

# 卸電力取引所の創設がもたらす 電力供給プレミアムの評価

宮口 直也, 大野 高裕

電力の非貯蔵性という特徴から、電力の消費は同量の発電・送電・配電といった電力供給設備の使用を意味している。わが国でも日本卸電力取引所での電力取引が開始され電力の指標価格が形成されることとなった。これにより、これまでコストセンターであった発電設備をプロフィットセンターとして捉えていくことが可能となり、取引契約、投資・廃止評価等にあたり新たな可能性が高まっている。本稿では、これらについて考察を加えるとともに、将来時点の電力供給を約束する契約は発電設備の容量を予約することに相当するとの観点から、設備使用の権利に対するプレミアムの在り方について考察していく。

キーワード：電力自由化、容量価値、リアルオプション、金融工学

## 1. はじめに

わが国では卸電力取引所が設立され2005年4月より取引が開始されている。これにより、時々刻々と変化する需要に対応した電力価格が明らかとなった。取引市場である以上、価格形成には取引主体のテクニカルな要素も影響していることが予想され、必ずしもファンダメンタルな価格が形成されているとは言いがたい可能性もあるが、電力の価格形成は様々な面で電力産業に新たなマネジメントの可能性をもたらすといえよう。

電力産業の主な付加価値創造の源泉は発電設備であるが、複数の発電設備を持つ電気事業者にとって、個々の発電設備の経済性や採算性は十分に測定することができなかった。しかし、取引所での価格形成によって、これまで不明確であった発電設備に収益（売上）を想定することができるようになった。すなわち、これまでコストセンターとしてマネジメントされてきた発電設備を、プロフィットセンターとして捉えていくことができるようになった。これにより、発電設備に関して、資産価値の評価、投資採算性の評価、電力取引契約の多様なデザイン立案等、様々な可能性が高まっている。

本稿では、電気事業の特徴を概観し、その上で卸電

力取引所で形成される価格に基づき発電設備の価値評価が可能であることを示し、その価値評価手法が電力取引契約や発電設備の投資・廃止評価にもたらす新たな可能性について考察を加える。

## 2. 電気事業の特徴

### 2.1 電気の特徴

電気は貯めることができずその特質は非貯蔵性と呼ばれる。電気の発生と消費は同時に行われることから同時同量と呼ばれることもある。非貯蔵性という特質から電気事業者は需要の変化に対応し任意の発電設備の出力を需要に追従させている。同時同量が達成されない場合、周波数や電圧が変動し電気の品質が損なわれることとなる。

この一般の財とは異なる電気の非貯蔵性という特質は電気の消費に関してさらに特徴的な理解をもたらす。それは、電気の消費は同時に同量の設備を使用しているという点である。すなわち、一定量の電気の消費はその時点で同量の設備を利用していることと同義であるといえる。

### 2.2 電力自由化と安定供給

電力供給に必要な発電、送電、配電などの設備は物理的制約からその使用可能上限である容量を持ち、安定供給を維持するためには需要の変動や設備の不測事象を考慮し、予備的な容量を確保する必要がある。

1880年代にベンチャービジネスとしてスタートした電気事業は、1995年の電気事業法の改正以降、段階的に自由化が進展している。経済成長の成熟化に伴

い電力需要の伸びも鈍化し、電力の安定供給ニーズの充足から、競争による一層の効率化の促進と電気料金水準の低下が期待されている。最終エネルギー消費に占める電力の割合である電力化率は1970年度の12.7%から2005年度には22.0%に達し[8]、電力自由化が進展する中においても「安定供給」の重要性は増しているといえる。

穴山[6]は「安定供給」を、①需要をまかなうに足りる適正な供給力の確保、②供給信頼度の確保、③価格水準および動向の安定性、がすべて満たされた状態としている。電力の安定供給を考えた場合、一義的には供給力の確保、すなわち、発電・送電・配電に関わる一連の容量を確保することが重要となる。これは、設備投資問題であり、電力産業において最も重要な戦略は、設備をどのように構築していくかであるといえよう。

設備投資の判断にあたっては費用構造とともに将来のキャッシュフローの予測が重要となる。電力自由化環境においては、需要家ニーズに基づく商品の多様性、カスタマイズされた電力供給契約のデザインが重要性を増してくることが想定されることから、事業者と需要家間の契約のあり方も多様性を増してくることが予想される。安定供給のために必要な設備容量を確保しつつ、保有に伴い発生するコストの回収に向けてどのような形でキャッシュフローを組成していくのかについて、新たな考え方が求められているのである。

### 3. 卸電力取引所の創設とその効果

#### 3.1 日本卸電力取引所の創設

日本でも卸電力取引所が設立され2005年4月より取引が開始されている。卸電力取引所の設立目的として、①事業者の電源開発投資のリスク判断の一助となる指標価格の形成、②事業者の需給ミスマッチの際の電力の販売・調達手段の充実、が挙げられている。

卸電力取引所では「一日前スポット市場」、「先渡し定型市場」、「掲示板市場」が準備されており、主に「一日前スポット市場」で取引が行われている。一日前スポット市場の約定方式は、翌日の電力を30分単位に48商品に分け、取引参加者から売買価格・売買量の入札を積み上げ、供給曲線と需要曲線を組成しその交点を売買価格・量とするシングルプライスオークション方式が採用されている。

このような方式により1日48時点の卸電力価格が形成されるようになった。ここで、取引所設立の目的

である「事業者の電源開発投資のリスク判断の一助となる指標価格の形成」とは具体的にどのような影響を及ぼすものなのか発電事業者の立場から考えていきたい。

#### 3.2 発電設備のプロフィットセンター化

電力会社では需要をまかなうべく複数の発電設備を保有し、需要の変動に合わせてコストの安い順番に発電設備を稼働している。発電された電力はその同質性からどの発電所で発電された電気がどこで消費されているかは正確に特定することはできない。よって、発電設備は発電し、その電力を販売してはいるが、どの程度の収益を上げているのかを把握することは困難であった。このため、発電設備は費用のみが発生するコストセンターとしてマネジメントされており、発電設備の経済性を考察する場合は概して利益の観点ではなく、発電原価<sup>1</sup>など費用の観点から行われてきた。

電力会社の主な付加価値の源泉は発電設備である。複数の発電設備を持つ電気事業者にとって、個々の発電設備の経済性や採算性は十分に測定することが困難であった。しかし、卸電力取引所での価格形成によって、これまで不明確であった発電設備に仮想的ではあるものの収益を想定することができるようになった。すなわち、これまでコストセンターとしてマネジメントされてきた発電設備をプロフィットセンターとして捉えていくことができるようになったのである。これにより、発電設備に関して、例えば、資産価値の評価、投資採算性の評価、電力取引契約の多様なデザイン立案等、様々な可能性が高まっている。

### 4. 設備容量の取引事例

電気の非貯蔵性という特質から、電気の消費はその時点で同量の設備を利用していることと同義であり、発電事業の価値の源泉は設備容量である。容量に価値があることに基づき発電設備や送電設備に関する容量の取引も多様性を増している。米国の電力取引所であるPJM<sup>2</sup>では小売事業者に発電容量確保の義務を課しているが、それが満たせない場合のために発電設備の容量をクレジットとして取引する設備容量市場が存在する。また、送電線の混雑料金の一部を受け取れる

<sup>1</sup> 発電原価とは一定の操業規模下での総費用を発生した電力量で除した値のこと。平均費用に相当する。

<sup>2</sup> 米国の卸電力取引所。ペンシルバニア、ニュージャージー、メリーランド等の電力会社が取引を行っている世界最大の市場である。

権利である送電権が取引されている。フランス等では仮想発電設備 (VPP: Virtual Power Plant) として、発電設備を有する電力会社の発電設備の一定容量を一定期間にわたり利用する権利を競売する手法が存在する。Eydeland and Krzysztof[3]は、トーリング契約<sup>3</sup>を最も人気の高い取引形態として紹介している。

わが国でも、接続供給契約として電力会社が特定規模電気事業者のバックアップを行う契約が存在する。

電力の需要は経済状況や天候等に大きな影響を受け、一般に非常に不確実である。このような需要の不確実性に対応していくためにはあらかじめ容量を確保することが必要であり、これまで商品と考えられてきた電気そのもののみならず、容量をどのようにキャッシュ化していくかという点は今後の電力産業にとって重要な戦略と成り得る。

## 5. 発電設備容量の価値評価の考え方

電力自由化の進展とともに世界各地でいくつかの電力取引所が創設されてきた。それとともに、この取引所での価格に基づき火力発電設備の容量の価値評価を行う研究が進展している。Deng et al.[4]等では電力価格と燃料価格の差であるスパークスプレッドに基づく発電設備の容量の価値評価の手法を示している。ここでは、これら発電設備をコールオプションと見なし評価する手法の考え方を見ていく。

電力市場の創設とともに電力価格がシグナルとなった。これにより、火力発電設備の保有者は電力価格が燃料価格を上回ったときには設備を稼動し利益を得ると同時に、電力価格が燃料価格を下回ったときには設備を停止するという運転上の柔軟性を保有する。よって、 $t$ 時点の発電設備のペイオフ  $\pi(t)$  は、電力価格を  $P(t)$ 、燃料価格<sup>4</sup> を  $K$  として、

$$\pi(t) = \max(P(t) - K, 0) \quad (5.1)$$

と表すことができる。これは金融工学におけるコールオプションのペイオフであることに気がつく。よって、評価時点  $T$  における発電設備のペイオフの期待値で

<sup>3</sup> トーリング契約 (Tolling Agreements) とは発電設備の容量の予約に対しあらかじめキャパシティペイメントと呼ばれるプレミアムを支払うことで、いつでも電力が必要な時点でその設備を稼動し電力を得ることができる権利を手に入れる契約である。設備を稼動して電力を受け取った場合は、電力発生にかかった変動費を別途支払う必要がある。この契約は発電設備のリース契約と解釈することができる。

<sup>4</sup> 燃料価格  $K$  は燃料単価 [円/kJ] と発電設備のヒートレート [kJ/kWh] の積として求めることができる。

あるオプションプレミアム  $C(t, T)$  は、電力価格が幾何ブラウン運動過程に従うと仮定すると Black and Scholes[1]より次式のとおり算出される。

$$C(t, T) = P_0 N(x_1) - Ke^{-r(T-t)} N(x_2) \quad (5.2)$$

ただし、 $P(0) = P_0$ 、 $r$  は無リスク金利、 $N(\cdot)$  は標準正規分布の累積確率密度関数、

$$x_1 = \frac{\ln(P_0/K) + (r + \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$x_2 = x_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

である<sup>5</sup>。

このような考え方から、発電設備の保有者は電力価格を原資産、燃料価格を権利行使価格とするコールオプションを保有していると考えられる。すなわち火力発電設備を保有しているということはコールオプションを保有していることと同義であると考えられることができ、このコールオプションの価値を評価することで発電設備容量の価値評価が可能となる。

このコールオプションの価値とは、評価する発電設備がある時点で電力取引所から得られる利益の期待値となっている。したがって、電力取引市場の創設により、発電設備のある時点で得られるであろう利益の期待値を評価することができるようになったといえる。

類似の研究も様々な拡張を見せている。Clewlow and Strickland[2]は電力価格だけでなく、コンビニエンスイールドや金利に不確実性を考慮した価値評価の手法を提案している。また、Deng and Xia[5]は設備の特徴である起動コスト等の運転上の制約を考慮したトーリング契約のプレミアム、すなわち、発電設備の利用権の価値評価の方法を提案している。起動コスト等を考慮する場合、経路依存型となることから評価はより煩雑になる。

これらの手法は、金融オプションの手法を実物資産の評価へと拡張して用いられていることからリアル・オプションアプローチと呼ばれる。

## 6. 発電設備容量価値の活用

### 6.1 電力供給契約のプレミアム評価

発電設備をコールオプションと捉え、発電設備の容量そのものが価値の源泉であるという考え方は、重要

<sup>5</sup> 電力価格を原資産とするデリバティブの評価では、電気は貯めておくことができないという性質からダイナミックポートフォリオの構築が困難であり、電力先物価格によりオプション価値を評価することが多い。本稿では単純化のため電力価格 (現物価格) を原資産と想定している。

なパラダイムシフトをもたらす。電気の非貯蔵性という特徴から電気の消費は同時に設備の使用を意味している。電力取引契約において将来時点で電力の供給を約束する行為は、将来時点の発電設備を予約する行為と考えられる。電力取引の契約は概ね契約容量に対する基本料金と従量料金から成っている。これまで固定費回収の一部と考えられてきた基本料金は、発電設備の容量の予約に対するプレミアムであるとの考え方へ、パラダイムシフトを要求されることとなる。電力取引契約においては電力の取引そのもののみならず、電力の供給を受ける権利に価値があるといえる。

プレミアムがコールオプションの価値として算出できる理由を改めて確認しよう。コールオプションの価値とは将来のある時点における卸電力価格と燃料価格との差の期待値、つまり、利益の期待値となっている。当該発電設備は小売事業者と電力供給の約束をしている場合、その約束をしている小売事業者のために発電容量を使わずに空けておくこととなる。しかし、そこで必ずしも小売事業者の需要があるとは限らない場合、その時点で需要が無ければ発電事業者の収入はないこととなる。一方、約束をせず状況に応じて電力市場で電力を販売していれば、電力価格と燃料価格の差分だけ利益を得ることができたはずである。小売事業者は将来のある時点において電力の供給を受けるかもしれない約束をすとなれば、発電設備が市場取引で得られるであろう利益分はあらかじめ支払っておくことが妥当な契約と考えられる。これが基本料金としてのプレミアムに相当することとなる。

ある時点での需要がほとんど確実に取引量が確定的な場合、このようなプレミアムの支払いの必要性は高いとはいえない。取引量が確定的なため発電事業者はその小売事業者のために必要以上の発電容量を空けておく必要がなく、想定される取引量に一定の固定費回収分を織り込むことが可能なためである。よって、電力供給の契約においてプレミアムの支払いの重要性が高い契約は、特に需要の不確実性が高く結果としてどの程度の取引量となるかが分かりにくい契約の場合等である。

## 6.2 相対取引価格の評価

宮口ら[9]は卸電力価格に基づく発電容量の価値を参照した相対取引契約価格の評価モデルを示している。

ここでの相対契約とは将来のある時点であらかじめ定められた相対取引価格で電力を取引する先渡し契約である。この先渡しの価格はどのような水準が妥当な

のかを本手法では提供している。

将来の取引時点  $T$  におけるペイオフ  $\pi$  は相対取引価格を  $F$  として  $\pi = F - K$  となる。したがって、 $t$  時点における取引時点の利益の価値  $f(t, T)$  は、

$$f(t, T) = e^{-r(T-t)}[F - K] \quad (6.1)$$

となる。発電設備は市場取引を前提に前述のコールオプションにより求められる価値  $C(t, T)$  を既に持っている。その発電容量を相対取引契約で活用すれば  $f(t, T)$  の価値を得る。よって、発電設備の保有者は、

$$f(t, T) \geq C(t, T) \quad (6.2)$$

となる相対契約でなければ市場取引を行った方が価値が高いこととなる。そこで、 $f(t, T) = C(t, T)$  となる  $F$  を  $F^*$  とすれば、

$$F^* = e^{r(T-t)}C(t, T) + K \quad (6.3)$$

となる。(6.3)式による  $F^*$  は相対取引が成立する価格の最小値を示しており、電力を発電すれば必ずかかる費用である燃料費  $K$  に市場より得られるであろう利益の期待値であるオプションプレミアムを加えた価格となっており、相対取引価格契約時の指標として活用することができる。

この考え方により、電力価格のボラティリティーが高くなるほど先渡し価格が高くなること、先渡し時点が遠いほど先渡し価格が高くなること、燃料費の高い発電設備ほど卸電力取引所への依存傾向を高めることなどの事象を説明することが可能となっている。

## 6.3 発電設備マネジメント指標としての活用

発電設備をコールオプションとして捉える考え方は稼働率の低い火力発電設備に対する評価のあり方に関する問題にも影響を及ぼす。電力産業では供給信頼度の観点から電力の最大需要に一定の予備的容量を見込み設備形成を行い、その設備形成の費用最小化を目的として経営を行ってきた。費用最小化の観点から予備的な設備は状況が健全であるほどスラックと捉えられ、常に効率化圧力が働く存在となっていることが予想される。しかし、不測の設備トラブル等の発生により状況に応じて必要となる可能性は常にゼロではない。その可能性は市場価格のボラティリティーとしてモデルに織り込まれる。

伝統的な手法としてDCF法等により一定のシナリオ下で設備価値の評価を行う場合、例えば、電力価格が10[円/kWh]で燃料価格も10[円/kWh]であればその設備に投資されることはない、あるいは既存の設備であれば直ちに廃棄されることとなろう。しかし、電力価格に不確実性が存在するにも関わらず、伝統的な

静的シナリオで評価した場合、経営判断を誤ることになる可能性がある。

具体的計算例を示して説明する。既設の火力発電設備の評価を行うこととしよう。卸電力市場における現在の電力価格が  $P_0=10$  [円/kWh] である。この設備の燃料費も同様に  $K=10$  [円/kWh] である。無リスク金利が  $r=0.02$  であり、この設備の単位容量あたりの運転維持費用は1年で  $10,000$  [円/kW・年] である。

評価期間  $T^*$  にわたるオプションの集合を  $V(t, T)$  とすると、

$$V(t, T^*) = \int_t^{T^*} C(t, s) ds \quad (6.4)$$

と表すことができる。以上の条件により  $V(t, T)$  を算出<sup>6</sup> すると図1の結果を得る。

本結果より電力価格のボラティリティーが42%程度のところで評価期間のオプション価値の総和  $V$  が運転維持費である1万円を超えている。よって、卸電力取引市場で観察されるボラティリティーや不測事象を織り込んだボラティリティーが42%程度を超える場合、この設備は維持することが経済的であるとの結論に至ることとなる。伝統的・静的な分析では価値のない設備との評価に至るが異なる結果を得ることとなった。

この事例に示すとおり費用最小化から採算性確保へと観点を移せば、短期的にはスラックと考えられる発電設備の中には、採算性が成立している場合が見込まれる。電力取引所での卸電力価格に基づき発電容量の価値評価を行い、その価値が固定費を上回る場合、その設備を保有し続けることの意義は十分との判断に至る場合も出てくるであろう。

## 7. おわりに

電力産業は設備産業であり、設備を維持する費用、すなわち固定費の水準が高いという特徴を持つ。このため、利益の出る売上高水準が高くなるとともに、販売電力量の増加に伴い平均費用が著しく低下する、すなわち、規模の経済性が強く働く費用逓減産業である。このことから、一定のスケールを確保することが事業遂行にあたり効率的であると認識されてきた。このことから、フロー面における電力産業の経営戦略とは固定費回収の戦略といっても過言ではない。

<sup>6</sup> 取引は1時間毎に実施されると想定し(6.1)式を離散化し1年間8,760時間分のオプションプレミアムを足し上げている。

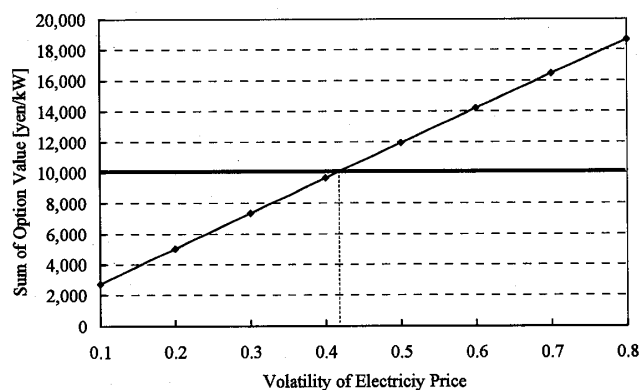


図1 容量価値とボラティリティー

発電設備や送電設備のキャパシティーはコールオプションとして評価することができ、現実に全く稼働しなかった、すなわち、オプションを権利行使しなかったとしてもそのオプションには価値がある。電力需要の伸びが鈍化する中、さらなる効率化が期待される昨今の電力産業において、キャパシティーを適正に評価すること、あるいはキャパシティーの適正な価値に基づきキャッシュフローを組成することは、電力産業の普遍的使命である安定供給の継続とともに、経営安定化に関わる重要な取り組みとして必要性を増しているといえよう。

本稿では発電事業者と小売事業者間の電力取引契約を想定し、容量をコールオプションとして捉え発電事業者が容量を商品としていくことを提唱している。火力発電設備の保有者が燃料を既に入手している場合、電力を保有していることと同等である。その上で発電設備の使用権を売ることは、原資産を保有した上でコールオプションを販売することに相当し、金融取引ではカバードコールと呼ばれる一般的な取引手法である。

容量をコールオプションと捉える考え方は小売事業者と送電事業者との契約への拡張の可能性が高い。送電設備は発電設備以上に固定費の割合が高く、将来時点において送電設備を利用することができる権利を保有することに対するプレミアムは発電事業以上に大きいことが予想される。

戒能[7]は2005~2006年の日本卸電力取引所では極めて買い手優位な環境となり、売り手側の固定費が65%程度しか回収されていなかったと分析している。市場価格を参照し戦略を構築していくためには、市場価格が十分に固定費を回収する水準、あるいは平均費用を上回る水準となっていることが前提であることは留意すべき点である。

電力産業における根本的リスクは需要の不確実性である。需要のピークに対して設備を準備する必要があることから、需要の不確実性が高いことは電力産業の効率性を阻害する主な要因の一つとなっている。産業の根本的な効率性を向上していくためには需要の安定性が高まることが必要となる。需要の安定性が高まることで市場価格の変動も小さくなり、長期的視点で電力産業の効率化が進展することは社会厚生向上にとって有益なことといえる。

電力産業やその取引主体となるプレイヤーは、電気そのもののみならず“容量”の価値を適切に評価しフェアな価格で取引することにより、産業全体の効率化を促進していくことが必要である。

実体経済の産業には、概して金融的手法を受け入れることへのハードルが高いというカルチャーが存在するように感じる。しかし、電力産業にとって努力の結果として構築してきた“容量”を相当に評価しフェアな契約を推進していくことは、取引主体共通の利益となることは間違いない。

電力自由化の進展によりさらなる効率化圧力の働く電力産業にとって、安定供給に向けて適切な設備容量を確保しつつ、その固定費的支出の回収を進めていくためには、ファイナンスサイドではなく事業サイドから、これら金融的手法を導入し多様な商品を準備していくことは、挑戦すべき取組みの一つとして検討されるに値するのではないだろうか。

## 参考文献

- [1] F. Black and M. S. Scholes (1973) : “The pricing of options and corporate liabilities,” *Journal of Political Economy*, 81, 637-654.
- [2] L. Clewlow and C. Strickland (2000) : “Energy Derivatives: Pricing and Risk Management,” Lacima Publications.
- [3] A. Eydeland and K. Krzysztof (2003) : “Energy and Power Risk Management,” John Wiley & Sons, Inc.
- [4] S. J. Deng, B. Johnson and A. Sogomonian (2001) : “Exotic Electricity Options and the Valuation of Electricity Generation and Transmission Assets,” *Decision Support Systems*, (30) 3, 383-392.
- [5] S. J. Deng and Z. Xia (2006) : “A Real Options Approach for Pricing Electricity Tolling Agreements,” *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol. 5, No. 3, 421-436.
- [6] 穴山悌三 (2005) : 電力産業の経済学, NTT 出版.
- [7] 戒能一成 (2007) : 最適電源構成モデルを用いた卸電力取引市場の経済厚生の評価分析, RIETI Discussion Paper Series 07-J-044.
- [8] 資源エネルギー庁 (2008) : 平成 18 年度エネルギーに関する年次報告書 (エネルギー白書 2007).
- [9] 宮口直也・後藤允・大野高裕 (2004) : 火力発電設備の容量価値に基づく電力相対取引価格の評価, *日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集*, 68-69.