



# エネルギー管理システム

- Energy Management System -

## エネルギー管理システム

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

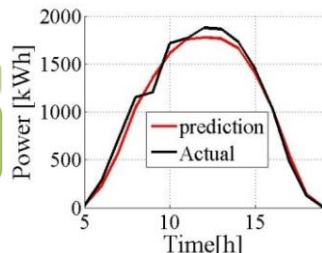
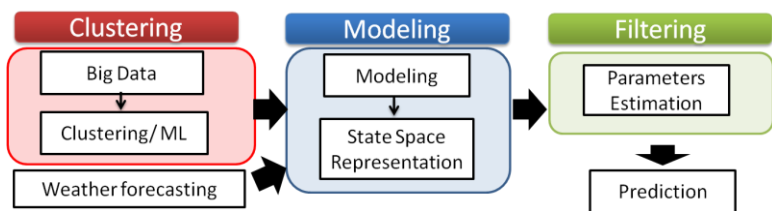
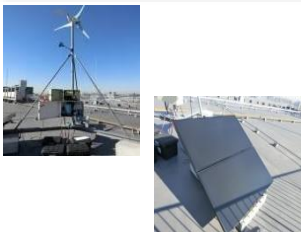
### 具体例

通信コスト低減化のための分散型空調管理システム(BEMS)

充放電可能な二次電池を安全・高効率に利用するためのマネジメントシステム

### 発電量予測

24時間先の発電出力の予測システム



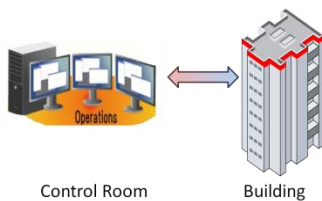
誤差の小さい予測

### BEMS

通信コスト + 快適性 + ピークカットが実現可能なシステム

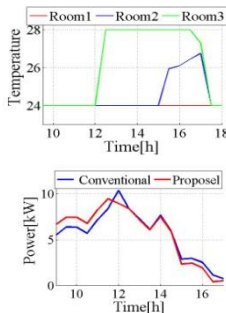
集中制御システム

分散制御システム



中央管理室の負担 大

中央管理室の負担 小



	通信時間
提案手法	17.5[s]
従来手法	50.8[s]

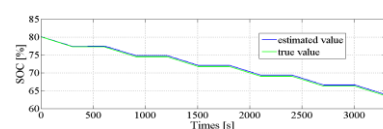
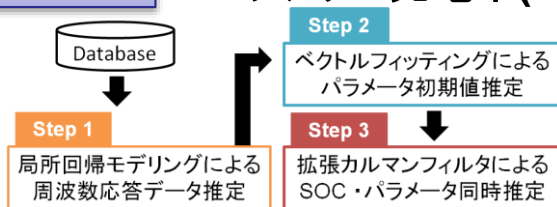
通信コスト  
快適性  
ピークカット

### バッテリーマネジメント

バッテリーの充電率(SOC)推定システム



Li-ion バッテリ



精度の良く推定が可能

### 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 須田 貴俊

### お問合せ先

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



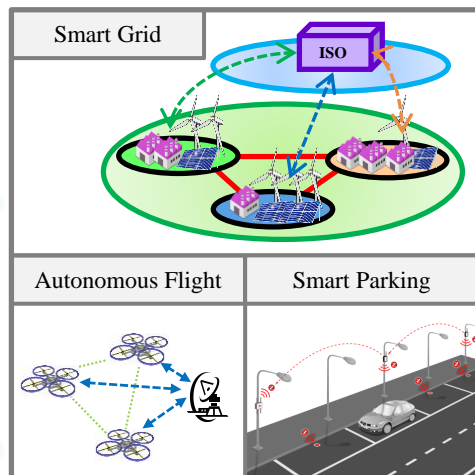
# CPSにおけるサイバー攻撃の検出

- Detection of Cyber Attacks in Cyber-Physical Systems -

## サイバーフィジカルシステム(CPS)

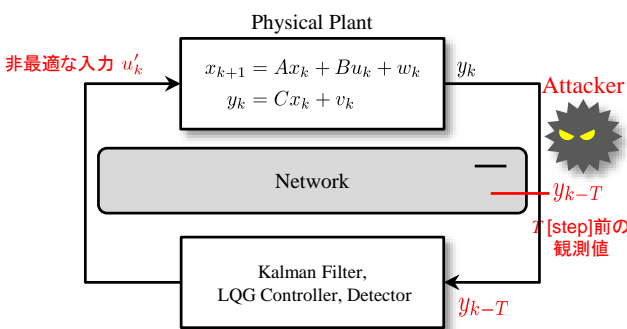
- ICTの深化に伴うネットワーク化やサイバー空間利用の飛躍的發展
  - 現実世界に点在する「もの」がIoTの技術革新により「システム化」
- ICT・IoT技術を最大限活用し、サイバー空間と実空間との融合
- ネットワーク依存性が高く、**サイバー攻撃を受ける**可能性がある
  - 制御システムに対する攻撃が増加するため、**地球環境**や**生命活動の破壊**に繋がる恐れあり
  - 攻撃の高度化による**検出の難化**

## CPSにおけるサイバー攻撃に対する頑健性の確立



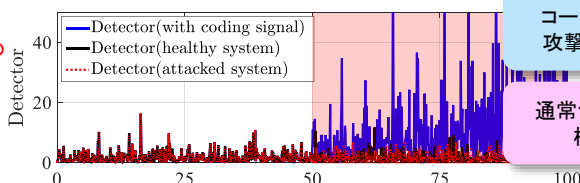
## リプレイ攻撃

Motivation: **StuxNet Incident** (Iran, 2009)



- 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

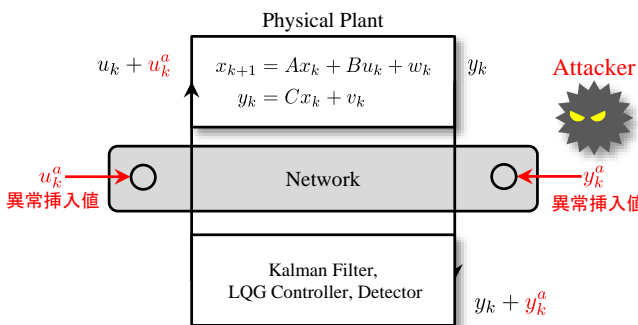


コード信号により攻撃を検出可能

通常システムでは検出困難

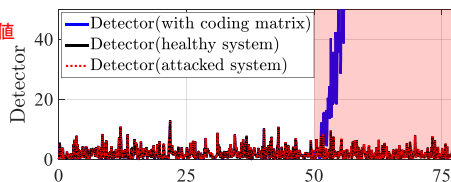
## 完全ステルス攻撃

Motivation: **Maroochy Incident** (Australia, 2001)



- システムモデルを既知な攻撃者
- 洗練された攻撃であり、通常システムでは**検出不可能**

アプローチ → 観測値へのコード行列



コード行列により攻撃を検出可能

通常システムでは攻撃時の観測残差が変化しない (検出不可能)

## 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](mailto: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

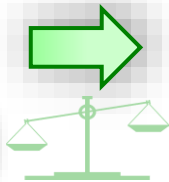
## -Dynamic Pricing for Power Network-

### Background

脱原発・地球温暖化問題

風力・太陽光発電大量導入

発電量は天候依存



### Problem

電力需給バランスの乱れ

系統周波数変動発生

電力系統への悪影響



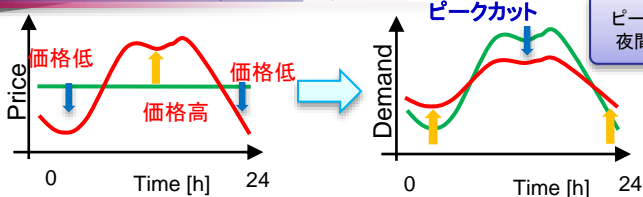
### Approach

ダイナミックプライシング

電力価格動的決定

電力価格による電力需給制御

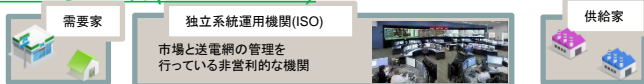
### ダイナミックプライシングとは?



### 電力料金の単価を時間で変化させる料金体系

- 需要が多い昼の時間帯・再生可能エネルギー発電量の急減
  - 電力料金を上げる → 電力需要の低下
- 需要が少ない深夜の時間帯・再生可能エネルギー発電量の急増
  - 電力料金を下げる → 電力需要の増加

### 3つの参加者(プレイヤー)



電力負荷平準化・電力需給一致

### アプローチ1 前日決定電力料金: Day-Ahead Pricing

#### 主問題

$$\max_{s, s_t, d, \theta} \sum_{i \in A} \{v_i(d_i|t) - c_i(s_i) - c_{ci}(s_{ci}) - f_i(\theta_i)\}$$

需要家の効用 (Consumer utility), 供給者の発電費用 (Generator cost), 大型発電設備の発電費用 (Large generator cost), 電力需給に関するペナルティ (Penalty for imbalance)

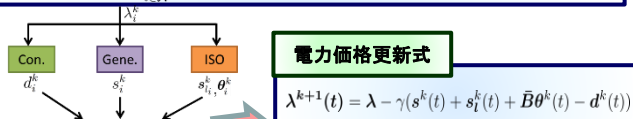
$$s.t. s + s_t + \bar{B}\theta = d$$

発電電力量 (Generated power), 地域間潮流 (Inter-regional flow), 電力需要量 (Power demand)

#### 双対問題

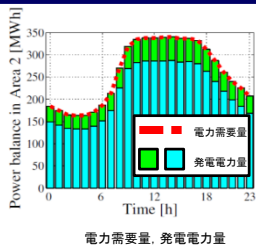
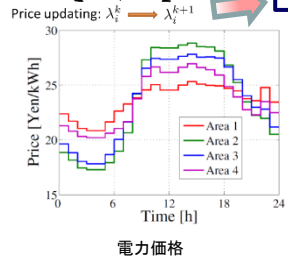
$$\min_{\lambda_0(t)} \max_{(s, s_t, d, \theta) \in \mathcal{F}} L(s, s_t, d, \theta, \lambda_0(t))$$

$$L = \max_{(s, s_t, d, \theta) \in \mathcal{F}} \sum_{i \in A} \{v_i(d_i|t) - c_i(s_i) - c_{ci}(s_{ci}) - f_i(\theta_i)\} + \lambda_0(t)^T (s + s_t + \bar{B}\theta - d)$$



#### 電力価格更新式

$$\lambda^{k+1}(t) = \lambda - \gamma(s^k(t) + s_t^k(t) + \bar{B}\theta^k(t) - d^k(t))$$



### アプローチ2 実時間電力料金: Real-Time Pricing

#### 主問題

$$\max_x \sum_{i=1}^n J_i(x_i) + J(z)$$

目的関数 (プレイヤーの利益の総和, 公共利益の最大化) (Objective function: sum of player benefits, maximization of public interest)

$$s.t. z = H(x) = \sum_{i=1}^n H_i(x_i)$$

制約条件 (公共利益ダイナミクス・需給偏差の解消) (Constraints: public interest dynamics, balancing supply and demand)

$$g_j(x) = 0 \quad (j = 1, \dots, m)$$

#### 非協力ゲーム

$$\min_{\lambda_j} \mathcal{O}_i(x, \lambda_j) - \min_{\lambda_j} \lambda_j g_j(x)$$

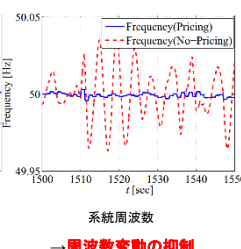
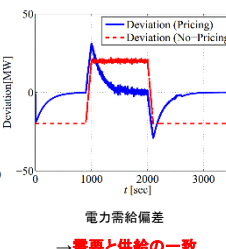
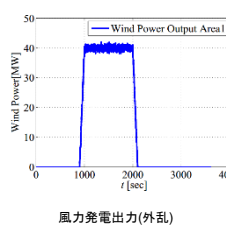
ISO目的関数 (ISO objective function)

$$\max_{x_i} \mathcal{C}_i(x_i, x_{-i}, \lambda_j) - \max_{x_i} J_i(x_i) + \pi_i(x_i, x_{-i}, \lambda)$$

需要家(供給者)目的関数 (Consumer/Supplier objective function)

等価

付加コスト



→ 需要と供給の一致

→ 周波数変動の抑制

### 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

### お問合せ先

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





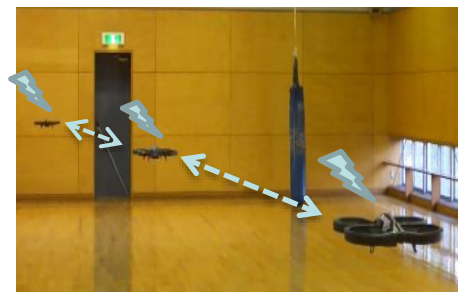
# 分散協調型マルチエージェントシステム

-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

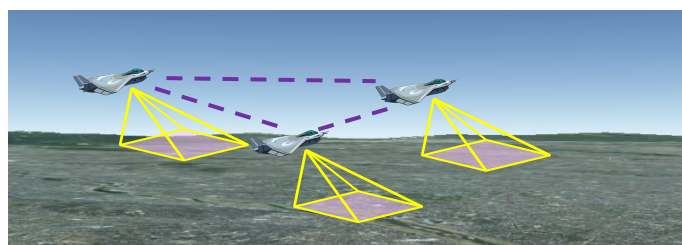
- 優れた効率性 - 短時間等, 作業効率の向上
- 優れた耐故障性 - タスク遂行力の向上



マルチエージェントシステム

## 応用例

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



複数のUAVによる情報収集のイメージ

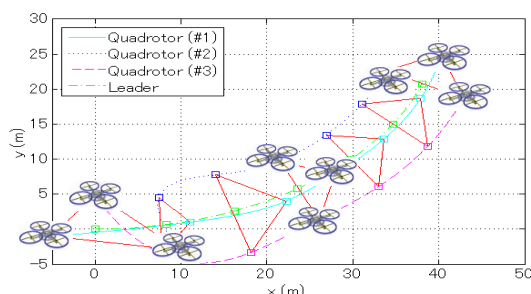
## ① Formation Control

UAV (無人航空機) 群のフォーメーション

合意アルゴリズムによる協調制御

$$u_i = - \sum_j \alpha_k \left( x_j^{(k)} - x_i^{(k)} \right)$$

入力 ゲイン 状態量偏差



## ② Disturbance Estimation

RISE(Robust Integral of the Sign of Error)を用いてシステム上の外乱を推定

- ➡ 外乱をキャンセルすることでロバスト性を向上させたフォーメーション制御

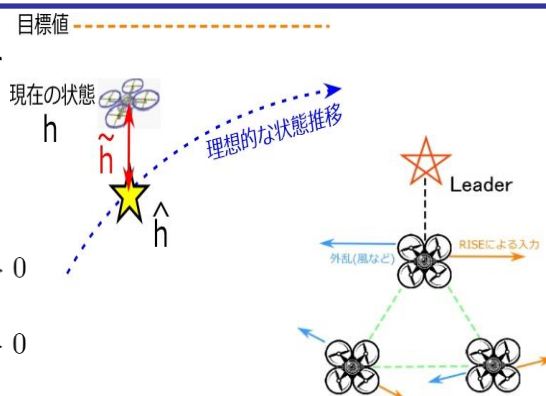
$$\hat{w} = \alpha e + \int_0^t (e + \beta \text{sgn}(e)) d\tau$$

外乱推定値 ゲイン  $\alpha, \beta \in \mathbb{R} > 0$

$$e = \dot{\tilde{h}} + k\tilde{h}$$

ゲイン  $k \in \mathbb{R} > 0$

状態推定誤差



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 駒木根 悠

お問合せ先

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



# スマート交通システム

- Smart Transport System -

## ITS(Intelligent Transport System)

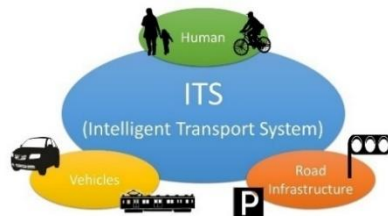
交通渋滞

- ・ 経済損失
- ・ 環境汚染
- ・ 交通事故要因

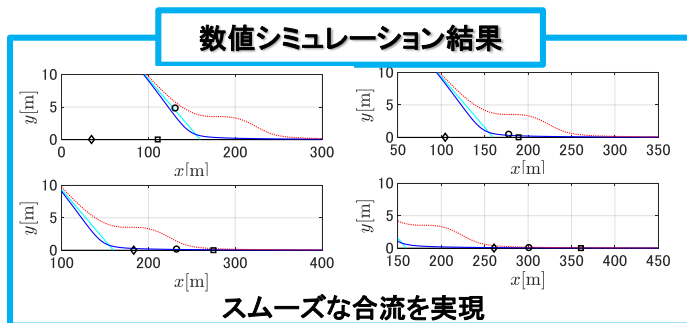
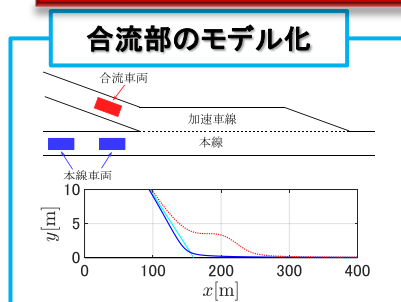
ITS

人・乗り物・自動車間で  
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

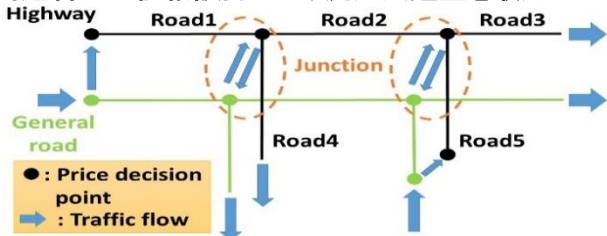


### ➤ 高速道路における合流制御



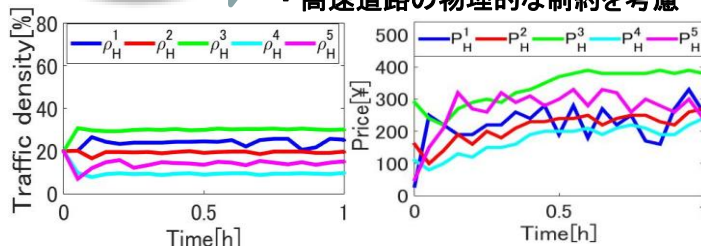
### ➤ 高速道路におけるロードプライシング

高速料金の価格設計により流入交通量を最適化



MPC

- ・ 価格の変動を抑制
- ・ 高速道路の物理的な制約を考慮

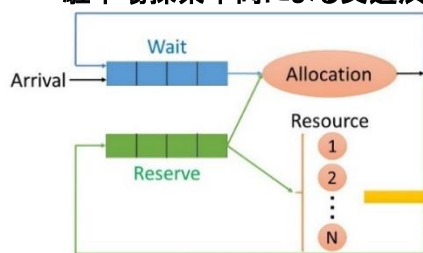


目標交通密度に収束

最適な価格設計

### ➤ Smart Parkingシステム

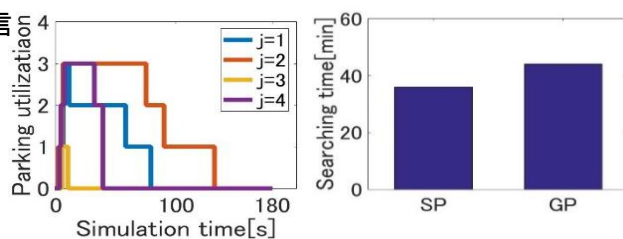
駐車場探索車両による交通渋滞



ITSによる情報通信

リアルタイムで駐車場の空き状態、ドライバーの状態を更新

各ドライバーの要望(目的地までの距離、駐車代金)に応じて最適駐車場を割り当てるシステム



駐車場探索時間の短縮により渋滞発生を抑制

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 吉原 美祐

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)



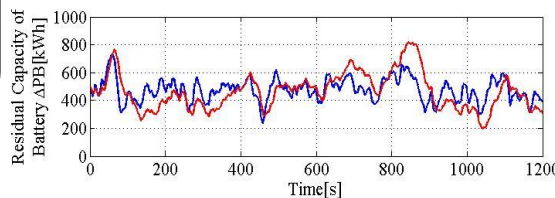
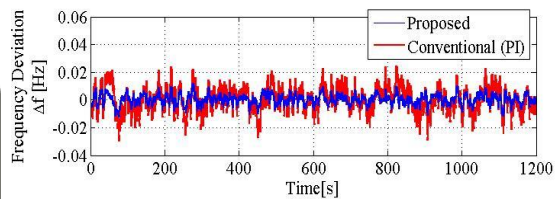
再生可能エネルギー電源の導入



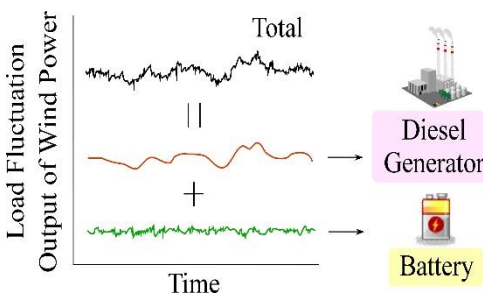
需給バランスの維持が困難



周波数制御の必要性



### 応答速度に応じた周波数制御分担



ディーゼル発電機 → 応答が遅い  
蓄電池 → 応答が速い

フィルタによる制御分担

- ディーゼル発電機と蓄電池の協調を考慮



- 蓄電池容量の削減
- 周波数変動の抑制

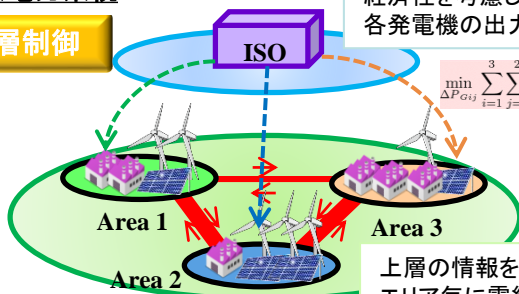
## 連系電力系統の階層分散周波数制御

### 連系電力系統

#### 階層制御

経済性を考慮し  
各発電機の出力決定

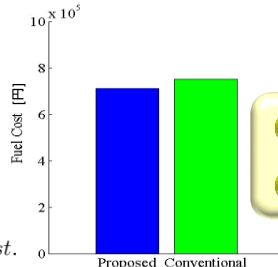
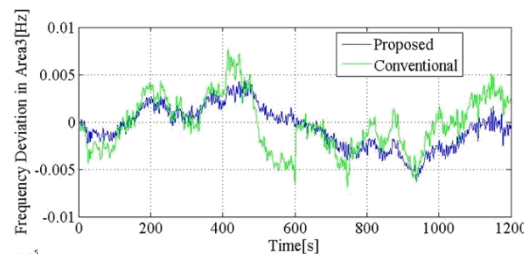
$$\min_{\Delta P_{Gij}} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 a_{g,ij} \Delta P_{Gij}^2 + b_{g,ij} \Delta P_{Gij} + c_{g,ij}$$



経済性を考慮した需給制御

上層の情報を元に  
エリア毎に需給調整

$$\min_{u_i} u_i^T \mathcal{R} u_i + 2(r_i(x) + h_i(d) + \mathcal{X}_i(x^{ref})) + \sum_{j=1, j \neq i}^M \mathfrak{B}_{ij} u_j^{p-1} u_i + const.$$



- 燃料費の削減
- 周波数変動の抑制

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

お問合せ先

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