

持続可能な航空燃料 (SAF) の 品質規格と試験

2024年3月
一般社団法人 日本海事検定協会

〈解説〉

近年、脱炭素の観点から航空業界においても様々な二酸化炭素排出量削減を目指す試みが行われています。

二酸化炭素排出量の少ない燃料として有望視されている、持続可能な航空燃料「SAF(サフ)」の品質規格と試験について解説します。

CONTENTS

1. SAFの概要
2. SAFの品質と規格
3. ニートSAFの品質規格
4. 混合SAFの品質規格
5. 関連規格等

2

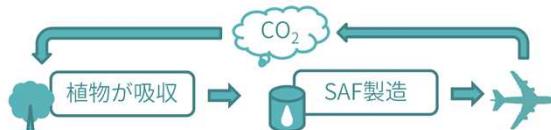
〈解説〉

- この資料では、主にSAFの品質管理項目、具体的にはSAFの品質規格であるASTM D7566に規定された燃料仕様と、それに付随する試験・分析項目のうち、主にSAFに特有のものについて解説します。

1. SAFの概要

1.1 SAF（持続可能な航空燃料）とは

SAF（持続可能な航空燃料）の活用を通じた温室効果ガス排出量削減の試みが、国内外の航空産業で進められている。SAFはバイオマス由来の原料等を使用して製造される燃料である。燃料が燃焼時にCO₂を排出するが、SAFの場合は原料植物がCO₂を吸収しているため、トータルのCO₂排出量は化石燃料より少ない。



SAFとして利用するためには、航空燃料としての品質を満たすとともに持続可能性（CO₂排出削減効果）が認められる必要がある。

- 航空燃料としての品質：ASTM D7566に規定されている。本資料では、主にこの規格について解説する。
- 持続可能性：代表的な持続可能性の評価の仕組みとしては以下のものがある。持続可能性を認められる燃料の例としては、CORSIAにより認定された燃料であるCEF (CORSIA Eligible Fuel) がある。
 - ✓ 米国再生可能燃料規格 (RFS2)
 - ✓ EU再生可能エネルギー指令 (RED)
 - ✓ 国際民間航空のためのカーボン・オフセット及び削減スキーム (CORSIA)*1

*1 CORSIA
「国際民間航空のためのカーボン・オフセット及び削減スキーム (CORSIA : Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)」とは、ICAOにより導入されたカーボン・オフセットのための制度である。参加各運航会社には定められたルールに沿って必要量の二酸化炭素排出枠を購入しオフセットする義務が課される。2027年には免除対象国を除いて全てのICAO加盟国に参加が義務付けられる。

3

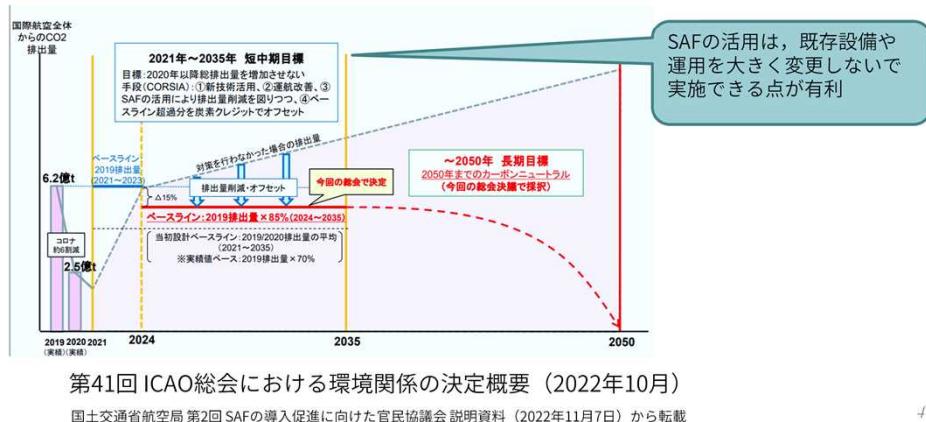
〈解説〉

- SAFは、主として植物由来のバイオマスや再生可能原料を使用して製造される合成炭化水素（Synthesized Hydrocarbon）です。燃焼で発生するCO₂と植物が吸収するCO₂がほぼ等しいため、燃料製造や輸送で発生するCO₂を考慮しても排出量は化石燃料と比較して少ないと考えられています。
- SAFとして利用するためには、まず航空燃料としての品質を満たす必要があります。また、持続可能性が認められる必要があります。品質を満たすことと持続可能性を持つことは同じではないため、各々個別に確認する必要があります。
- 本資料では品質の解説を行います。SAFの品質はASTM D7566で定められていますので、主にこの規格について解説していきます。
- 持続可能性の認定については他資料に譲り、この資料ではスライドでCORSIA CEF等について簡単に触れるに留めます。

1. SAFの概要

1.2 SAF導入の背景とCO₂排出量削減目標

- ICAO（国際民間航空機関）の目標
2050年までのカーボンニュートラルを目指す。
ICAO加盟国の航空会社は、2035年までにCO₂排出量をベースライン（2019年比85%）まで削減するよう努力する。超過分は炭素クレジットでオフセットしなければならない。
- 日本国内の目標
2030年に本邦航空会社の燃料の10%をSAFに置き換える。（国土交通省 2021年12月）
2030年時点の国内SAF利用見込み（本邦+外航）は、171万kLと試算されている。



〈解説〉

- ICAO（国際民間航空機関）は、2022年10月の第41回総会で民間航空業界として2050年までのカーボンニュートラルを目指すことを宣言しました。また、中間目標として2035年までに排出量を2019年比85%に削減するとしています。
- ICAO加盟国の航空会社は、2035年までに複数の手段によってCO₂排出量をベースラインまで削減するよう努力しなければなりません。主な手段として以下4つの方法があります。
 - ①排出量削減の新技術開発→電動飛行機、水素飛行機の開発、翼形改善など
 - ②運航方法の改善→航路の最適化（経路見直し、短距離航路の廃止など）
 - ③SAFの活用→CO₂排出量の少ない燃料を使用
 - ④市場メカニズム→他の方法で排出削減できない超過分を排出権取引等で相殺

このうち、③のSAFの活用は、設備等既存の枠組みを大きく変更せずに実行できることから、有効なCO₂削減方法として注目されています。

- しかし、SAFの製造方法は石油製品である既存のジェット燃料とは原料も製造方法も異なるため、品質規格も既存ジェット燃料とは異なります。品質確定のための試験も特別に用意する必要があります。

2. SAFの品質と規格

2.1 ASTM D7566 – SAFの試験規格と認証の仕組み

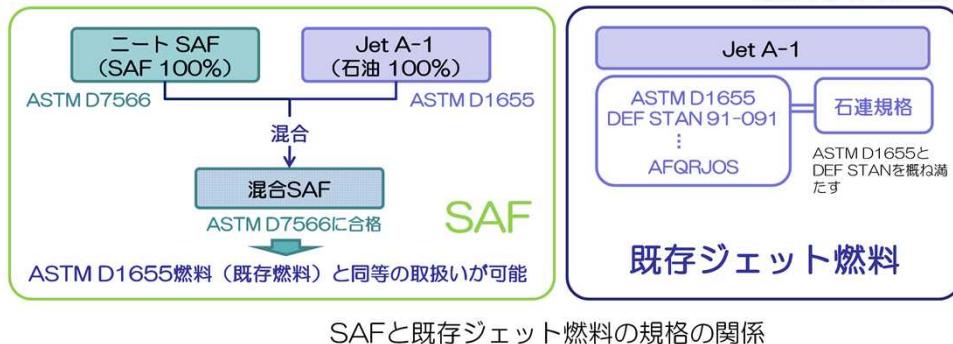
SAFに使用できる合成炭化水素の品質規格は、2024年現在、ASTM D7566のみである。

既存の航空燃料の品質規格はDefence Standard 91-091 (DEF STAN) , ASTM D1655等であり、日本国内ではこれらを概ね満たす共同利用貯油施設向け統一規格（石連規格）が使用されている。

合成炭化水素はそのままで使用できず、SAFとして使用するためにはJet A-1等の既存ジェット燃料と混合しなければならない。ASTM D7566では100%合成炭化水素（いわゆるニートSAF¹⁾）の品質を規定するとともに、既存ジェット燃料と混合後の燃料（いわゆる混合SAF¹⁾）の品質も規定している。

混合SAFとなった段階でASTM D7566の規格に合格することにより、その燃料はASTM D1655適合燃料すなわち既存ジェット燃料同等品と見做すことができ、以後既存ジェット燃料と同様に取り扱うことが可能となる。

*1 SAFの呼称については2.4参照



SAFと既存ジェット燃料の規格の関係

5

〈解説〉

- 航空燃料の品質規格は、Defence Standard 91-091（いわゆるDef Stan）とASTM D1655が事実上国際標準規格として使用されています。日本国内ではこれらを概ね満たす品質基準として石油連盟によって「共同利用貯油施設向け統一規格」いわゆる石連規格が規定されており、ジェット燃料製造時の製品仕様として広く適用されています。
- 一方、SAFの品質規格は、唯一ASTM D7566に規定されているのみです。したがって、SAFの品質はASTM D7566の要求事項を満たす必要があります。
- ASTM D7566では、100%合成炭化水素（いわゆるニートSAF）をそのまま使用することは現在認められておらず、Jet A-1等の既存ジェット燃料と混合しなければなりません。混合する際のニート混合率には上限が規定されており、これを超えて混合することはできません。
- ASTM D7566ではニートSAFと既存ジェット燃料を混合した後の燃料（いわゆる混合SAF）の各々について品質規格を規定しています。混合SAFがASTM D7566の規格に合格することにより、ASTM D1655適合燃料と見做すことができるようになり、既存ジェット燃料と同様の取り扱いが可能となります。

2. SAFの品質と規格

2.2 ASTM D7566で規定された合成炭化水素燃料

ASTM D7566で使用が認められている合成炭化水素燃料は、以下の8種類である（2024年現在）。品質規格は、D7566の附属書 Annex A1～A8に規定されており、これらがニートSAFとして利用される。既存ジェット燃料と混合することができる比率（容量%）の上限も定められている。

国内では、以下赤枠内の5種類の燃料について製造実績がある。なお、A3およびA4は製造が計画されていないため、これらについては以後割愛する。

ANNEX 番号	種類	概要	原料の例	既存燃料と の混合上限
A1	FT-SPK	バイオマスをガス化、FT合成	木質セルロース、 都市ゴミ	50 容量% ※
A2	HEFA SPK	油脂および脂肪酸の水添	廃食油等の油脂	50 容量% ※
A3	SIP	糖由来合成イソパラフィン	バイオマス糖	10 容量% ※
A4	SPK/A	非化石由来芳香族をアルキル化	非石油由来芳香族	50 容量% ※
A5	ATJ	アルコール水添	サトウキビ、トウモロコシ 都市ゴミ（衣料等）、木質	50 容量%
A6	CHJ	微細藻類および廃食油を水素化熱 水分解	微細藻類および廃食油	50 容量%
A7	HC-HEFA SPK	微細藻類由来炭化水素を水添	微細藻類抽出油	10 容量%
A8	ATJ-SKA	芳香族を含むATJ	C2～C5アルコール、合成炭 化水素	50 容量%

※燃料の密度や芳香族含有率等の性状によっては、混合率が規定の上限未満に制限されることがある。

6

〈解説〉

- ASTM D7566では現在8種類のニートSAFが規定されており、品質規格はD7566のAnnex A1からAnnex A8までの附属書に規定されています。これらが現在利用可能なニートSAFということになります。混合できる上限は50%のものが多いのですが、A3とA7は上限10%です。
- 各Annexでは燃料の製造技術の概要も大枠で定義されていますが、原料の化学的分類と製造法の概要を指定しているのみであり、具体的な原材料名や詳細な合成条件は示されていません。

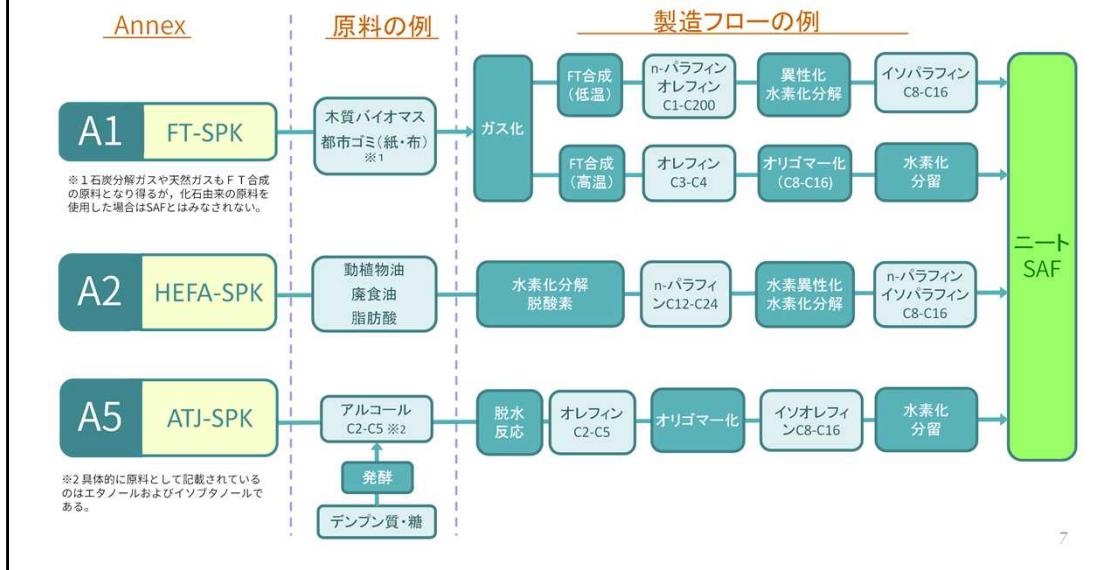
例えば、Annex A1のFT-SPKは、フィッシャー・トロプシュ反応によって合成されたパラフィン系炭化水素主体の灯油留分とされています。フィッシャー・トロプシュ反応で使用する触媒は鉄を含むと規定されています。しかし、細かい製造手順や設備の構成は製造者に任せられています。

Annex A2の燃料であるHEFA-SPKでは、エステルおよび脂肪酸を原料とし、水素化等の処理を加えた燃料とされていますが、原料を細かく限定したり処理の具体的な要件は規定されていません。

2. SAFの品質と規格

2.3 代表的なニートSAFの製造プロセス

一般的なニートSAFであるAnnex A1, A2, A5の製造プロセスの概要を示す。ASTM D7566では細かい処理は規定されておらず、ここに記していない工程も実施されることがある。原料の酸素分は水素化により除去され、最終的にイソパラフィン主体の組成とするための異性化が行われるケースが多い。灯油相当留分とするためには分留も重要である。



〈解説〉

- 代表的なニートSAFであるAnnex A1, A2, A5の燃料製法について概説します。

Annex A1：FT-SPKと呼ばれ、フィッシャー・トロプシュ反応（FT合成）で合成される灯油留分です。フィッシャー・トロプシュ反応は水素と一酸化炭素の合成ガスから液体の炭化水素（石油と同じグループの物質）を合成するものです。合成直後のものは低温時に固まりやすいため、異性化を行い融点の低いイソパラフィン主体に転換して流動性を改善する必要があります。FT合成は、合成灯油や合成軽油の合成方法として実績があります。

Annex A2：HEFA-SPKは油脂や脂肪酸を水素化して炭化水素の転換することにより製造されます。最終製品とする前には、FT-SPKの場合と同等異性化が行われます。この方法では、軽油相当の燃料（HVO: hydro-processed vegetable oil）も製造することができます。

Annex A5：ATJ-SPKはアルコールが原料です。アルコールはジェット燃料より分子が小さいため、オリゴマー化（数個の分子を重合させる反応）でジェット燃料相当の大きさの分子にした後に水素化して炭化水素に転換されます。

- ニートSAFは最終的に灯油留分と同様の沸点範囲をもつ必要があるため、分留によって灯油型のジェット燃料に近い沸点範囲に調整されます。

(個々の製法については次ページ以降で解説します)

2. SAFの品質と規格

2.4 SAFの呼称について

この資料では、理解を容易にするため、100%合成ジェット燃料をニートSAF、既存ジェット燃料と混合した後の燃料を混合SAFと呼んでいる。

主要な規定では、100%合成ジェット燃料をSBC (Synthetic Blend Component : 合成ブレンド成分)、既存ジェット燃料と混合したものを半合成ジェット燃料 (Semi-Synthetic Jet Fuel) と呼ぶ場合が多い。しかし、呼称は完全に統一されているとも言い難い。

主要な規定におけるSAF関連の燃料の呼称

規格・指針	100%合成炭化水素 ^{*1}	既存ジェット燃料と合成炭化水素を混合した燃料
本資料での呼称	ニートSAF	混合SAF
ジェット燃料取扱基準に関する指針 (石連指針) 第13版	合成ブレンド成分 (SBC)	半合成ジェット燃料
持続可能な代替航空燃料 (SAF) の取扱い要綱 第2版 (石油連盟発行)	SBC : synthetic blending component (ニート燃料)	半合成ジェット燃料
Defense Standard 91-091	SBC : synthetic blending component	Aviation turbine fuel (Containing synthesized hydrocarbons) ※SAFとしての呼び名は特に無い。
ASTM D7566	SBC : synthetic blending component	Aviation turbine fuel
EI 1533 : Quality assurance requirements for semi-synthetic jet fuel and synthetic blending components (SBC)	SBC : synthetic blending component	Semi-synthetic jet fuel
その他、使用される場合がある呼称	SAF ※ニートSAFの意味で使用される場合があるため混合SAFとの混同注意	合成航空燃料 (SAF) SAFブレンド 混合合成ジェット燃料

*1 合成炭化水素は天然ガス等の化石由来原料からも製造できるため、再生可能燃料と同義ではない点に注意する必要がある。

〈解説〉

● SAFに関する呼称

混合前後の燃料は各々様々な名称でよばれており、完全に統一された呼称はまだ定着していないようです。この資料では混合後と混合前の混乱を避けるため、混合前の100%合成炭化水素の燃料を「ニートSAF」、従来ジェット燃料と混合した後の燃料を「混合SAF」と呼ぶことにします。

2. SAFの品質と規格

2.5 ニートSAF

日本国内でこれまでに製造・利用の実績があるSAFは、ASTM D7566のAnnex A1, A2, A5, A6, およびA7の燃料である。ASTMは燃料を定義する際に単に原料の化学的分類と製造法の概要を指定しているのみであり、原材料名や詳細な合成条件は示していない。

Annex A1 : FT-SPK (フィッシャー・トロプシュ合成ケロシン)

- フィッシャー・トロプシュ (FT) プロセスは、合成ガス、すなわち一酸化炭素 (CO) と水素 (H_2) を鉄またはコバルトベースの触媒を使用して液体炭化水素を合成するプロセスである。航空燃料として適切な蒸留範囲と化学組成を持つ製品に転換するためには、さらに分解と水素化処理等を行う必要がある。
- ASTM D7566 Annex A1では合成ガス等を原料として指定しているが、合成ガスの発生源は指定していないため、技術的には様々な原料が利用可能である。原料は固体でも液体でもよい。例としては、都市廃棄物や林業副産物がある。FT合成自体は元来、石炭や天然ガスからジェット燃料を生産することを想定したものである。したがって、ASTM D7566の燃料は必ずしもSAFでない場合があり得ることになる。
- 合成プロセスの生成物は、ノルマルパラフィン以外にも含酸素化合物とオレフィンの混合物が含まれるため、水素化処理、水素化分解または水素化異性化等の処理によって精製され、最終製品となる。
- FTプロセスで製造されたニートSAFは、主としてイソパラフィンとノルマルパラフィンで構成されており、芳香族を含まない。このため、混合SAFを製造する際にブレンド率の上限が、規格で許容される上限 (50 容量%) 未満に制限される場合がある。

9

〈解説〉

- 個々のニートSAFの製造プロセスについて以下に解説します。（A3とA4については省略）
- Annex A1, FT-SPK すなわちフィッシャー・トロプシュ合成ケロシンは、フィッシャー・トロプシュ反応 (FT反応) という合成プロセスを使用します。これは、一酸化炭素と水素の混合ガス（合成ガス）を原料とし、鉄またはコバルト触媒を使用して液体炭化水素を合成するプロセスです。

Annex A1 では合成ガス等を原料として指定していますが、ガス源には指定がないため、可能な原料であればどのようなものでも使用可能です。たとえば、紙ごみなどの都市廃棄物や間伐材などが実際に原料として利用されています。

なお、石炭分解ガスや天然ガスなどの化石由来原料からFT-SPKを製造する場合は CO_2 排出削減効果はないためSAFとは見做されない点に留意する必要があります。

合成プロセスの中間生成物の主成分はノルマルパラフィンですが含酸素化合物とオレフィンの混合物も含まれるため、水素化処理、水素化分解または水素化異性化等の処理によって精製し、異性化で組成をイソパラフィン主体のものに転換します。

2. SAFの品質と規格

Annex A2 : HEFA-SPK (HEFA合成ケロシン)

- HEFA-SPKは、エステルおよび脂肪酸を水素化処理して製造される。現在商用利用されているSAFの主要な原料となっている。これは、HEFA-SPKの製造方法がHVOなどの既に普及している合成ディーゼル燃料の製造方法と類似していることによる。
- 原料は非可食油脂や廃食油（UCO）が利用されることが多い。
- ASTM D7566の原料定義は、単に脂肪酸エステルまたは遊離脂肪酸とされている。エステルとしては、油脂等のグリセリド類や脂肪酸メチルエステル（FAME）等が想定される。原料の具体的な供給源は指定されていないため、化学的に脂肪酸または脂肪酸エステルであれば良い。脂肪酸エステル、遊離脂肪酸、植物油、動物油脂、使用済み食用油、藻類由来の油など様々なものが利用である。
- 多くの油脂の炭素鎖はC18～C20であるため、水素化処理後も概ねこの付近の炭素数の炭化水素となる。一方、既存ジェット燃料は、通常C8～C16の炭化水素で構成されている。既存ジェット燃料に近い組成とするためには、脂肪酸/エステル原料を分解/異性化して、炭化水素鎖を調整する等の必要がある。
- HEFAから製造されたニートSAFは、FT-SPKと同様に、主としてイソパラフィンとノルマルパラフィンで構成されており、芳香族を含まない。このため、混合SAFを製造する際にブレンド率の上限が、規格で許容される上限（50容量%）未満に制限される場合がある。

10

〈解説〉

- HEFA-SPKは、植物油等の油脂や脂肪酸を水素化して炭化水素としたもので、現在日本国内でも商業製造が計画されているタイプのSAFです。定義上はエステルおよび脂肪酸を原料とすると定義されています。エステルとは脂肪酸エステルのことであり植物油などの油脂類（脂肪酸のグリセリンエステル）が相当します。また、脂肪酸は油脂を加水分解したものです。

油脂あるいは脂肪酸は、従来からバイオ燃料の原料として利用されていた実績があり、現在でも軽油代替燃料である脂肪酸メチルエステルすなわちFAMEの原料として使用されています。

HEFA-SPKと軽油代替燃料であるFAMEの製造技術は、基本的に同じものですが、HEFA-SPKが灯油相当の燃料であるのに対してFAMEは軽油相当の燃料である点が異なります。この両者は同じ製造プロセスから得られ、蒸留などの処理で分離して各自的の製品とされています。

2. SAFの品質と規格

ANNEX A5 – ATJ-SPK（アルコールtoジェット）

- ATJプロセスでは技術的には数種のアルコールを使用できるが、2023年時点ではエタノールあるいはイソブタノールを原料とするとのみ記されているが、最終的には全てのC2-C5アルコールを利用することが目標とされている。
- アルコール供給源には制限はないが、典型的な原料はデンブン/砂糖（トウモロコシ、サトウキビ、芋類）等であり、使用済み衣類等も利用できる。これらを発酵して糖からアルコールに転換し、脱水後にオリゴマー化プロセスを通じてより長鎖の物質に合成する。ここで得られた中間原料は、水素化後に蒸留によってジェット燃料の分子量範囲に分留される。

ANNEX A6 – CHJ（接触水素化分解ジェット燃料）

- 廉油の処理に由来する清浄な遊離脂肪酸を使用する。脂肪酸は予熱した水と結合し、接触水素化分解ユニット内で高温高圧下で処理される。
- 得られた混合物は、水素化処理、水素化分解、異性化などの石油精製プロセスで処理される。混合物は非常に広い沸点範囲を持つため、分留でジェット燃料相当の製品とする。
- CHJには芳香族が含まれている。これにより混合SAFは既存ジェット燃料と類似した組成となり、良好な析出点や芳香族下限値が担保される。

Annex A7 – HC-HEFA SPK（水素化炭化水素HEFA）

- HEFAベースの製品であるが、特定の藻類株（Botryococcus braunii種）に由来する水素化処理された脂肪酸エステル、脂肪酸、および炭化水素を含む独自の原料を利用する。
- この燃料は日本で開発され、ASTM D4054プロセスに従って「ファストトラック」承認（迅速承認）を取得した最初の燃料である。混合上限は最大10容積%である。

11

〈解説〉

- Annex A5, ATJ-SPKはアルコールtoジェットの略で、エタノールあるいはブタノールから合成される燃料です。日本国内でも製造が計画されています。アルコール源は特に指定されていませんが例としては、トウモロコシ、サトウキビ、イモ類があります。これらを発酵させて得られるアルコールを炭化水素に転換します。これ以外に使用済み衣類等の発酵でアルコールを生じるものであれば原料として利用できます。
- Annex A6, CHJはAnnex A2の HEFA-SPEと類似した製造プロセスで、油脂やエステルを水素化して炭化水素に転換したものです。一見、HEFA-SPKと類似していますが、成分は異なっており、HEFA-SPKにはない芳香族やシクロパラフィンを含んでいます。このため、石油由来のジェット燃料と炭化水素の成分組成が類似したものとなってます。
- Annex A7, HC-HEFA SPKも HEFA SPKと類似の製造プロセスですが、これも微生物由来の原料を使用します。使用する原料は微生物（ボトリオコッカス・ブラウニー）が生産する油脂および炭化水素です。

2. SAFの品質と規格

ANNEX A8 – ATJ-SKA (アルコール to 含芳香族ジェット)

- 2024年に追加された新しいニートSAF。2024年3月時点で国内製造計画なし。
- 原料は単一のC2～C5アルコールまたは2つ以上のC2～C5アルコールの組み合わせである。
- 合成されたニートSAFが芳香族を含むことが特徴である。
- 製造は以下の2つのサブプロセスからのストリームで構成される。
 - ・非芳香族ストリーム：脱水、オリゴマー化、水素化、および分留を含むプロセス
 - ・芳香族ストリーム：脱水、芳香族化、水素化、および分留を含むプロセス

12

〈解説〉

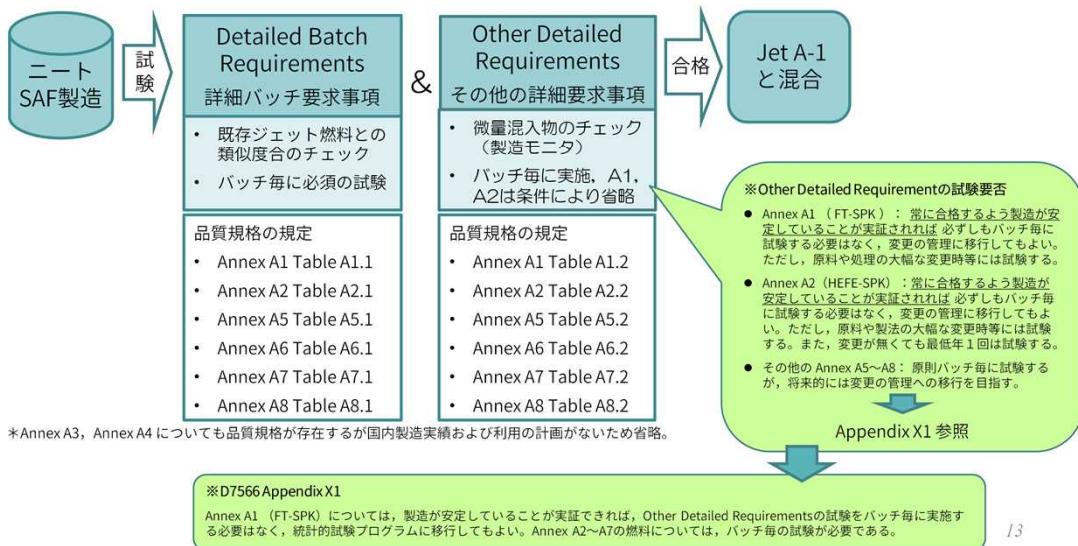
- ATJ-SKAは、2023年に新たに追加されたAnnex A8に規定された燃料です。国内での実績はありません。

この燃料は、Annex A5 ATJのバリエーションであり、アルコールを原料としますが、芳香族を含む原料も使用するのが特徴です。芳香族は合成後の製品にも一定量含まれますが、これにより既存ジェット燃料に近い性質が得られます。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.1 ニートSAFの品質要求事項

- ニートSAFは、既存ジェット燃料に類似していることが要求される。
- 既存燃料とは製法が異なるため、微量の混入物もチェックされる。
- 製品は、以下の二段階の品質要求事項を満たす必要がある。



〈解説〉

- ニートSAFの品質規格はASTM D7566のAnnexA1～A8に規定されています。ニートSAFは、既存ジェット燃料に類似していることが要求されます。既存燃料とは製法が異なるため、微量の混入物もチェックされます。
- また、ニートSAFは以下の二段階の品質要求事項を満たす必要があります。

Detailed Batch Requirements（詳細バッチ要求事項）は、既存ジェット燃料との類似性をチェックする項目です。これを満たせばジェット燃料としての性質を備えていると見做すことが出来ます。

さらに、Other Detailed Requirements（その他の詳細要求事項）では製造プロセスの監視を目的とした試験が要求されています。正常に炭化水素が合成できているか確認したり、微量な不純物元素が混入していないかチェックします。

- Other Detailed Requirements の試験は、AnnexA1とAnnex A2の燃料については一定の条件が満たされればバッチ毎の試験は必須ではないとされています。AnnexA1の燃料については、統計的管理プログラムによってこの要求事項に常に合格するよう製造が制御されていることが実証されれば、バッチ毎の試験は不要ですが、原料や処理スキームの変更があれば試験が必要です。Annex A2の燃料についてもほぼ同様ですが、変更がなくても最低年1回の試験が必要です。その他の燃料に関してはバッチ毎の試験が必須です。
- Other Detailed Requirementsに関する規定の詳細はASTM D7566の各AnnexとAppendix X1でご確認ください。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566-2023a) Annex A1～A8

3.2 Detailed Batch Requirements (詳細バッチ要求事項)

ASTM D7566の各Annex の Table Ax.1に規定 (xは Annex番号) Annex A3, A4は省略

試験項目	AnnexA1	AnnexA2	AnnexA5	AnnexA6	AnnexA7	AnnexA8	試験方法 (斜体はReferee method)
	TableA1.1	TableA2.1	TableA5.1	TableA6.1	TableA7.1	TableA8.1	
芳香族, vol%	FT-SPK	HEFA-SPK	ATJ-SPK	CHJ	HC-HEFA SPK	ATJ-SKA	8~20 D1319, IP 156, D8305
芳香族, mass%							8.4~21.2 D2425, D6379 / IP 436
酸価, mg KOH / g					0.015以下		D3242 / IP 354
蒸留(物理蒸留)							
T10, °C				205以下			
T50, °C				報告			
T90, °C				報告			
終点, °C				300以下			
T50-T10, °C	22以上	22以上	21以上	15以上 40以上	22以上	15以上 40以上	
残油量, %				1.5以下			
減失量, %				1.5以下			
蒸留(ガスクロ蒸留)							
T10, °C				報告			
T20, °C				報告			
T50, °C				報告			
T80, °C				報告			
T90, °C				報告			
終点, °C				38以上			
引火点, °C							D56, D3828, D7236, IP 170, IP 523, IP534
粘度(-40°C), mm ² /s	730~770	730~772	730~770	775~840	730~800	775~840	D445 or IP 71 Section 1, D7945
密度(15°C), kg/m ³							D1298 / IP 160, D4052, IP365
析出点, °C				-40以下			D5972 / IP 435, DT153 / IP 529, DT154 / IP 528, D2386 / IP 16
煙点, mm							D1322 / IP 598
実在ガム, mg/100 mL		7以下		7以下	7以下		D381*, IP 540
FAME, mg/kg		5未満		5未満	5未満		IP 585, IP590
熱安定度							
温度, °C				325以上 ¹			D3241 / IP 323
フィルタ差圧, mmHg				25以下			
管堆積度(VTR)または 管堆積厚(ITR, ETR, MWETR), nm			3未満, 孔雀模様や異常色相堆積物なし				D3241 / IP 323 Annex A1 (VTR) D3241 / IP 323 Annex A2 (ITR), Annex A3 (ETR), Annex A4 (MWETR)
添加剤							
酸化防止剤, mg/L ^{*3}				17~24			

*1既存ジェット燃料では260°C以上とされているが、ニートSAFの場合はより高い温度で試験しなければならない。

*2 ASTM D381はAnnex A6ではreferee methodとされていない。*3 酸化防止剤は、製品を空気に著しく曝す移送や作業の前に添加する。

14

〈解説〉

- Detailed Batch Requirements (詳細バッチ要求事項) の要求項目は概ねどのAnnexでも同様ですが、細部に違いがあります。

これらの項目は既存ジェット燃料でも要求されているものが多く含まれています。ただし、要求の上限や下限はニートSAF独自のものが設定されています。

また、赤字で表示した項目は既存ジェット燃料では要求されていなかった項目であり、ニートSAF特有の要求事項となっています。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.3 Other Detailed Requirements (その他の詳細要求事項)

●：既存燃料で通常実施しない項目

試験項目	Annex A1 Table A1.2	Annex A2 Table A2.2	Annex A5 Table A5.2	Annex A6 Table A6.2	Annex A7 Table A7.2	Annex A8 Table A8.2	試験方法 (斜体はReferee method)
	FT-SPK	HEFA-SPK	ATJ-SPK	CHJ	HC-HEFA SPK	ATJ-SKA	
炭化水素組成							
シクロパラフィン、質量%	15以下	15以下	15以下	報告	50以下	40以下	D2425
パラフィン、質量%	報告	報告	報告	報告	報告	報告	D2425
芳香族、質量%	0.5以下	0.5以下	0.5以下	8.4～21.2	0.5以下		D2425
または芳香族、容量%				8～20			D1319 / IP 156
炭素および水素、質量%				99.5以上			D5291
非炭化水素組成							
窒素、mg/kg				2以下			D4629 / IP 379
水分、mg/kg				75以下			D6304, IP438
硫黄、mg/kg				15以下			D5453, D2622
金属、mg/kg Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li,*Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn				0.1以下 (各金属)			D7111, UOP 389
ハロゲン、mg/kg				1以下			D7359

*LiはAnnex A2, A6, A7では不要
(Annex A3, A4は製造計画がないため省略)

15

〈解説〉

- Other Detailed Requirements (その他の詳細要求事項) も各Annexでほぼ同内容となっていますが、細部に若干の違いがあります。

これらは、バッチ要求事項とはされておらず、あくまでその他の要求事項という体裁になっています。しかし、原則として製造バッチごとに試験を実施しなければならない場合が多いのが実情です。

赤字で表示した項目は既存ジェット燃料では要求されていなかった項目です。大部分が、ニートSAF特有の要求事項となっています。

3. ニートSAFの品質試験項目 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4 ニートSAF特有の試験項目

各Annexに設定された要求事項のうち、既存ジェット燃料には無く、ニートSAFに有る項目

Annex		A1	A2	A5	A6	A7	A8
燃料種類		FT-SPK	HEFA-SPK	ATJ-SPK	CHJ	HC-HEFA SPK	ATJ-SKA
Detailed Batch Requirements 詳細バッチ要求事項	Table	A1.1	A2.1	A5.1	A6.1	A7.1	A8.1
	蒸留傾斜 (T50-T10)				○		○
	蒸留傾斜 (T90-T10)	○	○	○	○	○	○
	ガスクロ蒸留	○	○	○	○	○	○
	FAME		○		○	○	
Other Detailed Requirements その他の詳細要求事項	Table	A1.2	A2.2	A5.2	A6.2	A7.2	A8.2
	炭化水素組成	○	○	○	○	○	○
	炭素および水素	○	○	○	○	○	○
	窒素	○	○	○	○	○	○
	水分	○	○	○	○	○	○
	金属	○	○	○	○	○	○
	ハロゲン	○	○	○	○	○	○

16

〈解説〉

- 各Annexに設定されたニートSAFの試験項目のうち、既存ジェット燃料には無く、ニートSAFに有る項目を抜き出すとこのようになります。
- この中には、既存ジェット燃料では実施しないものの石油製品試験としては珍しくないものから、ほぼニートSAFのみで実施する試験まで様々なものが含まれています。

次ページから、個々の試験について解説します。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4.1 蒸留傾斜 (T90-T10, T50-T10)

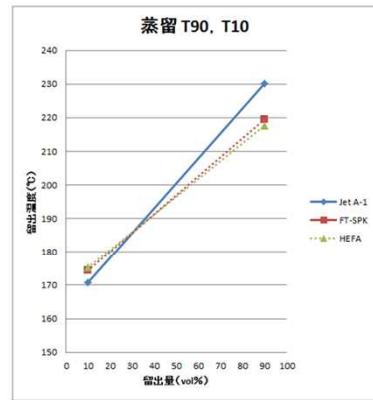
ジェット燃料は適切な揮発性をもつ必要があるため、蒸留範囲の規格が定められている。SAFの場合、製造方法によっては蒸留範囲が既存ジェット燃料より狭いことがある。

SAFの蒸留範囲を既存ジェット燃料になるべく類似させるために、品質規格で蒸留の温度傾斜T90-T10（90%留出温度と10%留出温度の差）を40°C以上とするよう規定されている。Annex A6 (CFJ) についてはT90-T10に加えてT50-T10も規定されている。

図は、SAFとJet A-1について、蒸留曲線を簡略化してT10およびT90のみ示したものである。この例では、Jet A-1と比較して、FT-SPK (Annex A1), ATJ (Annex A5) の蒸留傾斜がやや狭いことがわかる。ただし、品質規格を満たしているため問題は無い。

蒸留傾斜の規格値

項目	規格値	Jet A-1通常値
T50-T10 ※Annex A6, A8のみ	15°C以上	12~30°C
T90-T10	40°C以上	35~75°C



蒸留傾斜 SAFと Jet A-1の比較

留出温度のうちT90, T10のみ図示した。FT-SPK (Annex A1), HEFA-SPK (Annex A2) は、Jet A-1と比較して温度傾斜が緩い。ニートSAFとJet A-1を混合することにより、温度傾斜の違いは緩和される。

17

〈解説〉

● 蒸留傾斜 T90-T10, T50-T10

蒸留傾斜は蒸留試験での温度上昇の傾きを表すものであり、この数値が大きいことは燃料成分の沸点の幅が広いことを表します。既存ジェット燃料は原油由来の幅広い沸点範囲の成分で構成されます。一方、合成燃料であるニートSAFは、より狭い範囲の成分で構成され沸点の幅も狭い傾向があります。沸点の幅は燃料の燃焼特性に影響するため、既存ジェット燃料と極端に沸点が異なる燃料は好ましくありません。そこで、ニートSAFについては、沸点範囲が既存ジェット燃料と類似したものとなるように蒸留温度傾斜に関する規定が設けられています。

T90-T10 (90%留出温度と10%留出温度の差) は、Jet A-1では概ね35°C～75°Cです。ニートSAFのT90-T10は、Annex A1～A8で40°C以上と定められていますので、この規定を守る限り蒸留傾斜がJet A-1と大きく異なってしまうことは避けられます。

なお、T50-T10は、Annex A6およびA8でのみ要求されています。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1~A8

3.4.2 ガスクロ蒸留 Simulated distillation

ニートSAFについては通常の常圧蒸留（物理蒸留）に加えてガスクロ蒸留が必要である。

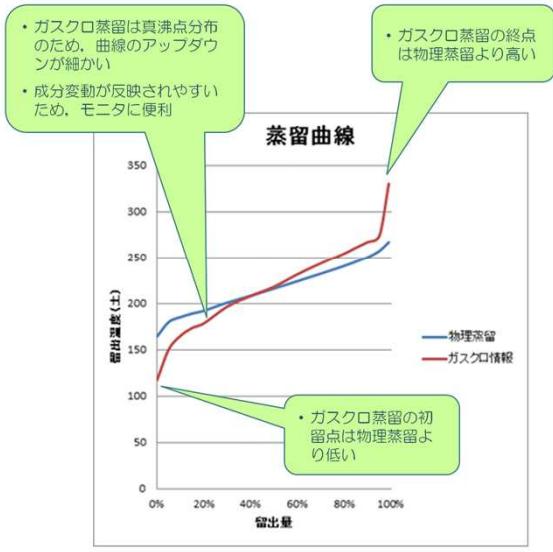
ガスクロ蒸留は、常圧蒸留とは異なり真沸点 (True Boiling Point) が得られる。常圧蒸留とは一致しないが、微妙な蒸留性状の変化を検出するのに有利である。ニートSAFのガスクロ蒸留は、蒸留性状の取得というより、製造モニタの目的で実施される。規格値は設定されていない。

※ガスクロ蒸留

ガスクロマトグラフィーで疑似的に蒸留データを求める手法である。前もって沸点が分かっている複数の標準物質を分析し、保持時間と沸点の関係を求めておくことにより、ガスクロ分析で得られたクロマトグラムを蒸留データに変換できる。

物理蒸留と比較すると、初留点はより低く、終点はより高いが、50%付近の温度は大きく違わない場合が多い。物理蒸留の代替法として使用する場合は、変換式で物理蒸留相当の値に補正する必要がある。

ただし、ニートSAFの場合は物理蒸留へ変換せずに報告することになっている。



ガスクロ蒸留と物理蒸留の比較

18

〈解説〉

● ガスクロ蒸留

ガスクロ蒸留は、ガスクロマトグラフィーを使用して模擬的に蒸留性状を求める試験です。これに対して、通常の蒸留試験は物理蒸留と呼ばれます。ガスクロ蒸留は、物理蒸留と比較して初留点がより低く、終点がより高くなるため、物理蒸留と同等に取り扱うことが出来ません。しかし、ガスクロ蒸留は、蒸留過程の細かい温度変化を捉えるのには適しているため、製造のモニター項目としては有効です。

ガスクロ蒸留の結果は常圧蒸留相当の結果に変換することも可能です。ガスクロ蒸留を常圧蒸留の代わりに用いる場合は、常圧変換後の結果を報告します。ただし、ASTM D7566の各Annexで要求されているニートSAFのガスクロ蒸留は常圧蒸留の代わりというより製造モニタとしての意味合いが大きいため、常圧変換しないで報告することになっています。

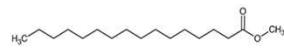
3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4.3 FAME (脂肪酸メチルエステル)

FAMEや脂肪酸、油脂等を原料とするニートSAF (Annex A2, A6, A7) についてはFAME濃度を測定しなければならない。

なお、FAMEは既存ジェット燃料 (Jet A-1) でも測定する場合があるが、これはサプライチェーンの過程でバイオディーゼル燃料が混入する可能性がある場合に限って必要とされる。

- 試験方法：IP 585 (GCMS法) または
IP590 (HPLC蒸発光散乱検出法)
- 規格値：5 mg/kg 未満



FAME分子の例
(実際はさまざまな分子の混合物である)

FAMEは、炭化水素ではなくエステル化合物であり、分子中にエステル結合をもつ。FAMEは軽油に数%混合して使用されている軽油代替燃料 (バイオディーゼル燃料) の一種である。

3.4.4 热安定度 (JFTOT) Thermal Stability

JFTOTは既存ジェット燃料 (Jet A-1) についても実施する試験であるが、必要に応じて試験温度が変更される。ニートSAFの場合はJet A-1より高い試験温度で実施しなければならない。値の評価や規格値はJet A-1と同様である。

- 試験方法：D3241 / IP 323
- 試験温度：325°C以上 (Jet A-1の場合は 260°C以上)
- 規格値：管堆積度<3 (孔雀模様や異常色相堆積物なし) , フィルタ差圧 25 mmHg 以下

19

〈解説〉

● FAME (脂肪酸メチルエステル)

Annex A2, A6, A7の燃料は油脂などの脂肪酸エステルや脂肪酸から製造されます。これらについては、原料であるエステル分が残留しているか確認する必要があるため、FAMEの含量を測定します。

FAMEは油脂や脂肪酸から製造されるバイオ燃料の一種であり、軽油の代替燃料として世界各国で使用されています。FAMEは燃料の流通の過程でジェット燃料に混入することがあるため、混入の可能性がある場合は分析で確認することが石連規格でも定められています。しかし、国内のジェット燃料はFAMEとの接触を避けて流通しているため、既存ジェット燃料では分析する必要がありませんでした。しかし、Annex A2, A6, A7ではFAME混入可能性の有無に限らずFAMEの測定が必要です。

● 热安定度 (JFTOT, 試験温度325°C以上)

熱安定度は、既存ジェット燃料でも要求されている試験項目です。この試験をニートSAFでも実施しますが、試験温度が既存ジェット燃料の温度 (260°C以上) より高い325°C以上に設定されているところが異なります。これは、より過酷な条件で試験することにより確実に安定性をチェックするためです。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4.5 炭化水素組成 Hydrocarbon composition

ジェット燃料を構成する炭化水素は、パラフィン、シクロパラフィン、芳香族である。既存ジェット燃料ではこれらが各々一定程度含まれている。組成は燃料の燃焼性や発熱量に関連している。

一方、SAFはほぼパラフィンのみで構成されており、芳香族、シクロパラフィンが殆ど含まれない傾向がある¹。ニートSAFを既存ジェット燃料と混合使用する理由の一つは、このようなSAF特有の炭化水素組成を、既存ジェット燃料のそれになるべく近づけることである。

ニートSAFの組成に関する規格値は、燃料の性質に応じて各々の標準的な範囲に設定されている。

炭化水素組成の規格値

ニートSAF種類		パラフィン	シクロパラフィン	芳香族
規格値	Annex A1, A5, A7 Annex A6	報告	15 質量%以下 報告	0.5 質量% 8.4～21.2 質量% (8～20 容量%)
参考：燃焼性の評価	最も望ましい燃焼特性の成分		パラフィンの次に望ましい成分	煤を生じるため燃焼上は望ましくないが、燃料漏れ防止のため一定以上は必要な成分



¹ Annex A6 のCFJはシクロパラフィンと芳香族を含み、既存ジェット燃料に類似している。

〈解説〉

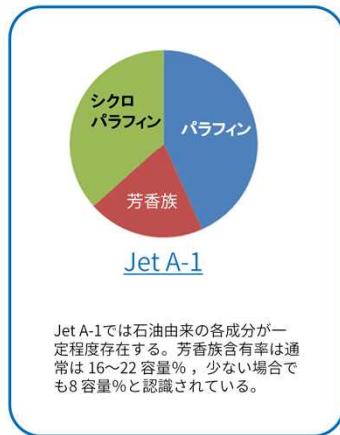
● 炭化水素組成（パラフィン、シクロパラフィン、芳香族）

炭化水素組成は、ニートSAFに特有の試験項目です。既存ジェット燃料は、パラフィン、シクロパラフィン、そして芳香族という3種類の炭化水素で構成されています。一方、ニートSAFの場合は成分の幅が狭く、多くの種類の燃料がほとんどパラフィンのみで構成されています。種類によっては芳香族が殆ど含まれないものもあります。製造が適切に行われたか確認するために、成分はニートSAFの種類に応じて標準的な範囲に収めるよう規定されています。

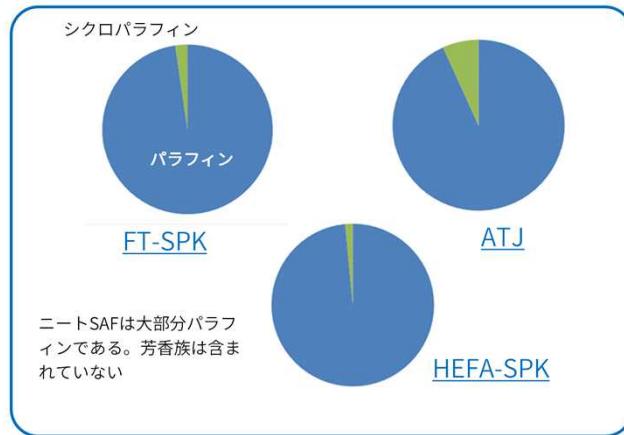
3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4.5.1 炭化水素組成 – Jet A-1とニートSAFの比較

- ニートSAFの種類ごとに組成は異なる。
- ニートSAFとJet A-1では組成が異なるが、混合することによりJet A-1との差異は小さくなる。



既存燃料の組成の例



ニートSAFの組成の例

21

〈解説〉

- 代表的なニートSAFであるFT-SPK, HEFA-SPK, ATJの炭化水素組成を、Jet A-1と比較してみましょう。
- これらのニートSAFは芳香族が含まれないことが明確に分かります。また、シクロパラフィンも多くはありません。
- ニートSAFは炭化水素組成が大きく異なっていますが、混合率の規定の上限を超えない範囲でJet A-1またはJet Aと混合することにより、既存ジェット燃料に近い組成となります。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1~A8

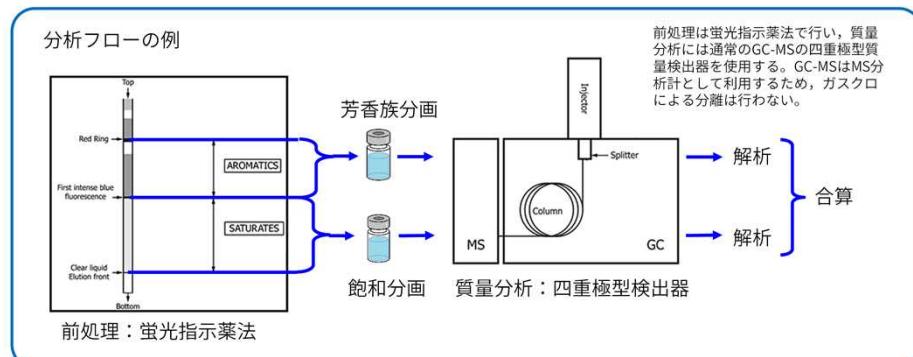
3.4.5.2 炭化水素組成 の試験方法

試験の概要

前処理で試料を飽和フラクションと芳香族フラクションに分離したのち、各々について質量スペクトルを測定する。質量スペクトルは、パラフィン、シクロパラフィン、芳香族の成分が混在したものになるが、計算によって各々の炭化水素グループの存在率を割出すことができる。二つのフラクションの炭化水素組成を合算し、試料全体の組成を求める。

前処理、質量分析共に複数の手法があり、任意に組み合わせて試験することが出来る。

- 前処理法：ASTM D1319 蛍光指示薬法，ASTM D2549 カラムクロマト法，ASTM D6379 HPLC法
- 質量分析：Procedure A 磁場型質量分析計，Procedure B 四重極型質量分析計



22

〈解説〉

- 炭化水素組成分析のでは質量分析という手法を用います。質量分析はガスクロ分析と組み合わせたガスクロマトグラフィー質量分析 (GC/MS)として広く行われている手法であり、物質の構成元素の質量を測定することにより成分特定を行うことが出来ます。
- ニートSAFの成分分析はASTM D2425という古い時代の試験方法であり、ガスクロ分析なしで質量分析を行う珍しい手法です。まず、試料を前処理して飽和分画と芳香族分画におおまかに分離します。飽和分画にはパラフィン、シクロパラフィンが、芳香族分画には芳香族が分画されますが、一部の成分は相互に交じり合っています。分画物を質量分析で分析し、データを解析することによりパラフィン、シクロパラフィン、芳香族の3成分に分け、組成を決定します。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4.6 炭素および水素 Carbon and Hydrogen

SAFの成分が炭化水素であることを元素分析で確認する。一般には、炭素、水素の同時測定が可能な自動分析計を使用する。

- ・ 試験方法：ASTM D5291
- ・ 規格値：炭素と水素の合計で99.5質量%以上

3.4.7 窒素分 Nitrogen

非炭化水素成分の有無を確認する試験である。既存ジェット燃料には窒素分は含まれないことが分かっているため通常は測定しないが、SAFについては測定が要求される。

試験方法である化学発光法は、石油製品一般的の試験方法である。

- ・ 試験方法：ASTM D4629, IP 379（化学発光法）
- ・ 規格値：2 mg/kg以下

3.4.8 水分 Water

非炭化水素成分の有無を確認する試験である。

- ・ 試験方法：D6304, IP438（カールフィッシャー電量滴定法）
- ・ 規格値：75 mg/kg以下

23

〈解説〉

● 炭素および水素

炭化水素組成分析の一環として、炭素と水素の濃度を測定します。SAFは炭化水素すなわち炭素と水素の化合物であるためほとんど炭素と水素のみで構成されている必要があります、これを確認するための分析です。

● 非炭化水素成分

不純物として炭素水素以外の成分が含まれていないか確認するための試験です。含窒素化合物の目安として窒素濃度を測定し、また水分濃度も測定します。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4.9 金属 Metals

燃料に含まれる微量金属は高温でタービン部品に腐食や堆積を引き起こす可能性がある。また微量レベルの銅は燃料を不安定性にし、酸化や不溶性堆積物の生成につながる可能性がある。

微量金属の含有量を確認することは、品質確保のみならず製造プロセスの診断のためにも重要である。

- 試験方法：ASTM D7111 (ICP発光分光法)
- 測定元素（22元素）
Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li*, Mg, Mn, Mo,
Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn (* LiはAnnex A2, A6, A7では不要)
- 規格値：各 0.1 mg/kg (0.1 ppm)



ICP発光分光分析装置

試料を灯油で希釈してICPに直接導入し、各元素を同時測定する。
内部標準として油溶性のイットリウム、コバルト、スカンジウム等の標準物質を使用する。

24

〈解説〉

● 金属

ニートSAFの製造設備からは微量金属が混入するかもしれません。そこで、20種類以上の微量元素を測定し、混入が無いことを確認します。微量金属の混入はそれ自体好ましくありませんが、金属をモニターすることにより製造プロセスが正常に稼働しているかチェックする意味合いもあります。

3. ニートSAFの品質規格 (ASTM D7566) Annex A1～A8

3.4.10 ハロゲン Halogen

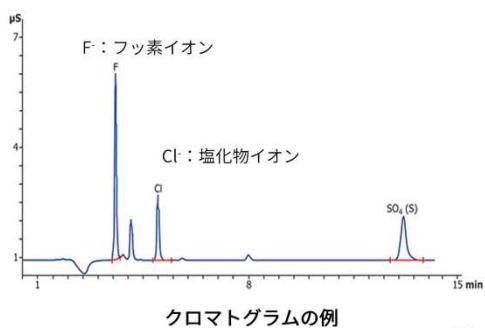
ハロゲンは通常の既存ジェット燃料には含まれないが、製造方法が異なるSAFの場合は必要である。ハロゲンの測定は、製造プロセスの監視として重要である。

試料を燃焼炉に中で酸化分解し、発生した燃焼ガスを水に吸収させる。これをイオンクロマトグラフに導入し、ハロゲンの陰イオンを定量する。

測定対象： フッ素 (F), 塩素 (Cl)

規格値： 合計で 1 mg/kg (1 ppm) 以下

試験方法： ASTM D7359 (燃焼イオンクロマトグラフィー)



25

〈解説〉

● ハロゲン

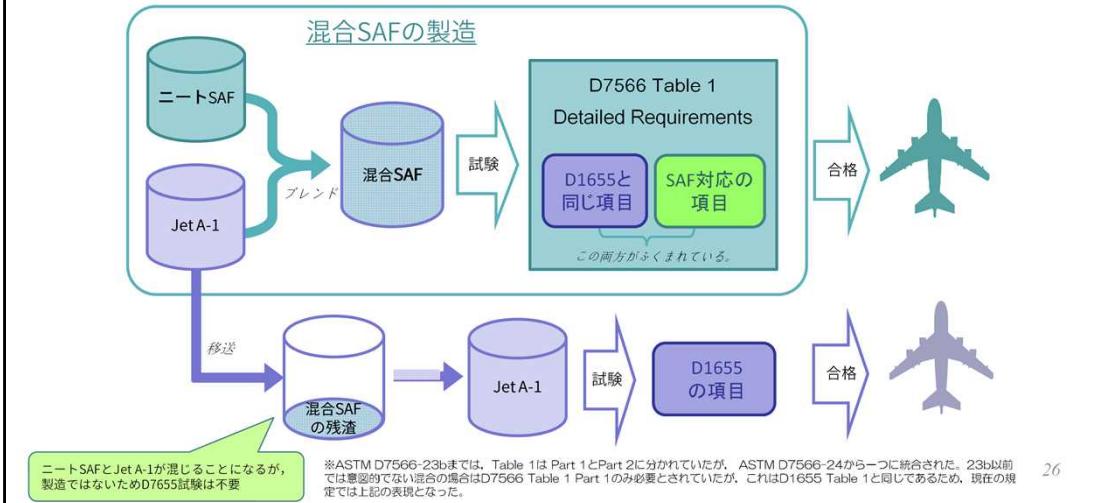
ハロゲンはフッ素や塩素といったハロゲン元素の総称ですが、ニートSAFの分析では事実上フッ素と塩素の合計値を意味します。測定には燃焼イオンクロマトグラフを使用します。前処理として燃料サンプルを高温の燃焼炉で燃焼させ、燃焼ガスを水に吸収させます。これをイオンクロマトグラフに注入し、溶解しているハロゲンイオン濃度を測定します。この分析も、製造プロセスのモニターとしての意味合いを持っています。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.1 ASTM D7566 Table 1の要求事項

ニートSAFはJet A-1等の既存ジェット燃料と混合して使用される。混合後のSAFの仕様はASTM D7566 Table 1に規定されている。D7566 Table 1は、既存ジェット燃料の規格であるASTM D1655のTable 1とほぼ同じだが、混合SAF対応に特化した要求事項が追加されている。混合SAFがD7566 Table 1の試験に合格した以降はASTM D1655適合燃料と同等と見做され、以後既存ジェット燃料と同様に取り扱うことができる。

Table 1の要求事項は、ニートSAFと既存ジェット燃料から混合SAFのバッチを製造する場合にのみ適用される。一方、Jet A-1がD7566合格燃料のタンク残油と意図せず混合されてしまうような場合には、D7566では無くD1655のTable 1の要求事項を適用する※。



〈解説〉

- ニートSAFは、ASTM D7566の該当するAnnexの品質試験に合格すると、Jet A-1等の既存ジェット燃料と混合した上で航空燃料として使用することが出来るようになります。
- ニートSAFを既存ジェット燃料と混合する際には、ニートSAFの混合率が規定の上限以下である必要があります。
- 混合後SAFの品質要求事項は、ASTM D7566本文のTable 1に規定されています。Table 1の要求事項を全て満たすことで、混合後SAFは既存ジェット燃料と同様に取り扱うことが可能となり、航空燃料として使用可能となります。
- なお、最新版D7566-24a*では、Table 1の要求事項は混合SAFを製造する目的でニートSAFと既存ジェット燃料を意図的に混合する場合にのみ適用することとされています。意図的でない混合、たとえば既存ジェット燃料が混合SAFのタンク内残油と混じってしまう場合は、混合SAFの製造ではないためD7566 Table 1ではなくD1655のTable 1の試験項目を適用します。

*2024年5月現在の最新版

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.2 Table 1 Detailed Requirements (詳細要求事項)

性状	項目	混合SAF特有の項目	
		ジェットAまたはジェットA-1	試験方法 (斜体はreferee method)
組成	酸価, mgKOH/g	0.10以下	D3242 / IP 354
	1. 芳香族, 容量% または 2. 芳香族, 容量%	8.8 ~ 25 8.4 ~ 26.5	D1319, IP156, D8305, D8305 D6379 / IP 436
	メルカブタン硫黄, 質量%	0.003以下	D3227 / IP 342
	硫黄分, 質量%	0.30以下	D1266, D2622, D4294, D5453, IP 336
揮発性	蒸留性状, °C :		
	10%留出温度 (T10), °C	205以下	
	50%留出温度 (T50), °C	報告	
	90%留出温度 (T90), °C	報告	
	終点, °C	300以下	D86, D2887 / IP 406, D7344, D7345, IP 123
	● T50-T10, °C	15以上	
	● T90-T10, °C	40以下	
	残油量, %	1.5以下	
	減失量, %	1.5以下	
	引火点, °C	38以上	D56, D3828, D7236, IP 170, IP 523, IP534
流動性	密度 (15°C), kg/m³	775~840	D1298 / IP 160, D4052, IP365
	析出点, °C	-40以下 (Jet A) -47以下 (Jet A-1)	D5972 / IP 435, D7153 / IP 529, D7154 / IP 528, D2386 / IP 16
	動粘度 -20°C, mm²/s	8.0以下	D445 / IP 71 Sección1, D7042, D7945
	● 動粘度 -40°C, mm²/s	12以下	D445 / IP 71 Sección1, D7042, D7945
潤滑性	▲ 潤滑性, mm	(Annex A2, A6, A7, A8混合, A5 30 vol%超混合の場合)	D5001
	真発熱量, MJ/kg	42.8以上	D4529, D3338, D4809, IP12
燃焼性	(1) 煙点, mm, または (2) 煙点, mm, および ナフタレン, 容量%	25.0以上 18.0以上 3.0以下	D1322 / IP 598 D1322 / IP 598 D1840, D8305
	銅板腐食, 100°C, 2時間	No.1以下	D130 / IP 154
熱安定度 (260°C以上 2.5時間)	フィルター差圧, mmHg	25以下	D3241 / IP 323
	管堆積度 (VTR) または 管堆積厚 (ITR, ETR, MWETR), mm	3未満, 孔雀模様や異常色相堆積物なし 85以下	D3241 / IP 323 Annex A1 D3241 / IP 323 Annex A2 (ITR), Annex A3 (ETR), Annex A4 (MWETR) D3821, IP 540
コンタミ物	美在ガム, mg / 100 mL	7以下	
	マイクロセバロメーター	85以上	D3948
	静電防止剤無添加試料 静電防止剤添加試料	70以上	D3948
添加剤	導電率, pS/m	静電防止剤添加で600以下 (納品時50~600)	D2624 / IP 274

27

〈解説〉

● Table 1 の要求事項

Table 1はジェット燃料としての基本的な品質要求事項であり、その内容は石油系の既存ジェット燃料の品質規格であるASTM D1655のTable 1と概ね同じですが、SAF特有の項目が追加されています。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.3 D7566とD1655の比較

性状	ASTM D7566	ASTM D1655
酸価, mgKOH/g	0.1以下	0.1以下
1. 芳香族 (蛍光指示薬法), 容量%	8~25	25
2. 芳香族 (HPLC), 容量%	8.4~26.5	26.5
メルカプタン硫黄, 質量%	0.003以下	0.003以下
硫黄分, 質量%	0.3以下	0.3以下
蒸留性状, °C :		
10%留出温度 (T10), °C	205以下	205以下
50%留出温度 (T50), °C	報告	報告
90%留出温度 (T90), °C	報告	報告
終点, °C	300以下	300以下
● T50-T10, °C	15以上	
● T90-T10, °C	40以下	
蒸留残留物, %	1.5以下	1.5以下
蒸留損失, %	1.5以下	1.5以下
引火点, °C	38以上	38以上
密度 (15°C), kg/m ³	775~840	775~840
析出点, °C	-47以下 (Jet A-1)	-47以下 (Jet A-1)
動粘度 -20°C, mm ² /s	8.0以下	8.0以下
● 動粘度 -40°C, mm ² /s ※1	12以下 ※1	
▲ 潤滑性		
真発熱量, MJ/kg	42.8以上	42.8以上
(1) 煙点, mm, または (2) 煙点, mm, および ナフタレン, 容量%	25.0以上 18.0以上 3.0以下	25.0以上 18.0以上 3.0以下
銅板腐食, 100°C, 2時間	1以下	1以下
熱安定度 (260°C以上2.5時間)		
フィルター差圧, mmHg	25以下	25以下
管堆積度 (VTR) または 管堆積厚 (TR, ETR, MWETR)	3未満, 孔雀模様や異常色堆積物なし 85以下	3未満, 孔雀模様や異常色堆積物なし 85以下
実在ガム, mg / 100 ml	7以下	7以下
マイクロセパロメーター		
静電防止剤無添加試料	85以上	85以上
静電防止剤添加試料	70以上	70以上
導電率, pS/m	600以下 (納品時50~600)	600以下 (納品時50~600)

※1 要求事項は混合するニートSAFの種類・混合率のよって異なる。→4.4.5参照

28

〈解説〉

- D7566とD1655は●および▲の項目以外の部分は同一。（●は混合SAF特有の要求事項。▲はDef Stan. 石連規格では混合SAF等の合成基材を含む燃料について必須とされる項目）

- および▲の項目は、D7566-23a以前の版におけるTable 1 part 2の項目に相当。

7566-24以降はpart 1とpart 2の区別がなく一つの表に統一された。
旧part 2項目が不要の場合にはD1655のTable 1を適用することになった。

- 芳香族：上限だけでなく下限も規定されています。
- T50-T10, T90-T10：蒸留の温度傾斜を規定しています。
- 動粘度：-20°Cにおける測定値だけでなく，-40°Cにおける測定も必要です。
- 潤滑性：D1655にもある試験ですが、既存ジェット燃料では通常必要ありません。しかし、混合SAFの場合は、Annex A1とAnnex A4以外のニートSAFを混合した場合においては必須の試験です。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.4 ASTMD7566 Table 1 とDEF STANの違い

ASTM D7566 Table 1は概ね従来ジェット燃料規格ASTM D1655と同じ内容。ただし、DEF STAN・石連規格の一部の試験項目が含まれていない。

ASTM D7566 Table 1 – Detail Requirement		ASTM D7566 Table 1に無く 石連規格・DEF STAN 91-091 Table 1 にある項目	
性状	規格値	性状	Jet A-1 規格値
酸価, mgKOH/g	0.1以下 (DEFSTAN, 石連では0.015以下)	外観	清澄 Clear, bright and visually free from solid matter and undissolved water at ambient fuel temperature
1. 芳香族（蛍光指示薬法）, 容量%	8~25	色（セーポルト）	報告
2. 芳香族（HPLC）, 容量%	8.4~26.5	微粒きょう雜物（重量法）, mg/L	1.0以下
メルカブタン硫黄, 質量%	0.003以下	または 微粒きょう雜物（粒度分布）	
硫黄分, 質量%	0.3以下	$\geq 4 \mu\text{m} (\text{c})$	報告
蒸留性状, °C :		$\geq 6 \mu\text{m} (\text{c})$	報告
10%留出温度 (T10), °C	205以下	$\geq 14 \mu\text{m} (\text{c})$	報告
50%留出温度 (T50), °C	報告	$\geq 21 \mu\text{m} (\text{c})$	報告
90%留出温度 (T90), °C	報告	$\geq 25 \mu\text{m} (\text{c})$	報告
終点, °C	300以下	$\geq 30 \mu\text{m} (\text{c})$	報告
● T50-T10, °C	15以上		
● T90-T10, °C	40以下		
蒸留残留物, %	1.5以下		
蒸留損失, %	1.5以下		
引火点, °C	38以上		
密度 (15°C), kg/m³	775~840		
析出点, °C	-40以下 (Jet A) -47以下 (Jet A-1)		
動粘度 -20°C, mm²/s	8.0以下		
● 動粘度 -40°C, mm²/s ※1	12以下 ※1		
● 清済性, mm ※2	0.85以下		
真発熱量, MJ/kg	42.8以上		
(1) 煙点, mm, または (2) 煙点, mm, および	25.0以上 18.0以上		
ナフタレン, 容量%	3.0以下		
鋼板腐食, 100°C, 2時間	1以下		
熱安定度 (260°C以上2.5時間)			
フィルター差圧, mmHg	25以下		
管堆積度 (VTR) または 管堆積厚 (TR, ETR, MWETR)	3未満, 孔雀模様や異常色相堆積物なし 85以下		
裏在ガム, mg / 100 mL	7以下		
マイクロゼロメーター			
静電防止剤無添加試料	85以上		
静電防止剤添加試料	70以上		
導電率, pS/m	600以下 (納品時50~600)		

- D7566 Table 1(part 1)には石連規格・DEF STANにあるこれらの項目が含まれない。
- D1655はDef Stanは石連規格の上位規格であるため、D1655を満たせば国内使用可能である。
- 石連規格・DEF STANへの適合を特に確認する必要があれば、これらの項目を追加実施。

- D7566 Table 1は24年版からpart 1とpart 2の両方を包含。
- D7566 Table 1は、D1655 Table 1とは同内容だが、●の項目はD1655 Table 1に無い項目

※1 要求事項は混合するニートSAFの種類・混合率によって異なる。→4.5.5参照
※2 Def stan. 石連規格では、従来ジェット燃料100%についても高濃度に水素化された燃料を20%以上含み非水素化燃料が5%未満の燃料では清済性試験が必要されているが、該当する燃料の国内製造が無く、事实上不要であった。

29

〈解説〉

- D7566 Table 1には、既存ジェット燃料の規格であるASTM D1656の項目は全て含まれています（一部、D1655に無い項目が含まれています。）
- 一方、既存ジェット燃料の規格としてはD1655の他にDef Stan 91-091があり、日本国内ではDef Stanを基にした石油連盟の規格（いわゆる石連規格）が使用されています。Def Stanと石連規格の内容は同一ですが、これらに含まれる要求項目のうち右の表に示された項目は、ASTM D7566とASTM D1655にはありません。
- ASTM 7566 (D1655) の基準に合格した燃料をDef Stan 91-091あるいは石連規格に合格させるためには、足りない試験を追加実施することになります。

ただし、混合後SAFにおいてはASTM D7566が石連規格の上位規格と位置付けられているため、ASTM D7566に合格していれば国内使用時に石連規格に合格することは必須ではありません。海外でも航空燃料はASTM D1655あるいはDef Stan 91-091の何れかに合格することで充分であるとされています。したがって、混合SAFはD7566に合格していれば使用することが可能です。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.5 混合SAF特有の試験項目

Table 1 の要求項目のうち、混合SAF特有の試験※あるいは混合にあたって注意を要するものについて解説する。

Table 1 の要注意項目

要注意項目	D7566特有の要求項目※	注意点	規格外とならないための対応
密度（下限値）			
芳香族（下限値）	●	混合率によっては混合後の値が規格外となることがある —〃—	ニートSAF混合率を下げる
蒸留傾斜(T90-T10) 蒸留傾斜(T50-T10)	●		
潤滑性(BOCLE)	●	ニートSAFは合成炭化水素であるため、混合後の潤滑性試験が必要	ニートSAF混合率を下げる もしくは潤滑性向上剤添加
動粘度(-40°C)	●	実施の要否はニートSAFの種類による。 A2, A6, A7, A8 → 必要 A5 → 30%超混合の場合に必要 A1, A4 → 不要	ニートSAF混合率を下げる

→ 詳細は次ページ以降参照

※D1655ではなく、D7566で要求される項目を便宜上混合SAF特有（D7566特有）の項目とした。

30

〈解説〉

- Table 1 の要求項目のうち、混合SAF特有の試験や混合にあたっての注意点について解説します。
- たとえば、密度や芳香族の下限値ですが、Annex A1やA2のニートSAFは低密度で芳香族を含みません。このため許容される混合上限（50%）まで混合すると混合SAFの密度や芳香族の下限値がTable 1の要求を満たさない場合があり得ます。この場合、混合率を下げる必要があります。
- その他に、蒸留傾斜 T90-T10（90%留出温度と10%留出温度の差）、あるいは蒸留傾斜 T50-T10（同、50%と10%の差）、潤滑性、-40°Cにおける動粘度が要求されます。何れもニートSAFの性状が既存ジェット燃料と異なるために試験で確認する必要がある項目です。

⇒ 次ページ以降で個々の項目について解説します。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.5.1 密度 Density

ジェット燃料の密度には上限と下限が設定されている。密度が低すぎると燃料のエネルギー密度が低くなり、限られたタンク容量では十分なエネルギーが得られない。

Annex A1やA2をはじめとする多くの種類のニートSAFは芳香族を含まないため、既存ジェット燃料より密度が低い傾向がある。このため、単独ではジェット燃料としての密度の下限値を満たさない。これらのニートSAFをJet A-1と混合する際は、混合SAFの密度が規格下限を下回らないよう注意する必要があります。場合によっては上限である50%まで混合できない場合がある。

例1

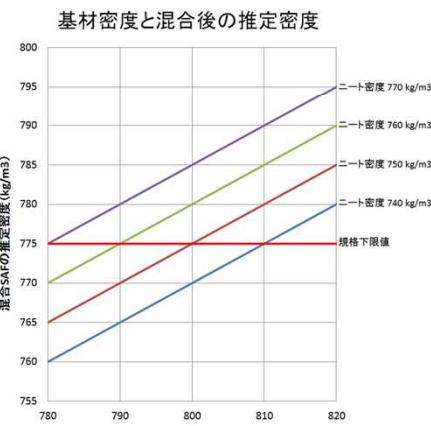
ニートSAF密度が 740 kg/m^3 の場合、
SAF50%混合で規格値(775.0 kg/m^3)
を満たすためには、Jet A-1の密度は何
 kg/m^3 以上でなければならないか？

回答： 810 kg/m^3 以上必要

例2

ニートSAF密度が 740 kg/m^3 、
Jet A-1密度が 790 kg/m^3 の場合、
混合後に規格値(775.0 kg/m^3)
を満たすためには、ニートSAFは何
%まで混合できるか？

回答：30.0容量%まで



混合SAFの推定密度 (kg/m^3)

Jet A-1の密度 (kg/m^3)

規格下限値

31

〈解説〉

● 密度

ジェット燃料の密度には上限と下限が設定されています。密度が低すぎると燃料のエネルギー密度が低くなり、限られたタンク容量では十分なエネルギーが得られません。

Annex A1,A2,A5等の一般的なニートSAFは芳香族を含まないため、既存ジェット燃料より密度が低い傾向があります。このため、ニートSAF単独ではジェット燃料としての密度の下限値を満たさないことがあります。これらのニートSAFを既存ジェット燃料と混合する際は、混合後に密度が下限値を下回らないよう注意する必要があります。混合前に場合によっては上限である50%まで混合できない場合があります。

例1：ニートSAFの密度が 740.0 kg/m^3 の場合、上限50%まで混合したときに混合後の密度の下限値である 775.0 kg/m^3 を下回らないためには、Jet A-1の密度は 810.0 kg/m^3 以上である必要があります。

例2：ニートSAFの密度が 740.0 kg/m^3 であり、Jet A-1の密度が 790.0 kg/m^3 を下回っている場合、ニートSAFは何%まで混合することが出来るでしょうか。この場合、混合後の密度の下限値 775.0 kg/m^3 を下回らないためには、ニートSAFは30.0容量%までしか混合できないことになります。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.5.2 芳香族（下限値） Aromatics

芳香族炭化水素は燃焼性が良くないため、通常は品質規格で上限を定めている。

しかし、芳香族が少なすぎると老化したエラストマーシール材が収縮し燃料漏れの恐れがある。
多くの種類のニートSAFは芳香族をほとんど含まないため、混合SAFの芳香族が規定の下限値を下回らないように混合率を決める必要がある。

- 試験方法
Part 1 の芳香族試験の結果を下限値と照合する。新たな試験は不要である。

- 規格値
規格値は試験方法によって異なる。

8 容量%以上 蛍光指示薬法 (D1319)
8.4 容量%以上 HPLC法 (D6379)

- 参考
Jet A-1の芳香族含有率は通常は 16~22 容量%，少ない場合でも8 容量%である。
芳香族含有率には加成性が成り立つため、混合SAFの芳香族（容量%）は計算である程度予測することができる。例えば、JetA-1に芳香族が 16 容量%以上含まれれば、芳香族0%のニートSAFを50%混合しても、混合SAFの芳香族は8 容量%以上と予想される。
品質確定のためには、予想値ではなく実際の測定結果が必要である。

芳香族 規格値	試験方法	
	ASTM D1319	ASTM D6379
上限 (Part 1)	25 容量%	26.5 容量%
下限 (Part 2)	8 容量%	8.4 容量%

32

〈解説〉

● 芳香族下限値

芳香族炭化水素は燃焼性が良くないため、燃料の品質規格では上限を定めているのが普通です。

一方で、芳香族が少なすぎるものの問題であり、老化したエラストマーシールが収縮し燃料漏れの恐れがあります。とはいえ、石油系の燃料については原油由来の芳香族が必ず含まれるため、芳香族が少な過ぎることを心配する必要はありませんでした。

しかし、ニートSAFは芳香族をほとんど含まないものが多いため、混合率によっては混合後SAFの芳香族が極端に少なくなることがあります。このため、混合SAFの芳香族については上限だけでなく下限が規定されています。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.5.3 蒸留傾斜 (T90-T10, T50-T10)

混合SAFの場合、通常の蒸留試験の要求事項（初留点、10%留出温度等）だけでなく、蒸留温度傾斜も報告する。報告する項目は、T90-T10（90%留出温度と10%留出温度の差）およびT50-T10（50%留出温度と10%留出温度の差）である。この項目はニートSAFでも要求されている。

既存ジェット燃料は幅広い蒸留範囲を持ち、これによりエンジン内での燃焼時の良好な混合と霧化が保障されている。一方、一部のニートSAFでは蒸留範囲がより狭い場合があるが、混合SAFの段階では既存ジェット燃料と同様の幅広い蒸留範囲を有することが重要である。

蒸留性状は線形ブレンド（加重平均が成り立つブレンド）ではないため、ニートSAFとJet A-1の蒸留性状から蒸留温度傾斜を完全に推定することは出来ない。

蒸留傾斜の規格値（ニートSAFと同様の設定）

項目	規格値	Jet A-1通常値
T50-T10	15°C以上	12~30°C
T90-T10	40°C以上	35~75°C

33

〈解説〉

● 蒸留傾斜

蒸留試験では、燃料の沸点範囲の目安として10%留出温度、50%留出温度、90%留出温度など留出量に応じた温度を測定します。留出量に応じて留出温度が変化する度合いが蒸留傾斜です。

既存ジェット燃料は幅広い蒸留範囲を持ち、適切に蒸発した空気と混合することにより適切な燃焼が実現します。幅広い沸点範囲を持つということは、蒸留の温度傾斜が大きいことを意味します。一方で、一部のニートSAFでは成分の沸点範囲が狭く、蒸留の温度傾斜が小さい場合があります。蒸留の温度傾斜が小さすぎると燃焼に影響が出る可能性がありますので、なるべく既存ジェット燃料と同程度であることが望ましいと言えます。

このため、蒸留傾斜として、T90-T10すなわち90%留出温度と10%留出温度の差が要求されています。また、Annex A6の燃料についてはT50-T10すなわち50%留出温度と10%留出温度も要求されます。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.5.4 潤滑性試験（BOCLE）

ジェット燃料は、それ自体が飛行機の燃料システムを潤滑するため、良好な潤滑性が要求される。石油系ジェット燃料の場合、原油由来の微量な極性物質が潤滑性を担っており特別な場合を除き潤滑性を確認する必要はなかった。¹

しかし、合成燃料であるニートSAFには極性の潤滑物質は含まれていないため、混合SAFの段階で潤滑性を確認することになっている。

現代の航空機は低潤滑性の燃料でも使用できるが、一部の古い機種はそうではないため、試験が要求される。

試験にはBOCLE（Ball on Cylinder Lubricity Evaluator）という試験器を使用する。

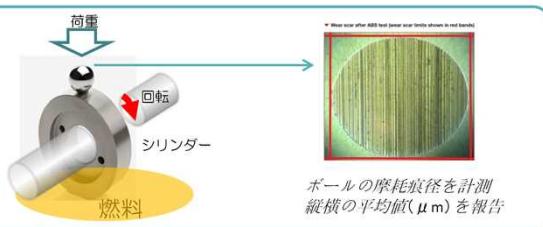


試験器(BOCLE)
試験方法：ASTM D5001

潤滑性試験の仕組み

金属のボールとシリンダーの間にサンプルの油膜を作り、シリンダーを回転させて、一定時間運転することによりボール上に摩耗痕を付ける。

その後、摩耗痕径を顕微鏡で計測する。痕径が小さいほど、潤滑性が良いと判断される。



*1 既存ジェット燃料についても必要な場合は潤滑性を試験する必要がある。DEF STAN・石連規格では、高濃度水素化処理基材が20%を超える、非水素化燃料が5%未満の場合は、潤滑性試験が要求されているが、国内製造のJetA-1はこれに該当しない。なお、DEF STAN・石連規格では合成燃料を含む場合は潤滑性試験が必要である（SAFはこれに該当する）。潤滑性試験の要求事項は、旧式の燃料ポンプを想定している。

34

〈解説〉

● 潤滑性試験ボーグル

航空機の燃料システムはジェット燃料自体によって潤滑されているため、燃料は良好な潤滑性を有している必要があります。既存ジェット燃料は、原油由来の天然潤滑成分が含まれているため、特別な場合を除き潤滑性が問題になることはありませんでした。

しかし、合成燃料には原油由来の潤滑成分が含まれていないため、潤滑性は既存ジェット燃料より劣ると考えられます。このため、Def Stanや石連規格では合成成分を含むジェット燃料については潤滑性試験が必要とされており、ニートSAFを含む燃料も同様です。

試験には、Ball on Cylinder 潤滑性評価器、通称BOCLE（ボーグル）という試験器を使用します。これは、金属製のシリンダーの上に金属のボールを置いて荷重をかけ、シリンダーを回転させたときにボールの表面に付く傷の大きさを測定するという装置です。傷が小さいほど潤滑が良いと評価します。

現代の航空機は潤滑性が十分でない燃料でも使用できますが、一部の古い機種はそうではないため、この試験が要求されています。

なお、潤滑性試験はAnnex A1の燃料あるいはAnnex A4の燃料を混合した混合SAFの場合は必要ありません。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.5.5 動粘度（−40°C） Viscosity minus 40°C

一部の航空機では、燃料の動粘度上限は12 mm²/sとされています。しかし、燃料の析出点近く^{※1}の低温に冷却された場合、燃料によっては動粘度が12 mm²/sを超える可能性がある。（※1 析出点の規格上限値は−47°Cであり、通常の製品では−50°Cを下回っている。）

現代の航空機には燃料を加熱して粘度を下げる機能があり、低温で燃料が流動性を保つことが出来るが、一部の航空機にはその機能が無い。

既存ジェット燃料の場合、動粘度は−20°Cで確認することでより低温での動粘度も予測可能と考えられていた。しかし、SAFの場合は従来同様に動粘度の挙動を予測できない可能性があるため、−40°Cで実際に測定する必要がある。

SAFによっては、許容上限まで混合すると混合SAFの−40°Cにおける動粘度が規格値を超えることも有り得る。その場合は混合率を下げる必要がある。混合による動粘度の変化は非線形（加重平均が成り立たない）である点に注意する必要がある。

混合後SAFの動粘度の要求事項 ^{※2}		※2 要求は混合するニートSAFの種類・混合率により異なる。						
		混合するニートSAFの種類(Annex No.) ^{※3}						
		A1 FT-SPK	A2 HEFA-SPK	A5 ATJ		A6 CHJ	A7 HC-HEFA SPK	A8 ATJ-SKA
動粘度規格値, mm ² /s	@−20°C	8.0 以下						
	@−40°C	実施不要	12 以下	実施不要	12 以下	12 以下		
ニートSAF混合上限の規定		50 vol%				10 vol%	50 vol%	

※3 Annex A3, Annex A4は省略。

35

〈解説〉

● 動粘度（−40°C）

一部の航空機では、燃料の動粘度上限は12 mm²/sとされています。燃料が低温になると、動粘度が上昇していきます。燃料によっては、析出点近くの低温に冷却された場合、動粘度が上限を超える可能性があります。

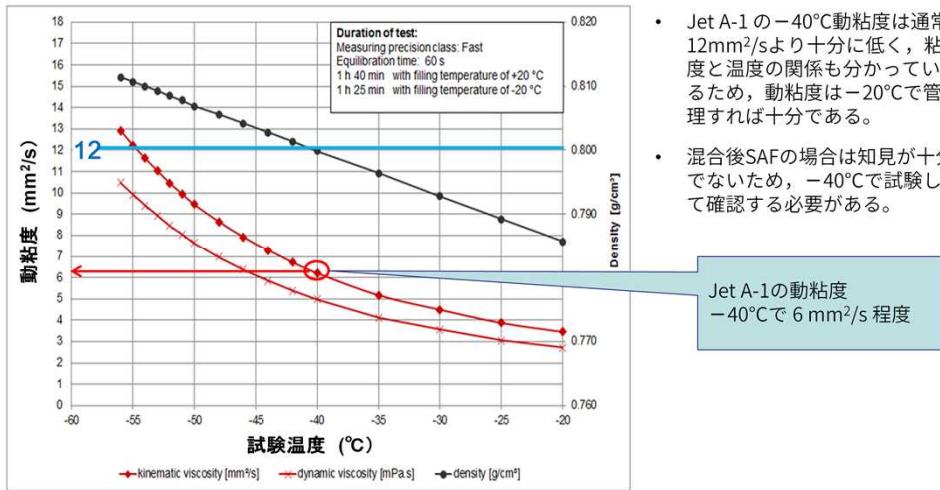
現代の航空機には低温でも燃料を加熱することによって粘度を下げる機能がありますが、一部の航空機にはその機能が無いため、低温動粘度の確認が必要です。

既存ジェット燃料については動粘度を−20°Cで測定します。温度と動粘度の関係は分かっているため、−20°Cで動粘度を測定しておけば、さらに低温になったとしても動粘度がどの程度上昇するか推定することができます。しかし、SAFの場合は既存ジェット燃料と同様の推定ができるとは限らないため、−20°Cより低い温度での動粘度は実際に測定して確認する必要があります。このため−40°Cでの動粘度測定が要求されています。

混合後SAFの−40°Cにおける動粘度は、混合するニートSAFの影響を受けるため、ニートSAFの種類によっては混合率の上限（50%）まで混合するとTable 1の動粘度上限を超えることもあります。この場合、上限の規定に関わらず、混合率を下げて動粘度が規定に収まるようにしなければなりません。なお、混合による動粘度の変化は非線形、すなわち加重平均が成り立たないため、混合後の動粘度を基材の動粘度の平均値で推定することはできません。

4. 混合SAFの品質規格：ASTM D7566 Table 1

4.5.5.1 動粘度の温度依存性



参考図: Jet A-1の動粘度と密度の温度による変化

出典: [Viscosity of Aviation fuel and jet fuel – viscosity table and viscosity chart :: Anton Paar Wiki \(anton-paar.com\)](#)

36

〈解説〉

- このグラフは、Jet A-1 の -40°C 動粘度の温度変化の例を表しています。動粘度は温度に比例してはおらず、低温になるほど粘性が増す程度も強まります。

この例では、 -40°C における動粘度は、 $6 \text{ mm}^2/\text{s}$ 毎秒程度であり、上限である $12 \text{ mm}^2/\text{s}$ を十分に下回っています。

しかし、SAFを混合した場合は必ずしもこのようになるとは限らないため、 -40°C における動粘度を測定することが求められています。

5. 関連規格等

●SAF（合成燃料）に関する規定			
	規格番号/名称/内容	発行元	発行年
EI 1533	半合成ジェット燃料および合成混合成分(SBC)の品質保証要件 EI/JIG 規格 1530 の補足文書	Energy Institute	2022年11月 初版
ASTM D7566	合成炭化水素を含む航空タービン燃料の標準仕様	ASTM international	2024年4月 (-24a)
ASTM D4054	新しい航空タービン燃料および燃料添加剤の評価のための標準的なプラクティス	ASTM international	2023年5月 (-23)
	持続可能な代替航空燃料（SAF）の取扱い要領	石油連盟	2024年5月 第2版

●航空燃料全般に関する規定			
	規格番号/名称/内容	発行元	発行年
Defence Standard 91-091	Jet A-1の英国国防省による品質規格	英国国防省	2022年3月 第14版
ASTM D1655	ジェット燃料のASTM品質規格	ASTM international	2024年3月 (-24)
JIG 広報 Bulletin No. 144	AFQRJOSジョイントチェックリスト 第33版	JIG	2022.4 第33版
JIG広報 Bulletin No. 149	AFQRJOSジョイントチェックリスト 第34版	JIG	2024年1月 第34版
EI/JIG 1530	Quality assurance requirements for the manufacture, storage and distribution of aviation fuel to airports	Energy Institute	2019年5月 第2版
	共同利用貯油施設向け統一規格	石油連盟	2022年11月 第33版
	ジェット燃料取扱基準に関する指針（石連指針）	石油連盟	2023年1月 第13版

※一部を2024年5月時点の情報に更新した。

37

〈解説〉

- これまでご説明してきた内容は、SAFに関する各種規定でも確認できます。主だった規定には、EI 1533, ASTM D7566があります。また、新種のニートSAFをASTM登録するための手順は、ASTM D4054に記載されています。
- SAFも航空燃料の一部である以上、航空燃料全般に関する既存の範囲内で管理・運用される必要があります。SAFに関わる皆様、あるいはこれからSAFの開発や運用を検討される方々に置かれましては、これら既存のジェット燃料に関する規定もご参照いただければと思います。