

# ENGINE REVIEW

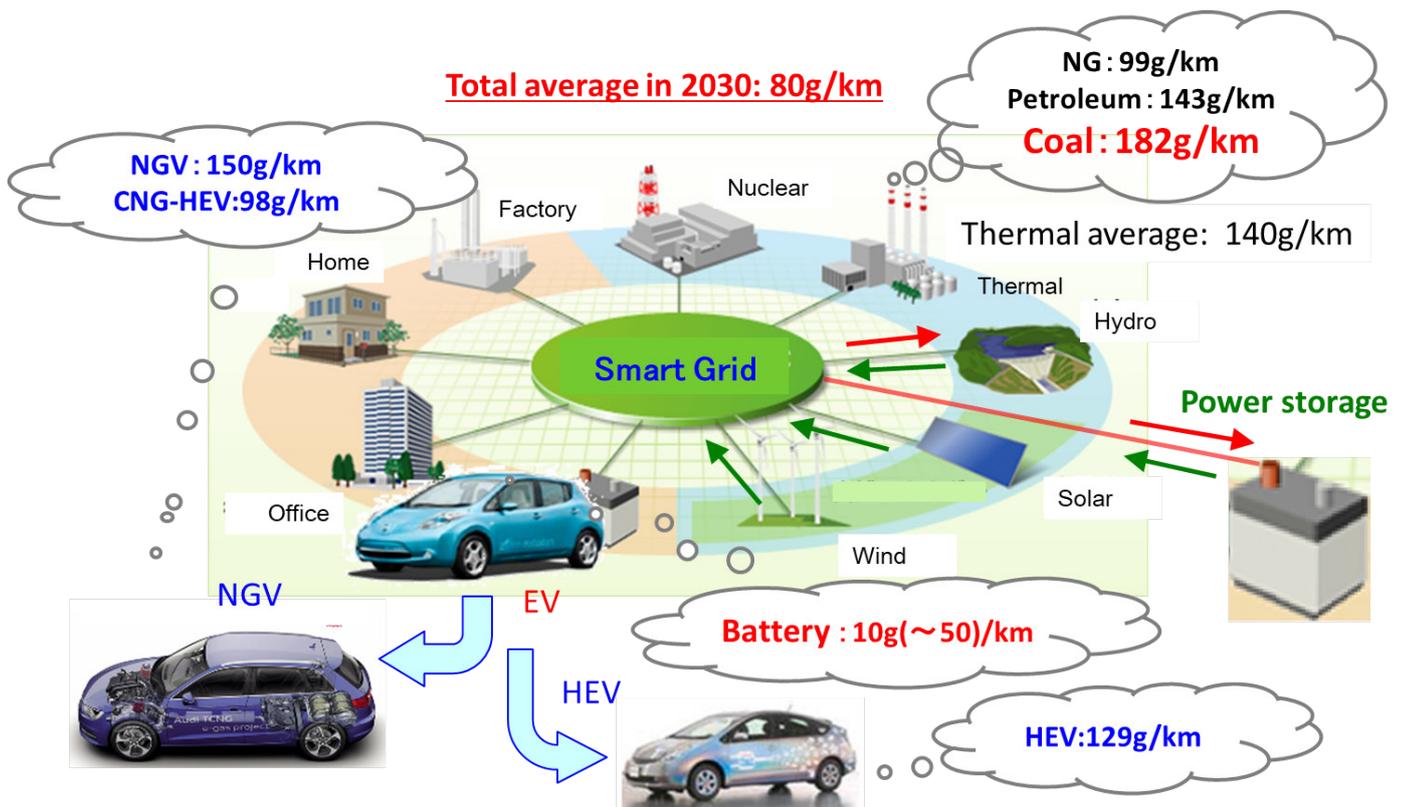
SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 9 No. 6 2019

JSAE エンジンレビュー

特集： 将来のEV大量普及と電力供給システム

～生もの電気の利用方法と電動車両の普及方法を考える～

コラム： 国宝が世界遺産になるということ



公益社団法人 自動車技術会

- コラム：国宝が世界遺産になるということ 1  
*The change when a national treasure becomes the world heritage*
- 鈴木 央一 *Hisakazu Suzuki*  
自動車技術総合機構 *National Agency for Automobile and Land Transport Technology*  
本誌編集委員 *JSAE Engine Review Editorial Committee*
- 特集：将来のEV大量普及と電力供給システム  
- 生もの電気の利用方法と電動車両の普及方法を考える -
- 1 . 将来のEV大量普及と電力供給システム 3  
清水 健一 *Kenichi Shimizu*  
早稲田大学 *Waseda University*  
本誌編集委員 *JSAE Engine Review Editorial Committee*
- 2 . 電気自動車の普及と自動車のWell to WheelのCO<sub>2</sub>排出量低減の施策 4  
*Promotion of Electric Vehicles and Measures to Reduce Well to Wheel CO<sub>2</sub> Emissions of Vehicles*  
畑村 耕一 *Koichi Hatamura*  
広島大学大学院工学研究科客員教授 *Visiting Professor at Hiroshima University*
- 3 . 電力供給システムとEV普及の関係 12  
*Relation between Power Supply Systems and the Spread of EV*  
佐々木 正信 *Masanobu Sasaki*  
東京電力エナジーパートナー株式会社 *TEPCO Energy Partner Inc.*

## ■ JSAE エンジンレビュー編集委員会

委員長：飯田 訓正（慶應義塾大学）

副委員長：村中 重夫（元・日産自動車）

幹 事：飯島 晃良（日本大学）

委 員：遠藤 浩之（三菱重工エンジン&amp;ターボチャージャ）

大西 浩二（日立オートモティブシステムズ）

菊池 勉（日産自動車）

小池 誠（豊田中央研究所）

小酒 英範（東京工業大学）

清水 健一（元・産業技術総合研究所）

下田 正敏（元・日野自動車）

鈴木 央一（自動車技術総合機構）

西川 雅浩（堀場製作所）

野口 勝三（本田技術研究所）

平井 洋（日本自動車研究所）

細谷 満（日野自動車）

山崎 敏司（編集）

渡邊 学（JXTG エネルギー）

発行所：公益社団法人自動車技術会

発行日：2019年12月20日

発行人：大下守人（アイシン精機）

ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN

Vol. 9 No. 6 2019

## 国宝が世界遺産になるということ

*The change when a national treasure becomes the world heritage*



鈴木 央一  
SUZUKI Hisakazu

編集委員  
JSAE ER Editorial Committee

本稿を書くにあたり、内容がエンジンとは無関係な話題になることをお許しいただきたい。

夏休みに、家族で日光に行った。私は中学1年にバス遠足で行って以来久しぶりなのだが、妻と子供二人（高1，中1）は初めてだった。まず、それが意外だった。校外学習や修学旅行で1回くらいは行ったことがあると思っていたからだ。その違いは地理とっていいだろう。私が中学時代に行った、というのも当時茨城県新治郡桜村（現つくば市）の中学校に通っていたので日帰りの遠足で行けたのだが、南関東だとそれは距離的にきつい。そういうわけで「初」日光の妻と子供と行くので、まずは「鉄板」といべき、東照宮と華嚴の滝を観光することにした。そのうち東照宮の話。

東照宮といえば何とんでも陽明門。昔見たときも、その華やかさ、豪華さ、美しさに感動して絵葉書を買って帰った記憶がある。今回みるとそのとき以上に鮮やかだった。平成29年に「平成の大修理」が終わったところ、ということのようだ。それと今回は宝物館で「予習」ができた。そこでの説明で、門に人物像が多く飾られていて、その人たちが皆楽しそうにしているところに注目、といった内容があった。これまで門全体を見て美しいと思ったのに対して、全体から見るとごく小さいそれぞれの彫刻まで注目しなかった。それを知ってみると確かにその通りだった。東照宮の創建時は戦国時代が終わったばかりで、まだ人々の意識に「泰平の世」という感覚はなかったのではないかと。しかも「武」をもって天下に上り詰めた家康の墓所を飾るのに、強さや勇ましさを排して楽しさや穏やかさに満ち溢れているのだ。これはすごいことではないか。

一例を図1に示す。竜に仙人らしい男性が乗っている。彼の顔を見てほしい。今の感覚でいうならオープントップのスポーツカーに乗って、その加速感や爽快感に戸惑い、驚嘆している、といった態である。戦国時代までであれば、竜に乗った人物としたら、怒りの形相で悪と闘う、といったイメージになるはずだ。それが戦国時代が終わって間もないこの時期に、生命への脅威から解放されて近代スポーツを先取りしたような意識で作品を作り出しているのだ。こうして作品になるからには、構想を練る人、発注する人、製作する人、それを組み上げる人など多数の人がかかわるはずだ。そのすべての人がその意識を共有できていないと、陽明門として成り立たない。つまり誰かひとりの意識にとどまらない、まとまった人の意識、つまり文化としてそれが共有されていたはずだ。これこそが、つまり平和で、楽しさやワクワクするような興奮を追い求める精神構造こそが、誇るべき日本文化ではないかと思った。それを400年前から公的建造物の形にしている民族はそうそうないはずだ。それこそが国宝であり世界遺産にふさわしい価値をもたらしているのだと。

そんな感動を覚えたところで、陽明門を後にして階段を下りると右に本地堂がある。鳴き龍が有名だ。行列ができていてそれに加わる。待たされた後40~50人ほどの集団で「龍」の下へ向かう。より正しくは、説明する僧が龍の下にいて、その周りの柵の外を取り囲むように、である。すると拍子木を打って「鳴き」のデモをするにあたって、その「鳴き」が聞こえるように、付近の干支の神様への参拝などで拍手を打つことなく音を立てるな、とのこと。それはそれでいいのかもしれない。確かに子供たちは違和感を持たず、「ピロロロ」と聞こえるのを喜んでた。（ちなみに、客の中に南米系の家族連れがいたところ、僧が日本語の後にスペイン語で「ラ・ドラゴン……」と説明したのには恐れ入った）

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 9 No. 6 2019

だが、それでいいのか……。昔中学生の時にここに来た時のことを思い出した。生徒何人かで代わる代わる竜の下で思い切り拍手を打って「鳴き」を文字通り体験した。自分が打った拍手で竜が「鳴いた」ことは印象強く記憶に残っている。そう上手くいかない場合は「もう一回」とか、「お前へたくそ」とか言い合った、のどかに和気あいあいとした雰囲気ですら「校外学習」したものだった。40年近くを経て世界遺産に指定され、観光客が激増して、維持費などの確保はおそらく容易になったことだろう。だが、のどかさというか自分たちの手に届く親近感、主体的に体験する楽しさは失われた。「鳴き」を聞く体験をできる人はけた違いに増えた半面、各々の記憶に残る度合いは薄まるのではないか。これも世界遺産になって日本の日光から世界の日光になったがゆえとっていいだろう。うちの子供たちが30年40年経って「鳴き」を記憶していることはないだろうと思う。私自身は古き良き昔それを体験しておいてよかった。

新たに得たものと失ったものを感じた東照宮再訪だった。



図1 日光東照宮陽明門 全体（左）と内側から見た一部の龍に乗った男性（右）

## 特集：将来のEV大量普及と電力供給システム

— 生もの電気の利用方法と電動車両の普及方法を考える —

清水 健一

*Kenichi Shimizu*

本誌編集委員

*JSAE Engine Review Editorial Committee*

### 1. はじめに

地球温暖化低減の目的から、自動車の電動化を推し進める動きが活発になっており、脱石油化に有利な、BEV、PHEV、FCV等を優先し、最終的に化石燃料のみを消費するHEVを含めた内燃機関自動車（ICEV）の生産を抑制もしくは排除する動きすら、世界的な潮流になりつつある。

実用化で先を走るBEVやPHEVは、電池のエネルギー密度の制約による一充電走行距離の短さや、電池のパワー密度の制約による充放電効率への影響や充電に要する時間の長さなど、成熟しきったICEVに取って代わるには、電池による制約が課題となっている。

### 2. 電池性能の電動化に及ぼす影響

これら、主に電池性能に起因する制約を補うための様々な技術開発も盛んになっている。大量の電池を搭載することによる効率低下を避ける方法として、走行中に給電する機能を活用した様々なシステムの提案がなされている。一方、古くから有望視されてきた、使用した電池を短時間で充電済み電池と交換する電池交換システムは運用上解決すべき課題が多く、飛躍的な普及は望めない状況にある。一充電走行距離の制約が回避できるPHEVも、電気の消費比率を高めようとする、BEVと同様、電池の制約による課題に直面する。

これらの課題は、エネルギー密度、パワー密度が大幅に改善され、十分なサイクル寿命を確保出来る次世代電池の出現によって大幅に改善されることが期待されており、その際には、前述の技術はあまり意味を持たなくなるので、インフラ整備を前提としたシステムの普及の難しさがわかる。

### 3. 電力供給システムの重要性

一方、これらの車両は電力供給システムや水素供給システムとセットのシステムであり、車両の優劣だけでなく、供給システムとセットでの評価が不可欠である。実用化段階に入ったBEVとPHEVのCO<sub>2</sub>排出量は、電力供給システムの特性に依存するので、電力供給システムとしての電力ミックスについては広く議論されてきた。しかし、グリッドから供給される電力は、現状では、消費に合わせて発電しなければならないいわば“生もの”であるため、BEVやPHEVが大量普及した段階では、この充電需要に合わせた発電を実時間で如何にシステムティックにこなすかがCO<sub>2</sub>排出量を左右するキーとなる。この課題は、次世代電池の出現で解決できるものではなく、むしろ充電需要のタイミングや負荷の変動が拡大する可能性があるため、問題は深刻になる。そのため、将来的には電力供給システムと連携して、充電負荷のコントロールを目的とした“スマート充電”の必要性も議論されている。

### 4. 本特集の目的

この様な状況に鑑み、本特集では第一弾として、BEV、PHEVの地球温暖化低減効果と電力供給システムに関して、異なる立場の2専門家の見解を紹介していただいた。温暖化低減効果の評価指標をはじめ、評価や判断の基準はその分野毎に文化や組織の立場によって微妙に異なる面があるが、底流の基本的なものは共通であると考えられる。本特集をこの観点で見ていただくことで、関連技術者が自動車の電動化を長いスパンで議論する際の一助となれば、幸いである。2専門家の見解で共通している、CO<sub>2</sub>総排出量削減に有効とされる、電力供給システムにEVを取り込む将来のシステムについては第二弾として企画したい。

## 電気自動車の普及と自動車の Well to Wheel の

### CO<sub>2</sub> 排出量低減の施策

*Promotion of Electric Vehicles and Measures to Reduce Well to Wheel CO<sub>2</sub> Emissions of Vehicles*

畑村 耕一

Koichi Hatamura

広島大学大学院工学研究科客員教授

Visiting Professor at Hiroshima University

#### 1. まえがき

過去に世界的な電気自動車 (EV) ブームが2回あって、今回は3期目のブームが起こっている。第1, 2期はそれぞれ「マスキー法 (排ガス規制)」と「ZEV (ゼロエミッション) 規制」に端を発したものだが、今回は「CO<sub>2</sub> 規制強化」への対応として始まったものだ。最近の新聞報道にあるように、2010年代に入って急速にEVの普及が始まっているだけでなく、欧州の一部の国ではエンジン車を締め出そうとの政治的動きもある。

EVには価格や充電設備などの多くの問題が指摘されているが、ここではより本質的なCO<sub>2</sub> 排出量について考える。図1は2030年ころをイメージして再生可能エネルギー (再エネ) 発電が大量導入された電力網とEV、ハイブリッド車 (HEV)、天然ガス自動車 (NGV) のCO<sub>2</sub> 排出量を描いたものだ。EVについては、発電所毎にCO<sub>2</sub> 排出量を記述した。EVのWell to WheelのCO<sub>2</sub> 排出量として、一般的に電源平均の値80g/kmを使っているため、EVが普及すれば自動車のCO<sub>2</sub> 排出量は減少すると評価されている。

電気には色が付いてないのでどの発電所の電気で充電しているかは自由に決めることができるように思われるが、電力需要が増減した場合にどの発電所の電力が増減するかが分かると、充電に利用している発電所を特定できる。例えば、EVの普及を中止して充電需要がなくなった場合に石炭火力を止めると、走行と電池製造を合わせて192 (=182+10) g/kmのCO<sub>2</sub> 排出量が減少する。代わりにHEVが走ると129g/kmのCO<sub>2</sub> が発生する。結果、CO<sub>2</sub> 排出量は192→129g/kmとなって67% (約2/3) に減少することになる。CO<sub>2</sub> 削減を優先する場合 (石炭火力を止める) は、EVではなくHEVを普及させる方が、CO<sub>2</sub> が減少するという重要な事実がここにある。本報告では、EVが本格的に普及した場合の実際のCO<sub>2</sub> の排出量を算出して、それを効果的に削減する方策について考えてみたい。

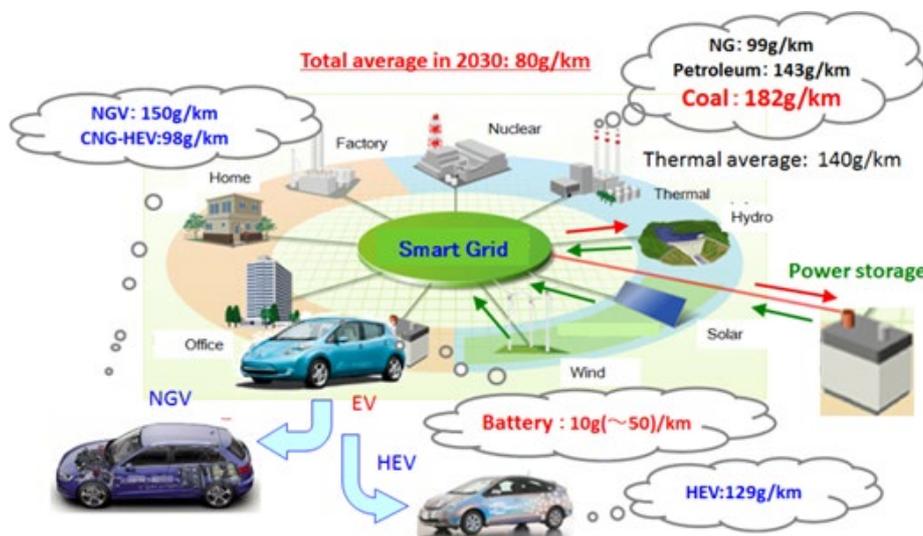


図1 電力網とEV, HEV, NGVのCO<sub>2</sub> 排出量

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 9 No. 6 2019

## 2 EVの魅力と課題

筆者がEVと出会ったのは40年以上前、東洋工業（現マツダ）に入社して間もないころ。当時は第1期のEVブームで各社がEVの試作車を作っていた。マツダの試作車は荷台の下に鉛蓄電池をびっしり積み込んだ軽トラックだった。当時の電池の性能では実用化には程遠かったが、その静かでスムーズな走りの快適性に筆者は惚れ込んだ。エンジン車は低速トルクのないエンジンをトランスミッションでつなげて駆動力カーブを作っているのに対して、EVは停止時からトルクを発生して車速が増えても変速がない。電動車両のプロジェクトが中止になってエンジン設計に異動になったあとも、その走りの快適性をクルマの理想として追い続け、「エンジンはないほうがいい」という言葉を筆者のエンジン哲学とした。当時の電池ではエンジンをなくすのは無理なのでせめて小さく、過給ダウンサイジングエンジンの開発に没頭した。

筆者は自動車雑誌の記事を書くために、毎月新車を借り出して東京―箱根を往復して評価している。第3期のEVブームのおかげで最近ではEVに乗る機会が増えた。電池容量30kWhと40kWhのリーフにも乗ったが、先月乗った90kWhのジャガーのI-PACEでは電池の残量を気にすることなく20kWh位を残して往復出来た。リーフもI-PACEも走りは素晴らしく、アクセルの応答性、静かでスムーズな加速、加減速を制御するアクセルペダル、特にI-PACEはエンジン車ではとても太刀打ちできない高級スポーツカーの走りを見せてくれた。EVに乗り慣れると、様々な加減速ショック、高回転のエンジン騒音、アクセル応答の遅れがあるエンジン車は「20世紀の遺物」と言いたくなってしまふ。

現時点において、EVは価格（コスト）が高だけでなく、走行距離と充電時間などの技術的問題、給電施設などインフラの問題があって普及に対して懐疑的な意見も多いが、電池の技術革新は目覚ましく、将来的にそうした問題点は一つずつ解決されて行くだらう。残るのは価格が高い問題だが、電池のコストが急速に低下してきているので、EVの快適な走りを買うと考えれば遠くないうちに納得できる価格になってくる。EVの普及に補助金は必要ない。

これから大衆車からSUV、スポーツカーまで魅力的なEVの導入計画が図2のように目白押しだ。このまま推移すれば、EVが相当数普及するのは時間の問題だと筆者は考えている。これまでは「エンジンはないほうがいい」と言ってきたが、本当になくなりそうな気配になってきた。筆者は最近「エンジンはなくなる（なくしてはならない）」と宗旨替えをした。その理由を次節で述べることにする。



図2 続々と登場するSUVとスポーツカーのEV

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 9 No. 6 2019

## 3 EVの真の問題、CO<sub>2</sub>削減効果はあるか？

発電所からのCO<sub>2</sub>排出係数（総排出量を需要端の総電力量で割った値 kg-CO<sub>2</sub>/kWh）を図3に示す。2009年に電力中央研究所がまとめた各発電方式別の平均CO<sub>2</sub>排出係数と、2030年の電源構成から求めた平均排出係数を示している。この値にEVの電費(kWh/km)を掛けると、EVのCO<sub>2</sub>排出量(kg-CO<sub>2</sub>/km)が求まって、他のパワートレイン車とのWell to WheelのCO<sub>2</sub>排出量の比較ができる。

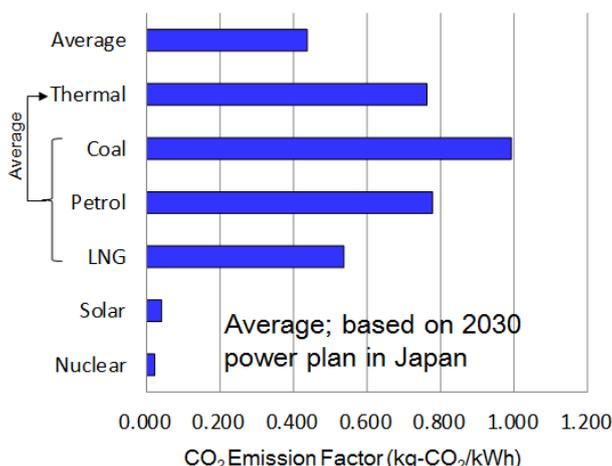


図3 発電方式別のCO<sub>2</sub>排出係数

自動車のCO<sub>2</sub>排出量算出の元になる燃費（電費）の数値には、各種補正が行われて実際の燃費値との乖離が少ない、米国のEPAが公表する2016年モデルの米国販売車両の複合燃費値を使った。各種パワートレインの車のCO<sub>2</sub>排出量を求めた結果を図4に示す。これらの値は、燃料の採掘・輸送から発電所などの設備の建設・廃棄、燃焼・廃棄物処理までのCO<sub>2</sub>排出を含むWell to WheelのCO<sub>2</sub>排出量を示している。また、EVの電池製造には大量のエネルギーを使ってCO<sub>2</sub>を排出しているので、その量をkm走行あたりに換算して追記した。製造時のCO<sub>2</sub>排出量は文献によって10~50g/kmという大きな幅があるが、ここでは最小の10g/kmの値を使った。

この図から、EVのCO<sub>2</sub>排出量はどの発電所からの電力を充電に使っているかによって大きく異なることが分かる。例えば、石炭火力発電所の電力を使うとEVのCO<sub>2</sub>排出量は従来エンジン車とほとんど変わらない。火力発電平均では、HEVより多く、NGV(CNG-GEV)と同等になる。ここには示していないが、原発と再エネの場合はほぼゼロとみなせる。原発と再エネが半分近くを占める2030年の電源平均を使うと、EVのCO<sub>2</sub>排出量は最も少ない値を示す。参考に燃料電池車(FCV)のCO<sub>2</sub>排出量も水素の製造法別に示した。

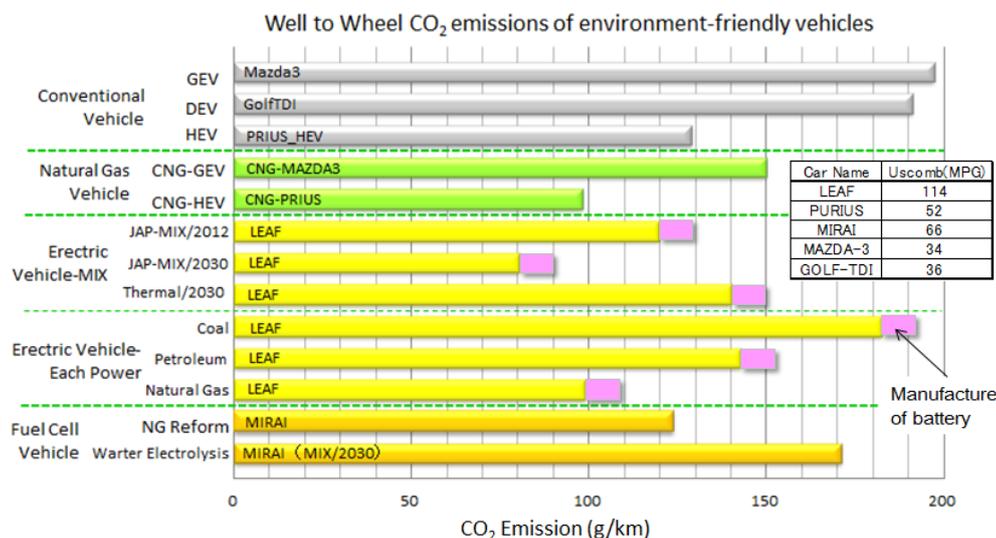


図4 次世代環境自動車のCO<sub>2</sub>排出量の算出

単純に「EVのCO<sub>2</sub>排出量」を求める場合は電力平均のCO<sub>2</sub>排出係数を使うのが一般的であるが、EVが普及した場合の「EVと電源を含む総合的なEV走行システム」として捉えると、EVのCO<sub>2</sub>排出量を求めるのは発電方式が関係するので簡単ではない。そこで、原点に帰ってEVのCO<sub>2</sub>排出量の定義を考えてみよう。図5に日本の環境省が示す2030年の電力需給見通しに基づく、発電方式別の電力量とCO<sub>2</sub>排出量を示す。仮にEVが1200万台相当（EV600万台、PHEV900万台）普及していると仮定すると、そのための電力需要は220億kWhで総電力の2.2%を占める。ここでEVの電力需要がなくなった場合は電力需要低下分の発電を停止するのでCO<sub>2</sub>排出量が減少する。

各発電方式を一律に2.2%ずつ停止するというのが電力平均の排出係数を使う場合の計算で、現実にはありえない仮定である。実際はEVの電力需要の特性から経済合理性に照らして電源構成が変化する。新しい電力構成からのCO<sub>2</sub>排出量を算出して、EVの電力需要がなくなった場合のCO<sub>2</sub>排出量の減少分がEVの充電に伴って排出されるCO<sub>2</sub>排出量に相当する。その値をEVの総走行距離で割ると、EVのCO<sub>2</sub>排出量（kg/km）が算出できる。

電力需要が減少した場合にどの発電所の発電を減少または停止するかを決めることに関して、実際にコジェネ（コージェネレーション）発電のCO<sub>2</sub>削減効果の計算に使われている方法がある。2000年代に大阪ガスが提案して電力業界との激論の末採用されるようになった方法で、「マージナル電源」という概念を用いている（付録参照）。マージナル電源とは電力需要が増減する場合に発電量を増減する電源のことを指す。図6に示すように、系統電力を削減した場合、原子力や水力などの発電コストが安価な発電は残して火力発電を減少することが想定されるので、火力発電がマージナル電源に相当する。コジェネのCO<sub>2</sub>削減効果の算出に火力発電平均の排出係数を使うことで、当時の発電構成の平均計算の約2倍のCO<sub>2</sub>削減効果として計算され、コジェネの普及に大きく貢献した。最近では国の地球温暖化対策計画においても、コジェネ、再生可能エネルギー発電などの系統電力削減効果の評価に火力発電平均の係数が用いられている。

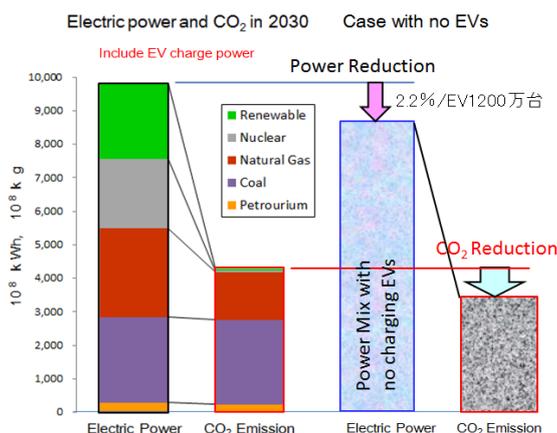


図5 EVのCO<sub>2</sub>排出量の定義と電源構成

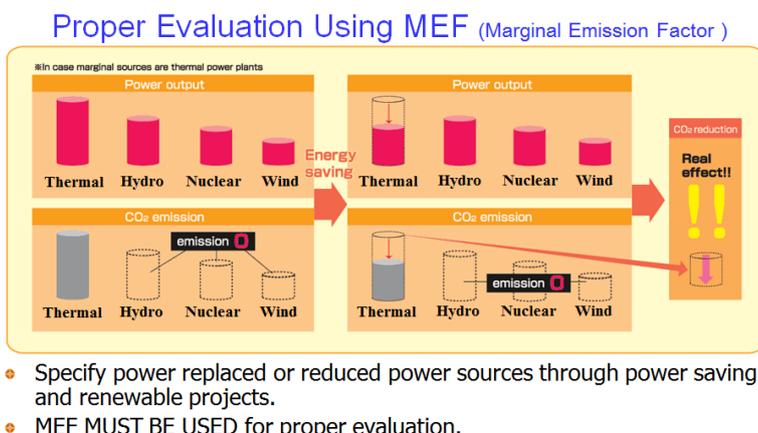


図6 マージナル排出係数を使う算出法

“Japanese Gas Industry and Its Efforts in Reducing CO<sub>2</sub> Emission”  
by Japan Gas Association, COP10 in 2004 より引用

国際的にもこの考えが認知されており、2007年に発行された「GHGプロトコル」に、系統電力削減によるCO<sub>2</sub>削減効果の算出には電源平均でなくマージナル電源を使うべきことが明記されている。この中で、既存発電所の発電量の増減を評価する短期的なマージナル電源（OM/Operational Margin）と電源設備の建設と廃棄を考慮した長期的なマージナル電源（BM/Built Margin）が示されている。例えば、EVの充電時間の違い（夜間または昼間）によるCO<sub>2</sub>排出量を比較評価する場合は、短期的マージナル電源を使うことが適切である。一方、EVの普及を中止した場合の影響を検討するには、電源設備への影響を考慮した長期的マージナル電源を特定する必要がある。一般的に、短期的マージナル電源は運転コスト（≒燃料費）が高い電源であり、長期的なマージナル電源は設備費を含む総コストが高い電源が相当する。

ここでは、EVの充電需要の特殊性からさらに掘り下げて考える。EVの電力需要は曜日、天候、季節による変動が少なく安定しているだけでなく、価格政策によってある程度需要の時間をずらすことが可能な便利な電力需要である。そのためEVの電力需要があれば、需要を平準化して夜間の最低需要を嵩上げできるので、経済性原理に従えば、高稼働率の場合の発電コストが低いベースロード電源設備（原子力と石炭火力）を増やすことになる。原子力

は別の政策で決まるので、EVの需要の有無で発電設備を増減する長期的マージナル電源は主として石炭火力になると考えられる。

どの発電がマージナル電源になるかについては、対象とする電力網の条件やCO2削減に関する電源政策によって変化するので、専門家を交えた個別の検討が必要になるが、近い将来、本格的な炭素税などCO2削減を優先する政策が導入されて石炭火力の発電コストが上昇すると、ほとんどの場合石炭火力がマージナル電源になる。ここでは、EVの夜間充電の長期的マージナル電源は石炭火力で、石炭火力のCO2排出係数を使ってEVのCO2排出量を計算するのが適切であるとの考えを元に以下の考察を進める。マージナル電源の特定の考え方と関連する文献については、参考文献6)で詳しく紹介しているので参照されたい。

#### 4 EVの普及をCO2削減に結びつけるには

図7は2030年に東北電力と東京電力管内で248万台のEVが普及した場合に、5月の天気の良い休日を想定して、電力の安定性を確保するために電源の稼働をどうするかについて検討したものだ。EVの充電需要（緑で図示）が大きい夜間には石炭火力発電がフル稼働していることが分かる。また、電力需要を昼間に誘導したり揚水発電をフル稼働しても、昼間の電力は余剰になって再エネ発電を抑制さざるを得ないことが示されている。電力が余る昼間に火力発電が稼働しているのは、不安定な再エネ発電の突然の供給停止に備えて最低限の火力発電を運転するためである。

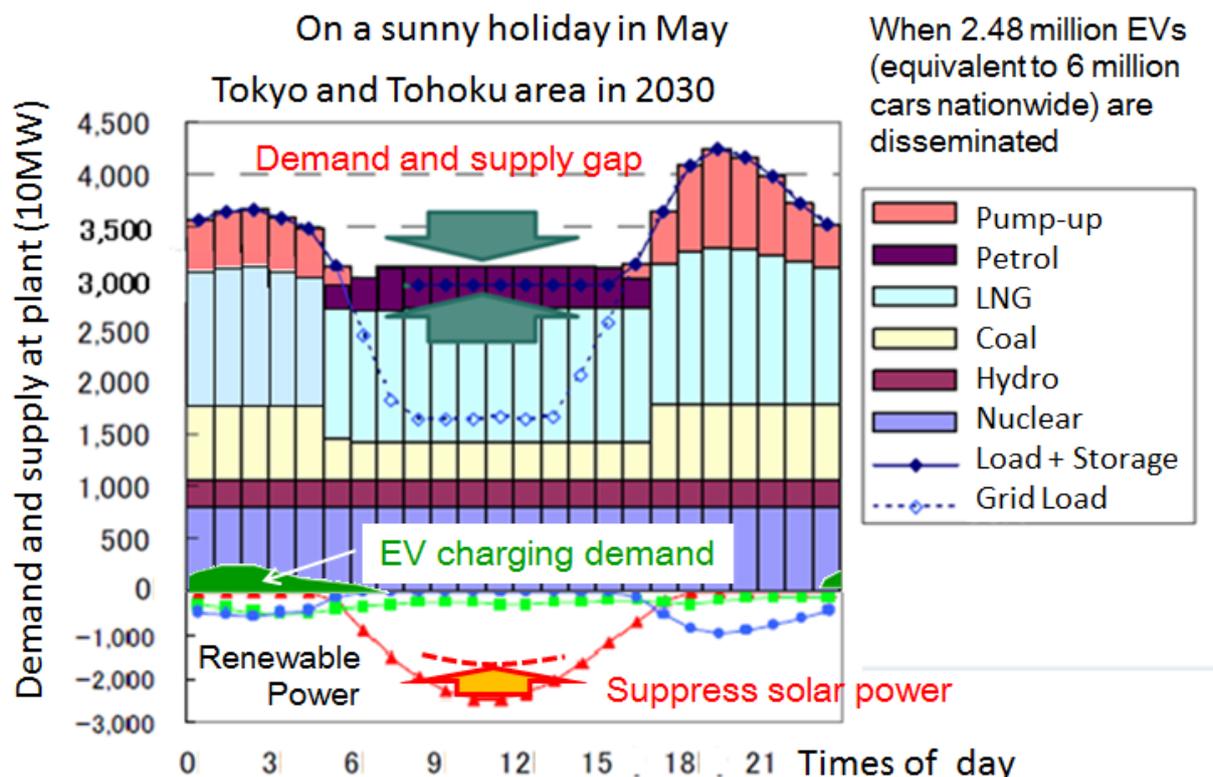


図7 2030年の電源構成と余剰電力の発生

荻本他「長期の電力需給計画における再生可能エネルギー大量導入の課題解決の可能性検討」から作成

このことから、昼間の余剰電力分の再エネ発電を抑制せずEVの充電に使うことができれば、再エネ発電がマージナル電源になるので、CO2排出量がほぼゼロというEVが本来目指しているカーボンニュートラル走行が実現できる。一方、余剰電力が生まれにくい気象条件の昼間の充電については、需給調整に使うLNG発電がマージナル電源に相当し、CO2排出量は比較的小さい。EVの充電が昼間に行われる仕組みと優遇政策の整備が望まれる。ここで単純に考えると、昼間の余剰電力を蓄電して夜間のEV充電需要に当てればカーボンニュートラル走行が実現できるはずである。ところが、蓄電した電力はEVの充電に使わなければ火力発電を止めることによってCO2削減ができるので、実際はカーボンニュートラルとは言えない。

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 9 No. 6 2019

以上述べたように、昼間の余剰電力（電力系統に止めることができる火力発電がない）を使ってEVを充電すればEVはカーボンニュートラル走行が可能になる。一方、夜間充電では石炭火力がマージナル電源となってEVのCO<sub>2</sub>排出量は従来エンジン車と同等である。この場合、EVに代えてHEVを走らせるとCO<sub>2</sub>排出量は約2/3に減少する。従って、余剰電力でEVの電力需要の1/3をまかなうことができれば、EVの普及はHEVと同等のCO<sub>2</sub>排出量の低減効果になる。1200万台のEVが普及してもその充電需要は全電力の2.2%なので、その1/3を余剰電力で充電するのは、余剰電力発生時に充電する仕組みが定着すれば、将来的には十分可能なレベルである。

ここまでは日本の電力事情について考えてきたが、先進国では石炭火力から撤退する動きが加速している。2030年以降になると思われるが、石炭火力がなくなればEVの夜間充電の短期的マージナル電源が石炭火力からLNG火力に代わることになる。ただし、石炭火力が全廃になるまでの期間はEVの電力需要が石炭火力の廃止速度を緩めると考えると、EVの長期的マージナル電源が石炭火力であることに変わりはない。一方、デンマークやスペインのように、国や地域によっては風力発電が増加して夜間に余剰電力が生まれる時に充電すればカーボンニュートラル走行になるので、EVの普及がCO<sub>2</sub>削減に有効である。ただし、広域的に考えると、EVでなくHEVを普及して、余剰電力は隣国に輸出して石炭火力を停止する方が、総合的にCO<sub>2</sub>が減少することも明記しておきたい。

## 5 再生可能エネルギーを利用してカーボンニュートラルの自動車走行を実現する

再生可能エネルギーが十分に普及すると電力に対する考え方が大きく変わってくる。2018年のドイツでは再エネ発電が総発電量の40%を超え、天気の良い風の強い日は電力を周辺国に輸出しても電力が余り、電力取引所での価格は一時期マイナス（お金を払って使ってもらう）になるという状況が発生している。日本でも、今年の5月に九州で再エネ発電が電力需要の8割程度になって、太陽光発電を抑制するということが実際に起こっている。

2050年のドイツでは、電力需要の40%近い大量の余剰電力が生まれるとAUDIが予測している。揚水発電や蓄電設備を増強しても量的に対応できないが、水の電気分解で電力エネルギーを水素の化学エネルギーに変換すれば大量のエネルギーを貯蔵できる。これが水素社会の意味で、この水素をFCVに使えば、カーボンニュートラル走行が実現できる。さらにAUDIが実施しているように、大気中に廃棄しているCO<sub>2</sub>を集めて水素と反応させれば天然ガスの主成分のメタンが製造できる。また、水素とCO<sub>2</sub>から液体燃料を製造する開発も進められている。将来的に余剰電力で燃料を製造するようになれば、カーボンニュートラル走行するエンジン車が実現できる。誌面の都合で割愛するが、詳しくは参考文献7を参照して欲しい。

以上述べたようにカーボンニュートラル走行は、燃料を搭載してそれを燃焼させて走るエンジン車でも実現可能である。逆にEVがカーボンニュートラル走行をするわけではないことも述べた。加えて、カーボンニュートラルの燃料を既存の燃料供給インフラに混入すれば、現在走っている大量の自動車からのCO<sub>2</sub>排出量の削減にも貢献できることを評価する必要がある。インフラ整備にかかる費用に加えて、車の価格上昇に伴うユーザー負担（補助金含む）の合計額を合わせた社会的総費用とCO<sub>2</sub>排出量削減量を算出して、コスト/効果比を評価した上で次世代環境車の普及政策を定めていくことも重要な視点である。

エンジン車のCO<sub>2</sub>排出量の低減については、日本のハイブリッド技術が着実に進化しており、欧州車のPHEVに乗ってみるとその技術の差がよく分かる。このことから、欧州が政策的に「充電走行はCO<sub>2</sub>を排出しない」という計算法を導入して、国を挙げてPHEVとEVの導入に走り出したのは、HEVでは技術的に日本に太刀打ちできないという政治的判断があると筆者は考えている。石炭火力が主力電源の中国とインドがEV普及策をとっているのも自国の産業政策としか考えられない。日本としても、国の産業政策として、EVではなくHEVの普及を促進する施策を実施する必要があると思うが……。

## 6 まとめ

自動車からのCO<sub>2</sub>排出量の算出方法と、排出量を効果的に削減する方策について筆者の考えるところを述べた。一般的に考えられていることと現実が大きく異なることを理解していただけると幸いである。要点をまとめると以下のようになる。

- (1) EVは価格が高いだけでなく、走行距離と充電時間などの技術的問題、給電施設などインフラの問題があるが、その走りの快適性は素晴らしい。多くの人がEVに乗ってその魅力を実感すれば、魅力的なEVが続々と導入されていることと合わせて、EVは多くの専門家が予測しているより急速に普及すると筆者は考える。

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 9 No. 6 2019

- (2) 発電所を含めた EV の Well to Wheel の CO<sub>2</sub> 排出量は、どの発電所からの電力で充電するかによって大きく異なる。一般的な電源平均の CO<sub>2</sub> 排出係数で算出する方法は実際の排出量の増減を適切に算出できない。EV の充電需要の有無によって発電量が増減する発電所をマージナル電源と呼び、EV の普及の有無による CO<sub>2</sub> 排出量の評価にはマージナル電源の CO<sub>2</sub> 排出係数を使って算出する必要がある。
- (3) 一般的な EV の夜間充電の場合は長期的には石炭火力がマージナル電源になる可能性が高い。また、炭素税など CO<sub>2</sub> 削減を優先する政策が導入されると、ほとんどの場合石炭火力がマージナル電源になる。その結果、EV が普及しても CO<sub>2</sub> 排出量は従来エンジン車と変わらない可能性が高い。
- (3) 昼間に余剰電力が大量に発生する状況になれば、その電力で充電することで EV のカーボンニュートラル走行が実現できる。余剰電力がない場合でも、昼間のマージナル電源は LNG 発電となって CO<sub>2</sub> 排出量は夜間充電より大幅に小さくなる。このことから、余剰電力が発生する昼間に EV を充電する仕組みを導入することが CO<sub>2</sub> 削減に向けての重要な施策になる。
- (4) 昼間の余剰電力で EV を充電する仕組みを構築した上で、余剰電力の発生量を予測して、それに合わせて EV の充電需要（普及台数）を制限することで EV の CO<sub>2</sub> 排出量を削減できる。例えば、昼間充電の仕組みが定着して、EV を余剰電力で充電すれば EV はカーボンニュートラル走行ができる。充電需要の 1/3 を余剰電力で充電するようになれば、EV は HEV と同等の CO<sub>2</sub> 削減を実現できる。
- (5) 余剰電力や再生可能エネルギーから燃料を製造するようになると、従来エンジン車でもカーボンニュートラル走行が可能になる。再生可能エネルギーから燃料（電力）を製造する手段の普及に合わせて、EV だけでなく、HEV を中心とした次世代環境自動車の効率向上と普及を進めて行く必要がある。その際、CO<sub>2</sub> 削減に伴う社会的費用と削減効果を評価して方向づけする視点が重要である。

以上述べたように、筆者の考察では、電力政策を現計画のまま進める場合は EV の普及は CO<sub>2</sub> 削減に貢献しない。補助金を出して EV の普及を図ることは、HEV の普及を妨げて逆に CO<sub>2</sub> を増加する結果になる可能性が高い。自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量の削減を考えるとき、単にどのような自動車を普及するかを考えるのではなく、走行に使う燃料（電力）の元になるエネルギーがどこから来ているのか、それらの製造過程までさかのぼって CO<sub>2</sub> 排出量を算出するとともに、燃料（電力）を製造する設備の展開計画を含めて自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量の削減を検討する必要がある。

この報告は、この数年かけて筆者の専門外である電力について EV との関連を調査研究した結果をまとめたものである。電力の専門家の方たちに本報告を読んでいただき、ご批判・ご意見を伺いたいというのがこの報告をまとめた動機になっている。この機会に電力分野と自動車分野の専門家が集まって、「EV と発電システム」からの CO<sub>2</sub> 排出量削減について情報交換・議論し、EV の普及を実際の CO<sub>2</sub> 削減に結びつけるための具体的な方策を見出した上で、他の次世代自動車も合わせて自動車からの CO<sub>2</sub> 排出量を削減する政策を考えていきたい。

## 【参考文献】

もっと詳しく知りたい方は、以下の論文と記事を参照されたい。

1. 畑村耕一：次世代環境対応車としての小型天然ガス自動車の可能性、第 27 回内燃機関シンポジウム講演論文集（2016）
2. 畑村耕一：電気自動車を普及させた場合と天然ガス自動車を普及させた場合の CO<sub>2</sub> 排出量の比較、第 27 回環境工学総合シンポジウム講演論文集（2017）
3. 畑村耕一：究極のエコカー？EV は矛盾を乗り越えられるか、読売新聞深読みチャンネル、2017/11/18、（2017）  
<https://www.yomiuri.co.jp/fukayomi/ichiran/201711220-OYT8T50020/>
4. 畑村耕一：電気自動車は本当に地球にやさしいか、モーターファンテック 2018/1/4、（2018）  
<https://motor-fan.jp/tech/10002239>
5. 畑村耕一：本当に環境にやさしい車とは何か、日刊自動車新聞 2018/6/25、（2018）
6. 畑村耕一：電気自動車 (EV) のカーボンニュートラル走行を実現するための条件、自動車技術会論文集 50 巻 2 号 p564-569、（2018）  
[https://www.istage.jst.go.jp/article/jisaeronbun/50/2/50\\_20194263/article-char/ja/](https://www.istage.jst.go.jp/article/jisaeronbun/50/2/50_20194263/article-char/ja/)
7. 畑村耕一：カーボンニュートラルを実現する燃料 水素と CO<sub>2</sub> から合成する e-fuel に注目、モーターファンテック 2019/1/3、（2019）  
<https://motor-fan.jp/tech/10007346?page=2>

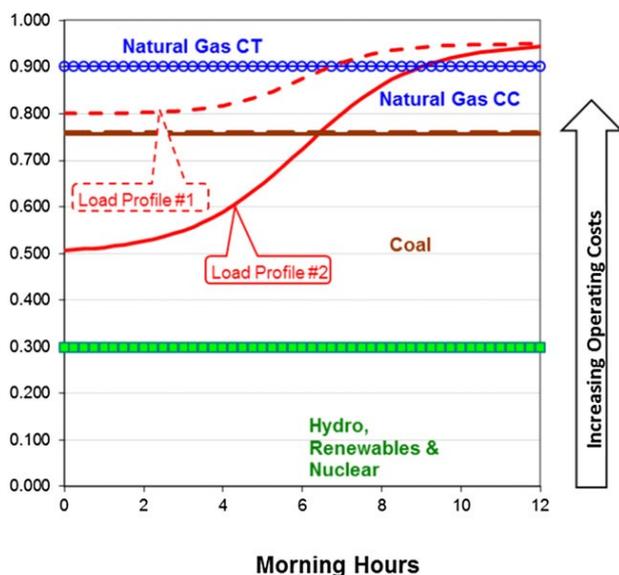
## <付録>マージナル電源とは、

電力需要が増加する場合に最後に稼働する電源、減少する場合に最初に停止する電源がマージナル電源になる。短期的には限界コスト（運転費用）が最も高い電源が短期的なマージナル電源（OM）相当する。限界コストは、高いものから石油火力>天然ガス火力>石炭火力>原子力>再生可能エネルギーの順になる。

図A-1は、電源需要の増加に合わせて発電所の稼働状況を表すもので、需要0（下端）からフル稼働（上端）まで発電コストが低い順に稼働することを示している。深夜から昼にかけて電力需要が増加（昼から深夜にかけては対称に減少する）する二つのパターン#1、#2について考えると、新しくコージェネなどの外部電力によって電力需要減少した場合に#1では6時以前は天然ガスプラントCCが、それ以降は天然ガスプラントCTが停止または出力を減少して対応する。#2の6時以前は石炭火力が停止または出力を減少する。これらの電源をマージナル電源と呼び、追加された外部電力による系統電力のCO2排出量削減効果はマージナル電源の排出係数を使って算出できる。

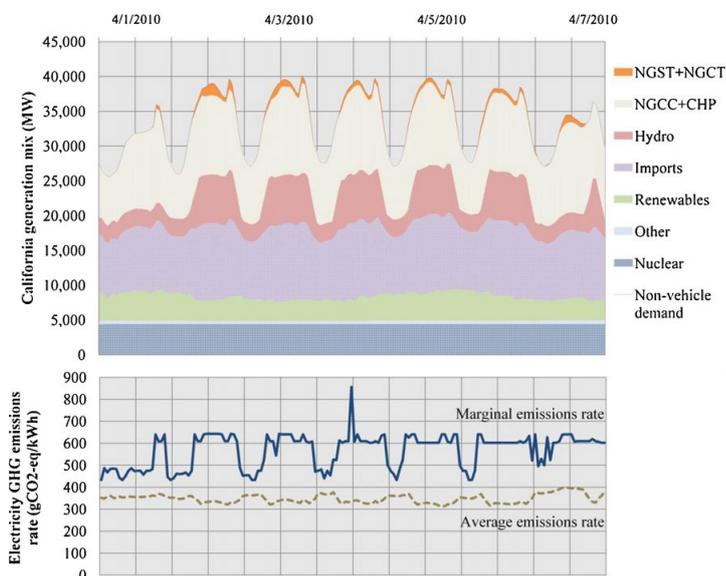
EVの充電需要に対するカリフォルニア州のマージナル電源について検討された例がある。図A-2は2010年の電源構成を元にしており、日本の近未来を考えると参考になる。横軸に一週間の時間を取り、上図は縦軸に発電方式毎の発電量を示している。電力需要の増加に伴って限界コストが高い電源が発電量を増加する傾向が読み取れる。下図には電源平均とマージナル電源のCO2排出係数の推移を示している。両者の値は大きく異なっているので、電源平均の排出係数ではEVのCO2排出量を適切に評価できないことが分かる。

このような短期的マージナル電源（OM）を使うこと、EVの充電時間の違い（夜間または昼間）によるCO2排出量を比較評価できる。この場合は夜間充電の方がCO2排出量が少ない。ただし、EVの普及の影響を評価するためには、発電構成の変化を考慮した長期的マージナル電源（BM）を使う必要がある。設備の建設・廃棄を含む総コストが最も高い長期的電源がマージナル電源（BM）に相当する。総コストは稼働率が関係するので、長期的マージナル電源（BM）は単純には決まらない。



図A-1 発電コストが決めるマージナル電源

C. E. (Sandy) Thomas: US marginal electricity grid mixes and EV greenhouse gas emissions, international journal of hydrogen energy Vol. 37, Issue 24, pp. 19231-19240, (2012) より引用



図A-2 電源平均とマージナル電源のCO2排出係数

Ryan McCarthy, Christopher Yang: Determining marginal electricity for near-term plug-in and fuel cell vehicle demands in California: Impacts on vehicle greenhouse gas emissions, : Impacts on vehicle greenhouse gas emissions, Journal of Power Sources, (2009) より引用

## 電力供給システムとEV普及の関係

*Relation between Power Supply Systems and the Spread of EV*

佐々木 正信

Masanobu Sasaki

東京電力エナジーパートナー株式会社

TEPCO Energy Partner Inc.

### 1 はじめに

将来のEV普及により、電力系統に多くのEV蓄電池が接続されることになり、電力の安定供給システムとの連携が期待されている。本稿では、EV充電電力に適用する電力CO<sub>2</sub>排出係数および電力会社視点のEV電池活用可能性について解説する。

### 2 電力事業者への規制等

現在、47社（2019年7月現在）が参加している電気事業低炭素社会協議会（「電気事業における低炭素社会実行計画」で掲げた目標の達成に向けた取り組みを着実に推進するために電力会社により設立された協議会）は2016年2月に設立され、2017年度末の会員企業（当該時点は42社）販売電力量比率は国内販売電力量の96.0%を占めている<sup>1)</sup>。この協議会では政府が示す「2030年度の長期エネルギー需給見通し」に基づき、2030年度に国全体の排出係数0.37kg-CO<sub>2</sub>/kWh程度（使用端）を目指す目標を掲げ、毎年、PDCA（Plan-Do-Check-Action）サイクルを実行し、経団連および政府に報告している。また、政府が示す「2030年度の長期エネルギー需給見通し」の非化石電源比率は44%であり、その実現のため、エネルギー供給構造高度化法において、電気事業者の2030年度の非化石電源比率を44%以上とすることが義務化されている。昨年度から、年間販売電力量5億kWh以上の電気事業者（2017年度実績による対象事業者46社、販売電力量シェア約98%）の現状非化石比率および2030年の各社目標の提出が始まり、政府の評価を受けている。さらに、火力発電所に関しては省エネ法の新設基準で燃料種毎の最高水準発電効率基準が設定され、ベンチマーク制度では各火力発電事業者の目標効率が44.3%以上に設定されている。当該目標を通常の石炭火力発電所で達成することは困難であるため、必然的に発電効率の高いLNG火力発電の割合を増やす等の取り組みが必要となる。なお、この44.3%は「2030年度の長期エネルギー需給見通し」の燃料種毎の発電量比率（石炭火力26%、LNG火力27%、石油火力3%、火力発電合計56%）から算定したものである。このように、電力事業者はCO<sub>2</sub>排出係数、非化石電源比率、燃料種毎の火力発電比率と「比率」による規制および自主的取組で電源種の制約を受けながら、地球温暖化対策としてCO<sub>2</sub>排出量低減の取り組みを進めている状況にある。

### 3 EV充電電力に適用する電力CO<sub>2</sub>排出係数

#### 3.1 GHG プロトコル

「GHG プロトコル（Greenhouse Gas Protocol）」は国際的な産業団体であるWBCSD（World Business Council for Sustainable Development, 持続可能な発展のための世界経済人会議）と米国のシンクタンクであるWRI（World Resources Institute, 世界資源研究所）が、企業等の自主的な温暖化対策を促進することを目的として作成した国際標準の温室効果ガス排出量算定ルールである。企業、民間非営利団体、政府、研究者らによって構成され、複数の利害関係者が関与するパートナーシップであり、GHGの算定と報告に関して国際的に受け入れられる基準およびプロトコルを作成している。図1に「GHG プロトコル」の全体像を示す。最上位の「コーポレートプロトコル」を最初に発行し、事業活動から排出する温室効果ガス排出量・削減量の算定原則を定めた。その後、プロジェクト毎の削減量取引を視野に入れた、通常のビジネスベースでは実施されないような、温室効果ガス排出削減の追加性を有するプロジェクト毎の想定削減量を算定するための「プロジェクトプロトコル」を発行した。さらに、その補足ガイドラインとして「系統電力削減プロジェクトガイドライン」がある。なお、当時はHD体制への移行前だった東京電力株式会社もこれらの策定に関与していた。

**コーポレートプロトコル**(200年発行, 200年改訂)  
事業者の事業活動などからの温室効果ガス排出量・削減量の算定ルール  
(例:一般的な省エネ対策等による, CO2削減量評価)

**プロジェクトプロトコル**(200年発行)  
通常のビジネスでは実施されない「追加性を有するプロジェクト」等に対して,  
仮定したベースライン排出量との比較による削減量算定ルール

補足ガイドライン  
**系統電力削減プロジェクトガイドライン**(2007年発行)

図1 温室効果ガス (GHG) プロトコルイニシアチブ

「プロジェクトプロトコル」の対象は一般的な電力削減方策全部ではなく、あくまで、通常のビジネススペースでは実施されないような、特別なプロジェクト（通常、高コストで実施されないような対策だからこそ、仮定した通常ケースとの差分削減量に追加的な価値が生じ、削減量の金銭的取引が成立する）に限定して、当該プロジェクトの「仮定したベースライン排出量（気候変動問題やカーボンオフセット収入等を考慮しなかった場合に、事業者にとって最も魅力的な案がベースラインとなる）」との比較による削減量算定ルールである。一般的な投資回収ができる省エネ対策等は「コーポレートプロトコル」に沿って、不確実な仮定条件（ベースライン設定）を認めない実際の排出量の変化に沿った削減評価となる。具体的には、温対法で公表されている電力事業者毎もしくは電力供給を受けているメニュー毎のCO<sub>2</sub>排出係数（全電源平均係数）を用いた導入前後の排出量比較による削減量算定となる。この算定方法は「GHGプロトコル」を参考とした日本の地球温暖化対策推進法の温室効果ガス排出量算定ガイドラインでも明記されており、総排出量算定と削減量算定の整合が取れる合理的な算定方法である。よって、現状では各事業者のEV充電電力量もコーポレートプロトコルに沿って、当該電力を実際に購入している電力事業者の全電源平均係数で評価する方法が採られている。

### 3.2 「追加性を有するプロジェクト」に適用できる電力CO<sub>2</sub>排出係数

「追加性を有するプロジェクト」に適用される「系統電力削減プロジェクトガイドライン」は、短期的側面と中期的側面の二つの側面から系統電力削減に対応する電源を評価している。短期的影響電源（Operating Margin）は電力が削減される系統における既存電源のうち、削減電力により、どの電源の発電が削減されるかを特定する。中期的影響電源（Build Margin）は電力削減の影響が中期的に電力会社の電源建設計画に及ぶことを考慮し、削減電力により将来建設されるどの電源の発電が削減されるかを特定する。個別プロジェクトの特性や継続期間に合わせて、短期的影響と中期的影響の比率を最適化し、電力削減排出係数を算定する方法論である。

短期的な系統電力の調整を担当する負荷追従電源は日本ではLNG火力が一般的で、実際の負荷調整にどの電源を用いるかは時間帯・季節・状況に応じて電力事業者毎に異なるが、1500°C級コンバインドは0.341kg-CO<sub>2</sub>/kWh、1300°C級コンバインドは0.362 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、1200°C未満コンバインドは0.406 kg-CO<sub>2</sub>/kWh、汽力LNG火力では0.476 kg-CO<sub>2</sub>/kWh程度の排出係数となる<sup>2)</sup>。なお、各電気事業者は直接保有電源や相対契約電源だけでなく、多様な電源種が含まれる日本卸電力取引所のスポット取引等も活用して短期的な需要増減に対応している。なお、この負荷追従電源の排出係数として、安易にベースロード電源も含んだ火力電源平均を用いるのは実態と大きく異なるため不適切である。

中期的影響電源（Build Margin）については、当該プロジェクトによる削減電力により電源建設計画が中期的影響を受ける新增設電源が該当する。国内での導入トレンドが見られる対策（例えば、LED照明やコジェネレーション等のように毎年安定的な新規導入があり、翌年度の導入量想定量が過去の導入実績から類推可能な対策）は実質的に各電力会社の需要想定に反映されているため、中期的電源影響を考慮する必要がある。日本では、途上国のよ

うに地域で一つの電力会社が独占供給しているケースではないため、各電力供給事業者の状況および志向する電源ポートフォリオ方針により、中長期影響電源は様々であり、個別に供給を受けている電力事業者と個別プロジェクトの規模に応じた中長期影響電源のCO2排出係数を協議すべきである。

国内で「追加性を有するプロジェクト」に対し、貨幣価値を伴う証書を発行するために厳密な削減電力評価を用いている制度として、経済産業省・環境省・農林水産省が運用する「J-クレジット制度」がある。当該制度では、有識者による国内クレジット認証委員会での議論の結果、電力に適用する排出係数は全電源方式と移行電源方式の選択制となっている。このうち、移行電源方式は設備導入直後～1年後までは限界電源（系統全体の時々刻々の電力供給バランスを保つための負荷追従電源であり、Operating Margin）排出係数を適用し、1年後～2.5年後までは限界電源排出係数と全電源平均係数の平均値、2.5年後移行については全電源平均係数としている<sup>3)</sup>。これは、J-クレジット制度の対象となる「追加的な削減対策」は導入当初には限界電源のみの電力が削減され、既存電力需要実績に織り込まれた後は、電力会社が保有するすべての電源で一律に調整される（全電源平均を適用）方法論を採用している。

### 3.3 様々な電力需要ポテンシャル

将来、EVがどのような普及曲線で、どこまで普及していくかを現時点で的確に想定することは困難だが、普及量に応じて国内の電力需要が増加することが想定される。また、EV以外にも様々な電力需要ポテンシャルが試算されている。政府では主要な革新的技術分野における課題等を国連に提出する「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」に反映し、2019年中に策定する日本政府の「革新的環境イノベーション戦略」に活用するために、エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会を設置し、CO2大量削減に貢献する技術についてポテンシャル評価の検討等を行った。表1に様々な電力需要増加要因による、国内の電力需要ポテンシャルを示す<sup>4)</sup>。当然、様々な分野において電力需要増大の可能性があり、運輸分野に関しては、船舶・航空機の陸電供給および合成燃料製造のための電力需要増も指摘されているが、EV普及による電力需要増が2,000億kWh/yと試算されている。当然、LED照明等の省エネ機器の普及拡大やPV等の分散型電源普及、人口減少による電力需要減少要因もあり、これらの合成により、電力事業者が供給する将来の系統電力需要が定まる。

表1 電力需要ポテンシャル

電力需要増加要因			電力需要ポテンシャル(国内)
製造業	低温度温熱需要	100℃未満の低温度温熱需要についてはヒートポンプ式熱源機等でCO2削減が実現	5,000億kWh/y
	高温度熱需要、原材料	高温度熱需要や還元プロセス・石油精製プロセスなど素材系産業で電化イノベーションの萌芽の兆し	鉄鋼 4,200億kWh/y(水素還元方式) ～3,400億kWh/y(電解還元方式)
			エチレン製造 1,300億kWh/y プロピレン製造 1,000億kWh/y
民生分野	業務用	冷暖房、給湯、業務用厨房の電気利用機器は既に製品化済	3,000億kWh/y
	家庭用	冷暖房、給湯、厨房の電気利用機器は既に製品化済	3,000億kWh/y
運輸分野	自動車	EV	2,000億kWh/y

## 3.4 電源影響の実態

需要側の電力需要増減活動が実際に影響する電源を考える場合、当該対策が電力会社にとってマクロ的に想定可能か否かにより、二種類に大別する必要がある。「あらかじめ、電力会社の需要想定で考慮していない増減需要」に関しては、当該年度は「需要想定未考慮の増需要合計」と「需要想定未考慮の減需要合計」の差分に対して、負荷調整電源で対応する。一方、その個別対策が継続化する場合は翌年度以降の需要想定ベースとなる過去電力需要実績に当該需要が内包されるため、実質的に各電力会社が毎年算定する10年間の長期需要想定にも織り込まれ、当該電力会社の電源ポートフォリオ方針に沿った「すべての電源」での長期的対応となる。

もう一方の、「想定可能な需要増減」には多くの省電力機器や分散型電源の普及が該当する。これらは経済的要因等により趨勢的に普及しているため、電力会社がマクロ的に想定することが可能である。導入企業側から見ると、電力増減対策は「自らの意思」で個別に導入しているため電力会社のマクロ想定範囲内と考えることは納得し難いかもしれない。しかし、電力会社の経営上の肝となる需要想定業務において、導入トレンドに沿った機器普及等による一般的対策を考慮するのは当然で、需要想定に盛り込んだ全体需要は電源ポートフォリオ方針に沿って、「すべての電源」で長期的に対応することになる。

つまり、EVの将来電力需要が仮に一定量増加したとしても、電力会社は当該需要のみに対して電源を開発・維持する訳ではなく、様々な電力消費要因（気温変化、経済成長、人口増、機器の新規導入、快適性向上、建物建設、EV導入、他電力からの電力購入切替など）と電力減少要因（気温変化、経済低迷、人口減、工場の海外移転、省エネ機器導入、分散型電源導入、他電力からの電力購入切替など）の結果の総電力需要に対して電力を供給している。よって、各電力会社の総電力需要を構成する各変動要因の責任はすべて同一なのが実態であり、特定の増減要因のみを「特定電源種に限定した電力CO2排出係数」で評価することは実情に合致しないと考える。

## 3.5 新燃費基準

トップランナー制度に基づく新燃費基準では、系統電力を用いたEVやPHV（プラグインハイブリッド自動車）とガソリン自動車等を公正に評価するために、電費を燃費に換算している。その際の発電効率等は省エネ法のベンチマーク指標（火力発電効率 44.3%）と「2030年度の長期エネルギー需給見通し」の電源構成比率（再エネ・原子力で44%程度）を前提に計算している<sup>5)</sup>。この電源構成全体を考慮した換算方法是对応電源の実態を反映しており、EV充電電力を全電源平均CO2排出係数で評価する手法とも整合が取れているため、適切な換算手法である。

## 4 再エネ電力によるEV充電

英国の小売電気事業者EDF Energyは多車種のEVをリースでユーザーに提供する等、EV関連事業に力を入れており、EVオーナーを対象にした平日オフピーク時間（21時～9時）および週末が安価になる「GoElectric」という料金プランを展開している。また、この料金プランは風力、太陽光、バイオマス、潮汐、水力を用いた100%再エネ電力プランである。電力会社としてはEVの充電時間を電力負荷が小さい時間帯に誘導することが効率的な系統設備・電源運用に有効なため、夜間時間帯に誘導する料金単価を設定するケースが多いが、米国の一部の州のように太陽光発電（Photovoltaic, PV）が増加している電力会社では、太陽光発電の電力をEV充電で吸収するために昼間時間帯も安価なオフピーク時間帯に設定している。例えば、カリフォルニア州の電力会社であるPG&Eでは当初のEVオーナー向け料金プラン「EV-A」では平日オフピーク時間帯が23時～7時だったが、現在の「EV2-A」では0時～15時と太陽光発電時間帯にも充電時間を誘導する料金体系に変更している。

国内でも、2019年秋からPVの再エネ固定価格買取制度（Feed-in Tariff 制度、FIT 制度）による買取期間が満了し、PV余剰電力の買取単価が大幅に下がるPV設置家庭および事業者が出てくるが、PV自家消費拡大の手段として、PV余剰電力によるEV充電（昼間充電）が期待されている。また、国内大手自動車メーカーとPVメーカーが連携した取り組みとして、自宅設置PVからのEV充電ソリューションによるCO2排出ゼロを目指す動きも始まっている<sup>6)</sup>。なお、当社でも水力100%の再エネ料金プランを提供しており、当該プランを契約することによっても、CO2排出ゼロのEV運用は実現できる。

# ENGINE REVIEW

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS OF JAPAN Vol. 9 No. 6 2019

## 5 電力会社によるEV充放電機能活用

EVの充放電 (Vehicle to grid, V2G) をデマンドレスポンス (Demand Response, DR) やバーチャル・パワー・プラント (Virtual Power Plant, VPP) として制御する実証事業も欧米で広く進められており、電力会社や充電設備アグリゲーターが車や充電設備に搭載された通信手段を介して充電時間や充放電をコントロールし、発電所の調整力の代替や電力需要調整に活用する取り組みも進められている。なお、ユーザー側は当日の都合によりオプトアウト (参加取りやめ) も可能なため、安心して参加できるプログラムとなっている。日本でも、再エネ電力増加による系統電力影響抑制のために、PVの自家消費拡大やDR・VPPが注目されており、住宅用PV余剰電力のEV充電への活用や、通勤用自家用EVを営業所に設置したPVで充電する等の再エネ電気の自家消費拡大のための取り組み促進策の必要性が議論されている<sup>7)</sup>。当社も、経産省のV2G実証事業に参加する等、将来の再生可能エネルギー大量導入時代に向けて、電力会社によるEV充放電制御の活用に向けた様々な取り組みを進めている。

## 6 まとめ

EVへの充電電源評価として、当該電気を供給する電力事業者の「すべての電源」を考慮した全電源平均係数で評価することの妥当性を示し、将来、EV充電の電力需要が増加した際にも当該対応電源は「すべての電源」として、他の電力需要と公平に全電源平均係数で評価すべきであることを述べた。また、全電源平均評価は電力会社が「比率」で電源種規制を受けているため、販売電力量全体が増加した場合には再エネ等も増加させる義務を有していることとも整合が取れる。さらに、将来の電源低炭素化の進展に伴い、減少する火力発電所の調整力をEV充放電制御で代替する取り組みや、EV充電活用によるPV自家消費拡大の期待を紹介した。既に、再エネ導入量の多い九州電力管内では、系統全体の安定確保のために再エネ電力の出力抑制指令を出すケースも生じている。EVの日中在宅率の平均は70%程度とされており<sup>7)</sup>、EVを日中のPV発電を蓄電する大容量の“走る電池”として有効に活用し、系統電力の安定化・送配電網の効率利用に貢献する「エネルギーインフラとしての役割」を将来のEV群が担うことを電力事業者として期待している。

### 【参考文献】

- 1) 電気事業低炭素社会協議会：2018年度フォローアップ結果 (2017年度実績分) 政府提出資料, <https://e-lcs.jp/followup.html>, 2019
- 2) 電力中央研究所：日本における発電技術のライフサイクルCO2排出量総合評価, <https://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/Y06.html>, Piii, 2016
- 3) 経済産業省・環境省・農林水産省：国内における地球温暖化対策のための排出削減・吸収量認証制度 モニタリング・算定規程 (排出削減プロジェクト用) Ver. 3.4, <https://japancredit.go.jp/about/rule/>, P10, 2019
- 4) 経済産業省・文部科学省：エネルギー・環境技術のポテンシャル・実用化評価検討会報告書, <https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190610002/20190610002.html>, P48, 2019. 6
- 5) 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 省エネルギー小委員会 自動車判断基準ワーキンググループ・交通政策審議会 陸上交通分科会 自動車部会 自動車燃費基準小委員会 合同会議：取りまとめ, [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/sho\\_energy/jidosha\\_handan/20190625\\_report.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/sho_energy/jidosha_handan/20190625_report.html), P17, 2019. 6. 25
- 6) 日産自動車・カナディアン・ソーラー・ジャパン：プレスリリース「電気自動車と太陽光発電の新たなソリューションにおける協業に合意」, <https://newsroom.nissan-global.com/releases/release-38d144e67f3bedef1b961fff83159099-190531-02-j?lang=ja-JP>, 2019. 5. 31
- 7) 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会/電力・ガス事業分科会 再生可能エネルギー大量導入・次世代電力ネットワーク小委員会：第16回委員会 資料2「更なる再エネ拡大を実現するためのエネルギー需給革新の推進」, [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/saisei\\_kano/016.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/016.html), 2019. 7. 5