

Title	クリーンエネルギービークル普及のためのLCAを用いた炭素税設計
Sub Title	The carbon taxation using LCA for clean energy vehicles
Author	野中, 朋美(Nonaka, Tomomi) 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	2009
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2009年度システムエンジニアリング学 第13号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002009-0033

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

2009 年度

クリーンエネルギービークル普及のための
LCA を用いた炭素税設計

The Carbon Taxation Using LCA for Clean Energy Vehicles

野中 朋美

(学籍番号：80833414)

指導教員 教授 中野 冠

2010 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

論 文 要 旨

学籍番号	80833414	氏 名	野中 朋美
論文題目： クリーンエネルギービークル普及のための LCA を用いた炭素税設計			
(内容の要旨) 低炭素社会に向け CO₂ 排出量削減を実現するため、環境配慮型商品の普及が望まれる。政府はインセンティブや補助金による政策を積極化し、エコカー減税やエコポイントにより、ハイブリッドカーの購入や省エネ家電の買い替えが促進されている。しかしこれらの政策は、環境負荷量に応じたインセンティブ（制約）としては設計されておらず、減税の大きさと環境負荷量の小ささは必ずしも一致しない。 本研究は、クリーンエネルギービークル普及のための炭素税の枠組みを示すことを目的とする。 電気自動車（EV）やハイブリッド車（HEV）をはじめとするクリーンエネルギービークル（CEV）は、走行段階の排出量が減少しライフサイクル全体の環境負荷が小さくなる一方で、製造段階の環境負荷は GV よりも大きくなる。環境技術の実装やレアメタル使用により素材製造段階の負荷が増大するためである。 本税は、ライフサイクルアセスメント（LCA）手法を用いて、CO₂ 排出量に応じて課税されるよう設計を行った。これまで走行段階のみに着目し税設計がなされてきた自動車関連税制に対し、従来のガソリン車とクリーンエネルギービークルの大きな違いである製造段階の環境負荷に着目した。走行段階中心の税設計から、製造段階を含むライフサイクル全体を対象とした点が本研究の新規性のひとつである。 また設計は、CO₂ 排出量に加えて、本税が CEV 購入のインセンティブとなるようライフサイクルコストも考慮した。 分析の結果、CO₂ 排出量に乗じた課税後に CEV のライフサイクルコスト（LCC）が GV よりも小さくなる税率、すなわち CEV と GV の LCC が逆転する CEV 優遇税率、HEV 逆転税率：15.03[yen/kg-CO₂]、PHEV 逆転税率：117.6[yen/kg-CO₂]、EV 逆転税率：152.2[yen/kg-CO₂]を見出した。 HEV 逆転税率：15.03[yen/kg-CO₂]は、オランダの CO₂ 排出量あたりエネルギー課税税率（鉱油税）：42.20[yen/kg-CO₂]や EU の最低税率：21.62[yen/kg-CO₂]よりも小さい税率であることが確認できた。しかし一方で、EV の LCC が逆転する税率は、これらの 4 倍、7 倍と高い率であり、現実的な税率とは言えないことが分かった。 EV はイニシャルコストが高すぎるために、他 CEV よりもライフサイクルにおけるコスト優位性を出すことは難しいが、2050 年電池価格の低下シナリオの 1/5～3/10 電池コスト圧縮を考慮すれば、将来 EV に対しても本設計フレームワークを用いた炭素税をインセンティブ策として、補助金や減税の代わりに統合的に用いることも可能であると期待される。 キーワード：クリーンエネルギービークル，炭素税，LCCO₂，LCC，環境配慮商品			

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	80833414	Name	Tomomi Nonaka
Title The Carbon Taxation Using LCA for Clean Energy Vehicles			
Abstract The paper proposes a carbon taxation scheme using LCA, which can provide consumers with an incentive to choose vehicles with lower CO₂ emissions. This taxation scheme evaluates two major measures: life cycle CO₂ emissions, and life cycle cost, considered not only in the utilisation phase, but also in the manufacturing and maintenance phases. The author figures out the tax rate 15.03[yen/kg-CO₂], which makes the hybrid electric vehicle's life cycle cost less than that of conventional gasoline vehicles. The following are the findings: ● Carbon taxation of the utilisation phase only is likely to dramatically reduce the total tax revenue of the government, since CEVs emit little CO₂ emissions at the time of utilisation. ● Specific rates can make CEVs' LCC less than that of GVs. The HEVs' rate is 15.03[yen/kg-CO₂], which may provide an incentive for consumers to choose low emission CEVs, and this incentive is actual and realistic rate less than the rates of mineral oil tax in Holland and European tax rates. ● The rate can make EVs' LCC less than that of GVs is 152.2[yen/kg-CO₂], which is not actual and realistic rate compared with other existing taxes. However initial cost of EVs will become lower in 2050 considering the scenario of the battery price, and LCC of EVs' will be less than that of GVs with the tax rate of 15.03[yen/kg-CO₂]. ● The LCC of EVs becomes more effective with longer driving distances or a long life-time, with this taxation. When the lifetime distances is short at certain level, the LCC of GVs are better than that of CEVs because of high CO₂ emission level in the manufacturing phase. In addition, it is expected to promote the utilisation of longer times. The proposed tax system enables consumers themselves to choose the best option of CEVs, depending on their specific needs such as lifetime driving distance and lifetime use. Keywords : Clean Energy Vehicle, Carbon Tax, LCCO₂, LCC, Environmentally Friendly Products			

第 1 章 Introduction

1.1	はじめに.....	4
1.2	研究背景.....	6
1.2.1	温暖化対策目標と関連法規.....	9
1.2.2	政府による環境税の検討状況.....	10
1.2.3	運輸部門の温暖化対策の重要性.....	12
1.2.4	自動車交通に対する環境省ビジョン.....	14
1.3	研究目的.....	15
1.3.1	既往研究と特徴.....	16
1.3.1.1	環境政策と消費者の環境意識.....	16
1.3.1.2	自動車関連税制.....	18
1.3.1.3	自動車の LCA 評価.....	22
1.4	本論文の構成.....	24

第 2 章 System Engineering Approach

2.1	炭素税のシステムデザイン.....	27
2.2	本研究の V モデル.....	29
2.3	評価の見える化.....	30

第 3 章 Requirement Analysis

3.1	炭素税の目的と意義.....	32
3.2	ステークホルダー分析.....	33
3.2.1	企業・政府・消費者と社会要求.....	33
3.2.2	消費者行動分析.....	37

第 4 章 Problem Definition

4.1	はじめに.....	40
4.2	製造段階 LCCO ₂ の重要性.....	40
4.3	走行段階中心の課税からの変更.....	43
4.4	インセンティブ政策の基準.....	44

4.5	ライフサイクルコストの変化.....	46
-----	--------------------	----

第5章 Conceptual Architecture

5.1	炭素税の設計方針.....	49
5.2	対象 CEV の定義.....	49
5.3	炭素税設計のフレームワーク.....	50
5.3.1	フレームワーク.....	50
5.3.2	設計手順.....	53
5.3.3	LCCO2 評価.....	54
5.3.4	LCC 評価.....	55
5.3.5	CEV 優遇税率のデザイン.....	56

第6章 Analysis

6.1	LCCO2 評価.....	58
6.1.1	製造段階 CO2 排出量.....	58
6.1.2	走行段階 CO2 排出量.....	59
6.1.3	LCCO2 評価.....	60
6.2	LCC 評価.....	62
6.2.1	イニシャルコスト・走行段階コスト.....	62
6.2.2	メンテナンス・維持段階コスト.....	64
6.3	CEV 優遇税率のデザイン.....	69

第7章 Discussion

7.1	LCA 全体に課税した場合の効果.....	74
7.2	従来検討されてきた税との比較.....	76
7.2.1	欧州の税率.....	76
7.2.2	現行のガソリン税.....	77
7.2.4	環境省による地球温暖化対策税案.....	80
7.2.5	従来検討されてきた税との比較まとめ.....	81
7.3	課税負担額の比較.....	82
7.4	総走行距離の違いによる影響評価.....	86
7.5	EV 技術進歩による影響評価.....	90
7.5.1	超軽量 EV.....	90

7.5.2	電池価格シナリオ変更によるイニシャルコストの削減.....	93
7.6	普及目標の違いによる影響評価.....	94
7.6.1	BAU シナリオ.....	96
7.6.2	2050 年 EV:100%, EV:50%/PHEV:50%シナリオ.....	98
7.7	グローバル生産における環境負荷原単位の違いによる影響評価.....	100
第 8 章 Summery.....		104
謝辞.....		112
参考文献.....		117
付録.....		128

第 1 章 Introduction

1.1 はじめに

本研究は、環境配慮型商品普及のための炭素税の枠組みを示すことを目的とする。社会全体の CO₂ 排出量を効果的に削減し、消費者が排出量の負荷を公平に負うことを可能にする、公平性を備えた炭素税の検討を行った。

設計する炭素税は、クリーンエネルギービークルを対象とする。消費者がライフサイクル全体の環境負荷を考慮して行動することを促進する税設計を目指す。

現在、低炭素社会構築に向け環境配慮型商品の普及が望まれている。政府は減税や補助金による普及政策を積極化し、ハイブリッドカーや省エネ家電の購入が促進されている。それを象徴するかのように、自動車の宣伝では「エコカー減税」という言葉が強調され、家電量販店では「エコポイント対象商品」のラベルが目立つように表示されている。

しかしながらこれらの政策は、環境負荷量に応じたインセンティブ（制約）としては設計されておらず、減税の大きさと環境負荷量の小ささは必ずしも一致しない。さらに、エコカー対象の補助金においては期限が限定されており、同じ環境配慮商品を購入したとしてもその購入時期によって消費者に与えられるインセンティブは変わってしまう。

排出権取引や諸外国の環境税など、今や CO₂ は貨幣価値を持つようになった。しかし、現行の環境配慮商品普及策においては、排出量に応じた負荷が公平に課されずに、一時的な補助金や減税により、消費者の負担に差が生まれていることに問題意識を持った。

本研究が対象とする炭素税を社会システムとして捉えると、その構成要素は多岐に渡る。温暖化対策として社会全体を対象にした炭素税、自動車に特化した自動車関連税制、環境配慮商品普及のためのインセンティブ政策といった政策面から、自動車技術、電源構成、エネルギーシステムなどの技術システム、消費者の環境意識や自動車利用に関する消費者行動、トレンド、ライフスタイルなど様々な要素が存在する。

また、電気自動車やハイブリッド車、プラグインハイブリッド車などのクリーンエネルギービークルは、従来のガソリン車と比較して、エネルギー源のみならずシステム構成や部品点数、アーキテクチャが大きく異なる。この違いにより、クリーンエネルギービークルは車種ごとに素材製造段階、製造段階、走行段階、メンテナンス・維持段階、廃棄段階、各段階の環境負荷やコストにそれぞれ特徴を有している。

そこで本研究は、ライフサイクルアセスメント（LCA）手法を用いて、ライフサイクル全体の CO2 排出量に応じて課税されるよう炭素税を設計した。これまで走行段階のみに着目し税設計がなされてきた自動車関連税制に対し、従来のガソリン車とクリーンエネルギービークルの大きな違いである製造段階の環境負荷に着目した。走行段階中心の税設計から、製造段階を含むライフサイクル全体を対象とした点が本研究の新規性のひとつである。

税設計の要求分析では、政府、消費者、企業の立場からステークホルダー要求や消費者行動を分析し、政府や消費者どちらかの立場のみの一面的な要求ではなく、3 者それぞれの要求を分析した。

また、本税が環境配慮商品選択のインセンティブとして働くよう消費者が負担するライフサイクルコストを考慮した。CO2 排出量に乗じて課税される炭素税により、クリーンエネルギービークルのライフサイクルコストが従来のガソリン車よりも小さくなる税率を検討した。

検証にあたっては、評価指標の定義と評価の見える化を行い、考える様々なシナリオに対して What-if 分析を可能とする税設計のフレームワークを構築した。

これは、税設計と自動車技術、環境評価、消費者行動という従来別の学問領域にあった対象を、クリーンエネルギービークル普及のための社会システムという「森」の中で、個別の「木」と捉え、「木も見て森も見る」というシステム思考に立脚したアプローチである。

本研究は V モデルに則り、要求分析、問題定義、コンセプト設計、設計、検証、What-if 分析の流れで構成される。

次に、本研究の構成を述べる。本研究は、第1章から第8章で構成される。第1章が Introduction、第2章が System Engineering Approach、第3章が Requirement Analysis、第

4 章が Problem Definition, 第 5 章が Conceptual Architecture, 第 6 章が Analysis, 第 7 章が Discussion, 第 8 章が Summary である。

第 1 章では, 研究の背景と目的, 既往研究の特徴と本研究の位置づけを述べ, 本研究の新規性を明らかにする。世界の温暖化対策目標から, 日本の温暖化政策を概観し, その中で本研究が対象とする自動車交通のグリーン化の重要性と炭素税の検討状況, 及びこれまでの自動車関連税制を俯瞰する。

第 2 章では, 本研究が立脚するシステムエンジニアリングアプローチの視点から, 本研究のフレームワークを述べる。複数のシナリオと, LCA インベントリデータベースからなる税設計フレームワーク, 及び本設計の手順を述べる。本設計は, 複数の評価指標を持ち, What-if 分析により統合的に評価を行える税設計フレームワークを実現している。

第 3 章では, 炭素税設計における要求分析, 第 4 章では問題定義を行い, 第 5 章で炭素税システムのコンセプト設計及び設計を行う。第 6 章は, 第 5 章を受け LCCO₂ インベントリデータ, 及びライフサイクルコストに関するデータを収集し, 設計のベースとなる LCCO₂ 評価と LCC 評価, 及び税率のデザインを行う。

第 7 章では, まず, 本設計の特徴であり新規性のひとつでもある LCA 全体に課税した場合の効果を示す。次に, 前章でデザインした税率を従来検討されてきた税率と比較し検証する。さらに複数のシナリオから What-if 分析を行い, クリーンエネルギービークル普及策と炭素税政策の知見につながる分析を試みる。

最後に第 8 章で, 本研究で得られた知見をまとめるとともに結論を述べる。

1.2 研究背景

2009 年に行われた G8 ライクラ・サミットにおいて, 2050 年までに温室効果ガス排出量を全世界で少なくとも半減し, 先進国については 80%以上削減する目標が支持された[1]。低炭素社会構築に向け各国政府の取り組みがますます活発化している。中でも, 日本は気候変動枠組み条約第 15 回締約国会議 (COP15) において 2020 年までに

Table 1.1

Ranking of New Vehicle's Sales on 2009 in Japan

	通称名	メーカー名	台数
1	プリウス	トヨタ	208,876
2	フィット	ホンダ	157,324
3	ヴィッツ	トヨタ	117,655
4	パッソ	トヨタ	98,883
5	インサイト	ホンダ	93,283
6	カローラ	トヨタ	90,178
7	フリード	ホンダ	79,525
8	セレナ	日産	78,836
9	ヴォクシー	トヨタ	71,426
10	ノート	日産	65,745

Originally from: [5]

90 年比 25%の削減を目指すことを改めて表明し[2]¹，関連政策や対策を強化している。

その中で，特に各国が注力している対象のひとつに，電気自動車（EV）やハイブリッド車（HEV）をはじめとする Clean Energy Vehicle（CEV）²がある。生活に不可欠な移動手段をいかに効率よく低炭素に抑えるか，排出量割合の大きな運輸部門の改善に注目が集まっている。CEV の技術開発はますます激化し，次世代の CEV のポートフォリオをいかに構成していくか，様々な戦略が模索されている[3][4]。

日本では，2009 年トヨタの販売するハイブリッド車，“プリウス”が最も販売数の多い車となった。Table1.1 に，2009 年のブランド別販売台数ランキングを示す[5]。1 位のプリウスに加え，3 位にもホンダが発売する“インサイト”（ハイブリッド車）がランクインしている。

¹ 2009 年 12 月 22 日の国連気候変動サミットの開会式で鳩山首相が演説し表明した

² 従来のガソリン車（GV）に対して，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）などを指す

今や、ハイブリッド車（HEV）は特別な車ではなく日本において最もポピュラーな車となった。CEV の普及促進を目指し、エコカー減税や補助金政策が積極的に行われている。

また 2009 年は、自動車業界にとってもうひとつ大きな意味を持つ年であった。これまで過去話題にのぼっては量産フェーズに至らなかった電気自動車（EV）が、いよいよ次世代自動車として普及の現実味を帯びてきた年である。世界のトップメーカーに加え、EV ベンチャーなど、世界各国で次世代自動車の開発や発売に関するリリースが相次いでいる。

2010 年以降は、ハイブリッド車（HEV）に加え新たなパワートレインの市場投入が注目される。トヨタが導入を予定しているプラグインハイブリッド車（PHEV）“プリウス” [6]や、三菱自動車の電気自動車（EV）“iMiEV” [7]を皮切りに、従来のガソリン車（GV）からクリーンエネルギービークルの時代が訪れようとしている。

日本政府は、低炭素社会実現シナリオの中で電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド車（PHEV）が全乗用車の 50%、もしくは 100%を占める 2050 年の姿を描き [8]、クリーンエネルギービークル主体の自動車社会へのシナリオを発表している。

本研究は、次世代自動車時代において、より環境負荷の低い車が消費者に選択されるクリーンエネルギービークル普及のための税システムを対象とする。

現在、日本の自動車関連税制は、消費税も含めて 9 種類の税で構成されている。これまで新税の追加や変更を繰り返してきたため、複数の目的と機能を持つ税で複雑に構成され、また暫定税率や二重課税の問題なども指摘されている [9]。加えて、現在行われている、燃費の良い車やハイブリッド車（HEV）、電気自動車（EV）に対する補助金、減税政策は、直接 CO₂ 排出量や環境負荷量には関係していない。

一方で、税制全体においては、日本政府は温暖化対策の外部不経済（external diseconomy）を市場経済の内部に取り込む³経済措置として、これまで欧州が先行して

³ ある経済主体が経済活動を行うとき、その活動が主体の状態に与える影響を外部効果といい、悪影響をもたらすことを外部不経済とよぶ

いた環境税[10][11]や税制のグリーン化を検討し[12]，平成 22 年度税制改正要望に地球温暖化対策税をあげている[13]．

大幅削減目標を掲げた今，部分的な制度変更や追加のみならず，社会システム全体を俯瞰した税システムへの改革が迫られている．

次節以降では，まず日本の温暖化対策と関連法規に触れ，温暖化政策全体を俯瞰する．次に，その中でも重要視されている政府の環境税の検討状況について述べる．

1.2.1 温暖化対策目標と関連法規

日本は，平成 17 年（2005 年）の京都議定書において 2008 年から 2013 年の 5 年間で，2005 年比 15%削減（1990 年比 8%削減）を掲げた[14]．2009 年 7 月に行われた G8 ラクイラ・サミットでは，主要国により 2050 年までに世界全体の温室効果ガス排出量を少なくとも 50%削減する目標が再確認され，先進国全体として 2050 年までに 80%もしくはそれ以上削減する目標が支持された[1]．同年 12 月，日本は気候変動枠組み条約第 15 回締約国会議（COP15）において，2020 年までに 90 年比 25%の削減を目指すことを改めて表明した[2]．

これら目標に対し日本政府は，環境基本法[15]に基づき環境保全に関する基本的な計画[16]を定めている．平成 6 年（2005 年）に第一次環境基本計画が制定されて以降，5 年を目途に見直しがされている．平成 12 年（2000 年）に第二次環境基本計画，平成 18 年に第三次環境基本計画が見直された．

温暖化に関する取り組みは，環境基本計画の中の重点分野政策プログラムのひとつとして位置づけられている．他に重点分野には，生物多様性の保全や物質循環の確保と循環型社会の構築など合計 10 つの分野が指定されている．

温暖化対策の関連法規に，地球温暖化対策推進法[17]がある．京都議定書の採択を受け，日本における温暖化対策の第一歩の枠組みとして平成 10 年（1998 年）に成立した．平成 17 年（2005 年）には，京都議定書目標達成計画[18]が閣議決定され具体的計画が制定された．

京都議定書目標達成計画は、目標達成のための対策と施策のひとつに自動車の燃費改善をあげ、横断的施策として国民運動の展開を掲げている。さらに環境税は、速やかに検討すべき課題のひとつとして国内排出量取引制度、深夜化するライフスタイル・ワークスタイルの見直し、サマータイムの導入と並んであげられている。

自動車の燃費改善や環境負荷軽減、さらに環境税は重要性と緊急性の高い検討課題として位置づけられていることが確認できる。

1.2.2 政府による環境税の検討状況

次に、日本における環境税の検討状況を概観する。

2008 年、与党の平成 21 年度（2009 年度）税制改正大綱（2008 年 12 月）の税制抜本改革に関する議論の中で、環境税を総合的に検討することが謳われた。同年 12 月に閣議決定された「持続可能な社会保障構築とその安定財源確保に向けた『中期プログラム』」では、低炭素を促進する観点から、税制のグリーン化を検討する基本的方向性が確認された[19]。

環境省は平成 20 年（2008 年）11 月に環境税の具体案 [12] を示し、その中で一部を一般財源として利用すること、及びトータルで見て極力増税とならないよう併せてエコ商品の減税を進めることを要望した。さらに翌平成 21 年（2009 年）11 月、平成 22 年度税制改正要望として地球温暖化対策税の具体案 [13] が示された。

地球温暖化対策税の具体案は、課税の仕組みとして「①原油、石油製品（ガソリン、軽油、重油、灯油、航空機燃料）、ガス状炭化水素（天然ガス、LPG 等）、石炭を対象に、輸入者、採取者の段階で課税（石油石炭税の納税システムを活用）」すること、及び「②ガソリンについては、①に加えて、ガソリン製造者等の段階で課税（揮発油税の納税システムを活用）」することを示している。また、その他の特記事項として「軽油についての個別課税については、税制調査会において別途ガソリンに準じて検討が必要」としている[13]。

関連する政策では、環境保全に資する製品の普及促進策として、平成 13 年（2001 年）に「グリーン購入法（平成 13 年 4 月）」[20]が制定された。これは、国等の機関にグ

リーン購入を義務付け，地方公共団体や企業，国民にグリーン購入を推奨するものである．他に，国や独立行政法人などの公共機関が契約を締結する際に，価格に加えて環境性能も含めて総合的に評価し製品やサービスを選択する仕組みをつくる「環境配慮契約法（平成19年11月）」[21]などがある．

税制のグリーン化をはじめ，環境配慮商品普及に向けたグリーン政策が推し進められている．

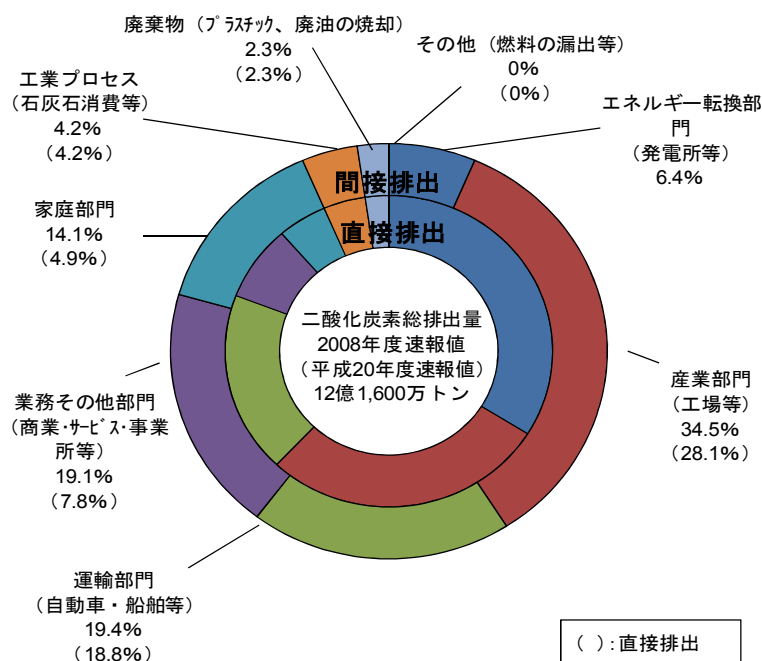


Fig.1.1 国内部門別 CO2 排出量 (2008 年度速報値)

(出典：国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスウェブページ[22])

1.2.3 運輸部門の温暖化対策の重要性

本研究が対象とするクリーンエネルギービークル (CEV) は、運輸部門の温暖化対策として位置づけられる。本節では、日本の温暖化政策全体における運輸部門の対策の重要性と、その中でも特に期待されるクリーンエネルギービークル普及の効果について述べる。

2008 年度の国内 CO2 総排出量と部門別の内訳を Fig.1.1 に示す (出典：国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスウェブページ[22])。

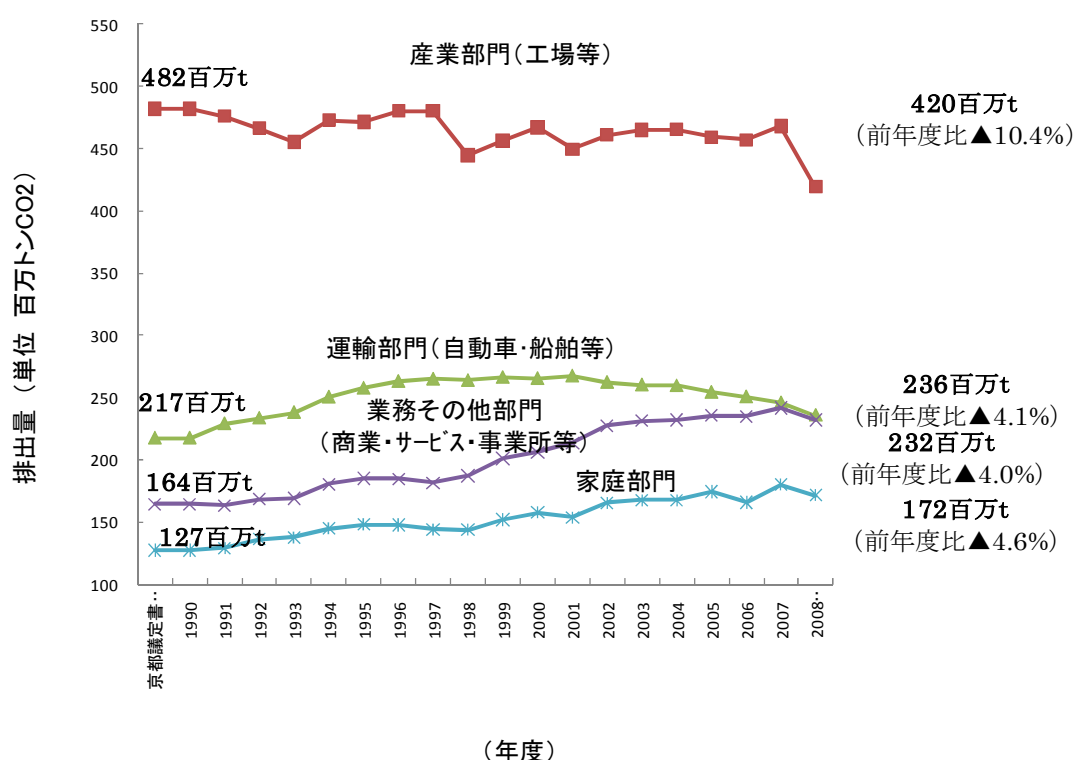


Fig.1.2 国内部門別 CO2 排出量の推移 (2008 年度速報値)

(出典：国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスウェブページ[22])

2008 年度の速報値によると、運輸部門からの CO2 間接排出量⁴は全体の 19.4%を占める。そのうち約 9 割が自動車からの排出であり、航空機、鉄道、船舶を大きく引き離していることがわかる[22][23]。

温暖化対策において、いかに自動車の低炭素化が重要であるか、期待できる効果の伸びしろが大きいかを確認できる。

また、Fig.1.2 に示す運輸部門からの CO2 排出量推移（出典：国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスウェブページ[22]）より、排出量はここ 10 年においては

⁴ 直接排出はその部門から直接排出された CO2 排出量、間接排出は電気の使用分の排出量を各部門に割り当てた量を示す。

減少傾向ではあるものの、京都議定書の基準年 1990 年と比較すると、1990 年が 217[Mt CO₂], 2008 年速報値 236[Mt CO₂]と約 1.09 倍に増加していることがわかる。

1.2.4 自動車交通に対する環境省ビジョン

前節で、自動車のグリーン化により実現できる CO₂ 排出量削減効果の大きさを述べた。次に、環境省が発表した自動車交通のグリーン化に対するビジョンに触れ、現在検討されている温暖化対策シナリオについて述べる。

2009 年 8 月環境省は、G8 ラクイラ・サミットを受け、「温室効果ガス 2050 年 80% 削減のためビジョンについて」を発表した。日本が世界に先駆けて低炭素社会を構築し、環境技術で国際優勢を確保するとともに、先進国として地球全体の問題に責任を果たすため、日本の将来目標や対策・施策のあり方について、国民全体での議論を進めていくとし、ビジョンの中で、次の A, B の 2 つのシナリオを示している[8]。

- シナリオ A「経済発展・技術志向」
 - 利便性・効率性の追求から都心部へ人口・資本の集中が進展する
 - 一人あたりの GDP 成長率 2%/年、人口 9500 万人を想定
- シナリオ B「地域重視・自然志向」
 - ゆとりのある生活を求めて都心から地方への人口・資本の分散化
 - 一人あたりの GDP 成長率 1%、人口 1 億人を想定

この中で、自動車・交通に関する具体的対策内容が次のように示されている[8]。

- 乗用車構成
 - A：電気自動車 100%
 - B：電気自動車 50%，ハイブリッド車 50%
- 普通貨物車構成
 - バイオ燃料貨物車 80%，電気自動車 20%
- 乗用車の燃費（2000 年比）
 - 3 倍 ※ハイブリッド化による効果も含む
- 普通貨物車の燃費（2000 年比）

1.3 倍

- 鉄道，船舶，航空エネルギー効率（2000 年比）
それぞれ 2 倍，1.3 倍，1.5 倍
- 自動車用，船舶用，航空用の燃料に占めるバイオ燃料比率
それぞれ 100%，50%，50%

これらを実現する主な政策手法として，低炭素な技術の開発・普及のための仕組みのひとつに「次世代自動車の導入・代替促進のための補助金，税制措置」「燃費基準の強化，達成義務づけ」，国全体を低炭素に動かす仕組みとして「CO₂ 排出への価格付け」の中で「環境税を含む税制のグリーン化：税制に CO₂ 排出量に応じた考え方を導入」が謳われている[8].

本ビジョンより，EV や HEV をはじめとするクリーンエネルギービークルの普及を促進する政策が強力に推進されようとしていることが確認できる．

1.3 研究目的

本節では，本研究の目的を述べる．次に既往研究とその特徴について述べ，本研究の新規性の所在を明らかにする．本研究の目的は，

- 自動車関連税制において，クリーンエネルギービークルの製造段階の環境負荷を考慮した炭素税設計を行うこと

である．そのために，次のことを行う．

- ライフサイクルコストを税設計の評価指標に取り入れ，クリーンエネルギービークル選択のインセンティブとなるよう設計する
- 従来個別に研究されてきた，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）及びガソリン車（GV）のライフサイクルインベントリデータ（LCI データ）を収集し，ライフサイクル CO₂ 排出量（LCCO₂）とライフサイクルコスト 2 つの観点から統合的に評価する

まず、1.3.1.1 節で、環境政策と消費者の環境意識に関する既往研究に触れる。環境配慮商品を普及させるためには、消費者の行動に直結する政策が必要であること、消費者の環境配慮意識は、直接行動を規定する因子にはなりにくいという既往研究より、普及を税設計により促進することの意義を述べる。

次に 1.3.1.2 節で、これまでの自動車関連税制と既往研究に触れる。従来のガソリン車（GV）においては、環境負荷やコストの大半は走行段階が占め、自動車関連税制の研究は走行段階にのみに着目されていたこと、クリーンエネルギー社会においては製造段階の重要性が増すこと、さらに、これまで製造段階に着目した研究例が無いことを述べ、本研究の新規性を明らかにする。

1.3.1.3 節では、自動車 LCA の既往研究について述べる。自動車 LCA 研究を概観し、それらの個別のインベントリデータを LCCO₂、及びライフサイクルコストの観点から統合的に評価した新規性を述べる。

1.3.1 既往研究と特徴

1.3.1.1 環境政策と消費者の環境意識

欧州では、生産者による「持続可能な生産」だけでなく、消費者が「持続可能な消費」を取り入れ両者が一体となって「持続可能な発展」に向かうことが必要とする考え方が一般的になりつつある。「持続可能な消費」は UNEP（国連環境プログラム）[24]でも支援されており、消費者の環境配慮行動が求められている。

消費者に環境に配慮した製品の選択を促す方法として、購入時に製品やサービスに関する情報を提供する環境ラベルの役割が注目されている。しかし、フードマイレージやカーボン・フットプリント、エコラベルなど目的や業界により様々な表示方法が提案されており、消費者への分かりやすさや有効さについて一定の評価はなされていない。

啓蒙活動にはマイバッグ運動やクールビズ、待機電力の省エネ化がある。マイバッグ運動では、一部の自治体や小売店でレジ袋の有料化を実施している。ファッション性の高いブランドからマイバッグが販売されるなどのトレンドも手伝い、効果を上げている。

クールビズも、経済産業省とファッション業界、小売業界によるプロモーションや、温度設定を高くして節電することで電気コストを抑えられる効果から、今や多くの企業で取り入れられるようになった。同様に、待機電力の省エネ化も月々の電気料金に直結して節約効果を得られるため、エコと節約両面から多くの家庭で実施されている。

減税・補助金政策では太陽光パネル設置への補助金制度や、エコカー減税、エコポイントなどがある。消費者コストに直結する減税やポイント策により、ハイブリッド車や省エネ家電の販売量が飛躍的に伸びている。

環境表示に関する先行研究では、環境ラベルに対する消費者の評価として、「エコマーク」に対する消費者の認知と評価の調査研究がある[25]。既に 2004 年度の調査で、エコマークは高い認知と信頼性を獲得しており、環境配慮商品を購入する消費者行動を促進していくポテンシャルは高いとしている。しかし、そのポテンシャルが具体的に環境配慮行動につながるかどうかは言及されていない。

オンラインショップ上での環境配慮商品の販売・消費活動および環境情報に関する消費者の認識と態度についてアンケートによる調査研究がある[26]。消費者の 3 割はオンライン上で環境面を配慮して消費行動を行いたいと考えているのに対して、実際に環境商品購入につながったのがわずか 7%と意識と行動にギャップが存在することを明らかにし、制約原因のひとつとしてオンライン上での商品の環境情報の提供率の低さを指摘している。

一方、社会心理学の分野で環境配慮的行動とその規定因子との要因連関一般モデルとして Fig.1.3 が提案されている[27]。本モデルは、行動までの意思決定のプロセスを目標意図の形成と、環境配慮的行動意図の形成までの 2 段階とし、行動と規定因子との要因連関モデルとして表している。さらに、3 つの環境認知は目標意図とはなりえても、行動意図の直接の規定因子とはなりにくいと言及している [27]。消費者の具体的な行動変化や影響に関しては研究が進んでいる段階であるといえる。

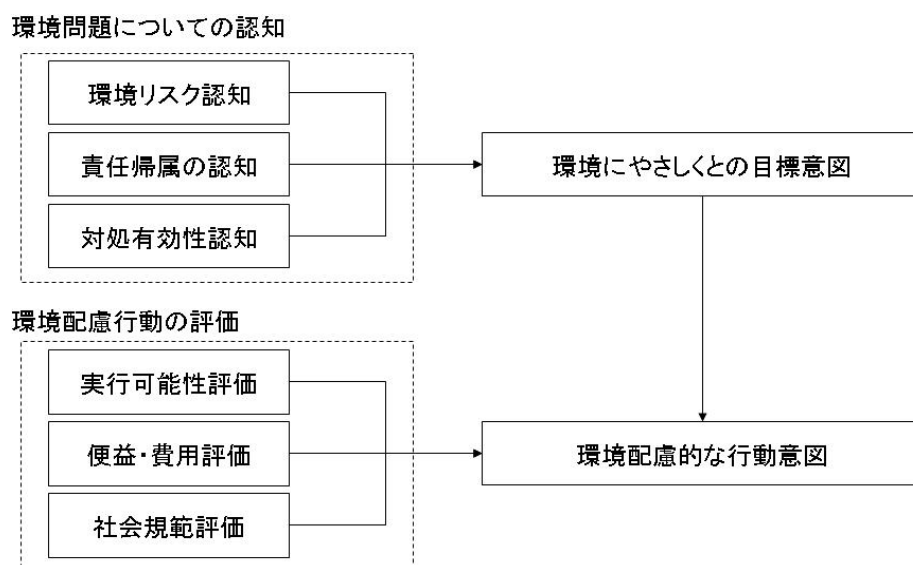


Fig.1.3 環境配慮行動と規定因との要因関連モデル：広瀬（1994） [27]

1.3.1.2 自動車関連税制

日本の現行の自動車関連税制は複数の財源としての役割と目的を持つ税によって構成されている。例えば自動車重量税は、道路の補修などを目的に重量別に課税体系が異なる目的税であるのに対し、自動車取得税は贅沢税として税込確保を目的とする側面が大きい。

まず、自動車関連税の歴史を確認する。日本における自動車関係諸税は、第1次道路整備五箇年計画を開始した1954年度に道路特定財源制度が創設されたことに始まる。以降、増税や新設などの制度変更が繰り返されてきた。

道路特定財源制度は、税込を道路整備の財源として充当する税制として創設されて以降、道路整備を進める時代背景の中で大きな役割を担った。しかし、整備が進み、さらに財政が厳しい昨今の情勢の中、道路特定財源制度は大きな転換期を迎えていると主張されている[9]。

Table.1.2 に現行の自動車関係諸税を示す[28]。現在自動車ユーザに対して、取得段階、保有段階、走行段階で 9 種類の税が課税されていることが確認できる。本表は、列の税目ごとにしくみ、国・地方税の別、税率および税額を示している。

取得段階では、自動車取得税と消費税が課税される。自動車取得税は、新車、中古車にかかわらず購入時の取得価格を基準に課税され、さらに現在暫定税率がしかれている。

保有段階は、自動車重量税、自動車税、軽自動車税の 3 種類の税で構成される。自動車重量税は、名前のとおり自動車の総重量に応じて税額が計算され、車検時ごとに課税される。取得税同様暫定税率がしかれている。自動車税は、毎年 4 月 1 日に定額で課税される。軽自動車の場合は、代わりに軽自動車税が課税される。

走行段階は 3 段階のうち最も多い 5 種類の税で構成される。消費税の他に、ガソリンに対して課税される揮発油税及び地方揮発油税、軽油に対して課税される軽油引取税、LPG に対する石油ガス税がある。これらは、燃料の価格に含まれ、消費量に応じて課税される。

Table 1.2 Automobile taxation in Japan (2009.4) [28]

税目	取得段階	
	自動車取得税	消費税
しくみ	新車・中古車にかかわらず購入したときの取得価格を基準として課税される。	自動車の購入価格に課税される。
国・地方税	道府県税	国・地方税
税率および税額	(自家用) ・取得価格の5% (営業用および軽自動車は3%) ・取得価格50万円以下は免税 注:2018年3月31日までの暫定税率	5% (うち、1%相当分は地方消費税)

税目	保有段階		
	自動車重量税	自動車税	軽自動車税
しくみ	車検時ごとにクルマの(総)重量に応じて課税される。	毎年4月1日現在の持ち主に対して定額で課税される。	毎年4月1日現在の持ち主に対して定額で課税される。
国・地方税	国税	道府県税	市町村税
税率および税額	(自家用) ①乗用車(自重0.5t毎) 6,300円/年 ②トラック(総重量1t毎) ・2.5t超 6,300円/年 ・2.5t以下 4,400円/年 ③バス(総重量1t毎) 6,300円/年 ④軽自動車(定額) 4,400円/年 ⑤二輪車 ・250cc超(定額) 2,500円/年 ・126~250cc 6,300円/届出時 注:2018年4月30日までの暫定税率	乗用車(自家用) ・ ~1000cc 29,500円/年 ・ 1001~1500cc 34,500円/年 ・ 1501~2000cc 39,500円/年 ・ 2001~2500cc 45,000円/年 ・ 2501~3000cc 51,000円/年 ・ 3001~3500cc 58,000円/年 ・ 3501~4000cc 66,500円/年 ・ 4001~4500cc 76,500円/年 ・ 4501~6000cc 88,000円/年 ・ 6001cc~ 111,000円/年	①軽自動車(自家用) ・乗用車 7,200円/年 ・トラック 4,000円/年 ②二輪車 ・ ~ 50cc 1,000円/年 ・ 51~ 90cc 1,200円/年 ・ 91~125cc 1,600円/年 ・ 126~250cc 2,400円/年 ・ 251cc~ 4,000円/年

税目	走行段階				
	揮発油税	地方揮発油税	軽油引取税	石油ガス税	消費税
しくみ	ガソリンに課税		軽油に課税	LPGに課税	燃料の購入価格に課税される。
	燃料の価格に含まれ、消費量に応じて負担する。				
国・地方税	国税		道府県税	国税	国・地方税
税率および税額	48.6円/ℓ	5.2円/ℓ	軽油 32.1円/ℓ	LPG 17.5円/kg	燃料購入価格の5% (うち、1%相当分は 地方消費税) [軽油については軽 油引取税を除く軽油 価格に課税される。]
注:2018年3月31日までの暫定税率					

これら 9 種類の税を俯瞰すると、課税されるタイミングや金額の算出基準が多岐に渡っていることが確認できる。同じ燃料に対する課税でも軽油引取税のみが道府県税で、他は国税である。自動車税が道府県税である一方で軽自動車税が市町村税であるなど国税、地方税の別も様々である。

また課税のタイミングも、自動車重量税は車検時ごとに、自動車税は毎年 4 月と同じ保有段階の租税でも異なっている。これらの自動車関連税は、ユーザにとって複雑で分かりづらい仕組みであることが予想される。

道路特定財源制度はその理念を「受益者負担」と「損傷者負担」とし、長所として①公平性②安定性③合理性の 3 点があげられている[29]。一方で、税目の多さや用途の複雑性など「簡素」の原則から程遠いとの問題点が指摘されている[9]。

日本の自動車関連税制は、これまで走行段階の燃費や投入エネルギーを中心に税設計がされてきた。従来のガソリン車においては、走行段階のエネルギー投入量や CO₂ 排出量が圧倒的に大きく、環境改善を目指す際には走行段階の環境負荷が対象の大部分を占めるためである。

燃費改善を中心とした減税や補助金政策などの効果による研究では [50]-[52]の例がある。

文献[91]は、自動車燃料に対する自動車燃料に対する炭素税導入の効果を動学的応用一般均衡モデル (Dynamic Computable General Equilibrium : DCGE) モデルを用いて政策評価している。価格弾力性の違いによる運輸部門二酸化炭素排出削減目標達成 (2010 年時点で 90 年比の 17%増に抑制する) には $\varepsilon = -0.1$ の場合 11.0[万円/t-CO₂]、 $\varepsilon = -0.3$ の場合 11.4[万円/t-CO₂]の炭素税が必要となると示している。自動車燃料という走行段階を対象にした炭素税研究である。

文献[61]は、自動車関連環境政策のトップランナー方式による燃費規制とグリーン税制を対象に応用一般均衡モデルを用いて政策評価している。ここで取り上げられているグリーン税制は、自動車税及び自動車取得税を対象としている。自動車税及び取得税は、ライフサイクルの取得段階と保有段階に課税されるため、走行段階と取得段階及び保有段階を対象としているが、評価指標は燃費と走行段階の CO₂ 排出量のみであり、製造段階の環境負荷は考慮されていない。

文献[69]は、CEV の普及を製品普及モデルであるロジスティックモデル、消費者選好モデルとしてコンジョイント分析、製品の価格低下モデルの学習曲線モデルを統合して CEV の補助金及びガソリン価格の上昇が与える普及への影響を分析している。CO₂ 削減効果を評価しているが、ハイブリッド車とガソリン車のみを対象にしておりガソリン燃料由来の CO₂ 排出量のみを評価している点が本研究とは異なる。

現在検討されている日本の環境省の税制案や欧州の環境税においても、走行段階の投入エネルギーや CO₂ 排出に対して課税をする体系である[10][11]。

このように走行段階の燃費改善や補助金による普及効果を研究した例はあるが、CEV にとって重要となる製造段階の CO₂ 排出量や、CEV ごとに異なるライフサイクルコストの特徴に着目して炭素税及びインセンティブ政策を研究した事例は無い。

1.3.1.3 自動車の LCA 評価

自動車の LCA 評価は、多くの既往研究によって行われている。CO₂ 排出量を対象にした自動車 LCA の評価では、評価対象のシステムバウンダリ（境界）としてライフサイクル段階を、①自動車製造段階、②燃料製造・供給段階、③走行段階、④維持段階、⑤廃棄段階に分けて評価されることが多い。特に、従来のガソリン車においては走行段階の環境負荷やエネルギー投入がライフサイクルの大半を占めるため、これまで②燃料製造・供給段階及び③走行段階を対象にした評価が多く行われてきた。

この2段階を評価する枠組みは、燃料・製造段階（1次エネルギーが採掘され燃料として精製されてから、自動車のタンクに貯蔵されるまで）を対象とする「Well to Tank」（WtT）分析と、走行段階（貯蔵された燃料が走行に使われるまで）を対象とする「Tank to Wheel」（TtW）分析、それらを統合した「Well to Wheel」（WtW）分析と呼ばれ燃料別のエネルギーパス、エネルギーチェーンや走行効率が評価されている。

走行段階評価の自動車 LCA の既存研究では、JHFC が水素燃料電池車の位置づけを明確にするための国家プロジェクトとして、燃料電池を含む CEV の総合効率検討を分析している[30]。

内燃機関車 (ICEV) , 内燃機関ハイブリッド車 (ICEHEV NiMH 電池搭載) , 電気自動車 (EV) , 燃料電池車 (FCV) , 燃料電池ハイブリッド車 (FCHEV NiMH 電池搭載) を対象に, エネルギーパスや走行パターン別など幅広く WtW の分析が行われている.

Well to Well 分析は, 現在世界各地でも研究がされており, 主なものとして, 米国アルゴンヌ国立研究所 [31]やみずほ情報総研とトヨタ自動車の共同研究がある[32]. 文献[33]の技術展望によると, 2000 年に米国 MIT から各種燃料/パワートレインに関する LCA 分析結果[34]が発表されて以降活発に研究が行われるようになり, 現状では水素及び燃料電池車の評価は一通り完了し, より複雑に多くの要因を考慮する必要のあるバイオ燃料や, WtW 側の評価が重要な EV やプラグインハイブリッド車 (PHEV) に重点が移行しつつあるとしている.

一方, 車両製造段階の評価では, GV, EV (リチウムイオン電池搭載) , 燃料電池車 (FCEV : ニッケル水素電池搭載) を対象にした構成部品データに基づいた積み上げ分析の事例がある[35]. FCEV 及び EV の製造段階の CO₂ 排出量は, GV の 2 倍以上も多くなり, その原因として FCEV は, 高圧水素タンクと燃料電池に伴う排出, EV はリチウムイオン電池製造に伴う排出量が特に多いと評価している.

電池の環境負荷が大きい EV においては, 異なるバッテリーを搭載した EV の比較[36]や, 蓄電池そのものの効率改善 (電力負荷平準化等) による環境負荷改善効果の分析が行われている[37].

また, 個々の自動車プロダクトのケース評価事例として, 産業連関分析と積み上げ法を用いたハイブリッド分析により Kaz[38], 及び Elica[39]の評価が行われている.

HEV の LCA については, 詳細の部品データが公表されていないため積み上げ法による評価事例は無く, GV 製造時に対して 1.1 倍[40]や 1.2 倍[41]と試算されている.

その他のライフサイクル段階の評価としては, オペレーションに対する評価[42]や, メンテナンス段階を含む評価[43]がある. また, 近年は企業が販売製品の環境情報公開の一環として, 各自動車メーカーが LCA 結果を公表している[44]-[47].

一方, ライフサイクルコストの研究では, コスト評価, 環境負荷の両面からポイント化し比較評価した事例[48]や, EV の製造段階, オペレーション段階のコストを分析し

た事例[42], 実際の販売車種であるプリウス (HEV) とカローラ (GV) を比較した事例などがある[49].

このように各ライフサイクル段階において, 多くの研究がされているが, GV, HEV, PHEV, EV を対象に製造段階, 走行段階, メンテナンス段階の環境負荷及びコストを統合的に評価した例は無い.

本研究は, ライフサイクルで CO₂ 排出量の少ない自動車为消费者に選択され, CEV が普及し, 社会全体の低炭素化を促進するための炭素税設計を目的とする. CEV 毎に異なるライフサイクル CO₂ 排出量 (LCCO₂) 及びライフサイクルコスト (LCC) を分析し, それらを用いた炭素税設計のフレームワークの検討とその検証を行った.

走行段階のみでなく製造段階の CO₂ 排出量を考慮することで, ライフサイクル全体における CO₂ 排出量を適正に評価し, 製品のトータルの環境負荷を反映する炭素税設計を目指す.

さらに, 本税が消費者にとってインセンティブとして働くようライフサイクルコスト (LCC) を考慮する. LCC はイニシャルコスト, ランニングコストに加え, メンテナンスコストも考慮する.

炭素税設計において, 製造段階の CO₂ 排出量を考慮すること, 及び消費者インセンティブ観点からライフサイクルコストを考慮することが本研究の特徴である. なお, 本研究は日本における炭素税を想定する.

1.4 本論文の構成

本研究は, 第 1 章から第 8 章で構成される. 第 1 章が Introduction, 第 2 章が System Engineering Approach, 第 3 章が Requirement Analysis, 第 4 章が Problem Definition, 第 5 章が Conceptual Architecture, 第 6 章が Analysis, 第 7 章が Discussion, 第 8 章が Summery である.

第 1 章では, 研究の背景と目的, 既往研究の特徴と本研究の位置づけを述べ, 本研究の新規性を明らかにする. 世界の温暖化対策目標から, 日本の温暖化政策を概観し, そ

の中で本研究が対象とする自動車交通のグリーン化の重要性と炭素税の検討状況、及びこれまでの自動車関連税制を俯瞰する。

第2章では、本研究が立脚するシステムエンジニアリングアプローチの視点から、本研究のフレームワークを述べる。複数のシナリオと、LCA インベントリデータベースを有する税設計フレームワークモデルを構築し、本設計の手順を述べる。シナリオの中に、複数の評価指標を持ち、What-if 分析により統合的な評価を行える税設計フレームワークを実現している。

第3章では、炭素税設計における要求分析、第4章では問題定義を行い、第5章で炭素税システムのコンセプト設計及び基本設計を行う。第6章は、第5章を受け LCCO₂ インベントリデータ、及びライフサイクルコストに関するデータを収集し、設計のベースとなる LCCO₂ 分析と LCC 分析、及び税率のデザインを行う。

第7章では、複数のシナリオから What-if 分析を行い、クリーンエネルギービークル普及策と炭素税政策の知見につながる分析を試みる。

最後に第8章で、本研究で得られた知見をまとめるとともに結論を述べる。

第2章 System Engineering Approach

2.1 炭素税のシステムデザイン

本節では，本研究におけるシステムエンジニアリングアプローチについて述べる．

本研究が対象とする税設計は，社会システムデザインのひとつとして位置づけられ，様々な切り口を含んでいる．Fig.2.1 は，本税を設計するためのシステムアプローチを，「System design for green sustainable manufacturing モデル[53]」を元に筆者が作成した図である．

本図は，炭素税システムデザインのための分析フレームワークモデルである．上から階層ごとに分析のフレームワークを示している．四角は，分析の枠組みと対象を，矢印はそれらをつなぐ分析を示している．

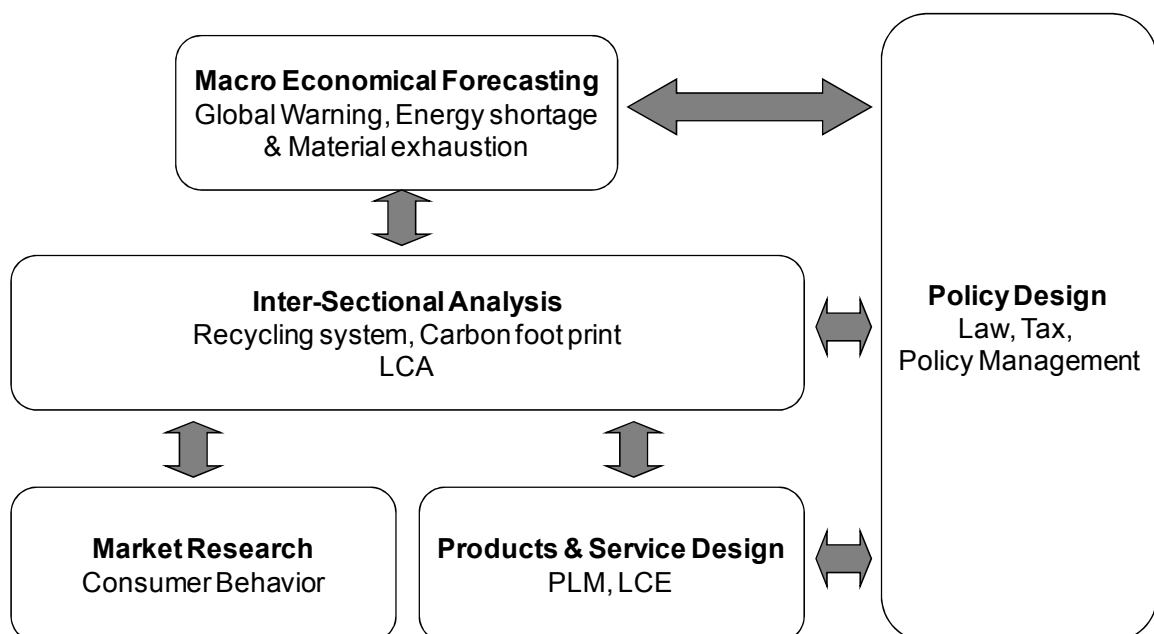


Fig.2.1 System Design for Carbon Taxation Model

第2章 System Engineering Approach

社会システムにおいては、一国、EU や APEC のような複数の国の集合体、政府、企業、業界、消費者、国民、市民といった様々な立場のステークホルダーの利害関係が交錯している。また、政策は社会全体に波及することから、その影響は多方面に及ぶことは言うまでもない。政策デザインにあたっては、一面的な分析ではなく、社会を多視点で捉え意味ある複数の切り口から「木も見て森も見る」統合的な分析を行った上で、検討を行うことが必要である。

Macro Economical Forecasting は、社会システムをマクロに分析するフレームである。地球温暖化分析、エネルギー供給、資源枯渇、経済成長予測や人口予測などがここにあたる。本研究においては、CO₂ 削減目標値や、既往研究により経済成長率、人口予測、経済成長率から予測された自動車普及台数データを使用する。

Inter-Section Analysis は、市場分析や消費者行動、企業活動を分析する下層のミクロ分析フレームと、前述したマクロ分析フレームの中間をつなぐフレームである。サプライチェーンによるリサイクルシステムや資源循環分析、LCA を用いた環境評価やエネルギーチェーン、カーボン・フットプリント分析がここにあたる。本研究においては、クリーンエネルギービークルの CO₂ 排出量を LCA を用いて分析する。

下層には2つのミクロ分析フレームがある。Market Research は、消費者行動分析や市場分析を行う。本研究では、環境税に対する消費者行動や、消費者が負担するライフサイクルコストを分析する。

Products & Service Design は、本研究は対象外とする。ただし、クリーンエネルギービークルのシステム構成やアーキテクチャの分析、及びメンテナンス段階のサービス分析は本フレームの一部にあたる。

Macro Economical Forecasting と Inter-Section Analysis をつなぐ分析として、普及予測と CO₂ 排出量を組み合わせた、クリーンエネルギービークルからの排出量予測を行う。

Inter-Section Analysis と Market Research 及び Products & Service Design をつなぐ分析として、走行距離や税率の違いによる CO₂ 排出量の変化を分析する。

本研究は、これらのフレームワークを用いて、社会システムを多視点から統合的に分析し税設計を行う。

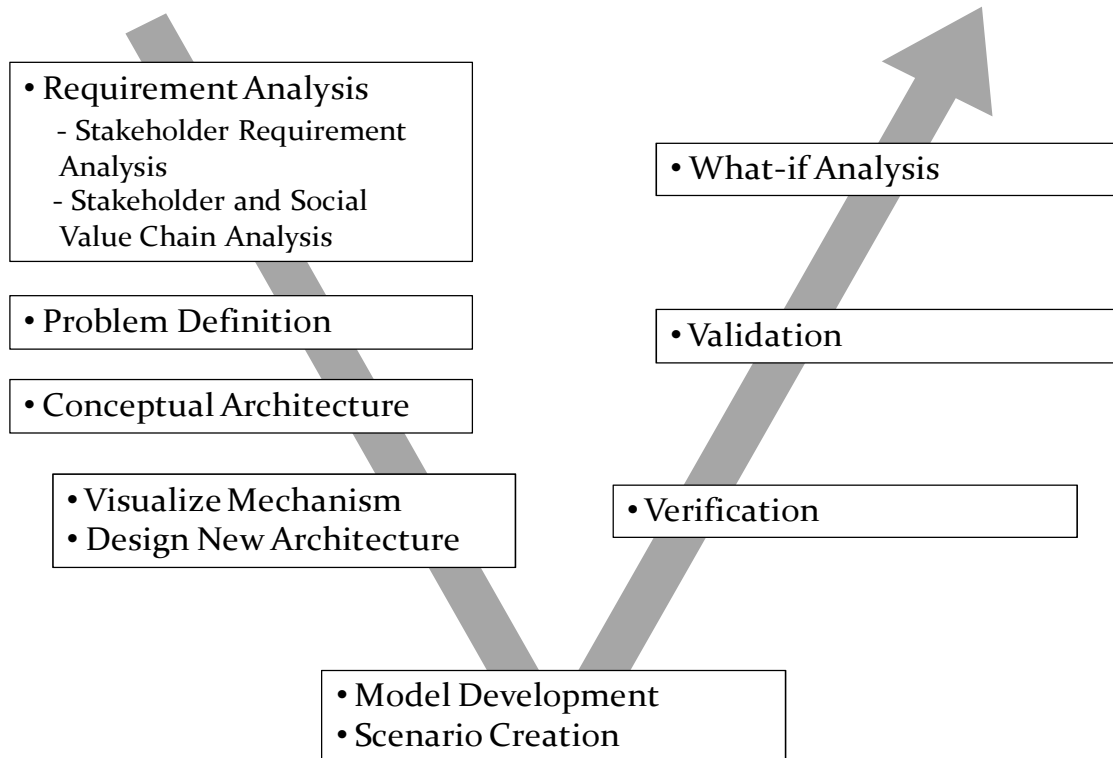


Fig.2.2 Vee Model for Designing Carbon Taxation System

2.2 本研究の V モデル

本設計のフレームワークを Fig.2.2 に示す．本モデルは，Systems Engineering for Sustainable Manufacturing の V モデル[54]をベースに，筆者が炭素税設計の特性に合わせて変更を加えたものである．

次章以降の設計は，V モデルに沿って行う．第3章で Requirement Analysis，第4章で Problem Definition，第5章で Conceptual Architecture を行う．第6章の Analysis は，Model Development に相当する．また，同章で LCCO₂ 及び LCC 評価の Verification も行っている．第7章では，Scenario Creation，Validation，What-if 分析を行う．

2.3 評価の見える化

本研究では、設計した税率を①消費者の課税負担額、②課税後の LCC、③税込、④乗用車からの CO₂ 総排出量の 4 つの指標を用いて評価する。

また税率自体をデザインする根拠となる LCCO₂、LCC は既存研究のインベントリデータを収集し、CO₂ 排出係数やシステム特徴を鑑みて種々のデータの比較係数から推計する。税設計の評価基準を LCA により定量化する点、及び設計した税の検証を複数の評価指標から検討し見える化する点が本設計フレームワークの特徴である。

第3章 Requirement Analysis

3.1 炭素税の目的と意義

本節では、まず本研究で設計する炭素税の目的と意義について述べる。「1.3.1.1 環境政策と消費者の環境意識」で前述した通り、消費者の具体的な行動変化や影響に関しては研究が進んでいる段階である。現在、消費者行動に直接作用して大きな効果を上げている環境政策を俯瞰すると、エコカー減税やエコポイントなど減税や補助金政策など、コストに直結するものが多い。

ここで環境配慮商品が普及し、持続可能な低炭素社会を実現するための炭素税の役割を考え、Fig.3.1 に図示する。本図は、政府、企業、消費者の各ステークホルダーが炭素税を中心に低炭素を促進する方向に支援される連関を表している。

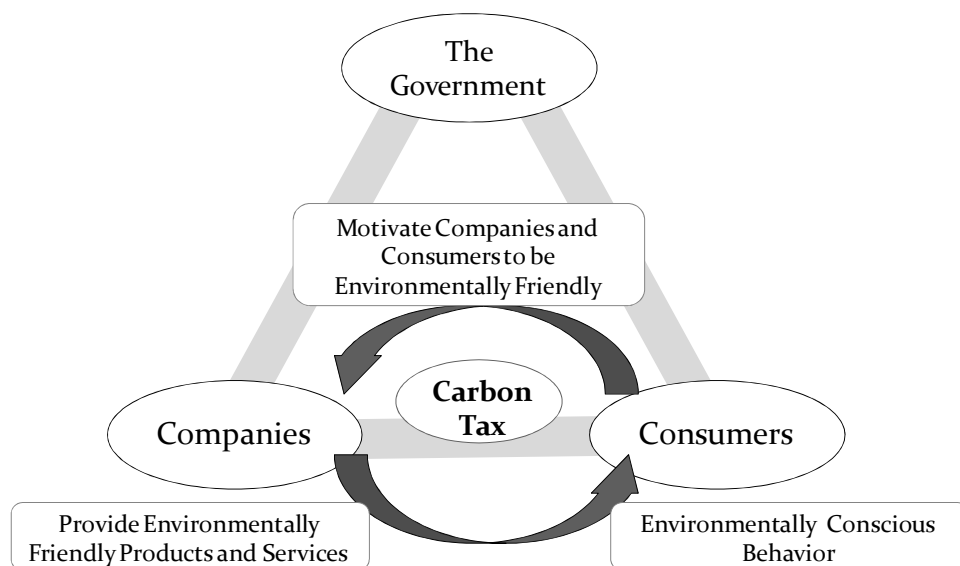


Fig.3.1 Function of Carbon Taxation for Sustainable Low-Carbon Society

まず、政府が環境負荷量に応じて課税される炭素税の枠組みを社会に与える。炭素税は、環境負荷の小さな商品には少なく、大きな商品には多く課税される。消費者が課税額の少ない商品を選択することにより、環境負荷の小さな商品の選択や環境適応型行動が促進される。その購買活動を受け、企業の環境技術開発やサービスの提供が促進される。

課税額の大小が環境負荷の小さな商品にはインセンティブとなり、逆に大きな商品には負荷となって低炭素型の消費活動が促進されることにより、企業活動へと連関していく流れである。

この連関を促進させるためには、まず消費者の環境適応型行動が促進されなくてはならない。消費者にとって分かりやすく、かつ受け入れられる公平な税体系や仕組みであることが必要である。

3.2 ステークホルダー分析

本節では、本研究で設計する炭素税に関わるステークホルダーを分析する。3.2.1 節では、炭素税対する企業、政府、消費者の要求分析を行う。次に、3.2.2 節では、環境配慮商品に対する消費者行動を分析し、炭素税設計の要求分析を行う。

3.2.1 企業・政府・消費者と社会要求

各ステークホルダーの要求を分析する。本税に関わるステークホルダーを社会における大きくくりで把握するため、政府、企業、消費者の 3 者を対象とする。要求を整理して Fig.3.2 に示す。

四角はステークホルダーを示す。炭素税を中心に、上から、政府、企業、消費者の 3 者が存在する。

政府は社会全体の CO₂ 排出量を削減すること、税収を維持すること、消費者が環境配慮商品を選択するように促すこと、環境配慮型企業の環境技術開発を促進することを

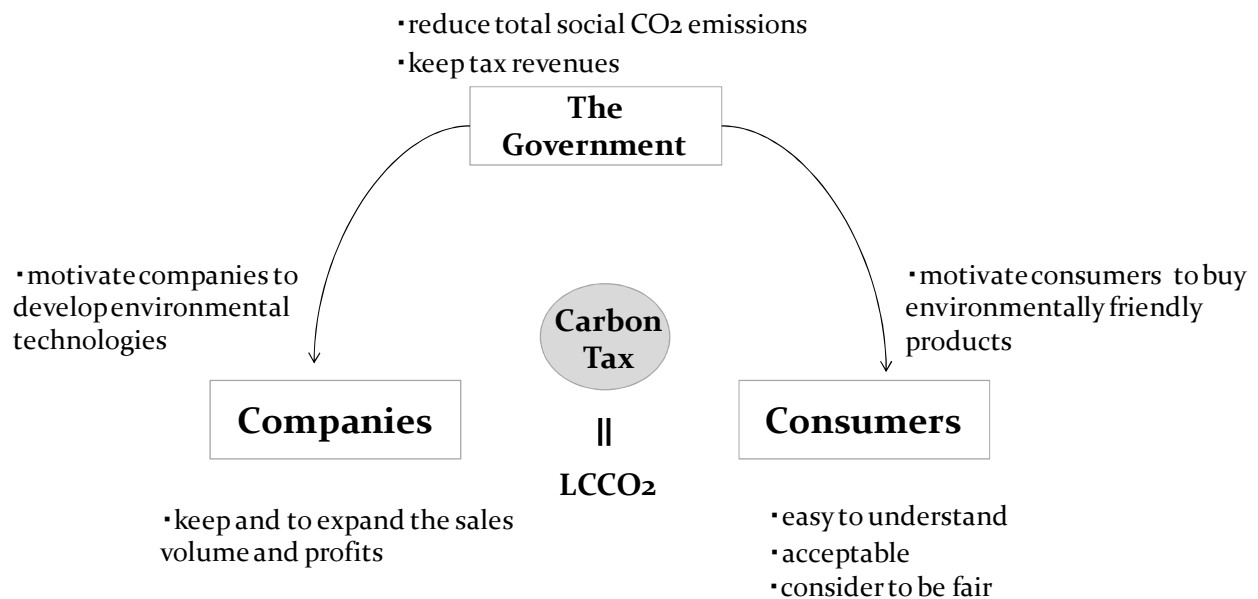


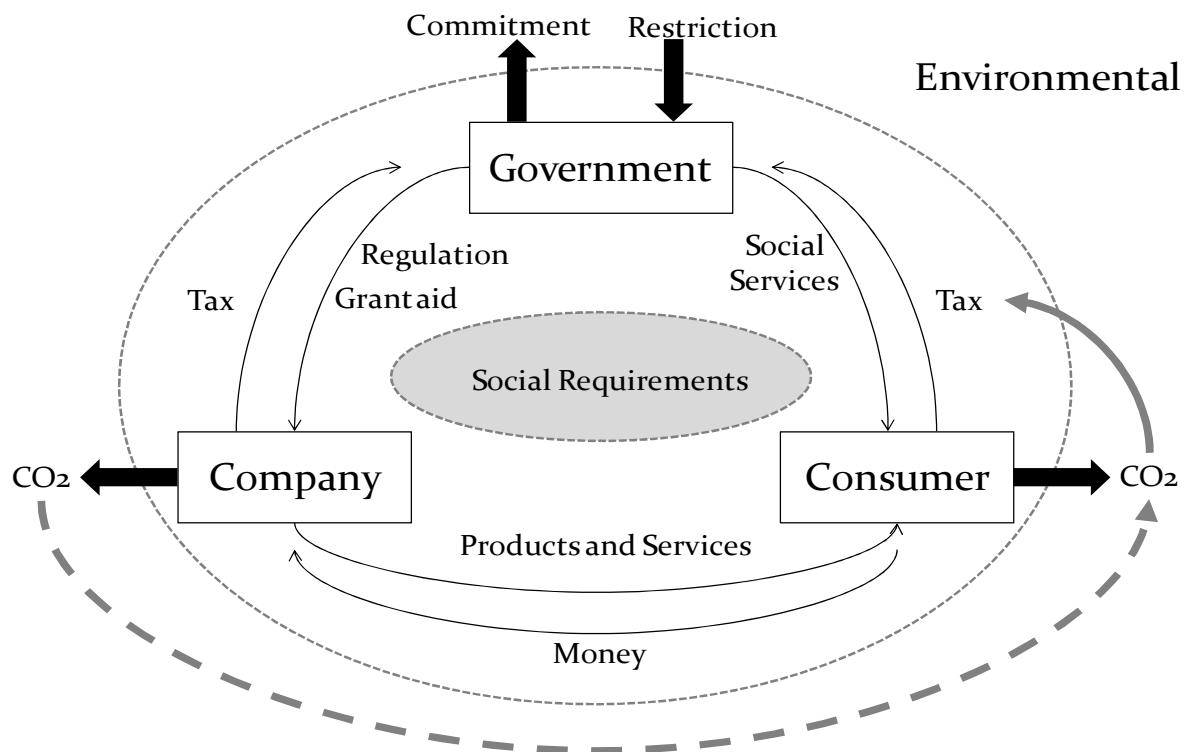
Fig.3.2 Stakeholder and Social Requirements

求める。消費者は課税される炭素税が分かりやすく受け入れやすい仕組みであること、公平であることを求める。企業は販売量や利益が維持拡大されることを求める。

次に、政府、企業、消費者と環境の間の CO₂ 排出を取り巻く価値の流れを Customer Value Chain Analysis[55]を用いて Fig.3.3 に示す。

四角は政府、企業、消費者のステークホルダーを示し、矢印は価値や金銭の流れを示す。ステークホルダーは、Fig.3.2 と同様に、政府、企業、消費者の3者である。

政府は、企業に対して規制や補助金を与える。企業は消費者に対し製品やサービスを提供し、その対価として金銭を支払う。消費者は政府へ税金を支払い、政府からは社会サービスを提供される。

Fig.3.3 Stakeholders and CO₂ Value Chain Analysis

製品やサービスから排出される CO₂ は、消費者の手に渡る前の企業の生産活動においても生じる。本設計では、素材製造段階や製造段階といった生産活動における排出量に対しても、購入時に消費者が炭素税を支払う形をとることとする。

次に、ステークホルダーと社会要求、環境との関係、価値の流れを同様に Customer Value Chain Analysis[55]を用いて Fig.3.4 に示す。

ステークホルダーを四角で表す。登場するステークホルダーは、左上から、排出量削減目標を協議する国際機関（World Council）、各国政府（The Government）、製造メーカ（Manufacturing Company）、エネルギー供給会社（Energy Supplier）、メンテナンス業者（Maintenance Company）及び消費者（Consumer）である。

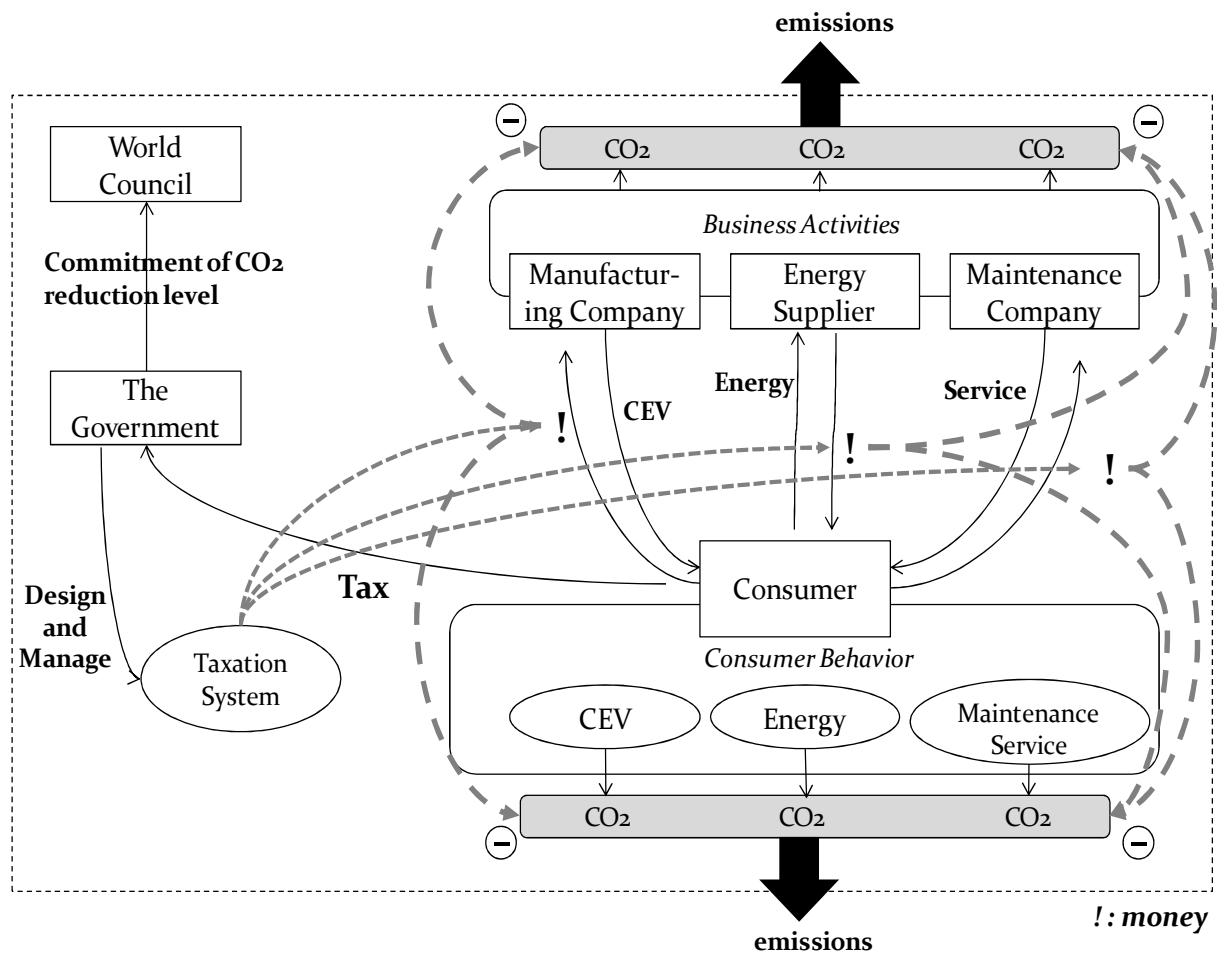


Fig.3.4 Stakeholders and Social Needs Value Chain Analysis

各ステークホルダーをつなぐ矢印は、金銭や商品・サービスの流れを図示している。細い点線は、税システムが支払い額に応じて課税される様子を示し、太い破線は課税された税の効果で CO2 排出量に影響を与える様子を示す。CO2 排出量との間にあるマイナス記号は、排出量が減少する方向に作用することを示す。

本図を左上から説明する。政府は社会要求に応じて国際機関を通じて協議した CO2 排出量目標をコミットする。そのコミットメントを達成するために、政府は税システム (Taxation System) をデザインし運営する。本税は、消費者が財やサービスを購入する

全購買活動に対して環境負荷量に応じて課税される。環境負荷の小さな商品に対してはインセンティブとなるよう少ない課税額が、環境負荷の大きな商品に対しては逆に制約となるよう多い課税額が付与されるため、消費者はより少ない税金になるよう CO2 排出量を意識して行動するようになり、より少ない課税額の商品が選ばれる方向に購買活動が促進される。その結果、消費者からの CO2 排出量が減少する方向に促進される。ここでの CO2 排出量削減方向への影響を、太い破線及びマイナス記号で示す。

さらに、購入時に消費者が LCCO2 の少ない商品を選択するようになると、企業に対して環境技術開発促進のインセンティブが働き、CO2 排出量減少のサイクルがまわることが期待される。本効果による企業からの CO2 排出量削減効果を、同様に破線及びマイナス記号で示す。

本図より、本税が製造メーカーやエネルギー供給会社、メンテナンスサービス業者が提供する CEV のライフサイクルに関わる全てのサービスや財を対象とすること、及び消費者の購買活動に加え、企業活動にも低炭素化のインセンティブとして作用することが確認できる。

3.2.2 消費者行動分析

消費者が環境配慮型商品を選択するプロセスにおける環境負荷と商品価値、消費者の効用との関係を分析する。

まず、商品を選択する際の判断プロセスを次の3段階に分類し、Fig.3.5に示す

- ① 効用に気付く
- ② 効用を理解する
- ③ 価格と効用のバランスにおいて、効用が高いと判断する

第1の「効用に気付く」段階では、機能やデザインはまず目に見えて認識できるため気付きやすい一方で、環境負荷量は環境表示やパンフレット等による説明無しには気づきにくい。また、同じ環境情報でも使用素材やリサイクル材など資源に関する情報は



Fig.3.5 Process of Selecting Environmentally Friendly Products

視覚から情報が入ってくるので気付きやすいが、CO₂ 排出量は商品そのものをいくら眺めても情報を得ることはできない。

第2の「効用を理解する」段階では、気付いた効用を理解する。CO₂ 排出量は定量的には理解できるものの、その効用自体の効果を理解することは易しくはないと予想される。

第3の「価格と効用のバランスにおいて効用が高いと判断する」段階では、効用の強さと価格を天秤にかけて判断する。

効用の判断においては、携帯電話やパソコンなど新機種が頻繁に発売される商品においては新しさが重視され、自動車や医療機器など命にかかわる商品においては安全性や信頼性が重視される例が考えられる。

一方で、環境負荷量は機能や性能に直接影響することが少ない。自動車においては、燃費に関わる機能や環境性能は直接ランニング費用の圧縮に作用するため、強い効用を持つことが予想されるが、コストに影響しない枯渇資源使用量やCO₂ 排出量は消費者が商品を購入、使用段階において消費者行動に作用するタイミングを持ちにくい。

環境負荷量は、プロセス全体を通じて弱い特性が認められた。環境意識と購買活動についてヒアリングを行った際にも、「環境の良いものには興味はあるが、購買の判断基準においては価格が大きく影響する。環境に良いからといってその分価格が高いのでは、選択できない」といった意見が多く聞かれた。本結果より、環境負荷量を効用のみならずコストに直接作用させる炭素税の効果が期待できる。

第 4 章 Problem Definition

4.1 はじめに

本章では，炭素税設計における問題定義として，

- 製造段階 LCCO₂ の重要性 (4.2)
- 走行段階中心の課税からの変更 (4.3)
- インセンティブ政策の基準 (4.4)
- ライフサイクルコストの変化 (4.5)

について述べる．これらは，本設計の特徴となるコンセプトである．特に，4.2 節及び 4.3 節は本研究の新規性にあたる．

4.2 製造段階 LCCO₂ の重要性

CEV は従来のガソリン車 (GV) と比較して次の異なる特徴を持つ．

1 つは，ライフサイクル全体における製造段階の CO₂ 排出量割合の増加である．ハイブリッド車 (HEV) や電気自動車 (EV) などの CEV は従来の GV と比較して，走行段階のエネルギー投入量や CO₂ 排出量が減少し，ライフサイクル全体の環境負荷が小さくなる一方で，ライフサイクル全体の中で製造段階の環境負荷が占める割合が増加する．

加えて，EV や PHEV は製造段階の排出量自体が GV よりも大幅に増加する．これは，素材製造や環境技術の実装において GV よりも環境負荷が大きいこと，及び，ガソリンよりも CO₂ 排出量原単位の低い電気をエネルギー源とすることに起因する[28][31][54]．CEV が普及すると，製造段階の CO₂ 排出量の重要性はより増してくる．Fig.4.1 はプリウスと同クラスの GV の各ライフサイクル段階における LCCO₂ の割合を比較している．トータルでは，プリウス (HEV) は GV より約 43%LCCO₂ が少ない．しかし一方で，

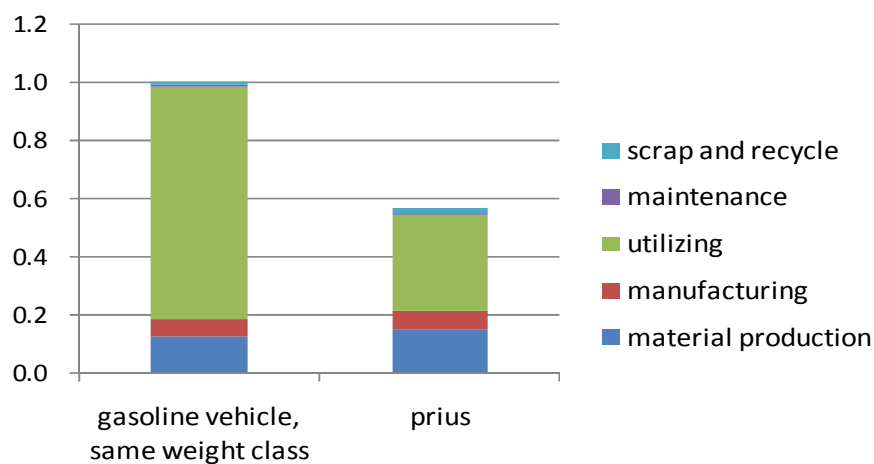


Fig.4.1 Comparison of LCCO2 ‘Prius’ and Gasoline Vehicle (same weight class)[57]

製造段階の CO2 排出量が全体に占める割合は、GV が約 20%なのに対して、プリウス（HEV）は約 40%である[56]。

この特徴は、自動車に限らず他の省エネ製品にも見られる。パナソニックの販売する年代別洗濯機の LCCO2 割合の推移を Fig.4.2 に示す。本図からも、プリウスの例と同様に新機種になるにつれ使用段階の排出量が減る一方で、製造段階の排出量が全体に占める割合が増加しているのが確認できる[58]。

CEV や省エネ家電の全体の環境負荷を適正に評価するには、製造段階の負荷を無視できないことが示唆された。これまでの使用段階のみに注目した評価から、製造段階も含めた評価へのパラダイムシフトが必要である。

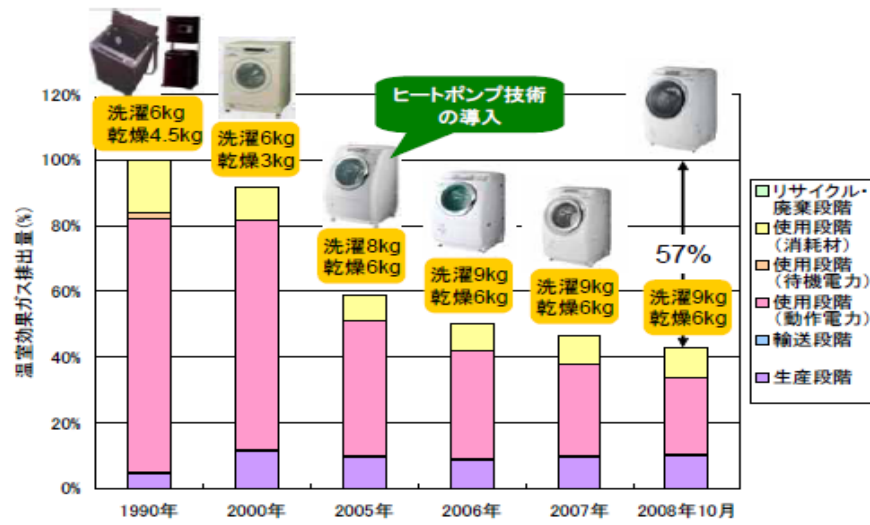
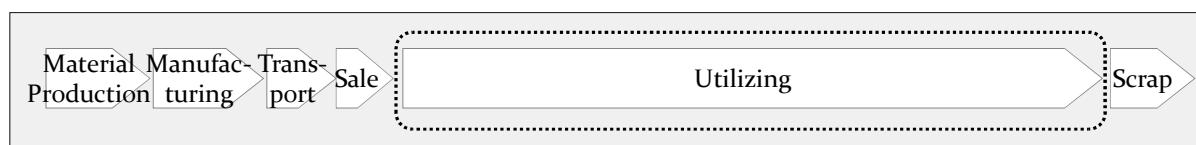
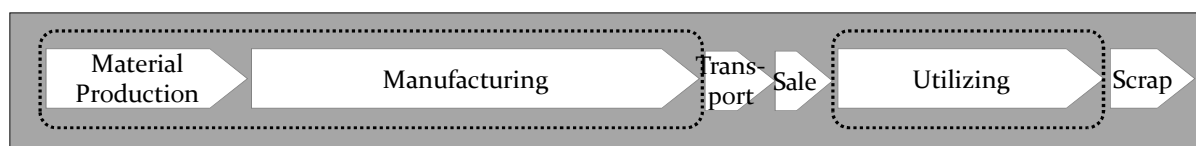


Fig.4.2 Comparison LCCO2 of Wash Machines [58]

AS IS**TO BE**

: Object of Taxation

Fig.4.3 Object of Taxation (AS IS / TO BE)

4.3 走行段階中心の課税からの変更

前節で述べたとおり，走行段階の環境負荷やエネルギー量が圧倒的に大部分を占めた従来の GV と異なり，CEV は製造段階の環境負荷が占める割合が多い。

これまでの走行段階を中心とした，ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）主体の税体系から，製造段階に注目した税体系への変更が必要であると考えられる。

Fig.4.3 に，課税体系の現状（AS IS）と，本研究の税体系（TO BE）を比較して図示する。

本図は，横軸を時間軸に自動車のライフサイクルプロセスを示している．プロセスの長さは，エネルギー投入量，環境負荷及び CO2 排出量の多さを表現し，長いほど量が多いことを示す．点線で囲んでいる部分が，課税対象を示す。

現状（AS IS）の税体系では，従来の GV において走行段階のエネルギー投入量や環境負荷，CO2 排出量が大部分を占めるため，走行段階を対象に課税がされている．燃費の良い車に対して減税されるエコカー減税や，ガソリンに対する租税（揮発油税及び地方揮発油税）がこれに当たる。

しかしながら CEV が普及すると、自動車から排出される CO2 のうち、製造段階に排出される量が増えてくる。走行段階よりも製造段階に排出される量の方が多く、製造段階を無視できない。

従来の走行段階中心の課税は、走行段階の負荷が大部分を占めた GV にとっては効果的であった。しかし、その特徴は CEV には当てはまらない。

製造段階も含めたライフサイクル全体の排出量を対象にすることで、トータルの排出量を適正に反映した課税が可能となる。

4.4 インセンティブ政策の基準

本節では、環境配慮商品に対するインセンティブ政策を分析する。

消費者が商品を検討する際、購入するかどうか、そのサービスに代価を払うかは、価格と効用のバランスで判断される。効用とは、消費者が感じる商品価値を構成する要素の集合体を指す。機能や性能、デザイン性、新しさ、ブランド、利便性などが含まれる。

そこで、環境配慮商品において、補助金やエコ減税、環境ラベルなどの環境政策や消費者の環境意識が、商品価値に与える影響を分析し、Fig.4.4 に示す。

本図は、商品価値を価格と効用に分け、それぞれに対して作用する環境政策、消費者意識を線で結んでいる。商品価値を上げる方向に作用する場合はプラス、下げる方向に作用する場合はマイナスの丸でつないでいる。例えば、エコポイントや補助金は商品価格を安くし、商品の価値を上げる方向に作用するためマイナス記号で示している。

さらに、楕円にそれぞれの政策のインセンティブの基準となる指標を示し、関連する政策と線でつないで図示する。

現行 (AS IS) では、コストに影響を与える政策として、環境税 (海外)、エコポイント、補助金、減税政策がある。

エコポイント、補助金、エコ減税は環境配慮商品へのインセンティブとして価格を下げる政策である。環境税 (海外) は価格に上乗せされるためマイナスで作用し、エコポイント、補助金、減税策は価格を下げるためプラスで作用する。

環境ラベル、環境意識は効用に対してプラスにもマイナスにも作用する。

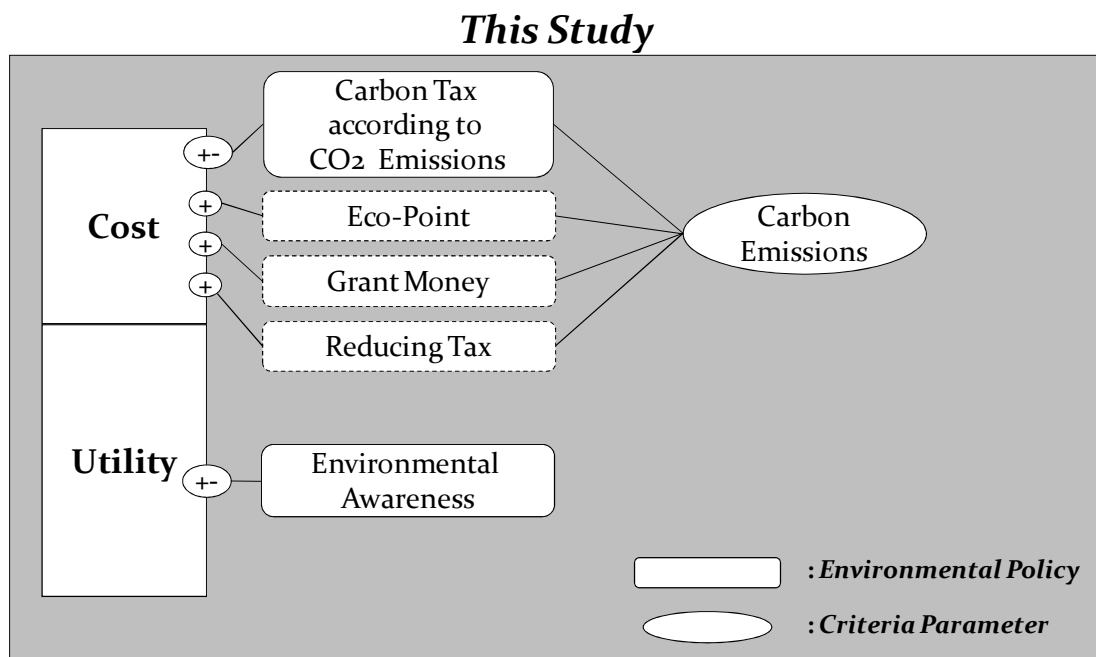
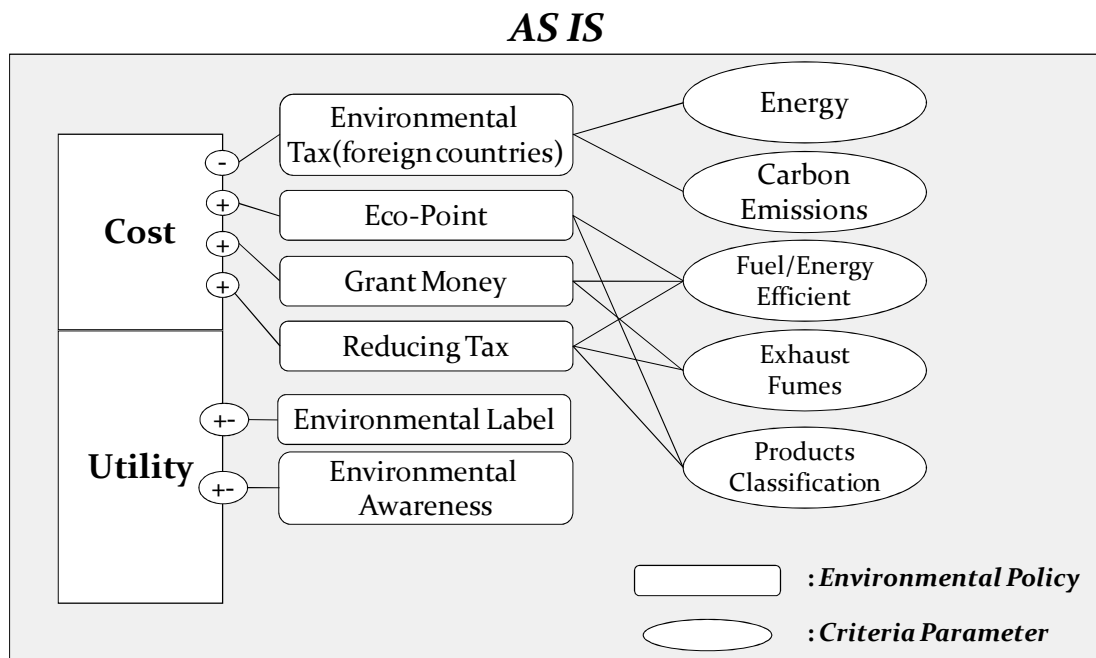


Fig.4.4 Product Value with Environmental Policies

次に、現行（AS IS）の環境政策の基準となる指標を見る。諸外国の環境税は、エネルギーや CO₂ 排出量を基準に課税される。エコポイントは、省エネ性能や省エネ家電といった商品分類で対象が決められている。補助金は、自動車为例にとると、車種と条件が決められており、条件は、排出ガス性能や燃費基準による。

減税も同様にエコカー減税を例にとると、ハイブリッド車を指定するパワートレイン基準、燃費基準、排出ガス基準がある。

一方、本研究で設計する炭素税は、各ライフサイクルの CO₂ 排出量に応じて課税される。環境負荷の少ない商品には少ない課税が、負荷の多い商品にはその分多くの課税額が課されるため、プラスにもマイナスにも作用することを示している。

現行との大きな違いは、これまで複数の基準で行われていた補助金や減税策を、CO₂ 排出量という単一の指標で課税する点である。

なお、本設計では図中のエコポイント、補助金、減税は検討の対象外とする。

4.5 ライフサイクルコストの変化

GV と CEV は、ライフサイクル各段階におけるコスト（LCC）が変化する。

HEV は、従来の GV より燃費が良いため GV と比べて走行段階のコストは低く抑えられる。電気をエネルギー源とする電気自動車（EV）やプラグインハイブリッド車（PHEV）においては、現在エネルギー当たりの単価がガソリンと比較して安価な電気をエネルギー源とするため、さらに走行段階のコストが抑えられる。

また、メンテナンス・維持段階のコストも変化する¹。あるディーラーでは、HEV は、GV と比較して車検の基本料金が高く設定されている[59]。一方で EV は、GV や HEV と比較して部品点数が少なくシンプルなアーキテクチャ構造を持つため、検査費用は安く抑えられると考えられる。

このように、CEV は車種ごとにエネルギー源や、システム構成、アーキテクチャの特徴により、各ライフサイクルにおけるコストが変化する。

¹ LCC の変化は、6.2 節で詳しく述べる。

コスト効率は、消費者が商品を選択する際に非常に重要な要素である。消費者はライフサイクル全体のコスト効率を検討して購入する商品を選ぶ。

しかし、現在行われているエコカー減税や補助金は、主に購入時のコストに対して与えられる体系であり、さらに燃費や走行時の CO2 排出量等の走行段階に着目した税体系である。

CEV の特徴である製造段階の環境負荷や各段階のライフサイクルコストの変化については考慮されていない。

次節以降では、本章で問題定義をした4点を本税の最大のコンセプトとして炭素税の設計を行う。

第 5 章 Conceptual Architecture

5.1 炭素税の設計方針

本研究で設計する炭素税は、財源としては社会財源としての機能を継続させるのみに留め、社会全体の CO₂ 排出量を削減するという施策の実行手段としての機能を持たせることを主眼とする。現行の自動車関連税制のうち、エネルギーに対して課税されているガソリン税（揮発油税・及び地方揮発油税）を本税に置き換える前提で設計を行う。

本税のコンセプトとして、現在と同程度の課税負担額を維持し、かつ環境負荷量が高い商品にはインセンティブとなり、逆に負荷が高い商品では制約となるような税率を検討する。

課税負担額を現在と同程度に維持することは、環境省の環境税の具体案（2008 年 11 月）の中でもトータルで見ても極力増税とならないよう併せてエコ商品の減税を進めることとして要望されている[8]。

税は、製造段階を含む LCCO₂ にある税率を乗じて課税する。前提となる CO₂ 排出量は、LCA を用いて分析する。さらにその税率が消費者行動のインセンティブや制約となるよう LCC 分析を行いライフサイクル全体の消費者負担コストを勘案しながら税率を検討する。

5.2 対象 CEV の定義

対象 CEV は、ガソリン車（GV）、ハイブリッド車（HEV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、電気自動車（EV）とする。排気量は 1500cc、10 万 km 走行、10 年使用を想定する。

なお、PHEV については公開されているデータが少なく値のばらつきも大きかったため、LCCO₂ 及びコストを HEV と EV の中間値と仮定して推計した。

5.3 炭素税設計のフレームワーク

5.3.1 フレームワーク

Fig.5.1 に本研究における炭素税設計のフレームワークを示す。

本フレームワークは、複数のシナリオと LCCO₂ 及び LCC のインベントリデータベースで構成される。

左上から説明する。本フレームワークは 2 つのシナリオと、総走行距離、評価指標の 2 つのパラメータを有する。自動車の走行距離を設定する Driving Distance、車両や電池の価格に関するプライスシナリオ、CEV の普及予測に用いる、保有台数及び新車販売台数シナリオ、最後が設計した税を評価する評価指標である。

評価指標は、図中に塗色した四角で示す、

- 消費者の課税負担額
- 課税後の LCC
- 税収
- 乗用車からの CO₂ 総排出量

がある。

次に図中央上部からプロセスに沿って、フレームワークを説明する。

まず、CEV の車種を選択する。本研究においては EV, PHEV, HEV, GV が対象である。次に車種のクラスを選択する。本研究では 1500cc を対象としている。

そこから左の分岐に移る。LCCO₂ 評価では、各車種の LCCO₂ を LCCO₂ インベントリデータベースを用いて推計する。求めた LCCO₂ に対して、ある税率を乗じて課税額を決定する。CEV の LCC が優位性を持つ CEV 優遇税率をデザインする。

次に、LCCO₂ 評価の次の一番左の分岐を説明する。CEV 毎の LCCO₂ に、CEV 新車販売台数・普及台数シナリオによる CEV 台数を乗じて、乗用車からの CO₂ 総排出量を計算する。

第 5 章 Conceptual Architecture

課税負担額の次は、3 つに分岐している。左の分岐は、CEV 新車販売台数・普及台数シナリオによる CEV 台数を乗じて税金を計算する。右の分岐は、課税負担額を LCC に加算し、課税後の LCC を計算する。

プロセスの最後は、図中の下部に示す評価である。評価指標は、前述の通り塗色した四角に示した、①消費者の課税負担額、②課税後の LCC、③税金、④乗用車からの CO2 総排出量の 4 つがある。これらの評価指標を用いて、デザインした CEV 優遇税率を多角的に評価する。

設計した炭素税率を、複数の評価指標から評価する点、及び評価指標をフレームワークとして見える化する点が、本フレームワークの特徴である。

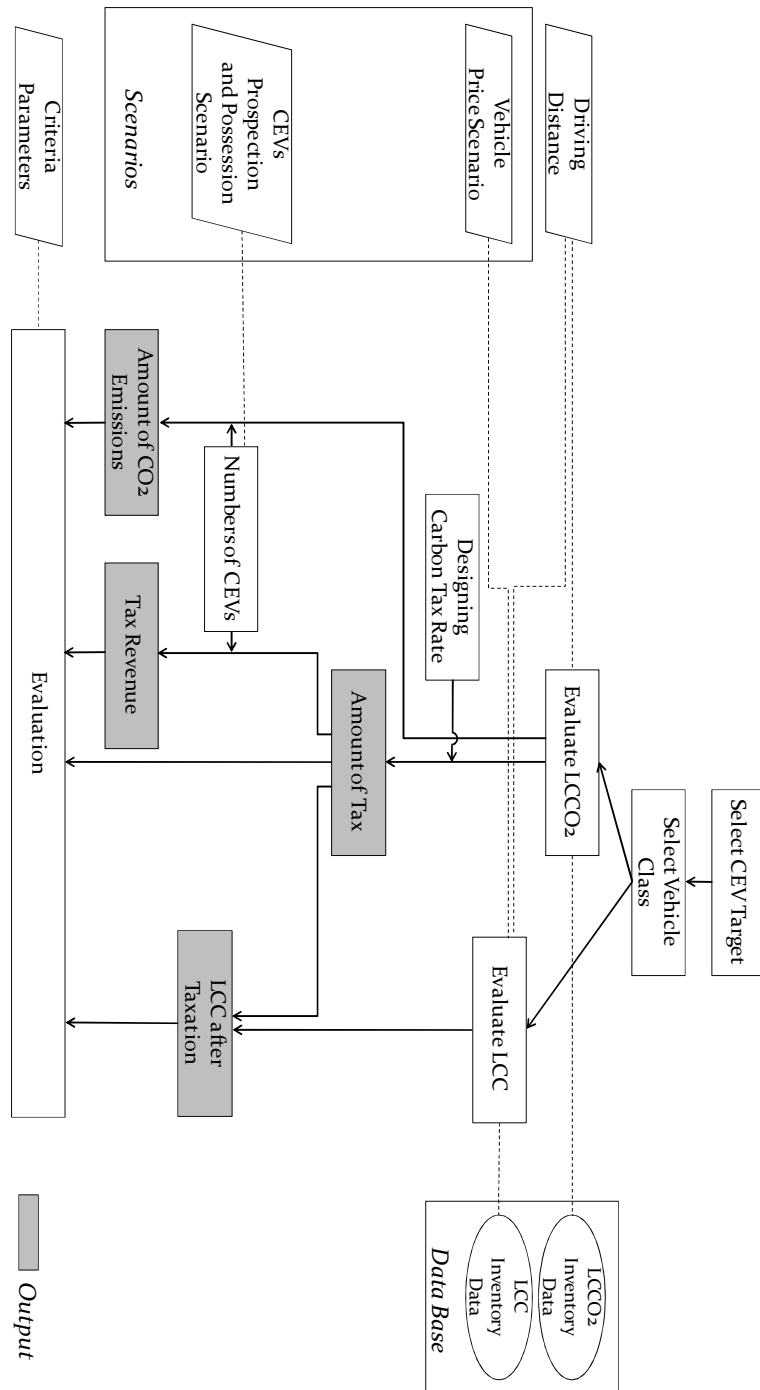


Fig.5.1 Framework of Designing Carbon Taxation

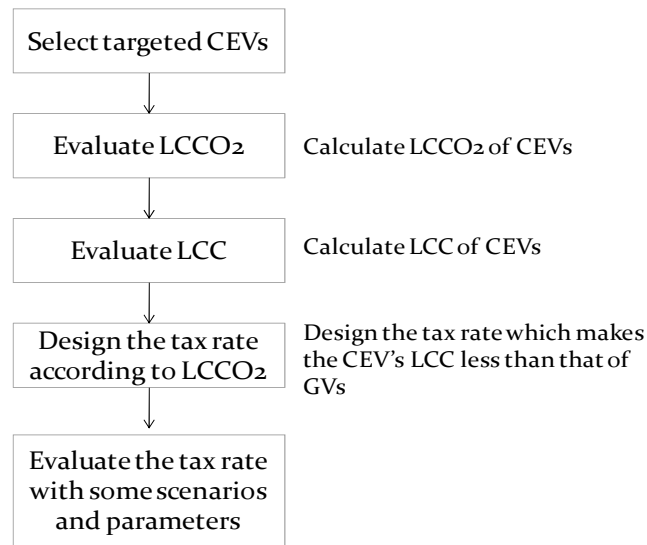


Fig.5.2 Designing Taxation Steps

5.3.2 設計手順

次に、フレームワークを元に設計手順の大まかな流れを簡略化して Fig.5.2 に示す。

まずターゲットとする CEV を選択する。本稿では、EV、HEV、PHEV 及び GV を対象とする。次に、各 CEV を LCCO₂ と LCC の観点から評価を行う。

次に LCCO₂ に乗じて賦課する税率を検討する。税率は、CEV の LCC が GV より小さくなること、すなわち LCC が逆転するよう設計する。CEV の LCC が小さい、CEV 購入のインセンティブとなる本税率を、CEV 優遇税率と名付ける。

最後に設計した税率を①消費者の課税負担額、②課税後の LCC、③税込、④乗用車からの CO₂ 総排出量の 4 つの評価指標を用いて評価する。

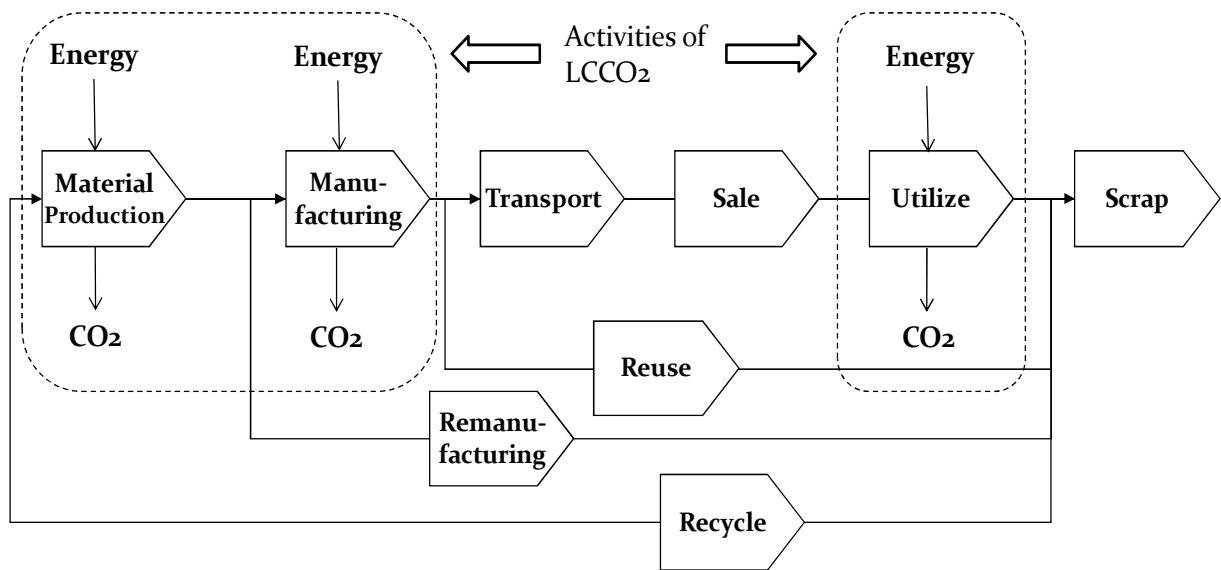


Fig.5.3 Activities of LCCO2

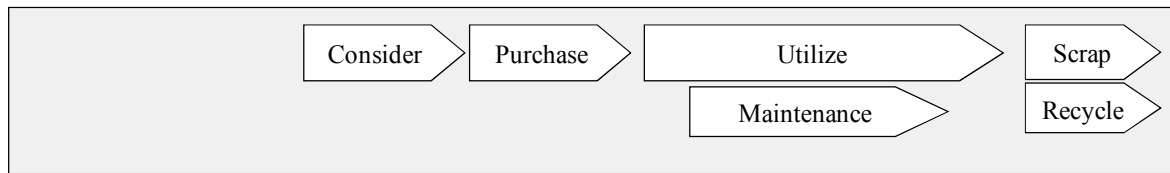
5.3.3 LCCO2 評価

LCCO2 分析が対象とするプロセスを Fig.5.3 に図示する．本図は，自動車のライフサイクルプロセスを示す．左から，素材製造，製造，運輸，販売，使用，廃棄段階を示す．その下に，商品を再利用するリユース，部品や一部のコンポーネントを再利用するリマニュファクチャリング，素材を再利用するリサイクルの 3R プロセスを示す．

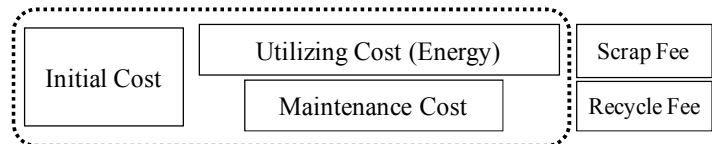
プロセスに対する上からの矢印は，投入されるエネルギーを，下への矢印は排出される CO2 を示す．このエネルギーのインプットと，CO2 のアウトプットは全プロセスに共通するが，簡略化のため素材製造段階，製造段階，使用段階以外は省略している．

本設計で評価する LCCO2 は，ライフサイクル全体のうち次の 3 つのステージを対象とする．対象は Fig.5.3 の枠線で示す通り CEV 固有の製造段階と従来重視されてきた走行段階を含む①素材製造段階，②製造段階，③使用段階の 3 つとする．なお，本稿に

Consumer Behavior



Life Cycle Cost



Products Lifecycle

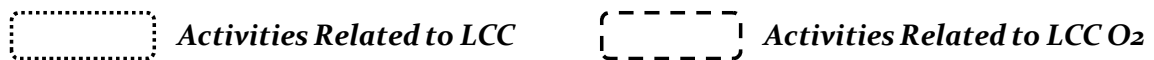
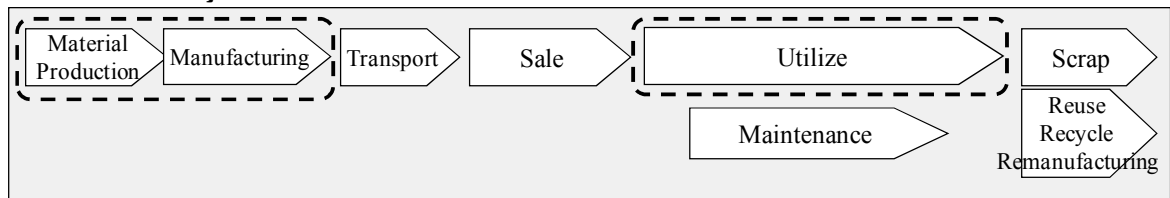


Fig.5.4 Activities of LCC and LCCO₂

においては特に区別して記載しない場合は，素材製造段階と製造段階を合わせて製造段階と記す．

5.3.4 LCC 評価

LCC 分析で対象とするプロセスを Fig.5.4 の中央部分に示す．LCC 分析では，購入から廃棄までのライフサイクルを通じて消費者が負担するコストを分析する．

コストはイニシャルコスト，ランニングコスト（エネルギー），メンテナンスコスト，廃棄コスト，リサイクルコストに分類した．購入コスト，燃料や充電代のランニングコストに加え，本研究ではメンテナンス・維持コストも分析対象に加える．廃棄コストとリサイクルコストは対象外とする．

5.3.5 CEV 優遇税率のデザイン

現在と同程度の課税負担額を維持し、かつ環境負荷量が低い商品にはインセンティブとなり、逆に高い商品には制約となるような税率を設計する．具体的には、LCCO₂ の結果を元に、LCCO₂ 量に税率を乗じた額を課税するとし、CEV の LCC が課税後に GV より小さくなる税率、すなわち LCC が逆転する CEV 優遇税率をデザインする．

第 6 章 Analysis

6.1 LCCO₂ 評価

本節では，税設計の前提となる CEV 毎の CO₂ 排出量を先行研究のライフサイクルインベントリデータを用いて推計する．

6.1.1 製造段階 CO₂ 排出量

製造段階の LCCO₂ を先行研究より参照し Table6.1 に示す[56]．HEV の製造段階はデータが公表されていないため，先行研究で言及されている GV の 1.1 倍で推計した[35]．

HEV の製造段階 LCA は，詳細の部品データが公表されていないため積み上げ法による評価事例は無く，GV 製造時に対して 1.1 倍[35]や 1.2 倍[36]と試算されている．

最新の事例では，トヨタ自動車が“プリウス（HEV）”[57]と“シビック（HEV）”[60]の製造段階 LCA を同クラスのガソリン車と比較した指数グラフを公開している．グラフより，プリウスの製造段階 CO₂ 排出量は，同クラスガソリン車と比較して約 1.14 倍，シビック（HEV）の製造段階 CO₂ 排出量は，約 1.09 倍と読みとれた．

よって本研究では，HEV の製造段階の CO₂ 排出量は GV の 1.2 倍[36]ではなく，1.1 倍[35]を採用した．

製造段階の CO₂ 排出量は，EV が最も多く 9,200[kg-CO₂]，PHEV 6,855[kg-CO₂]，HEV 4,510[kg-CO₂]と続き GV が 4,100[kg-CO₂]と最も少ない．EV と GV では約 2.2 倍の差がある．

CEV が GV と比較して多いのは，製造段階において，環境技術の実装やレアメタル等の素材製造時の排出量が多いことに起因する．特に，EV の製造段階 CO₂ 排出量の多さについて文献[56]は，リチウムイオン電池製造段階の負荷が大きいと分析している．

Table 6.1

LCCO₂ in the Manufacturing and Utilizing Phases [kg-CO₂]

	Manufacturing	Utilizing	Total
EV	9,200	4,775	13,975
PHEV	6,855	8,500	15,355
HEV	4,510	12,225	16,735
GV	4,100	19,050	23,150

Manufacturing phase: quotation from [56]

Utilizing phase: supposition by author as hundred thousand km from [30]

EV: lithium-ion rechargeable battery

6.1.2 走行段階 CO₂ 排出量

Table 6.1 に、前章で定義した 10 万 km 走行時の CO₂ 排出量を示す[30]. 本データは EV と PHEV に使用する電力の発電電源構成が、日本の平均電源構成として計算されている.

走行段階においては、製造段階とは逆に EV が最も少ない. GV 19,050[kg-CO₂], HEV 12,225[kg-CO₂], PHEV 8,500[kg-CO₂], EV 4,775[kg-CO₂]と続く. 電気をエネルギー源とする EV, PHEV の排出量が大幅に少ないことが分かる. 特に EV は, GV と比較すると約 4 分の 1 もの少なさである.

ここで、電気とガソリンの発熱量及び CO₂ 排出原単位を Table6.2 に示す[88]. 本表は、エネルギー源別の発熱量と CO₂ 排出原単位を示している. 原子力発電, 太陽光発電, 風力発電は建設費込みの値を示す. また, 原子力発電, 太陽光発電, 風力発電は LHV 値, それ以外は HHV 値を示している.

1[MJ]あたりの CO₂ 排出係数を比較すると、最も少ないのが原子力発電の 6.5[g-CO₂/MJ]で、国内発電平均は 98.1[g-CO₂/MJ], 国内夜間発電平均は 85.6[g-CO₂/MJ]であ

Table 6.2

発熱量及び CO2 排出原単位

	単位換算値		単位	発熱量 HHV LHV	単位	HHV LHV	CO2 排出係数	
	単位	値					単位	値
ガソリン	kg/l	0.733	MJ/l	34.6	g-CO2/MJ	67.1	kg-CO2/MJ	3.17
国内発電 平均	—	—	MJ/kWh		g-CO2/MJ	98.1	kg- CO2/kWh	
国内夜間発 電平均	—	—	MJ/kWh		g-CO2/MJ	85.6	kg- CO2/kWh	
国内火力発 電平均	—	—	MJ/kWh	9.08	g-CO2/MJ	166.0	kg- CO2/kWh	0.597
石炭発電	—	—	MJ/kWh	9.10	g-CO2/MJ	246.0	kg- CO2/kWh	0.887
原子力発電	—	—	MJ/kWh		g-CO2/MJ	6.50	kg- CO2/kWh	
太陽光発電	—	—	MJ/kWh		g-CO2/MJ	14.8	kg- CO2/kWh	
風力発電	—	—	MJ/kWh		g-CO2/MJ	8.19	kg- CO2/kWh	

Refer from [88]

*原子力発電，太陽光発電，風力発電は建設費込みの値を示す

*原子力発電，太陽光発電，風力発電は LHV 値，それ以外は HHV 値を示す

る．同じ電気をエネルギー源とする場合も，電源構成により CO2 排出係数が大きくこと
 となることが確認できる．

6.1.3 LCCO2 評価

Table 6.1 に，製造段階と走行段階の CO2 排出量合計値を示す．トータルでは，EV
 の走行段階の排出量の少なさが効いて EV の排出量が最も少ないことが確認できる．合

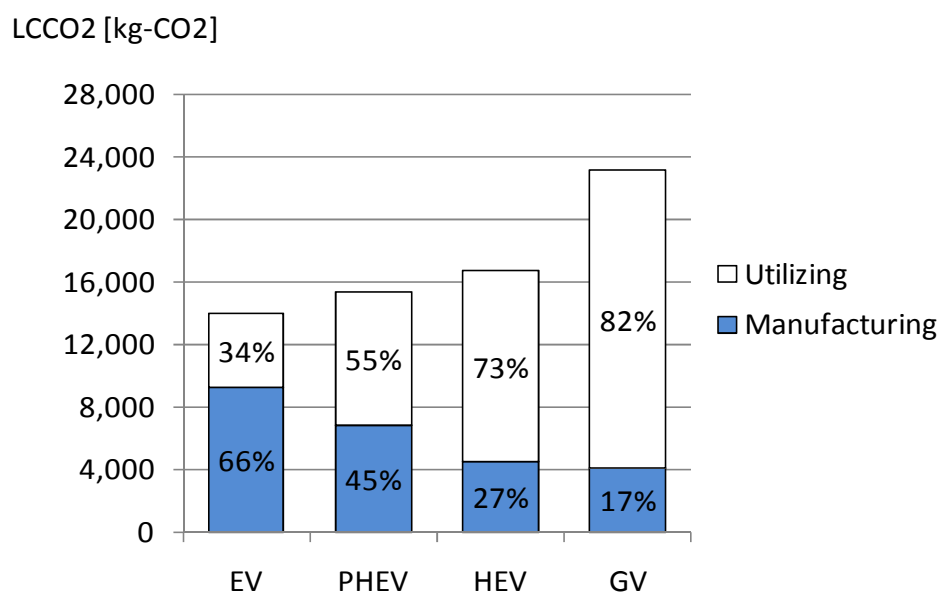


Fig.6.1 LCCO2 of CEVs

計の排出量は、EV 13,975[kg-CO2]が最も少なく、次いで PHEV 15,355[kg-CO2], HEV 16,735[kg-CO2], GV 23,150[kg-CO2]である。CEV と GV との差は、EV が約 1.7 倍、HEV が約 1.4 倍、PHEV が 1.5 倍である。

次に、製造段階と走行段階の排出量の割合の特徴を分析する。Table 6.1 の CEV 別の LCCO2 数値を Fig.6.1 にグラフ化し図示する。

本グラフは、各 CEV の製造段階と走行段階の CO2 排出量を示している。グラフ内のラベルは、全体の LCCO2 量に対して、製造段階と走行段階の排出量が占める割合を示している。

EV, PHEV, HEV の CEV は、トータルの CO2 排出量が少ない一方で、製造段階の排出量が全体に占める割合が大きくなっている。GV の製造段階 CO2 排出量が全体の 17%なのに対し、全ての CEV において製造段階が占める割合は増加していることがわかる。最も大きい EV は全体の 66%, PHEV は 45%, HEV は 27%を占める。

さらに、今後新エネルギーの導入が進み、電源構成の変化によって電気の発電時の CO2 排出原単位がさらに小さくなることにより、この傾向は一層強まることが予想される。

6.2 LCC 評価

本節では、税設計の前提となる CEV 毎のライフサイクルコスト（LCC）を先行研究のライフサイクルインベントリデータを用いて推計する。

6.2.1 イニシャルコスト・走行段階コスト

自動車のライフサイクルコストの特徴として、販売価格が高価なこととガソリンや充電の為にエネルギーコストが大きいことがある。これはどの車種にも共通している。

しかし、パワートレインをはじめとするシステム構造の違いにより、CEV ごとにそれぞれのライフステージにおけるコストの内訳の特徴が異なっている。

車両コストとランニングコストについては多くの研究がなされている[42][43][48][63]。

GV、HEV、EV、燃料電池車（FCV）の 4 種の CEV を、経済面と環境面両面の指標を用いて分析した先行研究[48]は、コストの低さを次のように評価している。車両コストは GV が最も評価が高くコストが安く、次いで HEV、大きく離れて EV、FCV の順である。一方、燃料コストは EV が最もコストが安く評価が高い。次いでほぼ同値で FCV と HEV と続き、GV は最も評価が低い。

本研究では、各 CEV のイニシャルコスト（購入価格）を現在販売されている市場価格から Table 6.3 のように定義した。

GV のイニシャルコストは、カローラ 1NZ-FE タイプ（排気量：1500cc）140 万円[64]の販売価格（消費税抜）とした。

Table 6.3

Initial and Utilizing Costs of CEVs [yen]

	Initial Cost	Utilizing Cost
EV	3,400,000	564,385
PHEV	2,700,250	637,534
HEV1	2,194,000	710,682
HEV2	1,807,000	710,682
GV	1,400,000	1,131,290

Initial costs: assumption by the author using [64]-[69]

Utilizing cost: supposition by the author from [30][62]

HEV は、イニシャルコストの異なる HEV1 と HEV2 の 2 種類を設定する。

HEV1 のイニシャルコストは、排気量の異なるプレミオの価格[65]差からプリウスの価格[62]を補正して推計した。具体的には、プレミオ 2ZR-FE（排気量：1797L）の価格 181 万円を 1NZ-FE（排気量：1496L）の価格 167 万円で除した値に、プリウス L タイプ（排気量：1797L）の価格 195.2 万円[66]を乗じて計算した。

HEV2 のイニシャルコストは、排気量の異なるフィットの価格[67]差からインサイトの価格[64]を補正して推計した。具体的には、フィット 1.3G（FFCVT）（排気量：1339cc）の価格 114 万円を 1.5X（FF）（排気量：1500cc）の価格 139 万円で除した値に、インサイト G タイプ（排気量：1339cc）180 万円[68]を乗じて計算した。

EV は、GV の価格に電池コスト 200 万円を加算した 340 万円、PHEV は前述の定義の通り EV と HEV の中間値として、EV と HEV1 及び HEV2 の平均値の中間値と定義した。

走行段階のランニング費用（ガソリン、及び電気代）は、1km 走行当りの一次エネルギー投入量[30]、及び 2007 年のエネルギー価格（エネルギー源別小口・小売価格）[62]を乗じて推計し、エネルギー価格の時間変化に関しては考慮の対象外とした。

イニシャルコストは、EV が 340.0 万円と最も高い。次いで、PHEV : 270 万円、HEV2 : 219.4 万円、HEV1 : 180.7 万円、GV : 140 万円と続く。EV のイニシャルコストは、GV の約 2.4 倍である。高い電池コストと普及フェーズに入る前である EV が最も高い。

一方、走行段階のコストはイニシャルコストの特徴と逆転する。GV が抜きん出て高く EV の約 2 倍である。安い順に、EV : 56.4 万円、次いで、PHEV : 63.7 万円、HEV : 71.0 万円、GV : 113.1 万円と続く。

走行段階コストの大小は、CO₂ 排出量と同様に何をエネルギー源とするかに依存する。化石燃料と比較して電気コストは低い傾向を持つ。さらに電気は、発電時の電源構成によってコストが異なる。発電コストの低い夜間電力や、余剰電力を用いて充電すればコストは低くなるし、車両自体に搭載された太陽パネルを用いた自家発電により一層コストを抑えることも可能であると考えられる。

本研究では、電気単価を全日平均の価格で推計しているが、安価な夜間電力や余剰電力、原子力発電を使用すれば、EV 及び PHEV の走行段階コストはより低くなる。また、太陽光パネル、蓄電池の普及により、電力需要の変化や価格改定、スマートグリッドをはじめとする電力供給システムの変化が起きるとの予測もあり、EV 及び PHEV のランニング費用はさらに下がる可能性があると考えられる。

6.2.2 メンテナンス・維持段階コスト

次に、メンテナンス・維持段階のコストを分析する。次の 3 つ観点から CEV 毎のメンテナンス・維持段階のコストを計算した。

- ① 車両点検・検査・部品交換コスト
- ② 修理コスト
- ③ 電池交換コスト

- ① 車両点検・検査・部品交換コスト

日本では「道路運送車両法」により車両の定期点検が義務付けられている。点検を受ける方法はいくつかあるが、あるディーラーが提供する車検サービスにおいて、HEVの方がGVより高い料金で提供されている。同車種「エスティマ」の車検基本料金で比較すると、HEVはGVの約1.5倍の料金である[59]。

これは、HEVがモータとエンジン両方を備える構造であることや、複雑なアーキテクチャ、部品点数の多さにより検査項目が増えること、メンテナンス対象部品が増えること、手間が増えることに起因すると考えられる。PHEVも同様な仕組みを持つため、点検・検査コストはHEVと同程度であると予想される。

一方で、EVはモータのみを搭載し、シンプルなアーキテクチャを持つ。部品点数も少ない。一般的には部品点数はGVの3分の1であるといわれる。これらの特徴により、GVやHEVと比較して点検・検査コストが低いことが予想される。EVのコストを分析した先行研究では、EVはオイル交換やオイルフィルターが必要無いことから、メンテナンスコストが低くなると言及されている[70]。さらに文献[42]は、EVは部品点数の少なさや電気部品の特徴によって長期間メンテナンスフリーとなり、GVよりも20%メンテナンスコストが低くなる指摘している。

そこで本研究では、これらの数字をもとに、各CEVの車両点検・検査コストを次に示す割合で定義する[42][59][70]。HEV及びPHEVは、車検基本料金の比較からGVの1.5倍[59]、EVは0.8倍[42]、PEHVは前述の通りHEV同程度と定義した。

$$EV : HEV : PHEV : GV = 0.8 : 1.5 : 1.5 : 1.0 \quad \text{.....<1>}$$

② 修理コスト

有識者へのヒアリングによると、トヨタ自動車の販売する“プリウス”の故障割合が従来のGVと同程度であるとされている。よって、本研究ではCEV毎に修理に必要なコストに差は無いと定義する。

Table 6.4

Maintenance Cost of CEVs [yen]

	Inspection, Testing Cost	Tire Replacement Cost(2.38times)	Total
EV	176,000	76,160	252,160
PHEV	330,000	76,160	406,160
HEV1	330,000	76,160	406,160
HEV2	330,000	76,160	406,160
GV	220,000	76,160	296,160

Inspection, testing: assumption by author using [42][59][63][70]

Inspection, testing costs are including replacement cost except tire.

③ 電池交換コスト

EV や PHEV に搭載される電池は、車両コストの中で大部分を占める。PHEV 用蓄電池の日米での開発目標において、電池寿命の目標値が日本（NEDO）：10 年、米国（USABC）15 年と設定されている[71]ことや、10 年 15 万マイルの目標が公表されていることから、10 年、10 万 km を想定する本研究においては電池の交換コストは発生しないものとする。ただし、日本で言われるこの寿命目標が諸外国においても一般的であるかは注意が必要である。

①②③より推計した、検査・点検・メンテナンスコストの金額と内訳を Table 6.4 に示す。

メンテナンスコストは、HEV の LCC 分析で示された金額[63]を元に<1>の割合を乗じて推計した。タイヤの交換回数、コストは車両の重量によるとの先行研究から、同クラスの 1500cc を想定する本研究においては、共通であると仮定した。

検査・点検・メンテナンスの合計コストは、HEV と PHEV が同額で最も多く 406,160[yen]、GV が 296,160[yen]、EV が 259,493[yen]となった。

GV と比較すると、EV は約 0.9 倍、HEV と PHEV は約 1.4 倍である。CEV の中で EV が安い一方で、HEV と PHEV は GV よりも高いという二極化が起きているというのが特徴的である。これは HEV 及び PHEV がモータとエンジン両方を備える複雑なシステムである一方で、EV はコンポーネント化によりシンプルなこと、部品点数が大幅に少ない特徴による。

ひとえに環境配慮型商品といっても、搭載技術やシステム特性によってメンテナンス・維持段階のコストが占める割合が異なることが分かる。

メンテナンスや検査・点検の具体的作業は、一般的には消費者に見えにくいことが多い。同様に商品のアーキテクチャの構造や部品点数を気にして、商品を選択する消費者は少ないことが予想される。

一般的に消費者は、省エネ商品をはじめとする環境配慮型商品に対して、使用段階の環境負荷やコストが低い商品というイメージを持っている。また、省エネ家電については環境技術が進むほど、環境負荷やコストが下がってくるというのが通例だ。しかし、CEV はパワートレインの異なるシステムを有するため、新しい技術の CEV がメンテナンス・維持段階の負荷やコストが小さいとは一概に言えない。CEV においてはメンテナンス・維持コストを考慮することが望まれる。

Table 6.5

LCC of CEVs [yen]

	Initial Cost	Utilizing Cost	Maintenance Cost	Total
EV	3,400,000	564,385	252,160	4,216,545
PHEV	2,700,250	637,534	406,160	3,743,944
HEV1	2,194,000	710,682	406,160	3,310,842
HEV2	1,807,000	710,682	406,160	2,923,842
GV	1,400,000	1,131,290	296,160	2,827,450

Initial cost : assumption by the authors using [64]-[69]

Utilizing cost : supposition by the authors from [30][62]

Maintenance cost : supposition by the authors from [42][59][63][70]

次に、イニシャルコスト、ランニングコスト、メンテナンスコストを併せた LCC 全体を Table 6.5 に示す。

トータルコストは、EV が最も高く 421.6 万円、PHEV : 374.3 万円、HEV2 : 331.0 万円、HEV1 : 292.3 万円、GV : 282.7 万円の順である。イニシャルコストが突出して高い EV は、走行段階コストやメンテナンスコストが最も低いとその差を吸収しきれず高いトータルコストとなった。これは、GV の約 1.5 倍である。

一方、HEV と GV のトータルコストは均衡している。これは、イニシャルコストにおいて差が小さいため、HEV の走行段階コストの小ささがトータルコストの差を埋めた形である。しかし、同じ HEV でもイニシャルコストが違う分、GV との差は異なる。HEV1 と GV とのトータルコスト差は 9.6 万円だが、HEV2 との差は 48 万円であった。

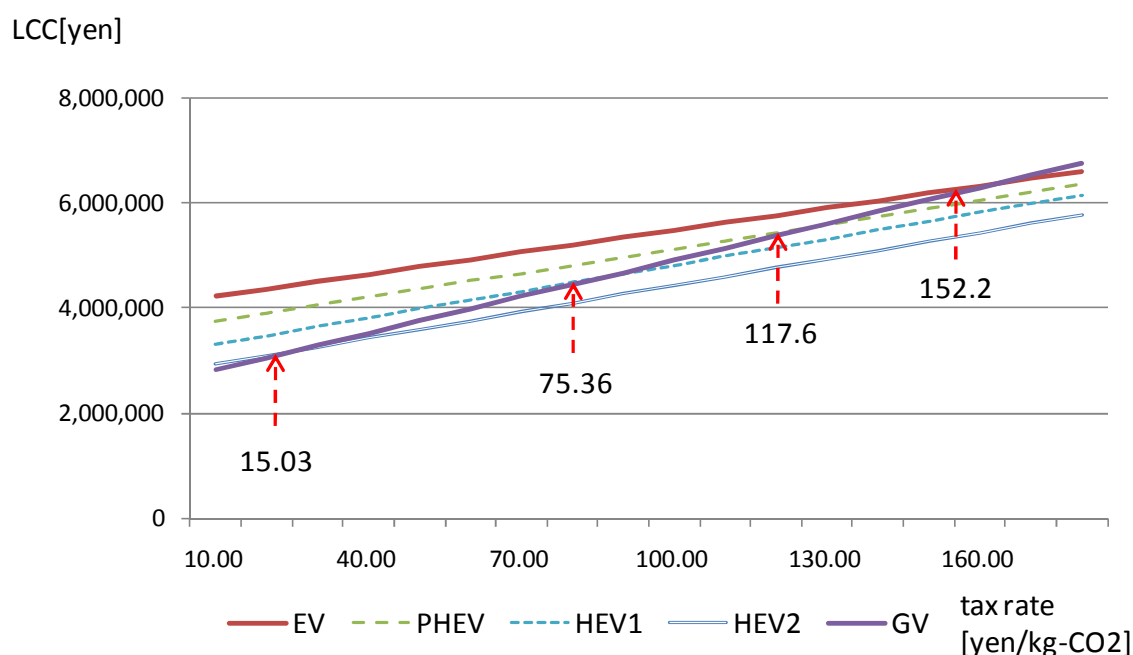


Fig.6.2 LCC Taxation in the Manufacturing and Utilizing Phases

6.3 CEV 優遇税率のデザイン

本節では、前節で求めた $LCCO_2$ 及び LCC を元に環境負荷が低い商品にはインセンティブとなり、逆に高い商品には制約となるような税率を検討する。

まず、 $LCCO_2$ に応じてある税率を乗じた額を課税した場合、課税後に、CEV のライフサイクルコストが GV より小さくなる税率，すなわち LCC が逆転する CEV 優遇税率を分析する。

Fig.6.2 に、製造段階及び走行段階を合計した $LCCO_2$ に応じて横軸の各税率を賦課した場合の LCC の変化を示す。

CEV の LCC が GV より小さくなる税率，すなわち LCC の逆転が起きる CEV 優遇税率は、順に HEV2 が 15.03[yen/kg-CO₂]，HEV1 が 75.36[yen/kg-CO₂]，PHEV が 117.6[yen/kg-CO₂]，EV が 152.2[yen/kg-CO₂]であった。

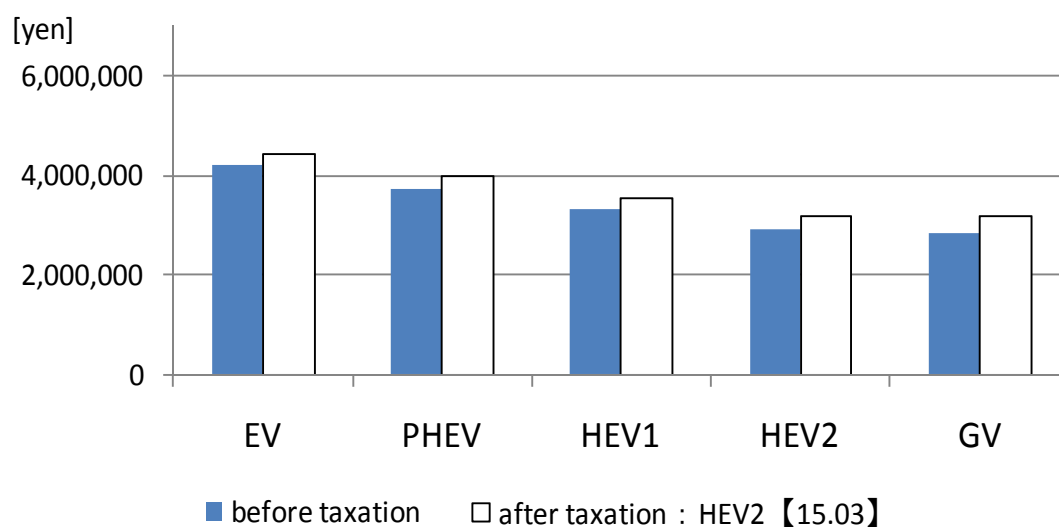


Fig.6.3 LCC Taxation in the Manufacturing and Utilizing Phases with 15.03[yen/kg-CO₂]

これらの税率で課税した場合の、各 CEV の課税前後の LCC を Fig.6.3 (15.03[yen/kg-CO₂] , Fig.6.4 (75.36[yen/kg-CO₂]) , Fig.6.5 (117.6[yen/kg-CO₂]) , Fig.6.6 (152.2[yen/kg-CO₂]) に示す。

本グラフは、縦軸に LCC を示している。課税前の LCC、製造段階 CO₂ 排出量に対する課税額、走行段階 CO₂ 排出量に対する課税額毎に分けて図示している。

HEV2 と GV の LCC が逆転する税率 15.03[yen/kg-CO₂]においては、EV と PHEV は価格の逆転には至らないが、LCC の差が小さくなっていることが確認できる。また、他の 3 つの税率に比べて率が小さい分、課税額も小さい。

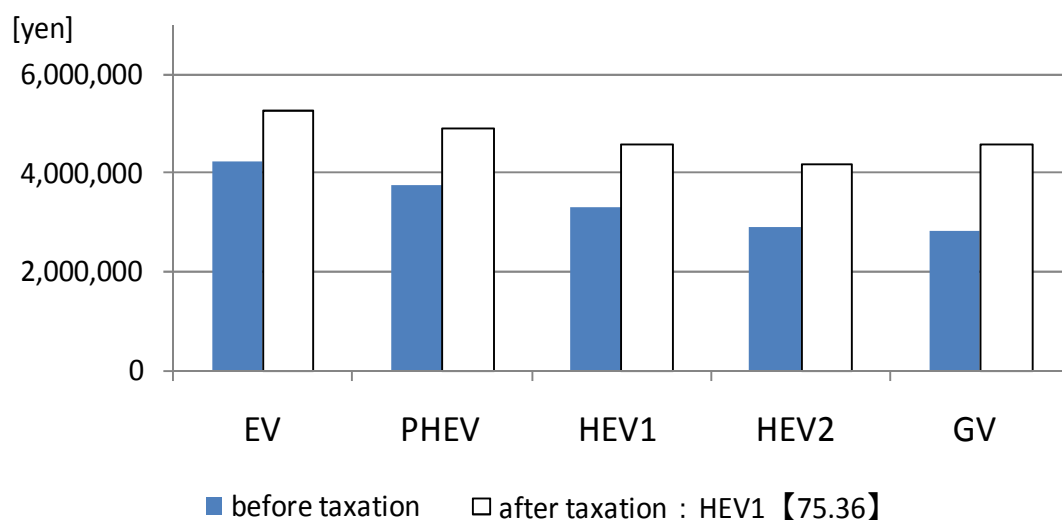


Fig.6.4 LCC Taxation in the Manufacturing and Utilizing Phases with 75.36[yen/kg-CO₂]

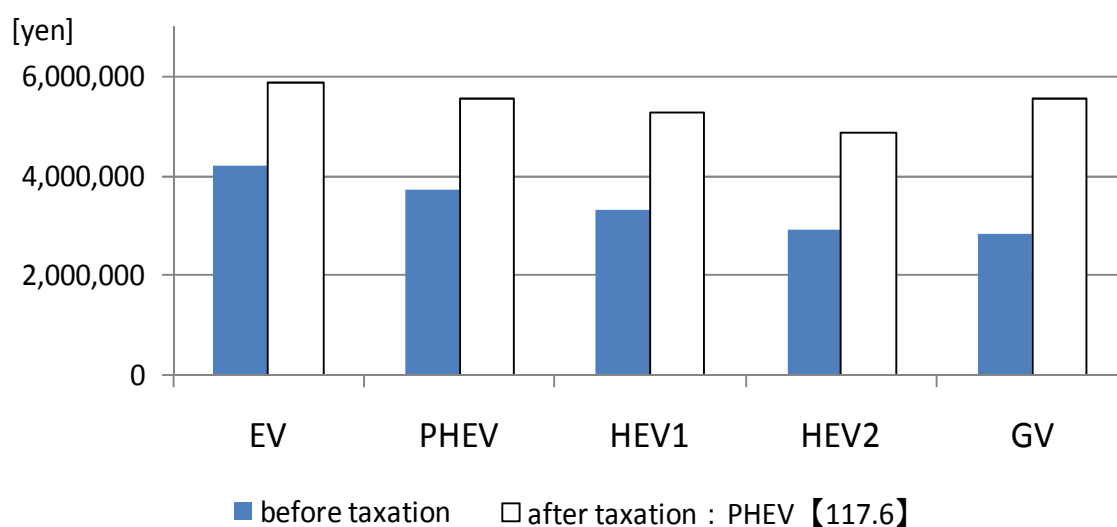


Fig.6.5 LCC Taxation in the Manufacturing and Utilizing Phases with 117.6[yen/kg-CO₂]

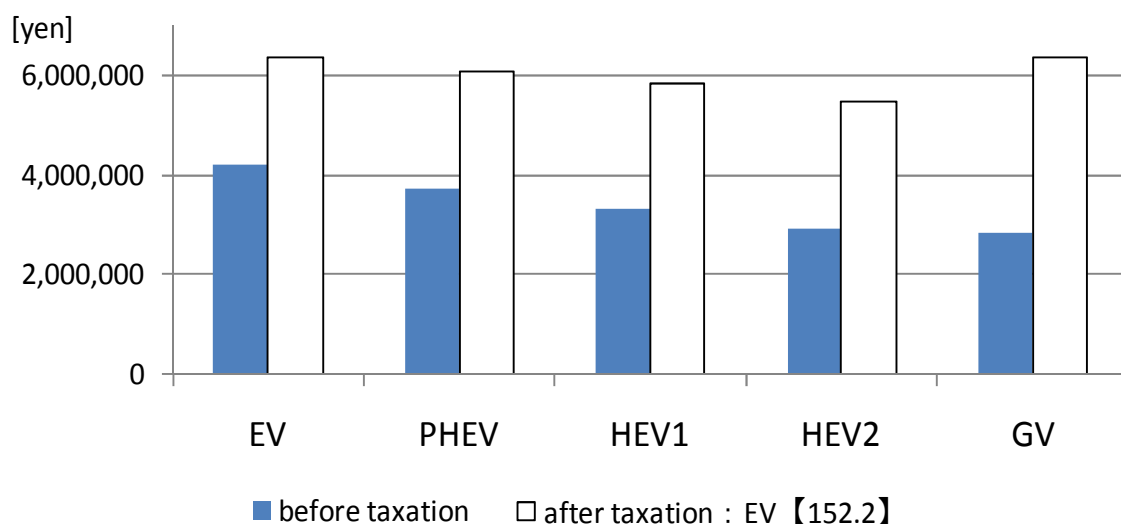


Fig.6.6 LCC Taxation in the Manufacturing and Utilizing Phases with 152.2[yen/kg-CO₂]

PHEV の LCC が逆転する税率 117.6[yen/kg-CO₂]においては、HEV の LCC が最も小さくなる。EV と GV の LCC も均衡し、その差は 31.7 万円にまで縮まっている。

EV と GV の LCC が逆転する税率 152.2[yen/kg-CO₂]においては、コスト差を埋めるために高い税率となっているため、課税負担額が大きくなっていることが確認できる。

本節で求めた税率 HEV2 逆転税率：15.03[yen/kg-CO₂]，HEV1 逆転税率：75.36[yen/kg-CO₂]，PHEV 逆転税率：117.6[yen/kg-CO₂]，EV 逆転税率：152.2[yen/kg-CO₂]をベースに、次章以降で CEV のインセンティブとなる税率を検討する。

第 7 章 Discussion

7.1 LCA 全体に課税した場合の効果

本節では，製造段階及び走行段階の CO₂ 排出量に対して課税する本税を，仮に走行段階の CO₂ 排出量のみに対して課税した場合と比較して，製造段階を考慮する本税の優位性を述べる．

HEV1 の LCC が GV より小さくなる税率，すなわち HEV と GV の LCC を逆転させる税率 15.03[yen/kg-CO₂]を例に，LCC の変化や課税負担額を比較する．

Fig.7.1 に，税率 15.03[yen/kg-CO₂]を課税した場合の課税額を示す．グラフの青色部分は，走行段階の CO₂ 排出量に対する課税額，白色部分は製造段階の排出量に対する課税額を示す．

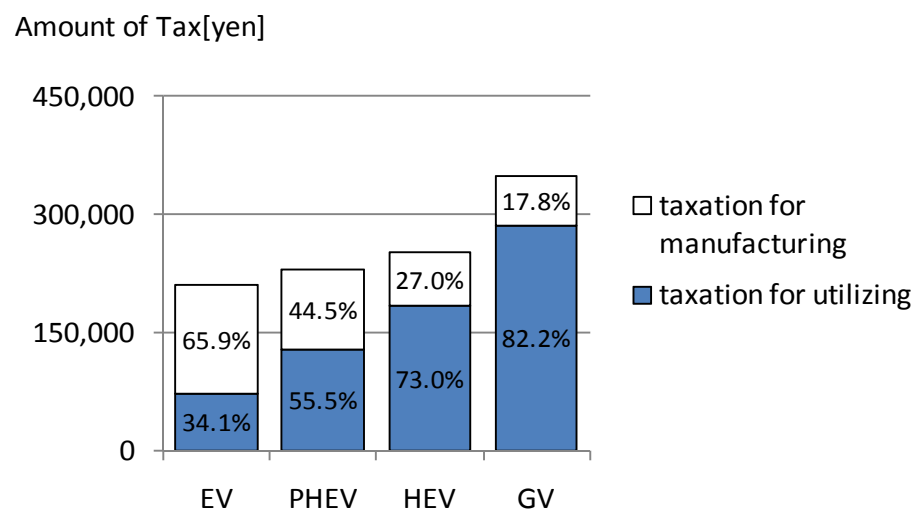


Fig.7.1 Amount of Tax with 15.03[yen/kg-CO₂]

走行段階の排出量のみを対象に課税した場合は、青色の分だけ課税され、一方製造段階と走行段階に対して課税した場合は、青色と白色の合計が課税されると読む。

本グラフより、特に EV と PHEV において、製造段階に対する課税額が多くなっていることが確認できる。EV では課税額の約 65.9%，PHEV では課税額の約 44.5%は製造段階に対する課税である。

EV と PHEV の課税額を比較すると、面白い結果が読み取れる。仮に走行段階のみに課税した場合、PHEV の課税額は EV の約 1.8 倍である。しかし、走行段階と製造段階を対象に課税した場合、その差は約 1.1 倍に縮まる。

これは、走行段階のみでは EV の CO₂ 排出量の優位性が圧倒的に高かったが、製造段階も含めてトータルで考えると PHEV と EV の排出量優位性が均衡することを示している。

同様に EV と HEV の比較からも同じ傾向が読み取れる。走行段階のみの課税では、HEV の課税額は EV の約 2.6 倍であるが、製造段階も含む課税ではその差は約 1.2 倍と小さくなる。

この結果から次のことが読み取れる。

- 走行段階のみに対する課税では、PHEV や HEV はトータルの排出量では EV との差が小さいにも関わらず、走行段階のみの排出量に応じて EV よりも多く課税されてしまう
- CEV は走行段階の課税額が小さくなる。その傾向は EV や PHEV ほど大きく、将来 CEV が普及すると走行段階のみの課税では課税対象が大幅に減少する

走行段階のみでなく、製造段階も含めて課税することで、車種ごとに異なるライフサイクルごとの環境負荷のバランスを反映して課税できることが示唆された。

7.2 従来検討されてきた税との比較

本節では、第 6 章で求めた CEV の LCC が GV と逆転する CEV 優遇税率を、次の値と比較して検証する。

- ① 欧州の税率 (7.2.1)
- ② 現行のガソリン税 (7.2.2)
- ③ 環境省による地球温暖化対策税率案 (7.2.3)

7.2.1 欧州の税率

まず、EU 内で比較的高い税率であるオランダの鉱油税率と比較する。CO₂ 排出量あたりエネルギー課税税率（鉱油税）は 42.20[yen/kg-CO₂]である[72]。HEV2 逆転税率：15.03[yen/kg-CO₂]は、オランダの鉱油税よりも小さいことが確認できる。

次に、EU の CO₂ 排出量あたりのエネルギー課税最低税率と比較する。EU 最低税率は 21.62[yen/kg-CO₂]である[72]。HEV 逆転税率は、EU 最低税率よりも小さい税率であることが確認できる。

しかし一方で、EV の LCC が逆転する税率 152.2[yen/kg-CO₂]は、これらの 4 倍及び 7 倍と高い率であり、現実的な税率とは言えないことが分かった。

他の一般的な炭素税は、全ての商品・サービスを対象に課税するため比較的低税率である。CEV 優遇税率と本来比較すべきではない。しかし、参考までに比較してみると次のことがいえる。

フランスが 2010 年度から導入を検討している炭素税率は 17[ユーロ/t-CO₂]を日本円に換算²すると約 2.29[yen/kg-CO₂]となる[73]。HEV 逆転税率と比較すると、HEV 逆転税率は 7 倍と大きい。

同様に、参考までに日経・JBIC 排出量参考取引気配の 2008 年度における買い気配値と比較する[74]。

² 1 ユーロ 135 円で換算

- 平均値：2.308[yen/kg-CO₂]
- 最高値：3.724[yen/kg-CO₂]（2008 年 7 月 4 日）
- 最安値：0.899[yen/kg-CO₂]（2009 年 2 月 16 日）

平均値を HEV 逆転税率と比較すると、HEV2 逆転税率は約 6.5 倍大きい。PHEV 及び EV が逆転する税率とはさらに大きな差がある。

これらの比較より、欧州のエネルギーに対する課税率と比較すると CEV 優遇税率のうち、HEV2 が逆転する優遇税率 15.03[yen/kg-CO₂]は、欧州のエネルギーに対する炭素税率よりは若干小さいか同程度、PHEV、EV が逆転する税率は大きく乖離することが示唆された。

7.2.2 現行のガソリン税

本節では、現在乗用車に対して租税されている自動車関連税制のうち課税額の大部分を占めるガソリン税と本税の課税負担額を比較し、本税率の妥当性を検証する。

現行のガソリンに対する租税は、揮発油税と地方揮発油税に分類される。現在、2018 年 3 月 31 日までの暫定税率として設定されている率[28]は、

- 揮発油税：48.6[yen/L]
- 地方揮発油税：5.2[yen/L]

である。

ガソリン 1 リットル当たりの CO₂ 排出量は、CO₂ 排出量原単位より、ガソリン採掘-製品 0.3747[kg-CO₂/L][75]、ガソリン燃焼 2.380[kg-CO₂/L][76]を合計して、2.7527[kg-CO₂]と換算される。

本原単位を用いて、ガソリン 1 リットル当たりの課税額を計算し、Table 7.1 に、本税と現行のガソリン税暫定税率（揮発油税及び地方揮発油税）と比較して示す。

Table 7.1

Amount of Tax for Gasoline 1L Compared with Existing Gasoline Excise [yen]

Tax Rate	This Carbon Tax	Existing Gasoline Excise
HEV2 : 15.03[yen/kg-CO2]	41.3	
HEV1 : 75.36[yen/kg-CO2]	207.4	53.8
PHEV : 117.6[yen/kg-CO2]	323.7	
EV : 152.2[yen/kg-CO2]	418.9	

Existing Gasoline Excise form [75]

1 リットル当たりの課税額は、HEV2 逆転税率 15.03[yen/kg-CO2]で 41.3 円、HEV1 逆転税率：75.36[yen/kg-CO2]で 207.4 円、PHEV 逆転税率：117.6 [yen/kg-CO2]で 323.7 円、EV 逆転税率：152.2 [yen/kg-CO2]で 418.9 円である。

現行のガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）を CO2 排出量に応じた炭素税に置き換えた場合、HEV2 逆転税率：15.03[yen/kg-CO2]は課税額が 0.7 倍に小さくなることが確認できた。

一方で、PHEV、EV 逆転税率は 6 倍から 8 倍と課税額が増えることが分かった。

Table 7.2

Amount of Tax for Gasoline per 1 year [yen]

Tax Rate	This Carbon Tax	Existing Gasoline Excise
HEV2 : 15.03[yen/kg-CO ₂]	36,132	
HEV1 : 75.36[yen/kg-CO ₂]	181,165	46,962
PHEV : 117.6[yen/kg-CO ₂]	282,710	
EV : 152.2[yen/kg-CO ₂]	365,888	

Existing Gasoline Excise : assumption by the author using [28]

次に、年間の燃料使用量から負担の増減を検証する。自家用車が 1 年間に支払う平均の課税額と比較し Table 7.2 に示す。

年間燃料使用量は、次の値を用いて計算する。

H19 年度の自家用車の燃料使用量

- ガソリン : 5021 万[kL] [110]

乗用車実在台数

- 乗用車 : 4180 万台
- 軽乗用車 : 1572 万台

上記の自家用車燃料使用量及び乗用車実在台数より、軽乗用車も含めた 1 台当たりの年間給油量を 872.9[L]と試算した場合、それぞれの税率における 1 台当たりの年間課税負担額は Table 7.2 のようになる。年間ガソリン消費量あたりの課税額を、現行のガソリン税と本税で比較し Table 7.2 に示す。

HEV2 逆転税率 : 15.03[yen/kg-CO₂]の 1 年当たりの課税額は、現行のガソリン税と比較して約 0.7 倍と小さくなることが示唆された。

一方、HEV1 の逆転税率 : 75.36[yen/kg-CO₂]は約 6.7 倍, PHEV 逆転税率 : 117.6[yen/kg-CO₂]は 10.4 倍, EV 逆転税率 : 152.2[yen/kg-CO₂]は 13.5 倍と大幅に大きくなった.

HEV2 逆転税率 15.03 [yen/kg-CO₂]では, その差は約 0.7 倍と現行より小さく値も比較的近いが, PHEV さらに EV と LCC が逆転する税率では, 課税額に大きな差が生まれることが確認できた.

これは GV を想定した負担額に近いと考えられるが, HEV2 逆転税率は, ガソリン 1 リットルに対する課税額は現行のガソリン税 (揮発油税・及び地方揮発油税) よりも小さくなることが確認できた.

7.2.3 環境省による地球温暖化対策税案

本節では, 環境省の平成 22 年度税制改正要望[13]に盛り込まれた, ガソリンに対する税率案と比較する.

税制改正要望[13]の中で, 課税の仕組みは次のように説明されている.

- ①原油、石油製品（ガソリン、軽油、重油、灯油、航空機燃料）、ガス状炭化水素（天然ガス、LPG 等）、石炭を対象に、輸入者、採掘者の段階で課税（石油石炭税の納税システムを活用）
- ②ガソリンについては、①に加えて、ガソリン製造業者等の段階で課税（揮発油税の納税システムを活用）

そこで, 本節では②の税率案

- ガソリン : 17,320[yen/kL] (7.467[yen/kg-CO₂])

と本税を比較する.

ガソリン 1 リットル当たりの課税額を比較して Table 7.3 に示す. 環境省案は, 既存の揮発油税・地方揮発油税の本則税と環境省案の地球温暖化対策税を合計した.

環境省案では, 1 リットル当たりの課税額は 46.02[yen/L]となった. これは, HEV2 の LCC が逆転する税率 15.03[yen/kg-CO₂]を 1 リットル当たりに換算した率 41.3[yen/L]に

Table 7.3

Amount of Tax for Gasoline 1L Compared with Existing Gasoline Excise [yen/L]

Tax Rate	This Carbon Tax	Gasoline Excise and Global Warming Countermeas ure Tax		
		Existing Gasoline Excise	Tax of Global Warming Cou- ntermeasure	Total
HEV2 : 15.03[yen/kg-CO ₂]	41.3			
HEV1 : 75.36[yen/kg-CO ₂]	207.4	28.7	17.32	46.02
PHEV : 117.6[yen/kg-CO ₂]	323.7			
EV : 152.2[yen/kg-CO ₂]	418.9			

Existing Gasoline Excise : assumption by the author using [28]

非常に近く、かつ現状よりも小さい値である。HEV2 優遇税率は、既存のガソリン税と比較すると課税額をほぼ同程度に、若干小さくなることが確認できる。一方で、その他の優遇税率は既存のガソリン税よりも課税額が大きくなる。

7.2.5 従来検討されてきた税との比較まとめ

7.2 節では、欧州の税率、現行のガソリン税、環境省による地球温暖化対策税案と、本設計で算出した CEV と GV の LCC が逆転する次の 4 つの税率

- ① HEV2 逆転税率 : 15.03[yen/kg-CO₂]
- ② HEV1 逆転税率 : 75.36[yen/kg-CO₂]
- ③ PHEV 逆転税率 : 117.6[yen/kg-CO₂]
- ④ EV 逆転税率 : 152.2[yen/kg-CO₂]

を比較して検証を行った。

その結果、①HEV2 逆転税率：15.03 [yen/kg-CO₂]は、欧州内で比較的高いエネルギーに対するオランダの炭素税率 42.20[yen/kg-CO₂]、さらに EU 最低税率よりも小さいことを確認した。

現行のガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）との比較では、ガソリン 1 リットル当たりの課税額を比較した。その結果①HEV2 逆転税率：15.03 [yen/kg-CO₂]は現行よりも 0.7 倍と小さくなることが示唆された。

さらに、年間の燃料消費量平均から、1 年間のガソリン消費量に対する課税額を比較すると、現行のガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）では約 4.7 万円/年、①HEV2 逆転税率：15.03[yen/kg-CO₂]は約 3.6 万円/年の課税額となり、課税負担額が小さくなることが分かった。

これらの結果から、HEV2 逆転税率：15.03[yen/kg-CO₂]は

- 既存の欧州のエネルギー税と比較して税率は同程度か小さく現実的であること
- ガソリン 1L 当たりに換算すると 41.3[yen/L]となり、既存のガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）53.8[yen/L]よりも負担額を若干低く抑えられる
- ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）よりも課税負担額を若干小さくできること

が示唆された。

同時に、EV 及び PHEV 逆転税率は率が大きく、現実的でないことが示唆された。

7.3 課税負担額の比較

本節では、第 6 章で求めた GV と CEV の LCC が逆転する税率を課税した場合の、課税負担額の大きさを、現行のエコカー減税や補助金の効果を含めた自動車関連税制と比較して検証する。

対象とする車は、GV とエコカー減税、補助金対象車となる HEV の 2 種類とした。

次のケースの課税額負担額を計算し、比較する。

- ① GV（通常課税）
- ② HEV2（エコカー減税なし、補助金なし）

- ③ HEV2（エコカー減税なし，補助金あり）
- ④ GV（税率 15.03[yen/kg-CO2]）＋ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）
を除く現行の自動車関連税制
- ⑤ GV（税率 75.36[yen/kg-CO2]）＋ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）
を除く現行の自動車関連税制
- ⑥ GV（税率 152.2[yen/kg-CO2]）＋ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）
を除く現行の自動車関連税制
- ⑦ HEV2（税率 15.03[yen/kg-CO2]）＋ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）
を除く現行の自動車関連税制
- ⑧ HEV2（税率 75.36[yen/kg-CO2]）＋ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）
を除く現行の自動車関連税制
- ⑨ HEV2（税率 152.2[yen/kg-CO2]）＋ガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）
を除く現行の自動車関連税制

現行の自動車関連税は，消費税を除く自動車取得税，自動車重量税，自動車税，揮発油税（暫定税率 48.6[yen/L]），地方揮発油税（暫定税率 5.2[yen/L]）とした．エコカー減税は，自動車取得税と自動車重量税が免税とし，補助金は次の 2 つを受けたものとして計算した．

- 25 万円：新車登録から 13 年以上経つ車をスクラップにして購入した場合
- 10 万円：新車で購入した場合

これら 9 パターンの課税負担額を計算し，Table 7.4 に示す．

GV の課税負担額を比較すると，①現行の税率では 92 万円の負担額となった．CEV と逆転する税率における負担額は，④15.03[yen/kg-CO2]で 82.8 万円，⑤75.36[yen/kg-CO2]で 222.5 万円，⑥152.2[yen/kg-CO2]で 400.4 万円である．

④15.03[yen/kg-CO2]の負担額は現行よりも約 10 万円少なく，かつ，比較的近い値である．一方で，⑤75.36[yen/kg-CO2]，⑥152.2[yen/kg-CO2]では大幅に負担額が増加し，現実的な課税負担額とは言い難い．

Table 7.4

Comparison with Amount of Tax [yen]

	Pattern of Taxation	Amount of Tax
①GV	Existing Taxation	920,578
②HEV2	Existing Taxation without Eco-car Tax Reduction and subsidy	587,598
③HEV2	Existing Taxation with Eco-car Tax Reduction and subsidy	92,123
④GV	15.03[yen/kg-CO ₂]	828,694
⑤GV	75.36[yen/kg-CO ₂]	2,225,334
⑥GV	152.2[yen/kg-CO ₂]	4,004,180
⑦HEV2	15.03[yen/kg-CO ₂]	799,877
⑧HEV2	75.36[yen/kg-CO ₂]	1,809,499
⑨HEV2	152.2[yen/kg-CO ₂]	3,045,417

Existing Gasoline Excise : assumption by the author using [28]

次に、HEV の課税負担額を比較する。③現行のエコカー減税・補助金ありでは、減税と補助金の大きさから圧倒的に負担額が小さい。しかし、それらを除いた②と 15.03[yen/kg-CO₂]を比較すると、現状よりは負担額が増額するが、その差は約 11 万円に留まることが分かった。一方 HEV においても同様に、75.36[yen/kg-CO₂]と 152.2[yen/kg-CO₂]では負担額が大幅に増加し現実的でない。

7.2 節及び 7.3 節の検証より、HEV2 逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]は従来の税率よりも同程度か小さく、かつガソリン税以外の自動車関連税制を併せたトータルの負担額でも現行と約 10 万円の差に留まることが示唆された。

HEV2 逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]は、補助金や減税なしに HEV と GV の LCC の逆転を実現する税率である。現行の負担額との比較より、本税率 15.03[yen/kg-CO₂]は課税負担額を大幅に増減させることなく、かつ、補助金や減税を行うことなく CO₂ 排出量

に対し公平な課税という手段によって HEV にコストインセンティブを与えることが可能であることが示唆された。

炭素税の研究では、二酸化炭素 1 トンあたりの炭素税率限界費用 1 万円という既往研究がある。15.03[yen/kg-CO₂]は限界費用 1 万円のわずか 1.5 倍ではあるが、限界費用を超えてしまっているという指摘が考えられる。

しかし、前述で述べたとおり、自動車に関する租税はガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）以外にも自動車取得税や自動車重量税など 9 種類もの税が課税されており一般的な炭素税とは目的や論点が異なる。事実、15.03[yen/kg-CO₂]は欧州の CO₂ 排出量換算したエネルギー課税の税率よりも小さいことが確認できた。さらに、課税負担額の観点からも現行との差は小さく妥当性は高いと考えられる。

しかし一方で、PHEV 及び EV が逆転する税率は本稿での他税率、及び課税負担額の比較から 10 倍程度も大きい税率であり、炭素税率として高すぎる値だということが示唆された。

これらの結果から、4 案の中で HEV2 逆転税率①15.03[yen/kg-CO₂]が最も現実味を帯びた税率であると定義した。

そこで、次節以降では①15.03[yen/kg-CO₂]を用いて、What-if 分析を行う。

シナリオは、次の 6 つを想定した。

- 総走行距離の違いによる影響評価 (7.4)
- EV 技術進歩による影響評価
 - ✧ 超軽量 EV (7.5.1)
 - ✧ 電池価格シナリオ変更によるイニシャルコストの削減 (7.5.2)
- 普及目標の違いによる影響評価
 - ✧ BAU シナリオ (7.6.1)
 - ✧ 2050 年 EV:100%, EV:50%/PHEV:50%シナリオ (7.6.2)
- グローバル生産における環境負荷原単位の違いによる影響評価 (7.7)

7.4 総走行距離の違いによる影響評価

これまで、本研究は基本シナリオとして 10 万 km 走行時の LCCO₂、及び LCC に基づき税率を検討してきた。本節では、総走行距離の違いに生じる LCCO₂、LCC の変化を分析する。

使用頻度が少ない、もしくは総走行距離が短い消費者にとっては、製造段階の CO₂ 排出量が少ない HEV や PHEV を選択した方がトータルの課税額を小さく、ライフサイクルコストを低く抑えられる可能性がある。前章までで計算した総走行段階 10 万 km 走行と比較して、総走行距離が短い場合はその分だけ走行段階での課税が小さくなる。

そこで、総走行距離別の CEV 別 LCCO₂ を計算して Fig.7.2 に示す。本グラフは横軸に総走行距離を、縦軸に CO₂ 排出量を示している。

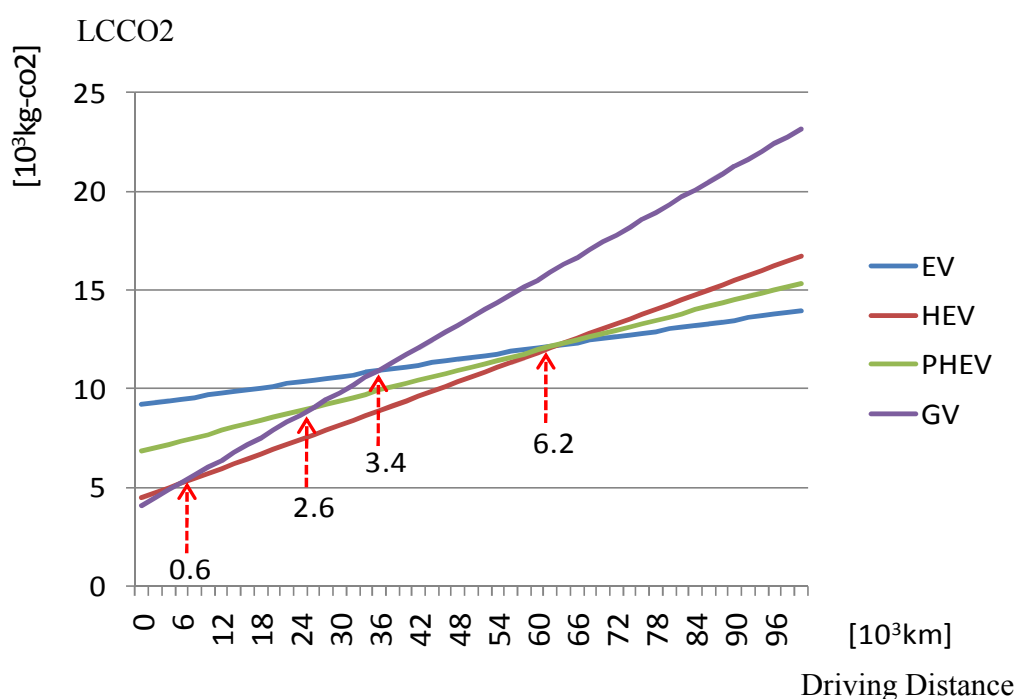


Fig.7.2 LCCO₂ of CEVs of several Driving Distance

まず、GV と CEV の LCCO₂ を比較する。走行距離が 10 万 km の場合、GV は CEV に比べて排出量が圧倒的に多くなる。EV の約 1.7 倍、HEV の約 1.4 倍、PHEV の約 1.5 倍である。

しかしながら、走行距離が短くなるにつれ徐々にその差は均衡していく。3.4 万 km を境に EV と逆転し、GV の方が EV よりも排出量が多くなる。

次に CEV 間の LCCO₂ を比較する。10 万 km 走行では、EV が最も少なく、PHEV、EV の順で多い。しかしこの差は 6.2 万 km で逆転する。

走行距離ごとの CO₂ 排出量は、

- 6.2 万 km～10 万 km : EV < PHEV < HEV << GV
- 3.4 万 km～6.2 万 km : HEV < PHEV < EV << GV
- 2.6 万 km～3.4 万 km : HEV < PHEV < GV < EV
- 0.6 万 km～2.6 万 km : HEV < GV < PHEV < EV

であった。

6.2 万 km 以上では EV が最も排出量が少ないが、それ以下では HEV 及び PHEV の方が排出量は少ない。

走行距離が短くなると、走行段階の CO₂ 排出量はその分減る。走行距離が短い場合、製造段階の LCO₂ 排出量が多い EV は他の CEV よりも LCCO₂ が多くなり、その境界が 6.2 万 km であることが示唆された。

本結果は、総走行距離が 6.2 万 km に満たない場合は、EV よりも他の車種を選択した方が排出量は少なくなるとも言い換えられる。

政府が EV の普及を目指し、100%EV 化や 50%EV、50%PHEV のシナリオを描く中でこの結果は走行距離によっては EV が必ずしも最も排出量の少ない、低炭素化に有効な選択となりえないことを示唆している。

EV が低炭素化車両として最も優れた車両として効果を発揮するためには、総走行距離 6.2 万 km を超える、もしくは製造段階の CO₂ 排出量を減らす必要がある。

では、現在の乗用車の平均走行距離はどれくらいであろうか。ここで、乗用車 1 台あたりの平均走行距離を確認する。

2007 年度の自家用車総移動距離[77]と自家用車台数[78]より，乗用車（軽自動車を除く）1 台あたりの年間走行距離平均は，約 9,180km である．

よって，総走行距離 6.2 万 km 以上を達成するためには，6.7 年以上使用することが必要であると試算できる．

自動車の車齢平均値の年推移[79]を Table 7.5 に示す．本表より，年々車齢は伸びており，2009 年の乗用車平均車齢は 7.49 年と確認できる．

乗用車の年間走行距離平均の約 9,180km を走行し，かつ使用年数も平均の 7.49 年使用すれば，EV が最も CO2 排出量が少なく，続いて PHEV が少ない範囲で使うことができる．

Table 7.5

Average of Consistent with Age of Passenger Vehicle [year]

Consistent with Age	
1975	3.70
1980	3.75
1985	4.93
1990	4.40
1995	3.07
2000	4.82
2001	5.22
2002	5.63
2003	6.03
2004	6.38
2005	6.66
2006	6.89
2007	7.14
2008	7.26
2009	7.49

Originally from [79]

ただし、一方で平均的な使用年数、走行距離ではなく、総走行距離が 6.2 万 km に満たない場合は、HEV や PHEV の方が排出量は少なくなり、走行距離によって排出量の優位性は変わってくることが示唆された。

Table 7.5 の平均車齢の推移を見ると、2000 年以降徐々に車齢が上がり、2000 年の 4.82 年は、わずか 9 年で 2009 年には 7.49 年となっている。このまま車齢が高いまま推移すればよいが、平均値の推移にも注意が必要である。

一般的に CEV は、1 回充填当たりの走行可能距離を論拠に、短距離ユーザには EV、中距離ユーザには PEHV、長距離ユーザには HEV が望ましいと言われる。しかしながら、製造段階の CO₂ を考慮してライフサイクル全体の CO₂ を勘案すると、総走行距離を考慮する必要があることが示唆された。

超高齢化社会である日本においては、使用頻度が少なく走行距離が短い高齢者ユーザが今後増えてくることが予想される。これまでは高齢者は 1 回あたりの使用が短距離であるために EV が適していると議論がされてきたが、LCA を考慮して総走行距離の観点も加えて議論する必要がある。

前述で LCCO₂ の境界として示唆された走行距離 6.2 万 km における HEV2 と EV の LCC の差は、253.0 千円であった。仮に、このコスト差を CO₂ 排出量の減少により課税額のみで吸収しようとするとして、253.0 千円を 15.03[yen/kg-CO₂] で除した値の約 16,837[kg-CO₂] の排出量削減が必要であると試算できる。

しかし、EV は、製造段階 CO₂ 排出量が 9,200[kg-CO₂]、10 万 km 走行における走行段階の CO₂ 排出量が 4,775[kg-CO₂] であるので、この削減量は全体量を超える数字であり不可能である。

そこで、次節以降で、HEV2 逆転税率：15.03[yen/kg-CO₂] の EV 技術進歩による影響評価として、次の 2 つのシナリオを検討する。

- 超軽量 EV による LCCO₂ およびイニシャルコストの削減 (7.5.1)
- 電池価格シナリオの変更によるイニシャルコストの削減 (7.5.2)

7.5 EV 技術進歩による影響評価

7.5.1 超軽量 EV

本節は EV 技術進歩により車両総重量と電池容量が軽量化された場合の影響評価を分析する。6.1.1 節で求めた EV の製造段階 CO₂ 排出量から、超軽量 EV の製造段階 CO₂ 排出量を推計する。

文献[80]は、GV のライフサイクル CO₂ 排出量を、素材製造段階 8.7%、製造段階 4.7%、走行段階 86.6%と試算している。

そこで、GV 製造段階 CO₂ 排出量を、素材製造段階 8.7%及び製造段階 4.7%から、素材製造段階 64.9%、製造段階 35.1%と推計する。

本割合を用いて、6.1.1 で算出した GV 製造段階 CO₂ 排出量を按分すると、

- 素材製造段階：2,662[kg-CO₂]<1>
- 製造段階：1,438[kg-CO₂]<2>

と推計できる。

EV の製造段階 CO₂ 排出量は、製造プロセスにおける CO₂ 排出量は EV と GV は同値であると仮定する。6.1.1 で算出した EV 製造段階 CO₂ 排出量値（素材製造段階含む）から<2>を減じて、EV の素材製造段階における CO₂ 排出量を、7,762[kg-CO₂]<3>と推計する。

<3>を用いて、超軽量 EV を次の 3 パターンを想定して推計する。

- 電池を含む素材使用資源量が 70%
- 電池を含む素材使用資源量が 50%
- 電池を含む素材使用資源量が 30%

まず、イニシャルコストは EV のイニシャルコストのうち 200 万円を電池分として定義しているため、素材資源量の割合に乗じてコストが変化するものとして試算した。

次に、軽量化に伴う走行段階コスト及び CO₂ 排出量の変化を推計する。

Table 7.6

LCCO₂ and LCC of EVs with Different Weights [kg-CO₂][yen]

	[kg-CO ₂]	[yen]	[yen]	[yen]
Weight	CO ₂ emissions in the Manufacturing phase	LCC before Taxation	Amount of Tax with 15.03 [yen/kg-CO ₂]	LCC after Taxaion
EV 100%	9,200	4,216,545	210,044	4,426,589
EV 70%	6,871	3,582,681	170,739	3,753,421
EV 50%	5,319	3,160,106	144,536	3,304,642
EV 30%	3,766	2,737,531	118,332	2,855,863
PHEV	15,355	3,743,944	230,785	3,974,729
HEV2	16,735	2,923,842	251,527	3,175,369
GV	23,150	2,827,450	347,944	3,175,394

Assumption by the author using [81]and[30][42][56][59][62]-[70]

文献[81]は重量車の実走行燃費に関する各種影響要因のシミュレーション解析の中で、車体重量の影響を次のように言及している。「転がり抵抗及び加速時の慣性抵抗は車両総重量に比例するので、車の軽量化は燃費向上に有効となるが、車体強度にも影響するので設計上難しい要素である。[81]」さらに、車体重量を対象車（3,550kg）から、±5%、10%の範囲で増減した時の N15、N30 及び HW1 モード走行時の燃費値の変化割合を計算し、加減速の多い N15、N30 のモードでは、車体の 10%軽量化により燃費消費が 2～3%減少するが、高速走行である HW1 モードではその節減効果は約半分に留まると言及している。

本研究においては重量車ではなく 1500cc の乗用車を想定している点で異なるが、仮に重量車と同程度の燃費向上が見込まれると仮定して、10%の軽量化により 2%燃費が向上するものとして推計する。

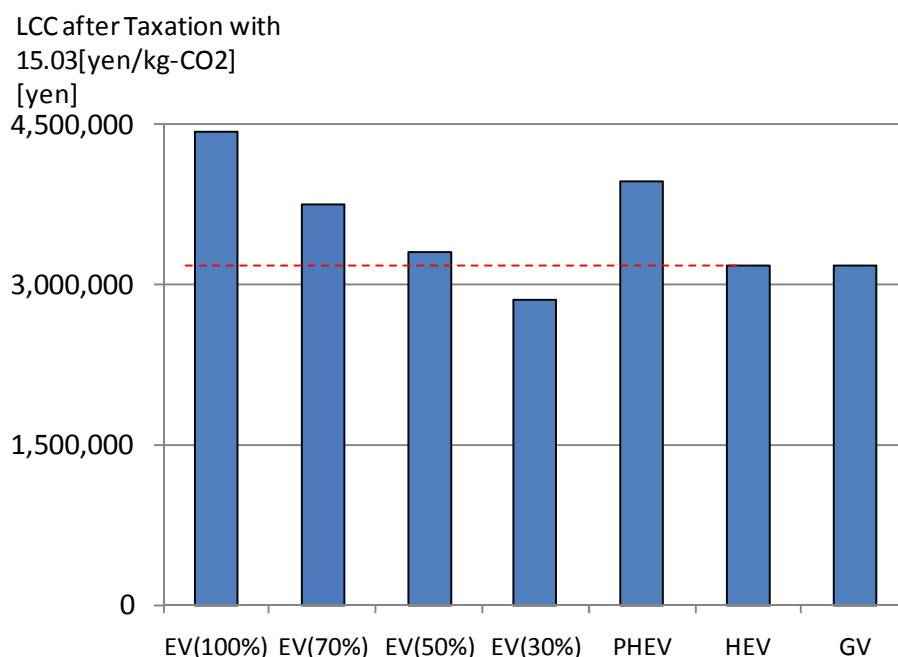


Fig.7.4 Comparison LCC of Right EVs and CEVs with 15.03[yen/kg-CO2]

メンテナンスコストは、軽量化により変化しないものと仮定した。

本 3 パターンで推計した LCCO2 と LCC の結果を、軽量化していない基準パターンと比較して Table 7.6 に示す。

Table 7.6 の結果と、GV、HEV、PHEV の LCCO2 及び LCC を比較して Table 7.7 に示し、その中の 15.03[yen/kg-CO2]課税後の LCC を Fig.7.4 に図示する。本グラフは縦軸に課税後の LCC を示している。

Fig.7.4 より、EV 軽量化により LCC が最も LCC の低い HEV に均衡することが分かった。EV50%軽量と HEV の課税後 LCC の差は、約 12.9 万円にまで近接する。

6.3 節での比較において同クラスの EV と他の車種を比較した際には、15.03[yen/kg-CO2]の税率では、イニシャルコストの高いために EV のコスト優位性は生まれていなかったが、軽量化により、

- イニシャルコストの減少
- 素材製造段階 CO2 排出量の減少及びその分の課税額の減少

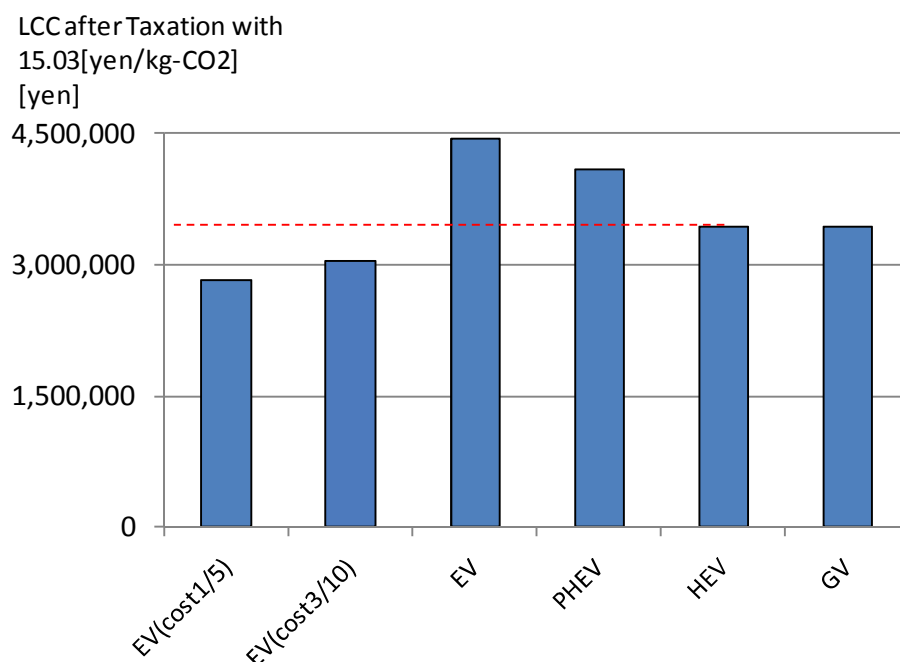


Fig.7.5 Comparison LCC of Different Battery Cost's EVs and CEVs with 15.03[yen/kg-CO₂]

が大きく効いて、課税後の LCC が小さくなり、最も LCC が小さい HEV と比較しても LCC が均衡することが示唆された。

7.5.2 電池価格シナリオの変更によるイニシャルコストの削減

本節では、イニシャルコストの高い EV の電池価格が下がった場合を想定して、LCC の変化を分析する。

基準シナリオでは、電池の価格を 200 万円と仮定して試算した。本稿では、「NEDO 次世代自動車用蓄電池電池技術開発ロードマップ 2008」[82]内の技術シナリオ、2015 年から 2020 年のコスト目標を 2010 年性能の 1/5～3/10 を参照して、次の 3 パターンで LCC の変化を分析する。

- 電池価格：200 万円（基準）

- 電池価格：40 万円（電池コスト目標 1/5 より）
- 電池価格：60 万円（電池コスト目標 3/10 より）

なお、イニシャルコスト以外は変化しないものとして計算した。

3 パターン及び、他車種の 15.03[yen/kg-CO₂]課税後の LCC を Fig.7.5 に図示する。本グラフは縦軸に課税後の LCC を示している。

電池コストが 1/5 及び 3/10 の EV は、最も安価な HEV よりも LCC が低くなることが示唆された。

6.3 節において基準シナリオにおいて、15.03[yen/kg-CO₂]課税後の LCC を比較した際には HEV と GV の LCC が逆転するのみで、EV と GV の LCC に大きな開きがあった。その差は、約 125.1 万円にも及んだ。しかし、技術開発に寄り電池の価格が 1/5 もしくは 1/30 に減少すると、EV の LCC が最も低くなることが示唆された。

7.3.1 節、7.3.2 節より EV の基準シナリオでは 15.03[yen/kg-CO₂]の税率では他の CEV と比較して LCC の優位性が無かった EV が、軽量化もしくは電池コストの削減により最も LCC が小さくなり、コスト優位性の高い車種となることが分かった。

これは、現行のイニシャルコストが大きすぎて 15.03 [yen/kg-CO₂]では他車種との差を吸収できない EV が、軽量化、電気価格削減シナリオにより LCC 及び LCCO₂ を圧縮し、高いコスト優位性を実現できることを示している。

7.6 普及目標の違いによる影響評価

本節では、CEV 普及シナリオの違いによる乗用車（軽自動車を除く）からの CO₂ 排出量と乗用車からの税収を計算する。

7.6.1 節では、環境省が 2009 年 5 月に発表した次世代自動車普及戦略の CEV 普及目標シナリオを用いる。7.6.2 節では、環境省の「温室効果ガス 2050 年 80%削減のためビジョンについて」[8]内で発表された EV:100%シナリオ、及び EV:50%, PHEV:50%シナリオを用いる。

Table 7.8**Projection of Sales of New CEVs [1000cars]**

	2010	2020	2030	2040	2050
EV	2.5	170.0	278.0	240.8	264.8
PHEV	3.0	349.0	625.0	709.0	620.2
HEV	198.0	1,118.0	1,160.0	1,148.0	1,118.0
GV	4,707.0	3,105.0	2,419.0	2,255.0	2,042.0

Data from Ministry of the Environment from [83]

Only car (except bus, truck and taxi)

Table 7.2**Projection of Possessions of New CEVs [1000cars]**

	2010	2020	2030	2040	2050
EV	2.5	668.0	2,144.0	2,863.0	3,266.0
PHEV	3.0	1,313.0	4,960.0	6,939.0	7,797.0
HEV	336.8	7,945.0	11,766.0	13,549.0	14,466.0
GV	65,449.0	55,156.0	40,776.0	32,468.0	27,704

Data from Ministry of the Environment from [83]

Only car (except bus, truck and taxi)

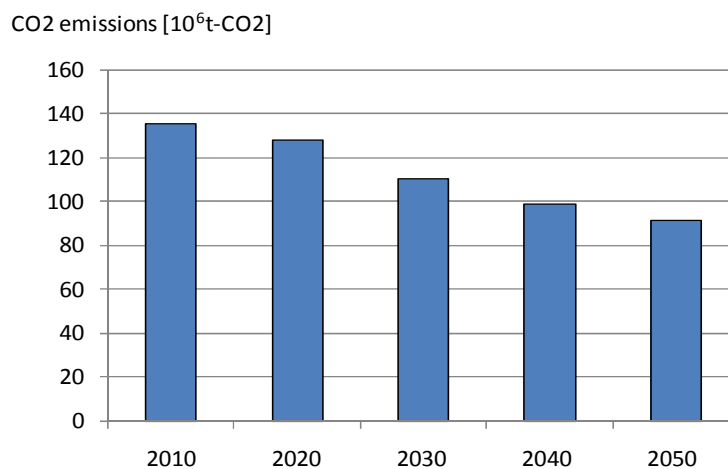


Fig.7.6 CO2 Emissions from CEVs

7.6.1 BAU シナリオ

環境省の次世代自動車普及戦略[83]による CEV 普及台数及び新車販売台数予測値を Table 7.8, Table 7.9 に示す。また GV は、CEV 以外の「その他の乗用車」として推計した。

6.1 節で求めた CEV 別の環境負荷量 (LCCO₂) を用いて乗用車からの CO₂ 排出量総量及び税収を計算する。なお、本節では軽自動車を除く乗用車のみを対象に推計した。

まず、CO₂ 総排出量を推計する。製造に伴う CO₂ 総排出量は、製造段階の CO₂ 排出量と新車販売台数を乗じて計算した。また、走行に伴う CO₂ 排出量は、各年の普及台数に 1 年あたりの乗用車平均走行距離数[77]、における走行段階 CO₂ 排出量を乗じて推計した。

乗用車からの CO₂ 総排出量の推移を Fig.7.6 に、税収の推移を Fig.7.7 に示す。なお両図共に対象は軽自動車を除く乗用車として計算している。

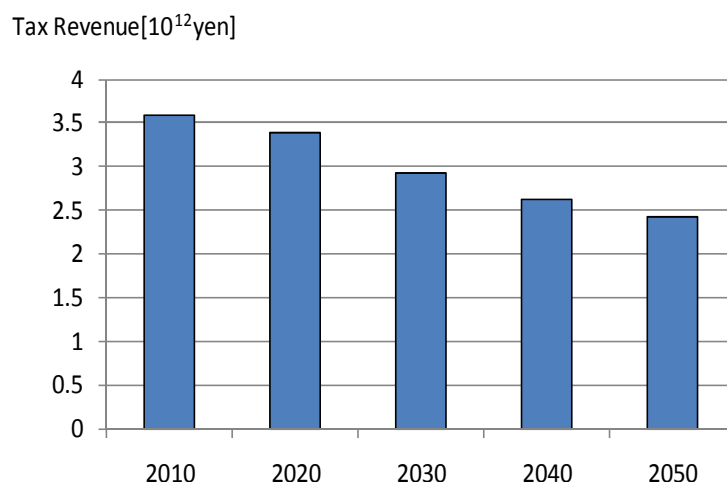


Fig.7.7 Tax Revenue of CEVs

CEV の普及により CO2 排出量は年々減少し、2010 年対比で、2020 年：0.94 倍、2030 年：0.81 倍、2040 年：0.73 倍、2050 年：0.67 倍であった。

CO2 排出量の減少に伴い税収も減少する。税収は CO2 排出量と同様に、2010 年対比で、2020 年：0.94 倍、2030 年：0.81 倍、2040 年：0.73 倍、2050 年：0.67 倍となる。

求めた税収は軽自動車を除く乗用車を対象としているため、軽自動車及びバス、トラックといった商用車は含まれていない。それらを含む現在の税収と比較してみると、税収は現在の消費税を除く自動車関連税総計の、2010 年：0.52 倍、2020 年：0.49 倍、2030 年：0.42 倍、2040 年：0.38 倍、2050 年：0.35 倍となった。

なお現在の諸費税を除く自動車関連税総計値は、2009 年の車体課税及び燃料課税から消費税を除いて総計した 69,065 億円[84]を用いた。

本研究では、自動車関連税制税収のうち軽自動車を除く乗用車の分が推計できていないため、全体の税収に対する減少程度の分析まで至っていないが、税収維持の観点からもさらなる検証が必要である。

7.6.2 2050 年 EV:100%, EV:50%, PHEV:50%シナリオ

本稿では、環境省の「温室効果ガス 2050 年 80%削減のためビジョンについて」[8]内で発表された EV:100%シナリオ、及び EV:50%, PHEV:50%シナリオから乗用車からの CO2 総排出量と税収を計算する。

推計方法は、前節と同様とし、前節の 2050 年値と併せて比較したグラフを Fig.7.8 及び Fig.7.9 に示す。Fig.7.8 は、2050 年の軽自動車を除く乗用車からの CO2 総排出量を示し、Fig.7.9 は、同じく軽自動車を除く乗用車からの税収から消費税を除いた額を示す。

グラフ内は、7.6.1 節シナリオを BAU シナリオ、EV:100%シナリオ、EV:50% PHEV50%シナリオと図示する。

2010 年値比として 3 種類のシナリオの CO2 総排出量と税収を比較すると、BAU シナリオは 2010 年比 0.67 倍、EV:100%は 0.44 倍、EV:50% PHEV:50%は 0.51 倍であった。

2050 年と 2010 年の CO2 排出削減量を比較すると、BAU シナリオで 4.42 千万[t-CO2]削減、EV:100%で 7.48 千万[t-CO2]削減、EV:50% PHEV:50%で 6.61 千万[t-CO2]削減と試算された。

日本全体の 2008 年度 CO2 総排出量 12 億 1,600 万[t-CO2]と比較して、BAU シナリオで 3.6%、EV:100%で 6.1%、EV:50% PHEV:50%で 5.4%の削減効果である。

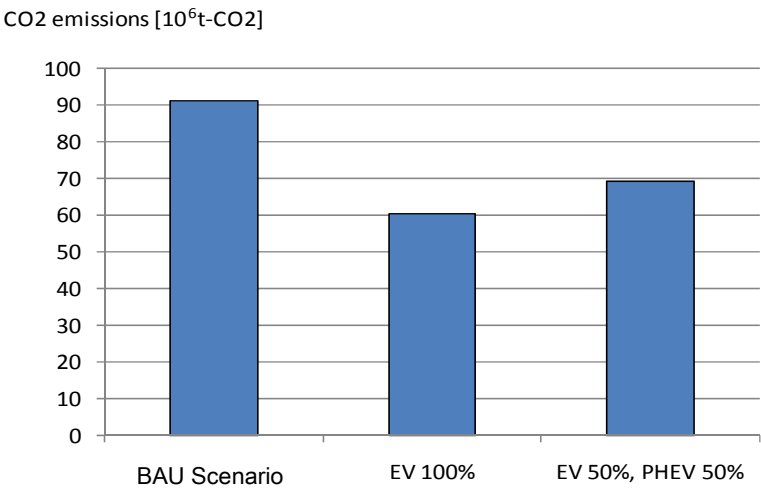


Fig.7.8 CO2 Emissions of EV with Three Scenarios in 2050

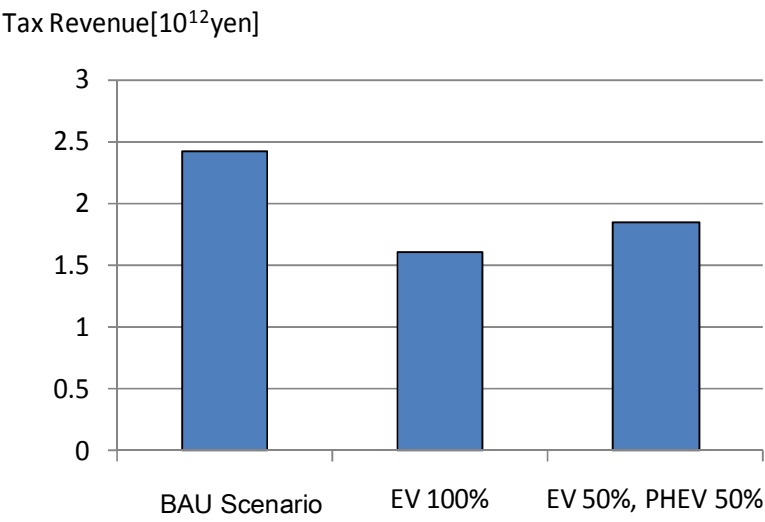


Fig.7.9 Tax Revenue of EV with Three Scenarios in 2050

7.7 グローバル生産における環境負荷原単位の違いによる影響評価

本節では、自動車生産を日本ではなく海外で行った場合に LCCO₂ がどう変化するかを分析する。昨今はグローバル生産により部品を海外から調達したり、生産工場、組立工場を海外で展開するなど、サプライチェーンが世界中にまたがる場合が少なくない。

しかし、仮に同一企業が海外に工場を展開したとして同じ製造プロセスを実現したとしても、国によって発電の電源構成が異なるため、電気使用に対する CO₂ 排出量原単位の違いにより製造段階で排出する CO₂ の量が変わることが予想される。

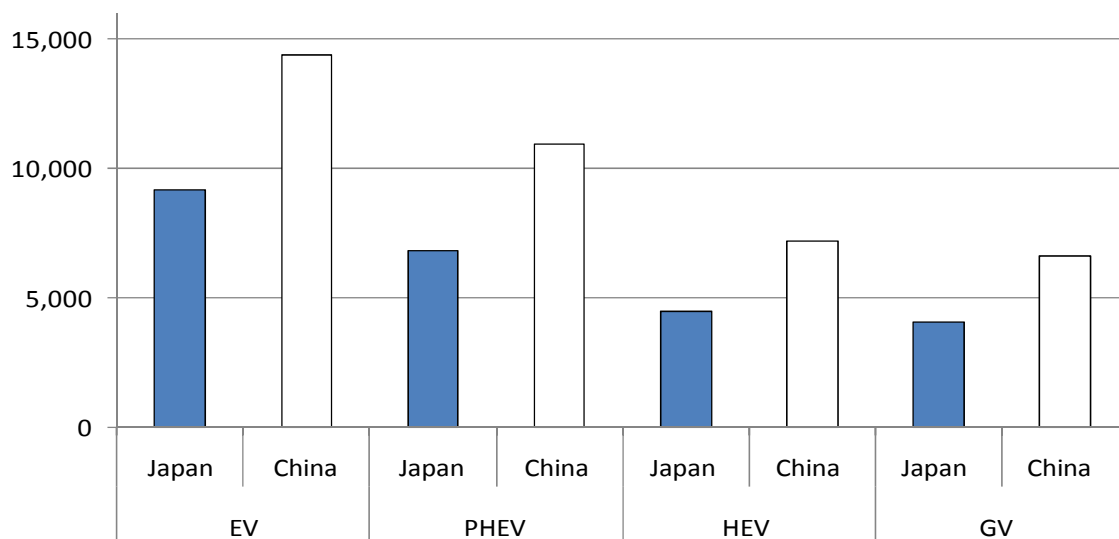
そこでグローバル生産において、電源構成の違いにより製造段階 CO₂ がどのように変化するのかを分析した。本稿では、日本と中国を例に計算する。

計算プロセスは、次の手順で行う。まず、「JLCA-LCA データベース 2004 年度 2 版」[85]の製造段階 LCA データをバックグラウンドデータとして推計用に用いる。具体的には、製造段階 LCA から、事業用電力の投入量を確認する。次に投入量に対し、「総合エネルギー統計（平成 15 年度版）、平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会（環境省、平成 14 年 8 月）新エネルギー・産業技術総合開発機構作成[86]」の購入電力 [kWh]あたりの CO₂ 排出係数を乗じて、事業用電力からの CO₂ 排出量を推計する。得られた CO₂ 排出量を、「JLCA-LCA データベース 2004 年度第 2 版」製造 LCA の製造段階 CO₂ 排出量で除し、製造段階 CO₂ 排出量のうち事業用電力の排出量が占める割合を推計する。

その結果、製造段階で投入される事業用電力からの排出量が、製造段階 CO₂ 排出量全体に占める割合は、0.51 と推計した。

次に、本値の比較として別の方法で今度は EV の推計を行った。IO 法ベースで推計している ELICA の LCA 評価（比較 GV 値）[38]を用いて、投入係数値から製造段階における事業用電力使用からの排出量が占める割合を推計した。その結果は、0.47 であった。

- 推計① GV 製造段階における電力の占める割合：0.51
- 推計② EV 製造段階における電力の占める割合：0.47

CO2 emissions in the manufacturing phase
[kgCO2]**Fig.7.10 CO2 Emissions in the Manufacturing Phase in China and Japan**

そこで、本稿では製造段階に占める事業用電力からの排出量割合を GV は 0.51, EV は 0.47, PHEV 及び HEV は EV と GV の平均として 0.49 と仮定し、6.1.1 節で求めた製造段階 CO2 排出量と乗じて、事業用電力からの排出量を推計した。

次に、求めた事業用電力排出量を、中国の電源構成平均における CO2 排出量係数で変換する。中国の電源構成平均の CO2 排出係数は、「IEA, Energy Balances of OECD Countries 2008, Energy Balances of Non-OECD Countries 2008」[87]を用いて、

- 中国：0.86[kgCO2/kWh]
- 日本：0.39[kgCO2/kWh]

とした。

結果を、Fig7.10 に図示する。本図は縦軸に製造段階の CO2 排出量を示す。

中国と日本で製造した場合の CO2 排出量は約 1.6 倍中国の方が多結果となった。排出量の差は、EV が約 5,200[kgCO₂], PHEV が約 4,100 [kgCO₂], HEV が約 2,700 [kgCO₂], GV が約 2,500 [kgCO₂]であった。

当然であるが、製造段階排出量の多い EV や PHEV ほど中国製造との差が大きいことが示唆された。

2010 年 1 月に、米国からの輸入者に対してもエコカー減税が適用されることが公表された。本研究においては、生産地が海外の場合の炭素税については検討できていないが、生産地の違いが大きく CO2 排出量に影響することが分かった。環境配慮商品の輸入時の炭素税の検討は今後の課題である。本税の枠組みを用いて生産地の違いによる製造段階の環境負荷の評価を税設計に組み入れることで、戦略的関税貿易への応用が期待される。

第 8 章 Summery

8.1 まとめ

CO2 排出削減目標達成のため環境配慮型商品の普及が望まれる。政府はインセンティブや補助金による政策を積極化し、エコカー減税やエコポイントによりハイブリッドカーの購入や省エネ家電の買い替えが促進されている。事実、トヨタが販売するハイブリッド車“プリウス”は、2009 年最も日本でポピュラーな車となった。

しかし、エコカー対象の補助金は期限が限定されており、同じ環境配慮商品を購入したとしてもその購入時期によって消費者に与えられるインセンティブは変わってしまう。一時的な補助金や減税により、消費者の負担に差が生まれていることに問題意識を持った。

環境配慮商品を消費者が正しく理解し、購入を促進する政策とは何か。この疑問が本研究の出発点である。いくら環境に良い商品であっても適正な使用期間を経ずに新たな商品への買い替えばかりを行っては、製造段階も含めたトータルでの環境負荷は増えてしまう。環境配慮商品だからといって、全員が今すぐ買い換えれば良いとは言えない。消費者の使用形態に合わせてトータルの環境負荷を考慮したインセンティブ政策が必要なのではないか、それを実現する政策とは何かと考えた。

研究過程のアンケートで、環境配慮商品購入時の消費者意識と価格に関わるヒアリングを行った。その結果、環境意識が高い消費者であっても「環境に良いからといってコストパフォーマンスが悪くなるのでは、購入することは難しい」という傾向が明らかになった。環境配慮商品普及には、消費者行動やコストを考慮したインセンティブ策が必要ではないかと考えた。

そこで、コストに直結して影響を与える炭素税に着目し、また、ハイブリッド車（HEV）や電気自動車（EV）の普及が注目されているクリーンエネルギービークルを対象とした。

第 1 章では、まず背景として、地球温暖化対策と CO2 削減目標、関連法規を俯瞰した。特に、運輸部門の CO2 排出削減の重要性和環境省が示す自動車交通に対する将来

ビジョン，温暖化対策の中心的課題として検討されている環境税の検討状況に触れ，本研究が運輸部門の自動車を対象とすること，及び炭素税を設計することの意義を述べた．

次に，環境政策と環境意識に関する既往研究に触れ，消費者の行動に直結するインセンティブ政策として炭素税を用いる背景を述べた．また，自動車関連税制の歴史的経緯と現状の問題点に関する既往研究を概観した．特に，従来のガソリン車を対象にした走行段階中心の自動車関連税制の特徴と，追加，変更の歴史の中で複雑化してきた税体系について述べている．

本章では，既往研究とその特徴を示し，本研究の新規性の所在を明らかにした．

本研究の新規性は，

- 自動車関連税制において，クリーンエネルギービークルの製造段階の環境負荷を考慮し，炭素税設計に組み込んだこと
- ライフサイクルコストを税設計の評価指標に取り入れ，クリーンエネルギービークル選択のインセンティブとなるよう設計したこと
- 従来個別に研究されてきた，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）及びガソリン車（GV）のライフサイクルインベントリデータ（LCI データ）を収集し，ライフサイクル CO₂ 排出量（LCCO₂）とライフサイクルコスト 2つの観点から統合的に評価したこと

に関するものである．

第 2 章では，システムエンジニアリングアプローチに基づく炭素税のシステムデザインを定義した．

第 3 章では，政府，企業，消費者の立場からステークホルダー要求を分析した．さらに，環境配慮商品とインセンティブ政策に対する消費者行動を分析し，本税に求める要求を分析した．

第 4 章では，設計に際する問題定義として①製造段階 LCCO₂ の重要性，②走行段階中心の課税からの変更，③インセンティブ政策の基準，及び④ライフサイクルコストの変化について述べた．

クリーンエネルギービークルは、従来のガソリン車と比較してトータルの CO₂ 排出量が少なくなる一方で、製造段階の排出量が全体に占める割合が増加する。さらに電気自動車に至っては、他の車種と比較して製造段階排出量そのものが大幅に増加する。

①製造段階 CO₂ 排出量を炭素税設計に組み込んだこと、及び②これまでの走行段階中心の税設計から、製造段階を含むライフサイクル全体を考慮したことは本研究の最も大きな特徴であり、新規性の一つである。

第 5 章では、設計方針、及び設計のフレームワークについて述べた。本フレームワークは、複数のシナリオと LCCO₂ 及び LCC インベントリデータベースで構成される。また、①消費者の課税負担額、②課税後の LCC、③税収、④乗用車からの CO₂ 総排出量と複数の評価指標を有する。設計した炭素税率を、複数の評価指標から評価できる点、及び評価指標をフレームワークとして見える化した点は、本フレームワークの特徴である。

第 6 章では、先行研究の LCA インベントリデータを用いて、CEV の LCCO₂ 及び LCC を推計した。これまで別々に評価されてきた LCCO₂ 及び LCC インベントリデータを収集し、EV、PHEV、HEV、GV を対象に LCCO₂ 及び LCC の観点から統合的に評価を行った。

LCC 評価では、イニシャルコスト、走行段階コストに加え、メンテナンス・維持段階のコストについても評価した。CEV 毎のアーキテクチャや部品点数の違いによって生じるメンテナンス・維持フェーズの特徴を踏まえた点も、本研究の新規性にあたる。

評価した LCCO₂ に乗じて課税した際に、CEV の LCC が GV よりも小さくなる税率、すなわち GV の LCC が逆転する税率 CEV 優遇税率を分析した。その結果、次の税率を見出した。

- HEV2 逆転税率 : 15.03[yen/kg-CO₂]
- HEV1 逆転税率 : 75.36[yen/kg-CO₂]
- PHEV 逆転税率 : 117.6[yen/kg-CO₂]
- EV 逆転税率 : 152.2[yen/kg-CO₂]

見出したこれらの税率を，従来検討されてきた他税率，及び課税負担額と比較し妥当性を確認した．その結果，HEV2 逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]は，欧州で比較的高い税率であるオランダの鉱油税 42.20[yen/kg-CO₂]よりも小さく，欧州の CO₂ 排出量に対するエネルギー課税最低税率 21.62[yen/kg-CO₂]よりも小さいことが示唆された．しかしながら，EV 及び PHEV 逆転税率はこれらの税率よりも高く，現実的な税率とは言い難いことが分かった．

課税負担額の比較では，HEV2 逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]は，現行のガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）よりも課税負担額が 0.7 倍に小さくなることが分かった．さらに環境省が導入を検討している地球温暖化対策税導入後と HEV2 逆転税率のガソリン 1 リットルあたりの課税負担額は，地球温暖化対策税導入では 46.02[yen/L]，HEV2 逆転税率では 41.3[yen/L]と非常に近い値を実現できることが分かった．

ただし，HEV2 が逆転する CEV 優遇税率 15.03[yen/kg-CO₂]は二酸化炭素 1 トン当たりの限界費用 1 万[yen/t-CO₂]より大きいため炭素税単体としては高い税率であるとの指摘が考えられる．しかしながら，本税は産業全体に対して課税する一般的な炭素税ではなく自動車関連税制に代替する税を対象としている．自動車取得税や自動車重量税などの自動車関連税制のうちガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）に代替して本炭素税を導入したとして GV 及び HEV の課税負担額を比較すると，現行の課税負担額の増減 10 万円内に収まり，比較的近い課税負担額を実現できることが示された．

HEV2 逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]は，補助金や減税なしに HEV と GV の LCC の逆転を実現する税率である．諸外国の既存の税や現行の負担額等から複数の比較検証を行った．その結果，本税率 15.03[yen/kg-CO₂]は課税負担額を大幅に増減させることなく，かつ，補助金や減税を行うこと無く CO₂ 排出量に対し公平な課税という手段によって HEV にコストインセンティブを与えることが可能であり，CEV 優遇税率として妥当性が高いと期待できることを示した．

しかしながら，EV はイニシャルコストが大きいため HEV2 逆転税率ではコスト優位性を出すことができない．そこで，EV の LCC を炭素税以外の要因で小さくするシナリオを第 8 章で分析した．

第 8 章では、第 7 章で求めた CEV 優遇税率のうち妥当性が高いと予想した 15.03[yen/kg-CO₂]税率を用いて、シナリオの違いによる影響評価を行い以下のことを示した。

- LCA 全体に課税した場合の効果
 - 走行段階のみに対する課税では、PHEV や HEV はトータルの排出量では EV との差が小さいに関わらず、走行段階のみの排出量に応じて EV よりも多く課税されてしまうこと
 - CEV は走行段階の課税額が小さくなる。その傾向は EV や PHEV ほど大きく、将来 CEV が普及すると走行段階のみの課税では課税対象が大幅に減少すること
- 走行距離の違いによる影響評価
 - EV は総走行距離 6.2 万 km を境に、それ以下の総走行距離では LCCO₂ の優位性を保てないこと
 - LCCO₂ は 2.6 万 km 以下では、HEV が最も小さく GV, PHEV, EV と続く。2.6 万 km～3.4 万 km では HEV, 次いで PHEV が小さい。総走行距離が短いユーザにとっては、必ずしも EV が適しているとは言えず、特に 2.6 万 km 以下の場合は EV よりも GV の方が排出量は小さくなること
 - 日本の平均総走行距離と使用年数を考察すると、総走行距離の平均は約 7 万 km 前後であり、平均的なユーザにとっては EV が適しているが、総走行距離によっては適する CEV は異なる。本税は総走行距離に応じて LCCO₂ を課税額に反映できるため、消費者が自分に適した CEV を選択するよう促進できる可能性があること
 - 一般的に CEV は、1 回充填当たりの走行可能距離を論拠に、短距離ユーザには EV, 中距離ユーザには PHEV, 長距離ユーザには HEV が望ましいと言われてきた。しかしながら、製造段階の CO₂ を考慮してライフサイクル全体の CO₂ を勘案すると、総走行距離を考慮する必要があること
 - 超高齢化社会である日本においては、使用頻度が少なく走行距離が短い高齢者ユーザが今後増えてくることが予想される。これまでは高齢者は 1 回

あたりの使用が短距離であるために EV が適していると議論がされてきたが、LCA を考慮して総走行距離の観点も加えて議論する必要があること

- EV 技術進歩による影響評価
 - EV は現状より 50%軽量することで、最も LCC の低い HEV と均衡すること
 - 2050 年の電池価格シナリオのコスト 1/5 と 3/10 では、最も LCC の低い HEV よりも LCC が小さくなること
 - 軽量化や電池コストの低下など EV の技術進歩が進めば、HEV2 逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]の税率で、EV にとってもコスト優位性を持たせることが可能であること
- 普及目標の違いによる影響評価
 - BAU シナリオでは、CO₂ 排出量は年々減少し、2010 年対比で、2020 年：0.94 倍、2030 年：0.81 倍、2040 年：0.73 倍、2050 年：0.67 倍となること
 - 2050 年と 2010 年の CO₂ 排出削減量を比較すると、BAU シナリオで 4.42 千万[t-CO₂]削減、EV:100%シナリオで 7.48 千万[t-CO₂]削減、EV:50% PHEV:50%シナリオで 6.61 千万[t-CO₂]削減となること
- グローバル生産における環境負荷原単位の違いによる影響評価
 - 生産国の違いは、電源構成により CO₂ 排出係数が異なるため、製造段階の CO₂ 排出量に大きな影響を与える。中国と日本で製造した場合の製造段階排出量は、約 1.6 倍中国の方が多いこと
 - 本税の枠組みを用いて生産地の違いによる製造段階の環境負荷の評価を税設計に組み入れることで、戦略的関税貿易への応用が期待されること

以上、クリーンエネルギービークル普及のための LCA を用いた炭素税設計の枠組みについて提示した。EV 普及社会においては無視できなくなる製造段階の環境負荷に着目し、これまでの走行段階中心の課税体系から LCA 全体を考慮した税システムを検討した。

また本研究では、新しい環境技術が必ずしもライフサイクル全体の環境負荷が小さいとは限らず、走行距離や使用時間によって PHEV や EV の CO₂ 排出量の小ささが逆

転すること，さらにメンテナンス・維持段階の手間やコストが CEV 毎に異なることを示した．

これは，現在積極的に行われているエコカー減税や補助金に対してインセンティブ策及び炭素税のあり方に，ひとつの知見を与えていると考える．安易にトータルの CO₂ 排出量が小さい商品に対して補助金や減税を付与するのではなく，本税によりライフサイクル全体の LCCO₂ に応じて課税することで，消費者自身が自身の使用期間や走行距離に応じてトータルの CO₂ 排出量が小さくなる車種を選択し，より課税額及び LCC が小さくなるよう自身の消費行動をコントロールできる可能性がある．

さらに一方で，PHEV や EV はこれから生産数が上がることでイニシャルコストが小さくなることや，電池の技術革新による低価格化が見込まれる．また，新たなモビリティとして超軽量 EV によるひとり乗り用モビリティの可能性も注目されている．EV のイニシャルコスト自体が圧縮されれば，本研究で求めた逆転税率よりも小さな税率で EV の LCC も逆転することが可能である．

EV はイニシャルコストが高すぎるために，他 CEV よりもライフサイクルにおけるコスト優位性を出すことは難しいが，2050 年電池価格の低下シナリオの 1/5～3/10 電池コスト圧縮等を考慮すれば，将来 EV に対しても本設計フレームワークを用いた炭素税をインセンティブ策として，補助金や減税の代わりに統合的に用いることも可能であると期待される．

これらの技術革新やエネルギー価格の時間変化，生産効率の向上によるコスト削減を鑑みた将来シミュレーションを含んだ分析，及び一般均衡理論を用いた経済性の評価が今後の課題である．

謝辞

本研究を行うにあたり，たくさんの方々から温かく厚いご指導をいただきました．とても全てを書き記すことはできませんが，心からの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は，未熟で研究のいろはも分からなかった私にいつも丁寧で熱心なご指導をくださいました．研究に取り組む姿勢，研究の価値とは何か，社会システムデザインを研究する者の心構え，国際社会に通用する研究を目指すために何をやるべきか，SDM 研究の価値とはなど，たくさんの教えを頂きました．研究の楽しさを知り，博士課程への進学を決意したのも先生との出会いがあったからです．引き続き先生の下で勉強させて頂きながら，グローバルな研究室の一員として研究成果を上げられるよう，何事にも積極的にチャレンジし，社会に貢献する知見につながる研究を目指して努力したいと思います．

副査の狼嘉彰教授には，システムエンジニアリングの価値と，国際社会で日本が戦う為の心構えを教えて頂きました．また Delft University of Technology への交換留学のチャンスを頂き，渡航前に「人との出会いが最も大切である．何よりも人とのつながりをつくってこること」というお言葉を頂きました．この言葉は，滞在中もそして今もずっと教訓として心に刻んでいます．

副査の浦郷正隆准教授は，数学的見地からたくさんの有意義な助言を頂きました．いつも丁寧にご指導くださいました．

佐々木正一教授には，次世代自動車の第一人者でいらっしゃるお立場から，貴重なご指導をたくさん頂きました．世の中のどこにも公表されていないような先生のご経験と知見からくる大変貴重なご助言を，いつも丁寧に教えてくださいました．

IMS アイディアファクトリー（テーマ 13）では，毎月の会議の中で大変貴重なご指導を頂きました．

謝辞

法政大学 木村文彦教授には、ライフサイクル評価や研究・分析の方向性について大変貴重なご指導をいただきました。先生がリーダを勤められる IFF へ参加させて頂いたからこそ、貴重なご指導に触れ本研究を進めることができました。心より感謝いたします。

トヨタ自動車株式会社 川瀬昌男氏には、自動車会社の深い知見とご経験から数え切れないほどの貴重なご指導を頂きました。また私の研究は、川瀬さんにアドバイス頂いた快適エネルギーとの出会いから始まっています。環境配慮商品と消費者、そして商品を提供する企業がどのように持続可能社会に対峙していくか。快適エネルギーに出会えたことに心から感謝します。

財団法人製造科学技術センター 八木淳一氏は、未熟な発表に対していつも丁寧に貴重なご指導をくださいました。毎回の会議で頂いたご指導やご指摘を、メモや議事録で何度も読み返しながら研究を進めてきました。

独立法人産業技術総合研究所 手塚明氏、清水建設株式会社 山崎雄介氏、株式会社日立製作所 濱塚康宏氏、株式会社日立製作所 弘重雄三氏、住友金属工業株式会社 岡村一男氏、三菱電機株式会社 吉川勉氏、三菱電機株式会社 岩津賢氏にも数え切れないほどのたくさんの貴重なご指導を頂きました。企業や研究所の第一線でご活躍されている皆様からのコメントひとつひとつがとても有難く、大変勉強になりました。

Delft University of Technology TPM の先生方にも貴重なご指導をたくさん頂きました。

Zofia Lukszo 准教授には、滞在中のスーパーバイザーをお引き受けくださり、留学当初まだ慣れなかった私に、大変優しく丁寧に指導くださいました。オランダと日本の環境税制の違いや、ヨーロッパのエネルギー政策などの実務面のみならず、海外で研究をする際の文化の違いや、姿勢などを教えていただきました。

Jan Annema 准教授には、研究テーマが最も近く論文や研究の方向性に関してたくさんのアドバイスをくださいました。Ab Stevels 教授には、発表論文のストーリーやデータの分析方法などたくさんの貴重なご指導を頂きました。Paulien Herder 准教授には、TPM のみならず、関連する研究所や他研究科、他大学の先生方にお会いしたいとご相

談した際に、お忙しい中大変丁寧にご対応くださり、たくさんの先生を紹介くださいました。また LCC に関して貴重なご助言を頂きました。

Els Van Daalen 准教授は、ソフトシステムエンジニアリングを勉強したいと申し出た私に、そういった講義が無いとのことで直接ご指導をくださいました。また留学中の生活全般に対して、大変温かく厚いサポートをしてくださいました。

富山哲男教授には、留学の意義、心構えについて大変貴重なお言葉をくださいました。高本仁志氏は、社会システムのモデル化、シミュレーションに関して、また、博士課程進学を目指す心構えなどたくさんの貴重なアドバイスをくださいました。

エネルギーインダストリーグループでお世話になった Remco Verzijlbergh 氏、Michiel Houwing 氏、Chris Davis 氏、Behzad Behdani 氏にも心から感謝の意を述べたいと思います。滞在中同じフロアで楽しく研究活動ができたのは、温かく接して下さった皆さんのおかげです。皆さんと交わした議論は、決して忘れません。

Eindhoven University of Technology, Mechanical Engineering / Systems Engineering の Koos Rooda 教授、Leiden University, Faculty of Science, Institute of Environmental Sciences (CML) の Reinout Heijungs 准教授にも心から感謝いたします。他大学にも関わらずご面談のお時間を割いてくださり、質問ひとつひとつに丁寧にご指導くださいました。たくさんの貴重なご助言を頂きました。

白坂成功准教授には、アーキテクティングゼミの中で、社会システムアーキテクティングに関するたくさんの貴重なご指導を頂きました。システムエンジニアリングの第一人者のお立場から、どんな質問にも丁寧に答えてくださり、たくさんの気づきを頂きました。

湊宣明助教には、英語論文や海外の先生とのコミュニケーションなど貴重なご指導をたくさん頂きました。また留学に関して先生がくださったアドバイスの数々は、今でも私の宝です。将来につながるよう、努力したいと思います。

神武直彦准教授には、Delft University of Technology への交換留学に際して、貴重なご指導とご助言をたくさん頂きました。交換留学 1 期生として分からないことや不安が

あった中、無事留学生生活を終え、大変有意義で貴重な経験をさせて頂いたのも先生のご指導とご配慮のおかげです。

佐々木研究室の瀬戸寿之氏には、数え切れないほどのアドバイスと気付きを頂きました。修士研究を進めることができたのは、瀬戸さんのおかげです。同じ教室で研究させて頂いたこと、交わした議論の全てが今につながっています。目標であり心から憧れる氏に近づけるように、いつの日か同じステージに立てるよう自分の道を頑張ります。

加藤桂太氏、渡邊安晋氏、高橋哲郎氏は、同じ CEV を扱う初めての研究仲間としてたくさんの議論を共にさせてもらいました。テーマや切り口こそ違うものの、同じ CEV を対象に研究する同士ができたおかげで、M2 に進んでから私の研究スタイルはがらりと変わりました。心から感謝するとともに、これからも宜しくお願いします。

柄井匡氏、都丸孝之氏、酒井仁氏、中野友道氏、倉本新弥氏、藤堂寧子氏、辻英美子氏、中野研究室の皆さん、アーキテクティングゼミの皆さん、同じ部屋で毎日刺激を受けながら研究を共にした 03 教室の皆さん、そして SDM の全ての皆様に心より感謝します。

そして最後に、日々支えてもらっている家族にも心からの感謝の意を述べたいと思います。

参考文献

- [1] G8 Summit 2009 official website, <http://www.g8italia2009.it/>, accessed in November 2009.
- [2] 環境省, 気候変動枠組条約第 15 回締約国会議 (COP15) 及び京都議定書第 5 回締約国会合 (COP/MOP5) の結果について (お知らせ), 2009, <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=11933>, accessed in January 2010.
- [3] MKinsey & Company, Roads toward a low-carbon future: Reducing CO2 emissions from passenger vehicles in the global road transportation system, 2009, http://www.mckinsey.com/client-service/ccsi/roads_toward.asp, accessed in November 2009.
- [4] International Energy Agency, Energy Technology Perspective 2008 _Scenarios and Strategies to 2050, Organization for Economic Cooperation & Development, 2008.
- [5] 日本自動車販売協会連合会, 新車乗用車販売ランキング ランキング 30 位 2009 年, <http://www.jada.or.jp/contents/data/ranking/index.php>, accessed in January 2010.
- [6] トヨタ自動車株式会社, プリウス Web Site, <http://toyota.jp/prius/>, accessed in January 2010.
- [7] 三菱自動車工業株式会社, Web Site, <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/>, accessed in January 2010.
- [8] 環境省, 温室効果ガス 2050 年 80%削減のためのビジョンについて, 2009, <http://www.env.go.jp/earth/info/80vision/>, accessed in January 2010.
- [9] 古川浩太郎, 自動車関連税制の現状と課題 ―道路特定財源としての側面を中心に―, レファレンス 国立国会図書館調査及び立法考査局, 平成 19 年 8 月号, 2007.
- [10] 若林雅代, 杉山大志, 欧州環境税の実効性に関する事例研究レビュー, Socio-economic Research Center, Rep. No.Y06002, 2006.
- [11] Fujiwara, N. et al, The Political Economy of Environmental Taxation in European Countries, CEPS Working Document, No.245, 2006.
- [12] 環境省, 環境税の具体案, 2009, <http://www.env.go.jp/policy/tax/know/0811/0811a.pdf>, accessed in January 2010.
- [13] 環境省, 地球温暖化対策税の具体案 (環境省、平成 21 年 11 月), 2009, <http://www.env.go.jp/policy/tax/plans/0911/0911a.pdf>, accessed in January 2010.

- [14] 環境省, 気候変動枠組条約・京都議定書, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/cop.html>, accessed in January 2010.
- [15] 環境省, 環境基本法, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H05/H05HO091.html>, accessed in January 2010.
- [16] 環境省, 環境基本計画, http://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/index.html, accessed in January 2010.
- [17] 環境省, 地球温暖化対策推進法, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ondanhou.html>, accessed in January 2010.
- [18] 環境省, 京都議定書目標達成計画, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/kptap/plan.html>, accessed in January 2010.
- [19] 首相官邸, 持続可能な社会保障構築とその安定財源確保に向けた「中期プログラム」(一部改正) (平成 21 年 6 月 23 日) [閣議決定], 2009, <http://www.kantei.go.jp/jp/kakugikettei/2009/0623tyuuki.pdf>, accessed in January 2010.
- [20] 環境省総合環境政策局, グリーン購入法について, <http://www.env.go.jp/policy/hozen/green/index.html>, accessed in January 2010.
- [21] 環境省総合環境政策局, グリーン契約 (環境配慮契約) について, <http://www.env.go.jp/policy/ga/index.html>, accessed in January 2010.
- [22] 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスウェブページ, 日本の温室効果ガス排出量データ (1990 年-2008 年度速報値), 2009, http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/data/2009/L5-6gas_preliminary_2010-gioweb_J1.0.xls, accessed in January 2010.
- [23] 環境省, 二酸化炭素排出量の排出区分 (部門) の内訳について, 2009, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/index.html>, accessed in January 2010.
- [24] UNEP, Activities in Sustainable Consumption, <http://www.unep.org/themes/consumption/index.asp>, accessed in January 2010.
- [25] 蓮友行, 宮川昌治, タイプ I 環境ラベル「エコマーク」に対する消費者及び企業からの評価と今後の課題, Journal of Life Cycle Assessment, Japan, Vol.3, No.4, pp.208-211, 2007.
- [26] 韓英珍, 近藤加代子, オンラインショップにおける商品の環境情報表示に関する研究—オンライン販売企業および消費者を対象にした調査をもとに—, 環境情報科学論文

- 集, Vol. 21, pp. 25-30, 2007.
- [27] 広瀬幸雄, 環境配慮的行動の規定因について, 社会心理学研究, Vol. 10, No. 1, pp. 44-55, 1994.
- [28] 社団法人日本自動車工業会, 自動車関係諸税 表 3:自動車の税金のしくみ, 2009, http://www.jama.or.jp/tax/outline/table_01.html, accessed in January 2010.
- [29] 道路行政研究会編, 道路行政 平成 18 年度 全国利用者会議, 2007, pp.128-129, 2007.
- [30] 財団法人 日本自動車研究所, 財団法人 エンジニアリング振興協会, 固体高分子形燃料電池システム実証等研究 (第 1 期 JHFC プロジェクト) 報告書, pp.136-180, 2006, <http://www.jhfc.jp/data/report/pdf/tuuki.pdf>, accessed in August 2009.
- [31] 米国アルゴンヌ国立研究所, GREET モデル.
- [32] みずほ情報総研, トヨタ自動車, 輸送燃料の製造に伴う温室効果ガス排出量に関する研究報告書.
- [33] 星博彦, LCA による自動車のトータルエネルギーの評価, エンジンテクノロジーレビュー, pp.61-66, 2009.
- [34] Malcom A. Weiss, et al, Energy Laboratory Report # MIT EL 00-003, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [35] Kudoh, Y. et al, Life cycle CO2 emissions of FCEV, BEV and GV in actual use, proceedings of the 23rd international battery, Hybrid and fuel cell vehicle symposium & exposition (CD-ROM), 2007.
- [36] M. Rantik, Life Cycle Assessment of Five Batteries for Electric vehicles Under Different Charging Regimes, Report, KFB-Stockholm, 1999.
- [37] 梶山啓輔, 岡島敬一, 内山洋司, ライフサイクルからみた蓄電池の電力負荷平準化等によるエネルギー・環境改善効果, Journal of life cycle assessment Japan, vol.2, No.4 , 2006.
- [38] 中野諭, 平湯直子, 鈴木将之, 電気自動車 ELICA の LCA, KEO Discussion Paper no.112, 2008.
- [39] 疋田浩一, 清水浩, 工藤祐揮, 電気自動車 KAZ の LCA, 学振未来 WG2-52 No.G-158, 2002.
- [40] Tahara, K. et al, Comparison of CO2 Emissions from Alternative and Conventional Vehicles,

- World Resource Review, vol.13 No.1, pp.52-60, 2001.
- [41] トヨタ自動車株式会社, 2001 年度環境報告書, 2001.
- [42] Cuenca, R. M., Gaines, L. L., Vyas, A. D., Evaluation of electric vehicle production and operating costs, Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, Argonne, IL, Rep. ANL/ESD_41, 1999.
- [43] Lester B. Lave, Heather L. MacLean, An environmental-economic evaluation of hybrid electric vehicles: Toyota's Prius vs. its conventional internal combustion engine Corolla, Transportation Research Part, D7, pp.155-162, 2002.
- [44] トヨタ自動車株式会社, <http://toyota.jp/>, accessed in January 2010.
- [45] 日産自動車株式会社, <http://www.nissan.co.jp/>, accessed in January 2010.
- [46] 本田技研工業株式会社, <http://www.honda.co.jp/>, accessed in January 2010.
- [47] 三菱自動車工業株式会社, <http://www.honda.co.jp/>, accessed in January 2010.
- [48] Mikhail Granovskii, Ibrahim dincer, Marc A. Rosen, Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles, Journal of Power Sources, vol.159, pp.1186-1193, 2006.
- [49] Lester B. Lave, Heather L. MacLean, An environmental-economic evaluation of hybrid electric vehicles: Toyota's Prius vs. its conventional internal combustion engine Corolla, Transportation Research Part D7, pp.155-162, 2002.
- [50] 金本良嗣, 自動車関連環境施策の事後的評価と今後の対策に関する研究, 日交研シリーズ A-446 平成 19 年度共同研究プロジェクト 自動車関連環境施策, 2008.
- [51] 塚田道治, 松橋隆治, 吉田好邦, 石谷久, 小林紀, 武石哲夫, ロジットモデルを用いた運輸部門の CO2 排出量低減策の分析, Japan Society for Simulation Technology, vol.15, No.2, pp.131-138, 2006.
- [52] Satoru Kasahara, Sergey Paltsev, John Reilly, Henry Jacoby, Denny Ellerman, Climate Change Taxes and Energy Efficiency in Japan, Environmental & Resource economics, vol.37, pp.377-410, 2007.
- [53] Masaru Nakano, System design for green sustainable manufacturing, 2009.
- [54] Masaru Nakano, A Conceptual Framework for Sustainable Manufacturing by Focusing on Risks in Supply Chains, Proceedings of International Advanced Production Management Systems Conference, The International Federation for Information Processing (IRIP)

- WG5.7, Bordeaux, 2009.
- [55] Krista. M. Donaldson, Kosuke Ishii, Sheri D. Sheppard, Customer Value Chain Analysis, Research in Engineering Design, vol.16, pp.174-183, 2006.
- [56] 工藤祐揮, 自動車の LCA –本当に環境にやさしいクルマは？–, 資源環境対策, vol.44, No.5, pp.32-37, 2008.
- [57] Toyota Motor Co., Ltd., LCA for Prius, <http://toyota.jp/prius/ecology/index.html>, accessed in October 2009.
- [58] 社団法人産業管理協会, JEMAI セミナー資料 (パナソニック 2009/01) , http://www.jemai.or.jp/lcaforum/seminar/pdf/lca090128_2.pdf/, 2009, accessed in January 2010.
- [59] Hyogo Toyota Motor Co., Ltd., service reminder of maintenance, <http://www.hyogotoyota.co.jp/service/index.html>, accessed in October 2009.
- [60] 本田技研工業株式会社, シビック, <http://www.honda.co.jp/CIVIC/>, accessed in January 2010.
- [61] 武藤慎一, 徳永澄憲, 沖山充, 二酸化炭素排出抑制に着目した自動車関連環境政策の実証的評価, 第 30 回土木計画研究発表会・講演集, 2004.
- [62] 財団法人日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編, EMDC/エネルギー・経済統計要覧 (2009 年版) , pp.56-57, 財団法人省エネルギーセンター発行, 2009.
- [63] 社団法人 産業環境管理協会 環境会計研究センター活動推進委員会, 平成 15 年度環境ビジネス発展促進等調査研究 (環境管理会計) 報告書, 2003, http://www.jemai.or.jp/CACHE/eco-efficiency_details_detailobj901.cfm, accessed in January 2010.
- [64] トヨタ自動車株式会社, COROLLA, <http://toyota.jp/corollaaxio/index.html>, accessed in January 2010.
- [65] トヨタ自動車株式会社, PREMIO, <http://toyota.jp/premio/>, accessed in January 2010.
- [66] トヨタ自動車株式会社, PRIUS, <http://toyota.jp/prius/>, accessed in January 2010.
- [67] 本田技研工業株式会社, FIT, <http://www.honda.co.jp/Fit/>, accessed in January 2010.
- [68] 本田技研工業株式会社, INSIGHT, <http://www.honda.co.jp/INSIGHT/>, accessed in January 2010.
- [69] 松本光崇, 近藤伸亮, 藤本淳, 梅田靖, 槌屋治紀, クリーンエネルギー自動車の普及評

- 価モデルの構築, Journal of Japan Society of Energy and Resources, vol.29, No.3, 2008.
- [70] AAMA, AAMA Motor vehicle facts and figures '97, American automobile manufacturers association, Detroit, Mich, 1998.
- [71] 環境省, 次世代自動車普及戦略 (2009 年 5 月), 2009.
- [72] 環境省, 諸外国における温暖化対策に関する主な税制改正の経緯, <http://www.env.go.jp/policy/tax/about/pdf/mat11-1.pdf>, 2009, accessed in January 2010.
- [73] 環境省, 諸外国における温暖化対策に関する主な税制改正の経緯, 2009, <http://www.env.go.jp/policy/tax/about/pdf/mat11-1.pdf>, accessed in January 2010.
- [74] 株式会社日本政策金融公庫 国際協力銀行, 日経・JBIC 排出量取引参考気配の 2008 年度推移について, 2009, http://www.joi.or.jp/carbon/pdf/index_2008.pdf, accessed in November 2009.
- [75] 石油産業活性化センター, 石油製品油種別 LCI 作成と石油製品環境影響評価調査報告書 (平成 11 年度石油精製合理化基盤調査事業) PEC-1999R-13, 2002.
- [76] 環境省地球環境局地球温暖化対策課温室効果ガス排出算定方法検討会, 2002.
- [77] 国土交通省, H19 年度自家用車の燃料使用量, 自動車輸送統計年報 平成 19 年度版, 2007.
- [78] 国土交通省, H19 年度自家用台数, 自動車輸送統計年報 平成 19 年度版, 2007.
- [79] 財団法人自動車検査登録情報協会, 車種別の平均車齢推移表, <http://www.airia.or.jp/number/index2.html>, accessed in January 2010.
- [80] 船崎淳, LCA 手法による自動車環境負荷の総合評価, 自動車技術, vol.60, No.11, pp.31-24, 2006.
- [81] 野田明, 佐藤由雄, 佐藤辰二, 塚本雄次郎, 重量車の実走行燃費に対する各種影響要因のシミュレーション解析, 独立行政法人 交通安全環境研究所 研究発表会 平成 13 年度, <http://www.ntsel.go.jp/ronbun/happyoukai/happyoukai13.html>, 2001, accessed in January 2010.
- [82] NEDO 技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部 蓄電池開発室, NEDO 次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ 2008, 09CEV2-5, 2009.
- [83] 経済産業省, 次世代自動車用電池の将来に向けた提言, 2006, <http://www.meti.go.jp/press/20060828001/20060828001.html>, accessed in January 2010.

- [84] 社団法人日本自動車工業会, 2009 (平成 21) 年度自動車関連税収と税率, 2009, http://www.jama.or.jp/tax/outline/table_02.html, accessed in August 2009.
- [85] Life Cycle Assessment Society of Japan(JLCA), JLCA-LCA データベース 2004 年度 2 版.
- [86] 環境省, 「総合エネルギー統計 (平成 15 年度版) , 平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会 (環境省, 平成 14 年 8 月) 新エネルギー・産業技術総合開発機構作成」, 2002.
- [87] IEA, Energy Balances of OECD Countries 2008, Energy Balances of Non-OECD Countries 2008, 2009.
- [88] 財団法人日本自動車研究所 JHFC 総合効率検討特別委員会, 「JHFC 総合効率検討結果」 報告書, 2006.
- [89] C. Handley, N. Brandon, R. Vorst, Impact of the European Union vehicle waste directive on end-of-life options for polymer electrolyte fuel cells, J. Power Sources, vol.106, pp.344-352, 2002.
- [90] Muto, S., Morisugi, H., Ueda, T., Measuring Market Damage of Automobile Related Carbon Tax by Dynamic Computable General Equilibrium model, ERSa the 43rd European Congress, CD-ROM, no.257, 2003.
- [91] 森杉壽芳, LCA 的視点による自動車交通の二酸化炭素排出量抑制政策に関する研究 - 自動車関連環境税の市場経済的不便益の計測 -, 日交研シリーズ A-328 平成 13 年度プロジェクト, pp.1-33, 2002.10.
- [92] Norman Brinman, General Motors Corporation, et al, Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems, Argonne National Laboratory 2005.
- [93] L-B-Systemtechnik GmbH, Well-to-Wheel Analysis of Energy use and Greenhouse gas emissions of Advanced Fuel/Vehicle systems –A European study, <http://www.lbst.de/gm-wtw>, accessed in November 2009.
- [94] R. Dhingra, J. Overly, G. Davis, Life-Cycle Environmental evaluation of Aluminum and Composite Intensive Vehicles, Report, University of Tennessee, Center for Clean Products and Technologies, 1999.
- [95] C. Handley, N. Brandon, R. Vorst, Impact of the European Union vehicle waste directive on end-of-life options for polymer electrolyte fuel cells, J. Power Sources, vol.106, pp.344-352,

- 2002.
- [96] Huppes, G., M. van Rooijen, R. Kleijn, R. Heijungs, A. de Koning, L. van Oers, Life Cycle Costing and the Environment, with Dutch summary. Report WROM-DGM commissioned by the Ministry of the Environment for RIVM Expertise Center LCA, Zaaknummer 200307074., 2004, <http://cml.leiden.edu/research/industrialecology/research/publications-ie.html>, accessed in November 2009.
 - [97] Goran Finnveden, Michael Z. Hauschild, Tomas Ekvall, Jeroen Guinee, Renout Heijungs, Stefanie Hellweg, Annette Koehler, David Pennington, Sangwon Suh, Recent developments in Life Cycle Assessment, *Journal of Environmental Management*, vol.91, pp1-21.2009.
 - [98] Annik Magerholm Fet, Erwin M. Schau, and Cecilia Hskins, A Framework for Environmental Analyses of Fish Food Production Systems Based on Systems Engineering Principles, *Systems Engineering*, Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com), DOI 10.1002/sys.20136, 2009.
 - [99] 自動車技術会, 自動車技術ハンドブック第 9 分冊 (整備・リサイクル・LCA 編), pp.99-132, 2006.
 - [100] 森本一史, 自動車におけるライフサイクルアセスメントの現状, 豊田中央研究所 R&D レビュー, vol.30, No.2, pp.1-12, 1995.
 - [101] Junko Kurihara, Chika Amemiya, Tomoyuki Ohta, Masatomo Mizuta, Junko Kurihara, Asako Kawashima, Kazuaki Utsumi, Development of Laminate-type Mn Li-Ion Battery for Large-current Rapid Charging System of Electric Vehicles, 4th European Conference Alternative Energies for Automotive Industry Futuroscope-Politiers, 2008.
 - [102] 財団法人電力中央研究所, 電中研ニュース 433, 電気自動車社会はどのような効果をもたらすかープラグインハイブリッド車の普及による電力需要への影響と CO2 削減効果, 2006.
 - [103] 小林由典, 春木和仁, 積上げ法と産業連関分析法を融合した LCA・ハイブリッド法の一提案, *IEEJ Trans. EIS*, vol.123, No.10, 2003.
 - [104] 小林由典, 雨宮久美子. et al, 産業連関データベースに基づく LCA 手法の性能評価分析, *電学論 C*, 121 巻 12 号, 2001.
 - [105] 吉田好邦, 石谷久. et al, 産業部門におけるエネルギー消費量の不確かさを考慮した

- LCA の信頼性評価, エネルギー・資源, vol.22 No.5, 2001.
- [106] 小林英樹, 小林由典, 幡中秀治, ライフサイクルアプローチに基づく環境調和型設計支援, 東芝レビュー, vol.60 No.1, 2005.
- [107] NEDO 技術開発機構 燃料電池・水素技術開発部 蓄電技術開発室, NEDO 次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ 2008, 2009.
- [108] 環境省, 平成 14 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会, 総合エネルギー統計 (平成 15 年度版), 2002.
- [109] 中村大紀, 経済産業省におけるカーボンフットプリント制度構築への取組, エネルギー・資源, vol.30, No.3, pp.7-8, 2009.
- [110] 西尾チヅル, 竹内淑恵, 消費者のエコロジー行動とコミュニケーションの方向性, 日経広告研究所報, vol.320, pp.18-24, 2006.
- [111] 栗島英明, 工藤祐揮, 井原智彦, 本下晶晴, 本田智則, 人々の低炭素型生活行動に対する意思形成と実践の規定因に関する研究, 第 4 回 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.258-259, 2009.
- [112] 環境省, 環境にやさしいライフスタイル実態調査 (平成 19 年度調査), 2007.
- [113] 板明果, 高瀬浩二, 近藤康之, 鷲津明由, 食に関するライフスタイル変化の環境影響評価: WIO 分析の応用, 第 17 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 2006, pp.135-137, 2006.
- [114] 李一石, 伊坪徳宏, 稲葉敦, 松本幹治, 地域 LCA 手法の開発に向けてのアプローチー地域特性を考慮した間接効果の検討, 環境情報科学論文集 19, pp.479-484, 2005.
- [115] Cecilia Tiemi Makishi Colodel, Systematic approach for the transferability of life cycle inventory data between countries, EcoBalance 2008 Proceedings, pp.1-9, 2008.
- [116] Jean-Jacques Chanaron, Life Cycle Assessment Practices: Benchmarking Selected European Automobile Manufacturers, International Journal of Product Lifecycle Management2, vol.3, pp290-311, 2007.
- [117] Constantine Samaras, Kyle Meisterling, Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from plug-in hybrid vehicles: Implications for policy, Environmental science & technology, vol.42, No.9, pp.3170-3176, 2008.
- [118] Ching-shin Norman Shiau, Constantine Samaras, Richard Hauffe, Jeremy J. Michalek,

- Impact of battery weight and charging patterns on the economic and environmental benefits of plug-in hybrid vehicles, *Energy Policy*, vol.37, pp.2653-2663, 2009.
- [119] Craig H. Stephan, John Sullivan, Environmental and energy implications of plug-in hybrid-electric vehicles, *Environmental science & technology*, vol.42, No.4, pp.1185-1190, 2008.
- [120] Paulina jaramilo, Constantine Samaras, Heather Wakeley, Kyle Meisterling, Greenhouse gas implications of using coal for transportation: Life cycle assessment of coal-to-liquids, plug-in hybrids, and hydrogen pathways, *Energy Policy*, vol.37, pp.2689-2695, 2009.
- [121] Ryuji Matsubishi, yuki Kudoh, Yoshikumi Yoshida, Hisashi Ishitani, Michifumi Yoshioka, Kanji Yoshioka, Life cycle of CO₂-emisisions from electric vehicles and gasoline vehicles utilizing a process-relational model, *The international journal of life cycle assessment*, vol.5, No.5, pp.306-312, 2000.
- [122]三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング, 外国為替相場 前年の年末・年間平均 2009 年末及び年間平均, http://www.murc.jp/fx/year_average.php, accessed in January 2010.
- [123] 環境省地球環境局 地球温暖化対策課 温室効果ガス排出量算定方法検討会, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/kento/h1408/index.html>, accessed in January 2010.

付録

- 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 [No.09-6] 第 19 回設計工学・システム部門講演会 CD-ROM 論文集, pp.589-592, 2009.
- Tomomi Nonaka, Masaru Nakano, The Carbon Taxation by Using LCA including the Manufacturing Phase for Clean Energy Vehicles, M4SM Workshop in the frame of EUROMAINTENANCE2010 Conference, 2010.
(Extended abstract accepted, full paper 2010 年 2 月初旬投稿中)
- 野中朋美, 中野冠, クリーンエネルギービークル普及のための LCA を用いた炭素税設計, 日本機械学会論文集 C 編 2010 年 11 月号特集号投稿予定

環境配慮型商品普及のための環境税設計に関する研究

A study on Designing Environmental tax for Spreading of Environmentally Friendly Products

○野中朋美（慶大）

正 中野 冠（慶大）

Tomomi NONAKA, Keio University, Yokohama

Masaru NAKANO, Keio University, Yokohama

Key Words: Environmental tax, Clean Energy Vehicle(CEV), Life Cycle Assessment, Environmentally Friendly Products

Japanese government has enhanced various kinds of environmental policies towards the low-carbon society. The objective of this study is to design environmental taxation system in order to promote environmentally friendly products. This paper proposes an environmental taxation scheme for clean energy vehicle's (CEV) by using LCCO2 emissions through three phases; material production phase, manufacturing phase, and running phase. The idea comes from the estimation that the rate of manufacturing phase in LCCO2 increases as the CEV's penetration grows. The simulation results shows that the CEVs has less life cycle costs than conventional gasoline cars with a certain rate of the environmental tax which will help consumers to choose CEVs. Some problems such as reduction of the total tax are discussed as well.

1. はじめに

1-1 背景

政府は Cool Earth 50 を掲げ低炭素社会づくりに向けて取組みを強化している。日本では、これまで製造プロセス改善や省エネルギー商品、環境配慮型商品開発など、産業部門の CO2 排出量削減において特に成果を上げてきた。一方の民生部門に対する対策として、Cool Earth 50 では、政府は提案の 3 つの柱のひとつに「国民運動の展開」を掲げ、制度的な対応も含めて取組みを強化し、ライフスタイルの見直しや家庭と職場での努力や工夫を呼びかけるとしている。民生部門に対しては、意識や啓蒙だけでなく、具体的に効果に直結する仕組みや制度が求められている。

1-2 研究目的

本研究では、消費者が環境配慮型商品を選択し、環境配慮型商品を普及させるための具体的方法として、LCCO2（商品のライフサイクルにおける CO2 排出量）を用いた環境税の設計手法を検討することを目的とする。商品は、ハイブリッドカーの販売好調やエコカー減税で注目されているクリーンエナジービークル（CEV）を対象とする。

1-3 従来研究とその特徴

社会心理学の分野では環境配慮行動とその規定因子を要因連関モデルとして表し、環境認知は目標意図とはなりえても、行動意図の直接の規定因子とはなりにくいと言及している⁽¹⁾。消費者の具体的な行動変化や影響に関しては研究が進んでいる段階であるといえる。

一方、外部不経済（external diseconomy）を市場経済の内部に取り込む経済的措置のひとつとして環境税が検討されている。価格アナウンスメント効果や消費者のコストパフォーマンスに直接影響する課税措置により、環境配慮商品の促進を目指すものである。環境省は、税制のグリーン化の検討を進め環境税の具体案（平成 20 年 11 月）⁽²⁾を検討している。

自動車関連税制は、これまで走行段階の燃費や投入エネルギーを中心に税設計がされてきた。ガソリン車においては、走行段階のエネルギー投入量や CO2 排出量が圧倒的に大きいため、環境改善を目指す際には走行段階の環境負荷が大部分を占めるからである。環境省の税制案⁽²⁾や欧州の環境税⁽³⁾においても、走行段階の投入エネルギーや CO2 排出に対して課税をする体系である。

しかし、ハイブリッド車（HEV）や電気自動車（EV）などの CEV においては、走行段階のエネルギー投入量や CO2 排出量が減少し、ライフサイクル全体の環境負荷が小さくなる一方で、ライフサイクル全体の中で製造段階の環境負荷が占める割合が増加してくる。これは、環境技術の実装においてガソリン車よりも製造段階に負荷が大きいことと、ガソリンよりも CO2 排出量原単位の低い電気をエネルギー源とすることに起因する⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

前述の理由により自動車関連税制の先行研究では、燃費改善を中心とした減税や補助金政策などの効果による分析がされているが、CEV にとって重要となる製造段階を考慮した例はない。そこで本研究では、走行段階及び製造段階両方の LCCO2 を考慮した環境税設計の枠組みの検討とその検証を行った。

2. 要求分析

現行の自動車関連税制は複数の財源としての役割と目的を持つ税によって構成されている。例えば自動車重量税は、道路の補修などを目的に重量別に課税体系が異なる目的税であるのに対し、自動車取得税は贅沢税として税込確保を目的とする側面が大きい。

本研究で設計する環境税は、財源としては社会財源としての機能を継続させるのみに留め、社会全体の CO2 排出量を削減するという施策の実行手段としての機能を持たせること、及び環境配慮商品の普及を促進させることを主眼とする。

本環境税設計における要求を、企業、消費者、政府のステークホルダー毎に Fig.1 に示す。

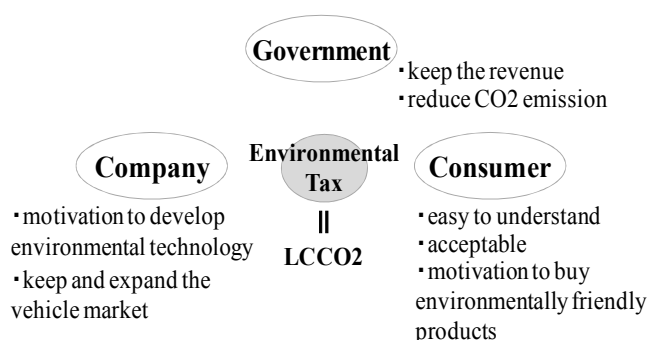


Fig.1 Requirement for environmental tax designing

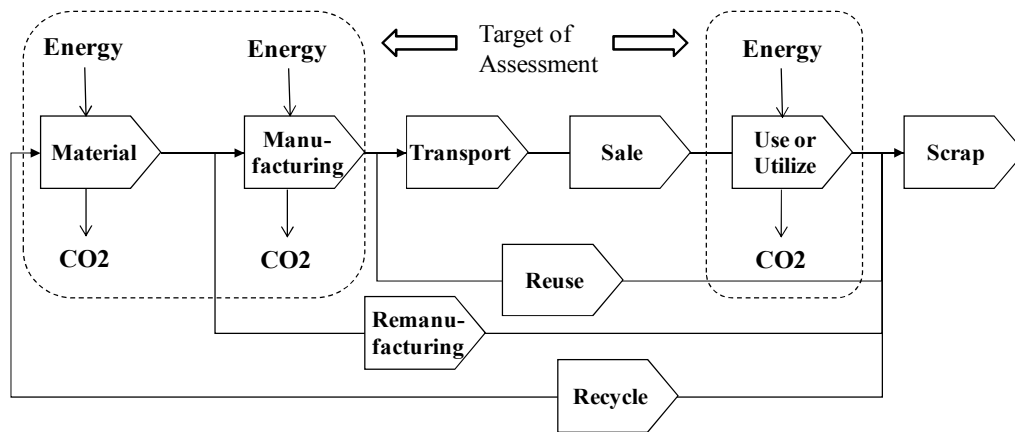


Fig.2 Life cycle process for the assessment (LCCO2)

3. 環境税の設計方針（基本設計）

現行の自動車関連税制を、消費税を除いて全て本税に置き換える前提で設計を行う。

まず、税率を設計する前提となる CEV 別の LCCO2 量を把握する。LCCO2 の対象は、Fig.2 に示す通り CEV 固有の製造段階と従来重視されてきた走行段階を含む「原料調達段階」「製造段階」「走行段階」の 3 段階とする。

次に、CEV 普及予測から、各年の CEV 別 CO2 排出量を計算し、乗用車からの CO2 総排出量を求める。最後に、現在と同程度の税率を維持し、かつ環境負荷量が低い商品にはインセンティブとなり、逆に負荷が高い商品では制約となるような税率を検討する。

4. 環境税の具体的設計（詳細設計）

4-1 対象商品

対象 CEV は、ガソリン車 (GV)、ハイブリッド車 (HEV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV)、電気自動車 (EV) とする。排気量は 1500cc を想定する。

なお、PHEV については公開されているデータが少なく値のばらつきも大きかったため、LCCO2 及びコストを HEV と EV の中間値と仮定して推計した。

4-2 環境負荷量 (LCCO2) の把握

製造段階と走行段階の LCCO2 を先行研究より参照し Table.1 に示す⁽⁴⁾⁽⁵⁾。HEV の製造段階はデータが公表されていないため、GV の 1.1 倍で推計した⁽⁶⁾。また、走行段階は 10 万 km 走行として計算した。GV の走行段階の排出量が製造段階に比較して約 4.6 倍なのに対し、EV は走行段階よりも製造段階が約 1.9 倍多い。製造段階の割合が GV と比較して大きいのが CEV の特徴である。

Table.1 LCCO2 of manufacturing or running phase [kg-CO2]

	Manufacturing	Running
EV	9,200	4,775
HEV	4,510	12,225
PHEV	6,855	8,500
GV	4,100	19,050

※Manufacturing phase: quotation from(4)

※Running phase: supposition by author as hundred thousand km from (5)

※EV: lithium-ion rechargeable battery

4-3 CEV 普及台数・販売台数予測

環境省の次世代自動車普及⁽⁷⁾による CEV 普及台数及び新車

販売台数予測値を Table.2、Table.3 に示す。また GV は、CEV 以外の「その他の乗用車」として推計した。

4-4 各年の CEV 別 CO2 総排出量予測

4-2、4-3 で求めた CEV 別の環境負荷量 (LCCO2) と普及台数及び新車販売台数を乗じて計算した、各年の CEV 別 CO2 総排出量を Fig.3 に示す。CEV の普及に伴い排出量は増加していく。特に HEV は、CEV の中で普及台数が圧倒的に多いため、CO2 総排出量が大きく増加する。

Table.2 Projection of sales of new CEV [1000cars]

	2009	2010	2020	2030	2040	2050
EV	0.0	2.5	170.0	278.0	240.8	264.8
HEV	140.0	198.0	1,118.0	1,160.0	1,148.0	1,118.0
PHEV	0.0	3.0	349.0	625.0	709.0	620.2
GV	4,762.0	4,707.0	3,105.0	2,419.0	2,255.0	2,042.0

※Data from Ministry of the Environment (7)

※Only car (except bus, track and taxi)

Table.3 Projection of possession of CEV [1000cars]

	2009	2010	2020	2030	2040	2050
EV	0.0	2.5	668.0	2,144.0	2,863.0	3,266.0
HEV	140.0	336.8	7,945.0	11,766.0	13,549.0	14,466.0
PHEV	0.0	3.0	1,313.0	4,960.0	6,939.0	7,797.0
GV	65,985.0	65,449.0	55,156.0	40,776.0	32,468.0	27,704.0

※Data from Ministry of the Environment (7)

※Only car (except bus, track and taxi)

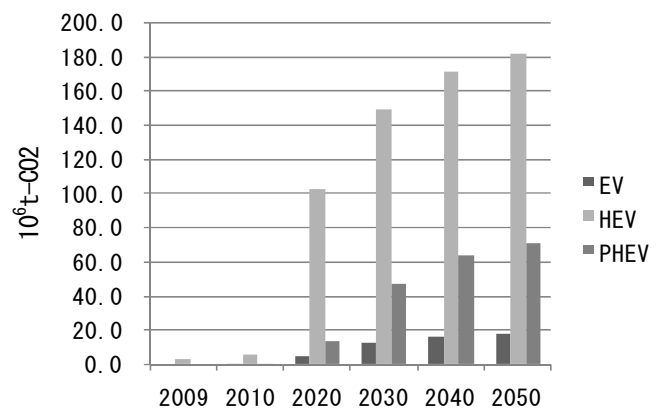


Fig.3 Amount of CO2 emissions from CEVs

4-5 税率の検討

環境負荷が低い商品にはインセンティブとなり、逆に高い商品には制約となるような税率を検討する。

まず、ライフサイクルコストを把握するために仮定した購入価格と、走行段階でのランニング費用（ガソリン及び電気代）を Table.4 に示す。ランニング費用は、1km 走行当りの一次エネルギー投入量⁽⁵⁾、及び 2007 年のエネルギー価格（エネルギー源別小口・小売価格）⁽⁸⁾から推計し、エネルギー価格の時間変化に関しては考慮の対象外とした。

Table.4 Initial cost and running cost

	Initial cost	Running cost
EV	4,000,000	564,385
HEV	2,000,000	710,682
PHEV	3,000,000	637,534
GV	1,200,000	1,131,290

※Initial cost : assumption by the authors

※Running cost : supposition by the authors from (5)(8)

Table.5 に現在の税収を、4-4 で求めた CO2 総排出量で除して税率を計算した結果を示す。現在の税収は 2009 年の車体課税及び燃料課税から消費税を除いて総計した 69,065 億円⁽⁹⁾を用いた。CO2 総排出量は減少していくため、税率は上昇していくことが分かる。また、CEV の普及が進むほど走行段階の CO2 排出量は減少するため、製造段階を考慮しない課税の場合、税率の上昇はさらに加速することが示唆される。

ここで、比較検討する税率として、欧州の環境税⁽³⁾、環境省による環境税案⁽²⁾、運輸部門 CO2 排出量削減を実現する税率⁽¹⁰⁾でライフサイクルコストを計算した。

現在の税収額を CO2 総排出量で除して試算した税率では、課税前後で CEV のライフサイクルコストが GV より小さくなること、すなわちライフサイクルコストの逆転は見られなかった。同様に、環境省による環境税案や欧州の税率においても、コストの逆転は見られなかった。ただし、運輸部門 CO2 排出量削減を実現する税率^[0.114 円/g-CO2]⁽¹⁰⁾において、コストの逆転が認められた。これは、比較した欧州の税率よりも 1 桁大きな税率である。同税率を 2009 年から 2050 年まで固定して課税した場合の、課税前後のライフサイクルコストを Fig.4, Fig.5 に示す。

走行段階のみを考慮した場合、課税後 GV と HEV の間にコストの逆転が見られ、GV と PHEV, EV の価格差が均衡してくることが認められた。一方、製造段階と走行段階両方を考慮した課税でも、HEV との間にコストの逆転が見られ、PHEV との価格差が均衡した。さらに、製造段階を考慮した課税では、走行段階のみを考慮した課税よりも EV のコストが大きくなることが認められた。これは EV の製造段階 CO2 排出量が多いことに起因する。使用頻度が少ない、もしくは走行距離が短い消費者にとっては、製造段階の CO2 排出量が少ない HEV や PHEV を選択した方がトータルの課税額を小さく、ライフサイクルコストを低く抑えられる可能性がある。Fig.4, Fig.5 では走行段階を 10 万 km 走行として計算しているが、走行距離が短い場合はその分だけ走行段階での課税が小さくなるため、消費者が、走行距離や使用頻度を加味しライフサイクル全体を考慮して CEV を選択する可能性が示唆された。ただし、税率^[0.114 円/g-CO2]をそのまま課税すると、課税額の合計の税収が現行の自動車関連税制よりも 2020 年時点で約 19 倍、2050 年時点で約 13 倍増大することが分かった。増収した分の税収は CEV の補助金として活用し、さらなるインセンティブを与えることで、新たな財源を求めることなく、CEV の普及を加速する政策を実施することも可能であると考えられる。

Table.5 Tax rate (amount of taxation / amount of CO2 emissions)

	2009	2010	2020	2030	2040	2050
1)	0.00540	0.00543	0.00583	0.00694	0.00786	0.00856
2)	0.00549	0.00552	0.00594	0.00710	0.00806	0.00878

※1) Taxation of manufacturing and running phase

※2) Taxation of running phase

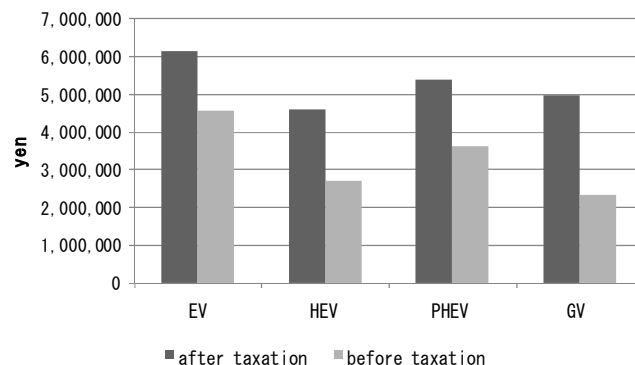


Fig.4 LCC taxation of manufacturing and running phase

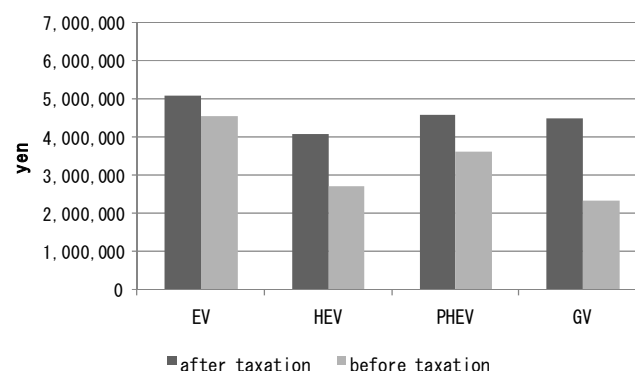


Fig.5 LCC taxation of running phase

5. 結論

本研究は、LCCO2 をベースとした環境税設計の枠組みを CEV を事例に検討し、検証を行った。その結果、以下のことを示した。

- LCCO2 をベースにした環境税設計の手順
- 走行段階の環境負荷が小さい CEV の普及に伴い、現行の走行段階ベースの自動車関連税制では税徴収額が少なくなってしまうこと
- 製造段階 LCCO2 の考慮により、CEV 毎に異なる製造段階と走行段階排出量のバランスが環境税に反映されること
- 環境税により、走行距離の短い消費者が LCCO2 を考慮して CEV を選択できる可能性があること

CEV の普及に伴い、従来の走行段階中心の税設計からシステム変更が必要になる。製造段階も考慮してライフサイクル全体で環境負荷を反映させる環境税について、消費者行動に直結するコストの変化という観点から税設計の枠組みを検討した。その結果、コストが逆転する税率を見出すことができた。ただし一方で逆転する税率では税収が増えてしまうことも分かった。増収となった分を CEV への補助金にあて、さらにインセンティブを与える政策を実施することも可能であると考えられる。

また、本研究では技術革新による将来の価格変化や LCCO₂ の改善を考慮の対象外としている。これは両者ともに CEV のライフサイクルコスト低下を促す要因であり、これにより全体の税収は下がるが、CEV の普及速度はさらに加速すると予想される。これらの要素を考慮した、将来予測に基づく税設計が今後の課題である。

6. 謝辞

本研究の一部は文部科学省グローバル COE プログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」に依るものであることを記し、謝意を表す。

◇参考文献◇

- (1) 広瀬幸雄, 環境配慮的行動の規定因について, 社会心理学研究, Vol. 10, No. 1, pp. 44-55, 1994
- (2) 環境省, 環境税の具体案 (環境省、平成 20 年 11 月)
<http://www.env.go.jp/policy/tax/know/0811/0811a.pdf>
(H21.08.20 に確認)
- (3) 若林雅代, 杉山大志, 欧州環境税の実効性に関する事例研究 レビュー, Socio-economic Research Center, Rep. No.Y06002, pp. i -29, 2006.10
- (4) 工藤祐揮, 自動車の LCA -本当に環境にやさしいクルマは?-, 資源環境対策, Vol.44, No.5, pp.32-37, 2008
- (5) 固体高分子形燃料電池システム実証等研究 (第 1 期 JHFC プロジェクト) 報告書, pp.136-180, 2006.10
<http://www.jhfc.jp/data/report/pdf/tuuki.pdf> (H21.8.5 に確認)
- (6) Tahara, K. et al, Comparison of CO₂ Emissions from Alternative and Conventional Vehicles, World Resource Review, Vol.13 No.1, pp.52-60, 2001
- (7) 環境省, 次世代自動車普及戦略 (2009 年 5 月)
- (8) 財団法人日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編, EMDC/エネルギー・経済統計要覧 (2009 年版), pp.56-57, 財団法人省エネルギーセンター発行, 2009
- (9) 社団法人日本自動車工業会, 2009 (平成 21) 年度自動車関連税収と税率, 2009
http://www.jama.or.jp/tax/outline/table_02.html (H21.8.5 に確認)
- (10) 森杉壽芳, LCA 的視点による自動車交通の二酸化炭素排出量抑制政策に関する研究 - 自動車関連環境税の市場経済的不便益の計測 -, 日交研シリーズ A-328 平成 13 年度プロジェクト, pp.1-33, 2002.10

The Carbon Taxation by Using LCA including the Manufacturing Phase for Clean Energy Vehicles

Tomomi Nonaka, Masaru Nakano

The Graduate School of System Design and Management, Keio University

Kyosei Building, 4-1-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8526, Japan

Tel: +81-45-564-2462, Email: nonaka-t@z5.keio.jp

Extended Abstract

Japanese government has introduced several policies on environmental issues aiming at low carbon emission society in the future. Dramatic reduction of CO₂ is required particularly in transportation sector since it is a major source of the emission today. Therefore, the government decided to promote Clean Energy Vehicle (CEV) such as Electric Vehicle (EV), Hybrid Electric Vehicle (HEV) and Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV). It introduced tax reduction on purchasing environmental-friendly cars. As a result, “PRIUS”, a hybrid electric car of Toyota, has recorded dramatic sales increase recently and been the most popular car in Japan since May 2009.

However, taxation on automobile is not well designed for the purpose of reducing CO₂ emission in Japan. In fact, there is no direct relation between the tax and the emission. Furthermore, the taxation system has very complicated structure since the government has been adding new purposes and new functions one after another historically. Therefore, this paper proposes new efficient taxation system on automobile that promote introduction of CEV in Japan considering both life-cycle of CO₂ (LCCO₂) and life-cycle cost (LCC).

Some country, especially in Europe, has already introduced taxation system on carbon emission[1]. It is only on driving phase today that governments impose tax according to energy consumption and CO₂ emission. The system has been working well for traditional gasoline vehicle (GV) since driving is a major source of the consumption and the emission. However, manufacturing phase becomes a major source of CO₂ emission when CEV is widely introduced to society [2][3]. The fact is that approximately 20% of CO₂ emission is caused both in manufacturing phase and in maintenance phase for GV, while approximately 40% is caused only in manufacturing phase for CEV [4].

Furthermore, life-cycle cost assessment should be considered both in manufacturing phase and in maintenance phase as well. It is because that CEV has different components and system structure depending on the type of vehicle and thus requires different maintenance activities and steps. For example, HEV requires more maintenance cost than GV [5]. EV has fewer

components than GV and thus requires less maintenance cost. Therefore, two different measures such as LCCO₂ and LCC are utilized together so that CEV is appropriately evaluated throughout its life cycle both in environment aspect and in cost aspect.

In this paper, the authors firstly analyze requirements for carbon taxation from the aspects of three stakeholders; government, company and consumer. Government requires maintaining tax revenue and reducing totally CO₂ emission. Company requires motivation to develop environmental-friendly technology and further expand the market. Consumer requires taxation which is easy to understand and acceptable. In addition, consumer requires motivation to purchase environmental-friendly products as well. Secondly, the authors calculate life cycle cost of different types of vehicle using different tax rates. The tax rates are extracted from conventional studies.

The result shows the following findings. First, carbon taxation only on driving is likely to dramatically reduce total tax revenue of the government since CEV emits few CO₂ at the time of driving. Second, HEV has less life cycle costs than GV at carbon tax rate of “0.114yen-gCO₂”. In any other cases, GV has the least life cycle cost. The rate of “0.114yen-gCO₂” is 3 to 5 times higher than the carbon tax rate in Europe and five times higher than Japanese gasoline tax rate today. In addition, under-utilized EV emits more LCCO₂ than other types of vehicle since EV emits a lot of CO₂ in manufacturing phase.

In summary, this paper evaluates life-cycle cost of CEV, considering carbon taxation, not only in driving phase but also in manufacturing phase and maintenance phase and therefore shows useful findings which conventional studies have never stated before.

Reference

- [1] Fujiwara, N. et al, The Political Economy of Environmental Taxation in European Countries, CEPS Working Document, No.245, 2006.
- [2] Catarina, R. et al, Life Cycle Assessment of a Multi-Material Car Component, The International Journal of Life Cycle Assessment, Vol.12 No.5, pp.336-345, 2007.
- [3] Tahara, K. et al, Comparison of CO₂ Emissions from Alternative and Conventional Vehicles, World Resource Review, Vol.13 No.1, pp.52-60, 2001.
- [4] Toyota Motor Co., Ltd., LCA for Prius, (<http://toyota.jp/prius/ecology/index.html> checked 27th October 2009).
- [5] Hyogo Toyota Motor Co.,Ltd. , service reminder of maintenance, (<http://www.hyogotoyota.co.jp/service/index.html> checked 27th October 2009).

THE CARBON TAXATION BY USING LCA INCLUDING THE MANUFACTURING PHASE FOR CLEAN ENERGY VEHICLES

Tomomi NONAKA ^a and Masaru NAKANO ^a

^a *The Graduate School of System Design and Management, Keio University, Kyosei Building, 4-1-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8526, Japan*

The paper proposes a carbon taxation scheme using LCA, which can provide consumers with an incentive to choose vehicles with lower CO₂ emissions vehicles. This taxation scheme has two major measures: life cycle CO₂ emissions, and life cycle cost, considered not only in the utilisation phase but also in the manufacturing and maintenance phases. The authors figure out the tax rate 15.03[yen/kg-CO₂], which makes the hybrid electric vehicle's life cycle cost less than that of conventional gasoline vehicles, and is less than the existing gasoline tax rates in Japan and Europe. Electric vehicles are becoming more feasible as the life cycle cost is dramatically reduced. The proposed tax system enables consumers themselves to choose the best option of CEVs, depending on their specific needs such as lifetime driving distance, lifetime use and maintenance requirements.

Key Words: Clean Energy Vehicles, Carbon Tax, Life Cycle CO₂, Life Cycle Cost

1 INTRODUCTION

The target set by 80% of developed countries to reduce CO₂ emissions by more than 50% in the world by 2050 was supported by major advanced countries at the L'Aquila summit in 2009. This reinforces the encouragement to countries to aim at attaining a low carbon society.

A dramatic reduction of CO₂ is required particularly in the transportation sector, since it is a major source of emissions today. Therefore, some governments including Japan, promote Clean Energy Vehicles (CEVs), such as Electric Vehicles (EVs), Hybrid Electric Vehicles (HEVs) and Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs). Global competition in such CEVs technologies is expected to become more intense. CEVs and conventional gasoline vehicles have been compared using LCA[1][2][3][4] from the views of environmental and economics, and governments and automobile companies are seeking a strategic portfolio for succeeding next generations.

In Japan, the 'PRIUS', a hybrid electric car produced by Toyota Corporation, recorded a dramatic sales increase and was the most popular car in 2009 in Japan because the government introduced tax reductions and subsidies on purchase of environmentally friendly cars.

The effect of tax rebates for car owners in Switzerland was analysed comparing different regulations among several cantons, and it was shown the tax rebates influenced the number of sales of hybrid vehicles [5]. A study analysed that recent change in vehicle registration taxation and annual motor tax in Ireland had a significant impact purchasing trends by supporting lower emission vehicles [6]. The effects of the different vehicle technologies in terms of total GHG emissions in Belgium were studied using the MARKAL-TIMES model in [7].

These discussions were, however, only focused on the efficiency of the utilisation such as fuel consumptions, vehicle sizes and CO₂ emission level per km. The characteristic of CEVs differs from that of conventional GVs, in terms of LCCO₂ not only in the utilisation phase but also in the manufacturing phase. There is no study discussed environmental schemes and policies focusing on the difference of the manufacturing phase using LCA.

In addition, the taxing of automobiles is a very complicated structure with many purposes and functions, historically in Japan, since the government has continually added new purposes and new functions to automobile taxation. The government is under pressure to take an innovative step to change and improve taxation systems substantially while expecting the entire social system to achieve a drastic reduction in CO₂ emissions, not merely partial additions and changes.

This paper designs a form of carbon taxation that encourages consumers to choose lower CO₂ emission CEVs throughout the life cycle. This taxation aims to reflect LCCO₂ on LCC and consumer behaviour directly, and hence it assesses not only the

utilisation, but also the manufacturing phases, and is thus able to calculate total CO2 emissions fairly across several types of CEV. Furthermore, the life cycle cost (LCC), which includes initial, utilisation and maintenance costs, works as an incentive in case of low cost.

This paper is structured as follows: Firstly, Section two describes the problem of definition, and the requirements of the analysis, including the system boundaries and selecting targeted products. Section three describes the design of the taxation steps. Section four calculates and evaluates the tax rates from the viewpoint of life cycle cost worked as an incentive. Section five evaluates tax rates using various scenarios. Finally, some concluding remarks are provided.

2 PROBLEM DEFINITION

This section discusses the following three problems:

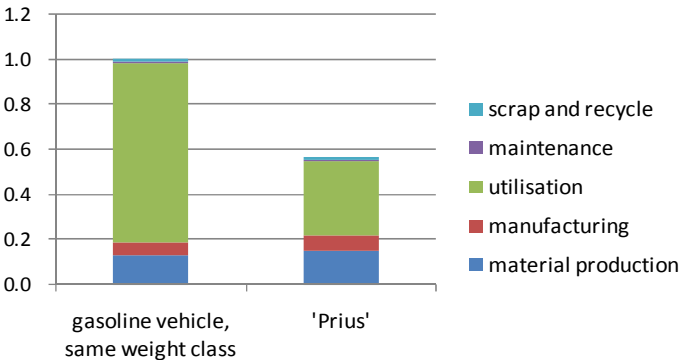
- The change of the LCCO2 ratio in the manufacturing phase (-2.1-)
- Lower LCC with the carbon tax can promote environmentally friendly products (-2.2-)
- Requirement analysis from the stake-holder aspects (-2.3-)

In order to promote CEVs, it is necessary to ensure that consumers feel that CEVs are attractive vehicles. Designing carbon tax that reflects LCCO2 makes it possible to reduce CO2 emissions, by promoting fewer LCCO2 CEVs. Analysing the LCCO2 ratio in manufacturing phase is important for proper evaluation, since CEVs have a specific character in the manufacturing phase. At the same time, consumers consider cost effectiveness throughout the life cycle. To design the taxation, it is necessary to create incentives for consumers to make cost effective decisions.

2.1 The change in the LCCO2 ratio in the manufacturing phase

Today it is only in the utilisation phase that governments impose tax according to energy consumption and CO2 emissions. This system has worked well for traditional gasoline vehicles (GVs), in which utilisation is a major source of CO2 emissions. However the character of CEVs differs from that of conventional GV, in the LCCO2 aspect.

CEVs require more CO2 emissions in the manufacturing phase than GV. CEVs produce fewer emissions in the utilisation phase, and reduce total emissions overall. In particular, the ratio of emissions in the manufacturing phase becomes larger. This is because create more emissions in the material production and manufacturing phase, and use rare metals to implement the environmental technologies. In addition, CEVs use electrical energy, which produces lower CO2 emissions than gasoline [1][3].



The manufacturing phase becomes a major source of CO2 emissions when CEVs are introduced extensively into society. Figure 1 shows diagrammatically the ratio of LCCO2 of the ‘PRIUS’, adapted from [8] (Comparison LCCO2 of ‘Prius’ and Gasoline Vehicle (same weight class)). The fact is that approximately 20% of CO2 emissions are created in the manufacturing phase of GV, whereas approximately that of ‘PRIUS’ is 40% [8].

Figure 1. Comparison LCCO2 of ‘Prius’ and Gasoline Vehicle (same weight class)

Adapted from Toyota Motor co., Ltd., LCA for ‘Prius’ [8]

2.2 Lower LCC with the carbon tax can promote environmentally friendly products

It is easy to understand that cost efficiency is important to consumers when choosing products. Current automobile incentive taxation policies mainly reduce the initial purchasing cost of CEVs. The entire cost throughout the life cycle is not discussed, because utilising cost differs depending on consumers’ driving distances and the product’s life time.

Previous studies have focused on tax reductions or subsidy policies targeted at the utilisation phase, and aimed mainly at improving fuel efficiency[5][6]. However, changing CO2 emissions in the manufacturing phase by developing new technology

has not been discussed. In addition, LCC has been discussed in terms of manufacturing cost and battery cost, but there has been no focus on inspection and testing costs in the maintenance phase. This paper evaluates the life-cycle CO₂ and cost of CEVs, and considers carbon taxation, not only in the utilising phase, but also in the manufacturing and maintenance phases. It therefore shows what conventional studies have not thus far stated.

Therefore, this paper proposes a new efficient taxation system for automobiles in Japan that considers both the life-cycle CO₂ emissions (LCCO₂) and the life-cycle cost (LCC).

2.3 Requirement analysis

Firstly, each stakeholder's requirements are analysed. The stakeholders' requirements concerning carbon taxation from the viewpoints of three stakeholders: the government, companies and consumers. The government seeks to reduce total social CO₂ emissions, to maintain tax revenues, to motivate consumers to buy environmentally friendly products and also to motivate companies to develop environmental technologies. Consumers require taxation that is easy to understand, acceptable and consider fair. Companies need to maintain and expand their sales volume and profits.

The CEVs considered are Electric Vehicles (EVs), Hybrid-Electric Vehicles (HEVs), Plug-in Hybrid Electric Vehicles (PHEVs) and the conventional Gasoline Vehicles (GVs), which have 1,500cc displacement and the same total weight, and drive 100,000 km in 10 years. In addition, it is assumed that the LCCO₂ and LCC of PHEVs are the average of those of EVs and HEVs, since only a few widely varying publication data are available on these matters.

The main purpose of the carbon tax proposed in this paper is to reduce CO₂ emissions while maintaining tax revenues. Therefore we design the tax assuming that the automobile taxation system consists of only two taxes: the carbon tax and the consumption tax.

3 DESIGNING TAXATION STEPS

This section shows that designing the taxation consists of the following steps.

At first, the targeted CEVs are selected. In this paper, EVs, HEVs, PHEVs and GVs are selected. Secondly, CEVs are analysed from two aspects: LCCO₂ and LCC.

Next, the tax rate is designed according to LCCO₂, using LCC, whose rates make the CEV's LCC less than that of GV. This carbon taxation is based mainly on two measures: LCCO₂ and LCC. LCCO₂ calculates CO₂ emissions throughout the whole life cycle, and LCC establishes the future of incentive costs along with the tax rate. Finally, the tax rate is evaluated using several scenarios.

3.1 LCCO₂ analysis step

In this part the LCCO₂ emissions are limited to three stages of the whole life cycle: (1) material production phase, (2) manufacturing phase and (3) utilising phase. In Figure 2, the target of LCCO₂ is illustrated. Each stage has several characteristic properties for the CEVs under consideration. CEVs are evaluated using LCCO₂, which is a measure of the amount of CO₂ emissions.

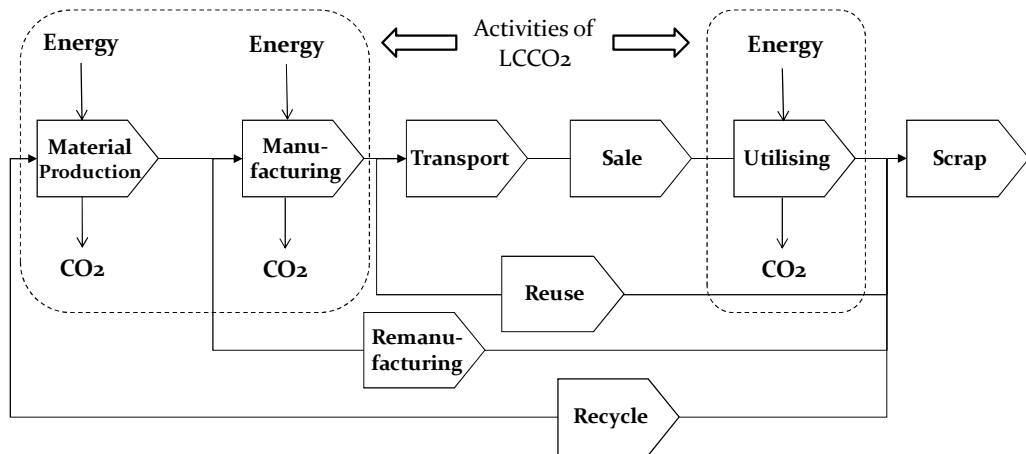


Figure 2. Activities of LCCO₂

3.2 LCC analysis step

This section calculates LCC for consumers throughout the product lifecycle, and targets three costs: initial, utilisation of energy or charging and maintenance costs. It is characteristic for design to include the maintenance phase. In this study a scrap and recycle fee is not targeted.

3.3 Design of the tax rate step

This section proposes an efficient tax rate that encourages consumers to choose less CO₂ intensive products, and maintain tax revenue. We design the tax rate using LCCO₂ analysis (-3.1-) and LCC analysis (-3.2-). The goal is to create an incentive for consumers to choose environmentally friendly products, and to reduce total CO₂ emissions. This rate also works as a restriction if a consumer chooses products that emit excessive CO₂.

4 ANALYSIS

This section calculates and evaluates the tax rate designed using these frameworks of LCCO₂ and LCC analysis in a concrete way.

4.1 LCCO₂ analysis

Table 1 shows LCCO₂ in the manufacturing and utilisation phases, which are estimated using data from previous studies [2][3]. The CO₂ emission of HEVs in the manufacturing phase is estimated to be 1.1 times that of GVs according to previous work, because its inventory data have not been released.

Comparing LCCO₂ in the manufacturing and utilising phase, GVs in the utilising phase emit 4.6 times more than they do in the manufacturing phase. Otherwise EVs emit 1.9 times more in the manufacturing phase than in the utilising phase. A remarkable characteristic to be noted is that CEVs emit more CO₂ in the manufacturing phase than in the utilising phase. In addition, this characteristic will be strongly influenced by the expansion of new energies, and by changes towards more variation in the sources of electricity.

Table 1

LCCO₂ of Manufacturing and Utilisation Phase (kg-CO₂)

	Manufacturing	Utilisaiton
EV	9,200	4,775
PHEV	6,855	8,500
HEV	4,510	12,225
GV	4,100	19,050

Manufacturing phase: originally from Kudoh et.al [2].

Utilisation phase: supposition by author of one hundred thousand km from Japan Automobile Research Institute et.al [3].

EV: lithium-ion rechargeable battery

4.2 LCC analysis

All CEVs have similar characteristics: high costs in the initial and utilisation phases. This is because of the high product price and the high cost of charging energy. These common characteristics fit not only CEVs but also conventional GVs.

One previous study [1] evaluates four kinds of vehicle: GVs, HEVs, EVs and Fuel Cell Vehicles (FCVs), from the economic and environmental aspects. It found that GVs are most cost efficient in the initial phase, followed by HEVs. Initial

costs of EVs and FCVs are evaluated as having a very low score. In contrast, the evaluation of energy costs in the utilisation phase is different. EVs are evaluated best, followed by FCVs, HEVs and finally GVs.

Firstly, maintenance costs for the following aspects are considered:

- Inspection, testing and component replacement (1)
- Repair (2)
- Battery replacement (3)

(1) Inspection, testing and component replacement

In Japan, drivers are required to go through with certain checks and tests at fixed intervals. Drivers can take these check and test services only at pre-determined service stations. One servicer provides inspection and testing services, with different prices for HEVs and GVs. Comparing the same vehicle family 'Estima', produced by Toyota corp., the price of the basic rate of safety inspection for HEVs is 1.5 times higher than that of GVs [9].

It is thought that this is caused by HEVs having both an electric motor and a combustion engine, as well as complicated architecture and a large number of components, and the need for more labour hours. The cost of PHEVs is expected to be the same as that of HEVs, since PHEVs have the same system characteristics as HEVs.

EVs, however, have only an electric motor without a combustion engine, simpler architecture and hence fewer components. The number of their components is generally about a third of that of GVs. Information about GVs' operating costs was published by the American Automobile Manufacturers Association (AAMA)[10]. The previous study also assumed EVs' maintenance cost using [10]. It was calculated that EVs' routine maintenance cost would be 20% of that of the GVs', since EVs have fewer moving parts, and their electrical components are expected to have a long maintenance-free life, and EVs will have no oil or oil-filter change requirements [4].

The cost of tyre replacement depends on the mass of the vehicle [4]. We assume that the replacement cost of tyres is the same for all CEVs, at 76,160[yen], as quoted in the data on HEVs [11], since this study defines several CEVs as having the same total weight.

In this paper, we define the cost of inspection and testing, excluding component replacement, in the following ratio, according to the studies [4][9][10]. This phase cost of PHEVs is also defined as the same as that of HEVs.

$$EV : HEV : PHEV : GV = 0.8 : 1.5 : 1.5 : 1.0 \quad \dots\dots<1>$$

(2) Repair

The 'Prius' is reported to have the same failure rate as conventional GVs, even though HEVs have complicated architectures and many components from the interview to the automobile manufacturer. In this paper, we assume that all CEVs have the same failure rate.

(3) Battery replacement

The battery cost of EVs or PHEVs is very high, and it is a major element in the vehicle price. The Japanese Ministry of Technology published the calendar life time of the lithium-ion battery, estimated at more than 15 years in 2006, until 2030. It had been estimated at 10 years in 2006[12]. Recently it has been generally expected to have an average calendar lifetime of more than 10 years. Following these estimate, this paper assumes that the batteries of EVs and PHEVs will not need to be changed during their life time of ten years.

The total maintenance cost are calculated as the sum of (1), (2) and (3), which are calculated using the data from [4][9][10][11] and the ratio defined in <1>. Comparing the total cost of maintenance, HEVs and PHEVs are priced highest, 406,160[yen], followed by GVs, at 296,160[yen] and EVs, at 252,160[yen]. EVs have the lowest price, whereas HEVs and PHEVs have the highest prices.

Table 2

LCC of CEVs (yen)

	Initial cost	Utilisation cost	Maintenance cost	Total
EV	3,400,000	564,385	252,160	4,216,545
PHEV	2,700,250	637,534	406,160	3,743,944
HEV	1,807,000	710,682	406,160	2,923,842
GV	1,400,000	1,131,290	296,160	2,827,450

Initial cost: supposition by the author

Utilisation cost: supposition by author from Japan Automobile Research Institute et.al [3], The Energy Data and Modeling Center [13].

Maintenance cost: supposition by author from Japan Environmental Management Association For Industry [11].

Table 2 shows the total cost of LCC. The initial costs were estimated by the authors using general market prices.

Utilisation costs are estimated using the amount of energy used for driving one km [3] and the price of energy in 2007 in Japan [13]. Possible price changes during the ten year time span are not considered.

Regarding initial costs, EVs are ranked highest, followed by PHEVs, HEVs and GVs. EVs' high costs are caused mainly by the battery price and before high-volume production.

Utilisation costs differ markedly: GVs are highest, and are about twice the cost of EVs. After GVs come HEVs, PHEVs and EVs. This is caused by the use of different energy sources. The cost of energy from fossil fuel is higher than that of electric power. Furthermore, the cost of electricity is affected by the electricity source balance. This paper calculates EVs' and PHEVs' utilisation costs using the data of the average of the day and night electricity price. EVs and PHEVs could be expected to have lower utilisation costs, by using cheaper electric power sources, such as nuclear power, surplus electricity at night or a solar power set on the roof of the vehicle. Furthermore, it is suspected that electricity cost will be reduced by dramatic changes in the power supply system, such as a smart grid system caused by the popularisation of EVs, solar panels and home electrical accumulators.

In the case of maintenance costs, EVs are about 0.9 times cheaper than GVs, whereas HEVs and PHEVs are about 1.4 times more expensive. This differs from the list of CEVs that do not have lower costs than GVs. The cost of EVs is low, but the costs of HEVs and PHEVs are not low. This is because HEVs and PHEVs have a complicated architecture and both a combustion engine and an electric motor. In contrast, EVs have a simple architecture and far fewer components.

The concrete operations of maintenance, testing and checking are not likely to be either understandable or important for consumers. It is expected that few consumers choose products based on the characteristics related to their architecture or the number of components.

Currently, the image of environmentally friendly products is mainly determined by energy efficiency or low CO₂ emissions in the utilisation phase. These characteristics are very easy for consumers to understand when purchasing products. Furthermore, all environmentally friendly products have similar characteristics. Consumers do not care about the manufacturing and maintenance phases when they purchase CEVs.

Different CEVs each have a specific power-train. It is not possible for all CEVs to have lower LCCO₂ and LCC than conventional GVs in the maintenance phase.

4.3 Designing the tax rate in a concrete way

This section discusses the proposed carbon tax rates, based on LCCO₂ (4.1) and LCC (4.2). These rates are designed to create an incentive for consumers to choose those products that have a lower CO₂ emission throughout their entire life cycle.

Figure 3 and 4 show the LCC of CEVs as a function of several tax rates, according to LCCO2. The horizontal axis shows each tax rate, and the vertical axis shows the amount of LCCO2. The calculation of Figure 3 is based on LCCO2 in both the manufacturing and utilisation phases, whereas Figure 4 is based on the taxation of the utilisation phase only.

Figure 3 shows that, with low tax rates, a GV's LCC is less than that of a CEV. The tax rates that make the CEV's LCC less than that of GVs are 15.03[yen/kg-CO2] for HEVs, 117.6[yen/kg-CO2] for PHEVs and 151.4[yen/kg-CO2] for EVs.

Similarly, Figure 4 shows that the tax rates that make the CEVs' LCC less than that of GVs are 14.13[yen/kg-CO2] for HEVs, 86.88[yen/kg-CO2] for PHEVs and 97.31[yen/kg-CO2] for EVs. Comparing this with Figure 3, which is based not only on the utilisation phase, but also on the manufacturing phase, PHEVs' and EVs' LCC switch order with different rates. Particularly in the case of the EVs, there is a vast difference between the rate of 151.4[yen/kg-CO2] based on the manufacturing and utilisation phase and 97.31[yen/kg-CO2] the rate based only on the utilisation phase. This difference is caused by the fact that EVs consume many CO2 emissions in the material production and the manufacturing phase.

The rates are designed by considering how the manufacturing phase may affect the LCCO2, and hence LCC.

The rate of 15.03[yen/kg-CO2], which make the HEVs' LCC less than that of GVs, is less than the rate of gasoline excise in Holland and the minimum tax rate in Europe. Otherwise, the rates, which make the EVs' and PHEVs' LCC less than that of GVs, are very high compared with these figures.

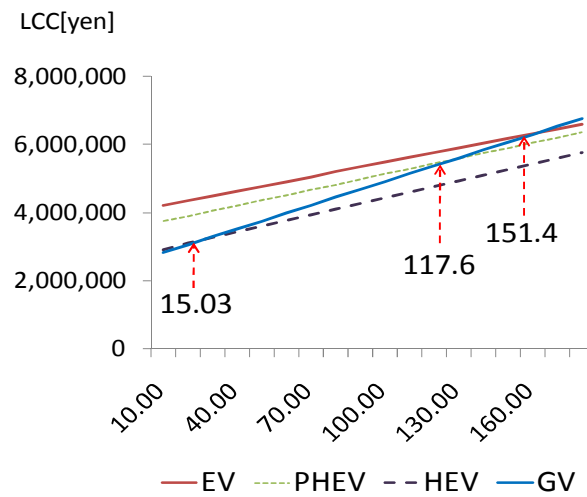


Figure 3. LCC with Taxation in Manufacturing and Utilising Phases

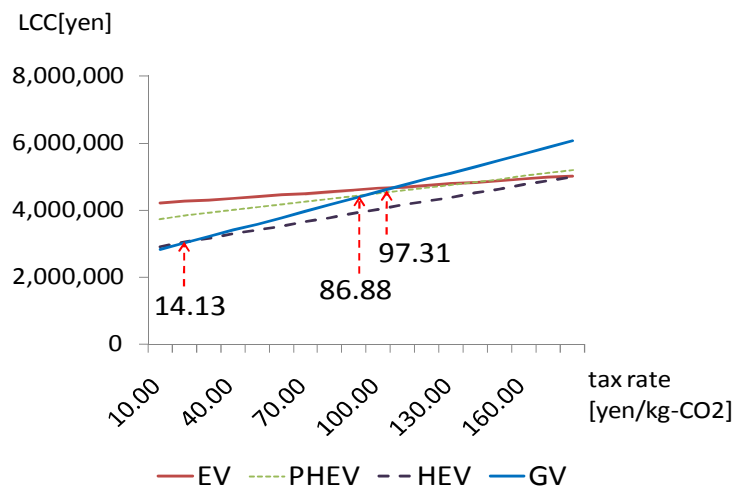


Figure 4. LCC with Taxation in Only Utilising Phase

5 DISCUSSION

This section discusses the evaluation of the tax rates using several scenarios. The following scenarios are discussed.

- Tax rate :15.03[yen/kg-CO₂], driving 200 thousand km (A)
- Tax rate :15.03[yen/kg-CO₂], driving 100 thousand km (B)
- Tax rate :15.03[yen/kg-CO₂], driving 60 thousand km (C)

Figures 5 , 6 and 7 illustrate the LCC with a tax rate of 15.03[yen/kg-CO₂] driving 200 thousand km, 100 thousand km and 60 thousand km, respectively.

The rate of 15.03[yen/kg-CO₂] in Figures 5 , 6 and 7 are the figures that make the HEVs' LCC less than that of GVs. Comparing these figures 5, 6 and 7, the large difference in EVs' LCC is explained. In Figure 5, the LCCs of all vehicles are similar. On the other hand, in Figure 7 the difference in LCC between EVs, HEVs, PHEVs and GVs becomes much larger because shorter distances are covered. In addition, EVs' LCC become smaller with longer driving distances. It is suggested that, with longer distances, EVs shift CO₂ efficiency beyond the characteristic high CO₂ emissions in the manufacturing phase. In the case of driving two hundred thousand km, the cost of EVs is highest, followed by PHEVs, GVs and HEVs, but these differences are similar. EVs' cost is 1.1 times as much as GVs' and 1.2 times as much as HEVs'. It is presumed that EVs have the potential to undertake long driving distances or to have a long life-time, which are also supported by EVs operating maintenance free for a long time, using fewer components and some special electrical items [4].

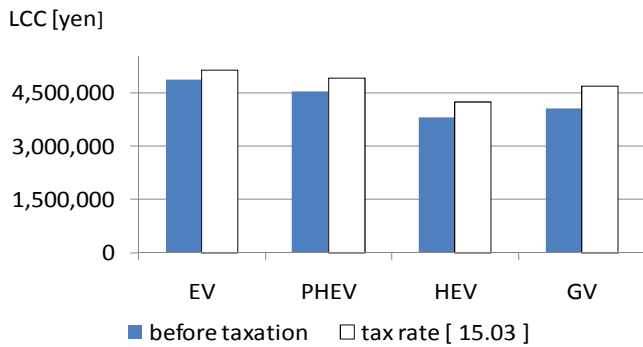


Figure 5. LCC of CEVs with Tax Rate [15.03], Driving 200 Thousand km

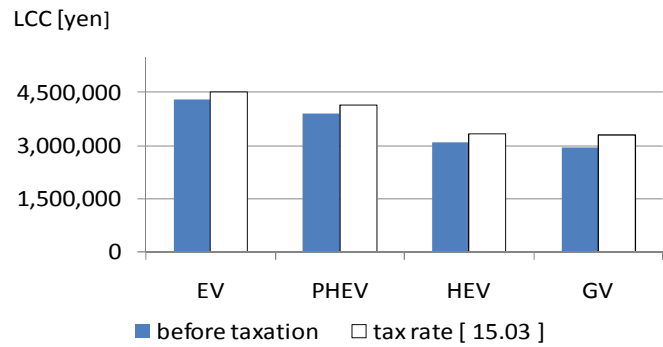


Figure 6. LCC of CEVs with Tax Rate [15.03], Driving 100 Thousand km

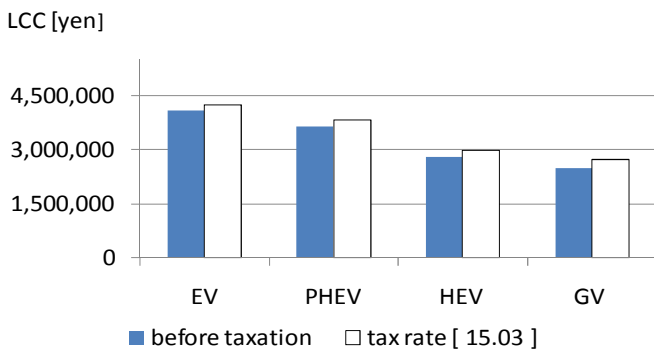


Figure 7. LCC of CEVs with Tax Rate [15.03], Driving 60 Thousand km

6 CONCLUSION

This paper discusses carbon taxation using LCCO₂ and LCC in the manufacturing and maintenance phases of CEVs. The following are the findings:

- Carbon taxation of the utilisation phase only is likely to dramatically reduce the total tax revenue of the government, since CEVs emit little CO₂ emissions at the time of utilisation
- The rate of 15.03[yen/kg-CO₂] can make HEVs' LCC less than that of GVs. This may provide an incentive for consumers to choose low emission CEVs, and this incentive is an actual and reasonable rate compared with existing gasoline excise and European tax rates.
- The LCC of EVs becomes more effective with longer driving distances or a long life-time, with this taxation. When the lifetime distances is short at certain level, LCC of GVs are better than that of CEVs because of high CO₂ emission level in the manufacturing phase. In addition, it is expected to promote the utilisation of longer times, which is also supported by the EVs' characteristic of operating maintenance-free for longer time.
- The proposed tax system enables consumers to themselves choose the best option of CEV, depending on their specific needs, such as lifetime driving distance, lifetime and maintenance requirements.

CEVs have several different characteristics and technologies, even though they are usually lumped together as environmentally friendly products. In particular, there are distinct differences in components and architectures. As when these increase in numbers, the taxation system should be changed from the current systems, which consider only the utilisation phase. In this paper, we mention the importance of the manufacturing and maintenance phases of LCCO₂ and LCC. The function of promoting the use of EVs with longer distances or a longer lifetime is unique, compared to other existing taxation systems, such as the km charging taxation system in Holland, where the charge varies according to the distance driven. Taxing according to driving distance cannot achieve an increase or a cut in an automobile tax that depends on the CO₂ emissions of CEVs.

The rates of 117.6[yen/kg-CO₂] and 151.4[yen/kg-CO₂] ,which can make the LCCs of PHEVs and EVs less than that of GVs, are higher than the rates which the other studies proposes. The way to make an adjustment to the total amount of the tax charge, and to methods that impose less tax on the consumer, will be the subject of future research.

7 REFERENCES

- 1 Granovskii, M., Dincer, I., and Rosen, M. A., Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles, *Journal of Power Sources*, Vol.159, pp1186-1193, 2006.
- 2 Kudoh, Y., Nansai, K., Kondo, Y., and Tahara, K., Life cycle CO₂ emissions of FCEV, BEV and GV in actual use, *Proceedings of the 23rd International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exposition (CD-ROM)*, 2007.
- 3 Japan Automobile Research Institute, Engineering Advancement Association of Japan, Report of experiments about actual proof of high molecular solid fuel battery system (1st JHFC project), pp.136-180, 2006, <http://www.jhfc.jp/data/report/pdf/tuuki.pdf>, accessed in January 2010.
- 4 Cuenca, R. M., Gaines, L. L., and Vyas, A. D., Evaluation of electric vehicle production and operating costs, Center for transportation research, Energy systems division, Argonne national laboratory, Argonne, IL, Rep. ANL/ESD_41, 1999.
- 5 Haan, P. D., Peters, A., and Scholz, R. W., Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates, *Journal of Cleaner Production*, Vol.15, pp.1076-1084, 2007.
- 6 Gallachoir, B. P. O., Howley, M., Cunningham, S., and Bazilian, M., How private car purchasing trends offset efficiency gains and the successful energy policy response, *Energy Policy*, Vol.37, pp.3790-3802, 2009.
- 7 Proost, S., Delhay, E., Nijs, W., and Regemorter, D. V., Will a radical transport pricing reform jeopardize the ambitious EU climate change objectives ?, *Energy Policy*, Vol.37, pp.3863-3871, 2009.
- 8 Toyota Motor co., Ltd., LCA for Prius, <http://toyota.jp/prius/ecology/index.html>, accessed in January 2010.
- 9 Hyogo Toyota Motor co. Ltd., Service reminder of maintenance, <http://www.hyogotoyota.co.jp/service/index.html>, accessed in January 2010.
- 10 AAMA, AAMA Motor vehicle facts and figures '97, American automobile manufacturers association, Detroit, Mich, 1998.

- 11 Japan environment management association for industry, Report of investigative research about promotion and development of environmental business in 2003, http://www.jemai.or.jp/CACHE/account_details_detailobj860.cfm, accessed in January 2010.
- 12 Ministry of Economy, Trade and Industry in Japan, Proposal for next generation battery of vehicles, <http://www.meti.go.jp/press/20060828001/press2.pdf>, 2006, accessed in January 2010.
- 13 The energy data and modelling center, IEEJ, EDMC Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan 2009.

Acknowledgments

This work was supported in part by the Global Center of Excellence Program for "Center for Education and Research of Symbiotic, Safe and Secure System Design" from the Ministry of Education, Culture, Sport, and Technology in Japan. And we thank the members of IFF theme 13 in Japan IMS Promotion Center, in particular, Prof. Kimura of Hosei University. In addition, the authors would like to thank faculties and students in Delft University of Technology/TPM and Keio University/SDM for discussion.

クリーンエネルギービークル普及のための LCA を用いた炭素税設計*

野中朋美^{*1}, 中野冠^{*2}

The Carbon Taxation using LCA for Clean Energy Vehicles

Tomomi NONAKA ^{*1} and Masaru NAKANO ^{*2}

^{*1} The Graduate School of System Design and Management, Keio University
Kyosei Building, 4-1-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 223-8526 Japan

The paper proposes a carbon taxation scheme using LCA, which can provide consumers with an incentive to choose vehicles with lower CO₂ emissions vehicles. This taxation scheme has two major measures: life cycle CO₂ emissions, and life cycle cost, considered not only in the utilisation phase but also in the manufacturing phase. The authors figure out the tax rate 15.03[yen/kg-CO₂], which makes the hybrid electric vehicle's life cycle cost less than that of conventional gasoline vehicles, and is less than the existing gasoline tax rates in Japan and Europe. The LCC of EVs becomes more effective with longer driving distances or a long life-time, with this taxation. When the lifetime distances is short at certain level, LCC of GV is better than that of CEVs because of high CO₂ emission level in the manufacturing phase. In addition, it is expected to promote the utilisation of longer times. The proposed tax system enables consumers themselves to choose the best option of CEVs, depending on their specific needs such as lifetime driving distance and lifetime use.

Key Words : Clean Energy Vehicles, Carbon Tax, Life Cycle CO₂, Life Cycle Cost

1. 緒 言

2050 年までに温室効果ガス排出量を少なくとも半減、先進国については 80%以上の削減目標が G8 ラクイラサミットにおいて主要先進国で支持された⁽¹⁾。世界が低炭素化に向け動いている。

その中で、各国が注力している対策のひとつに、電気自動車 (EV) やハイブリッド車 (HEV) をはじめとするクリーンエネルギービークル (CEV) がある。生活に不可欠な移動手段をいかに効率よく低炭素な移動体に置き換えるか、排出量割合の大きな運輸部門の改善に注目が集まっている。

日本は 2009 年第 1 次補正予算により、環境対応車普及促進税制・補助金を開始した。同年の販売台数は、トヨタ自動車の 'Prius' が第 1 位、本田技研工業の 'インサイト' が第 3 位を記録⁽²⁾し、CEV の普及が促進されている。

しかしながら、CEV は従来のガソリン車 (GV) と比

較して異なる特徴を有する。ハイブリッド車 (HEV) や電気自動車 (EV) などの CEV においては、走行段階のエネルギー投入量や CO₂ 排出量が減少し、ライフサイクル全体の環境負荷が小さくなる一方で、ライフサイクル全体で製造段階の環境負荷が占める割合が増加する⁽³⁾⁽⁴⁾。これは、素材製造段階の負荷が大きいこと、及びガソリンよりも CO₂ 排出量原単位の低い電気をエネルギー源とすることに起因する⁽⁵⁾。CEV が普及する将来社会においては、製造段階の環境負荷は無視できなくなると考えられる。

本研究は、製造段階の CO₂ 排出量を考慮した LCA を用いた炭素税設計を目的とする。ライフサイクルでの CO₂ 排出量 (LCCO₂) に応じて課税を行う際に、ライフサイクルコストを考慮することで、環境負荷の少ない CEV にコスト優位性が生まれ、商品選択のインセンティブとなるよう税設計を行う。さらに、課税基準を CO₂ 排出量とすることによりシンプルで分かりやすく、かつ定量的評価が可能な税設計を目指す。

2. 関連研究

これまでの自動車関連税制や普及策の研究は、従来の GV を想定し走行段階の環境負荷を中心に議論がされてきた⁽⁶⁾⁽¹²⁾。

*日本機械学会論文集 C 編 2010 年 11 月号特集号 (2010 年 3 月下旬 投稿予定)

^{*1} 学生員, 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 (〒223-8526 神奈川県横浜市港北区日吉 4-1-1)

^{*2} 正員, 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

E-mail: nonaka-t@z5.keio.jp

走行段階の環境負荷を対象にした応用均衡型の事例はこれまで多く研究されており、ar Household Usage and Ownership モデルを作成し、乗用車の保有・使用に関する弾力性分析を行っている。環境負荷量の算出は燃費や移動速度、移動時間等の走行段階のみを対象にしている⁶⁾。

藤原らは、CGE (Computable General Equilibrium) モデルのネスト型 CEV フレームワークを用いて、燃料税、取得税、保有税の変更による CO2 排出量の変化とそれにより発生する社会的純便益をシミュレーションしている。CO2 排出量はガソリン消費を対象にしている⁷⁾。

武藤らは、自動車関連環境政策のトップランナー方式による燃費規制とグリーン税制を対象に応用一般均衡モデルを用いて政策評価している。ここで取り上げられているグリーン税制は、自動車税及び自動車取得税を対象としている。自動車税及び取得税は、ライフサイクルの取得段階と保有段階に課税されるが、評価指標は燃費と走行段階の CO2 排出量のみであり、製造段階の環境負荷は考慮されていない⁸⁾。

一方林らは、自動車関連税の取得、保有、走行段階の各税率の変化が、車格・車齢構成のシフトを通じて CO2 排出量を変化させるメカニズムをコーホートモデル手法を用いてモデル化している⁹⁾。CO2 排出量は、自動車の拡張ライフサイクル CO2 (Extended Life Cycle CO2: ELC-CO2)⁽¹⁰⁾により推計し、ELC-CO2 サブモデルには製造、廃棄、維持、走行に伴う排出量が含まれている。しかし、GV のみを対象にしているため製造・維持・廃棄に伴う CO2 排出量は車両製造価格 100 万円あたりの原単位から推計しており、パワートレインの違いによる CO2 排出原単位の違いは考慮されていない。

他方普及分析では、松本らがロジスティック曲線モデルにコンジョイント分析ベースの消費者選好モデルを統合した普及評価モデルを構築している⁽¹¹⁾。ただし、GV と HEV の 2 車種を対象としており、CO2 排出量は燃費性能の違いより走行段階のみを評価している。

山田らは、寿命分布を考慮した製品最適導入計画モデルにより、製品のライフサイクル CO2 の時系列変化を推計している⁽¹²⁾。CO2 排出は、製造及び走行時を対象にしており、車両製造段階の排出量も考慮されている。しかし、走行距離における実走行係数を燃料消費量の統計値より平均値で与えているために、ユーザ毎に異なる走行距離に応じた車種選択は考慮されていない。

本研究では、CEV にとって重要となる製造段階の CO2 排出量を考慮した炭素税設計を行う。LCA は、LCCO2 とライフサイクルコストの 2 つの指標を用いて、課税後に CEV のライフサイクルコストが GV よりも小さくなる CEV 優遇税率を検討する。税設計に製造段階の CO2 排

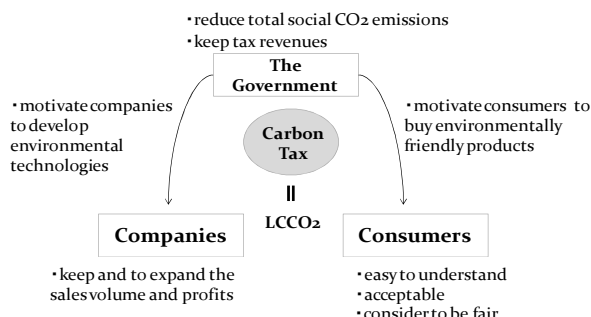


Fig. 1 Stakeholder and Social Requirements

出量を組み入れる点、ライフサイクルコストを考慮する点、及びユーザの走行距離の違いを LCCO2 により課税額に反映する点が本研究の特徴である。

3. 要求分析

現行の自動車関連税制は、複数の役割と目的を持つ税によって構成されている。取得、保有、走行段階で 9 種類の税が課税されており、それぞれ課税タイミングや国・地方税の別も異なる。

本研究で設計する炭素税は、財源としては社会財源としての機能を継続させるのみに留め、社会全体の CO2 排出量を削減するという施策の実行手段としての機能を持たせること、及び環境配慮商品の普及を促進させることを主眼とする。

次に、本税に関わる政府、消費者、企業の 3 者のステークホルダー要求を分析する。要求を整理して、Fig.1 に示す。

政府は社会全体の CO2 排出量を削減すること、税収を維持すること、消費者が環境配慮商品を選択するように促すこと、環境配慮型企業の環境技術開発を促進することを求める。消費者は、課税される炭素税が分かりやすく受け入れやすい仕組みであること、公平であることを求める。企業は販売量や利益が維持拡大されることを求めると分析した。

4. 炭素税設計 (基本設計)

現行の自動車関連税制を、消費税を除いて全て本税に置き換える前提で設計を行う。まず、税率を設計する前提となる CEV 別の LCCO2 量を把握する。LCCO2 の対象は、Fig.2 に示す通り CEV 固有の製造段階と従来重視されてきた走行段階を含む「原料調達段階」「製造段階」「走行段階」の 3 段階とする。

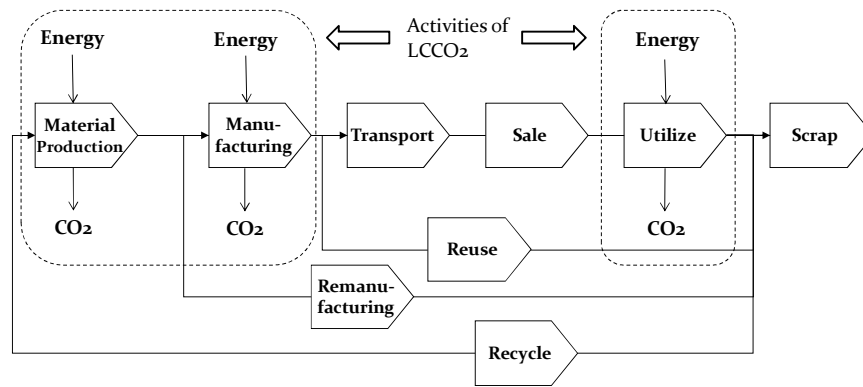


Fig. 2 Activities of LCCO2

次に、本税がCEV選択のインセンティブとなるようライフサイクルコストを計算する。ライフサイクルコストの評価対象は、「イニシャルコスト」「走行コスト」とする。最後に、現在と同程度の税負担額を維持し、かつ環境負荷量が低い商品にはインセンティブとなり、逆に負荷が高い商品では制約となるような、課税後にCEVのライフサイクルコストがGVよりも小さくなるCEV優遇税率を検討する。

5. 炭素税設計（詳細設計）

5・1 対象商品

対象CEVは、ハイブリッド車（HEV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、電気自動車（EV）にガソリン車（GV）を加えた4車種とする。排気量は1500ccを想定する。

なお、PHEVについては公開されているデータが少なく値のばらつきも大きかったため、LCCO2及びコストをHEVとEVの中間値と仮定して推計した。

5・2 環境負荷量（LCCO2）の把握

製造段階と走行段階のLCCO2を先行研究より参照しTable 1に示す⁽⁹⁾。HEVの製造段階はデータが公表されていないため、GVの1.1倍で推計した⁽¹³⁾。また、走行段階は10万km走行として計算した。

GVの走行段階の排出量が製造段階に比較して約4.6倍なのに対し、EVは走行段階よりも製造段階が約1.9倍多い。製造段階の割合がGVと比較して大きいのがCEVの特徴である。

5・3 ライフサイクルコストの把握

次に、本税がCEV選択のインセンティブとなるようライフサイクルコストを計算する。

イニシャルコスト及び走行段階コストをTable 2に示す。イニシャルコストは市場価格⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾から推測し定義した。走行段階コストは、1km走行当りの一次エネルギー

Table 1 LCCO2 in the Manufacturing and Utilisation Phases [kg-CO2]

	Manufacturing	Utilisation	Total
EV	9,200	4,775	13,975
PHEV	6,855	8,500	15,355
HEV	4,510	12,225	16,735
GV	4,100	19,050	23,150

*Manufacturing phase: originally from [3]

*Utilisation phase: supposition by author of one hundred thousand km from [3]

*EV: lithium-ion rechargeable battery

Table 2 Life Cycle Cost of CEVs [10³yen]

	Initial Cost	Utilisation Cost	Total
EV	3,400	564	3,964
PHEV	2,700	637	3,337
HEV	1,807	710	2,517
GV	1,400	1,131	2,531

*Initial cost: supposition by the author

*Utilisation cost: supposition by author from [5][16]

投入量⁽⁶⁾、及び2007年のエネルギー価格（エネルギー源別小口・小売価格）⁽¹⁶⁾から推計し、エネルギー価格の時間変化に関しては考慮の対象外とした。

5・4 CEV優遇税率の検討

LCCO2及びLCCを元に環境負荷が低い商品にはインセンティブとなり、逆に高い商品には制約となるような税率を検討する。

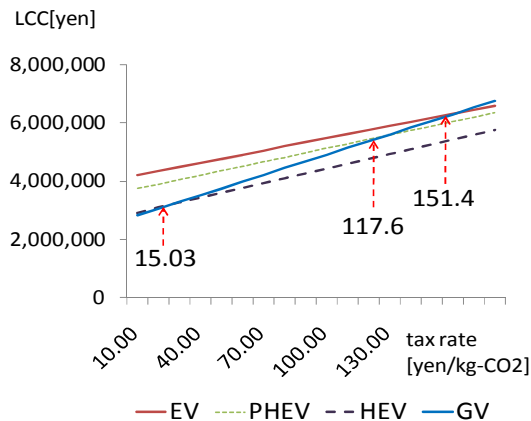


Fig. 3 LCC with Taxation in the Manufacturing and Utilising Phases

LCCO₂ に税率を乗じた額を課税後に、CEV のライフサイクルコストが GV より小さくなる税率、すなわち LCC が逆転する CEV 優遇税率を計算して Fig.3 に示す。本図は、縦軸に課税後のライフサイクルコストを、横軸に税率を表している。各 CEV のライフサイクルコストが逆転する税率は、HEV : 15.03[yen/kg-CO₂], PHEV : 117.6[yen/kg-CO₂], EV : 151.4[yen/kg-CO₂]であった。

これらの税率を、環境税を先行している欧州の事例と比較する。EU 内で比較的高い税率であるオランダの CO₂ 排出量あたりエネルギー課税税率（鉱油税）は 42.20[yen/kg-CO₂]、EU の CO₂ 排出量あたりのエネルギー課税最低税率は 21.62[yen/kg-CO₂]である⁽¹⁷⁾。HEV 逆転税率は欧州最低税率よりも小さい一方で、PHEV 逆転税率は約 3 倍、EV 逆転税率は約 5 倍以上もの差があり現実的な税率とは言い難いことが分かった。

そこで次に HEV 逆転税率を取り上げて、課税負担額の比較を行った。(1)現行の暫定税率におけるガソリン税（揮発油税及び地方揮発油税）、(2)環境省の平成 22 年度税制改正要望⁽¹⁸⁾に盛り込まれた地球温暖化対策税を導入時の負担額と比較すると、HEV 逆転税率における年間ガソリン消費量あたりの課税負担額は(1)の約 0.8 倍、(2)の約 0.9 倍と近い値であることが確認できた。

一般的に議論される炭素税は、全ての商品・サービスを対象に課税するため比較的低税率である。本研究で扱う税は、自動車関連税を代替するものであり、特定財源としての機能やエネルギー税の側面も考慮されるべきであり別の性格を有している。本来比較すべきでないが、参考までに比較してみると次のことが言える。

限界被害アプローチによる CO₂ の貨幣評価原単位の設定値として、ToI⁽¹⁹⁾に基づいた値を購買力平価によって

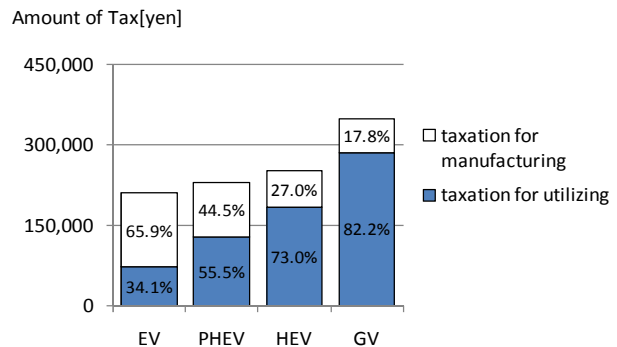


Fig. 4 Amount of Tax with 15.03[yen/kg-CO₂]

円換算した値によると、社会的割引率 3%をベースケースとした約 10,000[yen/t-CO₂]程度が望ましいと指摘されている⁽²⁰⁾。また、市場価格アプローチにおける日経・JBIC 排出量参考取引気配の 2008 年度における買い気配値の平均値は、2.30[yen/kg-CO₂]である。これらと HEV 逆転税率を比較すると、10,000[yen/t-CO₂]の約 1.5 倍、排出量取引気配の約 6.5 倍であった。

以上の比較より、本研究では HEV 逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]を CEV 優遇税率として定義した。

6. 考察

6・1 LCA 全体に課税する効果

本節では、製造段階及び走行段階の CO₂ 排出量に対して課税する本税を、仮に走行段階の CO₂ 排出量のみに対して課税した場合と比較して、製造段階を考慮する本税の優位性を述べる。Fig.4 に HEV 逆転税率を課税した場合の課税額を示す。グラフの塗色部は走行段階の排出量に対する課税額、白色部は製造段階の排出量に対する課税額を示す。

本グラフより、特に EV と PHEV において税増段階の排出量に対する課税額が多くなっていることが確認できる。EV では課税額の約 65.9%、PHEV では約 44.5%が製造段階に対する課税である。仮に走行段階のみに課税した場合、PHEV の課税額は EV の約 1.8 倍である。しかし製造段階及び走行段階に課税した場合には、その差は約 1.1 倍に縮まる。

これは、走行段階のみでは EV の CO₂ 排出量の優位性が高かったが、製造段階も含めてトータルで考えると PHEV と EV の排出量優位性が均衡することを示している。同様に EV と HEV の比較からも同じ傾向が読み取れる。この結果から、次のことが言える。

- 走行段階のみに対する課税では、PHEV や HEV はトータルの排出量ではEV との差が小さいにも関わらず、EV よりも多く課税されてしまう
- CEV は走行段階の課税額が小さくなる。その傾向はEV や PHEV ほどこ大きく、将来 CEV が普及すると走行段階のみの課税では課税額が大幅に減少することが予想される

製造段階も含めて課税することで、車種ごとに異なるライフサイクルの排出量バランスを課税額に反映できることが示唆された。

6・2 総走行距離の違いによる影響評価

これまで本研究は基本シナリオとして10万km走行時のLCCO₂及びライフサイクルコストに基づき税率を検討してきた。本節では、総走行距離の違いにより生じるLCCO₂、ライフサイクルコストの変化を分析する。

使用頻度が少ない、もしくは走行距離が短い消費者にとっては、製造段階のCO₂排出量が少ないHEVやPHEVを選択した方がトータルの課税額を小さく、ライフサイクルコストを低く抑えられる可能性がある。前節までで計算した10万km走行時と比較して、走行距離が短い場合はその分だけ走行段階での課税が小さくなる。

そこで、走行距離別CEV別LCCO₂を計算してFig.5に示す。本グラフは横軸に走行距離を、縦軸にCO₂排出量を示している。

総走行距離が10万kmの場合、GVはCEVに比べて排出量が圧倒的に多い。しかしながら、総走行距離が短くなるにつれ徐々にこの差は均衡していく。3.4万km未満では、EVが最も排出量が多くなる。これは、リチウムイオン電池素材製造において多くのCO₂を排出するため、製造段階の排出量が多いことに起因する。総走行距離の短いユーザーにとっては、EVはGVよりも多くのCO₂を排出する結果となる。3.4万kmから6.2万kmでは、PHEVが最も少なくHEV、EVと続く。

本結果より、ユーザーの総走行距離によって排出量を少なく抑えることができるCEVの車種は異なることが分かる。一般的にCEVの特性は、1回充填当たりの走行可能距離を論じ、短距離ユーザーにはEV、中距離ユーザーにはPHEV、長距離ユーザーにはHEVが望ましいと言われる。しかしながら、製造段階のCO₂を考慮してライフサイクル全体のCO₂を勘案すると、総走行距離を考慮する必要があることが示唆された。

2007年度の乗用車1台あたりの年間走行距離平均は約9,180kmである⁽²¹⁾⁽²²⁾。総走行距離6.2万km以上を達成するためには6.7年以上使用することが必要であると試算できる。2009年の乗用車平均車齢は7.49年⁽²³⁾であるので、平均的なユーザーにとってはEVが適していると言えるが、

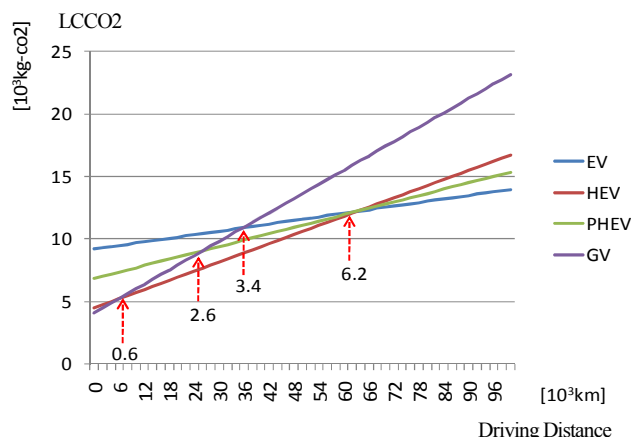


Fig. 5 Life Cycle Cost of CEVs of Several Driving Distance

総走行距離や使用年数が少ないユーザーにとっては必ずしもEVが良いとは限らず、短距離のユーザーにとってはGVが最も排出量が抑えられる。

超高齢化社会である日本においては、使用頻度が少なく走行距離が短い高齢者ユーザーが今後増えてくることが予想される。これまでは短距離使用によりEVが適していると議論されてきたが、LCAを考慮した議論が必要である。

6・3 税金

5.2節で求めた環境負荷量(LCCO₂)を用いて、乗用車からのCO₂総排出量及び税金を計算する。なお、本節では軽自動車を除く乗用車のみを対象に推計した。製造に伴うCO₂排出量は、製造段階CO₂排出量に新車販売台数⁽²⁴⁾を乗じて計算した。走行に伴う排出量は、各年の普及台数⁽²⁴⁾に1年あたりの乗用車平均走行距離⁽²¹⁾⁽²²⁾における走行段階CO₂排出量を乗じて推計した。

CEVの普及により乗用車由来のCO₂排出量は年々減少し、2010年対比で、2020年:0.94倍、2030年:0.81倍、2040年:0.73倍、2050年:0.67倍であった。

CO₂排出量の減少に伴い税金も減少する。税金はCO₂排出量と同様に、2010年対比で、2020年:0.94倍、2030年:0.81倍、2040年:0.73倍、2050年:0.67倍となる。

求めた税金は軽自動車を除く乗用車を対象としているため、軽自動車及びバス、トラックといった商用車は含まれていないが、それらを含む現在の税金と比較してみると、税金は現在の消費税を除く自動車関連税総計の、2010年:0.52倍、2020年:0.49倍、2030年:0.42倍、2040年:0.38倍、2050年:0.35倍となった。現在の諸費税を除く自動車関連税総計値は、2009年の車体課税及び燃料課税から消費税を除いて総計した69,065億円⁽²⁵⁾を用いた。

本研究では、自動車関連税制税金のうち軽自動車を除く乗用車の分が推計できていないため、全体の税金に対

する減少度合いの考察までいたっていないが、税収維持の観点からもさらなる検証が必要である。

7. 結言

本研究は、LCCO₂ をベースとした炭素税設計の枠組みをCEVを事例に検討し、検証を行った。その結果、以下のことを示した。

- LCCO₂ をベースにした炭素税設計の手順
- CEV 優遇税率として HEV のライフサイクルコストが GV よりも小さくなる逆転税率 15.03[yen/kg-CO₂]を示し、事例比較より現実性の高い税率であること
- EV は総走行距離 6.2 万 km を境界に、それ以下では LCCO₂ の優位性を保てないこと。総走行距離の短いユーザにとっては、GV の LCCO₂ の方が小さくなること
- 製造段階 LCCO₂ の考慮により、CEV 毎に異なる製造段階と走行段階排出量のバランスが環境税に反映されること
- 走行段階の環境負荷が小さいCEVの普及に伴い、現行の走行段階ベースの自動車関連税制では税徴収額が少なくなってしまうこと
- 本税により、走行距離の短い消費者が LCCO₂ を考慮してCEVを選択できる可能性があること

CEV の普及に伴い、従来の走行段階中心の税設計からシステム変更が必要になる。製造段階も考慮してライフサイクル全体で環境負荷を反映させる炭素税について、消費者行動に直結するコストの変化という観点から税設計の枠組みを検討した。その結果、コストが逆転する税率を見出すことができた。本税は、総走行距離という消費者行動によって異なる排出量を反映した課税を可能とするこれまでにない税体系の特徴を実現することができる。

ただし一方で HEV 逆転税率ではイニシャルコストの大きな EV にとってはコスト優位性が生まれていない。本研究では、技術革新による将来の価格変化や LCCO₂ の改善を考慮の対象外としている。これは両者ともに CEV のライフサイクルコスト低下を促す要因であり、EV のコスト優位性を高める可能性がある。これらの要素を考慮した、将来予測に基づく税設計が今後の課題である。

謝 辞

本研究の一部は文部科学省グローバル COE プログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」によるものであること、また、財団法人製造科学技術センタ

ーIMS センターのアイディアファクトリーにて法政大学教授・木村文彦先生ほか、メンバーの方々より多くの示唆をいただいた事を記し、ここに謝意を表す。

文 献

- (1) G8 Summit 2009 official website, <http://www.g8italia2009.it/>, accessed in January 2010.
- (2) 日本自動車販売協会連合会, 新車乗用車販売ランキング ランキング 30 位 2009 年, <http://www.jada.or.jp/contents/data/ranking/index.php>, accessed in January 2010.
- (3) Kudoh, Y. et al, Life cycle CO₂ emissions of FCEV, BEV and GV in actual use, proceedings of the 23rd international battery, Hybrid and fuel cell vehicle symposium & exposition (CD-ROM), 2007.
- (4) Mikhail Granovskii, Ibrahim dincer, Marc A. Rosen, Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles, Journal of Power Sources, vol.159, pp.1186-1193, 2006.
- (5) 財団法人 日本自動車研究所, 財団法人 エンジンアライメント振興協会, 固体高分子形燃料電池システム実証等研究(第1期 JHFC プロジェクト) 報告書, pp.136-180, 2006.
- (6) 林良嗣, 加藤博和, 上野洋一, 自動車関連税制の課税レベルと税関バランスによる CO₂ 削減効果の差異に関する分析, 運輸政策研究, Vol.2, No.1, pp.2-13, 1999.
- (7) 谷下雅義, 鹿島茂, 自動車関連税制が乗用車の保有・利用に及ぼす影響の分析, 土木学会論文集IV-56, pp.34-49, 2002.
- (8) 武藤慎一, 徳永澄憲, 沖山充, 二酸化炭素排出抑制に着目した自動車関連環境政策の実証的評価, 第 30 回土木計画研究発表会・講演集, 2004.
- (9) 藤原徹, 蓮池勝人, 金本良嗣, 自動車関連税制を活用した地球温暖化防止政策の評価, RIETI Discussion Paper Series 02-J-004, 2002.
- (10) 加藤博和, 交通整備による環境インパクト計測手法としてのライフサイクル・アセスメント, 交通工学, Vol.33, No.3, 1998.
- (11) 松本光崇, 近藤伸亮, 藤本淳, 梅田靖, 槌屋治紀, 増井慶次郎, 李賢映, クリーンエネルギー自動車の普及評価モデルの構築, Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol.29, No.3, pp.49-55, 2008.
- (12) 山田俊介, 本藤祐樹, 寿命分布を考慮した製品最適導入計画モデル—二酸化炭素の排出削減に向けたグリーンカーの導入分析—, Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol.30, No.1, pp.9-15, 2008.
- (13) Tahara, K. et al, Comparison of CO₂ Emissions from Alternative and Conventional Vehicles, World Resource Review, Vol.13, No.1, pp.52-60, 2001.
- (14) トヨタ自動車株式会社, <http://toyota.jp/>, accessed in January 2010.
- (15) 本田技研工業株式会社, <http://www.honda.co.jp/>, accessed in January 2010.
- (16) The energy data and modeling center, IEEJ, EDMC Handbook of Energy & Economics Statistics in Japan 2009.
- (17) 環境省, 諸外国における温暖化対策に関する主な税制改正の経緯, <http://www.env.go>.

- jp/policy/tax/about/pdf/mat11-1.pdf , 2009, accessed in January 2010.
- (18) 環境省, 地球温暖化対策税の具体案 (環境省、平成 21 年 11 月) , 2009, <http://www.env.go.jp/policy/tax/plans/0911/0911a.pdf>, accessed in January 2010.
 - (19) Tol, R. S. J., The Marginal Damage Costs of Greenhouse Gas Emissions, Energy Journal, Vol.20, No.1, pp.61-81, 1999.
 - (20) 林山泰久, 前川秀和, CO2 の経済的評価, 森地茂, 金本良嗣, 道路投資の便益評価ー理論と実践ー, 東洋経済新報社, pp.263-280, 2008.
 - (21) 国土交通省, H19 年度自家用車の燃料使用量, 自動車輸送統計年報 平成 19 年度版, 2007.
 - (22) 国土交通省, H19 年度自家用台数, 自動車輸送統計年報 平成 19 年度版, 2007.
 - (23) 財団法人自動車検査登録情報協会, 車種別の平均車齢推移表, <http://www.airia.or.jp/number/index2.html>, accessed in January 2010.
 - (24) 経済産業省, 次世代自動車用電池の将来に向けた提言, 2006, <http://www.meti.go.jp/press/20060828001/20060828001.html>, accessed in January 2010.
 - (25) 社団法人日本自動車工業会, 2009 (平成 21) 年度自動車関連税収と税率, 2009, http://www.jama.or.jp/tax/outline/table_02.html, accessed in August 2009.