

電力市場における分散型電源普及の影響に関する マルチエージェント分析

岡田 靖司[†] 川村 秀憲[†] 車谷 浩一^{††} 大内 東[†]

[†] 北海道大学大学院工学研究科 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目
^{††} 産業技術総合研究所 サイバーアシスト研究センター 〒135-8443 東京都江東区青海2-41-6
E-mail: †{yasushi,kawamura,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp, ††kurumatani@w-econ.org

あらまし 本研究では X-Economy System を用いて人工電力市場を構築し、分散型電源が普及した場合をシミュレートし、発電事業者の発電設備の余剰量及び削減した場合の影響、そしてその場合の売買価格の水準、安定性への影響を分析する。その結果、分散型電源の普及とともに、発電事業者の発電設備に余剰が生じた。また、そのことにより市場での競争が増して市場価格が低下するという結果が得られた。また、分散型電源を投機的に運用する利用者が増えると、運転率向上により、全体の取引量が低下するという結果が得られた。しかし分散型電源が市場への供給力として十分機能していない状態で、発電事業者が容量の削減を進めると市場への総供給量が低下し、市場価格の変動が大きくなる可能性があることが分かった。

キーワード マルチエージェントシステム、電力市場、分散型電源

Multi-Agent Analysis of the effect of distributed generation spread in electricity market

Yasushi OKADA[†], Hidenori KAWAMURA[†], Koichi KURUMATANI^{††}, and Azuma OHUCHI[†]

[†] Graduate School of Engineering, Hokkaido University Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo, 060-8628 Japan
^{††} Cyber Assist Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Aomi 2-41-6, Koto-ku, Tokyo, 135-8443 Japan

E-mail: †{yasushi,kawamura,ohuchi}@complex.eng.hokudai.ac.jp, ††kurumatani@w-econ.org

Abstract In this study, we simulate the case in which distributed generations spread using the artificial electricity market by X-Economy System, and analyze the surplus arose in power generation equipment of a power producer with distributed generations spread, the effect, the influence of at the time of cutting down and the level of the sale price in that case, and the influence on stability, consequently distributed power supplies. As the result, we found that competition in a market increased by that and a market price fell was obtained. Moreover, when the users who employ a distributed power supply on speculation increased in number, the result that the whole amount of dealings fell was obtained by the improvement in the rate of operation. However, it turns out that the aggregate supply to a market may fall if a power producer advances curtailment of capacity, and change of a market price may become large in the state where the distributed power supply is not functioning enough as supply power to a market.

Key words multi-agent system, electricity market, distributed generation

1. はじめに

現在日本において電力自由化が進められている。2000年3月より大口の需要家を対象とした電力の小売が自由化されており、2005年4月には全需要量の63%に当たる範囲への小売りが自由化される予定である[1]。また、将来的には発電・配電・

送電事業の分離、さらに電力市場の導入など、より広範な自由化が進むものと見られている[2]。電力市場は電力を時間毎に入札で売買する場であり、事業者間の競争によるより一層の電力売買価格低下が期待されている。しかし諸外国の電力市場では様々な問題が起こっている。イギリスでは売買制度の問題から電力売買価格がそれほど低下せず、近年大幅な制度改革が行わ

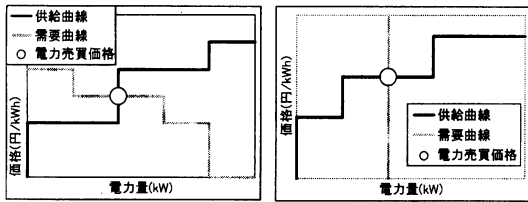


図1 電力取引量と売買価格の決定方式(左:DA市場, 右:RT市場)
Fig.1 Determination of trading volume and dealing price of electricity(left:DA market, right:RT market).

れた。また北米カリフォルニア州では自由化により電力会社の収支が悪化したため設備投資が停滞し、猛暑による電力需要量増加に対応できなくなり、売買価格の乱高下や大停電を招いた。よって、電力市場導入には事前に十分な検討が必要である。

一方で、自由化による規制緩和により分散型電源、特にコージェネレーションタイプの普及が進んでいる。コージェネレーションタイプの分散型電源は発電によって発生する熱も利用できるため、経済性と環境面で優れているのが特徴である。しかし、分散型電源が多数普及した場合、電力会社の保有する発電設備容量が過剰になり、運転率が低下する。それを回避するために電力会社は発電設備削減を進めるだろうが、削減しすぎると電力の供給安定性が低下する。電力市場が導入された場合、供給安定性の低下は価格の乱高下や、最悪の場合停電を引き起こす原因となるため、問題である。

近年、エージェントベースシミュレーションを用いた電力市場における市場参加者の行動決定に関する研究が数多くなされている[3,4,5]。マルチエージェントシステムは、学習を用いることによって市場参加者の動的なふるまいを観察できる、柔軟なモデル化が可能であるという利点がある。

そこで本研究では、エージェントベース・シミュレータであるX-Economy System[6,7,8]を用いて人工電力市場を構築し、分散型電源が普及した場合をシミュレートし、発電事業者の発電設備の余剰量及び削減した場合の影響、そしてその場合の売買価格の水準、安定性への影響を分析する。また、分散型電源は自己の需要にあわせて運転されるのが一般的だが、本研究ではそれに加えて、電力自由化に合わせて電力を投機的に販売するために運転する場合も想定し、それぞれの特徴の分析を行う。

2. シミュレーションモデル

2.1 電力市場の構成

諸外国における電力市場は一般的に相対市場、前日(DA)市場、リアルタイム(RT)市場から成り立つ。本研究では簡略化のためにDA市場とRT市場のみを実装し、一定時間ごと取引を行うこととする。DA市場では翌日の現時間における電力の供給権が取引され、RT市場では当日の現時間における電力の供給権が取引される。

2.2 決済方法

欧米の電力市場では決済方法としてプール制と呼ばれる方法が多く用いられている。このプール制は株式市場で用いられて

いる板寄せ方式とほぼ同一であり、本研究においてはDA市場・RT市場ともに板寄せ方式を用いる(図1)。当該日を d 、当該時刻を t 、とした場合、エージェント i の市場 m への注文は注文量(買い注文量: $OB_{i,m}(d,t)$, 売り注文量: $OS_{i,m}(d,t)$)と注文価格 $P_{i,m}(d,t)$ から成り立つ。板寄せ方式では、発電エージェントと配電エージェントの注文を総計して需要供給曲線を描き、その交点を売買価格として、売買価格以上の価格をつけている売り注文と売買価格以下の価格をつけている買い注文を一律売買価格で売買を成立させてしまう方法である。

2.3 取引の流れ

本モデルにおける取引の流れを以下に示す。

- (1) 発電・配電エージェントが売買についての予測を行う
- (2) 発電・配電エージェントがDA・RT市場に注文を出す
- (3) DA・RT市場において売買を成立させる
- (4) 発電・配電エージェントに売買の情報を伝える
- (5) 発電エージェントが発電費用を支払い、配電エージェントが需要家から料金を徴収する
- (6) 発電・配電エージェントが売買の情報を元に学習を行う
- (7) 時刻が1進む、なお本研究では需要変化を考慮し1日を4つの時刻に区切っている

2.4 需要家

需要家として、住宅、商業、産業の3つのタイプを用意した。各時刻におけるそれぞれの電力・熱需要量平均、及び分散型電源容量を表1に示す[9-13]。

本研究では需要家の電力実需要量 $ED_i(d,t)$ と熱実需要量 $HD_i(d,t)$ は以下の式に従いランダムに変動するものと仮定する。

$$ED_i(d,t) = \lambda_i \cdot EDB_i(t) \quad (1)$$

$$HD_i(d,t) = \lambda_i \cdot HDB_i(t) \quad (2)$$

$EDB_i(t), HDB_i(t)$ はそれぞれ電力・熱需要量平均、 λ_i は平均1、標準偏差0.05の正規乱数であり、各需要家の需要量の総計が総電力供給量を超えないようになっている。

需要家は電力需要を市場から購入するか分散型電源を用いるか、熱需要をボイラーを用いるか分散型電源を用いるかで満たす。また本研究で用いる分散型電源システムと従来システムの運転効率の比較を図2に示す[9]。また現実において住宅型の需要家が非常に多いということを考慮し、それぞれのタイプの人数を80,10,10と設定した。需要家一人に配電エージェント一人が対応しており、配電エージェントは需要家の電力の確保及び分散型電源運転の管理を行う。

2.5 実験シナリオ

現在の分散型電源の利用方法としては、自己の電力・熱需要に応じて運転し、電力の余剰が出た場合に系統に放出・売却するというものが一般的である。一方では電力自由化により、大規模な分散型電源設備を持つ工場などが市場の需要に応じて発電を行い利益をあげようとする動きも出てきている。本研究ではこれらをつまみ、分散型電源の運用形態として以下の3つの場合を想定した。

- 自己の電力・熱需要に応じて運転する場合、DA市場では

表 1 需要家エージェントの需要量

Table 1 Demand amount of consumer agents

時刻	住宅				商業				産業			
	需要量		分散型電源		需要量		分散型電源		需要量		分散型電源	
	電力 (kWh)	熱 (kWh)	発電容量 (kWh)	熱容量 (kWh)	電力 (kWh)	熱 (kWh)	発電容量 (kWh)	熱容量 (kWh)	電力 (kWh)	熱 (kWh)	発電容量 (kWh)	熱容量 (kWh)
0	6	3	10	17	27	11	95	158	146	52	145	242
1	8	12	10	17	55	109	95	158	126	433	145	242
2	10	13	10	17	96	114	95	158	102	695	145	242
3	10	43	10	17	63	32	95	158	112	131	145	242

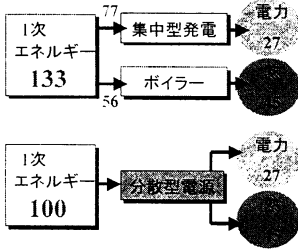


図 2 分散型電源システム

Fig. 2 Distributed generation system.

表 2 実験シナリオ

Table 2 Experiments scenario.

	分散型電源の運用形態	発電設備容量
C1	全所有者が投機的に運転	一定
C2	産業のみ投機的に運転, 他は自己の需要に合わせて運転	
C3	全所有者が自己の需要に合わせて運転	
V1	全所有者が投機的に運転	分散型電源普及 に応じて削減
V2	産業のみ投機的に運転, 他は自己の需要に合わせて運転	
V3	全所有者が自己の需要に合わせて運転	

売り注文を出さず、RT 市場では余剰分だけを売り注文に出す。

- 投機的利益をあげるために運転する場合、DA でも売り注文を出すことが出来る。ただし RT 市場では発電事業者と同様に、発電余力分を全て売り注文として出さなければならない。
- 小規模な住宅・商業用途のものは自己の電力・熱需要に応じて運転し、大規模な産業用途のものは利益を最大化するために運転する場合。

また、発電事業者が保持する発電設備の発電容量についても以下の 2 つの場合を想定した。

- 供給安定性を重視し、分散型電源の普及数によらずに一定の容量を保持する場合。
- 運転率向上を重視し、分散型電源の普及数に応じて、容量を削減していく場合。

よって本実験では、分散型電源の運用形態と発電事業者の発電容量の組み合わせにより、6 通りの実験を行う (表 2)。

3. 市場参加者の注文行動

注文量と注文価格はパラメータとして表される。各行動決定パラメータは離散的な値をとり、それぞれに選択確率が設定されており、時刻毎にこの選択確率に応じて値が決められる。選択確率は学習により更新されていく。表 3 に各行動決定パラメータがとりうる値をまとめる。

表 3 行動決定パラメータの変域

Table 3 Domain of parameters.

行動決定パラメータ	とりうる値の集合
α_1, δ, θ	0.0, 0.1, 0.2, ..., 1.0
α_2	-1.0, -0.8, -0.6, ..., 1.0
$\beta, \gamma, \epsilon, \zeta, \eta$	4, 5, 6, ..., 20

3.1 発電エージェント

3.1.1 注文

電力供給者である発電エージェントは DA・RT 市場ともに売り注文のみ出す。発電容量を C とすると、DA 市場への注文量、注文価格は以下ようになる。

$$OS_{i,DA}(d,t) = \theta_i \cdot C \quad (3)$$

$$P_{i,DA}(d,t) = \zeta_i \quad (4)$$

RT 市場では、発電エージェントは電力供給安定のために発電余力を全て売り注文に出す義務を負っている。RT 市場への注文量と注文価格は、 $(d-1)$ 日の時刻 t における DA 市場における販売量を $S_{i,DA}(d-1,t)$ とすると以下ようになる。

$$OS_{i,RT}(d,t) = C - S_{i,DA}(d-1,t) \quad (5)$$

$$P_{i,RT}(d,t) = \eta_i \quad (6)$$

3.1.2 支払

当該日前日に DA 市場で販売した電力と当該日に RT 市場で販売した電力の発電費用の支払いを行う。具体的には、市場 m における売買価格を $DP_m(d,t)$ 、単位限界発電費用を CC とすると、 $CC \cdot ((S_{i,DA}(d-1,t) + S_{i,RT}(d,t)))$ の分だけ所持金を減じる。本研究では単位限界発電費用を 10 円/kW に固定する。

3.1.3 学習

市場に注文を出し決済が終わると、その結果を元にエージェントは行動決定パラメータの学習を行う。利用したルールへの報酬 $r_i(d,t)$ は、以下のように定義される。

$$r_i(d, t) = \{S_{i,DA}(d-1, t) \cdot DP_{DA}(d-1, t) + S_{i,RT}(d, t) \cdot DP_{RT}(d, t) - CC \cdot (S_{i,DA}(d-1, t) + S_{i,RT}(d, t))\} / C \quad (7)$$

よって、売買価格が高い市場で多く販売したほうが報酬が高くなるようになっている。

今、行動決定パラメータ prm の値 $value$ を利用したとすると、各値 x の選択確率 $Q_{prm,x}$ は以下のように更新される。

$$Q_{prm,x} \leftarrow \begin{cases} (1-\rho) \cdot Q_{prm,x} + r_i(d, t) & (x = value) \\ (1-\rho) \cdot Q_{prm,x} & (x \neq value) \end{cases} \quad (8)$$

ρ は忘却率を表し、過去の行動に過度に依存しないようにする効果をもつ。本研究では $\rho = 0.02$ と設定する。

3.2 配電エージェント

配電エージェントの注文方法は、分散型電源設備を保有している者としていない者、また保有している者でも投機的に運転する場合と自己の需要にあわせて運転する場合で異なる。

3.2.1 分散型電源設備を保有していない場合

DA 市場への買い注文量、注文価格は以下ようになる。

$$OB_{i,DA}(d, t) = \alpha_{1i} \cdot EDB_i(t) \quad (9)$$

$$P_{i,DA}(d, t) = \gamma_i \quad (10)$$

配電エージェントは当該時間の需要家の需要量を確保する義務を負っているため、RT 市場では $+\infty$ の価格と（実需要量 - 前日の DA 市場における購入量）の注文量で買い注文を出す。但し、DA 市場で電力を実需要量よりも多く買ってしまった場合、最低価格 1 でその分を売り注文に出す。RT 市場への注文量、注文価格は、 $(d-1)$ 日の時刻 t における DA 市場における購入量を $B_{i,DA}(d-1, t)$ とすると以下ようになる。

$$OB_{i,RT}(d, t) = ED_i(d, t) - B_{i,DA}(d-1, t) \\ (B_{i,DA}(d-1, t) \leq ED_i(d, t)) \quad (11)$$

$$OS_{i,RT}(d, t) = B_{i,DA}(d-1, t) - ED_i(d, t) \\ (B_{i,DA}(d-1, t) \geq ED_i(d, t)) \quad (12)$$

$$P_{i,RT}(d, t) = +\infty \\ (B_{i,DA}(d-1, t) \leq ED_i(d, t)) \quad (13)$$

$$P_{i,RT}(d, t) = 1 \\ (B_{i,DA}(d-1, t) \geq ED_i(d, t)) \quad (14)$$

3.2.2 分散型電源設備を保有しており、投機的に運用する場合

この場合の配電エージェントは売りと買い、どちらの注文も出来る。DA 市場への注文量は、エージェント i の分散型電源容量を CGC_i とすると以下ようになる。

$$OB_{i,DA}(d, t) = \alpha_{2i} \cdot EDB_i(t) \quad (\alpha_{2i} \leq 0) \quad (15)$$

$$OS_{i,DA}(d, t) = \alpha_{2i} \cdot CGC_i \quad (\alpha_{2i} \geq 0) \quad (16)$$

すなわち、 $\alpha_{2i} \leq 0$ のときは買い注文、 $\alpha_{2i} \geq 0$ のときは売り注文を出すようになっている。

注文価格は、

$$P_{i,DA}(d, t) = \gamma_i \quad (\alpha_{2i} \leq 0) \quad (17)$$

$$P_{i,DA}(d, t) = \beta_i \quad (\alpha_{2i} \geq 0) \quad (18)$$

RT 市場では、発電エージェント同様発電余力を全て売り注文に出す義務を負っていることとする。

$$OS_{i,RT}(d, t) = B_{i,DA}(d-1, t) + CGC_i - ED_i(d, t) \\ (ED_i(d, t) \leq B_{i,DA}(d-1, t) + CGC_i) \quad (19)$$

$$OB_{i,RT}(d, t) = ED_i(d, t) - B_{i,DA}(d-1, t) - CGC_i \\ (ED_i(d, t) \geq B_{i,DA}(d-1, t) + CGC_i) \quad (20)$$

注文価格は、

$$P_{i,RT}(d, t) = +\infty \\ (ED_i(d, t) \leq B_{i,DA}(d-1, t) + CGC_i) \quad (21)$$

$$P_{i,RT}(d, t) = \epsilon_i \\ (ED_i(d, t) \geq B_{i,DA}(d-1, t) + CGC_i) \quad (22)$$

3.2.3 分散型電源設備を保有しており、自己の需要に合わせて運用する場合

DA 市場への注文量は以下ようになる。

$$OB_{i,DA}(d, t) = \alpha_{1i} \cdot EDB_i(t) \quad (23)$$

注文価格は、

$$P_{i,DA}(d, t) = \gamma_i \quad (24)$$

当日分の分散型電源運転量 $DGA_i(d, t)$ は以下のように決まる。

$$DGA_i(d, t) = \delta_i \cdot CGC_i \quad (25)$$

分散型電源設備を保有する配電エージェントは、前日の DA 市場での購入量と分散型電源設備の発電容量の合計が実需要量に満たない場合、その差の注文量で買い注文を出す。それ以外の場合は、最低価格 1 でその分を売り注文に出す。

$$OS_{i,RT}(d, t) = B_{i,DA}(d-1, t) + DGA_i - ED_i(d, t) \\ (ED_i(d, t) \leq B_{i,DA}(d-1, t) + DGA_i) \quad (26)$$

$$OB_{i,RT}(d, t) = ED_i(d, t) - B_{i,DA}(d-1, t) - DGA_i \\ (ED_i(d, t) \geq B_{i,DA}(d-1, t) + DGA_i) \quad (27)$$

$$P_{i,RT}(d, t) = +\infty \\ (ED_i(d, t) \leq B_{i,DA}(d-1, t) + DGA_i) \quad (28)$$

$$P_{i,RT}(d, t) = 1 \\ (ED_i(d, t) \geq B_{i,DA}(d-1, t) + DGA_i) \quad (29)$$

3.2.4 徴収

需要家から小売料金の徴収を行う。具体的には、電力小売限界費用を ERP 、熱小売限界費用を HRP とすると、 $(ED_i(d, t)ERP + HD_i(d, t)HRP)$ の分だけ所持金を増やす。本研究では電力小売限界費用を 18 円/kW、熱小売費用を 3

円/kW に固定する。なお、分散型電源運転で熱需要量が満たされなかった場合、ボイラーを運転することでその分が賄われる。ボイラー運転量 BA_i は以下で定義される。

$$BA_i = HD_i(d, t) - \frac{45}{27} DGA_i \quad (30)$$

3.2.5 学 習

学習の仕組みも発電エージェント同じである。但し報酬 $r_i(d, t)$ は、以下のように定義される。

$$\begin{aligned} r_i(d, t) = & \{ED_i(d, t) \cdot ERP + HD_i(d, t) \cdot HRP \\ & + S_{i,DA}(d-1, t) \cdot DP_{DA}(d-1, t) \\ & + S_{i,RT}(d, t) \cdot DP_{RT}(d, t)\} - \{DGA_i \cdot FC \\ & + BA_i \cdot HC + B_{i,DA}(d-1, t) \cdot DP_{DA}(d-1, t) \\ & + B_{i,RT}(d, t) \cdot DP_{RT}(d, t)\} \end{aligned} \quad (31)$$

よって、分散型電源設備を無駄なく利用し、売買価格が安い市場で多く購入すると報酬が高くなる。

4. 実験結果

表 4 分散型電源普及ケース

Table 4 Distributed generation spread cases.

需要家の種類	分散型電源所持人数		
	住宅	商業	産業
case1	0	0	0
case2	0	2	5
case3	16	5	8

各実験シナリオについて、分散型電源がまったく普及していない場合 (case1)、発電エージェント一人分程度の容量分普及している場合 (case2)、二人分程度の容量分普及している場合 (case3) の 3 通りの普及ケース (表 4) を想定し、それぞれ 1 回 5000 日の実験を 10 回行った。

本研究は各エージェントの学習がどのような状態に安定するかに興味があるため、次に示す結果は最終 100 日間についての 10 回の実験の平均である。

図 3 の左側は各シナリオの分散型電源普及率毎の DA 市場と RT 市場の合計取引量、発電エージェントの発電容量合計、それに分散型電源所持者からの供給量を加えた総供給量を示している。取引量と発電容量合計の差が発電エージェントの保有設備の過剰さを表す。図 3 を見ると、C1~3、V1 は分散型電源の普及とともに保有設備の過剰さが大きくなっている。しかし V2, 3 では逆に過剰さが小さくなり、また総供給量も余裕が小さくなっているため、需給バランスが悪化しているのが分かる。

また、発電容量の合計と供給量の差は分散型電源からの市場への供給量を表す。分散型電源の投機的運転の度合いが高いシナリオほど多く、また分散型電源の普及とともにその量が増えいき、最終的に C1~3 では総供給量の 14~6%、V1~3 では 15~24% を占めている。しかしどのシナリオでも取引量よりも発電事業者の発電総容量の方が大きく、分散型電源からの供給量が市場支配力を行使できるケースはない。

図 3 の右側は case2, 3 の DA 市場と RT 市場の合計取引量をシナリオ毎に比較したものである。図 3 を見ると C3,2,1, V3,2,1 と分散型電源の投機的運転の度合いが下がるにつれて取引量が增大している。取引量が多いということは、それだけ分散型電源によって賄われる需要量が少なく、市場に出される買い注文量が多いということである。すなわち、分散型電源の投機的運転の度合いが上がると、取引量が低下する可能性があると言える。

DA 市場売買価格と RT 市場売買価格はどの設定でも、ほぼ同様の傾向を示しているため、本研究の価格面の結果としては RT 市場のものだけを紹介する。図 4 は各シナリオの RT 市場売買価格の平均と分散を示している。図 4 から、C1~3、V1,2 では分散型電源の普及とともに平均と分散が低下しているのがわかる。一方 V3 では平均の低下が見られず、普及とともに分散が上昇している。

このことから、分散型電源が市場への供給力として十分機能していないのに発電事業者が発電容量を大きく削減されると、需要変動及び分散型電源からの流入量の不安定さが市場価格に反映されやすくなると考えられる。

5. 結 論

本研究では人工電力市場を構築し、シミュレーションにより分散型電源普及による発電設備余剰の発生と、その売買価格への影響を分析した。

実験の結果、分散型電源の普及とともに、発電事業者の発電設備に余剰が生じた。また、そのことにより市場での競争が増して市場価格が低下するという結果が得られた。また、分散型電源を投機的に運用する利用者が増えると、運転率向上により、全体の取引量が低下するという結果が得られた。

しかし分散型電源が市場への供給力として十分機能していない状態で、発電事業者が容量の削減を進めると市場への総供給量が低下し、市場価格の変動が大きくなる可能性があることが分かった。

6. 謝 辞

本研究を進める上で、河野浩二氏 (富士総研)、中村仁也氏 (富士総研)、和泉潔氏 (産総研) に多大なご協力をいただきました。深く感謝申し上げます。

文 献

- [1] "TEPCO レポート特別号「電力自由化」について,"東京電力, 2002
- [2] 石黒 正康, "市場競争—電力小売り自由化,"日刊工業新聞社, 東京, 2001.
- [3] Bower, J., and Bunn, D. W. A Model-based Comparison of Pool and Bilateral Market Mechanisms for Electricity Trading, *Energy Journal*, Volume 21, Number 3, July 2000.
- [4] 小宮山 良一, 下村 貴裕, 藤井 康正, 山地 憲治, "送電系統を考慮に入れた電力市場のマルチエージェントシミュレーション,"第 26 回システム工学部会研究会, pp.25-30, Nov.2002.
- [5] 渡辺 勇, 岡田 健司, "電力市場シミュレーションに基づく取引価格形成の検討,"第 26 回システム工学部会研究会, pp.31-38, Nov.2002.
- [6] <http://www.x-econ.org/>
- [7] Hidenori Kawamura, Azuma Ohuchi and Koichi Kuru-

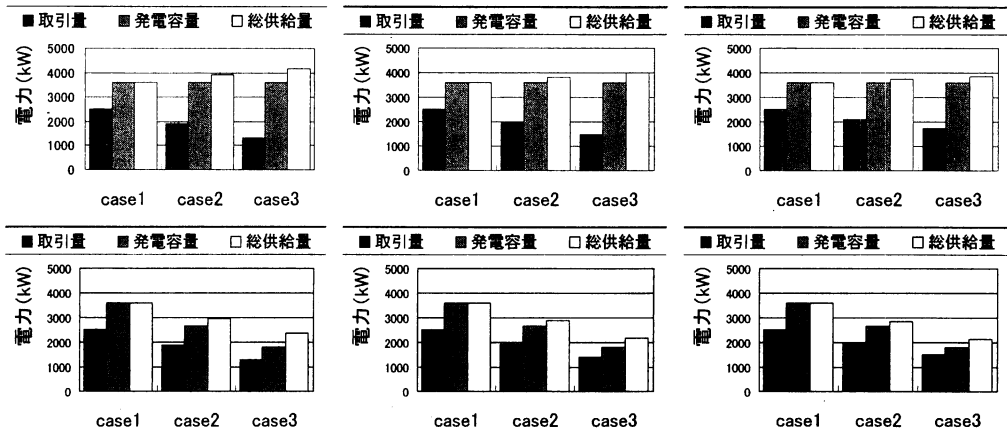


図3 各シナリオの結果 (左上: C1, 中上: C2, 右上: C3, 左下: V1, 中下: V2, 右下: V3)

Fig. 3 Result in each scenario.

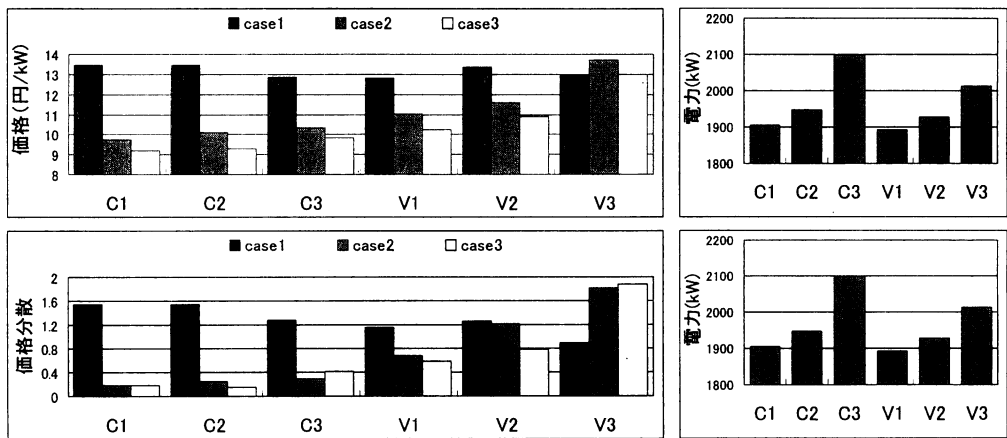


図4 各シナリオの取引量・売買価格 (左上: 売買価格平均, 左下: 売買価格分散, 右上: case2の平均取引量, 右下: case3の平均取引量)

Fig. 4 Dealing volumes and prices in each scenario.

表5 分散型電源利用による燃料消費削減量

Table 5 The amount of fuel consumption curtailment by distributed generation use

	住宅			商業			産業		
	分散型電源非所持	分散型電源所持	削減率	分散型電源非所持	分散型電源所持	削減率	分散型電源非所持	分散型電源所持	削減率
C1	46.528	39.588	0.149	254.324	222.756	0.124	755.031	695.5	0.079
C2	46.517	40.171	0.136	254.266	222.125	0.126	754.51	693.436	0.081
C3	46.516	40.612	0.127	254.405	224.346	0.118	755.602	691.959	0.084
V3	46.531	40.518	0.129	254.388	238.798	0.061	754.824	701.493	0.071
V1	46.523	39.624	0.148	254.334	225.593	0.113	754.273	696.31	0.077
V2	46.522	40.112	0.138	254.152	222.949	0.123	754.19	701.289	0.07
V3	46.531	40.518	0.129	254.388	238.798	0.061	754.824	701.493	0.071

matani: Development of X-Economy System for Simulation of Multi-Agent Economy, "Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems" in Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, Vol. 72, A. Namatame et al. (Eds.), IOS Press, Ohmsha, pp.188-197(2002).

[8] 川村 秀憲, 大内 東, 車谷 浩一, "X-Economy - マルチエージェント経済におけるシミュレーションプラットフォーム", "第10回マルチ・エージェントと協調計算ワークショップ(MACC'2001) 論文集", pp. 122-127, 2001

[9] "分散型電源システムの最新動向と将来展望", NTS, 東京, 2001

[10] "都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価", 社団法人 空気調和・衛生工学会 編, 社団法人 空気調和・衛生工学会, 東京, 1995

[11] "97 EDMC エネルギー・経済統計要覧 (英文版)", 日本エネルギー経済研究所 エネルギー計量分析センター 編, 財団法人 省エネルギーセンター, 東京, 1997

[12] "総合エネルギー統計 (平成6年度版)", 資源エネルギー庁長官官房企画調査課 編, 通商産業研究所, 東京, 1995

[13] "企業間エネルギー共同利用に関する研究", 総合研究開発機構, センチュリリサーチセンタ, 1983