

[寄稿]

日本のバイオエタノール導入に関する考察 ～アメリカ、ブラジルの事例とエタノールの供給安定 性等の観点から～

大森 嘉彦[※] (一財) 日本エネルギー経済研究所 理事
クリーンエネルギーユニット担任



森山 亮^{※※} (一財) エネルギー総合工学研究所
カーボンニュートラル技術センター 部長



1. はじめに

わが国の運輸部門では、脱炭素化として電動化が進む一方、航空分野、既存の内燃機関車両のストックを抱える道路分野で、液体燃料の低炭素化が当面の現実的な選択肢として重要性を増している。その中でバイオエタノールは、ガソリンへの混合燃料としての活用に加え、近年は持続可能な航空燃料（SAF）の原料としても注目されている。

経済産業省は、2024年11月、「ガソリンへのバイオエタノール導入拡大に向けた方針」を策定した。同方針では、2030年度までにガソリンにバイオエタノールを最大濃度10%混合した低炭素ガソリン（E10相当）の供給開始を目指している。また、2030年代のできるだけ早期に、新車販売におけるバイオエタノール濃度20%のガソリン（E20）対応車の比率を100%とすることを目指す。その上で、2040年度から、最大濃度20%の低炭素ガソリン（E20相当）の供給開始も追求することとしている。これに伴い、燃料品質・車両規格、供給インフラ（輸送・ガソリンスタンド（SS））、調達（製油所・油槽所）などに関する検証や制度対応を段階的に進める工程も示した⁽¹⁾。

航空分野では、「次世代燃料の導入促進に向けた官民協議会」等において、温室効果ガス

（GHG）5%削減をベースに、2030年時点で「本邦エアラインによる燃料使用量の10%をSAFに置き換える」目標が掲げられ、製造・供給体制の構築やコスト低減に向けた政策的支援が検討・実施されている⁽²⁾。こうした動きは、国内でのSAF供給拡大と同時に、SAF原料としてのATJ（Alcohol-to-Jet）の技術、既存インフラを活用した低炭素エタノールの位置づけを強める。

一方で、バイオエタノールの導入拡大を実現するには、①必要量を継続的に確保できる供給体制、②価格競争力、③環境価値の信頼性、透明性と証明可能性、④燃料・車両・流通設備の適合と誤給油対策、といった条件を同時に満たす必要がある。特に、燃料供給の相当部分を輸入に依存する日本の場合、導入規模が拡大するほど、海外の生産・物流・制度の実態が国内の供給安定性に直結する。

以上を踏まえ、本稿では、農業生産、エタノール製造、低炭素化の手段（例：生産工程の改善や二酸化炭素回収・貯留（CCS）等）、炭素強度（CI）^{*} 管理の仕組み、需要側（航空）を含む市場・制度環境について、筆者らが昨秋のアメリカ現地視察で得た一次情報およびエタノール生産大国であるブラジルの情報に基づいて、両国を比較しつつ整理する。そこから、バイオエタノールを「ガソリン混合燃

^{*} 炭素強度（CI: Carbon Intensity）とは、売上高、電力使用量などの経済活動量当たりのGHG排出量の割合を示す指標。「炭素集約度」とも呼ばれ、より少ない排出量で事業を行う持続可能性を評価する際に用いられる。

料」，または「SAF 原料」として活用していく際に，日本が押さえるべき供給安定性上の要点と，制度設計・事業戦略上の論点について考察する。

2. バイオエタノールの概況

図 1 に世界のバイオエタノール生産量推移と 2024 年における国別内訳を示す。バイオエタノールの生産量は，2000 年代半ば以降に急速に拡大し，その後も増加傾向にある。2020 年前後には，コロナ禍の影響で生産量はいった

ん減少したが，その後は再び回復基調にあり，近年では過去最高水準に近い水準まで増加している。バイオエタノールの生産量増加は，アメリカやブラジルを中心としたバイオ燃料政策の導入・拡充を背景として輸送燃料の需要が拡大したことによる。世界のバイオエタノール生産は，中長期的には増加トレンドを維持しつつ，短期的にはエネルギー需要や経済情勢の影響を受けて変動していることが確認できる。

国別に見ると，最大の生産国・アメリカとブラジルで世界生産量の約 80% を占めるなど，両国が世界のバイオエタノール供給の中核を

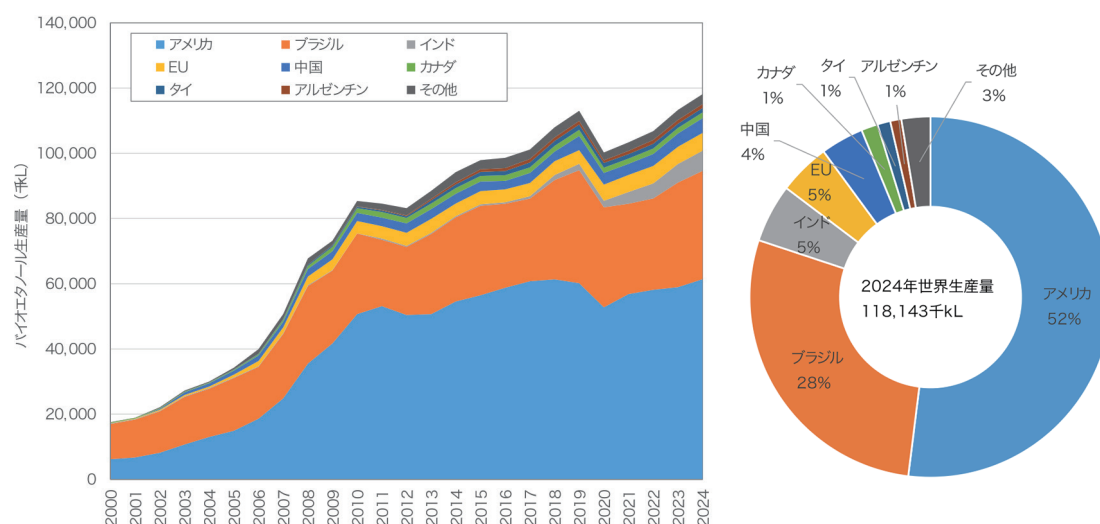


図1 バイオエタノール生産量の推移 (左) と国別シェア (右) (3) - (5)

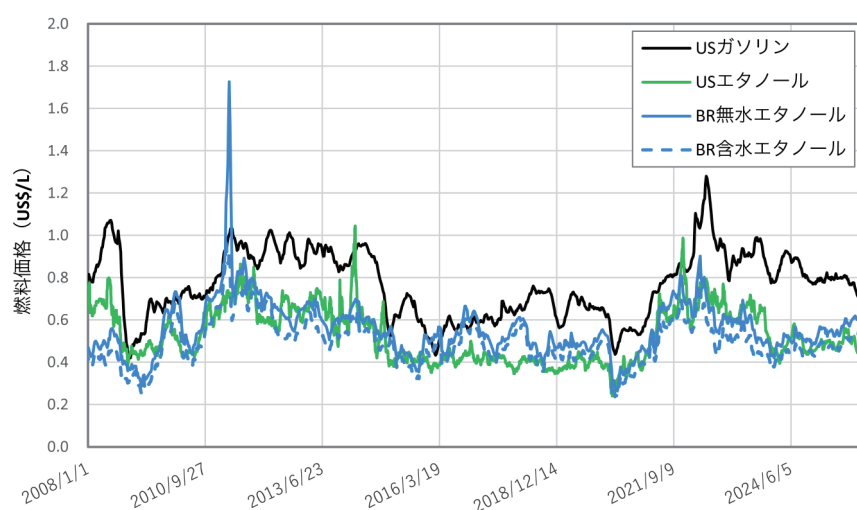


図2 ガソリン価格 (アメリカ) とエタノール価格 (アメリカ, ブラジル) の推移 (6) - (8)

担っており、この構図が長期にわたり維持されている。2024年に、アメリカのエタノール生産量は、コロナ禍前の最大生産量と同等の6,100万klとなった。その他、欧州連合(EU)、インド、中国、カナダ、タイ、アルゼンチン等も生産を拡大しているものの、規模としてはアメリカ・ブラジルとの差が大きい。

バイオエタノールの生産や利用が進んでいる、アメリカとブラジルのバイオエタノールの国内価格推移とガソリン価格推移を図2に示す。ブラジルでE100として利用する含水エタノール、ガソリンに混合して利用する無水エタノール、アメリカのエタノールも価格の傾向は同じに見える。また、これらバイオエタノールは、ガソリンの6～8割程度の価格であり、その増減の傾向も両国で似通っている。

ブラジルでは2011年4月、エタノール価格が高騰し、無水エタノール価格が1.7ドル/ℓを超えるまでになった。これは「2011年の供給ショック」として知られているが、前年のさとうきび収量低下、砂糖価格高騰による砂糖優先生産、およびエタノール在庫不足によるものと言われている⁽⁹⁾。

図1に示した世界のバイオエタノール生産量の拡大は、各国・地域における燃料政策、とりわけガソリンへの混合義務や導入目標と密接に関係している。バイオエタノールは、多くの国で制度的に導入が位置づけられてお

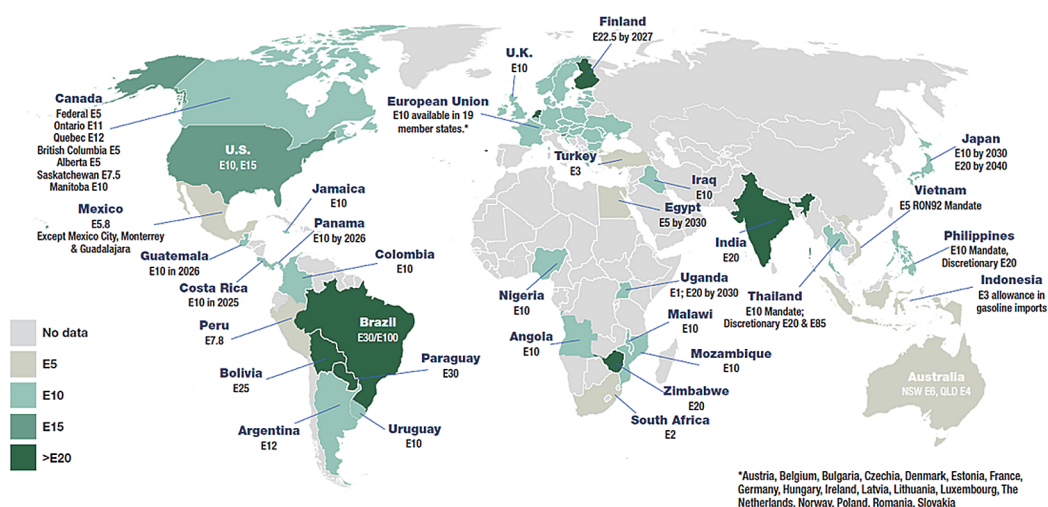
り、主要生産国・地域ほど、一定割合以上の混合を前提とした市場が形成されており、「地産地消」燃料の側面を伺わせる。

図3に各国のバイオエタノール混合義務や混合目標量を示す。北米では、アメリカにおいて長年にわたりE10が事実上の標準燃料として定着しており、近年ではE15の導入も進んでいる。カナダでも連邦レベルでE5相当の義務が設定されるとともに、州ごとにE10を超える混合率を採用する地域がある。こうした制度的背景が、北米における大規模なエタノール生産と安定的な需要を支えている。

南米では、ブラジルが世界的にも高い混合率を採用しており、ガソリンへの最大30%混合(E30)に加え、E100(含水エタノール)の利用が広く行われている。アルゼンチンやパラグアイ、ボリビアなど周辺国でもE10～E30程度の混合義務が導入されており、地域全体として輸送燃料としてのエタノール利用が定着している。この「需要喚起策」が、南米が世界有数の生産地域となっている大きな要因である。

欧州では、多くの国でE10が導入されており、フィンランドのようにE20を超える高混合率を目指す国もある一方で、混合義務の水準や普及状況には国ごとの差があり、北米・南米と比べると生産規模は限定的である。

アジア・アフリカ地域でも、近年、バイオエタノール導入の動きが広がっている。イン



ドでは E20 導入が進められており、タイ、フィリピン、ベトナムなど東南アジア諸国でも E10 を中心とした混合義務が設定されている。アフリカ諸国でも E10 ～ E20 を目標とする国が増えているが、生産規模や供給体制は発展途上にある。

このように、世界のバイオエタノール生産量の地域的偏在は、農業資源の差を基本としつつも、混合義務を中心とした燃料政策の有無とその水準に大きく左右されている。図 1 右で示したように、アメリカやブラジルが世界生産量の大半を占めている背景には、長期にわたり高い混合率を前提とした制度が維持されてきたためである。

3. アメリカ

(1) 概況

アメリカは世界最大のトウモロコシ生産国であり、その生産量は年ごとの天候等により変動はあるものの、長期的には高い水準で安定している。図 4 にアメリカにおけるトウモロコシの利用量とその用途内訳を示す。トウモロコシの利用量は、近年、3.5 億トン程度で安定しており、2023 年における用途としては、39% が飼料、37% が燃料エタノール、14% が輸出、10% がその他（食品・工業用途など）に仕向けられており、特定用途に固定されていない。

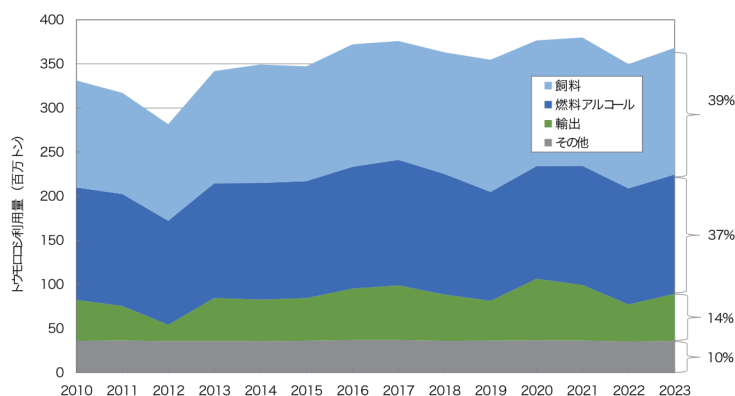


図 4 アメリカにおけるトウモロコシ消費量と用途 (11)

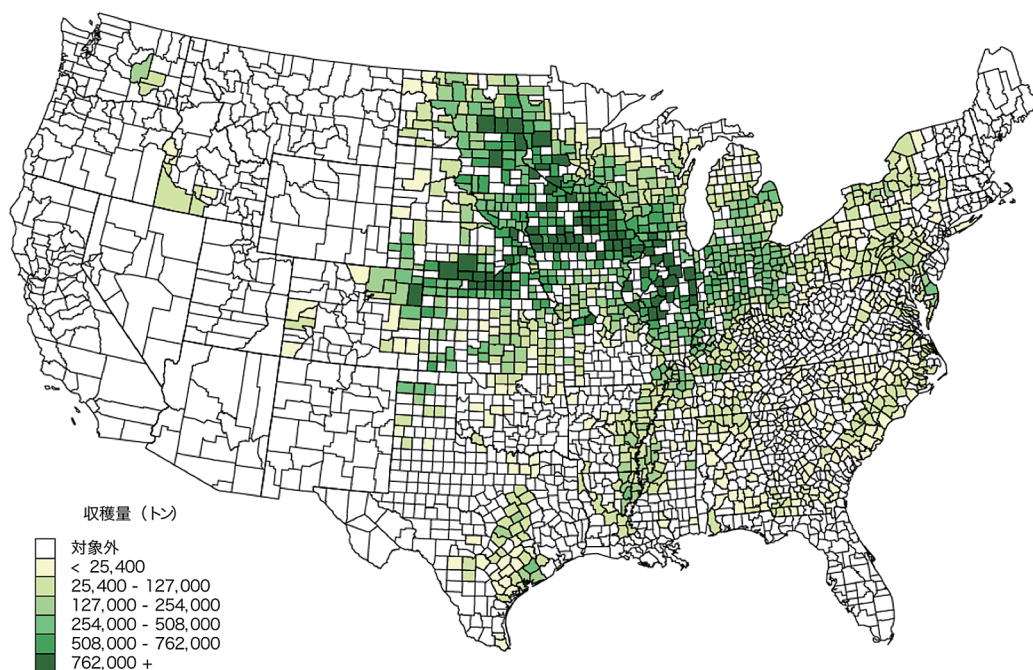


図 5 アメリカのトウモロコシ生産量の分布 (12)

燃料エタノール向けに使用されたトウモロコシは、発酵・蒸留工程を経て燃料用エタノールとして利用される一方、副産物として乾燥蒸留粕（DDGS；Distiller's Dried Grains with Solubles）等の飼料が併産される。このため、エタノール生産は、燃料用途と飼料供給を同時に満たす構造となっており、トウモロコシ需給全体の中で柔軟に調整されている。

アメリカのトウモロコシ生産は、図 5 に示すように、中西部に広がる「コーンベルト」に集中している。アイオワ、イリノイ、ネブラスカ、ミネソタ、サウスダコタなどの州は、肥沃な土壌と大規模・機械化農業を背景に、高い生産性を有している。

エタノール工場は、図 6 に示すように、こうしたコーンベルト地域に多数立地しており、原料生産地と製造拠点が地理的に近接している点がアメリカの大きな特徴である。これにより、原料輸送コストの低減や、安定した原料調達が可能となっている。また、鉄道や内陸水運（ミシシッピ川流域）などの物流インフラが整

備されていることから、国内消費に加え、輸出にも対応できる供給体制が構築されている。

以上のように、アメリカでは、トウモロコシ生産、エタノール製造、物流インフラが一体的に発展しており、世界最大のエタノール生産国としての地位を維持している。次節では、こうした構造を前提として、図 7 に示す現地視察を通じて確認した農業生産現場やエタノール工場の実態、低炭素化の取り組みについて整理する。

（2）現地視察

筆者らの現地視察では、アメリカ北部ノースダコタ州および中西部イリノイ州を中心に、農業生産現場、エタノール製造プラント、関連事業者・業界団体等を訪問し、バイオエタノールの供給体制と低炭素化の取り組みについて実態把握を行った。

以下に、農業生産、エタノール製造、CCS、ならびに SAF 展開と CI 管理の観点から、現地で得られた知見を整理する。

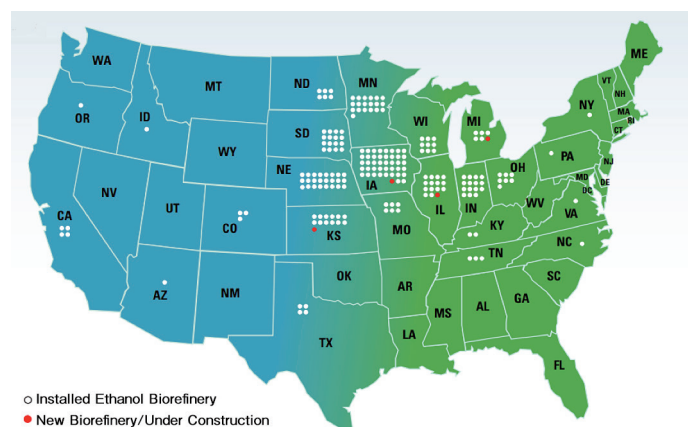


図 6 アメリカのバイオエタノール製造プラントの分布 ⁽¹³⁾

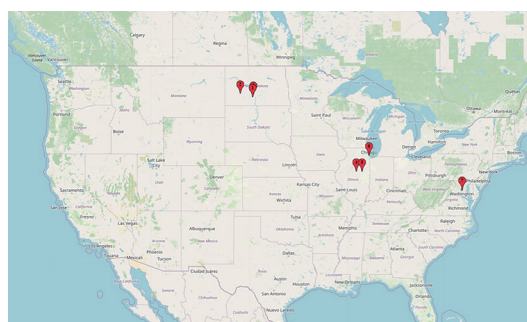


図 7 筆者らのアメリカ現地視察訪問地

(3) 農業生産における低投入型の取り組みとトレーサビリティ

農業生産の現場として、ノースダコタ州において、エタノール製造事業者（後述の Gevo 社）と契約関係にあるトウモロコシ農家の農地を視察した。同地域は寒冷で栽培期間が短く、必ずしも高収量が得られる条件ではないが、不耕起または最小限の耕起による農法や、家畜由来堆肥の活用など、投入資材を抑えた低投入型農業が実践されていた。農地の様子を図 8 に示す。

これらの農法により、単位面積当たりの収量は中西部の高生産地域と比べて低い一方、農業機械の稼働、施肥量、燃料使用量といった投入資材やエネルギーが抑制され、生産物であるトウモロコシの CI が低い水準となる点に特徴がある。

今回の視察では、Gevo 社が開発・運用する“Verity”⁽¹⁴⁾ と呼ばれるカーボントラッキングシステムについても説明を受けた。Verity は、原料生産から製造工程に至るまでのデータを統合的に管理し、原料作物および最終製品の CI を農場単位で定量的に把握・証明することを目的とした仕組みである。トラクターの稼働状況、燃料使用量、施肥量、収量などのデータが農場単位で取得・蓄積され、原料の生産履歴を遡及的に確認できるシステムが構築されていた。

また、こうした低炭素農業は、米国農務

省（USDA）による気候対応型農業プログラム（CSA）⁽¹⁵⁾ の支援対象ともなっている。Gevo 社では“Climate-Smart Farm to Flight”プログラムが採択され、3,000 万ドルの補助を受けて 2022～2025 年の期間でプロジェクトを実施した⁽¹⁶⁾。

(4) エタノール製造と副産物利用の実態

エタノール製造の現場として、ノースダコタ州にある Gevo 社のプラントとイリノイ州にある One Earth Energy 社のプラントを視察した。両プラントとも、トウモロコシを原料とするドライミル方式を採用し、粉碎、糖化、発酵、蒸留の工程を経て燃料用エタノールを製造している。

ノースダコタ州の Gevo 社プラントでは、エタノール製造に加え、DDGS などの飼料を併産しており、燃料生産と飼料供給が同時に成立する構造が確認された。また、発酵工程で発生する CO₂ を回収し、地下深部に貯留する CCS がすでに商用運転として実装されている。

一方、イリノイ州の One Earth Energy 社プラントでは、大規模なエタノール製造が行われており、製造コストに占める原料費の比重が大きいことから、トウモロコシの生産性や品種選択が経済性に直結する点が強調されていた。同プラントでは、発酵由来 CO₂ の CCS 導入は計画段階にあり、貯留適地の確保や CO₂ 輸送インフラ整備が課題として認識されていた。



図 8 収穫、施肥後の農地の様子

両プラントに共通して、製造過程で回収されるコーンオイルが再生可能ディーゼル等の原料として利用されており、エタノール製造は複数の燃料・飼料を併産する複合的プロセスとして構築されている。

（５）発酵由来 CO₂ の回収・貯留（CCS）の実装条件

アメリカのエタノール製造において特徴的であった点の１つが、発酵工程で発生する CO₂ を対象とした CCS が、すでに商用規模で実装されていることである。発酵由来 CO₂ は濃度が高く不純物が少ないため、回収・精製工程が比較的簡素であり、技術的な導入ハードルが低い。発酵由来の CO₂ はもともと大気中に存在していた CO₂ を植物が成長時に吸収したものであるため、その CO₂ を地下に貯留することは間接的に大気中の CO₂ を削減する「ネガティブエミッション技術」の１つと位置づけられ、BECCS（Bioenergy with Carbon Capture and Storage）と呼ばれる。

ノースダコタ州では、CO₂ の地層貯留に適した砂岩層が存在し、州レベルで圧入後のモニタリング期間や管理責任を定めた規制枠組みが整備されている。これにより、発酵由来 CO₂ の回収・貯留が事業として成立している。

一方で、CCS の実装可否は地質条件や規制環境に大きく依存しており、地域によって導入の進捗に差が生じていることも確認された。

（６）SAF 展開と CI 管理の重要性

アメリカでは、従来のガソリン混合用途に加え、エタノールを SAF 原料として活用する動きが本格化しつつある。とりわけ、ATJ 経路による SAF 製造が注目されており、エタノールは将来的な供給拡大が可能な中間原料として位置づけられている。この点について、エタノール業界団体・再生可能燃料協会（RFA）やイリノイ大学との意見交換では、農業生産性の向上、製造工程の効率化、CCS の導入などにより、エタノールの CI が長期的に低下してきたことが示された。CI の改善は、図 9 に示すように、量的供給能力と並んで、今後の市場競争力を左右する要素として認識されている。

一方、航空業界団体である Airlines for America との意見交換では、SAF 調達においては、価格に加え、CI が明確に示され、第三者認証によって証明されていることが不可欠であるとの認識が共有された。供給量が限られる中で、長期契約による安定供給と、環境価値の透明性が SAF 市場成立の前提条件とされている。

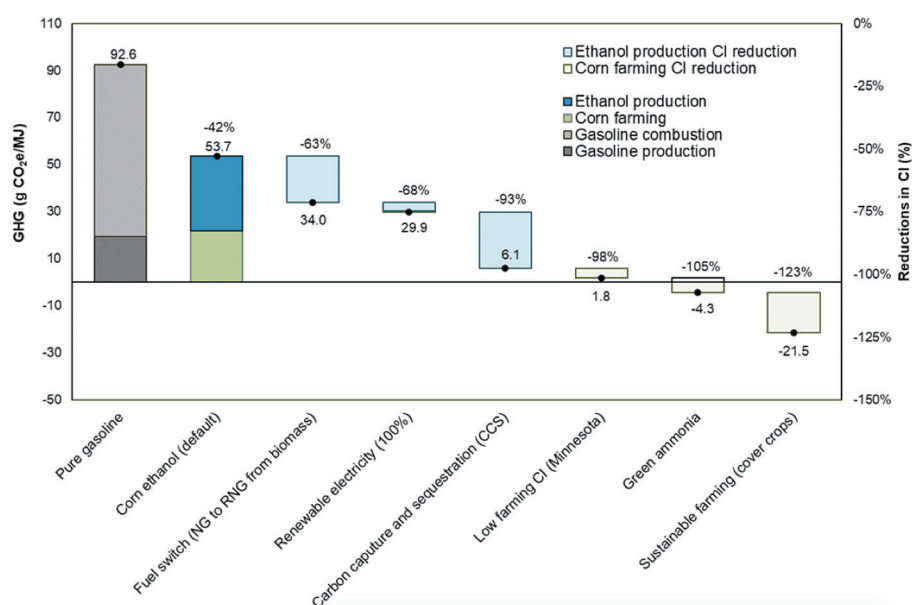


図 9 アメリカにおけるバイオエタノール CI の低減策 (17)

本視察に関して、ATJによるSAFの商業規模供給を、日本、米国およびその他地域において推進しているGevo社と詳細な意見交換を実施した。

Gevo社は、航空分野の脱炭素化においてSAFが不可欠であり、とりわけ長距離航空においては、今後も液体燃料が主要なエネルギー源であり続けるとの認識を示している。

現在、SAFの主流技術は水素化処理エステル・脂肪酸(HEFA)**であるが、Gevo社は、HEFAに必要な廃棄物由来の脂質原料の供給が2030年頃には制約を受ける可能性が高いと指摘している。

このため、作物由来の一次原料およびATJプロセスに用いられる中間原料としてのエタノールが世界的に豊富に存在することを踏まえ、エタノール由来のATJは、2030年代以降の中長期において、航空分野の脱炭素化達成に向けて重要な役割を担うと同社は考えている。

更にGevo社は、土地利用に関する懸念への対応として、技術活用の重要性を強調している。具体的には、農場レベルでのデータ取得により、再生型農業の導入が作物原料のCI低減に寄与することを示すとともに、より広範な持続可能性基準への対応にも資する可能性があるとしている。

一方で、ATJ由来SAFの製造には多額の資本投資が必要である。Gevo社によれば、同技術の迅速な導入には、政策的支援および炭素クレジット市場の存在が重要となる。例えば、年間約3,000万ガロン(11万kl)規模のATJプラント建設には、米国において約5億ドルの設備投資が必要とされている。

同社の分析によれば、日本政府が現在実施しているような設備投資および運転費への支援に加え、Scope 3に関連する炭素クレジットからの収益を組み合わせることで、SAFのコストは従来のジェット燃料(Jet A)に近い水準にまで低減し得る可能性があり、ATJプロジェクトの経済性確保に寄与し得る。

またGevo社は、SAFの経済性を支える要素として炭素クレジット市場の重要性を強調している。自主的炭素市場においては、自然由来のクレジット価格は通常1トンあたり20～30ドル程度である一方、BECCS等に代表される永続的かつ耐久性の高い炭素除去(CDR)技術に由来するクレジットは、条件に応じて1トンあたり120～250ドル以上の価格で取引される場合がある。Gevo社は、こうした高付加価値の炭素クレジット市場が、ATJ由来SAFの資本コストの一部を相殺する可能性があると考えている。

以上の議論から、SAFの本格的な普及には、政策支援、炭素クレジット市場、ならびに航空業界や企業によるグリーンプレミアムの支払いといった複数の仕組みを組み合わせることが必要であり、これらは航空分野の脱炭素化に必要な資本投資を補完する役割を果たすと考えられる。

4. ブラジル

(1) 概況

ブラジルは、かつて原油輸入国であったが、図10に示すように、1970年代のオイルショックを契機に同国のエネルギー安全保障、原油購入による国富流出に歯止めをかける観点等からエタノールの燃料転換を本格的に図ってきた経緯がある。ガソリンへのエタノール混合比率義務が徐々に引き上げられ、自国産バイオ燃料の活用と増加する原油生産を背景に、今や同国は原油輸出国となっている。

一方で、ブラジルは農業大国でもあり、地産地消のバイオ燃料は、エネルギー安全保障に資するとともに、競争力のある輸出産業までに育ち、国内産業振興、更には気候変動問題対策としても近年注目を集めている。

主にさとうきび由来であるブラジルのエタノール量は、図11に示すように、トウモロコシ由来も含め2024年で約35,000トンであっ

** 食用油、獣脂、植物油などの油脂を水素化処理し、酸素を除去・分解・精製して製造する持続可能な航空燃料。

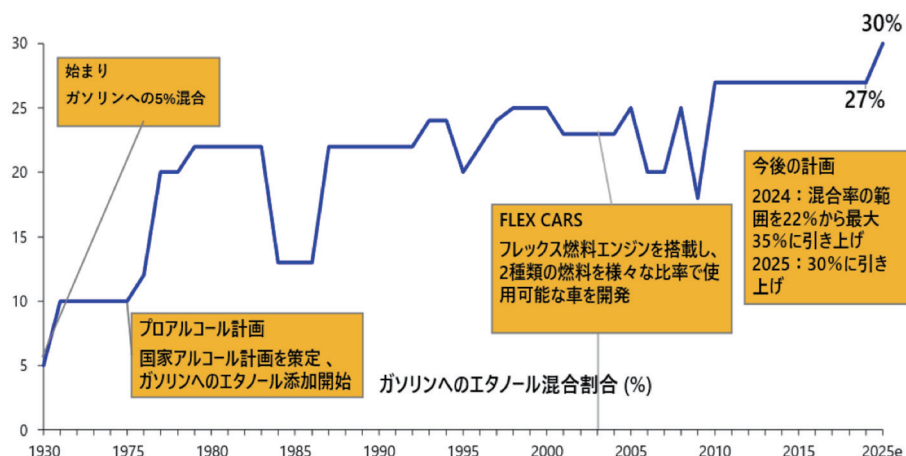


図 10 ブラジルのエタノール混合の歴史⁽¹⁸⁾

た。これは2010年の約30,000トンから17%の伸びを示している。また、同時期の輸出量は、約1,300トンから約2,000トンの間で堅調に推移している。

需要サイドでは、同時期の国内需要も同様に堅調に増加しており、この傾向は今後も続くと思われる。経済協力開発機構（OECD）によると、2034年には生産量が45,000トン、輸出量が3,000トンを超えるレベルまで増加すると見込まれている⁽¹⁹⁾。後述するように、これはブラジル政府の需給双方に対する誘導的な政策イニシアティブの影響が大きい。

一方、生産サイドを見ると、図12で分かるように、近年、トウモロコシ由来エタノールの生産量が増加している傾向が顕著である。

その理由として、さとうきびは収穫後すぐにエタノールに加工する必要があるのに対し、トウモロコシは貯蔵可能期間が長いこと。さとうきびの収穫期（主に4月～12月に集中）以外でも中南部地域等においてエタノール製造ができること。トウモロコシ由来の加工プロセスでエタノールと同時に飼料が得られるなど生産性を高める技術開発が進展してきたことなどが挙げられよう。

（2）生産増を推し進める政策

ブラジルでは既に70%以上の乗用車がフレックス燃料車である⁽²⁰⁾。フレックス燃料車とはガソリン100%、エタノール100%（E100）、または任意の混合比率の燃料で走行

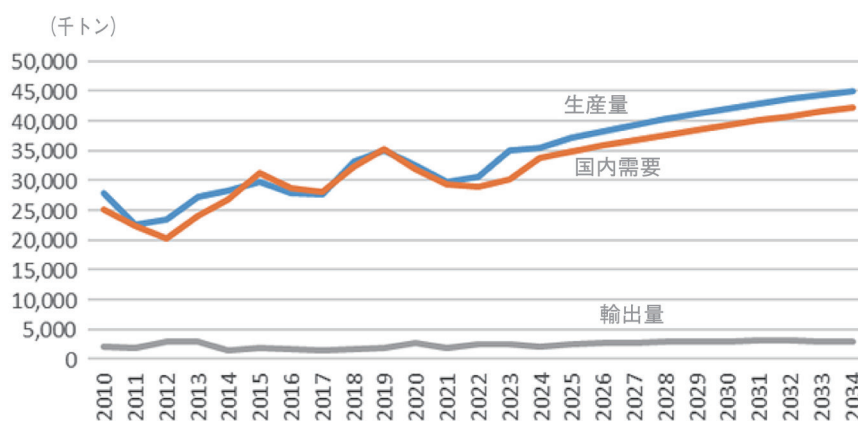


図 11 ブラジルのエタノール生産量・国内需要・輸出量（実績／見通し）⁽¹⁹⁾

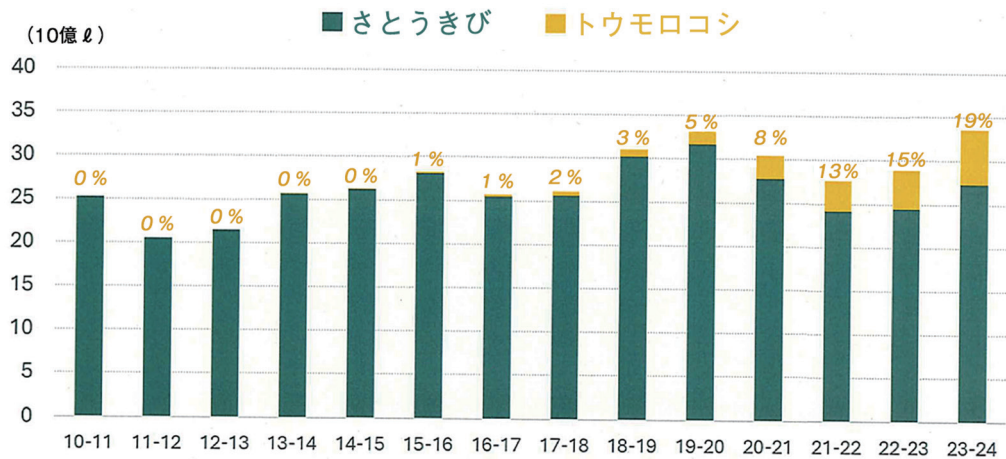


図 12 ブラジルでのエタノール製造におけるさとうきび・トウモロコシ原料別推移 ⁽²¹⁾

可能な自動車のことで、ブラジルの SS では一定の混合比率ガソリンと E100 を利用者が選べる設備対応がなされている。

こうした混合比率の引き上げは、ブラジルのバイオ燃料の利用によるエネルギー安全保障の保全、気候変動問題対応、石油輸出による外貨獲得、バイオ関連産業における投資や雇用といった経済効果の波及などを目指す。そのため、混合義務の引き上げと共に各種政策が取られてきた。

ブラジルでは、これまで道路部門でガソリンへのエタノール混合比率を義務化してきた経緯がある。2017 年の「国家バイオ燃料政策」(Renovabio) の下、バイオ燃料の利用を促進するために供給側、すなわち燃料流通業者に GHG 排出量削減の義務を課した上にバイオ燃料生産者から排出削減実績を証券化した CBIO (脱炭素クレジット) の購入を義務付ける市場メカニズムである。これにより、バイオ燃料の GHG 排出量に基づいて経済的なインセンティブが与えられ、一層の生産効率の改善と脱炭素化が図られることとなった。

2024 年制定の「未来の燃料法」(Lei do Combustível do Futuro) は、低炭素モビリティを促進する政策である。これによりバイオエタノールの混合率は最大 35% となった。また、グリーンディーゼルや SAF などの新燃料の開発・利用を促進する国家プログラムも創設さ

れた。更に、航空会社に対し 2027 年から 1% の CO₂ 削減義務が課され、2037 年には 10% へと段階的に引き上げられる。このような総合的な取り組みにより、運輸部門の脱炭素化を加速させ、排出量削減目標の達成を目指す。

ブラジルで、豊富なバイオ資源を背景に気候変動対策と整合的に国富の国内蓄積や産業振興といった経済性向上とエネルギー安全保障の確保が図られてきた点は非常に興味深い。ブラジルは前述のとおり、1970 年代のオイルショックを契機にエタノールの燃料転換を本格化させ、「地産地消のバイオ燃料」として確立した。一方、アメリカでは、1950 年代から農法や機械の改良などが進展し、1980 年代の農業危機を経て国家を挙げて農業基盤を強化、これに、1990 年代後半からの遺伝子組み換え技術が加わった。このように、元々の自国農業基盤に基づいた政策が気候変動対策にもなった事例は、インドネシアなどでも見られる。

更に、「地産地消のバイオ燃料」は、道路部門において電動化だけが各国の脱炭素化の経路(パス)ではなく、各国、地域の条件により他方面に配慮の行き届いた液体燃料の活用事例とも言えるのではないかな。

こうした背景から、2024 年 5 月、日・ブラジル首脳会議で「持続可能な燃料・モビリティ・イニシアティブ」(ISFM: Initiative for

Sustainable Fuel and Mobility) が設立された。その目的は、ブラジルのバイオ燃料等の持続可能燃料と日本のハイブリッドエンジンなどの高機能モビリティによる世界のネットゼロ実現に貢献することである。続いて、2025年9月、34の国や機関が参加した、日・ブラジル共催の持続可能燃料閣僚会議では、持続可能燃料の生産や利用を2035年までに2024年の4倍以上に増やす目標が掲げられ、11月の国連気候変動条約第30回締約国会議(COP30)に先立ち、同趣旨の有志国宣言が採択されている。今後とも、国際航空・船舶に加え、国際的な道路部門の脱炭素化に向けた「多様なパス」を模索する中で、バイオ燃料の需給動向は、経済安全保障や各国の産業政策ともあいまって注視されよう。

(3) 低炭素化を始めとする事業者の取り組み

こうした政策誘導や国際的動向に合わせて、道路部門が牽引して来たブラジルでのエタノールの需給規模は、今後もポテンシャルが大きいと見られる。しかし、事業者の取り組みなくして市場拡大は果しえない。その状況がどうなっているか、まず、バイオエタノールの基本的な製造プロセスについて、図13に示すとともに、以下に述べる。

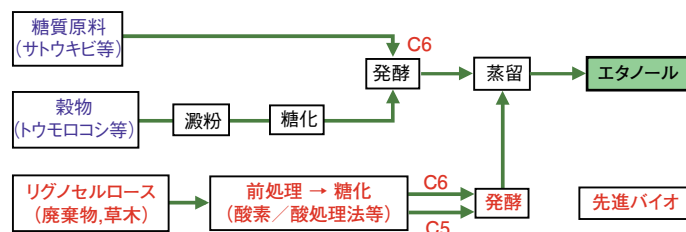
まず、さとうきびを原料とする場合は糖を発酵させることによりエタノール転換を図る。さとうきびを絞り、砂糖の原料となる糖分を含む糖蜜を取り出し、糖蜜を発酵させ蒸留、脱水プロセスを経てエタノールとする。トウモロコシの場合は一旦、デンプンを粉碎、取り出し、デンプンを加熱し糖化、発酵、蒸留、

脱水のプロセスを経てエタノール転換する。トウモロコシの場合、エネルギー消費が大きいのは最初原料の粉碎と加熱プロセスになる。

ブラジルでは、製造等のプロセスにおいて各種のCI低減の取り組みが進められている。例えば、前述の加熱プロセスにおいてバガスの熱源を用いてGHG排出を低減する。バガスはバイオマス発電にも利用されており、生じた電力は自家用消費等（余剰分は系統接続で売電）に用いられている。

なお、ブラジルではトウモロコシは、大豆の裏作で燃料や食料の追加的生産とされ“second crop corn”⁽²²⁾と銘打たれている。土地を拡大することなくバイオエタノールやDDGも生産可能とされる。同じ土地でこれら2つの作物を栽培すると、大豆収穫時に土壤に窒素が残り、直後に植えられるトウモロコシに必要な窒素肥料も減らすことができるとされ、9～10月に大豆を植え、1月に収穫し、その後すぐにトウモロコシを植えて5月に収穫する。

さとうきびの発酵過程で発生するバイオガスを原料としたバイオメタンの活用も進められている。例えば、Cpescar社の子会社Cocal社のプラントでは、既にバイオメタン製造設備があり、第二プラントも稼働開始したという報道もある⁽²³⁾。バイオメタンは、大型トラック等の軽油代替としての活用も進められているが、同社では、輸送用途のみならずバイオメタンからの肥料製造を目し化学肥料の低減にも努めている。また、次工程における最適ミルの研究や農業現場での通信設備を拡充、デジタル化、農地、プラントなどを繋いだデータ収集を図り、オペレーションの効率



化を積極的に図っているプロジェクトもある。

また、Raizen 社のさとうきびの非可食部分を用いた第二世代バイオ燃料（さとうきびセルロース系先進バイオ）製造プラントは、同社の第一世代バイオ燃料プラントと同じ場所で既に商用運転が開始されている⁽²⁴⁾。更に、São Martinho 社はゴイアス州にある同社のさとうきびとトウモロコシのハイブリッドプラントでは、さとうきびプラントから生じるバガスの熱エネルギーなどを利用し、トウモロコシ由来バイオエタノールを生産、両者のシナジーを求めるイノベーションも起きている⁽²⁵⁾。また、将来的には高濃度の CO₂ とグリーン水素の組み合わせによる e-メタノールなど合成燃料生産の可能性も示唆されよう。

こうした農法改善、副産物の活用、エネルギー転換等での工夫による様々な取り組みの結果、CI は大幅に減った。さらに、SF 社が着手したように（BECCS を含む）CCS を利用した場合⁽²⁶⁾ は、カーボンネガティブも目されるようである。一方、各社は、国内向けには Renovabio に従った認証を得、輸出用には相手先のプログラムに沿った認証を用意する。

ATJ 技術の成熟や社会実装気運の高まりにより、エタノール生産各社は、道路部門に

続いて近年注目を集める航空部門で、国際航空用途を中心に SAF の世界的な需要増を期待している。しかし、道路用途より更にもう一段の加工プロセスが必要となる SAF 生産については、ブラジルの既存製油所での co-processing による生産計画などは見られるものの、コスト面のハードルが上がることから、エタノール由来 SAF プラントは、現時点では確認されていない。

総じて、エタノールについては、既存インセンティブ並びに将来的国内需要へのインセンティブシステムに従って、生産増、CI の低減、生産効率化が進められている。また、輸出や国際航空・船舶需要も視野に入れつつ、CCS 活用や非可食バイオ燃料開発・生産拡大などの取り組みも見られる。

（４）今後の課題

ブラジルでは、ここまで概観してきた官民一体となった生産性向上と共に、米国同様、広大な国土を持つ現状等からエタノールの生産余力はあり、生産側のエタノール生産能力拡大に向けての意欲は高く、今後の拡大の可能性は示唆されている。しかし、仮に生産が大規模化したとしても、米国と異なりインフ

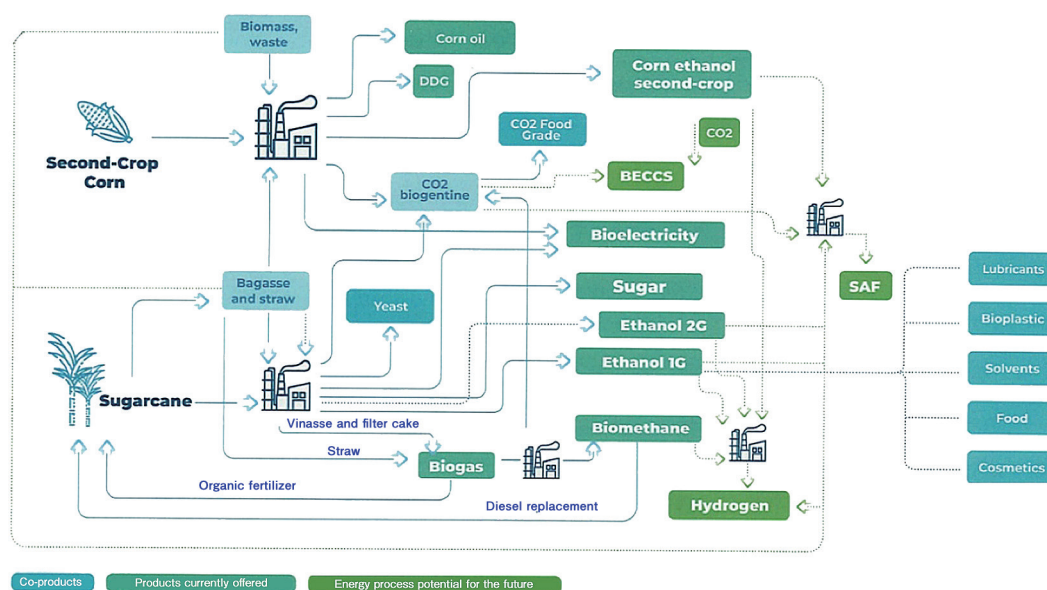


図 14 ブラジルでのエタノール製造プロセス（例）⁽²⁰⁾

ラ整備が課題と目される。ブラジルの国土が広大なゆえに、それをカバーする国内流通網や現状サントス港を中心としている輸出インフラの整備が一層の重要性を増すであろう。

また、例えば、既に ISCC 認証^{***}を受けているプラントもあるが、国際流通においては、相互の CI に関する認証ルールを合わせた上で、ダブルカウントを避ける透明化プロセスの構築も課題となる。その場合、経済インセンティブの在り方は制度にも依存するため、CI を下げる投資等のコスト回収、収益性向上には中長期的な予見性が鍵となる。現在、ブラジルで行われている CI 低減の様々な取り組みは、技術開発の進展もさることながら、社会実装や国際流通拡大、需要家との長期契約に向けた経済性の確保が前提となっている。かかる観点から、国内外における環境価値の評価水準は、ブラジルのエタノール生産動向を観察していく上で重要なシグナルとなろう。

5. まとめ

本稿では、アメリカの現地視察とブラジルの事例を通じ、エタノール供給の実態と CI 低減の取り組みを整理した。実装に向けた取り組みを概観してきたが、両国の最近の取り組みは、さながら CI 低減競争の様相を呈しているかのようである。今後の事業展開においては、両国とも国際規制の先行する用途、特に航空用途である SAF への関心が高い。ただ、米国では ATJ が商業運転を開始するなどサプライチェーンに踏み込んだ対応が視野に入ってきているものの、ブラジルでは道路分野以外でのエタノールの更なる活用に向けたロジスティクス整備も含め、エタノールから SAF 製造の実装といったインフラ関係構築は現状明確には見通せていない。両国で共通する点は、長い歴史を経てきた豊富な国内資源を背景にエタノールの国内市場を形成、規

模感を拡大、低 CI に価値を求めるグローバルな環境変動問題対応の時期と合わせて国際競争力を強化する方向にある点である。かかる状況は、特定国の国内市場での需要創出を梃子に国際競争力を増した太陽光発電産業等の成長過程とも重なる。

投資やインフラの規模感や整備状況、意識する市場の違い等はあるものの、日本は国内バイオ産業の育成にも一定の目配せをしながら、まずは、圧倒的なエタノール強国であるアメリカ、ブラジル両国での夫々の品質や原料等の違いによる環境特性、価格変動性といった特徴、技術の進展、それに伴う輸出バランスや環境価値評価の仕組み等にも着目しつつ、当面は供給元としての両国からバランスの中でエタノールを確保していくことになる。

日本では、今までエタノール輸入量が多くなかったうえに、JBSL（バイオマス燃料供給有限責任事業組合）⁽²⁷⁾ 1 社だけで燃料向けエタノールの輸入を一元管理していたため、アメリカやブラジルのエタノール CI を既定値で取り扱ってきた。今後の輸入形態がどうなるか不明であるが、これまでと同様に規定値を用いる場合、日本としてはできるだけ安いエタノールを入手したいところである。従って、CI を下げる努力をしながら、CCS なども導入している Gevo 社のような会社が製造した高価なエタノールに対しては、入手するインセンティブが働かない可能性が考えられる。

このような状況から、日本は低 CI であることの環境価値が正しく評価されるような仕組みを検討すべきと考える。現在、日本政府は次世代燃料の証書制度導入を検討中で、今後、GHG 排出量の算定・報告・公表（SHK）制度⁽²⁸⁾ との整合性も図る必要があるが、更に海外制度との整合性確保に加え取引市場の整備、価格の透明化、市場の柔軟性向上等も検討していく必要があろう。

また、バイオ燃料は地産地消が各国の基本

*** 国際民間航空機関（ICAO）の「国際航空のためのカーボン・オフセットおよび削減スキーム」（CORSIA）基準を満たす、持続可能な航空燃料（SAF）を証明する国際認証制度。

である。その上で化石燃料と比較的に過少なエタノールの国際流通は、アメリカ・ブラジルを供給元として世界貿易圏が形成されている。当面、この構図に大きな変化は見込まれないため、日本は、エネルギー安全保障上の要請から、両国との信頼関係を維持・強化するとともに、液体燃料の供給元多様化のメリットを考慮しながら、概して、化石燃料よりも割高となるバイオ燃料の評価をよく見定めるための規制等を検討していく必要がある。

更に、アメリカ・ブラジル中心の国際流通は、サプライチェーン全体の安定性を損なう可能性がある。このため、中長期的観点からは、アジアを含む国際流通によって需給両面で市場の流動性を高めるべく、例えば、アジア・ゼロエミッション共同体(AZEC)⁽²⁹⁾などの国際的枠組みを活用して東南アジアなど各国と連携していくことも重要である。

参考文献

- (1) 資源エネルギー庁,「バイオエタノールの導入拡大をめざして」,課題解決のアクションプラン策定(2025)
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/bioethanol_02.html, (最終閲覧日:2025年12月29日)
- (2) 資源エネルギー庁,「続可能な航空燃料(SAF)の導入促進に向けた施策の方向性について(中間取りまとめ(案))」,第3回 持続可能な航空燃料(SAF)の導入促進に向けた官民協議会,資料7(2023)。
- (3) IEA, Renewables 2023 Transport biofuels, <https://www.iea.org/reports/renewables-2023/transport-biofuels> (最終閲覧日:2025年12月30日)
- (4) EIA, Renewable & Alternative Fuels, <https://www.eia.gov/renewable/data.php>, (最終閲覧日:2025年12月30日)
- (5) RFA, Markets & Statistics, <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>, (最終閲覧日:2025年12月30日)
- (6) U.S. Energy Information Administration (EIA), Petroleum & Other Liquids, <https://www.eia.gov/petroleum/gasdiesel/> (最終閲覧日:2026年3月11日)
- (7) U.S. Grains & BioProducts Council (USGBC), Ethanol Reports, https://grains.org/ethanol_report/ (最終閲覧日:2026年3月11日)
- (8) CEPEA (Center for Advanced Studies on Applied Economics), Ethanol, <https://www.cepea.org.br/en/indicator/ethanol.aspx> (最終閲覧日:2026年3月11日)
- (9) AS/COA Rachel Glickhouse, Losing Ground to Oil, Brazilian Ethanol Struggles to Compete, (2012), <https://www.as-coa.org/articles/losing-ground-oil-brazilian-ethanol-struggles-compete> (最終閲覧日:2026年3月11日)
- (10) USGBC, Global Bioethanol Blending Policies Map, <https://grains.org/infographic/bioethanol-blending-policies-map/>, (最終閲覧日:2025年12月30日)
- (11) DOE, Alternative Fuels Data Center, <https://afdc.energy.gov/data>, (最終閲覧日:2026年1月2日)
- (12) USDA, Charts and Maps, https://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/Crops_County/cr-yi.php (最終閲覧日:2026年1月2日)
- (13) RFA, 2025 ETHANOL INDUSTRY OUTLOOK, (2025), <https://ethanolrfa.org/file/2912/2025%20Outlook.pdf>, (最終閲覧日:2026年1月2日)
- (14) Gevo, The Verity Platform Helps Growers Maximize Ag Value, <https://gevo.com/verity-maximizes-ag-value-for-growers/>, (最終閲覧日:2026年1月9日)
- (15) USDA, Partnership for Climate-Smart Commodities - Legacy Site, <https://www.usda.gov/climate-solutions/climate-smart-commodities>, (最終閲覧日:2026年1月9日)
- (16) Gevo, News Release Details (2022), <https://investors.gevo.com/news-releases/news-release-details/us-department-agriculture-selects-gevos-climate-smart-farm>, (最終閲覧日:2026年1月9日)
- (17) Michael Wang et al, Life-Cycle Greenhouse Gas Emission Reductions of Ethanol with the GREET Model, (2021), <https://afdc.energy.gov/files/u/publication/ethanol-ghg-reduction-with-greet.pdf>, (最終閲覧日:2026年3月9

- (26) FS <https://www.fs.agr.br/en/our-business/carbon/>
(最終閲覧日：2026 年 3 月 9 日)
- (27) バイオマス燃料供給有限責任事業組合 (JBSL) ,
<https://www.jbsl.jp/> (最終閲覧日：2026 年 3 月 9 日)
- (28) 環境省, 温室効果ガス排出量の算定・報告・公表制
度, (最終閲覧日：2026 年 3 月 9 日) [https://policies.env.
go.jp/earth/ghg-santeikohyo/about.html](https://policies.env.go.jp/earth/ghg-santeikohyo/about.html)
- (29) 経済産業省, アジア・ゼロエミッション共同体 (A Z E
C) , [https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/
global_warming/azec.html](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/azec.html) (最終閲覧日：2026 年 3 月 9 日)