

EV技術の進化およびPV搭載EVへの期待








































早稲田大学
環境総合研究センター
客員教授 廣田壽男
hirotat@aoni.waseda.jp

EV技術の進化およびPV搭載EVへの期待

1. EVの市場導入が進む
2. PV搭載EVの実現可能性とメリット
3. 社会におけるPV搭載EVの役割

EV, PHV, FCVの市場導入の現状

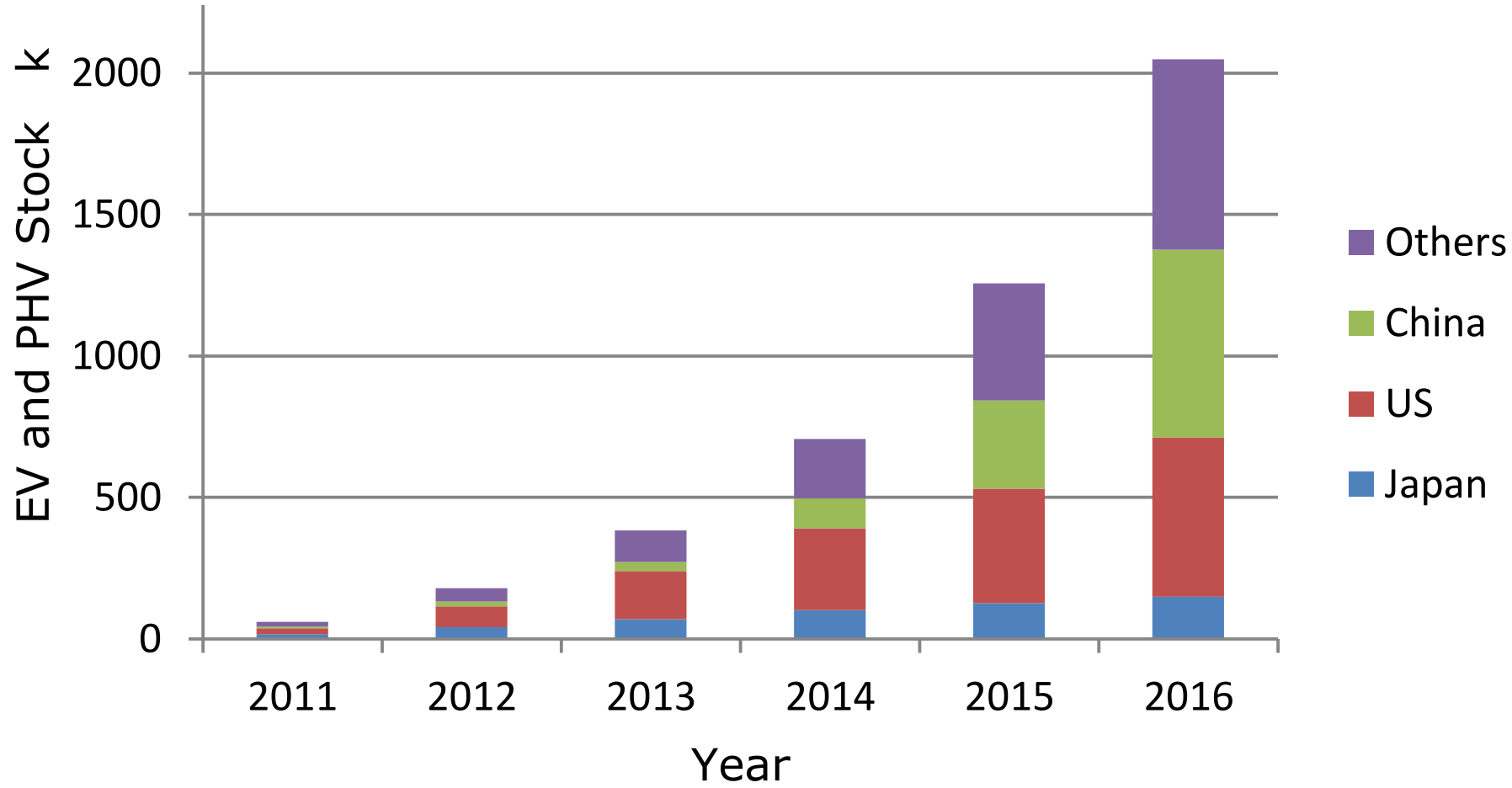
*EV: バッテリー電気自動車、PHV: プラグインハイブリッド車、FCV: 燃料電池車

1990	2000	2010	2020	
EV GM EV1  Ford Ranger EV  トヨタ RAV4 EV  ホンダ EV PLUS  日産 ALTRA EV 		2010年 三菱 iMIEV   2010 日産リーフ  2008 テスラ ロードスター  2012 スマートEV  2014 VW e-Up 	2011 ミニキャブ  2011 BYD e6  2012 テスラ モデルS  2014 BMW i3  2016 GM BOLT 	2014 Chery eQ  2016 BAIC EU260  2018 テスラ モデル3  2016 GM BOLT 
		2010 GMボルト  2013 アウトランダーPHV  2012 トヨタプリウスPHV 	2015 BYD Tang  2013 BYD Qin  2016 プリウスPHV 	
FCV 1994 ダイムラー NECAR1  2002 トヨタFCHV  2002 ホンダFCX  2003 日産X-TRAIL 	1999 ダイムラー NECAR4  2009 トヨタFCHV-adv  2007 ホンダ クラリティ 	2009 ダイムラー B-Class  2009 トヨタFCHV-adv  2007 ホンダ クラリティ 	2013 ヒュンダイ ix35 Fuel Cell  2014 トヨタMIRAI  2016 ホンダ 	

開発車
限定販売車

世界のEV, PHV保有台数(推定)

- 2011年からEV,PHVの市場導入が急増
2016年末のEV,PHV保有台数200万台超と推定(全乗用車の0.2%)
- 2011年までUS、日本がリード。次いでフランス、ノルウェーなど
- 2015年から中国が急増。販売台数は2016年に世界の40%が中国



Source : Estimated based on IEA Global EV Outlook, EV sales and others
Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

環境性能だけでないEVの魅力

- レスポンスが良く滑らかな加速性能、ダイレクトな加速フィーリング
- 運転しやすいハンドリング性能
- 快適な車室空間を創る静粛性

リーフ

モータ:80kW永久磁石三相同期モータ

バッテリー:30kWhリチウムイオンバッテリー

航続距離:280km (JC08モード)

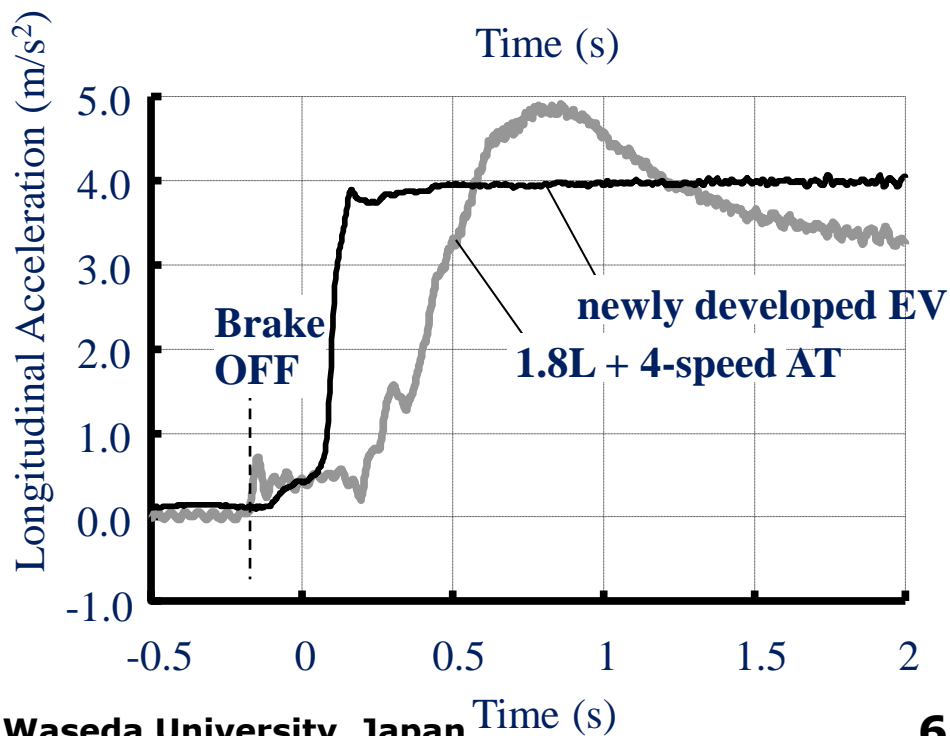
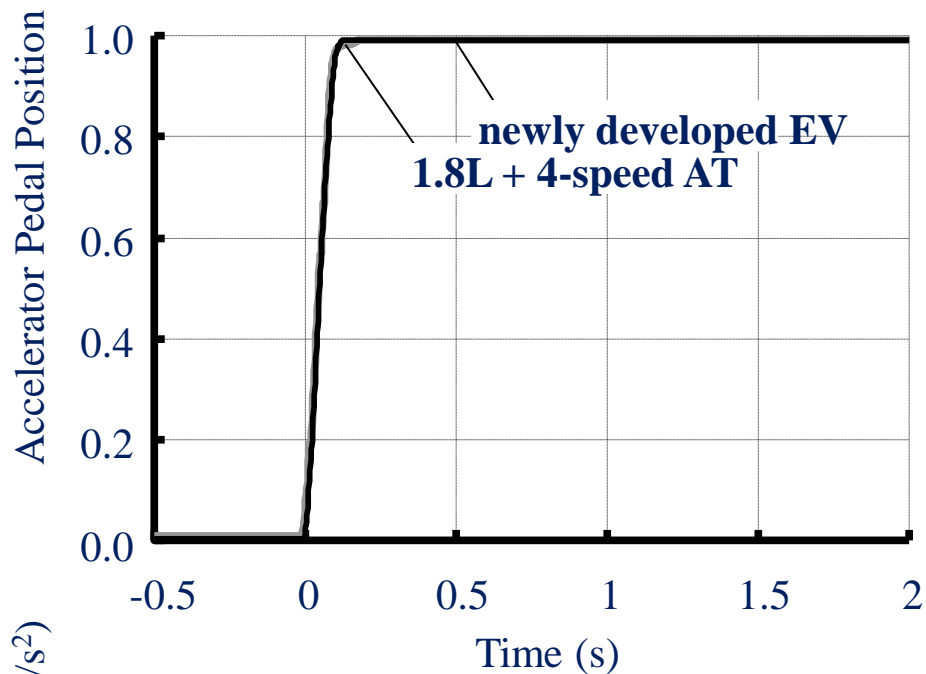
累計販売台数24万台

(2016年末、推定値)



レスポンスのよい加速性能

- EVは、アクセル踏み込み時の車両加速度の立ち上がりレスポンスが速い
- 車両停止状態からアクセル踏み込み時の、車両加速度が最大になるまでの時間:ガソリン車の0.5秒以上に対し、EVでは0.1秒未満
- どの車速域からの加速でも、0.1秒以内に最大加速に達し、その後加速度が安定



出典: 荻込卓明ほか

「新開発EV 向けの高応答加速度制御」
自技会春季学術講演会2011年5月

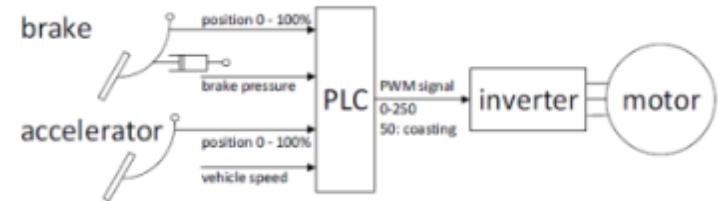
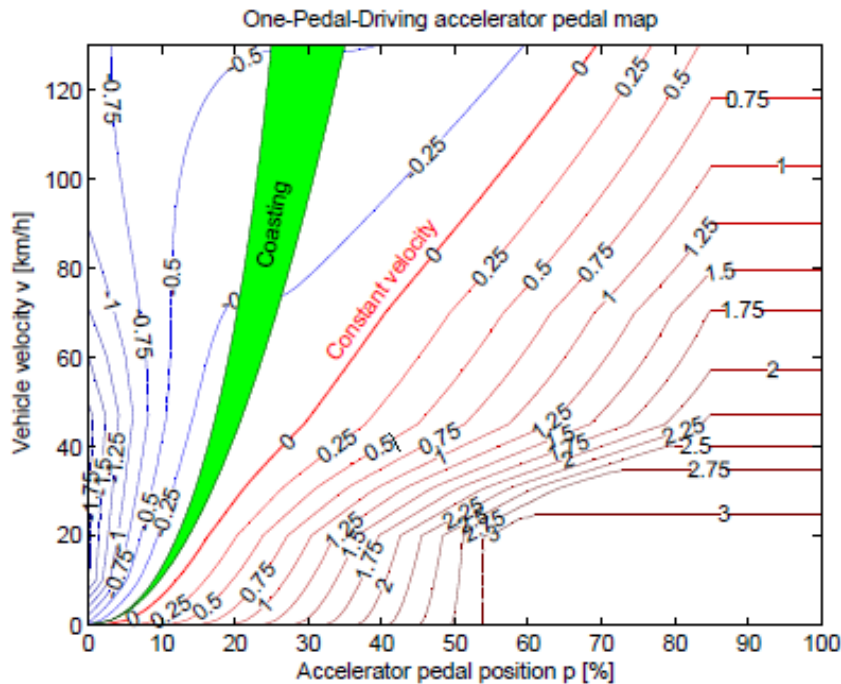
ワンペダルドライビング

- アクセルペダルの踏込量のみで車両の加速と減速をコントロール
- 直感的に車速コントロールできる。ドライビングフィールを大幅に改善
- 減速や下り走行において、回生エネルギーの増大が可能

論文例「ワンペダルドライビングによる運転性の改善に関する研究」

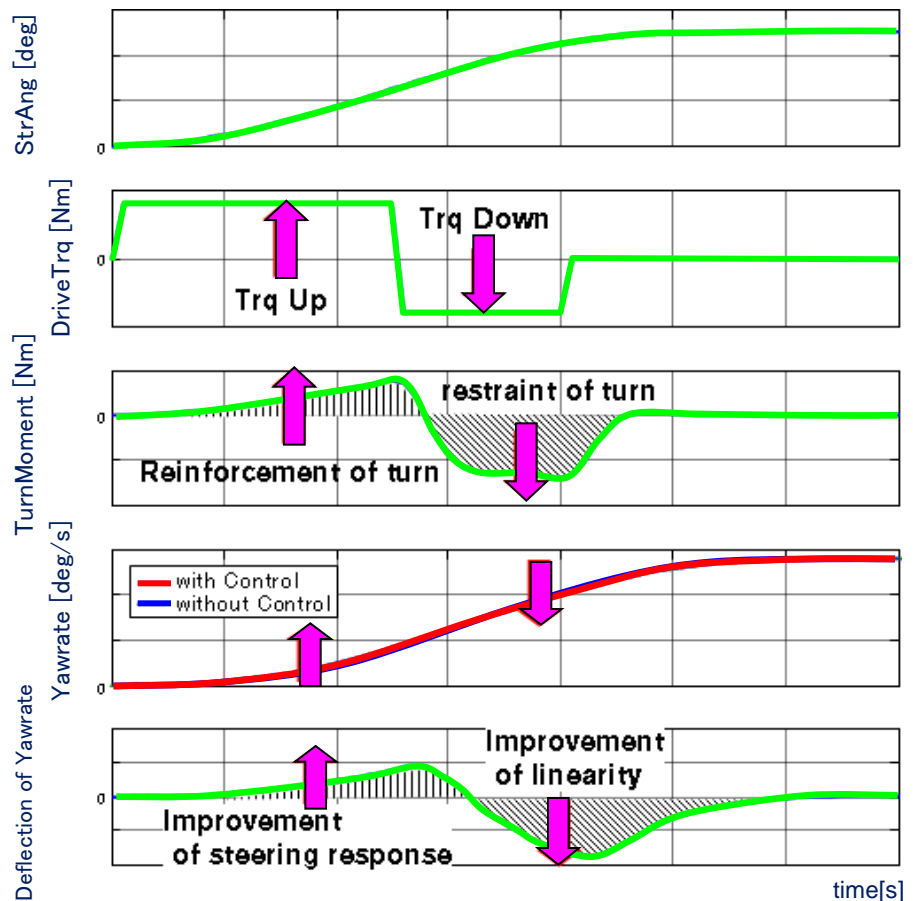
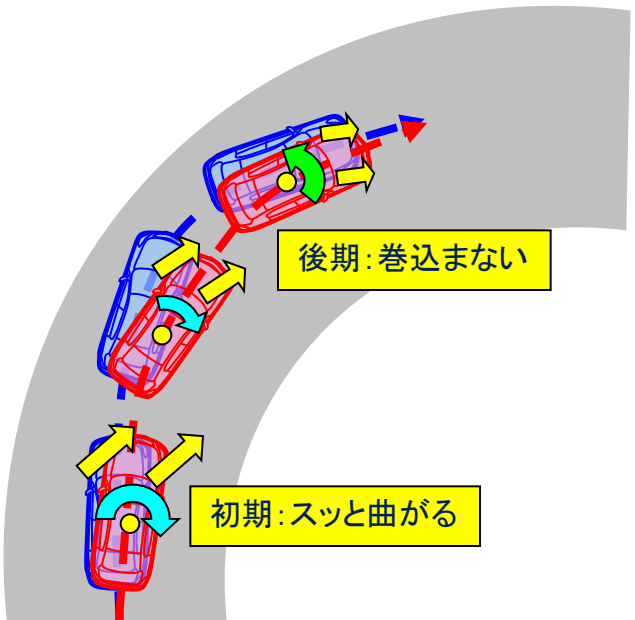
J.J.P. van Boekel, I.J.M Besselink, H. Nijmeijer
Eindhoven University of Technology, Netherlands

May 5, 2015, EVS28



運転しやすいハンドリング性能

- ハンドルの操舵角に応じてモータ駆動トルクを制御
- 操舵初期で駆動トルクを増加、後期で減少させることにより、ドライバーの意図に沿ったハンドリング性能を実現



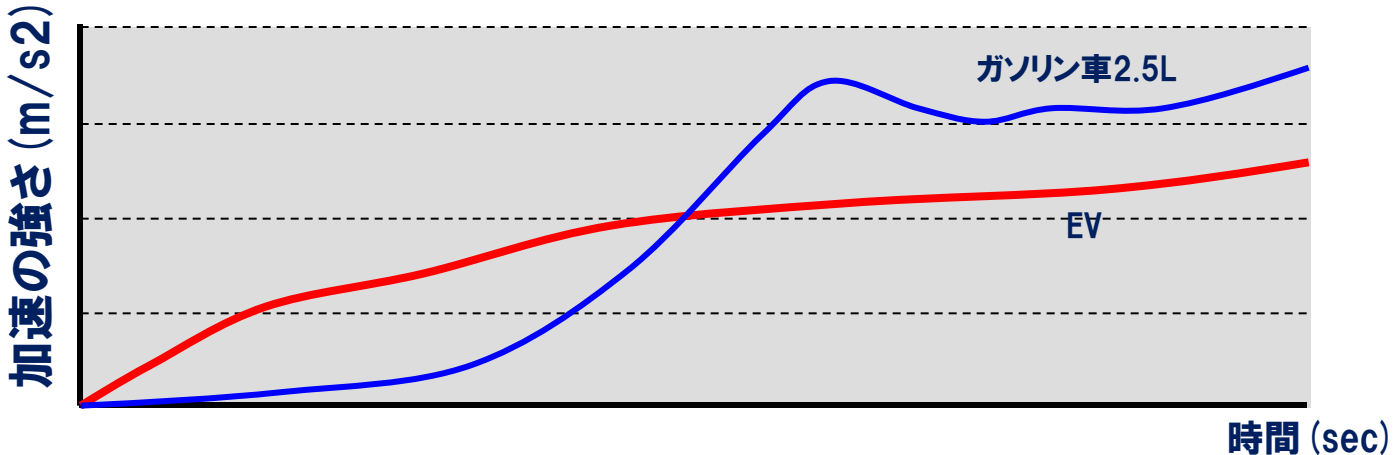
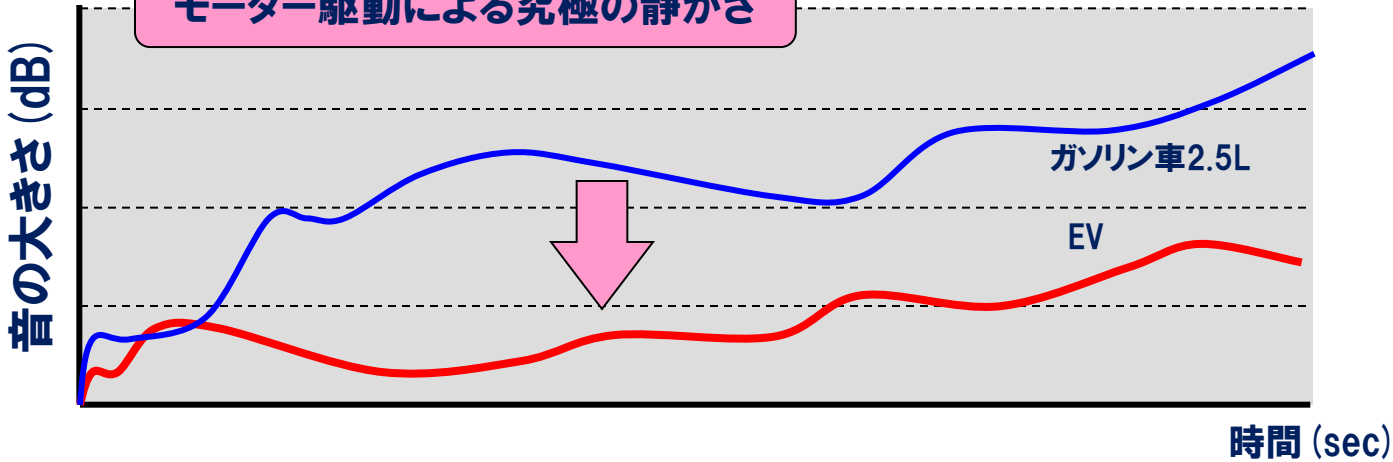
出典: 塩澤裕樹ほか、「EV (電気自動車) のハンドリング性能向上のための駆動力制御システムの開発」、自技会春季学術講演会2011年5月

快適な車室空間を創る静粛性

- 音もなくスーと動き出す異次元の走りだし。
- 高速走行でもエンジン音のしない静かで快適な空間

【シーン】駐車場&住宅地で静かに走り出す
条件:0→10km/h ゆっくり踏み

モーター駆動による究極の静かさ



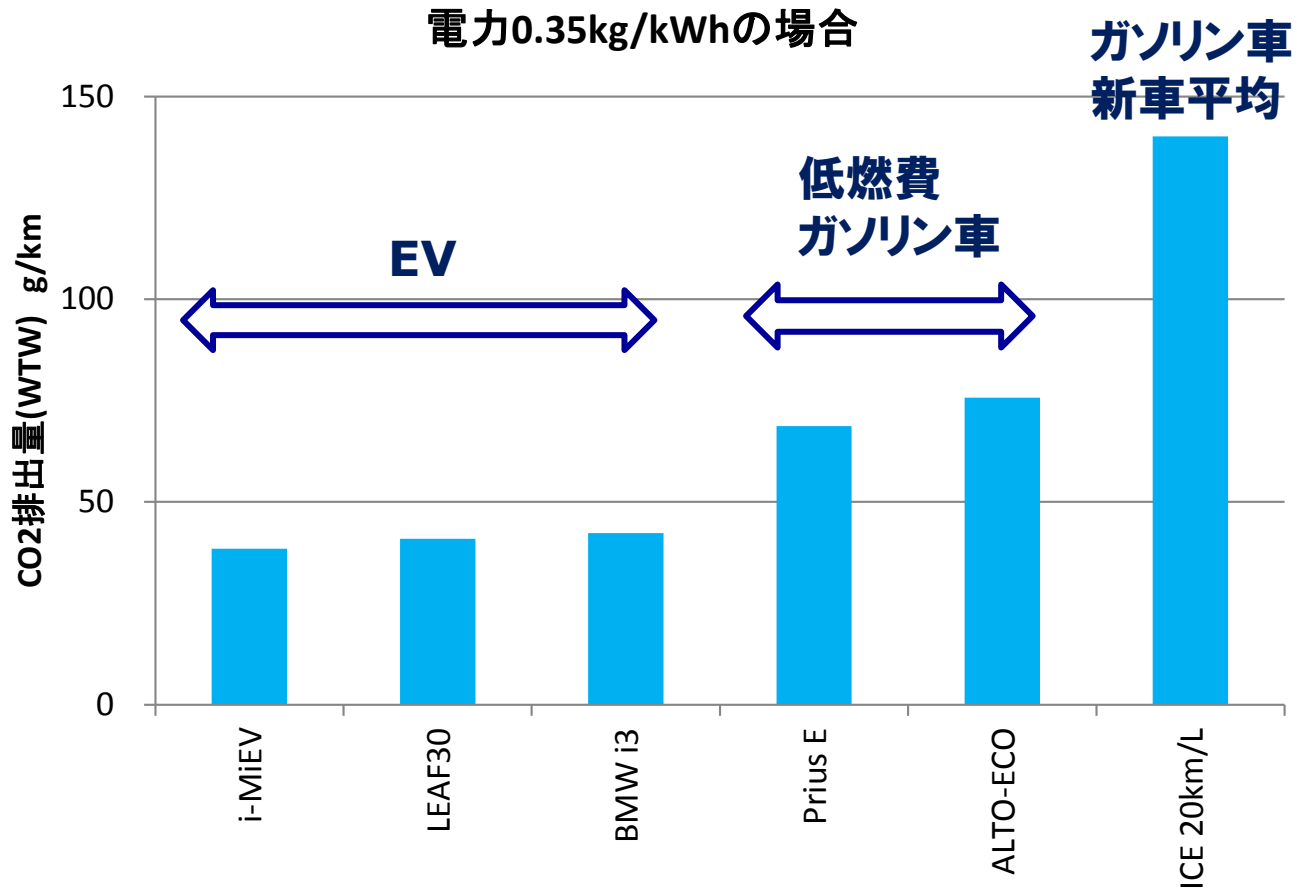
1. 航続距離
2. 車両価格
3. 充電のわずらわしさ

EV技術の進化およびPV搭載EVへの期待

1. EVの市場導入が進む
- 2. PV搭載EVの実現可能性とメリット**
3. 社会におけるPV搭載EVの役割

EVによるCO₂削減効果 (WTW: Well to Wheel)

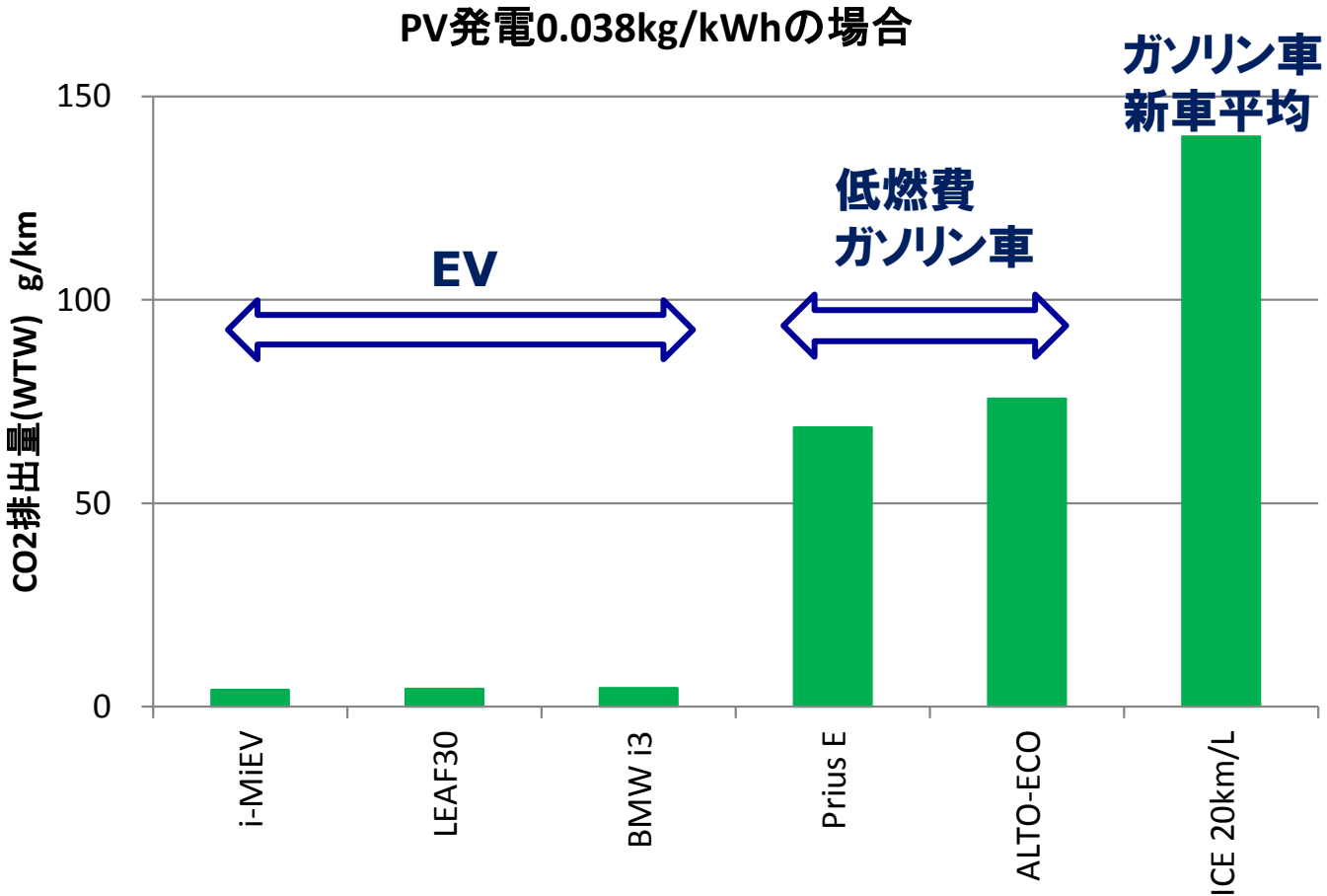
- WTW (車両走行に加えエネルギー製造過程を含む) CO₂排出量は、ガソリン車 (燃費20km/Lの場合) 140g-CO₂/kmに対し、EV (電力CO₂排出原単位0.35kg/kWhの場合) では約40g-CO₂/kmと約1/3と少ない
- 低燃費ガソリン車やハイブリッド車に対しても40~50%の削減



Source : Estimated based on vehicle specifications and MITI material 2014
Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

PV搭載EVによるCO₂削減効果

- 太陽光発電のCO₂排出原単位0.038kg-CO₂/kWhとすると、EVのWTWでのCO₂排出量を4g-CO₂/kmまで低減
- 現行ガソリン車（燃費20km/L）をPV-EVに置き換えることにより、CO₂排出量を97%削減、ハイブリッド車に対しても94%削減



Source : Estimated based on vehicle specifications and Electric Power research institute report
Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

プリウスPHV、太陽光パネル搭載(2017年2月発売)

- トヨタ、2017年2月発売開始の新型「プリウスPHV」の日本・欧州向けに「ソーラー充電システム」搭載モデルを設定
- ソーラー充電システムは、車両のルーフに搭載した太陽光パネルにより発電し、その電力を12Vバッテリーに充電。駐車中は駆動用バッテリーを充電し、走行中は駆動用バッテリーの消費を抑えることで、EV走行距離や燃費の向上に貢献
- 太陽光パネル出力は180W、平均で1日あたり2.9kmの走行エネルギーに相当



技術の進化がPV搭載EVの実用化を近づける (1)

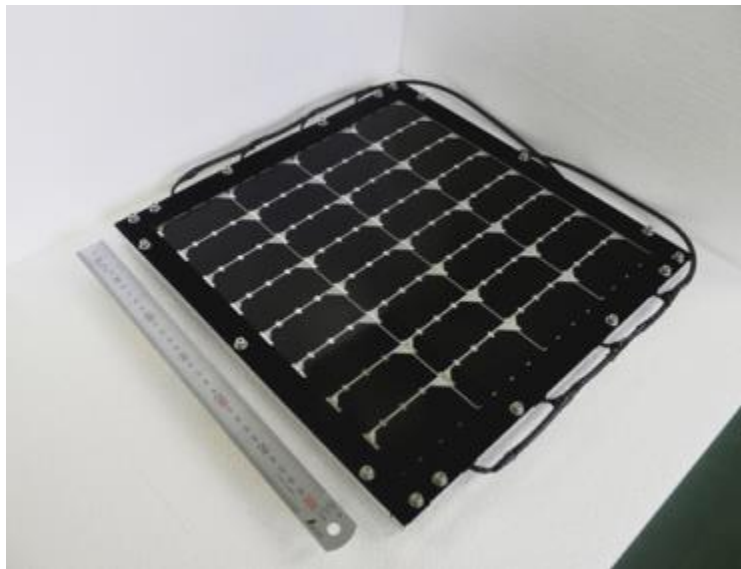
シャープ、太陽電池モジュールで効率31.17%を達成

2016年5月19日

- シャープは、NEDO「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」プロジェクトの一環として、モジュールで世界最高となる変換効率31.17%を達成
- 化合物3接合型太陽電池セルとして、「インジウムガリウムリン (InGaP)」、「ガリウムヒ素 (GaAs)」に「インジウムガリウムヒ素 (InGaAs)」のボトム層を追加
- 2013年、小サイズ (面積: 1.047cm²) で世界最高 (当時) の変換効率37.9%達成
- 2016年、より大きなサイズの太陽電池セルの開発とモジュール化に成功。モジュール (面積: 968cm²、寸法31cm x 31cm) としても世界最高の変換効率を達成



- InGaP : インジウムガリウムリン
- GaAs : ガリウムヒ素
- InGaAs : インジウムガリウムヒ素
- トンネル接合層 : 光吸収層間を接合する層
- バッファ層 : 格子定数が異なる光吸収層間を接合する層

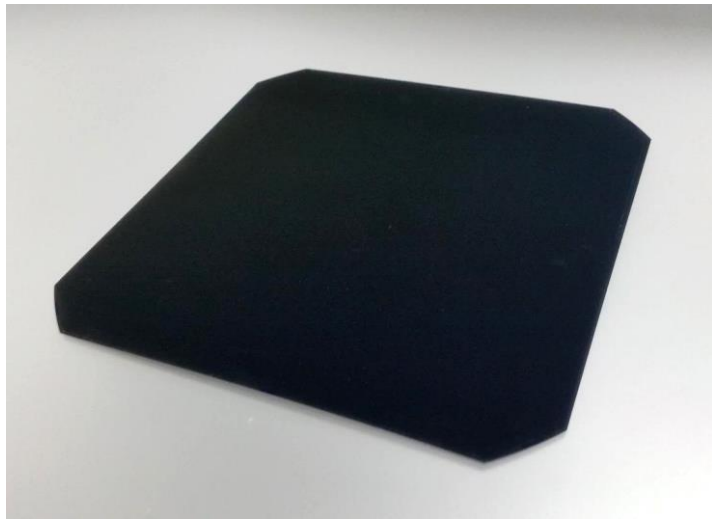


<http://www.sharp.co.jp/corporate/news/160519-a.html>

技術の進化がPV搭載EVの実用化を近づける(1)

カネカ、結晶シリコンPVセル効率26.33%、モジュール効率24.37%達成

- NEDOのプロジェクトで、(株)カネカは、結晶シリコンPVのセル変換効率で世界最高となる26.33%を実用サイズ(180cm²)で達成
- 高品質アモルファスシリコンのヘテロ接合技術や電極の直列抵抗を低減させる技術、太陽光をより効果的に利用するバックコンタクト技術の組み合わせにより実現
- さらに、セルを108枚のモジュール(面積13,177cm²)により24.37%を達成



変換効率26.33%の
結晶シリコン太陽電池セル(180cm²)
(ヘテロ接合バックコンタクト型)



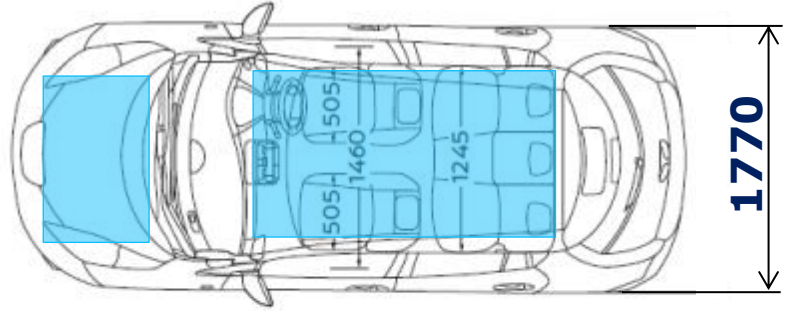
変換効率24.37%の
結晶シリコン太陽電池モジュール

出典: NEDO、(株)カネカ、News Release「結晶シリコン太陽電池で世界最高効率」2016年9月14日、10月27日

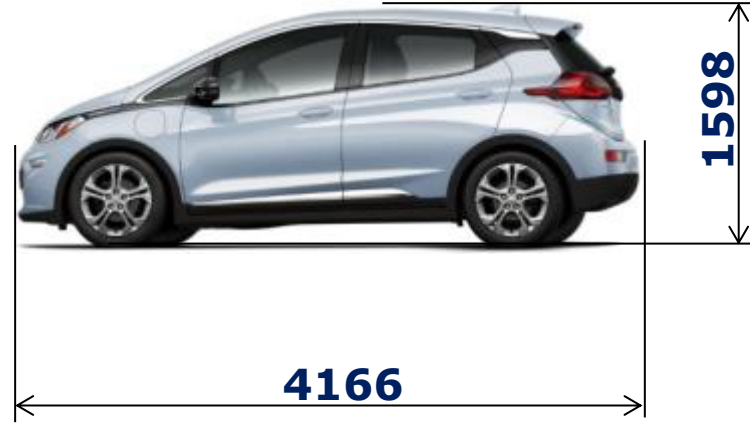
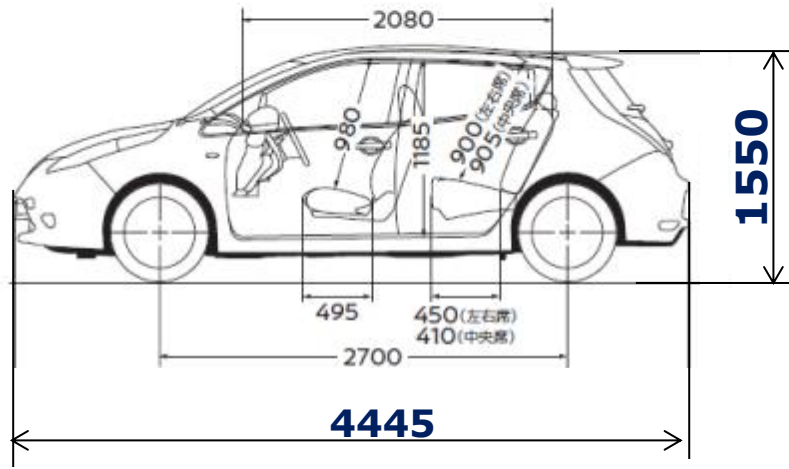
3m²,効率33%,定格1kW-PV年間発電量>EV年間走行電力量

- 乗用車に搭載可能なPV面積:リーフ3.1m²、BOLT2.8m²
 PV面積3m²,効率33%,定格約1kW:年間発電量(利用率12%) 1050kWh
- 乗用車の年間走行距離(日本平均):9,120km(国交省交通関係統計)
 電費100Wh/kmの場合:年間走行電力量:912kWh
- 車両が常に日なたにあれば、平均値として走行電力を賄うことが可能

リーフ 3.1 m²



BOLT 2.8 m²



平均値としては賄うことが可能

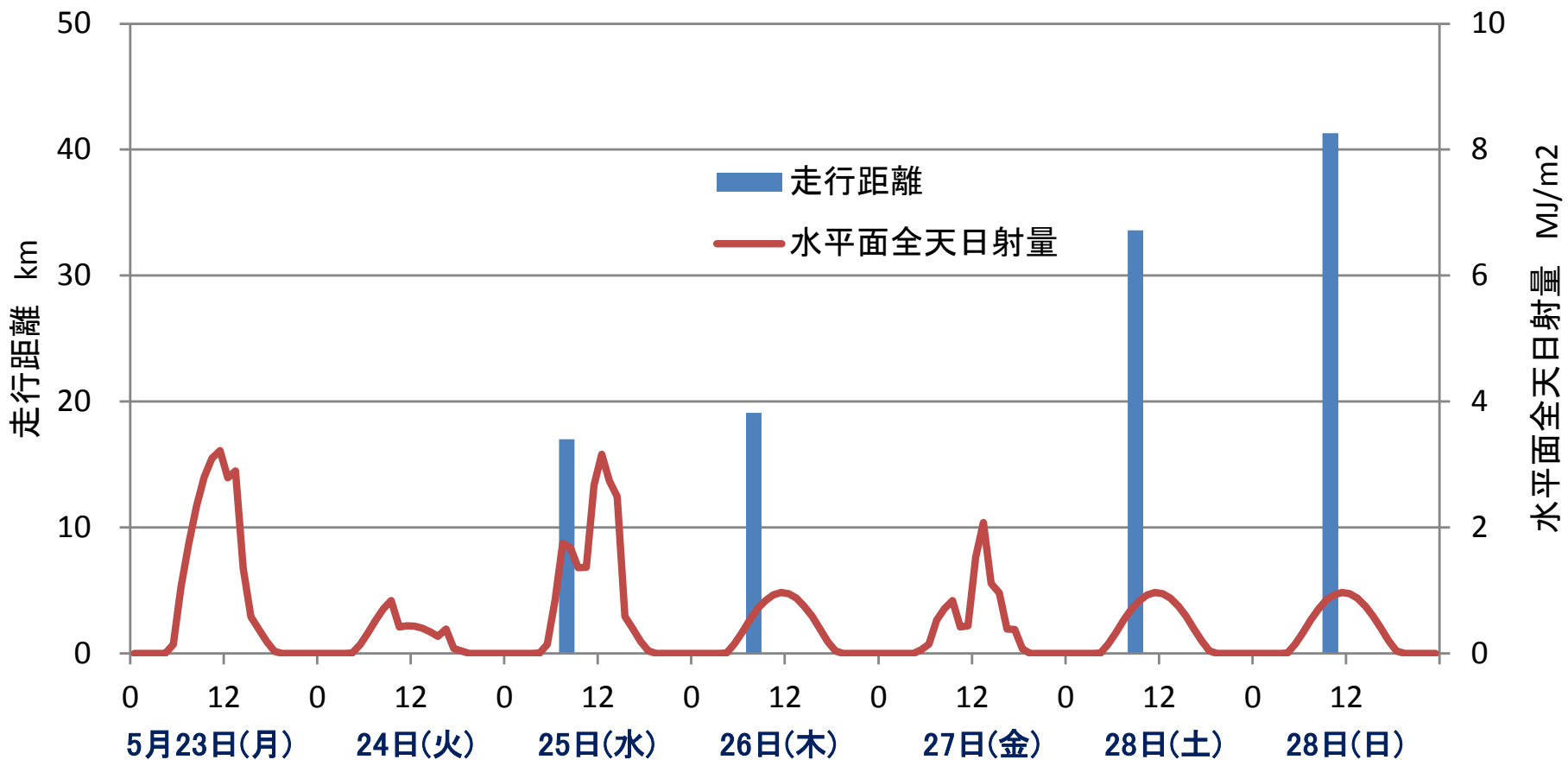
しかし、

- 日陰に駐車した場合は大丈夫か？
- 夜間や雨天が続く場合は？
- 日照時間の短い季節は？
- 高速走行、長距離ドライブは？
- 走行距離の長い人は？

PV発電とEV走行エネルギーのギャップ

- 日射量の少ない時（夜間、雨天時など）はPV発電による走行は不可
- 高速走行時など高出力走行の時はPV発電量が不足

⇒ PV発電/走行エネルギーギャップを埋めるため大容量バッテリーが必要



技術の進化がPV搭載EVの実用化を近づける (2)

- これまでEV搭載リチウムイオンバッテリーは、容量20～30kWhが主流。航続距離は200～300km程度
- 近年、EV用リチウムイオンバッテリーの大容量化とコスト低減が急速に進んでいる。各社から40～60kWhのバッテリー開発の発表あり
- さらに、EVモータ、インバータ、回生エネルギー制御などの技術進化により、航続距離の拡大が期待される
- EV航続距離500kmを実現できれば、ほとんどの使用条件において、PV発電とEV走行エネルギーのタイミングのギャップを埋めることができる



シボレー、60kWhバッテリー搭載の新型EV 「BOLT」販売開始

2016年12月

- シボレー、新型EV 「BOLT」の販売を開始
- 200hp, 266lb.-ft. モーターにより0-60mph6.5秒の加速性能
- 回生ブレーキコントロール、ワンペダルドライビング可能
- LGケム製Ni系リチウムイオンバッテリー60kWh (8年10万マイル保証)、航続距離 (EPA) 238マイル (383km)、車両電費推定252Wh/mile(157Wh/km)
- EPA 燃費: City 128mpg, Comb. 119mpg, Hwy 110mpg
- 車両重量3563lbs (1616kg)、外寸164.0 x 59.1w x 62.9h inches
- 2017年の、MOTORTREND CAR OF THE YEAR, North American Car of the year, GREEN CAR OF THE YEARを受賞
- 価格は\$36,620から

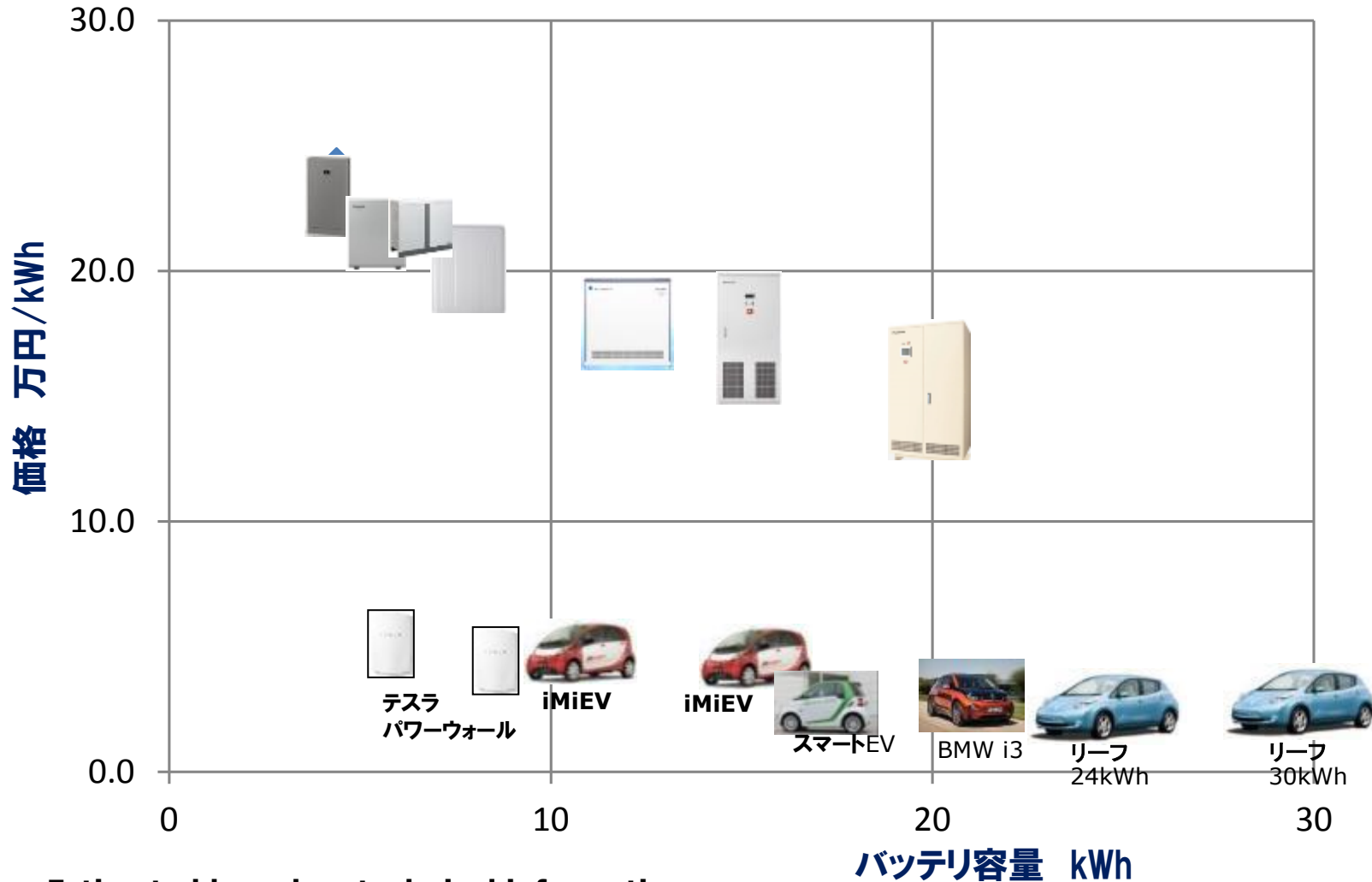


Source: GM Web site, <http://www.chevrolet.com/bolt-ev-electric-vehicle.html>

Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

EV導入によるリチウムイオンバッテリーのコスト低減

- EV用バッテリーは1kWhあたり2～4万円と定置用の約20万円より安価
- テスラはEV用バッテリーをベースとした定置型バッテリー(パワーウォール)を約5万円/kWhで販売開始

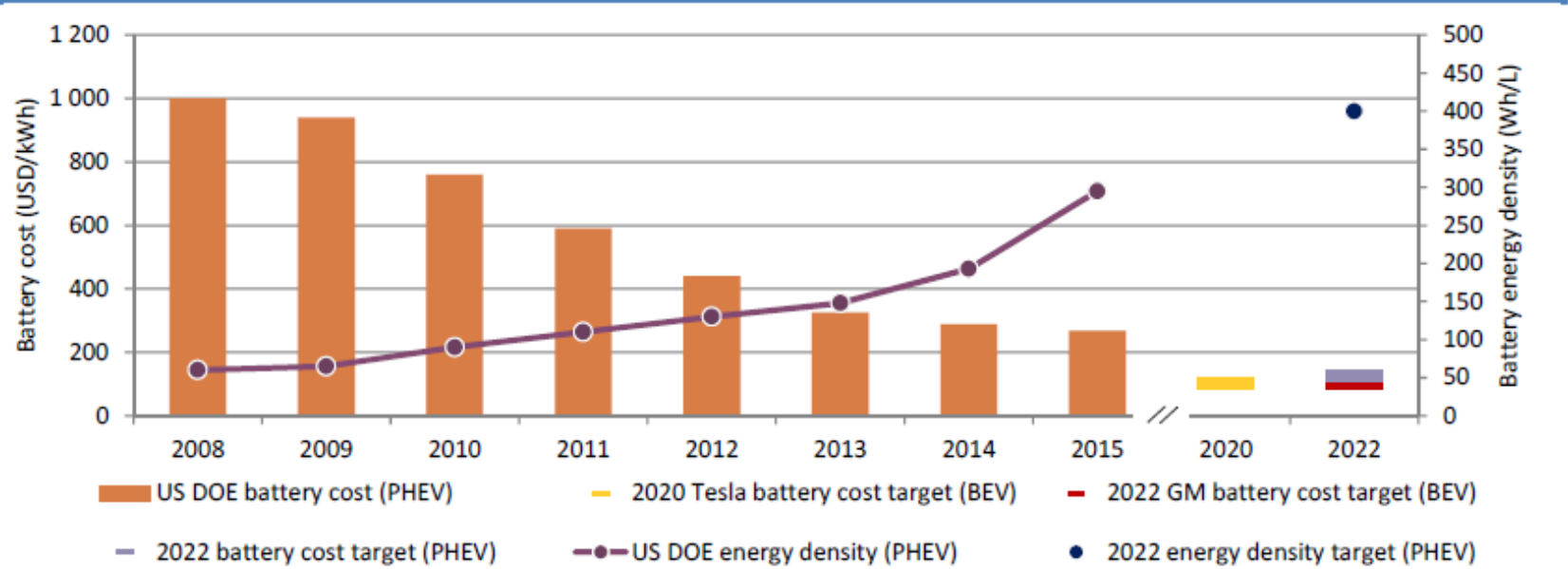


Source : Estimated based on technical information
 Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

バッテリー技術の進化：コスト低減とエネルギー密度向上

- IEA (国際エネルギー機関)、車載用バッテリーのコストとエネルギー密度の現状と将来見通しを発表
- バッテリーコスト：2008年USD1000/kWhから2015年USD250/kWhに大幅低減
- エネルギー密度：2008年70Wh/Lから2015年300Wh/Lに大幅向上
- 2020～2022年に、コストUSD100/kWh、エネルギー密度400Wh/Lを目指す

Figure 2 • Evolution of battery energy density and cost



Notes: USD/kWh = United States dollars per kilowatt-hour; Wh/L = watt-hours per litre. PHEV battery cost and energy density data shown here are based on an observed industry-wide trend, include useful energy only, refer to battery packs and suppose an annual battery production of 100 000 units for each manufacturer.

Sources: US DOE (2015 and 2016) for PHEV battery cost and energy density estimates; EV Obsession (2015); and HybridCARS (2015).

PV出力/バッテリー容量による実用走行可能性の検討

EV実走行データ

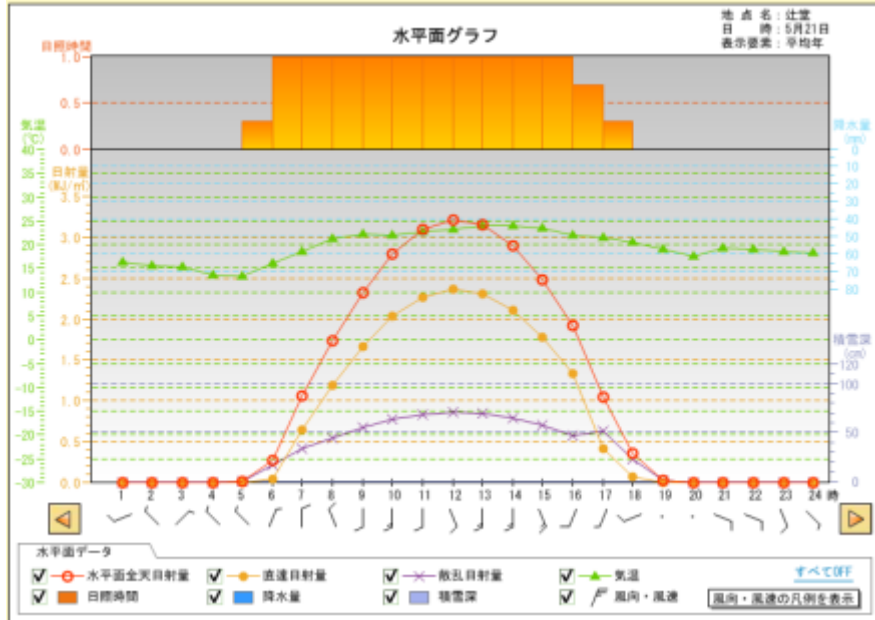
- LEAF:2016年型、30kWhバッテリー
- 期間:2016/4/1~2017/3/31
- ドライバー:T1
- 走行距離:6,310km
- 電費:126Wh/km (AC実測値,空調込み)
- 走行電力量:716kWh



30kWリチウムイオンバッテリー搭載リーフ

NEDO日射量データベース

- 平均年日時別データ
- 水平面全天日射量、日照時間
- データ地点:神奈川県辻堂
- 年間発電可能量:1,069kWh
- *PVシステム効率は80%と仮置き

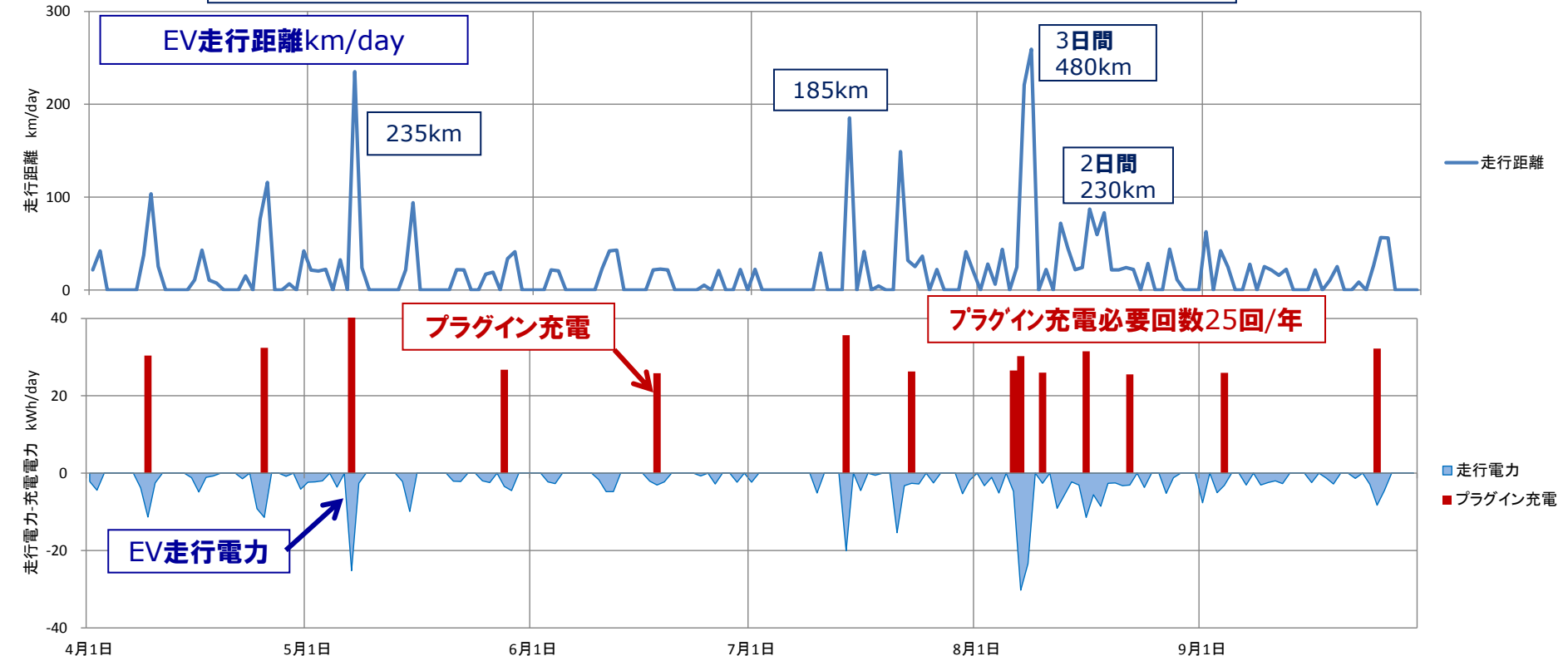


NEDO日射量データベースMETPV-11

リーフ実走行データ(T1)

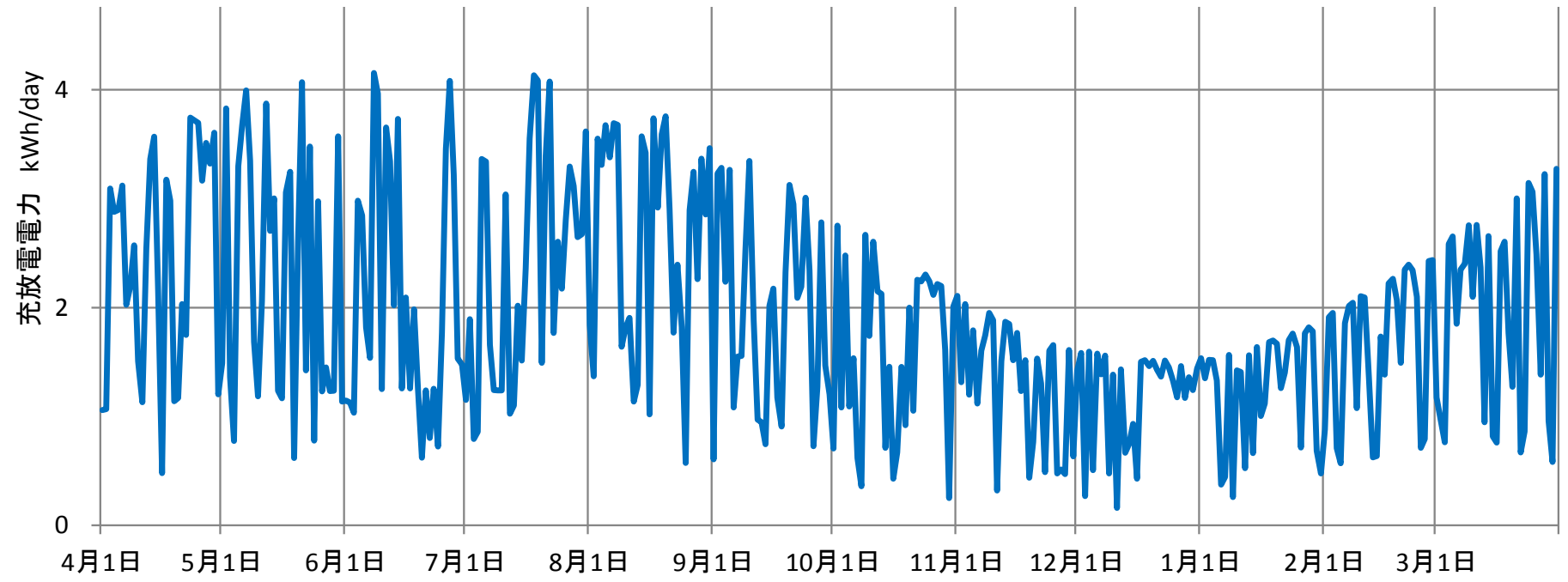
- 年間走行距離: 6,310 km
- クルマ通勤なし。買物など20~30km程度の近距離走行が主体
- 月1回程度、50~100kmのドライブ。5月、8月など200km以上の長距離走行
- 自宅充電器なし。プラグイン充電の必要回数は25回(実際には30回以上充電)

4月-9月リーフ走行データ: PVなし/バッテリー30kWh



PV1kW発電電力推定

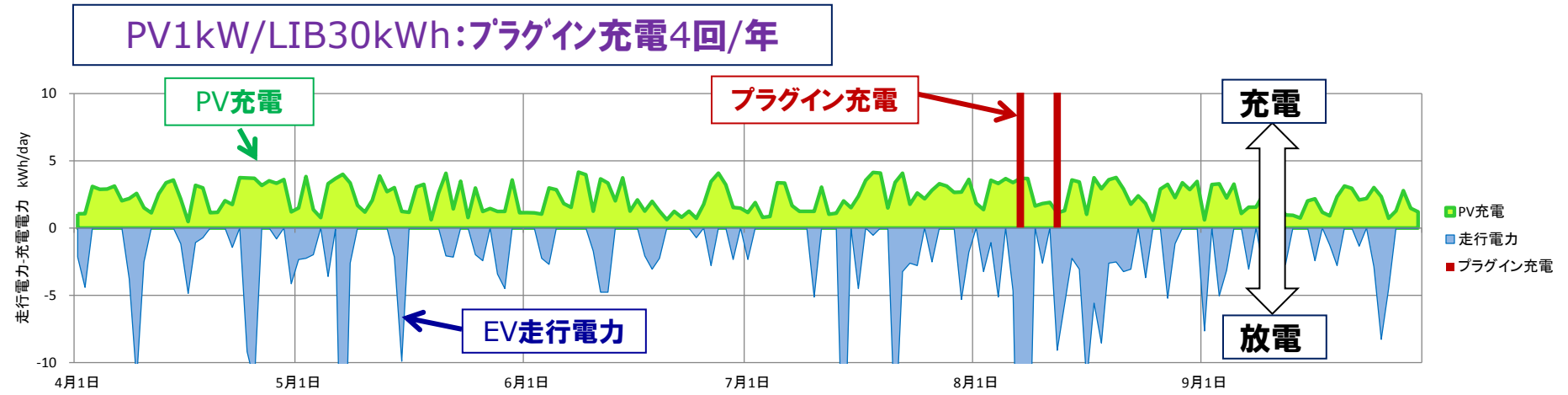
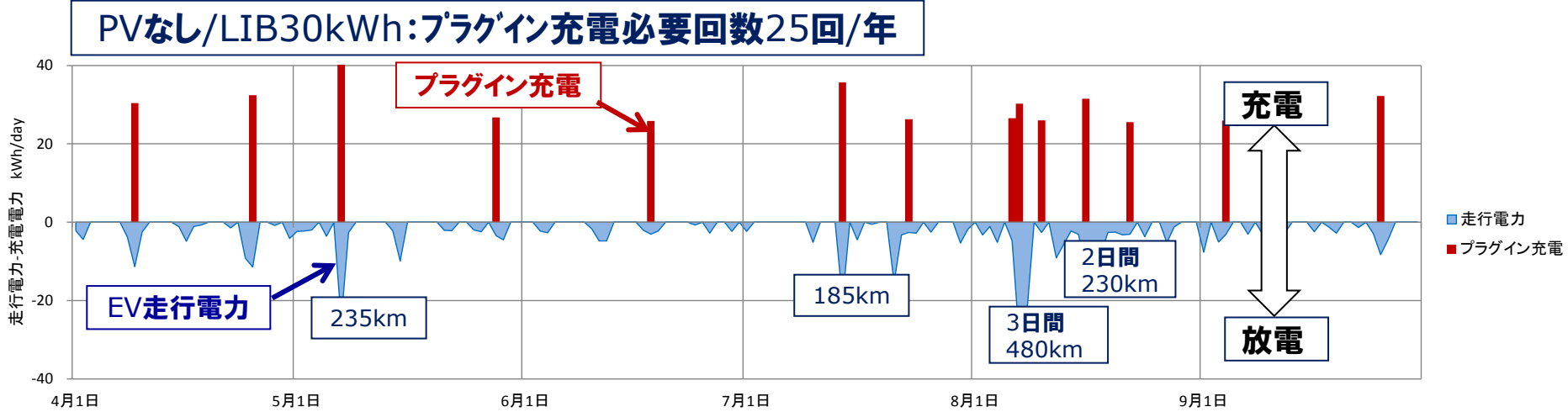
- NEDO日射量データベースの平均年データ
- 水平面全天日射量:神奈川県藤沢市辻堂
- PV定格出力:1kW
- 日なた係数(自動車が日なたにいる比率):70%と仮置き
- PVシステム効率:80%と仮置き(温度係数、MPPT、DC/DC、充電効率を含む)



PV発電/バッテリー蓄電によるエネルギーマネジメント(T1)

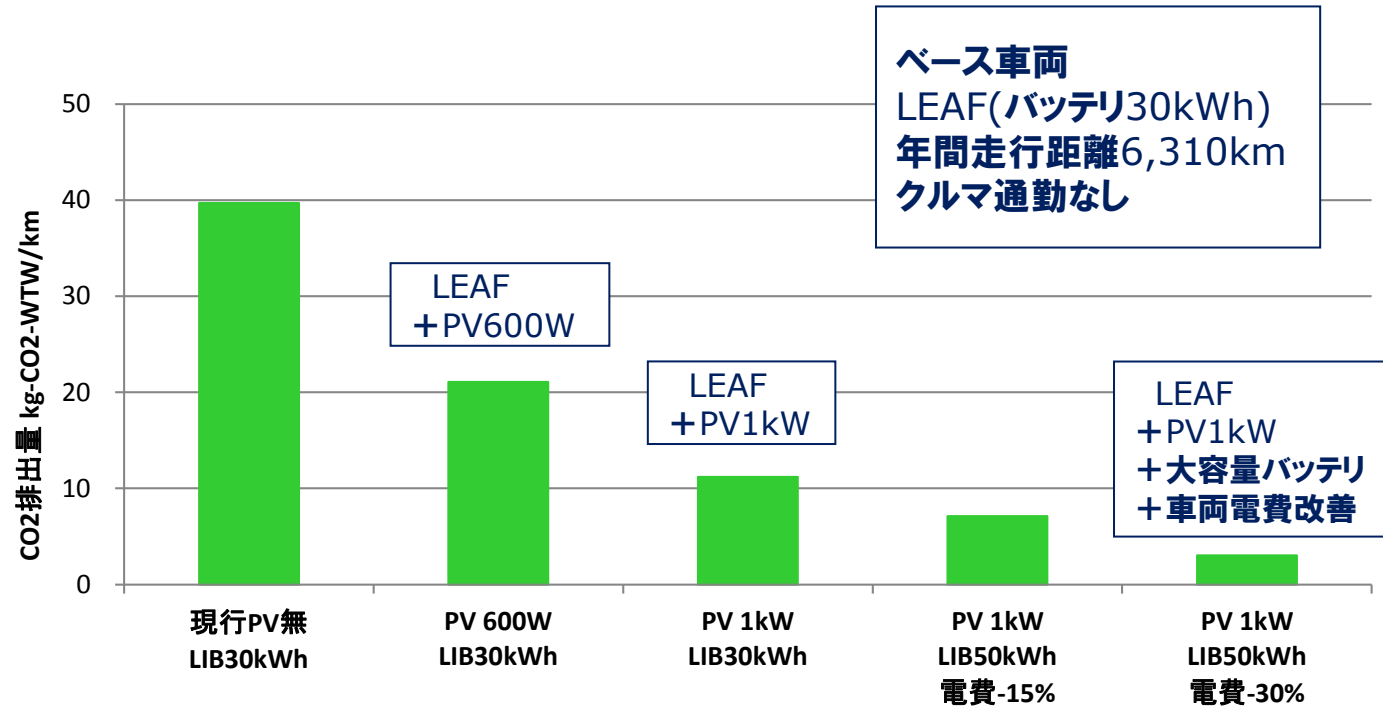
- PV発電電力をバッテリーに蓄電することによりプラグイン充電を大幅に削減可能
- PVなしEVのプラグイン充電必要回数25回/年⇒PV搭載EVでは4回/年

*PV搭載EV: PV1kW、バッテリー30kWhの場合



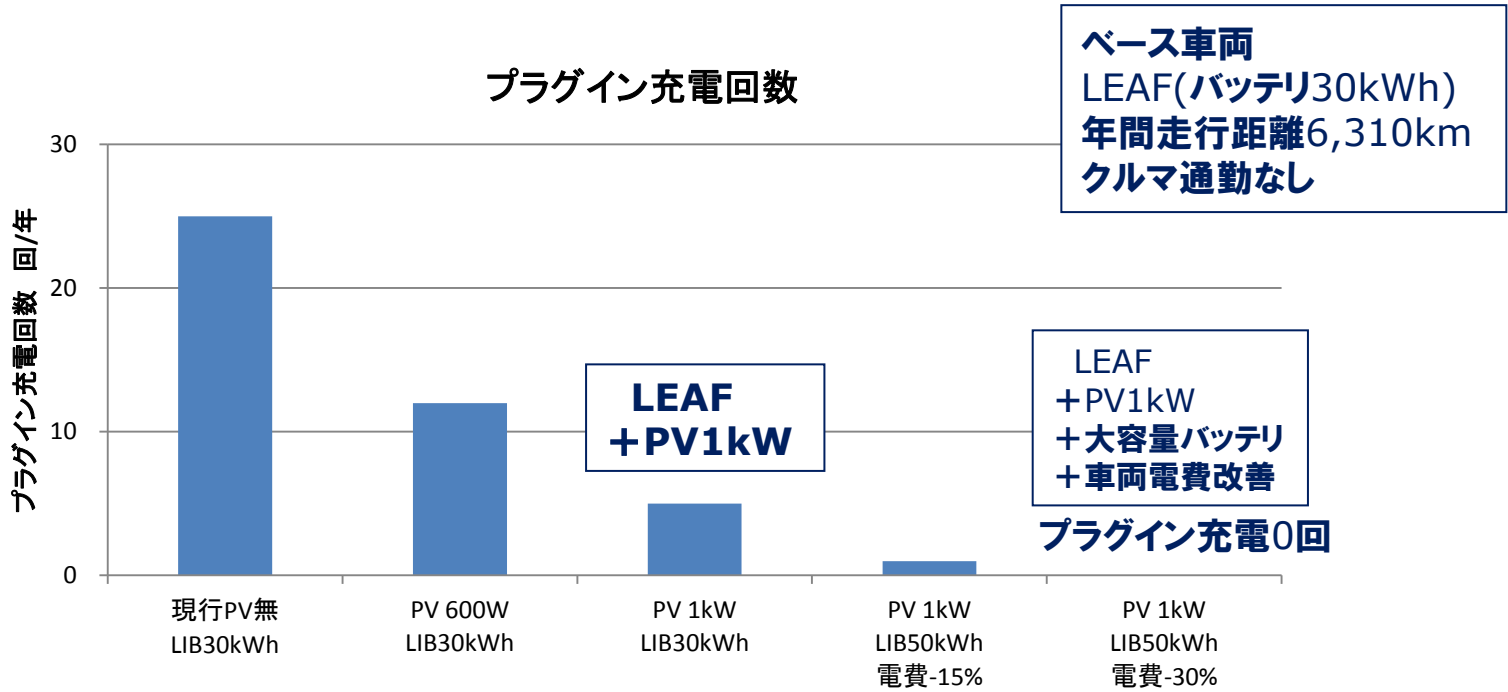
PV搭載によるCO₂-WTW削減

- ベース車両30kWhバッテリーEVに600W-PV搭載によりCO₂排出量47%削減、1kW-PV搭載により72%削減
- 乗用車は日毎の走行距離の変動が大きいため、大容量バッテリー搭載および車両電費改善により、さらなるCO₂削減が可能
- バッテリー容量50kWh、車両電費30%改善により、ベース車両に対しCO₂排出量92%削減



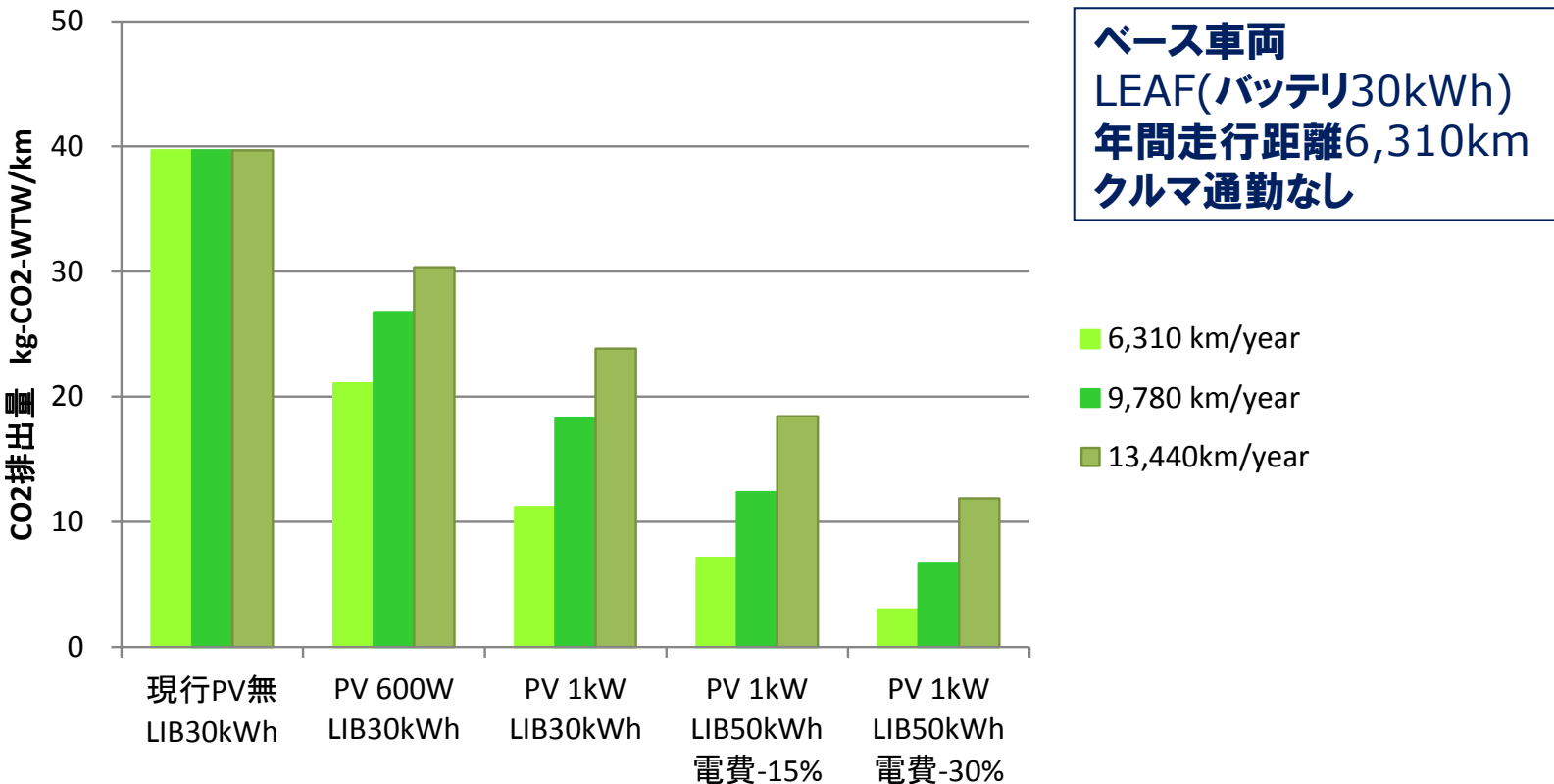
PV搭載によるプラグイン充電回数の削減

- PV搭載によりプラグイン充電の煩わしさを削減することが可能
- ベース車両30kWhバッテリーEVに1kW-PV搭載することにより、近距離走行ではプラグイン充電不要、長距離ドライブにおいてもプラグイン充電回数を削減 (30kWhバッテリーEVの25回/年⇒1kW-PV搭載により、5回まで削減)
- バッテリー大容量化、車両電費改善により、プラグイン充電フリーの可能性あり



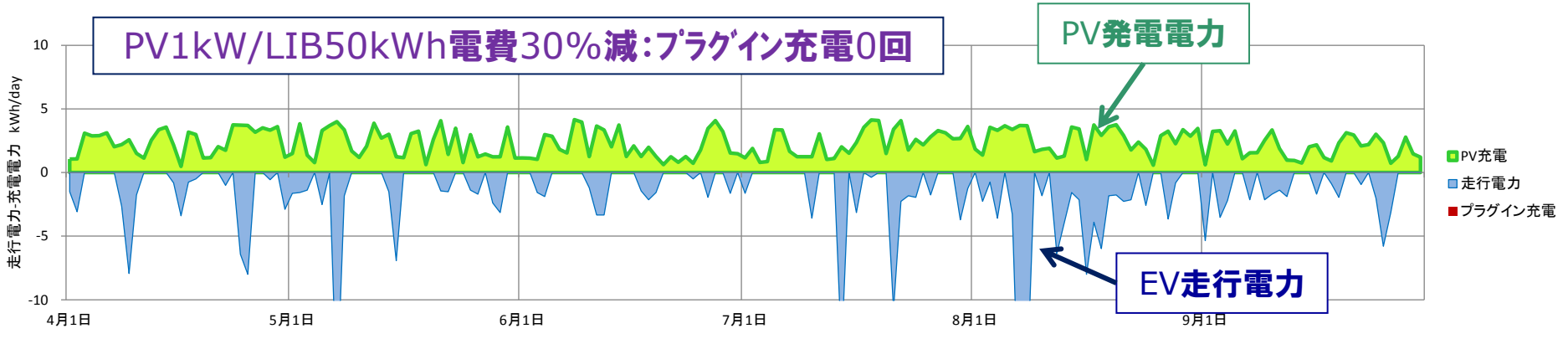
走行距離の増加によるCO₂増加への影響

- ベース車両データを元に、年間走行距離によるPV搭載の効果を見積り
(ベース車両データにクルマ通勤20,40km/dayを追加し走行距離を増加)
- 年間走行距離増加により、PV発電比率が減少しCO₂排出量が増加
- クルマ通勤40km/day(年間走行距離1.3万km)の場合、ベース車にPV1kW搭載により、CO₂排出量40%削減。PV1kW-LIB50kWh電費30%低減の車両では、CO₂排出量70%削減

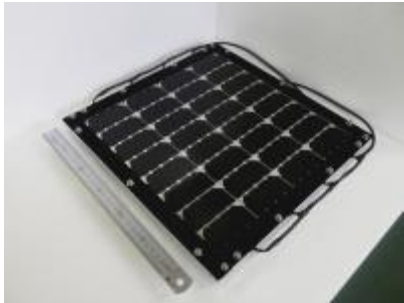


実用的なPV搭載EVのイメージ

- 日常用途から1,2泊のドライブまでPV充電のみ
- バッテリ満充電で300~500km走行可能



- PV、バッテリー、車両性能の要求値**
- PV: 変換効率33%、面積3m²
 - バッテリ: 容量50~60kWh
 - 車両: 実用電費80~90Wh/km



シャープ(開発品)31.17%



LGケム(BOLT用)60kWh



BMW i3 国内モード 98Wh/km

EV技術の進化およびPV搭載EVへの期待

1. EVの市場導入が進む
2. PV搭載EVの実現可能性とメリット
3. **社会におけるPV搭載EVの役割**

EVと電力系統との連携

- EVと電力系統との連携 (V2X) により、PV有効利用および電力マネジメントに活用
- PV発電量が余剰の場合はEVバッテリーに充電、夜間などEVから住宅に電力を供給することにより、PV利用率改善および電力のピークシフトに貢献
- 停電や非常時に、PV搭載EVを災害用非常電源として活用

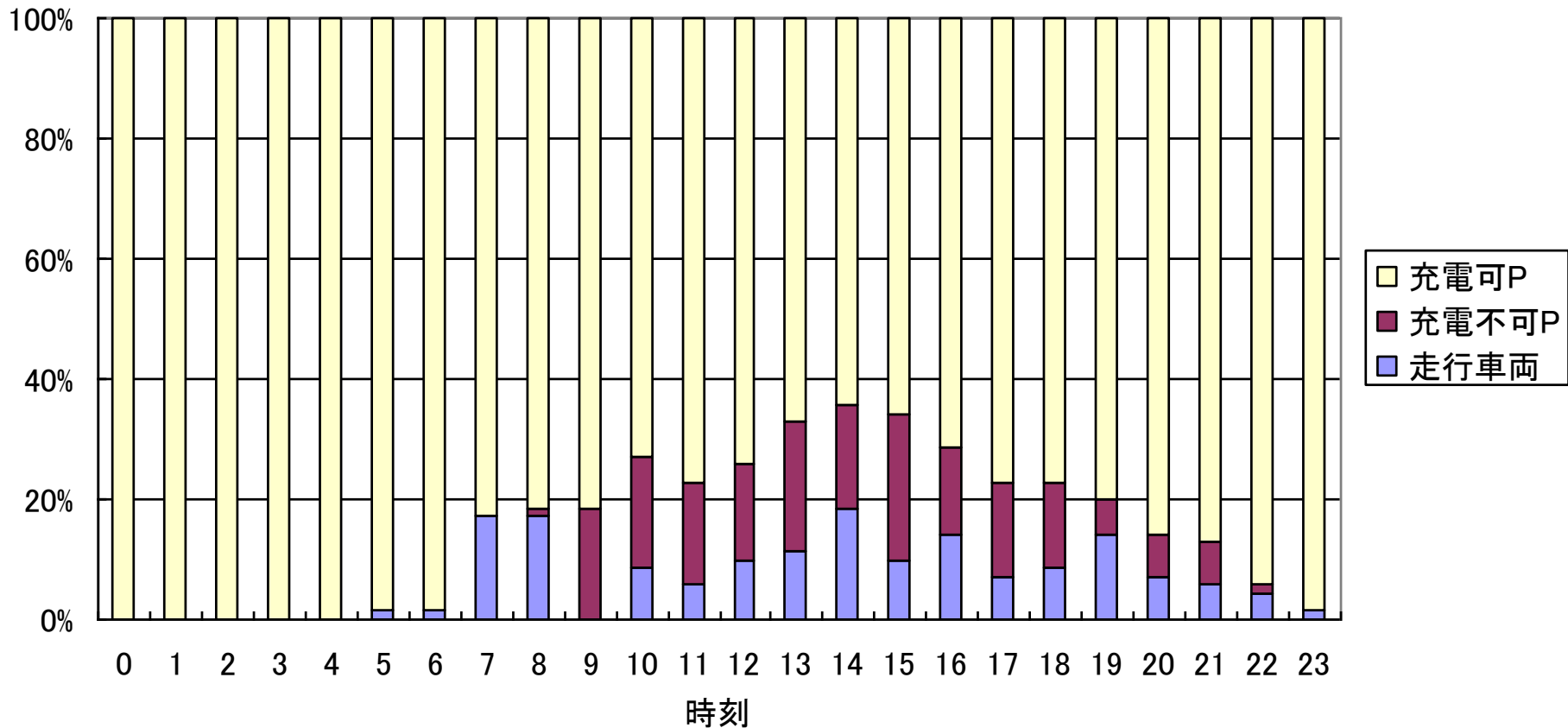


出典：ニチコン(株)EVパワーステーション資料、2016年8月

Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

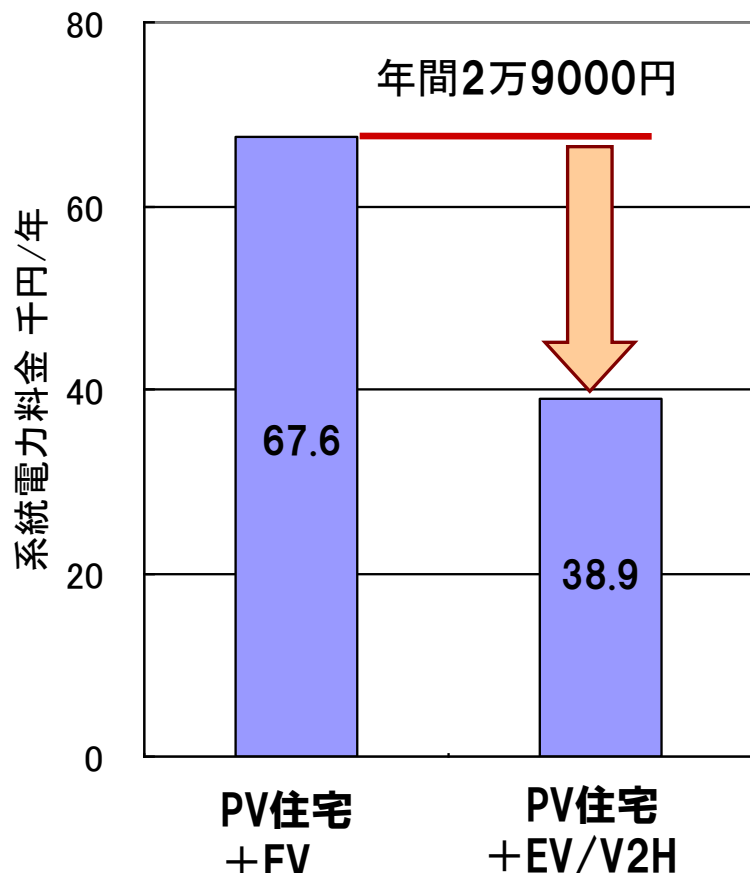
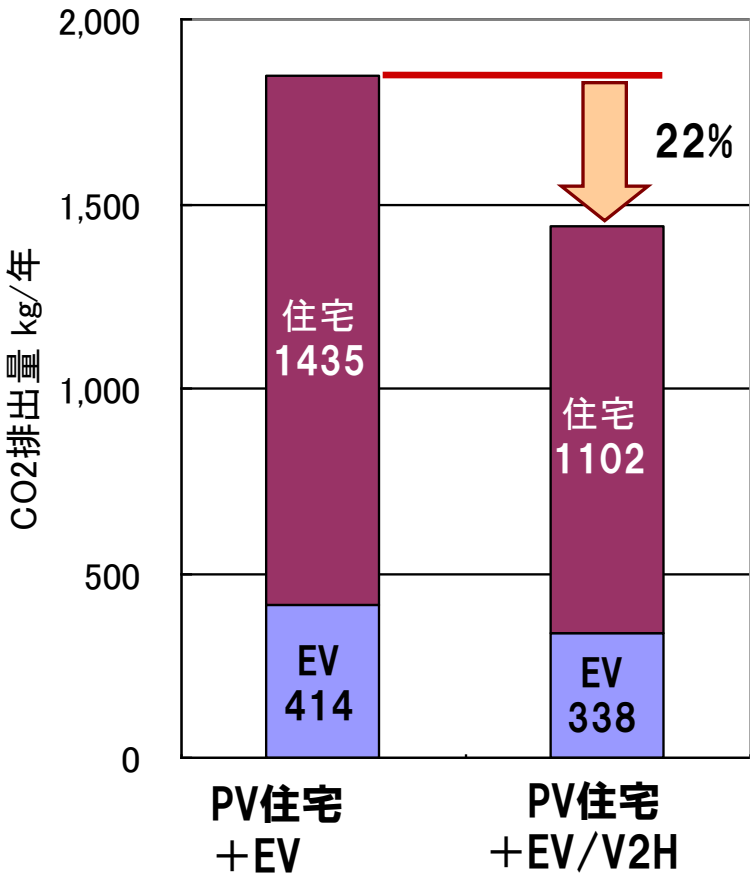
EV走行中は連携不可⇒しかし自動車の稼働率は低いため、EVバッテリーを住宅やコミュニティの電力貯蔵バッテリーとして活用可能

- 自動車の稼働率は日本平均で約6%程度。残りの94%、24時間の内22.5時間は停車している。車両走行距離の長い米国においても稼働率は10%程度
- 日本における充電可能駐車車両は平均84.8%、最も少ない時間帯（10am～4pm）においても約70%であり、EVバッテリーを活用できる比率は高い



EVバッテリーによるPV利用率改善：CO2排出量削減効果（年間）

■ PV付き一戸建て住宅の場合：PV発電余剰電力をEVバッテリーに充電しPV利用率を改善すると、住宅とEVのトータルでCO2排出量を年間410kg、22%低減できる



条件：クルマ8150km/年、住宅電力消費3.9MWh/年、PV3.4kW（日本の標準的な戸建住宅を想定）

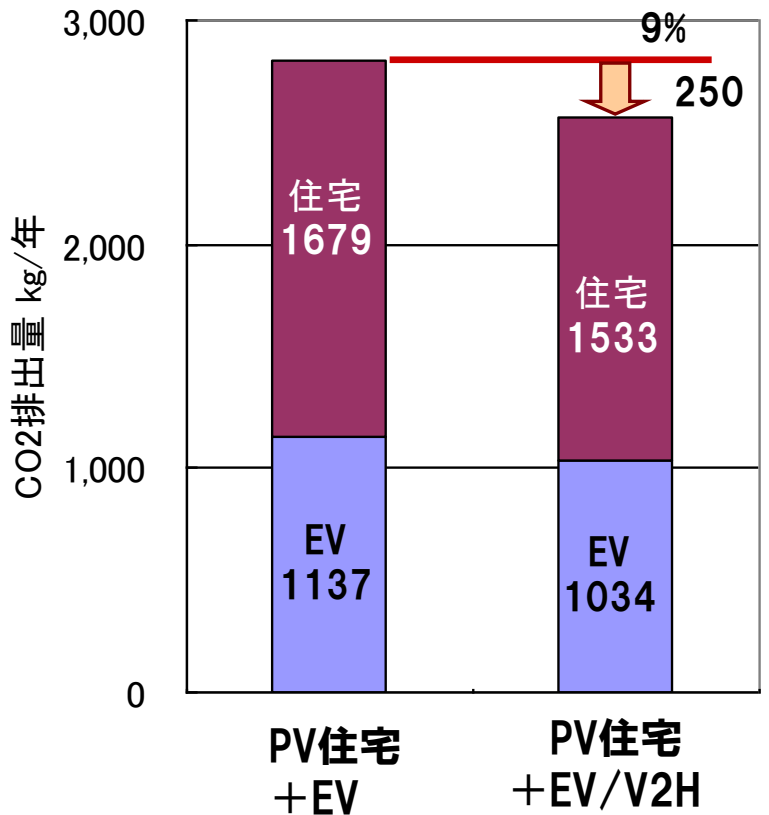
Source: Toshio Hirota, Nissan Technical Review No. 69・70 (2012)

Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

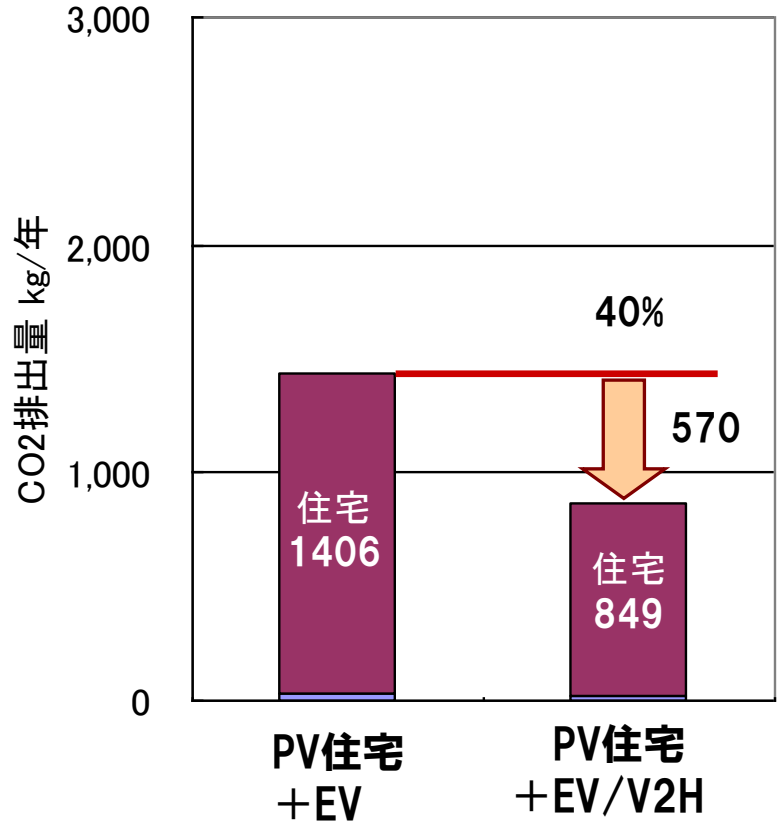
走行パターンの影響

- 走行距離や頻度など走行パターンによりCO₂削減効果が大きく異なる
- 走行距離の少ない走行パターンでPV利用率改善が大きくCO₂削減効果が大きい

C3：通勤走行
(380km/週)



C9：ほとんど乗らない
(13km/週)



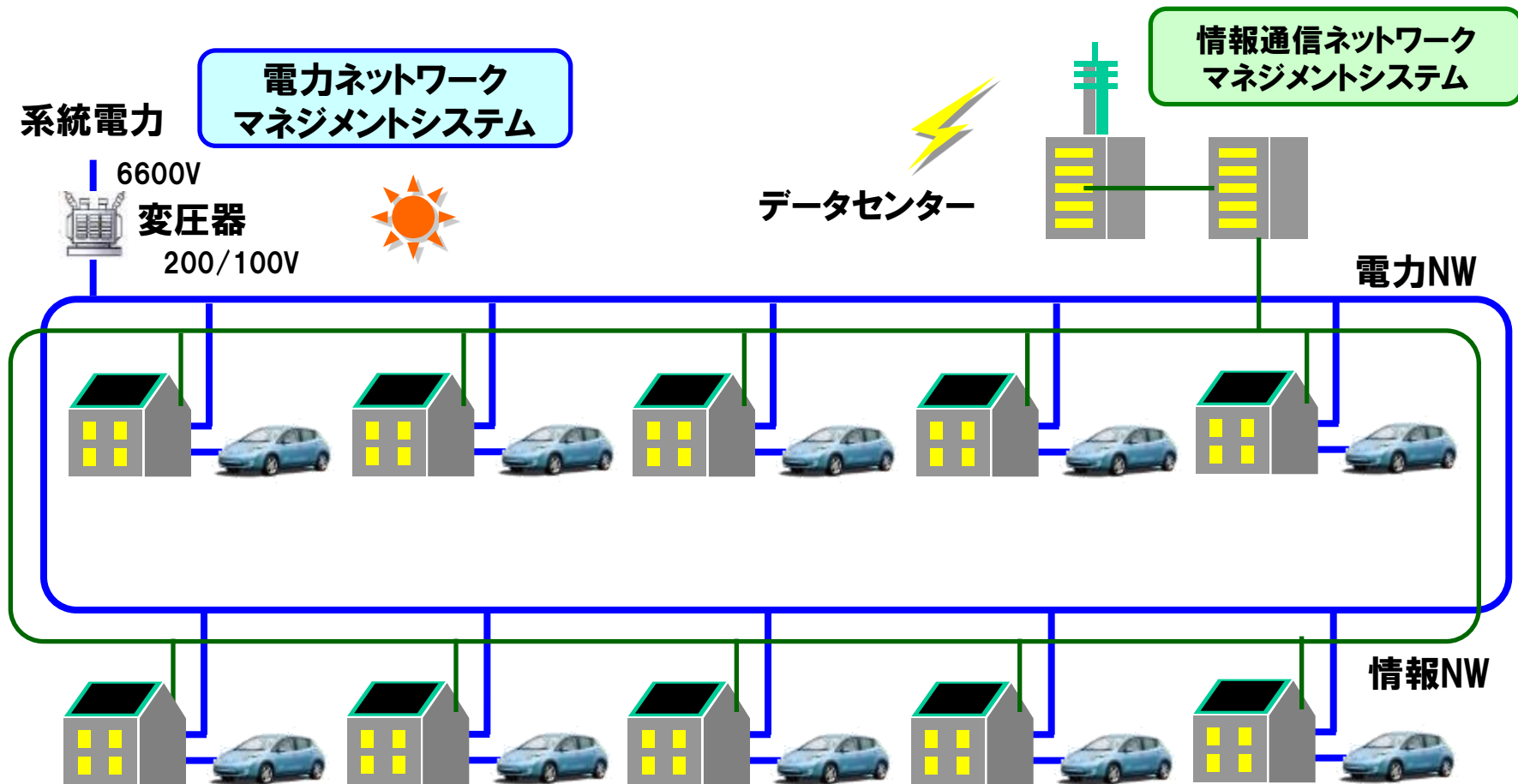
条件：クルマ8150km/年、住宅電力消費3.9MWh/年、PV3.4kW (日本の標準的な戸建住宅を想定)

Source: Toshio Hirota, Nissan Technical Review No. 69・70 (2012)

Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

EVバッテリーの活用：複数住宅の電力マネジメント

- 複数の住宅/EVを電力ネットワーク、情報通信ネットワークにより接続
- PV発電電力とバッテリー蓄電機能の融通する。走行距離が長く自車のPV電力が不足する人は、余剰電力のある人とエネルギーを融通できる



Source: Toshio Hirota, Nissan Technical Review No. 69・70 (2012)

Toshio Hirota, Environmental Research Institute, Waseda University, Japan

まとめ

(1) EVの市場導入の現状

- EVの市場への導入が急速に拡大しつつある
- 特定ユーザーから一般ユーザーが買えるクルマへ
- 普及拡大と競争によりバッテリーなどの技術が大きく進化

(2) PV搭載車の実現可能性

- 技術進化により、PV搭載EVは現実的なものとなりつつある
- PV、バッテリーなど技術のさらなる進化が期待される
- PV電力のみで殆どの走行を賄える充電フリー車の見通しあり

(3) クルマとコミュニティの連携

- EVバッテリーを電力系統の電力貯蔵に役立てることができる
- 再生可能エネルギーの有効活用、エネルギーマネジメント、災害時の非常用電源など、PV搭載EVの社会的な役割も重要