



スマート交通システム

- Smart Transport System -

ITS(Intelligent Transport System)

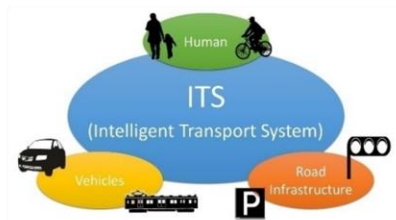
交通渋滞

- ・ 経済損失
- ・ 環境汚染
- ・ 交通事故要因

ITS

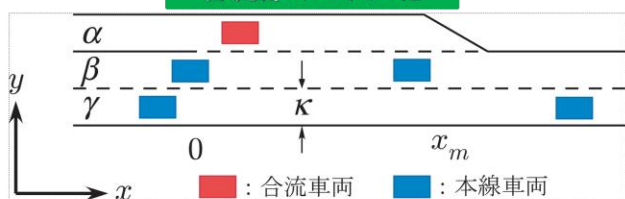
人・乗り物・自動車で
情報交換して渋滞抑制

ソフト面からの交通渋滞抑制施策



高速道路における合流制御

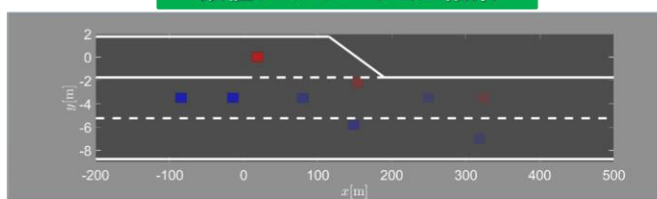
合流部のモデル化



相対距離・速度・加速度を考慮して最適な入力を決定

スムーズな合流を実現

数値シミュレーション結果



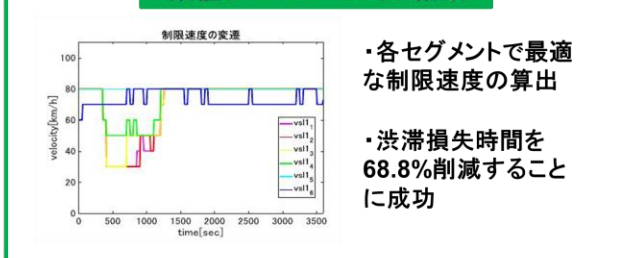
VSLによる交通流最適化

制限速度をリアルタイムで更新することで交通量を最適化

MPC

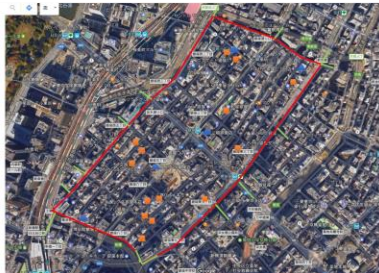
- ・ 急激な制限速度の変動を抑制
- ・ 最低制限速度も同時に考慮

数値シミュレーション結果



スマートパーキングシステム

駐車場探索に伴う車両速度の低下による交通渋滞



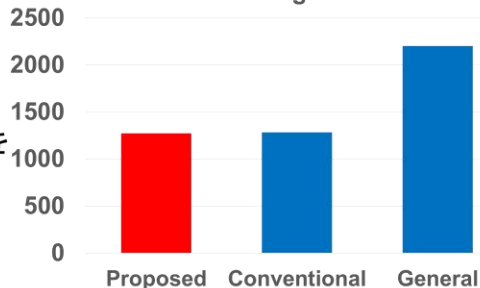
スマートパーキングシステム

- ・ ドライバーに駐車場を割り当て、駐車場探索時間を短縮
- ・ ドライバー、駐車場管理者の要望を考慮して駐車場割当を決定

マッチング理論

ドライバーと駐車場管理者の
独立した意思決定を反映

Searching Time



研究者名

システムデザイン工学科／総合デザイン工学専攻 教授 滑川 徹
大学院生 中西 啓晃 林 靖大／学部生 水野敬介

お問合せ先

Email: namerikawa@sd.keio.ac.jp TEL: 045-566-1731
URL : <http://www.namerikawa.sd.keio.ac.jp/>



分散協調型マルチエージェントシステム

- Distributed Cooperative Control for Multi-Agent Systems -

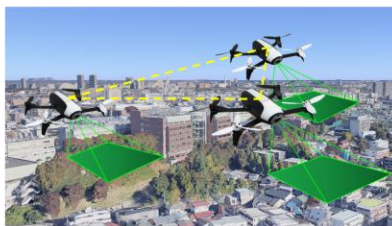
Multi-Agent Systems

ネットワーク接続された複数機エージェントが情報交換を通し、協調的にタスクを行うシステム

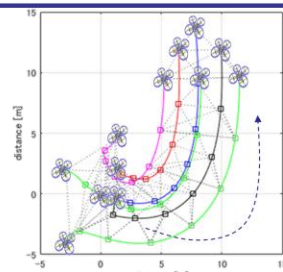
- 優れた効率性 - 短時間等, 作業効率の向上
- 優れた耐故障性 - タスク遂行力の向上

応用例

- フォーメーション制御への応用
- 動物の群れ行動の再現
- 環境認識問題への応用



マルチUAV (無人航空機)システム
による情報収集のイメージ

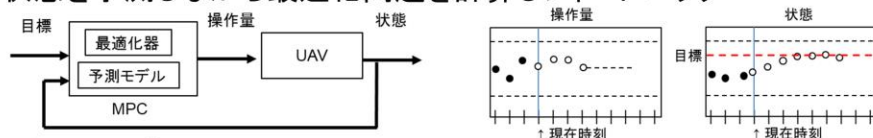


マルチUAVシステム
のフォーメーション

① Distributed MPC(Model Predictive Control) Formation

分散MPCを用いたUAV群のフォーメーション制御

- 未来の状態を予測しながら最適化問題を計算しフィードバック



$$\begin{aligned} \text{制御入力 } \tilde{M}_i \text{ を最適化} & \left\{ \begin{aligned} \min_{\tilde{M}_i} J_i &= \frac{1}{2} \left[\hat{r}_i(k+N_p)^T P_i \hat{r}_i(k+N_p) + \sum_{j=1}^{N_p-1} \hat{r}_i(k+j)^T Q_i \hat{r}_i(k+j) + \sum_{j=0}^{N_c-1} \tilde{M}_i^T(k+j) R_i \tilde{M}_i(k+j) \right] \\ \text{s.t. } \hat{r}_i(k+1) &= A \hat{r}_i(k) + B \tilde{M}_i(k) \end{aligned} \right. \\ \text{状態の目標偏差} & \hat{r}_i(j) = r_i(j) - r_{\text{ref}_i}(j) \end{aligned}$$

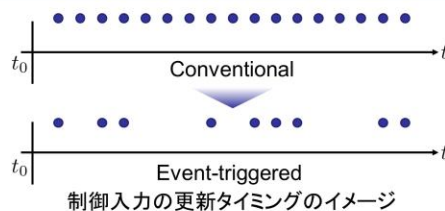
$\tilde{M}_i$: 制御入力
 J_i : 評価関数
 r_i : 状態
 r_{ref_i} : 参照状態
 N_p : 予測ホライズン
 N_c : 制御ホライズン
 P_i, Q_i, R_i : 重み行列

② Distributed Event-Triggered Formation

フォーメーション制御入力の更新を非周期にする手法

- 安定性を保証しながらエージェント間の計算・通信負荷を低減

$$\begin{aligned} \text{合意アルゴリズムに基づく入力} & \tilde{M}_i(t) = - \sum_{j \in N_i} \left[\underbrace{\gamma_0 (\hat{r}_i^{(0)}(t_k^i) - \hat{r}_j^{(0)}(t_{k'}^j))}_{\text{Position Consensus}} + \underbrace{\gamma_1 (r_i^{(1)}(t_k^i) - r_j^{(1)}(t_{k'}^j))}_{\text{Velocity Consensus}} \right], \quad t \in [t_k^i, t_{k+1}^i) \\ \hat{r}_i^{(0)} &= r_i^{(0)} - r_{\text{ref}_i}^{(0)}, \quad k'(t) \triangleq \arg \min_{l \in N_i: t \geq t_l^i} \{t - t_l^i\}, \quad i \in \mathcal{N} = \{1, 2, \dots, N\} \\ \text{トリガー条件} & t_{k+1}^i = \min \{t \mid f(r_i^{(0)}(t), r_i^{(0)}(t_k^i), r_i^{(1)}(t)) = 0, t > t_k^i\} \end{aligned}$$



$\tilde{M}_i$: 制御入力
 γ_0, γ_1 : ゲイン
 $r_i^{(0)}$: 位置
 $r_i^{(1)}$: 速度
 t_k^i : k 番目のイベント時刻
 t_{k+1}^i : $k+1$ 番目のイベント時刻
 $r_{\text{ref}_i}^{(0)}$: 参照位置
 N_i : 近傍エージェント集合

研究者名

システムデザイン工学科／総合デザイン工学専攻 教授 滑川 徹

大学院生 小谷 健人 豊田 凌／学部生 川野 真由子

お問合せ先

Email: namerikawa@sd.keio.ac.jp TEL: 045-566-1731
URL : <http://www.namerikawa.sd.keio.ac.jp/>

Keio University



エネルギーマネジメントシステム

- Energy Management System -

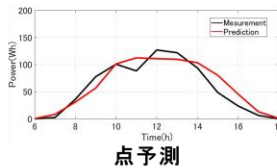
Energy Management System

- エネルギー使用を最適化し、環境負荷を低減させるシステム
 - スマートグリッドのための太陽光・風力発電量予測システム
 - ビルにおけるエネルギーマネジメントシステム(BEMS)
 - 電気自動車高速道路走行時の充電計画問題

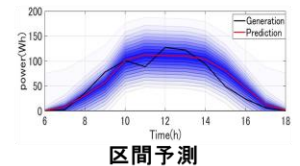
① Power Prediction 24時間先の発電出力の区間予測システム



過去の発電データを用いて予測値算出

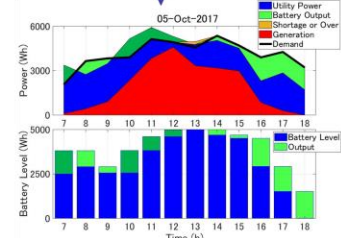
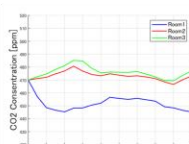
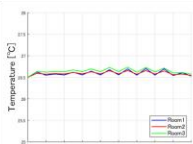


予測誤差の確率分布を推定



② BEMS 空調管理システム + バッテリマネジメントシステム

- CO₂濃度を考慮した快適性 + 省エネの両立を目指した空調管理システム
- 供給空気温度と外気導入量の制御

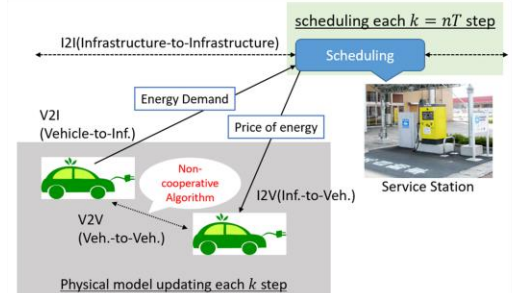


発電量区間予測を用いた
ビルのバッテリーマネジメントシステム

③ EV Charging Strategy 電気自動車走行時の充電計画問題

- 各EVが利己的な行動を取る現実的な状況 (非協力ゲーム)
- 充電ステーション管理者は各充電ステーションの利用率を均一化しながら、自身の利益を最大化する
- 価格と所望の充電量を交互にやり取りし、社会利益を最大化する解を探索 (シュタッケルベルクゲーム)

シュタッケルベルク均衡、ナッシュ均衡解の
存在性と一意性を保証



研究者名

システムデザイン工学科／総合デザイン工学専攻 教授 滑川 徹

大学院生 吉原 美祐／学部生 小方 裕貴 佐藤 正太郎

お問合せ先

Email: namerikawa@sd.keio.ac.jp TEL: 045-566-1731

URL : <http://www.namerikawa.sd.keio.ac.jp/>



CPSにおけるサイバーセキュリティ

-Cyber Security for Cyber-Physical Systems-

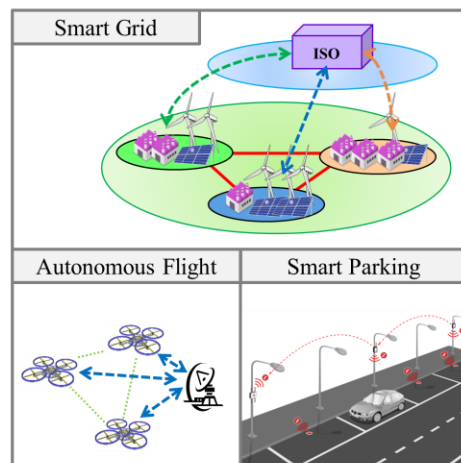
サイバーフィジカルシステム (CPS)

- ICTの深化に伴うネットワーク化やサイバー空間利用の飛躍的發展
- 現実世界に点在する「もの」がIoTの技術革新により「システム化」

ICT・IoT技術を最大限活用し、サイバー空間と実空間との融合

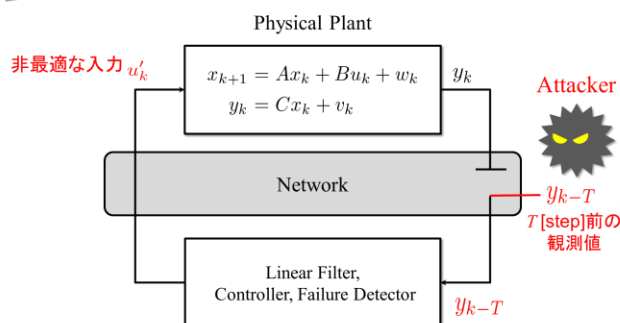
- ネットワーク依存性が高く、**サイバー攻撃を受ける可能性**
- 制御システムに対する攻撃が増加するため、**地球環境**や**生命活動の破壊**に繋がる恐れあり
- 攻撃の高度化による**検出の難化**

CPSにおけるサイバー攻撃に対する頑健性の確立



Examples of Cyber-Physical Systems

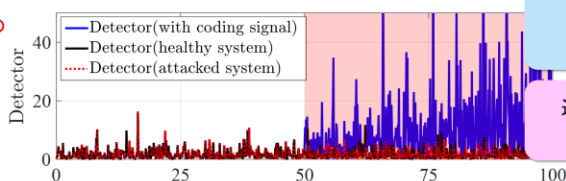
リプレイ攻撃の検出問題



Schematic of Replay Attacks on Cyber-Physical Systems

- 攻撃者は盗聴さえできればよい(**モデル情報必要なし**)
- 過去情報を用いているため通常システムでは検出困難

アプローチ → 観測値へのコード信号 + ゲーム理論



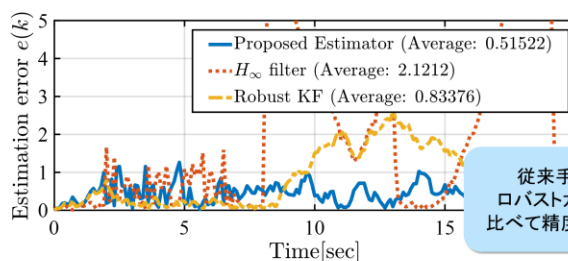
コード信号により
攻撃を検出可能

通常システムでは
検出困難

セキュア状態推定問題

- 有界ノイズ・サイバー攻撃が存在する環境における状態推定問題
- 攻撃による最大推定誤差を最小とする推定器設計
- 部分システムが不可観測となる場合でも推定誤差上界が有界となる推定器

アプローチ: 圧縮センシング・凸多面体最適化理論



従来手法(H_{∞} フィルタ、
ロバストカルマンフィルタ)に
比べて精度の高い推定の達成

研究者名

システムデザイン工学科／総合デザイン工学専攻 教授 滑川 徹

大学院生 篠原 巧

お問合せ先

Email: namerikawa@sd.keio.ac.jp TEL: 045-566-1731

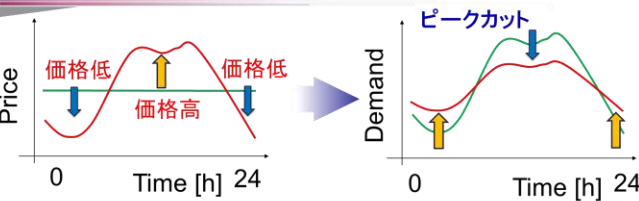
URL : <http://www.namerikawa.sd.keio.ac.jp/>



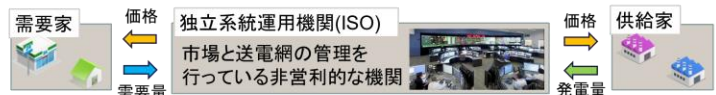
電力網のダイナミックプライシング

-Dynamic Pricing for Power Network-

ダイナミックプライシングとは？

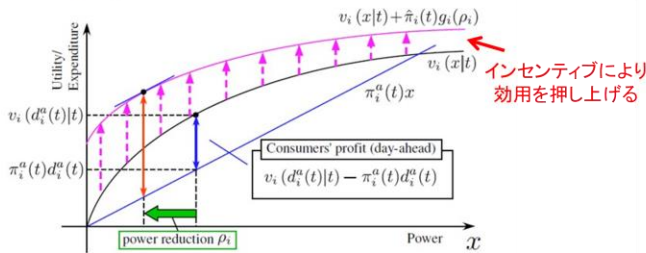


3つの参加者(プレーヤー)



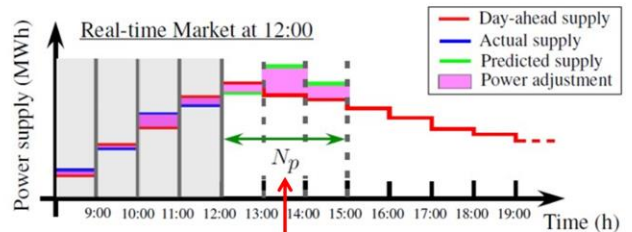
- ・利己的に行動する需要家と供給家が参加する電力市場
- ・電力料金を時間帯毎に変化させて需給量を調整

ポイント1 ネガワット取引に基づく需要調整



インセンティブ付与による需要削減の促進

ポイント2 発電予測に基づく蓄電池による需給調整



Npステップ先までの発電量予測情報を加味して需給量調整

未来の発電量予測情報を考慮した需給調整

双対問題による分散的な需給調整

主問題

$$\min_{\rho, s_b, \phi, p_b} \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{i \in \mathcal{A}} \left\{ \underbrace{\Delta U_i(\rho_i | t_l)}_{\text{需要削減による需要家の利益減少量}} + \underbrace{F_i(t_l)}_{\text{需給調整費用}} \right\}$$

s.t. $\rho(t_l) + r(t_l) = \eta(t_l), \forall l \in \mathcal{L}$ 電力網における地域間潮流流量を含む電力需給バランス

$C_{b_i}(t_{l+1}) = C_{b_i}(t_l) - p_{b_i}(t_l), \forall i \in \mathcal{A}, \forall l \in \mathcal{L}$ 蓄電池の充電変化量制約

$C_{b_i}^{\min} \leq C_{b_i}(t_l) \leq C_{b_i}^{\max}, \forall i \in \mathcal{A}, \forall l \in \{1, 2, \dots, N_p\}$ 蓄電容量制約

未来の発電量予測を加味した充放電計画

双対問題

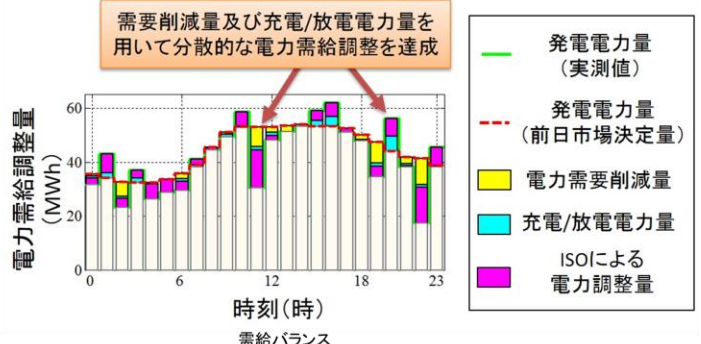
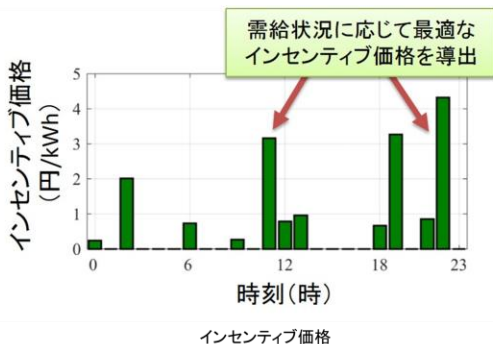
$$L(\rho, s_b, \phi, p_b, \Pi(t))$$

$$= \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{i \in \mathcal{A}} \left\{ \Delta U_i(\rho_i | t_l) + F_i(t_l) \right\} - \Pi(t)^T \{ \rho(t_0) + r(t_0) - \eta(t_0) \}$$

$$- \sum_{l \in \mathcal{L}} \Pi(t)^T \left[\Omega_l \{ \rho(t_l) + r(t_l) - \eta(t_l) \} - h(\epsilon(t_l)) \Sigma(t_l) \right]$$

Chance-constraint formulation を用いて確率的な制約を確定的な制約に変換

最適なラグランジュ乗数がインセンティブ価格として導出される



研究者名

システムデザイン工学科／総合デザイン工学専攻 教授 滑川 徹
訪問研究員 大川 佳寛／大学院生 永見 健太郎 武藤 啓太

お問合せ先

Email: namerikawa@sd.keio.ac.jp TEL: 045-566-1731
URL: <http://www.namerikawa.sd.keio.ac.jp/>

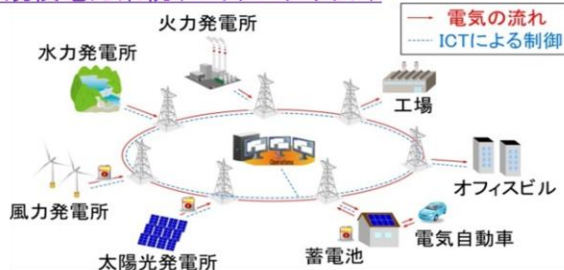


エネルギーネットワークの制御

- Control in Energy Network -

マイクログリッドの周波数制御

小規模電力系統(マイクログリッド)



再生可能エネルギー電源の導入拡大
問題点: 気候条件による出力変動

需給バランスの維持が困難 = 周波数変動

周波数制御の必要性

応答速度を考慮した周波数制御

ディーゼル発電機 → 応答が遅い

蓄電池 → 応答が速い

- ディーゼル発電機と蓄電池の協調を考慮

蓄電容量制約を含めた最適制御

$$J = \int_{t_0}^{t_f} \{x^T Q x + \text{sat}^T[u] \text{sat}[u]\} dt$$

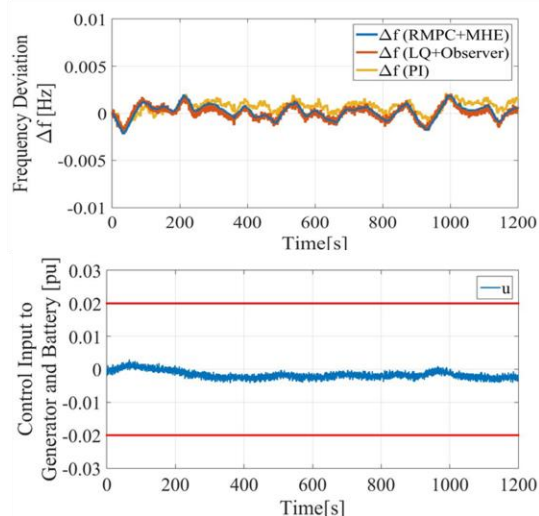
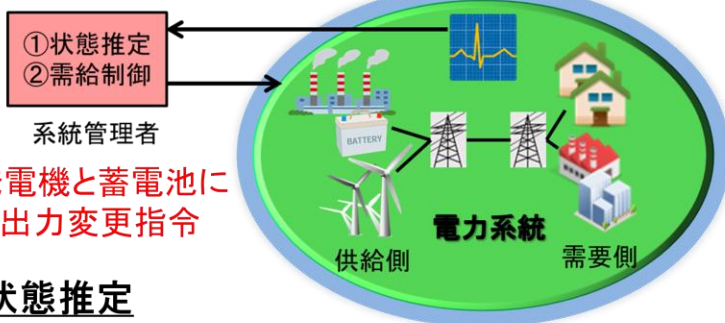
$$\text{s.t. } E_2(t_0) - \int_{t_0}^t \Delta P_B(\tau) d\tau \geq 0$$

入力制約を考慮した発電機と蓄電池
を組み合わせた電力需給調整

- 制約を設けた発電機と蓄電池
- 蓄電池容量を考慮
- 周波数変動の抑制

状態推定値を用いた負荷周波数制御

周波数変動を検知



状態推定

$$\hat{x}(t+1) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + \hat{L}e(t) - \hat{G}w(t - H_e) - \hat{H}v(t - H_e)$$

最適制御

$$\min_{\bar{x}(t), \bar{u}} \sum_{j=t}^{t+H_p} \bar{x}^T(j) Q \bar{x}(j) + \sum_{l=t}^{t+H_u-1} \bar{u}^T R \bar{u} \quad \text{s.t. } (\bar{x} \times \bar{u}) \in \bar{\mathbb{X}} \times \bar{\mathbb{U}}$$

- 状態、制御入力の制約を考慮した周波数制御

研究者名

システムデザイン工学科／総合デザイン工学専攻 教授 滑川 徹

大学院生 平中 拓人 関根 徹也

お問合せ先

Email: namerikawa@sd.keio.ac.jp TEL: 045-566-1731
URL: <http://www.namerikawa.sd.keio.ac.jp/>