

戦略的プロシューマーの投資意思決定 ～社会的余剰への影響～

申請中	東京理科大学	*桑原大樹	HIROKI Kuwahara
05000319	東京理科大学	伊藤真理	ITO Mari
01308970	東京理科大学	高嶋隆太	TAKASHIMA Ryuta
	政策研究大学院大学	田中誠	TANAKA Makoto
	UC Santa Cruz	Yihsu Chen	

1 はじめに

近年、太陽光、風力発電等の再生可能エネルギーの普及により、分散型電源を保有するプロシューマーが増加している。プロシューマーとは、自ら発電し消費する消費者である一方、余剰分を売電する供給者でもあるプレーヤーのことである。分散型電源を所有することで、電力市場から調達していた電力（の一部）を賄うことが可能となる。この分散型電源を所有するプロシューマーの増大は、集中型電源の利用の減少による送電コストの増大、電力市場価格の上昇等、様々な問題が顕在化している。これまでの研究では、これらプロシューマーの市場参入における投資意思決定の影響を静的なモデルにより分析が行われてきた [1,2]。また、プロシューマーの投資意思決定に注目しリアルオプション分析を行っている研究は存在するが [3]、投資プロジェクト単体の分析であり、プロシューマーに関して市場との関係性や競争について分析している先行研究は、ほとんど見受けられない。そこで本研究では、リアルオプションモデルを用いて、不確実性下におけるプロシューマーの分散型電源の投資意思決定が電力市場や既存発電事業者にどのような影響を及ぼすかについて分析し、考察することを目的とする。

2 モデル

本研究では、プロシューマーは電力の余剰分を市場以外の場所に売電するものとする。プロシューマーは、 k （一定）を発電する。この自己発電量と需要量との差分で、優先される自己消費量が決定される。全需給量を Q （一定）、全消費量に対するプロシューマーの消費割合を α とすると、プロシューマーの消費量は αQ と表せる。

また、本研究では、1) プロシューマーの自己消費量 αQ が自己発電量 k を超える、2) プロシューマーの自己発電量 k が自己消費量 αQ を超えるといった、二つの場合に分けて分析を行う。

2.1 モデル設定

2.1.1 自己消費量 αQ が自己発電量 k を超える場合

プロシューマーの自己消費量 αQ が自己発電量 k を超える場合、優先して自己消費を行い、不足分 $\alpha Q - k$ を市場から購入を行う。すなわち、プロシューマーが市場から購入する電力量は、 $\alpha Q - k$ と表せる。既存発電事業者は、市場清算条件により、市場に供給される電力量が $Q - k$ となるように発電するため、既存発電事業者の発電量は $Q - k$ と表せる。従来の消費者は、電力量 $(1 - \alpha)Q$ を市場から購入しているとする事で市場清算条件が満たされる。

2.1.2 自己発電量 k が自己消費量 αQ を超える場合

プロシューマーの自己消費量 αQ が自己発電量 k を超えない場合、優先して自己消費を行い、余剰分 $k - \alpha Q$ を市場以外の場所へ売電を行う。すなわち、プロシューマーが市場以外の場所へ売電する電力量は $k - \alpha Q$ と表せる。既存発電事業者は、市場清算条件により、市場に供給される電力量が $(1 - \alpha)Q$ となるように発電するため、既存発電事業者の発電量は $(1 - \alpha)Q$ と表せる。従来の消費者は、電力量 $(1 - \alpha)Q$ を市場から購入しているとする事で市場清算条件が満たされる。

2.2 市場価格

2.2.1 自己消費量 αQ が自己発電量 k を超える場合

市場での電力取引量は、 $Q - k$ であり、市場価格 P_t は逆需要関数 $P_t = X_t \{1 - \eta(Q - k)\}$ で与えられる。 η は逆需要関数の傾きを表す。 X_t は外生的な需要ショックを表し、幾何ブラウン運動 $dX_t = \mu X_t dt + \sigma X_t dW_t$ に従う

と仮定する。また、割引率を ρ とする。

2.2.2 自己発電量 k が自己消費量 αQ を超える場合

市場での電力取引量は、 $(1-\alpha)Q$ であり、市場価格 P_t は逆需要関数 $P_t = X_t - \eta(1-\alpha)Q$ で与えられる。 η は逆需要関数の傾きを表す。 X_t は外生的な需要ショックを表し、幾何ブラウン運動 $dX_t = \mu X_t dt + \sigma X_t dW_t$ に従うと仮定する。また、割引率を ρ とする。

2.3 投資閾値

2.3.1 自己消費量 αQ が自己発電量 k を超える場合

投資閾値は初期費用を I として以下のように表せる。

$$x^* = \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1} \frac{\rho - \mu}{(1 - \eta(Q - k))(k - \alpha Q)} \left(-\frac{\bar{P}\alpha Q - ck + \tau(k - \alpha Q)}{\rho} + I \right)$$

ここで、 β_2 は $\frac{1}{2}\beta(\beta - 1) + \mu\beta - \rho = 0$ の負の根である。

2.3.2 自己発電量 k が自己消費量 αQ を超える場合

投資閾値は初期費用を I として以下のように表せる。

$$x^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \frac{\rho - \mu}{(1 - \eta(1 - \alpha)Q)(k - \alpha Q)} \left(-\frac{\bar{P}\alpha Q - ck}{\rho} + I \right)$$

ここで、 β_1 は $\frac{1}{2}\beta(\beta - 1) + \mu\beta - \rho = 0$ の 1 より大きい正の根である。

2.4 社会的余剰

社会的余剰はプロシューマーの参入前後の社会的余剰の境界条件を考えることにより、決定される。また、本研究では既存発電事業者の発電コストをプロシューマーの限界発電コストの 5 倍と仮定する。 $A_t x^\beta$ はプロシューマーのオプション価値を表す。

2.4.1 自己消費量 αQ が自己発電量 k を超える場合

$$S_0(x) = \frac{xQ(2-\eta Q)}{2(\rho-\mu)} - \frac{5cQ}{\rho} + A_t^1 x^{\beta_2}$$

$$A_t^1 = \frac{k(-2+2\eta Q-\eta k)}{2(\rho-\mu)} (x^*)^{1-\beta_2} + \frac{5ck}{\rho} (x^*)^{-\beta_2}$$

2.4.2 自己発電量 k が自己消費量 αQ を超える場合

$$S_0(x) = \frac{xQ(2-\eta Q)}{2(\rho-\mu)} - \frac{5cQ}{\rho} + A_t^2 x^{\beta_1}$$

$$A_t^2 = \frac{\alpha Q\{-2+\eta Q(2-\alpha)\}}{2(\rho-\mu)} (x^*)^{1-\beta_1} + \frac{5c\alpha Q}{\rho} (x^*)^{-\beta_1}$$

3 分析結果

本研究では、パラメータ条件を満たすような仮想的なパラメータを使用する。プロシューマーの投資タイミングは自己発電量、消費割合によって変化する結果となった。図 1, 2 から、 $x = 0.10$ のとき、社会的余剰の観点では、不確実性の高い状況下ではプロシューマーの投資意思決定の影響に比較的差がない結果となった。図 2 で

は、消費割合が低いと、不確実性増加により社会的余剰がプロシューマー参入前よりも減少する結果となった。

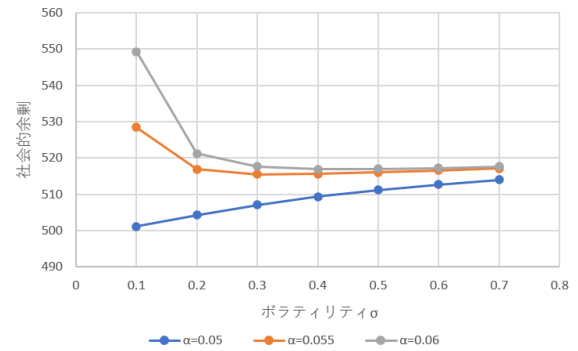


図 1 自己消費量 $\alpha Q >$ 自己発電量 k の場合

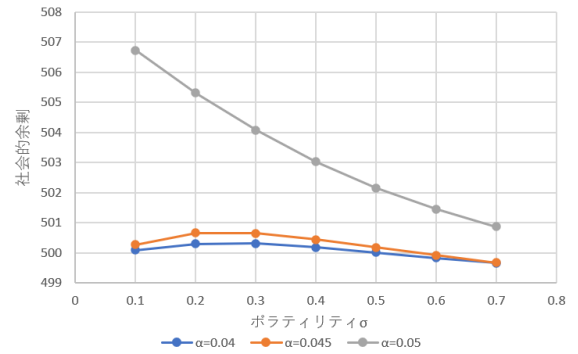


図 2 自己発電量 $k >$ 自己消費量 αQ の場合

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業基盤研究 (B)(課題番号: 19H02380) を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] Gautier, A., Jacqmin, J., Poudou, J-C., "The prosumers and grid", Journal of Regulatory Economics 53, 100-126, 2018.
- [2] Ramyar, S., Liu, A.L., Chen, Y., "Power Market Model in Presence of Strategic Prosumers," IEEE Transactions on Power Systems 35, 898-908, 2020.
- [3] Bertolini, M., D'Alpaos, C., Moretto M., "Do Smart Grids boost investments in domestic PV plants? Evidence from the Italian electricity market", Energy 149, 890-902, 2018.