

自動車部門のポートフォリオ最適化による現実的な CO2 削減目標と補助金規模*

東北学院大学
倉田洋研究会
都市交通②

菊田大翔
小山瑞稀
本田太輝
渡邊重杜
渡辺結衣子

2021 年 11 月

* 本稿は、2021年12月11日、12日に開催されるISFJ日本政策学生会議「政策フォーラム2021」のために作成したものである。本稿の執筆にあたり、倉田洋先生、中野冠先生、有森揚祐先生をはじめとする多くの方々からご指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。なお、本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。

要約

菅元総理大臣は、政府の地球温暖化対策推進本部の会合で、2030年に向けた温室効果ガス削減目標について、2013年度比で46%削減することを目指すと表明した。これらの目標を踏まえると、脱炭素化は喫緊の課題であり、解決が急務とされている。本稿では、自動車部門の二酸化炭素(CO₂)排出量削減に注目し、将来のクリーンエネルギー自動車の普及や国内車種の最適ポートフォリオ(車種構成)について論じていく。

本稿は以下のような構成となっている。

第1章では、日本の温室効果ガスの排出量や削減目標、現行の政府の政策などの現状から課題を提示する。温室効果ガスの主要なガスの一つであるCO₂について、2020年時点において国内の総CO₂排出量のうち、約20%が運輸部門である。運輸部門における総CO₂排出量の86%を自動車(乗用車、トラック、バス)が占めており、CO₂排出量の削減に向けた対策が求められている。また、日本において次世代自動車の普及が進まない要因をデータをもとに論述している。さらに、本稿で取り上げるクリーンエネルギー車(CEV)について紹介している。

第2章では、先行研究として、CO₂排出目標および石油依存度目標を達成する自動車部門における「最適ポートフォリオ」(車種構成)について研究している先行研究を紹介した。有森・中野(2012)では、水素ステーション等、CEVのインフラコストを新たに考慮した経済性を目的関数とし、それ以外の要素であるCO₂排出量を制約条件として最適化問題を解き、ポートフォリオの対象を乗用車に加えトラック及びバスも含めることで自動車全体を対象として最適なポートフォリオを算出し、実現に必要な補助金規模も明らかにしている。

第3章では、有森・中野(2012)の自動車部門の「最適ポートフォリオ」に関する研究を参考にして分析を行う。本稿では、経済性、CO₂排出量の2つの側面から日本国内車種の「最適ポートフォリオ」(車種構成)を算出していく。先行研究と同じように経済性を目的関数とし、それ以外の要素(CO₂排出量)を制約条件とする制約法により最適化問題を解いていく。入力として制約値、車種ごとの特性およびその他前提条件を与えることで、出力としてCEVごとの新車販売台数の最適解が得られた。また、この解における保有台数、CO₂排出量、各種コストなどを算出することが出来た。これまでの研究ではあまり考慮されていなかったエネルギー・インフラコストといった要素を含んだ新たなモデルを構築できた。また、このモデルを用いて乗用車を対象とし、2050年におけるCO₂排出量制約を達成する中で最も経済合理的な国内の「最適ポートフォリオ」を算出した。先行研究の多くは2020年の数値が将来予測された推計値となっているが、本稿では現在の最新データで分析し、推計値であった2020年を再検証し、その値をもとに2050年の将来推計を行う。最新の動向を踏まえて将来推計を行うことは価値があるといえる。

第4章では、現状や分析を踏まえて政策提言の方向性について述べている。我々は2035年までに新車販売によるガソリン車をすべて廃止する目標は不可能であると仮説を立て、最新のデータを用いてCO₂排出目標を達成する中で最も経済合理的な最適ポートフォリオを算出した。これらの結果より2つの政策提言が導かれる。

1つ目は「ガソリン車の新車販売の継続」である。分析で、CO₂排出制約を設けずCEVシステムコストを最小化した場合は、車両価格の安いガソリン車・ディーゼル車が選択された。経済性を考慮すると、消費者はコストの抑えられるガソリン車を選択すると考えられ

る。政府は2035年までにガソリン車の新車販売をなくすことを目標としているけれども、今回行った分析では、2050年における乗用車の新車販売割合では一定のガソリン車が含まれていた。電気自動車、燃料電池車などは今後、車両価格が低下すると見込まれているが、現時点では車両価格も高く、充電インフラ設備等の整備が不十分で未だ購入の障壁も多い。経済性を考慮すると、消費者はコストの抑えられるガソリン車を選択すると考えられる。ガソリン車の新車販売を禁止するのではなく、ガソリン車の新車販売を継続し、クリーンエネルギー車などと並行し、長期的にCO₂削減目標に近づけていくことが必要であることを提言する。

2つ目は、「自動車部門でCO₂排出量を削減する場合の補助金支給」である。2050年までにCO₂排出量を2020年比で削減する場合（-30%、-35%、-40%）のCEVシステムコストの合計から、必要な補助金規模を算出した。現在行われている補助金規模（年間155億円）では、上述の3ケースの実現は難しいことが示される。CO₂排出目標を2020年比で-30%と設定した場合の補助金規模は、約6千億円であり、2050年までに年間約200億円が必要であることが示された。したがって、2050年までに自動車（乗用車）部門において達成できる現実的なCO₂削減量は、2020年比で-30%であることが示唆される。

目次

第1章 現状・問題意識

- 第1節 問題意識：CO2 排出削減の必要性
- 第2節 政府の現状と課題
- 第3節 クリーンエネルギー自動車普及の期待
- 第4節 クリーンエネルギー自動車の種類

第2章 先行研究及び本稿の位置づけ

- 第1節 先行研究
- 第2節 本稿の位置づけ

第3章 分析

- 第1節 分析方法
- 第2節 前提条件・分析に用いるデータ
- 第3節 分析結果

第4章 政策提言

- 第1節 政策提言の方向性
- 第2節 政策提言

おわりに

参考文献・データ出典

第1章 現状・問題意識(目指す日本の将来像)

第1節 問題意識：CO2 排出削減の必要性

菅元総理大臣は、政府の地球温暖化対策推進本部の会合において、2030年に向けた温室効果ガスの削減目標として、2013年度比で46%削減することを目指すと表明した。集中豪雨、森林火災、大雪など、世界各地で異常気象が発生する中、脱炭素化は喫緊の課題であり、気候変動への対応は、経済を力強く成長させる原動力になるという考えを示している。このような発表から、脱炭素化や再生可能エネルギーが注目されている。

ここで、2013年度比46%とはどのくらいの量なのかを確認する。2013年度の温室効果ガス排出量が約14億800万トンであることから、その排出量の46%にあたる約6億4000万トンが削減目標だといえる。図1は日本における温室効果ガス削減量の推移と目標値を示している。2014年～2019年にかけて温室効果ガスの削減量は徐々に増加しているが、その増加率はそれほど大きくないことがわかる(図1)。

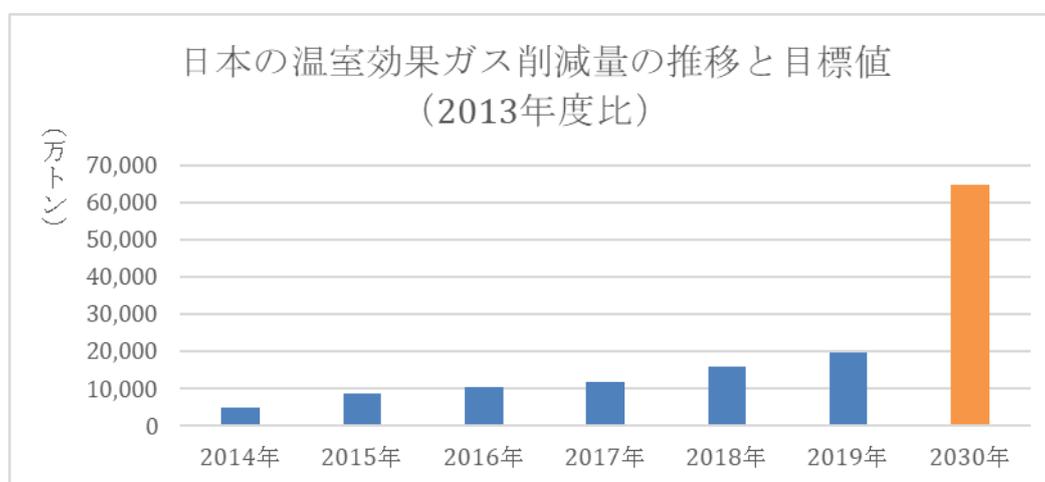


図1 日本の温室効果ガス削減量の推移と目標値
環境省 「温室効果ガス排出・吸収量等の算定と報告～温室効果ガスインベントリ等関連情報～(2013～2019年度)確報値」より筆者作成

地球温暖化に影響を与える温室効果ガスの中でも主要なガスの一つである二酸化炭素(CO2)に注目する。図2は2019年の日本国内の総CO2排出量の割合を示している。2019年の国内総CO2排出量のうち、運輸部門が約20%と大きな割合を占めている。運輸部門は大

きく自動車、航空、二輪車、内航海運、鉄道に分類される。運輸部門における総 CO2 排出量の 86%を自動車（乗用車、トラック、バス）が占めている（図 3、図 4）。自動車は国内の総 CO2 排出量において大きな割合を占めており、CO2 排出量の削減に向けた対策が求められている。

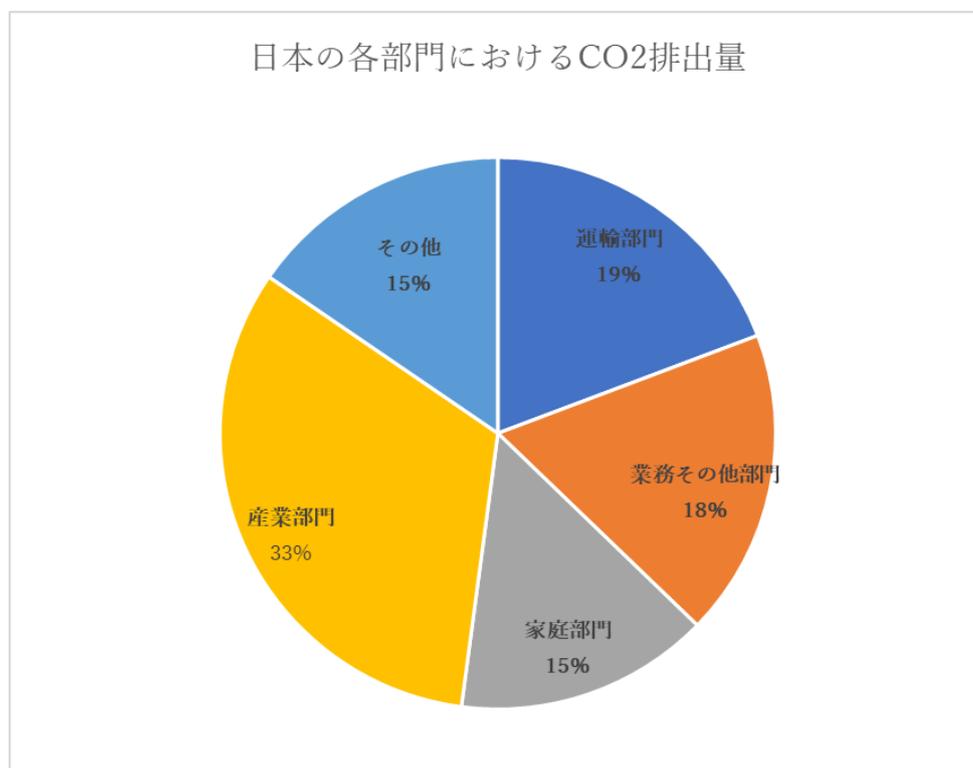


図 2 日本の各部門における CO2 排出量
国立研究開発法人 国立環境研究所：「日本の温室効果ガス排出量データ
(1990～2019 年度) 確報値」より筆者作成

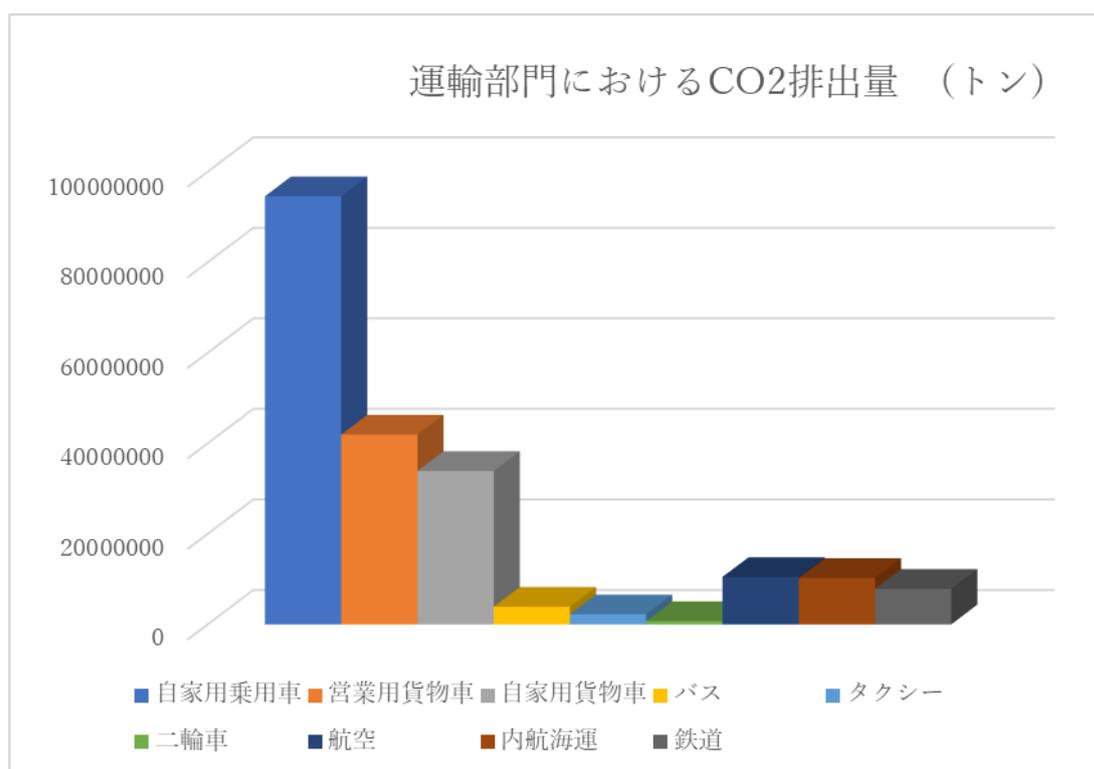


図3 運輸部門におけるCO2排出量(トン)
 国立研究開発法人 国立環境研究所：「日本の温室効果ガス排出量データ
 (1990～2019年度)確報値」より筆者作成

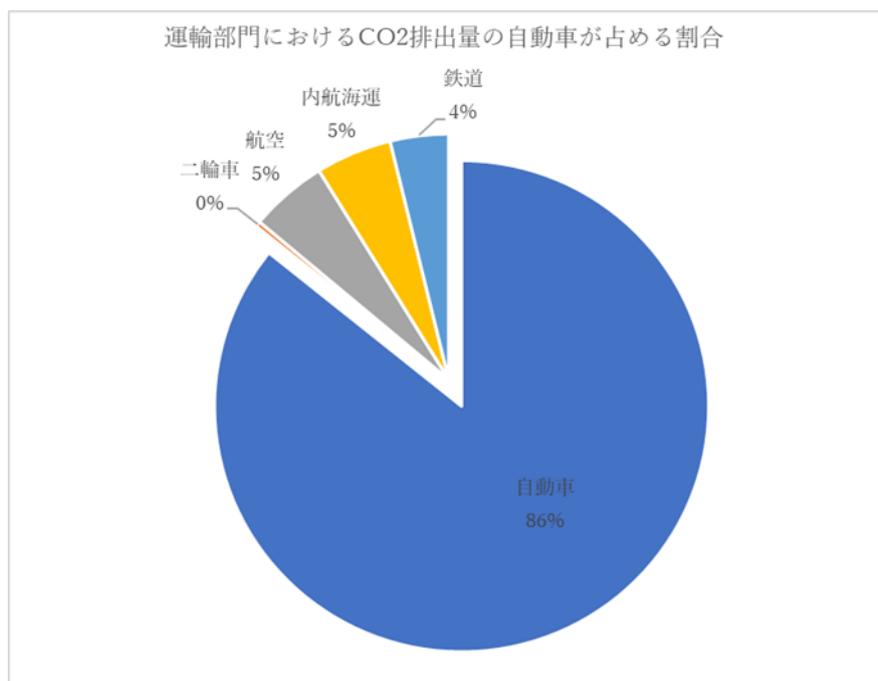


図4 運輸部門におけるCO2排出量に自動車占める割合
 国立研究開発法人 国立環境研究所：「日本の温室効果ガス排出量データ
 (1990～2019年度)確報値」より筆者作成

第2節 政策の現状と課題

日本政府は2020年10月に温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするというカーボンニュートラルを2050年までに達成すると宣言しており、これら二つの目標達成の手段の1つとして「自動車の電動化を推進する」と宣言した。そして、すべての新車販売を電動車へと切り替える時期を今から14年後の2035年までと明言した。¹しかし、この政策の実現には3点の懸念点がある。

1点目は、電気自動車の充電には長い時間が必要になることである。経済産業省の「EV・PHV情報プラットフォーム」によると、160km走行するために必要な充電には普通EV充電スタンドの場合、コンセント型だと14時間、ポール型でも7時間必要とし、急速EV充電スタンドによる充電でも30分を必要とする。(図5)よって、EV充電スタンドでの充電は長時間必要とすることから、ガソリンスタンドのような運用方法をとることは難しく、利用者は不便に感じると考えられる。また、充電スタンドを使用する場合は自宅に設置する可能性が高く、利用者に設置費用・維持費用等の負担がかかる。これらの観点から、充電時間を短縮できなければ、電気自動車の利用者は増加しないのではないかと考える。

¹ 毎日新聞 2021年1月23日

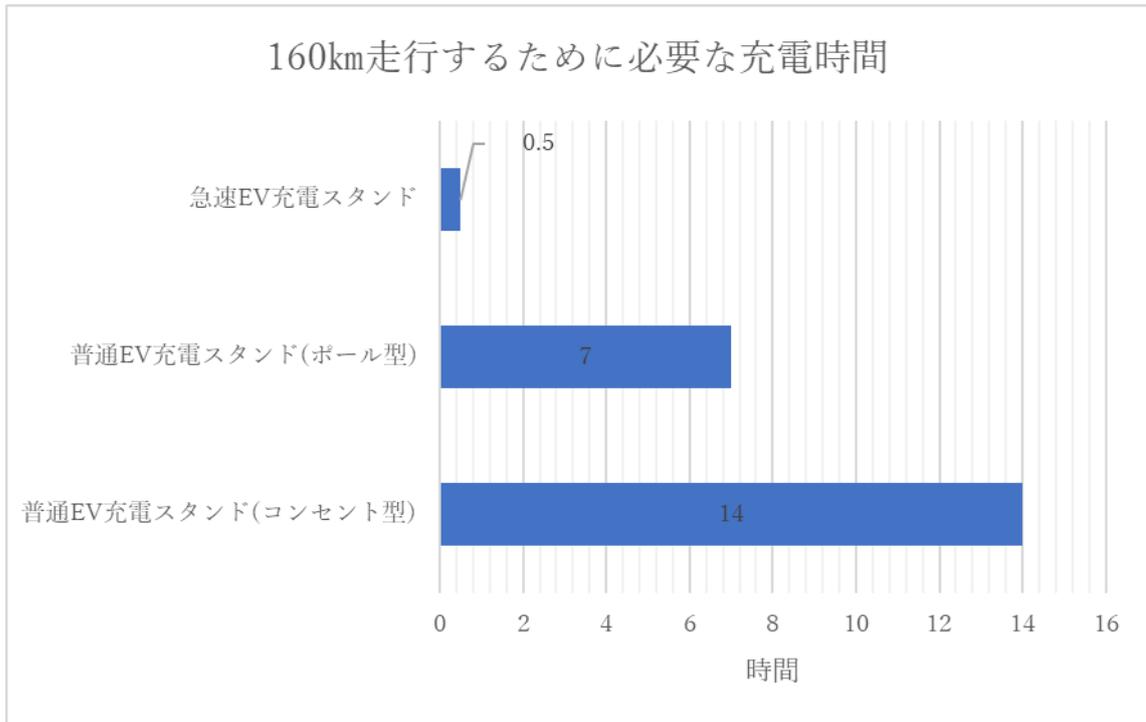


図5 160 km走行するために必要な充電時間
 経済産業省：「EV・PHV とは 充電設備について」より筆者作成

2 点目は、クリーンエネルギー自動車（CEV）の充電に用いられる急速充 EV 充電スタンドの普及率が低いことである。（図6）

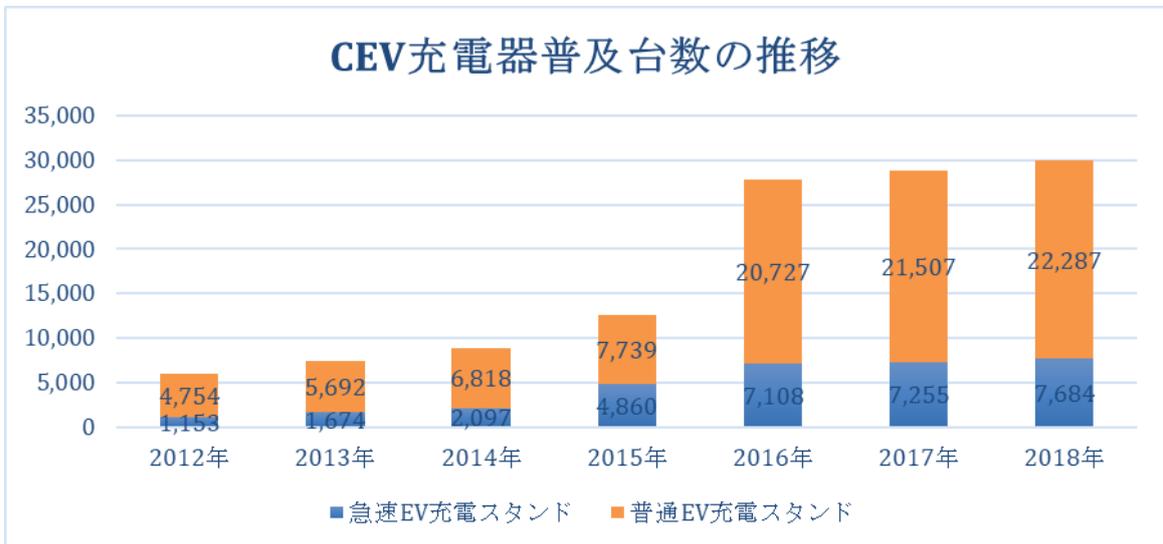


図6 充電器普及台数の推移
 国土交通省、経済産業省「EV/PHV 普及の現状について」より筆者作成

政府は、グリーン成長戦略による新車すべての電動化に伴って、2030年までに急速EV充電スタンドを3万基設置することを目標としている。しかし、急速EV充電スタンドの設置基数は2016年の設置基数からあまり変化が見られない。(図6)現在の普及率は目標設置基数の25%程度になっている。また、CHAdeMO協議会の「急速EV充電スタンドの設置箇所の推移」によれば、2020年5月時点において設置箇所は約7700基にとどまっている。よって、充電スタンドの設置基数を増加させ、クリーンエネルギー車を利用しやすい環境にしていくが政策の実現につながるが、EV充電スタンドの設置基数が増加していった場合、別の問題が生じることが予想される。経済産業省・国土交通省の「EV/PHV普及の現状について」という資料から、EV充電スタンドの主な設置場所は自宅や商業施設、道の駅、高速道路SA・PAだとわかる。これらの場所に充電スタンドの設置基数が増えれば充電目的の利用者が多くなる。加えて、1点目で述べたように、充電に長時間必要とすることから、充電目的の利用者の多くは長時間滞在することが予想される。よって、EV充電スタンドの利用者によって商業施設などの駐車場が占拠され、充電目的以外の人々の利用が妨げられてしまう恐れがある。

3点目は、車両価格が高額であることである。現在国内で販売されている一般的なクリーンエネルギー自動車(CEV)の新車価格は約300~400万円ほどで、100~300万円で新車を購入できるガソリン車(GV)と比較すると車両価格は高額であるといえる。デロイトトーマツの「次世代車に関する消費者意識調査結果(2019年)」によると、消費者視点から見たEV購入のための一番の障壁は、価格が高いことである(図7)。また、1、2点目で挙げた懸念点も一定の割合を占めている。これらの懸念点を解決しなければ、仮に政府の「2035年までにすべての新車販売を電動車へと切り替える」という政策が実現できたとしても、購入障壁の影響で販売台数が伸びず、国内でのクリーンエネルギー車(CEV)普及率が増加しないと予想される。以上の理由から、現行の政府の政策では2013年度に比べてCO2排出量を46%削減するという目標は非現実的であると考えられる。

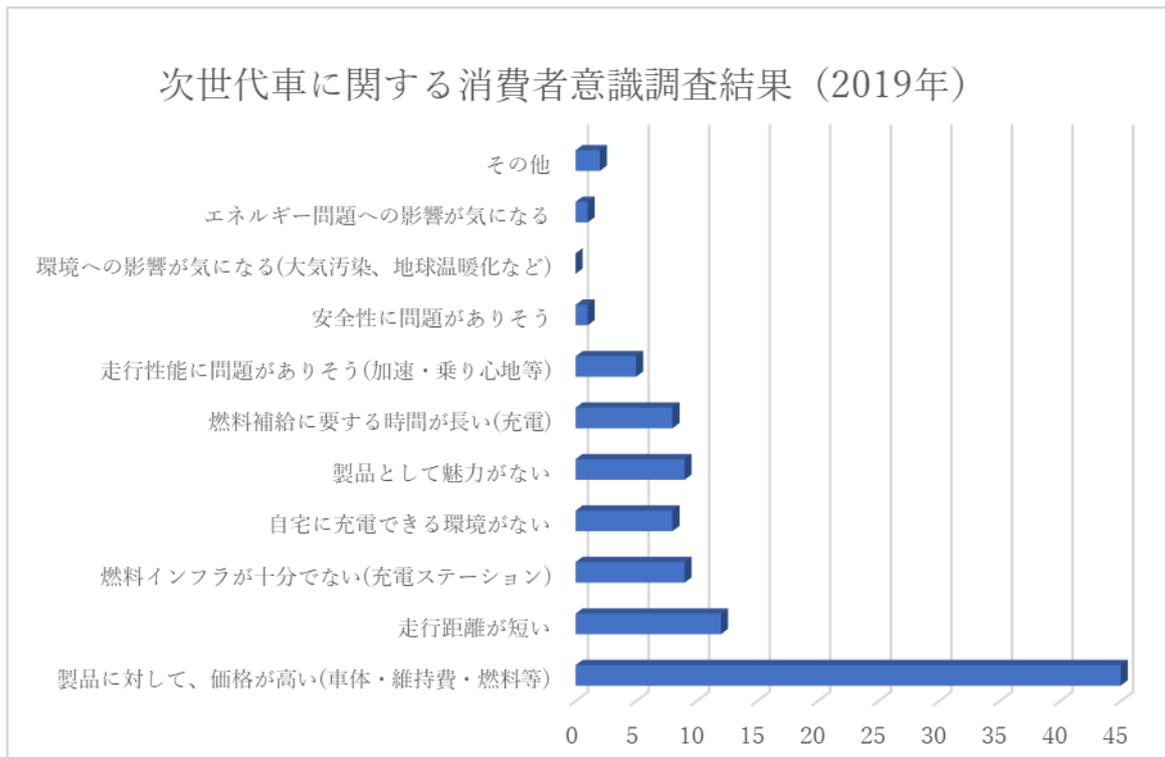


図7 次世代車に関する消費者意識調査結果（2019）
 デロイトトーマツ「次世代車に関する消費者意識調査結果 2019」より筆者作成

第3節 クリーンエネルギー自動車普及の期待

CO2 排出量の削減に向け、燃費改善やクリーンエネルギー自動車（CEV）の導入対策、燃料対策、エコドライブやカーシェアリングといった使用方法の改善の対策等様々な対策が検討されている。このような対策の中でも、電気自動車（EV）、ハイブリッド車（HEV）、燃料電池車（FCV）といったクリーンエネルギー自動車（CEV）の導入が注目されている。CEV はトヨタ自動車の HEV「プリウス」の販売を皮切りに、2009 年に三菱自動車の EV「アイ・ミーブ」、2010 年に日産の EV「リーフ」、2012 年にトヨタ自動車の PHEV「プリウスプラグインハイブリッド」、そして2014 年にはトヨタ自動車から FCV「MIRAI」が発売された。また、トヨタは2021年にモータースポーツの場で競技車両に水素エンジンを搭載し、耐久レースなどに参戦している。モータースポーツの厳しい環境で水素エンジンを鍛え、サステナブルで豊かなモビリティ社会を実現すべく技術開発に尽力している。完成車メーカー各社は注力する CEV の種類に違いはあるものの、積極的に CEV の技術開発に取り組んでいる。²

² 日経クロステック「トヨタ、水素エンジンで耐久レース完走」

第4節 クリーンエネルギー自動車の種類

運輸部門における CO2 排出量削減に向け、世界各国で、クリーンエネルギー自動車への期待が膨らんでいる。クリーンエネルギー自動車(CEV)は主に、ハイブリッド車(HEV)、電気自動車(EV)、燃料電池車(FCV)などの種類に分けられる。

HEV は、ガソリンによる内燃機関とモータの 2 つを駆動させ、それぞれを効率の良い方法で使用し、燃費を大きく向上させた自動車である。減速時はモータを発電機として駆動させ、バッテリーに充電することが出来る。その後、発進や加速など、エンジン効率が良くないときモータを駆動させる。言わずもがな、燃費がいい自動車は、使用するガソリン量が少なくなるため、HEV は環境にやさしい自動車と言える。

EV は、ガソリンエンジンなどの内燃機関を持たず、自動車にバッテリーを乗せモータの駆動により走行する自動車である。内燃機関を持たないことから、CO2 や人体に悪影響を及ぼす窒素酸化物(NOx)を排出せず、地球環境は勿論のこと人体にも優しい乗り物として注目されている。ただ、このEVにも問題がある。ガソリン車やHEVと比べ、航続距離が短いというデメリットがある。また、特に日本では原子力発電所での発電や、自然エネルギーによる発電がまだまだ少なく、化石燃料による発電がおよそ7割を占めている。発電時に多くのCO2を排出していることや、製造時にガソリン車よりも多くのCO2を排出するという問題があることから、EVが環境に優しい自動車かどうかは甚だ疑問である。

FCV は、燃料電池で水素と酸素の化学反応で発電し、その電気でモータを駆動させ走る自動車である。FCVは様々なメリットがある。まずは、CO2やNOxなどの有害物質を全く排出しないというところである。FCVは酸素と空気を反応させるだけなので車から排出されるものは水のみになる。また、FCVのメリットとしてエネルギー効率が高いという点から、FCVは低出力地域(下り坂など)でも高効率を維持することが出来き、EVよりも航続距離が長くガソリン車程度は走れると予想される。しかし、FCVにもデメリットがある。まず1つ目に、車両本体価格が一般のガソリン車と比べ高額であるという点である。数年前と比べかなり価格は下がってきているが、それでもトヨタで販売されている「MIRAI」も現時点で700万円~800万円ほどかかるといわれ、一般庶民が購入できる価格帯ではない。2つ目の問題点として、NGVと同様に、充填インフラが整っていないという問題点がある。FCVの充填インフラである水素ステーションは4~5億円かかるといわれており、ガソリンスタンドが1億円程度なのに対してはるかに高額であるというのが現状である。

車種によって価格、エネルギー源、燃費、CO2排出量などが異なる。それぞれのCEVの特性には長所と短所があり、いずれかに優れた一車種のみを普及させれば良いわけではないと考える。例えば、走行時のCO2排出量やエネルギー消費量の少ないEVの普及には、現時点では費用的な問題など、政府や消費者の経済的な負担の増大が伴う。一方、経済性に優れるガソリン車(GV)やディーゼル車(DV)の普及だけでは、将来のCO2排出削減目標を達成できない可能性が高い。そのためCEV普及方法の検討に先行して、どの車種をどの程度普及させれば良いのかという最適クリーンエネルギー車ポートフォリオ(車種の組み合わせ)を検討する必要があると考える。

第2章 先行研究及び本稿の位置づけ

第1節 先行研究

前章までで述べたように、CEV には燃費、価格、排気、インフラの整備など多様な課題とメリット・デメリットが存在しており、現時点ではある特定の CEV のみ普及を推進すれば全てが解決する様な事は無く、また経済的にも環境的にも実現性は低い。本稿では、各種 CEV と GV・DV の最適な組合せを探り、その組合せにより削減される CO2 排出量や必要とされる補助金規模を算出可能な「最適ポートフォリオ」を構築し、分析を行う。以下に、日本の CEV 最適ポートフォリオに関する先行研究を紹介する。

(i) クリーンエネルギー自動車の国内ポートフォリオ最適化

CEV の国内ポートフォリオ最適化に関する先行研究として有森、中野(2012)がある。有森・中野(2012)では、“最適”を「CO2 排出目標および石油依存度目標を達成する中で最も経済合理的」である状態と定義している。最適化問題を解くための制約法において、水素ステーション等、CEV のインフラコストを新たに考慮した経済性を目的関数とし、それ以外の要素である CO2 排出量、石油依存度を制約条件としている。また、ポートフォリオの対象を乗用車に加え、トラック及びバスも含めることで自動車全体を対象として最適なポートフォリオを算出し、実現に必要な補助金規模も明らかにしている。分析の結果、今まで考慮されていなかったトラックにおける CEV 導入の重要性が高いこと、平成 23 年度の補助金規模 3 千億円の継続投入では CO2 排出量 35%削減、石油依存度 80%のケースが実現可能であることが示されている。

(ii) クリーンエネルギー自動車普及のためのポートフォリオ最適化

大澤・中野(2017)ではクリーンエネルギー自動車普及のため、新たなポートフォリオ多目的最適化モデルの構築を行っている。新たなポートフォリオ多目的最適化モデルでは、従来の最適ポートフォリオ研究で用いられた、燃料消費量や CO2 排出量等の環境性に焦点をあてるほか、CEV を生産する側である自動車及び電池産業等への産業構造の変化に伴う影響を加えて考慮する。同研究のポートフォリオ多目的最適化モデルでは、乗用車、トラック、バスを対象とし、2030 年の自動車の最適ポートフォリオを算出し、産業・消費者・政府それぞれの視点からどのように変化するか分析している。その他、技術革新の進展度合いについて各シナリオを形成し、各シナリオの最適ポートフォリオの変化を分析する。

自動車の最適ポートフォリオは産業・消費者・政府（環境）のどの効用に重点を置くかにより結果が大きく異なり、産業の効用を重視する場合、乗用車において PHEV や FCV の導入が有効であることが明らかになった。消費者の効用に重きを置く場合、GV の持続的な

改善に加え EV の普及が必要となる。また、技術革新の進展次第で EV の割合が大きくなり変化する結果となった。政府（環境）の効用を重視する場合、EV、PHEV の普及が重要となる。また、技術革新の進展次第で EV、HEV、PHEV の選択率が変わってくるのが推測している。全ての効用を均等に考慮した場合、乗用車において PHEV の重要性が高いことが示されている。

(iii) クリーンエネルギー自動車の普及に伴う経済波及効果分析

CEV の普及に伴う経済波及効果分析の先行研究として大澤・中野(2013)がある。大澤・中野(2013)では、各 CEV の普及による経済効果、ステークホルダー毎の要求に着目し、産業連関表を基に作成した経済波及効果モデルの分析、最適化モデルを用いた年別、車種別最適ポートフォリオの考察を行なっている。最適化問題を解くための制約法では、各ステークホルダーの効用の合計値を目的関数とし、CO₂ 排出量、導入コストを制約条件としている。大澤・中野(2013)では、“最適”を「CO₂ 排出制約および導入コスト制約を達成する中で最も総効用が大きい」状態と定義している。分析の結果、自動車産業の経済効果を重視する場合 FCV・NGV の導入が、消費者や政府の導入コストや環境性を重視する場合は HEV や PHEV の普及が重要視され、EV よりも PHEV への支援の必要性が示唆された。

(iv) わが国の乗用車部門における二酸化炭素排出削減のための MARKAL モデルを用いた車種構成分析

一戸・遠藤(2004)は、近年 CO₂ 排出量の大きい運輸部門の約 5 割を占める乗用車部門に着目し、クリーンエネルギー自動車を含むエネルギー技術のコスト競争力及び CO₂ 排出削減効果に基づいて、CO₂ 排出目標を経済合理的に達成するために必要な乗用車部門の車種構成を明らかにしたうえで、CO₂ 排出目標の達成に必要な車種構成を実現する補助金規模を定めることを目的とした。

また、その方法としてこれらの分析が可能な MARKAL を採用した。MARKAL とは、線形計画法を用いた最適化型のエネルギーシステムモデルのことである。この分析によって、システム全体の中での技術の相対比較が可能になる。本稿の分析においても、Excel のソルバー機能を用いた線形計画法による最適化計算を行った。

同研究の結果として、2030 年に 1990 年比 8%削減するという CO₂ 排出目標達成のために必要なハイブリッド自動車への補助金総額は、2020 年のピーク時には 1,348 億円/年となり、炭素税率を 3,400 円/t-C(t-C は温室効果ガスの発生量を表す単位)とすれば乗用車部門の CO₂ 排出による炭素税収入でほぼまかなえる金額になるため、炭素税による収入を元にした補助金によって、ガソリンハイブリッド自動車の導入を図るべきであると結論づけられた。

第 2 節 本稿の位置づけ

前節で紹介した日本のクリーンエネルギー自動車の最適ポートフォリオについての先行研究では、自動車の新車販売台数、保有・生産台数や燃費、エネルギー価格などのデータを用いていずれも 2010 年を基準としたポートフォリオを導出し、2020 年、2030 年の将来モデルについて予測値の分析を行い、トラック・バスの CEV 化が与える影響や CO₂ 排出目標達成に必要な財源規模の算出を行なっている。先行研究において、燃費値である自動車

のエネルギー消費効率の測定方法は、2010年度制定の10・15モード、2015年度制定のJC08モードが基準となっている。しかし、燃費値の測定基準として最新である2020年測定基準のWLTCモードを基準とした最適ポートフォリオ分析は未だ行われておらず、近年発表された「2030年までにCO₂排出量を46%削減する」などの喫緊の政策を反映した最適ポートフォリオの研究も行われていない。また、2021年現在のデータを用いることで実現値となった2020年を分析した最適ポートフォリオと、先行研究で2012年に作成された過去の最適ポートフォリオを比較し、検証する先行研究も見つかっていない。

よって、本稿の新規性として以下の二点を挙げる。

1点目は、現行の政策の実現可能性を中心に分析している点である。「2030年までにCO₂排出量を2013年比で46%削減する」という政策について、自動車部門が抱える課題などを挙げた。また、「2035年までにガソリンのみで走る乗用車の新車販売を禁止する」という政府の方針を前提とした最適ポートフォリオの分析を行い、実際に実現するために必要な補助金規模の算出やポートフォリオによる最適な車種・CEVの組合せなどを分析している。

2点目は、2020年を基準とした新たな最適ポートフォリオを、現在取得できる最新のデータを用いて導出している点である。先行研究では、燃費の測定基準が10・15モード、JC08モードといずれも2010年代に制定された旧基準であるのに対し、本稿では2020年に基準とされた最新の燃費測定基準であるWLTCモードの燃費値を用い、2020年の新車販売データを元に加重平均を行うことで、2020年から2050年の販売実走行燃費の改善見通しを独自に分析し直し、燃費のデータを最新化している。また、本稿では(i)有森・中野(2012)を参考に、2020年を基準とした最新の最適ポートフォリオを導出している。そのため、本稿の最適ポートフォリオの2020年実現モデルと、(i)有森・中野(2012)が2010年に作成した最適ポートフォリオの2020年予測モデルの比較を行った上で、政策提言へとつなげている。

第3章 分析

第1節 分析方法

ここでは、本稿における分析方法、分析の流れについて述べていく。本稿では、経済性、CO₂排出量の2つの側面から最適なポートフォリオ(車種構成)を算出していく。この中で経済性は制約条件として扱にくいいため、有森・中野(2012)と同様に経済性を目的関数として、それ以外の要素(CO₂排出量)を制約条件とする制約法により最適化問題を解いていく。本研究における「最適」とは、「CO₂排出量目標を達成する中で最も経済合理的」である状態と定義する。

本稿では、目的関数は経済性、つまり自動車に関わるコストとして考える。しかし、コストにはイニシャルコスト(車両を導入する際にかかるコスト)、ランニングコスト(燃料コスト、維持コスト、保険コスト)、インフラコスト、開発コスト、資源輸入コストなど自動車に関わるコストは立場によって様々なものがある。本研究において目的関数の対象とするコストは消費者と政府から支出される3つのコスト(車両コスト、燃料コスト、インフラコスト)とし、これらの和をCEVシステムコストと定義する。

この定義に基づき、CEV システムコストを式(1)のように定式化する。

●目的関数

$$\min f_k(x_{jk})$$

$$f_k(x_{jk}) = \sum_i \sum_j S_{jk}(x_{jk}) A_j F_{jk} E_{ik} + \sum_j x_{jk} V_{jk} + \sum_j \frac{x_{jk} T_j}{I} \quad (1)$$

$$S_{jk}(x_{jk}) = x_{jk} + S_{jk-1} - \frac{S_{jk-1}}{U_j} \quad (2)$$

i : エネルギーの種類 [ガソリン、軽油、水素、電気]

j : 車種 [乗用車(GV、DV、HEV、FCV、EV)]

k : 対象年

F_k : k 年の CEV システムコスト

X_{jk} : 車種 j の k 年における新車販売台数

S_{jk} : 車種 j の k 年における保有台数

U_j : 車種 j の平均使用年数

F_{jk} : 車種 j の k 年における保有平均実走行燃費

A_j : 車種 j の年間平均走行距離

E_{ik} : エネルギー i の k 年におけるエネルギー価格

V_{jk} : 車種 j の k 年における車両価格

T_j : 車種 j のインフラ価格

I : CEV 保有台数と必要なインフラ数の比

式(1)の右辺は設計変数である新車販売台数を用いて、上述した3つのコストを表す。第一項は燃料コスト、第二項は車両コスト、第三項はインフラコストを表している。これらのコストを最小化する際の最適解を算出する。

式(2)は、式(1)内にある対象年における自動車の保有台数を求める式であり、車両の平均使用年数、新車販売台数などの数値を用いる。保有台数は、前年保有台数に新車販売台数加えたものから廃棄台数を差し引いたものとする。

次に、制約条件としてCO2 排出制約を式(3)に定式化する。

●制約条件

$$c_k \geq \sum_i \sum_j S_{jk}(x_{jk}) A_j F_{jk} N_i \quad (3)$$

c_k : k 年の CO2 排出目標値

N_i : エネルギー i の CO2 排出原単位

式(3)の右辺は油田から原油を採掘して、それをガソリンや軽油に精製したときに排出される CO2 を走行時の CO2 排出に加えて考えた CO2 排出量を表す。

本稿における最適ポートフォリオでは、入力として制約値、車種ごとの特性（燃費・車両価格・年間平均走行距離など）およびその他前提条件（電源構成、エネルギー価格、CO2 排出原単位など）の値を与えることで、出力として CEV ごとの新車販売台数の最適解が得られる。また最適解と同時に、その解における保有台数、CO2 排出量、各種コストなども明らかになる。これまでの研究では考慮されていなかったトラックやバス、エネルギー・インフラコストといった要素を含んだ新たな CEV ポートフォリオ最適化モデルを構築できる。またそのモデルを用いて乗用車・トラック・バスを対象とし、CO2 排出量・石油依存度制約を達成する中で最も経済合理的な国内の CEV ポートフォリオを算出することが可能となる。

第2節 前提条件・分析に用いるデータ

・対象車種

本稿における分析の対象車種はガソリン車(GV)、ディーゼル車(DV)、ハイブリッド車(HEV)、燃料電池車(FCV)、電気自動車(EV)の5車種とする。先行研究で取り上げられていた DHV については、トラックやバスなどの大型車ではディーゼルハイブリッドが一般的になっている。しかし、乗用車において、複雑なディーゼルエンジンシステムに加えて、コストの高いハイブリッドシステムを加えた場合、車両価格が高額になってしまう。欧州などでは開発が進んでいるディーゼルハイブリッド車(DHV)だが、日本では前述した課題などから普及が進んでいない。³また、天然ガス車(NGV)についても、車両の導入費用が高いことや燃料補給が不便だという課題がある。⁴特に、燃料補給においては、天然ガススタンドの多くは東京・名古屋・大阪などの首都圏に集中しており、普及が進まない要因となっている。この2車種については、新車販売数、保有台数ともに普及が進んでいないため、分析の対象からは除外する。

・新車販売台数

国内の自動車の新車販売に関しては、複数の調査が行われている。プライスウォーターハウスクーパースによる調査「自動車の将来動向」によると、日本における自動車全体の販売台数は500万台程度にとどまり、今後も増加することではなく、横ばいか減少傾向にあると述べられている。この調査における自動車全体の新車販売台数の予測を図8に示した。図8から、日本における今後の新車販売台数は横ばいか緩やかに減少傾向であることが読み取れる。

³ ベストカーWeb 「ディーゼルハイブリッドの可能性と国産には存在しない訳」

⁴ 東京自動車大学校 「圧縮天然ガス(CNG)を使った自動車の特徴とは？」

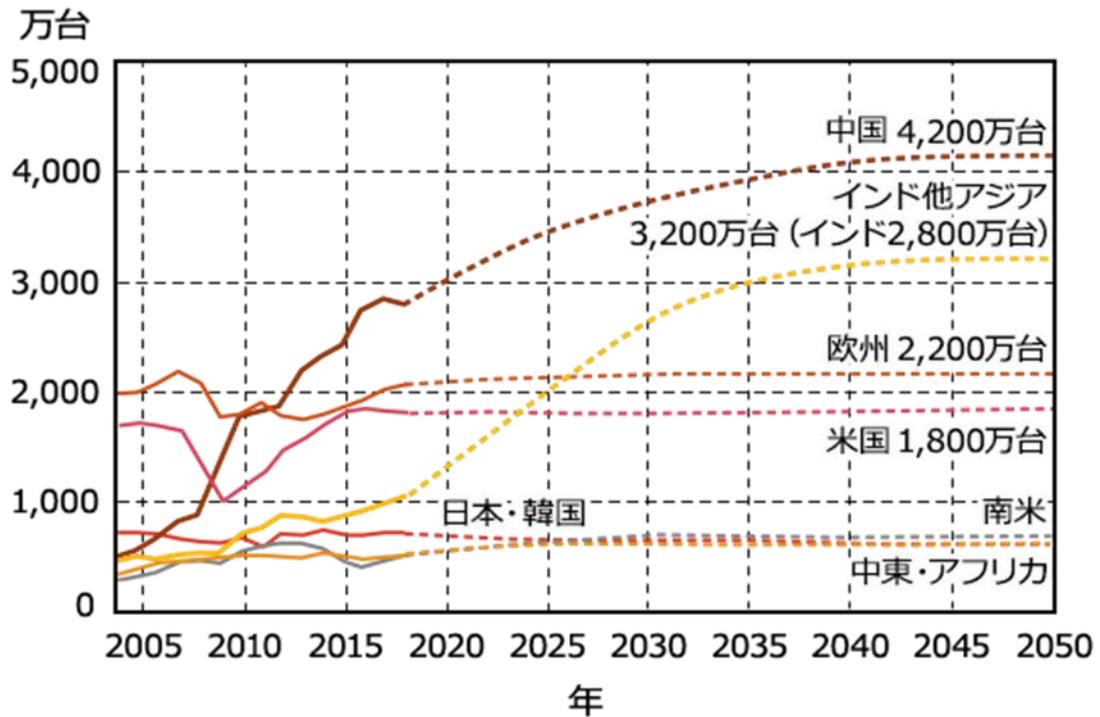


図8 世界の自動車新車販売台数と今後の予測（PWC「自動車の将来動向」より引用）

また、三井住友銀行が行った調査「国内自動車ディーラーを取り巻く業界動向」によると、国内における自動車販売・保有台数は、人口減少や都市部における若年層の車離れ等の理由から販売保有台数ともに漸減していくと述べられている。これらの傾向を踏まえて、新車販売台数の数値を日本自動車販売協会連合会のデータ⁵を基にこれまでの新車販売台数から今後の販売台数を推定する。推定した自動車（乗用車）の新車販売台数予測を図9に示した。

⁵日本自動車販売協会連合会「車種別販売台数」

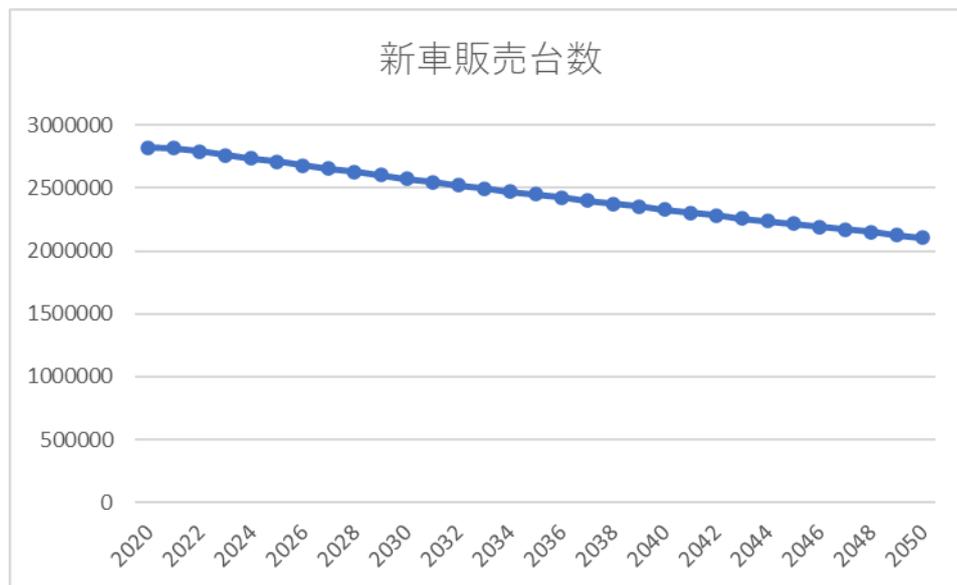


図9 2050年までの新車販売台数予測 三井住友銀行：「国内自動車ディーラーを取り巻く業界動向」より筆者作成

・保有台数

自動車の保有台数は、GV、DVについては国土交通省九州運輸局の2020年度版「燃料別自動車保有台数」のデータを用い、HEV、EV、FCVは自動車検査登録情報協会のデータ⁶を用いて計算する。2020年における自動車の保有状況は表1の通りである。

| GV | DV | HEV | EV | FCV |
|------------|-----------|------------|---------|-------|
| 28,656,522 | 1,306,298 | 10,684,681 | 117,317 | 3,695 |

表1 2020年の自動車（乗用車）の保有状況（台） 国土交通省九州運輸局：2020年度版「燃料別自動車保有台数」より筆者作成

・車両価格

一般社団法人日本自動車工業会「自動車ガイドブック 2020-2021 (vol.67)」より、GV、DVの車両価格は200万円、HEVは250万円、EVは390万円、FCVは600万円と設定した。ここで、EV、FCVの将来の価格推移を設定する。EVの価格推移に関しては、日産の電気自動車総合情報サイトによると、バッテリーのコストが急落しており、EVが一般に急速に普及する「ターニングポイント」に近づいていると述べられている⁷。世界における2020年のEVの販売台数は43%増加したが、バッテリー価格の低コスト化が続き、補助金なしでもEVの価格が同等のガソリン車やディーゼル車の価格を下回ることになり、電気自動車の販売台数はさらに急速に成長していくこと予想されている。また、同サイトの最新の分析で

⁶ 自動車検査登録情報協会「我が国の自動車保有動向」

⁷ 日産 電気自動車総合情報サイト「電気自動車社会が実現するターニングポイントが目前に」

は、この状態になるのは2030年前後になるとされている。ノルウェーでは、すでにこのターニングポイントを迎えており、税制優遇措置によりガソリン車に比べ電気自動車の価格の方が安くなっている。FCVについては、経済産業省発表の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」によると、アクションプランの実現に向けて徹底的な規制改革と技術開発を行い、水素や燃料電池の製造コストを引き下げるなどしてFCVのシステムコストを引き下げ、2030年までにHEVとの価格差を70万円に抑えることを目指している。これらの普及予想、ロードマップなどからEV、FCVの価格の将来予測を図10に示した。

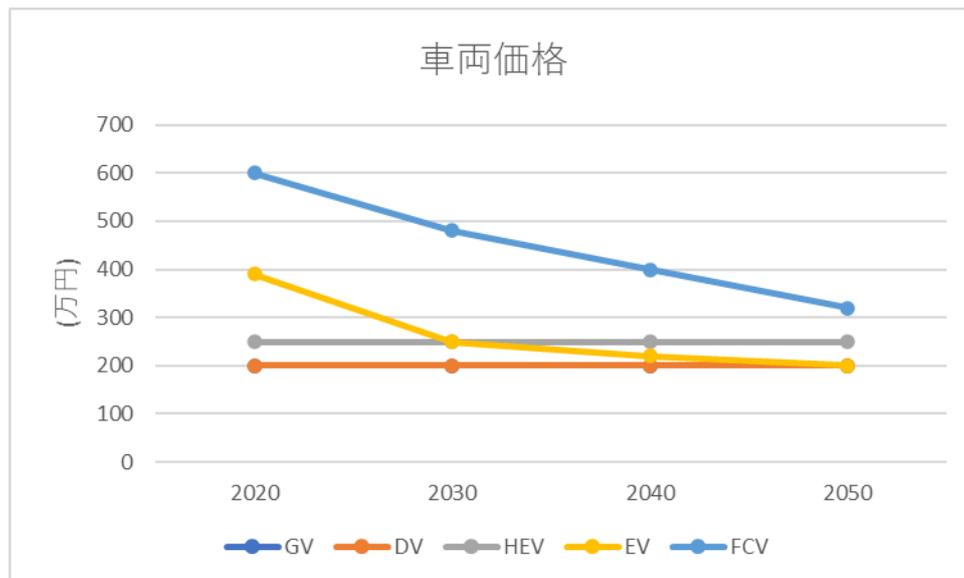


図10 2050年までの車両価格推移 日産 電気自動車総合情報サイト、経済産業省：「水素・燃料電池戦略ロードマップ」より筆者作成

・インフラコスト

本稿におけるインフラとは、GV・DV・HEVにおいてはサービスステーション(SS)、EVにおいては充電スタンド・急速充電器、FCVにおいては水素ステーションを指すものとする。本研究におけるインフラコストは式(1)の右辺の第三項のように表す。ここでIはCEV保有台数と必要なインフラ数の比を表す。Iの算出にあたっては現在のGV台数とSS数の比が、他のCEV保有台数とインフラ数にも当てはまるものと仮定する。

また、文献に基づく1カ所当たりの各インフラのコストを表2に示す。⁸

⁸ 表2のコストは以下の資料によるものである。

経済産業省 製造産業局自動車課「電気自動車・プラグインハイブリッド自動車の充電インフラ整備事業費補助金について(2019)」；次世代自動車復興センター「電気自動車向け急速充電器設置検討資料(道の駅版) 主な設置場所である道の駅で検討」；経済産業省「FCV・水素ステーション事業の現状について(2021)」；経済産業省 資源エネルギー庁「揮発油販売業者数及び給油所数の推移(2020)」

| | | |
|-----------|-------------|-------------|
| EV | 充電設備 (100V) | 50,000 |
| EV | 充電設備 (200V) | 800,000 |
| EV | 急速充電設備 | 6,200,000 |
| FCV | 水素ステーション | 410,000,000 |
| GV・DV・HEV | サービスステーション | 100,000,000 |

表2 インフラ一か所あたりにかかるコスト (円)

経済産業省 製造産業局自動車課「電気自動車・プラグインハイブリッド 自動車の充電インフラ整備事業費補助金 について(2019)」；次世代自動車復興センター「電気自動車向け急速充電器設置検討資料 (道の駅版) 主な設置場所である道の駅で検討」；経済産業省 「FCV・水素ステーション事業の現状について(2021)」；経済産業省 資源エネルギー庁「揮発油販売業者数及び給油所数の推移(2020)」より筆者作成

EV に関しては、急速充電設備の他に家庭での充電設備 (100V) を必ず設置する必要があると仮定し、インフラコストに加えるものとする。その上で 1 台あたりにかかる CEV インフラコストすなわち T_j/I を表に示す。これらの値は年ごとに変わらないものとする。

| | |
|-----------|---------|
| EV | 53,100 |
| FCV | 181,577 |
| GV・DV・HEV | 44,287 |

表3 1台あたりにかかるインフラコスト (円)

経済産業省 製造産業局自動車課「電気自動車・プラグインハイブリッド 自動車の充電インフラ整備事業費補助金 について(2019)」；次世代自動車復興センター「電気自動車向け急速充電器設置検討資料 (道の駅版) 主な設置場所である道の駅で検討」；経済産業省 「FCV・水素ステーション事業の現状について(2021)」；経済産業省 資源エネルギー庁「揮発油販売業者数及び給油所数の推移(2020)」より筆者作成

・平均使用年数

各車種における平均使用年数は自動車検査登録情報協会のデータ⁹を使用する。乗用車の自動車の平均使用年数は 13.51 年である。なお、平均使用年数は年ごとに変わらないものとする。

・年間走行距離

年間走行距離の設定には、ソニー損保が行った調査「2020 年全国カーライフ実態調査」の結果を用いる。この調査は、2020 年 10 月 23 日～10 月 26 日の 4 日間、自家用車を所有し、月に 1 回以上車を運転する 18 歳～59 歳の男女に対し、インターネットリサーチで実施し、1,000 名の有効回答を得たものである。年間走行距離の対象は自家用車を所有し、月

⁹ 自動車検査登録情報協会「車種別の平均使用年数推移表(2020 年度)」

に1回以上車を運転する18歳～59歳の男女1,000名である。回答された年間走行距離の平均は6,017kmであった。この数値を分析の対象とする。

・燃料消費量

燃料消費量は、車種ごと・車格ごとに異なる。また車体の軽量化や空気抵抗の低減、エンジン性能の向上により年ごとに改善されている。また、基準となる燃費計算の方法については、「WLTCモード」とする。WLTCモードとは、「世界統一試験サイクル」といわれる国際的な試験方法のことで、2014年3月に国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラムで採択されたものである。これまでカタログに表記されていた日本独自の「JC08モード燃費（国土交通省審査値）」に代わる燃費測定方法となっている。WLTCモードができる以前、自動車メーカーは同じ仕様の自動車であっても、燃費の測定試験をそれぞれの国や地域の基準ごとに行っていた。これを1回の試験で行えるようにということで、国連のフォーラムにて世界標準の燃費測定法を定めることになった。導入される方式は、従来の燃費表示では燃費の値はJC08モードによる燃費だけが表記されていたが、これからはWLTCモードに基づく燃費に加えて、3つの走行モードごとの燃費が表示されている。自動車のカタログや展示車に表示される燃費は、「市街地モード」、「郊外モード」、「高速道路モード」の3つの走行モードによる燃費とそれらを総合した「WLTCモード」の4つの燃費が表記されるため、自動車の使用用途に合わせた実際の燃費との比較が容易になった。

さらに、燃費のデータについては国土交通省・経済産業省の「乗用車燃費規制の現状と論点について」、国土交通省「自動車燃費一覧」を用い、これらの条件に基づく販売実走行燃費の改善見通しを表4に示す。

| | 2020年 | 2030年 | 2040年 | 2050年 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 燃費 (km/L) | 17.3 | 19.5 | 21.4 | 23.7 |

表4 販売実走行燃費の改善見通し（乗用車）

国土交通省・経済産業省「乗用車燃費規制の現状と論点について」、国土交通省「自動車燃費一覧」より筆者作成

また、表4の乗用車はGVの燃費を示しているが、その他CEVの燃費の見通しも算出する必要がある。そこで、本研究では、日本自動車研究所の資料「総合効率とGHG排出の分析」における燃料消費量の比率を参考にその他CEVの燃費を設定する。設定した比率は表5に示す通りである。なお、比率においてはGVの燃料消費量を1とした基準値として示している。

| GV | DV | HEV | EV | FCV |
|------|------|------|------|------|
| 1.00 | 0.82 | 0.64 | 0.18 | 0.59 |

表5 燃料消費量の比率

日本自動車研究所「総合効率とGHG排出の分析」より筆者作成

・エネルギー価格

本研究で対象にする自動車に使用されるエネルギーは、ガソリン、軽油、電気、水素の4種類である。

ガソリン、軽油については、資源エネルギー庁による調査「石油製品価格調査」のデータを用いる。ガソリン及び軽油は原油価格と連動している。価格の推移については、新電力ネットが公表している統計情報「原油価格の推移」を用いる。

電力については、福島第一原子力発電所事故により、原子力発電の縮小や、天然ガス・原油をはじめとする化石燃料による火力発電など電源構成が見直され、太陽光発電・風力発電といった再生可能エネルギーによる発電の割合が増加傾向にある。そうすると発電コストの増加に伴い、電気料金の値上げが起こっている。新電力ネット「電力料金単価の推移」における電気料金の予測においても値上がりすると見込まれており、本稿ではその予測値を用いるものとする。

水素については、資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況」によると、水素コスト低減に向けた継続的な技術開発により、2030年頃から低コストな水素調達・供給が実現されると述べられている。本稿では、ここでの予測値の価格を用いる。

・CO₂ 排出原単位

CO₂ 排出原単位とは、ある活動によって消費したエネルギー使用量当たりの CO₂ 排出量の標準的な分量のことである。

CO₂ 排出量に対して、上述した燃料消費量と同様に、Well-to-Wheel および Tank-to-Wheel という2つの考え方がある。¹⁰Well-to-Wheel とは、自動車のエネルギー効率を示す指標であり、Well（油井・油田）で石油が採掘されてから、精製・運搬を経て Wheel（車輪）の回転運動となるまで、どのような過程でエネルギー消費・転換され、CO₂ がどの程度排出されたかを表すものである。また、Tank-to-Wheel とは、すでに燃料タンクに燃料が入っている状態から、走行時にどれだけ CO₂ を排出するかということである。なお、Tank-to-Wheel のみでは FCV および EV の CO₂ 排出量は 0 となり、現実に即さないため、本研究における CO₂ 排出量では Well-to-Wheel の値を用いることとする。環境省のグリーン・バリューチェーンプラットフォーム「排出原単位データベース」における、ガソリン・軽油・水素・電気の Tank-to-Wheel、Well-to-Tank の CO₂ 排出原単位から、合計であるガソリン・軽油・天然ガス・水素・電気の Well-to-Wheel の CO₂ 排出原単位を図 11 に示す。なお、ここでの単位はエネルギー消費量当たりの CO₂ 排出量[g-CO₂/MJ]である。

¹⁰ モビリティトランスフォーメーション 2021 「CO₂ 削減を進める指標となるカーウェルトゥホイール(Well-To-Wheel)とは？」

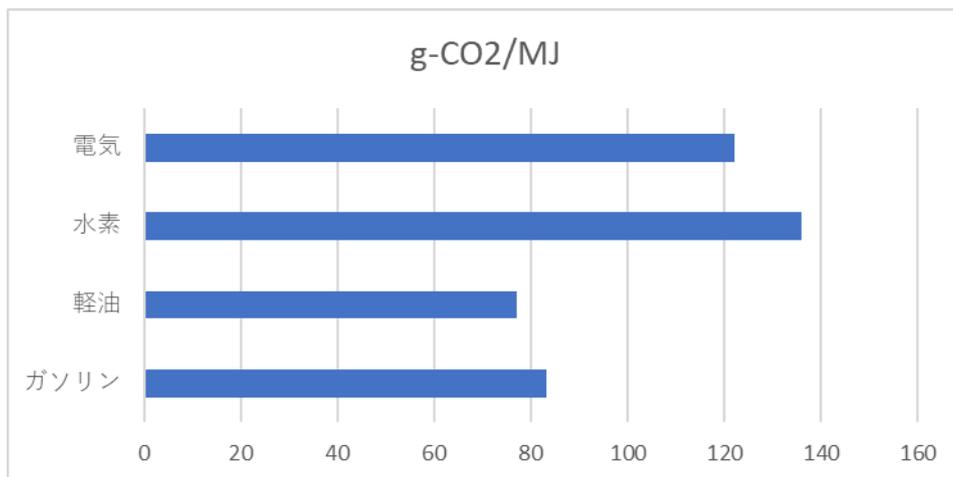


図 11 エネルギーごとの CO2 排出原単位

環境省 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム「排出原単位データベース」より筆者作成

・CO2 排出量目標

上述のように、2030 年に向けた温室効果ガスの削減目標について、政府は 2013 年度に比べて 46%削減することを目指すと表明している。また、国内の総 CO2 排出量の内、自動車は国内の総 CO2 排出量において大きな割合を占めており、CO2 排出量の削減に向けた対策が求められている。ここで、CO2 排出量目標は 2020 年比で設定する。2020 年の自動車部門（乗用車）における CO2 排出量は、国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」のデータによると約 9,500 万トンとなっている。この数値を基に、設定した CO2 排出量目標に向けて 2050 年までに必要な年ごとの排出量を算出する。例として、2050 年までに 2020 年比で 40%削減するという目標における、10 年ごとの CO2 排出量を表に示す。

| 2030年 | 2040年 | 2050年 |
|------------|------------|------------|
| 83,600,000 | 72,200,000 | 60,800,000 |

表 6 CO2 排出量-40%の場合の 10 年ごとの目標値(トン)
国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」より筆者作成

第 3 節 分析結果

分析は、Excel のソルバー機能を用いた線形計画法による最適化計算を行った。ここで、CO2 排出制約を設けず、コスト最小化とした際に、最も価格の安い GV・DV が選択されるかどうかを検証した。これらを検証した結果、想定した解が得られたため、構築したモデルは正しく機能していると考えられる。

本稿では、国内の自動車（乗用車）部門における車種（GV、DV、HEV、EV、FCV）を対象

として、2020年～2021年の最新データを反映し、インフラコストを経済性の評価に含めた新たなクリーンエネルギー自動車ポートフォリオ最適化モデルを構築した。また、そのモデルを用いて乗用車を対象とし、CO₂排出制約を達成する中で最も経済合理的な国内の2050年までのポートフォリオを算出した。その結果、以下の結果が得られた。

はじめに、2050年までのCO₂排出量を2020年比で-40%にした場合の2050年における自動車（乗用車）の新車販売割合（予測）と基準年である2020年の新車販売割合を図12に示す。

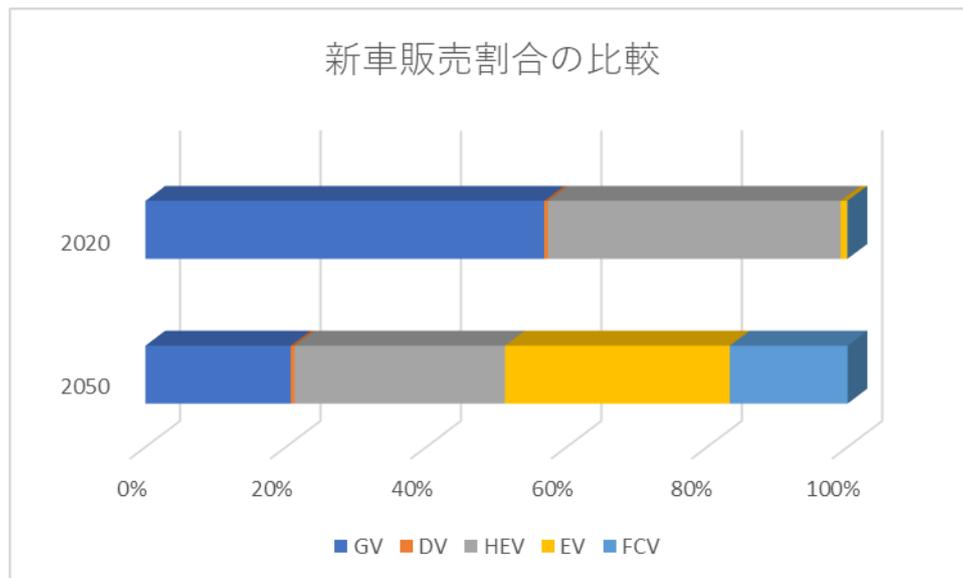


図12 新車販売割合の比較 (2050年：CO₂排出量2020年比-40%)
(分析結果より筆者作成)

上記の結果から、2020年に比べ、2050年にはGV、DV、HEVの販売割合は減少していることが読み取れる。特に、GVは2020年に比べて新車販売台数が大幅に減少している。一方で、EV、FCVの販売台数が増加傾向にある。2050年のCO₂排出量を2020年比で-40%と設定すると、2050年に向けて毎年のCO₂排出量が減少(毎年CO₂排出制約が強くなっていく)ためだと考えられる。自動車メーカーが発表しているCEV車両価格の低下予測やエネルギー価格予測など、これらの数値は予測に基づいたものだが、今後、車両販売価格の低下や技術開発などによって充電設備・燃料電池などのインフラ設備のコストが低下することが大きく寄与していると考えられる。また、2030年における新車販売台数について、有森・中野(2012)で予測されていた水準よりもEV、FCVの販売が多くなっている。

次に、2050年のCO₂排出量を2020年比で-40%にする場合の2020年～2050年における自動車（乗用車）の保有台数の推移を図に示す。ここで、年ごとの保有台数は第2節で述べた式(2)を用いて算出する。

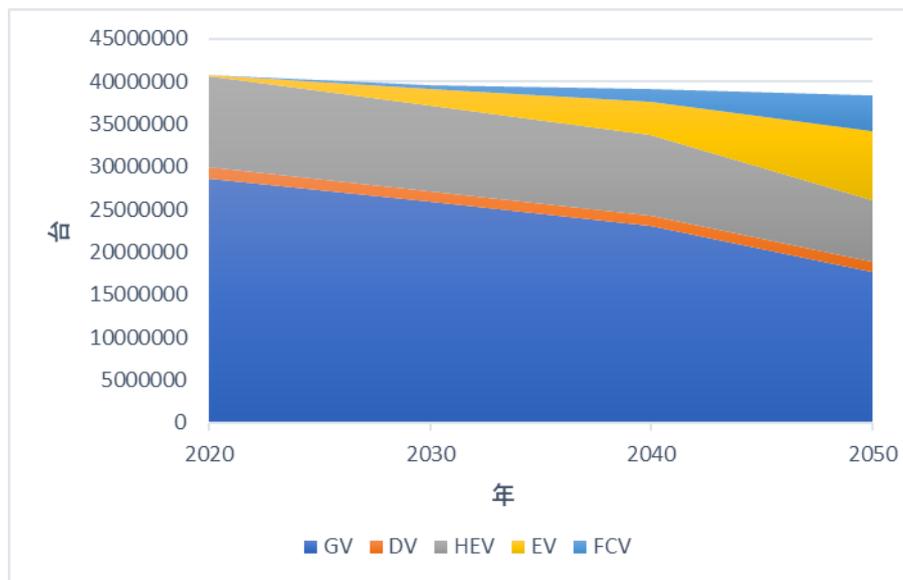


図 13 2020年から2050年までの自動車（乗用車）保有推移 (CO2 排出量-40%)
(分析結果より筆者作成)

上記の結果から、GV、DV、HEVの保有台数は、新車販売と同様に減少傾向にあることが読み取れる。一方でEV、FCVの保有台数も新車販売台数と同様に増加傾向にある。2050年のCO2排出量目標を2020年比で-40%と設定すると、2050年に向けて毎年のCO2排出量が減少(毎年CO2排出制約が強くなっていく)し、CEVの普及が進むためだと考えられる。これは上述のように、自動車メーカーが発表しているCEV車両価格の低下予測やエネルギー価格予測など、これらの数値は予測に基づいたものだが、今後、車両販売価格の低下や技術開発などによって充電設備・燃料電池などのインフラ設備のコストが低下していくことが大きく寄与していると考えられる。

また、今回構築したモデルでは、2050年における保有台数の約半数をガソリン自動車が占めていることも読み取れる。CO2排出制約を設けていても、本稿で取り扱っている3つのコスト(車両コスト、燃料コスト、インフラコスト)の和であるCEVシステムコストを最小化する場合には、毎年GV・DVの新車販売が見られ、一定数GV、DVを保有することが示唆された。

2030年における自動車の保有割合についても、有森・中野(2012)で予測されていた水準よりもEV、FCVの保有が多くなっている。

第4章 政策提言

第1節 政策提言の方向性

本稿では、有森・中野(2012)を参考に、現在取得できる最新のデータを用いて、国内の自動車部門におけるポートフォリオ最適化を行った。我々は2035年までにガソリン車の新車販売をなくすという政府の目標は難しいという仮説を立てた。この仮説をもとに政策提言を行っていく。また、分析によってクリーンエネルギー自動車最適ポートフォリオの導出が可能になり、ここで得られた結果をもとに詳細な政策提言を行っていく。

前述したように、現時点ではある特定のCEVだけを促進させることや、ガソリン車の新車販売をなくすような極端な政策は実現可能性が低いと考える。そこで本稿では導出した最適ポートフォリオから、設定したCO₂排出制約ではどのような車種構成になるのか、分析の結果からガソリン車の新車販売をなくすことは可能かどうかを述べ、政策提言を行う。

現在も政府は車種によって異なるが、補助金政策を行っている。しかし、自動車部門においてCO₂排出量をより削減させる場合や、ガソリン車の新車販売をなくす政策に向けて、補助金規模を拡大が必要となるのは、火を見るより明らかである。CEVを普及させていくためには、車両本体への補助金のみならず、インフラ設備等への補助金も必要となる。

本稿では、自動車部門におけるCO₂排出目標を導出した後に、それを達成することのできる補助金規模を求める。有森、中野(2012)と同様に、現行の政策で自動車部門での最適なCO₂削減は達成されるのか、どの程度補助金が必要となるのかを求め、その値を基に政策提言を行う。

第2節 政策提言

I ガソリン車の新車販売の継続

ここでは、1つ目の政策提言である「ガソリン車の新車販売の継続」について述べていく。

第3章第1節で述べたように、分析の際にCO₂排出制約を設けず、CEVシステムコストを最小化した場合に、車両価格の安いガソリン車・ディーゼル車が選択された。電気自動車、燃料電池車などは今後車両価格が低下すると見込まれているが、現時点では車両価格も高く、充電インフラ設備等の整備が不十分で未だ購入障壁も多い。経済性を考慮すると、消費者はコストの抑えられるガソリン車を選択すると考えられる。

政府は2035年までにガソリン車の新車販売をなくすことを目標としている。しかし、今回行った分析では、図12に示すように2050年における乗用車の新車販売割合では一定のガソリン車が含まれていた。ガソリン車の新車販売を禁止するのではなく、ガソリン車の

新車販売を継続し、クリーンエネルギー自動車などと並行し、長期的に CO2 削減目標に近づけていくことが必要であると考え。我々は、環境負荷軽減のため CEV を導入していくことは肯定的に考えている。しかし、CEV を導入していくには、CEV システムコストをはじめ莫大なコストが必要となり、今後 20~30 年後までに加速度的に導入するのは難しいだろう。

以上の結果から、「2035 年までにガソリン車の新車販売をなくす」という政府の目標の実現は難しいと考え、政策提言として、今後もガソリン車の新車販売は継続して、一定数行っていくべきであると提言する。

II 自動車部門で CO2 排出量を削減する場合の補助金支給

次に 2 つ目の政策提言「自動車部門で CO2 排出量を削減する場合の補助金規模」について述べていく。

2050 年までに CO2 排出量を 2020 年比で削減する場合（-30%、-35%、-40%）の CEV システムコストの合計を図 14 に示した。

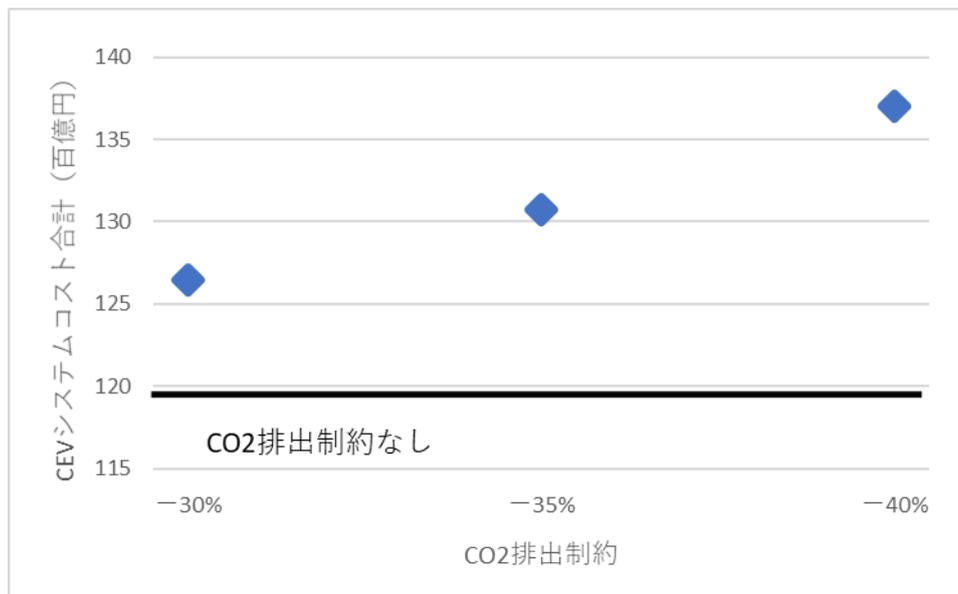


図 14 2050 年における CO2 排出目標ごとの CEV システムコスト合計
(分析結果より筆者作成)

上記の図において、黒の基準線は CO2 排出制約を設けていないケースであり、消費者が経済合理性だけで車種を選択するケースとなる。分析において、CO2 排出制約を設けない場合、車両価格やインフラ設備価格の高い電気自動車、燃料電池車などは選択されず、ガソリン車やディーゼル車のみが選択された。そのため、総コストは CO2 排出制約を設けた場合よりも低くなっている。

また青のプロットした点は、上述したように、2050 年における CO2 排出制約を変化させた場合の 3 ケースを示している。CO2 排出制約を設けていないケースを基準とすると、こ

れら3つのケースを達成するには、図14に示す通り基準線より上の追加のコストが必要となる。今回対象としたコストは政府と消費者から支出される3つのコスト（車両コスト、燃料コスト、インフラコスト）のほかにもランニングコスト（燃料コスト、維持コスト、保険コスト）、開発コストなど他にも考慮すべきコストはある。また、今回求めたCEVシステムコストのすべてを補助金で賄わなければいけないわけではないが、現在行われている補助金規模では上述の3ケースの実現は難しい。経済産業省の資料「クリーンエネルギー自動車導入促進補助金」によると、2021年のクリーンエネルギー自動車導入促進補助金予算は155億円となっている。

2050年までのCO₂排出目標を2020年比で-30%と設定した場合に必要な追加コストは約6千億円となっている。現状の補助金規模を2050年まで続けた場合であっても、この目標値は達成が難しいと考えられる。ここで、CO₂排出目標を2020年比で-30%と設定した場合の補助金規模は、2050年までに年間約200億円必要である。また、2011年に行われていたエコカー補助金（3千億円）の2回分に相当する。これ以上の目標値（-35%、-40%）を達成する場合にはさらなる補助金が必要となる。

経済産業省の資料「クリーンエネルギー自動車導入促進補助金」によると、2022年度のクリーンエネルギー自動車導入促進補助金の予算要求額は2021年度の2倍以上となる334億円となっている。この予算額はまだ確定したものではないが、この規模の補助金が毎年行われれば、上述の目標に近づくことが出来るだろう。

以上をまとめると、2022年度の「クリーンエネルギー自動車導入促進補助金」の予算額レベルの補助金を継続することが出来れば、2050年までに自動車（乗用車）部門において2020年比でCO₂排出量の-30%削減が実現できる。この結果は、現実的なCO₂排出削減量は-30%であるという事を示唆している。

おわりに

本稿では、自動車部門の二酸化炭素(CO₂)排出量削減という問題を取り上げ、将来のクリーンエネルギー自動車の普及や国内車種の最適ポートフォリオ（車種構成）について分析を行った。

本稿では、有森・中野(2012)の自動車部門の「最適ポートフォリオ」研究を参考に分析を行った。分析では、経済性、CO₂排出量の2つの側面から日本国内車種の「最適ポートフォリオ」（車種構成）を算出した。自動車に関わるコストである経済性を目的関数とし、それ以外の要素(CO₂排出量)を制約条件とする制約法により最適化問題を解いた。入力として制約値、車種ごとの特性および前提条件を与えることで、出力としてCEVごとの新車販売台数の最適解が得られた。また、この解における保有台数、CO₂排出量、各種コストなどを算出した。これまでの研究ではあまり考慮されていなかったエネルギー・インフラコストといった要素を含んだ新たなモデルを構築できた。また、そのモデルを用いて乗用車を対象とし、2050年におけるCO₂排出量制約を達成する中で最も経済合理的な国内の「最適ポートフォリオ」を算出した。先行研究の多くは2020年の数値が将来予測された推計値となっているが、本稿では現在の最新データで分析し、推計値であった2020年を再検証した。

次に、我々は2035年までにガソリン車の新車販売をすべて廃止する目標は不可能である

と仮説を立て、最新のデータを用いて CO2 排出目標を達成する中で最も経済合理的な最適ポートフォリオを算出した。これらの結果より 2 つの政策提言が導かれた。

1 つ目は「ガソリン車の新車販売の継続」である。経済性を考慮すると、消費者はコストの抑えられるガソリン車を選択すると考えられる。電気自動車や燃料電池車は今後車両価格が低下すると見込まれているが、現時点では車両価格も高く、充電インフラ設備等の整備が不十分で未だ購入障壁も多い。経済性を考慮すると、消費者はコストの抑えられる GV を選択すると考えられる。政府は 2035 年までにガソリン車の新車販売をなくすことを目標としているが、今回行った分析では、2050 年における乗用車の新車販売割合では一定のガソリン車が含まれていた。ガソリン車の新車販売を禁止するのではなく、ガソリン車の新車販売を継続し、クリーンエネルギー車などと並行し、長期的に CO2 削減目標に近づけていくことが必要であることを提言した。

2 つ目は、「自動車部門で CO2 排出量を削減する場合の補助金支給」である。2050 年までに CO2 排出量を 2020 年比で削減する場合（-30%、-35%、-40%）の CEV システムコストの合計から、必要な補助金規模を算出した。現在行われている補助金規模（年間 155 億円）では、上述の 3 ケースの実現は難しいことが示された。CO2 排出目標を 2020 年比で -30% と設定した場合の補助金規模は、約 6 千億円であり、2050 年までに年間約 200 億円が必要だと示された。したがって、2050 年までに自動車（乗用車）部門において達成できる現実的な CO2 削減量は 2020 年比で -30% であることが示唆された。

最後に、今回の研究における問題点について述べる。

1 つ目は、本稿における車両価格や燃料、電気や水素などのエネルギー価格などのデータは自動車メーカーや資源エネルギー庁が公表した予測値であり、今後の実測値とは異なる可能性があることである。特に、原油価格やエネルギー構成などは世界、国内の情勢によって大きく変化する場合も考えられる。また、CEV の車両価格なども技術開発の進歩によって今回の予測よりも早い段階で車両価格の低下が見られる場合もあるだろう。

2 つ目は自動車の製造段階の CO2 排出量の考慮である。本稿における CO2 排出量は Well-to-Wheel、すなわち 1 次エネルギーとして採掘され、車両走行に使われるまでを対象としているが、これだけでは自動車の製造段階などライフサイクル全体での CO2 排出量を考慮できていないという課題がある。EV や HEV は GV・DV と比べて製造段階における CO2 排出量が多いとされており、こうした点を考慮し、より正確なポートフォリオを算出する必要があるだろう。

3 つ目は、その他制約条件の考慮である。本稿では、制約条件として CO2 排出量にのみ着目したが例えば資源制約や生産制約、石油依存度制約など、他の視点からの制約条件は考慮していない。特に石油依存度制約に関しては、日本のエネルギー自給率が低いため、資源を他国に依存しなければならず、国際情勢の影響などを受けてエネルギーを安定して確保することが難しくなる。また、電気料金は、東日本大震災以降、原子力発電の停止影響を補うために火力発電を焼き増したことに加え、燃料価格も上昇したためである。¹¹石油などの化石燃料を使う火力発電は、資源を海外からの輸入に依存しており、国際的な燃料価格の影響を受けやすい電源のため、自動車に必要なさまざまなエネルギーに影響を与える。

こうした点を考慮し、より正確な最適ポートフォリオを算出することが今後の課題である。

¹¹ 経済産業省 資源エネルギー庁「2020-日本が抱えているエネルギー問題」

先行研究・参考文献

主要参考文献

- ・有森揚祐・中野冠(2012)「クリーンエネルギー自動車の国内ポートフォリオ最適化」『日本機械学会論文集(C編)』78巻791号
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic/78/791/78_2571/_pdf/-char/ja
- ・一戸誠之・遠藤栄一(2004)「わが国の乗用車部門における二酸化炭素排出削減のためのMARKALモデルを用いた車種構成分析」
<https://www.jser.gr.jp/wp-content/uploads/2021/02/26-127.pdf>
- ・大澤潤・中野冠(2014)「クリーンエネルギー自動車の普及に伴う経済波及効果分析」慶應義塾大学大学院
- ・大澤潤・中野冠(2017)「クリーンエネルギー自動車普及のための産業連関を考慮したポートフォリオ多目的最適化モデル」慶應義塾大学大学院
- ・加藤桂太・野中朋美・中野冠(2013)「金属資源制約を考慮したクリーンエネルギー自動車のグローバルポートフォリオ最適化モデル」
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic/79/797/79_77/_pdf/-char/ja

引用文献

- ・朝日新聞 (2021/7/24) データ取得日 2021/8/28
<https://www.asahi.com/articles/ASP7G6WR9P7GULFA024.html>
- ・一般社団法人日本自動車工業会『自動車ガイドブック 2020-2021 (vol.67)』
- ・環境省「2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて」データ取得日 2021/8/28
http://www.env.go.jp/earth/2050carbon_neutral.html
- ・環境省「次世代自動車の普及に向けて」データ取得日 2021/8/28
<http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/4.pdf>
- ・経済産業省「資源・エネルギー関係予算の概要」データ取得日 2021/8/28
https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2021/pdf/energy2.pdf
- ・経済産業省「FCV・水素ステーション事業の現状について(2021)」データ取得日 2021/8/29
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/024_01_00.pdf
- ・経済産業省「クリーンエネルギー自動車導入促進補助金」データ取得日 2021/8/15
https://www.meti.go.jp/main/yosan/yosan_fy2021/pr/en/seizou_taka_02.pdf
- ・経済産業省・国土交通省「EV/PHV普及の現状について」データ取得日 2021/8/25
<https://www.mlit.go.jp/common/001283224.pdf>
- ・経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」データ取得日 2021/8/12
<https://www.meti.go.jp/press/2018/03/20190312001/20190312001.html>
- ・経済産業省 資源エネルギー庁「2020-日本が抱えているエネルギー問題」データ取得日 2021/11/5
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/energyissue2020_1.html

- ・経済産業省 製造産業局自動車課「電気自動車・プラグインハイブリッド 自動車の充電インフラ整備事業費補助金 について(2019)」データ取得日 2021/8/30
https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2017/html/h29_s6.pdf
- ・資源エネルギー庁「水素・燃料電池戦略ロードマップの達成に向けた対応状況」データ取得日 2021/8/24
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/roadmap_hyoka_wg/pdf/001_03_00.pdf
- ・次世代自動車復興センター「電気自動車向け急速充電器設置検討資料（道の駅版）主な設置場所である道の駅で検討」データ取得日 2021/8/27
http://www.cev-pc.or.jp/chosa/pdf/H25_chosa_1_gaiyou.pdf
- ・東京自動車大学校 「圧縮天然ガス(CNG)を使った自動車の特徴とは？」データ取得日 2021/11/5
<https://www.taus.ac.jp/column/know-how/compressed-natural-features.html>
- ・日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット『エネルギー・経済統計要覧（2020）』
- ・日産 電気自動車総合情報サイト「電気自動車社会が実現するターニングポイントが目前に」データ取得日 2021/8/30
<https://ev2.nissan.co.jp/BLOG/628/>
- ・プライスウォーターハウスクーパース「自動車の将来動向」データ取得日 2021/10/23
<https://www.pwc.com/jp/ja/knowledge/thoughtleadership/automotive-insight/vol6.html>
- ・ベストカーWeb 「ディーゼルハイブリッドの可能性と国産には存在しない訳」データ取得日 2021/11/5
<https://bestcarweb.jp/feature/column/222845>
- ・毎日新聞（2021/1/23）データ取得日 2021/9/13
<https://mainichi.jp/articles/20210123/ddm/008/020/130000c>
- ・三井住友銀行「国内自動車ディーラーを取り巻く業界動向」データ取得日 2021/10/12
https://www.smbc.co.jp/hojin/report/investigationlecture/resources/pdf/3_00_CRSD_Report085.pdf
- ・モビリティトランスフォーメーション 2021 「CO2 削減を進める指標となるカーウェルトゥホイール(Well-To-Wheel)とは？」データ取得日 2021/11/5
<https://mobility-transformation.com/magazine/well-to-wheel/>

データ出典

- ・環境省「温室効果ガス排出・吸収量等の算定と報告～温室効果ガスインベントリ等関連情報～(2013～2019年度)確報値」データ取得日 2021/9/28
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg-mrv/emissions/>
- ・環境省 グリーン・バリューチェーンプラットフォーム「排出原単位データベース」データ取得日 2021/9/27
https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/estimate_tool.html
- ・経済産業省 資源エネルギー庁「揮発油販売業者数及び給油所数の推移(2020)」データ取得日 2021/10/20

https://www.enecho.meti.go.jp/category/resources_and_fuel/distribution/hinnkakuhou/210730a.html

・国土交通省「運輸部門における二酸化炭素排出量」データ取得日 2021/8/28

https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html

・国土交通省九州運輸局「2020年度：燃料別自動車保有台数」データ取得日 2021/9/20

<https://www.tb.mlit.go.jp/kyushu/toukei/nenryoubetsu.htm>

・国土交通省・経済産業省「乗用車燃費規制の現状と論点について」データ取得日 2021/10/30

<https://www.mlit.go.jp/common/001224511.pdf>

・国土交通省「自動車燃費一覧」データ取得日 2021/10/23

https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000035.html

・国土交通省「自動車輸送統計年報(2019年度)」データ取得日 2021/8/29

<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/06202000a.html>

・国立研究開発法人 国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2019年度)確報値」データ取得日 2021/10/28

<http://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/index.html#e>

・資源エネルギー庁「石油製品価格調査」データ取得日 2021/10/18

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html

・自動車検査登録情報協会「車種別の平均使用年数推移表(2020年度)」データ取得日 2021/9/29

<https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv000000u7ao-att/r5c6pv000000u7b3.pdf>

・自動車検査登録情報協会「我が国の自動車保有動向」データ取得日 2021/10/29

<https://www.airia.or.jp/publish/statistics/trend.html>

・新電力ネット「原油価格の推移」データ取得日 2021/9/25

<https://pps-net.org/statistics/crude-oil6>

・新電力ネット「電力料金単価の推移」データ取得日 2021/9/19

<https://pps-net.org/unit>

・ソニー損保「2020年全国カーライフ実態調査」データ取得日 2021/10/20

https://from.sonysonpo.co.jp/topics/pr/2020/12/20201214_01.html

・デロイトトーマツ「次世代車に関する消費者意識調査結果」データ取得日 2021/8/28

<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/jp/Documents/about-deloitte/news-releases/jp-nr-nr201919-report.pdf>

・日経クロステック「トヨタ、水素エンジンで耐久レース完走」データ取得日 2021/10/29

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/news/18/10437/>

・日本自動車研究所「総合効率と GHG 排出の分析」データ取得日 2021/10/2

<http://www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/data/report/2010/pdf/result.pdf>

・日本自動車販売協会連合会「車種別販売台数」データ取得日 2021/9/28

<http://www.jada.or.jp/data/month/m-r-hanbai/m-r-type/#>

・CHAdemo 協議会「急速 EV 充電スタンドの設置箇所の推移」データ取得日 2021/10/25

<https://www.chademo.com/wp2016/wp-content/japan-uploads/QCkasyosuii.pdf>