

社会コストから見た自動車パワートレインの あるべき姿（前編）

日本におけるBEV時代を見据えた最適なトランジションのあり方



濱野友輝



山田昌輝



石川祐樹



和田義規

CONTENTS

- I 自動車業界における電動化の目標と現状
- II 社会コストから見た自動車パワートレイン変化に関するシミュレーション手法と前提条件
- III 日本の実情を前提にしたシミュレーション結果
- IV 日本における自動車のカーボンニュートラルに向けたトランジションのあり方

要 約

- 1 2024年以降、価格や充電インフラなどの課題が顕在化する中、BEVの成長は急激に鈍化し、自動車メーカーはBEVへの一極投資を見直し始めている。本稿では、自動車のカーボンニュートラル（CN）を目指すうえで、「社会コスト」（政府、企業、ユーザーの三者が負担するコストの総計）^{※1}の観点で検討した場合、どの動力源が合理的と考えられるのか、試算した。
- 2 試算では再エネやe-fuelなどを用いた5動力源（BEV、PHEV、HEVなど）を比較し、エネルギー製造・インフラ整備・車両製造などが社会コストに与える影響を分析。結果、日本においてはe-fuelを用いたPHEVの経済合理性が最も高かった。
- 3 現実的にはPHEVのみならずBEVなども含めた動力源ミックスでCNが達成される中、中長期的なCN車両普及には、社会コスト全体を抑制することが重要である。たとえばBEVの社会コスト抑制には、①ユーザーニーズに合わせた電動航続距離の最適化による車両コスト低減や、②行政・産業界連携を通じた全体最適での整備による充電インフラコスト低減、が重要であることが分かった。またCN燃料を輸入し、自動車を輸出する必要のある日本としては、海外諸国との連携によるCN追求も重要となる。

I 自動車業界における 電動化の目標と現状

1 自動車パワートレイン変化と 社会コスト

近年、自動車業界では、カーボンニュートラル（CN）達成に向けた環境対応車両に関する開発、量産が急速に進んでいる。各国の環境規制の強化、産業政策も背景に、2023年には世界の電気自動車（BEV）販売台数は約1010万台まで拡大した。しかし、2024年に入り、欧州の複数国における補助金打ち切りにより、BEV販売台数・成長率が急速にスローダウンするなど、一気呵成の自動車BEV化に関して疑問符がついている。

BEVの普及に向けては、内燃機関車（ICEV）と比較した際の車両価格の高さのみならず、車両性能、充電インフラの設置状況、電気料金、ユーザーニーズなど、地域差や市場における受け入れ熟度はさまざまであることを認識する必要がある。また、市場成長の観点では、前述のとおり、上記課題解消に向けた各国政策補助（購入補助金、インフラ投資など）も非常に大きな影響力を持つ。将来的に着実に車両の電動化（パワートレイン変化）は進むと見込まれる一方、市場成長に向けては関連するプレイヤー（政府、企業、ユーザー）がさまざまなコストを負担していく必要があることも意味している。

では、CNを目指したうえで社会コストの観点を加えて見た場合、地域特性も鑑みてどのようなパワートレインへの変化が経済的に合理的と考えられるのか。このような疑問を出発点に、まず、昨今のBEVの販売台数変化・要因、自動車メーカー各社における電動

化戦略の変化を整理しつつ、社会コストの観点を中心に自動車パワートレイン変化が及ぼす影響を試算し、それらから見えてくる示唆について整理する。

2 BEVを取り巻く 足元の状況と見通し

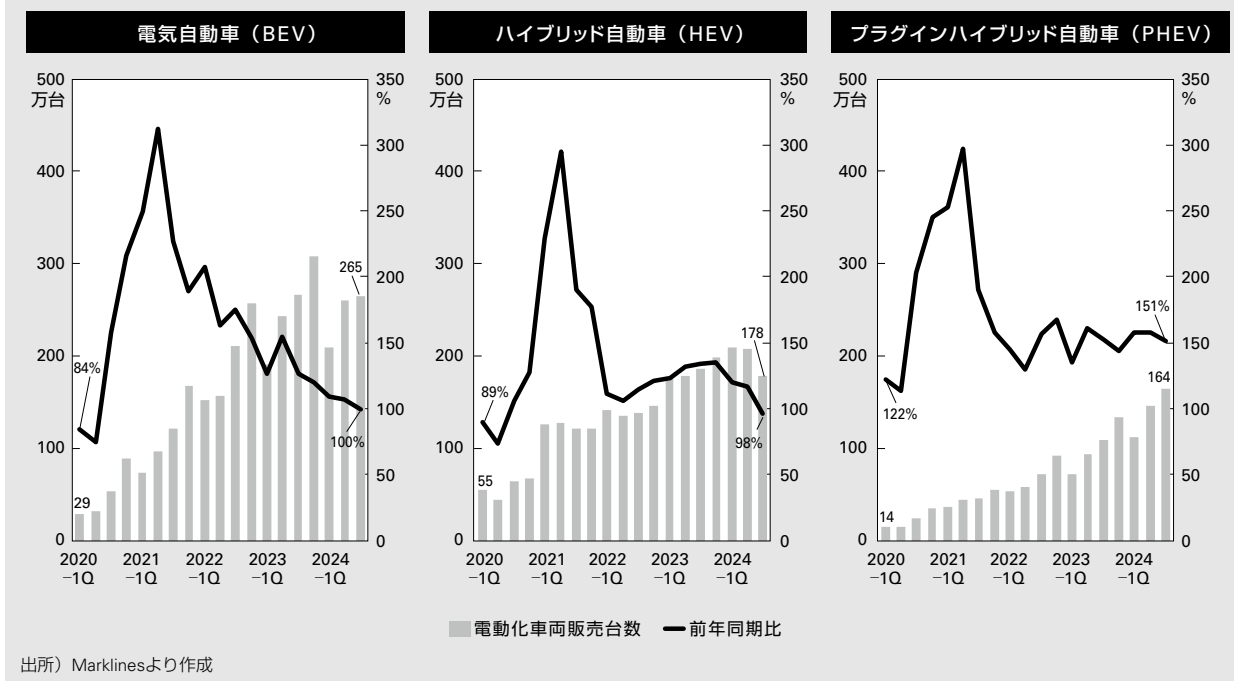
図1に、近年の電動化車両に関する販売台数変化を示す。乗用車の電動化そのもののトレンドはグローバルで継続していることは確かである。しかしながら、中国・欧州を中心にBEVの販売台数が急伸した後は、2024年度に入り中国以外地域での成長率の鈍化が顕著となった。特に欧州では、2023年度にBEV急伸の背景となっていた購入補助政策が打ち切りとなったドイツや部分的に削減を進めているフランスを中心に、BEV販売に急ブレーキがかかった。結果として2023年第3四半期以降、BEVの対前年同期比の成長率は下落が続いており、足元の2024年第3四半期では販売台数が265万台と、ついに前年同期比にて成長が見られない状態となっている。

一方、プラグインハイブリッド自動車（PHEV）は、対前年比で高い成長率が維持されている。特に足元の2024年第3四半期では、グローバルで史上最大の販売台数（164万台）となっており、ハイブリッド自動車（HEV）の総数（178万台）と比較しても遜色のない規模に拡大している。HEVも2024年第3四半期を除けば右肩上がりの成長を続けている。

3 自動車メーカー各社の 電動化戦略の変化

BEV販売の成長率にブレーキがかかった

図1 近年の電動化車両に関する販売台数変化



ことを背景に、グローバルに見て自動車メーカーの電動化戦略についても見直しが入っている。表1に、2024年に入り電動化戦略の見直しに言及している主要メーカー各社の状況を整理した。欧州メーカーは一部で電動化戦略・目標を固持する姿勢を見せると同時にBEVへの一極投資を見直し、さまざまなパワートレインへ投資を分散させるほか、ICEVの延命を図る傾向が顕著となった。たとえば、ボルボは2030年の新車完全電動化目標を撤回するほか、トヨタ自動車では2026年度のBEV販売目標を下方修正（150万台→100万台）とするなど、足元の状況を見ながら柔軟な戦略転換を図っている。

また、図2に各社の完全電動化に向けた販売目標を整理した。各社、長期的には完全電動化に向けたスタンスは見られるものの、そこに至るトランジションについては、前述の

とおり、より市場のニーズや各社の強みを活かす形で戦略を再考するスタンスが強まっている。

Ⅱ 社会コストから見た自動車パワートレイン変化に関するシミュレーション手法と前提条件

1 検討の背景

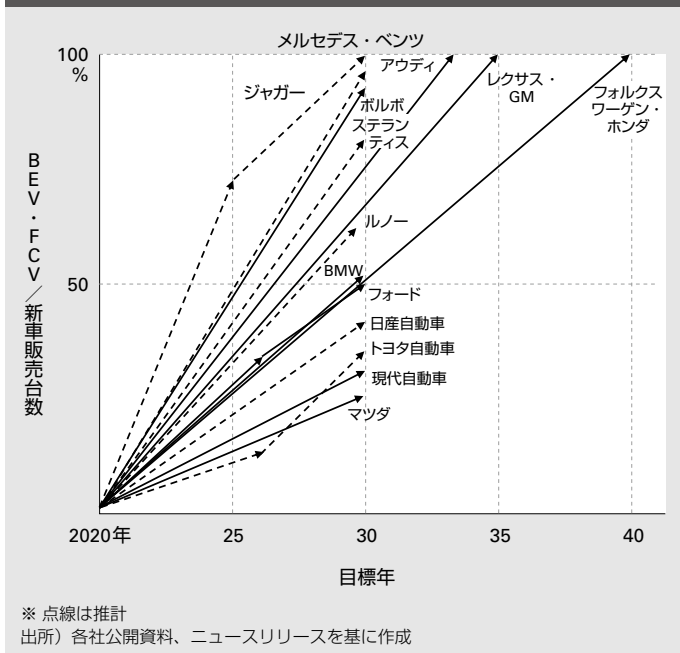
第I章で述べたとおり、気候変動対策の一環として各国は環境規制や産業政策を強化し、持続可能な自動車産業の発展を目指している。この流れを受け、自動車メーカーはICEVからHEV、PHEV、BEV、さらに燃料電池車（FCV）といった多様なパワートレインの開発・量産を進めている。CNの実現に向けた長期的な完全電動化の方向性は変わ

表1 主要自動車メーカーの完全電動化に向けた販売目標

企業	方針概要	発表時期
フォルクスワーゲン	2030年までに欧州での販売台数の70%、米国と中国での販売台数の50%をBEVにするという目標は変更しない想定 - ポルシェは、2030年までに80%のBEVを達成するという以前から伝えていた計画に変更はないが、BEV、HEV、ICEVという3つのパワートレインに分散し注力する姿勢を示す	2024年 9 月
アウディ	ゲルノート・デルナー CEOは最終的な電動化目標（2033年までにICEVを段階的に廃止する計画）は変わらないが、BEVの需要変動に応じて柔軟に対応していく姿勢を示している。特にPHEVの重要性に関して強調している	2024年 3 月
メルセデス・ベンツ	2030年までに新車販売のすべてをBEVにする計画を撤回した。2030年代もPHEV、HEVなどエンジンを搭載した自動車も販売する - PHEVとBEVの販売台数が2025年までに全体の最大50%を占めるようになる、との見通しを修正。実現するのは2020年代後半と見込む	2024年 2 月
ルノー	2022年初頭、ルノーグループのルカ・デ・メオCEOはルノー・ブランドの欧州販売台数を2030年までにBEVにする指針を示した 2024年現在、ルノーブランドのファブリス・カンボリーブCEOは、2030年以降もBEVとICEVの両戦略を視野に入れていると述べた	2024年 8 月
ボルボ	2030年までに全車種をBEVにするという目標を撤回し、2030年時点でもHEVがラインアップに残る想定 2030年までに販売される自動車の90%から100%をBEVまたはPHEVにすることを新しい目標とし、最大10%はマイルドHEVになるとの見込み	2024年 9 月
GM	2024年のBEV生産台数見通しを下方修正し、2025年末までに北米で100万台のBEVを生産するという見通しを断念 - キャデラックのグローバル・バイス・プレジデントであるジョン・ロスは、同ブランドは2030年までにフルラインのBEVを提供するが、しばらくの間はICEVも販売し続けるだろうと述べた（2024年 5 月）	2024年 7 月
フォード	3列シートのSUVのBEV投入撤回に加え、ピックアップトラックBEVも延期 - BEV向け支出を従来の年間設備投資の40%から30%へ削減する	2024年 9 月
トヨタ自動車	2026年に年間150万台としていた「基準」を100万台へと3分の2に減らした。一方、2030年に年間350万台という基準は維持	2024年 9 月
現代自動車	2030年にBEVの販売台数を、ジェネシス含めて、主要市場の北米で69万台、欧州で47万台、グローバルでは、全車種販売台数の36%となる200万台を目指す - HEVは2028年に133万台を目指す。BEV販売鈍化への対応として、EREV（レンジエクステンダー EV）を2026年末に北米・中国で量産開始、2027年から発売予定	2024年 8 月
ホンダ	2030年に先進国全体でのEV／FCVの販売比率を40%、2035年に80%、2040年にグローバルで100%、という目標は変更しない	2024年 5 月

出所）各社公開資料、ニュースリリースを基に作成

図2 主要自動車メーカーの完全電動化目標（2024年10月時点）



らないものの、各国の産業政策や市場ニーズもさまざまであり、自動車メーカーにとって最適なパワートレインの選択は容易ではない状況にある。

また、CN社会を実現するためには、環境対応車の新車販売を加速するだけでなく、既存の保有車のCN化も重要である。そこで製品ライフサイクル全体においてCO₂排出量を抑えられる燃料としてCN燃料への注目も高まっている。特に、CN燃料の一つである合成燃料（e-fuel）は注目に値する。e-fuelは、DAC（Direct Air Capture：直接空気回収技術）または排気回収によりCO₂を回収して得られた炭素と、水を再生可能エネルギー（再エネ）で電気分解し生成されたグリーン水素を用いて、逆シフト反応やFT合成によって生成される。こうした燃料転換についても官民双方で投資が進められている。

そこで本検討では、次世代のパワートレイン

候補において、政府・企業・ユーザーが1年間に負担するコストを社会コストと定義し、社会コストを踏まえたうえで最も合理性が高いパワートレインを客観的・定量的に検証した。なお、本稿では日本国内の乗用車を対象とし、調査・分析を行うこととする。

2 シミュレーションの前提と重要ファクター

シミュレーションに際しては、大きく2つの観点で前提条件を設定した。

(1) CN車両の保有割合

各CN動力源を用いた自動車の保有割合が100%となり、CNを実現している5つの世界を想定した。

たとえば、「再エネによる電力を利用するBEVが100%普及している社会」や「グリーン水素と炭素を合成したe-fuelを利用するHEVが100%普及している社会」など1つのCN動力源が100%普及している状態である。加えて、CN動力源が初めて100%となった時点ではなく、そこからしばらく時間が経過し、安定した定常状態の1年間の社会コストを対象としている。また、工場・インフラの投資・工事コストなどは耐用年数で年額換算する、減価償却に類する考え方で算出した。この際、保有台数やガソリンスタンド数、それに起因する雇用量などの各種パラメーターは現在の値をそのまま適用した。

(2) CN車両（パワートレイン）の種類

CN車両（パワートレイン）としては、BEV、FCV、e-fuel・PHEV、e-fuel・HEV、水素HEVの5つの環境対応車を対象とした。

さらにe-fuel・PHEVについては、年間走行距離に占める電動走行距離に応じて、野村総合研究所（NRI）の調査および文献を参考に、運用上の違いとして2つのケースを設定した。1つが年間走行距離に占める電動走行の割合が約37%と短いケースで、もう1つが電動走行の割合が約86%と長いケースである。前者については、家庭での充電があまり行われず、電動走行距離が短く、比較的HEVに近い運用となる保守的なケース、後者については、家庭での充電が十分に行われ、電動走行距離が長く、比較的BEVに近い運用がされる積極的なケースといえる。

なおNRIの調査によれば、乗用車の1日当たりの平均走行距離はPHEVで電動走行可能な距離未満であり、休日の遠出などを考慮した場合、電動走行の割合が約86%となる後者のケースが実際のPHEVの運用に近いものとして想定される。

これら5つのCN動力源は「エネルギーコスト、インフラ整備の必要性、車両製造コスト、車両整備にかかる工数や頻度、リサイクルにかかる費用」の観点で異なる特徴を持つ。

①エネルギーコスト

ガソリンなど液体燃料の代替燃料として、「BEV・PHEV向けには再エネ」「FCV・水素HEV車向けにはグリーン水素」「HEV・PHEV向けにe-fuel」の3つを想定する。代替燃料を用いた際にはe-fuel>グリーン水素>再エネの順で変換にかかる必要エネルギーやコストが大きくなるため、エネルギーコストの観点ではe-fuel・HEV>FCV・水素HEV>e-fuel・PHEV>BEVの順で高くなる。こ

れに関連して、PHEVでは走行距離に占める電動走行比率が高くなるほど、エネルギーコストは低く抑えられる。

②インフラ整備の必要性

e-fuel使用車両では、既存のガソリンスタンドが活用可能となると想定した。逆に、BEVやPHEV、FCV、水素HEVでは、新たなコストをかけて充電インフラや水素ステーションを整備する必要性が生じる。なお、バッテリー以外の動力源を持つPHEVでは、家庭用普通充電器の設置率はBEVほど高くする必要はないと想定し、公共急速充電器についても、BEVでは設置が必須となるものの、PHEVでは急速充電器の代わりに既存のガソリンスタンドにおいてe-fuelが給油されるものとして、公共用急速充電器は設置する必要はないと仮定した。

③車両製造コスト

バッテリー製造や電動パワートレインの製造コスト、燃料電池や水素タンクの製造コストが必要となるため、BEVとPHEV、FCVと水素HEVで車両価格は高くなるが、e-fuel・HEVは比較的安価に製造できる。

④車両整備にかかる工数や頻度

HEVではブレーキの摩耗が軽減されることから、ICEVと比較して車両整備コストは低くなる。また、BEVやFCVでは、内燃機関車両と比べて部品点数が少なくなるため摩耗や故障のリスクが低下し、車両整備にかかるコストも低くなる。水素HEVについてはHEVと同等の車両整備コストがかかると想定した。

⑤リサイクルにかかる費用

車体のリサイクル費用に加え、BEV、e-fuel・PHEV、FCVでは、それぞれバッテリーのリサイクル費用と水素タンクのリサイクルコストが新たに発生する。また、電池容量が増大するにつれてリサイクル費用も増加する。本稿では、EUバッテリー規則をはじめとした域内での資源循環の流れを踏まえ、環境対応車ではバッテリーのリサイクルが100%実施されると想定した。

前述の前提条件におけるエネルギーコス

ト、インフラ整備の必要性、車両製造コスト、車両整備にかかる工数や頻度、リサイクルにかかる費用が各CN動力源の社会コストの差異を生み出す重要なファクターと捉え、以降のシミュレーションを実施した。

3 シミュレーションのフレームワークと算出ロジック

前述の重要ファクターを考慮し、自動車のバリューチェーン全体にかかる社会コストを算出するために、推計対象をエネルギー（燃料または電力）製造、インフラ整備・維持、

表2 社会コストの構成要素

● 従来車と同等のプロセス ■ 従来車比較で新たに発生するプロセス					
	エネルギー製造	インフラ整備・維持	車両製造	車両整備	リサイクル
ICEV	● ガソリン製造 (石油精製)	● 燃料輸送 ● ガソリンスタンド	● ICE 製造 ● 車体製造	● 車体整備 ● ICE・トランス ミッションなど整備	● 車体リサイクル
BEV	■ 再生エネルギー発電	■ 送配電 ■ 充電器・ ステーション	● 車体製造 ■ 電動パワートレイン 製造 ■ バッテリー製造	● 車体整備 ■ 電動パワートレイン など整備 (部品数少)	● 車体リサイクル ■ バッテリーリサイクル
FCV	■ 水素生成	● 水素輸送 ● 水素ステーション	● 車体製造 ■ 燃料電池製造 ■ 水素タンク製造	● 車体整備 ■ 燃料電池など整備 (部品数少)	● 車体リサイクル ■ 燃料電池リサイクル ■ 水素タンクリサイクル
e-fuel PHEV	■ 合成燃料生成 ■ 再生エネルギー発電	● 燃料輸送 ● ガソリンスタンド ■ 家庭用充電器	● 車体製造 ● ICE 製造 ■ 電動パワートレイン 製造 ■ バッテリー製造	● 車体整備 ● ICE・トランス ミッションなど整備 ■ 電動パワートレイン など整備	● 車体リサイクル ■ バッテリーリサイクル
e-fuel HEV	■ 合成燃料生成	● 燃料輸送 ● ガソリンスタンド	● 車体製造 ● ICE 製造	● 車体整備 ● ICE・トランス ミッションなど整備	● 車体リサイクル ■ バッテリーリサイクル
水素 HEV	■ 水素生成	■ 水素輸送 ■ 水素ステーション	● 車体製造 ■ 水素タンク製造	● 車体整備 ● ICE・トランス ミッションなど整備	● 車体リサイクル ■ 水素タンクリサイクル

出所) 各種公開情報、専門家との議論を基に作成

車両製造、車両整備、リサイクルの5つのプロセスに分解し、推計した。

社会コストにはユーザー負担のみならず、民間企業・政府の投資などの負担も織り込

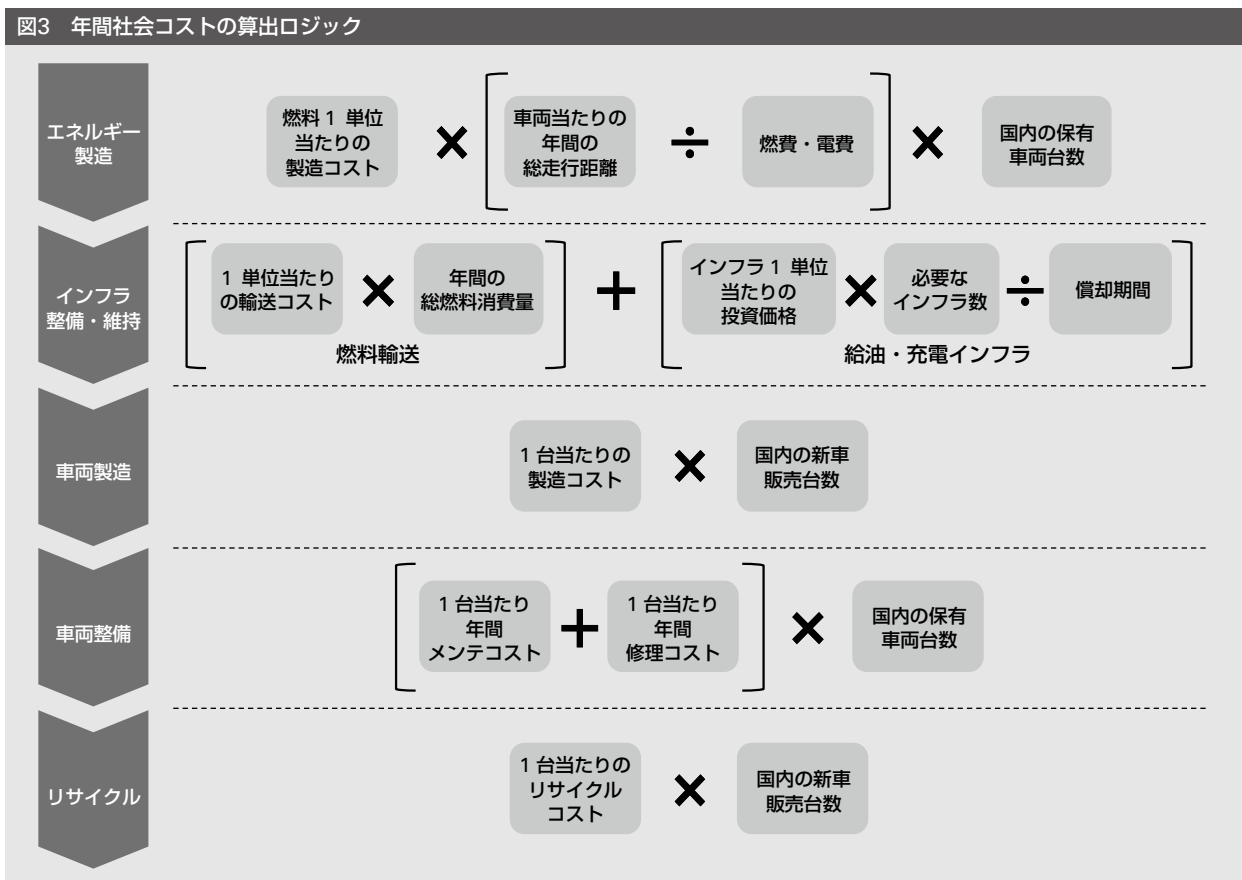
でいる。エネルギー（燃料または電力）製造プロセスでは、再エネ発電やグリーン水素生成、e-fuel生成にかかるコストを考慮する。インフラ整備・維持プロセスでは、エネルギ

表3 社会コストの主要パラメーター

年間平均走行距離：6,800km 乗用車保有台数：62,000,000台		新車販売台数：3,400,000台 ガソリンスタンド数：28,000軒		乗用車保有世帯数：47,000,000世帯 急速充電器設置数：620,000基	
年間e-fuel消費量（PHEV〈電動短〉）：120L 年間電力消費量（PHEV〈電動短〉）：200kWh		年間e-fuel消費量（PHEV〈電動長〉）：26L 年間電力消費量（PHEV〈電動長〉）：480kWh			
エネルギー製造		インフラ整備・維持	車両製造	車両整備	リサイクル
 ICEV	- ガソリン価格：150円/L - ガソリン消費量：520L/年	- 燃料輸送コスト：4.5円/L - ガソリンスタンド運営・維持・更新コスト：30,000,000円/軒・年	•1,900,000円/台	•60,900円/台	•35,000円/台
	- 再エネコスト：2～20円/kWhで変動 - 電力消費量：550kWh/年	- 普通充電器設置コスト：35,000円/基・年 - 急速充電器設置・維持コスト：1,200,000円/基・年	•2,550,000円/台	•37,400円/台	•279,000円/台
	- グリーン水素コスト：19～96円/Nm3で変動 - 水素消費量：32kg/年	- 燃料輸送コスト：86円/kg - ガソリンスタンド運営・維持・更新コスト：50,000,000円/軒・年	•2,740,000円/台	•38,900円/台	•289,000円/台
	- 再エネコスト：2～20円/kWhで変動 - e-fuelコスト：220～720円/Lで変動	- 普通充電器設置コスト：35,000円/基・年 - 燃料輸送コスト：4.5円/L - ガソリンスタンド運営・維持・更新コスト：30,000,000円/軒・年	•2,340,000円/台	•54,100円/台	•133,000円/台
	- e-fuelコスト：220～720円/Lで変動 - e-fuel消費量 190L/年	- 燃料輸送コスト：4.5円/L - ガソリンスタンド運営・維持・更新コスト：30,000,000円/軒・年	•2,230,000円/台	•55,700円/台	•47,200円/台
	- グリーン水素コスト：19～96円/Nm3で変動 - 水素消費量 49kg/年	- 燃料輸送コスト：86円/kg - ガソリンスタンド運営・維持・更新コスト：50,000,000円/軒・年	•2,450,000円/台	•55,700円/台	•56,700円/台

出所）各種公開情報、専門家との議論を基に作成

図3 年間社会コストの算出ロジック



ーの輸送、ガソリンスタンドの維持・更新、充電ステーションの設置・維持・更新、家庭用充電器の設置・維持・更新、水素の輸送、水素ステーションの整備・維持・更新にかかるコストを考慮する。車両製造、車両整備、リサイクルプロセスでは、電動パワートレイン、バッテリー、燃料電池、水素タンクに関連して増減するコストを考慮する（表2）。

これらの構成要素の主要パラメーターは表3のように設定した。なお、各パラメーターの数値に関しては、それぞれ文献・有識者ヒアリングにより検証・補完している。

次に各プロセスにおける社会コストの算出ロジックについて説明する。エネルギー製造プロセスでは、エネルギー1単位当たり製造

コストに国内の保有車両（約6200万台^{※2}）の年間エネルギー消費量を掛け合わせることで、国内のエネルギー製造にかかるコストを算出する。国内インフラ整備・維持プロセスでは、燃料輸送にかかるコストに加えて、インフラ1単位当たりの投資価格に必要なインフラ設備の数を掛け合わせ、更新期間を考慮して給油・充電インフラの整備・維持にかかるコストを算出している。車両製造プロセスでは1台当たりの製造コストに国内の新車販売台数（約340万台^{※3}）を掛け合わせて算出し、整備・リサイクルプロセスでは、1台当たりの年間メンテナンスコスト、修理コスト、リサイクルコストに国内の新車販売台数を掛け合わせて算出している（図3）。

Ⅲ 日本の実状を前提にした シミュレーション結果

1 シミュレーションの条件設定

本章では、実施したシミュレーションの条件および結果について述べる。

自動車のCNを実現するに当たり、社会コストの観点で特に大きな影響を持つと想定されるのが、エネルギーコストである。日本では、再エネコストが諸外国に比べ高い中、将来的な再エネコスト低減と社会コストの関係を検討することを目的として、本シミュレーションではエネルギーコストに応じて複数のケースを設定した。まず、①日本国内において、再エネからe-fuelを製造することを想定した場合、である。この場合、再エネコストとe-fuelコストが連動するケースとなる。一方、②再エネは日本国内で発電するものの、e-fuelについては再エネのコストが低い他国で生産して日本に輸入することを想定した場合、である。この場合、再エネコストとe-fuelコストが連動しないケースとなる。

なお、グリーン水素については、液化水素・MCH（メチルシクロヘキサン）・アンモニアなどの水素キャリアが想定されるものの、現時点では海外からの大規模な輸入が見通せていないことを踏まえ、①②いずれの場合も日本国内で再エネ電力を用いて生産することを前提とした。

①②のケースの中で具体的にコストを設定し、①のケースでは、再エネコストが、①2円/kWh、②10円/kWh、③20円/kWhの3つのパターンで、②のケースではe-fuelを④225円/L（再エネ2円/kWhで製造）、⑤448円/L（再エネ10円/kWhで製造）で輸

入する2つのパターンでシミュレーションを実施し、合計5つのパターンを適用した。

いずれの場合も充電インフラについては公共急速充電器の設置割合を、保有台数ベースで乗用車100台に対し充電器が1基設置されるという仮定を置いた。

2 シミュレーション結果

シミュレーションの結果が図4-①～⑤である。

①の再エネ・e-fuelコストが連動し、再エネコストが2円/kWhの場合は、e-fuel・PHEVのうち、電動走行距離の長いケースの社会コストが最も低くなり約134兆円、次いでe-fuel・HEVが低くなり約14.2兆円、BEVは3番目となる（図4-①）。

エネルギー製造コストについては再エネコストが2円/kWhであることの影響が大きく、BEVが684億円、グリーン水素を利用するFCVが4100億円、e-fuel・PHEVが電動走行距離の長いケースで4150億円、短いケースで1.6兆円と、ガソリン価格を148円/Lとした場合のHEV100%のケースのエネルギーコスト1.7兆円に比べ、いずれも小さくなり、特にBEVの小ささが際立つ結果となった。

燃料輸送コストについては、電力網による供給が可能な再エネでは不要となるが、輸送効率の悪い水素を活用するFCV・水素HEVは2000億円程度となった。

給油・充電インフラについては、e-fuelを使用する動力源が既存のガソリンスタンドを活用することで維持・更新費用を抑制可能な一方で、BEVでは公共急速充電器・家庭用普通充電器の設置・更新が必要となるため2.2兆円となった。また、PHEVも普通充電器

図4 日本における各動力源の年間社会コスト（億円）

図4-① 再エネコスト 2 円/kWh、e-fuelコスト再エネ連動の場合

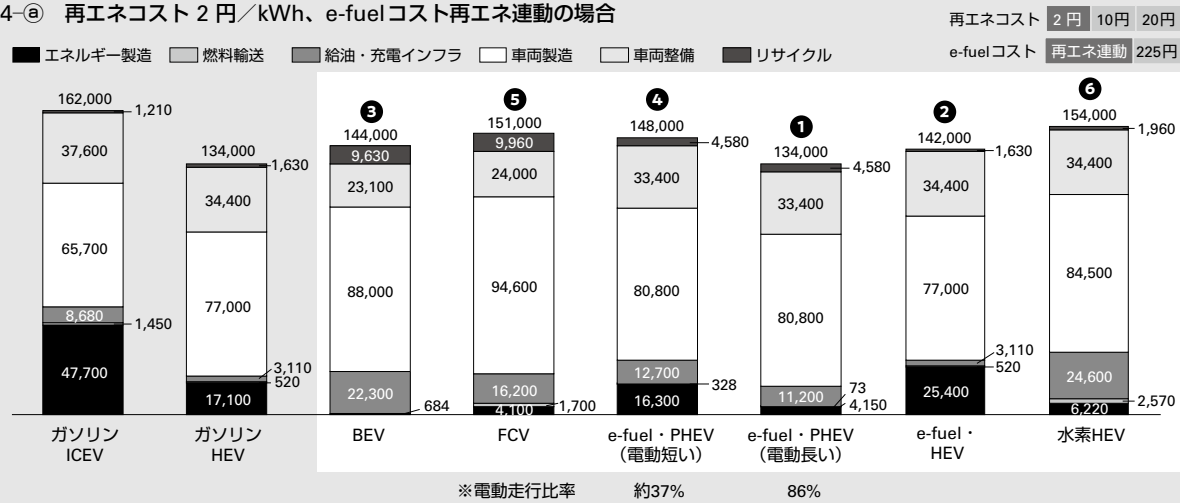


図4-② 再エネコスト 10 円/kWh、e-fuelコスト再エネ連動の場合

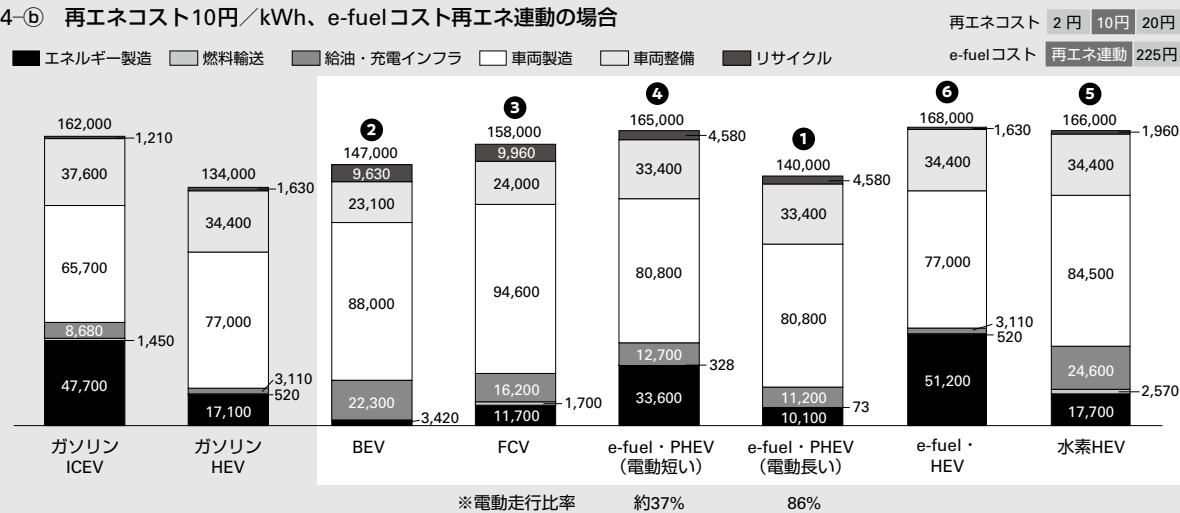
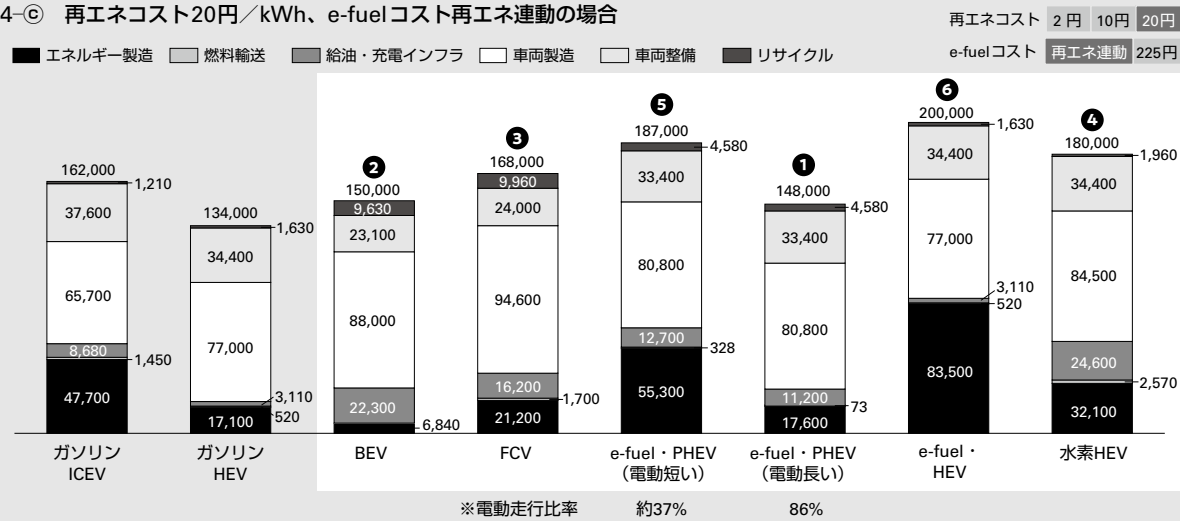


図4-③ 再エネコスト 20 円/kWh、e-fuelコスト再エネ連動の場合



※急速充電器：100台／基の場合

図4-④ 再エネコスト20円/kWh、e-fuelコスト225円/Lの場合

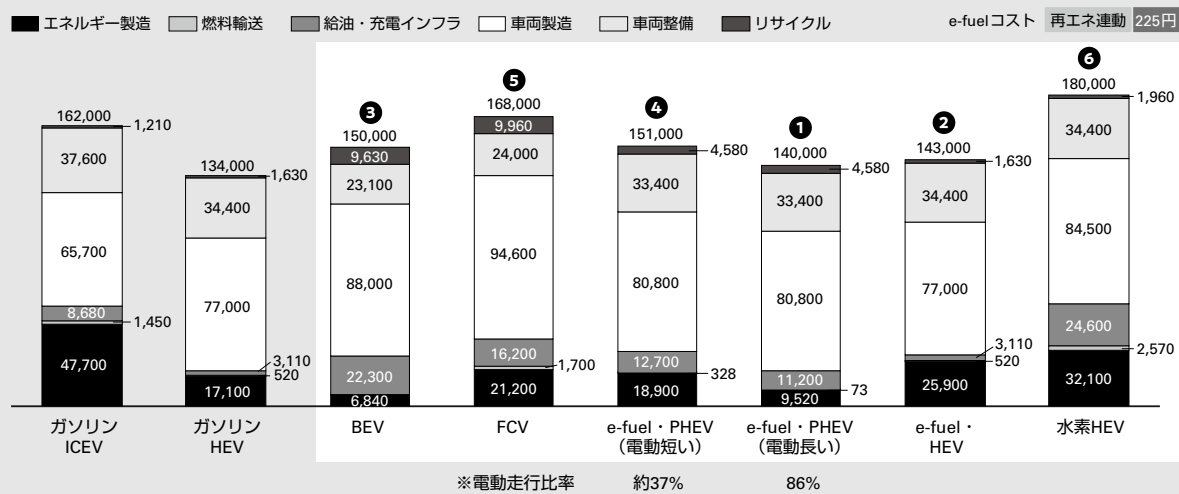
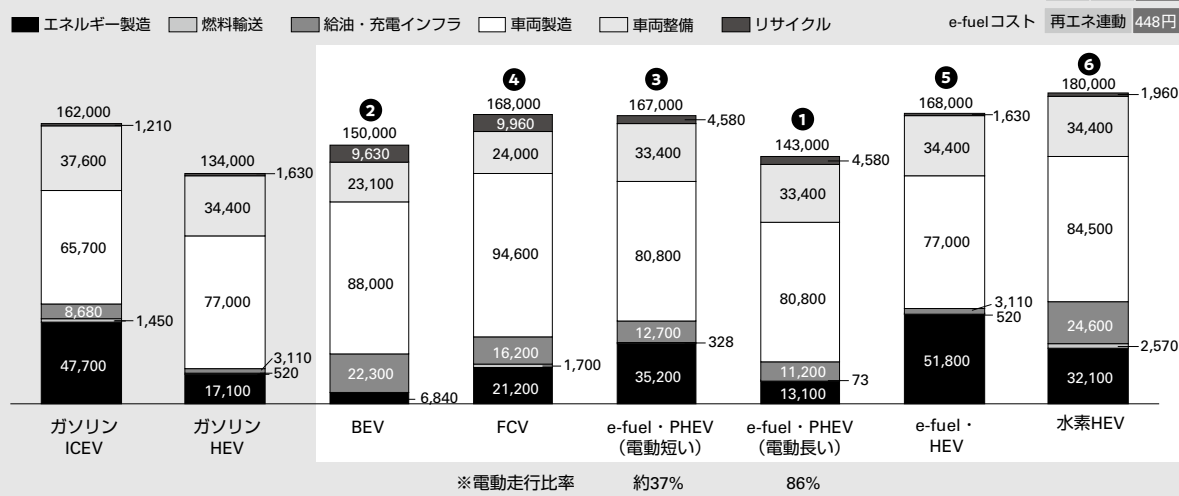


図4-⑤ 再エネコスト20円/kWh、e-fuelコスト448円/Lの場合



※急速充電器：100台/基の場合

にかかるコストとして1兆円以上の費用が生じる結果となった。

車両製造コストについては、バッテリーコストに応じて動力源ごとに差が出る結果となり、BEVでは8.8兆円、PHEVでは8.1兆円とICEV・HEVに比べ1～2兆円程度高くなった。

車両整備コストについては、BEVの場合

部品点数の減少に伴い整備性が向上するため、HEV・ICEVに比べ1兆円以上低下した一方で、リサイクルコストについては電池のリサイクルが必要となるため、電池容量に応じてBEV・PHEVのリサイクルコストがHEV・ICEVに対して増加する結果となった。

⑥の再エネコストが10円/kWhの場合、エネルギー製造コストが④に比べ増加し、エ

エネルギー変換が必要な、特にe-fuelとグリーン水素へのコスト増加影響が大きくなった。そのため、㉑同様に電動走行割合の高いe-fuelを用いたPHEVの社会コストが最も低くなるが、次点はBEVの14.6兆円と差が縮まる結果となった（図4-㉑）。

㉒の再エネコストが20円/kWhと現在とほぼ同等の場合も、同様にe-fuelとグリーン水素へのコスト増加影響が大きくなり、引き続きe-fuel・PHEVのうち電動走行距離の長いケースの社会コストが最も低いものの、次点のBEVとの差は大きく縮まることとなる（図4-㉒）。

また、㉓再エネとe-fuelコストが連動せず、再エネのコストにかかわらずe-fuelを一定額で輸入することが可能なケースも想定した。

㉔の日本国内の再エネコストが20円/kWhの一方でe-fuelについては、再エネコストが2円/kWhの国から225円/Lで輸入する場合、高額な再エネコストがe-fuelコストに影響することを抑制できるため、電動走行割合の高いe-fuelを用いたPHEVの社会コストが最も低くなり、次いでe-fuelを用いたHEVの社会コストが低くなった（図4-㉔）。

㉕の日本国内の再エネコストが20円/kWhの一方で、e-fuelについては再エネコストが10円/kWhの国からe-fuelを輸入する、e-fuelの調達コストが448円/Lの場合も、やはり輸入によりe-fuelのコスト増加を抑制することが可能となるため、e-fuelを用いたPHEVのうち電動走行距離の長いケースの社会コストが低くなる結果を得た（図4-㉕）。

3 結果の考察

PHEVとBEVの社会コストの構造を比較すると、PHEVはBEVよりも給油・充電インフラの設置・維持コスト、車両製造コスト、リサイクルコストの3つが低い一方で、エネルギー・燃料コストと整備関連コストが高くなっている。

エネルギー・燃料コストについて、コストを押し上げる主な要因は再エネのコストとエネルギーの消費量（電力消費量・燃料消費量）である。PHEVは走行時に電力とe-fuelの両方を消費する一方で、BEVは電力のみを消費する。第Ⅱ章で述べたとおり、e-fuelは再エネから製造されたグリーン水素を合成することで製造するため、エネルギーの変換効率が悪い。

今回のシミュレーションでは、PHEVの総走行距離に占める電動走行割合を電動走行距離の長い場合で約86%、短い場合で約37%と設定しており、電動走行距離が長い場合でも一定の燃料走行が必要となることから、BEVよりもエネルギーコストが高くなる結果となった。ただし、このコスト差はe-fuelを輸入することで低減することが可能である。島国である日本において、他国からの再エネ輸入は難しいが、液体燃料であるe-fuelについては、再エネコストすなわちe-fuelの製造コストが安い海外で生産し、それを輸入することでエネルギーコストを抑制できる。今回のシミュレーションでは、㉒の再エネコストが20円/kWh、e-fuel国内生産の場合のPHEV（電動走行距離長い）とBEVのエネルギーコスト差が年間約1.1兆円だったのに対し、㉔のe-fuelを225円/Lで輸入する場合は約2700億円、㉕のe-fuelを448円/Lで輸入す

る場合でも約6300億円にまで低減することができる。

給油・充電インフラコストについては、新たに設置することとなる公共急速充電器がコストを大きく押し上げる要因となっている。前述したとおり、今回のシミュレーションでは、公共急速充電器についてはBEVでは設置が必須となるものの、PHEVではe-fuelが給油されるため、急速充電器の整備の必要はないと仮定した。同様に、PHEVの家庭用普通充電器の設置率はBEVより低くできるものと仮定した。BEVは公共急速充電器を数多く設置し、かつ定期的に設備更新をする必要があるため、既存のガソリンスタンドを有効活用できるPHEVに比べてインフラコストが1兆円以上高くなる計算となった。

車両製造・整備コスト・リサイクルコストについては、部品点数の差、バッテリー容量の差がコストに影響する主な要因となっている。BEVでは部品点数が内燃機関を搭載したPHEVに比べ減少するため、整備コストが低下する一方で、PHEVよりもバッテリー容量が大きいため、車両製造コストとバッテリーも含めた車両のリサイクルコストが高くなっている。

上記の要因も踏まえ、日本において今回規定した経済合理性の観点から見ると、PHEVのうち電動走行距離の長いケースが最も優位であるという結果を得た。加えて再エネコストが諸外国に比べ高く、将来的にも諸外国水準のコスト達成が見通しづらい日本では、再エネコストの安い他国で生産されたe-fuelを輸入することができれば、経済合理性はさらに高まるといえる。

(参考) 動力源の変化と雇用の関係

なお、今回は社会コストとは別の観点として、雇用量についても簡易的に動力源の変化による影響を試算した。経済産業省・日本自動車工業会の発表している自動車産業にかかわる雇用量をベースに推計を行い、日本自動車工業会で公表されている自動車関連雇用550万人から、特に動力源の変化による変動が想定される雇用約160万人を特定した。そのうえで、社会コストと同様にエネルギー製造、インフラ整備・維持、車両製造、車両整備、リサイクルの5つのプロセスにおいて影響を推計した。なお、雇用影響は再エネ・グリーン水素・e-fuelいずれも国内で生産されるものとして推計した。

結果としては、BEVの場合の雇用が最も少なくなり、105万人、次いでFCVが132万人、電動走行距離の長いe-fuel・PHEVが141万人となった。雇用に大きな影響を及ぼしているのは、エネルギー製造プロセスのエネルギー会社従業員、インフラ整備・維持プロセスのガソリンスタンド従業員、車両製造プロセスの従業員などである。主な変化分について、BEVの場合、既存のガソリンスタンドがすべて公共急速充電器に置き換わり、多くの場合急速充電器は商業施設やサービスエリアなどの駐車場に設置され、無人で運用するため、現状の33万人の雇用のほとんどが減少した。またBEV・FCVではエンジンを搭載しないことにより、車両製造関連の従業員が27万人減少することとなった。

自動車関連産業、ひいては日本国内の産業・雇用量の観点からは、できるだけ雇用を維持する方が好ましいという見方はできるものの、CNの達成を目標としている2050年や

さらにその先を見据えた超長期的な目線からは、日本の生産年齢人口の減少は顕著であり、労働力の供給は減少傾向にあることから、必ずしも雇用量の減少は悲観するものではないという捉え方ができる。むしろ、一定程度の雇用量の減少は受け入れつつ、高付加価値・高生産性の労働ができるだけ国内に集積するような形で、自動車関連産業を維持・強化していくことが重要といえるだろう。

Ⅳ 日本における自動車の カーボンニュートラルに向けた トランジションのあり方

1 シミュレーション結果と 現実とのギャップ

日本は諸外国に比べて再エネコストが高く、乗用車の平均年間走行距離が約6800km³⁴と短いという、やや特殊な条件を備えた国である。その結果、今回の検討において社会コストの観点では、e-fuel・PHEVのうち、電動走行距離の長いケースの経済合理性が高いということが分かった。

ただ、実際には日本でPHEVの普及は十分に進んでおらず、またBEVの販売台数も伸び悩んでいるのが現状である。これはユーザーにとってCNへの意識は高まりつつあるものの、BEVやPHEVなどのCN車両のTCO（Total Cost of Ownership）が依然として高く、行政としても補助金などで購入のハードルを下げ切れていないのが要因の一つとして考えられる。

一方で、行政が補助金を支給し、TCOを下げられたとしても、社会全体として見た場合にはコストの負担者がユーザーから行政に

置き換わるだけであり、社会コストが減少しているわけではない。このため、最終的には国民負担に補助金分が反映されてしまうことになる。日本で自動車にかかるCNを中長期的に推進していくうえでは、社会全体としてコストを低減させるという考え方が極めて重要である。

2 日本社会・日本自動車産業 としての方向性

①本稿では、日本においてe-fuel・PHEVのうち電動走行距離の長いケースが社会全体の経済合理性の観点ではかのCN動力源に比べ優位性を持ち、自動車にかかわるCNを推進するうえでの重要なオプションの一つとなるということを述べてきた

②しかし、経済合理性の観点だけでなく、2050年に自動車関連領域でCNを達成するには、新車販売のCN動力源への移行はもちろんのこと、保有車両も含めて脱炭素化を進めていく必要がある。その点でも既存のICEVやHEVにe-fuelなどのCN燃料を使用していくことは重要なオプションといえる。

一方でe-fuelは普及に向けた課題も多く、そもそもの供給量確保が必要な点や、e-fuelコストが448円/Lの場合にe-fuel・PHEVの内電動走行距離の長いケースと、e-fuel・HEVのエネルギー製造コスト差が約4兆円になることから分かるとおり、生産コストの低減が必須であり、見通しは楽観的ではない

③その中で、今回簡易的に推計したところ、

PHEVのうち電動走行距離の長いケースでは、既存のICEVをPHEVに置き換えると燃料の消費量を約95%低減することが可能であることが分かった。これは必ずしもe-fuelが100%普及しなかった場合でも、PHEVへの転換が相当程度の脱炭素効果を持つということであり、e-fuelの普及状況によらずPHEVが脱炭素化への重要なオプションの一つだと示唆されている

- ④また今回は、いずれかのCN動力源が保有の100%を占めるという極端な仮定を置いてシミュレーションを行ったが、現実にはいずれか一つのCN動力源が100%を占めるという状況は実現し難いという点には留意が必要である。実際には今回優位性が示されたe-fuel・PHEVだけでなく、BEVやFCVなどとの動力源ミックスでCNが達成されることが想定される。そのような場合には「どのようにして社会コストを低減していくか」という観点が重要である

- ⑤たとえばBEVについては、社会コストの多くを占めるインフラ関連コストと車両製造コストの2つについて低減を図っていくことが求められる

- インフラ関連コストについては、行政や産業界として連携をしながら低減する必要がある。たとえばコストの大きな公共急速充電器については、設置場所を最適化することで設置数を抑制したり、普通充電器については全世帯に設置するのではなく、一部世帯については公共急速充電器の利用を前提とすることで充電器を

設置せずにインフラ整備のコスト効率を高めたりするということが考えられる。

このような活動は、たとえば保有車両が多数存在する人口密集地域では公共急速充電器を高密度で設置し、過疎地域では使用率が低下する公共急速充電器ではなく、各家庭における普通充電器の設置を推進するなど、地域の特徴に合わせて実施する必要がある。また家庭用充電器の設置と公共急速充電器の設置では、それぞれ設置主体が異なるため、充電インフラの社会全体での最適化を各社独自活動として行うことは難しい。そのため、官民が協調しながら全体最適を追求することが重要である

- 車両製造コストについては、BEVの車両コストの多くを占める電池についてコスト低減を図る必要がある。NRIが2023年に実施した「世界4極でのEV購入意向に関する消費者動向調査」では、BEVを購入したいと回答した日本人のうち約4割が、300kmの航続距離があればBEVを利用したいと回答するという結果を得た。このことから分かるとおり、ユーザーは必ずしも長大な航続距離だけを求めているわけではない。自動車メーカーとしても航続距離の長大化、すなわち電池容量の増大を追求するだけでなく、ユーザー層や車両の用途に応じて電池容量を最適化し、コストを抑制したBEV（スマートレンジBEV）の普及を推進していくということが求められるであろう

最後に、日本の自動車産業は輸出産業であ

り、かつエネルギーや資源についてはその多くを輸入しているという点も重要な視点である。たとえばe-fuelを使用する場合、相当量のe-fuelを低価格で調達することが求められる。日本国内で地産地消するというよりは、再エネコストの低い他国でe-fuelを生産し、量を確保したうえで日本に輸入する必要がある。

日本製自動車の輸出先の確保として、仮に日本国内の販売がPHEV100%となった場合でも、他国ではほかの動力源の車両の需要が大きければ、当該動力源の車両を生産する必要がある、逆に他国でもPHEVを販売していくことができれば、販売台数の維持・拡大のチャンスを得ることができる。このように、現時点では大規模な商業化が実現していない低価格e-fuelの供給量確保や、先行きの不透明な電動車の市場確保のためには、政府・産業界として他国も巻き込んだ活動を展開していく必要がある。

前編（本稿）では、日本においてPHEVのうち電動走行距離の長いケースが社会全体の経済合理性上、大きな優位を持ち、現実的なCNの手段として重要な選択肢の一つとなることを明らかにした。また、PHEVのうち電動走行距離の長いケースだけでCNを実現しない場合でも、行政・産業界の連携を通じてBEVのバッテリー容量最適化による車両製造コスト低減や、充電インフラの効果的な設置が重要であることを示唆し、日本自動車産業におけるCN推進の方向性に一石を投じた。

そのうえで、日本自動車産業として海外との連携が不可欠である前述の状況も踏まえて、後編では、日本だけでなく諸外国にも焦点を当てたシミュレーションを実施し、諸外

国との関係性の中で日本として取るべき方向性を論ずることとする。

注

- 1 経済学上では「社会的費用（Social Cost）」として企業などによる私的な経済活動の結果生じる公害や環境問題などにより、第三者または社会全体が負担する費用として定義されるが、本稿では「社会コスト」を、「政府（行政）・民間企業・消費者の三者が負担するトータルコスト」として定義した
- 2 一般社団法人自動車検査登録情報協会ニュースリリース「1世帯当たり1.025台に」（2023/8/17）
<https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv0000013e5h-att/kenbetsu2023.pdf>
- 3 一般社団法人日本自動車工業会「日本の自動車工業2023」
https://www.jama.or.jp/library/publish/mioj/ebook/2023/MIoJ2023_j.pdf
- 4 ソニー損保「2023年 全国カーライフ実態調査」
https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2023/07/20230727_01.html

参考文献

- 1 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構. 次世代火力発電等技術開発／次世代火力発電技術推進事業／CO₂からの液体燃料製造技術に関する開発シーズ発掘のための調査. 2020
- 2 Argonne National Laboratory. Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains. 2021
- 3 Keigo Akimoto, Fuminori Sano, Yuko Nakano, Assessment of comprehensive energy systems for achieving carbon neutrality in road transport, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 112, 2022, 103487

著者

濱野友輝（はまのともき）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部自動車グループマネージャー

専門は自動車業界を中心とした経営・事業戦略、M&Aアドバイザー、DX・業務改革の策定・実行支援など

山田昌輝（やまだまさき）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部自動車グループコンサルタント

専門は自動車業界・総合化学業界などを中心とした経営・事業戦略、経営改革・ROIC経営、新規事業開発など

石川祐樹（いしかわゆうき）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部自動車グループコンサルタント

専門は自動車業界を中心とした経営・事業戦略、イノベーションマネジメント、業務改革など

和田義規（わだともき）

野村総合研究所（NRI）グローバル製造業コンサルティング部自動車グループコンサルタント

専門は自動車業界を中心とした事業戦略、新規事業開発、実行支援など