

学位論文 博士（システムエンジニアリング学）

クリーンエネルギー自動車普及のための  
LCA を用いたグリーン政策

Green Policies for Clean Energy Vehicles  
Using Life Cycle Assessment

指導教員： 中野 冠 教授

平成 23 年度

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

野中 朋美



## 要 旨

本論文は、環境配慮製品のひとつであるクリーンエネルギー自動車（CEV）を社会に公平に普及させるためのグリーン政策を設計することを目的とする。

CEVは従来のガソリン車（GV）と比較して製造段階の環境負荷が無視できなくなることで、及び車種によって各ライフサイクル段階の環境負荷のバランスが異なることに着目し、ライフサイクル全体の環境負荷を考慮して、社会のグリーン化を促進するためのグリーン政策設計を行う。

本論文では、グリーン政策のうち、従来の国内自動車関連税制に代わって導入することを想定する自動車炭素税と、海外生産やグローバルサプライチェーンによる生産フェーズの環境負荷に対して課税する炭素関税の2つを対象にグリーン政策を論じる。

第1章では、温暖化対策においてCEV普及が期待される背景と普及に向けた課題を述べ、グリーン政策において製造段階の環境負荷を含むライフサイクル全体を考慮することの重要性を示す。また、既存の自動車関連税制や乗用車のグリーン化に関する法規制や政策を概観し、本論で論じる税設計の方向性を考察する。

第2章では、CEV普及のための国内モデルを示す。本モデルでは、国内生産及び国内市場を対象とし、ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量（LCCO<sub>2</sub>）とライフサイクルコスト（LCC）を評価する。本稿では、電気自動車（EV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、ハイブリッド車（HEV）に、従来のGVを加えた4車種を評価対象とする。

第3章では、第2章で構築した「国内モデル」を用いて国内自動車炭素税を設計する。従来のGVを想定した使用段階の環境負荷を対象とする税体系から、製造段階も含めたLCCO<sub>2</sub>を課税基準として公平に課税する自動車炭素税の枠組みを構築する。消費者が環境負荷の低い製品を選択することを促すよう、LCCを考慮する。具体的には、LCCO<sub>2</sub>に応じて炭素税を課税した場合に、課税後にCEVのLCCがGVよりも小さくなるCEV優遇税率を設計する。その後、既存の政策や消費者負担額等複数の観点から設計した税率を検証する。また、自動車炭素税設計に、製造段階の環境負荷を考慮する効果を示す。

第4章では、第3章の税設計の枠組みを拡張し、総走行距離の違いや将来技

術を考慮して税率や課税額を議論するための税設計フレームワークを構築する。技術進歩や社会情勢変化など、将来のシナリオや個別のケースを考慮し、 $LCCO_2$  と  $LCC$  の変化を捉えて税体系の議論ができる枠組みを構築する。具体的に、バッテリー技術進歩シナリオ、軽量化技術進歩シナリオ、総走行距離嗜好シナリオ、超高齢社会シナリオ、普及目標シナリオを想定したシナリオ分析を行い、 $LCCO_2$ 、 $LCC$  及び課税負担額の変化を評価する。

第 5 章では、第 4 章で構築した「国内モデル」に対して、グローバル市場を対象とした「グローバル市場評価モデル」を示す。本モデルでは、各国市場における  $CEV$  の  $LCCO_2$  をエネルギーバランスと総走行距離を考慮して評価する。 $CEV$  の中で  $EV$  が最も低炭素優位になる総走行距離を各国の総走行距離嗜好を鑑みて評価し、 $CEV$  普及を考察する。

第 6 章では、 $CEV$  グローバル生産を対象とした「グローバル生産評価モデル」を示す。本モデルは、 $LCA$  モデルとグローバルサプライチェーンモデルを用いて、 $CEV$  の  $LCCO_2$  を、サプライチェーン全体を考慮して評価する。次に本モデルを用いて炭素関税を設計し、その効果を考察する。

第 7 章では、設計したグリーン政策を考察し、最後に、第 8 章において本論文の結論を述べる。

# **Green Policies for Clean Energy Vehicles Using Life Cycle Assessment**

## **Abstract**

The paper proposes a carbon taxation scheme and a carbon tariff scheme for clean energy vehicles (CEVs) using life cycle assessment (LCA).

Proposed carbon taxation scheme can enable to be discussed tax amount, tax revenue and total CO<sub>2</sub> emissions by changing the scenarios and parameters, such as: technology development, energy price and total driving distance. The authors figure out the tax rate 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>], which makes the hybrid electric vehicle's life cycle cost (LCC) less than that of conventional gasoline vehicles. The simulation results show that LCC after taxation of electric vehicles (EVs) have lowest total cost when battery cost is 0.14 times the 2007 cost and have lower total cost than that of GVs when driven more than 221,600 km. In addition, EVs have lowest emissions when driven more than 63,000 km considered CO<sub>2</sub> emissions in the manufacturing phase, and it is expected that elders who drive shorter distances are best suited for hybrid electric vehicles and gasoline vehicles not electric vehicles considering LCCO<sub>2</sub>. The proposed tax system can provide consumers with an incentive to choose vehicles with lower CO<sub>2</sub> emissions.

It is evaluated CO<sub>2</sub> emissions generated during the manufacturing phase of global supply chain and discusses tariff schemes for sustainable manufacturing. It calculates product costs that incorporate a carbon tax, and emissions from electricity used in manufacturing, emissions during transport from mining to manufacturing countries and emissions during transport from manufacturing countries to market are taxable. A case study of electric vehicle production includes outcomes calculated under various tax assumptions: for production in China, India, Thailand, Germany and Japan. CO<sub>2</sub> emissions during manufacture of EVs vary significantly, depending on each country's technical efficiency and the carbon intensity from electricity generation. A case study further illustrates that transport has a minor influence on emissions.



## 目次

第 1 章 序論.....	1
1.1 本研究の背景.....	1
1.1.1 日本国の温暖化対策と関連法規.....	3
1.1.2 日本政府による環境税の検討状況.....	4
1.1.3 運輸部門の温暖化対策の重要性と CEV 普及の課題.....	5
1.2 本研究の目的.....	8
1.2.1 既往研究と特徴.....	8
1.2.1.1 消費者の環境意識.....	8
1.2.1.2 CEV 普及と CO <sub>2</sub> 排出量計算モデル.....	9
1.2.1.3 自動車関連税制.....	10
1.2.1.4 自動車 LCA.....	13
1.2.2 研究目的と目標.....	16
1.3 本論文の構成.....	17
1.4 システムアプローチから見た本研究.....	21
1.5 まとめ.....	25
第 2 章 国内モデル.....	26
2.1 評価対象・機能単位.....	26
2.2 ライフサイクルプロセス.....	27
2.3 LCCO <sub>2</sub> 評価式.....	31
2.4 LCC 評価式.....	31
2.5 LCCO <sub>2</sub> 評価.....	32
2.5.1 製造段階 CO <sub>2</sub> 排出量.....	33
2.5.2 使用段階 CO <sub>2</sub> 排出量.....	34
2.6 LCC 評価.....	39
2.6.1 イニシャルコスト・使用段階コスト.....	39
2.6.2 メンテナンス・維持コスト.....	41
2.7 まとめ.....	44
第 3 章 国内自動車炭素税設計.....	45
3.1 要求分析.....	45
3.2 問題定義.....	54
3.2.1 製造段階 CO <sub>2</sub> 排出量の重要性.....	54

## 目次

3.2.2	使用段階中心の課税体系からの変更.....	54
3.2.3	インセンティブ政策の基準.....	57
3.2.4	LCC の変化.....	59
3.3	基本設計.....	60
3.4	詳細設計.....	60
3.4.1	設計手順.....	60
3.4.2	CEV 優遇税率の設計.....	63
3.5	検証.....	66
3.5.1	欧州税率との比較.....	66
3.5.2	現行ガソリン税との比較.....	66
3.5.3	環境省の地球温暖化対策税率案との比較.....	69
3.6	LCA 全体に課税する効果.....	72
3.7	まとめ.....	74
<b>第 4 章</b>	<b>国内自動車炭素税設計のシナリオ分析.....</b>	<b>75</b>
4.1	国内自動車炭素税設計フレームワーク.....	75
4.2	シナリオ分析.....	78
4.2.1	バッテリー技術進歩シナリオ.....	78
4.2.2	軽量化技術進歩シナリオ.....	81
4.2.3	消費者の総走行距離嗜好.....	84
4.2.4	超高齢社会シナリオ.....	89
4.2.5	普及目標シナリオ.....	91
4.3	まとめ.....	99
<b>第 5 章</b>	<b>グローバル市場評価モデル.....</b>	<b>100</b>
5.1	評価対象・機能単位.....	100
5.2	ライフサイクルプロセス.....	100
5.3	LCCO <sub>2</sub> 評価式.....	100
5.4	シナリオ分析.....	103
5.5	まとめ.....	108
<b>第 6 章</b>	<b>グローバル生産評価モデルと炭素関税設計.....</b>	<b>110</b>
6.1	要求分析.....	110
6.2	問題定義.....	111
6.3	基本設計.....	112
6.4	詳細設計.....	113

## 目次

6.5	グローバル生産評価モデル.....	113
6.5.1	ライフサイクルプロセス.....	116
6.5.2	LCCO <sub>2</sub> 評価式.....	118
6.6	炭素関税評価式.....	120
6.7	シナリオ分析.....	123
6.7.1	中国・日本生産の GV と EV (輸送段階を非考慮) .....	123
6.7.2	EV グローバル生産 (輸送段階を非考慮) .....	126
6.7.3	EV グローバル生産 (輸送段階を考慮) .....	129
6.8	検証.....	132
6.9	まとめ.....	133
<b>第7章</b>	<b>考察.....</b>	<b>134</b>
7.1	国内自動車炭素税.....	134
7.2	炭素関税.....	138
<b>第8章</b>	<b>結論.....</b>	<b>140</b>
8.1	本研究の結果と考察.....	140
8.2	今後の展望.....	144
	謝辞.....	146
	参考文献.....	150
	関連著作等リスト	

## 第1章 序論

### 1.1 本研究の背景

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90年比25%の削減を目指すことを改めて表明し[2]、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)をはじめとするクリーンエネルギー自動車(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年にトヨタ自動車株式会社が販売するHEV、“プリウス”が最も販売数の多い車となった[5]。1位のプリウスに加え、3位は本田技研工業株式会社が発売するHEV、“インサイト”であった。今や、HEVは特別な車ではなく日本において最も販売台数が多い車種となった。

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ベンチャー企業など、世界各国で次世代自動車の開発や発売に関する情報開示が相次いでいる。

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た。トヨタ自動車株式会社が2011年11月に受注を開始したプラグインハイブリッド車(PHEV)“プリウス”[6]や、日産自動車が2010年に販売を開始し、2012年までに量産を予定しているEV「LEAF(リーフ)」[7]、三菱自動車の電気自動車(EV)“iMiEV”[8]を皮切りに、いよいよCEV普及の

## 第1章 序論

時代が訪れようとしている。

日本政府は、「温室効果ガス 2050 年 80%削減のためのビジョンについて[9]」の中で EV や PHEV が全乗用車の 50%、もしくは 100%を占める 2050 年のシナリオを描き、CEV 主体の自動車社会へのビジョンを示している。将来社会では、さらなる CEV 大量普及が予想される。

ただし、現状では EV や PHEV は従来車と比較して価格が高いために、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。

2011 年 12 月時点で、日本で行われている普及政策を挙げると、EV、PHEV 及びクリーンディーゼル車 (CDV) を対象にしたクリーンエネルギー自動車補助金、及びエコカー減税と自動車税のグリーン化税制がある。さらに、2012 年度税制改正大綱では、「自動車重量税」の軽減と「エコカー減税」の 3 年間延長を決め、新たに 3000 億円のエコカー補助金の創設が盛り込まれた。

普及政策が強化されているが、ただし、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、減税や補助金の程度と環境負荷量は必ずしも一致しない。さらに、補助金や減税策など期限付きの優遇策の場合、同じ環境性能の製品を購入しても、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が変わってしまう可能性がある。

また、現在の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[10]。

他方で、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 経済措置として、これまで欧州が先行していた環境税[11][12]や税制のグリーン化を検討している。平成 23 年度税制改正大綱 (平成 22 年 12 月 16 日閣議決定) では、平成 23 年度に「地球温暖化対策のための課税の特例」を設けることが盛り込まれた[13]。揮発油税、地方揮発油税及び軽油引取税については、平成 23 年度は当分の間として措置されている現在の課税水準を維持すること、及び、車体課税については、簡素化、グリーン化、負担の軽減等を行う方向で抜本的な見直しを行うとされている[14]。

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。

## 第1章 序論

本研究は、より環境負荷の低い車が消費者に選択され、社会のグリーン化を促進する、CEV普及のためのグリーン政策を対象とする。

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。

### 1.1.1 日本国の温暖化対策と関連法規

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[15]。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[16]に基づき環境保全に関する基本的な計画[17]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[18]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[19]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

## 第1章 序論

討課題として位置づけられていることが確認できる。

### 1.1.2 日本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[20]。

環境省は平成20年（2008年）11月に環境税の具体案[14]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が示され[14]、平成23年度税制改正大綱において「地球温暖化対策のための課税の特例」が盛り込まれた[13]。

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]。

他に、グリーン化促進に関連する政策には、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）」[21]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）」[22]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。

### 1.1.3 運輸部門の温暖化対策の重要性と CEV 普及の課題

本研究が対象とする CEV は、運輸部門の温暖化対策として位置付けられている。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 CEV 普及の効果について述べる。

2009 年度の国内 CO<sub>2</sub> 総排出量と部門別の内訳によると、運輸部門からの CO<sub>2</sub> 間接排出量は全体の 20% 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 [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。

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」[9]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。

- 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[9]。

【乗用車構成】シナリオ A : EV が 100%、

シナリオ B : EV が 50%、HEV が 50%

【乗用車の燃費】2000 年比で 3 倍（ハイブリッド化による効果も含む）

## 第1章 序論

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「CO<sub>2</sub>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 CO<sub>2</sub>排出量に応じた考え方を導入」が謳われている[9].

本ビジョンより，EV や HEV をはじめとする CEV 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.

しかし，CEV は，車種により技術特性や普及に向けての課題が異なる. 例えば大幅な CO<sub>2</sub>削減効果が期待される EV や PHEV は，バッテリーコストが高いために，現時点では，車両価格が従来の GV と比較して優位だとは言いがたい. また EV は，他の車種と比較して，航続距離が短いことや，充電インフラの整備，使用する電気の発電構成によって CO<sub>2</sub>排出原単位が変化するためにエネルギーバランスを考慮しなければならない課題がある. 燃料電池車 (FCV) も同様に車両価格や充填インフラ整備，安全性などの課題を有している.

CO<sub>2</sub>削減目標の達成に向けて CEV を普及させるためには，いつどのタイミングで，どの車種を普及させるかを，CO<sub>2</sub>削減目標の時間軸と，エネルギー政策，社会インフラ整備，技術ロードマップや超高齢社会などの社会の変化らの時間軸を考慮して普及政策を実施しなければならない.

政府の立場では，技術開発支援コストや普及政策にかかる社会コストを時間軸で考え，少ない社会コストと CO<sub>2</sub>削減を実現する効率的な普及を実現する政策が求められる. 他方，企業の立場では，いつまでに技術開発すべきかを時間軸で考えること，さらに，各国で普及政策や目指す車種構成のビジョンが異なることが予想されるため，開發生産計画をグローバルで考えることが求められる.

さらに，別の重要な観点として，CEV は従来の GV と異なる特徴を有する. 図 1.1 に，トヨタ自動車販売する HEV “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 CO<sub>2</sub>排出量の割合を示す[6]. ライフサイクル全体の総排出量を比較すると，“プリウス”は GV より約 43%CO<sub>2</sub>排出量が少ない. しかし，製造段階の CO<sub>2</sub>排出量が全体に占める割合は，GV が約 2 割に対し，“プリウス”は約 4 割と増大する. CEV は従来の GV と比較して製造段階の環境負荷がライフサイクル全体に占める割合が増大するため，CEV 普及社会にお

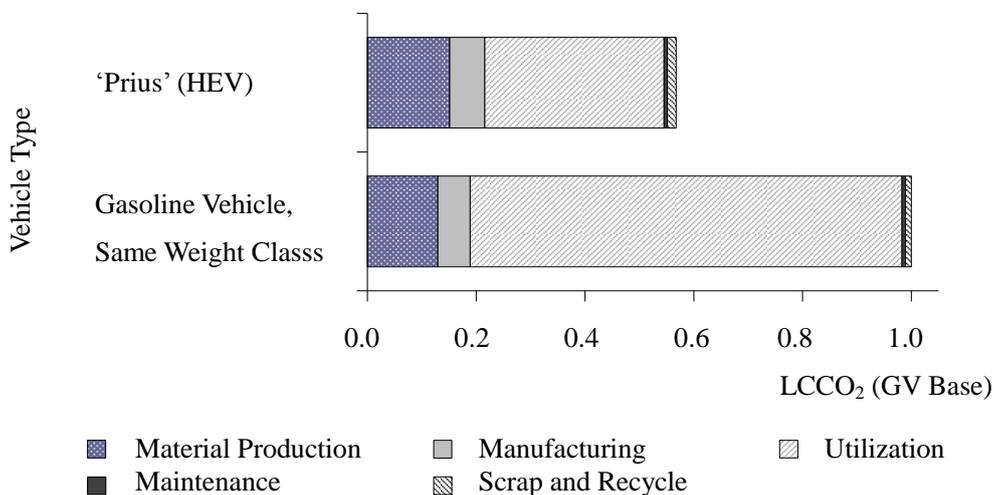


Fig. 1.1 Comparison LCCO<sub>2</sub> of 'Prius' and Gasoline Vehicle ( same weight class )

\*Adapted from Toyota Motor co., Ltd., LCA for 'Prius [6]

## 第1章 序論

いては製造段階の環境負荷が無視できなくなる可能性がある。

しかしながら、従来の GV はガソリン使用による使用段階の環境負荷が全体の大部分を占めるため、自動車関連税制や燃費規制などのほとんどの法規制は、使用段階の環境負荷を対象に政策設計がされてきた[24]。製造段階の環境負荷や車種ごとに異なるライフサイクル段階の環境負荷の特徴は考慮されていない。

### 1.2 本研究の目的

本節では、本研究の目的を述べる。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。

第 1.2.1 節では、既往研究と特徴を述べる。既往研究は、消費者の環境意識（第 1.2.1.1 項）、CEV 普及と CO<sub>2</sub> 排出量計算モデル（第 1.2.1.2 項）、自動車関連税制（第 1.2.1.3 項）、自動車 LCA（第 1.2.1.4 項）について述べた後、既往の研究領域で研究されてこなかった本研究の新規性の所在を示す。

#### 1.2.1 既往研究と特徴

##### 1.2.1.1 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）[25]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。

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、

## 第1章 序論

「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[26]。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[27]。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が提案されている[28]。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 [28]。

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。

他方、現在具体的に消費者の環境行動に影響する啓蒙活動や政策を見ると、金銭として直接利益を享受できる策が挙げられる。節電や省エネは月々の電気料金に直結して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、家電や住宅に対する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補助制度により、HEV や省エネ家電の販売量が飛躍的に伸びた。

そこで本稿では、グリーン政策の中でも、CEV 普及を後押しする策として、直接コストに影響する炭素税を研究対象とする。

### 1.2.1.2 CEV 普及と CO<sub>2</sub> 排出量計算モデル

環境配慮製品の普及をロジスティック曲線モデルを適用して評価した研究に、文献[29]-[31]がある。文献[31]は、HEV と GV を対象に、ロジスティック曲線

## 第1章 序論

モデルを拡張し、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補助金及びガソリン価格の上昇が普及に与える影響と、CO<sub>2</sub>削減効果を評価している。

CEVの消費者選好は、他に文献[32][33]でも評価されている。文献[32][33]は、コンジョイント分析結果に基づく多項ロジット型の消費者選好モデルを用いて燃料電池車（FCV）の普及予測を行っている。

将来自動車の各車種の技術特性を詳細にモデル化し評価した研究に、多目的線形計画法により種々の制約下でのシステムコストとCO<sub>2</sub>排出量を最小化するエネルギーシステムモデル MARKAL を、国内輸送部門に適用して CEV 普及を評価した文献[34]-[36]がある。MARKAL は、技術特性を詳細に記述するモデルし、システム全体の中での技術の相対比較が可能である。

文献[37]は、自動車に関わる将来技術を要素レベルで詳細にモデル化し、自動車技術の費用対効果を詳細に分析できるモデル CEAMAT を開発し、2050年までの将来自動車技術の省エネルギー・CO<sub>2</sub>削減ポテンシャル、並びにその費用対効果を評価している。

文献[38]は、軽乗用車や普通乗用車、貨物車等の車種別の利用パターンによる充電パターン評価を考慮した普及シナリオを用いて、PHEV と EV の CO<sub>2</sub>削減効果及び経済便益を評価している。

ただし、これまで CEV 普及に関する前述の研究[31]-[38]では、使用段階のCO<sub>2</sub>排出量のみが評価対象とされてきた。

その中で、文献[39]は、製造段階を含む LCCO<sub>2</sub> を評価対象としている。製品の寿命分布を考慮して製品最適導入計画モデルを構築し、目的関数を CO<sub>2</sub>排出量として導入計画を評価している。ただしこれらは、税政策議論とは紐付いていない。

### 1.2.1.3 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収確保を目的とする側面が大きい。

## 第1章 序論

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、税収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[10]。

自動車関係諸税[24]は、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。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、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。

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[40]。一方で、税目の多さや使途の複雑性など「簡素」の原則から程遠いとの問題点が指摘されている[10]。

日本の自動車関連税制は、これまで使用段階の燃費や投入エネルギーを中心

## 第1章 序論

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 CO<sub>2</sub> 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。

使用段階の環境負荷を対象に、燃費改善を中心とした減税や補助金政策などの効果を評価した研究に[41]-[49]がある。

文献[44]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-CO<sub>2</sub>]、 $\varepsilon = -0.3$  の場合 11.4[万円/t-CO<sub>2</sub>]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[45]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 CO<sub>2</sub> 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。

以上で述べたように、これまでの多くの自動車関連税制研究では、従来の GV を想定し、使用段階の環境負荷が評価されてきた。

その中で、文献[50][51]は、製造段階の環境負荷を評価対象に加えている。ただし、パワートレインの違いによる差異を考慮しておらず、CEV を評価していない。

文献[50]は、自動車関連税制の取得、保有、利用段階の税率設定が、車種構成や車齢、及び自動車走行量や走行状況の変化に与える影響を通じた CO<sub>2</sub> 排出量削減効果を評価している。取得、保有、利用段階のライフサイクルをモデル化し、製造段階の CO<sub>2</sub> 排出量を評価の対象に含めているが、製造段階の CO<sub>2</sub> 排出量は車両製造価格の原単位から推計しており、車種の違いによる差異は考慮されていない。評価対象車種は GV のみである。

文献[51]は、エコカー減税・エコカー補助金による自動車の買い替え前倒しの CO<sub>2</sub> 削減効果を、リバウンド効果を考慮して評価している。製造段階を含む LCCO<sub>2</sub> を評価対象としているが、製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を車型別の販売価格の原

## 第1章 序論

単位から推計しており、車種の違いによる製造段階排出量の差異は考慮されていない。GV と HEV が評価対象車種である。

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 CO<sub>2</sub> 排出に対して課税をする体系である [11][12][52]-[65]。

このように使用段階の燃費改善や補助金による普及効果を評価した例はあるが、CEV にとって重要となる製造段階の CO<sub>2</sub> 排出量や、グローバル生産を考慮してグリーン政策を研究した事例は見当たらない。

### 1.2.1.4 自動車 LCA

自動車の LCA は、多くの既往研究によって行われている。自動車 LCA 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使用段階、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使用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使用段階を対象にした評価が多く行われてきた。

この②燃料製造・供給段階、及び③走行段階の 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、使用段階（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。

使用段階評価の自動車 LCA の既存研究では、JHFC が水素燃料電池車の位置付けを明確にするための国家プロジェクトとして、燃料電池車を含む CEV の総合効率検討を分析している [66]。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 Well to Wheel (WtW) 分析を行っている。

Well to Wheel (WtW) 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 [67] やみずほ情報総研とトヨタ自動車株式

## 第1章 序論

会社の共同研究がある[68]. 文献[69]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[70]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, Tank to Wheel (TtW) 側の評価が重要な EV や PHEV に重点が移行しつつあるとしている.

他方, 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[71]. FCEV 及び EV の製造段階の CO<sub>2</sub> 排出量は, GV の 2 倍以上多くなり, 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[72]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[73].

また, 個々の自動車製品のケースを事例評価した例として, 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[74], 及び Elica[75]の評価が行われている.

HEV の 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[76]や 1.2 倍[77]と試算されている.

その他のライフサイクルプロセスを対象とした例に, オペレーションに対する評価[78]や, メンテナンス段階を含む評価[79]がある. また, 近年は企業の CSR や環境活動の一環として, 各自動車メーカーが LCA 結果を公表している[80]-[84].

他方, ライフサイクルコスト (LCC) の研究では, コスト評価と環境負荷の両面からポイント化し比較評価した事例[85]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[78], 実際に市販されている製品であるプリウス (HEV) とカローラ (GV) を比較した事例などがある[79].

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

## 第1章 序論

及びコストを統合的に評価した例は見当たらない。

自動車の環境評価は、自動車 LCA の分野で多くの研究がされてきた。しかしながら、EV や PHEV、及び HEV は新しい技術であるために、CEV に関しては、企業や研究所が個別の製品や技術に対して行う評価が主であった。さらに、EV や PHEV、HEV は販売実績もまだ少なく、技術進歩が急速に進んでいる段階のため、文献によって値にばらつきがあり一定の傾向が出揃ってはいない。

自動車関連税制分野の既往研究は、2 つの特徴が挙げられる。1 つは、税制のグリーン化やエコカー補助金や減税の CO<sub>2</sub> 排出量削減や社会コストに関するグリーン税制研究。他方は、現状の複雑な自動車関連税制と、これまでに実施されたエコカー減税や補助金の制度設計変容を分析し、今後のグリーン化に向けての方向性を論じる研究である。こちらは、欧州各国で検討が進んでいる政策を参考に、日本の変革の方向性を示す研究が多くある。

しかしながら、これら双方の自動車関連税制研究において、CEV の製造段階環境負荷は考慮されずに議論が進んでいる。CEV 普及と排出量計算モデル研究でも、同様に、CEV の製造段階の環境負荷は考慮されていない例が多い。

筆者は、次の 2 点にその原因の端があると考える。

- EV や PHEV の普及が本格化したのは、2009 年以降であり、現時点の社会要請として、まず社会に CEV を大量に普及させていくことに重きが置かれており、CEV 普及が進んだ後の制度設計を鑑みた議論にまで及んでいない。従来 of GV を想定した、使用段階の環境負荷を対象に制度設計が行われている点
- 部門別排出量管理において、自動車に関わる CO<sub>2</sub> 排出は、使用段階は運輸部門に、製造段階は産業部門に割り当てられている。これまで、CEV 普及の CO<sub>2</sub> 排出量削減効果は、運輸部門の対策として議論されてきたため、普及策や税制に関して、製造段階の排出量がセットで議論されてこなかった点

自動車関連税制は、「公平性」「簡素化」が長年要求されてきた。2009 年以降これに「グリーン化」が要求として加わったが、従来の税制システムに上乗せする形でエコカー減税や補助金を開始したことで、ますますその体系は複雑に

## 第1章 序論

なっている。

現在、税制グリーン化の議論が進んでいるが、従来の税体系の枠組みを残す形で自動車税と重量税を一本化する、エネルギーに関する鉱油税をグリーン化するという一部を改定する方向性が大半であり、抜本的にシステムを見直す議論には至っていない。

本研究は、環境評価（LCA）とグリーン政策の従来異なる研究領域を扱う学際研究である。システムエンジニアリング手法を用いて複数の学問領域に及ぶ問題を分解し、要求分析することによって、LCA結果に基づき公平に課税する新たなグリーン政策の体系を設計する点が独創性である。また、CEVの製造段階の環境負荷を考慮してグリーン政策を論じる点が新規性である。

### 1.2.2 研究目的と目標

本研究は、環境配慮製品のひとつであるクリーンエネルギー自動車（CEV）を普及させるためのグリーン政策を設計することを目的とする。

CEVは従来のガソリン車（GV）と比較して製造段階の環境負荷が無視できなくなることに着目し、ライフサイクル全体の環境負荷を考慮して、社会のグリーン化を効率的に促進し、CEVを普及させるためのグリーン政策設計を行う。

本研究では、グリーン政策のうち、従来の自動車関連税制に代わって導入することを想定する自動車炭素税と、海外生産やグローバルサプライチェーンによる生産フェーズの環境負荷に対して課税する炭素関税の2つを対象にグリーン政策を論じる。

自動車炭素関税設計では、ライフサイクルでCO<sub>2</sub>排出量の少ない自動車が消費者に選択され、本税が消費者にとってインセンティブとして働くようLCCを考慮する。走行段階のみでなく製造段階のCO<sub>2</sub>排出量を考慮することで、ライフサイクル全体におけるCO<sub>2</sub>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自動車炭素税設計を目指す。

自動車炭素税設計において、製造段階のCO<sub>2</sub>排出量を考慮すること、及び消費者インセンティブの観点からLCCを考慮することが本研究の特徴である。

炭素関税設計では、海外生産拠点を含む世界全体のグリーン化促進に加えて、

## 第1章 序論

日本の産業競争力を維持強化する機能を持たせることを目的とする。グリーン政策において、グローバル生産を考慮し、海外生産拠点の特性と輸送段階を含むサプライチェーン全体の  $LCCO_2$  を評価する点が特徴である。

本研究では、次の 5 点を研究目標とする。

- (1) 製造段階の環境負荷を考慮した「国内モデル」、及び「グローバル市場評価モデル」、「グローバル生産評価モデル」から構成される「グローバルサプライチェーンモデル」を構築し、 $LCCO_2$  評価、及び LCC 評価を行う。
- (2) 「国内モデル」を用いて、国内自動車炭素税を設計する。設計した税を、既存の政策や消費者負担の増減等の観点から多角的に検証する。さらに、自動車炭素税設計に、製造段階の環境負荷を考慮する効果を考察する。
- (3) 自動車炭素税設計の枠組みを拡張し、総走行距離の違いや将来技術を考慮して税率や課税額を議論するための税設計フレームワークを構築する。将来のシナリオや個別のケースを考慮し、 $LCCO_2$  と LCC の変化を捉えて税体系の議論ができる枠組みを構築する。シナリオ分析を行い、 $LCCO_2$ 、LCC 及び課税負担額の変化を評価し、将来のシナリオ変化に応じて税設計の議論を行える本フレームワークの有用性を示す。
- (4) 「グローバル市場評価モデル」を用いて、各国市場における CEV の  $LCCO_2$  をエネルギーバランスと総走行距離を考慮して評価する。CEV の中で最も EV が低炭素優位になる総走行距離を各国の総走行距離嗜好を鑑みて評価し、CEV 普及を考察する。
- (5) 「グローバル生産評価モデル」を用いて、炭素関税を設計し、その効果を考察する。

### 1.3 本論文の構成

本論文の構造を図 1.2 に示す。

本論文は、第 1 章から第 8 章で構成される。

第 1 章が序論、第 2 章が国内モデル、第 3 章が国内自動車炭素税設計、第 4 章が国内自動車炭素税設計のシナリオ分析、第 5 章がグローバル市場 LCA 評価

## 第1章 序論

モデル、第6章がグローバルLCA評価モデルと炭素関税設計、第7章が考察、第8章が結論である。

第1章（序論）では、温暖化対策においてCEV普及が期待される背景と普及に向けた課題を述べ、グリーン政策において製造段階の環境負荷を含むライフサイクル全体を考慮することの重要性を示す。また、既存の自動車関連税制や乗用車のグリーン化に関する法規制や政策を概観し、本論で論じる税設計の方向性を考察する。

第2章（国内モデル）では、CEV普及のための国内モデルを示す。本モデルでは、国内生産及び国内市場を対象とし、ライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量(LCCO<sub>2</sub>)とライフサイクルコスト(LCC)を評価する。本稿では、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)、ハイブリッド車(HEV)に、従来のGVを加えた4車種を評価対象とする。

第3章（国内自動車炭素税設計）では、第2章で構築した「国内モデル」を用いて自動車炭素税を設計する。CEV普及社会では製造段階の環境負荷が無視できなくなることに着目し、製造段階も含めたLCCO<sub>2</sub>を課税基準として公平に課税する自動車炭素税の枠組みを設計する。具体的には、LCCO<sub>2</sub>に応じて炭素税を課税した場合に、課税後にCEVのLCCがGVよりも小さくなるCEV優遇税率を設計する。その後、既存の政策や消費者負担額等複数の観点から設計した税率を検証する。また、自動車炭素税設計に、製造段階の環境負荷を考慮する効果を示す。

第4章（国内自動車炭素税のシナリオ分析）では、第3章の税設計の枠組みを拡張し、総走行距離の違いや将来技術を考慮して税率や課税額を議論するための税設計フレームワークを構築する。技術進歩や社会情勢変化など、将来のシナリオや個別のケースを考慮し、LCCO<sub>2</sub>とLCCの変化を捉えて税体系の議論ができる枠組みを設計する。具体的に、バッテリー技術進歩シナリオ、軽量化技術進歩シナリオ、総走行距離嗜好シナリオ、超高齢社会シナリオ、普及目標シナリオを想定したシナリオ分析を行い、LCCO<sub>2</sub>、LCC及び課税負担額の変化を評価する。

第5章（グローバル市場評価モデル）では、第4章で構築した「国内モデル」に対して、グローバル市場を対象とした「グローバル市場評価モデル」を示す。

## 第1章 序論

本モデルでは、各国市場における CEV の  $LCCO_2$  をエネルギーバランスと総走行距離を考慮して評価する。CEV の中で EV が最も低炭素優位になる総走行距離を各国の総走行距離嗜好を鑑みて評価し、CEV 普及を考察する。

第6章（グローバル生産評価モデルと炭素関税設計）では、CEV グローバル生産を対象とした「グローバル生産評価モデル」を示す。本モデルは、LCA モデルとグローバルサプライチェーンモデルを用いて、CEV の  $LCCO_2$  を、サプライチェーン全体を考慮して評価する。次に本モデルを用いて炭素関税を設計し、その効果を考察する。

第7章では、設計したグリーン政策を考察し、最後に、第8章において本論文の結論を述べる。

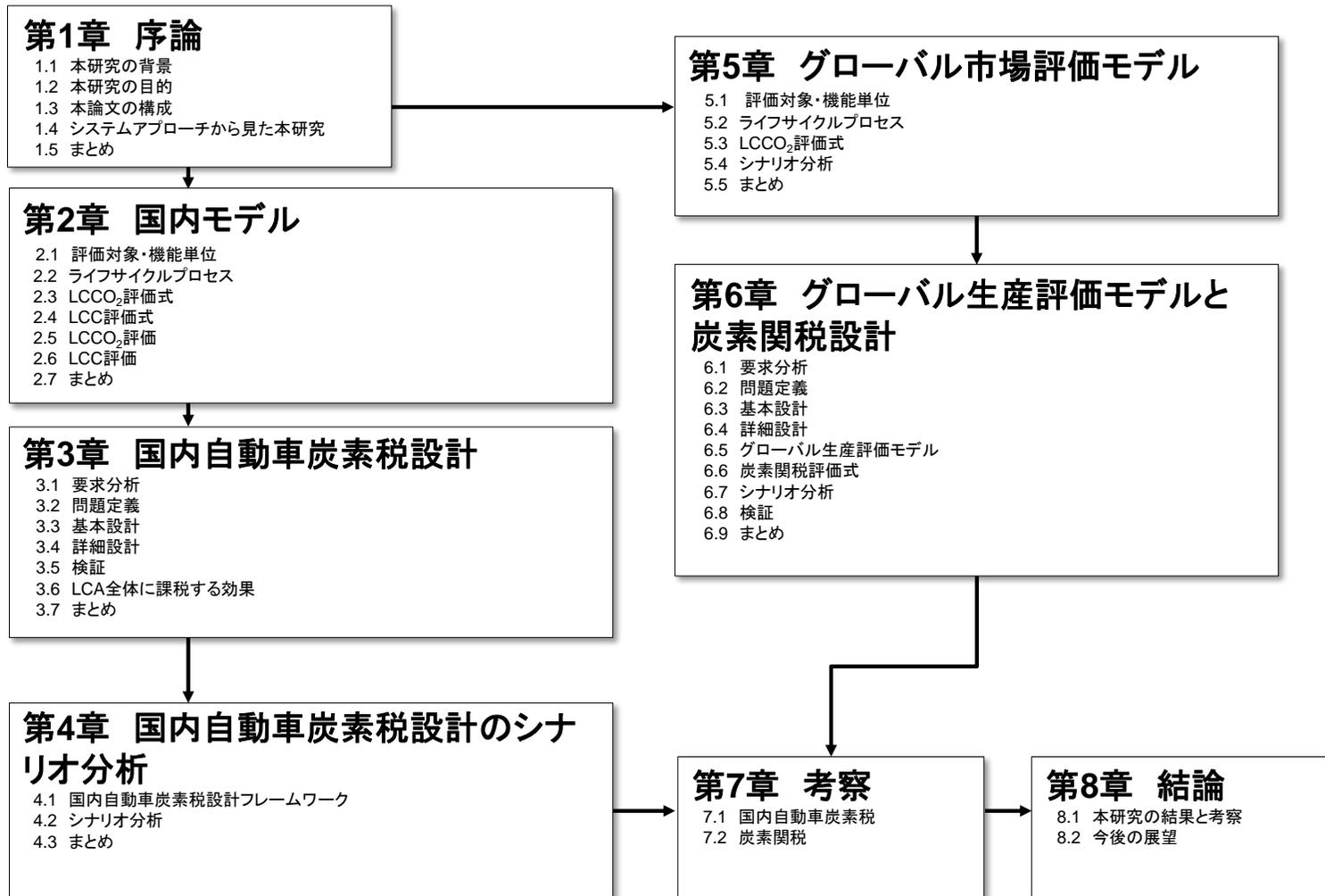


Fig. 1.2 The Composition of This Paper

### 1.4 システムアプローチから見た本研究

本節では、システムアプローチから見た本研究について述べる。本論文が立脚するシステムアプローチの視点から、グリーン政策デザインフレームワークを述べる。

本研究が対象とするグリーン政策システムデザイン、自動車炭素税設計及び炭素関税設計は、社会システムデザインのひとつとして位置付けられ、様々な切り口を含んでいる。図 1.3 は、グリーン政策システムをデザインするためのシステムアプローチを、「System design for green sustainable manufacturing モデル[86]」を元に筆者が作成した図である。

本図は、グリーン政策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。

社会システムは、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 Foresting (マクロ経済予測) 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、CO<sub>2</sub> 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 (相互作用分析) 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、CEV の LCCO<sub>2</sub> 評価モデル、LCC 評価モデル及びグローバルサプライチェーンモデルが該当する。

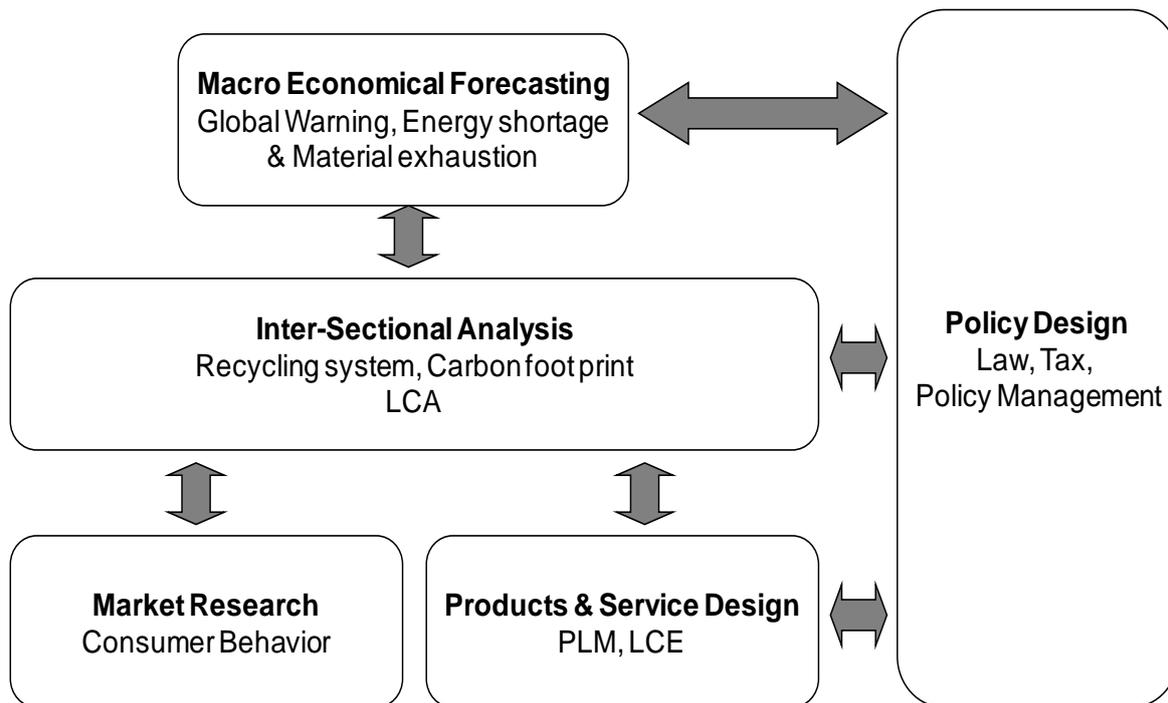


Fig. 1.3 A Framework of System Design for Green Policies

## 第1章 序論

下層には2つのマイクロ分析フレームがある。Market Research（市場調査）は、消費者行動分析や市場分析を行う。本研究では、消費者が負担するLCCや、各国のCEVに関する政策分析や各国の平均総走行距離等を分析する。

Products & Service Design（製品・サービス設計）は、本研究は対象外とする。ただし、CEV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（マクロ経済予測）とInter-Section Analysis（相互作用分析）をつなぐ分析として、普及予測とCO<sub>2</sub>排出量を組み合わせて、CEVからのCO<sub>2</sub>排出量評価を行う。

Inter-Section Analysis（相互作用分析）とMarket Research（市場調査）及びProducts & Service Design（製品・サービス設計）をつなぐ分析として、走行距離や税率の違いによるCO<sub>2</sub>排出量の変化を分析する。

次に、本研究におけるステークホルダー分析アプローチを図1.4に示す。社会システムデザインにおけるステークホルダーの最も大きな分類として政府、企業、消費者の3者を挙げている。持続可能性の観点から、各ステークホルダーの要求を環境性、経済性、社会性の観点から多視点に分析する。

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。

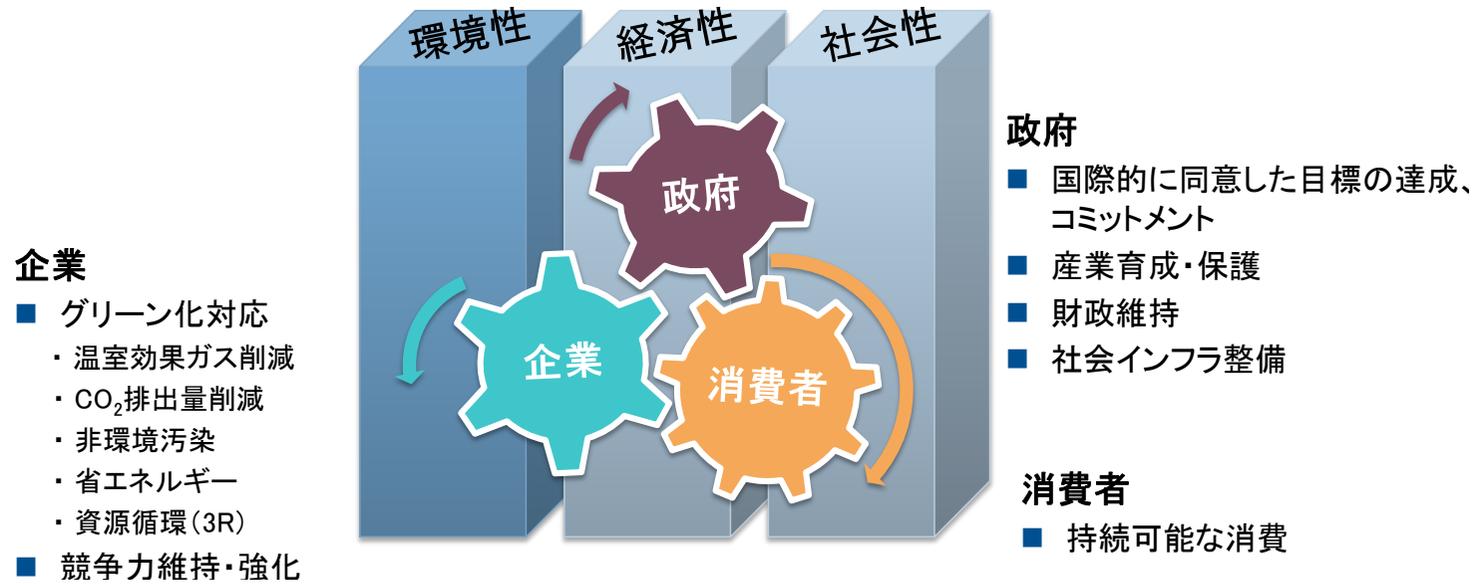


Fig. 1.4 Stakeholder Analysis for Green Policies

### 1.5 まとめ

本章では、温暖化対策において、CEV 普及が期待される背景を概観し、普及に向けた課題として、

- CEV は従来の GV と比較して、製造段階の環境負荷がライフサイクル全体に占める割合が大きくなる。CEV 大量普及社会では、製造段階の環境負荷が無視できなくなること
- CEV は車種により技術特性や普及の課題が異なる。普及政策は、CO<sub>2</sub>削減目標の時間軸と、エネルギー政策、社会インフラの整備、技術ロードマップや超高齢社会などの社会変化の時間軸を整合させる制度設計が必要であること

を示した。

また、自動車関連税制の歴史的背景や既往研究より、現状の自動車関連税制や補助、普及策が複雑であり、「簡素化」「負担軽減」「グリーン化」が要求されていることを踏まえ、本研究で行う税設計の方向性を考察した。

## 第 2 章 国内モデル

本章では、CEV 普及のための国内モデルを示す。本モデルでは、国内生産及び国内市場を対象とし、ライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量 (LCCO<sub>2</sub>) とライフサイクルコスト (LCC) を評価する。

### 2.1 評価対象製品・機能単位

評価対象製品は、電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV)、ハイブリッド車 (HEV) に従来のガソリン車 (GV) を加えた 4 車種とした。対象車種は、環境省の次世代自動車普及に対するビジョンを参考に、日本国における 2050 年までの普及シナリオにおいて普及の可能性を考慮して選定した。

機能単位は、車格 1,500cc 相当、10 年 100 千 km 走行を基本フローとして想定する。EV は、リチウムイオンバッテリー 33.7kWh 搭載を想定する。本稿で EV と GV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量は文献[71]の値を引用して用いるため、自動車緒元の設定は文献[71]に習う。GV は総重量約 1 トン、EV は総重量約 1.4 トンである。(文献[71]がハイブリッド LCI 手法に基づき素材構成を算出[87][88][67][89])。)

なお、PHEV は、公開されているデータが少なく値のばらつきが多かったため、LCCO<sub>2</sub> 及び LCC を HEV と EV の中間値として推定した。

EV 及び PHEV のバッテリー交換に関しては、PHEV 用蓄電池の開発目標が日本 (NEDO) 10 年、米国 (USABC) 15 年と設定されている[90]ことから、10 年 100 千 km 走行を想定する本稿においては、バッテリーの交換コストは発生しないものとする。引用データとして用いる EV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量評価[71]でも、自動車走行シミュレーションモデル計算の結果バッテリー交換を必要としないとして計算している (サイクル寿命: 1,000 回以上、異なる走行条件を想定したシミュレーションにおける最小航続距離: 129km)。

### 2.2 ライフサイクルプロセス

LCCO<sub>2</sub>評価モデルのライフサイクルプロセスを図 2.1 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（リユース、リサイクル、リマニュファクチャリング）プロセスを示す。

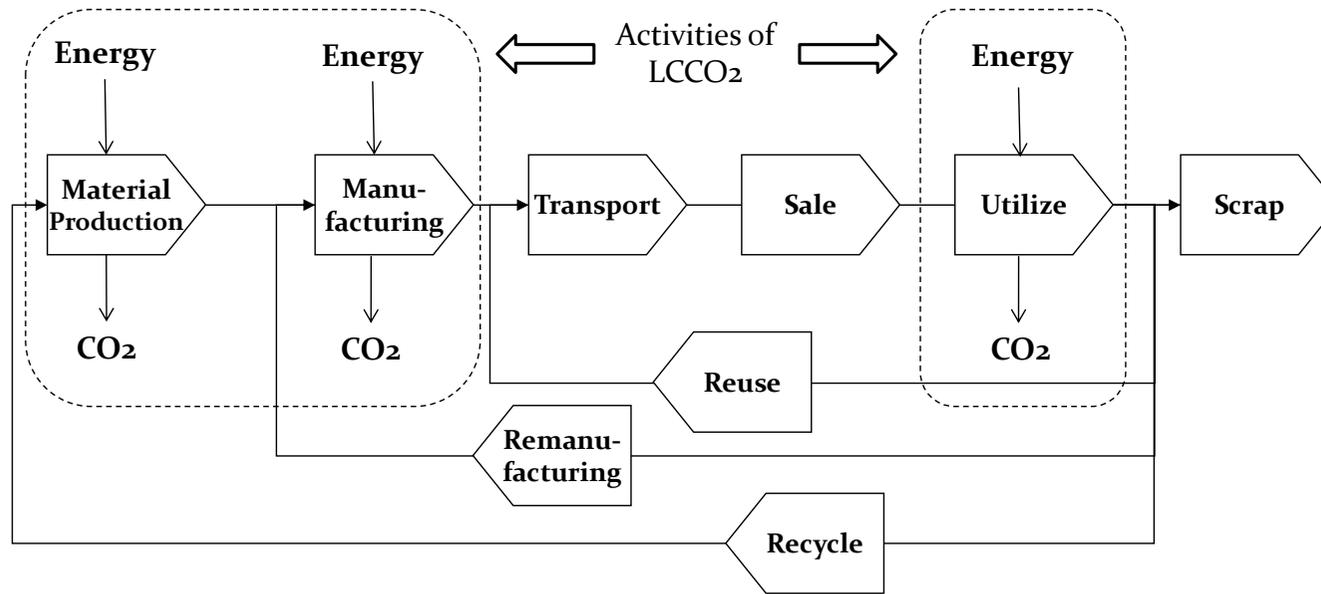


Fig. 2.1 LCCO<sub>2</sub> Evaluation Model for Vehicles

## 第2章 国内モデル

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 CO<sub>2</sub> を示す。このエネルギーのインプットと、CO<sub>2</sub> 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。

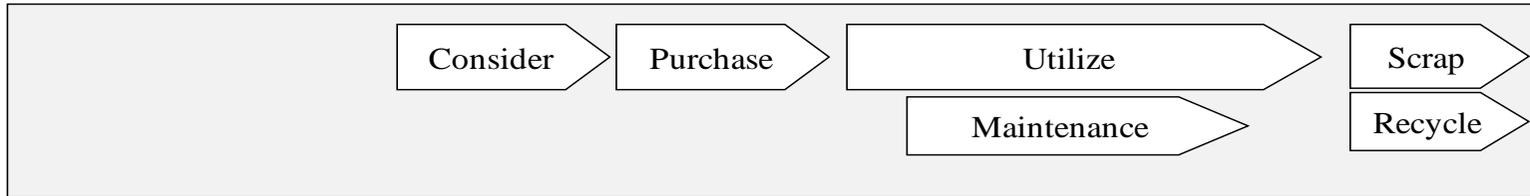
本稿で評価する LCCO<sub>2</sub> は、ライフサイクル全体のうち次の 3 つのステージを対象とする。対象は図 2.1 の枠線で示す通り CEV 固有の製造段階と従来重視されてきた走行段階を含む①素材製造段階、②製造段階、③使用段階の 3 つとする。

次に、LCC 評価モデルのライフサイクルプロセスを図 2.2 の中央部分に示す。本図は、自動車のライフサイクルプロセスとそれに対する消費者行動、消費者のライフサイクルコストを時間軸で示している。LCC 評価モデルでは、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評価する。

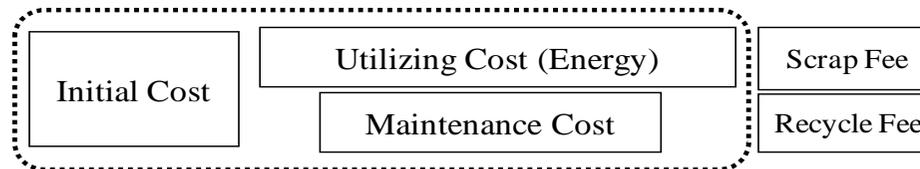
コストは左から、イニシャルコスト、使用段階コスト（エネルギー）、メンテナンスコスト、廃棄コスト、リサイクルコストに分類した。評価対象は、図中の枠線で示す通り、購入コスト、燃料や充電代のランニングコストに加え、本研究ではメンテナンス・維持コストも評価対象に加える。廃棄コストとリサイクルコストは、全体に占める割合が比較的小さいため、本稿では評価モデルの対象外とする。

上部の消費者行動プロセスは、左から、購入を検討する段階、購入段階、使用段階、使用段階に並行して、メンテナンス・維持段階、廃棄及びリサイクル段階を示す。製品ライフサイクルでは、3R（リユース、リサイクル、リマニュファクチャリング）プロセスがあるが、消費者行動プロセスでは、消費者の意思で行動につながるリサイクルのみを図示した。

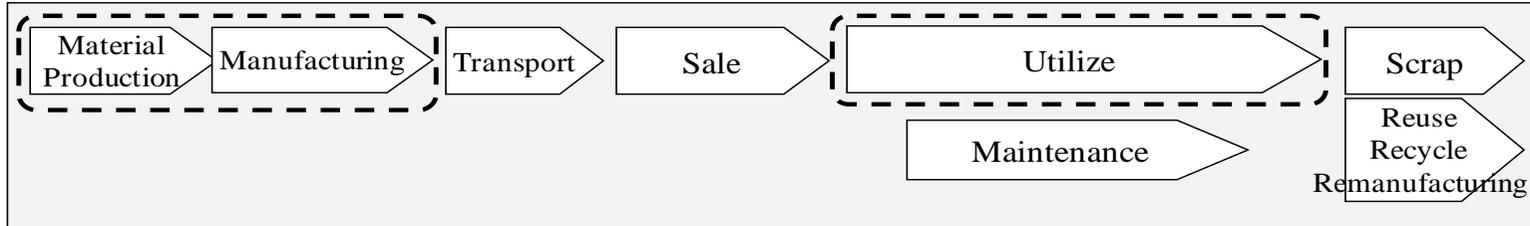
### Consumer Behavior



### Life Cycle Cost



### Products Lifecycle



     *Activities Related to LCC*     
      *Activities Related to LCC O<sub>2</sub>*

Fig. 2.2 LCC and LCCO<sub>2</sub> Evaluation Models for Vehicles

## 2.3 LCCO<sub>2</sub> 評価式

LCCO<sub>2</sub> 評価式を (1) 式に示す.

$$CO_i^{total}(n, h, k_i(t)) = CO_i^{Prod}(n, h, k_i(t)) + CO_i^{util}(n, h, k_i(t)) \times D_1 \quad \dots\dots(1)$$

$CO^{total}$	: LCCO <sub>2</sub> [kg-CO <sub>2</sub> ]
$CO^{Prod}$	: 製造段階 CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> ]
$CO^{util}$	: 走行あたりの CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> /km]
$i$	: 車種 [GV/HEV/PHEV/EV]
$n$	: 車格サイズ
$h$	: 発電あたりの CO <sub>2</sub> 排出係数[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
$k$	: 評価対象年代の製造技術 (燃費を含む)
$t$	: 評価対象年
$D_1$	: 総走行距離[km]

LCCO<sub>2</sub> 評価は, 第 2.2 節で示したライフサイクルプロセスを評価対象として, 素材製造段階を含む製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量と使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量を加算して算出する.

## 2.4 LCC 評価式

LCC 評価式を (2) 式及び (3) 式に示す. (2) 式は LCC を, (3) 式は使用段階コストを, (4) 式はメンテナンス・維持段階コストを示す.

$$C_i^{total}(n, h, k_i(t)) = C_i^{ini}(n, k_i(t)) + C_i^{util}(n, h, k_i(t)) + Tax(n, h, k_i(t)) \quad \dots\dots(2)$$

$$C_i^{util}(n, h, k_i(t)) = E_{MJ_i}(n, h, k_i(t)) \times E_{p_i}(h) \times D_1 \quad \dots\dots(3)$$

$$C_i^{maint}(n, k_i(t), D_1) = C^t_i(n, k_i(t), D_1) + C^r_i(n, k_i(t), D_1) + C^b_i(n, k_i(t), D_1) \dots\dots(4)$$

$C^{total}$	: LCC[JPY]
$C^{ini}$	: イニシャルコスト[JPY]
$C^{util}$	: 使用段階コスト[JPY]
$C^{maint}$	: メンテナンス・維持段階コスト[JPY]
$i$	: 車種 [GV/HEV/PHEV/EV]
$n$	: 車格サイズ
$h$	: 発電あたりの CO <sub>2</sub> 排出係数[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
$k$	: 評価対象年代の製造技術（燃費を含む）
$t$	: 評価対象年
$D_1$	: 総走行距離[km]
$E_{MJ}$	: 走行あたりの各種エネルギー使用量 [MJ]
$E_p$	: 各種エネルギーの MJ 単価 [JPY]
$C^t$	: 車両点検・検査・部品交換コスト [JPY]
$C^r$	: 修理コスト [JPY]
$C^b$	: バッテリー（蓄電池）交換コスト[JPY]

(2) 式に示す LCC 評価は、第 2.2 節で示したライフサイクルプロセスを評価対象として、イニシャルコストと使用時のエネルギーコストを加算して算出する。

第 2.2 節ライフサイクルプロセスで示した通り、本稿ではメンテナンス段階は評価対象外とし、LCC には加えないが、CEV 各車種のコストの特徴を分析するために、第 2.6.2 項でのみ、メンテナンス段階コストを評価対象として分析する。

## 2.5 LCCO<sub>2</sub> 評価

第 2.3 節で示した LCCO<sub>2</sub> 評価 (1) 式により、第 2.1 節で示した機能単位に

## 第2章 国内モデル

における各車種の LCCO<sub>2</sub> を評価する。評価においては、既往研究や LCA データベース等により公開されているライフサイクルインベントリデータ及び文献値を用いる。

### 2.5.1 製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量

GV, HEV 及び EV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を文献[71]より引用し表 2.1 に示す。本データ[71]は、車両製造段階のプロセスを財の構成素材量と産業連関表から推定するハイブリッド LCI 手法に基づき算定している。『自動車部品は自動車部品産業で製造され、自動車メーカーではこれら部品の最終組み立てが行われるとう自動車産業の実態を踏まえ、自動車の構成素材は下請け工場である各種自動車部品製造プロセスに投入され、自動車メーカーでは最終組み立てに伴うエネルギーやサービスの投入のみがなされるもの』[71]として、GV, HEV 及び EV の素材構成[67][87][88][101]と、2000 年産業連関表、3EID 2000 年生産者価格ベース CO<sub>2</sub> 原単位を用いて算出され、輸入財の海外生産分の負荷はカットオフされている。

HEV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量はデータの公表が少ないため、先行研究で言及されている GV 製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量の 1.1 倍[76]と 1.2 倍[77]のうち、1.1 倍[76]を採用して推計した。

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[76]や 1.2 倍[77]と試算されている。

どちらの値を採用するかを検証するために、なるべく直近のデータと比較するため、企業が公開している LCA データを参照する。

- HEV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量採用データの検証

トヨタ自動車株式会社はプリウス (HEV) [6]、本田技研自動車工業株式会社はシビック (HEV) [91] 及びフィット (HEV) [92]と同クラスの GV の LCCO<sub>2</sub> を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 (HEV) の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量は、同クラスの GV と比較して約 1.14 倍、シビック (HEV) の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量は、約 1.09

Table 2.1

LCCO<sub>2</sub> in the Manufacturing and Utilizing Phases [kg-CO<sub>2</sub>]

	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: originally from [6]

Utilizing phase: estimated for one hundred thousand km by using data from [66]

EV: lithium-ion rechargeable battery

倍, フィット (HEV) は約 1.24 倍と読みとれる.

車種によってばらつきがあることが確認されたが, 3 例中 2 例[6][90]が 1.1 倍に近かったため, 本稿では HEV の製造段階の CO<sub>2</sub> 排出量は GV の 1.2 倍[77]ではなく, 1.1 倍[76]を採用することとする.

製造段階の CO<sub>2</sub> 排出量は, EV が最も多く 9,200[kg-CO<sub>2</sub>], PHEV 6,855[kg-CO<sub>2</sub>], HEV 4,510[kg-CO<sub>2</sub>]と続き GV が 4,100[kg-CO<sub>2</sub>]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 CO<sub>2</sub> 排出量の多さについて文献[93]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.

## 2.5.2 使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量

## 第2章 国内モデル

表 2.1 に、前節で定義した機能単位である 100 千 km 走行時の使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量を示す[66]. 本データは EV と PHEV に使用する電力の発電電源構成は、2003 年当時の日本の平均電源構成として計算されている。経済産業省「電力需給の概要 2002」(2003 年 3 月)による 2001 年度データを参照している(電源構成比率:石油発電 5.4%, 天然ガス発電 33.4%, 石炭発電 14.2%, 原子力発電 38.7%, 水力発電 8.3%) [94].

文献[94]では、Well to Tank 効率における感度分析を行い、必要エネルギー、CO<sub>2</sub> 排出量とも、各エネルギーパスについてその差は殆ど変わらず、結果に殆ど影響しないとしている。Tank to Wheel 評価[94]では、対象車両の諸元は GV と HEV は総重量約 1 トン、EV は総重量約 1.4 トン、航続距離 300km、Ni-MH 電池 27.36kWh 搭載である。第 2.1 節で示した製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量で引用する[71]の諸元と比較して、GV と EV の総重量が比較的近い諸元を想定しているとして、本結果をそのまま引用する。EV については、EVNi-MH 電池とリチウムイオン電池である点が異なるが、総重量が近いため本数値をそのまま用いて以降の分析を進めることとする。

表 2.1 の評価結果より、使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量は、製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量とは逆に EV が最も少ない。GV 19,050[kg-CO<sub>2</sub>], HEV 12,225[kg-CO<sub>2</sub>], PHEV 8,500[kg-CO<sub>2</sub>], EV 4,775[kg-CO<sub>2</sub>]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 の少なさである。

ここで、電気とガソリンの発熱量及び CO<sub>2</sub> 排出原単位を表 2.2 に示す[89]. 本表は、エネルギー源別の発熱量と CO<sub>2</sub> 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 値を示す。

1[MJ]あたりの CO<sub>2</sub> 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-CO<sub>2</sub>/MJ]で、国内発電平均は 98.1[g-CO<sub>2</sub>/MJ], 国内夜間発電平均は 85.6[g-CO<sub>2</sub>/MJ]である。同じ電気をエネルギー源とする場合も、電源構成により CO<sub>2</sub> 排出係数が大きくことなることが確認できる。

表 2.1 に、製造段階と走行段階の CO<sub>2</sub> 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。合計の排出量は、EV 13,975[kg-CO<sub>2</sub>]が最も少なく、次いで PHEV

## 第2章 国内モデル

15,355[kg-CO<sub>2</sub>], HEV 16,735[kg-CO<sub>2</sub>], GV 23,150[kg-CO<sub>2</sub>]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。表 2.1 の CEV 別の LCCO<sub>2</sub> 数値を図 2.3 に示す。

本図は、各 CEV の製造段階と走行段階の CO<sub>2</sub> 排出量を示している。有色部が製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を、白色部が使用段階 CO<sub>2</sub> 段階排出量を示す。図中のラベルは、全体の LCCO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。ただし、本結果のうち、特に EV と PHEV の製造段階排出量は文献によって値にばらつきがあり、具体的数値は公表されていないが、最も新しいデータとしてトヨタ自動車株式会社と日産自動車株式会社がプリウス (PHEV) とリーフ (EV) を評価した指数からは、GV と PHEV 及び EV の製造段階排出量の差は縮まっている[96] [97]。また、及び技術進歩や量産化が進むと低減する可能性が高い [94]-[103]。

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 CO<sub>2</sub> 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。

## 第2章 国内モデル

Table 2.2

Calorific Values and CO<sub>2</sub> Intensities of Several Electric Generations

	単位換算値		発熱量		CO <sub>2</sub> 排出係数			
	単位	値	単位	HHV	単位	HHV /LHV	単位	値
ガソリン	kg/l	0.733	MJ/l	34.6	g-CO <sub>2</sub> /MJ	67.1 (HHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kg	3.17
国内発電平均	—	—	MJ/kWh	—	g-CO <sub>2</sub> /MJ	98.1 (HHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	—
国内夜間発電平均	—	—	MJ/kWh	—	g-CO <sub>2</sub> /MJ	85.6 (HHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	—
国内火力発電平均	—	—	MJ/kWh	9.08	g-CO <sub>2</sub> /MJ	166.0 (HHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	0.597
石炭発電	—	—	MJ/kWh	9.10	g-CO <sub>2</sub> /MJ	246.0 (HHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	0.887
原子力発電	—	—	MJ/kWh	—	g-CO <sub>2</sub> /MJ	6.50 (LHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	—
太陽光発電	—	—	MJ/kWh	—	g-CO <sub>2</sub> /MJ	14.8 (LHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	—
風力発電	—	—	MJ/kWh	—	g-CO <sub>2</sub> /MJ	8.19 (LHV)	kg-CO <sub>2</sub> /kWh	—

Refer from [89] (文献[89]内の出典 : [90][91][92][93])

\*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

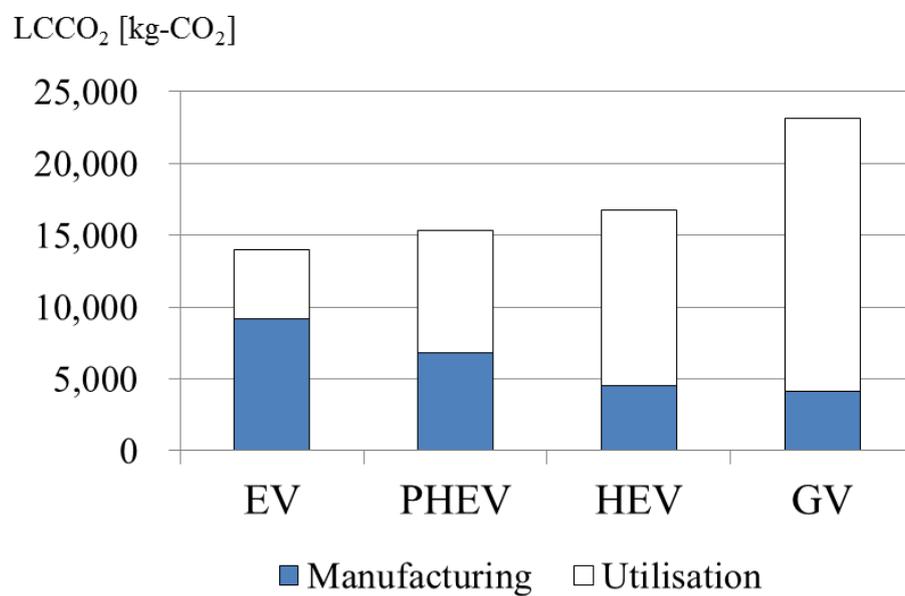


Fig. 2.3 LCCO<sub>2</sub> of CEVs

### 2.6 LCC 評価

第 2.6 節で示した LCC 評価式，(2) 式及び (3) 式により，第 2.1 節で示した機能単位における各車種の LCC を評価する．評価においては，既往研究や LCA データベース等により公開されているライフサイクルインベントリデータ及び文献値を用いる．

#### 2.6.1 イニシャルコスト・使用段階コスト

自動車 LCC 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の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，車種によって，パワートレインをはじめとするシステム構造が異なるため，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 [78][79][85][106]．

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 [85] 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を参考に [107]-[111] から表 2.3 の通りに定義した．

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 [107] の販売価格 (消費税抜) とした．EV のイニシャルコストは，市場動向や技術ロードマップを鑑み GV にバッテリー価格 200 万円を上乗せして 340 万円と定義した．

## 第 2 章 国内モデル

Table 2.3

Initial and Utilizing Costs of CEVs [10<sup>3</sup>JPY]

	[10 <sup>3</sup> JPY] Initial Cost	[10 <sup>3</sup> JPY] Utilizing Cost	[10 <sup>3</sup> JPY] Total Cost
EV	3,400	564	3,964
PHEV	2,700	638	3,338
HEV	2,001	711	2,711
GV	1,400	1,131	2,531

Initial costs: estimated by the author using data from [107]-[111]

Utilizing cost: estimated by the author using data from [66][112]

使用段階コストのうち、エネルギーコスト（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[66]、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）[112]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、HEV : 200.1 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、使用段階のコストはイニシャルコストの特徴と逆転する。GV が抜きんでて高く 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。

使用段階コストの大小は、CO<sub>2</sub> 排出量と同様に何をエネルギー源とするかに

## 第2章 国内モデル

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[112]を用いて推計しているが、安価な夜間電力や余剰電力等の安価な電気を使用すれば、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思われ。

### 2.6.2 メンテナンス・維持コスト

本稿では、第2.1.2項で示した評価ライフサイクルプロセスの、使用段階コストのうち、メンテナンス・維持段階のコストを評価する。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推定した。

- i. 車両点検・検査・部品交換コスト
- ii. 修理コスト
- iii. バッテリー（蓄電池）交換コスト

#### i. 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[113]。

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。

## 第2章 国内モデル

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と指摘している。

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(5)式に示す割合で定義する[78][113][114]、HEV及びPHEVは、車検基本料金の比較からGVの1.5倍[113]、EVは0.8倍[78]、PHEVは前述の通りHEV同程度と定義した。

$$EV:HEV:PHEV:GV = 0.8:1.5:1.5:1.0 \quad \dots\dots(5)$$

### ii. 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。

### iii. バッテリー（蓄電池）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[104]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、100千kmを想定する本研究においてはバッテリー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。

i, ii, iii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表2.4に示す。

Table 2.4

Maintenance Cost of CEVs [JPY]

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

Inspection, testing: estimated by author using data from [78][113][ 106][ 114]

Inspection, testing costs are including replacement cost except tire.

メンテナンスコストは、HEV の LCC 分析で示された金額[106]を元に (5) 式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 1,500cc 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[JPY]、GV が 296,160[JPY]、EV が 259,493[JPY]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 CEV といっても、搭載技術やシステムの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。

## 第2章 国内モデル

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。

### 2.7 まとめ

本章では、国内生産及び国内市場を対象としたCEV国内モデルを示し、LCCO<sub>2</sub>評価とLCC評価を行った。

ただし、本評価では2009年時点で収集した文献値を元に評価を行ったため、現在企業が公表するLCA結果[96][97]よりもEVとPHEVの製造段階排出量が大きい傾向にある。

## 第3章 国内自動車炭素税設計

本章では、第2章で構築した「国内モデル」を用いて自動車炭素税を設計する。LCCO<sub>2</sub>に応じて炭素税を課税した場合に、課税後にCEVのLCCがGVよりも小さくなるCEV優遇税率を設計し、既存の政策や消費者負担額等複数の観点から妥当性を検証する。また、自動車炭素税設計に、製造段階の環境負荷を考慮する効果を示す。

### 3.1 要求分析

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。第1.2.1.1項の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自動車炭素税の役割を考え、図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。

まず、政府が環境負荷量に応じて課税される自動車炭素税の枠組みを社会に与える。自動車炭素税は、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製品を選択することにより、環境負荷の小さな製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。

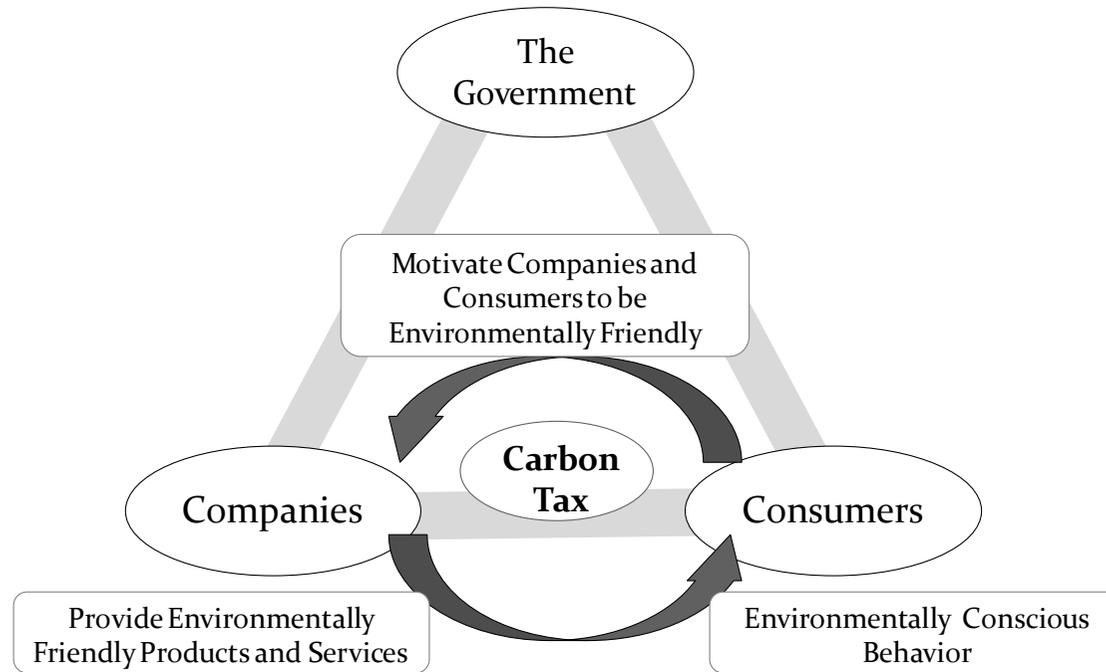


Fig. 3.1 Function of Carbon Taxation for Sustainable Low-Carbon Society

### 第3章 国内自動車炭素税設計

次に、本自動車炭素税に関わるステークホルダーを分析する。まず、社会における大きなくくりとして政府、企業及び消費者の3者を対象に分析する。要求を整理して、図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CO<sub>2</sub>排出量を削減すること、税収を維持すること、消費者が環境配慮製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。

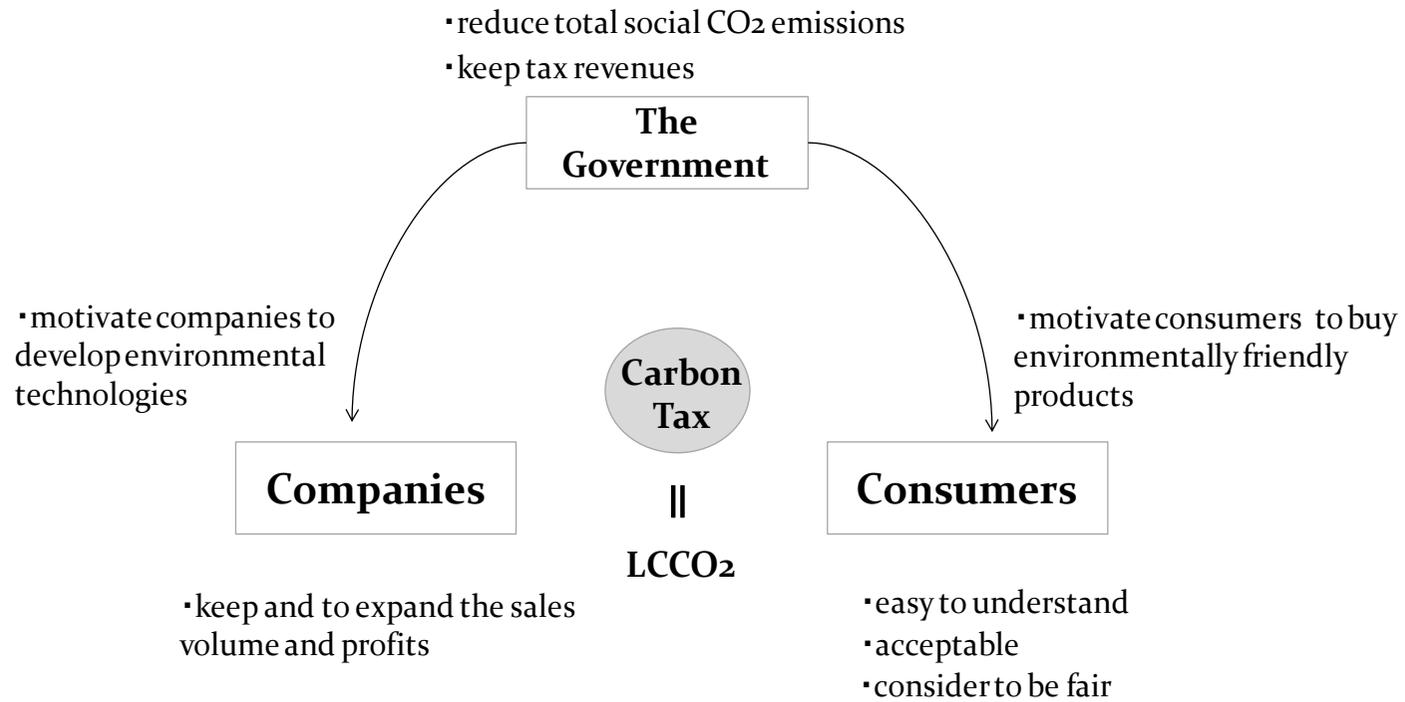


Fig. 3.2 Stakeholder and Social Requirements

### 第3章 国内自動車炭素税設計

次に、政府、企業、消費者と環境の間のCO<sub>2</sub>排出を取り巻く価値の流れをCustomer Value Chain Analysis[115]を用いて図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、図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。

製品やサービスから排出されるCO<sub>2</sub>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。

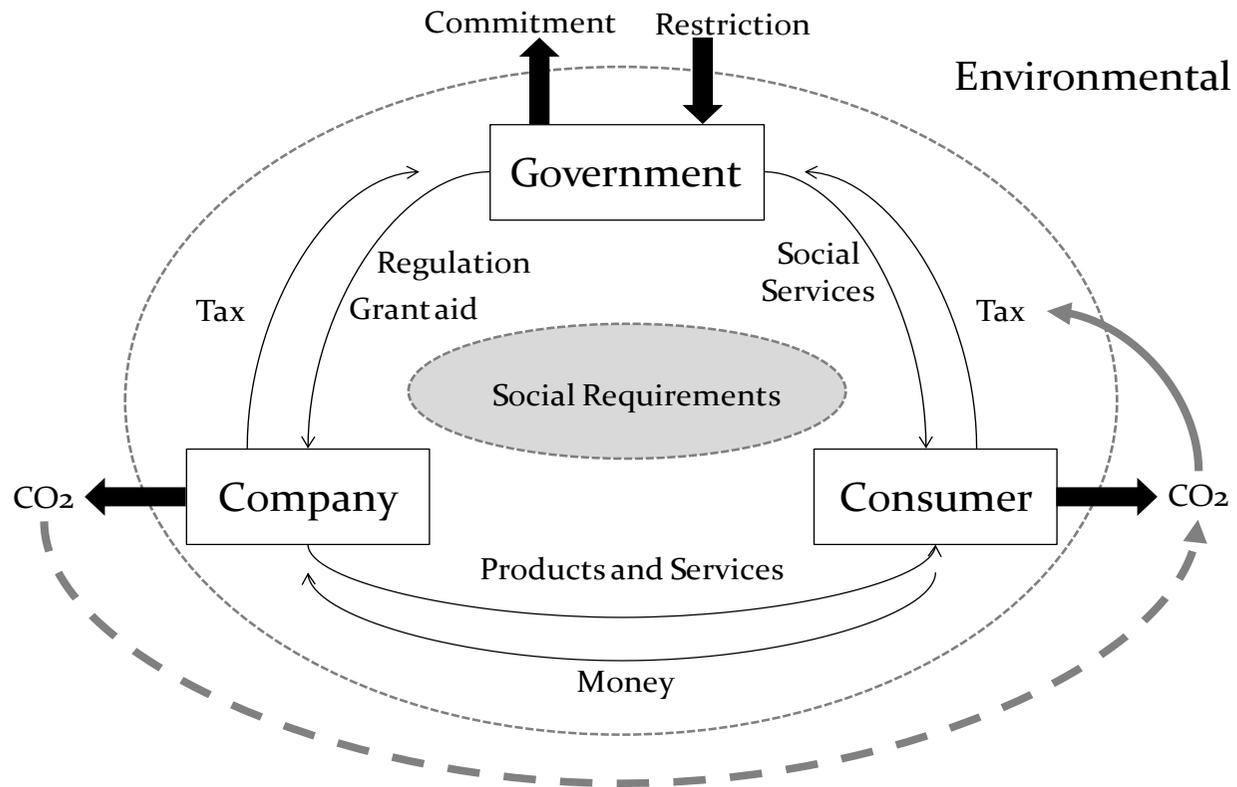


Fig. 3.3 Stakeholders and CO<sub>2</sub> Value Chain Analysis

### 第3章 国内自動車炭素税設計

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[115]を用いて図 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。

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 CO<sub>2</sub> 排出量に影響を与える様子を示す。CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 排出量が減少する方向に促進される。ここでの CO<sub>2</sub> 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 LCCO<sub>2</sub> 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、CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。

現行の自動車関連税制は、第 1.2.1.3 節の自動車関連税制で述べた通り、複数

### 第3章 国内自動車炭素税設計

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。

本研究で設計する環境税は，財源として税収を維持する機能を継続させること，社会全体のCO<sub>2</sub>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目的とする。平成22年度環境省税制改正要望の結果[14]の中で自動車関連税制において従来より強く求められてきたとされる「簡素化」，「負担の軽減」，「グリーン化」に，「公平性」及び「税収が減らないこと」を要求事項として踏まえ，設計を行う。

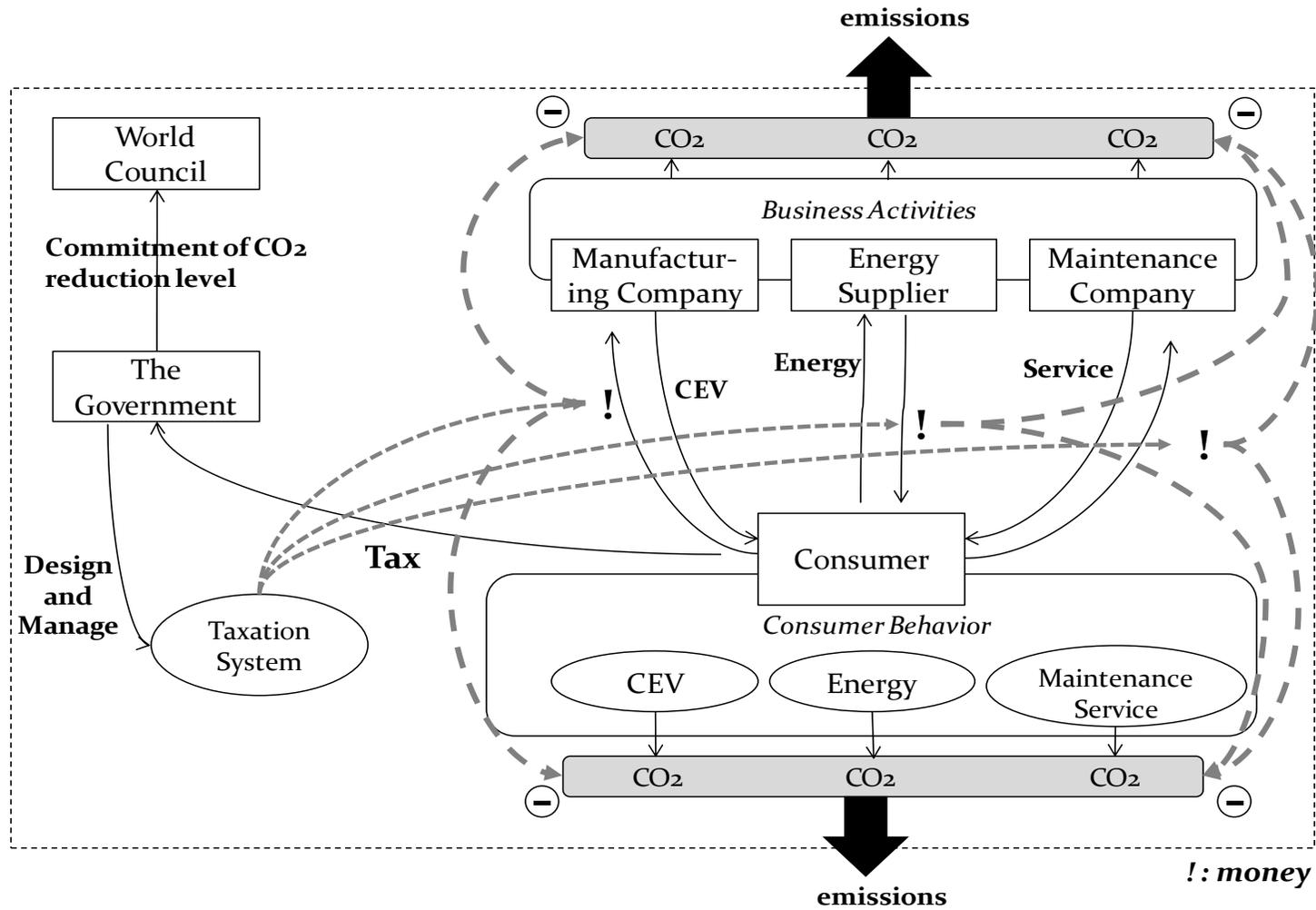


Fig. 3.4 Stakeholders and Social Needs Value Chain Analysis

### 3.2 問題定義

本節では、CEV 普及のための自動車炭素税設計における問題定義として、

- 製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量の重要性 (第 3.2.1 項)
- 使用段階中心の課税体系からの変更 (第 3.2.2 項)
- インセンティブ政策の基準 (第 3.2.3 項)
- LCC の変化 (第 3.2.4 項)

について述べる。これらは、本自動車炭素税設計の特徴となるコンセプトである。特に、第 3.2.1 項及び第 3.2.2 項は本研究の新規性にあたる。

#### 3.2.1 製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量の重要性

第 1.1.3 項の運輸部門の温暖化対策の重要性と CEV 普及の課題の中で示した、トヨタ自動車のプリウス (HEV) と従来の GV の LCCO<sub>2</sub> の変化[6]や、第 2.5 節の LCCO<sub>2</sub> 評価で示したように、CEV は従来 GV と比較して製造段階の環境負荷がライフサイクル全体で占める割合が増加する。CEV 普及社会では、製造段階の環境負荷が無視できなくなる可能性がある。

加えて、第 2.5 節の LCCO<sub>2</sub> 評価で示したように、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 LCCO<sub>2</sub> 割合の推移でも、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する[116]。

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。

#### 3.2.2 使用段階中心の課税体系からの変更

### 第3章 国内自動車炭素税設計

前節で述べた通り、使用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。

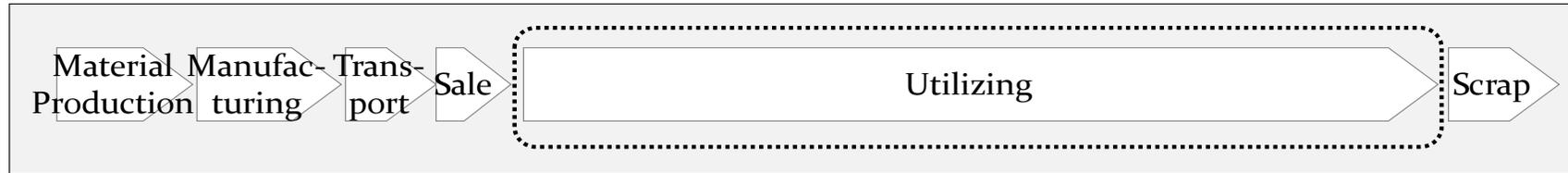
図3.5に、課税体系の現状（AS IS）と、本研究の税体系（TO BE）を比較して図示する。本図は、横軸を時間軸に自動車のライフサイクルプロセスを示している。プロセスの長さは、エネルギー投入量、環境負荷及びCO<sub>2</sub>排出量の多さを表現し、長いほど量が多いことを示す。点線で囲んでいる部分が、課税対象を示す。

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、CO<sub>2</sub>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。

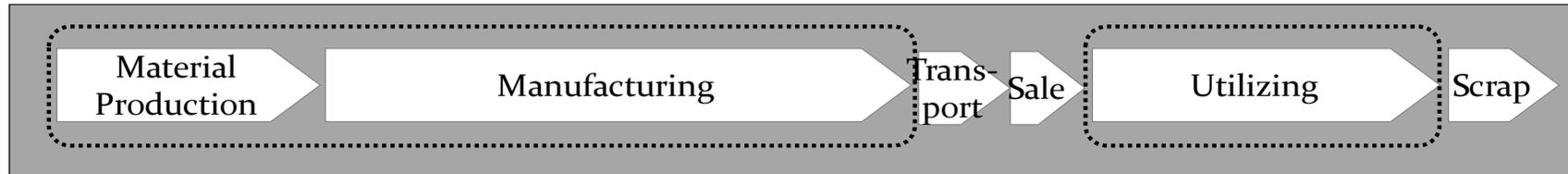
しかしながらCEVが普及すると、自動車から排出されるCO<sub>2</sub>のうち、製造段階に排出される量が増えてくる。走行段階よりも製造段階に排出される量の方が多く、製造段階を無視できない。

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。

**AS IS**



**TO BE**



 : *Object of Taxation*

Fig. 3.5 Object of Automobile Carbon Taxation ( AS IS / TO BE )

### 3.2.3 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。

消費者が製品を検討する際、購入するかどうか、そのサービスに対価を払うかは、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、図 3.6 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、関連する政策と線をつないで図示する。

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。

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 CO<sub>2</sub> 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、自動車を例にとると、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。

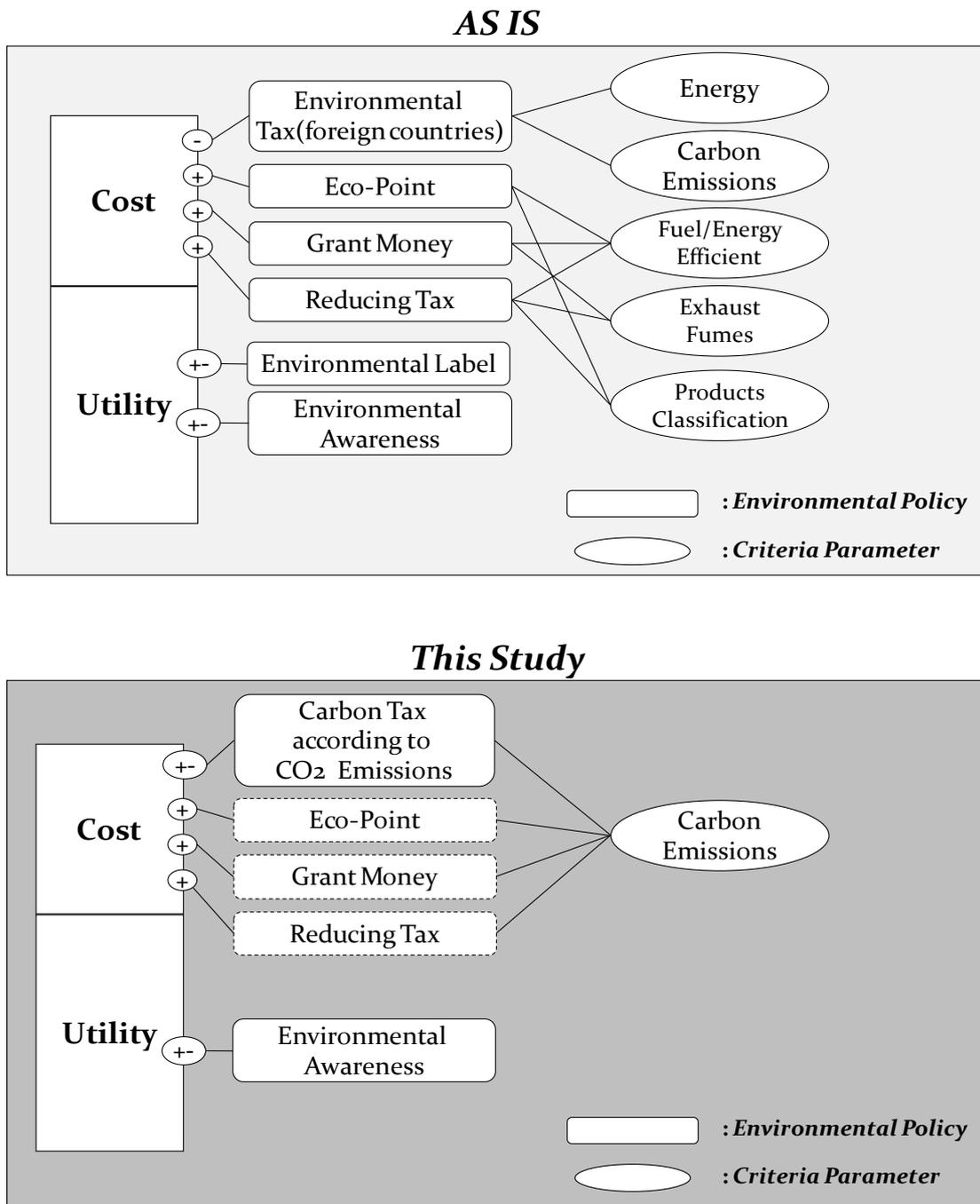


Fig. 3.6 Product Value with Environmental Policies

### 第3章 国内自動車炭素税設計

本研究で設計する自動車炭素税は、各ライフサイクルのCO<sub>2</sub>排出量に応じて課税される。環境負荷の少ない製品には少ない課税が、環境負荷の多い製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、CO<sub>2</sub>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、自動車関連税制の代わりに、自動車炭素税を導入することを想定する。図中のエコポイントや補助金、減税は検討の対象外とする。

#### 3.2.4 LCC の変化

第2.6節のLCC評価で示した通り、GVとCEVは、ライフサイクル各段階におけるコストが変化する。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EVやPHEV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、さらに使用段階のコストが抑えられる。

また、第2.4節のLCC評価結果より、メンテナンス・維持段階のコストも変化する。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[113]。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。

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LCC全体でのコスト効率を検討して購入する製品を選ぶ。

しかしながら、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、かつ燃費や走行時の燃費やエネルギー利用量等の使用段階の環境負荷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ライフサイクル段階のコストの違いは考慮されていない。

次節以降では、本節で問題定義をした4点を本自動車炭素税設計の最大のコンセプトとして税設計を行う。

### 3.3 基本設計

本研究で設計する自動車炭素税は、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 CO<sub>2</sub> 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、かつ環境負荷量が低い製品にはインセンティブとなり、逆に負荷が高い製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ると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[14]。

そこで、本自動車炭素税は、製造段階を含む LCCO<sub>2</sub> にある税率を乗じて課税する。前提となる CO<sub>2</sub> 排出量は、第2章の国内モデルにより評価した LCCO<sub>2</sub> を用いる。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、同じく第2章で評価した LCC を用いて、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。

設計する対象車種は、第2.1項の評価対象製品と同様に、EV、PHEV、HEV に GV を加えた4車種とする。機能単位も同様に、車格 1,500cc 相当、10年、100千 km 走行を想定する。

### 3.4 詳細設計

#### 3.4.1 設計手順

設計手順を図 3.7 に示す。

まず、評価対象とする車種を選定し、評価の基本シナリオを定義する。その後、各車種の LCCO<sub>2</sub> と LCC を評価する。次に、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

### 第3章 国内自動車炭素税設計

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。最後に、検討した税率をいくつかの評価指標で検証する。

LCCO<sub>2</sub> 評価と LCC 評価にあたっては、文献や公開 DB からインベントリーデータを参照し、技術ロードマップや文献値と組み合わせて推定する。対象車種の選定から、LCCO<sub>2</sub> 評価及び LCC 評価までは、第2章で論じた国内モデルを用いる。

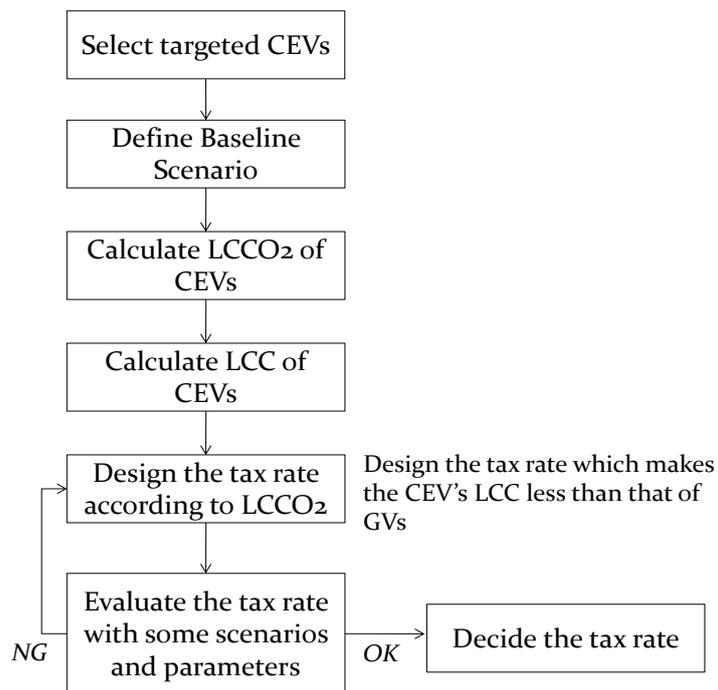


Fig. 3.7 Designing Steps of Proposed Automobile Carbon Taxation

### 3.4.2 CEV 優遇税率の設計

第2章の国内モデル及びLCCO<sub>2</sub>評価結果、LCC評価結果を用いてCEV優遇税率を設計する。なお、本項では、第2.6節のLCC評価結果のうち、イニシャルコストと、使用段階のエネルギーコストの合計値をLCCとして用いる。本項では、メンテナンス・維持コストは含めないで評価を行った。

自動車炭素税計算式を、(6)式に示し、LCCO<sub>2</sub>評価式の(1)式、LCC評価式の(2)式、及び使用段階コスト計算式の(3)式を再掲する。

$$Tax(n, h, k_i(t)) = CO_i^{total}(n, k_i(t)) \times TaxRate \quad \dots\dots(6)$$

$$CO_i^{total}(n, h, k_i(t)) = CO_i^{Prod}(n, h, k_i(t)) + CO_i^{util}(n, h, k_i(t)) \times D_1 \quad \dots\dots(1)$$

$$C_i^{total}(n, h, k_i(t)) = C_i^{ini}(n, k_i(t)) + C_i^{util}(n, h, k_i(t)) + Tax(n, h, k_i(t)) \quad \dots\dots(2)$$

$$C_i^{util}(n, h, k_i(t)) = E_{MJ_i}(n, h, k_i(t)) \times E_{p_i}(h) \times D_1 \quad \dots\dots(3)$$

- $CO^{total}$  : LCCO<sub>2</sub>[kg-CO<sub>2</sub>]
- $CO^{prod}$  : 製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>]
- $CO^{util}$  : 走行あたりの CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/km]
- $C^{total}$  : LCC[JPY]
- $C^{ini}$  : イニシャルコスト[JPY]
- $C^{util}$  : 使用段階コスト[JPY]

### 第3章 国内自動車炭素税設計

$Tax$	: 炭素税課税額 [JPY]
$TaxRate$	: 炭素税率 [JPY/kg-CO <sub>2</sub> ]
$i$	: 車種 [GV/HEV/PHEV/EV]
$n$	: 車格サイズ
$h$	: 発電あたりの CO <sub>2</sub> 排出係数[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
$k$	: 評価対象年代の製造技術 (燃費を含む)
$t$	: 評価対象年
$D_t$	: 総走行距離[km]

Table 3.1

Results of Formulae (5) and (1)-(3) with TaxRates of Break Point

	Formula(2)	Formula (3)	Formula (1)	Formula (6)	
with TaxRate [JPY/kg-CO <sub>2</sub> ]	<i>LCC</i> [10 <sup>3</sup> JPY]	<i>Utilization</i> <i>Cost</i> [10 <sup>3</sup> JPY]	<i>LCCO<sub>2</sub></i> [kg-CO <sub>2</sub> ]	<i>Tax</i> [10 <sup>3</sup> JPY]	<i>LCC of GV</i> <i>with TaxRate</i> [10 <sup>3</sup> JPY]
<b>GV:</b> No Tax	2,531	1,131	23,150	0	-
<b>HEV:</b> with 28.05	3,181	711	16,735	469	3,181
<b>PHEV:</b> with 103.47	4,927	638	15,355	1,589	4,927
<b>EV:</b> with 156.20	6,147	564	13,975	2,183	6,147

まず (3) 式より各車種の使用段階コストを計算し、(2) 式より炭素税課税額 Tax を除く LCC を計算する。また、(1) 式より LCCO<sub>2</sub> を算出する。次に、(1) 式で求めた各 CEV の LCC と GV の LCC を比較し、LCCO<sub>2</sub> 値に TaxRate を乗じた値を課税後に、CEV の LCC が GV の LCC よりも小さくなる CEV 優遇税率 TaxRate を (6) 式を用いて算出する。

結果、LCCO<sub>2</sub> に乗じた額を課税後に、CEV の LCC が GV より小さくなる、すなわち LCC が逆転する税率 HEV: 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]、PHEV: 103.47 [JPY/kg-CO<sub>2</sub>]、EV: 156.20[JPY/kg- CO<sub>2</sub>]が見出された。各 CEV 逆転税率を算出した (1) から (3) 式、及び (6) 式の結果を表 3.1 に示す。

表 3.1 は、行ごとに各車種（上から GV、HEV、PHEV、EV）において 3 行目から下へ順に、各 CEV 優遇税率を課税した場合（上から税率が、課税無し、HEV : 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]、PHEV: 103.47 [JPY/kg-CO<sub>2</sub>]、EV: 156.20[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]の場合）の値を示す。左列から (2) 式 : LCC、(3) 式 : 使用段階コスト、(1) 式 : LCCO<sub>2</sub>、(6) 式 : 課税額、GV の各税率における課税額を示す。

### 第3章 国内自動車炭素税設計

(2) 式列に示す各車種の課税後 LCC と、最も右の列に示す GV に同じ税率を課税した場合の課税後 LCC が同じ値であり、逆転する税率であることが確認できる。

## 3.5 検証

本節では、前節で求めた CEV の LCC が GV と逆転する CEV 優遇税率を、欧州の事例や、現行のガソリン税と比較して、税率が現実的かどうかを検証する。次の観点から既存の例と比較して検証する。次節以降で、次の観点から検証する。

- 欧州の税率との比較 (第 3.5.1 項)
- 現行のガソリン税との比較 (第 3.5.2 項)
- 環境省の地球温暖化対策税立案との比較 (第 3.5.3 項)

### 3.5.1 欧州の税率との比較

EU 内で比較的高い税率であるオランダのエネルギー課税税率（鉱油税）を CO<sub>2</sub> 排出量あたりに換算すると 42.27[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]、EU の CO<sub>2</sub> 排出量あたりのエネルギー課税最低税率は 21.25[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]である[117]。

オランダのエネルギー課税率は鉱油税であり、電気エネルギーを使用する EV や PHEV とはエネルギー源が異なるが、既存の税率を CO<sub>2</sub> 換算した場合に、税率が高い事例として比較に用いる。HEV 逆転税率は欧州の事例の範囲内であるが、PHEV と EV 逆転税率は比較的高いオランダのエネルギー課税率より高く、EV は約 3.7 倍大きい。

### 3.5.2 現行のガソリン税との比較

CO<sub>2</sub> 排出 1kg あたりの CEV 優遇税率を、日本のガソリン 1 リットルあたりの課税額に換算して、既存のガソリン税 53.8[JPY/L]（暫定税率における揮発油

Table 3.2

Amount of Tax for Gasoline 1L

<i>Carbon Tax Rate</i> [JPY/kg-CO <sub>2</sub> ]	<i>Amount of Tax</i> [JPY]
28.05	77.3
103.47	285.0
156.20	430.3

税と地方揮発油税)と比較する。

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[24]は、

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

である。

ガソリン1リットル当たりのCO<sub>2</sub>排出量は、CO<sub>2</sub>排出量原単位より、ガソリン採掘-製品0.3747[kg-CO<sub>2</sub>/L][118]、ガソリン燃焼2.380[kg-CO<sub>2</sub>/L][119]を合計して、2.7527[kg-CO<sub>2</sub>]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、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。結果を表3.2に示す。

既存のガソリン税の課税負担額との差は、HEV逆転税率が1.4倍、PHEV逆転税率は5.3倍、EV逆転税率は8.0倍であった。基本シナリオでは、PHEV逆転税率とEV逆転税率は既存の税率より値が大きく、PHEVやEVがGVよりもコスト優位性を発揮するためには、現状のガソリン税の5倍以上の税率を付与しなければならないことが分かった。

一方、HEV逆転税率28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]を採用した場合の各車種の課税後

### 第 3 章 国内自動車炭素税設計

Table 3.3

Amount of Tax for Gasoline per 1 year [JPY]

Tax Rate	This Carbon Tax	Existing Gasoline Excise
HEV : 28.05[JPY/kg-CO <sub>2</sub> ]	67,432	46,962
PHEV : 103.47[JPY/kg-CO <sub>2</sub> ]	248,741	
EV : 156.20[ JPY /kg-CO <sub>2</sub> ]	375,504	

Existing Gasoline Excise : estimated by the author using data from [118]

LCC は、EV が 435.6 万円、PHEV が 376.8 万円、HEV が 318.1 万円、GV が 318.1 万円であり、EV と GV の課税後 LCC の差は 117.6 万円、PHEV と GV の差は 58.8 万円であった。課税前後で、EV と GV との LCC 差は約 26 万円縮まった。

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表 3.3 に示す。

年間燃料使用量は、次の値を用いて計算する。

【平成 19 年度の自家用車の燃料使用量】

- ガソリン : 5021 万[kL] [120]
- 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を現行のガソリン税と本税で比較し、表 3.3 に示す。

1 年当たりの課税額を現行のガソリン税と比較すると、HEV 逆転税率 : 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]は現行の 1.4 倍、PHEV 逆転税率 : 103.47[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]は

現行の 5.3 倍，EV 逆転税率：156.20[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]は現行の 8.0 倍であった。

ガソリン税との課税負担の観点では，HEV 逆転税率が 1.4 倍と比較的近いのに対し，PHEV 逆転税率，EV 逆転税率では負担額が大幅に増加してしまうことが示された。

#### 3.5.3 環境省の地球温暖化対策税率案との比較

環境省の平成 22 年度税制改正要望[14]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[14]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）する。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する（揮発油税の納税システムを活用）。

そこで本節では，②の税率案と本税を比較する。

- ガソリン：17,320[JPY/kL] （7.467[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]

ガソリン 1 リットル当たりの課税額を比較して表 3.4 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[JPY/L]となった。これは，HEV 逆転税率 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]を 1 リットル当たりに換算した率 77.3[JPY/L]に比較的近い。他方で，その他の PHEV 逆転税率や EV 逆転税率は，既存のガソリン税よりも課税額が大幅に増加する。

本稿では，検討した税率のうち既存の例と比較的値の近い HEV 逆転税率 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]を導入可能性の高い妥当性が高い，CEV 優遇税率として用いる。

HEV 逆転税率 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]を課税する前後の各車種 LCC を図 3.8 に示す。GV が最も課税額が大きく，課税後に CEV と GV の LCC 差が縮まっていることが確認できる。GV との LCC 差は，EV は課税前 143 万円から課税後 1118 万円に，PHEV は課税前 81 万円から課税後 59 万円に縮まっている。

Table 3.4

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

Tax Rate [JPY/kg-CO <sub>2</sub> ]	This Carbon Tax	Gasoline Excise and Global Warming Countermeasure Tax		
		Existing Gasoline Excise	Tax of Global Warming Countermeasure	Total
HEV : 28.05	77.3	28.7	17.32	46.02
PHEV : 103.47	285.0			
EV : 156.20	430.3			

Existing Gasoline Excise : assumption by the author using [24]

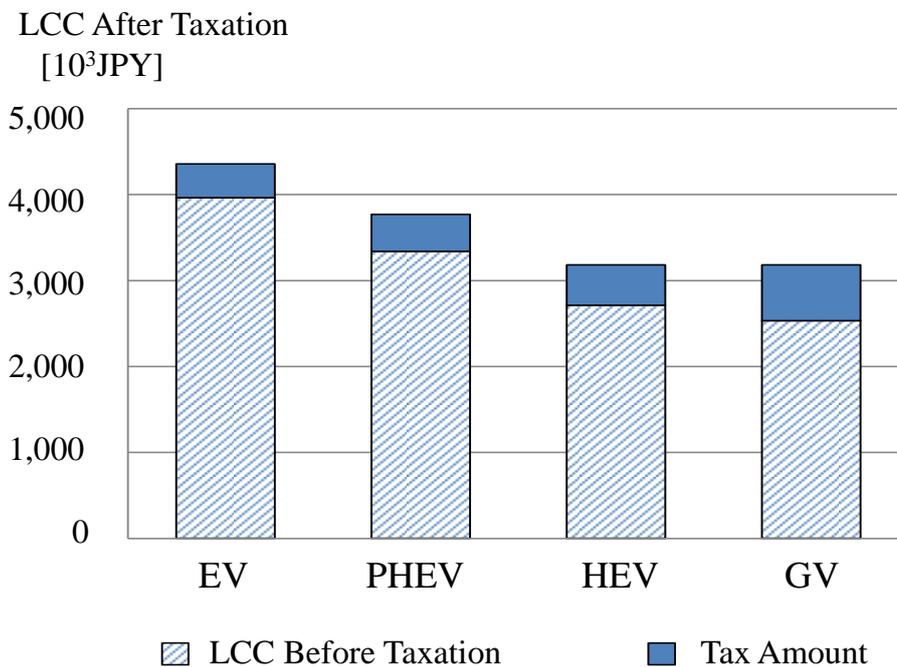


Fig. 3.8 LCC of CEVs after Tax with 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]

### 3.6 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 CO<sub>2</sub> 排出量に対して課税する本税を、仮に使用段階の CO<sub>2</sub> 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。

図 3.9 に HEV 逆転税率 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]を課税した場合の車 1 台あたりのライフサイクルトータルでの課税額を示す。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。

本図より、特に EV と PHEV において製造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 65.8%，PHEV では約 44.6%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 CO<sub>2</sub> 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 PHEV 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。

さらに本稿では、使用段階の機能単位を、車齢 10 年、総走行距離 100 千 km を想定して計算しているが、総走行距離や使用頻度に応じてこの割合は変化することが予想される。

総走行距離が長い場合は、製造段階の環境負荷の大きい EV が LCCO<sub>2</sub> は少なくなり、逆に短い距離では、製造段階の負荷の少ない GV や HEV の方がトータルの排出量が少ない可能性があると考えられる。

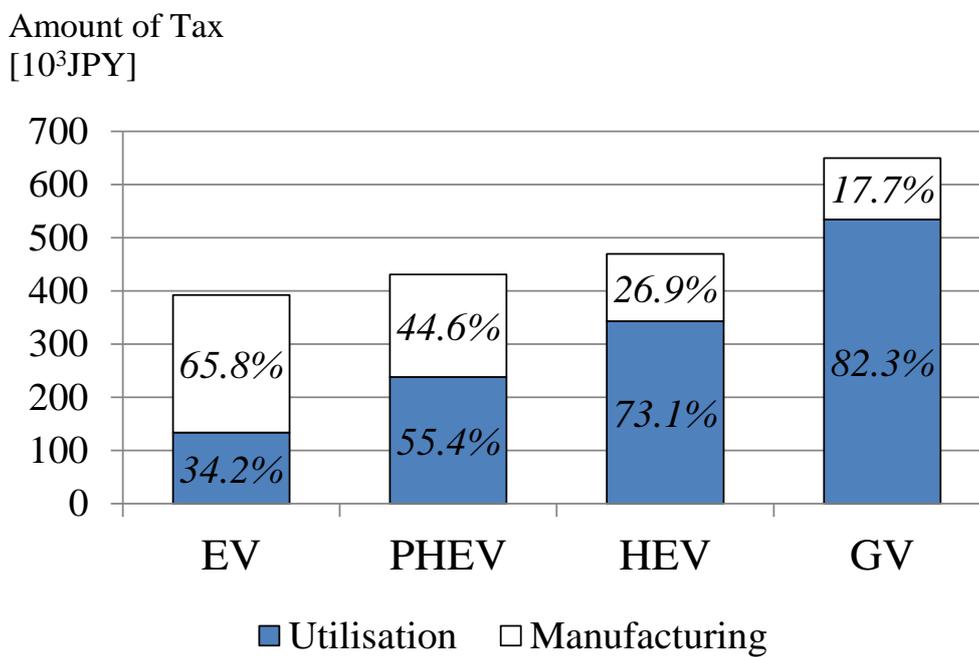


Fig. 3.9 Amount of Tax with 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]

### 3.7 まとめ

本章では、第2章で構築した「国内モデル」を用いて自動車炭素税を設計した。「簡素化」、「負担の軽減」、「グリーン化」、「公平性」及び「税収が減らないこと」を要求事項とし、公平に課税ができるよう、LCAを課税基準に用いる自動車炭素税を設計した。また、消費者が自身の環境負荷が少ない車種を選択することを促すよう、LCCを用いた。

結果、課税後にCEVのLCCがGVよりも小さくなるCEV優遇税率「HEV：28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]」を示し、税率、課税負担額や税収等の複数の観点から比較し、現実的かどうかを検証した。

また、自動車炭素税設計に、製造段階の環境負荷を考慮する効果として、

- 使用段階の環境負荷が小さいCEVの普及に伴い、現行の使用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
- 製造段階の考慮により、CEVごとに異なる製造段階と使用段階排出量のバランスが炭素税に反映されること

を示した。

## 第 4 章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

本章では、第 3 章の税設計の枠組みを拡張し、総走行距離の違いや将来技術を考慮して税率や課税額を議論するための税設計フレームワークを構築する。将来のシナリオや個別のケースを考慮し、 $LCCO_2$  と  $LCC$  の変化を捉えて税体系の議論ができる枠組みを構築する。具体的に、バッテリー技術進歩シナリオ、軽量化技術進歩シナリオ、総走行距離嗜好シナリオ、超高齢社会シナリオ、普及目標シナリオを想定したシナリオ分析を行い、 $LCCO_2$ 、 $LCC$  及び課税負担額の変化を評価する。

### 4.1 国内自動車炭素税設計フレームワーク

本節では、第 3 章の国内モデルを用いた国内自動車炭素税設計で示した税設計の基本的枠組みを拡張し、消費者ごとに異なる総走行距離の違いや、将来の技術進歩による  $LCCO_2$  や  $LCC$  の変化を考慮して、税率や課税額を議論するための炭素税設計フレームワークを構築する。

図 4.1 に国内自動車炭素税設計フレームワークモデルを示す。図中の四角は、設計プロセスを示し、矢印は設計フローを、点線はシナリオやデータベースからのデータインプットを、塗色の四角は算出されるアウトプットを示す。

シナリオは、図左上から燃費改善や軽量化、蓄電池コストや性能など技術進歩に関する「技術シナリオ」、ガソリン価格や電力料金に関する「エネルギー価格シナリオ」、CEV の普及予測に用いる「新車販売台数及び保有台数シナリオ」がある。

また税設計のアウトプットとして、「1 台あたりの課税額」「課税後  $LCC$ 」「税収」「乗用車からの  $CO_2$  総排出量」が計算される。

図中央部からプロセスに沿って、本モデルを説明する。まず評価する車種を選択し、車格クラスを選択する。そこから左の分岐に移る。 $LCCO_2$  評価では、各車種の  $LCCO_2$  を文献値や公開 DB のインベントリーデータを用いて推計する。次に、求めた  $LCCO_2$  に対して、ある税率を乗じて「1 台あたりの課税額」を決定する。税率は、第 3.4.2 節で述べた通り、課税後に CEV の  $LCC$  が  $GV$  より

## 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

も小さくなる CEV 優遇税率を設定する。

次に、LCCO<sub>2</sub> 評価から下の左の分岐を説明する。CEV 毎の LCCO<sub>2</sub> に、CEV 新車販売台数・保有台数シナリオによる CEV 台数を乗じて、「乗用車からの CO<sub>2</sub> 総排出量」を計算する。

「1 台あたりの課税額」の後には、3 つに分岐している。左の分岐は、「1 台あたりの課税額」に CEV 台数を乗じて「税金」を計算する。右の分岐は、評価した LCC に「1 台あたりの課税額」を加算し、「課税後 LCC」を計算する。

プロセスの最後は、図の下部に示す評価プロセスである。評価指標は、税設計のアウトプットとして計算される塗色の四角で示す「1 台あたりの課税負担額」、「課税後 LCC」、「税金」、「乗用車からの CO<sub>2</sub> 総排出量」の 4 つである。

評価指標は、政府の立場、消費者の立場、及び企業の立場の 3 者のステークホルダーの観点から、多視点で評価するよう構成している。消費者の立場では、「1 台あたりの課税負担額」及び「課税後 LCC」、政府の立場では、「税金」、「乗用車からの CO<sub>2</sub> 総排出量」、企業の立場では、「課税後 LCC」における各車種のコスト優位性と製品市場投入や技術開発のタイミング、企業削減目標量に対して、販売台数に対する CO<sub>2</sub> 総排出量がある。

これら 4 つの評価指標を用いて、設計した 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、及び総走行距離の違いや複数のシナリオを設定し、将来シナリオを想定して税率や課税負担額の議論ができる点が本フレームワークの特徴である。

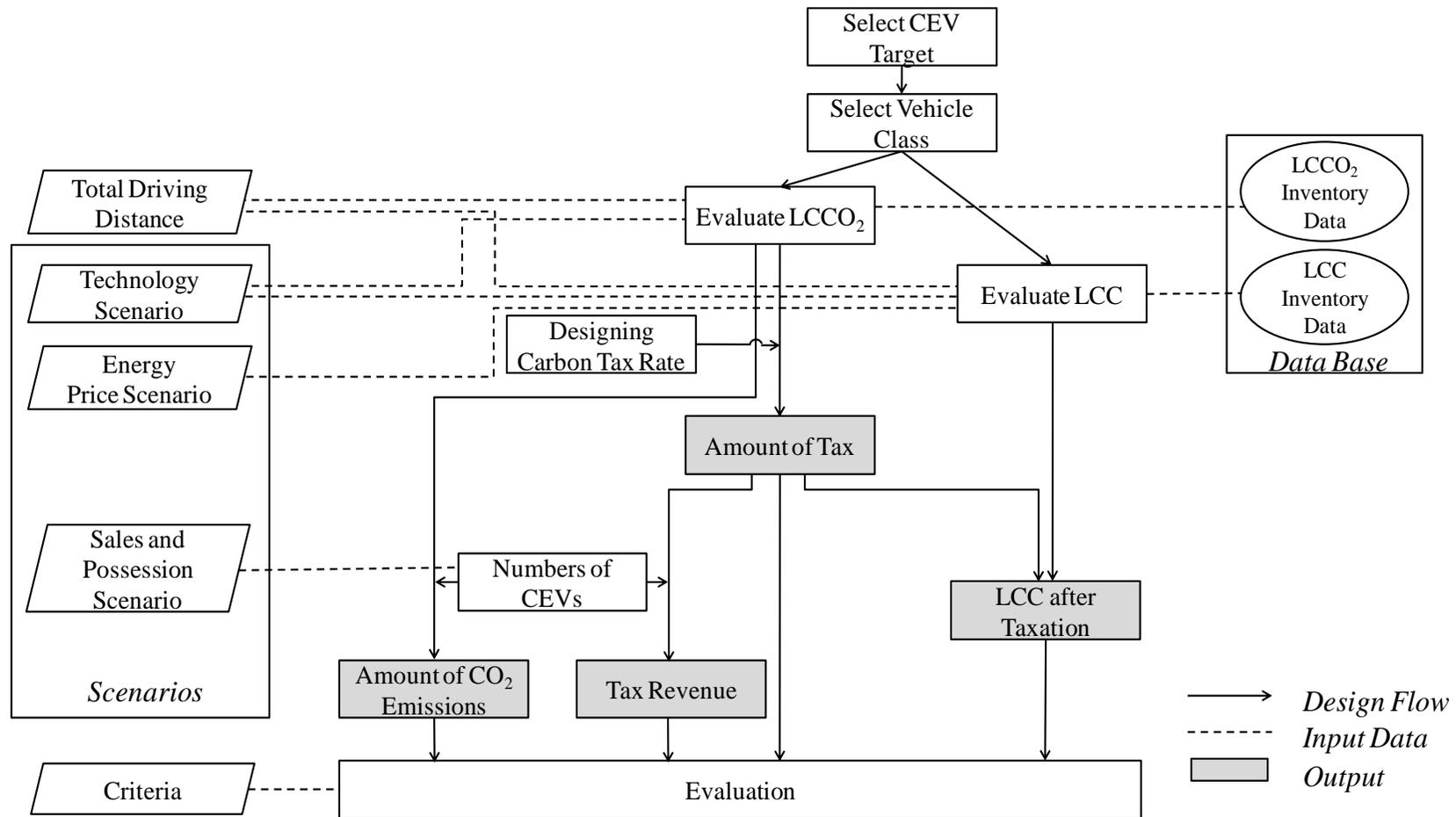


Fig. 4.1 Designing Automobile Carbon Taxation Scheme

### 4.2 シナリオ分析

本節では、第4.1節で示した国内自動車炭素税設計フレームワークを用いて、技術進歩や高齢者ユーザを想定したシナリオを設定し、LCCO<sub>2</sub>、LCC及び課税負担額の変化を分析する。

本項では、技術シナリオの「バッテリー技術進歩シナリオ」、「軽量化技術進歩シナリオ」、社会シナリオの「消費者の総走行距離嗜好」、「超高齢社会シナリオ」、「普及目標策シナリオ」を扱う。

次節以降では、シナリオ分析を行い、自動車炭素税の効果とCEV普及を考察する。

#### 4.2.1 バッテリー技術進歩シナリオ

EVはバッテリーコストが大きく、現在最もイニシャルコストが大きい車種である。本節では、将来の技術進歩によって蓄電池コストが低下するシナリオを設定し、EVとPHEVのLCCO<sub>2</sub>、LCC及び課税額の変化を分析する。

バッテリーコストの変化は、第2.4節の(2)式で定義したイニシャルコスト $C_{ini}$ を変更して計算する。また、バッテリー技術シナリオは表4.1に示す技術開発ロードマップの目標値[121]を用いて、第2.6節で評価したイニシャルコストを、シナリオの2010年値として計算した。なお、本シナリオは、HEVはロードマップに含まれていないため省略し、PHEVとEVのみを対象にした。

HEV逆転税率28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]を用いて、蓄電池シナリオにおけるPHEVとEV及び各車種の課税後LCCを図4.2に示す。総走行距離は第2.1節の機能単位同様、に100千km走行を想定した。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。

蓄電池価格が2007年比1/2倍の基本フローでは、EVはイニシャルコストが大きいため、課税後LCCが最も大きい。GVとのコスト差は、EVが117.6万円、PHEVが58.8万円に及ぶ。

Table 4.1

Battery Cost Scenarios

<i>Scenario</i>	<i>Cost (Compared with 2007)</i>
Base Case (2010)	1/2 times
Advanced Battery A (2015)	1/7 times
Advanced Battery B (2020)	1/10 times
Innovative Battery (2030)	1/40 times

Refer from [121]

しかし、蓄電池コストが2007年比1/7倍になると、EVのLCCは大幅に減少し、EVが最も課税後LCCが小さい車種となる。これは、蓄電池コストの低下でEVのイニシャルコストが大幅に減少し、使用段階コストの小ささや、使用段階CO<sub>2</sub>排出量が少なく使用段階CO<sub>2</sub>排出量に対しての課税額が小さいことが効いているためである。蓄電池コスト1/7倍の時の、EVとGVの課税後LCCの差は、25.3万円であった。

他方、各車種の課税前LCCを比較すると、1/7倍シナリオの課税前LCCは、EVが253.6万円、PHEVが283.8万円、HEVが271.1万円、GVが253.1万円であった。蓄電池コストが小さくなる将来時点では、炭素税によるインセンティブ効果無しに、EVにコスト優位性が生まれていることが確認出来る。

そこで、次に各シナリオ間のLCCの変化を分析すると、蓄電池コストが2007年比で0.14倍になった時点でGVとEVの課税前LCCが逆転することが分かった。これは、蓄電池コスト0.14倍が実現する以降は、EVが炭素税無しで他車種と比較してコスト優位性を有していることを意味する。すなわち、言い換えると、0.14倍が実現するまでは炭素税の課税によってインセンティブ効果を与えることが有効であるが、実現した以降は炭素税が無くてもLCCは他車種より小さくコスト優位性を保てると言える。

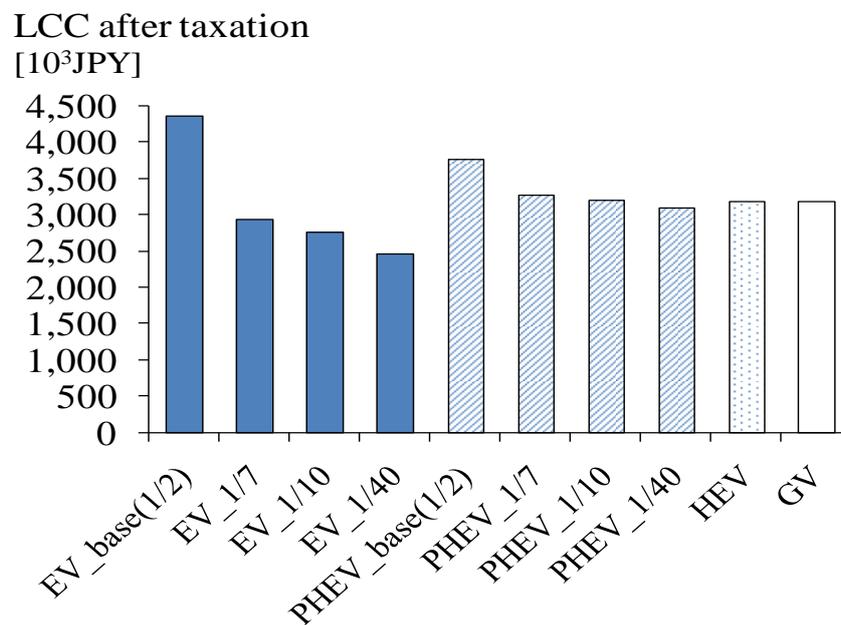


Fig. 4.2 LCC after Taxation with 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>] with the Scenarios of Battery Cost

## 4.2.2 軽量化技術進歩シナリオ

EVは、軽量化により搭載バッテリーを小型化すると、イニシャルコストや製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量が大幅に減少する可能性がある。特に EV は、他車種と比べてインホイールモーターなど小型化しやすい特徴があるため、樹脂やアルミなどの代替材料による軽量化技術が注目されている。

そこで、EV の総重量が 95%、90%、85%、80%、75%に軽量化された場合の課税後 LCC を分析する。LCCO<sub>2</sub> は、第 2.3 節 (1) 式の車格サイズ  $n$  が変化した場合を想定し、製造段階 CO<sub>2</sub>CO<sub>prod</sub> は文献値の重量比[122]を用いて、軽量化した分素材使用量が減少し、素材製造段階の CO<sub>2</sub> 排出量が増加するとして推計した。軽量化による電費改善は、GV 軽量化による燃費改善値[123]を用いて、使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量 CO<sub>util</sub> と使用段階コスト C<sub>util</sub> を推計した。

文献[122]は、GV の LCCO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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、第 2.5 節で評価した GV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を按分すると、

- 素材製造段階 : 2,662[kg-CO<sub>2</sub>] ... (1)
- 製造段階 : 1,438[kg-CO<sub>2</sub>] ... (2)

と推計できる。

EV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量は、製造プロセスにおける CO<sub>2</sub> 排出量は EV と GV は同値であると仮定する。第 2.5 節で評価した EV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量から、値(2)を減じて、EV の素材製造段階における CO<sub>2</sub> 排出量を、

- 7,762[kg-CO<sub>2</sub>] ... (3)

と推計する。値(3)を用いて、EV の総重量が 95%、90%、85%、80%、75%に軽量化された場合のケースを評価する。

イニシャルコストは EV のイニシャルコストのうち 200 万円を電池分とし仮定し、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。

文献[123]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

#### 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

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[123].」

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。

軽量化したEVと各車種の課税後LCCを比較して図4.3に示す。EVとGVの課税後LCC差は、軽量化無しの基本シナリオでは117.6万円開いているが、90%に軽量化で80.0万円、80%に軽量化で42.4万円、75%に軽量化で23.6万円に縮まる。

軽量化により製造段階と使用段階双方の排出量が減少し課税額が小さくなるため、本税がEVのコスト優位性に寄与していることが確認できる。

本稿では、同素材による軽量化を想定しているが、次世代自動車技術としてアルミやCFRP素材が注目されている。アルミとCFRPは共に鉄よりも素材製造段階でのCO<sub>2</sub>排出量が多い。アルミはリサイクル性に優れる一方で、CFRPはリサイクルや精製コストが高い特徴がある。CFRPによる軽量化車両のLCA評価では、『CFRP製造原単位が大きく規格大量生産や技術革新により原単位が将来理論値まで下がっても、ライフサイクルでの軽量化の効果はあまり上がらない』ことやCFRPの3R技術開発の重要性が指摘されている[102].

将来、素材の異なる軽量EVが普及することになると、本枠組みを用いて素材に応じたLCA結果で課税することで、より低炭素な車種選択に寄与することが期待できる。

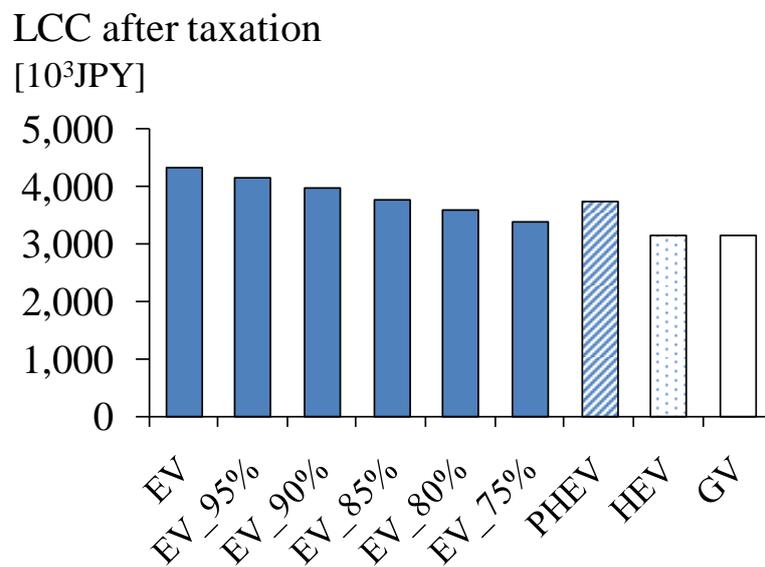


Fig. 4.3 LCC after Taxation with 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]  
with Light EVs and CEVs

### 4.2.3 消費者の総走行距離嗜好

本節では、総走行距離の違いに生じる  $LCCO_2$  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  $CO_2$  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、LCC を低く抑えられる可能性がある。基本評価モデルで評価した機能単位の総走行段階 100 千 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  $LCCO_2$  を評価する。製造段階  $CO_2$  排出量を含む  $LCCO_2$  を図 4.4 に、使用段階  $CO_2$  排出量のみを評価した結果を図 4.5 に示す。

本図は、横軸に総走行距離を、縦軸に各車種 1 台あたりの  $LCCO_2$ 、使用段階  $CO_2$  を示す。

図 4.5 より、使用段階  $CO_2$  排出量は総走行距離の別に関わらず、EV、PHEV、HEV、GV の順で増加することが分かる。しかしながら、図 4.4 に示す、製造段階  $CO_2$  を含む  $LCCO_2$  評価では、結果が異なる。

まず、GV と CEV の  $LCCO_2$  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。34.0 千 km を境に EV と GV の  $LCCO_2$  が逆転し、GV の方が EV よりも排出量が多くなる。

次に CEV 間の  $LCCO_2$  を比較する。10 万 km 走行では、EV が最も少なく、PHEV、EV の順が多い。しかしこの差は 6.2 万 km で逆転する。

走行距離ごとの  $CO_2$  排出量は、

- 63.0 千 km～ : EV < PHEV < HEV << GV
- 35.7 千 km～63.0 千 km : HEV < PHEV < EV << GV
- 26.2 千 km～35.7 千 km : HEV < PHEV < GV < EV
- 6.0 千 km～26.2 千 km : HEV < GV < PHEV < EV

であった。

63.0 千 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

## 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

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CO<sub>2</sub>排出量はその分減る。走行距離が短い場合、製造段階のLCO<sub>2</sub>排出量が多いEVは他のCEVよりもLCCO<sub>2</sub>が多くなり、その境界が63.0千kmであることが示唆された。

本結果は、総走行距離が63.0千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63.0千kmを超える、もしくは製造段階のCO<sub>2</sub>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[120]と自家用車台数[124]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[125]を示す表4.2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CO<sub>2</sub>排出量が少なく、続いてPHEVが少ない範囲で使用することができる。

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63.0千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を示唆された。

表4.2[125]の平均車齢の推移によると、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CO<sub>2</sub>を考慮してライフサイクル全体のCO<sub>2</sub>を勘

#### 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

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。

ただし、CEVの製造段階排出量は技術進歩や量産化により値が変化することが予想される。現在公表されている企業LCAデータから推定すると、トヨタ自動車株式会社プリウス(HEV) [6]とプリウス(PHEV) [97]の公表値では、GVよりも低炭素優位になるのは総走行距離が7.4千km(HEV)、10.5千km(PHEV)の場合と推定される。日産自動車株式会社リーフ(EV)の公表値[96]からは、GVよりも低炭素優位になるのは27.5千km(EV)と推定される。特にEVとPHEVについては値のばらつきが大きいため、精緻に各車種の低炭素優位の総走行距離を評価するには複数の企業による販売や量産化が進み、データの汎用性を担保した評価が求められる。

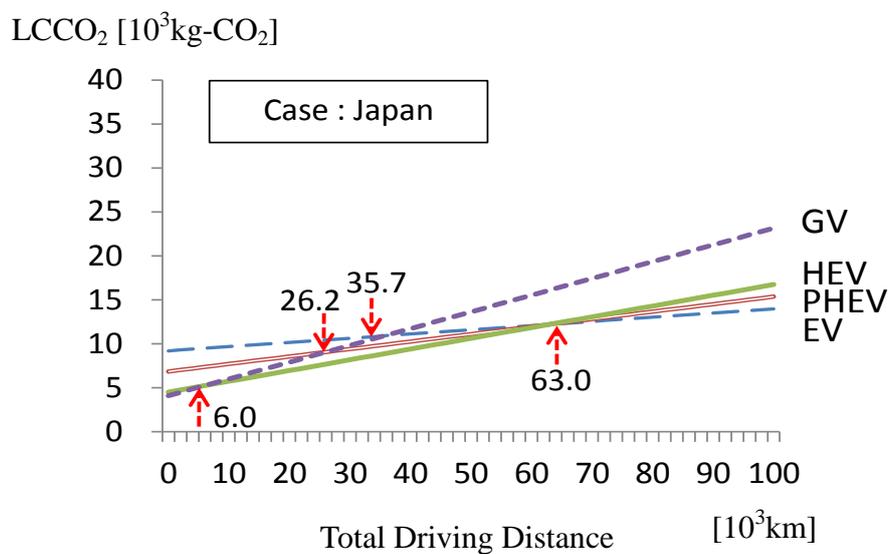


Fig. 4.4 Total  $CO_2$  Emissions from Vehicles

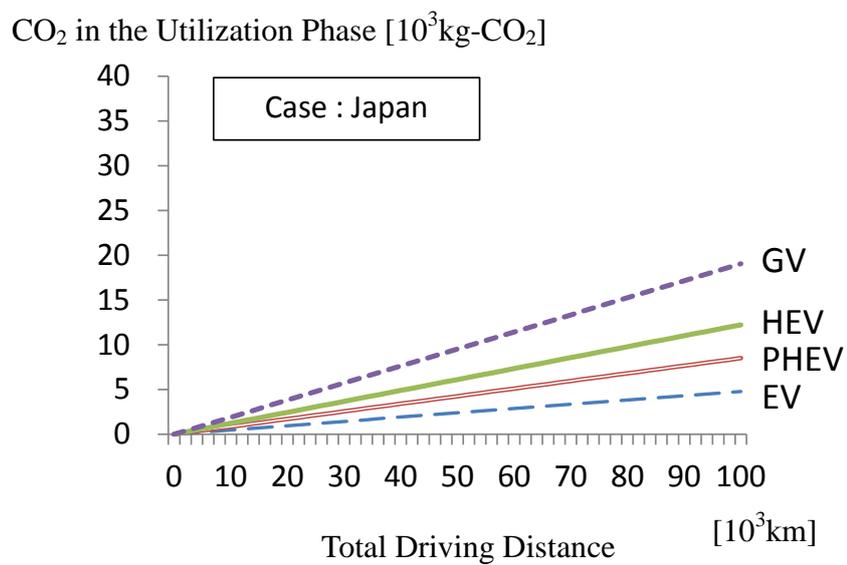


Fig. 4.5 Total  $CO_2$  Emissions from Vehicles

#### 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

Table 4.2

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 [125]

#### 4.2.4 超高齢社会シナリオ

前節の結果より、EVは、使用段階のCO<sub>2</sub>排出量は少ないが、製造段階CO<sub>2</sub>排出量が多いため、一定以上の総走行距離を走らなければ、トータルのLCCO<sub>2</sub>を他車種よりも低く抑えることができないと予想される。

中でも高齢者ユーザは、1回当たりの走行距離が短いため、ライフサイクル全体の総走行距離が短い可能性がある。そこで本節では、消費者の総走行距離が異なる場合に本税の課税によってLCCがどう変化するかを分析する。

総走行距離は、次の4つのケースを設定した。

- 総走行距離 : 200.0 千 km
- 総走行距離 : 100.0 千 km
- 総走行距離 : 50.0 千 km
- 総走行距離 : 20.0 千 km

まず、第2章で定義した式(1)、式(2)、式(3)の総走行距離 $D_1$ を変更して、総走行距離が異なる場合の各車種のLCC及びLCCO<sub>2</sub>を算出する。次に、求めたLCCO<sub>2</sub>を用いて、式(6)及び式(1)より課税後LCCを分析した。

各車種の課税後LCCを図4.6に示す。本図は、棒グラフが課税後LCCを、菱形点がLCCO<sub>2</sub>を示す。

まず、EVに注目して各車種のLCCO<sub>2</sub>を比較すると、総走行距離20.0千kmでは、EVが最もLCCO<sub>2</sub>が多いことが分かる。EVは製造段階CO<sub>2</sub>排出量が多いために、短い総走行距離ではトータルのCO<sub>2</sub>排出量が他車種よりも大きくなっている。EVのLCCO<sub>2</sub>は、HEVの1.5倍、GVの1.3倍に及ぶ。一方、総走行距離200.0千kmの長距離では、EVのLCCO<sub>2</sub>は抜きんでて少ない。EVはGVの0.4倍、HEVの0.6倍である。

これらの結果から、EVは走行段階CO<sub>2</sub>排出量は他車種と比べて圧倒的に小さいが、LCCO<sub>2</sub>を小さくするには、一定以上の距離が必要である。

次に、課税後LCCを比較する。総走行距離100.0千kmでは、HEVが最も課税後LCCが小さい。しかし、50.0千kmと20.0千km走行では、GVが最も課税後LCCが小さくなる。これは、短い総走行距離では、走行段階CO<sub>2</sub>や使用段階コストの小ささがあまり効かないため、GVがイニシャルコストが小さい分課税後LCCも小さくなった結果である。

第 4 章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

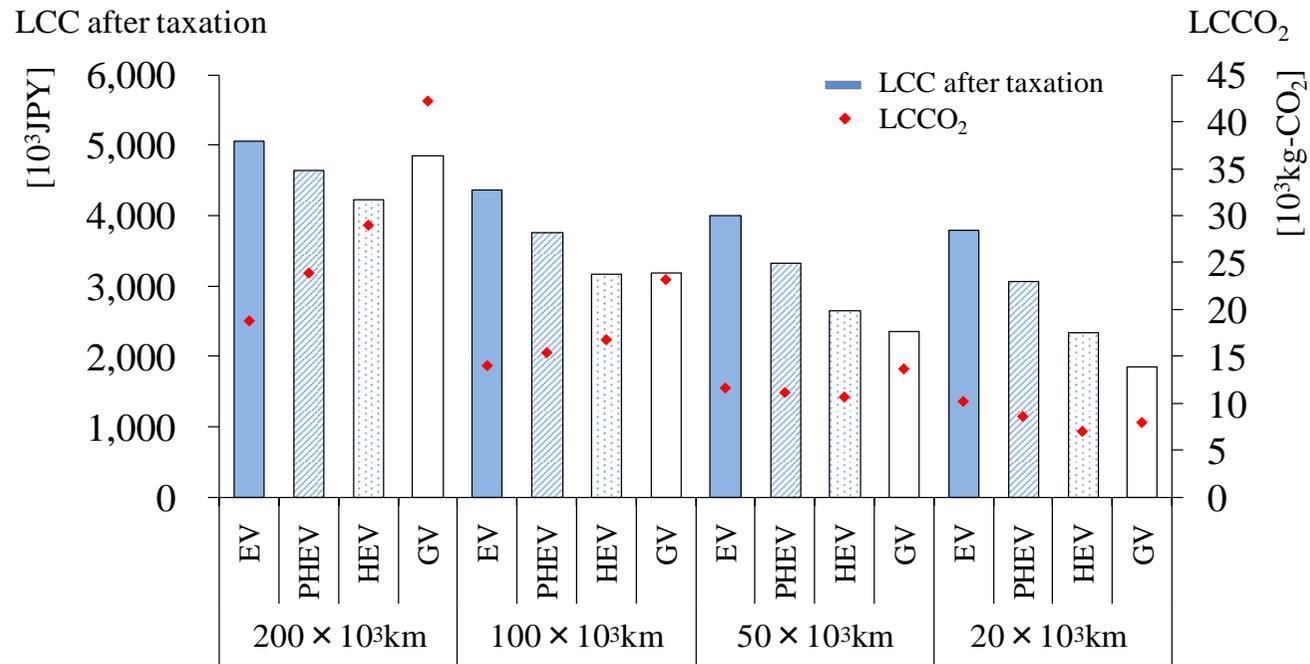


Fig. 4.6 LCC after Taxation with 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>] and LCCO<sub>2</sub> for Various Total Driving Distances

## 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

一方、総走行距離 200.0 千 km ではその特徴は一変する。課税後 LCC を見ると、EV と GV は均衡し、EV と PHEV 及び HEV の差が縮まっている。また、PHEV の課税後 LCC は GV より小さくなる。EV と各車種の課税後 LCC の差は、GV が 20.8 万円、HEV が 82.1 万円、PHEV が 41.0 万円である。

基本シナリオ 100.0 千 km 走行では、HEV 逆転税率 28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]では、税率が小さいために EV にコスト優位性を持たせることができなかったが、総走行距離が長くなるほど、EV の課税後 LCC は GV や HEV に近づき、EV がコスト優位になることが確認できる。次に、シナリオ以外の総走行距離における課税後 LCC を計算したところ、

総走行距離 221.6 千 km 以上で EV の課税後 LCC が GV より小さくなることが分かった。

本結果から、次のことが読み取れる。

- 1 回の走行距離が短く、かつライフサイクルでの総走行距離が短い高齢者ユーザは、EV よりも HEV や GV が低炭素に向く可能性がある
- 本税は、トータルの LCCO<sub>2</sub> が小さくなるほど課税額が小さくなるため、消費者が自身の総走行距離に応じて LCCO<sub>2</sub> が小さくなる車種を選択するよう促す効果を持つ可能性がある。EV は総走行距離 221.6 千 km 以上で GV よりも課税後 LCC が小さくなる

これまで一般的に、高齢者は 1 回充填当たりの走行距離が短いため、EV が向くと議論されることが多かった。しかしながら本結果より、1 回の走行距離が短く、かつライフサイクルトータルでの総走行距離も短い場合は、EV よりも HEV や GV が低炭素に向く可能性が示唆された。

どの車種が低炭素に向くかを検討する際は、使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量や 1 回充填当たりの走行距離だけでなく、製造段階の環境負荷も含めてトータルの総走行距離を考慮した LCA 全体の評価が必要である。

### 4.2.5 普及目標シナリオ

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 CO<sub>2</sub> 排出量と乗用車からの税収を計算する。

本節では、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

## 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

及目標シナリオ[126]をBAUシナリオとして、及び環境省の「温室効果ガス2050年80%削減のためビジョンについて」[9]内で発表されたEV:100%シナリオ、及びEV:50%、HEV:50%シナリオを用いて評価する。

環境省の次世代自動車普及戦略[126]における、CEV普及台数及び新車販売台数予測値を表4.3及び表4.4に示す。本稿では、GVは、CEV以外の「その他の乗用車」として推計し、EV（軽）は対象外として除いた。

第2.1節の機能単位で評価した、各CEVのLCCO<sub>2</sub>評価結果を用いて乗用車からのCO<sub>2</sub>排出量総量及び税収を計算する。

まず、CO<sub>2</sub>総排出量を推計する。製造に伴うCO<sub>2</sub>総排出量は、製造段階のCO<sub>2</sub>排出量と新車販売台数を乗じて計算した。走行に伴う使用段階のCO<sub>2</sub>総排出量は、各年の普及台数に1年あたりの乗用車平均走行距離数[120]における走行段階CO<sub>2</sub>排出量を乗じて推計した。

各車種のLCCO<sub>2</sub>と新車販売台数及び普及台数を乗じて計算した、各年の車種別CO<sub>2</sub>総排出量を図4.7に示す。

#### 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

Table 4.3

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 [126]

Only car ( except bus, track and taxi )

Table 4.4

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	27,704.0

Data from Ministry of the Environment from [126]

Only car ( except bus, track and taxi )

第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

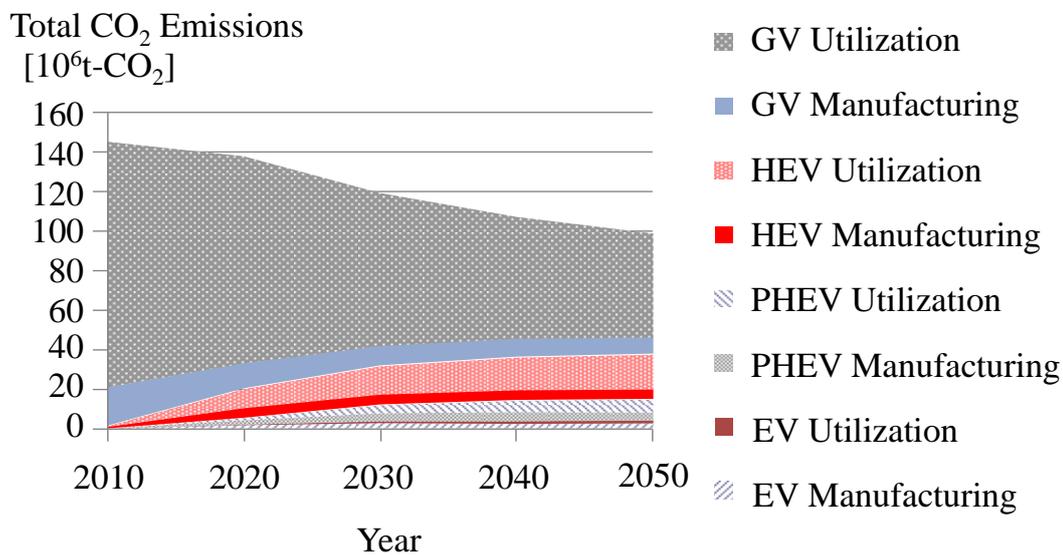


Fig. 4.7 Total CO<sub>2</sub> Emissions from Vehicles

## 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

CEVの普及に伴い、総排出量は年々減少していく。GVを除いたCEVの中で比較すると、特に販売台数、保有台数が多いHEVの排出量が占める割合が大きいことが確認できる。また、本シナリオは、CEVの中でもHEVを中心とした普及見通しであるため製造段階由来の排出量の増加はそれほど大きくはなっていない。

しかしながら、90年比25%削減の大幅目標を踏まえ新たに環境省が発表した「温室効果ガス2050年80%削減のためビジョンについて」[9]では、普及目標の車種構成が大きく変わり、2050年の普及車種がEV:100%のシナリオ、EV:50% HEV:50%のシナリオが掲げられている。

そこで、表4.3及び表4.5で示した当初の普及見通し[126]の2050年値を比較のための基本シナリオ(BAU(Business As Usual)シナリオ)とし、普及台数はそのままに車種構成をEV:100%、EV:50% HEV:50%として計算して図4.8に示す。

トータルの排出量は、EV:100%シナリオが約62.6[106t]、EV:50% HEV:50%シナリオが73.0[106t]、BAUシナリオが98.7[106t]となり、EV:100%シナリオではBAUシナリオ約6割、EV:50% HEV:50%では約7割に削減される。

EVは走行段階の排出量はGV、HEVよりも少ないが、製造段階の排出量が多い車種である。大幅な削減目標を実現するためにトータルの排出量の少ないEVの比率を上げるほど、製造段階の排出量の割合が増大し、製造段階の環境負荷が無視できなくなることが予想される。

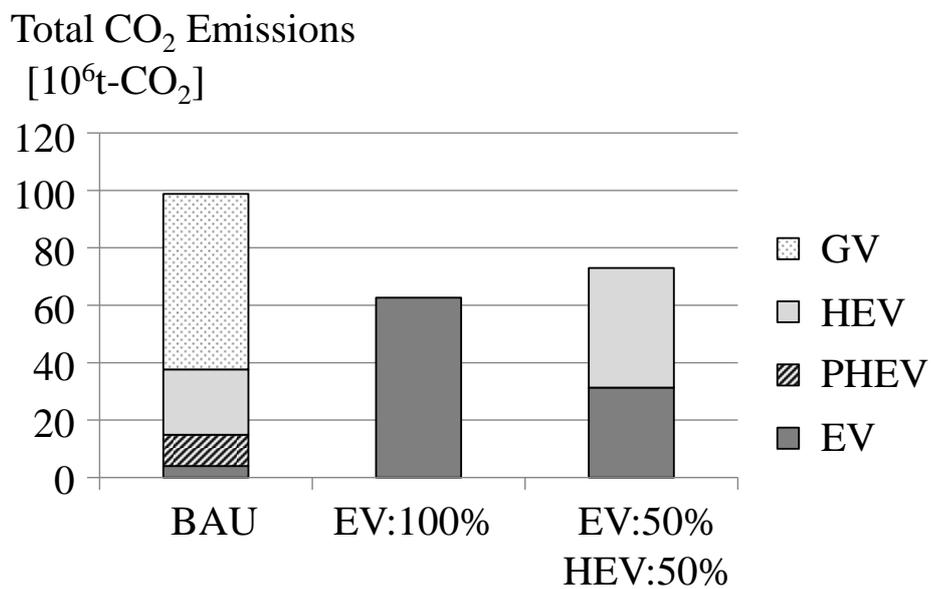


Fig. 4.8 CO<sub>2</sub> emissions from Vehicles in 2050 with 3 scenarios

#### 第4章 国内自動車炭素税設計のシナリオ分析

次に BAU シナリオにおける、税収の推移を評価する。結果を図 4.9 に示す。

CEV の普及により CO<sub>2</sub> 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。

CO<sub>2</sub> 排出量の減少に伴い税収も減少する。税収は CO<sub>2</sub> 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。

本計算では、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[127]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。

次に、2050 年の BAU シナリオと 2 つの普及シナリオの税収を比較する。結果を図 4.10 に示す。各々のシナリオでの税収は、BAU シナリオは 2010 年比 0.67 倍、EV:100%は 0.44 倍、EV:50% HEV:50%は 0.51 倍であった。

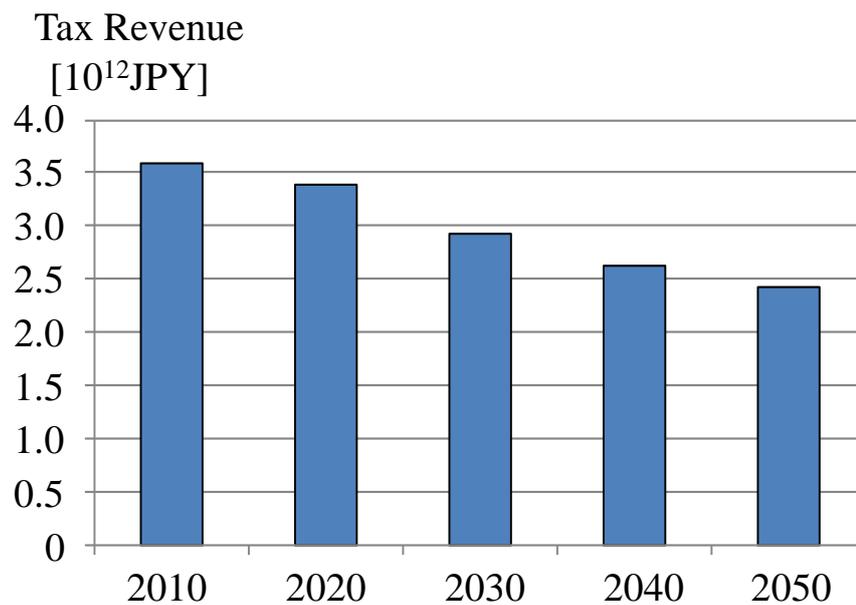


Fig. 4.9 Tax Revenue of CEVs with BAU Scenario

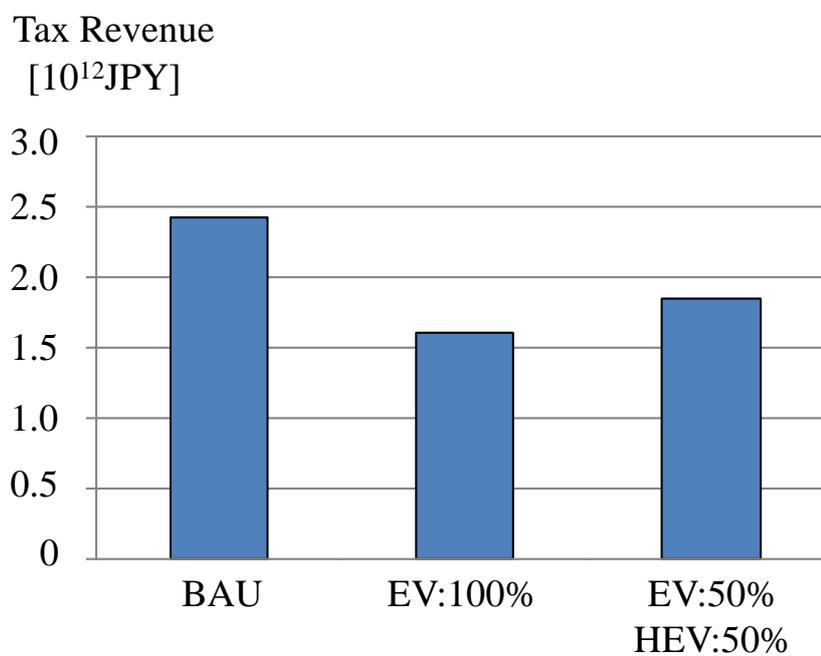


Fig. 4.10 Tax Revenue of EV with Three Scenarios in 2050

### 4.3 まとめ

本章では、第3章の税設計の枠組みを拡張し、総走行距離の違いや将来技術を考慮して税率や課税額を議論するための税設計フレームワークを構築した。

具体的に、バッテリー技術進歩シナリオ、軽量化技術進歩シナリオ、総走行距離嗜好シナリオ、超高齢社会シナリオ、普及目標シナリオを想定したシナリオ分析を行った結果次のことを示した。

- 蓄電池コスト 2007 年比 0.14 倍が実現するまでは、本税の課税によって EV にインセンティブ効果を与えることが有効である。0.14 倍が実現する以降は、本税無しに EV の LCC が最も小さくなり、コスト優位性が生まれること
- 1 回あたりの走行距離が短く、かつライフサイクル全体での総走行距離が短いユーザは、EV よりも HEV や GV が低炭素に向く可能性があること
- EV が最も低炭素優位になるのは、総走行距離 63.0 千 km 以上であること  
総走行距離が 221.6 千 km 以上の場合、EV は GV よりも課税後 LCC が小さくなる。LCCO<sub>2</sub> に応じて課税される本税により、消費者が LCCO<sub>2</sub> を考慮して、自身の総走行距離に合った車種を選択することを促進できる可能性があること

制度設計において、税政の状況や普及をさせたい度合いなどの政策目標、さらに技術進歩や排出削減目標の時間軸を考慮して What-if 分析を行い、税導入のタイミングやインセンティブ付与の度合いを 3 者の多視点から多角的に検討することが可能である。

## 第 5 章 グローバル市場評価モデル

本章では、第 4 章で構築した「国内モデル」に対して、グローバル市場を対象とした「グローバル市場評価モデル」を示す。本モデルでは、各国市場における CEV の  $LCCO_2$  をエネルギーバランスと総走行距離を考慮して評価する。CEV の中で EV が最も低炭素優位になる総走行距離を評価し、CEV 普及を考察する。

### 5.1 評価対象製品・機能単位

評価対象及び機能単位は、第 2 章で定義した国内モデルと同様である。

評価対象製品は、電気自動車 (EV)、プラグインハイブリッド車 (PHEV)、ハイブリッド車 (HEV) に従来のガソリン車 (GV) を加えた 4 車種とする

機能単位は、車格 1,500cc 相当、10 年 100 千 km 走行を基本フローとして想定する。EV は、リチウムイオンバッテリー 33.7kWh 搭載を想定する。

EV 及び PHEV のバッテリー交換は、PHEV 用蓄電池の開発目標が日本 (NEDO) 10 年、米国 (USABC) 15 年と設定されている[104]ことから、10 年 100 千 km 走行を想定する本稿においては、バッテリーの交換コストは発生しないものとする。

### 5.2 ライフサイクルプロセス

$LCCO_2$  評価モデル及び LCC 評価のモデルのライフサイクルプロセスは、第 2.2 節で定義したライフサイクルプロセスと同様である。

### 5.3 $LCCO_2$ 評価式

$LCCO_2$  評価式を (7) 式に示す。

$$CO_i^{total}(n, h, k_i(t)) = CO_i^{Prod}(n, h, k_i(t)) + CO_i^{util}(n, h, k_i(t)) \times D_1 \quad \dots\dots(7)$$

- $CO^{total}$  : LCCO<sub>2</sub>[kg-CO<sub>2</sub>]
- $CO^{prod}$  : 製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>]
- $CO^{util}$  : 走行あたりの CO<sub>2</sub> 排出量[kg-CO<sub>2</sub>/km]
- $i$  : 車種 [GV/HEV/PHEV/EV]
- $n$  : 車格サイズ
- $h$  : 発電あたりの CO<sub>2</sub> 排出係数[kg-CO<sub>2</sub>/kWh]
- $k$  : 評価対象年代の製造技術 (燃費を含む)
- $t$  : 評価対象年
- $D_1$  : 総走行距離[km]

グローバル市場評価モデルでは、使用する拠点、主に国の違いによって、発電あたりの CO<sub>2</sub> 排出係数  $h$  が異なる。また地理的特性や商習慣により、嗜好する車格サイズ  $n$  や、総走行距離  $D_1$  が異なることが想定される。

本稿では、各国の発電あたりの CO<sub>2</sub> 排出係数  $h$  は、文献[128]-[130]を参照する。本稿で用いる係数の一部を、表 5.1 に示す。本値は 2007 年時点での排出原単位を想定している。

Table5.1

CO<sub>2</sub> Emission Consumption Rate in Various Countries [kg-CO<sub>2</sub>/kWh]

---

	<i>Value</i>
France	0.055
The Netherlands	0.594
Germany	0.544
Iceland	0.001
United States	0.614
China	0.801
India	0.931
Japan	0.454

---

Originally from [128]

## 5.4 シナリオ分析

本節では、グローバル市場における CEV の使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量を評価する。

電気をエネルギー源とする EV や PHEV は、使用する電気の発電構成によって使用段階の CO<sub>2</sub> 排出量が大きく変化する。第 4.2.3 項のシナリオ分析（消費者の総走行距離嗜好）より、総走行距離の長短によって EV の低炭素優位性は異なることが示されたが、使用国のエネルギーバランスを考慮し、発電あたりの CO<sub>2</sub> 排出係数を評価すると、EV や PHEV が低炭素優位となる総走行距離は、各国で異なることが想定される。

そこで、本節では各国エネルギーバランスと CEV 普及を、総走行距離を考慮して評価する。評価対象とする使用国は、発電あたりの排出係数の小さなアイスランド、フランスに、ドイツ、オランダ、アメリカ、及び排出係数の大きなインド、中国とする。

評価結果を、図 5.1 から図 5.7 に示す。図 5.1 はフランス、図 5.2 はオランダ、図 5.3 はドイツ、図 5.4 はアイスランド、図 5.5 はアメリカ、図 5.6 は中国、図 5.7 はインドにおける総走行距離別の各車種 LCCO<sub>2</sub> を示す。

本図は、縦軸に各車種 1 台あたりの LCCO<sub>2</sub> を、横軸に総走行距離を示す。

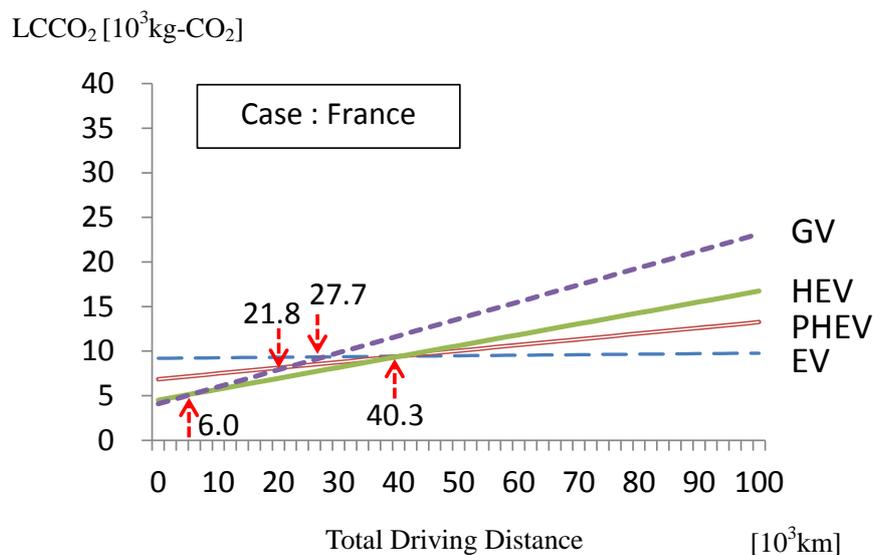


Fig. 5.1 Life Cycle CO<sub>2</sub> of CEVs for Various Total Driving Distances in the Manufacturing and Utilizing Phases driven in France

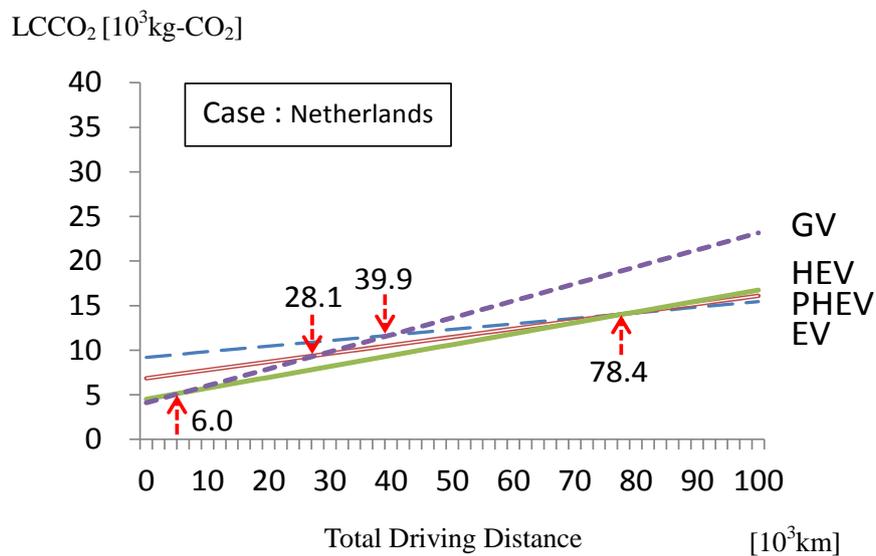


Fig. 5.2 Life Cycle CO<sub>2</sub> of CEVs for Various Total Driving Distances in the Manufacturing and Utilizing Phases driven in Netherlands

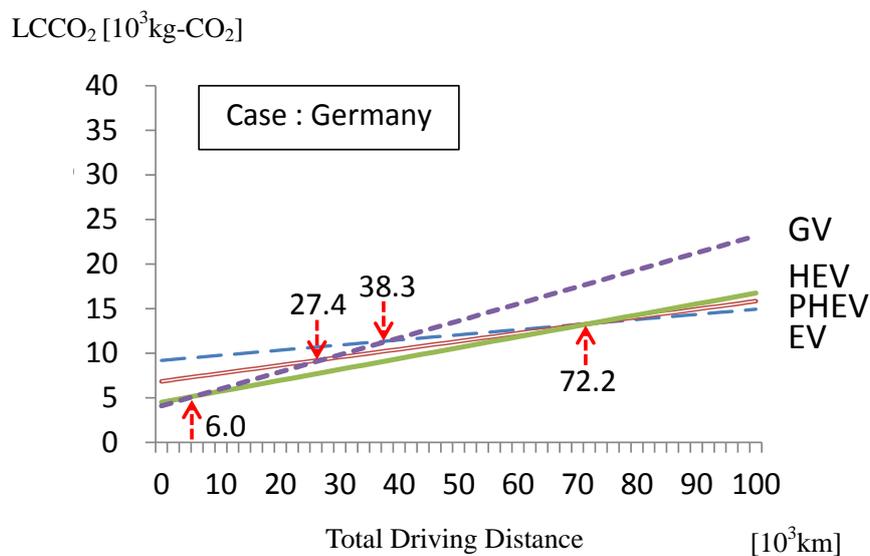


Fig. 5.3 Life Cycle CO<sub>2</sub> of CEVs for Various Total Driving Distances in the Manufacturing and Utilizing Phases driven in Germany

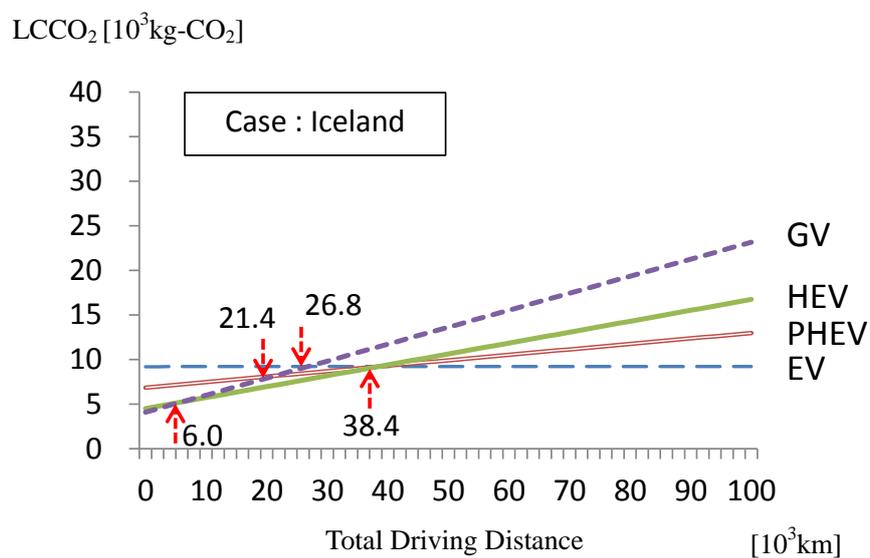


Fig. 5.4 Life Cycle CO<sub>2</sub> of CEVs for Various Total Driving Distances in the Manufacturing and Utilizing Phases driven in Iceland

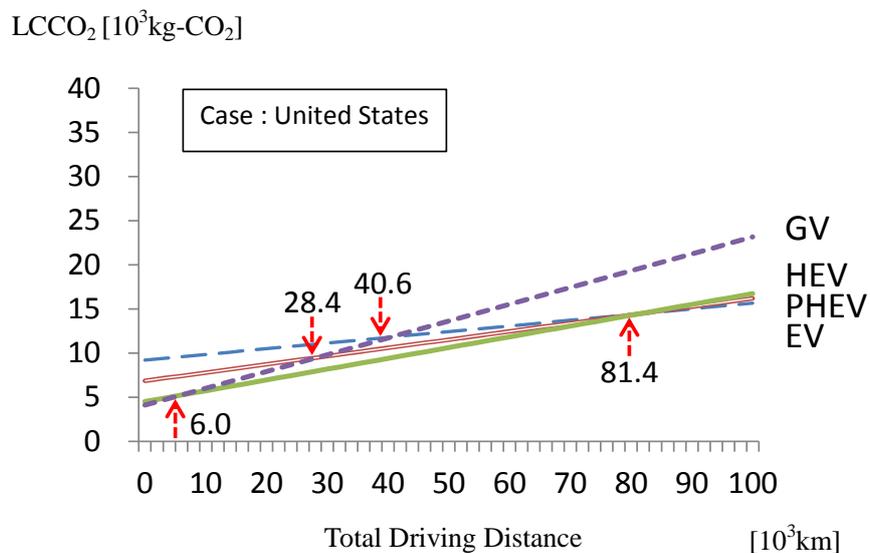


Fig. 5.5 Life Cycle CO<sub>2</sub> of CEVs for Various Total Driving Distances in the Manufacturing and Utilizing Phases driven in United States

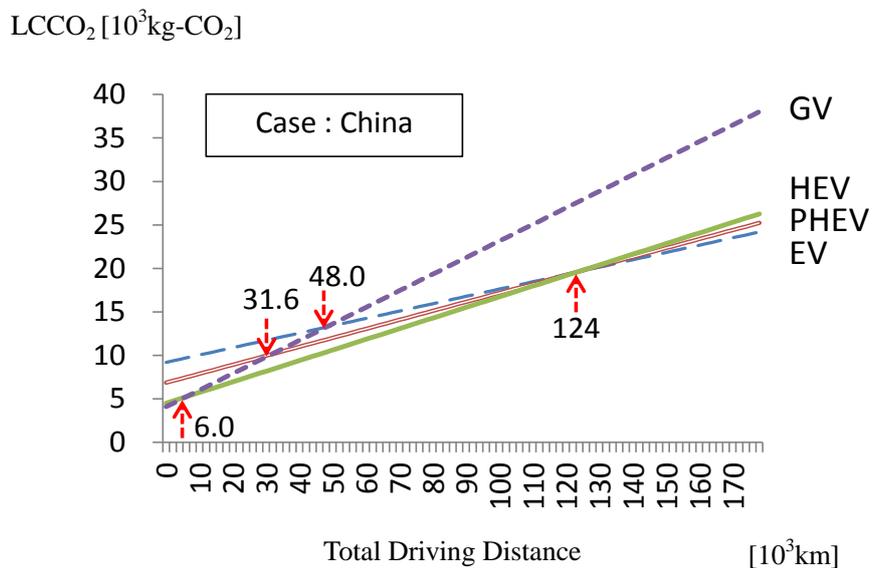


Fig. 5.6 Life Cycle CO<sub>2</sub> of CEVs for Various Total Driving Distances in the Manufacturing and Utilizing Phases driven in China

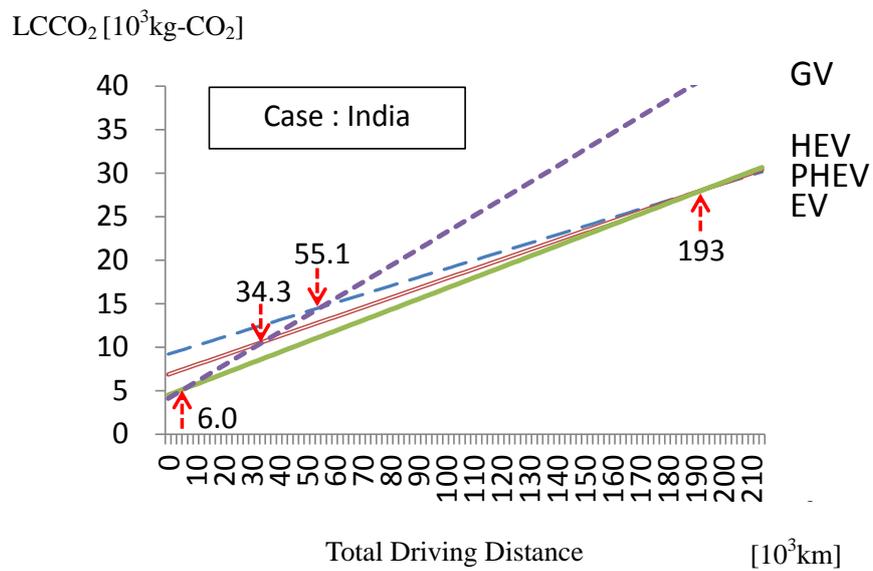


Fig. 5.7 Life Cycle CO<sub>2</sub> of CEVs for Various Total Driving Distances in the Manufacturing and Utilizing Phases driven in India

## 第5章 グローバル市場評価モデル

図 5.1 から図 5.7 の評価結果より、各国で EV が最も低炭素優位になる総走行距離は、日本では第5章のシナリオ分析より 63.0 千 km 以上であったのに対し、フランスが 40.3 千 km、オランダが 78.4 千 km、アイスランドは 38.4 千 km、ドイツが 72.2 千 km、アメリカが 81.4 千 km、中国が 124.0 千 km、インドが 193.0 千 km であった。

再生可能エネルギーでの発電が多いアイスランドと原子力の割合が多いフランスが排出係数が小さいために、他の国と比較して短距離で EV の低炭素優位性を実現できる。

他方、石炭発電の多い中国やインドは排出係数が大きいいため、EV が最も低炭素になる総走行距離は、中国は日本の約 2 倍、インドは約 3 倍である。

ここで各国の平均総走行距離を考慮して本結果を考察する。ドイツでは、国民一人あたりの自動車による年間走行距離は 11,260km である[52]。第 4.2.3 項で日本の年間平均走行距離が約 9,180km であったのに対して、約 1.2 倍長距離である。EV が最も低炭素になる総走行距離はドイツが 72.2 千 km で日本が 63.0 千 km であるが、走行距離の嗜好を鑑みると、より長距離の総走行距離を走るユーザが多く LCCO<sub>2</sub> の観点から EV に向く可能性がある。

他方、中国は年間平均総走行距離は約 20 千 km から 30 千 km と長く、平均車齢も 15 年と長いため[120]、平均的な総走行距離は約 300 千 km から 450 千 km に及ぶ。中国で EV が最も低炭素になる総走行距離は 124 千 km と長い、その分長距離ユーザが多いため EV が低炭素に向くユーザも多い可能性がある。

各国で、平均年間総走行距離を走行した場合、EV が最も低炭素になる車齢は、日本が約 6.8 年、ドイツが約 6.3 年、中国が約 5.0 年であった。

ただし中国の例のように、総走行距離が 300 千 km を超える場合は、バッテリーの交換やその他のメンテナンス、維持により環境負荷やコストがかかる可能性が高く、本稿では車齢 10 年、総走行距離 100 千 km を想定して考慮していないため、バッテリー交換等による負荷を考慮する必要がある。

### 5.5 まとめ

本章では、第 3 章で構築した「国内モデル」に対して、グローバル市場のエネルギーバランスと総走行距離嗜好を考慮した「グローバル市場評価モデル」

## 第5章 グローバル市場評価モデル

を示した。本モデルを用いて、アイスランド、フランスに、ドイツ、オランダ、アメリカ、中国及びインド市場における CEV の  $LCCO_2$  をエネルギーバランスと総走行距離を考慮して評価した。

## 第6章 グローバル生産評価モデルと炭素関税設計

本章では、CEV グローバル生産を対象とした「グローバル生産評価モデル」を示す。本モデルは、LCA モデルとグローバルサプライチェーンモデルを用いて、CEV の  $LCCO_2$  を、サプライチェーン全体を考慮して評価する。次に本モデルを用いて炭素関税を設計し、その効果を考察する。

### 6.1 要求分析

本節では、グローバル生産に関わるグリーン政策の動向を概観し、前節までの評価結果を踏まえて、本項で設計する炭素関税において考慮されるべき要求事項を述べる。

#### (1) 炭素リーケージ対策としての政策動向

各国間で炭素コストに差が生じる結果、排出規制のゆるやかな国に産業が移転し、地球全体の排出量が増加してしまう炭素リーケージ問題が指摘されている。現在、諸外国でその対策が議論されており、EU 及び米国が炭素リーケージ対策の導入を検討している一方で、中国等の途上国は WTO ルールに抵触するとして反発している。米国は 2010 年 5 月に Kerry-Lieberman 法案を上院に提出し、2018 年 1 月 1 日までに米国が参加する多国間合意が発効していない場合に、2020 年より対象物品が米国へ輸入される際に、国際留保排出枠 (international reserve allowance) の提出を義務付ける案を公表した[131]。

日本でも、財務省下に「環境と関税政策に関する研究会」が設置されており、具体的な制度設計が議論されている[132]。

#### (2) スコープ 3・スタンダード

サプライチェーンに関わる新たなスタンダードとして、GHG プロトコル・イニシアティブの「スコープ 3・スタンダード」(Corporate Value Chain (Scope3) Accounting and Reporting Standard)、「プロダクト・スタンダード」(Product Accounting and Reporting Standard) [133]が 2011 年に発行された。

GHG プロトコルでは、温室効果ガスの排出形態を3つのスコープに分けており、そのうちのスコープ3でサプライチェーンを含む間接的 GHG 排出を規定している。スコープ3では、原材料調達やサプライヤー間での輸送も評価の対象に含まれており、サプライチェーン全体が算定対象とされている。

(1)(2)の動向より、サプライチェーン全体を考慮するような規制や政策、法整備の検討が進んでいることが確認された。

グローバル生産の環境負荷を政策や制度設計に反映させる場合、国単位や企業単位など指標によって評価単位が異なる問題が予想される。例えば、電源構成の違いによる発電時のCO<sub>2</sub>排出係数や、域内の交通ネットワークに依存する輸送段階CO<sub>2</sub>排出量は、国単位で評価できる指標である。

他方で、工場設備に関して、空調や照明は企業単位で企業努力によって異なる場合もあれば、国の気候や湿度などの環境で大まかに評価できる可能性もある。技術効率は、労働者の生産効率など国の文化に影響される指標がある一方で、現地企業、合弁企業、グループ企業など企業の契約形態に技術やプロセスが異なる場合が想定される。あるいは、同じ企業内でも、マザー工場をとる場合や、教育の度合いなどにより、技術効率が異なることが予想される。

グリーン政策の制度設計にあたっては、国や企業、地域単位で指標を整理し、評価方法を標準化することが必要である。

### 6.2 問題定義

国連気候変動枠組条約第15回締結会議(COP15)の「コペンハーゲン合意[2]」により、先進国は温室効果ガスの削減目標を、途上国は削減のための行動を定めることが求められた。これは、温室効果ガスの削減が途上国も含む全世界の共通認識とされたことを示している。

削減目標は、京都議定書をはじめ国単位で課されており、各国は排出量の多い部門への集中的な対策、あるいはセクター別アプローチなどその国の事情に合わせて削減方法を検討している。しかし複数の国にまたがる問題、例えば、国外で生産された財を輸入する場合の排出量や、製造業が海外に生産拠点を設置した場合の扱いは定かになっていない。

また、欧米を中心に排出権取引や炭素税など炭素コストを徴収する制度設計が進んでいるが、各国間で炭素コストに差が生じる結果、排出規制のゆるやかな国に産業が移転し、地球全体の排出量が増加してしまう炭素リーケージの問題が指摘されている[134].

新興国への生産拠点移転は、生産段階での環境負荷を増大させる可能性がある。文献[135]は、貿易品の生産に伴って発生する輸入先の国での排出量を、輸入国の排出量として計算に含める”CO<sub>2</sub> embodied in trade”にてマクロ経済・貿易統計を用いたアプローチ[136]により、製造業の海外への生産移転に伴うCO<sub>2</sub>排出量の国際移動を明らかにしている。文献[137]は、環境産業連関分析を用いて、イギリス及びデンマークから中国へ生産拠点を移転した場合にCO<sub>2</sub>排出量が増加することを示している。

現況の製造業を俯瞰すると、グローバリゼーションの進展と新興国市場の急速な拡大を背景に、グローバル生産や先進国から新興国への生産拠点移転、現地企業と組んでの生産ネットワーク化が加速している[138][139]. しかし多くの研究は、経済アプローチによるマクロ分析より、二国間での産業移動による変化を評価しており、複数の国をまたがる生産ネットワーク、すなわちサプライチェーンにおける生産段階の環境負荷は評価されていない。さらに輸送に伴う排出量は、評価の対象外とされていることが多い[137].

### 6.3 基本設計

本章で設計する炭素関税は、海外生産やグローバルサプライチェーンによる生産フェーズの環境負荷に対して課税するグリーン政策と位置付ける。海外生産拠点を含む世界全体のグリーン化促進に加えて、日本の産業競争力を維持強化する機能を持たせることを目的とする。

設計には、第6.5章で構築する「グローバル生産評価モデル」と、グローバルサプライチェーンモデルを用いる。製造段階CO<sub>2</sub>に応じて炭素関税を課税した場合の、課税後コストの変化を評価し、欧州等で議論が進んでいる既存の炭素税率やエネルギー税率、排出権取引の炭素コストと比較し、炭素関税を、炭素リーケージ対策として用いることの可能性を評価する。

## 6.4 詳細設計

本項で評価するケースを次に示し、それぞれ図 6.1, 6.2, 6.3 に示す。

- 国内生産→国内市場：国内市場向け製品を国内で生産する (Case1)
- 海外生産→国内市場：国内市場向け製品を海外で生産する (Case2)
- 海外生産→海外市場：海外市場向け製品を海外で生産する (Case3)

## 6.5 グローバル生産評価モデル

前節で示した 3 つのケースの、生産フェーズのプロセスと輸送プロセスを図 6.1 (Case1), 図 6.2 (Case2), 図 6.3 (Case3) に示す。

図中に示す場所は、「鉱山・選鉱所」、国間の移動の際の起点となる「港」、素材を精製する「精錬所・工場」、製造を行う「工場」、「加工・組立工場」、「試験場」、「販売拠点」を表す。

図 7.1 は、ケース 1 を示す。国内生産→国内市場において、鉱山、港、港（国内）、精錬所・工場、工場、加工・組立工場、試験場、販売市場の順で推移する。

図 7.2 は、ケース 2 を示す。海外生産→国内市場において、鉱山、港、港（海外生産拠点）、精錬所・工場、工場、加工・組立工場、港（海外生産拠点）、港（国内）、試験場、販売市場の順で推移する。

図 7.3 は、ケース 3 を示す。海外生産→海外市場において、鉱山、港、港（海外生産拠点）、精錬所・工場、工場、加工・組立工場、試験場、港（海外生産拠点）、港（海外販売市場）、販売市場の順で推移する。

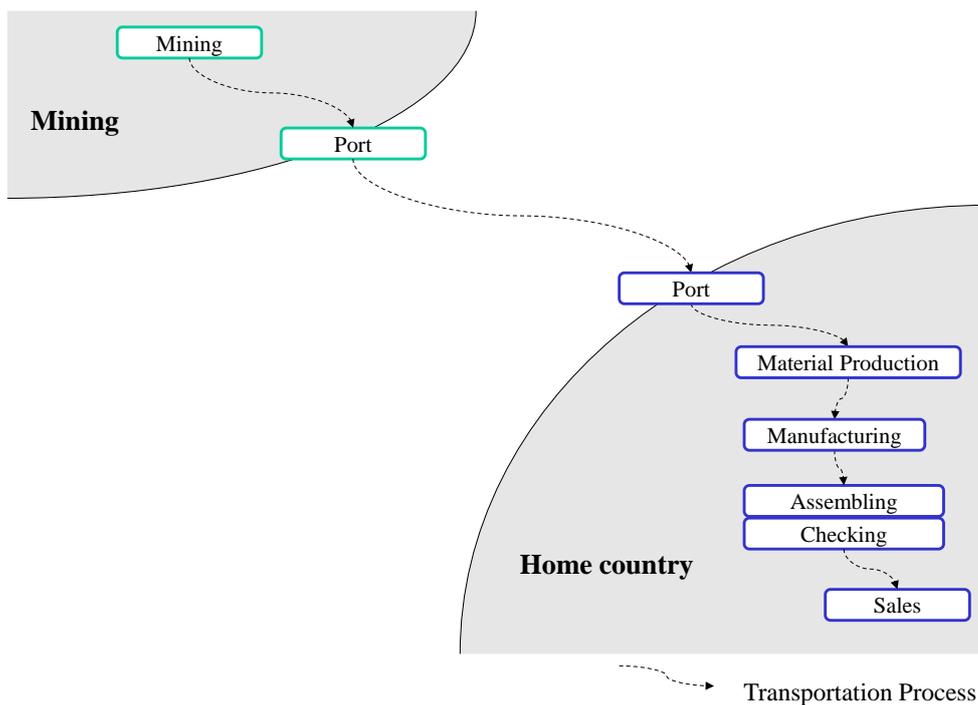


Fig. 6.1 Illustration of the locality of production stages for the domestic production (domestic market case) (Case1)

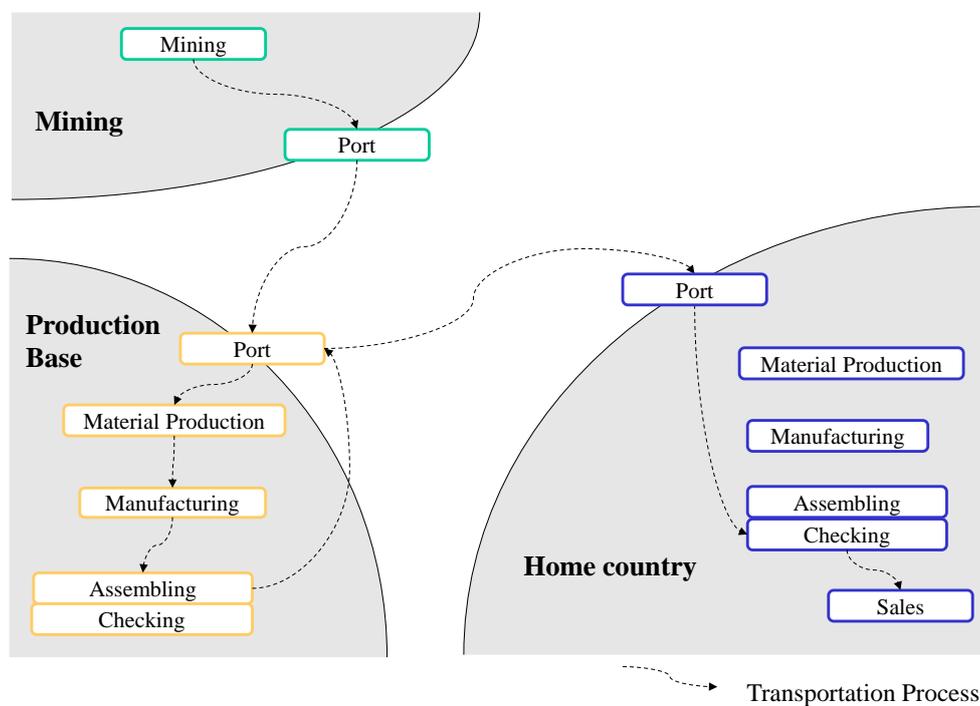


Fig. 6.2 Illustration of the locality of production stages for the foreign production (domestic market case) (Case2)

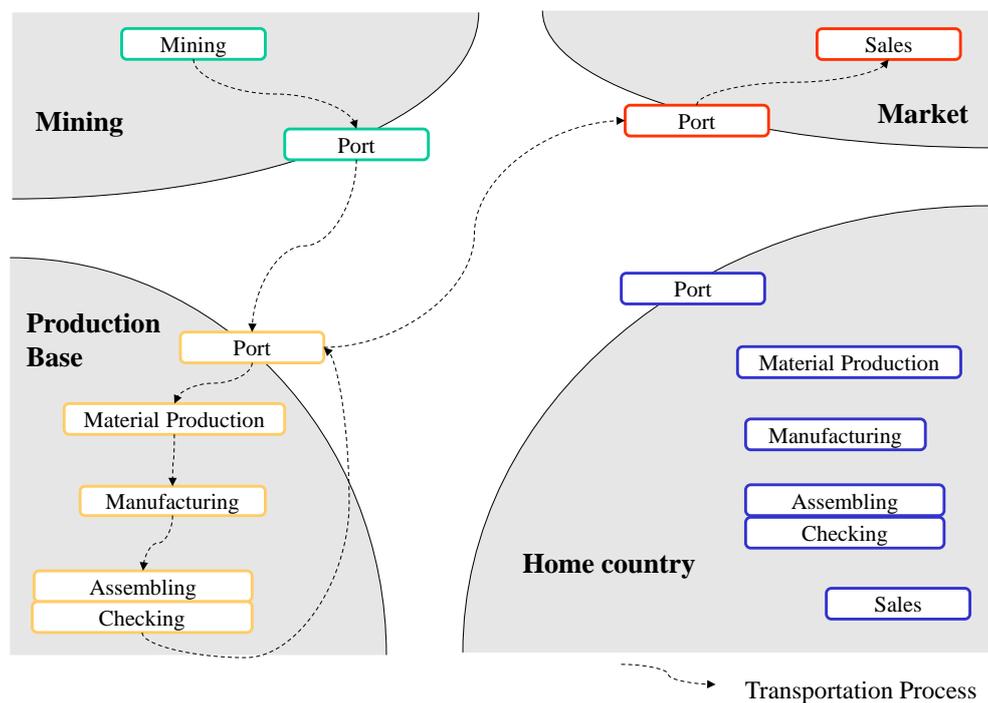


Fig. 6.3 Illustration of the locality of production stages for the foreign production, foreign market case (Case3)

### 6.5.1 ライフサイクルプロセス

前項で示した 3 つのケースそれぞれにおける製品ライフサイクルと拠点の関係を、図 6.4 に示す。本図は左から右に向かって時間の流れを示し、五角形が各プロセスを、太線の横矢印が拠点を示す。

ケース 1 は、国内市場向け国内生産を示す。ケース 2 は、国内市場向け海外生産を、ケース 3 は、海外市場向け海外生産を示す。

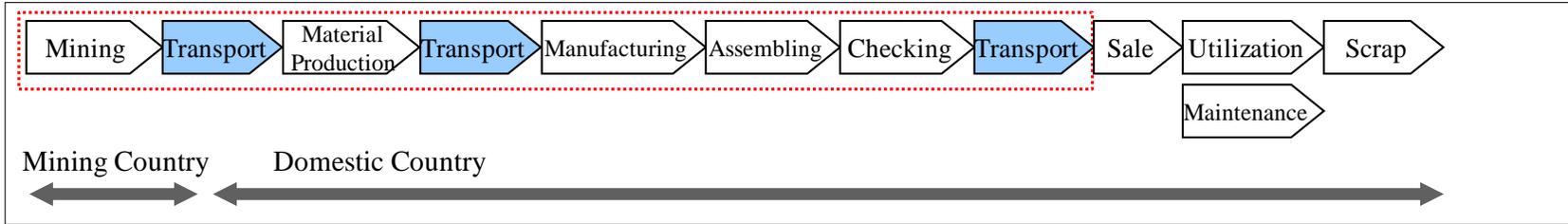
製品ライフサイクルプロセスは、左から「素材採掘」、「素材製造」、「製造」、「加工・組立」、「試験」、「販売」、「使用」、「廃棄」である。加えて、それぞれのケースに応じた個所に「輸送」が含まれる。本稿では、リサイクルやリユース、リマニュファクチャリングは想定外とする。

また輸送段階は、国から国への輸送のみを対象とし、輸送種別は船舶を想定する。各国内での鉄道輸送や車両輸送、国内の船舶輸送は本稿では対象外とする。

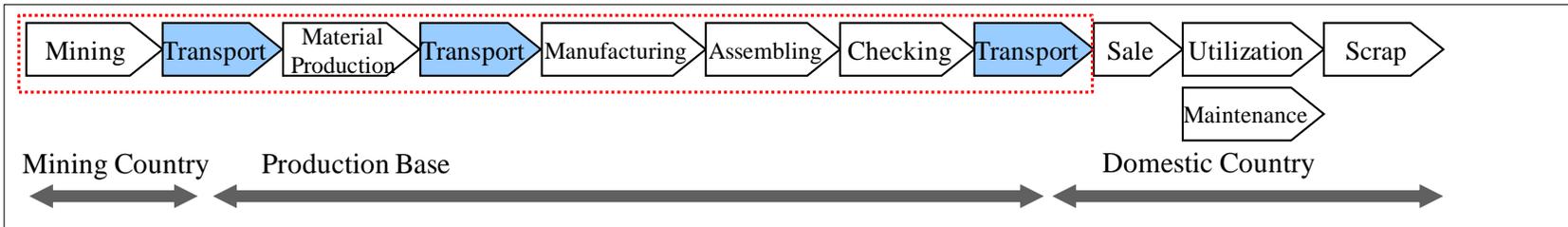
### Products Lifecycle

  Activities Related to LCCO<sub>2</sub>

< Case 1 >



< Case 2 >



< Case 3 >

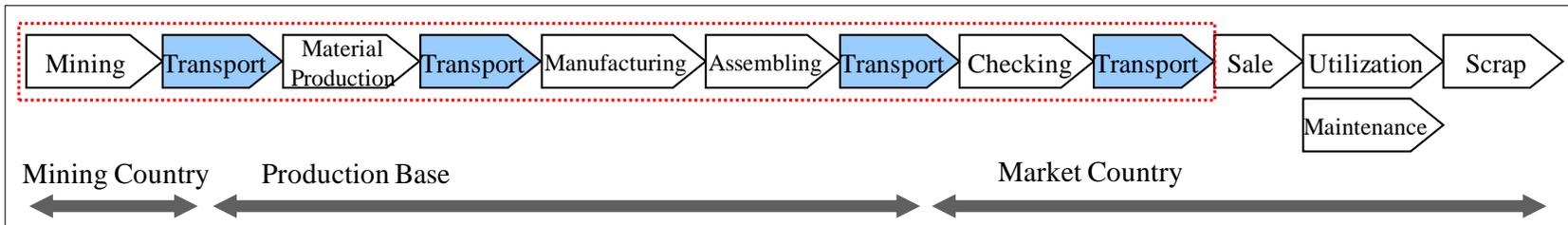


Fig. 6.4 Life Cycle Model of LCCO<sub>2</sub> and LCC for CEVs Considered Supply Chain

### 6.5.2 LCCO<sub>2</sub> 評価式

LCCO<sub>2</sub> 評価式を (8) 式に示す.

$$\begin{aligned}
 CO_i^{total}(n, h, tr, k_i(t)) & \\
 &= CO_i^{prod}(n, h, k_i(t)) + CO_i^{tra}(tr) \times D1 \\
 &+ CO_i^{util}(n, h, k_i(t)) \times D2
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

$CO^{total}$	: LCCO <sub>2</sub> [kg-CO <sub>2</sub> ]
$CO^{prod}$	: 製造段階 CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> ]
$CO^{tra}$	: 走行あたりの輸送 CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> /km]
$CO^{util}$	: 走行あたりの CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> /km]
$i$	: 車種 [GV/HEV/PHEV/EV]
$n$	: 車格サイズ
$h$	: 生産拠点の発電あたりの CO <sub>2</sub> 排出係数[kg-CO <sub>2</sub> /kWh]
$k$	: 評価対象年代の製造技術 (燃費を含む)
$t$	: 評価対象年
$D_1$	: 総走行距離 [km]
$D_2$	: 輸送距離 [km]
$tr$	: 輸送種別

本評価式では、次の 3 つの変数を主に考慮して、グローバル生産の環境負荷を評価する。生産拠点の電源構成と、生産時のエネルギー効率及び輸送段階の環境負荷を評価できるようモデルに内包した。

- (1) 生産拠点 (国) の発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数
- (2) 生産拠点 (国) の技術効率
- (3) 輸送プロセス

- (1) 生産拠点 (国) の発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数

ものづくり企業が海外に生産拠点を設置する場合、仮に自国と同じ生産プロセスと効率を実現できたとしても、製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量は異なる。国の地域特性や資源事情によって、電源構成が異なるため、発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数が異なる。本計算では、発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数[128]-[130]。

### (2) 生産拠点（国）の技術効率

同じ製造プロセスで技術効率が異なる場合の製造 CO<sub>2</sub> 排出量の差異を考慮する。技術効率は、IEA の拠点（国）ごとのクリンカー生産量当たりのエネルギー消費原単位[140]の数値を代用して用いる。

### (3) 輸送プロセス

輸送プロセスに伴う排出量は、使用素材の中で重量比の大きな鉄、及び最終製品を対象に計算する。GV 及び EV の素材重量や重量比は文献値[141]-[143]から推計した。また HEV と PHEV は、車種共通部分の重量に、GV のエンジンと EV のモータ及びコントローラ分を加えて推計した。

鉄を生産拠点まで輸送する距離  $D_2$  は、日本における生産の場合の値を代用し、日本の主要輸入元であるオーストラリア、ブラジル、インドの輸入比率から生産拠点までの距離を推計した。生産拠点が海外である場合も、輸入元比率は変わらないものと仮定して計算した。

GV, HEV, EV の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量は、第 2.5.1 項（製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量）と同様に文献[71]の値に、(1) (2) (3) の変数を用いて推計する。文献[71]は、GV, HEV 及び EV の素材構成[67][87][88][101]と、2000 年産業連関表、3EID 2000 年生産者価格ベース CO<sub>2</sub> 原単位を用いて算出されている。

そこで本稿では、(1) においては、文献[71]の 3EID 2000 年生産者価格ベース CO<sub>2</sub> 原単位のうち、製造段階の電力消費に関わる原単位を変更して推計する。

(2) では、(1) の製造時の電力消費量が技術効率によって影響すると仮定し、エネルギー消費原単位[140]を乗じて推計する。

(3) では、文献[71]では、2000 年産業連関表、3EID 2000 年生産者価格ベース CO<sub>2</sub> 原単位を用いた算出により、輸入財の海外生産分の負荷はカットオフされているため、新たに輸送プロセスの排出量を加えて、評価を行う。

## 6.6 炭素関税評価式

図 6.5 にライフサイクルプロセスと炭素関税課税のタイミングを示す。本図は上段に国内市場向けの国内生産，下段に海外生産から市場へ輸出されるケースを示している。

製品ライフサイクルプロセスは，左から素材採掘，輸送，素材製造，輸送，製造，組立て，検査，輸送，販売，使用・維持，廃棄である。3R（リサイクル，リユース，リマニュファクチャリング）は図から省略している。

下段の海外生産から市場へ輸出される場合に，検査工程を終え，市場へ輸入する段階で炭素関税が課税されるとして設計する。本税は，生産段階 CO<sub>2</sub> 排出量に応じて課税されるものとし，第 6.5.2 項で定義したグローバル生産 LCCO<sub>2</sub> 評価式 (8) 式を用いる。

次に，炭素関税評価式を (9) 式に，課税後の製品コストを (10) 式に示す。

$$Tax(n, h, s, tr, k_i(t)) = [CO_i^{prod}(n, h, tr, k_i(t)) + CO_i^{tra}(tr) \times D1] \times TaxRate(s) \dots\dots(9)$$

$$C_i^q(n, h, s, tr, k_i(t)) = C_i^p(n, h, k_i(t)) + Tax(n, h, s, tr, k_i(t)) \dots(10)$$

- $C^q$  : イニシャルコスト [JPY]
- $C^p$  : 販売価格 [JPY]
- $Tax$  : 炭素関税課税額 [JPY]
- $TaxRate$  : 炭素関税課税率 [JPY/kg-CO<sub>2</sub>]
- $CO^{total}$  : LCCO<sub>2</sub> [kg-CO<sub>2</sub>]
- $CO^{prod}$  : 製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量 [kg-CO<sub>2</sub>]
- $CO^{tra}$  : 走行あたりの輸送 CO<sub>2</sub> 排出量 [kg-CO<sub>2</sub>/km]
- $i$  : 車種 [GV/HEV/PHEV/EV]
- $n$  : 車格サイズ
- $h$  : 生産拠点の発電あたりの CO<sub>2</sub> 排出係数 [kg-CO<sub>2</sub>/kWh]

## 第6章 グローバル生産評価モデルと炭素関税設計

$s$	: 炭素価格基準
$k$	: 評価対象年代の製造技術 (燃費を含む)
$t$	: 評価対象年
$D_1$	: 総走行距離 [km]
$D_2$	: 輸送距離 [km]
$tr$	: 輸送種別

### Products Lifecycle

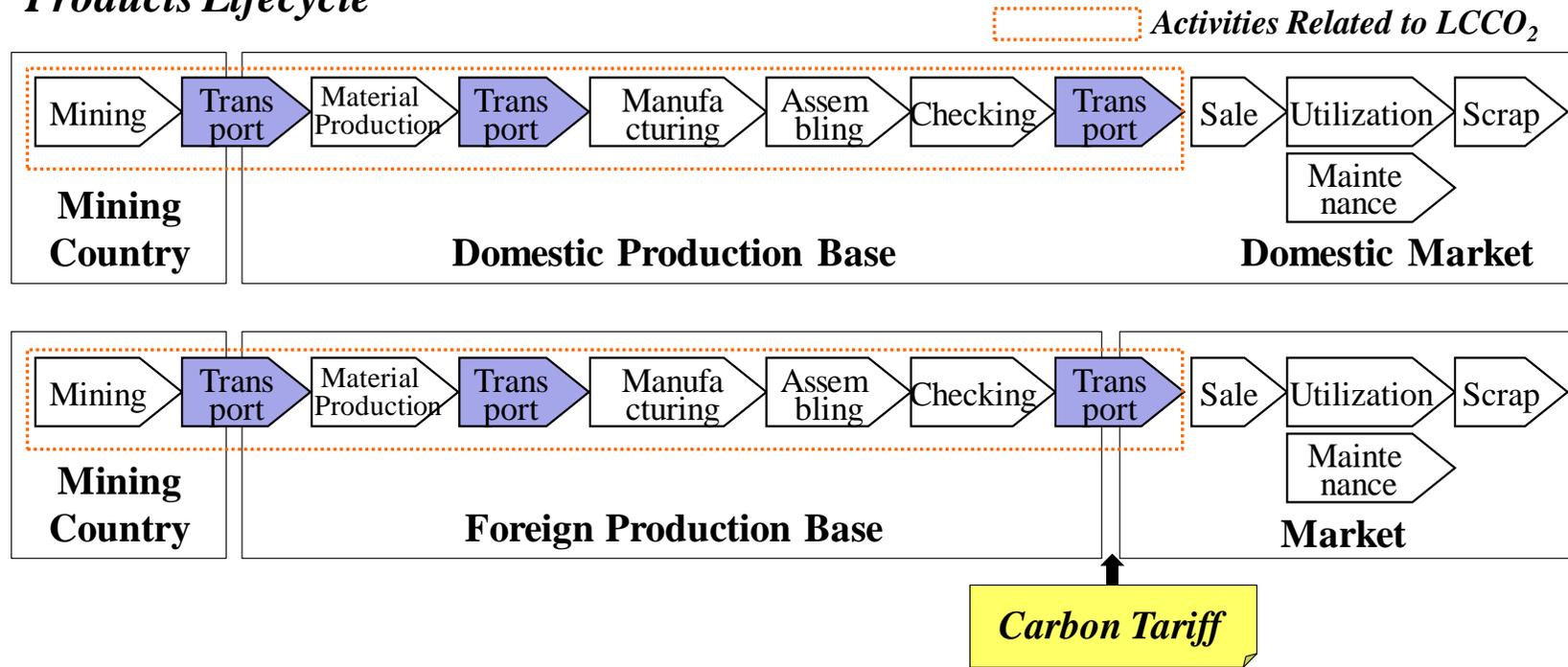


Fig. 6.5 Evaluation of CO<sub>2</sub>-generating Activities along the Product Life Cycle

## 6.7 シナリオ分析

本節では、3つのシナリオ分析を行う。

第 6.7.1 項では、生産拠点（国）が異なる場合の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量の差異を明らかにするために、輸送段階を除く自動車の製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を評価する。同じ GV と EV を中国、日本で製造及び使用した場合の製品 LCCO<sub>2</sub> を比較し、生産拠点（国）の違いによりどの程度排出量が異なるのか、さらに、GV と EV の比較から製品ごとに違いがあるのかを明らかにする。

次に、第 6.7.2 項では、輸送段階の CO<sub>2</sub> 排出量も加えた生産フェーズ CO<sub>2</sub> 排出量を評価する。評価対象とする生産拠点は、中国、日本に、インド、タイ、ドイツ、メキシコを加えた 6 拠点とする。

### 6.7.1 中国・日本生産の GV と EV(輸送段階を非考慮)

本項では、GV 及び EV を事例に、生産拠点（国）の違いによる製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量の差異を示す。評価は、発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数と、生産あたりのエネルギー消費効率の 2 つを変数として考慮する。また本項では、輸送段階の排出量は考慮の対象外とする。

生産拠点（国）の違いによる製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量の差異を、GV と EV で比較し、従来製品と環境配慮型製品の比較として考察する。

評価結果を図 6.6 に示す。本図は、GV 及び EV の 1 台あたりの製品 LCCO<sub>2</sub>、すなわち、製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量と使用段階 CO<sub>2</sub> 排出量の合算値を示している。塗色部分が製造段階排出量を、白色部分が使用段階排出量を示す。また、図の左は生産拠点が日本、右が中国の場合を示す。

まず製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を比較する。中国は電源構成のうち、石炭による発電量が多く発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数が日本よりも高い。また、生産あたりのエネルギー消費効率が日本より低いため、製造段階の排出量が多い。

EV は製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量が GV よりも多いために、さらに中国と日本の差が大きく顕著である。生産拠点が中国と日本の場合の EV の製造段階排出量の差は、2.8 倍に及ぶ。

生産拠点（国）により製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量の差異が生じること，さらにその差は GV よりも EV の方が大きく，環境配慮型製品においては生産拠点（国）の違いが CO<sub>2</sub> 排出量に与える影響が大きいことが示唆された．

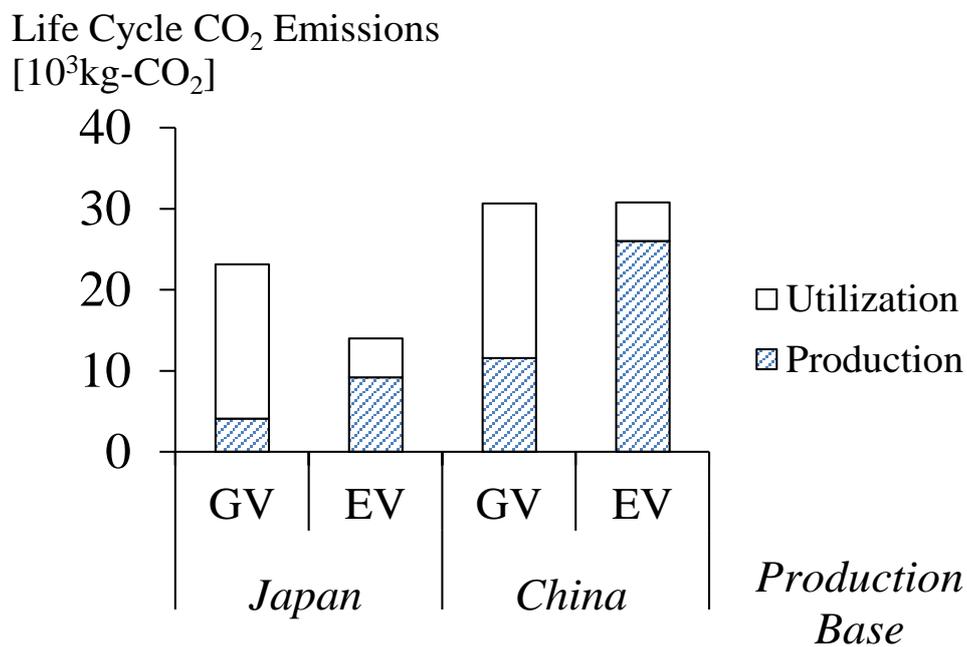


Fig. 6.6 Life Cycle CO<sub>2</sub> emissions of a single gasoline vehicle (GV) and electric vehicle (EV) manufactured in Japan and China, and all of them utilized in Japan

### 6.7.2 EV グローバル生産(輸送段階を非考慮)

本節では、各国生産拠点における GV1 台あたりの製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を評価する。第 6.7.1 項と同様に、発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数と、生産あたりのエネルギー消費効率の 2 つを変数として考慮する。また本項では、輸送段階の排出量は考慮の対象外とする。

生産拠点は、アイスランド、日本、タイ、ドイツ、メキシコ、中国及びインドの 7 ヶ国を対象に評価する。

評価結果を図 6.7 に示す。本図は縦軸に、GV1 台あたりの製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を示している。結果、中国生産が最も排出量が多く、次いでインド生産の排出量が多い。2 者が突出して値が高くなっている。ドイツ生産とメキシコ生産は、同程度の排出量であり、次いでタイ生産、日本生産の順で排出量が少ない。

生産あたりのエネルギー効率を考慮しない場合インド生産が最も排出量が多かったが、考慮した場合には中国生産と逆転した。これは、人手による作業やオートメーション（自動化）の環境負荷が影響していると考えられる。

次に、図 6.8 に中国市場向けに日本生産、中国生産、タイ生産品を輸送した場合の EV と GV の 1 台あたりの LCCO<sub>2</sub> を示す。

中国生産品を中国市場で使用する場合は、GV よりも EV の LCCO<sub>2</sub> が大きくなっていることが確認できる。ただし、日本生産品やタイ生産品を中国で使用する場合は EV の LCCO<sub>2</sub> は GV より小さくなる。生産国の違いによって、EV の低炭素優位性が異なることが示唆された。

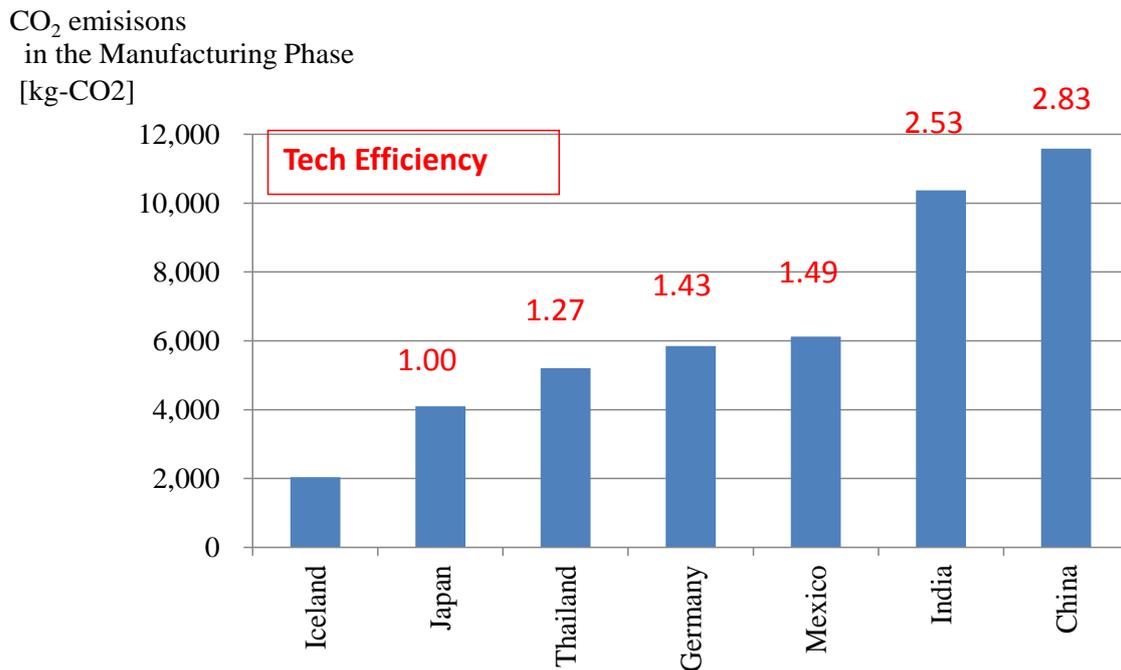


Fig. 6.7 CO<sub>2</sub> emissions in the manufacturing phase of a single gasoline vehicle manufactured in Iceland, Japan, Thailand, Germany, Mexico, India and China

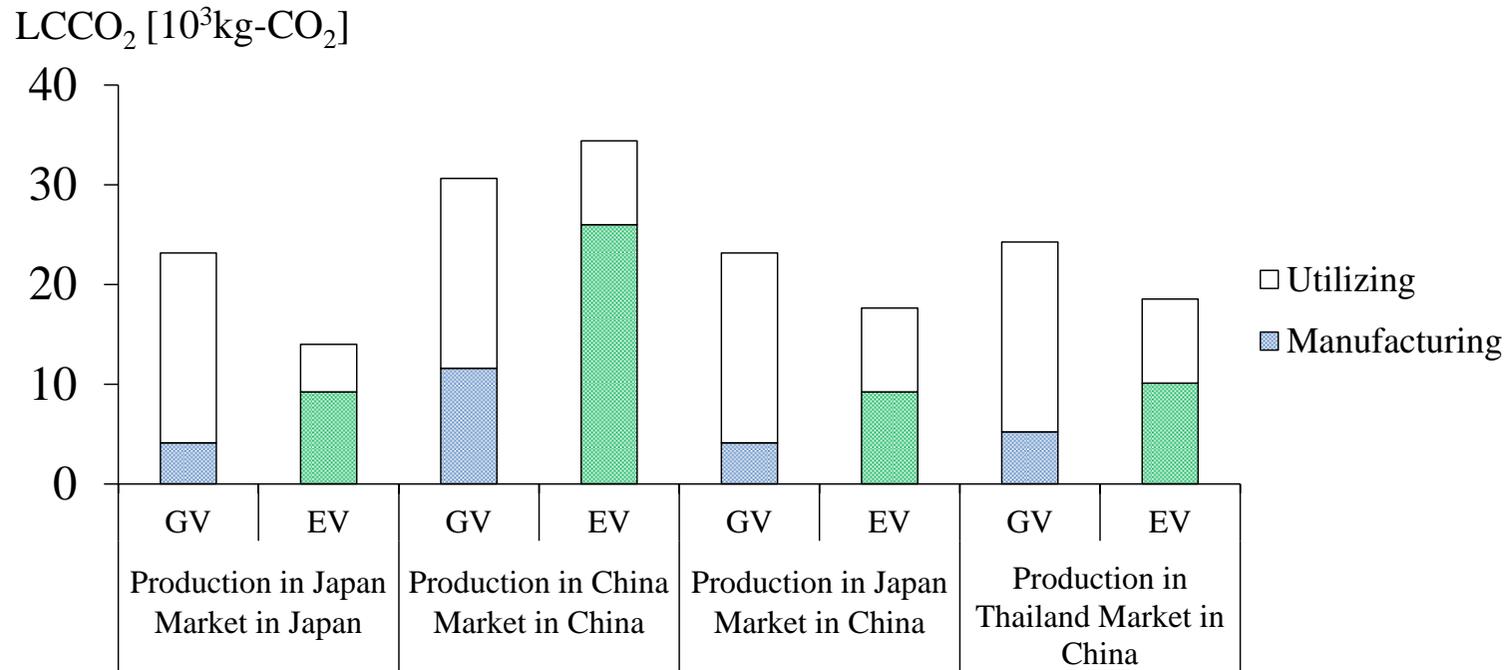


Fig. 6.8 CO<sub>2</sub> emissions in the manufacturing phase of a single gasoline vehicle and electric vehicle manufactured in Japan, China, Thailand, for markets in Japan and China

### 6.7.3 EV グローバル生産(輸送段階を考慮)

本項では、前項の評価変数に加えて輸送段階の CO<sub>2</sub> 排出量を考慮して評価する。評価対象車種は EV とする。

機能単位、基本フロー及び電池性能は第 6 章のグローバル評価モデルで定めた内容と同様とする。

生産拠点は、中国、インド、タイ、ドイツ、日本、メキシコの 6 拠点を対象とし、最終製品を輸送する市場は、日本、ドイツ、シンガポールの 3 拠点を対象とする。

評価結果を図 6.9 に示す。本図は、日本、ドイツ、シンガポール市場に対して、生産拠点（国）が左から中国、インド、タイ、ドイツ、日本、メキシコの EV1 台あたりの製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を示す。棒グラフの塗色部分が製造段階 CO<sub>2</sub> 排出量を、白色部分が輸送段階の CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

全体の結果を通して、輸送段階 CO<sub>2</sub> 排出量はごく小さく、全体に占める割合が小さいことが読み取れる。シンガポール市場の結果を見ると、市場から距離の離れているメキシコやドイツと、同じアジア圏内であるタイや中国、インドの輸送段階 CO<sub>2</sub> 排出量に大きな差は生じていない。輸送距離の長い日本向け市場、生産拠点がメキシコのケースでも、輸送段階の CO<sub>2</sub> 排出量が生産フェーズの排出量全体に占める割合は、7.9%と小さいことが分かった。

次に生産拠点間の排出量を比較する。日本市場の例でみると、中国とインドが突出して排出量が多い。これは、主に石炭による発電により発電時の CO<sub>2</sub> 排出係数が高いこと、及び生産あたりのエネルギー消費効率が低いという両方に起因している。中国及びインドと日本の排出量の差は、中国が 2.8 倍、インドが 2.6 倍である。

一方で、同じアジアでも、タイの排出量はドイツや日本に近い値である。生産拠点がタイとドイツの場合を比較すると、ドイツ市場向けでは、輸送距離の分ドイツ生産の値に近づいているが、日本市場向け、及びシンガポール市場向けではドイツより排出量が低くその差が開いていることが確認できる。ドイツとタイの製造 CO<sub>2</sub> 排出量の差は、日本市場向けで 1.16 倍、ドイツ市場向けで 1.05 倍、シンガポール市場向けで 1.19 倍である。

本項で評価した 3 つの市場における各生産拠点（国）での CO<sub>2</sub> 排出量を比較

すると、市場間で大きな差異は見受けられない。これは、輸送段階の排出量が少なく生産拠点と市場との距離によって大きな差が生まれていないことに起因する。

ただし、本項で評価の対象外としている部品調達やサプライヤー間の輸送に伴う排出量を評価に加えた場合、市場と生産拠点との距離や生産ネットワークの配置により環境負荷が増減する可能性がある。

ただし、本評価で対象外としている部品調達やサプライヤー間の輸送に伴う環境負荷は、より複雑な生産ネットワークを組む場合や、輸送手段の走行あたりのCO<sub>2</sub>排出原単位が大きい場合など、生産フェーズ全体のCO<sub>2</sub>排出量を増加させる可能性がある。将来、例えば東アジアやアフリカで、新興国が多い地域で生産ネットワーク化や産業集積が進むことが考えられるが、その際、製造段階の環境負荷は、拠点配置やネットワーク構造が複雑になるほど、輸送距離が伸び、より大きく変化する可能性がある。

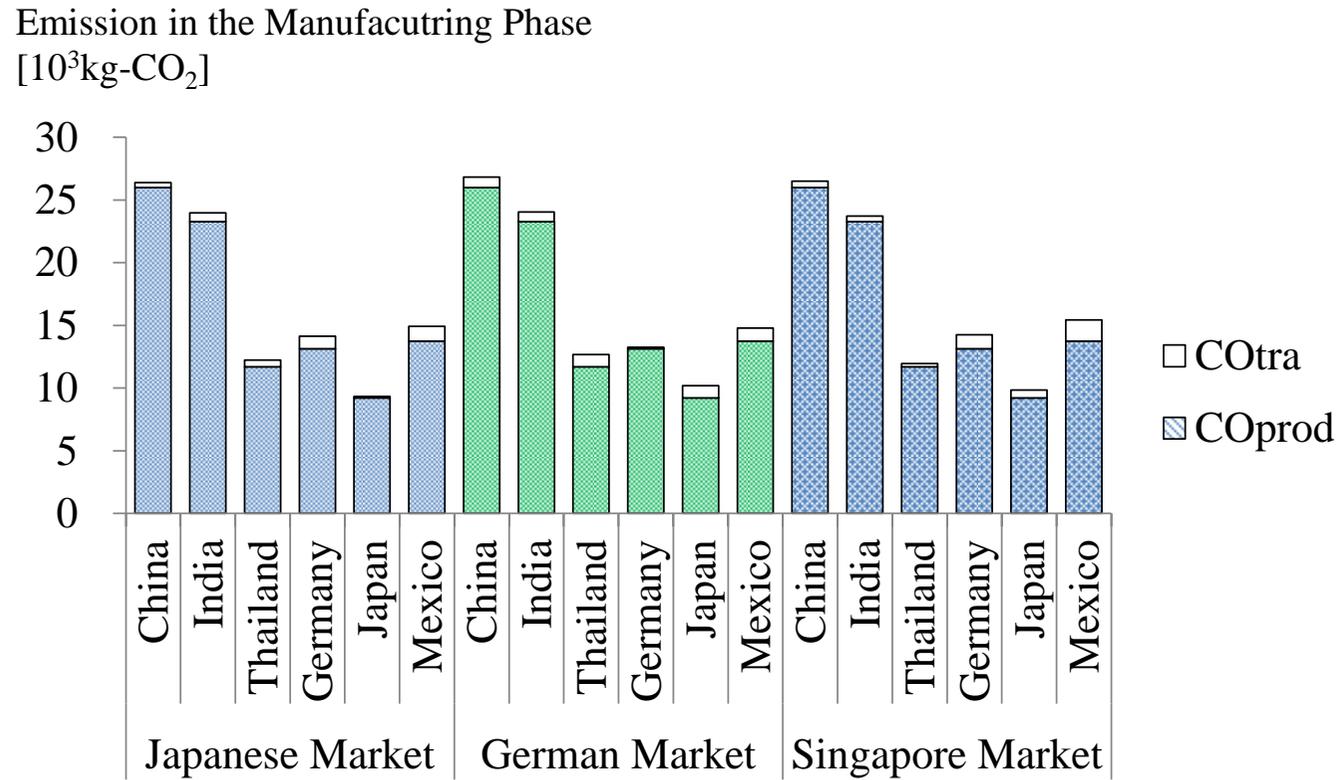


Fig. 6.9 CO<sub>2</sub> emissions in the manufacturing phase of a single EV manufactured in China, India, Thailand, Germany, Japan and Mexico for markets in Japan, Germany and Singapore

Table 6.1

Consumer Cost under a Carbon Tariff Calculated at Four Tax Rates

Production Base	<i>Carbon Tax Rates</i>			
	<i>1,566</i>	<i>2,500</i>	<i>21,251</i>	<i>42,265</i>
	<i>[JPY/t-CO<sub>2</sub>]</i>	<i>[JPY/t-CO<sub>2</sub>]</i>	<i>[JPY/t-CO<sub>2</sub>]</i>	<i>[JPY/t-CO<sub>2</sub>]</i>
China	3,441	3,466	3,961	4,515
India	3,438	3,460	3,909	4,413
Thailand	3,419	3,431	3,660	3,917
Germany	3,422	3,435	3,700	3,997

[10<sup>3</sup>JPY]

## 6.8 検証

本節では、いくつかの税率で炭素関税を課税した場合に、各国海外生産製品を日本市場へ輸入する場合の炭素関税課税後製品価格の変化を評価し、炭素リーケージ抑制や国内産業保護の機能を本炭素関税が果たす可能性があるかを検証する。炭素関税は、第 6.5 節の炭素関税評価式を用いて算出する。

評価する税率は、次の 4 つを用いる。既存のガソリンに対する炭素税最低税率：21,251 [JPY/t-CO<sub>2</sub>]、EU で 2030 年に導入が予定されている EU 最低導入炭素税率：2,500 [JPY/t-CO<sub>2</sub>]、既存の例の中で比較的税率が高いオランダの鉱油税を CO<sub>2</sub> 換算した税率：42,265 [JPY/t-CO<sub>2</sub>]、排出権取引の炭素コスト：1,566 [JPY/t-CO<sub>2</sub>] [144]。

表 6.1 にこれらの税率で炭素関税を課税した場合の課税後製品価格の変化を示す。日本市場に対して、中国、インド、タイ及びドイツで生産し輸出する 4 つのケースを評価した。対象車種は、EV とする。

各国生産における生産時の CO<sub>2</sub> 排出量は、日本生産と比較して、中国生産が

2.8倍、インド生産が2.6倍、タイ生産が1.3倍、及びドイツ生産が1.5倍であった。第7.6節での評価結果と同様に、海外生産のCO<sub>2</sub>排出量は、生産拠点の電源構成と生産時のエネルギー効率、つまり技術効率に大きく影響を受ける為、ドイツは今回の評価の中で唯一アジア圏外からの輸送であったが、輸送段階CO<sub>2</sub>排出量の影響は大きくなかった。また、タイ生産の方がドイツ生産よりも排出量が少ない。

さらに、EVはシンプルなアーキテクチャと部品点数の少なさにより、作業が簡素化され、拠点間の生産時エネルギー効率の差が大きく出ない可能性が予想される。その場合には、より、生産拠点の電源構成が排出量に影響することになる。

炭素関税課税後の製品価格は、排出権取引の炭素コスト：1,566[JPY/t-CO<sub>2</sub>]や2,500 [JPY/t-CO<sub>2</sub>]では、税率が小さく、課税後コストにほとんど差が生じない。

21,251 [JPY/t-CO<sub>2</sub>]において、炭素関税課税後のEV製品価格は、中国生産が3,961 [10<sup>3</sup>JPY]、インド生産が3,909[10<sup>3</sup>JPY]、タイ生産が3,660[10<sup>3</sup>JPY]、及びドイツ生産が3,700[10<sup>3</sup>JPY]であった。

炭素リーケージ抑制の機能を持たせるようなコスト優位性を生むためには、排出権の炭素コストよりも高い、既存の税制の事例の中でもある程度の高い税率を付加する必要があることが示唆された。

### 6.9 まとめ

本章では、CEVグローバル生産を対象とした「グローバル生産評価モデル」を示した。LCAモデルとグローバルサプライチェーンモデルを用いて、CEVのLCCO<sub>2</sub>を、サプライチェーン全体を考慮して評価した。「グローバル生産評価モデル」を用いて炭素関税を設計し、その効果を考察した。

## 第7章 考察

本稿では、第3章及び第4章で設計した「国内自動車炭素税」と、第6章で設計した「炭素関税」を考察する。

### 7.1 国内自動車炭素税

本節では、第3章及び第4章で行った自動車炭素設計プロセスをまとめ、具体的な政策提案を行う。

まず、第3章及び第4章の自動車炭素税設計をプロセスに沿ってまとめ直す。税設計は、システムエンジニアリングアプローチに基づき、次の手順で行った。

1. 政策目標の設定
2. 政策手段の選択
3. 自動車炭素税設計 要求分析
4. 自動車炭素税設計 基本設計
5. 自動車炭素税設計 詳細設計
6. 自動車炭素税設計 評価

手順に沿って、本稿が設計した「国内自動車炭素税」を示す。

#### 1. 政策目標の設定

「CEVを普及させ、CO<sub>2</sub>排出量を削減すること」と設定した。

#### 2. 政策手段の選択

政策手段として考えうる「減税」、「補助金」、「炭素税」、「エネルギー税」、「企業へのR&A投資」のうち、本稿では「炭素税」を選択した。

#### 3. 自動車炭素税設計 要求分析

自動車関連税制の歴史的経緯や、環境省税制改正要望[14]による現状分析、及び政府、消費者、企業のステークホルダー分析より、「公平性」、「簡素化」、「負担の軽減」、「グリーン化」、「税収が減らないこと」を要求事項とした。

#### 4. 自動車炭素税設計 基本設計

3.で定めた要求事項に対するコンセプト設計を行った。具体的に以下のコン

セプトを掲げた。

- 「公平性」：使用段階のみから製造段階を含む  $LCCO_2$  に応じて課税する
- 「簡素化」：現行の複雑な自動車関連税制をやめて、本「自動車炭素税」に一本化する
- 「負担の軽減」：消費者の課税負担額が増えすぎないように、LCC を考慮する
- 「グリーン化」： $CO_2$  排出削減目標値を設定して、税率を設計する

### 5. 自動車炭素税設計 詳細設計

$LCCO_2$  に応じて課税した後に、CEV の LCC が GV よりもなる CEV 優遇税率を算定した。

結果、HEV 優遇税率：28.05[JPY/kg- $CO_2$ ]，PHEV 優遇税率：103.47[JPY/kg- $CO_2$ ]，EV 優遇税率：156.20[JPY/kg- $CO_2$ ]を見出した。

課税負担額や税収、 $CO_2$  総排出量など複数の評価指標により設計した税率を議論できる「自動車炭素税設計フレームワーク」(図 4.1) を構築した。本フレームワークでは、消費者ごとに異なる総走行距離の違いや、将来の技術進歩による  $LCCO_2$  や LCC の変化を考慮して、税率や課税のタイミングをシナリオ分析 (What-if 分析) により検討できる。

### 6. 自動車炭素税設計 評価

設定する炭素税率，税導入のタイミングをシナリオ分析 (What-if 分析) により評価した。また，税導入後の乗用車からの総  $CO_2$  総排出量と税収の変化を評価し，導入の効果を評価した。

<税率>

税率の評価においては，5.で設計した CEV 優遇税率を既存の税率や課税負担額の観点から比較検証し，HEV 優遇税率：28.05[JPY/kg- $CO_2$ ]が導入の現実性が高いと評価した。

<炭素税導入のタイミング>

炭素税導入のタイミングは，技術進歩シナリオのうち「バッテリー技術進歩シナリオ (第 4.2.1 項) より，蓄電池コスト 2007 年比 0.14 倍が実現するまでは，本税の課税によって EV にインセンティブ効果を与えることが有効であることが示唆された。よって，本税導入は，「バッテリーコストが 2007 年対比 0.14 倍が実現する，2015 年頃」(経済産業省，エネルギー革新技術

計画, 2008 による) に導入することが効果的である評価できる。

### <導入による効果>

導入による効果評価は、炭素税導入後の乗用車からの総 CO<sub>2</sub> 総排出量と税金の変化を評価した。結果、2050 年の総排出量は、BAU シナリオ[126] が 98.7[10<sup>6</sup>t]、EV100%シナリオ[9]が 62.6[10<sup>6</sup>t]、EV50%、HEV50%シナリオが 73.0[10<sup>6</sup>t]であった。

税金は、いずれのシナリオにおいても CEV 普及が進むこと及び乗用車保有台数自体の見込みが減ることから減少していく。ただし、税金は、BAU シナリオ[126]では、2010 年対比で 2030 年が 0.81 倍、2050 年が 0.67 倍であるのに対し、EV100%シナリオ[9]は 0.44 倍、EV50%、HEV50%シナリオは 0.51 倍であった。また、EV の普及台数が増え、全普及台数の中での割合が増えるほど、製造段階由来の排出量が増えることが示唆された。

### <その他のシナリオ分析>

その他の考察として行った、軽量化技術進歩シナリオ分析と消費者の総走行距離嗜好、超高齢社会シナリオ分析を行った結果を示す。

軽量化技術進歩シナリオ分析では、EV 軽量化の技術進歩は製造段階及び使用段階双方の環境負荷低減とコスト低下に寄与するが、同様に他の車種でも軽量化技術が進むためするため、影響は大きくない可能性が高いことを示した。

消費者の総走行距離嗜好と超高齢シナリオ分析からは、①1 回あたりの走行距離が短く、かつライフサイクル全体での総走行距離が短いユーザは、EV よりも HEV や GV が低炭素に向く可能性があること。②EV が最も低炭素優位になるのは、総走行距離 63.0 千 km 以上であること総走行距離が 221.6 千 km 以上の場合、EV は GV よりも課税後 LCC が小さくなる。LCCO<sub>2</sub> に応じて課税される本税により、消費者が LCCO<sub>2</sub> を考慮して、自身の総走行距離に合った車種を選択することを促進できる可能性があることが示された。

## 7. LCA に基づき課税する効果

製造段階及び走行段階の CO<sub>2</sub> 排出量に対して課税する本税を、仮に使用段階の CO<sub>2</sub> 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考察した。

## 第7章 考察

結果、①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こと、②CEV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額が大幅に減少することが予想されること、を示し、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を示した。

ただし、本評価は2009年時点で入手できる文献値やLCAデータ、技術ロードマップ、及び当時の電源構成を用いて評価を行っている。技術進歩やエネルギーバランスが変わった際には、新たなデータを参照して再計算することが必要である。

そこで、本稿で構築した自動車炭素税設計フレームワークを用いることが有効であると考えられる。本フレームワークは、将来の技術進歩や個別のケースをシナリオとして設定して税率や課税負担額を検討することができる。その際に、技術ロードマップデータベースやライフサイクルインベントリデータベースを参照する為、最新のデータでの評価が可能である。

また、その検証は、政府、消費者及び企業3者の視点から行うことができる。例えば、政府の視点（税収、社会全体の総排出量の増減）、消費者の視点（課税負担額、課税後LCCの変化、走行距離に対する嗜好）、企業（炭素税がどのタイミングで影響するか、技術開発の時間軸）である。

本フレームワークを用いて、普及政策を検討する際に、技術ロードマップや普及台数目標をWhat-if分析し、税導入のタイミングやインセンティブ付与の度合いを3者の多視点から多角的に検討することが可能である。

次に、本税を導入することによる効果を考察する。LCCO<sub>2</sub>に応じて公平に課税される。消費者にとっては、自身の使用方法（走行距離や使用エネルギー）を考慮してCEVを選択するよう促す可能性があり、LCCO<sub>2</sub>を減らすインセンティブとなる。その結果、企業の低炭素車種開発へのモチベーションとつながることが期待される。また8種の税を1本化することにより、簡素化され、消費者にとっては分かり易く、政府にとっては税徴収の社会コストを低減するこ

とが可能である。このように本税導入により、消費者、政府、企業の各観点から社会全体のグリーン化を促進させる効果が期待できる。

### 7.2 炭素関税

本節では、第6章で設計した「炭素関税」を考察する。

炭素関税設計では、製造段階のCO<sub>2</sub>排出量は、輸送に起因するCO<sub>2</sub>排出量は少なく、発電時のCO<sub>2</sub>排出係数、すなわち生産拠点の電源構成と技術効率に大きく影響を受けることを示した。

これら2つの要素は、将来のシナリオによって値が大きく変わる可能性を持っている。電源構成は国のエネルギー政策に影響を受ける。また発電あたりのCO<sub>2</sub>排出係数は、電源構成の変更の他に、技術進歩によって大幅に改善される可能性がある。他方、技術効率は企業提携や統合、もしくは国家間での技術移転協力により改善される可能性がある。

国連気候変動枠組条約第15回締結会議（COP15）の「コペンハーゲン合意」[2]により、先進国は温室効果ガスの削減目標を、途上国は削減のための行動を定めることが求められた。これは、温室効果ガスの削減が途上国も含む全世界の共通認識とされたことを示している。

削減目標は、京都議定書をはじめ国単位で課されており、各国は排出量の多い部門への集中的な対策、あるいはセクター別アプローチなどその国の事情に合わせて削減方法を検討している。しかし複数の国にまたがる問題、例えば、国外で生産された財を輸入する場合の排出量や、製造業が海外に生産拠点を設置した場合の扱いは定かになっていない。

しかしながら他方で、各国間で炭素コストに差が生じる結果、排出規制のゆるやかな国に産業が移転し、地球全体の排出量が増加してしまう炭素リーケージ問題が指摘され対策の議論や、GHGプロトコル「スコープ3・スタンダード」の規定など、環境負荷をサプライチェーン全体で管理することへの要請は高まっている。

製造コストだけでなく、国内市場が縮小する中で、急速な市場拡大を見せる新興国の近くへ生産拠点を移転することはますます加速しており、今後同じ製品でも生産拠点によって製造時の環境負荷が異なるケースが増加することが予

## 第7章 考察

想される。

国や企業、地域単位で指標を整理し、評価方法を標準化すること、及び、国際的な枠組みとして地球全体の排出量をどう管理していくかを議論することが望まれる。そのひとつの方法として、本稿で示した製品の  $LCCO_2$  を基準に公平に課税することが可能な炭素関税を提案したい。

さらには、国家間や域内協定による戦略的生産ネットワークの構築や、関税政策などの提携を議論するための判断材料として用いることが期待できると考える。

## 第 8 章 結論

### 8.1 本研究の結果と考察

本研究では、CEV を普及させるためのグリーン政策を設計した。

CEV は従来の GV と比較して製造段階の環境負荷が無視できなくなることに着目し、ライフサイクル全体の環境負荷を考慮して、CEV を公平に普及させ、社会のグリーン化を効率的に促進するためのグリーン政策設計を行った。

本論文では、グリーン政策のうち、従来の自動車関連税制に代わって導入することを想定する自動車炭素税と、海外生産やグローバルサプライチェーンによる生産フェーズの環境負荷に対して課税する炭素関税の 2 つを対象にグリーン政策を論じた。

第 1 章では、温暖化対策において、CEV 普及が期待される背景を概観し、普及に向けた課題として、

- CEV は従来の GV と比較して、製造段階の環境負荷がライフサイクル全体に占める割合が大きくなる。CEV 大量普及社会では、製造段階の環境負荷が無視できなくなること
- CEV は車種により技術特性や普及の課題が異なる。普及政策は、CO<sub>2</sub>削減目標の時間軸と、エネルギー政策、社会インフラの整備、技術ロードマップや超高齢社会などの社会変化の時間軸を整合させる制度設計が必要であること

を示した。

自動車関連税制の歴史的背景や既往研究より、現状の自動車関連税制や補助、普及策が複雑であり、「簡素化」「負担軽減」「グリーン化」が要求されていることを踏まえ、本研究で行う税設計の方向性を考察した。

第 2 章では、CEV 普及のための国内モデルを示した。本モデルでは、国内生産及び国内市場を対象とし、LCCO<sub>2</sub> と LCC を用いて、EV、PHEV、HEV に、従来の GV を加えた 4 車種を対象に評価した。

LCCO<sub>2</sub> 評価の結果、次のことを示した。

## 第8章 結論

- CEVはGVよりも製造段階の環境負荷がライフサイクル全体に占める割合が増加し、EVはその特徴が特に顕著であることが示した。EVの製造段階排出量は使用段階排出量の1.9倍である
- 本評価では、日本の平均電源構成を用いているが、将来、再生可能エネルギーの導入等により、発電あたりの排出係数が小さくなると、EVやPHEVの製造段階排出量は相対的にさらに大きくなること

LCC評価の結果では、イニシャルコストは、最もEVが大きく、HEVとGVのコストが低い。使用コストは、逆にエネルギー単価に起因して、EVが最も低く、PHEV、HEV、GVの順で高い。他方、維持・メンテナンスコストは、部品点数が多くとシステム構造の複雑なHEVとPHEVが高く、部品点数が少なくシンプルなアーキテクチャ構造のEVは最も低いことを示した。

EVのLCCの高さはイニシャルコストの中でバッテリーコストに起因しているため、将来バッテリー技術開発が進めば、EVは全段階でコストが小さくなり、コスト優位性を有する可能性が示唆された。

第3章では、第2章で構築した「国内モデル」を用いて自動車炭素税を設計した。LCCO<sub>2</sub>に応じて炭素税を課税した場合に、課税後にCEVのLCCがGVよりも小さくなるCEV優遇税率「HEV：28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]」、「PHEV：103.5[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]」及び「EV：156.2[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]」を示した。

従来の自動車税制や欧州で既に導入されている各種税率、政府が導入を検討している税と、税率、課税負担額や税収等の複数の指標を用いて比較し、HEV優遇税率28.05[JPY/kg-CO<sub>2</sub>]が比較的近い税率であることを示した。

- また、自動車炭素税設計に、製造段階の環境負荷を考慮する効果として、
- 使用段階の環境負荷が小さいCEVの普及に伴い、現行の使用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
  - 製造段階の考慮により、CEVごとに異なる製造段階と使用段階排出量のバランスが炭素税に反映されること
- を示した。

第4章では、第3章の税設計の枠組みを拡張し、総走行距離の違いや将来技術を考慮して税率や課税額を議論するための税設計フレームワークを構築した。

## 第 8 章 結論

将来のシナリオや個別のケースを考慮し、 $LCCO_2$ とLCC、課税額、総排出量、税金など複数の評価指標を用いて、将来の変化を捉えて税体系の議論ができる枠組みを構築した。

具体的に、バッテリー技術進歩シナリオ、軽量化技術進歩シナリオ、総走行距離嗜好シナリオ、超高齢社会シナリオ、普及目標シナリオを想定したシナリオ分析を行った結果次のことを示した。

- 蓄電池コスト 2007 年比 0.14 倍が実現するまでは、本税の課税によって EV にインセンティブ効果を与えることが有効である。0.14 倍が実現する以降は、本税無しに EV の LCC が最も小さくなり、コスト優位性が生まれること
- 1 回あたりの走行距離が短く、かつライフサイクル全体での総走行距離が短いユーザは、EV よりも HEV や GV が低炭素に向く可能性があること
- EV が最も低炭素優位になるのは、総走行距離 63.0 千 km 以上であること
- 総走行距離が 221.6 千 km 以上の場合、EV は GV よりも課税後 LCC が小さくなる。LCCO<sub>2</sub>に応じて課税される本税により、消費者が LCCO<sub>2</sub> を考慮して、自身の総走行距離に合った車種を選択することを促進できる可能性があること

第 5 章では、第 3 章で構築した「国内モデル」に対して、グローバル市場を対象とした「グローバル市場評価モデル」を示した。本モデルを用いて、アイスランド、フランスに、ドイツ、オランダ、アメリカ、中国及びインド市場における CEV の LCCO<sub>2</sub> をエネルギーバランスと総走行距離を考慮して評価した。

結果、各国で EV が最も低炭素優位になる総走行距離は、日本では第 4 章のシナリオ分析より 63.0 千 km 以上であったのに対し、フランスが 40.3 千 km、オランダが 78.4 千 km、アイスランドは 38.4 千 km、ドイツが 72.2 千 km、アメリカが 81.4 千 km、中国が 124.0 千 km、インドが 193.0 千 km であること。各国の年間走行距離を勘案すると、平均年間走行距離ユーザの場合、最も EV が低炭素になるのは、EV が最も低炭素になる車齢は、日本が約 6.8 年、ドイツが約 6.3 年、中国が約 5.0 年であることを示した。

第 6 章では、CEV グローバル生産を対象とした「グローバル生産評価モデル」

## 第8章 結論

を示した。LCAモデルとグローバルサプライチェーンモデルを用いて、CEVのLCCO<sub>2</sub>を、サプライチェーン全体を考慮して評価した。

結果、製造段階CO<sub>2</sub>排出量は、輸送に起因する排出量は少なく、発電時のCO<sub>2</sub>排出係数、すなわち生産拠点の電源構成と技術効率に大きく影響を受けることを示した。

また、中国及び日本生産のGVとEVの比較より、生産拠点ごとの製造段階排出量の差は、EVにおいてより大きくなることを示した。

次に本モデルを用いて炭素関税を設計し、その効果を考察した。既存の排出権取引炭素コストや、欧州炭素税率、鉱油税率など複数の税率で関税を与えた場合の課税後コストの差を評価した。コスト差に影響を与えるためには、既存の例の中でも高い税率を付加する必要があることを示した。

第7章では、第3章及び第4章で設計した「国内自動車炭素税」と、第6章で設計した「炭素関税」を考察した。

自動車炭素税設計を、システムエンジニアリングアプローチによる7つの手順にまとめ、設計方法を考察し、具体的な政策提案にまとめた。

製造段階のCO<sub>2</sub>排出量が多いCEVにとって、総走行距離はトータルのLCCO<sub>2</sub>を左右する重要な要素である。技術進歩も同様にLCCO<sub>2</sub>に影響する。低炭素を促進するために、どの車種を普及させるかは、将来時点の技術度合いや、消費者の総走行距離など個別のケースを考慮してLCA全体を評価する必要がある。

本稿で設計した自動車炭素税設計フレームワークは、将来の技術進歩や個別のケースをシナリオとして設定して税率や課税負担額を検討することができる。その検証は、政府、消費者及び企業3者の視点から行うことができる。例えば、政府の視点（税収、社会全体の総排出量の増減）、消費者の視点（課税負担額、課税後LCCの変化、走行距離に対する嗜好）、企業（炭素税がどのタイミングで影響するか、技術開発の時間軸）である。

本フレームワークを用いて、普及政策を検討する際に、技術ロードマップや普及台数目標をWhat-if分析し、税導入のタイミングやインセンティブ付与の度合いを3者の多視点から多角的に検討することが可能である。

特に、排出量目標やエネルギー価格やエネルギー政策は世界の政策情勢や社会動向、経済状況によって将来大きく変わる可能性があり、異なるシナリオが

想定される。

また将来の技術動向も、どの技術を普及させるかによって技術進歩の度合いが変わる可能性があり、普及台数に影響を受ける。技術進歩を時間軸で鑑みながら、消費者の嗜好など個別のケースを考慮し、シナリオ分析を組み合わせ、多視点かつ複数の評価指標から評価することによって、個々の将来シナリオを想定した具体的な議論を支援し、政策決定の枠組みとして制度設計を行う一助とすることが可能であると考えられる。

本稿が示した、CEV 普及のためのグリーン政策設計（自動車炭素税設計及び炭素関税設計）は、CEV 普及社会で無視できなくなる製造段階の環境負荷と、グローバル生産を考慮してライフサイクル全体の環境負荷を税体系に反映させる枠組みである。

LCA とシナリオ分析を組み合わせ、将来の技術進歩や変化を考慮して制度設計の議論ができるフレームワークを実現している。

グリーン政策設計にあたっては、将来の技術進歩やエネルギー政策、各国の消費者嗜好や文化、地理特性など、時間軸と空間軸を考慮してライフサイクル全体の評価を反映させた制度設計が必要である。

### 8.2 今後の展望

本稿では、CEV の製造段階の環境負荷とグローバル生産を考慮して、自動車炭素税及び炭素関税設計を行った。LCA とシナリオ分析を組み合わせ、税設計を行う枠組みを構築したが、各評価モデルはより詳細化できる可能性がある。

EV 普及は、カーシェアリングやバッテリーリースなど新たなビジネスモデルが検討されており、現在の所有中心からレンタルやリースなど利用中心の所有形態へ変化することも予想される。社会全体の低炭素を促進するために、保有以外のビジネスモデルや社会システムを考慮した LCA 評価が今後の課題である。

グローバル評価モデルでは、輸送プロセスをより詳細にモデル化し、部品調達やサプライヤー間なども考慮して、サプライチェーン全体での影響や、各国生産拠点の関税や FTA、産業振興政策などの政策の違いを評価モデルに組み込み、評価をより詳細化することが課題である。それにより、企業の生産拠点戦略や政府の産業支援、貿易政策検討のための What-if 分析を、より詳細に支援

## 第8章 結論

する枠組みへの拡張が可能であると考えられる。

本研究では、グリーン政策という大規模複雑なシステムに対して、様々な領域に存在する複数の問題を、システムエンジニアリング手法を用いて問題分解し、要求分析を行った。また、LCA という工学手法を用いて、技術進歩や消費者ごとの個別の違いを考慮して評価のできるフレームワークを構築し、グリーン政策設計を行った。言い換えれば、LCA 評価で木を見ながら、各シナリオにおけるステークホルダー分析や政策の効果を森を見て評価する設計アプローチであると言えるだろう。

社会システムデザインは、世の中に存在する大規模で大量の要素やデータの中から考慮すべきデータを取捨選択して収集し、複数想定できるシナリオや種々の議論すべき切り口や新たな視点から、多視点で評価し、議論する必要がある。普及政策研究においては、環境負荷や経済便益の一側面を捉えて普及政策を論じるのではなく、今後は、考慮するステークホルダーや要素、議論の切り口を時間軸と空間軸の両方向においてさらに拡張し、より多視点で社会システムデザインの議論ができる研究を目指したい。

さらには、工学的なデータ分析に基づいて社会システムをデザインする、木も見て森も見る社会システムデザイン研究者を目指したい。

## 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、修士課程入学から4年間に渡り大変お世話になりました。未熟で研究のいろはも分からなかった私に、いつも熱心で丁寧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、たくさんのお教を頂きました。先生から学んだことは数えきれません。また、いつもご指導の際に、学生それぞれの個性や資質を考えながら、将来につながるようにとご助言をくださる姿には、大変感銘を受けました。感謝しつくせない想いです。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あり、先生にご指導頂けたことに心から感謝しています。また、産官学の共同研究や国際共同研究、派遣留学など、多くの貴重な機会を頂きました。グローバルな研究室の一員として研究活動をさせて頂いたこと、先生の下で研究を学んだことを心から感謝いたします。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ていきたいと思います。

副査であり、SDM研究科委員長の前野隆司教授には、SDM学や価値、環境共生システムデザインなど、様々な観点から本質的かつ大局的なアドバイスを多く頂きました。先生のご指導は、いつも示唆に富んでおり、未熟なために、後からその示すところの深さに気付くことも多く大変勉強になりました。SDMで得たことをこれから真の意味で活かせるよう努力していきたいと思います。

副査の法政大学 木村文彦教授には、持続可能な生産やライフサイクル評価、研究や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。修士課程の頃より、先生がリーダーを勤められる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。いつでもご丁寧に細かい部分までご示唆くださり、またその後の研究が広がるよう多くのご助言をくださ

いました。

副査の伊香賀俊治教授には、LCA やサステイナブルデザイン等の見地から、多くのご指導を頂きました。博士課程 1 年次に、グローバル COE のワークショップ準備に向けてご指導頂いた際のお話は、大変心に残っています。真摯にデータを扱い評価を行うこと、評価結果の研究価値や社会的価値につなげるための根拠の重要性など、多くのご指導をいただきました。持続可能な社会システム研究に関して、多くの示唆と気づきを頂きました。

湊宣明准教授には、ゼミや直接のご指導など大変多くのご助言を頂きました。研究に関する直接的なご指導のみならず、共同研究や海外とのコミュニケーションなどたくさんの貴重なアドバイスを頂きました。また、研究を楽しむことを教えて頂きました。

狼嘉彰先生には、SDM 入学当時から将来を考えるにあたってのビジョンや心構えなど本当に多くの御指導を頂きました。SDM に出会えたことに本当に感謝しています。これからは学んだことを恩返しできるよう努力してまいります。

日比谷孟俊先生には、研究の基本的な姿勢、博士研究や研究者に求められるものなど、示唆に富むご助言をたくさん頂きました。先生のアドバイスのひとつひとつをメモに残して読み返しながら研究を行っています。これからも心に留めて努力したいと思います。

佐々木正一教授には、自動車やスマートシティなど技術面から制度面に渡って多くの御指導を頂きました。先生のような第一人者の方へすぐにご質問・ご相談させて頂ける環境はとても貴重で大変感謝しています。

保井俊之教授には、社会システムや政策設計に関し多くのご助言を頂きました。どんな御相談にも常に丁寧に分かり易く答えてくださり、方向性の示唆につながる貴重なご指導を多く賜りました。

西村秀和教授には、ゼミやワークショップに参加させて頂いた際など、丁寧に細部に渡りご助言くださいました。

白坂成功准教授には、アーキテクティングラボでご指導頂きました。社会システムデザインに関し多くのご助言を頂きました。

Richard Greene 教授には、ゼミや講義以外でも、英語論文など多くのご指導を頂きました。

COCN「グローバルもの（コト）づくり」、IMS アイディアファクトリー（テーマ13）、及び「長寿命建築システム普及推進協議会」委託研究の皆様にも、大変お世話になりました。毎月の会議の中で大変貴重なご指導を頂きました。

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。環境配慮製品と消費者、そして製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、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、富士通株式会社 松下直久氏、株式会社日立製作所 斉藤昭男氏、株式会社 IHI 笠俊司氏、住友電気工業株式会社 茂木昌春氏、ソニー株式会社 光岡正秀氏、財団法人製造科学技術センター 原島忠雄氏、株式会社日立製作所 古谷純氏、三菱電機株式会社 高田志郎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。

スイス連邦工科大学の Paul Schoensleben 教授には、派遣留学中の指導をお引き受けくださり、以降も共同研究で多くのご指導を頂きました。

Daimler Mr. Franz Homberger, BWI Mr. Johannes Plehn, BWI のメンバーも温かく迎え入れてくださり、本当に楽しく研究生生活を送ることができました。

大阪大学 梅田靖教授、神奈川工科大学 松田三知子教授、神戸大学 國部克彦教授、大橋 敏二郎氏にも多くのご指導を頂きました。いつも快く訪問を受け入れてくださり、丁寧なご指導をくださいました。

ビジネスエンジニアリングラボの皆さん、C6S12 居室の皆さんにも大変お世話になりました。その他、SDM の先生方、学生の皆様、学生部や研究支援センター、GCOE 事務局の皆様はじめ、お世話になりました全ての皆様に心より感謝いたします。

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を記し、ここに謝意を表します。

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

平成 24 年 3 月  
野中 朋美

## 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 December 2011.
- [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](http://www.mckinsey.com/client-service/ccsi/roads_toward.asp), accessed in December 2011.
- [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 2011 年, <http://www.jada.or.jp/contents/data/ranking/index.php>, accessed in December 2011.
- [6] トヨタ自動車株式会社, プリウス Web Site, <http://toyota.jp/prius/>, accessed in December 2011.
- [7] 日産自動車, LEAF, <http://ev.nissan.co.jp/LEAF/>, accessed in December 2011.
- [8] 三菱自動車工業株式会社, <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/>, accessed in December 2011.
- [9] 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 December 2011.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Fujiwara, N. et al, The Political Economy of Environmental Taxation in European Countries, CEPS Working Document, No.245, 2006.
- [13] 首相官邸, 平成 23 年度税制改正大綱 (平成 22 年 12 月 16 日),

## 参考文献

- <http://www.kantei.go.jp/jp/kakugikettei/2010/h23zeiseitaikou.pdf>, accessed in December 2011.
- [14] 環境省, 環境税に関する検討経緯, <http://www.env.go.jp/policy/tax/plans.html>, accessed in December 2011.
- [15] 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.
- [16] 環境省, 環境基本法, <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H05/H05HO091.html>, accessed in December 2011.
- [17] 環境省, 環境基本計画, [http://www.env.go.jp/policy/kihon\\_keikaku/index.html](http://www.env.go.jp/policy/kihon_keikaku/index.html), accessed in December 2011.
- [18] 環境省, 地球温暖化対策推進法, <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ondanhou.html>, accessed in December 2011.
- [19] 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 December 2011.
- [20] 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 December 2011.
- [21] 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 December 2011.
- [22] 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 December 2011.
- [23] 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.gionies.go.jp/aboutghgdata/2009/L5-6gas\\_preliminary\\_2010-gioweb\\_J1.0.xls](http://www.gionies.go.jp/aboutghgdata/2009/L5-6gas_preliminary_2010-gioweb_J1.0.xls), accessed in December 2011.
- [24] 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](http://www.jama.or.jp/tax/outline/table_01.html), accessed in December 2011.
- [25] UNEP, Activities in Sustainable Consumption, <http://www.unep.org/themes/consumption/index.asp>, accessed in December 2011.
- [26] 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,

## 参考文献

- No.4, pp.208-211, 2007.
- [27] 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一, 環境情報科学論文集, Vol.21, pp.25-30, 2007.
- [28] 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.
- [29] W.Halfele eds. Energy in a Finite World. Ballinger. 1981.
- [30] M. KainumaMatuoka and T. Morita eds.Y., Climate Policy Assessment: Asia-Pacific Integrated Modeling. Springer-Verlag. 2003.
- [31] 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.
- [32] 近久武美, 福井博道, 消費者の車両選好特性モデルに基づく将来型自動車の普及分析. 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.69, No.677, pp.221-228, 2003.
- [33] 長谷川貴彦, 吉田好邦, 松橋隆治, 消費者の選好を考慮した燃料電池車の普及可能性評価. エネルギー・資源, Vol.27, No.2, pp.46-52, 2006.
- [34] 北嶋敏憲, 島崎洋一, 炭素税導入によるクリーンエネルギー自動車普及効果, 第 20 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 2004.
- [35] 一戸誠之, 遠藤栄一, わが国の乗用車部門における二酸化炭素排出削減のための MARKAL モデルを用いた車種構成分析, エネルギー・資源, Vol.26, No.2, pp.127-133, 2005.
- [36] 遠藤栄一, エネルギーシステムモデル MARKAL を用いたわが国における次世代自動車の導入に関する分析, 第 25 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 2009.
- [37] 金成修一, 紀伊雅敦, 末広茂, 将来自動車技術導入による CO<sub>2</sub> 排出削減効果と費用分析. エネルギー資源, Vol.31, No.4, 2009.
- [38] 中上聡, 山本博巳, 山地憲治, 高木雅昭, 岩船由美子, 車種別利用パターンを考慮したプラグインハイブリッド車の経済及び環境便益の分析, 第 26 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 2010.
- [39] 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-. エネルギー・資源, Vol.30

## 参考文献

- (1). pp.9-15, 2008
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 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 CO<sub>2</sub> 排出量低減策の分析, Japan Society for Simulation Technology, Vol.15, No.2, pp.131-138, 2006.
- [43] 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.
- [44] 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..
- [45] 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.
- [46] 谷下雅議, 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, JSCE709, pp.39-49, 2002.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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 CO<sub>2</sub> 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.

## 参考文献

- [51] 堂脇清志, 岡戸聡, 井原智彦, 山成素子, エコカー減税・エコカー補助金による自動車の買い替え前倒しの CO<sub>2</sub> 削減効果, エネルギー・資源, Vol.31, No.6, 2010.
- [52] JETRO 調査レポート, 欧州各国の EV への取り組み (英国・ドイツ・フランス), 2011.10.
- [53] JETRO 調査レポート, 欧州各国の EV への取り組み (イタリア・スペイン・オランダ・スイス・オーストリア), 2011.10.
- [54] JETRO 調査レポート, 欧州各国の EV への取り組み (デンマーク・フィンランド・スウェーデン), 2011.10.
- [55] 国土交通省道路局総務課道路政策企画室, 諸外国における道路整備財源制度の動向と自動車関連税制について (特集 平成21年度道路関係予算), 道路, Vol.817, pp.22-28, 2009.
- [56] 伊藤幸喜, 日本における自動車税のグリーン化の政策過程と政策変容, 公共政策研究, Vol.9, pp.133-142, 2009.
- [57] 高田裕介, 自動車取得税関係 (特集 平成21年度 地方税制の改正) -- (都道府県税関係改正案解説), 税, Vol.64, No.4, pp.152-158, 2009.
- [58] 末永洋之, 自動車関係税制に関する研究会報告書について(1), 地方税, Vol.61, No.10, pp.8-15, 2010.
- [59] 末永洋之, 自動車関係税制に関する研究会報告書について(2), 地方税, Vol.61, No.11, pp.64-114, 2010.
- [60] 鈴木裕介, 地域の自動車利用に対する費用負担に関する分析--燃料税に関する議論を中心に, 交通学研究, Vol.53, pp.125-134, 2009.
- [61] 木村陽子, 自動車税のジレンマ, 地方税, Vol.60, No.5, pp.2-9, 2009.
- [62] 木村陽子, オランダの自動車関係税改革とその影響, 地方財政, Vol.29, No.12, pp.4-20, 2010.
- [63] 諸富徹, 低炭素社会と自動車関連税のあり方--EU およびドイツの動向を中心に, 地方財政, Vol.48, No.12, pp.4-13, 2009.
- [64] 平木省, 外国税制 CO<sub>2</sub> 排出量に応じた自動車課税の欧州における動向--EU の状況及びドイツの改革, 地方税, Vol.60, No.12, pp.34-51, 2009.
- [65] 高田裕介, 外国税制 欧州における自動車課税への CO<sub>2</sub> 排出量に応じた課税の動向(その2)イギリス、フランス及びデンマークの調査結果について, 地方税,

## 参考文献

Vol.61, No.2, pp.97-112, 2010.

- [66] 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>, December 2011.
- [67] Argonne National Laboratory, Development and Applications of GREET 2.7 – The Transportation Vehicle-Cycle Model. ANL/ESD/06-5, 2006.
- [68] 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.
- [69] 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.
- [70] Malcom A. Weiss, et al, Energy Laboratory Report # MIT EL 00-003, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [71] Kudoh, Y. et al, Life cycle CO<sub>2</sub> 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.
- [72] M. Rantik, Life Cycle Assessment of Five Batteries for Electric vehicles Under Different Charging Regimes, Report, KFB-Stockholm, 1999.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] 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.
- [76] Tahara, K. et al, Comparison of CO<sub>2</sub> Emissions from Alternative and Conventional Vehicles, World Resource Review, Vol.13 No.1, pp.52-60, 2001.
- [77] トヨタ自動車株式会社, 2001 年度環境報告書, 2001.
- [78] 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.
- [79] Lester B. Lave, Heather L. MacLean, An environmental-economic evaluation of

## 参考文献

- hybrid electric vehicles: Toyota's Prius vs. its conventional internal combustion engine Corolla, Transportation Research Part, D7, pp.155-162, 2002.
- [80] トヨタ自動車株式会社, <http://toyota.jp/>, accessed in December 2011.
- [81] 日産自動車株式会社, <http://www.nissan.co.jp/>, accessed in December 2011.
- [82] 本田技研工業株式会社, <http://www.honda.co.jp/>, accessed in December 2011.
- [83] 三菱自動車工業株式会社, <http://www.honda.co.jp/>, accessed in December 2011.
- [84] Wolkswagen, <http://www.volkswagen.co.jp/index.html>, accessed in December 2011.
- [85] 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.
- [86] Masaru Nakano, System design for green sustainable manufacturing, 2009.
- [87] Yoshida Y., Ishitani H., Matsushashi R., Kudoh Y., et al: Applied Energy, Vol.73, pp.71-82, 2003.
- [88] NEDO, 燃料電池自動車の普及に関連する技術に対するライフサイクル影響評価等に関する調査, 2005.
- [89] 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.
- [90] 環境省, 平成 17 年度温室効果ガス排出量算定方法検討会 温室効果ガス排出算定に関する検討結果 (案) エネルギー・工業プロセス分科会報告書 (エネルギー (燃料の燃焼 CO<sub>2</sub>) 分野) (平成 18 年 2 月), 2005.
- [91] 電力中央研究所, ライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量による発電技術の評価, 1999.
- [92] 経済産業省, 電力需給の概要 (2003), 2003.
- [93] 経済産業省, 製品等ライフサイクルアセスメント環境影響評価技術開発, 2003.
- [94] 本田技研工業株式会社, シビック, <http://www.honda.co.jp/CIVIC/>, accessed in January 2010
- [95] 本田技研工業株式会社, フィットハイブリッド, <http://www.honda.co.jp/environment/activities/data/car/lca.html>, accessed in January 2011.
- [96] 日産自動車株式会社, 「電気自動車日産リーフ」のライフサイクル CO<sub>2</sub> 排出量評価, <http://www.nissan-global.com/JP/ENVIRONMENT/CAR/LCA/>,

## 参考文献

- accessed in December 2011.
- [97] トヨタ自動車株式会社, プリウス PHV の LCA 評価 (CO<sub>2</sub> の例), [http://toyota.jp/priusphv/001\\_p\\_001/ecology/index.html](http://toyota.jp/priusphv/001_p_001/ecology/index.html), accessed in December 2011.
- [98] 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.
- [99] Ryuji Matsushashi, Yuki kudoh, Yoshikuni Yoshida, HisashiIshitani, Michifui Yoshida, Kanji Yoshioka, Life Cycle of CO<sub>2</sub>-emissions from electric vehicles and gasoline vehicles utilizing a process-relational model, *The International Journal of life Cycle Assesment*, Vol.5, No.5, pp.306-312, 2000.
- [100] Rolf Frischknecht, Karin Flury, Life cycle assessment of electric mobility: answers and challenges-Zurich, April 6, 2011, *International Journal of Life Cycle Assesment*, Vol.16, pp.691-695, 2011.
- [101] 産業技術審議会, リチウム電池を対象にしたライフサイクルアセスメントの実施, 1997.
- [102] 鈴木徹也, 手芝富美, 園子博昭, 高橋淳, 影山和郎, 吉成仁志, CFRP 軽量車の LCA, *日本機械学会 2002 年度年次大会公園論文集 (II)*, pp.281-282, 2002.
- [103] Mats Zackrisson, Lars Avellan, Jessica Orlenius, Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues, *Journal of Cleaner Production*, Vo;.18, pp.1519-1529, 2010.
- [104] 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.
- [105] 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.
- [106] 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](http://www.jemai.or.jp/CACHE/eco-efficiency_details_detailobj901.cfm), accessed in December 2011.
- [107] トヨタ自動車株式会社, COROLLA, <http://toyota.jp/corollaaxio/index.html>, accessed in December 2011.
- [108] トヨタ自動車株式会社, PREMIO, <http://toyota.jp/premio/>, accessed in

## 参考文献

- December 2011.
- [109] トヨタ自動車株式会社, PRIUS, <http://toyota.jp/prius/>, accessed in December 2011.
- [110] 本田技研工業株式会社, FIT, <http://www.honda.co.jp/Fit/>, accessed in December 2011.
- [111] 本田技研工業株式会社, INSIGHT, <http://www.honda.co.jp/INSIGHT/>, accessed in December 2011.
- [112] 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.
- [113] Hyogo Toyota Motor Co., Ltd., service reminder of maintenance, <http://www.hyogotoyota.co.jp/service/index.html>, accessed in December 2011.
- [114] AAMA, AAMA Motor vehicle facts and figures '97, American automobile manufacturers association, Detroit, Mich, 1998.
- [115] Krista. M. Donaldson, Kosuke Ishii, Sheri D. Sheppard, Customer Value Chain Analysis, Research in Engineering Design, vol.16, pp.174-183, 2006.
- [116] 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](http://www.jemai.or.jp/lcaforum/seminar/pdf/lca090128_2.pdf), 2009, accessed in December 2011.
- [117] 環境省, 諸外国における取組の現状関係資料, <http://www.env.go.jp/policy/tax/about/pdf/mat07-1.pdf>, 2010, accessed in December 2011.
- [118] 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.
- [119] 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.
- [120] 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.
- [121] NEDO 技術開発機構, “NEDO 次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ 2008”, 2009.

## 参考文献

- [122] 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.
- [123] 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.ntscl.go.jp/ronbun/happyoukai/happyoukai13.html>, 2001, accessed in January 2010.
- [124] 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.
- [125] 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.
- [126] 環境省, 次世代自動車普及戦略, 2008, <http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/index.html>, accessed in December 2011.
- [127] 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](http://www.jama.or.jp/tax/outline/table_02.html), accessed in August 2009.
- [128] 今村栄一, 長野浩司, 日本の発電技術のライフサイクル CO2 排出量評価- 2009 年に得られたデータを用いた再推計-, 電力中央研究所研究報告書, Rep. No.Y09027, 2010.
- [129] International Energy Agency (IEA), Energy Balances of non-OCED Countries 2009 edition, 2009.
- [130] International Energy Agency (IEA), Energy Balances of OCED Countries 2009 edition, 2009.
- [131] Kerry, J., Lieberman J.: The American Power Act. <http://kerry.senate.gov>, 2010, accessed in December 2011.
- [132] 財務省, 環境と関税政策に関する研究会, [http://www.mof.go.jp/about\\_mof/councils/enviroment\\_customs/index.html](http://www.mof.go.jp/about_mof/councils/enviroment_customs/index.html), accessed in December 2011.
- [133] The Greenhouse Gas Protocol Initiative.: Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. <http://www.ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard>, 2011 accessed in December 2011..
- [134] Wyckoff, Andrew W. Roop, Joseph M., "The embodiment of carbon in imports of manufactured products : Implications for international agreements on greenhouse gas emissions" Energy Policy, Vol. 22-3, pp.187-194, 1994.

## 参考文献

- [135] 星野優子, 杉山大志, 上野貴弘, 貿易に体化した CO<sub>2</sub> 排出量の国際比較, Journal of Japan Society of Energy and Resources, Vol.31, No.4, pp.8-14, 2010.
- [136] Helm., Dieter, Robin Smale, Jonathan Phillips, The UK's Climate Change Record, Too good to be true?, 2007.
- [137] Herrmann, I.T., Hauschild, M.Z.: Effects of Globalization on Carbon Footprints of Products. CIRP Annals -Manufacturing Technology, Vol. 58, No. 1, pp.13-16, 2009.
- [138] 木村福也, 東アジアにおける FTA ネットワークの構築と日本, 国際問題, Vol.516, pp35-49, 2003.
- [139] 久野新, 木村福也, 北東アジアと FTA, Erina report, Vol.82, pp15-29, 2008.
- [140] International Energy Agency (IEA), Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency, 2008.
- [141] 工藤祐揮, 南斉規介, 田原聖隆, 走行条件によるエネルギー消費の違いを考慮した代替燃料車の LCCO<sub>2</sub> 排出量の算出, 第3回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, pp.182-183, 2008.
- [142] 亀山道弘, 貿易品の船舶輸送及び航空機輸送に伴う大気汚染物質の排出量, 独立行政法人 海上技術安全研究所 第6回研究発表会, pp.255-260, 2006.
- [143] Life Cycle Assessment Society of Japan(JLCA), JLCA-LCA database 2004Fy 2nd edition.
- [144] 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](http://www.joi.or.jp/carbon/pdf/index_2008.pdf), accessed in December 2011.
- [145] 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.
- [146] 経済産業省, 2010 年度版ものづくり白書, pp.53-107, 2010.
- [147] Fujiwara, T., Hasuike, K., Kanemoto, Y., Welfare evaluation of tax policies to reduce CO<sub>2</sub> emissions by road transportation, RIETI Discussion Paper Series 02-J-004, 2002.
- [148] 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.

## 参考文献

- [149] Life Cycle Assessment Society of Japan(JLCA), JLCA-LCA データベース 2004 年度 2 版.
- [150] 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.
- [151] IEA, Energy Balances of OECD Countries 2008, Energy Balances of Non-OECD Countries 2008, 2009.
- [152] 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.
- [153] 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.
- [154] Norman Brinman, General Motors Corporation, et al, Well-to-Wheels Analysis of Advanced Fuel/Vehicle Systems, Argonne National Laboratory 2005.
- [155] 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.
- [156] 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.
- [157] 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.
- [158] 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.
- [159] Goran Finnveden, Michael Z. Hauschild, Tomas Ekvall, Jeroen Guinee, Renout

## 参考文献

- Heijungs, Stefanie Hellweg, Annette Koehler, David Pennington, Sangwon Suh, Recent developments in Life Cycle Assessment, *Journal of Environmental Management*, vol.91, pp1-21, 2009.
- [160] 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.
- [161] 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.
- [162] 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.
- [163] 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.
- [164] 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.
- [165] 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.
- [166] 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.
- [167] 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.
- [168] 板明果, 高瀬浩二, 近藤康之, 鷺津明由, 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.
- [169] 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—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.
- [170] Cecilia Tiemi Makishi Colodel, Systematic approach for the transferability of life cycle inventory data between countries, *EcoBalance 2008 Proceedings*, pp.1-9, 2008.
- [171] Jean-Jacques Chanaron, *Life Cycle Assessment Practices: Benchmarking*

## 参考文献

- Selected European Automobile Manufacturers, *International Journal of Product Lifecycle Management*2, vol.3, pp290-311, 2007.
- [172] 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.
- [173] 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.
- [174] 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.
- [175] 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.
- [176] Ryuji Matsushashi, yuki Kudoh, Yoshikumi Yoshida, Hisashi Ishitani, Michifumi Yoshioka, Kanji Yoshioka, Life cycle of CO<sub>2</sub>-emissions 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.
- [177]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](http://www.murc.jp/fx/year_average.php), accessed in December 2011.
- [178] 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 December 2011.
- [179] Birger Löfgren, Anne-Marie Tillman, Relating manufacturing system configuration to life-cycle environmental performance: discrete-event simulation supplemented with LCA, *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, pp.2015-2024, 2011.
- [180] P. K. Humphreys, Y. K. Wong, F. T. S. Chan, Integrating environmental

## 参考文献

criteria into the supplier selection process, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.138m oo349-356, 2003.

[181] Jean-François Henri, Marc Journeault, Environmental performance indicators: an empirical study of Canadian manufacturing firms, *Journal of Environmental Management*, Vol.87, pp.165-176, 2008.

[182] Ki-Hoon Lee, Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry, *Journal of Cleaner Production*, Vol.19, No.11, pp.1216-1223, 2011.

[183] Henri J-F, Journeault M, Eco-control: the influence of management control systems on environmental and economic performance, *Accounting, Organizations and Society*, Vol.35, No.1, pp.63-80, 2010.

[184] N. Nishino, T. Iino, N. Tsujib, K. Kageyama, K. Ueda, Interdependent decision-making among stakeholders in electric vehicle Development, *CIRP Annals- Manufacturing Technology*, Vol.60. No.1, p.441-444, 2011.

[185] J. Matheys, et al., Comparison of the Environmental impact of 5 electric vehicle battery technologies using LCA, *Sustainable Manufacturing*, Vol.1, No.3, pp.318-319, 2009.

[186] M. B. G. Castro, et al., Life cycle impact assessment of the average passenger vehicle in the Netherlands, *Life Cycle Assessment*, Vol.8, No.5, pp.297-314, 2003.

[187] J. M. Lopez, et al., Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid, *Applied Energy*, Vol.86, Issue.5, pp.610-615, 2009.

[189] S. Nicolay, et al., A simplified LCA for automotive sector –comparison of ICE (diesel and petrol), electric and hybrid vehicles, 8th LCA Case Studies Symposium SETAC-Europe, 2000.

[190] T. Suzuki, et al., LCA of lightweight vehicles by using CFRP for mass-produced vehicles,

[191] 鈴木徹也, et al., 量産用 CFRP による軽量乗用車の LCA, 第 29 回複合材

## 参考文献

- 料シンポジウム, 2004.
- [192] J. Takahashi, et al., Life cycle assessment of ultra lightweight vehicles using CFRP, The 5th International Conference on Ecobalance, 2002.
- [193] L. Gaines, et al., Life-Cycle Analysis for Heavy Vehicles, Air & Waste Management Association Annual Meeting, 1998.
- [194] J. R. Duflou, et al., Environmental impact analysis of composite use in car manufacturing, CIRP Annals –Manufacturing Technology, Vol.58, Issue.1, pp.9-12, 2009.
- [195] S. Das, Life cycle assessment of carbon fiber-reinforced polymer composites, Life Cycle Assessment, Vol.16, No.3, pp.268-282, 2011.
- [196] M. A. Delucchi, et al., An analysis of the retail and lifecycle cost of battery-powered electric vehicles, Transport and Environment, Vol.6, Issue.6, pp.371-404, 2001.
- [197] M. Ichinohe, et al., Analysis of the vehicle mix in the passenger-car sector in Japan for CO<sub>2</sub> emissions reduction by a MARKAL model, Applied Energy, Vol.83, Issue.10, pp.1047-1061, 2006.
- [198] G. J. Offer, et al., Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system, Energy Policy, Vol.38, Issue.1, pp.24-29, 2010.
- [199] C. S. N. Shiau, et al., Impact of battery weight and charging patterns on the economic and environmental benefits of plug-in hybrid vehicles, Energy Policy, Vol.37, Issue.7, pp.2653-2663, 2009.
- [200] M. Delucchi, et al., Electric vehicles: Performance, life-cycle costs, emissions, and recharging requirements, Transportation Research Part A: General, Vol.23, Issue.3, pp.255-278, 1989.
- [201] K. Funl, et al., Electric versus conventional vehicle: social costs and benefits in France, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.4, Issue.6, pp.397-411, 1999.
- [202] M. A. Delucchi, Electric and gasoline vehicles lifecycle cost and energy-use model, Report for the California Air Resources Board, UCD-ITS-RR-99-4, 2000.

## 参考文献

- [203] P. J. Balducci, Plug-in Hybrid Electric Vehicle Market Penetration Scenarios, U.S. Department of Energy under contract DE-AC05-76RL01830, 2008.
- [204] K. S. Gallagher, et al., Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology, *Environmental Economics and Management*, Vol.61, Issue.1, pp.1-15, 2011.
- [205] Electric Vehicle development: The past, present & future, 3rd International Conference on Power Electronics Systems and Applications, 2009.
- [206] P. D. Haan, et al., Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: investigation of rebound effects, and possible effects tax rebates, *Cleaner Production*, Vol.15, Issues.11-12, pp.1076-1084, 2007.
- [207] Y. Hori, Future vehicle driven by electricity and control-research on four-wheel-tored "UOT electric march II", *Industrial Electronics*, Vol.51, Issue.5, pp.954-962, 2004.
- [208] P. Bogelund, Making green discourses matter in policy-making: Learning from discursive power struggles within the policy area of car taxation, *Ecological Economics*, Vol.63, Issue.1, pp.78-92, 2007.
- [209] S. Potter, et al., Transport policy and transport tax reform, *Public Money & Management*, Vol.25, Issue.3, pp.171-178, 2005.
- [210] A. Subic, et al., Comparative life cycle assessment (LCA) of passenger seats and their impact on different vehicle models, *Vehicle Design*, Vol.53, No.1-2, pp.89-109, 2010.
- [211] K. M. Jeong, et al., Life cycle assessment on end-of-life vehicle treatment system in Korea, *Industrial Engineering Chemistry*, Vol.13, No.4, pp.624-630, 2007.
- [212] R. M. Wenk, A method to include in lca road traffic noise and its health effects, *Life Cycle Assessment*, Vol.9, No.2, pp.76-85, 2010.
- [213] J. L. Chen, et al., Matrix-type and pattern-based simple LCA for eco-innovative design of products, *Environmentally Conscious Design*

## 参考文献

- Inverse Manufacturing, pp.467-472, 2003.
- [214] A. Funasaki, et al., Automobile life cycle assessment issues at end-of-life and recycling, *JSAE Review*, Vol.24, Issue.4, pp.381-386, 2003.
- [215] J. Y. Lee, et al., Life cycle environmental and economic analyses of a hydrogen station with wind energy, *Hydrogen Energy*, Vol.35, Issue.6, pp.2213-2225, 2010.
- [216] J. Hong, et al., Environmental and economic life cycle assessment of aluminum-silicon alloys production: a case study in China, *Cleaner Production*, Vol.24, pp.11-19, 2012.
- [217] A. C. Dias, et al., Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint – case study of office paper, *Cleaner Production*, Vol.24, pp.30-35, 2012.
- [218] D. Kemp, et al., Corporate social responsibility, mining and “audit culture”, *Cleaner Production*, Vol.24, pp.1-10, 2012.
- [219] D. Cambria, et al., Application of a life cycle assessment to walnut tree (*Juglans regia* L.) high quality wood production: a case study in southern Italy, *Cleaner Production*, Vol.24, pp.37-46, 2012.
- [220] A. Stamp, et al., Environmental impacts of a transition toward e-mobility: the present and future role of lithium carbonate production, *Cleaner Production*, Vol.23, pp.104-112, 2012.
- [221] P. C. Lin, et al., The influence factors on choice behavior regarding green products based on the theory of consumption values, *Cleaner Production*, Vol.22, pp.11-18, 2012.
- [222] E. A. Nanaki, et al., Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation, *Cleaner Production*, Vol.20, pp.14-19, 2012.

関連著作等リスト

査読付き原著論文	著者	掲載日	掲載誌
環境配慮型商品普及のための環境税設計に関する研究	<u>野中朋美</u> , 中野冠	2010年 11月25日	日本機械学会論文集 C編
LCCO2・LCCを用いた次世代自動車のための炭素税設計	<u>野中朋美</u> , 中野冠	2011年 11月25日	日本機械学会論文集 C編
国際学会発表（フルペーパー査読）	著者	発表日	発表学会
The Carbon Taxation by Using LCA including the Manufacturing Phase for Clean Energy Vehicles	<u>Tomomi Nonaka</u> , Masaru Nakano	2010年5月 (口頭発表)	M4SM(Maintenance for Sustainable Manufacturing), Special Session of the EUROMAINTENANCE2010
Study of Popularization Policy of Clean Energy Vehicles using Life Cycle Assessment	<u>Tomomi Nonaka</u> , Masaru Nakano	2010年11月 (口頭発表)	NGInfra(Next Generation Infrastructure Systems 2010)
国際学会発表（Extended Abstract 査読（4ページ）, full length papers）	著者	発表日	発表学会
Global Supply Chain Management Considered Carbon Tariff: A Case Study of the Automobile Industry	<u>Tomomi Nonaka</u> , Johannes Plehn, Masaru Nakano	2011年9月 (口頭発表)	APMS 2011 International Conference Advances in Production Management Systems
Sustainability in Manufacturing Industry: A State-of-the-art Analysis of Environmental Performance Indicators in Production Processes	Johannes Plehn, Sproedt Alexander, <u>Tomomi Nonaka</u> , Paul Schoensleben	2011年9月 (口頭発表)	APMS 2011 International Conference Advances in Production Management Systems
The Dimensions of Corporate Environmental Sustainability: A Conceptual Framework of Environmental Aspects to Sustainable Manufacturing	Sproedt Alexander, Johannes Plehn, <u>Tomomi Nonaka</u> , Paul Schoensleben	2011年9月 (口頭発表)	APMS 2011 International Conference Advances in Production Management Systems

国際学会発表	著者	発表日	発表学会
プロジェクト型科目や国際教育プログラムに基づく環境共生・安全システムデザイン教育研究	野中朋美	2012年3月 (口頭発表)	第4回 GMSI 国際シンポジウム
国内学会発表	著者	発表日	発表学会
環境配慮型商品普及のための環境税設計に関する研究	野中朋美, 中野冠	2009年10月 (口頭発表)	第19回設計工学・システム部門講演会 (日本機械学会)
LCCO <sub>2</sub> ・LCC を用いた次世代自動車のための炭素税設計	野中朋美, 中野冠	2010年10月 (口頭発表)	第20回設計工学・システム部門講演会 (日本機械学会)
製造段階の環境負荷を考慮したLCCO <sub>2</sub> とLCC評価による次世代自動車普及の考察	野中朋美, 中野冠	2011年1月 (口頭発表)	第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (エネルギー・資源学会)
グローバル生産におけるLCCO <sub>2</sub> とグリーン政策要求分析	野中朋美, 中野冠	2011年10月 (口頭発表)	第21回設計工学・システム部門講演会 (日本機械学会)
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における次世代リーダー育成プログラムー文理・年齢・国籍の枠を超えたグローバル人材教育ー	野中朋美	2011年11月 (口頭発表)	第4回横幹コンファレンス (横断型基幹科学技術研究団体連合)
金属資源制約を考慮したクリーンエネルギー自動車のグローバルポートフォリオ最適化モデル	加藤桂太, 野中朋美, 中野冠	2011年1月 (口頭発表)	第27回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス (エネルギー・資源学会)
その他の発表	著者	発表日	発表学会
Socio Technical System Design for Diffusion of Clean Energy Vehicles	Tomomi Nonaka, Masaru Nakano	2011年2月 (ポスター発表)	第3回環境共生・安全システムデザインに関する国際シンポジウム (慶應義塾大学 GCOE プログラム)

