CREST EMS領域 公開シンポジウム



車両の電動化が拓く エネルギーマネジメントの新たな可能性

TOYOTA Prius PHV:

8.8kWh

NISSAN LEAF:

40kWh

Mitsubishi Outlander:

13.8kWh

平成30年9月18日

➤ TESLA Model

100kWh (or ₹5)

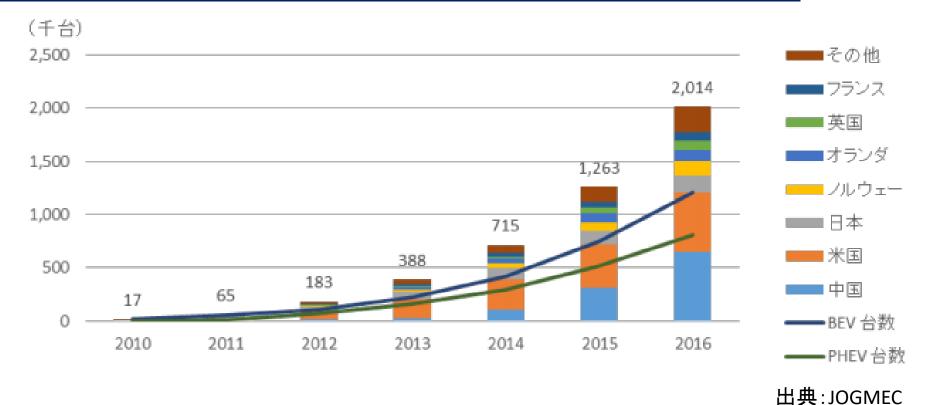
名古屋大学 鈴木達也

共同研究グループ

馬場G(東京大) 藤本G(東京大) 薄G(大阪府大) 太田G(東京都市大) 石井G(東京工大) 小野田G(青山学院大) ケンプトンG(デラウエア大)

電気自動車(BEV+PHV)保有台数





- 2016年時点での世界全体のEVの保有台数は約200万台 (乗用車・トラック・バスの普及台数は約12.6億台のため、全体の約0.16%に相当)
- 中国は保有台数が65万台で世界第一位。第二位は保有台数が56万台の米国、 日本は10万台。
- ノルウェーは人口が約500万人に対し、保有台数13万台で、新車販売の約4割がEV

電気自動車とEMS



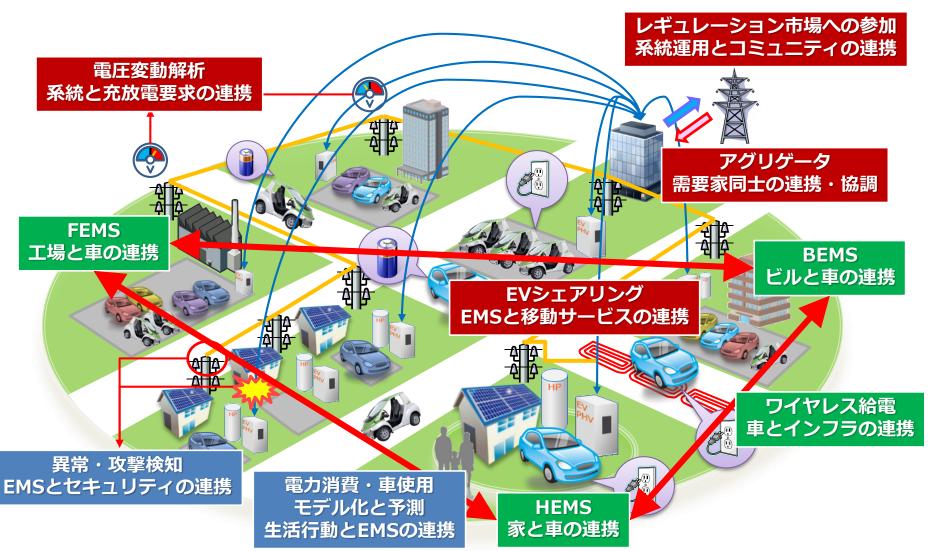


- 電動化された車はEMSの一プレーヤーと位置付ける。
- これまで別々に運用されてきた、車・家・職場・施設等を連携させることで新たな価値を生み出すことが重要。



電気自動車とEMS





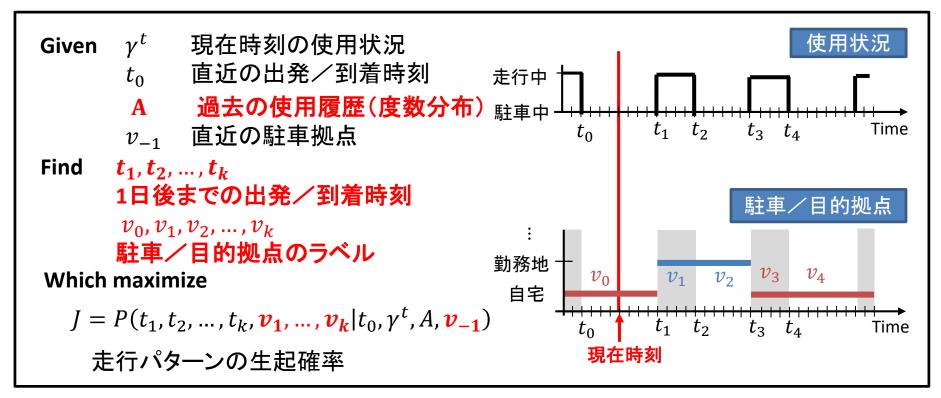


拠点間の移動を考慮した車の使用予測

拠点間の移動を考慮した 車の使用予測



単拠点における使用予測問題 [Yamaguchi et al. 2015] を拡張し、車の使用状況(駐車中/走行中)に加え移動先の拠点のラベルも予測する.



上の最適化問題の解を実時間に求めることは難しい

→ 使用状況をマルコフ過程によりモデル化し、動的計画法に基づき解を求める

拠点間の移動を考慮した <u>車の使用予測</u>

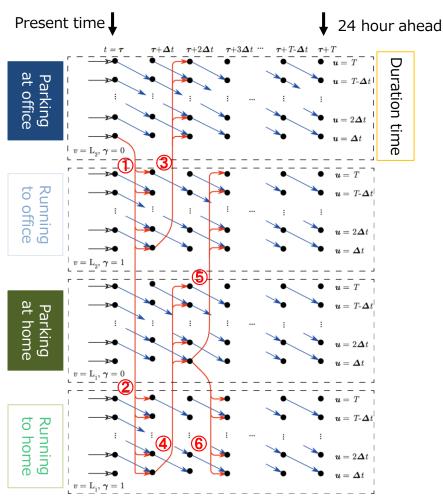


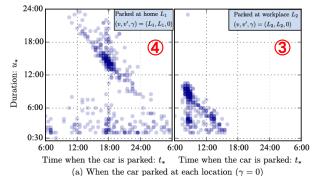
CREST-EMS
SUZUKI TEAM

● 車の使用状況を表 すマルコフモデル

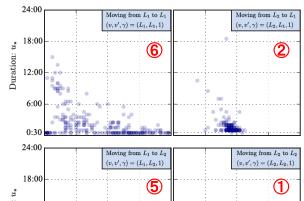


● 使用状況間の遷移における度数分布→マルコフモデルの状態遷移確率を計算

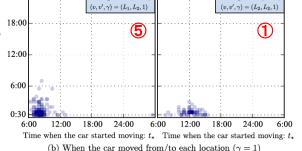




駐車時間



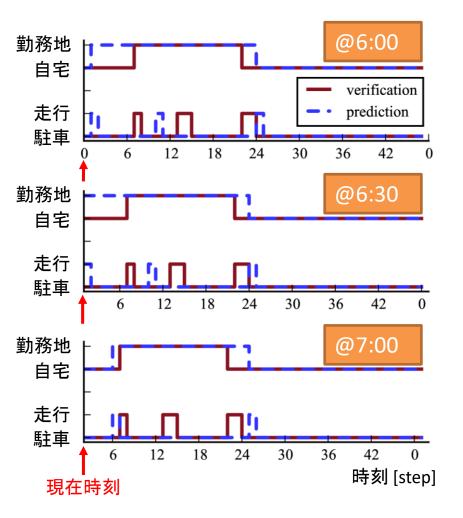
移動時間



拠点間の移動を考慮した 車の使用予測



● 走行パターン(予測と実際)の比較



● 被験者

車の使用者 : 中年層主婦主な使用目的 : 通勤・買い物

• 主な駐車拠点(GPSデータから抽出)

自宅

■勤務地

商業施設(スーパーマケット)

● 1ステップ当たりの計算時間

拠点数	1	2	3	5
計算時間(msec)	6.87	38.7	87.9	264.4

● 3ヶ月の予測結果からの正答率

	拠点1 自宅	拠点2 勤務地	拠点3 商業施設
駐車回数	1000	778	127
True Positive Rate P(予測が非接続 実際に非接続)	88.0%	97.1%	99.8%
Negative Predictive Value P(実際に接続 予測が接続)	92.7%	57.9%	9.28%



車載蓄電池とヒートポンプの相補的 利用によるHEMS

HPWHと車載蓄電池の協調利用



[Given] $k \in [t, t+T-1]$

 $\widetilde{W}^+(k|t)$ 消費電力, $\widetilde{W}^-(k|t)$ 発電電力, $\widetilde{\gamma}(k|t) \in \{0,1\}$ 車走行予測

 $f^+(t)$ 買電価格, $f^-(t)$ 売電価格, $\tilde{B}^{cons}(k|t)$ 車走行による電力消費

 $\tilde{T}_{air}(k)$ 気温予測値, $\tilde{T}_{water}(k)$ 水温予測値, $\tilde{Q}_{use}(k)$ 使用熱量予測値

[Find] $k \in [t, t+T-1]$

p(k|t) ; 車載蓄電池の充放電電力 [kW]

 $\alpha_{65}(k|t) \in \{0,1\}$; HPWHの運転指令(沸き上げ設定温度65°C)

 $\alpha_{90}(k|t) \in \{0,1\}$; HPWHの運転指令(沸き上げ設定温度90°C)

[Subject to]

- ・電力、車の使用に関する制約
- ・HPWHモデルに関する制約
- ・HPWHの運用に関する制約

[Objective Function]

minimize:

 $Z = \sum_{\tau=t}^{t+T-1} F(\tau)W(\tau|t) \Delta t + \omega_1 \sum_{\tau=t}^{t+T-1} (\alpha_{65}^{on}(\tau|t) + \alpha_{90}^{on}(\tau|t))$

24時間先までの電気代

ON/OFF切替回数

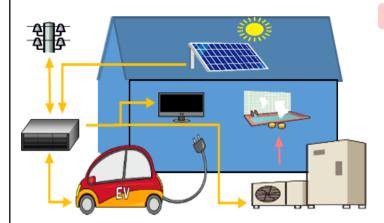
$$+\omega_2\sum_{\tau=t}^{t+T-1}|p(\tau|t)-p(\tau-1|t)|+\omega_3\sum_{\tau=t}^{t+T-1}S(\tau|t)\Delta t$$

充放電量を平滑化

余剰電力のペナルティ

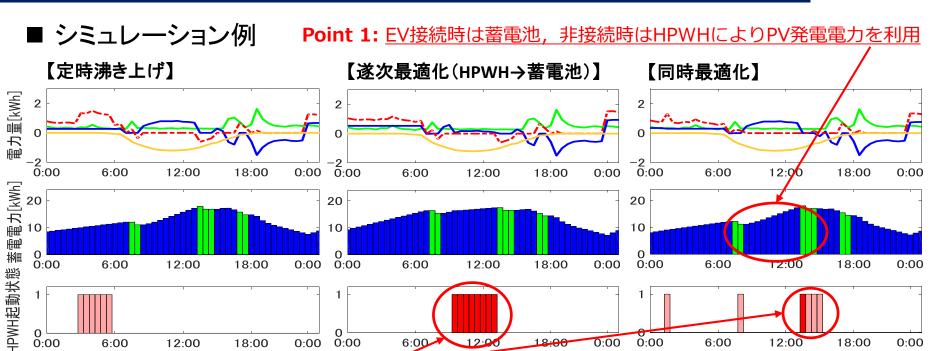
$$\boldsymbol{W}(\boldsymbol{k}|\boldsymbol{t}) = \widetilde{W}^{+}(k|t) + \widetilde{W}^{-}(k|t) + p(k|t) + P_{\mathrm{HP}}(k|t)$$

$$S(k|t) = \begin{cases} 0 & \text{if } W(k|t) \ge 0 \\ -W(k|t) & \text{if } otherwise \end{cases}$$



HPWHと車載蓄電池の協調利用





Point 2: 沸き上げ温度の切替によりPV発電電力を可能な限り熱エネルギーとして貯蔵

買物·送迎	従来手法	逐次最適化	同時最適化
余剰電力[kWh/週]	11.96	10.42	4.69
電気料金[JPY/週]	1857	1935	1814

- ・車使用やPV発電の時間帯に合わせたHPWHの運用を実現
- ・より自給自足的な運用 (Island HEMS)

0:00

6:00

- 蓄電池、HPWH以外の消費電力
- ·蓄電池の充放電電力
- --正味の消費電力
- 車駐車中 |車走行中
- HPWH起動状態(設定温度65℃)
 - HPWH起動状態(設定温度90℃)



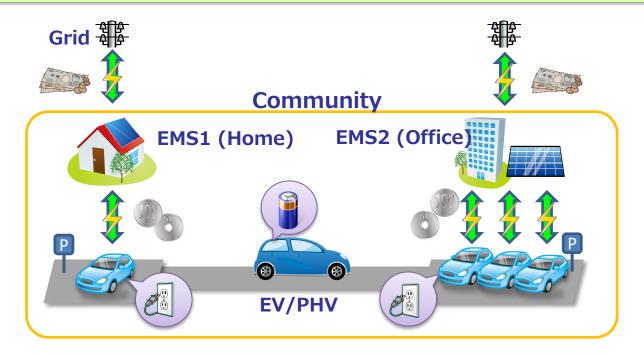
車の移動を考慮した複数拠点におけるEMSの協調的設計

複数拠点におけるEMSの協調



複数のEMS(駐車拠点)間を複数のEV/PHVが移動するコミュニティでの充放 電計画を協調的に設計したい

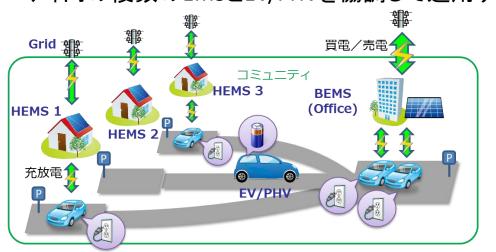
- EV/PHVのEMS間での排他性は? →複数拠点間の各車の使用予測 (
- ・ コミュニティの目標は? →系統との電力取引における電気代の最小化
- EV/PHV所有者の利益は? →EV/PHVとEMSを共にエージェント化
- 大規模化による計算爆発は? →双対分解に基づく分散最適化



協調EMSの分散最適化



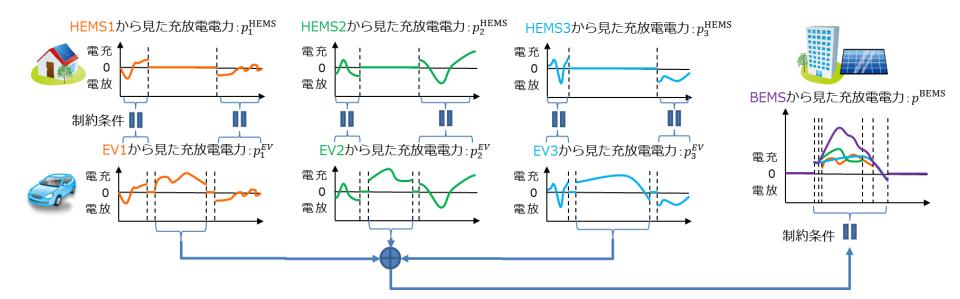
コミュニティ内の複数のEMSとEV/PHVを協調して運用する分散最適化手法を構築する.



EMS, EV/PHVが増えると 全体最適化では計算量増大



EMSとEV/PHVを独立なエージェント とみなし、相互に制約条件を課して 双対分解により分散並列的に解く



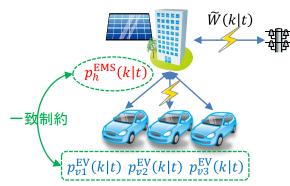
全体の最適化問題



※ $\mathcal{H} = \{h_1, h_2, ..., h_H\}$: EMS集合, $\mathcal{V} = \{v_1, v_2, ..., v_V\}$: EV/PHV集合

【Find】 $\{p_v^{\text{EV}}(k|t)\}_{k=1,\dots,T}$:車vの充放電電力[kW]

 $\left\{ oldsymbol{p_h^{EMS}(k|t)} \right\}_{k=1}$: 拠点hの合計充放電電力[kW]



[Which minimize] $Z^{\text{COM}}(t) = \sum_{v \in \mathcal{V}} Z_v^{EV}(t) + \sum_{h \in \mathcal{H}} Z_h^{\text{EMS}}(t)$

$$Z_{v}^{EV}(t) = \frac{\alpha}{2} \sum_{k=1}^{T} \{ p_{v}^{EV}(k|t) - p_{v}^{EV}(k-1|t) \}^{2}$$
 : 電池の劣化に対するペナルティ

$$Z_{h}^{EMS}(t) = \sum_{k=1}^{T} F_{h}(k) \widetilde{W}(k|t) \Delta t + \frac{\alpha}{2} \sum_{k=1}^{T} \{ p_{h}^{EMS}(k|t) - p_{h}^{EMS}(k-1|t) \}^{2}$$

$$Z_{h}^{EMS}(t) = \sum_{k=1}^{T} F_{h}(k) \widetilde{W}(k|t) \Delta t + \frac{\alpha}{2} \sum_{k=1}^{T} \left\{ p_{h}^{EMS}(k|t) - p_{h}^{EMS}(k-1|t) \right\}^{2}$$

: 電気代と電池の劣化に対するペナルティ

$$\widetilde{W}(k|t) = \underline{W_h^+(k|t)} - \underline{W_h^-(k|t)} + \underline{\eta_h^{ACDC}} p_h^{EMS}(k|t) + \underline{P_h^{standby}}$$
 : 系統から購入する正味の電力家庭内の消費電力 発電電力 ACDC効率 充放電器の待機電力

(Subject to)

- $p_h^{\text{EMS}}(k|t) = \sum_{v \in \mathcal{V}} \{1 \widetilde{\gamma}_{h,v}(k|t)\} p_v^{EV}(k|t)$: EMSとそこに駐車するEV/PHVの充放電量の一致 $(\widetilde{\gamma}_{h,v}(k|t)$:拠点hに車vが駐車しているときに0,そうでないときは1)
- 車載蓄電池の排他性制約
- 車載蓄電池に関する制約(蓄電量制限,蓄電池残量のダイナミクス,充放電制限)
- 各EMSの電力契約に関する制約(逆潮流制約,瞬間最大電力,積算最大電力)

双対分解による分散最適化



• ラグランジュ関数

$$L_0\left(\boldsymbol{p}_{h}^{\text{EMS}}(\boldsymbol{k}|\boldsymbol{t}),\boldsymbol{p}_{v}^{\text{EV}}(\boldsymbol{k}|\boldsymbol{t}),\boldsymbol{\lambda}\right) = \sum_{\boldsymbol{h}\in\mathcal{H}} Z_{h}^{\text{EMS}}(\boldsymbol{t}) + \sum_{\boldsymbol{v}\in\mathcal{V}} Z_{v}^{\text{EV}}(\boldsymbol{t}) + \sum_{\boldsymbol{k}=\boldsymbol{t}}^{T} \sum_{\boldsymbol{h}\in\mathcal{H}} \lambda_{\boldsymbol{h}}(\boldsymbol{k}|\boldsymbol{t}) \left\{\boldsymbol{p}_{h}^{\text{EMS}}(\boldsymbol{k}|\boldsymbol{t}) - \sum_{\boldsymbol{v}\in\mathcal{V}} \left\{1 - \widetilde{\gamma}_{h,v}(\boldsymbol{k}|\boldsymbol{t})\right\} \boldsymbol{p}_{v}^{\text{EV}}(\boldsymbol{k}|\boldsymbol{t})\right\}$$

• 双対定理(凸最適化問題)

主問題

双対問題

$$\min_{p_h^{\text{EMS}}, p_v^{\text{EV}}} \max_{\lambda_h} L_0 = \max_{\lambda_h} \min_{\substack{p_h^{\text{EMS}}, p_v^{\text{EV}}}} L_0$$

双対分解

• 各EMS $(h \in \mathcal{H})$ の計画

$$\min_{p_h^{\text{EMS}}(k|t)} Z_h^{\text{EMS}}(t) + \sum_{k=t+1} \lambda_h(k|t) p_h^{\text{EMS}}(k|t)$$

Subject to

= EMSから車に支払われる電気代

EMSに関する制約

● 各EV (v ∈ V)の計画

$$\min_{p_v^{\text{EV}}(k|t)} Z_v^{\text{EV}}(t) - \sum_{\underline{h} \in \mathcal{H}} \sum_{k=t+1} \lambda_h(k|t) (1 - \tilde{\gamma}_{h,v}(k|t)) p_v^{\text{EV}}(k|t)$$
= 車からEMSに支払われる電気代

Subject to

EVに関する制約

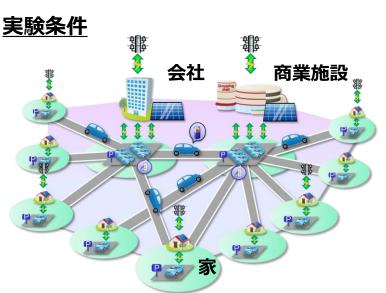
● ラグランジュ乗数の更新

$$\lambda_h\left(k|t\right) \leftarrow \lambda_h\left(k|t\right) + \varepsilon \left\{p_h^{\text{EMS}}(k|t) - \sum_{v \in \mathcal{V}} \left(1 - \widetilde{\gamma}_{h,v}(k|t)\right) p_v^{EV}(k|t)\right\}$$

EMSとEVとの間の充放電計画の不一致

シミュレーション例



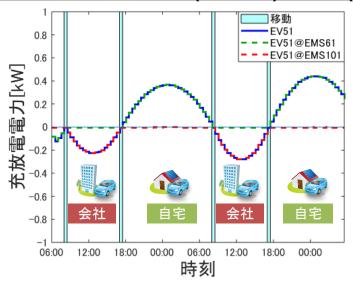


- ・EV/PHV 100台, EMS 102拠点 (家×100, 商業施設×1, 会社×1)
- ・豊田市実証データを利用
- ・計画期間T:24時間
- ・30分毎に最適化を繰返す(モデル予測型)
- ・発電電力,消費電力,車使用は既知
- ・出発前に70%充電(蓄電池容量:40kWh)
- ・ $\alpha = 0.068$ 円/kW² (電池耐用年数から算出)

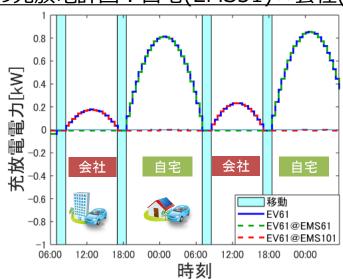
Table1:電気料金

買電(円/kwh)	34.56
売電(円/kwh)	25.43

EV51の充放電計画: 自宅(EMS51)⇔会社(EMS101)



EV61の充放電計画: 自宅(EMS51)⇔会社(EMS101)



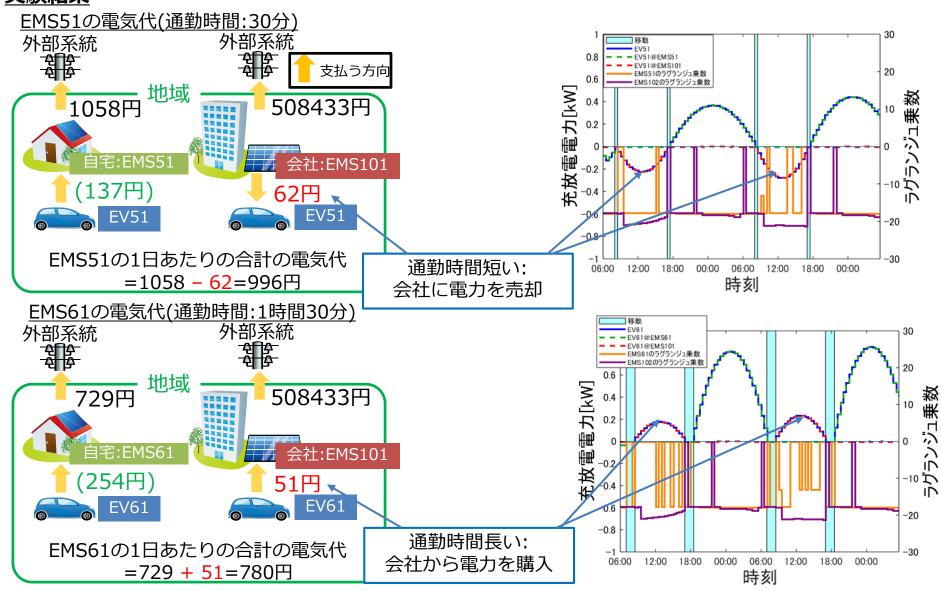
シミュレーション例



EMS

CREST-EMS SUZUKI TEAM

実験結果





レギュレーション市場参加のための V2Hアグリゲーション

レギュレーション市場への参加



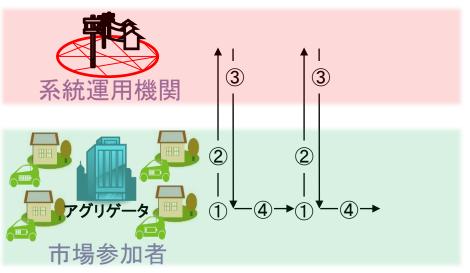
デラウェア大との

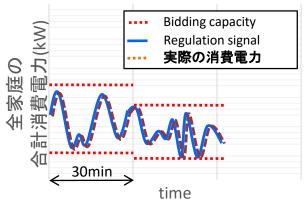
共同研究

- □ HEMS群
- ▶ EV1台, PV発電装置, HEMSを搭載した200軒の家庭を想定
- HEMS群の統括者として市場とやり取りするアグリゲータを想定

□レギュレーション市場の流れ

- ① 各家庭で,消費電力を変動させる許容幅を計算(最適化 I)
- ② アグリゲータが全家庭分の許容幅を 合計し、系統運用機関に提出 (Bidding capacity)
- ③ 提出された幅を元に、系統運用機関がRegulation signalをアグリゲータに送信
- ④ アグリゲータはRegulation signalを全家庭に分配(最適化Ⅱ)





デラウェア大学におけるV2Gプロジェクト





(上): デラウェア大学におけるV2G実証実験の様子

- 100台以上の電気自動車を用いたV2Gの実証実験
- V2Gに対応する充電ステーションの開発
- 系統連系に関する州の法律の改正への働きかけ

アグリゲーションサーバでの充放電の監視

Car Name	EVSE Name	Power Capacity Up (kW)	Power Capacity Down (kW)	Power Requested (kW)	Power Provided (kW)	Energy Charge (kWh)	Energy Empty (kWh)	Miles	Preferred Operating Point (kW)	Power Flow (kW)	Volts (V)	Amps (A)	Status
MINIE-187	UD-STAR-11	12.35	12.35	1.16	0.74	20.65	14.35		0.00	0.74	247	3	GI:V2G
MiniE-082	UD-STAR-15	12.40	12.40	1.17	0.74	19.25	15.75		0.00	0.74	248	3	GI:V2G
UD-170	UD-STAR-05	15.61	15.61	1.47	1.44	21.70	13.30	0	2.31	3.75	239	15.7	GI:V2G
UD-210	UD-STAR-01	N/A	N/A	N/A	N/A	27.65	7.35	0	N/A	1.68	244	6.9	NC:
MiniE-073	UD-STAR-03	N/A	N/A	N/A	N/A	11.20	23.80		N/A	-0.49	244	-2	NC:
UD-296		N/A	N/A	N/A	N/A	0.00	0.00	0	N/A	0.00	0	0	NC:
MINIE-13	UD-STAR-09	12.30	12.30	1.16	0.74	22.05	12.95		0.00	0.74	246	3	GI:V2G
MINIE-89	UD-STAR-08	N/A	N/A	N/A	N/A	22.05	12.95		N/A	0.25	247	1	NC:

ISO	Up (kW)	Down (kW)	Requested (kW)	Provided (kW)	Charge (kWh)	Empty (kWh)	Number of Cars	Average RTT (s)	Error (%)
Not in ISO Market	30.71	30.71	-2.88	-3.82	30.29	74.71	3	0.338	3.07
JM	118.85	118.85	0.00	-4.00	182.70	167.30	11	0.000	3.37
	ISO Rea	l-Time Res	ponse			Vehicle	Real-Time l	Response	
	Select an IS	О: (РЈМ	*)			Selec	t a vehicle: UD-170) (\$)	
₽↑		T ALL			₽Î				
Power (kW)					ğ				
\$					(kw)				
				1 1 1					
	~			1 1 1					
	المركير المراجع		7	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					
	//			Time					Tir

Coalition Status



デラウエア大学発ベンチャー Nuvve



Nuvve Corporation

世界初でV2Gの商業運転を行う 米国のベンチャー企業

- ・ 世界初のV2Gの商用化に成功
- 5大陸における複数の電力市場に 参加
- 複数のISOから承認済み
- 複数の国においてAC/DC充電器

の系統連系に成功

Nuvveのビジネス対象

- EVフリート(複数台の EVのアグリゲーション)
- 家庭
- スクールバス 等











許容幅(容量)の計算



通常のHEMSをベースにした2種類の最適化問題を各家庭で解く

【決定変数】 $P_h^{up}(\mathbf{0}|t)$: 家庭hの蓄電池の充放電の上限値

【目的関数】

minimize
$$Z = \sum_{k=0}^{T-1} F(k)\widetilde{W}(k|t)\delta t + \alpha \sum_{k=0}^{T-2} |P(k|t) - P(k+1|t)| - \beta \sum_{k=1}^{T-1} B_h^{up}(k|t)$$

電気料金

平滑化項

蓄電池残量<mark>増加</mark>に対する利得項

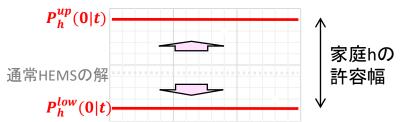
【決定変数】 $P_h^{low}(\mathbf{0}|t)$: 家庭hの蓄電池の充放電の<u>下限値</u>

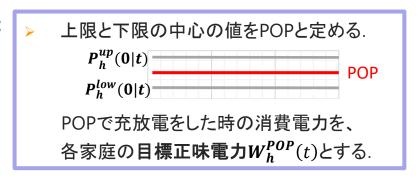
【目的関数】

minimize
$$Z = \sum_{k=0}^{T-1} F(k)\widetilde{W}(k|t)\delta t + \alpha \sum_{k=0}^{T-2} |P(k|t) - P(k+1|t)| + \beta \sum_{k=1}^{T-1} B_h^{low}(k|t)$$

蓄電池残量減少に対する利得項

追加した項により,通常HEMSの解を上下にスライド可能





レギュレーション信号への追従



信号に追従するために、1秒ごとに需給均衡制御を行う.

地域全体の最適化問題

【目的関数】

minimize

$$\sum_{h \in H'} \left(w_h(t_1; t) - W_h^{POP}(t) \right)^2$$

 $W_h(t_1;t): 家庭hの実際の正味電力$

 $W_h^{POP}(t)$:家庭hの目標正味電力

【決定変数】

家庭1,…,H'の,

蓄電池の充放電電力

【制約条件】

$$p_1(t_1;t), \dots, p_{H'}(t_1;t)$$
 $P_h^{low}(0|t) \le p_h(t_1) \le P_h^{up}(0|t),$

$$\sum_{\mathbf{h}\in \mathbf{H}'} w_{\mathbf{h}}(t_1;t) = p^{reg}(t_1;t) -$$

etc.

各家庭のコストを最小化

家庭h∈ {1, ..., H'}の最適化問題

【目的関数】

minimize $(w_h(t_1) - W_h^{POP}(t))^2 + \lambda(t_1; t) p_h(t_1; t)$

【決定変数】

 $p_h(t_1;t)$

【制約条件】

 $P_h^{low}(0|t) \le p_h(t_1) \le P_h^{up}(0|t),$ etc.

信号追従を表す制約

 $\lambda(t_1;t)$: ラグランジュ乗数

$$\lambda(t_1+1;t) = \lambda(t_1;t) + \varepsilon\{\sum_{h \in H'} w_h(t_1;t) - p^{reg}(t_1;t)\}$$

Real-time Pricing Leading to Optimal Operation under Distributed Decision Makings [Hirata et al. 2014]

双対分解を用いて、地域全体の最適化問題を各家庭ごとの最適化問題に分解

シミュレーション結果



200軒の家庭に対し、1週間のシミュレーションを行った.

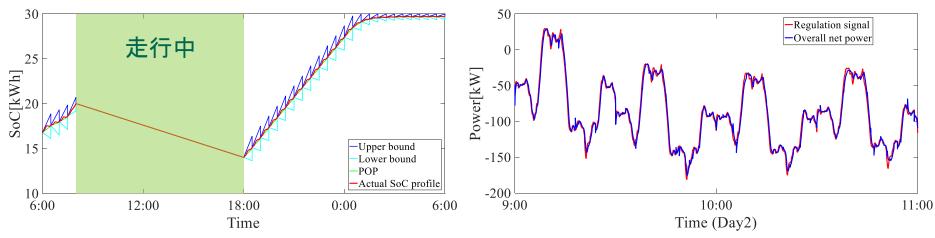


Fig.1 ある家庭1軒のEVの蓄電池残量の推移

Fig.2 地域全体の信号に対する追従性

	提案手法	通常HEMS (レギュレーション市場参加無し)
平均追従誤差率[%]	95.18	-
一週間の電気料金[JPY/house]	3268	3059
一週間に得られる報酬[JPY/house]	※ 486	-

※15[\$/MW-h]で試算; インターテックリサーチ レポートNo.28 2013.8 「PJM市場における DR プログラム」 より



EVシェアリングにおける車両割り当 てと充放電の同時最適化

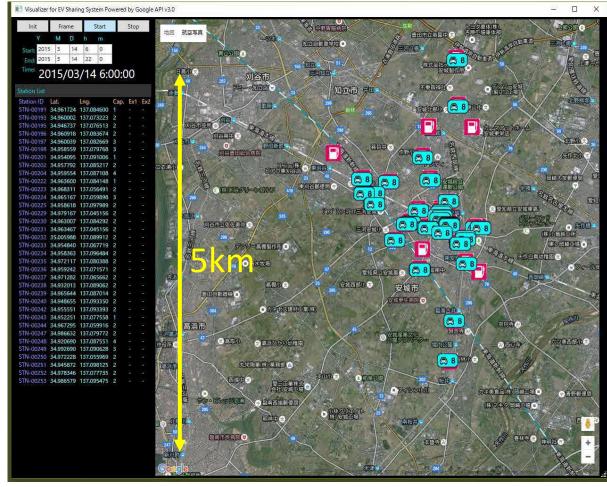
安城市でのEVシェアリング



(20stations, 30cars; 1day Behavior of EV and SOC)







EVシェアリングの同時最適化



■ワンウェイ型カーシェアリングを対象とした車両運用システムの全体最適化

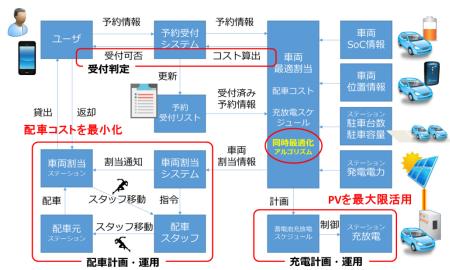
以下を満たすように**車両割当**と**充放電計画**,**再配車計画**を同時に最適化する.

- ・ 運営スタッフによる車両の再配車(予約への対応に必要な車両の移動)を極力減らす.
- ・ 太陽光発電電力をできる限り車両の蓄電池に充電する(系統への売却は不可とする).
- 電力料金(外部の電力系統から購入する電力)を抑える.

$$E = \sum_{\tau=t'}^{T} f_m(\tau) \left(\sum_{j=1}^{V} x_{S+1,j}(\tau) - \sum_{k=1}^{R(t)} y_{S+1,k}(\tau) \right) + \sum_{\tau=t'}^{T} \left(f_w(\tau) \sum_{i=1}^{S} w_i(\tau \mid t) \Delta t \right) + \sum_{\tau=t'}^{T} \left(f_l(\tau) \sum_{i=1}^{S} l_i(\tau \mid t) \Delta t \right)$$
再配車コスト PV発電電力の抑制による損失 購入電力料金

■対象とするシステムの仕様

- ・<u>ワンウェイトリップ型</u>
- ・超小型EV(トヨタ車体, COMS)
- ・太陽光発電電力によるEV走行電力の供給
- ・事前の利用予約が可能
 - 「予約情報」・利用開始予定時刻
 - ·利用終了予定時刻
 - ・貸出ステーション
 - ・返却ステーション, etc.



EVシェアリングの同時最適化



■最適化問題としての定式化

最適化対象の時刻: $\tau \in \{t',...,T\}$, t'= $\begin{cases} t^s (t < t^s) & (\forall - \forall Z, \exists t') \\ t+1(t \geq t^s) & (\forall - \forall Z, \exists t', \exists t') \end{cases}$

Given:

 $x_{i,j}(t)$: 車両の初期配置 S:ステーション数

V:車両台数 $f_m(\tau)$: 再配車のコスト

T:時刻ステップ数 $f_{w}(\tau)$: PV発電コスト

 $f_{\iota}(\tau)$:電力料金 R(t): 時刻tにおける予約件数

 $\{\hat{r}_p(t)\}_{p\in\{1,...,R(t)\}}$:予約情報

・利用終了時刻 ・返却ステーション

・走行時の消費電力量 $\hat{e}_{\iota}(\tau|t)$

 $\{y_{i,k}(t)\}_{i\in\{1,\dots,S+1\},k\in\{1,\dots,R(t)\}}$: 予約を満たす車両の位置情報

 $\{\hat{g}_i(\tau|t)\}_{i\in\{1,\ldots,S\}}$: PV発電電力(予測値)

※各ステーションにPV発電設備を設置

Slack Variables:

 $l_i(\tau|t)$: 購入電力

 $W_i(\tau | t)$: PV発電抑制電力

Find:

 $\{a_{j,k}(t)\}_{j\in\{1,\dots,V\},k\in\{1,\dots,R\}}$: 各予約に対する車両の割当

 $\{p_{i,j}^{\text{Charge}}(\tau \,|\, t)\}_{j\in\{1,...,V\},\tau\in\{t,...,T\}}$: 各時刻における各車両の充放電計画

 $\{x_{i,j}(\tau|t)\}_{i\in\{1,\dots S\},j\in\{1,\dots,V\},\tau\in\{t,\dots,T\}}$: 各時刻における各車両の位置情報

Subject to:

 $x_{i,j}(\tau|t) \ge a_{j,k}(t) y_{i,k}(t)$: 各予約に割り当てられた場合の

車両の満たすべき位置制約

t^s:サービス開始時刻

 $\sum_{i=1}^{n}a_{j,k}=1$: 各予約に対する車両割当の唯一性

 $\sum_{i=1}^{\infty} x_{i,j}(\tau|t) = 1$: 各車両の各時刻に対する車両位置の唯一性

 $l_i(\tau|t) + g_i(\tau|t) - w_i(\tau|t) - \sum_{i=1}^{v} p_{i,j}(\tau|t) = 0$:電力需給制約

 $b_{j}(\tau \mid t) - b_{j}(\tau - 1 \mid t) = \sum_{i=1}^{n} p_{i,j}(\tau \mid t) \Delta t - \hat{e}_{k}(\tau \mid t) x_{S+1,j}(\tau \mid t)$:車両のSoC

その他の制約: 各ステーションの各時刻の駐車台数, etc.

Which Minimize: システムの1日の運用コストを最小化

$$E = \sum_{\tau=t'}^{T} f_m(\tau) \left(\sum_{j=1}^{V} x_{S+1,j}(\tau) - \sum_{k=1}^{R(t)} y_{S+1,k}(\tau) \right)$$

再配車コスト

$$E = \sum_{\tau=t'}^{T} f_m(\tau) \left(\sum_{j=1}^{V} x_{S+1,j}(\tau) - \sum_{k=1}^{R(t)} y_{S+1,k}(\tau) \right) + \sum_{\tau=t'}^{T} \left(f_w(\tau) \sum_{i=1}^{S} w_i(\tau \mid t) \Delta t \right) + \sum_{\tau=t'}^{T} \left(f_l(\tau) \sum_{i=1}^{S} l_i(\tau \mid t) \Delta t \right)$$

PV発電電力の抑制による損失

購入電力料金

EVシェアリングの計算機実験結果



PV発電電力を可能な限り車載蓄電池に充電するように同時最適化を行った.

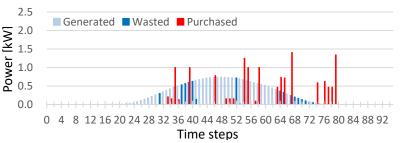
配車時間	なし	9:00-12:30 & 16:00-18:00	全時刻
配車回数	0	51	58
受け付けた予約数	68	95	100
受け付けられなかった予約数	32	5	0
無駄になったPV発電電力量[kWh]	2.87	2.45	1.31
購入した電力量[kWh]	2.86	4.00	3.48

- Number of Station: 35
- ✓ Number of Vehicles: 30
- Number of reservation: 100
- ✓ Service time: 8:00 to 20:00 (12 hours)
- ✓ Battery capacity: 5.2kWh, initial: 2.6kWh
- ✓ PV car-port is equipped only at Sta.1
- ✓ Generation capacity (PV): 1kW
- ✓ Total electricity generated by PV: 5.64kWh
- ✓ Cost coefficient $f_I(t)$: 11.0 JPY/kWh
- ✓ Cost coefficient: 24.3 円/kWh

120秒以内で 計算可能 配車なし



すべての時間で配車可能として最適化



予約割当,配車計画,充電計画を同時に最適化することにより,太陽光発電電力を車載蓄電池により無駄なく充電できることを確認



EVシェアリングによる配電系統における電圧変動の解析(薄)

EVシェアリングの電圧変動解析





配電電圧「分布」のODEモデル

$$rac{d heta}{d\ell} = rac{s}{v^2}, \quad rac{dv}{d\ell} = w,$$
 $rac{ds}{d\ell} = -rac{p(\ell,t)b - q(\ell,t)g}{g^2 + b^2}$ $rac{dw}{d\ell} = rac{s^2}{v^3} - rac{p(\ell,t)g + q(\ell,t)b}{v(g^2 + b^2)}$ 変電所を基準とする

Ref.) DistFlow

 $\ell \in \Sigma$ 配雷NW



組み込み (同化)

需給密度(有効分)

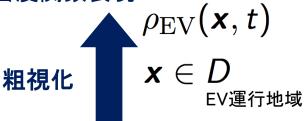
$$p(\ell,t) = p_{
m L}(\ell,t) + p_{
m G}(\ell,t) + p_{
m EV}(\ell,t,
ho_{
m EV})$$
消費密度 発電密度 充放電密度

(太陽光)

充放電密度

$$p_{\mathrm{EV}}(\ell, t, \rho_{\mathrm{EV}}) = \int_{D} \rho_{\mathrm{EV}}(\boldsymbol{\xi}, t) \times P \times \phi_{\mathrm{chargin.point}}(\boldsymbol{\xi}, \ell) d\boldsymbol{\xi}$$

EV運行(時空間「分布」)の 密度関数表現



実測・予測データ

[検討課題]

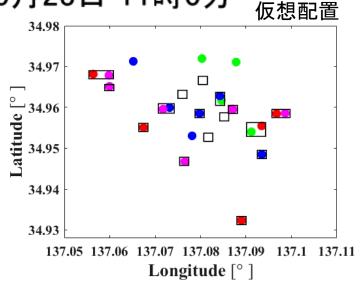
- EVシェアリングの実測データを組み込んだ 配電電圧の変動シミュレーション
 - ▶ き~モビの車両運行実測データを使用
 - > 各EVの電池容量を10倍程度に拡張

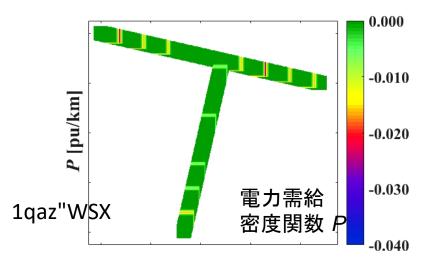
配電電圧変動解析例

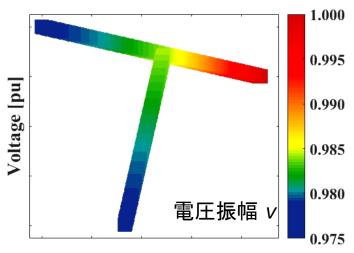


10月23日 11時0分









- 非線形ODEモデルを採用
 - EV群の配電への時空間インパクトを評価可能
- 変動解析
 - IEEE ITSC'17(発表予定)
- 変動制御
 - IEEE CCTA'17(発表済)

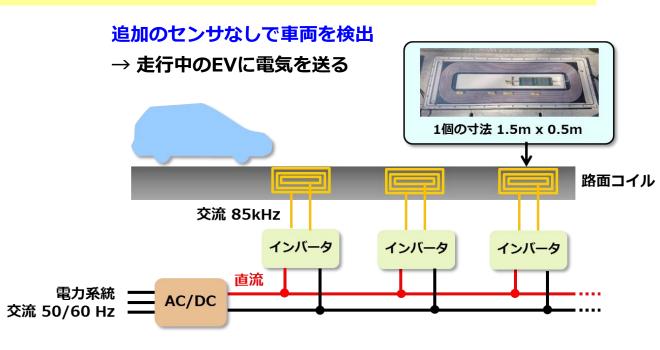


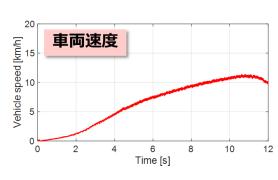
走行中の車内エネルギーマネジメントとワイヤレス給電(藤本)

走行中ワイヤレス給電実験



世界初 路面からインホイールモータへの走行中ワイヤレス給電





Secience Time [s]

本研究における成果

- ロ 走行中のEVにワイヤレスでの給電を実現
- ロ 走行中給電を含むエネルギーマネジメントを実現
- ロ 走行中給電によるエネルギー利用(充放電)が可能

EVシェアリングにおける走行中給電の導入効果



EVシェアリングにワイヤレス給電が導入された場合の効果検討

10分走行時 _{0.} 消費電量

0.144kWh



0.024kWh

※回生エネルギーは未考慮

8kWで効率0.9、2回の 30秒充電を想定 EVステーション での充電量を 大幅に削減.

EVシェアリング実証(安城市) 例えば○の交差点で走行中給電を想定する



実際の走行を考慮した車内エネルギーマネジメントに基づくEVシェアリングサービスを構築

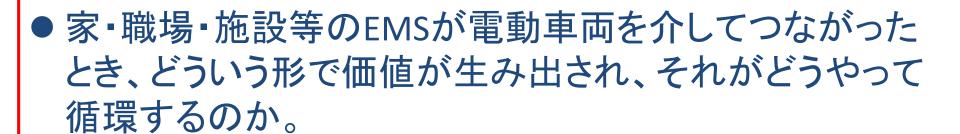
まとめと課題



アンシラリーサービス 系統運用とコミュニティの連携

電圧変動解析

ながし大地雨亜光の末梢



● 人間の行動様式が原点にある

EMS × Mobility = Smart Community

モデル化と予測 生活行動とEMSの連携

