



道路輸送の脱炭素化における 輸送用再生可能燃料の役割

— 概要 —

Dina Bacovsky
Andrea Sonnleitner
BEST – Bioenergy and
Sustainable Technologies GmbH

Franziska Müller-Langer
Jörg Schröder
Kathleen Meisel
DBFZ Deutsches
Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

Adam Brown
Energy Insights Ltd

Kyriakos Maniatis
Eric Fee
European Commission, DG ENER

Angela Oliveira da Costa
José Mauro Ferreira Coelho
Juliana Rangel do Nascimento
Paula Isabel da Costa Barbosa
Rachel Martins Henriques
Energy Research Office
of Brazil (EPE)

November 2020

Anton Fagerström
IVL Swedish Environmental
Research Institute

Masayuki Kobayashi
Yutaka Takada
Organisation for the Promotion of
Low Emission Vehicles (LEVO)

Helen Lindblom
Swedish Transport Administration

Shaojun Zhang
Ye Wu
Tsinghua University

Markus Millinger
Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung GmbH – UFZ

Mahmood Ebadian
Jack Saddler
University of British Columbia

Alicia Lindauer
Kevin Stork
Zia Haq
US Department of Energy

Juhani Laurikko
Ilkka Hannula
Nils-Olof Nylund
Päivi Aakko-Saksa
VTT Technical Research
Centre of Finland Ltd

Lars Waldheim
Waldheim Consulting

Edited by Dina Bacovsky
BEST — Bioenergy and
Sustainable Technologies GmbH

著者及び謝辞

本書は、「道路輸送の脱炭素化における輸送用再生可能燃料の役割」に関する報告書の概要である。このプロジェクトは、欧州委員会の資金援助を受け、国際エネルギー機関（IEA）のバイオエネルギー技術連携プログラムの Task41Project10 及び先進自動車用燃料（AMF）技術連携プログラムの Annex58 として共同で実施された。

このプロジェクトの参加者は、IEA バイオエネルギーからは、ブラジル、欧州委員会、フィンランド及び米国で、AMF からは、中国、フィンランド、ドイツ、日本、スウェーデン及び米国並びに AMF の Annex28 及び Annex59 である。欧州委員会から専門家の作業用に 8 万米ドル財政支援されたほかは、すべての参加者は参加者負担により貢献をした。全プロジェクト予算（参加者負担分及び財政支援分）は 20 万米ドルであった。

この概要報告は、分割して出版された以下の報告書部分に基づいている。

- ・いくつかの選択された国の主要戦略
- ・製造技術及びコスト
- ・いくつかの選択された国のシナリオ及び貢献度
- ・普及のための障害及び推奨政策

この概要報告は、下記著者により作成されたその他の報告書部分に基づき、Dina Bacovsky (BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH)が執筆した。

Dina Bacovsky , Andrea Sonnleitner (BEST – Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH)

Franziska Müller-Langer, Jörg Schröder, Kathleen Meisel (DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH)

Adam Brown (Energy Insights Ltd)

Kyriakos Maniatis, Eric Fee (European Commission, DG ENER)

Angela Oliveira da Costa, José Mauro Ferreira Coelho, Juliana Rangel do Nascimento, Paula Isabel da Costa Barbosa, Rachel Martins Henriques (Energy Research Office of Brazil (EPE))

Anton Fagerström (IVL Swedish Environmental Research Institute)

Masayuki Kobayashi, Yutaka Takada (Organisation for the Promotion of Low Emission Vehicles (LEVO))

Helen Lindblom (Swedish Transport Administration)

Shaojun Zhang, Ye Wu (Tsinghua University)

Markus Millinger (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ)

Mahmood Ebadian, Jack Saddler (University of British Columbia)

Alicia Lindauer, Kevin Stork, Zia Haq (US Department of Energy)

Juhani Laurikko, Ilkka Hannula, Nils-Olof Nylund and Päivi Aakko-Saksa (VTT Technical Research Centre of Finland Ltd)

Lars Waldheim (Waldheim Consulting)

バイオエネルギー技術連携プログラムは、IEA の技術連携プログラムの枠組みの中で活動する国際協力組織である。そのビジョンは、環境に優しく、社会に受け入れられ、コスト競争力のあるバイオエネルギーの生産と利用を持続的に促進することで、将来の世界のエネルギー需要に対してバイオエネルギーによる実質的な貢献を実現し、エネルギー使用による温室効果ガス排出を削減しつつ、供給の安全性を高めることである。

www.ieabioenergy.com

先進自動車用燃料（AMF）技術連携プログラムは、IEA の技術連携プログラムの枠組みの中で活動する国際協力組織である。そのビジョンは、あらゆる交通手段に適用可能な先進自動車用燃料が、世界中で持続可能な社会に大きく貢献することである。AMF では、様々な大陸のステークホルダーが集まり、先進的で持続可能な輸送用燃料の分野における知識や研究能力を共有している。

www.iea-amf.org

道路輸送の脱炭素化における輸送用再生可能燃料の役割

低炭素電気により走行するすべての電気自動車に加え、再生可能燃料は道路輸送、特に短中期的には運輸部門のすべてのモードの脱炭素化において重要な貢献をすることができる。

道路輸送部門の GHG 排出量を 2050 年までにゼロにするには、一つの対策だけでは達成できない。

輸送需要の削減、自動車の効率化及びバイオ燃料、電気燃料（e-fuel）、再生可能電力、再生可能水素などの再生可能エネルギーの追加など、さまざまな施策を展開する国が、挑戦的な脱炭素化目標を達成する機会に恵まれる。

今回の評価で、バイオ燃料が脱炭素化に最も貢献するのは、現在、2030 年、2040 年、あるいは国によっては 2050 年までであることがわかった。ドイツと米国では、2030 年以降は効率の向上が主な要因となり、フィンランドとスウェーデンでは、電気自動車の使用が主流となる 2040 年頃まではバイオ燃料の影響が最も大きくなる。ブラジルでは、2050 年までバイオ燃料の貢献が最大となる。

背景

気候変動の観点から、社会の脱炭素化が急務となっている。道路輸送部門は、交通需要の増加に伴い、GHG 排出量も増加しているため、特に課題となっている。再生可能エネルギーを利用した電気自動車だけでは、この問題を解決することはできない。また、GHG 排出量の削減目標と予想される実際の排出量とのギャップを埋めるために、再生可能な道路輸送用燃料が必要となっている。

専門家チームは、ドイツ、スウェーデン、フィンランド、米国、ブラジルなどを含む、多くの国の運輸部門の 2030 年及び 2050 年までの予測を評価した。この作業は、国際エネルギー機関（IEA）の 2 つの技術協力プログラム（IEA Bioenergy TCP および Advanced Motor Fuels TCP）が、欧州委員会エネルギー総局の支援を受けて共同で実施した。この分析は、現在の各国の政策、自動車保有台数の予測、および再生可能輸送用燃料の利用可能性に基づいている。

評価の目的は、道路交通部門の脱炭素化において再生可能燃料が果たす役割を定量化し、各国の違いや、脱炭素化のための選択肢、成功した政策事例などを政策立案者に提供することである。

研究方法

このプロジェクトの中心は、5 か国の道路交通部門の進展の可能性を評価することである。走行データは各国の専門家から提供され、モデリングの前提条件や計算結果については、オンラインや専門家ワークショップで議論した。

フィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国、ブラジルの道路輸送部門は、VTT が所有する“ALIISA”でモデル化された。このモデルには、5 つの車両カテゴリー、6 つの動力システム、12 の燃料オプションが含まれている。各国の入力データには、将来の各車両カテゴリーの総販売台数、販売台数に占める利用可能なパワートレイン/燃料オプションの配分、エネルギー効率の改善、年間走行距離などの仮定が含まれており、これらはカテゴリー、車齢クラス、パワートレイン/燃料の組み合わせによって異なる。そして、2050 年までの各年の走行車両構成、走行車両の総エネルギー需要、その結果としての Tank-to-Wheel (TTW) CO₂ 排出量を計算する。このモデルでは、再生可能電力による CO₂ 排出量をゼロと仮定してい

る。これらの計算は、「現在の政策シナリオ」「MORE EV シナリオ」「MAX BIO シナリオ」「E-FUELS シナリオ」の4つの異なるシナリオに対して行われた。

このプロジェクトのその他の部分では、運輸部門のクリーン化を達成するための7カ国の主要戦略、再生可能燃料の生産パスとその技術準備レベル、GHG 排出量、コスト、原料の利用可能性、エンジンにおける燃料適合性、実施する上での障壁、政策提言、ベストプラクティスの政策例などをまとめた。

キーメッセージ

輸送用再生可能燃料の基本的理解

- バイオ燃料や e-fuel などの輸送用再生可能燃料は、成分にもよるが、低混合率で使用したり、最大 100%の代替が可能なドロップイン燃料として使用し、専用または改造エンジン/車両用の燃料として使用することができる。しかし、代替燃料専用車はまだ世界的に広く導入されていない。
- 2060 年の輸送用燃料需要の最大 30%を代替するのに十分な持続可能な原料をバイオ燃料生産に利用することができる。
- ライフサイクルの観点から評価すると、バイオ燃料は化石燃料よりも大幅に GHG 排出量を削減できる。現在、カリフォルニア州で提供されているバイオ燃料の平均的な炭素強度は、15~65gCO₂e/MJ である（化石燃料である軽油とガソリンの炭素強度は 95）。将来的には、バイオ燃料の炭素強度はさらに低下すると予想され、廃棄物処理による GHG 排出回避のクレジットを取得したり、CCS と組み合わせたりすることで、正味でマイナスになることもある。
- 先進バイオ燃料のコストは生産経路によって異なり、ほとんどの場合、ガソリン換算で 1 リットル当たり 0.35~1.58 ユーロと、現在の化石燃料換算のコストを大幅に上回っている。先進バイオ燃料技術は現在、開発の初期段階にあるため、さらなるコスト削減の可能性が大きい。

各国評価

- 評価された国（フィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国、ブラジル）の一人当たりの車両数、一人当たりの輸送量、地域ごとの輸送量などの輸送部門の指標は大きく異なる。
- 現在の政策シナリオでは、バイオ燃料はすでに TTW CO₂ 排出量の削減に最大限貢献しており、国によるが、2030 年、2040 年、さらには 2050 年まで貢献は続く。電気自動車は 2040 年までにはバイオ燃料に追いつく。
- 電気自動車の導入率がたとえ高く推移しても、短中期的にはバイオ燃料が脱炭素化に最も貢献し続ける。
- 地域における利用可能な燃料の品質にもよるが、バイオ燃料、特にドロップインバイオ燃料を最大限に活用することで、2050 年までに TTW CO₂ 排出量をほぼゼロに減らすことができる。
- e-fuel の使用により、他の手段によって達成された排出削減と挑戦的目標との間のギャップを埋めることができる。ただし、化石燃料を完全に置き換えるために必要な e-fuel の量は、かなりの量の非化石電力と捕捉・回収した CO₂ 排出量を必要とし、多くの国で利用できる可能性は低い。

社会実装の障壁

- すでに確立している化石燃料システムとの競合
- 政策推進要因の変動、長期的に安定した政策の欠如
- 一連の政策措置の不完全性または不均衡
- 技術的レベル、可能性、持続可能性に対する一般の認識
- 代替燃料と代替燃料車のためのインフラ構築の必要性
- 成功した政策例
- バイオ燃料混合の義務化
- GHG 削減能力に応じたインセンティブ
- 厳格で一貫性のある持続可能性に関するガイドライン
- 先進バイオ燃料には、個別義務、RD&D 支援、リスク保証などの具体的な支援が必要

専門家ワークショップからの政策提言（2019年11月18日、ブラッセル）

- バイオ燃料の炭素強度に着目する必要あり。
- 石油メジャーを巻き込み、既存の燃料サプライチェーンや流通ネットワークを活用して、バイオ燃料をコスト効率の高い方法で市場に投入する。
- 化石燃料の段階的な廃止を義務付ける。
- 自動車メーカーに対し、再生可能燃料の使用による GHG 排出量の削減が CO2 排出量の事業者目標にカウントすることができるようにする（その後、目標の強化が可能）。

目次

運輸部門を脱炭素化する必要性.....	1
各国の基本戦略.....	2
挑戦目標とトレンド.....	4
いくつかの選ばれた国の運輸部門における進展状況の評価.....	6
既存の政策に基づいた脱炭素化.....	8
より多くの電気自動車の導入による効果.....	10
バイオ燃料を最大限に活用し、より良い脱炭素化を目指す.....	11
道路輸送分野を十分に脱炭素化するための e-fuels の利用.....	14
再生可能輸送用燃料の利用可能性.....	16
低炭素燃料技術及びそれらの開発状況.....	16
バイオ燃料製造のための持続可能なバイオエネルギー原料の実用性及びコスト.....	19
新たなバイオ燃料生産とコスト削減の余地.....	22
既存エンジンに対する燃料の適合性.....	24
新しいバイオ燃料の生産や利用に関する政策の役割.....	26
再生可能燃料の広範な調達方法.....	27
広範な普及への障害.....	27
競争のためのよく整備された交通システム.....エラー!ブックマークが定義されていません。	
政策推進要因の変化.....	29
一般の人の低い受容性.....	29
政策手段の不備.....	29
インフラ整備の必要性.....	29
低炭素燃料導入に伴うリスク.....	30
先進輸送用燃料の普及拡大に向けた政策要件.....	30
政策ベストプラクティス.....	31
最終コメント.....	31
用語.....	33

図のリスト

図 1: 本報告書でカバーされた国々	1
図 2: 運輸部門におけるバイオ燃料の役割 – IEA 2DS シナリオ	4
図 3: 2025 年までのバイオ燃料の成長予測と WEO シナリオとの比較	5
図 4: 2005 年（基準年）から 2030 年（目標年）のフィンランドの道路輸送 CO2 排出量及び 2030 年までに-39%あるいは-50%の削減を達成するための軌跡	5
図 5: スウェーデンの運輸部門における目標と BAU シナリオ（何も対策しない場合）の間のギャップ	6
図 6: 日本の運輸部門におけるエネルギー消費量のトレンド	6
図 7: 既存の政策シナリオにおける車種当たりのエネルギー使用-2030 年	8
図 8: 既存政策シナリオにおけるエネルギー使用量-2030 年	9
図 9: 既存政策シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からの TTWCO2 排出量の進展	10
図 10: 既存政策及び MORE EV 政策（MORE EV+で表示）での 2030 年及び 2050 年までの各国の乗用車台数における充電可能車両のシェア	11
図 11: MAX BIO シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からの TTWCO2 排出量の進展	12
図 12: MAX BIO シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からのエネルギーキャリアごとのエネルギー使用量の進展	13
図 13: IEA の 2DS 供給シナリオに対する 2050 年のドロップイン炭化水素燃料の国別需要	13
図 14: E-FUELS シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からのエネルギーキャリアごとのエネルギー使用量の進展	14
図 15: 各国の E-FUELS シナリオに関して必要となる電気及び CO2 資源	15
図 16: 技術パス及びそれら技術の成熟度の概観	18
図 17: 2030 年における世界の潜在的バイオマス供給量	20
図 18: 2030 年における世界のバイオマスの年間一次供給量	21
図 19: 2019 年にカリフォルニア州の LCFS プログラムで認証されたいくつかの燃料経路の炭素強度（CI）の最小値、平均値、最大値	22
図 20: 現在の先進バイオ燃料のコスト範囲概要	23
図 21: 先進バイオ燃料のコスト低減の潜在性	23
図 22: 技術プッシュ及び市場誘導型バイオ燃料政策	26
図 23: 代替燃料や代替燃料車の市場導入に関わる多数のステークホルダー	29

表のリスト

表 1: いくつかの運輸関連ファクターの比較.....	7
表 2: 輸送用燃料の適合性.....	24
表 3: 現在及び将来の輸送システム.....	28
表 4: バイオ燃料の主たる障害.....	30

運輸部門を脱炭素化する必要性

気候変動の観点から、社会の脱炭素化が急務となっている。運輸部門、その中でも特に道路輸送部門は、輸送需要が増加しており GHG 排出量も増加しているため、特に困難な状況にある。脱炭素化には、GHG 排出量を削減し、道路交通をよりクリーンにするためのすべての方策が含まれる。これには、バイオ燃料、電子燃料、再生可能電力などの低（化石）炭素エネルギーキャリアも含まれる。再生可能な輸送用燃料は、GHG 排出量削減目標と予想される排出量削減の間のギャップを埋めるために不可欠な役割を担っている。

専門家チームは、ドイツ、スウェーデン、フィンランド、米国、ブラジルなどを含む、多くの国の運輸部門の 2030 年及び 2050 年までの予測を評価した。この作業は、国際エネルギー機関（IEA）の 2 つの技術協力プログラム（IEA Bioenergy TCP および Advanced Motor Fuels TCP）が、欧州委員会のエネルギー総局の支援を受けて共同で実施した。この分析は、各国の脱炭素化に向けた重要な戦略、現在および将来の自動車保有台数、既存および新規の再生可能輸送燃料の利用可能性に基づいている。

評価の目的は、道路交通部門の脱炭素化において再生可能燃料が果たす役割を定量化し、各国の違いや、脱炭素化のための選択肢、成功した政策事例などを政策立案者に提供することである。

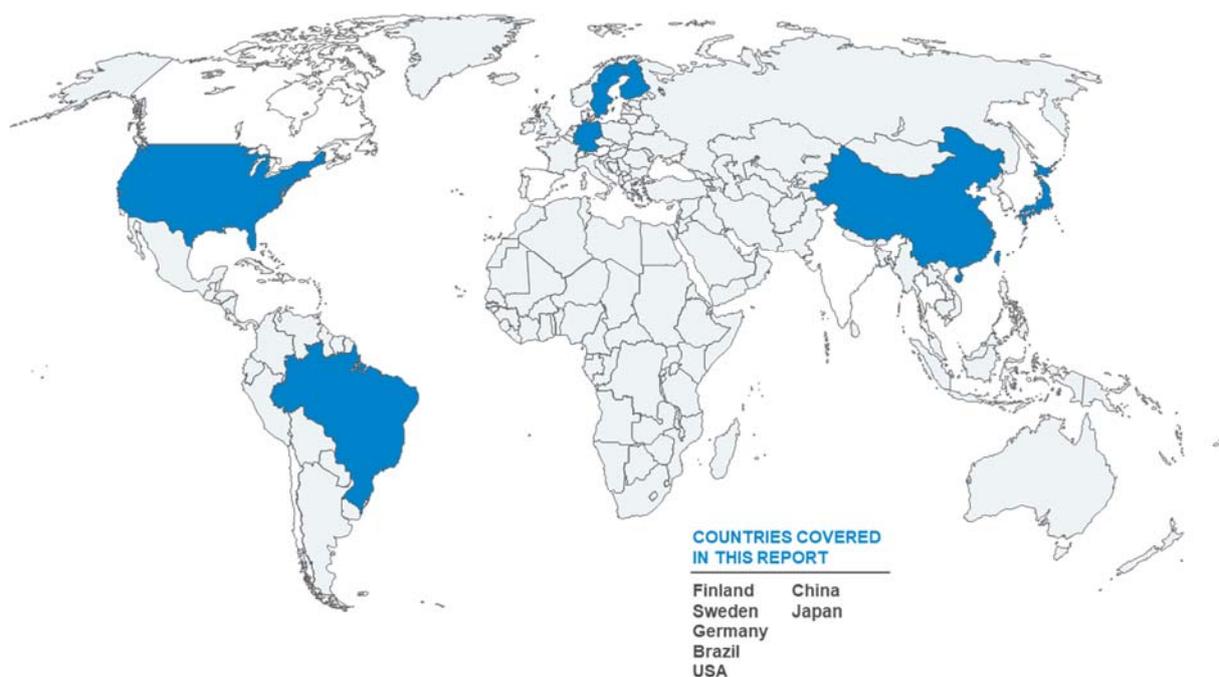


図1: 本報告書でカバーされた国々

各国の基本戦略

ほとんどの国が、気候危機を緩和するためには挑戦的な行動が必要だと認識している。すべての部門からの GHG 排出量を大幅に削減する必要があるが、中でも運輸部門は脱炭素化が最も難しい。対策は、「回避」・「シフト」・「改善」の原則に基づいて行うことになる。すなわち、過剰な輸送を回避し、炭素強度の低い輸送手段にシフトし、すべての輸送手段の炭素強度を改善することが必要である。バイオ燃料、e-fuel、電気自動車用のグリーン電力などの再生可能エネルギーの利用は、輸送の炭素強度を改善するための主要な手段の一つである。

その結果、多くの国が再生可能な輸送用燃料の使用義務付けまたは奨励する法律を制定した。EU は、再生可能エネルギー指令（RED）とそれを改定した RED-II を導入し、すべての EU 加盟国に、2020 年までに再生可能エネルギー源からの輸送エネルギー需要の 10%、2030 年までに 14% をカバーすることを義務付けた。米国の再生可能燃料基準（RFS）は、いくつかの燃料カテゴリーにわたりライフサイクル GHG 排出削減しきい値に基づいて、再生可能燃料の量的要件を確立した。当初の法律の再生可能燃料の年間目標量は、2022 年に年間 360 億ガロン（1,360 億リットル）に達する。ブラジルでは、RenovaBio システムにより、ブラジルの輸送システムの平均 GHG 強度が 2017 年と比較して 2030 年に約 10% 減少する。

フィンランド、ドイツ及びスウェーデン（これらの国はすべて EU メンバー）は、EU の RED で義務化された量より多い挑戦的なバイオ燃料目標を設定した。フィンランドは、道路輸送用燃料におけるバイオ燃料のシェアを 2030 年までに 30% に増加する目標を設定した。ドイツは、運輸部門からの GHG 排出量を 2030 年までに段階的に 9,500 万トンに削減することを目標としている。これは、1990 年と比較して約 42% に相当する。これを達成するための一つの対策は、燃料供給業者に燃料の販売を GHG ベースでミックスで義務付ける割り当てシステムであり、2020 年以降、化石燃料のガソリン及び軽油と比較して年間 6% の GHG 削減を達成する。最後に、スウェーデンは、2010 年と比較して 2030 年までに道路輸送部門からの排出量を少なくとも 70% 削減するという目標を掲げている。これを達成するための一つの対策は、燃料供給業者が GHG 削減義務を負うというもので、販売するガソリン及び軽油の量にバイオ燃料を組み入れることで GHG 排出量を削減する。2020 年の削減義務は、ガソリンが 4.2%、ディーゼルが 21% である。削減義務は時間の経過とともに増加し、2030 年には全体で 40% の削減を目標としており、ガソリンが 28%、ディーゼルが 66% で構成されている。

米国では、連邦政府の RFS に加えて、カリフォルニア州が燃料の GHG 強度に基づいて輸送燃料の GHG 排出量削減を義務付ける制度を初めて導入した。低炭素燃料基準（LCFS）では、ガソリン、ディーゼル、およびそれらの代替燃料の炭素強度のベンチマークを毎年減少させるように設定している。LCFS は、2030 年までに輸送用燃料グループの炭素強度を 20% 削減することを目標としている（2011 年ベースライン比）。オレゴン州では、LCFS と同様のプログラムを実施し、輸送用燃料の炭素強度の削減を求めている。中西部のいくつかの州では、輸送燃料の GHG 排出量を削減するために、同様のクリーン燃料プログラムを検討している。

他の国々では、運輸部門の脱炭素化のために電気自動車に力を入れている。中国は、2030 年までに全体の炭素強度を下げ、国全体の炭素排出量をピークにすることを約束している。運輸部門では、中国は主に電気自動車（いわゆる新エネルギー車）の導入に力を入れているが、E10 の使用も推進している。日本は、運輸部門の GHG 排出量を CO₂ 当量で 2013 年度の 225 百万トンから 2030 年までに 163 百万トン（27% 削減）にすることを約束している。次

世代自動車の普及や、交通システムレベルでの対策などを行っている。

また、上記で言及したすべての国で自動車の燃費を徐々に向上させるための法律が施行されており、GHG 排出量の削減に直結している。

これらの国の主要戦略の詳細については、全体報告書のパート 1（「選択された国の主要戦略」）に記載されている。

挑戦目標とトレンド

運輸部門からの実際の GHG 排出削減量を各国の挑戦目標あるいは世界の低炭素化シナリオと比較すると、現在のトレンドに基づく予測では挑戦目標はほとんど達成されないことがわかる。

IEA は「World Energy Outlook 2017」において、2100 年までに将来の世界平均気温の上昇を 2°C に抑える確率を 50% とする「2°C シナリオ (2DS)」を導入している。2DS では、2060 年までにバイオ燃料の使用量が 10 倍に増加し、運輸部門で 30 EJ (エクサジュール: 10^{18} ジュール) を供給するとしている。このシナリオでは、図 2 に示すように、輸送エネルギーの約 30% をバイオ燃料が占め、電力の増加やエネルギー効率の向上分を補っている。このシナリオでは、短期的にはバイオ燃料の使用量が急速に増加し、運輸部門におけるバイオ燃料の貢献度は 2030 年までに 3 倍になっている。

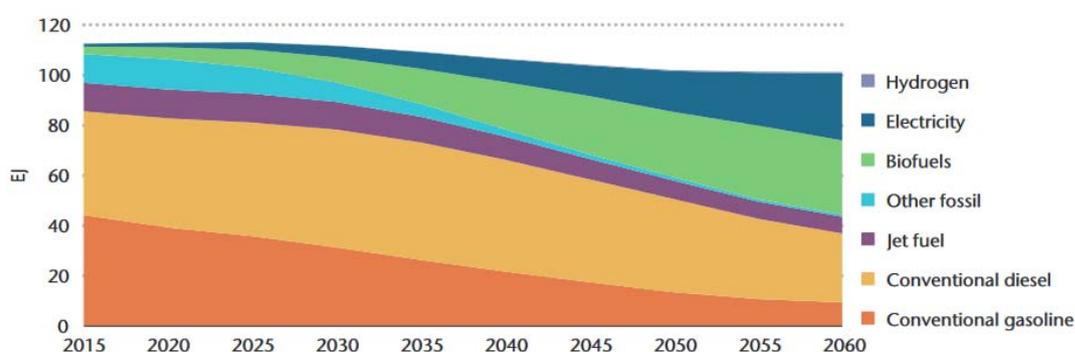


図 2: 運輸部門におけるバイオ燃料の役割 - IEA 2DS シナリオ

しかし、低炭素シナリオに必要なバイオ燃料の生産及び利用量を、現在のバイオ燃料生産のトレンドと比較すると、明らかに数字が一致しない。図 3 は、2024 年までの世界のバイオ燃料総生産量の予測トレンドを、IEA の世界エネルギー見通し (WEO NPS 及び SDS)¹ の新政策シナリオ及び持続可能な開発シナリオにおける 2025 年の数値と比較したものである。比較の結果、現在の政策案 (NPS シナリオ) では、提案された対策が実際に実施されて効果を上げたとしても、SDS シナリオで必要とされる導入レベルの 70% 程度しか満足できない可能性が高いことがわかった。SDS のようなシナリオに適合する形でバイオ燃料を開発するためには、より挑戦的な目標と政策措置が不可欠である。

¹ NPS では、現在の政策的枠組みと挑戦及び既知技術の継続的な進展により、今後数十年間にエネルギー分野がどのようになるかを評価している。政策的挑戦目標には、2018 年 8 月時点で発表されているものが含まれており、パリ協定下での国家決定拠出金での約束も組み込まれている。

WEO の 2017 年版で初めて導入された SDS は、2015 年に 193 カ国が合意した「持続可能な開発目標」のエネルギーの主要構成要素に関連して選択された主な成果が達成されるという仮定から出発し、それがどのように実現されるかを現在にさかのぼって検討している。

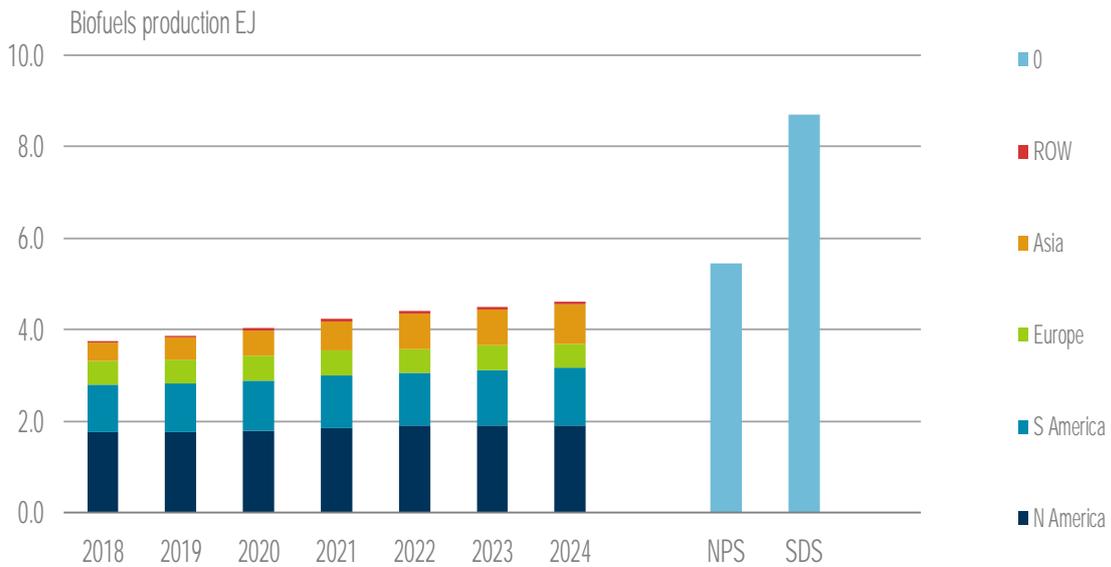


図2: 2025年までのバイオ燃料の成長予測とWEOシナリオとの比較
出典: IEA Renewables 2019 and WEO 2018

このグローバルな分析は、各国の分析によって補完され、基本的に同じ結果が得られている。図4及び5は、フィンランドとスウェーデンにおける運輸部門からのGHG排出量の国別予測と国別目標を比較したものである。

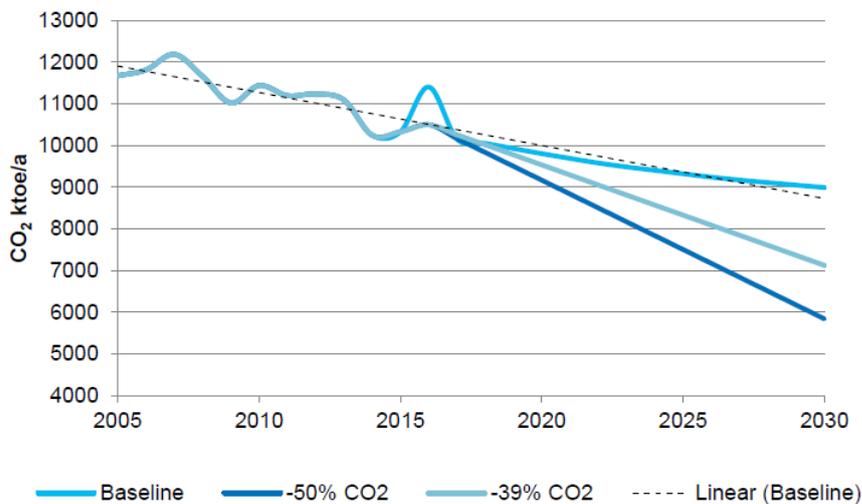


図3: 2005年(基準年)から2030年(目標年)のフィンランドの道路輸送CO2排出量及び2030年までに-39%あるいは-50%の削減を達成するための軌跡

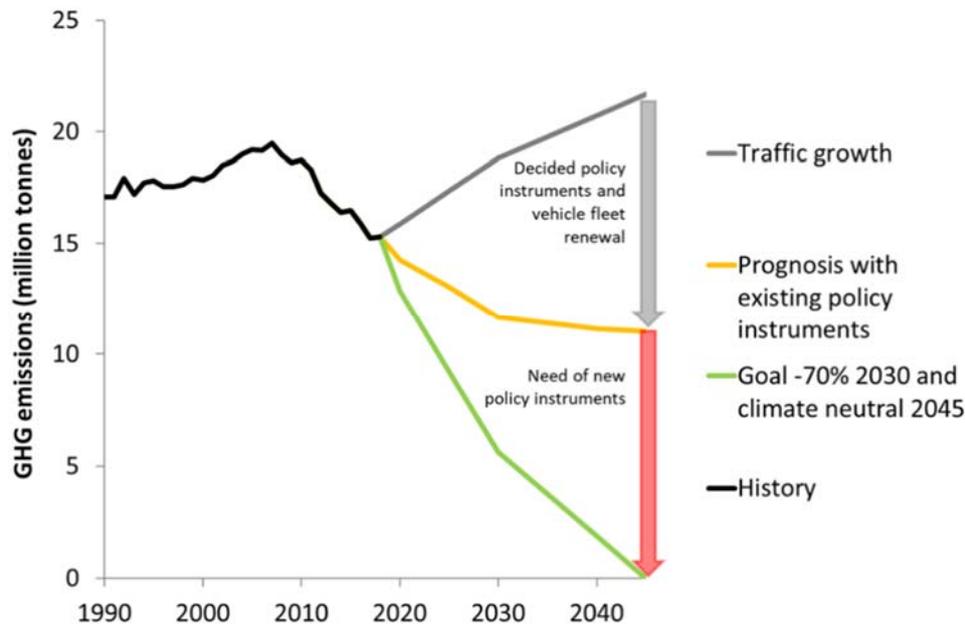


図4: スウェーデンの運輸部門における目標とBAU シナリオ (何も対策しない場合) の間のギャップ
出典: Swedish Transport Administration

しかし、それとは逆の展開を見せている例もあることに留意する必要がある。日本は実際に、運輸部門のエネルギー使用量、ひいてはGHG排出量を減らすことができている。日本の運輸部門のエネルギー需要は、2001年度にすでにピークに達している（図6参照）。輸送エネルギーの54.4%をガソリンが占め、31.7%の軽油がそれに続く。電力の割合は2.0%と少なく、バイオ燃料は1.5%に過ぎない（ガソリンに混入されているETBEの量としてカウント）。

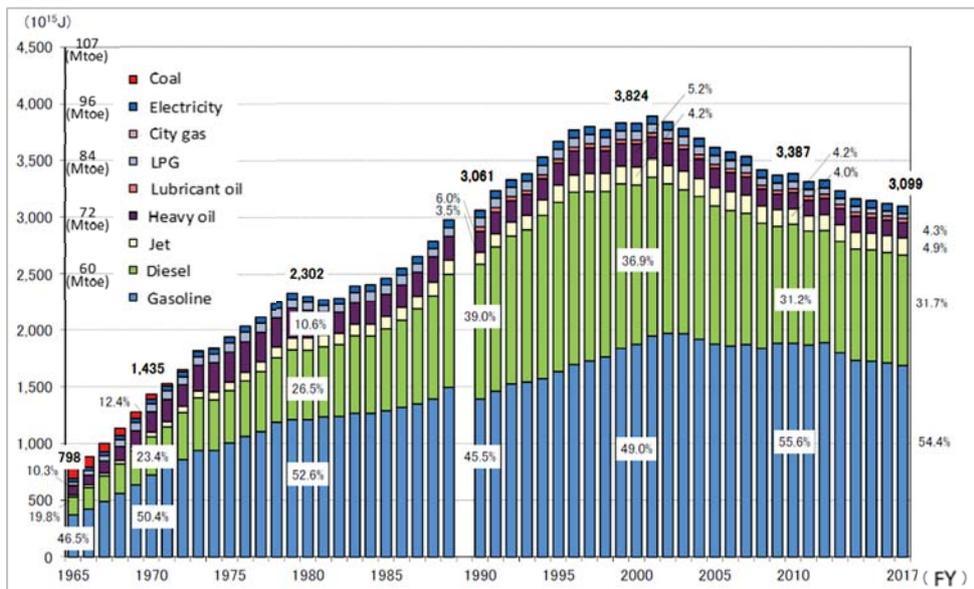


図5: 日本の運輸部門におけるエネルギー消費量のトレンド

いくつかの選ばれた国の運輸部門における進展状況の評価

本研究のコアは、フィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国、ブラジルといういくつかの選択された国について、道路輸送部門における進展状況の評価することである。これらの国のサンプルは非常に多様で、表 1 に示すように、国土面積、人口密度、一人当たりの自動車台数、乗用車と貨物自動車の平均輸送量が大きく異なる。

表 1: いくつかの運輸関連ファンクターの比較

出典: <https://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/>.

	2020				
	フィンランド	スウェーデン	ドイツ	米 国	ブラジル
人 口	5,545,000	10,100,000	83,780,000	331,000,000	212,600,000
国土面積, km ²	303,890	410,340	348,560	9,147,420	8,358,140
人口密度	18.2	24.6	240.4	36.2	25.4
自動車台数/人	0.501	0.486	0.552	0.717	0.180
乗用車-km/人	7,600	5,600	7,800	13,000	3,000
乗用車-km/km ²	138,000	137,000	1,880,000	270,000	76,000
中・重量貨物車-km/人	633	502	496	1,535	374
中・重量貨物車-km/km ²	11,555	12,344	119,214	55,554	9,514

今回の評価では、これらの国の運輸部門を“ALIISA”でモデル化した。このモデルは、「Biofuels 2030」の研究でフィンランドの運輸部門を評価するために開発されたもので、本研究の主要部分は全体報告書のパート 1 の付録として提供されている。

ALIISA モデルは、5 つの車両カテゴリー、6 つの動力システム、12 の燃料オプションを含んでいる。各国の入力データには、各車両カテゴリーの将来の総販売台数、販売台数に占める利用可能なパワートレイン/燃料オプションの分布、今後の燃料消費量（またはエネルギー効率向上量）、並びに年間走行距離、カテゴリー・年齢クラス・パワートレイン/燃料の組み合わせに関する想定が含まれている。このモデルでは、2050 年までの各年の車両構成、車両の総エネルギー需要、その結果としての Tank-to-Wheel (TTW) CO₂ 排出量を計算する。なお、再生可能エネルギーと電力の CO₂ 排出量はゼロとされているが、実際にはどちらのエネルギーキャリアも上流において CO₂ 排出が発生する。

これらの計算は、次の四つのシナリオで実行した。

- 既存政策シナリオ
これは、過去のデータ及び既存政策に基づいた各国からデータを含むベースシナリオである。
- MORE EV シナリオ
このシナリオは、各国専門家により考えられているレベルの電動車両販売予測よりも多くの電動車両が導入された場合を反映させている。

- **MAX BIO シナリオ**
これは、現在の導入レベルから 2050 年の最大レベルまで、それぞれの国で可能な限りバイオ燃料を適用するシナリオである。
- **E-FUELS シナリオ**
このシナリオでは、2030 年に e-fuels を導入し、直線的に増加させ、2050 年には化石燃料を完全に代替することを目指している。

既存の政策に基づいた脱炭素化

前述のように、選択した各国の運輸部門は大きく異なる。たとえばフィンランドでは 2030 年のエネルギーの約半分はトラックに使われているが、スウェーデンやドイツでは乗用車がメインになっている。米国では、乗用車に加えて、個人の移動手段として使用されるバン、トラック、SUV が同じ規模で存在しており、ブラジルでは、運輸部門のエネルギー使用量に占めるバスの貢献度が最も高いことが特徴である（下図参照）。

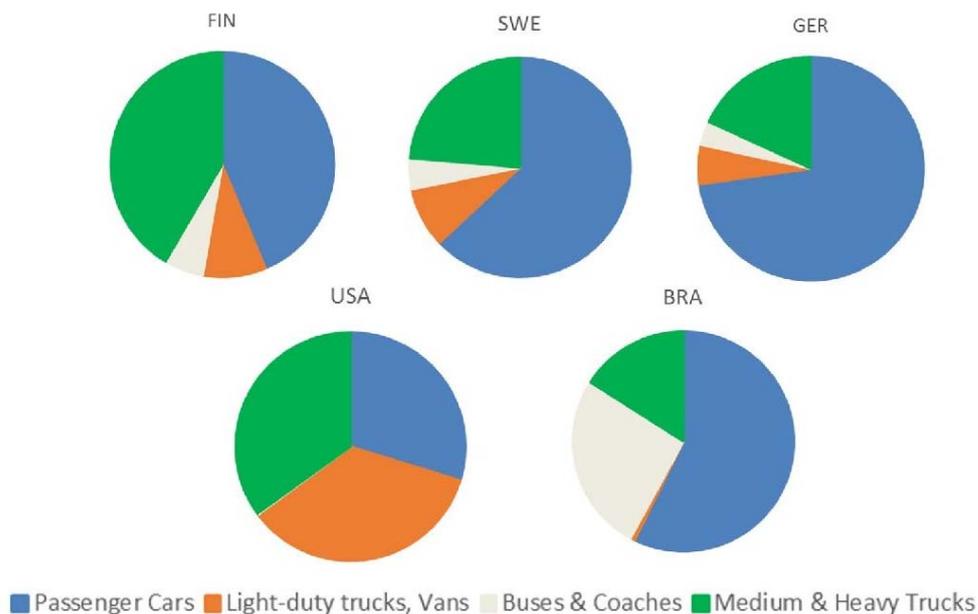


図6:既存の政策シナリオにおける車種当たりのエネルギー使用-2030年

各国の 2030 年の既存シナリオにおいて使用されている燃料をよく見ると、主要な燃料は異なることがわかる。ドイツ、スウェーデン及びフィンランドでは、軽油が主体であるが、フィンランドとスウェーデンでは再生可能軽油のシェアも著しく高い。ブラジルでは、エタノールのシェア 30%を超え軽油のシェアとほぼ同等である。米国では、ガソリンが軽油を凌駕し主体であるが、エタノールも 10%程度の貢献がある。電気は目に見えるほどの使用量はなく、バイオメタンのみがいくばくかのシェアを占める。

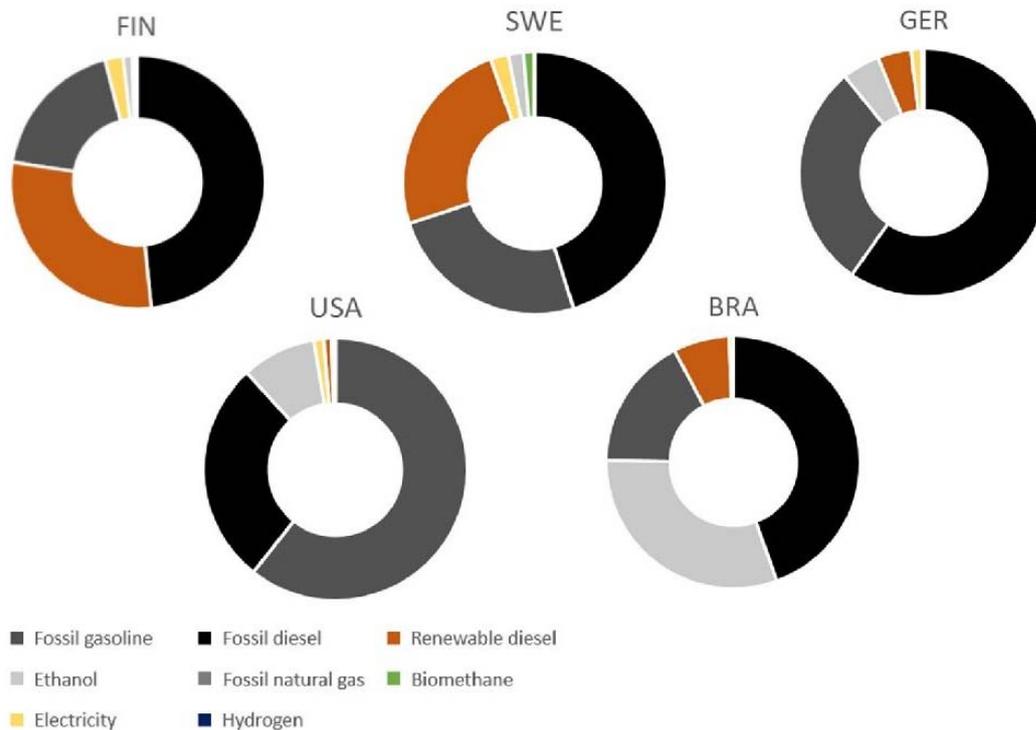
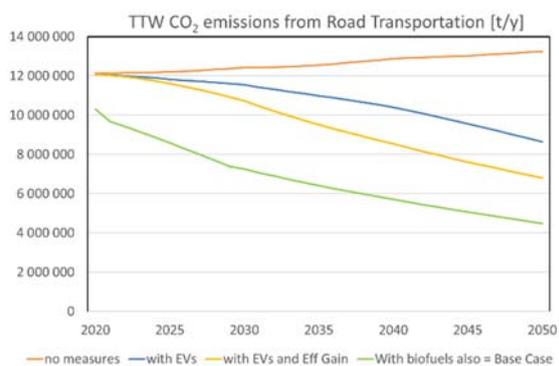


図7:既存政策シナリオにおけるエネルギー使用量-2030年

予想されるエネルギー使用量に基づき、ALLISA モデルは、使用過程の自動車のエネルギー効率、電気自動車（TTW の CO₂ 排出量ゼロ）及びバイオ燃料（同様に TTW の CO₂ 排出量ゼロ）の効果を個別に計算できる。

下図の最上段の赤いラインは、何の対策もしない場合の道路輸送分野における TTW の仮想 CO₂ 排出量推移である。青いラインは電化のみの効果を示すが、黄色いラインはこれにエネルギー効率化効果を加えたものである。最後に、緑のラインはバイオ燃料を含むすべての対策の効果を表したものである。

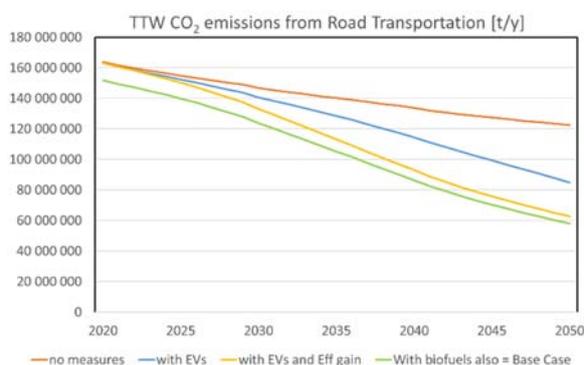
下図は、効率化、電動化及びバイオ燃料の期待される効果の貢献度を明白に示している。国にもよるが、現在、2030年、2040年そして2050年でも脱炭素化に最も貢献するのがバイオ燃料である。ドイツ及び米国では、2030年以降、効率化の効果が主体であるが、フィンランドとスウェーデンでは、2040年ごろまでバイオ燃料の貢献が主体で、以降は電動化へと引き継がれる。ブラジルでは2050年までバイオ燃料の貢献が最も大きい。バイオ燃料は、従来車にそのまま使うことができるが、電動化や燃料電池自動車の場合は、新車や新たなインフラの導入及び導入までのリードタイムなどの影響が大きい。図は、選ばれた国の CO₂ 排出量の異なる傾向も示しており、フィンランド、スウェーデン及びドイツでは減少、米国は安定、ブラジルは増加傾向が示されている。これは、ブラジルでは、GDP の増加が予想されていることで、その結果輸送需要が増加することによる。



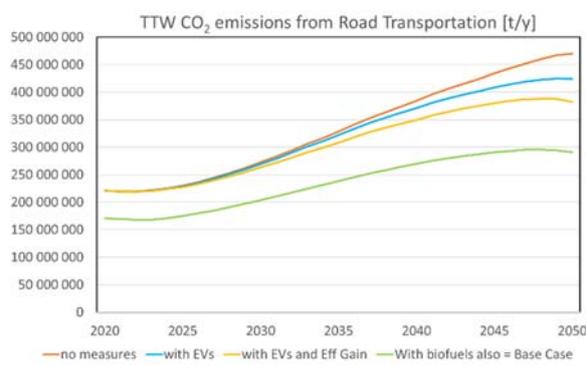
フィンランド



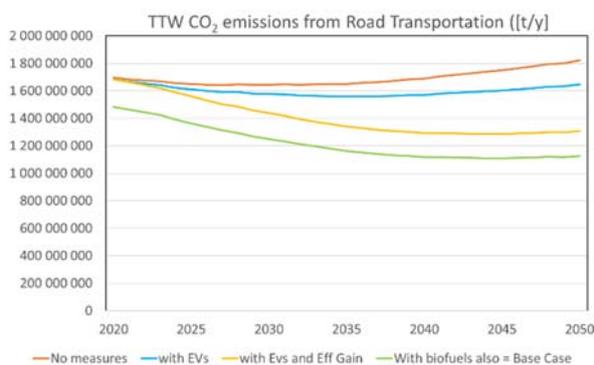
スウェーデン



ドイツ



ブラジル



米 国

図8: 既存政策シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からのTTWCO₂排出量の進展

より多くの電気自動車の導入による効果

電動車の市場導入を加速した場合の影響度を確認するため、MORE EV シナリオについて計算した。各国の仮定は、このプロジェクトに参加した専門家の検討に基づいている。スウェーデン、ドイツ及びブラジルについては2050年に販売される乗用車の100%が各種電気自動車になると仮定された。フィンランドのみ乗用車の25%は2050年において依然として火花点火内燃機関自動車と仮定した。しかし、この普及促進の原動力は、4カ国で大きく異なる

っている。

結果として、乗用車分野のEVのシェアは、2030年においては3%（ブラジル）～21%（フィンランド）、2050年までには41%（ブラジル）～77%（スウェーデン）となった（下図参照）。

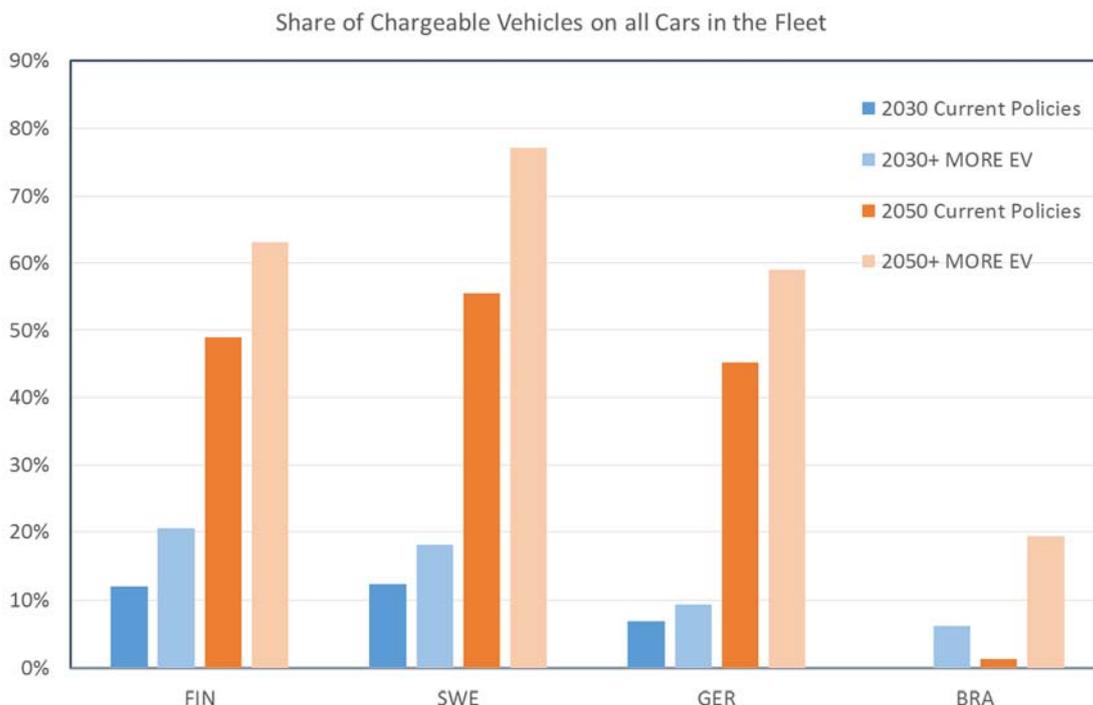


図9:既存政策及びMORE EV政策（MORE EV+で表示）での2030年及び2050年までの各国の乗用車台数における充電可能車両のシェア

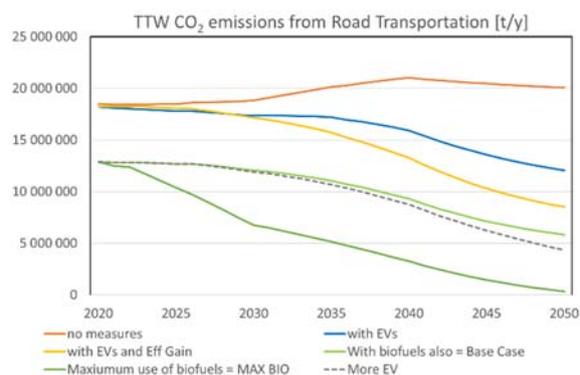
乗用車台数におけるEVの高いシェアにもかかわらず、さらに削減できるCO₂排出量はかなり少なく、2030年で0.5～4.3%、2050年で3.5～9.2%である。

バイオ燃料を最大限に活用し、より良い脱炭素化を目指す

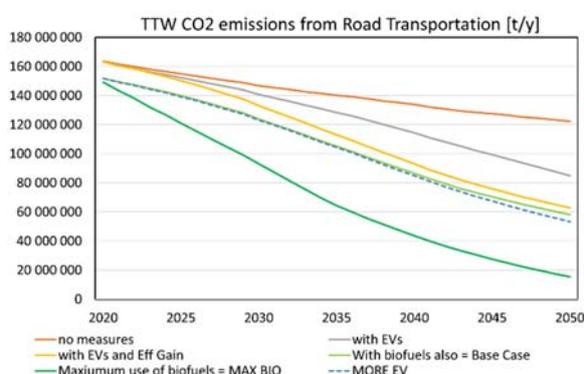
現行の政策でも、MORE EVシナリオ（2045年及び2050年までに各国のカーボンニュートラル目標のもと、2DSシナリオでは2060年までにすべての輸送機関をカーボンニュートラルにする）でも、脱炭素化のレベルはまだ十分ではないため、MAX BIOシナリオについて計算した。MAX BIOシナリオは、想定される国の車両に技術的に最大限バイオ燃料を導入した場合の潜在的な効果を示している。このシナリオでは、圧縮着火式（CI）エンジンに再生可能ディーゼルを最大限に使用し、すべての火花点火式（SI）エンジンにE25とE30を適用するもので、スウェーデンではいわゆるバイオガソリンを、ブラジルではフレックス燃料車にE100を使用する。結果として、TTWのCO₂排出量は2050年にはかなり減らすことができる（図11参照）。化石燃料ガソリンや軽油を十分代替できる国は、2050年には十分脱炭素化できる。



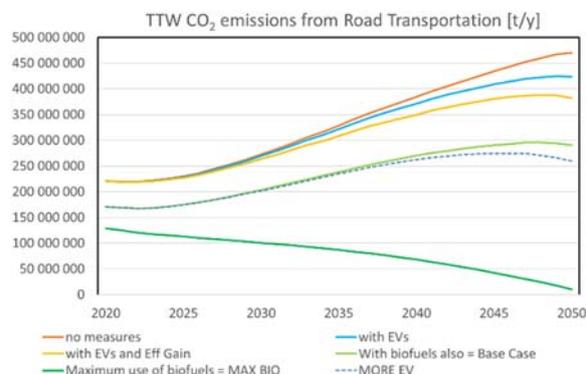
フィンランド



スウェーデン



ドイツ



ブラジル

図10: MAX BIO シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からのTTWCO₂ 排出量の進展

図12は、MAX BIO シナリオにおけるエネルギーキャリア別のエネルギー使用量を示している。フィンランド、ドイツ、スウェーデンでは、再生可能な軽油が化石燃料に代わる主なバイオ燃料であり、ブラジルではエタノールが大きな割合を占めている。

MAX BIO シナリオにおいて、2050年の軽油に代わるドロップイン炭化水素燃料の各国の総需要は、次の図に示されている。これらの需要予測と、IEAの2DSシナリオによる先進バイオ燃料の世界的な供給予測を対比させている。現在の生産能力では、例えばブラジルの2050年の需要をカバーするには不十分であるが、世界の供給量がIEAの2DSシナリオの推定値に沿って増加すれば、先進バイオ燃料は大国であっても輸送時の排出量を大幅に削減する現実的な選択肢となり得る。

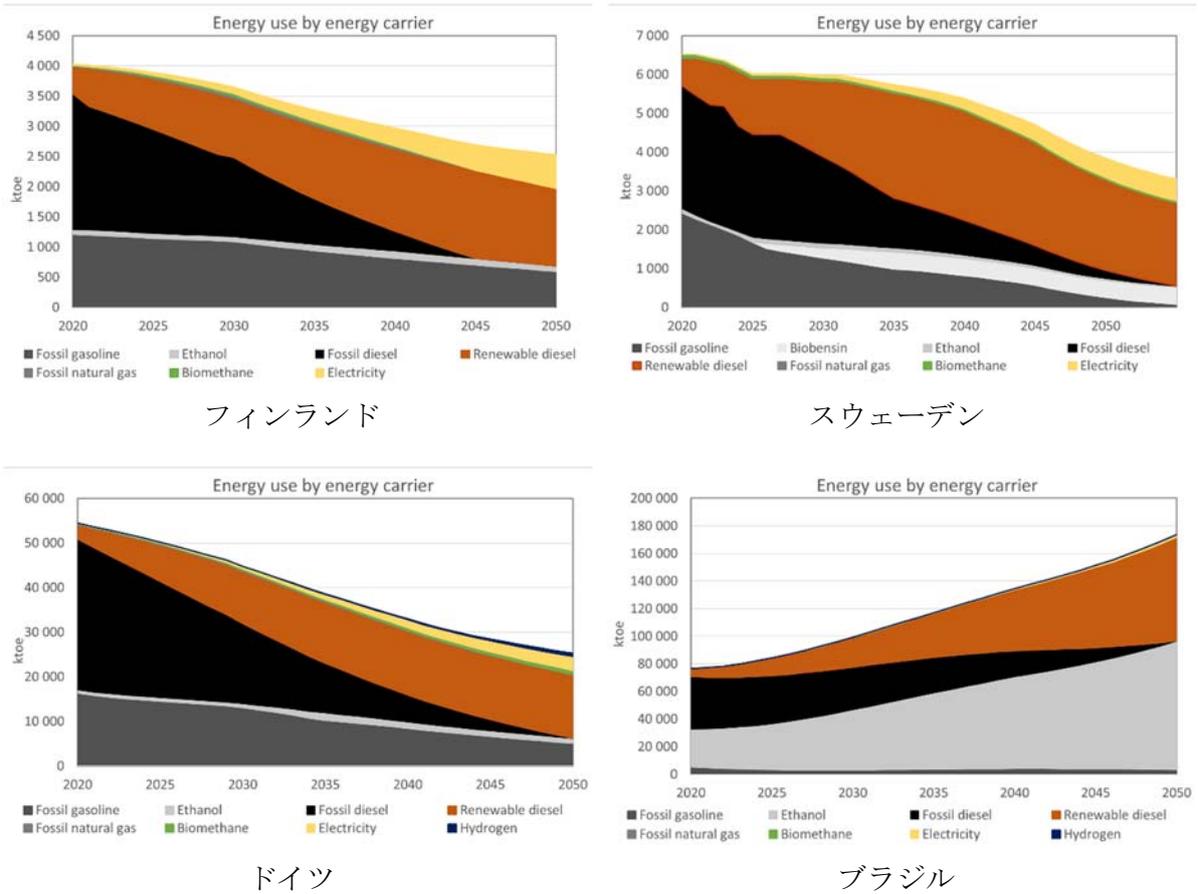


図 11: MAX BIO シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からのエネルギーキャリアごとのエネルギー使用量の進展

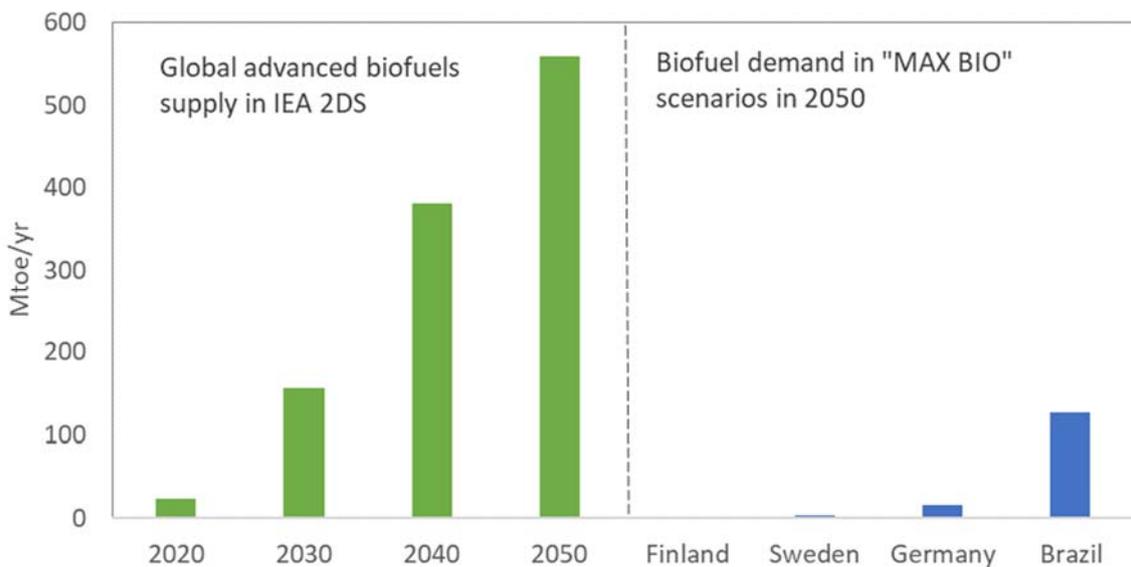


図 12: IEA の 2DS 供給シナリオに対する 2050 年のドロップイン炭化水素燃料の国別需要

道路輸送分野を十分に脱炭素化するための e-fuels の利用

道路交通分野の完全な脱炭素化のためのもう一つの選択肢は、エネルギーキャリアとして e-fuels を使用することである。過去 10 年間に風力発電や太陽光発電のコストが大幅に削減されたことで、再生可能エネルギーを利用して CO₂ と水の化学反応により、持続可能な燃料を製造する方法が注目されている。

今回の分析では、天然ガス、ガソリン、軽油の代替として、CO₂ と水を原料とし、電気エネルギーを用いて合成されたものを検討した。加えて、ドイツでは水素燃料も考慮した。燃料への e-ガソリン、e-ディーゼル、e-メタン、e-水素の導入は、2030 年に始まり、直線的に増加しており、2050 年までに化石ガソリン、軽油、天然ガス、水素を完全に置き換え、TTW の CO₂ 排出量をゼロにすることを目指している。E-FUELS シナリオは、既存の政策に基づいており、残存する化石燃料を出発点としている。下図は、異なる燃料に対するエネルギー需要と、その結果としての TTW CO₂ 排出量を示している。

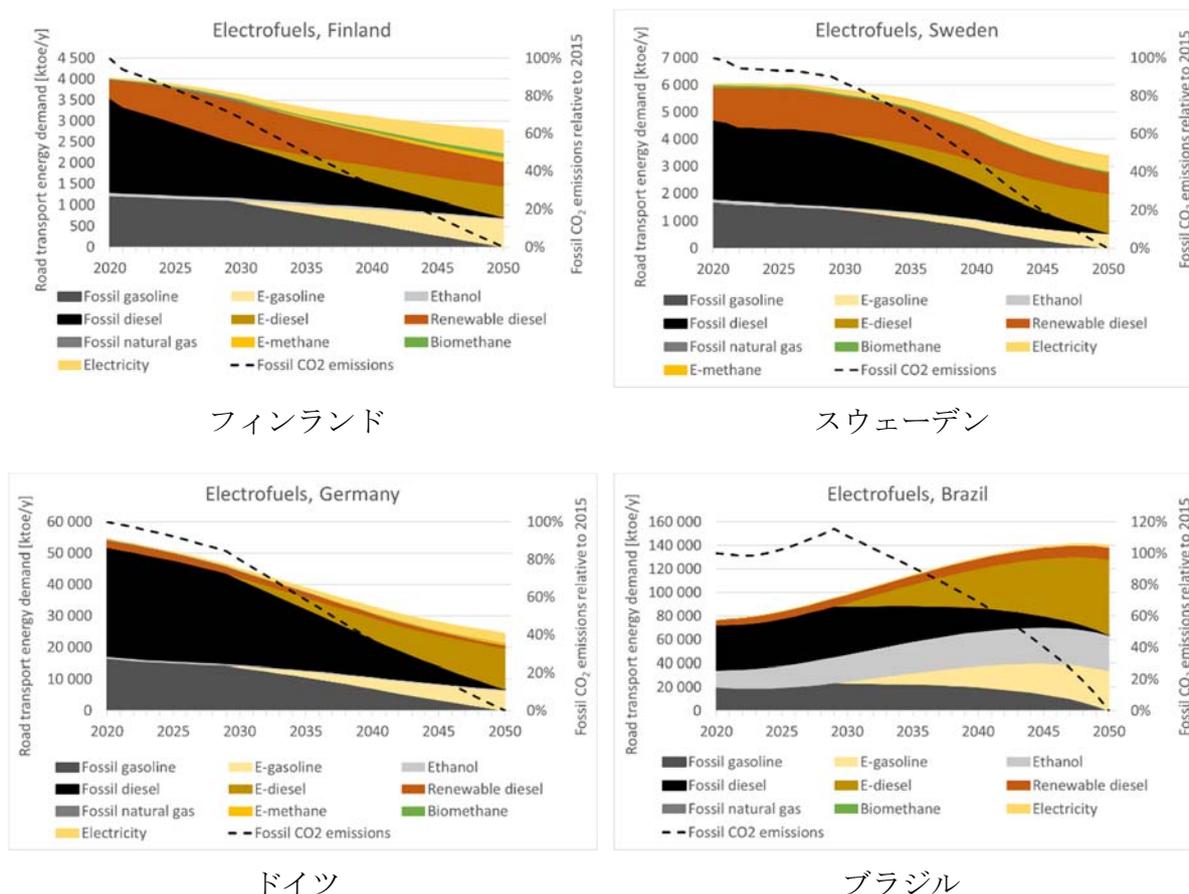


図 13: E-FUELS シナリオにおけるフィンランド、スウェーデン、ドイツ、米国及びブラジルの道路輸送からのエネルギーキャリアごとのエネルギー使用量の進展

E-FUELS の製造に必要な資源は、非化石電力と CO₂ である。E-FUELS シナリオで必要な量の e-fuels を生産するためのこれら資源の需要は次の図のようになる。E-FUELS に必要なゼロカーボンの電力量は、フィンランドとスウェーデンの現在の総非化石電力量に匹敵するが、ドイツとブラジルでは、現在の総非化石電力量では必要な E-FUELS プラントをすべて稼働させ

ることはできない。

しかし、従来の電力需要を満たすため低炭素発電の大幅な拡大が求められている中で、**e-fuels** 製造専用のゼロカーボンの電力を大量に求めることは考えにくい。産業界からの **CO₂** 排出量は、フィンランド、スウェーデン、ドイツでは **e-fuels** 生産に必要な量であると考えられるが、ブラジルでは **2050** 年までに現在の約 **3** 倍の量が必要となる。したがって、**e-fuels** の需要とそれに伴う非化石電力の必要性を減らすためには、他の脱炭素化手段を最大限に活用することが重要である。

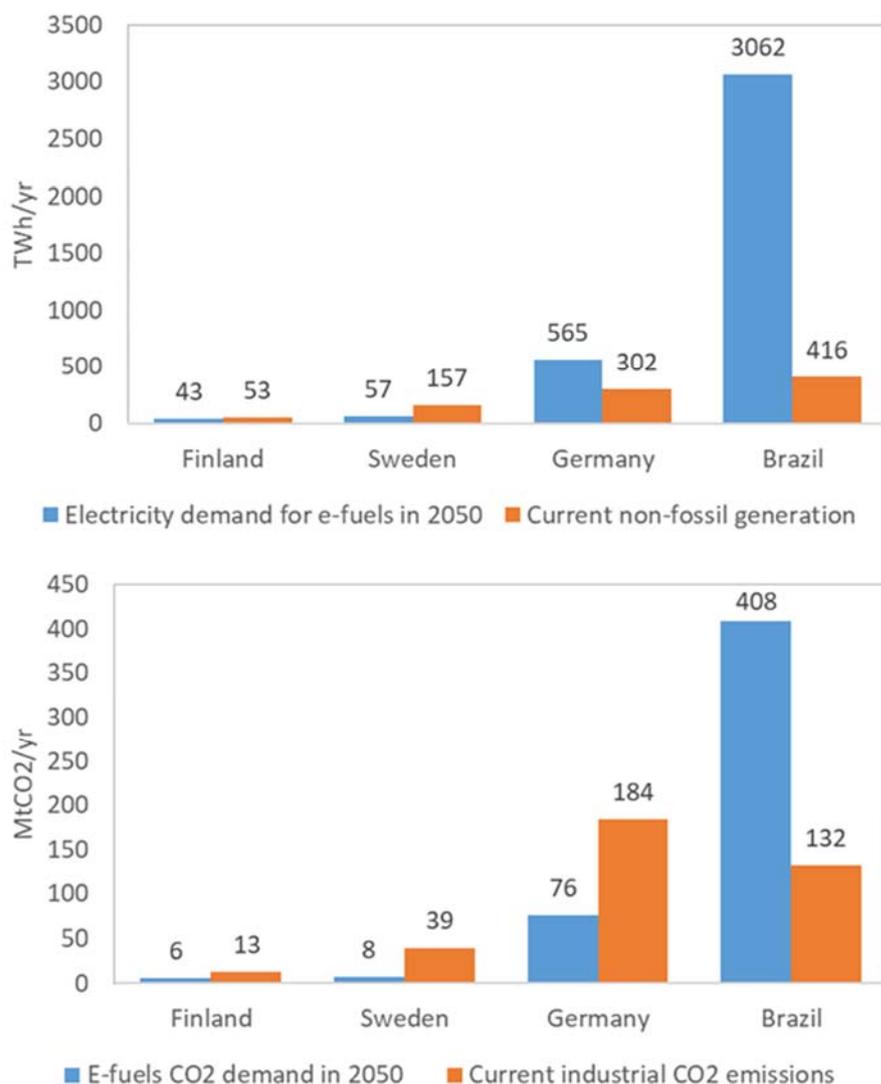


図14: 各国のE-FUELS シナリオに関して必要となる電気及びCO₂ 資源

しかし、**e-fuels** シナリオは極端なシナリオであり、既存政策のみに基づいて計算を行っている。努力を重ねれば、必要な **GHG** 排出削減量の一部をバイオ燃料でまかなうことができ、その結果、**e-fuels** の需要とそれに伴う非化石電力の必要性を減らすことができる。これらの国々の評価の詳細は全体報告書（いくつかの国々のシナリオと貢献について）のパート3を参照されたい。

再生可能輸送用燃料の利用可能性

特定の国における道路交通部門の進展状況を評価した結果、必要とされる完全な脱炭素化は、結局のところバイオ燃料、電気自動車、そして e-fuels の組み合わせによってのみ達成できることが明らかになったが、各国内および世界の需要を満たすのに十分な再生可能な輸送用燃料があるのかという疑問が生じる。再生可能な輸送用燃料は数多く存在し、様々な原料から様々な製造技術を用いて製造されている。これらの燃料の中には、既存のエンジンに適合するものもあれば、化石燃料との混合率を低くしたり、専用のエンジンで使用したりしなければならないものもある。このように多くの選択肢があるため、政策立案者は、運輸部門の脱炭素化のためにどの燃料オプションを採用すべきかの判断は難しい。全体報告書の第2部（生産技術とコスト）では、十分な情報に基づいた意思決定を行うために必要なすべての詳細情報を提供しており、その概要は以下の通りである。

低炭素燃料技術及びそれらの開発状況

運輸用低炭素燃料は、以下のものから製造することができる。

- 生物由来原料、または廃棄物の生物由来部分 (バイオ燃料)
- 化石由来の廃棄物・残渣に含まれるエネルギーや炭素、またはそれらの材料の化石由来部分 (たとえば、リサイクル炭素燃料)
- 他の再生可能資源からのエネルギー（時には生物由来や化石資源からの炭素 (CCU) との組み合わせ) (再生可能燃料)

これらの燃料の製造技術の TRL (Technology Readiness Level : 技術成熟度レベル) は、以下のとおりそれぞれ異なっている (図 16)。

砂糖やデンプンを原料とするエタノール、トリグリセリドや脂質、水素添加されたトリグリセリドや脂質を原料とするバイオディーゼル、嫌気性消化バイオガスを精製したバイオメタンなど、確立されたバイオ燃料の製造技術は TRL9 にある。

新たなバイオ燃料パスには、リグノセルロース系原料からのエタノール、ガス化由来のバイオ燃料、熱分解由来の中間体、水熱液化 (hydrothermal liquefaction : バイオマス燃料を高温高圧下で処理しバイオオイルを抽出する方法) 由来の中間体、リグニン由来の中間体、糖質からバイオ燃料、微細藻類などの非リグノセルロース系バイオマスからのバイオ燃料などがある。これらの技術の TRL は 3~8 である。

リサイクル炭素燃料には、工場のオフガスを利用したエタノール、メタノール及びメタン、並びにガス化、バイオ系以外の廃棄物の熱分解あるいは廃棄物の一部があり、これらは TRL は 4~9 である。

e-fuels には、水素、メタノール、メタン及びフィッシャー・トロプシュ合成燃料がある。電気分解からの水素の製造は TRL9 であるが、その他のパスは TRL4~6 である。

低炭素燃料の用語は世界的に統一されていない。EU では、燃料は原料によって分類され、米国では経路によって分類され、ブラジルでは燃料の炭素強度によって分類されている。特に、先進バイオ燃料という言葉は、管轄区域によって異なる意味を持っている。

この報告書で使われた用語

本報告書では、既存のバイオ燃料パスと新たなバイオ燃料パスを区別している。これは、第一世代・第二世代、1G・2G、既存・先進などのような用語には統一的な定義はなく、地域により異なって使われているので、それを避けるためのものである。本報告書では、その他のタイプの燃料として、再生炭素燃料や e-fuels が挙げられている。これらのカテゴリーの詳細については、図 16 と以下の説明を参照されたい。

また、同図では、燃料の製造経路、すなわち使用する原料や転換技術と得られる燃料の化学的性質との関連性を示している。エンジンに使用する場合、重要なのは原料ではなく、燃料の化学組成である。このため、たとえばドロップイン炭化水素²への FT 燃料及び HVO³のように、いくつかの燃料はグループ化されている。

これらの燃料やそれらが市場に出た時の品質の関係は、表 2 にあらわされており、また、異なるエンジンにおけるこれらの燃料の適用性も記載されている。

² 「ドロップイン」バイオ燃料とは、酸素を含まず、機能的には石油系運輸燃料ブレンド材料と同等の液体炭化水素と定義される。

³ HEFA(Hydroprocessed Esters and Fatty Acids)は、HVO(Hydrotreated Vegetable Oil)とも呼ばれ、様々な植物性油脂から製造可能な再生可能なディーゼル燃料である。HEFA または HVO という用語は、これらの生物由来の炭化水素をベースにした再生可能なバイオ燃料の総称。HVO は、芳香族や硫黄を含まず、高いセタン価を持つ。

	Raw material	Technology	Fuel	Technology Readiness Level (TRL)								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
Established biofuels	Sugar	Fermentation	Ethanol									
	Starch											
	Vegetable oils & lipid waste	Transesterification	FAME/Biodiesel									
		Hydrotreatment	Drop-in hydrocarbons									
	Crops, sludges, manures etc.	AD biogas upgrading	Biomethane									
Emerging Biofuels	Raw material	Technology	Fuel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Lignocellulosic feedstocks	Enzymatic hydrolysis + fermentation	Ethanol									
			Other alcohols									
	Lignocellulosics' biogenic fraction of RDF etc., non-lignocellulosic biomass or by-products	Gasification + fermentation	Ethanol									
		Gasification + catalytic synthesis	Drop-in hydrocarbons, Alcohols, Biomethane									
	Lignocellulosics' biogenic fraction of RDF etc., non-lignocellulosic biomass or by-products	Pyrolysis + upgrading	Drop-in hydrocarbons									
		HTL + upgrading	Drop-in hydrocarbons									
	Lignin from lignocellulosic ethanol or forestry liquors	HTL and/or chem. treatment + upgrading	Drop-in hydrocarbons									
	Sugars from sugar and starch crops or lignocellulosic	Fermentation	Drop-in hydrocarbons									
			Various alcohols									
Chem. conversion		Drop-in hydrocarbons										
Non-LC biomass fractions or by-products	Various	Various										
Recycle Carbon Fuels	Supply of fossil waste or by-product gases	Technology	Fuel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Steel industry & chemical industry off-gases	Catalytic synthesis	Ethanol									
			Methanol									
			Methane									
Wastes, waste plastics, non-bio fraction of RDF	Gasification + catalytic synthesis or fermentation	Drop-in hydrocarbons, Alcohols, Biomethane										
Waste plastic fraction	Pyrolysis + distillation	Drop-in hydrocarbons										
E-fuels	Supply of H2	Technology	Fuel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	RE electricity	Electrolysis and carbon capture + catalytic synthesis	Electrolysis									
			Methanol									
			Methane									
		Drop-in hydrocarbons										

図15:技術パス及びそれら技術の成熟度の概観

バイオ燃料製造のための持続可能なバイオエネルギー原料の実用性及びコスト

理論的な入手可能性とコストのモデル化により、持続可能な原料を大量にバイオ燃料生産に利用でき、低炭素シナリオで示される将来の需要を十分に満たすことができることが示された。必要な原料のほとんどは、廃棄物や残渣、持続可能な森林活動から供給することができる。また、農業も重要な原料の供給源となり、共同作付けや生産性の低い土地の利用など、従来の農業生産を補完する方法で原料を生産することができる。

潜在的に利用可能なバイオマスの推定量は、文献によって大きく異なる。理論上の可能性は高いものの、経済的な利用可能性は、収穫量や地域のパラメータ（農地・林地の位置や大きさ、地域のインフラなど）を含む多くの要因によって大きく異なる。世界的に見ても、バイオマスの利用可能量は 95EJ/年と低いものから、350EJ/年と高いものまで幅広く存在している。

各国の調査によると、原料の多くは 3～6 ユーロ/GJ のコストで生産され、ユーザーに供給される。現実の世界で適切な原料を調達するためのコストを検証するには、実際のプロジェクトからより多くの情報を入手することが必要である。

バイオマスの全体的なコストはケースによって大きく異なり、将来のバイオ燃料への投資を実現するためには、バイオマスのサプライチェーンをうまく管理することが重要になる。バイオマスとそれに関連する物流コストの削減努力にもかかわらず、商業的な量のバイオマス調達競争が激化すると、バイオマス原料の価格が上昇することが予想される。

国別・地域別の評価は、先進的なバイオ燃料の生産を含むバイオエネルギー生産のための原料の長期的入手可能性とコストを把握する上で非常に有用である。しかし、世界における利用可能性の長期的推定に役立てるためには、このような評価を透明性の高い方法で行う必要があり、様々な資源を明確に分類し、実際に利用可能な量を定義する際の仮定や適用される持続可能性について考慮することも明確にする必要がある。

このようなアプローチを調和させるための有益なステップは、潜在的な各種原料の分類の正当化、標準化や適用される性能条件に関する研究のためのベストプラクティスのガイドラインを作成することである。このような方法により、より一貫性のある資源量の推定が可能になり、少なくとも主要な生産地と利用場所については、世界的な推定値をより簡単にまとめることができるようになるだろう。

図 17 に示すように、IRENA は、2030 年における世界のバイオマスエネルギーの潜在的な供給量は、97～147EJ/年であると見積もっている。想定した原料は、エネルギー穀物、農業残渣、加工残渣、動物や植物廃棄物、燃料木材、森林バイオマスや木材残渣である。最大の潜在供給力を持つのは、アジア、ヨーロッパ、北米である。バイオマス供給力の増加は、食用・飼料用作物や森林の植林面積の増加、エネルギー作物の収穫量の増加、農業・加工残渣の回収量の増加などに支えられている。

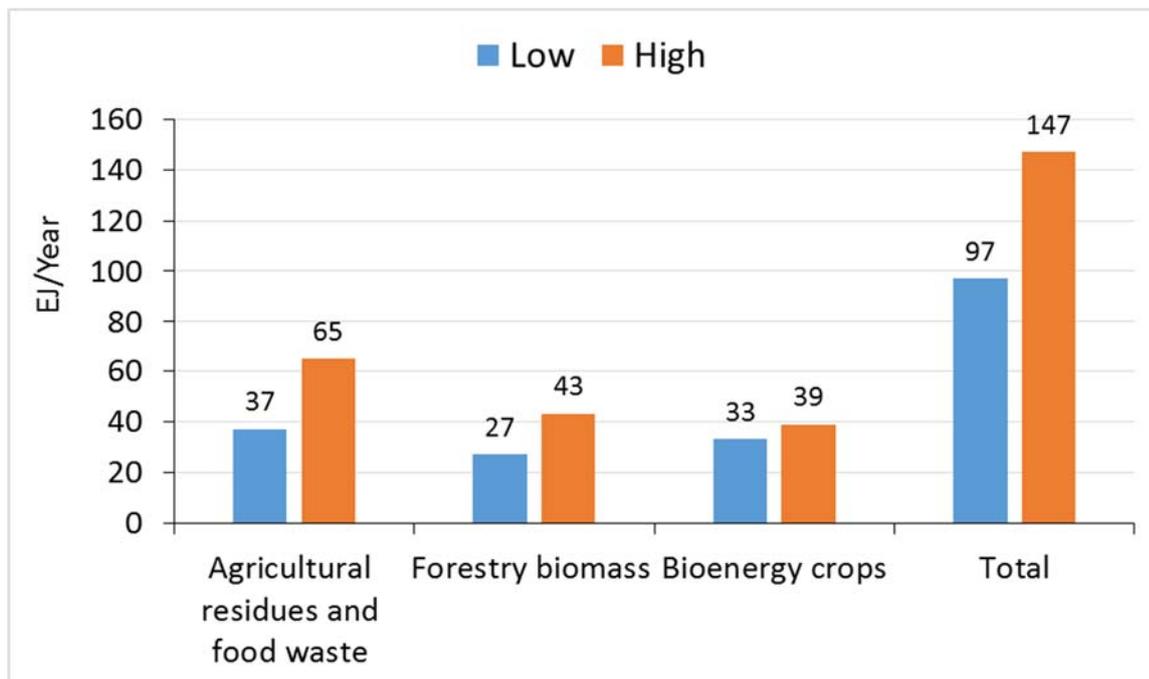


図16: 2030年における世界の潜在的バイオマス供給量(IRENA, 2014⁴)

国内産バイオマス原料は、三つの供給コストグループに分類することができる。

- < 5 米ドル/GJ: 加工残渣及び廃棄物
- 5-8 米ドル/GJ: 収穫時残渣
- > 8 米ドル/GJ: バイオ燃料穀物及び燃料木材

図18に記載されているように、バイオマスの国際的な平均コストは約8.3米ドル/GJである。各国の国内コストは、アフリカの3米ドル（農業加工残渣）から、先進国のバイオエネルギー作物の17米ドル/GJまでの範囲に及んでいる。各地域における過剰分で輸出に回すことができるバイオエネルギー穀物の量は、世界の潜在供給量の約26%と見積もられる。しかし、世界の他地域へのバイオマスの輸送コストを考慮すると、国内価格に対し平均で約3米ドル/GJ付加されると見積もられる。

バイオマスの全体的なコストはケースによって大きく異なり、バイオエネルギーやバイオ燃料への将来の投資を実現するためには、バイオマスのサプライチェーンをうまく管理することが重要になる。バイオマスおよび関連する物流のコストを削減する努力をしているが、流通量の多いバイオマスをめぐる競争が激化すると、バイオマス原料の価格が上昇することが予想される。

⁴ 国際再生可能エネルギー庁 (IRENA), 2014. 世界のバイオエネルギー需給予測、RE マップ 2030 に向けた作業報告書 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/IRENA_REmap_2030_Biomass_paper_2014.pdf

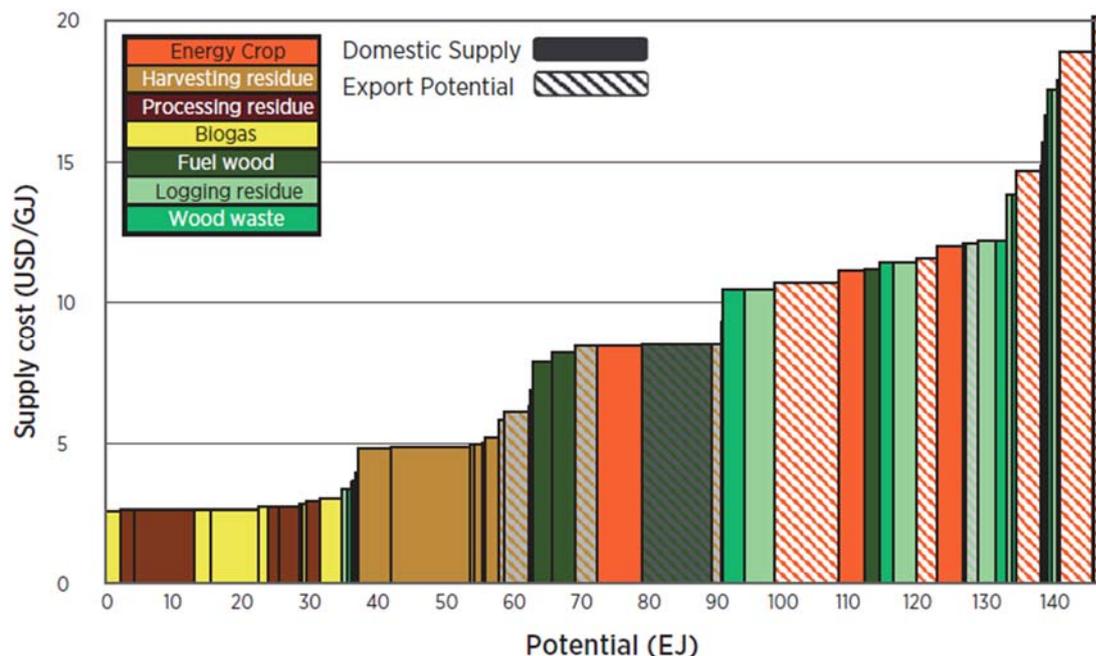


図17: 2030年における世界のバイオマスの年間一次供給量⁵

先進バイオ燃料パスにおける GHG 排出量

米国と EU の現行法では、先進バイオ燃料は化石燃料と比較して、GHG 排出量をそれぞれ 50%/65%以上削減することが求められている。燃料の炭素強度 (CI) は、ライフサイクルアセスメント (LCA) を用いて gCO₂e/MJ で測定され、原料の入手から生産、使用、最終処分に至るまでの製品システムの全ライフサイクルで排出される GHG 排出量を表す。ガソリンとディーゼルの炭素強度は約 95gCO₂e/MJ である。

米国や EU の法律で先進的と呼ばれている新しいバイオ燃料は、自動的に既存バイオ燃料よりも炭素強度が低くなるわけではない。しかし、カリフォルニア州低炭素燃料基準 (LCFS) プログラムの下で認証された様々な経路の中で、先進バイオ燃料の平均炭素強度値は一般的に既存バイオ燃料よりも低く、時には大幅に低くなっている。詳細は図 19 を参照。現在、カリフォルニア州で提供されているバイオ燃料 (既存および先進) の平均 CI 値は、15~65gCO₂e/MJ であり、廃棄物処理による GHG 排出量回避のクレジットを取得した場合や CCS と組み合わせた場合には、マイナスになることもある。

⁵ 国際再生可能エネルギー庁 (IRENA), 2014. 世界のバイオエネルギー需給予測、RE マップ 2030 に向けた作業報告書 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/IRENA_REmap_2030_Biomass_paper_2014.pdf

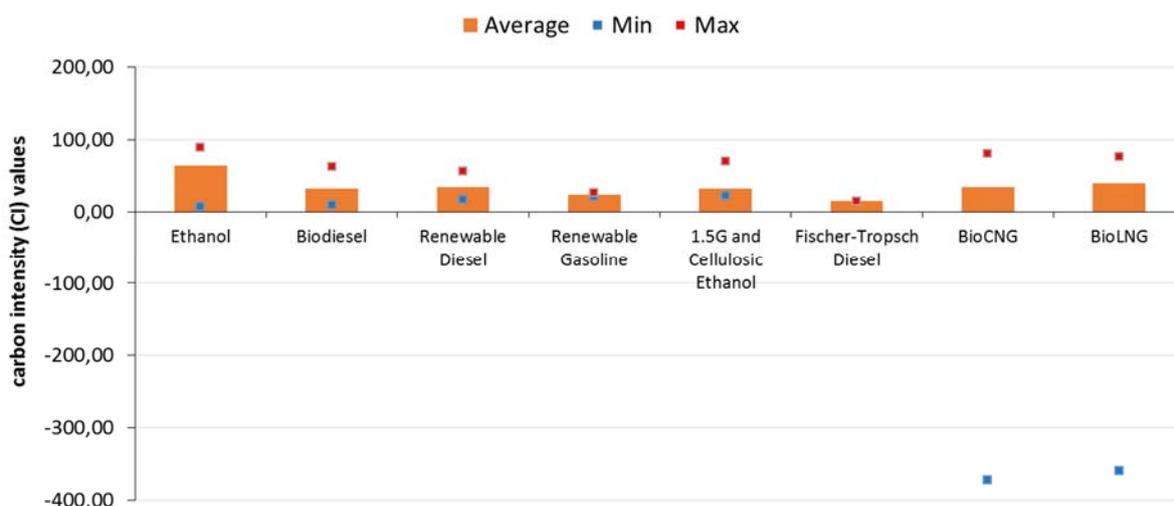


図 18: 2019 年にカリフォルニア州の LCFS プログラムで認証されたいくつかの燃料経路の炭素強度 (CI) の最小値、平均値、最大値

バイオ燃料生産施設が立地する場所・地域は、燃料の最終的な炭素強度の重要な要素となる。これは、熱・電力用の炭素強度の低いエネルギー源へのアクセス、効率的なバイオ燃料生産・供給チェーンを構築するために他のバイオ燃料工場や石油精製所と共同で立地する可能性、生産されるバイオ燃料・副産物の種類、原料の種類と関連する物流、作物・バイオマス栽培に使用される土地の種類と農業的手法、原料の使用に関する地域の規制、バイオマスの炭素算定メカニズムなどの要因によるものである。

LCFS のようなタイプの政策は、より多くの区域で一般的になるにつれ、現行および新規のバイオ燃料の炭素強度は減少すると予想される。

新たなバイオ燃料生産とコスト削減の余地

先進バイオ燃料の製造コストについては、最近の IEA バイオエネルギー研究「先進バイオ燃料ーコスト削減の可能性」⁶で評価されている。評価された先進バイオ燃料には、(第 2 世代) セルロース系エタノール、第 1.5 世代セルロース系エタノール⁷、バイオマスからのメタノール・メタン、廃棄物からのメタノール・メタン、バイオマスからの FT 合成燃料、廃棄物からの FT 合成燃料、バイオオイルの共処理、バイオオイルの単独精製、HVO、嫌気性消化後のバイオメタンへの精製などがある。評価されたすべての先進バイオ燃料パスのコストは、図 20 に示すように、現在の同等の化石燃料コストを大幅に上回っている。

⁶ <https://www.ieabioenergy.com/publications/new-publication-advanced-biofuels-potential-for-cost-reduction/>

⁷ 1.5 世代は、トウモロコシベースのエタノールプラントにセルロースエタノール (トウモロコシの茎などの繊維部分) の生産を統合することが最も多い。

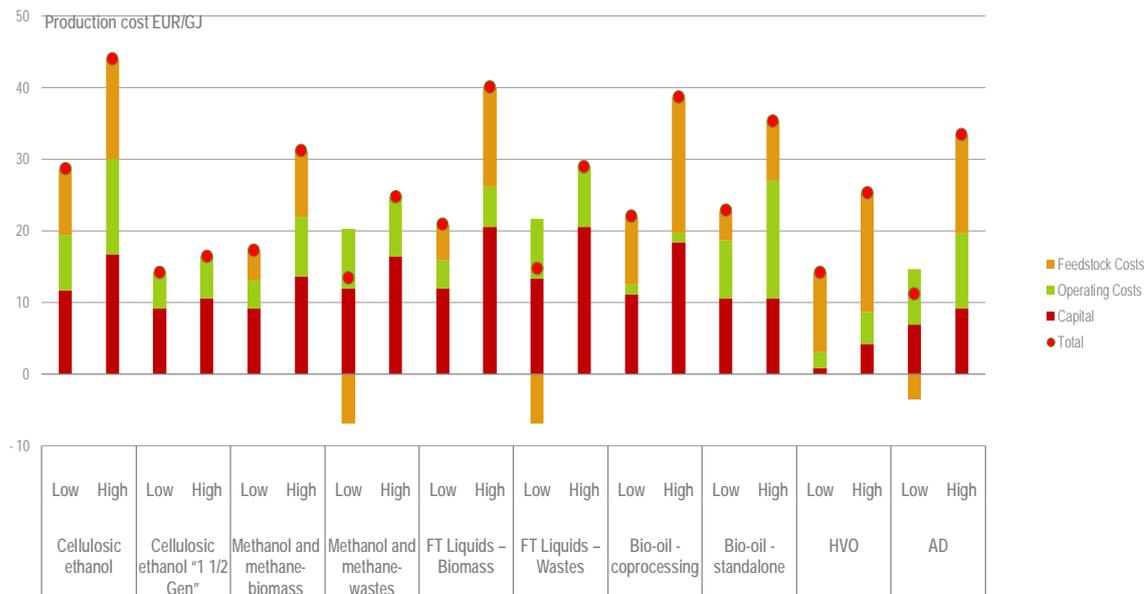


図19: 現在の先進バイオ燃料のコスト範囲概要

一連の評価された新たなバイオ燃料のコストを削減できる可能性は大いにある。これらを実現するためには、まず、高い稼働率と効率で信頼性の高い生産を行うという現在の生産目標を一貫して達成できることをプロジェクトで実証する必要がある。その後、さらに多くの世代のプラントを建設する機会があれば、経験が蓄積され、学習の基礎となり、技術への信頼が高まることで、初めてコスト削減が達成されることになる。次のページの図は、プロセスを改善し、より低コストでの資本調達が可能になった後の将来の先進バイオ燃料生産コストの可能性を示している。

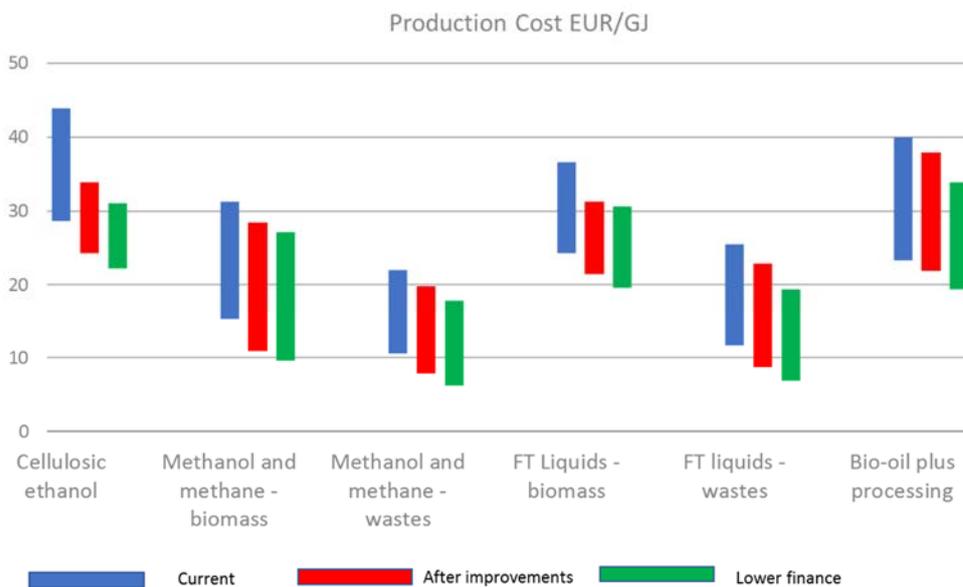


図20: 先進バイオ燃料のコスト低減の潜在性

大規模展開のためには、継続的な政策支援が必要である。まず、産業界は「死の谷」を乗り越えるために、技術の実証やリスクとコストの高い初期の商業化を支援する必要がある。そして、バイオ燃料と化石燃料の価格差を埋め、低炭素輸送燃料を奨励するために、継続した強力な支援が必要となる。

上述した新たなバイオ燃料やその他の燃料のコストは重要な要素であるが、これらのオプションを比較する際、また他の低炭素オプションを検討する際も、より広範な問題を考慮する必要がある。これらの問題は、化石燃料を直接置き換えることができる範囲、改造や燃料の流通コスト、原料の入手可能性、特定のルートに関するライフサイクルのGHG排出量などである。新たなバイオ燃料の将来性を総合的に検討するには、他の要因との関連で、フルシステムコスト、原料の入手可能性、ライフサイクルでのGHG排出量の分析に基づいて検討する必要がある。

既存エンジンに対する燃料の適合性

燃料インフラや自動車に対する燃料の適合性には、材料の適合性、許容度、車両適合性及び車両規格への適合性（たとえば、有害排出ガスや使用上の安全基準に関する規制への完全な適合）がある。バイオ燃料は、低濃度混合、100%代替のドロップイン燃料、または専用エンジンあるいは改造エンジンにおける特殊燃料として使うこともできる。表2はエンジンにおける燃料およびその適合性をまとめたものである。

表2: 輸送用燃料の適合性

燃 料	道路輸送における応用
エタノール ⁸	ガソリンブレンド (E5, E10, FFV における E85)、燃料の理論混合比と材料問題が、従来車への混合時の主な障壁である。 ディーゼルタイプエンジン用の ED95 は着火補助として添加剤を混合（商業化）、他の着火補助を持ったエンジン（火花点火、グロープラグ、二燃料）も可能性あり
メタノール	ガソリンへの低濃度混合 エタノールと同様に重量車エンジンへの応用 (燃料への添加剤混合、エンジンに対する着火補助)
いろいろな高級アルコール	たとえば、ガソリンへのブタノール混合
エーテル	たとえば MTBE (メタノール由来) 及び ETBE (エタノール由来) のガソリン混合、エタノールやメタノールよりも自動車メーカーが好んで使用
FAME/バイオディーゼル	軽油混合 (B7, B10, B20, B30), ニート B100 ニート B100 は、基本的には何らかの車両改造を伴う
ドロップイン炭化水素燃料	ブレンド用にオクタン価を制限したガソリンタイプ成分 パラフィン系 HVO とフィッシャートロブシュ軽油、ドロップイン：最大100%の代替が可能

⁸ ブラジル：エタノールに関する特殊ケース、レギュラーガソリンには27%のエタノールが含まれる (E27)、また含水エタノール (E100) が市場に流通、どんな割合のガソリン・エタノール混合でも利用可能なフレックス燃料車が普及、いくばくかの内燃機関自動車はメタンにも適合

メタン	乗用車(ほとんどがメタン/ガソリンの二燃料車) 単一燃料か二燃料技術を使った重量車 車載方式として圧縮バイオガス (CBG) を用いた軽量車あるいは液化バイオガス (LBG) を用いた重量車のいずれか
-----	--

船舶への応用

バイオ燃料	いろいろなタイプの液体バイオ燃料(一部の「未処理バイオ」を含む)、道路輸送部門よりも厳しい燃料要件ではない
-------	---

メタン	主に二燃料エンジン、液相での燃料貯蔵、現在は化石燃料天然ガス、バイオメタンで天然ガスを置き換え可能
-----	---

航空機への応用

液体再生可能燃料	再生可能燃料成分は、現在の基準では混合率最大 50%まで規制、非常に厳格な認証プロセス、水素化処理 (HEFA 燃料)、合成及び e-fuel が航空機燃料への潜在的な経路
----------	--

バイオ成分を導入する最も簡単な方法は、ガソリンや軽油の既存規格の枠内で運用することである。一般的な規格では、エタノールと FAME バイオディーゼルの混合が認められており、エネルギー含有割合は 10~15%までとなっている。エタノールの中間混合物 (E20、E25) を導入する活動も行われている。しかし、より高い代替率と輸送の実質的な脱炭素化のためには、補完的なアクションが必要である。

ドロップインタイプの燃料は、従来の炭化水素系燃料を完全に代替可能であり、既存の車両や燃料インフラとの互換性があるため、インフラや車両の変更は必要ない。パラフィン系の再生可能ディーゼル用燃料は、油脂の水素化処理 (HVO) やフィッシャー・トロプシュ合成いずれも、原理的に化石燃料軽油を完全に代替することができ、ほとんどの性能基準において通常のディーゼルよりも優れている。

B100 は、性能の調整やエンジンのハードウェア、メンテナンススケジュールの変更を必要とするため、本当の意味でのドロップインタイプの燃料ではない。しかし、一部の大型車メーカーは、現在の高性能車に B100 燃料の使用を許可している。

ガソリンの場合、バイオガソリンの炭化水素化合物はオクタン価が低い傾向にあるため、優れた再生可能炭化水素のドロップイン成分は存在しない。純粋な炭化水素や高級アルコール、エーテルなどの新しい混合成分があれば、この問題を軽減できる可能性がある。

最終的には、特殊な燃料をそのまま、あるいは高濃度に混合して、専用または改造したエンジンに使用することができる。このような燃料としては、ガス燃料 (メタン, LPG), ジメチルエーテル (DME), 高濃度アルコール燃料 (E85, ED95) などが挙げられる。これらの燃料は、化学的に単純な構造であり、ほとんどの場合、本質的にクリーンな燃焼をするというメリットがある。しかし、これらの燃料を市場に導入するためには、燃料供給インフラや利用する運送事業者の構築を並行して進めていく必要があり、大きな共同プロジェクトが必要となる。

世界の天然ガス自動車の保有台数は 2,000 万台を超えている。バイオガスを精製したバイオメタンは、天然ガスの代替燃料として利用できる。エタノールフレックス燃料車 (FFV) は、北米・南米市場ではまだ提供されているが、欧州市場では実際には消滅している。FFV は、高濃度エタノールの使用を可能にする費用対効果の高い方法である。

バイオ燃料の導入方法が、低濃度混合、ドロップイン燃料、専用車両用の特別燃料のいずれであっても、燃料の品質、車両と燃料の適合性、車両のコンプライアンスを維持する必要がある。前提となるのは、燃料の特性を定義して保証する規格と、使用する燃料に適合して認証された車両である。燃料は、エンジン、潤滑油、排気後処理システム、給油インフラ、安全性や排ガスに関する規制などのシステムの残りの部分から切り離すことができないパラメータである。

新しいバイオ燃料の生産や利用に関する政策の役割

輸送、特に長距離輸送の脱炭素化に使用される先進バイオ燃料の拡大促進には、これまでも、そしてこれからも、政策が不可欠である。政策には、混合燃料の義務化、消費税の減免、再生可能燃料や低炭素燃料の基準、さらには様々な財政的インセンティブや公的資金の仕組みなどがあります。市場誘導型と技術プッシュ型の政策手段を併用している国は、バイオ燃料の生産量と使用量を増加させ、成熟度の低い新たなバイオ燃料生産技術の開発と導入に最も成功している。

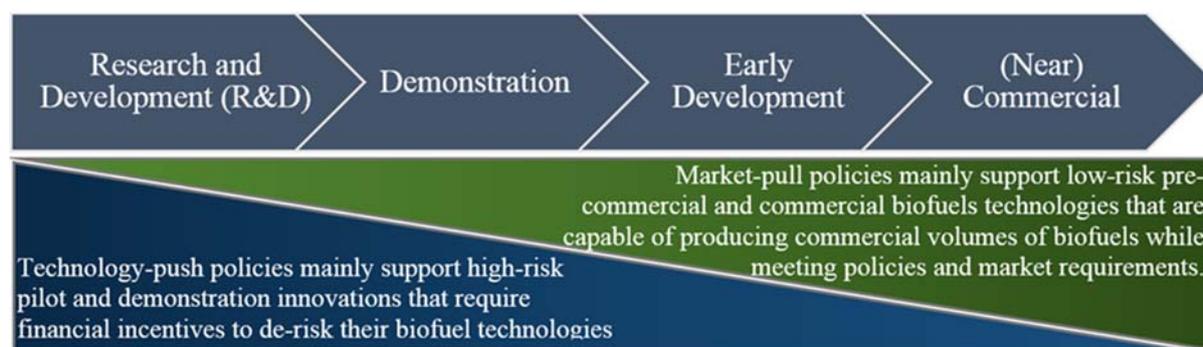


図21: 技術プッシュ及び市場誘導型バイオ燃料政策

これまで、交通機関の脱炭素化を促進するための政策は、ほとんどが道路交通に焦点が当てられてきた。鉄道、航空、海運などの他の輸送部門は、エネルギー消費量やGHG排出量が多いにもかかわらず、最近まであまり政策的に注目されていなかった。しかし、交通政策や産業界の取り組みは、電化がより困難な長距離輸送部門（道路、鉄道、航空、海運）の脱炭素化にますます焦点を当てられるようになってきた。

輸送用バイオ燃料の生産量と使用量は過去10年間で2倍以上に増加したが、その生産量や進展状況は、まだ輸送の大幅脱炭素化に必要なレベルを大きく下回っている。石油や化石燃料価格が比較的安いこと、従来型および先進型バイオ燃料を支援するための政策や資金調達プログラムの将来性が不透明であること、バイオ燃料の国際取引に関する規制が一貫していないこと、食料安全保障や土地利用の変化、全体的な持続可能性に関する懸念が続いていることなど、いくつかの要因がバイオ燃料政策の有効性に影響を与えている。

再生可能燃料の広範な調達方法

調査の過程で明らかになったのは、対象国が道路交通システムの脱炭素化の緊急性を認識していること、バイオ燃料、電気自動車、そして最終的には e-fuels を含むセットの対策によってのみ必要なレベルの脱炭素化に到達できること、そして低炭素シナリオの需要をカバーする自動車に使用するバイオ燃料の持続的生産のために十分な原料が世界的に確保されていることである。しかし、なぜバイオ燃料の生産と利用が必要以上に拡大していないのだろうか。

この疑問については、全体報告書の第 4 部（「普及の障壁と政策提言」）で分析している。

広範な普及への障害

このプロジェクトで行った評価、AMF のアネックス 59 からの知見、IRENA の研究で得られた知見、このプロジェクトのワークショップでの議論及びその他の既存文献を考慮すると、以下の点が重要な障害であると考えられる。

- 競争のためのよく整備された交通システム
- 政策推進要因の変化/長期にわたる安定的な政策の不足
- 一般の人の低い受容性/技術レベルに関する問題や持続可能性への懸念に関する認識
- 政策手段の不備
- 代替燃料や FFV、EV、FCEV などの代替燃料車のインフラ整備の必要性
- バイオ燃料に関するリスク

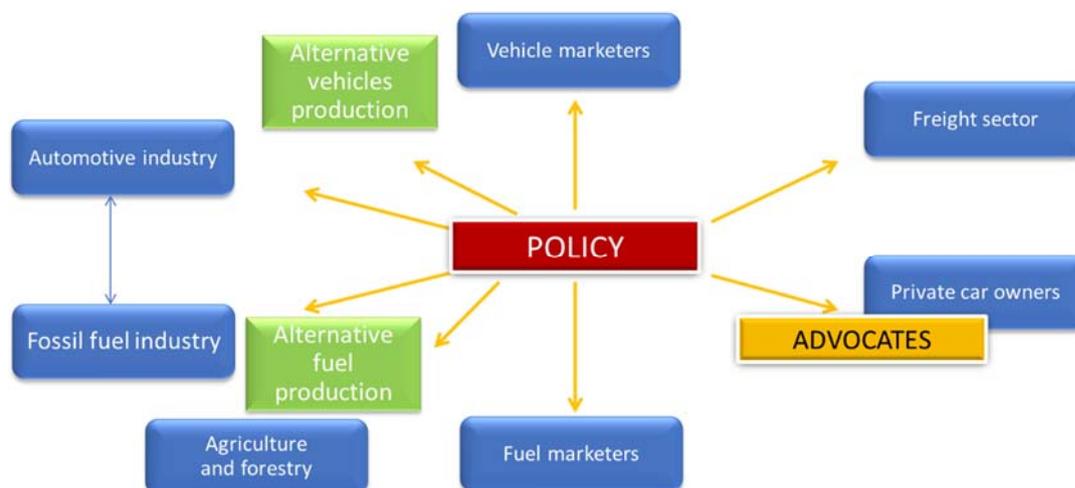
競争のためのよく整備された交通システム

必要なレベルの脱炭素化を達成するために必要なのは、さまざまな車両に複数の代替燃料を使用するという新しい輸送システムへの移行である。この新しく複雑なシステムは、過去 100 年にわたって確立され最適化され、そして既存のステークホルダーに予測可能な収入を提供してきた現行システムと競合しなければならない。一方で、将来の輸送システムに必要なインフラは、より高いコストとリスクを伴い、不明確でリスクの高いビジネスケースを伴っており、まだ構築されていない。表 3 は、現在の交通システムと未来の交通システムの特徴を示している。

表3: 現在及び将来の輸送システム

現在の輸送システム	将来の道路輸送システム
良い性能を発揮する燃料/エンジン/排ガス後処理の組み合わせ	必要とされる燃料/エンジン/排ガス後処理システムへの対応
材料適合性は確立	材料適合性の悪さ
多くの車種が利用可能	数種のモデルで利用可能
十分な車両保守インフラ	新しい車両保守知識が必要
十分な航続距離	航続距離が短い場合あり
燃料製造方法は構築済	燃料製造インフラを構築する必要あり
燃料代替は限定的	代替燃料は多種
ユビキタス（いたるところにある）燃料インフラ	燃料補給のためのインフラを構築する必要があり、採算が合わない可能性
現在の運送事業は、既存の燃料を使用	新しい運送事業を構築しなければならない。

既存の運輸部門のステークホルダー（図 23）は、化石燃料産業と燃料販売業者、自動車産業と車両販売業者、貨物部門消費者と自家用車所有者である。新しいシステムでは、バイオマス生産者やバイオ燃料生産者などの新しいステークホルダーが登場し、既存のステークホルダーは、代替燃料や代替燃料車の生産にビジネスを適応させることが求められる。これらのステークホルダーにとって、生産コストやインフラコストの増加を相殺するような規制が政策的に設定されない限り、代替燃料の生産は経済的ではない。その結果、バイオ燃料市場は政治的介入に依存することになる。したがって、政策が強力なシグナルを発信し、長期間にわたって再生可能燃料への支援を継続することが非常に重要である。ワークショップの参加者からは、2040年、2050年の再生可能燃料の目標を今からでも伝えるべきだという声も聞かれた。



政策推進要因の変化

しかし、先にアメリカの例で挙げたように、政策の推進力はしばしば変化する。既存のシステムを改善することで、再生可能な燃料への推進力は弱くなり、効果がなくなり、まだ十分に確立されていない新しい燃料や自動車は、再び市場から消えてしまった。

一般の人の低い受容性

もう一つの非常に重要な点は、新しい燃料に対する一般の人々の認識である。バイオ燃料の大規模生産により直接的・間接的に土地利用の変化（LUC・iLUC）が起こるため、GHG 排出量に影響を与えるという議論は、欧州における確立されたバイオ燃料の生産と利用の成長を停滞させた。また、EU の政策には、バイオ燃料の持続可能性を確保するための措置が盛り込まれているが、バイオ燃料に対する社会的イメージは大きく損なわれたままである。

政策手段の不備

代替燃料や代替燃料車を市場に導入するためには、交通システムに関わるすべてのステークホルダーを考慮し、それぞれにメリットがあるような、慎重にバランスのとれた一連の政策を提供することも重要である。また、バイオ燃料への税制優遇措置と相反する EU の国家補助ルールのように、規制の子細部分が重大な問題を引き起こすこともある。

アルゴンヌ国立研究所は、運輸部門に関わる多くステークホルダーに対して抜けがないようにするために、すべての人のニーズが考慮されているかどうかを評価するためのチェックリストを開発した⁹。化石燃料産業や自動車産業と話をするのは当然かもしれないが、むしろ忘れがちなのが自家用車の所有者である。貨物運送事業者は経済的合理性に基づいて行動し、それが彼らの主なビジネスであるのに対し、自家用車の所有者は、多くの車両やパワートレイン、燃料の選択肢の長所と短所について十分な見識を持っていないことが多い。彼らの知識は、むしろメディアで報道されている内容に基づいており、自動車運転者団体の雑誌が大きな役割を果たしていることが多い。これらの支持者の影響力を過小評価してはならず、代替燃料や代替燃料車の導入のための取り組みに含まれるべきである。

インフラ整備の必要性

再生可能な燃料は、その化学的性質にもよるが、ドロップイン燃料としてあるいはエンジンや車両の改良を必要とするが、低濃度、高濃度、または無添加でエンジンに適用することができる。また、これらの燃料は、独立したバイオ燃料生産施設で生産されることもあれば、製油所での共処理によって生産されることもあり、また、e-fuels 製造施設で CO₂ や水素から生産されることもある。再生可能な燃料を市場に導入するためには、バイオ燃料や e-fuels の生産施設、精製所の適合、エンジンや車両の生産システムの適合、代替燃料車の購入、燃料ポンプの適合など、何らかの新しいインフラへの投資が常に必要である。これらの投資は、関係する幅広いステークホルダーの中から異なる関係者によって行われ、その関係者がビジネスケースを明確にすることができて初めて行われる。政策立案者は、このような複数の選択肢があることを認識し、自国に最適な解決策を見つける必要がある。

⁹ Risch, C. E., Santini, D. J., and Johnson, L. R. 代替燃料に移行するためのチェックリスト：技術資料 United States: N. p., 2016. Web. doi:10.2172/1344887

低炭素燃料導入に伴うリスク

燃料の種類によって直面する障壁は異なるが、これを認識した上で、より広範な導入を促進するための政策ポートフォリオを策定する必要がある。これらは以下に関連している。

- ・ 技術リスク
- ・ 経済競争力
- ・ 燃料統合の容易性
- ・ 適切な原料の利用可能性、持続可能に関する要件への適合
- ・ 関連する持続可能性の認識

表4は、上記のポイントをまとめたものでより広範な普及への主たる障害をハイライトしている。

表4: バイオ燃料の主たる障害

	技術リスク	経済競争性	燃料統合	持続可能な原料の利用可能性
エタノール	緑	黄	黄	黄
バイオディーゼル	緑	黄	黄	黄
HVO	緑	黄	緑	黄
バイオメタン	緑	黄	黄	緑
セルロースエタノール	赤	赤	黄	緑
熱化学バイオ燃料	赤	赤	緑	緑

障害:

緑	特に大きな障害なし
黄	いくつかの障害あり
赤	大きな障害

先進輸送用燃料の普及拡大に向けた政策要件

再生可能な輸送用燃料の成長を促進するためには、長期的で安定した政策フレームワークが不可欠である。適切な政策ポートフォリオには、化石燃料への補助金を廃止し、効果的な炭素価格設定メカニズムを導入する「競争場所を公平にする」ための措置が含まれる。また、低炭素燃料の具体的な目標値と、その燃料が輸送市場で競争力を持つことを保証するメカニズム、そして厳格で証拠に基づく持続可能性ガバナンス体制も含まれる。

これらの燃料やプロセスは、「技術的に中立」な政策環境では当初は競争できないため、開発を促進するための追加措置が必要である。これには次のようなものがある。

- ・ 新たなバイオ燃料の導入及び技術や市場の成熟度が異なる特定のサブカテゴリーに対する義務化

- ・技術開発とその後の市場展開を促進するため、適切かつ専用の金融メカニズムと手段。これには、融資保証や、新しいエネルギー源と既存のエネルギー源（化石エネルギーや他のバイオエネルギー）との間の初期コストの差を埋める方法などがある。
- ・前項において特定した優先事項に焦点を当てた RD&D 支援

政策ベストプラクティス

エタノール、バイオディーゼル（FAME）、HVO、バイオメタンなどの従来型バイオ燃料の導入に関する政策のベストプラクティスは、すでに多くの国で存在している。成功裏に採用された政策ポートフォリオの主な要素は以下の通りである。

- ・バイオ燃料の混合率を義務化する混合率規制。この制度は広く普及しているが、不遵守に対する罰則や、追加コストを市場関係者で分担する仕組み（認証制度など）が不十分な場合、必ずしも効果的ではない。また、義務化にあたっては、燃料仕様や混合量規制との整合性を図る必要がある。
- ・カリフォルニア州の LCFS、ブラジルの RenovaBio スキーム、ヨーロッパの様々なプログラムなど、輸送用燃料の GHG への影響度に応じてインセンティブを与えるシステムに移行する傾向が強まっている。これらの制度は、バイオ燃料の混合率を高めたり、より GHG 効率の高い燃料の開発を促進する大きなインセンティブとなる。
- ・燃料が、必要な環境・社会・経済的目標を達成するためには、厳しくも一貫した持続可能性ガイドラインが必要である。

しかし、セルロース系エタノールや、ガス化・熱分解などの熱化学技術を利用した燃料などの新たなバイオ燃料の市場導入については、同じ対策では十分に支援できない。これらのプロセスの導入を支援することができる政策措置は以下の通りである。

- ・最初に稼働がうまくいったプラントのコストは高いと思われるため、新規燃料については別の義務として報酬を高くする（例：米国の RFS2 におけるセルロース系燃料の規定）。
- ・研究開発への継続的な支援。特に、新規プラントの試運転や、商業規模での運転開始時に必然的に発生する問題の解決のために必要とされる長期的な期間を考慮。
- ・米国で実施されているようなリスク保証は、世界初の大規模施設を建設する際の財務リスクを軽減するのに役立つ。

最後に、2019年11月18日にブリュッセルで開催された政策ワークショップにおいて、参加した業界関係者から出された提案を紹介する。

- ・何らかのカーボンプライシングの導入
- ・再生可能燃料の炭素強度に焦点を当てる。
- ・石油メジャーを取り込む。
- ・運輸部門において化石燃料からフェーズアウトするための要件を構築する。
- ・自動車業界が、再生可能燃料の使用によるGHG排出削減量を走行によるCO2削減目標に計上できるようにする（その後、目標を強化することも可能）

最終コメント

上記のようなツールを手にした上で、各政府は、目指すべき適切な代替燃料や代替燃料車を

見つけ、その時々の特定の国の状況に適した一連の政策手段を見つけなければならない。交通機関の脱炭素化に、万能のソリューションはありません。唯一の共通点は、必要なレベルとスピードで脱炭素化を達成するために、今、大胆な行動を起こす必要がある。

用語

2DS	IEA 2°Cシナリオ、2100年までに地球平均気温上昇を2°Cに抑える目標と同義
ALIISA	本研究において今後の自動車台数の割合を計算するためにVTTで使われたモデル
AMF	先進自動車用燃料
B5, B7,...	FAME X%を混合したディーゼル燃料
BAU	これまで通りのビジネス
CCU	炭素回収と利用
CPS	IEAの従来政策シナリオ
E5, E10,...	エタノールX%を混合したガソリン
EPE	ブラジルエネルギー研究オフィス
ETBE	エチルターシャリーブチルエーテル、エタノール含有ガソリン添加剤
EUR	ユーロ
EV	電気自動車
FAME	脂肪酸メチルエステル
FCEV	燃料電池自動車
FFV	フレックス燃料車、ガソリンあるいは高濃度エタノール混合燃料（ブラジルの場合は純粋水性エタノール）を利用可能な自動車
FT	フィッシュヤートロプシュ
FY	事業年度
GHG	温室効果ガス
HDT	大型トラック
HEFA	水素化エステル及び脂肪酸
HEV	ハイブリッド電気自動車
HVO	水素化植物油
ICE	内燃機関
IEA	国際エネルギー機関
ILUC	間接的な土地利用変化
IRENA	国際再生可能エネルギー機関
LCA	ライフサイクルアセスメント
LCFS	低炭素燃料基準、カリフォルニア州の規制
LPG	液化石油ガス（自動車燃料）
LUC	土地利用変化
MDT	中型トラック

MTBE	メチルターシャリーブチルエーテル、メタノール含有ガソリン添加物
NPS	IEA の新しい政策シナリオ
RED	再生可能エネルギー指令、EU の規制
RED-II	改定再生可能エネルギー指令、EU の規制
RenovaBio	Renova Bio, ブラジルの規制
RFS	再生可能燃料基準, 米国の規制
SDS	IEA の持続可能な開発シナリオ
TCP	IEA の技術連携プログラム
TRL	技術成熟レベル
TTW CO ₂ emissions	燃料タンクから車輪までの CO ₂ エミッション、つまりテールパイプエミッション
UCO	廃食油
USD	米ドル