

運輸部門におけるカーボンニュートラル実現に向けて

—自動車産業の脱炭素化への移行の鍵となるバイオエタノール活用—



多摩大学大学院

客員教授 藤井 敏彦

2021年2月17日

目次

はじめに	3
第1章 日本の運輸部門におけるカーボンニュートラル政策の現状	7
1-1. 日本における自動車関連産業の立ち位置.....	7
1-2. Well to Wheel で考える自動車のカーボンニュートラル政策	8
1-3. EV化で消え行く中小企業	13
1-4. 失われる日本の国際競争力.....	14
第2章 バイオエタノール活用による自動車産業や他産業の発展維持	16
2-1. バイオエタノール混合ガソリンを活用した内燃機関自動車とEVの気候変動インパクトの比較.....	16
2-2. ローカーボン・フューエルの可能性.....	18
2-3. 国産バイオエタノール製造による新・輸出産業創出.....	19
第3章 諸外国におけるバイオエタノール導入の状況	23
3-1. 米国.....	23
3-2. 欧州.....	23
3-3. アジア諸国.....	25
第4章 地産地消燃料としてのバイオエタノールとその社会的意味・経済的可能性	27
第5章 まとめ・提言	29
5-1. バイオエタノール導入目標量の増加.....	29
5-2. 直接混合方式への転換.....	29
5-3. E10義務化	29
5-4. バイオエタノール製造事業者向けのグリーン投資拡充.....	29
5-5. 究極のエコカー実現に向けた政策.....	30

はじめに

人類社会が将来世代にわたり継続的に繁栄していくため、さらに言えば人類社会の存続そのものを確保するため、解決を要する喫緊かつおそらく最も難しいグローバル課題が気候変動問題であろう。人間の活動に起因する気候の過度かつ予測困難な変動は、それ自体が深刻な環境問題であると同時に、今日世界が抱えている環境以外の様々な課題と複雑に絡み合っている。例えば人権問題について見ても、気候の大きな変動が社会において疎外され限界的な存在となっている社会的集団に対し他の集団に比してより深刻な打撃を与えることは自明である。自然災害や干ばつが貧困層を直撃し社会的経済的不平等を増幅させることはすでに多くの社会が経験してきた。したがって、こうした人権問題・社会問題の悪化を避けるためにも気候変動問題に取り組む必要がある。

しかし、実に複雑なことに、気候変動の緩和に向けた取り組みが意図せざる副作用をもたらし、人権問題・社会問題をかえって悪化させることも起こりうる。例えば気候変動への対応が必要以上に経済活動を圧迫するようなケースである。経済の悪化が最初に直撃するのは富める層ではないことも自明であろう。さらに、環境問題の枠内においても、気候変動は他の環境問題と時にトレードオフの関係にあり、既に太陽光発電や洋上風力は環境問題を引き起こしている。また、後に触れるが、電動化のための必須な資源であるリチウムの採掘は採掘地域において水資源の枯渇をもたらしつつあるのである。

このように、気候変動問題への対応を考えるにあたっては出来る限り広い視野から複眼的な思考をすることが求められる。いかなる対応策であっても程度の差こそあれながしかの社会的・環境的な副作用を伴うと考えておくべきであり、そうである以上気候変動対策が社会に強い負荷はできるだけ幅広く分散し、負担が特定の社会集団や環境問題に集中することを避けることが賢明である。ここではこれを気候変動対策の「重層化・多様化」と呼ぶ。言い換えれば気候変動への対処のための一つの決定的な解決策は残念ながら存在しないということである。様々な措置の組み合わせを、重複投資を恐れずに、実施していかなければならない。

米政権の交代によって地球温暖化に関する政治的構造は急速に変化することが予測され、世界的に脱炭素の機運が改めて高まっている。日本国政府は菅政権発足直後に 2050 年カーボンニュートラル実現を宣言し、米国においてもバイデン大統領が就任当日にパリ協定に復帰する大統領令に署名したほか、中国は 2060 年カーボンニュートラルにコミットすることを表明している。環境問題で世界を先導してきた EU は既に 2019 年に、2050 年におけるカーボンニュートラル実現を目標として掲げていた¹。フォン・デア・ライエン欧州委員長にとって気候変動対策は EU の存在意義をかけた看板政策である。このように日本、米国、EU そして中国が足並みをそろえたことで脱炭素社会に向けた大きな政治的潮流が生み出されており、このうねりは産業界を脱炭素に向けて突き動かしていく大きな力となりつつある。それは日本でも既に顕著である。石炭コークスを使う伝統的な高炉製鉄に強く拘り、それ以外

¹ European Commission, 『A European Green Deal』 (2019 年 5 月)

の製鉄方法について少なくとも対外的には否定的であった日本の大手鉄鋼メーカーが、政府の2050年カーボンニュートラル宣言をうけて水素還元製鉄や電炉製鉄への取り組みを発表したことは、産業界が行動変容を余儀なくされている状況を如実に示すものであった（日本のメーカーは、水素還元製鉄と電炉による製鉄を環境に優しい製鉄として規定したEUのタクソノミーの原案に難色を示していた）。

とりわけ注目したいことは、外野から見る限りではあるが、日本政府自身の政策発想が転換したと思われることである。日本社会全般について言えることであるが、日本は野心的な目標を外に向かって公言することを避ける傾向が強い。「目標」というものの捉え方が国際社会の中では特異的に「まじめ」である結果だ。掲げた時点で既に実現の見通しがついている目標しか掲げないというのが一般的な行動パターンである。先の鉄鋼業界によるEUタクソノミーへの反対もそのような文脈におけば予期された行動パターンである。つまり目標は「現実的」であることがなによりも肝要であるとされる。そして「現実的」目標の野心のレベルは当然低いものとなる。これが国際社会で「日本人の語ることは信頼できるが（世界をけん引するような）魅力がない」などと言われたりする一つの理由である。

しかし、今般の2050年カーボンニュートラル実現を国際公約としたことは従来型の行動から明らかに非連続的であり大きな跳躍をしたように見える。実際、当時総理補佐官として2050年カーボンニュートラル宣言を強力に推し進めた今井尚哉氏（現キャノングローバル研究所研究主幹）は同研究所の「脱炭素社会への船出～期待と不安の中で～」と題したコラムの中で、宣言の後「出来もしないことを何故軽々に言うのか。日本経済を衰退させるだけだ」との声が寄せられたと語っている。つまり2050年カーボンニュートラルが可能であるかどうか衆目は一致していないことは重々承知の上で、今井氏の言葉を借りれば「果敢に打って出た」のである。この点に留意しておくことはカーボンニュートラル実現に向けた具体的政策を考える際に非常に重要である。なぜならば2020年10月のカーボンニュートラル宣言の後、同年12月に発表された「グリーン成長戦略」施策の性格を誤解しない（不当な批判を向けないと同時に金科玉条がごとく扱い思考停止に陥らない）ことを可能にしてくれるからである。同戦略に掲げられている内容の多くはおそらく（良い意味で）目標から逆算して作られたものであると見受けられる。従来の手堅い「実施が決定されている措置の積み上げ」で構成された既定路線の戦略とは異質である。唱えられている様々な施策の多くは実現への確実な道筋が付けられたものでは必ずしもない。一例を挙げれば、同戦略中、洋上風力にかけられている期待は足元の状況だけで考えればあまりに過大ではないかと懸念する向きは当然あるであろう（繰り返しになるがそのことを批判することには意味がない）。同戦略はむしろ2050年カーボンニュートラルを実現するために一定のシナリオを基に描き出された乗り越えるべき「ハードル」のリストとしての性格が濃い。日本政府がパリ協定の2030年中間目標を変更しなかったことに批判もあるが、筆者は2030年目標を改訂しなかったことはかえって良かったのではないかと考えている。わずか10年後の目標であれば必ず伝統的積み上げ思考になることが避けられないからである。

そして、日本が画期的にある意味「目をつぶって跳躍した」2050年カーボンニュートラル目標は、その性格ゆえに実現に向けた道筋は可塑的なものである。政府は目標実現を裏打ち

する施策を昨年12月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」として打ち出した。

同戦略は冒頭次のように述べている。

「温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、成長の機会と捉える時代に突入したのである。従来の発想を転換し、積極的に対策を行うことが、産業構造や社会経済の変革をもたらし、次なる大きな成長に繋がっていく。こうした「経済と環境の好循環」をつくっていく産業政策が、グリーン成長戦略である」

実に将来指向的かつ野心的な姿勢であるが、個々の施策及びその全体パッケージは、一定の前提のもとに2050年カーボンニュートラルを実現するためのひとつの道筋でしかなく、他にも様々な道筋、様々な可能性を追求しなければならない。カーボンニュートラル実現に向けての道筋は政府のみならず日本の社会全体で考えていかなければならず、これから30年の間に多くの現時点では予見できない出来事が起こるであろうことを考えれば、2050年カーボンニュートラル実現のための取り組みは「グリーン成長戦略」が語る措置で絶対的に尽くされるものではないだろう。

例えば：

- 5年後に運輸部門の電動化を支えるだけ十分なリチウムが賦存しないことが明らかになったとすればどうだろう？
- 経済社会全体の2050年の電力需要は現状から30～50%増加すると同戦略は見込んでいるが、同時に100%再エネで賄うことは困難であると認めている。仮に原子力や火力発電が想定された発電量を供給できなかったとしたらどのような代替策が必要になるのだろうか？

このように想定と異なる事態が生じる場合はいくらでも考えられるし、実際に起こりえる。そして別のシナリオにおいては別の措置なりバックアップの措置が必要となる。さらに本質的には、仮に大きな状況変化が無かったとしても、「グリーン成長戦略」の全ての措置が成功する、もしくは実現する保障はどこにもない。それはグリーン成長戦略に「問題」があるからではなく、目標をまず定め実現のための方策はその後考えるという、国際社会一般では常識的なバックキャストイングの手法を用いたことに伴う必然的で不可避な結果である。日本が人類喫緊のグローバル課題の解決に貢献するためにはそうせざるを得ないし、そうすべきであった。とにもかくにも日本はまず「跳んだ」のであり、その意味は極めて大きい。日本の決意を世界に発信できた価値は想像を超えて大きく、もし日本がこのタイミングで脱炭素を打ち出せていなかったとしたら、日本を頭越しに米中欧が連携し日本の国際的プレゼンスが決定的に傷ついていた可能性は十分にあった。日本的積み上げ思考からの脱却が日本を救ったと言っても過言ではないだろう。同時に、それがゆえに日本社会は、現時点で政府が描いた処方箋の枠にとどまらず、時にそれを超えて考えていくことが必要である。バックキャストイングから導き出される対応は少し前提を変えると随分違うものになるのである。高い不確実性と低い予見可能性を特徴とする現代社会において政府が掲げた国際公約実現に

資するためには、政府のみならず日本社会のすべてのアクターがそれぞれ取り組みを考えていかなければならない。本稿は、そのほんのささやかな取り組みの一例にすぎない。

以下本稿では、カーボンニュートラル実現の上で大きな柱となる運輸部門に焦点を当てる。運輸部門は二酸化炭素排出削減に大きな役割を果たさなければならないと同時に日本の経済の大黒柱でもあり、カーボンニュートラルに向けた施策は経済面で人々の暮らし向きに大きな影響を与えるからである。

第1章 日本の運輸部門におけるカーボンニュートラル政策の現状

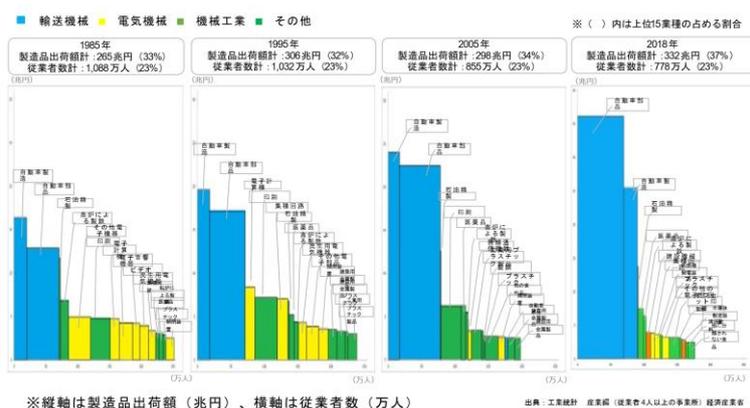
1-1 日本における自動車関連産業の立ち位置

グリーン成長戦略は自動車について以下のように述べている。

「遅くとも 2030 年代半ばまでに。乗用車新車販売で電動車 100%（電動車は電気自動車、燃料電池自動車、プラグインハイブリッド自動車、ハイブリッド自動車の 4 タイプ）を実現できるよう、包括的な措置を講じる。商用車についても。乗用車に準じて 2021 年夏までに検討を進める」

ここではまず運輸部門、とりわけその中心である自動車関連産業の経済的な位置づけを確認しておこう。

製造品出荷額（細分類）の上位 15 業種の変遷をみると、一貫して輸送機械が牽引。2000 年代に入るとその傾向がより顕著に。



図表 1 工業統計 産業編（従業員 4 人以上の事業所）（出典：経済産業省）

図表 1 が示すのは 1985 年から 2018 年に至るまでの 10 年単位（1985、1995、2005、2018）でとらえた日本の製造業の変遷である。縦軸に年間出荷額、横軸に従業員数をとっている。ひとつの産業はひとつのブロックで表される。面積は出荷額×従業員数を表す。「面積が広ければその分、その産業の経済全体における比重が大きい」と考えてよいだろう。製造産業分類のうち出荷額の上位 15 を出荷額順に並べてあるため、この図表は全産業を表すものではなく出荷額の大きい主要な国内製造業を表すものである。色分けであるが、青は自動車産業である。自動車製造業及び自動車部品製造業が該当する。黄色は電気電子産業で、半導体等いくつかの産業が該当する。それ以外の産業は緑色となっている。

一目して明らかなことはまず、青、つまり自動車製造業及び自動車部品製造業の拡大である。1985 年当時において最大の出荷額を誇ったのは自動車製造業（自動車の最終組み立てを行うトヨタなどの自動車会社が該当する）であり、続いたのが自動車部品製造業であった。両社の大小関係は 2018 年に逆転する。これは完成車の海外生産が拡大した結果その分国内

での完成車の製造が抑制される一方で、エンジンやギヤボックスなどの基幹部品が国内から海外工場に供給されたことを背景としている。いずれにしても自動車関連製造業は総体として順調に成長を遂げ続けてきた。

もう一つ、一見して明らかかなことがある。それは黄色、つまり電気電子産業の長期的な衰退である。1985年には例えば家庭用VTRという単一の商品が一つの産業として大きな位置を占めていた。半導体もしかりである。かつて日本は「電子立国」を標榜したが、今日の産業構造を見る限り昔日の面影はない。その結果、日本の製造業の構造は極端なまでに自動車に依存した特異なものとなっている。

さらに、自動車依存の状況は、この図表から得られる視覚的な感覚よりも実際はさらに深刻である。自動車に使用される他の部品、材料、例えば電子部品やボディ用の鋼板はいずれも自動車部品には分類されていない。それぞれ電子部品製造業であり、鉄鋼製造業である。もしこういった自動車に使われている一方で自動車関連産業に分類していないものを青で塗ったならば青はさらに大きくなる。そして自動車依存は製造業に限った話ではない。地方にいけば多くの場合地方を支えている産業基盤は自動車関連の工場であり、飲食業（外食のほか弁当屋などのいわゆる「中食」含む）から金融機関まで様々なサービス産業が程度の差こそあれ自動車産業に依存して成立している。日本の経済的健全性は何を置いても自動車産業の健全性にかかっているのである。

自動車に代わる製造業は模索され続けており、航空機製造業や医療機器製造業などが候補に挙がってきたが、思わしい進展はみられていない。そもそも「単価が200万円を超えるような価格で、かつ一家に一台ないし複数台ある」ような新規のモノはなかなか想像がつかない。日本は事実上電気電子産業を失った。同じことが自動車産業に起きる可能性は決して低くないのである。この現実から目を背けることはできない。

1-2 Well to Wheel で考える自動車のカーボンニュートラル政策

(1) 電動車100%の方針を打ち出した政府

グリーン成長戦略は自動車について二つのことを述べている。

- ・2030年代半ばまでに乗用車販売で電動車100%にすること
- ・2050年に自動車の生産、利用、廃棄を通じたCO2ゼロを目指すこと

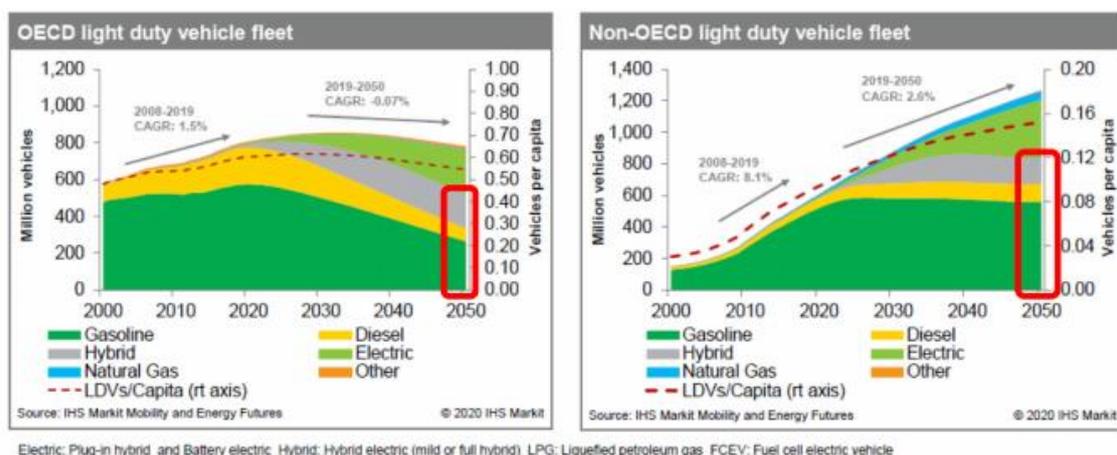
あくまで最終的に実現すべきは2050年の自動車ライフサイクルを通じての脱炭素である。しかるに、中間目標たる2030年半ばまでの新車の電動化は、最終目標であるところの自動車ライフサイクルCO2ゼロに照らして評価される必要があるだろう。もちろん車の電動化は世界的潮流であり、EVという成長産業で日本が後れを取らないように然るべき産業政策をとることになら異存はない。モーターや電池における技術革新への取り組みの重要性は強調してもし過ぎることはないだろう。したがってEV技術開発政策は推進されるべきである。

しかし、ここで考慮しなければならないことがいくつかあり、本章では特に環境面について考えたい。まず、気候変動問題への対処のうえでの考慮点である。仮に目論見とおり2030

年代半ばに販売される新車の全てが電動車になったとしても、それまでの間は相当数のガソリン車が販売されることになる。また、新車販売が完全に電動車に切り替わってもそれ以前に販売されたガソリン車（「既販車」などと呼ばれる）は当分使われ続ける。さらに、政府の言う「電動車」の定義にはハイブリッド車が含まれている。ハイブリッド車は海外では一般に内燃機関自動車に分類されることが多い。つまり 2030 年代半ばにおいても、燃料を燃焼させることで駆動力を得る内燃機関自動車が新車として販売されることを意味する。

さらに、商用車の問題がある。商用車についてグリーン成長戦略は「2021 年夏までに検討を進める」として結論を先送りした。同時に「（商用車は）ユーザーのコスト意識や車体設計上の制約が厳しい」、「（商用車は）電動化のハードルが高い」と記述がなされており、商用車の電動化が乗用車よりも困難であると考えていることが伺える。

IHS マークイットが示す将来の車両構成予測では、2050 年においてもガソリン、ディーゼル、ハイブリッド車の内燃機関車は相当数使用されているとされている（図表 2）。



図表 2：将来の車両構成予測(出典：IHS マークイット)

EV 化は車の用途や関連インフラの整備状況など様々な要因の関数となる。このような背景もあり一般社団法人日本自動車工業会は CO2 削減のための燃料に関する取り組みの必要性を訴えている²。

(2) EV 化に向けた課題

(ア) 充電インフラの不足

全国に現在急速・普通充電（公共用充電基）は合わせて約 30,000 基存在（2019 年時点）する³。EV・PHEV 1 台あたりの充電器数としてはわずか 0.10（基/台）⁴であり、極端に充電インフラが不足していることが分かる。その上、集合住宅への充電器の設置は 1%未満に留まり、既設マンションでは限られた駐車場スペースや限られた電気容量の問題、導入時の補助

² 日本自動車工業会、『自動車用燃料への期待～再生可能エネルギー～』（2020 年 12 月 3 日）

³ 経済産業省、『2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた検討』（2021 年 1 月 27 日）

⁴ 同上

金の煩雑さ、さらには受益者負担による導入後の運用など、課題が多く存在している。例えばタワーマンションの立体駐車場では車を出すだけでも相当な時間がかかっている現実を考えるに、充電インフラを装備することの困難さ、さらにそのコストを住民が負担できるかどうかについては慎重な検討を要するだろう。

充電時間の問題も看過できない。急速充電（20～50kW）を使用しても充電に30分～60分程度の時間がかかり、実際、高速道路の海老名SA等では土日に急速充電の渋滞待ちが発生することが報告されている⁵。全面的EV化のためにはこれらの問題が解消されなければならないが、そのためには社会的に大きなコスト、国民的負担が生じる。負担できる社会的コストには一定の限界があることを考えれば実際にはインフラの整備状況によってEV化は「まだら模様」になるだろう。例えば、充電器設置に適した戸建て住宅とその反対にある超高層マンションではEVへの需要という点でかなりの差が出るだろうことが予測される。一律に全EV化が合理的な選択かどうかは必ずしも明確ではない。

（イ） 航続距離

また、EV特有の問題として航続距離の問題がある。EVの航続距離は約300～500kmであるが、これはEVの用途の制約につながる。長距離の重量貨物、トラック、バス、商業用車両ではEVの活用のハードルは高い。新しい技術はそれにあつた需要を生み出すが、親和性の低い需要には届かない。航続距離という制約を考えればEVはあらゆる運輸形態に関する要請を満たすものとは現段階では言い難い。

もちろん、電池の容量を大きくしていけばそれに応じて航続距離は伸びる。しかし、「EVを購入するとは電池を購入するようなものだ」と言われるとおり、電池はEVのコスト構造のなかで大きなウェイトを占めており、電池容量の大きな高額な電池を搭載したEVは当然相当な高額商品となる。さらに容量の大きな電池は当然のことながら充電時間が長くなる。

ひとつ興味深い例を紹介したい。世界的にAmazonなどのeコマースが成長している。増大し続ける需要に応えるため例えば米国では巨大な配送センターが各地に続々と作られている。配送センターでは24時間無数のフォークリフトが動き回っているが、基本的に閉鎖空間であるため排気ガスを減らしたい。このフォークリフトのEV化が試行されたが、連続稼働時間（＝航続距離）の短さ、充電時間の長さ、それを補うために予備電池を置こうとしたが、その場合必要となるスペースが大きすぎるため結局EV化は進まなかった。

航続距離と充電時間の点におけるEVの限界についてあらかじめ認識をしておく必要があるであろう。もちろん、画期的技術革新でこのような問題が解消する可能性は否定できないが、それは起こるかもしれないし起こらないかもしれない。少なくとも現時点で当然の前提にはできないだろう。

（ウ） 車両価格

EVの普及を妨げている大きな要因はその価格の高さである。同格の内燃機関自動車に比べ

⁵ 経済産業省 次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会、（一財）電力中央研究所による講演資料『EV普及拡大の期待と課題』（2019年7月16日）

て、1.5～2 倍の価格（EV/PHV は 300 万円～、FCV は 700 万円～）⁶となり、補助金や減免税を合わせても、まだまだ消費者には手が届きにくい価格となっている。先に述べたとおり車両価格の半分近くを占めるのは電池コストである。公共交通機関の限られる地方において乗用車、特に軽自動車は社会的交通インフラの主力となっていることは地方に行けば一目瞭然である。軽自動車は販売価格と維持費の安さを背景に国内で 3000 万台以上保有され、新車販売の 3 割以上を占める⁷。電池価格低減による車両の低価格化、また電池の寿命そのものが十分に長いものにならない限り、全国的普及には限界があるのではないだろうか。

（エ） EV 化による環境負荷の増大

上記のとおり、車両価格やエネルギーコストが既存技術と比べて高く、充電時間の長さや航続距離など社会受容の拡大の観点から課題が山積している一方で、もう一つの論点は EV 化がもたらす環境上の負荷である。EV 化はおそらく電池の原材料としてのリチウムに対する需要を爆発的に増大させる。他方、リチウムの産出は環境的にもまた社会的にも非常に大きな負荷を産出地域社会に与えている。社会経済学者の齋藤幸平氏は次のように述べている。

「現在、ガソリン自動車が世界中で膨大な二酸化炭素を排出しているのは間違いない。だからこそ低炭素車両を導入する緊急性はたかい・・・。（中略）ここで鍵となるのが、2019 年に吉野彰がノーベル化学賞を受賞したあとで日本でも注目を浴びたリチウムイオン電池である。スマートフォンやノートパソコンだけでなく、電気自動車にもリチウムイオン電池が不可欠であるが、このリチウムイオン電池の製造にはさまざまなレアメタルが大量に使用される。まずは、当然リチウムが必要になる。リチウムの多くはアンデス山脈沿いの地域に埋まっている。そしてアタカマ淵源のあるチリが最大の産出国である。リチウムは乾燥した地域で長い時間かけて地下水として濃縮されていく。それゆえ塩湖の地下から、リチウムを含んだ鹹水をくみ上げ、その水を蒸発させることで、リチウムが採取されるのである。いってみれば、リチウム採掘は地下水のくみ上げと同義である。問題なのはその量だ。1 社だけでも、1 秒あたり 1700 リットルもの地下水をくみ上げているという。元来乾燥した地帯における、そのような大量の地下水のくみ上げは、地域の生態系に大きな影響を与えざるを得ない。例えば、鹹水に生息しているエビを餌にしているアンデス・フラミンゴの個体数が減少しているという。さらに、急激な地下水のくみ上げが、住民たちがアクセスできる淡水の量の減少を引き起こしている。要するに、先進国における気候変動対策のために、石油の代わりに別の限りある資源が、グローバル・サウスでより一層激しく採掘・収奪されるようになっているに過ぎない。」

「次にコバルトもリチウムイオン電池に不可欠である。ここでの問題は、コバルトの約 6 割がコンゴ民主共和国というアフリカで最も貧しく政治的・社会的にも不安定な国で

⁶ 経済産業省、『2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた検討』（2021 年 1 月 27 日）

⁷ Bloomberg、『EV 化で軽自動車に価格上昇の危機、「国民車」の衰退を業界は警戒』（2021 年 2 月 1 日）

採掘されているという事実だ。それにくわえて劣悪な労働条件の問題もある。コンゴ南部では・・・（中略）・・・奴隷労働や児童労働が蔓延している。ノミや木槌のような原始的な道具を用いて、手作業で、コバルトの採掘に従事しているのだ。そのなかには、6～7歳程度の子供もおり、賃金は一日あたりわずか1ドルほどだという。そして、危険なトンネルでの採掘作業は安全装備も十分ではない。地下で過ごす時間が24時間に及ぶことも多々あり、有害物質を吸い込みながらの作業は呼吸器や心臓、精神の疾患といった健康被害も引き起こしている。最悪の場合には、作業中の事故で生き埋めになる。子供の死傷者もでていと国際的に非難されている。」

また当然のことながらリチウムは有限な資源であり賦存量の限界が存在する。全面的なEV化を支えることができるかどうかは予断できない。次世代電池として全固体電池に期待が集まっており、従来型の液体リチウムから固体リチウムに変わることによって安全性等が飛躍的に向上するが、リチウムを原材料とする電池であることの本質は変わらない。つまり、EV化推進にあたっては、商用車のようにユーザーサイドの問題に加え、EVの生命線である電池についての供給サイドからも限界に直面する可能性があるのである。この点で電池への負担が小さいハイブリッド車を「電動車」に加えたことは賢明であった。そして言うまでもなくそのことは、自動車に関するCO2削減対策には、電動化一本やりではなく燃料面での取り組みも不可欠であることを意味する。「はじめに」で述べたとおり脱炭素に向けた対策メニューには一つの措置（電動化）に決め打ちするのではなく措置の多重性・多様性が不可欠なのである。

（3） 必要なのは内燃機関燃料のカーボンニュートラル化

自動車に関する脱炭素施策の柱が電動化であるにしてもそれだけでは不十分であり、内燃機関から排出されるCO2量の削減が同時に追求される必要がある。より踏み込んで論じれば、後に詳述するとおり、2050年の自動車に関する生産から廃棄までの全過程におけるゼロカーボンを実現するためには、電動化は本来「次善の策」に過ぎない。最も効果的な対策はすべての乗用車及び商用車をカーボンニュートラル・フューエルで走る内燃機関自動車とすることである。その大きな要因はEVの生産と廃棄にかかるCO2排出量の多さである。人類喫緊の課題にとってもし最善の策をとるならば、それは燃料の脱炭素なのである。燃料の革新はバイオエタノール等のローカーボン・フューエル、そして最終的にはカーボンニュートラル・フューエルの姿をとる。既に大手自動車メーカーが合成燃料の研究開発に着手しているほか、エンジンの側においても、マツダの新型の次世代ガソリンエンジン「SKYACTIV-X」は将来のローカーボン・フューエルさらにカーボンニュートラル・フューエルを効率よく燃焼させる技術に発展可能なエンジンとして開発されている⁸。カーボンニュートラル・フューエルが実際の使用の用に供されることになれば、気候変動問題の緩和策としてEVを上回る貢献となることは強調してもし過ぎることはないだろう。

⁸ StartYourEnginesX、『マツダ3 インタビュー① 中井英二さん×清水和夫【エンジニアインタビュー】』（2021年2月9日視聴）

1-3 EV化で消え行く中小企業

先に日本の経済に占める自動車関連産業の大きさについて述べたが、地方に行けばそれはさらに明確になる。実際、地方経済を支えている中小企業の相当程度が自動車部品関連の工場であり、さらに新分野に果敢に挑戦している中小企業の多くも自動車関連の仕事で技術を培ってきた企業である。ある中小企業の社長が筆者にこう語った。

「当社ではエンジン関係の小さな部品を月産100万個以上生産しています。おかげ様でこれまで順調に伸びてきましたし品質には絶対の自信があります。ただ、もし現在当社のエンジン部品が使われている車種の後継モデルがEV化したらその瞬間にすべての仕事がなくなります。全従業員が露頭に迷うことになります。もちろん我が社のような中小企業には事前の相談など来ません。通告されるだけだと思います。考えただけで夜も眠れなくなります。」

EV化で消えゆく中小企業の多くはこの会社もそうであるが、地域経済の核となり地域の社会を支えているような企業である。あるアナリストの試算によると、2030年に新車販売に占めるEVの比率が25%、HVが50%になると、国内の部品メーカーの雇用が2.2万人減少する。もしEVとFCVのみになると仮定すると、最大で20万人、部品出荷額は3割近く減少すると見られている。⁹EV化は間違いなく現在の日本の産業構造を崩してしまう。慶應義塾大学大学院経営管理研究科の岩本隆特任教授はその影響を図表3のように分析している。



図表3：EV化による日本の産業構造への影響

(出典：慶應義塾大学大学院経営管理研究科の岩本隆特任教授、『地球温暖化対策と経済成長との両立に向けた一考察—日本の基幹産業である自動車産業を中心に—』

(2018年6月4日) 内での分析内容)

EV化がもたらすこのような地域経済への影響をどう考えるべきであろうか。EVが、気候

⁹ 日本経済新聞、「車大手「HVは残して」政府へアピール、除外回避 供給網衰退に危機感」(2020/12/4)

変動問題という人類存亡がかかった問題への唯一の解であるならば、いかなる犠牲もやむをえないかもしれない。しかしその前提はおそらく正しくない。運輸部門の脱炭素の方策としてEV化は唯一の解ではない。そうであればなぜ多くの中小企業、そして地域経済が犠牲にならなければならないのか。

議論は3つある。まずライフサイクル、つまり所要の鉱物資源の採掘から車の廃棄まで及びその主要部品の生産から廃棄に関わるステージ全体において排出されるCO₂量と内燃機関自動車のそれとの大小関係の問題。2つ目は「燃料の脱炭素」という解の現実性の判断、そして3つ目はEV化がもたらす副次的環境負荷の問題である。

1-4 失われる日本の国際競争力

太陽光パネルについて起こったことを想起してほしい。再生エネルギーの切り札として太陽光発電が脚光を浴び、政府は、太陽光パネルによって発電された電力を優遇された固定価格で買取ることを東京電力など主要電力各社に義務づけた。太陽光発電パネルはかつてシャープ株式会社をはじめとする日本企業の独壇場であったが、量産による低廉な価格を武器にいつしか市場は中国製品に席捲されるようになる。欧米でも同じことが起こり、現在安全保障上の深刻な問題となっている。

しかるにEVである。そもそも日本の競争力は高くなく、日本の自動車メーカーは中国企業とEVの合弁企業を作っているほどである。その背景は、電池技術で太刀打ちできなかったからと言われており、EVの生産台数からみても日中には雲泥の差がある。

エンジン製造技術については、精緻な微細加工が求められるため中国はついに日本との差を埋めることができなかった。しかし、EVはエンジンの代わりに電池とモーターの組み合わせになる。もちろん技術的な課題は多々あるが、それは主に制御に関するソフトウェアの技術であり、少なくとも微細加工技術の問題ではない。ソフトウェア技術であれば中国は決して侮れない。明らかに、中国のEV推進はこの点に着目した産業政策の色彩が濃い。つまり、エンジンのない自動車をデファクト標準にすることによって、日本の自動車産業の強みを無化し、競争上の優位を狙う、という極めて合理的な産業政策である。日本は中国が作り出した新しいゲームのルールの上で勝負するべきなのだろうか。

各国は自らの強みが活きるゲームのルールを作りだす。日本の自動車産業にとって強みが活きるルールとはどのようなルールだろうか。当然そのルールは気候変動問題の解決に資するものでなくてはならないが、それは端的に言えば、気候変動問題対応した内燃機関自動車をデファクトにするようなルールである。少なくとも世界の市場においてEVと並んでそのような内燃機関自動車を受け入れられるようなルールである。既に見たように内燃機関自動車こそ日本の経済力の源泉であり、運輸部門産業の国際競争力は無視できる問題ではない。本来目指すべきは、気候変動問題への対処を梃としてこの競争力をさらに伸長させる、そういったルール形成である。

日本は既に、かつての主力産業のひとつ電気電子産業の太宗を喪失した。その過程の痛み小さなものではなかったが、幸いなことに一定程度自動車産業の成長によって相殺された。実際、地方で活況を呈している工場の少なからずは、かつて電気電子産業に向け部品を製造

していた企業である。それらの企業は電気電子メーカーから自動車メーカーへ顧客を変えることによって存続しえたが、自動車の先には乗り換え先が見当たらないのである。このような状況の中、EV 一辺倒な国際的・国内的な政策の動きに、世界の自動車産業が危機感を表明し、打開策として内燃機関燃料革新に取り組んでいる。

自動車業界のビジョン・提言

8

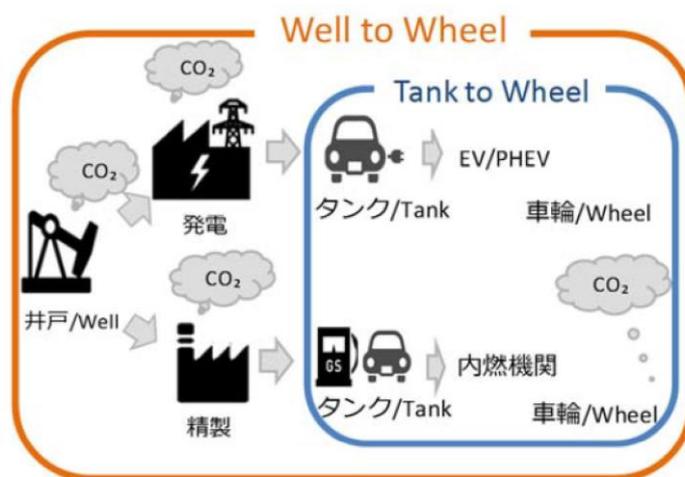
発行機関	名称	燃料に関わる記述
ACEA 欧州自工会	欧州Green Dealに対するACEA Position Paper 10の提言 (2020)	ZEV、 低炭素燃料 、ICEのエンジン効率改善の開発支援・ゼロ/低エミッション車だけでなく 内燃機関の効率改善 、 低炭素燃料の研究開発へのサポートが必要
VDA 独自工会	石油産業の長期低炭素ビジョン (2020)	2050年環境目標を達成するには、電動化だけでなく 低炭素燃料（再生可能燃料）の利用が必要
JAMA 日本自工会	地球温暖化対策長期ビジョン (2020/3)	内燃機関の脱炭素化もCO2削減手段の一つであり、カーボンフリーとなるバイオ燃料や合成燃料の将来的な活用を視野に入れて内燃機関の高効率化と新燃料対応に取り組む
Audi	e-gas実証	CO2削減コストを考えると一番効果的なe-gasの優れた点を実証
Ford	Sustainability Report 2020	ガソリン/軽油の改良、バイオ燃料/e-fuelの活用が期待される

図表 4：自動車業界のビジョン・提言（出典：日本自動車工業会、『自動車用燃料への期待～再生可能エネルギー～』（2020年12月3日）より抜粋）

第2章 バイオエタノール活用による自動車産業や他産業の発展維持

2-1 バイオエタノール混合ガソリンを活用した内燃機関自動車とEVの気候変動インパクトの比較

バイオエタノールはガソリン、ディーゼル車・ハイブリッド車の排出CO₂削減策として注目されている。まず、ガソリン車、ディーゼル車、HVとEVの四車種の総CO₂排出量を比較しよう。まず、比較方法としてWell to WheelとTank to Wheelの二種類を理解しておこう。図表5は経済産業省資料である。



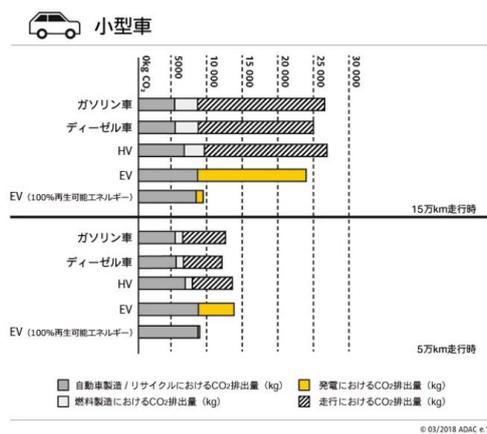
図表5 Well to Wheel と Tank to Wheel の概念図
(出典：経済産業省)

Tank to Wheel はわかりやすい。内燃機関車であれば走行中に排出するCO₂量がTank to Wheelの排出量となる。EVであれば電池に充電してから走行中に排出するCO₂量となる。この二つを比べれば当然のことながら圧倒的にEVのCO₂排出量が少ない。EVのTank to WheelでのCO₂排出量は基本的にゼロである一方、内燃機関自動車は走行しながらガソリンなり重油を燃焼させるので当然CO₂を排出する。

ただ、この比較はEVと内燃機関自動車との気候変動へのインパクトを必ずしも正確に比較したものではない。経済産業省の図表5が示すとおり、EVの電池に充電される電気は何らかの電源で発電され送電線を通じて充電ステーションまで運ばれてきたものである。送電過程でも電力は相当部分が損耗する。さらに、発電所において発電タービンを回すための燃料として石炭や液化天然ガスが使われている場合は、発電時のCO₂排出のみならずその石炭の採掘や天然ガス産出のために排出されたCO₂も考慮しなければならない。もちろん石炭や天然ガスは海外から船舶で輸送されてくるわけだが、輸送過程で発生するCO₂もEVに帰責されるべきなのである。つまり採掘を象徴するWell (油井)からはじまって車の走行まで発電用資源採掘、発電から走行までEVの関わる全ステージでのCO₂排出量を総計する考え方がWell to Wheelの考え方である。

この観点からみると、Tank to Wheelで見られたEVの圧倒的優位性が実は局所的比較に

よる誤解を招きかねない評価であることがわかるだろう。もちろん、公正を期するためには内燃機関自動車についても Well to Wheel に基づく CO2 排出量を考える必要がある。内燃機関車の燃料は油田での原油採掘、その後原油からガソリンとなり重油への精製プロセスを経るため、採掘、精製の各プロセスで CO2 を排出させることは明らかである。したがって内燃機関自動車の Well to Wheel の排出量は、それらに走行時の排出量を加算したものになる。ドイツ自動車連盟が作成した小型車の総 CO2 排出量を見てみよう。もちろん Well to Wheel の値である。15 万キロ走行時と 5 万キロ走行時の 2 つのパターンで算出されている。



図表6 小型車における総CO2排出量
(出典：ADAC (ドイツ自動車連盟))

日本の自家用車の場合、5万キロ走行のケースで比較するのが使用実態に近いだろう。その場合、最も総CO2排出量が多いのがハイブリッドとEVであり、ついでガソリン車、そしてディーゼル車となっている。この、やや直感と異なる結論の大きな要因は、製造及びリサイクル段階で、EVは他の車種よりも有意に大きなCO2を排出するからである。15万キロ走行時の値を見てみるとガソリン車、ディーゼル車、そしてハイブリッドのCO2総排出量がEVのCO2総排出量を上回るが、これは走行時にCO2を排出する内燃機関自動車の場合、長距離を走れば走るほど製造及びリサイクル時の排出量の小ささが走行時の排出量によって帳消しになるためである。しかし、その差はいずれにしてもそれほど大きなものではない。

もっとも、走行に必要な電気が全て再生エネルギー源で賄われた場合にはEVは走行時のCO2排出量がゼロになることから、ハイブリッドやガソリン車に比べ優れた環境特性を示す。これは走行距離に関わりなく言えるが、とりわけ使用期間中に長い距離を走った場合に顕著である。

ここから3つの結論が導き出される。EVが気候変動に対して最も有効な手立てであるかどうかは状況依存的である。第一に、走行に使われる電力の発電時のCO2排出量である。第二に製品寿命を通しての走行距離である。長ければ長いほどEVは気候変動に与える影響が相対的に小さくなる(もちろん、これはある種の矛盾をはらんでいる。いかなる自動車であれ走行距離が長ければ長いほど全般的に環境により良い影響を与えることなどありえない。そもそも気候変動を考えれば総走行距離を短くすることをまずは考える必要がある。関連し

て製品寿命という場合車本体のみならず搭載されている電池の寿命も問題となる。車載電池がどの程度の走行距離まで持つのかはまだ明らかではない。車自体はもつが、ただ途中で電池の入れ替えが必要であるとすれば入れ替え用電池の製造時に追加的にその分 CO2 が排出される。

また、走行距離については実は EV は長期走行に適する技術ではないことも留意しておく必要がある。長距離走行車といえば主に商用車が想定されるが、稼働時間の長さのため充電に長時間を要する電動化は適さない。EV の特性が活きる分野では長時間の充電時間という EV の特性が壁となって EV 導入を難しくしているという点も考慮を要するだろう。

第三に、ドイツ自動車連盟の調査が示すように、もし走行時の CO2 排出をゼロにするかもしくは大幅に抑制できれば、最も環境に優しいのは EV ではなく内燃機関自動車であるということである。内燃機関自動車は製造及びリサイクル時の CO2 排出量が EV に比べて小さいため、走行時の対策が可能であれば気候変動の観点から最も望ましい選択となる。EV よりも気候変動に対して影響の小さい選択となるのである。

2-2 ローカーボン・フューエルの可能性

前述のとおり、走行距離の長短に関わらず気候変動に最も望ましいのは、CO2 排出量を十分に抑制した燃料で走る内燃機関自動車である。しかも内燃機関自動車の製造は日本の産業の強みを活かすことができ、また製油所と全国のガソリンスタンドのネットワークという既存のインフラを活用できる点で社会的コストも小さい。言うまでもなく地方経済の柱である自動車部品関連産業の成長も可能にする。もちろん、CO2 排出量を大幅に抑制した燃料（以下では「カーボンリダクション・フューエル」と呼ぶ）への道のりは短くなく、技術的な課題はまだ様々乗り越えられなければならない。しかし、気候変動対策において重層性は欠かせず、EV 化一本やりは危険である。あらゆる対策はそれぞれの環境的社会的負荷を必然的に伴う。複数の対策を取ることによって環境的社会的負荷が何かひとつに（例えばリチウムの採掘に伴う水不足などの環境汚染）に集中することを避け分散させることができ、全体として気候変動対策の副産物としてのコストがグローバルな社会にとって受容可能な水準に管理することができる。

まずローカーボン・フューエルの位置付けについて確認しておこう。最終的に目指すべきはカーボンニュートラル・フューエルである。カーボンリダクション・フューエルはその過渡的な存在であるともいえるが、実際はそれ以上の重要な役割を担っている。まず、地球環境対策に最善の自動車であるカーボンニュートラル・フューエルで走る自動車を実現するためには、カーボンニュートラル・フューエルが実用化されるまで、液体燃料を全国に供給するインフラが維持されていなければならない。EV であれば内燃機関自動車であれ、エネルギーは全国にある自動車になんらかの形で供給されなければならない。電気は電力供給網を通じて、水素は今後水素供給ネットワークの整備が必要であるが、水素流通に必要なインフラコストが膨大であることはよく知られているとおりである。

また既述のとおり、仮に一定の時期に新車販売がすべて EV 化されたとしてもそれ以前に販売されたガソリン車は相当期間残存する。またハイブリッド車は「電動車」の定義に包含

されているためガソリン車新車販売規制導入後もハイブリッド車は引き続き販売される。それら内燃機関を推進力の全部なり一部なりとする自動車の気候変動対策としても燃料の脱炭素は重要なイシューとなるのである。

燃料の脱炭素はいくつかのステップに分けられる。まず、現在既に小規模ながら使われているバイオエタノールの一層の活用である。経済産業省のグリーン成長戦略は燃料のカーボンニュートラル化について以下のように記述している。

「現状と課題：カーボンニュートラルを目指す上では、動力源となるエネルギーのカーボンニュートラル化も必要となる。特に電動化のハードルが高い商用車等については、燃料の効率的利用とともに、燃料のカーボンニュートラル化の取組が重要となる。燃料のカーボンニュートラル化に向けては、既存のインフラが使える合成燃料 (e-fuel) が注目されているが、商用化に向けた一貫製造プロセスが未確立である。また、製造に当たって、専用の設備を新設する必要があり、大規模な投資・設備維持コストが必要となるため、製造効率の向上等により、低コスト化を図る必要がある。

今後の取組：合成燃料について、2050年に、ガソリン価格以下のコストが実現できるよう、既存技術の高効率化・低コスト化に加え、革新的新規技術・プロセスの開発を実施するとともに、商用化に向けた一貫製造プロセス確立のための応用研究を実施する。」

ここでまず指摘しておきたいのは、バイオエタノールそのものはカーボンニュートラル・フューエルであるということである。環境省のカーボンニュートラル等によるオフセット活性化検討会の資料において次のように述べられている。

「大気中のCO₂量を増加させないこと。バイオエタノールの原料となる植物は光合成によりCO₂を吸収するため、燃焼でCO₂を排出しても、ライフサイクル全体としてCO₂量を増加させない」

もちろん、これはバイオエタノールを混合したガソリンが即カーボンニュートラルとなることは意味しない(バイオエタノール混合ガソリンはローカーボン・フューエルの位置付け)。しかし、混合分については当然その分CO₂排出量減の効果がある。

2-3 国産バイオエタノール製造による新・輸出産業創出

(1) バイオ燃料 (バイオエタノール) の定義

まずここで、バイオエタノールについて整理しておこう。バイオエタノールはとうもろこしやサトウキビ、てん菜などの植物を原料として製造される(藻類等非食物原料から製造されるものもあり、「第二世代バイオエタノール」などと呼ばれる)。バイオエタノールは他の燃料と混合せずともそのまま燃料としてガソリン等を代替可能であり、その場合には完全にカーボンニュートラルな燃料になる。

一方、「バイオ燃料」とは、バイオエタノールを混合したガソリン燃料などの総称である。

やや技術的となるが、「バイオ燃料」には3種類ある。

バイオエタノール：ガソリン代替のバイオ燃料。任意の濃度でバイオエタノールをガソリンに混ぜる。「E3」とはエタノールを3%、「E10」とはエタノールを10%、ガソリンに直接混合した燃料である。一方、日本で流通しているものはETBE（エチル tert-ブチルエーテル）形式と呼ばれ、これはバイオエタノールをいったんイソプデンと合成してつくられる液体燃料をさらにガソリンに混合するものであり、ETBEの混合率に応じ「ETBE22」などと呼ばれる（バイオエタノール自体の含有量を見れば、E10はETBE22にほぼ相当する）。しかし、世界的にはETBTの有毒性が疑われていること及び直接混合方式に比べCO₂排出量が大きくなることからETBT方式は例外的であり禁止している国も少なくない。日本では直接混合方式の流通は極めて少ないが、安全性向上、環境負荷低減等の観点、さらにはバイオガソリンの一層の普及促進のためにこの点は今後改善の必要がある。

バイオディーゼル：軽油代替のバイオ燃料。バイオエタノールを軽油に混ぜたもの。混合率に応じ「B10」「B20」などと表記される。

バイオジェット燃料：ジェット燃料代替のバイオ燃料。ICAO（航空分野の国連専門機関）は、CO₂排出削減に向けた排出権取引制度（CORSIA）の導入を全加盟国に対し義務化（2027年～2035年）する。そのため、CO₂排出量の削減の切り札として世界的にバイオジェット燃料導入の機運が高まっている。

先にドイツ自動車工業会の資料に基づきカーボンニュートラルな燃料を使用した内燃機関自動車こそ「究極のエコカー」であることを示した。次にここではローカーボン・フューエルを前提とし、日本の発電過程を考慮した「Well-to-Wheel」での評価に基づいたCO₂排出量の推計値を紹介したい。図表7は日本の2013年時点の電源構成を元に算出されたものである。この推定値によれば、火力発電等化石燃料を用いた発電形態が主流の現状ではEVで使用する電力の発電時にCO₂を排出するため、Well-to-Wheelでみれば、HV等でバイオエタノールを混合した場合とEVではCO₂排出量がほとんど相違ないという結果が出ている。

車種	動力源	CO ₂ 排出量 (g-CO ₂ /km)
エンジン車	ピュアガソリン	113.5
ハイブリッド車	E10	71.8
ハイブリッド車	E20	68.4
EV	電気	65.0

図表7：「Well-to-Wheel」での評価に基づいたCO₂排出量の推計値
(出典：應義塾大学大学院経営管理研究科の岩本隆特任教授、『地球温暖化対策と経済成長との両立に向けた一考察—日本の基幹産業である自動車産業を中心に』
(2018年6月4日)内での分析内容)

やや詳細に見てみよう。E3, E10, E20 を使用した場合のハイブリッド車と EV の CO2 排出量比較を見ると、E3 使用の場合 1 キロ走行あたり 74.1 g、E10 の場合 71.8 g、E20 の場合は 68.4 g の CO2 排出量である。対してハイブリッド車は 65.0 g。E20 との差はわずか 3.4 g である。他方、消費者のコストは約 6.7 円 EV のほうが高い¹⁰。

このことから、バイオエタノールを混合した燃料の環境特性が極めて高いことが明らかになる。そして繰り返しになるが、バイオエタノール混合燃料の使用を拓げていくことは当面の気候変動対策に資するのみならず、インフラの維持、エンジンに関する技術水準の維持、さらに広い裾野の中小製造業の維持などを可能にし、将来の究極の脱炭素車を実現するために必須のインフラ的、技術的土台が維持されまた発展されるのである（先に述べたとおり既に日本の自動車メーカーの中には将来のバイオニュートラル燃料の使用を視野にいたしたエンジン開発をしている企業が存在する）。バイオエタノールの活用がなされなければ、その先のカーボンニュートラル・フューエルを推進力とする究極の脱炭素車実現はないのである。

(2) 日本におけるバイオエタノール導入状況

まず、政府の取組について見てみよう。2018 年から 2022 年度の間、原油換算で年間 50 万 kL 分のバイオエタノールの導入が目標とされている。さらに、エタノールは第一世代と第二世代に分けられている。第一世代エタノールはサトウキビやとうもろこしなどの原料から製造される。第二世代エタノールはセルロース系の原料を使用している。

さて、原油換算で年間 50 万 kL 分という目標値を考えてみよう。先に見たようにガソリンに 20% のバイオエタノールを混合しハイブリッド車で走行した場合の CO2 排出量は EV と遜色がない。しかるに、日本におけるガソリンをすべて E20 にした場合のバイオエタノールの所要量は、年間約 1026 万 kL (原油換算)、E10 とした場合は約 513 万 kL (原油換算) である。原油換算で年間 50 万 kL という目標は、全ガソリン消費量のうちたった 1% 強の量にしかならず、地球環境対策としては極めて不十分である。

日本では、直接混合方式が主流の海外において日系自動車メーカーが E10 対応車販売を既に行っていたことを受け、揮発油等の品質の確保等に関する法律（以下、品確法）の施行規則の一部を改正し、E10 に係る規格等を設定した（2012 年 4 月 1 日施行）。そのため法制上、既に E10 ガソリンまで供給可能になっている。実際、道路運送車両法の告示に基づき、E10 対応ガソリン車には「バイオ混合ガソリン対応車 (E10/ETBE22)」というようなラベルが燃料給油口付近に貼付されている。しかるにまずは全ガソリンを E10 とすることが出発点となろう。その後全ガソリンの E20 化に取り組む。これにより、少なくとも現状の電源構成を前提とした場合、全ての自動車を EV にするのとほぼ同じ CO2 排出量削減が達成できるのである。

これを阻む大きな要因が、日本で普及している ETBE 方式である。前述のとおり、現在日

¹⁰ 慶應義塾大学大学院経営管理研究科の岩本隆特任教授、『地球温暖化対策と経済成長との両立に向けた一考察—日本の基幹産業である自動車産業を中心に—』（2018 年 6 月 4 日）図表 17 より

本ではバイオエタノールは ETBE に転換されたもの（バイオ ETBE）がガソリンと混合され流通している。本方式を禁止している国もある中、世界全体で見ても日本とたった数カ国のみに留まる ETBE 方式を採用している理由として、政府及び主要ステークホルダーである石油元売り企業らは、「ガソリンへの水分混入による性状変化を避けるため」を主な理由として挙げてきた。直接混合方式の場合水分の混入によりガソリンの性状が変化する恐れがあり、油槽所やガソリンスタンド等でそれを防止するための設備投資等が必要となるという。それに比べ ETBE 方式はガソリンに水分混入しても性状が変わらないため追加の設備投資が必要ないというのだ。これに対し筆者が強調したいのは、原料であるイソブテンの有毒性や供給制約（バイオ ETBE のほとんどを海外からの輸入に依存）等の懸念から、ETBE 方式では導入量の大幅な増加が困難であることだ。さらには、直接混合方式であれば単にエタノールをガソリンに混ぜるのみであり、燃料生産が容易な（イソブテンという石油由来の別の化合物を混ぜる必要がない）上、少量でも取り扱うことが可能なため地産地消での取組も可能である。カーボンニュートラル実現に向けバイオエタノールの混合量を拡大させていく必要や、地産地消・地域振興の側面を鑑みても、欧米と同様の直接混合方式への移行が急務であろう。地球環境対策のために地域経済に想像を超える犠牲を強いる EV を推進する決断を下したことに比べれば、ETBE から直接混合方式への移行の判断ははるかに容易なものである。地域経済活性化につながる措置であり政治的にもハードルは低いはずだ。

（3） 国産バイオエタノール製造を新・輸出産業創出へ

バイオエタノールの製造技術は多様なものが既に確立している。その中にはコメの他に古紙、ゴミ、さらに排ガスからバイオエタノールを製造する技術が含まれる。例えば、積水化学工業はゴミをエタノールに変換する世界初の技術の開発に成功している。ごみを一切分別する必要もないためプロセスは単純でありコストも抑えられている。さらにバイオエタノールは自動車用燃料のみではなく、航空機用ジェット燃料にも、さらに燃料以外の用途たとえば消毒用にも使用が可能であるなど、広い潜在的用途を有する汎用的な製品である。市場は日本を超えてアジア各国に広がりつつあり、世界全体のバイオ燃料市場は 2030 年までに 11.8 兆円の規模に成長すると見込まれている¹¹。

もっとも、これまで日本政府が実施してきたバイオエタノール実証事業は規模が限定的でコストが高く、成功してきたとは言い難い。最大の課題はコスト削減である。コスト削減にもっとも効果的な対策は大きな需要をまず創出することである。E10, E20 を義務化すれば必然的にバイオエタノール製造は大規模化し規模の経済が働くだらう。もちろん十分な価格低減効果が得られるまでの過渡期においては、再生エネルギーが固定価格買い取り制に類似する支援が講じられる必要はあろうが、市場及び生産規模拡大によりコストの問題は十分乗り越え可能であろう。それによって日本のバイオ燃料製造業は日本の農林水産業活性化の大きな切り札ともなる。

¹¹ 文部科学省、『バイオ戦略の策定に向けた文部科学省の取組』（2017 年 10 月）

第3章 諸外国におけるバイオエタノール導入の状況

まず冒頭各国地域の輸送用燃料へのバイオ燃料導入の目標を一覧しておこう。

国・地域	関連政策	導入目標
米国	再生可能燃料使用基準 (RFS2)	✓ 2022年までのバイオ燃料年間使用義務量は22%
EU	再生可能エネルギー指令 (RED)	✓ 2030年までに輸送用燃料の再エネ比率 (バイオ燃料以外も含む) を14%とする (食物バイオ燃料は上限7%)
英国	再生可能燃料導入義務 (RTFO)	✓ バイオ燃料の導入義務割合は 2020 年までに 9.75%以上、2032 年までに 12.4%
ブラジル	RenovaBio プログラム、ガソリン混合率の指定 (バイオディーゼル)	✓ バイオエタノールの混合率は27% ✓ バイオディーゼルの混合義務量は2023 年に 15% (B15)
中国	13次バイオ燃料計画	✓ 複数州で2020 年までにバイオエタノール混合率 10%
タイ	代替エネルギー開発計画 (Alternative Energy Development Plan)	✓ 2020年初めに E 20 (エタノール20%混合) に移行 ✓ バイオディーゼル混入率を現在の B7 から B10、B20 にまで引き上げ
インド	バイオ燃料に関する国家政策 (National Policy on Biofuels 2018)	✓ 2030 年までにバイオエタノールのガソリン混合率20% ✓ バイオディーゼル混合率5% (2022年までに原油輸入量を10~15%削減)
インドネシア	National Energy Policy(KEN)	✓ バイオ燃料を 2025 年までに 13.9%、2050 年までに 52.3%まで引き上げ(2025年までにバイオエタノール20%、バイオディーゼル30%)
フィリピン	バイオ燃料法	✓ 2025年/2030年までにバイオエタノール混合20% (85%混合用のバイオエタノール製造も計画)

図表 8 各国・地域のバイオ燃料導入目標
(出典：(一社)日本パブリックアフェアーズ協会作成)

世界各国では直接混合方式が主流且つ上記図に記載のとおり、運輸部門におけるバイオ燃料の導入を拡大していく方針であることが分かる。直近の各種報道では、先進主要各国がEV化に舵を切っている旨取り上げられているが、前提として既にバイオ燃料を一定導入した上で、さらなる対策としてEV化を並行して推進しているということを忘れてはならない。世界は内燃機関自動車は一定数残存することを前提に、EV化と燃料の脱炭素化を両にらみで進めているということだ。

以下では各国・地域別に直近の動向を簡単に紹介する。

3-1 米国

米国では、再生可能燃料使用車基準 (RFS2) にて、2022 年までのバイオ燃料年間使用義務量を 360 億ガロンと定めており、2019 年 3 月にはエタノールを最大 15%含む混合ガソリン (E15) の通年販売を認める規制改定案が発表されている¹²。現在ほとんどのガソリンスタンドで E10 ガソリンが通年販売されている。

3-2 欧州

欧州の再生可能エネルギー指令 (RED) では、2030 年までに輸送用燃料の再エネ比率を 14%

¹² JETRO、『エタノール 15%混合のガソリンの年間販売を可能に』(2019/3/29)

とする（食物バイオは上限7%）目標を掲げている。藻類、セルロース系バイオ燃料は2倍カウント制度を導入しており、コストをかけてでも積極的にバイオエタノールを導入している。

欧州委員会は導入推進の理由を以下のように述べている。

「バイオエタノール燃料は EU の運輸セクターにおいて化石燃料に代わる再生可能な代替策であり、温暖化ガス排出を削減するとともに EU のエネルギー供給の安全保障の向上に寄与する。」¹³

また、年々ガソリンへのバイオ燃料混合率は上昇しており、2020年では欧州全体平均で5.6%の混合率を達成している¹⁴点も顕著である。

ここで、EUタクソノミーについて概観しておこう。おそらく今後のサステナビリティ関連ルールの中で中長期的に最も広範かつ深淵な影響をもつ規範がEUタクソノミーであると考えられるからである。先に鉄鋼業界のEUタクソノミーへの姿勢について言及したが、鉄鋼業界に限らず日本の産業界は総体としてEUタクソノミーに反対の立場である。筆者はこの姿勢は危険であると考えている。総論反対に立てばルールメイキングに参加できない。むしろ、プラクティカルな観点からは総論賛成、各論議論の姿勢でルール形成の過程に主体的に関与していくことが得策である。特に、潜在的な米欧連携を考えればそうである。タクソノミープロジェクトが米欧の共同プロジェクトになる可能性も否定できない。米政府が参加しないまでも、かつてのEUの電気電子製品リサイクル規制（WEEE）や危険使用制限規制（RoHS）のようにカリフォルニア州が一方的にEUタクソノミーを自らのルールとして受容することも考えられ、そうなれば事実上米国全体がEUタクソノミーを採用したに近いインパクトを持つ。さらに、EUは既にタクソノミーのISO化に乗り出している。

EUタクソノミーの影響はグローバル資本市場を通じても広がるだろう。タクソノミーに規定される環境に貢献する製品や技術は、ESG投資に採用されていくだろうからである。では、改めてタクソノミーとはなにか。ごく大雑把に言えばESGの対象を個別の製品・技術のレベルまで細分化して定義することである。別の言い方をすれば個別の製品・技術でESGの要請に実質的に「叶わない」ものを明確にすることでもある。「タクソノミー」とは「分類学」を意味する。サステナビリティに実質的に貢献する製品・技術とそうでない製品・技術を「分かつ」ことが大目的である。

タクソノミーが従来の開示「基準」例えばTCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）報告などと根本的に異なるのは、企業単位の報告や評価の基準ではないということである。タクソノミーはある企業がその企業全体として環境にどの程度優しいか、社会課題解決にどの程度貢献しているのか、はたまたどの程度ネガティブな影響を与えているか等々を判断するものではない。企業という属性は捨象され、個別の製品（例えば鉄）、技術、さらには行為

¹³ European Commission HP Biofuels のページより抜粋

¹⁴ USDA、『European Union Biofuels Annual』（2020/7/29）Chapter IV Ethanol

(アクティビティ)を単位とし、例えば、タイヤならタイヤという製品一般のなかにおいてサステナビリティ向上に実質的貢献を成しているタイヤの基準（もしくはより広く、定義）を定めるものである。その中で特に注目されるのは、気候変動緩和の技術としてクリーン燃料が挙げられていることである。

タクソノミー上認められるためにはまず以下の6つの目標カテゴリーの少なくとも1つに合致しなければならない。

- ・気候変動の緩和
- ・気候変動への適応
- ・水資源と海洋資源の持続可能な使用と保護
- ・循環経済への移行、廃棄防止及びリサイクル
- ・汚染の防止と管理
- ・健全な生態系の保全

そのうえで2つの「足きり条件」をクリアしなければならない。

- ・他の環境目的を著しく害さないこと
- ・最低限のセーフガード措置が講じられていること

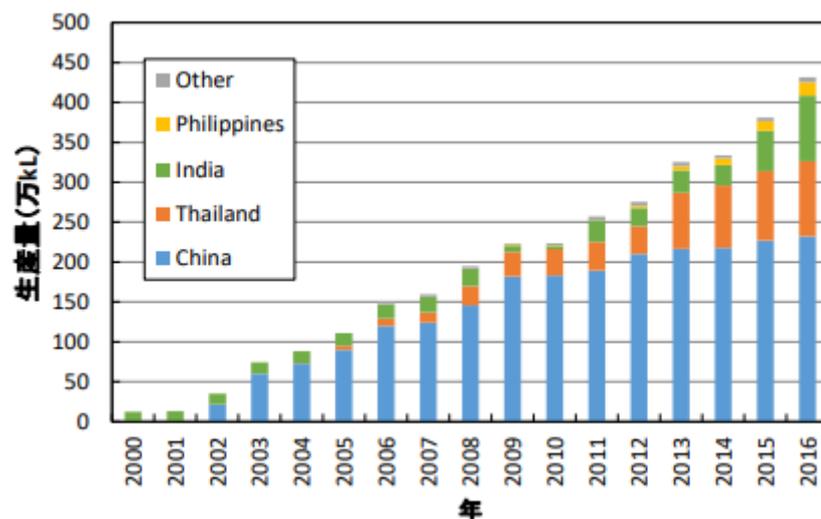
リチウム電池についてはこのうち、最初の足切り条件「他の環境目的を著しく害さない」を満たすか否かは明確ではない。

上記6つの目標に実質的貢献がそれぞれ規定されている。気候変動緩和への実質的貢献のための実質的貢献は8つに分類されているが、その類型のひとつが「再生可能もしくは炭素中立的な原料からクリーンで効率的な燃料を製造すること」である。

バイオエタノールはまさに「再生可能もしくは炭素中立的な原料」からつくられた「クリーンで効率的な燃料」である。EUタクソノミーのグローバルなインパクトとあわせ考えれば、バイオエタノール活用が喫緊の課題であることあきらかである。

3-3 アジア諸国

アジア諸国ではエネルギー安全保障強化や農業政策（サトウキビやキャッサバの活用）等の観点からバイオ燃料政策を強力に推進している。図表9はアジア主要国の燃料用バイオエタノール生産量推移である。



図表9 アジア主要国の燃料用バイオエタノール生産量推移
 (出典：EIA の統計データより IAE が作成したもの)

世界の中でも EU に次いで生産量が多かった中国の生産量はここ数年伸び悩んでいるが、一方で、タイとインドの生産量が伸びており、アジア全体の生産量の伸びを支えている。日本も同じアジアの国として、農業政策の観点も鑑みたバイオエタノール政策を今一度検討する余地があるのではないかと考えられる。

第4章 地産地消燃料としてのバイオエタノールとその社会的意味・経済的可能性

現在日本のバイオエタノール混合燃料は新潟の JASS 等一部を例外として ETBE 方式の形を取っており、その原材料（イソブテン・バイオ ETBE）は全面的に海外からの輸入に頼っている。直接混合方式への移行は混合比率の引き上げを容易にするためバイオエタノールの必要量を大幅に増大させるものの、引き続き輸入に頼ることには限界がある。

先に述べたとおりバイオエタノールは様々な農産物から生成することが可能である。つまり地域の地場農業とバイオエタノール生産をつなげれば、バイオ燃料の地産地消モデルが可能になるのである。新潟県で全国農業協同組合連合会（JA 全農）が E3 ガソリン供給実現しているのは示唆的である。JA 全農は、減反政策（廃止はされたが農林水産省の供給抑制姿勢は現在も続く）を始めとした生産調整や食生活の変化により主食米の需要が低迷する中、日本一の米どころである新潟県での米作り・水田の有効活用を目的として、米（燃料米）を原料としたバイオエタノール製造・ガソリンへの混合・地元のガソリンスタンドでの E3 流通販売まで一貫した事業に取り組んできた。1 万 kl のバイオエタノール製造に必要な米原料は約 2 万 t であり、米需要の増加に貢献するため休耕田の活用や農家の収入維持に貢献する。さらに米からのバイオエタノール製造の副産物として国産の飼料原料も発生するなど、バイオエタノール製造を起点とした地産地消・地域振興を実現している。

もちろん、バイオ燃料の地産地消モデル構築には政策支援の投下が一定必要となるため、全国規模を一度に実現することは難しいだろう。しかし、地域ごとにひとつひとつ整備していくことは十分出来るはずである。地域ごとにバイオエタノール製造・流通拠点を整備し、それを次第に全国各地に拡大していく戦略を打ち出すのである。E10 さらに E20 を義務化することによって需要は保証される。先に述べたとおり一種の固定価格買い取り制度的な補助は当面必要になるだろうが、気候変動への貢献、製造業の競争力・雇用維持、そして地域農業の振興すべてが裨益するこの戦略は十分に政策資源の投下に値する。バイオエタノールの供給制約を取り除きながら、かつ自動車部品製造業、そして地域の農業新興を図ることができるのである。

さらに、バイオエタノールの地域ごとに生産・流通拠点を設けていくことにはもうひとつ大きな意義がある。災害対策である。熊本地震が発生した際、食料と並び緊急に必要とされたのは燃料であった。多くの人々は自家用車で暖房をかけながら避難生活を送ったのである。電力網は至る所で寸断され全世帯の電気の復旧には長時間を要した（本震から 5 日間）。その間被災者の方々が多くの困難を伴いながらも凌げたのは、ガソリンと重油の供給がなされたからである。ガソリン車は、エンジン廃熱を再利用した温風で暖房機能を賄っているが、再利用する熱源を持たない EV では、暖房に電力使用を伴う。EV は電気ヒーターを用いたエアコンを用いるため、暖房の使用がそのまま電力消費につながり、実質的な航続距離が大幅

に減少してしまう¹⁵。もしあの時全てがEVであったらどうなっていたらろう。冷え込む時期のため人々は車中泊することは出来なかったらろうし、すべて電化されていれば避難所での暖房も調理も大きな困難をともなつたことは想像に難くない。そもそも救援車両さえ動かなかつたらろう。災害時には、電力網が寸断されても供給可能な液体燃料で動く車両、発電装置等が必須なのである。このように災害に対するレジリエンス強化の観点からも内燃機関自動車、そして全国に張り巡らされたガソリン共有ネットワークは極めて重要なのである。

また、バイオエタノールの用途は今後自動車用燃料を超えて大きく広がっていく可能性がある。既に述べたとおり航空機燃料としては既に実用化されている。航空機はCO₂の大きな排出源として欧米では「フライト・シェイム」（「飛び恥」と訳されている）とまで言われ、飛行機に乗ること自体が忌避される社会的空気が醸成されている。当然、エアライン各社はバイオ燃料の活用に非常に前向きである。さらに、産業用燃料へのバイオエタノールの混合や、欧州においてはLPGやタクシーのオートガスへのエタノール混合の検討が進む等、あらゆる産業がカーボンニュートラル実現を目指す中で、様々な企業が燃料の低炭素化に広範囲で取り組みつつあり、今後さらに取り組みは加速していくだろう。経済の全電化は不可能である。燃料無しに産業も社会も立ち行かない。したがって燃料をいかに低炭素化していくかは輸送部門に限られない広い産業セクターに共通の課題なのである。つまりバイオ燃料は有望な新産業と言ってもよい。産業政策として育成し成長を図るべきであろう。

¹⁵ 日産自動車株式会社ホームページより抜粋

第5章 まとめ・提言

5-1 バイオエタノール導入目標量の増加

気候変動対策として最も好ましい自動車はカーボンニュートラル・フューエルで走る自動車である。EV よりも総 CO₂ 排出量が少なく、かつ EV 化にともなう負の環境インパクトを回避できる。さらに日本の産業競争力が維持向上されるとともに、カーボンニュートラル・フューエル自体が国際競争力を有する製品となる潜在性を有しているなど社会的経済的に極めてポジティブなインパクトが期待できる。カーボンニュートラル・フューエルが実現するまでの間は気候変動対策上次善の策である EV 化が引き続きゴールであったとしても、その後残存する内燃機関自動車対策としてもバイオエタノールの導入を拡大すべきである。世界は EV 化と燃料の脱炭素化を両にらみで進めており、日本もそうすべきである。いや、再生可能エネルギー供給の余地が大きい日本こそそうすべきである。

その第一歩は国内の運輸部門における 2050 年カーボンニュートラル実現のため、エネルギー供給高度化法に定めるバイオエタノール導入目標を拡大することである。現在の原油換算 50 万 kL 相当から大幅な増大が求められる。

5-2 直接混合方式への転換

現在日本では事実上 ETBE 方式がとられている。この ETBE 方式はすでに国際的には有毒性・原料であるイソブテンの供給制約等の問題から禁止されていく傾向にある。製油所・油槽所・ガソリンスタンド等の流通網での直接混合方式への早期の移行を推進する必要がある。このためには流通・混合設備整備等にコストがかかるが、地方で死活問題となっているガソリンスタンドの減少に歯止めをかけ、また少量でのバイオエタノール混合ガソリン取り扱いも可能とすることで地域産業・雇用の創出にも寄与することなどから所要の財政措置を講じて政策として推進すべきである。

5-3 E10 義務化

2030 年までに国内の新車販売を電動車 100%化、2050 年までに EV100%化を目指すとはいつでも、一定数内燃機関自動車が残ることは自明である。世界では、ガソリン等を燃料とする内燃機関自動車は 2040 年でも 8 割を超えると見込まれており (Energy Technology Perspectives 2017, IEA)、燃料の脱炭素化に取り組むことは必須である。以上から、ガソリン自動車及びハイブリッド向けの CO₂ 対策の具体的措置として、2030 年までに全面的に E10 を義務化すべきである。E10 義務化をスムーズに進めるためにはいくつかの制度改正が必要となる。ガソリンスタンド等での必要な対応を定める消防法がその代表格である。その後 2050 年に向けて段階的に混合率を引き上げ、最終的にカーボンニュートラル (合成) 燃料の技術確立がするまでのトランジション期間における内燃機関自動車の CO₂ 対策として導入していくべきである。

5-4 バイオエタノール製造事業者向けのグリーン投資拡充

国内バイオエタノール製造事業者向けに必要な政策支援を実施（固定価格買い取り制度の導入等）することで、地方での産業創出・国内の供給安定化を実現しながら、輸出産業として育成していくべきである。将来的にはバイオジェット燃料等の分野で世界をリードし、脱炭素社会における国際競争力を向上させる。バイオエタノールは多岐にわたる新用途（産業用燃料やプロパン・タクシーのオートガス代替等）が出てきており、政府は既存投資をさらに拡大すべきである。

5-5 究極のエコカー実現に向けた政策

そして最後に何よりも重要なことは、気候変動対策の観点から最も望ましい乗用車の駆動形態はカーボンニュートラルな燃料を燃焼させる内燃機関であること、そしてバイオエタノールを混合したローカーボン・フューエルも十分にEVと同等の環境性能を示すという事実を今後の政策に織り込むことである。もちろんEV化推進は否定しない。しかし、気候変動対策は単一の解では解消されない。どの政策も完全な成功は保証されないからだ。さらに、単一の策で対処しようとするれば環境・社会上の副作用が地域的に集中するなど歪んだ形で生じる可能性が高まる。望ましい複数のオプションが明確に存在するときにはそれらは並行して取り組まれるべきである。ローカーボン・フューエルとしてのバイオエタノールの活用は、このような政策認識の上に立って展開されていくべきであろう。



運輸部門におけるカーボンニュートラル実現に向けて
—自動車産業の脱炭素化への移行の鍵となるバイオエタノール活用—

2021年2月17日 第1刷発行

著者 藤井 敏彦

発行者 増田 寛也

発行所 一般社団法人 日本パブリックアフェアーズ協会

(C) JAPAN PUBLIC AFFAIRS ASSOCIATION 2021 Printed in Japan

