

要旨

日本は、2050年までに温室効果ガスの排出量実質ゼロ（ネットゼロ）を達成すると表明しており、航空業界の脱炭素化達成に向けて2030年までに持続可能な航空燃料（SAF）の使用比率を10%にするという目標を掲げています。本レポートは、日本においてSAFエコシステムを構築し、この目標を達成するために必要な原料、技術、政策について分析しました。

1 主要調査結果の概要

- **航空産業は、日本の経済・社会の繁栄における重要な柱の1つです。** 航空産業によるGDPへの年間寄与額は1,180億ドルに及び、30万1,000人の直接雇用を創出しています¹。航空輸送は地域社会間の架け橋となり、物資や人の移動を担い、投資や経済を支えています。国際航空運送協会（IATA）は、日本の航空輸送が今後20年間で47%成長し、GDPへの寄与額が1,730億ドル増加すると予測していますが、航空輸送の増加に伴い、温室効果ガス（GHG）の排出を削減する対策が求められています。
- **航空機による排出量を削減するために、SAFは極めて重要な役割を担っています。** IATAは、2050年までに航空業界のネットゼロ実現に向けて必要とされるCO₂排出削減量のうち、65%がSAFによる削減と推定しています²。SAFは農業残渣や廃棄物などの原料から製造されるドロップイン燃料であり、既存の航空機エンジンを改良することなく使用できます。
- **SAFの国内生産はエネルギー安全保障の改善につながる一方、国内原料は他用途でも利用することで日本に経済的利益をもたらす可能性があります。** 日本は世界第5位の石油消費国であり、2022年時点で需要の88%を輸入に頼っています³。液化天然ガス（LNG）や原油はタンカー輸送に依存しており、不可抗力による事態が発生した場合には脆弱です。大半のSAF生産施設では、再生可能ディーゼル（RD）やナフサも生産されるため、多くの産業にわたる脱炭素とエネルギー安全保障を支えることとなります。
- **日本は国内での専門知識や実績を通じ、先進的なSAF技術に係るリスクを軽減し、技術をグローバルに輸出できます。** 「ATAG Waypoint 2050」調査によると、世界で十分なSAF生産能力の構築に必要な投資額は1.1～1.5兆ドルと見積もられています。日本は有数のハイテク輸出国として、国内の専門知識を活用して先進的なSAF施設の初期リスクを軽減し、日本企業が開発した技術を世界市場に輸出する支援を行うことができます。
- **日本は、2030年のジェット燃料需要の10%をSAF（171万キロリットルまたは4億5,100万ガロン）に置き換えることを目標に、2024年半ばまでに規制を導入する計画を立てています。** これは、2050年のカーボンニュートラル達成を踏まえた日本のグリーン成長戦略に沿っており、航空業界によるCO₂排出を大幅に改善する可能性を秘めています。
- **本レポートでは、日本でSAF産業が発展するための原料、技術、政策を分析しました。** 日本でSAF供給を確立するためには、(1) 国内原料、(2) 輸入燃料、(3) 輸入原料の3点を検討する必要があります。この分析をもとに、日本でSAFエコシステムを確立するための可能性を紹介します。

¹ iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/japan--value-of-aviation/

² [IATA - Sustainable Aviation Fuel \(SAF\)](#)

³ [Country Analysis Brief: Japan \(eia.gov\)](#)

- **この分析では、国内原料の極めて高い入手性が示されました。**2050年までに1,100万キロリットル（29億600万ガロン）分のSAFを国内原料で生産できると見込まれています。また、SAFと並行して、副産物として460万キロリットル（12億1,500万ガロン）の再生可能ディーゼルやナフサも生産されます。
- **しかし、日本における生産能力の限界により、2030年までは国内原料由来のSAF生産能力は制限されます。**都市廃棄物（MSW：Municipal Solid Waste）や再生可能エネルギーなど、日本にとって最大の機会となる原料の利用は複雑であり、新たなサプライチェーンや技術、施設が必要となります。これらの開発により、中長期的に国産原料への移行が可能となる一方、短期的にはSAFやエタノールのような精製が容易なバイオ中間体の輸入に依存することになるでしょう。
- **政策による支援が極めて重要です。**SAF施設のコストやリスクを考慮すると、民間資本を呼び込むために一貫した政策的数値が必要です。詳細（2030年前後の水準、持続可能性、不適合時の罰則金）を明確に示しつつ10%利用目標の達成を支援することで、投資が促進され、国内航空会社と海外航空会社の競争条件が平等になります。
- **グローバル市場で国内航空会社が不利にならないよう、政策によって公正な支援を徹底しなければなりません。**航空燃料の価格差により航空会社の業績や市場競争に悪影響が及び、運賃上昇を招く恐れがあります。その結果、地域の接続性や事業競争力が低下する可能性があります。コスト削減の仕組み導入並びに国内及び海外航空会社を政策の対象とせずSAF利用目標を義務化すると、航空会社がSAFに対する価格プレミアムを負担することになり、乗り継ぎ旅客や関連収益に影響を及ぼすリスクが生じます。

2 日本におけるSAFエコシステムの形成

日本におけるSAFエコシステムの形成を導く既存の政策と規制の枠組みとは？

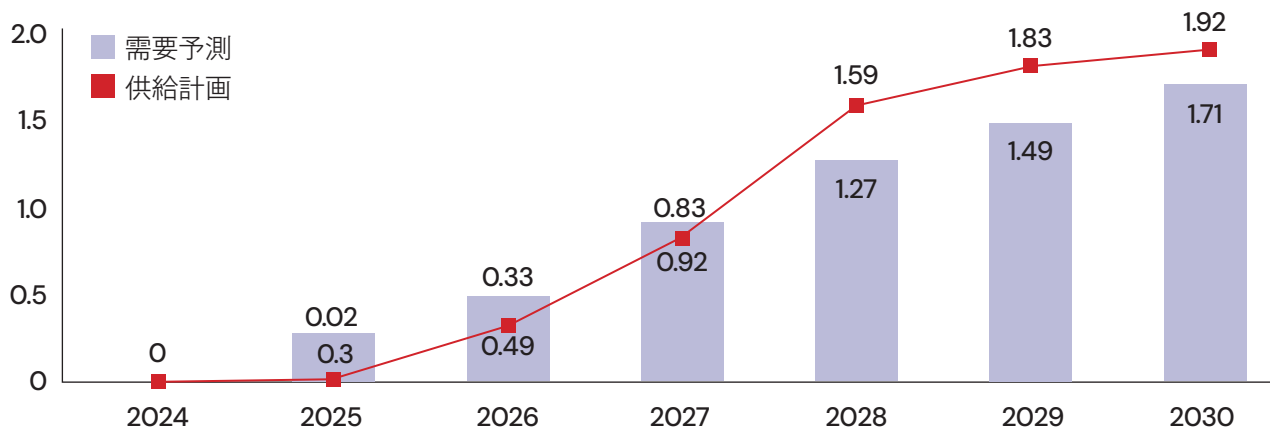
2020年10月、日本政府は2050年までにカーボンニュートラルを実現することを表明し、2030年度までに温室効果ガス（GHG）排出量を2013年度比で46%削減することを中間目標としました。こうした目標の支援に向けて、経済産業省は「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」⁴を策定しました。日本の航空産業からの排出量削減に向けたSAF利用は、この戦略の不可欠な要素です。

2022年4月、経済産業省と国土交通省は共同で、信頼性の高いSAFの国産化を促進する官民パートナーシップを立ち上げ、2022年10月、国土交通省は「航空脱炭素化推進基本方針」⁵（以下、基本方針）を発表しました。基本方針では、航空会社に対して、(i) 国際線におけるCO₂排出量の安定化、(ii) 2030年度までに国内線における単位輸送量当たりのCO₂排出量を2013年度比で16%削減、(iii)2050年までに国際線・国内線ともにカーボンニュートラルを実現、という3つの目標を掲げています。経済産業省は基本方針に沿って、2030年までに高度化法に基づくSAFの新たな利用目標量を設定する計画を発表しました。この目標では、SAFの国内生産を促進するため、2030年までにジェット燃料使用量の10%をSAFに置き換えることが求められています。

経済産業省は、2030年のジェット燃料需要の10%をSAFに置き換える目標を発表

予測供給量は発表された目標を上回る見込み

経済産業省によるSAFの需要と供給の予測（百万キロリットル）



出典：経済産業省

⁴ <https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>

⁵ <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001573999.pdf>

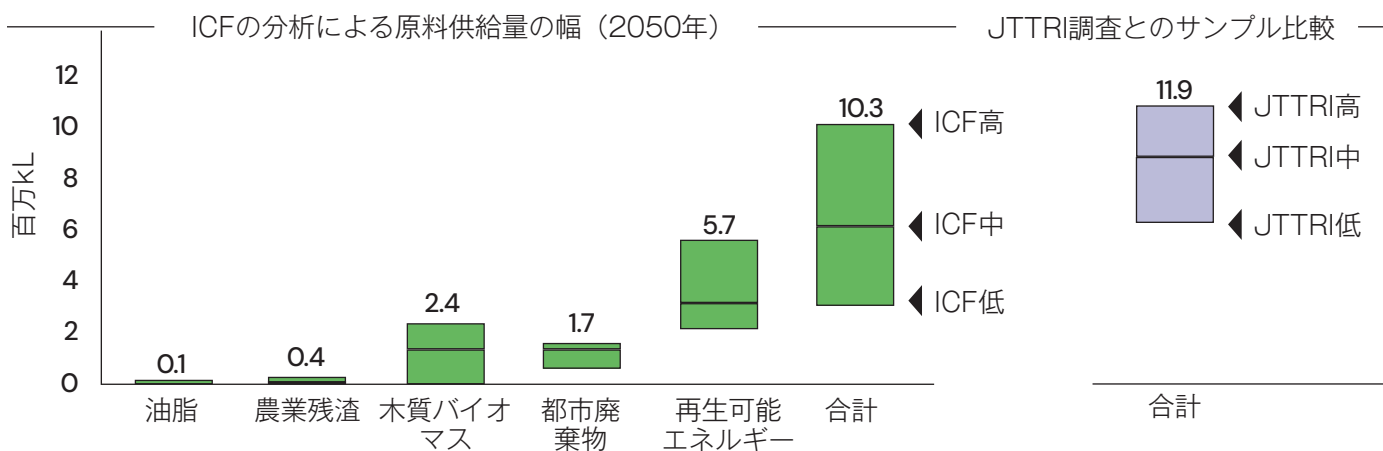
2030年及び2050年のSAF目標を達成するために、どのような国内原料が利用可能か？

SAF利用を通じた日本の航空部門の脱炭素化に向けた最も効率的な戦略を決定する鍵は、利用可能な原料の種類と量を把握することです。この分析では、生物由来及び非生物由来の両原料に焦点を当てています。生物由来原料には、油脂（FOG：Fat, Oil, Grease）、都市廃棄物、農業残渣、木質バイオマス、藻類などの新規原料が含まれ、非生物由来の原料には、リサイクルカーボンや再生可能エネルギーがあります。日本は耕作可能な土地が限られており、食料の輸入量も多いため、食料源と競合する原料は分析から除外しました。

この分析は、グローバル、地域別、国別を含む既存の研究を基に実施しました。とりわけ、運輸総合研究所(JTTRI)⁶、全国油脂事業協同組合連合会（UCO JAPAN）⁷、経済産業省⁸などの日本の機関が実施した分析・調査結果を基盤としています。本レポートでは、さらに国内原料の技術面での利用可能性、持続可能な利用可能性及び航空分野への配分に関する詳細を追加しました。これらの情報を用いて、各原料の入手性が(1) 低いシナリオ、(2) 中程度のシナリオ、(3) 高いシナリオの3つのシナリオを構築しました。

各原料の入手性は、原料間の比較がより鮮明になるよう、エネルギーに変換して割り出しました。この分析によると、木質バイオマス、都市廃棄物、再生可能エネルギーなどの先進原料が、日本のSAF生産にとって最大の機会となります。ICFの分析では、SAFの生産量は2050年までに334万キロリットル（8億8,000万ガロン）から1,030万キロリットル（27億2,000万ガロン）の範囲になると推定しました。

ICFは、グローバル、地域別、国別を含む既存の研究を基に、持続可能性と代替用途に関する詳細情報を追加



出典：ICFによる分析、JTTRI。注：両分析は異なるシナリオに基づいているため、数値に幅がある。

以下のケーススタディでは、日本におけるSAF生産用の都市廃棄物の入手性を推定するためにICFが適用した手法をさらに詳しく説明します。

⁶ R01_MRI2021_A4縦_報告書_日本語版 (jttri.or.jp)

⁷ https://zenyuren.or.jp/document/220407_ucorecycleflow_r3.pdf

⁸ https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/saf/pdf/003_07_00.pdf

ケーススタディ：日本のSAFにおける都市廃棄物（MSW）の入手性

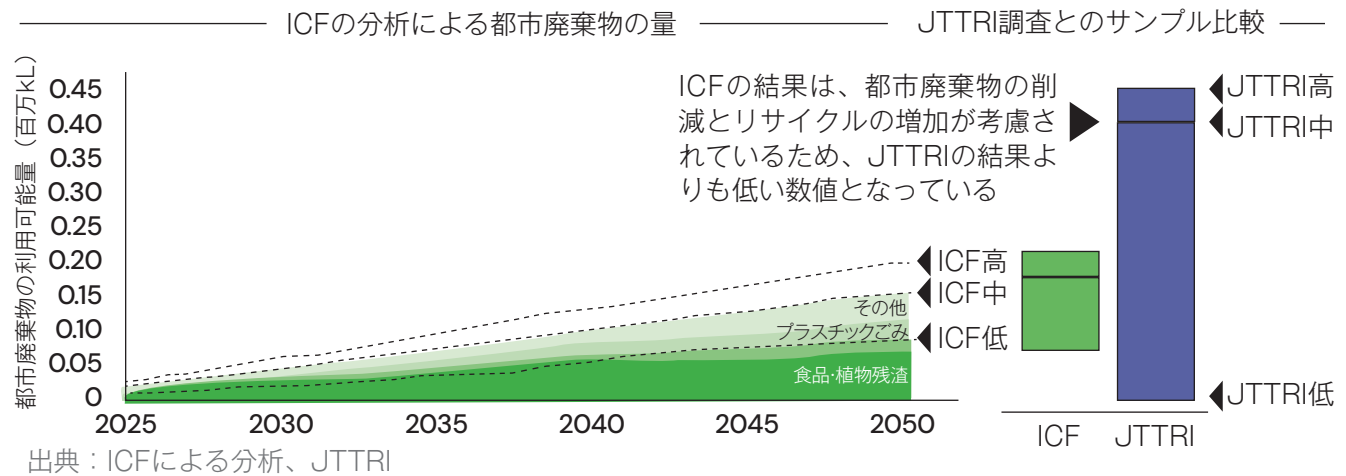
日本には、廃棄物の収集並びにリサイクル、再利用、処分を行う広範なインフラを備えた高度な廃棄物管理システムが整備されています。都市廃棄物を利用したSAF生産は既存の廃棄物管理システムとの統合が不可欠であり、次の3点が機会となります。

- ・ 耐久年数を迎える廃棄物処理施設をSAF施設に置き換える。
- ・ リサイクル不可能な廃棄物を管理する。
- ・ 輸出廃棄物を国内利用に転用する。

SAFの潜在的な生産量は、人口の変化、経済成長、廃棄物回避などの要因を基に廃棄物量の基準値を作成することで評価しました。次に、この基準値を用いてリサイクル率、廃棄物の削減率、焼却からの転換率に基づいて3つの入手性シナリオ（低、中、高）を作成しました。低シナリオは保守的な展開を表し、高シナリオは積極的な展開を表しています。各シナリオの結果は、原料とその後の燃料の炭素強度（CI）を計算できるよう、4つの異なる廃棄物のカテゴリーに分類しました。

焼却容量の低下を考慮すると、短期的な入手性は限られているものの、中長期的には大量の都市廃棄物が入手可能になることが示されました。SAFが熱回収よりも価値の高い選択肢として認識され、SAF生産プロジェクトに政府が補助金を支給することでインフラの再構築を進めることができます。

ICFの分析では、日本の規制を基に、都市廃棄物の削減とリサイクルの増加が考慮されている

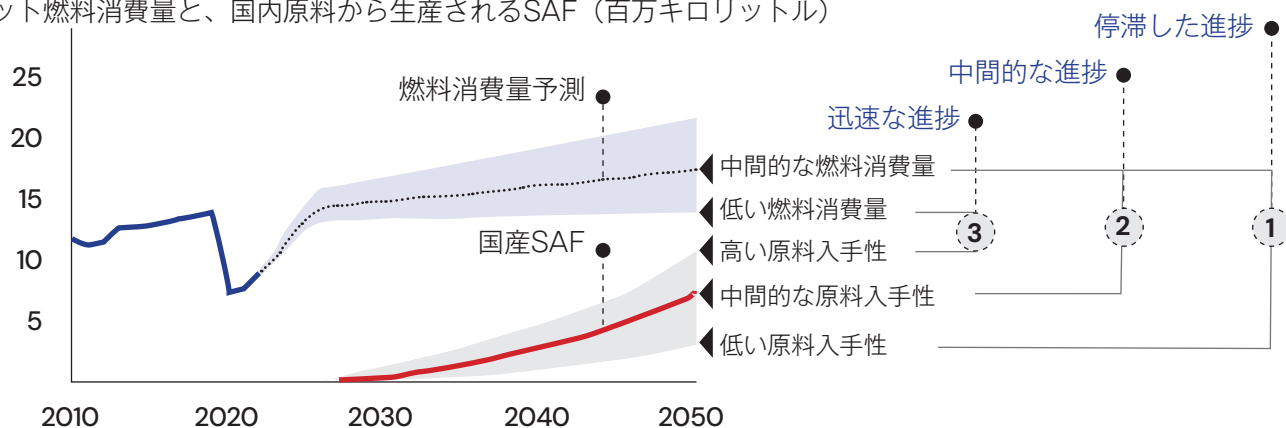


SAFの10%利用目標は、ジェット燃料消費量におけるSAFの使用量を示す割合です。SAFの必要量を把握するため、ICFは2050年までのジェット燃料消費量の予測範囲を作成しました。この予測は、これまでのジェット燃料消費量の増加傾向（新型コロナウイルス感染症流行期及びその後の回復を含む）を踏まえつつ、今後の燃料効率の高い航空機導入や運航方法の改善なども考慮しています。これらの予測を基に、国内原料由来のSAF生産機会と燃料消費量の関係を示す以下の3つの産業創成シナリオを作成しました。

- 1. 産業創成の進捗が遅れた場合：**原料の入手性が低く、燃料消費量は中間的。ジェット燃料消費量の削減と国内SAF生産支援の開発がともに停滞。
- 2. 産業創成の進捗が中間的な場合：**原料の入手性、燃料消費量ともに中間的。ジェット燃料消費量の削減と国内SAF生産支援を進める開発の基準シナリオ。
- 3. 産業創成の進捗が迅速に進んだ場合：**原料の入手性が高く、燃料消費量が減少。燃料効率の高い航空機の導入及び運航方法改善に国内SAF生産支援政策が伴う、先進的かつ達成可能な進展。

2050年までの燃料消費量に対する国内原料によるSAF生産機会を示す3つのシナリオを作成

ジェット燃料消費量と、国内原料から生産されるSAF（百万キロリットル）

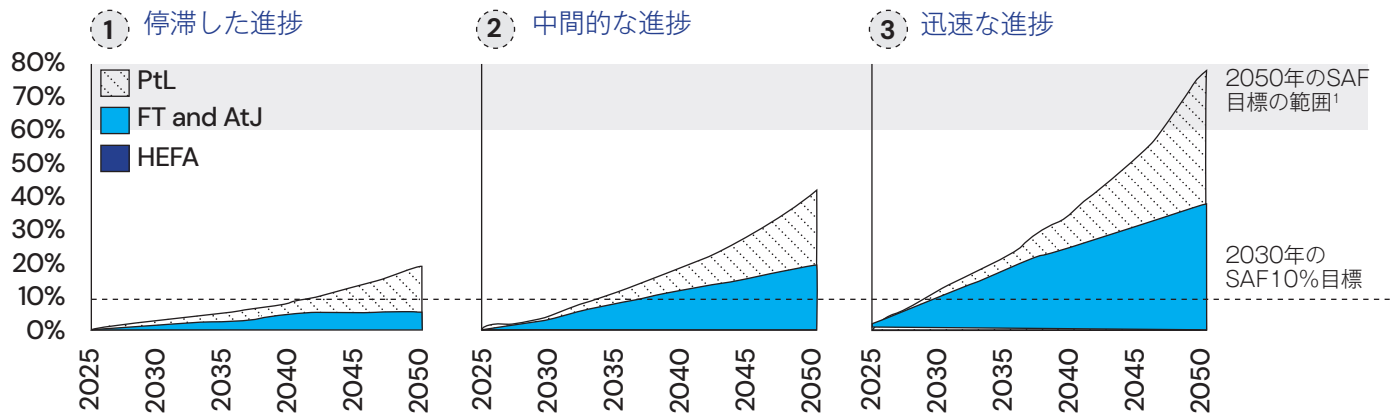


出典：ICFによる分析

中・長期的（2050年）には、ジェット燃料の総需要の最大80%を国内原料でまかなえる可能性があります。現時点では、SAFの長期目標に関する発表はありませんが、業界全体で設定された目標（米国では100%、EUでは70%、各航空会社では60%等）を参考にすると、国内原料で需要の80%~100%をまかなうことができる可能性があります。

ICFは、政策支援があれば国内原料でジェット燃料需要の最大80%をまかなえると推定

ジェット燃料消費量に占める国産SAF生産量の割合（%）

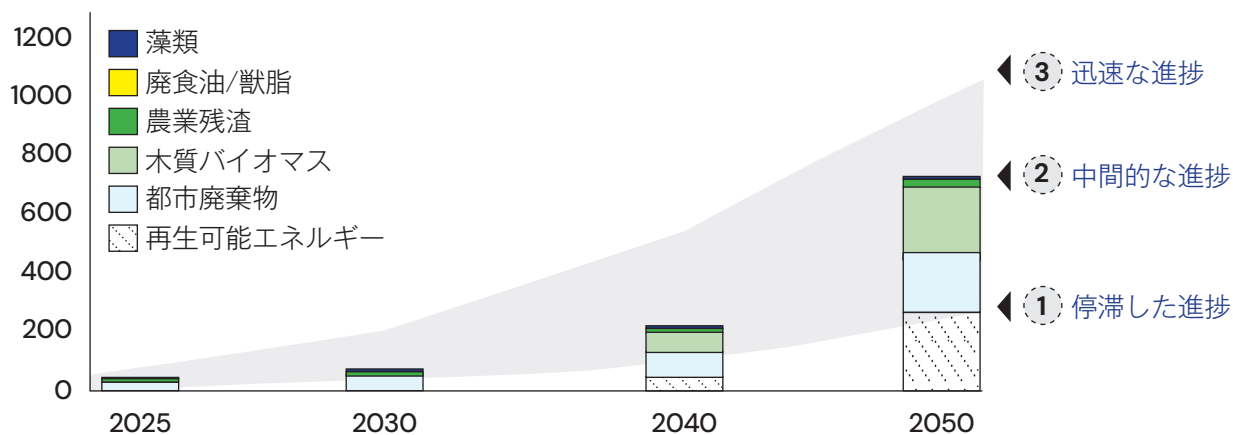


出典：ICFによる分析、¹ 2050年のSAF目標は米国（SAF100%）、EU（SAF70%）、各航空会社の目標を含む。

SAF生産に利用可能な原料を精査し、他原料と比較するためにエネルギー量（ペタジュール）に換算して様々なシナリオを分析した結果、SAF生産量に大きな幅があることが明らかになりました。注目すべきは、都市廃棄物や再生可能エネルギーを含め、炭素排出原単位を大幅に削減できる可能性を示す原料が十分に存在することです。しかし、これらの原料を用いた迅速な普及シナリオの潜在性を活かすためには、支援が必要です。新たなサプライチェーンの開発や技術開発に伴うリスクの軽減、施設の新設、生産の普及促進のために、支援が不可欠となります。HEFAは特に相当量の輸出機会が見込まれますが、他原料にも大きな可能性があることが分析より示唆されました。したがって、先進原料の可能性を最大限に引き出すために、支援体制の構築が何よりも重要です。

利用可能な原料の多くが複雑であり、大規模生産の実現に向けてリスクを軽減する新技術が必要

利用可能な原料（ペタジュール）



出典：ICFによる分析、藻類と廃食油/獣脂は少量であるためグラフには表示されていない。

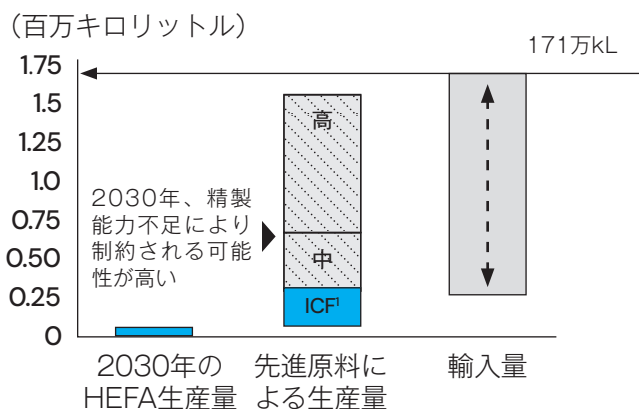
国内原料は日本の航空産業の脱炭素化において重要な役割を担う可能性を秘めています。迅速な普及シナリオであっても国内原料のみの目標達成は困難です。不足分を埋めるため、原料、中間体、SAF輸入とともに炭素除去などの他分野の対策が必要です。

理論的には、2030年のSAF利用目標を達成する上で十分な国内原料は存在する一方、主な障害はこれらの先進原料をSAFに変換するための新たなサプライチェーン及び技術が必要となること、並びに製造施設の構築を必要とする点です。現在、商用規模でSAFを生産できることが実証されているのはHEFAのみです。AtJ、FT及びPtLといった先進原料の変換技術においては、リスク軽減及び規模拡大に向けてさらなる時間と投資が必要です。

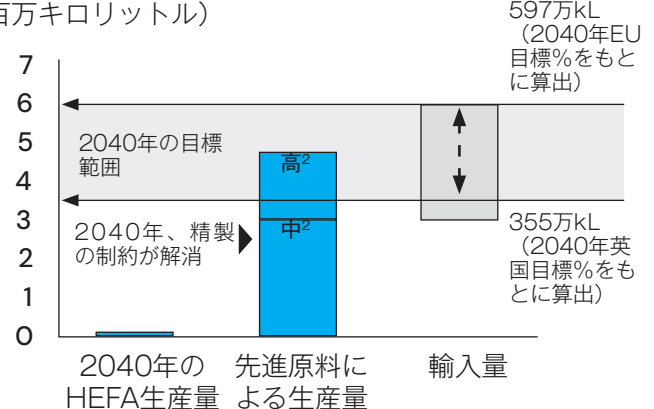
ICFは、2030年までに合計3~5基の先進原料を用いた生産施設（AtJまたはFT）が稼働すると予測していますが、目標とする生産レベルに達するには、原料または燃料そのものの輸入が必要になる可能性が高いでしょう。2040年までには変換技術が成熟すると見られ、また、追加支援により需要の大部分を国内原料でまかなえるようになる可能性があります。日本においてSAFエコシステムを形成する際、精製能力、投資戦略及び政策枠組みの慎重な検討が不可欠です。

先進原料の精製能力に関する予測は不確実性を浮き彫りにし、2030年までの不足分を埋める輸入の役割を強調

経済産業省による2030年のSAF生産量予測



経済産業省による2040年のSAF生産量予測



出典：ICFによる分析、¹ 2030年の試算は2~3基のFT/セルロース系エタノール施設が本格稼働した場合。

² 2040年の試算は技術のリスク軽減に伴う急速なスケールアップを前提としている。

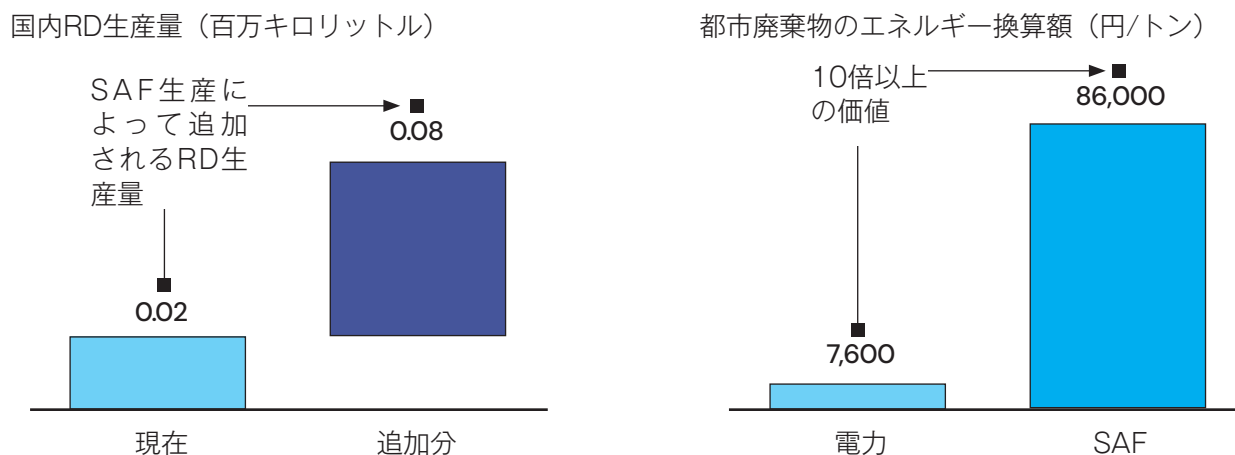
SAF産業は経済成長とエネルギーレジリエンスをいかにして支えることができるか？

原油や天然ガスなどのエネルギーは、世界で最も多く取引されている商品の1つです。しかし、供給量の50%はわずか5カ国、90%以上はわずか22カ国から供給されているという不均衡が存在し、政治情勢や自然災害の影響を受けやすい脆弱なシステムです。世界有数のエネルギー輸入国である日本はこうした世界的な力学の影響を特に受けやすい状況にあり、SAFと副産物（再生可能ディーゼルやナフサなど）の生産によりエネルギー供給を多様化し、エネルギーレジリエンスと安全保障を向上させる機会が生まれます。

SAF生産の副産物として得られる再生可能ディーゼルやナフサは、道路交通燃料の市場と日本のバイオ燃料目標達成（原油換算で5億リットル）の両方を支えるだけでなく、化学品や素材生産など他産業の支援にもつながります。SAF産業を構築することで、国内の再生可能ディーゼル生産量は2,300万リットル（610万ガロン）から8,000万リットル（2,120万ガロン）へと大幅な増加が見込まれます。

都市廃棄物や木質バイオマスのような多くの原料はすでに他の分野で利用されていますが、この分析では座礁資産を制限しながら、最適な用途へと段階的に移行していくことを考慮しています。例えば、都市廃棄物をエネルギーに変換するために使用される焼却炉は40年の耐用年数を経て廃炉になると予想され、多くは今後10年のうちに耐用年数を迎えます。これにより、原料の利用をSAF生産へ移行することが可能となります。SAFは、エネルギー安全保障と環境面の両方で利点をもたらす高価値製品ですが、こうした利点を得るためには、特定の産業のみが優遇されることがない包括的な政策枠組みが必要です。様々な産業に公平に配分するため、需要と供給の力学に対処するだけでなく他用途からの回収や再配分など、原料調達を支援する仕組み作りが欠かせません。この総合的なアプローチは、政府が目標とするサーキュラーエコノミーやネットゼロの実現に向けて合致しています。

多くの原料はすでに他分野で利用されているが、SAF生産は副産物を含む高付加価値製品を生み出す



出典：ICFによる分析、USDA Biofuels Annual

SAFエコシステムの形成において、現在どのようなメカニズムが政府を支えているのか？

日本政府はグリーンイノベーション基金などの資金調達メカニズムを用いて、炭素削減のためのイノベーションを支援してきました。この2兆円規模（約144億ドル）の基金は、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）を通じて革新的プロジェクトの研究、開発、事業化を支援しています。SAFは、日本の航空部門の脱炭素化を支援するこの取り組みの重要な支援対象です。グリーンイノベーション基金の一環として、NEDOはSAF及びその他合成燃料や持続可能な燃料を開発するパイロットプロジェクトに1,145億円（約8億3,000万ドル）の助成金を交付しました。これとは別に、経済産業省はNEDOのバイオ燃料技術開発プロジェクトにも51億8,000万円（約3,740万ドル）の追加支援を提供しています。SAF10%利用目標の達成は、グリーンイノベーション基金のようなSAF産業のさらなるリスク軽減と発展を促進する仕組み作りにかかっています。

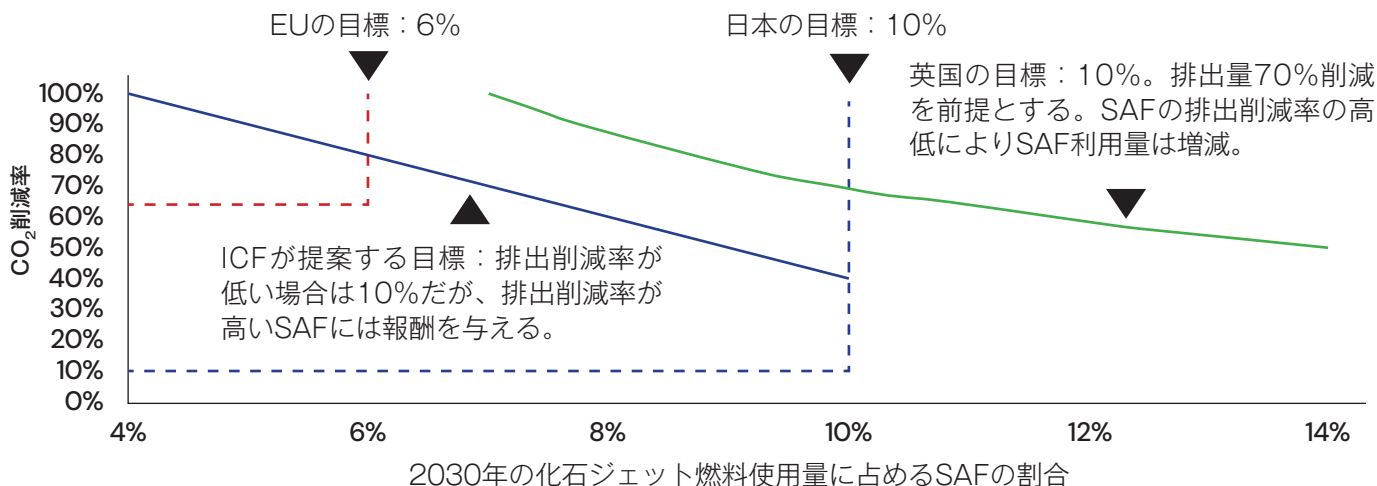
3 進むべき道

SAF産業は、技術開発や投資誘致、旅客への影響軽減のための政策支援を必要としています。ICFは、以下の取り組みにより日本のSAFエコシステム形成が加速する可能性があると考えています。

- 排出量削減の多いSAFに報酬を与える：**日本は、SAF利用量を重視し、CORSAの持続可能性基準（10%以上の排出量削減を含む）に沿って、2030年に向けて野心的なSAF10%利用目標を表明しています。一方、海外の多くの政策ではSAF使用量が若干低いレベルに設定されていますが、SAFにより排出量がより多く削減された場合には大きな報酬を与えています。例えば、EUでは2030年までにSAF利用率6%を義務付けていますが、排出量削減率65%以上のSAFを対象としています。英国の10%利用目標は炭素強度によって調整され、排出量削減率の高いSAFを使用する場合、目標達成に求められる利用量が低減されます。米国はSAF導入目標を設けていませんが、連邦政府及び州政府の政策はLCFSやSAF-BTC、CFPCを通じてより高い排出量削減に報いるものになっています。このように、日本で使用されるSAFに対しても、炭素強度の低いSAFを利用することで10%の利用目標により大きく貢献できるよう調整係数を適用することを提案します。

この分析から、日本のSAF10%利用目標を達成するために使用したSAFについて、最小削減率である40%を超える削減率に対して10%毎に+0.25の乗数を付加することを提案します。例えば、SAF利用により排出量を60%削減した場合、+0.5の乗数が付加されます。このSAFを使用して要件全体を満たした場合、総量要件は6.7%（ $10\% / (1+0.5)$ ）と計算されます。同様に、平均排出削減率が80%のSAFを利用する場合+1.0の乗数が与えられ、次の図に示すように総量要件は5%になります。

この評価では、10%利用目標への貢献度が高くより大きな排出削減量を達成するSAFに報酬を与えることを提案する



出典：ICFによる分析

この政策案を導入することで日本は世界のSAF利用目標に足並みを揃え、以下の利点を得ることができるでしょう。

- 日本国内で入手できる原料の大半を占める先進原料を利用した、新たなSAF生産技術の開発支援につながります。**こうした技術や原料は大幅な排出量削減を達成できる一方、高い排出量削減の価値が認識または支持されない場合、より安価な代替品との競争に苦しむ可能性があります。

- b. 政府やJAL、ANA、その他の航空会社の脱炭素化目標を支援し、有意義な排出量削減を確実に達成できません。**現在、CORSIAの持続可能性基準に基づくSAFの混合比10%に焦点が当てられています。これは実質的な排出量削減達成につながらず、航空会社に割高な費用を負担させることになりかねません。また、（CORSIAが義務付ける）最低10%の排出削減率のみを達成するSAFを用いてSAF10%利用の要件を満たしても、CO₂全体ではわずか1%の削減にとどまり脱炭素化としては不十分です。より高い排出量削減効果を持つSAFに報酬を与えることは、航空関係者が目指す脱炭素化戦略に合致し、より大幅な削減が実現できます。また、実質的な排出量削減効果を得られないまま航空会社がSAFの価格を負担するリスクを防ぐことができます。
- **2040年及び2050年のSAF利用目標を確立する：**今日建設される施設は20～30年間にわたって稼働するため、投資家や生産者に施設の耐用年数にわたって市場が継続するという信頼を与える長期的な目標が重要です。
 - **国内航空会社に不利にならない明確なルールを設ける：**SAF利用目標が達成されない際の仕組みを確立することで、海外航空会社にも国内航空会社と同じ目標を課すことができます。この手法はEUと英国で導入されており、道路交通を対象としたバイオ燃料政策にも広く用いられています。
 - **次のような供給者を対象とした政策（積極的なインセンティブ）を導入する：**
 - a. **国内SAF産業の育成：**日本国内のSAF産業はまだ発展しておらず、初期生産者は、産業が成熟している諸外国に比べてコスト面で不利になるでしょう。供給者を対象とした政策により、初期生産者が世界市場で競争力をつけるための知識や技能、専門性を得る支援につながります。
 - b. **接続性の維持：**多額のコストが顧客に転嫁されると、航空運賃の上昇により接続性が低下し、日本経済の縮小を招く要因となります。オフテイカー、ひいては旅客の負担コストを下げることで、経済への影響を軽減することができます。
 - c. **国内原料活用に向けた新技術開発：**国内原料の入手性は高い一方、その多くは事業化に新技術が必要です。新技術や設備導入によるリスクを軽減するためには、政府の調査と資金援助が不可欠です。こうした技術を開発することで、世界市場の発展に伴い日本から技術輸出ができる可能性が生まれます。
 - **既存政策の活用：**日本のグリーントランスフォーメーション（GX）政策は、カーボンニュートラル達成に向けて様々な産業分野の変革を目指し今後10年間で150兆円（約1兆1,000億ドル）の官民融資を行う投資ロードマップです。この政策は、LNG発電、水素・アンモニア混焼、次世代自動車の支援に利用され、SAF産業発展の支援にも使われる可能性があります。その他政策として、固定価格買取制度（FIT制度）やFIP（フィードインプレミアム）制度、カーボンニュートラルに向けた投資促進税制があります。こうした優遇措置は産業競争力強化法を改正したもので、企業の脱炭素化に向けた設備投資を促進するものです。
 - **他産業との連携：**SAFは、水素生産、CO₂回収、再生可能エネルギー、低炭素農業、廃棄物処理など、複数の低炭素産業を加速させる可能性を秘めています。利益を最大化するため、SAF政策の枠組みをこうした他産業の施策と統合する必要があります。