面接日時:　2012年7月28日(土)11:25pm～11:50pm
面接会場:東京都千代田区五番町7 K's五番町ビル
JST東京本部別館 2階セミナー室

【JST CREST 面接選考】

日時:7月28日11:25～11:50(10分:プレゼン, 15分質疑応答)

応募番号:12102000101600110012 5

【応募研究領域】

分散協調型エネルギー管理システム構築のための
理論及び基盤技術の創出と融合展開

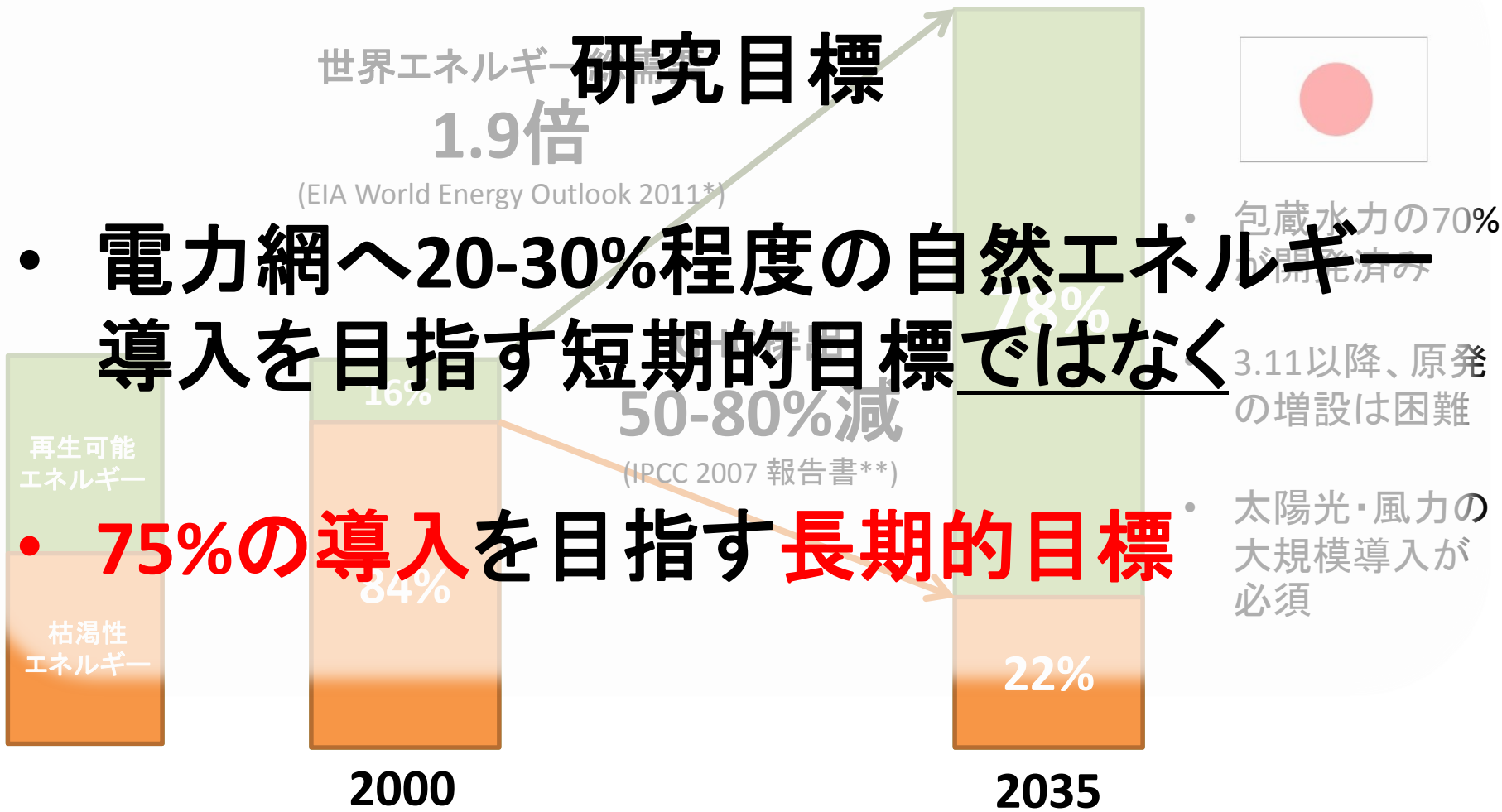
研究課題名:電力需要の約75%を自然エネルギーによって賄うことを可能とする分散ロバスト最適制御

慶應義塾大学理工学部・教授
大森 浩充(研究代表者)

温暖化の進行を止めるために必要な再生可能エネルギー導入比率は？

研究目標

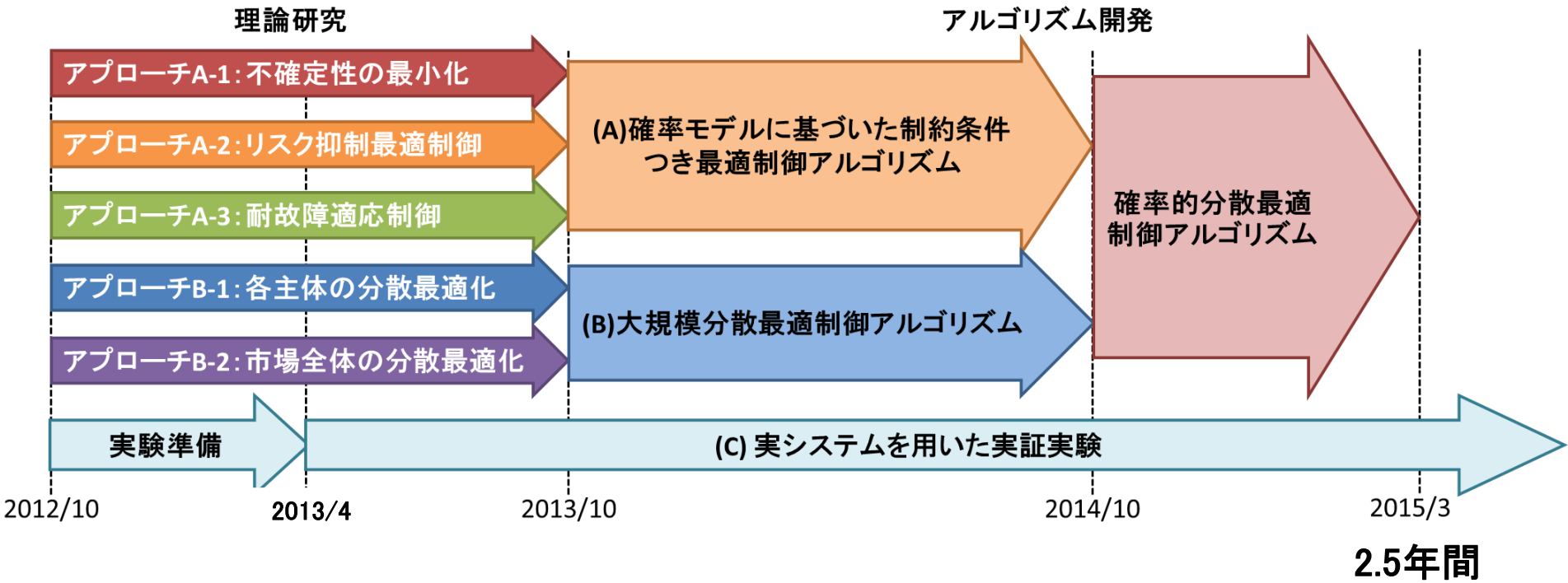
- 電力網へ20-30%程度の自然エネルギー導入を目指す短期的目標ではなく
- 75%の導入を目指す長期的目標



*EIA 2011 -「2035年における世界のエネルギー需要は2000年の1.9倍になる」

**IPCC 2007 -「気温上昇を2 度から2.4度以内に収めるには、温室効果ガス(GHG)の排出を2000年と比べて50%から80% 削減する必要がある」

提案アプローチ／研究の進め方



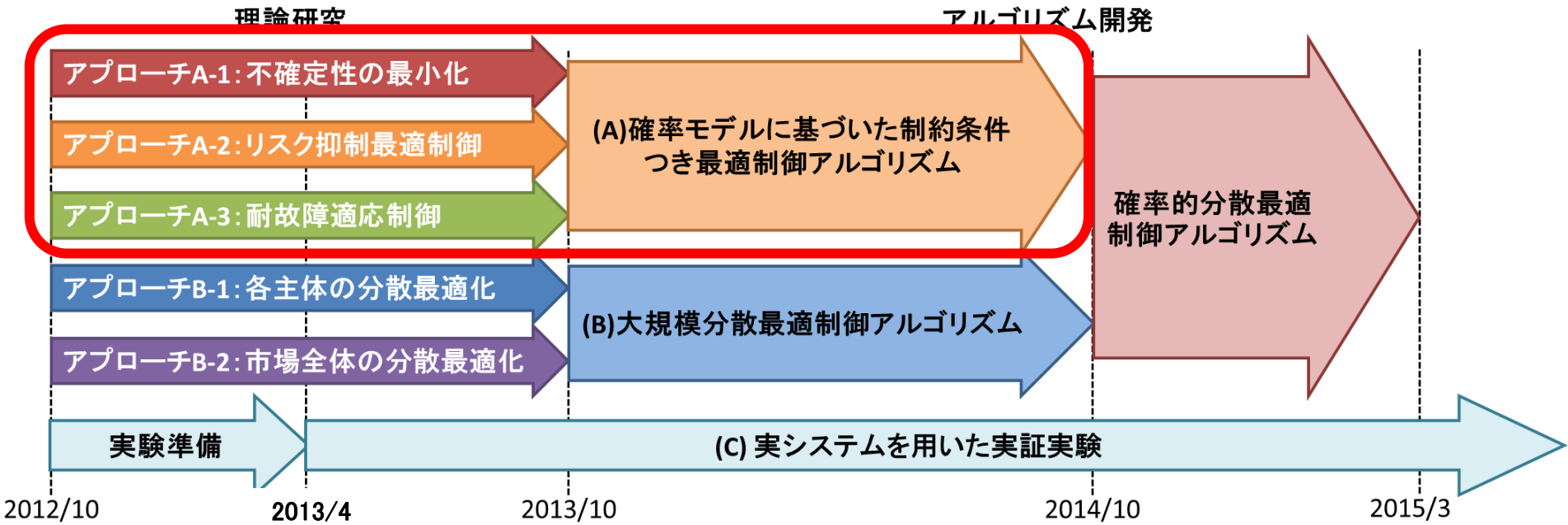
2.5年間

鍵となる理論と基盤技術

(A) 確率モデルに基づいた最適制御

(B) 大規模分散最適制御

提案アプローチ／研究の進め方



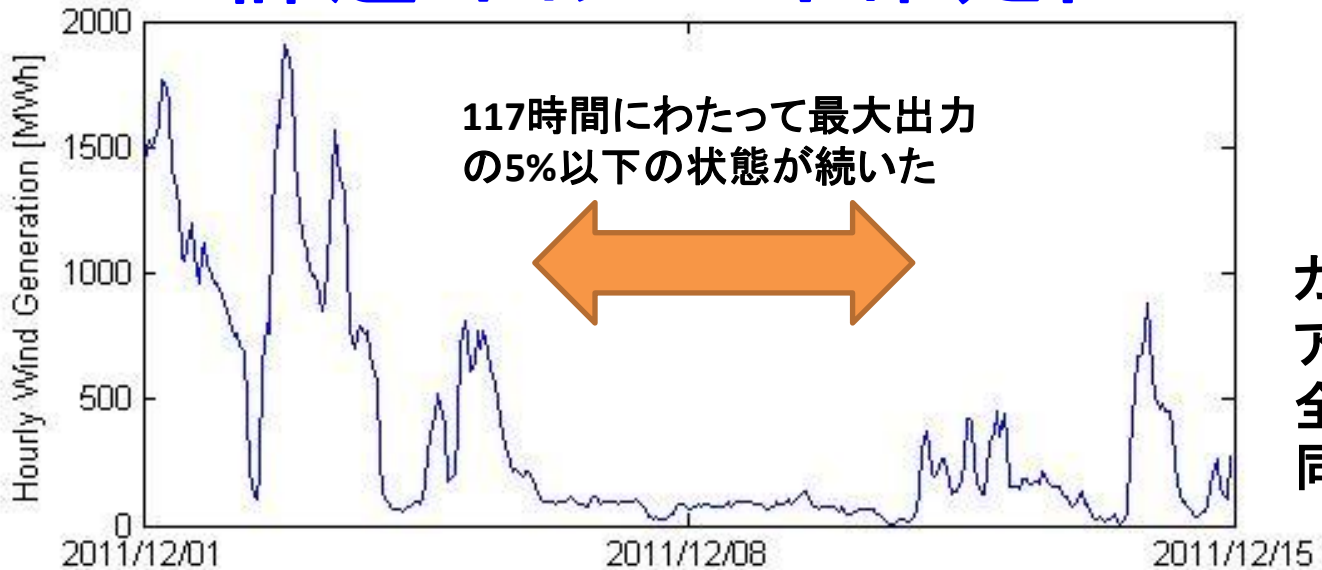
鍵となる理論と基盤技術

(A) 確率モデルに基づいた最適制御

(B) 大規模分散最適制御

(A) 確率モデルに基づいた最適制御

課題：出力の不確定性



カリフォルニア州は日本全土とほぼ同じ面積

2011年12月1日から2週間にわたる米国カリフォルニア州の風力発電量の推移 (California ISOのデータより作成)

ハードウェア
予備電力、蓄電池(約18兆円/h)

既存

最悪ケースへの対処

「最悪ケース」が存在しない.

＋

ソフトウェア
制御、最適化

新規

確率的アプローチ
リスクの定量的抑制
（リスクはゼロにできない）

確率的最適制御へのアプローチ

A-1. 不確定性の最小化（総発電量の不確定性を低減）

- 太陽光・風力発電設備の地理的配置の最適化など

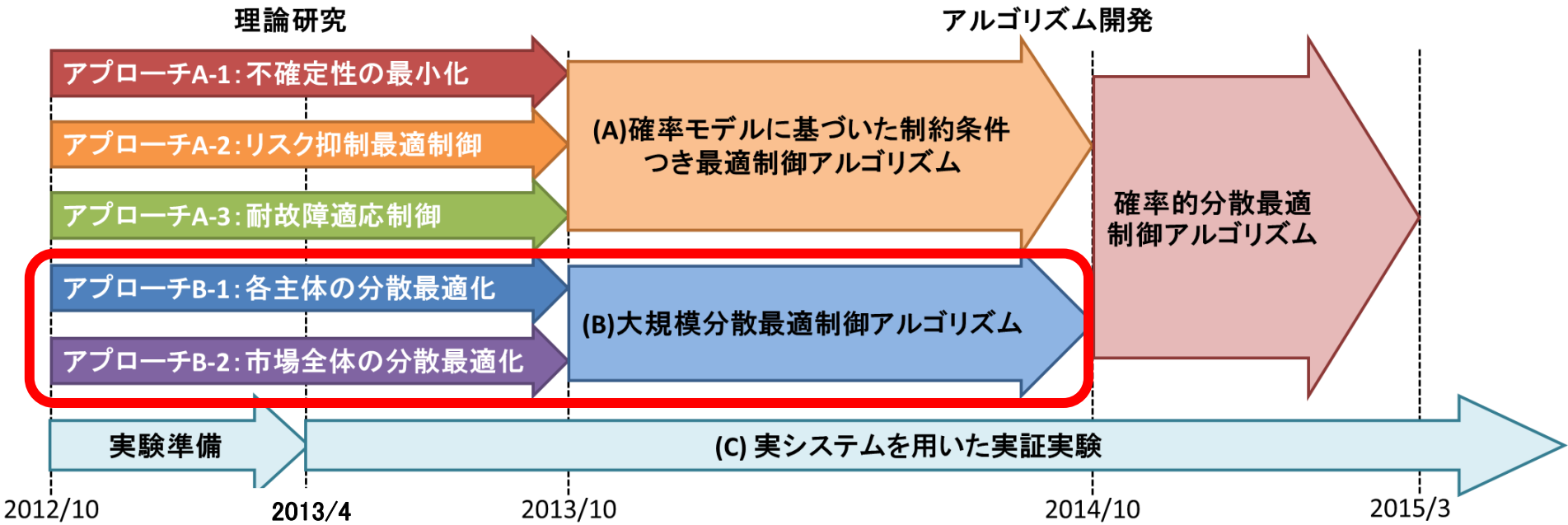
A-2. リスクを定量的に抑制する電力網制御

- 例：送電容量の超過のリスクを1年あたり0.1%に抑制
- 例：電力不足のリスクを1年あたり1%に抑制

A-3. 耐故障性（残りのリスク具体化に備える）

- Cascading failure（連鎖的な故障の波及）の防止

提案アプローチ／研究の進め方



鍵となる理論と基盤技術

(A) 確率モデルに基づいた最適制御

(B) 大規模分散最適制御

(B) 大規模分散最適制御

課題：分散電源の数の多さ

- 現在の東京電力の発電所数：**28カ所**
  - 効率的に**集中**制御可能
- 東京電力管内のピーク電力の75%をまかなうために必要な風力発電機の数：**10万***

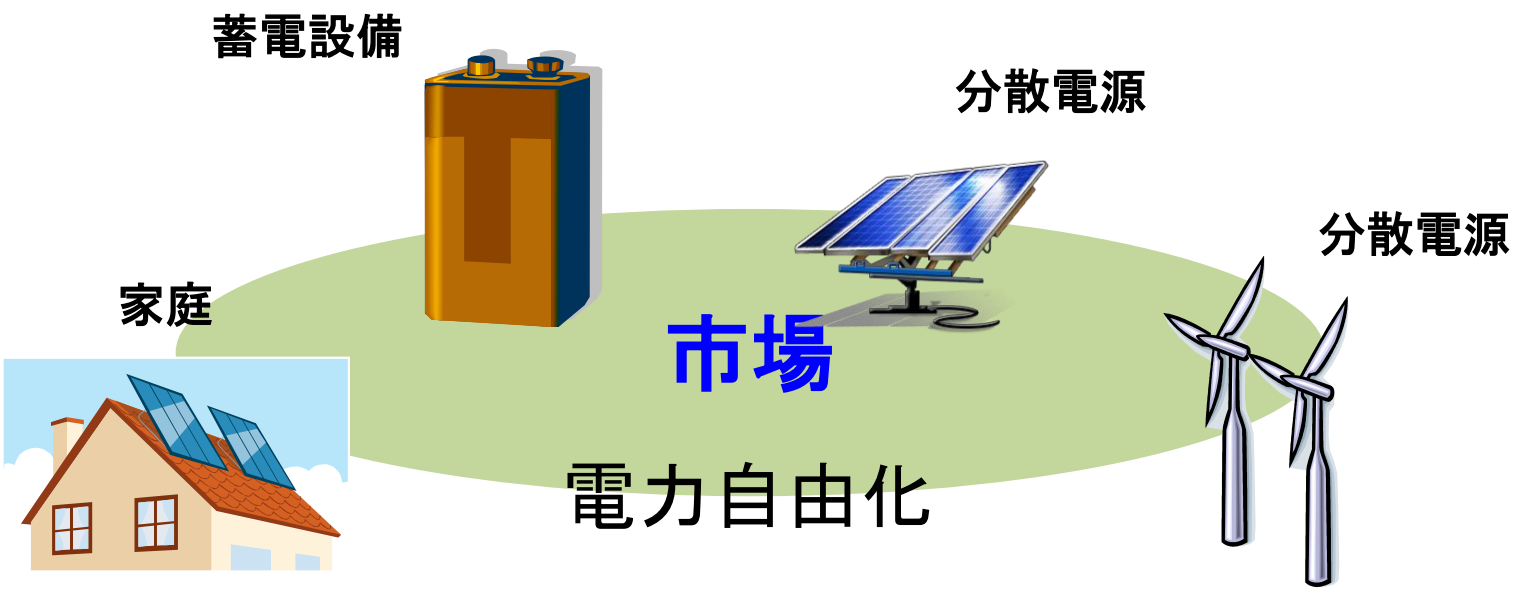
*東京電力管内ピーク電力: 40GW, 風力発電機最大出力: 1MW, 稼働率: 40%を仮定

- **集中**制御で扱える数ではない→**分散**制御が必要

集中 ⟹ 分散 ⟹ ベストミックス

・設備投資を段階的にできる
・機能の分散化による信頼性向上・安全性確保が期待できる.
・パッケージ化することで海外展開が図れる.

大規模分散最適制御へのアプローチ



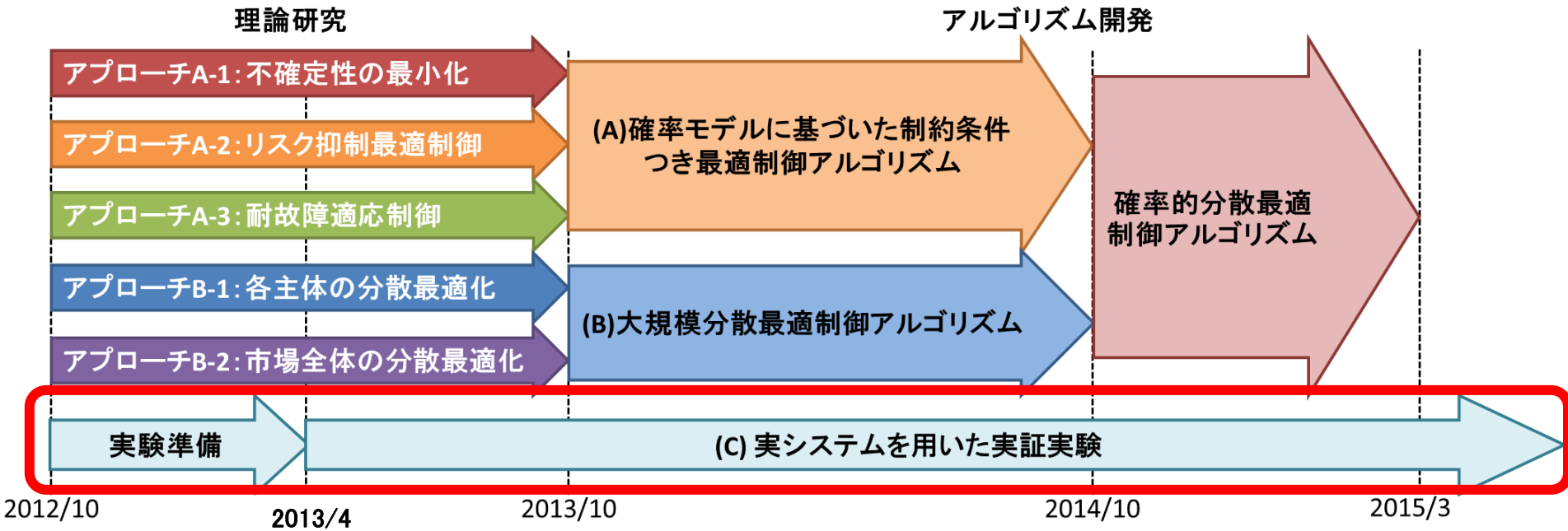
B−1.各々の発電所・家庭における最適化

- 電力価格，気候条件，地理的条件，発電機容量，電力消費モデルなどを基に、各々が自己の利益を最大化するような最適化を行う

B−2. 市場全体の最適化

- 各種制約条件（需給バランス、送電網の容量など）が満たされるよう、電力価格や資源の使用価格などを最適に決定する

提案アプローチ／研究の進め方

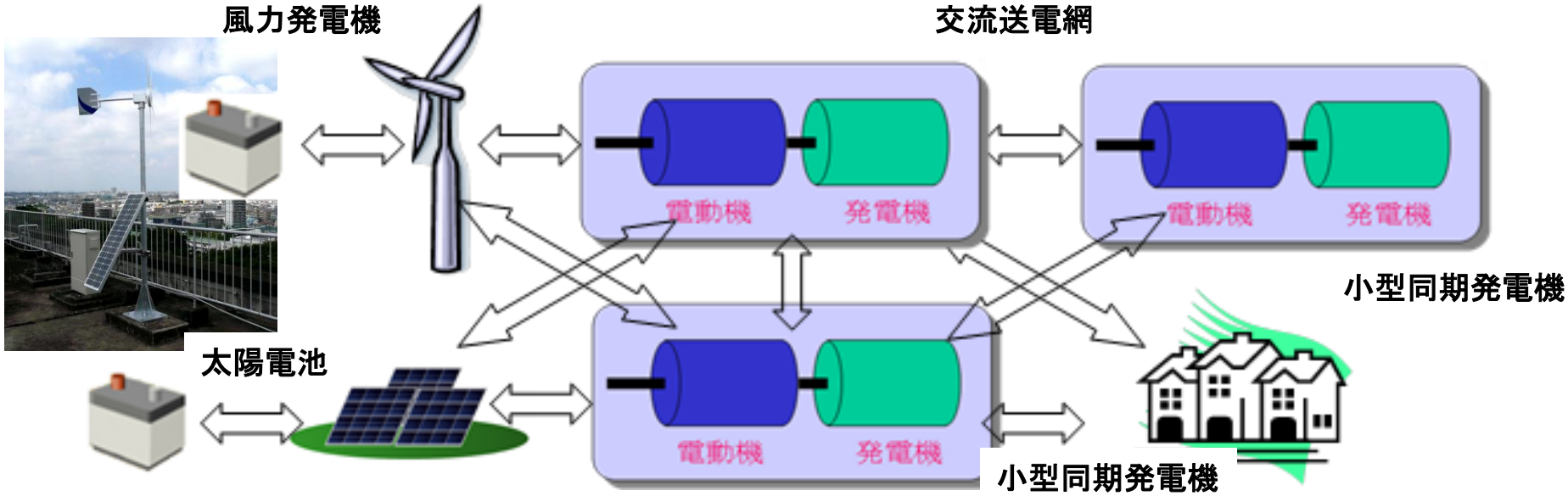


鍵となる理論と基盤技術

(A) 確率モデルに基づいた最適制御

(B) 大規模分散最適制御

(C)実システムを用いた小規模実証実験



実験設備を大学キャンパスに構築し、開発されたアルゴリズムの実証実験を行う

理論と基盤技術
アルゴリズム(ソフト)

小規模
実証実験(ハード)

・モデル誤差
・制御・計測誤差
・時間遅れ

実用性検証が必要

数値シミュレーション
・大規模　・小規模

$$f \in [49.8\mathrm{Hz}, 50.2\mathrm{Hz}]$$

$$V \in [95\mathrm{V}, 107\mathrm{V}]$$

将来展望など

太陽光パネル，風力発電機、スマートメーターなどのハードウェアにおける熾烈なシェア争い

主戦場の移行

制御や最適化アルゴリズムなどのソフトウエア

ハードウェアを揃えるだけでは、
次世代型電力網は実現できない

日本のエネルギー戦略を考えるにあたり、我が国が多様な選択肢を有していることが必要

この分野を選択肢に加えることは、世界的なグリーン・テクノロジー競争において、我が国に大きなアドバンテージを与えるものであると確信している

研究代表者Gr.
研究実施体制

風力発電機の出力最大化制御
(石井、橋本、大森. 2003)

耐故障性を考慮した
無人航空機制御
(小林、高橋. 2009)

故障への
迅速な適応
A-3

各家庭・発電設
備の分散最適化
B-1

電力網の分散予測制御
(滑川.2012)

大森 浩充
適応極
値制御

高橋正樹
耐故障
システム

滑川徹
分散協
調制御

ロバストな
電力網設計
A-1

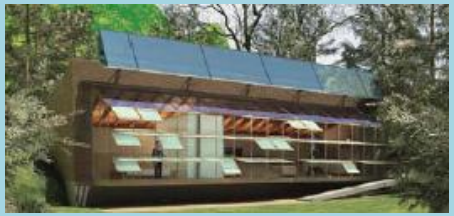
B-2
確率モデルに基づく
分散的市場最適化

ロバスト
最適化
武田朗子

確率的
最適制御
小野雅裕

A-2
確率モデルに基づく
電力網運用の最適化

住宅太陽光発電システムの最適化
(Okido and Takeda. 2012)



Connected Sustainable Home
(Kotsopoulos, Casalegno, Ono, Graybill. 2012)

■大森浩充（教授） 極値適応制御

総括+ A-3, B-1, C

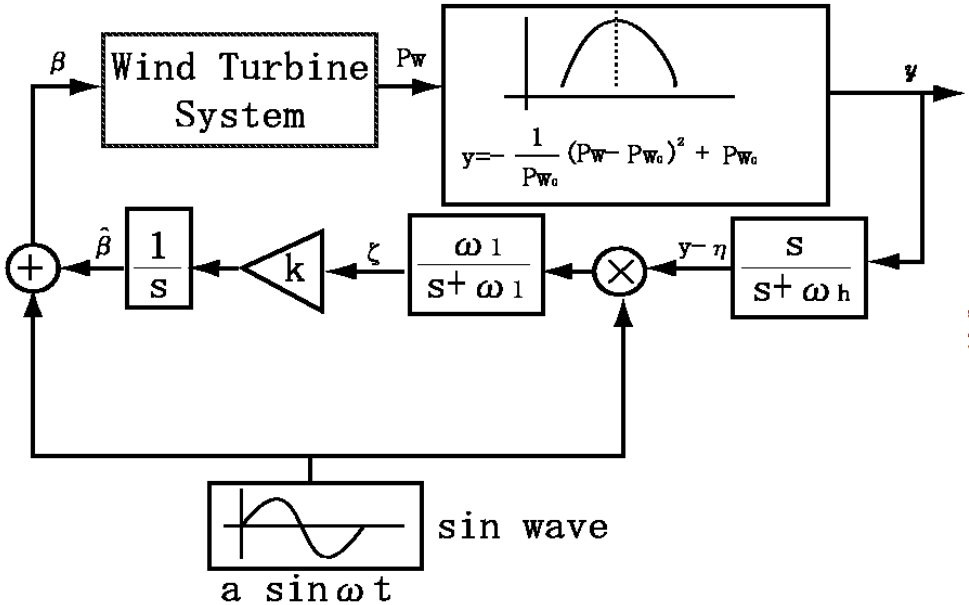
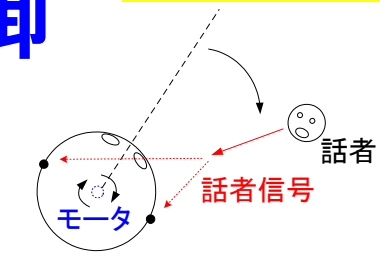


図1　Proposed Control System



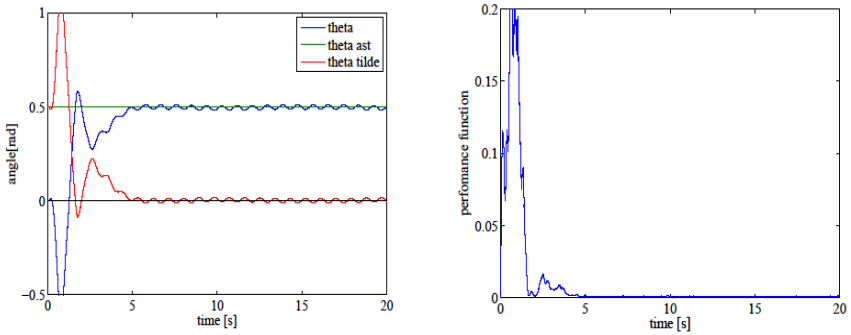
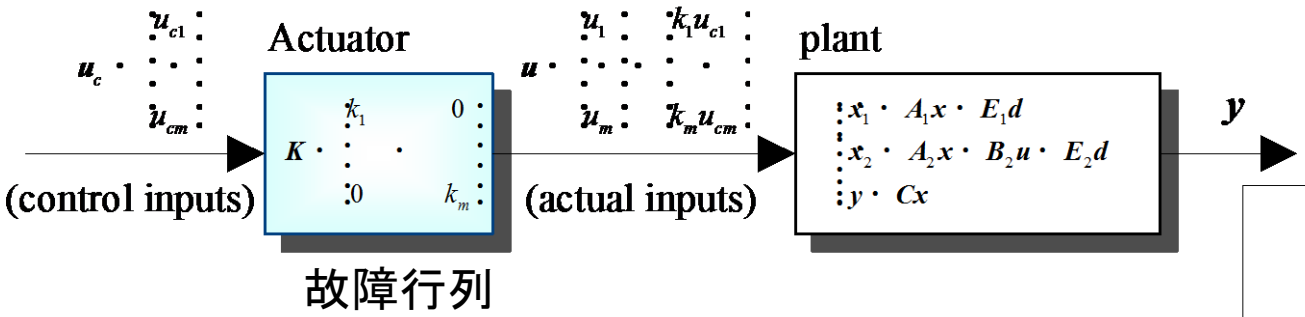
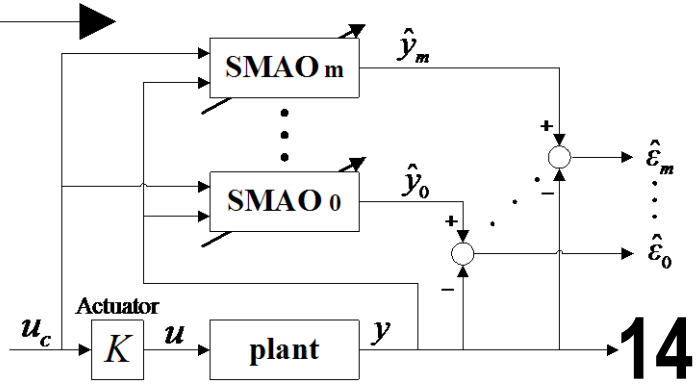


図　実音データによる音源方向推定
（拡張極値制御）

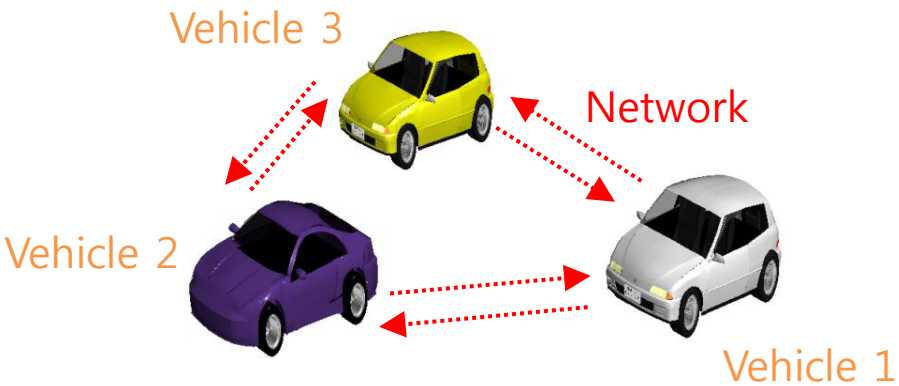


適応スライディングモード
観測器

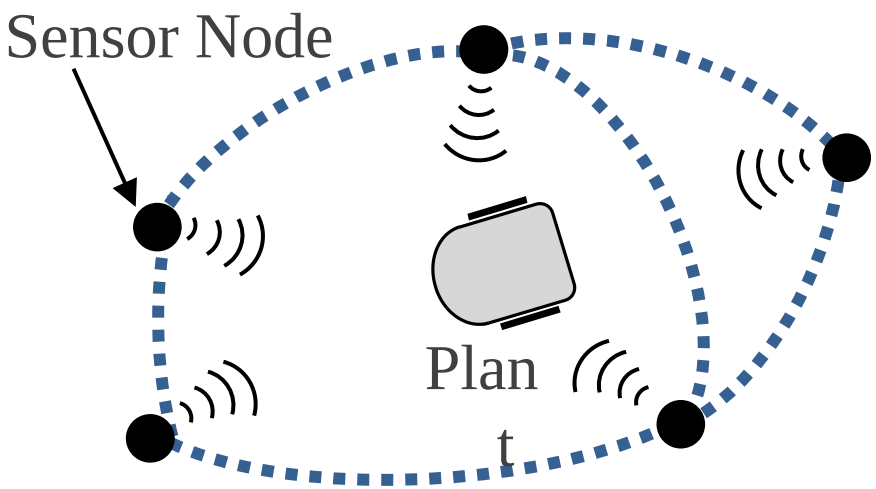


■滑川徹（准教授）分散協調制御

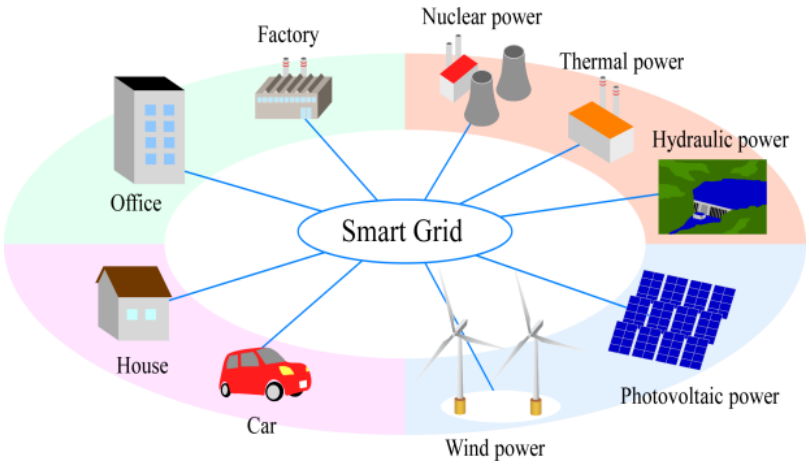
B-1, B-2, C



ネットワークによって結合したシステムの協調制御

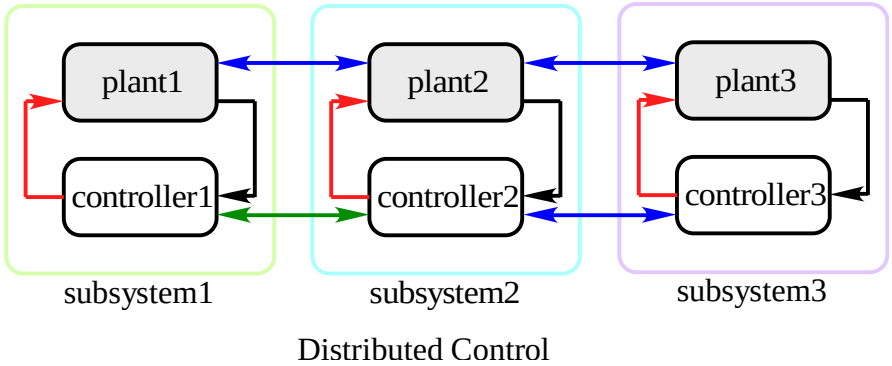


誘導制御・監視制御 with Sensor Network



電力ネットワークの分散制御

反復勾配法を用いた分散制御



分散予測制御理論

外乱を考慮した情報構造制約付き分散予測制御

■高橋正樹（准教授） 耐故障システム

A-1, A-3, C

- パーソナルモビリティビークル（倒立振子型移動体）における傾斜角度**センサ故障時**の安全制御
（FY2008-2009
トヨタ自動車株式会社共同研究）

不安定系

MOBIRO©TOYOTA

- 耐故障性を考慮した無人航空機制御
  - 小林雄太，髙橋正樹，無人航空機における**耐故障性を考慮した**知的飛行制御システムの設計，日本機械学会論文集C編，No.075-756, (2009-08), pp.207-216.

POC 1

POC 2

観測器で対象物理量を計算し故障検出するアルゴリズムを開発
外乱と故障を識別可能

■武田朗子（准教授） ロバスト最適化

A-1, A-2

解法研究
- 非凸計画
- ロバスト最適化

(0)数理最適化

最適化問題

$$\begin{aligned} \textbf{Min:} \quad & f(x) \\ \textbf{subj.to:} \quad & g_1(x) \le 0, \\ & g_2(x) \le 0, \\ & \cdots\cdots \end{aligned}$$

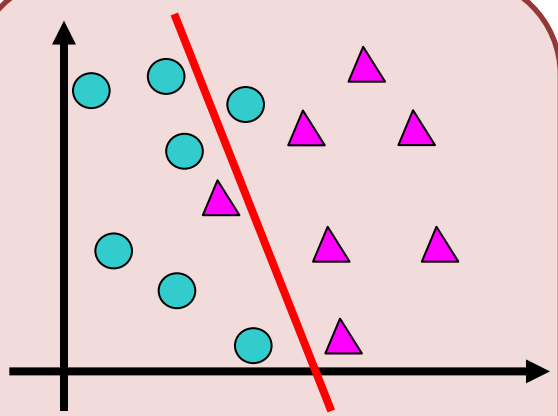
適用先

(1)数学

代数方程式系を解く

$$\begin{aligned} xy &= 1 \\ 2i\,xy^2 + y^2 + x &= 1 \end{aligned}$$

(2)統計的学習



サポートベクターマシンによるクラス分類

(3)電力

火力発電の設備投資計画

最適な太陽電池のサイズ

(4)金融工学

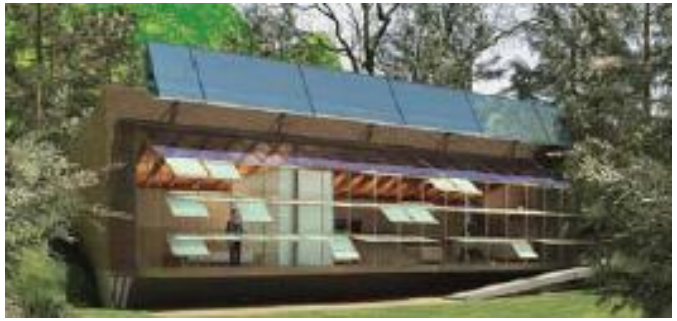
最適な資産配分

■小野雅裕（助教）　確率的最適制御

A-2, B-2

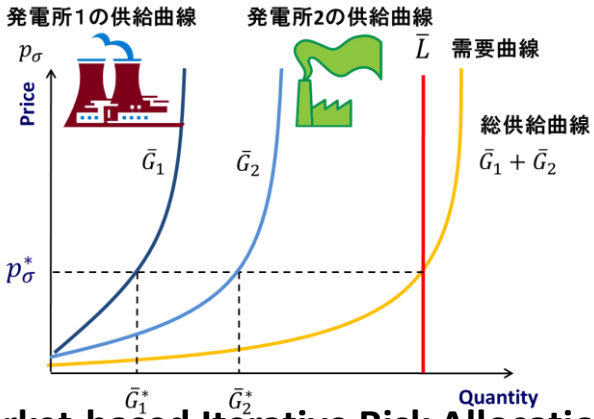
Chance-constrained MPC (Ono, 2012)
確率制約条件付き最適制御（CCOC）

制約条件を一定確率以上で満たすことを保証するモデル予測制御



Connected Sustainable Home（MIT）
(Kotsopoulos, Casalegno, **Ono**, Graybill. 2012)

室温が設定範囲外になるリスクを抑制しつつ、冷暖房の消費エネルギーを最小化



Market-based Iterative Risk Allocation
(**Ono** & Williams, 2010)

市場原理によりリスク配分を分散最適化する最適制御

Risk-sensitive Planning and Scheduling
(**Ono**, 2012)

航空宇宙システムの事故のリスクを抑制しコストを最小化する経路・スケジュール最適化