

戦略的創造研究推進事業 CREST
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「リアルタイムプライシングの設計原理」

研究終了報告書

研究期間 平成25年10月～平成27年3月

研究代表者：東 俊一
(京都大学 大学院情報学研究科 准教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

研究目的 従来の電力システムでは、電力の需要に合わせて供給の制御が行われてきた。しかし、近年、電力の供給不足や再生可能エネルギー導入による供給の不安定化を背景に、需要の制御に大きな期待が寄せられている。このための手段として注目されているのが「リアルタイムプライシング」である。これは、その時々々の電力消費量に応じて電力価格を機動的に変化させることで、電力需要を管理するものであり、スマートグリッドにおける中核的な技術のひとつである。

リアルタイムプライシングは、図1に示すように、電力消費量を観測量、電力価格を制御入力とするフィードバック制御であり、これまでにさまざまな方法が提案されている。しかし、個別の対象を扱った直観的な方法が多く、「リアルタイムプライシングの設計原理」と呼べるような、理論に裏付けられた統一的な設計指針は確立されていなかった。そこで、本研究課題では、フィードバック制御理論を基盤として、リアルタイムプライシングの設計原理を開発することを目的とした。

研究成果 (設計原理) 本研究課題では、リアルタイムプライシングの形態として、図1の集中型と、それらがネットワークで結合された分散型を考え、以下に示す設計原理を確立した。

- ① 需要家のモデリング原理 (研究代表者G)
- ② 需要家集合の設計原理 (研究代表者G)
- ③ 集中型リアルタイムプライシングにおける価格決定原理 (共同研究G(2))
- ④ 分散型リアルタイムプライシングにおける価格決定原理 (共同研究G(1))
- ⑤ 電力消費量の推定原理 (研究代表者G)
- ⑥ 需要予測の補正原理 (研究代表者G, FS)

(シナリオモデル) リアルタイムプライシングのように前例が少ないシステムを構成するにあたっては、設計のスタート地点となるモデルが重要な役割を演じる。本研究課題では、そのようなモデル

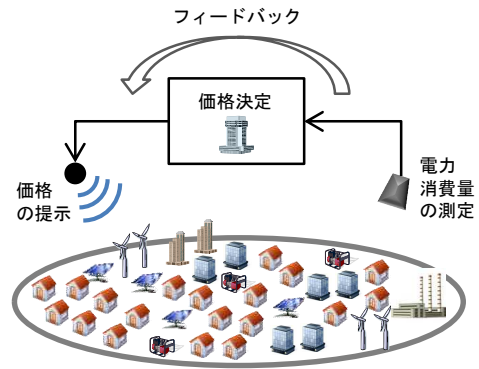


図1 リアルタイムプライシング
電力価格を変化させて電力需要を制御する。

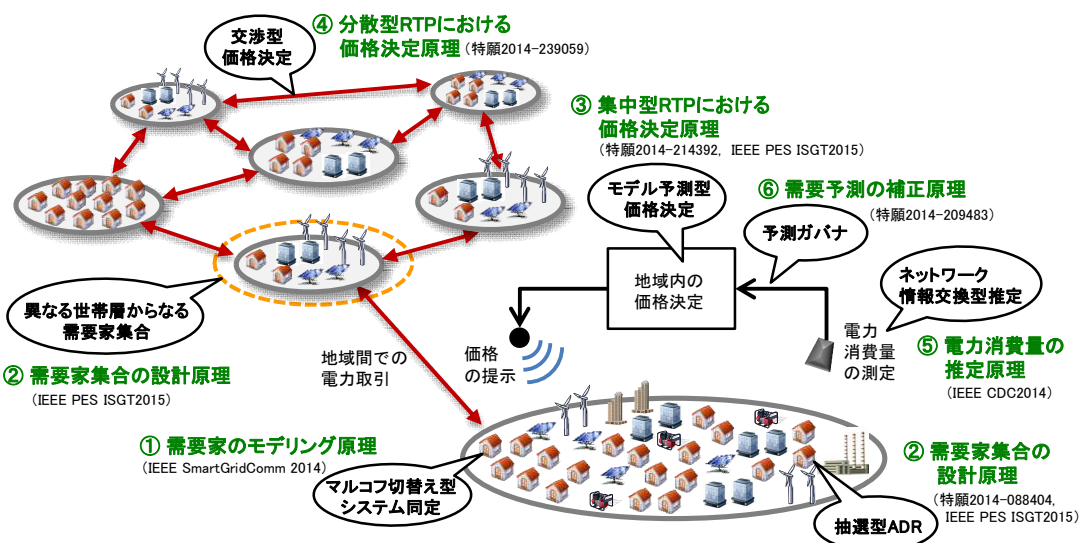


図2 本研究課題の成果:リアルタイムプライシングの設計原理とシナリオモデル
各地域では独立系統運用機関のような集中的な管理機構によってリアルタイムプライシングが実施される。また、そのような地域が電力ネットワークで結ばれることで、地域間での電力取引が行われる。本研究課題では、このようなリアルタイムプライシング(もしくは、その一部)実現に向けた6つの設計原理を開発し、それを統合したシナリオモデルを世界に先駆けて提案した。

を「シナリオモデル」と呼んでいる。

シナリオモデルは設計のガイドラインの役割を演じ、それを基本として、個別の状況に合わせてカスタマイズすれば、多数の試行錯誤を繰り返すことなく、実際のリアルタイムプライシングが構成できると期待される。

このような動機のもと、本研究課題では、上述の設計原理を基にして、図2に示すリアルタイムプライシングのシナリオモデルを世界に先駆けて提案した。

(特徴的な成果発表) 本研究課題は、制御理論の研究者で構成されており、数理的な成果を得ることを目的としたが、専門とする制御理論分野への論文投稿だけに留まらず、図3に示す特徴的な成果発表も行った。

- ① スマートグリッドの主要国際会議での研究発表3件 (SmartGridComm2014:1件, ISGT2015:2件採択)
- ② 特許出願4件(抽選型ADR, 集中型価格決定, 分散型価格決定, 予測ガバナ)
- ③ 招待講演6件
- ④ 本研究課題で独自に開発したADRのハードウェア実装とリアルタイムプライシングの実機実験
- ⑤ 世界初のグラフィカルリアルタイムプライシングシミュレータ RTPsimの開発と公開
- ⑥ IEEE CSS ビデオクリップコンテストへの出品



図3 本研究課題の特徴的な成果発表
スマートグリッドの主要国際会議での発表、特許出願による知的財産権の確保、ハードウェア開発と実証実験、リアルタイムプライシングシミュレータの開発、コンテスト出品によるアウトリーチ活動。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 需要家のモデリング原理：需要応答の分離とマルコフ切替え型システムモデル同定

リアルタイムプライシング環境における需要家のモデリング原理として、需要応答を「需要家の意思決定プロセス」と「電気機器のダイナミクス」に分離した上でシステム同定する枠組みを提案した。さらに、前者は価格弾力性やADRのプログラムとなり、後者だけが同定対象になることに着目し、機器ダイナミクスをマルコフ切替え型の動的システムモデルとして同定する方法を開発した。提案法の有効性は、実際に、エアコンの設定温度(価格に対応)と消費電力の関係をモデリングすることで確認した。

主な成果発表:IEEE SmartGridComm 2014 (スマートグリッドの主要会議, 採択率 約40%)

受賞:第 57 回自動制御連合講演会優秀発表賞

2. 分散型リアルタイムプライシングにおける価格決定原理：交渉型価格決定

分散型リアルタイムプライシングにおける価格決定原理として、地域間の電力融通量を価格によって制御することで、各地域の需給バランスを保つ方法を確立した。特に、独立系統運用機関のような集中的な管理機構が存在しなくても、電力価格が地域内の需要家、供給家、および、電力会社の三者間での交渉によって決定できることを理論的に証明し、将来の分散型リアルタイムプライシングのモデルを示した。また、世界初のグラフィカルリアルタイムプライシングシミュレータ「RTPsim」を開発した。

主な成果発表:特願 2014-239059, ECC2015

受賞: Best Paper Award of the 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 計測自動制御学会 制御部門 制御部門大会賞, (株)構造計画研究所第 15 回 MAS コンペティション 優秀賞

3. 電力消費量の推定原理: ネットワーク情報交換型推定

系統内の一部の需要家に対してリアルタイムプライシングを実施する場合, 電源周波数の測定では対象とする需要家集合の総電力消費量の情報を得ることはできない. そのような場合の総電力消費量の推定原理として, 需要家間をネットワークで結合し, そこでの情報交換を基にして推定する方法を開発した. これによって, 各需要家の電力消費量の情報(大量の情報)を一か所に集めることなく, 分散的に総電力消費量を推定することが可能となった.

受賞: 2014 年度 計測自動制御学会関西支部 支部長賞 奨励賞

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. 需要家集合の設計原理: 消費性向のばらつきと抽選型 ADR

需要家に電力価格をブロードキャストして提示する場合, 需要家の消費性向に何らかの意味で「ばらつき」が存在しないと, 価格によって電力消費量を制御できないことを理論的に証明した. この性質を需要家集合の設計原理と位置付け, この原理を基に電力消費のばらつきを人為的に生成する「抽選型 ADR」の提案を行った. また, ハードウェア実装, および, リアルタイムプライシングの実機実験を行い, 有効性を実証した.

主な成果: 特願 2014-088404, IEEE PES ISGT 2015 (スマートグリッドの主要国際会議, 採択率 約50%)

受賞: 計測自動制御学会制御部門研究奨励賞, 第 57 回自動制御連合講演会優秀発表賞

2. 集中型リアルタイムプライシングにおける価格決定原理: 確率離散モデルに基づくモデル予測型価格決定

集中型リアルタイムプライシングの価格決定原理として, 確率離散モデルに基づくモデル予測型価格決定アルゴリズムを開発した. この方法では, 需要家の電力消費行動モデルを, 価格決定に必要な精度を保ちながら単純化することで確率離散モデルに変換する. そして, そのモデルを用いて未来の振る舞いを逐次最適化して価格を決定する. これにより, 時々刻々と変化する電力消費量や拘束条件に対応しながらの価格決定が可能となった.

主な成果発表: 特願 2014-214392, IEEE PES ISGT 2015 (スマートグリッドの主要国際会議, 採択率 約50%)

3. 需要予測の補正原理: 予測ガバナ

リアルタイムプライシングでは, 現時刻の電力消費量の情報を用いることが理想的であるが, 実際には, 情報取得の遅延が存在するため, 電力需要の予測値で代用することが想定される. そこで, 「予測ガバナ」と呼ぶ, 需要予測値に含まれる予測誤差が, リアルタイムプライシング全体に及ぼす悪影響を最小化する予測値補正の方法を開発した. また, その性能限界を理論的に明らかにした.

主な成果発表: 特願 2014-209483, IEICE Transactions Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences

§ 2. 研究構想(および構想計画に対する達成状況)

(1) 当初の研究構想

研究目的 従来の電力システムでは、電力の需要に合わせて供給の制御が行われてきた。しかし、近年、電力の供給不足や再生可能エネルギー導入による供給の不安定化を背景に、需要の制御に大きな期待が寄せられている。このための手段として注目されているのが、図1に示される「リアルタイムプライシング」である。これは、その時々々の電力消費量に応じて電力価格を機動的に変化させることで、電力需要を管理するものであり、スマートグリッドにおける中核的な技術と位置付けられている。

リアルタイムプライシングは、図1に示すように、電力消費量を観測量、電力価格を制御入力とするフィードバック制御であり、これまでにさまざまな方法が提案されている。しかし、個別の対象を扱った直観的な方法が多く、「リアルタイムプライシングの設計原理」と呼べるような、理論に裏付けられた統一的な設計指針は確立されていなかった。

そこで、本研究課題では、フィードバック制御理論を基盤として、リアルタイムプライシングの設計原理を開発することを目的とした。

研究計画 本研究課題では、以下の3つの研究項目を設定した。

研究項目1: 価格提示のブロードキャスト性に着目したリアルタイムプライシング

研究項目2: 地域間電力取引のネットワーク構造に着目したリアルタイムプライシング

研究項目3: 地域通貨を付加的に導入したリアルタイムプライシング

研究項目1では、国や地方レベルで実施するブロードキャスト型のリアルタイムプライシングの設計原理の開発を目指した。特に、リアルタイムプライシングを、図1に示されるような、多数の需要家から成る「需要家群」と「価格決定プロセス」で構成されるフィードバックシステムと捉え、需要家の電力消費行動モデルの開発、需要家群の可制御性解析、価格決定アルゴリズムのモデル開発を行うこととした。

研究項目2では、図4に示すような、地域間の電力取引ネットワーク上でのリアルタイムプライシングの設計原理の抽出を目指した。ここで考える地域は市町村、あるいはそれよりも細かい単位の独立電力システムに相当しており、個々の地域は地域内で独自に需給バランスを保つようにするが、必要に応じて他の地域と電力取引を行う。このような状況を想定し、全体の需給バランスを維持するような、価格決定方法を明らかにすることとした。

研究項目3では、一般消費者レベルで実施するリアルタイムプライシングの設計原理の開発を目指した。特に、リアルタイムプライシングの効果を高めるために、ブロードキャスト型の価格提示だけでなく、図5に示すような、地域通貨(インセンティブ)を付加的に導入した場合を検討した。

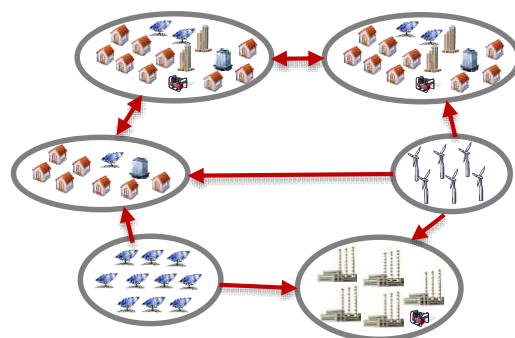


図4 地域間電力取引のネットワーク構造に着目したリアルタイムプライシング
地域単位で分散的に電力価格を決定し、需給バランスを維持する。

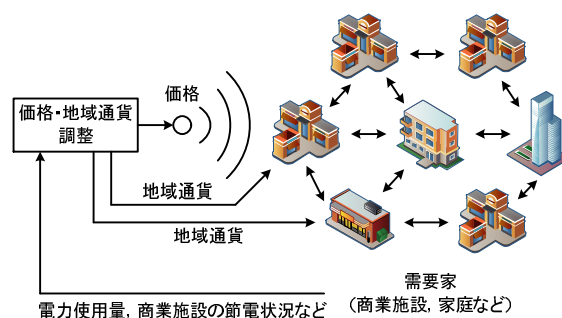


図5 地域通貨を付加したリアルタイムプライシング
電力価格と地域通貨(インセンティブ)を変化させて電力消費量を制御する。

(2)新たに追加・修正など変更した研究構想(FS での取り組みによる成果, FS 以外の成果等)

研究項目1-③:価格決定アルゴリズムのモデル開発 (中止)

研究項目3でまとめて実施することにした。

研究項目1-④: 電力消費量の推定 (追加)

システム内の一部の需要家に対してリアルタイムプライシングを実施する場合、電源周波数の測定では対象とする需要家集合の総電力消費量の情報を得ることはできない。そこで、そのような場合に総電力消費量の推定を行うための原理を抽出する。

研究項目4:リアルタイムプライシングのための需要予測補正(FSでの取組) (追加)

研究項目1～3では、電力消費量の情報をリアルタイムで取得可能であることを仮定しているが、現実には、通信と計算による遅延が存在するために、電力需要の予測値で代用することが想定される。そこで、そのような予測値が用いられる場合でも、リアルタイムプライシングを適切に実施するための基礎技術として、需要予測値に含まれる予測誤差がリアルタイムプライシング全体に悪影響を及ぼさないようにするための予測補正(予測値のフィルタリング)の原理を確立する。

(3)研究の今後の展開について

本研究課題では、リアルタイムプライシングを実現するための基礎的な設計原理を確立し、それを基にしたシナリオモデルの提案を行った。今後は、実際のリアルタイムプライシングへの適用の道筋をつけることが必要である。以下では、個別の展開について説明する。

① シナリオモデル

現状では、シナリオモデル全体の検証まで到達していないが、平成26年度末までに、リアルタイムプライシングシミュレータ RTPsim を用いて有効性を実証する予定である。また、シナリオモデルを実際のリアルタイムプライシングの設計に広く用いられるよう、研究成果の広報が必要である。この点は JST に支援をお願いしたい。

② マルコフ切替え型システムモデル同定

現段階では、需要応答を十分な精度で表現するモデル構造は得られてはいるものの、具体的なモデルの構築には適切な実験から得られるデータを必要としており、広範なデータの分析を行うには至っていない。需要応答の詳細を把握し、精密なリアルタイムプライシングを実現するために、より実際的なデータからモデルの構築を可能とするアルゴリズムを、誰でも利用できるようなソフトウェアとして提供したいと考えている。このソフトウェアの開発費用としては、2年5,000千円程度が見積もられる。また、データの収集においては企業との協力が必要である。

③ 抽選型 ADR

(3)で示したように、抽選型 ADR 装置を用いたリアルタイムプライシングの実証実験は研究室レベルに留まっているが、今後、本技術が想定する利用方法(充電機や空調などのエネルギー貯蔵装置に対する需要応答)に対する実証実験を成功させることで実用化が可能であると考えられる。

今後、実用化に向けた取り組みを共同で実施できる企業を探す必要があるが、特に、電気自動車やIT機器の充電、もしくは、空調機器の需要応答をターゲットにする企業を対象にしたいと考えている。また、本チーム独自で実証実験を実施する際には、最低でも、3年30,000千円程度の費

用が必要である。

④ モデル予測型価格決定

モデル予測型価格決定で対象とした需要家モデルは電気機器単体のモデルに留まっている。今後は家庭や商業施設単位でのモデルリングが重要であると考えられる。そのために、実験設備をもつ研究機関や企業を探すとともに、A-STEP(探索タイプ)への申請も検討していく。

⑤ 交渉型価格決定

(3)で示したように、研究項目2では、分散型リアルタイムプライシングの設計原理を確立し、その有効性をシミュレーションで確認した。今後は、この成果を実現するための価格交渉装置を開発して、実用化の目処をつけることが必要である。そのためのプロトタイプ開発のために、1年間1,500千円程度の費用が必要であり、電力関係の企業との共同研究実施や A-STEP(探索タイプ)への申請を検討していきたい。

§3 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 「研究代表者」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
東 俊一	京都大学 大学院情報学研究科	准教授	H25.10～
丸田 一郎	同上	助教	H25.10～
南 裕樹	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	助教	H25.10～
佐藤 一宏	京都大学 大学院情報学研究科	CREST研究員	H26. 4～
泉 晋作	同上	CREST研究員	H25.10～
田中 洋輔	同上	M2	H25.10～H26.3
寶田 裕介	同上	M1～2	H25.10～
中本 剛	同上	M1～2	H25.10～
藤本 悠介	同上	M1～2	H25.10～
北尾 太市	同上	M1	H26. 4～
稲本 千尋	同上	技術補佐員	H25.10～

研究項目

- ・ 価格提示のブロードキャスト性に着目したリアルタイムプライシング

② 「共同研究」グループ(1)

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
櫻間 一徳	鳥取大学 大学院工学研究科	准教授	H25.10～
三浦 政司	同上	助教	H25.10～
徳永 裕太	同上	M1～2	H25.10～

研究項目

- ・ 地域間電力取引のネットワーク構造に着目したリアルタイムプライシング

③ 「共同研究」グループ(2)

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小林 孝一	北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	助教	H25.10～
平石 邦彦	同上	教授	H25.10～

研究項目

- ・ 地域通貨を付加的に導入したリアルタイムプライシング

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

① FS への参加

以下に示す FS に参加して人脈形成を行った。

- (a) 太陽光発電予測に基づく調和型需給バランス制御の実現に向けた基礎研究(第1期および第2期)
- (b) エネルギーの情報化に基づくスマートコミュニティの実現を目指した産学・国際連携の構築
- (c) グリッドパリティ時代を見据えたプロシューマ型スマートコミュニティの実現

② 海外共同研究

櫻間が、1カ月半に渡って、ジョージア工科大学 Magnus Egerstedt 教授と分散型リアルタイムプライシングに関する共同研究を実施し、交渉型価格決定の理論をレベルアップさせた。

③ 異分野 1-to-5 スクール

本研究課題で主催したセミナーに併せて、講師（異分野の研究者）と本研究課題のコアメンバー5人による、1対5のインタビュー形式のスクールを開講した。そこで、人脈を形成するとともに、異分野の研究ストーリー展開や価値観を習得した。

- (a) 第1回 講師:東京電力 片岡 良彦課長, 太陽光発電, 平成25年12月17日
- (b) 第2回 講師:北陸先端科学技術大学院大学 内平 直志教授, サービス科学, 平成26年2月7日
- (c) 第3回 講師:鳥取大学 原 豊准教授, 風力発電, 平成26年6月3日
- (d) 第4回 講師:大阪大学 宮本 俊幸准教授, 分散型エネルギー管理, 平成26年11月21日

④ 電子情報通信学会ソサイエティ大会 依頼セッション「エネルギー管理システムにおける数理モデル」での招待講演

電子情報通信学会 システム数理と応用研究会が企画した、ソサイエティ大会 依頼セッションにて、本研究課題から4人が招待講演を行い、研究会委員（および一般参加者）と情報交換および交流を行った。

§ 4 研究実施内容及び成果

4. 1 価格提示のブロードキャスト性に着目したリアルタイムプライシング(京都大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

§ 2 研究項目1および研究項目4に示した通り。

4. 2 地域間電力取引のネットワーク構造に着目したリアルタイムプライシング

(鳥取大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

§ 2 研究項目2に示した通り。

4. 3 地域通貨を付加的に導入したリアルタイムプライシング

(北陸先端科学技術大学院大学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

§ 2 研究項目3に示した通り.

§ 5. 研究費の使用状況

①執行した研究費の概要

(平成25年度) 人件費および物品費を中心に執行した. 研究員(RA)の泉は, 需要家の可制御性解析および電力消費量の推定原理の開発を行い, また, 技術補佐員の稲本は, 本研究課題の立上げに関わる技術支援を行った. また, 物品費で購入した計算機一式は, 需要家のモデリング原理の検証に必要なデータ処理と, リアルタイムプライシングのシミュレーションに用いた.

(平成26年度) 旅費および人件費を中心に執行した. 旅費は, 本研究課題のコアミーティング, 海外共同研究, 国内外での成果発表のために使用した. 研究員(RA)の泉は, 前年度に引き続き電力消費量の推定原理の開発を行い, 研究員の佐藤(平成26度から雇用)は, 需要家の可制御性解析を実施した.

§ 6 成果発表等

(1)原著論文発表(査読付き国際会議含む) (国内1件, 国際20件)

1. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, A Polynomial Optimization Approach to Optimal Control of Context-sensitive Probabilistic Boolean Networks, Proceedings of the 19th International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp. 92-95, Beppu, 1月22~24日(2014)
2. Koichi Kobayashi, Ichiro Maruta, Kazunori Sakurama and Shun-ichi Azuma, Modeling and Design of Real-time Pricing Systems Based on Markov Decision Processes, Applied Mathematics, Vol. 5, No. 10, pp. 1485-1495 (2014)
3. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, Simultaneous Design of Prices and Incentives for Demand Response, Proceedings of the 29th International Technical Conference on Circuit/Systems Computers and Communications, pp. 853-856, Phuket, 7月1~4日(2014)
4. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, Structural Control of Probabilistic Boolean Networks and Its Application to Design of Real-time Pricing Systems, Proceedings of the 19th IFAC World Congress, pp. 2442-2447, Cape Town, 8月24~29日(2014)
5. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, On Model Checking of Real-time Pricing Systems Modeled by Probabilistic Discrete Models, Proceedings of the SICE Annual Conference 2014, pp. 1278-1281, Sapporo, 9月9~12日(2014)
6. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, A Probabilistic Approach to Control of Complex Systems and Its Application to Real-time Pricing, Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2014, Article ID 906717 (2014)
7. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, A Probabilistic Approach to Design of Real-time Pricing Systems over Communication Networks, Proceedings of the 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp. 4732-4737, Dallas, 10月29日~11月1日(2014)
8. Ichiro Maruta and Yusuke Takarada, Modeling of Dynamics in Demand Response for

- Real-time Pricing, Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Smart Grid Communications, pp. 812-817, Venice, 11月3~6日 (2014)
9. Kazunori Sakurama and Masashi Miura, Distributed Optimization Based on Networked Multi-agent Systems and Its Application to Negotiation-based Real-time Pricing, Proceedings of the 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Beppu, 1月21~23日 pp.395-398 (2015)
 10. Masashi Miura, Kazunori Sakurama and Yuta Tokunaga, Graphical and Scalable Multi-agent Simulator for Real-time Pricing in Electric Power Grid, Proceedings of the 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Beppu, 1月21~23日 pp. 399-404 (2015)
 11. Taichi Kitao, Ichiro Maruta and Shun-ichi Azuma, Hardware Implementation of Lottery Controllers for Real-time Pricing, Proceedings of the 20th International Symposium on Artificial life and Robotics, Beppu, 1月21~23日, pp. 405-408 (2015)
 12. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, Optimal Real-time Pricing for Energy Management Systems Based on Switched Interval Markov Chains, Proceedings of the 20th International Symposium on Artificial Life and Robotics, Beppu, 1月21~23日, pp. 172-175 (2015)
 13. Kazuhiro Sato and Shun-ichi Azuma, Numerical Studies of Aggregate Demand Response by Real-time Pricing, Proceedings of the 34th IASTED International Conference on Modelling, Identification and Control, Austria, 2月16~18日, pp. 131-138 (2015)
 14. Shun-ichi Azuma, Tsuyoshi Nakamoto, Shinsaku Izumi, Taichi Kitao and Ichiro Maruta, Randomized Automated Demand Response for Real-time Pricing, Proceedings of the 6th IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, Washington D.C., 2月17~20日, ISGT2015-000083 (2015)
 15. Koichi Kobayashi and Kunihiko Hiraishi, Algorithm for Optimal Real-time Pricing Based on Switched Markov Chain Models, Proceedings of the 6th IEEE PES Conference on Innovative Smart Grid Technologies, Washington D.C., 2月17~20日, ISGT2015-000039 (2015)
 16. 櫻間一徳・三浦政司, 分散制御と価格調整によるネットワークフロー制御, 電子情報通信学会和文論文誌 A, J98-A, No. 3, pp.267-273 (2015)
 17. Kazunori Sakurama, Insufficient Time-Scale Separation in Cascaded, Networked Systems for a Large Number of Clients, Proceedings of SICE International Symposium on Control Systems 2015, Tokyo, 3月5~7日 (2015)
 18. Kazuhiro Sato and Shun-ichi Azuma, A Controller Design Method for Unidentifiable Linear SISO Systems, Proceedings of the 10th Asian Control Conference, Kota Kinabalu, 5月31~6月3日 (2015)
 19. Kazunori Sakurama, Erik I. Verriest, Magnus Egerstedt, Effects of Insufficient Time-Scale Separation in Cascaded, Networked Systems, Proceedings of 2015 American Control Conference, Chicago, 6月1~3日 (2015) (採録決定)
 20. Kazunori Sakurama and Masashi Miura, Complete Distributed Optimization with Constraints on Networked Multi-Agent Systems and Its Application to Real-time Pricing, Proceedings of the 14th European Control Conference, Linz, 7月15~17日 (2015) (採録決定)
 21. Yuki Minami and Shun-ichi Azuma, Performance Analysis of Demand Data Modification

Mechanism for Power Balancing Control, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences(2015) (採録決定)

(2)その他の著作物 (総説, 書籍など)

1. 櫻間一徳, アイサイ問答教室:分散最適化って何に使うの?, システム/制御/情報, Vol. 58, No. 11, pp. 474-475 (2014)
2. 東 俊一, ブロードキャスト信号によるマルチエージェントシステムの制御, 計測と制御, Vol. 53, No. 12 (2014) (採録決定)

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 6件, 国際会議 0件)

1. 小林孝一, 確率ブーリアンネットワークの最適制御と検証, 大阪大学大学院情報科学研究科情報数理学専攻 平成 25 年度第 8 回情報数理学セミナー, 大阪, 10 月 24 日 (2013)
2. 櫻間一徳, マルチエージェントシステムの分散制御器の最適設計:フォーメーション制御からリアルタイムプライシングまで, 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会 チュートリアル講演, 京都, 5 月 21 日 (2014)
3. 丸田一郎, リアルタイムプライシングの設計原理 — I 需要応答モデル —, 電子情報通信学会2014年ソサイエティ大会 依頼シンポジウムセッション「エネルギー管理システムにおける数理モデル」, 徳島, 9 月 24 日 (2014)
4. 東 俊一, リアルタイムプライシングの設計原理 — II 抽選型自動デマンドレスポンス —, 電子情報通信学会2014年ソサイエティ大会 依頼シンポジウムセッション「エネルギー管理システムにおける数理モデル」, 徳島, 9 月 24 日 (2014)
5. 小林孝一, リアルタイムプライシングの設計原理 — III 集中型プライシング —, 電子情報通信学会2014年ソサイエティ大会 依頼シンポジウムセッション「エネルギー管理システムにおける数理モデル」, 徳島, 9 月 24 日 (2014)
6. 櫻間一徳, リアルタイムプライシングの設計原理 — IV 交渉型プライシング —, 電子情報通信学会 2014 年ソサイエティ大会 依頼シンポジウムセッション「エネルギー管理システムにおける数理モデル」, 徳島, 9 月 24 日 (2014)

② 口頭発表 (国内会議20件, 国際会議 1 件)

1. 小林孝一・丸田一郎・櫻間一徳・東 俊一, マルコフ決定過程に基づくリアルタイムプライシングシステムの設計, 計測自動制御学会関西支部 物理と情報をつなぐ次世代システム制御研究会 2013 年度第 1 回講演会, 大阪, 11 月 21, 22 日 (2013)
2. Shun-ichi Azuma, Design Principles of Real-time Pricing, 2014 Joint JST-NSF-DFG Workshop, Hawaii, 1 月 11~12 日 (2014)
3. 小林孝一・平石邦彦, 確率離散モデルに基づくリアルタイムプライシングシステムの設計, 計測自動制御学会 第 1 回制御部門マルチシンポジウム, 6C3-1, 東京, 3 月 4~7 日 (2014)
4. 泉 晋作・東 俊一, ネットワーク化推定器に基づくリアルタイムプライシング, 計測自動制御学会 第1回制御部門マルチシンポジウム, 6C3-2, 東京, 3 月 4~7 日 (2014)
5. 丸田一郎, リアルタイムプライシングのための需要応答モデルに関する考察, 計測自動制御学会 第 1 回制御部門マルチシンポジウム, 6C3-4, 東京, 3 月 4~7 日

(2014)

6. 櫻間一徳・三浦政司, マルチエージェントシステムの制約付き分散最適化とリアルタイムプライシングへの応用, 計測自動制御学会 第 1 回制御部門マルチシンポジウム, 6C3-5, 東京, 3 月 4~7 日 (2014)
7. 小林孝一・平石邦彦, リアルタイムプライシングにおける需要家モデルとモデル検査, 111b-1, 京都, 5 月 21~23 日 (2014)
8. 三浦政司・櫻間一徳・徳永裕太, 地域間電力取引ネットワークにおける分散粒子フィルタを用いたパラメータ推定, 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会講演, 111b-3, 京都, 5 月 21~23 日 (2014)
9. 徳永裕太・櫻間一徳・三浦政司, 有向グラフにおける制約付き分散最適化とリアルタイムプライシングによる電力網制御への応用, 第 58 回システム制御情報学会研究発表講演会, 111b-2, 京都, 5 月 21~23 日 (2014)
10. 小林孝一・平石邦彦, リアルタイムプライシングの設計への確率的アプローチ, 電子情報通信学会高信頼制御通信研究会, Vol. 114, No. 60, RCC2014-17, pp. 83-86, 東京, 5 月 29, 30 日 (2014)
11. 小林孝一・平石邦彦, 確率離散モデルを用いたモデル予測型リアルタイムプライシング, 計測自動制御学会 第 55 回離散事象システム研究会, pp. 19-22, 高千穂, 6 月 6 日 (2014)
12. 寶田裕介・丸田一郎, リアルタイムプライシング設計を考慮した需要応答モデル, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 458-464, 群馬, 11 月 10~12 日 (2014)
13. 小林孝一・平石邦彦, 確率モデル予測制御に基づくリアルタイムプライシング, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 465-467, 群馬, 11 月 10~12 日 (2014)
14. 佐藤一宏・東 俊一, リアルタイムプライシングのための最適消費行動解析, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 468-471, 群馬, 11 月 10~12 日 (2014)
15. 北尾太市・丸田一郎・東 俊一, 抽選型制御器を用いたリアルタイムプライシングのための実験装置開発, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 472-474, 群馬, 11 月 10~12 日 (2014)
16. 櫻間一徳・三浦政司・徳永裕太, 制約付き分散最適化による交渉型リアルタイムプライシング, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 475-479, 群馬, 11 月 10~12 日 (2014)
17. 三浦政司・櫻間一徳・徳永裕太, 交渉型リアルタイムプライシングにおける需要供給量予測, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 480-485, 群馬, 11 月 10~12 日 (2014)
18. 南 裕樹・東 俊一, 電力需給バランス制御のための需要予測のフィードバック補正, 第 57 回自動制御連合講演会, pp. 486-488, 群馬, 11 月 10~12 日 (2014)
19. 南 裕樹・東 俊一, 予測ガバナ:最適解と電力同時同量制御への応用, 計測自動制御学会 第 2 回制御部門マルチシンポジウム, 531-1, 東京, 3 月 5~7 日 (2015)
20. 北尾太市・丸田一郎・東 俊一, リアルタイムプライシングにおける最適抽選型自動デマンドレスポンス, 計測自動制御学会 第 2 回制御部門マルチシンポジウム, 531-2, 東京, 3 月 5~7 日 (2015)
21. 佐藤一宏・東 俊一, 集団需要応答の可制御性とデマンドレスポンスエントローピー, 計測自動制御学会 第 2 回制御部門マルチシンポジウム, 531-3, 東京, 3 月 5~7 日 (2015)

③ ポスター発表（国内会議 2件, 国際会議 1件）

1. Shun-ichi Azuma, Design Principles of Real-time Pricing, 2014 Joint JST-NSF-DFG Workshop, Hawaii, 1月11～12日（2014）
2. 北尾太市・丸田一郎・東 俊一, リアルタイムプライシングにおける最適抽選型自動デマンドレスポンス, 計測自動制御学会 第2回制御部門マルチシンポジウム, PS-12, 東京, 3月5～7日（2015）
3. 北尾太市・丸田一郎・東 俊一, 抽選型自動デマンドレスポンスによる電力需要の制御, 京都大学第9回ICTイノベーション, 京都, 3月17日（2015）

④ ビデオ発表（国内会議 0件, 国際会議 0件）

なし.

(4)知財出願

①国内出願（4件）

1. 需要供給バランスシステム, スwitchングシステム, 需要供給管理システム, スwitchング方法, 需要供給バランス方法, 需要供給管理方法, スwitchングプログラム, 及び需要供給管理プログラム, 東 俊一, 科学技術振興機構, 2014年4月22日, 特願2014-088484
2. 予測値整形装置, 制御システム, 予測値整形方法, 制御方法, 及び予測値整形プログラム, 東 俊一・南 裕樹, 科学技術振興機構, 2014年10月10日, 特願2014-209483
3. 電力価格決定装置および電力価格決定方法, 小林孝一・平石邦彦, 北陸先端科学技術大学院大学, 2014年10月21日, 特願2014-214392
4. 情報処理装置, 情報処理方法およびプログラム, 櫻間一徳, 鳥取大学, 2014年11月26日, 特願2014-239059

②海外出願（2件）

1. 需要供給バランスシステム, スwitchングシステム, 需要供給管理システム, スwitchング方法, 需要供給バランス方法, 需要供給管理方法, スwitchングプログラム, 及び需要供給管理プログラム, 東 俊一, 科学技術振興機構, 2015年2月24日, PCT/JP2015/000929
2. 需要供給バランスシステム, スwitchングシステム, 需要供給管理システム, スwitchング方法, 需要供給バランス方法, 需要供給管理方法, スwitchングプログラム, 及び需要供給管理プログラム, 東 俊一, 科学技術振興機構, 2015年2月26日, 台湾出願番号第104106339

③その他の知的財産権

なし.

(5)受賞・報道等

①受賞

1. 泉 晋作: 2014年度 計測自動制御学会関西支部 支部長賞 奨励賞
ネットワーク化推定器に基づくリアルタイムプライシング（2015）

2. 寶田 裕介:2014年度 第57回自動制御連合講演会 優秀発表賞
リアルタイムプライシングを考慮した需要応答モデル (2015)
3. 北尾 太市:2014年度 第57回自動制御連合講演会 優秀発表賞
抽選型制御器を用いたリアルタイムプライシングのための実験装置開発 (2015)
4. K. Sakurama, M. Miura, Best Paper Award of the 20th International Symposium on
Artificial Life and Robotics (2015)
Distributed Optimization based on Networked Multi-agent Systems and Its
Application to Negotiation-based Real-time Pricing (2015)
5. 櫻間一徳, 三浦政司: 計測自動制御学会 制御部門 制御部門大会賞,
マルチエージェントシステムの制約付き分散最適化とリアルタイムプライシングへの
応用 (2015)
6. 北尾太市:計測自動制御学会 制御部門研究奨励賞 (2015)
リアルタイムプライシングにおける最適抽選型自動デマンドレスポンス
7. 三浦政司: (株)構造計画研究所第15回 MAS コンペティション 優秀賞
電力ネットワークにおける需要供給マッチングのための分散型リアルタイムプライシン
グ (2015)

②マスコミ(新聞・TV等)報道(プレス発表をした場合にはその概要もお書き下さい.)
なし.

③その他
なし.

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開
なし.

②社会還元的な展開活動

1. 本研究課題のウェブサイトを制作し, 研究内容および成果を一般に公開した. 本ウェブ
サイトは, 検索ワード「リアルタイムプライシング」に関して Google 上で2位に位置し
ており, 十分な広報が実施されたと評価できる(順位は平成26年11月30日時点. 1
位は JST ウェブサイト上での本研究課題).
・ <http://crest.ctrl.sys.i.kyoto-u.ac.jp>.
2. 学術講演会で3件のオーガナイズドセッションを企画し, 成果を公開した (詳細は7.
2に示す).
3. 本研究課題に関連する公開セミナーを5回実施した(詳細は7. 2に示す).
4. IEEE Control Systems Society 主催のビデオコンテストに出品し, 研究成果を公開し
た. 本ビデオは, 研究参加者の学生によって制作されており, 教育的な効果
をあげるとともに, 公開後約3か月の間で150回を超える視聴があり, 研究成果の社
会還元 に寄与していると評価できる.
・ 北尾太市・中本 剛・丸田一郎・東 俊一, Real-Time Pricing by Using Lottery
Switches, IEEE CSS Video Clip Contest 2014, <https://www.youtube.com/watch?v=MmTqjUD9wUk>
5. 世界初のグラフィカルリアルタイムプライシングシミュレータ「RTPsim」を

開発し、公開した。

・三浦政司・徳永裕太・櫻間一徳，グラフィカルリアルタイムプライシングシミュレータ RTPsim, <http://tottori-icee.jp/rtpsim/>

6. 京都大学 大学院情報学研究科が主催する展示会「ICTイノベーション 2015」(参加者は約600人)にて、抽選型 ADR 装置を出品した。

§ 7 研究期間中の活動

主なワークショップ, シンポジウム, アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成 25 年 10 月 1 日	第1回コアミーティング (非公開)	京都	4	本研究課題のキックオフ会議.
平成 25 年 11 月 19 日	第2回コアミーティング (非公開)	京都	4	研究シーズの整理.
平成 25 年 11 月 19 日	第1回RTPチーム セミナー	京都	12	人間特性の数理モデル化と マン・マシンシステムへの応 用に関する情報収集と適用 可能性の検討(講師:長崎 大学 田中良幸准教授).
平成 25 年 12 月 17 日	第3回コアミーティング (非公開)	鳥取	4	FS 活動の検討.
平成 25 年 12 月 17 日	第2回RTPチーム セミナー	鳥取	24	空間的に分布した太陽光発 電設備の合計出力推定に 関する情報収集と適用可能 性の検討(講師:東京電力 片岡良彦課長).
平成 25 年 12 月 25 日 ~26 日	第4回コアミーティング (非公開)	京都	4	研究成果の報告, 課題抽 出, サイトビジットへの準備.
平成 26 年 2 月 6 日 ~8 日	第5回コアミーティング (非公開)	石川	4	研究成果の報告と課題抽 出.
平成 26 年 2 月 7 日	第3回RTPチーム セミナー	石川	6	音声つぶやきによる医療・看 護・介護サービスに関する 情報収集と適用可能性の検 討(講師:北陸先端科学技 術大学院大学 内平直志教 授).
平成 26 年 2 月 17 日	第6回コアミーティング (非公開)	京都	4	研究成果の報告と課題抽 出.

平成 26 年 3 月 5 日	第7回コアミーティング (非公開)	東京	4	研究成果の報告と課題抽出.
平成 26 年 3 月 6 日	計測自動制御学会 第1 回制御部門マルチシン ポジウム オーガナイズ ドセッション「リアルタイム プライシングの設計原 理」	東京	約 30 名	研究成果の公開(発表件数 5 件).
平成 26 年 4 月 9 日	第8回コアミーティング (非公開)	京都	4	需要家のモデリング原理に ついての検討.
平成 26 年 4 月 24 日	第9回コアミーティング (非公開)	兵庫	4	需要家のモデリング原理に ついての検討.
平成 26 年 5 月 21 日	第58回システム制御情 報学会研究発表講演会 オーガナイズドセッシ ョン「リアルタイムプライ シングへの制御工学的ア プローチ」	京都	約 20 名	研究成果の公開(発表件数 3件).
平成 26 年 6 月 3 日	第10回コアミーティング (非公開)	鳥取	4	研究成果の報告と課題抽出.
平成 26 年 6 月 3 日	第4回RTPチーム セミナー	鳥取	16	風力発電に関する情報収集 (講師:鳥取大学 原 豊准 教授).
平成 26 年 9 月 27 日	第11回コアミーティング (非公開)	東京	4	最終報告に向けた研究成果 の整理.
平成 26 年 11 月 10 日	第57回自動制御連合 講演会 オーガナイズド セッション「リアルタイム プライシングの設計原 理」	群馬	約 20 名	研究成果の公開(発表件数 7件).
平成 26 年 11 月 21 日	第12回コアミーティング (非公開)	兵庫	4	最終報告に向けた研究成果 の確認.
平成 26 年 11 月 21 日	第5回RTPチーム セミナー	兵庫	6	分散エネルギー管理シス テムに関する情報収集と適用 可能性の検討(講師:大阪 大学 宮本 俊幸准教授).

§8 最後に

本研究課題は、研究総括、アドバイザーからの多大な支援のもとで実施された。また、独立行政法人 科学技術振興機構の職員の皆様の献身的なサポートにより、素晴らしい研究環境が提供された。記して謝意を表したい。