

# 研究シーズ探索プログラム 研究課題別評価書

## 1. 研究課題名

電力の地産地消を目指した自律分散型スマートグリッド実現の為に人工知能による電力取引機構の研究

## 2. 研究代表者

谷口 忠大（立命館大学 情報理工学部 准教授）

## 3. 研究シーズ探索成果の概要

低炭素社会へ向け、再生可能エネルギー利用を普及可能させる自律分散型スマートグリッドにおける地域電力融通の為に機械学習・人工知能について研究を行った。各国におけるスマートグリッドに関する調査や先行研究を踏まえ、分析可能性を高める為に各エージェントの政策に線形性を仮定し、送電・蓄電ロスによる摩擦がない系において厳密な学習則を導出し、シミュレーション実験を通してその有効性を検証した。提案する自律分散型スマートグリッドにおいて蓄電池の導入により価格平準化が生じ、効率的な電力融通が可能となったことが明らかとなった。また、電力融通がもたらす効率性の上界を明らかにするため、将来に亘る発電・消費についての情報が既知のもとでの電力融通の最適化計算の解法を構築した。太陽光発電機器や蓄電池の最適配置とその際の電力融通による効果を、実測した発電・消費データから導出できる解法を構築した。また、導入シミュレーションのため、スマートメーターを用いて家庭の消費電力を計測し分析を行った。

## 4. 研究シーズ探索のねらい

低炭素社会へ向け、再生可能エネルギー利用を爆発的に普及可能させる自律分散型スマートグリッド実現の為に人工知能を有した地域電力融通の為に機械学習に基づく人工知能の実現を目的とする。実環境に適用可能な機械学習則を開発することを目的とした。実験では、異なる生活パターンで生活をする居住者が住み、太陽光パネルと蓄電池を有する住居が相互に接続された系を模擬した大規模シミュレーションが可能モデルにより、提案モデルの有効性及びその安定性を検証する。有効性と同時に、電力の融通によりどれだけの省エネルギー効果が期待できるのか、検証を行うための最適化計算法を構築する。

## 5. 研究シーズ探索の方法と成果

研究の方法と成果について、(1)電力融通機械学習則の開発とその安定性検証、(2)地産地消を前提とした蓄電池の最適融通と配置問題の解法構築、(3)電力ルーティング機構に関する研究、(4)電力消費拠点における消費電力データ収集・分析と実データシミュレーションへの展開、に分類して概説する。

## 5.1 方法

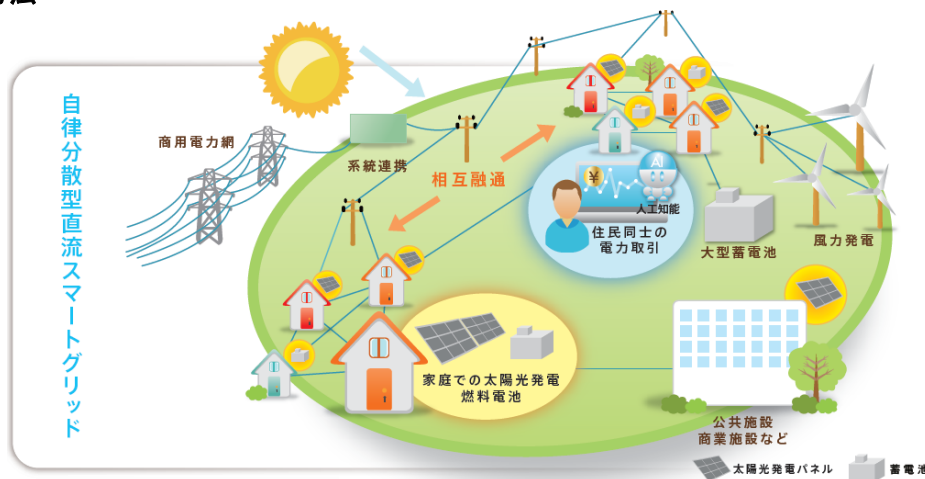


図1 自律分散スマートグリッド i-Rene の概念図

本研究で前提とする自律分散型スマートグリッドの概念図を示す。各世帯は太陽光発電や風力発電といった非常な発電装置と蓄電池を持つ家が相互接続し、余剰電力を変動価格での売買を通して相互融通しあう系を考える。また、余剰電力は系統電力網に逆潮流させず、地域全体で電力不足が起こったときのみ系統から電力を購入するという系を考える。この際の系統からの買い入れ価格は定額を想定する。本研究では、このような設定を前提とし、各世帯の余剰電力についての価格付けと取引を自動的に行うことで電力融通を最適化する計算知能の実現に向けて研究をおこなった。

### 5.1.1 電力融通機械学習則の開発とその安定性検証

地域電力ネットワークにおいて各世帯の電力ルータが自律的に取引を管理し電力マネジメントを行う系はマルチエージェント系として捉えられる。この際に、各エージェントの利益最大化行動が、系全体としての安定、効率性に至るかどうかは自律分散型の制御にとって大きな問題となる。幾らシミュレータ実験において個別的条件において有効性が示されても、これを理論的に示さない限りは、実際の系に導入を行うことは困難である。本研究では、各世帯の自律分散的な学習制御と、全体最適行動の理論的な関係性を探ることを大きな目的として研究を行った。研究代表者らの先行研究においては、各エージェントの学習は強化学習に基づいた個別の最適化になっており、全体の系としては解析不可能であった。これを、各エージェントの効用関数を各時刻依存の二次関数、方策を一次関数と近似することで、厳密な市場全体のダイナミクスをモデル化し、エージェントの微小性を前提として学習則を導出して、計算機を用いたシミュレーションにより、その有効性を検証した。また、価格平準化が起きることを理論的に導出しその安定性を示した。また、その市場安定性や提案手法による学習エージェントのみならず、人間取引者が加わった際に価格ダイナミクスが同様の遷移をたどるかは検証すべき課題である。本研究では、人間の取引者と機械学習エージェントが同時に参加可能なシミュレーション実験環境を構築し、検証を行った。

### 5.1.2 地産地消を前提とした蓄電池の最適融通と配置問題の解法構築

地域電力融通という仕組みがもたらす電力利用の効率性、つまり、電力融通がもたらす効率性の上界を明らかにするため、以下に示す 2 つのモデルについて検討を行った。また、その際、蓄電池の配置を変化させることで、蓄電池の設置を評価することができるようになる。

(1) 各時刻における発電量・消費量が既知の下で、電力利用に関する効率を最大化するような電力の融通量を決定するような線形計画モデルを構築し、最適制御計画の下で、蓄電池の容量およびクラスサイズが電力の利用効率に与える影響について考察を行った。

(2) 1日の電力融通を行う際に、事前に1日分の天気概要が既知である仮定をおいた上で、電力融通の最適化を行うモデルを構築し、計算機実験と検討を行った。

### 5.1.3 電力ルーティング機構に関する研究

本研究に於ける自律分散型スマートグリッドの検討は抽象化されたレベルで行われる。このレイヤーでの知見と、所望の機能を実現するための物理的なアーキテクチャ、および電力ルーティング機構に関する検討が不可欠である。既にスマートグリッドと名のつく様々な取り組みが世界的になされており、それらの事例から我々が検討を行なっている自律分散型スマートグリッドの実体的実現の道筋について検討を行った。

### 5.1.4 電力消費拠点における消費電力データ収集・分析と実データシミュレーションへの展開

地域電力ネットワークの機械学習に基づく融通則の評価と、対象系の理解のために、多拠点において消費電力の計測と収集をおこなった。計測は約 15 軒の世帯に於いて 30 分間隔のデータを半年間程度にわたり収集した。また、三拠点においてスマートメーターを用いた 1 秒間隔のデータ採取を行い地域電力融通の実現に伴う消費電力モニタリングの効果について検討した。また、大規模シミュレーション及びスマートメーターを用いた計測情報の有効利用の為に、独立成分分析による分析を行った。

## 5.2 成果

上記方法に従い行った研究の成果を示す。

### 5.2.1 電力融通機械学習則の開発とその安定性検証

送電ロスが無い系において自動取引エージェントによる電力売買のモデル化を行い、エージェントの学習則の導出を理論的に行なった。各エージェントが自己利益最大化を行うことで、地域において、外部からの買入れ量を最小化、つまり、地域のエネルギー利用効率を最大化できることを示した。基本的な系の変数定義を図 2 に示す。

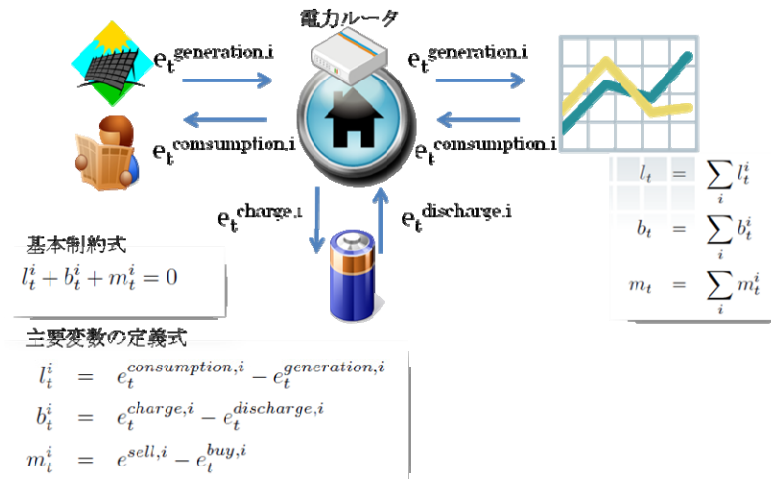
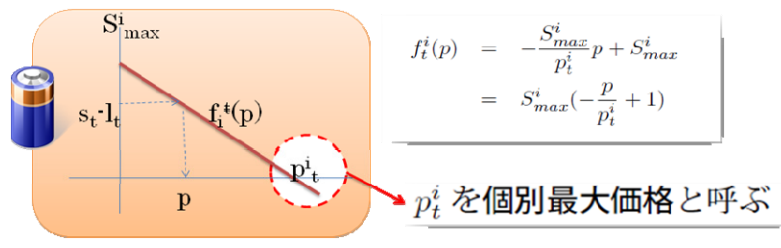


図2 各世帯での変数定義

この上で、エージェントは効用関数を二次関数としてもつと仮定し、また、電力を無駄にする際の価格を0円と値付けすると仮定した。つまり、各時刻でのエージェントの売買の方策は個別最大価格のみにより決定される(図3)。送電ロスが存在しないことを仮定すると各時刻の価格は域内バッテリーシェアを重みとした前エージェントの個別最大価格の重みつき調和平均に域内充電余裕率をかけたものとして得られる。エージェントの微小性の仮定の下、各エージェントの収益総和を増大させる勾配を導出し学習則を構成した。



域内バッテリーシェア： $w^i = \frac{S_{max}^i}{S_{max}}$

地域充電余裕率： $\gamma_t = \frac{(S_{max} - s_t + l_t)}{S_{max}}$

重み付き調和平均  $H(x; \omega) = \left(\sum_i \omega_i \frac{1}{x_i}\right)^{-1}$

図3 限界効用の定義と価格の関係

図4は、学習前後での蓄電残量の変化を示している。横軸が時間単位での時間発展を、縦軸が各世帯の蓄電池の残量を表す。各世帯の蓄電値が最大値、最小値に触れることなく、制御されるように変化している事がわかる。

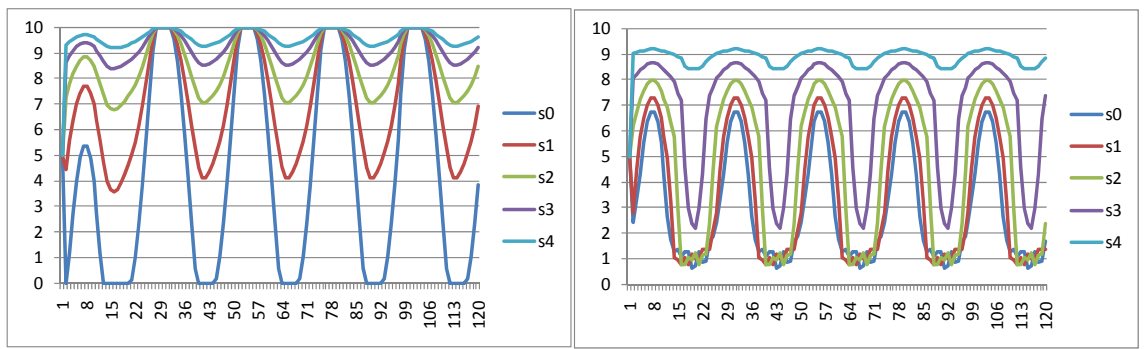


図4 学習初期と後期における各エージェントの蓄電残量の時間変化

また、域内だけでは蓄電池の容量が不足している際の、学習初期と後期、及び最適融通状態における各時刻の無駄になった電力と外部から買入れた電力の量を図5にしめす。ここで正の部分が系外部から電力を買入れた事を示し、負の部分が電力を無駄にした事を示す。学習を通じてほぼ最適状態へと変化している事がわかる。これらより、提案手法が適切に動作している事がわかる。

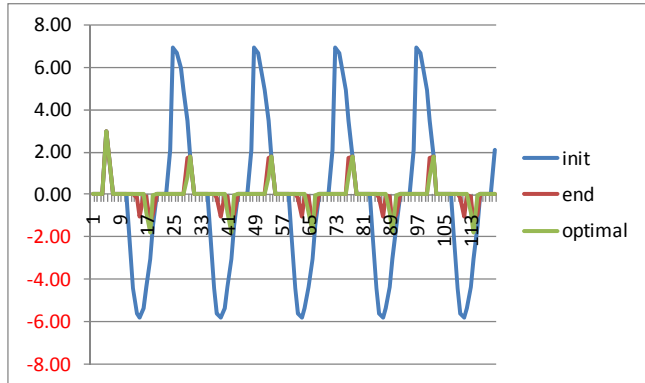


図5 学習初期、後期、最適融通における買入れ量から無駄にした量を差し引いた分の変化

同時にその際に、地域市場の価格がどのように変化するかについても解析的に検証することで、各時刻において価格が平準化される事が示された。また、地域に於いて、電力不足が生じる時刻が存在する場合、電力クラスタが系統電力につながっていた場合には結局、取引のなくなる全体としての電力余剰時間を除き地域の変動価格での電力融通は系統電力価格に収束することが示された(図6)。これは、変動価格を前提として考えられていた地域電力融通の議論に大きな意味をもつ可能性がある。ただし、これは、住民の電力消費を外生変数としてとらえ、また、電力の送電・蓄電ロスを考えない場合の話である。これらの影響については別途検討が必要である。送電・蓄電ロスを導入することは、売り手と買い手に非対称性を生み、また非線形も生じさせることから同様のアプローチが困難になる。また、時間的な記憶効果、つまり、ある時刻の取引が過去の状態変数に影響を受けることが生じ、価格形成や融通量を解析的に取り扱うことが困難となる。この問題を解決するのは今後の課題である。

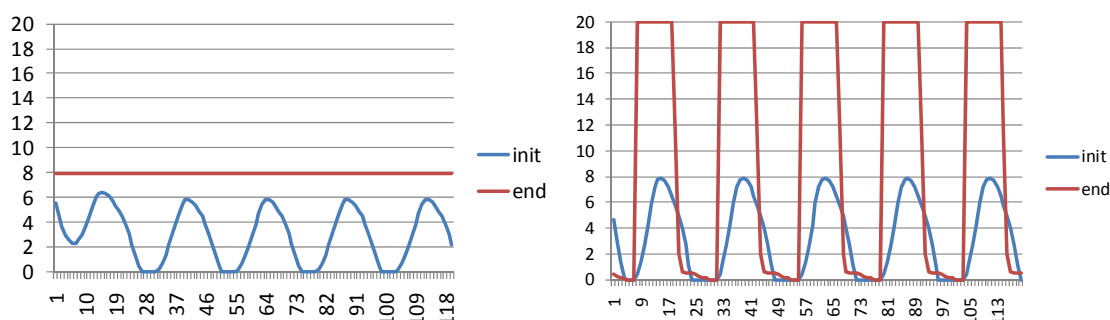


図6 価格の変化 (左)電力不足が起きない系の場合(右)電力不足が起きる系の場合

#### 5.2.2 地産地消を前提とした蓄電池の最適配置問題の解法構築

(1) 図7右図において、本研究において開発した電力融通のモデルの基本的な式を示す。  $S_{itu}$ ,  $X_{itu}$  および  $Z_{itu}$  はそれぞれ、系統電力供給電力量、蓄電残量およびクラスタ間融通電力量をそれぞれ表す。太陽光発電電力と消費機器の需要電力が既知である仮定の下に、最適制御計画を求め、蓄電池の容量およびクラスタサイズが電力の利用効率に与える影響について考察を行った。

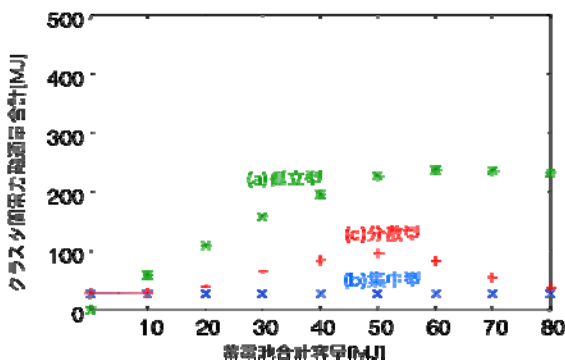
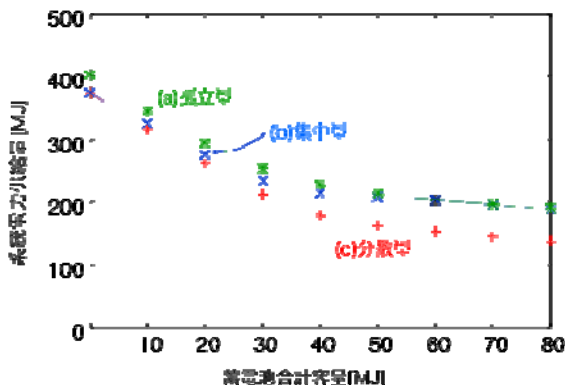
4 クラスタからなる電力ネットワークに対して、接続形態および蓄電池の配置の異なる三つのケース:

(a) 孤立型: 四つのクラスタは相互に結合されておらず、従って電力融通はできない。

(b) 集中型: 四つのクラスタは相互に結合されているものの、個々のクラスタは蓄電池を持たない。その代わりに、消費も発電もしない蓄電池のみからなるクラスタ C5 が、四つのクラスタに接続している。

(c) 分散型: 蓄電池を有する四つのクラスタが相互に結合している。

について最適系統電力供給量および融通量を求めた。図7(左上)に、蓄電池の合計容量を変化させた際の、5日間にわたる系統電力からの電力供給量の合計値を示す。また図7(左下)にクラスタ間の融通電力量の合計値を示す。これらの結果より(c)の分散型が最も系統電力からの購電量が少ない結果となった。また、(c)は(b)の集中型と比べても、蓄電池への充電/放電に際しての電力ロスが無いため、効率的な蓄電池利用が可能であることが示された。これは一例としての計算結果であるが、所与の発電データ、消費データ等のもとで、最適な融通計画を求め、それに基づいて蓄電池の配置を検討することが可能となった。



$$\text{minimize} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{u=1}^U \{c_u^P S_{itu} + c^L (Z_{itu}^F - Z_{itu}^{FA})\} \quad (1)$$

subject to

$$X_{i,1,1} = X_i^0, \quad i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$X_{i,t,u+1} = X_{itu} + S_{itu} - Y_{itu} + G_{itu} - D_{itu} + Z_{itu}^{TA} - Z_{itu}^F \quad (3)$$

$$X_{i,t+1,1} = X_{i,t,U+1}, \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T-1 \quad (4)$$

$$X_{itu} \geq \underline{X}_i, \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, u = 1, \dots, U \quad (5)$$

$$Y_{itu} \geq X_{itu} - \bar{X}_i, \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, u = 1, \dots, U \quad (6)$$

$$Z_{itu}^F = \sum_{j=1, j \neq i}^N Z_{ijtu}, \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, u = 1, \dots, U \quad (7)$$

$$Z_{itu}^{FA} = \sum_{j=1, j \neq i}^N \alpha_{ij} Z_{ijtu}, \quad i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T, u = 1, \dots, U \quad (8)$$

図7 (左上)系統電力からの供給量(左下)クラスタ間の融通電力量(右)提案線形計画モデル

(2) モデル化としては気象変動に伴う発電電力量変動の振る舞いを、複数のサンプル・パス(実データを用いて離散的な発電電力量を数値的に記述した一連の経路)を生成することにより表現した。ここで、非予想条件(将来の不確実な状態の中からどの状態が生じるかを確定的に知っていることを利用して意思決定ができる機会を許さない条件)を保つために、系統電力購電量の意思決定は経路にかかわらず各意思決定タイミングで1通りしか許されないものとした。このように複数のサンプル・パスごとに線形の制約式を導入することにより、確定的なパラメータによる数理計画法として記述することが可能となる。よって全ての制約を満たすような系統電力購電量を線形計画法により求めた。ただし、サンプル・パスを生成するに当たっては、1日の天気概要を3つのパターン(晴れ、曇り、雨)に分けた上で、ひとつの天気概要パターンに限定してサンプル・パスを発生させるものとした。これにより、最適解は、事前知識として天気概要が与えられた元での購電量計画に相当することになる。

数値実験により、クラスタ数ならびに消費電力量に応じた適切な蓄電池の容量の程度を求めることができることが確認された。図8に、蓄電池の合計容量を変化させた際の、天候ごと(晴天、曇り、雨天)の系統電力から供給される電力量を示す。図8より、天候により必要な蓄電池の容量に差異があることが確認される。同様に、季節、消費行動により必要な蓄電池容量が異なることが確認されている。一般に高価な蓄電池を導入する際には、これらの環境を考慮した適切な容量設定が必要になってくると考えられる。

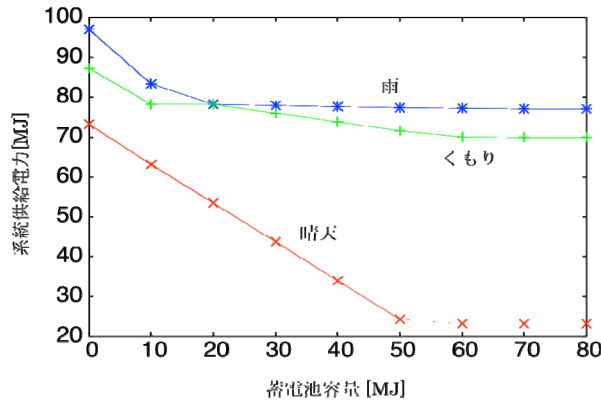


図8 系統電力からの供給量

### 5.2.3 電カルーティング機構に関する研究

米国の電力網は非常に不安定で停電が頻発していることはよく知られた事実である。そのため、スマートグリッドへの期待は非常に高く、既に様々な都市や大学でスマートグリッドの実証実験が行われている。カリフォルニア州立大学サンディエゴ校(以下、UCSD)での取り組みはその規模(キャンパス面積:約5km<sup>2</sup>,人口:約45,000人(内10,000人の学生がキャンパス内に居住))や目標(後述)から、我々の対象とするスマートグリッドと非常に近い位置にあり、その事例からは学ぶべき点が多い。UCSDではキャンパスがマイクログリッドとして実現されており、30MWの発電設備(キャンパスで必要な電力の8割を賄うことが可能)が設置されている。発電されたエネルギーは電気や熱といった形で貯蓄されており、キャンパス内の様々な建物に配送されている。UCSDは数年中の目標として再生可能エネルギーにのみ依存し、既存の電力網からの完全独立を目指している。また、そのためのキャンパス内の電力消費箇所の解析(見える化)も推進している。UCSDの事例では、キャンパス内で電力消費が大きい建物の特徴として、IT関係の設備が整っている建物ほど電力消費が大きいという報告があった。米国の建物の約3分の1がこのようなIT設備の整ったオフィス型の建物であると言われており、UCSDのオフィス型の建物の例では全体の約25%がIT設備での電力消費であった。スマートグリッドの基本的なアイデアはIT技術に頼り既存の電力網を賢く制御する点にあるが、IT技術に頼ることは既存の電力網に比べさらなる電力消費を招きかねない。

欧州では米国とは異なった背景からスマートグリッドに関する実証実験が進められている。オランダでは、再生可能発電による不安定な発電電力を無駄なく融通するためにPower Matcherというコンセプトが提唱されている。Power Matcherとは各クラスタが電力の売買を行うことを基本としており我々の取り組みと非常に近い。CRISPプロジェクトと呼ばれる実証実験では、風力発電による不安定な発電を安定化させるために、発電量に応じて各家庭に備え付けの自家用発電機を制御している。すなわち、発電量が極端に少なく、電力枯渇状態に陥るときには、自家用発電機に頼って電力を安定的に供給している。しかし、まだまだ完全に安定しているとは言えず、電力の貯蓄を考慮した評価が必要であると考えられる。

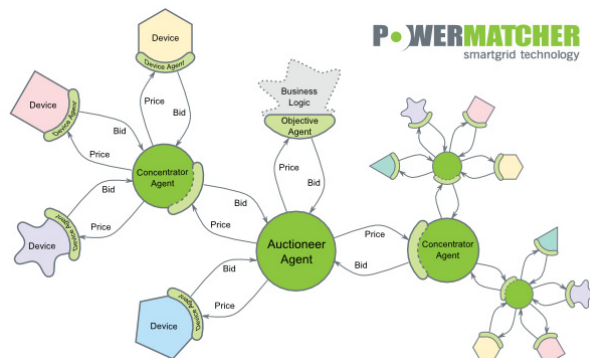


図9 Power Matcher コンセプト(出典: <http://www.powermatcher.net/>)

以上の事例調査より、自律分散型スマートグリッドの基本アーキテクチャ及び電力ルーティング機構の理想的な姿は、IT 技術に頼りすぎない電力ルーティング機構と、蓄電池を積極活用した電力融通の実現が必要であると考えられた。IT 技術は米国の事例で紹介したように、必要不可欠な技術であるとともに電力消費の大きな部分であることも事実である。過剰なスマート化は、電力消費を増大させる危険性があり、適度にスマートさを抑えた、効果的な分散型電力ネットワークの構築が重要となる。また、蓄電池の積極活用も重要であり、各家庭の電力貯蓄に用いるのではなく、電力融通やルーティングにも積極的に活用することが有望であろう。

#### 5.2.4 電力消費拠点における消費電力データ収集・分析と実データシミュレーションへの展開

10 軒程度の世帯の 30 分間隔の消費電力の計測結果を回収した。30 分間隔のデータとしたのは、経済的な理由も考慮しつつ、地域電力の融通は 1 時間単位程度での価格付けを考えるためである。また、計測時間間隔についての検討を行うため、短期間での三拠点での 1 秒間隔の消費電力データの収集を行った。一例としてある世帯の 2010/2/1~2/10 の計測結果を掲載する。

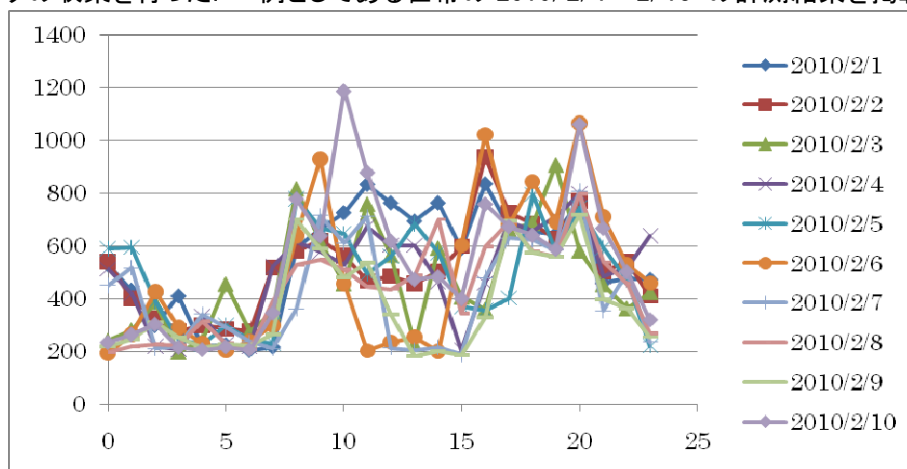


図10 10日間の電力消費データの一例

計測結果は本質的に各世帯個別的であり、大規模シミュレーションを行い、自律分散型の電力ネットワークの検討を行うとしても、計測結果をそのまま実験条件として統制せずに、実験するのでは本質的な理解は得られないと考えられた。本研究では多様なデータを収集し、それを用いて提案手法の頑健性の検証を行うことを想定していたが、個別のデータに対する有効性を示したところで、手法の有効性を保証することは困難であると考えられた。そこで、手法の有効性を解析的なレベルで担保するアプローチをすすめると同時に、電力消費データを要素分解しこれを再構成することで、多様な消費データを形成しうる手法の検討を行った。具体的には、計測された消費電力データに独立成分分析を行った。

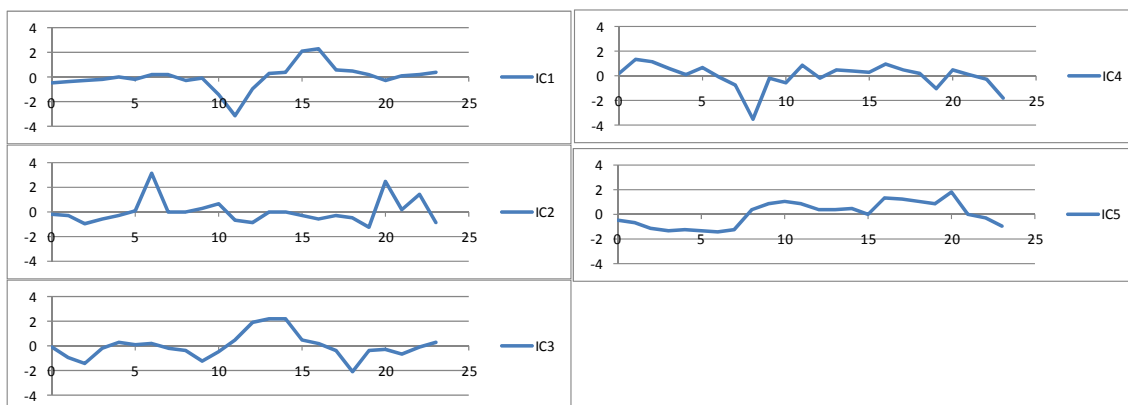


図11 独立成分分析の結果得られたコンポーネントの一例



上に、独立成分分析により得られた独立成分の一例を示す。独立成分分析は、与えられた時系列データを確率的に独立な複数の成分へと分解する手法である。朝の起床時の消費を表すコンポーネント(IC4)や、外出のために昼に一時的に消費が減少するコンポーネント(IC3)が見られた。ただし、独立成分分析では、線形性のみを仮定しているためにコンポーネントに負の値を持つことがある。このため、これらを用いて再構成を行う際に「負の電力消費」という非現実的なパターンが生じる可能性がある。これらの問題を克服するためには Non-negative matrix factorization など非負の分解を行う手法を検討する必要がある。

また、より詳細な計測と生活行動の推定及び適度な計測粒度についての検討を行った。まず、三拠点で一秒間隔での消費電力の計測を短期間行った。現在普及しつつあるスマートメーターの計測粒度は一秒間隔程度であるためである。検討の結果、一秒間隔の計測は、電力融通の価格形成の為に情報としては過剰な精度であると考えられた。一秒間隔の測定を記録するためには一秒のデータを 8byte 程度としても一日で  $8 \times 60 \times 60 \times 24 = 691,200$  byte のデータとなる。また、常時これを記録し続ける必要があり、その分の情報機器の作動を必要とする。より詳細な記録とそれに合わせた計算処理はより多くの電力を消費すると考えられる。経済的な価格形成と、人間の消費行動変化は一秒の粒度では通常起きず、一時間程度の粒度で十分ではないかと考えられる。電力網を交流で考える場合はより細かい精度で電力を管理する交流制御の問題が現れるが、その際の制御は、これは別の問題として考えるべきだと考えられる。後にも述べるが、スマートグリッド化は情報機器や通信による追加の電力消費を行う可能性が大きく、これらを考慮した上で、設計が必要になる。

## 6. 自己評価

スマートグリッド研究、とくに自律分散型の電力ネットワークの研究は萌芽的な領域であり、多様な研究テーマが存在する。そのなかで、自動的な地域電力融通について研究を行った。融通を行うエージェントを敢えてシンプルに定式化することで、市場の価格メカニズムまで含めてモデル化し、解析を行えたことが大きな前進である。電力融通において結果的に最適化すべきは、各エージェントの利益のみではなく、系全体での最適化である。このためには既存の単体のエージェントの学習ではなく、市場・系全体の挙動を把握する必要がある。研究計画上は送電ロス・蓄電ロスを含んだモデル化を検討していたが、これらが問題を非常に複雑にすることが明らかとなり、これらを除外して研究を行った結果、上記の成果を得た。スマートグリッド研究は広範であり、しばしば渾然一体とした理解をされるため、適切に研究領域を切り分ける必要がある。電力消費と融通の制御については最適化計算・機械学習、自律分散制御と経済学(ミクロ経済学、ゲーム理論)の境界領域として研究をすすめることが重要であることが本研究を通して明確となった。この成果を踏まえつつ研究を前進させたい。

## 7. PO の見解

蓄電池によるローカルスマートグリッドを人工知能によって制御することを目論んだ研究であり、自律分散型のエネルギー需給構造の効率的な構築に貢献する可能性を持ったユニークな研究として本事業に採択した。具体的には、蓄電池と太陽光発電の学習機能をもった地域モデルを定式化し、自動取引エージェントによる地域内における電力融通をシミュレーションし知見を得ることをこころみている。その結果、設定したモデルでは定額制実現が最適解であったなど興味深い試算結果が得られている。しかし、研究期間が短いためもあり、採択時の大きな期待に応じうるだけの十分な成果を得るまでには至らなかったと判断せざるを得ない。

本研究で想定したモデルは種々の仮定に基づいており、今後は実社会への適応をはかるための設定条件の検討が必要と思われる。研究期間の制約のために、想定モデルが現実をどれだけ説明しているかについての検討は、本研究期間内においてはなされていないのはやむを得ない

が、今後、試算結果が実際に起こりえることなのか判断するための知見が加えられていくことを期待したい。

地域レベルでのスマートグリッドのシステム構造をどのようにするか(直流なのか交流なのか、地域サイズをどのように設定するのかなど)を他の研究者と協議しながら、将来に向けての電力取引機構のモデル開発を続けることは重要で、それらを今後展開出来るか否かが、今回のシーズ探索の意義を左右すると考える。

## 8. 研究成果リスト

### (1)論文(原著論文)発表

Tadahiro Taniguchi, Kazuma Tabuchi, and Tetsuo Sawaragi, "Adaptive Design of Role Differentiation by Division of Reward Function in Multi-agent Reinforcement Learning" SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration (JCMSI), Vol.3 (1), pp. 26-34 .(2010)

### (2)特許出願

研究期間累積件数: 0 件

### (3)口頭発表

#### ①学会

国内 3 件, 海外 0 件

- 田中樹, 谷口一徹, 福井正博, "直流配電方式評価のためのスマートグリッド模型の設計," 平成 22 年電気関係学会関西連合大会予稿集, pp.169-172,(2010/11).
- 榊原 一紀, 前田 忠之, 谷口 忠大, 西川 郁子, "太陽光発電の分散型電力ネットワークにおける電力融通最適化", 第 22 回自律分散システムシンポジウム, 137-142, (2010).
- 谷口忠大, 榊原一紀, 西川郁子, "自律分散型スマートグリッド上の電力取引に対する自然方策勾配法によるマルチエージェント強化学習の有効性検証", 第 22 回自律分散システムシンポジウム, (2010).

#### ②その他

国内 0 件, 海外 0 件

### (4)その他の成果(受賞, 著書, 招待講演, 特記事項等)

- 2010 年 2 月 日刊工業新聞主催 イノベーション創出コンテスト 2009 「奨励賞」受賞「スマートグリッドにおける強化学習に基づく適応的自動電力取引手法」
- 2010 年 3 月 渡辺三彦発明賞 「優秀賞」受賞「電力取引管理システム, 管理装置, 電力取引方法, 及び電力取引用 コンピュータプログラム」
- 2010 年 10 月 28 日 第 22 回環境システム計測制御学会(EICA)研究発表会「低炭素化社会システム構築のための道筋—低炭素社会に向けた自立分散型インフラ—」パネルディスカッション
- 2010 年 11 月 16 日 立命館大学 JST 新技術説明会「自律分散型電力ネットワークにおける強化学習に基づく電力売買学習法」

**【報道】**

- 2010年3月16日 NHK「おうみ発 610」内「びわ湖クローズアップ」  
「電力の地産地消」