

令和6年度 農林水産省
砂糖等の新規需要開拓支援事業

甘味資源作物の多用途利用にかかる取組に関する報告書

「サトウキビと SAF が拓く持続可能な未来」



令和7年3月15日

戦略農業振興支援ネットワーク合同会社

目次

1. はじめに	4
1.1 本報告書の目的と意義	4
1.2 背景と現状分析	5
1.3 サトウキビ活用による持続可能な航空燃料（SAF）実現の可能性	7
2. 持続可能な航空燃料(SAF)の定義と特性	10
2.1 SAF の基本概念と技術的定義	10
2.2 SAF の製造技術と原料供給の多様性	12
2.3 SAF の環境・経済的インパクトとそのメリット	15
3. SAF をめぐる国内外の動向	18
3.1 国際的な研究開発と導入事例	18
3.1.1 SAF 技術の特許出願件数の推移	19
3.1.2 SAF 技術の国別出願者数	22
3.1.3 SAF 技術の主要企業の特許出願動向	26
3.1.4 SAF 技術の国別出願者数の推移	28
3.2 国際規制と日本市場における課題	35
3.3 日本国内における SAF 普及への取り組み	37
3.3.1 SAF の導入促進に向けた官民協議会の取り組み	37
3.3.2 国内民間企業の技術開発と実用化事例	38
4. サトウキビの現状と多用途利用の展望	41
4.1 サトウキビの生産環境と現状分析	41
4.2 サトウキビの多用途利用可能性とその課題	43
4.3 SAF 原料としてのサトウキビの価値とポテンシャル	45
5. サトウキビ由来 SAF のサプライチェーン構築	47
5.1 サプライチェーン構築の意義と全体像	47
5.2 関連業界の特定と各セクターの役割	49
5.3 サプライチェーン構築における課題と将来展望	51
6. 業界関係者の視点と現状分析	54
6.1 甘味資源作物の関連事業者の現状と直面する課題	54
6.1.1 サトウキビやてん菜の生産現場の現状と課題	54
6.1.2 製糖業界の現状と課題	55
6.1.3 航空業界の視点と燃料需要	57
6.1.4 エネルギー業界の動向と参入状況	58
6.1.5 地方自治体・行政機関の役割	59
6.2 SAF に対する業界の関心と期待	61

6.2.1	甘味資源作物の生産者・農協の SAF に対する関心と期待	61
6.2.2	製糖業界における SAF への関心と期待	62
6.2.3	航空業界の SAF に対する関心と期待	63
6.2.4	エネルギー業界の SAF に対する関心と期待	64
6.2.5	地方自治体・行政機関の SAF に対する関心と期待	66
6.3	インタビューから読み解く将来展望	68
6.3.1	サトウキビ生産者・農協の将来展望	68
6.3.2	製糖業界の将来展望	69
6.3.3	航空業界の将来展望	71
6.3.4	エネルギー業界の将来展望	73
6.3.5	地方自治体・行政機関の将来展望	75
7.	シンポジウムでの議論と提言	78
7.1	有識者シンポジウムの開催概要	78
7.2	パネルディスカッション：「サトウキビと SAF の未来」	78
7.3	シンポジウムから得られた主要意見と提言	78
8.	まとめと未来への提言	80
8.1	本報告書の総括	80
8.2	日本における SAF 導入の課題と解決策	80
8.3	サトウキビを活用した持続可能な未来の展望	81
8.4	官民連携による今後の取り組みと協力体制	81
9.	執筆者・研究調査員	84

1. はじめに

1.1 本報告書の目的と意義

本報告書は、サトウキビをはじめとする甘味資源作物が従来の製糖用途に留まらず、持続可能な航空燃料（SAF）への転換を通じた新たな価値創造の可能性を検証することを目的とする。これまでサトウキビは主に砂糖やバイオエタノールの原料として利用されてきたが、近年、国際的な脱炭素化の潮流やエネルギー転換の必要性が高まる中で、環境負荷を低減しつつ地域経済を活性化する革新的なモデルとして、再評価の対象となっている。つまり、サトウキビの資源価値を多角的に捉え直すことが、今後のエネルギー供給システムの転換や農業振興の両面で重要な役割を果たすと考えられる。

日本の農業は、砂糖消費の減少、担い手の高齢化、製糖工場の老朽化など、長年の構造的課題に直面している。このような状況下で、従来の生産体制に依存するだけでは、地域経済の持続的発展は望みにくい。そこで、南西諸島を中心に生産されるサトウキビの多用途利用、特に SAF の原料としての活用は、従来の課題を転換する新たな解決策となり得る。エタノールを起点とする Alcohol-to-Jet（ATJ）技術など、先進的な製造プロセスを取り入れることで、環境面と経済面の双方において大きなメリットをもたらす可能性がある。

国際的には、航空業界の脱炭素化に向けた取り組みが急速に進んでおり、例えば欧州連合では 2025 年 1 月より航空燃料中の SAF 混合率が 2%以上とされるなど、再生可能エネルギーへのシフトが加速している。こうした背景は、世界各国で環境規制が厳格化される中で、国内においても石油依存からの脱却とクリーンエネルギー供給体制の確立が急務であることを示している。サトウキビを原料とする SAF 生産は、地域資源を有効活用しながら国際市場の要求に応える一助となり、また、農村地域の経済活性化や雇用創出にも寄与することが期待される。

本報告書では、サトウキビの資源価値の再評価を出発点とし、SAF 製造に向けた技術的・経済的な実現可能性、さらには官民連携による政策支援の枠組みについて、国内外の最新動向や事例を交えながら多角的に検証する。これにより、実務者、研究者、政策決定者がネットワークを形成して、地域資源を基盤とした持続可能なエネルギーシステムの構築に向けた具体的な戦略や施策を策定するための有用な情報と提言を提供することを目指す。



図 1 サトウキビを原料とした SAF 生産の概念を示している。従来の用途である砂糖やバイオエタノールの製造に加え、様々な技術を活用することで、航空業界の脱炭素化に貢献する新たな価値創造の可能性を示唆している。

1.2 背景と現状分析

近年、航空業界は国際民間航空機関（ICAO）などによる温室効果ガス削減目標のもと、脱炭素化の取り組みを加速している。特に、2021 年以降は 2019 年レベルの CO₂ 排出量を維持する目標が掲げられ、既存の機材更新や運航改善だけでなく、持続可能な航空燃料（SAF）の導入が急務とされている。SAF は従来のジェット燃料と同一の運用が可能なドロップイン燃料として、その導入効果の大きさから欧米を中心に普及が進んでいる。

一方、欧米をはじめとする世界各国では、SAF の商用化に向けた大規模な研究開発や実証プロジェクトが進行中である。例えば、米国の LanzaJet はエタノールを原料とした Alcohol to Jet（ATJ）技術を用い、商業生産体制の構築を進めているほか、フィンランドの NESTE 社やカナダの Enerkem 社も、それぞれ独自の原料や技術を活用して大量生産への道を模索している。これらの取り組みは、世界規模での SAF 市場の成長と、再生可能エネルギーへのシフトの一翼を担う重要な動向を示している。

国内に目を向けると、全日本空輸（ANA）や日本航空（JAL）といった主要航空会社

が、2050 年までの CO₂排出実質ゼロを目指す中で、国産 SAF の産業育成および量産体制の構築が急務となっている。甘味資源作物、特にサトウキビは、バイオエタノールの有望な原料として注目され、Alcohol to Jet 技術を通じた SAF 転換の可能性が期待される。欧州連合（EU）が支援するプロジェクトでのサトウキビバガス（搾りかす）利用の事例は、こうした技術の国内展開への可能性を示唆している。

しかしながら、SAF の大規模製造に向けては、いくつかの技術的課題が山積している。代表的な製造プロセスであるフィッシャー・トロプシュ合成（FT 合成）、ATJ、及び水素化処理バイオ燃料（HEFA）各々が、原料の前処理や反応効率、触媒性能の向上など、解決すべき技術的ハードルを抱えている。これらのプロセスを最適化し、効率的かつ安定した SAF 生産体制を確立するためには、継続的な技術革新と実証実験の推進が求められる。

また、現段階では SAF の製造コストが従来のジェット燃料と比べて高水準にある点も大きな課題である。原料調達、プロセスのエネルギー効率、さらにはグリーン水素などの関連資源のコスト削減が、経済的競争力の向上に直結する。政府の補助金制度やカーボンクレジットのような制度など、経済的支援策の充実が、今後の商業生産化に向けた鍵となると考えられている。

さらに、SAF の普及と定着には、国際ルールの整備や政策的支援の強化が不可欠である。米国や英国などでは、エネルギー省や政府機関が巨額の資金投入と制度設計を通じて、SAF 産業の基盤整備を進めている。日本においても、経済産業省や資源エネルギー庁が主導するプロジェクトを中心に、官民連携による研究開発や実証実験が進められており、国際競争力のある SAF 産業の実現が期待される。

以上のような国際情勢、技術的・経済的課題、そして政策的支援の枠組みを背景に、サトウキビを活用した SAF 開発は、単なるエネルギー転換の一手段に留まらず、日本の農業・産業構造の再編成、ひいては地域経済の活性化やエネルギー安全保障の強化といった広範な意義を有する。これらの多様な課題と展望を的確に把握することが、今後の持続可能な社会の構築に向けた実効的な施策の策定に不可欠である。



図 2 2050 年 CO₂排出実質ゼロに向けた国産 SAF の推進とその重要性を示している。

1.3 サトウキビ活用による持続可能な航空燃料（SAF）実現の可能性

航空業界における脱炭素化は、国際民間航空機関（ICAO）の「カーボンオフセット及び削減スキーム（CORSIA）」の導入などを背景に、従来の化石燃料由来のジェット燃料に代わる持続可能な航空燃料（SAF）の開発・導入が急務となっている。SAF は、ライフサイクル全体での CO₂排出量を 60～80%削減できる可能性があり、2030 年には国内航空燃料使用量の 10%を SAF に置き換えるという目標が掲げられていることから、その技術的・経済的な実現性が国際的にも注目されている。さらに、SAF は既存の航空機や燃料供給インフラとの互換性が高い「ドロップイン燃料」としての特性を有しており、短期間での市場浸透が期待される状況にある。

こうした背景の中で、サトウキビは持続可能な燃料製造の原料として極めて有望な資源である。サトウキビは、バイオエタノールの生産において高い生産性を誇る甘味資源作物であり、その副産物である糖蜜やバガス（搾りかす）を活用することで、エネルギー分野における新たな付加価値の創出が可能となる。特に、ATJ 技術を用いれば、サトウキビ由来のエタノールを効率的に航空燃料へ転換できる。

国内においては、沖縄県、鹿児島県、そして北海道といった地域がサトウキビおよび関連作物の主要な生産地として位置づけられており、これらの地域は国産 SAF の供給

拠点としてのポテンシャルを持つ。たとえば、現行の生産量を全て ATJ プロセスに回した場合、約 16 万 kL の純粋な SAF が供給可能と試算されており、これは国内航空燃料需要の一部を賄う規模に相当する。こうした地理的・生産基盤の利点は、国産 SAF の安定供給と地域経済の活性化という観点からも、大きな意義を持つ。

海外では、ブラジルがサトウキビ由来エタノールの生産において世界的なリーダーシップを発揮しており、同国のバイオ燃料企業は LanzaJet 社との連携を通じて ATJ 技術による SAF の商業生産に取り組んでいる。また、欧州連合（EU）主導の HIGFLY プロジェクトでは、サトウキビを原料とした SAF 製造技術の開発が進められており、2025 年までに商業規模での生産が計画されている。これらの事例は、サトウキビを利用した SAF 製造が、国際的な競争環境の中で実用化の可能性を持つことを示すとともに、日本における同様の取り組みの道筋を示唆するものである。

一方で、サトウキビ由来の SAF 製造には、依然としてコスト面での課題が残る。試算によれば、ATJ プロセスを活用した場合、サトウキビ由来 SAF の製造コストは 487～815 円/L とされ、輸入原料を用いた国内製造 SAF の 246 円/L と比較して、2.0～3.3 倍のコストがかかると見積もられている。このため、製造コストの低減を実現するためには、糖蜜やエタノール製造プロセスの効率化、さらには政府の補助金制度やカーボンクレジットのような制度などの政策的支援が不可欠である。また、離島地域における小規模な製造拠点の設置や、国産 SAF と輸入 SAF を組み合わせたハイブリッド供給モデルの検討など、地域特性を活かした地産地消モデルの構築も、経済的競争力の向上に寄与する可能性がある。

今後、サトウキビを原料とした SAF の実用化に向けては、農業・製造技術・政策支援の統合的な取り組みが求められる。バイオエタノール製造の高効率化、原料供給の安定性の確保、国際基準に即したサプライチェーンの整備といった課題に加え、海外での成功事例を参考にしながら日本独自の技術開発と市場戦略を構築する必要がある。これにより、脱炭素社会の実現と地域経済の活性化を同時に推進する、国際競争力を持った SAF 産業の確立が期待される。

サトウキビが持つSAFの可能性



従来のジェット燃料に比べ、

60～80%削減可能

現行生産量を全てATJプロセスに回した場合、
約16万kLの純粋なSAF供給が可能。

課
題

コスト面のクリアが実用化の鍵

サトウキビ由来SAFは輸入原料を用いた国内製造
SAFの2.0～3.3倍のコスト発生



図 3 サトウキビ由来の SAF の可能性と課題を示している。従来のジェット燃料と比較して CO₂排出量を 60～80%削減できる一方で、コスト面の克服が実用化の鍵となる。

2. 持続可能な航空燃料(SAF)の定義と特性

2.1 SAF の基本概念と技術的定義

持続可能な航空燃料（SAF：Sustainable Aviation Fuel）とは、再生可能な資源や産業廃棄物、さらには農業残渣や都市ごみなど、従来の化石燃料とは異なる原料を用いて製造される航空燃料を指す。SAF は、原料調達から燃料製造、流通、そして実際の燃焼に至るライフサイクル全体での二酸化炭素（CO₂）排出量を大幅に削減できると期待されており、通常は 60～80%程度の削減効果が示される。こうした特性により、SAF は航空業界の脱炭素化戦略における重要な技術として位置づけられている。国際民間航空機関（ICAO）や国際航空運送協会（IATA）は、航空部門の CO₂排出削減のための具体策として SAF の普及を強く推進しており、その導入は将来的なカーボンニュートラル社会の実現に向けた鍵となっている。

SAF の製造には多様な技術が採用される。代表的なプロセスとしては、HEFA（Hydroprocessed Esters and Fatty Acids）プロセス、ATJ プロセス、及びフィッシャー・トロプシュ（FT）合成プロセスが挙げられる。HEFA プロセスは、主に廃食用油や動植物油脂を原料として水素化反応を経て航空燃料へと変換する方法で、既に商業生産が進められている。一方、ATJ プロセスは、バイオエタノールを起点とし、化学反応によって分子構造を変換することで、従来のジェット燃料と同等の特性を持つ燃料へと転換する技術である。FT 合成は、合成ガス（主に一酸化炭素と水素）から液体燃料を生成するプロセスであり、再生可能な原料のガス化を経由して SAF を製造する点が特徴となる。これらの技術は、原料の多様化を可能にするとともに、各プロセスのエネルギー効率や環境負荷、経済性に応じた選択が求められる。

SAF の大きな利点は、既存の航空機エンジンや燃料供給インフラとの高い互換性にある。従来のジェット燃料との混合使用が可能であり、特別なエンジン改修や新たな貯蔵・輸送設備を大規模に導入する必要がないため、航空会社は比較的短期間かつ低コストで SAF の導入を進めることができる。また、SAF は「ドロップイン燃料」としての特性を有しており、実際の運航中に既存の燃料システムとシームレスに連携するため、技術的リスクや運用上の障壁が低減される点も評価されている。

環境面においては、SAF の製造過程で利用されるバイオマス資源は、成長過程において大気中の CO₂を吸収するという特性を持つため、燃焼時に排出される CO₂が大気中の純増分とならない、いわゆるカーボンニュートラルなサイクルを実現する。これにより、化石燃料を用いる従来型の航空燃料と比べ、全体としての温室効果ガス排出削減に大きく寄与する可能性がある。さらに、原料として利用される資源が廃棄物や副産物である場合、その廃棄物処理問題の解決にもつながるため、環境保全と資源循環の観点からも

多面的なメリットが認められる。

さらに、SAF は単なる燃料供給の側面だけでなく、航空業界全体の持続可能な発展に寄与する戦略的要素ともなり得る。例えば、各国のエネルギー安全保障や経済成長、地域振興といった観点から、国内での再生可能資源を活用した SAF 製造体制の確立は、輸入依存からの脱却や地域経済の活性化にも直結する。日本においては、2030 年までに国内航空燃料使用量の一定割合を SAF で賄うという目標が掲げられており、官民一体となった取り組みが進行中である。これにより、環境保全と経済成長の両立を図るとともに、国際社会におけるリーダーシップの発揮が期待される。

総じて、持続可能な航空燃料（SAF）は、再生可能な資源や廃棄物を有効活用し、ライフサイクル全体での温室効果ガス排出を大幅に削減する技術として、航空業界の脱炭素化と環境負荷低減の両面において極めて重要な役割を担っている。その実現には、先端技術の開発、原料の多様化、そして政策・経済の支援が不可欠であり、今後の研究開発と国際協力を通じて、より実用的で競争力のある SAF 生産システムの構築が求められる。SAF は、未来の航空燃料市場において、持続可能なエネルギー供給と環境保全の両立を実現するための基盤技術として、ますます注目されることになるであろう。

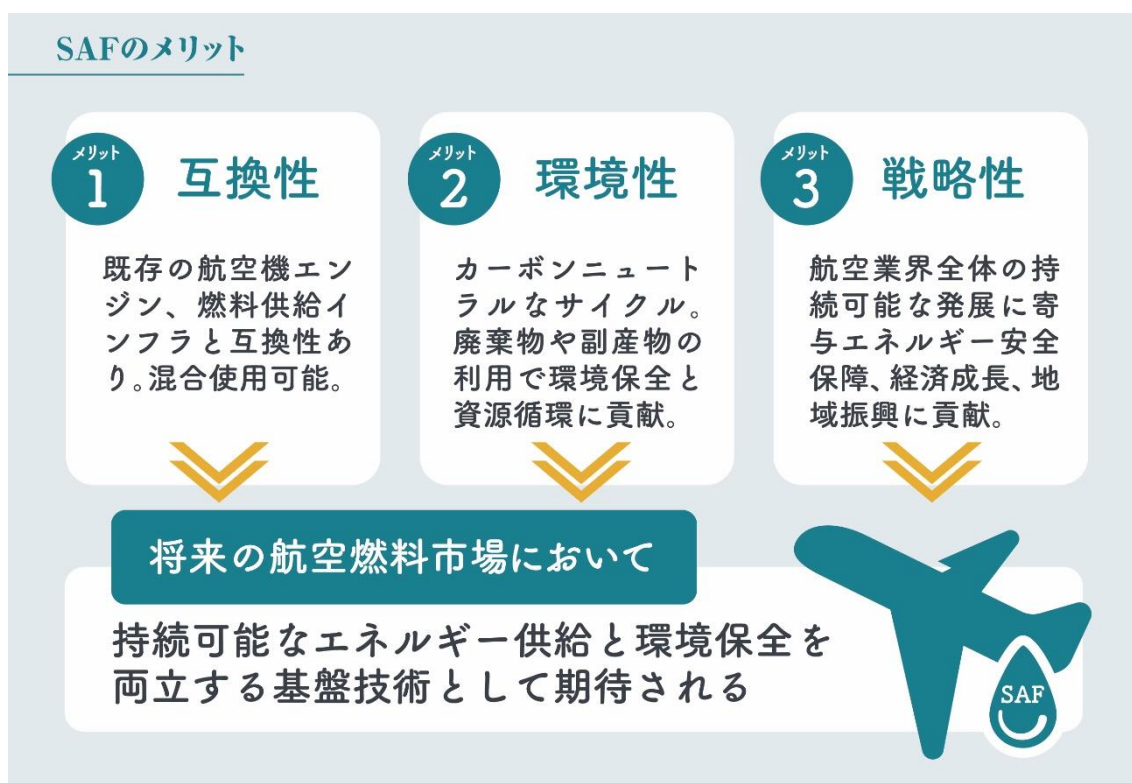


図 4 SAF の主なメリットを示している。従来の燃料と互換性を持ち、環境負荷の低減に貢献するとともに、航空業界の持続的発展や地域経済の活性化に寄与する可能性がある。

2.2 SAF の製造技術と原料供給の多様性

SAF の普及には、その製造技術の確立と原料供給の安定化が不可欠である。SAF は、化石燃料に依存しない持続可能な方法で製造されるが、その製造技術にはいくつかの異なるプロセスが存在する。また、原料としても多様な資源が利用可能であり、地域ごとの特性に応じた供給戦略が求められる。そこで、現在開発・運用されている SAF の主要な製造方法と、使用される原料の多様性について詳述する。

(1) HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)

HEFA は SAF の製造技術の中で、最も商業的に実用化が進んでいる手法である。このプロセスでは、植物油、廃食油、動物性脂肪などの油脂を原料として使用し、水素化処理を通じて高品質な航空燃料を生成する。HEFA は、既存の石油精製技術と類似しており、その成熟度と信頼性の高さから、SAF 製造の主流となっている。

HEFA プロセスの第一段階では、原料中の酸素を除去するために水素化脱酸素 (Hydrodeoxygenation) が行われる。この工程により、酸素含有化合物が炭化水素に変換される。次に、生成された直鎖パラフィンを適切な炭素鎖長に調整するため、分子の裂解と異性化が行われ、最終的にジェット燃料に適した炭化水素が得られる。このプロセスは、Hydrotreated Renewable Diesel (HVO) の製造と基本的に同じであるが、HEFA ではより厳密な裂解処理が求められる点で異なる。

HEFA 技術の大きな利点は、生成される燃料が従来の化石由来のジェット燃料と物理的・化学的特性が非常に近いため、既存の航空機エンジンや燃料供給インフラに大きな変更を加えることなく使用できる点である。ASTMD7566 規格の Annex 2 では、HEFA 由来の SAF を最大 50%まで従来のジェット燃料と混合して使用することが認められている。

しかし、HEFA 技術には課題も存在する。主な原料である廃食油や植物油の供給量には限りがあり、世界的な需要の増加に伴い、供給不足や価格高騰が懸念されている。そのため、安定的な原料供給を確保するための取り組みが不可欠である。

他の SAF 製造手法と比較すると、HEFA は技術的成熟度が高く、商業化が最も進んでいる。例えば、FT 合成法は、技術的な複雑さやコストの面で課題がある。また、ATJ 法は、原料の多様性という利点があるものの、商業化の段階では HEFA に遅れをとっている。

HEFA 技術の将来展望としては、原料の多様化と供給の安定化が鍵となる。具体的には、藻類由来の油脂や新たなエネルギー作物の開発・利用が検討されている。また、水素の調達コスト低減やプロセスの効率化により、製造コストの削減も期待されている。2050 年までには、現状の製造コストから約 2 割の低減が見込まれている。

総じて、HEFA は現在の SAF 製造において中心的な役割を果たしているが、持続可能な航空燃料の普及をさらに促進するためには、原料供給の課題やコスト面での改善が求められる。他の製造手法との比較や組み合わせを通じて、より効果的な SAF 生産体制の構築が期待される。

(2) ATJ (Alcohol to Jet)

ATJ は、アルコールを原料として航空燃料を製造する技術である。このプロセスでは、主にエタノールやブタノールなどのアルコールを出発物質とし、これらを化学的に変換してジェット燃料に適した炭化水素を生成する。ATJ は、原料の多様性や供給の柔軟性といった点で注目されている。

ATJ プロセスの基本的な流れは以下の通りである。まず、糖質系バイオマス（例：トウモロコシ、サトウキビ）やリグノセルロース系バイオマス（例：木材、農業残渣）を糖化・発酵させてアルコールを生成する。次に、得られたアルコールを脱水してオレフィン（エチレンやブチレン）に変換し、これを重合して炭化水素鎖を形成する。最後に、水素化処理や分留を経て、ジェット燃料として適した炭化水素を得る。

ATJ の利点の一つは、原料の多様性である。エタノールやブタノールは、トウモロコシやサトウキビといった糖質作物だけでなく、木質バイオマスや農業残渣などからも生産可能であり、これにより原料供給の柔軟性が高まる。特に、リグノセルロース系バイオマスを活用することで、食料供給と競合しない持続可能な原料調達が可能となる。

しかし、ATJ には課題も存在する。まず、アルコールから炭化水素への変換効率が低いいため、製造コストが高くなる傾向がある。また、プロセス全体が多段階で複雑であり、各工程でのエネルギー消費や設備投資が大きい。さらに、得られる燃料の性状が従来のジェット燃料と完全に一致しない場合があり、その場合は混合比率の制限や追加の精製工程が必要となる。

他の SAF 製造手法と比較すると、ATJ は HEFA や FT 合成といった手法と異なり、原料として油脂や合成ガスを必要としないため、原料供給の面で優位性がある。特に、リグノセルロース系バイオマスを活用することで、非食用原料からの燃料生産が可能となり、食料問題との競合を回避できる。一方で、技術的な成熟度や商業化の進展度合いでは、HEFA が最も進んでおり、ATJ はこれに続く位置づけとなっている。

ATJ 技術の商業化に向けた取り組みも進められている。例えば、米国の LanzaJet 社は、ATJ 技術を用いた SAF の製造プラントを建設し、2023 年からの運転開始を予定している。このプラントでは、年間約 3.8 万キロリットルの SAF とバイオディーゼルの生産が見込まれている。

(3) FT (Fischer-Tropsch) 合成

FT 合成は、一酸化炭素 (CO) と水素 (H₂) から液体炭化水素を生成する化学プロセスである。この技術は、1920 年代にドイツで開発され、当初は石炭や天然ガスを原料として液体燃料を製造するために利用されていた。近年では、バイオマスや廃棄物を原料とすることで、カーボンニュートラルな燃料製造手法として再評価されている。

FT 合成の基本的なプロセスは、まず原料を高温でガス化し、CO と H₂ の混合ガスを生成することから始まる。次に、この合成ガスを触媒の存在下で反応させ、直鎖状の炭化水素を生成する。得られた生成物は、さらに精製・分離され、ジェット燃料やディーゼル燃

料などの液体燃料として利用可能な形に仕上げられる。

FT 合成の大きな利点は、原料の多様性と製品の品質である。バイオマス、都市ごみ、農業残渣など、さまざまな炭素含有物質を原料として利用できるため、廃棄物の有効活用や資源循環の観点からも優れている。また、生成される燃料は硫黄や芳香族化合物をほとんど含まない高品質なものであり、従来の化石燃料と比較して環境負荷が低い。

しかし、FT 合成には課題も存在する。特に、プロセス全体が高温・高圧を必要とし、設備投資や運転コストが高くなる傾向がある。一部の報告では、ガス化 FT 合成の製造コストの約 8 割が設備投資に起因するとされている。また、プロセスのエネルギー効率や経済性の向上が求められており、これらの課題を克服するための技術開発が進められている。

他の SAF 製造手法と比較すると、FT 合成は HEFA や ATJ といった手法と異なり、ガス化プロセスを経由するため、原料の選択肢が広い。特に、非食用バイオマスや廃棄物を利用できる点で、食料供給との競合を避けることが可能である。一方で、HEFA が既に商業化されているのに対し、FT 合成は商業化に向けた実証段階にあり、技術的成熟度やコスト競争力の面でさらなる開発が必要とされている。

商業化に向けた取り組みとして、米国の Fulcrum BioEnergy 社が埋立地廃棄物を原料とした FT 合成による SAF 製造プラントを建設し、2022 年 12 月に世界初の商業規模プラントとして稼働を開始した。また、欧州や北欧でも、FT 合成を用いた SAF 製造プロジェクトが進行中であり、2020 年代後半からの本格的な生産開始が予定されている。

(4) E-Fuel (Power to Liquid, PtL)

E-Fuel、またはパワー・トゥ・リキッド (Power to Liquid, PtL) は、再生可能エネルギーを活用して液体燃料を製造する技術である。このプロセスは、再生可能エネルギー由来の電力を用いて水を電気分解し、水素 (H_2) を生成することから始まる。次に、この水素と二酸化炭素 (CO_2) を化学的に反応させ、液体炭化水素燃料を合成する。この際、 CO_2 は工場の排気ガスなどから回収する場合と、大気中から直接回収する場合がある。

PtL 技術の主な利点は、原料として化石資源に依存せず、再生可能エネルギーと CO_2 を利用することで、カーボンニュートラルな燃料を生成できる点である。これにより、航空業界の脱炭素化に大きく貢献することが期待されている。また、PtL で生成される燃料は、従来のジェット燃料と化学的性質が類似しており、既存の航空機エンジンやインフラでそのまま使用できる互換性を持つ。

他の SAF 製造手法と比較すると、PtL はバイオマスや廃油などの生物由来の原料を必要としないため、原料供給の制約や食料生産との競合といった課題を回避できる。しかし、PtL プロセス全体には大量の電力が必要であり、その電力が再生可能エネルギーから供給されることがカーボンニュートラルを実現する前提となる。さらに、現時点では製造コストが高く、商業化に向けたコスト削減と技術開発が求められている。

実際のプロジェクトとして、ドイツ北部のニーダーザクセン州エムスラントでは、世界

初となる PtL 技術を用いた合成ジェット燃料の量産プラントが稼働を開始した。このプラントでは、再生可能エネルギー由来の電力を使用して水を電気分解し、生成された水素と CO₂を合成してジェット燃料を製造している。

総じて、E-Fuel (PtL) は、再生可能エネルギーと CO₂を活用した持続可能な燃料製造手法として、航空業界の脱炭素化に寄与する可能性を秘めている。しかし、大規模な商業化に向けては、エネルギー効率の向上や製造コストの削減、再生可能エネルギーの安定供給体制の構築など、解決すべき課題が多く存在する。今後の技術革新と投資が、これらの課題を克服し、PtL 燃料の普及を促進する鍵となるであろう。

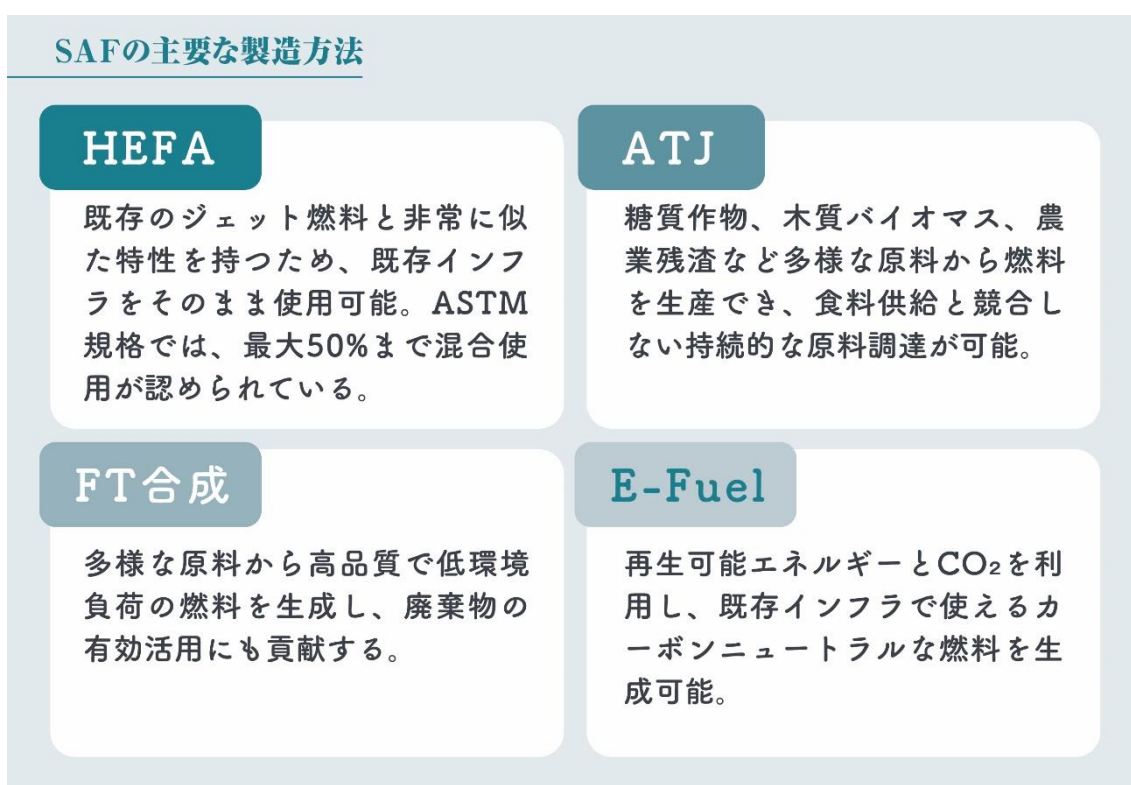


図 5 SAF の主な製造方法を示している。HEFA, ATJ, FT 合成, E-Fuel といった異なる技術があり、それぞれ特性や原料供給の多様性が異なるため、SAF の実用化には最適な製造プロセスの選択と組み合わせが求められる。

2.3 SAF の環境・経済的インパクトとそのメリット

SAF は環境面および経済面において極めて多角的なメリットを有する燃料技術である。まず、環境的側面から見ると、SAF は従来の化石燃料由来ジェット燃料と比較して、ライフサイクル全体で最大 80%程度の CO₂排出削減が可能であるとされる。この削減効果は、燃料製造に用いられる再生可能資源や廃棄物が、成長過程や廃棄時に大気中の CO₂を吸収または固定する性質を有するため、燃焼時に排出される CO₂が実質的にカーボンニュートラ

ルとなる点に起因する。すなわち、再生可能な原料を利用することで、従来の化石燃料と比較して大幅な温室効果ガス削減が達成されるため、航空業界の脱炭素化に大きく寄与することが期待される。

さらに、SAF の製造過程においては、廃食油、都市ごみ、農業残渣、林地残渣など、従来は廃棄されるか低付加価値で利用されていた資源を有効活用することが可能である。このような資源循環型の利用は、廃棄物処理に伴う環境負荷を低減するとともに、廃棄物そのものの削減および資源のリサイクル促進につながる。結果として、循環型社会の実現に寄与するとともに、地域全体の環境改善効果をもたらすものである。こうした環境効果は、国際的な温室効果ガス削減目標や各国政府が推進する持続可能な開発目標（SDGs）の達成にも資する重要な要素である。

一方、経済的なメリットでは SAF の普及に伴い、新たな産業分野の創出や雇用の拡大が期待される。具体的には、原料の調達、製造プロセスの研究開発、流通および最終利用に至るまで、サプライチェーン全体での投資と技術革新が促進されることになる。これにより、地域経済の活性化や産業基盤の強化が実現されるのである。また、国内において SAF の生産体制が整備されれば、エネルギー自給率の向上およびエネルギー安全保障の強化にも寄与する。輸入燃料への依存度を低減することで、国際市場における価格変動リスクや供給不安定性から国内産業を守ることが可能となる。

また、SAF は従来のジェット燃料とほぼ同等の物理化学的特性を有するため、既存の航空機エンジンや燃料供給インフラと互換性が高い。これにより、航空会社は大規模な設備投資やインフラの改修を必要とせず、比較的短期間かつ低コストで SAF を導入することができる。既存の運航システムに対する負担が少ないため、航空業界全体における導入障壁が低減され、短期間での普及拡大が期待される。さらに、SAF の普及は、環境規制の強化や国際的なカーボンプライシング制度の導入と連動して、企業にとっても炭素排出コスト削減という経済的インセンティブを提供する。こうした政策支援と市場メカニズムが整備されれば、SAF の製造コストは段階的に低減し、従来燃料との競争力が向上する可能性があるのである。

国際的には、アメリカのインフレ抑制法（IRA）や欧州各国のグリーンエネルギー施策など、各国政府が SAF の導入を促進するための補助金や税制優遇措置、クレジット制度が次々に導入されている。こうした政策的支援は、技術開発や商業生産のスケールアップを後押しし、長期的な市場形成に向けた重要なファクターとなる。政策と市場の連携によって、初期段階における高コスト問題を克服し、持続可能な経済活動としての SAF が確立されることは、環境保全と経済成長の両立を実現する上で極めて重要である。

さらに、SAF の導入は、関連技術の研究開発を通じた技術革新の波及効果も期待される。製造プロセスの最適化、触媒技術の向上、再生可能エネルギーとの統合利用など、複数の技術分野における進展は、他の産業分野にも好影響を与える可能性がある。これにより、国全体の技術競争力が強化され、先端産業の育成と国際競争力の向上が図られる。特に、再生可

能エネルギーや環境技術の分野で世界的なリーダーシップを発揮することは、長期的な経済発展と国家の持続可能性に直結する戦略的意義を有する。

総合的に見れば、SAF は環境負荷の大幅な低減、資源循環の促進、地域経済の活性化、エネルギー安全保障の向上、そして技術革新の推進といった多面的なメリットを兼ね備えている。これらのメリットは、従来の化石燃料に依存する現行の航空燃料システムを根本的に変革するポテンシャルを持ち、航空業界のみならず、国際社会全体の持続可能な発展に寄与するものである。今後、政府の政策支援や国際協力、企業の積極的な投資、そして技術革新の進展を背景に、SAF は環境面・経済面の両立を実現する新たなエネルギー基盤として確固たる地位を築くことが期待される。

3. SAF をめぐる国内外の動向

3.1 国際的な研究開発と導入事例

持続可能な航空燃料(SAF)の研究開発および導入は、各国で急速に進展している。特に、特許出願の動向を分析することで、どの技術が注目され、どの国や企業が技術開発をリードしているのかが明らかになる。そこで、本調査では、SAF 技術に関連する特許出願の動向を把握するため、国際特許出願データを分析した。対象期間は 2005 年 1 月 1 日から 2024 年 12 月 31 日までとし、調査対象は国際公開特許 (PCT 出願) である。特許情報の収集には、サイバーパテント株式会社が提供する「CyberPatent Desk」データベースを利用した。このデータベースは、最新の特許情報を包括的に収録し、IPC 分類やキーワード検索を用いた精度の高い調査が可能である。

本調査では、SAF 技術を ATJ、HEFA、ガス FT、および合成燃料の 4 つのカテゴリに分類し、それぞれの技術分野に関する特許を抽出した。検索条件として、各技術に関連する IPC 分類 (C10L および C10G) を適用し、全文検索においては各技術の名称や関連キーワードを組み合わせた検索式を使用した。

具体的には、ATJ 技術の特許を抽出するため、検索キーワードとして「ATJ」および「Alcohol to Jet」を設定し、対象期間内の出願データを抽出した。同様に、HEFA 技術については「HEFA」および「Hydroprocessed Esters and Fatty Acids」というキーワードを使用した。ガス FT 合成技術に関しては、「Gasification」「Fischer-Tropsch」「Synthesis」の用語を組み合わせた検索式を用い、関連特許を特定した。さらに、合成燃料技術については「Synthetic Fuel」という検索語を適用し、広範な特許情報を収集した。

各検索式では、国際特許分類 (IPC) によるフィルタリングを行い、技術的に適切な特許のみを抽出するように設定した。また、検索結果の特許データを統計的に整理し、出願件数の推移、国別出願状況、主要出願企業の分布などの分析を実施した。これらのデータを基に、グラフやバブルチャートを作成し、SAF 技術の特許動向を可視化した。特許出願の傾向を時系列で追跡することで、各技術の研究開発の進展や国際競争の動向を詳細に把握することが可能となった。

本調査の結果は、今後の SAF 技術開発および特許戦略を検討する上で重要な指標となる。特に、特許出願件数の増加傾向や国別の技術開発の偏りを分析することで、各国の政策や産業界の取り組みを理解し、技術革新の方向性を予測することができる。本分析の詳細な結果を以下で詳述する。

3.1.1 SAF 技術の特許出願件数の推移

SAF 技術の研究開発は、2000 年代後半から急速に活発化し、特許出願件数の動向からもその変遷を確認できる。PCT（特許協力条約）に基づく国際特許出願のデータを詳細に分析することで、各技術の研究開発のピークや市場動向の変化を読み取ることが可能である。そこで、特許出願件数の推移を定量的に評価し、各技術がどのような経緯で発展してきたのかを明らかにする。

特許データの分析によると、合成燃料全体の累計出願件数は 1,606 件であり、その内訳を見ると、ATJ 技術が 1,177 件、ガス FT 合成技術が 817 件、HEFA 技術が 208 件となっている。特に ATJ 技術は全体の約 73%を占めており、SAF 技術の中で最も多くの特許出願が行われてきたことが分かる。一方で、FT 合成技術も継続的に開発が進められており、特に工業規模での適用を目指した技術革新が進行している。HEFA 技術は、他の技術と比較して特許出願件数が少ないものの、近年の市場需要の高まりとともに、新規出願数が増加傾向にある。

PCT 出願件数（公開基準）_棒グラフ編

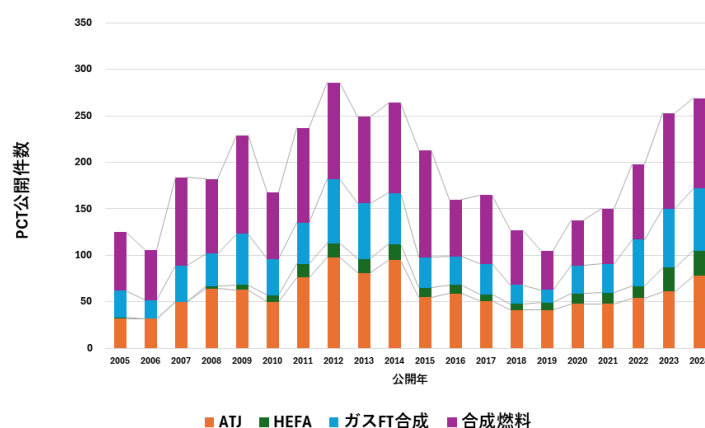


図 6 2005 年から 2024 年までの PCT（特許協力条約）に基づく SAF 技術の出願件数の推移を示したものである。棒グラフの色分けは、ATJ、HEFA、ガス FT 合成、および合成燃料の 4 つの技術カテゴリーを表している。出願件数は 2008 年から 2014 年にかけて増加し、2012 年にピークを迎えた後、一時的に減少した。しかし、2020 年以降再び増加傾向にあり、2023 年・2024 年には 2012 年と同等の水準に回復している。特に、ATJ 技術の出願件数が全体の中で大きな割合を占めている点が特徴的である。

時系列的な推移を詳しく見ると、2008 年から 2014 年にかけては、SAF 技術全体

の特許出願数が急増している。この期間には、特に ATJ 技術とガス FT 合成技術の出願が活発に行われ、年間での出願件数は 2008 年には 50 件程度であったが、2013 年には 130 件を超える規模に達した。これは、欧米諸国を中心にバイオ燃料技術への投資が進んだこと、および国際民間航空機関（ICAO）による航空燃料のカーボンニュートラル化に関する議論が進展したことが背景にあると考えられる。また、この時期には、米国エネルギー省（DOE）や欧州委員会（EC）によるバイオ燃料技術への補助金や研究助成が活発に行われており、多くの企業が特許ポートフォリオの拡充に力を入れたと推測される。

2015 年以降の動向を分析すると、特許出願件数は一時的に減少傾向を示している。特に 2017 年から 2020 年にかけては、年間の出願件数が約 70 件前後にまで落ち込んでおり、2013 年のピークと比較すると半減している。この背景として考えられる要因の一つは、当時の原油価格の低下である。2014 年以降、世界的な原油供給の増加により、ジェット燃料の価格が大幅に下落し、SAF 技術への投資が一時的に鈍化した可能性がある。また、技術的な課題として、ATJ 技術や FT 合成技術のスケールアップが困難であり、商業化の実現に向けたコスト削減が進まなかった点も影響したと考えられる。

しかし、2020 年以降は再び特許出願件数が増加傾向にある。2023 年には出願件数が 120 件を超え、2013 年のピークに匹敵する水準にまで回復した。これは、気候変動対策が国際的に再強化されたこと、および ICAO による「CORSIA（国際航空のカーボンオフセットおよび削減スキーム）」の導入が影響していると考えられる。CORSIA は、航空業界における CO₂排出量の削減を義務付ける制度であり、SAF の導入を促進する政策的な後押しとなった。これにより、多くの企業が SAF 技術の特許取得を再び積極的に進めるようになった。

PCT出願件数（公開基準）_折れ線グラフ編

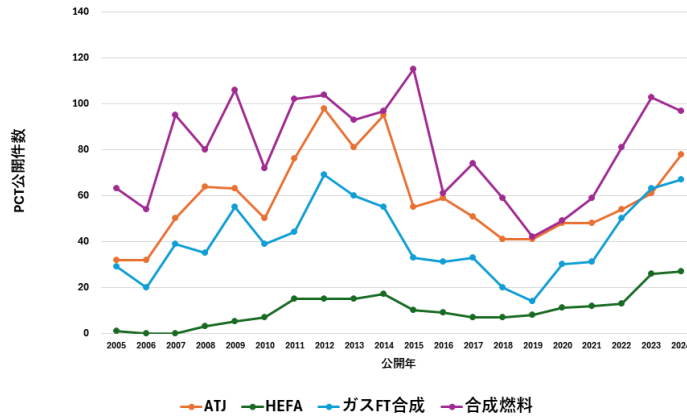


図 7 PCT 出願件数の推移を折れ線グラフで示したものである。技術ごとの出願動向をより詳細に視覚化し、各技術の成長と減衰の傾向を明確にしている。2012 年から 2014 年にかけては、ATJ と合成燃料の技術が急速に成長し、年間 100 件以上の出願が行われた。2015 年以降は、全体的に出願件数が減少する傾向が見られるが、2020 年以降は各技術で増加傾向が確認される。特に、合成燃料とガス FT 合成技術が近年再び活発化している。

技術別の動向をさらに詳しく見ると、ATJ 技術は 2012 年に年間出願件数 98 件でピークを迎えたが、その後 2015 年から 2019 年にかけて減少し、2021 年以降に再び増加している。一方、HEFA 技術は 2011 年以降比較的稳定した出願傾向を維持し、特に 2020 年代に入ってから成長傾向にある。HEFA は、既存の製油所設備を活用して製造可能なため、市場導入が比較的容易であることが要因と考えられる。ガス FT 合成技術は 2005 年から 2024 年まで安定した出願件数を維持しており、年間 20～69 件の範囲で推移している。このことから、FT 合成技術は特定の用途において継続的な研究開発が行われていると推測される。

このように、SAF 技術の特許出願件数の推移を詳細に分析すると、技術開発の進展と市場動向の関連性が明確に浮かび上がる。特許出願の増減は、政策的支援、原油価格の変動、技術的課題の克服状況など、さまざまな要因に影響を受けており、今後の SAF 市場の発展を予測する上で重要な指標となる。特に、2020 年代以降の SAF 技術の商業化を加速するためには、特許出願件数の推移とその内訳を継続的にモニタリングし、各技術の競争力を評価することが不可欠である。

3.1.2 SAF 技術の国別出願者数

製法別の出願者数上位5か国と日本の出願者数（2005年～2014年公開分）

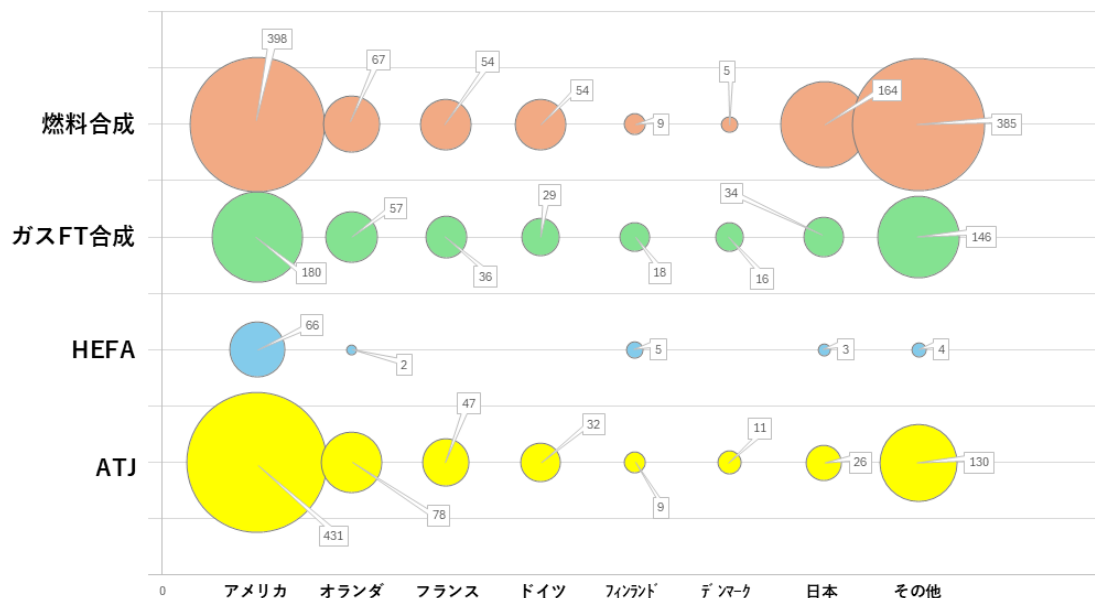


図 8 2005 年から 2014 年にかけての SAF 技術の特許出願者数を国別に示したものである。各バブルの大きさは出願件数を表しており、アメリカが最も多くの出願を行っていることが確認できる。ATJ 技術では、アメリカ（431 件）が圧倒的なシェアを持ち、次いでフランス（78 件）、ドイツ（32 件）となっている。ガス FT 合成技術はアメリカ（180 件）が最多であり、フィンランド、ドイツも一定の出願数を有している。HEFA 技術は、アメリカ（66 件）とフィンランド（5 件）が中心であり、当該技術の欧州における研究開発の進展を示している。

製法別の出願者数上位5か国と日本の出願者数（2015年～2024年公開分）

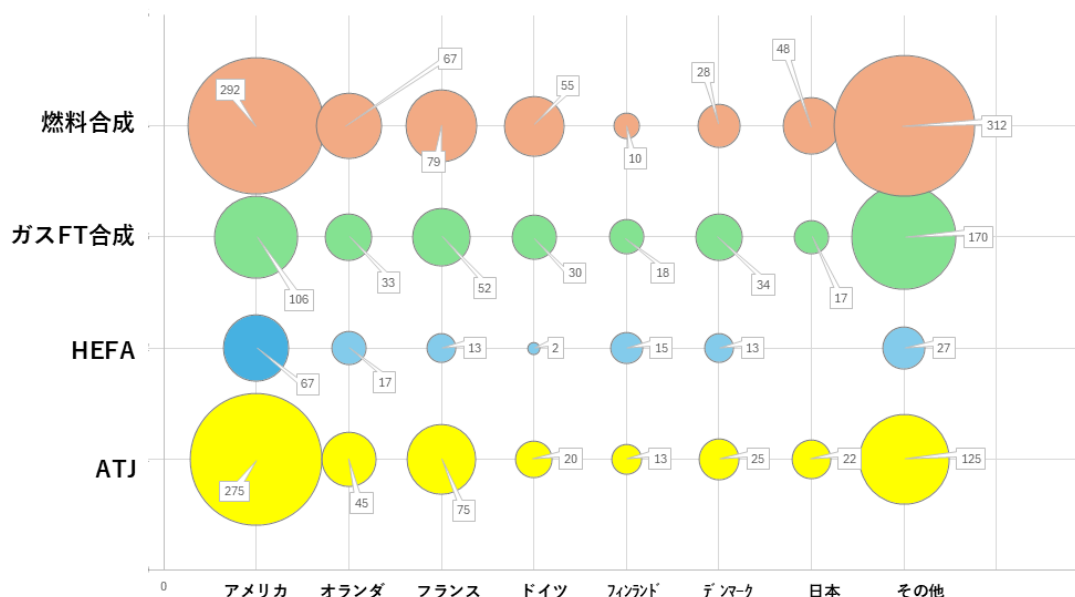


図 9 2015 年から 2024 年にかけての PCT 出願者数を国別に示したバブルチャートである。2005 年～2014 年のデータと比較すると、フィンランドやデンマークなどの欧州諸国の出願数が増加しており、特に HEFA 技術の分野で研究開発が進展していることが分かる。ATJ 技術においては、アメリカ（275 件）が依然として最大の出願国であるが、オランダやフランスの出願件数が増加傾向にある。ガス FT 合成技術では、アメリカ（170 件）が引き続きトップであるが、ドイツやデンマークの出願数も増加し、欧州の技術競争力が強まっている。

SAF の技術開発は、各国の政策や市場動向と密接に関連しており、特許出願の分布から各国の技術競争力や産業戦略を読み取ることができる。そこで、PCT（特許協力条約）に基づく国際特許出願データを用いて、SAF 技術の国別出願者数の動向を詳細に分析する。国ごとの出願件数の違いは、各国が重点を置いている技術分野や産業政策の違いを反映しており、各国の航空燃料市場における競争力の違いを明らかにする指標となる。

分析対象のデータによると、2005 年から 2024 年にかけて、SAF 技術の国別特許出願件数は顕著な変化を示している。特に、米国、欧州諸国（フィンランド、デンマーク、フランス、ドイツ）、およびアジア（日本、中国）が主な技術開発拠点となっており、それぞれの国や地域で重点的に取り組まれている技術の違いが浮き上がる。

米国は、全体の出願件数で最も多く、特に HEFA 技術と ATJ 技術に関する特許出願が集中している。2005 年から 2014 年の期間には、米国の出願者数が他国を大

きく上回り、年間の出願件数は最大で 120 件に達している。この背景には、米国政府のバイオ燃料政策が影響していると考えられる。例えば、2005 年の「エネルギー政策法(Energy Policy Act)」および 2007 年の「エネルギー自立・安全保障法(EISA)」に基づき、バイオ燃料の利用促進が政策的に推進されたことで、企業や研究機関が特許取得に積極的になったと考えられる。また、米国エネルギー省(DOE)の助成プログラムや、カリフォルニア州の「低炭素燃料基準(LCFS)」などの制度が、HEFA 技術と ATJ 技術の研究開発を後押しした可能性が高い。

欧州では、フィンランドとデンマークが HEFA 技術とガス FT 合成技術の研究開発を主導しており、特にフィンランドの Neste 社やデンマークの Haldor Topsoe 社が積極的に出願を行っている。フィンランドの特許出願数は 2005 年から 2014 年にかけて緩やかに増加し、2015 年以降に急激に増加した。この要因としては、EU の「再生可能エネルギー指令 (RED)」に基づき、バイオ燃料の使用比率を高める規制が導入されたことが挙げられる。フィンランド政府は、国内のバイオ燃料産業を成長分野と位置づけ、Neste 社を中心に大規模な技術投資を行ってきた。その結果、HEFA 技術を活用した再生可能燃料の生産能力が拡大し、それに伴い関連する特許出願数が増加した。

デンマークは、FT 合成技術の研究開発をリードしており、出願件数の多くが触媒技術やプロセス最適化に関連している。特に、Haldor Topsoe 社は、FT 合成技術に関する独自の触媒開発を進めており、デンマークの特許出願の大部分を占めている。デンマークは、風力発電の普及率が高く、再生可能エネルギーを活用した合成燃料への関心が高まっていることも、FT 合成技術の研究開発が盛んな理由の一つと考えられる。

フランスとドイツは、主に ATJ 技術に関する特許出願が多く、特にフランスの TotalEnergies 社や IFP Energies Nouvelles 社が主導的な役割を果たしている。フランス政府は、航空産業の脱炭素化を進めるための補助金制度を導入しており、これにより企業の技術開発が活発化している。また、ドイツでは、エネルギー転換政策「Energiewende」の一環として、バイオ燃料の技術開発が推進されており、特に BMW や Audi といった自動車メーカーが ATJ 技術を利用したバイオ燃料の開発に関与している。

アジアでは、日本と中国が SAF 技術の特許出願に積極的である。日本の出願件数は全体的に欧米諸国と比較すると少ないものの、特定の年に集中して出願が増加する傾向がある。特に 2007 年と 2023 年に大幅な増加が見られ、これは国内の研究機関や企業が特定の技術開発プロジェクトを進めていたことを示唆している。日本では、経済産業省と国土交通省が主導する形で、SAF 技術の開発が進められており、JAL (日本航空) や ANA (全日本空輸) といった航空会社も積極的に技術開発に参画している。特に、国産バイオマスを活用した SAF の開発に重点が置か

れており、将来的な商業化が期待されている。

中国では、特許出願の数が 2010 年代後半から急増しており、特にガス FT 合成技術に関する出願が目立つ。中国政府は、国内のエネルギー自給率を高めるため、合成燃料技術の研究開発に多額の資金を投入しており、中国石油化工（Sinopec）や中国科学院といった研究機関が主導している。中国では、従来の石炭液化技術（CTL）を応用した FT 合成技術が発展しており、これを活用した SAF の製造が進められている。

総じて、SAF 技術の特許出願の国別動向を見ると、欧米諸国が依然として技術開発の中心を担っているものの、アジア諸国の台頭も顕著である。特に、米国、フィンランド、デンマーク、フランス、ドイツの企業がそれぞれ異なる技術領域で強みを発揮しており、日本や中国も特定の技術分野で独自のアプローチを取っている。今後の SAF 市場の成長に伴い、各国の特許戦略がどのように変化していくのかを継続的に分析することが、技術競争力の評価において重要となる。

3.1.3 SAF 技術の主要企業の特許出願動向

SAF の技術開発競争は、特定の企業による集中的な研究開発投資によって推進されている。特許出願の動向を企業別に詳細に分析することで、どの企業がどの技術分野で優位性を持っているのかを明確にできる。SAF 市場の形成と発展は、特定の企業が持つ特許ポートフォリオの影響を受けるため、特許出願の傾向を理解することは、今後の技術開発の方向性を予測する上で極めて重要である。

特許出願データを詳細に解析すると、SAF 技術の開発をリードする企業は欧米のエネルギー企業、化学メーカー、航空関連企業が中心となっている。PCT（特許協力条約）に基づく特許出願件数の上位企業を比較すると、HEFA、ATJ、ガス FT 合成といった技術カテゴリごとに、特許戦略の違いが見えてくる。

過去 5 年間（2020～2024年）の国際出願公開件数トップ 5 企業

製法		企業名（国籍）	公開件数
ATJ	1	IFP ENERGIES NOUVELLES（フランス）	34
	2	EXXONMOBIL TECHNOLOGY & ENGINEERING（アメリカ）	22
	3	TOTALENERGIES ONETECH（フランス）	19
	4	TOPSOE（デンマーク）	12
	5	ECOLAB（アメリカ）	11
HEFA	1	EXXONMOBIL TECHNOLOGY & ENGINEERING（アメリカ）	14
	2	NESTE OIL（フィンランド）	13
	3	SHELL INTERNATIONALE RESEARCH SHELL OI（オランダ）	12
	3	SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V（アメリカ）	12
	3	TOTALENERGIES ONETECH（フランス）	12
ガスFT合成	1	HALDOR TOPSOE AS（デンマーク）	20
	2	JOHNSON MATTHEY DAVY TECHNOLOGIES（イギリス）	11
	3	TOPSOE（デンマーク）	10
	3	TOTALENERGIES ONETECH（フランス）	10
	5	NESTE OIL（フィンランド）	9
合成燃料	1	SHELL INTERNATIONALE RESEARCH SHELL OI（オランダ）	21
	1	SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V（アメリカ）	21
	3	TOPSOE（デンマーク）	16
	4	INRIGO AS（ノルウェー）	15
	5	TOTALENERGIES ONETECH（フランス）	12
	5	UNIVERSITE DE STRASBOURG（フランス）	12
	5	CNRS - CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE（フランス）	12
	5	SK INNOVATION（韓国）	12
	5	SK GEO CENTRIC（韓国）	12

図 10 2020 年から 2024 年にかけての SAF 技術に関する PCT（特許協力条約）出願件数の上位企業を示している。技術分野ごとに 5 社ずつリストアップされており、ATJ、HEFA、ガス FT 合成、合成燃料の 4 つのカテゴリに分類されている。

HEFA 技術の分野では、Neste 社、ExxonMobil、Shell、TotalEnergies が主導的な役割を果たしている。特に、フィンランドの Neste 社は再生可能燃料の製造技術に関する特許ポートフォリオを強化し続けており、HEFA 技術の商業化において世

界的なリーダーとみなされている。HEFA は、既存の石油精製施設と互換性があり、従来の燃料インフラを大きく変更することなく導入可能な点が強みである。Neste 社の特許出願数は、過去 10 年間で一貫して高水準を維持しており、特にプロセスの最適化や副産物の有効活用に関連する技術の出願が多い。ExxonMobil や Shell は、従来の化石燃料ベースの事業モデルを維持しつつ、SAF の導入拡大を進める戦略を採用しており、特許出願を通じて市場支配力の強化を図っている。

ATJ 技術に関しては、TotalEnergies、IFP Energies Nouvelles、ExxonMobil、LanzaTech、Gevo といった企業が積極的に特許を取得している。ATJ 技術は、エタノールやブタノールといったアルコールをジェット燃料へと変換するプロセスであり、バイオエタノール産業と密接な関係を持つ。特許出願の分布を見ると、TotalEnergies と IFP Energies Nouvelles がフランスを拠点としつつ、欧州市場での技術開発を進めていることが確認できる。一方、アメリカの LanzaTech と Gevo は、バイオマス由来のエタノールを利用する SAF 製造技術において競争力を強化しており、それぞれの技術的アプローチの違いが特許出願の内容に反映されている。Gevo の特許ポートフォリオには、カーボンフットプリントの削減やエネルギー効率向上に関する技術が多く含まれており、より持続可能な製造プロセスの開発に注力していることが伺える。

ガス FT 合成技術については、Haldor Topsoe、Johnson Matthey、Shell、Sasol、Velocys といった企業が主要なプレイヤーとなっている。デンマークの Haldor Topsoe は、FT 合成における触媒技術の開発をリードしており、特許出願の多くが新規触媒の設計やプロセスの最適化に関するものである。Shell と Sasol は、従来の化石燃料由来の FT 合成技術を応用し、バイオマスや CO₂ を原料とした合成燃料の開発に積極的である。Velocys は、小型のモジュール式 FT 合成装置を開発し、地方分散型の SAF 製造モデルを推進しており、その特許ポートフォリオにもその戦略が反映されている。

各技術分野における特許出願の傾向を分析すると、SAF 市場における企業の技術戦略の違いが明確になる。HEFA 技術は、既存の石油精製技術を活用できるため、従来のエネルギー企業が主導しており、規模の経済を活かした商業化が進んでいる。一方、ATJ 技術は、バイオエタノール産業との関連が強く、バイオ燃料系企業の参入が活発である。ガス FT 合成技術は、触媒技術の進展が鍵を握るため、化学メーカーや触媒技術に強みを持つ企業が特許出願を先導している。

総じて、SAF 技術の特許出願動向を企業別に詳細に分析すると、各企業がどの技術分野に注力しているのか、またどの市場戦略を採用しているのかが明確になる。今後の SAF 市場の発展を予測する上で、特許出願の動向を継続的にモニタリングすることは極めて重要であり、特にカーボンニュートラル政策の強化に伴い、どの企業がどの技術で市場優位性を確立するのかが注目される。

3.1.4 SAF 技術の国別出願者数の推移

SAF 技術の研究開発が世界的に進展する中で、特許出願件数の推移を国別に分析することで、どの国が技術開発を主導しているのかが明確になる。特に、ATJ、HEFA、ガス FT 合成の 3 つの主要技術に加え、PtL（Power to Liquid）などの合成燃料技術についても、国別の出願件数を時系列的に観察すると、各国の技術戦略や政策の変化が浮かび上がる。

特許データを詳細に分析すると、SAF 技術の特許出願は 2000 年代後半から増加し始め、2010 年代に入ると欧米諸国を中心に急速に出願件数が伸びた。特に、2012 年から 2014 年にかけては、アメリカ、フランス、ドイツ、デンマーク、フィンランドといった欧州諸国が主導する形で SAF 技術の特許取得が活発化している。この時期の特許出願の増加は、各国政府がバイオ燃料政策を強化し、航空業界の脱炭素化に向けた研究開発を促進したことが大きく影響していると考えられる。

ATJ_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位 5 か国と日本の出願者数の推移

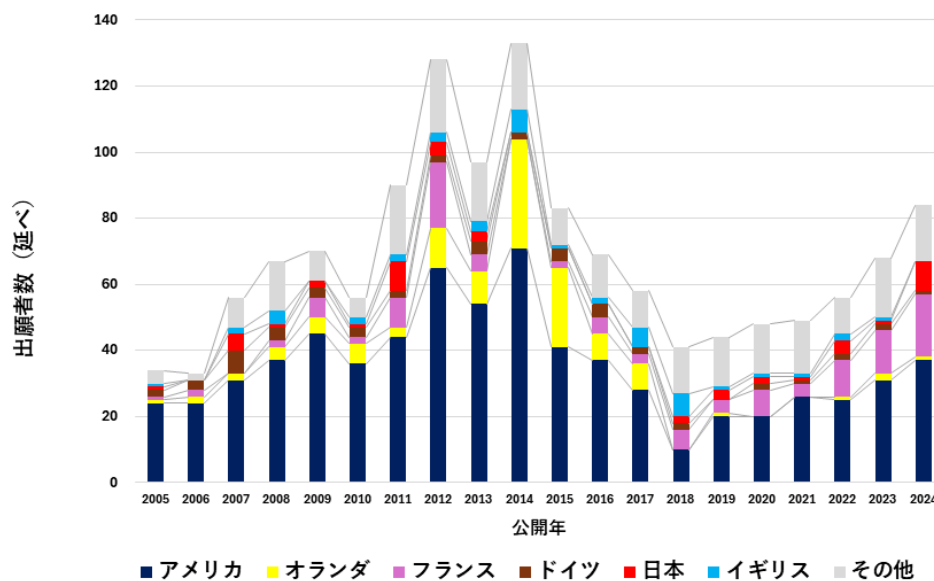


図 11 2005 年から 2024 年までの ATJ 技術に関する PCT（特許協力条約）出願件数を国別に分類し、上位 5 か国および日本の出願者数の推移を示したものである。特にアメリカが一貫して最多の出願件数を記録しており、2008 年から 2014 年にかけては年間 60 件を超えるピークを迎えた。オランダ、フランス、ドイツ、日本などの欧州諸国も一定の出願件数を維持しているが、近年の増加は限定的である。2021 年以降、特許出願件数が再び増加傾向にあり、特にアメリカの研究機関・企業が活発に特許を取得していることが分かる。

ATJ_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位5か国と日本の出願者数の推移

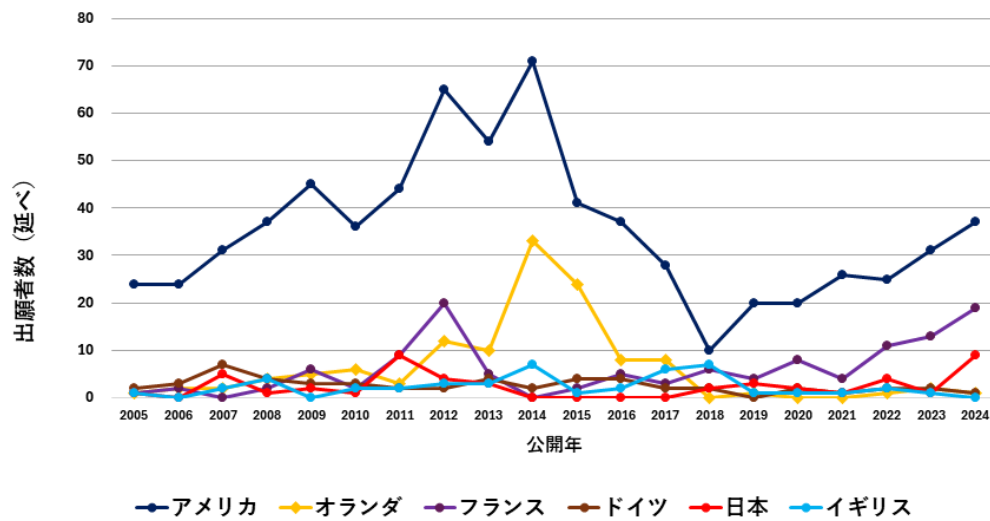


図 12 ATJ 技術の国別出願者数の推移を折れ線グラフとして示している。アメリカが突出して高い出願件数を維持しており、2005 年以降着実に増加し、2013 年から 2014 年にかけて最大のピークを迎えた後、一時的に減少した。しかし、2020 年以降再び増加傾向が見られ、2024 年には再び 50 件以上の出願が行われる見込みである。オランダやフランスも 2010 年代前半に一定の成長を示していたが、近年は横ばい傾向にある。日本の出願件数は低水準にとどまっているが、2022 年以降わずかに増加の兆しを見せている。

HEFA_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位5か国と日本の出願者数の推移

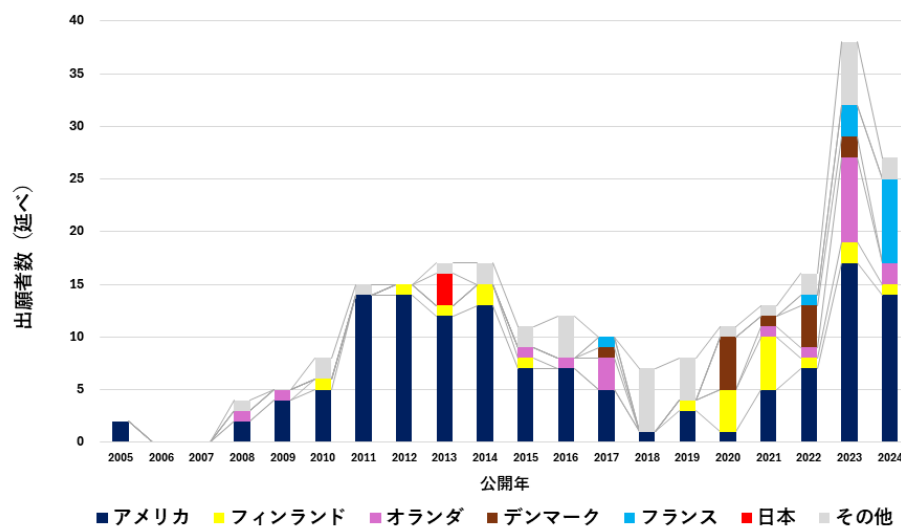


図 13 2005 年から 2024 年にかけての HEFA 技術の国別出願件数を示したものである。フィンランドの Neste 社を中心に、HEFA 技術の研究開発が進められてお

り、特に 2010 年以降アメリカの出願件数が急増したことが確認できる。2013 年から 2015 年にかけてアメリカが最多の出願を行い、フィンランドやオランダなどの欧州諸国も出願件数を増加させた。2020 年以降、HEFA 技術の特許出願は再び増加傾向にあり、2023 年以降は過去最高水準に達している。

HEFA_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位 5 か国と日本の出願者数の推移

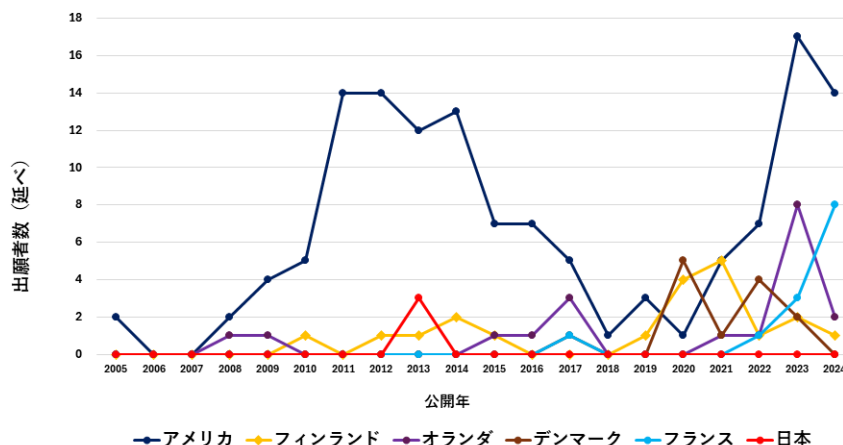


図 14 HEFA 技術の国別出願者数を折れ線グラフで示したものである。2009 年から 2015 年にかけてアメリカの出願件数が急増し、年間最大 16 件以上の特許が出願された。2016 年以降、一時的に減少したが、2020 年以降再び増加傾向にある。フィンランド、オランダ、デンマーク、フランスなどの欧州諸国でも出願数が増加しており、特に 2023 年には複数国で過去最高水準の出願が確認されている。

ガス合成FT_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位 5 か国と日本の出願者数の推移

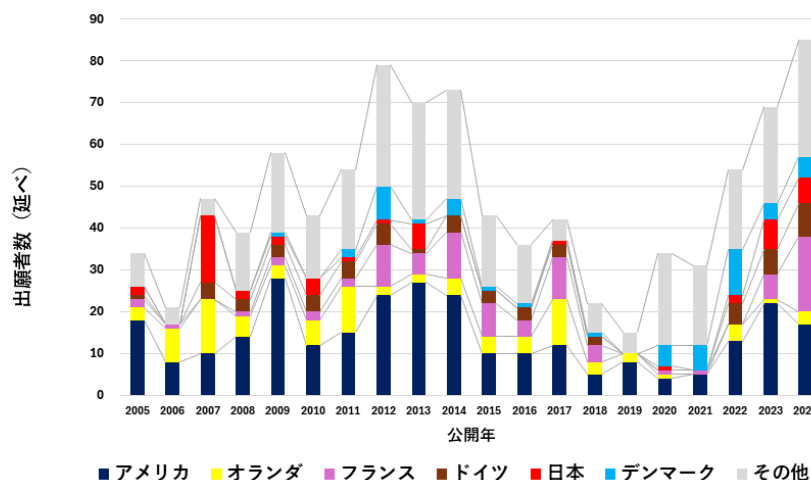


図 2 2005 年から 2024 年にかけてのガス FT（Fischer-Tropsch）合成技術に関する

る国別出願件数の推移を示している。アメリカが継続的に最多の出願件数を維持しており、2008年から2014年にかけてピークを迎えた。オランダ、フランス、ドイツ、日本などの国々も一定の出願件数を示しており、特に2010年代前半にはオランダやフランスの出願件数が増加した。2020年以降、特許出願数は再び増加しており、特にアメリカとデンマークの企業が積極的に技術開発を進めていることが示唆される。

ガス合成FT_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位5か国と日本の出願者数の推移

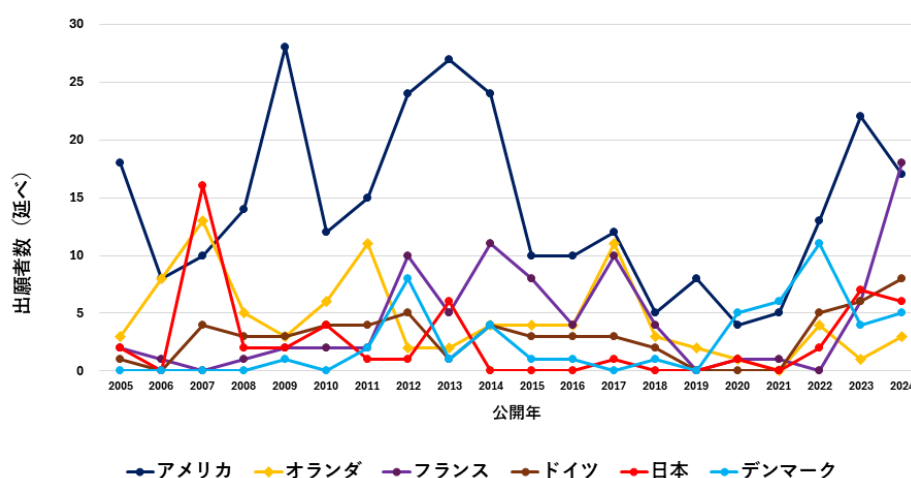


図 3 ガス FT 合成技術に関する国別の出願者数を折れ線グラフで示したものである。アメリカが一貫して最多の出願件数を誇り、特に2008年から2014年にかけて急増し、年間最大30件の出願が行われた。オランダやドイツ、日本の出願件数も一定の推移を示しており、2010年代後半には一時的な減少が見られたものの、2020年以降再び増加傾向にある。特に2023年以降は、アメリカとデンマークの出願件数が急激に伸びており、今後の技術開発の動向が注目される。

合成燃料_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位5か国と日本の出願者数の推移

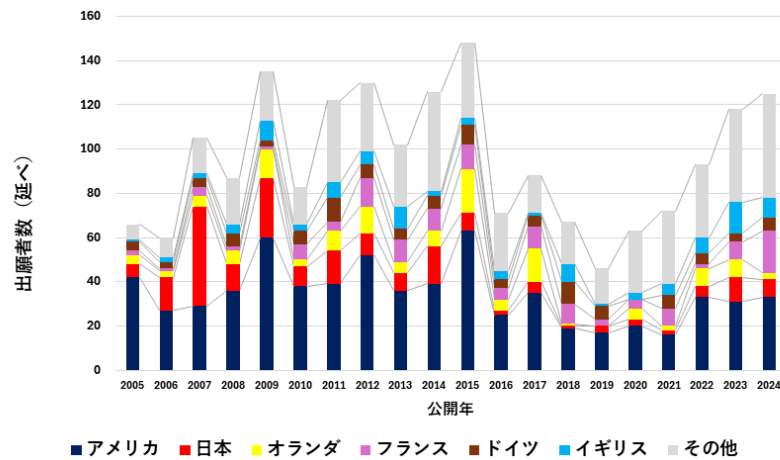


図 4 2005 年から 2024 年にかけての合成燃料技術に関する PCT 出願件数の推移を国別に示したものである。アメリカが最多の出願件数を維持しており、2008 年から 2015 年にかけてピークを迎えた。日本、オランダ、フランス、ドイツ、イギリスなどの国々も一定の出願件数を示しており、特に 2010 年代前半には日本の出願件数が急増したことが確認される。2020 年以降、特許出願数は再び増加しており、特にアメリカと欧州諸国の出願が活発化している。

合成燃料_国際出願公開件数（2005～2024年）の上位5か国と日本の出願者数の推移

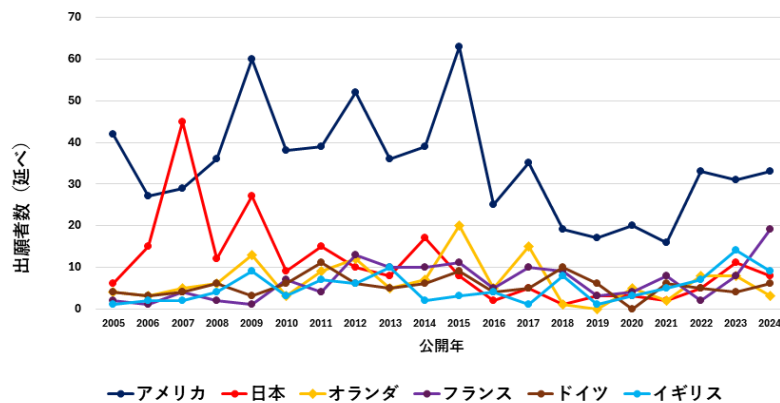


図 5 合成燃料技術に関する国別の出願者数を折れ線グラフで示したものである。アメリカが最多の出願件数を誇り、2008 年から 2015 年にかけて急増し、年間最大 60 件の出願が行われた。日本の出願件数も 2007 年から 2009 年にかけて急増し、一時的にアメリカと同等の水準に達したが、その後減少した。2020 年以降は、アメリカと欧州諸国の出願件数が再び増加傾向にあり、2023 年以降の成長が期待される。

ATJ 技術に関しては、2012 年から 2014 年にかけてアメリカの出願件数が急増しており、年間で最大 60 件以上の特許が出願されている。この背景には、米国政府のバイオ燃料政策の支援があり、特に「再生可能燃料基準 (RFS)」の下でエタノールを活用したジェット燃料の開発が推進されたことが挙げられる。この結果、アメリカでは LanzaTech や Gevo といった企業が積極的に特許を取得し、技術の商業化を進めた。一方で、フランスやオランダも 2013 年頃から ATJ 技術の特許出願を増やし、TotalEnergies や IFP Energies Nouvelles が技術開発を主導した。

2015 年以降、ATJ 技術の特許出願件数は一時的に減少し、2020 年までは年間 40 件前後で推移している。この要因としては、原油価格の低下による SAF 市場全体の投資縮小や、技術的なスケールアップの難しさが挙げられる。しかし、2021 年以降、アメリカ、フランス、ドイツを中心に再び出願件数が増加しており、2023 年には再び年間 50 件を超える水準に回復している。この増加は、ICAO の CORSIA（国際航空のカーボンオフセットおよび削減スキーム）の導入や、EU の「Fit for 55」政策など、各国の脱炭素政策の強化に起因していると考えられる。

HEFA 技術に関しては、フィンランドとアメリカが主要な出願国となっており、特に 2010 年代前半にフィンランドの Neste 社が多数の特許を出願している。Neste は再生可能ディーゼルおよび航空燃料の分野で世界的なリーダーであり、HEFA 技術の商業化に向けた特許戦略を強化してきた。アメリカでは、ExxonMobil や Chevron などの大手石油企業が HEFA 技術に関連する特許を取得し、バイオ燃料市場への参入を進めている。

HEFA 技術の出願件数は 2015 年以降、比較的安定した推移を示しているが、2020 年代に入ると特許出願が再び増加している。特に、EU の再生可能エネルギー指令（RED II）が 2021 年に施行され、再生可能燃料の使用比率の引き上げが義務付けられたことが、欧州における特許出願の増加を後押ししている。また、HEFA 技術は既存の石油精製設備を活用できるため、従来の石油産業との親和性が高く、他の SAF 技術と比べて市場導入が容易である。このため、特許出願の推移を見ても、安定的な成長を続けていることが確認できる。

ガス FT 合成技術に関しては、2005 年以降、アメリカ、ドイツ、デンマークが主要な出願国となっており、年間 20～50 件程度の特許が継続的に出願されている。ガス FT 合成は、合成ガス（CO と H₂）を用いて液体燃料を製造する技術であり、触媒技術が鍵を握る。このため、Haldor Topsøe（デンマーク）、Johnson Matthey（イギリス）、Sasol（南アフリカ）といった触媒メーカーが特許を取得し、市場競争力を高めている。

2010 年代後半には、ガス FT 合成技術の特許出願が一時的に減少したが、2020 年以降再び増加傾向にある。この背景には、カーボンリサイクル技術の進展があり、特に CO₂を原料とする FT 合成技術の研究開発が活発化していることが影響してい

る。例えば、ドイツでは PtL (Power to Liquid) 技術の開発が進み、FT 合成技術を応用したカーボンニュートラル燃料の製造が進められている。

PtL 技術に関する特許出願も増加傾向にある。PtL は、水素と CO₂を原料にして合成燃料を製造する技術であり、脱炭素化の観点から注目を集めている。特に、ドイツでは Siemens や Sunfire が PtL 技術の研究開発を進めており、欧州委員会(EU)が資金提供するプロジェクトの一環として、多数の特許が出願されている。アメリカでも、ExxonMobil が PtL 技術に関する特許を取得し、商業化の可能性を探っている。

国別の特許出願件数の推移を見ると、アメリカが依然として最多の出願を行っているが、近年はフランス、ドイツ、フィンランド、デンマークといった欧州諸国の出願が増加している。これは、EU の環境規制強化に伴い、バイオ燃料技術の研究開発が促進されていることと一致する。また、アジアでは中国と日本の出願件数が徐々に増加しており、特に中国では合成燃料技術に関連する特許の出願が活発化している。これは、中国政府がエネルギー自給率の向上を目指し、合成燃料の開発に投資していることが影響していると考えられる。

このように、SAF 技術の国別出願者数の推移を詳細に分析すると、各国の政策、企業戦略、技術の進化が反映されていることがわかる。今後の SAF 市場の成長に伴い、特許出願の動向がどのように変化していくのかを継続的に分析することが、技術競争力の維持・強化にとって重要な要素となる。特に、欧州諸国の出願件数の増加が今後の技術革新にどのような影響を与えるのか、またアジア市場の成長がどの程度グローバルな SAF 技術の発展に寄与するのかが、今後の焦点となるだろう。

3.2 国際規制と日本市場における課題

各国は航空業界の脱炭素化を達成するため、SAF の導入促進に向けた独自の規制や目標を設定している。たとえば、欧州連合（EU）は 2025 年 1 月に航空燃料に対して最低 2% の SAF 混合の義務化がはじまった。そして 2050 年までにその比率を 70% に引き上げる計画を進めている。これらの規制は、航空業界全体の CO₂ 排出削減を実現するための強力な政策手段として機能している。一方、アメリカ合衆国は 2030 年までに年間 30 億ガロンの SAF 生産を目指し、2050 年までに国内需要を完全に国産 SAF で賄うことを目標としている。こうした規制は、先進国を中心に、技術革新と製造プロセスの最適化を促進しながら、持続可能な航空燃料の市場拡大を後押しする狙いがある。

しかし、こうした規制政策の背景には、SAF の製造コストが依然として従来の化石燃料由来のジェット燃料に比べ高いという現実がある。製造プロセスの多様性や原料供給の不確実性が、経済的な普及の妨げとなっている。たとえば、廃食油や農業残渣などの原料は、供給量に限りがあるだけでなく、品質や持続可能性の観点からも一律の評価が困難である。そのため、原料の安定供給を確保し、コスト競争力を高めるためには、政府の補助金制度やカーボンプライシング、さらには技術革新を通じたプロセス改善が不可欠である。特に、国際競争が激化する中で、国内産業の競争力を維持するためには、製造コストの低減と原料供給の安定化が急務である。

国内においては、政府が 2030 年までに国内航空会社が使用する燃料の 10% を SAF に置き換えるという目標を掲げているが、実際の生産能力はまだ初期段階に留まっている。日本は、限られた農業資源や再生可能エネルギーの導入状況、さらには製造プロセスに対する研究開発投資の面で、欧米やアメリカに比べて後れを取っている現状がある。特に、国内での SAF 生産は、原料となる廃棄物やバイオマスの回収システム、及びその加工・製造技術の整備が十分に進んでおらず、これが目標達成の大きな懸念材料となっている。また、海外からの SAF 輸入に依存することは、国富の流出だけでなく、エネルギー安全保障上のリスクをも内包する。グローバルなサプライチェーンにおいては、輸送コストの上昇や国際情勢の変動によって供給が不安定になる可能性が高いため、国内生産能力の強化が急務である。

さらに、SAF の導入に関する国際的な規制や基準の整合性も重大な課題である。各国が独自の環境性能評価基準や認証制度を採用している現状では、国際航空ネットワーク内での SAF 利用において、基準の不統一が障壁となる可能性がある。たとえば、EU における混合比率や品質基準と、アメリカやアジア諸国の基準が一致しない場合、国際便での燃料供給や燃料取引に混乱が生じる恐れがある。国際民間航空機関（ICAO）や国際航空運送協会（IATA）を中心とした国際的な枠組みの中で、SAF の評価基準や認証手続きの標準化が求められているが、その整備には時間と多くの調整が必要である。

加えて、SAF の環境性能についても、ライフサイクルアセスメント（LCA）に基づく評価手法が各国で異なるため、その環境効果が十分に担保されるかどうかの判断基準が一律でない。再生可能原料を使用しているとはいえ、原料の生産過程における土地利用の変化や、

農業用水、肥料の使用など、環境負荷の転嫁が懸念される点については、厳格な評価が求められる。こうした評価基準の統一と透明性の確保は、SAF の環境メリットを国際的に認めさせるための基盤となるものであり、日本もまた、独自の評価手法を見直し、国際的な合意形成に寄与する必要がある。

また、政策的支援の不足も日本にとっての大きな懸念である。海外では、インフレ抑制法（IRA）や各種グリーンエネルギー政策を通じ、SAF の製造と普及に向けた強力なインセンティブが提供されている。一方で、日本においては、これらの政策支援がまだ十分に整備されておらず、産業界が自主的に投資を拡大するための明確なビジョンが不足している。そのため、政府は SAF の普及促進に向けた法整備や支援策、さらにカーボンクレジットのような制度の導入を積極的に進め、国内外の先進事例を参考にした包括的な戦略を策定する必要がある。これにより、国内産業の競争力を高め、エネルギー自給率の向上と環境保全の両立を図ることが求められる。

総じて、SAF の普及に関する規制は、国際的な環境目標と航空業界の脱炭素化の推進という観点からは必要不可欠なものであるが、その実現には高い製造コスト、原料供給の不確実性、国際基準の不統一、及び政策支援の不足といった複数の課題が内在している。日本にとっては、これらの課題を克服するため、国内生産能力の強化、安定した原料供給の確保、さらには国際的な規制整合性への対応が急務である。各国の先進的な政策事例や技術開発の動向を注視し、官民一体となった取り組みを通じて、国際社会におけるリーダーシップを発揮するとともに、自国のエネルギー安全保障と経済発展を両立させる戦略を構築することが求められる。

3.3 日本国内における SAF 普及への取り組み

3.3.1 SAF の導入促進に向けた官民協議会の取り組み

日本政府は SAF の導入を促進し、供給体制の確立と国際競争力の強化を目的として、2022 年 4 月に「SAF 官民協議会」を設立した。この協議会は、経済産業省資源エネルギー庁と国土交通省が主導し、航空会社、石油元売会社、空港事業者、研究機関などが参加し、SAF の国内生産や導入拡大のための課題と解決策を議論する場として機能している。協議会の設立以来、日本における SAF の導入計画は段階的に進められており、2023 年には具体的な数値目標や政策支援策が明確に打ち出された。

2022 年の発足当初、協議会では 2030 年までに国内航空燃料の 10%を SAF に置き換える目標が設定され、その達成のために必要な取り組みが検討された。この目標は、国際民間航空機関（ICAO）の CORSIA（国際航空のカーボンオフセットおよび削減スキーム）や欧州の「Fit for 55」政策と整合性を持たせる形で設定されており、国際的な航空燃料の脱炭素化に対応するものである。

協議会では、SAF の国内供給量を拡大するため、「製造・供給ワーキンググループ（WG）」と「流通ワーキンググループ（WG）」の二つの専門グループを設置し、それぞれ異なる観点から課題解決を進めている。製造・供給 WG では、国内での SAF 生産拠点の確保と拡張、バイオマス資源の確保、技術開発への支援策が議論されており、2023 年には具体的な生産計画が発表された。特に、HEFA 技術を活用した製造プロジェクトや、ATJ 技術を用いたバイオエタノール由来の SAF 製造計画が進行している。

2023 年 7 月の協議会では、SAF の製造コスト削減と安定供給を実現するために、政府が SAF 製造施設の建設費補助や GX（グリーン・トランスフォーメーション）経済移行債の活用を推進することが発表された。この資金支援により、国内での SAF 生産能力の拡充が期待されている。同時に、2024 年には、国内の製油所を活用した SAF の混合施設の整備や、原料となるバイオマス資源の供給網の強化についても議論が行われた。

流通 WG では、SAF の供給チェーン構築や国際認証取得の支援策が主な議題となっている。特に、ICAO が定める CORSIA 適格燃料の認証取得を進めることで、日本産 SAF の国際市場での競争力を高める取り組みが進行している。2023 年 11 月の会合では、国内で製造された SAF を国際認証に適合させるための基準整備が議論され、2024 年中には認証プロセスの明確化を目指す方針が示された。

さらに、SAF の導入を促進するための国内制度の整備も進められている。航空会社が SAF を使用する際のコスト負担を軽減するため、カーボンクレジット制度の活用が検討されており、企業が SAF 利用による CO₂削減分をカーボンオフセットできる仕組みが整備されつつある。この取り組みは、特に国際線を運航す

る航空会社にとって、SAF 利用のインセンティブを高める要素となっている。

2024 年には、日本の主要な航空会社や石油元売会社が具体的な SAF 調達計画を策定し、国産 SAF の利用拡大に向けた企業間連携が強化されている。例えば、全日本空輸（ANA）と日本航空（JAL）は、国産 SAF の共同調達プロジェクトを発表し、国内製造の SAF を優先的に活用する方針を示した。また、国内の石油精製会社も、既存の製油所を活用した SAF 混合燃料の供給体制を構築する計画を進めている。

このように、SAF 官民協議会の取り組みは、日本の航空燃料市場の脱炭素化を推進する重要な役割を果たしている。早期に国産 SAF の生産量を大幅に拡大し、2030 年には国内航空燃料の 10%を SAF に置き換えるという目標の達成に向けて、さらなる技術開発や制度整備が求められている。今後も官民の連携を強化し、持続可能な航空燃料の供給体制を確立することが、日本の航空産業の国際競争力を維持するための鍵となるであろう。

3.3.2 国内民間企業の技術開発と実用化事例

日本国内における SAF の開発と導入は、政府の支援と航空業界の脱炭素化の動きに後押しされ、2020 年代に入って急速に進展している。特に、石油元売会社、航空会社、化学メーカー、バイオ燃料企業が中心となり、SAF の供給体制の構築を目指した多角的な取り組みが展開されている。ここでは、これまでの経緯を時系列的に整理し、国内の主要企業がどのような戦略をもって SAF 市場に参入しているのかを詳述する。

2020 年以降、日本国内では SAF の試験導入が本格化した。2021 年 3 月、全日本空輸（ANA）は国産 SAF を活用した国内初の定期便運航を実施した。この SAF は、日揮ホールディングスと ENEOS が共同開発したもので、廃食油を原料とした HEFA 製法により製造されたものであった。同年 6 月には、日本航空（JAL）も SAF を使用したフライトを実施し、2022 年にかけて両社とも SAF の調達拡大を目指した契約を進めていった。

2022 年は、日本国内の石油精製会社が SAF 製造に向けた具体的な設備投資を決定する重要な年となった。2022 年 9 月、ENEOS は千葉製油所で SAF 製造設備の建設を開始し、2024 年中の稼働を目指すと発表した。この設備では、HEFA 技術を活用し、年間約 30 万キロリットルの SAF を生産する計画が立てられている。また、同年 12 月には、コスモ石油が堺製油所において SAF 製造施設の建設に着手し、2025 年からの本格供給を目指すことを明らかにした。

2023 年には、国内の SAF 市場が大きく進展した。3 月には JAL が米国 Gevo 社と提携し、2027 年以降に年間 50 万キロリットル規模の SAF を調達する長期契約を締結した。この動きは、日本国内の供給がまだ限定的である中、海外市場との連

携を強化することで安定的な供給体制を構築する狙いがあった。同時期に ANA も、LanzaJet 社および米国のバイオ燃料企業と協力し、ATJ 技術を用いた SAF の調達を拡大する方針を示した。

一方で、国内生産の強化も進められており、2023 年 5 月には出光興産が三菱商事や日本製紙と連携し、木質バイオマスを活用した SAF の開発プロジェクトを発表した。これは、合成燃料 (E-Fuel) の開発を視野に入れた新しい取り組みであり、2028 年までに実証プラントを稼働させる計画が進められている。

2023 年後半には、日本国内での SAF 製造の実用化に向けた動きがさらに加速した。10 月には、コスモ石油が廃食油を活用した HEFA 技術による SAF 製造のため、商業ベースでの生産拡大を検討していると発表した。また、住友商事と三井化学が、使用済みプラスチックを原料とする FT 合成技術を活用した SAF 製造の実証試験を開始したことも注目された。

一方、国内での生産能力の拡大と供給体制の強化の中で、従来の原料に加えて、地域資源を活用した新たな SAF 製造の可能性も注目されるようになった。特に、太陽石油は沖縄地域におけるサトウキビを原料としたエタノールを用い、ATJ 技術による SAF 製造を検討している。この取り組みは、沖縄という島嶼部特有の地産地消型エネルギー戦略と、サトウキビ生産の潜在力を活かした新たな供給モデルとして期待されるものであり、同社は地域経済の活性化および航空燃料の多角化に向けた先進的なアプローチである。

2024 年に入ると、これまでの研究開発フェーズから本格的な商業生産フェーズへと移行する兆しが見られた。1 月には、ENEOS が千葉製油所での SAF 生産能力を倍増させる計画を発表し、コスモ石油も同様に製造能力の拡大を検討していることを明らかにした。また、JAL と ANA は、国内 SAF の供給拡大に向けた共同調達枠組みの構築に取り組み、2025 年以降の供給安定化を目指している。

このように、日本国内の SAF 開発と導入は、航空会社、石油元売会社、バイオ燃料企業、商社、化学メーカーなどが協力する形で進められており、官民一体での取り組みが加速している。2025 年以降は、国内生産の拡大と国際市場との連携強化がより一層求められることとなり、日本の航空業界がグローバルな SAF 市場でどのように競争力を確保するかが今後の重要な課題となる。

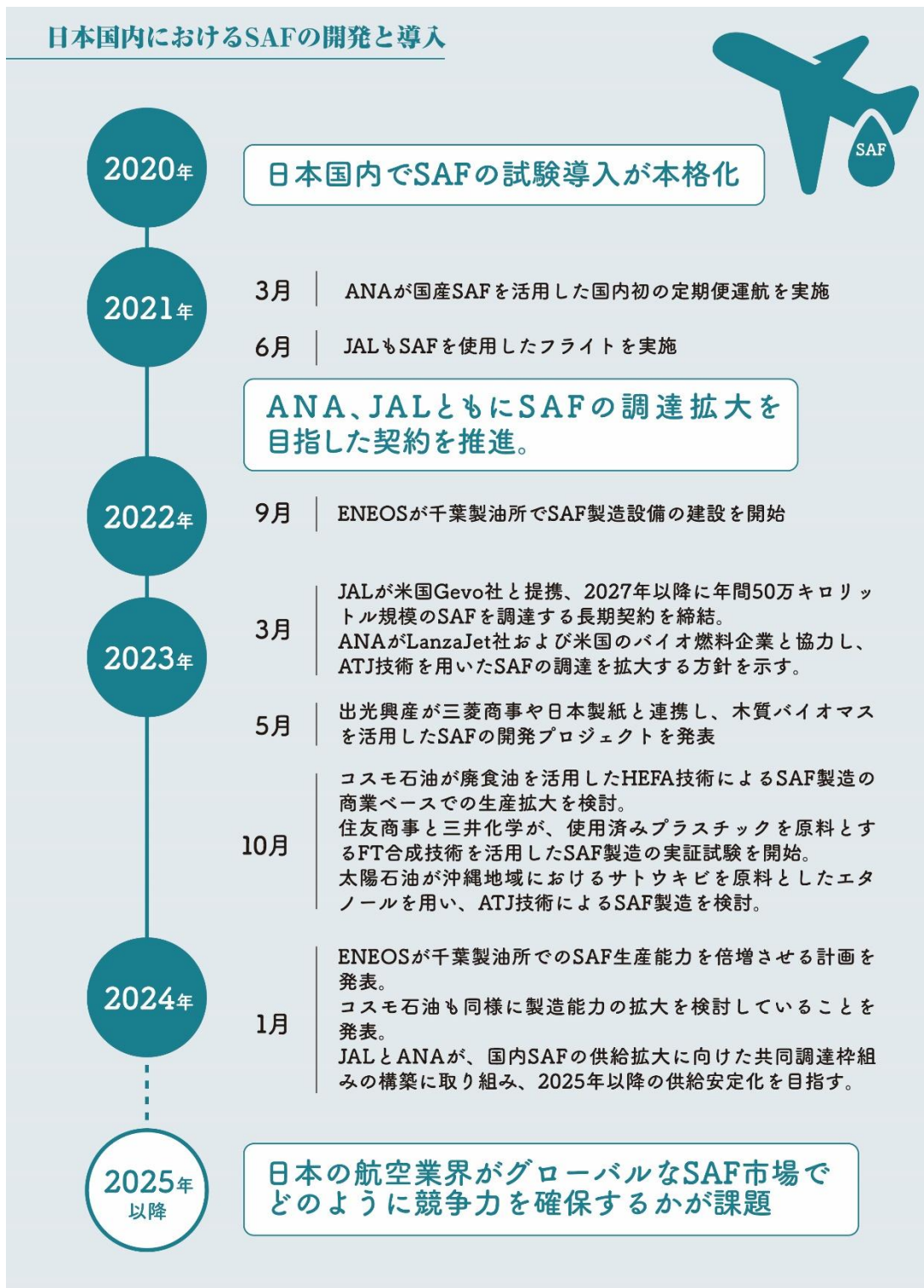


図 19 日本国内における SAF の開発と導入の進展を時系列で示している。2020 年の試験導入開始から、国内外の企業や航空会社が SAF の調達・生産拡大に取り組んでおり、2025 年以降の安定供給と国際競争力の確保が課題となっている。

4. サトウキビの現状と多用途利用の展望

4.1 サトウキビの生産環境と現状分析

サトウキビは、世界中の熱帯・亜熱帯地域で広く栽培される重要な作物であり、主に砂糖やバイオエタノールの原料として利用されている。我が国においても沖縄県や鹿児島県を中心に栽培されており、国内の甘味資源作物の中核を担う存在である。しかし、近年、サトウキビ生産を取り巻く環境は大きく変化しており、国内外の需給動向、政策的な課題、さらには新たな利用可能性が模索されている。

1. 世界のサトウキビ生産の概況

世界的に見ると、ブラジル、インド、中国、タイ、メキシコなどが主要な生産国であり、特にブラジルは世界最大の生産・輸出国としての地位を確立している。同国ではサトウキビを砂糖の生産だけでなく、バイオエタノールの原料としても積極的に利用し、エネルギー政策と農業政策が一体となった形で推進されている。一方、インドは国内消費が多く、輸出よりも国内供給の安定に重点を置く形となっている。東南アジア諸国では製糖業とともに食品加工産業との結びつきが強く、経済の成長とともに生産量の増加が見られる。

2. 日本のサトウキビ生産の現状

日本国内では沖縄県、鹿児島県の離島地域（奄美群島や喜界島など）でサトウキビが栽培されている。特に沖縄県は国内のサトウキビ生産の約 7 割を占める一大生産地である。2022 年度のデータでは、日本全体のサトウキビ生産量は約 145 万トンであり、これは過去数十年間でほぼ安定した水準を維持しているが、気象変動や生産コストの上昇により生産量の変動も見られる。

また、サトウキビ生産の収益性は政府の支援に依存する部分が大きく、糖価調整制度を通じた価格安定化が重要な役割を果たしている。例えば、農林水産省による生産者交付金や、製糖工場への補助金はその代表的な政策である。これにより、国産砂糖の安定供給が維持されているが、近年では加糖調製品（輸入加工品）の流入による競争圧力の影響も指摘されている。

3. サトウキビ生産の課題

日本国内のサトウキビ生産においては、いくつかの重要な課題が存在する。まず第一に、生産コストの上昇が深刻な問題となっている。特に、労働力不足による収穫作業の効率化が求められており、手作業による収穫から機械化への移行が進められている。例えば、鹿児島県の一部地域ではビレットプランターやハーベスタの導入が進んでおり、労働時間の削減と収穫効率の向上が期待されている。

また、気候変動の影響も無視できない。近年、台風や干ばつなどの異常気象が頻発しており、サトウキビの生産量に直接的な影響を及ぼしている。特に、沖縄県における台風の影

響は大きく、年によっては収穫量が大幅に減少することがある。このため、耐病性や耐候性に優れた新品種の開発が求められており、一部では多回株出し栽培（萌芽性の高い品種を用いた継続的な収穫）への転換が試みられている。

4. サトウキビの多用途利用の可能性

サトウキビは、砂糖の原料としての利用だけでなく、エネルギー分野への応用も期待されている。特に、バガス（搾りかす）を活用したバイオマス発電や、糖蜜を利用したバイオエタノール製造は、持続可能なエネルギー供給の観点からも注目されている。例えば、ブラジルではサトウキビ由来のエタノールが国内のガソリン消費量の約半分を占めるまでに至っており、今後、日本国内でも同様の取り組みが期待される。

農林水産省の報告によれば、国内のサトウキビ生産をすべて SAF 原料に転用した場合、最大で年間約 16 万 kL の SAF を生産できると試算されている。これは、日本の航空燃料需要の一部を賄う量ではあるものの、既存の製糖産業とのバランスを考慮しながら進める必要がある。

5. 政策的支援と今後の展望

サトウキビ産業の持続可能性を確保するためには、政府の政策的支援が不可欠である。糖価調整制度をはじめとする既存の支援策の継続に加え、スマート農業技術の導入による生産性向上、気候変動への適応策の強化、さらにバイオ燃料や SAF などの新たな用途開発への投資が求められる。

特に、日本国内ではサトウキビの新たな用途開発に向けた実証プロジェクトが進められており、バイオエタノールの製造コスト削減、地域のエネルギー自給率向上などの側面での貢献が期待されている。また、海外事例を参考にしつつ、国内の生産体制と市場のニーズに即した適切な政策を策定することが、今後の課題となる。

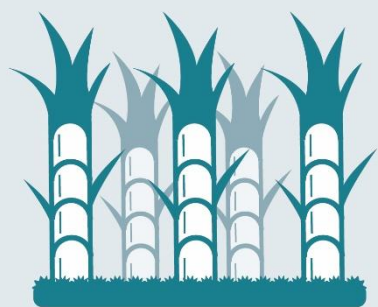
このように、サトウキビ産業は単なる砂糖の供給源にとどまらず、持続可能なエネルギー供給や地域経済活性化の一翼を担う可能性を秘めている。したがって、今後は農業・エネルギー政策の一体化を図りながら、より柔軟なサプライチェーンの構築と、持続可能な生産体制の確立を目指すことが求められる。

日本国内におけるサトウキビの生産状況

2022年度
国内サトウキビ生産量

沖縄県が国内生産量の
7割を占める

約145万トン



鹿児島県

沖縄県

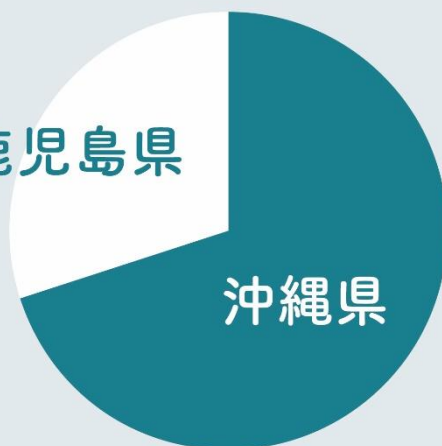


図 20 日本国内におけるサトウキビの生産状況を示している。2022 年度の国内生産量は約 145 万トンであり、その約 7 割を沖縄県が占めている。

4.2 サトウキビの多用途利用可能性とその課題

サトウキビはかつて砂糖生産の原料として中心的な役割を果たしてきたが、現代においてはその利用価値が大きく拡大している。従来の生産体制では、砂糖の製造工程において生じる副産物はほとんど活用されず、むしろ処分の対象とされることが多かった。しかし、近年のエネルギー転換や温室効果ガス削減のニーズの高まりを受け、これらの副産物が持つ潜在的なエネルギー資源や有機物資源としての価値に注目が集まっている。農業と工業、さらには地域経済全体を巻き込む新たな生産・加工システムの構築が求められており、サトウキビ自体の多層的な資源価値は、単一用途に固執しない柔軟なビジネスモデルの実現に向けた重要な要素となっている。

一方で、日本のサトウキビの生産は、海外の生産地に比べ厳しい気候条件であり、単位収量が低いという現実がある。これらの地域では、収穫時期が限られ、低温や干ばつといった自然環境の制約が生産効率に大きく影響しており、原料としての供給の安定性が常に問題視されている。伝統的な栽培技術は、一度の収穫に依存する傾向が強く、その結果、収穫量のばらつきや品質の不均一性が顕著となっている。これを打破するためには、従来の技術に頼らず、農業と工業の融合を前提とした新たな生産手法の開発が急務である。具体的には、周年型操業や多回株出し技術の導入、そして先端的な機械化技術の活用によって、生産期間

を延長し、収穫の安定性と均一な品質の確保を図る必要がある。これらの取り組みは、従来の生産体制では達成し得なかった効率向上と、原料の持続的供給を可能にする基盤となる。

さらに、加工および流通の側面では、製糖業界がこれまで副産物の排出を抑制する生産方式に依存してきたため、バイオ燃料やバイオケミカルへの転換を前提とした加工プラントや流通ネットワークの整備が不十分である現状がある。生産されたサトウキビやその副産物が、環境負荷を低減しつつ高い付加価値へと変換されるためには、原料の収集、輸送、加工、そして市場への供給までを一貫して最適化するシステムが不可欠である。このようなシステムは、従来の砂糖一本足経営から脱却し、農業、工業、地域経済が一体となった統合的な生産体制の確立を意味する。例えば、収穫後に発生するバガスを燃料として利用することで、工場内で必要な電力を自給自足し、かつ余剰電力を外部へ供給する仕組みを構築すれば、エネルギーコストの削減と環境保全の両立が図られる。このような取り組みは、技術革新と政策支援が連動することで、全体としての生産性向上と経済的利益の最大化に結びつく可能性がある。

環境面においては、サトウキビの栽培および加工プロセスがもたらす正味の CO2 吸収効果や、土壌の有機物循環の促進など、従来の単なる製糖生産からは想定されなかった副次的な効果も無視できない。生産者、加工業者、そして地域社会全体が、これらの資源を循環的に活用することで、環境負荷を大幅に低減しながら持続可能な生産システムを確立する道が開ける。したがって、技術革新とともに、社会全体でのシステム設計や政策支援が不可欠であり、これらが統合されることで、サトウキビの持つ潜在的な資源価値が従来の枠組みを大きく超えた新たな産業基盤として実現されると考えられる。産業全体がこの方向性に向かって一体的に進むことが、将来的なエネルギー自給率の向上と地域経済の再生、さらには環境保全の観点からも極めて重要である。

サトウキビの多用途利用の可能性

従来の利用方法	砂糖生産の原料
拡大する利用方法	エネルギー資源（バイオ燃料） 有機物資源（バイオケミカル）
副産物の利用	バガス（搾りかす）を燃料として利用し、工場内で必要な電力を自給自足、余剰電力を外部へ供給
環境面の利用	栽培および加工プロセスにおけるCO ₂ 吸収効果 土壌の有機物循環促進

図 21 サトウキビの多用途利用の可能性を示している。従来の砂糖生産に加え、エネルギー資源や有機物資源としての利用が拡大している。また、副産物であるバガスを燃料として活用し、工場内のエネルギー自給や余剰電力の供給が可能となるほか、環境面では CO₂吸収や土壌の有機物循環促進にも貢献する。

4.3 SAF 原料としてのサトウキビの価値とポテンシャル

航空業界における脱炭素化への取り組みが世界的に加速する中、SAF の需要は急速に拡大している。従来、SAF の原料として注目されてきたのは、廃食油や木質バイオマスなどであったが、サトウキビはその豊富な糖質資源および製糖工程に伴う副産物の存在から、新たな原料候補として極めて有望である。サトウキビ由来エタノールの生産技術は既に成熟しており、その変換技術を応用することで、効率的な ATJ プロセスや直接発酵プロセスによる SAF 製造が現実味を帯びている。

サトウキビが持つ特徴として、植物体としての高い炭素固定能力と、製糖工程における副産物の多量発生が挙げられる。これらの副産物は、従来は付加価値が低いものとされていたが、これを有効に活用することで、原料コストの低減および環境負荷の大幅な削減が実現可能となる。たとえば、エタノールを中間体として利用するプロセスでは、原料の糖質を高効率に変換することが可能であり、同時に余剰となる副産物をエネルギーや化学原料として再利用するシステムは、全体としての資源循環を促進する効果が期待される。

さらに、サトウキビ栽培に適した地域での生産は、温暖な気候条件を背景に低コストで安

定供給が見込まれると同時に、地域経済の活性化にも寄与する。特に、島嶼地域においては、地産地消の原則に基づいたエネルギー供給システムの構築が可能であり、これが国産 SAF の自給率向上に大きく貢献する可能性がある。加えて、ライフサイクル全体での温室効果ガス排出量の削減効果は、環境政策上も高く評価される要素となっており、例えば炭素クレジット制度のような、農家や製糖業者に対する経済的インセンティブが期待される。

しかし、サトウキビを SAF 原料として実用化する上で、いくつかの技術的・経済的課題が依然として存在する。まず、サトウキビの栽培環境や収穫時期による品質のばらつきは、安定したエタノール生産を阻む要因となっている。こうした原料の安定供給を確保するためには、品種改良と高度な栽培管理技術の導入が不可欠であり、特に年間を通じた収穫体制の確立が急務である。次に、SAF 製造プロセス自体も、エタノールからジェット燃料への変換効率や反応条件の最適化といった技術課題を抱えており、これらを克服するためには、先端的な触媒技術や設備のスケールアップが必要となる。

経済的側面においては、原料供給から加工、流通に至る一連の工程において、コスト競争力を維持するためのシステム設計が求められる。各段階での効率向上とともに、環境負荷を定量的に評価する仕組みを整え、これを経済的価値に転換する制度設計が、産業全体の持続可能性を支える基盤となる。政策面での支援や、産学官連携による研究開発の推進が、こうした技術革新と商業化の両輪を加速させる重要な要素となるだろう。

総じて、サトウキビはその多面的な資源特性により、従来の製糖原料としての枠を超えて、SAF の原料としても極めて有望な候補となる。今後、技術革新と品種改良、加工プロセスの統合が進むことにより、サトウキビを基盤とした SAF 生産システムが確立され、航空業界の脱炭素化や地域経済の再生に寄与することが期待される。こうした取り組みは、国際的なエネルギー市場においても大きな競争優位性を発揮し、環境と経済の両面で持続可能な未来への転換を促す鍵となるであろう。

5. サトウキビ由来 SAF のサプライチェーン構築

5.1 サプライチェーン構築の意義と全体像

SAF 生産において、サプライチェーンの構築は、単に原料から最終製品までの物流網を整備するという枠を超え、環境負荷の低減、経済的競争力の強化、さらには国家のエネルギー安全保障や地域産業の振興といった多角的な側面から極めて重要な要素である。特に、サトウキビを原料とする SAF の場合、農業生産、原料の前処理、燃料製造、流通、そして最終的な供給に至るまでの各プロセスが連携して初めて、安定かつ持続可能な供給体制が実現されるのである。

まず、サプライチェーンの基盤となるのは、原料の安定的な確保である。甘味資源作物のひとつであるサトウキビは、気候条件や地域特性に大きく依存する作物であり、その生産量は年々の天候変動や農業技術の向上によって左右される。したがって、サトウキビを利用した SAF の生産においては、原料調達の段階で、農家との長期的なパートナーシップや、地域ごとの生産能力の評価、さらには多様な原料の併用によるリスク分散が不可欠である。例えば、従来のサトウキビに加えて、同地域で生産される他のバイオマス資源や、農業副産物の有効活用を図ることで、原料供給の安定性を高め、国際情勢や市場の変動に対する耐性を強化することが可能となる。

次に、製造プロセスにおける技術的側面も、サプライチェーン全体の効率性を左右する重要な要素である。SAF の製造には、HEFA、ATJ、FT 合成、E-Fuel といった多様な技術が存在するが、いずれのプロセスも高度な技術と大規模な設備投資を要する。そのため、各製造拠点が国際的な競争力を持つためには、先進的な技術の導入とともに、製造工程におけるエネルギー効率の向上、プロセスの自動化、品質管理の徹底が求められる。さらに、製造過程における副産物のリサイクルや、CO₂排出量の低減を実現するための統合的な環境管理システムの構築は、サプライチェーン全体での持続可能性を高める上で不可欠な取り組みである。こうした技術的改善は、製造コストの削減に直結し、結果として SAF の市場競争力を向上させる効果がある。

また、流通および最終供給の段階では、既存の航空燃料供給インフラを最大限に活用しつつ、SAF 専用の物流ネットワークの整備も並行して進める必要がある。SAF は従来のジェット燃料と高い互換性を有するため、現行の貯蔵施設や輸送手段を活用できるが、需要が拡大する初期段階では、供給と需要のバランスが崩れ、供給不足や在庫管理の難しさが顕在化する可能性がある。したがって、官民連携による需給調整の仕組みを構築し、需要予測に基づいた適切な在庫管理および輸送計画を策定することが求められる。さらに、物流全体での二酸化炭素排出量の管理や、環境負荷低減のための最適ルートの選定、さらにはデジタル技術を活用したサプライチェーンの可視化と効率化も、近年の持続可能な物流戦略の中で重要な役割を果たしている。

加えて、サプライチェーン全体の最適化は、単一企業や単一プロセスの問題に留まらず、

関連する複数の業界や地域との連携が必要である。たとえば、サトウキビの生産地域と燃料製造施設、さらには航空会社や物流業者との間で、情報共有や技術連携、さらには共同投資を行うことで、全体としてのシナジー効果が生まれる。これにより、原料の供給から製造、そして最終的な供給に至るまでのプロセス全体で、コスト削減と効率化が実現され、結果として SAF の普及促進に寄与する。特に、地域ごとの特性を活かした「地産地消モデル」の構築は、国内におけるエネルギー自給率の向上や地域経済の活性化にも直結するため、国際的なサプライチェーンの中でも注目される取り組みとなる。

さらに、サプライチェーンの重要性は、環境面でのメリットとも深く関連している。SAF の生産および流通プロセスにおいて、CO₂排出量の管理が徹底されることで、航空業界全体の脱炭素化効果がより一層高まる。たとえば、物流部門における最適化技術や、排出量を一括して管理するシステムの導入は、サプライチェーン全体での環境負荷低減に寄与する。こうした取り組みは、単に燃料自体の環境性能を向上させるだけでなく、製造から流通までの各段階での環境対策を統合的に推進するための基盤となる。結果として、航空業界における全体的な CO₂削減目標の達成に向けた一助となるのである。

また、サプライチェーンの整備は、技術革新や新たなビジネスチャンスの創出という経済的な側面にも大きく寄与する。SAF の製造・供給に関する取り組みは、関連する製造設備、技術ノウハウ、さらには物流システムの整備を通じて、他業種への波及効果を生む。特に、アジア圏における SAF 市場は数十兆円規模に成長する可能性が指摘されており、これにより関連産業全体が活性化し、新たな雇用創出や投資機会の拡大が期待される。こうした動向は、国際的なサプライチェーンの中で、日本が技術革新と経済発展の両面でリーダーシップを発揮するための重要な足がかりとなる。

さらに、サプライチェーンの効率化と統合的な管理は、国際競争力の向上にも直結する。グローバル市場においては、原料の供給や製造、流通の各段階での最適化が、製品のコスト競争力や供給の安定性に大きな影響を与える。これに対応するため、各国政府や国際機関は、共通の評価基準や認証制度の整備、さらにデジタル技術を活用したサプライチェーンのモニタリングシステムの導入を推進している。日本においても、こうした国際動向を踏まえ、官民連携によるサプライチェーン全体の最適化が急務である。これにより、SAF の普及促進とともに、航空業界全体の持続可能な発展が実現されるであろう。

総じて、SAF 生産におけるサプライチェーンの構築は、原料の安定供給、製造技術の高度化、流通システムの最適化、さらには環境負荷の管理や新たなビジネスチャンスの創出といった多角的な観点から極めて重要である。各段階が効率的に連携し、全体としてのサプライチェーンが統合的に機能することで、SAF の安定供給が実現され、国際競争力を持った持続可能な航空燃料産業の確立につながる。今後、国内外の先進事例や技術革新を積極的に取り入れ、官民連携による包括的な戦略を展開することが、日本における SAF 生産体制の強化と、持続可能な航空業界の実現に寄与する鍵となるであろう。

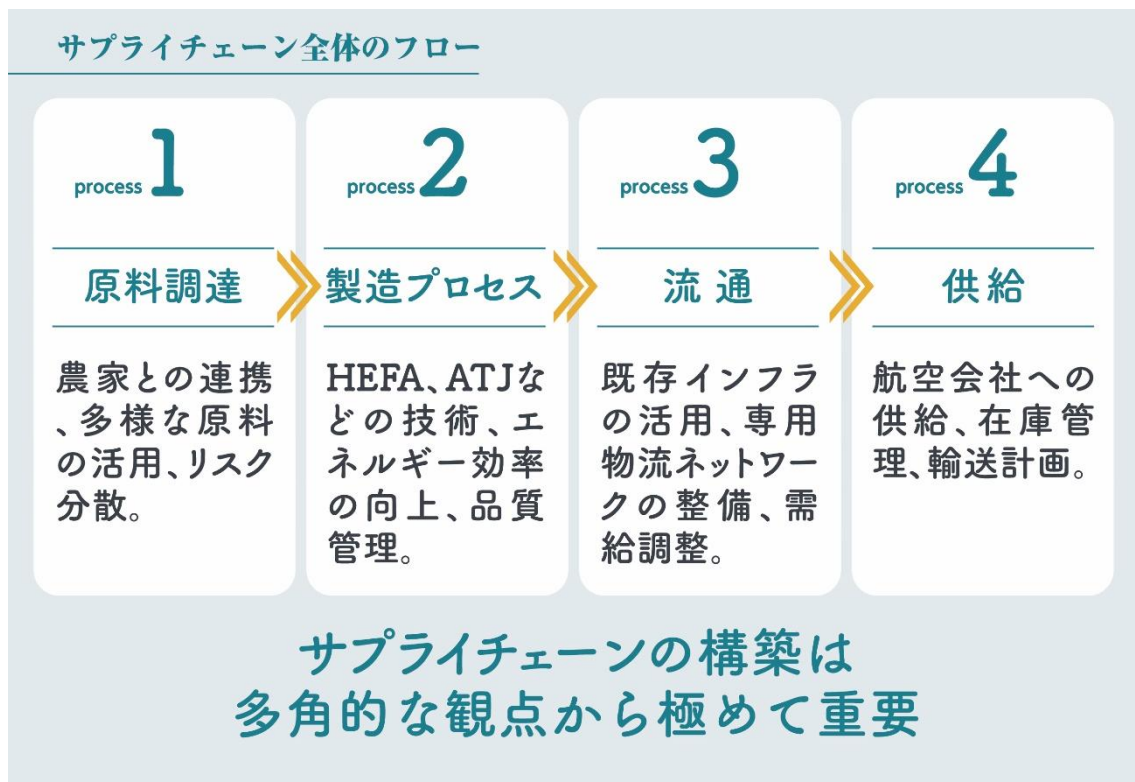


図 22 サプライチェーン全体のフローを示している。原料調達、製造プロセス、流通、供給の4つの主要プロセスが連携し、農家との協力や技術向上、既存インフラの活用、需給調整が重要となる。サプライチェーンの構築は、多角的な視点からの最適化が求められる。

5.2 関連業界の特定と各セクターの役割

サトウキビを原料とした SAF のサプライチェーン構築においては、複数の業界が連携し、それぞれの専門性とリソースを統合することが極めて重要である。各業界が自らの役割を十分に果たすことで、原料調達から製造、流通、最終利用に至るまでの一貫したサプライチェーンが形成され、安定供給とコスト競争力の向上、ひいては航空業界全体の脱炭素化に大きく寄与する。以下、国内外の動向および各業界の果たすべき役割について説明する。

まず、農業・農産業界は、サトウキビ生産の基盤を担う最も根幹的なセクターである。サトウキビは、その栽培方法や収穫技術、さらには土壌管理や灌漑技術などが高度に発展しており、特に沖縄県や鹿児島県など、気候や地形が適した地域においては、地域経済の主要な担い手として位置付けられている。農業従事者が長期的な契約のもと安定した生産体制を築くとともに、先進的な農業技術の導入やデジタル農業の活用により生産性を向上させることが、サプライチェーン全体の原料供給の安定性を確保するための鍵となる。加えて、農業分野における研究機関や大学との連携も、品種改良や栽培技術の革新を促し、より持続可能な原料供給システムの構築に寄与するであろう。

次に、バイオエタノール製造業界は、サトウキビから得られる糖分を発酵させ、エタノー

ルを生成する中間工程を担う。特に ATJ 技術を活用する場合、エタノールを効率的にジェット燃料へ転換するため、製造業界におけるプロセス最適化や触媒技術の進展が不可欠である。先進国では既に商業規模でのバイオエタノール生産が行われており、技術面でのノウハウが蓄積されている。これにより、バイオエタノール製造業界は、サトウキビ由来のエタノールを安定的かつ高品質に供給する基盤として、SAF サプライチェーンの中核を担う存在となる。

さらに、製糖会社は、従来からサトウキビを砂糖生産の原料として活用しており、その過程で得られる副産物（バガスや糖蜜）は、SAF 製造に適した原料となる。サトウキビ全量を SAF に転換することは現実的ではないが、製糖会社が行う精製プロセスの中で生じる副産物の利活用は、食料生産との競合を回避しつつ、効率的な原料供給を実現する上で着手しやすい取り組みである。さらに、製糖会社はサトウキビの栽培から収穫、精製に至るまでのプロセスの調整役として、地域の生産体制の中核をなしている。こうした既存のインフラとノウハウを活用することで、製糖会社は SAF サプライチェーンにおいて中核的な役割を果たし、全体のコスト競争力や供給安定性の向上に寄与するであろう。

さらに、石油精製・エネルギー業界は、既存のインフラと精製技術を活用して、SAF の大量生産および供給体制の整備に寄与する。国内外の石油元売会社は、従来の製油プラントや貯蔵施設、輸送ネットワークを有効活用し、石油精製技術とバイオ燃料技術の融合による新たな生産プロセスの開発を進めている。これにより、従来のジェット燃料と同等の物理化学的性質を持つ SAF を、コスト面および供給面で競争力のある形で市場に供給することが可能となる。エネルギー業界全体が持つ広範なネットワークと技術基盤は、サトウキビ由来の原料を活用した SAF 生産の大規模展開において、極めて重要な役割を果たすのである。

化学工業界においては、SAF の製造プロセスに必要な高度な化学反応や触媒技術、プロセス制御技術の開発が進められている。エタノールからジェット燃料への転換プロセスや、油脂を利用した HEFA プロセスなど、各種の技術的課題に対して、化学工業界は研究開発と量産技術の両面で貢献している。化学メーカーやプラントエンジニアリング企業は、反応効率の向上やエネルギー消費の削減、製品の均一性の確保など、製造プロセスの最適化に向けた取り組みを進め、サプライチェーン全体の効率性と環境性能を向上させるための重要なパートナーとなる。

航空業界は、最終的な利用者として、SAF の需要創出および供給体制の整備において不可欠な役割を担う。航空会社は、脱炭素化の目標達成のために SAF の導入を積極的に推進しており、供給側との連携を強化することで、安定した燃料供給体制を実現しようとしている。例えば、全日本空輸（ANA）や日本航空（JAL）などの主要航空会社は、SAF の使用割合拡大に向けたロードマップを策定し、サプライチェーン全体での連携強化に努めている。航空業界が求める燃料の品質や供給の安定性に応えるため、上流から下流までの各セクターが一体となった取り組みが必要不可欠である。

商社および物流業界も、サトウキビ由来の SAF のサプライチェーン構築において、極め

て重要な役割を果たす。商社は、原料調達、製造施設との取引、そして最終製品の輸送および販売まで、一連のプロセスを統括する中核的な存在である。物流業界は、製品の輸送・保管、さらにはサプライチェーン全体の可視化と最適化を通じて、効率的な流通システムを構築する。特に、燃料の安定供給と環境負荷低減を両立させるためには、デジタル技術を活用した在庫管理やルート最適化が求められる。これにより、原料供給から最終供給までのプロセス全体がシームレスに連携し、効率的かつ持続可能なサプライチェーンが実現されるのである。

政府・行政機関は、これらの各業界間の連携を促進するための政策的支援や規制の整備を通じて、サプライチェーン全体の最適化を後押しする。経済産業省や農林水産省などの関係省庁は、官民協議会や支援プログラムを通じて、原料生産、製造、流通の各段階における課題解決に向けた取り組みを進めている。これにより、サトウキビ由来 SAF の生産体制が強化され、国内外の需要に柔軟に対応できる体制の構築が促進される。

以上のように、サトウキビから SAF へのサプライチェーンになりうる業界は、農業・農産業界、バイオエタノール製造業界、石油精製・エネルギー業界、化学工業界、航空業界、そして商社・物流業界、さらに政府・行政機関といった多様なセクターが連携することで構築される。各業界がそれぞれの専門性と資源を活用し、相互に補完しあうことにより、原料の安定供給、製造技術の向上、効率的な流通システム、さらには環境負荷の低減という多角的なメリットが実現される。これにより、SAF の安定供給体制が確立され、航空業界の脱炭素化と国際競争力の向上に大きく寄与するであろう。各業界間の連携をさらに強化し、官民一体となった包括的な戦略を推進することが、今後のサトウキビ由来 SAF の実現に向けた鍵となる。

5.3 サプライチェーン構築における課題と将来展望

サトウキビを原料とした SAF のサプライチェーン構築においては、多数の課題とともに多くの可能性が存在する。これらの課題は、原料調達、製造プロセス、技術開発、環境管理、市場需要など、サプライチェーンの各段階において顕在化しているが、同時に各分野での技術革新や官民連携、国際的な協力を通じて克服可能な側面も多く見受けられる。以下、国内外の動向および各関係者の取り組みを踏まえながら、サプライチェーン構築の課題とその可能性について多角的に解説する。

まず、原料調達の面において、サトウキビは従来の砂糖生産や食料用としての需要があるため、原料の供給と利用のバランスを如何に確保するかが大きな課題である。特に、限られた農地資源や気候条件の影響を受けやすいことから、安定的な生産体制の確立は容易ではない。さらに、従来の食料生産との競合が懸念される中で、サトウキビの副産物であるバガスや糖蜜を有効活用することで、食料生産との競合を回避しながら原料供給を確保する必要がある。こうした原料供給の課題に対しては、地域ごとの特性を活かした地産地消モデルの導入や、農業技術の高度化、さらにはデジタル農業の活用によって生産効率を向上させる

など、多様な施策が講じられる可能性がある。国際的な視点からも、ブラジルなどのサトウキビ生産国における先進的な農業技術や生産管理システムは、日本にとっても参考となる取り組みであり、輸出入に頼らない国内供給体制の確立に寄与するであろう。

次に、製造コストの面では、SAF の製造プロセスは従来のジェット燃料に比べて高コストであるとされ、これが大規模な普及の障壁となっている。製造プロセスにおける各種反応工程、触媒の使用、エネルギー消費の最適化など、技術的課題が山積しており、これらを解決するための技術開発が急務である。既存の石油精製設備やインフラを活用することで初期投資を抑制し、量産効果を発揮する可能性があるが、技術革新と生産規模の拡大が進むことで、コストダウンが実現される見通しである。さらに、政府や産業界が連携して、補助金、税制優遇措置、カーボンクレジットのような制度の政策的支援を充実させることが、経済的採算性を高めるためには不可欠である。これにより、製造コストの問題は、短期的な技術課題としてだけでなく、長期的な産業発展の一環として解決される可能性がある。

また、技術開発および認証取得の面でも、サトウキビ由来 SAF の製造技術には高度な専門性が要求される。ATJ プロセスや HEFA プロセスにおいては、原料の前処理から最終製品の品質管理に至るまで、多くの技術的ハードルが存在する。これらのプロセスが国際的な燃料規格（例えば、ASTM 規格）に適合することを証明するためには、膨大な実証実験と認証試験が必要である。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）やその他の研究機関、企業が連携して研究開発を進めることで、これらの技術的課題は徐々に解消される見込みである。国際競争の激化を背景に、各国が技術革新を急ぐ中で、日本もまた、先進的な研究開発体制の整備と人材育成に注力する必要がある。

環境影響と持続可能性の観点からは、サトウキビの大規模栽培による土地利用の変化、水資源の消費、生態系への影響など、一定の環境負荷が懸念される。一方で、サトウキビ由来 SAF は、そのライフサイクル全体での二酸化炭素排出量を大幅に削減する効果が期待されるため、全体としての環境メリットは極めて大きい。環境影響評価の徹底、持続可能な農業手法の導入、さらには生態系保全策の併用によって、環境面でのリスクを最小限に抑えながらサプライチェーンを構築することが可能である。こうした取り組みは、国際的な環境基準や持続可能な開発目標（SDGs）との整合性を確保するためにも重要であり、環境管理体制の強化と透明性の高い情報公開が求められる。

さらに、市場需要と経済性の観点から、SAF の普及は今後の航空燃料市場の変革に直結するが、現時点では供給量の制約と高い製造コストが市場拡大の足かせとなっている。市場の受容性を高めるためには、航空会社との長期的な購入契約や政府の経済的インセンティブを通じた需要喚起が不可欠である。また、需要が拡大すれば、規模の経済が働くことにより、製造コストの低減が期待される。このように、市場メカニズムと政策支援が連動することで、経済性の課題は次第に解消され、持続可能なサプライチェーンが実現される可能性がある。

最後に、国際的な規制や認証の整合性も、サプライチェーン構築における重要な課題であ

る。各国が独自の環境評価基準や燃料認証制度を採用している現状では、国際的な航空ネットワークにおける SAF の利用促進に向けて、統一された基準の策定が急務である。こうした国際規格の標準化は、製造業者、流通業者、航空会社間の連携を円滑にし、グローバルなサプライチェーンの安定性を担保する上で不可欠な要素である。国際民間航空機関(ICAO)や国際航空運送協会(IATA)と連携した取り組みが進む中で、日本もまた、国際基準への対応と自主的な認証取得を推進することで、グローバル市場における競争力を高めることが求められる。

総じて、サトウキビ由来 SAF のサプライチェーン構築においては、原料供給、製造技術、環境管理、市場の需要、国際規格の整合性といった多岐にわたる課題が存在する。しかし、これらの課題は、技術革新、官民連携、国際協力、さらには持続可能な農業と環境管理の推進といった多方面からの取り組みにより、解決の可能性を秘めている。各分野が連携し、統合的なサプライチェーンモデルを構築することで、SAF の安定供給とコスト競争力が向上し、最終的には航空業界の脱炭素化と国際的なエネルギー安全保障に寄与する体制が確立されるであろう。こうした包括的な戦略は、国内外の先進事例を参考にしつつ、日本独自の強みを活かす形で推進されることが、今後のサトウキビ由来 SAF 実現に向けた鍵となる。



図 23 サトウキビ由来 SAF のサプライチェーン構築における主要課題を示している。原料調達、製造コスト、技術開発、環境影響、市場需要、国際的な規制の 6 つの側面での克服が求められる。持続可能な供給体制の確立には、多角的な戦略と官民連携が不可欠である。

6. 業界関係者の視点と現状分析

ここでは、甘味資源作物であるサトウキビやてん菜の関連事業者や航空業界を中心とした関係者へのインタビューを基に、SAF(持続可能な航空燃料)に対する各業界の現状と課題、関心、そして将来の展望について整理する。

6.1 甘味資源作物の関連事業者の現状と直面する課題

6.1.1 サトウキビやてん菜の生産現場の現状と課題

鹿児島県におけるさとうきび産業は、種子島、奄美、屋久島などの地域において、地域経済の基幹産業として長い歴史を有し、その存在意義は今なお揺るぎないものである。しかし、現場の実情を見ると、伝統的な生産体制の維持とともに、数多くの課題に直面している。まず、管轄区域全体において生産者の数は年々減少しており、個々の農家が抱える管理面積が拡大しているため、大型機械の導入により収穫作業の効率化が実現されている一方で、結果として各農家の作業負担が増加している。これにより、従来の手作業に依存した細やかな管理が困難となり、労働力不足が深刻な問題となっている。

また、さとうきびは単なる農作物に留まらず、地域内のトラック運送業者や製糖工場、さらにはそこで働く多数の労働者の生活基盤を支える重要な役割を果たしている。特に、沖縄の一部地域においては、さとうきび産業の衰退が住民流出や地域存続の危機を招いており、そのため、さとうきびは「国防作物」としての側面を持つと考えられている。こうした中で、JA 鹿児島県経済連は中央支援を受けつつ現場の維持管理に努めているが、具体的には手刈り班の設置や、外国人労働者の受け入れ、さらには RTK (Real Time Kinematic) 基地局やオペレーターの支援システムの導入など、さまざまな先進的な取り組みが試みられているにもかかわらず、現実には依然として生産現場全体における労働力不足の問題が解消されていないのが実情である。

さらに、さとうきびの栽培においては「春植え」「株出し」「夏植え」という3種類の作型が採用され、特に収穫後の根を翌年まで残す「株出し」は再生性に優れ、効率的な栽培方法として評価されている。しかしながら、実際のところ、株出しを中心とした栽培方法では収量が伸び悩むという課題が依然として存在しており、各地域においては、作型のバランスや品種改良を巡る取り組みが求められている。2024 年の事例においては、成長自体は順調で発育も良好であったものの、干ばつによる雨不足や台風の進路変動など、気象条件の不安定さが生産現場に大きな影響を及ぼし、製糖施設への被害や収量変動の不確実性を高めている。

一方、北海道を拠点とするホクレン農業協同組合連合会の事例では、てん菜事業を通じて循環型の資源利用や環境負荷低減への取り組みが進められているが、こ

れもまた、従来の製糖事業と同様に、管理負担の増大や高齢化、後継者不足といった基本的な農業経営の課題と密接に関連している。特に、製糖工程においては、収穫後に発生する廃糖蜜やビートパルプの有効活用が求められているが、副産物の再利用方法やその付加価値向上の面では、技術革新や市場開拓が十分に進展していない。これにより、現場では伝統的な栽培技術を守りながらも、最新のデジタル技術やスマート農業の導入を通じた生産性向上が急務であると指摘されている。また、輸送においても、トラックドライバーの減少に伴い、2つの工場間に中間受入場を設置するなどの対策が講じられているが、全体としての効率化には課題が残っている。

さらに、沖縄本島では宅地化の影響により栽培面積が減少していることに加え、離島においても台風などの厳しい気象条件が作業環境に大きな負担を与えている。加えて、機械化の推進に際しては、導入コストの高さやオペレーターの不足、手続きの煩雑さなどが障壁となっており、これがさらなる生産性向上の妨げとなっている。加えて、農地の集約化が進む一方で、各農家が自らの土地に強い愛着を持つために農地の細分化が進み、相続や遺産分割に伴う管理の煩雑さが現場の運営効率を低下させている。こうした制度上の問題は、平時の生産活動だけでなく、災害時の迅速な対応にも影響を及ぼし、地域全体での効率的な農業経営の実現を阻む要因となっている。

このように、鹿児島県、北海道、沖縄各地域におけるさとうきびおよび関連作物の生産現場は、伝統と革新が交錯する中で、労働力不足、高齢化、気象条件の不安定さ、そして制度的な課題といった多面的な問題に直面している。各農協はこれらの課題解決に向け、中央支援や最新技術の導入、地域連携の強化など、さまざまな取り組みを進めている。

6.1.2 製糖業界の現状と課題

沖縄、鹿児島、北海道、宮古島など各地域に根ざす製糖業界は、長い歴史の中で地域経済の基盤として確固たる地位を築いてきた。しかしながら、現状、業界全体は従来の安定した砂糖需要に支えられていた時代から大きく転換しつつあり、各企業は数々の深刻な課題に直面している。製糖工場では、原料の搬入から糖液の抽出、結晶化に至る工程が非常に繊細に管理されなければならないが、天候不順による搬入スケジュールの乱れや、台風・干ばつといった厳しい気象条件が生産計画に大きな不確実性をもたらしている。たとえば、ハーベスターによる収穫作業は雨天時や台風接近時に中断を余儀なくされ、原料搬入の遅延が工場内での保管や処理の調整を困難にしている。さらに、工場設備の老朽化や更新費用の上昇、加えて労働力不足による人件費の高騰が、製造全体のコストを押し上げ、業界全体の経済的持続性に対する懸念が高まっている。

副産物の有効活用も大きな課題である。製糖工程で発生するバガス、糖蜜、フィルターケーキ、トラッシュなどは、飼料、堆肥、工業原料として再利用されるが、需要が限定的であるため、十分な付加価値を生み出せず、結果として全体の収益性を圧迫する要因となっている。例えば、最終糖蜜の保管タンクが満杯となり工場停止に追い込まれた事例もあり、再利用方法のさらなる改善と効率的な流通体制の整備が急務である。また、副産物を利用した新規製品の可能性は期待されるものの、現時点では実用化に向けた取り組みが十分に進んでいない。

さらに、各社は新たな市場開拓とブランド強化にも注力している。宮崎商店では、公式 Instagram やネット記事を活用した BtoC (Business to Consumer) 強化を進め、観光業界と連携して「見せる糖業」への取り組みを推進するなど、消費者に向けた情報発信を積極的に行っている。これにより、製品の高品質や伝統的技術の魅力を広く伝え、地域内外のファンを獲得しようとしている。ほかにも、DM 三井製糖は、海外新規市場の開拓や輸出強化を中期経営計画に組み込み、国内だけでなく国際的な市場での競争力を高めるべく、ライフ・エナジー事業や研究開発、さらには異業種との連携を進めている。

また、働き手の確保に関しては、各社ともに外国人労働者の活用やインターンシップ制度の導入、スマート農業やドローンの導入といった新技術の活用を進め、IT リテラシーを活かした業務効率化を図るとともに、労働環境の改善に努めている。例えば、宮崎商店では 3 交代制への移行や外国人労働者の採用により、労働時間の短縮と生産性向上を実現しようとしている。また、南西糖業や日本甜菜製糖、石垣島製糖などは、農家と製糖工場が一体となったシステムを整備し、地域全体で生産性を向上させるための連携体制を構築している。

さらに、現代の消費者ニーズや SDGs の要求に応えるため、製糖業界は単なる砂糖生産に留まらず、製造業と地域の子供をつなぐ社会科見学、地域イベントとの連携、さらには「安全第一」や「持続可能な工場運営」といった取り組みを通じ、地域全体のサステナビリティ向上に寄与している。これらの具体例は、観光客を対象とした「見せる糖業」への取り組みや、地域の祭り、工場見学、さらには安全管理強化のための研修制度といった形で現れており、製糖業界が単なる生産業から地域社会の絆と未来への展望を担う重要な産業へと変貌しつつあることを示している。

総じて、製糖業界は、伝統的な生産技術や安定した需要に裏打ちされた産業基盤を持ちながらも、人口減少、労働力不足、設備の老朽化、気象条件の不安定さ、副産物の有効活用といった多面的な課題に直面している。これらの課題を解決するため、各企業は技術革新、マーケティング戦略の強化、国内外市場への進出、さらにはスマート農業や IT を活用した生産効率向上など、幅広い施策を講じている。これにより、地域経済全体への波及効果を最大化し、持続可能な製糖業界の再生と将

来的な発展を目指している。

6.1.3 航空業界の視点と燃料需要

航空業界は、長年にわたり地域密着型の運航体制を維持しつつ、今なお安全性と環境負荷低減に高い意識を持って業務を遂行している。日本トランスオーシャン航空株式会社（JTA）は、1967年創業以来、沖縄県を拠点に離島と本土を結ぶ路線を運航し、地域の観光需要回復に大きく寄与してきた。設立当初は小規模な地域運航から始まり、ジェット機の導入や本土路線の拡大を経て、現在では14機のジェット機を保有し、年間約300万人の旅客輸送実績を誇る。同社は、コロナ禍による一時的な需要低下や、台風や大雨といった厳しい気象条件により運航計画が乱れるという課題にも直面しているが、その中で安全運航の基本に立ち返り、従業員一人ひとりが高いプロ意識を持って業務にあたることで、信頼性の高い運航体制を構築している。

一方、中部国際空港株式会社（セントレア）は、日本の玄関口として、空港運営における環境負荷低減とエネルギー効率向上に積極的な取り組みを進めている。セントレアは、従来のタンクローリーによる燃料供給から、地下パイプラインを用いたハイドラント方式を早い段階で採用し、二酸化炭素排出削減の効果を実現している。また、コージェネレーションシステムの導入により、工場内で同時に熱と電力を効率的に生産するなど、環境面への配慮が随所に見られる。さらに、リサイクルセンターの設置や施設内の緑地管理、再利用プロセスの導入といった先進的な設備投資を実施し、既存インフラの改修にも取り組んでいる。これらの施策は、国際的な環境基準やエネルギー政策の変動に対応するための投資負担という課題を孕みながらも、将来的なSAF（持続可能な航空燃料）の普及に向けた足がかりとして、環境負荷低減と持続可能な社会の実現に貢献するものとして期待されている。

これらの取り組みから見えてくるのは、航空業界が従来の安全運航やサービス提供の枠を超え、環境負荷低減や持続可能なエネルギー活用に向けた多角的な戦略を進めていることである。日本トランスオーシャン航空は、離島ネットワークの安定運航と地域社会への貢献を最優先しつつ、天候の不確実性に対応するための柔軟な運航計画を模索している。中部国際空港は、空港運営全体でのCO₂削減や再生可能エネルギーの利用に注力し、効率的な燃料供給体制を確立することで、持続可能な運営モデルを実現しようとしている。

これらの事例は、航空業界が今後、従来の化石燃料に依存しない新たなエネルギー源としてSAFの普及を目指すための基盤となるものである。現状、各社は自社内外で環境配慮型の技術導入や省エネシステムの整備に注力しているが、その先駆けとして、国や地域、業界全体での連携を深めながら、持続可能な航空燃料の実用化に向けた取り組みを強化していく必要がある。航空業界は、環境への負荷軽減と

安全運航の両立を図ると同時に、変動する市場需要に柔軟に対応できる体制の確立が急務であり、今後の成長と安定運営を実現するための重要な鍵となるだろう。

6.1.4 エネルギー業界の動向と参入状況

エネルギー業界においては、航空業界のカーボンニュートラル達成に向けた要請を受け、SAFの開発・供給が新たな成長分野として注目を集めている。太陽石油は、早くからこの動きに呼応し、サトウキビ由来のエタノールを原料とするSAFの製造に着手する方針を打ち出しており、その背景には、世界的に加速するCO₂削減目標と国内法規制による航空燃料転換の強い要請がある。国際航空業界では2050年のカーボンニュートラルを目指す動きが進み、日本国内でも2030年以降のSAF供給を石油会社に義務付ける制度設計が進められていることから、エネルギー各社は化石燃料依存からの転換を迫られている。こうした状況において、太陽石油が沖縄事業所に年間20万KL規模のSAF製造プラント(ATJ技術)建設を検討している点は、エネルギー業界の参入状況を象徴する好例といえる。

太陽石油の計画では、エタノールを原料とするSAF製造技術(ATJ)を用い、ブラジルなど海外から輸入した大容量のエタノールを沖縄へ海上輸送し、さらに近接する那覇空港や東アジア向けにSAFを供給する構想を描いている。沖縄事業所はかつて製油所として稼働していた経緯から、大型船を受け入れ可能な栈橋やタンク群など物流インフラに恵まれており、大規模プラントを建設して効率的にSAFを生産・出荷できるという地の利を有している。加えて、航空需要の大きい那覇空港への直接的な燃料供給が容易であること、台湾や香港といった近隣諸国への輸出ルートを確認しやすい点も強みとして挙げられる。さらには、沖縄県内でのサトウキビ活用による地産地消型エタノールの追加生産が可能となれば、耕作放棄地の再生や人手不足対策と結び付けた地域創生にも波及効果が期待される。

また、株式会社沖航燃は、1972年の創業以来、沖縄の航空機給油業務に従事し、安全性と効率性を追求してきた。沖航燃は、JALグループや沖縄給油施設株式会社と連携し、厳格な品質管理体制の下、燃料給油業務を遂行している。燃料はENEOSや出光などの石油元売会社から供給され、厳しい基準に基づいた自動化されたプロセスで取り扱われることにより、作業効率と品質の両立を実現している。さらに、沖航燃は、風速や台風などの厳しい気象条件に左右される中で、タンカー運航の制限や働き手の労務面での課題にも柔軟に対応し、業務の安定運営を図っている。これにより、従来の手作業から自動化されたシステムへの移行が進み、品質管理や燃料供給における革新が着実に進展している。

エネルギー業界の動向としては、すでに世界的なSAF需要の拡大が見込まれ、国内においても石油会社が続々とSAF事業への参入方針を打ち出している。日本政府が2030年度以降、国内ジェット燃料の10%をSAFへ転換する見通しを示し

ていること、そして SAF 製造設備への投資や税制優遇策が検討されていることが、こうした動きを支える要因となっている。太陽石油以外にも複数の元売会社や化学メーカーが同様のプロジェクトを進めているが、エタノール由来の ATJ 技術を採用する計画は、原料確保の観点からも中長期的に安定した供給が見込める方法と位置づけられている。

一方で、サトウキビ由来エタノールの利点は、副産物であるバガスや糖蜜を余すところなく活用できる点にもある。砂糖を製造する過程で生じる副産物をエネルギーや飼料、化成品の原料として転用することが可能なため、地域経済への波及効果と環境負荷の軽減を同時に狙うことができる。砂糖生産の副産物を電力やメタンガス、イーストやドライアイスの原料としても活用できるため、エネルギー産業全体が循環型ビジネスモデルへ移行する展望が描かれている。沖縄のように航空需要が大きく、かつサトウキビの生産実績と潜在耕地を持つ島嶼部では、こうした一体的な事業展開が特に有望といえる。

以上のように、エネルギー業界は SAF 事業を重要な成長領域と捉え、従来の石油精製・販売から脱炭素型エネルギー企業への転身を急いでいる。太陽石油が検討を進める沖縄での SAF 製造は、ATJ 技術を軸にした原料調達と輸送の最適化、また島嶼部特有の需要や資源との結合を図りつつ、2030 年代以降のジェット燃料転換へ貢献しようとするものである。エネルギー業界における動向は、このように実際のプラント建設計画や地理的優位性を踏まえた供給戦略を伴いながら進行しており、参入企業それぞれが技術開発やインフラ整備を急ピッチで進めている状況である。こうした動向は、SAF 製造を通じた航空業界の脱炭素化のみならず、国内のエネルギー安全保障や農産業・地域経済への多面的な効果をもたらすことが期待されている。

6.1.5 地方自治体・行政機関の役割

鹿児島県庁、沖縄県庁、そして独立行政法人農畜産業振興機構（alic）の三者が果たす役割は、それぞれの専門領域においてサトウキビ関連事業を多面的に支援し、地域の経済・産業構造を強化することである。鹿児島県エネルギー対策課は、2023 年 3 月に策定した「再生可能エネルギー導入ビジョン 2023」を足がかりに、太陽光発電や風力発電、地熱発電、バイオマスエネルギー、海洋エネルギーなどの地域特性を活かした導入拡大に努めている。これは単に環境負荷の低減を図るだけでなく、固定価格買取制度（FIT）などの制度的枠組みを活用し、地元事業者が参入しやすい市場を整備することで、地元農家や関連企業の雇用を創出すると同時に、災害時のレジリエンス強化にも寄与するという狙いがある。実際、バガスや糖蜜といったサトウキビの副産物をバイオマス燃料として転換する取組が進められており、将来的には持続可能な航空燃料（SAF）へと結び付ける資源循環型ビジ

ネスモデルを視野に入れている。

沖縄県庁は、「新・沖縄 21 世紀農林水産業振興計画」のもと、さとうきびの安定生産と製糖業の基盤強化を重要課題に位置付けている。猛暑や台風といった厳しい気象条件下でも比較的安定した収量が望めるサトウキビの強みを活かし、現場の働き方改革や農業機械の導入促進、生産法人や作業受託体制の充実を図るなど、幅広い層が参画できる仕組みづくりに注力している。こうした施策により人材確保と生産性向上を同時に実現し、地元の食品加工業や観光業を含む関連産業全体の需要に応えられる供給体制を整備しようとしている。さらに、この副産物である糖蜜やバガスを再生可能エネルギー資源として活用し、将来的には SAF などの新エネルギー戦略へ展開する道筋が示唆されている。離島特有の人手不足や物流コストを低減するための技術・設備投資を行政が後押しすることによって、安定した経営基盤の構築と地域経済の発展が見込まれる。

一方、alic はサトウキビや砂糖に関連する価格調整制度をはじめ、国内外で生産・製造・消費される砂糖や加糖調製品に関する各種情報を総合的に収集し、広く発信する役割を担っている。国内産糖と輸入糖のコスト差を調整し、生産者および製糖事業者を安定的に支援する価格調整制度は、日本の砂糖供給を維持する重要な仕組みであり、これによって農家や製糖企業が安定した収益を得られる環境が整えられている。また、月刊誌やホームページ、フェイスブックやインスタグラムといったソーシャルメディアを活用して正しい知識を普及・啓発し、消費拡大への働きかけを行うなど、多角的な情報発信を実施している。さらに、鹿児島県や沖縄県を含む主要産地での現地レポート、奨励品種の紹介などを統計情報とともに公開し、生産者や関係者が省力化技術や市場動向を適時に把握できるよう配慮している。

これら地方自治体・行政機関が連携して取り組むことによって、サトウキビ産業は単なる一次産業の枠を超え、再生可能エネルギー導入や地域の働き方改革、さらには次世代燃料の開発など、幅広い視点から成長可能な産業へと変貌しつつある。固定価格買取制度（FIT）の活用により再生可能エネルギー事業者の参入を促し、地熱発電所やバイオマスエネルギー施設、海洋エネルギー設備などの導入が進むことは、農林水産業が抱える課題を超えて、地域全体の経済や暮らしを支える大きな推進力になるとみられている。また、働き方改革により、担い手確保や外国人材の受け入れが進展すれば、高齢化と耕作放棄地の増加という問題への対策にも効果的な足がかりとなる。加えて、alic が担う価格調整制度や情報提供機能は、国内外の需給変動に対し、国民生活と農畜産業の双方を保護する大きな柱となり、将来にわたる安定供給と共存共栄を実現するうえで欠かせない存在となっている。

総じて、鹿児島県・沖縄県・alic という三者は、地域の特性を十分に踏まえつつ、再生可能エネルギーや価格調整制度、働き方改革など多岐にわたる具体策を講じることで、さとうきび関連事業の未来を切り開こうとしている。こうした地方自治

体・行政機関の役割は、単なる財政的な支援だけでなく、制度設計や情報インフラ整備まで含めた包括的なサポートに及び、サトウキビ産業が今後も持続的に成長し、かつ地域経済に貢献し続けるための確固たる基盤となっているといえよう。

6.2 SAF に対する業界の関心と期待

6.2.1 甘味資源作物の生産者・農協の SAF に対する関心と期待

JA 鹿児島県経済連、ホクレン農業協同組合連合会、並びに JA 沖縄県農業協同組合の各現場においては、従来の製糖事業やてん菜事業を基盤とした安定収入の維持が最重要課題であると同時に、脱炭素化や SDGs の達成を背景に、SAF の実現可能性に対する新たな関心と期待が徐々に高まっている。JA 鹿児島県経済連の現場では、さとうきびが国防作物としての側面を持ち、地域内のトラック運送業者や製糖工場、そこで働く多数の労働者の生活基盤を支えていることから、従来の製糖用途に加え、従来は低付加価値資源とみなされていた副産物—例えば、バガスや糖蜜—を SAF の原料として活用することで、産業全体の収益構造自体が大きく転換される可能性が示唆されている。現場では、SAF を用いたジェット燃料の技術はまだ実現途上であり、実態把握が難しいとの声もあるが、さとうきび産業全体が SDGs や脱炭素への前向きな取り組みを進めていることから、その潜在的価値は十分に認識されている。

一方、ホクレン農業協同組合連合会の事例においては、てん菜事業を通じた循環型の資源利用が推進され、製糖工程で発生する廃糖蜜を用いて微細藻類の大量培養を実現し、そこから直接利用可能な油脂を抽出する技術開発が進められている。こうした取り組みにより、従来は副産物として低く評価されていた資源が、高付加価値のエネルギー原料へと転換される可能性があると期待される。さらに、この技術革新は、環境負荷の低減と地域経済の活性化、さらには雇用創出にも寄与することから、北海道のみならず離島地域においても、SAF 事業が経済維持の一翼を担う重要な手段となるであろうという期待が高まっている。

また、JA 沖縄県農業協同組合の現場では、従来の製糖事業が最優先事項であり、収穫したサトウキビを従来通り工場に納めることが基本とされる中で、SAF の原料としての利用が農家の所得に影響を与えない限りは、現状では大きな優先課題とは認識されていない。しかし、もし今後、SAF 向けの原料が高値で買い取られる仕組みが整備され、政府や地域行政、さらに産官学連携による研究開発支援が具体的に実現されれば、従来の収益モデルに依存しない新たな収益源として、SAF への転換が進展する可能性がある。現場の農家は、まずは補助制度の整備や、公平な価格設定の枠組みが確立されることを期待しており、また、観光客への情報発信を通じて、サトウキビの栽培現場がいかに持続可能な形で管理され、環境保全に寄与しているかを広く知ってもらうことが、SAF への関心をさらに高める一因となると考

えている。

このように、各現場では従来の生産体制と環境保全、国防、安全保障の観点が融合され、SAF に対する関心と期待は、単なる技術的側面の追求を超えて、地域経済の再生や脱炭素社会の実現に向けた革新的な新産業モデルの構築の鍵として捉えられている。今後、各関係者が連携し、補助金や交付金を活用した支援体制の強化、さらには先進技術の実用化を着実に進めることにより、SAF が地域の持続可能な発展を支える新たな収益源として定着することが期待される。

6.2.2 製糖業界における SAF への関心と期待

製糖業界の関係者は、従来の砂糖生産事業に加え、新たな付加価値創造の一環として持続可能な航空燃料 (SAF) への転換に高い関心を示している。ゆがふ製糖は、製糖会社の使命はサトウキビから原料糖を製造することであると強調する一方、気候変動への対応としてエネルギー産業からサトウキビ由来の原料に注目が集まっている現状を挙げ、工場の安定稼働が求められる中で、SAF 化が地域経済に継続的な波及効果をもたらす可能性に慎重ながらも期待を寄せている。宮崎商店では、近年、沖縄における台風軌道の変化や地球温暖化によってサトウキビの収穫量が増加し、結果として黒糖の産糖量が消費量を上回る事態が発生していることを指摘し、将来的な砂糖需要の低下を見据えて、余剰となる黒糖や原料の品質低下リスクを回避するためにも、SAF としての活用が有効な選択肢となるとの見解を示している。南西糖業は、現時点ではエタノールや SAF への具体的な転換は進んでいないと述べつつも、砂糖需要減少の懸念が高まる中、徳之島の基幹産業であるサトウキビ栽培を維持するための選択肢として、SAF への転換は排除すべきではないと語っている。

日本甜菜製糖は、持続可能な航空燃料の研究に積極的に取り組んでおり、2022 年 7 月から 2024 年 3 月まで東京大学との共同研究により、微細藻類を糖質資源から生産する技術の開発に参画している。現在は神戸大学との連携により、糖蜜を栄養源とする「油脂酵母」を用いて SAF を生産する試みが進められており、これにより北海道、ひいては日本全体の未来に対して持続可能なエネルギー供給の一端を担う可能性が期待されている。

宮古製糖においては、バガスなどの副産物が、国内航空各社によるジェット燃料関連の実験材料として注目されるなど、既存の副産物活用に新たな価値が見出されつつある。新光糖業は、製糖工程で発生する副産物を原料としてアルコールの試作製造を行う蒸留設備を導入するなど、バガスや木質チップを半炭化させた微細な灰を利用したディーゼルエンジン用燃料の検討にも取り組んでおり、これらの成果が将来的に高単価な SAF 製品へと展開される可能性を示唆している。

また、DM 三井製糖は、現時点では SAF に関する具体的な事業展開は進んでい

ないものの、国による検討の動向を踏まえ、砂糖原料の一部が SAF へ転換した場合の市場価格の影響など、慎重に検討を進める必要があると述べている。さらに、同社は新たな生産技術開発が進むことで製造コストが低下し、結果的に消費者にとっても好都合な状況が実現されることを期待している。

沖縄製糖の担当者は、現状、エタノールや SAF への直接的な転換は進んでいないものの、糖蜜の販売実績を通じて、取引先が既に燃料や化学原料に変換して利用している事例を紹介し、過去に行政主導で進められたプロジェクトの失敗例も踏まえて、新たな挑戦に対する慎重な検討が求められると語っている。石垣島製糖は、SAF の実現に向け、地域で必要な資金や労働力の確保が不可欠であり、農家や関係各所が実現可能な計画の策定が急務であるとしながら、固形燃料や肥料化といった副産物の多角的活用にも期待を寄せている。

これらの事例から、製糖業界は伝統的な砂糖生産の枠を超え、環境負荷の低減や副産物の有効利用を通じた新たな収益モデルとして、SAF への転換に向けた期待を高めていることが明らかである。各社とも、従来の製糖プロセスや既存の副産物活用技術に加え、スマート農業、デジタル技術、国際連携などを活用した新たな試みを模索しており、これが将来的な市場競争力の向上、ひいては地域経済全体の安定と発展に寄与するとの確信を持っている。製糖業界がこれまで築いてきた技術力と信頼を背景に、官民連携や学術研究との協力を通じて、SAF を含む新たなエネルギー供給体制の確立に取り組むことで、将来的には単なる砂糖供給の枠組みを超えた、持続可能なエネルギー市場の一翼を担う可能性が十分に示唆されている。

6.2.3 航空業界の SAF に対する関心と期待

航空業界における SAF の導入は、環境負荷低減とエネルギー効率向上という観点から、今後の航空運航の安定化および国際競争力の強化に不可欠な要素として、各方面から高い関心と期待が寄せられている。日本トランスオーシャン航空株式会社 (JTA) は、沖縄という独自の地域特性を背景に、離島間の連携および本土路線の拡大に取り組む中で、航空安全の徹底のみならず、CO₂削減を目指す新たな燃料技術の導入に強い意欲を示している。JTA は、従来の化石燃料に依存する運航体制から、環境規制の強化や国際的な脱炭素目標の達成に対応するため、将来的に SAF を活用した運航システムへ転換することが、同社の持続可能な経営基盤の確立に寄与すると考えている。安全運航に必要な全工程の管理体制を堅持しながら、環境面における先進技術の導入を進めることで、燃料調達の多様化が実現されれば、航空事業の将来性はさらに拡大するだろう。

一方、中部国際空港株式会社 (セントレア) は、空港運営の現場において、従来のタンクローリーによる燃料供給から地下パイプラインを活用したハイドラント方式への転換、さらにコージェネレーションシステムやリサイクルセンターの導入

といった先進的な環境配慮型施策を積極的に展開している。これにより、空港全体での CO₂排出削減とエネルギー効率の向上を実現しているが、その背後には高額な初期投資や継続的な設備維持、技術面でのアップグレードが求められるという課題もある。セントレアは、国交省や経済産業省が推進する SAF の実証実験や製造体制の整備に協力し、将来的には国内での SAF 生産の拡大を視野に入れている。特に、地域自治体との連携を強化し、廃食用油など国内資源を原料としたエネルギー供給システムを構築することで、地産地消型の燃料供給モデルを確立し、これが航空業界全体の持続可能な発展につながると期待されている。

このように、従来の航空運航体制の維持と同時に、環境負荷の低減や CO₂排出削減を目指した新たな燃料技術、すなわち SAF の導入に向けた取り組みを積極的に模索している。JTA は、地域に根ざした運航体制を基盤としながら、政府や業界団体の政策動向に敏感に反応し、将来的な燃料調達の多様化と持続可能なエネルギー利用を実現しようとしている。中部国際空港は、先進的なインフラ投資と環境配慮型設備の導入を通じ、空港運営全体でのエネルギー効率を高めるとともに、国内資源を活用した循環型燃料供給モデルを確立することに注力している。

総じて、航空業界における SAF への関心と期待は、単なる新技術の導入に留まらず、環境規制の強化、国際的な脱炭素目標の達成、さらには地域経済や国防、さらには国際的なエネルギー安全保障の側面にまで広がる多角的な価値創造へとつながっている。各企業は、安全性、効率性、環境配慮という三本柱を堅持しつつ、将来的な燃料供給体制の変革を通じて、航空業界全体が持続可能な未来へと舵を切るための具体的な取り組みを着実に進めている。今後も、政府、業界、自治体、企業が連携し、国内資源を最大限に活かした SAF の実用化に向けた投資と技術革新が進むことで、航空業界は環境・安全面ともに革新的な成長を遂げると確信される。これにより、日本の航空事業は、伝統的な運航体制と最新のエネルギー技術の融合によって、世界に誇る持続可能なモデルケースとして確立されるであろう。

6.2.4 エネルギー業界の SAF に対する関心と期待

太陽石油株式会社は、サトウキビなどのバイオマス資源を基盤とする SAF の開発に対して、将来のエネルギー構造変革を見据えた極めて強い関心を示している。同社は、これまで培ってきた製油所運営の経験やインフラを活かしつつ、化石燃料依存からの転換を促す世界的な潮流への対応と、国や航空業界からの脱炭素要請への応答を重要視している。なかでも、サトウキビ由来のエタノールを原料とする技術に着目し、大規模プラントの建設構想を進めている点が特徴的である。

エタノールを原料とする SAF は、廃食用油などを利用する方式と比べて供給の制約が少なく、将来的な需要拡大にも対応しやすいと考えられている。同社の計画では、ブラジルなどからのエタノール輸入に加え、可能な限り国内でも原料供給を補

完することで安定的な生産を実現しようと試みている。これにより、航空業界がカーボンニュートラル目標を掲げる中で不可欠とされるジェット燃料の大幅な転換に寄与し、環境負荷の低減と経済的な成長を同時に達成しようという意図がうかがえる。

太陽石油は、沖縄県における地理的優位性と、これまでの製油所運営のインフラを積極的に組み合わせることで、効率的かつ大規模な SAF 供給網を構築することを目指している。かつて製油所として稼働していた沖縄事業所には、大型タンカーを受け入れるための栈橋や広大な貯蔵タンクがすでに整備されており、外部からのエタノール搬入や、完成した SAF の国内外への出荷を行う上で大きなアドバンテージとなっている。さらに、沖縄は東アジアへのアクセスに恵まれていることから、海外マーケットへの輸出展開も見据えた事業モデルを描いている。

同社の試算では、年間 20 万キロリットル規模の SAF を生産するプラントを設置した場合、およそ 38 万キロリットルのエタノールが必要と見込まれている。これほど大容量の原料調達と燃料生産を可能にするため、設備完工は 2028 年度末を視野に入れ、将来的には国内ジェット燃料需要の一部をカバーしつつ、那覇空港などへの安定供給に対応する構想である。その背景には、エネルギー業界や航空業界からの持続可能な燃料への切り替え要請が年々高まっている現状がある。国際社会が 2050 年のカーボンニュートラルを目指す中、さまざまな産業が脱炭素化に向けた具体的な工程を要求され、航空燃料分野でも SAF を柱とする戦略が主流となりつつある。太陽石油は、この大きな潮流の中で、新技術の導入や設備投資を進めることで、国内外の航空需要に対応できるだけでなく、新たな収益源の確保と企業価値の向上を図りたいという強い期待をにじませている。

要するに、太陽石油は SAF を新たな成長エンジンととらえ、大規模プラントの実現によって航空業界のカーボンニュートラル要請に応えると同時に、沖縄の地理的・産業的強みを生かすことで持続可能な地域経済の発展にも貢献しようとしている。エタノール由来の SAF は、世界的な燃料需要の高まりと脱炭素に対する強い圧力を背景に、エネルギー業界がこぞって注目する次世代技術であり、その商機を逃さないための具体的な行動といえる。これらの取り組みには、再生可能資源の有効活用、島嶼部経済への波及効果、さらには自社の企業としての脱化石燃料転換といった多様な期待が凝縮しているとみられ、今後の進捗が業界関係者のみならず広く社会から注目を集めることになるだろう。

さらに、株式会社沖航燃は、1972 年の創業以来、航空機給油業務における品質管理と安全性の徹底を追求しており、JAL グループや関連企業との連携の下、最新の自動化システムを導入することで、従来の手作業に依存しない安定した燃料供給体制を確立している。沖航燃は、SAF の導入に際して、従来のジェット燃料とほぼ同一の分子構造を持つことから、既存の設備で問題なく運用可能であるという点

を評価しながらも、初期段階ではフィルターの種類や交換頻度など、品質管理面で新たな調整が必要になる可能性を指摘している。現状は「問題ない」と説明されることが多いが、最初の試験運用時には慎重な検証が求められるため、同社は継続的な情報収集と技術改良を進めることで、将来的な SAF の安全かつ効率的な運用を実現することに大きな期待を寄せている。

6.2.5 地方自治体・行政機関の SAF に対する関心と期待

鹿児島県と沖縄県の行政機関は、SAF に対して大きな関心と期待を抱いている。鹿児島県では、特にバイオマス燃料製造の拡大を進めるなかで、SAF を含む次世代燃料への関心が高まっている。具体的には、種子島におけるサトウキビのバガスや焼酎かすを利用した燃料製造の実績をもとに、SAF 活用の可能性について情報収集を進めている。2023 年頃から福岡県の企業をはじめとする様々な企業から、市バスや桜島フェリーなど地域の交通機関における SAF 利用の検討についての話が寄せられるなど、地域内での具体的な活用への関心が高まりつつある状況である。また、東京大学の小原氏が協力して進めている種子島での新たなバイオマス燃料製造の取り組みも注目されており、これらが今後の SAF 普及の基盤となることが期待されている。ただし、再生可能エネルギーの製造プラント導入については収益化の課題も挙がっている。

一方、沖縄県庁においても SAF 活用への期待が示されている。沖縄県は製糖施設の更新や経営合理化を通じて、製糖業の安定的経営を図っているが、特に製糖の副産物であるバガスや糖蜜の多用途活用を推進することで、将来的な SAF 活用にも繋がると考えている。製糖の副産物の活用は、単なる廃棄物処理や肥料利用に留まらず、SAF という新たなエネルギー資源として高付加価値化を目指すものであり、地域経済の安定化とエネルギー循環型社会の実現にも大きく貢献するという期待がある。以上のように、鹿児島県と沖縄県は、SAF 導入に向けて、それぞれの地域資源の特性を活かした取り組みを推進しており、地域交通インフラへの適用や新たなバイオマス燃料製造技術の確立を目指している。SAF は地域の経済活動を支えるとともに、環境負荷低減の観点からも両県において大きな関心を集め、期待されている。

6.3 インタビューから読み解く将来展望

6.3.1 サトウキビ生産者・農協の将来展望

現場のさとうキビ生産者および農協は、従来の製糖事業による安定収入という伝統的な事業基盤を確固たるものとして維持しながらも、環境変動やエネルギー政策の大転換に対応するため、将来的な産業再生の新たな柱として SAF の実現に大きな可能性を見出している。JA 鹿児島県経済連の管轄地域では、種子島、奄美、屋久島における従来のさとうキビ栽培と製糖事業が地域経済の中核をなす一方、労働力不足や高齢化、さらには気象条件の変動といった現実的な課題が業績に影響を与えている。こうした状況下で、生産者は、従来の収益モデルに代わる新たな付加価値創出の可能性として、低付加価値とされていた副産物—具体的にはバガスや糖蜜—を活用した SAF 生産への転換を模索している。

ホクレンの現場では、てん菜事業の安定した生産実績を背景に、製糖過程で発生する副産物を用いて微細藻類の培養や油脂抽出技術の開発が進められている。これにより、従来の輪作体系や製糖プロセスに依存しない、環境負荷低減と新たな収益モデルの構築が期待され、将来的には、従来の砂糖製品に並ぶ新たな産業分野として SAF 事業が定着する可能性が示唆されている。現場の生産者および農協は、こうした先進技術の実用化を通じて、環境保全と経済成長の両立、さらには国防・安全保障の強化といった多面的な効果を楽しむ未来を描いている。

さらに、JA 沖縄県農業協同組合においては、沖縄本島および離島におけるサトウキビ栽培は、伝統的な製糖事業を基盤としつつ、宅地化や台風といった厳しい環境下での生産体制維持に努めている。こうした現場では、既存の生産システムの効率化に取り組む一方で、政府や地域行政、産官学連携による支援体制の強化が進めば、従来の収益に加えて SAF 向けの副産物活用が新たな収益源として確立されると期待されている。生産者は、補助金や交付金を活用しながら、伝統的な生産技術と最新の研究成果を融合させることで、収益構造の大幅な転換と地域経済全体の活性化を図るという明確なビジョンを有している。

このように、各地域における将来展望は、従来の製糖事業に依存するだけでなく、環境保全、脱炭素、そして新たなエネルギー資源としての SAF の実現に向けた革新的な取り組みを通じ、産業構造の再編と地域経済の持続可能な発展を促す方向へとシフトしていくことが期待される。現場のさとうキビ生産者や農協は、各関係者が連携して補助制度や研究開発への投資を進める中で、従来の収益基盤を刷新し、地域全体が新たなエネルギー市場の一翼を担う基盤の整備に努めることで、持続可能な未来への道筋を確かなものにしていくと確信している。



図 24 サトウキビ産業が直面する主要な課題を示している。生産者の不足や高齢化、気象条件の不安定さ、収量不足、制度的な課題、トラックドライバー不足など、多面的な問題が生産の持続性を脅かしている。これらの課題を解決するためには、生産技術の革新、労働力確保の施策、政策的支援が不可欠である。

6.3.2 製糖業界の将来展望

製糖業界は、長い歴史と確かな技術力に裏打ちされた伝統産業であると同時に、近年は市場環境の変動や労働力不足、生産量や単収の低下といった厳しい現実直面している。しかし、各社はその中で、従来の砂糖製造プロセスに最新のデジタル技術やスマート農業、さらには環境負荷低減を実現するための革新的な取り組みを積極的に進め、製糖副産物の高付加価値化およびエネルギー資源としての SAF への転換を新たな収益源として捉えた未来像を描いている。

ゆがふ製糖は、伝統的な原料糖製造の基盤を維持しながら、気候変動やエネルギー産業の動向に応じた柔軟な事業転換の必要性を認識している。これまで行政主導のプロジェクトで実績を積んできたものの、その労力や費用対効果の難しさから慎重な対応が求められているという。宮崎商店では、現場での生産量の変動や、古いロットの黒糖が品質低下のリスクを孕む中、SAF として副産物を活用することで、新たな市場価値の創出が可能であるとの期待が示されている。これに対し、南西糖業は、徳之島における基幹産業としてのサトウキビ栽培を守るため、エタノールや

SAF への転換を一つの選択肢として排除しない姿勢を見せ、今後の需要変動に柔軟に対応する必要性を強調している。

また、日本甜菜製糖は、東京大学や神戸大学との共同研究を通じ、微細藻類や油脂酵母を用いた SAF 製造技術の開発に取り組むなど、研究開発面で積極的な姿勢を示している。これにより、製糖副産物が従来の飼料や肥料用途を超え、環境に優しいエネルギー原料として新たな収益モデルへ転換する可能性が高まっている。宮古製糖においては、国内航空各社がジェット燃料関連の実験に注目するなど、バガスなどの副産物の再利用がエネルギー市場との連携を模索する動きに結実しており、製糖業界全体としての技術革新の波が押し寄せている。

新光糖業は、ゼロエミッション工場の実現を目指し、副産物の有効利用を徹底することで、従来の製糖工程におけるコスト上昇や環境負荷の問題を解決し、持続可能な社会に貢献する新たな産業モデルを追求している。さらに、DM 三井製糖は、国内外の市場変動に対応すべく、ライフ・エナジー事業として砂糖以外の収益源の確立を図るとともに、製糖副産物を利用した SAF 製造技術の確立が実現すれば、国際的なエネルギー安全保障にも寄与する可能性を強く期待している。沖縄製糖は、糖蜜の販売実績を背景に、既存の取引先が既に燃料や化学原料に転換して利用している事例を示しながらも、行政主導プロジェクトの失敗例を踏まえ、より実現可能な計画策定の必要性を訴えている。石垣島製糖は、農家との緊密な連携や GPS・IoT を活用した現場管理を進める中で、デジタル技術を駆使して生産効率を飛躍的に向上させ、副産物の品質向上と SAF への活用可能性を高める取り組みを実施している。

各社とも、伝統技術と最新のデジタル技術、スマート農業の融合により、従来の生産体制の弱点を補完しながら、新たな市場ニーズに応えるための取り組みを強化している。官民連携や学術機関との協力体制を通じ、製糖業界は今後も、従来の砂糖供給だけに留まらず、環境に優しいエネルギー産業や地域経済全体の発展を牽引する新たな収益モデルを確立していく可能性が高い。これにより、製糖業界が単なる伝統産業の枠を超え、国際的なエネルギー安全保障や持続可能な社会の実現に貢献する未来が着実に開かれると、各関係者は強い確信を持っている。

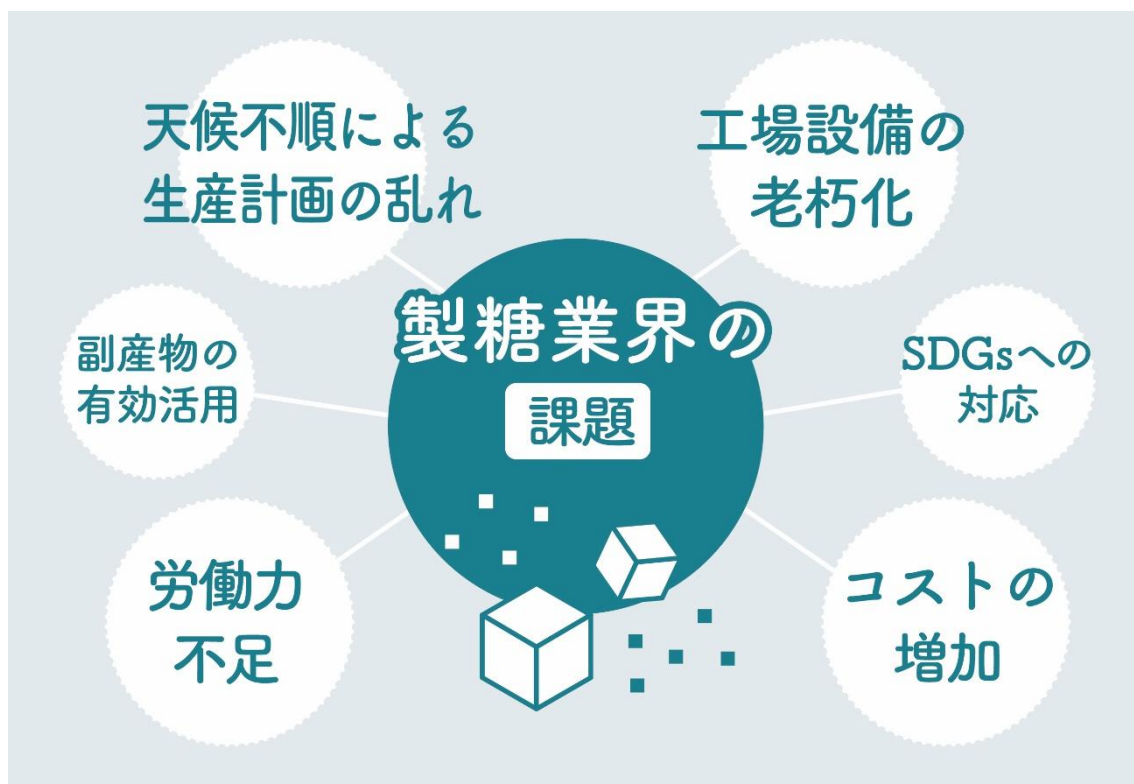


図 25 製糖業界が直面する主要な課題を示している。天候不順による生産計画の乱れ、工場設備の老朽化、SDGs への対応、コスト増加、労働力不足、副産物の有効活用など、持続可能な製糖産業の実現に向けて克服すべき問題が多い。これらの課題解決には、技術革新、設備投資、政策支援の強化が求められる。

6.3.3 航空業界の将来展望

航空業界の将来展望について、各社の現場担当者や経営陣は、これまでの実績を礎にしながら、環境負荷の低減と安全運航のさらなる強化を実現するための革新的な取り組みを進める意欲を示している。日本トランスオーシャン航空株式会社（JTA）は、地域密着型の航空事業として、沖縄離島と本土を結ぶ路線の運航において、従来の運航体制に環境配慮型の技術を組み合わせ、将来的には厳しい環境規制や CO₂削減目標に柔軟に対応できる体制の構築を目指している。具体的には、燃料コストの低減や運航効率の向上を通じ、環境面でも競争優位を確立することが、同社が「選ばれる航空会社」としてさらなる成長軌道を描くための重要な鍵であると認識されている。今後、国や業界団体が SAF の実用化に向けた支援策を充実させることで、JTA はより持続可能なエネルギー供給体制の整備に一層の期待を寄せるとともに、地域の特色を活かした運航ネットワークの拡大に努める所存である。

一方、中部国際空港株式会社（セントレア）は、空港運営の現場において、環境負荷低減と省エネルギーを実現するための先進的なインフラ投資を積極的に進め

ている。ハイドラント方式による燃料供給、コージェネレーションシステム、リサイクルセンターの設置といった取り組みは、空港全体のエネルギー効率の向上と、持続可能な運営モデルの確立を目指すものである。さらに、セントレアは地域自治体や交通インフラ、国際航空安全基準との連携を強化し、新たな運航ルートの確立や国内資源を活かした地産地消型のエネルギー供給システムのモデルケースとして、航空業界全体の環境戦略に先駆けた実践例を示している。担当者は、今後 10 年、さらにはその先において、環境技術の進展とインフラ整備が航空事業の安定運営と国際的な競争力向上に直結すると確信している。

これらの取り組みから総じて、航空業界の将来展望は、単に現在の運航体制を維持するだけでなく、環境負荷低減や CO₂排出削減といった課題に対して、革新的な技術と運用方法の融合によって解決を図る方向へと大きくシフトしていくと考えられる。各社は、安全性と効率性を最優先に据えながら、デジタル技術や自動化技術、さらには国内資源を活用した新たな燃料供給システムの構築を通じ、環境に優しい航空運航の実現に向けた確かな一歩を踏み出している。さらに、国や業界団体、自治体との連携を強化することで、初期投資やインフラ整備といった課題にも対応し、長期的な視野で持続可能な航空事業の発展を目指す姿勢が強調される。これにより、航空業界は、従来の化石燃料依存からの脱却とともに、国際的なエネルギー安全保障の観点からも新たなビジネスモデルを確立し、国内外の市場において環境先進国としての評価を高める未来が確実に拓かれるであろう。安全運航の堅固な基盤と、環境技術の革新、そして地域密着の運営体制が融合することで、航空業界はこれからも持続可能な成長軌道を歩み、将来的には世界に誇る産業としてさらなる発展を遂げると信じられている。

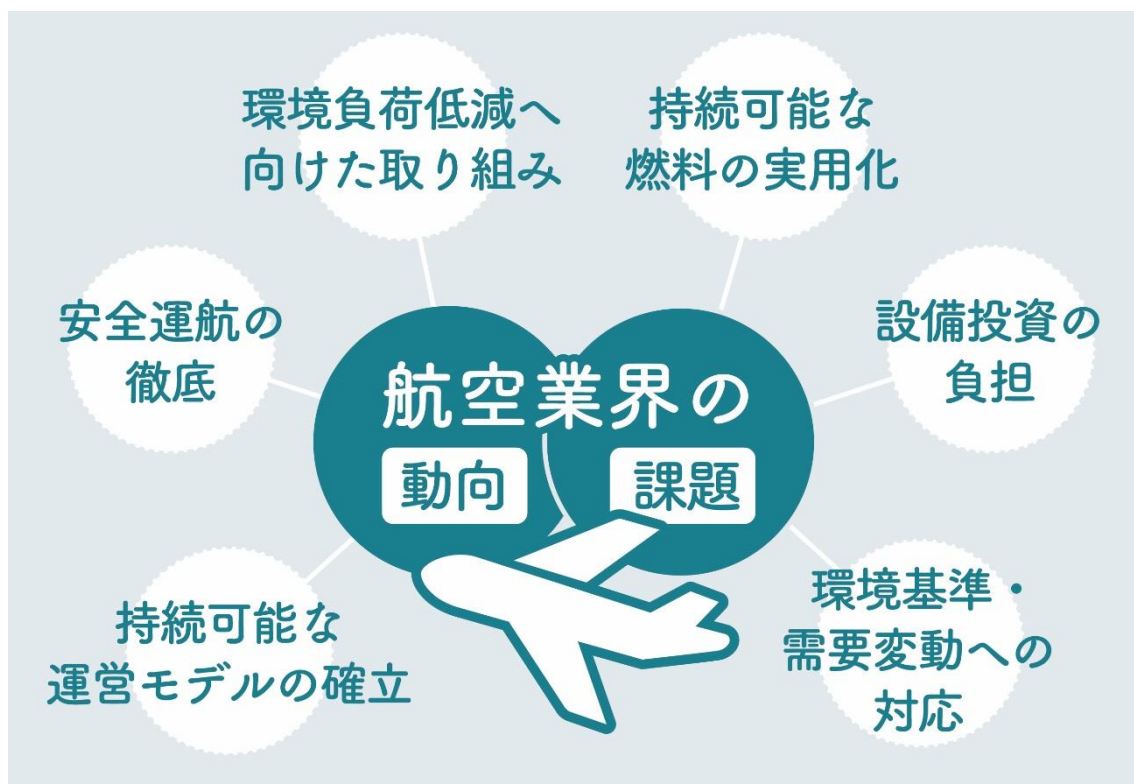


図 26 航空業界の動向と課題を示している。SAF の実用化、環境負荷低減への取り組み、設備投資の負担、環境基準や需要変動への対応、安全運航の徹底、持続可能な運営モデルの確立といった重要なテーマが挙げられている。航空業界は、これらの課題に対応しながら、脱炭素社会の実現と競争力強化に向けた取り組みを加速させている。

6.3.4 エネルギー業界の将来展望

エネルギー業界の将来展望としては、まず、サトウキビ由来のエタノールを原料とした SAF の生産が、新たな産業領域として大きな期待を集めている。太陽石油が沖縄の西原町に保有する事業所を拠点として、ATJ 技術を活用した年間二十万キロリットル規模の SAF 製造プラントを建設する構想は、その代表的な例といえる。沖縄事業所は、かつて製油所として稼働していた経緯から大型船舶を受け入れ可能な栈橋や多数のタンク群を備えており、エタノールの大規模輸入や輸出に適した物流インフラを活用できる利点を有している。この利点は単に航空燃料の供給にとどまらず、大容量のエタノール受け入れから SAF 製造、さらには国内外への出荷まで、一貫したサプライチェーンを確立する上で不可欠な要素となっている。

沖縄というロケーション自体も、エネルギー業界にとって大きな可能性を秘めている。那覇空港が旺盛な旅客需要を抱え、その近傍に生産拠点を構えることで燃料供給の輸送コストを低減しやすいのみならず、台湾や香港、フィリピンといった近隣諸国への輸出ルートを確保しやすいという地理的優位性を備える。これにより、

将来的には日本国内の需要だけでなく、東アジア全域の航空会社へ SAF を安定供給するビジネスモデルを構築することも視野に入るだろう。さらに、沖縄産サトウキビを活用したエタノール生産との連携が進めば、耕作放棄地の利活用や人手不足対策の一助となり、地域経済の活性化と脱炭素を同時に推進するシナリオも浮上してくる。

このような展望を下支えするのが、近年世界各地で高まるカーボンニュートラルへの要請である。航空業界は 2050 年までの排出削減目標を掲げ、SAF が不可欠な選択肢として位置づけられている。それに伴い、世界的に SAF の需要が高まるのはもちろん、日本においても 2030 年を目途にジェット燃料への SAF 転換が法的に義務づけられる方向で制度設計が進行している。この大きな潮流を見すえ、エネルギー企業は化石燃料由来の事業構造から脱却するため、SAF を中心とした新たな供給体制づくりに積極的に取り組んでいる。太陽石油の例では、ブラジルなど海外から輸入するエタノールを主体としつつ、将来的には地産地消のサトウキビ原料を併用してより地域密着型のサプライチェーンを組み立てることを目指している。

また、サトウキビという原料作物が持つ潜在力も、エネルギー業界の将来像を広げる大きな要因となっている。糖蜜からのエタノール生産にとどまらず、砂糖製造過程で生じるバガスや CO₂、発酵残渣といった副産物を多面的に活用できる点は、地域経済への裨益のみならず、二酸化炭素の排出抑制やエネルギー多角化にも寄与する。その一例としては、バガスを燃焼して工場用電力を賄ったり、発酵時に出る CO₂を食品や飲料向けに販売したりするなど、サトウキビに基づく循環型ビジネスモデルの確立が視野に入っている。こうした動きが各地域で活性化すれば、国内農業・食品産業や地域インフラ整備と連携する新産業が生まれ、脱炭素社会へ向けた取り組み全体を牽引することも期待される。

また、株式会社沖航燃は、1972 年の創業以来、航空機への燃料給油を通じて、沖縄の航空業界を支える基盤を築いてきた。長年にわたり、厳格な品質管理と安全運航の実現を追求し、既存の給油システムの自動化と効率化に成功している。同社は、SAF 導入に関しては、従来のジェット燃料とほぼ同一の特性を持つことから、既存の設備を大幅に改修する必要はないという点を評価しつつも、初期段階での設備改造やフィルター交換など、品質管理面での調整が必要になる可能性を認識している。今後、情報収集と技術改良を継続することで、SAF を含む新たな燃料体系への円滑な移行が実現されるとともに、同社が航空業界における安全かつ環境に配慮した燃料供給の先駆者として、さらなる信頼を獲得することが期待される。

総じて、エネルギー業界の将来展望には、サトウキビ由来のエタノールを鍵とする SAF 製造の拡大が大きく関わってくる。太陽石油のプロジェクトが示すように、原料確保から製造技術、物流インフラ、地域社会との連携に至るまで、多角的な取り組みを同時進行させることで、2030 年代以降の新たな航空燃料供給の在り方を

構想している。今後の展開次第では、航空業界の排出削減のみならず、農業や観光業との協調による地域経済への寄与がますます鮮明となり、エネルギー産業そのものの地殻変動を促す原動力として機能するだろう。



図 27 エネルギー業界の動向を示している。脱炭素化の加速、技術革新、市場変化への対応、政策の後押し、サプライチェーンの構築、地域資源の活用といった主要なテーマが挙げられている。

6.3.5 地方自治体・行政機関の将来展望

鹿児島県商工労働水産部エネルギー対策課エネルギー供給推進係、沖縄県庁、そして独立行政法人農畜産業振興機構（alic）が描く将来展望は、それぞれの立場や役割に応じながらも、地域資源の最大活用と社会的ニーズへの的確な対応を通じて、持続可能な産業基盤を確立することに集約される。鹿児島県エネルギー対策課は、再生可能エネルギー導入ビジョン 2023 を起点とし、太陽光・風力・地熱・バイオマスといった多種多様なエネルギー源を活かして、地域のレジリエンス強化や産業振興を図る方針を掲げている。その中で、さとうきび副産物をエネルギー資源として転換しうる技術への注目度が増しており、特にバイオマス燃料の製造や SAF の活用など、従来の肥料・飼料利用を超えたビジネスモデルが今後の地域経済を支える柱となると期待されている。

沖縄県庁においては、令和四年度策定の「新・沖縄 21 世紀農林水産業振興計画」で掲げられたさとうきび生産安定化や担い手確保策が、将来の産業構造に影響を与えると捉えられている。厳しい気象条件でも安定した収穫が可能なさとうきびを基幹作物と位置付け、農業機械化や法人組織の育成など生産体制の効率化を進めることで、製糖業が持つ経営基盤を強固にしようとしている。こうした取り組みが、今後はさらに先端技術との連携やエネルギー転換の試みに接続していくことが視野に入っており、その延長として SAF の原料確保や地域内でのエタノール生産が、新たな産業の創出に寄与する可能性が示唆されている。離島特有の人手不足や耕作放棄地の問題が依然として課題ではあるものの、県庁はこうした課題の克服に向けて国や民間事業者との連携を強め、若年層や外国人材の受け入れを後押ししながら、生産体制の維持・拡大を志向している。

一方、alic は農畜産業の安定を図る独立行政法人として、国内のさとうきび産業を下支えする多彩な施策や情報発信を担っている。価格調整制度を通じて生産者や製造事業者を支援するのみならず、月刊誌やウェブサイトを使った情報提供によって、国内外の需給動向や先進事例を広く関係者に伝えている。これらの取り組みを強化することで、品種改良や省力化技術への理解を深め、生産性と品質の両面を高める意識を生産者や製糖企業に促す方向性が打ち出されている。さらに、砂糖生産の新たな可能性として、さとうきび副産物からのエタノール生産や CO₂回収利用などを紹介し、将来のエネルギー転換や地域循環型ビジネスへの関心を高めている点が注目される。国際情勢や国内の消費動向が大きく変動する中でも、制度的な枠組みと情報収集の機能を強化しながら、安定的な生産・供給と新たな市場開拓を同時に実現することを目指している。

これら三者の展望に共通するのは、従来の「さとうきび＝砂糖」という一次産業的な観点を超え、エネルギー、環境、農業振興の三つを融合させた高度な産業モデルを追求する姿勢である。鹿児島県のビジョンでは多様な再生可能エネルギーの導入が打ち出され、沖縄県庁では機械化や担い手確保が将来的なエネルギー事業への波及効果をもたらす可能性を見据え、alic は制度面および情報面での基盤整備に注力している。結果として、地域の経済・社会・環境の三領域で共通利益を創出できる道筋が浮かび上がり、さとうきびを軸とした持続可能なビジネスの確立へ貢献するだろう。

今後、このような取り組みをさらに加速させるためには、産学官連携の強化や技術革新の迅速な導入、そして国内外の需要変化に対応できるフレキシブルな制度運用が不可欠となる。鹿児島県や沖縄県、alic がそれぞれの立場で示す将来像は、単なるサプライチェーン強化や農家支援にとどまらず、環境負荷低減やエネルギー自給率向上など、地域のみならず国全体の政策目標達成にも貢献しうるものである。したがって、地方自治体・行政機関の今後の挑戦は、現行の政策ツールを活かしつ

つ新技術や新制度を巧みに取り込み、さとうきび産業の更なる進化を牽引していく
ことにありたい。

7. シンポジウムでの議論と提言

7.1 有識者シンポジウムの開催概要

南西諸島におけるサトウキビ産業の現状とその将来的可能性、特に持続可能な航空燃料（SAF）原料としての活用に焦点を当てたシンポジウムが、2025年2月14日に那覇で開催された。本シンポジウムは、基調講演とパネルディスカッションから構成され、講演者としてサトウキビコンサルタントの杉本明氏、東京大学先端科学技術研究センターの小原聡氏、太陽石油株式会社の SAF 事業推進プロジェクト専任部長である由井直之氏など、各分野の第一線で活躍する専門家が登壇した。同時に関係官庁や地域の実務者も多数出席し、南西諸島を中心に展開するサトウキビ産業の現状と将来性について、学界、産業界の有識者が一堂に会し、議論を交わした。

7.2 パネルディスカッション：「サトウキビと SAF の未来」

パネルディスカッションでは、サトウキビの持つ生産特性やその多用途利用に関する最新の知見を背景に、参加者間で活発な議論が交わされた。議論は、まずサトウキビが他の作物と比較してグリーントランスフォーメーション時代において有望な資源であるとの認識を確認する形で始まった。パネリストは、サトウキビの高い生産力や、従来の砂糖生産にとどまらず副産物を利用した新たな産業価値の創出に注目し、環境保全やエネルギー供給の面での優位性を強調した。さらに、SAF の原料としてのサトウキビ利用に関しては、エタノール由来の ATJ 技術や、製糖過程で副産物として生じるバガスの有効利用など、従来の枠組みを超えた技術開発の可能性が議論された。議論の中盤では、生産コストや食料との競合といった現実的な課題についても意見が交わされ、国産資源としての安全保障や地域経済への波及効果など、複数の視点からその実現可能性が検証された。パネリスト同士の相互質疑や補足説明を通じ、単一の技術や手法だけではなく、複合的なアプローチによる安定供給と高付加価値化の道筋が模索された点が印象的である。

7.3 シンポジウムから得られた主要意見と提言

シンポジウム全体を通して浮かび上がったのは、従来のサトウキビ生産技術が抱える根本的な課題と、その転換によって生み出される多角的価値の可能性であった。参加者の間では、まず南西諸島特有の低単位収量や限られた株出し回数、短い収穫操業期間といった現状の生産性の低さが、単に砂糖生産に留まる従来モデルの限界を如実に示しているという認識が共有された。杉本氏のプレゼンテーションにおいては、「残さから副産物へ」「副産物から主産物へ」、さらには「すべて主産物へ」という理念のもと、サトウキビが持つ根系の深さや光合成能力、そして豊富な副産物—糖蜜やバガス—の未活用部分に着目し、現状の技術では十分に引き出せない潜在的資源としての再評価が強調された。これに対し、小原教授は、従来の環境配慮型製糖プロセスを土台にしつつ、エタノール製造や SAF への転換といった

新たな用途開発を通じ、食料生産とエネルギー生産の同時増産を実現する産業モデルへの変革の必要性を説いた。教授は、砂糖生産という既存の枠組みを超え、農業と工業の融合による多目的利用が、脱炭素化社会の実現に向けた鍵であると述べ、先進的な技術とプロセスの導入によって、低収率と高コストという現状の弊害を克服すべきとの立場を示した。

さらに、由井氏の講演では、島嶼部としての沖縄の地理的・インフラ的優位性を背景に、サトウキビを原料とする SAF 製造の実現可能性が具体的に示された。太陽石油が検討する大型油槽所や輸送インフラを活用した ATJ プロセスは、従来の化石燃料に依存しない持続可能なエネルギー供給体制の構築に向けた具体策として、国際的な脱炭素化目標への対応策として高く評価された。これにより、サトウキビ由来エタノールを航空燃料に転換することが、環境負荷の大幅な削減と地域経済の活性化の両面で有効であるとの見解が示された。

シンポジウムで得られた主要意見としては、まず、既存の製糖プロセスに固執するのではなく、サトウキビが本来持つ多様な生物学的特性を最大限に引き出し、農業・工業が一体となった統合的な生産システムの構築が必要であるという点が挙げられる。低単位収量や短い操業期間といった現状の生産性の低さは、技術革新と品種改良、そして適正な栽培管理技術の導入によって克服可能であり、実際に「はるのおうぎ」など新類型サトウキビの開発実績がその可能性を裏付けている。加えて、製糖副産物を単なる廃棄物として扱うのではなく、バイオエタノール、バイオ燃料、さらには高付加価値のグリーンケミカルへと転換する全体最適化戦略が求められる。こうした技術的進展は、環境負荷の削減と同時に、農家や製糖企業、さらには関連バイオ産業全体の経済的基盤を強化するものであり、食料安全保障やエネルギー自給率向上にも寄与する。

また、シンポジウム参加者は、官民連携の重要性を強調した。各界の研究者、実務者、政策担当者が一堂に会し、各プロセスの実証実験や、技術開発、そして経済的支援策について情報交換を行った結果、今後は国の補助金やカーボンクレジット制度、さらには共同研究プロジェクトを通じた技術革新が、サトウキビ由来 SAF の商業化を加速させる鍵であるとの結論に達した。特に、南西諸島という地域特性を活かした地産地消型のサプライチェーンの構築は、地域経済の活性化とエネルギー安全保障の両面で大きな意義を持つ。

総じて、シンポジウムから得られた主要意見と提言は、従来のサトウキビ産業の枠組みを抜本的に転換し、環境保全と経済成長の両立を図る新たな産業モデルの実現に向けた包括的アプローチである。これには、技術革新、品種改良、プロセスの最適化、そして官民連携による政策支援が不可欠であり、各関係者が連携して実証実験を推進し、実際の生産体制に結実させることが求められている。こうした統合的な取り組みが、今後の日本のエネルギー転換および農業再生に向けた大きな原動力となるとともに、国際的な脱炭素社会の実現に向けたモデルケースとして、国内外に示すべき戦略であると考えられる。

8. まとめと未来への提言

8.1 本報告書の総括

本報告書は、従来の製糖用途に留まらないサトウキビの多用途利用、特に持続可能な航空燃料（SAF）への転換可能性を包括的に検証するものである。報告書作成の背景には、国内外で進む脱炭素化の流れと、航空業界の環境負荷削減の必要性、さらには南西諸島を中心とした日本の農業現場が抱える構造的課題がある。これまでサトウキビは、砂糖生産やバイオエタノールの原料として長年にわたり利用されてきたが、最新の技術革新やプロセス改善により、同作物の副産物である糖蜜やバガスを活用することで、エネルギー生産や環境保全の分野における新たな付加価値が創出される可能性が示唆されている。

シンポジウムやインタビューにより得られた知見を総合すると、本報告書は、サトウキビ由来 SAF の実現が、単なるエネルギー転換の手段を超え、農業と製糖産業、さらには地域経済全体の再編を促す重要な転換点であることを強く示している。技術革新、コスト削減、そして官民連携を通じた政策支援の必要性が改めて浮き彫りとなり、今後の持続可能な社会の構築に向けた戦略的指針として、本報告書が果たす役割の大きさが確認された。報告書は、国際的な動向と国内の実情を見据えながら、サトウキビの資源価値を多面的に捉え直し、SAF 製造への道筋を具体的な数値試算や事例を通じて示すことで、関係者間の意識統一と協働による産業革新を促すものとなっている。

8.2 日本における SAF 導入の課題と解決策

日本国内における SAF の導入は、環境保全とエネルギー安全保障の両面で期待される一方、技術的・経済的な課題が依然として山積している。まず、SAF 製造の主要プロセスである HEFA、ATJ、FT 合成など各手法には、それぞれ原料供給の安定性や変換効率、設備投資のコストなどに関する重大な課題が存在する。特に、サトウキビ由来のエタノールを用いた ATJ 法の場合、試算によれば製造コストが 487～815 円/L と、従来のジェット燃料の約 2～3 倍に達するとされ、これが国内市場での商業生産化の大きな障壁となっている。また、原料である糖蜜やバガスは、従来の製糖プロセスでは副産物として扱われ、意図的に排出されないよう管理されてきたため、これをエネルギー原料として積極的に活用するための生産体制の再編が求められている。さらに、国内のサトウキビ生産は、南西諸島の厳しい気象条件や地形的制約、さらには担い手不足や高齢化といった社会的課題により、単位収量の低さや生産効率の悪さが指摘されている。これらの問題を克服するためには、政府の補助金制度やカーボンクレジットのような制度の活用、そして先進的な農業技術やプロセス改善による製造効率の向上が急務である。具体的には、機械化による作業効率の向上、品種改良による多回株出し安定多収の実現、さらには原料調達の多角化といった取り組みが必要である。国際的な成功事例を参考にしながら、各製造プロセスの最適化を図るとともに、原料供給チェーン全体の見直しや地域ごとの特性に応じた生産・加工拠点の再配置が求められる。加えて、

経済産業省や資源エネルギー庁といった官庁による積極的な政策支援や、業界全体の連携による共同研究の推進が、日本市場における SAF 導入を加速させる鍵となるであろう。これにより、日本国内のエネルギー供給体制の脱炭素化と、国際市場での競争力向上が実現される可能性がある。

8.3 サトウキビを活用した持続可能な未来の展望

サトウキビは、その高い生産性と副産物の多様な活用可能性により、持続可能な未来の実現に向けた基盤資源として再評価されつつある。従来、サトウキビは砂糖の原料として主に利用されてきたが、近年の研究成果や現場での実践からは、バイオエタノールの生産、発電、さらに SAF への転換といった新たな用途が次々と明らかにされている。小原教授の講演資料では、サトウキビ由来の「水」や搾り粕（バガス）が、製造工程において電力供給源や副産物として活用できる点が強調され、従来の砂糖生産プロセスにおける環境配慮型技術との融合が図られている。さらに、南西諸島における現状のサトウキビ生産は、厳しい自然条件下での安定供給や、人口涵養力としての地域経済への貢献といった側面が見直され、単なる「低収量」という評価を超えて、環境保全や資源循環型社会構築の一翼を担う存在として再定義されつつある。具体的には、ATJ 技術を用いることでサトウキビ由来エタノールを航空燃料に転換し、さらには従来の製糖副産物を高付加価値製品に変換する全体最適化プロセスが提案されている。これにより、従来の製糖業が抱えるコストや生産効率の問題を解決し、農業と工業が一体となった新たな産業モデルの構築が期待される。地域に根ざした取り組みとして、南西諸島各地での適地適作の技術開発や、既存の製糖工場を活用したバイオ産業の拡大は、地域経済の活性化やエネルギー安全保障の強化にも寄与する。将来的には、サトウキビを中心とした複合生産システムが、国内外の市場において持続可能なエネルギー供給および環境保全の両立を実現するモデルケースとなる可能性があり、これが日本全体の脱炭素社会の実現に向けた大きな一歩となるだろう。

8.4 官民連携による今後の取り組みと協力体制

持続可能な SAF 産業の実現とサトウキビの多用途利用による新たな産業モデルの構築においては、官民連携が極めて重要な役割を果たす。これまでの取材記録や各種講演資料からも明らかなように、個々の企業や研究機関、地方自治体、そして中央官庁が、それぞれの専門性と地域資源を活かして連携を深めることで、初めて大規模な技術革新や経済的支援が実現可能となる。具体的には、サトウキビの栽培技術の高度化、製糖副産物を利用したバイオエネルギーの生産、さらには SAF 製造プロセスの効率化といった課題に対して、各関係者が共同で実証実験や研究開発を推進する枠組みが必要である。杉本氏の取材記録からは、長年にわたり現場で蓄積された経験や、南西諸島特有の生産環境に即した知見が強調されており、これらは官民連携プロジェクトにおいて貴重な基盤となる。たとえば、沖縄県や鹿児島県といった生産拠点を中心に、大学や研究機関、そして製糖業界および航空業界が一体

となって、各プロセスの最適化や新技術の開発を進める取り組みが既に始動している。さらに、政府は、補助金や税制優遇措置、カーボンクレジットのような制度を通じて、これらの連携プロジェクトへの支援を強化する方針を示している。官民連携により、地域ごとの特性を踏まえた地産地消型のサプライチェーンを構築し、技術開発と市場展開の双方を推進する体制が整えば、日本全体のエネルギー転換戦略に大きな弾みがつくだろう。こうした協力体制は、単に技術的な課題を解決するだけでなく、地域経済の活性化や雇用創出、さらには国際市場における競争力の強化にも直結する。今後、持続可能な SAF 産業の実現に向けた官民連携は、国内外の市場変動や環境規制の厳格化に柔軟に対応できる堅牢な基盤として、日本のエネルギー・農業政策の転換期において、極めて重要な役割を担うことが期待される。

9. 執筆者・研究調査員

J A M S T E C 萩原 雄貴

中小企業診断士 伊沢 豊

中小企業診断士 長山 萌音

中小企業診断士 山崎紫穂子

中小企業診断士 金森 一男

中小企業診断士 平林 丈晴

中小企業診断士 石原 学

中小企業診断士 渋谷 朋弘

中小企業診断士 小笠原陽子

中小企業診断士 細川 幸春

合同会社AMU経営研究所 統括研究員 谷川大致

農林水産省
令和 6 年度持続的畑作生産体制確立緊急支援事業のうち
砂糖等の新規需要開拓支援事業の
甘味資源作物の多用途利用にかかる取組に関する報告書

令和 7 年 3 月 1 5 日
戦略農業振興支援ネットワーク合同会社
合同会社 AMU 経営研究所