

CREST EMS領域 鈴木チーム



Confidential

エネルギー消費行動の観測と分散蓄電池群の 協調的利用に基づく車・家庭・地域調和型 エネルギー管理システム

平成30年2月15日

研究代表者： 名古屋大学 鈴木達也

研究グループ

鈴木G(名古屋大) 馬場G(東京大)
藤本G(東京大) 薄G(大阪府大)
石井G(東京工大) 小野田G(青山学院大)
太田G(東京都市大)

研究課題一覧

データ観測・予測・診断

ローカル最適化

アンシラリー・EVシェアリング等

番号	課題名
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)
2-d	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)
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木) H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木) H29開始

研究課題一覽

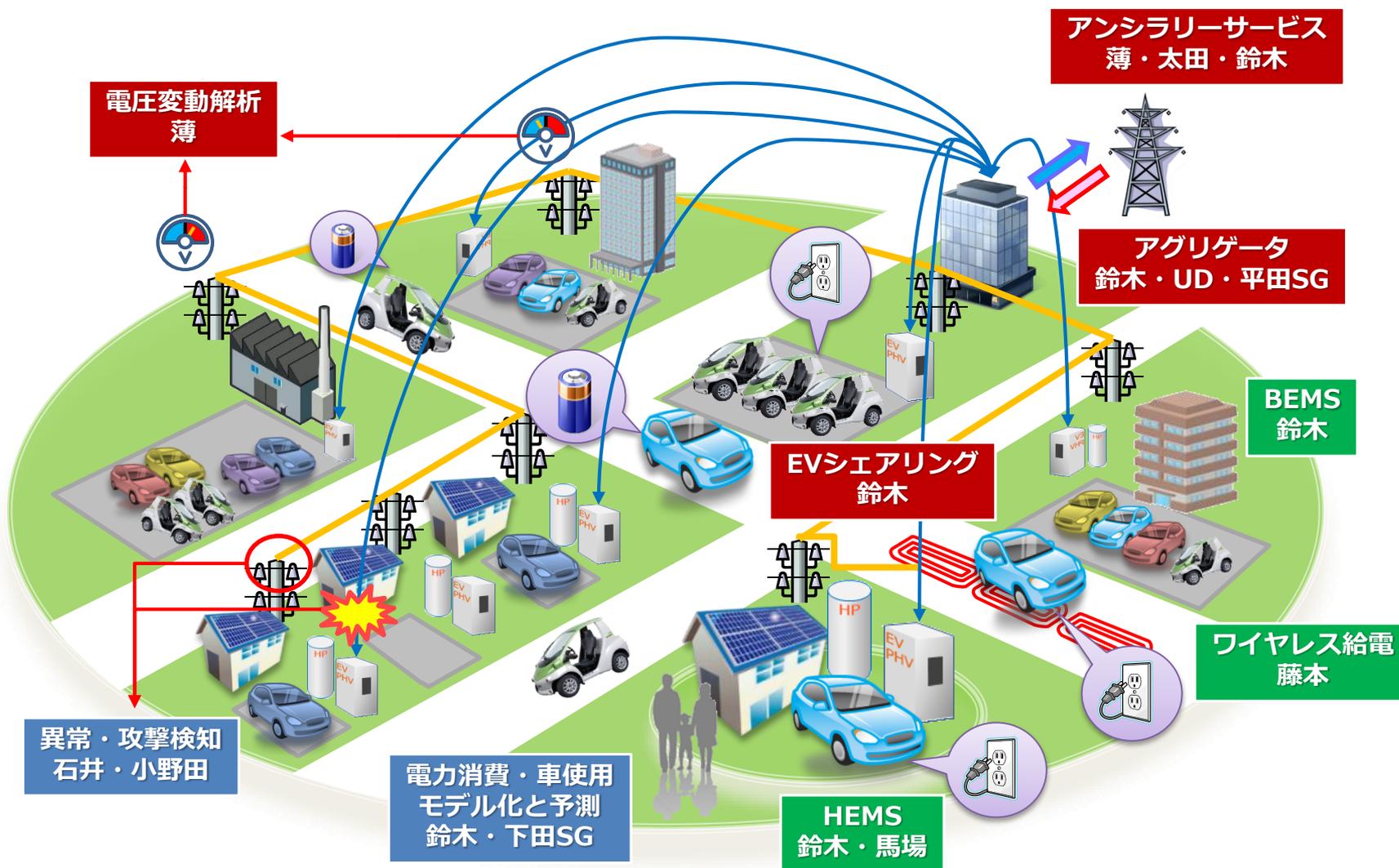
データ観測・予測・診断

ローカル最適化

アンシラリー・EVシェアリング等

番号	課題名
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)
2-d	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)
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木) H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木) H29開始

鈴木チーム全体像





EMS
ENERGY
Management
SYSTEM



データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

HPWHと車載蓄電池の相補的利用 (鈴木G・馬場G)

HPWHと車載蓄電池の協調利用

【Given】 $k \in [t, t+T-1]$

$\tilde{W}^+(k|t)$ 消費電力, $\tilde{W}^-(k|t)$ 発電電力, $\tilde{y}(k|t) \in \{0, 1\}$ 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

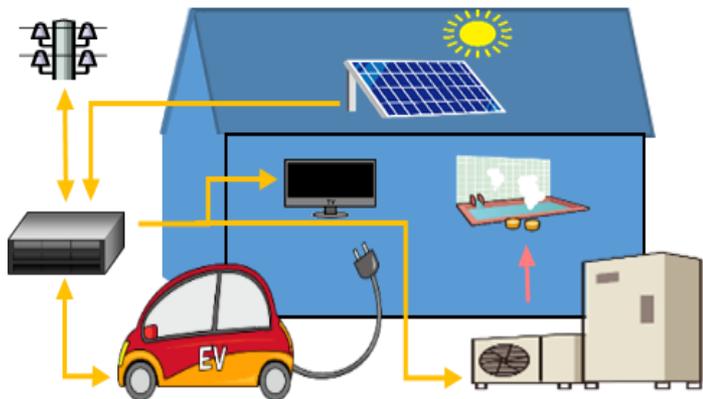
$$+ \omega_2 \sum_{\tau=t}^{t+T-1} |p(\tau|t) - p(\tau-1|t)| + \omega_3 \sum_{\tau=t}^{t+T-1} S(\tau|t) \Delta t$$

充放電量を平滑化

余剰電力のペナルティ

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

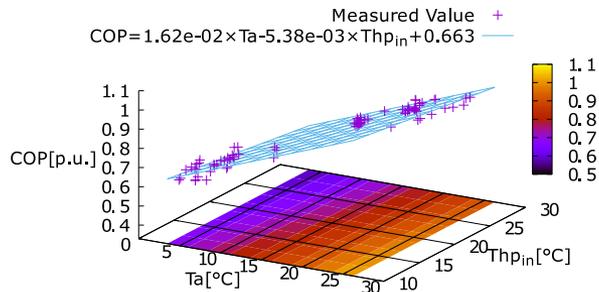
$$S(k|t) = \begin{cases} 0 & \text{if } W(k|t) \geq 0 \\ -W(k|t) & \text{if otherwise} \end{cases}$$



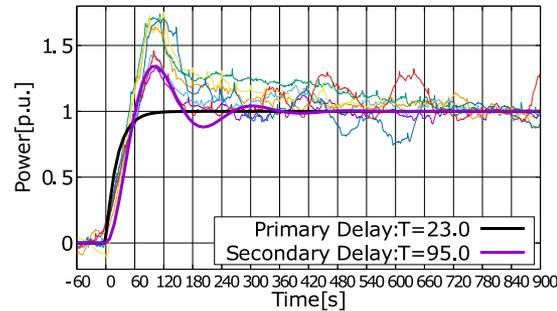
HPWHと給湯需要のモデル化

家庭用HPWH(Heat Pump Water Heater)のモデル化

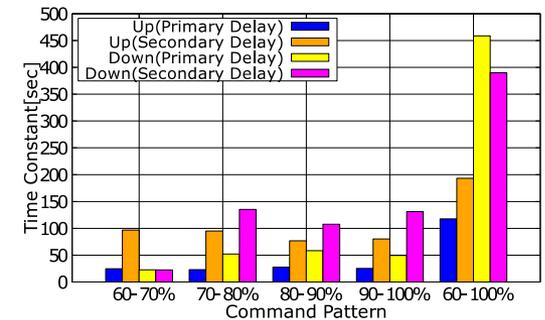
COP特性例



ステップ応答特性例



ステップ中央値・幅変化時の
応答特性例



給湯需要のモデル化 (k-means法によるクラスタリング)

	D_1^R	D_2^R	D_3^R	$\bar{\sigma}$	S	W	データ数
クラスタ0	0.132	0.065	0.800	1.000	0.766	0.439	68
クラスタ1	0.122	0.053	0.824	1.391	1.466	0.782	22
クラスタ2	0.124	0.039	0.837	1.937	0.694	0.781	25
クラスタ3	0.033	0.008	0.958	3.724	1.427	1.057	7

D_i^R : 時間帯の規格化平均需要

$\bar{\sigma}$: 規格化標準偏差の平均

S : 季節差

W : 平日と週末の差

HPWHと車載蓄電池の協調利用

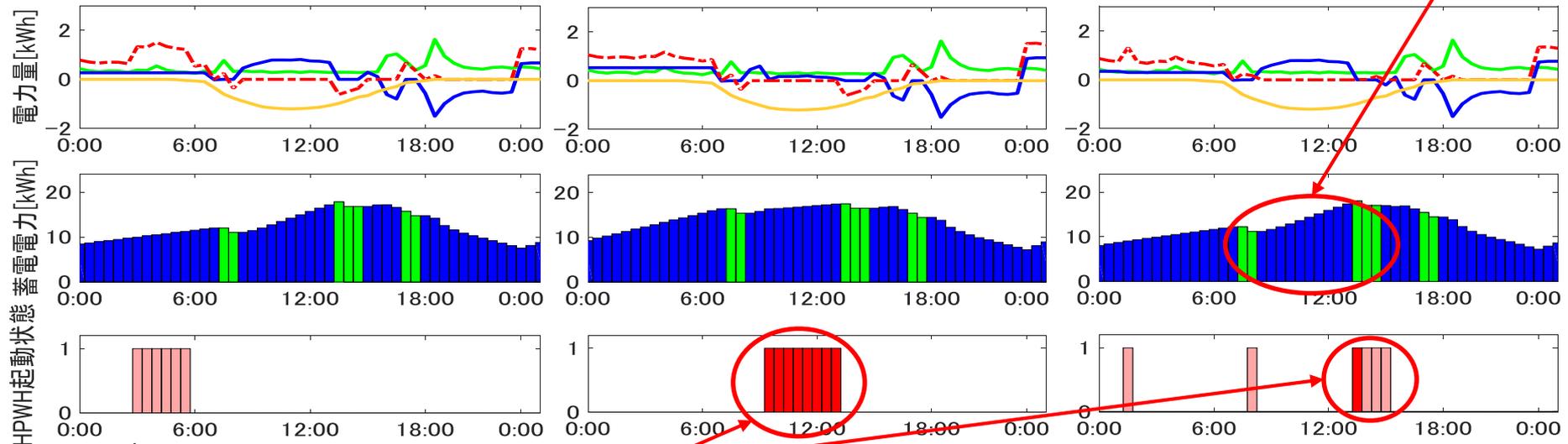
■ シミュレーション例

Point 1: EV接続時は蓄電池, 非接続時はHPWHによりPV発電電力を利用

【定時沸き上げ】

【逐次最適化 (HPWH→蓄電池)】

【同時最適化】



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

— 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
— 発電電力

■ 車駐車中
■ 車走行中

■ HPWH起動状態(設定温度65°C)
■ HPWH起動状態(設定温度90°C)

• 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



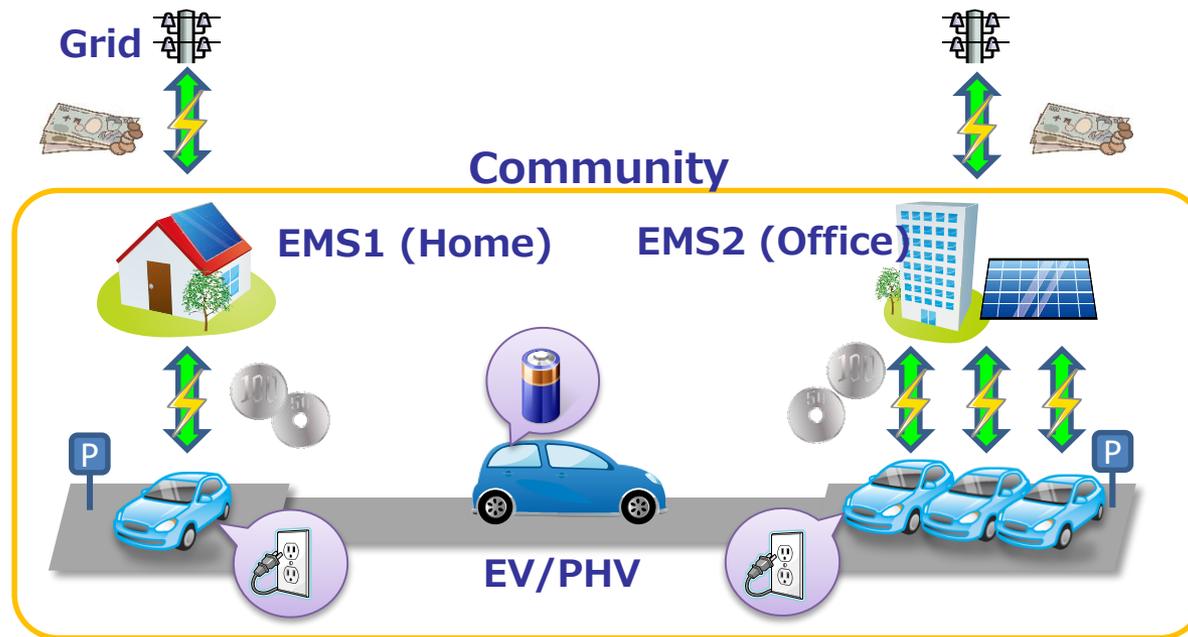
データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

車の移動を考慮した複数拠点におけるEMSの協調的設計(鈴木G)

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 ①
- 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 ②
- 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



拠点間の移動を考慮した車の使用予測

- 車の使用状況（駐車中／走行中）と移動先の拠点のラベルを24時間先まで予測する最適化問題

Given

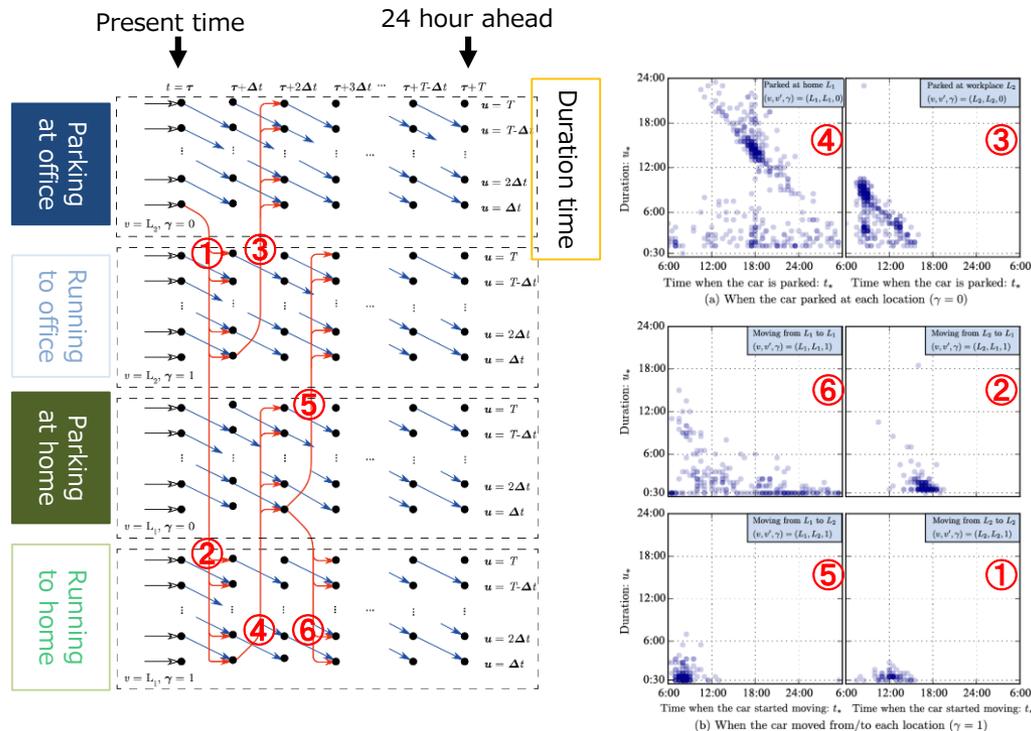
- γ^t 現在時刻の使用状況
- t_0 直近の出発／到着時刻
- A 過去の使用履歴（度数分布）
- v_{-1} 直近の駐車拠点

Find

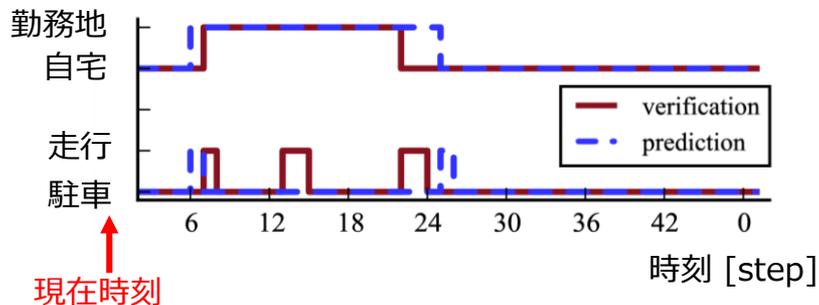
- t_1, t_2, \dots, t_k 1日後までの出発／到着時刻
- $v_0, v_1, v_2, \dots, v_k$ 駐車／目的拠点のラベル

Which maximize

$$J = P(t_1, t_2, \dots, t_k, v_1, \dots, v_k | t_0, \gamma^t, A, v_{-1})$$



- 走行パターン（予測と実際）の例

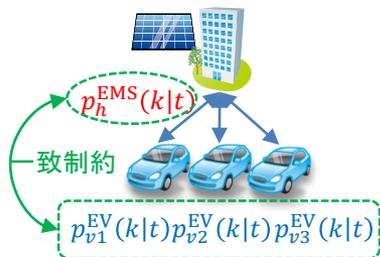
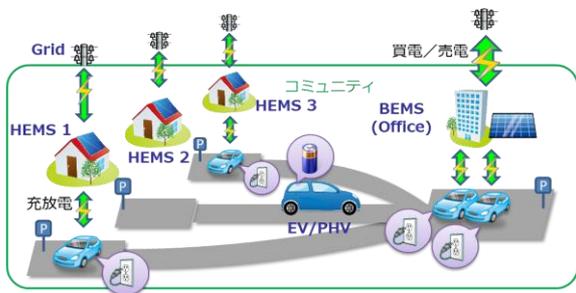


- 3ヶ月の予測結果からの正答率

	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 $P(\text{予測が非接続} \text{実際に非接続})$	88.0%	97.1%	99.8%
Negative Predictive Value $P(\text{実際に接続} \text{予測が接続})$	92.7%	57.9%	9.28%



協調EMSの分散最適化



[Find] $\{p_v^{EV}(k|t)\}_{k=1,\dots,T}$: 車 v の充放電電力[kW]
 $\{p_h^{EMS}(k|t)\}_{k=1,\dots,T}$: 拠点 h の合計充放電電力[kW]

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

$Z_v^{EV}(t)$: 電池の劣化に対するペナルティ

$Z_h^{EMS}(t)$: 電気代と電池の劣化に対するペナルティ

- 各EMS ($h \in \mathcal{H}$) の計画

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

Subject to 車載蓄電池の排他性, 逆潮流制約, 瞬間最大電力, 積算最大電力, 充放電制限

- 各EV/PHV ($v \in V$) の計画

$$\min_{p_v^{EV}} \left\{ Z_v^{EV}(t) - \sum_{h \in \mathcal{H}} \lambda_h(k|t) \{1 - \tilde{\gamma}_{h,v}(k|t)\} p_v^{EV}(k|t) \right\}$$

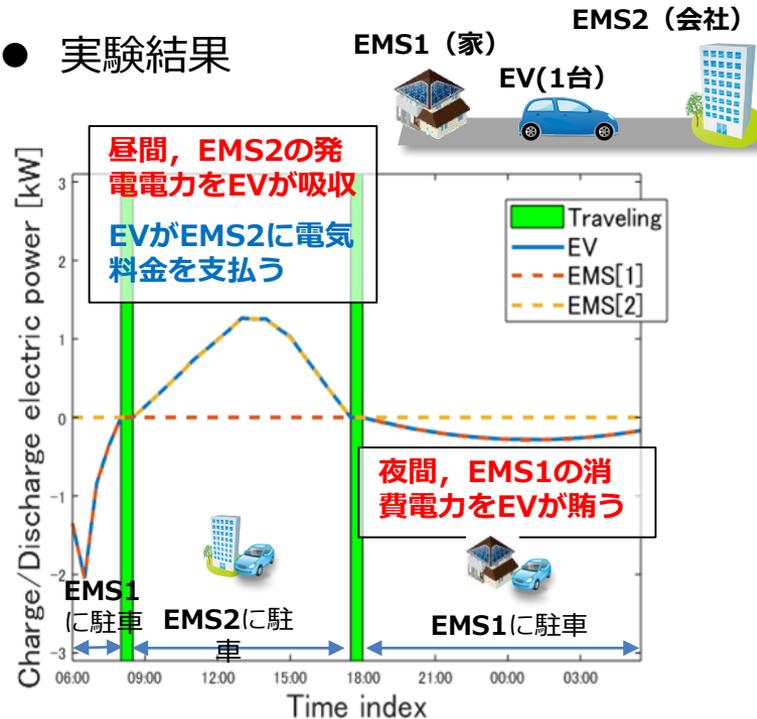
Subject to 車載蓄電池の排他性, 蓄電制限, 蓄電池残量のダイナミクス, 充放電制限

- ラグランジュ乗数の更新

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

EMSとEVとの間の充放電計画の不一致

● 実験結果



正味の電気料金 (円/日)	提案手法	比較対象: 走行後に満充電
EMS1	182+232※=414	604
EMS2	471-232※=239	278
地域全体	653	942

※EVがEMS1の所有としたときのEMS2に支払う電気料金
 ※ラグランジュ乗数をEV-EMS間の電気価格と仮定
 →電気料金最適化とEV所有による利得を算出可能



データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

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(鈴木G)

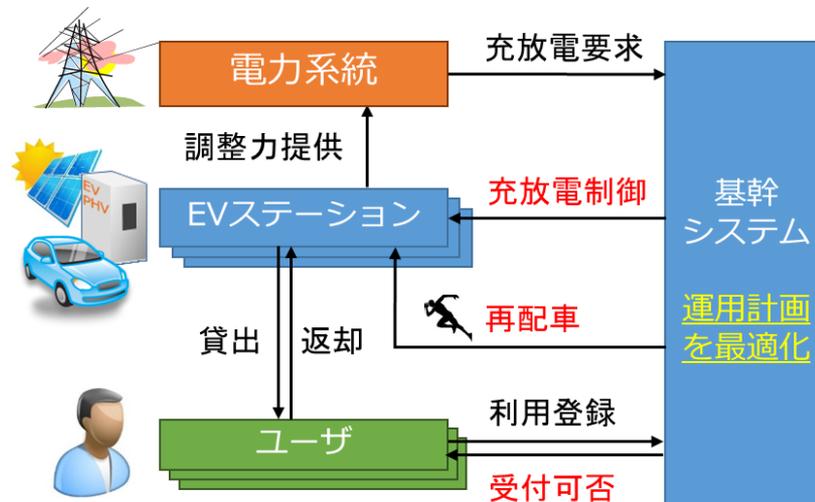
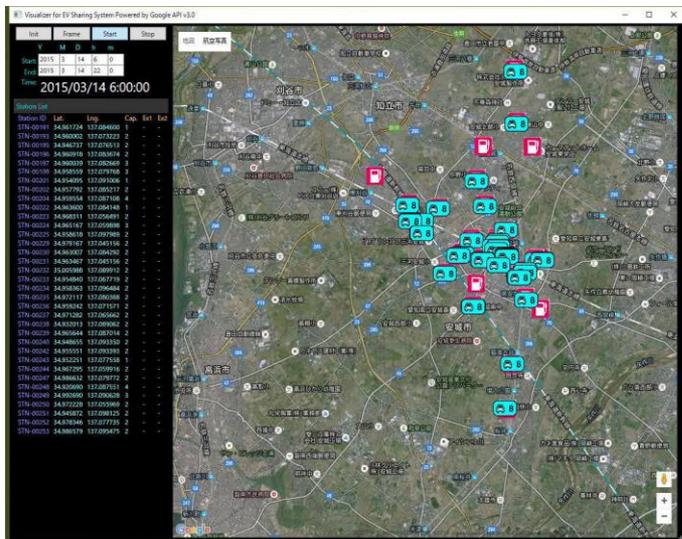
EVシェアリングの同時最適化

■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。

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



EVシェアリングの運用計画最適化

0-1混合整数計画問題への定式化

最適化対象の時刻: $\tau \in \{t', \dots, T\}$, $t' = \begin{cases} t^s (t < t^s) & (\text{サービス開始前}) \\ t+1 (t \geq t^s) & (\text{サービス開始後}) \end{cases}$
 t^s : サービス開始時刻

Given:

S : ステーション数 $x_{i,j}(t)$: 車両の初期配置
 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
 $R(t)$: 時刻 t における予約件数 $f_l(\tau)$: 電力料金
 $\{\hat{r}_p(t)\}_{p \in \{1, \dots, R(t)\}}$: 予約情報 **$f_d(\tau)$: 追従誤差ペナルティ**
 $\{y_{i,k}(t)\}_{i \in \{1, \dots, S+1\}, k \in \{1, \dots, R(t)\}}$: 予約を満たす車両の位置情報
 $\{a_{j,k}(t)\}_{j \in \{1, \dots, V\}, k \in \{1, \dots, R(t)-1\}}$: 受付済み予約への車両割当情報
 $\{\hat{g}_i(\tau|t)\}_{i \in \{1, \dots, S\}}$: PV発電電力 (予測値)

$\{p_i^{Ref}(\tau|t)\}_{i \in \{1, \dots, S\}, \tau \in \{t', \dots, T\}}$: 系統からの充放電要求値

Find:

$\{a_{j,R(t)}(t)\}_{j \in \{1, \dots, V\}}$: 各予約に対する車両の割当
 $\{p_{i,j}^{Charge}(\tau|t)\}_{j \in \{1, \dots, V\}, \tau \in \{t, \dots, T\}}$: 各時刻の各車両の充放電計画
 $\{x_{i,j}(\tau|t)\}_{i \in \{1, \dots, S\}, j \in \{1, \dots, V\}, \tau \in \{t, \dots, T\}}$: 各時刻の各車両の位置情報

Which minimize:

システムの1日の運用コストを最小化

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

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

Subject to:

制約集合A: 車両位置・占有情報

$x_{i,j}(\tau|t) \geq a_{j,k}(t) y_{i,k}(t)$: 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
 $\sum_{j=1}^V a_{j,k} = 1$: 各予約に対する車両割当の唯一性
 $\sum_{i=1}^{S+1} x_{i,j}(\tau|t) = 1$: 各車両の各時刻に対する車両位置の唯一性

制約集合B: 駐車可能台数

$0 \leq \sum_{j=1}^V x_{i,j}(\tau|t) \leq n_i^{\max}$: 各ステーションの駐車可能台数

制約集合C: 車両のSoC, 充放電電力

$l_i(\tau|t) + g_i(\tau|t) - w_i(\tau|t) - \sum_{j=1}^V p_{i,j}(\tau|t) = 0$: 電力需給制約
 $b_j(\tau|t) - b_j(\tau-1|t) = \sum_{i=1}^S p_{i,j}(\tau|t) \Delta t - \hat{e}_k(\tau|t) x_{S+1,j}(\tau|t)$: 車両SoC
 etc.

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

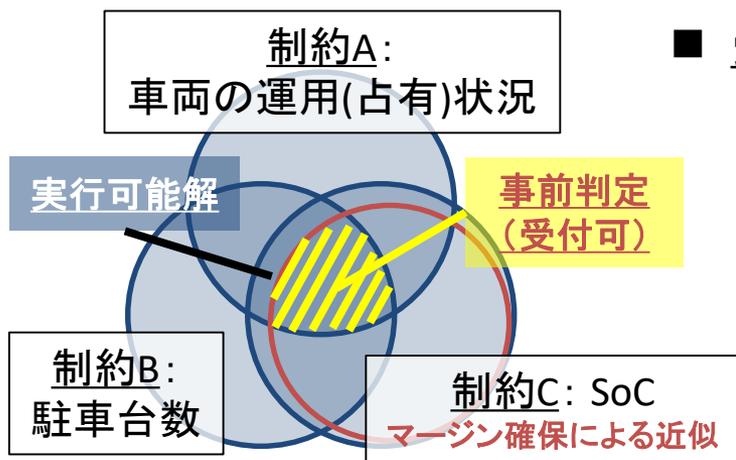
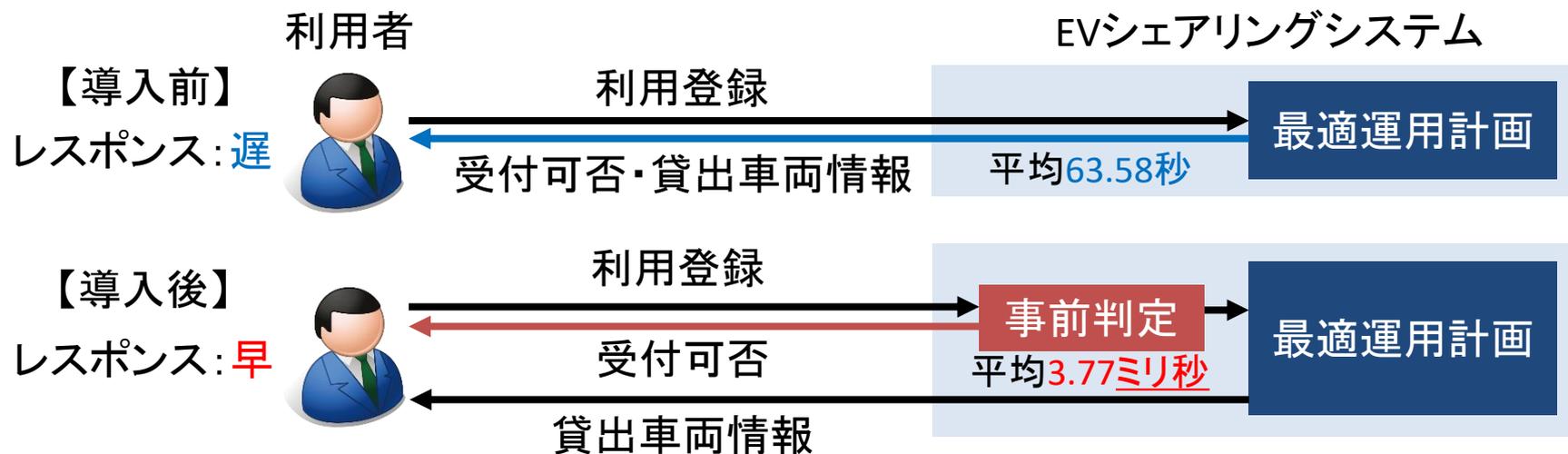


予約割当, 配車計画, 充電計画を同時に最適化することにより,
太陽光発電電力を車載蓄電池により無駄なく充電できることを確認



利用予約の受付可否判定

- 利用者の利用登録時における受付可否の判定時間を短縮 **利便性の向上**



- 受付可否の事前判定アルゴリズム

- 最適運用計画時の制約条件を反映
- 元の問題における実行可能性の **十分性を確保**
- 計算量が小さい

導入前(厳密解)

	受付(件)	拒否(件)
導入後(近似解)	973	0
	123	1404



データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

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(鈴木G・薄G)

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

$$\frac{d\theta}{dl} = \frac{s}{v^2}, \quad \frac{dv}{dl} = w,$$

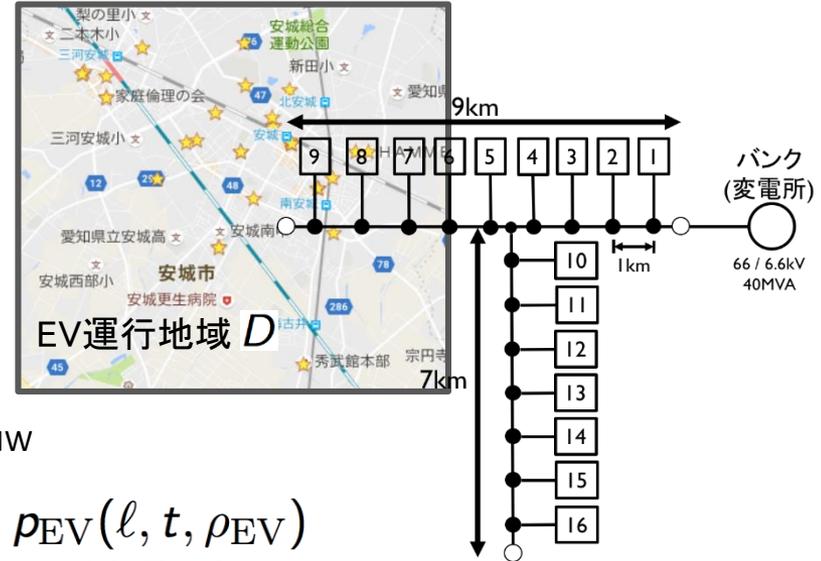
$$\frac{ds}{dl} = -\frac{p(l, t)b - q(l, t)g}{g^2 + b^2}$$

$$\frac{dw}{dl} = \frac{s^2}{v^3} - \frac{p(l, t)g + q(l, t)b}{v(g^2 + b^2)}$$

Ref.) DistFlow ODE

変電所を基準とする距離

$$l \in \sum_{\text{配電NW}}$$



組み込み (同化)

需給密度 (有効分)

$$p(l, t) = p_L(l, t) + p_G(l, t) + p_{EV}(l, t, \rho_{EV})$$

消費密度

発電密度 (太陽光)

充放電密度

$$p_{EV}(l, t, \rho_{EV}) = \int_D \rho_{EV}(\xi, t) \times P \times \phi_{\text{charging.point}}(\xi, l) d\xi$$

EV運行 (時空間「分布」) の密度関数表現

$$\rho_{EV}(\mathbf{x}, t)$$

粗視化

$$\mathbf{x} \in D$$

EV運行地域

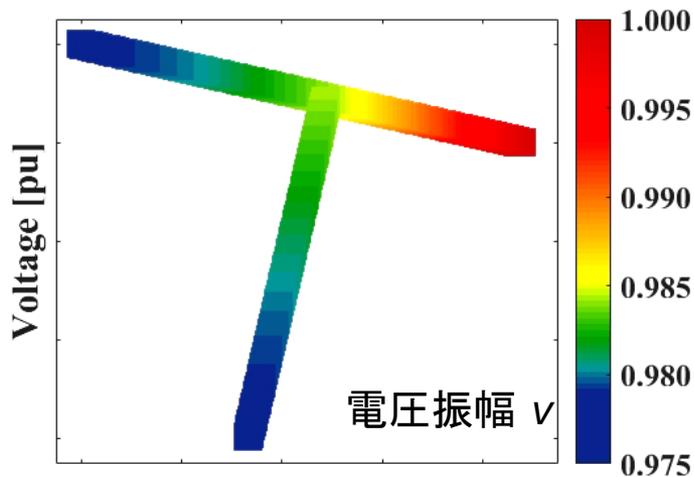
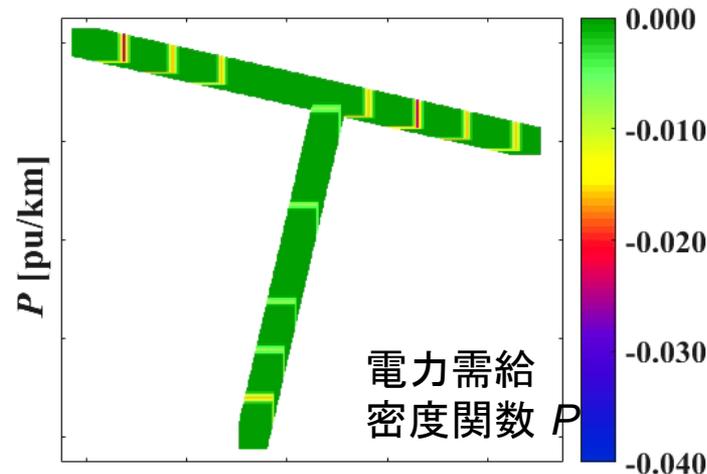
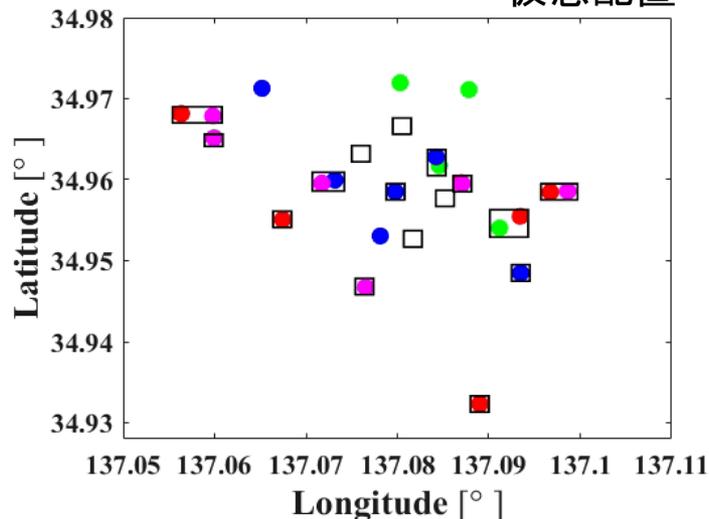
実測・予測データ

[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
 - 鈴木G, 太田Gとの連携研究

配電電圧変動解析例

10月23日 11時0分 EVデータと充電ステーションの
仮想配置



- 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)

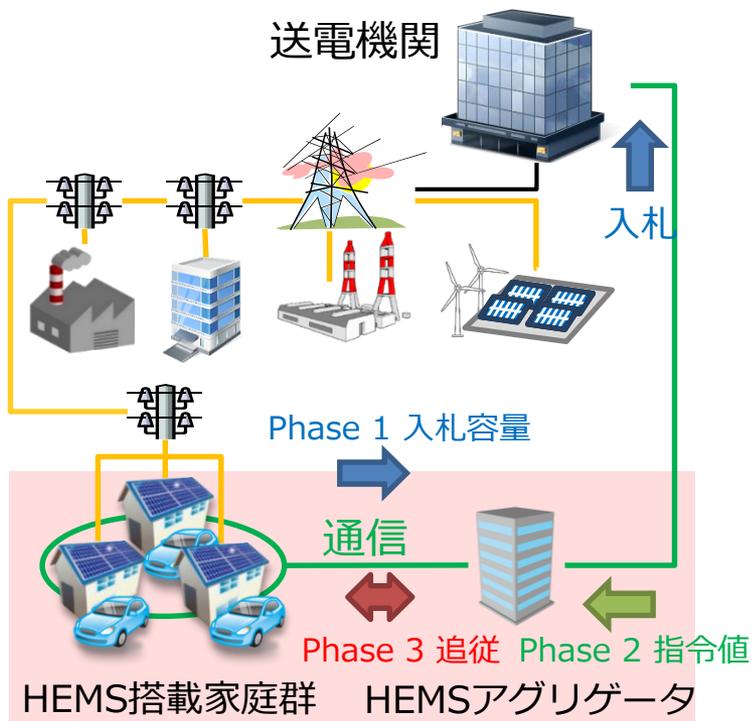


データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

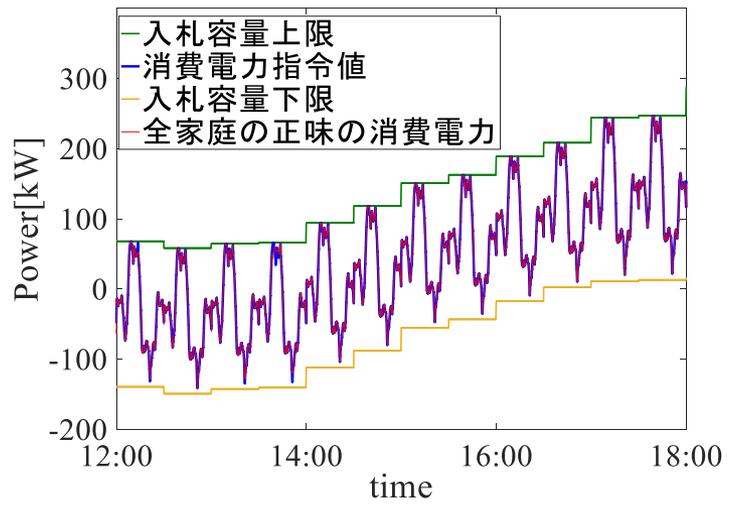
レギュレーション市場参加のためのV2H アグリゲーション(鈴木G・太田G・UD)



HEMSによるレギュレーション市場への参加



200軒の家庭1週間のシミュレーション結果



市場参加の流れ

- Phase 1 正味の電気代最小化に基づく入札容量の算出 【30分毎】
- Phase 2 送電機関からの指令 【2秒毎】
- Phase 3 双対分解法による指令値への追従 【リアルタイム】

	提案手法	通常HEMS (市場参加無し)
最低入札容量 [kW] (100kW以上)	103	-
最低追従率 [%] (75%以上)	95.46	-
報酬見込み [円/1軒]	419	-
電気料金 [円/軒・週]	2,808	2,719
正味の電気代 [円/軒・週]	2,387	2,719



データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

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G)

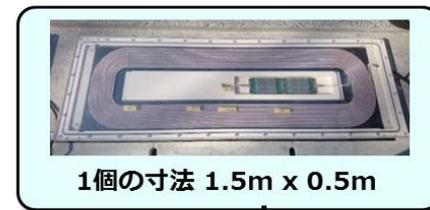
走行中ワイヤレス給電実験

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



追加のセンサなしで車両を検出

→ 走行中のEVに電気を送る



交流 85kHz

インバータ

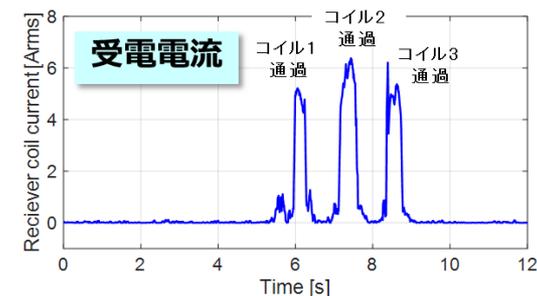
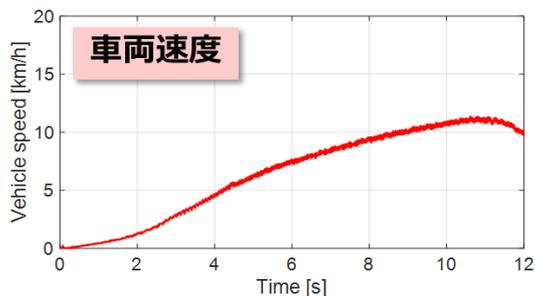
インバータ

インバータ

電力系統
交流 50/60 Hz

AC/DC

直流



本研究における成果

- 走行中のEVにワイヤレスでの給電を実現
- 走行中給電を含むエネルギーマネジメントを実現
- 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

走行時
消費電量 0.144kWh



0.024kWh

※回生エネルギーは未考慮

EVステーションでの充電量を大幅に削減できる。

EVシェアリング実証(安城市)

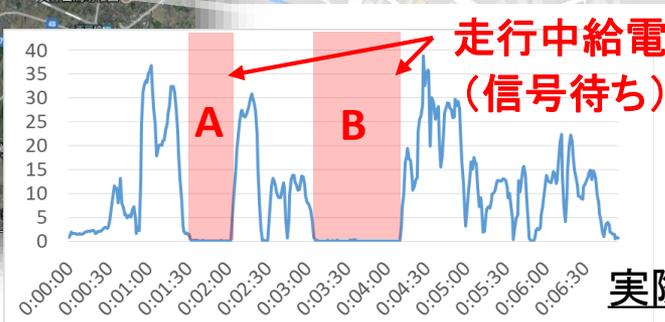
例えば○の交差点で走行中給電を想定する



JR安城駅

安城市役所

交差点前20~30m
の区間に走行中給
電設備を仮定



実際の速度データ(安城駅→安城市役所)

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



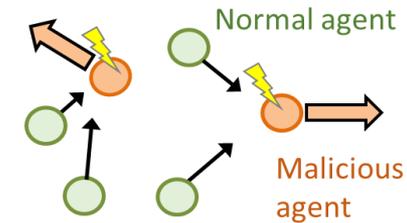
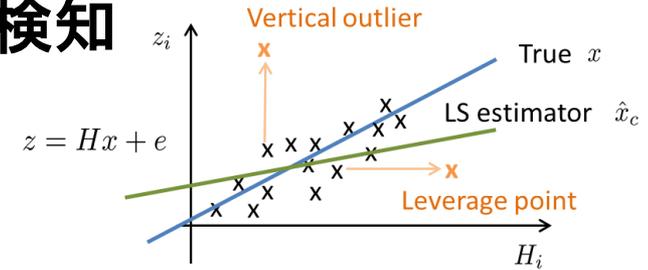
データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井G)

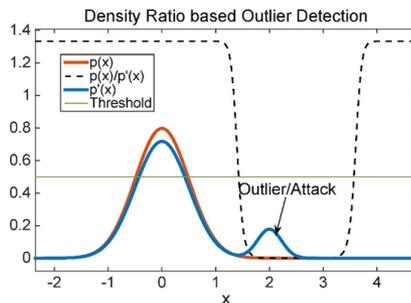
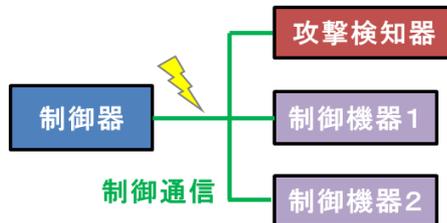
異常・攻撃の検知

1. 動的モデルに基づく異常・攻撃の分散的検知

- 送電系統の状態推定問題に対するロバストな最小二乗列込み法によるセキュリティ向上
- ジャミング攻撃によるパケット損失下のネットワーク化制御系の安定性解析
- サイバー攻撃下におけるエージェント系のレジリエントな分散型合意アルゴリズム



通信パケット内の
ヘッダ部・データ部を用いて学習



2. 機械学習手法に基づく異常・攻撃検知

- 制御通信データに基づく異常検知に対する学習性能比較 (教師の有無)
- 電力消費データを利用した機械学習手法に基づく異常・攻撃検知
- 密度比推定に基づく電力システムの状態推定へのサイバー攻撃検知

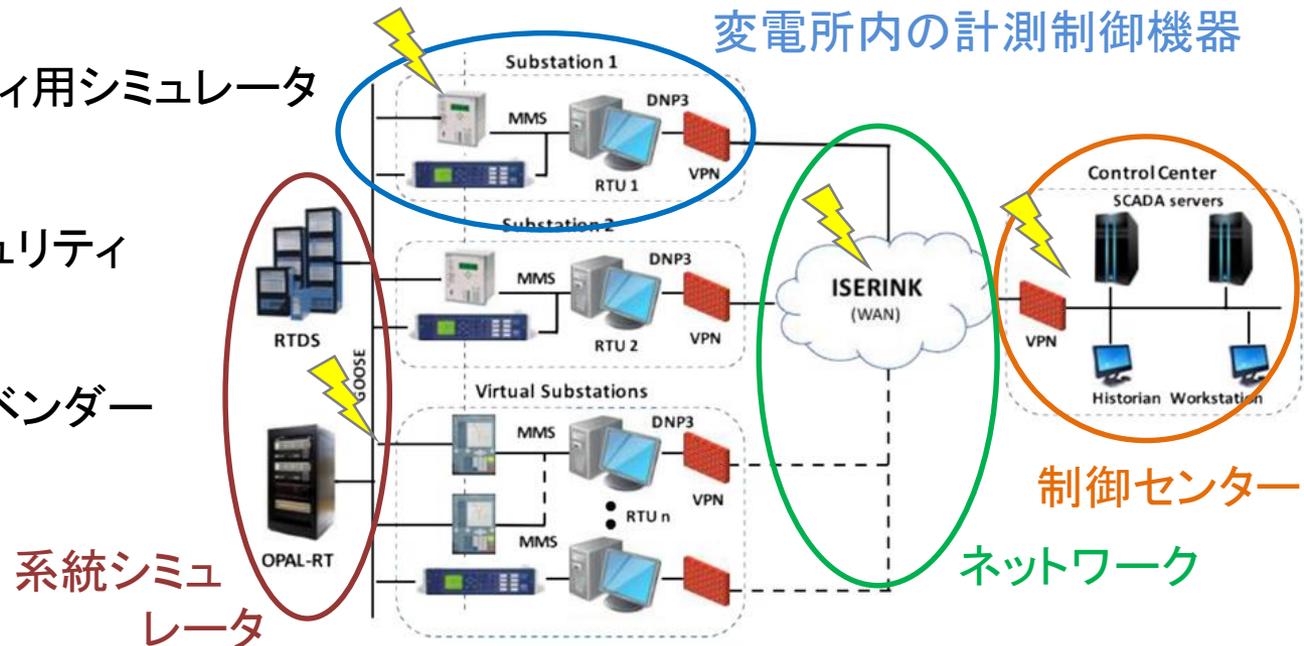
セキュリティ検証テストベッド

リアルタイムシステムシミュレータを用いたサイバー攻撃の影響解析

- 制御センターと変電所の計測制御機器間の通信 (IEC 61850 等) を模擬
- 計測制御機器: 2017年後半 ソフトベース (Triangle MicroWorks 社)
2018年前半 実機の PMUと保護リレーを連結 (Schweitzer Eng. Lab. 社)
- 系統のリアルタイムシミュレータを連結: 2018年～ 太田Gと連携

特徴

- 系統まで含むセキュリティ用シミュレータとして国内初
- 電中研のサイバーセキュリティテストベッドへの連携
- オープンな設備として、ベンダーの機器をテスト

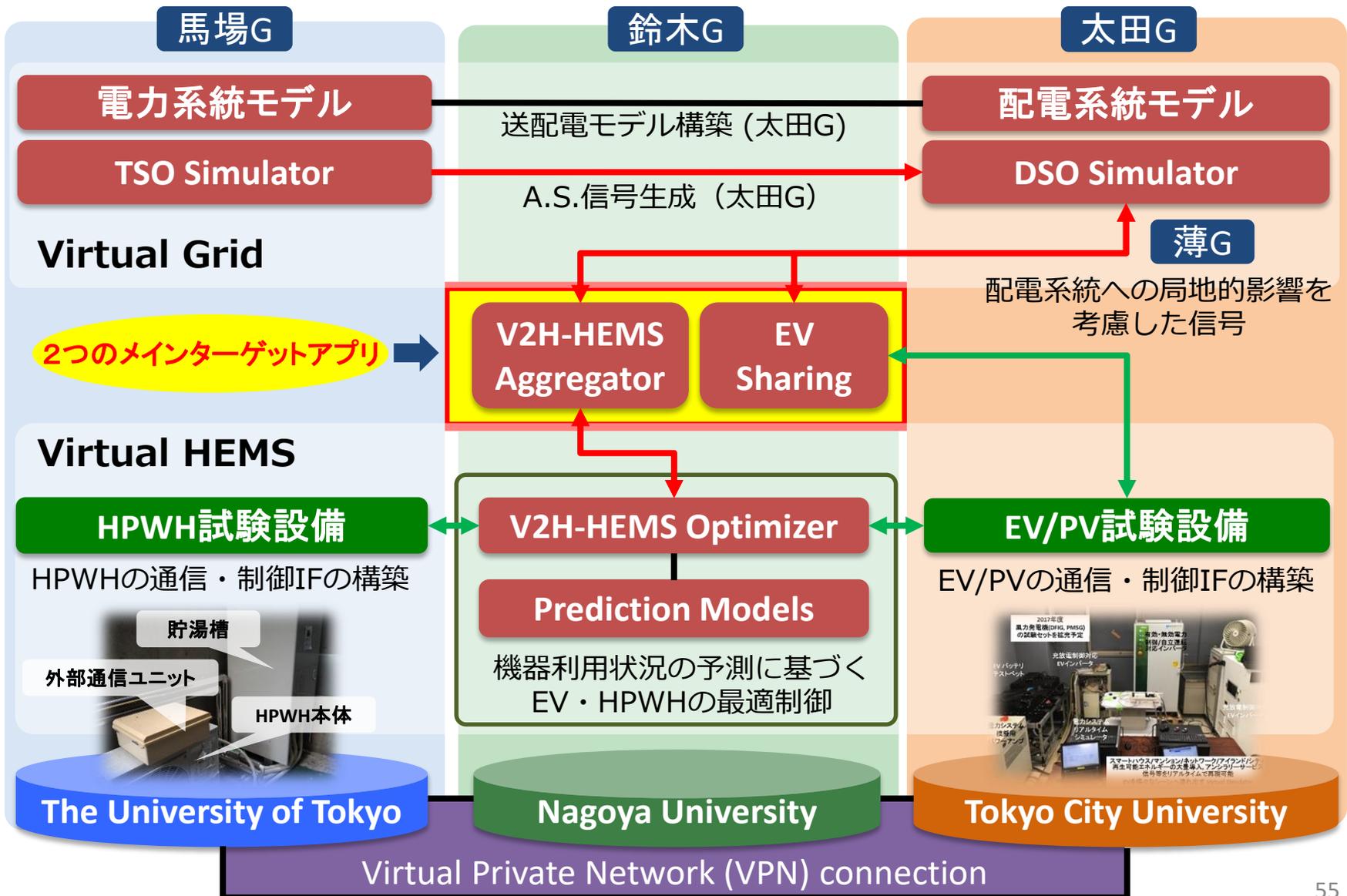




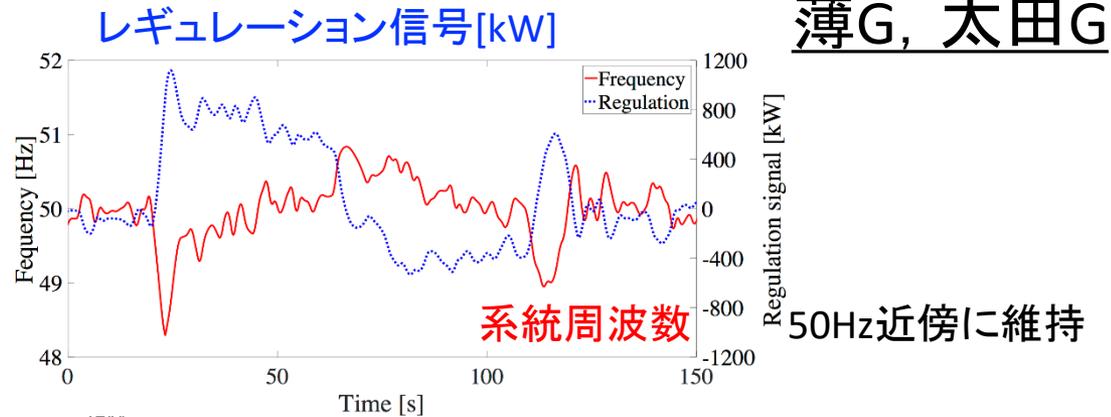
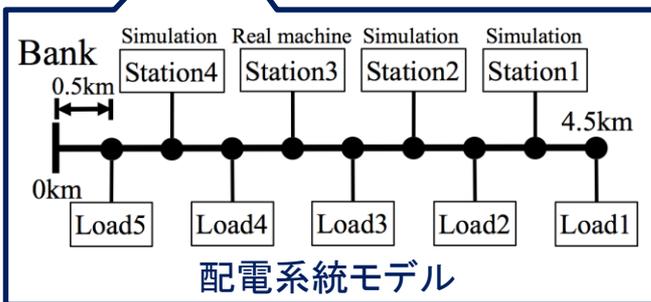
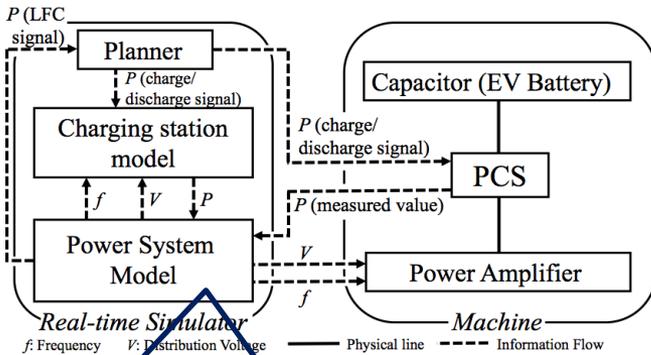
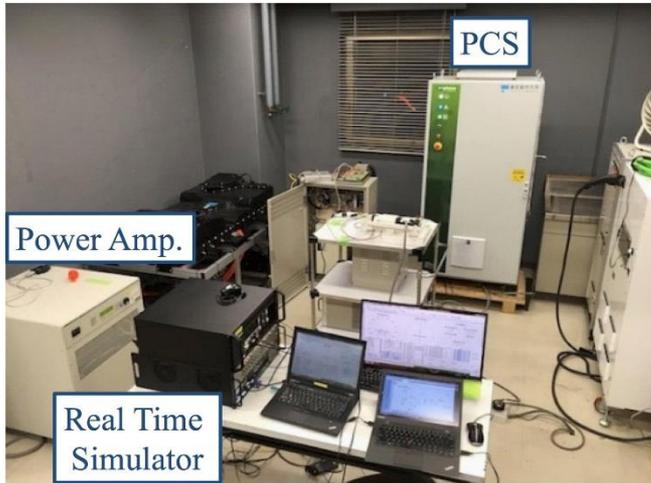
データ観測・予測・診断		ローカル最適化	アンシラリー・EVシェアリング等
番号	課題名		
1-a, 1-b	需要家のエネルギー消費と車利用の同時観測情報のデータベース化(鈴木)		
1-b	V2Gシステムにおけるアンシラリーサービスのデータ観測(鈴木・UD)		
1-c	エネルギー消費と車使用との関連性の解析(鈴木・下田SG)		
1-d	各家庭・需要家間移動のモデル化と車利用予測(鈴木)		
1-e	エネルギー／通信データの統合による異常・攻撃検知(石井・小野田)		
2-a	車載蓄電池を活用したHEMS・BEMS(鈴木)		
2-c	車載蓄電池とヒートポンプの相補協調的運転計画(馬場・鈴木)		
2-d	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)		
3-b	分散蓄電池群を活用したアンシラリーサービスの設計(薄・太田・鈴木)		
3-c	レギュレーション市場参加のためのEMS協調メカニズムの設計(鈴木・UD・平田SG)		
3-d	EVシェアリングにおける車両割当と充放電の同時最適化および電圧解析(鈴木・薄)		
3-e	車を考慮した複数拠点の分散EMS(鈴木)		H29開始
3-f	Remote HILS による検証実験(太田・馬場・鈴木)		H29開始

REMOTE HILS による検証実験 (太田G、馬場G、鈴木G、薄G)

Remote HILSによるシステム実証

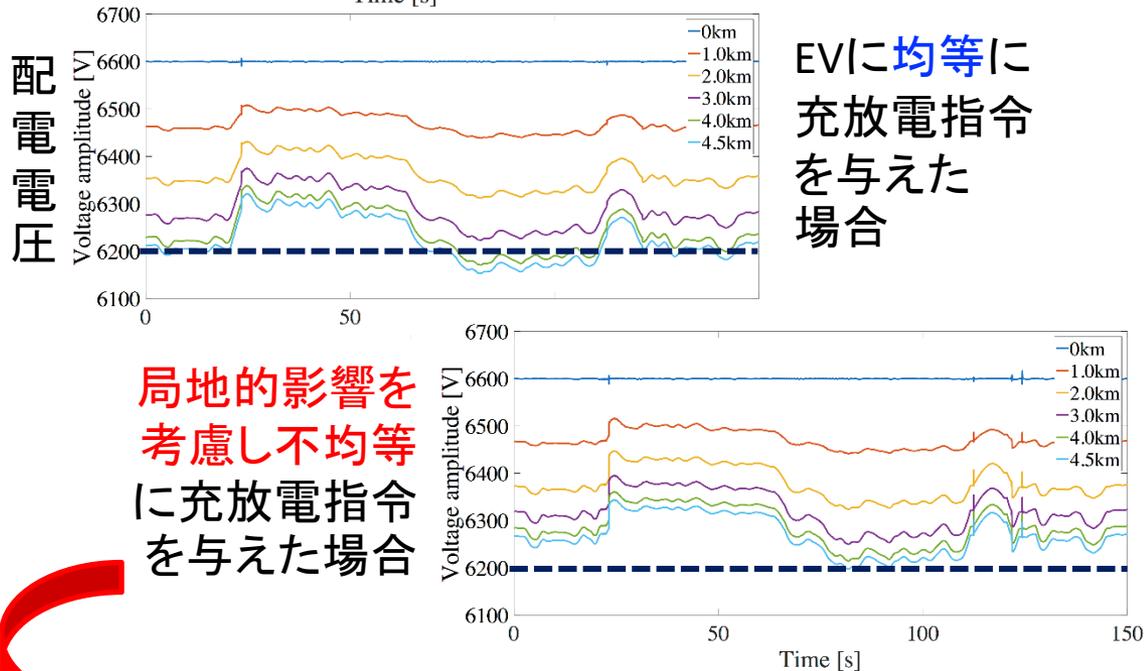


車載蓄電池群によるAS提供の検証実験



薄G, 太田G

50Hz近傍に維持



局地的影響を考慮し不均等に充放電指令を与えた場合

配電システムへの局地的影響を低減しながら系統周波数が維持されることを実験的に確認!



EMS
ENERGY
Management
SYSTEM

V2X
EMS

CREST-EMS
SUZUKI TEAM

ロードマップ

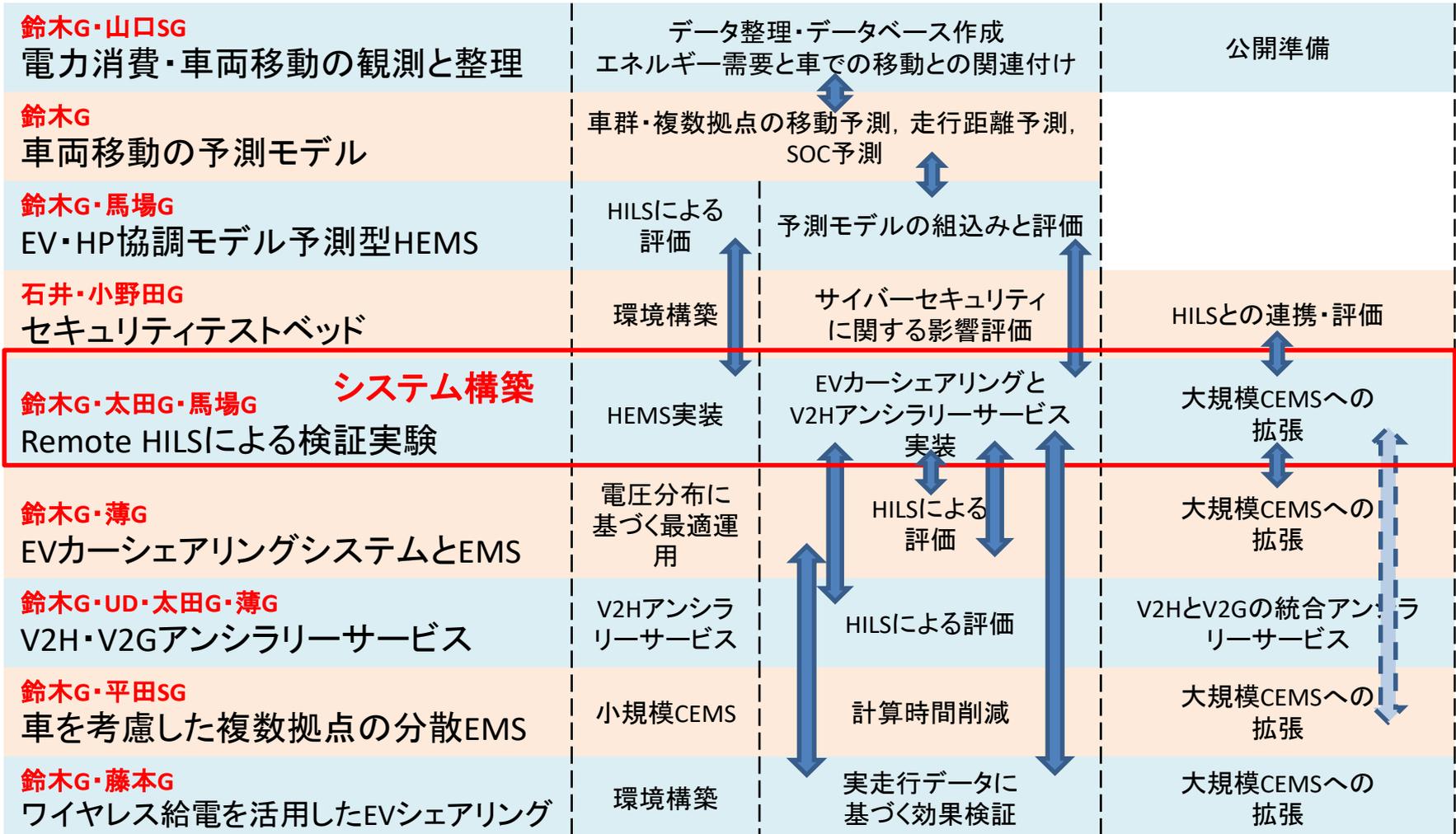
ロードマップ

2017.10

2018.4

2019.4

2020.3





EMS
ENERGY
Management
SYSTEM

V2X
EMS

CREST-EMS
SUZUKI TEAM

国際連携

国際連携 (1/2)

▼ ノルウェー SINTEF

【サイバーセキュリティ】

Boye Høverstad

石井・小野田G

【ワイヤレス給電】

G. Guidi

藤本G

【洋上電カシステムの設計と制御】

薄G



▼ アイオワ州立大学

【サイバーセキュリティ】

M. Govindarasu 石井G, 小野田G

▼ ニューヨーク大学 New

【サイバーセキュリティ】

Quanyan Zhu 石井G, 小野田G

▼ アイダホ大学 New

【サイバーセキュリティ】

Yacine Chakhchoukh 石井G, 小野田G

鈴木チーム

▼ イタリア CNR-IEIIT

【サイバーセキュリティ】

Roberto Tempo

石井G, 小野田G

▼ アリゾナ州立大学

【サイバーセキュリティ】

V. Vittal, G. Heydt 石井G, 小野田G

▼ デラウエア大学

【Vehicle-to-Grid】

W. Kempton 鈴木G, 太田G

▼ クレムソン大学

【HEMS】

G. Kumar Venayagamoorthy 鈴木G



【国際標準化】

Japan Smart Community Alliance 次世代自動車・インフラ整備インターフェースの国際標準化に関するWS

(Austrian Institute of Technology との連携模索)

【Grid Integrated HILS】

VITO/EnergyVilleから推奨されたインバータシステムを導入

電気自動車の系統連系/事故時動作/自立運転/A.S.貢献の総合試験 (SINTEF, NREL, RWTH Aachen Universityなど)

太田G

国際連携 (2/2)

グループ	相手先	内容
鈴木G	米 デラウェア大 W. Kempton	<ul style="list-style-type: none"> EVシミュレータによるV2Gデータ取得等 米Delaware大学に修士学生1名をVisiting Scholarとして派遣（期間: 2016.04～2018.03, 文部科学省「トビタテ！留学JAPAN」制度）
	米クレムソン大学 G. Kumar Venayagamoorthy	<ul style="list-style-type: none"> 蓄電池マネジメント技術とモデル予測型HEMSとの連携
石井G・小野田G	米 アリゾナ州立大学 V. Vittal, G Heydt	<ul style="list-style-type: none"> 送電系統の状態推定において PMU を用いた場合のサイバー攻撃の検知
	ノルウェー SINTEF 研究所	<ul style="list-style-type: none"> スマートグリッドにおける制御通信データを用いたセキュリティ対策の検討
	米 アイオワ州立大学 M. Govindarasu	<ul style="list-style-type: none"> 電力システムに対するサイバーセキュリティの教育支援
	イタリア CNR-IEIIT Roberto Tempo	<ul style="list-style-type: none"> マルチエージェント系におけるレジリエント合意
	米 ニューヨーク大学 Quanyan Zhu	<ul style="list-style-type: none"> ゲーム理論的アプローチによるサイバーセキュリティ
	米 アイダホ大学 Yacine Chakhchoukh	<ul style="list-style-type: none"> 電力システムに対するサイバー攻撃の検知システムの構築
藤本G	ノルウェー SINTEF 研究所 Giuseppe Guidi	<ul style="list-style-type: none"> （東大→SINTEF）博士学生が9～11月までSINTEF研究所に滞在し、SINTEF側のテーマ（トラックの走行中ワイヤレス給電）に協力 （SINTEF→東大）Dr. Guidiが2017年1～3月まで東大に滞在し、東大側のテーマ（ワイヤレスインホイールモータ2号機の効率改善及び電力制御）に協力
太田G	電気自動車・充電インフラの国際標準化	<ul style="list-style-type: none"> Japan Smart Community Alliance 次世代自動車・インフラ整備インターフェースの国際標準化に関するWS(2016/7/26)で問題提起
	システム構築(Grid Integrated HILS)	<ul style="list-style-type: none"> VITO/EnergyVilleから推奨されたインバータシステムを導入 電気自動車の系統連系/事故時動作/自立運転/A.S.貢献の総合試験
薄G	ノルウェー SINTEF 研究所	<ul style="list-style-type: none"> 洋上ウインドファームにおける実測データ解析 洋上ウインドファームを含む電力システムの制御



EMS
ENERGY
Management
SYSTEM

V2X
EMS

CREST-EMS
SUZUKI TEAM

鈴木チーム

研究成果 (H.27.4~H.29.3)

研究成果(H.27.4~H.30.2)

	平成27年度	平成28年度	平成29年度	総数
原著論文(国内)	4	14	3	22
原著論文(国際, 査読付proceedings含む)	29	43	33	92
総説(国内)	0	5	1	6
書籍(国内)	1	1	0	2
口頭発表(国内)	17	44	6	67
口頭発表(国際)	4	25	8	37
ポスター発表(国内)	8	7	2	17
ポスター発表(国際)	1	1	0	2
招待講演(国内)	12	12	12	36
招待講演(国際)	13	9	8	30
知財出願(国内)	3	0	0	3
知財出願(国外, PCT出願)	0	3	0	3
知財出願(国外, 米国)	0	1	0	1
受賞(国内)	1	5	1	7
受賞(国際)	1	2	0	3
報道	17	3	23	43
ワークショップ・学会セッション・MTG等	12	16	6	34



今後のアウトリーチ活動



- SCI'18 OS (2018.5.16– 18)
 - 「車・家庭・地域調和型EMS構築に向けたシステム技術」
- SICE2018 WS (2018.9.11– 14)
- Springer 出版 (2018年度内に出版予定)
 - “Design and Analysis of Distributed Energy Management Systems - Integration of Vehicle, Household and Community –”
 - 目次
 - 1. Preface By Tatsuya Suzuki
 - Part1 Design and analysis of Energy Management System considering consumer's demand
 - 2. Design of home energy management system with a vehicle (V2H + HPWH EMS) By Tatsuya Suzuki
 - 3. A stochastic modelling of everyday life activities based on time use data
 - 4. A stochastic modelling and prediction of daily vehicle use
 - 5. Analysis of Hot Water Demand
 - 6. Range Extension Autonomous Driving for Electric Vehicles Based on Optimization of Velocity Profile Considering Traffic Signal Information
 - Part2 Synthesis of distributed Energy Management Systems using in-vehicle batteries
 - 7. Real-time Pricing and Decentralized Optimization Strategy for Power Flow Balancing in EV/PHEV Storage Management
 - 8. V2G Ancillary Service
 - 9. V2H Ancillary Service
 - 10. EV sharing service scheduled by simultaneous optimization considering renewables
 - 11. A continuum approach to assessing the impact of spatio-temporal EV charging to distribution grids
 - Part3 Toward dependable distributed Energy Management System
 - 12. Vehicle Grid Integration Hardware-In-the-Loop Simulation -System Configuration and Ancillary Service Demonstration-
 - 13. Enhancing Security for Voltage Control of Distribution Systems under Data Falsification Attacks
 - 14. Implementation of V2G in the real world