

2018年9月18日 13:00-
JST CREST EMS領域
公開シンポジウム

再生可能エネルギーのスマート基幹電源化

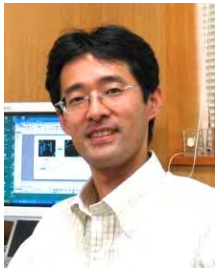
調和型電力エネルギーマネジメントシステム のための理論構築

井村 順一 東京工業大学

太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築 System Theory for HARmonized Power System Control Based on Photovoltaic Power Prediction (HARPS)



研究代表者 井村順一(東工大) アドバイザー 飯野 穰(東芝)
12 グループリーダー (研究者: 78名, 学生50名)



井村順一
(東工大)



津村幸治
(東大)



太田快人
(京大)

システム制御



児島 晃
(首都大学東京)



東 俊一
(名古屋大)



原 辰次(東大)
GL任期: 2015.04-2017.03



鈴木秀幸
(大阪大)

数理科学



造賀芳文
(広大)



植田 譲
(東京理科大)



杉原英治
(大阪大)

電力システム

気象工学



大関 崇
(産総研)



村田晃伸(産総研)
GL任期: 2015.04-2017.03



益田泰輔
(名城大)



山口順之
(東京理科大)



国際連携の取り組み

Application of
Interval Analysis



Prof. N. Ramdani
(Univ. Orleans)

Control Theory
of Power System



Prof. K. Johansson
Prof. H. Sandberg
(KTH Royal Inst. of Tech.)

Dr. Fabrizio Dabbene
Dr. Roberto Tempo
(CNR-IEIIT)



COOPS-JST Joint Project

PI: Yasumasa Fujisaki (Uchida Team)

Resilient Distribution
Systems inc. PV power



Prof. C.-C. Liu
(Virginia Tech.)



A.Prof. A. Chakraborty
(NC State Univ.)



Retrofit Control for
Wind Power Systems

DyMonS vs Glocal Control



Prof. M. Ilic
(MIT)

Hierarchical Control
inc. Market Mechanism



Dr. A. Annaswamy
(MIT)

Game theory of
power system



Prof. Vijay Gupta
(Univ. of Notre Dame)

Prof. G. K. Venayagamoorthy
(Clemson Univ.)



PV-Prediction based
RT Demand-side Control



社会連携：HARPS Consortium (HARPCON)

ポストFIT (FITのない2030年以降)のあるべき姿を
中間層の役割と設計指針を中心に探る

東工大 先進エネルギー国際研究(AES)
センター 小田教授

連携  エネルギー全体の視点から

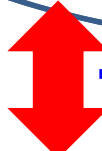
JST EMS CREST HARPS
HARPCON

企業10社

飯野AD



電中研(4名)

連携  電力全体(特に需要家側)の視点から

JST EMS CREST
中島チーム 岩船教授

政策提言
プロジェクト提案

実装を見据えた、
・研究の方向性
・個別共同研究

2016年3月 HARPCON設立準備会
2016年6月 第1回HARPCON会議
2017年1月 第2回HARPCON会議
2017年6月 第3回HARPCON会議
2018年2月 第4回HARPCON会議
2018年8月 第5回HARPCON会議

太陽光発電の スマート基幹電源化

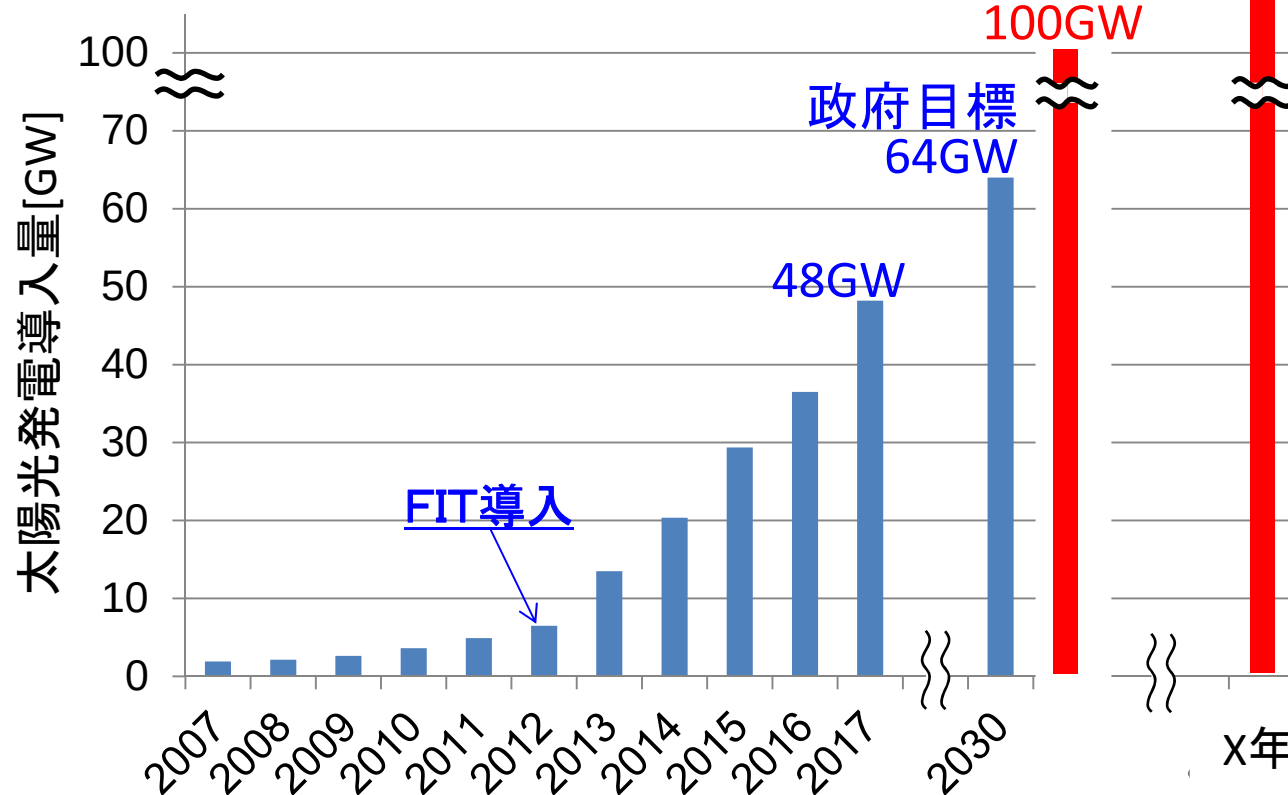
太陽光発電の導入量の状況

日本の総電力量の30%に相当

HARPS想定
300GW

日本の最大ピーク値の60% (総電力量の11%)に相当

HARPS想定
100GW

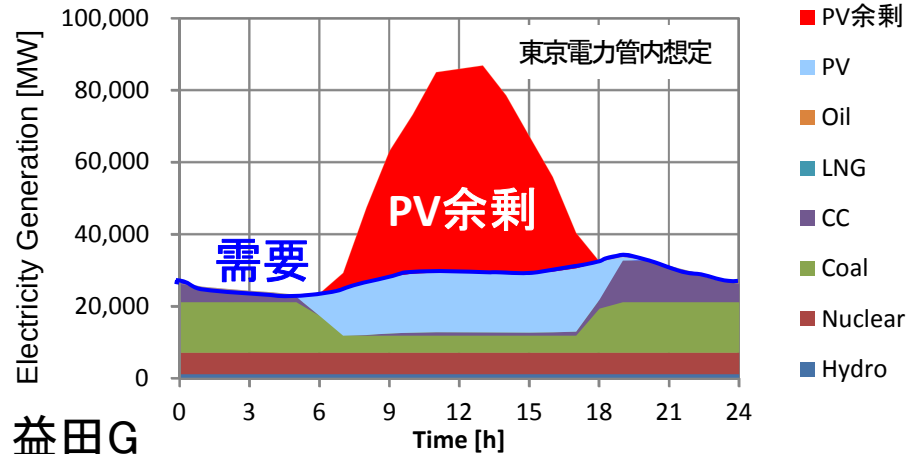


九州⇒全国大のPV導入量に換算すると、70-80GW相当

太陽光発電特有の技術的課題

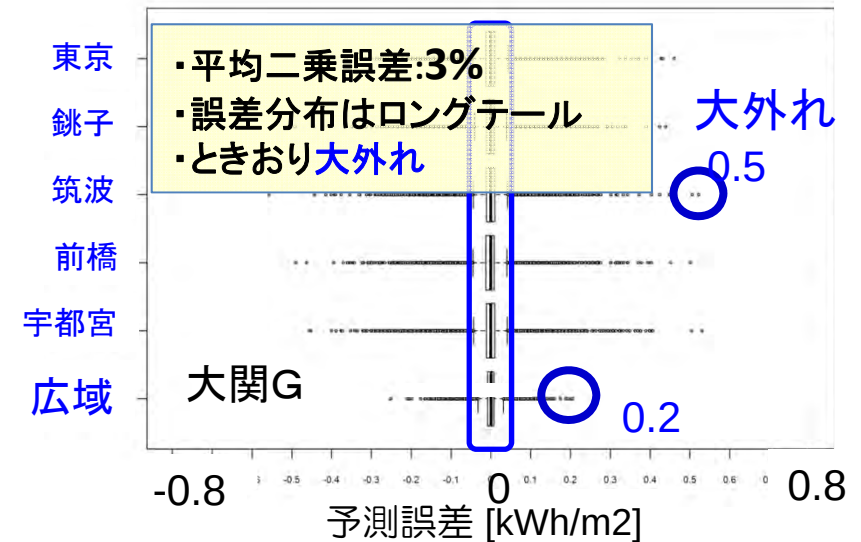
1. 発電プロファイルが固定（日中のみ発電）

全国大300GW

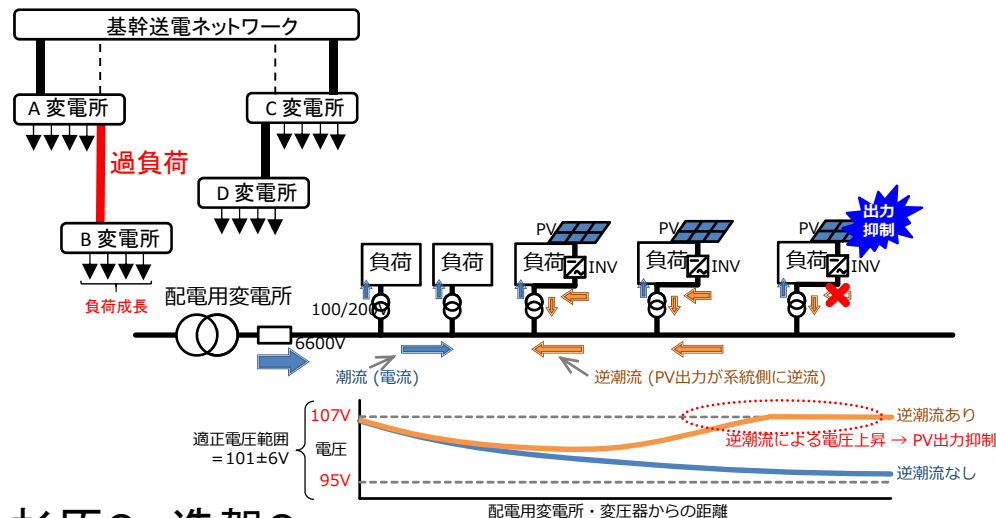


2. 太陽光発電予測の困難さ

数値予報: 1時間先予測の日射予測誤差

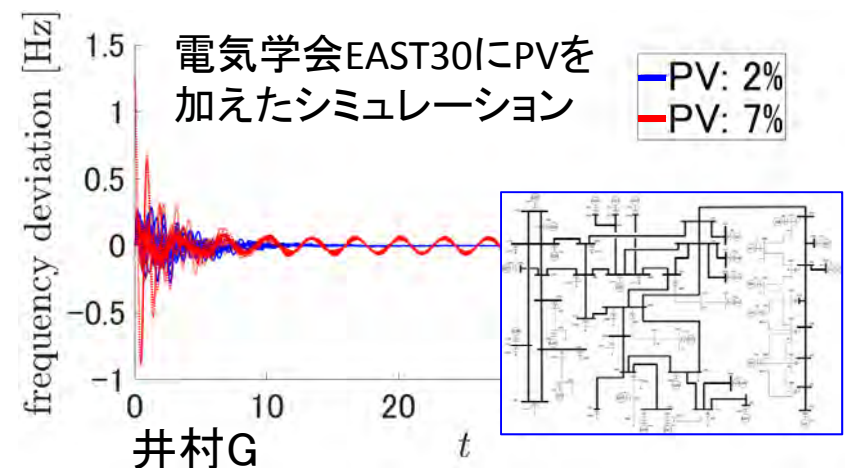


3. 大量の分散電源かつ潮流制約



杉原G、造賀G

4. 慣性力の低下による安定性低減

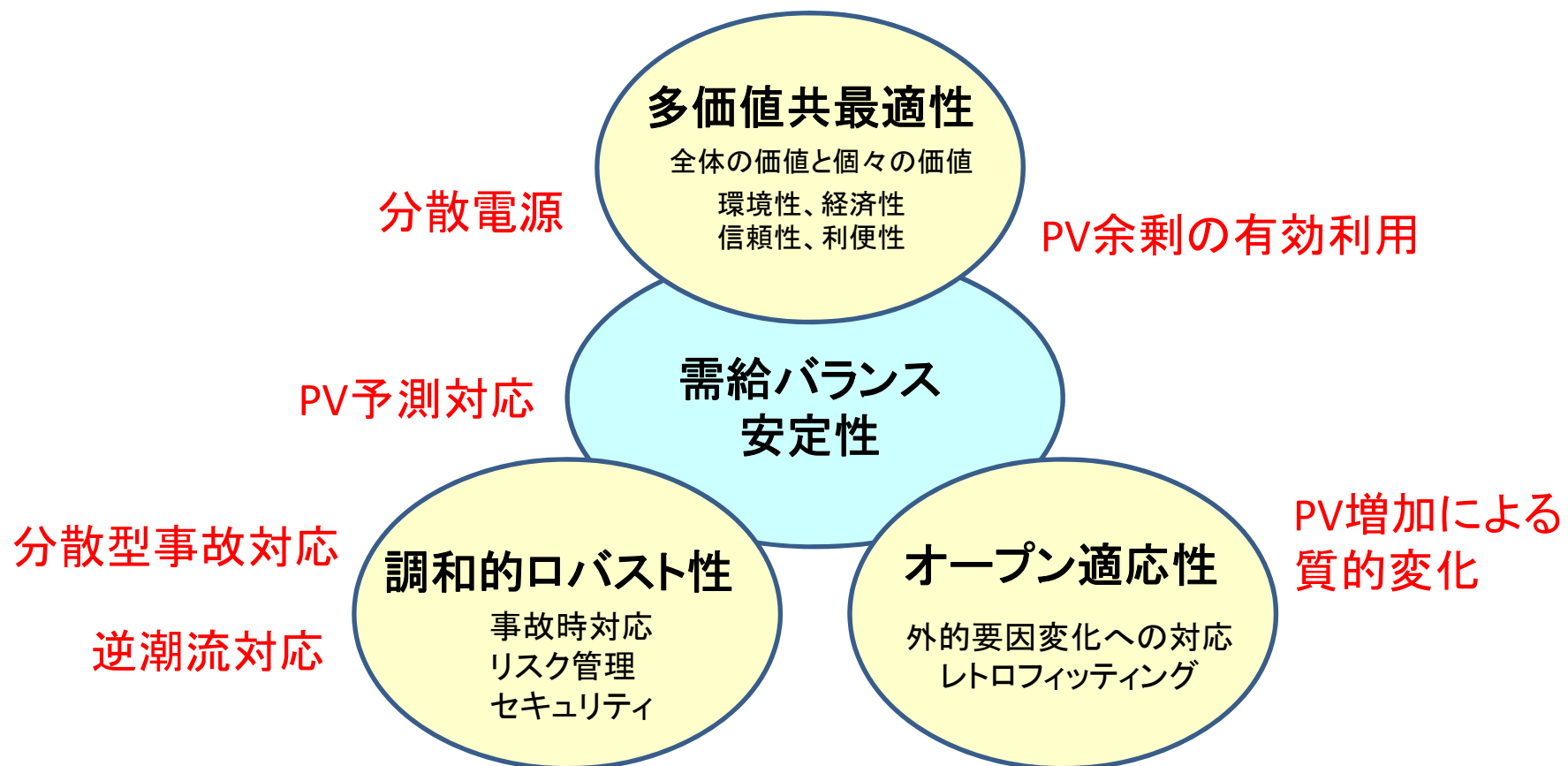


井村G

太陽光発電のスマート基幹電源化の定義

以下の要件を満たす電力システムの制御システムを実現すること。

1. 需給バランス維持と安定な電力供給（**需給バランス・安定性**）
2. 系統全体の価値と個々のユーザの価値の共最適性（**多価値共最適性**）
3. 発電予測のもとでのリスク管理やセキュリティ・事故時対応（**調和的ロバスト性**）
4. 外的要因によるシステムの変化・進化に対するフレキシビリティ
やレトロフィッティング（**オープン適応性**）





スマート基幹電源化のレベル

技術課題→実現できる価値



PV導入量 64GW(2020年) 100GW(2030年) 200GW(2050年) 300GW

抽象化版

AGの登場

高度予測制御と
蓄電池連携

PVスマート基幹電源化

PVスマート基幹電源化 のための システム理論は？

社会システムとは

エネルギーマネジメントシステム(電気, ガス, 熱),
道路交通システム, 輸送システム, 水循環システムなど

超大規模・複雑すぎて, ある側面に着目した要素論的研究がほとんど
⇒ 寄せ集めのシステムになる

例:

- ・PV、風力の性能向上研究多い, しかし設置数増加⇒全系不安定化
- ・自動運転の性能向上研究多い

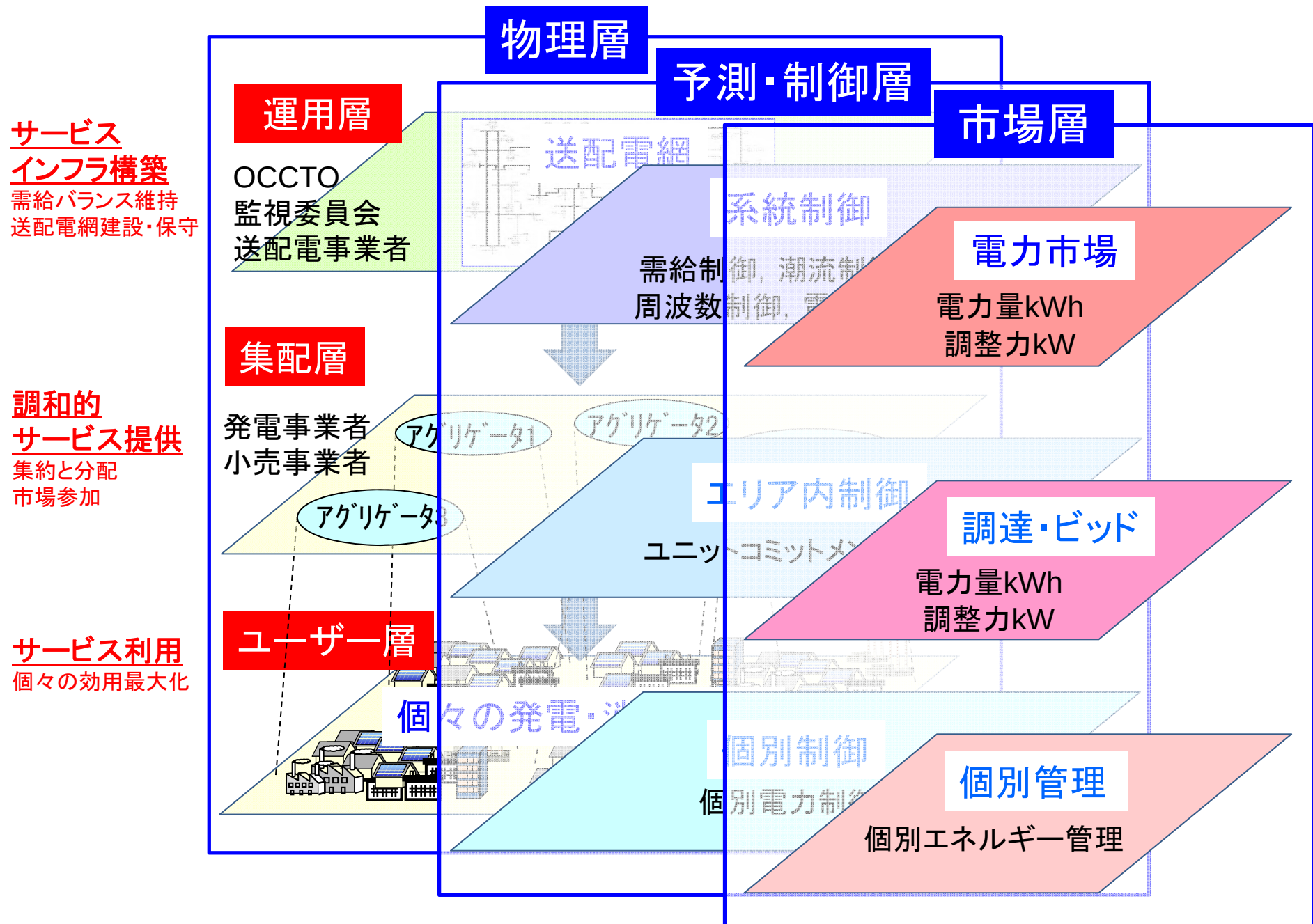
⇒システム論的アプローチで捉えた体系だった設計理論が必要

CPVNシステム (Cyber-Physical-Valuable-Network System)

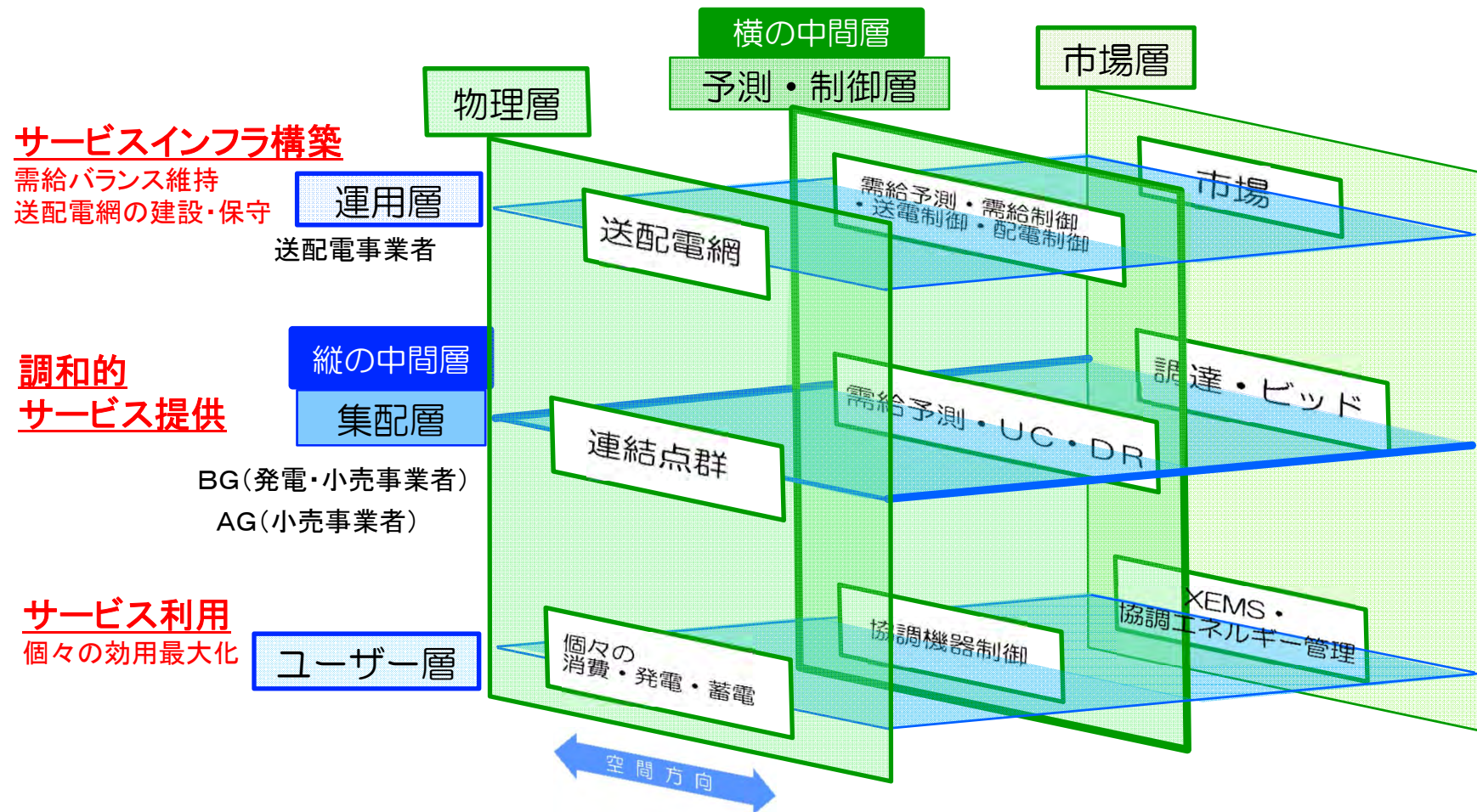
膨大でかつ多様なプレイヤーと多様な制御入力が存在し,
情報, 物流, 経済(効用)の超大規模ネットワーク構造のもとでサービスを提供するサイバーフィジカルシステム

⇒情報, 物流, 経済(効用)の超大規模ネットワーク構造をどのように描くか?

提案する次々世代電力システム構造



次々世代電力システム構造

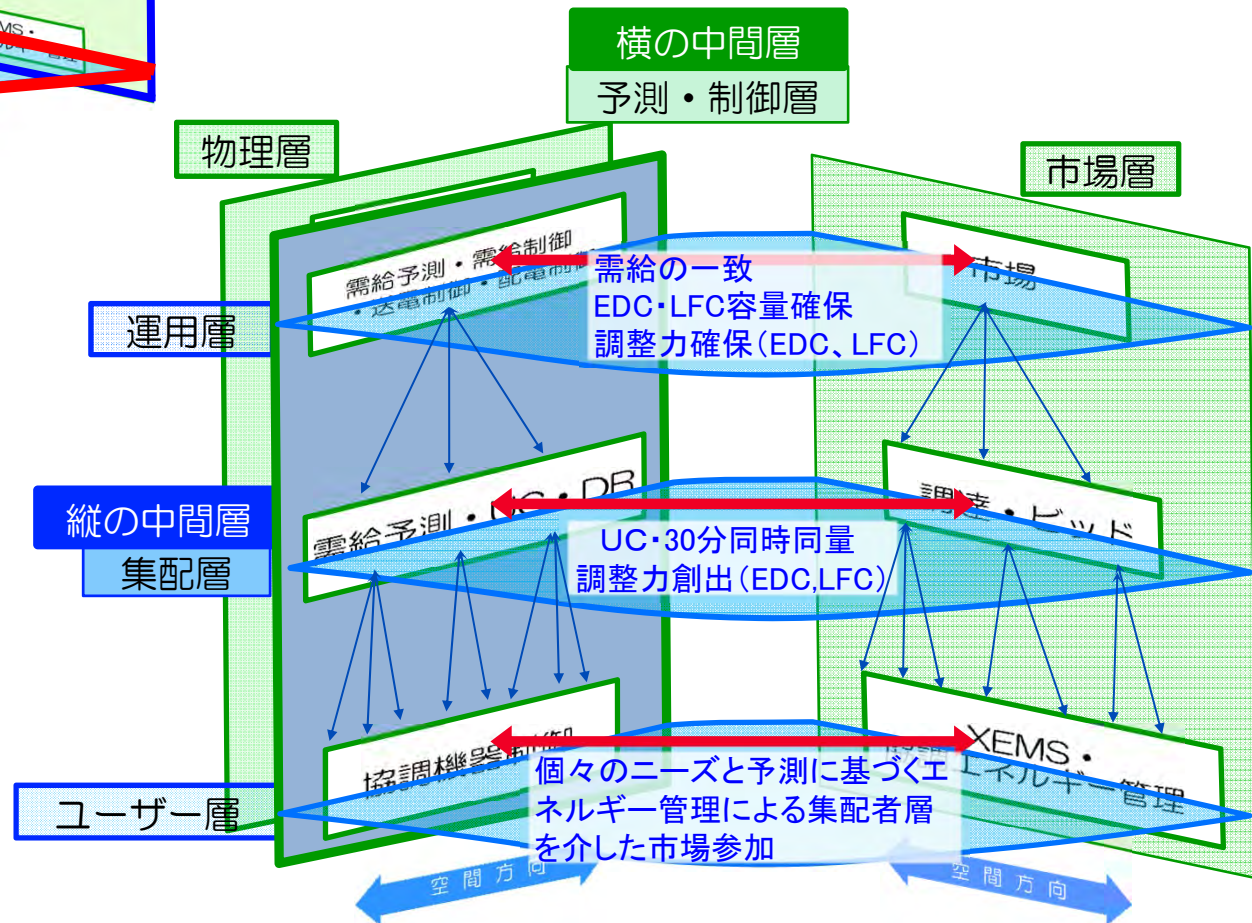
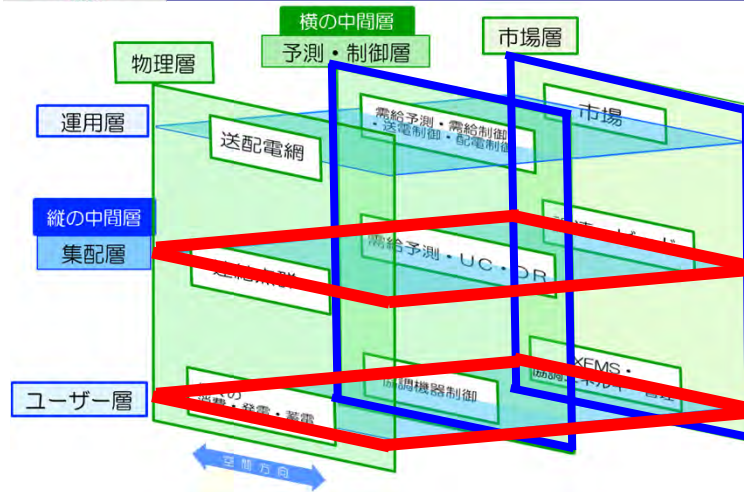


システムズアプローチ

- ・他との物理的相互作用、情報的相互作用、価値的相互作用
- ・各層・機能間から見たグローバル・ローカル目標の明確化
- ・様々なレベルでの制御入力、計測信号の協調的活用のための理論

システム論的アプローチ

次々世代電力システム構造



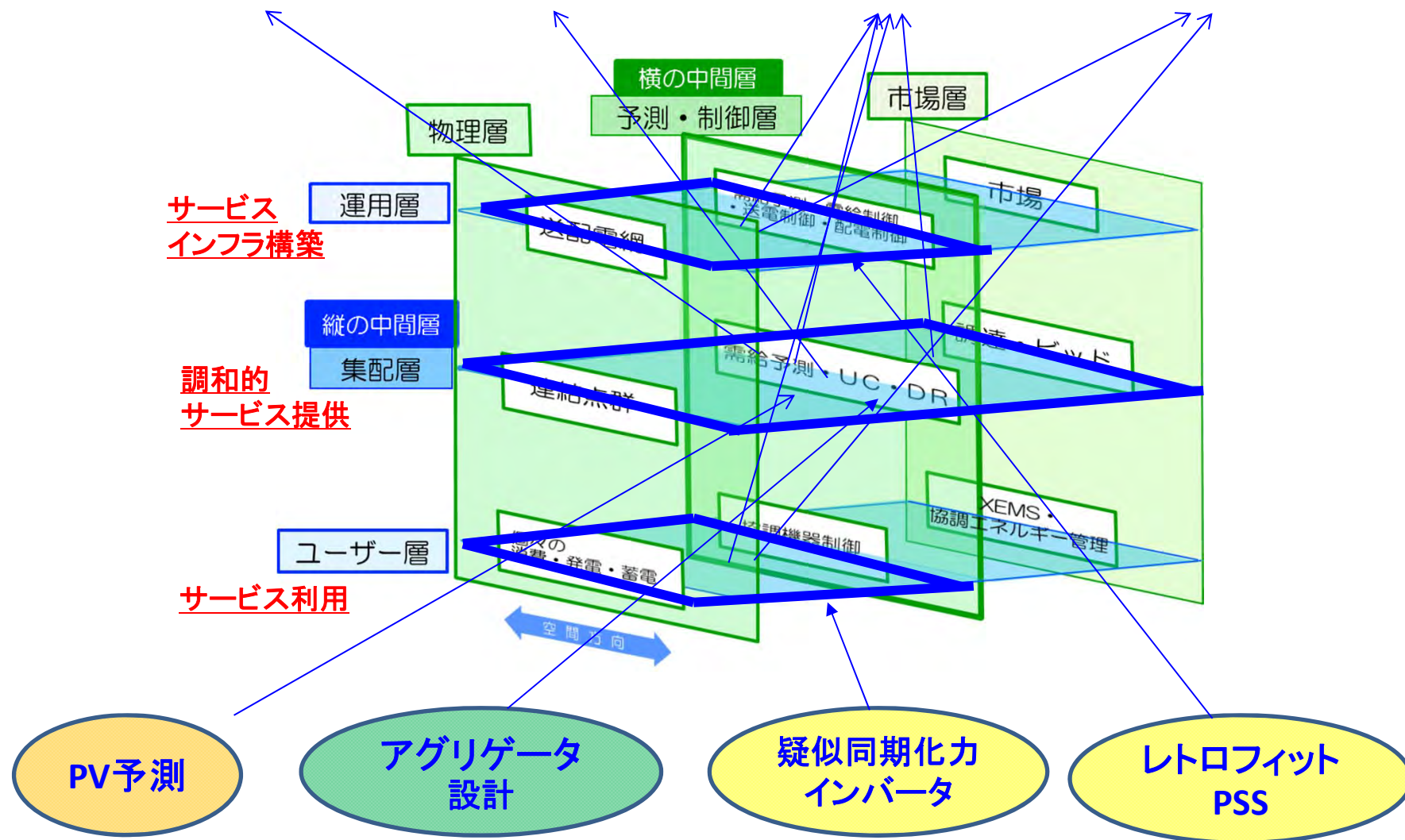
次々世代電力システム構造

需給バランス・安定性

多価値共最適性

調和的ロバスト性

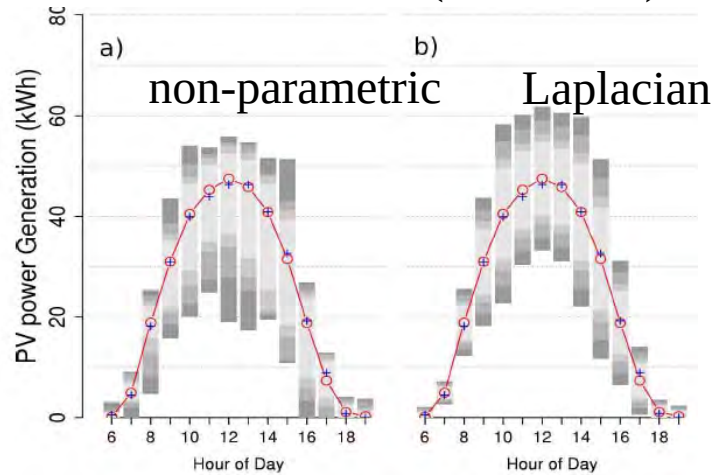
オープン適応性



【予測の不確実性、大外れの推定・予測】

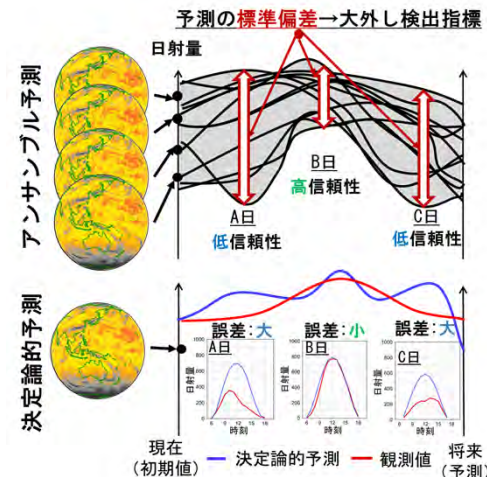
- PV出力の前日予測に4つの予測区間の検討
- non-parametric手法が最も区間が狭い

Fonseca Jr *et al.*, (2018, JEET)



- 日射量予測が大幅に外れる場合を検出する指標を考案
- 日・欧・英・米の気象予測情報を用いて、年5%のまれな事象を90%検出。

Uno *et al.*, 2018, Solar Energy

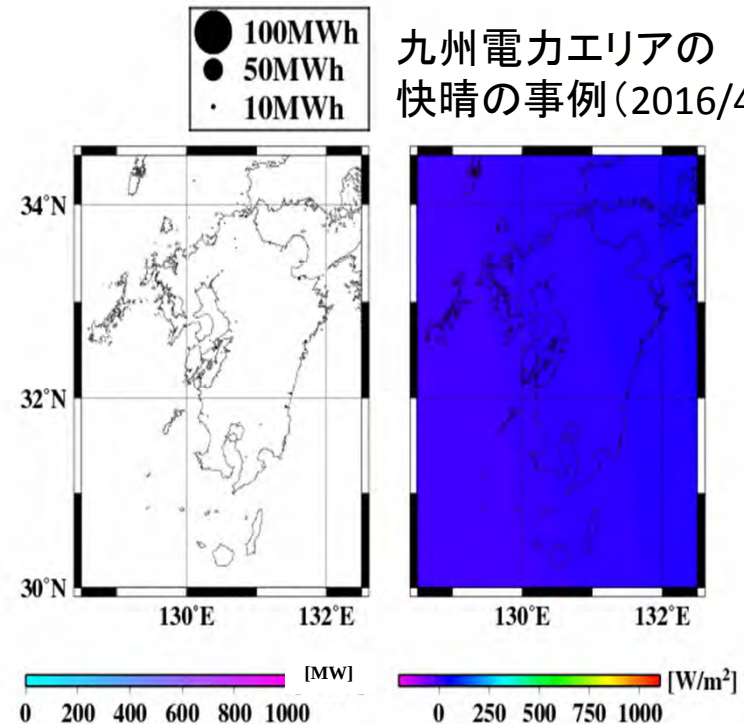


【中島Tとの連携研究の一環】

- 気象衛星ひまわり8号のPV出力推定への応用
- 2.5分毎に市町村毎のPV発電量を推定

Ohtake *et al.*, (2018, Energy Science & Engineering)

(日本時間) 2016 04 15 060000 hhmms



九州電力エリアの快晴の事例(2016/4/15)

PV発電電力量
マップ

AMATERASS
地上日射量

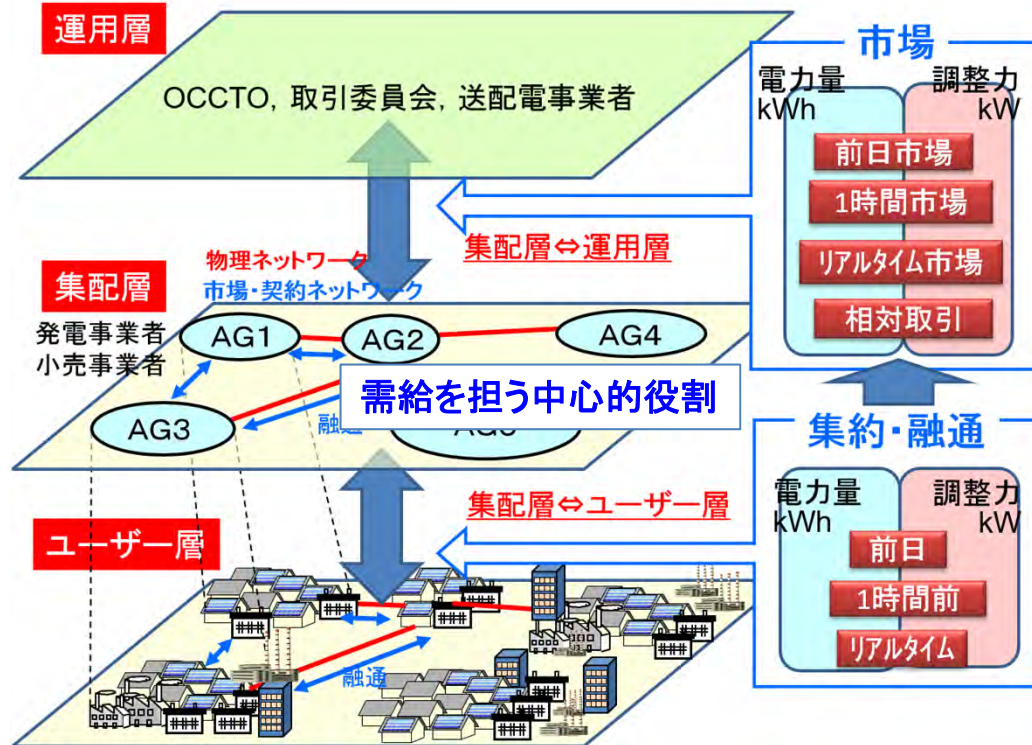
16

→ 区間予測に基づく需給制御への展開

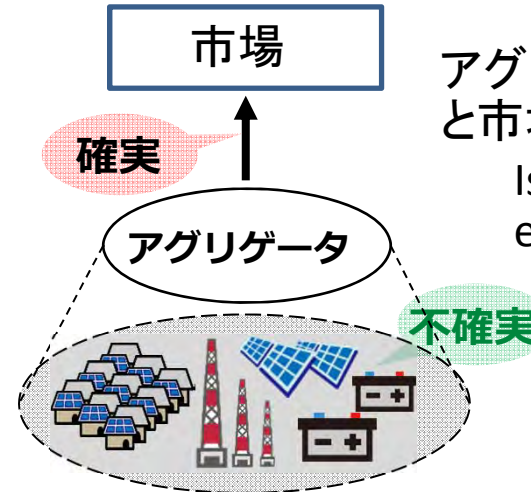
→ きめこまかい需給計画への展開

アグリゲータ設計

システム構造



集配層⇔運用層



アグリゲータ表現
と市場参加
Ishizaki, Koike,
et al. (2017)

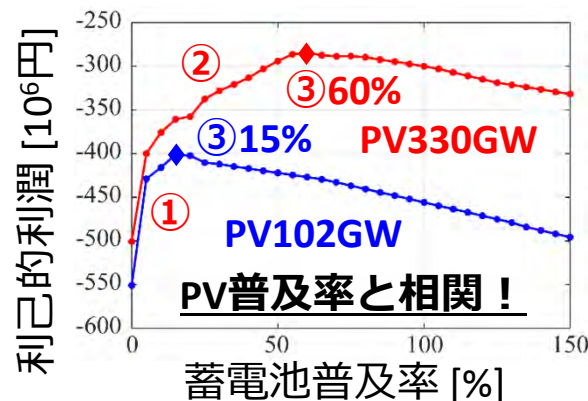
集配層⇔ユーザー層



アグリゲータ集配器
とユーザーEMS
を独立に設計化

個と全体の
共最適化

Hara, Tsumura, et al. (2017)

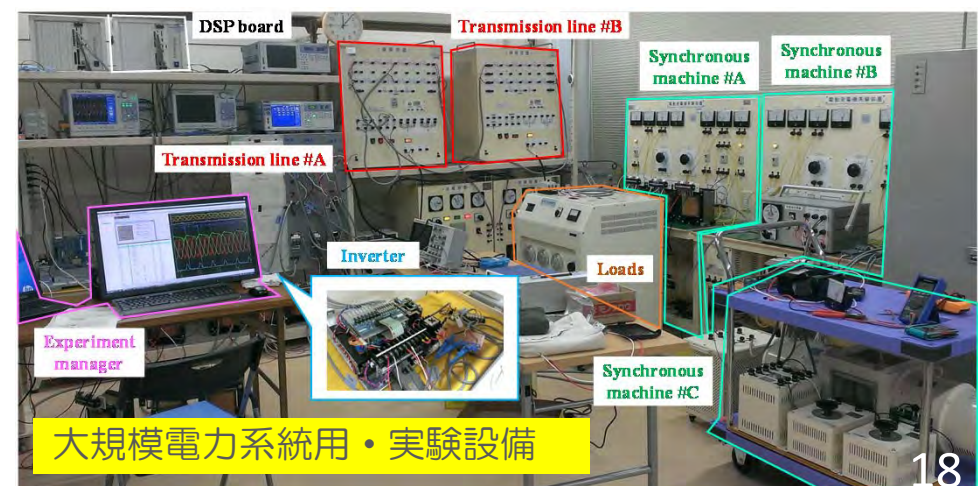
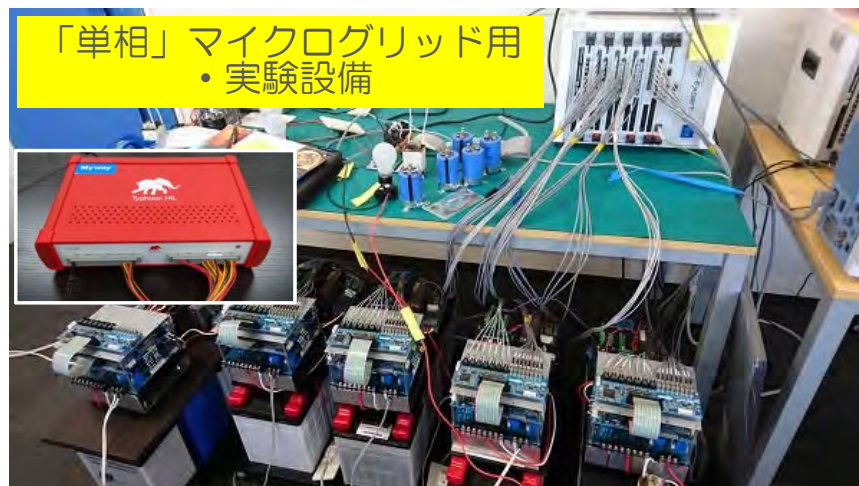
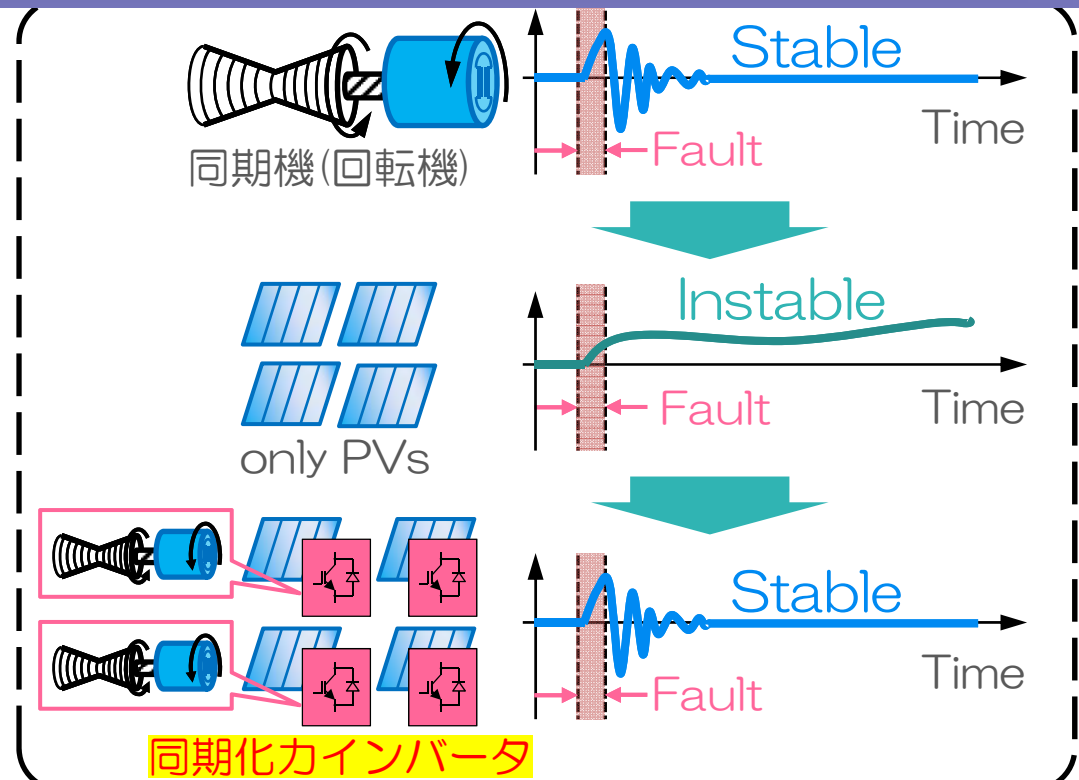


- ① 裁定取引
- ② 価格平準化
- ③ 蓄電池普及均衡点

$$\|\Delta\| \leq \gamma$$

同期化カイインバータの開発 (造賀G)

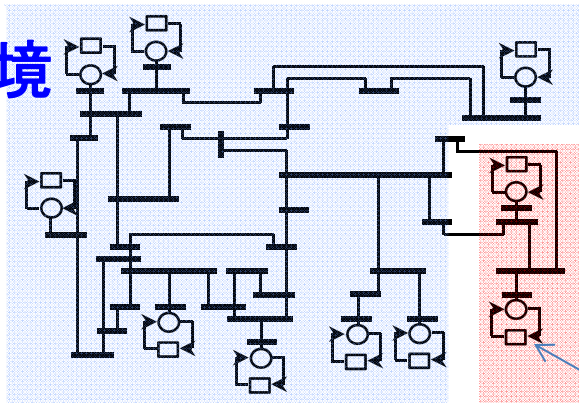
- 同期化カイインバータ(SI)の開発
 - ➔ 同期機の物理特性を再現
 - ⇒ 再エネ導入時の安定度向上
 - ⇒ PV大量導入が可能に
- 数値シミュレーションによる検証
 - ⇒ (済)理論の妥当性を確認
- 実験による実証実験
 - ⇒ (済)デジタル制御系への実装
 - ⇒ Hardware-in-the-loop
- 社会実装へ
 - ⇒ 取り組みを加速させる予定



レトロフィットPSS (井村G)

Ishizaki, Sadamoto, Chakrabortty, et al. (2017)

環境



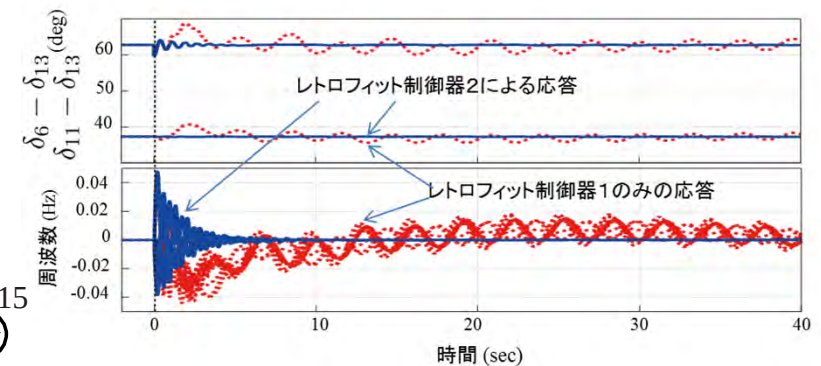
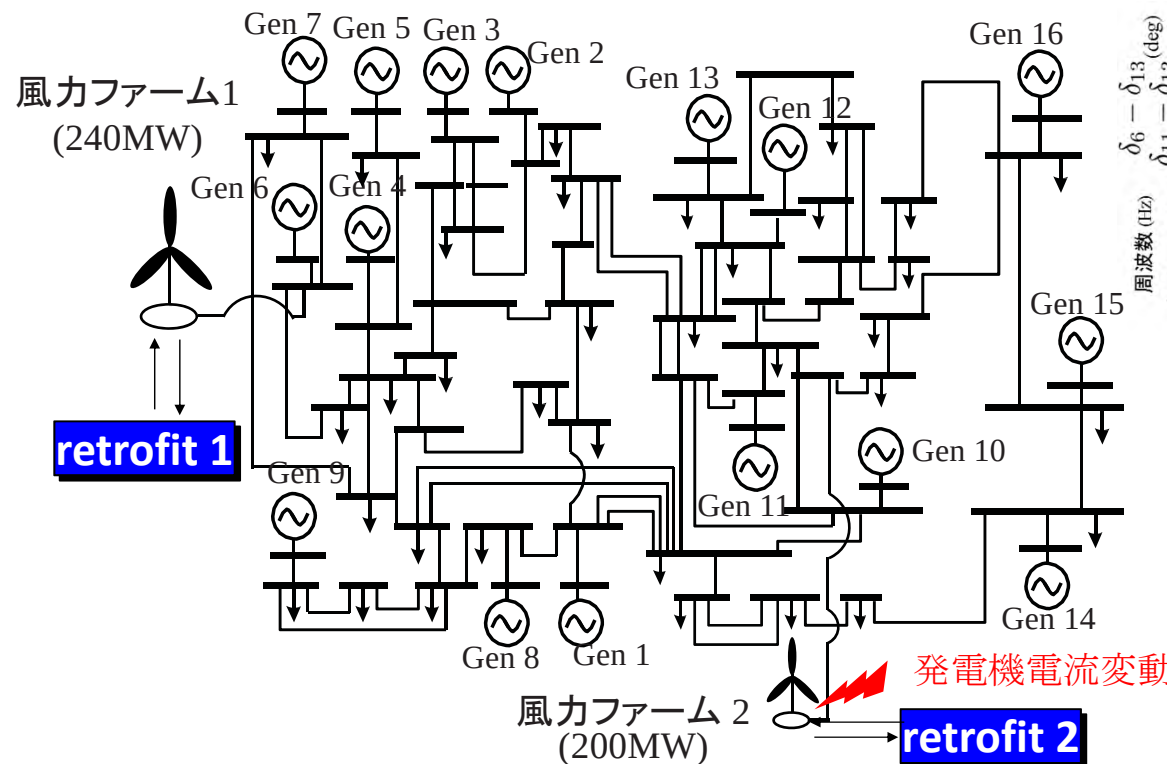
興味ある
システム

制御器設計

レトロフィット制御

- ・興味あるシステムの情報のみ入手可
- ・安定性や制御性能は他の制御器と独立

オープン適応性や調和的ロバスト性の実現



- ・NSFプロジェクト開始(2017-2020)
- ・Transformerに組み込むための理論、学習を組み込んだ枠組みを構築中

道路交通システムへの展開

FIRST, 基盤(A)など

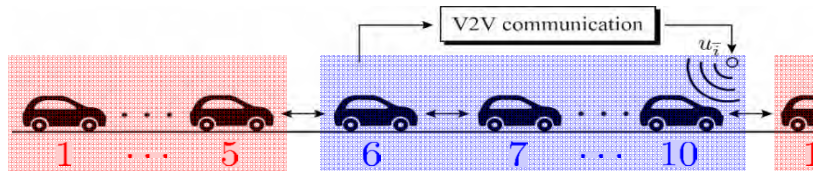
国際共同研究 M.A.S. Kamal (Monash Univ. Malaysia) (2012-)
C. Canudas de Wit (CNRS) (2017-)

インセンティブ型ナビゲーションシステム



IEEE Int. Conf. on ITSC (2015)

スマートドライブ



IEEE Trans. on ITS (2014)

交通プロフィール予測



IEEE ITSC (2017)

信号機の協調制御



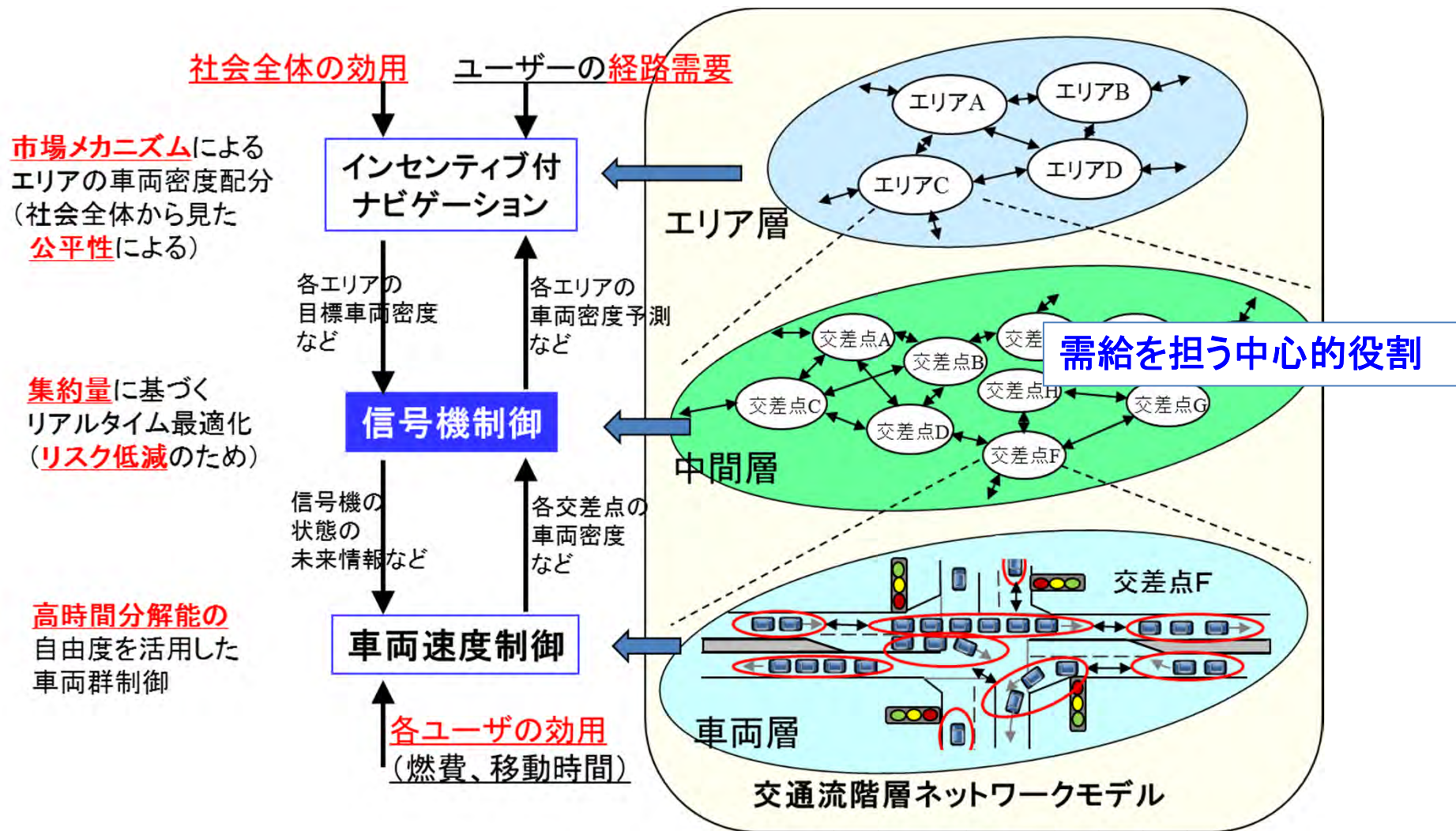
信号機を用いない交差点制御

Step: 0

IEEE Trans. on ITS (2015)

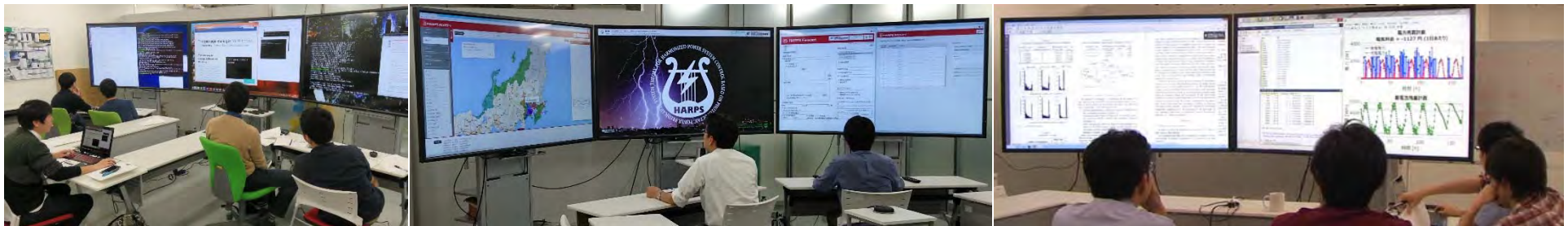
道路交通システムへの展開

システム構造 (研究中)



HARPS電力コラボルームの構築 山口G

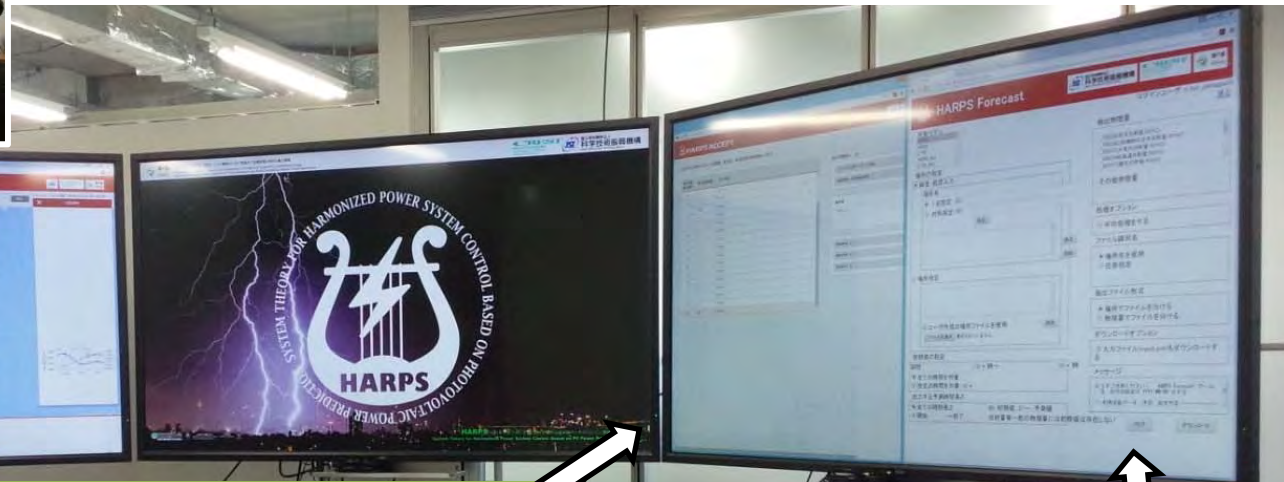
- 議論を深め、相互に研究を理解し、融合研究を発展させるために設計されたコラボレーションの場
- デジタル電力シミュレータの整備
 - 各研究者が作った電力系統モデル, 電力市場モデル, 電力需要モデル等が連動するシミュレーション
- 使用例
 - シミュレーションとシミュレーション条件変更を会議中にその場で実施
 - プログラムやデータをその場に表示しながらの詳細打合せ
＜電力コラボルーム活用の様子の一例＞



- (活用例)
- 若手の異分野研究発表会
 - 異分野数理モデル研究会
 - グループ間データ引継打ち合わせ
 - ユニット間数値実験条件検討 等

HARPS電力コラボルーム 山口G

デジタル電力シミュレータを備えたコラボレーションルーム
データ・システム連携のためのプラットフォーム



<HARPS ACCEPT>

HARPS電力システムモデル，電源構成モデル，電力市場モデル，中間層モデルを組み合わせ，各研究者が開発した各種の時空間レベルの制御手法を組み込んだデジタル電力シミュレーションを実行

<HARPS Forecast>

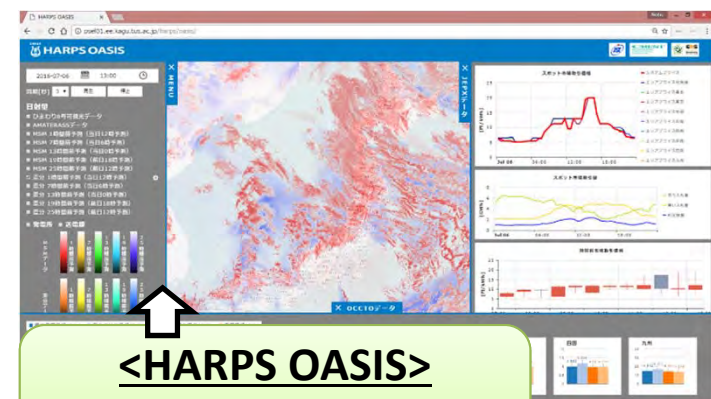
全国の日射量実績・予測のデータベースとインターフェイス

<HARPS Database>

OCCTO公開情報，JEPX価格，PV導入量，建物床面積などのデータをストレージ上でデータベース化(420TB)

<HARPS OASIS>

研究成果の外部公開

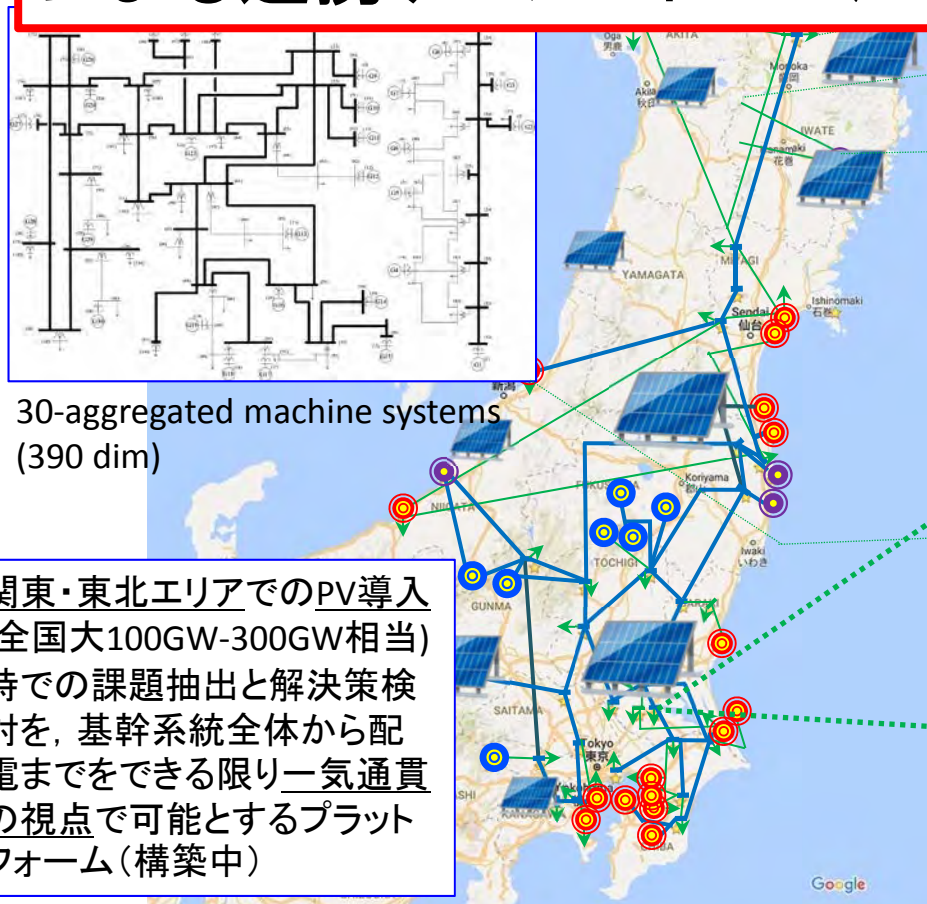


次世代電力系統研究用プラットフォーム構築

PV-EAST30モデル+気象データ

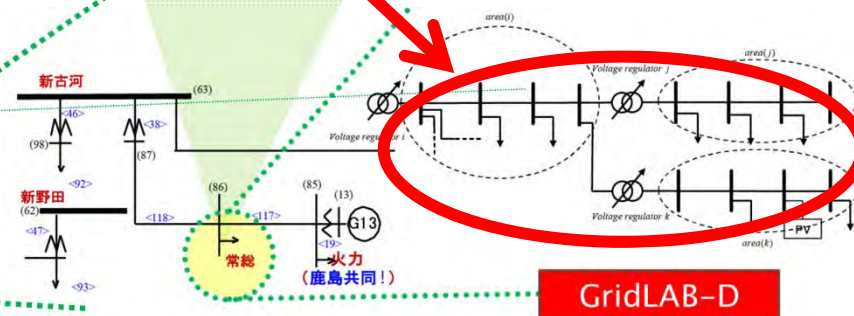
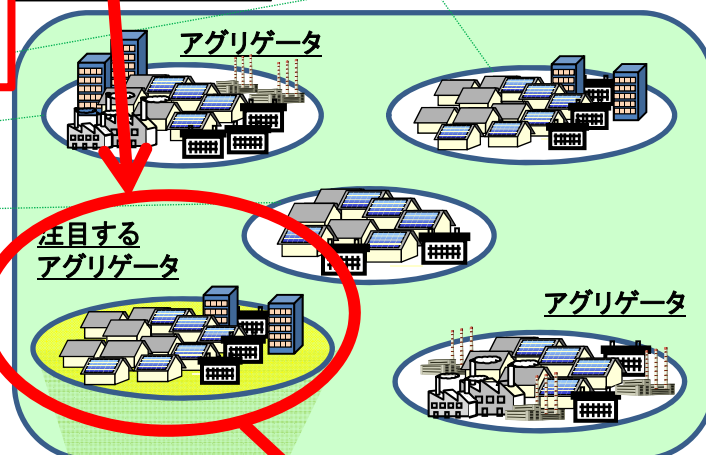
(電気学会標準モデル EAST30+PVモデル)

山口G、植田G、大関G、井村G
による連携デモンストレーション



市場, UC, EDC, 最適潮流計算, LFC,
過度安定解析, PSS, ...

中間層設計



造賀G配電系統シミュレータ GridLAB-D
太田Gインバータテストベッド

まとめ：HARPSが目指すもの

プロモーションビデオ

HARPSホームページ

<http://harps-crest.jpn.org/>

より視聴可