

研究論文

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

Analysis of the Vehicle Mix in the Automobile Sector in Japan for
CO₂ Emission Reduction by Using MARKAL Model

一 戸 誠 之*・遠 藤 栄 一**
Masayuki Ichinohe Eiichi Endo

(原稿受付日2004年4月14日, 受理日2004年10月1日)

Abstract

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the automobile sector in Japan are increasing rapidly. Therefore they should be reduced cost-effectively for stabilizing energy-related CO₂ emissions in Japan. The purpose of this paper is to clarify the most cost-effective mix of vehicles for reducing CO₂ emissions and to estimate the subsidy which is necessary to achieve the vehicle mix. For the analysis the energy system of Japan from 1988 to 2032 is modeled by using MARKAL. The most cost-effective mix of vehicles is estimated by minimizing total energy system cost under the constraint of 8% energy-related CO₂ emission reduction in 2030 from CO₂ emissions in 1990. Based on the results of analysis, only hybrid vehicles are introduced among clean energy vehicles and their share in the automobile sector in 2030 is 62%. By assuming subsidy to hybrid vehicles, the same vehicle mix can be achieved without constraint of CO₂ emissions. The peak of total amount of estimated necessary subsidy is 135 billion yen per year in 2020, but annual revenue of the assumed 3,400 yen/t-C carbon tax from the automobile sector is sufficient to finance the estimated subsidy. This suggests we should support dissemination of hybrid vehicles by subsidization based on carbon tax.

1. はじめに

地球温暖化防止のためには、二酸化炭素 (CO₂) 排出削減が必要であり、京都議定書¹⁾ で日本は、温暖化係数で重み付けした温室効果ガスの総量を2010年に1990年比6%削減することになっている。そのうち運輸部門では2010年のCO₂排出目標を1990年比17%増に抑制するとしている。これに対し、実績では2001年度末までに1990年度比で、総量では5%増であるのに対し、運輸部門では23%増となっている。

このような状況の下、政府の長期エネルギー需給見通し²⁾ では、各種新エネルギー¹⁾ 技術の導入目標を設定している。例えば、クリーンエネルギー自動車¹⁾ は、2010年度に348万台の導入目標となっている。このような導入目標の実現を図るためには、各種技術が導入されるための条件の分析、すなわち、各エネルギー技術のコスト競争力及びCO₂削減効果の定量化、導入補助金、炭素税等の導入支援手段の定量的評価を実施しておくことが望ましい。特に乗用車部門

では、CO₂排出目標の実現可能性や、実現に必要な車種構成を明らかにし、さらにCO₂排出目標の達成に必要な車種構成を実現する補助金の規模を明らかにしておくことが重要である。

この分野に関して、福井ら³⁾ は、消費者の車両選考モデルを詳細に作成し、これに基づき消費者の嗜好が変化した場合の車種構成を求め、CO₂排出削減効果の定量化を行っている。また、衣笠ら⁴⁾ は、エネルギー・経済モデルを用い、経済性及びエネルギー効率の両面を考慮して、燃料電池自動車導入による運輸部門エネルギーシステムとCO₂排出量への影響の分析を行っている。しかし、両者ともCO₂排出目標の実現可能性や、実現に必要な車種構成は明らかにしていない。さらに、北嶋ら⁵⁾ はMARKAL⁶⁾ を輸送部門のみに適用し、補助金が与えられた場合の車種構成とCO₂排出目標を達成するために必要な車種構成をそれぞれ個別に求めている。しかし、CO₂排出目標の達成に必要な車種構成を実現する補助金の規模は明らかにしていない。

以上の背景から、本論文では、近年CO₂排出量の伸びが大きい運輸部門の約5割を占める乗用車部門に着目する。そして、クリーンエネルギー自動車を含むエネルギー技術のコスト競争力及びCO₂排出削減効果に基づいて、CO₂排出目標を経済合理的に達成するために必要な乗用車部門の車種構成を明らかにすること、およびCO₂排出目標の達成

* (株)日立製作所生産技術研究所主任研究員

〒244-0817 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292

** (独)産業技術総合研究所

ライフサイクルアセスメント研究センター主任研究員

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1



図1 モデル化したエネルギーシステムの概要

に必要な車種構成を実現する補助金の規模を明らかにすることを目的とする。また、その方法として、これらの分析が可能なMARKALを採用する⁷⁻¹¹⁾。

2. エネルギーシステムモデルと前提条件

2.1 MARKAL及び作成したエネルギーシステムモデルの概要

MARKAL⁷⁾は、線形計画法を用いた最適化型のエネルギーシステムモデルである。技術特性を詳細に記述するモデルであり、システム全体の中での技術の相対比較が可能である。MARKALを用いてモデル化するわが国のエネルギーシステムの対象期間は1988～2032年の45年間、1期5年の9期とする。図1にモデル化したわが国のエネルギーシステムの概要を示す。乗用車部門の最終需要技術として、図1に示すガソリン自動車から天然ガス自動車までの11種類を導入する。

分析では、1988～2032年までに要する資本費、運転保守費、燃料費等を全て合わせたエネルギーシステム全体のコストを1990年時点の価値に換算した割引総システムコストを目的関数にして最小化する。

2.2 エネルギー需要の設定

MARKALは需要駆動型のモデルであり、あらかじめエネルギー需要を需要機器で最終的に消費される有効エネルギー需要として設定する必要がある。本論文の分析では、この有効エネルギー需要の設定は、便宜的に、まず各期の最終エネルギー消費を設定し、次に利用されると予想される需要機器の利用割合を考慮した各期の平均効率を用いて、有効エネルギー需要に変換することとする。

最終エネルギー消費は以下のように設定する。1990～

2000年は、文献¹²⁻¹⁵⁾の最終エネルギー消費を用いる。2005～2020年は、文献^{16, 17)}の基準ケースの値を利用する。2025～2030年は、文献¹⁶⁻¹⁸⁾の2010～2020年の各セクターの増減率及び文献¹⁹⁾の中位推計における人口の減少率を参考に示す。図2に想定した最終エネルギー消費を示す。

2.3 CO₂排出目標の設定

地球温暖化対策推進大綱²⁰⁾およびそれ以降のCO₂排出削減をモデル上で規定するために、制約条件としてCO₂排出目標を設定する。1990～2000年は、文献^{21, 20)}に基づいて、エネルギー起源のCO₂排出量を把握する。2005～2010年は、文献²⁰⁾の目標値を利用する。2020年は、以下のようにして設定する。まず、最終エネルギー消費当たりのCO₂排出原単位の1990～2010年にかけての変化の年率を計算する。2010～2020年にかけても同じ年率で変化すると仮定し、これによって2020年のCO₂排出原単位を計算する。次に、計算した原単位と、文献¹⁷⁾の2020年の最終エネルギー消費の見通しとに基づいて2020年のCO₂排出量を計算する。2015年、2025年及び2030年に関しては、便宜上2010～2020年の

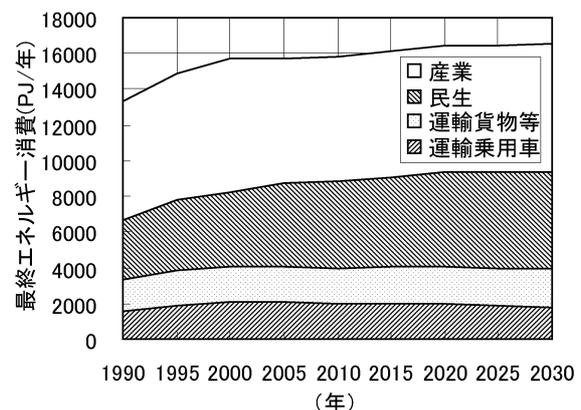


図2 想定したわが国の最終エネルギー消費

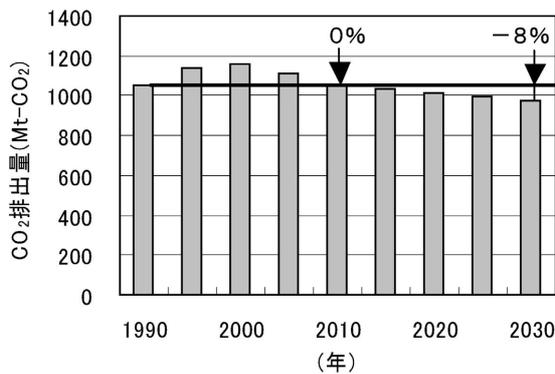


図3 設定したわが国のエネルギー起源のCO₂排出目標

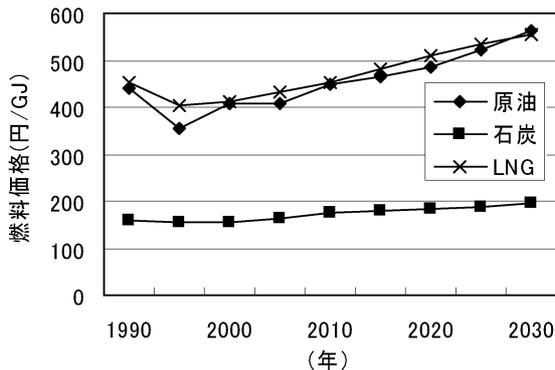


図4 想定した燃料価格 (LHV基準)

CO₂排出量の変化率が一定で、その後も同じであると仮定する。この場合、2030年のCO₂排出目標は、1990年比8%減となる。図3に設定したエネルギー起源のCO₂排出目標を示す。

2.4 技術特性等の設定

エネルギーシステムのモデル化に際しては、図1のエネルギー供給技術と最終需要技術からなるエネルギー技術に対して、コスト（資本費、運転保守費、但し燃料費は含まない）や変換効率、設備利用率、耐用年数、導入可能設備容量の上下限值など、種々の技術特性を設定する。これらの設定にあたっては、国内で利用されているMARKALのためのエネルギー技術データ^{21), 22)}を参考にした。

モデルで用いる価格は全てドルとし、為替レートは、対象期間内の実績値や文献^{2), 6)}を参考に、1ドル110円とする。また、原油等の輸入燃料価格は、文献^{6), 23)}等の値を参考に、低位発熱量 (LHV) で設定する。図4に想定した燃料価格を示す。割引率は5%とする⁶⁾。二酸化炭素排出係数は、環境省の排出係数一覧²⁴⁾の平成11年度の値を使用する。

3. 乗用車部門の最終需要技術の技術特性の設定

3.1 車両効率

本章では、図1に示した乗用車部門における11種類の最終需要技術に対して、車両効率、車両コスト、普及台数の制約を設定する。車両効率は車載エネルギー源からタイヤまでの効率であり、ブレーキ回生を含んだものと定義する。

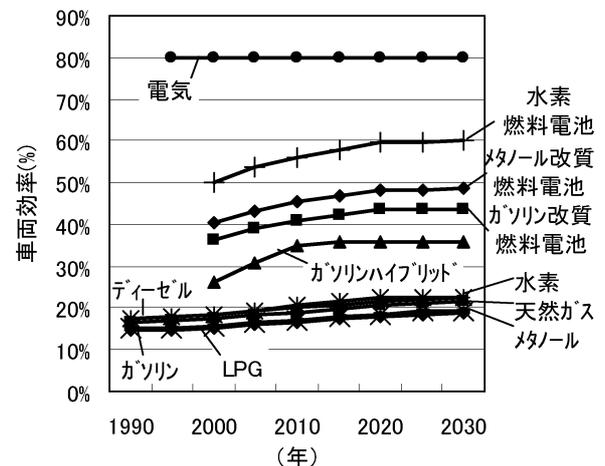


図5 車両効率 (LHV基準)

車両効率は保有ベースとし、新車の燃費向上が、古い車から新しい車へ入れ替わることによって、次第に保有ベースの燃費向上につながるものとする。図5に設定した車両効率を示す。

ガソリン自動車の車両効率は、文献^{25)~27)}を参考に、1990年を15%とし、2030年には19%に向上するとする。ディーゼル自動車の車両効率も同様に、1990年を18%とし、2030年には23%に向上するとする。LPG自動車、水素自動車、メタノール自動車、天然ガス自動車の車両効率も、ガソリン自動車と同じ比率で向上するものとする。ガソリンハイブリッド自動車の車両効率は、次のように設定する。実走行条件での車両効率のガソリン自動車に対する比率は、文献^{28), 29)}から約1.7倍と推定される。一方、文献²⁷⁾では、文献^{28), 29)}で対象とする時期における車両効率を28%と32%としており、ガソリン自動車に対する比率としては1.8倍と2倍になる。効率の値は、文献^{28), 29)}を採用し、効率向上の傾向は文献²⁷⁾を採用するものとして、文献²⁷⁾の車両効率の9割とする。以上より、2000年を26%とし、文献²⁷⁾に示される効率向上が、増加率が減りながらも今後も続くと仮定して、2020年には36%まで向上するものとする。その後は向上の余地があまり無いと考え、36%で一定とする。電気自動車の車両効率は文献^{25), 26)}を参考に80%で一定とする。水素燃料電池自動車の車両効率は文献^{26), 27)}を参考に2000年を50%とし、2030年には60%に向上するものとする。改質効率は、文献³⁰⁾に基づきメタノール改質燃料電池自動車が81%、ガソリン改質燃料電池自動車が73%とし、車両効率は、水素燃料電池自動車の車両効率にそれぞれの改質効率を乗じたものとする。

3.2 車両コスト

車両コストとは車両購入費をいい、燃料費は含まない。ガソリン自動車を基準とし、それに対するコスト比として設定する。これは1台当たりの車両価格の比と等しい。基準となるガソリン自動車のコストは、モデルで用いるデー

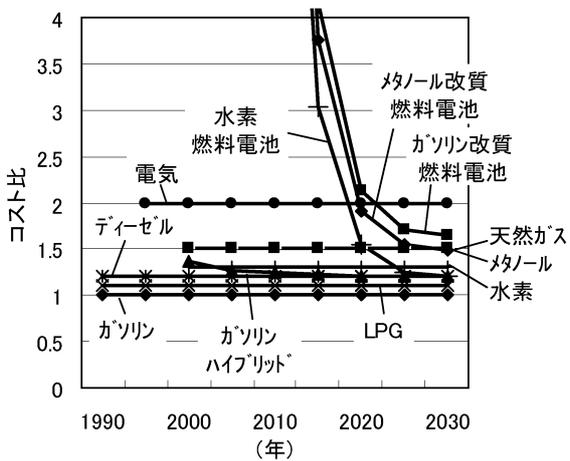


図6 ガソリン自動車に対する各種自動車のコスト比

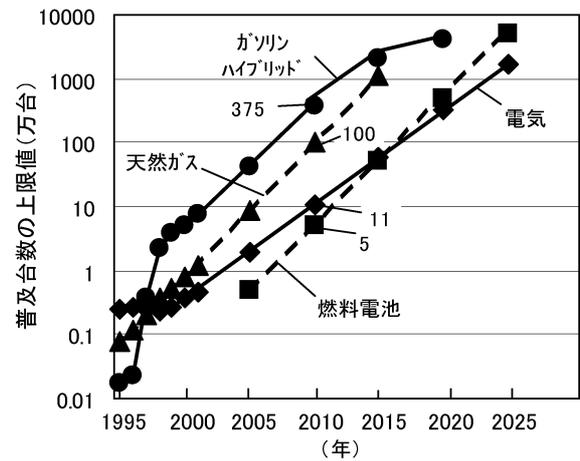


図7 想定したクリーンエネルギー自動車の普及台数上限値

タとしては17.96万円/GJ/年と設定している。これに2.2節で設定した乗用車部門の有効エネルギー需要をかけたものを乗用車の保有台数で割って1台当たりの金額に換算すると114.6万円となる。図6に設定したコスト比を示す。

ガソリン自動車に対するコスト比は、文献^{26), 31)}を参考にLPG自動車が1.1倍、ディーゼル自動車が1.2倍、水素自動車が1.3倍、メタノール自動車、天然ガス自動車が1.5倍、電気自動車が2倍とする。ガソリンハイブリッド自動車のコスト比は、文献^{32), 33)}に基づき2000年を1.36倍とし、2005年を1.26倍とする。生産開始からの累積生産台数約12万台でコスト比が1.36倍から1.26倍に下がったことから、このコスト比の低下は習熟率99.5%の習熟曲線に沿っていることになる。さらに、2001年の生産台数年間約4万台を2005年に30万台に増やすという計画³⁴⁾に基づき、生産台数が一定の年率で増加すると仮定したときの累積生産台数を計算し、これと前述の習熟曲線とからコスト比は2030年には1.2倍になるものとする。燃料電池自動車は、文献³⁵⁾を参考に車両コストが年率27%で減少するとし、水素燃料電池自動車のコスト比を2030年に1.2倍とする。メタノール改質燃料電池自動車、ガソリン改質燃料電池自動車のコストは、改質効率の逆数の分だけ水素燃料電池自動車より高く設定する。

3.3 普及台数制約

自動車の生産能力等によるクリーンエネルギー自動車の普及限界を表現するために、以下のように普及台数の上下制限制約を設ける。LPG自動車は、現状では主にタクシーに使われているので30万台¹⁴⁾に相当する上下制限制約を設ける。電気自動車、天然ガス自動車は、2010年に文献³⁶⁾に示される目標ケースに達するものとし、2001年の実績値から一定の年率で増加するものとして計算した値を台数の上限とする。ガソリンハイブリッド自動車は、2001年の生産台数年間約4万台を2005年に30万台に増やすという計画³⁴⁾に基づいて、生産台数が一定の年率で増加するものとする。

さらに、2001年の販売比率の実績値³⁴⁾に基づいて、その内の半数が国内販売されると仮定することによって保有台数を計算した値を台数の上限とする。この場合、保有台数が2010年に375万台となり、文献³⁶⁾の2010年の目標ケースの211万台の1.8倍となる。燃料電池自動車については、文献³⁷⁾の導入目標である2010年の5万台から2020年の500万台まで一定の年率で増加し、その前後もこの間と同じ年率で増加するものとして計算した値を台数の上限とする。

図7に想定した普及台数の上限値を示す。縦軸は対数目盛りである。図中の数値は、2010年における台数(万台)で、2001年以前は実績値である。MARKALを用いたエネルギーシステムモデルの中では、最終需要技術の容量はPJ/年で表す。この値は、台数に1台当たりの年間走行キロ数をかけたものに比例する。そこで、主にタクシーに使われるLPG自動車以外は、1台当たりの年間走行キロ数が各車種とも同一として、台数をPJ/年に換算し、容量の制約とする。

4. 分析結果と考察

4.1 車種構成の分析

以上の前提に基づいて行った分析結果は次のようになる。図3に示すCO₂排出目標を制約条件として与え、システムコストを最小化したCO₂排出制約ケースの乗用車部門の車種構成を図8に、CO₂排出制約無し、補助金無しケースの車種構成を図9に示す。縦軸は年間の有効エネルギー消費量である。これは、前述の有効エネルギー需要および最終需要技術の容量と同じものである。

CO₂排出制約ケースでは、図8から明らかなように、従来のガソリン自動車に代わって2005年以降ガソリンハイブリッド自動車が増産され、2030年における構成割合は乗用車全体の62%となる。一方、水素燃料電池自動車は効率が非常に高く、2025年以降はコストも下がってきているにもかかわらず導入されない。その理由は、化石燃料を水素に変換す

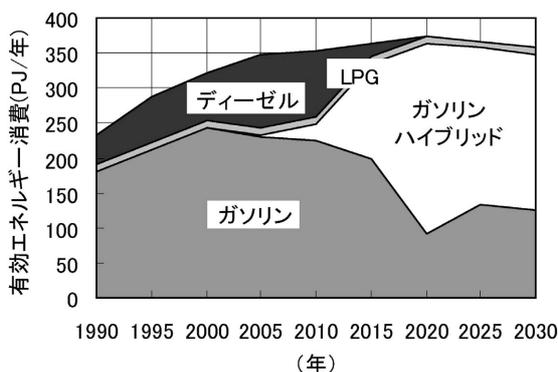


図8 乗用車部門の車種構成 (CO₂排出制約ケース)

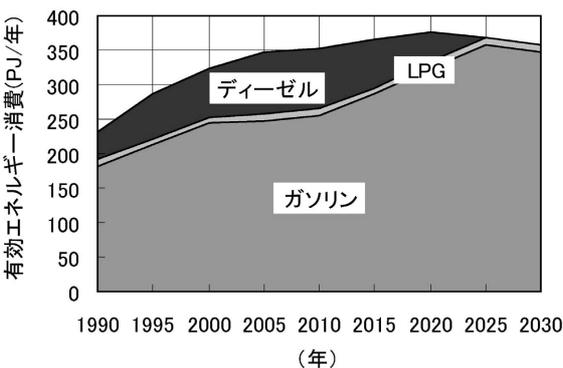


図9 乗用車部門の車種構成 (CO₂排出制約無し、補助金無しケース)

る技術の効率が高くないので割高になり、さらに水素を輸送、配送する設備にも費用がかかるためと考えられる。

CO₂排出制約無し、補助金無しケースでは、図9からわかるようにガソリンハイブリッド自動車は導入されず、従来技術であるガソリン自動車、LPG自動車、ディーゼル自動車のみである。ディーゼル自動車は2025年以降導入されなくなる。その理由は、以下のとおりである。図1に示す有効エネルギー需要の運輸部門の国内貨物の中にある貨物車部門において、燃料価格の上昇により、一定のシェアを有していた効率の低いガソリン自動車に代わって効率の高いディーゼル自動車のシェアが増え、それまで使用されていたガソリンが余る。このとき新たに軽油の精製設備を増強するよりも、この余ったガソリンを乗用車部門で使う方がエネルギーシステム全体のコストが低くなるため、乗用車部門においてディーゼル自動車に代わってガソリン自動車がシェアを増やす。乗用車部門ではなく貨物車部門においてディーゼル自動車に切り替わるのは、ディーゼル自動車とガソリン自動車の効率比が貨物車部門のほうが乗用車部門よりも高いためであると考えられる。

ガソリンハイブリッド自動車のガソリン自動車に対するコスト比は、習熟曲線によって計算するため、累積生産台数によって決まる。従って、図8に示すようなガソリンハイブリッド自動車の導入量が多い場合と、図9に示すようなガソリンハイブリッド自動車の導入量が少ない場合とで

表1 CO₂排出制約有りの場合及びCO₂排出制約無しでコスト比を下げた場合のガソリンハイブリッド自動車の有効エネルギー消費量 (PJ/年)、コスト比、必要補助金比率

年	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
CO ₂ 排出制約有り	0.31	2.69	24.05	138.2	272.8	224.1	223.7
CO ₂ 排出制約無し	有効エネルギー消費量	0.31	2.69	24.05	138.2	272.8	238.3
	コスト比	1.210	1.210	1.220	1.210	1.190	1.190
設定したコスト比	1.360	1.260	1.241	1.224	1.214	1.210	1.208
必要補助金比率	0.150	0.050	0.021	0.014	0.024	0.020	0.026

は、各年でのコスト比は異なる。しかし、MARKALでは導入量に応じて自動的にコストを変化させることはできないので、結果として得られる導入量とあらかじめ設定したコストとの間で矛盾が無いかが妥当性を判断する。本論文で設定したガソリンハイブリッド自動車のコスト比は、ガソリンハイブリッド自動車の導入量が多い場合のものであるので、図8に示すCO₂排出制約ケースの結果とコスト設定には矛盾は無い。図9に示すCO₂排出制約無し、補助金無しケースは、ガソリンハイブリッド自動車の導入量が少ないので、ガソリンハイブリッド自動車のコスト比は設定よりも高くすべきであるが、コスト比を高くすれば導入されにくくなるので、ガソリンハイブリッド自動車が入力されないという結果は変わらない。

図8からわかるように、設定したCO₂排出目標達成のためにはガソリンハイブリッド自動車の導入が経済合理的である。一方、図9から明らかなように、CO₂排出制約無し、補助金無しのコスト最小化ではガソリンハイブリッド自動車は導入されない。導入されるためには、設定したコスト以下に下がるか、実質的なコスト削減である補助金が導入されるか、どちらかが実現されなければならない。

4.2 補助金額の推定

システムコスト最小化の下でガソリンハイブリッド自動車が入力されるのに必要な補助金は以下のように求めることができる。まず、CO₂排出制約無しでもCO₂排出制約有りと同程度までガソリンハイブリッド自動車が入力されるコスト比を求める。次に、これと実現可能と考えて設定したコスト比とから必要補助金比率を求める。この必要補助金比率にガソリン自動車の1台当たりの車両コストをかけることによって1台当たりの必要補助金額が求まる。

CO₂排出制約有りの場合及びCO₂排出制約無しでコスト比を設定した値よりも下げた場合のガソリンハイブリッド自動車の有効エネルギー消費量、下げたコスト比、実現可能と考えて設定したコスト比、必要補助金比率を表1に示す。4行目に示すCO₂排出制約無しのコスト比としたときに、CO₂排出制約有りの場合と同程度の有効エネルギー消費量となる。5行目は実現可能と考えて設定したコスト比であるので、4行目との差から6行目の必要補助金比率が

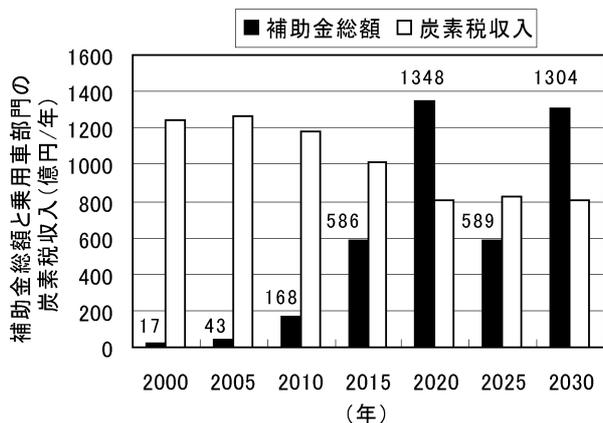


図10 ガソリンハイブリッド自動車に対する補助金総額と乗用車部門の炭素税収入

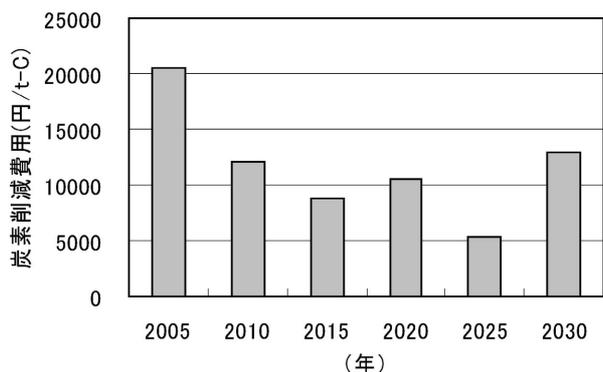


図11 ガソリンハイブリッド自動車に対する補助金の費用対効果（炭素削減費用）

求まる。この補助金の導入によって、図8に示したCO₂排出制約ケースとほぼ同様の車種構成を再現できる。

2020年と2030年の必要補助金比率はその前後の年よりも高くなる。これは、乗用車の耐用年数を2期10年としたためである。ある年に大量に導入されると5年後はそれが残っているので少量の導入で済むのに対し、10年後は耐用年数が切れるので再び大量に導入する必要がある。しかも、大量に導入するためには低いコストが要求される。これは、1期を5年とするモデルの限界によるものである。

図10の黒棒で、必要補助金比率にガソリン自動車の1台当たりの車両コストをかけ、これに各期の新規導入台数をかけて求めた補助金総額を示す。当初は各期の新規導入台数が少ないので補助金総額は小さく、新規導入台数の増加とともに補助金総額は増える。保有台数が一定になると、各期の新規導入台数の差により、1期おきに上下するもののピーク同士で見ればほぼ一定になっている。ピーク時の2020年における補助金総額は、1,348億円/年である。

設定したガソリンハイブリッド自動車のコスト比が変化する場合に補助金総額に及ぼす影響の感度解析の結果は次のようになる。コスト比が、新車ではすでに実現されている2005年の1.26倍よりも安くならず、2030年においても1.26倍と高いままの場合には、そのコスト比は、設定した

コスト比より0.052大きくなる。この時の補助金総額を前に述べた方法で計算すると3,970億円/年となり、設定したコスト比の場合の補助金総額である1,304億円/年の3.04倍となる。2020年においても設定したコスト比の場合の2.91倍である。逆に、コスト比が1.182倍まで安くなる場合には、そのコスト比は、2030年において設定したコスト比より0.026小さくなり、補助金無しでもガソリンハイブリッド自動車は導入される。

4.3 必要補助金額と炭素税額の比較

文献³⁸⁾では、炭素税（温暖化対策税）を省エネルギー、新エネルギー技術の導入のための補助金として還元させるケースを想定している。そこで、ガソリンハイブリッド自動車の導入に必要な補助金を乗用車部門のCO₂排出から得られる炭素税によりまかなえるか試算する。図10にガソリンハイブリッド自動車に対する補助金総額と、モデル内部で計算した乗用車部門のCO₂排出量に、3,400円/t-C³⁸⁾と仮定した炭素税率をかけて求めた乗用車部門の炭素税収入とを示す。補助金総額は、2020年以降各期の新規導入台数の差により1期おきに上下しているが、平均で見ると乗用車部門の炭素税収入とほぼ同程度となり、乗用車部門の炭素税収入によりガソリンハイブリッド自動車への補助金をほぼまかなうことができることがわかる。

4.4 補助金のCO₂排出削減に対する費用対効果

補助金の有無による乗用車部門のCO₂排出量の差及び必要な補助金総額から、ガソリンハイブリッド自動車への補助金のCO₂排出削減に対する費用対効果の算出が可能である。図11に求めた費用対効果である炭素削減費用を示す。2005年の炭素削減費用が高いのは必要補助金比率が高いためであり、2010年以降は必要補助金比率が下がるので、炭素削減費用も安くなる傾向にある。

5. おわりに

各種クリーンエネルギー自動車の技術特性を設定してわが国の乗用車部門をMARKALを用いてモデル化し、CO₂排出目標の達成に必要な車種構成と補助金額とを求めた。

(1) エネルギー起源のCO₂排出量を2030年に1990年比8%削減するという目標を達成するためには、ガソリンハイブリッド自動車を導入することが経済合理的である。

(2) CO₂排出目標を達成するためには、2030年におけるガソリンハイブリッド自動車の構成割合を乗用車全体の62%にする必要があり、それを実現するために必要なガソリンハイブリッド自動車への補助金総額は、2020年のピーク時には1,348億円/年となる。ただし、この金額はモデルの限界により起こる1期おきの上下変動の上側の値であり、平均で見ると、炭素税率を3,400円/t-Cとすれば乗用車部門のCO₂排出による炭素税収入でほぼまかなえる金額である。

以上から、想定した2030年に1990年比8%削減するというCO₂排出目標達成のためには、炭素税による収入を元にした補助金によって、ガソリンハイブリッド自動車の導入を図るべきであると結論づけられる。

今後の研究として、本論文で求めたガソリンハイブリッド自動車への補助金のCO₂排出削減に対する費用対効果と他のCO₂排出削減技術の費用対効果とを比較する予定である。また、CO₂排出制約ケースにおいて、双対問題として、潜在価格(シャドウプライス)を算出し、理論的な炭素税の分析を行うことも興味深い。さらに、1台当たりの年間走行距離を細分化した分析も考えられる。細分化すると、走行距離の長いドライバーはハイブリッド車、短いドライバーはガソリン車を選択するというように、走行距離に応じた棲み分けが起こることが予想される。

本論文をまとめるに当たり、MARKALのFORTRANプログラムをご提供いただくとともに、MARKALに関して種々のご助言をいただいた日本大学教授小山茂夫氏、研究の機会を与えていただいた(独)産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント研究センター長稲葉敦氏、(株)日立製作所生産技術研究所長伊藤文和氏に謝意を表す。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁；エネルギー2003，(2002.11)，(株)エネルギーフォーラム。
- 2) 総合資源エネルギー調査会総合部会／需給部会；今後のエネルギー政策について報告書，(2001.7)。
- 3) 福井博道，近久武美，菱沼孝夫；将来型自動車普及分析のための消費者の車両選考モデルに関する研究，第18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，(2002.1)，549-554。
- 4) 衣笠良，中田俊彦；燃料電池自動車導入に伴う運輸部門エネルギーシステムへの影響，エネルギー・資源，24-2(2003.3)，128-134。
- 5) 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の普及効果，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，(2004.1)，585-588。
- 6) 佐藤治，下田誠，立松研二，田所啓弘；我が国における二酸化炭素削減戦略と原子力の役割，日本原子力研究所JAERI-Research，99-015，(1999.3)。
- 7) 遠藤栄一，小山茂夫；エネルギーシステムモデルMARKALの実用化と応用に関する研究，電子技術総合研究所研究報告第869号(1986.7)。
- 8) 一戸誠之，遠藤栄一；MARKALによる我が国の長期的エネルギーシステム分析，第19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，(2003.1)，193-198。
- 9) 一戸誠之，遠藤栄一；我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，第22回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集，(2003.6)，185-190。
- 10) 一戸誠之，遠藤栄一；MARKALモデルを用いた我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燃料電池自動車の導入に関する分析，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，(2004.1)，597-600。
- 11) ICHINOHE Masayuki and ENDO Eiichi；Analysis on Introduction of Fuel Cell Vehicles for Reducing Carbon Dioxide Emissions in Japan. Proceedings of the 15th World Hydrogen Energy Conference, (2004. 6).
- 12) 資源エネルギー庁；総合エネルギー統計平成13年度版，(2002.7)，(株)通商産業研究社。
- 13) 経済産業省経済産業政策局調査統計部；石油等消費動態統計年報平成13年，(2002.8)，(社)経済産業統計協会。
- 14) (財)日本エネルギー経済研究所；エネルギー・経済統計要覧(2003年版)，(2003.2)，(財)省エネルギーセンター。
- 15) 国土交通省；交通関係エネルギー要覧平成13，14年版，(2002.8)，財務省印刷局。
- 16) 総合資源エネルギー調査会 第1回総合部会及び第1回需給部会合同部会；配付資料，(2001.3)。
- 17) 第4回総合部会及び第4回需給部会合同部会；配付資料，(2001.5)，<http://www.meti.go.jp/report/committee/index.html>
- 18) (財)日本エネルギー経済研究所；わが国の長期エネルギー需給見通し，第374回定例研究報告会資料，(2002.11)。
- 19) 国立社会保障・人口問題研究所；日本の将来推計人口，(2002.1)。
- 20) 地球温暖化対策推進本部；地球温暖化対策推進大綱，(2002.3)。
- 21) 村田晃伸；エネルギー情報技術データベース，産業技術総合研究所研究情報公開データベース，<http://www.aist.go.jp/RIODB/ENERGY-DB/japanese/index.html>
- 22) 後藤純孝，佐藤治，田所啓弘；我が国の長期エネルギーシステムのモデル化，日本原子力研究所JAERI-Research，99-046(1999.7)。
- 23) IEA；World Energy Outlook 2002, OECD, (2002. 9)。
- 24) 環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会；排出係数の一覧，(2000.9)。
- 25) 武石哲夫，小林紀；クリーンエネルギー車のエネルギーフローに沿った現在及び将来の効率，自動車交通1998，(1998.2)，10-11，(株)日産自動車。
- 26) 大聖泰弘；従来エンジンと燃料電池システムとの比較－性能，環境特性，競争力について－，ゼロエミッションシンポジウム2002予稿集，(2002.10)，国連大学ゼロエミッションフォーラム。
- 27) (株)トヨタ自動車；トヨタハイブリッドシステム，THS II PRESS INFORMATION 2003，(2003.4)，25。
- 28) 石谷久，馬場康子，松橋隆治；都市内実走行条件におけるハイブリッド電気自動車(HEV)の燃費性能評価，エネルギー経済，25-7(1999.7)，2-36。
- 29) e燃費2002年7月度特別ランキング(ハイブリッドカー)；http://response.jp/e-nenpi/ranking/rankingfile/0207_hybrid.html
- 30) 高木靖雄；自動車用燃料電池開発の現状と課題，電気学会東京支部神奈川支所講演会資料，(2002.9)。
- 31) クリーンエネルギー自動車と天然ガスの高度利用，(2001.4)，124，(株)エヌ・ティー・エス。
- 32) 新エネルギー・産業技術総合開発機構；CEV導入レポート，(2003.2)，3。
- 33) (財)日本自動車研究所；補助対象車両の補助金交付額一覧，(2003.9)，http://www.jari.or.jp/ja/ha15_hojo/hojyojigyuu/hojokintoha/index3.htm(アクセス日2003.10.31)。
- 34) (株)トヨタ自動車；トヨタの概況2002，(2002.4)，31。
- 35) 朝日新聞；燃料電池車年末から販売開始，(2002.11)。
- 36) 総合資源エネルギー調査会 第2回新エネルギー部会；配付資料，(2001.2)。
- 37) 燃料電池実用化戦略研究会；燃料電池実用化戦略研究会報告，(2001.1)。
- 38) AIMプロジェクトチーム；「地球温暖化対策税の税率とその経済影響の試算」，中央環境審議会総合政策・地球環境合同部会地球温暖化対策税制専門委員会(第12回)資料2，(2003.7)。