

ピーク電力源としての電気駆動自動車の利用：日本における可能性

米国経済エネルギー効率促進委員会
(American Council for an Energy Efficient Economy)
研究員 久保 徹

米国デラウェア州立大学
海洋研究学部およびエネルギー・環境政策センター
助教授 / シニア研究員 Willett Kempton

要旨

電気自動車 (EV)、ハイブリッド車、および燃料電池自動車を含めた電気駆動自動車 (EDV) は電力業界にとってピーク電力供給源として利用できる多大な可能性を持っている。駐車されたEDVのバッテリーおよび発電器より、コンピュータ制御された接続装置を通して配電線に電力が供給される。KemptonとLetendre (1997,1999) によると、米国においてはEDVは条件次第でピーク電力源、および緊急予備電源として利用するメリットがあることが述べられている。

このアイデアは日本の都市部においては特に適している。それは米国に比べてはるかに自家用車の利用率が低く、したがってピーク電力需要時に利用できる状態の車両が多いからである。通産省による2010年におけるゼロ排ガス自動車 (ZEV) の予測普及率を用いると、関東地方におけるEDVのピーク電力源としての最大可能出力は合計15.5GW (1998年のピーク需要の約25%) に達する。本研究では、電気自動車 (EV) とハイブリッドを含めた5台の現存のEDVモデルをピーク電力源として利用することのコストを計算し、電力会社が公表する電力卸供給事業者 (IPP) への電力購入レートと比較する。バッテリーコストには現在のメーカー公表値と米国カリフォルニア大気資源委員会 (CARB) の予測値を用いる。結果としては、現在のバッテリーコストと現在のIPP電力購入価格を用いた場合、どの車種も費用対効果はマイナスであった。しかしCARBのバッテリー価格予測を用いると日産ルネッサがプラスに転じ、さらにより適したピーク時の電力源に対するIPPレートを想定するとトヨタのRAV4LEVにもメリットが生じた。好条件においては正味の現在価値は1台あたり30万円近くに達する。このEDVのピーク電力源としての可能性を電力業界がフルに利用すれば、既存の電力供給システムをより効率化でき、EDVの普及を促進し、都市部の大気汚染を削減し、そして将来の再利用エネルギーの導入を促進することが出来る。

キーワード

電気自動車；ハイブリッド；ピーク電力；電力貯蔵

原版 (英語版) は「エネルギー政策 (Energy Policy)」28巻1号9-18頁に掲載

1. 背景

都市部の大気汚染やその他の環境・資源問題が深刻化するなか、電気駆動自動車（EDV: Electric-Drive Vehicle）に対する注目が近年になって高まってきた。米国では、カリフォルニア大気資源委員会（CARB）が2003年までに州内の新車販売のうち、ゼロ排ガス自動車（ZEV）が10%を占めなければならないという積極的な規定を制定し、他の州も同様の規定を採用した。これによりEDVの開発は大幅に促進され、現在は自動車メーカーの多くがこれらの規定を満たすような独自のEDVモデルを開発している。なお電気駆動自動車（EDV）とは主に次の3タイプ：電気自動車（EV）、ハイブリッド車、および燃料電池自動車を含む。EVと燃料電池自動車はZEVに属し、ハイブリッドは低排気自動車（LEV）または超低排気自動車（ULEV）に属する。

さて今後電気自動車が増加した場合、電力需要の増大が心配されるが、もし夜間などの電力需要が低い時に電気自動車が充電されるならば、新規の設備投資は必要ない。さらにここで我々が提案するようにもしEDVが配電網に接続され、ピーク時に放電または車内の発電器（エンジン・燃料電池）を稼働させて発電することができれば、逆にピーク需要を引き下げることができる。これはKemptonとLetendre（1997,1999）によって提案され、彼らはピーク電力源および緊急電力源としてのEVバッテリーの経済的価値を試算した。それによるとアメリカでは、適した条件を整えば電力会社および自動車のオーナーの双方にとってメリットがあるとしている。すなわち、電力会社にとってEDVに蓄えられた電力を利用することの経済的価値がオーナーにとってのコストより大きいということであり、そのコストを車両購入時などに電力会社が負担することができればオーナーにとってもメリットになる。コストに含まれるのは、双方向接続用の設備投資費、再充電時の電気代、放充電時のロス、そして放充電回数の増加によるバッテリーの劣化によるコストである。また、KemptonとLetendre（1997）は、自動車オーナーの要求（例えば「明朝7時に20km走れる必要がある」等）に従って電力会社が必要なときに貯蔵電力を利用できるためのコントローラのデザインについても述べている。

日本では天然資源の不足により米国よりもエネルギー安全問題がいっそう重大である。日本は工業先進国の中で最もエネルギー効率が高いものの、総エネルギー使用はいまだ上昇している。政府は原子力をエネルギー不足と温室ガス問題の解決法として推進しているが、原子力についての国民世論は急速に加熱している。政府はまた、屋上用の太陽電池（PV）などいくつかの再利用エネルギープログラムに取り組んでいる。特筆すべきは、EDVによる電力貯蔵は原子力と太陽エネルギーの両方の経済性と性能を向上できることである。例えば原子力は一定の出力で稼働するのが最も高効率であり、電力貯蔵は需要のピークと谷間を平均化することができる。そして再利用エネルギーは太陽光にしろ風力にしろ変動が多く、貯蔵により電力供給を平均化することができる。日本においては他の工業先進国より日中の乗用車使用率が低く、都心においては電力ピーク時に未使用の車が多いので、EDVによる電力貯蔵は特に有効な手段だと思われる。

本研究では東京・横浜・千葉等の大都市が密集する関東圏におけるKempton/Letendre案の経済性を検討する。ここでは触れないが、大阪・京都・神戸などのある関西圏、またその他公共交通機関が発達している大都市圏においてもEDVは有効なピーク電力源になりうると思われる。関東圏の電力供給を担う東京電力株式会社（TEPCO）は近年そのピーク需要の対応に苦勞している。実際TEPCOの年間負荷率は莫大な空調用の夏季及び冬季の電力使用により、

60%以下と低い水準である（TEPCO、1999、p29）。我々の提案するEDV電力の利用はこの夏季および冬季のピーク需要の削減に貢献でき、したがって電力会社は新規の設備投資費を減らすことができる。

2. 可能な電力供給規模

TEPCOサービス領域

TEPCOのサービス領域は関東地方の8都県と静岡県東部で、人口は全国の約1/3の4,200万人である。1998の年間電力量販売は、2650億kWhであった（TEPCO、1999）。表1は、TEPCOサービス領域の人口、販売電力量、および自動車台数を示す。

表1 TEPCOサービス領域の人口・販売電力量・自動車台数

地域	人口 (百万)	販売電力量 (億kWh)	自動車台数 (百万)* ²
TEPCO合計* ¹	42.3 (34.1%)	2,654 (33.8%)	22.0 (30.5%)
全国	124.3	7,853	72.2

ソース：TEPCO：1999，通産省：1999

*1 括弧内の数字は全国に対する比率。

*2 軽自動車を含む。オートバイは含まない。

最大出力の概算

まず最初に、EDVによる最大可能出力の簡単な計算を行う。通産省の資源・エネルギー庁（NREA）によると、2010年における「クリーンエネルギー自動車」所有の目標は340万台である（石塚、1998）。「クリーンエネルギー自動車」とは、電気、天然ガス、およびメタノール使用自動車を含む。もしこのうちの半数が電気駆動で、その30.5%がTEPCOサービス領域（表1参照）にあるとすれば、2010年のTEPCO領域のEDV台数は51万8千台である。現在販売されているEDVモデルの平均の一台あたり最大出力の30kW（表2参照）を用いるとTEPCOが利用できる最大ポテンシャルは1550万kW（15.5GW）で、1998年の最大ピーク需要（7月3日の59.2GW：TEPCO、1999）の25%にもあたる。住宅用配線の設備容量等、現在のインフラのもとでは自家用EDVの可能出力は10kW程度であり、合計最大出力は5.2GWになる。比較として、大型の原子力発電所の最大出力は約1GWである。5.2GWから15.5GWのピーク電力源はTEPCOにとって大変貴重なものではないだろうか。

日本と米国における自動車利用の比較：社会的背景による違い

日本の都市部においては、米国に比べて自動車の利用度が低い（資料：運輸省「陸運統計要覧」）。特に関東圏においては自家用車オーナーの大多数は通勤のために公共交通機関（電車、バス）を用い、娯楽用に週末や休日に自家用車を使うだけである場合が多い。それに対して米国ではほとんどが車を通勤手段としている。公共交通機関が割と整っている大都市圏においても駅やバス停の数が日本と比較すると極端に少なく、最寄り駅まで運転しそこから電車を利用するといった形である。また子供の学校への送り迎えにも車を利用するケース

が多く、一家庭に2台は車があるのが普通である。米国では子供、老人も合わせた全人口のうち、2人に一台乗用車を持っている計算になる（US Census Bureau, 1998）。

日本では買い物も都心のデパートか最寄り駅の商店街です。通常、ピーク需要は週末ではなく平日に発生するため、米国に対する日本の文化的側面はEDVのピーク電力源としての利用には大変よく適合する。

KemptonとLetendre（1997）の研究では、緊急事態や突然の買い物のために必要な「距離バッファ」を32kmと設定している（Kurani, Turrentive, Sperling, 1994）。しかし日本の都市部においては病院も近くにあり、非常時には救急車を呼ぶ。不意の買い物には近くの店に歩くか自転車で行くので、この「距離バッファ」を小さく設定でき、従ってEDVからより高出力で長時間のピーク電力を供給できる。

3. 分析に用いたEDVモデル

EDVによる電力貯蔵の経済性は、バッテリーのタイプ、コストおよび最大出力、そして自動車の特性（走行効率など）によって異なる。従ってわれわれは表2に示す5台のモデルを分析に用いる。

1台目は鉛蓄電池（Pb/acid）を使うゼネラルモーターズ社（GM）のEV1である。バッテリータイプのうちPb/acidは、寿命サイクル数の短さ、高重量、深い放電によるダメージ、さらに製造およびリサイクル時の環境汚染などの欠点がある（Lave et al. 1995; Allen et al. 1995）。しかしその反面、他のどのバッテリータイプよりも技術的に円熟しており、生産コストが低い。

2台目はトヨタのRAV4L EVで、こちらはニッケル金属水素（NiMH）バッテリーを搭載している。寿命サイクル数はトヨタ公表の1,000回を用いる。このバッテリーはパナソニックが製造しており（1999年初頭）、現在はまだ限定製造しかされていない。このモデルはまだ日本では販売されておらず、リースしかされていないので消費者がバッテリーを買うことは現在はない。NiMHバッテリーの製造コストについては最も詳細なコスト研究と思われるLipman（1999）の結果を用いる。現在の技術のまま今後2年間で年間平均2万ユニットのバッテリーが製造されると仮定すると、卸売り価格（小売りではなく）は32,000～34,500円/kWhになる。これはあくまでも予測値なので、ここでは保守的に36,000円/kWhを用いる。

3台目は、ソニーのリチウムイオン（Li-ion）バッテリーを用いる日産のルネッサである。（米国名は「Altra」）。1999年半ばまでの専門家の間では、このリチウムイオンバッテリーが乗用車用バッテリーとして最も将来的な実用性が高いと考えられている。しかし、現時点ではこのバッテリーについてのコストデータはほとんど存在しない。現在の原価についてはまだ大量生産されていないこともあり、ソニーからは公表されていない。CARBのバッテリー技術顧問委員会によると、生産量が年間2万ユニットに達した時、リチウムイオンバッテリーのコストは18,000円/kWhで、2,200回の寿命サイクル数になると予測される。したがって我々の3台目のモデルとしてここでは上記の予測をさらに保守的に捉え、CARBのコスト予測の2倍、そして現時点でのメーカーの発表する1,200回をサイクル数として用いる。さらに一充電走行距離として現在のメーカー報告の200kmを用いる。この走行距離では効率が6km/kWhと非常に低く、かなり慎重なデータであると考えられる。

そして4台目の例として、CARB予測の寿命サイクル数、10km/kWhの走行効率（一充電走行距離328km）、そしてCARBの予測よりも33%高い24,000円/kWhのバッテリーコストを想定した日産ルネッサを用いる。読者の中で公表されているデータに基づく分析を重視する方は我々の4台目の例（CARB予測の2年後のルネッサ）は無視していただきたい。バッテリーコストもサイクル数も予想に過ぎないからである。しかし我々は、メーカーや研究所における技術革新・コスト削減が急速に進む今日、現在のコストや性能にのみ基づいて分析を行うことは将来のEDVのピーク電力源としての利用可能性を正当に評価できず、読者に誤解を与えてしまうと考える。

最後の5台目にはエンジンと電気モーターの両方を動力源として用いるパラレルハイブリッドであるトヨタのプリウスを用いる。パラレルハイブリッドとは動力にエンジンとモーターの両方を用いるものをいい、エンジンが発電をしてモーターのみを動力源として用いるシリアルモーターと相対するものである。ハイブリッドはEVより通常バッテリーが小さい。現在のプリウスは1.8kWhしか貯蔵能力がなく電力会社にとりピーク電力源としての魅力は少ない。しかしいくつかのハイブリッドはカリフォルニア州の規定<バッテリーのみの走行で32km>を満たすためにより大きなバッテリーを積んでいる。パナソニックの将来予想の53,000円/kWhのバッテリー価格と現在の1.8kWhの貯蔵能力を用いると、プリウスは費用対効果がマイナスであった。従ってもう少し興味深い分析にするため我々はカリフォルニア州の規定に対応したバッテリー容量のプリウスを例として用いる。結果としてはこれも費用対効果をプラスにすることはできなかった。もしプリウスのようなハイブリッドが電力会社が必要なときに発電器を稼働させることができればかなりの電力供給が望めるが、これについてはここでは分析しない。

表2 サンプルEDVの特性
(KemptonとLetendre (1990) より修正)

電気駆動車 (EDV) モデル	電力貯蔵量 (kWh)*	許容放電深度 (%)	最大出力 (kW)	走行効率 (km/kWh)	一充電走行可能距離 (km)	バッテリー価格 (円/kWh)	バッテリー寿命 (サイクル数)
GM EV1, スポーツ車 (Pb/acid)	16.80	85%	100* ²	8.96	128	18,000	300
トヨタ RAV4L EV, RV (NiMH)	27.36	75%	45	10.48* ³	215	36,000	1,000
日産ルネッサ, 乗用車 (Lithium-ion)	34.56	95%	55	6.09* ³	200	36,000	1,200
日産ルネッサ, 乗用車 CARB予測データ (Lithium-ion)	34.56	95%	55	10.00	328	24,000	2,200
トヨタプリウス, ハイブリッド乗用車 カリフォルニア州規定 バッテリー容量 (NiMH)* ⁴	5.50	60%	21	(下記参照)	(燃料車)	53,333* ⁵	1,700* ⁶

*1 バッテリー容量。車内インバーターによる5~10%のロスは無視。これは後の計算で考慮される。

*2 加速時の最大電力。持続性はない。

*3 走行効率はトヨタ・日産が公表する電力容量と走行距離により計算。

*4 走行効率を10km/kWhとし、32km走れるためのバッテリー容量。

*5 将来予測の96,000円/1.8 kWhによる (Duleep, 1999).¹

*6 パナソニック発表データによる。60%放電で1500-1900サイクル寿命。

¹ Timothy Lipmanとの会話より, University of California, Davis, 1999年5月。

4. 分析条件

この研究のアイデアは原則としてKemptonとLetendre（1997）に従うが、分析手段としてはいくつかの面で大きく異なる。KemptonとLetendreは米国におけるピーク電力の価値を設備投資費の観点から試算したが、ここではTEPCOの公表するIPP電力購入価格とそれを用いた価格予測を用いて経済的価値を試算する。これらのIPP価格を用いることにより簡易で現実的な経済価値計算を行うことができる。またこの分析は実際に販売／リースされているモデルを対象にしているのに対し、KemptonとLetendreの研究は原型によるものが多かった。ここでは充電・放電時のロスが含まれているのに対し、前者では付記されているものの計算には含まれなかった（影響は小さいが）。先に述べたように、ピーク負荷に対するEDVの活用という意味では文化背景的に日本、特に関東圏の方が米国よりも適している。他に類似のアイデアを持つ研究は我々が知る中ではKissock（1998）が燃料電池自動車に関して行ったものがあるが、Kissockは駐車時に燃料電池が発電していると仮定しているのに対し我々はハイブリッドを含め、バッテリーに貯蔵されている電力を利用するものと仮定する。またKissockは我々がここで行うように、ピーク時の電力を特別な価値のあるものとは扱っていないが（単に電力貯蔵デバイスとして認知）、我々はこの観点は経済性を考慮する上で不可欠であると考ええる。

レート構造

日本の電力価格構造は住宅用、商業用、工業用に関わらず、全ての契約は基本料金と電力量料金の2つから成り立っている。電力量料金は米国同様、kWh単位で消費するごとに加算され、基本料金は、その家庭または施設で使用できる最大容量（kW）の契約によって定まっている。契約のkW数を超過すると遮断機が働いてしまう。この研究では家庭用の電力価格構造を用いる。

日本では、電力会社は消費者からの「逆流電力」を販売時と同価格で購入しなければならないと規制されている。例えば屋根型太陽電池パネルより発電した電力などがそれである。しかしEDVに関してはこれよりも適切な規制が望まれる。EDVは電力会社にとって最もコストの低い夜間の電力を蓄え、最もコストが高いピーク時に放電するからである。TEPCOはいくつかの契約を提供しているが、ここではEDVオーナーにもっとも適する契約を元に分析する。

電力会社にとってのEDV電力貯蔵の利益を最大化するためには、夜間に充電して日中のピーク時に放電させるのが良い。これに対し、TEPCOでは標準より約30%高い昼間料金と約70%安い夜間料金を合わせた「時間帯別電灯」契約（以後「時間帯別契約」）を提供している。表3にこの時間帯別契約と「従量電灯（C）」契約（以後「従量契約」）のレート構造を示す。この時間帯別契約はEDVオーナーにとって最も適当な契約であり、これは他のピーク需要シフトを目的とした契約のように夜間充電に限定されてしまうということがなく、緊急時など（昼間充電が必要な時）に便利である。表3では時間帯別契約の夜間料金は6.15円/kWhまで低くなっていることがわかる。逆に日中料金は32.25円/kWhと高く、時間による発電コストの違いを示唆しておりEDVのピーク電力源としての利用価値を理解できる。

表3 TEPCOの従量電灯契約および時間帯別電灯契約

	従量電灯C* ¹		時間帯別電灯		
		レート (円)			レート (円)
基本料金	一定	260/kW/月	契約 ≤ 6kW		1200/月
			契約 > 6kW	10kWまで	2000/月
				10kW超過	260/kW/月
電力量 料金	120 kWhまで	16.85/kWh	昼間 (7am - 11pm)	90kWhまで	22.05/kWh
	120超過 280まで	22.40/kWh		90超過 210kWhまで	29.30/kWh
	280kWh超過	24.65/kWh	夜間 (11pm - 7am)	210kWh超過	32.25/kWh
				一定	6.15/kWh

*1 従量電灯B（表には示されていない）が家庭に最も多い契約のタイプであるが、EDVを急速充電するためには基本契約Cにおいて6kWの追加容量を得るのが良い。これは、Bにおいての最大契約容量は6kWを上限としているからである。なお、どちらの契約も料金構造は非常に似ている。

ソース：TEPCO、1999

1995～1997年の一般家庭の平均契約容量および消費電力量、さらにEDV充電用に必要な容量および電力量をそれぞれ加算したときの総消費電力量と契約容量を表4に示す。このデータを今後のコスト分析において用いる。

表4 一般家庭の電力契約容量と消費電力量、およびEDV電力需要を加算した結果
(データはTEPCO, 1999: Kempton & Letendre, 1997: トヨタ, 1998より)

年	電力消費	EDVに必要な電力量 (83.3 kWh)* ¹ を加算	契約容量	EDVに必要な容量 (6.0 kW)* ² を加算
	(kWh)	(kWh)	(kW)	(kW)
1995	286.7	370	2.991	8.991
1996	280.4	363.7	3.058	9.058
1997	284.3	367.6	3.115	9.115

*1 表2より、年間走行距離10000km、10km/kWhの走行効率を仮定。

*2 トヨタRAV4EVの充電器使用に必要な容量。GM社のEV1は、3時間充電には12kW、15時間充電には6.6kWを必要とする。

表3および表4より、EDVオーナーへの経済メリットを表5に示す。ここでEDVは常に夜間（午後11時～午前7時）に充電され、走行効率は10km/kWhであると仮定する。結果としては、日本の平均的なEDVオーナーにとっては従量契約から時間帯別契約に切り替えることにより年間で17,280円節約できることになる。しかし我々の研究にとってより重要であるのは、自動車オーナーがEDVを6.15円/kWhで充電し、その貯蔵電力を33.7円/kWhから68.5円/kWh（後に説明）で売却することができるという点である。このような時間帯別（特にピーク時）の料金設定はEDVがピーク電力源として経済的メリットを持つために必要である。

表5 契約変更によるオーナーへのメリット (TEPCO、1999のデータ使用)

入力値			月料金		節約額	
契約容量 (kW)	家庭消費電力 (kWh)	EDV使用 (kWh)	基本契約 (円)	時間帯別契約 (円)	毎月 (円)	毎年 (円)
10	284.3	83.3	10,365	8,925	1,440	17,280

放電季節

図1に1996年と1997年の各月の最大電力需要を示す。EDVはピーク削減のためだけに用いられるので、電力会社は夏季と冬季の一期間の間にEDVが利用可能であればよい。この分析において我々は6、7、8、9、および1月の間、また一ヶ月あたり3～10日間、電力会社との契約下（アクセス可能な状態）にあると仮定する。これは一年で計15～50日間であり、4時間の放電時間を想定すると、年負荷率0.7-2.3%となる。

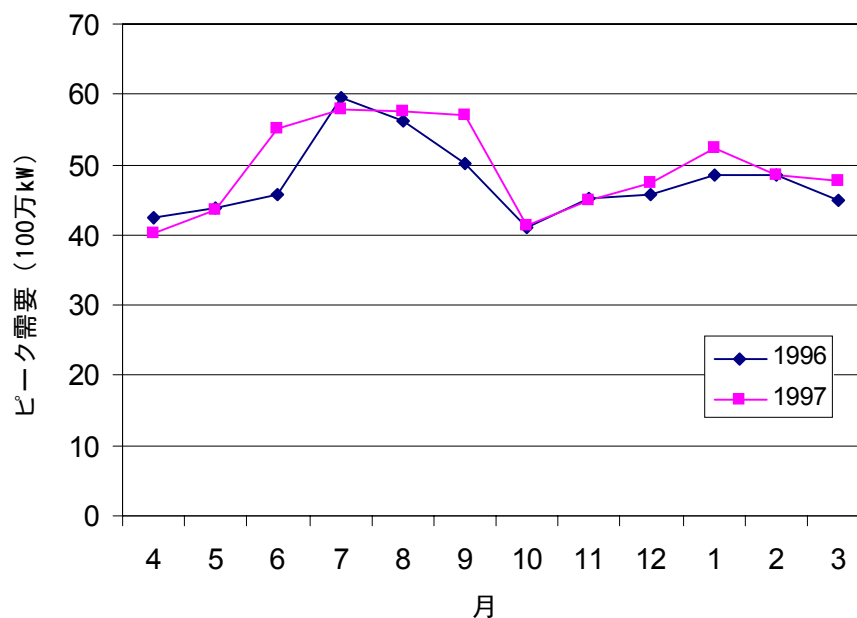


図1 TEPCO地域における1996年と1997の月々の最大電力需要
ソース：TEPCO、1999

放電時間

1996年の年間ピーク発生日の一時間ごとの負荷を図2に示す。一般にピーク需要は昼休み前の2時間と後の4時間の間発生する。利用可能なEDVの半数を昼前の2時間、あとの半数を午後の4時間に充てることも可能であるし、3分の1ずつを2時間ごとに電力供給に用いることも可能である。しかし、この分析は放電時間に依存しないのがアメリカにおけるKemptonとLete

ndre (1997) の研究と大きく異なる。我々がここで用いるTEPCOのIPP購入レートは電力 (kW) ではなく電力量 (kWh) に基づいているからである (後に詳しく説明)。

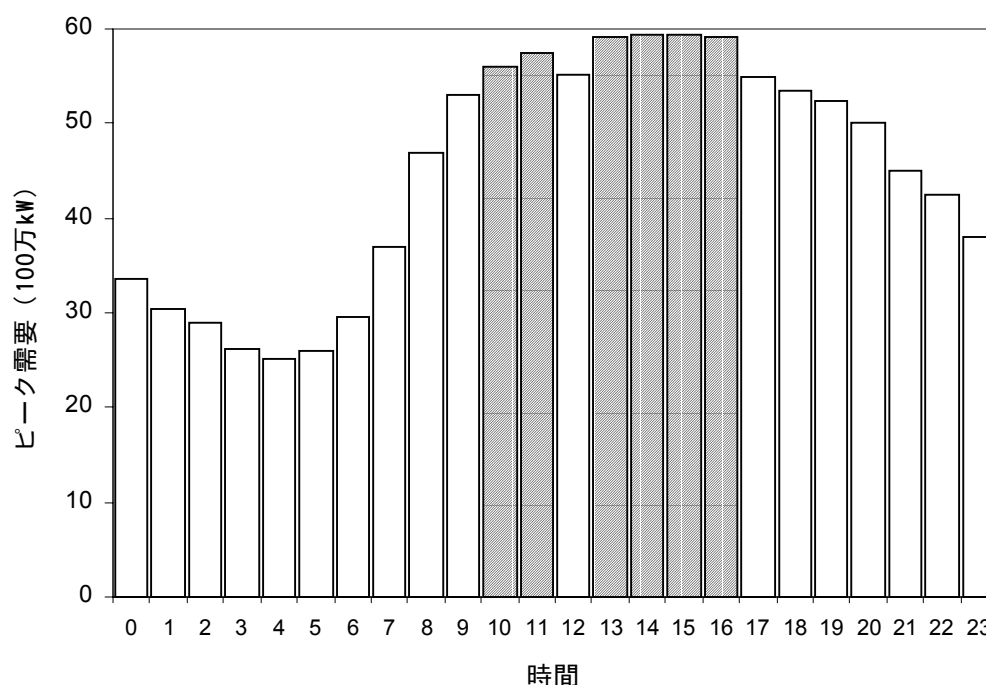


図2 1996年の年間ピーク発生日の時間別負荷状況
(EDV放電時間を灰色で示す)
ソース：TEPCO、1999

電源の接続

電源の接続に関しては以下を仮定する。接続装置は、配電線からの充電および放電を可能とする。ハイブリッド車に関してもこの条件を満たす。現在のいくつかのハイブリッドはオーナーへの利便性と、ZEV走行を可能にするために配電への接続を可能としている (Ronning, 1997)。また我々の提案するシステムでは解放のタイミングは電力会社によりコントロールできる。ただしEDVオーナーは本人の利用頻度、必要性に応じて放電限界を設定できる。このような制御装置はEDV利用のための消費者の理解に不可欠であり、このデザイン等についてはKempsonとLetendre (1997) に記されている。以下に、標準的な貯蔵能力および利用頻度の下では十分な電力がバッテリーに残っていることを示す。ハイブリッドに関してはバッテリー残量が少ない場合、一度始動さえすれば搭載された発電器で充電できるので残量は問題にならない。

先ほど説明したように、ここでは10kWの基本荷重契約を仮定する。貯蔵電力の販売を可能にするため、生産車種には安全な外部AC電源差込口、および周波数・位相をマッチさせ、連結の安全性を保証するためのコントローラが必要である。英国のWavedriver社によると、このよ

うな追加装置の生産コストは30,000円になると予測される（Kempton&Letendre、1997）。このコストは後の正味現在価値の計算のときに考慮する。

利用可能電力量の計算

表6にEDVオーナーが電力会社に供給することができる出力（kW）および電力量（kWh）を示す。これらは貯蔵システム、走行効率、消費者のバッファ要求、そして走行距離を用いて式1および式2によって計算される。ここでは例として4時間のピーク削減を示す。また、バッテリーから家庭電源に戻す時に10%の損失を仮定し、損失係数として0.9を用いる。

式1 EDVから入手可能な電力量（kWh）

$$EC = \{TES \times DOD - (RB + CD) / EFF\} \times DF$$

ここで、

- EC = 利用可能電力量（kWh）
- TES = EDVの総貯蔵能力（kWh）
- DOD = 許容放電深度（%）
- RB = バッファ距離（km）
- CD = 通勤距離（km）
- EFF = EDVの走行効率（km/kWh）
- DF = 損失係数(0.9)

式2 EDVから入手可能な電力（出力：kW）

$$PC = EC / DH$$

ここで、

- PC = 出力（kW）
- DH = 放電時間

表6 4時間放電に利用可能な電力量および出力（走行距離とバッファ距離考慮後）

EDVモデル	毎日の走行距離による電力残量 (16kmのバッファ距離を加算)			
	電力量 (kWh)		出力 (kW) (4時間放電時)	
	16 km	32 km	16 km - 4hour	32 km - 4hour
GM EV1, (Pb/acid)	11.24	9.64	2.81	2.41
トヨタ RAV4L EV, (NiMH)	17.09	15.72	4.27	3.93
日産ルネッサ (Lithium-ion)	27.18	24.82	6.80	6.20
日産ルネッサ CARB予測データ (Lithium-ion)	28.11	26.67	7.03	6.67
トヨタプリウス, (NiMH)	3.56	3.56	0.89	0.89

走行距離とバッファ距離の見積もりに関しては日本独自データの入手が困難であったため、アメリカのデータを元に両国の平均自動車走行距離の違いなどによって概算する。ある調査によると、アメリカのドライバーの70%が32kmのバッファ距離があれば満足するとしている（Kurani, Turrentine, Sperling, 1994, p251）。また、平均の通勤距離（車での）もアメリカでは32kmである（Pisarski, 1992）。

関東地方では約半数の人間が都市部に生活し、そのうちのほとんどが通勤に自家用車を用いない。郊外に住む人口に対してはアメリカと同じ値を用いる。従って、日本でのバッファ距離、および平均の通勤距離（車での）を両方16kmと仮定する。

5. EDVオーナーへのバッテリー放電によるコスト

電力会社によるEDV電力へのアクセスによって生じるオーナーにとってのコスト（再充電、バッテリー劣化）を式3によって求める。充電電力レートには先に説明した時間帯別契約の夜間レートである6.15円/kWhを使用する。また表7に年間アクセス回数によるEDVオーナーへのコストを示す。

式3 年間アクセス回数によるオーナーへのコスト

$$CY = EC \times DY \times (BD + ER)$$

ここで、

- CY = 年間コスト
- EC = エネルギー容量
- DY = 年間放電回数
- BD = バッテリー消耗コスト
- ER = 充電電力レート（6.15円/kWh）

表7 年間アクセス回数によるEDVオーナーへの年間コスト

EDVモデル	年間放電回数によるコスト（円）		
	15 回	25 回	50 回
GM EV1, (Pb/acid)	12,326	20,544	41,088
トヨタ RAV4L EV, (NiMH)	14,187	23,645	47,291
日産ルネッサ (Lithium-ion)	15,607	26,012	52,023
日産ルネッサ CARB予測データ (Lithium-ion)	7,838	13,063	26,125
トヨタプリウス, (NiMH)	3,468	5,780	11,560

6. 電力会社にとってのメリット

電力会社は長年の間、荷重均一化のための電力貯蔵プラントの技術的および経済的可能性を調査してきた（Duchi他、1988）。ここではピーク電源の電力会社にとっての価値を予測するのではなく、実際にTEPCOが発表した1997年度のIPPレートを用いる。表8に示すこれらの発

表レートよりTEPCOは年間負荷率の低い電力源にはプレミアム（最高で33.7円/kWh）を払う意志があることが分かる。

表8 1997年度IPP募集用の上限価格、（TEPCO、1999より）

電源のタイプ	ベース			ミドル			ピーク		
	利用率（年間負荷率）	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
上限価格（円/kWh）	9.2	10.0	11.2	12.3	14.3	17.4	20.2	33.7	

1997年には、TEPCOはIPPより100万kWを募集した。TEPCOの電力容量（kW）と電力量（kWh）の設備投資コストを別々に見付けることは出来なかったが、表8に示された価格は両方の価値を含んでいると仮定することができるだろう。したがって、電力会社にとってのメリットを式4を用いて計算する。

式4 EDV利用の電力会社への年間価値

$$\text{年間の電力会社への価値} = \text{年間削減エネルギー量} \times \text{IPPレート}$$

さて、EDVバッテリーは電力会社が一番必要としているときに瞬時に電力を供給することの出来るプレミアムのピーク電源である。バッテリーがピーク電力供給のために1日4時間、1年で15日から50日間利用されたとすると、年間の利用率（負荷率）はほんの0.7～2.3%にすぎない。従って33.7円/kWh（年間利用率10%の電源の購入レート）を用いるのは、EDVによるピーク電力供給の価値を反映しきれていない。IPPは利用率が3%や5%の発電設備をわざわざ建設しようとするはずもなく、おそらくそれが利用率10%以下のレートが設定されていない一因でもあろう。しかしオーナーにとってはもともと交通手段として購入したわけであるから、正味の利益になりさえすればこのような利用を歓迎するだろう。第3図は年間利用率が3%と5%の電源の仮想レートを、公表されているIPP価格の傾向を利用して求めた結果を示す。公表価格から導いた推測用の関係式を第3図内に示す。

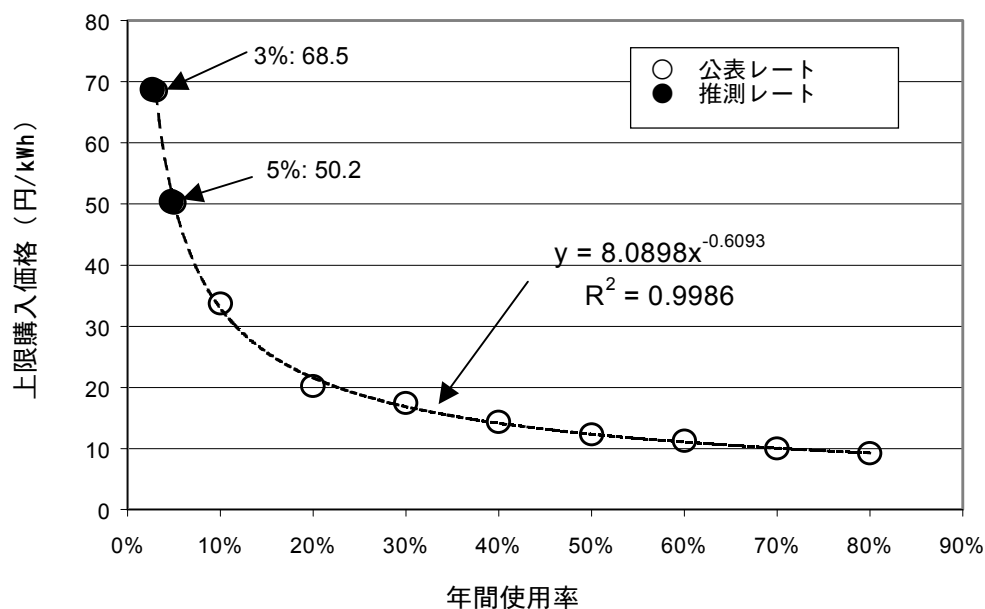


図3 年間利用率3%および5%電源用の推測レート

表9 EDVピーク容量の年間の電力会社への価値：
年間放電回数25回、通勤距離16km、バッファ距離16km

EDVモデル	EDV供給電力量		年間の経済価値		
	放電毎	年間 (25回)	33.7 円/kWh	50.2 円/kWh	68.5 円/kWh
	kWh	kWh	円	円	円
GM EV1, (Pb/acid)	9.64	241.0	8,120	12,095	16,505
トヨタ RAV4L EV, (NiMH)	15.72	393.0	13,244	19,729	26,920
日産ルネッサ (Lithium-ion)	24.82	620.5	20,911	31,149	42,504
日産ルネッサ CARB予測データ (Lithium-ion)	26.67	666.7	22,469	33,469	45,670
トヨタプリウス, (NiMH)	3.56	89.1	3,003	4,473	6,103

7. コスト比較

表10に電力会社の利益とオーナーへのコストの比較を示す。先ほど説明した3つの購入レートを計算に用いる。

表 1 0 購入レートによる年間の正味利益

EDVモデル	正味の年間価値		
	33.7 円/kWh	50.2 円/kWh	68.5 円/kWh
GM EV1, (Pb/acid)	-12,424	-8,449	-4,039
トヨタ RAV4L EV, (NiMH)	-10,401	-3,917	3,275
日産ルネッサ (Lithium-ion)	-5,101	5,137	16,492
日産ルネッサ CARB予測データ (Lithium-ion)	9,406	20,407	32,608
トヨタプリウス, (NiMH)	-2,777	-1,307	323

結果は、33.7円/kWh、および近い将来のコストを仮定した場合、CARB予測データの日産ルネッサのみが経済的利益を有する。しかし、50.2円/kWhを用いた場合、現在コストの日産ルネッサも費用対効果がプラスになる。68.5円/kWhを用いると、現在のトヨタRAV4LEVも正味利益がある。トヨタのプリウスは、kWh当たりのバッテリーコストが高く推奨放電深度が浅いためもっとも有利な条件下でも費用対効果が平衡にしかない。最も適合する車種と条件では年間で3万2千円もの正味利益が生じる。

正味の現在価値

表8および9を用い、15年分の累積価値を現在価格に換算することにより、電力会社がEDVオーナーに支払う利用料金を決定することができる。例えば、50.2円/kWhのIPPレートと7.0%の年利率を仮定すると、電力会社は日産ルネッサのオーナーへの前払金として最高30万円弱支払うことができる。オーナーにとっての理屈としては、表7に示される年間コストを現在価値に換算して合計し、それ以上を電力会社から支払ってもらえれば割が合うことになる。年間25回のアクセスがあり、10%の年利率を用いたとすると、オーナーへのコストは日産ルネッサの場合15年間の耐用年数で合計206,562円になる。より見積もりを完全にするためこれに前述の接続装置の追加コストの30,000円を加えると、計236,562円になる。

表11にオーナーへのコストと電力会社へのメリットを比較した正味の現在価値の計算結果をまとめる。

表 1 1 ピーク電力源としてのEDVの正味の現在価値

EDVモデル	15年間の正味の現在価値		
	33.7 円/kWh	50.2 円/kWh	68.5 円/kWh
GM EV1, (Pb/acid)	-116,201	-78,529	-36,749
トヨタ RAV4L EV, (NiMH)	-92,274	-30,829	37,319
日産ルネッサ (Lithium-ion)	-38,419	58,595	166,192
日産ルネッサ CARB予測データ (Lithium-ion)	79,172	183,413	299,026
トヨタプリウス, (NiMH)	-47,448	-33,518	-18,067

8. 結論

現行の電力料金構造、および限定製造のままのバッテリー生産コストを仮定した場合、電気駆動自動車をピーク電力源として利用することは費用対効果がない。しかし低年間利用率を想定した料金構造の設定と、予想される大量生産によるバッテリーコストの低下を用いた場合、それが多少の変化であってもいくつかのEDVモデルはピーク電力源として用いる経済的メリットがあることがわかった。この経済性を決定する重要な変数は、バッテリーの生産コスト、許容放電深度、および寿命サイクル数である。ハイブリッド車のトヨタプリウスはそのバッテリー生産コストの高さゆえ、好条件と5.5kWhの拡大バッテリー容量を仮定しても費用対効果がゼロであった。ハイブリッドの経済性は、以下の2つの方法によって改善できる：1) 電力会社の要求により搭載発電器が使用できる場合、および2) バッテリー容量を拡大し、kWh当たりの生産コストを落とせた場合。このような例としては、原型であるのでここでは分析例として用いなかったがGMのEV1シリーズハイブリッドがある。これはバッテリーのみで67kmの走行距離を可能とし、ここで分析したプリウスよりも経済的アドバンテージがあるだろう。

謝辞

この論文に対して貴重な意見をいただいたStephen E. Letendre、Marty Bernard、John M. Clouse、そして匿名希望の一人に感謝します。また、日本語訳に御意見下さった香村学氏、丸山恵三子氏、林素明氏に感謝します。

参考文献

- Allen, D. et al. (1995) 'Electric cars and lead.' Letters (8 rejoinders to Lave et al. (1995), plus Lave et al.'s response). *Science* 269, 741-744.
- Duchi, M., Garimella, S. and Hurwitsch, J. (1988) *Load-leveling lead-acid battery systems for customer-side applications: Market potential and commercialization strategy*. EPRI, AP/EM-5895. Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA.
- Duleep, K. G. (1998) 'Briefing on Technology and Cost of Toyota Prius.' Unpublished report prepared for Office of Transportation Technologies, US Department of Energy. Available from Energy and Environmental Analysis, Inc., 1655 North Fort Myer Drive, Arlington, VA 22209.
- Ishizuka, Takeshi (1998) 'Trends of aid to solar and wind power.' *Solar energy* 24 (6), 1998.
- Kempton, Willett and Steven E. Letendre (1997) 'Electric vehicles as a new power source for electric utilities.' *Transportation Research Part D* 2(3) 157-175.
- Kempton, Willett and Steven E. Letendre (1999) 'Electric vehicle value if integrated with the utility system.' Presented at Transportation Research Board 78th annual meetings, Washington, DC, 11 Jan 1999. TRB paper #P993734.
- Kissock, J. Kelly (1998) 'Combined Heat and Power for Buildings Using Fuel Cell Cars.' Proceedings of the ASME International Solar Energy Conference, Albuquerque, NM, 13-18 June 1998.
- Kurani, Ken, Tom Turrentine, and Daniel Sperling (1994) 'Demand for electric vehicles in hybrid households: An exploratory analysis' *Transport policy* 1 (1): 244-256.
- Lave, L. B., Hendrickson, C. T. and McMichael, F. C. (1995) 'Environmental implications of electric cars' (Policy forum) *Science*, 19 May 1995.
- Lipman, Timothy (1999) 'Ni-MH Battery cost'. Presented at Transportation Research Board 78th annual meetings, Washington, DC, 11 Jan 1999.
- Nadis, S., & MacKenzie, J. J. (1993) *Car Trouble*. Boston: Beacon Press.
- Panasonic (1996) 'High power & long drive Ni/metal hydride battery for electric vehicles.' Presented at the 31st Tokyo motor show.

- Pisarski, A. (1992) 'Travel behavior issues in the 90's.' in *Linking land use and transportation planning new mandates – New approaches: Resource manual 1994*. Lincoln University Institute of Land Policy.
- Ronning, Jeffrey J. (1997) 'The Viable Environmental Car: The Right Combination of Electrical and Combustion Energy for Transportation.' SAE Technical Paper Series 971629. Reprinted from State of Alternative Fuel Technologies-1997 (SP-1274), International Spring Fuels & Lubricants Meeting (Dearborn, MI, May 5-8, 1997)
- TEPCO (1998) 電気の契約と設計：住宅の設計・販売等に関わる方へのガイド。
東京：営業部DSM推進センター、都市・生活システム部。
- TEPCO (1999) 数表でみる東京電力、平成10年度版。東京：TEPCO広報部。
- Toyota (1999) 'Toyota RAV4L EV table of main specifications.' ウェブサイト
<www.toyota.co.jp/eco/RAV4LEV/spec.html>より，データ入手1999年3月。
- U.S. Census Bureau (1998). *Statistical Abstract of the United States 1998*.
Springfield VA: National Technical Information Services.