

マイクログリッドにおける電力売買に関する研究

上 原 彬*・永 田 武**

(平成18年10月30日受理)

A Study of Trading Electricity in Microgrid

Akira Uehara and Takeshi Nagata

(Received Oct. 30, 2006)

Abstract

In this paper, we propose a trading method of electricity in a microgrid. A microgrid is an energy system formed by the interconnection of small, modular generation (micro-turbines, fuel cells, PV, etc), with storage device (flywheels, energy capacitors and batteries) and controllable loads at low-voltage distribution systems. The aim of this study is to develop the method which gains the largest profit in trading electricity in the microgrid. Therefore, a practical application of the proposed trading electricity algorithm to a model system was tested on power system network. Numerical results are used to demonstrate the effectiveness and performance of the proposed system.

Key Words: trading electricity algorithm, microgrid, price fluctuation, multi-agent

1. はじめに

近年の技術革新や環境問題などにより、電力を必要とする場所の近くに小型発電機（マイクロタービン、燃料電池、太陽光発電など）を設置し発電するという、分散型電源と呼ばれる新しい試みが行われている。そして、需要地内で複数の分散型電源や電力貯蔵システム（フライホイール、コンデンサ、バッテリー）を組み合わせ、自身で需要地内の発電量を需要状況に合わせて制御することで電力の地域自給を可能とする小規模電力供給網「マイクログリッド」が注目を集めている^{1,2)}。このマイクログリッドは比較的新しい考え方であり、設備投資、環境面、災害時のリスク分散などのメリットが期待されており多くの研究が行われている。また、青森県八戸地域や京都エコプロジェクト、愛・地球博などのように、実際にマイクログリッドを導入し実証実験を行う事例も増えてきている³⁾。

マイクログリッドは、特定地域内での安定した電力供給を目標としているが、まだ多くの場合、需給バランスや電

力品質の維持は電力系統に依存している。すなわち、この系統連系方式では、分散型電源ではまかないきれない場合は電力系統の電気で補い、逆に電気が余剰の場合は電力系統に供給している。

本研究では、マイクログリッド内における発電事業者、需要家、および電力系統の間の電力取引に注目し、発電事業者と需要家の利益最大化を目的とした電力売買アルゴリズムの適用実験を行い、効果を検証した^{4,5)}。

2. マイクログリッドへのマルチエージェントの適用

本研究では、モデル系統にマルチエージェントを適用し、マイクログリッド内における電力売買において、発電事業者と需要家の利益最大化を目的とする。

(2.1) 変数の説明

ここではまず、以下の議論で使用する変数についての説明を行う。

DP (Demand Price) : 各 buyerAG が持つ値で、buyerAG

* 広島工業大学大学院工学研究科情報システム工学専攻

** 広島工業大学情報工学科

が電力を購入する値段の初期値

AP (Auction Price) : 各 sellerAG が持つ値で, sellerAG が DP を受けて決定

SP (Selling Price) : Grid が持つ値で, Grid がマイクログリッドに対して売電する場合に使用される。

BP (Buying Price) : Grid が持つ値で, Grid がマイクログリッドから電力を購入する場合に使用される。

なお, これらの値の大小関係は, $DP > SP > BP$ とする。

(2.2) モデル系統

図1に本研究で使用したモデル系統を示す。同図において, LAGは需要家エージェントを表し, GAGは発電事業者エージェントを表している。そして, Gridは電力システムエージェントを, MGCCはMicroGrid central controllerエージェントを表す。以下において, それぞれのエージェントについて説明する。

- (1) LAG (Local Agent) : LAGは需要家群を表す。LAGは buyerAG を複数持ち, それぞれの buyerAG は需要量と DP を持つ。buyerAG は LAG の下で電力を購入するエージェントである。
- (2) GAG (Generator Agent) : GAGは発電事業者群を表す。GAGは sellerAG を複数持ち, それぞれの sellerAG は発電量と AP を持つ。sellerAG は, GAG の下で売電するエージェントである。なお, 各 seller にはそれぞれ特徴を持たせている。すなわち, seller1 は変動出力の太陽光発電, seller2 はガス TG で負荷追従, seller3 は燃料電池で一定出力である。
- (3) Grid : Grid は電力系統を表している。このエージェントは, sellerAG および buyerAG を生成する。そして, それらはそれぞれ SP および BP を持つ。また, Grid は発電可能量, 需要量共に無限とし, マイクログリッド内で余剰が発生した場合にそれを処理する働きをする。
- (4) MGCC (MicroGrid central controller) : MGCC は

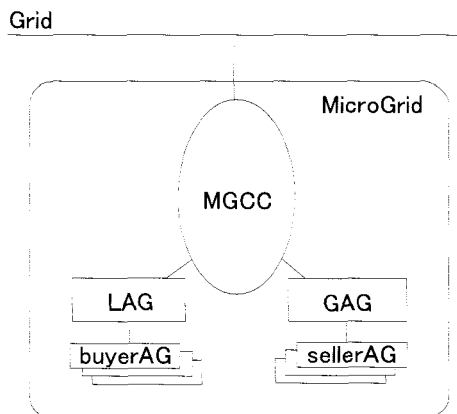


図1 モデル系統
Fig. 1 Model system

Grid と LAG, GAG の中間に位置し, それぞれのデータの受け渡し, オークション処理を担当する。

3. 電力売買アルゴリズム

ここでは, 前章で述べたマイクログリッド内の電力売買を, マルチエージェントシステムを用いて実現するための電力売買アルゴリズムについて説明する。

(3.1) 基本概念

電力売買アルゴリズムは, マイクログリッド内の発電量または需要量が0になるまでループし続ける。そしてループごとに, 最も適切な一つの seller と一つの buyer を選択し, それらを勝者とする。

図2に本研究で使用したシステム構成図を示し, 以下に電力売買アルゴリズム⁶⁾の詳細を記述する。以下の説明における番号は, 図中の番号と対応している。

① DP 通達

これは電力売買アルゴリズムの初期ステップにあたる。この時, DP と共に各 buyer の需要量を MGCC に対して通達する。

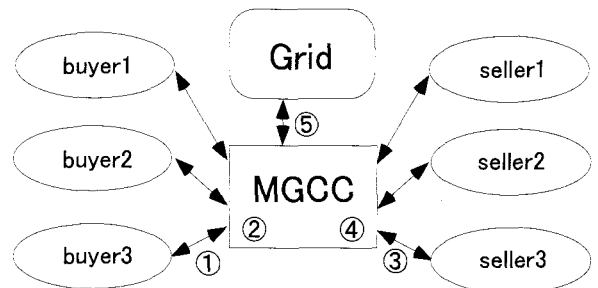


図2 システム構成
Fig. 2 System construction

② 最適 DP 決定

MGCC が, buyerAG 群から受け取った DP と需要量を元に勝者を決定する。そして, 勝者 buyer の DP を各 seller に通達する。勝者 buyer は, DP の最も高いものを選ばれる。もし勝者が一つに決まらない場合は, DP が最高値の buyer の中から, 需要量の最も大きい buyer を選択する。更にそれでも決まらない場合はエージェント番号の大きいもの優先するものとする。

③ AP 決定

MGCC より送られた最適 DP を元に, 各 seller が自らの AP を決定する。そして, 決定された AP とともに自らの発電可能量を MGCC に対して送信する。

④ オークション処理

MGCC が, sellerAG 群から受け取った AP と発電量より, AP の最も安い seller を選び勝者とする。もし勝者が一つに決まらない場合は, AP が最安値の

sellerの中から、発電量の最も大きいsellerを選択する。更にそれでも決まらない場合はエージェント番号の大きいものの優先するものとする。これにより、勝者sellerと勝者buyerが決定され、それらをペアとする。

次にMGCCは、決定されたペアの、売買が成立した電力量を全てのsellerとbuyerに通達する。また、勝者sellerおよび勝者buyerは自身の発電量および需要量から、売買が成立した電力量の差分を取り、その差分を次のループでの自身の発電量および需要量とする。もし、seller側またはbuyer側のどちらかの電力量または需要量が全て0になればオークションは終了し⑤に進む。そうでなければ再び①に戻り、seller側またはbuyer側のどちらかが全て0になるまでオークションを続行する。なお、一度選択されたsellerは、 ε 導出式のみだけ価格を上昇させるため、次のループでは選ばれにくくなる。その理由と ε については後述する。

⑤ 余剰処理

④までの繰り返し処理でオークション処理が終了する。もし、発電量または需要量どちらかに余剰が存在する場合、Gridに対して余剰処理を行う。Gridは発電量および需要量無限と定義しているため、Gridとの取引は必ず成功するものとする。また、発電量過多であるなら前述のBPを、発電量が不足しているならSPを使用する。余剰処理が終了したなら次の期の入札開始を待つ。

以上の動作を経て一つの期とする。また、⑤に入るまでに、①から④を1周するたびにループ回数をカウントする。

〈3.2〉 入札刻み値 ε

ここでは、本システムの前節の④に書かれている刻み値 ε について詳述する。 ε は、「同じsellerが選ばれ続けないようにするために、一度選ばれたsellerAGの価格を上昇させるための刻み値」とであると定義する。 ε は、正の整数であるとする。この値を入れることにより、各sellerが均等に売電するチャンスを得ることができる。式(1)はn回目のループに使用する刻み値 ε の導出方法である。

$$\gamma_n = u_{n-1} - w_{n-1} + \varepsilon \tag{1}$$

ここで、 γ_n : n回目のループにおける ε 増加量、 u_{n-1} : n-1回目のループにおける最大の入札値、 w_{n-1} : n-1回目のループにおける2番目に最大の入札値である。

〈3.3〉 電力売買アルゴリズムを使用した動作例

ここでは、ある期での電力売買アルゴリズムの動作例を

表1 動作例
Table 1 Example of behavior

ループ回数	seller 価格	需要量 (1,2,3)	発電量 (1,2,3)	ペア (seller,buyer)
1	(0,0,0)	(50,40,30)	(30,60,70)	(seller3,buyer1)
2	(0,0, ε)	(0,40,30)	(30,60,20)	(seller2,buyer2)
3	(0,2 ε , ε)	(0,0,30)	(30,20,20)	(seller1,buyer3)
4	(2 ε ,2 ε , ε)	(0,0,0)	(0,20,20)	終了

需要量、発電量 : (KW)

示す。表1はその動作例を表している。

表1における「ループ回数」は、その期の入札におけるループの回数を表している。「seller 価格」はそのループでの入札の (seller1, seller2, seller3) の初期値である。「需要量」は、それぞれ (buyer1, buyer2, buyer3) の不足している需要量である。「発電量」も同様に、(seller1, seller2, seller3) の販売可能な発電量を表す。「ペア」は、各ループで本アルゴリズムによって決定された sellerAG と buyerAG を表す。

以下に、表1に関する詳細について記述する。

- (1) 最初のループにおいて、全ての価格は0であるため、発電量と需要量が最大である seller3 と buyer1 がペア AG に選ばれる。
- (2) 2回目のループに入るとまず、最初のループで選ばれた seller3 の価格が、前述の ε だけ増加する。次に発電量と需要量を、それぞれ初回ループの需要量分だけ減少させる。そして、初回のループと同様に、2回目のループにおけるペア AG を決定する。
- (3) 3回目のループに入り、2回目のループで選ばれた seller2 の価格が 2ε 増加する。これは式(1)を利用する。(∵ $\varepsilon - 0 + \varepsilon = 2\varepsilon$)
そして、これまでと同様にルールに従ってペアを決定し、発電量および需要量の差分を取る。
- (4) 4回目のループにおいて全ての buyer 需要量が0になるため、発電量の余剰を処理し、ここでこの期の入札は終了する。

この表における結果は、「(seller1, seller2, seller3) は、それぞれ価格 (2 ε , 2 ε , ε) で (30, 40, 50) KW の電力を売り、さらに seller2 と seller3 はそれぞれ 20KW ずつ Grid に対して BP の値で売電した」ということを表す。なお、表2における価格0は、その価格で売ったとしても利益が全く出ない値段、ということを表している。

4. シミュレーション

〈4.1〉 シミュレーション条件

本研究では2種類のケースをシミュレーションする。一つは必ず発電量が需要量を上回るケース。もう一つは需要

量が発電量を上回ることがあるケースである。これらをそれぞれケースⅠ、ケースⅡとする。表2は需要データである。表3はケースⅠ、表4はケースⅡにおける発電量である。表3と表4において発電量が0となっている部分は、太陽光発電である seller1 が発電できなかった時間である。

そして、売り上げ計算に用いたパラメータはそれぞれ、seller 単価 = 19 円/KW, BP = 25 円, SP = 26 円, $\varepsilon = 1$ 円である。なお、ケースⅠ・Ⅱともに売上計算に用いたパラメータは同じである。

また、通常、日本では15分おきに入札が行われるが、本研究はシミュレーションであるため簡略化し60分おきとしている。

(4.2) シミュレーション結果

本研究では前述の通り2ケースのシミュレーションを行った。その結果について示す。

A) ケースⅠ

図3に、ケースⅠの各期における seller の価格変化

表2 ケースⅠ・Ⅱの各期需要データ [KW]

Table 2 A demand date in every term on case I and case II

Time	1	2	3	4	5	6
需要	50	50	50	50	50	50
	40	40	40	40	40	40
	30	30	30	30	30	30
Time	7	8	9	10	11	12
需要	50	50	90	90	90	90
	40	40	80	80	80	80
	30	30	50	60	60	60
Time	13	14	15	16	17	18
需要	90	90	90	90	90	80
	90	90	90	80	80	70
	60	70	70	60	50	50
Time	19	20	21	22	23	24
需要	70	60	50	50	50	50
	70	60	50	50	50	40
	50	40	40	40	30	30

表3 ケースⅠにおける各期発電量データ [KW]

Table 3 Production of electricity in every term on case I

Time	1	2	3	4	5	6
発電	0	0	0	0	0	0
	60	60	60	60	60	70
	70	70	70	70	70	70
Time	7	8	9	10	11	12
発電	30	40	40	50	50	50
	80	90	110	130	130	140
	70	70	70	70	70	70
Time	13	14	15	16	17	18
発電	50	50	50	50	50	30
	150	150	140	130	120	110
	70	70	70	70	70	70
Time	19	20	21	22	23	24
発電	10	0	0	0	0	0
	110	100	100	90	80	70
	70	70	70	70	70	70

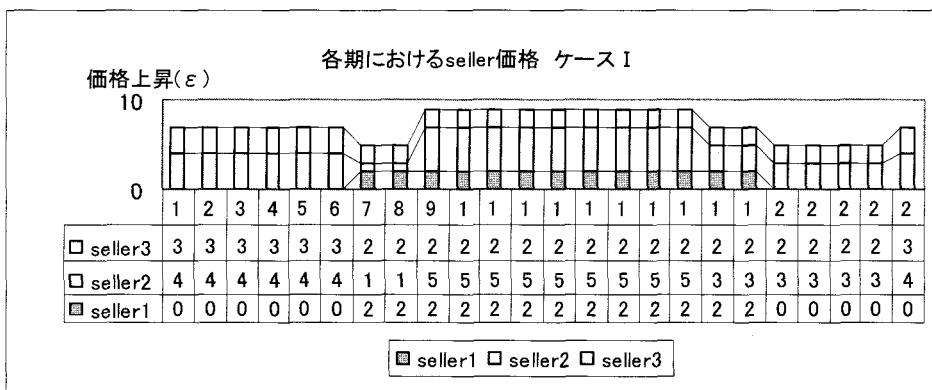


図3 ケースⅠにおける各期 seller 価格
Fig.3 Price list in every term on case I

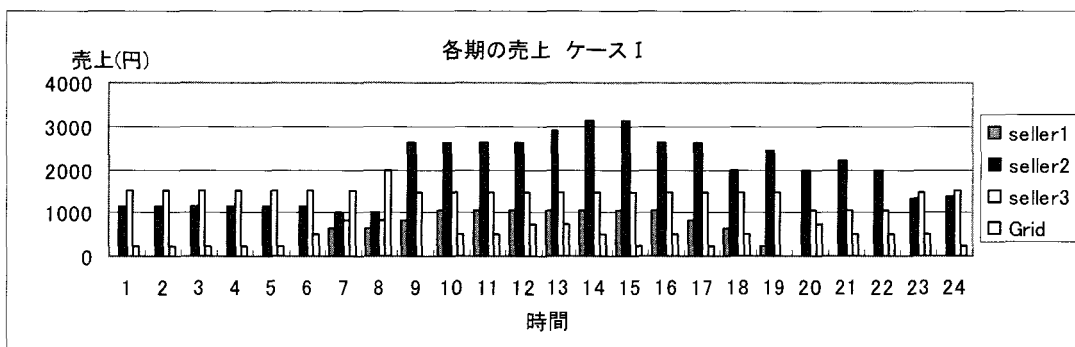


図4 ケースⅠにおける各期売上
Fig. 4 Revenue in every term on case I

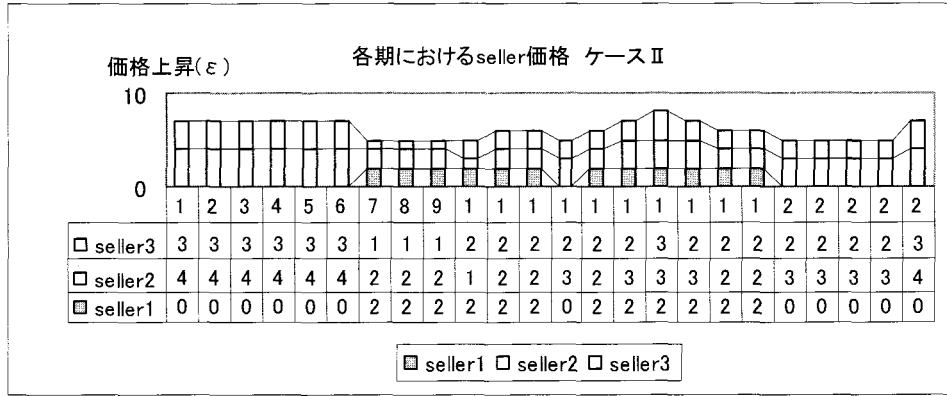


図5 ケースIIにおける各期 seller 価格
Fig. 5 Price list in every term on case II

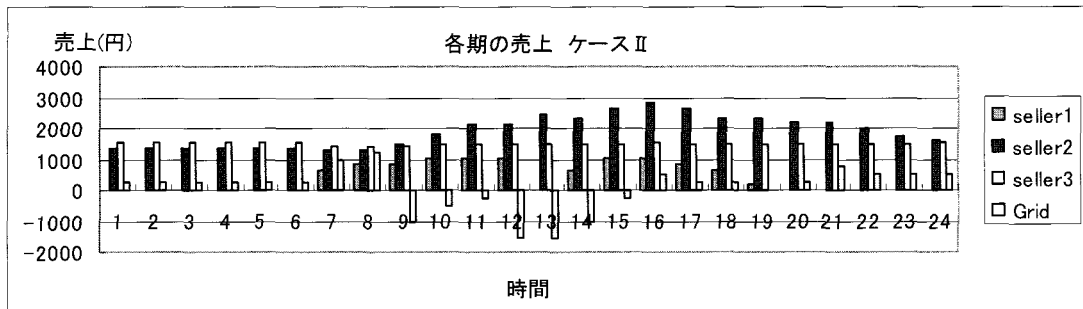


図6 ケースIIにおける各期売上
Fig. 6 Revenue in every term on case II

を表したグラフを示す。図中に、seller1の単価が0となっている箇所が複数あるが、それはseller1が太陽光発電であるために発電できなかったことを示している。図4はケースIの各期における売上のグラフを表している。

ケースIのシミュレーション結果、24期通しての総売上は103,750円であった。

B) ケースII

図5に、ケースIIの各期におけるsellerの価格変化を表すグラフである。図5において、1期から8期、20期から24期はGridに対して電力を売った期間であり、9期から18期まではGridから電力を購入した期間である。

図6にケースIIの各期における売上のグラフを示す。図6においてグラフが下に伸びている場所はGridから電力を購入していることを表している。ケースIIのシミュレーション結果として、24期通しての総売上は91,010円であった。

5. あとがき

本論文では、マイクログリッド内の利益を最大化することを目的として、マイクログリッドにおける電力市場について、電力売買アルゴリズムの適用実験を行った。

表4 ケースIIにおける各期発電量データ [KW]
Table 4 Production of electricity in every term on case II

Time	1	2	3	4	5	6
発電	0	0	0	0	0	0
	60	60	60	60	60	60
	70	70	70	70	70	70
Time	7	8	9	10	11	12
発電	30	40	40	50	50	50
	60	60	70	90	100	100
	70	70	70	70	70	70
Time	13	14	15	16	17	18
発電	0	30	50	50	40	30
	110	110	120	130	120	110
	70	70	70	70	70	70
Time	19	20	21	22	23	24
発電	10	0	0	0	0	0
	110	100	100	90	80	70
	70	70	70	70	70	70

簡単なシミュレーションではあるが、動作確認をし、期待通りの結果を得ることが出来た。

これからの課題として、エージェントの数を増やしての更なる動作確認や、sellerAGやbuyerAGに優先度を組み込むなどの戦略を持たせることを考えている。

文 献

- 1) 高野浩二:「新たな電力供給システムの実証プロジェクト-1 新エネルギー等地域集中実証研究」電学誌,

- 125 巻 3 号, PP.153-155 (2005)
- 2) 小林広武:「新たな電力供給システムの実証プロジェクト-2 真電力ネットワークシステム実証研究(需要地系統)」電学誌, 125 巻 3 号, PP.156-158 (2005)
 - 3) よくわかる! 技術解説-分散型エネルギーシステム [Online]. Available:<http://www1.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/egy/ey07/index.html>
 - 4) 上原, 永田, 歌谷:「マイクログリッドの運用方式に関する検討」電気学会 B 部門大会, 8-160 (2006)
 - 5) 上原, 永田, 歌谷:「マルチエージェントによる電力売買に関する検討」電気・情報関連学会中国支部, 7-4 (2006)
 - 6) Aris L.Dimeas and Nikos D. Hatziargyriou: "Operation of a Multiagent System for Microgrid Control" IEEE Transactions on Power Systems, Vol20, No3, pp.1447-1455,(2005)