

# 自動車部門における CO<sub>2</sub> 排出削減効果

## Cost-effectiveness analysis of CO<sub>2</sub> Reduction in Automobile Sector

末広 茂\*・小宮山涼一\*\*・松尾雄司\*\*\*・永富 悠\*\*・森田裕二\*\*\*\*・沈中元\*\*\*\*\*

Shigeru Suehiro Ryochi Komiyama Yuji Matsuo Yu Nagatomi Yuji Morita Zhongyuan Shen

We have faced various problems concerning energy and environment like the oil price volatility, the exhausting resource, and the global warming. Especially, the discussion about the car transportation sector becomes important because oil demand and CO<sub>2</sub> emission in the sector are expected to increase due to the motorization in developing countries. This report focuses the road sector and analyzes the reduction potential of CO<sub>2</sub> emission and the cost-effectiveness of CO<sub>2</sub> abatement in the sector.

**Keywords:** Energy, CO<sub>2</sub>, road sector, global warming

### 1. はじめに

化石燃料の価格高騰や資源問題、地球温暖化問題など、エネルギー・環境に関するさまざまな課題が表面化している。なかでも、新興国のモータリゼーションの進展を背景に、石油需要及び CO<sub>2</sub> 排出量が増加することが見込まれている自動車輸送部門についての議論は重要になってきている。本稿では、こうした流れの中で、自動車輸送部門に焦点を当て、CO<sub>2</sub> 排出量の削減ポテンシャルとその費用対効果について分析を行う。

### 2. 「IEEJ2050 モデル」の概要

「IEEJ2050 モデル」は、中長期における世界のエネルギー需要、エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量を予測することを目的に構築されている。経済社会情勢の変化、政策の変更や技術進展の度合いによる影響をフォワードキャストによって分析することが可能である。対象予測期間は 2010 年から 5 年刻みで 2050 年まで、対象地域は 16 国・地域である。

モデル構造は、最終エネルギー消費部門、エネルギー転換部門、一次エネルギー消費部門から構成されている。まず、部門（産業、民生、交通）ごとに最終エネルギー消費を算出した後、各エネルギー需要（電力、熱、水素など）に見合う供給構成をエネルギー転換部門（発電、熱供給、水素製造など）にて算出する。そして、最終消費部門と転換部門の合計値として、一次エネルギー消費が算出され、さらに化石燃料起源の CO<sub>2</sub> 排出量が算出される。

交通部門について詳細な分析を行うために別途サブモデ

ルを構築している。交通需要を、用途別（旅客、貨物）、機関別（自動車、鉄道、船舶、航空）に分割し、さらに自動車については、燃料種別、動力技術別に分割している。

表 1 モデル対象地域

地域	モデル区分
北米	①米国、②カナダ
中南米	③ブラジル、④他中南米
欧州	⑤OECD 欧州、⑥ロシア、⑦他欧州
アジア太平洋	⑧日本、⑨中国、⑩インド、⑪韓国、⑫ASEAN、⑬オセアニア、⑭他アジア
中東	⑮中東
アフリカ	⑯アフリカ

### 3. 世界エネルギー需給見通し（レファレンスケース）

現時点における各国・地域の経済社会情勢及び国際情勢を鑑み、現行の技術体系と各種政策を前提に、趨勢的な変化をベースに推計するケースをレファレンスケースとする。

#### 3.1 計算の主な前提

人口見通しは、国際連合などの見通しを参考にしている。2050 年時点の人口は、現在の約 1.4 倍の 90 億人に達し、増加分のほとんどが途上国によるものである。経済成長率は、資本、労働及び技術進歩をそれぞれ勘案した上で、世界全体の GDP 平均成長率は 2.8%と想定した。原油価格（OECD 平均輸入価格）は、累積生産量の増大に伴い、生産コストの高い原油にシフトしていくことから、2050 年には 2007 年実質価格で 200 ドル/バレルまで上昇すると想定した。

#### 3.2 世界のエネルギー需要と CO<sub>2</sub> 排出量の見通し

世界の一次エネルギー供給は、2050 年に石油換算 185 億

\* (財) 日本エネルギー経済研究所 計量分析ユニット グループリーダー、\*\* 同ユニット研究員、\*\*\* 同ユニット主任研究員、\*\*\*\* 同ユニット研究理事、\*\*\*\*\* 地球環境ユニット グループリーダー  
〒104-0054 東京都中央区勝どき 1-13-1 イヌイビル・カチドキ

トン、現在の約 1.8 倍に拡大する。増分のほとんどが途上国によるものである。省エネルギーの進展を見込んではいないものの、人口の増大、産業の発展、生活水準の向上などを背景に、途上国のエネルギー消費量は、現在の 2.5 倍に拡大する見通しである。

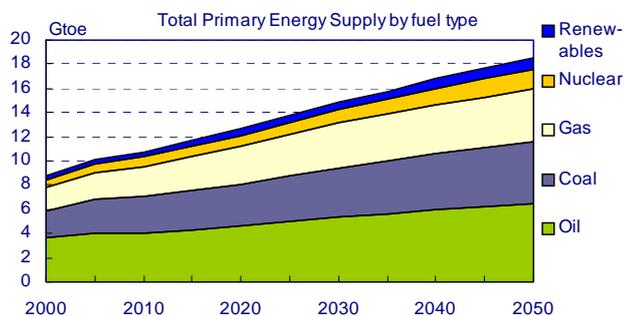


図1 一次エネルギー供給の見通し

エネルギー源別では、石油が 1.6 倍、石炭が 1.9 倍、ガスが 1.9 倍に増加し、化石燃料シェアは現在の 89%から 86%まで低下するものの依然として太宗を占める。石油需要の増加は、自動車、航空等の交通需要が牽引役となっており、石炭、ガスは発電用が大幅に増加する。原子力や再生可能エネルギーも大幅に増加する見通しであるが、一次エネルギー構成比はそれぞれ 9%、5%程度に過ぎない。

2050 年の化石燃料起源の CO<sub>2</sub> 排出量は 475 億トン、現在の約 1.8 倍に増大する。先進国は概ね現在をピークに減少していくが、途上国は 2.4 倍に拡大、世界全体の排出量（国際マリンバンカー除く）の 74%を占める見通しである。

### 3.3 自動車保有台数の見通し

輸送需要の拡大を背景に、自動車保有台数（除二輪）は、現在の 9 億台から 2050 年には 23 億台まで 2.7 倍に増加する。台数増分のうち 8 割以上が途上国によるものである。車種別には、乗用車が 2.8 倍（2050 年：20 億台）、バスが 2.5 倍（同 0.4 億台）、トラックが 2.2 倍（同 3 億台）にそれぞれ拡大する。二輪車は、3 億台から 5 億台まで 1.9 倍に増加する。

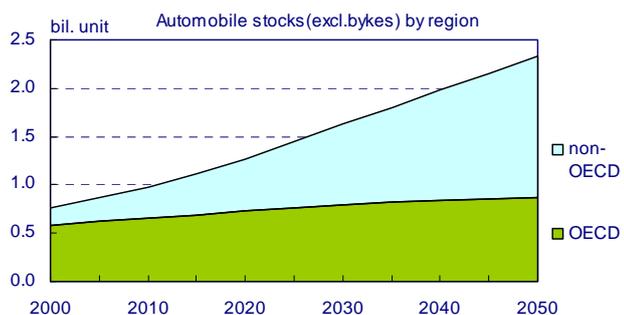


図2 自動車保有台数の見通し

### 3.4 自動車の動力技術選択

現在の自動車は内燃機関車（ICEV）が中心であるが、近年はモーターを駆動源とする車両開発が活発に進められている。将来の車種（動力技術）構成を考える際に、消費者がどのような車種選択を行うか、を考慮する必要がある。「選択確率モデル」は、消費者の選択時における効用の大きさから最も妥当な選択構成分布を推定できる。

表2 モデルで想定している自動車の燃料種・動力技術

燃料種別	動力技術別		
	内燃機関 (ICEV)	内燃機関+モーター【ハイブリッド車 (HEV)】	モーター【ゼロエミッション (ZEV)】
ガソリン	① ガソリン車 [GICEV]	⑤ ガソリンハイブリッド車 [GICEHEV] ⑥ プラグインハイブリッド車 [GICEPHEV] (※電気併用)	
軽油	② ディーゼル車 [DICEV]	⑦ ディーゼルハイブリッド車 [DICEHEV]	
LP ガス	③ LP ガス自動車 [LPGV]		
天然ガス	④ 天然ガス自動車 [CNGV]		
電気			⑧ 電気自動車 [EV]
水素			⑨ 燃料電池自動車 [HFCV] ⑩ プラグイン燃料電池車 [HFCPHEV] (※電気併用)

消費者が自動車を購入する際に、3つの要素（①経済性、②環境性、③利便性）を考慮して、最も効用の高い車種を選択するものと仮定する。①経済性は、初期コスト（車両価格）とランニングコスト（燃料費）を総合し、1ドル当たりの走行距離で評価する。②環境性は、燃料の CO<sub>2</sub> 排出量（Well to Wheel ベース）で計測し、CO<sub>2</sub> 排出量 1kg 当たりの走行距離で評価する。③利便性は、燃料供給インフラや一充填当たりの航続距離などを考慮に入れて総合的に評価している。それぞれの要素から、(1)式のようなコブ・ダグラス型の効用関数を想定する。

$$U_i = \text{経済性}_i^\alpha \times \text{環境性}_i^\beta \times \text{利便性}_i^\gamma \quad (1)$$

（ただし、 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 、 $\alpha, \beta, \gamma \geq 0$ 、 $i$ は車種）

各車種について効用 ( $U_i$ ) を計算すれば、多項ロジットモデル型の選択確率 ( $P_i$ ) は(2)式で算出される。得られた選択確率は、各年次の販売シェアに相当する。

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_i \exp(U_i)} \quad (2)$$

選択確率モデルを利用した動力技術の普及見通しは、ICEV に対して価格競争力があり、インフラ面での制約も少ないハイブリッド車 (HEV) の普及が大きく進むという結果になった。世界全体の 2050 年における乗用車の販売構成比は、ICEV が 56%、HEV が 42%となり、ゼロエミッション車 (ZEV) は 2%に過ぎない。

### 3.5 自動車ユーザーのコスト負担

新技術を伴う HEV、ZEV は ICEV に比べて車両価格が高く、ユーザーの費用負担となる。ユーザー全体の初期コストは、現時点における車両価格（技術固定：燃費改善なし、HEV・ZEV 普及進展なし）に対する追加負担額として計上できる。一方、燃費の良い新技術車両は、従来車に比べて燃料費用を抑制することができる。技術固定時に対する燃料費用の減少分を、省エネメリットとして計上する。

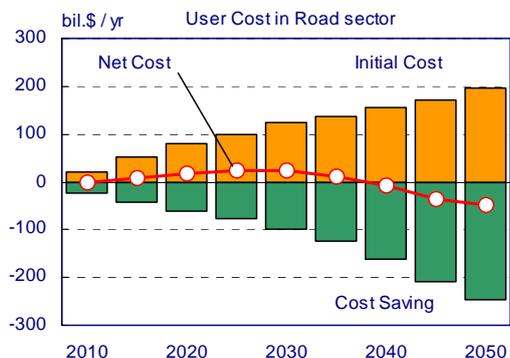


図3 道路部門のユーザーコスト（レファレンスケース）

レファレンスケースにおける世界全体の初期追加コストは 2050 年までの累積で 4.7 兆ドルとなる。一方、新技術による省エネメリットは 4.6 兆ドルとなり、差し引き 0.1 兆ドルがネットのユーザーコストである。これは世界全体の GDP の 0.002% に相当し、概ねコスト負担が無い状態と言える。年次別に見てみると、量産効果が小さい導入開始期は初期コストが省エネメリットを上回っているが、徐々に車両価格の低下や燃費改善が進んでくると、省エネメリットの方が上回るようになる。

## 4. 自動車部門における技術進展への展望

新技術車両が更に導入されるケースを技術進展ケースとする。ここでは、ユーザーコストの大きさに応じて、複数のケースを展開する。費用の大きさは、GDP 比 0.1%、0.2%、0.3% とし、道路部門にすべて投入することを前提に、想定する費用に達するまで新技術車両の導入を促進する。

### 4.1 新技術車両の導入見通し

総額 9.8 兆ドルの追加費用を要する「GDP 比 0.3% ケース」では、乗用車の新車販売に占めるシェア（2050 年）は、HEV が 73%、ZEV が 21% となる。ICEV の販売シェアは、先進国で 2%、世界全体でも 6% 程度と、ほぼ新技術車両しか販売されていないシナリオと考えられる。

新技術車両の普及の進み方を見ると、車両価格が相対的に安いガソリンハイブリッド車（GICEHEV）から導入が進み、次にプラグインハイブリッド車（GICEPHEV）、そして電気自動車（EV）の順に導入されている。しかし、EV は航続距離、

インフラなどの問題から導入ポテンシャルは限定的である。

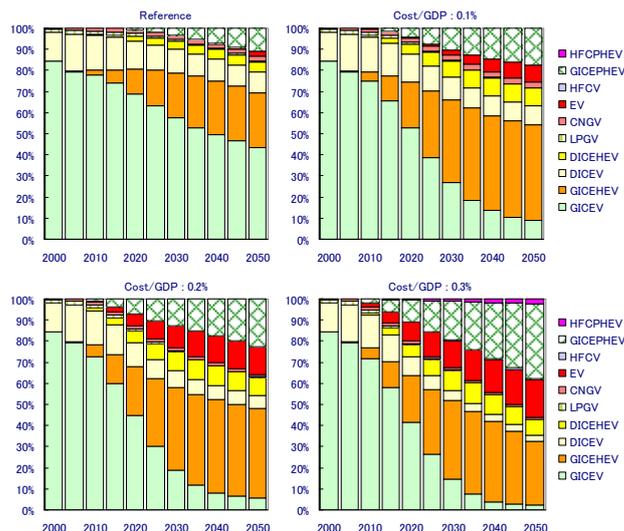


図4 乗用車・新車販売構成比（技術進展ケース）

### 4.2 新技術導入による CO<sub>2</sub> 削減効果

世界の GDP の 0.3% のコストをかけると、2050 年時点の道路部門からの CO<sub>2</sub> 直接排出量（Tank to Wheel）は、レファレンスケースに比べて 26 億トン減少し、ほぼ 2005 年水準に抑えられる。現在の水準を下回るためには、エネルギー消費効率の優れているモーター駆動、すなわち、車両の電動化を更に進める必要がある。

Well to Wheel ベースの CO<sub>2</sub> では、レファレンスケースに比べて 14 億トンの減少（2050 年時点）にとどまり、2005 年比では 1.3 倍の増加となる。これは、電動化の進展により、発電部門における CO<sub>2</sub> 排出量が増えているためである。

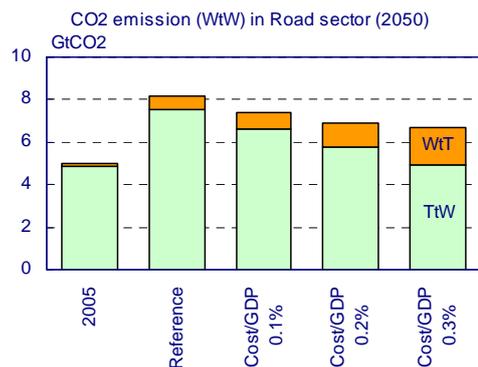


図5 エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量の削減見通し（道路部門）

### 4.3 CO<sub>2</sub> 削減の費用対効果

技術進展にかけた費用総額を削減された累積 CO<sub>2</sub> 排出量で除せば、CO<sub>2</sub> を削減するための平均費用が算出できる。「GDP 比 0.1% ケース」では 243 ドル/トン-CO<sub>2</sub> で、「0.3% ケース」になると 322 ドル/トン-CO<sub>2</sub> まで上昇する。削減を進めると平均費用は上昇する。これは、より多くの削減を進めるにあたり、新技術車両の価格がまだ高い状況での早期導

入が必要となるためである。

#### 4.4 電源の低炭素化の費用対効果

エネルギー消費効率の優れた電動化を進めても、発電部門での CO<sub>2</sub> 排出を考えると世界全体での削減ポテンシャルはそれほど大きくない。すなわち、発電部門の CO<sub>2</sub> 排出係数の大幅な改善が重要となる。ここでは、発電部門の低炭素化技術が促進された場合を考える。

世界全体の 2050 年時点の CO<sub>2</sub> 排出量は、レファレンスケースに対して、道路部門のみの技術進展（GDP 比 0.3% ケース）ではわずか 2% しか減少しないが、電源の低炭素化によって 26% 減少する。両部門で同時に技術進展が行なわれた場合には、29% 減、2005 年比で 1.3 倍まで低下する。

また、CO<sub>2</sub> 削減のための初期投資は、道路部門が総額 19.4 兆ドルに上るのに対して、発電部門は 10.6 兆ドルである。燃料費の削減分を控除したユーザーコストは、道路部門の 9.8 兆ドルに対して、発電部門は 2.9 兆ドルにとどまる。明らかに費用対効果は発電部門のほうが優れている。

表 3 発電部門の低炭素技術の導入

	導入の考え方	削減コスト
火力発電効率	コンバインドサイクルや石炭ガス化複合発電等の普及により、レファレンスケースに比べて世界平均で 5.7% ポイントの向上を見込む	t-CO <sub>2</sub> 当たり ▲78 ドル
再生可能電源	技術進展や量産効果などによるコスト低減が着実に進み、レファレンスケースの 2 倍に相当する規模の導入を見込む	49 ドル
原子力	途上国等では国家計画に近い大幅な拡大を見込み、欧州でも温暖化問題への対応から廃炉が延期されるものと想定	▲40 ドル
CCS (炭素回収・貯留技術)	世界の GDP の 0.1% に相当する約 3.4 兆円の初期投資を行うものと想定した。2050 年には火力発電設備の約 5 割に導入されると見込む	30~40 ドル程度

#### 4.5 電源低炭素化に伴う道路部門の費用対効果

道路部門の CO<sub>2</sub> 排出量 (Well to Wheel) は、レファレンスケースの 81 億トン (2005 年比 1.6 倍) に対して、新技術車両の進展 (GDP 比 0.3% ケース) では 18% 減少 (同 1.3 倍)、さらに電源低炭素化によって 29% 減少 (同 1.2 倍) する。

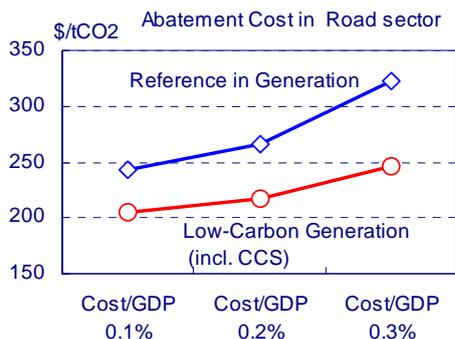


図 6 道路部門の CO<sub>2</sub> 排出量と削減コスト

道路部門の CO<sub>2</sub> 削減コストは、322 ドル/トン-CO<sub>2</sub> (0.3% ケース) から、電源低炭素化との相乗効果により 246 ドル/トン-CO<sub>2</sub> まで低下する。発電部門の低炭素化投資により、道路部門の削減コストは 76 ドルも低下することになった。逆に言えば、自動車部門で技術進展を図っても、発電部門が低炭素化を行わなければ、自動車ユーザーの負担はその分だけ大きくなることを意味している。

#### 5. おわりに

今回の分析では、新技術車両の普及を進めることで、CO<sub>2</sub> 排出量の削減を図ったが、輸送需要の増大分をせいぜい相殺できる程度にとどまった。しかし、技術進展については現行の技術体系の延長線で考えている。長期的な視点を考えれば、既存技術と一線を画す低価格技術の開発・普及が進む可能性もある。とりわけ、画期的に低価格・高密度のバッテリー開発が、車両の電動化を大きく進めるためには不可欠であろう。輸送需要の増大が見込まれる道路部門において、将来の CO<sub>2</sub> 排出量を現状以下の水準まで削減するには、革新的技術の出現に期待することになる。

道路部門における CO<sub>2</sub> 削減には、燃費改善技術の開発・普及だけでなく、本分析では対象としていないが、バイオ燃料や交通流の改善、エコドライブなどもある。もちろん、発電部門の低炭素化もその一つである。こうした対策を同時に行っていけば、さらなる CO<sub>2</sub> 削減が可能である。また、新技術車両の普及にかかる費用負担については、自動車メーカーによるコスト低減努力も不可欠であるが、政策的な補助金支援なども必要となろう。とりわけ、量産効果によるコスト低下を見込むには、補助金支援による初期需要の創出が肝要である。自動車輸送部門における地球温暖化対策は、自動車メーカー、燃料や発電などの関係業界、行政、自動車ユーザーなどがそれぞれの役割を果たし、社会全体で統合的に取り組むことでより大きな成果が期待できる。

#### 主要参考文献

- (財)日本エネルギー経済研究所; アジア/世界エネルギーアウトック 2009, (2009年10月)
- International Energy Agency (IEA); Energy Technology Perspectives 2008, 2008
- International Energy Agency (IEA); Transport, Energy and CO<sub>2</sub>: Moving towards Sustainability, 2009
- FIA Foundation, International Energy Agency (IEA), International Transport Forum (ITF) and United Nations Environment Programme (UNEP); 50 by 50 Global Fuel Economy Initiative, 2009
- 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> 削減効果と費用分析, (2009年)