

電気事業における余剰電力買い取り交渉に関するゲーム論的考察

非会員 杉原 英治 (北海道大学) SUGIHARA Hideharu  
01109481 \*北 裕幸 (北海道大学) KITA Hiroyuki  
非会員 西谷 健一 (北海道工大) NISIYA Ken-ichi  
01503151 長谷川 淳 (北海道大学) HASEGAWA Jun

1. まえがき

電気事業に関する規制緩和<sup>(1)</sup>に伴い、従来の電力会社と需要家による需給関係に、電力会社へ電気の卸売を行う独立系発電事業者 (Independent Power Producer: 以下 IPP) が参入してくると考えられる。本稿では、その際の買い取り価格 (卸売価格) の決定問題<sup>(2)</sup>を固定基準点を持つ 2 人交渉ゲーム<sup>(3)</sup>として考える。また IPP は、自社需要への供給を優先し、電力会社も供給義務を要求できないとすると、IPP の余剰電力には無視できない不確実性が存在することになる。そこで、本稿では IPP の不確実性が前述のゲームにおける Nash 交渉解、交渉領域へ与える影響について評価する。

2. IPP 及び電力会社のモデル化

<2.1> 前提条件 一般に負荷電力は年間を通じて大きな変動を示すが、本稿では簡単のため図 1、図 2 のように 1 年間で 1 時間帯としてモデル化する。各変数の意味を以下に示す。

IPP A: 設備容量 [KW] A-W: 売電契約容量 [KW]  
C<sub>f2</sub>: 固定費 [¥/KW] C<sub>v2</sub>: 可変費 [¥/KWh]  
D<sub>2</sub>: 自社需要 [KW] P<sub>2</sub>: 売電価格 [¥/KWh]  
f(D<sub>2</sub>): D<sub>2</sub> の確率密度関数 T: 8760 [h]

電力会社 C<sub>f1</sub>: 固定費 [¥/KW] C<sub>v1</sub>: 可変費 [¥/KWh]  
α: 予備力 [KW] D<sub>1</sub>: 需要 [KW]

<2.2> IPP のモデル化 図 1 の需給概念図より、買い取り交渉成立時のコスト C<sub>2</sub> は次式のように定式化できる。

$$C_2 = \text{固定費} + \text{可変費(フル出力時)} + \text{可変費(出力余裕時)} - \text{買電による収入}$$

$$= AC_{f2} + TAC_{v2} \int_w^D f(D_2) dD_2 + TC_{v2} \left[ A - W + \int_w^D \frac{D_2 f(D_2) dD_2}{\int_w^D f(D_2) dD_2} \right] \\ \times \int_w^D f(D_2) dD_2 - TP_2 \left[ A - W - \int_w^D (D_2 - W) f(D_2) dD_2 \right] \quad (1)$$

また交渉決裂時のコストは、以下の 2 つの交渉基準点を想定することによりそれぞれ導く。  
基準点 1: IPP の設備建設後に買い取り交渉を行う  
基準点 2: IPP の設備建設前に買い取り交渉を行う  
つまり交渉が決裂した場合、基準点 1 では IPP に余分な設備が生じ、基準点 2 では設備の縮小が可能であり、その縮小設備容量 A<sub>1</sub> は次式を満たすように決定され

るとする。

$$\text{信頼性基準値} = \frac{1}{3650} \geq \int_{A_1}^D f(D_2) dD_2 \quad (2)$$

そして、基準点 1, 2 におけるコスト C<sub>2</sub><sup>m1</sup>, C<sub>2</sub><sup>m2</sup> は、それぞれ次式のように表せる。

$$C_2^{m1} = AC_{f2} + TC_{v2} \left[ \int_0^A D_2 f(D_2) dD_2 / \int_0^A f(D_2) dD_2 \right] \quad (3)$$

$$C_2^{m2} = AC_{f2} + TC_{v2} \left[ \int_0^{A_1} D_2 f(D_2) dD_2 / \int_0^{A_1} f(D_2) dD_2 \right] \quad (4)$$

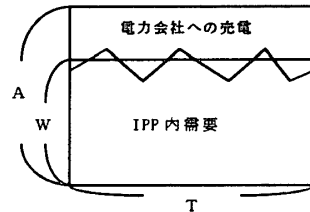


図 1 IPP の需給概念図

<2.3> 電力会社のモデル化 図 2 の需給概念図より、交渉成立時のコスト C<sub>1</sub> 及び決裂時のコスト C<sub>1</sub><sup>m</sup> は、次式のようになる。

$$C_1 = \text{固定費} + \text{可変費(ベース分)} + \text{可変費(予備電源分)} + \text{買電による支出}$$

$$= [B(W) + \alpha] C_{f1} + B(W) TC_{v1} + TC_{v1} \int_w^{W+\alpha} (D_2 - W) f(D_2) dD_2 \\ + TP_1 \left[ A - W - \int_w^A (D_2 - W) f(D_2) dD_2 \right] \quad (5)$$

$$C_1^m = \text{固定費} + \text{可変費} = D_1 C_{f1} + D_1 C_{v1} T \quad (6)$$

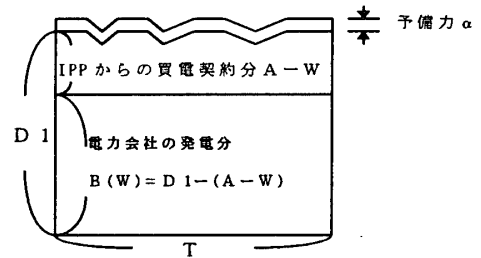


図 2 電力会社の需給概念図

ここで、予備電源量 α は、式 (7) の信頼性基準値を満足するように決定する。

$$\text{信頼性基準値} = \frac{1}{3650} \int_{w+\alpha}^{\infty} f(D_2) dD_2 \quad (7)$$

### 3. 交渉領域及び Nash 交渉解の導出

〈3.1〉交渉領域 まず、IPP において交渉の成立、不成立が無差別となる価格  $P_2^1$  ( $P_2^2$ ) は、 $C_2^{m(2)} = C_2$  ( $P_2, W$ ) において適当な近似を行えば次式のように求められる。

$$P_2^1 \doteq C_{v2} \quad (8)$$

$$P_2^2(W) \doteq C_{v2} + \frac{C_{f2}(A-A_1)}{T(A-W - \int_w^{\infty} (D_2-W)f(D_2)dD_2)} \quad (9)$$

ここで、肩文字の 1, 2 は〈2.2〉で述べた各交渉基準点を表す。また、電力会社においても同様にして無差別価格  $P_2^u$  を求めると次のようになる。

$$P_2^u(W) = C_v + \frac{C_f(A-W-\alpha)}{T(A-W - \int_w^{\infty} (D_2-W)f(D_2)dD_2)} \quad (10)$$

式(8)、式(9)及び式(10)を用いて、基準点 1, 2 のそれぞれにおける交渉領域は以下のように表せる。

基準点 1:  $P_2^1 \leq P_2 \leq P_2^u$  基準点 2:  $P_2^2 \leq P_2 \leq P_2^u$   
この領域内は、各プレイヤーの個人合理性を満たすパレート解である。式(8)は IPP の短期限界費用と呼ばれるものであり、式(9)及び式(10)も IPP の不確定性を十分に小さくすれば、それぞれ IPP 及び電力会社の(長期)限界費用 ( $C_{v(2)} + C_{f(2)}/T$ ) に等しくなる。

〈3.2〉Nash 交渉解 一般に Nash 解  $P_2^{1(2)N}$  は基準点からのお互いのメリットの積を最大化するような解であるので式(11)のように表せる。

$$\text{MAX}_{P_2} (C_2^{m(2)} - C_2(P_2, W))(C_v^m - C_v(P_2, W)) \rightarrow P_2^N \quad (11)$$

また、お互いのメリット和を求めると式(12)に示すように、価格  $P_2$  に関する項は相殺され、 $W$  のみの関数になる。

$$TM(W) = (C_2^{m(2)} - C_2(P_2, W)) + (C_v^m - C_v(P_2, W)) \quad (12)$$

そして、本ゲームは TM に買い取り価格  $P_2$  が現れないと言う点で定和ゲームとして考えられ、その際の Nash 解はメリット和 TM を両者へ等しく配分する様な解になる。

### 4. 試算結果

〈4.1〉試算データ ここでは前述した無差別価格  $P_2^1, P_2^2$ , Nash 交渉解  $P_2^N$  を  $W$  の関数として具体的に算出することを目的とする。そのためのデータを以下に示す。

$$\begin{aligned} C_f &= 35000 [\text{¥/KW}] & C_v &= 7 [\text{¥/KWh}] \\ D_1 &= 10000 [\text{MW}] & D_2 &: \text{正規分布 } N(\mu, \sigma) \\ \mu &= 500 [\text{MW}] & \sigma &= 20 [\text{MW}] & A &= 600 [\text{MW}] \\ C_{f2} &= 35000/1.2 [\text{¥/KW}] & C_{v2} &= 7/1.2 [\text{¥/KWh}] \\ \text{電力会社の(長期)限界費用} &: C_v + C_f/T &= &11 [\text{¥/KWh}] \\ \text{IPP の(長期)限界費用} &: C_{v2} + C_{f2}/T &= &9.2 [\text{¥/KWh}] \end{aligned}$$

〈4.2〉試算結果 図 3 及び図 4 における  $P_2^1$  は、それぞれ基準点 1, 2 における IPP の無差別価格  $P_2^1$ ,

$P_2^2$  を示す。両図において、 $W$  が小さくなる、つまり余剰電力の品質が低下するに従い電力会社の無差別価格  $P_2^u$  は低下する。また、IPP の無差別価格は基準点により大きく異なり、基準点 1 では常に IPP の可変費に等しいのに対して、基準点 2 では  $W$  の低下とともに価格も低下する。そして、Nash 解は前述の意味より、常に交渉領域の midpoint に位置することが分かり、図 3 図 4 においても確認できる。また、Nash 解をとる場合、メリット和 TM より  $W \geq 500$  の領域では  $W \leq 500$  へのインセンティブが両者に働くため  $W \leq 500$  の領域が現実的であることがわかる。そして、図 4 の  $W \geq 580$  において IPP の無差別価格が電力会社のそれを超えており、この領域では交渉が決裂することを意味する。

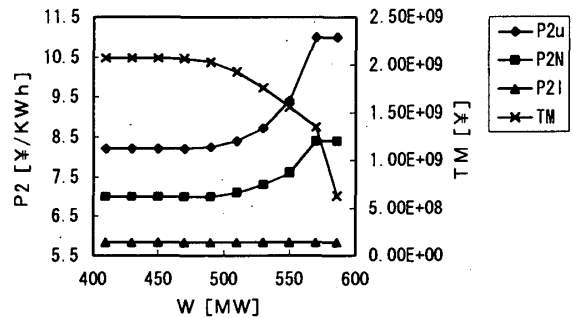


図 3 基準点 1 の交渉領域及び Nash 解

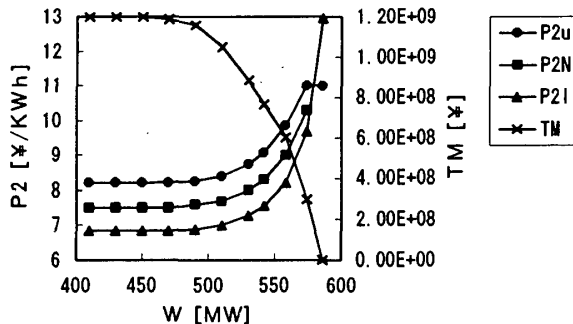


図 4 基準点 2 の交渉領域及び Nash 解

### 5. あとがき

本稿では、IPP と電力会社間の余剰電力買い取り交渉を余剰電力の不確定性を含めた形で定式化し、不確定性が交渉領域、Nash 交渉解へ与える影響を評価した。今後は、新しい交渉解概念の導入、複数の IPP や需要家を含めたケースへの  $n$  人ゲーム理論の適用を考えている。

### 参考文献

- [1] 浅野: 「電力自由市場下での需給マネジメントのモデル化」電学論 B, 115 巻 3 号, (平 7)
- [2] 浅野・桑畑: 「コジェネレータを含む電力供給システムのゲーム論的考察」電学論 B, 113 巻 7 号, (平 5)
- [3] 鈴木: 「ゲーム理論入門」 共立出版 (昭和 56)