

プラグインハイブリッド車の燃料消費率* —ユーティリティファクタ, 電力・ガソリン等価合成の考え方—

Fuel Consumption Metrics of PHEV with the Utility Factor and Energy Equivalency

堀 雅夫¹⁾
Masao Hori

The fuel consumption metrics of a plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) can be defined by composing the energy consumption in charge depleting and charge sustaining modes using the utility factor, and incorporating the energy equivalency of electricity and gasoline by using appropriate energy conversion factors. In this review, the utility factor and the equivalent composite of electricity and gasoline are reviewed, representative metrics of PHEV fuel consumption to be issued are illustrated, and energy-related topics of PHEV are discussed.

Key Words : EV and HV Systems / PHEV, Fuel Consumption, Utility Factor, Energy Equivalency [A3]

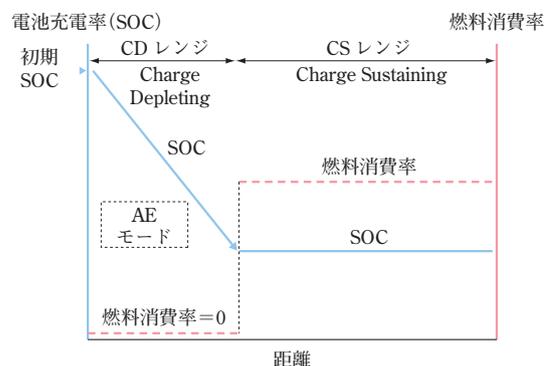
1 はじめに

プラグインハイブリッド車(PHEV)は, 最初の一定距離は外部電力によって充電した電気による電力走行をし, 電池の充電率(SOC)が一定値まで減少した後はエンジン駆動のハイブリッド走行に切り替わる. エンジン自動車(ICEV)やハイブリッド車(HEV)では駆動エネルギー源はすべてガソリンなどの燃料であるのに対して, PHEVの駆動エネルギー源は外部から充電した電力とガソリンなどの燃料の2種類になる. このようなPHEVのエネルギー消費率を単一の代表的燃費値で表示する場合のエネルギー消費率の単位・尺度(Metrics), 電力/燃料の共通単位への変換, 電力/燃料の走行距離割合による加重の考え方などについて解説し, これらに関連する話題を紹介する.

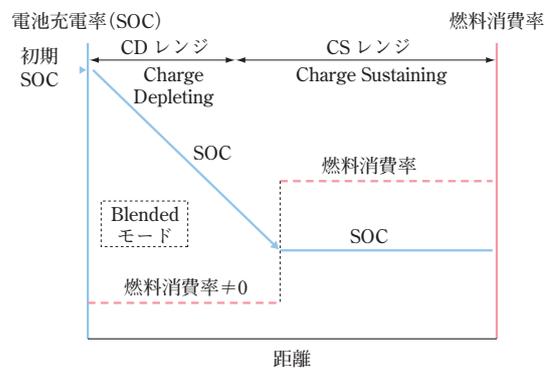
2 走行領域・走行モード・電池SOC・燃料消費率

PHEVでは一般に, 外部充電電力による電力走行の領域をCharge Depleting(CD)レンジと呼び, エンジン駆動によるハイブリッド走行の領域をCharge Sustaining

(CS)レンジと呼んでいる. この二つの領域における電池のSOC及びエンジン用燃料の消費率を, 走行距離との関係で示すと図1のようになる. 図1(a)は, CDレ



(a) AE(All Electric)モードの場合



(b) Blendedモードの場合

図1 PHEVの電池充電率と燃料消費率

* 2014年3月17日受付

1) (株)ユニバーサルエネルギー研究所 技術顧問

(105-0001 港区虎ノ門5-3-20)

E-mail: mhori@mx.mesh.ne.jp

ンジを全部電力で走行する場合、すなわち All Electric (AE) モードで走行する場合であり、シリーズ型(レンジエクステンダ) PHEV や、パラレル型 PHEV で CD レンジにおいてエンジン駆動がない条件の場合が該当する。図 1 (b) は、CD レンジにおいて電力駆動にエンジン駆動が加わる Blended モードで走行する場合で、パラレル・ハイブリッド型 PHEV で CD レンジにおいてエンジン駆動がある条件の場合が該当する。

なお、実際の走行では電池 SOC 及び燃料消費率とも走行条件によって変動するが、この図においては模式的に直線で示している。

3 ドライブパターンとユーティリティファクタ

PHEV のエネルギー消費を評価する場合、全走行距離に占める外部充電電力によって走行する距離の割合を想定する必要がある。この割合は米国自動車技術会 (SAE) にならって「ユーティリティファクタ」(Utility Factor : UF) と呼ばれている。筆者が 2006 年に自動車技術会に発表した PHEV に関する論文⁽¹⁾では「電力走行(距離)割合」としていた。

UF の値は自動車の「ドライブパターン」(車が実働した日の 1 日当たりの走行距離の頻度分布)で決まってくる。一人一人のドライブパターンが異なるので UF も各人で異なる。そのため PHEV 導入のエネルギー効果などを評価するときは国全体の平均的な UF を定義して

使用することになり、自動車走行に関する統計調査値から国全体の平均的 UF を計算することになる。

図 2 に、国土交通省が全国規模で年 3 回調査・発表している「自動車輸送統計報告書」の 2004 年データ⁽²⁾を用いてドライブパターンから UF を算出した結果を示す⁽¹⁾。この輸送統計は、対象自動車の走行距離、乗車人員などを調査したものであるが、公表されている乗用自動車(登録車及び軽自動車)のデータは一走行(トリップ)距離帯別の輸送人員に整理されたもののみである。そのため図 2 に示したドライブパターンの値は、公表されているデータから仮定を置いて 1 日当たり走行距離別の自動車台数頻度を推定したもので、走行距離帯別車両数のデータを手でできればより確実な推定が可能になる。

現在日本における PHEV の燃費表示に使用する公式の UF は、国土交通省が 2009 年に「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示」等の一部改正に際して自動車工業会に通達した「プラグインハイブリッド自動車の燃費算定等に関する実施要領」⁽³⁾の中に、図及び近似式で示されている(図 3)。同通達の中ではこの UF の値は「JCAP データ自動車使用実態調査による」となっているが、対象車種・データ数・統計処理方法などは公表されていない。

この国土交通省の UF の値と筆者による図 2 の登録車の UF の値を比較すると、図 3 の点線のように異なる統計データから導出された二つの UF 値が良い一致を示し

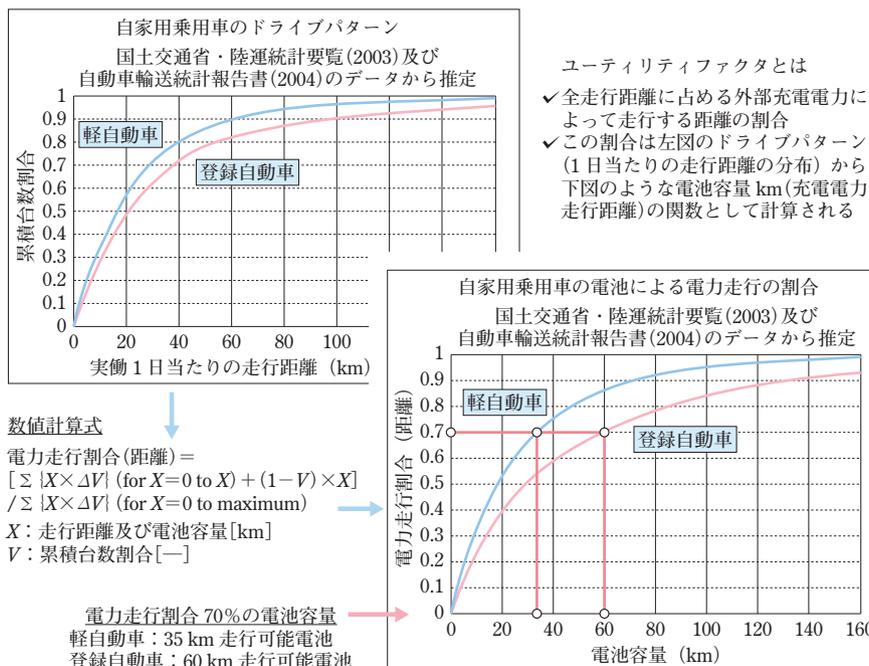
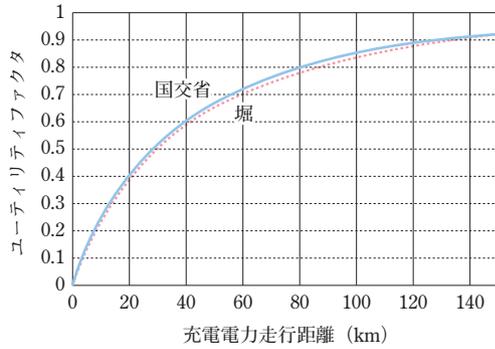
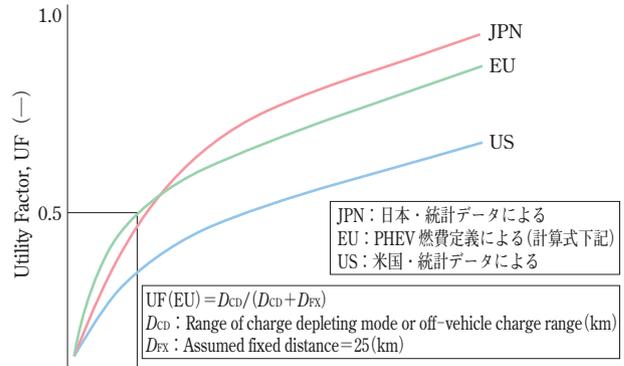


図 2 自動車輸送統計による登録車と軽自動車の UF



国交省：国土交通省「プラグインハイブリッド自動車の燃費算定等に関する実施要領について」国自環第85号(2009.7.30)
堀：堀雅夫「プラグインハイブリッド車導入の環境・エネルギーへの効果」自動車技術会論文集 Vol.38, No.2, p.265(2007)

図3 PHEVの燃費表示に使用するUF



25 Range of Charge Depleting Mode, D_{CD} (km)
CDレンジ(外部充電電力で走行する距離)
(WLTP-DTPの図を編集)

図4 WLTPによる日・米・欧のUFの比較

ている。

米国の環境保護庁・運輸省道路交通安全局(EPA・NHTSA)によるPHEVの燃費算定⁽⁴⁾には、SAEが2010年に改訂したPHEVのUFに関する規格SAE J2841⁽⁵⁾記載の新しく定義されたIndividual Specific UFを使用することになっている。それまでのFleet Specific UFも新定義のUFも、2001年の全米世帯旅行調査(NHTS)⁽⁶⁾の自動車走行統計データに基づいているが統計処理の方法が異なっており、新定義のUFは従来の値よりUF=0.5近辺で約15%程度高い値になる。このことは、UFの算出において適切な統計処理方法を用いることの重要性を示唆している。

国連・欧州委員会主導の世界共通の自動車排出ガス・燃費などの試験法作成活動WLTP(Worldwide harmonized Light-duty Test Procedure)の場でもUFについて議論が行われており、図4⁽⁷⁾のように日・米・EUのUFの比較が示されている。なお、EUのUFは後述するPHEVの燃費の定義から逆算した値で、統計データに基づいたものではない。日・米・EUのUFを同じCDレンジについて数値的に比較すると、日・EUは米より相当高い値になっており、日本・EUは短距離走行型といえる。

4 UFとエネルギー等価性による燃費の合成

PHEVの電力消費率とガソリン消費率は、CDレンジ及びCSレンジについて規定の燃費試験法に則って測定される。この試験結果を単一の代表的燃費値で表示する場合、図5に示すようにCDレンジとCSレンジのエネルギー消費をUFを用いて加重し、電力とガソリンのエネルギー消費を等価性を考慮して換算して合成する必要がある。

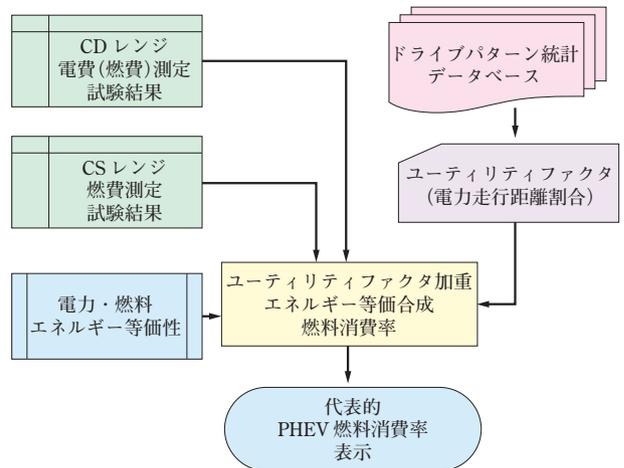


図5 代表的PHEV燃料消費率の算出プロセス

PHEVの代表的燃費の単位としては、ICEVやHEVと同様に単位ガソリン量当たりの走行距離で示すのが一般ユーザに最も理解しやすいと考えられており、[km/L]の単位(米国では[miles/gallon], [MPG])で表示する方法が用いられている。単位ガソリン量当たりの走行距離で示す場合はCDレンジの電力消費[km/kWh]を何らかの仮定をおいてエネルギー的に等価のガソリン燃費[km/L]に換算して、CSレンジのガソリン燃費[km/L]とUFを用いて加重・合成する。

CDレンジがAEモードの場合のPHEV代表燃費の計算式を式(1)に示す。CDレンジがBlendedモードの場合も同様に式(1)以降が導出できるが、本稿では省略する。

$$N_{PHEV} = 1 / \{U_F / N_{CD} + (1 - U_F) / N_{CS}\} \quad (1)$$

N_{PHEV} : PHEVの代表的燃費[km/L]

N_{CD} : CDレンジ電力消費のガソリン等価燃費

[km/L]

N_{CS} : CS レンジの燃費[km/L]

U_F : ユーティリティファクタ U_F [—]

このように PHEV の代表的燃費を CD レンジと CS レンジの燃費を U_F により合成して導出する方法は、その前提として「充電は 1 日に 1 回、走行は CD レンジから開始、全国平均と同じドライブパターンの走行」を想定している。

5 エネルギー等価性と PHEV の代表的燃費

ここではエネルギー等価性と PHEV の代表的燃費算出の考え方と例について説明する。

① 電力消費を無視してガソリン消費のみで評価

電力消費を無視してガソリン消費量のみを用いて代表的燃費を算出する場合、上記の式(1)の分母の第1項はゼロとなるため式(1)は次のようになる。

$$N_{PHEV} [\text{km/L}] = 1 / \{(1 - U_F) / N_{CS}\} \\ = N_{CS} / (1 - U_F) \quad (2)$$

この評価方法は国土交通省⁽⁸⁾が規定して日本で使用されている。たとえば、2012 年式プリウス PHV の JC08 モードの場合、 $N_{CS} = 31.6$ [km/L] 及び $U_F = 0.483$ [—] なので、式(3)により PHEV の代表燃費(国土交通省は「複合燃料消費率(プラグインハイブリッド燃料消費率)」と呼称) $N_{PHEV} = 61.1$ [km/L] と計算される。

EU⁽⁹⁾における PHEV の代表的燃費は、CD レンジ(電力走行)に続く 25 km(固定)の CS レンジ(ハイブリッド走行)におけるガソリン消費のみで CD と CS の距離を除して算出する方法を用いている。

このような評価方法は、ガソリン消費量のみで全走行距離を除すので大きな電池を搭載して U_F が大きくなる場合、ガソリン消費量が小さくなるので代表燃費値が過大になる傾向がある。

② 電力消費を発熱量で等価のガソリン消費に換算・評価

電力を熱量で等価のガソリンに置き換えて代表的燃費を算出する場合、式(1)の CD レンジの燃費 N_{CD} は AE モードの場合

$$N_{CD} [\text{km/L}] = HE_{CD} \quad (3)$$

E_{CD} : CD レンジの電力消費[km/kWh]

H : ガソリンと電力の熱換算係数 H [kWh/L]

なので、式(1)は次のようになる。

$$N_{PHEV} [\text{km/L}] = 1 / \{U_F / HE_{CD} + (1 - U_F) / N_{CS}\} \quad (4)$$

ガソリンと電力の熱換算係数の H [kWh/L] として次の値が用いられている。

$H = 8.89$ [kWh/L] ← 32.0 [MJ/L] (EPA のガソリン発熱量)

$H = 9.14$ [kWh/L] ← 32.9 [MJ/L] (日本のガソリン発熱量)

この評価方法は、EPA⁽¹⁰⁾ではすでに使用されており、日本の新燃費基準報告書⁽¹¹⁾では将来の PHEV などの燃費評価方法として示されている。

たとえば、2011 年型 Chevrolet Volt の EPA City/Highway 複合燃費の場合は、 $E_{CD} = 4.5$ [km/kWh]、 $N_{CS} = 16$ [km/L]、 $U_F = 0.64$ [—] なので、式(4)から $N_{PHEV} = 26$ [km/L] = 60 [MPGe] と計算される。

この方法では電力とガソリンを熱量で等価換算しており、動力として使用する充電電力を熱として低く評価しているため、大きな電池を搭載して U_F が大きい場合に、代表的燃費値が大きくなる傾向がある。

③ ガソリン・電力のエネルギー変換率による換算・評価

これは、ガソリンと電力間のエネルギー変換率を用いて、電力を等価のガソリンに置き換えて代表的燃費を算出する方法である。数値的には、式(3)にガソリンから電力へのエネルギー変換率を乗じて、

$$N_{CD} [\text{km/L}] = \eta HE_{CD} \quad (5)$$

η : ガソリンから電力へのエネルギー変換率[—]

式(1)の N_{CD} に式(5)の値を用いて計算することになる。

この考え方による燃費算出方法は、1980 年代から米国で代替燃料による燃費の表示方法として検討されてきており、2000 年にはエネルギー省(DOE)が CAFE(企業別平均燃費)基準に適用する電気自動車の燃費表示のためにこの考え方による「石油等価燃料経済計算」の方法を示している⁽¹²⁾。この計算指針では上記のエネルギー変換率 η の値として米国の化石燃料発電の発電効率の平均値 0.328 を用いている。ただし、電力消費量をガソリン消費量に変換する式の中に、充電電力駆動への大きなインセンティブとして Fuel Content Factor(値は 6.67)なる係数を入れており、最終的なガソリンと電力の換算係数は、19.5~21.7 [kWh/L] と発熱量で等価の換算(②の 8.89 [kWh/L])の 2 倍以上となり、充電電力駆動に大幅に有利な燃費を算出するようになっている。

6 エネルギー変換率による PHEV の代表的燃費表示

U_F 加重・エネルギー等価合成による PHEV 代表的燃費の一般的計算式は、CD レンジが AE モードの場合は式(6)になる。

表 1 エネルギー変換率と PHEV 燃費

PHEV 燃費関連データ 等価合成方法	摘要	HEV トヨタ プリウス ZVW30 (2009)	PHEV トヨタ プリウス PHV (2012)	PHEV 三菱 アウトランダー PHEV (2013)	PHEV GM シボレーボルト (2011)	BEV 日産 リーフ ZEO (2010)
充電電力使用時走行距離	充電電力走行 (CD レンジ) 距離	0 km	26.4 km	60.2 km	84 km	200 km
ユーティリティファクタ UF	充電電力走行 距離割合 (国土交通省)	0	0.483	0.722	0.81	1
電力消費率	充電電力走行 (CD レンジ) 電費	—	8.74 km/kWh	5.90 km/kWh	6.5 km/kWh	8.06 km/kWh
ハイブリッド燃料消費率	ハイブリッド走行 (CS レンジ) 燃費	32.6 km/L	31.6 km/L	18.6 km/L	24 km/L	—
等価合成燃料消費率 1 $\eta = \infty$ (消費ガソリン量のみを考慮, 消費電力量を無視)	2009 年 国交省規定の計算 方式	32.6 km/L	61.1 km/L	67.0 km/L	126 km/L	∞ km/L
等価合成燃料消費率 2 $\eta = 1.0$ (消費ガソリン量 + 消費電力量を 熱量で等価のガソリン量に換算)	2010 年 米国 EPA 規定の 計算方式 (km/L)	32.6 km/L	44.6 km/L	35.3 km/L	46 km/L	73.7 km/L
等価合成燃料消費率 3 $\eta = 0.5$ (消費ガソリン量 + 消費電力量を 発電するに要するエネルギーに等 価のガソリン量に換算)	2012 年 堀・JSAE 発表の 計算方式 (km/L)	32.6 km/L	35.1 km/L	24.0 km/L	28 km/L	36.8 km/L

(注) GM の Volt については JC08 モードでの試験結果はないので, [JC08 モード燃費 = EPA 複合燃費 $\times 1.5$] と仮定して得られる燃費・電費と UF を使用

$$N_{PHEV} = 1 / \{U_F / \eta H E_{CD} + (1 - U_F) / N_{CS}\} \quad (6)$$

式 (6) で, ガソリンから電力へのエネルギー変換率 (η) をどのようにとるかによって, PHEV の代表的燃費の値が変わる。

前章で示した 3 種類の評価方法を一般的な式 (6) に当てはめた場合, η の値は次のようになる。

- ① 電力消費を無視してガソリン消費のみで評価: $\eta = \infty$
- ② 電力消費を発熱量で等価のガソリン消費に換算・評価: $\eta = 1.0$
- ③ ガソリン・電力のエネルギー変換率により換算・評価: $\eta = 0 \sim 1$ の値

熱力学的に意味のあるガソリンから電力へのエネルギー変換率として, 同じ化石燃料を用い発電の主流である火力発電の熱効率が考えられる。日本の火力発電の平均熱効率は現在 42% 程度であり, 新設のコンバインドサイクルでは石炭 IGCC 48% ~ 天然ガス GTCC 60% 程度となっており, 平均熱効率は今後も向上していくと考えられる。以上から, PHEV 代表燃費に使用するガソリンから電力へのエネルギー変換率 η の値としては 0.5 程度が適当と考えられる。

市販されている PHEV の JC08 モードによる燃費・電費の公表テストデータから, ガソリンから電力へのエネルギー変換率 η を, ① $\eta = \infty$, ② $\eta = 1.0$, ③ $\eta = 0.5$ の 3 ケースをパラメータにとって, PHEV の代表的燃費を比較した例を表 1 に示す⁽¹³⁾。

式 (6) による代表的燃費の算出は, ユーティリティファクタ UF が 0 から 1 までの範囲, すなわちハイブリッド車 (HEV, $U_F = 0$) から PHEV を経て電気自動車 (BEV, $U_F = 1$) に至るまでシームレスに適用可能なので, 表 1 には HEV と BEV の計算例も含めた。

PHEV の代表的燃費算出の元になっているモード燃費の実用燃費との乖離の問題は別として, 表 1 のエネルギー変換率 η が 0.5 の燃費値は熱力学的にも意味があるとともに, 一般ユーザにとっても実用の際の燃費との乖離などの違和感がない値と考えられる。

エネルギー・環境対応型自動車の導入促進のために充電電力駆動の車の燃費値を高く設定して政策的インセンティブとすることも考えられるが, PHEV の燃費表示としては③のガソリン・電力のエネルギー変換率による換算方式は物理的な整合性が高く, 搭載電池容量の大小によって過度の変化が生じず, 一般ユーザの理解を助け

る尺度になると考える。

7 UF と PHEV 燃費に関連する話題

ユーティリティファクタと PHEV 燃費に関連するいくつかの話題について紹介する。

7.1. 米国の PHEV 燃費表示

米国 EPA の PHEV 用の燃費ステッカーの現行デザインでは⁽⁴⁾、CD レンジの電費を発熱量で等価のガソリン燃費 (MPGe) として CS レンジの燃費 (MPG) と並べて表示しているが、両レンジの燃費を UF で合成した燃費値は示していない。

しかし、ラベルに記載されている年間燃料費用と 5 年間節約金額は合成燃費を用いて計算され、また EPA が全車種を対象に年間燃料経済リーダー車を決めるときには合成燃費 (2012 年型 Volt は複合 60 MPGe) が使用されている。

なお、EPA では、City と Highway の燃費を平均することを「Combined」(複合) と呼び、CD レンジと CS レンジの燃費を UF で加重することを「Composite」(合成) と呼んでいる。

7.2. 個人 UF など充電型自動車のための統計調査

自動車ユーザが今乗っている車のドライブパターンを何らかの方法で記録すれば、図 6 の実例のようにその人の UF を計算することができる⁽¹⁴⁾。

ユーザ固有の UF がわかれば、そのユーザが PHEV を購入する際に最適の電池容量を知ることができ、また

搭載電池容量によってどのくらいの燃費を期待できるか知ることができる。

このドライブパターンの記録には、カーナビ、スマートフォン、CAN データなどが利用可能と考えられる。走行距離の情報に加えて GPS による位置情報があると充電場所の効果を含む高度の評価が可能になり、これらのデータを地域やフリート規模で集積するとその解析から地域/フリートの PHEV 導入効果や充電インフラ配置の最適化などを評価することができる。このような充電型自動車のための自動車挙動の統計調査は今後重要になってくると考える。

7.3. 勤務先充電の効果

PHEV で通勤している人にとっては、家での充電に加えて目的地でも充電ができれば、電力走行の割合が増加し、CD レンジが通勤の片道の距離より大きい場合は電力走行のみで済ますことも可能となる。また、充電設備がない集合住宅居住の人でも、家で充電する代わりに勤務先で充電するサイクルにすることにより、PHEV などを活用する可能性が出てくる。

図 7⁽¹⁵⁾ は米国における充電機会の増加による UF の増加を統計データから推定したもので、勤務先充電の効果を定量的に示している。米国では 2013 年から 5 年計画で勤務先充電設備を 10 倍に増やすキャンペーンを DOE と民間企業が協力して進めている。

7.4. Well-to-Wheel と Tank-to-Wheel

エネルギー資源の採掘源から車輪駆動までの間のエネ

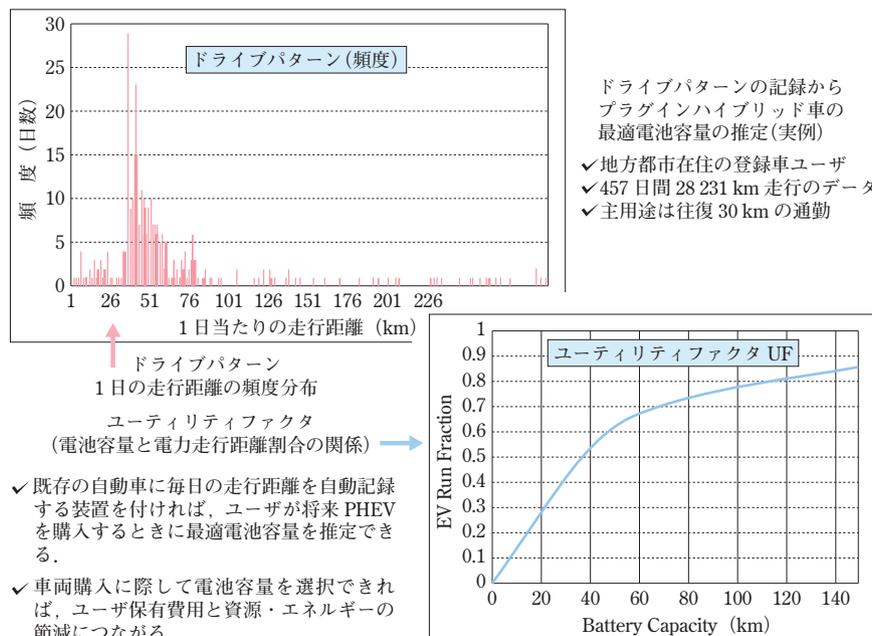


図 6 各自のドライブパターンから個人 UF を算出

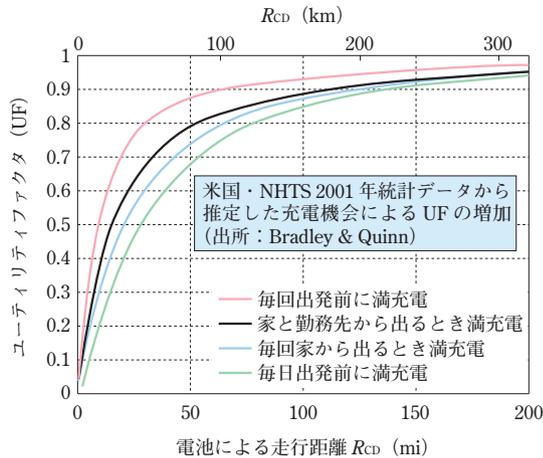


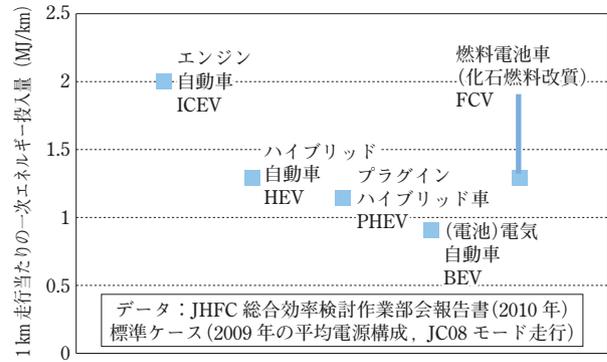
図7 充電機会増加による PHEV の UF の増加

ルギーの転換・輸送の過程における損失も含めて評価する Well-to-Wheel (WTW) 評価においても、電力・ガソリン・水素など異なるエネルギーを換算して同一単位で比較している。たとえば、水素・燃料電池実証プロジェクト (JHFC) による次世代自動車の WTW エネルギー評価では、図8のように同じエネルギー消費率の単位 MJ/km で示される⁽¹⁶⁾。

このような WTW 評価は自動車のエネルギー消費特性の指標としては有用だが、電源構成などエネルギー転換・輸送の過程が変われば値が変化する。これに対して本稿で説明した PHEV の代表的燃費は、車両へ給油・充電した後の状態からガソリン・電力のエネルギー換算をする Tank-to-Wheel の評価なので、ユーザの判断と自動車メーカーの性能改善のための指標になるものと考えらる。

参考文献

- (1) 堀雅夫：プラグインハイブリッド車導入の環境・エネルギーへの効果，自動車技術会論文集，Vol. 38, No. 2, p. 265-269 (2007)
- (2) 国土交通省総合政策局情報管理部：自動車輸送統計報告書，2004年2月分，6月分，10月分 (2005)
- (3) 国土交通省：プラグインハイブリッド自動車の燃費算定等に関する実施要項について (平成 21 年 7 月 30 日 国自環第 85 号)，自動車セミナー (交文社)，48 巻 9 号 (通号 566)，p. 68-71 (2009)
- (4) Federal Register; Rules and Regulations, Final Rule "Revisions and Additions to Motor Vehicle Fuel Economy Label", Vol. 76, No. 129 (EPA 40 CFR Parts 85, 86 and 600 and NHTSA 49 CFR Part 575) (2011)
- (5) Society of Automotive Engineers: Utility Factor Definitions for Plug-In Hybrid Electric Vehicles Using Travel Survey Data, SAE Standard J2841 (2010)
- (6) U.S. DOT, Federal Highway Administration: 2001 National Household Travel Survey, <http://nhts.ornl.gov/> (2004)
- (7) WLTP-DTP: WLTP-E-Lab Sub Group Progress report, WLTP-DTP-E-LabProc-034 (2011)
- (8) 国土交通省：プラグインハイブリッド自動車排出ガス・燃費測定方法について，<http://www.mlit.go.jp/common/000046352.pdf> (2009)



- ◆評価対象の車種は小型乗用車で基本性能，形状，共通部分の重量は原則として同等
- ◆PHEV はユーティリティファクタ UF=0.5 のものを想定
- ◆FCV への水素供給は化石燃料 (天然ガス，ナフサ，LPG，灯油など) の改質水素でオンサイト 8 方式，オフサイト 6 方式
- ◆図の中の FCV の点は最良の方式の値，実線は其他方式の値の範囲

図8 JHFC の WTW エネルギー評価 (標準ケース)

- (9) United Nations: Agreement: Concerning the Adoption of Uniform Technical Prescriptions for Wheeled Vehicles, Equipment and Parts, Addendum 100: Regulation No. 101, Revision 2, E/ECE/324 E/ECE/TRANS/505 (2009)
- (10) EPA & NHTSA (DOT): Environmental Protection Agency Fuel Economy Label - Final Report (2010), <http://www.epa.gov/fueleconomy/label/420r10909.pdf>
- (11) 国土交通省 / 経済産業省：乗用自動車の新しい燃費基準 (2011.10.20) 中の別添 6 「電気自動車及びプラグインハイブリッド自動車の取扱いについて」 (2011)
- (12) U.S. DOE: Petroleum-equivalent fuel economy calculation, Federal Register 10 CFR Part 474 (2000)
- (13) 堀雅夫ほか：電力とガソリンの等価合成による PHEV 燃料消費率の表示，自動車技術会論文集，Vol. 43, No. 6, p. 1401-1405 (2012)
- (14) 堀雅夫ほか：HEV, PHEV 導入によるエネルギー需給変化と CO2 削減の効果，自動車技術会論文集，Vol. 40, No. 4, p. 1101-1106 (2009)
- (15) T. H. Bradley, et al: Analysis of plug-in hybrid electric vehicle utility factors, Journal of Power Sources, 195, p. 5399-5408 (2010)
- (16) 水素・燃料電池実証プロジェクト (JHFC) 総合効率検討作業部会：総合効率と GHG 排出の分析 報告書，日本自動車研究所 (2011)

フェース

PHEV などの系統充電型自動車は電力グリッドとの双方向の電力流通が期待されている。米国の統計では車の 1 日平均走行時間は 62 分，もし家と勤務先で充電 (プラグイン) ができると系統と接続している車の割合は最低 83% (午前中) ~ 最高 100% (深夜) となり，多くの車で系統安定化のサービスが可能になる。再生可能発電の増加とともに自動車と電力系統のエネルギー統合運用は重要になってきており，PHEV の燃費の良さに加えて系統への電力サービスの対価が車の保有費用低減に役立つと考えている。



堀 雅夫