知的情報処理を用いた電力市場のシミュレーション

正 員 濱上 知樹*

Using Intelligent System Approaches for Simulation of Electricity Markets

Tomoki Hamagami*, Member

Significances and approaches of applying intelligent systems to artificial electricity market is discussed. In recent years, with the moving into restructuring of electric system in Japan, the deregulation for the electric market is progressing. The most major change of the market is a founding of JEPX (Japan Electric Power eXchange.) which is expected to help lower power bills through effective use of surplus electricity. The electricity market designates exchange of electric power between electric power suppliers (supplier agents) themselves. In the market, the goal of each supplier agents is to maximize its revenue for the entire trading period, and shows complex behavior, which can model by a multiagent platform. Using the multiagent simulations which have been studied as “artificial market” helps to predict the spot prices, to plan investments, and to discuss the rules of market. Moreover, intelligent system approaches provide for constructing more reasonable policies of each agents. This article, first, makes a brief summary of the electricity market in Japan and the studies of artificial markets. Then, a survey of typical studies of artificial electricity market is listed. Through these topics, the future vision is presented for the studies.

キーワード：電力市場，電力自由化，マルチエージェント，人工市場，シミュレーション，知的情報処理

Keywords: electricity market, deregulation of electric utilities, multi-agent, artificial market, simulation, intelligent information technology

1. はじめに

2000年3月から段階的に行われている日本の電力市場自由化は、2005年に総電力量の60%以上が自由化対象となり、さらに2007年からは全面自由化にむけての検討が開始されるなど様々な準備や議論が進んでいる⁽¹⁾⁽²⁾。既に2005年4月には、日本で初めて現物としての電力を取引する取引所⁽³⁾が開設され、全国規模での電力のスポット取引、先渡し取引商品の売買が行われている。今後、さらなる電力市場の自由化が進むことで、地域独占市場で事業を行ってきた電気事業者と、新たに参入する多数の事業者間の競争が生じ、市場原理に基づく効率化や、需要供給バランスが達成されると期待されている⁽⁴⁾。

一方、先行して自由化が進んでいる米国と欧州の電力市場では、自由化による規制緩和が必ずしも「安定供給確保」や「効率的な電力供給システムの構築」という本来の目的を達成できない事例が存在する。これは、電力という同時

同量の維持が必要な財を適切に扱う制度が確立されていないことに加え、各国独自の系統構成や連系方法、エネルギー事情や組織構造上の問題等も複雑に関連する⁽⁵⁾。2000年のカリフォルニア電力危機や、欧州における供給予備力の低下、電力価格の乱高下などは、事業者間での競争や投機目的の操作によるものだと指摘もある⁽⁶⁾。

これら電力市場の特殊性を考慮しながら、今後拡大を続けるであろう電力市場を分析し、望ましい制度作りや設備投資の判断、リスクヘッジのためのデリバティブ戦略を考えることが、供給安定、価格安定のために必要となる⁽⁷⁾。そのような分析の一手段として、市場の複雑性を反映した精密なシミュレーションや信頼性のあるツールへの期待が高まっている。

このような要請に応えるべく、現在、電力人工市場をテストベッドとするマルチエージェントベースの手法が種々研究されている⁽⁸⁾⁻⁽¹²⁾。また、近年、電力システム全般について、ニューラルネット、強化学習、GAを初めとする知的情報処理技術を応用しようとする試みも多く行われるようになってきた⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。本稿では、これらの電力人工市場と知的情報処理を組み合わせた応用研究の意義と方法について述べるとともに、今後の発展について考察する。

* 横浜国立大学

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5

Yokohama National University

79-5, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501

以下2章では、現実の電力市場について概観する。3章では、人工市場におけるマルチエージェントシミュレーションの事例を概観する。4章ではマルチエージェントベースの電力市場シミュレーションの意義と、いくつかの知的情報処理技術の応用例について述べる。

2. 電力市場と電力取引

2.1 卸電力取引場 日本卸電力取引所 (JEPX: Japan Electric Power eXchange)⁽³⁾ は、2005 年 4 月に開設された日本で最初の卸電力取引所である。電力を売買する当事者は、下記に示す電気事業者及び独立系発電事業者である。

● 電気事業者

電気事業法 2 条に定める事業者である。発電設備を持ち、発電した電力を市場に供給する。発電事業者は、短期的には売価と発電費用の差である利益を最大化させようとする一方で、長期的には、安定供給のために新規の発電所建設等の設備投資を行う必要がある。発電事業者には下記の 4 種類がある。

○ 一般電気事業者

水力、火力、原子力発電設備を持ち、一般需要に応じて電力を供給する事業者。現在の 10 電力会社をさす。

○ 卸電気事業者

200 万 kW を超える発電設備を持ち、一般電気事業者に供給する事業者。

○ 特定電気事業者

特定の供給地点における需要に応じて電力を供給し、送電・配電も行う事業者。

○ 特定規模電気事業者 (PPS: Power Producer and Supplier)

特定規模の需要 (特別高圧、高圧) に応じて電気の供給を行う事業者。送電、配電は行わない。

● 独立系発電事業者 (IPP: Independent Power Producer)

電気事業法で定める電気事業者ではないが、出力規模が千 kW を超え、10 年以上の期間にわたって一般電気事業者に供給するか、または、出力規模が 10 万 kW を超え、5 年以上の期間にわたって一般電気事業者に供給する事業者。卸供給事業者ともいう

● 送電事業者

現在電力会社が所有している送電ネットワークを用いた託送を行う事業者。

● 配電事業者

需要家に配電を行う事業者

● 需要家

電力を消費する者。一般需要家と大口需要家がある。

図 1 に、これら電力市場をとりまく各要素の関係を示す。市場で取引された電力は、各電気事業者が契約する需要家へ、送電業者、配電事業者を介して託送される。契約通

図 1 電力市場の構成

Fig. 1. A structure of electricity market.

りの電力の受け渡しができなかった場合は、インバランス料金等のペナルティが科せられる場合がある。

2.2 電力取引の方法 現在のところ、JEPX で扱われている銘柄は、スポット市場と先渡し型市場の 2 種類である。

● スポット市場 (プール市場)

翌日に受け渡しをする電力を、30 分単位で 24 時間分、合計 48 時間帯の商品として売買する市場である。価格決定方法はシングルプライスオークション方式 (板寄せ) である。入札に際しては、時間帯、価格、電力量に加え、エリア (電力会社及び需要地域) を指定することができる。エリアを指定することで、電力会社間の連系キャパシティによる制約を落札条件に加えている。取引所が契約の当事者となる取引所取引の形態をとることで、信用リスクを低減させている。

● 先渡し型市場

電力会社間では、従来から先渡し電力契約という事業者間での電力売買契約が存在している (相対取引)。先渡し契約とは、契約で定めた日時に、予め決めた価格で売買を行う契約である。価格の変動に対するリスクを固定化できるが、当事者間契約となるため信用リスクが大きい。先渡し型市場とは、この先渡し電力契約の手続きを市場内で定型化・標準化することで、契約手続きの簡素化や商品の流通促進をはかる市場である。また、先渡し型市場の契約電力は、その契約自体が商品として取引可能である。さらに、取引はザラバ方式であり、入札オプションとして、契約電力を小売するアイスバークオーダ方式や全量をまとめて売買する全量約定成約のどちらかが選べる。

スポット市場と先渡し市場の他に、市場には市場参加者同士が、従来と同様の相対取引を行うための情報を提示す

る場として、先渡掲示板市場が用意されている。

2・3 電力市場の特殊性 電力市場では電力を財として扱う取引を行う。電力を財として扱う場合、他の財と比べ以下のような特殊性が存在する。

- 同時同量が維持されなくてはならない
電力はそのままでは貯蔵することができないため、需要量と供給量を同時刻で常に一致させなくてはならない。すなわち、在庫調整ができない財である。
- 流通経路に制約が多い
電力の流通はすべて電力会社が持つ送電網を利用するため、送電ネットワークのキャパシティに依存した流通となる。
- 新たな電源開発に極めて時間がかかる
発電所や送電設備の建設は10年単位の期間が必要である。需要の変化を予測し、供給のための投資判断を行うことは極めて難しい。
- ライフラインであり代替品がない
社会を維持する上で不可欠なエネルギーである。

3. 人工市場とマルチエージェントシミュレーション

3・1 マルチエージェントによる人工市場モデル 人工市場とは、市場を形成する様々な要素を独立したプログラム上に実現し、様々な境界条件や規則のもとで自律的に作用させあうことで、複雑な市場の振る舞いを計算機上に再現しようとする試みである⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。人工市場研究ではそのスタンスを以下のように分類している。

- 市場参加者である個々のエージェントの構造と学習に着目した研究
- 価格決定のメカニズムである市場構造モデルに関する研究
- エージェントモデルにより実現されるミクロな振る舞いと、市場構造モデルよりなるマクロな振る舞いとの相互関係に着目した研究

一方で、従来の経済理論からの乖離や、恣意的なシミュレーションによる客観性の不備が指摘されている。これらの問題に対し、標準的な人工市場シミュレーションツールを整備し、共通のフレームワークの上で評価・分析をしようとする試みも進んでいる⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。図2に、マルチエージェ

図2 マルチエージェントによる人工市場モデル

Fig. 2. An artificial market model consist of multi-agent.

ントによる人工市場モデルを示す。

3・2 人工電力市場シミュレーションの意義 マルチエージェントを用いた人工市場シミュレーションは、市場にみられる複雑な社会現象の解明や、人工知能研究のテストベッドとして、多くの知見が得られるツールではあるが、一方で、以下のような問題も持っていた。

- 市場をとりまく環境や境界条件は極めて複雑であり、これらを設計者が現実には合うよう忠実に設定することは困難である。
- 既存の集団や社会構造、制度によって変化する様々な特徴のエージェントを、シミュレーションに反映させることは困難である。

一方、電力市場は、現在のところ比較的役割の明確な少数の参加者が、いくつかの制約の下で取引を行っている段階にあり、シミュレーション上の環境設定や境界条件が設定しやすいという優位さがある。また、現物としての電力を扱う事業者のみが参加する市場であるため、純粋な投機目的の売り買いが存在せず、エージェントの多様性に一定の仮定を設けることができる。こういった理由から、人工市場の手法は、電力市場において実用的なアプリケーションになりうると考えられる。例えば、以下のような用途が考えられる。

- 利益の最大化
市場参加者からみると、最小のコストで最大の利益を得るための戦略を検討するツールとして利用できる。
- 制度設計
自由化による効果を十分に引き出すための制度設計手段として、様々な境界条件を試すことができれば有用である。例えばCO₂取引、RPS制度、新たな規制緩和施策など、新たな制度を導入するための効果や影響について予想をすることができる。
- 投資計画
電力市場シミュレーションは、短期的利益だけではなく、長期間にわたる投資計画を考える上での材料となる。例えば、新たな電源（発電所）を建設したり、送電ネットワークを計画する上で、その投資効果と利益を予測するために利用できる。
- デリバティブ戦略

電力価格安定のためには、リスクをヘッジする機構が必要になる。現在のJEPXの会員資格は「現物としての電力を扱う者」に限定をされているが、将来、この規制が緩和されれば、電気事業者と市場の仲買を行う事業者が参入し、スワップ、オプションといった様々なデリバティブ商品が扱われることになる。このとき、どのような戦略でリスクを管理するかについてシミュレーション結果が役立つ。

4. 研究事例とシミュレーションの課題

近年、マルチエージェントによる電力市場シミュレーションの研究が、各国で広く行われている。ここでは、いくつ

かの研究事例について概観し、より有用なシミュレーションを行うための課題について述べる。

4・1 学習・進化によるエージェント設計 市場に参入するエージェントの目的は、一定の制約のもとで、自身の利益を最大化させることである。動的に変化する市場環境に応じて、適切な意思決定を行う行動ルール機構をどのように設計するかは、シミュレーションの信頼性を実現する上で重要である。一般に各エージェントの意思決定ルールを教師として与えることは困難であり、自律的なルール獲得が望まれる。

各エージェントが観測する市場環境情報は、現在の単位価格と、過去の履歴から求めた需要変動率や価格変動率、平均電力価格、固定費用等、いくつかの市場パラメータが使われる。また、市場は需要や燃料が安定している場合と、動的に変化する場合とがある。これらの環境情報を元に、各エージェントは状態行動価値関数やクラシファイアシステム等を用いて売り・買い価格を決定する。スポット取引の場合、板寄せによる売り・買いが成立した時点で、損益が確定する。これらの価値関数やクラシファイアの行動節の更新に、強化学習や遺伝的アルゴリズム等が用いられている^{(19) (20)}。学習や進化に必要な報酬や適応度は、一定期間の利益の平均和等、統計的な指標が用いられる。

文献 [21] では、Q-learning によるマルチエージェント学習を IEEE 30-bus シミュレーション環境で実行し、入札システムだけでなく、地理的要因やネットワークの制約が重要な役割を果たしていることを示している。また、動的な環境においては探索的な行動より greedy な行動をとるエージェントが、多くの利益を得ることを示している⁽²¹⁾。

4・2 制度設計への利用 安定供給や環境への配慮を背景に、電力市場には様々な制度導入が検討されている。例えば平成 15 年に施行された RPS(Renewables Portfolio Standard) 制度は、新エネルギー等の普及を図るため、電気事業者に対してその販売電力量に応じた一定割合以上の新エネルギー（風力、太陽光発電等）を供給する義務を課している。供給に際し、過剰に供給する事業者はその分を他の業者に「グリーン証書」として販売でき、また、義務量を達成できない事業者は他の事業者等から「グリーン証書」を購入する義務を負う。このように、新エネルギーの利用をきっかけに新たな電力関係商品が市場でやりとりされる。このような電力関係新商品が扱われることによる電力市場への影響や、価格規制が存在する場合、相対取引の影響などのついて解析する研究も行われている^{(22) - (24)}。

4・3 取引形態と電力関連商品の開発 現在行われているシミュレーションの多くは、前日スポット取引を想定した事例が多い。しかし、実際の市場では、価格安定に効果があるといわれている相対取引や、掲示板を介した市場外取引を組み合わせた戦略をとっている。このように、価格決定方法（板寄せ・ザラバ）や、取り引きのタイミングが異なる複数の取引形態が存在する場合の市場の振る舞いについては、まだ検討が始まったばかりである⁽²⁵⁾。また、

このような不完全知覚環境下で効率的にエージェントを学習させる方法は、学習の基礎的問題としても未解決の課題が多い。同様のことは、リスクヘッジのための新たなデリバティブ等、電力関連商品を開発する上でも重要な問題になる。

4・4 地理的要因の解析 電力市場での売買はすべて Web か専用 API を介したネットワーク上で行われ、現物としての電力はスポット時間帯や相対契約の日時での電力の受給をもつてのみ行われる。このように電力市場・ネットワークは、コンピュータシミュレーションにとって都合の良い、高度に抽象化可能な市場である。一方、発電所の地理的条件や、ネットワークの制約、東西日本での電力周波数変換コスト等の問題から、実際の売買にはいくつかの制約が存在する。詳細なシミュレーションを行うためには、地理的要因を含む制約条件を含んだモデルが必要である。このような各国のネットワークに応じた、マルチエージェントベースのシミュレータ^{(20) (26)}が開発され、韓国、欧州、イベリア半島での市場分析に用いられている。

4・5 分散電源の影響 分散電源とは、需要地内に配置される中小規模の発電設備であり、自然エネルギーを利用する太陽光、風力発電等のほか、排熱の有効利用など総合的なエネルギー利用効率を高めることを目的とした燃料投入型のコジェネレーション、燃料電池などがある。近年、環境保全意識の高まりとともにその導入量が急増している。将来、分散型電源が広く普及することを想定した「分散型電気事業 (distributed utility)」も提案されている⁽²⁷⁾。分散型電源事業とは、地域に分散している分散電源を活用しながら、効率のよい電力供給と市場価格安定化をめざす事業である。

このように分散電源が広く普及することのメリットは大きい。一方で、信頼性向上や安定化にまだ問題を残している。分散電源個々の知的な振る舞いによる安定化⁽²⁸⁾や、分散電源の普及が価格形成に与える影響等についてのシミュレーション⁽²⁹⁾が必要である。

5. おわりに

自由化が進む電力市場におけるシミュレーションの意義とその中で応用可能な知的情報処理技術について述べた。電力市場の自由化により、市場原理に基づく効率化の達成が期待されている。一方で、電力市場は瞬間的・局所的な受給バランスの変化に敏感であり、わずかな変化が大きな価格変動を引き起こすなど一般の財を扱う市場とは異なる特殊な振る舞いをする。このような複雑な系に対し、適切な制度設計、設備投資、デリバティブ商品開発等によりリスクをヘッジすることは、安定した社会システムを作る上で重要な役割を果たす。そのための一手段として、複雑な事象を扱うマルチエージェントベースの人工市場アプローチの研究をベースに、様々な知的情報処理技術の応用をはかることは、電力市場についての様々な知見をもたらし、電力エネルギーの安定供給、価格安定に寄与するものと期待

できる。また、電力市場シミュレーションは、マルチエージェント系や知的情報処理技術のテストベッドとしても様々な利用法が期待できる興味深い対象になるであろう。

(平成 17 年 10 月 7 日受付)

文 献

- (1) 「今後の望ましい電気事業制度の骨格について」総合資源エネルギー調査会電気事業分科会報告 (2003)
<http://www.meti.go.jp/report/data/g30226cj.html>
- (2) 東京電力広報部編: 「電力自由化」について, TEPCO レポート, pp.11 (2002)
- (3) 有限責任中間法人日本卸電力取引所 <http://www.jepx.org/>
- (4) 矢島正之: 「電力市場自由化」, 日本工業新聞社, (1994)
- (5) 矢島正之: 「電力改革再考 自由化モデルの評価と選択」, 東洋経済新報社, (2004)
- (6) T. Hattori, M. Goto, M. Tsutsui, and M. Maruyama: "A Literature Review of the Policy Issues in Liberalization of the Electricity Industry", CRIEPI Report No.T04001 (2004) (in Japanese)
服部 徹・後藤美香・筒井美樹・丸山真弘: 「電力自由化の制度設計に関する学識経験者の見解について」, 電力中央研究所報告 Y04001 (2004)
- (7) 「競争環境下における電力品質」, 電気学会技術報告書, No.925, pp.70-73 (2003)
- (8) I. Watanabe, K. Okada, I. Kyurhara, and M. Nagata: "Simulation of Electricity Market —Electricity Market Simulator Development and Analysis of Agent Model —", CRIEPI Report No. R02022, (2003) (in Japanese)
渡邊 勇・岡田健司・栗原郁夫・永田真幸: 「電力市場のシミュレーション—市場シミュレータの開発とエージェントモデルの分析—」, 電力中央研究所報告 R02022 (2003)
- (9) I. Kurihara, K. Okada, I. Watanabe, N. Watanabe, T. Kumano, S. Matsui, and K. Tokoro: "Simulation of Electricity Market —Development of basic market model using multi agent system—", CRIEPI Report No.T01036 (2001) (in Japanese)
栗原郁夫・岡田健司・渡邊 勇・渡邊尚史・熊野照久・松井正一・所 健一・永田真幸・西村一彦・今中健雄: 「電力市場のシミュレーション—マルチエージェントシステムによる電力市場の基本モデルの開発—」, 電力中央研究所報告 T01036 (2001)
- (10) Derek W. Bunn and Fernando S. Oliveira: "Agent-based simulation-an application to the new electricity trading arrangements of England and Wales", *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, Vol.5, No.5, pp.493-503 (2001)
- (11) D. Bunn and F. Oliveira: "Agent-Based Simulation: An Application to the New Electricity Trading Arrangements of England and Wales", *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, Vol.5, No.5, pp.493-503 (2001)
- (12) Y. Okada, H. Kawamura, J. Nakamura, K. Izumi, K. Kurumatani, K. Kawano, and A. Ohuchi: "Modeling and implementation of electricity market by X-Economy system", Technical Report of IEICE, 2003-ICS-131, Vol.2003, No.3, pp. 53-58 (2003) (in Japanese)
岡田靖司・川村秀憲・中村仁也・和泉 潔・車谷浩一・河野浩二・大内 東: 「X-Economy システムによる電力市場のモデル化とその実装」, 信学技報 2003-ICS-131, Vol.2003, No.3, pp.53-58 (2003)
- (13) Y. Fukuyama: "Applications of Meta-heuristics to Power and Energy Fields", *IEEE Trans. PE*, Vol.124, No.5, pp.679-683 (2004) (in Japanese)
福山良和: 「メタヒューリスティック手法の電力・エネルギー分野への適用例」, 電学論 B, 124, 5, pp.679-683 (2004-5)
- (14) T. Nagata: "Applications of Multi-Agent Technology to Power Systems", *IEEE Trans. PE*, Vol.125, No.3, pp.255-258 (2005-3) (in Japanese)
永田 武: 「マルチエージェント技術の電力システムへの適用研究事例」, 電学論 B, 125, 3, pp.255-258 (2005-3)
- (15) K. Izumi and K. Ueda: "Introduction to Artificial Market Studies", *J. JSAI*, Vol.15, No.6, pp.941-950 (2000)
和泉 潔・植田一博: 「人工市場入門」, 人工知能学会誌, Vol.15, No.6, pp.941-950 (2000)
- (16) H. Deguchi, K. Izumi, Y. Shiozawa, H. Takayasu, T. Terano, H. Satoh, and H. Kita: "Discussions: Research of Artificial Market, Its Social and Academic Meaning", *J. JSAI*: Vol.15, No.6, pp.982-989 (2000) (in Japanese)
出口 弘・和泉 潔・塩沢吉典・高安秀樹・寺野隆雄・佐藤 浩・喜多 一: 「人工市場を研究する社会的および学問的意義」, 人工知能学会誌, 15, 6, pp.982-989 (2000-6)
- (17) U-Mart プロジェクト <http://www.u-mart.org/html/>
- (18) 川村秀憲・車谷浩一・大内 東: 「X-Economy: 人工経済・人工市場のためのシミュレーションプラットフォームとその応用研究—複雑な経済システムの解明へ向けて—」, シミュレーション, Vol.21, No.2, pp.143-153 (2002)
- (19) S. Ohki and T. Harada: "A Simulation of Deregulated Electricity Market using Reinforcement Learning Agents", *IEEJ, Proc. of EIS Conf.* pp.1148-1152 (2005)
大木沙里・原田 拓: 「強化学習エージェントによる自由化電力市場シミュレーション」, 平 17 電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp.1148-1152 (2005)
- (20) G. Conzelmann, G. Boyd, V. Koritarov, and T. Veselka: "Multi-Agent Power Market Simulation using EMCAS", *IEEE Power Engineering Society (PES) General Meeting* 2005 (2005)
- (21) A. Rahimi-Kian and B. Sadeghi: "Q-Learning Based Supplier-Agents for Electricity Markets", *IEEE Power Engineering Society (PES) General Meeting* 2005 (2005)
- (22) 菅野孝則・北 裕幸・田中英一・長谷川淳: 「電力市場を含めた RPS 制度の市場解析に関する基礎研究」, PE-04-93, 電気学会電力技術・電力系統技術研資, pp.45-50 (2004)
- (23) 所 健一: 「電力市場と CO₂ 排出権市場の相互関係を考慮した取引シミュレーション—共進化アルゴリズムを用いたマルチエージェントシミュレーションの学習方式の開発—」, 電力中央研究所報告 R02014 (2003)
- (24) 北窪貴光: 「エージェントベースモデリングによる電力市場の制度に関する研究」, 第 35 回 システム工学部会研資 (2005)
- (25) T. Shinmichi and T. Oyama: "Simulation of the Electric Power Market Considering Load Fluctuation and Form of Transaction", *IEEJ Trans. PE*, Vol.124, No.5, pp.683-689 (2004-5)
新道 徹・大山 力: 「需要変動・電力取引形態を考慮した電力市場シミュレーション」, 電学論 B, 124, 5, pp.683-689 (2004-5)
- (26) EMCAS Web <http://www.dis.anl.gov/CEEESA/EMCAS.html>
- (27) J.J. Iannucci, S.A. Horgan, J.M. Eyer, and L. Cibulka: "Distributed Utility Perspectives for the International Energy Agency", a white paper sponsored by the U.S. Department of Energy (1999)
- (28) J. Kodama and T. Hamagami: "Cooperative Control for Distributed Generation by using Multiagent Learning", *IEEJ Trans. EIS*, Vol.126, No.2 (2006-2) (to be appeared) (in Japanese)
児玉淳一・濱上知樹: 「マルチエージェント学習を用いた分散電源の協調制御」, 電学論 C, 126, 2 (2006-2) (掲載予定)
- (29) H. Kawamura, K. Kurumatani, and A. Ohuchi: "Multiagent Analysis for Effect of Cogeneration Spread in an Electricity Market", *IEEJ Trans. EIS*, Vol.125-C, No.6, pp.956-966 (2005-6) (in Japanese)
川村秀憲・車谷浩一・大内 東: 「コージェネレーションの普及が電力市場の価格形成に与える影響に関するマルチエージェント分析」, 電学論 C, 125, 6, pp.956-966 (2005-6)
- (30) P. Fairley: "The Unruly Power Grid", *IEEE Spectrum*, August 2004, pp.16-21 (2004)

濱 上 知 樹 (正員) 1966 年 3 月 7 日生。88 年千葉大学工学部電気工学科卒業。セコム (株) 勤務を経て, 99 年在職のまま千葉大学大学院自然科学研究科生産科学専攻後期課程修了。2001 年同助手。2004 年横浜国立大学大学院工学研究院助教授。分散知能システム, マルチエージェント, 強化学習, 福祉・医療支援等社会システムへの応用研究に従事。博士 (工学)。IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会会員。