

交通部門における CO₂ 排出量の中長期的な大幅削減に向けた対策

松橋 啓介^{1*}・工藤 祐揮²・森口 祐一¹

(¹ 国立環境研究所、² 産業技術総合研究所)

*e-mail : matuhasi@nies.go.jp

摘 要

交通分野を対象に、2050 年低炭素社会を実現するための施策について検討を行った。2020 年に向けては、自動車技術の改善と普及による削減策を中心に検討した。燃料の精製・供給から走行に使用されるまでの環境負荷を定量化する Well to Wheel 分析の結果を踏まえた検討を行い、加減速の多い都市内の短距離移動に関しては電気自動車が優位であること、平均旅行速度の高い地域ではハイブリッド車(HV)の普及が優位であることを明らかにした。次に、従来型車両の技術的改良に加えて、HV の生産能力を前年比倍増させて HV の乗用車を大量に普及させ、CO₂ 排出量を 1990 年並に抑えるシナリオを作成した。また、2050 年の 7 割減達成を容易にするためのシナリオとして、2020 年に向けて年間約 1%～1.5%のペースで自動車交通量を抑制し、CO₂ 排出量を 14%減とするシナリオを示した。一方、2050 年に向けては有識者ヒアリングを行い、都市基盤の位置関係は大きく変わらないが交通機関や地域単位では大きな変化が起こりうることを、施策として課税によるインセンティブの活用や道路財源を用いた公共交通整備が進むことを基本的な方向性として把握した。また、シナリオを大きく左右する要因としては、原油価格、居住動向や移動へのニーズが挙げられた。次に、地域別の自動車 CO₂ 排出量の実態把握を踏まえて、地域別および排出要因ごとに分類した施策と、その削減可能量を行列に整理したビジョン例を構築した。さらに、これらの施策を実現するための具体的な施策・政策を整理した。

キーワード：Well to Wheel(WtW)、Environmentally Sustainable Transport(EST)、低炭素社会、ハイブリッド、バックキャスト

1. はじめに

わが国の運輸部門の CO₂ 排出量は、乗用車の大型化や保有台数と総走行距離の増加等によって 1990 年代前半に大幅に伸び、2005 年度時点で基準年(1990 年度)比 18.1%増加の 257 百万 t(全体の約 2 割)と、業務・その他部門(44.6%増加)、家庭部門(36.7%増加)に次いで増加率が高くなっている。2005 年 4 月に閣議決定された「京都議定書目標達成計画」¹⁾では、各部門の温室効果ガス排出量は基準年比で、業務・その他部門は 15.0%増、家庭部門は 6.0%増、また運輸部門は 15.1%増が認められており、他の分野に比較すると運輸部門の目標達成の可能性は高い状況にある。

一方、ポスト京都をめぐっては 2050 年に世界の GHG(Green House Gases)を半減とすることが議論されている。脱温暖化 2050 研究プロジェクトでは、わが国の CO₂ を 1990 年比 60%～80%減とするシナリオを構築することとしている。交通分野についても、約 70%削減とするシナリオを検討している。

本稿では、交通分野の CO₂ 排出量の約 70%削減を目指した対策について検討した結果を報告する。2020 年に向けては、運輸部門の排出量の約 9 割を占める自動車に着目して現状を元にしたフォアキャストの予測分析を行い、2050 年に向けては、技術的対策と交通需要変化対策を組み合わせた低炭素社会の交通ビジョンを実現するためのバックキャスト手法を用いたシナリオ作成を行い、両者を整合的につなぐことのできる施策を検討する。今後、長期的に実現可能な大幅削減策を時系列的にロードマップとして提示することを目標としている。

具体的には、自動車技術による CO₂ 排出量削減可能性を検討し、地域に適した車両の選び方について方向性を得るとともに、ハイブリッド車を大量に普及させた場合の 2020 年削減シナリオを提示する。一方、有識者ヒアリング等により 2050 年ビジョンの大まかな方向性を得るとともに、地域特製の自動車 CO₂ 排出量および排出要因を踏まえて 2050 削減ビジョンを明らかにする。最後に、その実現のための施策を提示する。

2. 自動車技術による CO₂ 排出量削減可能性の検討

自動車技術面から地球温暖化への対応を進めるための要件としては、a. 自動車用燃料の CO₂ 排出原単位を下げる、すなわち自動車用燃料の転換を進めることと、b. 自動車走行時のエネルギー消費原単位を下げる、すなわち自動車の省エネ(燃費向上)を図ることが挙げられる。本章では、燃料代替と燃費向上技術の組み合わせによる乗用車の CO₂ 排出量削減の可能性を、Well to Wheel 分析の観点から検討する。

2.1 Well to Wheel 分析の概要

Well to Wheel (WtW) 分析とは、自動車用燃料が一次エネルギーや再生可能エネルギーから製造・供給され、自動車で行きに使用されるまでのライフサイクル(エネルギーチェーンサイクル)全体での環境負荷を定量化する枠組である。WtW 分析は、今後の国家のエネルギー戦略や自動車メーカー・エネルギー産業の技術開発や経営戦略を練る上で重要であり、日本だけでなく欧米などそれぞれの地域のエネルギー事情と自動車の普及状況にあわせた分析が行われている。

図1に、内外の WtW 分析で検討対象とされている自動車用燃料の製造・供給方法と、各種石油代替燃料自動車の組み合わせの一例を示す。WtW の一連のエネルギーチェーンサイクルでは、一次エネルギー・再生可能エネルギーが採掘さ

れてから自動車用燃料として精製され、自動車のタンクに搭載されるまでの段階を Well to Tank (WtT)、搭載された自動車用燃料が自動車走行に使用される段階を Tank To Wheel (TtW) と、分けて評価することが多い。

2.2 Well to Tank CO₂ 排出原単位

日本の条件下での自動車用燃料製造・供給時の CO₂ 排出原単位を算出した例として、経済産業省「水素・燃料電池実証プロジェクト」(JHFC, Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project) の総合効率検討特別委員会²⁾で算出した WtT CO₂ 排出原単位を図2に示す。図2で、バイオマス燃料は炭素中立という持続可能な形態で管理されているという想定がされており、バイオマスの生産段階で摂取された炭素は吸収されたものと考え、吸収量と燃焼時の排出量が等しくなる、すなわち、炭素収支がゼロとなるように WtT 段階で減算処理して表示している。

以下に、各種自動車用燃料のうち、導入への期待が高まっている水素とバイオマス燃料の WtT CO₂ 排出原単位に関する主な論点を記す。

- 1) 水素とバイオマス燃料の CO₂ 排出量には幅がある。これは、エネルギーチェーンサイクルに含まれるエネルギー変換プロセスでは様々な燃料合成法が想定されていること、またそれらのプロセスにはまだ実証段階にあるものが含まれており、燃料の大量生産を行った場合には CO₂ 排出量が増加することが想

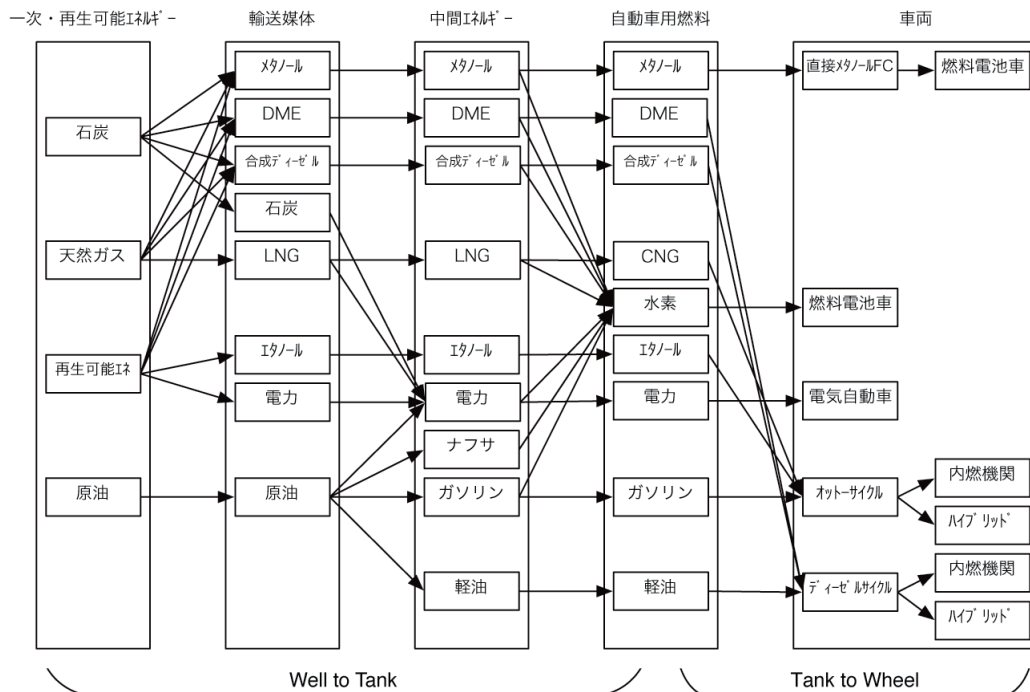


図1 Well to Wheel エネルギーチェーンサイクルの一例。

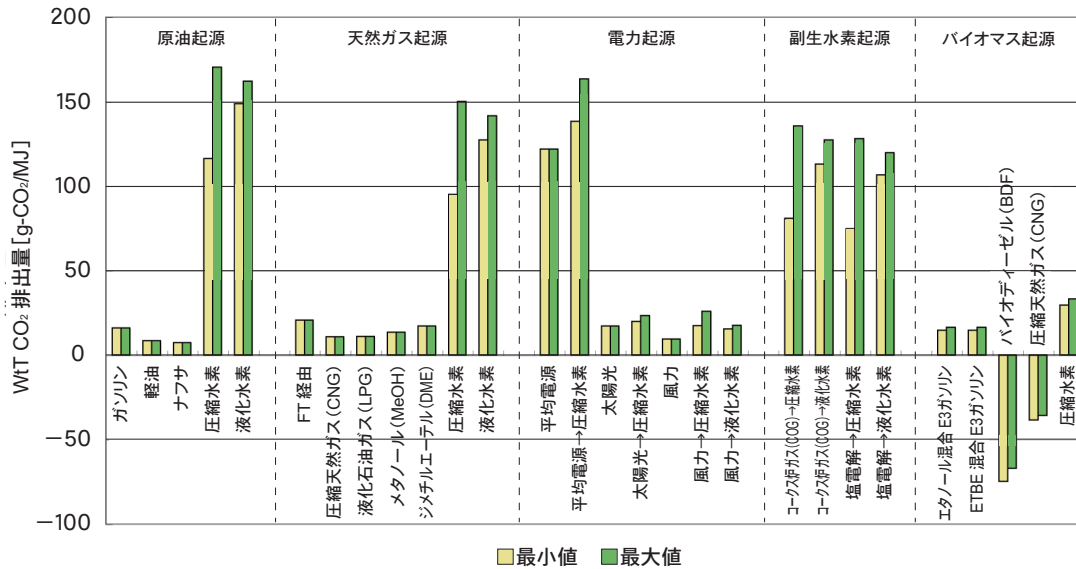


図2 日本における各種自動車用燃料の Well to Tank CO₂ 排出原単位.

定されるなど、技術的な不確実性があるためである。

- 水素の WtT CO₂ 排出量は、既存燃料であるガソリンや軽油を製造・供給する以上のエネルギー投入を必要とするために、既存燃料よりも多くなる。特に水電解水素はプロセス中の発電効率および水電解効率(固体高分子膜を用いた水電解で 0.810、アルカリ水電解で 0.679)が加わるため、化石燃料改質水素よりも CO₂ 排出量が多くなる。
- 副生水素は、製鉄所の COG (Coke Oven Gas, コークス炉ガス)に含まれる水素や苛性ソーダ工場で精製される水素を自動車用に供出したものであり、他の水素製造・供給方法と比較して CO₂ 排出量は小さい傾向にある。これは、COG に含まれる水素や苛性ソーダ工場の副生水素を二次的な副産物であると捉え、LCA(Life Cycle Assessment)の観点から主産物製造に伴う CO₂ 排出量はこれら水素には配分されないと考えられているためである。
- 図2で、バイオエタノールのガソリンへの添加割合は、エタノールは 3%、ETBE (Ethyl Tertiary-Butyl Ether) は 7% を想定している。ブラジル産サトウキビ起源のエタノール・ETBE を混合したガソリンの WtT CO₂ 排出量は、バイオマス起源の燃料の CO₂ 吸収により、既存ガソリンよりも若干(7%程度)少なくなる。しかし、国内廃木材起源のエタノール・ETBE はエタノール起源のそれらと比べて CO₂ 排出量が多く、エタノール・ETBE 混合ガソリンの WtT CO₂ 排出量は既存ガソ

リンとほぼ同等となる。一方、国内廃食油およびマレーシア産パーム椰子起源のバイオディーゼセル燃料は、バイオマス起源の燃料の CO₂ 吸収により既存の軽油よりも CO₂ 排出量は少なくなる。

2.3 Tank to Wheel エネルギー消費原単位

自動車走行に伴う CO₂ 排出量は、自動車の走行距離あたりのエネルギー消費量(TtW エネルギー消費原単位)に、自動車用燃料の CO₂ 排出係数を乗じることによって算出できる。

多くの自動車ユーザが経験しているとおり、同じ車両でも、都市部と郊外や高速道路で運転する場合には燃費は異なる。そこで、本研究ではこの自動車燃費の平均旅行速度への依存性を考慮し、脱温暖化の観点から地域や道路種別の交通状況に応じた最適な自動車パワートレイン(動力装置)の検討を行うことを目指している。本節では、ガソリン車(GV)、ガソリンハイブリッド車(HV)、燃料電池車(FCEV)、電気自動車(BEV)を対象として、これら4種類の乗用車の TtW CO₂ 排出量算出に必要な TtW エネルギー消費原単位と、地域の交通状況を示す指標として採用した平均旅行速度との関係(平均旅行速度依存性)を求めた。

1) ガソリン車とガソリンハイブリッド車の TtW エネルギー消費原単位

走行する地域の交通状況によって変化する既存自動車の実走行燃費(実燃費)の実態を把握するために、筆者らは携帯電話のインターネットサービスを利用して、54ヶ月にわたって全国規模で収集された自動車ユーザの自己申告に基づく給油ログデータを用い、これを自動車諸元値と組み合わせ

せることによって乗用車実燃費データベースを構築してきた³⁾。乗用車実燃費データベースの概要を図3に示す。

Kudoh らが算出した乗用車実燃費の平均旅行速度依存性³⁾を、GV・HVのTtWエネルギー消費原単位として採用する。乗用車実燃費データベースから得られる実燃費 $FC(v)$ [l/100 km] を、乗用車の10・15モード燃費 FC_{10-15} [l/100 km] および松橋らが算出した市区町村別自動車平均旅行速度 v [km/h]⁴⁾を用い、(1)式に示す回帰式

$$FC(v) = B_1 FC_{10-15} + B_2/v + B_0 \quad (1)$$

によって算出した。表1に、GV・HVそれぞれの(1)式の重回帰分析の結果を示す。 $B_0 \sim B_2$ は、各説明変数の偏回帰係数である。

2) 燃料電池車と電気自動車のTtWエネルギー消費原単位

現在は実証段階にあるFCEVおよび幅広く普及をしていないBEVについて、エネルギー消費原単位を、例えば「JHFC総合効率検討結果」報告書では日本の燃料消費試験モードである10・15モード走行条件でのエネルギー消費原単位をシミュレーションに基づき算出している²⁾が、この数値からエネルギー消費原単位の平均旅行速度依存性を推定することは不可能である。そこでKudohらは、様々な走行条件に応じて時々刻々と変化するモータ・燃料電池の負荷や二次電池の充電深度の状態を模擬可能な自動車走行シミュレーションモデルを構築し、このモデルに東京都内で観測された実走行データを適用することにより、FCEV・BEVのエネルギー消費原単位の平均旅行速度依存性を算出した⁵⁾。FCEV・BEVは、排気量2,000 ccクラスのガソリン乗用車と自動車

として等しい機能を発揮するために必要なパワートレインの性能を考慮に入れ、表2に示す各種諸元を設定し、FCEVは燃料電池と二次電池によるハイブリッド制御を行うことを想定した。図4に、自動車走行シミュレーションモデルを用いて算出した、FCEV・BEVのTtWエネルギー消費原単位を示す。

2.4 Well to Wheel CO₂ 排出量

FCEV・BEVは走行段階でのCO₂排出量はないが、それらの既存自動車に対するCO₂排出での優位性は、自動車用燃料供給に伴うCO₂排出量をも含めた上で検討する必要がある。そこで、2.2節に示した各種自動車用燃料のWtT CO₂排出量と、2.3節で算出した4車種のTtWエネルギー消費原単位を用いて、WtW CO₂排出量を算出した。各種自動車用燃料のWtT CO₂排出量は図2に示したように、同じ燃料でも起源となる一次エネルギー・再生可能エネルギーの種類や、想定する製造・供給方法により大幅に異なる。そこで、本節では図2に含まれる各種自動車用燃料のうち、表3に示した値をそれぞれの自動車用燃料性状の代表として用いて、各種自動車のWtW CO₂排出量を算出した(図5)。表3では、それぞれの自動車用燃料燃焼時のCO₂排出係数も合わせて示した。GV、HVのTtWエネルギー消費原単位の平均旅行速度依存性を(1)式で説明する場合には、それぞれの車両の10・15モード燃費が必要となるが、ここでは「JHFC総合効率検討結果」報告書²⁾に掲載されているGV・HVそれぞれの10・15モード燃費である6.8 [l/100 km] (14.8 [km/l])、4.3 [l/100 km] (23.2 [km/l])を用いた。またエタノール3%混合(E3)ガソリンを使用した場合のGVの10・15モード燃費は、既存ガソリンを使用した場合と同じ燃費性能が発揮できるものとした。

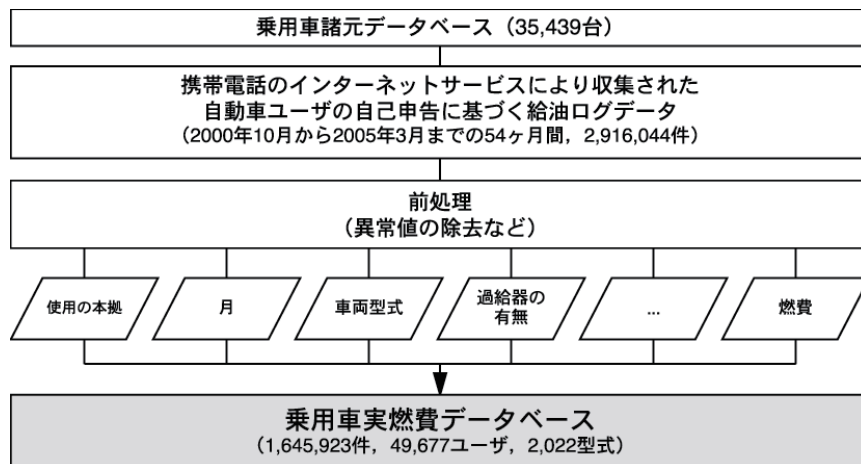


図3 乗用車実燃費データベースの概要.

表1 GV・HVのTtWエネルギー消費量のエネルギー消費原単位.

GV				
サンプル数		40,564		
自由度調整済み決定係数		0.605		
説明変数	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	t 値
定数項	- 0.893	0.068		- 13.061
FC_{10-15}	1.073	0.005	0.743	237.886
l/v	85.517	1.421	0.188	60.189
HV				
サンプル数		216		
自由度調整済み決定係数		0.710		
説明変数	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	t 値
定数項	- 2.417	0.628		- 3.847
FC_{10-15}	1.756	0.079	0.821	22.306
l/v	57.305	14.132	0.149	4.055

表2 FCEV・BEVの主要諸元.

モータ出力	80 kW
自動車諸元	前面投影面積：1.98 m ² , 空気抵抗係数：0.34, 転がり抵抗係数：0.01, タイヤ有効半径：0.292 m
FCEV 諸元	燃料電池 最大出力：80 kW, 水素タンク容量：160 l@35 MPa
	二次電池 ニッケル水素電池, 容量：47.6 Wh, 最大出力：37.9 kW
BEV 二次電池諸元	リチウムイオン電池, 容量：34.6 Wh, 最大出力：41.8 kW
車両総重量	FCEV：1,469 kg, BEV：1,717 kg

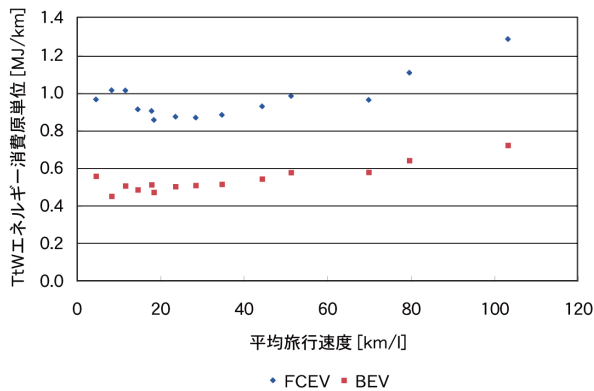


図4 FCEV・BEVのTtWエネルギー消費原単位.

HVやFCEV、BEVのように、モータで走行する電動車両の内燃機関自動車に対する利点として、減速時のエネルギー回生が可能であることが挙げられる。このため、図5で平均旅行速度が低い、すなわち、加減速の頻度が多い都市部における走行動態では、電動車両のTtWエネルギー消費原単位はGVと比較して相対的に小さくなる。したがって、平均旅行速度が低い走行動態においては、燃料の製造・供給に伴う排出を含めたWtW CO₂排出量についても電動車両はGVに対して高い優位性を持つ。しかし、平均旅行速度が上昇する、すなわち、加減速が少ない地方での円滑な交通状況においてはその優位性が薄れる。特

表3 各種自動車用燃料のCO₂排出原単位(LHVベース).

車種	自動車用燃料 (図2参照)	WtT CO ₂ 排出原単位 [g-CO ₂ /MJ]	CO ₂ 排出係数 [g-CO ₂ /MJ]
GV,HV	既存ガソリン(「ガソリン」)	16.1	70.6
GV	エタノール3%混合(E3)ガソリン (「EtOH混合ガソリン」)	14.7	70.6
FCEV	天然ガス改質圧縮水素 (「天然ガス起源圧縮水素」)	98.2	
	COG副生圧縮水素 (「COG→圧縮水素」)	81.1	
	日本平均電源アルカリ水電解 オンサイト 圧縮水素(「塩電解→圧縮水素」)	163.4	
BEV	日本平均電源(「J-MIX」)	122.0	

にFCEV用水素の製造・供給方法によっては、WtT CO₂排出量が増加するため、80 km/hを超えるような場合に限られるが、GVよりもWtW CO₂排出量が多くなる結果にもなりうる。一方、BEVはどのような走行動態でも、WtW CO₂排出量が最も小さくなることが期待できることがわかる。

2.5 Well to Wheel 分析結果に基づく地域による最適なパワートレインの選択

本章では、自動車用燃料が一次エネルギーや再生可能エネルギーから製造・供給され、自動車で行き使用されるまでのライフサイクル全体での環境負荷を定量化する枠組である Well to Wheel

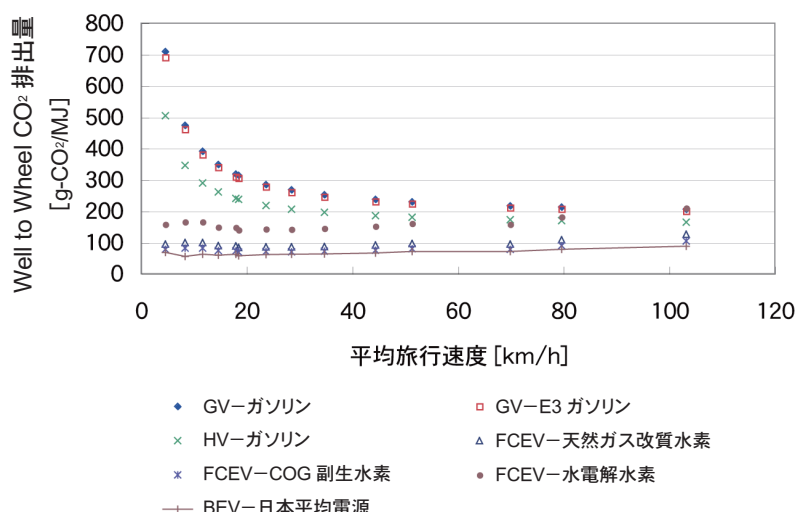


図5 各種自動車のWtW CO₂ 排出量。

分析を用いて、GV・HV・FCEV・BEVの4種類の乗用車について、WtW CO₂ 排出量と自動車が行走する地域の交通状況を示す指標として採用した平均旅行速度との関係を算出した。

電動車両のWtW CO₂ 排出量は、平均旅行速度の低い都市部における走行態ではGVと比較して相対的に少なくなる。しかし、燃料補給後の航続距離は、FCEV・BEVは既存自動車であるGV・HVよりも短くなるのが懸念されており、例えば図4に示した走行態では、その最大航続距離はFCEVで540 km、BEVで277 kmと計算された。FCEV・BEVを普及させるためには、水素スタンド・充電スタンド等の燃料供給スタンドもあわせて整備する必要がある。都市部の方が地方よりも1トリップあたりの移動距離は短い傾向にあり、また需要密度が高いため一般的な基盤整備が効率的かつ既に進んでいることから、燃料供給スタンドの整備も相対的に容易に行うことができると考えられる。したがって、都市部ではHV・FCEV・BEVなどの電動車両の導入が、乗用車からのCO₂削減として効果的であると考えられる。電動車両の中でもBEVは、電池性能に起因する航続距離の制約からHVやFCEVと比べて存在が希薄となっていた。しかし最近になり、自動車メーカーが相次いで商品化構想を打ち出しており、また本格的な普及への取り組みを始める都市部の自治体が出てくるなど、再びその環境性能が評価し直される動きにある。また、走行時の回生エネルギーだけでなく、家庭用電源からも充電可能とし、モータだけで走行可能な距離を延ばすことを視野に入れたプラグインハイブリッド車の開発も進められている。CO₂ 排出量削減の観点から、今後はBEVやプラグインハイブリッド車な

ど、系統電源でモータ駆動可能な車両の幅広い普及が期待される。

一方、都市部と比較して平均旅行速度が高い地方では、GVの燃費も都市部よりも良い傾向にある。このような走行態では、電動車両の中でもFCEV・BEVのGVに対するWtW CO₂ 排出量の優位性が小さくなる。さらに、1トリップあたりの移動距離も都市部よりも長いため、航続距離が短い傾向にあるFCEV・BEVを導入するためには、燃料供給スタンドも密に整備する必要がある。FCEV・BEV用燃料供給スタンドの整備形態として、現在のガソリンスタンドに併設する場合とFCEV・BEV専用のスタンドを建設する場合が考えられる。平成17年度におけるガソリンスタンド設置密度^{6),7)}をみると、三大都市圏(埼玉、千葉、東京、神奈川、岐阜、愛知、三重、京都、大阪、兵庫、奈良の11都府県)では0.30件/km²に対し、その他の道県では0.10件/km²と3分の1に過ぎず、地方でFCEV・BEVを導入することを想定した場合、ガソリンスタンド併設形よりも建設コストがかかるFCEV・BEV専用の燃料供給スタンドを新たに整備する必要がある。このような実態を踏まえると、地方では自動車用燃料としてエネルギー密度が最も高い液体燃料で走行できるより燃費の良いGVや、既に幅広く普及しつつあるHVの普及に加え、既存の内燃機関自動車用燃料の低炭素化という観点から、バイオマス燃料の地域的な利用などが有効であると考えられる。

3. 2020年削減シナリオの検討

2020年頃に向けて、実用化済みもしくは実用

化に近い技術の大量導入による CO₂ 削減効果を、導入決定時期と実際に効果が現れる時期とのタイムラグや一次エネルギー供給技術、燃料補給インフラの整備などの周辺条件を考慮して評価する。

2章の検討を踏まえると、CO₂削減に資する数多くの自動車技術の中で、短中期の2020年時点に向けた対策の実効性においては、ハイブリッド車(HV)の導入が最も有力であり、また近距離の移動手段として電気自動車が有力と考えられた。燃料電池車の大量普及については、コストと燃料供給面が課題であり、いずれも2020年までに克服することは、現在の情勢を考慮すると困難と考えられる。

3.1 ハイブリッド車の大量普及シナリオ

2020年に向けてもっとも効果的な施策と考えられるのは、HVを大量に普及させることである。既にさまざまなサイズの乗用車が市販されていること、実走行データによると同サイズの従来型車両に比較して平均約60%の排出量に抑えられる⁸⁾ことがその理由である。しかし、乗用車の平均使用年数は10年を超えているため、また、HV用に生産設備を整える必要もあるため、タイムラ

グも生じることとなる。そこで、保有車両数の入れ替えに必要な年数を考慮したコーホートに基づく技術導入対策評価モデルを構築し、HV普及シナリオの評価を行った。

ここ数年のHV生産設備の増強速度が前年比約1.5~2倍であることを踏まえて、前年比2倍の整備を2010年まで続け、乗用車新車のほぼすべてをハイブリッド車に置き換え可能とした場合の削減シナリオを構築した。その場合、2020年におけるHVの普及率は約8割に達する。その他には、表4のハイブリッド車等大量普及シナリオに示すように、従来車両の燃費向上を織り込み、軽乗用車に電気自動車(BEV)を導入し、小型貨物車には排出係数を従来車比80%に抑えたHVを50%まで導入した場合を想定した。交通需要に関しては、国土交通省による将来推計値を用いた。その結果、自動車走行量の伸びが大きいいため、図6に示すとおり、CO₂排出量は1990年レベルに抑えるにとどまることが分かった。なお、バイオ燃料の導入は、食糧との競合が起きている現状を考慮すると、最大で10%までと考えられる。すなわち、2020年時点で1990年比30%減などの大幅削減を

表4 2020年シナリオ概要

項目	シナリオ	基準	ハイブリッド車等 大量普及	+交通需要管理
ハイブリッド車等の普及		乗用車 HV 20% 小型貨 HV 10%		乗用車 HV 83% 小型貨 HV 50% 軽乗用 BEV 83%
ハイブリッド車等の燃費		ガソリン/ディーゼル車の現状の燃費を40%改善した数値 (小型貨物 HEVは同20%改善した数値)		
燃費改善(現状比)		乗用, バス, 小型貨 10%	乗用 20%, バス 10%, 軽乗用 10%, 普通貨 5%, 小型貨 15%	
自動車交通量(2002年比)		乗用車 15%増(なお, 1990年比 66%増) 貨物車 5%減(なお, 1990年比 5%減)		乗用車 8%減 貨物車 15%減
航空, 鉄道, 船舶		航空, 鉄道, 船舶の効率は5%改善する一方, 航空機輸送量が約20%増加する		
CO ₂ 排出量		+ 19% (乗用 + 27%, 軽自動車 + 68%, 貨物 - 7%)	± 0% (乗用 - 3%, 軽自動車 + 22%, 貨物 - 13%)	- 13% (乗用 - 21%, 軽自動車 + 4%, 貨物 - 21%)

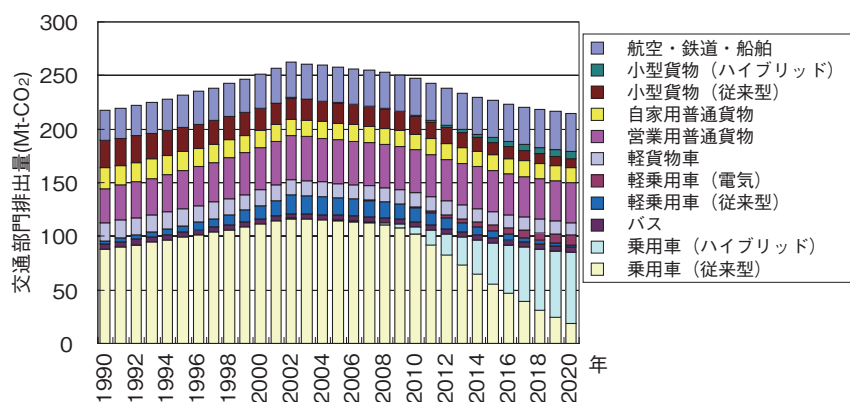


図6 2020年ハイブリッド車大量普及シナリオにおける排出量

行うためには、技術面の対応だけでは不十分と考えられた。

3.2 ハイブリッド車の普及と自動車交通需要の削減

そこで、交通量削減を組み合わせた場合のシナリオとして表4の「+交通需要管理(DM, Demand Management)シナリオ」に示すとおり、自動車交通需要の削減(基準シナリオ比 乗用車20%減、バス不変、貨物車10%減)を組み合わせた対策シナリオ(HV + DM)を作成した。具体的には、公共交通利用促進策により乗用車からバスへの転換を行う等を想定した。その結果、2020年における自動車からのCO₂排出量は、1990年比約13%の減少となった。

一方、HVの普及速度が遅くなる場合の感度分析を行った。生産設備の増強速度が前年比1.5倍とした場合のHV普及率は2020年時点で約6割となり、CO₂排出量は1990年比3%増となる。そのため、交通量削減により1990年比14%のCO₂削減を2020年で達成するためには、基準シナリオの交通量に比較して乗用車類で24%減、貨物車類で14%減とする必要があることが分かった。これは、2002年比でそれぞれ12%減、18%減であり、年間約1%~1.5%の交通量の削減が必要となるペースである。

また、HVの車体価格差を埋めるペイバックタイムについて試算を行った。HVの燃料消費量は従来型車両の約60%、年間走行距離10,000km、車両価格差は約30~40万円の現状に比較して、2010年頃の新ハイブリッドユニットの開発により10~20万円程度に抑えられると想定した。補助金が縮小されつつある現時点では、ペイバックタイムは燃料価格の幅(1リットルあたり100~125円)に応じて7~10年程度であるが、ハイブリッドユニットの低価格化が進む2010年には補助金なしでもペイバックタイムは3~5年程度に縮小することが分かった。すなわち、2010年以降にハイブリッドユニットの低価格が進めば、HVは価格競争力を持つようになり、従来型車両からの置き換えが急速に進む可能性が高いことが示唆された。

2050年に約7割削減を目指して、一定率での削減を年々続けると仮定した場合、2020年時点で1990年比14%削減が必要である。すなわち、HVの大量普及促進策だけでは長期目標達成は困難であり、それと同時に交通需要抑制策についても取り組むことが、長期目標の達成を容易にするために望ましいと考えられる。国土交通省の将来需要予測では2020年頃に交通量のピークを迎え

るとしているが、現時点で統計上は乗用車のCO₂と走行量が減少に転じる傾向が見られている。国土交通省等の多くの交通量予測では、交通量の増大はまだ続くと考えられてきたが、短期的にも、交通量の増加を前提としない検討を行い、抑制を施策として積極的に導入することを念頭に置いた検討が重要になっている。

4. 2050年削減ビジョンの検討

長期に渡る削減ビジョンを検討するにあたり、まず、シナリオの大きな方向性について有識者の知見を収集した。次に、知見を踏まえて、地域類型別に排出要因別の対策の組合せを検討し、各々を実現するための短中期的な政策の方向性を明らかにした。

4.1 シナリオに大きな影響を与える要因

シナリオ策定手法によると、シナリオに大きな影響を与えるドライビングフォースとなる要因をまずリストアップし、不確実性の大小で分類する必要がある。その上で、不確実性が小さい要因は共通の条件となり、不確実性が大きい要因は複数のシナリオを方向付けるための材料となる。

そこで、2050年の社会と交通の姿および関連する要因について明らかにするため、有識者ヒアリングを行った。3~4名が一堂に会する座談会形式で意見を聞くグループインタビューとした。対象者として、都市、交通、環境、エネルギー、ライフスタイル等の各分野をリードする約20名を抽出し、2005年3月中旬に設定した3日間、各2時間の会合にスケジュールが合った11名とした。テーマは、『2050年の移動の形態についての将来展望』として、「脱温暖化社会の達成を意識しない時に、2050年においては人やモノの移動はいかなる姿・形のものか想定できるか」、「脱温暖化社会を達成する為に2050年に我が国のCO₂排出量を1990年比60%減(2002年比約64%減)とした場合の移動形態と社会状況はいかなるものが想定されるのか」について尋ねた。なお、70%削減を目指す場合には、より早期にこうした状況となることが想定されることとなる。

得られた知見を元に、シナリオ策定手法⁹⁾を踏まえて、交通のシナリオに与える影響の大きい社会的要因(ドライビングフォース)を、意見の相違の観点から表5の通り整理した。また、都市・交通のイメージと施策についても併せて整理した。意見が分かれた要因については、脱温暖化2050研究プロジェクト全体に合わせて複数のシナリオを構築する際に役立てる他、地域特性に応じた対

表5 シナリオに大きな影響を与える要因等の方向性と意見の相違

	社会(ドライビングフォース)	都市・交通	施策
意見の相違が小さい	<ul style="list-style-type: none"> ・ 少子高齢化 ・ GDP 減少 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 都市基盤の位置は固定的 ・ 交通機関や土地利用や地域単位では大きな変化が可能 ・ 旅行ニーズの増加 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 課税によるインセンティブ活用 ・ 道路財源による公共交通整備 ・ 環境配慮を流行にする
意見の相違が大きい	<ul style="list-style-type: none"> ・ 移民受け入れ ・ 中国・インドの経済水準 ・ 意思決定の仕組み ・ 原油価格 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 居住の動向 ・ 根源的な移動ニーズの増減 ・ 速度ニーズの増減 ・ 資源循環の規模 ・ 燃料電池車の普及可能性 	※多種多様な施策

策をシナリオに取り入れる際に役立つと考えられる。

4.2 地域類型別排出要因別対策の組合せ

地域特性に応じて適用可能な削減策が異なることが予想されることから、地域別の交通 CO₂ 排出量の実態を把握するとともに交通に起因する CO₂ 排出の要因をまず整理する。その後、対策の組合せによる大幅削減ビジョンを提示する。

市区町村別自動車 CO₂ 排出量推計結果⁴⁾を元に、都市圏や行政単位、都市規模の地域類型にしたがって、一人あたり CO₂ 排出量の平均値をそれぞれ推計した結果を図7に示す。三大都市圏は人口では50%を占めるが、排出量のシェアは42%とより小さい。東京都市圏、京阪神都市圏の区部、市部で約1.0 t-CO₂/人・年前後であるのに対して、その他地域の中小都市や郡部では約2.0 t-CO₂/人・年と約2倍に相当している。日本全体の排出量に占める地域類型別の寄与や、交通手段の代替可能性を考えると、中間的な数値を示している地域での削減可能性がより重要である。そのため、東京都市圏の小都市や郡部、中京都市圏の各地域、その他地方の大都市や中都市を対象として、自動車 CO₂ の削減につながる交通施策を導入することが大幅削減の重要な鍵になると考えられる。

一方、交通に起因する CO₂ 排出の構造を(2)式で示し、交通サービス量(エネルギーを必要とする交通手段を使って目的地にアクセスする回数)、1回のアクセスあたりの移動距離、交通手段、輸送効率、燃費、燃料あたり CO₂ 排出原単位の各要因の削減策の積み重ねによる大幅削減の可能性を検討するとともに、バックデータの収集を行っている。

$$CO_2 = \text{交通サービス} \cdot \frac{\text{輸送キロ}}{\text{交通サービス}} \cdot \sum_{\text{交通手段}} \left(\frac{\text{走行台キロ} \cdot \text{燃料消費量}}{\text{輸送キロ}} \cdot \frac{CO_2 \text{ 排出係数}}{\text{走行台キロ} \cdot \text{燃料消費量}} \right) \quad (2)$$

さらに、図7に示した地域特性に応じて、各要因を削減する施策の組み合わせを検討した例を

表6に示す。列方向には、大都市圏都市部、大都市圏郊外、地方都市、地方郊外・郡部の4つの地域区分を例とした。行方向には、(2)式の要因に影響する施策を左から順に分類している。行列には、各地域区分に適用可能な施策とその削減可能量の例を記載している。例えば、大都市圏都市部では、既に徒歩圏の高密度化が相当に進んでいるため、徒歩や自転車への転換による追加的な削減量は多くないと考えた。大都市圏や地方の都市部では、都心の再開発や地方都市の再評価による都市の高密度化により、アクセス1回あたりの移動距離の10%程度の削減が可能と仮定した。地方都市部ではLRTの導入による手段転換により、20%程度の削減を可能とした。燃費改善は、大都市圏での効果が大きいハイブリッド車や鉄道の効率改善により、30%の燃料削減が可能とした。郊外部では、都市の範囲での高密度化は不可能とした。こうした数値の積み重ねにより、一人あたり CO₂ 排出量が減少する様子を地域区分別に試算した。さらに、全国の2050年の将来人口予測と市区町村別の2030年の将来人口予測から、2050年の地域区分別人口を仮定した。これらを集計すると、約70%減を達成する施策の組合せの試算が可能となった。なお、この試算は、地域区分、施策例(実現可能性)、削減量、人口予測を改善する余地が大きいことに留意する必要がある。また、都市間輸送、貨物輸送、国際輸送、航空輸送の取り扱いなど、全体像に大きな影響を与えうる未解決の課題も残されていることに留意する必要がある。

4.3 実現に向けた政策の例

各々の削減施策が削減効果を実際にあげるためには、具体的な導入内容について詳細な検討が必要である。ここでは、脱温暖化2050研究プロジェクトチーム会合および2006年3月17日～18日に約30人の行政、企業、NGO等関係者を集めた「EST(Environmentally Sustainable Transport: 環境に配慮した持続可能な交通)に関するステークホルダー会議」等において、施策導

入の候補について検討した。

土地利用の高密度化を行う施策としては、再開発事業や土地利用規制とともに、税制による誘導が有効と考えられる。事業的手法には莫大な費用がかかるため、人口減少期に数多くの事業を行うことは困難であろう。規制的手法には反発が生じやすく、現状を保全することには役立つが、変化を誘導する効果は得られにくいという問題がある。適度な土地利用の集積により効率的な公共サービスが可能となる地区については、固定資産税等の税率を抑える税制優遇等の経済的施策を行うことで、望ましい土地利用を誘導することが可能と考えられる。

公共交通システムの活用を行う施策としては、インフラ整備を公共が行い、運営を民間が行う上下分離方式を活用すること、また地域特性に応

じて乗り合いタクシー等を認める規制緩和を行うことが有効と考えられる。インフラ整備については財源が問題とされるが、道路財源を交通財源としてとらえ直し、より幅広く公共交通整備に投資することは不可能ではない。例えば、地方の人口30万人以上の都市部に関しては、地表面に軌道を持つLight Rail Transit(LRT)やBus Rapid Transit(BRT)のインフラ整備を行い、バスやPark and Ride(P & R)、乗り合いタクシー等の地区に適した公共交通手段と連携した都市交通システムへの再編成を行うことは中長期的には有効な投資となりうると考えられる。

なお、土地利用規制や税制の変更や公共交通インフラ整備にあたっては、土地の資産価値が低下する地区が生じることから、施策に反対する意見が強く出されることが予想される。したが

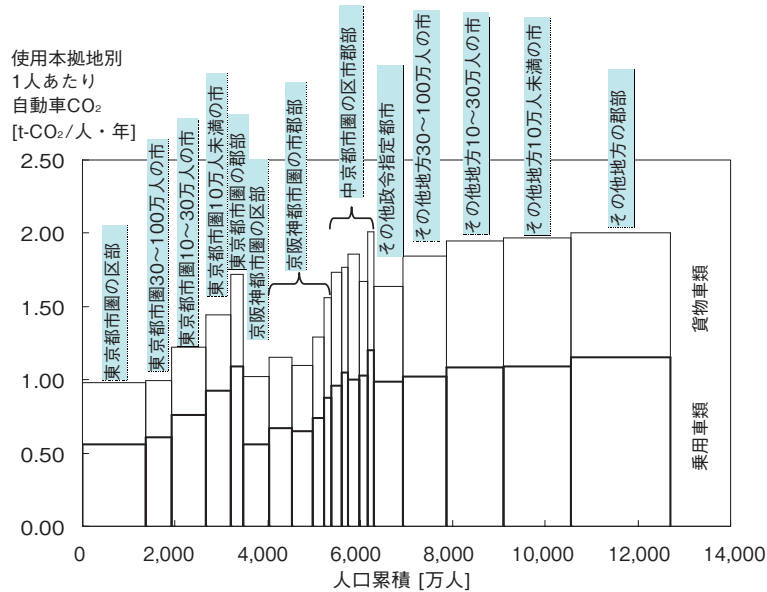


図7 地域類型別一人あたり自動車CO₂排出量(1999年).

表6 地域特性に応じた削減策の施策.

	大都市圏都市部	大都市圏郊外	地方都市	地方郊外・郡部	全国
徒歩圏の高密度化	△導入済み	○駅前再開発	○駅前等再開発	○集落再構築	217 → 63(t) 1990年比71%減 凡例： ◎3割減 ○2割減 △1割減 ×削減不可
都市の高密度化	△都心再開発	×	△地方都市の再評価	×	
公共交通システム活用	×旅客 △貨物	△環状方向の鉄道, P&R	○LRT	△小型乗合交通	
積載率改善	△適正規模の車両活用	△適正規模の車両活用	△乗合促進	×	
燃費改善	◎都心モード、 鉄道効率改善	◎都市モード	○元々比較的燃費が良い	○元々比較的燃費が良い	
低炭素燃料	△自動車分担率が低い ため	○	○	○	
人口(百万人)	46 → 45	15 → 10	27 → 25	35 → 15	124 → 95
t-CO ₂ /人	1.27 → 0.56	1.72 → 0.62	2.04 → 0.68	2.20 → 1.01	1.76 → 0.67

って、前もって立地を変更できるように、準備期間を置くことが役に立つと考えられる。そのためには、低炭素社会において望ましい土地利用の方向性を踏まえて、地域の具体的な将来像について議論を始めることが重要であろう。低炭素社会の地域の将来像が明らかになることで、低炭素社会に備える必要があると考えた主体から先に自発的に立地や投資先を変更する効果も期待できる。公共交通システムのインフラ整備への投資についても、同様に低炭素社会に向けた交通システムに関する議論を深めて、地域の具体的な将来像を早期に提示していくことが重要である。

積載率の改善、燃費改善には、燃費規制と優遇税制の組み合わせが有効と考えられる。積載率改善のためには、乗り合いや積み合わせを進める一方で、適正な大きさの車両の利用も役に立つ。また、車両重量や排気量のクラス別を廃した燃費規制とすることで、適正な大きさの車両が有効利用されることにもなる。

CO₂排出基準の設定は、技術開発の目標ともなり、燃費改善や低炭素燃料の活用を誘導する施策となる。また、低炭素燃料の活用には、エネルギー供給システム全体での技術開発が不可欠ではあるが、燃料供給のインフラ整備が普及の鍵ともなることから、現在のガソリンスタンドから代替燃料供給スタンドへとスムーズに移行できるように、低炭素燃料の主役が何になるのかを良く見極めることが必要である。

各々の施策には導入が容易ではないものが含まれている。しかし、短期的には導入困難でも、長期的には導入可能な施策が多くある。そうした施策を検討の場に乘せることを可能にするのが、バックカスティングの特徴の一つである。施策導入が困難な場合には、その障壁となるものを明確にし、それを突破する方法について多面的に検討することが、よりよい低炭素社会を実現するための重要な研究課題となると考えられる。

5. おわりに

交通分野を対象として、CO₂大幅削減策について検討を行った。2020年シナリオとして、効率面および実用面において有望なHVの大量普及等に自動車交通需要の抑制策を組み合わせ、14%減を達成するシナリオを提示した。2050年シナリオとして地域別、施策別に削減可能量を組み合わせたビジョン例を構築し、そのために必要な施策項目を例示した。この両シナリオを目指して施

策を導入することにより、2050年の70%削減が可能であることを明らかにした。

謝 辞

本研究は、地球環境研究総合推進費 S-3-5 および科学研究費(17310024)の助成による成果を含んでいる。多くの関係者に謝意を表す。

引用文献

- 1) 「京都議定書目標達成計画」(2005).
- 2) JHFC 総合効率検討特別委員会・財団法人日本自動車研究所(2006)「JHFC 総合効率検討結果」報告書.
- 3) Kudoh, Y., H. Yagita and A. Inaba (2007) Analysis of existing variation in fuel consumption of hybrid electric vehicles. *Proceedings of International Conference on Ecologic Vehicles & Renewable Energies*(CD-ROM).
- 4) 松橋啓介・工藤祐揮・上岡直見・森口祐一(2004)市区町村の運輸部門 CO₂排出量の推計手法に関する比較研究. 環境システム研究論文集, 32, 235-242.
- 5) Kudoh, Y., T. Hasegawa, Y. Kondo, K. Matsushashi, Y. Moriguchi, Y. Yoshida, R. Matsushashi and H. Ishitani (2005) Environmental impacts of introducing FCEVs and BEVs within road traffic system of Tokyo. *Proceedings of The 21st Worldwide Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition* (CD-ROM).
- 6) 都道府県別給油所数の整備(2007.10.17). (http://www.sekiyu.or.jp/topics/data_a.html)
- 7) 平成17年全国都道府県市区町村別面積調(2007.10.17). (<http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/200510/ichiran.htm>)
- 8) Kudoh, Y., K. Matsushashi, Y. Kondo, S. Kobayashi, Y. Moriguchi and H. Yagita (2007) Statistical analysis of fuel consumption of hybrid electric vehicles in Japan. *The World Electric Vehicle Journal*, 1, 142-147.
- 9) Scenarios for Sustainability (2005.12.15). (http://www.scenariosforsustainability.org/howto_recipes.php)

(受付 2007年9月1日, 受理 2007年10月19日)

