エネルギー研究拠点　太陽光発電マルチスケール研究拠点

Group Theme　デマンドサイドの自律性に基づいた高効率エネルギー利用ダイナミクスの創出（キロ～メガメーター領域研究）

自律分散型電力ネットワークで自動的な電力取引を可能にする人工知能

再生可能エネルギーを高効率に利用できる自律分散型の電力ネットワークを構想しています。

化石燃料の大量消費や地球環境汚染、原子力発電の安全性といったエネルギーに関わる課題が次々と持ち上がっている今、既存の燃料に依存しない新たなエネルギーの確保が求められています。その一策として太陽光や風力、水力などのクリーンで再生可能なエネルギーの利用が進んでいますが、いまだ十分に浸透しているとはいえません。爆発的な普及をうながすため、「太陽光発電マルチスケール研究拠点」では、エネルギー効率の向上や省コストを実現する太陽電池の開発に力を注いでいます。

こうしたデバイスの進歩と同時に、発電した電気を無駄なく利用する仕組みやそれを受け入れる社会システムの整備も欠かせません。現在の発電システムは、人里から遠く離れた発電所で大規模に発電し、交流で各地に送電する集中管理型です。しかし地球上にあまねく存在する太陽光を利用するなら、大規模な集中型発電インフラがなくても、必要な場所で必要な量だけ発電する、いわゆる電力の地産地消が可能です。反面、昼夜や天候などによって発電量が一定せず、電力不足や、反対に余剰電力が既存の電力ネットワークに流され、障害を引き起こす「逆潮流」の問題が指摘されています。本プロジェクトでは、太陽光をはじめとした再生可能エネルギーを高効率に利用するのに適し、しかも逆潮流問題も解決できる自律分散型の電力ネットワークを構想しています。

このようなエネルギーの地産地消を志向する分散的な電力ネットワークは、ローカルグリッドとも呼ばれます。スマートグリッドの一種ですが、ただスマートにするのではなく、地域で独立性の高い電力ネットワークの構築を志向していることがポイントです。本研究拠点では、私たちの構想するこの自律分散型電力ネットワークのことを“i-Rene（アイリーン）”と呼んでいます。i-Reneでは、各世帯が太陽光発電装置と蓄電池を備え、また、電力の過不足が生じた際にはスマートメーターを経由して、他の世帯と融通を行います。この自律分散型電力ネットワークのポイントは、ローカルグリッドに人工知能を導入し、余剰電力の融通を自動的に、しかも需要者の利益を最大化するように行う点です。地産地消型の地域電力取引市場を構築するとともに、各世帯の利益を最大化することで地域全体の電力利用を高効率化するような人工知能と市場制度の設計を目指しています。

利益を最大にする電力取引を自動で行う学習機能を持った人工知能を開発しています。

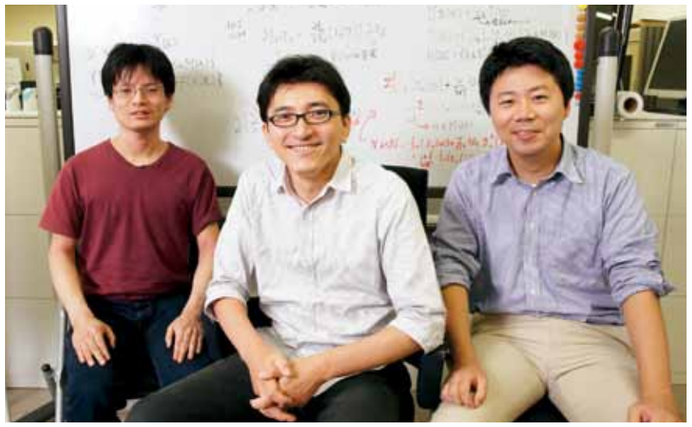
まず地域の電力取引市場を想定し、市場経済原理に基づいて電力を売買する、効率的な電力融通システムを構築する必要があります。そのためには、物理的な電力システム、情報システムを構想すると同時に、経済システムとしてその電力融通システムを検討する必要があります。私たちの提案するモデルの市場では、取引価格は、需要者と供給者が提出した1時間ごとの需要・供給予定表を集約して市場全体の需要曲線と供給曲線を描き、交差する点（均衡価格）で決定されます。取引の際には、通常、時間帯や天候などによって刻々と変化する電力価格や蓄電量などを鑑み、有利な条件を提示する必要がありますが、現実には人が常時電力市場を観察し、頻繁に取引することはできません。そこで必要となるのが、電力取引を自動的に行うシステムです。私たちは、発電や消費電力のパターンや価格変動パターンなどの取引条件を学習し、需要者の利益を最大化する取引戦略を自ら獲得するシステムを設計し、数理モデルを構築しています。

これまでの研究で、強化学習手法の一種であるNatural Actor-Critic法による実装や、線形関数提出型のダブルオークションにおける勾配法に基づく実装を提案してきました。現在はゲーム理論や分散システムの制御理論といった経済学とシステム科学の境界領域の知見を取り込みながら、より導入可能性の高い理論の構築を目指しています。

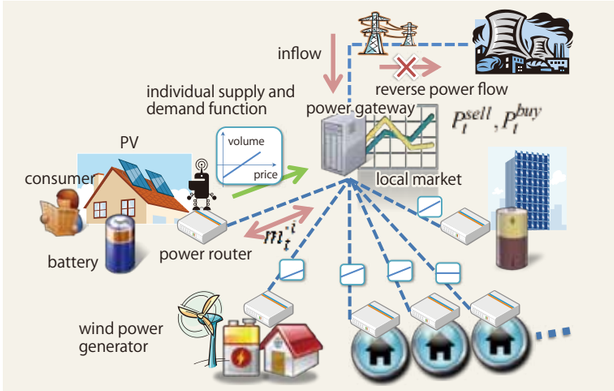
電力を無駄なく利用する行動に導くような人を含んだヒューマンインターフェースを構築したい。

こうして構築した電力自動取引エージェントの数理モデルの有効性を確かめるため、仮想的なローカル・クラスターを構築してシミュレーション実験を実施しました。その結果、単一エージェントだけが学習する環境でうまく学習が進行して有利な取引によって電力ロスを減らし、収益を上げただけでなく、多数のエージェントが同時に学習した場合でも、各エージェントが報酬を増大させ、ローカル・クラスター全体で電力ロスが低減することが確かめられました。

自動的な電力売買のモデル化を進めていますが、現実では、蓄電ロスや取引の際の送電ロスが発生したり、消費・発電パターンに「揺らぎ」が見られるなど多くの変数が影響を及ぼします。デマンドを現実の発電量に適応させるため、今後はこうした多様な変数についても保証範囲を広げていくことが課題です。いずれは経済的なインセンティブを与えるだけでなく、自律的な行動の主体である消費者に状況を認識させ、合理的な消費適応行動に導くような、ヒューマンインターフェースやゲーミフィケーションに関する研究も展開していく予定です。



［写真 中央］
立命館大学情報理工学部 准教授
谷口 忠大 グループリーダー
［写真 左］
立命館グローバル・イノベーション研究機構 専門研究員
福井 善朗
［写真 右］
総合科学技術研究機構 専門研究員
矢野 史朗



自律分散型スマートグリッドの中で各デバイスが自動的に通信し電力取引が行われる様子

●参考文献／**1** 谷口忠大　自律分散型スマートグリッドおける適応的電力融通手法 人工知能によるボトムアップな市場価格形成と電力需要応答の動態分析　人工知能学会論文誌, Vol.28（1）, pp. 77-87 .（2013）　**2** Tadahiro Taniguchi, Shiro Yano and Haruka Kobayashi　Finding Load Profile Primitives by using Independent Component Analysis　International Journal of Energy, Information and Communications, Vol.4（2）, pp.41-54 .（2013）　**3** 谷口忠大、高木圭太、榊原一紀、西川郁子　地産地消型電力ネットワークの為のNatural Actor-Critic を用いた自動取引 エージェントの構築　知能と情報（日本知能情報ファジィ学会論文誌）, Vol.21（6）, pp. 1078-1091 .（2009）

●連絡先／立命館大学 びわこ・くさつキャンパス 創発システム研究室　電話：077-561-5745　http://www.em.ci.ritsumei.ac.jp/