

2024年度 JPECフォーラム

SAF向け共処理の調査

2024年5月14日

一般財団法人カーボンニュートラル燃料技術センター
製造プロセス技術部

目次

1. 背景、目的
2. SAF向技術について
3. 共処理によるSAF製造について
4. 品質・認証等について
5. まとめ

製油所において、脱炭素化を推進させるためには、製油所の操業の最適化を図るとともに、廃棄プラスチックやバイオマスなどのカーボン資源循環型原料、低炭素原料を製油所で処理可能な熱分解油などに転換し、石油精製設備で共処理（Co-Processing）することが重要である。

近年、特に航空分野においては、様々な持続可能な航空燃料（Sustainable Aviation Fuel ; SAF）の開発が活発に行われおり、実際に共処理を用いた製造も開始されている。

このような状況を踏まえ、2023年度は、SAFの開発状況、および品質規格の検討状況を把握することを目的として調査を実施した。

2. SAF向技術について

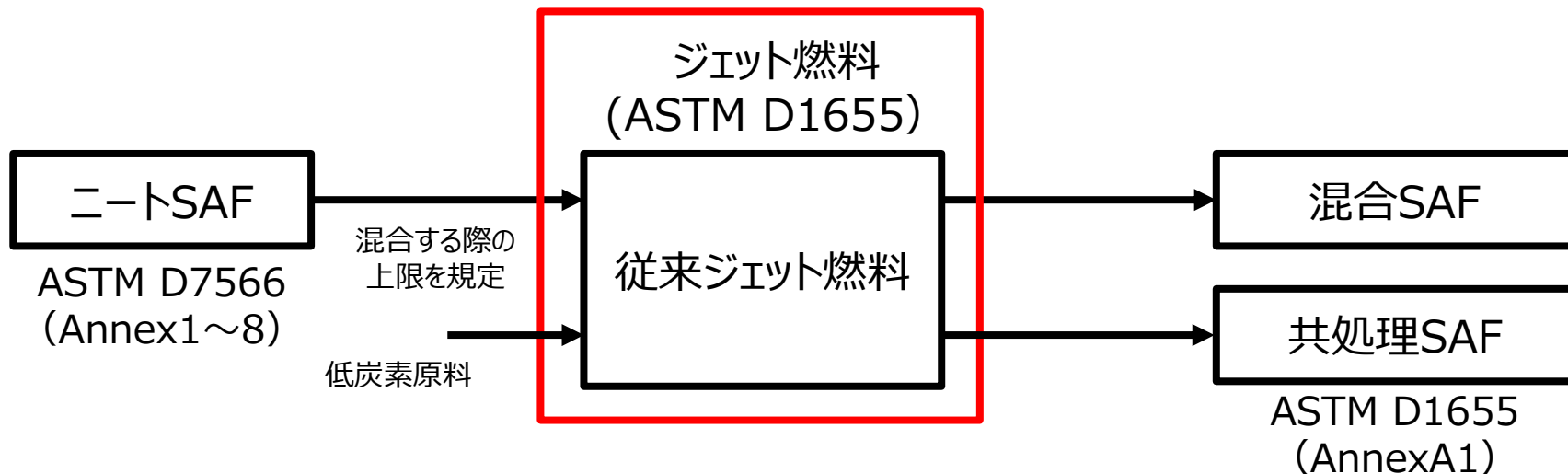
SAF : 持続可能な航空燃料 (Sustainable Aviation Fuel)

SAFを航空機に搭載し使用するためには、ASTM Internationalが定める航空燃料の規格に準拠しなければならない。

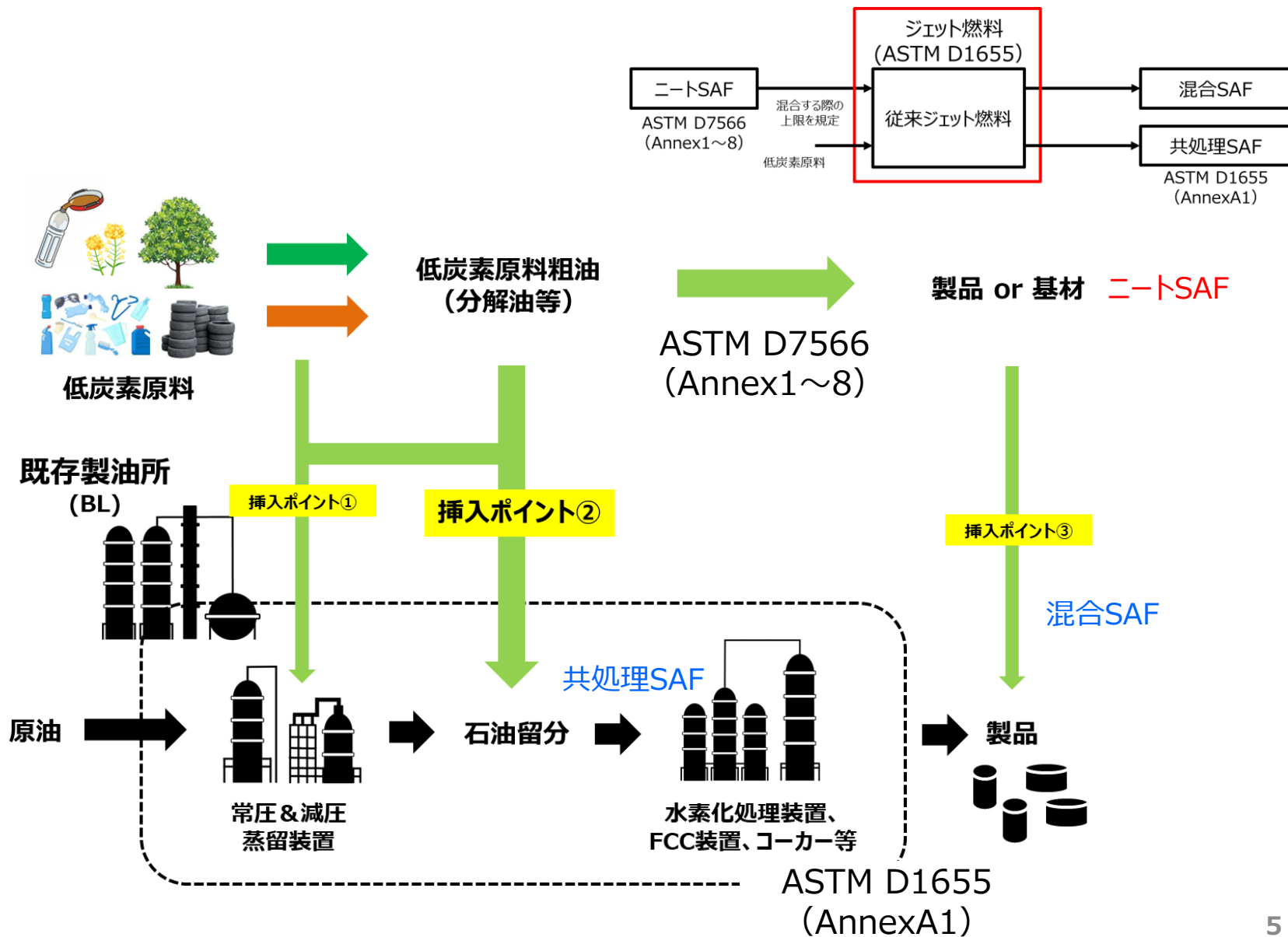
一般的に認知されているSAFの製造法 (ニートSAF) は、Annex8までの製造プロセスが承認されている (2024.2月現在)。

・・・ASTM D7566に準拠

一方、 共処理によるSAF製造の場合は、ジェット燃料規格であるASTM D1655の中で規程されている。



2. SAF向技術について



3. 共処理によるSAF製造について

共処理：製油所で原油処理を行いつつ、HVO等のバイオマス原料（低炭素原料）を減圧軽油等と混合処理し、バイオ燃料配合燃料を製造するプロセス

欧米中心に約40の製油所で、HVO・SAFが単独処理または共処理で製造されている。近年は、欧米だけでなく、インドネシア Pertamina社 Cilacap製油所、南米 Peterobras社所有の製油所や中東などにもこの動きは拡大している。

欧州等における脱炭素化燃料製造における製油所の対応

共処理で対応する製油所例	単独処理で対応する製油所例
Preem (スウェーデン)	Neste(フィンランド)
Exxon Mobil (オランダ)	Eni (イタリア(ベニス))
Bp (スペイン, アメリカ)	Eni (イタリア(シシリア))
Phillips 66 (イギリス)	・・・他
Total Energy (フランス)	
Eni(イタリア(タラント))	
Litvinov Refinery (チェコ)	
OMV Petrom (ルーマニア)	
Galp (ポルトガル)	
Cepsa, Repsol (スペイン)	
・・・他	

出所：各種資料をもとにJPEC作成

欧州におけるHVOの製造能力 (共処理 & 単独処理)



出所：STRATASADVISORS(Fuels for the future2023)

3. 共処理によるSAF製造について

- ◆ SAFを製造するための変換プロセスとして、ASTM Annex8が新たに承認され、現在Annex1～8までが承認済み。
- ◆ この他、Virent、Shell、Indian CSIR-IIP、OMV、ExxonMobil、Revo、Alder等様々な変換プロセスが評価中である。

承認済みの変換プロセス

ASTM規格	変換プロセス	原料	最大混合率
Annex1	フィッシャー・トロプシュ水素化処理パラフィン系ケロシン	石炭、天然ガス、バイオマス	50%
Annex2	水素化処理エステル・脂肪酸からのパラフィン系ケロシン	バイオオイル、動物性油脂、リサイクルオイル	50%
Annex 3	水素化処理された発酵糖からのイソパラフィン	製糖に利用されるバイオマス	10%
Annex 4	非石油由来軽質芳香族化合物のアルキル化からの芳香族化合物を用いたケロシン	石炭、天然ガス、バイオマス	50%
Annex 5	AtJによるパラフィン系ケロシン	エタノール、イソブタノール、イソブテン由来のバイオマス	50%
Annex 6	触媒水熱分解ジェット燃料	大豆油、ジャトロファ油、カメリナ油、カリナータ油、桐油などのトリグリセリド	50%
Annex 7	炭化水素からのパラフィン系ケロシン-水素化処理エステル・脂肪酸	藻類	10%
Annex 8	混合アルコールからのAtJ	-	-

3. 共処理によるSAF製造について

- ◆ 共処理によるSAF製造はASTM D1655 AnnexA1に規程されており、使用できる原料、装置、最大混合率に制限がある。

承認済みの変換プロセス

ASTM規格	変換プロセス	原料	最大混合率
Annex A1	従来製油所におけるエステルと脂肪酸の共水素化処理	石油と共処理された油脂グリース	5%
Annex A1	従来製油所におけるフィッシャー・トロプシュ炭化水素の共水素化処理	石油と共処理されたフィッシャー・トロプシュ炭化水素	5%
Annex A1	バイオマスの共水素化処理	-	10%

共処理を用いた航空燃料の概要

No	低炭素原料	混合量	使用装置
1	モノ、ジ、トリグリセリド 遊離脂肪酸 脂肪酸エステル	供給総原料に対して、低炭素原料は最大5vol%まで混合可能。 最終製品に含まれる低炭素原料由来のケロシンは最大5vol%。	水素化分解又は水素化精製 (含精留)
2	合成ガスからFe又Co触媒FT 法で得られた炭化水素	供給総原料に対して、低炭素原料は最大5% volまで混合可能。 残りは既存の炭化水素。最終製品に含まれる低炭素原料由来のケロシンは最大5% volまで。	水素化分解 (含精留)
3	水素化処理した上記1の低炭素原料から得られる炭化水素	供給総原料に対して、低炭素原料は最大24vol%まで混合可能。 最終製品に含まれる合成炭化水素は最大10vol%。	精留

3. 共処理によるSAF製造について

- ◆共処理によるSAF製造については、現在、いくつかのタスクフォースが立ち上がっており、共処理に使用する原料や最大混合率の緩和を図る動きがある。

進行中のタスクフォース

No.	タスクフォースの概要	主たる事業者
1	脂質の混合率を従来の5%から30%に緩和	Air BP
2	共処理原料に廃タイヤの熱分解油を使用	Phillips66
3	共処理原料に廃プラスチックの熱分解油を使用	ExxonMobil、 Chevron

今後も様々なタスクフォースが立ち上げられると予想され、継続的に動向を注視することが重要である。

3. 共処理によるSAF製造について

共処理によるSAF製造の課題としては、共処理に用いる低炭素原料の確保に加え、反応装置の腐食・汚れ・触媒被毒等が懸念される。

下表に昨年報告した各低炭素原料使用時の処理制約・課題等を示すが、これらの原料の利用を拡大するためには前処理技術の確立が特に重要である。

原料	性状	装置	処理制約；課題	対応等
脂質 植物油 獣脂	構造・組成 酸素含有量	水素化処理 (HC含) FCC	※腐食；遊離酸、ハロゲン、炭酸	・前処理、エステル化、パージ ・材質変更
廃食用油 トール油			※触媒被毒(劣化)；アルカリ、金属、CO、局所加熱	・前処理、触媒改良
バイオクルード	遊離酸 (TAN)		※汚れ；重合前駆体	・前処理
FPO HPO CPO HTL	不純物 ハロゲン アルカリ、金属 P,N 重合前駆体		※相溶性；含水量、酸素含有量	・分離、脱酸素
リグニン油	水分量		※混合比率；発熱	・分散投入等
廃プラスチック			※下流処理；酸性ガス、硫黄回収	・処理水増、装置改造
廃タイヤ			※貯蔵安定性；	・低温保管、前処理
FT油			※製品規格；低温流動性、芳香族	・水素化分解等

4. 品質・認証等について

共処理で製造された航空燃料の規格は、JetAおよびJetA-1の規格より**厳しい値**やJetA等には**無い項目**が設定されている。

共処理を用いた航空燃料の燃料特性

性状	Jet A, Jet A-1	試験法
熱安定性 (制御温度 280 ℃で2.5時間以上) ^{A,B}		
フィルター之差圧、mm Hg	最大25	D3241、IP323
チューブの定格、以下のいずれかを満たす (1) Annex A1 VTR、VTRコード (2) Annex A2 ITR もしくはAnnex A3 ETR	3未満 最大85	
2.5mm ² の面積にわたるnm平均		
流動性		
動粘度 (-40℃)、mm ² /s ^C	最大12.0	D445、IP71、D7042、D7945
析出点、℃	JetA、JetA-1と 同様	D5972、IP435、D7153、IP529、D7154、IP528
組成		
未変換のエステルおよび脂肪酸、mg/kg ^D	最大15	D7797、IP583
芳香族 ((1) もしくは (2)) ^E (1) 芳香族炭化水素分 % vol (2) 全芳香族分 % vol	最小 8 ^F 最小 8.4 ^F	D1319、IP156、D8267、D8305、D6379、IP436
揮発性		
蒸留傾斜、℃ T50-T10、℃ T90-T10、℃	最小 15 最小 40	D86、D2887、IP406、D7344、D7345、IP123
潤滑性		
潤滑性、mm	最大0.85	D5001

A：試験温度280℃は、エステルと脂肪酸の水素化処理によって導入される反応性化合物が制限されることを確実にするため。現在、本要件は調査中。

B：JetAおよびJetA-1に利用できる添加剤の中で金属不活性材は、本要件を満たすために使用することはできない。

C：エステルおよび脂肪酸の水素化処理によって、高濃度n-パラフィンを含む可能性があり、そのリスクを軽減するために従来よりも厳しい要件となっている。現在、本件は調査中。

D：エステルと脂肪酸、また水素化処理したエステルと脂肪酸から得られる炭化水素の共処理に適用される。

E：水素化処理したエステルと脂肪酸から得られる炭化水素の共処理に適用される。

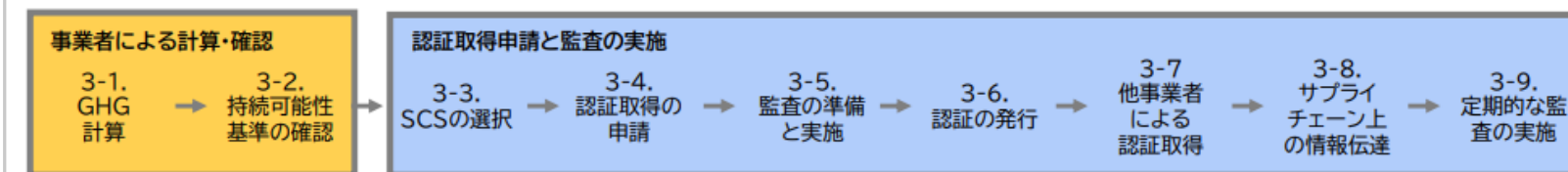
F：芳香族の最小含有量は、合成燃料に関する現在の知見に基づいて設定されている。現在、本件は調査中。

4. 品質・認証等について

再生可能資源等を原料として共処理で航空燃料（CORCISIA適格燃料:CEF CORCISIA Eligible Fuels）を製造する場合、認証要件を満たした時に初めてSAFとして認証される。

<認証取得の流れ>

SAF製造事業者は、ライフサイクルGHGの計算と持続可能性基準の確認を行い、SCS及び各スキームにおける認証オプションの選択をする必要がある。その後、認証取得の申請、監査を経て認証機関により証明書が発行される。



CEF認証取得プロセスの具体的なフロー

出所：国土交通省「CORSIA適格燃料 登録・認証取得ガイド」より抜粋

※CEF認証取得に向けたプロセスは、デフォルト値（GHG排出量）が既に登録されている燃料であれば認証機関がSAF製造事業者を審査し、SCS（Sustainability Certification Schemes）により認証される。

デフォルト値が登録されていない場合、認証機関の審査の前にFTGメンバーである航空局を通じてFTGに新規デフォルト値の登録を提案したうえ、ICAOのドキュメントの改訂が必要となる。

4. 品質・認証等について

- ◆ 共処理で製造するSAFについては、廃食油、大豆油、獣脂を使用してSAFを製造する時の値がデフォルト値となっている。
- ◆ デフォルト値は原料ごとに2種類の処理法 (hydrotreater/hydrocracker) のもとで計算され、その中間値を採用している。

※デフォルト値は、モデル化された共処理プロセスのLCA値をシミュレーションで計算し、各種研究論文の公表値と比較することでその確からしさを確認して設定されている。

共処理SAFのCore LCA値

Feedstock	Insertion point	Feedstock production / transportation	Fuel production	Fuel transportation	Total	default core LCA value (gCO ₂ e/MJ)
used cooking oil (UCO)	HDT	3.6	11.1	0.3	15.0	16.7
	HYK	3.6	14.4	0.3	18.3	
Soybean oil	HDT	27.0	11.8	0.3	39.1	40.7
	HYK	26.8	15.2	0.3	42.3	
tallow	HDT	15.9	9.4	0.3	25.6	27.2
	HYK	15.8	12.7	0.3	28.8	

(UCO : 廃食油、SOY : 大豆油、TLO : 動物性油脂)

＜製品の流通の管理方法＞

- ・ 共処理で製造されたSAFは、非持続可能な燃料と持続可能な燃料が混合された状態で製造されるため、Mass balance で管理される。
- ・ 従来、自由な帰属の原則に基づき持続可能な数量を割り当てることが認められていたが、最近更新された文書*では、自由な帰属に基づいた割り当ては認められていないので注意が必要。

* ISCC CORSIA System Document 203 : Traceability and Chain of Custody

製品の流通の管理方法

管理方法	イメージ図	説明
Identity preservation		持続可能な製品と非持続可能な製品を物理的に混合することが認められない。加えて、異なる持続可能特性を持つ製品の混合も認められない。
Bulk commodity		持続可能な製品と、非持続可能な製品の物理的混合は認められないが、異なる持続可能特性を持つ製品の混合は認められる。
Mass balance		非持続可能な製品、および異なる持続可能特性を持つ製品のいずれの混合も認められる。
Book-and-claim		生産者、最終製品製造者、販売者との間でオンライン取引されるモデルであり、トレーサビリティを付与できない。

今年度調査した項目	分かったこと
1. SAF向技術の開発状況	<ul style="list-style-type: none"> ➤ あらたにSwedish Biofuel社の混合アルコールを用いたATJ派生経路がAnnex8として承認された。 ➤ その他にも様々な原料を使用した変換プロセスが評価されていることが分かった。
2. 共処理によるSAF製造について	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SAFの共処理に関連するASTM D1655 の拡張の動きとしては、ExxonMobilが主導する水素化されたバイオマス等の共処理が新たに承認された。 ➤ 新しく廃プラスチック分解油を用いたタスクフォースが立ち上がるなど、今後も様々なタスクフォースが立ち上がることが予想されるので、継続して動向を確認していくことが必要。
3. 品質・認証等について	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 共処理で製造されたSAFには、従来のJET規格よりも厳しい規格や従来のJETにはない項目が設定されており、注意が必要。 ➤ 共処理で生産されたSAFはMass balanceで管理されてきたが、ISCC CORSIAの改定により自由な帰属による数量割り当てが認められなくなったことから、注意が必要。

謝辞

本研究は経済産業省・資源エネルギー庁の
補助事業として実施されました。
ここに記して、謝意を表します。