

# オプション型金融的送電権の価格に関する予備的考察 —欧州の取引データの観察—

Note on Pricing Financial Transmission Rights Options:  
Observation of Auction Cleared Prices in Europe

キーワード：金融的送電権，オプション，間接オークション

## 服 部 徹

わが国で導入される間接送電権は、欧米でも活用されている金融的送電権（FTR）をモデルとしている。FTRにはオプション型とオプション型があり、わが国の間接送電権は、保有者がエリア間の卸電力価格の値差の変化に応じて、過不足を精算するオプション型である。一方、欧州のFTRは、保有者が値差に基づく収入を受け取る権利で、値差がマイナスに転じてもそれを支払う義務を負わないオプション型が主流である。金融オプションの理論によれば、オプション型のFTRの価格は、オプション型よりも高くなる可能性があり、エリア間の値差の期待値がゼロ以下であっても、一定の価格がつく。本研究ノートでは、欧州で実際に取引されているオプション型のFTRの価格データを分析し、先物価格で予想される値差の期待値が小さい時には、約定価格が概ね理論的に予想される範囲もしくはその近辺にあることを確認した。

- |                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| 1. はじめに           | 4. 欧州のオプション型 FTR の価格の観察 |
| 2. オプション型の金融的送電権  | 5. まとめ                  |
| 3. 交換オプションによる価値評価 |                         |

### 1. はじめに

わが国では、間接的オークションの導入に伴い、エリア間の値差が発生するリスクへの対応として、「間接送電権」が導入されることになっている。間接送電権は、欧米で利用されている金融的送電権（Financial Transmission Rights, FTR）を参考にして制度設計がなされている。FTRは、エリア間の値差を原資産とするデリバティブとみなすことができる。

わが国で導入される間接送電権は、いわゆる「オプション型」と呼ばれるもので、エリア間の値差を固定する契約である。つまり、値差が変化した場合に過不足を精算する契約である。しかし、海外のFTRには「オプション型」と呼ばれるものがある。これはエリア間の値差が期待と逆方向となった場合には、その値差を支払う必要

がなく、収入を得るだけの契約である。欧州では、市場参加者の利便性を考慮して、オプション型のFTRの導入が進んでいる（服部他, 2019）。オプション型のFTRの価格は、値差の変化による収入を得る権利の対価となり、その対価としていくらが適正なのかについては、金融工学におけるオプション理論を応用して考えることが必要となる。

本研究ノートでは、オプション型のFTRの価格の考え方について、オプション理論を用いて説明し、その観点から、実際に欧州で取引されているオプション型のFTRの約定価格のデータを観察する。

## 2. オプション型の金融的送電権

オプション型の金融的送電権とは、エリア間の値差の変化に対するリスク管理の手段の一つである。これは、エリア間値差を原資産とするコールオプション（買う権利）と見ることができ、Locational Spread Optionとも呼ばれる。

例えば、連系線で結ばれた2つのエリア、AとBを考え、それぞれのエリアにおける卸電力価格を $P_A$ と $P_B$ とする。間接オークションの下では、連系線の容量に制約がなければ、2つの価格は同じとなり、値差は発生しない。しかし、送電混雑が発生し、エリア間で値差が発生する場合、エリアAからエリアBに送電する相対取引であっても、間接オークションの下では取引所を介して取引が行われることになるため、値差のリスクに晒されることになる。ここで、発電事業者がエリアAで発電し、小売事業者がエリアBで購入する状況において、エリア間の値差の期待値は0と仮定して、FTR保有者（例えば発電事業者）の損益を考えてみる。この時、オプション型のFTRの保有者は値差が正の値をとる時、すなわち、 $P_B - P_A > 0$ の時は権利を行使して、その値差 $P_B - P_A$ を受け取ることができる。この時に値差が受け取れるのはオプション型も同じである。しかし、逆に、その値差が負の値をとる場合には、オプションを行使しなければよく、損失は発生しない。このような、エリア間の値差に伴うオプション型のペイオフ（損益）を図示したのが図1である。

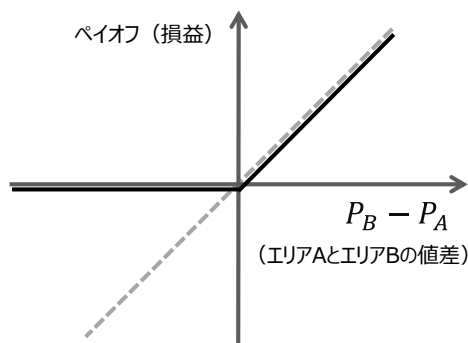


図1 FTRの保有者のペイオフ

オプション型の場合には、図の点線が示すように、その値差分の支払いが発生するが、オプション型の場合はそのような支払いが発生しないということである。したがって、オプション型のFTRの保有者の損益は、以下のように表すことができる。

$$\text{Max}(P_B - P_A, 0)$$

しかし、このようなオプションを新たに契約しようとしても、契約する相手にとっては支払い義務を負うだけとなるため、その対価（プレミアム）を与えなければ契約は成立しないと考えられる。したがって、オプションを保有することによる損益は、最終的には、プレミアム分を差し引いたものとなるが、値差が逆方向に大きく変化したとしても、損失はプレミアム分に抑えられるということを意味する。

このような権利の対価としてのオプションのプレミアム、すなわちオプションの価値をどう決めるかは難しく、簡単には求められないものとされてきたが、オプション価格理論の発展により、その適正価格は、一定の仮定の下、いくつかの条件に依存して決まることが知られるようになってきた。

## 3. 交換オプションによる価値評価

FTRのような、2つのエリアの価格の差を原資産とするオプションの価値評価には、「交換オプション」のモデルを用いることができる。交換オプションとは、満期日に、ある資産を別の資産と交換する権利を付与するオプションである。満期日のみ行使できるオプションは、ヨーロピアンタイプのオプションと呼ばれている<sup>1</sup>。

このような、ヨーロピアンタイプの交換オプションの価値の解析解を得る評価式は、Margrabe

<sup>1</sup> 満期日までにいつでも行使できるオプションはアメリカンタイプのオプションと呼ばれる。

(1978)によって導出されている<sup>2</sup>。これを応用し、将来の、例えば、1年あるいは1カ月先の先物価格 ( $F_A$ と $F_B$ ) の値差を原資産とするオプションの評価式は、以下のように定式化されることが知られている (Aid, 2015)。

$$C = e^{-rT}[F_A N(d_1) - F_B N(d_2)]$$

$$d_1 = \frac{\ln(F_A/F_B) + \frac{1}{2}\sigma^2 T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 - 2\rho\sigma_A\sigma_B}$$

ただし、 $\sigma_A$ および $\sigma_B$ は、それぞれエリアAとエリアBの先物価格のボラティリティである。また、 $\rho$ は2つのエリアの価格の相関係数で、 $r$ は無リスク利子率、 $T$ はオプションの満期までの期間である。さらに、 $\ln(x)$ は自然対数、 $N(x)$ は標準正規分布の累積密度関数である。この評価式は、価格がそれぞれ幾何ブラウン運動に従うと仮定している。また、ボラティリティや相関係数は期間中一定と仮定している<sup>3</sup>。

この式に基づいて計算すると、オプション型のFTRの価値は、期待されるエリア間の値差が大きいくほど高くなるが、その他の要因によっても変化しうることが分かる。例えば、ボラティリティが大きいくほど高くなり、2つのエリアの価格の相関係数が小さいほど高くなり、満期までの期間が長いほど高くなる、といったことがわかる。

なお、オプションの価値のうち、オプションを行使することで得られる原資産の価値、すなわち、

<sup>2</sup> ここでは、式の導出については省略するが、基本的には、コール・オプションの価値を評価するブラック・ショールズ式を拡張して、2つの先物の相対価格を原資産とし、行使価格を0とした場合の評価式である。

<sup>3</sup> 価格のスパイクなどを考慮する場合には、モンテカルロシミュレーションを行って評価する必要がある。Rosenberg, et al. (2010)を参照。また、スポット価格への適用を念頭に、間接オプションによって生じる値差の変動の特徴を踏まえたモデル化の試みについては、Mahringer, et al. (2015)を参照。

FTRの場合にはエリア間の値差に相当する部分は、「本源的価値」という。これに、原資産の価値の変動に応じて行使するかどうかを自由に決められるという、権利としての価値である「時間的価値」が加わる。

ここで、現在エリア間の値差がなく、それぞれのエリアの価格の月次のボラティリティが30%、相関係数が0.9、無リスク利子率1% (年) で、行使期間1カ月のオプションの価値をエリア間の値差との関係で示したのが図2である。これは、通常のコール・オプションにも当てはまることだが、オプションの価値は、原資産の価値を上回り、また、決して0より小さくはならない。

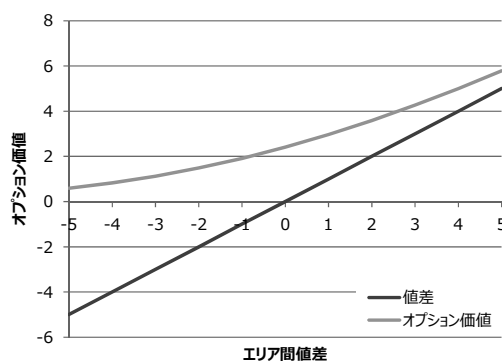
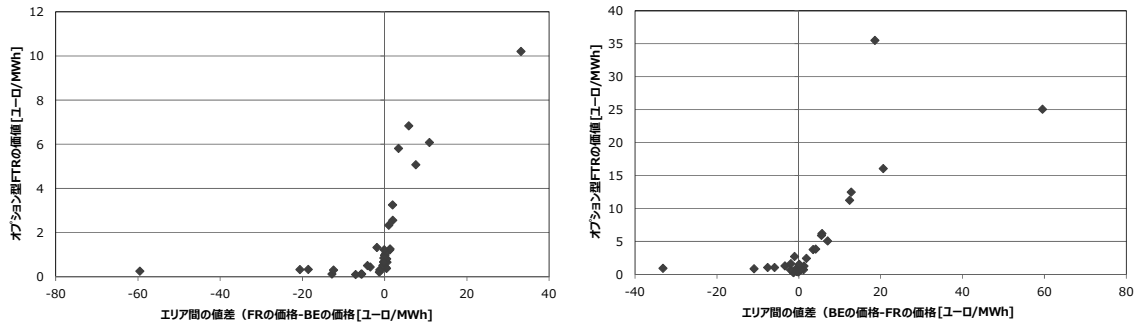


図2 エリア間値差とオプション価値の関係

原資産、すなわち、エリア間の値差が0であっても、オプションの価値は0にはならない。その場合は、オプションを持つ、いわゆる「時間的価値」が大きくなる。現時点での先物価格の値差がゼロであっても、価格が変動する限り、受渡期間中の値差がプラスになる可能性もマイナスになる可能性もあり、オプションを持つことのメリットも大きいのである。逆に値差が明らかに大きな値をとる場合には、オプションの価値は、ほぼその値差、すなわち原資産の価値 (本源的価値) で決まると考えられる。オプションの保有者が権利を行使することがほぼ確実で、その場合に得られる値差収入だからである。



(左がベルギー[BE]からフランス[FR]方向, 右がフランスからベルギー方向)  
出所: JAOウェブサイトおよびBloombergより作成

図3 エリア間値差(先物)とFTRの約定価格の関係

#### 4. 欧州のオプション型FTRの価格の観察

ここでは、交換オプションの価値評価式を用いて、欧州でオプション型のFTRを導入しているベルギーとフランス間のFTRの約定価格の説明を試みる。ベルギーとフランスの間では、2016年以降を対象期間とする年間と月間のオプション型のFTRの取引が2015年から行われている<sup>4</sup>。FTRの売り手は送電系統運用者(Transmission System Operator, TSO)で、提供されたFTRは、Joint Allocation Office (JAO) と呼ばれる共通プラットフォームにおける定期的なオークションで取引されている。以下では、月間のFTRの3年分のデータを観察する<sup>5</sup>。

まず、FTRの約定価格と、それぞれのオークションが行われた前日のベルギーとフランスの卸電力の先物価格、具体的には、デリバティブ取引を行う欧州エネルギー取引所(European Energy Exchange, EEX)に上場されている1か月先の月間のベースロード先物価格を用いて計算した値差との関係を示したのが図3である。両国間の値差(横軸上)を見ると、平均的には小さいものの、時折、大きく変動していることが分かる。

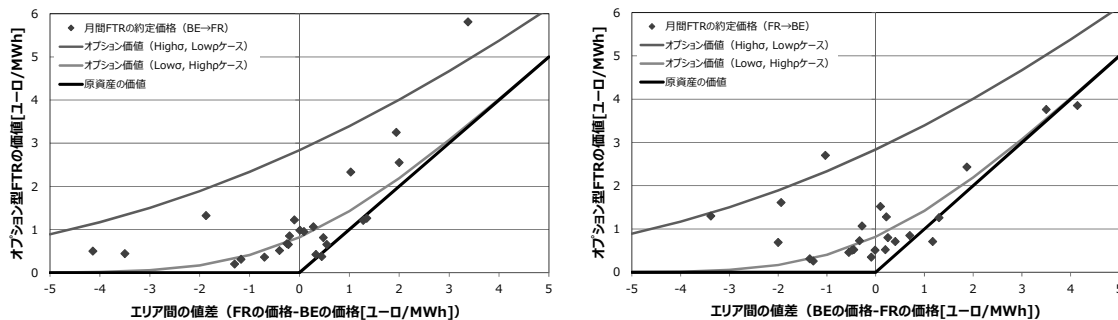
FTRの約定価格については、先物価格で見た値差が負の値をとっていても、理論が示唆するように0より大きい値をとっていることが分かる。反対に、値差が大きな正の値をとるときには、FTRの約定価格も大きくなっている。ただし、そのような場合、理論上は原資産である値差に近い値になるべきところ、実際には値差を大きく上回っていたり、下回っていたりする。

ここで、値差が0近辺の時にデータが集中しているため、値差が-5ユーロ/MWhから+5ユーロ/MWhの範囲に注目し、オプション理論で予想される価格を当てはめてみたのが図4である。

Margrabe式を用いたオプション価値の計算にあたっては、過去のデータから、両国の先物価格を46ユーロ/MWhとして、発電側の先物価格を変化させている<sup>6</sup>。また、先物価格のボラティリティ(月次)は、過去のデータから、取引される時期にもよるが、両国ともおおよそ10%から20%であった。また、両国の卸電力価格の相関係数は、サンプル期間を通じて約0.7であったが、値差が比較的小さかったサンプル期間の前半では約0.9であ

<sup>6</sup> 両国の分析対象期間の平均的な価格に基づいて設定した。なお、評価式から明らかとなっており、値差が同じでも、例えば、2つのエリアの先物価格が45ユーロと50ユーロで5ユーロの値差があるときのオプション価値と、100ユーロと105ユーロで5ユーロの値差があるときのオプション価値は異なる。

<sup>4</sup> 欧州のFTRの導入の経緯等については、服部他(2019)を参照。  
<sup>5</sup> 約定価格のデータはJAOのウェブサイトから入手した。



(左がベルギー[BE]からフランス[FR]方向, 右がフランスからベルギー方向)

図4 エリア間値差（先物）が比較的小さい時の値差とFTRの約定価格の関係

った。そこで、両国ともに卸電力価格のボラティリティが10%で相関係数が0.9のケースを“Low $\sigma$ , Highケース”, 両国の卸電力価格のボラティリティが20%で、相関係数が0.7のケースを“High $\sigma$ , Lowp”ケースとして、両者を示している<sup>7</sup>。その他、利子率は年率で1%とし、満期までの期間を1カ月とした。

図4から、値差の期待値が小さいと仮定した時のFTRの約定価格は、“Low $\sigma$ , Highp”ケースを下回るケースがやや多くみられるが、概ね、オプション価格の理論値の近辺で決まっていることがわかる。もちろん、実際には、市場参加者で共有されているボラティリティの大きさや相関係数などがオークションごとに異なっていて、それが誤差を生じさせている可能性もある。

なお、FTRは必ず売り手 (TSO) が存在し、売り手はオークションに供給量のみを提示する。これは、通常の金融市場とは異なるが、こうした制度の特徴が、オプションの価値に違いをもたらすのかどうかについては今後検討する余地がある。

## 5. まとめ

本研究ノートでは、オプション型のFTRの価格が、交換オプションの価値評価式で評価しうることを紹介した上で、実際に取引されている欧州のオプション型のFTRの価格の説明を試みた。

オプション型のFTRは、その保有者にとって、値差の符号が期待していた方向と逆転したとしても、支払い義務を負わなくて済むという利点がある一方で、その利点ゆえに、FTRの価格自体が高めになる可能性がある。また、その価格評価式は複雑である。現実にとり交されている欧州のFTRの価格は、原資産である先物価格の値差がプラスの方向に大きく変動した場合には、基本的なオプション理論で計算される価値とは乖離が生じるが、値差が負の値になっても、FTRの約定価格が0より大きい値をとっていることは、オプション理論により説明が可能である。また、値差が0に近い状態においては、FTRの約定価格はオプション理論で計算される値と近くなり、その値差との関係も、概ね理論で予想される範囲となることが示された。

今回は、あくまで予備的な分析であり、パラメータを個別のオークションごとに設定して、約定価格の実績値と理論値の関係を詳細に分析することは今後の課題である。

<sup>7</sup> 他の2つの組み合わせは、この2つのケースの間に含まれるため図では示さない。

#### 【参考文献】

- [1] Aïd, R. (2015). *Electricity Derivatives*, Springer Briefs in Quantitative Finance.
- [2] Mahringer, S., R. Füss, and M. Prokopczuk (2015). “Electricity Market Coupling and the Pricing of Transmission Rights: An Option-Based Approach,” Working Paper on Finance No. 2015/12, School of Finance, University of St.Gallen.
- [3] Margrabe, W. (1978). “The Value of an Option to Exchange One Asset for Another,” *Journal of Finance*, 33 (1), 177-186.
- [4] Rosenberg, M., J.D. Bryngelson, M. Baron, and A.D. Papalexopoulos (2010). “Transmission Valuation Analysis based on Real Options with Price Spikes,” in Rebennack, S. et al. (eds.) *Handbook of Power Systems II, Energy Systems*, Springer-Verlag.
- [5] 服部徹・古澤健・星野光(2019). 「欧州の金融的送電権の導入と運用に関する経済的課題」電力中央研究所報告 Y18001

服部 徹 (はっとり とおる)

電力中央研究所 社会経済研究所