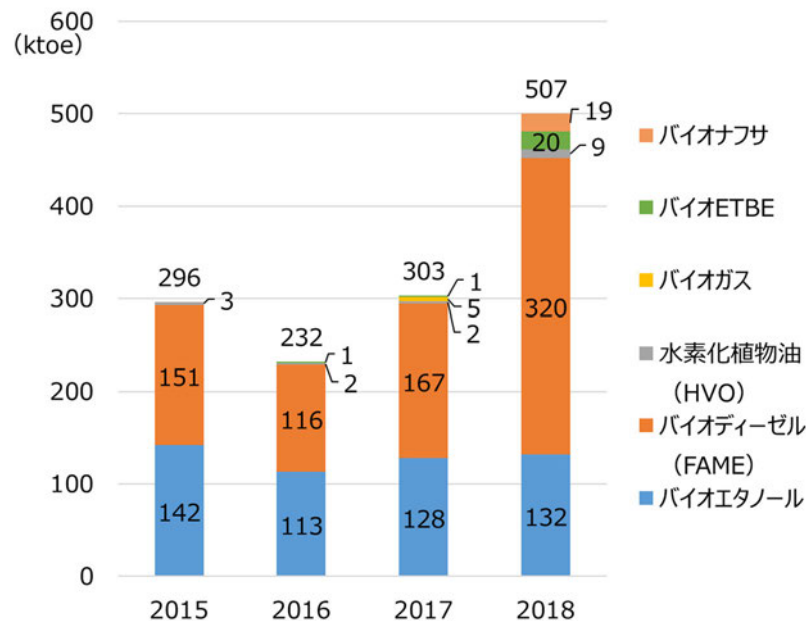


図 1-23 オランダにおける輸送用バイオ燃料の種類別構成(ktoe)

出所)Progress report Energy from renewable sources in the Netherlands 2017-2018 より MRI 作成

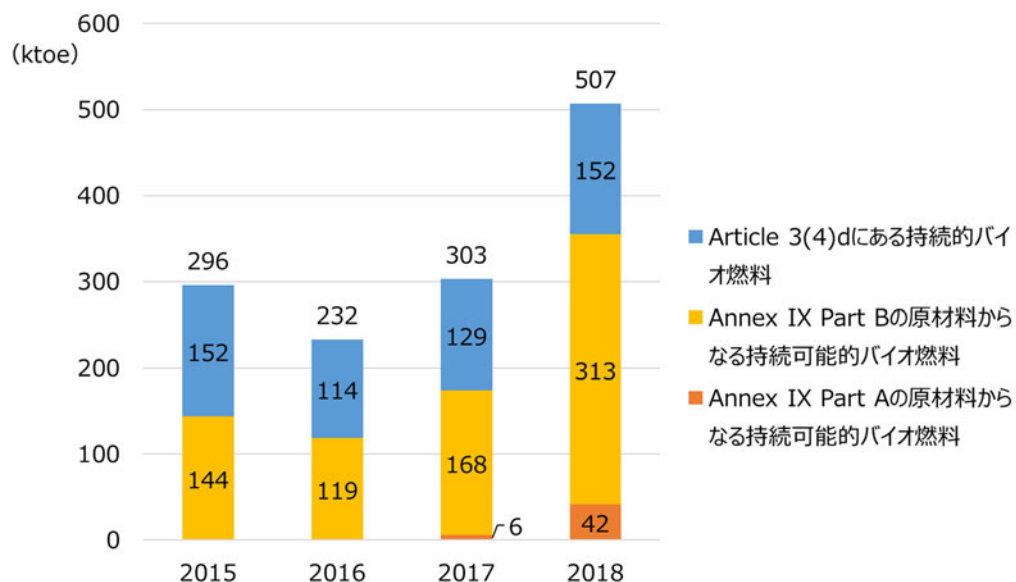


図 1-24 オランダにおける輸送用バイオ燃料の原料別構成(ktoe)

※Article 3(4)d:第1世代バイオ燃料、Annex IX Part B:導入上限付き次世代バイオ燃料(廃食油・動物性油脂)

出所)Progress report Energy from renewable sources in the Netherlands 2017-2018 より MRI 作成

(3) 次世代バイオ燃料の内訳

Annex IX Part A のバイオ燃料導入量は、バイオ燃料全体において占める割合は小さいが、2017 年の 6ktoe から 2018 年に 42ktoe と大幅に増加し全体の 1 割を占めるまでになった。2018 年には図 1-25 に示す通りパーム油工場排水、パーム空果房由来バイオ燃料と林業廃材中のバイオマスで過半数を占めている。

Annex IX Part B の大半は図 1-26 に示すとおり、廃食油が占めており、2017 年の 151ktoe から 2018 年には 274ktoe と増加している。

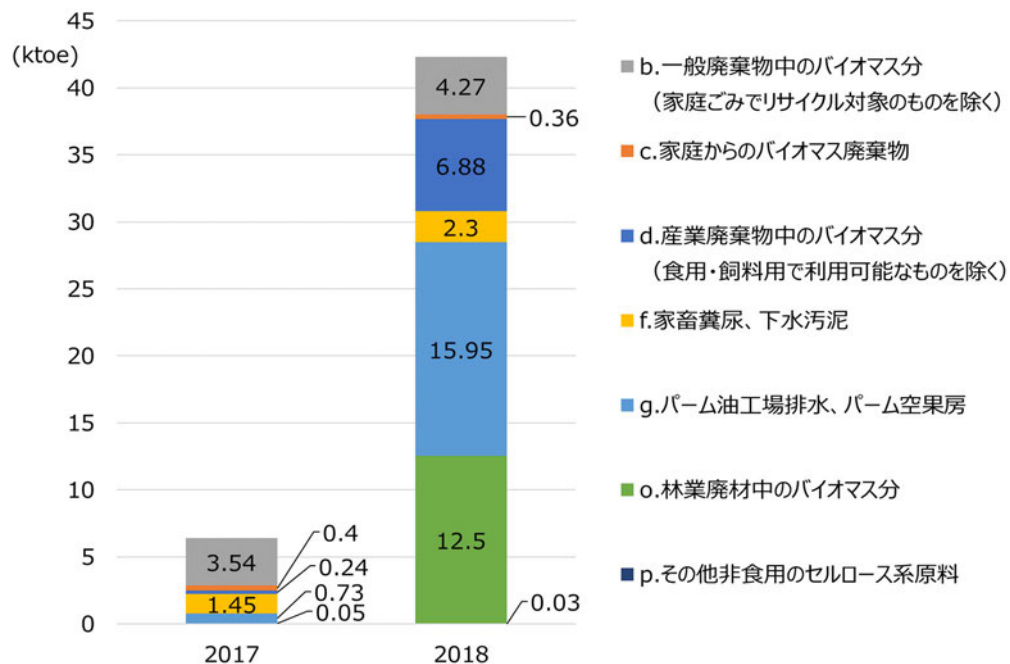


図 1-25 オランダにおける Annex IX Part A の原料別構成(ktoe)

出所)Progress report Energy form renewable sources in the Netherlands 2017-2018 より MRI 作成

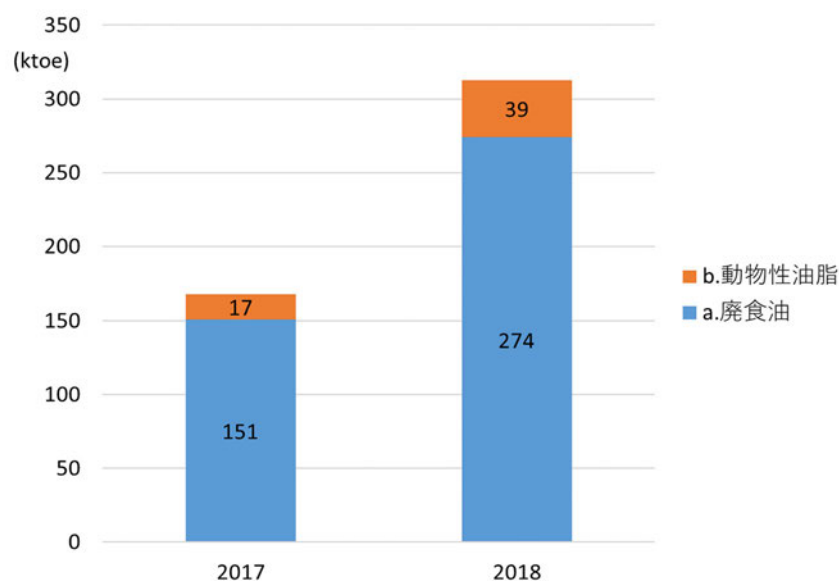


図 1-26 オランダにおける Annex IX Part B の原料別構成(ktoe)

出所)Progress report Energy form renewable sources in the Netherlands 2017-2018 より MRI 作成

1.10 スウェーデン

1.10.1 バイオ燃料の政策動向

スウェーデンは世界で初めて 1991 年に CO₂ 税を導入するなど、環境先進国である。バイオ燃料に関する政策一覧を表 1-39 に示す。これまでバイオ燃料に対する燃料税の免除額を広げることで、バイオ燃料の導入量を拡大してきた。免税措置の対象となるバイオ燃料は、RED I を元に政府が定めた持続可能性基準の達成が求められていた。しかし、これは「補助金」にあたるとして欧州委員会により禁止するよう求められ、免税措置から GHG 削減義務化に移行した。GHG 削減義務については、2018 年以降、ディーゼルとガソリンが義務の対象であったが、スウェーデン政府は、2021 年 7 月からジェット燃料も GHG 削減義務の対象とすることを発表した²⁰。また、2021 年 8 月 1 日から、E10 の導入が開始された。

表 1-39 スウェーデンにおけるバイオ燃料に関する政策

政策の名称	期待される結果	対象	開始日と終了日
エネルギー税と CO ₂ 税の変更 Changed levels of energy taxes	CO₂ 排出量を低減するため、環境運営が促進される	燃料生産者あるいは大規模事業者	2017 年 1 月 1 日に改正
ポンプ法 The Pump Act	すべての大規模なガソリンスタンドに少なくとも一つの再生可能燃料を供給することを義務付け、再生可能燃料の利用可能性を改善し、輸送部門における CO₂ 排出を削減	ガソリンスタンドの所有者	2005 年 12 月～
再生可能指令に定められた持続可能性基準の実施 Implementation of the sustainability criteria laid down in the Renewables Directive	- 持続可能なバイオ燃料とバイオ液体の利用を促進する政策 - バイオ燃料及びバイオ液体の持続可能性基準に関する法律(2010:598)	バイオ燃料・バイオ液体の供給者と消費者	2011 年～
排出削減義務 Emission Reduction obligation	化石燃料に対するバイオ燃料の混合率を上げることにより、GHG 排出削減	燃料販売者、消費者	2018 年 7 月 1 日開始 2021 年 7 月 1 日からジェット燃料も対象に

出所)Government Offices of Sweden, “Sweden’s fifth progress report on the development of renewable energy pursuant to Article 22 of Directive 2009/28/EC”, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/se_tr_into_eng_5th_progress_report_red_for_2017_and_2018.pdf(2022 年 2 月 7 日閲覧)
USDA, “European Union: Biofuel Mandates by Member States and UK - 2021”, <https://www.fas.usda.gov/data/european-union-biofuel-mandates-eu-member-state-and-united-kingdom-2021>(2022 年 2 月 7 日閲覧)より MRI 作成

²⁰ Anders Ygeman, Regeringens proposition 2020/21:135 Reduktionsplikt för flygfotogen (<https://data.riksdagen.se/fil/5BBB452E-16A1-478B-8D66-D6B6CF103106>, 2022 年 1 月 26 日最終閲覧)

(1) エネルギー税と CO2 税の変更

スウェーデンの燃料規格では、混合率上限をエタノール 10%、FAME7%と定めている。

エネルギー税についてはガソリンやディーゼルと同様に、体積あたりの課税(税率も同水準)である。CO2 税については、バイオ燃料は RED I の規定値に基づく排出量に応じて課税される(排出量あたりの税率はガソリン、ディーゼルと同水準)。

2018 年 7 月 1 日に GHG 削減義務が課せられることにより、これまで税免除の対象であった低濃度 FAME、エタノールが 100%課税されることとなった。一方、高濃度については 100%免税の対象となり、GHG 削減義務の計上対象外となる。

低濃度バイオ燃料も含めた免税措置について、液体燃料は 2018 年末まで、気体燃料は 2020 年末までの承認を欧州委員会より得ていたが、同期限を迎えるにあたって改定した。高濃度バイオ燃料については、免税措置の延長が承認されている。

表 1-40 削減義務開始によるバイオ燃料に課せられる税変化

バイオ燃料の種類		エネルギー税 (2018/7 以前→以後)	CO2 税 (2018/7 以前→以後)
バイオディーゼル (FAME)	低濃度 B7	36%免除→100%課税	100%免除→100%課税
	高濃度～100%	63%免除→100%免除	100%免除→100%免除
バイオエタノール	低濃度 E10	88%免除→100%課税	100%免除→100%課税
	E85	92%免除→100%免除	100%免除→100%免除
	ED95※	100%免除→100%免除	100%免除→100%免除
バイオガス、バイオ DME		自動車用燃料用途	100%免除→100%免除

※ディーゼルエンジンで使用できるエタノール燃料(95%エタノール+5%添加物)

出所)Government Offices of Sweden, Sweden's fourth progress report on the development of renewable energy pursuant to Article 22 of Directive 2009/28/EC より MRI 作成

(2) 排出削減義務

排出削減義務(Emission Reduction obligation)は 2017 年 9 月 14 日に提案され、2018 年 7 月 1 日より施行されている。ガソリンとディーゼルの供給業者は、バイオ燃料の混合率を高めることによって CO2 排出量を削減することを義務付けられている。2030 年までにディーゼル車とガソリン車の使用による GHG 排出量を少なくとも 40%削減することを目標として掲げており、これはバイオ燃料の占める比率が約 50%になることに相当する。

排出削減義務を履行しない燃料販売者には、未達分に応じて、ガソリンについては SEK 5/kgCO₂eq(€0.48)、ディーゼルについては SEK 4/kgCO₂eq(€0.39)の罰金が徴収される(SEK:スウェーデンクローナ、1SEK≒13 円)。また、バイオ燃料を全く混合していない化石燃料を販売している事業者は、ガソリンについては SEK 0.39/ℓ(€0.038)、ディーゼルについては、SEK 2.69/ℓ(€0.26)の罰金を支払わなければならない。

2018 年の GHG 削減義務は表 1-41 に示すとおり、ガソリンで 2.6%、ディーゼルで 19.3%であり、2020 年まで継続的に増加するものとされた。Bioenergy international によれば、2021 年 8 月 1

日から、ディーゼル車に対する削減率は 26%、ガソリン車に対する削減率は 6%へとそれぞれ引き上げられることとなった²¹。また、2021 年 7 月から導入されるジェット燃料に対する GHG 削減義務率は、2021 年に 0.8%と設定された後、2030 年に 27%まで引き上げられる見通しである²²。

表 1-41 GHG 削減率義務

	2018/7/1	2019/1/1	2020/1/1	2021
ガソリン	2.6%	2.6%	4.2%	6.0%
ディーゼル	19.3%	20.0%	21.0%	26.0%
ジェット燃料	-	-	-	0.8%

出所) Government Offices of Sweden, “Sweden’s fifth progress report on the development of renewable energy pursuant to Article 22 of Directive 2009/28/EC”, <https://bioenergyinternational.com/policy/sweden-to-introduce-e10-in-august-2021>(2022 年 1 月 26 日閲覧)

Anders Ygeman, “Regeringens proposition 2020/21:135 Reduktionsplikt för flygfotogen”, <https://data.riksdagen.se/fil/5BBB452E-16A1-478B-8D66-D6B6CF103106>(2022 年 1 月 26 日閲覧)

Bioenergy International, “Sweden to introduce E10 in August 2021”, <https://bioenergyinternational.com/policy/sweden-to-introduce-e10-in-august-2021>(2022 年 1 月 26 日閲覧)より MRI 作成

1.10.2 バイオ燃料の導入状況

(1) 輸送用燃料の動向

1) 再生可能エネルギー源別の導入状況

スウェーデンにおける輸送用再生可能エネルギーの比率は図 1-27 に示すとおり、2020 年時点で 32.4%と、2020 年目標である 10%を既に大幅に上回っている。

2016 年には、第 2 世代が第 1 世代を上回り、バイオ燃料の半分以上の割合を占めていたが、2017 年以降は再び第 1 世代の割合が第 2 世代の割合を上回っている。

²¹ Bioenergy International, “Sweden to introduce E10 in August 2021”, <https://bioenergyinternational.com/policy/sweden-to-introduce-e10-in-august-2021>(最終閲覧日:2022 年 1 月 26 日)

²² Anders Ygeman, “Regeringens proposition 2020/21:135 Reduktionsplikt för flygfotogen” <https://data.riksdagen.se/fil/5BBB452E-16A1-478B-8D66-D6B6CF103106>(最終閲覧日:2022 年 1 月 26 日)

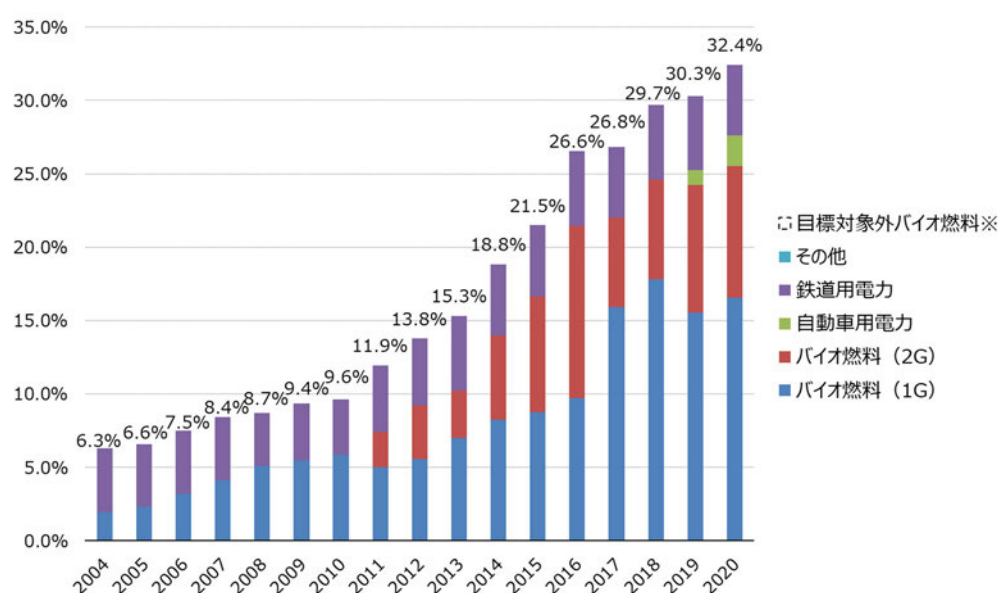


図 1-27 スウェーデンにおける輸送用再エネ比率推移

※目標対象外バイオ燃料:持続可能なバイオ燃料の基準を満たすことが確認できていないバイオ燃料

出所)Shares 2020 Results, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> より MRI 作成

2) バイオ燃料の内訳

スウェーデンの輸送部門における持続可能なバイオ燃料は、図 1-28 に示すとおり、2017 年 1,376ktoe から 2018 年 1,500ktoe へ増加した。この増加には、バイオディーゼル(FAME)が 1.5 倍に増加したことが寄与している。原料別構成をみると(図 1-29)、Article3 4(e)由来のバイオ燃料(Annex IX に載っていない次世代バイオ燃料)の占める割合が大きい。

バイオ燃料の成長は当初バイオエタノールによるものであった。これは大規模なガソリンスタンドが少なくとも一つのポンプにバイオ燃料オプションを提供することを義務付けた「ポンプ法」によって実現した。近年、バイオディーゼルは水素化植物油(HVO)の急速な成長により道路輸送における主要バイオ燃料となっている。

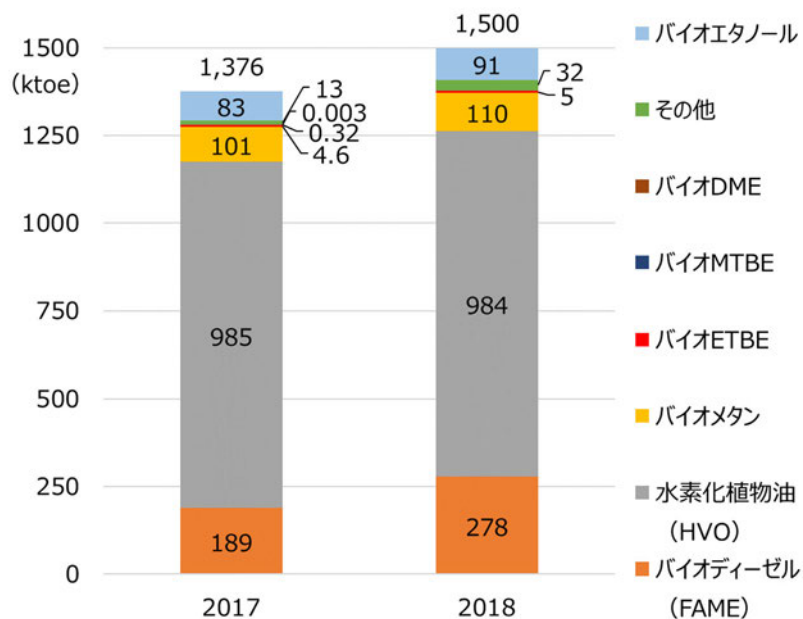


図 1-28 スウェーデンにおける輸送用バイオ燃料の種類別構成(ktoe)

出所)Sweden's fifth progress report on the development of renewable energy pursuant to Article 22 of Directive2009/28/EC より MRI 作成

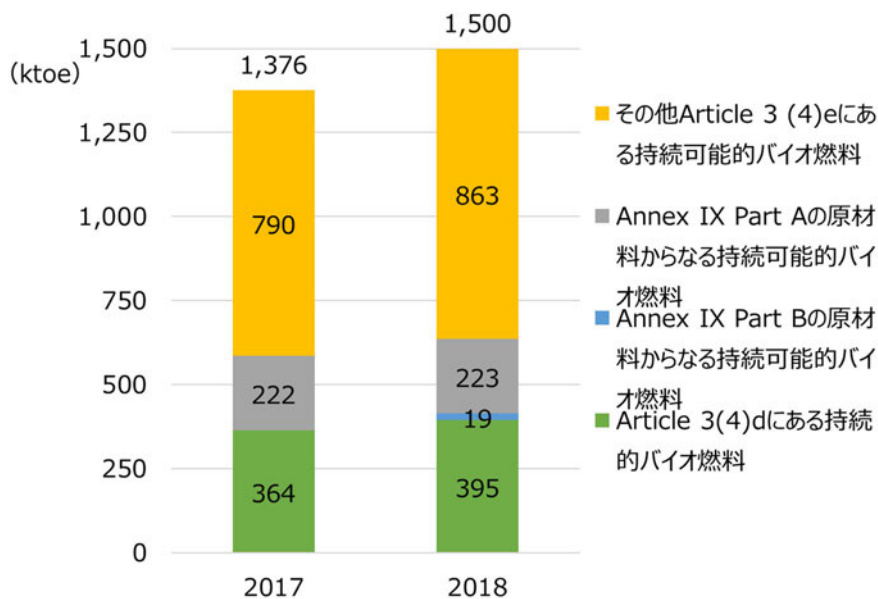


図 1-29 スウェーデンにおける輸送用バイオ燃料の原料別構成(ktoe)

出所)Sweden's fifth progress report on the development of renewable energy pursuant to Article 22 of Directive2009/28/EC より MRI 作成

3) 次世代バイオ燃料の内訳

Annex IX Part A のバイオ燃料導入量内訳を図 1-30 に示す。図 1-29 は持続可能性が検証されたバイオ燃料のみを計上しているため、合計の数値は一致しない。

2017 年には林業廃材中のバイオマスが過半数を占めていたが、林業廃材の微減とその他バイオマスの増加によって占める割合が半分を切る事となった。

Annex IX Part B のバイオ燃料導入量内訳を図 1-31 に示す。図 1-29 は持続可能性が検証されたバイオ燃料のみを計上しているため、合計の数値は一致しない。

2017 年には Annex IX Part B の原材料からなるバイオ燃料はゼロであったが、2018 年には 22.5ktoe まで増加している。

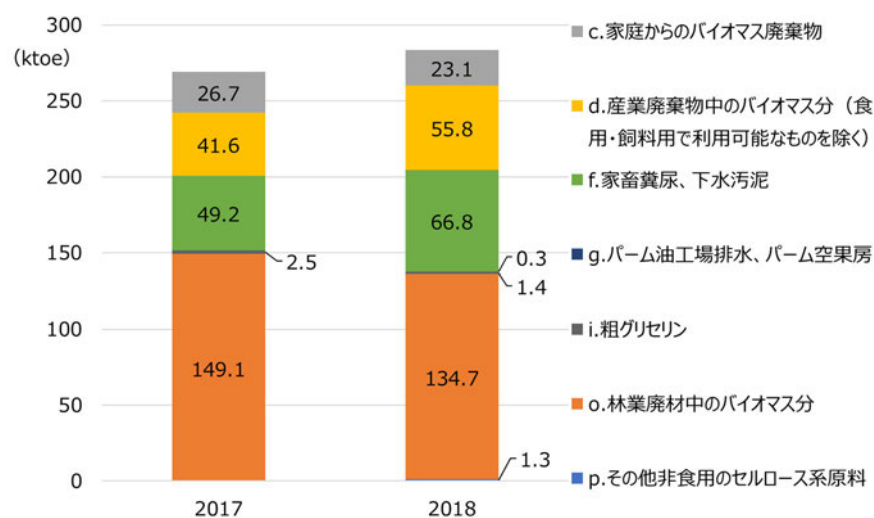


図 1-30 スウェーデンにおける Annex IX Part A の原料別構成(ktoe)²³

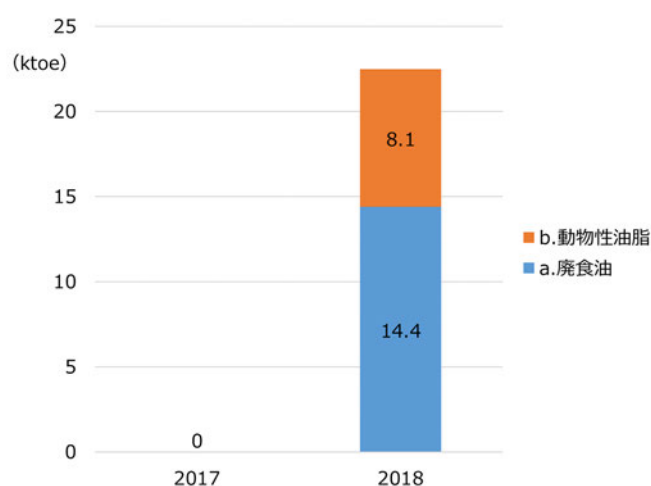


図 1-31 スウェーデンにおける Annex IX Part B の原料別構成(ktoe)。

出所)Sweden's fifth progress report on the development of renewable energy pursuant to Article 22 of Directive 2009/28/EC より MRI 作成

²³図 1-29 は持続可能性が検証されたバイオ燃料のみを計上しているため、合計の数値は図 1-30、図 1-31 とは一致しない。

1.11 ノルウェー

1.11.1 バイオ燃料の政策動向

ノルウェーはEUに加盟していないもののEU再生可能エネルギー指令に準拠しており、道路輸送用燃料については液体バイオ燃料の供給義務がある。国内の混合義務率は2015年に5.5%であったが、2017年には7%に引き上げられた。その結果、2017年の混合率は16%となった。2020年のバイオ燃料混合義務は20%であり、先進型バイオ燃料の混合義務は4%である（先進型の2倍計上を含む）。

2015年10月1日以前は持続可能性の基準を満たしたバイオディーゼルはディーゼル燃料の半分の税率に相当する道路使用税の減免の対象となった。バイオエタノールは50%を超える混合率の場合、道路使用税は免除される。混合率が低い場合、バイオエタノールにはガソリンと同じ道路使用税がかかる。ただし、義務量を超えて販売される量については同じ日付以降道路使用税を免除されることになる。2020年7月1日以降、道路輸送で使用されるバイオ燃料はすべて道路使用税の対象となる。

ノルウェー政府は、2022年からoff-road用ディーゼルと船舶用燃料に対するバイオ燃料供給義務を開始することを計画しており、様々な輸送方法に対する混合義務を今後、2年おきに見直す述べている。また、近年、フィンランドやスウェーデンと同様に、ノルウェーではセルロース系物質や廃棄物由来の先進型バイオ燃料の生産が進展している²⁴。

1.11.2 バイオ燃料の導入状況

（1）再生可能エネルギー源別の導入状況

ノルウェーにおける輸送用再生可能エネルギーの比率は図1-32に示すとおり、2016年時点で14.0%と2020年目標10%を既に大幅に上回っている。2018年には第1世代バイオ燃料が減少し前年と比べて減少したが、2020年には第2世代バイオ燃料が増加し、過去最高となっている。

²⁴ USDA, “Government of Norway Publishes Comprehensive Climate Report”, https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Government%20of%20Norway%20Publishes%20Comprehensive%20Climate%20Report_The%20Hague_Norway_03-12-2021 (2022年2月7日閲覧)

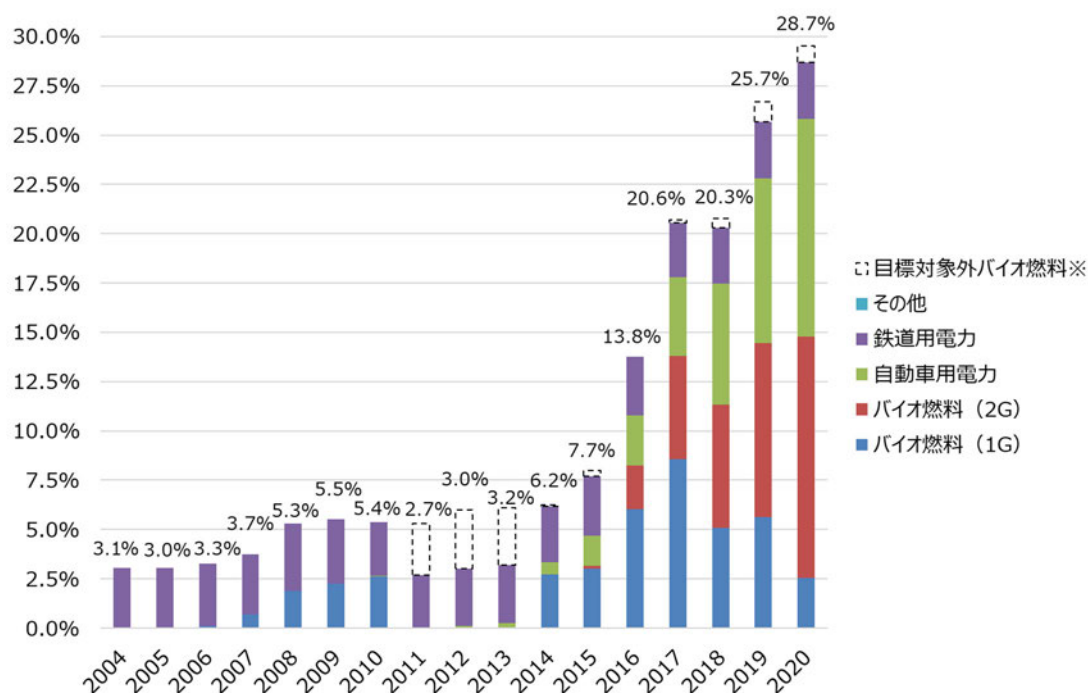


図 1-32 ノルウェーにおける輸送用再エネ比率推移

※目標対象外バイオ燃料:持続可能なバイオ燃料の基準を満たすことが確認できていないバイオ燃料

出所)Shares 2020 Results, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares> より MRI 作成

(2) バイオ燃料の内訳

ノルウェーの輸送部門における持続可能なバイオ燃料は、図 1-33 に示すとおり、2017 年 502ktoe から 2018 年 390ktoe へと 2016 年の水準まで減少した。この減少には、バイオディーゼル(第1世代)の半減によるものである。

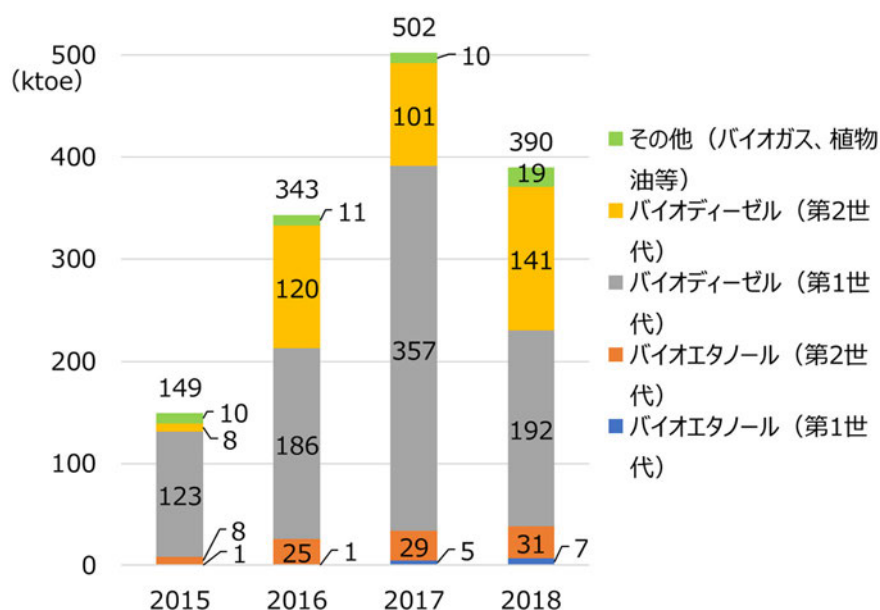


図 1-33 ノルウェーにおける輸送用バイオ燃料の種類別構成(ktoe)

出所)Annex 4: 2017/2018 report より MRI 作成

1.12 中国

1.12.1 バイオ燃料の政策動向

バイオ燃料は、中国の環境を保護し、資源を保全し、輸入エネルギーへの依存を軽減する長期戦略計画の一要素である。しかしながら、中国の政策立案者が野心的な排出目標や政策などにより関心を寄せているのは専らエタノールである。エタノールに関しては、野心的な排出目標と政策に加えて、大気汚染に対処するための複数の国家イニシアティブがある。一方、バイオディーゼルに対する支援(義務、生産者への補助金、価格付け政策)は 2021 年現在、依然として目立ったものは存在せず、政策議論から置き去りにされている。

(1) 第 13 次 5 カ年開発計画

中国政府は 2016 年 10 月 24 日、2020 年までにバイオエタノールを 5,068 百万 L、バイオディーゼルを 2,272 百万 L 生産するという目標を発表した。

2017 年 9 月 13 日には、国家発展改革委員会(NDRC)、国家能源局(NEA)、金融省(Ministry of Finance)と 12 の省庁が輸送分野におけるエタノールの生産・販売を拡大する計画を発表した。これには、2020 年までにガソリン燃料にエタノールを 10%混合するという全国的な目標や、2025 年までに商業規模のセルロース系エタノールへの移行を提案するものが含まれている。商業規模のセルロース系エタノール生産の数値目標は発表されていない。

現在に至るまで、エタノール燃料の生産キャパシティ拡大のペースは加速しているものの、環境規制や技術的な制限に関連して、多くの逆風に直面している。

(2) 青空 3 年計画(Blue Sky Protection Plan 2018)

2018 年 7 月 3 日、二酸化硫黄と窒素酸化物の排出量を 2015 年比で少なくとも 15%削減し、PM2.5 の濃度を 2020 年までに 2015 年比 18%引き下げることを目標とした「青空 3 年計画 2018」を発表した。

この一環として中国環境省(Ministry of Ecology and Environment, MEE)は、2018 年 6 月 28 日より、すべての新型乗用車・大型トラックの燃費基準を 2020 年 7 月 1 日から全国的に引き上げることを発表した。2019 年にはバイオディーゼル燃料混合物を使用して雲南省で試験走行した大型トラックは、中国 VI 排出基準を満たすディーゼル燃料と比較して、燃料コストやエンジン性能に不利になることなく、より PM2.5 の濃度を下げ、温室効果ガスの削減に効果があると結論づけた。

MEE は 2020 年 5 月に、主要都市での PM2.5 の濃度は依然として国際基準値の上限を上回っていると発表している。

(3) E10 について

2017 年 9 月 13 日に NDRC・NEA・経産省・そしてその他 12 の省により、2020 年までに中国全土におけるバイオエタノールの混合率を 10%まで引き上げることが宣言された。2 年後、2019 年 12 月に中国メディアにより E10 の義務化が延期されるだろうということが報道され、当時時点での混合率

の継続に留まるとした²⁵。報道の背景としては、2017 年からの成長度合いを鑑みると、2020 年に全ての生産工場が 100%稼働したとしても最大混合率は 4%にとどまるためである。

2021 年現在でも、E10 の全国的な目標はない。また、中国の承認された燃料エタノールプロジェクトの全てが 2021 年に操業を開始し、中国国内のトウモロコシ在庫が燃料エタノール生産の拡大に長期的に安定して利用されたとしても、燃料エタノール総生産量はわずか E4 にしか到達しない。

2021 年 2 月、NEA が発表した Key Tasks for Energy Regulation in 2021 では、ガソリン販売会社に対し、規則に従ってバイオ燃料を販売すること等が要請されるとともに、もともとの全国的な E10 エタノールガソリンの促進が、段階的な移行計画にシフトすることが示された。このため業界筋は、中国政府は現段階で E10 エタノールガソリンを完全あるいは部分的に導入することができる既存の省や地方政府に今後も注力し、他地域への E10 義務を数回に分けて拡張することにより、国家全体の E10 計画を延期すると見ている。中国の E10 という野心的な計画は実行可能ではなく、目標と政策は文書には記載されていても、現段階で完全に実施されることは決していない。

(4) 国家 GHG 排出削減目標とバイオ燃料の関係

習近平国家主席は、2020 年 12 月の国連気候野心サミットにおいて、2030 年までに中国の二酸化炭素の排出量はピークを迎え、その後減少させることを国際的に約束した。また、2021 年 7 月 16 日、中国は排出取引システム(ETS)を開始した。同 ETS が対象とする企業の排出量は年間 40 億トンを上回ると予想されており、GHG 排出量の観点からすれば、世界の排出量のおよそ 12%を占める世界最大の市場である。バイオ燃料はこの目標を達成するための手段となり得るが、この目標に関連するバイオ燃料の特定の指令や言及はこれまでなされていない。

2021 年 3 月に発行された 14th FYP for Economic and Social Development (2021-2025)の骨子は、2021 年から 2025 年の期間において、CO₂ 排出原単位を経済全体で 18%減少させ、エネルギー原単位を 13%減少させるというものである。これには、都市大気汚染への対応の強化も含まれている。燃料用エタノールとバイオディーゼルがこれらの目標への達成に向けてどの程度利用されるかについては、不透明である。

(5) バイオディーゼルの追加関税(HS 27102000 及び HS 38260000)

2018 年 8 月 23 日、中国は 1~30%のバイオディーゼルを含む米国産石油(バイオディーゼル混合率上限 30%の石油、HS 27102000)に 25%の追加関税を課すと共に、30~100%のバイオディーゼルを含む米国産石油に対する関税を 6.5%から 31.5%に引き上げた(HS38260000)。

(6) 税制優遇

2017 年に、中国の税務局は、エタノール製品の輸入に適用される有効付加価値税(VAT)を 13%から 11%に引き下げた。使用済みの動植物油から作られたバイオディーゼルの輸出は 70%の付加価値税の払い戻しを受ける。適格生産者は、関連する製品の課税所得から 90%の割引を受けることがで

²⁵ S&P Global Platts, “Interview: China to keep ethanol program steady, national blend rate seen at 4%: US Grains Council”, <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/agriculture/093020-interview-china-to-keep-ethanol-program-steady-national-blend-rate-seen-at-4-us-grains-council>(2022 年 2 月 10 日閲覧)

きる。国内でのバイオディーゼルの使用を支援するために、税務当局は使用済み食用油(UCO)を用いて生産された B100 バイオディーゼルに対する消費税を免除する政策を発表した。

2020 年 2 月 18 日、中国は報復セクション第 301 条により影響を受ける米国農産物に対する新たな追加関税の適用免除措置を発表した。その中で、変性エタノール(HS Code: 22072000)は対象品目に含まれており、免除を申請する輸入業者に対して、米国産の燃料エタノールの関税を 70%から従来の 45%に引き下げるものとなっている。ただし、追加関税の免除は個別の輸入業者に対して承認されるのであって、自動的にすべての輸入業者に適用されるわけではない。未変性エタノール(HS Code: 22071000)は対象品目に含まれてはいないが、適格輸入業者はこの製品の追加関税免除も申請することもできる。

1.12.2 バイオ燃料の導入状況

(1) バイオエタノールの導入状況

中国は米国、ブラジル、EU に次ぐ世界第 4 位のエタノール生産・消費国であるが、消費においては、2020 年にはカナダに抜かれ 5 位となると予想されている。2015 年までは輸入が禁止されており、輸出のために中国が余剰生産を行うことはほとんどなかった。中国政府は E10 を実施する行政区域を倍増し、生産能力を拡大するために投資を行っており、エタノールとガソリンの混合を拡大している。しかし、短期的な構造的課題と長期的な原料供給の課題に直面しており、E10 を達成するのに十分なエタノール燃料を生産することはできないとみられている。

2021 年のエタノール燃料の消費量は 42 億 L となり、2020 年より 3 億 7,700 万 L 増加すると見込まれている。これは、E10 の拡大が非公式に延期されたにもかかわらず、最大で E10 の混合義務を果たすために E10 のパイロットプログラムが既に存在する地域に対する政府からの監視が強化されたことに一部起因している。2021 年の国全体のエタノール燃料の混合率は 2.1%となると予想されており、これは 2020 年よりもわずかに高い値だが、10 年前に 2.8%を達成していたことと比較すると大幅に低い。

2021 年の中国のエタノール生産量は 34 億 L となり、前年から 3 億 8,000 万 L 減少すると予想されている。2021 年上半期、原料となるトウモロコシ価格の上昇により、中国のエタノール生産における理論上の収益は 1 トン当たりマイナス 110 米ドルにまで減少した(2020 年の同時期には 1 トン当たりマイナス 91 米ドル)。また、2021 年の稼働率は、前年から 15%減少し、42%となると見込まれている。とはいえ、海外/国内のガソリン価格の上昇と、国内トウモロコシ価格の下落傾向を踏まえれば、2021 年下半期の生産収益性は改善される可能性がある。

中国のエタノール燃料の 80%以上は穀物(主にトウモロコシ、米)を原料とし、10%はキャッサバとサトウキビを原料としている。2018 年から 2020 年までのエタノール燃料の拡大のほとんどは、中国のトウモロコシを原料とする 8 つの主要なエタノール生産工場の生産量増加に伴うものである。

表 1-42 中国の燃料用バイオエタノールの生産・消費量(千 kL)

	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	0	0	0	0	0
生産量	3,041	2,914	4,339	3,801	3,421
輸入量	8	759	0	63	800
輸出量	3	35	7	21	1
消費量	3,046	3,638	4,332	3,843	4,220
期末在庫	0	0	0	0	0

表 1-43 中国の燃料用バイオエタノールの生産能力(千 kL)

	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	11	12	14	20	22
生産能力	4,200	5,000	5,257	6,578	7,720
稼働率	72%	58%	83%	57%	42%

*2021 年は見通し

出所)USDA, China: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

(2) バイオディーゼルの導入状況

税制上の優遇措置が限定的かつ効果的ではないこと、その他の経済的インセンティブあるいは、LCA で計測される化石燃料ディーゼルのより大きな炭素含有量に罰則を与える混合義務あるいは炭素市場に対する見込みが薄いこと、そして国内で利用可能な原料は UCO に限られており、供給を支援するために新しいサプライチェーンが必要であることから、中国のバイオディーゼル市場は非常に限定的であり、低価格のディーゼルと価格競争をすることはできないと言える。

2013 年から 2014 年にかけて、指標原油価格が 1 バレルあたり \$100 を超えた時点でバイオディーゼルの需要は拡大した。当時、バイオディーゼルの消費量は、国内生産と輸入によって均等に供給され、過去最高の 21 億 L(180 万トン)に達した。しかし、2015 年には原油価格が暴落し、利鞘がマイナスに転じ、任意のバイオ燃料混合物は姿を消した。2018 年から 2019 年にかけて中国のバイオディーゼルの需要は回復したが、2013 年、2014 年のピークレベルを下回ったままである。

2019 年後半、ブレント原油と ICE(内燃機関)ディーゼル燃料の価格が安定したことと、パーム油の価格上昇によりインドネシアやマレーシアからのパーム油バイオディーゼルの価格が上昇したことを受けて、それらの国のバイオディーゼルに対する中国の裁量消費需要は激減した。バイオディーゼルに対する中国国内需要は、2021 年には前年度よりもわずかに上向くと予想されているが、それでも COVID-19 以前の 2019 年からは大幅な減少となる。

表 1-44 中国のバイオディーゼルの生産・消費量(千 kL)

	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	0	0	0	0	0
生産量	1,043	834	939	1,455	1,700
輸入量	18	853	953	102	114
輸出量	194	357	752	1,035	1,250
消費量	867	1,330	1,140	522	564
期末在庫	0	0	0	0	0

*2021 年は見通し

出所)USDA, China: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

表 1-45 中国のバイオディーゼルの生産能力(千 kL)

	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	46	44	40	42	44
生産能力	2,680	2,680	2,680	2,726	2,800
稼働率	38.9%	31.1%	35.0%	53.4%	60.7%

*2021 年は見通し

出所)USDA, China: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

1) 消費

2021 年のバイオディーゼル消費量は 5 億 6,400 万 L と推定され、2020 年からは殆ど変化していないが、2019 年の水準からは 50% の減少となる。この落ち込みは中国での最終消費需要が 2019 年 10 月より落ちはじめ、2020 年と 2021 年には実質ゼロとなったためである。中国では他国と違いバイオディーゼルの主な用途は発電、漁船、農機具の燃料であり、陸上輸送が需要において占める割合は全体の約 1/3 にとどまる。

2020 年の報告では、Sinopec と CNPC が国内のバイオディーゼルの輸出のために購入し始めたことあり、中国産バイオディーゼルの品質が中国の国有企業(State Owned Enterprises: SOEs)²⁶に認められた事示している。また、2020 年 4 月にはネット通販などの輸送トラックが通常運営に戻り、ディーゼル全体の需要は COVID-19 前に戻っている。

2) 生産

中国のバイオディーゼル生産の主な原料は、廃食用油(UCO)である。2010 年に NDRC が UCO reutilization and disposal pilot program を開始して以降、100 以上のパイロット地域が特定されてきた。

2021 年現在、バイオディーゼルプログラムを実施している地方自治体は上海のみである。2017 年 10 月、Sinopec Shanghai はパイロットプログラムの一環として、B5 ディーゼルを通常のディーゼル

²⁶ 2020 年の世界のトップ企業 500 社のうち、117 社が中国に本社を持つ企業であり、そのうち 91 社が中国の国有企業(SOEs)であった。中国の国有企業は世界で最多であり、15 万社に上る。(CGTN, Explainer: Why does China have so many state-owned enterprises?, <https://news.cgtn.com/news/2021-06-14/Explainer-Why-China-has-so-many-state-owned-enterprises-115vt8ntcZ2/index.html>, 2022 年 3 月 9 日閲覧)

に対して 1L あたり 0.05 ドル(0.3 元)割引で提供を開始した。B5 が市場に完全に普及すれば、B5 を 6 億 8,200 万 L(60 万トン)も消費することになる(B100 バイオディーゼルでいえば 3400 万 L)。上海のプログラムはこれまで他の地方自治体がバイオディーゼルの義務化が失敗してきた歴史を覆そうとしている。現在、上海市はバイオディーゼルの混合工場を 3 件設立し年間 40–60 万トンの B5 ディーゼルを市内の 243(Sinopec の市内のガソリンスタンドの約 41%)のガソリンスタンドに供給している。

2021 年のバイオディーゼル生産量は 17 億 L と推定されている。これは 2020 年に比べて 54%以上の増加であり、強い輸出能力によって支えられている。2020 年以降、脂肪酸メチルエステル(FAME)の年間生産能力は、25 億 L 以上となっている。水素化由来再生可能ディーゼル(HDRD)の年間生産能力は、13 億 L を超えているが、2021 年現在、さらに 13 億 L の生産能力を追加する計画がある。HDRD 生産工場の殆どが、ヨーロッパへの輸出志向型経営を実施している。

中国のバイオディーゼル生産計画は、当初より UCO を食品利用せず、食品の安全性に対する懸念を和らげることを目指していた。中国におけるバイオディーゼルの原料は依然として UCO に完全に依存し続けている。一部の小規模な食用油ブローカーは、一般に「地溝油(gutter oil)」として知られる廃食用油と食用油をブレンドしたものを、レストランで使用するために転売している。2020 年に、中国は、地溝油と食肉加工からの廃棄油を含む 1,000 万トン以上の UCO を生産した。一般的に、約 0.9–0.98 トンの UCO から 1 トンのバイオディーゼルを生産できる。

COVID-19 の影響により、多くの飲食店が営業を停止したため、UCO の供給は大幅に落ち込んだ。一方で、家庭での食用油の使用量が増加したため、酸化油の供給は増加した。それにより、酸化油を原料としてディーゼルを生産できる工場は生産量を維持できている。

中国科学院(CAS)によると、2015 年のバイオディーゼル生産能力は 3,420–39 億 9,000 万 L (3–350 万トン)であった。2021 年現在の生産能力は約 27 億 L であり、設備利用率は 50%強である。

3) 貿易

a. 輸入

2021 年のバイオディーゼルの輸入量は、2014 年以来の最大値であった 2019 年の 9 億 5,300 万 L から大幅に減少し、2020 年と同水準の 1 億 1,400 万 L となると予測されている。輸入の 90%以上がインドネシアとマレーシアからパーム油由来バイオディーゼルであると報告されている。

b. 輸出

2020 年には、1 月から 5 月にかけて前年比で 75.8%の急成長を遂げた。その多くは EU への輸出である(EU の方針で廃棄物由来のバイオディーゼルへの需要が高いため)。COVID-19 は EU への輸出に対してあまり大きな影響を与えなかった。これは、中国の輸出量が EU におけるバイオディーゼル需要量のうちのわずか 3–5%であるためである(2021 年も同様の割合)。中国のトップ輸出企業 4 社によると 2020 年 2 月時点で EU への輸出は変わらず続いていると述べている。

2021 年も EU からの旺盛な需要により、中国のバイオディーゼル輸出業にとって好調な年となった。バイオディーゼルの国内平均価格は 2021 年はじめに 1 トン当たり 8,000RMB へと到達し、水素化由

来再生可能ディーゼル(HDRD)の価格はさらに高騰した。(RMB:人民元、1 RMB≒17 円)2021 年のバイオディーゼル価格は、国内市場ではもはや購入しやすい価格ではないが、ヨーロッパへの輸出については依然として競争力がある。これには、RED 政策において、多くの加盟国が各国の再生可能エネルギー目標に対して廃棄物由来のバイオ燃料の二重計上を許可していることが影響している。2021 年 1 月から 5 月において、中国のバイオディーゼル輸出は、2020 年の流れを引き継ぎ、前年比で 17.3% 増加した。

(3) バイオジェット燃料の導入状況

2012 年 9 月、Sinopec(中国石油化工集団)は Airbus と提携し、杭州製油所の独自の処理技術に基づいて中国国家規格「#1 バイオジェット燃料」を開発した。2017 年 11 月には Boeing と Sinopec が中国の海南航空と提携し、UCO 由来のジェット燃料を Boeing787 ドリームライナーに供給し、11,000 キロメートルのフライトを行った。海南航空は以前、2015 年にバイオ燃料ベースのフライトを実施していた。2019 年 9 月、Sinopec 主導で航空用バイオ燃料製造のための準備段階に入り、工業的生産への足掛けとした。

ただし、2021 年現在、中国では米国や EU のようなバイオジェット燃料への政策的支援がなく、商業フライトにおける SAF の購入契約はない。

1.13 インド

1.13.1 バイオ燃料の政策動向

(1) National Policy on Biofuels 2018

2018年6月4日、インド政府石油天然ガス省(MoPNG)は、「バイオ燃料に関する国家政策 2018 (National Policy on Biofuels 2018)」を正式に公示した。連合内閣の承認を得て2018年5月16日に施行された。この政策は、インドのバイオ燃料の利用、方針、貿易、販売戦略を管理する中心的な政策である。

この政策は当初、2030年までにバイオエタノールのガソリン混合率を20%、バイオディーゼルのディーゼル混合率を5%とすることを目標として掲げていた。しかし、2021年1月にインド政府はバイオエタノールのガソリン混合率を20%とする目標を、2030年から2025年に前倒しすると発表した²⁷。一方で、バイオディーゼル混合率に直近の混合目標は無く、2030年までに5%とする目標は据え置いている。インド政府は下枠の3つの取組を通じて、これらの目標を達成する道筋を描いている。

- 国内バイオ燃料生産の成長(第一世代、第二世代、第三世代)
- 複数原料の使用(国家バイオマスレポジトリの作成)
- エネルギー及び交通分野における、ガソリンやディーゼルを補うバイオ燃料混合(固定施設及び車両用途)

新しい政策の主な焦点は、国産原料由来バイオ燃料の入手を確実にすることである。この方向への一歩として、国家バイオマスレポジトリ(National Biomass Repository)を作成するために、国内におけるバイオマス評価の実行を計画している。

表 1-46 バイオ燃料の定義

項目	定義
バイオエタノール	サトウキビ、テンサイ、スイートソルガムなどの糖含有材料などのバイオマスから製造されるエタノール。キャッサバ、腐ったジャガイモ、藻類などのデンプン含有材料から製造されるエタノール。バガス、木材廃棄物、農業および林業残渣などのセルロース系材料、あるいは産業廃棄物などの再生可能な資源から製造されるエタノール。(2020年、EBPにおいて余剰米、トウモロコシも原料として認められることとなった。)
バイオディーゼル	非食用植物油、酸性油、使用済み食用油または動物性脂肪から製造された脂肪酸のメチルまたはエチルエステル。
先進バイオ燃料	1. リグノセルロース系原料(すなわち、農業用および林業用残渣、例えば、米および小麦藁／トウモロコシの穂軸およびストーバー／バガス、木質バイオマス)、非食用作物(すなわち、草、藻類)から製造される燃料。

²⁷ 2030年目標を2025年までに早める一方で、2022年までに混合率を10%とする直近の目標は据え置くこととしている。

	2. CO₂ 排出量が少なく、GHG 削減量が大きく、土地利用に関して食用作物と競合しないもの。第 2 世代(2G)エタノール、ドロップイン燃料、藻類ベースの 3G バイオ燃料、バイオ CNG、バイオメタノール、バイオメタノール由来のジメチルエーテル(DME)、バイオ水素、MSW を使用したドロップイン燃料原材料/原料は「先進バイオ燃料」として認定される。 (ア) ドロップイン燃料: バイオマス、農業廃棄物、都市ごみ(MSW)、プラスチックごみ、産業廃棄物など、モータースピリット(MS)に関するインドの基準を満たす廃棄物、高速ディーゼルから製造される液体燃料(HSD)およびジェット燃料は、純粋なまたは混合された形で、エンジンシステムに変更を加えることなくその後の車両での利用のために存在し、既存の石油分配システムを利用することができる。 (イ) バイオ CNG: その組成とエネルギーポテンシャルが化石ベースの天然ガスのそれと類似しており、農業残留物、動物の糞、食品廃棄物、MSW および下水から生成されるバイオガスの精製形態。バイオ燃料の生産のための潜在的な国内原材料は以下のとおり。 ① エタノール生産: B-モラセス、サトウキビ、草のバイオマス (biomass in the form of grasses)、農業残渣(稲わら、綿茎、とうもろこしの穂軸、おがくず(saw dust)、バガスなど)、テンサイ、スイートソルガムなどの砂糖含有材料、およびとうもろこし、キャッサバ、腐ったジャガイモなどのデンプン含有材料、小麦や砕いた米などの損傷食品穀物、および入手可能な余剰食品穀物。藻類原料および海藻の栽培も、エタノール生産のための潜在的原料であり得る。 ② バイオディーゼル生産: 非食用油糧種子、使用済み食用油(UCO)、動物用獣脂、酸性油、藻類原料など ③ 先進バイオ燃料用: バイオマス、および MSW
--	---

(2) バイオ燃料の輸出入規制

2018 年 8 月 21 日、商工省(MOCI)はバイオ燃料(エタノールとバイオディーゼル)の輸入政策を改訂する通知(通知番号 27/2015-2020)を発行した。国家バイオ燃料政策にしたがって、輸入政策は現在「自由」から「制限付き(restricted)」に改訂され、実際のユーザベースでの非燃料目的(工業用及び化学用)のエタノール輸入が許可されている。輸出政策についても、2018 年 4 月 28 日に MOCI が改訂を通知し(通知番号 29/2015-2020)、「自由」から「制限付き」に改訂された。輸出は許可されているが、非燃料目的のライセンスのもとに限られている。変性エタノールの関税引き上げや、燃料混合用エタノールの輸入を継続的に禁止することにより、インド政府は、エタノールの国内生産量を高めようとしている。

バイオディーゼルについては、輸入制限が 2019 年に開始された後、現在に至るまで続いており、輸入量は殆どゼロである。

(3) 補助金、税額控除、設備投資の加速償却

インド政府は、補助金、税額控除、設備投資の加速償却、第一世代エタノールとの価格差、viability gap funding(5,000 ルピー(7 億 3,500 万米ドル))を含む財政的インセンティブの創出を、全て 6 年以内に検討すると主張している。

バイオ燃料分野における共同事業及び投資も奨励される。バイオ燃料技術への 100%海外直接投資(FDI)は、生産されたバイオ燃料が国内利用のみを目的としている場合、自動承認ルートを通じて奨励される。その他も、先進バイオ燃料の開発を支援するための様々なプログラムが用意されている。

1.13.2 バイオエタノールの政策動向

(1) エタノール混合プログラム(EBP)

バイオ燃料に関する国家政策 2018 のなかで、エタノール混合プログラム(Ethanol Blending Program, EBP)により、ガソリンにより多くのエタノールを混合するように奨励している。現行の EBP では、2022 年までに一国平均で 10%の混合率を達成し、2025 年までに 20%の混合率に到達することを目標としている。

EBP では、B-モラセス、サトウキビ、小麦や砕かれた米などの損傷を受けた穀物から直接製造されるエタノールの調達が認定されている。バイオ燃料調整委員会の承認に基づき、食料穀物の余剰についてはエタノールへの転換が許可されている。サトウダイコンやスイートソルガムのような代替原料や、トウモロコシ、キャッサバ、腐ったジャガイモのようなデンプン含有原料の使用は、EBP のためのエタノールの供給を増加させるであろう。

EBP ではさらに、石油販売企業(Oil Marketing Companies, OMC)が民間のステークホルダーに安全な市場を提供し、第二世代(2G)エタノール供給業者とエタノール購入契約(EPA)を締結することに合意したと記されている。バイオガス圧縮天然ガス(CNG)は、第二世代エタノールバイオ燃料精製所や輸送燃料の主要な副産物のひとつであり、公共部門のガス販売会社による安定した需要から恩恵を受ける。

2021 年には、複数の地域でのロックダウンによりガソリン需要が減退し、エタノール混合率は 7.5%に上昇すると予想されており、最高記録の更新が見込まれている。過去に類を見ないガソリン需要の減退により、インドは 2022 年までにエタノール混合率を 10%とするという自国目標を達成できる可能性を有している。また、2021 年 6 月にインド政府は、OMCs に対し、2023 年 4 月 1 日からエタノール混合率 20%のガソリンを販売するよう指示した。

(2) EBP 向けエタノール供給拡大のための財政刺激策

CCEA は「工場へのエタノール生産能力増強のための資金援助(利子補給)スキーム」のもとで追加資金を承認する。総額 24 億ドルの貸付が提案されており、これにより 362 のプロジェクト(349 サトウキビ粉碎、13 モラセスを用いた独立型製油所)を支援する。ただ、2020 年 6 月時点においては実際に

支援を受けているのはうち 37 プロジェクトに留まる²⁸。

また、石油ガス省は、バイオマスやその他の廃棄物から製造される燃料についても模索している。2019 年 2 月 8 日には、「プラダン・マントリ・プログラム JI-VAN Yojana」を立ち上げた。2018-19 年から 2023-24 年まで財政支出総額 2 億 7,700 万ドルで支援し、MoP&NG の傘下にある技術機関であるハイテクセンター(CHAT)がこの計画の実施機関となる。MoP&NG は 2022 年までにガソリンにエタノールを 10%混合する目標を掲げている。CHAT は 2020 年 6 月、年間製造容量を 30 万から 112 万 L の間で、原材料の容量を毎日 5 トンから 15 トンで行える“Demonstration scale 2G Integrated Bioethanol Projects”の選定を行う事を公表した。

インド政府は、2024/25 年までに砂糖の余剰在庫をエタノール生産に振り向けるという長期目標を掲げている。2021 年 5 月 20 日、より多くの砂糖をエタノール生産に向かわせるために、インド政府は最大許容輸出割当量(Maximum Admissible Export Quota, MAEQ)のもとでの砂糖への補助金を 82ドル/MT から 55ドル/MT に減額させた。とはいえ、インド政府は 5.7MMT の砂糖を輸出する契約を既に締結済みであり、2021 年の補助金の減額の影響は限定的であると予想されている。

(3) バイオエタノール価格

2020 年 10 月 29 日、経済内閣委員会(CCEA)は 2020 年 12 月 1 日から 2021 年 11 月 30 日の期間におけるエタノール買い取り価格の値上げを承認し、C 重モラセスを原料とするエタノールの工場出荷価格を従前の 43.75 インドルピー/L から 45.69 インドルピー/L とした。

また、CCEA はさらに以下を承認した。

- B 重モラセスとサトウキビジュースを原料とするエタノールの買い取り価格を(従前の 54.27 から)57.61 インドルピー/L に固定する。
- 100%サトウキビジュース/砂糖/糖蜜を原料とするエタノールの買い取り価格を 1L あたり従前の 59.48 インドルピー/L から 62.65 インドルピー/L とする。
- 消費に適さず、損傷を受けた穀物やトウモロコシを原料とするエタノールの買い取り価格を 1L あたり 51.55 インドルピー/L とする。
- Food Corporation of India から調達した余剰米を原料とするエタノールの買い取り価格を 1L 当たり 56.87 インドルピー/L とする。
- OMC は、エタノールの長距離輸送が妨げられないように、現実的な輸送料金を設定する。
- OMC は 1)100%サトウキビジュース、2)B 重モラセス/一部のサトウキビジュース、3)C 重モラセス、4)損傷を受けた食品/他の供給源の順に優先する。

(4) エスクロー勘定

エタノールの生産とその販売に関しては、銀行、エタノール生産を行う製糖工場、そして OMC の 3 者によるエスクロー勘定による取引が奨励されてきた。具体的な流れは以下のとおりである。まず、エスクロー勘定に基づき、銀行が製糖工場に対してエタノール生産のための融資を行う。その後、エタノール生産の買い手である OMC が銀行に購入代金を支払い、製糖工場から OMC はエタノールを調達することができる。最後に、銀行は、融資額を回収し、差額を製糖工場に支払う。

²⁸ PIB Press Release March 2019, and DFPD Notification on Augmenting Ethanol Supply.

1.13.3 バイオディーゼルの政策動向

(1) バイオディーゼル混合プログラム 2018

インドの道路用のバイオディーゼルについての野心的目標は 2030 年までに混合義務率を B5 とすることである。しかし、バイオディーゼル混合は、原料の入手が限られていることと、統合された専用のサプライチェーンがないこと、輸入が制限されていることなど、複数の制約があり、2021 年における混合率は 0.09% と極めて限定的となっている。新しい方針のもとでバイオディーゼル生産のために指定された原料としては、非食用油糧種子、使用済み/廃食油(UCO/WCO)、動物性油脂、酸性油、および藻類原料等が挙げられる。国内で供給される UCO はバイオディーゼル生産の大きな可能性を持つ原料とされている。UCO の食用への流入を排除する厳格な規制を課すこと、バイオディーゼルの生産のための UCO 供給を増やすための適切な回収メカニズムを開発することに、新たな焦点が当てられている。

2018 年 7 月 1 日から、すべての食品事業者(FBO)は揚げ物の油の品質を監視することが義務付けられている。食用油中の全極性化合物(polar compound)の最大許容限度は 25% である。これらの規則を実施するには、消費者教育、実施、及び効率的な回収システムの構築に重点を置く必要がある。インド厚生省の傘下にある食品安全基準局(FSSAI)は UCO を食品バリューチェーンからそらし、調理に再利用する違法行為を抑制するため、教育実行エコシステム(Education Enforcement Ecosystem, EEE)戦略を提案した。再利用廃食油(Repurposed Used Cooking Oil, RUCO)は UCO の回収とバイオディーゼルへの転換を可能にする組織である。石油天然ガス省(MoPNG)は推定で年間 270 億 L の UCO が国内で使用されており、その内 140 億 L は回収して 110 億のバイオディーゼル生産に活用できるポテンシャルがあるとしている。

上記に加えて、原料の入手可能性とその開発は、バイオディーゼルの利用と持続可能性を確保するための鍵となる。新しいバイオ燃料政策では、原料生産に荒地の利用を奨励している。Gram Panchayats(地方議会)と Talukas(行政区)の地域社会は、非食用油糧種子をつける木や作物を植えることを推奨されている。

また、農家は多様なバイオマスや油糧種子を彼らの限界耕作地(marginal land)で間作物(inter-crops)として、雨水条件下で一つの作物だけが栽培されていない場合には二番目の作物として、育てることを推奨されている。地域社会の団体、州、関係者と連携した開発を行い、持続可能なサプライチェーンメカニズム、原料回収センター、公正な価格メカニズムを計画している。

IOCL(Indian Oil Corporation Limited)によれば、インドでは年間 22 億 L の UCO が生み出されるポテンシャルがある。しかしながら、UCO を回収するための十分なインフラが整えられていないことが、大きな課題となっている。2021 年 5 月 4 日、石油天然ガス省(MoPNG)は、IOCL's Tikrikalan ターミナルからの UCO 由来のバイオディーゼルの調達スキームを発表した。これまでに 30 通の LOI(基本合意書)が発行され、そのうち IOCL はバイオディーゼルプラントに対して 23 通の LOI を発行した。それらのプラントのバイオディーゼル生産能力は、合計 2 億 2950 万 L(557.57 Mt/day)である。

1.13.4 バイオ燃料の導入状況

(1) バイオエタノールの導入状況

1) 消費

インドの2021年のエタノール総消費量は25%増加し、41.2億Lになると予測されている。その要因は主に、インド政府による2022年目標(混合率10%)と2025年目標(混合率20%)の達成に向けたエタノールのガソリンへの混合であり、OMCによる燃料用エタノールの消費量は27.0億Lとなると見込まれている。ガソリン需要の減退により、2021年のエタノール混合率は7.5%に到達し、2022年の混合率10%という目標を達成できると予想されている。

エタノール消費量の伸び率は2016年から2021年の5年平均で12%であり、同期間における生産量の伸び率(9%)よりも高い。燃料価格が上昇する中、原料となるサトウキビの生産が好調であり、エタノールは比較的購入しやすい価格であったことがエタノール消費量の増加に結び付いている。また、インドにおいてエタノールの余剰を抱える地域から不足している地域にエタノールを輸送できる物流システムの改善を受け、エタノール需要が増加している。塗料などの化学製品、化粧品などの個人のケア製品、香料などの食品添加物、手指消毒などの抗菌製品におけるエタノール需要は今後も国内エタノール消費をけん引していくと考えられる。

2) 生産

2021年(暦年)のエタノール生産量はサトウキビの余剰生産により前年比7%増の31.7億Lを見込む。B 重モラセスとサトウキビジュースを燃料用エタノール生産に転用するための価格インセンティブが増加していることを含む複数の要因により、エタノール用のモラセスの供給は、記録的な量となる見通しである。

2020年においては、モラセスを原料としておよそ29.8億Lのエタノールが生産された。そのうち17.3億Lのエタノールはガソリンに混合されて利用され、混合率は5.0%に達している。2025年までにエタノールのガソリン混合率を25%とするとした政策目標の変更に加え、報酬が期待できる価格設定により、2021年におけるエタノールの利用可能性を高めることができる。

3) 貿易

a. 輸入

国内生産は増加しているが、インドはエタノールの純輸入国である。2020年、インドのエタノール輸入量は3%増加して7億2200万Lであり、3億ドル相当であった。米国は8年連続で最大のエタノール供給国であり、インドのエタノール輸入量の合計の96%を米国産のエタノールが占める。そのほかの供給国としては、シンガポール、スリランカ、パキスタン、中国、ブラジルがある。2021年には、薬剤と抗菌製品の需要の高まりからエタノール輸入量が4%増加し、ここ10年で最高値(7億5000万L)を記録する見通しである。

b. 輸出

2020 年において、輸出量は 1 億 3300 万 L であり、2019 年の落ち込みから一転、回復した。シエラレオネや UAE といった急拡大市場に加えて、ガーナやナイジェリアといったこれまでもインドからエタノールを輸入してきたアフリカ諸国からの需要増大により、インドのエタノール輸出量は 2021 年にはおよそ 1 億 4000 万 L に増加する見通しである。

表 1-47 インドのバイオエタノール*の生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年**
初期在庫	61	128	150	300	146	416
生産量	2,061	1,671	2,692	2,552	2,981	3,178
輸入量	432	722	607	704	722	750
輸出量	136	141	129	50	133	140
消費量	2,290	2,230	3,020	3,360	3,300	4,120
内、燃料用	1,110	675	1,500	1,890	1,730	2,700
期末在庫	128	150	300	146	416	84

*飲料用、燃料用、及びその他工業化学用

**2021 年は見通し

出所)USDA, India: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

表 1-48 インドのバイオエタノール*の生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年**
精製所数	161	161	166	170	220	231+
生産能力	2,210	2,215	2,300	3,000	3,500	4,200
稼働率	93	75	117	85	85	76

*飲料用、燃料用、及びその他工業化学用

**2021 年は見通し

出所)USDA, India: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

(2) バイオディーゼルの導入状況

1) 消費

インドにおけるバイオディーゼルの年間消費量は 2011 年から 2019 年の期間において 6%増加した。しかし、2020 年には、COVID-19 とその後のロックダウンにより年間消費量は 2019 年比でおよそ 24%減少した。2021 年は 2020 年と同水準の需要から 1 億 4000 万 L となる見通しである。OMCs は、2020 年において 500 万 L を調達したとされるが、これは 2019 年の調達量に比べておよそ 95%減少した。

混合ディーゼル燃料の購入者は、石油販売会社の小売販売店、インドの国鉄、各州の道路輸送会社、道路輸送会社の車両所有者、港湾局に限定される。地元で生産されるバイオディーゼルの価格はディーゼルをベンチマークとして決定されており、インドの関税の一つである統合物品・サービス税(IGST)の、バイオディーゼルについての現在の税率は 12%である。

2) 生産

現在、インドには6つ以上のバイオディーゼル生産工場があり、合計で年間最大10億Lの生産能力を有する。しかし、2021年はロックダウンと原料価格(輸入パーム油、パームステアリン、国内動物性油脂)の高騰から大部分の工場が閉鎖されたままであり、合計生産能力は5億から5億5000万Lにとどまっている。2021年のバイオディーゼル生産量は、2020年に比べて10%減の約1億8000万Lとなる予定である。

インドでは、非食用工業油(パームステアリン)、UCO、動物性油脂、獣脂、およびその他の油脂(ヘドロ(Sludge)、酸性油(acidic oils)、樹木油(tree-borne oils)等を原料としてバイオディーゼルの生産している。輸入パームオイルの価格が上昇し、国内で利用可能な動物性油脂量が増加しているなか、2020年は殆どの生産者がパーム酸性油(palm acid oil)を利用した。生産能力は変化しておらず、UCOを除き、バイオディーゼルの生産のために利用する原料の供給に関する公的規制はない。

3) 貿易

2021年のバイオディーゼルの輸出量は5,000万Lと昨年比26%の減少が見込まれている。輸出先のほとんどをEU(主にオランダ、スペイン、ベルギー)が占めている。これは、廃棄物由来バイオディーゼルの輸出業者に対するEUのインセンティブ政策によるところが大きい。一方で、インドのバイオディーゼル輸入量は、継続的な輸入制限によりわずかな量となっている。

表 1-49 インドのバイオディーゼルの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	13	13	18	25	23	16
生産量	158	170	185	230	200	180
輸入量	2.7	7.1	25.2	7.0	1	1
輸出量	41.7	7.6	23.1	54.0	68	50
消費量	119	165	180	185	140	140
期末在庫	13	18	25	23	16	7

表 1-50 インドのバイオディーゼルの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	6	6	6	6	6**	6**
生産能力	550	600	650	670	580	520
稼働率	28.7	28.3	28.5	34.3	34.5	34.6

* 2021 年度は見通し

**理論上の推計値

出所)USDA, India: Biofuels Annual 2021 よりMRI作成

1.14 タイ

1.14.1 バイオ燃料の政策動向

(1) 国が決定する貢献(NDC)

2015 年のパリ気候会議にて、タイは 2030 年までに GHG を 110-140 百万トン削減(2015 年排出量比 20-25%削減)することを掲げている。2015 年 10 月に承認された国家が決定する貢献(Nationally Determined Contribution, NDC)ロードマッププランでは、2035 年までに輸送分野を含むエネルギー全体から 113 百万トンの CO₂ を削減することを計画している。ロードマップには、家庭、産業、発電における再生可能エネルギーの増加、バイオ燃料の促進や、発電、交通、建築物、産業の効率向上も含まれている。NDC は、2015 年に国家エネルギー計画(Thailand's National Energy Plan)に組み込まれ、タイ統合エネルギーブループリント(Thailand Integrated Energy Blueprint, TIEB 2015)として知られるタイの第 11 次国家経済社会開発計画(Thailand's 11th National Economic and Social Development Plan)に沿うものとされた。現在の国家エネルギー計画は 5 つのマスタープランから構成されており、そのうちの一つが代替エネルギー開発計画(Alternative Energy Development Plan, AEDP)である。政府は、2021 年の末に承認されると見込まれる石油開発計画(Oil Development Plan, ODP)を除き、すべてのマスタープランを完成させた。

(2) 代替エネルギー開発計画 2015(AEDP2015)

タイ統合エネルギーブループリント(TIEB 2015)の結果として、AEDP2012(2012-2021)が改正され、AEDP 2015(2015-2036)が閣議決定された。改正 AEDP の最終目標(bottom line)は、計画範囲を 10 年から 20 年に延長し、すべての部門別エネルギー計画、すなわち AEDP、電力開発計画(Power Development Plan, PDP)、エネルギー効率開発計画(Energy Efficiency Development Plan, EEDP)、油開発計画(Oil Development Plan, ODP)、ガス開発計画(Gas Development Plan, GDP)を国家経済社会開発計画に統合することであった。

AEDP2015 では、総エネルギー消費量の 30%が 2036 年までに再生可能エネルギー由来になることを全体的な目標とした。また、バイオ燃料からの再生可能代替エネルギーのシェアは、2015 年の 7%から 2036 年の 25%まで増加することを目指した。このエネルギー目標を達成するため、タイ政府はエタノール消費目標を 2015 年 11.8 億 L から 2036 年 41 億 L に、バイオディーゼルの消費目標を 2015 年 12.4 億 L から 2036 年 51 億 L に設定した。

(3) 代替エネルギー開発計画 2018(AEDP2018)

タイエネルギー省は、石油価格の世界的な価格低迷や、エタノールとバイオディーゼルの国内原料供給の制限、輸入品の不足を理由に、2019 年 4 月 30 日に新 20 年計画 AEDP2018 を閣議決定した。2037 年までに再生可能エネルギー由来のエネルギー消費量が全体のエネルギー消費量の 30%を占めることを目標としている。

政府はエタノールとバイオディーゼルの両方の輸入を制限している。エタノールとバイオディーゼルの

生産のための原料資源の供給が不確実であるため、ADEP2015 にて設定された目標を 2020 年 3 月 21 日に下方修正した。具体的には、バイオエタノールの消費量の目標は 2037 年に 27 億 L(2015 年の目標 41 億 L から 34%減)と下方修正された。また、バイオディーゼルの消費量の目標は 29 億 L(2015 年の目標 51 億 L から 43%減)と下方修正された。

政府はガソリン・エタノール混合物の強制使用を義務付けずに、ガソリンスタンドにおける価格インセンティブを通じたガソール利用を促進し、E20 及び E85 ガソールに適合する自動車に対しては物品税の減税を実施している。一方、バイオディーゼルについては消費を増やすために主に運輸部門で消費されるディーゼルに、バイオディーゼルの混合義務を課している。また、政府は工業と農業において消費されるディーゼルに対しては混合義務を課していない。

(4) 新国家石油基金法(New State Oil Fund Act B.E. 2562(2019))

政府は 2019 年 9 月 24 日に制定された新国家石油基金法(New State Oil Fund Act B.E. 2562(2019))により、国家石油基金の管理を再編した。新国家石油基金法では、国家石油基金の財政上の負債を管理し、政府の補助金を化石燃料のみに制限することを目的としているが、これは政府がすでに国内の支援プログラムを通じてバイオ燃料の原料に補助金を提供しているためである。政府は 2020 年から 2022 年にかけて、ガソールとバイオディーゼルに対する現行の補助金金額を段階的に削減する予定である。Bankok Post によれば、エネルギー省は E20 をすべてのガソリンスタンドで供給できる主要燃料として、E10 の販売を停止することを計画していた²⁹。しかし、2021 年 2 月、バイオ燃料価格の高騰を受けて、補助金を司る国家石油基金の負担が増加することから、E20 を主用燃料とする計画は無期限で延期されている³⁰。一方、バイオディーゼルについては、2020 年 1 月に B10 が主要燃料となり、B7 は B10 により代替されることとなった³¹。2020 年に政府は B10 を主要燃料とするために、B10 に対する補助金を増額した。

(5) バイオディーゼル混合義務化

需要側では、バイオディーゼルの消費を増やすために、政府は、道路利用、農業、産業を含むすべての市場分野で供給されるバイオディーゼルのディーゼルへの混合を義務付けている。この計画は、義務づけられている混合率を B7 から B10 及び B20 へ引き上げることを目的としている。2016 年より、大型トラックの自主的な B20 使用を補助してきた。政府は、2020 年 10 月 1 日の時点で全てのガソリンスタンドにて 10%のバイオディーゼル混合義務を課することを決定している。

バイオディーゼル混合義務化はバイオディーゼル消費の増加に効果的であり、国平均混合率は過去 10 年間で倍増した。一般的に、タイのディーゼル燃料の主な市場は、道路輸送(60%)、次いで農業(20%)、工業(17%)、鉄道や内航海運を含むその他(3%)である。

²⁹ Bankok Post, “Plan to make E20 fundamental petrol”, <https://www.bangkokpost.com/business/1843204/plan-to-make-e20-fundamental-petrol>(2022 年 2 月 9 日閲覧)

³⁰ Bankok Post, “E20 plan put on hold due to higher biofuel prices”, <https://www.bangkokpost.com/business/2068219/e20-plan-put-on-hold-due-to-higher-biofuel-prices>(2022 年 2 月 9 日閲覧)

³¹ Bankok Post, “Plan to make E20 fundamental petrol”, <https://www.bangkokpost.com/business/1843204/plan-to-make-e20-fundamental-petrol>(2022 年 2 月 9 日閲覧)

1.14.2 バイオ燃料の導入状況

(1) バイオエタノールの導入状況

1) 消費

タイにおける燃料用バイオエタノールの消費量を表 1-51 に示す。

2020 年のエタノール消費量は 15 億 2100 万 L であり、2019 年比で 7% 減少した。COVID-19 流行時に、工業用エタノールの消費量は増加したが、燃料用エタノール需要の減少量を相殺するには至らなかった。2020 年における燃料用エタノールの需要量は 8% 減少した一方で、ガソールの消費量は 1% の減少にとどまった。

タイ政府は、オクタン 91 混合 E10 ガソリンの小売価格をオクタン 95 混合 E10 ガソリンや E20 に近づけるために、オクタン 91 混合 E10 ガソリン販売への補助金を減額した。

2021 年における燃料用バイオエタノールの消費量は、ガソールの消費量に沿う形で 2021 年からわずかに増加し、14 億 8700 万 L となると予想されている。この値は過去 5 年間の消費量の平均値を大きく上回るものの、2021 年に 19 億 8500 万 L とする AEDP2018 の目標値をはるかに下回っている。タイ政府がオクタン 91 混合 E10 ガソリンの販売終了を 2022 年の初めまで延期したことにより、ガソールの消費拡大が抑えられているためである。エネルギー省(MOE)は、オクタン 91 混合 E10 ガソリンの販売を廃止すれば、その消費量の 50% が E20、45% がオクタン 95 混合 E10 ガソリン、5% が E85 の消費にシフトすると見込んでいる。

2) 生産

タイにおける燃料用バイオエタノールの生産量を表 1-51 に、生産能力を表 1-52 に示す。

2020 年のエタノール生産量は 14 億 7800 万 L で、2019 年比で 9% の減少であった。これは、COVID-19 流行によりガソール需要が減少したためである。このうち、モラセス由来のエタノールの生産量は、原料であるサトウキビの生産量が干ばつにより減少したため、2019 年比で 21% 減の 8 億 6100 万 L であった。一方、キャッサバ由来のエタノールの生産量は 5 億 3300 万 L であり、2019 年比で 23% 増加した。

2021 年の生産量は 14 億 8500 万 L と、前年に対して微増する見込みである。モラセス由来のエタノールの生産量は、干ばつによるサトウキビ生産量の減少を受けて、2 年連続で減少し、7 億 1900 万 L となる見通しである。エタノールの原料は、モラセスからキャッサバへとシフトすると見込まれる。キャッサバ由来のエタノール生産量は前年度より増加し、6 億 9800 万 L となる可能性が高い。

表 1-51 タイの燃料用バイオエタノールの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	21	17	40	27	33	29
生産量	1,276	1,461	1,485	1,619	1,478	1,485
輸入量	0	0	0	0	0	0
輸出量	0	0	0	0	0	0
消費量	1,280	1,438	1,498	1,613	1,482	1,487
期末在庫	17	40	27	33	29	27

表 1-52 タイの燃料用バイオエタノールの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	21	26	26	26	26	26
生産能力	1,472	1,875	1,910	1,950	1,950	1,950
稼働率	86.7%	77.9%	77.7%	83.1%	75.8%	76.2%

*2021 年は見通し

出所)USDA, Thailand: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

3) 貿易

輸出に関しての規制はないが、タイ産エタノールの主要な原料はモラセスとキャッサバであり、トウモロコシ由来のエタノールに比べて価格が高く、国外市場では価格競争力が低いため、主要な輸出国にはなっていない。エタノールの輸出は通常、工業用のみである。貯蔵施設の不足も、燃料用エタノールの輸出増加の可能性に対するもう一つの制約である。

エタノールの国内需要が旺盛なため、2014 年以降、エタノール輸出はごくわずかである。2020 年にエタノール輸出量は 78,386L となり、2019 年から大幅に増加した。大部分が工業利用向けであり、エタノールの総輸出量のおよそ 70%がエチオピアに輸出された。また、タイ政府は 2021 年に 400 万 L の非燃料用エタノールの輸出を承認した。

2020 年のエタノールの輸入量は 1600 万 L であり、殆どが非燃料用向けであった。COVID-19 対策としての消毒製品に含まれる非燃料用エタノールの需要が高まり、エタノールの輸入量は 2019 年から 27%増加した。地場のエタノール生産者による生産能力は国内需要を上回っているため、MOE はまだ燃料用エタノールの輸入を承認していない。

(2) バイオディーゼルの導入状況

1) 消費

COVID-19 の発生時にディーゼルの消費量が 3%減少したにもかかわらず、2020 年のバイオディーゼル消費量は 18 億 7100 万 L と、2019 年に比べて 5%増加した。政府は、バイオディーゼル燃料の消費量を増やすために、2020 年に混合率義務を B7 から B10 に増加させた。

2021 年の第 1 四半期におけるバイオディーゼルの消費量は、COVID-19 の第 2 波により 456 百万 L にとどまり、昨年の同時期と比較して 7%の減少であった。バイオディーゼルの消費量は、B20 の

需要が大幅に減少したことから、ディーゼル燃料の消費量に比べてその減少量が大きかった。政府が B20 と B10 の小売価格を等しくするための州石油基金の補助金を削減することにより、B20 の販売を廃止することを計画したため、ガソリンスタンドでの B20 の販売は限定的であった。政府は B10 のさらなる消費を促進するために B7 の販売に対する補助金を削減し続けているため、B7 の消費量もまた大幅に減少した。B10 の消費量は大幅に増加し、2021 年の第 1 四半期の総ディーゼル燃料消費量の 36% を占めた。

2021 年におけるバイオディーゼルの消費量は、2020 年から 4% 増加して 19 億 4000 万 L と見込まれているが、それでも 2021 年に 21 億 9000 万 L という AEDP2018 の目標を大幅に下回る。ただし、バイオディーゼルの消費量は一般的なディーゼル消費量よりも今後大幅に増加すると予想されている。また、政府の B10 に対する補助金制度により、B7 や B20 よりも B10 が奨励されるため、B10 は 2021 年の残りの期間において主要なバイオディーゼルとなる。その結果、バイオディーゼルの道路上平均混合率は 2021 年に 8.3% まで上昇する傾向にあると見込まれている。

2) 生産

バイオディーゼルは、粗パーム油(CPO)、精製漂白脱臭パーム油(RBDPO)、パームステアリン、及びパーム油の遊離脂肪酸(FFA)などのパーム油由来原料から製造される。タイでは、廃食油(UCO)をバイオディーゼルの生産に利用するキャンペーンがあるものの、利用量は年間あたり 400~500 万 L に留まっている。タイにおけるバイオディーゼル生産は、タイ政府が指令により主導しており、アブラヤシ農家の支援が主な目的である。バイオディーゼル生産用に利用されるパーム油の原料はすべて国内産であるが、これは政府がパーム油の輸入とそれに起因する原料を厳格に管理しているためである。石油精製所におけるバイオディーゼルの混合についても、混合義務を順守するよう厳格に管理、監視している。国内の道路用ディーゼルはすべて、これらの混合義務を満たしていなければならない。

2020 年、バイオディーゼルの生産量は、干ばつによるパーム油の減産によりやや減少した。しかし、消費者が徐々に B7 から B10 に切り替えたため、その減少率は COVID-19 の発生がもたらしたディーゼル全体の生産量の減少率と比較すると小さかった。

2021 年のバイオディーゼルの生産量は 2020 年比で 4% 増加し、19 億 15 百万 L に達すると予測されており、これは 2021 年のディーゼル全体の生産量の 2020 年比の見込み増加率(1%)よりも大きい。バイオディーゼルの増産は、パーム油の生産量が 2020 年比で 7% 増加することで実現されると見込まれている。タイにおける近年のパーム油の生産増加は、主に、ゴム農園の減少と引き換えにアブラヤシの作付面積を拡大したことに起因している。2021 年には CPO の半分以上が、バイオディーゼルの生産のために利用されると見込まれている。

表 1-53 タイのバイオディーゼルの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	24	20	50	50	86	56
生産量	1,240	1,427	1,567	1,845	1,843	1,915
輸入量	5	2	2	2	1	1
輸出量	16	4	1	21	3	4
消費量	1,233	1,395	1,568	1,790	1,871	1,940
期末在庫	20	50	50	86	56	28

*2021 年は見通し

出所)USDA, Thailand: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

表 1-54 タイのバイオディーゼルの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	12	12	13	12	13	13
生産能力	2,060	2,060	2,310	2,445	2,580	2,580
稼働率	60.2%	69.3%	67.8%	75.5%	71.4%	74.2%

*2021 年は見通し

出所)USDA, Thailand: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

3) 貿易

タイ政府は国内のパーム生産者を保護するためにバイオディーゼルの輸入は厳しく制限されており、輸入業者は、MOE の許可を得なくてはならない。バイオディーゼルの混合率(体積比)30%までの輸入関税は 0.01 バーツ/L(1,000Lにつき 28 セント)である。B30 を超え B100(純バイオディーゼル)以下のバイオディーゼルに対する輸入関税はない。

輸入制限により、バイオディーゼルの輸入量は 2017 年から 200 万 L に留まっている。2020 年のバイオディーゼルの輸出量(B100 相当)は 300 万 L と大きく減少した。しかし、2021 年はおよそ 400 万 L に増加する見込みである。いずれにせよバイオディーゼルの総生産量に対してはわずかである状況は変化していない。

(3) 次世代バイオ燃料の状況

AEDP 2018 では、2037 年までに熱分解油(バイオ油またはバイオ原油として知られている)の生産量を年間 1 億 9,400 万 L とする目標を維持している。アユタヤクリーンエナジーと呼ばれる最初の商業熱分解油会社は、運用を開始した場合 792 万 L の生産容量がある。この設備の主原料は廃プラスチックであり、このプラントからの熱分解油生産はすべてアユタヤクリーンエナジー社の 3MW 容量の発電所の燃料として使われる。タイにおけるバイオジェット燃料生産の開発も可能ではあるが、技術および実現可能性について現在調査段階である。しかしながら、AEDP2018 では、AEDP2015 において掲げられていた第 2 世代と第 3 世代のバイオ燃料の生産目標(2036 年までに石油換算で 10 キロトン)が削除された。バイオマス由来の第 2 世代バイオ燃料と藻類由来の第 3 世代バイオ燃料の開発は

まだ研究段階であり、商業化への道は遠い。

タイでは、他の種類の先進的なバイオ燃料の商業化は進んでいない。石油製品の世界的な価格の下落や 2037 年のバイオ燃料使用目標の引き下げにより、進捗の可能性はさらに低くなっている。例えば、セルロースエタノール用のサトウキビバガスを使用したモラセスベースのエタノールプラントを建設する計画は、商業化が難しく行き詰っている。再生可能なドロップインディーゼル的一种である水素由来再生可能ディーゼル(HDRD)の生産は、補助金がなく、生産コストが高いため、タイではもはや商業化されていない。バイオディーゼルの輸入が許可されていないのと同様の理由で、バイオディーゼル市場での不足分を補うための水素化植物油(HVO)の輸入が許可される可能性は低い。

1.15 フィリピン

1.15.1 バイオ燃料の政策動向

(1) 長期エネルギープラン(Philippine Energy Plan 2020-2040)

フィリピンでは、エネルギーセキュリティの達成、農家の収入増、地方での雇用創出、GHG 排出量の削減を目標として、政府はバイオ燃料の普及を進めている。

2007 年には、R.A.9367 の一節(passage)、あるいは Department Circular(D.C.)とともに通称バイオ燃料法(Biofuel Act of 2006)として知られるもの、あるいはその Implementing Rules and Regulations(IRR)によって、バイオ燃料の使用が義務付けられ、バイオディーゼルやバイオエタノールの生産、調達、使用のための持続的な投資環境を確保するために、National Biofuels Program(NBP)が作られた。その後、政府は輸送部門におけるバイオ燃料の使用を継続的に促進するようになった。

フィリピン政府は 2016 年に 2017 年から 2040 年までの長期エネルギー計画を策定した。そのなかの、バイオ燃料についてのロードマップを図 1-34 に示す。短期的には(2017-2019)、バイオディーゼルは現在の 2.0%混合水準にとどまる一方で、バイオエタノールは 10.0%水準とするとされている。中長期的には(2020-2040)、エネルギー省(DOE)は国家バイオ燃料委員会(National biofuels Board, NBB)とともに混合義務と利用可能な原料を見直し、原料については継続的に研究開発を行うこととしている。

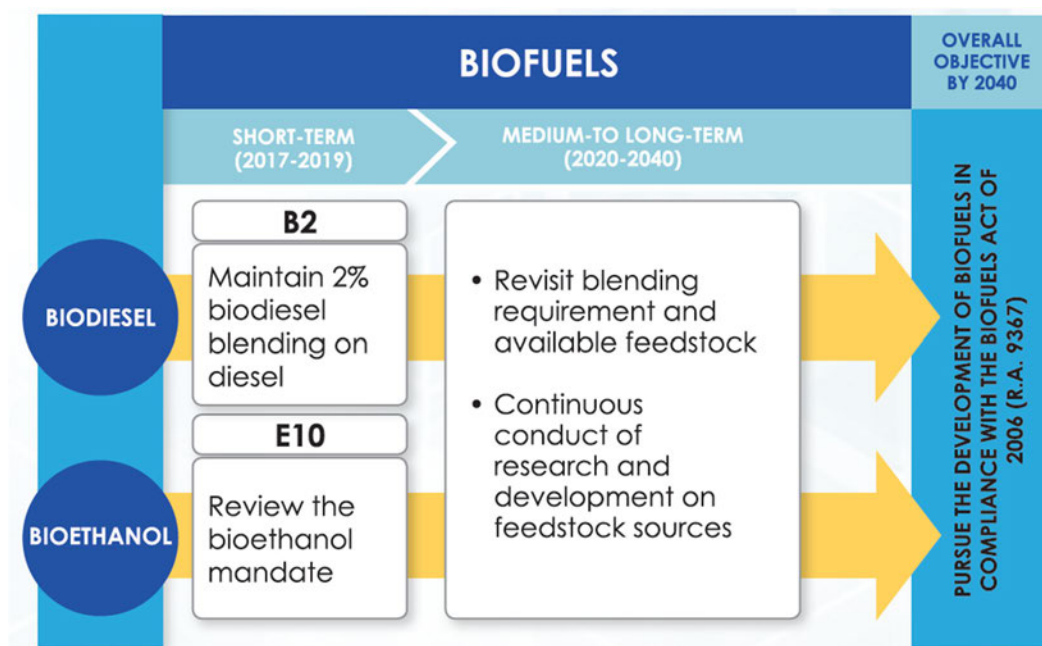


図 1-34 フィリピン長期エネルギー計画におけるバイオ燃料ロードマップ

出所) Sectoral Plans and Roadmaps 2017-2040,

https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_Manila_Philippines_11-28-2018.pdf

2021 年 10 月、DOE は Philippine Energy Plan (PEP) 2020-2040 を発表した。これは Ambisyon Natin 2040 として知られるフィリピン政府の長期ビジョンをサポートするものであるとしている。2020 年以降、エタノールの混合義務については E10 で維持する一方、バイオディーゼルの混合率については B5 に引き上げることが計画されている。

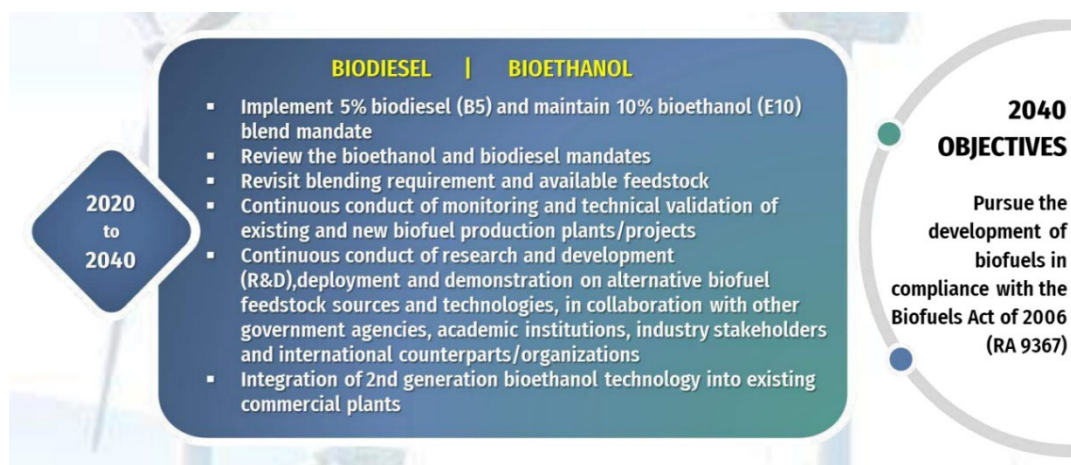


図 1-35 フィリピンエネルギープランにおけるバイオ燃料のロードマップ

出所) Department of ENERGY, "PHILIPPINE ENERGY PLAN 2020-2040",

https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/pep/PEP_2020-2040_signed_01102022.pdf (2022 年 1 月 14 日閲覧)

(2) バイオ燃料法(RA9367)

2007 年 1 月、バイオ燃料法(RA9367)が制定され、フィリピンは東南アジアで初めてバイオ燃料に関する法律を制定した国となった。RA9367 では、国家バイオ燃料委員会(NBB)という、バイオ燃料政策がバランスの取れた経済成長の目標と矛盾しないようにするための、DOE に付属する機関が設立された。エタノール混合率及びバイオディーゼル混合率の目標を表 1-55 及び表 1-56 に示す。

表 1-55 バイオエタノールの混合目標

年	混合率
2009 年	5%
2011 年	10%
2015 年	10%
2020 年	20%
2025 年	20/85* %
2030 年	20/85* %

* 意欲的・自主的な目標

出所)USDA, Philippines: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

表 1-56 バイオディーゼルの混合目標

年	混合率
2007 年	1%
2009 年	2%
2015 年	5%
2020 年	10%
2025 年	20%
2030 年	20%

出所)USDA, Philippines: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

フィリピンはもともとバイオエタノールとバイオディーゼルに関して高い混合目標を設定していた。例えば、DOE は意欲的な目標として、2025 年までに自主的な促進としてエタノールの 85%混合を利用可能にしたいとしている。しかし、この目標を達成する見込みはなく、2021 年現在の混合義務は、B2 と E10 のままで行き詰まっている。エタノールの混合義務 E10 を上昇させる直近の計画は存在しない。E20 への道筋は遠く、混合義務を強化するというよりもむしろ、ボランタリーな混合を通じて E20 は実現される可能性が高い。

1.15.2 バイオ燃料の導入状況

(1) バイオエタノールの導入状況

1) 消費

燃料用エタノールの需要は主に混合義務化の影響を受けており、過去 10 年間は上昇したが、2014 年には大幅に鈍化し、それ以降ほぼ横ばいである。2020 年の燃料用エタノール消費量は、2019 年の 6 億 1,400 万 L から減少し、5 億 2,100 万 L であった。2021 年のエタノール消費量は 3.6%回復すると見込まれているが、これはフィリピンの経済の再開に伴い隔離制限を緩和することに起因している。

2) 生産

フィリピンのエタノール生産における長年の制約は、原料が不足していることである。生産量は伸びているものの、現地生産業者は、ガソリン混合用の年間のエタノール必要量の半分程度しか供給することができず、残りの 50%を輸入したバイオエタノールで賄っている。原料となる国内産モラセスのおよそ 81%がエタノール生産に使用されている。法律により、バイオ燃料の原料としてモラセスを輸入することは認められていない。2020 年、フィリピンエタノール生産者協会 (Ethanol Producers Association of the Philippines : EPAP)は、モラセスの輸入を許可するよう提案したが、DOE がこれを拒否し、実施には至っていない。

2021 年のエタノール生産量は、ガソリンプールの回復を受けて、前年から 18%増加して 3 億 3,000 万 L になると予測されている。混合率は変わらないが、COVID-19 への措置として 2020 年に実施された行動制限が緩和されたことを受けて、燃料需要が活発化している。2020 年現在、12 のエタノール燃料プラントが稼働し、合計生産容量は 3 億 8000 万 L で、2018 年より変化はない。3 つのプラント (合計生産容量 6,800 万 L)が建設中であるが、早くとも 2021 年末までは完成しない見込みである。フィリピンのエタノールプラントは、エタノール燃料を供給する商業運転の国際基準と比較すると小規模である。MY 2020/21 のサトウキビ生産量は約 2,330 万トンとなり、合計粗糖生産量は 210 万トンで横ばいとなると予想される。

3) 貿易

2021 年のエタノールの合計輸入量は、2 億 4,000 万 L となり、前年度と同程度の水準であると予測される。近年、フィリピンの輸入エタノールの 9 割以上を米国からの輸入が占めている。2019 年の米国の輸出データに基づく、フィリピンは 2018 年から変わらず輸出先のなかで 6 位にあたり、2 億 5,000 万 L (2018 年比 17%増)を 9,400 万ドル (2018 年比 25%減)で買い付けている。

フィリピンを含む ASEAN 域内の様々な自由貿易協定に基づくエタノール関税は、2016 年にゼロとした後も免税となっている。同様に、世界貿易機関(WTO)加盟国に対する最恵国待遇(MFN)の関税率も、2018 年以降 0%に留まっている。DOE によると、フィリピンエタノール燃料プログラムのもとで、エタノールが燃料混合に使われる場合、関税 1%が課される。

表 1-57 フィリピンのエタノールの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	0	0	0	25	14	14
生産量	230	235	296	346	280	330
輸入量	260	276	285	257	241	240
輸出量	0	0	0	0	0	0
消費量	490	511	557	614	521	570
期末在庫	0	0	25	14	14	14

*2021 年は見通し

出所)USDA, Philippines: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

表 1-58 フィリピンの燃料用エタノールの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	10	10	12	12	12	12
生産能力	282	282	380	380	410	425
稼働率	81.6%	83.3%	78.2%	91.1%	68.3%	77.6%

*2021 年は見通し

出所)USDA, Philippines: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

(2) バイオディーゼルの導入状況

1) 消費

2021 年のバイオディーゼル消費量は 2020 年より 9%上昇し、1 億 7,500 万 L に達すると予想している。また、バイオディーゼルの混合義務が B2 から B5 に上昇する場合、2022 年の消費量は大幅に増加すると見込まれる。フィリピンコナッツ公社およびフィリピンバイオディーゼル協会は、B5 の採用を支持し、国内生産はより多くのバイオディーゼルの必要量を満たすことが出来ると主張している。しかし、DOE は 2022 年中に混合義務を上昇させるかどうかは決定しておらず、B3 や B4 の可能性も検討している。フィリピンの燃料用ディーゼルの消費量を表 1-59 に示す。

2) 生産

フィリピンではほぼすべての国内産バイオディーゼルはコナッツオイル(CNO)より製造されている。フィリピンの燃料用ディーゼルの生産量と生産能力を表 1-59 と表 1-60 に示す。Philippine Statistics Authority's (PSA)によると、2020 年のコナッツ(殻込み)の生産量は 2019 年より 3.4%減し 640 万トンとなる見込みであった。これはコナッツの生産量が周期的に増減を繰り返すためである。2021 年度はこの休息期が終わり、またラニーニャ現象による降水量の増加によって収穫量は増える見込みである。長期的に見た場合、現存のコナッツの木は 20%は老木であり収穫量が少ないため、生産量は限定される見込みである。一般的にコナッツの木は寿命が 80-90 年と長く、実の生産には少なくとも 6-10 年かかり、最盛期に突入するまで 15-20 年かかるため、収穫量の急速な

増加は難しい。

2020 年のフィリピンのバイオディーゼル生産量は、2019 年比で 22%減少し、1 億 8,800 万 L となった。この生産量は生産容量のわずか 27%にすぎず、パンデミックによるディーゼル需要の大幅な減退に起因している。

2021 年のバイオディーゼル生産量は 4%減少し、1 億 8,000 万 L となる見込みである。フィリピンでは、13 の認定されたバイオディーゼル生産者が存在し、合計の年間生産能力は 7 億 790 万 L である。これは、B2 の混合義務において、自動車用ディーゼル燃料に必要とされる量(120 億 L)のほぼ 300%に相当する。この B2 ブレンドへの過剰な供給能力は、PEP の指針に従い、さらに高い混合義務への移行を見越した産業界の生産能力拡大の結果である。

3) 貿易

バイオディーゼルの輸出は原料が限られているため、最小限に抑えられており、2021 年までバイオディーゼルの輸出はゼロの見込みである。また、バイオ燃料法により、バイオディーゼルの輸入は禁止されている。しかし、輸入を許可した場合、より高い混合義務に伴って予想される価格上昇を、安価なバイオディーゼル輸入を通じて、相殺することが出来る。

表 1-59 フィリピンの燃料用ディーゼルの生産・消費量(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
初期在庫	32	41	57	71	95	122
生産量	227	220	220	242	188	180
輸入量	0	0	0	0	0	0
輸出量	0	0	0	0	0	0
消費量	218	204	206	218	161	175
期末在庫	41	57	71	95	122	127

表 1-60 フィリピンの燃料用ディーゼルの生産能力(千 kL)

	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	2021 年*
精製所数	11	11	11	12	12	12
生産能力	575	575	575	608	708	708
稼働率	39.5%	38.3%	38.3%	39.8%	26.6%	24.4%

*2021 年は見通し

出所)USDA, Philippines: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

1.16 インドネシア

1.16.1 バイオ燃料の政策動向

(1) The National Energy Policy(KEN)

2014年に制定されたThe National Energy Policy(KEN)は、バイオ燃料プログラムにとって最も重要な政策基盤である。KENでは、再生可能エネルギーの消費割合を2025年までに23%、2050年までに31%にする目標を掲げている。これらの目標を達成するためには、2025年までにおよそ139億L、2050年までにおよそ523億Lのバイオ燃料が消費される必要がある。各バイオ燃料の混合率と供給量の計画については以下の通り。

表 1-61 2016年から2050年までの交通部門におけるバイオ燃料供給計画

		2016	2025	2050
バイオディーゼル	混合率(%)	20	30	30
	量(10億L)	2.5	6.9	17.1
バイオエタノール	混合率(%)	5	20	20
	量(10億L)	0.1	2.6	11.4
バイオジェット燃料 ³²	混合率(%)	2	5	10
	量(10億L)	0.0	0.1	2.7

(2) バイオ燃料の混合義務付け

バイオ燃料混合義務はMEMR Regulation 32/2008で制定され、直近では2015年3月のMEMR Regulation 12/2015で改正された。表1-62と表1-63にある通り、交通部門に加え、産業、発電部門における2025年までのバイオ燃料目標が設定された。2020年のバイオディーゼル目標に関しては、交通部門では目標を達成したが、産業および電力部門では達成できなかった(2020年は22-24%であったと推定される)。一方、バイオエタノール混合義務目標の達成に向けた進展はなかった。2021年現在、インドネシア政府はバイオディーゼル混合率を30%とするという他国に比べて最も高い野心的目標を掲げている。

表 1-62 インドネシアで義務付けられるバイオディーゼルの混合率

部門	2016	2020	2025
交通(公共)	20%	30%	30%
交通(民間)	20%	30%	30%
産業	20%	30%	30%
電力	30%	30%	30%

³² パーム油から生産される航空機の代替燃料。2021年9月現在、インドネシアでは、インドネシア国有の最大手石油・天然ガス会社であるブルタミナ社らが共同で生産開発を進めている。情報源は以下。Indonesian Palm Oil, "RI-made Bioavtur Undergoes Smooth Test With CN-235-220", <https://gapki.id/en/news/20630/ri-made-bioavtur-undergoes-smooth-test-with-cn-235-220> (最終閲覧日:2021年9月24日)

表 1-63 インドネシアで義務付けられるバイオエタノールの混合率

部門	2016	2020	2025
交通(公共)	2%	5%	20%
交通(民間)	5%	10%	20%
産業	5%	10%	20%

(3) バイオディーゼル割当量

インドネシアでは、2019 年から、バイオディーゼル供給割当量が年単位で定められている。エネルギー鉱物資源省(MEMR)が、燃料小売事業者の販売量を設定し、パーム油ベースの脂肪酸メチルエステル(FAME)を混合する各バイオディーゼル生産者に対して生産量を割り当てている。

インドネシア政府は、2021 年に 92 億 L のバイオディーゼル割当量を設定している。96 億 L としていた 2020 年のバイオディーゼル割当量からは減少している。インドネシア政府は、ブルタミナを含む 19 の燃料小売業者へバイオディーゼルの供給する 21 のバイオディーゼルの生産業者を指定し、それぞれに対して生産割当量を課している。

(4) バイオディーゼル混合義務に対する経済的支援

インドネシアのバイオディーゼル混合義務は、バイオディーゼルとディーゼル(化石燃料)の価格差を補填するための CPO 基金によるところが大きい。CPO 基金の用途は主にバイオディーゼル生産者に対する補助金であり、最終的にはバイオディーゼルの小売価格を抑えることでバイオディーゼルの支援することを目的としている。CPO 基金は、Oil Palm Plantation Fund Management Agency (BPDPKS)によって運営されており、パーム油輸出業者に課す輸出税が基金の資金源となっている。スキームを図 1-36 に示す。

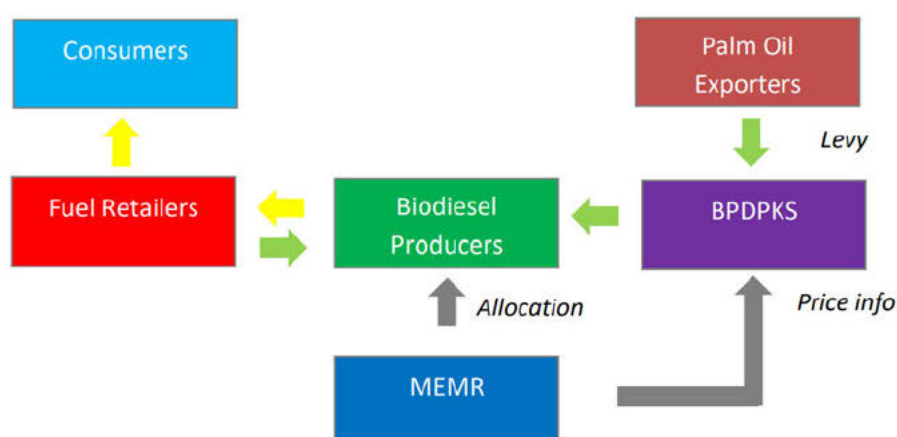


図 1-36 インドネシアのバイオディーゼル支援体制

出典)USDA, Indonesia: Biofuels Annual 2021

2020 年 12 月、インドネシア政府は、パーム油の輸出税の仕組みを、それまでの固定税率から、1 トンあたり\$255 を上限とする累進課税構造(progressive structure)に変更した。この結果、2021 年はじめの世界的なパーム油価格の上昇を受けて、それまで準備金を使い果たす危機にあった CPO

基金の歳入は再び増加した。CPO 基金を通じたバイオディーゼルへの補助金は、2020 年には 28 兆 IDR(19 億ドル)という記録的な額であったが、2021 年度はさらに増加する見通しである。BPDPKS の推計によれば、2021 年に 92 億 L の B30 を実現するためには 45 兆 IDR の補助金が必要である。

(5) インドネシア航空バイオ燃料・再生可能エネルギータスクフォース(ABRETF)

Indonesian Aviation Biofuels and Renewable Energy Task Force(ABRETF)は、インドネシアの National Action Plan における航空分野における GHG 排出量削減の達成に資する一つの要素として、2014 年 8 月に設立された。持続可能な代替燃料と再生可能エネルギーの使用を通じた GHG 排出量削減を目指している。

タスクフォースは、政策・規制及びキャパシティビルディングプログラム、R&D、テストと認証、商用化・リスク分析及び持続可能性の 4 つのサブタスクフォースからなっている。

エネルギー・鉱物資源省令第 25 号(2013)のもとで、バイオジェット燃料の使用がインドネシア国内で義務付けられている。2016 年に 2%、2020 年に 3%、2025 年に 5%の混合が求められているが、2016 年には目標を達成しなかった。しかし、インドネシアの石油生産者は 2018 年末までには生産を開始し、年間 257,000kl の生産が可能となると表明している³³。

表 1-64 ABRETF の概要

時期	2014 年 8 月～継続中
対象地域	インドネシア
目標	- Indonesia's National Action Plan の達成 - 持続可能な代替燃料と再生可能エネルギーの使用を通じた GHG 排出量削減
バイオジェット燃料の義務付け	2016 年 2%、2020 年 3%、2025 年 5%の混合 2016 年には達成せず 2018 年末には生産開始、年間生産量 257,000kl 見込み
ステークホルダー	- 交通省(Ministry of Transportation) - エネルギー・鉱物資源省(Ministry of Energy and Mineral Resources) - 財務省(Ministry of Finance) - 国家開発計画局(National Development Planning Agency) - Angkasa-Pura(空港オペレータ) - AirNav - Garuda Indonesia - Indonesia AirAsia - 国際航空運送協会(IATA) - Indonesian National Air Carriers Association

³³ <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Project.aspx?ProjectID=40>(2021 年 3 月確認)

	(INACA) • Pertamina • UOP Honeywell • APROBI • Bandung Institute of Technology • University of Indonesia, Padjadjaran University, Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia (IKABI)
サブタスクフォース	• 政策・規制及びキャパシティビルディングプログラム • R&D • 試験と認証 • 商用化・リスク分析及び持続可能性

1.16.2 バイオ燃料の導入状況

(1) バイオエタノールの導入状況

インドネシアにおける燃料品質エタノールの生産と消費は、原料が限られていることと実行可能な補助金スキームが存在しないことから、実質ゼロであると言える。

インドネシアにおける燃料品質エタノールの消費は、混合プログラムを支援するための金銭的補助が不足しているため、2010 年以降実質ゼロとなっている。2006 年から 2009 年においては、補助金によってブルタミナが E2 ガソリンの販売を行っていた。しかし、その後は燃料品質エタノールの生産コストの高騰と補助金のための州予算の不足により、エタノール生産者からブルタミナへの供給が不足し、2009 年に E2 プログラムは終了した。

一方、2021 年に、COVID-19 流行により消毒液の需要が増加したことを受けて、非燃料エタノールの消費量は 2020 年の 1 億 7,500 万 L から微増し、1 億 7,600 万 L となる見通しである。消毒業界に加えて、非燃料エタノールの用途には製薬、化粧品、化学溶媒も含まれている。

(2) バイオディーゼルの導入状況

1) 消費

インドネシアにおいて、バイオディーゼルの消費は混合義務化プログラムによって推進され、CPO の輸出税からの資金によって支えられている。バイオディーゼルは主に道路輸送部門で消費され、発電に使用される割合は小さい。

以前にはより低い混合率で義務化され完全には実施されることはなかったが、2016 年には公共サービス義務(Public Service Obligation, PSO)輸送部門で B20 義務化を開始した。2018 年 9 月、インドネシア政府はルピアの弱体化と経常収益赤字の拡大に直面し、産業界にほとんど警告を与えることなく、非 PSO(民間)輸送部門への B20 義務を拡大した。その結果、2018 年第 4 四半期は 9 億 4,000 万 L の追加割当が行われた。バイオディーゼル消費量は 54%増加し、2018 年には 39 億

5,000 万 L となった。インドネシア政府は、PSO と非 PSO の両方について、2019 年のバイオディーゼルの割当量を 61 億 9,000 万 L に設定した。

2021 年においても、バイオディーゼル混合義務によりインドネシアのバイオディーゼル消費が促進されている。全国で 30% の混合義務が課されており、2021 年のバイオディーゼル消費量は 92 億 L に到達すると見込まれている。これは、移動や旅行の規制が緩和され、経済が回復してきたことを反映しており、2020 年の消費量から 9% 増加することになる。しかしながら、エネルギー・鉱物資源省(MEMR)は、2021 年 5 月時点でのバイオディーゼル消費量が 26.8 億 L であると発表した。生産者と小売事業者であるブルタミナをつなぐ物流上の課題とサプライチェーンのボトルネックにより、消費が制限されているのである。インドネシアが 2021 年の生産割当量を達成するためには、それらの課題を解決することが必要不可欠であると考えられる。

インドネシアのバイオディーゼル消費セクターに関しては、これまで通り、陸上輸送がバイオディーゼル消費の大半を占めており、発電用消費がそのあとに続く。国営電力会社(PLN)の消費量は、バイオディーゼル消費量全体の 8% を占めると見込まれている。

2) 生産

インドネシア政府は国内の 120 以上の流通拠点にバイオディーゼルの供給するため、19 の生産者を指名した。特に東側の地域で、配送事業者が物流上の課題に直面した。悪天候や配給所が多いせいで、いくつかの船がスケジュール通りに到着しなかった。新しい規制(MEMR Regulation 41/2018)のもと、製造者はスケジュール通りに FAME を運送することができない場合には 1L あたり 6,000 ルピアの罰金を科される。バイオ燃料をブレンドしない通常のディーゼルの販売したときにも、同じだけ罰金を科される。2018 年後半に、11 の会社(バイオディーゼル生産者 9 社と燃料小売事業者 2 社)が合計 3,600 億ルピア(2,500 万米ドル)の罰金を科せられた。インドネシアにおけるバイオディーゼル生産は 2020 年から 9% 増加し、2021 年には 92 億 5000 万 L に到達すると見込まれている。

インドネシアのバイオディーゼル生産能力は 2012 年の 49 億 L から 2018 年の 113 億 L に増加した後、2020 年に至るまで増加することなく安定してきた。しかし、2021 年のインドネシアのバイオディーゼル生産能力は、東カリマンタンの新規工場での稼働が開始し、複数の既存生産工場で生産規模が拡大することにより、124 億 L に到達すると予想されている。

3) 貿易

インドネシアのバイオディーゼル輸出量は 2018 年に 17 億 7,200 万 L に達し、前年の 1 億 8,700 万 L から急増した。出荷量の約半分は EU 各国への輸出で、次点が中国への合計 7 億 5,000 万 L であった。その他は、ペルー、インド、韓国などであった。

2019 年 3 月、EU RED II におけるパーム油を原料とするバイオ燃料を主な対象としている高リスクの ILUC バイオ燃料に上限を設け、段階的に廃止するという政策に対して、インドネシアは WTO に提訴するためのチームを結成した。2019 年 12 月にインドネシア政府は WTO に提訴を行い、2020 年 7 月にはインドネシア政府の要請で係争パネルが設置された。2021 年 6 月、パネルの議長は、パネルのタイムテーブルに従い、2022 年の第二四半期までに最終報告書を発行する予定であると通知した³⁴。

³⁴ World Trade Organization, European Union - Certain measures concerning palm oil and oil palm crop-based

中国と EU を除けば、米国はインドネシアのバイオディーゼルにとって、唯一の潜在的な市場であるが、高い相殺関税(CVD)とアンチダンピング税(AD)により、米国での販売は困難なものとなっている。また、インドネシアのパーム油バイオディーゼルは、RIN の適格性を満たしておらず、RFS でも認められていない。

2020 年のバイオディーゼル輸出量は、パーム油と低硫黄軽油の価格差(POGO spreads)が広がったことと感染に伴う需要減退により、3,900 万 L となり、2019 年の 12.7 億 L から大幅に減少した。主な輸出先はヨーロッパ(68%)、中国(24%)、韓国(8%)であった。2021 年のバイオディーゼルの輸出量は、中国からの需要増が予想されているものの、1 億 L と低いままであると予想されている。2021 年 1 月から 4 月にかけてのバイオディーゼル輸出量は 2,100 万 L に到達し、2020 年の同時期よりも多くなったが、パーム油と低硫黄軽油の価格差(POGO spreads)の広がりや高い輸出税により、海外需要は引き続き鈍ると見込まれている。

パームヤシプランテーションの経営者は輸出税の高さに対する懸念を強めている。産業界は、特にマレーシアのような他国の競合相手に対して課税を行うことにより、インドネシアにおける混合義務への資金を集めることの利点を主張している。マレーシアでは、同様の混合義務の実施が保留されており、生産者は高い輸出税や税金の影響を受けることなく多額の現金を手にすることができている。

インドネシアでは、バイオ燃料の輸入に対しては、MEMR からの推薦が必要で、輸入税が課されている。2018 年の貿易データによると、インドネシアはマレーシアから 2,800 万 L のバイオディーゼルの輸入したが、これは国内の生産・消費のほんの一部である。

表 1-65 インドネシアのバイオディーゼルの生産・消費量(千 kL)

	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年*	2021 年*
初期在庫	110	152	258	294	329
生産量	2,800	5,600	7,700	8,500	9,250
輸入量	0	28	0	0	0
輸出量	187	1,772	1,271	39	100
消費量	2,572	3,750	6,393	8,426	9,200
期末在庫	152	258	294	329	279

表 1-66 インドネシアのバイオディーゼルの生産能力(千 kL)

	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年*	2021 年*
精製所数	32	31	31	31	32
生産能力	11,547	11,357	11,357	11,357	12,362
稼働率	24.2%	49.3%	67.8%	74.8%	74.8%

*2020 年、2021 年は見通し

出所)USDA, Indonesia: Biofuels Annual 2021 より MRI 作成

1.17 各国の動向に関する総括表

以下に、各国のバイオエタノール、バイオディーゼル燃料、その他の代替燃料の導入状況や導入促進策、研究開発動向等に関する諸外国の動向調査についての総括表を示す。

表 1-67 米国の動向に関する総括表

政策	
RFS	2007 年にエネルギー自立・安全保障法において、RFS を改定した RFS2 が策定された。 2021 年 12 月 7 日、EPA は 2020、2021、2022 年の RVOs 案を発表した。2020 年の RVOs については、現在設定されている RVOs に対する下方修正が提案された。2021 年と 2022 年の RVO については、2022 年 6 月 3 日までに最終化予定。 2023 年以降の RFS についての最終規則は 2022 年 12 月に発表予定であり、2023 年以降の RVOs は、2023 年の初めに設定される見通し。
導入実績	
RIN の動向	2021 年の RIN の発行状況は、およそ 199 億ガロンであり、2019 年度と同水準。 - RIN の価格推移については、2018 年以降トランプ政権による気候変動防止政策の交代等により価格が下落していたが、2020 年以降は D3 を中心に再び上昇に転じている。 2016 年以降、バイオジェット燃料 1,754 万ガロンに対して、RIN(D4)が 2,737 万ガロン分発行。 - Title 40 CFR Part 80 のもと、EPA Fuel Programs に参加している登録企業・設備のうち、設備のアクティビティにジェット燃料が含まれるものは 9 件。5 社が RIN(D4, D5, D6)の発行を受けている。

表 1-68 米国カリフォルニア州の動向に関する総括表

政策	
LCFS(Low Carbon Fuel Standard)	- 米国カリフォルニア州における燃料の GHG 排出削減を目的とした制度。2030 年までに同州で消費される輸送用燃料の炭素強度(CI)を 2010 年比で 20.0%削減するという目標を掲げている。 2010 年比での CI 削減率目標を元にガソリン、ディーゼル、ジェット燃料の炭素強度のベンチマークが定められており、それと燃料の CI を比較することにより、クレジットの発行量あるいは不足量が定まる。 2020 年は 7.5%削減という目標に対して、削減実績は 7.42%であった。
導入実績	
LCFS クレジットの発行状況	クレジットは年々増加傾向にあり、2020 年は 1,520 万 MT のクレジットが発行された。燃料供給量に占めるエタノールの割合は年々減少し、代わりに 2013 年以降、再生可能ディーゼルの割合が増加傾向にある。

表 1-69 ブラジルの動向に関する総括表

政策		
全体像	RenovaBio Program	COP21 に基づく GHG 排出量の削減目標達成を目指すプログラム。2017 年 12 月に国家バイオ燃料政策として制定。炭素排出原単位の年間削減目標、バイオ燃料認証、炭素クレジット制度(CBios)の三つの施策を掲げる。
バイオエタノール	2015 年 3 月以降の混合義務率を 27%とし、ガソリンに比べてエタノールを優遇している。	
	混合義務(27%)	2006 年以降、無水エタノールの義務混合率を設定している。2015 年 3 月以降の混合率は、27%で変化なし。
	優遇税率	連邦税(IPI)において、ガソリン車に比べてフレックス車の税率を低くしている。また、州税(ICMS)において、ガソリンに比べてエタノールの税率を低くしている。
	輸入関税	2017 年より関税割当制度(TQR)が存在していたが、2020 年 12 月に失効。その後はすべてのエタノール輸入品に対して 20%の輸入関税を適用(ただし無税となっているメルコスール諸国を除く)。
バイオディーゼル	原料となる大豆価格の高騰を受け、混合義務率を当初の予定より低下させている。また、政府によるパブリックオークションも終了。	
	混合義務(10%)	CNPE の決議では、2023 年 3 月までに B15 とするため年 1%ずつ混合率を高めることを推奨。しかし、2020 年以降は主要原料である大豆価格の高騰により、混合率を推奨水準から引き下げており、2022 年の義務は 10%。
	輸入関税	B30 以下のバイオディーゼルを含む石油の関税はゼロ。B30 以上のバイオディーゼル混合物の関税は 14%。
	新モデル市場の導入	2022 年 1 月より、バイオディーゼル市場は、公売モデルからハイブリッド型(生産者と流通業者間の OTC 契約+スポット市場取引)の新市場へと移行。ANP が認めた生産工場からのバイオディーゼルのみ販売が認められる。
導入実績		
バイオエタノール	消費・生産ともに世界第 2 位。	
	生産	主要な原料はサトウキビとトウモロコシ。サトウキビの生産量の減少と、サトウキビがより砂糖生産に振り向けられることになったため、2021 年の燃料用エタノールの生産量は前年から 13%減少する見通し。
	消費	2021 年の燃料用エタノールの総消費量は 2020 年と比較して微減する見通し。
	貿易	【輸出>輸入】2020 年の輸出量は 2014 年以降で過去最高値を記録した。主な輸出先は、米国、韓国、オランダ。輸入先は米国が中心であったが、2020 年末に 20%の輸入関税が再設定されて以来、米国からの輸入量が急減。
バイオディーゼル	世界第 3 位の生産国。しかし、価格競争力がないため輸出はできず、国内市場で閉じている。	
	生産	原料の 75%を大豆油が占める。2021 年の生産量は 2020 年から 4 億リットル増加する見込み。
	消費	原料である大豆油の価格が高騰しているものの、2021 年の消費量は 2020 年と比較して 6%増加する見込み。
	貿易	輸出するだけの価格競争力がない。国内生産されたバイオディーゼルのみ、国内市場では取引可能。

表 1-70 EU の動向に関する総括表

政策		
RED II 改正案	再エネ比率 40%	エネルギー消費全体に占める再生可能エネルギーの割合を現行の 32% から 40% に引き上げる。
	加盟国の目標変更	輸送用燃料に占める再エネ比率を 14% とする現行目標を、2030 年までに GHG 排出原単位を 13% 削減する目標へ変更。
	燃料導入目標更新	- 自国の輸送セクターへのエネルギー供給量に占める燃料の割合目標を下記のとおり定める。 - Annex IX Part A 由来(先進型)バイオ燃料: 2030 年に少なくとも 2.2%。 - Annex IX Part B 由来バイオ燃料: 上限を 1.7% とする。 - 非バイオ由来再生可能燃料(RFNBO): 同供給量に占める割合を 2030 年に少なくとも 2.6%。
	持続可能性基準	- 現行 RED II においては農業バイオマスのみを対象とする「生物多様性」、「炭素ストックの高い土地」、「泥炭地」の 3 項目について、森林バイオマスにも適用。 - GHG 削減水準については、再生炭素燃料(RCF)の消費の GHG 削減率が 70% 以上の場合のみ、GHG 排出削減目標に計上可能とする。
導入実績		
バイオエタノール	生産量は横ばいである一方、消費量は年々増加傾向にある。また、輸入量が 2018 年以降急増。	
	消費	混合義務の引き上げ(フランス、オランダなど)と高混合率エタノールの市場導入(英国、スウェーデンでの E10 の導入など)は今後の需要を押し上げると予想される。とはいえ、全体の傾向として、従来型バイオ燃料に上限が設けられていることや電気自動車の進展などにより 2022 年以降の更なるバイオエタノールの消費拡大は限定的である。
	生産	生産量は 2016 年以降横ばい。燃料用エタノールの生産能力は 2016 年～2020 年に約 1,000 千 kL 増加。
	貿易	【輸入>>輸出】輸入量は 2016 年から 2020 年の 5 年間で約 4 倍に増加。
バイオディーゼル	世界最大のバイオディーゼル生産地域であるものの、旺盛な国内需要を賄うことができず、輸入量が 2017 年以降急増。	
	消費	2021 年のバイオディーゼル需要は 2020 年から回復するものの 2019 年以前の水準までは戻らない。
	生産	世界最大のバイオディーゼル生産地域。消費量が年々増加しているにもかかわらず、生産能力は横ばい。
	貿易	【輸入>>輸出】輸入量は 2016 年から 2020 年の 5 年間で 5 倍弱に増加。

表 1-71 英国の動向に関する総括表

政策		
再生可能燃料導入義務 (RTFO)	• 英国内の輸送用燃料供給事業者(年間 450kl 以上)に対し、再生可能燃料の導入を義務付け。2022 年の導入義務率は以下。 ➢ 再生可能燃料比率:10.4%(2032 年に 12.4%まで引き上げ) ➢ 穀物由来バイオ燃料の導入上限率:3.67%(2032 年に 2.00%まで引き下げ) ➢ 次世代燃料の最低導入率:0.8%(2032 年に 2.8%まで引き上げ) • 義務対象事業者は、再生可能燃料の供給時に発行されるクレジット(RTFC)を償却することで義務を遵守する。RTFC は買い取ることも可能。	
導入実績		
輸送用再エネ比率	2020 年の道路用輸送燃料に占める RTFC の認証を得た再生可能燃料の比率は 9.96%であり、2017 年(4.60%)の 2 倍以上に増加した。主に、RTFC の認証を得るバイオディーゼルが増加したことに起因する。	
バイオ燃料の内訳	種類別	2018 年はバイオディーゼル(FAME)の生産量が増加し、輸送用バイオ燃料全体の約 7 割を占めている。
	原料別	2018 年は Annex IX Part B の原料(特に廃食油)からなるバイオ燃料の割合が増加し、輸送用バイオ燃料全体の約 6 割を占めている。
次世代バイオ燃料の内訳	Annex IX Part A	2018 年の導入量は 216ktoe であり、毎年増加している。産業廃棄物中のバイオマス分(食用・飼料用で利用可能なものを除く)由来のバイオ燃料が全体の 9 割弱を占めている。
	Annex IX Part B	2018 年の導入量は 766ktoe であり 2017 年(493ktoe)から増加した。大半を廃食油が占めており、2018 年の動物性油脂の割合は 6.1%に過ぎない。

表 1-72 ドイツの動向に関する総括表

政策		
BImSchG (バイオ燃料割当法)	2007 年より、石油供給事業者に対して一定量のバイオ燃料の導入を義務付けている。2014 年まではバイオ燃料の導入が供給比率(熱量比)で定められていたが、2015 年以降は自社が供給する燃料全体に対する GHG 削減率が義務付けられた。 ➤ 2030 年までの GHG 削減率は 25.0%。 ➤ 義務を遵守できなかった場合石油供給事業者にはペナルティが課せられる(0.47€/kg CO2)。 ➤ 2021 年 11 月、バイオ燃料導入上限および導入義務が下記の通り更新された。 ✧ 次世代バイオ燃料:2030 年に 2.6%となるよう徐々に引き上げ ✧ 食料及び飼料作物:2022 年以降 4.4%を上限とする ✧ 廃棄物由来のバイオ燃料:1.9%を上限とする(廃棄物は廃食油および動物性油脂を指す) ✧ ILUC リスクが高いバイオ燃料:2023 年以降 0%とする(2023 年以降のパーム油の使用を禁止)	
導入実績		
輸送用再エネ比率	2020 年における再エネ比率は 9.9%と過去最高を記録した。近年減少傾向にあった第一世代バイオ燃料が再び増加したことによる。	
バイオ燃料の内訳	種類別	バイオディーゼル(FAME)の割合が高い。この傾向は 2015 年から 2018 年まで変化していない。
	原料別	2015 年から 2018 年にかけて第一世代バイオ燃料の割合が減少している一方で、Annex Part B 由来のバイオ燃料の割合が増加している。
次世代バイオ燃料の内訳	Annex IX Part A	2018 年の導入量は 8ktoe であり、輸送部門の総エネルギー消費量に占める割合は 0.03%に留まる。2018 年の内訳としては、パーム油工場排水、パーム油果房由来バイオ燃料がゼロとなった一方、家庭からのバイオマス廃棄物の割合が増加。
	Annex IX Part B	2018 年の導入量は 848ktoe であり、近年増加傾向。内訳としては廃食油が 841ktoe と大半を占める。

表 1-73 フランスの動向に関する総括表

政策	
TIRIB	- 輸送用燃料販売量に占めるバイオ燃料の熱量割合の年間目標を定めている。2022 年の混合率の年間目標は下記の通り。 ➤ バイオエタノール:8.6% cal、バイオディーゼル:8.0% cal 2005 年より導入された、ガソリンとディーゼルに対する「汚染事業統合税(TGAP)」を前身とする。上記の年間目標は税率と同じ数値である。達成した事業者に対しては TIRIB が免税され、未達成の場合にはペナルティが課せられる。
導入実績	
輸送用再エネ比率	2020 年における再エネ比率は 9.2%と昨年と同水準。第 1 世代バイオ燃料の割合が大きな割合を占めているものの、第 2 世代バイオ燃料の割合が増加中。
バイオ燃料の内訳	2018 年はバイオエタノールが 586ktoe、バイオディーゼルが 2,556ktoe。例年、バイオディーゼルの割合が高い。

表 1-74 オランダの動向に関する総括表

政策		
バイオ燃料導入義務	道路輸送用燃料の供給事業者に対し、熱量比で一定割合の再エネを導入することを義務付け。2021 年の導入義務率は以下。 ➤ 再エネ導入率:17.5%(うち、先進的バイオ燃料の最低導入率:1.2%、従来バイオ燃料の導入上限率:5.0%)	
GHG 削減義務	道路輸送用燃料の供給事業者に対し、供給する燃料のライフサイクルベースの GHG 排出量について 2010 年比で削減率を義務付けている。2020 年の削減義務率は 2010 年比で 6%減。	
バイオ燃料証明書 (HBEs)	- 導入率および GHG 削減に関する目標達成は、Hernieuwbare Energieeenheden (HBEs)と呼ばれるバイオ燃料認証の仕組みで確認する。毎年、燃料供給事業者は必要な HBE を償却することで義務を履行する。HBE はバイオ燃料を自ら生産することで取得するか、HBE を保有する他社から購入することで取得が可能。 - Annex IX Part A および Part B の原料由来のバイオ燃料は、2 倍計上することが可能。	
E10 義務化	2019 年 10 月 1 日から、燃料販売者は、ガソリンスタンドにおいて提供するガソリンの少なくとも半分を E10 とする義務を負う。	
導入実績		
輸送用再エネ比率	2020 年における再エネ比率は 12.6%である。2017 年より次世代バイオ燃料の割合が順当に増加している。	
バイオ燃料の内訳	種類別	2017 年から 2018 年にかけて、バイオディーゼル(FAME)の生産が増加し、輸送用バイオ燃料の 6 割を占めている。
	原料別	Annex IX Part B の原料(廃食油・動物性油脂)からなるバイオ燃料の割合が高く、2018 年には 6 割以上を占めている。
次世代バイオ燃料の内訳	Annex IX Part A	2017 年の導入量は 6ktoe であったが、2018 年には 42ktoe と大幅に増加した。パーム油工場排水およびパーム空果房由来バイオ燃料と林業廃材中のバイオマス由来のバイオ燃料で過半数を占めている。
	Annex IX Part B	2018 年の導入量は 313ktoe であり前年から増加した。大半を廃食油が占めている。2018 年の動物性油脂の割合は 12.5%に過ぎない。

表 1-75 スウェーデンの動向に関する総括表

政策		
GHG 削減義務	- スウェーデン政府は、2030 年までにディーゼル車とガソリン車の使用による GHG 排出量を少なくとも 40%削減する目標を掲げている。そのために、燃料供給事業者に対して、毎年 GHG 削減率を義務付け。2021 年の削減率は以下の通り。 ➤ ガソリン:6% ➤ ディーゼル:26% 2021 年 7 月 1 日から、ジェット燃料も GHG 削減義務の対象となった。2021 年は 0.8%と設定され、2030 年には 27%まで削減率が引き上げられることとなる。	
導入実績		
輸送用再エネ比率	2020 年における再エネ比率は 32.4%である。2017 年以降、第 1 世代バイオ燃料の割合が第 2 世代バイオ燃料の割合を上回っている。	
バイオ燃料の内訳	種類別	水素化植物油(HVO)の割合が圧倒的であるものの、2018 年は FAME の消費量が前年比で 1.5 倍に増加した。
	原料別	Article3(4)d と e を原料とするバイオ燃料の生産が多い。Annex IX Part B の原料(廃食油・動物性油脂)からなるバイオ燃料の割合はわずかである。
次世代バイオ燃料の内訳	Annex IX Part A	林業廃材中のバイオマス由来のバイオ燃料が約半分を占めている。
	Annex IX Part B	2017 年はゼロであったが、2018 年は 22.5ktoe の Annex IX Part B 由来のバイオ燃料が導入された。

表 1-76 ノルウェーの動向に関する総括表

政策	
バイオ燃料供給義務	- 道路輸送用燃料については、液体バイオ燃料の混合義務がある。2020 年の混合義務は下記の通り。 ➤ 2020 年のバイオ燃料:20% ➤ 先進型バイオ燃料:4%
導入実績	
輸送用再エネ比率	2020 年における再エネ比率は 28.7%と過去最高値を記録した。第 1 世代バイオ燃料の割合が減少に転じる一方で、第 2 世代バイオ燃料の割合が増加している。
バイオ燃料の内訳	バイオディーゼルの割合が大半を占める。2017 年から 2018 年にかけて、第 1 世代のバイオディーゼルの供給量が減少し、第 2 世代のバイオディーゼルの供給量が増加した。

表 1-77 中国の動向に関する総括表

政策		
バイオエタノール	バイオ燃料の中でも、政府が専ら注目している燃料。	
	E10 目標	中国全土におけるバイオエタノールの混合率を 10%にまで高める。しかし 2021 年現在、全国的な目標ではない。
	追加関税の適用免税	2020 年 2 月、米国産の燃料エタノールの関税を申請に応じて 70%から 45%にまで引き下げることとした。
バイオディーゼル	2021 年現在、目立った支援(義務、生産者への補助金、価格付け政策)は存在しない。	
	追加関税	2018 年 8 月、バイオディーゼルを混合した米国産石油に対する関税を設定 & 引き上げた。
導入実績		
バイオエタノール	消費・生産ともに世界第 4 位。	
	消費	E10 の全国展開は延期となったが、中央政府によるパイロット地域への監視が強まったことで 2021 年の消費量は微増し、2021 年の国全体での混合率は 2.1%となる見通し。
	生産	原料は 80%以上がトウモロコシ、米。トウモロコシ価格の上昇により、2021 年の生産量は約 4 億 L 減少する見通し。E10 を達成するために必要なエタノール燃料の生産は難しい。
	貿易	【輸出(≒0) < 輸入】 輸入量は急増中だが、輸出は殆どゼロ。
バイオディーゼル	原料は UCO に限られ、サプライチェーンも不足していることから、バイオディーゼル市場は非常に限定的である。	
	消費	2020 年、21 年に裁量消費需要が減少し、全体消費量は 2019 年の約半分に。バイオディーゼル燃料の主な用途は、陸上輸送ではなく発電、漁船、農機具用であることが特徴。
	生産	国内産 UCO を主な原料とし、FAME と HDRD を生産する。HDRD の殆どは EU へ輸出。2021 年現在、バイオディーゼルプログラムが実施中なのは上海のみ。B5 を市内ガソリンスタンドに供給中。
	貿易	【輸出 > 輸入】 輸出については、EU からの HDRD 需要が国内生産を支えている。輸入に関しては、パーム油価格の上昇を受けて、インドネシアやマレーシア産のバイオディーゼル価格が上昇。その結果、2019 年後半の裁量消費需要は激減。

表 1-78 インドの動向に関する総括表

政策		
全体	混合率目標	バイオ燃料を管理する中心的政策である National Policy on Biofuels 2018 において、バイオエタノールの混合率を 2025 年に 20% (2021 年 1 月に 5 年前倒しを決定)、バイオディーゼルの混合率を 2030 年までに 5% とする目標を掲げる。
	輸出入規制	エタノールの国内生産量を高めるために、燃料混合用エタノールの輸入を禁止している。また、輸出は非燃料目的のエタノールに限られている。バイオディーゼルの輸入も制限されている。
バイオエタノール	長期的な混合率目標を設定し、2021 年より石油販売企業が販売するバイオディーゼルに対して混合率義務を課している。	
	2022 年に 10% 2025 年に 20%	National Policy on Biofuels 2018 の中のエタノール混合プログラム(EBP)で、ガソリンへの混合を奨励。22 年までに一国平均で 10% の混合率を達成し、25 年までに 20% に到達することを目指す。2021 年 6 月にインド政府は、石油販売企業(OMCs)に対して、2023 年 4 月より混合率 20% のガソリン販売を開始するよう指示。
	買取価格値上げ	2020 年 10 月、経済内閣委員会(CCEA)は、エタノール買い取り価格の値上げを承認した。
バイオディーゼル	長期的な混合率目標はあるが、原料不足やサプライチェーン構築不足といった課題を抱える。	
	2030 年に 5%	バイオディーゼル混合プログラム 2018 のもと、原料として国内 UCO に着目し、UCO の食用流入を規制するとともに回収のためのサプライチェーン構築を実証中。
導入実績		
バイオエタノール	サトウキビ生産が好調で、生産量・消費量ともに順調に増加中(増加率は生産量<消費量)。燃料用エタノールは国内市場で閉じている。	
	消費	国内燃料価格が上昇する中でも、サトウキビ生産量の増加によりエタノール価格が手ごろであったことから、エタノール総消費量は微増中。感染拡大に伴うガソリン需要減退により、2022 年混合率目標(10%)は達成可能見込み。
	生産	原料は国内サトウキビ。2021 年はサトウキビの余剰生産と価格インセンティブにより、前年比 7% 増となる見通し。
	貿易	【輸入>>輸出】 非燃料用エタノールを輸入しており、96%を米国産エタノールが占める。輸出先はガーナなどアフリカ諸国中心。
バイオディーゼル	国内混合率は 2021 年時点で 0.09%ときわめて限定的。ロックダウンと原料価格高騰で生産はさらに減少する見通し。	
	消費	COVID-19 により需要が減退したため、2020 年の年間消費量は前年比 24%減。2021 年は回復見込み。
	生産	国内 UCO に加えて非食用工業油、動物性油脂、獣脂、酸性油等を原料とする。2021 年はロックダウンと原料価格(輸入パーム油、非食用工業油、国内動物性油脂)の高騰から前年比 10%減となる見通し。
	貿易	【輸出>>輸入(≒0)】年間利用可能量(初期在庫+生産量)のうち 25~30%を輸出に振り分けており、殆どが EU 向け。輸入制限により輸入はわずか。

表 1-79 タイの動向に関する総括表

政策		
全体	再エネ消費比率目標	代替エネルギー開発計画(AEDP2018)において、2037 年までに再エネ消費量が全エネ消費量の 30%を占めることを目標。2020 年 3 月、原料(サトウキビ、キャッサバ、パーム油)の供給が不確実であることから、AEDP2018 で掲げる 2037 年の消費目標をバイオエタノール 27 億 L(34%減)、バイオディーゼル 29 億 L(43%減)に下方修正。
バイオエタノール	ガソールの強制使用を義務付けず、価格インセンティブを活用して E20 消費を喚起し、AEDP2018 の消費量目標達成を目指す。	
	販売終了の再延期	原料のモラセスが供給不足になるとの懸念から、政府はオクタン 91 混合 E10 ガソリンの販売終了を 2022 年 1 月まで再延期。結果として、E20 の消費拡大は停滞。また、E20 を主用燃料とする計画も無期限で延期。
バイオディーゼル	補助金による価格インセンティブを与え、運輸部門に対して混合義務 B10 を課している。	
	B10 混合義務	2020 年、パーム油の過剰供給を解消するため、運輸部門で消費されるディーゼルに対するバイオディーゼルの混合義務を B7 から B10 に引き上げた。今後、全てのガソリンスタンドは B10 を販売する必要がある。
	B10 への補助金増額	2020 年、B10 を主要ディーゼル燃料にするため B10 に対する補助金を引き上げた。一方、B20 への補助金は減額し、2022 年に小売販売終了予定。B7 への補助金も減額。
導入実績		
バイオエタノール	生産と消費がともに微増するも 2021 年消費量目標は達成できない見込み。2037 年消費目標も下方修正。市場は国内に閉じている。	
	消費	2021 年消費量は前年から微増するも、AEDP2018 の 21 年目標値(19 億 8500 万 L)には 5 億 L 不足する見通し。オクタン 91 混合 E10 ガソリンの販売終了が 2022 年まで延期され、ガソールの消費拡大が抑制。
	生産	国内サトウキビとキャッサバを原料とする。2021 年の生産量は全体として微増するが、干ばつによりサトウキビ生産量の減少を受けてモラセス由来のエタノールは減少する見通し。今後、原料はモラセスからキャッサバに移行。
	貿易	【輸出・輸入≒0】サトウキビやキャッサバを原料とするエタノールは、トウモロコシ由来のエタノールに比べて価格競争力が低く、国内貯蔵施設も不足していること、国内需要が旺盛であることを受けて、輸出量はわずか。また、燃料用エタノールの輸入には MOE の承認が必要だが、輸入が承認されたことはない。
バイオディーゼル	2037 年消費目標を下方修正したが、B10 の消費量と生産量は共に順調な増加傾向を示す。市場は国内に閉じている。	
	消費	B10 の消費量は補助金増額により大幅に増加。一方、B7 と B20 の消費量は補助金減額を受けて、大幅に減少。全体としては、AEDP2018 の 21 年消費量目標に 2 億 L 弱足りないが、混合率は 2021 年に 8.3%にまで高まる見込み。
	生産	国内パーム油を主な原料とする。アブラヤシ作付面積の拡大により 2021 年の生産量は前年比 4%増の予想。
	貿易	【輸入・輸出≒0】国内パーム油生産者を保護するためバイオディーゼルの輸入を制限。輸出もわずか。

表 1-80 フィリピンの動向に関する総括表

政策		
全体	長期エネルギープラン	2016年に策定したフィリピンの長期エネルギープラン。2021年10月にPhilippine Energy Plan 2020-2040としてアップデートが発表された。その中で、バイオ燃料についてのロードマップも示されている。
	バイオ燃料法 (RA9367)	2007年1月に東南アジアで初めてバイオ燃料に関する法律として制定。2030年までのバイオエタノールとバイオディーゼルについての野心的な混合目標(2030年にE85、B20)を掲げている。しかし、目標達成の見込みはなく、2021年も混合義務はB2とE10で行き詰まっている。
バイオエタノール	バイオ燃料法では2020年に20%という混合目標を掲げていたが、2021年も混合義務率はE10に留まる。また、混合率を今後引き上げる計画も存在しない。	
バイオディーゼル	Philippine Energy Plan (PEP) 2020-2040においては、混合率を今後B5に引き上げる計画があると明記されている。しかし、エネルギー省(DOE)は2022年中の混合率の引き上げを決定しておらず、B3やB4の可能性も検討している。	
導入実績		
バイオエタノール	国内原料不足により、エタノールの半分程度を主に米国からの輸入に依存している。	
	消費	2014年以降、消費は横ばい。
	生産	原料不足が長年の課題であり、国内需要の半分程度しかエタノールを供給できていない(すなわち約半分を輸入に頼る)。国内モラセスのおよそ81%がエタノール原料として使用されているが、原料としてのモラセスの輸入は禁止されている。
	貿易	【輸入>>輸出=0】 近年、エタノールの輸入先の9割以上を米国産エタノールが占める。国内需要に対して、国内供給が追いついておらず、輸出は長年ゼロである。
バイオディーゼル	貿易は行われておらず市場が国内で閉じているが、生産能力が高い(B2における必要量の300%)ことが特徴的。	
	消費	2021年の消費量は2020年より9%すると予想される。混合義務率がB2からB5に上昇する場合には、2022年の消費量は大幅に増加すると見込まれる(ただし上記の通り22年中の引き上げについては未定)。
	生産	ほぼすべてのバイオディーゼルをココナッツオイル(CNO)から生産している。バイオディーゼルの生産能力は高く、B2混合義務で必要なバイオディーゼル量のおよそ300%に相当する供給が可能(ただし稼働率が低く抑えられている)。
	貿易	【輸入、輸出ともに0】 原料が限られていることから輸出量はゼロである。またバイオ燃料法により輸入は禁止されている。

表 1-81 インドネシアの動向に関する総括表

政策		
全体	混合率の長期計画	The National Energy Policy(KEN)において、2050 年までのバイオ燃料の混合率目標と必要供給量を定めている。
	混合義務付け	MEMR regularion12/2015 において、2025 年までのバイオ燃料混合目標を設定。2020 年バイオディーゼル目標(B30)を交通部門で達成。バイオエタノール混合義務目標の達成に向けた進展はなし。
バイオエタノール	目標はあるが、義務として履行されていない。バイオディーゼルのような補助金スキームもない。	
	2025 年に E20	—
バイオディーゼル	B30 達成のために政府が生産者に生産量を割当て、経済的支援により生産を下支えする仕組みを構築している。	
	2025 年に B30	2020 年に達成済みである世界の中で最も野心的な目標を維持している。
	生産割当量	2019 年から、エネルギー鉱物資源省(MEMR)が国内のFAME 生産者に対して生産量を割り当てている。2021 年の全体割当量は 92 億 L。生産者を支援するため補助金を供給する。補助金は、BPDPKS がパーム油輸出業者から徴収する輸出税を原資とする CPO 基金により賄う。(原料輸出に対する国内燃料生産の優越)
導入実績		
バイオエタノール	原料が限られていること、実行可能な補助金スキームがないことから、生産と消費ともに実質ゼロ。	
	消費	義務がなく、消費は実質ゼロ。
	生産	原料不足と補助金スキームがないため、実質ゼロ。
	貿易	—
バイオディーゼル	消費、生産ともに近年安定的に増加しているものの、輸出には逆風が吹く。	
	消費	B30 混合義務と経済回復を受けて 2021 年の消費量は前年比で 9%増加見込み(2017 年比で 3.5 倍)。しかし、サプライチェーンに課題も存在するため消費が抑制。用途は主に陸上輸送で次点が発電消費。
	生産	2021 年生産量は 2017 年比で 3.3 倍となる見通し。生産業者は、パーム油を原料として FAME を生産。政府は 19 の生産業者を指名し、生産量を割り当て。東カリマンタンの新規工場稼働により生産能力は拡大する見通し。
	貿易	【輸出>輸入(≒0)】 輸出の 68%は EU 各国への輸出で次点が中国。しかし、低硫黄軽油との価格差の開き、感染拡大、高額な輸出税により 2020 年以降輸出は激減。EURED II ではパーム油ベースのバイオ燃料消費が段階的に減少することとされ、米国では RIN の適格性を満たしていないうえ、相殺関税とアンチダンピング税により販売困難となっている。輸入には MEMR からの推薦が必要かつ輸入税が課され、殆どゼロのままである。

2. SAF の導入状況や研究開発動向、導入促進策等に関する国内外の動向調査

2.1 SAF の導入状況や研究開発動向、導入促進策等に関する調査

2.1.1 原料の賦存量と SAF の供給ポテンシャルに係る調査

(1) 調査対象文献と文献の比較

本調査では、WEF(World Economic Forum)が発行した Cleans Skies for Tomorrow³⁵、ATAG(Air Transport Action Group)が発行した ATAG Waypoint 2050³⁶、そして ICCT(International Council on Clean Transformation)が発行した Working paper2021-03³⁷を対象とした。3つの文献の相違点を表 2-1 に示した。まず、原料の賦存量と SAF の供給ポテンシャル推計の対象範囲については、Clean Skies for Tomorrowと ATAG Waypoint 2050 では世界全体を推計対象としているのに対し、Working paper 2021-03 では EU のみを推計対象としている。また、産業排ガスや e-fuel についての SAF 供給ポテンシャル推計の実施の有無、推計の対象時期に関しても各文献で判断が異なることがわかる。

表 2-1 対象とした3つの文献の相違点

項目	Clean Skies for Tomorrow	ATAG Waypoint 2050	Working paper 2021-03
レポート発行元	WEF	ATAG	ICCT
対象範囲	世界	世界	EU
対象時期	2030 年	2050 年	2025 年-2035 年 (5 年ごと)
産業排ガスの推計	×	○	○
e-fuel の推計	×	×	○

出所)各種資料より MRI 作成

³⁵ WEF(2020)“Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation INSIGHTREPORT” (<https://www.weforum.org/reports/clean-skies-for-tomorrow-sustainable-aviation-fuels-as-a-pathway-to-net-zero-aviation>, 2022 年 3 月 10 日最終閲覧)

³⁶ ATAG, “Waypoint 2050”(2021)(<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>, 2022 年 3 月 10 日最終閲覧)

³⁷ ICCT, “Estimating sustainable aviation fuel feedstock availability to meet growing European Union demand” (2021)(<https://theicct.org/sites/default/files/publications/Sustainable-aviation-fuel-feedstock-eu-mar2021.pdf>, 2022 年 3 月 7 日最終閲覧)

(2) 各文献の内容

1) Clean Skies for Tomorrow

a. 概要

Clean Skies for Tomorrow: Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation は、2020 年 11 月に世界経済フォーラム(WEF:World Economic Forum)がマッキンゼー社とともに纏めたレポートである。世界における SAF の供給可能性や価格の見通しについて評価を行っている。

原料に関しては、2030 年時点で、HEFA の原料となる廃食油、荒廃した土地において栽培された油糧作物、被覆作物として栽培される油糧作物で計 1.95 億トン／年、FT 合成や ATJ の原料となる被覆作物として栽培されるセルロース系作物、農業残渣、森林残渣、製材残渣、都市ごみで計 36.2 億トン／年の重量ベースでの原料ポテンシャルがあるものとしている³⁸。

これらの原料から生産される世界の SAF の供給ポテンシャルの推計方法について以降に記すが、SAF 製造量としては表 2-2 に示す通り、2030 年時点で 4.9 億トンと見込まれており、これは 2030 年のジェット燃料需要予測(4.1 億トン)をおよそ 20 %上回る量とされる。

表 2-2 WEF(2020)による各原料の SAF 製造ポテンシャル

原料	製造方法	SAF 製造ポテンシャル
廃棄油脂	HEFA	1,656 万トン／年
荒廃地の油糧作物	HEFA	3,519 万トン／年
油糧被覆作物	HEFA	2,898 万トン／年
セルロース系被覆作物	Gas./FT(50%) AtJ(50%)	12,105 万トン／年
農業残渣	Gas./FT(50%) AtJ(50%)	7,263 万トン／年
森林残渣	Gas./FT(50%) AtJ(50%)	6,383 万トン／年
製材残渣	Gas./FT(50%) AtJ(50%)	3,522 万トン／年
都市ごみ	Gas./FT	11,520 万トン／年
合計	—	48,866 万トン／年 (およそ 4.9 億トン)

出所)WEF(2020)“Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation INSIGHTREPORT”より MRI 作成

³⁸ 同分析においては、①ライフサイクルアセスメントにおいて化石燃料に比べて 60%以上の温室効果ガス排出削減が可能であること、②食糧の安定確保を脅かさないこと、③土地利用変化に拍車をかけないこと、という三つの観点から、ナツメヤシなどの食用油糧作物、サトウキビやトウモロコシなど砂糖の原料となる作物、再利用可能なプラスチックごみを分析対象から外している。加えて、藻類についても実現可能性が限られていることから今回の分析対象から外している。

b. 各原料生産ポテンシャルの推計方法

ア) 廃棄油脂

廃棄油脂には、食用油、獣脂、魚油、トール油、トウモロコシ油、PFAD、POME、その他の廃棄油脂が含まれる。今回の算定では、POME からの油の抽出率を 0.7%、100kg のパーム油から 5kg の PFAD が生産されると仮定している。

その結果、年間およそ 4000 万トンの廃棄油脂が原料として利用可能であると推計された。原料の賦存量の内訳は、廃食油(1100-1300 万トン)、獣脂(1200-1500 万トン)、魚油(100 万トン)、その他(1100-1400 万トン)であった。その他の原料のうち、POME と PFAD の利用可能量は 500 万トンであった。廃棄油脂に関する多くの細かな移動経路を本推計には含めていないため、4000 万トンという推計値は実際の賦存量よりも小さな値となっている。

また、本推計においては、倫理的観点からはこうした前提が受け入れられるとは限らないものの、規制により人間が消費しなかった病気の動物や、BSE に関連した高リスクの臓器や獣脂といったものも獣脂の原料の対象に含めている。

イ) 荒廃地における油糧作物

荒廃地を活用して栽培される油糧作物も SAF の原料とすることが可能である。Bai et al(2008)³⁹ の定義によれば、土地の荒廃とは、「土地生態系の機能と生産性が長期間にわたって喪失し、自力で回復することが出来ない状態」を意味する。本推計においては、伐採地域等の炭素ストックの減少を伴った近年の土地利用変化が生じた土地を除外するため、世界の荒廃地のうち 1%のみを分析対象とした。また、本推計においては荒廃地を把握するために植生指数(NDVI)を使用し、1 ha あたり 2.5-3 トンのジャトロファを HEFA の経路で生産できると仮定した。その結果、8500 万トンの油糧作物が荒廃地において生産可能であると推計された。以下の計算式は、引用文献である Bai et al(2008)のレポートをもとに、弊社が荒廃地における油糧作物の賦存量の導出過程の再現を試みたものであるが、合計値が 87,645,260 トンとなり、8500 万トンという WEF の推計値には一致しなかった。

$$35,058,104 \text{ (ha)} \times 2.5 \left(\frac{\text{t}}{\text{ha}} \right) = 87,645,260 \text{ (t)} \approx 8500 \text{ 万 (t)}$$

ウ) 被覆作物として栽培される油糧作物

本来は土壌侵食を防ぐなどの役割で利用される被覆作物であるが、エネルギー利用を目的として栽培することにより、HEFA の経路で SAF を生産することが可能である。FAO 統計⁴⁰から、栽培対象となる土地は合計 8 億 5500 万 ha とした。また、耕作地のうち、25%の土地が被覆作物の栽培に現実的に利用可能であり、そのうち油糧作物の栽培として利用可能な割合は 20%と仮定した。また、1 ha あたり 1.7 トンのカメリナを生産できると仮定した。その結果、7000 万トンの原料が生産可能であると推計された。以下の計算式により推計が行われたものと考えられる。

³⁹ Z.G.Bai et al.(2008)“Proxy global assessment of land degradation” <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1475-2743.2008.00169.x> (2022年3月7日閲覧)

⁴⁰ FAOSTAT, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>(2022年3月7日閲覧)

$$8 \text{ 億} 5500 \text{ 万} (ha) \times 0.25 \times 0.20 \times 1.7 \left(\frac{t}{ha} \right) \cong 7267 \text{ 万} (t) \cong 7000 \text{ 万} (t)$$

エ) 被覆作物として栽培されるセルロース系作物

耕土地の内、25%の土地が被覆作物を栽培するために現実的に利用可能であり、そのうち被覆作物として栽培されるセルロース系作物の栽培として利用可能な割合は 80%と仮定した。被覆作物として栽培されるセルロース系作物としてミスカンサス(miscanthus)を選定した。その結果、11 億トンの原料が生産可能であると推計された。

オ) 農業残渣

農業残渣には、トウモロコシ、穀物、米、サトウキビのような代表的作物の収穫時に収穫しきれなかったもの、および工場から排出されるそれらの残渣が含まれる。窒素循環を維持するために、各収穫後に対象地には 1km² あたり 250 トンの残渣が残されていると仮定した。また、動物の飼料や寝床として他の部門で利用される残渣分を除外して計算した。その結果、6 億 6000 万トンの原料が生産可能であると推計された。(出所は不明)

カ) 森林残渣

森林残渣は、枝や売り物にならずに放置されている木材が対象である。ACRE(マッキンゼー農業高度分析センター)の推計に基づき、高い炭素ストックがある土地や、原生林、保護地域のすべてのバイオマスを除外した。土壤環境維持のために、収穫の 1 サイクルにおいて、対象地には 1km² あたりおよそ 1000 トンの残渣が残されていると仮定した。その結果、原料の生産ポテンシャルは 5 億 8000 万トンと推計された。

キ) 製材残渣

製材残渣には、製材工場やパルプ工場で副産物として出てくる厚板やおが屑、木質チップなどが含まれる。森林残渣と同様の基準を用いて、3 億 2000 万トンの原料が生産可能であると推計された。

ク) 都市ごみ

世界では、およそ 2000 億トンの都市ごみが毎年生み出される。そのうち約半分が、食品や菜園由来の有機物である。本推計では、世界銀行によって報告された食料と植物の廃棄物を燃料生産のために理論的には利用可能であるとした。また、都市ごみに占める再利用不能プラスチックの割合は 20%とした。再利用不可能や回収不可能なプラスチックについては、燃焼するか埋め立てられている。結果として、9 億 6000 万トンの都市ごみが利用可能であると推計された。

c. SAF 供給ポテンシャルの推計

Clean Skies for Tomorrow の推計においては、原料と経路別の変換効率および生産量に占める SAF の割合について、それぞれ以下の値が設定されている。

表 2-3 原料と経路別の変換効率および生産量に占める SAF の割合

原料	経路	変換効率*	SAF の割合**
油脂	HEFA	90 %	46 %
バイオマス	Alcohol-to-jet	13 %	77 %
バイオマス	Gasification/FT	20 %	60 %
CO2	Power-to-liquid	17 %	60 %

*生産量の重量を原料の重量で割り、パーセント(%)表記にしたもの

**原料から生産された総重量に占める SAF の割合

出所) WEF(2020)“Clean Skies for Tomorrow Sustainable Aviation Fuels as a Pathway to Net-Zero Aviation INSIGHTREPORT”より MRI 作成

具体的には、以下の計算式により、SAF の製造ポテンシャルを推計している。ここでは、SAF の製造方法として経路 A、B をそれぞれ利用した際の推計式を表している。

SAF 製造可能量 = SAF 原料生産可能量

$$\times \left\{ \left(\text{経路 A の利用率} \times \text{経路 A における原料変換効率} \times \text{経路 A における SAF の生産割合} \right) + \left(\text{経路 B の利用率} \times \text{経路 B における原料変換効率} \times \text{経路 B における SAF の生産割合} \right) \right\}$$

2) ATAG による推計

a. 概要

ATAG(Air Transport Action Group)は空港関係者、エアライン、航空機メーカー、航空管制機関を主力メンバーとし、旅行事業者、通信事業者、地上運送事業者を協力メンバーとする非営利団体である。

ATAG Waypoint2050 は、ICAO による航空機の CO2 基準に準拠するとともに、パリ協定の 2℃目標に従って、2050 年までに航空セクターにおける CO2 排出量を 2005 年比 50%に抑えることを目標としている。加えて、2060～2065 年までには政府による支援体制の下、メーカーや研究開発機関の取り組みにより、航空セクターにおけるゼロエミッションの実現を目指すパスが示されている。

b. Waypoint2050(2021 年 Ver.)における SAF 供給ポテンシャル

Waypoint2050 では、2025 年および 2050 年における SAF の導入量を予測している。まず、2025 年においては、SAF の年間導入量は 300 万 t から 800 万 t であり、全体のジェット燃料に占める SAF の割合は最大でも 2%と予測している。また、2050 年における SAF の年間導入量の予測については、複数のシナリオ(F1～F4)を用いている。四つのシナリオの概要については表 2-4 の通りであり、F2、F3、F4 の 3 つのシナリオについては、2050 年までにネットゼロを達成することからバック

キャストしたシナリオである。2050 年時点で最も SAF を必要とするシナリオは F3 であり、2050 年には 4 億 4,500 万 t の SAF が必要となる。F2～F4 の結果から、2050 年に世界の航空業界がネットゼロを達成するためには、3 億 3,000 万 t～4 億 4,500 万 t の SAF の導入が必要であるとの推計が示された。

表 2-4 ATAG Waypoint2050 のシナリオにおける SAF の年間導入量

シナリオ	シナリオの内容	2050 年のジェット燃料に占める SAF の割合	2050 年における SAF の年間導入量
F1	SAF の使用の推進や研究開発状況を現状維持する場合	6-39%	0.3-1.95 億 t
F2	SAF 製造を強化した場合	90%	3.80 億 t
F3	SAF の導入に最も重点を置く場合	90%	4.45 億 t
F4	実現可能性を考慮した現実的なシナリオ	90%	3.30 億 t

出所) ATAG, “Waypoint 2050”(2021)(<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>, 2022 年 3 月 10 日最終閲覧)より MRI 作成

また、Waypoint2050 では、上記の F2、F3、F4 のシナリオに関して、2050 年までの SAF の年間導入量の原料別(HEFA、先進型バイオ燃料、排ガス、PtL)の内訳の推移が下図のとおり示されている。F2、F3、F4 のどのシナリオにおいても、2050 年断面では、HEFA、先進型バイオ燃料、排ガスによる SAF 供給量への寄与はおよそ 1 億 9,000 万 t であり、シナリオ間の差の要因となるのは、PtL の増加分であることが示されている。



図 2-1 シナリオ別の SAF 年間導入量とその内訳の推移

出所) ATAG, “Waypoint 2050”(2021)(<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>, 2022 年 3 月 10 日最終閲覧)

一方、Waypoint2050 では、2020 年と 2050 年において、従来のパスウェイを通じて、原料から製造される SAF の供給ポテンシャルが、表 2-5 のとおり示されている⁴¹。SAF の合計の供給ポテンシャル量は、2020 年においては 2 億 500 万 t であり、2050 年には 1 億 9,800 万 t に減少すると

⁴¹ 原料別の SAF の供給ポテンシャルに関する具体的な計算方法については、Waypoint2050 及び、Waypoint2050 が参照している ICF (2020) “Fueling Net Zero” のレポートにおいても記載を確認することができなかった。

見込まれている。これは、鉄鋼産業における脱炭素化の流れを受けて、原料としての産業排ガスが減少することを反映している。また、SAFの原料の利用可能性には、地域的な偏りがあることが図 2-2 のとおり示されている。中でも原料の利用可能量が大きい地域はアジア太平洋地域であり、特に木質バイオマス、農業残渣、産業排ガスの利用可能量が他の地域に比べて相対的に大きい。アジア太平洋地域は、今後、航空輸送の需要が最も拡大すると見込まれている地域でもある。

表 2-5 原料別 SAF の供給ポテンシャル

原料	SAF の供給ポテンシャル量(Mt)	
	2020	2050
廃棄油脂	11.6	13.9
油糧作物	13.4	16.1
セルロース系作物	24.8	27.4
農業残渣	52.5	57.9
木質バイオマス	51.7	51.7
都市ごみ	22.0	22.0
産業排ガス	28.6	9.5
合計	205	198

*油糧作物としては、カリナタ、カメリア、ジャトロファが対象。

**セルロース系作物としては、ミスカンサス、スイッチグラス、リードカナリーグラスが対象。

出所) ATAG, “Waypoint 2050”(2021)(<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>, 2022 年 3 月 10 日最終閲覧)より MRI 作成

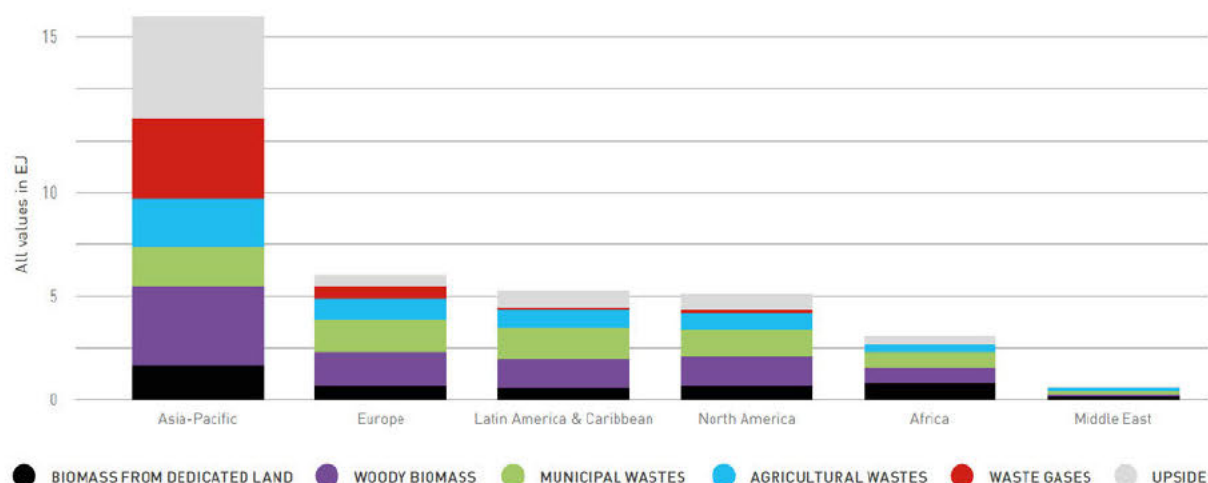


図 2-2 地域別の原料の利用可能性

出所) ATAG, “Waypoint 2050”(2021)(<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/waypoint-2050/>, 2022 年 3 月 10 日最終閲覧)

3) WORKING PAPER 2021-13

a. 概要

ICCT(The International Council on Clean Transportation)は、公衆衛生への裨益と気候変動の緩和のために、陸、海、空での輸送時の環境性能とエネルギー効率を高めることを使命として、公平な調査と科学技術分析を提供するために設立された非営利団体である。本レポートでは、EU における将来の SAF の原料賦存量と SAF 製造ポテンシャルを推計している。本レポートで分析対象とした原料は、廃棄油脂、農業残渣と被覆作物、森林残渣、都市ごみ、産業排ガス、e-fuel である。

本レポートでは、表 2-6 の通り、EU における 2025 年から 2035 年における 5 年ごとの各原料の賦存量、各原料から生産される SAF の生産ポテンシャル、および推計されたジェット燃料需要量に占める SAF の割合を推計している。2030 年には、先進型 SAF 製造ポテンシャルは 340 万トンであると見込まれており、これは 2030 年に予想される EU のジェット燃料の需要量の 5.5 % に相当する。また、2025 年から 35 年の 10 年間で原料の賦存量自体に変化は見られないものの、SAF 製造施設の増加により、SAF の製造ポテンシャルは 2.37 倍(190 万トン／年から 450 万トン／年)に増加すると推計されている。

表 2-6 2025 年から 2035 年までの EU における SAF 製造ポテンシャル推計値*

2025 SAF production estimates

Feedstock	Available feedstock (Mt)	Max SAF production (Mt)	% 2025 Jet fuel demand
Waste FOGs	2.4	1.2	2.1%
Ag residues, cover crops	83.7	0.2	0.4%
Forestry residues	5.1	0.1	0.1%
Municipal and Industrial waste	21.2	0.1	0.2%
Industrial flue gases	12.1	0.4	0.7%
Electrofuels	-	0.0	0.0%
Total	124.3	1.9	3.5%

2030 SAF production estimates

Feedstock	Available feedstock (Mt)	Max SAF production (Mt)	% 2030 Jet fuel demand
Waste FOGs	2.4	1.2	1.9%
Ag residues, cover crops	83.7	0.9	1.4%
Forestry residues	5.1	0.2	0.3%
Municipal and Industrial waste	21.2	0.3	0.4%
Industrial flue gases	12.1	0.8	1.2%
Electrofuels	-	0.1	0.2%
Total	124.3	3.4	5.5%

2035 SAF production estimates

Feedstock	Available feedstock (Mt)	Max SAF production (Mt)	% 2035 Jet fuel demand
Waste FOGs	2.4	1.2	1.7%
Ag residues, cover crops	83.7	1.3	1.9%
Forestry residues	5.1	0.3	0.4%
Municipal and Industrial waste	21.2	0.3	0.4%
Industrial flue gases	12.1	1.1	1.6%
Electrofuels	-	0.2	0.3%
Total	124.3	4.5	6.4%

出所)ICCT (2021) “Estimating sustainable aviation fuel feedstock availability to meet growing European Union demand,” p.19 <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Sustainable-aviation-fuel-feedstock-eu-mar2021.pdf> (2022年3月7日閲覧)

b. 各原料生産ポテンシャルの推計結果

ア) 廃棄油脂

本レポートでは廃棄油脂(Waste fats, oils, and greases)として、廃食油と獣脂を対象とする一方で、PFAD とトール油については分析の対象から除外している⁴²。廃食油の利用可能量として、バイオ燃料産業において利用されている廃食油のベースライン値からイギリスの廃食油を差し引いた Phillips ら(2019)の推計値を本レポートでは採用した。また、獣脂に関しても Phillips ら(2019)の推計を用いて、2030 年時点において EU 全体では 75 万トンの賦存量があると見込んでいる。廃棄油脂全体では、240 万トンの賦存量があると推計されている。

イ) 農業残渣と被覆作物

農業残渣に関して本レポートでは、Searle and Malins(2016)の推計結果を利用している。推計過程において、キノコ栽培、園芸、家畜の飼料および寝具、熱、電力生産のために既に利用されている農業残渣量は除外されている。2030 年において、7,650 万トンの農業残渣がバイオ燃料生産に利用可能であると推計された。

また、被覆作物については現状、利用可能なデータがかなり限られているが、本レポートにおいては、Baldino ら(2018)の推計結果を利用した。Baldino らは、2050 年に一年生作物用に使用された土地の 10%で被覆作物が栽培されている可能性があり、その半分が既に飼料に利用されている被覆作物の量に影響を及ぼすことなく、バイオ燃料生産に利用できると推定している。こうして推計された土地の面積は 450 万 ha である。Baldino ら(2018)は、2030 年において、715 万トンの被覆作物が利用可能であると推計している。

農業残渣と被覆作物の利用可能量は合計で、8,370 万トンであると推計された。

ウ) 森林残渣

森林残差の利用可能量の推計についても、Searle and Malins(2016)の推計結果を採用している。その推計過程では、森林土壌の環境を良好に保つためにいかなる場合においても、森林残渣の少なくとも 50%は、森林に残されるべきであるという前提で推計を行っている。また、熱や発電など他の用途での森林残差の利用分を差し引く際には、国家再生可能エネルギー行動計画で計画されている消費データからその量が計算された。2030 年において 510 万トンの森林残渣が利用可能であると見込まれている。

エ) 都市ごみ

利用可能な都市ごみ量の推計についても、Searle and Malins(2016)の推計結果を利用している。Searle and Malins(2016)は、2030 年までに廃棄物の減少や、たい肥化とリサイクルの精度向上により、利用可能な原料は 50%減少すると見込んでいる。さらに、エネルギーリカバリーのない焼却

⁴² パーム油精製の副産物である PFAD を分析の対象から除外した理由は、パーム油に関連する土地利用の GHG 排出量が高いからである。また、トール油を SAF の生産に振り向ける場合、転用されたトール油を代替するために、GHG 排出量が相当量排出されることになるバージン植物油等を生産することになるため、トール油を分析の対象から外している。

は50%減少すると想定している。このような仮定の下、2030年において2120万トンの都市ごみが利用可能であると推計されている。

オ) 産業排ガス

LanzaTech社の生産プロセスにおいては、製鉄所などからの排ガス(COとH₂を含む)を微生物により発酵させることで中間生成物であるエタノールが生産され、エタノールは脱水反応、オリゴマー化を経て合成炭化水素(SAF)になる。

本レポートでは、Bazzanella and Ausfelder(2017)の推計方法を参考に行っている。推計では、EU全体の鉄鋼の生産量はおよそ2018年の水準であると仮定し、鉄鋼1トンあたりの排ガスの排出係数を掛け合わせることで、COとH₂の総生産量を算出した。その際、Wortler et al(2013)のように、製鉄所の排ガスの70%が既に現地工場で回収・燃焼されていると仮定した。その結果、利用可能な産業排ガス量(主にCO)は1210万トンと推計された。また、エタノール1トンあたりの生産に必要なCOは3.65トンであると仮定したところ、330万トンのエタノールが生産されると推計された。

カ) e-fuel

水分子が電気分解により水素と酸素に分解され、水素がCO₂と合成されることにより、液体または気体の炭化水素あるいはアルコール(PtL)が生産される。本レポートでは、現状で利用可能なPtLの量については、Searle and Christensen(2018)による推計結果を利用している。燃料1L当たり2€の政策支援が受けられるという前提のもと、風力由来の電力と産業由来のCO₂から生産されるe-fuelは、2025年には6,000トン、2030年までに15万トン、2035年までに23万トンに増加すると見込まれている。

c. SAF 供給ポテンシャルの推計

SAFの製造ポテンシャルは、原料と経路によって異なる。本レポートでは、以下の生産係数と生産物に占めるSAFの比率を利用した。

表 2-7 原料と経路別の生産係数と生産物に占めるSAF比率

原料	経路	生産係数 (yield factor) (液体燃料t/原料 t)	各経路の生産物に占める SAF の比率
廃棄油脂	HEFA	0.9	0.59
農業残渣	Gasification-FT	0.2	0.5
森林残渣	Gasification-FT	0.22	
都市ごみ	Gasification-FT	0.07	
被覆作物	Gasification-FT	0.2	
産業排ガス	ATJ	0.46	0.75
e-fuel	PtL	-	-

出所)ICCT (2021) “Estimating sustainable aviation fuel feedstock availability to meet growing European Union demand”よりMRI作成

また、農業残渣、被覆作物、森林残渣、都市ごみ、産業排ガスを原料とする SAF 生産量は、2025 年から 35 年において原料利用率が増加することに従い、表 2-8 のように増加していくものと推計された。原料利用率の変化は、SAF 製造工場の今後の展開予測に基づいている。各原料の利用可能量に原料利用率と表 2-7 の値を掛け合わせるにより、2025 年から 2030 年までの SAF 製造ポテンシャルが推計されている。

表 2-8 2025 年から 2035 年までの SAF 生産量と各原料利用率

原料	2025		2030		2035	
	SAF 生産量(Mt*)	原料利用率	SAF 生産量(Mt*)	原料利用率	SAF 生産量(Mt*)	原料利用率
農業残渣/ 被覆作物	0.19	2%	0.87	10%	1.35	16%
森林残渣	0.06	11%	0.22	39%	0.31	56%
都市ごみ	0.10	14%	0.26	35%	0.31	41%
産業排ガス	0.38	33%	0.76	67%	1.14	100%
合計	0.74		2.10		3.11	

*Mt は 100 万トンを表す。

出所)ICCT (2021) “Estimating sustainable aviation fuel feedstock availability to meet growing European Union demand”より MRI 作成

2.1.2 原材料・サプライチェーン等の商流に係る事例調査

(1) 概要

本調査項目では、過去数年間で世界的に大幅に増加した SAF 調達の実事例に加え、表明されている SAF の調達事例、今後計画されている SAF の製造計画に関して事例を収集し、取り纏めた。なお本調査(2)(3)は、欧州において実際に SAF の製造販売に取り組む事業者による報告に基づくものである。

(2) SAF 調達事例に係る調査

1) SAF 調達事例の収集

表 2-9 は、世界における SAF 調達の実事例について、SAF 供給者、SAF 購入者、購入スキーム、ボリューム、契約年数、導入空港、製造技術・原料、製造施設、原料等供給者の観点から整理したものである。また、表 2-10 は、実際に調達が行われたことが明らかでない SAF 調達表明事例である。

SAF 調達については、過去、KLM Corporate Biofuel Program や Fly Green Fund などのスキームを活用しつつ、エアラインが SAF 供給者と契約を結ぶことにより、将来も含めた SAF の供給を確保するために取り組んできた。

一方、近年では、エアラインによる購入に加えて、コンサルティング企業による調達事例が見られる点が注目される。これらの購入スキームの差異については後述する。

この他、製造側に着目すると、今回の調査に挙げられた事例はいずれも HEFA によるものであり、原材料は廃食油か残渣油脂によるものであった。

表 2-9 世界における SAF の実調達事例

契約開始	SAF 販売者	SAF 購入者	購入者のタイプ	調達量	契約年数	導入空港	製造技術/原料	製造施設	原料等供給者	調達スキーム等
2016 年	SkyNRG 社	KLM	エアライン	非公開	複数年	ロサンゼルス空港	HEFA/ 廃食油	World Energy Paramount 製油所	SkyNRG 及びジェット燃料サプライ	KLM Corporate Biofuel Program を活用したもの
2016 年	SkyNRG 社	Swedavia	空港	非公開	非公開	ストックホルム・アーランダ空港、イエーテボリ・ランドヴェッテル空港、ストックホルム・ブロンマ空港、ヴィスビュー空港、ルレオ空港	非公開	World Energy Paramount 製油所	SkyNRG 及びジェット燃料サプライ	Fly Green Fund を利用して Swedavia 職員の出張輸送の CO2 排出削減を企図した SAF の供給
2019	SkyNRG 社	Finnair	エアライン	非公開	非公開	サンフランシスコ国際空港	非公開	World Energy Paramount 製油所	SkyNRG 及びジェット燃料サプライ	Finnair が実施する Push for Change Program によるもの
2019	World Energy 社	ANA	エアライン	266kL	非公開	サンフランシスコ国際空港	非公開	World Energy Paramount 製油所	昭和シェル石油	Finnair が実施する Push for Change Program によるもの
2019	SkyNRG 社	PwC	企業	非公開	5 年	ロサンゼルス空港、アムステルダム・スキポール空港	HEFA/ 廃食油	World Energy Paramount 製油所 / SkyNRG DSL-01 製油所	SkyNRG 及びジェット燃料サプライ	Board Now Program を活用したもの
2019	NESTE 社	ルフトハンザ航空	エアライン	非公開	非公開	フランクフルト国際空港	HEFA/ 廃棄油脂・残渣油脂	NESTE 社製油所	非公開	ルフトハンザ航空が実施する Compensaid を活用したもの
2019	NESTE 社	KLM	エアライン	非公開	非公開	アムステルダム・スキポール空港	HEFA/ 廃棄油脂・残渣油脂	NESTE 社製油所	非公開	KLM Corporate Biofuel Program を活用したもの
2020	NESTE 社	ANA	エアライン	非公開	複数年	羽田空港、成田空港	HEFA/ 廃棄油脂・残渣油脂	NESTE 社製油所	非公開	—
2020	SkyNRG 社	Vistajet (マルタ)	エアライン	非公開	複数年	ロサンゼルス空港	HEFA/ 廃食油	World Energy Paramount 製油所	SkyNRG 及びジェット燃料サプライ	SkyNRG が提供する Book & Claim system を活用したもので排出削減を旅客に移転

契約開始	SAF 販 売 者	SAF 購 入 者	購 入 者 の タイプ	調達量	契約年数	導入空港	製 造 技 術 / 原 料	製造施設	原 料 等 供 給 者	調達スキーム等
2020	World Energy 社	ルフトハンザ航空	エアライン	11.4kL	複数年	サンフランシスコ国際空港	HEFA/ 廃 棄 油脂・残渣油 脂	World Energy Paramount 製油 所	非公開	－
2020	SkyNRG 社	マイクロソフト社	企業	非公開	非公開	ロサンゼルス空港、アムステルダム・スキポール空港	HEFA/ 廃 食 油	World Energy Paramount 製油 所 /SkyNRG DSL-01 製油所	非公開	Board Now Program を活用した もの。短期的には排出 削減量はマイクロソフト 社職員に移転。
2020	NESTE 社	アラスカ航空	エアライン	非公開	非公開	サンフランシスコ国際空港	HEFA/ 廃 食 油	NESTE	非公開	－
2020	NESTE 社	アメリカン航空	エアライン	非公開	非公開	サンフランシスコ国際空港	HEFA/ 廃 棄 油脂・残渣油 脂	NESTE	非公開	－
2020	NESTE 社	JetBlue 航空	エアライン	非公開	非公開	サンフランシスコ国際空港	HEFA/ 廃 棄 油脂・残渣油 脂	NESTE	非公開	－
2021	World Energy 社	JetBlue 航空	エアライン	5,700kL (ブレンド 済)	3 年	ロサンゼルス空港	HEFA/ 非 公 開	World Energy Paramount 製油 所	非公開	－
2021	NESTE 社	デルタ航空/デロイト社	企業	非公開	非公開	非公開	HEFA/ 廃 棄 油脂・残渣油 脂	NESTE	非公開	ネステ社からアラスカ 航空に供給された SAF によりデロイト社は CO2 排出を削減
2021	World Energy 社	ユナイテッド航空 Eco Skies Alliance	企業	約 1.3 万 kL	複数年	ロサンゼルス空港	HEFA/ 廃 棄 油脂・残渣油 脂	非公開	非公開	ユナイテッド航空におけ る SAF の使用で CO2 の排出削減を主張
2021	SkyNRG 社	ボストン・コンサルティング・グループ	企業	非公開	8 年	複数空港	HEFA/ 廃 食 油	World Energy Paramount 製油 所 /SkyNRG DSL-01 製油所	SkyNRG 及びパート ナー	Board Now Program を活用した もの。
2021	NESTE 社	DHL	企業	非公開	非公開	East Midlands 空港	HEFA/ 廃 棄 油脂・残渣油 脂	非公開	非公開	－
2022	ENI	SEA	空港	非公開	非公開	Mulan Linate 空港、Milan Malpensa 空港	HEFA/ 廃 食 油	非公開	非公開	－

契約開始	SAF 販売者	SAF 購入者	購入者のタイプ	調達量	契約年数	導入空港	製造技術/原料	製造施設	原料等供給者	調達スキーム等
2022	EPIC Fuels	Boeing	航空機メーカー	約 7600kL (30%ブレンド)	—	ワシントン、サウスカロライナ	非公開/非可食農業残渣	非公開	非公開	—
2022	Neste 社	Virgin Atlantic	エアライン	約 2660kL	非公開	ロンドン・ヒースロー空港	HEFA/ 廃棄油脂・残渣油脂	NESTE	非公開	—
2022	BP 社	Qantas Airways	エアライン	約 1 万 kL	非公開	ロンドン・ヒースロー空港	HEFA/ 廃食油その他	非公開	BP	—

出所)欧州 SAF 関係者提供資料より三菱総合研究所作成

表 2-10 世界における SAF の調達表明事例

契約開始	SAF 販売者	SAF 購入者	購入者のタイプ	調達量	契約年数	導入空港	製造技術/原料	製造施設
2022 年	Philips 66	ブリティッシュ航空	エアライン	非公開	複数年	英国の空港	コプロセッシング/廃棄物	Humber 製油所
2022 年	Exxon Mobil	シンガポール航空	エアライン (パイロットプロジェクト)	非公開	1 年	チャンギ空港	HEFA/廃食油、廃獣脂	Neste 社製の SAF を Exxon Mobil シンガポール施設でブレンド
2022 年	LanzaJet 社	ブリティッシュ航空	エアライン	約 1 万 kL	5 年	非公開	ATJ/持続可能なエタノール	Freedom Pines 製油所
2022 年	RedRock Biofuels	サウスウエスト航空	エアライン	約 8 万 kL	7 年	非公開	ガス化 FT 合成/森林残渣	RedRock Biofuels 製油所
2022 年	LanzaJet 社	全日空	エアライン	非公開	非公開	非公開	ATJ/持続可能なエタノール	Freedom Pines Facility
2022 年	GEVO 社	デルタ航空	エアライン	約 3.8 万 kL/年	非公開	非公開	ATJ/非可食トウモロコシ産業廃棄物	Luverne プラント
2023 年	SG Preston 社	JetBlue 航空	エアライン	約 25 万 kL	10 年	JFK 空港、ラガーディア空港、ニューアーク・リバティー国際空港	HEFA/廃棄油脂・グリース、非可食油糧種子	SG Preston/ Northeast facility
2025 年	SkyNRG 社	KLM	エアライン	約 9.5 万 kL/年	非公開	アムステルダム・スキポール空港	HEFA/廃棄油脂	SkyNRG DSL-01 製油所
2024 年	GEVO 社	スカンジナビア航空	エアライン	約 1.9 万 kL/年	10 年	非公開	ATJ/第一世代、第二世代トウモロコシ	GEVO Net zero プロジェクト
2024 年	Aemetis 社	デルタ航空	エアライン	約 95 万 kL	10 年	非公開	非公開/再生可能油脂	Aemetis 社 Carbon zero
2024 年	Aemetis 社	ワンワールドアライアンス	MOU のみ	約 133 万 kL (40%ブレンド)	7 年	サンフランシスコ国際空港	非公開/再生可能油脂	Aemetis 社 Carbon zero

契約開始	SAF 販売者	SAF 購入者	購入者のタイプ	調達量	契約年数	導入空港	製造技術/原料	製造施設
2024 年	Northwest Advanced Bio-Fuels 社	デルタ航空	エアライン	非公開	非公開	シアトル、ポートランド、サンフランシスコ、ロサンゼルス	ガス化 FT 合成/森林残渣	Northwest Advanced Bio-Fuels 社
2025 年	Prometeus Fuels 社	アメリカン航空	エアライン	約 3.8 万 kL	非公開	非公開	PtL/水、大気中 CO2	Prometeus Fuels 社
2026 年	Velocys 社	サウスウェスト航空	エアライン	約 83.2 万 kL	15 年	非公開	ガス化 FT 合成/森林残渣	Velocys 社 Bayou プラント
2026 年	Velocys 社	IAG	MOU のみ	約 27.7 万 kL	10 年	非公開	ガス化 FT 合成/森林残渣	Velocys 社 Bayou プラント
非公開	Fulcrum 社	キャセイパシフィック航空	エアライン	約 143 万 kL	10 年	米国	ガス化 FT 合成/都市ごみ	Fulcrum 社
非公開	Fulcrum 社	ユナイテッド航空	出資 + エアラインによる購入	約 34 万 kL/年	非公開	非公開	ガス化 FT 合成/都市ごみ	Fulcrum 社
非公開	GEVO 社	ルフトハンザ航空	エアライン	約 15.2 万 kL	5 年	非公開	ATJ/非可食トウモロコシ産業廃棄物	Luverne プラント
非公開	Atmosfair 社	ルフトハンザ航空	エアライン	約 27kL/年	5 年	非公開	PtL/水、大気中 CO2	Atmosfair 社 Esmland 製油所
非公開	RedRock Biofuels	Fedex	企業	約 1.1 万 kL/年	7 年	非公開	ガス化 FT 合成/森林残渣	RedRock Biofuels 製油所
非公開	Alder Fuels	ユナイテッド航空	企業	約 570 万 kL/年	20 年	非公開	非公開	非公開

出所)欧州 SAF 関係者提供資料より三菱総合研究所作成

(3) SAF 製造事例に関する調査

2022 年 3 月現在、SAF を定常的に製造するプラントは限られており、世界中で継続的に SAF を生産している施設は一件のみである。他方、HEFA は HVO と同じ水素化処理技術を使用することが可能であり、僅かな調整で SAF 量を生産できる再生可能なディーゼル施設が多数稼働している。また、陸上輸送の再生可能燃料義務に基づく SAF へのインセンティブの追加の可能性もあり、さらに SAF に関する規則の導入により、SAF の生産能力は今後数年間で大幅に拡大する可能性もある。

現時点においては、陸上輸送に対するインセンティブシステムとこれに付随する経済的利益のために、製造事業者はしばしば再生可能なディーゼル市場のみにサービスを提供することを決定している。

表 2-11 SAF を定常的に製造するプラント

企業名	プラント名	生産開始	国	技術	原料	容量	備考
World Energy	パラマウント製油所	2016 年	米国	HEFA	非公開	約 13.3 万 kL	継続的に SAF を生産する唯一の施設。2022 年には約 105 万/年の生産に拡大予定。当該施設から LAX・SFO に SAF を配送するサプライチェーンがある。
NESTE	—	—	—	—	—	—	ロッテルダムとシンガポールにて規模を拡大予定
Gevo	Silsbee Refinery	2013 年	米国	AtJ	—	—	—
Eni	Taranto 製油所	2021 年	イタリア	コプロセッシング	廃食油	—	生産は継続的ではない。Eni は SAF の生産を拡大する予定であり、2022 年にリボルノ製油所でも生産開始予定。
Repsol	Petronor 産業コンプレックス (ビルバオ)	2021 年	スペイン	コプロセッシング	廃棄物	—	生産は継続的ではない。レプソルは、将来的にカルタヘナの製油所により SAF 生産量を増加する計画を有する。
Total Energies	La Mède 製油所	2021 年	フランス	HEFA	廃食油	—	生産は継続的ではない。Total は Grandpuits 製油所により SAF 生産量を増加する計画を有する。

出所)欧州 SAF 関係者提供資料より三菱総合研究所作成

(4) SkyNRG による Board Now Program 参画企業

Board Now Program は、企業がビジネスストリップや貨物輸送における SAF 購入を長期でコミットする仕組みであり、一定の SAF の需要を確保することで SAF 製造事業の安定的な運用を可能とするプログラムである。企業は独立監査人による SAF の調達確認と年間レポートを受領する。Board Now Program への参画企業は以下の通りである。

表 2-12 Board Now Program 参画企業と契約期間

Table 3. Offtake agreements SkyNRG's Board Now Program

SAF purchaser	Type of purchase	Vol. (mgal)	Length of agreement (years)	Conversion technology/ type of feedstock	Production facility
PwC NL	Offtake corporate	Conf.	5	HEFA/Conf.	DLS-01
Skyscanner	Offtake corporate	Conf.	5	HEFA/Conf.	DLS-01
Etraveli group	Offtake corporate	Conf.	5	HEFA/Conf.	DLS-01
Microsoft	Offtake corporate	Conf.	Conf.	HEFA/Conf.	Conf.
BCG	Offtake corporate	Conf.	5	HEFA/Conf.	DLS-01
Bank of America	Offtake corporate	Conf.	10	HEFA/Conf.	DLS-01
APG	Offtake corporate	Conf.	10	HEFA/Conf.	Conf.
Novo Nordisk	Offtake corporate	Conf.	5	HEFA/Conf.	DLS-01
NRDC	Offtake corporate	Conf.	5	HEFA/Conf.	DSL-01

(5) SAF 製造技術開発・実証動向に係る調査

令和 2 年度燃料安定供給対策に関する調査等(バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策の在り方に関する調査)では、ICAO が整理したリストに基づいて SAF 製造計画について整理を行った。今回の調査では、SAF の製造計画として、2020 年後半から 2021 年にかけて発表された米国、英国における実証プロジェクトに加え、目下欧州委員会が支援するプロジェクトについて記す。

1) 米国

2021 年 9 月 9 日、米国エネルギー省は低コストで低炭素バイオ燃料を生産する技術とプロセスの開発に焦点を当てたプロジェクトに対して 6,400 万ドル以上の資金を提供すると発表した。SAF に関するプロジェクトを実施する各企業と取組の概要は以下の通りである。

表 2-13 DOE 支援プロジェクト(2021 年 9 月発表)の実施企業とプロジェクト内容

企業名	事業概要	設立	主要株主	DOE 支援プロジェクトの内容	予算額	その他当該企業の取組
Alder Energy 社	プロセス技術開発	2021 年	Honeywell、ユナイテッド航空、ADEQUITA Capital	農業残渣由来の SAF 一貫製造プロジェクト 独自の APO™ 技術により、1 日当たり 0.5 トンのミスカンサスから熱分解油を製造。1 ガロン当たり 2.75 ドル未満で SAF を 70 億ガロン(約 266 万 kL)以上、生産する。 ミスカンサスに対する急速熱分解油を適用する際のデータを獲得、ASTM 規格を満たすための燃料特性試験を伴う水素化処理を実施し商業化を加速するデータを提供。	4,000,000 ドル	COP26 においてコロンビア政府と農業残渣由来の SAF の製造で協力を発表。 ユナイテッド航空に 15 億ガロンの SAF を提供すると発表。
Gas Technology Institute (GTI)社	研究、開発、トレーニング組織	1941 年	非営利法人	①廃棄 CO2 ガス/バイオガスからの SAF 製造、②新たなガス化技術開発プロジェクト の 2 プロジェクトを実施 ①エタノール工場からの廃棄 CO2 ガスやダイジェスタからのバイオガスを合成ガスに変換する電気改質/逆シフト反応をスケールアップ、バイオガスの液体化コストを削減。改質器からの合成ガスを GTI 社の技術で FT 合 2.75 ドル/ガソリン換算ガロン以下で製造。GHG 排出は 70%以上削減。 ②R-GAS™と呼ばれるガス化技術実証(BioRGAS)プロジェクト。都市ごみから、航空燃料、ディーゼル燃料、船用燃料を商業規模で生産できることを実証。2.75 ドル/ガソリン換算ガロン未満で製造。GHG 排出は 70%以上削減。	① 3,994,252 ドル ② 3,999,898 ドル	—
Global Algae Innovations 社	藻類生産・タンパク質・バイオ燃料商品、研究開発	2013 年	個人経営	DAC 由来 CO2 による藻類バイオマスの栽培と収穫を検証。 年間 12,500 ガロンのバイオ燃料中間体を生産。2.50 ドル/ガロンの最小燃料販売価格を検証する。GHG 削減は 90%以上。 CO2 は直接吸収されるため分離した CO2 濃縮等が不要。藻類バイオ燃料生産のコスト低減と藻類培養槽を広範囲に設置し、藻類バイオ燃料の生産量を増加。	4,000,000 ドル	Global Algae Innovations 社は過去より藻類の栽培、収穫、加工技術の R&D を実施。これまでに 28 の企業や大学との SAF 共同研究を実施。
LanzaTech 社	微生物によるガス発酵技術開発	2005 年	Khosla Ventures, Petronas Technology Ventures, Siemens Venture Capital, 三井物産等	バイオマス由来 CO2 と水素から SAF を製造。LanzaJet™ による ATJ プロセスと LanzaTech 社のガス発酵技術を適用。 既存のトウモロコシ由来エタノールプラントから排出される CO2 から約 46 億ガロン(約 1,748 万 kL)の SAF 生産ポテンシャル。従来ジェット燃料から GHG を 100%近く削減。 アルゴンヌ国立研究所、LanzaJet 社と連携	3,994,307 ドル	英国サウス・ウェールズ産業クラスター(SWIC)での ATJ プロジェクトも計画

企業名	事業概要	設立	主要株主	DOE 支援プロジェクトの内容	予算額	その他当該企業の取組
MicroBio Engineer ing Inc.	バイオ燃料生産、微細藻類飼料、特殊製品用藻類槽の設計・建設	2007 年	不明	廃水スラッジの熱水液化(HTL)による航空燃料、大型トラック用燃料、船用燃料の生産プロジェクト。 2.50 ドル/1 ガロン未満のコストで化石燃料に比べて GHG を 80%削減。 年間 11 億ガロンの生産が可能である。 既存の下水处理場は小規模で実施試験回数も少ないが HTL をさらに 6 倍にスケールアップし(0.5 乾燥トン/日)、累積稼働時間 750 時間運転、一貫生産を目指す。 バイোকールドは大学や研究所等のプロジェクト参加者と石油精製会社の ASTM 試験向けにアップグレード予定。	3,999,596 ドル	分子生物学、生物化学、大規模栽培技術、土木/環境工学をカバー。 水、石油、航空、農業等のセクターにおける著名企業に R&D やプロジェクト開発等の支援を実施。
テキサス A&M 大学 アグリライフ研究所	農業、天然資源、ライフサイエンスにおける州の研究機関	—	—	生分解性プラスチック製品のスケールアップにより費用対効果の高い SAF の生産を可能とするプロジェクト(旧 BETO 支援プロジェクトで開発した技術を活用)。 1) Danimer Scientific 社の PHA 分離・プラスチック製造技術、2) POET 社と NREL のジェット燃料変換技術、3) テキサス A&M 大学のバイオプラスチック関連新規技術を統合。 リグノセルロース廃棄物から低コスト(2.5 ドル/kg)の PHA(ポリヒドロキシシアルカノエート)を製造。エタノール価格は 2.5 ドル/ガロン換算ガロン。	3,923,620 ドル	オクラホマ大学の研究チームと共同し、別途、効率的なプラスチック廃棄物の生分解に関する研究に対して NSF 等から 200 万ドルの助成金を獲得。
メリーランド 大学 College Park	—	—	大学のため略	超臨界 CO ₂ 、亜臨界水などの近臨界流体でバイオマスやバイオ廃棄物原料を液化、燃料製品を形成。 CO ₂ 原料の脱水、臨界液化、CO ₂ バイオ原油抽出の各プロセスを連続運転できるように開発し、運転予測モデルを構築。実証された出力での操作要件の設計知識を得る。リグノセルロース系、藻類、湿潤バイオマス、都市廃棄物等、多種原料サンプルを調査。 温度、圧力、溶媒/原料比、原料投入量、滞留時間、溶媒要件等の運転パラメータが、エネルギー投入量、GHG 削減、水と CO ₂ のリサイクル性、製品品質と収率、副産物等を調査。 O/C 比、H/C 比、組成、粘度、経時安定性、含水率、密度、発熱量等のパラメータで判定。石油系原油のプラントに組み込むことができるバイોકールドを得ることが目標。	3,101,362 ドル	プロジェクトの責任者アシュワニ・グプタ教授が所長を務めるメリーランド大学燃焼研究所(UMCL)は、燃焼、再生可能エネルギー、代替燃料の分野で最先端の研究を行う。発電用燃料のクリーンで効率的な燃焼のための技術を革新、持続可能性を促進することが目標。
D3Max LLC	セルロース系エタノール技術のライセンス	2015 年	有限責任会社(LLC)のため略	NREL の脱アセチル化・精製技術(Deacetylation and Mechanical Refining:DMR)によるコーンストーバー由来 SAF 製造技術を適用(プロジェクト名 SAFFiRE)。 Novozymes 社製加水分解酵素を用いた加水分解、Lallemand 社製の酵母を用いた中間体エタノールへの糖発酵を経て、LanzaJet 社の ATJ によりエタノールを SAF に変換。 コーンストーバー、酵素コスト、SAFFiRE の設備投資と運転費用、D3 RIN の現在の価格から試算した SAF の燃料販売価格は約 2.75 ドル/ガロン。GHG を最大 84%削減。 10 億ガロン(約 3 万 kL)の SAF 生産を 2040 年までに実現。	499,988 ドル	—

企業名	事業概要	設立	主要株主	DOE 支援プロジェクトの内容	予算額	その他当該企業の取組
SkyNRG America s Inc.	SkyNRG B.V.子会社 (オレゴン州)	—	SkyNRG B.V.	埋立地ガスからの超低炭素集約度の SAF 製造、初の商業的実証施設の建設と運営。プロジェクト名は LOTUS(Landfill Off-gas To Ultra-low carbon intensity SAF) 商業化パートナーの LanzaTech が埋立地ガスを SAF に変換する独自の実証施設を設計、エンジニアリング、建設、運用。フェーズ 1 で技術的な準備レベルを確認・見積り。フェーズ 2 でエンジニアリングとサイト建設、年間 500 万ガロンの定格容量を実証。 SAF 生産の地域供給網を形成。本助成で技術・財務リスクを軽減、SAF の商業展開加速。GHG 排出は最大 110%削減。	1,000,000ドル	ボーイングやアラスカ航空と契約を結び、将来の SAF 販路を確保。 親会社 SkyNRG BV(オランダ)は、SAF 市場の発展に 10 年以上の経験を有し Direct Service Line (DSL)として EU 初の SAF 専用プラントを計画。
T2C-Energy 社	TRIFTS 技術開発者が設立した会社(南フロリダ大学スピンアウト企業)	2012 年	—	TRIFTS®(バイオガスの化学プロセス技術)によるバイオガス由来の再生可能燃料製造技術を実証・スケールアップ。 T2C-Energy 社はバイオガスを液体輸送燃料に変換する TRIFTS®を開発・特許取得済みであり、同技術の規模を拡大、TRL7 を達成する実証プラントを設計・建設予定。TRIFTS プロセスはパイロットスケールでテスト済、9~24scfm の流量のバイオガスをドロップイン液体燃料に転換する。同社バイオガスプラントで生産した再生可能ディーゼル燃料は ASTM D975(ディーゼル燃料規格)に適合。反応器内の条件を変えるだけで大型車・航空・船用燃料を製造可能。 CO2 とメタン(CO2 比率 40-50%)から製造。高価な CO2 除去処理技術なしで使用する炭素が倍増、コスト削減が可能。また、ワックスを生成せず水素化処理、水素化分解、高温蒸留を不要化。	533,619ドル	2019 年ヘルナンド郡市営固体廃棄物施設 T2C-Energy に移動式 TRIFTS デモ装置を設置、定格出力 52 ガロン/日で約 1,000 ガロンのディーゼルを生産。
AVAPCO 社	ナノテクノロジー研究開発(ジョージア州アトランタ)	2011 年	有限責任会社(LLC)のため略	AVAPCO 社の AVAP®プロセスを用いて建設廃材、サトウキビ、森林残渣の三種バイオマスからの SAF 生産技術を実証。 BASF, Arbiom, Corbion, Genomatic4社がリグノセルロース糖の品質と変換性を評価、ATJ 技術パートナーがエタノールの技術仕様を評価、Clark Atlanta 大学がデータ分析を実施。 目標指標は、DE95(Dextrose Equivalent 値=澱粉分解率 95%)のグルコース精製、ヘミセルロース糖を 90%(理論収率)でエタノールに発酵、バイオ燃料/バイオ製品への変換効率目標を達成する糖の純度と CAPEX・OPEX を把握。また、上記三種のバイオマス原料から得られるリグノセルロース糖(C5/C6)コストを精製含め 0.20 ドル/ポンド未満とする。	2,800,000ドル	AVAPCO 社は 2021 年 12 月にゴム用化学品生産プロジェクトに USDA 森林局等から計 73 万米ドルの資金を獲得。 また、2016 年に Byogy 社と ATJ 技術実証、Genomatica 社と再生可能ディーゼル製造実証。DOE から 370 万ドルの研究開発費助成。
Quasar Energy Group 社	再エネ、有機物管理農業、自治体、工業向けソリューション提供	—	—	NREL が開発した In Situ Product Recovery (ISPR)システムを用いて、固形食品廃棄物から揮発性脂肪酸(VFAs)を経て、SAF を製造。 嫌気性消化により含水廃棄物(食品、食品包装材、衛生用品、庭ごみ等)から VFAs を化学的中間体として製造、ケトン化、ヒドロデオキシ化等を経て SAF を製造。 含水廃棄物は温室効果ガスを発生するため、ゼロコスト、あるいはマイナスコストで SAF の生産が可能	3,500,000ドル	—

企業名	事業概要	設立	主要株主	DOE 支援プロジェクトの内容	予算額	その他当該企業の取組
Archer Daniels Midland 社	製粉、加工、飼料原料、食品原料、健康・栄養素材の供給	1902 年	Vanguard Group, Inc., State Farm Mutual Automobile Insurance Co., Blackrock Inc., Capital World Investors 等 (NYSE 上場)	代替タンパク質の生産から出る廃棄物のエンドウ豆のでんぷんをバイオマス原料として、SAF の前駆体であるイソブタノールを生産。 発酵統合膜溶媒抽出法(FIMSE)とイソブタノール発酵を組み合わせ、希薄な発酵ブロスからイソブタノールを 90wt% 超まで濃縮し、回収に必要なエネルギーを 50% 削減。 イソブタノールを製造するため、TRL 6 における最初の低エネルギーの FIMSE による SAF 製造プロセスの開発を可能にする。	3,466,844 ドル	ADM ジャパンは 1978 年に東京に設立。 Gevo 社と共同で ADM は総生産能力約 16 億ガロンのエタノール工場(7 か所)を用いて、最大 5 億ガロン SAF を生産する。両社は 2025-2026 年に SAF の商業生産開始を計画。

2) EU

欧州の研究開発プログラムである EU Horizon 2020 において、現在実施されている SAF 関連の研究開発プロジェクトは次表のとおり。13 件のプロジェクトに対し、約 8,100 万€(約 100 億円)が拠出されている。

表 2-14 2022 年 3 月現在の EU による SAF 製造技術開発支援プロジェクト

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
ASSESSMENT ON ALTERNATIVE AVIATION FUELS DEVELOPMENT	CENTRE INTERNACIONAL DE METODES NUMERICAS EN INGENIERIA(西) AIRBUS OPERATIONS LIMITED (英)、 SAFRAN SA(仏) SAFRAN AEROTECHNICS(仏) OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES(仏) IATA ESPANA SL SOCIEDAD UNIPERSONAL(西) UNIVERSITEIT HASSELT(ベル ギー) IIASA(オーストリア)	2,600,000 ユーロ (うち EU 負担 2,600,000 ユーロ)	2020 年 1 月 1 日 ～ 2022 年 12 月 31 日	代替航空燃料研究 - これまでドロップイン有機製品のテストを行い、現在民間航空機エンジンは、新製品の50%使用混合を認定した。今後、新しい原料開発による利便性追求と気候変動影響について研究を行う。 - 国際民間航空機関(ICAO)は現在、容易に入手可能な製品のライフサイクル分析(LCA)を標準化する最善の方法と認証手順を議論。このプロセスは、2016 年 10 月に承認された CORSIA(国際航空の炭素削減スキーム)適用のために必要で、2020 年レベルで国際航空二酸化炭素(CO2)排出量を安定化することを意図している。 - 現在、新しい有機起源燃料のいずれも、化石灯油に対して経済的に競争的な方法で生産される手段が証明されていない。CORSIA と欧州貿易システムの規定に加えて、航空会社にとっても持続可能な燃料を魅力的にするために、何らかの種類のインセンティブメカニズムを実装する必要があると考えられる。 - 中国とヨーロッパの協力提案の結果として、多くの原料や生産経路の使用を含む技術的および経済的分野の両方を考慮し、より広範な燃料利用の可能性がある。LCA の最適化、気候変動の影響、使用の技術的および経済的影響を考慮して、新しい燃料候補を評価する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
Sustainable Jet Fuel from Flexible Waste Biomass	FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EV(独) ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITA DI BOLOGNA(伊) STERLING POWER LTD (英) WRG EUROPE LTD(英) GREEN FUELS RESEARCH LTD (英) HYGEAR BV(蘭) BIGA ENERGIE GMBH & CO KG (独) ETA - ENERGIA, TRASPORTI, AGRICOLTURA SRL(伊) SKYNRG BV(蘭) ACONDICIONAMIENTO TARRASENSE ASSOCIACION (西) SUSTEEN TECHNOLOGIES GMBH(独) THE UNIVERSITY OF SHEFFIELD(英) SORMEC SRL(伊)	19,418,275 ユーロ (うち EU 負担 9,999,732 ユーロ)	2018 年 4 月 1 日 ~ 2024 年 3 月 31 日	フレキシブル廃棄物バイオマスによる持続可能なジェット燃料 - FlexJet は、廃植物油および有機固形廃棄物バイオマス(食品廃棄物)から航空バイオ燃料生産の商用前実証プラントを建設し、SABR-TCR 技術(従来のエステル交換(TRANS)およびサーモ熱を実証する。 - 圧力スイング吸着(PSA)による水素分離と触媒改質(TCR)、ハイドロ脱酸素(HDO)およびハイドロクラッキング/異性体化(HC)を組み合わせ、同等のジェット燃料を製造する (ASTM D7566 規格に準拠)。 - このプロジェクトは、環境と社会の持続可能性マッピングを提供し、プリティッシュ・エアウェイズと長期供給契約を結ぶエンドユーザーの関心に基づいて、包括的ビジネスプランを検証する。 - ドイツ・ホーエンシュタインの BIGA Energie のプロジェクト工場は、年間 3,482 トンの乾燥有機廃棄物と 1,153 トンの廃植物油から 1,200 トンのジェット燃料を生産する。プロジェクト終了後、年間 25,000 トンの航空燃料を生産する商業プラントを建設する。 - FlexJet プロジェクトコンソーシアムは、欧州の航空会社の離職者や再エネの専門家を含め研究者、産業技術プロバイダーを集めた。 - このプロジェクトは、ヨーロッパ内の将来の持続可能な航空燃料開発と成長のベンチマークを設定するように設計され、持続可能な航空バイオ燃料を大規模かつ分散型の両方のスケールで経済的に生産する事例を世界に提供し、社会的および環境的ニーズに対処する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
Advanced sustainable BIOfuels for Aviation	TOTALENERGIES RAFFINAGE CHIMIE(仏) SKYNRG BV(蘭) FUNDACION CENER(西) ETA - ENERGIA, TRASPORTI, AGRICOLTURA SRL(伊) CAMELINA COMPANY ESPANA S.L.(西) JRC -JOINT RESEARCH CENTRE-EUROPEAN COMMISSION(白) TOTAL RAFFINAGE FRANCE (仏)	16,861,000 ユーロ (うち EU 負担 10,003,000 ユーロ)	2018 年 5 月 1 日 ~ 2022 年 4 月 30 日	高度な持続可能なバイオ燃料 - BIO4A は EU 目標の達成に貢献するためバイオ燃料の商業規模での使用のため最低数千トン生産する。BIO4A は、バリューチェーンを TLR 6 から 7 へ移行する。廃棄物から HEFA(水素化処理エステルおよび脂肪酸)経路を目標にする。フルバリューチェーンを実証し、フランス初のバイオリファイナリーで 2-300 kt/y のバイオジェットの生産能力を可能にする。 - 燃料は、商用飛行の既存インフラと航空機燃料システムを使用して供給。発生から処分まで廃棄物の流れ(UCO)に焦点を当て、持続可能な原料供給に注意を払う。長期研究開発により、EU の限界土地(低 ILUC 間接的土地利用変化)にも取り組む。 - 環境データ(GHG とエネルギーバランスなど)、経済・社会データ(健康と安全の問題、影響と利益など)を目標に対して評価する。バイオジェット商業生産の主な障壁は価格ギャップであり、BIO4A はパフォーマンスとコスト目標、主要業績評価指標に対処する。 - 最終的にはビジネスケースを証明し、バリューチェーン全体における一般市民の受容性、市場や規制のリスク、障壁(原料、技術、ビジネス、プロセス)の潜在的な問題を特定し、過去のプロジェクトを活用し、緩和策の可能性を提案する。 - 長期供給契約は KLM およびエールフランス航空と締結した。追加の契約に署名して、より多くの航空会社への参加の可能性がある。 - 規制の枠組みはセクターの発展を制限しており、次の目標は政策立案者への提言である。提案は、主要セクターの利害関係者を含む EU/国家レベルで定義され、加盟国および EC との有益な対話を行う。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
Black Liquor to Fuel by Efficient HydroThermal Application integrated to Pulp Mill	BRUNEL UNIVERSITY LONDON (英) KARLSRUHER INSTITUT FUER TECHNOLOGIE(独) SINTEF AS(諸) SINTEF ENERGI AS(諸) PAUL SCHERRER INSTITUT(瑞) TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY(芬) THE NAVIGATOR COMPANY SA(葡) VALMET TECHNOLOGIES OY (芬) NESTE OYJ(芬) RANIDO, SRO(捷) LGI SUSTAINABLE INNOVATION(仏)	5,000,000 ユーロ (うち EU 負担 5,000,000 ユーロ)	2020 年 4 月 1 日 ~ 2023 年 9 月 30 日	パルプ工場と一体化した効率的な水熱利用で黒液の燃料化を実現 • BL2F プロジェクトは、化学パルプ工場における統合水熱液化プロセスを提案し、黒液からドロップイン・バイオ燃料を生産する。黒液をバイオ燃料の原料として使用。化石燃料に比べ CO2 排出量を 83%削減、生産コストは 0.90 ユーロ/リットルで競争力がある。 • 塩分離と HTL 反応器を組み合わせることで(1)HTL 油の直接アップグレードする、(2)水相を水素に改質し、統合型水熱脱酸素反応における外部化石水素の必要性を減らす、(3)パルプ工場にプロセスを統合し処理コストを削減する、3 つのイノベーションを行う。 • 2050 年までに 500 億リットル以上のバイオ燃料を生産し、EU の航空燃料(15Mtoe)・船舶用バイオ燃料(30Mtoe)の需要に対応する。 • パルプ工場における統合水熱液化(IHTL)プロセスは、石油精製所で改良するために燃料中間体を生産する。バイオマスは、還元的な条件の水中で、最高 400℃、300 気圧で低酸素含有量(10w-%未満)の HTL-オイルに変換される。エネルギー収率は 85%以上。統合水熱脱酸素法(IHDO)により、HTL-オイルはさらに燃料中間体(<5 w-% O2)にアップグレードされ、バンカー用船舶燃料や高品質の航空・船舶燃料製造のための原料として分類される。 • BL2F は、CEPI、Avinor、Rolls Royce の支援を受ける。世界第 6 位のさらしユーカリクラフトパルプメーカーNVG、バイオリファイナリーサプライヤー大手の Valmet、触媒開発企業の Ranido、世界最大の再生可能ディーゼル生産企業 Neste が、VTT、PSI、SINTEF、Tampere 大学、KIT、Brunel University London と協力する。LGI と産業界のパートナーは、このプロジェクトのインパクトを最大化する。野心的な目標と強力なコンソーシアムにより、再生可能なバイオ燃料と気候保護における欧州のリーダーシップを強化する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
Production of Sustainable aircraft grade Kerosene from water and air powered by Renewable Electricity, through the splitting of CO ₂ , syngas formation and Fischer-Tropsch synthesis	KARLSRUHER INSTITUT FUER TECHNOLOGIE(独) VLAAMSE INSTELLING VOOR TECHNOLOGISCH ONDERZOEK N.V.(白) CERAMIC POWDER TECHNOLOGY AS(諾) HYGEAR BV(蘭) INERATEC GMBH(独)	4,952,000 ユーロ (うち EU 負担 4,952,000 ユーロ)	2018 年 4 月 1 日 ～ 2022 年 3 月 31 日	再エネを利用し、水と空気から CO₂ 分解、合成ガス生成、FT 合成を経て持続可能な航空機用ケロシンを製造 • KEROGREEN(PJ の呼称)は、再生可能な電力により、水と二酸化炭素から合成される SAF の変換ルートを提供。SAF は煤煙の排出が少なく、硫黄分がないため、将来の航空大気汚染基準に適合する。この変換はプラズマによる CO₂ 解離、固体酸化物膜、ケロシンの FT 合成に基づく。プラズマ活性種と酸素分離器の新規ペロプスカイト電極との相乗効果により、CO の生産性とエネルギー効率向上が期待できる。燃料使用時の CO₂ 排出は直接回収し、プロセスへの原料として再利用する。この技術はモジュール式で拡張性があり、貯蔵、輸送、流通には安価な既存のインフラを利用する。 • 1kg/hr の燃料を生産するコンテナサイズのユニットへ新しいシステム統合により、技術準備レベルが TRL 3 から 4 に引き上げる。 • 開発段階のコストは化石燃料の 50%。市場参入は、ETS、航空会社の CO₂ 補償基金、ICAO の規制により促進される。KEROGREEN の安全性と持続可能性、環境影響、コスト、受容性を分析する。 • 再エネ余剰電力をカーボンニュートラルな液体燃料に変換することで、電力系統に膨大なエネルギー貯蔵能力を開放し、再エネの普及を促進する。KEROGREEN Power-to-X 技術は、電力部門から石油・ガス・化学部門に連なる汎用技術であり、EU 全体の CO₂ 排出予算削減、エネルギー安全保障の向上、化石燃料の節約につながる。 • コンパクトなサイズの「KEROGREEN」装置を洋上風力発電機や遠隔地の太陽光発電設備に近接し、高価な電力インフラなしでカーボンニュートラルな液体燃料を生産する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
BIOfuels production from Syngas FERmentation for Aviation and maritime use	TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY(芬) FUNDACION CARTIF(西) BIO BASE EUROPE PILOT PLANT VZW(白) AGENCIA ESTATAL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS(西) KUWAIT PETROLEUM RESEARCH & TECHNOLOGY BV(蘭) RINA CONSULTING SPA(伊) SUMITOMO SHI FW ENERGIA OY(芬) SEANRG BV(蘭) ETHNICON METSOVION POLYTECHNION(希) PARCO SCIENTIFICO TECNOLOGICO PER LAMBIENTE ENVIRONMENT PARK TORINO SPA(伊) GOODFUELS BV(蘭)	4,999,000 ユーロ (うち EU 負担 4,999,000 ユーロ)	2020 年 4 月 1 日 ~ 2024 年 3 月 31 日	航空機・船舶用合成ガス発酵からのバイオ燃料製造 • BioSFerA は生物由来の残渣や廃棄物をガス化し、合成ガスを発酵させてバイオベースのトリアシルグリセリド(TAG)を生産する。 • バイオ燃料は、TAG の水素化処理によって生産される。熱化学、生物学、熱触媒を組み合わせた全体的プロセスは、二重流動床ガス化炉でのバイオマスやその他の生物起源廃棄物のガス化と、生成した合成ガスの 2 段階発酵に基づく。このプロセスにより、合成ガスは酢酸に変換され(第 1 段階)、酢酸は TAG に変換される(第 2 段階)。 • 中・長級脂肪酸を含む TAG は、必要な分離・精製の後、水素化・異性化され、最終製品はそれぞれジェット燃料とバンカー用バイオ燃料になる。BioSFerA では、技術を TRL3 から TRL5 まで進化させる。TRL3 では、プロセスの最適化と非食品系バイオベースブレンドの原料の柔軟性を高めるため、ラボで大規模な試験を実施する。 • 合成ガスの汚染物質に対する耐性に基づいて、最適な酢酸菌の菌株を特定する。さらに、第一段階で得られた酢酸を C14 および C16-18 TAG に変換するために、油脂性酵母を遺伝子工学的に改良する。その後、TRL5 を試験し、プロセス全体を調査する。少なくとも 2 バレルの水素化分解 TAG からドロップインバイオ燃料を製造する。生物学的技術と熱化学的技術の相乗効果により、35%以上の炭素利用率と 0.7-0.8 ユーロ/リットルの最低販売価格を達成する。
Fuel via Low Carbon Integrated Technology from Ethanol	RSB ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE BIOMATERIALS ASSOCIATION(瑞) LANZATECH BV(蘭) E4TECH (UK) LTD(英) FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EV(独)	55,902,000 ユーロ (うち EU 負担 20,000,000 ユーロ)	2020 年 12 月 1 日 ~ 2024 年 11 月 30 日	エタノールから低炭素統合技術で燃料を供給 • Fuel via Low Carbon Integrated Technology from Ethanol (FLITE) コンソーシアム(LanzaTech, SkyNRG, E4tech, RSB, Fraunhofer)は、エタノールベースのアルコール-ジェット(ATJ)技術を設計、構築、実証し、ATJ 先進製造装置(ATJ-APU)を作ることによって欧州における低炭素ジェット燃料供給の拡大を提案する。ATJ-APU は、非食品・非飼料エタノールから、従来のジェット燃料と比べ 70%以上の GHG 削減を実現するジェット混合燃料を製造する。このプロジェクトは、1000 時間を超える運転と 3 万トンを超える持続可能な航空燃料の生産を実証し、SAF の市場投入、2020 年までに 200 万トンの航空バイオ燃料を使用するバイオ燃料フライトパスの目標を支援する。 • エタノールは、農業、林業、工業の残渣、一般廃棄物など多様な豊富な資源から生産可能で、SAF の原料として適している。欧州では低炭素なエタノール技術の開発が進んでいる。同時に電気自動車の普及が進み、エタノールの需要が減少している。エタノール源の多様性は、コスト競争力のある SAF を生産する可能性を提供する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
Production of synthetic renewable aviation fuel from CO2 and H2	CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE CNRS(仏) RWE POWER AKTIENGESELLSCHAFT(独) MITSUBISHI POWER EUROPE GMBH(独) ASAHI KASEI EUROPE GMBH(独) FEV EUROPE GMBH(独) SKYNRG BV(蘭) RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN(独) SYDDANSK UNIVERSITET(丁) CO2 VALUE EUROPE AISBL(白)	5,341,000 ユーロ (うち EU 負担 4,999,000 ユーロ)	2021 年 1 月 1 日 ~ 2024 年 12 月 31 日	CO2 と H2 から再生可能な合成航空燃料を製造 - TAKE-OFF(同プロジェクトの呼称)は、CO2 と水素を中間体としてエチレンを経由して SAF に変換する。産業界のパートナー SkyNRG (SAF 開発)および FEV(電力システム)は、CNRS(触媒開発)、TNO (反応器およびプロセス設計)および RWTH(エンジン排気ガス低減)の研究グループと連携し、ベンチマークとする FT 法よりも低コスト、高エネルギー効率、粗ジェット燃料製品に対する高い炭素効率を実現するプロセス提供を目指す。 - ALIGN-CCUS(ERA-NET ACT)プロジェクトの投資を活用し、参加者である電力 RWE 社、エネルギー技術プロバイダー MHPSE 社、電解システム AKEU 社の協力で産業回収 CO2 と電解生成水素を利用した完全技術チェーンを実証する。この実証活動により南デンマーク大学は、未来の化学工場を展望した包括的な技術分析、経済・環境分析のためのデータを提供。コンソーシアムは団体 CO2 Value Europe がコミュニケーションと活用を補完する。プロジェクトは国連の持続可能な開発目標、欧州グリーンディール、再生可能エネルギー指令 II に直接貢献する。
Air Carbon Recycling for Aviation Fuel Technology	KOKURITSU DAIGAKU HOJIN HOKKAIDO DAIGAKU(日) HELSINGIN YLIOPISTO(芬) UNIVERSITAET BIELEFELD(独) FUNDACION BCMATERIALS - BASQUE CENTRE FOR MATERIALS, APPLICATIONS AND NANOSTRUCTURES(西) UNIVERSITA DEGLI STUDI DI TORINO(伊) AGENCIA ESTATAL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS(西) UNIVERSITEIT ANTWERPEN(白) UNIVERSIDADE DE SAO PAULO(伯)	2,897,000 ユーロ (うち EU 負担 2,239,000 ユーロ)	2021 年 5 月 1 日 ~ 2024 年 4 月 30 日	航空燃料技術におけるエアカーボンリサイクル 4AirCRAFT は、CO2 を航空産業用液体燃料に変換する次世代触媒を開発。3 つの主要な反応を 1 つの反応器に組み合わせ、課題を克服し、CO2 変換率を向上とエネルギー消費量を削減する。低温(80℃以下)で SAF を製造し、循環型経済に貢献、GHG 削減と化石燃料系資源への依存を低減する。 - 目標達成のためバイオ触媒、無機ナノ触媒、電極触媒、およびそれらの空間分布を制御した触媒担体構造を精密に統合、活用することで SoA を超える。触媒担体構造は、有機金属骨格と階層的な多孔性分布を持つ工学手法による無機足場をベースとする。これにより地上に豊富に存在する元素に基づく触媒活性相と材料の活性を解明し、ジェット燃料(C8-16)に対する高い CO2 変換率と選択性を達成する。燃料の合成に選択性のない FT 合成、FT のハイドロクラッキングやハイドロリファイニングを回避する。無機触媒では、金属 NP、金属クラスター、触媒担体表面の単一原子のサイズと形状を開発し、精密な構造-性能-選択性の関係を確立する。また、生体触媒の場合、導入した酵素をプログラムにより固定化し、有害な反応条件から遮断することで、長期安定性確保に重点を置く。触媒担体の構造を調整し、C8-16 分子に対する選択性を向上する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
GLycerol to Aviation and Marine prOducts with sUustainable Recycling	TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN(蘭) NEDERLANDSE ORGANISATIE VOOR TOEGEPAST NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK TNO(蘭) AGENCIA ESTATAL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS(西) VLAAMSE INSTELLING VOOR TECHNOLOGISCH ONDERZOEK N.V.(白) CIAOTECH Srl(伊) SIIRTEG NIGI S.P.A(伊) ARGENT ENERGY (UK) LIMITED(英) INERATEC GMBH(独) C&CS CATALYSTS AND CHEMICAL SPECIALTIES GMBH(独)	4,993,000 ユーロ (うち EU 負担 4,989,000 ユーロ)	2020 年 5 月 1 日 ~ 2024 年 4 月 30 日	リサイクルによる航空・海洋製品向けグリセロール - GLAMOUR プロジェクトの主な目的は、粗グリセロールなどの廃棄バイオベース原料を SAF に変換する統合プロセスの設計、スケールアップ、検証である。合成ガスを生成するための化学ループを用いた高圧自動熱改質/ガス化と、3D プリントされた構造化触媒を統合した FT 小型反応器の組み合わせを焦点とする。 - GLAMOUR プロセスは、粗グリセロールをジェット燃料として使用される合成パラフィンケロシン(FT-SPK)と船舶用ディーゼル油(MDO)に 65%のエネルギー効率で完全に変換し、残りのガスは純粋な CO2 ストリーム(純度 95%以上)と利用できる余熱に変換する。これにより、既存の第 2 世代バイオディーゼルプラント全体の収益が増加し、大規模なバイオマスから液体への生産プロセスのコストを 35%、CO2 排出量を 70%まで削減する。2kg/h のグリセロールを充填床式化学ループ装置と下流の FT 反応器で使用し、1000 時間の最終 TRL5 実証を達成するために、2 つのプロセスのスケールアップに焦点を当てる。 - コンソーシアムには 2 つの大学、3 つの大規模研究センター、5 つの産業界(中小企業を含む)が参加。気体-固体および触媒反応に関する基礎知識、材料設計、工学プロセス設計、経済性、環境分析、社会的および政策的意思決定を組み合わせる。 - 長期的に 65%のコスト削減を可能にする低コスト原料を開発し、EU の乗客 19%分のバイオジェット燃料を生産、年間 270 万トンの CO2 排出を削減し、年間 110 億ドルのビジネスを創出する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
Direct electrocatalytic conversion of CO ₂ into chemical energy carriers in a co-ionic membrane reactor	UNIVERSITETET I OSLO(諾) COORSTEK MEMBRANE SCIENCES AS(諾) SINTEF AS(諾) UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA(西) RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN(独) HERA HOLDING HABITAT, ECOLOGIA Y RESTAURACION AMBIENTAL S.L.(西) CEMEX RESEARCH GROUP AG(瑞) ARCELORMITTAL BELGIUM NV(白) SHELL GLOBAL SOLUTIONS INTERNATIONAL BV(蘭) NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION KYUSHU UNIVERSITY(日) XIAMEN UNIVERSITY(中) CEMEX INNOVATION HOLDING AG(瑞)	4,447,000 ユーロ (うち EU 負担 3,949,000 ユーロ)	2019 年 5 月 1 日 ~ 2023 年 10 月 31 日	共イオン膜反応器による CO ₂ の直接電極触媒による化学エネルギーキャリアへの変換 eCOCO₂ は分子触媒とプロセス強化の組み合わせにより新しい CCU 技術を実現する。再生可能な電力と水蒸気を用いた CO₂ 変換プロセスを確立し、パラフィン、オレフィン、芳香族をバランスよく配分した合成ジェット燃料は航空業界の厳しい仕様に適合する。CO₂ 変換装置は、独自の多機能触媒を共イオン電気化学セルに組み込み、炭化水素合成反応に伴う電解と水分除去を実現する。このプロセスにより、電気からの化学エネルギー貯蔵のための画期的な製品収量と効率、具体的には、CO₂ パーパス変換率 85%以上、エネルギー効率 85%以上、純比需要 6 MWh/t CO₂ 未満を実現する。このプロセスはコンパクトで、モジュール化され、迅速に拡張できるため、再生可能エネルギーの変動に合わせてプロセスの運用と経済性を調整できる。eCOCO₂ は、18 基の管状強化型電気化学リアクターを統合した既存のモジュール式プロトタイプ装置で、1 日あたり 250g 以上のジェット燃料を生産し、技術を実証 (TRL-5)する。
INERATEC Modular Plants for Renewable Chemical Products	(公表なし)	3,492,000 ユーロ (うち EU 負担 2,444,000 ユーロ)	2021 年 5 月 1 日 ~ 2023 年 4 月 30 日	INERATEC 再生可能化学製品用モジュラー・プラント INERATEC (IC) は、温室効果ガスや再生可能エネルギーを利用した CO₂ ニュートラルな燃料や材料の製造のためのモジュラー型化学プラントを販売。IC のイノベーションは、マイクロ構造のリアクター技術で、コンテナに組み込み、ナンバリングアップが地域および世界規模の再生可能原料探索を経済的に可能にする。FT 反応器は、e-Diesel と e-kerosene という 2 つの再生可能製品を生産し、道路輸送と航空分野の顧客は CO₂ 排出量を大幅に削減できる。IC はこれまでに 10 基の実証プラントを導入し、TRL7 に到達した。IMPOWER2X では、TRL9 に到達する。

プロジェクト名	参加企業	予算	実施期間	EU 支援プロジェクトの内容
Chemical Looping gasification for sustainable production of biofuels	AICHERNIG ENGINEERING GMBH(独) CHALMERS TEKNISKA HOGSKOLA AB(瑞典) AGENCIA ESTATAL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS(西) RWE POWER AKTIENGESELLSCHAFT(独) FUNDACION CENER(西) UNIVERSITA DEGLI STUDI DELL'AQUILA(伊) TECHNISCHE UNIVERSITAET WIEN(奥) FORSCHUNGSZENTRUM JULICH GMBH(独) TORKAPPARATER TERMISK PROCESSUTRUSTNING AB(瑞典) UNIVERSITY OF ULSTER(英) ETHNIKO KENTRO EREVNAS KAI TECHNOLOGIKIS ANAPTYXIS(希) ORLEN UNICRE AS(捷)	4,993,805 ユーロ (うち EU 負担 4,993,805 ユーロ	2018 年 11 月 1 日 ～ 2023 年 4 月 30 日	バイオ燃料の持続的な生産のための化学的ループ化技術 - バイオマスのガス化は、バイオ燃料製造の有望なルートであり、運輸部門の GHG 排出削減の重要な要素。様々なプロセスオプションが研究され、様々な規模で実施され、機能的であることが証明されている。本プロジェクト、ケミカル・ルーピング・ガス化(CLG)は、このプロセスを経済的・技術的な競争力あるものにする。 - CLG は、燃料と空気リアクターの間で循環する酸素キャリアを使用し、バイオマス原料の部分転換のために酸素を供給する。CLG の利点は、空気分離装置なしで窒素含有量の少ない高品質の合成ガスを製造できる。空気分離の回避は、バイオマスガス化の全体的な変換効率と経済性を向上させる可能性がある。 - これまで原料投入量 25kWth のラボスケールの研究が行われた CLG を、1MWth の規模まで発展させる。さらに、生物起源残渣を CLG に利用するための前処理の概念を開発し、資本コスト削減のための合成ガス洗浄概念を確立する。バイオマスの前処理、ガス化、合成ガス処理、FT 合成、FT-ワックス水素化分解を含む完全なプロセスチェーンを次世代液体バイオ燃料製造のために実証。さらに適切なモデルを用いて、産業規模にスケールアップする。 - 本技術のリスクを評価し、リスク軽減のための可能性を提案する。バイオマスから最終用途までの技術経済的な評価を行います。環境影響はライフサイクル分析により検証する。結果を施策により普及させ、利用計画を策定する。

出所)EU CORDIS より作成

3) 英国

英国では、2021 年 3 月に SAF の製造プロジェクトの FS 実施に対し助成する Green Fuels, Green Skies (GFGS) competition の募集を開始し、英国内の SAF 製造計画の提案競争が行われた。2021 年 12 月に競争の結果が公表されており、採択された企業及びプロジェクトの内容は以下の通りである。

表 2-15 Green Fuels, Green Skies (GFGS) competition

採択企業名	内容	予算額
Advanced Biofuel Solutions Ltd	- Advanced Biofuel Solutions Ltd (ABSL)が、英国の製油所および英国のエンジニアリング会社と共同で、チェシャー州に新設する施設のエンジニアリングデザインを設計する。 - 施設では、ガス化およびフィッシャー・トロプシュ(FT)技術を使用して、年間 133,000 トンの廃棄物を航空燃料に改良するバイオ原油に変換する予定。	2,054,000 ポンド
alfanar Energy Ltd	- ガス化および FT 技術を使って、家庭ごみと商業ごみを約 1 億 8000 万リットルの SAF とナフサに変換。 2021 年末のフロント・エンド・エンジニアリング設計開始に向け設計の最適化作業を完了。	2,417,500 ポンド
Fulcrum BioEnergy Ltd	- Fulcrum NorthPoint プロジェクトは、Ellesmere Port の Stanlow Manufacturing Complex で開発され、現在米国で試運転中の同社初の商業規模施設に基づく実証済みの技術とプロセスを使用する予定。 - ノースポイントが完全に稼働すると、ガス化および FT 技術により、残留廃棄物を約 1 億リットルの SAF に変換する予定。この資金は、プロジェクトのフロント・エンド・エンジニアリング設計段階を支援。	1,372,957 ポンド
Green Fuels Research Ltd	Green Fuels, Petrofac, Cranfield 大学の共同事業で、完全生物由来の英国産廃棄物原料である下水汚泥から SAF を得る技術ルートの実証と認証を目的とする。	1,940,255 ポンド
Lanzatech UK Ltd	南ウェールズのポートタルボットに建設予定の Lanzatech 社施設のフロント・エンド・エンジニアリング段階を支援するための資金。この施設では、生物由来の廃棄物と産業界の排ガスからエタノールを製造し、年間 1 億リットル以上の SAF を生産する予定。同地域の雇用を支えるとみられる。	3,152,619 ポンド
Lanzatech UK Ltd and Carbon Engineering	- 年間 1 億リットル以上の SAF を生産する革新的技術の統合を提案。Carbon Engineering 社の直接空気捕捉(DAC)技術により大気中から回収した二酸化炭素(CO2)と水の電気分解による水素を、Lanzatech 社のガス発酵と、Lanzatech 社と PacificNorthwest 国立研究所(PNNL)が開発したアルコールからジェットへの変換技術 LanzaJet™ を用いて SAF に変換する予定。 - プロジェクトメンバーの British Airways と Virgin Atlantic 航空は、この燃料のオフテイク(長期供給)の可能性と市場投入ルートを研究。	340,674 ポンド
Nova Pangaea Technologies (UK) Ltd	British Airways, Lanza Jet, Nova Pangaea Technologies のパートナーシップによるフィージビリティ・プロジェクト。英国の木質系残渣を使用して年間 1 億リットル以上を生産する施設を建設するための最適設計を検討し、Nova Pangaea の REFNOVA®と LanzaJet™ のアルコールからジェット燃料への技術の統合を行う。	484,201 ポンド
Velocys Projects Ltd	- Velocys と British Airways が、リンカンシャー州イミンガムに廃棄物から SAF を製造する商業用プラントを開発。年間数十万トンの一般廃棄物を受け入れ、ガス化と FT 技術を使って SAF に変換する予定。 - North East Lincolnshire Council から計画承認を得て、資金はフロント・エンド・エンジニアリング設計に向けた進捗を支援する。	2,381,000 ポンド

出 所) <https://www.gov.uk/government/publications/green-fuels-green-skies-gfgs-competition/green-fuels-green-skies-gfgs-competition-winners>(2022 年 1 月 31 日)

2.1.3 技術開発動向・LCA に関する調査

本項では、2021 年 9 月現在、新たな代替燃料が従来のジェット燃料と同等かを判断するプロセスを定めた仕様である ASTM D4054 で検討されている技術について、その開発動向と LCA に関して整理をする。

(1) 対象技術の整理

世界最大規模の標準化団体である ASTM において、従来型のジェット燃料との同等性を証明する代替燃料の仕様は、ASTM D7655(合成炭化水素を含む航空タービン燃料の標準仕様)で定められている。新たに開発された代替燃料については、ASTM D4054(新しい航空機タービン燃料の適格性と承認のための標準仕様)で定められる、代替燃料が従来のジェット燃料と同等かを判断する評価プロセスに沿って試験がなされ、このプロセスを通過した場合には、ASTM D7655 の Annex に同燃料が追加される。

ASTM D4054 での評価プロセスは 3 段階に分かれている。1 段階の初期審査では、代替燃料の生産者からの要請に基づきタスクフォースを設置後、Tier 1(仕様特性)と Tier 2(目的に沿った特性)の試験が実施され、最後に、試験結果を纏めた報告書を航空機製造メーカー(OEM: original equipment manufacturer)がレビューする。2 段階の継続試験では、Tier 3(コンポーネント/リグ試験)と Tier 4(エンジンおよび補助電源ユニット試験)の試験が実施され、1 段階目と同様、試験結果を纏めた報告書を OEM がレビューする。3 段階の投票と承認では、これまでの報告書について米国連邦航空局(FAA: Federal Aviation Administration)がレビュー実施後、ASTM の会議にて投票が行われる。ここで承認された代替燃料が、ASTM D7655 の Annex に追加される。

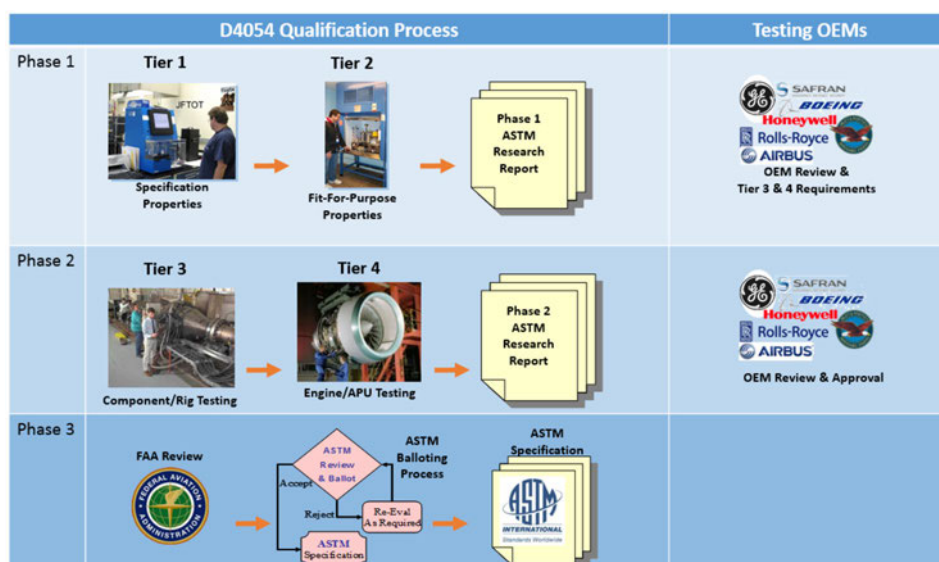


図 2-3 D4054 の評価プロセス

出所)CAAFI “Fuel Qualification” https://www.caaifi.org/focus_areas/fuel_qualification.html(2021 年 10 月 5 日閲覧)

2021 年 9 月現在、ASTM D4054 での評価プロセスの俎上で検討されている代替燃料は表 2-16 の通りである。表の上部にある技術ほど検討の初期段階であり、下部にある技術ほど検討が進展している。

表 2-16 ASTM D7566 における認証の進展状況(米国 CAFFI ウェブサイト)

ASTM での進捗状況		パスウェイ	原料	タスクフォース の主導団体
第 1 段階	試験	ATJ	糖	Global Bioenergies
		ATJ-SKA	糖とリグノセルロース	Swedish Biofuels, Byogy
	研究報告書			
	OEM レビュー	HFP HEFA-SK	再生可能 FOG	Boeing
		IH2	リグノセルロース	Shell
第 2 段階	試験	HDO-SK	糖とセルロース	Virent (活動なし)
		HDO-SAK	糖とセルロース	Virent
	OEM レビュー			
第 3 段階	ASTM 投票			

出所)https://www.caafi.org/focus_areas/fuel_qualification.html(2021 年 10 月 5 日閲覧)

また、2021 年に CAAFI が発表した資料によると、上記以外にも、下記赤枠に示す 8 社の技術は D4054 のプロセスに入る前の事前検討が行われている。

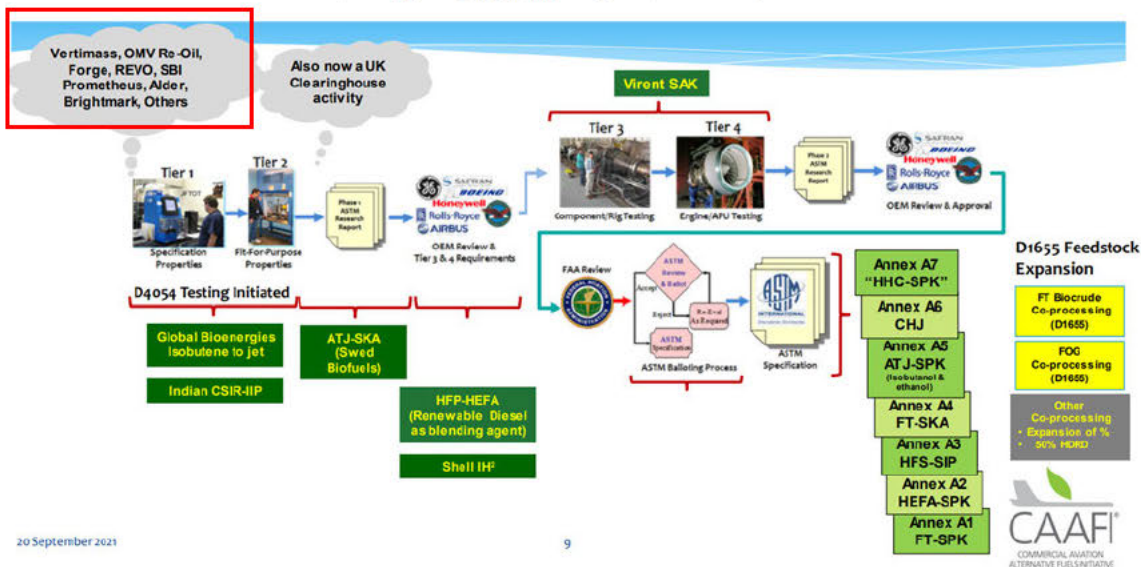


図 2-4 ASTM D7566 における認証の進展状況

出所) CAAFI "Aviation's Market Pull foe SAF"

https://www.caa.fi.org/focus_areas/docs/CAAFI_SAF_Market_Pull_from_Aviation_September2021.pdf
(2022 年 2 月 16 日閲覧)

本項での調査では、上記に基づき D7566 承認の途上にある HDO-SAK(Virent 社)、HFP HEFA-SK(Boeng 社)、IH2(Shell 社)、ATJ-SKA(Swedish Biofuels 社、Byogy 社)、ATJ (Global BioEnergies 社)、HEFA(Indian CSIR-IIP)に加え、審査に入る可能性について検討している Vertimass 社、OMV 社、Forge Hydrocarbons 社、REVO 社、SBI BioEnergy 社、Prometheus 社、Alder Fuels 社、Brightmark 社の技術について整理を行った。

(2) ASTM D7566 の審査の途上にある技術

1) HDO SAK(Virent)

a. 技術概要

Hydro-deoxygenation Synthetic Aromatic Kerosene (HDO-SAK) は、水相改質技術 (aqueous phase reforming) によりリグノセルロース及び糖料作物を輸送用燃料に変換する技術である。本技術のプロセスフローの概要を図 2-5 に記す。

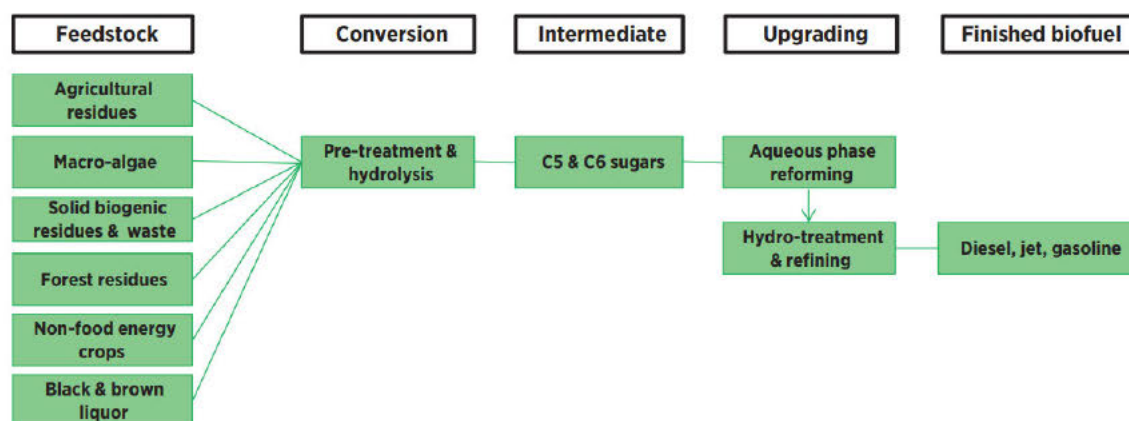


図 2-5 水相改質技術によるバイオ燃料製造プロセス

出所) INNOVATION OUTLOOK ADVANCED LIQUID BIOFUELS (IRENA, 2016)

代表的なライセンスとしては Virent 社が開発した BioForming® process があり、Virent 社が公表する情報によると、ウィスコンシン大学に在学中の Cortright 博士、Dumesic 博士の両エンジニアが開発し始めて特許出願した触媒を用いた技術とされる⁴³。

Virent 社による HDO-SAK 製造技術を活用した SAF のナフタレンの含有比率と他規格等の比較を表 2-17 に記す。現状 D7566 規格ではブレンド済み SAF に対して芳香族比率の最低値が設けられており、芳香族比率の最低値の達成が可能であることから、Virent 社による技術は 100%SAF の製造を可能とする技術とされている。

表 2-17 VIRENT 社技術による SAF と他ジェット燃料の比較

体積比率	VIRENT 社技術 による SAF ^{※1}	D7566 JET A/A1 要求スペック ^{※2}	HEFA	JET A
芳香族比率	16.8%	8%より大	1%未満	18.8%
ナフタレン比率	0.01%	—	0.01%未満	1.2%

※1 17%の HDO-SAK と 83%の HEFA をブレンドしたスペック

※2 D1319 による検査の場合

出所) VIRENT 社資料等より三菱総合研究所作成

⁴³ <https://www.virent.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/08/Virent-Story-Through-2011.pdf> (2021 年 11 月 10 日閲覧)

b. 製造企業・プラント等

Virent 社は 2010 年に Shell 社や Cargill 社からの出資を受ける等の資金調達に成功するとともに、ウィスコンシン州マディソンにおいて 1 万ガロンのバイオガソリンを製造する実証プラントを 2010 年より運転しているほか、Shell 社との連携によりディーゼル燃料の製造の研究開発も進めている。2011 年にはトウモロコシ藁と森林残渣からバイオガソリンを製造するプロジェクトを National Advanced Biofuels Consortium(米国エネルギー省のプロジェクト)の一環として実施し、バイオ PET の原料となるバイオ・パラキシレンの製造を行っている。加えてトウモロコシ藁をジェット燃料に変換する技術に対する支援も米国エネルギー省から受けたとしている。⁴⁴

更に 2016 年には、BioForming ® process の商用化に向け東レ、Tesoro(2018 年に Marathon Petroleum が買収)、Johnson Matthey 社(プラントエンジニアリング会社)、コカ・コーラ社と連携したコンソーシアムを形成した⁴⁵。Virent 社ウェブサイトによると現在も東レ、Johnson Matthey 社、Marathon Petroleum 社と連携を有している⁴⁶。加えて、2019 年には BP 社と Johnson Matthey 社とで連携し、BioForming ® process を利用したバイオ・パラキシレン製造に向けた契約を締結した旨を発表している。⁴⁷

c. LCA 評価事例

INNOVATION OUTLOOK ADVANCED LIQUID BIOFUELS(IRENA,2016)による、水相改質技術により製造されたバイオ燃料を含む各種バイオ燃料の、ライフサイクル GHG の整理結果を、に記す(点線の削減率は化石燃料(83.8g-CO₂/MJ)に対する削減率)。水相改質技術により製造されたバイオ燃料は、2015 年時点で約 41.9 g-CO₂/MJ、2045 年にかけて 20 g-CO₂/MJ 程度になるものと示されている。

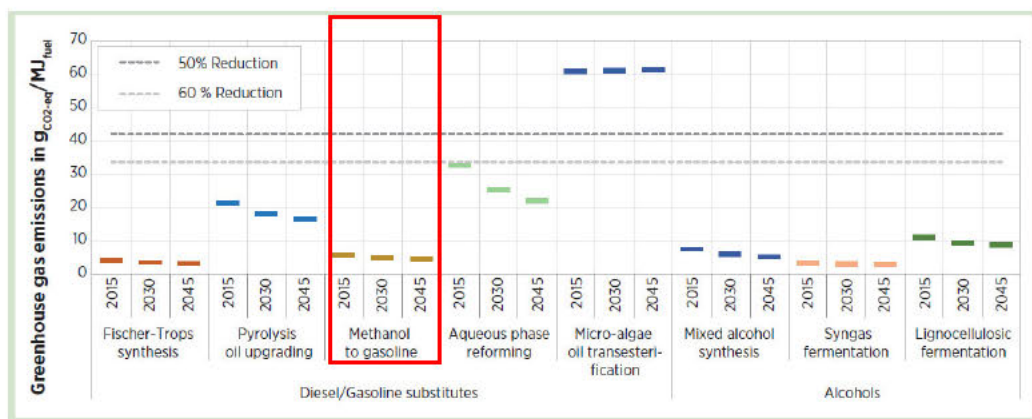


図 2-6 水相改質技術等のライフサイクル GHG 評価

出所)INNOVATION OUTLOOK ADVANCED LIQUID BIOFUELS(IRENA,2016)

⁴⁴ <https://www.virent.com/wordpress/wp-content/uploads/2011/08/Virent-Story-Through-2011.pdf>(2021 年 11 月 10 日閲覧)

⁴⁵ <https://www.greencarcongress.com/2016/09/20160915-virent.html>(2021 年 10 月 11 日閲覧)

⁴⁶ <https://www.virent.com/company/>(2021 年 10 月 11 日閲覧)

⁴⁷ <https://www.virent.com/news/bp-partners-with-virent-and-johnson-matthey/>(2021 年 10 月 11 日閲覧)

2) HFP HEFA(Boeing)

a. 技術概要⁴⁸

High-Freeze-Point HEFA(HFP HEFA)は、HEFA+やグリーンディーゼルとも呼ばれ、植物油や廃脂等のバイオ原料から製造される合成炭化水素である。

通常の HEFA と比較して、析出点(Freezing point)を高くすることにより軽質分を最小化し、収率を向上させることができる。ボーイング社が次世代の航空燃料として、石油系ジェット燃料の代替として、HFP HEFA の技術的可能性を試験している。また、2017 年には、アメリカン航空が NESTE と当該燃料の商用化に協力することを表明すると同時に、Dallas Fort Worth 空港での導入に関して協力を発表した。

b. 製造企業・プラント等

HFP HEFA は HEFA の製造プラントにおいて製造が可能と考えられる。参考に ICAO による HEFA 製造プラントを表 2-18 に記す。

表 2-18 HEFA 製造プラントの一覧(ICAQ による整理)

地域	SAF 製造者	製造場所	生産量
米国	Hollyfrontier	ニューメキシコ州 アーティージャ	2023 年までに 1.25 億ガロン(約 47.5 万 kL)/年で生産開始予定
	Diamond Green	ルイジアナ州 ノーコー	現状 2.75 億ガロン(約 104.5 万 kL)/年の生産容量 2020 年に 6.75 億ガロン(約 256.5 万 kL)/年に拡張予定
	REG	ルイジアナ州 ガイスマー	現状 7500 万ガロン(約 28.5 万 kL)/年の生産容量
	Marathon	ノースダコタ州 ディキンソン	2021 年に 1.84 億ガロン(約 69.9 万 kL)/年で生産予定
	World Energy	カリフォルニア州パ ラマウント	現状 3800 万ガロン(約 14.44 万 kL)/年で生産中。2021 年に 3.06 億ガロン(約 116.3 万 kL)/年に拡張予定
欧州	Preem	スウェーデン グーテンベルグ	2024 年に 2.64 億ガロン(約 100 万 kL)/年で生産予定
	ST1 Oy	スウェーデン グーテンベルグ	2022 年より生産予定。2023 年に 2 億 5295 万ガロン(約 96 万 kL)/年の生産容量。
	Neste	フィンランド ボルヴォー	2019 年より 3100 万ガロン(約 11.8 万 kL)/年で生産
	TOTAL	フランス シャトーヌフ＝レ＝ マルティエグ	2020 年より 1.65 億ガロン(約 62.7 万 kL)/年で生産予定
	UPM	フィンランド コトカ	2024 年より 1.65 億ガロン(約 62.7 万 kL)/年で生産予定
	Neste	オランダ ロッテルダム	2019 年より 1 億 4530 万ガロン(約 55.2 万 kL)/年で生産
アジア	Neste	シンガポール	2022 年より 3.17 億ガロン(約 120 万 kL)/年で生産予定

出所)ICAQ ウェブサイト(https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF_Stocktaking.aspx, 2020 年 10 月 11 日閲覧)より引用

⁴⁸ Policy and Environmental Implications of Using HEFA+ for Aviation(ICCT,2018)

c. LCA 評価事例

HFP HEFA のライフサイクル GHG は原料の選定に応じて様々となるが、欧州の運輸分野シンクタンクである ICCT が HFP HEF について纏めた Policy and Environmental Implications of Using HEFA+ for Aviation(ICCT,2018)では、類似の製造方法である再生可能ディーゼルのライフサイクル GHG の計算結果として、キャノーラ油のライフサイクル GHG として 18.0g-CO₂/MJ、イエローグリース(畜残さ等をレンダリングして得られる油脂)由来の油脂原料の場合に 12.7g-CO₂/MJ といった値を参照値として示している。これは(S&T)2 Consultants 社が 2012 年に纏めたものとされる。

なお令和元年度燃料安定供給対策に関する調査等(バイオ燃料等のライフサイクルGHG排出量算定に関する調査)に示されている通り CORSIA では HEFA のライフサイクル GHG の既定値が示されており、2021 年 10 月時点での最新版では、に示すとおりである。

表 2-19 HEFA バイオジェット燃料の CORSIA 既定値(gCO₂e/MJ)

原料	CoreLCA ^{※1}	ILUC ^{※2}
獣脂(Tallow)	22.5	0
廃食油(Used Cooking Oil)	13.9	0
PFAD(パーム油脂肪酸留出物)	20.7	0
コーン油(ドライミルにおけるエタノール製造プラント由来)	17.2	0
米国産大豆油	40.4	24.5
ブラジル産大豆油	40.4	27.0
欧州産ナタネ油	47.4	24.1
インドネシア・マレーシア産パーム油(廃液からのメタン漏洩対策あり)	37.4	39.1
インドネシア・マレーシア産パーム油(廃液からのメタン漏洩対策なし)	60.0	39.1
ブラジル産エチオピアカラシ(<i>Brassica carinata</i>) ^{※3}	34.4	-20.4
米国産エチオピアカラシ(<i>Brassica carinata</i>) ^{※3}	34.4	-20.4

※1 原料栽培、前処理、原料加工・抽出、原料輸送、燃料転換、燃料輸送、燃料燃焼(メタン・N₂O のみ)が対象

※2 間接的土地利用変化分

※3 他の作物の代替を避けた二次作物として栽培されたものに限定

出所) <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/ICAO%20document%2006%20-%20Default%20Life%20Cycle%20Emissions%20-%20March%202021.pdf> (2020 年 10 月 11 日閲覧)より引用

3) IH2(Shell)

a. 技術概要

IH2 (integrated hydropyrolysis and hydroconversion process)は、2009 年 Gas Technologies Institute (GTI)社(米国イリノイ州)が開発した技術であり、現在はシェルに独占的にライセンスされている。触媒熱化学プロセスにより、森林バイオマス、農業残渣、藻類、水生植物、プラスチック、都市ごみなどを原料として炭化水素に変換するものとされる。技術の名称にあるとおり、当該技術は熱分解(pyrolysis)を応用したものである。⁴⁹

シェル社ウェブサイトによると⁵⁰、当該プロセスは①前処理・粉碎・乾燥プロセス、②水素化脱酸素プロセスによる炭化水素の生成、③固定床による水素化処理、④①のプロセスで発生する軽質ガスの水素への変換である。炭化水素の製造過程において水素を製造できる点に優位性があるものと見られる。

また、同ウェブサイトによると 10,000 時間以上の実験室レベル研究を実施済みであり、最大 2,000 トン/日の原料から 6,090 万ガロン/年の燃料を製造するプラントの設計について NREL が検討したとされ、最低燃料販売価格が最大 2.00 ドル/ガロンと想定されるものとしている。

b. 製造企業・プラント等

前述のとおり IH2 は GTI 社がライセンスを有し、シェルがライセンシーとなっているが、シェルの触媒開発を専門とする子会社である CRI 社が2度にわたり大手企業に IH2 技術をライセンスする報道が見られた。

一つは、2015 年に 5 トン/日規模の実証プラントの計画 2 件について報道されたものであり、一つはノルウェーの SynSel 社(Zeton Inc.(Zeton)の建設)によるもの、もう一つはインド SIMPL 社のバンガローにあるテクノロジーセンターに建設されたものである⁵¹。

もう一件の報道は、2017 年に Biozin AS 社(ノルウェーの製材会社 Bergene Holm AS の子会社)に関するものであり、ノルウェー南部の製材所に隣接して KBR 社(米国エンジニアリング会社)により建設され、120,000 m³/年の燃料を生産することを想定しフロントエンドローディング(プラント所有者によるリスクの特定や意思決定を可能とする詳細な FS)について契約を行ったとの報道がされている⁵²。

c. LCA 評価事例

INNOVATION OUTLOOK ADVANCED LIQUID BIOFUELS(IRENA,2016)による、水相改質技術により製造されたバイオ燃料を含む各種バイオ燃料の、ライフサイクル GHG の整理結果を、に記す(点線の削減率は化石燃料(83.8g-CO₂/MJ)に対する削減率)。熱分解(Pyrolysis)により製造されたバイオ燃料は、2015 年時点で約 20g-CO₂/MJ、2045 年にかけて 20g-CO₂/MJ を下回る水準になるものと示されている。

⁴⁹ INNOVATION OUTLOOK ADVANCED LIQUID BIOFUELS(IRENA,2016)より

⁵⁰ <https://www.shell.com/business-customers/catalysts-technologies/licensed-technologies/benefits-of-biofuels/ih2-technology/hydropyrolysis.html>(2021 年 10 月 19 日閲覧)

⁵¹ <https://www.businesswire.com/news/home/20150623005320/en/IH2-Technology-Licensed-for-Demonstration-Plant>(2021 年 10 月 19 日閲覧)

⁵² <https://bioenergyinternational.com/biofuels-oils/biozin-granted-ih2-technology-license>(2021 年 10 月 19 日閲覧)

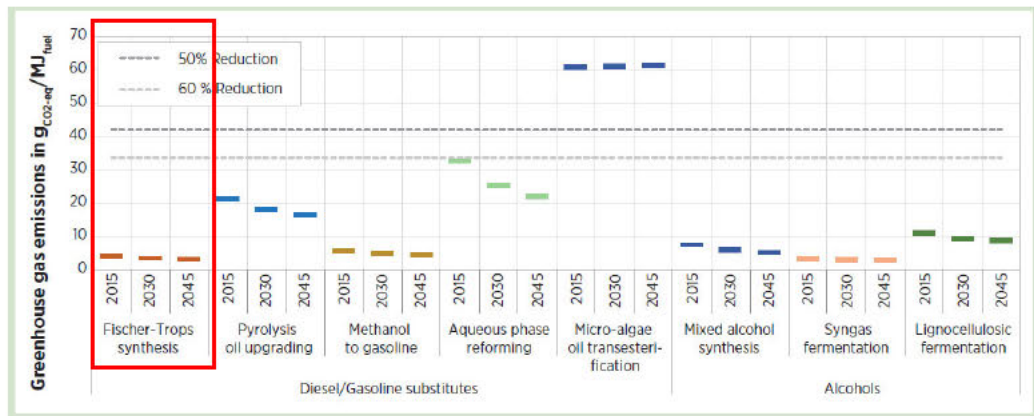


図 2-7 熱分解(Pyrolysis)等のライフサイクル GHG 評価

出所) INNOVATION OUTLOOK ADVANCED LIQUID BIOFUELS (IRENA, 2016)

4) ATJ SKA (Swedish Biofuels 社, Byogy 社)

a. 技術概要

Alcohol to Jet Synthetic Kerosene with Aromatics (ATJ-SKA)は、ATJ-SPKと類似しているものの、ジェット燃料に必要な芳香族化合物をより多く含んでいるのが特徴とされる。ATJ-SKA が認証された場合には、混合燃料を利用せず、航空機に直接同燃料が使用可能となる可能性がある。

ATJ-SKA には、Swedish BiofuelとByogyの2社が取り組んでいる。Swedish Biofuelのプロセスでは、単一のアアルコール、または、炭素数2～5のアアルコールの混合物を原料として利用することができる点が特徴的である。また、このパスウェイは、芳香族燃料の含有量をほぼゼロから現在のジェット燃料の仕様で認められている最大値まで、必要量に従い調整できるため、他のパスウェイよりも柔軟性が高い。

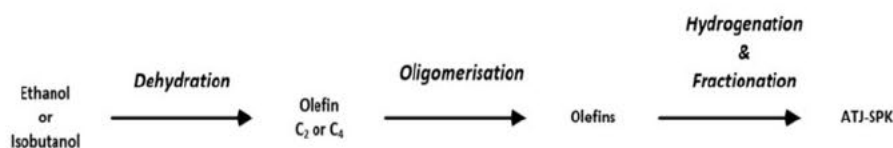


Figure 1: Overall ATJ-SPK process

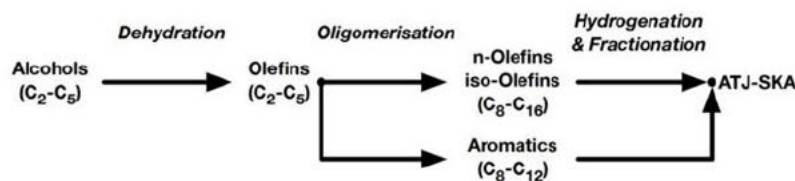


Figure 2: Overall ATJ-SKA process

図 2-8 ATJ-SPK と ATJ-SKA のプロセスの比較

出所) Swedish Biofuels “Report on the case study of Swedish Biofuels” https://www.biofit-h2020.eu/swedish-biofuels-sweden-1g-biofuels/CS2_SwedishBiofuels_PUBLIC_case_study_report.pdf (2022 年 2 月 8 日閲覧)

他方、Byogy はカリフォルニアに本拠を置くバイオ燃料製造会社で、エタノールをドロップインジェット燃料やガソリンに変換する独自の ATJ 技術を開発した。Byogy の技術はジェット燃料の芳香族含有量を～0%から 30%に調整することができ、ATJ-SKA の認証において Swedish Biofuel と連携している。

b. 製造企業・プラント等⁵³

Swedish Biofuel では、EU Horizon 2020 の研究イノベーション予算を利用して、スペインにある既存のトウモロコシ由来のバイオエタノールプラント(Biocarburantes de Castilla y León)を改修し、Swedish Biofuel の ATJ 技術による SAF の製造可能性を調査を実施している。同プラントでは、道路輸送向けのガソリン・エタノール混合燃料を販売しているが、Swedish Biofuel の ATJ-SPK または ATJ-SKA の技術により航空分野向けの燃料を製造できないかを検討した。結果として、技術・経済・環境の観点から相乗効果が生まれることが明らかになったため、今後既存プラントの改修により、同技術の実装が進む可能性がある。

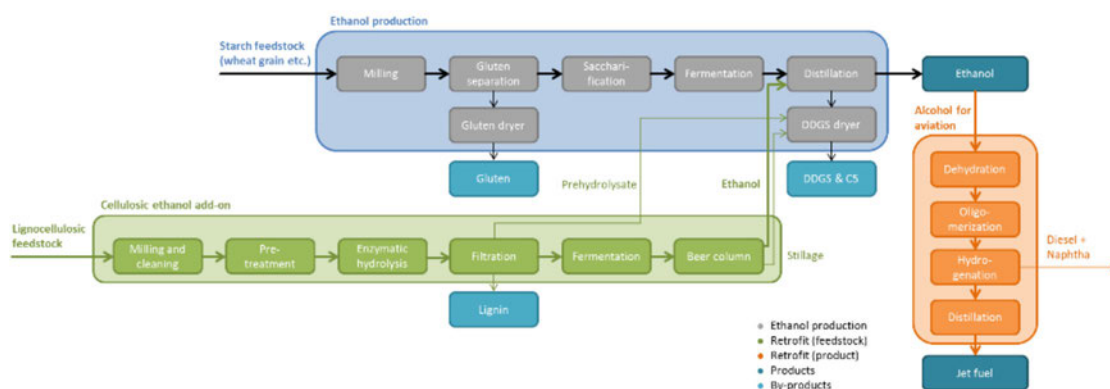


図 2-9 既存の第一世代のエタノール製造プラント改修のスキーム

注) 青色枠内が既存の第一世代のエタノール製造プラントを指す。黄緑色枠内が原料拡大を目的とした改修箇所、オレンジ色枠内が SAF 製造を目的とした改修箇所を指す。

出所) Swedish Biofuels “Report on the case study of Swedish Biofuels” https://www.biofit-h2020.eu/swedish-biofuels-sweden-1g-biofuels/CS2_SwedishBiofuels_PUBLIC_case_study_report.pdf (2022 年 2 月 8 日閲覧)

c. LCA 評価事例

Targeted Aviation Advanced Biofuels Demonstration Competition – Feasibility Study (E4tech, 2020) では、ATJ-SPK、ATJ-SKA から製造されたジェット燃料の GHG 排出量は、約 10 gCO₂eq./MJ から約 30gCO₂eq./MJ の水準としている。なお、同レポートでは、ATJ-SPK、ATJ-SKA の GHG 排出量を一律で推計している。

ATJ-SPK、ATJ-SKA に関するデータの公開資料は限定的であることから、同 GHG 排出量を次のように推計している。まず、複数の原料からエタノールを製造するまでの GHG 排出量について、高位はトウモロコシからのエタノール生産(約 25 gCO₂eq./MJ)、中位はテンサイからのエタノール生産(約 10 gCO₂eq./MJ)、低位はトウモロコシ茎葉のガス化・発酵によるエタノール生産(約 5 gCO₂eq./MJ)と設定している。その後のプロセスであるエタノールからジェット燃料を製造する際の

⁵³ Swedish Biofuels “Report on the case study of Swedish Biofuels” https://www.biofit-h2020.eu/swedish-biofuels-sweden-1g-biofuels/CS2_SwedishBiofuels_PUBLIC_case_study_report.pdf (2022 年 2 月 8 日閲覧)

GHG 排出量を 5gCO₂eq./MJ と設定し、高位・中位・低位の結果に足し合わせた結果、ATJ-SPK、ATJ-SKA から製造されたジェット燃料の GHG 排出量は、約 10 gCO₂eq./MJ から約 30gCO₂eq./MJ の水準であることが示されている。

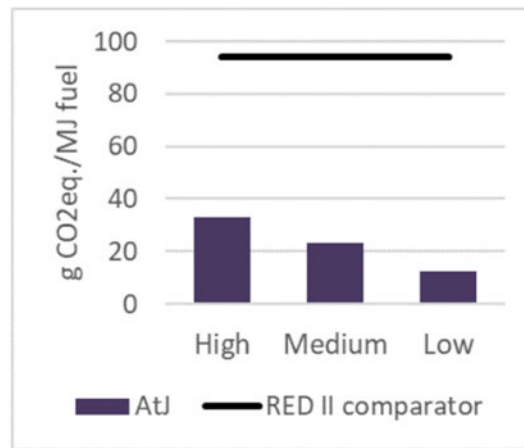


図 2-10 ATJ-SPK、ATJ-SKA により製造されたジェット燃料の GHG 排出量

注) 図中の直線は REDII における基準を指す

出所) Targeted Aviation Advanced Biofuels Demonstration Competition – Feasibility Study (E4tech, 2020), <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi9y6XzIIH2AhWPCd4KHbqeCmsQFnoECCoQAAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.e4tech.com%2Fuploads%2Ffiles%2Ffinal-report-aviation-abdc-feasibility-study-issue-v1-0.pdf&usg=AOvVaw0XFqyoAbduIKA9Z2fulNIU>

5) ATJ(Global BioEnergies 社)

a. 技術概要

フランスに拠点を置く Global Bioenergies 社は、遺伝子組換えバクテリアによる糖のイソブテンへの変換とオリゴマー化および水素化処理に基づく SAF 生産への生物学的パスウェイに取り組んでいる。

表 2-20 Global Bioenergies 社の SAF 製造プロセス

	Step	Conversion	Description
1	Fermentation	Sugar to Isobutene (IBN) → =iC4	Fermentation of sugars using a GMM, Producing gas-phase isobutene
2	Purification	=iC4 (gas)	Isobutene extraction from the gas phase using a hydrocarbon solvent (petrochemical)
3	Oligomerisation	=iC4 → =iC4, =iC8, =iC12, =iC16, =iC20 etc.	Oligomerisation of isobutene into isooctene (=iC8), isododecene (=iC12) and isohexadecene (=iC16)
4	Fractionation	=iC4, =iC8, =iC12, =iC16, =iC20 → =iC12 and =iC16	Two step distillation to remove light fraction (=iC4, =iC8) and heavy fraction (=iC20+). Light fraction is recycled to increase yield. Final olefin composition rich in C12 and C16
5	Hydrogenation	=iC12, =iC16 → iC12 iC16	Hydrogenation of olefins into paraffins Final SAF composition rich in C12 and C16

注)GMM: genetically modified micro-organisms

出所) Global Bioenergies “SBI RENEWABLE BIO-JET FUEL” https://www.caafi.org/resources/pdf/GBEisobutene-to-Jet_CAAFI_webinar112020.pdf (2022 年 2 月 8 日閲覧)

2018 年、同社は Global Bioenergies 社のイソブテンから生産される SAF の ASTM 認証について、SkyNRG との協業を発表した。同社が CAAFI のウェビナーで発表した資料によると、Global Bioenergies 社のパスウェイは ASTM D7566 Annex 5 で既に承認されてる Gevo 社の ATJ-SPK プロセスと類似していることから、同社は、新たな Annex を設定するのではなく、ASTM D7566 Annex 5 の対象範囲を拡大することによる同社技術の組み込みを希望している。なお、Gevo 社、Global Bioenergies 社の両者共に糖を原料とした発酵を行うが、Gevo 社はイソブタノールからイソブテンの製造、Global Bioenergies 社はイソブテンを直接製造する点が相違点であり、イソブテンの製造以降は同様のプロセスで SAF へのアップグレードを行う。

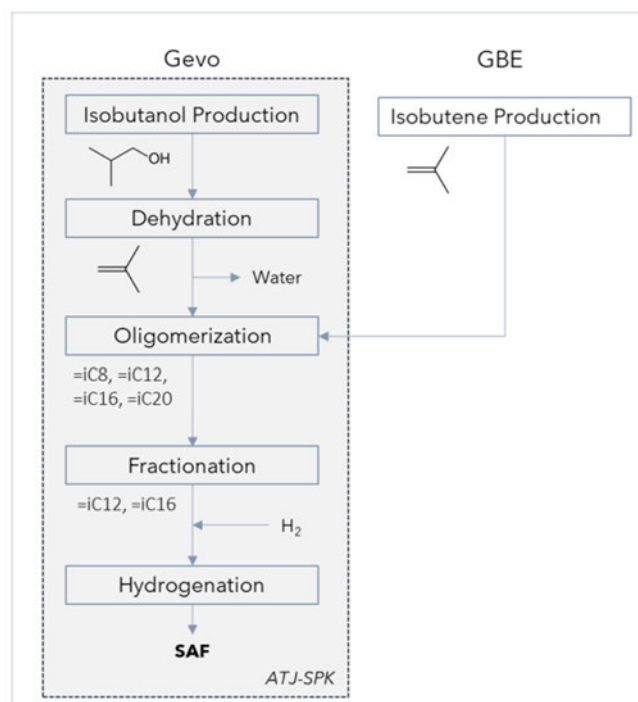


図 2-11 Gevo 社と Global Bioenergies 社の比較

出所) Global Bioenergies “SBI RENEWABLE BIO-JET FUEL” https://www.caafi.org/resources/pdf/GBEisobutene-to-Jet_CAAFI_webinar112020.pdf (2022 年 2 月 8 日閲覧)

b. 製造企業・プラント等

Global Bioenergies 社では、同パスウェイの技術所有者であり、Fraunhofer CBP と共同でドイツで実証規模のプラント(ロイナ製油所)を運営。プラントの生産能力は、イソブテンで 100 トン/年であり、さらに加工され、さまざまな製品に変化する。Global Bioenergies 社は、化粧品やジェット燃料市場向けのイソドデカン、ガソリン添加剤としての ETBE とイソオクタンをターゲットとしている。

c. LCA 評価事例

Global Bioenergies 社の技術を、CORSIA 適格燃料のデフォルト値で既に設定されているイソブタノール ATJ の値で想定されているプロセスと比較すると、Global Bioenergies 社の技術ではイソブタノールの脱水プロセスが省略されている点が異なる。CORSIA 適格燃料のデフォルト値で既に設定されているイソブタノール ATJ のデフォルト値が参考となる。

6) HEFA(Indian CSIR-IIP)

a. 技術概要

インドの科学工業研究委員会(CSIR: Council of Scientific & Industrial Research)傘下のインド石油協会(IIP: Indian Institute of Petroleum)では、石油精製、クリーンエネルギー、バイオ燃料の分野における触媒を中心とした研究開発を進めている。バイオジェット燃料については、ドロップインバイオ燃料の製造プロセスの研究を進めており、2020 年に開催された World Future Fuels Summit における発表資料では、HEFA 由来のバイオジェット燃料の取り組みを進めていることが示されている。なお、Indian CSIR-IIP の HEFA は、ASTM D7566 の審査の途上にある技術であるものの、ASTMD7566 Annex 2 で認証されている HEFA プロセスとの相違点など、ASTM 認証での具体的な検討内容に関する情報は得られなかった。

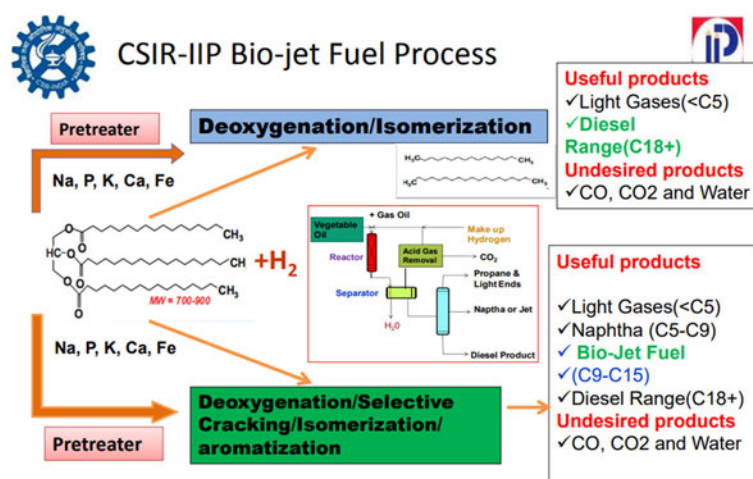


図 2-12 CSIR-IIP の SAF 製造プロセス

出所)CSIR-Indian Indian Institute of Petroleum“Advanced Biofuels”

http://www.worldfuturefuelsummit.in/downloads/PPT/Anjan_Ray_CSIR-IIP.pdf(2022 年 2 月 8 日閲覧)

b. 製造企業・プラント等

CSIR-IIP は、インドの Dehradun にパイロットプラントを所有しており、同プラントでは、主にインド空軍の連続飛行試験用に、30 リットル/日の SAF を生産している。2022 年 2 月時点で、同プラントでは、パームステアリン、パーム脂肪酸蒸留物、廃食油、ジャトロファ、カランジャ、藻類油などの非食用油や食用油産業からの廃棄物から約 9500 リットルの SAF を製造済みである⁵⁴。

2018 年には Dehradun デリー間での SpiceJet による国内初のバイオ燃料フライトに成功しており、同フライトでは CSIR-IIP で生産された SAF が 25% 混合された(質量比、体積比等の記載は無し)⁵⁵。2021 年には、CSIR-IIP が製造した SAF が、インド空軍(IAF)の軍用機での使用が正式に承認された⁵⁶。

⁵⁴ CSIR “CSIR in Media February 2022”

<https://www.csir.res.in/sites/default/files/01%20To%2005%20February%20%202022.pdf>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁵⁵ CSIR “CSIR in Media August 2018”

<https://www.csir.res.in/sites/default/files/21%20to%2028%20august%202018.pdf>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁵⁶ Ministry of Science & Technology “Indian Bio-Jet Fuel Technology Receives Formal Military Certification”
<https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=1776193>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

c. LCA 評価事例

Targeted Aviation Advanced Biofuels Demonstration Competition – Feasibility Study (E4tech, 2020) では、HEFA から製造されたジェット燃料の GHG 排出量削減率は、53–89%と推計している。この値は、原料となる植物油、廃油・油脂などに大きく依存する。下図の高位は Rapeseed、中位は動物脂、低位は廃食油から製造されたジェット燃料の GHG 排出量を指している。

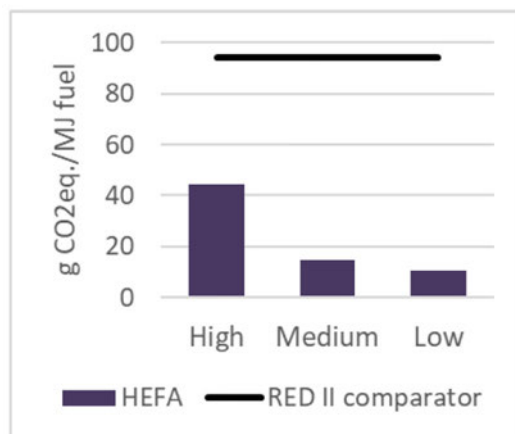


図 2-13 HEFA により製造されたジェット燃料の GHG 排出量

注) 図中の直線は REDII における基準を指す

出所) Targeted Aviation Advanced Biofuels Demonstration Competition – Feasibility Study (E4tech, 2020)

(3) ASTM D7566 の審査の事前検討が行われている技術

1) Vertimass 社

a. 技術概要

Vertimas 社は、米国エネルギー省の支援の下、オークリッジ国立研究所(ORNL: Oak Ridge National Laboratory)が開発したエタノールからバイオジェット燃料を製造する触媒のライセンスを有する米国企業である。同社は、ZSM-5 (Zeolite Socony Mobil-5) と呼ばれるゼオライト触媒を用いて、エタノール脱水とオリゴマー化を同時に達成するプロセス(CADO: consolidated alcohol dehydration and oligomerization)を有している。同社の技術は、既存のエタノール製造プロセスに追加設置することが可能であり、脱水前のエタノールを利用して、バイオジェット燃料を製造する。当該技術によるオペレーションの最適化、ゼオライト触媒の産業利用に適した方式を適用することにより、高い液体炭化水素比率を達成(80%以上)、収量当たりの触媒コストを大きく削減(2015 年比 1/10 程度)している。

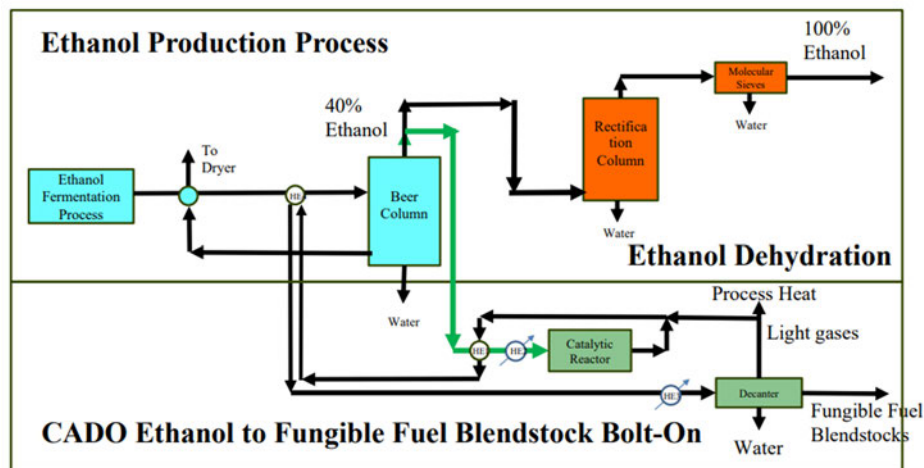


図 2-14 Vertimas 社の技術

出 所) Vertimass “Sustainable Jet Fuel from Biomass” <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/wp-content/uploads/2021/02/RDPack16-Vertimass.pdf> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

b. LCA 評価事例

コーンスターチ、サトウキビ、サトウキビセルロース系材料、トウモロコシ茎葉から製造したエタノールに Vertimas 社の技術である CADO を適用した場合の Well-to-Wheel GHG 排出量を表 2-21 に示す。なお、全ての値で論文出版年の 2020 年時点の CADO 技術を利用した場合を想定している。発酵しやすい原材料と確立された技術を用いた第一世代プロセスで製造されたエタノールを利用した場合の Well-to-Wheel の GHG 排出量は、コーンスターチで 52.4 gCO₂ e/MJ、サトウキビで 27.2 gCO₂ e/MJ であり、石油由来のジェット燃料と比較して、それぞれ 40%、69.8%の削減となる。他方で、リグノセルロースの変換を含む第二世代プロセスで製造されたエタノールを利用した場合の Well-to-Wheel の GHG 排出量は、サトウキビで 17.9 gCO₂ e/MJ、トウモロコシ茎葉で 26.6 gCO₂ e/MJ であり、石油由来のジェット燃料と比較して、それぞれ 40%、69.8%の削減となる。コーンスターチ由来のエタノールに CADO を適用した場合の GHG 排出量は、サトウキビやトウモロコシ茎葉由来のエタノールに適用した場合よりも多いが、これは CADO プロセスで必要な蒸気と電力を、サトウキビやトウモロコシ茎葉の場合はリグニンを燃焼させるのに対し、コーンスターチの場合は化石エネルギーに依存するためである。

表 2-21 Vertimass 社の SAF 製造時の GHG 排出量

Ethanol feedstock	Conversion technology	From ethanol				From petroleum	
		Feedstock production and ethanol conversion	Emission (gCO ₂ e/MJ of fungible blendstock)			PTWa	WTWa
			Catalytic conversion of ethanol	Jet fuel use	WTWa*		
First generation						73.2	87.3
Corn starch [†]	Current	45.5	6.7	0.2	52.4		
					-40.0%		
Cane sugar [‡]	Current	23.8	3.2	0.2	27.2		
					-68.8%		
Second generation							
Cane cellulosic ^{†,§}	Current	14.5	3.2	0.2	17.9		
					-79.5%		
Cane cellulosic ^{†,§}	Projected	13.9	3.2	0.2	17.3		
					-80.2%		
Corn stover [¶]	Current	23.2	3.2	0.2	26.6		
					-69.5%		
Corn stover [¶]	Projected	0.13	3.2	0.2	3.53		
					-96.0%		

PTWa, pump-to-wake which includes combustion of fuel in an aviation system; WTWa, well-to-wake which includes the full supply, production, and use chain. Values for catalytic conversion include emissions due to transportation and distribution of ethanol, estimated at 0.85 gCO₂e/MJ.

*Negative percent values represent percentage of GHG emission reduction compared to petroleum jet fuel.

[†]Provided by Argonne National Laboratory for corn starch ethanol case.

[‡]Provided by Brazilian Bioethanol Science and Technology Laboratory based on Dias et al. (41).

[§]Cane cellulosic refers to an integrated first- and second-generation process in Brazilian context.

[¶]Provided by Argonne National Laboratory based on previous study by Lynd et al. (43). Corn Stover Base Case based on National Renewable Energy Laboratory: Technical Report NREL/TP-5100-47764 (36).

出所)Hannon et al. “Technoeconomic and life-cycle analysis of single-step catalytic conversion of wet ethanol into fungible fuel blendstocks” <https://www.pnas.org/content/pnas/117/23/12576.full.pdf> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

2) OMV 社

a. 技術概要

オーストリアに本社を置く石油・ガス・化学品製造企業である OMV 社は、ReOil と呼ばれる使用済みプラスチックを合成原油(synthetic crude)に変換する技術を保有している。同技術は熱分解プロセスであり、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン等の廃プラスチック類を溶解させた後、溶剤と混合し、クラッキング及び分離プロセスを経て、異なる留分の合成原油を製造する。なお、生成物については、中間留分の収率が最も多く、次いで、収率が多い順に形質留分、ガス留分、重留分となる。OMV が独自に開発している技術であるため、同技術の詳細までは公表されていない。

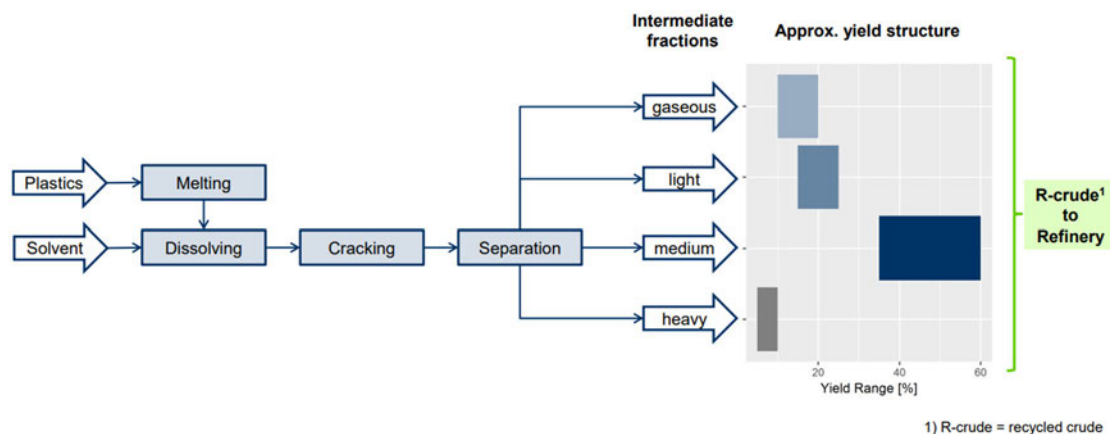


図 2-15 OMV 社 ReOil の技術

出所)OMV “OMV’s concrete actions to reduce its CO2 footprint: The ReOil Process”

<https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/2018/06/Paul-Greening-OMV.pdf> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

2013 年には、Schwechat 製油所に、1 時間あたり約 5kg の中古プラスチックの処理能力を有する試験施設の第一号が建設された。その後、1 時間あたり最大 100kg の処理能力を有する試験施設が 2018 年に操業を開始し、1 時間あたり 100 リットルの合成原油を生産している⁵⁷。2025 年までに産業規模の生産能力に達することを目標としている⁵⁸。

b. LCA 評価事例

オーストリア連邦環境庁が 2016 年 2 月に行った使用済みプラスチックのリサイクルプロセスに関する調査では、Schwechat 製油所での精製プロセスにおいて化石燃料由来の原油を ReOil の合成原油で代替することで、GHG 排出量を 45%削減し、エネルギー投入量を 20%削減できると結論づけている⁵⁹。なお、詳細なデータは公表されていない。

3) Forge Hydrocarbons 社

a. 技術概要

Forge Hydrocarbons 社は、カナダのアルバータ大学の Dr. David Bressler により発明された SAF 製造技術である Lipid-to-Hydrocarbon (LTH) 技術を有する企業である。LTH 技術は、原料である脂質(トリグリセライド)を加水分解し、脂肪酸とグリセロールの混合物を製造する。その混合物が冷却されると、脂肪酸はグリセロールと水から分離される。これらの脂肪酸は、含有する酸素が放出される時点まで加熱された後、脂肪酸は炭化水素となり、最終的な処理によりガソリン、天然ガス、ジェット燃料、ディーゼル、潤滑油、溶媒、希釈剤などの目的となる燃料に変換される⁶⁰。

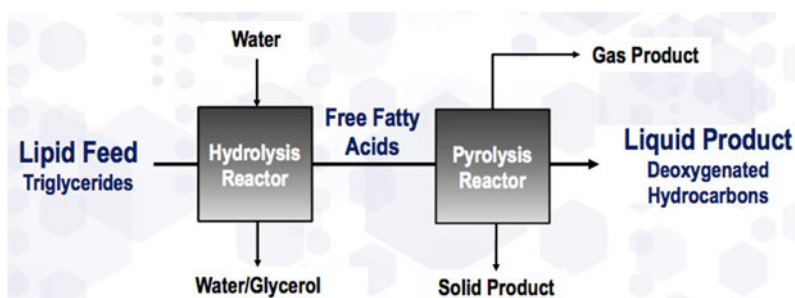


図 2-16 Forge Hydrocarbons 社の LTH 技術

出所)Green Car Congress “U Alberta spin-off Forge Hydrocarbons commercializing pyrolytic lipids-to-hydrocarbons process” <https://www.greencarcongress.com/2013/10/20131014-forge.html>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁵⁷ OMV “OMV transforms plastic waste into crude oil” <https://www.omv.com/en/news/omv-transforms-plastic-waste-into-crude-oil>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁵⁸ OMV “ReOil – Recycling technology for used plastics” <https://www.omv.com/en/sustainability/climate-protection/reoil>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁵⁹ OMV “OMV innovation projects to support the energy transition” <https://www.iene.eu/articlefiles/atzmannerstorfer.pdf>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁶⁰ University of Alberta “UAlberta spinoff company could be game changer in renewable fuels” <https://www.ualberta.ca/folio/2013/10/ualberta-spinoff-company-could-be-game-changer-in-renewable-fuels.html>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

LTH技術では、既存のSAF製造技術で現在利用されているいずれの脂質も原料とすることができ、同技術で製造されたSAFはASTM D7566 Table 1の要求に合致している。同社は、2014年に200,000L/年の生産能力を有する再生可能燃料のパイロットプラントの運転開始をしている。また、2021年6月時点で、カナダオンタリオ州のSombraにおいて750万ガロン/年の生産能力を有する商業前プラントの詳細エンジニアリング設計の最終段階にある⁶¹。

b. LCA 評価事例

Forge Hydrocarbons社のLTH技術で製造されたSAF生産は、従来の石油ベースの炭化水素の生産と比較して、GHG排出量を90%以上削減するとされる。詳細なデータは公表されていない⁶²。

4) REVO 社

a. 技術概要⁶³

株式会社レボインターナショナル (REVO International) は、1999年設立の京都を拠点とした企業であり、使用済みてんぷら油等を原料とした第一世代バイオディーゼル燃料(商品名:C-FUEL)の製造供給を主に行っている。2019年には、原料油を、廃食用油から非食用であるジャトロファ油、更には木質乾留油に展開することを視野に入れ、バイオマス由来の軽油・ジェット・ナフサへの変換をするHEFA-SPKの技術開発に成功したことを発表している。これまでの関連技術は、いずれも高温・高圧下で水素と触媒を利用し、分解・改質が行われてきたが、同社では、バイオマス由来の各種原料油を、1MPa以下の低圧水素を用いた水素化接触分解を行うことで、バイオ軽油、バイオジェット燃料などの液体燃料の製造を可能にする固体酸系触媒の開発に成功した。石油精製工場と同様の大型設備であれば、既存技術にてバイオ軽油、バイオジェット燃料は製造可能であるが、高圧水素でなければ炭素生成による触媒の劣化を抑制出来ない。また、化石資源と比較し原料集積が分散しているバイオマス原料では、石油精製工場のような大規模設備ではコスト高になる。同社の触媒は、低圧水素であっても触媒表面での炭素生成を抑制し、触媒の活性・寿命を工業的に維持することができ、地産地消型設備(小・中規模)の設計運用を可能とする。なお、詳細な技術は公開されていない。

⁶¹ 2021 CAAFI Mini-Symposium “FORGE Hydrocarbons Corporation”
<https://caafi.org/resources/pdf/2.15 Forge Pelletier.pdf>(2022年2月8日閲覧)

⁶² University of Alberta “UAlberta spinoff company could be game changer in renewable fuels”
<https://www.ualberta.ca/folio/2013/10/ualberta-spinoff-company-could-be-game-changer-in-renewable-fuels.html>(2022年2月8日閲覧)

⁶³ レボインターナショナル “バイオマス由来 次世代燃料の独自製造技術の開発に成功” <https://www.e-revo.jp/topics/%e3%83%90%e3%82%a4%e3%82%aa%e3%83%9e%e3%82%b9%e7%94%b1%e6%9d%a5-%e6%ac%a1%e4%b8%96%e4%bb%a3%e7%87%83%e6%96%99%e3%81%ae%e7%8b%ac%e8%87%aa%e8%a3%bd%e9%80%a0%e6%8a%80%e8%a1%93%e3%81%ae%e9%96%8b%e7%99%ba/>(2022年2月8日閲覧)

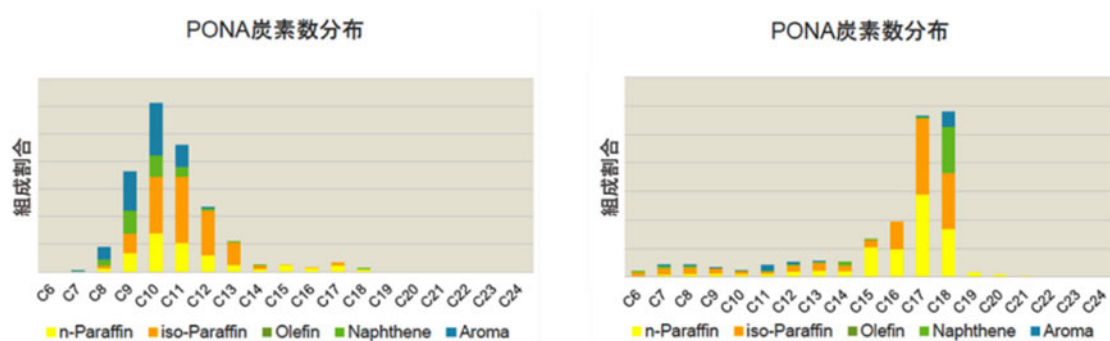


図 2-17 小型製造装置での運転実績 (左) バイオジェット燃料 (右) バイオ軽油

出所)レボインターナショナル “バイオマス由来 次世代燃料の独自製造技術の開発に成功” <https://www.e-revo.jp/topics/%e3%83%90%e3%82%a4%e3%82%aa%e3%83%9e%e3%82%b9%e7%94%b1%e6%9d%a5-%e6%ac%a1%e4%b8%96%e4%bb%a3%e7%87%83%e6%96%99%e3%81%ae%e7%8b%ac%e8%87%aa%e8%a3%bd%e9%80%a0%e6%8a%80%e8%a1%93%e3%81%ae%e9%96%8b%e7%99%ba/> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

b. LCA 評価事例

同社のバイオジェット燃料の LCA に関する情報は公表されていない。

5) SBI BioEnergy 社

a. 技術概要⁶⁴

SBI BioEnergy 社は、2007 年設立のドロップイン燃料の製造技術を有するカナダ・アルバータ州の企業である。同社では、脂質とメタノールから再生可能燃料を製造する連続的なフロープロセスである Process Intensification and Continuous Flow-Through Reaction (PICFTR) を開発している。PICFTR は、従来反応と比較し、物理的なフットプリントを小さくし、低リスクで迅速にスケールアップすることが可能である。また、同社が開発した触媒は連続グリーン触媒 (CGCTM: Continuous Green Catalysts) と呼ばれ、安価で活性寿命が長く、再生が容易であり、水素、消耗品である化学物質、水は反応中に含まれない。

⁶⁴ SBI BioEnergy “About” <https://www.sbibioenergy.com/about> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

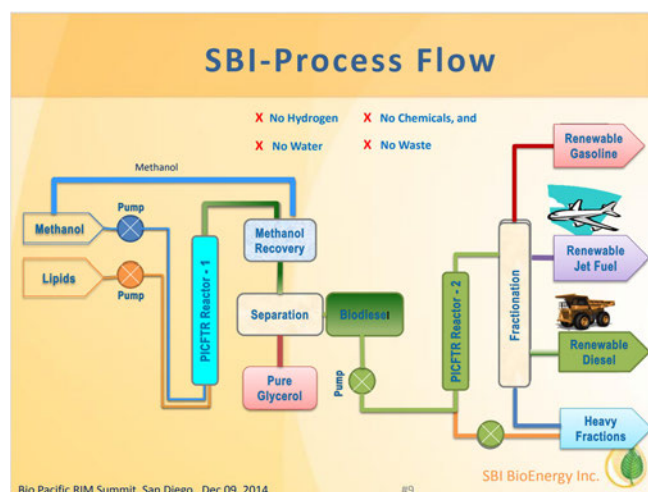


図 2-18 SBI BioEnergy のプロセスフロー

出所)SBI BioEnergy “ Novel Viable Hydrogen-free BioRefining Technology Platform for Renewable Aviation & Diesel Fuels” <https://www.bio.org/sites/default/files/legacy/bioorg/docs/Inder%20Singh.pdf> (2022年2月8日閲覧)

SBI BioEnergy 社のプロセスは、最も安価な原料の種類を使用できるように、原料に柔軟性を持たせている。SBI BioEnergy 社は、地元の植物油や動物性油脂のサプライヤーから原料を調達する予定で、将来的には、カリナタやカメリナなどの非食用油糧作物の植物油が商業的に入手可能になれば、これらの作物の植物油を使用することを考えている。また、パルプ工場や製紙工場からのトール油や、既存の製造業者からのバイオディーゼルも原料として使用する予定である。

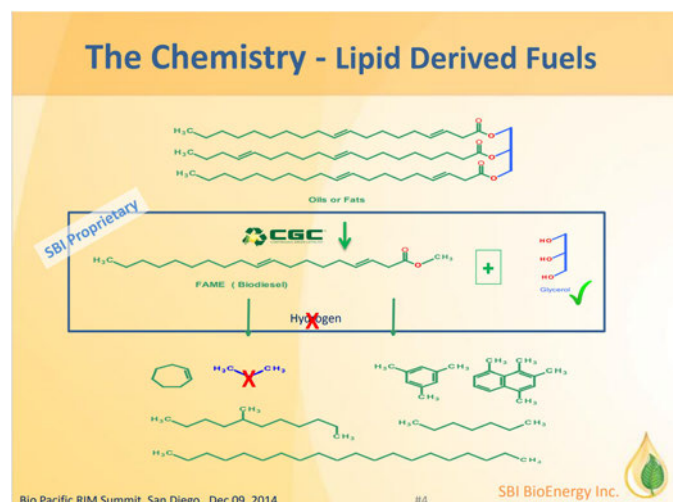


図 2-19 SBI BioEnergy の技術概要

出所)SBI BioEnergy “ Novel Viable Hydrogen-free BioRefining Technology Platform for Renewable Aviation & Diesel Fuels” <https://www.bio.org/sites/default/files/legacy/bioorg/docs/Inder%20Singh.pdf> (2022年2月8日閲覧)

同社の再生可能ジェット燃料は、石油由来のジェット燃料と同等であり、イソアルカン、環状アルカン、芳香族が混合されている⁶⁵。

⁶⁵ SBI Bioenergy “RENEWABLE JET FUEL” <https://www.sbibioenergy.com/renewable-jet-fuel> (2022年2月8日閲覧)

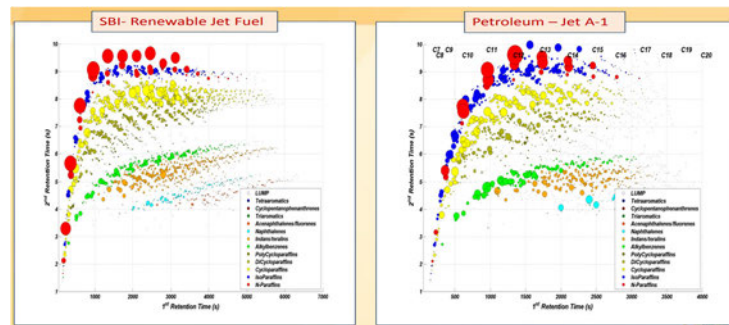


図 2-20 SBI BioEnergy の再生可能ジェット燃料と石油由来のジェット燃料の比較

注) Retention time は、注入された検査試料が検出器に到達するまでの時間を示し、各成分に特有の数値である。

出所) SBI BioEnergy “Novel Viable Hydrogen-free BioRefining Technology Platform for Renewable Aviation & Diesel Fuels” <https://www.bio.org/sites/default/files/legacy/bioorg/docs/Inder%20Singh.pdf> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

2017 年 6 月には、SBI BioEnergy 社が特許を取得した再生可能なドロップインバイオ燃料の開発とライセンス権をシェルに付与している⁶⁶。

b. LCA 評価事例

同社のバイオジェット燃料の LCA に関する情報は公表されていない。

6) Prometheus 社

a. 技術概要⁶⁷

Prometheus Fuels 社は 2019 年に設立されたシリコンバレーを拠点とするエネルギー関連スタートアップ企業である。太陽光や風力などの再生可能エネルギーを利用し、大気中の二酸化炭素を回収して、各種燃料(ガソリン、ディーゼル、ジェット燃料)を製造する。

具体的には、同社の Titan Fuel Forge(タイタン燃料炉)と呼ばれる装置を利用して、空気中の CO₂ と水を取り出し、太陽光や風力発電由来の電力と組み合わせて、ゼロ・ネット・カーボン燃料を製造する。1 台の Titan 燃料炉で、年間で、900 トンの大気中の CO₂ を、10 万ガロンのガソリン、ディーゼル、ジェット燃料に変換できる。これらの燃料は、現在自動車や飛行機に使用されている燃料と分子的に同じものとされる。同社のウェブサイトによると、CO₂ 除去と燃料生産のプロセスは以下の通りである。

- 第 1 段階では、工業用ファンで空気を吸い込み、空気中の CO₂ と H₂O を回収する。
- 第 2 段階では、回収した CO₂ を Faraday Reactor と呼ばれる電気化学スタックで電気に遭遇させ、CO₂、H₂O 由来の水素分子から、長鎖アルコール(ヘキサノール)、H₂O、O₂ を生成する。
- 第 3 段階では、Maxwell Core と呼ばれる特殊な膜を利用して分子のソーティングを行う。こ

⁶⁶ SBI Bioenergy “SHELL SIGNS AGREEMENT WITH SBI BIOENERGY INC.”

<https://www.sbienergy.com/single-post/2017/06/27/shell-signs-agreement-with-sbi-bio-energy-inc> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁶⁷ Prometheus “Technology” <https://www.prometheusfuels.com/technology> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

の膜の孔はカーボンナノチューブであり、水を通さず、アルコールを通すことができる。

- 第 4 段階では、触媒を利用し、長鎖アルコールを結合させ、ガソリン、ディーゼル、ジェット燃料を製造する。

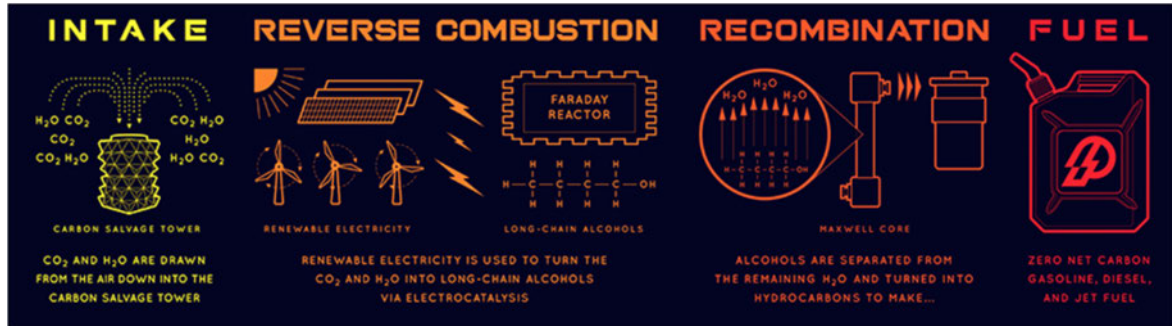


図 2-21 Prometheus Fuels の製造フロー

出所)Prometheus “Combustion in Reserve” <https://www.prometheusfuels.com/on-the-road/combustion-in-reverse>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

2021 年 7 月、アメリカン航空は、回収した CO_2 と再生可能電力により燃料を製造する Prometheus Fuels 社から、2025 年までに 1000 万ガロンの SAF を調達する計画を発表している⁶⁸。また、2021 年 10 月、Prometheus Fuels 社は、Transcend 航空に SAF を供給することを発表している⁶⁹。

b. LCA 評価事例⁷⁰

同社ウェブサイトによると、同社のジェット燃料(Electro-SAF)の炭素強度はゼロとされるものの、具体的な情報は公開されていない。

7) Alder Fuels 社

a. 技術概要

Alder Fuels 社は、米国ワシントン DC に拠点を持つ低炭素エネルギー産業におけるプロセス技術およびプロジェクト開発会社である。林業などの木質系残渣を大規模に SAF (Sustainable Aviation Fuel) に転換する技術を開発している。

2021 年に同社の技術は米国エネルギー省バイオエネルギー技術局のプレ実証プロジェクトとして選出されている。同社の高度熱分解油(APO: Advanced Pyrolysis Oil)技術を発展させ、1 日当たり 0.5 トンのミスカンサスを変換し、ASTM の Fast Track 仕様を満たす SAF 製造することを目的とす

⁶⁸ Prometheus “American airlines to buy 1 million gallons of our jet fuel” <https://www.prometheusfuels.com/on-the-road/american-airlines-to-buy-10-million-gallons-of-our-jet-fuel>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁶⁹ Transcend “Sustainability Without Compromise – Prometheus Fuels to Supply Transcend Air with Zero Net Carbon Fuel for ART Service” <https://transcend.aero/press>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁷⁰ Prometheus “American airlines to buy 1 million gallons of our jet fuel” <https://www.prometheusfuels.com/on-the-road/american-airlines-to-buy-10-million-gallons-of-our-jet-fuel>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

る。また、世界初のカーボンマイナスの SAF による飛行実証実験を行う予定である。同プロジェクトでは、NREL と UOP の高速熱分解のノウハウ、Alder 社のバイオ油分留技術、UIUC の再生熱利用バイオマス実証試験と炭素強度の定量化、NREL と UOP のバイオ油分水素化処理と精製統合の技術、UDRI の SAF 燃料特性試験、NREL と UIUC の技術経済およびライフサイクル分析のスキルセット、ASCENT、CAAFI、ユナイテッド航空、ガルフストリームの SAF に関する商業およびビジネス航空業界の知見、ユナイテッド航空とボーイングの ASTM SAF 要件と飛行試験等の専門知識を結集して実施される⁷¹。

2021 年 9 月、ユナイテッド航空とハネウェルは、Alder Fuels 社との数百万ドル規模の合弁事業を発表した。両社が Alder Fuels 社に共同出資し、ユナイテッド航空は Alder Fuels 社から、20 年間で 15 億ガロンの持続可能な航空燃料(SAF)を購入する。全世界の航空会社が発表した購入契約の 1.5 倍相当にあたり、航空史上最大の購入契約となる。

ハネウェルは SAF 製造技術のパイオニアであり、その実績ある開発プロセスを用いて Alder Fuels 社と提携し、その技術を商業化する。Alder 社は、SAF の大規模生産を加速するため、世界初の低炭素原油技術を開発する。燃料のライフサイクル全体で使用する場合、Alder Fuels 社の技術をハネウェル社 UOP Ecofining プロセスと組み合わせると、現在のジェット燃料と同等のマイナス・カーボン燃料の生産が可能となる⁷²。

b. LCA 評価事例

同社のバイオジェット燃料の LCA に関する情報は公表されていない。

8) Brightmark 社

a. 技術概要

Brightmark RNG 社は米国カリフォルニア州サンフランシスコに拠点を持つ、Chevron U.S.A. Inc.および Brightmark Fund Holdings LLC の合弁会社で、2016 年に設立された。

有機廃棄物から放出されるメタンを回収し、再生可能天然ガス(RNG: Renewable Natural Gas)に変換している。この RNG は車の燃料など様々な用途に使われる。

また、同社はプラスチックのリサイクルも行っている。同技術は、Brightmark 社が 2018 年に投資を行った RES Polyflow 社の技術であると考えられる。回収されたプラスチックは、破碎、金属除去、乾燥、パレタイズなどの工程を経て、酸素のない環境で加熱され、気化される。その蒸気を回収、冷却して炭化水素の液体にする。この炭化水素液は、再生ナフサ原料、超低硫黄ディーゼル、エコワックスなどの製品に加工される⁷³。

⁷¹ DOE Bioenergy Technologies Office “Sustainable Aviation Fuel Research and Development at DOE” https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/2396-1600_Alder_Energy_Summary.pdf (2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁷² Alder Fuels “United, Honeywell Invest in New Clean Tech Venture from Alder Fuels, Powering Biggest Sustainable Fuel Agreement in Aviation History” <https://www.alderfuels.com/latest-news/united-honeywell-invest-in-clean-tech-venture> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁷³ Brightmark “Renewable Natural gas” <https://www.brightmark.com/renewable-natural-gas> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

2018 年にはインディアナ州にて Plastics-to-fuels プロジェクトを立ち上げており、年間 10 万トンのプラスチックごみを、1800 万ガロンの超低硫黄ディーゼル、ナフサ、および、500 万ガロンのワックスに変換できるとしている⁷⁴。

b. LCA 評価事例

同社のバイोजェット燃料の LCA に関する情報は公表されていない。

一方で、同社の RNG は、そのライフサイクルを通じて、従来のガスや他の燃料に比べ、農業や廃水処理に伴う GHG を大幅に削減することができる。嫌気性消化の過程で、メタンは大気中に直接放出されるのではなく、バイオガスとして回収され、変換される。天然ガスを自動車に使用した場合、燃料ライフサイクルを通して、ガソリンよりも温室効果ガスの排出量が 6～11% 少なくなる。気候変動への影響を考慮すると、乳牛の糞尿から得られる RNG は、従来の自動車用燃料を置き換えた場合、GHG 排出量を最大 400% 削減できることが研究で示されている⁷⁵。

2.1.4 導入促進策に係る調査

(1) 米国

1) 航空分野のクリーン化を推進するための連邦政府の取組み⁷⁶

2021 年 9 月、米ホワイトハウスは、2050 年までのカーボンニュートラル実現に向けたバイデン大統領の取り組みの一環として、FACT SHEET: Biden Administration Advances the Future of Sustainable Fuels in American Aviation を公表。2030 年までに航空業界の温暖化ガス排出量を 20% 削減することを目指すと発表した。航空分野のクリーン化を推進するための連邦政府の取組みには、以下が含まれる。

- 2030 年までに SAF 生産量を少なくとも年間 30 億ガロン以上に増加させるため、「持続可能な航空燃料グランドチャレンジ(Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge)」を実施する。
- SAF プロジェクトおよび燃料生産者を支援するため、新規および継続的な資金提供(総額 43 億ドル)の機会を提供する
- 航空機の燃料効率を少なくとも 30% 向上させることができる新技術を実証するため、研究開発活動の増加させる
- 燃料使用量を削減し、鉛への曝露をなくし、空港とその周辺の空気を清浄化するため、航空交通と空港の効率化に取り組む
- 国際的なリーダーシップを発揮する

⁷⁴ Business Wire “Brightmark Energy Announces Major Investment in Nation’s First Commercial Scale Plastics-to-Fuel Plant” <http://dpw.lacounty.gov/epd/socalconversion/pdfs/BrightmarkEnergyPlastic-to-fuelplant.pdf> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁷⁵ Brightmark “Renewable Natural gas” <https://www.brightmark.com/renewable-natural-gas> (2022 年 2 月 8 日閲覧)

⁷⁶ The White House “FACT SHEET: Biden Administration Advances the Future of Sustainable Fuels in American Aviation” <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/09/fact-sheet-biden-administration-advances-the-future-of-sustainable-fuels-in-american-aviation/> (2021 年 10 月 13 日閲覧)

SAF グランドチャレンジについては、エネルギー省(DOE: Department of Energy)、運輸省(DOT: Department of Transportation)、農務省(USDA: Department of Agriculture)の間で MOU を締結し、2030 年までに少なくとも年 30 億ガロンの SAF 供給、2050 年までに約 350 億ガロンと予想される航空燃料需要を 100%満たすための SAF 供給目標を公表している。各機関の役割は下表の通り。

表 2-22 SAF グランドチャレンジに係る MOU における各機関の役割

機関	各機関の役割
DOE	- コスト効率の高い低炭素燃料の開発に対する投資継続 - SAF 大規模化戦略の継続 - SAF 生産の新規パスウェイの創設に向けた研究開発の実施 - SAF の環境分析の進展 - 新規 SAF 原料の規制承認のプロセスの加速化について EPA と協力
DOT	- 航空分野の脱炭素化に向けた全体戦略の開発 - SAF 試験・分析の調整 - 標準機関と連携し、SAF の安全性・持続可能性の確立 - 国際的な技術面でのリーダーシップの継続 - SAF のエンドユースの促進 - インフラと輸送システムの開発支援 - 新規 SAF 原料の規制承認のプロセスの加速化について EPA と協力
USDA	- 持続可能なバイオマス生産システムへの投資継続 - サプライチェーンの脱炭素化 - バイオ製造業への投資 - コミュニティと個人の教育 - アウトリーチと技術移転の実施 - 商業化支援 - 新規 SAF 原料の規制承認のプロセスの加速化について EPA と協力

出所)米国エネルギー省 “MEMORANDUM OF UNDERSTANDING SUSTAINABLE AVIATION FUEL GRAND CHALLENGE” https://www.energy.gov/sites/default/files/2021-09/S1-Signed-SAF-MOU-9-08-21_0.pdf (2021 年 10 月 13 日閲覧)

2030 年までに SAF 生産量を少なくとも年間 30 億ガロン以上に増加させる目標の達成に向け、SAF グランドチャレンジ以外には、次のような支援を公表している。

- USDA は、バイオマス原料遺伝子開発、持続可能な作物と森林管理、収穫後のサプライチェーンロジスティクスなど、気候スマートな農業慣行と研究を米国農家に支援。
- 環境保護庁(EPA: Environmental Protection Agency)と DOE は、データ収集ニーズの特定、技術情報の評価、新規燃料や原料を支援するための規制の承認プロセスを迅速化させるための措置を講じる。
- 連邦航空局(FAA: Federal Aviation Administration)は、Aviation Sustainability CENTER (ASCENT)に合計\$3.6M 以上の補助金を提供。新規燃料の評価試験の実施における SAF 承認クリアリングハウスを支援。
- DOE バイオエネルギーテクノロジーオフィス(BETO: Bioenergy Technologies Office)は、原料および藻類技術を開発するプロジェクトに対して 3,500 万ドルの資金供与を発表。また、SAF パスウェイのコスト削減のために合計 6100 万ドル以上の追加資金を提供。
- DOE ローンプログラムオフィス(LPO: Loan Programs Office)は、商業規模の SAF プロジェ

クトに対し、最大 30 億ドルの融資保証を提供。

- 国防総省(DOD: Department of Defense)では、商業市場で既に承認されている最大 4 件の SAF パスウェイと、戦闘機向けの ASTM 承認パイプライン上の追加の SAF パスウェイの利用証明に資金を提供。

2) Sustainable Sky Act(S. 2263)

2021 年 5 月、Brad Schneider 下院議員(民主党・コロラド州)が SAF に対する税制優遇を定めた Sustainable Sky Act を提出。概要は以下のとおり。

ライフサイクル GHG を少なくとも 50%削減する SAF に対する税制優遇策が盛り込まれており、2021 年 9 月にバイデン政権が発表した内容と一致している。2022 年 2 月末時点で同法案のステータスは提出段階であり、具体的な進展は見られていない。

表 2-23 H.R.3440 - Sustainable Sky Act 概要

項目	概要
税制優遇の程度	- 持続可能な航空燃料(石油系燃料に対して削減量が 50%を超えるもの)を利用する場合に\$1.50/ガロン(0.39\$/リットル)のベースの税制優遇(excise taxes、燃料物品税)を行う。 - 石油系燃料に対して削減量が 50%を超える削減率パーセンテージ毎に 0.01 ドル/ガロンの追加の税制優遇を行う。
税制優遇の対象	- 持続可能な航空燃料の定義は、ASTM D7566 規格を充たす、あるいは D1655 において FT 合成由来の燃料として Co-Process された燃料。 - 原料は廃棄物、再生可能エネルギー源、または CO₂。PFAD(パーム脂肪酸留出物)は対象外。
持続可能性の確認方法	- GHG 削減量が 50%を超えるとみなす燃料については、製造方法毎に規定。具体的には ICAO が定める方法によって評価された結果 50%以上の削減となっている製造方法、あるいは EPA が定める方法によって評価された結果 50%以上の削減となっている製造方法である。 - 税制優遇を受けるためには、削減率に関する認証を受ける必要あり。ICAO が定める方法によって評価する場合は CORSIA が認める SCS(持続可能性認証スキーム)、EPA が定める方法によって評価される場合は EPA が認める認証と CORSIA が求める持続可能性基準とトレーサビリティを確保する追加の認証を示す必要がある。
税制優遇の期限	当該制度の期限は 2031 年 12 月 31 日。

出所) <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3440/text?r=30&s=1> (2021 年 9 月 21 日閲覧)
を基に三菱総合研究所作成

3) Sustainable Aviation Fuel Act(H. R. 741)

2021 年 2 月、Julia Brownley 下院議員(民主党・カリフォルニア州)が SAF の炭素集約度の目標を設ける法案を提出。概要は以下のとおり。2022 年 2 月末時点で同法案のステータスは提出段階であり、具体的な進展は見られていない。

表 2-24 H.R.741 - Sustainable Aviation Fuel Act

項目	概要
航空部門の排出削減目標	国際線、国内線を含め 2035 年までに 2005 年比で▲35%、2050 年までに GHG の排出をネットゼロとする排出削減目標(Goal)を宣言。
補助プログラム	- 運輸省は環境保護庁と連携して、米国国内に立地する SAF の製造、輸送、ブレンド、貯蔵するプロジェクトに対し、競争補助金・コストシェアリングプログラムを実施。 - プログラムの対象を選定するに当たっては、公益性、GHG 削減量、新規の雇用創造、土地利用変化を含む直接・間接の GHG 排出を考慮。 - 補助プログラムの実行として、2022 年から 2026 年まで各会計年度に 2 億ドルを割り当て。 - なお補助の対象は、州・地方政府、空港運営者、運航事業者、SAF の製造・輸送・ブレンド、貯蔵に関わる事業者のみ。
LCFS (Low Carbon Fuel Standard) の導入	- LCFS は適用対象に対し、該当する燃料について熱量あたりのライフサイクル GHG の平均値の目標達成義務を定めるもの。2050 年にかけての毎年目指すべき水準を設定し、2005 年比で 2030 年時点で最低 20%、2050 年時点で最低 50%の削減の水準を設定。 - 適用対象は、航空燃料を生産、輸入する者。 - 炭素集約度の計算方法については ICAO のルールと整合 - 目標水準を超える事業者にはクレジットを発行。 - 現行の RFS2 制度(大気浄化法 211(o))との調整を実施。
国防省による調達	国防省は operational purposes に定義される燃料消費のうち 10%の SAF のバルク調達を実施。(SAF に対してはコスト競争力や米国内で精算されることなどの条件付)
研究活動の強化	FAA 及び DOE による研究開発の強化。ブレンドを要さない SAF の開発、フィードストックの開発など。
税制優遇	従来再生可能ディーゼルに適用されてきた免税措置を SAF にも適用。

出所)<https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/741>(2021 年 9 月 21 日閲覧)を基に三菱総合研究所作成

(2) EU

1) Fit for 55 概要⁷⁷

欧州委員会は 2021 年 7 月 14 日、2020 年 9 月に設定された EU の排出削減目標である「2030 年までに排出量を少なくとも 55%削減」の達成に向けて、EU の法律の改正や更新案をまとめた Fit for 55 パッケージの案を提示した。2019 年の欧州グリーン・ディールの公表後に EU の排出削減目標が設定されたことから、Fit for 55 パッケージでは、欧州グリーン・ディールで示された各種政策や法律を、排出削減目標の達成に向けて整合を取るように修正している。なお、Fit for 55 パッケージは、EU 理事会と欧州議会での審議を経て、2026 年からの導入を目指す。

Fit for 55 パッケージの案には、以下の立法案と政策イニシアティブが含まれる。

- EU 排出量取引システム(EU ETS)の改正(※船舶部門への拡大、航空部門に関する規則の改正、道路輸送部門と建物部門向けの別の ETS の創設)
- EU ETS 対象外の部門における加盟国の削減目標に関する取り組み共有規制の改正
- 土地利用、土地利用変化及び林業(LULUCF)からの温室効果ガスの排出と除去を含む規則の改正
- 再生可能エネルギー指令の改正
- エネルギー効率指令の再作成
- 代替燃料インフラの設置に関する指令の改正
- 乗用車と小型商用車(バン)の CO2 排出基準に関する規制の改正
- エネルギー税指令の改正
- 炭素国境調整措置
- 持続可能な航空燃料に関する規則(ReFuelEU Aviation)
- グリーンな欧州海運領域に関する規則(FuelEU Maritime)
- 社会気候基金
- EU 森林戦略

2) ReFuelEU Aviation

ReFuelEU Aviation は、EU 域内の空港における SAF の供給と利用を拡大するために、合成燃料を含む SAF の最低混合比率を示す規則(Regulation)の案である。

航空燃料の供給者、航空機の運航者(エアライン)、EU 域内の空港のそれぞれに対する義務を提示している。航空燃料の供給者に対して課せられた SAF 導入義務最低比率は表 2-25 に、各主体の遵守義務は表 2-26 に示す通りである。

表 2-25 ReFuelEU Aviation 草案の Annex 1 に示された SAF 導入義務最低比率

	2025 年～	2030 年～	2035 年～	2040 年～	2045 年～	2050 年～
SAF	2%	5%	20%	32%	38%	63%
合成燃料	—	0.7%	5%	8%	11%	28%

⁷⁷ European Council “Fit for 55” [https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/\(2021/7/28日閲覧\)](https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/(2021/7/28日閲覧))

表 2-26 ReFuelEU Aviation 草案(2021 年 7 月)における各主体の遵守義務の概要

適用対象	義務(期間)	内容
航空燃料の供給者に対する義務	遵守義務 (2025 年 1 月 1 日以降)	- 航空燃料の供給者がある報告期間において最低供給量を供給できなかった場合、少なくとも次の報告期間においてその不足分を補完しなければならない。(Article 4) - 航空燃料の供給者は、各 EU 域内の空港においてエアライン向けに供給される全ジェット燃料に、設定された SAF の最低比率(合成航空燃料の最低比率を含む)に沿って、SAF が混合されていることを保証しなければならない。同最低比率は、Annex 1 の通り。(Article 4) - 航空燃料の供給者がある報告期間(前年 1 月～12 月)において最低供給量を供給できなかった場合、少なくとも次の報告期間に、その不足分を補完しなければならない。(Article 4) - ただし、移行期間(2025 年 1 月 1 日から 2029 年 12 月 31 日までの各報告期間)においては、航空燃料の供給者は、Annex I に定義された SAF の最低比率を、その報告期間に EU 域内の空港で供給したすべての航空燃料の加重平均として供給することができる。
	報告義務 (2024 年 4 月 1 日以降)	- 報告年の 3 月 31 日に、航空燃料の供給者は、以下の情報を欧州連合のデータベースに報告する。(Article 9) (a) 各 EU 域内の空港で供給された航空燃料の量 (b) 各 EU 域内の空港で供給された SAF の量、及び、SAF の種類毎の (c) の内容 (c) 各 EU 域内の空港で供給された SAF の種類毎のライフサイクル排出量、原料原産地、変換プロセス
	罰則	加盟国は、Article 4(SAF/合成燃料の最低比率)に定められた義務を順守していない航空燃料の供給者が、罰金を科されることを保証しなければならない。罰金は、従来の航空燃料と SAF/合成燃料の 1 トンあたりの年間平均価格の差と、Article 4 及び Annex I で規定された最低比率に準拠していない航空燃料の量の乗数の少なくとも 2 倍でなければならない。(Article 11)
航空機の運航者(エアライン)に対する義務	遵守義務 (2025 年 1 月 1 日以降)	EU 域内の空港でエアラインにより搭載された航空燃料の年間総量は、EU 域内の空港からの出発便で必要とされた航空燃料の年間総量の 90%以上でなければならない。(Article 5)
	報告義務 (2024 年 4 月 1 日以降)	- 報告年の 3 月 31 日には、エアラインは、以下の情報を欧州連合航空安全機関に報告する。なお、報告はテンプレートに沿って行われ、独立した検証機関によって報告書は検証されなければならない。報告内容は、以下の通り。(Article 7) (a) 各 EU 域内の空港で搭載された航空燃料の年間総量(単位:トン) (b) 各 EU 域内の空港で必要とされた航空燃料の年間総量(単位:トン) (c) 各 EU 域内の空港での年間の非タンク量 (Non-tanked quantity)。年間の非タンク量がマイナスの場合、又は必要とされた航空燃料の年間総量の 10%未満の場合は、報告された年間の非タンク量を 0 とする。 (d) 各 EU 域内の空港からの出発便に利用するために航空燃料供給者から購入した SAF の総量(単位:トン) (e) SAF の購入毎の航空燃料供給者の名称、購入量(単位:トン)、変換技術、製造に使用された原料の特性と原産地、SAF のライフサイク

適用対象	義務(期間)	内容
		ル排出量。特性の異なる SAF が含まれる場合、SAF の種類毎に情報提供しなければならない。 - エアラインは、同一のバッチの SAF の利用において、2 つ以上の温室効果ガススキームの下で削減を主張してはならない。エアラインは、Article 7 の報告書と共に、以下の内容を欧州連合航空安全機関に提供しなければならない。(Article 8) (a) SAF の利用が報告される可能性のある、参加している温室効果ガススキームの宣言書 (b) 同一バッチの SAF を複数スキームで報告していない旨の申告書 - Article 7、または、温室効果ガススキームに基づいた SAF の利用を報告するために、航空燃料の供給者は、エアラインに、関連する情報を無料で提供しなければならない。
	罰則	加盟国は、Article 5 に定められた義務を遵守していないエアラインが、罰金を科されることを保証しなければならない。罰金は、1 トンあたりの航空燃料の年間平均価格と年間の非タンク量の合計を乗じた額の少なくとも 2 倍でなければならない。(Article 11)
EU 域内の空港に対する義務	遵守義務	- EU 域内の空港は、SAF の最低比率を含む航空燃料にエアラインがアクセスするために必要な措置を講じなければならない。また、同燃料の輸送、保管、積み上げに必要なインフラを提供しなければならない。(Article 6) - エアラインが、適切な空港インフラの欠如により、特定の EU 域内の空港において SAF を含む航空燃料へのアクセスが困難であると欧州連合航空安全機関に報告した場合、同機関は当該空港に対し、遵守を証明するために必要な情報の提供を求めることができる。当該空港は、不当な遅延なく情報を提供しなければならない。EU 域内の空港は、規則の発効後 5 年以内、または Article 3(a)の閾値のいずれかを超えた年の後に、適切な空港インフラの欠如を特定し、対処するために必要な措置を講じなければならない。(Article 6)

出所) ReFuelEU Aviation, https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf (2021/7/19 閲覧)より三菱総合研究所作成

なお、各用語の定義については、次表の通りである。

表 2-27 ReFuelEU Aviation 草案(2021 年 7 月)における各用語の定義

用語	内容
航空燃料の供給者	EU 域内の空港において、市場に燃料を供給する事業者
エアライン	EU 内外に関わらず 729 以上の商用便を運航するエアライン
EU 域内の空港	報告期間中の旅客輸送量が 100 万人以上、または貨物輸送量が 10 万トン以上で、EU の最外郭地域に位置していない空港
SAF	合成航空燃料、先進バイオ燃料、または廃食油や獣脂から製造されたバイオ燃料
報告期間	毎年 1 月 1 日から 12 月 31 日まで
各 EU 域内の空港で必要とされた航空燃料の年間総量	報告期間中にエアラインが EU 域内の空港から出発する商業航空輸送便の総運航に必要な航空燃料の量
各 EU 域内の空港での年間の非タンク量	報告期間中に、EU 域内の空港からの出発前にエアラインが実際に搭載した燃料と、各 EU 域内の空港で必要とされた航空燃料の年間総量の差。

出所)ReFuelEU Aviation、https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refueleu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf(2021/7/19 閲覧)より三菱総合研究所作成

3) EUETS

Fit for 55 には、EU 排出量取引制度(EU ETS)の改正指令案と、航空業界への EU ETS 適用を改正する指令案が含まれる。Fit for 55 公表前の EU ETS では、削減目標を 1990 年比で最低 40% と設定していたが、改正案では、2020 年 9 月に設定された EU の排出削減目標である「2030 年までに排出量を少なくとも 55%削減」と整合を取る形で、目標を引き上げている。

航空分野に関連する主な改正点には、毎年排出上限の削減率の引き上げや、航空部門への無償割り当ての段階的廃止と割当におけるオークションの増加、EU 域内フライトへの EU-ETS の適用と EU 域外のフライトへの CORSIA の適用、同じルートを運航するエアライン同士の平等性の確保等が挙げられる。

EU-ETS と CORSIA の適用については、EU 域内のフライト(国内線、国際線)は引き続き EU-ETS の対象とする一方、EU 域内と第三国を結ぶフライトは、CORSIA が適用される、あるいは、CORSIA、ETS とともにいずれも適用されない、とされる。ただし、2027 年以降、一部の国際線については ETS が適用される。

表 2-28 各フライトへの EU-ETS と CORSIA の適用有無

フライト	適用内容
EU(欧州経済地域)域内の国内線	EU 内外のエアラインを問わず、すべてのエアラインに EUETS を引き続き適用。CORSIA は適用せず。
EU(欧州経済地域)域内の国際線	EU 内外のエアラインを問わず、すべてのエアラインに EUETS を適用。CORSIA は適用せず。
EU(欧州経済地域)と第三国間(リスト国※)の国際線	EU 内のエアラインに CORSIA を適用。 その他のエアラインは本規制での検討対象外(各国での規定に従って CORSIA が適用される)。
EUと後発開発途上国または小島嶼開発途上国間のフライト	EU 内外のエアラインを問わず、EU-ETS、CORSIA 共に免除。
EU と CORSIA を実施していない国間のフライト	2026 年 12 月 31 日まで EU-ETS、CORSIA 共に免除。 2027 年以降は EU-ETS を適用。
欧州経済地域から UK/スイスへのフライト	欧州域内の国際線ルールに準拠。
UK/スイスから欧州経済地域へのフライト	UK/スイス独自の ETS を適用。スイス ETS については、EU ETS と同様の扱いがスイスリンキングにより保証。
UK とスイス間のフライト	両国間の ETS が締結されるまでは ETS の対象外。

注)リスト国:CORSIA の参加国のうち、CORSIA パイロットフェーズにおけるベースラインが 2019 年であり、第一フェーズ以降のベースラインが 2019 年と 2020 年の平均である第三国

出所)European Commission “Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC as regards aviation’s contribution to the Union’s economy-wide emission reduction target and appropriately implementing a global market-based measure”
https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision_of_the_eu_emission_trading_system_for_aviation.pdf
 f (2021 年 8 月 10 日閲覧)より三菱総合研究所作成

2021 年以降の航空部門における排出枠のキャップについては線形減少係数が適用され、毎年の排出上限は減少する。また、航空部門における排出枠の無償割当については 2024 年に 25%削減、2025 年に 50%削減、2026 年に 75%削減、2027 年以降はゼロと段階的に廃止される。なお、2024-2026 年の無償割当は 2023 年に検証された排出量に比例して個々の事業者に割り当てされる。

CORSIA が適用される、欧州(欧州経済地域)と第三国(リスト国)間の EU エアラインが運航する国際線について、オフセットの場合に利用する CORSIA 適格排出ユニット(炭素クレジット)は、パリ協定の締結国、及び、CORSIA の参加国で発生し、二重計上が防止されているクレジットのみを認めている(ただし、後発開発途上国または小島嶼国は除く)。

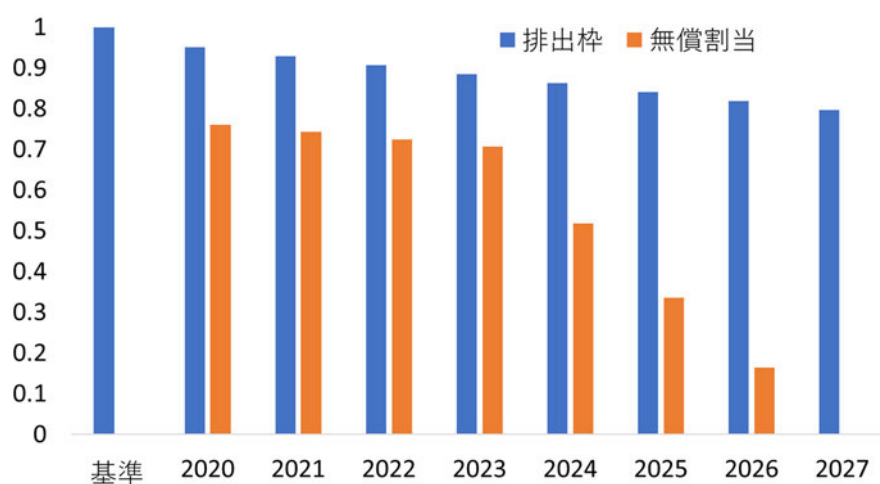


図 2-22 2020 年以降の排出枠と無償割当量

出所)European Commission “Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Directive 2003/87/EC as regards aviation’s contribution to the Union’s economy-wide emission reduction target and appropriately implementing a global market-based measure” https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/revision_of_the_eu_emission_trading_system_for_aviation.pdf (2021 年 8 月 10 日閲覧)より三菱総合研究所作成

(3) 欧州各国

1) 全体動向

欧州各国における SAF の導入義務の導入動向を下表にまとめる。ノルウェー及びスウェーデンについては SAF 導入義務(スウェーデンについてはジェット燃料の GHG 削減義務)が既に導入されている。

表 2-29 欧州各国における SAF の導入義務の導入動向

地域/国	SAF 関連の目標	位置付け	備考
EU 全体	SAF の導入義務 2025 年～:2% 2030 年～:5% (合成燃料 0.7%) 2035 年～:20% (合成燃料 5%) 2040 年～:32% (合成燃料 8%) 2045 年～:38% (合成燃料 11%) 2050 年～:63% (合成燃料 28%)	コンサルテーション中	2021 年 7 月公表の ReFuelEU Aviation の一環として SAF 導入義務を検討。2030 年以降の合成燃料の義務も内数として併せて設定。航空燃料供給者は、EU 域内の空港でエアライン向けに供給される全ジェット燃料に、設定された SAF の最低比率(合成航空燃料の最低比率を含む)に沿って、SAF が混合されていることを保証することが求められる。
ノルウェー	バイオ燃料の混合義務 2020 年～:0.5% 2030 年:30%	政府発表 (導入済み)	製品・消費者サービス管理法に基づく規制として 2019 年 4 月 30 日に決定、2020 年 1 月から発効。毎年翌年の 3 月 31 日までに同法で規定する持続可能性基準を満たす、国内・国際航空向けに利用された先進バイオ燃料の消費量を燃料供給事業者が報告。
スウェーデン	ジェット燃料の GHG 削減義務 2021 年:▲0.8%、 2030 年:▲27%	政府発表 (2021 年 6 月開始)	2020 年 9 月 11 日に財務省、環境省、インフラ省は、スウェーデン国内で販売されるジェット燃料に対して、2021 年 6 月より GHG 排出削減を行う命令を実施する予定を発表。(特にその後政府発表の更新はなく、2021 年 6 月に開始したものと考えられる)。義務対象は燃料供給者となる見通し。
英国	SAF 導入義務 2030 年:10% 2050 年:75%	コンサルテーション終了 (2021 年 9 月)	2021 年 7 月から 9 月まで政府公式コンサルテーションを実施し、制度設計を行う。 2030 年 10%、2050 年 75%の SAF 導入とともに GHG 削減目標についても言及。 燃料供給者を義務対象とすることが提案されている。
ドイツ	PtL 比率 2026 年:0.5% 2028 年:1% 2030 年:2%	ジェット燃料に対する PtL 導入命令 (mandate) (法案提出)	2020 年 12 月に議会に提出された EU RED2 の担保法において、航空燃料に対して左記の比率の PtL 由来の燃料を導入する命令を盛り込んでいる。

地域/国	SAF 関連の目標	位置付け	備考
	PtL の最低利用目標 2026 年:5 万トン 2028 年:10 万トン 2030 年:20 万トン	政府発表	2021 年 4 月に左記の最低利用目標を含む PtL の導入に向けたロードマップを公表。
フィンランド	持続可能なバイオ燃料の混合義務 2030 年:30%	SAF 混合義務 (blending obligation) (提案段階)	持続可能なバイオ燃料に対する混合義務を含めた政策検討を 2019 年にフィンランド政府が公表。
フランス	2025 年:2% 2030 年:5%	政府発表ロードマップ (2020 年 1 月)	左記ロードマップでは 2050 年に 50%の混合率とすることにも言及。燃料供給者に課される義務である。 SAF 導入に対する税制優遇適用(2022 年 1 月より発効予定)
オランダ	2030 年:14% 2050 年:100%	インフラ・水管理大臣設置の諮問委員会による協定案	2020 年 3 月に公表された「持続可能な航空燃料の開発に関する議会への書簡」内に記載。
スペイン ※非政府資料	2025 年:2%	国内法に基づく国全体目標	気候変動法に基づく目標

出所)国交省航空局 “航空機運航分野における CO2 削減に関する検討会(第3回)”

<https://www.mlit.go.jp/common/001427236.pdf> (2021/10/26 閲覧)に一部加筆

EU:European Commission “ReFuelEU Aviation”

https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/refuelevu_aviation_-_sustainable_aviation_fuels.pdf (2021/7/19 閲覧)

ノルウェー:Ministry of Climate and Environment “More advanced biofuel in aviation”

<https://www.regjeringen.no/en/aktuelt/mer-avansert-biodrivstoff-i-luftfarten/id2643700/>, LOVDATA “Forskrift om endring i forskrift om begrensning i bruk av helse- og miljøfarlige kjemikalier og andre produkter (innføring av omsetningskrav til luftfart)” <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2019-04-30-555> (2021/10/26 閲覧)

スウェーデン:Neste “Neste: Sweden becomes a frontrunner in sustainable aviation”

<https://www.neste.com/releases-and-news/aviation/neste-sweden-becomes-frontrunner-sustainable-aviation> (2021/10/26 閲覧)

英国:Department of Transport “Mandating the use of sustainable aviation fuels in the UK”

<https://www.gov.uk/government/consultations/mandating-the-use-of-sustainable-aviation-fuels-in-the-uk> (2021/10/26 閲覧)

ドイツ:Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure “Federal government, states and industry agree on roadmap for market ramp-up of climate friendly electricity-based aviation fuel”

<https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/PressRelease/2021/044-scheuer-roadmap.html>, The Federal government “PtL Roadmap” <https://nordicelectrofuel.no/wp-content/uploads/2021/06/The-German-Federal-Government-BtL-Roadmap-Sustainable-aviation-fuel-from-renewable-energy-sources-for-aviation-in-Germany-MAY-2021.pdf>, “Deutscher Bundestag” <https://dserver.bundestag.de/btd/19/274/1927435.pdf> (2021/10/26 閲覧)

フィンランド:Publications of the Finnish Government “INCLUSIVE AND COMPETENT FINLAND”

[\(2021/10/26 閲覧\)](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161935/VN_2019_33.pdf?sequence=1&isAllowed=(2021/10/26 閲覧))

オランダ:Rijksoverheid “Kamerbrief ontwikkelingen duurzame brandstoffen luchtvaart”

<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2020/03/03/bijmengverplichting-luchtvaart-en-andere-ontwikkelingen-duurzame-brandstoffen> (2021/10/26 閲覧)

2) 詳細動向

a. 英国

英国政府は 2050 年までの航空分野のネットゼロ達成を公約として掲げている。2020 年 11 月に首相により公表された気候変動に係る新政策である Ten Point Plan では、英国政府が SAF に対する義務の導入を予定していることが記された。ステークホルダーからの意見収集を目的として、英国運輸省は、2021 年 7 月から 9 月にかけて、SAF に対する義務の野心度や設計に関するコンサルテーションとして、Sustainable aviation fuels mandate A consultation on reducing the greenhouse gas emissions of aviation fuels in the UK を実施した。コンサルテーションで示された主な内容は以下の通りである。

表 2-30 英国の SAF に対する義務に関するコンサルテーション

項目	内容
義務の設計	- 英国政府は SAF の供給義務を検討。複雑化及び汚染者負担の原則を反映させるため、<u>既存の再生可能燃料導入義務制度(RTFO: Renewable Transport Fuel Obligation)とは別のスキームとする。</u> - SAF の体積ではなく、SAF による CO₂ 排出量削減を優先するため、本スキームを温室効果ガス(GHG)排出スキームとして実施することを提案。 - 本スキームでは、<u>削減した CO₂e のキログラム数に比例したクレジットを付与する。</u>具体的には、GHG 排出強度が GHG 排出強度目標を下回り、適格性基準を満たす SAF は、クレジットを獲得する。一方、GHG 排出強度が目標値を上回っているジェット燃料や、適格性基準を満たしていない SAF は、義務を負うことになる。期間中は、<u>義務を果たすためにクレジットを売買することが可能。</u>
目標値と GHG 排出強度	<u>2030 年までに最大 10%の SAF、2050 年までに最大 75%の SAF を導入するシナリオの可能性と、それに伴う GHG 排出量原単位目標値を設定。</u>技術や政策の不確実性を考慮して、現段階では野心と実現性の間の適切なトレードオフについての意見収集を実施。 - 将来的に市場と技術が急速に発展し、SAF コストや炭素削減コストが大幅に低下した場合には、目標値を引き上げが可能。そのため、2035 年以降の導入については 2030 年に、2040 年以降の導入については 2035 年に、2050 年以降も含めた 2045 年以降の導入については 2040 年に、それぞれ<u>見直しの時期</u>を提案。
義務対象と燃料	- 英国政府は、提案中の SAF 導入義務を、<u>英国へのジェット燃料の供給者を対象とすることを提案。</u>航空燃料供給業者を正確に定義し、英国への SAF 納入に関心のない燃料供給業者への義務化を避けるために、義務の対象者を RTFO に合致させるか否かの意見を歓迎。 - 義務対象者により英国に供給された全ジェット燃料に義務が生じることが提案されているが、各報告年度において、<u>義務対象者によって供給されるジェット燃料が閾値を下回る場合、義務を課さない必要</u>があるか否かの意見を歓迎。
燃料の適格性	<u>義務の対象となる SAF は、複数の基準を満たすことが提案されている: DEF STAN 91-091 の規格に合致。直接的・間接的な持続可能性の影響を回避するため、廃棄物由来のバイオ燃料、非生物由来の再生可能燃料(RFNBO: renewable fuels of non-biological origin)、原子力由</u>

項目	内容
	<u>来の SAF、リサイクル炭素燃料(RCF: recycled carbon fuels)のみ使用可能。</u> - ジェット燃料のライフサイクルにおける GHG 排出量を正確に反映させるため、ベースラインとなるライフサイクル GHG 排出原単位として 89gCO₂e/MJ を使用。この数値は、SAF が義務化の対象となるために満たすべきと考えられる <u>GHG 排出量削減の最低基準値(最低 60%)</u>を算出する際に使用。閾値を時間の経過と共にどのように変化させていくべきかについての意見を歓迎。 - 義務当事者は、<u>一貫した方法論で GHG 排出原単位を計算し、SAF が GHG 排出削減量の閾値を満たしていることを証明</u>する。方法論の内容、原料や生産パスウェイの違いをどのように考慮すべきかの意見を歓迎。
英国での SAF 技術の大規模化	- 開発が進んでいない SAF 生産パスウェイの商業化を促進するために、<u>HEFA(hydroprocessed esters and fatty acids)で生産された SAF に上限を設定</u>すべきかの意見を歓迎(燃料輸入への依存度を低減可能)。 <u>Power-to-Liquid 燃料の GHG 排出強度とコスト削減の可能性を考慮し、技術的・商業的開発の促進</u>を希望。例えば、義務内での乗数システムの使用や、特定のサブ目標の設定が可能。 - 英国内のプラントへの投資を進め、英国が世界をリードするため、<u>包括的な政策フレームワーク</u>が必要か否かの意見を歓迎。
SAF 義務とその他の政策や資金との関係	<u>SAF による削減量の二重計上を避ける</u>ため、英国内外で立法化された他の GHG 義務による脱炭素化目標にはカウントしないことを提案(RTFO との二重計上を含む)。 - 英国または海外で、R&D, FS, FEED、商業プラントの建設向けに政府支援を受けたプラントで生産された SAF は、SAF 義務にカウントできることを提案。 <u>カーボンリーケージのリスク回避</u>のため、SAF の使用が義務付けていない、ジェット燃料の方が安価な場所での給油等のタンカリングのリスクの低減方策についての意見を歓迎。
遵守、報告、検証	- 買い取りオプションは、所定のコスト範囲内で義務の遵守を可能とするが、SAF 供給や GHG 排出量の削減がなされないまま、支払いされる可能性がある。<u>買い取りが有益か、燃料供給者が GHG 排出量目標の未達成となることを抑止するための他の手段や罰則</u>についての意見を歓迎。 <u>マスマランスの原則に基づく義務化</u>を希望。必要となる管理認証(chain of custody)のアプローチについての意見を歓迎。 - 義務化された燃料供給者は、請求書を提出時に、供給 SAF が <u>SAF 持続可能性基準を満たしていることを証明</u>する必要がある。自主的スキームの使用を容認するが、義務化は提案しない。 - 自主的スキームのデータ、クレジット申請のために提出されたデータは、<u>SAF クレジットの申請前に独立した検証</u>を受ける必要がある。検証を「合理的な」保証レベルで実施すべきかどうかに関する意見を歓迎。 <u>申請書の報告・提出のタイムスケール、情報の公開内容、公開時期</u>についても意見を歓迎。

出 所) Department of Transport “Mandating the use of sustainable aviation fuels in the UK”
<https://www.gov.uk/government/consultations/mandating-the-use-of-sustainable-aviation-fuels-in-the-uk>(2021 年 10 月 13 日閲覧)

b. ドイツ

ドイツ連邦政府は、気候行動法(Climate Action Act)において、2030 年までに運輸部門全体からの CO₂ 排出量を 1992 年と比較し 42%削減、2050 年までに温室ガスニュートラルとする目標を掲げている。目標達成に向けた航空分野での取組みとして、以下を掲げている。

- 効率的な航空機の購入
- 空と地上の両方のプロセスを最適化
- フライトの移行(例:鉄道の接続を改善)
- 飛行を回避(例:ビデオ会議の利用拡大)
- 新しく、効率的な技術や航空機の開発
- 炭素価格制度(例:EU-ETS、CORSIA)

目標達成に向けては、これらの方策のほかに、ドイツ連邦政府は、Power to Liquid(PtL)に着目している。これまでに複数のエアラインで、SAF が利用されているものの、持続可能なバイオマスの量は限られており、他セクターでの利用が必要となる。

2020 年 12 月に議会に提出された EU RED2 の担保法において、航空燃料に対して、0.5% (2026 年)、1%(2028 年)、2%(2030 年)の PtL 由来の燃料を導入する命令を盛り込んでいる。

また、ドイツ連邦政府は、2021 年 4 月に、グリーン水素由来の電力ベースのケロシンに特化した Power to Liquid(PtL)ロードマップを策定した。既にフライトで利用されている PtL ケロシンが存在するものの、依然として高価であることから、生産と利用を促進するためのインセンティブが必要となる。

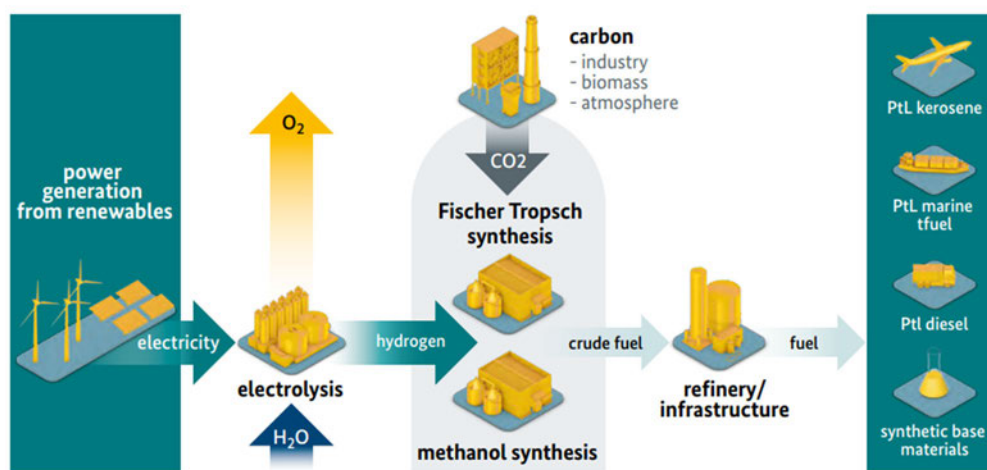


図 2-23 PtL の製造パスウェイの概念図

出所)The Federal Government “PtL roadmap” <https://nordicelectrofuel.no/wp-content/uploads/2021/06/The-German-Federal-Government-BtL-Roadmap-Sustainable-aviation-fuel-from-renewable-energy-sources-for-aviation-in-Germany-MAY-2021.pdf> (2021 年 10 月 13 日閲覧)

ドイツの国家水素戦略の一環として、航空分野での PtL ケロシンの最低利用量として、2026 年に 5 万トン、2028 年に 10 万トン、2030 年に 20 万トン为目标として掲げている。

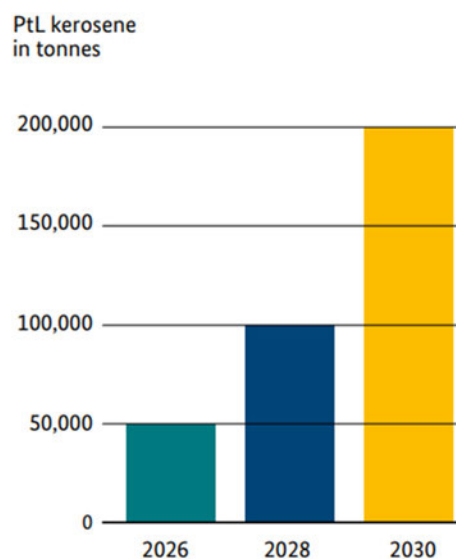


図 2-24 PtL ケロシン市場の拡大目標

出所)The Federal Government “PtL roadmap” <https://nordicelectrofuel.no/wp-content/uploads/2021/06/The-German-Federal-Government-BtL-Roadmap-Sustainable-aviation-fuel-from-renewable-energy-sources-for-aviation-in-Germany-MAY-2021.pdf> (2021 年 10 月 13 日閲覧)

PtL ロードマップでは、PtL の最低利用目標の達成に向け、需要と供給、及び、政策枠組みの 2 つの側面から、製造者/エネルギーセクター、石油業界、エアライン、アカデミア、国の予算、立法者(ドイツ連邦政府、EU、ICAO)の夫々の 2035 年までの実施事項を含んでいる。また、技術開発、持続可能性基準、市場拡大の支援の 3 つのテーマに分けて、具体的な方策を記している。

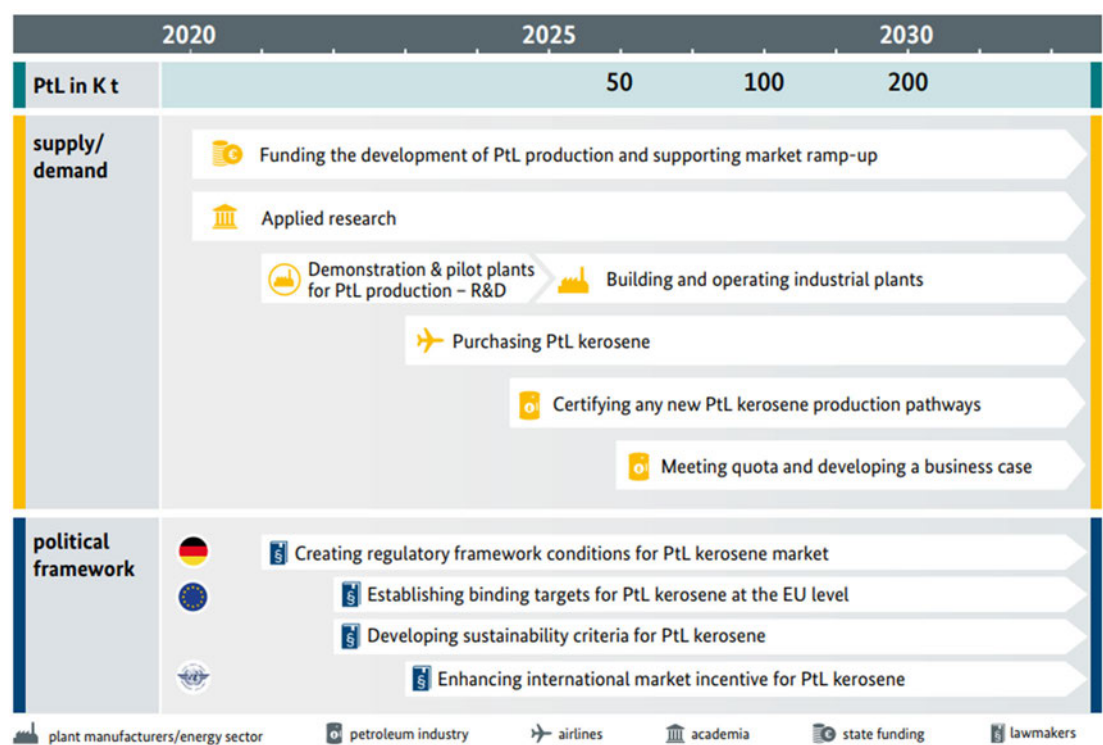


図 2-25 航空分野向けの PtL ケロシンロードマップの実装

出所)The Federal Government “PtL roadmap” <https://nordicelectrofuel.no/wp-content/uploads/2021/06/The-German-Federal-Government-BtL-Roadmap-Sustainable-aviation-fuel-from-renewable-energy-sources-for-aviation-in-Germany-MAY-2021.pdf> (2021 年 10 月 13 日閲覧)

表 2-31 2030 年目標の達成に向けた方策

項目	内容
技術開発	• PtL 製造に必要なプラントや技術要素自体は既に十分技術的に進歩している。工業規模で使用した場合でも、技術のインテグレーションの際に互換性があることを証明する。 • 大気中の CO₂ を直接回収するなど、個々の要素の技術的なレディネスを高めるための研究・開発を進める。
持続可能性基準	• 統一され、拘束力があり、信頼できる生態学的および社会的な持続可能性基準を、まず欧州レベル、そして早期に国際レベルで確立する。 • 航空業界が将来的に適切な量の PtL ケロシンを購入することを約束。
市場拡大の支援	• PtL ケロシンの利用と販売のための拘束力のある目標を、ドイツレベルで開始、続いて欧州レベル、国際レベルで定義する(中間目標を含む)。 • 競争を歪めないように配慮しつつも、自立した PtL ケロシン市場向けの規制枠組み条件を構築する。 • 高エネルギー効率と高コスト効率のソリューションを導入した製造プラントを建設し、グリーン水素由来の PtL ケロシンの市場拡大を支援するため、特定技術に紐づかない国家資金を提供する。

出所)The Federal Government “PtL roadmap” <https://nordicelectrofuel.no/wp-content/uploads/2021/06/The-German-Federal-Government-BtL-Roadmap-Sustainable-aviation-fuel-from-renewable-energy-sources-for-aviation-in-Germany-MAY-2021.pdf>(2021 年 10 月 13 日閲覧)

2.2 ジェット燃料等に関する国際的な規制に関する調査

2.2.1 ICAO 等における国際的なルールメイキングの動向等

ICAO の CORSIA においては、CORSIA 適格燃料の利用を通じて、エアラインの排出オフセット義務量を削減することができる。具体的には、基準年の排出量を超えた排出量(排出オフセット義務量)から CORSIA 適格燃料の利用による排出削減分を差し引いたものが、最終オフセット義務量であり、最終的にエアラインが炭素クレジットを用いたオフセットをする量となる。エアラインが利用することができる CORSIA 適格燃料には、CORSIA の持続可能性基準を満たす SAF と、CORSIA の持続可能性基準を満たす低炭素航空燃料(LCAF: Lower Carbon Aviation Fuels)の 2 種類が含まれる。ICAO は、CORSIA 適格燃料としての認証に必要となる各種ルールを関連文書として取りまとめている。例えば、CORSIA の認証を行う持続可能性認証スキーム(SCS: Sustainability Certification Schemes)に対して求める基準、CORSIA 適格燃料に求める持続可能性基準、ライフサイクル排出量のデフォルト値や実測値に関する基準等がまとめられている。

表 2-32 CORSIA 適格燃料に関する ICAO 文書(2022 年 1 月末時点)

文書名	主な内容	作成月、版数
CORSIA Eligibility Framework and Requirements for Sustainability Certification Schemes	SCS への適格性枠組・要求事項を定めた文書	2019 年 11 月 第一版
CORSIA Approved Sustainability Certification Schemes	ICAO が承認した SCS 一覧	2020 年 11 月 第一版
CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels	CORSIA 適格燃料に対して求める持続可能性基準	2021 年 11 月 第二版
CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels	SAF のライフサイクルデフォルト値を定めた文書	2021 年 11 月 第三版
CORSIA Methodology for Calculating Actual Life Cycle Emissions Values	SAF のライフサイクル排出量実測の方法論を定めた文書	2021 年 3 月 第二版
Guidance to Sustainability Certification Schemes (SCS) for application of CORSIA Sustainability Criteria, Themes 3 to 7, for CORSIA Sustainable Aviation Fuel produced on or after 1 January 2024	2024 年以降の CORSIA 持続可能性基準に関する SCS へのガイダンス	2021 年 11 月 第一版
CORSIA Supporting Document “CORSIA Eligible Fuels – Life Cycle Assessment Methodology”	SAF のライフサイクルデフォルト値策定の補足資料(デフォルト値策定申請方法、既にデフォルト値策定済みの燃料の解説)	2021 年 3 月 第三版

出所)ICAO ウェブサイト “CORSIA Eligible Fuels” <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-Eligible-Fuels.aspx>(2022 年 2 月 8 日閲覧)

ICAO が定める関連文書のうち、2021 年 11 月に改訂された CORSIA 適格燃料向けの CORSIA 持続可能性基準(CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels)、CORSIA 適格燃料向けの CORSIA ライフサイクルデフォルト排出値(CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels)に関する文書について主な変更点を整理した。

なお、ICAOによるルールメイキングについては非公開の議論がなされていることから、公開情報で得られる範囲で動向を整理した。

(1) CORSIA 適格燃料向けの CORSIA 持続可能性基準

2019 年 6 月に策定された CORSIA 適格燃料向けの CORSIA 持続可能性基準(CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels)の第一版では、2021 年から 2023 年までの CORSIA パイロットフェーズにおける持続可能性基準を定めていた。同持続可能性基準は、温室効果ガス、炭素ストックという 2 つのテーマの基準のみであった。一方、2021 年 11 月に改訂された同文書の第二版では、パイロットフェーズ終了後の 2024 年 1 月 1 日以降に CORSIA の SAF に適用される持続可能性基準について定められており、パイロットフェーズにおける持続可能性基準である温室効果ガス、炭素ストックという 2 つのテーマに加えて、新たに水、土壌、大気、保全、廃棄物及び化学物質、人権及び労働者の権利、土地利用の権利及び土地利用、水利用の権利、地域及び社会の発展、食料安全保障の 10 つのテーマが追加されている。また、同文書には、パイロットフェーズ終了後の 2024 年 1 月 1 日以降に適用される CORSIA の LCAF の持続可能性基準についても章立てがなされている。同項目は章立てのみであり、内容の記載が無いもの、今後 LCAF の持続可能性基準のルールメイキングが進むことが予想される。2024 年 1 月 1 日以降に CORSIA の SAF に適用される持続可能性基準は下表の通り。

表 2-33 CORSIA SAF の持続可能性基準(2024 年以降)

テーマ	原則	基準
1. 温室効果ガス	CORSIA SAF はライフサイクルベースで炭素排出量を削減すること。	基準 1.1:CORSIA SAF は、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で少なくとも 10%の正味の温室効果ガス削減を実現すること。
2. 炭素ストック	CORSIA SAF は高い炭素ストックをもつ土地から得られるバイオマスから作られていないこと。	基準 2.1:CORSIA SAF は、かつて原生林、湿地、泥炭地であった土地から 2008 年 1 月 1 日以降に転換された土地、かつ／もしくは原生林、湿地、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作られていないこと。 基準 2.2:2008 年 1 月 1 日以降の土地利用変化を伴う場合には、IPCC の土地区分を用いて直接土地利用変化による排出量を算定すること。直接土地利用変化による排出量が、間接土地利用変化による排出量のデフォルト値を超える場合には、直接土地利用変化による排出量で間接土地利用変化による排出量のデフォルト値を置き換えること。
3. 水	CORSIA SAF の製造は、水質及び水の利用可能性を維持又は向上させるものであること。	基準 3.1:水質を維持又は向上させるための運用上の慣行を実施すること。 基準 3.2:水を効率的に利用し、地表水又は地下水の資源が補充能力を超えて枯渇するのを防ぐための運用上の慣行を実施すること。
4. 土壌	CORSIA SAF の製造は、土壌の健全性を維持又は向上させるものであること。	基準 4.1:土壌の健全性(物理的、化学的、生物学的状態等)を維持又は向上させるための原料生産又は残渣収集に係る農林業の最良の管理慣行を実施すること。

テーマ	原則	基準
5. 大気	CORSIA SAF の製造は、大気の質に対する悪影響を最小限に抑えるものであること。	基準 5.1:大気汚染物質の排出を抑制すること。
6. 保全	CORSIA SAF の製造は、生物多様性、保全価値及び生態系サービスを維持するものであること。	基準 6.1:管轄する国が生物多様性、保全価値又は生態系サービスのために保護する地域から得られたバイオマスから CORSIA SAF を製造しないこと。ただし、その活動が保護目的の妨げにならないことを示す証拠が提供される場合は除く。
		基準 6.2:栽培された外来種及び改変された微生物が無秩序に広がるのを防ぐ目的で、侵略リスクの低い原料を選択して適切な管理を行うこと。
		基準 6.3:管轄する国が生物多様性、保全価値、又は生態系サービスのために保護する地域に対する悪影響を回避するための運用上の慣行を実施すること。
7. 廃棄物及び化学物質	CORSIA SAF の製造は、廃棄物及び化学物質使用の責任ある管理を推進するものであること。	基準 7.1:製造工程から発生する廃棄物及び使用した化学物質が確実に保管、処理、廃棄されることを確保するための運用上の慣行を実施すること。
		基準 7.2:農薬の使用を制限又は削減するための科学的根拠に基づく責任ある運用上の慣行を実施すること。
8. 人権及び労働者の権利	CORSIA SAF の製造は、人権と労働者の権利を尊重するものであること。	基準 8.1:CORSIA SAF の製造は、人権と労働者の権利を尊重すること。
9. 土地利用の権利及び土地利用	CORSIA SAF の製造は、土地の権利及び土地利用の権利(先住民の権利及び/又は慣習上の権利を含む。)を尊重するものであること。	基準 9.1:CORSIA SAF の製造では、既存の土地の権利及び権利を含む土地利用の権利(公式・非公式を問わず、先住民の権利を含む。)を尊重すること。
10. 水利用の権利	CORSIA SAF の製造は、以前の公式又は慣習的な水利用の権利を尊重するものであること。	基準 10.1:CORSIA SAF の製造では、地域社会及び先住民社会の持つ既存の水利用の権利を尊重すること。
11. 地域及び社会の発展	CORSIA SAF の製造は、貧困地域の社会的・経済的発展に寄与するものであること。	基準 11.1:CORSIA SAF の製造では、貧困地域において、事業の影響を受ける地域社会の社会経済的状況を改善するよう努めること。
12. 食料安全保障	CORSIA SAF の製造は、食料不安のある地域における食料安全保障を促進するものであること。	基準 12.1:CORSIA SAF の製造では、食料不安のある地域において、直接影響を受けるステークホルダーの食料安全保障の向上に努めること。

出所)CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels 2nd Edition (2022 年 2 月 8 日閲覧)

なお、パイロットフェーズ終了後の 2024 年 1 月 1 日以降に CORSIA の SAF に適用される持続可能性基準を SCS が確認するためのガイダンスについてもまとめられている。

- a) 持続可能性基準への適合性は、ICAO CORSIA ウェブサイトで入手可能な ICAO 文書「CORSIA Approved Sustainability Certification Schemes」に記載されている承認された SCS によって認証される。CORSIA SAF の使用による排出削減を主張しようとするエアラインは、Annex 16, Volume IV に従い、排出量報告において SCS の認証の証拠を提出する。
- b) SCS は、持続可能性基準への適合性を評価するにあたり、以下の基準に基づき、ICAO が承認した CORSIA SAF の認証に係る持続可能性基準のみを適用する。
- i. テーマ 1 及び 2 への適合性は、SCS が評価する。
 - ii. テーマ 3～7 への適合性は、理事会によって承認されたガイダンスを考慮し、以下の手順に従って、SCS が評価する。
 - A) SCS は、過去に事業を行ったことのない国で評価を行う前に、評価の詳細なプロセスを議論し、SCS が SAF の製造に適用される国及び地域の要件を完全に認識するために、必要に応じて、当該国の権限のある当局と協議する。そのような要件を設けている国の場合、SCS による評価は、SCS による評価の詳細なプロセスについて権限のある当局と SCS との間で協議を行い、共通理解を得た後にのみ行われる。協議を必要とする加盟国は、この協議プロセスを実施するために、どの権限のある当局に対して SCS が連絡すべきかを ICAO に通知すること並びに
 - B) 権限のある当局と SCS との間でアプローチが異なる場合、当該加盟国は、テーマ 3 から 7 に関するガイダンスの解釈及び適用に関連する意見の不一致を検討するために、その問題を ICAO 理事会に付託することができる。この検討には、適当な場合には、加盟国の要請に応じて関連する国連の分野別専門家の支援を含めることができる。当該加盟国は、この検討プロセスに参加する。
 - iii. テーマ 8、9、10 への適合性は、SAF が製造されている領域の国からの国家的な宣誓によって SCS に対して証明することができ、SCS は追加的評価を行わない。
 - iv. テーマ 11 及び 12 への適合性は、事業者が関連する基準を満たすために取られている行動を SCS に報告することによって SCS に対して証明し、SCS はこれらの行動について追加的審査を行わない。
- c) CORSIA SAF の持続可能性基準は、他の場における交渉の前例となったり、交渉の結果を予断したりするものではない。

出所)CORSIA Sustainability Criteria for CORSIA Eligible Fuels 2nd Edition (2022 年 2 月 8 日閲覧)

(2) CORSIA 適格燃料向けの CORSIA ライフサイクルデフォルト排出値

CORSIA 適格燃料からの排出削減量を算出する際に利用する CORSIA 適格燃料のライフサイクルでの排出量(LSf)は、デフォルト値の利用または実測値の利用のいずれかの利用が想定される。具体的には、(1) 燃料製造事業者がデフォルト値よりも低い Core Lifecycle 排出量を立証可能である場合、および／または、(2) ICAO が定めたデフォルト値の中にない、新しい燃料製造方法により製造された燃料の Core Lifecycle 排出量を算定する場合には実測値を利用することとなる。このうち、デフォルト値の利用する場合には、CORSIA 適格燃料向けの CORSIA ライフサイクル排出量のデフォル

ト値(CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels)で定められている地域、原料、パスウェイ別のデフォルト値のうち、適切なものを利用する⁷⁸。

2019 年 11 月に策定された同文書の第一版では、CORSIA 適格燃料の各種デフォルト値が示されていた。2021 年 3 月に策定された第二版では、新たなパスウェイから製造された CORSIA 適格燃料のデフォルト値が新たに追加された。2021 年 11 月に改訂された第三版では、新たなデフォルト値が再度追加されたほか、既存のパスウェイに対する詳細規定(Pathway Specification)が追加された。この詳細規定については、SAF 製造事業者が、自身の製造する SAF に対して、デフォルト値が適用できるか否かを判別しやすくすることを目的に追加されている。

表 2-34 CORSIA ライフサイクル排出量のデフォルト値の文書の改定内容

版数	内容	承認日
第一版	同文書の第一版	2019 年 11 月 25 日
第二版	a) 新しいパスウェイ(カラシナ HEFA、農業残渣 ETJ、森林残渣 ETJ、ススキ ETJ、スイッチグラス ETJ)から生産される CORSIA SAF のデフォルト値の追加 b) 編集上の変更	2021 年 3 月 12 日
第三版	a) 排ガスから生産される SAF のデフォルト値(ETJ 転換プロセス)の追加 b) 製油所で Co-processing される獣脂、大豆油、廃食油からの SAF のデフォルト値の追加 c) 様々なパスウェイ(農業残渣-FT と ATJ、とうもろこし油 HEFA、パーム油 HEFA、とうもろこし/サトウキビ ATJ と ETJ、森林残渣/ミスカンサス/スイッチグラス ETJ)に対する詳細規定 d) 編集上の変更	2021 年 11 月 10 日

出所)CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels 3rd Edition (2022 年 2 月 8 日閲覧)

CORSIA 適格燃料向けの CORSIA ライフサイクル排出量のデフォルト値(CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels)で定められている地域、原料、パスウェイの詳細規定(Pathway Specification)、パスウェイ別のデフォルト値は下表の通り。

⁷⁸ 具体的には、補足資料である「CORSIA Supporting Document “CORSIA Eligible Fuels – Life Cycle Assessment Methodology」を確認して、モデル算定の前提となった製造パスウェイが自らの製造パスウェイと一致しているかを確認する。

表 2-35 CORSIA ライフサイクル排出量のデフォルト値

地域	原料	詳細規定	Core LCA	ILUC LCA	LSf (gCO ₂ e/MJ)
FT 合成					
世界	農業残渣	残渣除去により、主作物への追加の養分補給が必要ないこと	7.7	0.0	7.7
世界	森林残渣		8.3		8.3
世界	一般廃棄物(NBC0%)		5.2		5.2
世界	一般廃棄物(NBC%)		NBC*170.5 + 5.2		NBC*170.5 + 5.2
米国	ポプラ(短期輪作木質作物)		12.2	-5.2	7.0
米国	ミスカンサス(草本エネルギー作物)		10.4	-32.9	-22.5
EU	ミスカンサス(草本エネルギー作物)		10.4	-22.0	-11.6
米国	スイッチグラス(草本エネルギー作物)		10.4	-3.8	6.6
HEFA					
世界	獣脂		22.5	0.0	22.5
世界	廃食油		13.9		13.9
世界	パーム脂肪酸蒸留物		20.7		20.7
世界	とうもろこし油	乾式ミルエタノールプラントからの油	17.2		17.2
米国	大豆油		40.4	24.5	64.9
ブラジル	大豆油		40.4	27.0	67.4
EU	菜種油		47.4	24.1	71.5
マレーシア、インドネシア	パーム油	油抽出工程では、嫌気性池で処理されたPOMEから放出されるバイオガスの回収・酸化率が85%以上	37.4	39.1	76.5
マレーシア、インドネシア	パーム油	油抽出工程では、嫌気性池で処理されたPOMEから放出されるバイオガスの回収・酸化率が85%未満	60.0	39.1	99.1
ブラジル	カラシナ	原料は、他の作物の転作を回避する二次作物として栽培	34.4	-20.4	14.0
米国	カラシナ	原料は、他の作物の転作を回避する二次作物として栽培	34.4	-21.4	13.0
イソブタノール ATJ					
世界	農業残渣	残渣除去により、主作物への追加の養分補給が必要ないこと	29.3	0.0	29.3
世界	森林残渣		23.8		23.8

地域	原料	詳細規定	Core LCA	ILUC LCA	LSf (gCO ₂ e/MJ)
ブラジル	サトウキビ	独立型または統合型 の変換設計	24.0	7.3	31.3
米国	とうもろこし	独立型または統合型 の変換設計	55.8	22.1	77.9
米国	ミスカンサス(草本エネルギー作物)		43.4	-54.1	-10.7
EU	ミスカンサス(草本エネルギー作物)		43.4	-31.0	12.4
米国	スイッチグラス(草本エネルギー作物)		43.4	-14.5	28.9
エタノール ATJ					
ブラジル	サトウキビ	統合型の変換設計	24.1	8.7	32.8
米国	とうもろこし	独立型または統合型 の変換設計	65.7	25.1	90.8
世界	農業残渣	独立型の変換設計 残渣除去により、主 作物への追加の養分 補給が必要ないこと	39.7	0	39.7
世界	農業残渣	統合型の変換設計 残渣除去により、主 作物への追加の養分 補給が必要ないこと	24.6	0	24.6
世界	森林残渣	独立型の変換設計	40.0	0	40.0
世界	森林残渣	統合型の変換設計	24.9	0	24.9
米国	ミスカンサス(草本エネルギー作物)	独立型の変換設計	43.3	-42.6	0.7
米国	ミスカンサス(草本エネルギー作物)	統合型の変換設計	28.3	-42.6	-14.3
EU	ミスカンサス(草本エネルギー作物)	独立型の変換設計	43.3	-23.3	20.0
EU	ミスカンサス(草本エネルギー作物)	統合型の変換設計	28.3	-23.3	5.0
米国	スイッチグラス(草本エネルギー作物)	独立型の変換設計	43.9	-10.7	33.2
米国	スイッチグラス(草本エネルギー作物)	統合型の変換設計	28.9	-10.7	18.2
世界	排ガス	微生物変換から製造 されたエタノール 統合型の変換設計	42.4	0	42.4
世界	排ガス	微生物変換から製造 されたエタノール 独立型の変換設計	29.4	0	29.4
SIP					
ブラジル	サトウキビ		32.8	11.3	44.1
EU	テンサイ		32.4	20.2	52.6
製油所における Co-processing					
世界	獣脂	水素化処理または水	27.2	0	27.2

地域	原料	詳細規定	Core LCA	ILUC LCA	LSf (gCO ₂ e/MJ)
		素化分解の地点で、 原料体積で最大 5% の獣脂の投入			
世界	廃食油	水素化処理または水 素化分解の地点で、 原料体積で最大 5% の廃食油の投入	16.7	0	16.7
米国	大豆油	水素化処理または水 素化分解の地点で、 原料体積で最大 5% の大豆油の投入	40.7	24.5	65.2
ブラジル	大豆油	水素化処理または水 素化分解の地点で、 原料体積で最大 5% の大豆油の投入	40.7	27.0	67.7

注)生物起源炭素(NBC:Non-Biogenic Carbon)

出所)CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels 3rd Edition (2022 年 2 月 8 日閲覧)

3. その他の関連制度等に関する調査

3.1 国内外におけるクレジット制度に関する調査

3.1.1 CORSIA における認証炭素クレジット制度

(1) CORSIA 適格排出ユニットの認定手順

CORSIA においては SAF の利用等に代わり、炭素クレジットを用いてオフセット義務を賄うことができる。適用可能な炭素クレジットは「CORSIA 適格排出ユニット」(CORSIA Eligible Credit Unit)と呼ばれ、CORSIA で認定された炭素クレジット制度で創出されたクレジットに限定される。

各種炭素クレジット制度が、CORSIA で認定されるためには、ICAO の専門家グループ (Technical Advisory Body, TAB) の評価を受ける必要がある。認定の手順は以下のとおり。

- A) 応募: 各種炭素クレジット制度が応募フォームに記入し、応募
- B) 評価: TAB が応募書類を確認し、CORSIA 適格排出ユニットプログラムの要件に合致しているか評価
- C) 推奨: 要件を満たす制度について、ICAO 理事会に対し、CORSIA 適格排出ユニットプログラムと認定することを TAB が推奨
- D) 決定: ICAO 理事会が CORSIA 適格排出ユニットプログラムを決定
- E) 公開: CORSIA ウェブサイトにおいてプログラム情報を掲載

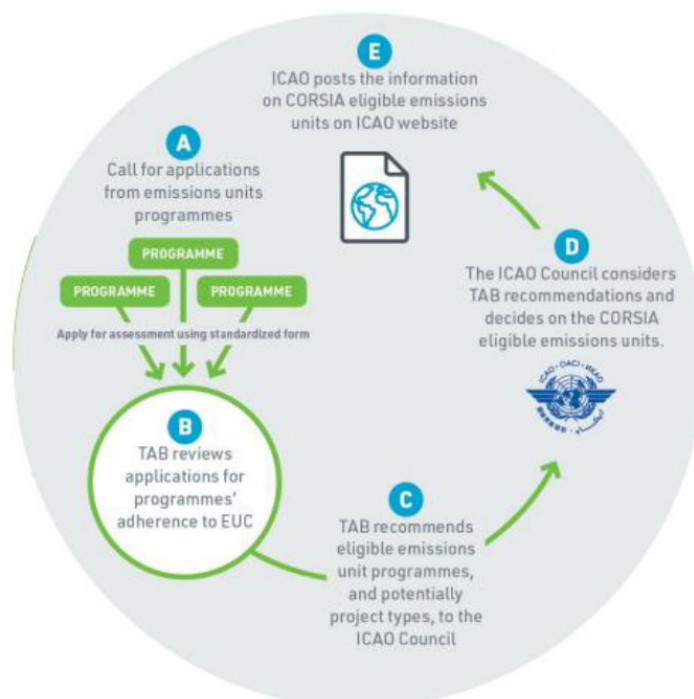


図 3-1 CORSIA 適格排出ユニットプログラムの認定手順

出所) https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/TAB/TAB%202020/TAB_Webinar_August_2020_CEUUs.pdf (2021/10/1 閲覧)

CORSIA 適格排出ユニットプログラムとして認定されるための必要要件は次のとおり。

- プログラム設計に関する評価基準
 - 明確な方法論とプロトコル、及び、それらの開発プロセス
 - スコープの検討
 - オフセット・クレジットの発行と取消の手続き
 - ユニットの特定とトラッキング
 - ユニットの法的性格と移転
 - 妥当性確認、及び、検証手続き
 - プログラムのガバナンス
 - 透明性、及び、公衆参加に関する規定
 - セーフガードシステム
 - 持続可能な開発要件
 - 二重計上、二重発行、二重主張の防止
- クレジットの十全性に関する評価基準
 - 追加的であること
 - 現実的で信頼性のあるベースラインに基づくこと
 - 定量的に評価され、算定、報告、検証が行われること
 - 明白で透明性のある一貫した管理が行われること
 - 永続的な排出削減をもたらすこと
 - リークエージ(プロジェクト実施に伴う他の場所での排出量の増加)に関する評価とその影響の緩和がなされること
 - 排出削減義務に対して一度のみカウントされること
 - いかなる危害も及ぼさないこと

(2) CORSIA 適格排出ユニットの概要

2019～2020 年に TAB が審査した炭素クレジット制度のうち、2022 年 3 月時点で、CORSIA のパイロットフェーズ(2021～23 年)において使用可能な CORSIA 適格排出ユニットプログラムとして認定された制度は次表の 8 種類である。なお、Forest Carbon Partnership Facility については、条件付きで採択であり、採択条件を満たしたことを TAB が確認次第、CORSIA 適格排出ユニットプログラムとして認定される。

表 3-1 2019～2020 年に TAB が審査した炭素クレジット制度の一覧
(下線が適正と認められたもの)

申請年	炭素クレジット制度
2019 年申請分	【2019 年申請分】 <u>1. American Carbon Registry (ACR)</u> 2. British Columbia Offset Program <u>3. China GHG Voluntary Emission Reduction Program</u> <u>4. Clean Development Mechanism (CDM)</u> <u>5. Climate Action Reserve (CAR)</u> 6. Forest Carbon Partnership Facility (FCPF)(※条件付き) <u>7. Global Carbon Council(GCC) (※条件付き推薦後、再審査を経て 2021 年 3 月に追加)</u> <u>8. The Gold Standard (GS)</u> 9. myclimate 10. Nori 11. REDD.plus 12. Thailand Greenhouse Gas Management Organization 13. The State Forests of the Republic of Poland <u>14. Verified Carbon Standard (VCS)</u>
2020 年申請分	<u>1. Architecture for REDD+ Transactions (ART)(※2020 年 11 月に追加)</u> 2. BioCarbon Fund Initiative for Sustainable Forest Landscapes 3. Cercarbono 4. Compte CO2 5. Joint Crediting Mechanism between Japan and Mongolia 6. Olkaria IV Geothermal Project 7. Perform, Achieve, and Trade Scheme 8. Regional Greenhouse Gas Initiative ※FCPF, GCC については再申請。
2021 年申請分	1. Cercarbono 2. ProClima 3. REDD.Plus

注) 2019 年の TAB による審査では、FCPF の採択条件として、a) 第三者の認定機関が、FCPF の活動を検証するための標準と手順を導入、b) CORSIA 終了までのモニタリング及び反転への補填に関する手順を導入が挙げられている。FCPF は、2020 年に再申請したものの、認定されていない。

認定されたクレジットの詳細は次表のとおり。なお、以下のうち利用できるものは、2016 年以降に発行期間が開始したプロジェクトにおける 2020 年末までの削減分に限定されている(ACR、ART のみ 2023 年末まで対象)。

表 3-2 CORSIA において利用可能な炭素クレジット(2022 年 3 月時点)

制度名	制度概要	適正スコープ(CORSIA で利用可能なクレジット)
ACR (American Carbon Registry)	- 米国で最初の自主的な GHG 排出量登録簿として 1996 年に設立。GHG 排出量の登録簿の管理や運営、自主的な認証基準や方法論の作成を実施。 - ACR では取り組みの規模(プロジェクトレベル、またはプロジェクトをネスティングした準国レベル)に応じて、セーフガードに関する既存の国際的な基準を満たすことを要求。	- クレジットの名称は Emission Reduction Tonnes: ERTs。下記の活動は除外。 ➢ 加州排出量取引制度向けに発行された ROCs(Registry Offset Credits) ➢ 加州排出量取引制度向けに発行された EAOCs(Early Action Offset Credits) ➢ REDD+対象国で開発され、プログラムのセクター・スコープ 3(土地利用、土地利用変化、森林)カテゴリの方法論を利用し、単独またはグループで年間 7,000 以上の排出削減トン(ERT)を生み出すと推定されるすべての活動に対して発行された ERTs。
ART (Architecture for REDD+ Transactions)	- 非営利団体 Winrock International による、REDD+活動に対するクレジット制度。 - 開発途上国の森林減少・劣化に由来する排出を削減することによりクレジット発行。	クレジットの名称は ART Credit。除外対象活動はない。
China GHG Voluntary Emission Reduction Program	- 中国国家気候局(NDRC)によって 2012 年に設立され、現在は中国の気候局である生態環境部によって運営。 - CDM プロジェクトとして登録されていないが中国の指定国家機関(DNA)が認めたもの、CDM プロジェクトのうちクレジットが発行されていないものも対象。	- クレジットの名称は CCERs。下記の活動は除外。 ➢ 植林、再植林 ➢ CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage) ➢ カプロラクタム、硝酸、アジピン酸プラントからの N2O 排出管理・削減 ➢ 排出量を削減するための農業運営の管理 ➢ 施肥管理 ➢ 半導体製造で使用するフッ素化ガスの排出量削減 ➢ 冷媒及び発泡剤として使用される HFC の排出量削減 ➢ 電気機器の絶縁ガスとして使用される SF6 排出量の削減 ➢ 冷媒ガス HCFC の生産
CDM (Clean Development Mechanism)	京都議定書における附属書 I 国(先進国)が投資国として関与し、GHG 排出量の上限が設定されていない非附属書 I 国(途上国)において排出削減プロジェクトを実施し、その結果生じた排出削減量に基づいてクレジット(CER)を発行。	- クレジットの名称は CER。下記の活動は除外。 ➢ 植林及び再植林活動に関する CER(短期的な期限付クレジット tCER 及び長期的な期限付クレジット ICER を含む)
CAR (Climate Action Reserve)	- カリフォルニア州の自主的な算定と排出量の公表を通じて気候変動に対処するために、2001 年にカリフォルニア州気候変動行動登録局として開始。 - 北米炭素市場の炭素クレジットとして、GHG 排出削減プロジェクトの環境保全と経済的利益を確保することで、GHG 削減を奨励。	- クレジットの名称は CRT。下記のクレジット・活動は除外。 ➢ 保護区のプログラムマニュアルで特定されている基準に従って、持続可能な開発への貢献またはコベネフィットを報告していない活動に関する CRT ➢ CAR 制度の下で事前発行されたクレジット(FMU:Forecasted Mitigation Units) ➢ 加州排出量取引制度向けに発行された ROCs(Registry Offset Credits) ➢ 加州排出量取引制度向けに発行された EAOCs(Early Action Offset Credits)

制度名	制度概要	適正スコープ(CORSIA で利用可能なクレジット)
		➤ REDD+対象国で開発され、AFOLU カテゴリの方法論を利用し、単独またはグループで年間 7,000 以上の排出削減トン(CRT)を生み出すとされる活動に関する CRT (Reserve's Mexico Forest Protocol を利用しメキシコで開発された活動は例外)
GCC (Global Carbon Council)	・ カタールの湾岸研究開発機構(GORD)のイニシアティブで実施されている中東・北アフリカ地域における自主的なカーボンクレジット制度。 ・ 気候変動の緩和だけでなく、SDGs への貢献や社会環境への害がない点を保証。	・ クレジットの名称は Approved Carbon Credits(ACCs)。下記の活動は除外。 ➤ 原子力発電、HFC-23 削減、REDD、新規植林と再植林、CCS プロジェクト ➤ GCC の Regional Positive List を基に、自動的に追加性を認められた活動に対する ACCs。その中には、(1)GCC が定めた地域に特化した要件に基づき自動的に追加性を証明する手順を利用した ACCs、(2)プロジェクトに特化した試験を基に追加性を証明していない ACCs が含まれる
The Gold Standard (GS)	・ CDM や JI プロジェクトの質に関する認証基準。GHG 削減につながると同時に、持続可能な開発への貢献を支援するためのツールで、クレジットの買い手に対しては、クレジットの質を保証。 ・ CDM および JI の両方に使用できるほか、京都議定書下のクレジットを目的としないプロジェクトにも適応可能。	・ クレジットの名称は The Gold Standard VER。下記の活動は除外。 ➤ Gold Standard 制度の下で事前発行されたクレジット(PER:Planned Mitigation Units) ➤ 認定事業者が妥当性確認と検証を行っていない小規模な活動に対して発行されるユニット ➤ REDD+対象国で開発され、プログラムの土地利用および林業・農業カテゴリの方法論を利用し、単独またはグループで年間 7,000 以上の排出削減トン(CRT)を生み出すとされる活動に関する VER(土壌有機炭素、農業、畜産物のカテゴリの方法論を利用した活動は例外)
VCS (Verified Carbon Standard)	・ 気候グループ、国際排出量取引協会および持続的発展のための世界ビジネス協議会が市場専門家、NGO さらに産業界と協力しながら 2005 年に策定し、2007 年 11 月に公開。	・ クレジットの名称は VCU。下記の活動は除外。 ➤ シナリオ 2 または 3 以外の VCS Jurisdictional and Nested REDD+ (JNR)プログラム(REDD+関連プログラム)のプロジェクト由来の VCU、または指定の方法論を用いない農業、林業、土地利用活動 ➤ CCB 基準(気候、コミュニティ、生物多様性関連基準)、SD VISTa 基準(持続可能な開発検証済影響基準)もしくは、その他 VCS が明確に特定する基準を適用しない活動による VCU ➤ 加州排出量取引制度向けに発行された ROCs(Registry Offset Credits) ➤ 加州排出量取引制度向けに発行された EAOCs(Early Action Offset Credits)

3.1.2 炭素クレジットの市場動向

新型コロナウイルスの影響により世界的に経済が停滞するなか、炭素クレジット市場は成長を続けている。2002 年以降に発行されたクレジット量は 2020 年には約 43 億 tCO₂ に達し、前年比 9% 程度増加している。増加の半分以上が VCS 等の自主的クレジット制度によるものだが、CDM も今後の制度運用が不透明な状況にも関わらず、2020 年には発行クレジットが 3% 増加している。

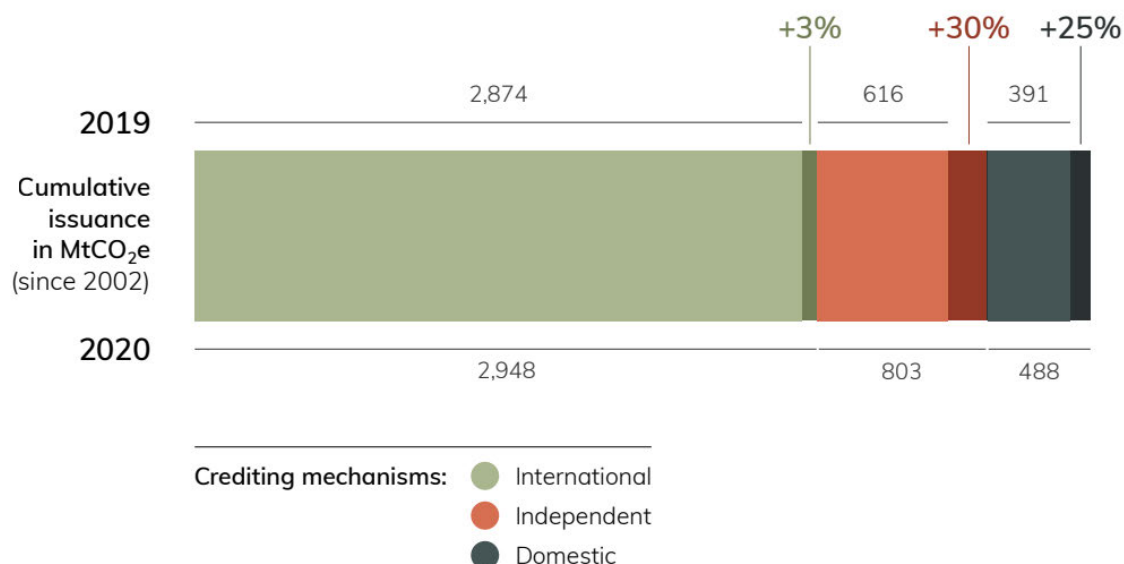


図 3-2 炭素市場の動向

出所) World Bank, State and Trends of Carbon Pricing 2021,
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620> (2021/10/1 閲覧)

CORSIA で認定されている ACR、CAR、GS、VCS、CDM における 2020 年クレジット発行量は約 2.6 億 tCO₂ となっている (CORSIA で適用できない活動も含まれる点に留意)。また、クレジット発行量の多い REDD+、再エネ等のプロジェクトのクレジット価格は 1~4\$/tCO₂ 程度の水準となっている。

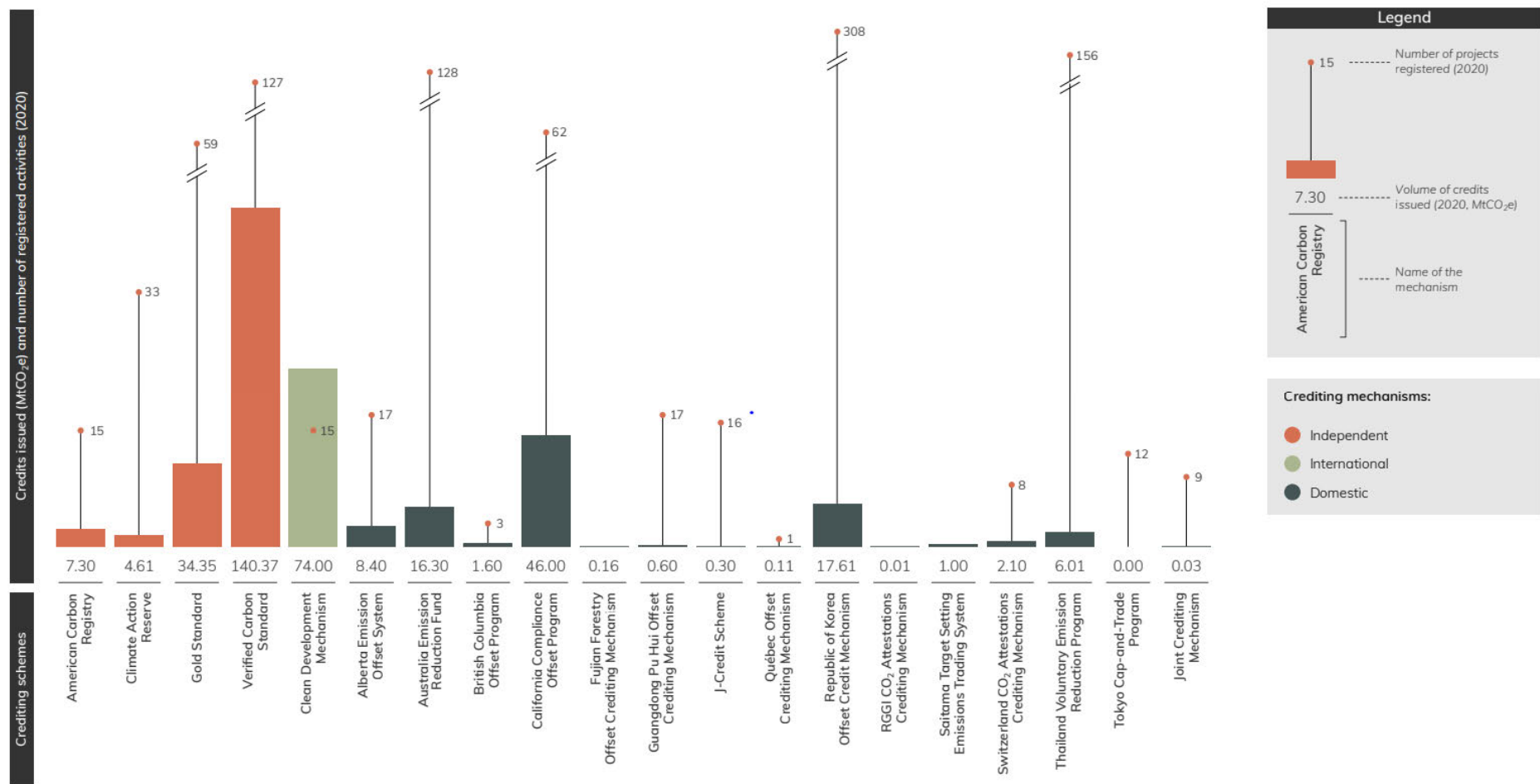


図 3-3 主要クレジット制度のプロジェクト登録件数、クレジット発行量(2020 年)

出所) World Bank, State and Trends of Carbon Pricing 2021, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620> (2021/10/1 閲覧)

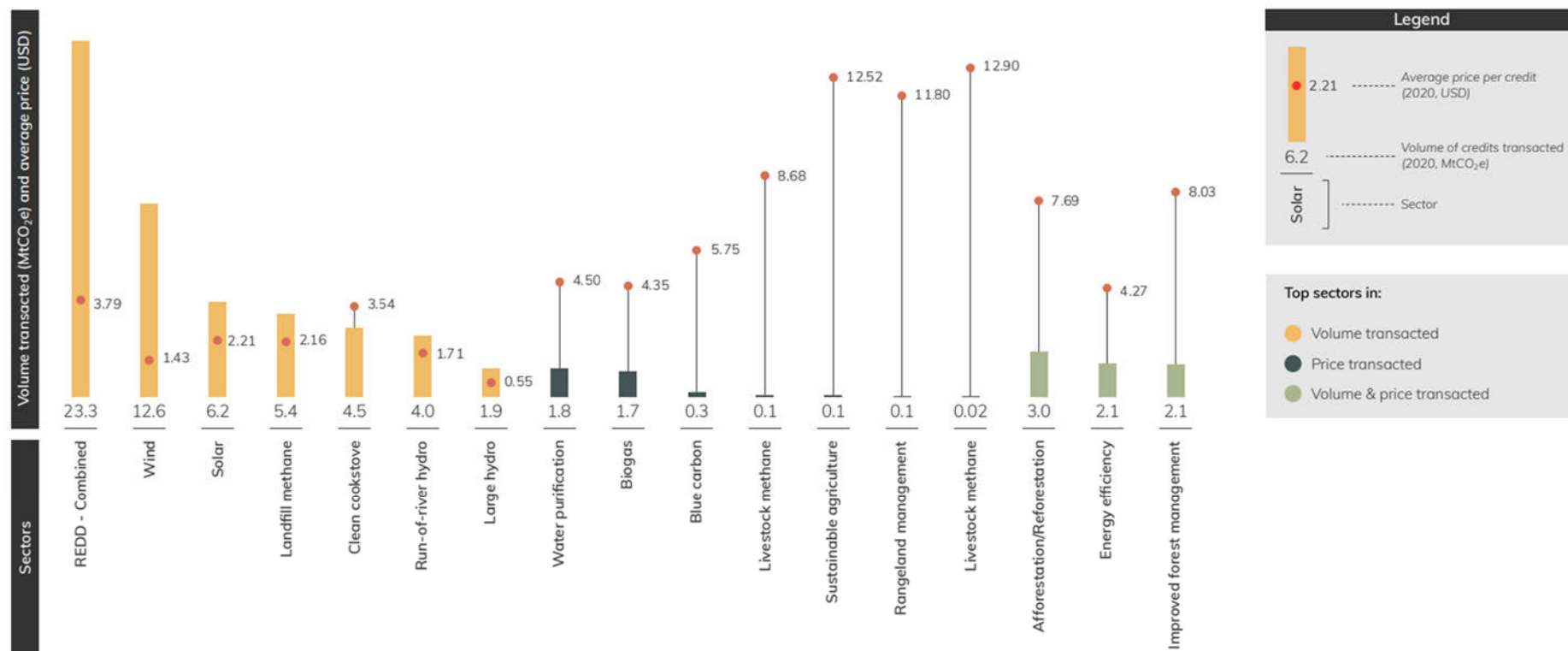


図 3-4 プロジェクト種類別のクレジット発行量、クレジット価格(2020 年)

出所)World Bank, State and Trends of Carbon Pricing 2021,<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35620>(2021/10/1 閲覧)

3.2 国内外における自動車産業分野の動向把握調査

3.2.1 主要国における電動車関連の政策動向

(1) COP26 における共同声明

2021 年 11 月に英国グラスゴーで開催された国連気候変動枠組み条約第 26 回締約国会議 (COP26)において、欧州を中心とした 38 か国や自動車メーカー11 社、一部の地方自治体や投資家、銀行等による共同声明が発表された。同共同声明の概要は、以下の表に示すとおりである。なお、日本や米国、中国、ドイツなどの主要国や同国自動車メーカーは署名していない。

表 3-3 主要国における乗用車に対する政策動向

項目	内容
目標	販売される全ての新車を、主要市場で 2035 年までに、世界全体では 2040 年までに電気自動車(EV)などのゼロエミッション車(EV など、温室効果ガスを排出しない自動車)とする。
署名国	(先進国)オーストリア、アゼルバイジャン、ベルギー、カンボジア、カナダ、カーボベルデ、チリ、クロアチア、キプロス、デンマーク、エルサルバドル、アイスランド、アイルランド、イスラエル、リヒテンシュタイン、リトアニア、ルクセンブルク、マルタ、オランダ、ニュージーランド、ノルウェー、ポーランド、スロベニア、スウェーデン、教皇聖座、英国、ウルグアイ (途上国)アルメニア、ドミニカ共和国、ガーナ、インド、ケニア、メキシコ、モロッコ、パラグアイ、ルワンダ、トルコ、ウクライナ
署名団体・企業	Avera Electric Vehicles (印)、BYD Auto (中)、Etrio Automobiles Private Limited(印)、フォード・モーター・カンパニー(米)、Gayam Motor Works(印)、ゼネラルモーターズ(米)、ジャガーランドローバー、メルセデス・ベンツ(独)、MOBI、Quantum Motors(ボリビア)、ボルボ・カーズ(スウェーデン)

(2) 主要国における政策動向

1) 概要

自動車分野の脱炭素化を進める為に、次表に示すように各国・各地域ではそれぞれ規制やインセンティブ、充電設備インフラの整備等に関する政策が掲げられている。

表 3-4 主要国における乗用車に対する政策動向

		Canada	China	European Union	India	Japan	United States
Regulations vehicles	ZEV mandate	British Columbia: 10% ZEV sales by 2025, 30% by 2030 and 100% by 2040. Québec: 9.5% EV credits in 2020, 22% in 2025.	New Energy Vehicle dual credit system: 10-12% EV credits in 2019-2020 and 14-18% in 2021-2023.				California: 22% EV credits by 2025. Other states: Varied between ten states.
	Fuel economy standards (most recent for cars)	114 g CO ₂ /km or 5.4 L/100 km*** (2021, CAFE)	117 g CO ₂ /km or 5.0 L/100 km (2020, NEDC)	95 g CO ₂ /km or 4.1 L/100 km (2021, petrol, NEDC)	134 g CO ₂ /km or 5.2 L/100 km (2022, NEDC)	132 g CO ₂ /km or 5.7 L/100 km (2020, WLTP Japan)	114 g CO ₂ /km or 5.4 L/100 km*** (2021, CAFE)
Incentives vehicles	Fiscal incentives	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Regulations chargers**	Hardware standards.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Building regulations.	✓ *	✓ *	✓	✓		✓ *
Incentives chargers	Fiscal incentives	✓	✓	✓	✓	✓	✓ *

出所)IEA “Global EV Outlook 2021”(2021 年 4 月) <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcb637/GlobalEVOutlook2021.pdf> (2021/11/26 閲覧)

また、下図は 2021 年 4 月時点における各国・地域の電動化に関する誓約を目標年と共に示したものである。22 ヶ国が電動化の目標または内燃機関自動車の禁止を掲げ、9 ヶ国が自動車部門のネットゼロ排出目標を宣言している。

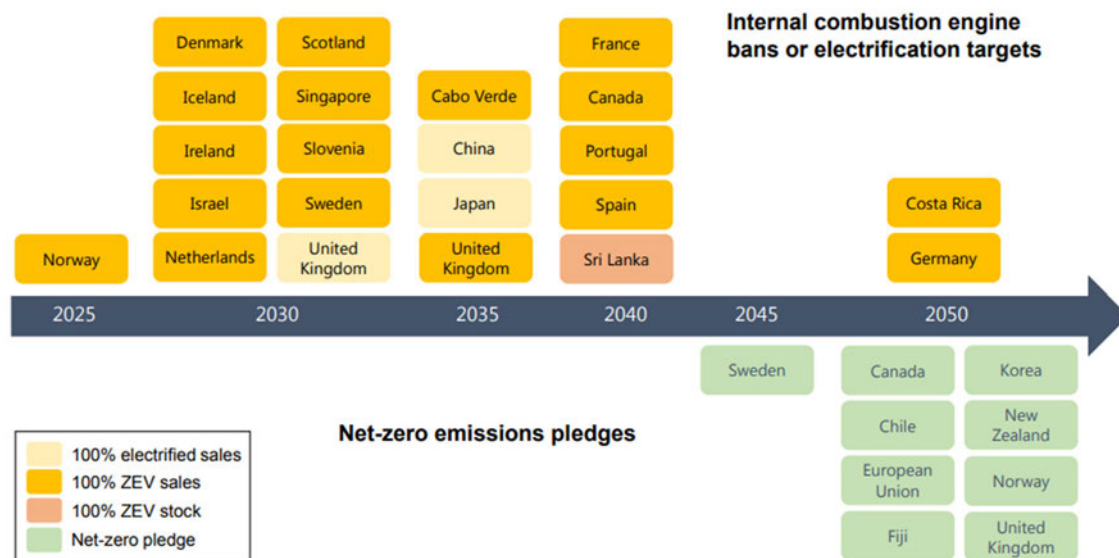


図 3-5 各国・地域の電動化に関する誓約

出所)IEA “Global EV Outlook 2021”(2021 年 4 月) <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed5f4484-f556-4110-8c5c-4ede8bcb637/GlobalEVOutlook2021.pdf> (2021/11/26 閲覧)

2) 英国

英国ではガソリン車・ディーゼル車に加えてハイブリッド車も規制対象とした上、新車販売規制の目標年を 2040 年から 2035 年へと前倒しすることについて、コンサルテーションを実施している。規制対象車種は乗用車、バンであり、新車販売禁止の対象となるパワートレインはガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ハイブリッドである。

内燃機関に対する規制の検討状況に関しては、2020 年 2 月～7 月末に目標年を 2040 年から 2035 年に前倒しするコンサルテーションを実施し、2020 年 11 月にジョンソン首相がグリーン産業革命の発表の中で 2030 年への前倒しを表明した。販売禁止目標年(2020 年 2 月コンサルテーション時)はガソリン車、ディーゼル車に関しては 2030 年、ハイブリッド車に関しては 2035 年である。

表 3-5 英国における内燃機関自動車の規制に係る動向

項目	内容
内燃機関禁止の法制化	2020 年 2 月、2030 年ガソリン車・ディーゼル車、2035 年ハイブリッド車の新車販売禁止のコンサルテーションを実施。
内燃機関に対する規制の検討状況	2020 年 2 月～7 月末の期間に、目標年を 2040 年から 2035 年に前倒しするコンサルテーションを実施。 2020 年 11 月にジョンソン首相がグリーン産業革命の発表の中で、2030 年への前倒しを表明。 2021 年に、新しい規制目標年に沿ったマイルストーン計画を発表予定。 ・具体的な規制の内容は未定。
規制対象車種	乗用車、バン
新車販売禁止対象	ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ハイブリッド
販売禁止目標年	2030 年:ガソリン車、ディーゼル車 2035 年:ハイブリッド車 (上記ともに 2020 年 2 月コンサルテーション時)
(参考)関連施策	・税制改正により EV 普及を後押しし、自動車税をインフラ整備等へ充当する旨、2020 年 11 月の 10 項目の計画に盛り込まれている。

出所)英国政府 “Consulting on ending the sale of new petrol, diesel and hybrid cars and vans”
<https://www.gov.uk/government/consultations/consulting-on-ending-the-sale-of-new-petrol-diesel-and-hybrid-cars-and-vans> (2022 年 2 月 18 日閲覧)

英国政府 “The Ten Point Plan for a Green Industrial Revolution”
<https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>
(2022 年 2 月 18 日閲覧)

3) ドイツ

ドイツでは2016年9月に、連邦参議院において2030年以降のガソリン車・ディーゼル車の新規登録が停止するように税制等により誘導することをEUに提案する、という内容の決議が超党派で合意・採択された。2016年11月に採択された気候行動計画2050はCO2排出削減目標を掲げているが、内燃機関自動車の規制の目標年については定められていない。

2017年8月に、メルケル首相は将来的なガソリン車・ディーゼル車販売規制について前向きな姿勢を示したものの、具体的な年次は明言していない。

2015年より、ドイツはInternational Zero Emission Vehicle Alliance (IZEVA)に参加おり、2050年までに全ての乗用車の販売をゼロエミッション車にすることを目指している。州別に見ると、バーデン＝ヴュルテンベルク州も2018年よりIZEVAに参加している。シュツットガルト市で、2019年より旧型ディーゼル車の乗り入れを禁止している。

表 3-6 ドイツにおける内燃機関自動車の規制に係る動向

項目	内容
内燃機関禁止の法制化	2016年に連邦参議院が新規販売禁止に係るEUへの提案を採択。
内燃機関に対する規制の検討状況	2016年に、ドイツ連邦参議院で2030年以降のガソリン車・ディーゼル車の新規登録廃止に向けたEUへの提案決議を採択(EU向けの提案)。
規制対象車種	乗用車(EU向けの提案)
新車販売禁止パワートレイン	ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ハイブリッド(EU向けの提案)
販売禁止目標年	2050年(EU向けの提案)
(参考)関連施策	—

出所)IZEVA <http://www.zevalliance.org/international-zev-alliance-announcement/>,
バーデン＝ヴュルテンベルク州 <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/erfolgreiche-landesfoerderung-fuer-e-fahrzeuge-wird-fortgesetzt-1/>,
ドイツ連邦参議院 [https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/387-16\(B\).pdf](https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2016/0301-0400/387-16(B).pdf),
ドイツ連邦環境・自然保護・原子力安全省 Climate Action Plan 2050 <https://www.bmu.de/en/topics/climate-energy/climate/national-climate-policy/greenhouse-gas-neutral-germany-2050/#c12733>,
シュツットガルト市 <https://diesel-verkehrsverbot.stuttgart.de/item/show/668796> (2022年2月18日閲覧)

4) フランス

フランスでは、2017年にユロ国務大臣・環境連帯移行大臣が政府の気候計画を発表した同計画ではパリ協定の実施に向けて、2040年までにガソリン車・ディーゼル車の販売を禁止する予定としている。

2019年に発表されたモビリティ指針法(d'orientation des mobilités)では、2050年までに陸上輸送部門の完全な脱炭素化という目標を達成するために、2040年までに化石燃料を使用する乗用車と小型商用車の新車販売を終了すると予定されている。

表 3-7 フランスにおける内燃機関自動車の規制に係る動向

項目	内容
内燃機関禁止の法制化	2019 年モビリティ指針法として成立。2040 年乗用車、小型乗用車での化石燃料を使用するものを販売禁止。
内燃機関に対する規制の検討状況	2017 年、気候計画の中で 2040 年以降のガソリン車・ディーゼル車の販売禁止を発表。 2019 年、モビリティ指針法が制定され、2040 年までに化石燃料使用の新車販売規制を明記。
規制対象車種	乗用車、小型商用車
新車販売禁止パワートレイン	化石燃料を使用するもの
販売禁止目標年	2040 年
(参考)関連施策	- ガソリン車・ディーゼル車からの買替え補助金：廃車処分して、EV・プラグインハイブリッド車を購入・リースする場合、最大 5000€。エコロジーボーナスと併用可能。 - エコロジーボーナス：EV 購入時は 2000～6000€、プラグインハイブリッド車購入時 1000€。

出所)フランス政府 France's Climate Plan <https://www.gouvernement.fr/en/climate-plan>,
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039666574>,
<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/N18131>,
<https://reseauactionclimat.org/retard-climatique-dans-les-transports-lassemblee-fait-du-surplace/>
(2022 年 2 月 18 日閲覧)

5) オランダ

オランダでは、2022 年環境計画法において、遅くとも 2030 年には全ての新車をゼロエミッションにする規制を位置づける予定である。規制対象の内燃機関の車種は乗用車とバスであり、新車販売禁止パワートレインはガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ハイブリッドである。

バスについては、2016 年に全ての運輸局が中央政府と協定を結んでおり、2025 年以降に運行開始する全ての新しいバスはゼロエミッションに、また 2030 年までに全ての公共バス輸送を完全にゼロエミッションにすることが入札要件として求められることが予定されている。

アムステルダム、ロッテルダム、ハーグ、ユトレヒト等の都市では、2025 年までに最適なゼロエミッション都市物流の実現を目標とする Zero-Emission City Logistics Green Deal の取組の一環として、ゼロエミッションゾーンを導入している。さらに 2025 年までに、30～40 都市で物流のゼロエミッションゾーンを実施する予定である。

表 3-8 オランダにおける内燃機関自動車の規制に係る動向

項目	内容
内燃機関禁止の法制化	2022 年環境計画法にて、遅くとも 2030 年の全ての新車をゼロエミッションにする規制を位置づけする予定。
内燃機関に対する規制の検討状況	2017 年、連立協定で発表。 2022 年に成立予定の環境計画法の下で規定が導入される予定(2019 年 Climate Agreement)。 - 公共バスの認可権限を有する各地方運輸局は、2030 年以降ゼロエミッションを入札要件に追加。
規制対象車種	乗用車、バス
新車販売禁止パワートレイン	ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ハイブリッド
販売禁止目標年	2025 年：バス - 目標として、遅くとも 2030 年までに、全ての自動車の新車販売をゼロエミッションにする。
(参考)関連施策	- EV 購入時の補助金(新車購入：4000€、中古車購入：2000€)。 - EV への税制上の優遇措置(登録税・自動車保有税免除、会社が従業員に貸与する EV は購入価格の一部を経費として計上)。

出所)オランダ企業庁 “Mission Zero Powered by Holland” (2019), オランダ政府 “Climate Agreement” (2019),
<https://www.government.nl/documents/reports/2019/06/28/climate-agreement>
<https://nederlandelektrisch.nl/subsidies-financiering/subsidies-en-regelingen>
(2022 年 2 月 18 日閲覧)

6) 米国

米国では内燃機関に対する規制の検討状況は、州によって異なる部分が多く、以下の表ではカリフォルニア州の例を示す。大気浄化法 209 条において、カリフォルニア州は環境保護庁に連邦規制の適用除外を承認された場合、連邦より厳しい排ガス規制を設定することが認められている。そして同法 177 条において他の州は、連邦又はカリフォルニア州規制のいずれかを選択することが認められている。

2021 年 3 月現在、カリフォルニア州に加えて、コネチカット州、メイン州、メリーランド州、マサチューセッツ州、ニュージャージー州、ニューヨーク州、オレゴン州、ロードアイランド州、バーモント州、コロラド州、ワシントン州、バージニア州の 13 州で ZEV 規制を採用している。ミネソタ州、ネバダ州、ニューメキシコ州でも ZEV プログラムの適用を検討中である。ペンシルバニア州、デラウェア州、ワシントン D.C. では大気浄化法 177 条を適用し、連邦より厳しい燃費規制を実施している。

カリフォルニア州の場合は、2020 年 9 月に同州のニューサム知事が、中・大型車について、可能であれば 2045 年までに 100%ゼロエミッション化する(コンテナ用トラックについては 2035 年まで)という知事令を発出した。またさらなる目標として、2035 年までにオフロード車と装備品を 100%ゼロエミッション化することを掲げている。

表 3-9 米国カリフォルニア州における内燃機関自動車の規制に係る動向

項目	内容
内燃機関禁止の法制化	2020 年、乗用車・トラックの新車販売を 2035 年までに 100%ゼロエミッション化するよう知事令発出。
内燃機関に対する規制の検討状況	2020 年 9 月に知事令を発出、乗用車・トラックの新車販売を 2035 年までに 100%ゼロエミッション化。 - 今後、カリフォルニア州大気資源局が知事令に従い、義務化への規則を策定。
規制対象車種	乗用車、トラック、中・大型車、コンテナ用トラック、オフロード車
新車販売禁止パワートレイン	ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、ハイブリッド
販売禁止目標年	2035 年：乗用車、トラック、コンテナ用トラック、オフロード車と装備品 2045 年：中・大型車
(参考)関連施策	ZEV 規制は、一定量以上の車を販売する自動車メーカーに対して、販売台数に対する一定割合(2025 年以降 22.0%)の ZEV クレジット取得を義務付け。2018 年より規制が強化され、以前は ZEV クレジットの対象であったハイブリッド車や低排出ガソリン車等が対象外となった。

出所)カリフォルニア州政府 <https://www.gov.ca.gov/wp-content/uploads/2020/09/9.23.20-EO-N-79-20-text.pdf>,
AAI Innovators <https://www.autosinnovate.org/posts/press-release/statement-on-california-zev-announcement> (2022 年 2 月 18 日閲覧)

7) 中国

中国では近年内燃機関に対する規制について検討を始めており、一部の制度の導入を開始している。

表 3-10 中国における内燃機関自動車の規制に係る動向

項目	内容
ガソリン車・ディーゼル車の販売禁止	- 新華社通信によると、中国工業情報化省の Xin 副大臣が自動車フォーラムで、中国が化石燃料車の製造と販売を廃止するためのスケジュールに関する調査を開始したと発言。 - 目標年の詳細は明らかにされていない。
NEV 規制の導入	2018 年に米国カリフォルニア州の ZEV 規制と類似した NEV 規制を導入。 - NEV の対象は、電気自動車、プラグインハイブリッド車、燃料電池自動車。 - NEV 規制は 2019 年より適用され、2019 年は販売台数の 10%、2020 年は 12%、2025 年は 20%が目標。

項目	内容
中国自動車エンジニア学会の提言	2020 年 10 月、自動車エンジニア学会が、2035 年に NEV50% 以上で残りはハイブリッド車を提言。 「省エネルギー・新エネルギー自動車技術ロードマップ 2.0」の中で、NEV が販売台数に占める割合を 2025 年に 20%前後、2030 年に 40%前後、2035 年に 50%以上とするマイルストーンを発表。 - NEV 以外の内燃機関自動車については、内燃機関の乗用車の新車販売に占めるハイブリッド車の割合を 2025 年に 50%以上、2030 年に 75%以上、2035 年には 100%とすることを提言。

出所)新華網 http://www.xinhuanet.com/english/2017-09/13/c_136606474.htm,
中国国務院 http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content_5556716.htm
中国自動車エンジニア学会 <http://www.sae-china.org/news/society/202010/3957.html>
(2022 年 2 月 18 日閲覧)

(3) 各国における EV 充電インフラの整備状況

2020 年時点で、各国における公共 EV 充電設備の整備件数は 130 万件を突破している。最も件数が多いのは中国であるが、EV 台数あたりの件数で比較すると、韓国が最も多い。

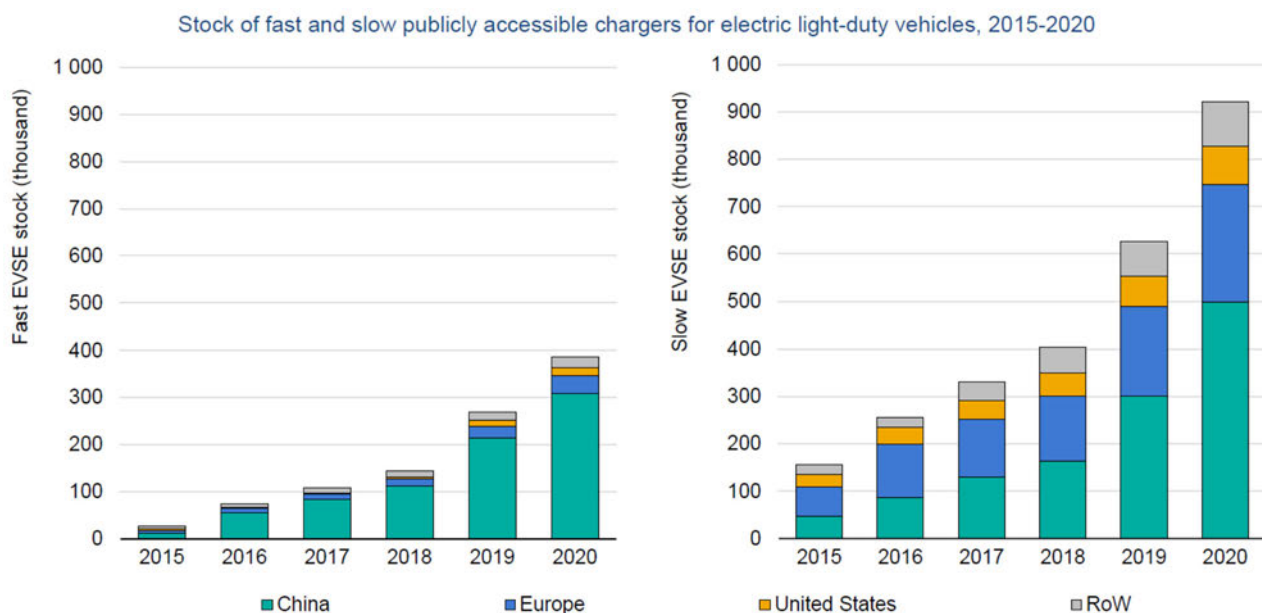


図 3-6 各国における EV 充電インフラ件数

出所)IEA, Global EV Outlook 2021

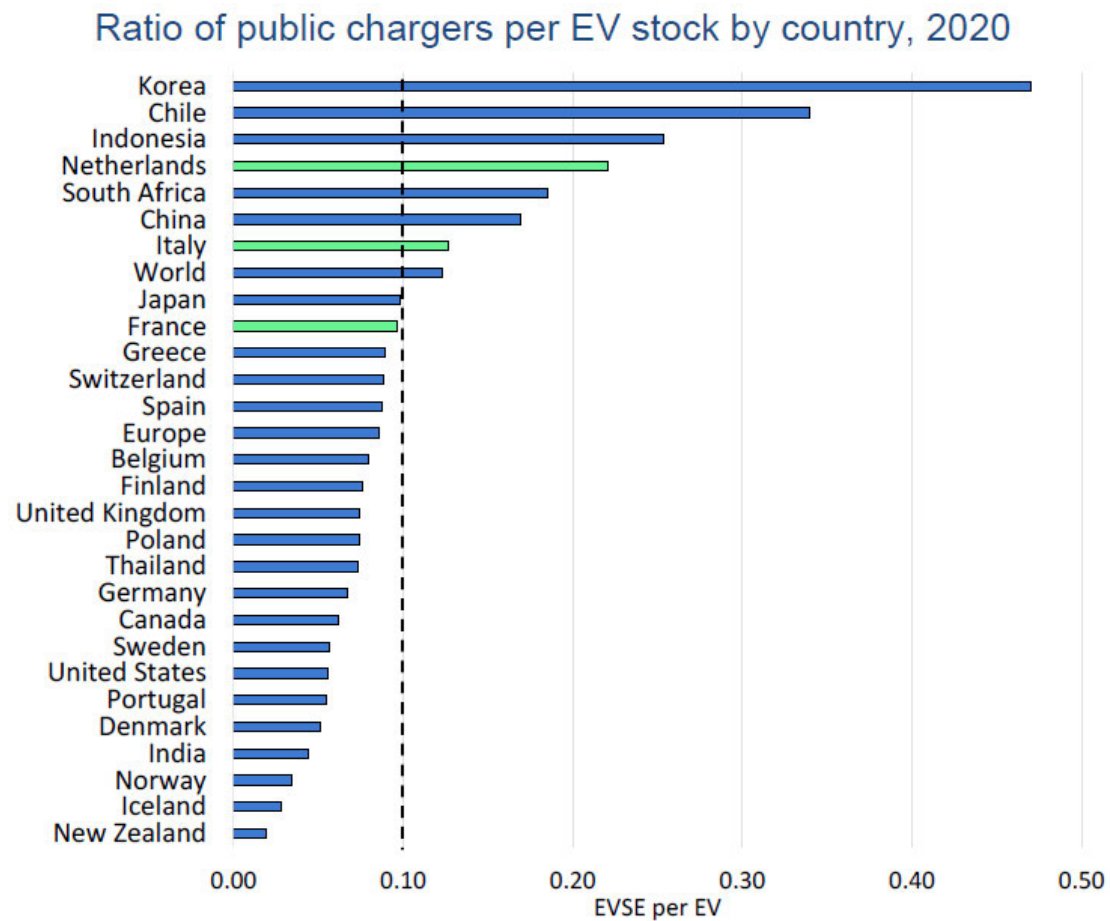


図 3-7 各国における EV 台数あたり充電インフラ件数

出所)IEA, Global EV Outlook 2021

3.2.2 主要国の自動車メーカーにおける電動車関連の動向

世界の自動車メーカーのうち、2020 年の自動車販売台数で上位 20 社中 18 社が電動車の販売増加に関する目標を掲げている。Volvo は 2030 年以降電動車のみを販売する計画であり、フォードも 2030 年以降欧州では電動車のみを販売する計画である。GM も軽負荷車両については 2035 年以降、全て電動車にする方針を表明している。

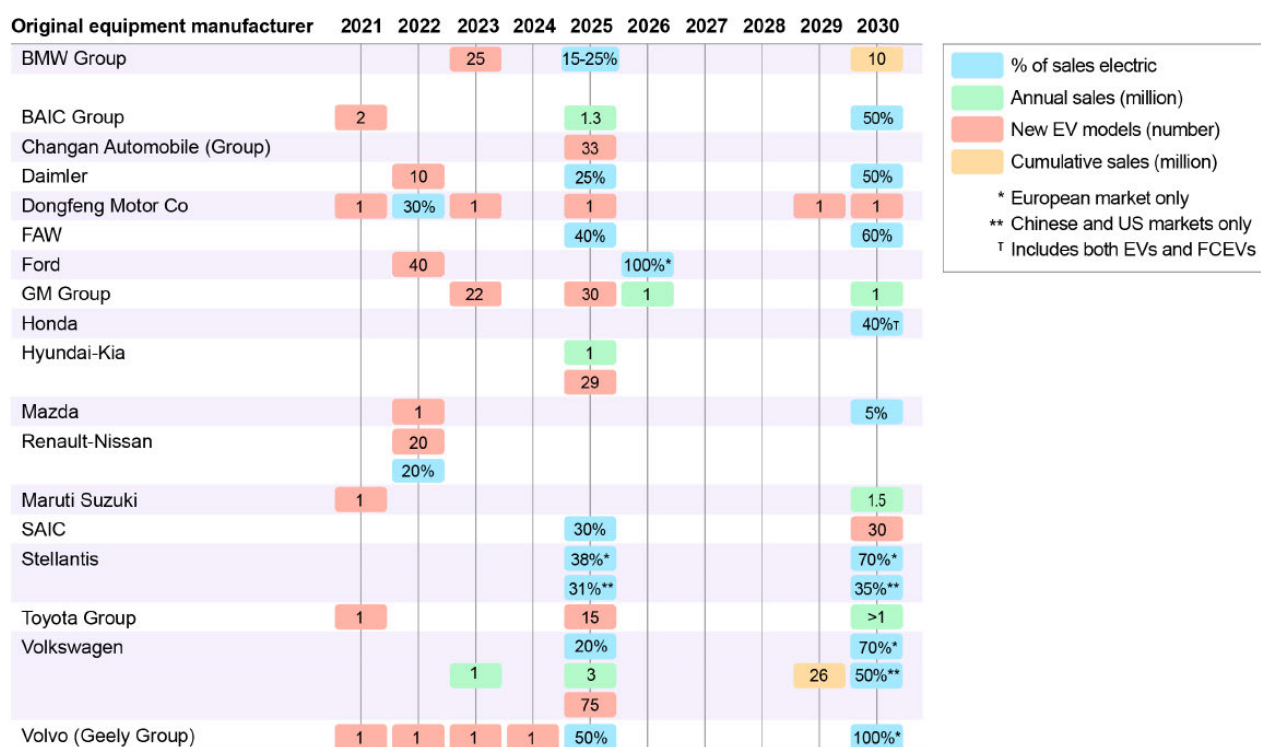


図 3-8 主要自動車メーカーの電動車両販売目標

出所)IEA, Global EV Outlook 2021

3.2.3 主要国の小売・流通業における電動車関連の取組動向

商用自動車に関して電動車関連の取組を進める企業が見られるようになってきている。以下の表では、このような小売・流通業を中心とした取組事例を示す。

表 3-11 小売・流通業を中心とした電動車関連の取組動向

企業名	国・地域	公表年	取組内容
Amazon	世界全地域	2020	スタートアップ企業である Rivian に 10 万台の BEV 小型商用車を発注。2040 年までに排出量ネットゼロを目指す。
Anheuser-Busch	米国	2019	最大 800 台の Nikola 水素燃料電池大型トラックを発注。
DHL Group	世界全地域	2019	中期的な目標は EV による郵便物と小包の配達。2050 年までに排出量ネットゼロのロジスティクスを目指す。
FedEx	世界全地域	2018	2040 年までに車両をすべてゼロエミッション車に移行し、事業をカーボンニュートラルにすることを目指す。
H2 Mobility Association	スイス	2019	スイス最大級の 19 社小売業者による最大 1600 台の Hyundai 水素トラックサービスへの投資。
Ingka Group (IKEA)	世界全地域	2018	2020 年までに主要都市で、2025 年までにすべての都市でゼロエミッションの配達。

企業名	国・地域	公表年	取組内容
日本郵便	日本	2019	2021年までに1200台の郵便および小包配達用バンを電化し、2050年までに排出量ネットゼロのロジスティクスを達成。
JD	中国	2017	2022年までに、全車両(10,000台以上)を新エネルギー車に交換。
SF Express	中国	2018	約10,000台のBEVロジスティクス車両を販売。
Suning	中国	2018	独立小売業者のQingchengPlanが5,000台の新エネルギーロジスティクス車両を配備。
Walmart、 Pepsi、 Anheuser- Busch、 FedEx、 Sysco など	多国籍企業 (世界各地)	2018	2000台のTeslaトラックセミモデルを発売から6か月以内の事前発注。
Walmart	米国	2020	2040年までに車両全体を電動車にする。

出所)IEA, Global EV Outlook 2021

3.3 国内外における航空産業分野の動向把握調査

3.3.1 航空機機材による温室効果ガス削減技術

航空機機材による温室効果ガス削減技術については、ICAO の専門パネルが 2017 年に取りまとめた INDEPENDENT EXPERT INTEGRATED TECHNOLOGY GOALS ASSESSMENT AND REVIEW FOR ENGINES AND AIRCRAFT や、IATA が 2019 年 12 月に公表した Aircraft Technology Roadmap Report、ATAG Waypoint2050 に包括的に整理されている。

本稿では 2021 年度中に更新のあった ATAG Waypoint2050(2021 年版)における記述に基づき、航空機機材技術について解説する。

(1) 従来型機材における温室効果ガス削減

ATAG Waypoint2050(2021 年版)では、計 5 つの航空技術のシナリオのうち、T2 シナリオとして従来型機材を維持したままの進化的技術(Evolutionary technologies)、すなわち機材のコンポーネントを改善する技術を展開することを想定している。ATAG Waypoint2050(2021 年版)で解説されている進化的技術の内容を表 3-12 に記す。

表 3-12 従来型機材における温室効果ガス削減技術(ATAG Waypoint2050(2021 年版)による整理)

技術	説明	TRL 等
ギヤードターボファンエンジン(Geared Turbo Fan Engine)	ファンとコンプレッサーの間にギアボックスがあり、それぞれが最も効率的な速度で回転し、エンジンの推進効率を向上させる。	A320neo, A220, Embraer E-Jet におけるオプションとして導入済み
高圧縮比エンジン(High pressure ratio core engines)	より高い圧力で作動するエンジンにより、エンジン重量を削減し、熱効率を向上	GE9X として Boeing 777X に 2020 年に導入見込み。
高バイパス比エンジン(Very high bypass ratio engines)	大型のファンにより低速で多くの空気を排出する(バイパス比、つまりバイパス空気と主エンジン内を流れる空気との流量比を増大する)ことで推進効率を向上。	GEnx, Trent1000, LEAP, PW1000 などのエンジンで導入済み。より大型のエンジンに適合すれば更なる改善も可能
翼や機体への複合構造材の適用 (Composite structures for wing and fuselage)	大型の金属製航空機構造を、軽量の複合材料に置き換えるもの。	既に多くの航空機で運用されており、Boeing787,AirbusA350 等の新しいモデルで広く使用。適用先は、航空機のさらに多くの部分に拡大可能。
ウィングチップ装置(Wingtip devices)	翼端に取り付けられた小構造による空気力学の改善。	現在、殆どの航空機で運用、効率の更なる向上のための開発が継続されている。運用中の機材へのレトロフィットも可能。
リブレット(Riblets)	航空機表面の小さな溝により、飛行時の抵抗を低減(サメの皮に触発されたとされる)。	効率的であることが試験で明らかにされているが、運用を開始する前に幾つかの耐久性の課題が残存。レトロフィットも可能になると見られる。TRL8。

技術	説明	TRL 等
能動的な荷重低減 (Active load alleviation)	突風と操縦負荷力を、適切なフラップの偏向により軽減。より軽量な翼構造が可能となる。	Available な技術であり、多くの便益が新たな航空機の設計に使用可能。
構造ヘルスモニタリング (Structural health Monitoring)	航空機構造の損傷を検出するセンサー。より軽い構造を可能とする。	Available な技術であり、多くの便益が新たな航空機の設計に使用可能。
オンボード電源用燃料電池 (Fuel cells for onboard power)	エンジン駆動の発電機の代わりに燃料電池による効率的なオンボード電源用発電。	数年にわたって活発に開発されている。主な課題は、燃料電池が重量を増すこと、水素を必要とすることである。
先進フライバイワイヤ技術 (Advanced fly-by wire systems)	高度な飛行制御とナビゲーションを可能にするデジタル飛行制御システム。	継続的に改善

出所) ATAG Waypoint2050(2021 年版)

(2) 次世代機材による温室効果ガス削減技術

ATAG Waypoint2050(2021 年版)では、計 5 つの航空技術のシナリオのうち、T3 シナリオとして、BWB 機、strut-braced wing 機等の新たな構造コンセプトを含む革新的技術(Revolutions in aircraft configurations)、ハイブリッドを含む電動化や水素による推進系における革新的技術(Revolutions in propulsion system)を想定したシナリオを作成している。ATAG Waypoint2050(2021 年版)で解説されている、構造コンセプトにおける革新的技術を、推進系における革新的技術の内容を表 3-13 に記す。

表 3-13 構造コンセプトにおける革新的技術(ATAG Waypoint2050(2021 年版)による整理)

技術	説明	TRL 等
カナード(Canard)	カナード構造は、固定翼航空機の主翼の前に配置される小さな航空機前面を指す。カナードの持ち上げ面は、多くの場合、唯一下向きの揚力面である水平尾翼とリブレース可能となる。カナード前面は、前面、中央翼、水平尾翼の表面構成に使用可能。最新の飛行制御装置を使用すると、垂直尾翼のない設計でさえ実現可能。	カナード構成の航空機は、主に軍事分野で見られる。民間のカナード航空機は、他の根本的に新構造コンセプトと同様に、2035 年から 40 年頃に利用可能になる可能性がある。
ブレンデッドウィングボディ機、ハイブリッドウィングボディ機 (Blended wing body, Hybrid wing body)	ブレンデッドウィングボディ機またはハイブリッドウィングボディ機(BWB / HWB)は、翼と胴体の間に明確な違いがない固定翼航空機。幅の広い翼型の機体と効率的な高揚力翼により、従来の航空機と比較して揚力比を大幅に向上させることができる。飛行機全体が揚力を発生するように設計されているため、高い燃料削減が期待される。	既に利用されている BWB は軍事目的で存在。 多くの研究機関が民間航空用の BWB 設計に取り組んでおり、長期にわたり 400 人以上の乗客の設計に焦点を当てているが、最近では 100～150 席のより小さな設計にも最適化される可能性があり、2035 年頃にサービスが開始される可能性がある。 大型の BWB は 2040 年頃に予想される可能性がある。 KLM とデルフト工科大学のプロジェクトはフライング V 構造のスケールモデルと飛行実証を検討。

技術	説明	TRL 等
ストラットブレース翼・トラスブレース翼 (Strut-braced wing Truss-braced wing)	ストラットブレース付きの翼は、構造的な翼の支持を利用して、構造的な重量を増やすことなく、より大きな翼幅を可能にするコンセプト。翼幅を大きくすることにより、誘導抗力が減少し、エンジン性能の要件が減少する可能性がある。また高い翼の位置は、オープンローターなど、より大きなエンジンサイズを可能とする。翼幅の増加のためには、空港の互換性の再定義、折畳み式の翼の設計が必要になる場合もある。	従来のターボファンエンジンを使用したストラットブレース設計は、極端に根本的な設計変更ではなく、2030～35年にサービスを開始する可能性がある。オープンローターとの組み合わせは、2040 年頃にサービス開始 (EIS: entry into service)を想定することができる。
ボックスウィング (Box-wing)	1924 年にルートヴィヒ・プラントルによって最初に提案されたボックスウィングは、2つのオフセットされた水平翼の先端を接続する構造である。誘導抗力を最小限に抑え、従来の航空機と比較して燃料消費量を低減する。	2035～40 年頃に利用可能になる可能性がある。
制御翼面をもつ可変キャンバー (Variable Camber with New Control Surfaces)	飛行中に翼のキャンバー(曲率)を変更して、揚力を最適化することが可能。	現在 TRL は 6 程度。新たな航空機の設計に適用される。
層流制御技術(自然層流制御/ハイブリッド層流制御) (Laminar flow control technology (natural and hybrid))	航空機表面または境界層吸引の適切な成形により、航空機表面上の空気の流れを乱流のない状態に維持する。	現在 TRL は 7 程度、2017 年より新たな開発が進展。新たな航空機の設計に適用される。

出所)ATAG Waypoint2050(2021 年版)

表 3-14 推進系における革新的技術(ATAG Waypoint2050(2021 年版)による整理)

技術	説明	TRL 等
オープンローター (Open rotor)	非ダクトファン(UDF)、またはプロップファンとも呼ばれる。ファンナセルが省かれ、ターボファンで可能な値を超えてバイパス比が増加。現在のターボファンと比較して大幅な燃料低減可能とするが、幾つかの制限もある。ケーシングがないためファンの騒音が高くなること、封じ込められていないエンジンの故障時の安全確保のため、機体を強化が必要であることが挙げられる。	オープンローターのコンセプト自体は数十年前のものだが、騒音の課題により開発が遅れた(解決済み)。サービス開始 (EIS: entry into service)は、2030 年頃の可能性がある。
電動推進系 (Electric propulsion)	内燃機関に代わり、電気モーター従来のプロペラまたは複数の小さなファンのセットを駆動。電気エネルギーはバッテリーに貯蔵	9 席までの小型の完全な電気航空機は少なくともテスト飛行においてすでに飛行。2020 年代後半には最大 19 席の電気航空機が計画されており、

技術	説明	TRL 等
	(但し重量のペナルティがある)、あるいは、燃料電池が使用される。 完全な電気航空機の場合、運用中のCO₂排出量はゼロである。 ライフサイクル排出量は発電のための一次エネルギーミックスに依存。完全に再生可能な電源を使用する場合、それらもゼロに近くなる可能性がある。 追加の利点として飛行機雲やNO_x排出量などCO₂削減以外の効果もある。電気モーターは内燃機関よりも静かで、空港の周辺への騒音抑制と、小都市の空港での運用の増加を可能とする。	2030年代にはリージョナル航空機が計画されている。 ノルウェーは、2040年までに全ての国内線および短距離便を電動で運航することを目標としている。
ハイブリッド電動推進系 (Hybrid-electric Propulsion)	ハイブリッド電動のコンセプトは、燃焼エンジンと電気エンジンの両方の利点を組み合わせたもの。 離陸時に燃焼システムと電気推進システムを組み合わせ使用、最大推力を提供するが、燃焼エンジンはクルーズ飛行中または降下中の場合スロットルバックする。燃焼エンジンも小型化され、搭載重量を減少。 ハイブリッドはより大型の飛行機の純粋な電気推進システムに向けた、必要な中間ステップである。ハイブリッド化の程度は航空機のサイズによって異なる見込みだが、小型のシートカテゴリには、大型のシートカテゴリよりも高度なハイブリッド化が可能。 ブレンデッドウィングボディなどの新構造コンセプトに搭載されたハイブリッド電動航空機は、CO₂排出量を最大40%削減する。	ハイブリッド電動推進系は、小型航空機(15~20席)は2020年代、リージョナル機は2030年代、大型機は2040年以降の適用が予想される。
水素推進系 (Hydrogen)	水素は炭素を含まない燃料であり、次の2つの方法で推進燃料として使用できる。 a 従来の燃焼用ジェットエンジン燃料(大型航空機を含む)、 b 燃料電池による電動 水素の重量は同じエネルギー含有量のジェット燃料の量の3分の1であるが、液体(極低温)の形でその体積は4倍。巨大なタンクに加えて、航空機の燃料システムの根本的な変更が必要。	航空における水素使用の最大の課題の1つは、大規模な水素の世界的な利用可能性、グリーン水素を生成する必要性、適切な供給インフラの存在である。再生可能エネルギーへの世界的な動きに伴い、エネルギーとしての水素の世界的な使用の計画は具体的になり、水素航空機への関心は2019年以降、急激に高まっている。 また、強力な公的資金への意欲がCovid-19危機における航空セクターへの支援に関する議論で再び高まっています。技術開発プログラムでは、現在、2035年頃のサービス開始(EIS: entry into service)を想定。

出所)ATAG Waypoint2050(2021年版)

3.3.2 国内外における航空機機材の技術開発計画

(1) 米国 2021 Aviation Climate Action Plan(2021 年 11 月)

米国連邦航空局(FAA)は、2021 年 11 月、航空部門における 2050 年までの GHG 排出ネットゼロ達成に向けた包括的な行動計画「2021 Aviation Climate Action Plan」を発表した。

当該計画の中では航空機機材による温室効果ガス排出削減の見通しも示しており、図 3-9 のとおり 2035 年にナローボディ機、2040 年にワイドボディ機へ次世代の機材を導入することで 2050 年時点に 5000 万トン-CO₂ 程度の排出削減を目指すイメージを示している。

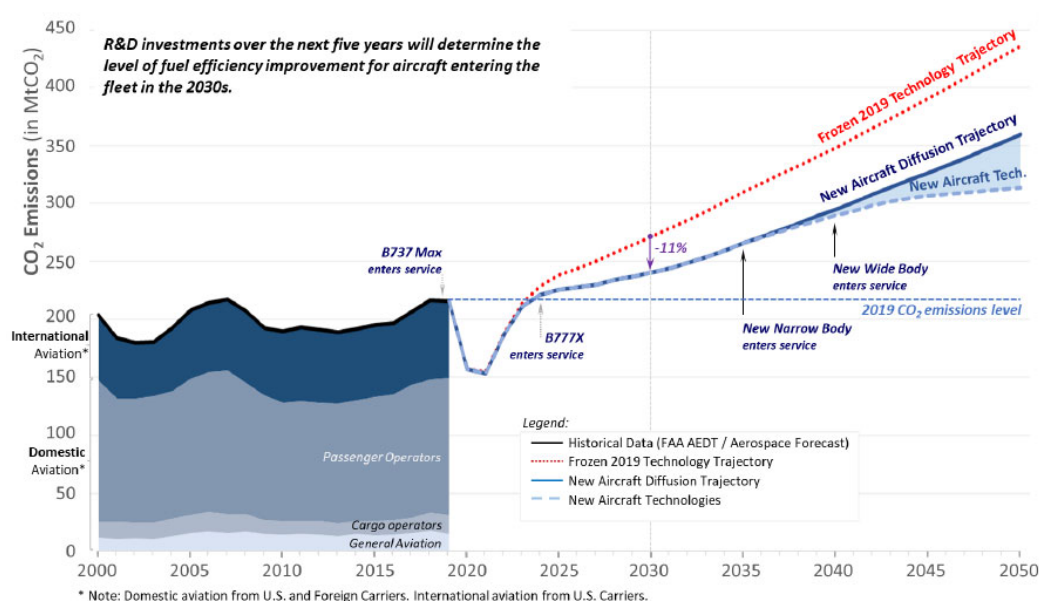


Figure 4. Analysis of Future Domestic and International Aviation CO₂ Emissions: New Aircraft Development Scenario

図 3-9 2021 Aviation Climate Action Plan における新たな航空技術のシナリオ
出所)FAA, “United States 2021 Aviation Climate Action Plan”,

当該計画の中では、次世代航空機開発の方針も表 3-15 のとおり示されている。これまで Next Gen の下、継続的に取り組まれてきた、燃費の改善を含む環境適合性の向上に資する CLEEN プログラム、航空機革新技術に関する ASCENT プログラムの他、NASA のプログラムに関しても言及されている。

表 3-15 2021 Aviation Climate Action Plan における航空機技術開発の方針

これまでの取組	- FAA は Continuous Lower Energy, Emissions, and Noise (CLEEN) Program において、燃料燃焼、エンジン排気、および騒音を低減する認定可能な航空機およびエンジン技術の開発を促進。加えて、ASCENT Center of Excellence を通じて、全国の大学における航空機技術革新の研究を指揮 - NASA は、Advanced Air Vehicles Program (AAVP), Integrated Aviation Systems Program (IASP), Transformative Aeronautics Concepts Program (TACP)、the Airspace Operations and Safety Program (AOSP) を含むさまざまなプログラム全体で、持続可能な航空技術の基礎研究と地上・飛行実証を実施
---------	--

提案されたアクション	- 航空機の大幅な排出削減に関するパートナーシップ（SFNP:Sustainable Flight National Partnership）を活用して環境性能を段階的に改善できる航空機およびエンジンの技術と設計を実証。 - 航空機の排出量の増加を安全に抑制し、削減を確保するための最も効果的な技術を奨励する野心的な国際基準を追求する。 - SFNP における NASA の活動として、超高効率翼（遷音速トラス翼など）、小型コアガスタービン、電動およびハイブリッド電気航空機推進システム、高速複合材料製造などの新しい製造技術の開発を実施。今日のクラス最高の航空機と比較して 25~30%低い燃料燃焼と 10~15dB の騒音低減。 - 全電気航空機アーキテクチャや水素推進などの技術の調査。最初は小型航空機として導入される可能性が最も高く、大型商用航空機への採用は、実用化されるまでには数十年かかる。完全電気式の自動操縦航空機は、短距離での「ラストマイル」貨物輸送や乗客の移動に使用できる可能性があるが、ライフサイクルでの排出量のトレードオフの可能性や、飛行によって排出量が増加するのか減少するのかを理解するには、さらなる調査が必要。
------------	--

出所)FAA, “United States 2021 Aviation Climate Action Plan”より三菱総合研究所作成

(2) 米国 SFNP:Sustainable Flight National Partnership(2021 年6月)

表 3-15 のとおり 2021 Aviation Climate Action Plan では航空機の大幅な排出削減に関するパートナーシップ（SFNP:Sustainable Flight National Partnership）に言及している。SFNP は 2021 年 6 月に NASA が発表した計画であり、2005 年と比較して航空の二酸化炭素排出量を 2060 年までに半分に削減、2060 年までに純ゼロ排出量を達成することを目指すものとしている。

航空機機材の技術としては、図 3-10 のとおり、小型ガスタービンの 5~10%の効率化、複合材製造の高速化(6 倍)、電動推進系による最大 5%の燃費の改善、統合航路最適化による 1~2%の燃費の改善、トラスブレース翼による 5~10%の燃費の改善を目指すことを図示している。

なお、電動推進系今後 10 年間で、大型輸送機で初めてのハイパワーハイブリッド電気推進を実現することも述べている。



図 3-10 NASA が発表した SFNP における技術開発イメージ

出所)<https://www.nasa.gov/aeroresearch/nasa-aims-for-climate-friendly-aviation>(2022 年 3 月 10 日閲覧)

(3) EU Clean Aviation JU Strategic Research and Innovation Agenda

2021 年 12 月、EU Clean Aviation JU は、Strategic Research and Innovation Agenda を公表した。

当該計画では、次世代航空を、①ハイブリッド電動リージョナル航空機の破壊技術、②中短距離機の超高効率推進系の開発、③水素航空機を可能とする破壊的技術の3つの柱として位置付け、2035 年を目途にフライト実証を目標とし、商用化(Product Deployment)の目安としても 2035 年に開始するイメージを描いている。

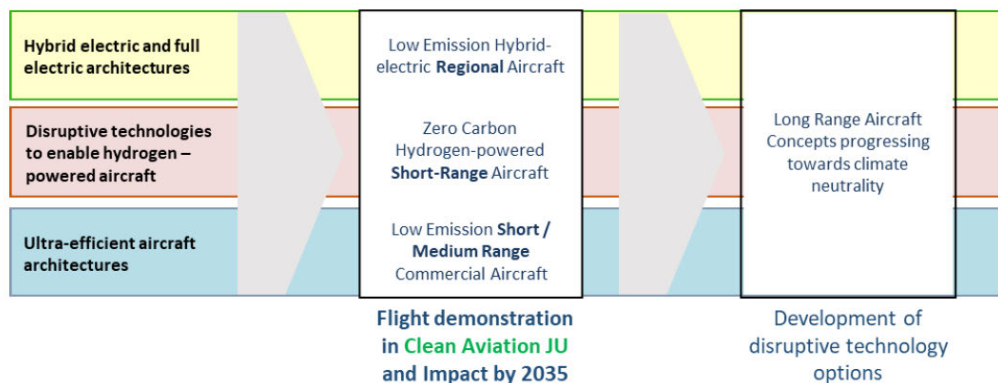


Figure 2.3: Mapping of the research thrusts against aircraft categories and concepts

図 3-11 EU Clean Aviation JU による計画(技術確立目安)

出所) Strategic Research and Innovation Agenda Version December 2021

一つ目の柱①ハイブリッド電動リージョナル航空機の破壊技術については、ハイブリッド機における推進系の出力密度等の目標、②中短距離機の超高効率推進系の開発では、機体設計や SAF 用を含むエンジン効率、構造材の開発に関するロードマップ、③水素航空機を可能とする破壊的技術については、燃料電池スラック、タンク、水素燃焼原理等の熟度を TRL4 まで引き上げること等が位置づけられている。

二次利用未承諾リスト

報告書の題名:令和 3 年度燃料安定供給対策に関する調査等(バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策の在り方に関する調査)報告書

令和 3 年度燃料安定供給対策に関する調査等(バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策の在り方に関する調査)

受注事業者名:
株式会社三菱総合研究所

頁	図表番号	タイトル
p2	図 1-1	世界のエタノール消費量の推移(2021 年から 2030 年までは予測値)
p3	図 1-2	世界のバイオディーゼル消費量の推移(2021 年から 2030 年までは予測値)
p4	図 1-3	2020 年と 2026 年における各バイオ燃料の純貿易量および燃料需要に占める割合
p9	図 1-4	RIN の価格推移
p13	図 1-5	炭素強度(CI)の認定パスウェイ
p39	図 1-9	各年度の目標達成状況
p88	図 1-34	フィリピン長期エネルギー計画におけるバイオ燃料ロードマップ
p88	図 1-35	フィリピンエネルギープランにおけるバイオ燃料のロードマップ
p94	図 1-36	インドネシアのバイオディーゼル支援体制
p116	図 2-1	シナリオ別の SAF 年間導入量とその内訳の推移
p117	図 2-2	地域別の原料の利用可能性
p118	表 2-6	2025 年から 2035 年までの EU における SAF 製造ポテンシャル推計値
p145	図 2-3	D4054 の評価プロセス
p146	図 2-4	ASTM D7566 における認証の進展状況
p147	図 2-5	水相改質技術によるバイオ燃料製造プロセス
p148	図 2-6	水相改質技術等のライフサイクル GHG 評価
p152	図 2-7	熱分解(Pyrolysis)等のライフサイクル GHG 評価
p152	図 2-8	ATJ-SPK と ATJ-SKA のプロセスの比較
p153	図 2-9	既存の第一世代のエタノール製造プラント改修のスキーム
p154	図 2-10	ATJ-SPK、ATJ-SKA により製造されたジェット燃料の GHG 排出量
p155	表 2-20	Global Bioenergies 社の SAF 製造プロセス
p156	図 2-11	Gevo 社と Global Bioenergies 社の比較
p157	図 2-12	CSIR-IIP の SAF 製造プロセス
p158	図 2-13	HEFA により製造されたジェット燃料の GHG 排出量
p159	図 2-14	Vertimas 社の技術
p160	表 2-21	Vertimass 社の SAF 製造時の GHG 排出量
p160	図 2-15	OMV 社 ReOil の技術
p161	図 2-16	Forge Hydrocarbons 社の LTH 技術
p163	図 2-17	小型製造装置での運転実績 (左) バイオジェット燃料 (右) バイオ軽油
p164	図 2-18	SBI BioEnergy のプロセスフロー
p164	図 2-19	SBI BioEnergy の技術概要
p165	図 2-20	SBI BioEnergy の再生可能ジェット燃料と石油由来のジェット燃料の比較
p166	図 2-21	Prometheus Fuels の製造フロー
p182	図 2-23	PtL の製造パスウェイの概念図
p183	図 2-24	PtL ケロシン市場の拡大目標

p183	図 2-25	航空分野向けの PtL ケロシンロードマップの実装
p193	図 3-1	CORSIA 適格排出ユニットプログラムの認定手順
p198	図 3-2	炭素市場の動向
p199	図 3-3	主要クレジット制度のプロジェクト登録件数、クレジット発行量(2020 年)
p200	図 3-4	プロジェクト種類別のクレジット発行量、クレジット価格(2020 年)
p202	表 3-4	主要国における乗用車に対する政策動向
p202	図 3-5	各国・地域の電動化に関する誓約
p208	図 3-6	各国における EV 充電インフラ件数
p209	図 3-7	各国における EV 台数あたり充電インフラ件数
p210	図 3-8	主要自動車メーカーの電動車両販売目標
p216	図 3-9	2021 Aviation Climate Action Plan における新たな航空技術のシナリオ
p217	図 3-10	NASA が発表した SFNP における技術開発イメージ
p218	図 3-11	EU Clean Aviation JU による計画(技術確立目安)

令和 3 年度燃料安定供給対策に関する調査等
(バイオ燃料を中心とした我が国の燃料政策の在り方に関する調査) 報告書

2022 年 3 月

株式会社三菱総合研究所
サステナビリティ本部
