



次世代自動車エネルギー技術の不確実性と  
普及目標の達成リスクに関する研究

紀伊 雅敦  
三好 博昭

Uncertainty of cost for energy technologies of next generation  
passenger vehicles and unachievable risk for dissemination goal

Masanobu Kii  
Hiroaki Miyoshi

**ITEC Working Paper Series**

**17-01**

**June 2017**

次世代自動車エネルギー技術の不確実性と  
普及目標の達成リスクに関する研究

Uncertainty of cost for energy technologies of next generation passenger  
vehicles and unachievable risk for dissemination goal

Institute for Technology, Enterprise and Competitiveness, Doshisha  
University

Working Paper 17-01

紀伊 雅敦

香川大学 工学部 准教授

761-0322 香川県高松市林町 2217-20

Tel: 087-864-2140

Fax: 087-864-2188

Email: [kii@eng.kagawa-u.ac.jp](mailto:kii@eng.kagawa-u.ac.jp)

三好 博昭

同志社大学 政策学部 教授

602-8580 京都府京都市上京区今出川通烏丸東入

Tel: 075-251-3837

Fax: 075-251-3139

Email: [hmiyoshi@mail.doshisha.ac.jp](mailto:hmiyoshi@mail.doshisha.ac.jp)

要旨：

エネルギー消費や CO<sub>2</sub> 排出を削減する手段として、電気自動車 (EV) や燃料電池車 (FCV) 等の次世代自動車の開発・普及が求められている。このため、自動車メーカーの技術開発の取り組みとともに、政府による技術開発投資、普及のための補助事業が行われている。こうした公的投資は、学習効果や量産効果によるコスト低減が見込まれる技術において、普及の呼び水として正当化されている。EV や FCV はそうした性質を有する技術と考えられており、将来的には公的投資がなくとも市場競争力を持つようになることが期待されている。

しかし、競争力を持ちうるか否かは将来のコスト低減の程度に依存する。コストが、いつ、どれほど低減するかは技術進歩に依存するため不確実性が高い。従来技術普及推計では、多くの場合、期待値あるいはシナリオとして特定のコスト低減過程を想定し、その下での市場性を検討していた。一方、次世代技術の市場競争力は、コスト低減効果のわずかな違いが大きく影響し、こうした想定との相違により予想される普及率は大きく異なる可能性がある。すなわち、技術開発・普及に対する公共投資の効果には不確実性があり、投資判断においては、こうした不確実性を考慮することが必要と考えられる。

本研究では次世代自動車の普及政策の効果とリスクを経済的に評価する新たな方法論の構築を試みる。具体的には、次世代自動車として、電気自動車と水素燃料電池自動車を想定し、それらの普及目標を達成する場合の CO<sub>2</sub> 排出削減価値と、目標達成のための補助金額の差を純便益と定義し、その期待値を政策効果として推計する。一方、次世代自動車価格を確率変数として取り扱うことで、純便益の確率分布を求める。これにより、純便益の **Conditional Value at Risk** をリスクとして定義し、普及目標に対する効果とリスクを分析する。その結果に基づき、将来コストが不確実な状況下における普及目標設定のリスクを考察するとともに、感度分析により不確実性が減少することの効果も分析する。

その結果、FCV のコストは高く、かつコスト見通しのばらつきも大きいため、大規模普及目標はリスクが高いこと、EV は FCV と比較して相対的に安価となる可能性が高いことを示した。このため、2030 年に新車販売に占める EV のシェアを 20-30%、FCV のシェアを 3%とする、現在の政府の目標は、方向としては妥当であると考えられる。また、現状の技術見通しの下では、削減目標が高まるほど、コストもリスクも高まる傾向が示された。このことから、見通しの確実性を高めるためにも、現時点では、補助金等の経済的普及策よりは、性能向上、コスト削減の技術開発政策に注力すべきとも考えられる。また、当然のことながら、コスト見通しの精度向上は、政策コストの増大リスク、目標未達リスクの低減に貢献するといえる。

ただし本研究はごく一部の文献のコスト情報に基づいており、また、コストのばらつきについてはパラメータの分散情報に基づき設定している。次世代車

のコスト見通しについては、業種やメーカー毎のポジションが反映されやすいので、政策的には幅広く情報収集してコスト見通しの不確実性を評価する必要がある。また、普及率、削減コスト、及び純便益は次世代車の技術コストだけではなく、技術種別毎のエネルギーコスト、CO2削減価値、走行距離、販売台数などの影響も受けるが、それらの将来見通しも確定的ではなく不確実である。本研究の提案手法は、それらの不確実性を考慮した評価にも拡張可能である。

キーワード：次世代自動車技術，生産費用曲線，普及政策評価，不確実性評価

謝辞：本研究は科研費基盤研究（B）「次世代自動車の普及政策とそのグローバル・ベネフィットに関する研究」（課題番号：25281071，研究代表者：三好 博昭）の研究成果の一部である。

# 次世代自動車エネルギー技術の不確実性と普及目標の達成リスクに関する研究

紀伊 雅敦／三好 博昭

## 1. はじめに

気候変動問題やエネルギー問題等への対応策として、自動車の動力源の脱炭素化が検討されている。例えば日本では、2030年の新車販売における電気自動車（EV）の比率を20~30%、水素燃料電池車（FCV）を3%とすることを目指している。これらの次世代自動車エネルギー技術は、エネルギー効率の高さから、化石燃料を用いた内燃自動車（ICEV）と代替することで大幅なCO<sub>2</sub>削減効果があると期待されている。しかしながら、これらの次世代技術が内燃機関と代替するには、克服すべき様々な技術的課題があり、その一つとして技術コストがあげられる。例えば、電気自動車の車両価格は同等クラスの内燃自動車の2倍、燃料電池自動車は10倍程度と考えられている（Ito and Managi, 2015）。エネルギー効率の高さから燃料費は節約できるものの、車両コストの高さを相殺できるほどではなく、経済性の低さが普及を妨げる主要因の一つとなっている。

普及を促すため、これら次世代車には車両購入補助金が支払われているが、次世代車の普及を純粋な温室効果ガスの削減政策としてみると、極めて効率が悪いものと評価される。例えば、ガソリン車と比較可能な電気自動車として三菱自動車のミニキャブを見ると、車両価格210万円、電力価格を20円/kWhとすると電費は2.5円/km、日本の2015年の電源構成を反映すると、CO<sub>2</sub>排出原単位は68gCO<sub>2</sub>/kmである。年間走行距離が1万キロで15年使用すると仮定すると、車両費と燃料費を合わせた使用期間を通じた総コストは248万円である。同車種のガソリン内燃車の排出原単位は120gCO<sub>2</sub>/kmであり、車両価格は120万円、ガソリン価格を12円/Lとすると、総燃料費は93万円であるから、CO<sub>2</sub>削減量当たりの総費用の差は約45000円/tonCO<sub>2</sub>である。これはEU-ETSの価格\$20/tonCO<sub>2</sub>と比較すると非常に高いコストである。

これに対し、習熟効果や量産効果による将来の車両価格低下を評価する研究も見られるが、多くの場合、各種想定の下での特定の価格を与えるシナリオ分析である。一部の研究では構成要素の不確実性を考慮し量産時の将来価格の確率分布を求めている。そうした不確実性の情報があれば、普及政策の経済的リスクの評価に活用できると考えられる。しかし、これまで、次世代自動車技術にかかわるコスト見通しの不確実性が普及政策に及ぼす影響をリスクの観点から評価した研究はみられない。

本研究では次世代自動車の普及政策の効果とリスクを経済的に評価する新たな方法論の構築を試みる。具体的には、次世代自動車として、電気自動車と水素燃料電池自動車を想定し、それらの普及目標を達成する場合のCO<sub>2</sub>排出削減価値と、目標達成のための補助金額の差を純便益と定義し、その期待値を政策効果として推計する。一方、次世代自動車価格を確率変数として取り扱うことで、純便益の確率分布を求める。これにより、純便益のCVaR(Conditional Value at Risk) (Rockafellar and Uryasev, 2000)をリスクとして定義し、普及目標に対する効果とリスクを分析する。その結果に基づき、将来コストが不確実な状況下における普及目標設定のリスクを考察するとともに、感度分析により不確実性が減少することの効果进行分析する。以上により、基幹技術のコスト見通しを考慮した次世代自動車の普及政策に資することを目的とする。

## 2. 既往研究

次世代自動車は環境改善、エネルギー消費削減の観点から普及が期待されているが(European commission, 2017; Brady and O'Mahony, 2011; USDOE, 2016), 未だ普及段階ではない (Steinheilber et al., 2013) . 普及を妨げる要因として, Rezvani et al. (2015)は消費者行動の観点から既往研究を整理し, attitudinal factors on policies や pro-environmental behaviors, innovation adaptation, symbolic, and emotional behaviors が影響していることを論じている. Wan et al. (2015)は, 中国では大気汚染緩和を目的としてEVに対する多額の補助金が出されているにもかかわらず, ほとんど普及していない理由として, 地方政府による保護主義政策, EV技術の不確実性と消費者選好, 充電設備への投資の不足, 自動車メーカーとバッテリーメーカーの控えめな投資を挙げている. Larsonら(2014)はカナダのMonitobaでEV車両への支払い意思額を調査し, 従来車とほぼ変わらないことを明らかにした. これは, 将来の燃料コスト削減情報を提供しても, 平均的にはEVへの支払いプレミアムは無いことを意味している. 一方で, 3割程度の回答者は\$5000程度のプレミアムがあるとも回答している.

このように, 次世代車に対する消費者の選好を分析した研究は数多くあるが, 普及を妨げる主要な要因の一つは従来車との価格差であり, 価格差がある限り普及促進には補助金等の促進策が必要であり, その社会的コストの評価が必要となる. 多くの研究では, 想定されるEVのコストの下では社会的便益は負であり, 環境政策としての次世代自動車の普及は費用対効果が低いとされている (Hahn, 1995; Kazimi, 1997; Massiani, 2015). Ito and Managi (2015)は, 技術コストの習熟効果を考慮し, 累積販売台数に対する技術コストの低下を考慮した次世代車両の費用対効果分析を行っている. その結果, FCVは2110年までは経済的便益をもたらさないと推計される一方, ガソリン価格と炭素価格が

上昇するならば EV は 2060 年頃には便益をもたらすと推計している。なお、学習曲線の設定に当たっては 3 種類の Progress ratio を既往研究に基づき設定している。

一方、積み上げ型のコスト推計の研究では、生産台数が多くなるほど 1 台当たりの固定費用が低下するため、コストが下がる効果を考慮している (Nelson et al., 2011; James and Spisak, 2012)。これらの研究では要素技術価格や資源価格等の不確実性に基づき、バッテリー価格および FC スタック価格の分散も評価しているが、それらが普及に与える影響までは考慮していない。

前提条件の不確実性が普及に与えるについては、Massiani (2015) および Ito and Managi (2015) でも考慮されている。ただし、Massiani(2015)では車両価格、電力価格、バッテリー価格、燃料価格、年間走行距離、電気自動車の性能が参照値から最大で 25%変動するとの想定の下で EV の普及台数の Monte Carlo シミュレーションを行っている。また、Ito and Managi (2015)は 3 種類の Progress ratio を任意に設定し、その設定に基づく感度分析を行っている。これらの不確実性評価は、特定のシナリオの下での将来推計の幅を示す上で意義があるが、技術政策判断にその情報を活用する上では、リスク指標の活用など、更なる検討が必要と考えられる。

### 3. 分析方法

本研究では、普及目標の達成による CO<sub>2</sub> 削減便益と、目標達成に必要なとされる補助金の差を純便益と定義し、その確率分布に基づき、普及政策効果の期待値とリスクを評価する。その際、Nelson et al. (2011)の研究と同様に、次世代車両技術のコストは生産台数が多いほど低下するモデルを想定するが、そのモデルパラメータは、EV については Nelson et al. (2011)、FCV については James and Spisak (2012)の研究におけるコスト推計値に基づき推計し、得られる期待値と分散情報から確率変数として設定する。一方、消費者は、従来型の内燃自動車と電気自動車、水素燃料電池自動車の 3 種類から、保有期間を通じた総コストに基づき購入車両を選択すると仮定する。ただし、分析者からは観測不能な誤差項が存在するものとして、選択行動はロジットモデルで表現する。この時、補助金は総コストを低下させることになるが、同時に普及が進むと生産量が増加するため、車両コストは低下することとなる。ここでは、補助金投入による普及、生産増加とコスト低下の相互作用プロセスは評価とせず、これらがバランスする均衡状態のみを評価する。この、技術選択モデルとコストモデルを需給システムとみなし、コストモデルのパラメータを確率変数と設定することで、モンテカルロ法により目標達成に必要な補助金額の分布を算定する。以下では、コストモデルとパラメータの推計結果、選択行動モデル、需給システムを説明する。

### 3.1 技術コストモデル

Nelson et al. (2011)はバッテリーコストを年間生産量の関数として次式で近似している。

$$\eta = \alpha' X^\beta \quad (1)$$

ここで、 $\eta$ は容量当たりのバッテリーコスト（\$/kWh）,  $X$ は年間生産台数,  $\alpha'$ ,  $\beta$ はパラメータである。この式の対数を取ると線形式となる。

$$\log(\eta) = \alpha + \beta \log(X) \quad (2)$$

ただし、 $\alpha = \log(\alpha')$ である。ここでは、EV, FCV 共に、式(2)をコストモデルとして用いる。ただし、FCV については、燃料電池システムのコストは出力当たり価格(\$/kW)である。本研究では、EV, FCV それぞれについて、Nelson et al. (2011), James and Spisak (2012)の論文中に示された推計結果に基づき、式(2)を用いて回帰分析を行った。モデルパラメータの推計結果を表1に示す。

表1 コストモデルの推計結果

	バッテリー		FC システム	
	係数	標準誤差	係数	標準誤差
$\alpha$	2.663	$2.278 \times 10^{-2}$	2.511	$3.897 \times 10^{-2}$
$\beta$	$-6.573 \times 10^{-2}$	$4.392 \times 10^{-3}$	$-1.432 \times 10^{-1}$	$7.997 \times 10^{-3}$
重決定 R2	0.99		0.99	
観測数	4		5	

図1は生産台数に対するバッテリー、燃料電池のコスト推計結果を示している。ただし、文献のデータとパラメータの期待値を用いた結果に加え、パラメータの95%信頼区間の上下限を用いた推計結果も示している。ここでは、文献に示されたデータを用いているため観測数が少ないため、パラメータの分布にはt-分布が用いられている。推計されたパラメータの標準誤差は小さいものの、モデルの自由度が小さいため、信頼区間が広く評価され、結果としてコストの推計幅が広く算定されている。

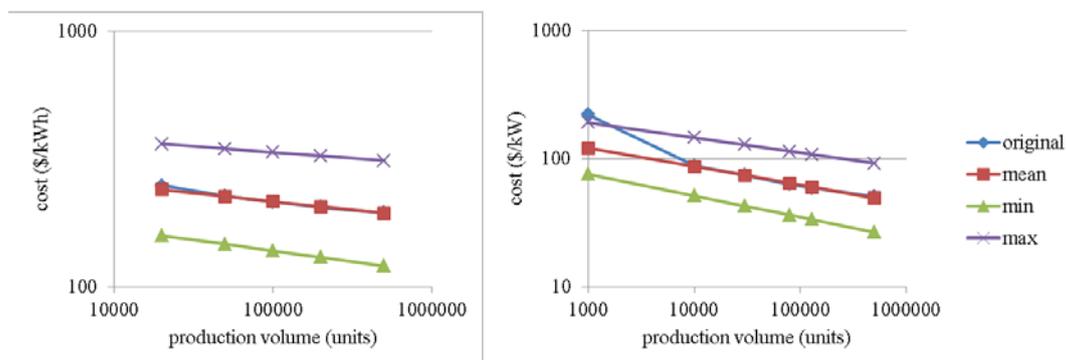


図1 生産台数に対するコスト推計（左：バッテリー，右：燃料電池）

### 3.2 技術選択モデル

本研究では、消費者は使用期間を通じた総費用の割引現在価値に基づき車両技術を選択すると仮定する。技術  $k$  の総費用の割引現在価値は次式で表される。

$$C^k(\eta^k) = C_0^k(\eta^k) + \sum_{t=0}^T \frac{C_f^k \cdot e^k \cdot L}{(1+r)^t} \quad (3)$$

ここで、 $C_0^k(\eta^k)$  は  $k$  の要素技術コストが  $\eta^k$  の時の車両価格、 $T$  は使用期間(年)、 $C_f^k$  はエネルギーコスト (\$/MJ) ,  $e^k$  は走行距離当たりのエネルギー消費率 (MJ/km) ,  $L$  は年間走行距離 (km) ,  $r$  は割引率である。ただし、エネルギーコスト、エネルギー消費率、年間走行距離は年によって変わらないと仮定しており、添え字の  $t$  は省略している。ここで対象とする車両技術はガソリン内燃自動車 (ICEV) , 電気自動車 (EV) , 水素燃料電池自動車 (FCV) の 3 種類とする。各車種の設定値を表 2 に示す。ただし、車両価格について、EV はバッテリー搭載量を 24kWh, FCV は燃料電池出力を 90kW と設定しており、 $\eta$  はマーケットアップ率であり、OEM コストに企業の付加価値を加えた係数を表している。また、燃料価格の表中の括弧内は、換算値としてガソリン価格、電力価格、水素価格をそれぞれの単位で示している。

表 2 車種別の設定値

	ICEV	EV	FCV
車両価格 : $C_0$	\$19,400	\$17,600+24× $\eta$ EV× $\eta$	\$19,400+90× $\eta$ FCV× $\eta$
燃料価格(\$/MJ) : $C_f$	0.0357 (¥120/L)	0.0566 (\20/kWh)	0.0832 (\1000/kg)
エネルギー消費率 (MJ/km) : $e$	2.197	0.468	0.949

この総費用に基づき技術  $k$  の選択確率は次式で与えられる。

$$\Pr(k|\eta) = \frac{\exp(\theta \cdot (C^k(\eta^k) - S^k))}{\sum_{k' \in \Omega} \exp(\theta \cdot (C^{k'}(\eta^{k'}) - S^{k'}))} \quad (4)$$

ただし、 $\eta$  はロジットモデルの分散パラメータであり、ここでは日本のハイブリッド車の選択確率に基づき  $\eta = -7.5 \times 10^{-4}$  と設定した。設定に際しては従来車とハイブリッド車の 2 車種に基づいているが、ロジットモデルが前提とするガンベル分布の分散パラメータは 3 車種選択においても等しいと仮定し、同じ値を用いている。また、 $S^k$  は技術  $k$  の導入補助金額、 $\Omega$  は車両技術の集合であり、

$\square = \{\text{ICEV}, \text{EV}, \text{FCV}\}$ である。年間販売台数を  $N$  とすると、技術  $k$  の販売台数  $X_k$  は技術コストベクトル  $\square$  の関数として以下のように表される。

$$X_k(\boldsymbol{\eta}) = N \cdot \Pr(k|\boldsymbol{\eta}) \quad (5)$$

### 3.3 需給システム

上述のように、技術コストは生産台数の関数であり、一方、販売台数は技術コストの関数である。生産台数と販売台数が一致するとすれば、式(1)と式(5)の連立方程式を解くことにより技術コストと生産台数を求められる。

式(5)を式(1)に代入して整理すると次式を得られる。

$$f^k(\boldsymbol{\eta}) = \eta^k - \alpha'(N \Pr(k|\boldsymbol{\eta}))^\beta \quad \text{for } \forall k \quad (6)$$

全ての  $k$  について  $f^k=0$  を満たす  $\square$  が需給システムの解である。ここで、ヤコビ行列は次式で表せる。

$$\frac{\partial f^k}{\partial \eta^{k'}} = \begin{cases} 1 - \alpha\beta(N \Pr(k|\boldsymbol{\eta}))^{\beta-1} N \Pr(k|\boldsymbol{\eta})(1 - \Pr(k|\boldsymbol{\eta})) \frac{\partial C_k}{\partial \eta^k} \theta & (k = k') \\ -\alpha\beta(N \Pr(k|\boldsymbol{\eta}))^{\beta-1} N \Pr(k|\boldsymbol{\eta}) \Pr(k'|\boldsymbol{\eta}) \frac{\partial C_{k'}}{\partial \eta^{k'}} \theta & (k \neq k') \end{cases} \quad (7)$$

$\square < 0$  であるから、全ての成分が正であり、対角成分のみ 1 が加えられていることから、特殊な場合を除き正則であると期待される。このため、この需給システムには解が存在すると期待される。

### 3.4 普及政策と便益

本研究では目標普及台数  $X_k^G$  を外生的に与えて、それを達成するよう補助金  $S^k$  を決定する。ただし、計算を簡略化するため、技術コストは目標普及台数の場合に固定し、次の手順で目標普及台数を達成する補助金ベクトル  $\mathbf{S} = \{S^{EV}, S^{FCV}\}$  を求める。

- 1) 初期値として目標台数を与え、その下で式(1)を用いて技術コストを求める。また、補助金ベクトルの初期値は ICEV の総コスト  $C^{ICEV}$  と各車種の総コストが等しくなるよう与える。
- 2) 技術コストを固定して、目標普及台数と一致するよう補助金ベクトルを更新する。
- 3) 補助金ベクトルの更新量がゼロならば、均衡点に到達したものとして終了する。更新量がゼロでないならば、2) に戻る。

次に、次世代車両の導入による CO2 削減価値を便益とし、普及に必要とされる補助金を費用として、便益から費用を引いたものを純便益と定義する。ただし、ここでは特定の年に販売された車両が使用期間を通じて削減する CO2 の現在価値を便益とし、またその販売促進のための補助金をコストとする。もし販売台数と技術水準が変わらなければ、将来にわたり同様の便益が発生するため、その割引現在価値が政策を将来にわたり継続する場合の総便益となる。CO2 の削減便益は次式で表される。

$$B = \sum_{k=\{EV,FCV\}} \sum_{t=0}^T \frac{p_{CO2} \cdot L \cdot (\gamma^{ICEV} - \gamma^k) \cdot X_k}{(1+r)^t} \quad (8)$$

$p_{CO2}$  は CO2 の削減価値 (\$/tonCO2),  $\gamma^k$  は技術 k の排出係数 (tonCO2/km) である。CO2 は使用期間に渡って削減されるため、その便益は現在価値に割り引かれて評価される。一方、補助金は販売時点で発生するため、割り引かれない。このため、純便益は次式となる。

$$NB = B - \sum_{k=\{EV,FCV\}} S^k \quad (9)$$

これらの指標に加えて、CO2 削減単位当たりの補助金額を削減コスト  $C_A$  (\$/tonCO2) と見なし評価する。

$$C_A = \sum_{k=\{EV,FCV\}} \sum_{t=0}^T \frac{L \cdot (\gamma^{ICEV} - \gamma^k) \cdot X_k}{(1+r)^t} \Bigg/ \sum_{k=\{EV,FCV\}} S^k \quad (10)$$

### 3.5 リスク評価

本研究では、3.1 節で求めたパラメータの分散情報に基づくモンテカルロ法により不確実性を表す。具体的には、式(1)の技術コストモデルの各パラメータを t 分布に従い発生させ、各パラメータベクトルの下で 3.4 のアルゴリズムにより評価指標を求める。ここでは、 $10^4$  個のパラメータベクトルをシナリオとして用意する。純便益の CVaR は下位 5% 以下のシナリオの式(9)で求めた NB の平均値として評価する。

$$CVaR_{NB} = \frac{1}{0.05T} \sum_{i \in \Omega_{LB}} NB_i \quad (11)$$

$$\Omega_{LB} = \{i \mid NB_i < NB_{0.05}\}$$

where  $NB_{0.05}$  is net benefit of lower 5% among scenarios

#### 4. 結果

前節で示したモデルを用い、EV、FCV の目標普及台数をそれぞれ 0%~40% まで変化させたときの純便益の期待値と 5%水準の CVaR を求めた。ただし、CO<sub>2</sub> 削減価値は\$20/tonCO<sub>2</sub> に設定した。その結果を図 2 に示す。

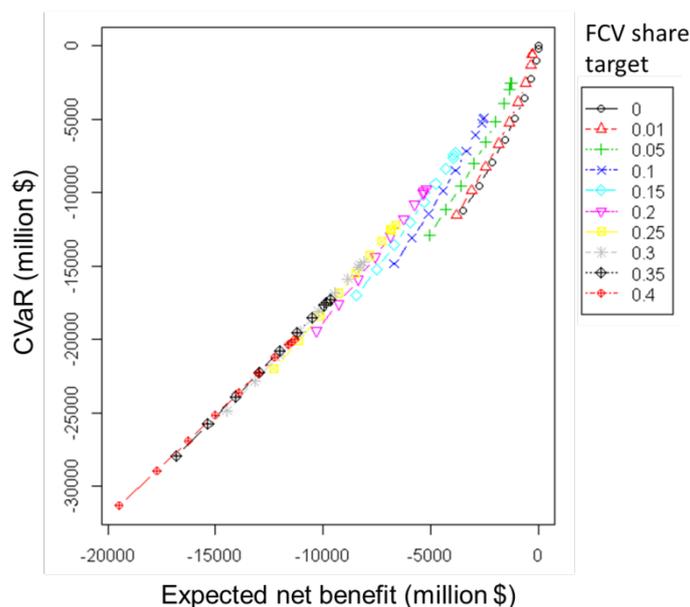


図 2 純便益の期待値と CVaR (t-分布シナリオ)

図 2 は、FCV の普及目標ごとにマーカーを設定しており、EV、FCV の普及目標が高いほど、純便益、CVaR 共に減少する結果となっている。また、いずれの目標値においても純便益、CVaR 共にマイナスである。すなわち、本研究の設定では、次世代車のコストは高く、それらを普及させるためには補助金が必要であり、それは\$20/tonCO<sub>2</sub> を仮定すると、CO<sub>2</sub> 削減価値を上回る補助金額が必要であること、および、目標値が高いほどその差額が大きくなることを示している。また、FCV の普及目標が高いほど、純便益に対する CVaR の傾きが緩やかになっているが、これは複数技術への分散投資によるリスクの低減効果を表している。すなわち、技術コスト見通しの分散が大きく、技術の間にコスト変動の相関がないならば、リスクを緩和しうることを示している。図 3 は同じ分散で正規分布に従いパラメータシナリオを生成した場合の純便益と CVaR の関係を示している。正規分布を仮定する場合、コストモデルの推計において十分なサンプルが得られていることを意味している。この場合、FCV の普及目標が変化しても純便益に対する CVaR の傾きはあまり変わらない。すなわち、将来コスト推計における分散が十分小さければ、分散投資によるリスク軽減効果は大きくないことを示唆している。また、t-分布シナリオと比較して、

正規分布シナリオでは CVaR が改善しており、コスト見通しのばらつきが減少することは、当然のことながらリスクを低下させることになる。

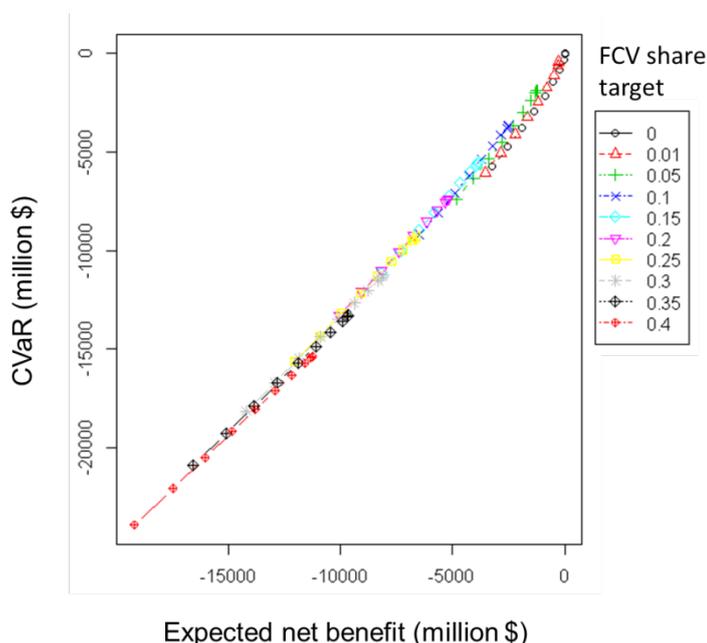


図 3 純便益の期待値と CVaR（正規分布シナリオ）

図 4 は各普及目標における CO<sub>2</sub> 削減量と単位 CO<sub>2</sub> 削減コストを示している。ここで、FCV の普及目標が 0% の場合は、CO<sub>2</sub> 削減量の増加に対して単位削減費用は一律に増加しているが、FCV の普及目標が 1% 以上の場合は、CO<sub>2</sub> 削減量に対して削減費用は最小値を持つ形状となっている。その理由として、EV と FCV のコスト差が考えられる。EV のコストは ICEV より高いものの、FCV と比べて大幅に低い。このため、低い普及水準は比較的少額の補助金でも達成しうるが、普及率を高めようとする目標値に応じてより多くの補助金が必要となることを示している。一方、FCV のコストは高いため、低い普及水準でも CO<sub>2</sub> 削減量当たりで見ると高い補助金が必要となる。例えば、FCV の普及目標が 1% の場合、EV の普及目標が 0% ならば、\$1500/tonCO<sub>2</sub> を超えている。一方、同じ FCV の普及目標でも EV が増えると、相対的に安価に CO<sub>2</sub> を削減できることになるため、単位削減費用は一旦減少するが、EV の目標普及率が高まると、必要な補助金額が遡増するため、単位削減費用は増加することとなる。なお、当然のことながら、普及に補助金が必要な状況下では、EV、FCV の目標普及率が高いほど、CO<sub>2</sub> 削減量も大きくなる。

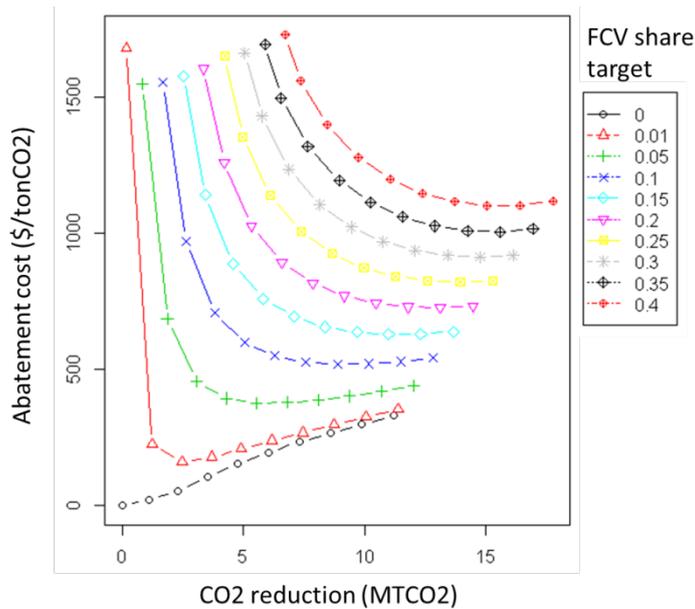


図 4 各普及目標における CO2 削減量と CO2 削減コスト

単位削減費用についても、 $t$ -分布シナリオと正規分布シナリオの下での期待値と CVaR の関係を図 5 に示す。なお、 $t$ -分布シナリオ、正規分布シナリオのいずれの場合も、削減量に対する削減費用の期待値は図 4 と同様である。

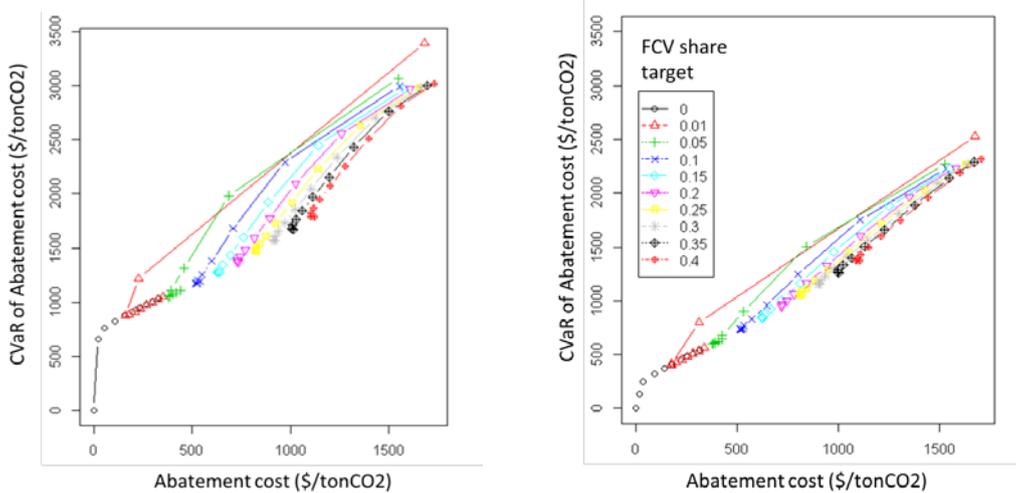


図 5 単位削減費用の期待値と CVaR (左:  $t$ -分布シナリオ, 右: 正規分布シナリオ)

図 4 と比較してみると、FCV の普及目標が 1%以上のケースでは、EV の普及目標が小さいほど削減費用の期待値も CVaR も高いことが分かる。一方、EV の普及目標が高ければ、CVaR は低下し、削減費用の期待値と概ね線形の関係が

見られる。これは、FCVのコスト見通しのばらつきが大きいことに対して、EVの普及が増えると、平均コストの分散が減少することを反映している。また、正規分布シナリオでは、t-分布シナリオと比較して、CVaRは大きく減少していることが分かる。

## 5. 考察と結論

本稿では、EVとFCVの量産効果モデルを既往研究のコスト推計結果に基づき推計し、そのモデルパラメータの分散情報にもとづき不確実性を評価した。その結果、FCVのコストは高く、かつコスト見通しのばらつきも大きいため、大規模普及目標はリスクが高いこと、および、EVはFCVと比較して相対的に安価となる可能性が高いことを示した。この結果から、2030年に新車販売に占めるEVのシェアを20-30%、FCVのシェアを3%とする、現在の政府の目標(METI, 2016)は、方向としては妥当なことを示唆していると解釈できる。

また、現状の技術見通しの下では、削減目標が高まるほど、コストもリスクも高まる傾向が示された。このことから、現時点では、補助金等の経済的普及策よりは、将来の費用の見通しの確実性を高めるためにも、性能向上、コスト削減の技術開発政策に注力すべきとも考えられる。また、当然のことながら、コスト見通しの精度向上は、政策コストの増大リスク、目標未達リスクの低減に貢献するといえる。

ただし本研究はごく一部の文献のコスト情報に基づいており、また、コストのばらつきについてはパラメータの分散情報に基づき設定している。次世代車のコスト見通しについては、業種やメーカー毎のポジションが反映されやすいので、政策的には幅広く情報収集してコスト見通しの不確実性を評価することが必要と考えられる。また、普及率、削減コスト、及び純便益は次世代車の技術コストだけではなく、技術種別毎のエネルギーコスト、CO<sub>2</sub>削減価値、走行距離、販売台数などの影響も受けるが、それらの将来見通しも確定的では無く不確実である。本研究の提案手法は、それらの不確実性を考慮した評価にも拡張可能である。

## 参考文献

Brady, J. and O'Mahony, M. (2011) 'Travel to work in Dublin. The potential impacts of electric vehicles on climate change and urban air quality', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(2): 188-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2010.09.006>.

- European Commission (2017) 'Clean Transport, urban transport, Electric vehicles' retrieved from:  
[http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/road/electric\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/vehicles/road/electric_en.htm).
- Hahn, R. W. (1995) 'Choosing among fuels and technologies for cleaning up the air', *Journal of Policy Analysis and Management*, 14: 532-554.
- Ito, Y. and Managi, S. (2015) 'The potential of alternative fuel vehicles: A cost-benefit analysis', *Research in Transportation Economics*, 50: 39-50.
- James, B. D. and Spisak, A. B. (2012) 'Mass Production Cost Estimation of Direct H<sub>2</sub> PEM Fuel Cell Systems for Transportation Applications: 2012 Update', Strategic Analysis Inc., Arlington VA, USA.
- Jérôme Massiani (2015) 'Cost-Benefit Analysis of policies for the development of electric vehicles in Germany: Methods and results', *Transport Policy*, 38: 19-26, ISSN 0967-070X.  
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.10.005>.
- Kazimi, C. (1997) 'Valuing alternative-fuel vehicles in Southern California', *American Economic Review*, 87(2): 265-271.
- Larson, P. D., Viáfara, J., Parsons, R. V., and Elias, A. (2014) 'Consumer attitudes about electric cars: Pricing analysis and policy implications', *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69: 299-314, ISSN 0965-8564. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.09.002>.
- Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) (2016) 'Report on EV/PHV roadmap commission', Available on line at  
<http://www.meti.go.jp/press/2015/03/20160323002/20160323002-3.pdf>.
- Nelson, P. A., Gallagher, K. G., Bloom, I., and Dees, D. W. (2011) 'Modeling the Performance and Cost of Lithium-Ion Batteries for Electric-Drive Vehicles', Chemical Sciences and Engineering Division, Argonne National Laboratory, Argonne IL, USA.
- Rezvani, Z., Jansson, J., and Bodin, J. (2015) 'Advances in consumer electric vehicle adoption research: A review and research agenda', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34: 122-136, ISSN 1361-9209. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010>.
- Rockafellar, R. T. and Uryasev, S. (2000) 'Optimization of conditional value-at-risk', *Journal of Risk*, 2(3): 1-21.
- Steinhilber, S., Wells, P., and Thankappan, S. (2013) 'Socio-technical inertia: understanding the barriers to electric vehicles', *Energy Policy*, 60: 531-539.
- USDOE (2016) 'Fuel Cell Technologies Market Report 2015', DOE/EE1485.

Wan, Z., Sperling, D., Wang, Y. (2015) 'China's electric car frustrations', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 34: 116–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.014>.