

# World Trend Foresight

気候変動レポート Vol. 4:  
再エネの巨人・バイオマスエネルギーを呼び覚ます  
-持続可能な農林業からのバイオマス調達の拡大がカギ  
2025 年 2 月

PwC コンサルティング合同会社  
PwC Intelligence マネージャー 相川高信



バイオマスエネルギーは、現状で最も供給量の多い再生可能エネルギー（以下、再エネ）である。気候変動対策上も重要な役割を果たすことが期待されており、2050 年のネットゼロシナリオでは、一次エネルギーの 2 割程度を供給する見込みである。一方で、これまでの成長はゆるやかで、「見過ごされた再エネの巨人」と揶揄されることもあった。しかし、すでに一定の技術的な蓄積があるため、2030 年などの短期で見た場合に有望な脱炭素燃料として、世界的に投資額が増えている。

バイオマスの発展形態は国や地域で異なり、ビジネス戦略上、各国の特徴を理解しておくことが有効である。特にバイオマス資源の確保の観点からは、持続可能性の問題も適切に理解しておかなければ、社会的批判を浴びる恐れもある。

そこで本稿では、初めに、世界的なバイオマスエネルギーの発展状況と中長期の展望を概観した後に、国や地域ごとの多様な発展の状況を示す。その上で、バイオマスエネルギー利用を進める際に、ビジネスプレイヤーにとっても重要な持続可能性の議論の経緯と、特に重要な炭素会計の考え方について、国レベルだけではなく企業レベルでの動向を整理する。最後に、バイオマス利用の基盤となる持続可能な農林業への転換にバイオマスエネルギー利用が貢献できることを示すとともに、国内外のバイオマス資源確保戦略の重要性を提示する。

## 1. バイオマスエネルギーの特徴と発展状況

### (1) 脱化石燃料化に重要な役割を果たすバイオマス

21 世紀のエネルギーシステムは、太陽光・風力という再生可能エネルギー電力を中心としたものに転換していくと考えられている<sup>1</sup>。これは気候変動対策上の要請でもあるが、同時に 2010 年代から始まった大量導入による学習効果によるコスト低下という技術の進展と経済性によるものである。その中で、バイオマスエネルギーは、太陽光・風力の電力を補完する再生可能エネルギーとして重要な役割を果たす。

バイオマスエネルギーとは、動植物の有機性資源であるバイオマスを加工・変換した上で燃料としてエネルギー利用するものである。薪や炭は、有史以来人類が使ってきた燃料とも言えるが、1970 年代のオイルショック以降、工業先進国において、化石燃料の代替として、効率のよい現代的な使い方が発展してきた。代表的な利用形態は、低質の木材や農業残渣から作ったチップやペレット<sup>2</sup>を燃焼させることによる熱や電力の生産である。太陽光・風力発電の運転が天候に依存するのに対して、バイオマスエネルギーによる発電は自律的な運転で出力を調節することが可能であり、太陽光・風力などの変動性再生可能エネルギーを中心とした電力システムの中で、調整力として重要な役割を果たす。

また、バイオマス由来のバイオエタノールやバイオディーゼルなどの液体バイオ燃料は、化石燃料由来のガソリンやディーゼルなどの代わりに用いられてきた。近年は、持続可能なジェット燃料(SAF: Sustainable Aviation Fuel)として、バイオジェット燃料に注目が集まっている。気体のバイオマス燃料はバイオガスと呼ばれ、天然ガスの代替として、特に、ロシアのウクライナへの軍事侵攻以降、欧州を中心に投資が進んでいる。

<sup>1</sup> PwC Intelligence (2024 年 11 月)「気候変動レポート Vol.2: 再生可能エネルギー電力は 2030 年までに 3 倍に」(2025 年 1 月 17 日アクセス)

<sup>2</sup> 木材など 細かいバイオマス粉を小さな円筒状に押し固めたもの。

このように多様な利用形態があることに加えて、バイオマスエネルギーの重要な利点は「既存の設備で、化石燃料に混ぜて使うことができる」という点である。例えば、石炭火力発電所において、石炭に木質ペレットを混ぜる「混焼」という利用方法がある。5%程度までの低い混合比率であれば、設備の改造なしに再エネ利用が可能になるため、初期の利用方法として有効である。また、ガソリンにバイオエタノールを混合するということも世界各国で行われている。充電設備・インフラが必要な電気自動車(EV)と違って、既存のガソリンスタンドで供給できる。

エネルギー利用に加えて、バイオマスからはプラスチックや繊維などを製造し、素材・マテリアルとして利用することもできる。このような様々な場面でのバイオマス利用を総合的に捉えたシステムはバイオエコノミーと呼ばれ、世界的な注目を集めている。脱炭素化(Decarbonization)という言葉があるが、バイオマスという炭素源が将来にわたって必要とされていることから、目指すべきは、脱化石燃料化(Defossilization)とすべきである。

## (2) バイオマス利用の発展状況と今後の成長予測

### ①これまでのバイオマスエネルギーの発展

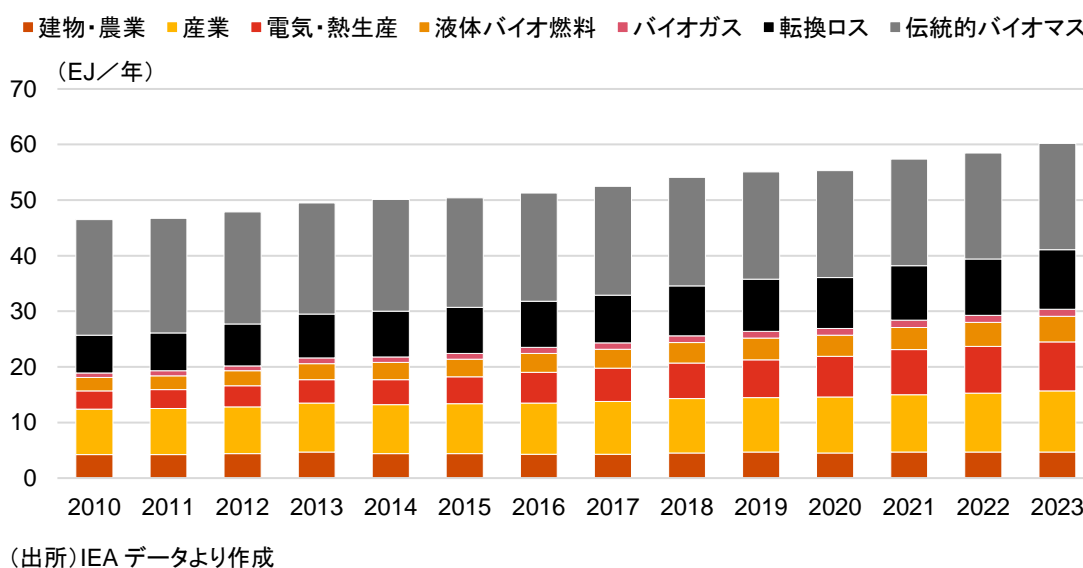
バイオマスエネルギーは、現状で最大の供給量を占める再生可能エネルギーである。2023 年のバイオマスエネルギーの一次エネルギー供給量は 60EJ で(図表 1)、化石燃料も含めた全ての一次エネルギー供給の 8.8%を占める。同年の全ての再生可能エネルギーを合わせたシェアが 14%であることを考えると、その貢献は大きい。

この中で供給量が最大なのは、伝統的バイオマス利用である。これは、主に発展途上国における調理や暖房に使われており、エネルギー効率が低い。加えて、煤塵などによる健康被害も深刻であるため、好ましくない利用形態であり、そのフェードアウトが必要だと考えられている。

現代的なバイオマス利用の中には、すでに述べたように多様な用途が含まれている。中でも、2010 年から 2023 年の間に、電気・熱生産が 2.7 倍と最も増加しており、次いで液体バイオ燃料が 1.9 倍程度で続いている。

一方で、バイオマスエネルギーの全体の成長率は、太陽光や風力発電に比べると低く、年率 2%程度である。持続可能に利用可能なバイオマスエネルギーのポテンシャルは 100~150EJ と推計されており、後述するようにエネルギーシステムの脱炭素化のためにはさらなる成長が必要だと考えられている。こうしたことから、バイオマスエネルギー「見過ごされた再エネの巨人」と言われたこともあり<sup>3</sup>、バイオマスエネルギーを着実に成長させることは世界的な課題となっている。

図表 1 バイオマスエネルギー利用の発展



<sup>3</sup> Power Engineering International (2018 年 10 月 8 日) [“Bioenergy ‘the overlooked giant of renewables’ says IEA chief”](#) (2025 年 1 月 17 日アクセス)

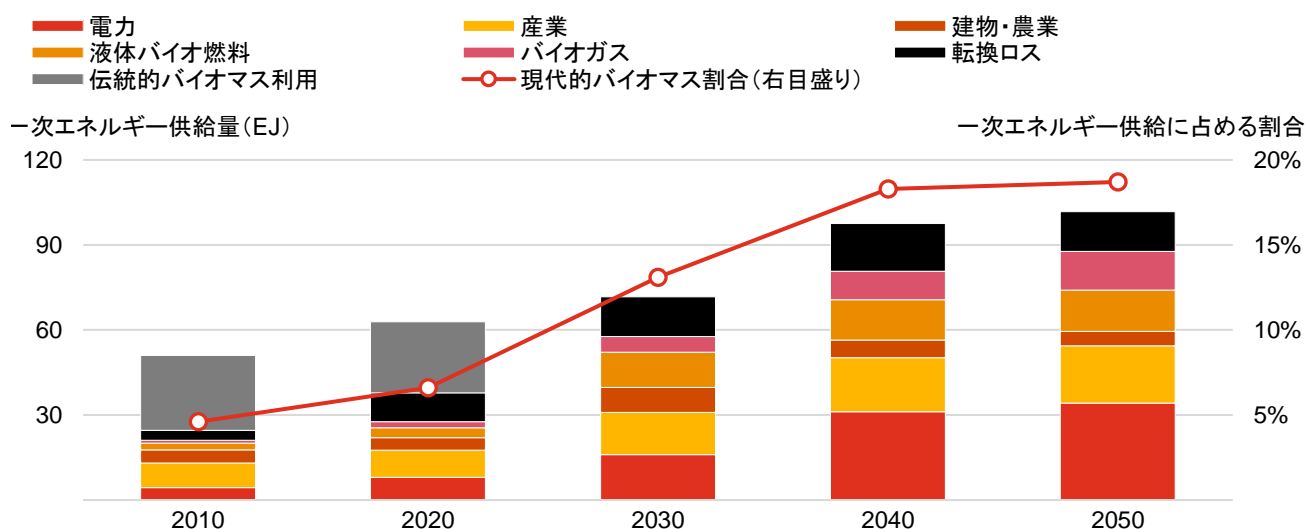
## ②2050 年: ネットゼロシナリオにおけるバイオマスエネルギー

将来的に排出のネットゼロを実現するエネルギーシステムにおいても、バイオマスエネルギーの占めるシェアは大きいと考えられている。IPCC による学術研究のレビューによれば、2050 年の一次エネルギー供給量は 2 割前後になる<sup>4</sup>。

IEA のネットゼロシナリオでも、2050 年の現代的バイオマスの割合は 18% (100EJ) となっている(図表 2)。内訳をみると電力および産業部門での熱・電気生産が大きく成長し、2050 年のバイオマスエネルギーの発電電力量のシェアは世界全体で 5% 程度と見込まれている。液体バイオ燃料とバイオガスでの利用も、2050 年までに大きな伸びが期待されている。一方で、建物部門での利用は、断熱性の向上や電化の進展により 2030 年以降減少傾向が予測されている。

なお、このシナリオは伝統的バイオマス利用を 2030 年までにゼロにした上で、現代的バイオマスエネルギーと呼ばれるクリーンで効率的な利用に転換していくことが想定されており、この対策も急務である。

図表 2 IEA のネットゼロシナリオにおけるバイオマスエネルギー利用の発展



(出所) IEA (2021) "Net Zero by 2050" より作成

## ③2030 年: 当面の選択肢としてのバイオマスエネルギーの重要性

バイオマスエネルギーの今後の成長についてもう一つ重要なことは、2030 年といった短期的な脱炭素の技術オプションとして重要な役割を果たすということである。特に、企業にとっては、使用電力については再エネ電力への切り替えが可能になってきているが、燃料については、水素やアンモニアは開発途上であり、今のところバイオ燃料やバイオガスしか脱炭素の現実的な選択肢がない。また、電化が困難な航空や船舶、重工業においてもバイオマスエネルギーの利用が増えている。

こうした需要の高まりを受けて、バイオマスエネルギーへの投資も活発化している。2015 年から 2021 年の年平均投資額が 60 億米ドルだったのに比べると、2022 年以降はバイオディーゼルやバイオガスを中心に投資が急増し、140 億米ドル程度まで増加している<sup>5</sup>。

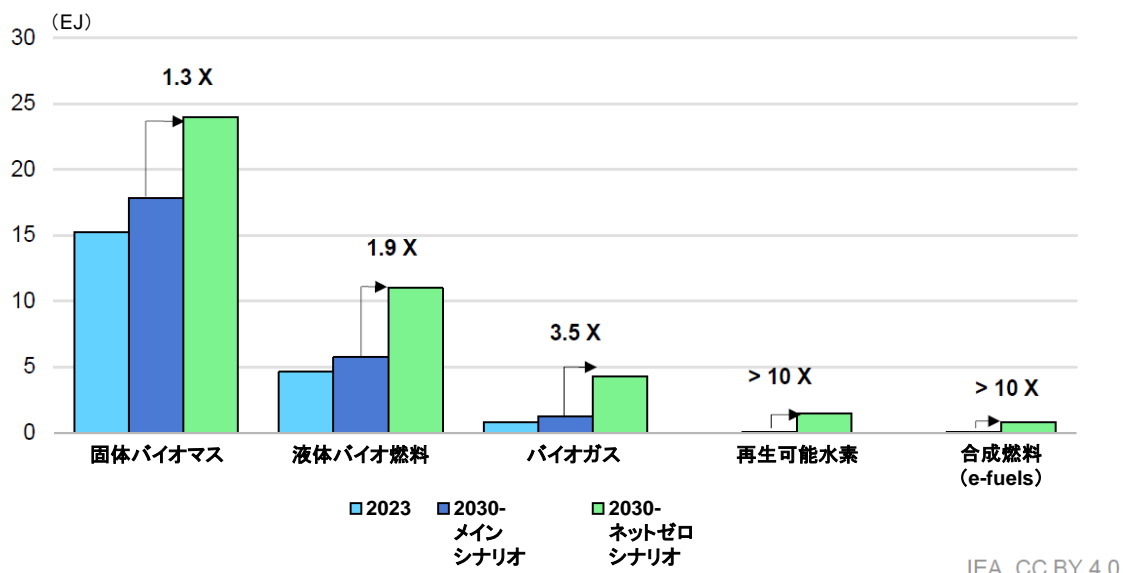
図表 3 は、IEA のネットゼロシナリオにおける 2030 年に向けたバイオマス燃料を含めた再生可能燃料の 2030 年に向けた成長予測である。ここから、以下に記すように重要な点を 2 点指摘できる。第一に、固体バイオマス、液体バイオ燃料、バイオガスの 3 つの形態において、それぞれ大きな成長が見込まれていることが分かる。伝統的バイオマス利用がフェードアウトすることを前提に、固体バイオマスが絶対量では最大であるが、伸び率で見ると、バイオガスが 3.5 倍、液体バイオ燃料も 1.9 倍と高い割合での増加が期待されている。

<sup>4</sup> IPCC (2022) "IPCC Sixth Assessment Report, Working Group III: Mitigation of Climate Change" (2025 年 1 月 17 日アクセス)

<sup>5</sup> IEA (2024) "World Energy Investment 2024" (2025 年 1 月 17 日アクセス)

第二に、少なくとも 2030 年までは、水素やそこから作られる合成燃料<sup>6</sup>よりも大きな量が利用される見込みである。ここで想定されている水素は、再生可能エネルギーの電力を使って水を電気分解して生産されるものであり、合成燃料も含めて、商業生産はこれからである。そのため、2030 年には 10 倍もの伸び率が期待されているものの、量的な貢献は限られると想定されている<sup>7</sup>。

図表 3 IEA ネットゼロシナリオにおける低炭素燃料の伸び率(2023/2030 年)



(出所)IEA (2024) "Renewables 2024"

## 2. これからのバイオマスエネルギー：地域ごとの多様な発展経路

以上、世界全体でのバイオマスエネルギーの発展状況を概観した。しかし、これは各国の取組の合計値であり、バイオマスエネルギー利用の発展は、各国のエネルギーシステムの状況や農林水産業・自然環境の状況によって大きく異なる。そこで、本節では、現代的なバイオマスエネルギー利用の発展を主導してきた欧州と、それ以外の国・地域に分けて、今後の発展経路を概観したい。

### (1) 欧州：再エネ電気主体のシステムの中でのバイオマスの新たな役割

現代的なバイオマスエネルギー利用において、世界の発展を牽引してきたのは欧州であった。欧州でも、バイオマスエネルギーは全再生可能エネルギーの 54%と最大のシェアを占めている<sup>8</sup>。

これまで、北欧やドイツ・オーストリアなどを中心に、農山村だけではなく都市部なども含めて、家庭用の暖房や地域熱供給システムの燃料として、熱利用を中心に発展を続けてきた。熱利用部門については、いまだ化石燃料のシェアが 75%を占める中で、熱部門の脱炭素化のために引き続きバイオマス利用が必要だと考えられている。しかし、最も有望視されているのは、安価な再エネ電気とヒートポンプの組み合わせである。また、断熱性能の向上により、より少ない熱、より低い温度帯の熱で熱供給が可能になってきており、地域熱供給プラントでは、データセンターの廃熱の活用なども行われるようになってきている。

<sup>6</sup> 水素(H<sub>2</sub>)と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を原材料として炭化水素化合物を生成した石油代替燃料。電気分解の水素を原材料とすることが想定されていることから、「E-fuel」とも呼ばれる。カーボンニュートラル燃料として使用する場合には、再生可能エネルギー電力で電気分解した水素と、バイオマス由来もしくは大気から回収した CO<sub>2</sub>を原材料とする必要がある。化石燃料由来の CO<sub>2</sub>は、排出を遅らせることにはなるが、結局は大気中に排出されることになることに注意が必要である。

<sup>7</sup> しかも、学術的な研究によると 2030 年にかけて、1.5℃目標に必要な投資と現実の計画のギャップは大きくなっていくと予想されている(Odenweller & Ueckerdt "The green hydrogen ambition and implementation gap", Nature Energy (2025))。

<sup>8</sup> Bioenergy Europe (2024) "Policy Brief: Landscape Report Bioenergy Europe Statistical Report 2024"(2025 年 1 月 17 日アクセス)

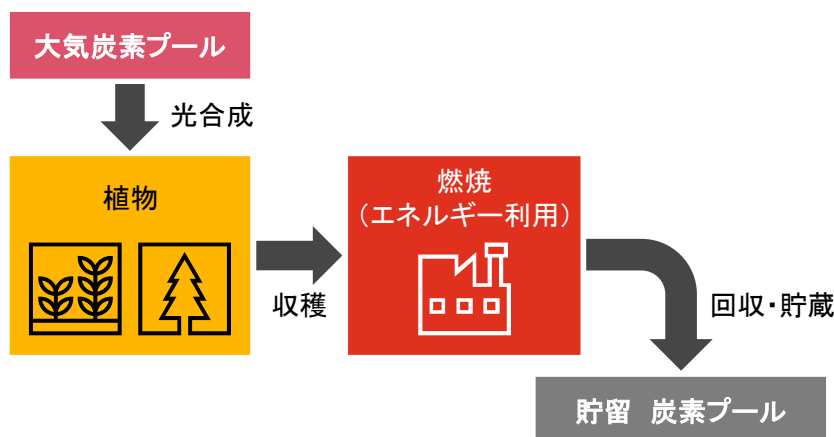


発電部門では、中小規模も推進されたが、イギリスやデンマーク、オランダなどで、大型の石炭火力発電を改造し、バイオマス発電所に転換することも行われた。一方で、欧州では、風力と太陽光電力のシェアが高まり、次世代のエネルギーシステムの姿が見えつつある。その中で、バイオマス発電のさらなる成長は想定されていない。

こうした状況下で、欧州のバイオマスエネルギー業界が注目しているのは、バイオマス炭素を用いた二酸化炭素除去（CDR: Carbon Dioxide Removal）・ネガティブエミッションである。バイオマスを使った CDR 技術は、BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage) と呼ばれる。炭素除去技術としては、植林や海洋でのブルーカーボン管理、風化促進など多様なものがあるが、中でも BECCS は経済性に優れた確実な技術として注目されている。

具体的には、バイオマスの燃焼後に高濃度で発生する CO<sub>2</sub> を樹脂などで吸着した後に、再び放出させ、純度の高い CO<sub>2</sub> にして貯留するものである（図表 4）。貯留する代わりに、水素と合成して合成燃料やマテリアルの原材料として利用することもできる。用いられる技術は、化石燃料ベースの CCS とほぼ同様であるが、化石燃料 CCS では排出した CO<sub>2</sub> を回収しても差し引きゼロにしかならない。それに対して、BECCS の場合であれば、大気中から植物が吸収した CO<sub>2</sub> を貯留するので、大気中から炭素を長期間「除去」したことになるのである。

図表 4 BECCS による炭素除去の仕組み



（出所）筆者作成

このように欧州では、発電・熱利用でのバイオマス利用の減少が見込まれているが、液体・気体のバイオ燃料の生産が需要を代替していくと考えられている。

気体のバイオガスについては、ロシアのウクライナへの軍事侵攻以降、EU 域内で生産できるガスとして重要度が高まっている。ロシアからの天然ガス輸入を減らしたい EU は、RePowerEU と呼ばれる総合的なエネルギー政策のパッケージを公表した。その中で、2030 年までにバイオメタンの生産量を 350 億 m<sup>3</sup>（全体需要の 7-8%）まで増加させることを目標とした。家畜糞尿や農業残渣、食品廃棄物、有機性廃水といった従来の廃棄物系バイオマスに加えて、最も多くの生産が見込まれているのは連作・二毛作など飼料と競合しない方法で生産された牧草（サイレージ）である<sup>9</sup>。バイオガスを精製して作られるバイオメタンはガス導管に注入することができるので、天然ガスの代替に使うことができる。

交通部門では EV シフトに加えて、EU もバイオ燃料を含めた脱炭素燃料を活用する予定だ。EU では交通部門について、2030 年までに再エネ比率を 29% まで高めることを目標としている<sup>10</sup>。この中では、EV などを通じて再エネ電気を使うことも認められているが、うち 5.5% は第二世代のバイオ燃料、もしくは非バイオマス再生可能燃料（RFNBOs）で賄うことを求めている。

<sup>9</sup> 資源エネルギー庁（2022）「[欧州・米国におけるバイオメタン利用の拡大について](#)」（2025 年 1 月 17 日アクセス）

<sup>10</sup> もしくは、GHG 排出強度を 14.5% 削減する。

## (2) 欧州以外では地域性に基づく多様な発展へ

次に世界全体を見ると、また違った発展の様子が見えてくる。全世界でエネルギー部門の脱炭素化が求められるようになり、新興・途上国でのバイオマスエネルギーの重要性が増している。本節では、大きく固体バイオマスと液体バイオ燃料の二つの領域について、重要なトレンドを紹介したい。

### ① 固体バイオマス: 石炭からの転換

石炭火力発電所の CO<sub>2</sub> 排出量を減らすため、木質ペレットなどのバイオマスを混焼する取組が世界で活性化している。これまでも欧州などで行われてきたが、石炭火力発電の割合が高いアジア諸国での事例が増えている。日本では FIT 制度の初期にバイオマス混焼が補助対象になっていたが、今は FIT における新規の認定は認められていない。その代わりに、2022 年から始まった長期脱炭素電源オークション対象では、段階的なバイオマス専焼への転換が対象になっている。

バイオマスの石炭混焼を積極的に進めようとしているのはインドだ。2021 年の政府の決定により、2024-25 年度から、火力発電所は 5% のバイオマス混焼が義務付けられた。2023 年の発表では、2025-26 年度から混焼比率は 7% に引き上げられる。インドの発電用石炭の消費量はおよそ 7 億トンにもなるため、仮に木質ペレットを使う場合 5,000 万トンの消費量に相当し、世界最大の固体バイオマスの消費国になる可能性もある<sup>11</sup>。

中国では、これまでもバイオマスの混焼は行われてきたと考えられるが、2024 年 7 月に中国の国家発展改革委員会と国家能源局が発表した「石炭火力の低炭素化の改造建設行動プラン(2024-2027 年)」がバイオマス利用を促進するだろう。同プランは、石炭火力発電の CO<sub>2</sub> 排出原単位を 2025 年までに 20%、2027 年までに 50% 程度改善することを目指している。具体的には、省ごとにテストプラントを選定し、技術的な検証を行う。当面は、バイオマスやアンモニアの 10% 混焼を行い、必要に応じて CCS も活用する<sup>12</sup>。

さらには、東南アジア諸国でも活用が広まっている。2023 年の ASEAN-CE のレポートによれば、インドネシア、マレーシア、タイ、ベトナムの 4 か国において、混焼を含め、バイオマスの発電利用を促進する政策がある<sup>13</sup>。

なお、韓国では、再生可能エネルギークレジット(REC: Renewable Energy Credit)の対象となってきたが、2025 年 12 月に新設のバイオマス発電を補助対象から外すという方針が発表された<sup>14</sup>。韓国では、バイオマスの持続可能性基準がなかったこともあり、環境団体の反対が激化し、政府方針の転換につながったものとみられる。

### ② 液体バイオ燃料: 電化を補完するためのバイオエタノール利用

液体バイオ燃料については、国際民間航空機関(ICAO)の排出削減スキーム(CPRSIA)が、2027 年より第 2 フェーズから全加盟国の参加となることから、SAF への注目が集まっている。そのため、現状では SAF がバイオ燃料に投資を呼び込むきっかけになっているが、陸上交通で利用するバイオディーゼルやエタノールとより一体となった開発が必要である。

まず、SAF も通常の液体バイオ燃料も同じ製造プロセスから生産できるからだ。油脂から SAF を製造する場合には、副生物としてバイオディーゼルが生産されるし、エタノールからの SAF を生産することも技術的に可能である。加えて、2030 年においても量的に太宗を占めるのは陸上交通部門である。IEA の予測では、陸上交通部門が 2,050 億リットルに対して、航空と船舶部門合わせて 90 億リットル程度であることから、バイオ燃料の生産そのものを拡大させなければならない。

こうした見通しの下、欧州以外にも、各国のバイオ燃料の混合義務化やその引き上げが予定されている(図表 5)。EV 普及までの当面の脱炭素方策になるということに加え、新車販売における EV の比率を高めていっても、2050 年でもほとんどの国で、まだ内燃機関自動車は道路を走っていると予測されている中では、現実的な対応である。また、原油やガソリンを輸入している多くの国にとってはエネルギー安全保障のためのエネルギー源の多様化、特にバイオマス資源国にとってはエネルギー自給率の向上という意味がある。加えて、農林業セクターの振興になるというメリットもある。

<sup>11</sup> Bioenergy International (2024 年 5 月 19 日) "[India set to become the world's largest pellet market?](#)" (2025 年 1 月 17 日アクセス)

<sup>12</sup> S&P Global (2024 年 7 月 15 日) "[China to test run biomass, ammonia and carbon capture in coal-fired plants](#)" (2025 年 1 月 17 日アクセス)

<sup>13</sup> ASEAN Centre for Energy (2023) "Biomass Co-Firing in ASEAN: Status and Opportunities to Meeting ASEAN's RE Target"

<sup>14</sup> Mongabay (2024 年 12 月 20 日) "[South Korea slashes forest biomass energy subsidies in major policy reform](#)" (2025 年 1 月 17 日アクセス)

日本でも、2030 年までに 10%のバイオエタノールを混合した燃料供給を開始し、2040 年からは混合率を 20%まで高めていく。2030 年からは新車販売において、最大 20%の混合率に対応できる乗用車を 100%とする方針である。

図表 5 主要国におけるバイオエタノールの混合義務割合

国・地域	義務割合	目標	実績	備考
EU 加盟国	3.3~20%		6%	加盟国ごとに義務量は異なる。
英国	10%		8%	
米国	10-15%		10.5%	毎年、環境保護局(EPA)が再生可能燃料基準(RFS)を設定し、量が決まる。
ブラジル	27.5%		45%	今後義務量を 35%に引き上げる法案を可決済み。
中国	—		2%	15 省で 10%混合の義務化(全土での義務化は凍結)。
タイ	10、20、85%	20%	13%	3 種類の混合比率から消費者が選択。
インドネシア	10%		—	
フィリピン		20%	—	混合は任意。
インド	10%		9%	2025 年までに E20 まで引き上げの予定。

(出所) 各種資料から筆者作成

### 3. バイオマス利用の持続性を巡る議論

#### (1) 持続可能性基準の発展

バイオマスの今後の成長を確実なものにするために解決しなければならない課題として、持続可能性の問題がある。この問題は、2000 年代後半の液体バイオ燃料の普及期から存在し、2010 年代以降の発電利用でも大きな議論になった。今後の成長が期待される SAF に加え、バイオプラスチックなどについても当てはまるため、これまでの経緯を含めた適切な理解が不可欠である。

2000 年代にバイオマスエネルギーの現代的な利用が始まった際に、ガソリンやディーゼル燃料の代替としての液体バイオ燃料の利用について批判的な議論が巻き起こった。気候変動対策として本当に CO<sub>2</sub> 削減になるのか、大量のバイオマスの収穫が自然生態系に負のインパクトを与えるのではないかとといった環境面の懸念が主であった。加えて、大規模なバイオマス生産が地域社会に与える影響も議論された。

このような批判を踏まえて、国際食糧機関(FAO)が事務局を務める Global Bioenergy Partnership(GBEP)が、バイオマスエネルギーの利用の持続可能性を担保するための統一的な指標を 2011 年に作成した(図表 6)。ここでは、幅広く環境・社会・経済の 3 つの領域について、合計 24 の指標が設定されている。

こうした国際的な議論も参考に、EU や日本などバイオマスエネルギー利用の推進政策を持つ国も、独自の基準を策定している。EU では再生可能エネルギー指令(RED : Renewable Energy Directive)において、2010 年から液体バイオ燃料に対して基準を作成した。2020 年の RED 改訂時に(RED2)、固体と気体バイオマスも対象に加えられ、この基準を満たさなければ再エネとしてカウントすることができなくなっている。日本では FIT 制度(再エネ電気の固定価格買取制度)において、2019 年から議論が始まり、輸入バイオマスが対象となっている。

EU の RED や日本の FIT においても、制度的に定められた基準を満たすことを証明するために、民間の第三者認証スキームが用いられている。この構造は関連する他分野でも活用されており、現在利用が促進されている SAF においても、ICAO(国際民間航空機関)が策定した基準を満たすことを認められた民間の認証制度が活用されている。

図表 6 GBEP の持続可能性基準

環境	社会	経済およびエネルギー安全保障
<ul style="list-style-type: none"> <li>● ライフサイクル温室効果ガス排出量</li> <li>● 土壌質</li> <li>● 木質資源の採取水準</li> <li>● 大気有害物質を含む非温室効果ガスの排出量</li> <li>● 水利用と効率性</li> <li>● 水質</li> <li>● 生物多様性</li> <li>● バイオ燃料の原料生産に伴う土地利用と土地利用変化</li> <li>● 新たなバイオエネルギー生産のための土地分配と土地所有権</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 国内の食料価格と食料供給</li> <li>● 所得の変化</li> <li>● バイオエネルギー部門の雇用</li> <li>● バイオマス収集のための女性・児童の不払い労働時間</li> <li>● 近代的エネルギーサービスへのアクセス拡大のためのバイオエネルギー</li> <li>● 屋内煤煙による死亡・疾病の変化</li> <li>● 労働災害、死傷事故件数</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 生産性</li> <li>● 純エネルギー収支</li> <li>● 粗付加価値</li> <li>● 化石燃料消費および伝統的バイオマス利用の変化</li> <li>● 職業訓練および再資格取得</li> <li>● エネルギー多様性</li> <li>● バイオエネルギー供給のための社会資本および物流</li> <li>● バイオエネルギー利用の容量と自由度</li> </ul>

(出所) 林岳 (2012) 「国際バイオエネルギー・パートナーシップ (GBEP) のバイオエネルギー持続可能性指標」Primaff Review No.43. pp6-7.

#### ■BOX: バイオ燃料の食料競合

2005～2008 年は国際原油価格が高騰した時期であり、世界中でバイオ燃料の普及政策が始まった。その際に、激しい議論となったのは、食料との競合の問題であった。第一世代と呼ばれる初期のバイオ燃料は、バイオエタノールの原材料としてトウモロコシやサトウキビが、バイオディーゼルの原材料としてキャノーラ油やパーム油などの植物油が使われるからである。

米国では、「2005 年エネルギー政策法」に基づき、バイオエタノールなどの再生可能燃料の利用を義務付ける「再生可能燃料基準 (RFS: Renewable Fuel Standard)」が施行され、トウモロコシの需要が拡大した。相場は急騰し、小麦や大豆からの転作も発生し、さらには 2008 年に、穀物地帯であるミシシッピ川流域で大規模な洪水が発生し、さらなる価格高騰を招いた。

こうした混乱がアジアのコメ市場など世界にも波及したことが問題を大きくした。これを受けて、2008 年には FAO の「世界食糧サミット」や G8「洞爺湖サミット」でも取り上げられ、バイオ燃料とフードセキュリティとの関係が議論された。前述の GBEP も当時の議論を受けて設立されたものである。一方で、当時の穀物市場の高騰が実需給だけではなく、投機相場に投機資金が流れ込んだことも関係してしたと分析されている点にも注意が必要である<sup>15</sup>。

2024 年現在、バイオ燃料は世界全体の原油消費量の中で 4%を占めており、IEA のネットゼロシナリオでは 2030 年に 5%まで増加すると見込まれている。このように、エネルギー供給に占める割合は決して大きなものではないが、穀物のバイオ燃料向けの割合は、トウモロコシ 13%、サトウキビ 20%、植物油 23%程度になっており、かなり大きい。そのため、バイオ燃料は世界の食料需給に影響を与えていると見る必要がある<sup>16</sup>。

他方で、バイオ燃料生産を通じて、食料価格を下支えし、価格の暴落を防ぐことも重要であり、これにより農民の所得安定・増加にもつながることも考えられている。また、第二世代(セルロース系)や第三世代(藻類)のバイオ燃料の開発や、荒廃地の有効利用なども食料競合回避の観点から重要である。したがって、地域ごとの農業の生産構造や食糧の需給構造に配慮しながら、バイオ燃料の普及を進めていく必要がある。

<sup>15</sup> 増田篤 (2010) 「米国農業革命と大投機相場 バイオ燃料ブームの向こう側で何が起きたのか!？」時事通信社。

<sup>16</sup> 小泉達治 (2018) 「バイオ燃料が世界の食料需給及びフードセキュリティに与える影響」農林水産政策研究 Vol.28:25-62



## (2) バイオマスの炭素中立性

### ①IPCC による UNFCCC 枠組みでの整理

このように、持続可能性を担保するための制度は整備されてきた。それにもかかわらず、バイオマスの持続可能性への批判はくすぶっている。問題を「やっかいなもの」にしているのは、バイオマスの炭素中立性(カーボンニュートラル)の問題である<sup>17</sup>。

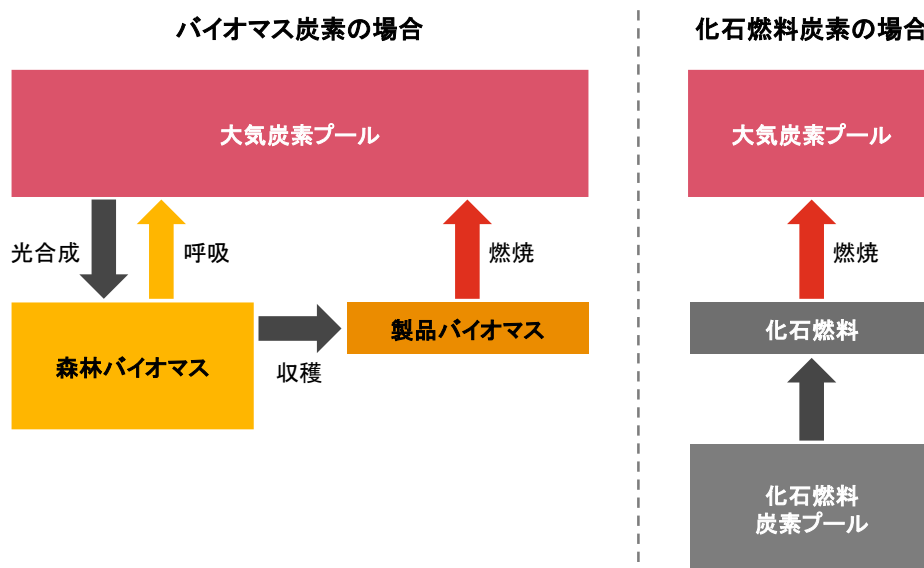
日本や EU の持続可能性基準の中でも、バイオマスのサプライチェーンからの GHG 排出を LCA(ライフサイクルアセスメント)の手法で評価し、化石燃料のケースと比べて一定以上の削減水準を求めるということが行われてきた。例えば、EU の RED では、液体バイオ燃料では化石燃料比 65%減、発電・熱生産の場合は運転開始時期により異なるが、70~80%減が必要だ。日本の FIT 制度は、2021 年以降に認定を受けた発電所に対して 50%以上の、2030 年以降の認定については 70%以上の削減を求めている。

一方で重要なことは、これらの計算においてバイオマス由来の炭素排出は「ゼロ」とされてきたことである。図表 7 に示すようにバイオマスに含まれる炭素は、元々は植物の光合成によって大気中から除去されたものであり、燃焼させたとしても再び大気に戻るだけで、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度に影響を与えない。つまり、「炭素中立(カーボンニュートラル)」と見なすことができるためである。

この考え方は、国連気候変動枠組条約の締約国が提出する温室効果ガスの排出データ目録(インベントリ)の作成でも採用されている。インベントリ作成のための IPCC ガイドラインでは、バイオマス起源の CO<sub>2</sub> は、植物体の収穫に伴って生じる森林など生態系の炭素蓄積量の変化として AFOLU(Agriculture, Forestry and Other Land Use)部門で計上することを基本としている。二重計上を避けるため、バイオマス燃焼時の CO<sub>2</sub> はエネルギー部門、産業プロセス部門、廃棄物部門のいずれにおいても計上しない。つまりバイオマス由来の CO<sub>2</sub> 排出はゼロ計上であるが、参考情報として報告が求められている。また、一年生の作物の場合は、収穫・枯死する場合と吸収が一年の間に同時に起こることから、ネットと考えれば CO<sub>2</sub> の吸収・排出は発生しないこととされ、AFOLU でも計上されない。

この方法では、バイオマス生産国において森林の炭素ストックがネットで減少した場合に、その減少量を排出量として計上するという仕組みになる。したがって、利用国が生産国の炭素ストックの増減をモニタリングする必要があるが、EU-RED ではそのような項目が持続可能性基準の中で求められている。

図表 7 バイオマスと化石燃料の炭素循環の違い



(出所)筆者作成

<sup>17</sup> 詳しくは、自然エネルギー財団(2023)「[バイオマス炭素サイクルの気候中立性 森林バイオマスの『炭素負債』論争を理解する](#)」を参照のこと。

### ③ 企業の炭素会計における議論

企業の炭素会計においても、IPCC ガイドラインに沿った国の算定と、ほぼ同じアプローチが採用されている。つまり、バイオマス燃焼からの排出はエネルギー部門の直接排出として計上する必要はないが、別途報告が求められている。一方で、企業単位のサステナビリティ全般について、サプライチェーンを特定して、上流に遡っての確認が求められるようになっており、バイオマスについても同様の傾向に向かっていることに注意が必要である。

特に、土地利用セクターの算定方法は詳細化の方向で、森林におけるグロス吸収および排出に加えて、燃料・製品の利用による排出を考慮した上で、森林生態系の炭素ストック量の増減を開示することが求められるようになりつつある。企業の GHG 排出の計上に広く用いられている GHG プロトコルは、土地セクター・除去ガイダンス(Land Sector and Removals Guidance)を策定中であり、2025 年の第 1 四半期に公表予定である。大きな方向性としては、2022 年 9 月に公表されたドラフトのとおり、グロスでの詳細な計上が求められると想定される。

SBTi では土地利用セクターのガイダンスとして、FLAG(Forest, Land and Agriculture)ガイダンスを 2023 年 12 月に更新している。SBTi のスキームで最も重要なことは、土地セクターからの排出削減目標(FLAG 目標)は、エネルギー・産業部門と独立でネットゼロを目指すことが求められている点である。つまり、FLAG 部門と通常のエネルギー・産業部門がそれぞれネットゼロを目指すことになる。バイオマスを生産する FLAG 部門では、収穫に伴い一時的に減少するバイオマス炭素量以上の吸収量が確保される必要がある。また、この方法の意味するところとしてもう一つ重要なのは、森林吸収などの土地利用セクターを利用したカーボンオフセットを、エネルギー・産業部門で利用することにも制限をかけることになる点である。

## 4. 持続可能な農林業を基盤としたバイオマス資源の調達戦略

### (1) 基盤としての持続可能な農林業

気候変動対策上、期待されるバイオマスエネルギーの今後の成長を達成する上で、もう一つ重要な視点は、農林水産業そのものも持続可能な方法に転換されていく必要があるということである。

人間の生存に不可欠な食料や木材などを供給する農林水産業であるが、実は大きな GHG 排出源になっている。例えば FAO の集計では、2021 年の農業・食料システムおよび土地関連からの GHG 排出は 16Gt-CO<sub>2</sub>eq で、排出全体の 30%を占める<sup>18</sup>。また、化学肥料や農薬を多用した現行の農業生産からは、大量の GHG が排出されるだけでなく、土壌劣化を通じて収量の低下につながっているという問題もある。そのため、それに代わるオルタナティブとして、「環境再生型農業(Regenerative Agriculture)」という概念も提唱されているところである。

環境再生型農業の具体的な取組としては、不耕起栽培や被覆植物の活用などが一般的であるが、堆肥利用や炭化させたバイオマス(バイオ炭)などを通じて、残渣系バイオマスを土壌に還元する取組も増えるだろう。土壌の生産力の維持は、バイオマスの持続可能性基準の中でも指標化されている場合が多く、農地や森林外に持ち出して利用するバイオマスの量とのバランスを考えることが大切である。

一方で、農林業残渣の多くが未利用のまま放置されたり、現場で野焼きされたりして、環境汚染の原因となっている現状も認識しておく必要がある。このような慣行的な野焼きは世界中で行われており、大気汚染の原因となって、特に途上国では深刻な健康被害を生み出している<sup>19</sup>。そのため、たとえばインドのバイオマスエネルギー利用政策では、家庭でのかまどの改良など「伝統的バイオマス利用」の転換とともに、野焼きされている農業系バイオマスの利用が企図されている。

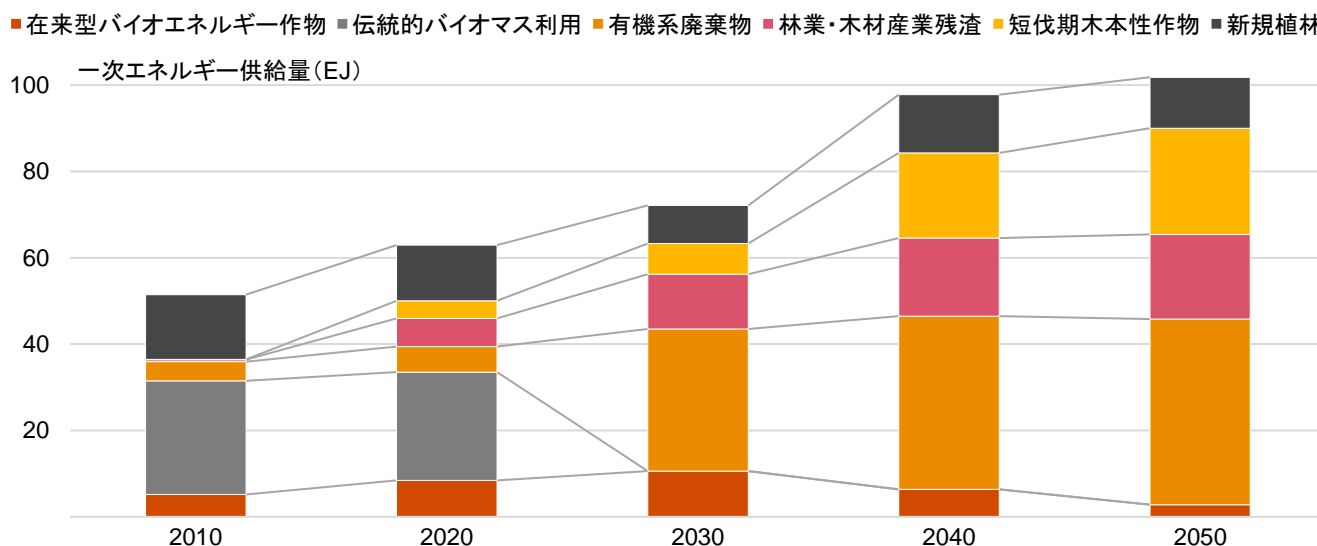
インドネシアやマレーシアのパーム農園では、20~30 年ごとのパームの木の植え替え時に、伐採された大量の古木が発生し、メタンの発生源となっていると言われている。そのため、この古木バイオマスを燃料や木材資材とすることは、気候変動上も意義がある。また、大規模な森林火災が発生している米国西部では、火災予防のために、積極的に間伐(間引き)を行ったり、現状では未利用のまま放置、もしくは野焼きされている収穫時の枝葉などの残渣をバイオマス原料として活用したりすることが検討されている。

<sup>18</sup> FAO (2022) "[Agrifood systems and land-related emissions](#)" (2025 年 1 月 17 日アクセス)

<sup>19</sup> World Bank (2022) "[Agricultural Pollution Field Burning](#)" (2025 年 1 月 17 日アクセス)

さらには、未利用の土地を使つてのエネルギー作物の栽培も実現していかなければならない。IEA のネットゼロシナリオでは、バイオエネルギーの供給源として、有機性廃棄物や林業・木材産業残渣に加えて、短伐期木本性作物<sup>20</sup>や新規植林が期待されている(図表 8)。東南アジアにおける SAF 生産のポテンシャルの研究によれば、他用途のバイオマス需要を考慮すると残渣系バイオマスだけでは不十分であり、エネルギー作物の栽培が必要であり、3%程度の未利用かつ低炭素蓄積の土地を活用すれば、供給可能という結果も出ている<sup>21</sup>。

図表 8 IEA ネットゼロシナリオにおけるバイオマス供給の予測



(出所) IEA (2021) “Net Zero by 2050” より作成

## (2) バイオマス資源の確保に向けた国際・国内調達戦略

最後に、企業が今後のバイオマスエネルギーの利用を考える場合、持続可能なバイオマス資源の確保が出発点になるという点を強調したい。バイオエコノミーと呼ばれる、エネルギー利用にとどまらないバイオマスの利用についても同様である。

これまでのバイオマス利用は、欧米や日本などの先進国が推進してきたが、ブラジルのイニシアチブで G20 でも議題化され、インド、インドネシアなどバイオマス資源が豊富なグローバルサウス諸国を巻き込んだ推進が行われようとしている<sup>22</sup>。こうしたバイオマス資源国が世界の市場やルール形成において存在感を増していくことで、バイオマスエネルギーも含めた、広い意味でのバイオエコノミーのポテンシャルを押し広げていくことが期待される。

日本としては、米国・カナダ・豪州などの先進国に加えて、東南アジアや南米などとの、持続可能なバイオマス調達に向けたパートナーシップ構築がカギとなる、オフテーカーや技術プロバイダーとして、グローバルサウス諸国とバイオマスビジネスの立ち上げに関与していくこともできる。そのためには官民連携も重要であり、化石燃料や水素・アンモニアだけではなく、バイオマス資源についても、JOGMEC<sup>23</sup>などの関与が可能になれば民間事業のリスク低減が可能になる。

加えて、近年の円安傾向や地政学リスクを考慮して、バイオマス原料の国内調達の比率を増やしていくことも検討に値する。そのためには、国内の農林業の持続的な転換に向けた投資も必要になる。見過ごされてきたバイオマスを、どのような視点で再考していくのか、そこに日本企業としての戦略性が問われている。

<sup>20</sup> IEA のシナリオで木本性植物(樹木)が例示されているのは、多年生の植物が、荒廃農地や耕作放棄地で土壌炭素の回復・貯蔵効果が期待されているためである。草本性の多年生植物でも同じ効果が期待できる。

<sup>21</sup> IRENA (2024) “[Sustainable Aviation Fuels in Southeast Asia](#)” (2025 年 1 月 17 日アクセス)

<sup>22</sup> NatureFinance and FGV-CES (2024) “[The Global Bioeconomy](#)” (2025 年 1 月 17 日アクセス)

<sup>23</sup> 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構。化石燃料などの分野において、出資・債務保証業務などを実施している。

**相川 高信**

マネージャー

PwC Intelligence

PwC コンサルティング合同会社

PwC Intelligence 統合知を提供するシンクタンク

<https://www.pwc.com/jp/ja/services/consulting/intelligence.html>

**PwC コンサルティング合同会社**

〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-2-1 Otemachi One タワー Tel: 03-6257-0700

©2025 PwC Consulting LLC. All rights reserved. PwC refers to the PwC network member firms and/or their specified subsidiaries in Japan, and may sometimes refer to the PwC network. Each of such firms and subsidiaries is a separate legal entity. Please see [www.pwc.com/structure](http://www.pwc.com/structure) for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.