

中長期を対象とした次世代車普及率の推計手法開発

The Development Estimated Method of New Generation Vehicles Penetration
in Middle and Long-term

金成 修一 *1

Shuichi KANARI

Abstract

It is focused on one of the CO₂ reduction measure that is popularization of new generation vehicles. It is developed model to estimate penetration of hybrid vehicle, electric vehicle and fuel cell vehicle in middle and long-term. This model is adopted mixed logit model. This model can not only consider monetary value but also nonmonetary values that are infrastructure ratio and driving distance in full charging. In addition, it has technological factors efficiency and cost data of next generation vehicles to consider advance technologies and mass production. Finally, it was calculation number of new generation vehicles, fuel economy, energy consumption and CO₂ emission about two scenarios to use this model.

1. まえがき

2015年に気候変動枠組条約第21回締約国会議COP21が開催され、5年毎にCO₂削減目標を更新することが採択された。これにより日本においても早期の取り組みが必要である。日本の自動車部門においても国内総CO₂排出量の約20%を占めており、対応が求められている。自動車部門のCO₂削減対策は様々なものがあるが、ここでは中長期の次世代車に焦点を絞り、消費者選好を考慮した普及率の推計方法について検討した。既往研究^{1)~4)}においても同様の検討は行われているが、多くのものでは金銭的価値のみをパラメータとして推計する。これでは電気自動車 (BEV) や燃料電池車 (FCV) などのインフラや航続距離が異なる技術の評価は困難である。そこで、本研究ではインフラや航続距離などの非金銭的価値も考慮した方法論を構築した。さらに、構築した方法論を活用し、一定水準まで技術進化をすることを考慮した Business as Usual ケース (BaU ケース) と、現

状水準で技術進化が留まる技術固定ケースの2ケースを想定し、次世代車台数、燃費、エネルギー消費量、CO₂排出量についてシナリオ分析を行った。

2. 推計モデル

本研究では、既往研究にて従来車の燃費改善効果を検討するために開発した推計モデル CAMPATH (CO₂ Analysis Model for Passenger car Technologies) をベース⁵⁾に、次世代車選択ロジックを追加する形とした。CAMPATH は2層構造であり、1層目のモデルは移動手段選択モデルとなっており、総移動量を(1)式にて算出し、(2)、(3)式にて乗用車、二輪車、公共交通に配分する。2層目は車格別選択モデルとなっており、1層目で得られた乗用車の総移動量を販売台数に換算し、その販売台数を普通車 (排気量 2000cc 以上)、小型車 (排気量 660cc 以上 2000cc 未満)、軽 (排気量 660cc 未満)、ハイブリッド車 (HEV) に(2)式、(4)式にて配分する。本研究では、CAMPATH の

*1 一般財団法人日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部

*本速報は JSAE 著作権規則に基づく JSAE20166382 の転載である

構造を2層目までは流用する形とし、新たに3層目のモデルとして、次世代車選択ロジックを追加することとした。次世代車選択ロジックでは、2段階で配分した車格別の台数を、ミックスロジックモデルをベースとした(2)、(5)式にて従来車(CONV)、クリーンディーゼル車(CDV)、HEV、プラグインハイブリッド車(PHEV)、BEV、FCVに配分する(Fig.1)。

(5)式では重み付け係数を用いて、各項目を効用として一元化している。年間費用は車両価格と燃料価格、税金関係を1年間分の金額に換算したものとした。ラインナップ数は販売されている車種数とした。インフラ満足度は新潟県が行ったBEVに関するアンケート結果を参考にインフラ距離と満足度の形とした整理した(Fig.2)。一充填航続距離満足度もインフラ満足度と同様に新潟県のアンケート結果⁶⁾を参考に一充電航続距離と満足度の関係で整理した(Fig.3)。次世代車安全係数は、過去の新規技術の普及事例において普及初期は、ユーザの不安感(機能面、環境面、メンテナンス面など)などがあり、普及が進まないことがあり、ここでは先述した4項目に加えて、CDV、HEV、PHEV、BEVの販売比率と整合するように設定した。なお、この影響は一定数及び普及すると影響が無くなることを想定し、2020年以降は「0」とした。金銭的価値である年間費用とラインナップ数の重み付け係数は、これまでのCONVとHEVの各種パラメータと実績台数を参考に設定し、インフラ満足度、一充填航続距離の重み付け係数は、新潟県が行ったアンケート結果を参考に費用と各項目について、購入時において重視している項目の比率を参考に設定した。次世代車安全係数の重み付け係数はデータが無いため、ここでは暫定で1.0とした。

本モデルの妥当性を評価するために、過去の実績値について推計を行った。なお、1層目の交通機関選択モデルと2層目の車格選択モデルは過去に検証を行っているため⁵⁾、ここでは説明を割愛する。技術選択モデルは、HEVが過小、PHEVが過大推計となっている。PHEVはインフラ影響および航続距離満足度が従来車と同様と想定しているが、実際のユーザにとって電気走行による部

分を加味するとこれらの満足度が低下することが考えられ、推計結果も実績値に近づくものと推測される。

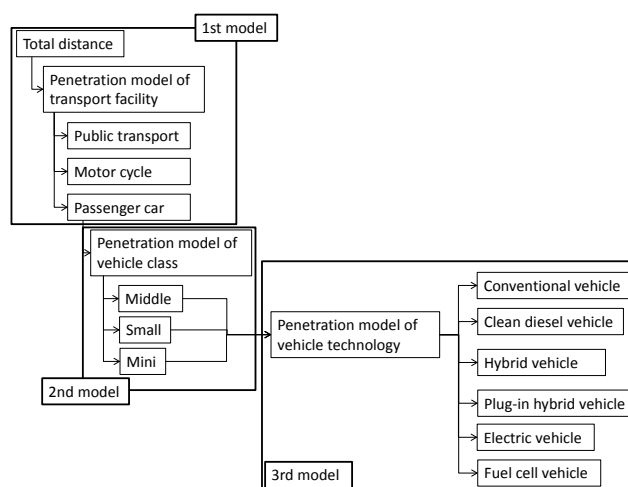


Fig. 1 Model component

$$TD = Pop \times \frac{\alpha}{[1 + \beta \times \exp(\gamma \times GDP)]} \times Cy \quad \dots(1)$$

TD: 総移動量 (人・km/年), Pop: 人口
 GDP: 1人あたり GDP (円/年), Cy: 高齢者補正係数
 α, β, γ : 係数 ($\alpha=10500, \beta=7.82, \gamma=-1.17$)

$$Pt_i = \frac{Exp(Ut_i)}{\sum_{j=1}^n (Ut_j)} \quad \dots(2)$$

Pt: 選択確率, Ut: 効用
 i: 選択対象 (交通手段選択モデル: 各交通機関,
 車格別選択モデル: 各車格
 技術別選択モデル: 各技術車両)

$$Ut_i = \alpha \times \frac{C_i}{I} + \beta \times \ln(L_i) + \gamma \times \ln(Rn_i) + \delta \times Rr \quad \dots(3)$$

C: 交通機関別年間移動費用, I: 年間収入
 Li: ラインナップ数 Rn: 最大乗車人数
 Rr: 降雨日比率
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 重み付け係数
 ($\alpha=-7.36, \beta=0.229, \gamma=0.0419, \delta=-10.4$)

$$Ut_i = \alpha \times \frac{C_i}{I} + \beta \times \ln(L_i) + \gamma \times \ln(Rn_i) + \delta \times Pw_i \quad \dots(4)$$

C: 車格別年間費用, I: 年間収入, Li: ラインナップ数
 Rn: 最大乗車人数, Pw: 最大出力
 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 重み付け係数

($\alpha=-21.6, \beta=0.533, \gamma=0.179, \delta=-1.30 \times 10^{-4}$)

$$Ut_i = \alpha \times \frac{C_i}{I} + \beta \times \ln(L_i) + \gamma \times Inf_i + \delta \times Dist_i + \varepsilon \times Img_i \quad \dots(5)$$

C : 車格別年間費用, I : 年間収入

Li : ラインナップ数, Inf : インフラ満足度

Dist : 一充填航続距離満足度,

Img : 次世代車安全係数

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$: 重み付け係数

($\alpha=-35.9, \beta=0.327, \gamma=2.26, \delta=2.91, \varepsilon=1.00$)

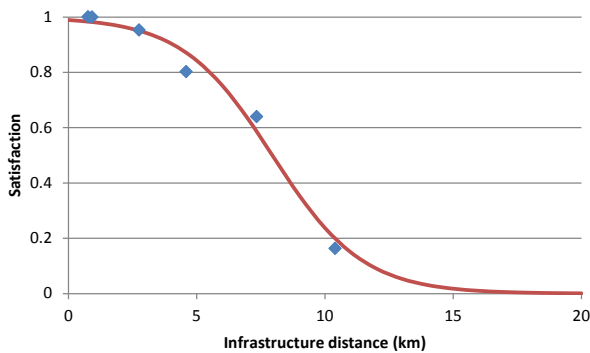


Fig. 2 Satisfaction of Infrastructure distance

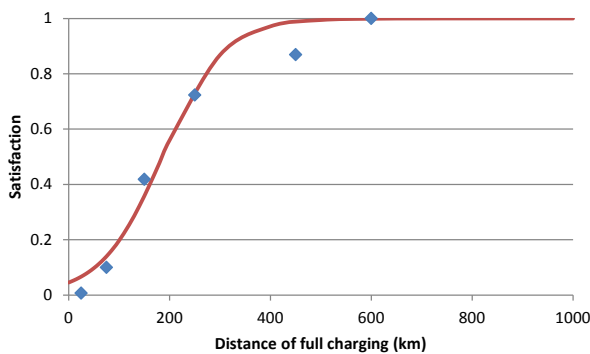


Fig. 3 Satisfaction of full charging driving distance

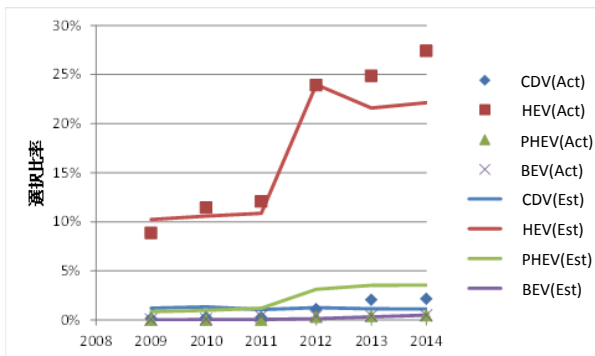


Fig. 4 Calculation of vehicle penetration until 2014

ため、今後の課題とし、4章で示すシナリオ分析では、これらの誤差があることを認識した上で実施するものとする (Fig.4).

3. 入力データ

3.1 自動車技術関連

3.1.1 従来車燃費技術関連

従来車の燃費基準が将来見直される可能性が高いため、CAMPATHでは、日本で販売されている車両と排気量が比較的近い欧州の既往研究より燃費改善技術の燃費改善率および追加費用を参考に設定した (Table1).

Table 1 Fuel economy improvement technologies of small passenger car

Technology item	CO2 Reduction	Cost (Euro)
Reduced engine friction losses	4%	50
Advanced reduced engine friction losses	4%	100
DI / homogeneous charge (stoichiometric)	3%	150
DI / Stratified charge (lean burn / complex strategies)	10%	400
Medium downsizing with turbocharging	10%	300
Strong downsizing with turbocharging	12%	450
Extra strong downsizing with turbocharging	20%	650
Variable Valve Timing	3%	150
Variable valve control	7%	350
Variable Compression Ratio	10%	1000
Optimised cooling circuit	2%	35
Advanced cooling circuit+ electric water pump	3%	120
Heat recovery	5%	250
Optimised gearbox ratios	2%	60
Piloted gearbox	4%	350
Dual-Clutch	5%	700
Start-stop function	4%	250
Start-stop + regenerative braking	7%	600
Mild hybrid (motor assist)	11%	1600
Full hybrid (electric drive)	22%	3500
Improved aerodynamic efficiency	2%	75
Mild weight reduction	1%	28
Medium weight reduction	2%	90
Strong weight reduction	6%	294
Advanced light weight materials	20%	1403
Low rolling resistance tyres	2%	30
Electrically assisted steering (EPS, EPHS)	3%	100

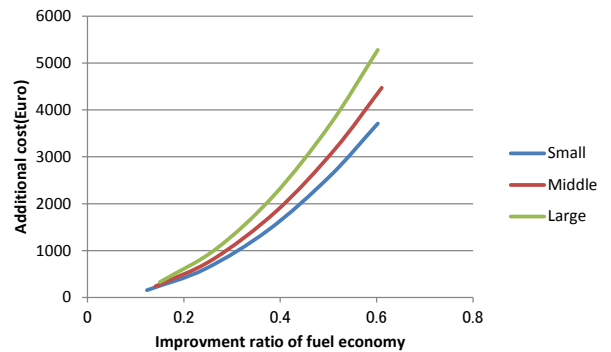


Fig. 5 Satisfaction of full charging driving distance

しかし、これらについては現状ではデータが無い

なお、モデルの構造上、個別の燃費改善技術を組

み合わせることは困難であるため、ここでは主要技術のパッケージも欧州で検討したものを引用し、それをベースに燃費改善率と追加費用の関係を Fig.5として整理した。

3.1.2 モーター

車格別の重量と価格が計算できるように、出力単位当たりの重量と価格を設定し、これらの値は既往研究⁸⁾より1.2 kg/kW, 0.3 万円/kWとした。なお、既往研究では、2010年を想定した価格となっているが、モーターは自動車および様々な分野で一定数普及していることから重量、価格の大きな変化はないことが想定されるため、将来値も現状と同値と設定した。

3.1.3 バッテリ

容量単位あたりの重量と価格を設定し、これらの値は NEDO ロードマップの値⁹⁾を採用することとした (Fig.6)。また、HEVは現状では Ni-MH バッテリを主に採用しているが、将来的には Li-ion バッテリに切り替わることが想定されるため、本推計においても HEV の将来値は、Li-ion バッテリの値を用いて推計した。

3.1.4 燃料電池システム

出力あたりの重量と価格を設定し、これらの値はバッテリーと同様に NEDO ロードマップの値¹⁰⁾を採用した (Fig.7)。重量はロードマップに記載が無いことから、大幅な軽量化などの見込みが少ないことを想定し、将来値は現状と同値とした。

3.1.5 水素タンク

水素貯蔵システムはオンボード改質を想定し、水素重量単位あたりの重量と価格を設定した。これらの値はバッテリー、燃料電池システムと同様に NEDO ロードマップの値¹⁰⁾を採用した (Fig.8)。

3.1.6 次世代車ラインナップ数

車格別の総ラインナップ数は、過去の販売台数とラインナップ数の関係より作成した(6)式を採用することとした。(6)式で使用する係数は普通車 (Middle)、小型車 (Small)、軽自動車 (Mini)

用の3種類をそれぞれ設定した。各車格の技術別ラインナップ数は(6)式を適用すると、初期段階での販売台数が少ないとラインナップ数が増加せず、現状水準の普及に留まってしまうため、ここでは環境省のシナリオ¹¹⁾を参考に設定した (Fig.9)。

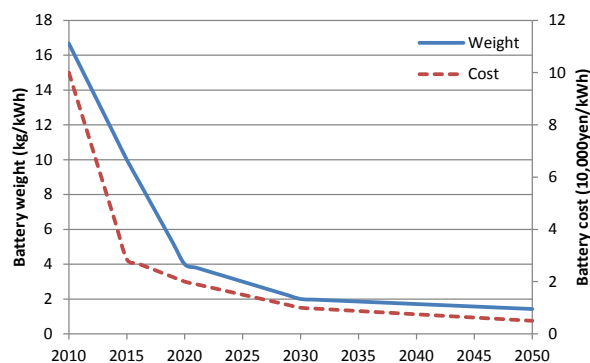


Fig. 6 Battery future assumption

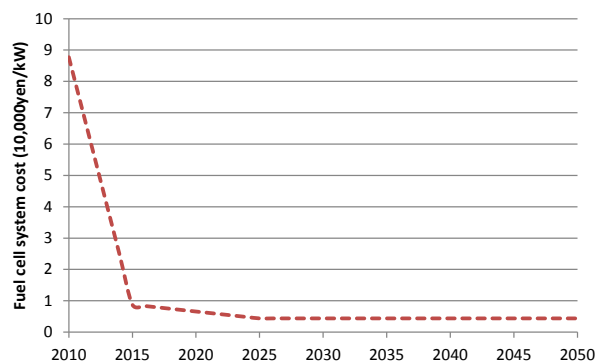


Fig. 7 Fuel cell system cost future assumption

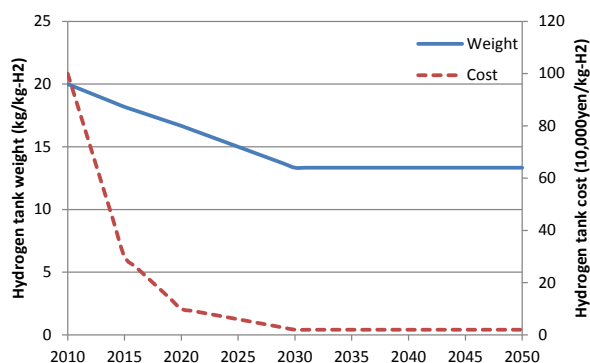


Fig. 8 Hydrogen tank future assumption

$$Li_t = \alpha \times \ln(Nn_t) + \beta \dots (6)$$

Li : ラインナップ数, Nn : 新車台数

α , β : 係数 (Table 2)

Table 2 Coefficient of model number

	a	b
Middle	17.9	-41.6
Small	103	-656
Mini	20.4	-101

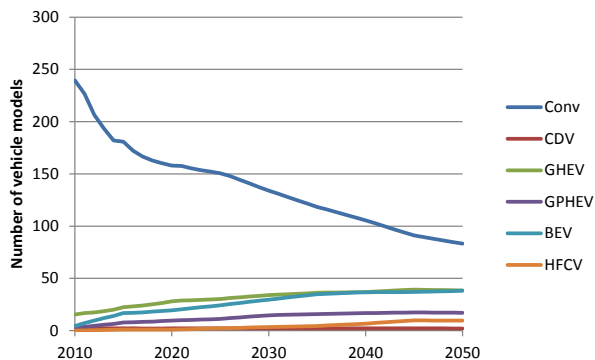


Fig. 9 Number of vehicle models

3.2 その他データ

3.1 節で述べた以外のデータとして、需要を計算するための人口、年齢構成比率、GDP、高齢者トリップ数などのデータや年間燃料費を推計するための燃料単価、消費者選好の推計に必要なラインナップ数のデータを与える必要がある。人口、年齢構成比率は、国立社会保障・人口問題研究所の中位予測値¹²⁾を採用し、GDPは日本エネルギー経済研究所のシナリオ値¹³⁾、高齢者のトリップ数は東京都パーソントリップ調査の結果¹⁴⁾を用いた。燃料単価は、エネルギー経済研究所などが想定したもの¹⁵⁾を採用した。ここでは一例として、燃料単価の想定を Fig.10 に示す。

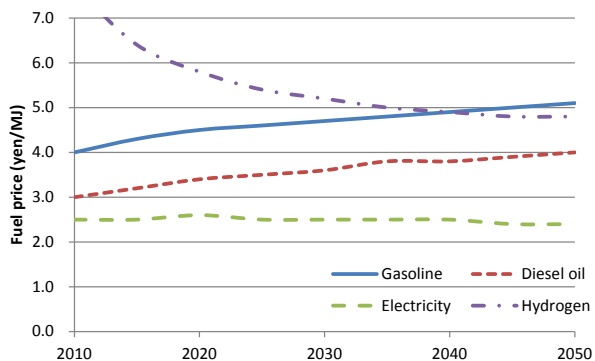


Fig. 10 Fuel price

4. シナリオ分析

4.1 シナリオ想定

本章では、3.1節で述べた自動車技術進化を考慮

したBaUケースと、技術進化による影響を把握するために2014年水準で技術レベルが留まった技術固定ケースを設定した。なお、自動車技術関連データ以外の人口、GDP、燃料価格は3.2節の値を採用するものとした。BaUケースおよび技術固定ケースについて、自動車台数、燃費、エネルギー消費量、CO₂排出量を推計した。

4.2 自動車台数

技術固定ケースと BaU ケースの保有台数について推計した結果を示す (Fig.11)。

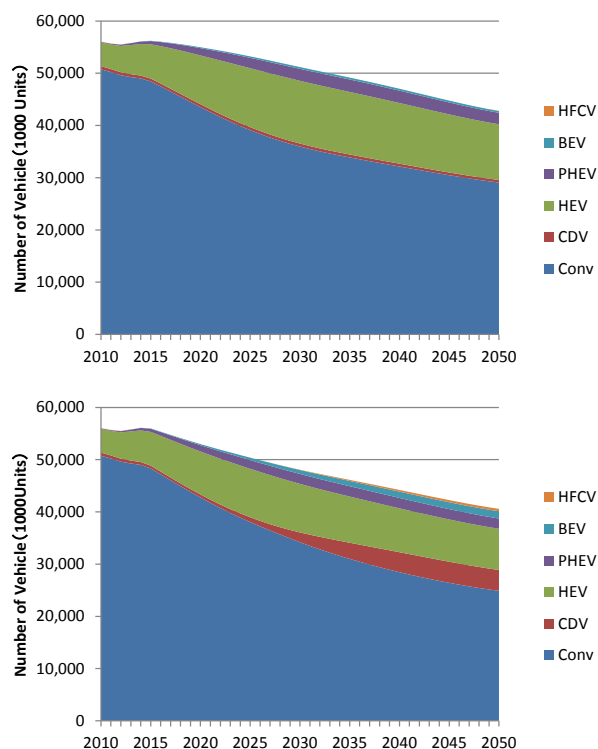


Fig. 11 Number of each technological vehicles (1000Units, Upper : Current case, Lower : BaU case)

技術固定ケースでは、新車の技術水準およびコストが現状相当のため、新車ベースにおける次世代車比率はほぼ現状水準を維持する。次世代車は保有ベースでは一定数までは増加しているが、これは年式が古い車両の代替と燃料価格上昇によるものである。

BaUケースでは、技術進展による効率向上およびコスト低下に伴い、新車および保有台数ベースいずれも増加し、2050年では次世代車普及比率が

47% (CDV:12%, HEV:25%, PHEV:6%, BEV:3%, HFCV:1%) まで増加する。これは次世代車の中で安価であり、さらにインフラや航続距離も従来車と遜色が無いCDV, HEVがより多く選択されたためである。一方で、PHEVはコスト、BEVは航続距離、HFCVはコストとインフラの影響により普及が限定的となっていると推測される。

4.3 平均燃費

技術固定ケースおよびBaUケースの10・15モードの保有平均燃費について推計した結果をFig.12に示す。技術固定ケースでは、過去に普及した燃費が悪い車両が代替することにより、燃費が改善され、2050年には25%改善される。BaUケースでは、技術固定ケースの要因に加え、従来車の燃費改善および次世代車の普及効果が上積みされることにより、2050年には2010年比にて46%の燃費改善効果が見込まれる。

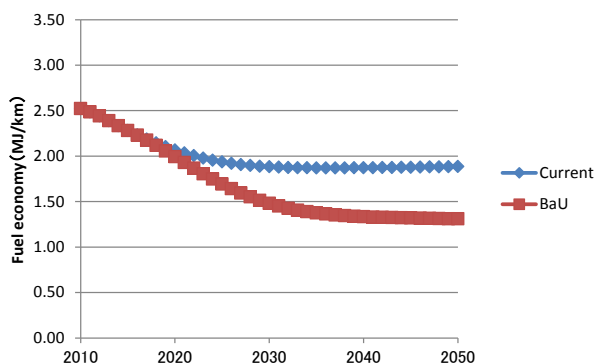


Fig. 12 Average fuel economy

4.4 エネルギー消費量

技術固定ケースと BaU ケースのエネルギー消費量について推計した結果を Fig.13 に示す。なお、ここでは燃料の多様化の影響も評価することから、ガソリン、軽油、電気、水素の燃料別に分けて算出した。固定ケースでは車両台数の減少と車両の代替効果による燃費改善効果により、2050年では2010年比で52%の削減効果となった。また、エネルギー消費量の内訳をみると、僅かではあるが、PHEVが入っており、電力消費がある分、化石燃料はエネルギー消費量全体の99%となった。一方で、BaU ケースでは技術固定ケースの要因に加えて、次世代車普及効果等によりさらにエネルギー

消費量は削減され、2050年では2010年比で66%の削減効果となっている。エネルギー消費量の内訳を見ると、PHEV, BEV, HFCVが入っているため、化石燃料が占める比率が少なくなり96%となった。

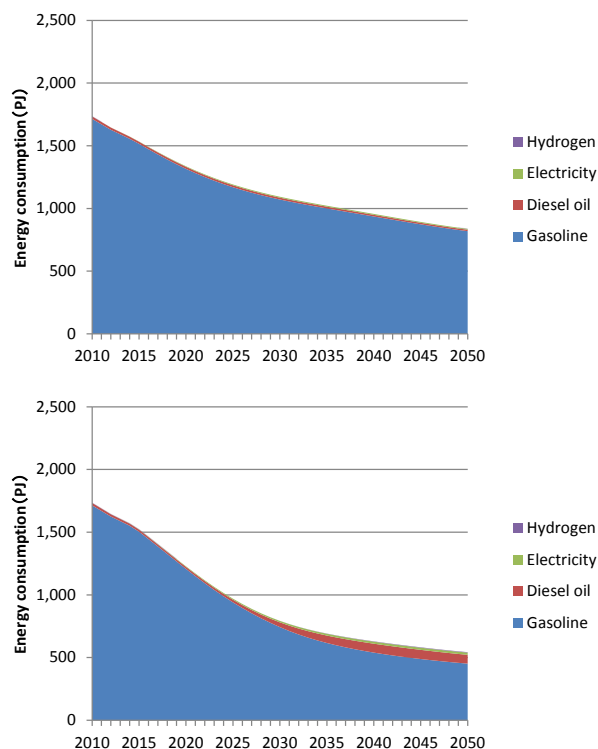


Fig. 13 Energy consumption (Upper : Current case, Lower : BaU case)

4.5 CO₂排出量

技術固定ケースおよび BaU ケースの Tank to Wheel CO₂排出量について推計した結果を示す (Fig.14)。なお、ここでは燃料製造時の CO₂排出量は対象外とするため、電気と水素の CO₂排出量は0とする。技術固定ケースではエネルギー消費量と同様に車両台数の減少および車両代替により、2050年において2010年比で52%のCO₂削減効果となった。また、BaU ケースにおいては、固定ケースに加え、次世代車普及等の効果により2050年において67%のCO₂削減効果となった。

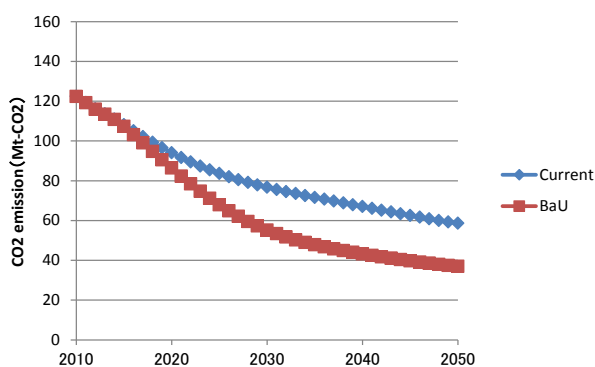


Fig. 14 CO₂ emission

5. まとめ

本研究では、既往の次世代車普及モデルに加え、消費選好の観点において、インフラ影響、一充電航続距離の影響を加えることで、これまでの手法と比較して、電気自動車、燃料電池車などの評価が多角的にできるようになった。この推計手法を活用することで、経済性だけでなく、車両の技術面やインフラメーカーの企業努力等についても評価ができるようになる。今回、技術別選択モデルにおいて、経済性やラインナップ数は市販データを参考に行っているため、平均的なユーザの嗜好を考慮できていると考えられるが、一方で、インフラや航続距離はアンケート結果を参考に設定しており、アンケートではネガティブ要素を過大に評価することがあり、今後、データの収集と更なる検証が必要になると考えられる。

今回のシナリオ分析においては、純粋に自動車技術の影響を評価するために自動車側に起因する要因に関して感度分析を行ったが、今後は、将来の政府目標を達成するための施策の検討や燃費規制などの影響による次世代車普及効果等について本モデルを活用していきたいと考える。

参考文献

- (1) 近久武美: 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) 69 巻 77 号, P221-228 (2003)
- (2) Zhenhong Lin : User Guide of the ORNL MA3T Model (2013)
- (3) 林良嗣: 自動車関連税の課税レベルと税関バランスによる CO₂削減効果の際に関する分析, 運輸政策研究, 2 巻 1 号, P2-13 (1999)
- (4) 金成修一: 将来自動車技術導入による CO₂ 排出削減効果と費用分析, エネルギー・資源学会論文誌, Vol.31 No.4, 通巻 182 号
- (5) 金成修一: 乗用車における将来燃費改善効果を考慮した CO₂排出量推計, 自動車技術会論文集, Vol.43 No.5, P1151-1156 (2012)
- (6) 新潟県知事政策局広報広聴課: 平成 22 年度第 5 回県民アンケート報告書「電気自動車について」 (2010)
- (7) Ruben Sharpe : Assessment with respect to long term CO₂ emission targets for passenger cars and vans (2009)
- (8) EUCAR : Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context TANK-TO-WHEELS Report Version 3 TTW APPENDIX1,(2008)
- (9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013 (2013)
- (10) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010 (2010)
- (11) 次世代自動車普及戦略検討会: 次世代自動車普及戦略 (2009)
- (12) 国立社会保障・人口問題研究所: 日本の将来推計人口 (2012)
- (13) 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 2014 (2014)
- (14) 国土交通省: 東京都市圏パーソントリップ調査 (交通実態調査) の結果概要 (2010)
- (15) 末広茂: 自動車部門における CO₂排出削減効果, 日本エネルギー経済研究所研究レポート (2009)