

| | |
|------------------|---|
| Title | 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 |
| Sub Title | Analysis of the economic ripple effect caused by the spread of Clean Energy Vehicles |
| Author | 大澤, 潤(Osawa, Jun) 中野, 冠(Nakano, Masaru) |
| Publisher | 慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 |
| Publication year | 2013 |
| Jtitle | |
| JaLC DOI | |
| Abstract | |
| Notes | 修士学位論文. 2013年度システムエンジニアリング学 第126号 |
| Genre | Thesis or Dissertation |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002013-0016 |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

2013 年度

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

大澤 潤

(学籍番号:81233100)

指導教員 教授 中野 冠

2014 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

Master's Dissertation

2013

Analysis of the economic ripple effect caused by the
spread of Clean Energy Vehicles

Jun Osawa

(Student ID Number : 81233100)

Supervisor Masaru Nakano

March 2014

Graduate School of System Design and Management,
Keio University
Major in System Design and Management

論 文 要 旨

| | | | |
|--|----------|-----|------|
| 学籍番号 | 81233100 | 氏 名 | 大澤 潤 |
| 論文題目： 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 | | | |
| (内容の要旨) 本論文は、環境配慮製品の一つであるクリーンエネルギー自動車 (CEV) の普及による経済的な影響の分析と経済面を考慮した国内における最適 CEV ポートフォリオの算出を通じ、企業の CEV 生産計画や政府の CEV 普及政策の策定の一助とすることを目的とする。 従来、CEV の普及を考える場合、燃料消費量や CO2 排出量など環境面が主に研究対象となってきた。しかし本論文では、電気自動車 (EV) においてガソリン車 (GV) で使用されているエンジン部品が不必要になるといった GV や DV (ディーゼル車)、天然ガス車 (NGV) と各 CEV の部品構成の差異、それに伴う我が国の経済に与える影響に着目し、各 CEV の経済性の評価、そして政策の指針となる各車種の最適な販売台数について論じる。 本論文は 4 章で構成されており、まず第 1 章では、温暖化対策において CEV の普及が期待される背景や既往研究の課題を述べ、CEV の普及計画を策定する上で CEV の経済性を考慮することの重要性を示す。 第 2 章では、CEV の普及により生じる経済波及効果に焦点を当てる。具体的には、既往研究では考慮されていなかったトラックやバス、EV 以外の CEV といった要素を包含し、新たに再構成した産業連関表とその産業連関表を基に構築した経済波及効果モデルについて述べる。また、そのモデルを用いて各シナリオにおける経済効果を算出し、産業構造の変化を分析する。 第 3 章では、CEV のポートフォリオ最適化について述べる。具体的には、既往研究では考慮されていなかった自動車産業における生産額や雇用といった要素を包含し、ステークホルダーの要求により整理した新たな最適化モデルについて述べる。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、国内自動車の最適ポートフォリオを算出し、各ステークホルダーの視点の違いや技術革新の変動によるポートフォリオの変化に対する分析結果を示す。 第 4 章では、本研究の成果および得られた知見をまとめ、今後の課題について述べる。 | | | |
| キーワード：クリーンエネルギー自動車、車種構成、最適化、産業連関表 | | | |

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

| | | | |
|--|----------|------|-----------|
| Student Identification Number | 81233100 | Name | Jun Osawa |
| Title: Analysis of the economic ripple effect caused by the spread of Clean Energy Vehicles | | | |
| Abstract <p>Currently, vehicles accounted for a large percentage of the total CO2 emissions in Japan. Popularity of Clean Energy Vehicles (CEVs) are expected in order to reduce CO2 emissions to mitigate the global warming. However, the popularity provides not only environmental but also economic impacts. An Electric Vehicle (EV) requires a battery, but does not require the engine parts any more, which will bring a structural change of the auto parts industry. It is necessary to understand the characteristics of parts used in each CEV type and analyze the economic effects before considering the way for introducing CEVs. In this study, CEV types which have a battery or a fuel cell based powertrain system are considered as well as gasoline, diesel or natural gas engines. This paper proposes an economic ripple effect model using the Input-Output Table. Simulation results show economic impacts in Japan in 2020 and 2030 for the target sales of CEVs assumed by each scenario.</p> <p>And there are various kinds of CEVs. The popularization of each CEV type provides different results on three dimensions of sustainability: environmental, economic, and social impacts. Therefore, it is necessary to consider the optimal mix before considering the policy for introducing CEVs. Most conventional studies do not consider the economic impacts to the industry, such as auto parts. This paper proposes a new optimization model considering the three dimensions. Simulation results show the optimal portfolio in 2030 as seen from the three dimensions. Effect by technological innovation on optimal portfolio in 2030 is also estimated.</p> | | | |
| Key Words : Clean Energy Vehicle, Optimization, Vehicle Mix, Input-Output Table | | | |

| | |
|---|-----------|
| SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION | 4 |
| 第 1 章 諸言 | 2 |
| 1-1 研究背景 | 2 |
| 1-1-1 CO2 排出量削減の必要性 | 2 |
| 1-1-2 クリーンエネルギー自動車の普及に伴う経済的影響 | 4 |
| 1-1-3 各クリーンエネルギー自動車の長所と短所 | 6 |
| 1-2 研究目的 | 8 |
| 1-3 本論文の構成 | 9 |
| 第 2 章 経済波及効果分析 | 11 |
| 2-1 既往研究とその課題 | 11 |
| 2-1-1 既往研究とその課題 | 11 |
| 2-2 研究目標 | 14 |
| 2-3 本章の構成 | 15 |
| 2-4 研究方法 | 16 |
| 2-4-1 産業連関表の概要 | 16 |
| 2-4-2 産業連関表の再構成 | 18 |
| 2-4-3 経済波及効果モデルの概要 | 21 |
| 2-4-4 経済波及効果モデルの定式化 | 22 |
| 2-5 各種前提条件 | 24 |
| 2-5-1 生産台数 | 24 |
| 2-5-2 電池価格 | 24 |
| 2-5-3 モーター・インバータ価格 | 27 |
| 2-5-4 燃料電池・水素タンク価格 | 30 |
| 2-5-5 新車販売台数 | 32 |
| 2-5-6 車両生産価格 | 33 |

| | |
|--|-----------|
| 2-5-7 年間平均走行距離 | 35 |
| 2-5-8 燃費 | 35 |
| 2-5-9 エネルギー価格 | 37 |
| 2-5-10 サービスステーション建設費 | 38 |
| 2-6 経済波及効果の算出 | 39 |
| 2-6-1 What if analysis | 39 |
| 2-6-2 シミュレーション結果 | 42 |
| 2-7 小括 | 47 |
| | |
| 第3章 ポートフォリオ最適化 | 49 |
| | |
| 3-1 既往研究とその課題 | 49 |
| 3-1-1 既往研究とその課題 | 49 |
| | |
| 3-2 研究目標 | 52 |
| | |
| 3-3 本章の構成 | 53 |
| | |
| 3-4 研究方法 | 54 |
| 3-4-1 最適化モデルの概要 | 54 |
| 3-4-2 目的関数 | 56 |
| 3-4-3 制約条件 | 59 |
| | |
| 3-5 各種前提条件 | 60 |
| 3-5-1 対象車種 | 60 |
| 3-5-2 CO2 排出原単位 | 60 |
| 3-5-3 CO2 排出権取引額 | 62 |
| 3-5-4 その他前提条件 | 62 |
| | |
| 3-6 最適ポートフォリオの算出 | 63 |
| 3-5-1 What If Analysis | 63 |
| 3-5-2 最適ポートフォリオの算出結果（標準ケース） | 65 |
| 3-5-3 最適ポートフォリオの算出結果（高水準，標準，低水準ケースの比較） | 69 |

| | |
|-----------------|-----------|
| 3-7 小括 | 73 |
| 第 4 章 結言 | 75 |
| 4-1 研究成果 | 75 |
| 4-2 今後の課題 | 76 |
| 参考文献 | 77 |
| 謝辞 | 83 |

第 1 章

諸言

第 1 章 諸言

1-1 研究背景

1-1-1 CO2 排出量削減の必要性

日本は、第 15 回気候変動枠組条約締約国会議(COP15)の「コペンハーゲン合意」に基づき、2010年1月26日にすべての主要国による公平かつ実効性ある国際的枠組みの構築や意欲的な目標の合意を前提として、2020年に温室効果ガスを1990年比25%削減するとの目標を条約事務局に提出しており、温室効果ガスの削減が期待されている[1].

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)は、現在国内において総CO₂排出量の内、運輸部門が約20% [2]と大きな割合を占めている(Figure 1-1). また、運輸部門は乗用車、トラック、バス、海運、航空、鉄道、その他の7つに分類されるが、運輸部門における総CO₂排出量の86%[2]を自動車(乗用車、トラック、バス)が占めている(Figure 1-2).

つまり、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と言える.

その対策の一つとして、環境性能に優れたクリーンエネルギー自動車(CEV)の導入が期待されている[1].

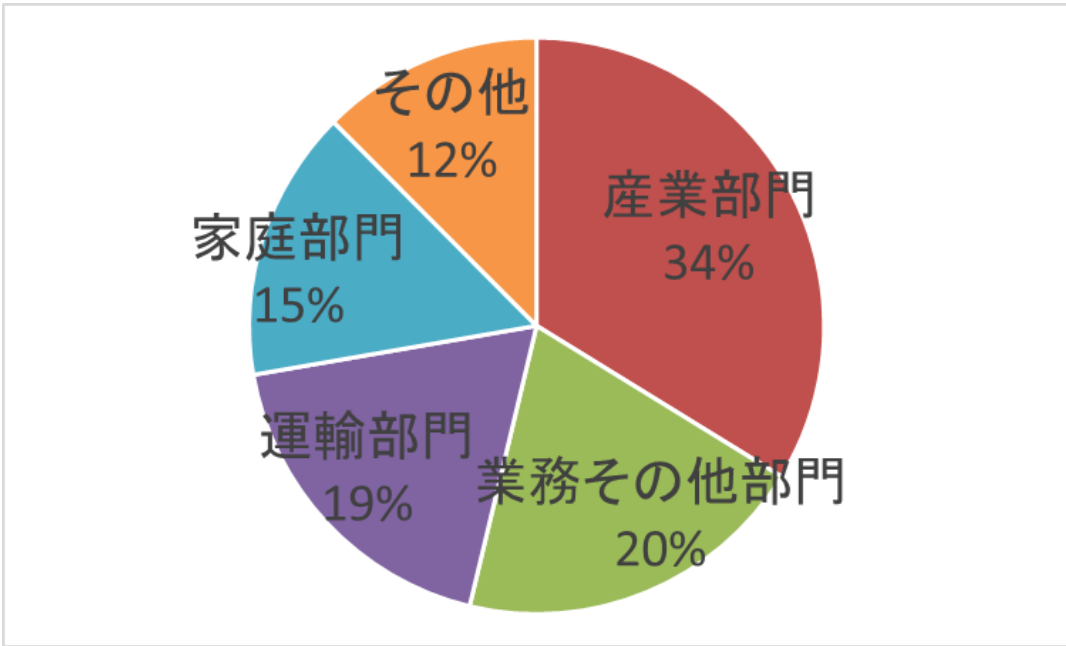


Figure 1-1 部門別 CO2 排出量の割合(2011 年)

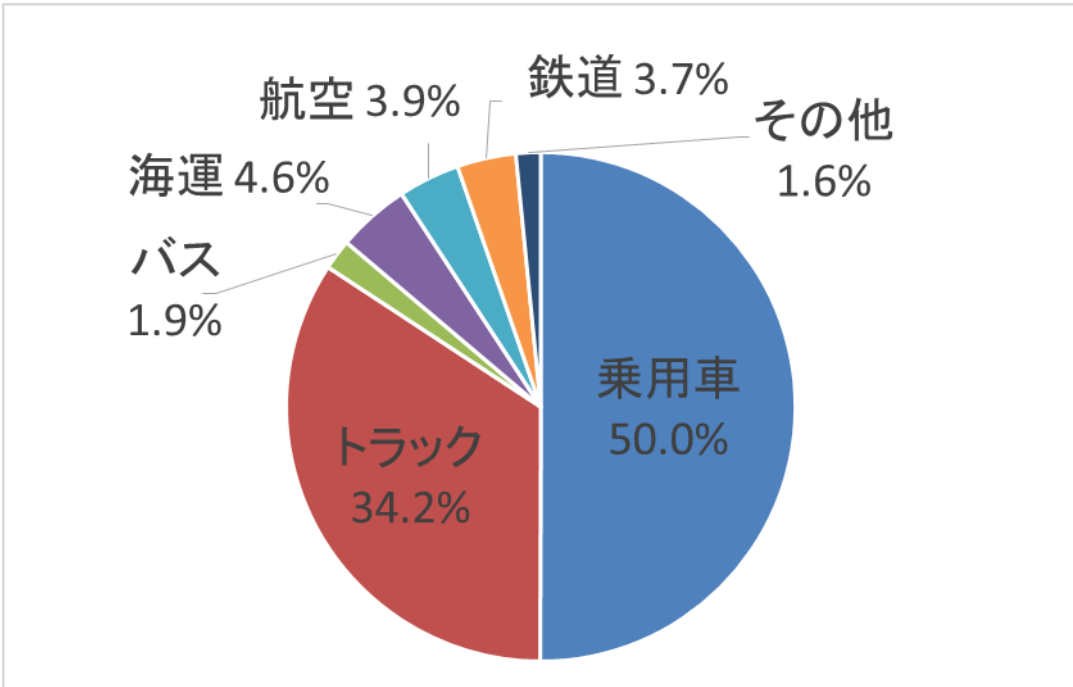


Figure 1-2 交通機関別 CO2 排出量の割合(2011 年)

1-1-2 クリーンエネルギー自動車の普及に伴う経済的影響

従来, CEV の普及を考える場合, 野中ら[3] [4]の研究や環境省[5], その他文献[6] [7] [8]のように主に環境性, つまり CO₂ 排出量や燃料消費量などが研究対象となってきたが, ガソリン車(GV), ディーゼル車(DV), 天然ガス車(NGV)と各 CEV では環境性だけでなく, 部品構成も異なるため, 経済に与える影響も大きく異なってくる.

例えば, GV を構成する各部品の出荷金額の割合は Figure 1-3 のようになっている[9]. これを電気自動車(EV)の構造と比べた場合, EV ではエンジン部品や電装品・電子部品など既存のGV部品の内約2割が不必要になる. 加えて, 自動車・同付属品産業は国内総生産額の約5%, 製造業の生産額の内, 約15%[10] [11]を占めており(Figure 1-4), 上述の部品構成の変化が我が国の経済に大きな影響を与えらる.

また, 各 CEV の普及により経済的な影響が出ることから, 必然的に雇用にも影響が出る事が予測される. 例えば, EV の場合, GV とは異なり, 新しく電池が必要となり, 自動車部品産業ではなく, 電池産業に新しい需要が生まれることを意味する. 各 CEV の部品構成の差異により需要が発生する産業が異なり, 雇用者を多く生むか否かはその産業の特性に依存することとなる. つまり, 各 CEV の部品構成の差異が国内経済に影響を与え, ひいては雇用数にも大きな変化を生むことが予想される.

そのため, CO₂ 排出量削減に向けてこれら CEV を普及させていく上で各 CEV が普及することにより生じる国内産業の生産額や雇用数への影響を分析, 評価する必要がある.

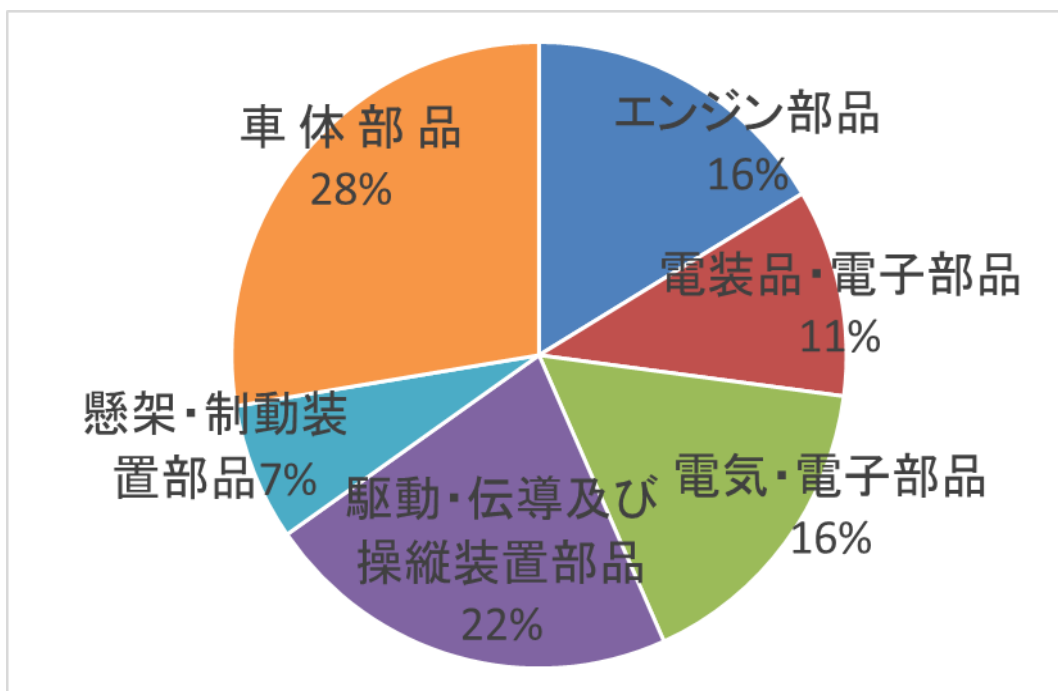


Figure 1-3 GVを構成する各部品の出荷額割合(2010年)

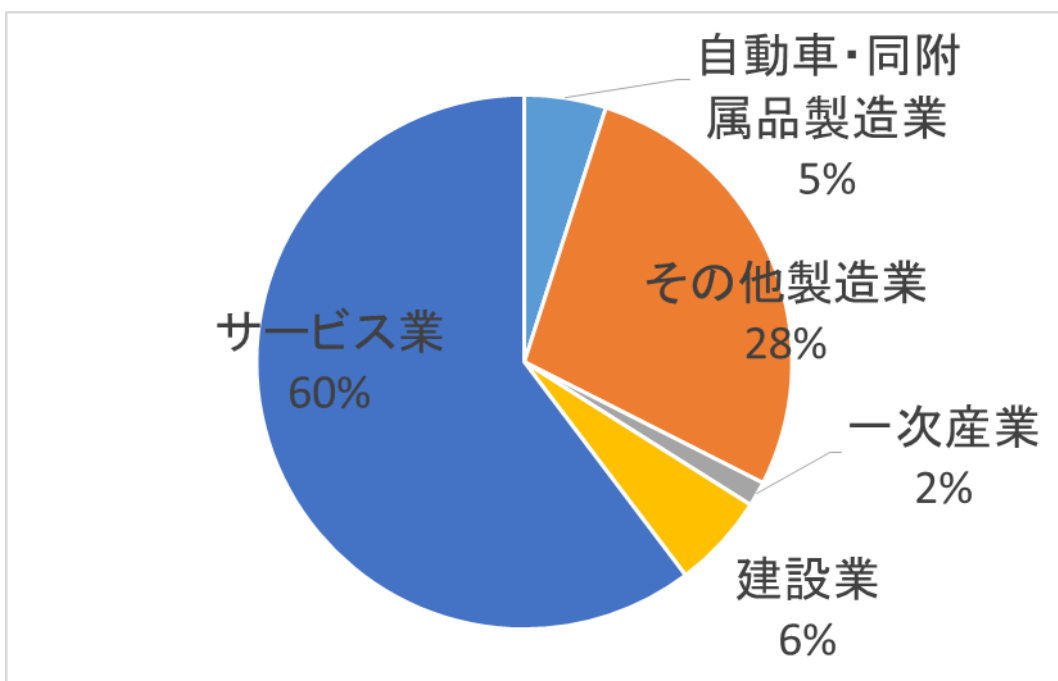


Figure 1-4 国内生産額の内訳(2010年)

1-1-3 各クリーンエネルギー自動車の長所と短所

クリーンエネルギー自動車(CEV)は、一般的には排ガスに有害成分が少なく、低炭素性を持つ自動車を指す[12]. 本研究ではクリーンディーゼル車(CDV), 電気自動車(EV), ハイブリッド車(HEV), プラグインハイブリッド車(PHEV), 燃料電池車(FCV)を指すものとする.

これら CEV は車種ごとに使用するエネルギー源, 燃費, CO₂ 排出量など特性が異なり, 各 CEV にはそれぞれ長所と短所がある(Table 1-1, Table 1-2) [13]. なお, Table 1-1, Table 1-2 は 2009 年度時点における GV との比較表となっている.

例えば, EV や FCV は確かに走行時の環境性は高いが, サービスステーションの整備や電池価格に課題がある. 一方で, 車両価格の安い GV や DV を普及させるだけでは, CO₂ 排出量の削減効果が十分ではない.

そのため, 各 CEV の特性を理解し, どの車種を何台普及させるべきかという最適ポートフォリオ(GV, DV, NGV, 各 CEV を対象とした車種構成)を検討する必要がある.

Table 1-1 各 CEV の特性 (CDV, NGV, EV)

| | CDV (クリーンディーゼル車) | NGV (天然ガス車) | EV (電気自動車) |
|--------|---------------------|---|--|
| CO2排出量 | ほぼ同等 | 走行時約20%減 | 走行時ほぼゼロ,但し電力生成時にもCO2発生. |
| 航続距離 | 同等 | 貨物車:190~290km バス:170~230km | 軽自動車:~160km 小型自動車:~230km |
| インフラ | 既存SS | 充填スタンドの整備拡大が必要 | 急速充電器の整備拡大が必要 |
| 主な課題 | | <ul style="list-style-type: none"> ・ガス車載効率向上 ・価格低減 ・インフラ整備 | <ul style="list-style-type: none"> ・電池性能の向上 ・電池価格低減 ・急速充電器の整備拡大 |

Table 1-2 各 CEV の特性 (HEV, PHEV, FCV)

| | HEV (ハイブリッド車) | PHEV (プラグインハイブリッド車) | FCV (燃料電池車) |
|--------|---|---|---|
| CO2排出量 | 走行時約50%減 | 走行時約60%減 | 走行時ゼロ |
| 航続距離 | 同等 | 同等 | 同等 |
| インフラ | 既存SS | 一部急速充電器の整備拡大が必要 | 水素供給スタンドの整備拡大が必要 |
| 主な課題 | <ul style="list-style-type: none"> ・電池性能の向上 ・電池価格低減 | <ul style="list-style-type: none"> ・電池性能の向上 ・電池価格低減 | <ul style="list-style-type: none"> ・技術的信頼性の向上 ・電池性能の向上 ・電池価格低減 ・充電スタンドの整備拡大 |

1-2 研究目的

前節までの背景より、本研究では、各 CEV の普及による経済効果の算出、分析を行うとともに、経済効果を考慮した最適ポートフォリオを算出し、企業の CEV 生産計画や政府の CEV 普及政策策定の一助とすることを目的とする。(Figure 1-5, Figure 1-6)

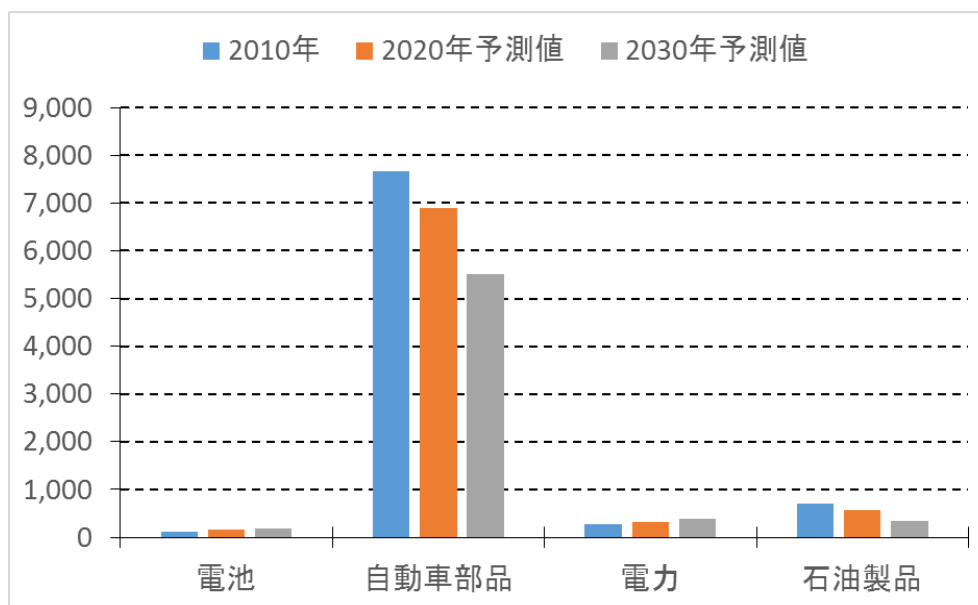


Figure 1-5 経済効果の概念図

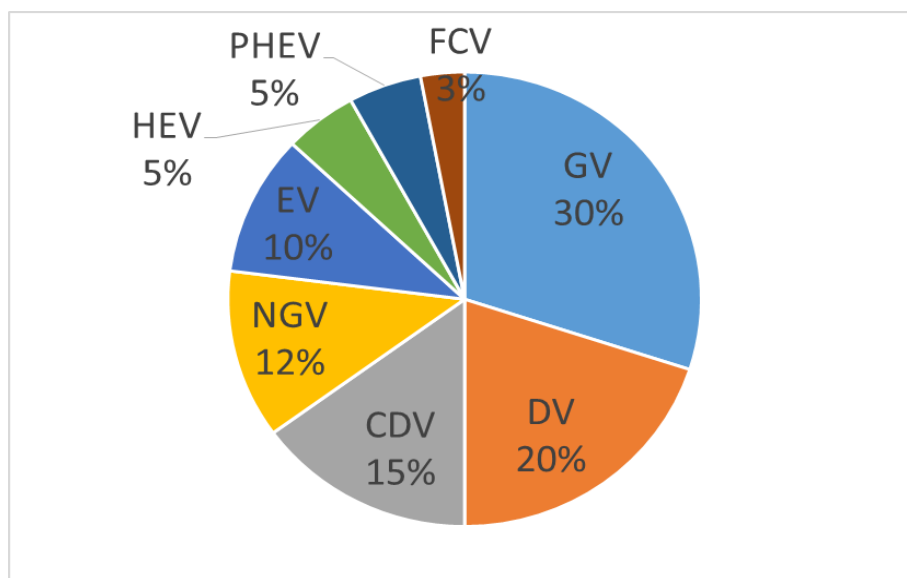


Figure 1-6 最適 CEV ポートフォリオの概念図

1-3 本論文の構成

本研究は、第 1 章から第 4 章で構成される。第 1 章が諸言、第 2 章が経済波及効果分析、第 3 章がポートフォリオ最適化、第 4 章が結言である。

第 1 章では、研究全体の背景と目的を述べ、本研究の研究対象の設定を行う。また、本研究は経済波及効果分析、最適ポートフォリオの大きく 2 つの研究対象を設定していることを示す。

第 2 章では、上述の 2 つの研究対象の内、経済波及効果分析に焦点を当てる。具体的には、各 CEV が普及した場合の生産額や雇用数の変化を定量化するために新たに再構成した産業連関表と再構成した産業連関表を基に作成した経済波及効果モデルについて説明する。また、そのモデルを用い、CEV の普及による経済効果を算出し、産業構造の変化を分析する。詳細な構成は、第 2 章で述べることとする。

第 3 章では、上述の 2 つの研究対象の内、最適ポートフォリオについて述べる。具体的には、新たに構築した最適化モデルの概要および目的関数と制約条件の詳細について説明を行う。また、最適化モデルを用い対象年、乗用車・トラック・バス毎の最適ポートフォリオを算出し、考察結果を述べる。詳細な構成は、第 3 章で述べることとする。

最後に第 4 章で、本研究の成果および得られた知見をまとめ、今後の課題について述べる。

第 2 章

經濟波及效果分析

第 2 章 経済波及効果分析

2-1 既往研究とその課題

2-1-1 既往研究とその課題

本研究に関連する既往研究には、白石ら[14]，Chua ら[15]の研究の大きく 2 つが挙げられる。

まず、前者の研究に関しては、EV の乗用車を対象に GV との部品構成の違いを洗いだし、GV の投入係数を組み替えることによって、産業連関表に EV と EV 用電池の部門を新設している。また、その産業連関表を基に EV の普及による生産誘発額を算出することで、経済的な影響を分析している。なお、投入係数とは、産業間の取引額を示した取引基本表の中間需要の列ごとに、原材料等の投入額を当該産業の生産額で除して得られる係数であり、ある産業において 1 単位の生産を行う時に必要な原材料等の単位を示したものである[16]。

次に後者の研究に関しては、既存の産業連関表を用いシンガポールにおける EV の経済効果を調べている。但し、シンガポールでは自動車産業が発達していないため、自動車部品産業ではなく、主に石油産業などインフラ産業の構造変化に焦点を当てている。

しかしながら、これらの既往研究にはいくつかの課題が存在する。以降、それらの課題を順に説明する。

(1)EV 以外の CEV が考慮されていない点

既往研究では、EV の普及による各産業における生産誘発額の影響は定量化しているが、FCV を初めとしたその他の CEV の普及による経済効果は分析できていない。例えば FCV の場合、EV と同様にエンジン部品等が不必要となる一方、モータや電池(バッテリー)が新たに

必要となる(Figure 2-1, Figure 2-2) [17] [18]. しかし, FCV の場合, EV とは異なり水素タンクが新しく必要となってくるため[18], 経済効果は EV とは大きく異なってくるのが予測できる.

以上のように, CEV 毎に部品構造がことなるため, 各 CEV の部品構造の特性を理解し, 各 CEV が普及することにより生じる経済効果を比較検討していく必要がある.



Figure 2-1 EV の構造の概念図

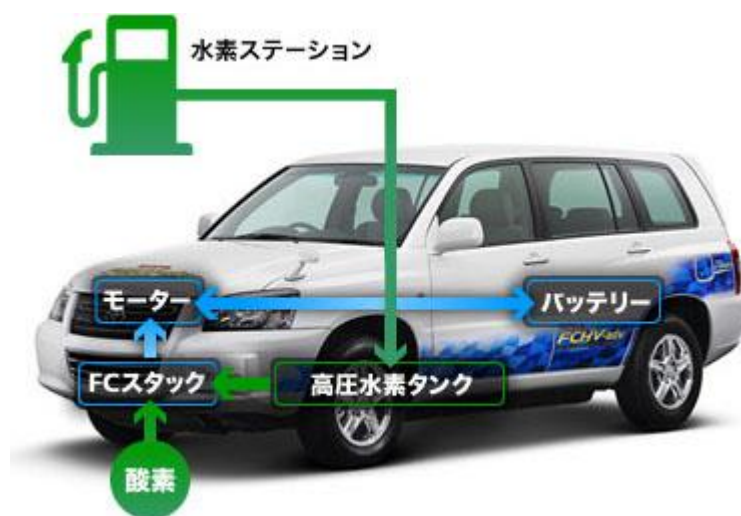


Figure 2-2 FCV の構造の概念図

(2)トラック・バスが考慮されていない点

既往研究では、乗用車のみを対象としており、トラック(貨物自動車)やバス(乗合自動車)が含まれていない。確かに、乗用車に比べてトラックやバスは台数が少なく、CEV の普及台数も少ない。しかし、有森ら[19]の研究では、乗用車、トラック、バスを対象に国内における CEV の最適ポートフォリオを算出し、その結果トラックやバスにおいて NGV などを導入することが CO2 排出量の削減に効果を発揮することを示している。

つまり、CEV の導入の必要性はトラック、バスにおいても非常に高く、経済効果を算出する上でも無視することはできないと言える。

(3)雇用面が考慮されていない点

既往研究では、EV の普及に伴う生産誘発額を分析対象にしているが、雇用の面の分析が十分ではない。産業にはサービス業のように労働集約的な産業や石油業界のように資本集約的な産業があり、さらには産業毎に他の産業へ生産が波及する影響力も異なる。つまり、ある産業での生産が雇用者を多く生むか否かはその産業の特性に依存することとなる。

そのため、CEV の普及による経済効果を算出し、産業構造の変化を分析する上で、雇用面の分析も重要性が高いと言える。

以上のように、既往研究では対象車種を乗用車の EV、分析対象を生産誘発額のみとしているため、産業構造の変化についての分析が断片的であり、かつ各 CEV の普及による影響の比較検討が不十分である。

そのため、本研究では、上述した 3 つの課題に対応した新たな産業連関表とそれを基にした経済波及効果モデルを構築する。すなわち、用途別には乗用車、トラック、バス、動力源別では GV, DV, CDV, NGV, EV, HEV, PHEV, FCV の計 24 車種を対象とし、かつ分析対象を雇用数まで拡張し、各 CEV が普及することにより生じる経済的・社会的な影響を比較し、産業構造の変化の分析を行う。これらの点が本研究における新規性である。

2-2 研究目標

前節までに述べた背景・課題をうけ、本研究では下記の3点を研究目標とする。

- 対象車種を用途別には乗用車、トラック、バス、動力源別では GV, DV, CDV, NGV, EV, HEV, PHEV, FCV の計 24 車種とし、経済波及効果を算出可能なモデルを構築する。
- 構築したモデルおよび CEV の技術特性やエネルギー価格など各種前提条件を基に、各 CEV が普及した場合の経済効果を算出する。
- 算出した経済効果を基に産業構造の変化の分析を行い、企業の生産計画や政府の普及政策の策定に際しての一助とする。

2-3 本章の構成

本章は、第 1 節から第 7 節で構成される。第 1 節が既往研究とその課題、第 2 節が研究目標、第 3 節が本章の構成、第 4 節が研究方法、第 5 節が各種前提条件、第 6 節が経済波及効果の算出、第 7 節が小括である。

第 1 節から第 3 節では、既往研究の特徴と課題を述べ、本研究の新規性を明らかにすると共に、本研究の全体像を述べる。

以下、第 4 節では、既存の産業連関表を基に新たに作成した CEV 導入産業連関表とそれを基に構築した経済波及効果モデルについて説明する。

第 5 節では、波及効果の算出に必要となる CEV の技術特性やエネルギー価格などの各種前提条件の詳細について述べる。

第 6 節では、各種シナリオを設定し、経済効果の算出、分析した結果を述べる。

最後に第 7 節では、本研究の成果および得られた知見をまとめ、今後の課題について述べる。

2-4 研究方法

2-4-1 産業連関表の概要

本研究では、産業連関表を用いて各CEVそれぞれが普及した場合の経済効果を算出することができるモデルを作成する。

産業連関表とは、国内経済において一定期間(通常1年間)に行われた財・サービスの産業間取引を一つの行列に示した統計表のことであり、縦(列)方向に見ると財・サービスの生産にあたって投入された原材料及び粗付加価値の構成が示されており、横(行)方向に見ると生産された財・サービスの販売(産出)先の構成が示されている(Figure 2-3) [16]。本研究では、経済産業省が発行している平成22年産業連関表(延長表)80部門表[20]を使用している。

しかし、既存の産業連関表では完成車の製造を行う部門は、「乗用車」、「その他の自動車」という2部門のみに分かれており、各CEVとGVの部品構造、そしてコスト構造を反映しておらず、比較を十分に行うことができない。そのため、本研究では産業連関表上に各車種の部門を新設し、産業連関表の再構成を行った。2-4-2において、産業連関表を再構成するために行った5つのプロセスを説明していく。

産業連関表の構造

| 需要部門(買い手) | | 中間需要 | | | | 最終需要 | | | 国内生産額 |
|-----------|--|----------------------------|--|------------------|---|---------------------------------|---------------------------------|------------------|-------|
| | | 1 農 林 水 産 業 | 2 鉱 業 | 3 製 造 業 | 計 | 家 計 外 消 費 支 出 | 固 定 資 本 形 成 費 | 輸 入 輸 出 | |
| 供給部門(売り手) | | 〔生産される財・サービス〕 | | | | A | B | C | A+B-C |
| 中間投入 | 1 農 林 水 産 業 | 生産された財・サービスの原付料及び粗付加価値の構成 | 生産された財・サービスの販売先の構成 | | | | | | |
| | 2 鉱 業 | | 【産出】 | | | | | | |
| | 3 製 造 業 | | 【投入】 | | | | | | |
| 計 | | D | | | | | | | |
| 粗付加価値 | 家計外消費支出 雇用者所得 営業余剰 資本減耗引当 間接補助金 (控除)補助金 | 【投入】 | ・ 行生産額(A+B-C)と列生産額(D+E)は一致する。 ・ 粗付加価値の合計と最終需要-輸入の合計は一致する。 | | | | | | |
| | 計 | | E | | | | | | |
| 国内生産額 | | D+E | | | | | | | |

Figure 2-3 産業連関表の構造

2-4-2 産業連関表の再構成

既存の産業連関表を基に、新しく各 CEV の部門を新設するために以下の 5 つのプロセスを行う。

まず、第 1 に「その他の自動車」の部門を経済産業省の統計[21] [22]を基に「トラック・バス」、
「二輪自動車」に分割する。

第 2 に、文献[23] [24] [25] [26] [27]を基に、主要な部品を対象に各 CEV において不必要になる GV 部品と新しく必要になる部品、そして各部品の単価の洗い出しを行った。Table 2-1 は各 CEV における部品の変化と対応する産業連関表の部門を示したものである。また、Table 2-1 において黄色で示されているセルは既存の GV 部品、もしくは DV の部品であり、技術的に成熟しているため 2010 年度以降も価格が一定であると仮定を置いたものを示している。一方で、例えば電池など今後価格が大きく変化していく可能性が高い部品については 2010 年以降各種文献[28] [29] [30]に基づいて価格が変化していくように設定している。具体的な価格の推移に関しては 2-5 において説明することとする。

Table 2-1 各 CEV と GV の主要部品の違い

| Type of vehicle | Category | Name of parts | Department name in I-O Table |
|-----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| CDV | Increased parts | Fuel injection system of diesel | Motor vehicle parts and accessories |
| | | Fuel injection nozzle of diesel | Motor vehicle parts and accessories |
| | Reduced parts | Fuel injection nozzle of gasoline | Motor vehicle parts and accessories |
| | | Spark plug | Electrical devices and parts |
| EV | Increased parts | Battery | Other electrical equipment |
| | | Motor | Electrical devices and parts |
| | | Inverter | Electrical devices and parts |
| | Reduced parts | Engine component | Motor vehicle parts and accessories |
| | | Electrical component and electronic | Electrical devices and parts |
| | Fuel tank | Motor vehicle parts and accessories | |
| HEV | Increased parts | Battery | Other electrical equipment |
| | | Motor | Electrical devices and parts |
| | | Inverter | Electrical devices and parts |
| PHEV | Increased parts | Battery | Other electrical equipment |
| | | Motor | Electrical devices and parts |
| | | Inverter | Electrical devices and parts |
| FCV | Increased parts | Battery | Other electrical equipment |
| | | Motor | Electrical devices and parts |
| | | Inverter | Electrical devices and parts |
| | | Hydrogen tank | Motor vehicle parts and accessories |
| | | Fuel cell | Other electrical equipment |
| | Reduced parts | Engine component | Motor vehicle parts and accessories |
| Fuel tank | | Motor vehicle parts and accessories | |

そして第3に、GVと比して各CEV1台当たりを生産するために必要な各部門からの購入金額の増減額を推計する。これは、プロセスの2段階目で洗い出した部品を産業連関表上の各部門に割り振り、GVと比べ各CEVにおいてに増減する部品額を合計したものである。

第4に、2010年における各車種の生産台数を基に、GV1台を生産するために必要な各部門からの購入金額を式(1)を用い、推計した。なお、推計したGV1台を生産するために必要な各部門からの購入金額は、2010年以降も一定と仮定する。

そして第5に、プロセスの4段階目で算出した値と2010年における各車種の生産台数を基に、CEV毎の各部門の金額を式(2)を用い、推計する。但し、2010年時点で普及していない車種に関してはGVの生産台数を代用し、算出する。この段階において再構成した産業連関表が対象年毎に作成されることとなる。

2-4-3 以降では、本節において作成した産業連関表を用い、具体的な経済効果を算出するモデルの説明を行う。

$$\sum_i SP_{ik^0n} = \sum_i PV_{ik^0} (GP_n + IP_{ik^0n} - RP_{ik^0n}) \quad (1)$$

$$SP_{ikn} = PV_{ik^0} (GP_n + IP_{ikn} - RP_{ikn}) \quad (2)$$

i : 車種 [乗用車(GV), 乗用車(DV), 乗用車(CDV), 乗用車(NGV), 乗用車(EV), 乗用車(HEV), 乗用車(PHEV), 乗用車(FCV), トラック(GV), トラック(DV), トラック(CDV), トラック(NGV), トラック(EV), トラック(HEV), トラック(PHEV), トラック(FCV), バス(GV), バス(DV), バス(CDV), バス(NGV), バス(EV), バス(HEV), バス(PHEV), バス(FCV)]

n : 部門 [農林水産業, 金属鉱物, ..., 対個人サービス, その他]

k : 対象年 [2020年, 2030年]

k^0 : 2010年

SP_{ikn} : k 年における車種 i の部門 n からの購入額 [Yen]

PV_{ik^0} : 2010年における車種 i の生産台数 [Unit]

GP_n : GV1台当たりに必要な部門 n からの購入額 [Yen]

IP_{ikn} : GVと比べ車種 i の1台当たりが必要となる k 年における部門 n からの購入額の増加額 [Yen]

RP_{ikn} : GVと比べ車種 i の1台当たりが必要となる k 年における部門 n からの購入額の減少額 [Yen]

2-4-3 経済波及効果モデルの概要

2-4-2 において再構成した産業連関表を基に CEV が普及した場合に発生する経済効果を算出するためのモデルを説明する。Figure 2-4 に本研究で構築した経済波及効果モデルの概念図を示す。この経済波及効果モデルでは、入力に直接効果(需要額)として自動車ごとの生産額、燃料消費額、サービスステーション建設費の 3 つの要素を与えることで、出力として生産誘発額と雇用者誘発数が得られる。生産誘発額とは、ある産業に生じた最終需要を賅うために各産業で直接・間接に必要な生産額のことを示し、本研究の場合、各車種が消費された場合に生じる各産業の生産額ということができる。また、雇用者誘発数とは、ある産業の生産が増えたことにより、雇用者がどれだけ増減したかを示す。

モデルの詳細については次節以降で数式も含め順に述べていく。

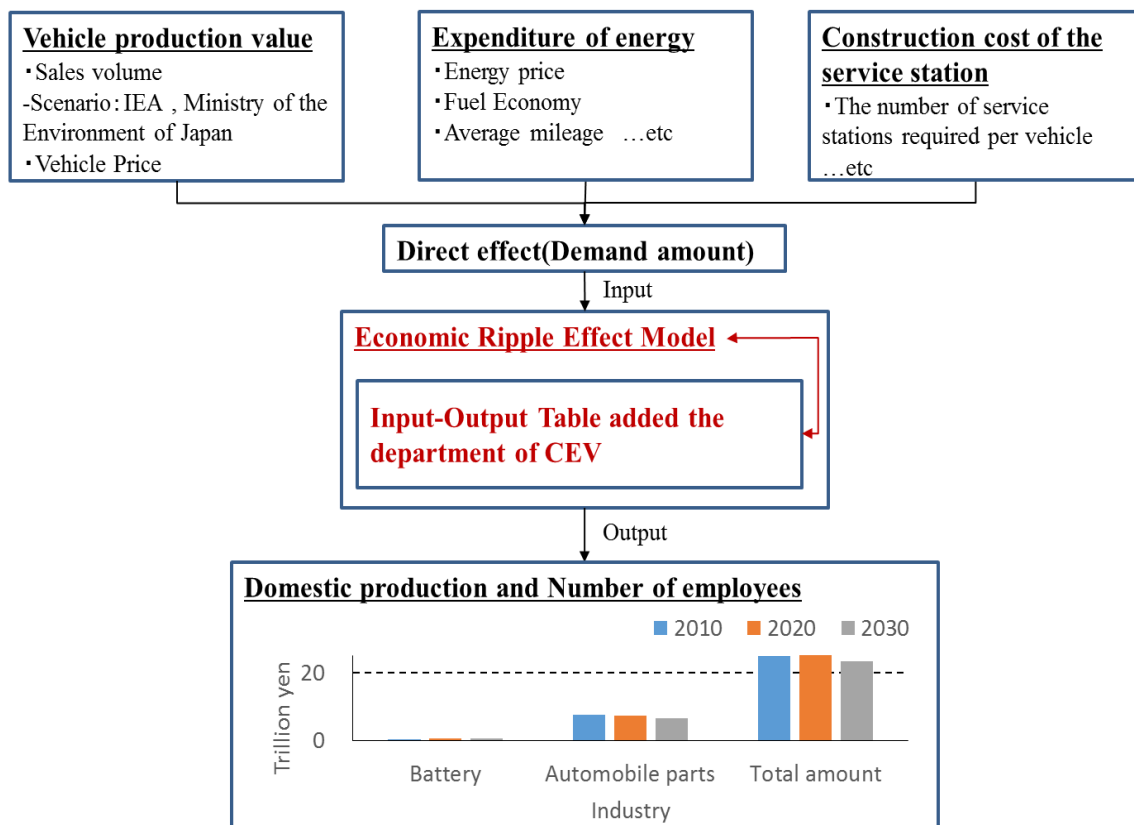


Figure 2-4 経済波及効果モデルの概要

2-4-4 経済波及効果モデルの定式化

本節では、経済波及効果モデルの数式を説明する。前節で述べたように、本モデルの出力は生産誘発額と雇用者誘発数であり、それぞれの推計方法を示したものが式(3)、式(4)である。

まず、生産誘発額はレオンチェフの逆行列に直接効果を乗じることで算出する。レオンチェフの逆行列とは、各産業に対する1単位の需要増があった場合にどの産業の生産が何単位誘発されるかを示す係数である。そして、本研究では直接効果を自動車ごとの生産額、燃料消費額、サービスステーション建設費の3つと定義している。式(3)の直接効果を示す部分の内、第一項は車両生産額、第二項は燃料消費額、第三項はサービスステーション建設費を表している。また、上述したもの以外にも車庫代や駐車場代、メンテナンス費用、車検費用などが考えられるが、本研究の目的、つまり各車種の普及による影響額の差異を分析するという目的に照らした場合、上述した3つの直接効果以外は各車種による違いがなく、かつ金額としてもそれほど大きくないという理由から本研究では考慮しないこととした。

次に、雇用者誘発数は生産誘発額に各部門の雇用者係数を乗じることで算出する。雇用者係数とは当該部門において1単位の生産を行うために投入された労働量を示す係数であり、各部門における雇用者数を生産額で除することにより算出する。本研究で用いる雇用者係数は、文献[31][32]に基づき算出し、すべての年度において一定と仮定する。

$$\begin{aligned}
 DP_{kn}(X_{ik}) &= [I - (I - M)A_k]^{-1} \Delta f \\
 &= \sum_i [I - (I - M)A_k]^{-1} \left(X_{ik} P_{ik} + \sum_j \frac{X_{ik} D_i F_{ik} E_{jk}}{(1 + O_j)} + X_{ik} C_{ik} R \right) \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$NE_{kn} = DP_{kn}(X_{ik}) B_n \quad (4)$$

i, k, n : 式(2)と同じ

j : エネルギーの種類 [ガソリン, 軽油, 天然ガス, 電気, 水素]
 DP_{kn} : k 年の部門 n における生産誘発額 [Yen]
 X_{ik} : 車種 i の k 年における新車販売台数 [Unit]
 P_{ik} : 車種 i の k 年における車両生産価格 [Yen]
 D_i : 車種 i の年間平均走行距離 [km]
 F_{ik} : 車種 i の k 年における保有平均実走行燃費 [MJ/km]
 E_{jk} : エネルギー j の k 年におけるエネルギー価格 [Yen/MJ]
 O_j : エネルギー j の対生産者価格運賃・商業マージン率 [%]
 C_{ik} : k 年における車種 i に対応するサービスステーション1箇所当たりの建設費 [Yen/Unit]
 R : 1台あたりに必要なサービスステーション数 [Unit]
 M : 移輸入係数
 A_k : k 年における投入係数
 I : 単位行列
 Δf : 直接効果 (需要額)

2-5 各種前提条件

2-5-1 生産台数

文献 [24] [25] [26]に基づき, 2010 年の各車種の生産台数を Table 2-2 のように設定した.

Table 2-2 2010 年における生産台数

| | GV | DV | CDV | NGV | EV | HEV | PHEV | FCV |
|---------------|-----------|---------|-----|--------|--------|---------|------|-----|
| Passenger car | 7,935,856 | 374,506 | 0 | 1,510 | 16,169 | 729,682 | 251 | 0 |
| Truck | 657,835 | 551,344 | 0 | 35,700 | 12 | 1,890 | 0 | 0 |
| Bus | 42,542 | 66,792 | 0 | 1,506 | 0 | 95 | 0 | 0 |

2-5-2 電池価格

乗用車, トラック, バスそれぞれ年間平均走行距離が異なるため, 搭載する電池容量にも差が出ると思われる. そのため, まず EV, HEV, PHEV それぞれ現在販売されている LEAF, PRIUS, PRIUS PHV を想定モデルとし, 乗用車の電池容量[33] [34] [35] を設定した. また, FCV に関しては, 想定モデルを現在開発中のトヨタ FCHV-adv[36] [37]とし, 乗用車の電池容量を推計している.

そして, 乗用車の電池容量に乗用車に対するトラック, バスの年間平均走行距離の比率を乗じることで, トラック, バスの電池容量を推計している. なお, 年間平均走行距離に関しては 2-5-7 において説明することとする.

1 台あたりの電池価格は電池単価[28]に電池容量(Table 2-3)を乗じ, 算出している. Figure 2-5, Figure 2-6, Figure 2-7 は 1 台あたりの電池価格の推移を示している.

Table 2-3 電池容量の推計

| Type of vehicle | Assumed model | Passenger car | Truck | Bus |
|-----------------|---------------|---------------|-------|-------|
| EV | LEAF | 24.0 | 42.1 | 124.4 |
| PHEV | PRIUS PHEV | 4.4 | 7.7 | 22.8 |
| HEV | PRIUS | 1.3 | 2.4 | 7.0 |
| FCV | FCHV-adv | 1.3 | 2.4 | 7.0 |

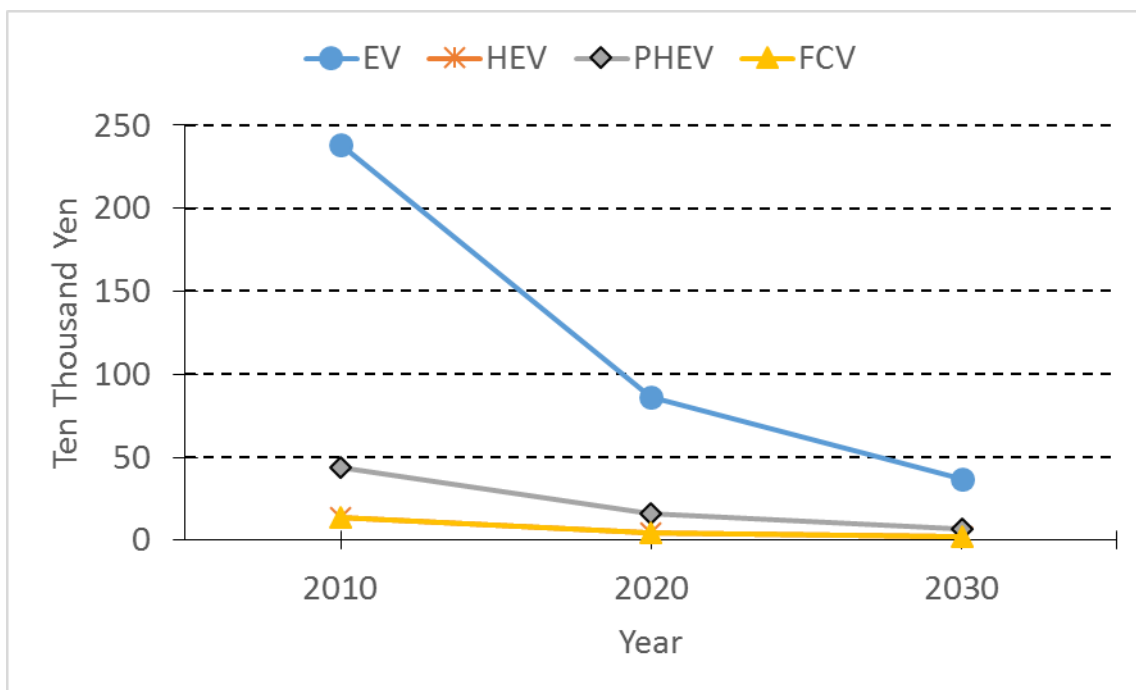


Figure 2-5 1台当たりの電池価格の推移(乗用車)

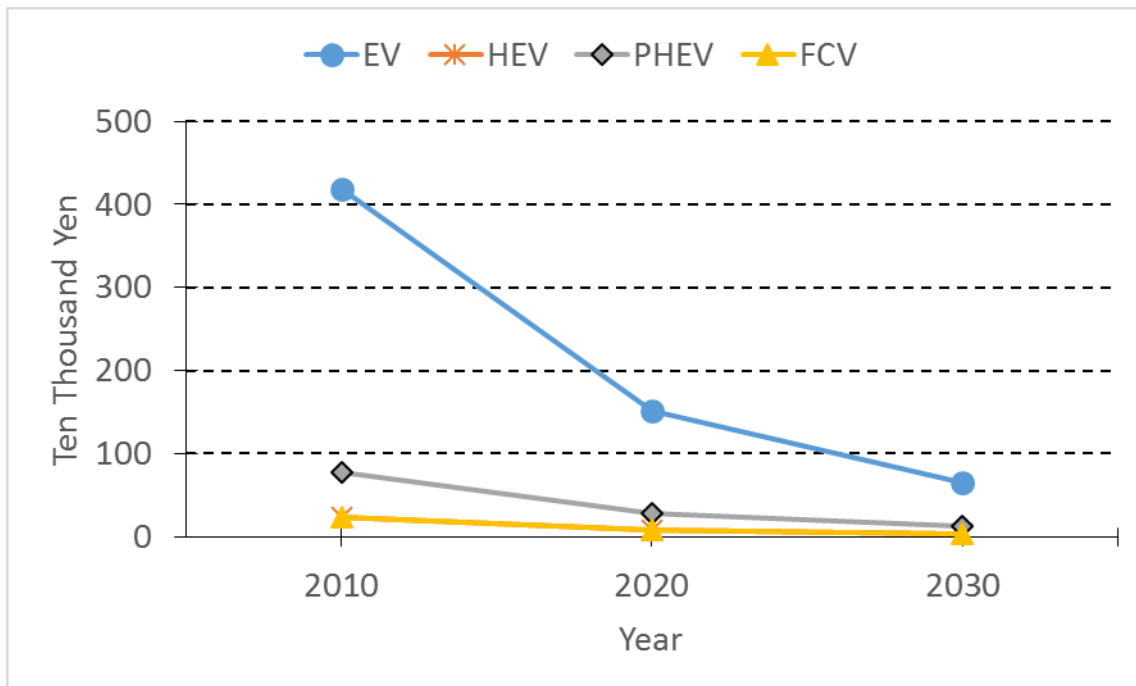


Figure 2-6 1 台当たりの電池価格の推移(トラック)

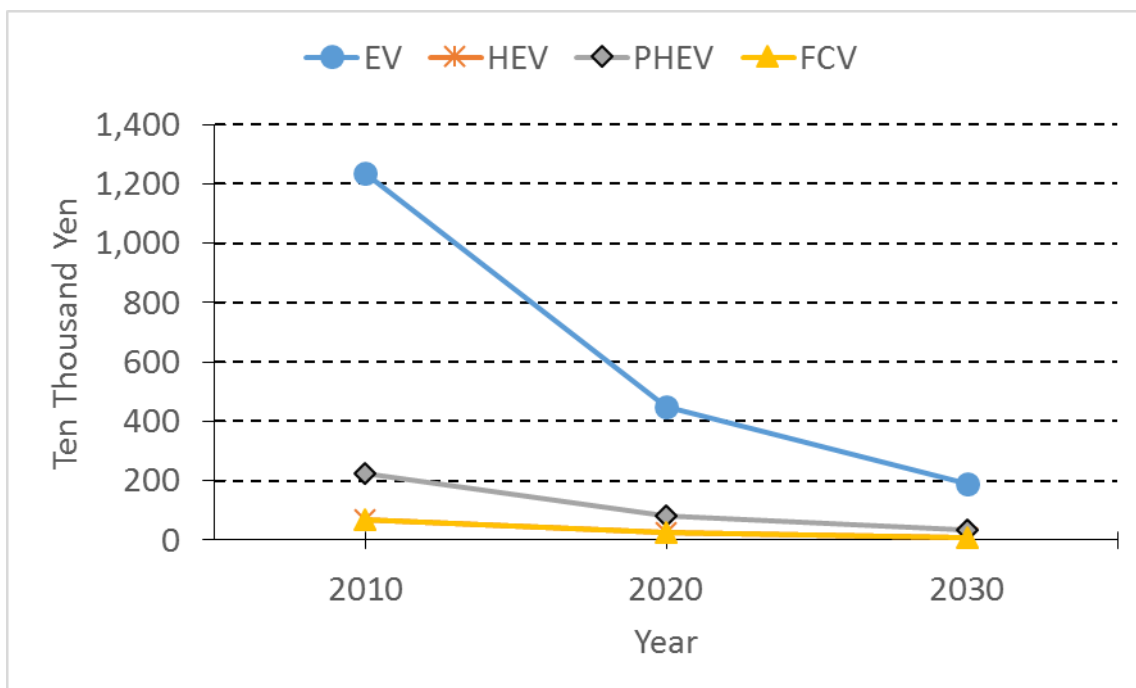


Figure 2-7 1 台当たりの電池価格の推移(バス)

2-5-3 モータ・インバータ価格

1台あたりのモータ・インバータの価格は、各車種のモータ・インバータ搭載数[29]にモータ・インバータの単価[28]を乗じ、算出している。各車種で使用するモータ・インバータの価格の推移を Figure 2-8~ Figure 2-11 に示す。

なお、乗用車、トラック、バスの単価の違いは、文献[27]に基づき、乗用車に対するトラック、バスの1台当たりの生産額の比率を乗じ、推計している。

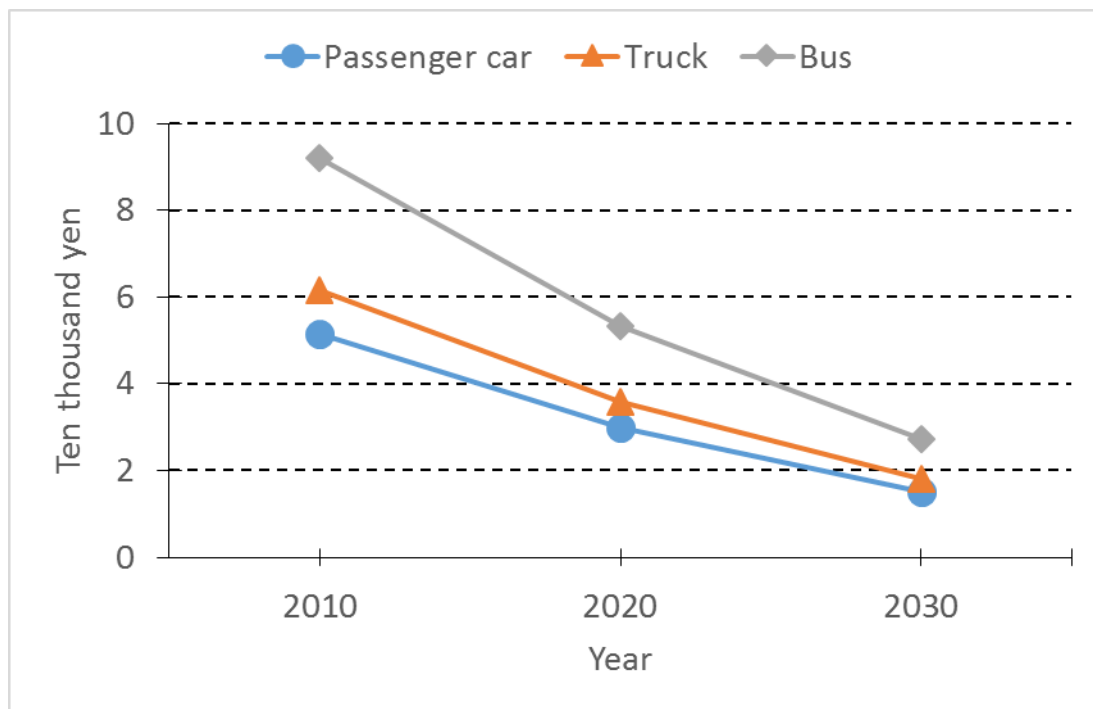


Figure 2-8 モータ価格の推移 (EV)

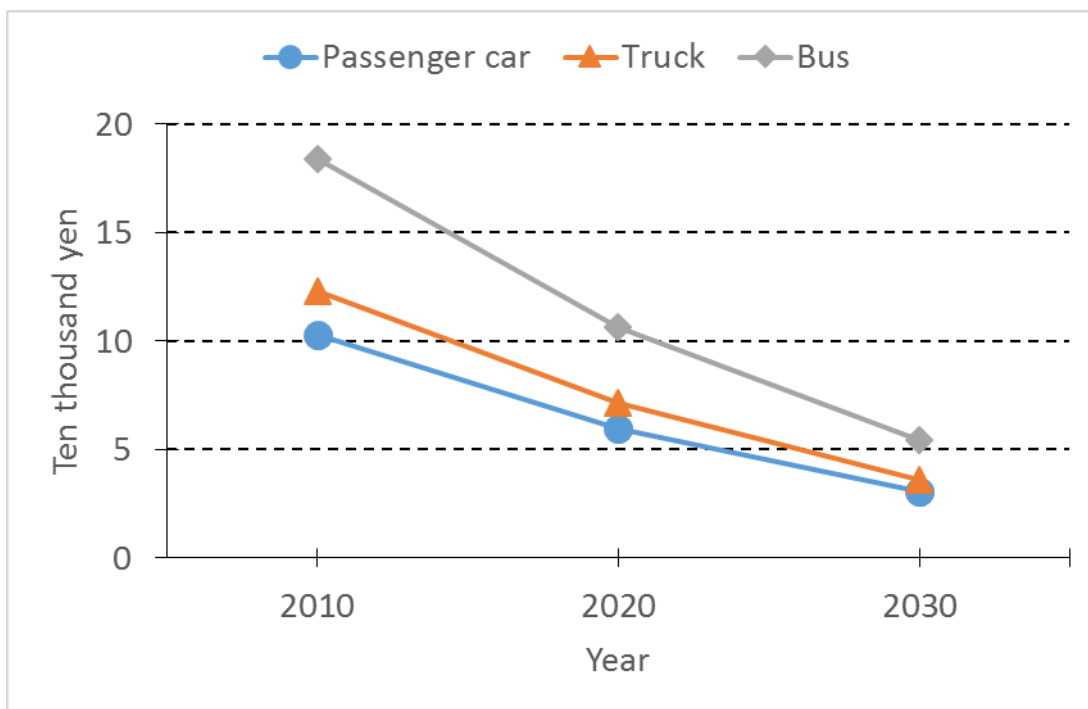


Figure 2-9 モーター価格の推移 (HEV, PHEV, FCV)

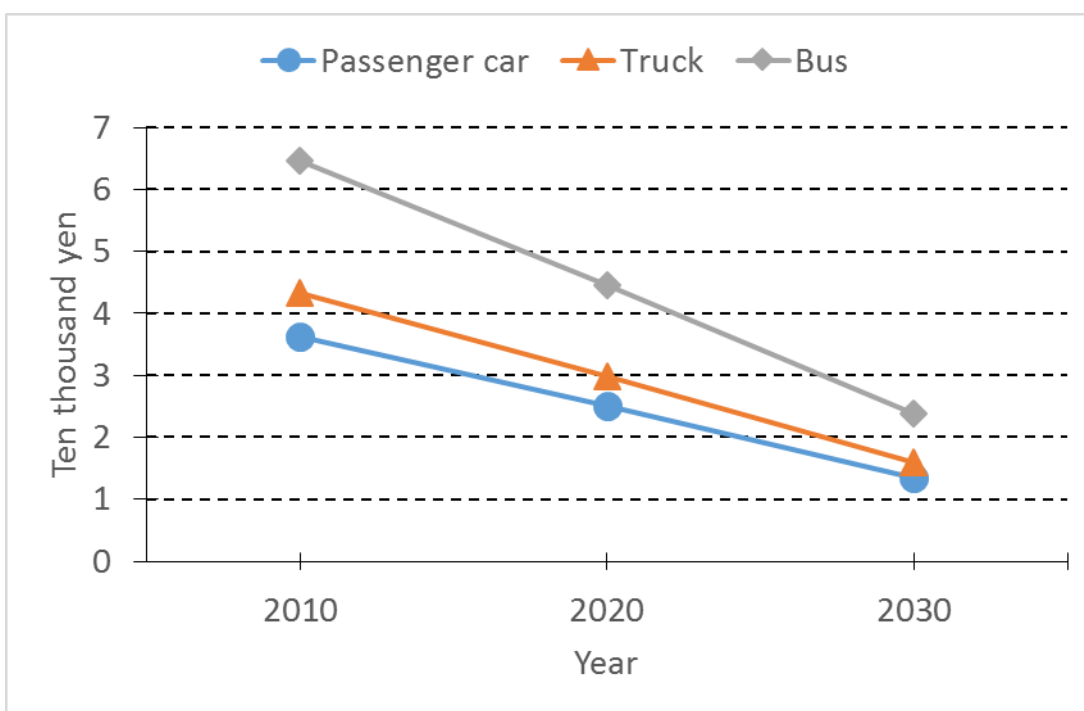


Figure 2-10 インバータ価格の推移 (EV)

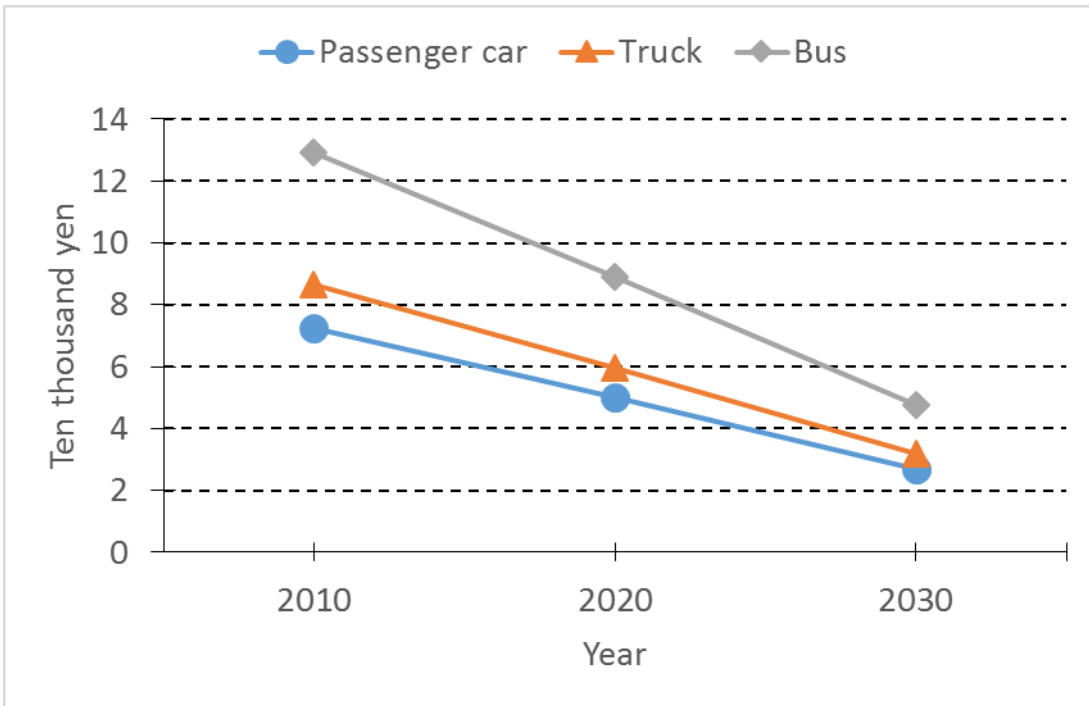


Figure 2-11 インバータ価格の推移 (HEV, PHEV, FCV)

2-5-4 燃料電池・水素タンク価格

文献[30]に従い、燃料電池価格の推移を Figure 2-12 , 水素タンク価格の推移を Figure 2-13 に示す.

なお, 乗用車, トラック, バスそれぞれ年間平均走行距離が異なるため, 搭載する電池容量や燃料タンクの容量にも差が出ると考えられる. そのため, 乗用車の燃料電池, 水素タンクの価格に乗用車に対するトラック, バスの年間平均走行距離の比率を乗じることで, トラック, バスの各価格を推計している. 年間平均走行距離に関しては 2-5-7 において説明することとする.

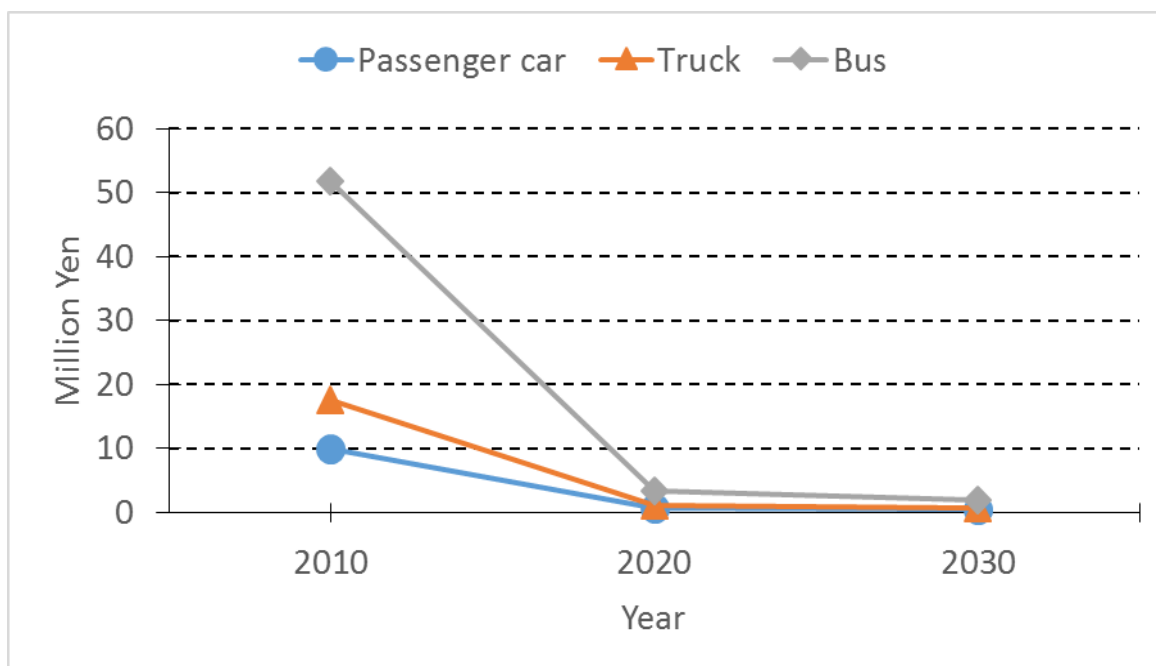


Figure 2-12 燃料電池価格の推移

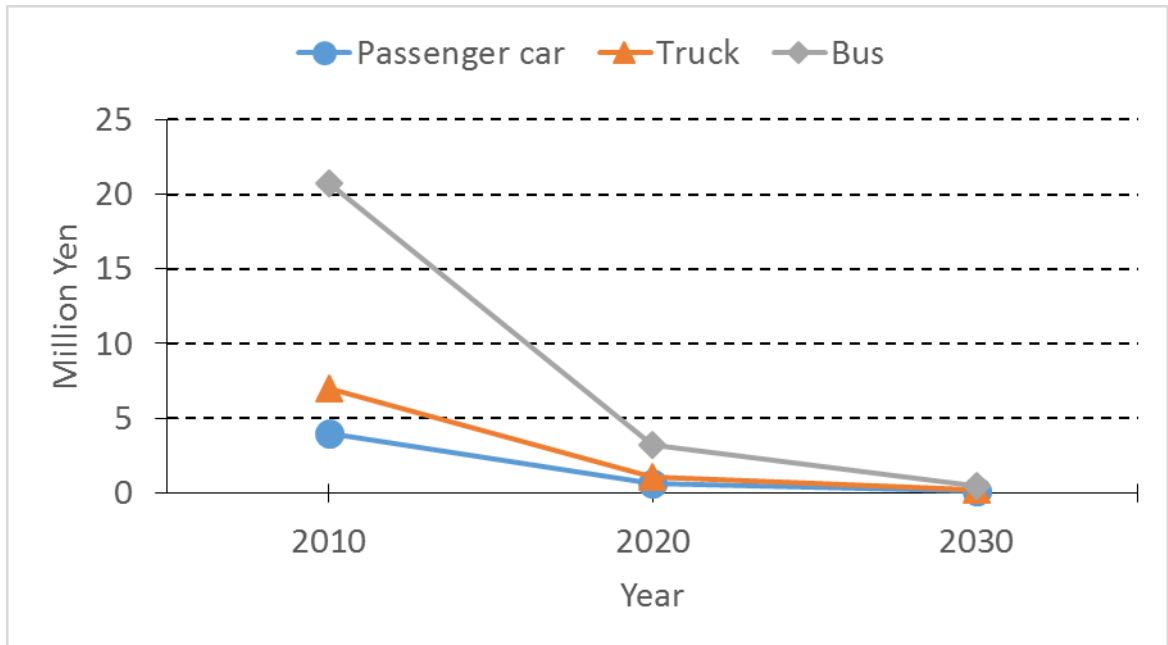


Figure 2-13 水素タンク価格の推移

2-5-5 新車販売台数

文献[5] [38]に従い、新車販売台数は人口動態(Figure 2-13)に相関するものとし、2020年、2030年の乗用車、トラック、バスの新車販売台数を Table 2-4 のように設定する。なお、2010年の新車販売台数は文献[24] [25] [26]に従って、設定している。

また、乗用車、トラック、バスの GV, DV そして各 CEV の構成比は各シナリオの設定時に説明することとする。

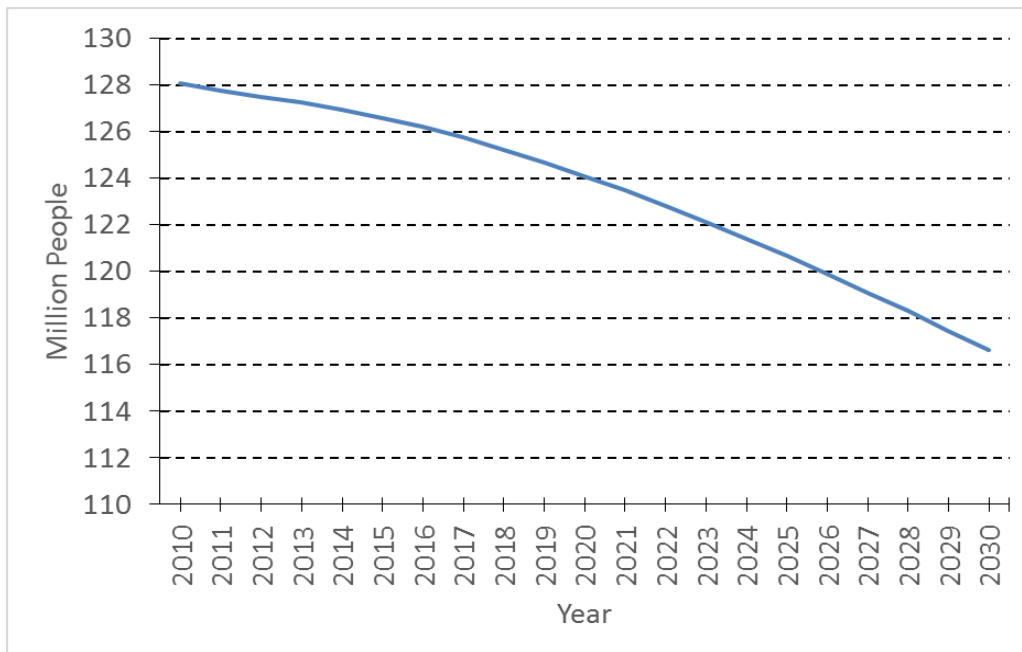


Figure 2-13 日本における総人口の推移

Table 2-4 新車販売台数の推移

| | 2010 | 2020 | 2030 |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Passenger car | 4,212,267 | 4,082,093 | 3,835,974 |
| Truck | 731,094 | 708,501 | 665,783 |
| Bus | 12,775 | 12,380 | 11,634 |

2-5-6 車両生産価格

2-4 において再構成した産業連関表と文献[5]を基に、乗用車・トラック・バスの車両生産価格の推移をそれぞれ Figure 2-14, Figure 2-15, Figure 2-16 のように設定した。なお、乗用車・トラック・バスにおいて GV・DV 価格は部品の技術が成熟段階にあり、大きな生産コストの低減は起こらないと仮定し、車両生産価格は年ごとに変化しないものとする。

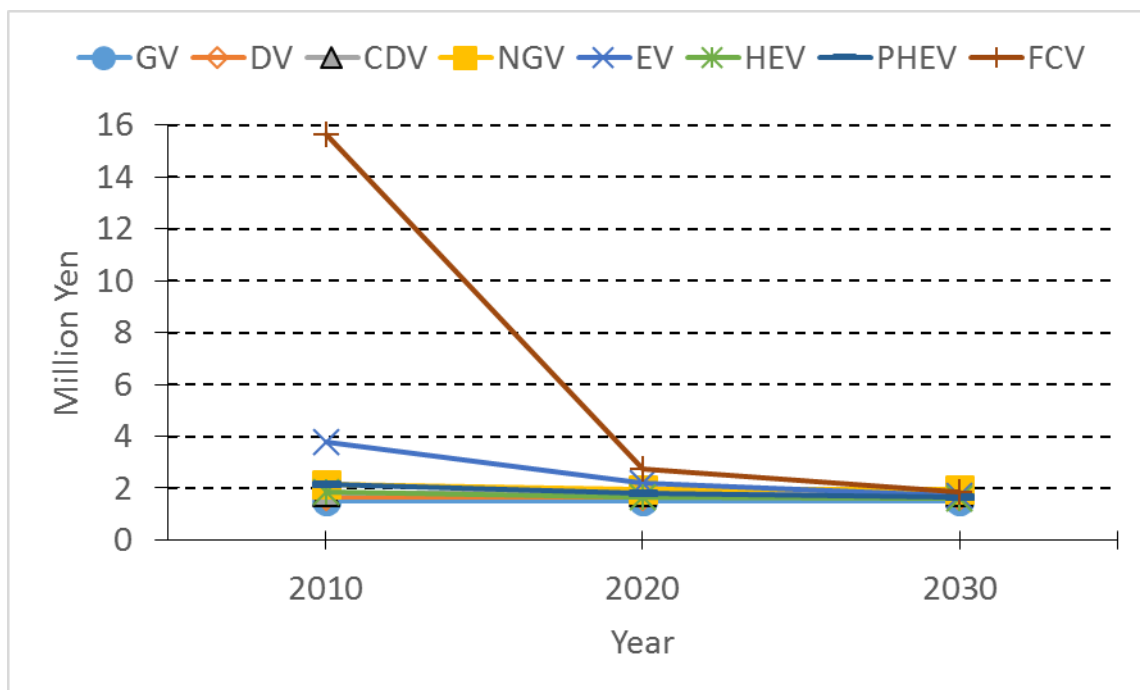


Figure 2-14 乗用車の車両価格の推移

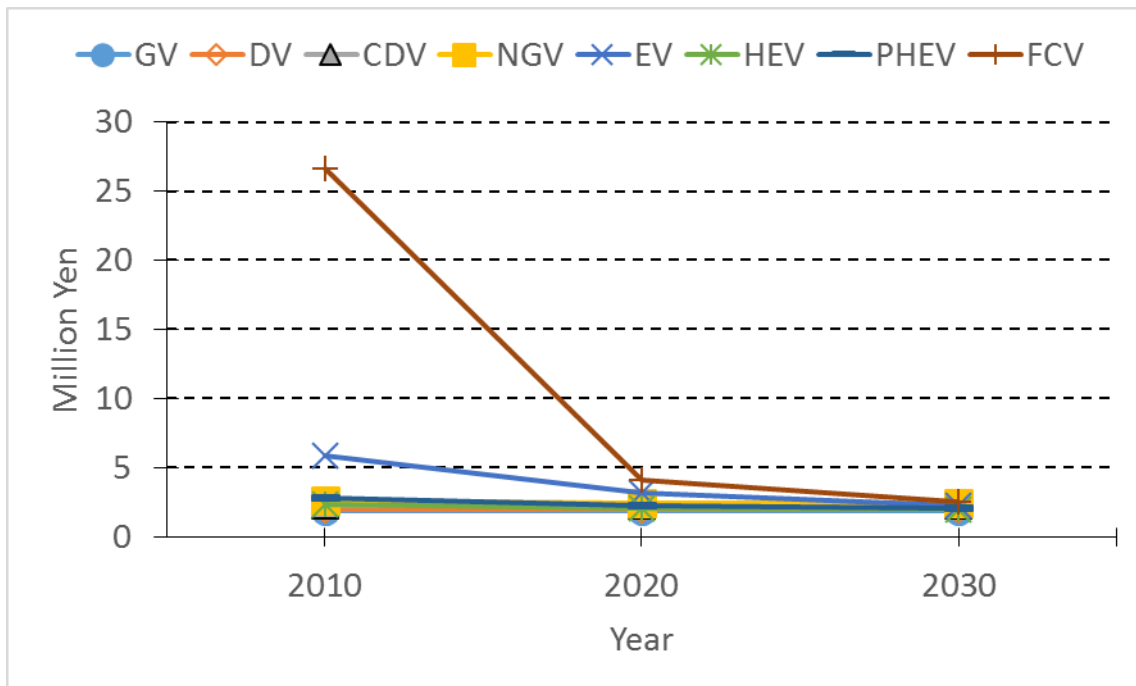


Figure 2-15 トラックの車両価格の推移

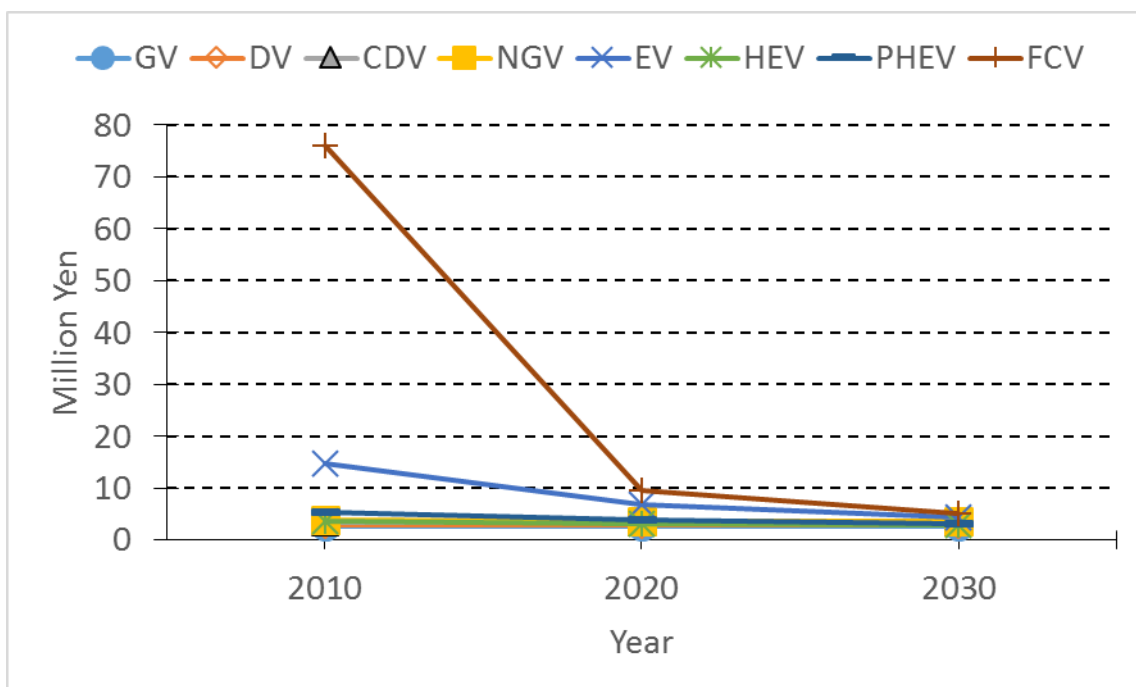


Figure 2-16 バスの車両価格の推移

2-5-7 年間平均走行距離

年間平均走行距離は、乗用車・トラック・バスや普通・小型・軽ごとに異なる。またこれらの各車種は保有されている台数も異なるため、年間平均走行距離を算出するために車種ごとの保有台数に応じて加重平均の値を取ることにする。

具体的には、各種文献[39] [40] [41]より、1日1車当たり走行キロ、保有台数、実働率を引用し、まず各車種の1日1車当たり走行キロに実働率、365(日数)を乗じ、各車種の年間走行距離を算出した。そして、乗用車・トラック・バス毎に各車種の保有台数に基づき加重平均することで乗用車・トラック・バス毎の年間平均走行距離を算出した。

その結果、乗用車・トラック・バスそれぞれの1台当たりの年間平均走行距離は8,026 [km]、12,811 [km]、47,451 [km]と算出された。なお、これらの値は年ごとに変化しないものとする。

2-5-8 燃費

燃費は車種毎に異なり、加えて車体の軽量化などにより年ごとに改善されている。そのため、車体の軽量化など全ての車種に共通する燃費の改善と車種毎の燃費の差異の両方を考慮することにより、2010年以降の各車種の燃費を設定した。

具体的にはまず、全ての車種に共通する燃費の改善見通しを文献[13]の保有平均実走行燃費(Table 2-5)より引用し、その値に文献[42] [43]における Tank-to-Wheel の燃料消費量の対GV比率を乗じることでその他CEVの燃費を設定した。以上に基づき設定した車種毎の保有実走行燃費の推移を Table 2-6, Table 2-7 に示す。

Table 2-5 保有実走行燃費の推移[km/L]

| | 2010 | 2020 | 2030 |
|---------------|------|------|------|
| Passenger car | 10.2 | 11.4 | 12.6 |
| Truck・Bus | 5.2 | 5.5 | 5.8 |

Table 2-6 乗用車の燃費の推移[MJ/km]

| | | 2010 | 2020 | 2030 | |
|---------------|------|----------|------|------|-----|
| Passenger car | GV | 3.7 | 3.4 | 3.0 | |
| | DV | 3.6 | 3.2 | 2.9 | |
| | CDV | 3.0 | 2.7 | 2.4 | |
| | NGV | 3.7 | 3.4 | 3.0 | |
| | EV | 0.8 | 0.7 | 0.6 | |
| | HEV | 2.4 | 2.2 | 2.0 | |
| | PHEV | EV mode | 0.8 | 0.7 | 0.6 |
| | | HEV mode | 2.6 | 2.3 | 2.1 |
| | FCV | 1.6 | 1.4 | 1.3 | |

Table 2-7 トラック・バスの燃費の推移[MJ/km]

| | | 2010 | 2020 | 2030 | |
|-----------|------|----------|------|------|------|
| Truck・Bus | GV | 7.35 | 6.95 | 6.59 | |
| | DV | 7.09 | 6.70 | 6.35 | |
| | CDV | 5.88 | 5.56 | 5.27 | |
| | NGV | 7.35 | 6.95 | 6.59 | |
| | EV | 1.56 | 1.48 | 1.40 | |
| | HEV | 4.74 | 4.48 | 4.25 | |
| | PHEV | EV mode | 1.56 | 1.48 | 1.40 |
| | | HEV mode | 5.09 | 4.81 | 4.56 |
| | FCV | 3.17 | 3.00 | 2.84 | |

2-5-9 エネルギー価格

自動車に使用されるエネルギーとして GV, HEV, PHEV がガソリン, DV, CDV が軽油, NGV が天然ガス, EV, PHEV が電気, FCV が水素と定義する. 各エネルギー源の価格推移は文献[30] [44] [45] [46] [47] [48]に従い設定した (Figure 2-17).

電気料金に関しては, 東日本大震災以降電源構成の見直しが進められており, 今後の目標とする電源構成次第で価格が変動することが予想される. そのため, 東日本大震災の影響を考慮し, エネルギー基本計画[49]ではなく, 文献[45] [46]の各シナリオの内, 最も有力視されている 15 シナリオの価格に基づき設定している.

また, 原油価格や天然ガスなど価格が円ではなくドルで予想されているものについては, 2003 年から 2013 年の円・ドル相場の平均値である 1ドル=101 円[50]を使用し, 換算している.

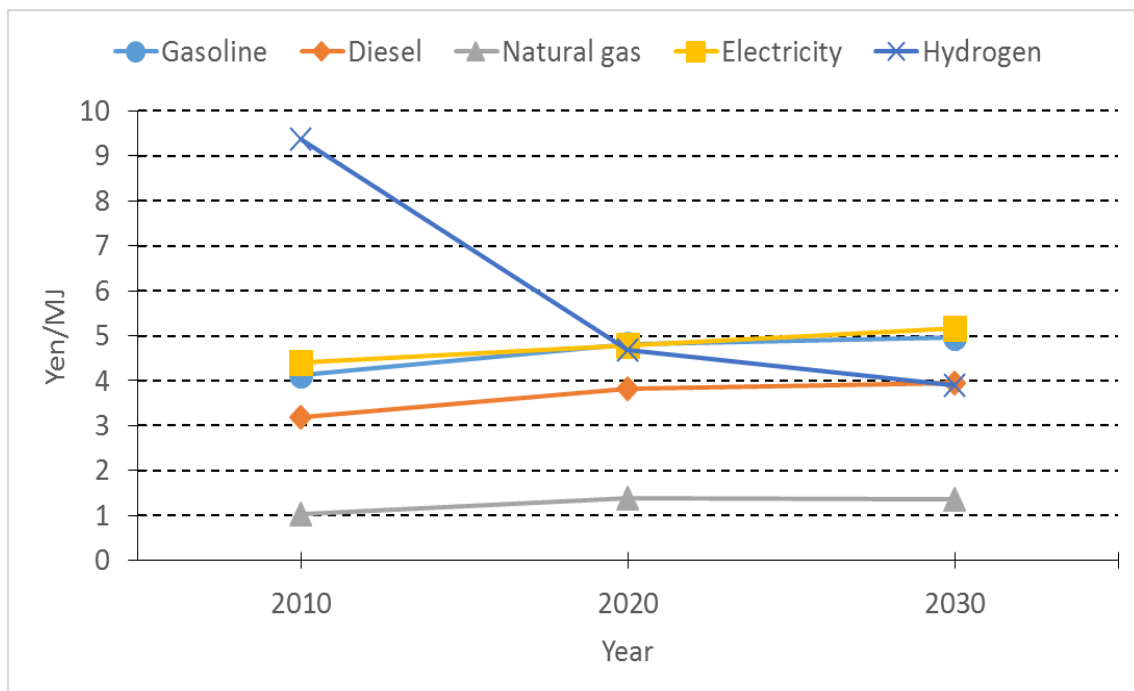


Figure 2-17 エネルギー価格の推移

2-5-10 サービスステーション建設費

本研究では、各車種で使用するサービスステーション、具体的にはGV、DV、CDV、HEV、PHEVが使用するガソリンスタンド、NGVが使用する天然ガススタンド、EV、PHEVが充電を行う充電スタンド、FCVの充填設備である水素ステーションの内、今後CEVの普及に伴い、新規にサービスステーションを建設する必要がある天然ガススタンド、充電スタンド、水素ステーションを対象とし、文献[13] [51] [52]に基づき各車種が1台普及する毎に必要なサービスステーション建設費を算出した(Table 2-8)。建設費の推移に関しては、今後改善余地が特に大きい水素ステーションのみ年毎に費用が変化するものとし、他のサービスステーションは費用が変化しないと仮定している。

なお、EVに関しては急速充電器に加え、家庭でのフル充電(100V)を必ず設置すると仮定し、算出している。PHEVに関しては、EV走行以外にもHEV走行が可能なため、急速充電器は必要ないが、家庭でのフル充電(100V)を必ず設置するものとしてサービスステーションコストを設定している。

また、1台あたりに必要なサービスステーション数に関しては、2010年におけるサービスステーション数[53]を2010年においてガソリンスタンドを使用しているGV、DV、CDV、HEV、PHEVの保有台数[24] [25] [26]の合計値で除すことで算出している。この値は年、そして車種ごとに変化せず、一定と仮定している。

Table 2-8 1台あたりのサービスステーション建設費の推移[Yen]

| | 2010 | 2020 | 2030 |
|------|---------|--------|--------|
| NGV | 55,130 | 55,130 | 55,130 |
| EV | 53,101 | 53,101 | 53,101 |
| PHEV | 50,000 | 50,000 | 50,000 |
| FCV | 387,633 | 90,448 | 77,527 |

2-6 経済波及効果の算出

2-6-1 WHAT IF ANALYSIS

前節までに示したモデル, 前提条件を基に CEV の普及による影響を分析していく上で, まず GV, DV, CEV の構成比がどう変化するかというシナリオを設定する. 各年の販売台数は, 乗用車・トラック・バスの予測販売台数 (Table 2-4) に各シナリオにおいて示す各車種のシェア推定値を乗じ, 算出した値を使用することとする.

なお, 2010 年の販売台数の構成比は文献[24] [25] [26]より, Table 2-9 のように設定している.

Table 2-9 各車種の構成比(2010年)

| | GV | DV | CDV | NGV | EV | HEV | PHEV | FCV |
|---------------|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| Passenger car | 85.2% | 4.0% | 0.0% | 0.0% | 0.2% | 10.6% | 0.0% | 0.0% |
| Truck | 54.2% | 45.4% | 0.0% | 0.3% | 0.0% | 0.1% | 0.0% | 0.0% |
| Bus | 38.3% | 60.1% | 0.0% | 0.8% | 0.0% | 0.8% | 0.0% | 0.0% |

以降, 各シナリオの詳細を順に示す.

(1)環境省シナリオ

環境省の2020, 2030年における販売台数目標[13]をもとに, Table 2-10のように設定している.

なお,トラック・バスのCEVの販売台数に関しては,トラック・バスの合計値で文献[13]には記載されているが,本論文においては合計値を2010年におけるトラック・バスの販売台数の比に基づき,配賦することでトラック・バスそれぞれの販売台数と仮定している.

Table 2-10 環境省シナリオにおける各車種の構成比

| | | GV | DV | CDV | NGV | EV | HEV | PHEV | FCV |
|------|---------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| 2020 | Passenger car | 46.2% | 2.2% | 0.2% | 0.0% | 14.0% | 27.8% | 9.5% | 0.1% |
| | Truck | 26.9% | 22.5% | 21.4% | 6.7% | 13.3% | 9.2% | 0.0% | 0.0% |
| | Bus | 19.2% | 30.2% | 21.4% | 6.7% | 13.3% | 9.2% | 0.0% | 0.0% |
| 2030 | Passenger car | 18.6% | 0.9% | 0.2% | 0.0% | 33.5% | 24.9% | 20.1% | 1.8% |
| | Truck | 14.9% | 12.5% | 16.1% | 9.4% | 36.3% | 10.5% | 0.0% | 0.4% |
| | Bus | 10.6% | 16.7% | 16.1% | 9.4% | 36.3% | 10.5% | 0.0% | 0.4% |

(2)IEA : BLUE MAP シナリオ

IEA の Blue Map シナリオ[8] [54]を基に乗用車,トラック,バスの GV, DV そして各 CEV の構成比を設定した(Table 2-11).

なお,トラック,バスの構成比は Blue Map シナリオでは記載がなかったため,環境省シナリオを代用している.

Table 2-11 Blue Map シナリオにおける各車種の構成比(乗用車)

| | GV | DV | CDV | NGV | EV | HEV | PHEV | FCV |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 2020 | 57% | 16% | 4% | 0% | 4% | 12% | 6% | 2% |
| 2030 | 29% | 8% | 6% | 0% | 10% | 19% | 21% | 8% |

2-6-2 シミュレーション結果

本節では、環境省シナリオ、IEAのBlue Mapシナリオを基にした経済全体への影響額の算出結果と考察を述べた後、影響の大きな部門を個別に取り上げ、その影響を分析し、最後にCEVの普及による影響のまとめを述べる。

まず、環境省シナリオ、IEAのBlue Mapシナリオを基に算出した生産誘発額と雇用者誘発数それぞれの総計の推移を示したものがFigure 2-18、Figure 2-19である。

経済全体への影響は、Figure 2-18、Figure 2-19に示すように、どちらのシナリオにおいても2020年に一時的に生産誘発額が約1兆円、雇用数が約2万人増加し、2030年において生産誘発額が約1.5兆円、雇用数が約2万人減少するという推移をたどっている。

2020年に生産誘発額や雇用誘発数が一時的に増加している要因はHEV、PHEV、EVが乗用車の販売台数の約50%、トラック・バスの販売台数の約20%を占め、電池の生産額が大きく増加したためと考えられる。また2020年時点では、電池の単価も高く、EVのようにエンジン部品が必要なくなる車種が販売された場合においても、電池の生産額がエンジン部品等の減少額を上回ったためと考えられる。

一方、2030年には生産誘発額、雇用誘発数ともに減少している。これは、HEV、PHEV、EVが乗用車の販売台数の約80%、トラック・バスの販売台数の約50%、特にEVに関しては全体の34%を占めると予測されており、電池を使用した自動車の販売台数の増加と2020年以降の継続的な電池単価の下落による影響を受けたものと考えられる。つまり、電池単価の下落により、既存GV部品への影響が表面化し、生産誘発額の総額が減少し、それに伴い雇用誘発数も減少したものと予測される。

また両シナリオを比較した場合、CEVの普及割合のより大きい環境省シナリオの方がBlue Mapシナリオに比べ、変動が大きい。具体的には2030年において、Blue Mapシナリオの方が生産誘発額では約3000億円、雇用誘発数では4000人多い結果となっている。

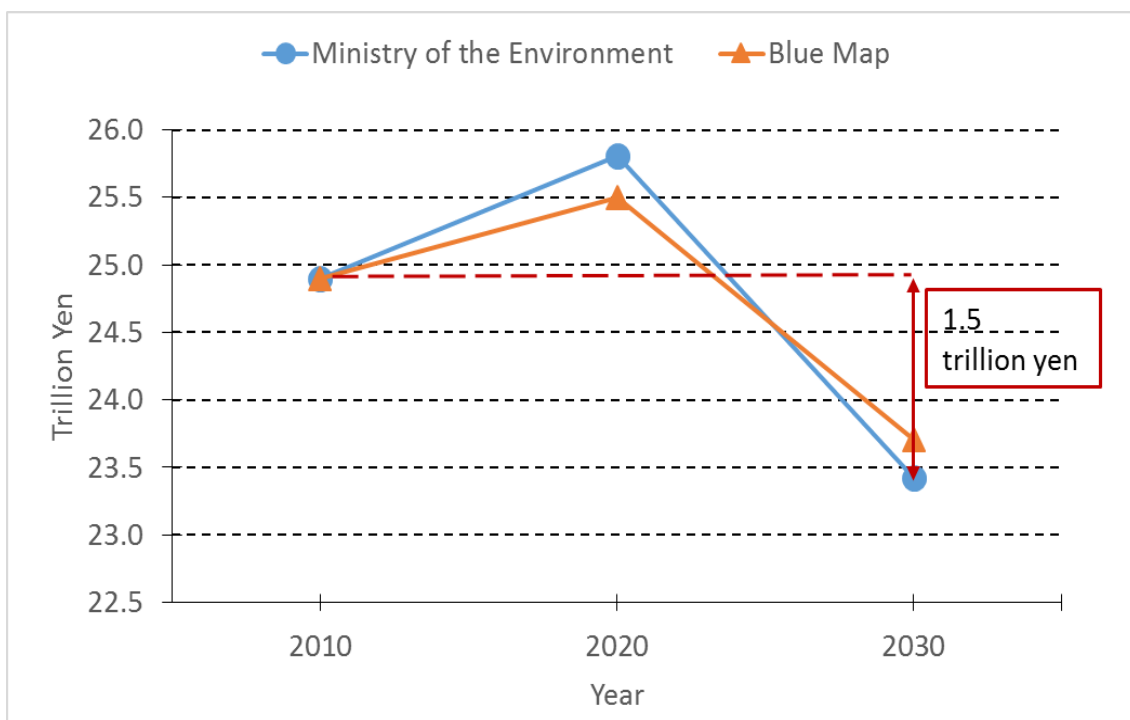


Figure 2-18 国内総生産誘発額の予測

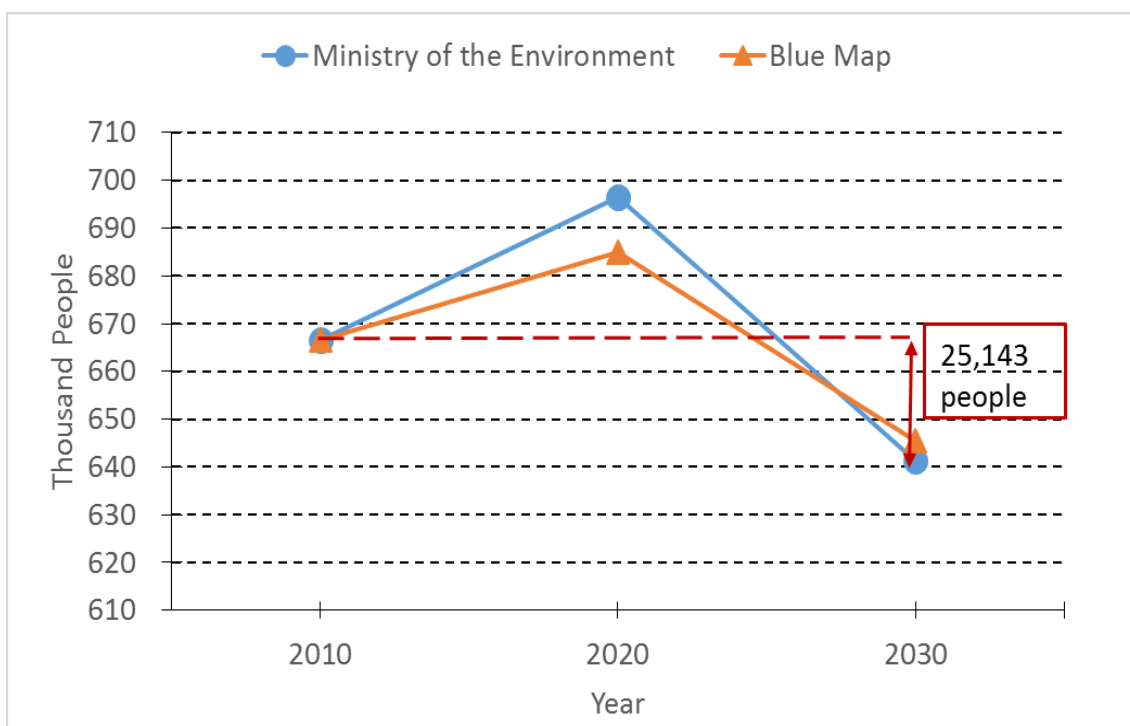


Figure 2-19 国内総雇用誘発数の予測

次に、個別部門を分析していく。Figure 2-20, Figure 2-21, Figure 2-22, Figure 2-23 は 2010 年と 2030 年の予測値を比べた場合に変化の大きい部門を示したものである。なお、Figure 2-20 , Figure 2-21 は 2010 年に比べ生産誘発額が増加した部門の生産誘発額の増加額と雇用誘発数の増加数を、Figure 2-22 , Figure 2-23 は 2010 年に比べ生産誘発額が減少した部門の生産誘発額の減少額と雇用誘発数の減少数を示している。

まず、生産誘発額が増加する主な部門には「その他の電気機器」、「その他の土木建設」、「建設・建築用金属製品」が挙げられ、車載用電池の生産やサービスステーションの新規建設が寄与したものと考えられる。環境省シナリオでは、「その他の電気機器」、「その他の土木建設」においてそれぞれ約 4500 億円、約 1300 億円の需要が増加している。雇用数に換算するとそれぞれ、約 1 万 2 千人、約 1 万人の雇用を生むことがわかる。また、PHEV や EV の普及による電力使用の増加により「電力」部門の生産誘発額が約 500 億円増加している。

一方で、GV や DV の販売台数が減少したことにより、「自動車部品・同付属品」部門の生産誘発額が顕著に低下しており、環境省シナリオでは約 1 兆円生産額が減少している。雇用数に換算すると、約 2 万 5 千人の雇用が失われることとなる。この要因としては、総販売台数に占める EV の割合が 2010 年の 1% 未満から 2030 年には 34% というように大きく増加しており、結果としてエンジン部品等の生産額が減少しているためと考えられる。また、石油を使わない CEV の割合が 2030 年には約 75% を超え、それに伴い石油製品の生産誘発額も約 3000 億円減少している。石油製品の生産誘発額は、2030 年には 2010 年の約 55% になると予想される。

以上の結果から、両シナリオにおいて確かに CEV の普及により、電池産業やインフラ産業への新規需要が発生することがわかる。しかし、一方で自動車部品産業や石油産業では生産誘発額が大きく減少しており、既存自動車産業の産業構造の中心である自動車部品産業や石油産業から電池産業や電力産業へ需要が移転していると考えられる。また、経済全体としてみた場合、国内の生産誘発額の総計は 1.5 兆円、雇用にして約 2 万 5 千人と大きく減少しており、電池産業は自動車産業に比べ、サプライチェーンが短く、国内経済への貢献は限定的だと言える。また、両シナリオを比較した場合、CEV の普及割合のより小さい Blue Map シナリオの方が環境省シナリオに比べ、変動が小さく、自動車部品産業における生産誘発額の減少幅も環境省シナリオの約 1 兆円に比べ約 7000 億円と小さい。同様に経済全体の生産誘発額の減少幅も環境省シナリオの約 1 兆 5000 億円に比べ Blue Map シナリオでは約 1 兆円と小さく、CEV のポートフォリオに注意が必要であるといえる。

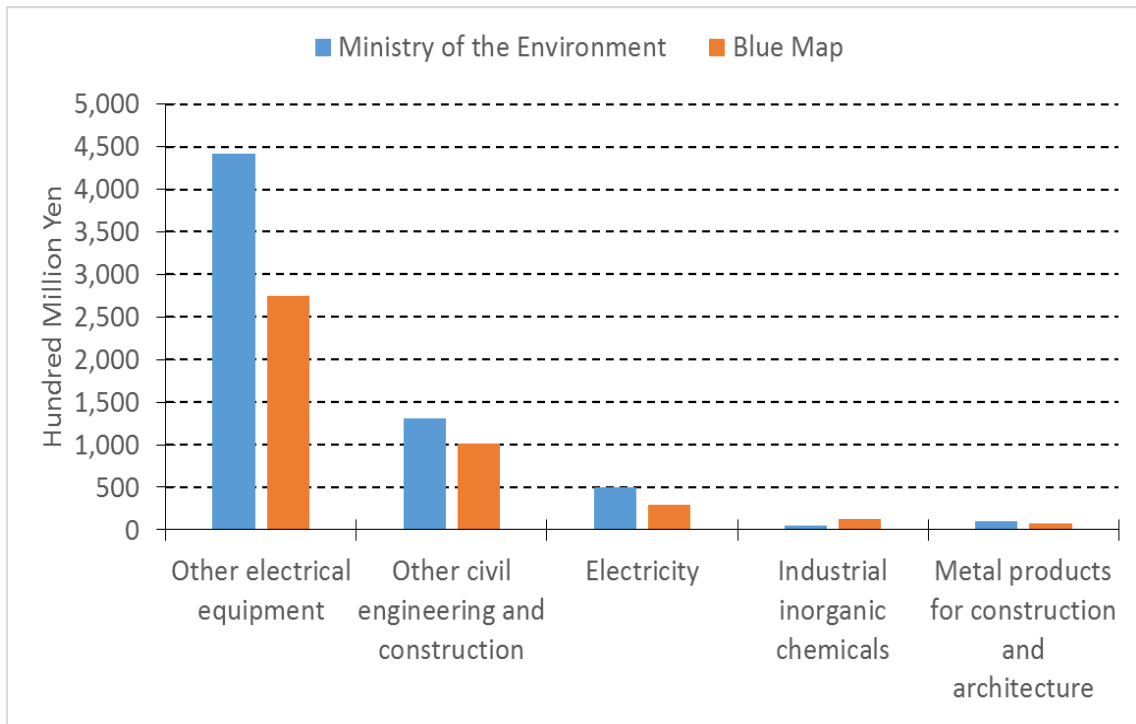


Figure 2-20 生産誘発額の増加額の予測

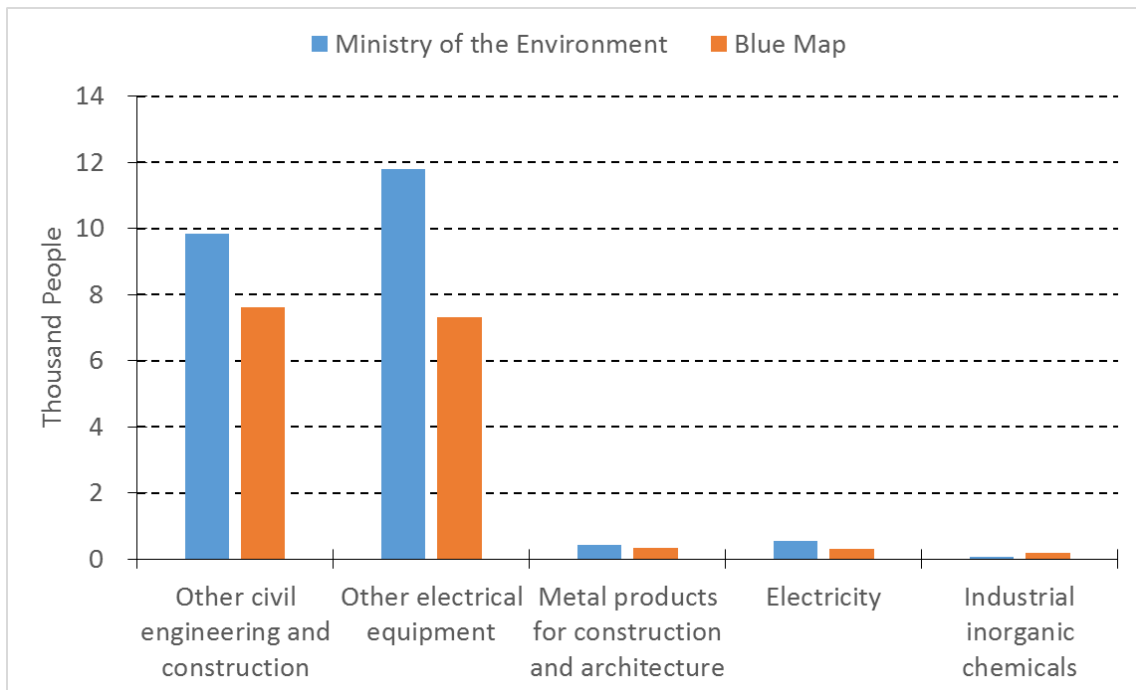


Figure 2-21 雇用誘発数の増加数の予測

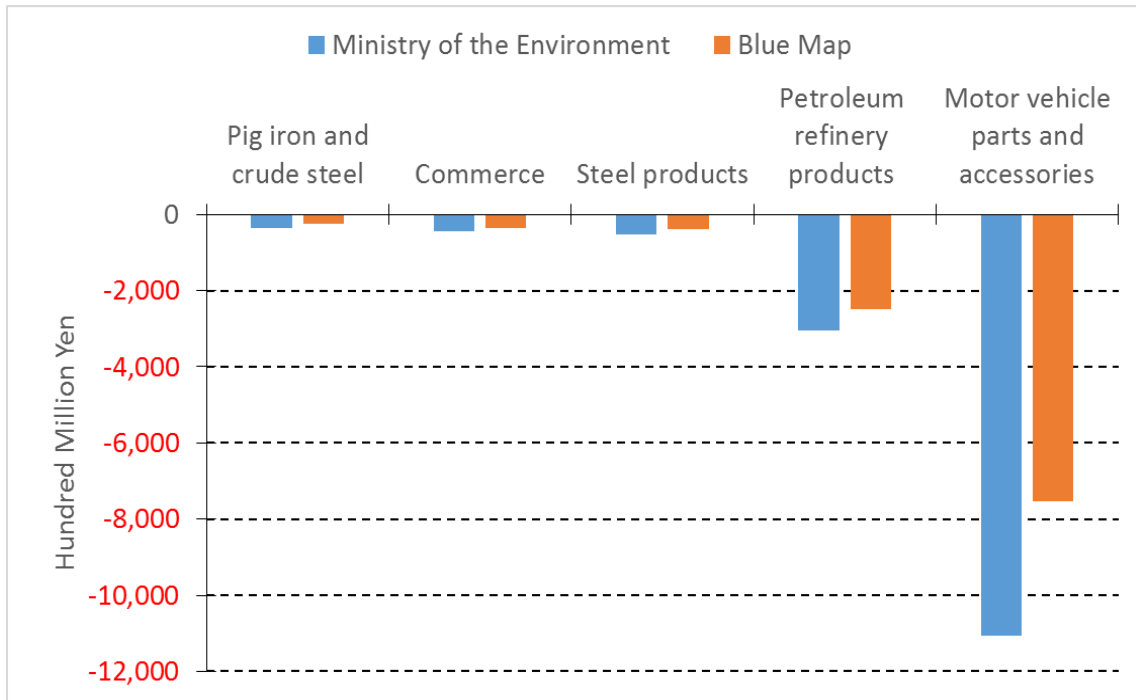


Figure 2-22 生産誘発額の減少額の予測

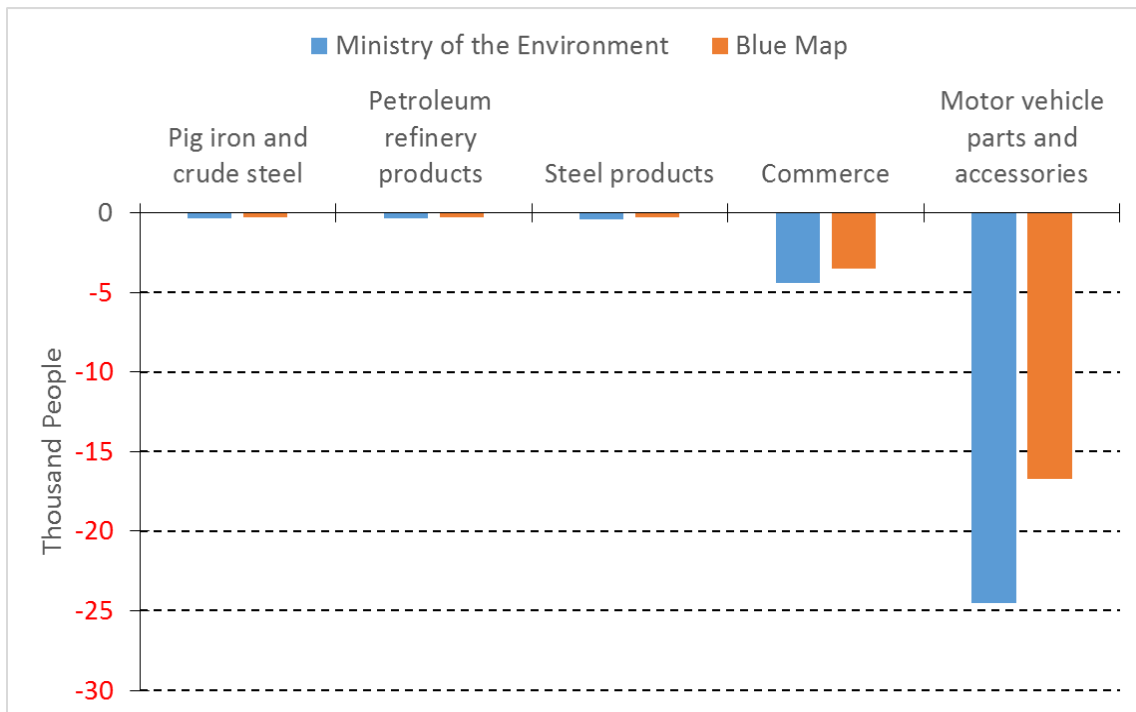


Figure 2-23 雇用誘発数の減少数の予測

2-7 小括

本章では、既往研究では考慮されていなかったトラックやバス、EV 以外の CEV といった要素を包含した新たな産業連関表、経済波及効果モデルを構築した。また、そのモデルを用いて環境省の CEV 販売台数目標、IEA の Blue Map の場合における生産誘発額、雇用誘発数を算出した。

その結果以下のことが示唆された。

- ✓ 車載用電池の生産やサービスステーションの新規建設が寄与し、「その他の電気機器」、「その他の土木建設」などの部門において生産誘発額、雇用誘発数が増加する。具体的には、環境省シナリオの場合、2010 年に比べ生産誘発額が約 4500 億円、約 1300 億円増加する。雇用誘発数に換算した場合、それぞれ約 1 万 2 千人、約 1 万人増加する。
- ✓ 一方、「自動車部品・同付属品」や「石油製品」部門ではそれぞれ生産誘発額が低下する。具体的には、環境省シナリオの場合、2010 年に比べそれぞれ約 1 兆円、約 3000 億円低下する。雇用誘発数に換算した場合、それぞれ約 2 万 5 千人、約 3000 人減少する。
- ✓ 国内産業全体では、環境省シナリオの場合、2010 年に比べ生産誘発額が約 1.5 兆円、雇用誘発数では約 2 万 5 千人減少すると予測される。
- ✓ 両シナリオを比較した場合、CEV の普及割合のより小さい Blue Map シナリオの方が環境省シナリオに比べ、変動が小さく、経済全体の生産誘発額の減少幅も環境省シナリオの約 1 兆 5000 億円に比べ約 1 兆円と小さく、CEV のポートフォリオに注意が必要であるといえる。

こうした結果は EV の乗用車のみではなく、対象車種を他の CEV やトラックに拡大し、経済効果を算出、比較検討することで得られた知見である。

今後は、本研究で構築したモデルを用い、電池の輸入率の変化による経済的な影響の考察や車種毎の経済効果の詳細な分析を通じ、CEV の普及による産業構造の転換をより詳細に分析していくことが課題である。

第 3 章

ポートフォリオ最適化

第 3 章 ポートフォリオ最適化

3-1 既往研究とその課題

3-1-1 既往研究とその課題

本研究の既往研究として、加藤ら[55]が銅資源の制約に着目し世界の乗用車を対象に、一戸ら[56]は MARKAL モデルを用いて国内の乗用車を対象にした最適ポートフォリオの算出を行っている。また、有森ら[19]は前述の研究では対象とされていないトラックおよびバスを対象に含めるとともに、目的関数に車両コスト、燃料コストだけでなくインフラコストを加え、国内における最適ポートフォリオを算出している。

しかしながら、これらの既往研究にはいくつかの課題が存在する。以降、それらの課題を順に説明する。

(1)各 CEV の普及による経済効果が考慮されていない点

上述の既往研究では、CEV の車両コストや CO₂ 排出量、資源制約などは考慮されているが、CEV を生産する側である自動車産業等への経済効果が考慮されていない。第 2 章で示したように、CEV と GV の部品構成の違いに伴い、環境省の目標販売台数において 2010 年に比べ 2030 年には生産誘発額が約 1.5 兆円減少する。つまり、CEV の普及が産業へ与える影響は大きく、ポートフォリオを算出する上でも無視することはできないと言える。

また、既往研究では雇用面が考慮されていない。第 2 章で示したように、環境省の目標販売台数において 2010 年に比べ 2030 年には雇用誘発数が、約 2 万 5 千人減少すると予測される。CEV の普及が雇用者へ与える影響も生産額と同様に大きく、ポートフォリオを算出する上で考慮する必要がある。

(2)ステークホルダーの視点が考慮されていない点

既往研究では、車両価格や燃費、CO2 排出量など主に各 CEV の性能面に着目している。しかし、CEV の普及において重要な役割を果たすステークホルダーの要求という観点では整理されておらず、現実の生産や政策に活かしていくには不十分である。

Figure 3-1 に示すように、消費者は車両価格や燃料消費額が安いものを選好し、政府は環境性を重視すると考えられる。また、実際に CEV の生産を行う自動車業界は自動車部品産業への影響を考慮し、既存の取引先への受注が減少するような車種は選好しないと考えられる。特に、日本のように「ケイレツ」と呼ばれる完成品メーカーと部品メーカー間の擦り合わせを重視する関係性の中では取引先を含めた生産額の増減は非常に重要である。そのため、既往研究では考慮されていない各ステークホルダーの要求を組み込んだ多目的最適化モデルを構築し、ステークホルダー毎の最適ポートフォリオの算出、分析が必要である。

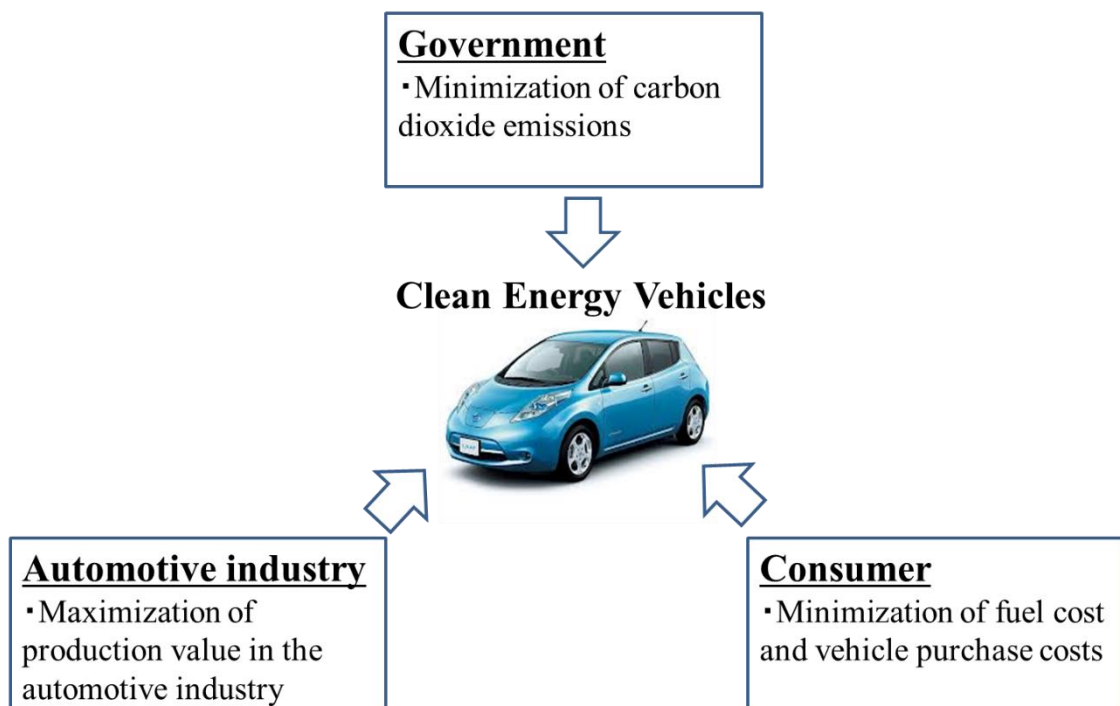


Figure 3-1 各ステークホルダーの要求

以上のように、既往研究では最適化する際に考慮する対象に各 CEV の普及により生じる経済効果や CEV の普及に当たり大きな影響を受けるステークホルダーの視点を含んでいないため、現実の生産や政策に活かしていくには不十分である。

そのため、本研究では、上述した 2 つの課題に対応し、新たな最適化モデルを構築する。すなわち、最適化モデルの対象に経済効果を含むとともに、各ステークホルダーの要求を考慮し、最適ポートフォリオの算出、分析を行う。これらの点が本研究における新規性である。

3-2 研究目標

前節までに述べた背景・課題をうけ、本研究では下記の3点を研究目標とする。

- 各 CEV の普及により発生する経済効果, そしてステークホルダー毎の要求を考慮した新たなポートフォリオ最適化モデルを構築する.
- 構築したモデルおよび CEV の技術特性やエネルギー価格など各種前提条件を基に, 最適ポートフォリオを算出する.
- 算出した最適ポートフォリオの分析を通じ, 企業の CEV 生産計画や政府の CEV 普及政策の策定に際しての一助とする.

3-3 本章の構成

本章は、第 1 節から第 7 節で構成される。第 1 節が既往研究とその課題、第 2 節が研究目標、第 3 節が本章の構成、第 4 節が研究方法、第 5 節が各種前提条件、第 6 節が最適ポートフォリオの算出、第 7 節が小括である。

第 1 節から第 3 節では、既往研究の特徴と課題を述べ、本研究の新規性を明らかにすると共に、本研究の全体像を述べる。

以下、第 4 節では、新たに構築した最適化モデルの概要および本研究における目的関数と制約条件の説明をする。

第 5 節では、最適ポートフォリオの算出に必要となる CO₂ 排出量原単位や CO₂ 排出権取引額などの各種前提条件の詳細について述べる。

第 6 節では、各目的関数、制約条件を設定し、最適ポートフォリオの算出、分析した結果を述べる。

最後に第 7 節では、本研究の成果および得られた知見をまとめ、今後の課題について述べる。

3-4 研究方法

3-4-1 最適化モデルの概要

本研究では、自動車産業の効用を自動車部品産業における経済効果額の 2010 年に対する純増額、消費者の効用を 2010 年に対する導入コスト(燃料コストと車両購入コストの合計値)の低下額、政府の効用を 2010 年に対する CO2 排出量の削減額と定義し、各ステークホルダーの効用の合計値を目的関数としている。そして、CO2 排出量、導入コストを制約条件とする制約法により最適化問題を解くこととする。なお、本論文における経済効果とは生産誘発額と雇用者所得誘発額の合計値として定義している。従って過去の研究において対象とされていなかった雇用の側面は雇用者所得誘発額の変化で考慮することとする。雇用者所得誘発額とは、各産業で生じた生産額に応じ、分配される雇用者の所得を指す。

以上から本研究における「最適」とは、「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」状態を指すものとする。

Figure 3-2 に本研究で構築した最適化モデルの全体像を示す。この最適化モデルは、制約値、自動車ごとの特性、およびその他前提条件、各ステークホルダーの効用に対する重み(重要度)を入力することにより、各重みにおける国内の最適な新車販売台数を対象年度毎に出力するモデルである。同時に、最適解における生産誘発額、雇用者所得誘発額、雇用者数、CO2 排出量なども算出される。

また、各 CEV が普及した場合の経済効果に関しては、第 2 章において作成した産業連関表と経済波及効果モデルを使用し、最適化モデルに組み込んでいる。これにより、各 CEV が普及した場合の産業への影響を定量化し、最適ポートフォリオの算出に当たり考慮することができる。

なお、本研究では、最適解を導出する手法として、このモデルに基づく最適化モデルを Microsoft Excel Spread Sheet 上に構築し、Excel のアドインソフトである「ソルバー機能」を使用している。モデルの数式など詳細については次節以降で順に述べていく。

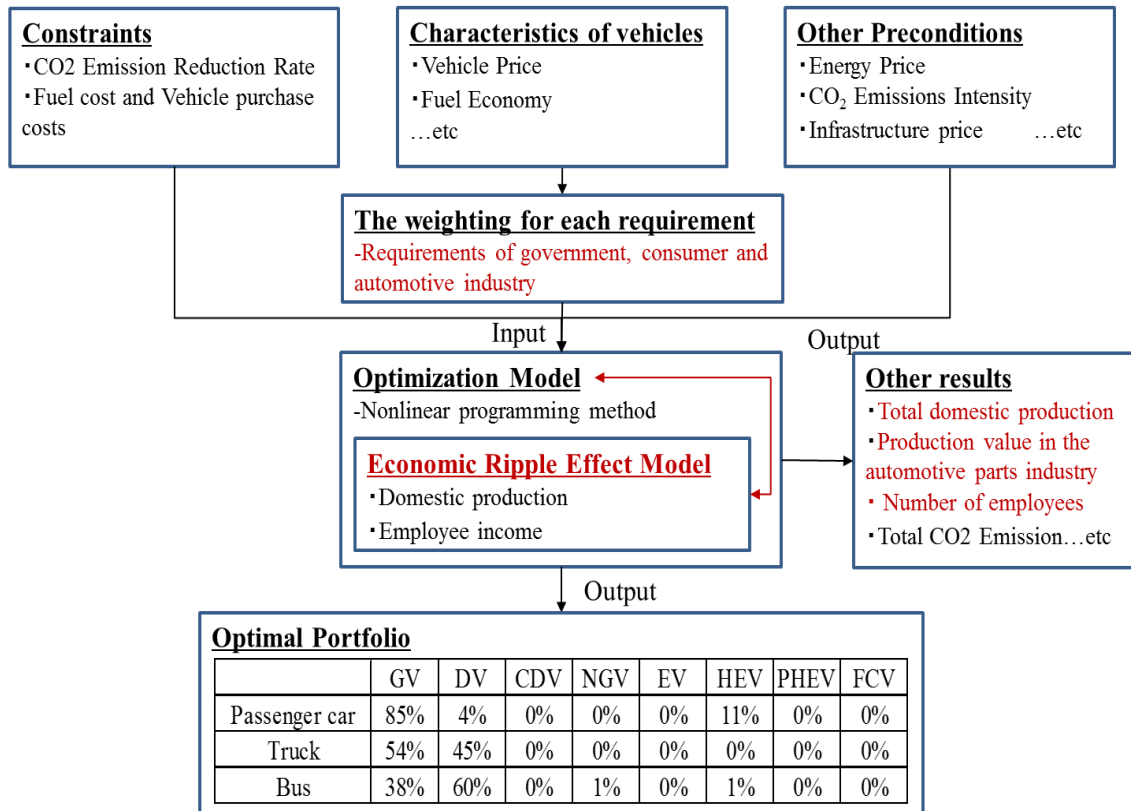


Figure 3-2 ポートフォリオ最適化モデルの概念図

3-4-2 目的関数

本研究における目的関数は各ステークホルダーの効用の合計値とし、式(5)のように定式化を行った。また、ステークホルダー毎の効用に関しては、式(6)~(12)のように定式化している。以降、順に詳細を説明していく。

まず、自動車産業の効用は、式(6)に示すように、対象年の自動車部品産業における経済効果額から2010年の自動車部品産業における経済効果額を差し引くことで算出する。なお、経済効果とは、式(7)に示すように生産誘発額と雇用者所得誘発額を合計したものである。生産誘発額は2-4-4の式(3)に基づき算出している。また、雇用者所得誘発額は式(8)に示すように、生産誘発額に雇用者所得係数を乗じることで算出する。

次に、消費者の効用は、式(9)に示すように、2010年の導入コストから対象年の導入コストを差し引くことで算出する。導入コストは式(10)を用い、算出している。

最後に、政府の効用は、CO₂排出量の削減額と定義しており、前者は式(11)に示すように、2010年のCO₂排出額から対象年のCO₂排出額を差し引くことで算出する。なお、CO₂排出額は式(13)に基づき、算出している。

$$\max f_k(X_{ik})$$

$$f_k(X_{ik}) = \alpha \Delta EAP_k(X_{ik}) + \beta \Delta VC_k(X_{ik}) + (1 - \alpha - \beta) \Delta ENV_k(X_{ik}) \quad (5)$$

$$\Delta EAP_k(X_{ik}) = ECON_{kt}(X_{ik}) - ECON_{k^0t}(X_{ik^0}) \quad (6)$$

$$ECON_{kn}(X_{ik}) = DP(X_{ik}) + EI_{kn} \quad (7)$$

$$EI_{kn} = DP_{kn}(X_{ik}) S_n \quad (8)$$

$$\Delta VC_k(X_{ik}) = VC_{k^0}(X_{ik^0}) - VC_k(X_{ik}) \quad (9)$$

$$VC_k(X_{ik}) = \sum_i X_{ik} P_{ik} (1 + O_i) + \sum_i \sum_j X_{ik} D_i F_{ik} E_{jk} \quad (10)$$

$$\Delta ENV_k(X_{ik}) = ENV_{k^0}(X_{ik^0}) - ENV_k(X_{ik}) \quad (11)$$

$$ENV_k(X_{ik}) = \sum_i \sum_j X_{ik} D_i F_{ik} U_j ET \quad (12)$$

i : 車種 [乗用車(GV), 乗用車(DV), 乗用車(CDV), 乗用車(NGV), 乗用車(EV), 乗用車(HEV), 乗用車(PHEV), 乗用車(FCV), トラック(GV), トラック(DV), トラック(CDV), トラック(NGV), トラック(EV), トラック(HEV), トラック(PHEV), トラック(FCV), バス(GV), バス(DV), バス(CDV), バス(NGV), バス(EV), バス(HEV), バス(PHEV), バス(FCV)]

j : エネルギーの種類 [ガソリン, 軽油, 天然ガス, 電気, 水素]

k : 対象年 [2020年, 2030年]

k^0 : 2010年

n : 部門 [農林水産業, 金属鉱物, ..., 対個人サービス, その他]

t : 自動車部品・同付属品部門

α : 自動車産業の効用に対する重要度, $0 \leq \alpha \leq 1$, $0 \leq \alpha + \beta \leq 1$

β : 消費者の効用に対する重要度, $0 \leq \beta \leq 1$, $0 \leq \alpha + \beta \leq 1$

ΔEAP_k : k 年の自動車部品産業における経済効果の増加額 [Yen]

ΔVC_k : k 年の導入コストの低下額 [Yen]

ΔENV_k : k 年のCO2排出額の削減額 [Yen]

$ECON_{kn}$: k 年の部門 n における経済効果額 [Yen]

VC_k : k 年の導入コスト [Yen]

ENV_k : k 年のCO2排出額 [Yen]

DP_{kn} : k 年の部門 n における生産誘発額 [Yen]

EI_{kn} : k 年の部門 n における雇用者所得誘発額 [Yen]

X_{ik} : 車種 i の k 年における新車販売台数 [Unit]

P_{ik} : 車種 i の k 年における車両生産価格 [Yen]

D_i : 車種 i の年間平均走行距離 [km]

F_{ik} : 車種 i の k 年における保有平均実走行燃費 [MJ/km]

E_{jk} : エネルギー j の k 年におけるエネルギー価格 [Yen/MJ]

O_i : 車種 i の対生産者価格運賃・商業マージン率 [%]

C_{ik} : k 年における車種 i に対応するサービスステーション 1 箇所当たりの建設費
[Yen/Unit]

R : 1 台あたりに必要なサービスステーション数 [Unit]

ET : CO2 排出権取引額 [Yen/kg-CO2]

U_j : エネルギー j の CO2 排出原単位 [kg-CO2/MJ]

M : 移輸入係数

A_k : k 年における投入係数

I : 単位行列

S_n : 部門 n における雇用者所得係数

3-4-3 制約条件

3-4-1 で述べたように, 制約条件には導入コスト制約および CO2 排出制約の 2 つがあり, それぞれ式(13), 式(14)のように定式化を行った.

$$VC_{k^0}(X_{ik^0}) \geq VC_k(X_{ik}) \quad (13)$$

$$\sum_i \sum_j TS_{ik} D_i F_{ik} U_j ET \geq ENV_k(X_{ik}) \quad (14)$$

TS_{ik} : k 年の車種 i における環境省の新車販売目標台数 [Unit]

3-5 各種前提条件

3-5-1 対象車種

対象車種は第 2 章と同様に、用途別には乗用車、トラック、バスの 3 種類、動力源別では GV, DV, CDV, NGV, EV, HEV, PHEV, FCV の 8 種類、計 24 種類とする。

3-5-2 CO2 排出原単位

CO2 排出量を評価する区分として、Well-to-Wheel, Well-to-Tank, Tank-to-Wheel の 3 つを挙げることができる(Figure 3-3) [42]。本研究では、走行中だけでなくエネルギーの精製過程においても発生する CO2 排出量を考慮し、Well-to-Wheel で CO2 排出原単位を設定している(Figure 3-4)。なお、Well-to-Wheel は Well-to-Tank, Tank-to-Wheel それぞれにおける CO2 排出原単位を合計し、算出している(Figure 3-5, Figure 3-6) [5] [42]。

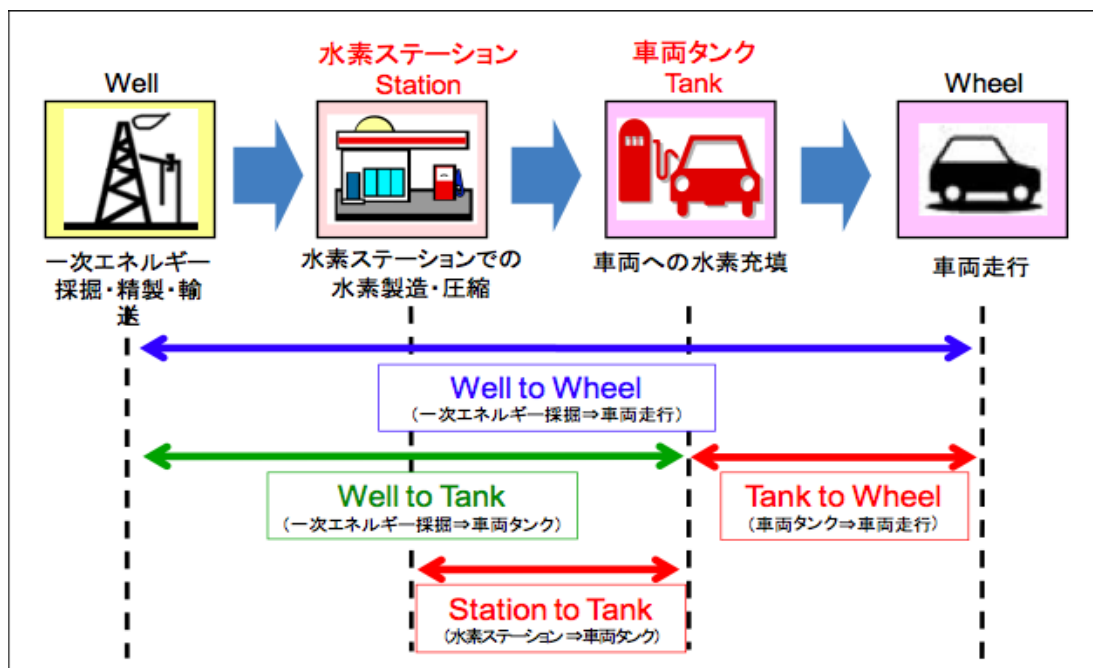


Figure 3-3 評価対象の範囲

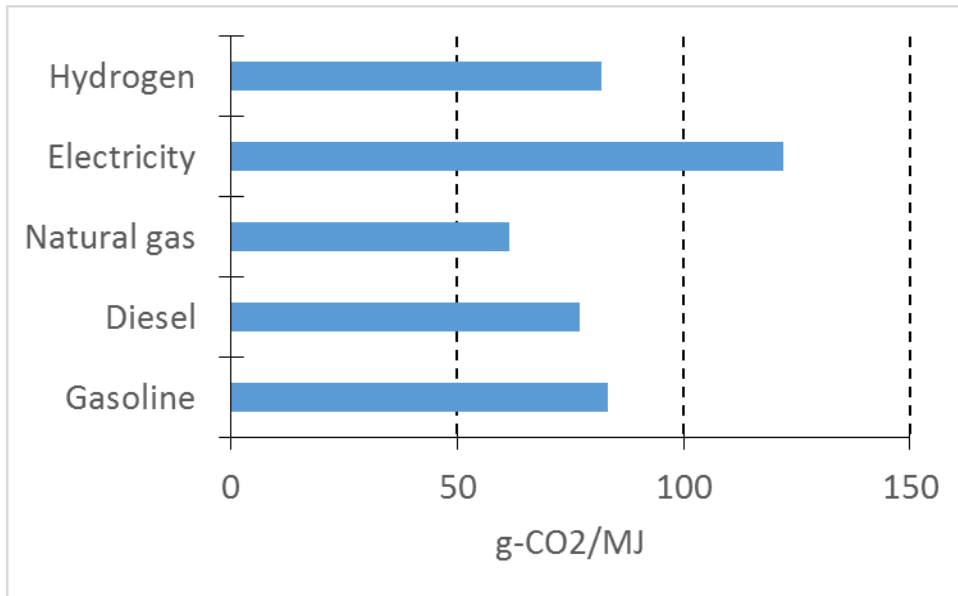


Figure 3-4 CO2 排出原单位 (Well-to-Wheel)

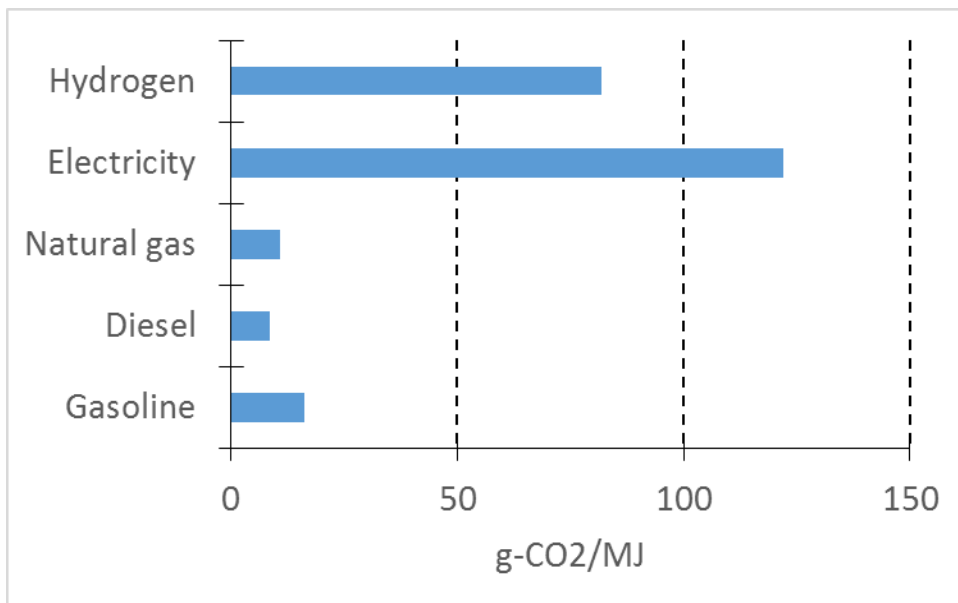


Figure 3-5 CO2 排出原单位 (Well-to-Tank)

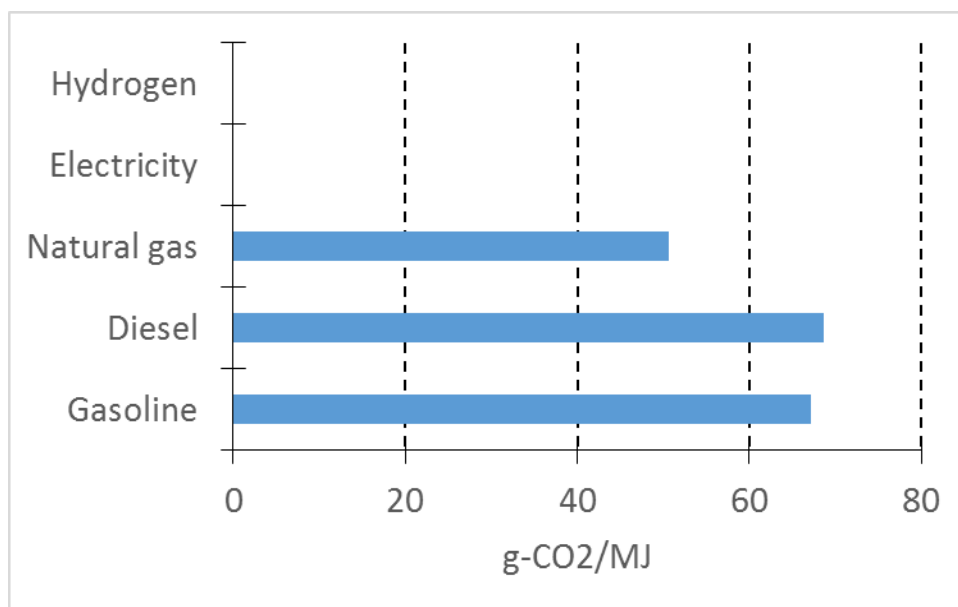


Figure 3-6 CO2 排出原単位 (Tank-to-Wheel)

3-5-3 CO2 排出権取引額

CO2 排出権取引額は、文献[57]の 2005 年から 2012 年間の平均値 910 [円/t-co2]を使用することとする。

3-5-4 その他前提条件

新車販売台数、車両生産価格、年間平均走行距離、燃費、エネルギー価格、サービスステーション建設費に関しては 2-5 に述べた数値と同じとする。

3-6 最適ポートフォリオの算出

3-5-1 WHAT IF ANALYSIS

本節では、最適ポートフォリオを算出する上で、比較対象となる各シナリオについて述べる
こととする。

本論文では、EV 等で使用される電池や FCV で使用される燃料電池、水素タンクの技術
的な不確実性が高いことから、文献[5][28][30][58]を基に上述の 3 つの部品の価格推移を技
術革新の進展度合いにより高水準ケース、標準ケース、低水準ケースの 3 つのシナリオを設定
した。Figure 3-7 は電池単価の推移を示しており、1 台当たりの電池価格は 2-5-2 と同様に、各
車種の電池容量に各シナリオにおける電池単価 (Figure 3-7) を乗じ、算出している。また、
Table 3-1 は燃料電池、Table 3-2 は水素タンクの各ケースにおける 1 台当たりの価格の推移を
示している。

次節以降、まず標準ケースにおける最適ポートフォリオを算出し、ステークホルダーの視
点毎にどのような違いが出るのかを考察し、その後技術革新の進展によってポートフォリオに
どのような違いが出るのかを考察していくこととする。

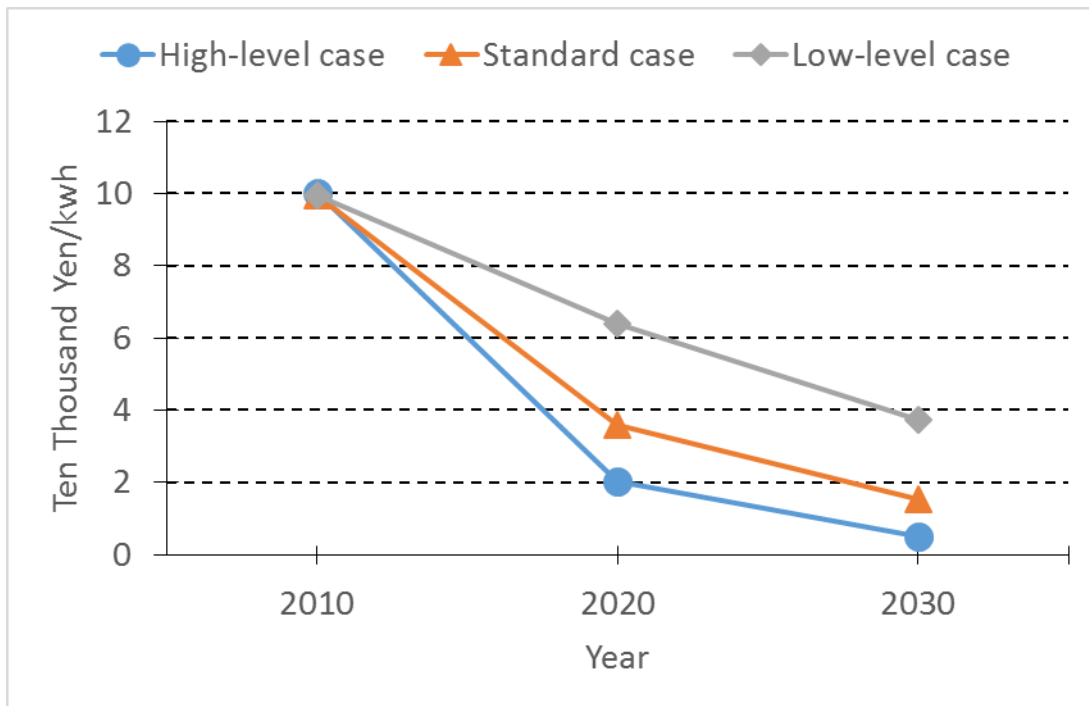


Figure 3-7 各ケースにおける電池単価の推移

Table 3-1 各ケースにおける燃料電池価格の推移[Million Yen]

| | | 2010 | 2020 | 2030 |
|-----------------|---------------|------|------|------|
| High-level case | Passenger car | 10.0 | 0.5 | 0.3 |
| | Truck | 17.5 | 0.8 | 0.4 |
| | Bus | 51.8 | 2.5 | 1.3 |
| Standard case | Passenger car | 10.0 | 0.7 | 0.4 |
| | Truck | 17.5 | 1.2 | 0.7 |
| | Bus | 51.8 | 3.4 | 1.9 |
| Low-level case | Passenger car | 10.0 | 0.8 | 0.5 |
| | Truck | 17.5 | 1.5 | 0.9 |
| | Bus | 51.8 | 4.3 | 2.6 |

Table 3-2 各ケースにおける水素タンク価格の推移[Million Yen]

| | | 2010 | 2020 | 2030 |
|-----------------|---------------|------|------|------|
| High-level case | Passenger car | 3.0 | 0.3 | 0.0 |
| | Truck | 5.3 | 0.6 | 0.1 |
| | Bus | 15.6 | 1.7 | 0.2 |
| Standard case | Passenger car | 4.0 | 0.6 | 0.1 |
| | Truck | 7.0 | 1.1 | 0.2 |
| | Bus | 20.7 | 3.2 | 0.5 |
| Low-level case | Passenger car | 5.0 | 0.8 | 0.1 |
| | Truck | 8.8 | 1.4 | 0.2 |
| | Bus | 25.9 | 4.2 | 0.7 |

3-5-2 最適ポートフォリオの算出結果（標準ケース）

本節では、まず技術革新が標準的に進んだケースにおける各ステークホルダーの効用の重要度、つまり自動車産業の効用の重要度を表す α 、消費者の効用の重要度を表す β 、政府の効用の重要度を表す $1-\alpha-\beta$ を任意に変化させることでステークホルダー毎のポートフォリオの違いを分析する。 α 、 β の水準は複数考えることができるが、本研究ではポートフォリオの差異を分析するために、自動車産業の効用を重視するパターン ($\alpha=0.8$, $\beta=0.1$)、消費者の効用を重視するパターン ($\alpha=0.1$, $\beta=0.8$)、政府の効用を重視するパターン ($\alpha=0.1$, $\beta=0.1$) の 3 つのパターンを軸に最適ポートフォリオを算出した。Figure 3-8, Figure 3-9, Figure 3-10 は 2030 年時点での各ケースにおける乗用車・トラック・バスの販売台数シェアを示したものである。なお、いずれにおいても図の一番右は対象年における環境省の目標販売台数[13]におけるシェアを表している。

乗用車においては、自動車産業の効用を重視する場合 CDV や NGV といった従来車と同じ構造を持つ車種が 40% 以上を占める。一方で FCV や EV といった GV など従来車とは構造が大きく異なる車種もそれぞれ約 30%、約 15% 普及することとなる。但し、EV の普及の要因は主に環境性、つまり CO2 排出制約を達成するためと考えられるが、FCV の場合は環境性に加え、水素タンクという新しい部品の需要が自動車部品産業に生まれ、環境性、経済性が両立しているためと考えられる。また、消費者の効用を重視する場合、HEV や EV が 80% 以上を占

める結果となった。これは、EV の高い燃費と環境性から普及につながったと考えられる。一方、HEV は EV や FCV に比べ燃費や環境性は劣るが、値段と比較した場合非常にバランスがとれているためシェアが大きくなったと予測できる。そして、政府の効用、つまり CO2 排出量の削減を重視した場合、環境性、価格が EV、HEV の中間にあり、かつ自動車産業にとっても従来車の延長線上にある車種のため、経済的な悪影響のないバランスのとれた PHEV の普及が重要であることがわかった。

次に、トラックにおいては、自動車産業の効用を重視する場合従来車と同じ構造を持つ NGV、そして高い環境性を持つ FCV が普及している。一方で消費者、政府の効用を重視する場合、HEV が 80% 以上を占める結果となった。これは、トラックにおける EV や FCV は乗用車と同じく環境性、燃費ともに高いが、乗用車と異なり従来車に比べ、車両価格が高く普及につながらなかったと考えられる。

またバスでは、自動車産業と消費者の効用を重視する場合はトラックとほぼ同じだが、政府の効用を重視する場合トラックとは異なってきている。これはバスの年間平均走行距離がトラックに比べ長いことに起因している。つまり、HEV ではなくエネルギー価格の安い NGV を普及させることで導入コストを下げ、一方でより環境性の高い PHEV を普及させていると考えられる。

これらの結果から、いくつかの点が示唆される。まずどのステークホルダーの効用に重点を置くかで結果が大きく異なってくるということである。つまり、単一の視点のみではなく多視点から自動車のポートフォリオを分析することの重要性を示している。次に、自動車産業のより一層の振興を図る場合、乗用車・トラック・バスにおける FCV、NGV の導入の重要性が挙げられる。また、導入コストや環境性により重きを置く場合、HEV や特に PHEV の普及が重要であると分かった。経済産業省[1]や環境省[5] [13]の CEV 普及目標にもあるとおり、HEV や EV が特に注目されていたが、FCV、NGV の導入も重要であることを示している。

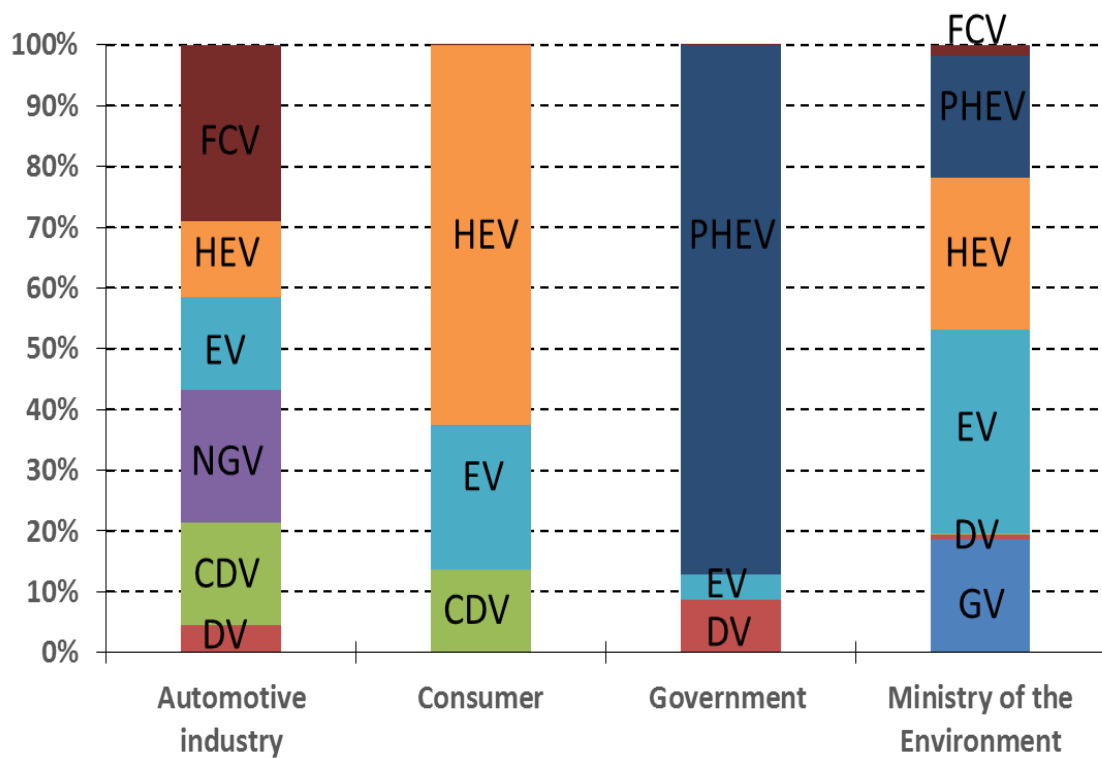


Figure 3-8 2030年における新車販売台数のシェア(乗用車)

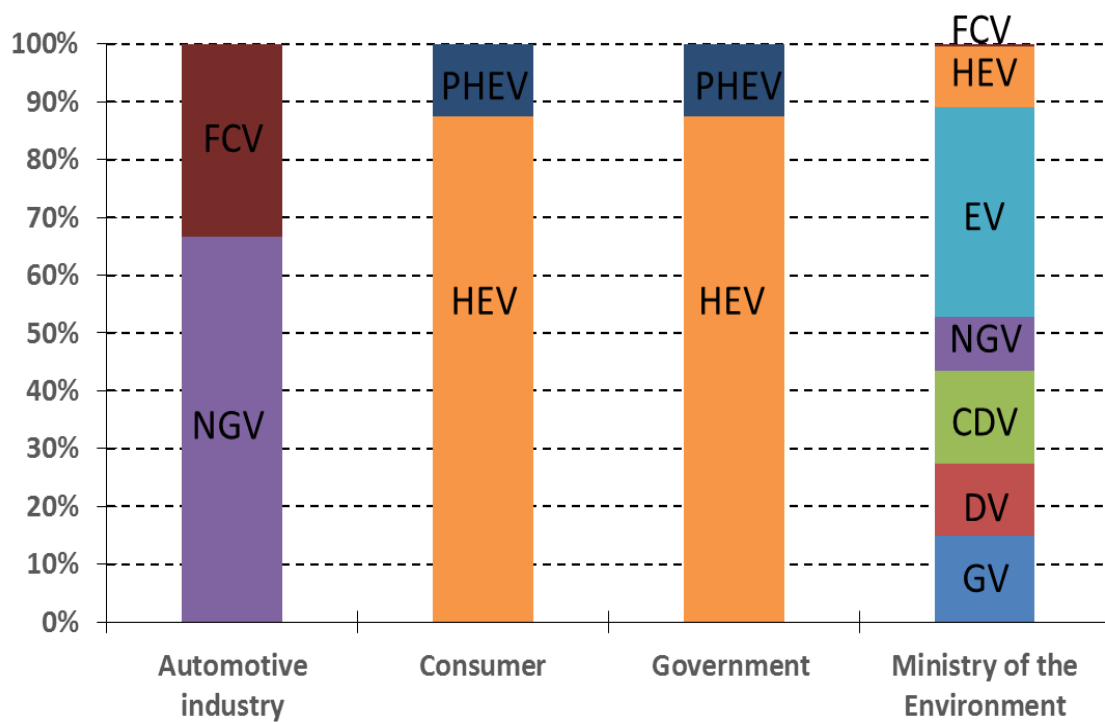


Figure 3-9 2030年における新車販売台数のシェア(トラック)

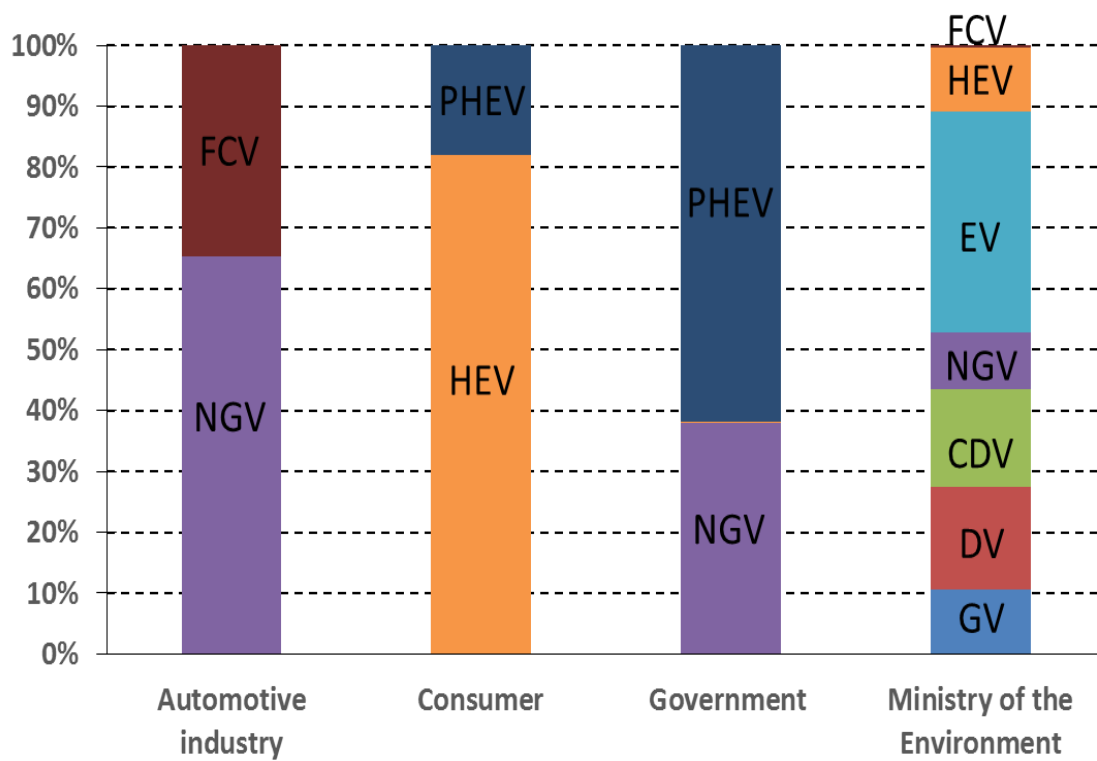


Figure 3-10 2030年における新車販売台数のシェア(バス)

3-5-3 最適ポートフォリオの算出結果（高水準，標準，低水準ケースの比較）

本節では、技術革新の進展度合い（高水準ケース，標準ケース，低水準ケース）によってポートフォリオにどのような違いが出るのかを各ステークホルダーの視点に立ち、考察していくこととする。また、本節では最も CEV の普及割合の大きい乗用車のみを対象とし、重みに関しては第 4-2 節のものに加え 3 者の効用のバランスを取ったパターン ($\alpha=1/3$, $\beta=1/3$) を追加し、分析を行う。Figure 3-11, Figure 3-12, Figure 3-13, Figure 3-14 は 2030 年時点での各重みにおける乗用車の販売台数シェアを示したものである。なお、いずれにおいても図の一番右は環境省の目標販売台数[13]におけるシェアを表している。

自動車産業の効用を重視する場合、高水準ケースでは標準ケースに比べ、EV、PHEV の普及が増加する。これは、PHEV、EV の電池価格が技術革新により低下し、環境性に比して割安となったためと考えられる。また、FCV は確かに自動車部品産業に水素タンクという新しい需要を生むが、一方でエンジン部品等がなくなるため、結果として PHEV の方が産業への貢献が大きいため、FCV の割合が減少している。そして、低水準ケースでは標準ケースに比べ、PHEV が普及している。これは高水準ケースの場合とは要因が異なり、割高となった EV、FCV を減らし、次に環境性の高い車種を選択したという導入コスト制約、CO₂ 排出制約による影響と考えられる。

また、消費者の効用を重視する場合、高水準ケースでは標準ケースに比べ EV が普及し、低水準ケースでは PHEV のシェアが増加している。前者の原因は、燃費の良い EV の価格が技術革新の進展により下がったためであり、後者の原因は、EV の価格が割高となったため普及割合が減り、環境性を補完するために PHEV が普及したと予測できる。

そして、政府の効用、つまり CO₂ 排出量の削減を重視した場合、高水準ケースでは標準ケースに比べ環境性が高く、価格が低下した EV の普及割合が増加している。なお、標準ケースに比べ従来車の割合が増加しているが、これは消費者の効用である導入コストの低減や自動車産業の効用である経済効果による影響を加味した結果と考えられる。

最後に、各ステークホルダーの効用をバランスよく考慮した場合、高水準ケースでは標準ケースに比べ環境性が高く、価格が低下した EV の普及割合が増加している。一方で、低水準ケースでは標準ケース同様三者のステークホルダーの効用に対してバランスの良い HEV、PHEV が重要になってくる。

これらの結果から、いくつかの点が示唆される。まずどのステークホルダーの効用に重点を置くかで第 4-2 節同様に結果が異なってくるが、どの視点においても技術革新の進展次第で EV の割合が大きく増減することがわかった。つまり、技術革新が進めば進むほど環境性が高い EV が選好されることとなる。但し、EV はエンジン部品など GV 部品の一部が不必要になるため、EV の普及は自動車産業の効用を下げることとなる。そのため、自動車産業の効用をどれだけ重視するかにより EV の普及率が変わってくることが予想される。事実、Figure 3-11~ Figure 3-14 を比較した場合、自動車産業の効用を重視している図 13 において EV の普及率が最も低くなっている。次に、価格、環境性、経済性のバランスの取れた PHEV の導入の重要性が挙げられる。

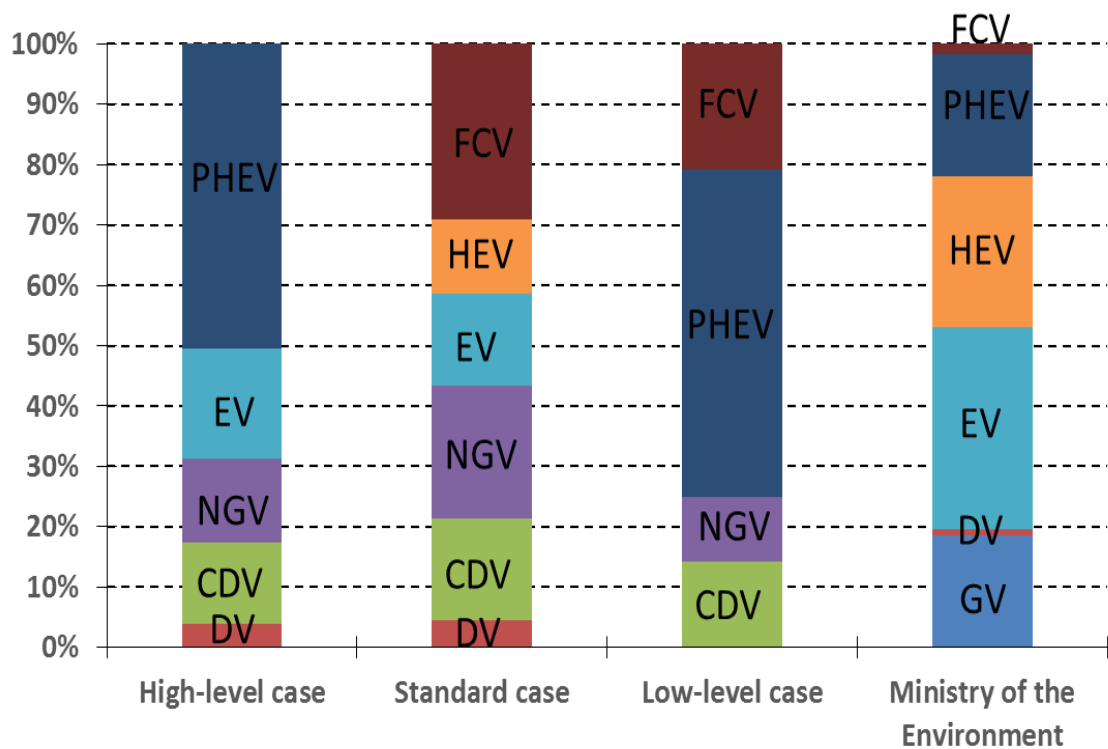


Figure 3-11 2030 年における新車販売台数のシェア(自動車産業重視)

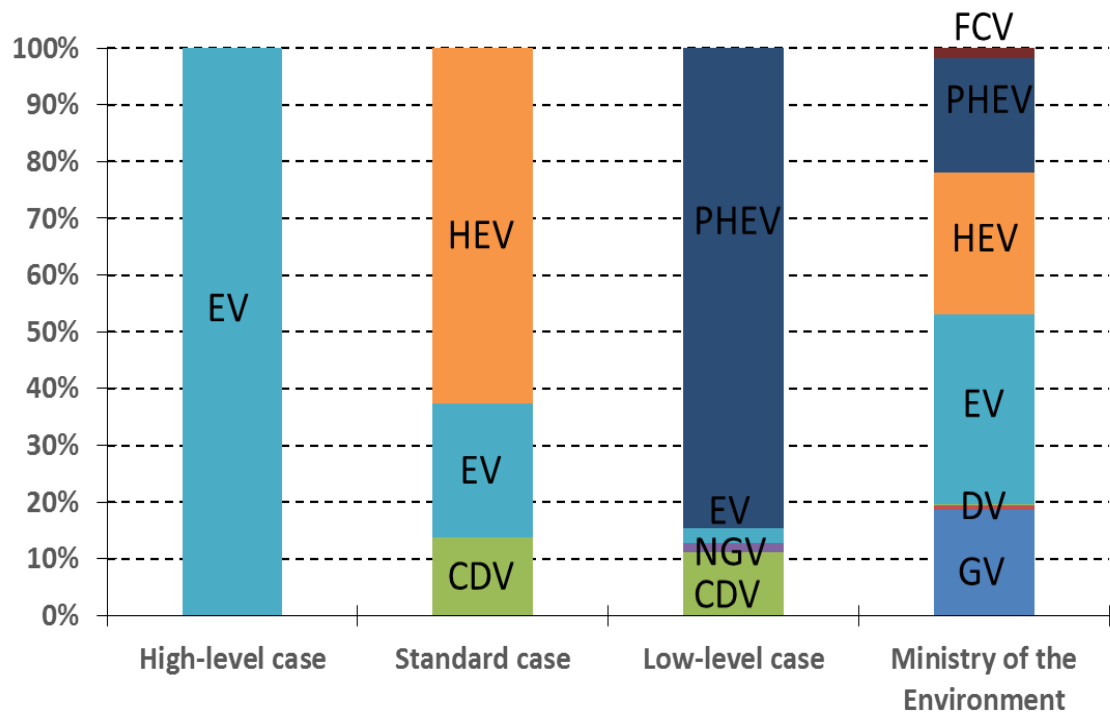


Figure 3-12 2030年における新車販売台数のシェア(消費者重視)

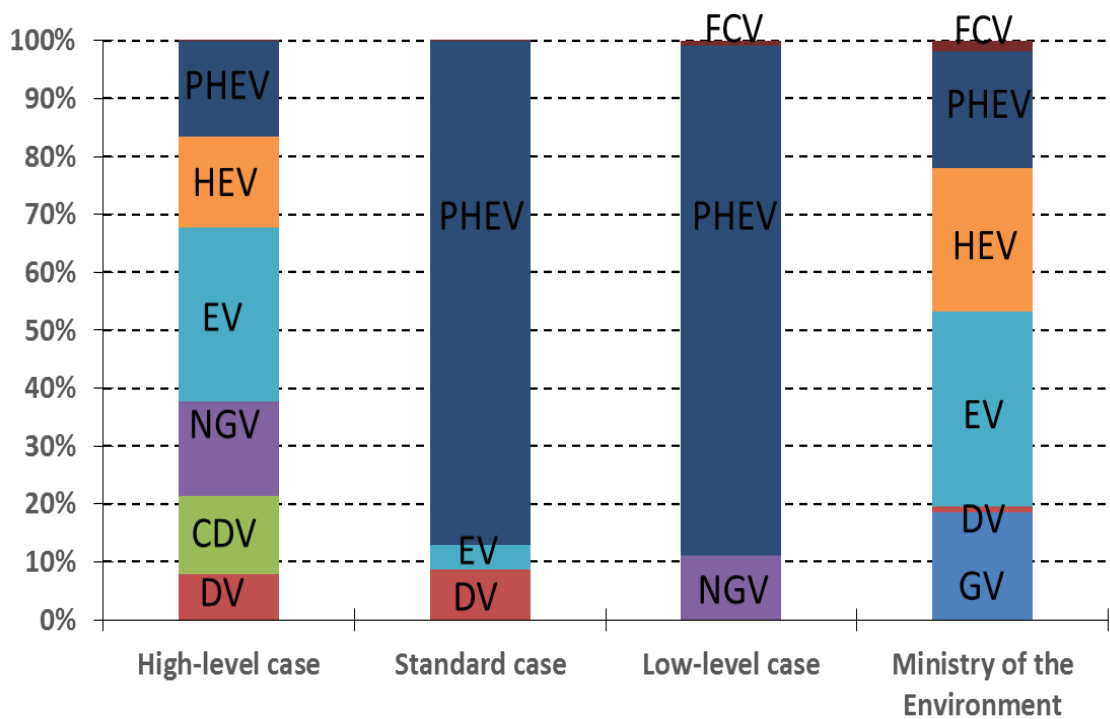


Figure 3-13 2030年における新車販売台数のシェア(政府重視)

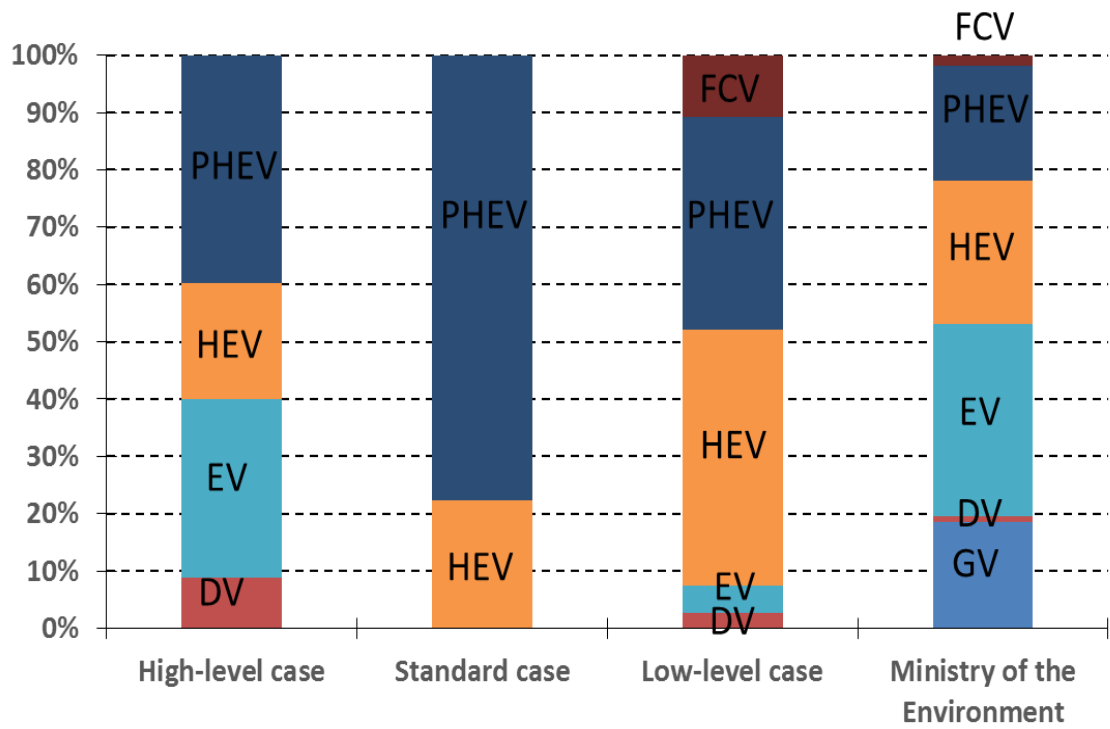


Figure 3-14 2030年における新車販売台数のシェア(バランス重視)

3-7 小括

本章では、既往研究では考慮されていなかった自動車産業における生産額や雇用といった要素を包含し、ステークホルダーの要求により整理した新たな最適化モデルを構築した。そして、そのモデルを用いて乗用車・トラック・バスを対象とし、国内自動車の最適ポートフォリオを算出した。また、乗用車を対象とし、技術革新の進展により国内自動車の最適ポートフォリオの変化を分析した。

その結果以下のことが示唆された。

- ✓ 自動車産業の経済効果に重きを置く場合、乗用車・トラック・バスにおけるFCV、NGVの導入が重要となる。一方、消費者や政府、つまり導入コストや環境性により重きを置く場合、HEVや特にPHEVの普及が重要である。
- ✓ 技術革新の進展次第で乗用車ではEVのシェアが大きく増減する。そのため、政府はEVへの支援に対して撤退条件などを定め、メリハリの効いた投資を行うことが重要である。

こうした結果は、自動車産業における経済効果やステークホルダーの要求に基づき最適化モデルを構築したことで得られた知見である。

今後は、本研究で構築したモデルを用い、今後の予測が難しいエネルギー価格を変動させ、ポートフォリオの変化を分析することが課題である。また、実際にCEVを普及させるために必要な炭素税などの政策の設計に活かしていくことも今後の課題である。

第 4 章

結言

第 4 章 結言

4-1 研究成果

本研究では、CEV の経済性に焦点を当て、第 2 章において経済波及効果分析、第 3 章においてポートフォリオ最適化を行った。

第 2 章では、既往研究では考慮されていなかったトラックやバス、EV 以外の CEV といった要素を包含した新たな産業連関表、経済波及効果モデルを構築した。また、そのモデルを用いて環境省や IEA のシナリオにおける生産誘発額、雇用誘発数を算出し、CEV の普及による産業構造の変化を分析した。

第 3 章では既往研究では考慮されていなかった自動車産業における生産額や雇用といった要素に着目するとともに、CEV の普及に関わる重要なステークホルダーである政府、消費者、自動車産業それぞれにおける要求を整理した多目的最適化モデルを構築した。そして、そのモデルの各ステークホルダーの重み(重要度)を変動させることで、乗用車・トラック・バスを対象とし、各重みにおける国内自動車の最適ポートフォリオを算出した。また、乗用車を対象とし、技術革新の進展により国内自動車の最適ポートフォリオの変化を分析した。

本研究を通じ、以下のことが示唆された。

- ✓ 国内産業全体では、環境省シナリオの場合、2010 年に比べ生産誘発額が約 1.5 兆円、雇用誘発数では約 2 万 5 千人減少すると予測され、CEV のポートフォリオに注意が必要であるといえる。
- ✓ 自動車産業の経済効果に重きを置く場合、2030 年において乗用車・トラック・バスにおける FCV、NGV の導入が重要となる。一方、消費者や政府、つまり導入コストや環境性により重きを置く場合、HEV や特に PHEV の普及が重要である。
- ✓ 技術革新の進展次第で 2030 年において乗用車では EV のシェアが大きく増減する。また、環境性、経済性のバランスの取れた PHEV の導入がどのステークホルダーの視点においても重要となる。そのため、政府は PHEV への支援を通じ、電池の技術革新を促進すると共に EV への支援に対して撤退条件などを定め、メリハリの効いた投資を行うことが望ましいといえる。

4-2 今後の課題

今後の課題を以下にまとめる。

✓ 電池輸入率の変化の考慮

本研究では、2010年、2020年、2030年のどの時点においても電池の輸入率を一定としているが、リチウムイオン電池の世界シェアが2000年から2008年にかけて約90%から約50%に低下したことを考慮した場合[59]、今後中国企業や韓国企業の競争力が一層向上し、電池の輸入率が増加する可能性がある。今後、EVやFCVなどの電池を使用する車種が増加すると見込まれる中で、電池の輸入率の変化は国内生産額に大きな影響を与えることが予想される。

そのため、電池の輸入率の変動を加味した経済波及効果モデルの構築や最適CEVポートフォリオを算出することが課題と言える。

✓ 炭素税など具体的な政策の設計

本研究では最適CEVポートフォリオを算出しているが、その車種構成を達成するための具体的な政策の設計については検討が不十分である。そのため、今後の課題として本研究での知見を活かし、CEVの普及を支援する炭素税などの政策設計が挙げられる。

✓ 対象地域を海外に拡大

本研究では経済波及効果モデル、ポートフォリオ最適化モデルについて検討してきたが、両モデルともに国内を対象としている。しかし、Chuaら[15]はシンガポールにおけるEVの経済効果を調べたが、シンガポールでは自動車産業が発達していないため、日本の場合とは異なる結果が出ており、使用する産業連関表や前提条件を適合させることで、新たな知見を得られる可能性が高い。そのため、国ごとに経済波及効果や最適ポートフォリオを算出し、国ごとの違いを分析することが課題である。

参考文献

- [1] 経済産業省, “次世代自動車普及戦略 2010”, (2010), www.meti.go.jp/press/20100412002/20100412002-3.pdf (アクセス日 2013 年 4 月 14 日) .
- [2] 国土交通省, “運輸部門における二酸化炭素排出量”, http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html (アクセス日 2013 年 4 月 14 日) .
- [3] 野中朋美, 中野冠, “環境配慮型商品普及のための環境税設計に関する研究”, 日本機械学会論文誌, C 編, Vol.76, No. 771, pp.2791-2796, (2010).
- [4] 野中朋美, 中野冠, “LCCO₂ と LCC を用いた次世代自動車のための炭素税設計”, 日本機械学会論文誌, C 編, Vol.77, No. 783, pp.4024-4033, (2011).
- [5] 環境省, “次世代自動車普及戦略”, (2009), <http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/> (アクセス日 2013 年 5 月 14 日) .
- [6] Lew Fulton, Pierpaolo Cazzola, Francois Cuenot, “IEA Mobility Model (MoMo) and its use in the ETP 2008”, Energy Policy, Vol.37, pp.3758-3768, (2009) .
- [7] Argonne National Laboratory Energy System Division, “Multi-Path Transportation Futures Study Vehicle Characterization and Scenario Analyses”, (2009), <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/613.PDF> (アクセス日 2013 年 5 月 14 日) .
- [8] International Energy Agency, “Transport, Energy and CO₂”, (2009) , www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf (アクセス日 2013 年 5 月 25 日) .
- [9] 一般社団法人日本自動車部品工業会, “自動車部品出荷動向調査結果平成 22 年度”, (2011), <http://www.japia.or.jp/research/h22shukka.pdf>(アクセス日 2013 年 4 月 20 日).
- [10] 経済産業省, “平成 22 年産業連関表(延長表) 取引額表(53 部門・時価評価表)”, (2013), http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/result_14.html(アクセス日 2013 年 4 月 14 日).

- [11] 経済産業省大臣官房調査統計グループ, “延長産業連関表からみた我が国経済構造の概要”, (2012), www.meti.go.jp/statistics/tyo/kanieio/result/result_11/.../h2uio101j.pdf(アクセス日 2013 年 4 月 14 日).
- [12] 中野冠, “クリーンエネルギー自動車普及のためのシステムデザイン”, システム/制御/情報, Vol. 54, No.12, pp.465-470, (2010).
- [13] 環境省, “環境対応車普及戦略”, (2010), <http://www.env.go.jp/air/report/h22-02/index.html> (アクセス日 2013 年 5 月 20 日) .
- [14] 白石浩介, 奥田章順, 木村文勝, “技術予測産業連関表の作成による革新的技術の評価”, 三菱総合研究所所報, 55, pp.252-274, (2012).
- [15] Chua Seng Tat and Nakano Masaru, “Design of Taxation to Promote Electric Vehicles in Singapore”, Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services, Emmanouilidis, C., Taisch, M., and Kiritsis, D.(Eds.) , Vol. I, pp.359-367, Springer , (2013) .
- [16] 総務省統計局, “産業連関表の仕組み”, <http://www.stat.go.jp/data/io/system.htm> (アクセス日 2013 年 4 月 12 日) .
- [17] トヨタ自動車株式会社, “電気自動車”, <http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/environment/ev/>, (アクセス日 2013 年 4 月 12 日) .
- [18] トヨタ自動車株式会社, “燃料電池車”, <http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/environment/fcv/>, (アクセス日 2013 年 4 月 12 日) .
- [19] 有森揚祐, 中野冠, “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(291) , pp.2571-2582, (2012) .
- [20] 経済産業省, “平成 22 年産業連関表(延長表)取引額表(80 部門・時価評価表)”, (2013), http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/result_14.html(アクセス日 2013 年 4 月 14 日) .

- [21] 経済産業省, “平成 22 年産業連関表 (延長表) 取引額表 (基本分類・時価評価表)”, (2013), http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/result_14.html(アクセス日 2013 年 4 月 14 日) .
- [22] 経済産業省, “延長産業連関表に係る部門分類対応表(平成17年基準)”, (2013), http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result/result_14.html(アクセス日 2013 年 4 月 15 日).
- [23] 一般社団法人日本自動車部品工業会, “自動車部品出荷動向調査結果平成 22 年度”, (2011), <http://www.japia.or.jp/research/h22shukka.pdf>(アクセス日 2013 年 4 月 20 日).
- [24] 一般社団法人日本自動車工業会, “自動車統計月報 2013 年 7 月号”, NO.4, (2013).
- [25] 一般社団法人日本ガス協会, “天然ガス自動車の導入推移”, http://www.gas.or.jp/ngvj/spread/ngv_spread.html (アクセス日 2013 年 4 月 20 日).
- [26] 一般社団法人次世代自動車振興センター, “電気自動車等保有・生産・販売台数統計”, <http://www.cev-pc.or.jp/tokei/hanbai.html> (アクセス日 2013 年 4 月 20 日)..
- [27] 経済産業省, “機械統計年報平成 22 年(2010)年計表”, http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/seidou/result/ichiran/08_seidou.html (アクセス日 2013 年 4 月 22 日).
- [28] 株式会社富士経済, “電動自動車関連市場の全貌 2011 下巻”, (2011).
- [29] 株式会社富士経済, “2013 年版 HEV, EV 関連市場徹底分析調査”, (2013).
- [30] 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構燃料電池・水素技術開発部, “NE DO燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010”, www.nedo.go.jp/content/100086294.pdf(アクセス日 2013 年 4 月 26 日).
- [31] 総務省, “産業連関表取引基本表(108 部門・生産者価格評価表)”, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycocode=0>(アクセス日 2013 年 4 月 26 日).

- [32] 総務省, “雇用表(生産活動部門別従業者内訳表・108 部門表)”,
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001019588&cycode=0>(アクセス日 2013 年 4 月 26 日).
- [33] トヨタ自動車株式会社, “PRIUS 諸元表”, http://toyota.jp/prius/003_p_007/spec/spec/(アクセス日 2013 年 4 月 25 日).
- [34] トヨタ自動車株式会社, “PRIUS PHV 諸元表”,
http://toyota.jp/priusphv/001_p_003/spec/spec/(アクセス日 2013 年 4 月 25 日).
- [35] 日産自動車株式会社, “LEAF 諸元表”,
http://ev.nissan.co.jp/LEAF/PDF/leaf_specification.pdf(アクセス日 2013 年 4 月 25 日).
- [36] トヨタ自動車株式会社, “燃料電池車”,
<http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/environment/fcv/>(アクセス日 2013 年 4 月 25 日).
- [37] トヨタ自動車株式会社, “テクノロジーファイル”,
http://www.toyota.co.jp/jpn/tech/environment/technology_file/fuel_cell_hybrid.html(アクセス日 2013 年 4 月 25 日).
- [38] 国立社会保障・人口問題研究所, “日本の将来推計人口(中位ケース)”, (2012),
<http://www.ipss.go.jp/syoushika/tohkei/newest04/hh2401.asp>(アクセス日 2013 年 5 月 14 日).
- [39] 国土交通省道路局, “道路交通センサスから見た道路交通の現状・推移”, (2005),
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-data/data_shu.html(アクセス日 2013 年 5 月 25 日).
- [40] 財団法人自動車検査登録情報協会, “車種別保有台数表”,
<http://www.airia.or.jp/number/index.html>(アクセス日 2013 年 5 月 25 日).
- [41] 国土交通省, “自動車輸送統計調査年報平成 17 年度分”,
<http://www.mlit.go.jp/k-toukei/cgi-bin/search.cgi>(アクセス日 2013 年 5 月 25 日).
- [42] 財団法人日本自動車研究所, “総合効率と GHG 排出の分析”, (2011),
www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/data/report/2010/pdf/result.pdf(アクセス日 2013 年 5 月 25 日).

- [43] 経済産業省, 国土交通省, 環境省, 北海道, 日本自動車工業会, 石油連盟, “クリーンディーゼル普及推進方策”, (2008), www.mlit.go.jp/common/000020857.pdf(アクセス日 2013年5月25日).
- [44] 柳沢明, “我が国の原油価格のガソリン価格への転嫁構造”, (2011), eneken.ieej.or.jp/data/4158.pdf(アクセス日 2013年5月26日).
- [45] 国家戦略室, “エネルギー・環境における選択肢[概要]”, www.env.go.jp/council/06earth/y060-110/mat01_1.pdf(アクセス日 2013年5月26日).
- [46] 藤波匠: , “電気料金上昇の影響分析と対策”, (2012), www.jri.co.jp/file/report/ber/pdf/6276.pdf(アクセス日 2013年5月26日).
- [47] 松尾雄司, “アジア/世界エネルギーアウトルック 2011ー不透明さを増す国際エネルギー情勢とアジアの将来ー”, (2011), eneken.ieej.or.jp/data/4121.pdf(アクセス日 2013年5月26日).
- [48] 松尾雄司, “アジア/世界エネルギーアウトルック 2012ー高まるアジア・中東の重要性と相互依存ー”, (2012), eneken.ieej.or.jp/data/4595.pdf(アクセス日 2013年5月26日).
- [49] 経済産業省資源エネルギー庁, “エネルギー基本計画 2010”, (2010), www.enecho.meti.go.jp/topics/kihonkeikaku/100618honbun.pdf(アクセス日 2013年5月26日).
- [50] ヤフー株式会社, “Yahoo!ファイナンス”, <http://stocks.finance.yahoo.co.jp/stocks/detail/?code=USDJPY=X>(アクセス日 2013年5月26日).
- [51] 経済産業省, “充電インフラを巡る現状と課題”, (2009), www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g91214c05j.pdf(アクセス日 2013年5月26日).
- [52] 東邦ガス株式会社, “天然ガススタンドの運営”, <http://www.tohogas.co.jp/business/ngv/run/>(アクセス日 2013年5月26日).
- [53] 経済産業省資源エネルギー庁資源燃料部石油流通課, “揮発油販売業者数及び給油所数の推移(登録ベース)”, (2013), www.enecho.meti.go.jp/hinnkakuhou/data/ss24fy.pdf(アクセス日 2013年5月25日).

- [54] International Energy Agency, “Future of EVs and the IEA Roadmap”, (2009) ,
www.iea.org/publications/freepublications/publication/transport2009.pdf(アクセス日 2013 年 5 月 25 日).
- [55] 加藤桂大, 野中朋美, 中野冠, “金属資源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”, 第 27 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンスプログラム講演論文集, pp.257-260, (2011).
- [56] 一戸誠之, 遠藤栄一, “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”, エネルギー・資源, Vol.26(2), pp.127-133, (2005).
- [57] 環境省, “環境省自主参加型国内排出量取引制度総括報告書原案”, (2013) ,
www.env.go.jp/earth/ondanka/det/jvets/summary_draft.pdf(アクセス日 2013 年 11 月 25 日).
- [58] 経済産業省資源エネルギー庁, “蓄電池技術の現状と取組について”, (2009) ,
www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90225a05j.pdf(アクセス日 2013 年 5 月 25 日).
- [59] 経済産業省, “電池の研究開発を巡る現状”, (2009) ,
www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g91204b05j.pdf(アクセス日 2013 年 12 月 20 日).
- [60] 松本光崇, 近藤伸亮, “産業技術の社会受容 — 既存の三モデルを統合した環境製品普及評価モデルの構築 — ”, Synthesiology, Vol.2, No.1, pp.23-31, (2009).

謝辞

本研究を推進する過程において、数多くの方々のご指導とご協力を賜りました。感謝の意を込めて皆様への御礼を述べたいと思います。

指導教員の中野冠教授には熱心なご指導に加え、様々な企業との共同研究にも参加させていただき、非常に多くのチャンスに触れる機会を頂きました。また、中野冠教授のもとでの研究を通じ、研究の難しさ・面白さに触れることができ、貴重な経験をさせていただきました。2年間に渡ってご指導頂きました中野冠教授に、あらためて深い感謝を申し上げたいと思います。

また、副査の佐々木正一教授にはこれまでのご経験からの確なご指摘をいただき、本論文の中核部分を構成する上で有意義な助言を頂きました。厚く御礼申し上げます。

湊宣明特任准教授には修士研究に加え、証券化に関する研究グループにおいても熱心なご指導を頂き、心より感謝しております。

また、博士課程の菅沼貞夫氏、木下聡子氏には、親身になって研究の相談に乗っていただき、研究を進める上で多大な助言をいただきました。心より感謝致します。

そして、2年間を通じ、非常に有意義な時間を共有させていただいた中野研究室の皆様、そして **SDM** の皆様に感謝の意を表します。

最後に、学生生活において私を支え続けてくれた家族に心より感謝の意を表したいと思います。