

論文

電力デリバティブの研究

—電力取引に随伴するリスクのヘッジ戦略—

可 見 滋

はじめに

第1章 電力デリバティブの機能と特徴

1. 電力デリバティブの必要性
2. 電力の特性と電力価格
3. 電力デリバティブの種類
4. エネルギーデリバティブの価格付け
5. 気温と電力産業のリスクマネジメント

第2章 先物取引

1. 先物取引の必要性和現物市場の流動性
2. 各国の先物取引
3. 先物取引の種類
4. 先物取引の標準化とその狙い
5. 先物取引のフレームワークと損益
6. 先物市場の機能と取引の実際
7. 先物の理論価格
8. 電力の先渡し取引

第3章 オプション取引

1. オプション戦略
2. 経路依存型オプション
3. キャップ、フロア、カラー
4. コーラブル・プッタブル先渡し
5. スイングオプション
6. スパークスプレッド
7. トーリング契約
8. 二重トリガー電力オプション

第4章 スワップ取引

1. スワップ取引の機能
2. 電力スワップ取引の具体例
3. 電力スワップ取引の活用
4. ICEのスワップ取引
5. ベーシススワップ

第5章 グリーン電力証書

1. グリーン電力証書の概念
2. グリーン電力証書のメリット
3. グリーン電力証書のフレームワーク
4. グリーン電力の対象となり発電方式
5. RPS制度

第6章 電力市場の流動性—結びに代えて

1. 価格発見機能と流動性
2. 流動性の測定
3. 市場流動性の拡充に向けて

脚注

参考文献

はじめに

自由市場経済のもとにあつては、商品・サービス価格は基本的に需要・供給動向により決定される。電力もその埒外になく、電力取引の自由化により電力も基本的に需給がバランスした価格水準で取引が行われることになる。

しかし、電力が需要・供給の両面の要因で持つ特殊性から、電力価格のボラティリティは、一般のコモディティよりもはるかに大きくなる場面が生じることが予想される。

すなわち、電力は、需要面では、電力需要の価格弾力性の低さ、そして供給面では、発電能力に限界があることに加えて電力の非貯蔵性から電力需要の急速な増加に対して供給が対応できないことといった電力特有の需給の両要因が存在する。因みに、電力取引の自由化が進捗をみている米国等では、一時的に電力価格のボラティリティが急速に高まり、その後、短期間のうちにもとの水準に戻るスパイク現象が発生している。

たとえば、1996年6月に米国を襲った熱波は、冷房のための電力需要を急増させ、このため発電能力不足の電力会社は他の電力会社から高いコストを払っても電力を購入することを余儀なくされた。特に、電力不足がピークに達した6月24日には、それまで高値で推移していた電力価格がさらに大幅に跳ね上がり、この結果、電力量の不足を来した電力会社は想定外の高値での電力調達を行った。また、1999年の夏も、米国各地で猛暑となり、地域によっては電力価格が通常の数倍から数十倍に上昇した。

本稿では、こうした電力取引に伴伴するマーケットリスクをヘッジする手段として活用される電力デリバティブを中心に、分析・検討した。

## 第1章 電力デリバティブの機能と特徴

### 1. 電力デリバティブの必要性

電力取引の自由化の下では、電力の供給者も需要者も電力価格・量のリスク管理を的確に行い、各主体が最適な事業計画を策定して、効率的な電力供給・消費を行うことが強く求められることとなる。

この前提として、マーケットが先行きの電力価格の適正価格をアウトプットする価格発見機能が十分発揮できるよう、厚い流動性を形成できるインフラ整備を図る必要がある（横浜商大論集第48巻第1号掲載の電力取引の研究、参照）とともに、電力取引のリスク管理手段として、当事者のニーズを的確に汲み取ったスベックを持つ電力デリバティブのメニューを提供することが重要となる。

電力デリバティブは、農畜産物、金属、原油等のコモディティを原資産とするコモディティデリバティブや、株式、債券・金利、外国為替を原資産とする金融デリバティブで活用されているさまざまなツールを応用、適用することが可能である。

しかし、電力デリバティブは、他の商品を対象とするデリバティブにはない特徴を持っている。

第1に、電力は、他の商品と違い貯蔵が困難である性格（non-storable nature）を持っている。この特徴により電力デリバティブのプライシングは、一般のコモディティデリバティブで伝統的に活用されている裁定理論を適用できないこととなり、別途、プライシングについての手法を案出する必要がある。

すなわち、一般のコモディティでは、現物の保管コストを勘案した無裁定理論を土台とするキャッシュ・

アンド・キャリーモデルを使って先物の理論価格を導出することが可能であるが、合理的なコストで貯蔵不能な電力では、原燃料の保管コストは考えられるとしても、電力自体の保管コスト自体の概念が存在しない。

また、一般のコモディティでは、例えば中東の戦争勃発等のイベントに備えて原油の備蓄を持つ等、現物の保管ベネフィットをファクターとして勘案するモデルが一般化されているが、これについても保管困難な電力では、取り入れることが難しい。

第2に、電力デリバティブをリスク管理に活用する場合には、他の商品との関係（cross commodity transactions）を考慮する必要がある。その典型に後述のスパークスプレッドがある<sup>(注1)</sup>。スパークスプレッドは、電力のスポット価格と発電燃料のスポット価格を、同一場所または近接する場所で、かつ同一の受渡し時点で比較した時の差をいう。

このスパークスプレッドは、電力価格とエネルギーコストのマージンを表し、発電設備を運転させた方が良いか休止させた方が良いかといった日々の発電設備の稼働判断の材料等に活用される。

### 2. 電力の特性と電力価格

電力取引の自由化が進展するにつれて、発電に要する燃料等のコストや電力消費需要量の動向が、電力の価格に敏感に反映されることになる。

電力の卸取引の自由化が進んでいる米国では、電力卸価格の変動は、伝統的なコモディティ取引でみられる価格変動とは比べものにならない大きなボラティリティを示している<sup>(注2)</sup>。

これには、電力の非貯蔵性といった特徴のほかに、需要の価格弾力性の低さ、供給力の制約による供給関数の急速な上昇、季節要因等が影響している。そして、こうした電力が持つ特徴は、電力の卸価格のみならず、電力の現物価格と先物価格の関係にも大きな影響を及ぼしている。

この結果、電力の供給サイドの電力会社等も需要サイドの消費者等も、電力取引に伴伴する価格変動リスク（price risk）や量的リスク（volumetric risk）をヘッジする電力リスクマネジメントが極めて重要となる。

こうしたリスクマネジメントのツールとしては、電力を原資産とする先物、先渡し、オプション、スワップ等の電力デリバティブが活用される。ここで電力デリバティブとは、先行きの電力価格や電力価格指数により損益が決まるデリバティブである。電力取引の自

由化は、こうした電力デリバティブ市場が飛躍的に発展する起爆剤となる可能性が大きい。

事実、米国では多くのアナリストが電力デリバティブ市場の拡大を予想していた。例えば、1998年、米国電力市場協会（The U. S. Power Marketing Association）は、電力デリバティブ市場は最終的には1兆ドルを超す市場になると予測した。そして、実際にも2000年前半までは、こうした予測通りの急速な拡大を示してきたが、同年後半になると取引所取引の電力先物、オプション市場は事実上崩壊した。これは、電力デリバティブのフロンティアを走ってきたエンロンの倒産によるところが大きい<sup>(注3)</sup>。また、これを契機としてOTCで行われてきた電力デリバティブ取引も大幅な縮小をみた。

こうした取引所取引、OTC取引の後退は、原資産である電力のスポット取引自体に問題が存在したことによるものである<sup>(注4)</sup>。いかなるデリバティブであっても、デリバティブの原資産のマーケットが健全に機能しない限り、デリバティブ市場の発展を望むことはできない。

電力デリバティブは、一般のデリバティブと同様、取引所取引とOTC（店頭）取引があるが、取引量としてはOTC取引が圧倒的に大きなシェアを占めている。一方、取引所取引のデリバティブは、先物取引に集中している状況にある。

### 3. 電力デリバティブの種類

電力デリバティブには、先物・先渡し、オプションのほか、原燃料とその製品としての電力との間の価格差を取引するスプレッド取引や、各種のエキゾティックオプション等が取引されている。

こうしたスプレッドやエキゾティックオプションといった商品は、取引当事者のニーズを汲み取った形の仕様となっており、OTC（店頭）取引で行われる。

例えば、スパークスプレッド取引やダークスプレッド取引は、原燃料や電力の価格変動リスクのヘッジに有効である等、事業リスクコントロールに活用することができるほか、実物投資を行うことなく発電所に事業投資を行うと同様のリスク・リターンプロファイルを模倣することができる。

また、エキゾティックオプションでは、アジアンオプション取引が活発に行われている。プレーンなオプションでは、権利行使時点の市場価格と権利行使価格の差がペイオフになるが、アジアンオプションでは、

市場価格を期間中の平均で取るといった特徴がある。この結果、期間中、電力を消費する需要家はプレーンなオプションよりもアジアンオプションの方が有効にヘッジ効果を得ることが期待できる。

### 4. エネルギーデリバティブの価格付け

金融デリバティブの価格付け（プライシング）の一般的な理論は、フィッシャー・ブラック（Fisher Black）、マイロン・ショールズ（Myron Scholes）やロバート・マートン（Robert Merton）等により構築され、また、そうした金融理論がさまざまなコモディティに応用されている。

しかし、電力デリバティブは原資産となる電力が持つ非貯蔵性の特性から、その理論価格の導出には、株式や債券等の金融資産を原資産とする金融デリバティブや、電力以外のコモディティに活用されている価格付けの手法（プライシング・モデル）をそのまま適用することはできない。

#### (1) 原油デリバティブの価格付け

エネルギーコモディティの1つである原油では、次のような2つの類型が活用されている<sup>(注5)</sup>。

##### ①構造モデル

構造モデル（structural model）は、需要関数と供給関数を各々設定したうえで、その両方がバランスする条件から均衡価格を導出する手法を取る。このように、構造モデルは、需要、供給の内生的な均衡から理論価格を導出することから構造モデルと呼ばれる。

構造モデルは、その手法から定性的に価格形成のメカニズムを把握することから理解が容易ではあるが、マーケットで現実に形成される価格はより複雑なプロセスを経ることから、このモデルの適用には一定の限界が存在する<sup>(注6)</sup>。

##### ②誘導型モデル

誘導型モデル（reduced form model）は、価格形成にインパクトを与える様々な要因を確率過程として把握し、かつそうした要因が相関関係を持ちながら変動するプロセスで無裁定条件を満たして価格が決定されるとするモデルである。このように、誘導型モデルは無裁定条件を前提としていることから無裁定モデルと呼ばれることもある。

このモデルは、原油のように貯蔵可能なコモディティ

イを前提とすることから、電力にはそのまま適用することができない。

また、金融デリバティブを代表する株式関連（エクイティ）デリバティブでは、キャリーコスト・モデルにコンビニエンス・イールドを勘案したプライシング・モデルが活用されている。

しかし、前述のように電力の大きな特徴は、貯蔵が困難であることにあり、在庫をキャリーすることを前提として無裁定のプライシングをベースとするポートフォリオを模倣することにより理論先物価格を導出するキャリーコスト・モデルや、在庫を持つことによるベネフィットを勘案するコンビニエンス・イールドを組み込むことはできない。すなわち、一般のコモディティや金融デリバティブと違って、電力にはスポット価格と先物価格の関係を結びつけるものが存在しない。

また、電力価格は、在庫がバッファにならないことから短時間のうちにスポット価格が暴騰するスパイクという特性がある。このように、価格が大幅変動することをジャンプと呼んでいる。

そして、こうした特性を前提にして、電力のプライシング・モデルについては、次のような2つの類型が活用されている<sup>(注7)</sup>。

## (2) 電力価格のスパイクを表現するプライシング・モデル

前述のとおり、電力は在庫を持つことができないことから、発電能力の制約や需要のピークには、スポット価格のボラティリティの急上昇から、ジャンプ、スパイクを引き起こすケースが発生する。

電力のスポット価格のスパイク（ここでは暴騰、暴落の双方を意味する）を表現するプライシング・モデルは、2つに分類することができる<sup>(注8)</sup>。

### ①ジャンプ過程を織り込んだモデル

ジャンプを含む確率過程により電力のスポット価格過程を表現する代表的なタイプは、平均回帰過程（mean-reverting component）とジャンプ過程（jump component）を組み合わせたモデルがある。

ここで、平均回帰過程を組み合わせる理由は、需給逼迫時においてはスパイク現象が発生するが、そうした一時的な異常事態が平時に戻れば、電力価格は一定の範囲で推移する性格を反映させるためである。

### ②電力需給の変動からスパイクを表現するモデル

電力価格のスパイクを表現するもう1つのプライシング・モデルは、電力需要の変動や供給面の制約から

スパイクを表現するタイプである。

こうしたモデルには、確率的に需要要因が変動することを組み込んだモデルがある。このモデルは、電力の需要要因を確率過程で表現する一方、供給は、市場全体の供給関数を所与とするものである<sup>(注9)</sup>。

たとえば、横軸を発電量（MWh）、縦軸を電力の卸価格として取引をプロットすると、限界費用を表す曲線に沿って分布する。この限界費用曲線的なものを供給逆関数として選択することにより、電力価格の変動を再現することができる。

また、もう1つのモデルとして確率的に供給要因が変動することを組み込んだモデルがある。さらに、需要要因と供給要因の双方が確率的に変動するモデルも開発されている。

## 5. 気温と電力産業のリスクマネジメント

### (1) 異常気温と電力需要

電力の大口消費者の多くは、弾力的な電力契約を望んでいる。特に大口消費者は、電力消費量の多寡にかかわらず、実際に消費した電力量に対して一定の価格が課せられることを望む。こうした顧客のニーズを取り込んだ契約は、Load-serving full-requirement contractsと呼ばれる<sup>(注10)</sup>。

例えば、電力供給者（またはLSE）が顧客との間で full-requirement contracts を締結して、その価格リスクをヘッジするために一定量の電力供給について一定量の先物取引を行ったとする。

しかし、先行き顧客がどれだけの電力を購入、消費するかは、不明であることから、LSEは先物のヘッジが過剰であるか不足であるかのリスクを負うことになる。

電力のスポット価格が上昇（下落）する場合には、電力需要は多い（少ない）ことは十分予想されるところである。猛暑・冷夏、厳冬・暖冬といった異常気象では、先物によるヘッジ量が電力の販売量と乖離する公算が大きい。したがって、電力のスポット価格が高騰して full-requirement contracts で締結した固定価格を上回るような場合には、顧客の電力消費量は、LSEが先物でヘッジした量をはるかに上回る可能性がある。この結果、LSEは、顧客への販売量に比してヘッジ不足の状態となり、スポットマーケットにおいて高値で電力を購入して、損失を被ることになる。

逆に、電力のスポット価格が下落した場合には、LSEは、ヘッジ過剰となり、スポットマーケットにおいて full-requirement contracts で締結した固定価格



を下回る安値で電力を売却するか現金決済をして、損失を被ることになる。

このように、LSEがfull-requirement contractsで抱えることになるリスクは、顧客の電力消費量が不明であることと、電力価格と顧客の電力消費量が正相関にあることによるヘッジ量のミスマッチリスクである。

LSEがこうした量的リスクをヘッジするためには、顧客の電力消費量を原資産とするオプションを買う必要があるが、実際にこうしたオプションはマーケットで取引されていない。そこで、これに代替するものとして、天候デリバティブを活用するヘッジする手段が考えられる。

## (2) 天候デリバティブと電力産業のリスクマネジメント

地震や台風等の大災害（カストロフィ）は、多くの産業に甚大な被害を及ぼすことになるが、猛暑、冷夏、降雪等の天候不順もエネルギー産業の業績に影響を与える。

前述のとおり、電力を原資産とするデリバティブは、電力が持つ特性からプライシング等が複雑になる。そこで、電力に代わって電力需要、したがって電力価格に大きな影響を与える天候を原資産とすることが考えられる。

電力産業がこうした天候デリバティブを活用する理由には、電力デリバティブに比べると天候デリバティブの市場参加者は各業界への広がりを持っており、したがって流動性が厚いといった事情が存在する。

実際のところ、米国では、独立系発電事業者（independent power producer）が燃料購入契約に天候状況次第で購入量を増減する条項を組込むケースがみられる<sup>(註11)</sup>。

大手の電力会社や電力マーケットターは、天候指数でペイオフが決まるOTC天候デリバティブを取引することにより、リスクマネジメントを行っている。

また、日本においても電力会社が冷夏による電力需要減少リスクをヘッジするために天候デリバティブを使用する等、天候デリバティブ市場でも、電力会社が市場参加者となっている。

ここで、東京電力と東京ガスが、双方が持つ夏季の気温リスクをヘッジするためにデリバティブ取引を行ったケースをみよう。

電力会社は、冷夏の場合にはエアコンの稼働率が落ちて電力の売上げが減少しこの結果、業績に大きなインパクトを及ぼす。

これに対して、ガス会社は、猛暑の場合には給湯需

要が落ちてガスの売上げが減少しこの結果、業績に大きなインパクトを及ぼす。

このように、電力会社とガス会社は逆の方向の気温リスクを潜在的に抱えていることとなり、このことが電力会社とガス会社との間の天候デリバティブのスワップ取引として成立する素地となった。

すなわち、東京電力は冷夏リスクを抱え、東京ガスは猛暑リスクを抱えることから、両社は夏季の気温変動が事業収支に与える影響がまったく逆相関にあり、8～9月の気温リスクの交換契約を行った（図表1）。

この東京電力と東京ガスの気温リスク交換契約の期間は、2001年8月1日から9月30日の61日間に設定された。

また、指標は、東京管区气象台（大手町）が1時間ごとに発表する24の気温の平均値を1日の平均として、その毎日の平均気温を8～9月の61日分平均したものがオプションの原資産となる。

基準気温は、26度Cとして、対象期間の平均気温が、基準気温を0.5度を超えて上回る場合、すなわち26.5度を上回る高温の場合には東京電力が東京ガスに支払うことになり、対象期間の平均気温が、基準気温を0.5度を超えて下回る場合、すなわち25.5度を下回る低温の場合には東京ガスが東京電力に支払うことになる。

ただし、対象期間の平均気温が基準気温を2.0度を超えて上回る、または下回る場合には受払額が約7億円となり、これを上限とするキャップを設定した。すなわち、この気温リスク交換契約が効果を発揮するのは、24.0度から28.0度の範囲である。これは、ヒストリカルデータからみて、このレンジ外の気温になる確率は極めて低いと判断されたことによる。

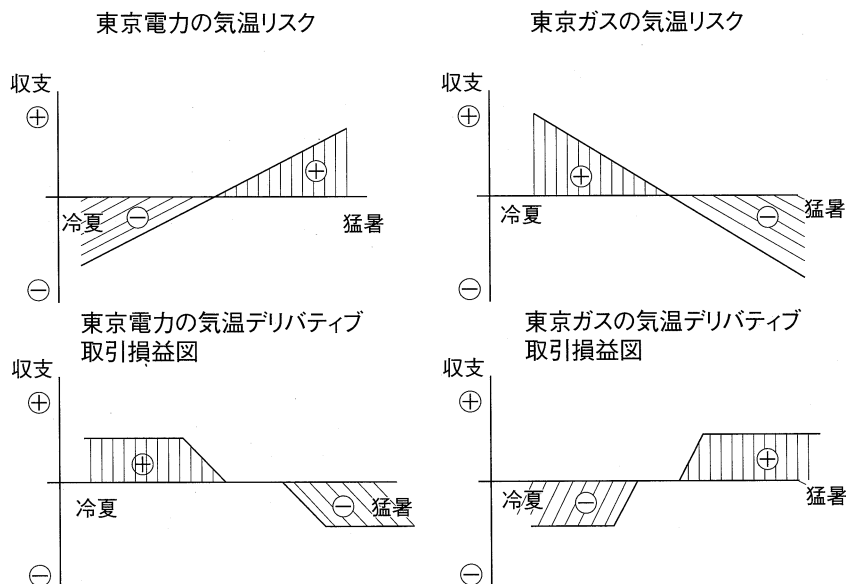
## 第2章 先物取引

### 1. 先物取引の必要性

電力市場において取引が活発化するにしたがって、市場原理に基づいて電力価格が刻々と変化する需要動向と供給制約状況によって変化する事となり、発電事業者、電力需要者を中心に先行きの電力価格のヘッジ需要が高まることが予想される。このようなヘッジニーズは、卸電力の自由化に小売の自由化が加わると、さらに多様な関係者の市場参加のもとに一段と強まることとなる。

こうした状況下、日本においても電力先物市場の創設が期待される。

図表1 東京電力と東京ガスとの気温リスクと気温デリバティブ取引



東京電力と東京ガスの気温デリバティブ契約の内容

対象期間	2001.8.1～9.30の61日間
対象気温	大手町における日平均気温
基準気温	26℃
東京電力支払・東京ガス受取気温	26.5℃ (基準気温+0.5℃)
東京電力受取・東京ガス支払気温	25.5℃ (基準気温-0.5℃)
最大受取・支払額 (キャップ)	約7億円 (基準気温±2.0℃)

(出所) 東京電力、東京ガスの資料をもとに筆者作成

電力の現物（スポット）市場には、1日前市場と当日市場があるが、このうち、1日前市場は電力の受渡しの前日に取引を確定させるマーケットであり、また、当日市場は、当日中の電力需給バランスを調整するためのマーケットである。

電力の自由化が進捗すれば、マーケットの需給次第で電力価格が変動することになるが、これに対するヘッジ手段として電力先物が必要となる。電力の先物取引は、あらかじめ決めておいた価格（先物価格）により、将来の一定期間（先物期間）に、一定量の電力を売買することを約束する契約である。

このように先物市場は、先行きの電力の価格変動リ

スクをヘッジすることを目的とするマーケットである。

そして、こうした先物市場が創設されれば、現物市場の流動性も厚くなることが期待できる。

取引所取引では当初、1日前取引が行われていたが、その後、発電事業者、電力需要者、マーケットターにリスク管理の有効性の重要性が認識されるにつれて、それに応える形で海外の取引所では電力を原資産とする先物取引が開始されている。

なお、電力取引で1日前取引はスポット取引とされてはいるが、現物引渡しを当日ではなく翌日とする意味において実質的には超短期（1日）の先物取引であるとみることもできる<sup>(注12)</sup>。

## 2. 各国の先物取引

### (1) 諸外国の先物取引

電力先物を最初に上場した取引所は、世界で最初に創設された電力取引所であるNord Poolである。そして、現在では、NASDAQ OMX Commodities, EEX Power Derivative, ENDEX, ICE Futures Europe, NYMEX (CME Group), オーストラリア証券取引所 (Australian Securities Exchange), インドのマルチコモディティ取引所 (Multi Commodity Exchange, MCX), ポルトガルとスペインのイベリア電力市場 (Mercado Ibérico de Electricidade, MIBEL) 等、世界の各地で電力先物が上場、取引されている。

### (2) 日本の先物取引

日本では、2014年6月に「電気事業法等の一部を改正する法律」が成立した。この法律は、電気事業法の一部改正、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法の一部改正、そして、商品先物取引法の一部改正から構成されている。

このうち、商品先物取引法の一部改正は、電力先物取引を可能にするため、先物取引の対象に「電力」を追加することが明記されている。

すなわち、改正前の商品先物取引法では、取引対象が農産物、金属、原油等の有体物である物品に限定されていることから電力の先物取引はできないとされていた。

しかし、卸電力取引所の取引量の増加に応じて、電力先物市場の必要性が増加すると見込まれるため、無体物である「電力」を商品先物取引法の対象に加えたものである。

なお、今次法改正で電力先物の法制度の手当てが行われるが、実際の電力先物上場は、現物取引の流動性の厚みを勘案して、経済産業大臣が上場許可の判断を行うとされている。

#### 改正前の商品先物取引法

##### 第一章 総則

##### (定義)

第二条 この法律において「商品」とは、次に掲げる物品をいう。

- 一 農産物、林産物、畜産物及び水産物並びにこれらを原料又は材料として製造し、又は加工した物品のうち、飲食物であるもの及び政令で定めるその他のもの

二 鉱業法 (昭和二十五年法律第二百八十九号) 第三条第一項に規定する鉱物その他政令で定める鉱物及びこれらを製錬し、又は精製することにより得られる物品

三 前二号に掲げるもののほか、国民経済上重要な原料又は材料であつて、その価格の変動が著しいために先物取引に類似する取引の対象とされる蓋然性が高いもの (先物取引又は先物取引に類似する取引の対象とされているものを含む。) として政令で定める物品

しかし、商品先物取引法の改正によってこれに無体物の電力を加えることにより電力の先物取引が可能となった。

#### 商品先物取引法の一部改正

第二条第一項中、「次に掲げる物品」を「次に掲げるもの」に改め、同項に次の一号を加える。

四 電力 (一定の期間における一定の電力を単位とする取引の対象となる電力に限る。以下同じ。)

この改正法の成立によって、東京商品取引所 (TOCOM) に電力先物が上場されることが見込まれている。

これにより先物市場が開設されると、発電事業者にとっては、先行き卸電力市場に販売する電力価格をあらかじめ確定することが可能となり、発電所の設備投資資金の回収を合理的に予測することができ、延いては発電所の設備投資の促進に資することが期待できる。

また、小売電気事業者にとっては、先行き卸電力市場から購入する電力価格をあらかじめ確定することが可能となり、延いては小売電気事業者の新規参入の促進に資することが期待できる。

さらに、大口需要家にとっても、先行き卸電力市場から購入する電力価格をあらかじめ確定することが可能となり、延いては大口需要家の経済活動の合理化に資することが期待できる<sup>(注13)</sup>。

## 3. 先物取引の種類

先物取引には、狭義の先物取引と広義の先物取引がある。このうち、狭義の先物取引 (futures) は、標準化された商品を取引所のインフラを使って取引する。一方、広義の先物取引は、狭義の先物に加えてOTC (店頭) 取引である先渡し (forward) も含めることが一般的であり、さらにそれ以上の広義の先物となる

と、オプション、スワップ等も含めたデリバティブ全般を意味することもある。

なお、電力取引においては、先物取引、先渡取引、相対取引と分類することが多い。この場合、先渡取引は相対取引を組織化された取引所で取引するもので、①先物取引のように取引所の清算機関がすべての取引の相手方となり信用リスクを負う機能を果たすのではなく、あくまでも市場参加者同士の取引とする形（日本卸電力取引所の先渡定型取引）や、②取引所が取引当事者に預託金を積むことを課することにより、実質的に先物取引類似の取引とする形（日本卸電力取引所の先渡市場取引）がある。

#### 4. 先物取引の標準化とその狙い

##### (1) 標準化の対象

先物取引は、取引所で競争売買の形で取引され、取引対象が標準化されている点に特徴がある。すなわち、先物取引は、

- ①特定の商品（原資産）の、
  - ②一定量を、
  - ③将来の一定の日（期間）に、
  - ④あらかじめ定めた価格（先物価格）で、
- 売買することを、現時点で約束する取引である。

そして、取引所取引の狭義の先物取引では、この①～④の各々の項目の標準化（standardisation）によって、取引の対象、単位、決済期日（期間）、先物価格の刻み（最小価格変動幅）等の取引条件が定型化されている。

先物取引の原資産は、さまざまな商品に亘っているが、農畜産物、金属、エネルギー等を原資産とする「コモディティ」と、株式、金利、債券等を原資産とする「金融商品」に大別される。

このうち、エネルギー物の原資産には、原油、軽油、ガソリン、天然ガス等に加えて、電力があげられる。しかし、電力の原資産は一定期間に亘っている点が大きな特徴となっている。すなわち、他の農産物や貴金属、エネルギー等のコモディティの先物取引が、決済の「一時点」において受払されるのに対して、電力の先物取引の受払は、「一定期間」に亘って行われるという大きな違いがある。この一定期間は、時間単位のことであれば、時間をつなぎ合わせたブロック、さらにはある季節の期間中等、さまざまなスパンがある。このように電力の受払が他のコモディティと異なる理由は、非貯蔵性という電力の特性からくるものである。

##### (2) 標準化の狙い

商品や取引仕様の標準化の目的は、個々の取引主体のニーズに完全にフィットした仕様にするのではなく、市場参加者のニーズの最大公約数的なところに焦点を当てたものにすることにある。

すなわち、標準化により取引主体のニーズの枝葉末節的な違いは捨てて、そのコアを確実に押さえることにより極力多くの参加者をマーケットに呼び込むことを指向する。このように取引内容の標準化によって、マーケットにとって最も重要な要素である市場流動性（liquidity）が厚くなり、また、こうした潤沢な流動性により大口の取引を行ってもマーケットインパクトが小さいという利点がある。そして、こうした利点が流動性の更なる厚みを増すという好循環が形成され、マーケットの価格発見機能が十分発揮される素地が整うことが期待できる。

電力先物の商品性（specification）も、標準化によりマーケットに出される売り買いの注文が多くなり、厚い流動性をベースとしてマーケットから適正価格（fair price）がアウトプットされることになる。

この結果、先物取引からアウトプットされる電力の先物相場が、多くの市場参加者が先行きの電力価格をどのように推測しているかを示すベンチマークになり、これが現物市場での取引活発化に資することが期待できる。

このように、先物相場が電力価格の先行きを占う重要な指標となるためには、なんといっても多くの市場参加者によって多くの売り買いの注文がマーケットに出されることが重要な前提となる。

##### (3) 先物取引の標準化の内容

電力の先物取引では、対象となる電力の1単位の量、最小価格変動幅、決済方法、決済場所等が標準化されることとなる。

以下では、海外の取引所に上場されている典型的な電力先物の標準化がどのような内容となっているかをみることにしたい。

###### ①原資産

電力が原資産となるが、一定の電圧の電力でなければならない。

###### ②一定量

たとえば最小取引単位が1 MWhと設定されて、当事者は各々のニーズに応じてその何倍か（乗数、multiplier）の取引をする。

###### ③将来の一定の期間

一般のコモディティや金融商品の先物では、将来の「一定の時点」となるが、電力の場合には、非貯蔵性等から「一定の期間」となる。

一定の期間は、日、週、月、年等に設定される。また、一定の期間の1日の受渡し時間も一般的に、ベースロード、ピークロード、オフピークロードの3種類に分かれる。このうち、ベースロードは24時間中の受渡し時間であり、ピークロードは、例えば8:00~20:00、オフピークロードはピークロードがカバーしない時間帯とされる。

#### ④先物価格

価格の最小刻み幅である呼び値 (tick) が設定される。

#### ⑤決済

先物取引の決済は、その商品設計により現物でも現金でも可能である。また、先物取引の大きな特徴は、マーケットの状況をウォッチして機動的に先物期日前に建玉を転売 (ロングポジションの場合)、または買戻し (ショートポジションの場合) により仕舞う (ポジションをクローズする) ことができる点にある。

先物取引のこうした期日前決済は、先物の商品性が標準化されてマーケットで競争売買 (オークション) の形で多くの市場参加者の売買の対象となることによる。電力先物の場合には、どの程度が転売、買戻しにより期日前決済されているか不明であるが、その他のコモディティの先物ポジションは大半が期日を待たずに決済されている状況にある。

#### (4) 電力取引の特殊性

電力取引では、相対取引が持つ取引内容の柔軟性という利点が大きく生かされる特徴がある<sup>(註14)</sup>。すなわち、電力のOTC取引では、商品性や取引手法が標準化されている取引所取引と異なり個別かつ詳細に亘る条件設定をすることが可能である。また、取引当事者間で運転自由度の権利である瞬動性の価値等の交渉をする等、個別電源の運転計画を契約に反映することができる。

さらに、取引所取引では短期取引が中心となることから、それをもとに中長期のキャッシュフローの予測や事業計画の策定を実施することが困難である。これに対して、OTC取引は当事者間で自由に期間を決めることができることから、取引所取引に比して中長期の契約が多い状況にある。したがって、当事者はOTC取引をベースにして中長期視点からキャッシュ

フローの予測や事業計画の策定を実施することが可能となる。

#### 5. 先物取引のフレームワークと損益

先物取引 (含む、先渡し取引) の当事者が持つポジションは、各々ロング (買い持ち) とショート (売り持ち) となる。

このうち、先物のロングポジションは、先物の決済期間の原資産価格が当事者があらかじめ決めておいた売買価格である先物価格を上回れば利益を生み、下回れば損失を被る。

これに対して先物のショートポジションは、先物の決済期間の原資産価格が先物価格を下回れば利益を生み、上回れば損失を被る。

こうした先物取引のポジションをペイオフ・ダイアグラム (損益線) で示すと図表2のとおりとなる。先物のペイオフ・ダイアグラムは、横軸の原資産価格が上昇、または下落すると、それと同じように縦軸の損益が線形的に増減する。

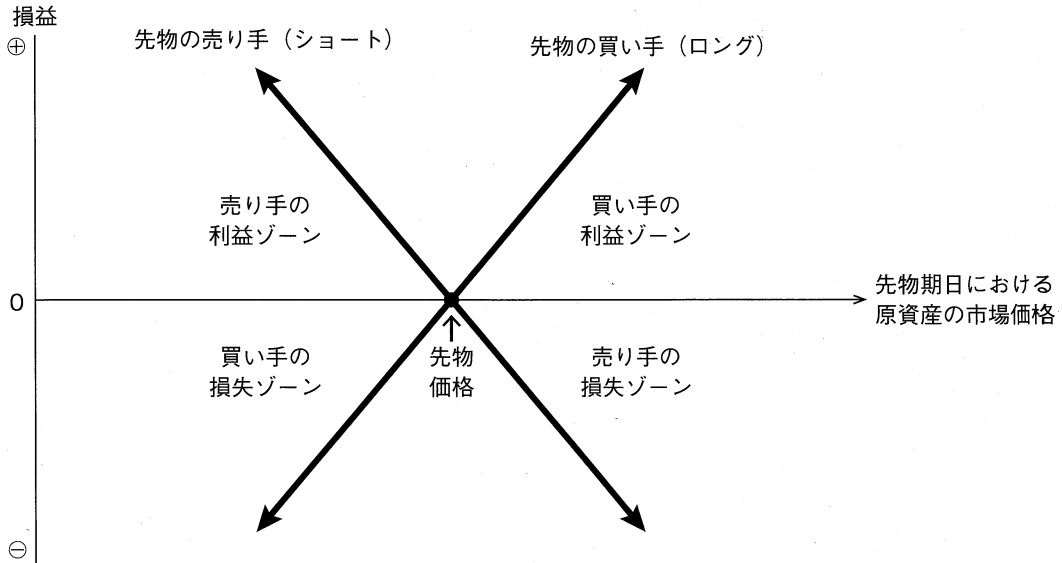
#### 6. 先物市場の機能と取引の実際

先物市場が持つ重要な機能は、価格発見機能とヘッジ機能である。先物市場は、現物市場と異なり現物を購入する資金を必要とせず、少額の証拠金の差入れで取引が可能である。この結果、多くの取引当事者がマーケットに参入して厚い流動性を形成することが期待できる。

こうした市場参加者は、さまざまなニーズ、情報、予想を持ちそれをベースに先物の売り買いを行うことになる。そして、多くの取引当事者がマーケットに出す売り買いの注文が競争売買によりマッチングされて、市場参加者の投票 (注文) 結果として原資産の先行きの適正価格 (フェアプライス) がアウトプットされる。これが、先物市場の価格発見機能である。これから分かるように先物市場が持つ最も重要な価格発見機能は、マーケットに厚い流動性が形成されて初めて発揮できることになる。

そして、先物市場は、取引当事者に対して先行きの現物の価格変動リスクをヘッジする重要な機能を提供する。特に、電力の現物市場は、天候や経済状況等により需要動向が大きく左右される一方、供給面ではさまざまな制約があり、volatility (価格の変動幅) が大きくなりがちである。電力を取り扱う当事者にとって

図表2 先物のペイオフ・ダイアグラム



(出所) 筆者作成

は、こうしたvolatileな電力現物の持つリスクをヘッジする先物市場の機能が重要となる。

また、先物市場がこうした先行きの価格変動をヘッジする目的で取引を行うヘッジャー (hedger) だけでは、取引が一方に偏り先物市場が持つ価格発見機能が十分発揮されない恐れがある。そこで、先物市場には、進んでリスクを取りそこからリターンを狙うリスクテイクの存在が必要となる。こうしたリスクテイクは一般に投機家 (speculator) と呼ばれているが、ヘッジャーと投機家との間での玉の打ち合い (売り買いの注文の出し合い) のなかから厚い流動性生まれ、そして適正価格がアウトプットされることになる。

もっとも、スペキュレーションを目的とした取引が嵩むとマーケットに投機色が強くなり、価格の乱高下が生じる恐れがある。これは、エネルギーマーケットの1つである原油先物市場でみられたところである。しかし、マーケットがさまざまな情報を持つ市場参加者により構成され、そうした市場参加者が厚い流動性を形成している状況にあっては、先物市場の相場は適正価格に収斂することになる。

このように、なんといっても厚い流動性の存在が、先物市場が円滑に機能するための最も重要な前提条件である。先物市場の関係者が異口同音に「流動性は、先物市場の命である」と主張する事実が、このことを如実に物語っている。

## (1) ヘッジ取引

### ①先物市場のヘッジ機能

先物市場は、取引当事者に対して先行きの現物の価格変動リスクをヘッジする重要な機能を提供する。

すなわち、現物を保有する当事者は、先行きの価格下落をヘッジするためにショートポジションを取る。そして、先行き現実に価格が下落した場合には、現物ポジションで損失が出るが、先物ポジションが利益を生みこれを相殺することになる。また、予想に反して現物価格が上昇した場合には、先物ポジションで損失が出るが、現物ポジションが利益を生みこれを相殺することになる。

一方、現物を購入する予定のある当事者は、先行きの価格上昇をヘッジするためにロングポジションを取る。そして、先行き現実に価格が上昇した場合には、現物の購入で損失が出るが、先物ポジションが利益を生みこれを相殺することになる。また、予想に反して現物価格が下落した場合には、先物ポジションで損失が出るが、現物の購入で利益を生みこれを相殺することになる。

電力の先物取引をヘッジ目的で行うケースをみると (図表3)、まず発電事業者は電力のロングポジションを持っており、したがって先物売ることによりヘッジすることになる。

図表3 電力先物取引のペイオフ

		ポジション	リスクとリスクヘッジ
発電事業者	現 物	ロングポジション	電力価格の下落リスク
	先 物	ショートポジション	電力価格の下落をヘッジ
	合 計	電力価格が下落：現物の損失を先物の利益がカバー 電力価格が上昇：先物の損失を現物の利益がカバー	
電力需要家	現 物	ショートポジション	電力価格の上昇リスク
	先 物	ロングポジション	電力価格の上昇をヘッジ
	合 計	電力価格が上昇：現物の損失を先物の利益がカバー 電力価格が下落：先物の損失を現物の利益がカバー	
マ ー ケ ー タ ー	①固定価格で電力を販売		
	現 物	ロングポジション	電力価格の下落リスク
	先 物	ショートポジション	電力価格の下落をヘッジ
	合 計	電力価格が下落：現物の損失を先物の利益がカバー 電力価格が上昇：先物の損失を現物の利益がカバー	
	②固定価格で電力を購入		
	現 物	ショートポジション	電力価格の上昇リスク
	先 物	ロングポジション	電力価格の上昇をヘッジ
	合 計	電力価格が上昇：現物の損失を先物の利益がカバー 電力価格が下落：先物の損失を現物の利益がカバー	

(出所) 筆者作成

逆に、最終需要家（たとえば大量の電力を消費するメーカー）はショートポジションを持ち、したがって先物を買うことによりヘッジすることになる。

一方、発電事業者から電力を購入しこれを需要家に販売するマーケットは、ショートポジションとロングポジションを併せ持つことになる。ここで、マーケットとは自己勘定で取引する市場参加者をいう。マーケットの電力購入契約と販売契約の内容がタイミング次第でこうしたポジションはミスマッチする可能性が大きく、その場合には、ポジションの内容をみて先物を買ったり売ったりすることによりヘッジすることになる。

たとえば、マーケットが先行き固定価格で電力を販売する契約を締結した時には、それに相当する電力量の先物買いのヘッジ取引で先行きの電力のスポット価格上昇のヘッジが可能となる。逆に、マーケットが固定価格で電力を購入する契約を締結した時には、それに相当する電力量の先物売りのヘッジ取引で先行きの電力のスポット価格下落のヘッジが可能となる。

なお、電力先物をヘッジ取引に利用する場合、先物取引が満期に接近するにつれてボラティリティが高く

なる傾向がある、とする実証研究がある。こうした傾向は、原油等のエネルギー商品を原資産とする先物でもみられるものの、電力先物では特にこうしたボラティリティの高まりが強く現れる傾向が強い<sup>(注15)</sup>。

(NASDAQ OMX Commoditiesの先物取引)

NASDAQ OMX Commoditiesの先物取引は、決済価格を先物の期日時点におけるシステム価格（Elsportシステム価格）とする取引である。決済方法は引渡し期間前の転売・買い戻しによる現金決済のみで、現物の引き渡し決済は認められない。

先物ポジションは、毎日値洗い（mark-to-market）が行われて値洗い差金の受払が実施される。

ヘッジを目的とした先物取引のケースにおいて、ゾーン間の混雑発生により決済価格に採用されるElsportシステム価格とエリア価格が一致しない場合には、完全ヘッジとならずその差分についてリスクが残存することになる。なお、先物取引が必ずしも活発ではない背景には、スポット価格が送電混雑等により受渡価格とならず、このため十分ヘッジ機能を果たさないとい

った事情から、上場商品の標準化が容易ではないといった理由も指摘されている。

NASDAQ OMX Commoditiesの前身であるノルドプールが具体例として示した先物取引を図示すると図表4のようになる<sup>(注16)</sup>。

ここでは、取引所のある会員が先物を1単位260クロネ/MWhで買い付けた（先物価格＝260クロネ/MWh）と仮定している。その後、先物を買い付けた時点から先物の期限までの取引期間中に先物の市場価格が285クロネ/MWhにまで上昇した。この285クロネ/MWhは、取引期間中の最終価格である。買い建て玉は日々値洗いされ、会員は累計25クロネ/MWhを値洗い差金として受取る。

逆に、この会員のカウンターパーティは、累計25クロネ/MWhの値洗い差金を支払うことになる。そして、先物の期日から始まり最終決済期間が終了するまでの引渡期間のうちの一定の1時間のシステム価格（288クロネ/MWh）と先物の期日の価格（285クロネ/MWh）の差額3クロネ/MWhを加えた28クロネ/MWhが、この会員の先物取引からの利益となる。

この会員がスポット市場から電力を買い付けると、288クロネ/MWhの購入価格となるが、先物取引の利益28クロネ/MWhを勘案すると、ネットの購入額は $288 - 28 = 260$ クロネ/MWhと、先物価格と等しくなる。

## ②ロールヘッジとスタックヘッジ

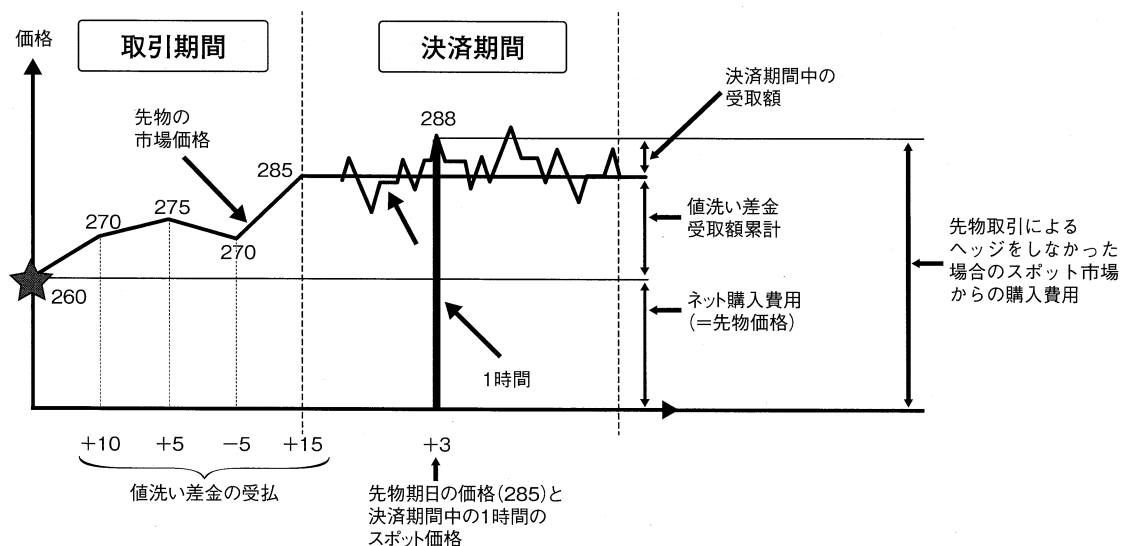
先物取引によって長期間に亘りヘッジしようとする場合には、ストリップヘッジとスタックヘッジの2つの手法があるが、このいずれをとるかは、以下のとおり市場流動性の状況に深い関わりを持っている。

### （ストリップヘッジ）

ストリップヘッジ（strip hedge）は、期間の長いヘッジを行う場合に、限月を何本か繋いで取引を行うことによって、標準化された先物がカバーする期間以上にヘッジする手法である。たとえば、先物の期間が3か月と標準化されている場合には、先物を2限月繋ぎ合わせるにより6か月のヘッジを行うことができ、4限月連続で取引をすれば1年間のヘッジを行った効果を持つ。このヘッジ手法は、いくつかの限月をつなぎ合わせて帯のように長い期間にわたってヘッジすることから、ストリップヘッジの名称が付けられている。

ストリップヘッジは、ヘッジ実行時においてコストが確定できる利点がある。しかし、先物市場では既して期近限月の流動性は厚いものの、それから先の限月になると急速に流動性が薄くなり、場合によっては期先限月にヘッジ取引が容易に執行できない市場流動性リスクがある。特に、大ロットでのストリップヘッジを行うような場合には、期先限月の取引でマーケットインパクトが大きくなる等、執行コストが嵩む恐れがある。

図表4 先物取引の具体例



(出所) Nord Pool "Trade at Nord Pool's Financial Market" P.9をもとに筆者作成



## (スタックヘッジ)

スタックヘッジ (stack hedge) は、長期間ヘッジしようとする場合にその期間には関係なく、直近限月の1限月のみに集中して必要分全量のヘッジ取引を行う手法である。スタックヘッジは、ヘッジ所要期間に対応するまでの期先限月が上場されていないか、たとえ上場されていても流動性が薄い場合に活用することができる。

先物市場では一般に、直近限月の流動性は厚いことから、直近限月でたとえ大量の取引を行ってもそれによって価格が動くというマーケットインパクトは小さく抑えることが期待できる。

すなわち、スタックヘッジはストリップヘッジが持つ市場流動性リスクを回避でき、その結果執行リスクが小さいヘッジ手法となる。ちなみにスタックとは、積み重ねるという意味で、ヘッジに必要とされる量に相当する枚数を直近限月に全部積み上げて取引することによりヘッジする手法であることから、スタックヘッジの名称が付けられている。

このスタックヘッジを行った後、直近限月が満期に接近するか、もしくは満期が到来した時には、ヘッジのための建玉のうち直近限月に期間が対応している部分の先物は決済して手仕舞う。そして、それ以上に長い期間対応の建玉は、直近限月を売って次の限月を買うことにより次限月に乗り換える。

スタックヘッジは、このように直近限月の期日到来が近づくと、直近限月を手仕舞って、次の限月に乗り換えるロールオーバーとパッケージで行われることから、スタックヘッジをスタック・アンド・ロールヘッジ (stack and roll hedge) とかローリングヘッジ (rolling hedge) ということもある。

スタックヘッジは、次限月にロールオーバーする際の限月間スプレッドの状況によっては損失が発生するリスクがあり、ストリップヘッジとは違い当初のヘッジ実行時において、コストをあらかじめ確定できない問題がある。

スタックヘッジの具体例を電力の先物取引でみると<sup>(注17)</sup>、10年間のポジションを1年の先物でヘッジする場合には、10年間のヘッジに相当する単位数の1年の先物を買付け。たとえば、あるマーケットが先行き10年間、毎年736MWhの電力を固定価格で供給する契約を締結したとする。このマーケットは、1年目に12か月に736MWhの電力を受け渡す内容の電力先物を10単位買付け。そして、1年目の終わりにマーケットはすべてのポジションを手仕舞いして、次の

限月を9単位買付け。このように、毎年1単位ずつ減らした単位数を買付けるといったロールオーバーを繰り返すことになる。

なお、1993年、独メタルゲゼルシャフト社の米国現地法人が、NYMEXにおける原油の先物取引で巨額の損失を被ったが、これはスタックヘッジが持つリスクが顕現化したケースである。すなわち、メタルゲゼルシャフト社の米国現地法人は、米国でのガソリン販売のシェア拡大を狙って多くのガソリンスタンドとの間で長期・固定価格による販売契約を締結した。そして、同社はガソリンの仕入れ価格上昇をヘッジする目的でNYMEXで先物買いのヘッジ取引を行うこととしたが、NYMEXではヘッジニーズにマッチするだけの期先限月は上場されておらず、スタックヘッジを実施した。

同社が、当初スタックヘッジを行った当時のNYMEXのガソリン先物相場は期近高・期先安のバック・ワーデーション (backwardation) で、期近売り・期先買いのロールオーバーの際に利益が出る状況であったが、93年になるとこれが期近安・期先高のコンタンゴ (contango) に変わったことから、同社はロールオーバーのつど多額の追証が必要となって、資金調達難から結局、建玉を手仕舞いせざるを得ない状況となった。これは、スタックヘッジに随伴する期近価格と期先価格とが平行に動かないベシスリスクに加えてファンディングリスクが表面化したケースである。

## ③ベシスリスク

ベシス (basis) は、先物価格と先物でヘッジした対象物の価格との差をいう。そして、先物価格とヘッジ対象物の価格差が収斂しないリスクをベシスリスク (basis risk) と呼んでいる。ベシスリスクは、先物のスペックが標準化されていることから、ヘッジしようとしている対象物が先物のスペックに時間、場所、量等で完全に一致しないことから発生する。

たとえば、NYMEXの代表的な電力先物の1つの受渡し場所がカリフォルニア・オレゴンボーダーとなっているが、実際に発電業者が電力を販売する地点が異なっている場合には、ベシスリスクが存在することとなる。

## ④クロスヘッジ

電力のスポット価格の変動リスクをヘッジするために、電力先物ではなく天然ガスを原資産とする先物を活用することも考えられる<sup>(注18)</sup>。

このように、ヘッジ対象と先物の原資産が異なるヘ

ッジ手法をクロスヘッジ (cross-hedge) という。クロスヘッジは、ヘッジ対象と同じ資産を原資産とする先物が存在しないとか、たとえ先物が存在しても流動性が薄いことからフェアプライスでのヘッジが期待できないようなケースに活用される手法である。

クロスヘッジがヘッジ取引として有効に機能するためには、ヘッジ対象と先物の原資産の価格変動が近似している必要があり、そうでない場合にはベースリスクが大きくなる。

例えば、米国の電力先物はPJMを除いて流動性が薄く、取引低調である一方、NYMEXで取引されている天然ガス (ルイジアナのヘンリーハブ (HH) が受渡し場所) は、現物決済の先物としては世界屈指の流動性の厚さを誇っている。また、電力のスポット価格も天然ガスの価格も気温により大きく変動して、正相関の関係にある。

こうしたことから、流動性の厚い天然ガス先物を使って電力価格の変動リスクをヘッジするクロスヘッジを活用することが考えられる<sup>(注19)</sup>。

## (2) 投機取引

先物取引では、ショートヘッジを行う市場参加者とロングヘッジを行う市場参加者が存在するが、マーケットでショートヘッジの量とロングヘッジの量が見合うという保証は全くない。先物市場がこうした先行きの価格変動をヘッジする目的で取引を行うヘッジャー (hedger) だけでは、取引が一方向に偏り取引が不活発となる恐れがある。

そこで、先物市場には、進んでリスクを取りそこからリターンを狙うリスクテイカーないしスペキュレーターの存在が必要となる。

スペキュレーターは先行き電力のスポット価格が上昇するとみれば先物を買ひ、下落するとみれば先物を売る。そして、実際にスポット価格が予想通りになったりリターンを獲得できるが、予想に反した動きとなった場合には損失を被る。

こうしたスペキュレーターは、自己勘定で電力を購入・販売するマーケットとともに市場流動性を供給する重要な役割を果たしている。

## 7. 先物の理論価格

### (1) 金融商品、一般のコモディティの理論価格

#### ①市場価格と理論価格

先物取引の市場参加者は、現時点の市場価格 (相場)

が高いか安いかをみて売り買いの注文を出す。そして、こうした相場の高安の判断基準となるのが理論価格である。すなわち、市場参加者は、市場価格と理論価格とを比較してその間に大きな乖離 (鞘, サヤ) がある場合には、相場の歪みがいずれ解消されることを予想して売り買いを行ってリターンの獲得を狙うこととなる。

#### ②キャッシュ・アンド・キャリーモデル

金融商品や一般のコモディティを原資産とする先物の理論価格は、「キャッシュ・アンド・キャリーモデル (cash-and-carry model)、コスト・オブ・キャリーモデル (cost-of-carry model)」を使って算出される。

キャッシュ・アンド・キャリーモデルは、取引当事者間であらかじめ決めておく先物価格は、将来、実際にマーケットで売買されている現物 (cash) 相場に等しいとの前提に立って、将来のマーケットの現物相場を理論的に算出するコンセプトで構築されている。

すなわち、現物を将来まで保有する (carry) コストが、先物価格に比べて高い場合には、現物を売って先物を買う裁定取引が盛行し、その結果、先物価格は現物を将来まで保有するコストに等しくなる。逆に、先物価格が現物を将来まで保有するコストに比べて高い場合には、先物を売って現物を買う裁定取引が盛行し、その結果、現物を将来まで保有するコストは先物に等しくなる。

このように、キャッシュ・アンド・キャリーモデルは、裁定取引により先物の理論価格と将来マーケットで売買される現物相場が等しくなり、最終的には裁定益が得られない無裁定 (no-arbitrage principle) となることを前提としている。

将来の相場の理論値は、現時点で現物 (cash) を購入してそれを将来の1時点まで保有 (carry) するとした場合にかかる総コストから導出する。そして、キャッシュ・アンド・キャリーモデルから算出された将来時点の相場が、先物価格の理論価格であるとする。

なお、このキャッシュ・アンド・キャリーモデルには、先物取引、現物取引とも取引にかかる委託手数料、執行手数料、ビッド・アスクスプレッド (買い注文と売り注文の価格差) 等のコストは考慮に入っていないことや、資金調達、貸出に制約はないこと、また、現物空売りに制約はない、といったいくつかの前提が置かれていることに留意する必要がある。

#### (株価指数先物の理論価格)

キャッシュ・アンド・キャリーモデルによる理論価

格の導出を、金融先物の代表商品である株価指数先物を使って検討しよう。

株価指数先物の原資産となる株価指数は、多数の銘柄から構成されている。したがって、その保有コストは、株価指数を構成する現物の株式群を購入するためにかかる金融費用から株式群から得られる配当を引いた差額となる。

#### 株価指数先物の理論価格

- = 株価指数 + ネットキャリーコスト
- = 株価指数 + (株価指数購入代金調達利率 - 配当利回り) × 先物期間

#### (一般のコモディティ先物の理論価格)

一般のコモディティを原資産とする先物をみると、コモディティの場合には、次の算式のようにコモディティの保有コストに金融費用のほかに現物を保管する費用が掛かることになる<sup>(注20)</sup>。

$$F(t, T) = S(t)e^{[r(t) + c(t)](T-t)}$$

- $T$  : 先物の期日
- $F(t, T)$  :  $t$  日における先物の市場価格
- $r(t)$  : 無リスク資産の金利
- $c(t)$  : 保管費用

しかし、実際にはコモディティの価格がこの式の通りとなるケースは少ない。たとえば、農産物の貯蔵には限界があり、また、原油や石油精製品、天然ガスといったエネルギー物の消費者も生産者も、キャッシュ・アンド・キャリーモデルからみれば、現物を持つ方が不利に働くにもかかわらず、先物ポジションを持つよりも現物を持ってそれをキャリーすることを選好する傾向が強い。

これには、こうしたエネルギーが産業活動にとって不可欠であり、先行き何らかのイベントが発生してエネルギーの供給が途絶えたときに備えてある程度の量の現物を手元に持っておきたいというニーズがあり、この結果、現物価格が先物価格を上回るバックワードション (backwardation) 現象が生じることになる<sup>(注21)</sup>。

こうしたエネルギー物が持つ問題に対応するために、コンビニエンス・イールド (convenience yield) の概念が導入された。このコンビニエンス・イールドは、現物保有者が、先物ポジションを持つよりも利益が得られるというプレミアムを意味するものである。

この概念をキャッシュ・アンド・キャリーモデルに

組み込むと次式となる<sup>(注22)</sup>。

$$F(t, T) = S(t)e^{[r(t) - y(t)](T-t)}$$

$y(t)$  : コンビニエンス・イールド

このコンビニエンス・イールドモデルは、原油をはじめ他のコモディティに幅広く活用されている。

#### (2) 電力の理論価格

電力の先物理論価格の分析、モデルの研究は、スポット価格の研究に比べると数少ない状況にある。これには、電力の先物取引が活発に行われるようになったのは最近のことで、過去のデータの蓄積が少ないことと、電力が持つ非貯蔵性等のユニークな特徴から、スポット価格と先物価格の関連性が薄く一般のコモディティに使われているモデルが適用できないことによる<sup>(注23)</sup>。

すなわち、電力については、電力の非貯蔵性 (non-storability) から現物を買ったうえでそれを先物の期日まで保有するといったことは考えられないことから、在庫 (cash) を先物期間に亘って保有 (carry) することを前提とするキャッシュ・アンド・キャリーモデルは、電力先物の理論価格の算出には適用できない。

また、電力のスポット価格は、季節による需要の変化により大きく異なるパターンを描くが、これは、電力の先物価格でも同様の傾向がみられる。したがって、電力の先物価格の分析においても、こうした特徴を組み込む必要がある。

電力先物は、金融資産や電力以外のコモディティを原資産とする先物と比べた場合、もう1つの特徴がある。それは、電力先物の場合には、決済期間が月次とか四半期、年に亘ることから、先物曲線 (futures-curve) のボラティリティが、はるかに変動が緩やかになることである。

こうしたことを勘案のうえ、電力が持つ固有の特徴を勘案して電力の理論価格を導出する様々なアプローチが試みられている。その代表的なものは、次の3つである<sup>(注24)</sup>。

第1は、エコノメトリックモデル (econometric model) である。これは、ヒストリカルデータとヒストリカルデータに影響を及ぼす燃料コスト等の要素をもとに、電力の理論価格を推測する手法を取る。

第2は、誘導モデル (deduced-form model) である。この誘導モデルでは、エコノメトリックモデルよりも少ない要素で電力の理論価格を推測する。そして、リ

スクの市場価格を勘案した均衡状態をモデルに組み込んだアプローチとなっている。

第3は、均衡モデル (equilibrium model) である。この均衡モデルでは、ミクロ経済とテクノロジーの関係を勘案し、基本的に需給構造を基本としたモデルの構築となっている。

### (3) 電力のスポット価格と先物価格の関係

電力のスポット価格と先物価格の関係については、NYMEXのCOB (California Oregon Border) で引き渡される電力先物の価格をもとにした実証研究がある<sup>(注25)</sup>。なお、COB (中西部) は、電力先物取引の引渡し地点の主要地点となっている。

これによると、スポット価格のボラティリティは、先物価格の2～15倍となっている。また、スポット価格は正の歪度 (positive skewness) を示すが、先物価格にはこのような特性はみられない。これは、電力の限界的な生産増が大きなコストを伴うことが卸価格に反映されているとの理由によるとみられる<sup>(注26)</sup>。しかし、小売価格が固定されているとスポット価格の特性は電力の供給サイドにとって収益の圧迫要因となり、したがって、先物取引を行いこれをヘッジすることになる。そして、このような取引が活発化すれば、先物のプレミアムが高くなる。

こうした電力の先物プレミアムは、他の貯蔵可能なコモディティと比べると高く出る傾向があるが、これには、次の2つの理由があるとみられる<sup>(注27)</sup>。

第1には、電力の非貯蔵性の特徴と卸マーケットでの取引が供給サイドも需要サイドも相対的に数少ないプレイヤーに依存しているために、需給状況のボラティリティが大きな時にはそれを均衡状態に持つていくために高いプレミアムを要することが考えられる。そして、このことはまた、電力取引によるヘッジは、他の需給が基本的に安定しているコモディティのヘッジに比して、より多くのメリットをもたらすことを意味している。

第2は、電力先物でこのような大きなプレミアムが観察されることは、電力マーケットでは、電力業界に直接関係のない参加者の取引が少なく、電力業界を超えたより広範に亘る金融市場との融合が十分行われていない要因によることも考えられる。

すなわち、電力価格変動リスクタイプのキャパシティが少ないことからリスクプレミアムが高くなる傾向があり、特に電力のスポット価格にスパイクが発生する確率が高いとみられる場合にはリスクプレミアムが

際立って高くなる。したがって、電力のスポットと先物マーケットに電力業界のアウトサイダーが多く参入するような状況となれば、電力価格のリスクプレミアムは大きく変化する可能性がある<sup>(注28)</sup>。

## 8. 電力の先渡し取引

電力の先渡し取引は、先物取引同様、あらかじめ決めておいた価格 (先渡し価格) により、将来の一定時点 (先渡し期日) で、一定量の電力を売買することを約束する契約である。

しかし、先物取引と異なり、先渡し取引はOTC (店頭) で相対売買の形で取引され、その仕様は取引当事者間のニーズを汲み取ったテ일러メードとなっている。一般に、先渡し取引の取引ロットは先物取引よりも大きく設定される。

先渡し取引のペイオフ =  $(S_T - F)$  <sup>(注29)</sup>

$S_T$ : 時点Tにおける電力のスポット価格 (現物価格)

$F$ : 当事者間であらかじめ決めた時点Tにおける電力の現物引渡し価格 (先渡し価格)

この定義によれば、電力の先渡し取引は一般の先渡し取引となんら変わりがないようにもみえるが、電力という特殊な商品を対象とすることにより、契約の特質も変わってくる。

すなわち、上述のとおり電力は貯蔵できないことから1日のうちでもいつ引渡しをするかによって価格が異なる。それでも、あまり時間を細かく裁断すると取引の成立が困難となるため、通常、決済価格は、満期日のピーク時点とオフ時点、それに24時間の電力価格の平均を取ることとなる。

たとえば、先渡し取引がピーク時点の電力を対象とすると、ピーク時点は満期日の6時～22時を意味することから、その16時間の価格の平均となる。これを「オンピーク電力」と呼んでいる。

逆に、先渡し取引がオフ時点の電力を対象とすると、オフ時点は満期日の22時～6時を意味することから、その8時間の価格の平均となる。これを「オフピーク電力」と呼んでいる。また、24時間の電力を対象とする先渡し取引もあり、これを「アランド・ザ・クロック電力」と呼んでいる。

満期は、何時間先というものから何年先というものまでであるが、2年以上先の満期の取引は少ない<sup>(注30)</sup>。

電力の先渡し取引の決済は、現物決済で行われるこ

ともあれば、現金決済で行われることもある。

現金決済の典型例としては、イギリスやオーストラリアの電力マーケットで行われているCfD (Contract for Differences) がある。

一方、何時間先とか何日先という短期の先渡し取引は、一般的に現物決済で行われる。

そして、その中間の何週間とか何カ月といった先渡し取引は、現物決済でも現金決済でも行われていて、こうした取引の大半が、ブローカーを介してか、市場参加者の直接取引という形でOTCにおいて行われている。

電力の先渡しは、電力価格のヘッジ手段として活用される。顧客との間で長期の電力供給契約を交わしている配電業者は、例えば、先渡し取引を何ヶ月間、合わせることで、長期間に亘り電力価格の変動リスクをヘッジすることが可能である。

### 第3章 オプション取引

#### 1. オプション戦略

オプション取引は、ヘッジを目的とするほかに投機取引、裁定取引等、多種多様な戦略をとる。こうしたオプション戦略 (option strategy) には、オプションと現物、あるいはオプションと先物を組み合わせる戦略や、オプションとオプションを組み合わせる戦略などのパターンがある。

このうち、コールとプットを組み合わせ、双方とも買う、または双方とも売る取引をコンビネーション、コールの買いと売りとを組み合わせる取引、あるいはプットの買いと売りとを組み合わせる取引をスプレッドと呼んでいる。

##### (1) プロテクティブ・プット、カバード・コール (図表5)

オプションを活用する代表的なオプション戦略に、プットを使ったヘッジ取引であるプロテクティブ・プットと、コールを使ってリターンの獲得を狙うカバード・コールがある。

このうち、プロテクティブ・プットは、保有資産の相場下落による損失をヘッジするためにプットを買うストラテジーである。プロテクティブ・プットの戦略をペイオフ・ダイアグラムにすると、原資産の価格が下落しても保有資産の損失をプレミアムだけに止める損害保険の役割を果たしていることが分かる。

一方、カバード・コールは、原資産のロングポジションにコールのショートポジションを組み合わせる戦略である。この戦略は、ポートフォリオのリターン向上を狙うような場合に活用される。すなわち、ポートフォリオを運用するマネジャーは、ポートフォリオを構成する資産をこの価格でならば売却してもよいというところに権利行使価格を設定したコールを売る。このオプションは権利行使価格が原資産の相場より高いアウトオブザマネーのコール売りとなる。そして、先行き相場が下落、または横這いで推移した場合には、オプションは権利行使されることなく終わり、この投資家の狙いどおりプレミアムの収入分だけポートフォリオのリターンは向上する。

逆に、相場が上昇してオプションの買い手が権利行使をした場合には、権利行使価格により手持ちの資産を売却する。カバード・コールの名称は、コールを売ってもその裏付けとしてオプションの原資産である資産を保有しており、権利行使を受けた場合には手持ちの資産の引渡しによりカバーできることから来ている。

##### (2) ストラドルとストラングル (図表6)

コールとプットを組み合わせたコンビネーションの代表として、ストラドルとストラングルがある。

このうち、ストラドル (straddle) は、権利行使価格、限月共に同一のコールの買いとプットの買いの組み合わせ (ロングストラドル) または、コールの売りとプットの売りの組み合わせ (ショートストラドル) のオプション戦略である。

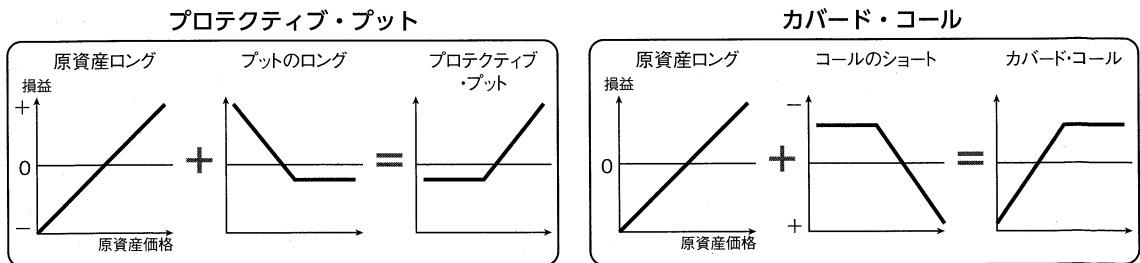
ロングストラドルは、原資産価格が上がるか下がるかの方向は予想がつかないが、先行きボラティリティが高まり相場が大きく動くとの見方の時に活用できる戦略である。ロングストラドルでは、コールのプレミアムとプットのプレミアムを2重に支払う必要がある。

一方、ショートストラドルは、相場が揉み合いの膠着症状になるとの見方の時にとる戦略である。このショートストラドルは、プレミアムがコールとプットと2重に入るが、ひとたび相場が上下いずれかに大きく動くとも損失が無限大となるリスクがある。

また、ストラングル (strangle) は、限月は同一であるが、コールの権利行使価格がプットの権利行使価格よりも大きいオプションの組み合わせで、ストラドルに比べてリスクは小さいものの、同時に期待できるリターンも小さなものとなる。

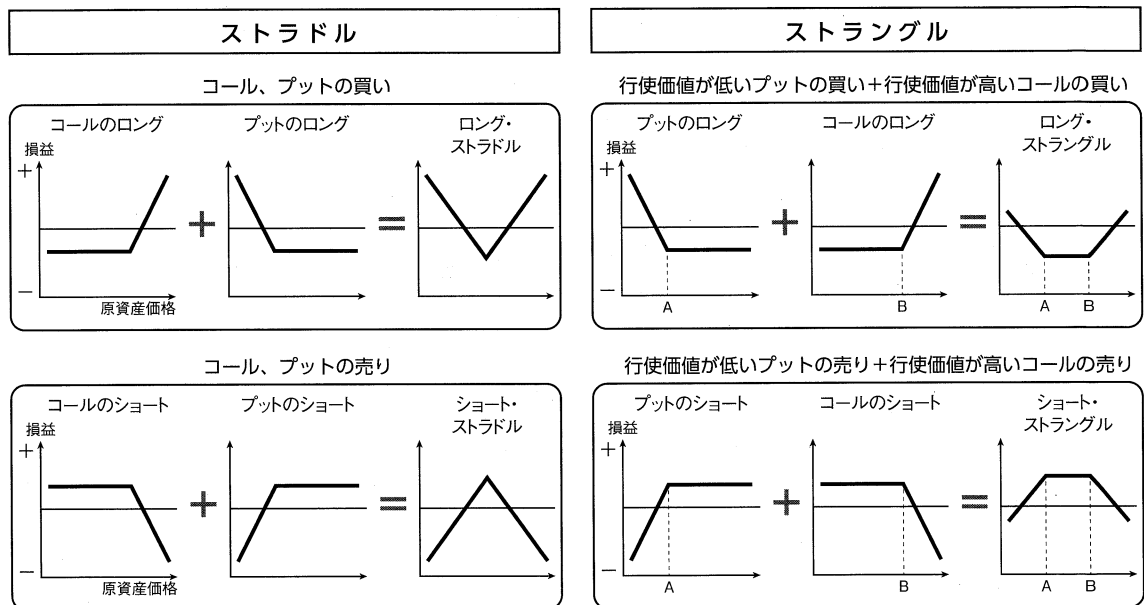
ストラドルとストラングルをペイオフ・ダイアグラムにすると、ストラドルのペイオフ・ダイアグラムは

図表5 プロテクトィブ・プットとカバード・コール



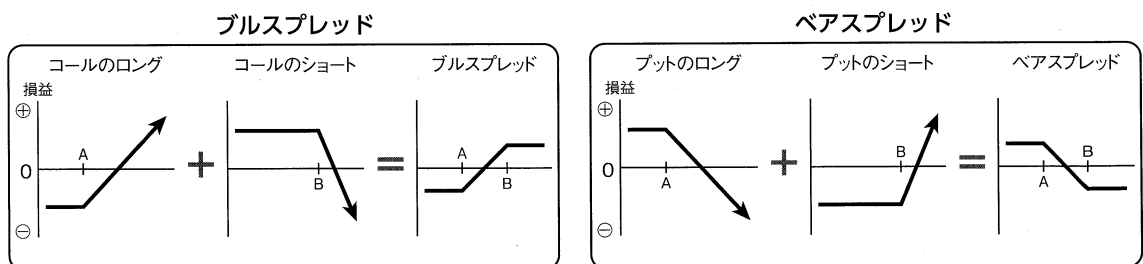
(出所) 筆者作成

図表6 ストラドルとストラングル



(出所) 筆者作成

図表7 ブルスプレッドとベアスプレッド



(出所) 筆者作成

尖っているが、ストラングルのペイオフ・ダイアグラムは2つの権利行使価格の間では水平になる。

### (3) ブルスプレッド、ベアスプレッド (図表7)

スプレッドは、同一の原資産の2つ以上のコールの組み合わせ、またはプットの組み合わせにより形成する。その場合、複数のコールまたは複数のプットは、異なる権利行使価格または限月を組み合わせる。

ブルスプレッドは、原資産価格が上昇するとの見通しの時に活用できる戦略で、ブルの名前もここからきている。コールの売り買いの組み合わせのブルスプレッドでは、権利行使価格が低いコールの買いと権利行使価格が高いコールの売りを組み合わせた戦略となる。

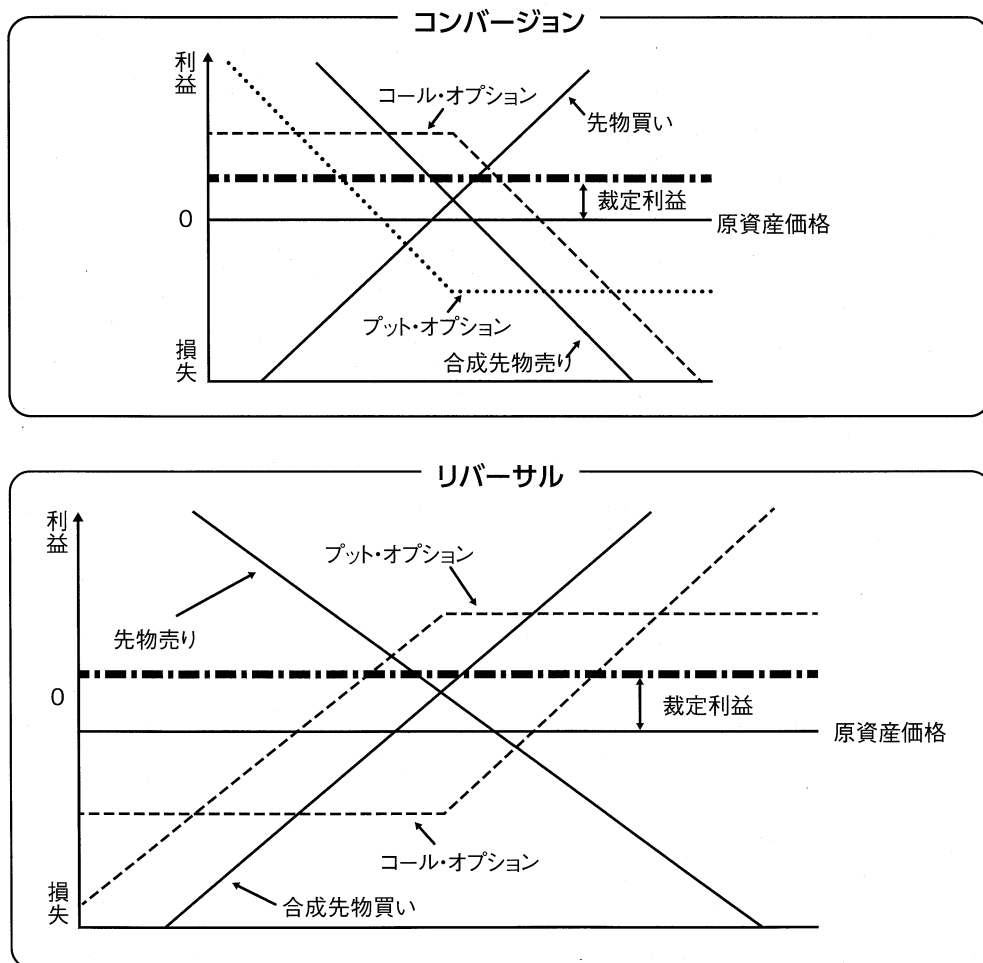
ベアスプレッドは、原資産価格が下落するとの見通しの時に活用できる戦略で、ベアの名前もここからきている。プットの売り買いの組み合わせのベアスプレッドでは、権利行使価格が低いプットの買いと権利行使価格が高いプットの売りを組み合わせた戦略となる。

ブルスプレッドもベアスプレッドも、利益限定・損失限定のペイオフ・ダイアグラムとなる。そして、オプションの売りが組み合わされていることによってプレミアムのネット支払いが抑えられる効果がある。

### (4) コンバージョン、リバーサル (図表8)

コールとプットと先物の3つのうち2つを合成して残りの一つを作ることができる。これを合成ポジション

図表8 コンバージョンとリバーサル



(出所) 筆者作成

ンといい、合成ポジションが先物の場合には合成先物 (synthetic futures)、オプションの場合には合成オプション (synthetic option) と呼んでいる。

そして、合成先物や合成オプションの価格と、現実にマーケットで取引されている先物やオプションの相場と比較して、そこにギャップがあれば裁定取引を行って利益を挙げることができる。合成ポジションを使った裁定取引の典型例としては、コンバージョンとリバーサルがある。

このうち、コンバージョン (conversion) をみると、いま、マーケットで取引されている先物価格が何らかの事情で一時的に理論先物価格を下回って異常に安い状況にあるとする。このような価格の相対関係にある時には、コンバージョンによる裁定益を狙うことができる。

コンバージョンでは、コールの売りとプットの買いの組み合わせで合成の先物売りを作る。この際、コールとプットの限月、権利行使価格は同一のものを使う。このように、合成先物売りを形成すると同時に、現実にマーケットで取引されている先物を買う。こうした一連の取引により、マーケットで割安な先物を買ひ、オプションを合成して作った先物売ることで裁定利益を得ることができる。

#### コンバージョン

- = (コール売り + プット買い) + マーケットで先物買い
- = 合成先物売り + マーケットで先物買い
- = 高い先物売り + 安い先物買い
- = 裁定益獲得

また、マーケットでコールが割高でプットが割安の状況にある時、コール売り、プット買いで合成先物の売りを作り、それにマーケットで先物を買うことによりコンバージョンを形成することもできる。

一方、リバーサル (reversal) は、コンバージョンと対称的な裁定取引である。いま、マーケットの先物価格が理論価格より割高であるとする。この時、コール買い・プット売りの合成先物買いを作り、同時にマーケットで割高な先物売る。これがリバーサルの取引内容で、価格の相対関係も裁定取引もコンバージョンとは全く逆の内容となる。

#### リバーサル

- = (コール買い + プット売り) + マーケットで先物売り
- = 合成先物買い + マーケットで先物売り
- = 安い先物買い + 高い先物売り
- = 裁定益獲得

また、マーケットでコール割安、プット割高にある時、コール買い・プット売りで合成先物の買いを作り、それとマーケットで先物売ることでコンバージョンを作り、裁定益を得ることもできる。

#### (5) ゼロコストオプション

ゼロコストオプションは、オプションの売りと買いを組み合わせることにより、オプションのプレミアムの支払いが不要となるように設計されたオプションである。ゼロコストオプションを組成するためには、コールとプットの権利行使価格を異なるものに設定して、プレミアムを同一にするとか、コールとプットの単位数を変えることにより、プレミアムを同一にする等の方法がある。

#### 2. 経路依存型オプション

通常のオプション (plain vanilla option) のほかに、OTCで取引されているエキゾティックオプションがある。こうしたエキゾティックオプションの代表例として、経路依存型オプションがある。

通常のオプションのペイオフは、満期に至るまで原資産価格がいかなる経路を辿ってきたかはまったく関係なく、あくまでもオプションの満期時点における原資産の価格と権利行使価格の相対関係でペイオフが決まる「経路独立型オプション」 (path-independent option) である。

個別株オプションでこれをみると、いま、A社株につき、XX月限、権利行使価格20ドルのコールオプションを買ったとする。そして、満期時点での原油価格が22ドルとすると、このコールオプションの買い手は  $[22 - 20 = 2 \text{ ドル}]$  を掌中にする。また、満期時点の価格が18ドルとすると、このオプションは無価値に終わり、オプションの買い手はプレミアムを失う。

これに対して、「経路依存型オプション (path-dependent option)」は、オプションの期間中に原資産の価格がどのような経路を辿ってきたかがペイオフに影響するタイプのオプションである。

経路依存型オプションの代表例には、ノックイン、ノックアウトオプション、アベレージオプションがある。

#### (1) ノックインオプション、ノックアウトオプション

ノックインオプション (knock-in option) は、オプションの期間中に原資産価格があらかじめ設定してある価格の水準に達した場合に、はじめてオプション



が発効するオプションである。

一方、ノックアウトオプション (knock-out option) は、逆にオプションの期間中に原資産価格があらかじめ設定してある価格の水準に達した場合にオプションが消滅するオプションである。

## (2) アジアンオプション

エネルギー物を原資産とするデリバティブ商品は、金融界で活発に取引されている各種デリバティブ商品をエネルギー物に応用したものが大半である。しかし、エネルギー業界固有のニーズから、金融界ではあまりみられないアジアンオプション (Asian option) が活発に取引されている。もっとも、金融オプションにおいても、例えば通貨オプションにおいて外貨の支払いが何度かに分けて定期的に行われるような場合に、アジアンオプションが使用されることがある。

アジアンオプションは、オプションの期間中における原資産価格の平均値を取って、それをオプションの決済価格に使うオプションで、アベレージオプション (average option) とも呼ばれている。アジアンオプションは、このオプションがアジア地区で取引されているからというわけではなく、アメリカンオプション、ヨーロッパアンオプションなど、オプションのスタイル別に世界の地域の名称が付けられており、後から開発されたオプションは、それ以外の地域の名称が適宜付けられていることによるものである。

アジアンオプションは、長期間、一定のインターバルで安定的に一定の量を売買するといった取引形態の企業に活用される。すなわち、通常のオプションのように、ペイオフが一時点における原資産価格で決まるよりも、アジアンオプションの活用により、長期間、均して取った価格で決まった方が、原資産価格の動きと実際の売買価格の動きがより密接に関連することになり、原資産の価格変動からの損失を回避するヘッジ効率を上げることが可能となる。

### ①エネルギーとアジアンオプション

経路依存型のアジアンオプションがエネルギー物のOTCオプションで活用されている背景には、原資産価格の一時点の価格を取るのではなく、オプション期間中の平均価格を取ってオプションのペイオフに反映させた方が、エネルギー価格の変動リスクをヘッジする目的にマッチする事情がある。天然ガス、ガソリン、灯油などのエネルギー物を購入する企業体は、通常、一度に大量の買い付けをするのではなく、長期間にわ

たって、安定的に一定の量を小刻みに買っていく取引形態を取る。

このように先行き小刻みに売買されるエネルギー物の価格リスクのヘッジには、オプションのペイオフが一時点における原資産価格で決まるよりも、長期間、均して取った価格が、原資産価格の動きと実際に売買するエネルギー価格の動きがより密接に関連することになり、ヘッジ効率が上昇する。

### ②電力を原資産とするアジアンオプション

電力オプションについても需要家が電力を消費する期間中の平均価格をベースにした方がヘッジニーズにマッチすることに加えて、平均価格を取った方が市場の価格操作に対して安全である等の理由によってアジアンオプションが活用される<sup>(注31)</sup>。

電力を原資産とするアジアンオプションの決済方法は、金融資産を原資産とするアジアンオプションと同じである<sup>(注32)</sup>。

電力を原資産とするアジアンコールオプションのペイオフは、次式のようになる。

$$A_c(t, w, T, K) := (t_2 - t_1) \max \{x^{ave}_0(T, w) - K, 0\}$$

アジアンオプションの参照価格：

ある期間  $T := [t_1, t_2]$  のスポット価格の算術平均：  
 $x^{ave}_0(T, w)$

オプションの満期  $t_2$  における権利行使価格： $K$

また、電力を原資産とするアジアンプットオプションのペイオフは、次式のようになる。

$$A_p(t, w, T, K) := (t_2 - t_1) \max \{K - x^{ave}_0(T, w), 0\}$$

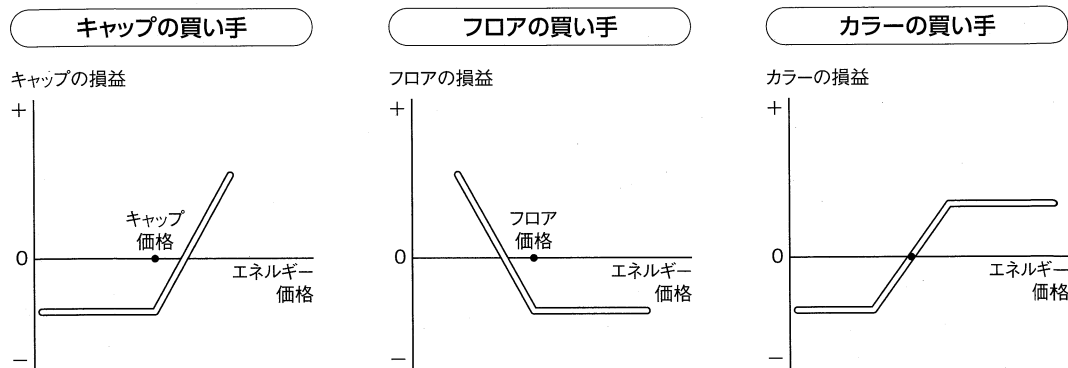
## 3. キャップ、フロア、カラー

エネルギー物を対象にして、OTCにおいて活発に取引されているオプションとしては、キャップ、フロア、カラーがある (図表9)。

### (1) キャップ

キャップ (cap) は、コールオプションと同じペイオフで、通常、エネルギー商品を購入する消費者サイドが買い手となる。キャップの買い手は、売り手にプレミアムを支払う一方、原資産であるエネルギー商品の価格が一定水準 (キャップ価格) を超えると、〔原資産の価格 - キャップ価格〕をキャップの売り手から

図表9 キャップ、フロア、カラー



(出所) 筆者作成

受け取る。

これにより、キャップの買い手はエネルギー商品の価格上昇リスクをヘッジすることができる。また、エネルギー商品の価格下落の場合には、価格の下落幅からオプションのプレミアム支払い額を差引いた分を利益として享受することができる。

## (2) フロア

フロア (floor) は、プットオプションと同じペイオフで、通常、エネルギー商品を販売する生産者や販売業者サイドが買い手となる。フロアの買い手は、売り手にプレミアムを支払う一方、原資産であるエネルギー商品の価格が一定水準 (フロア価格) を下回ると、〔フロア価格 - 原資産の価格〕をフロアの売り手から受け取る。

これにより、フロアの買い手はエネルギー商品の価格下落リスクをヘッジすることができる。また、エネルギー商品の価格上昇の場合には、価格の上昇幅からオプションのプレミアム支払い額を差引いた分を利益として享受することができる。

## (3) カラー

カラー (color) は、キャップとフロアを組み合わせたもので、エネルギー商品の購入サイドがカラーの買い手となる場合には、購入価格の上昇リスクをヘッジすることができる反面、エネルギー商品の価格が下落しても、その下落メリットは享受できない。

一方、エネルギー商品の生産サイドがカラーの買い手となった場合には、エネルギー商品の価格下落リスクをヘッジすることができる反面、逆に価格上昇のメリットは享受できない。

## 4. コーラブル・プッタブル先渡し

電力デリバティブでは、コーラブル・プッタブル先渡し取引が活発に行われている<sup>(注33)</sup>。

### (1) コーラブル先渡し取引

コーラブル先渡し (callable forwards) 取引の買い手は、電力の先渡しを1単位買うとともに、買い手の選択した権利行使価格でコールを1単位売る。コーラブル先渡し取引の売り手は、これと反対のポジションを持ち、電力の現物価格が権利行使価格を超えたら権利行使をして、電力の現物を入手して、これを電力の先渡しのショートポジションにマッチさせて相殺することができる。

一方、コーラブル先渡し取引の買い手は、コーラブル先渡し取引を行った時点でコールの売りによるプレミアムを得ることにより、事実上、先渡しのロングをディスカウントで買うことができる。オプションのプレミアム収入は、先渡しの実行に先行することから、このディスカウント幅は複利で大きくなる。

### (2) プッタブル先渡し取引

プッタブル先渡し (puttable forwards) 取引の買い手は、電力の先渡しを1単位買うとともに、買い手の選択した権利行使価格でプットを1単位買う。プッタブル先渡し取引の売り手は、これと反対のポジションを持つ。プッタブル先渡し取引の買い手は、電力の現物価格が権利行使価格を下回ったら権利行使をして、電力の現物を売却、電力の先渡し取引のロングポジションにマッチさせて相殺することができる。

プッタブル先渡し取引の買い手は、プッタブル先渡し取引を行った時点でプットの買いによるプレミアムを支

払うことになるが、これは先渡し取引の満期に必ず電力を入手できるといった確実性に対する対価 (capacity availability premium) とみることができる。

## 5. スイングオプション

電力等のエネルギー物のオプション取引では、原資産がエネルギーであることによるユニークなオプションも取引されている。その1つがスイングオプションである。

### (1) エネルギー業界とスイングオプション

電力取引に関わる価格変動リスクや量的リスクをヘッジする手段としては、まず先物・先渡しや、通常のオプションが考えられる。

しかし、先物・先渡しは、電力の受渡し量についても受渡しのタイミングについても、先物・先渡しの契約時点で固定されていることから、取引当事者が受渡し量やタイミングについて需要動向をみながら柔軟に対応することができない。特に電力の需要量は、気温等の外生的な要因で決まることが多く、したがって、電力需要者にとって事前に受渡し量やタイミングを予想して取引することは困難であり、このため、受渡し量やタイミングの不確実性を前提とするヘッジツールが必要となる。

また、通常のオプションはヘッジ効果もたらずメリットと比べると、プレミアムの負担が高コストになることが少なくない。たとえば、先行き1か月間に最大5回の電力価格のスパイクがあると予想した取引当事者が、1か月間、オプションを買って毎日権利行使が可能とする。この場合、取引当事者がオプションの権利行使を行う回数は精々5回程度であるにもかかわらず、そのヘッジのために高いプレミアムを支払うことになる<sup>(注34)</sup>。

こうしたことから、スポット価格の変動リスクをヘッジするために、電力の受渡し「量」についても、受渡しの「タイミング」についても柔軟性があるスイングオプション (swing options) が活用されている。

スイングオプションは、従来から天然ガス業界で活用されてきた手法である。スイングオプションは、天然ガスの受渡し量に柔軟性を持たせる特徴や、その上限と下限を設定する特徴を捉えて、テイクオアペイ (take-or-pay) とか、変動電力契約 (variable base-load factor)、弾力条項付オプション (flexible nomination options)、スイング契約 (swing contract)

等、様々な呼び名がある。

そして、こうした天然ガス業界におけるスイング取引のメリットが認識されて、電力業界にもこれが取り入れられることとなった。

### (2) スイングオプションの概念

#### ①スイングオプションの機能

スイングオプションの買い手は、一定の期間中、いつでもあらかじめ定めた価格で電力を購入する権利を持ち、また売り手は買い手から権利行使を受けたら権利行使があった量だけ一定の価格で電力を供給する義務を負う。このように、スイングオプションは、一般的に電力の現物オプションである。

こうしたスペックを持つスイングオプションは、広い意味で経路依存型オプションの一種に属すると考えられる<sup>(注35)</sup>。すなわち、スイングオプションの買い手は、オプションの期間中、原資産である電力価格の動向を睨んで自分に最適なタイミングで権利行使をすることが可能である。

また、スイングオプションは、電力の先渡し契約とオプションを組み合わせたポートフォリオとみることができる。

スイングオプションは、電力が持つ非貯蔵性という固有の問題に対応するツールとして活用されている。具体的には、電力の非貯蔵性から、電力の購入量にフレキシビリティが要求されるが、スイングオプションは、主としてこうした量的リスクのヘッジニーズから生まれたツールである。また、スイングオプションは、電力需要が急増して電力価格が急騰するスパイク状態となった場合の価格変動リスクをヘッジする機能も具備している。

#### ②スイングオプション取引

スイングオプションの買い手は、一定の期間中、電力需要の動向に沿って異なる電力量の供給を受けることが可能となる。

たとえば、スイングオプションの買い手は、翌月中に60€/MWhの単価で総量500~1,000MWhの電力を買う権利を持つが、1日当たりの購入量は50MWhを超えることはできない、といった内容が典型的なスイングオプションである<sup>(注36)</sup>。

このように、オプションの買い手は、一定の期間中に供給を受ける総電力量 (累積電力量)、および一時期に供給を受ける電力量について上限と下限が課せられ、上限と下限の間で電力の購入量の変動 (スイング)

ができることから、こうした名称が付けられている。

そして、スイングオプションの上限が高くなるほど、スイングオプションの価格は高くなる。これは、上限が高くなれば、それだけオプションの買い手にとって電力消費の不安定性のヘッジが有効にできることによる<sup>(注37)</sup>。

また、オプションの買い手が一定の期間中に供給を受けた電力量の累計がこの限度を超えたり下回った場合には、オプションの売り手にペナルティを支払わなければならない。

すなわち、スイングオプションの買い手と売り手との間で主として次の内容の取り決めがなされることになる。

1. オプションの期間（たとえば1か月）
2. オプション期間中、受渡し可能な総電力量（累計電力量）と、一時期（たとえば1日）に受渡し可能な電力量の上下限
3. 受渡しされる電力の単価

このように、オプションの期間中、定期的に受渡しされる電力量を変更することができるが、オプション期間中、受渡しする総電力量には一定の枠が設定される。

### ③スイングオプションのタイプ

スイングオプションには、次の2つのタイプがある

<sup>(注38)</sup>

第1のタイプは、local effectタイプのオプションで、スイングオプションの買い手が権利行使を行った場合に、その権利行使時点から一定の期間における電力の供給が変化するのみ（local effect）で、それが過ぎれば電力供給は通常のベースロードの契約に従った量に戻る、といった内容のスイングオプションである。

第2のタイプは、global effectタイプのオプションで、スイングオプションの買い手が権利行使を行った場合に、その権利行使以降、オプションの期日到来まで電力の供給量が変化する（global effect）、といった内容のスイングオプションである。

このうち、第1のlocal effectタイプのオプションは、権利行使が複数回に亘る可能性があるアメリカンスタイルのオプションと考えることができるが、実務界においては、第2のglobal effectタイプのオプションが、より活発に取引されている状況にある。

### (3) スイングオプションの特徴

ここで、スイングオプションの特徴を整理しておこう。

#### ①権利行使のタイミング

スイングオプションの第1の特徴は、権利行使時期にある。すなわち、電力のユーザーであるオプションの買い手は、権利行使をオプションの期間中いつでも、または、オプションの期間中の一定の日数に亘って権利行使を行うことができる。

一般のオプションには、オプションの満期日のみ権利行使できるヨーロピアンオプションや、オプションの期間中であればいつでも権利行使できるアメリカンオプションがあるが、スイングオプションは、オプションの期間中の一定日（複数）に権利行使ができるバミューダオプション（ヨーロピアンオプションとアメリカンオプションの中間的性格を持つオプション）の一種であるということができる。

スイングオプションには、権利行使がオプション期間中1回だけのワンスイングオプション（one-swing option）と複数回の権利行使が可能であるフルスイングオプション（full-swing option）がある。このうち、ワンスイングオプションは、アメリカンオプションに類したものである。一方、フルスイングオプションは、オプションの期間をいくつかに分けてその1期間内であれば何回でも権利行使ができるタイプであり、ヨーロピアンスタイルの連続したオプションに類したものである。

また、ワンスイングオプションでは、事実上、一時期に受渡し可能な電力量の上下限が適用されるのに対して、フルスイングオプションは、オプション期間中、受渡し可能な総電力量（累計電力量）と、一時期に受渡し可能な電力量の上下限の双方が課せられることとなる。

#### ②ボリューム

スイングオプションの第2の特徴は、権利行使で購入することができる電力量にある。すなわち、オプションの買い手となる電力需要者が権利行使で購入できる量には、たとえば1日とか、1週間、1ヶ月あたりの合計で上限と下限が設定されていて、オプションの買い手はその限度内であれば、権利行使による購入量を自由に決めることができる。ここで、上限量はオプションの売り手である電力の供給者の供給制約量に対応することになる。

実際の契約においては、当初の契約時点であらかじめ名目上の受渡し量を決めておいて、それをスイングオプションの買い手が権利行使して変更することができるという形を取る。

このように、権利行使の都度、購入する量を変更できることは、スイングオプションの大きな特徴である。

#### (取引価格)

スイングオプションで、実際に売買される電力価格は、先渡取引のように事前に当事者間で固定価格として決めておくこともあれば、一定のルールに従って事後的に決まることにする等、当事者間で自由に取極めることができる。

#### (テイク・オア・ペイ)

仮にオプションの買い手の権利行使が一定の期間で購入しなければならぬ下限（最低総取引量）を下回った場合には、未達部分についても支払い義務があるとするペナルティがオプションの買い手に課されることになる。こうした条件は、スイングオプションに限らず一般に長期の販売契約に付されることが多く、テイク・オア・ペイ条項（Take or Pay Contract; TOP）と呼ばれている。また、この点を捉えてスイングオプションをテイク・オア・ペイということもある。特に、電力のように生産販売の体制構築のために長期に亘る投資を要する場合には、電力の供給者サイドに長期間の需要変動リスクのヘッジニーズがあり、テイク・オア・ペイ条項はこうしたニーズを汲み取ったものである。

テイク・オア・ペイ条項の具体的な内容は当事者間で決めることとなるが、一般的に最低総取引量を下回った未達部分の支払いは、実際に電力を受け取った場合に支払うことになる契約金額よりもディスカウント（その幅は当事者間で決める）されることになる。

また、スイングオプションには、オプションの買い手の権利行使が一定の期間で購入しなければならない最低総取引を下回った未達部分を第三者に振り分けることができる権利が付与されるタイプも存在する。

#### ③権利行使価格

スイングオプションの第3の特徴は、権利行使価格の設定方法にある。すなわち、権利行使価格はオプションの全期間中一定にする場合もあれば、あらかじめオプションの期間中をいくつかに分けておいて、その区分ごとに権利行使価格を変更する場合もある。

#### (4) スイングオプションの活用と具体例

##### ①スイングオプションの活用

欧米の電力業界では、かなり前からスイングオプシ

ョンが取引されてきたが、当初は、メーカーが電力供給に柔軟性を持つことができることを目的にして、大手発電業者との間でスイングオプションを取引するといった内容が中心であった。しかし、電力取引の規制緩和が進展するにつれて、現状では、さまざまな当事者がスイングオプションが持つ量とタイミングの弾力性のメリットを享受することを指向して取引に参加している。

たとえば、電力ユーザーであるメーカーが製品の需要増から生産量を増加することになれば、追加的な電力が必要となる。このように、電力のユーザーは、ビジネスの展開次第で電力の購入についてタイミングとボリュームに柔軟性に適応することが求められ、スイングオプションはそうしたニーズに応えるツールとして活用されている。

##### ②スイングオプション取引の具体例

ここで、スイングオプション取引の具体例をみよう<sup>(注39)</sup>。

いま、AがBに対して9月中、1日当たり50,000MWの電力を供給することに合意したとする。

電力価格は、45ドル/MWhの固定価格である。

1日当たり50,000MWの供給量は、名目上の電力量（nominated amount）であり、Bはこれを限られた回数以内で変更する権利を持つ。

Bがを受け取る電力量を変更することになる理由は、電力需要の変動、天候の変動、スポット価格の変動等が考えられる。

毎日の始まりに、Bは、その日の電力消費量を30,000MWに減少させる一方、購入価格は45ドル/MWhの固定価格を変えない権利を持つが、この権利行使は9月中10回を上限とする。

また、Bは、9月中、総計で少なくとも900,000MWの電力を購入する義務がある。これは、最小限度量（minimal amount）となる。もし、Bがこの最小限度量を守ることができなかった場合には、何らかのペナルティが課せられる。たとえば、9月中のBが電力購入量が900,000MWを下回った場合には、Bは、Aから900,000MWと実際の購入量との差をあらかじめ定めておいたペナルティ価格で購入しなければならない。

以上のスイングオプションの具体例は、次の3つの要素から構成されている。

##### i. 先渡し契約の要素

9月中、1日当たり50,000MWの電力を45ドル/MWhで売買する契約。

## ii. スイングオプションの要素

スイングオプションの買い手は、1日の電力消費量を30,000MWに減少させる一方、購入価格は45ドル/MWhの固定価格を変えない権利を持つが、この権利行使は9月中10回を上限とする。

## iii. ペナルティの要素

スイングオプションの買い手が、9月中に購入した電力量が900,000MWを下回った場合には、900,000MWと実際の購入量との差をあらかじめ定めておいたペナルティ価格で購入しなければならない。

## 6. スパークスプレッド

### (1) インターコモディティ・スプレッド

インターコモディティ・スプレッド取引は、2つの異なる商品の価格差を対象とする裁定取引である。金融資産間では、たとえば短期金利先物とJGB（日本長期国債）先物とか、日経225先物とTOPIX先物といったインターコモディティ・スプレッド取引がある。

一方、エネルギー商品間の代表的なインターコモディティ・スプレッド取引には、クラックスプレッドとスパークスプレッドがある。このうち、「クラックスプレッド」は、原油価格とガソリンや灯油価格等の石油精製品との間の価格差を指し、「スパークスプレッド」は、石油や石炭、天然ガス、重油等の燃料価格と電力価格との間の価格差を指す。また、スパークスプレッドのうち、石炭と電力価格との間の価格差は、「ダークスプレッド」と呼ばれている。

クラックスプレッドは、1つの商品としてNYMEXに上場され取引が行われているが、スパークスプレッドは、相対取引で行われている。特に欧州においては、天然ガスや石炭と電力とのスパークスプレッドが、活発に取引されている。

### (2) ヒートレート

#### ① ヒートレートの概念

1単位の電力を生産するために必要な燃料がいくら

かは、発電効率性（熱効率）に依存する。この熱効率は、ヒートレート（heat rate）で表される。すなわち、ヒートレートは、1単位の電力のアウトプットするために必要な天然ガス、石炭、原油等の燃料の投入量を示す（図表10）。ヒートレートは、燃料を燃焼した際に得られる熱量を発電量で除して求める。したがって、ヒートレートが高いほど発電効率が悪いことを意味する。

電力はkWhで表し、熱量はBtuで表す。ここで、Btuは、英熱量（British thermal unit）で、ヤードポンド法の熱量単位である。

電力の単位：MWh（1,000kWh）

熱量の単位：MMBtu（MBtu=1,000Btu、したがって  
MMBtu=1,000,000Btu）

ヒートレート=Btu/kWh（1キロワット/時間当たりの英熱量）、または、

ヒートレート=MMBtu/MWh（1メガワット/時間当たりの百万単位の英熱量）

ここで、1 MMBtu/MWh=1,000Btu/kWh

電力会社等の発電事業者はBtu/kWhを使い、電力取引業者のマーケットター等はMMBtu/MWhを使うことが多い。

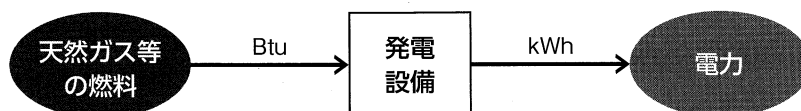
ヒートレートは、発電設備の経年や稼働率等で変化する。たとえば、発電設備がフル稼働の時には、発電効率は良いものの、それが最小の稼働率になった場合には効率が低下する。発電事業者はこうした関係を勘案して燃料の手当てを行うことになる。

燃料投入量、発電量、ヒートレートの関係は次のようになる。

$$\begin{aligned} &1 \text{ か月に必要とされる Btu (百万単位)} \\ &= \text{予想発電量 MWh} \times \text{ヒートレート} \end{aligned}$$

たとえば、8 MMBtu/MkWhは、電力価格が天然ガス価格に比べて8倍以上であれば、天然ガスを燃料とする発電所は電力を売ることにより利益を収めることができることを意味する。新鋭のガスタービン複合サイクル発電（combined-cycle gas turbines, CCGT）と燃料電池は、6,800～7,500Btu/kWhである

図表10 ヒートレート



（出所）筆者作成

一方、旧式の蒸気発電は、12,000Btu/kWhである<sup>(注40)</sup>。

燃料をスポット価格で購入し、それを使って発電した電力をスポット価格で販売するとした場合に、次の算式が成立すれば、発電所は利益を上げることができることとなる。

電力のスポット価格

＞ヒートレート×燃料のスポット価格

マーケット・インプライドヒートレート（マーケット価格に織り込まれているヒートレート）

=電力価格／燃料価格

天然ガスを燃料とする発電所は、7～10MMBtu/MkWhのヒートレートを持つといわれる。すなわち、ヒートレートが7MMBtu/MkWhを下回る場合は、極めて効率的な発電であるとされ、逆にヒートレートが10MMBtu/MkWhを上回る場合は、非効率的な発電であるとされる（図表11／図表12）。

## ②オペレーティングヒートレートとエコノミックヒートレート

ヒートレートは、オペレーティングヒートレートとエコノミックヒートレートに分けられる<sup>(注41)</sup>。

このうち、「オペレーティングヒートレート」(operating heat rate)は燃料の算出に使われるのに対して、「エコノミックヒートレート」(economic heat rate)は、取引を行う時の価格の算出に使われる。このため、エコノミックヒートレートは、契約上のヒートレート(contractual heat rate)とも呼ばれる。

この両者を比較すると、一般的にエコノミックヒートレートの方がオペレーティングヒートレートよりも高い。これは、エコノミックヒートレートは燃料のほかに発電設備の運転・維持費用や、運転開始・休止費用等を含むためである。

エコノミックヒートレートは、どれが最も発電コストが安いのかのメリットオーダー (merit order) を決定する時などに使用される。たとえば、発電事業者が12MMBtu/MWhのヒートレートの発電設備を持っていて燃料費が1百万Btu当たり8ドルとすると、電力の購入サイドは、少なくとも96ドル/MWhで入札する必要がある。

$8\text{ドル/MMBtu} \times 12\text{MMBtu/MWh} = 96\text{ドル/MWh}$

ここで、オペレーティングヒートレートとエコノミックヒートレートの差異は、発電設備を稼働させるた

めの変動費（燃料費を除く）を勘案した追加的なヒートレートである。

## (3) スパークスプレッド

### ①スパークスプレッドの概念

スパークスプレッドは、電力のスポット価格と燃料のスポット価格を、同一場所または近接する場所で、かつ同一の受渡し時点で比較した時の差である。

図表13では、2012年中の米国の4カ所のスパークスプレッドを示したものである<sup>(注42)</sup>。これによると、卸電力価格のボラティリティの大きさを反映してスパークスプレッドは大きく変動していることが明らかである。

また、ニューヨークやシカゴといったRTOで形成される電力価格の方が、北西・南東太平洋岸で相対取引で形成される電力価格よりも急騰する傾向がある。

そして、平均的にみてニューヨークのスパークスプレッドが大きい反面、北西太平洋岸では、特に春から夏にかけて低価格の水力発電が豊富に供給されることによる電力価格の下落を反映してスパークスプレッドは小さい。

広義のスパークスプレッドは、燃料に石炭や天然ガスを使用した場合であり、また狭義のスパークスプレッドは燃料に天然ガスを使用した場合をいう。そして、燃料に石炭を使用した場合を、ダークスパークスプレッド、またはダークスプレッドという。

なお、原子力発電については、卸電力価格と原子力発電の燃料コストの差をクォークスプレッド (quark spread) と呼んでいる。

スパークスプレッドは、電力価格とエネルギーコストの-marginで、発電所の利益を意味する。すなわち、スパークスプレッドは、発電所がスポット価格で燃料を購入してスポット価格で電力を販売した時に得られる利益の理論値である。

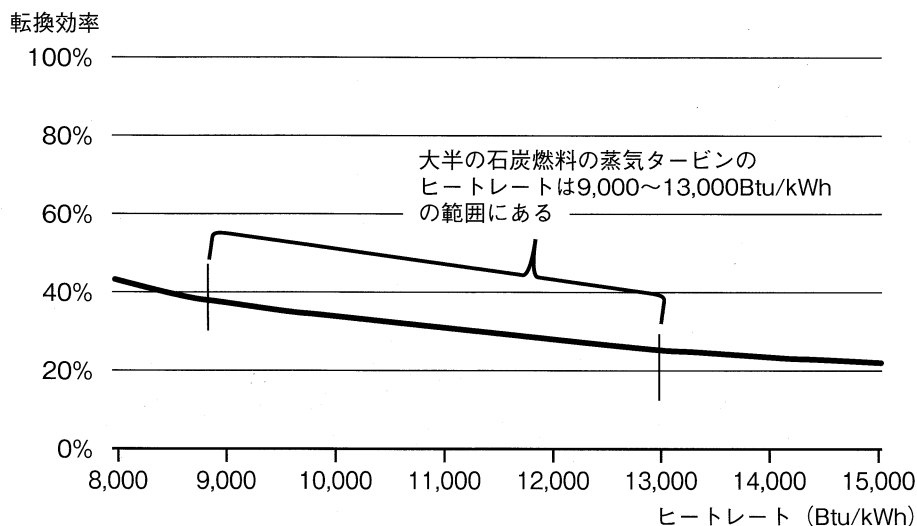
スパークスプレッドには、発電所が要するその他の運転・維持 (operation and maintenance, O&M) 費用や金融費用等は含まれていない粗利益である。

スパークスプレッド

= 卸電力価格 (ドル/MWh) - [燃料価格 (ドル/百万Btu) × ヒートレート]

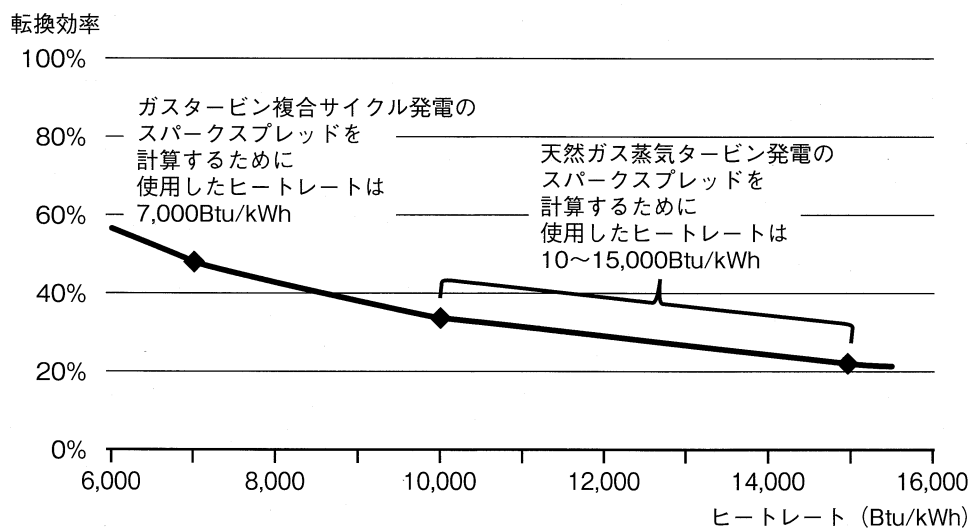
もし、電力のトレーダーがスパークスプレッドのロングポジションを持てば、電力価格のロング、燃料価格のショートポジションを持つことを意味する。そして、電力価格が燃料価格よりも大きく上昇すれば、ス

図表11 ヒートレートと転換効率 (その1)



(出所) U. S. Energy Information Administration, 2013.2

図表12 ヒートレートと転換効率 (その2)



(出所) U. S. Energy Information Administration, 2013.2

パークスプレッドのロングポジションは利益を生むことになる。また、燃料価格が電力価格よりも大きく下落すれば、同じようにスパークスプレッドのロングポジションは利益を生むことになる。

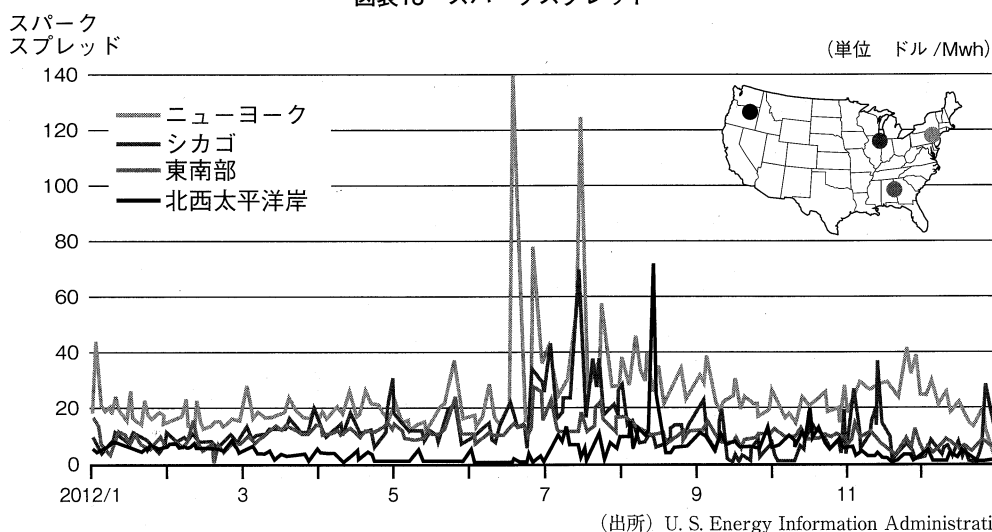
すなわち、発電所は、燃料のスポット価格と電力のスポット価格のリスクを背負っていて、それを集約したものがスパークスプレッドであるということが

できる。

なお、スパークスプレッドも後述のダークスプレッドも、資金調達コストや、環境コスト、運転・維持コスト、税金等を考慮に入れておらず、したがって、正確に発電所のリターンを示した指標ではないことに留意する必要がある。



図表13 スパークスプレッド



## ②スパークスプレッドの活用

スパークスプレッドは、電力の市場価格と燃料の市場価格の差であるマーケットスプレッドである。したがって、スパークスプレッドは、実際の燃料取得費用や、発電の限界費用に直接関連しているわけではない<sup>(注43)</sup>。

スパークスプレッドは、発電設備を運転させた方が良いか休止させた方が良いかといった日々の発電設備の稼働判断の材料に活用されることが少なくない。この場合のスパークスプレッドの計算には、前述のエコノミックヒートレートをを使用することとなる<sup>(注44)</sup>。

そして、スパークスプレッドが正值の場合には、電力を購入するよりも燃料を投入して発電設備を運転させた方が経済的に有利であることを意味する。逆にスパークスプレッドが負値の場合には、スポット市場で燃料を売却して電力を購入した方が有利であることを意味する。

## (4) スパークスプレッド先物

### ①スパークスプレッド先物の機能

発電所は、燃料のスポット価格と電力のスポット価格のリスクを背負っていて、それを集約したものがスパークスプレッドである。原油や天然ガス等のエネルギー価格の変動が大きくなり、また電力自由化で電力価格が需給により変動するといった状況では、スパークスプレッドの変動が大きくなり、つれて電力会社のリスク・リターンが振れが大きくなる。特に、自由化された市場において電力価格は季節的な要因等により

短期的に大きく変動するのに比べると、エネルギー価格のボラティリティは相対的にそれほど大きくはない。こうしたことから電力自由化の下におけるスパークスプレッドの変動は大きくなる可能性が高いといえることができる。

このようなスパークスプレッドの変動リスクをヘッジするニーズに対応する目的で、OTCでスパークスプレッドを原資産とする先渡し取引が行われている。

### ②スパークスプレッド先渡しを活用

(ヘッジ取引)

発電事業は、燃料を原材料として電力という製品を生産することをビジネスとしている。したがって、発電事業者は燃料の価格変動リスクを抱えていることに加えて、製品である電力の価格変動リスクを持つことになる。こうした2つの価格変動リスクに対しては、燃料価格の上昇リスクについて原油や石炭、天然ガス等の先物のロングポジション（買い持ち）を形成し、電力価格の下落リスクについて電力先物のショートポジション（売り持ち）を形成する戦略がある。

発電事業者が持つ原燃料の価格変動と電力の価格変動は、スパークスプレッドの変動というかたちで1本の数字に集約される。すなわち、スパークスプレッドは、電力価格から原燃料価格を引いた差額で、発電収益の源泉となる。これを換言すれば、発電事業は、スパークスプレッドの変動リスクを持っていることになる。

したがって、発電事業者の原燃料と電力という2つの価格変動リスクは、スパークスプレッドを対象とし

た先渡し取引を行うことでヘッジできる。具体的には、石油や石炭、天然ガス等の燃料のロングポジションと電力のショートポジションを組み合わせるスパークスプレッドの買いを行うことによって、スパークスプレッドの固定化を図ることができる。

また、スパークスプレッドを使って、発電所を営営して利益をあげるビジネスと同じような損益を模倣することが可能となる。具体的には、燃料先物の売り・電力先物の買いを内容とするスパークスプレッドの買いを行うことで達成できる。

これによって、発電所にとっての原料となる燃料価格が上昇（下落）すれば、コストが増加（減少）し、発電所にとっての製品となる電力の価格が上昇（下落）すれば、収入が増加（減少）する、というように発電所と同様の収益構造が形成されることとなる。

（スパークスプレッド先渡し・先物を活用したヘッジ取引）

以下では、スパークスプレッドを活用したヘッジ取引を2つの具体例でみることにしよう。

・具体例1 (注45)

いま、9,000Btu/kWhのヒートレートを持つIPPが燃料の天然ガスと電力の両方で、1年間の先渡し契約を行ったとする。すなわち、天然ガスを2ドル/MMBtuで購入すると同時に電力を23ドル/MWhで売却（1MWh当たりの電力に対して9MMBtuの天然ガスを購入）する。

これにより、このIPPは、先行き1年間に亘って5ドル/MWhの利益を確定することができる。

$$23\text{ドル/MWh} - 2\text{ドル/MMBtu} \times 9\text{MMBtu/MWh} = 5\text{ドル/MWh}$$

・具体例2 (注46)

201X年4月に、あるIPPが、夏の天然ガスの購入価格と電力の販売価格の予想を立てた。

現状、電力価格は強含みである一方、天然ガスの価格は割安であるが、このIPPは、天然ガスの価格は夏にかけて上昇してIPPの利益を圧迫することが懸念されると予想した。そこで、IPPは、スプレッド戦略を活用することにより利益を確実なものとするに決めた。

4月25日のNYMEXの天然ガス先物7月限は、\$1.45/百万Btus、電力先物7月限は、\$20/MWhである。また、このIPPの発電機のヒートレートは約8,000、すなわち、1kWh発電のために8,000Btusを必要とする。

天然ガス先物と電力先物は、サイズが異なることか

ら、ヘッジレシオを的確に決める必要がある。ヘッジレシオは、次のようにガスタービンのヒートレートにより左右される。

ヒートレート	ヘッジレシオ	電力先物の単位数 / 天然ガス先物の単位数
8,000	0.59	5/3
10,000	0.74	4/3
12,000	0.88	9/8
13,500	0.99	1/1

ヘッジレシオは、ヒートレート8,000を1,000で除した数値8に7.36（電力先物1単位のMWhのサイズ）を乗じて、それを10,000（天然ガス1単位の百万Btusのサイズ）で除して求める。

$$\text{したがって、} 8 \times 7.36 = 5.888 / 10,000 = 0.59$$

これにより、電力先物5単位に対して天然ガス先物3単位のスパークスプレッド取引を行うことになる。

このIPPは、4月25日にスプレッドを売ってヘッジをかける。

4月25日 先物取引

電力先物5単位の売り

ヘンリーハブ天然ガス先物3単位の買い

$$[(5 \times 736\text{MWh} \times \$26/\text{MWh}) - (3 \times 10,000\text{MMBtus} \times \$2.45/\text{MMBtus})] \div (5 \times 736\text{MWh})$$

\$6.03 MWh

このIPPは、7月28日にスプレッドを手仕舞った。

7月28日 先物取引

電力先物5単位の買い

ヘンリーハブ天然ガス先物3単位の売り

$$[(5 \times 736\text{MWh} \times \$23/\text{MWh}) - (3 \times 10,000\text{MMBtus} \times \$2.65/\text{MMBtus})] \div (5 \times 736\text{MWh})$$

\$1.40MWh

ヘッジ取引の結果

$$\$6.03 - \$1.40 = \$4.63\text{MWhの利益}$$

$$\$4.63\text{MWh} \times (5 \times 736\text{MWh}) = \$17,038.40$$

このように、IPPは天然ガス先物を安い価格で買い建てると同時に、電力先物を高い価格で売り建てるスプレッドの売りを実行して電力の現物の売却による利益をヘッジした。ここで、スプレッドの売りと呼ぶのは、電力先物の売りを主体としてみていることによる。

そして、スプレッドの買い、すなわち電力先物の買いにより手仕舞った。

一方、現物市場においては、電力の引渡し価格を決定するに際して天然ガスの輸送コスト、発電能力と送電コストを織り込む必要がある。

4月の天然ガスの現物市場は、次のような内容であった。

ヘンリーハブ天然ガス先物の 原資産の天然ガス	\$2.45MBtus
天然ガスの発電設備までの輸送コスト	\$0.18MBtus
合計	\$2.63MBtus
$\$2.63 \times 8 \text{ (ヒートレート)} = \$21.04\text{MWh}$	
発電能力費用	\$2.50MWh
電力大手会社Entergyまでの送電コスト	\$1.50MWh
Entergyにおける総電力コスト	\$25.04MWh

7月、IPPは現物市場でその時点の市場価格により天然ガスを購入して、電力を販売することになる。この時点において、天然ガスのスポット価格は急騰したが、電力は余剰気味で価格は下落した。このIPPは、4月の電力先物売り、天然ガス先物買いのヘッジ取引で\$6.03MWhの利益を確定させている。そして、7月には電力先物買い、天然ガス先物売りにより手仕舞った。この時点で天然ガスの価格が上昇、電力価格が下落していたためにその差は縮小した。この結果、IPPのネットの利益は\$4.63MWhとなった。

一方、7月の現物市場では天然ガスと輸送コストが上昇した。

天然ガスの買値	\$2.65
輸送コスト	\$0.20
$\$2.85 \times 8 = \$22.80\text{MWh}$	
発電能力費用と送電コスト	\$4.00
電力の総コスト	\$26.80MWh

前述のようにスプレッドを手仕舞った後のネットの利益が\$4.63MWhであり、IPPが行ったヘッジ取引は大成功であったといえることができる。

#### (投機取引)

スパークスプレッド先渡し取引は、電力会社等のエネルギー産業の価格変動のリスクヘッジに活用されているが、こうしたヘッジ取引とは別にスベキュレーション目的でも取引されている。

たとえば、原油価格や天然ガスの価格が急騰する一方で、こうした1次エネルギーを原料とする電力料金

がそれほど上昇しないとする。この場合にはスパークスプレッドは縮小して割安となる。ここで、投機家が1次エネルギー価格の上昇がいずれは2次エネルギーである電力価格に伝播すると予想すれば、割安となったスパークスプレッドを買い付ける。そして、原油価格や天然ガスの価格上昇が電力価格に反映される形でスプレッドが拡大したところでスパークスプレッドを売り、手仕舞いをしてサヤを抜くことにより利益を得ることができる。

こうした投機取引は、マーケットに流動性を供給する重要な働きをしており、ヘッジ取引と投機取引が相俟って、マーケットの持つもっとも重要な価格発見機能が発揮されることになる。

#### (5) シカゴマーカンタイル取引所のスパークスプレッド計算表

シカゴマーカンタイル取引所(CME)では、スパークスプレッドの算出が容易にできるよう、トレーダーに計算表を提供している。

それによると、まずヘッジ比率を算出する。なお、CMEグループでは、Cleapotを使ってOTCで行われる電力先渡しの決済サービスを提供しているが、この1単位の電力は400MWhと標準化されている。そして、ヘッジ比率が決まったら、スパークスプレッドの計算を行う(図表14)。

#### (6) クリーンスパークスプレッド、クリーンダークスプレッド、クライメイトスプレッド

EU加盟国では、2005年から二酸化炭素排出権の取引が行われている。

クリーンスパークスプレッド(clean spark spread)は、天然ガス使用の発電による二酸化炭素排出量に見合う排出権を購入して二酸化炭素排出をオフセットするコストを勘案したスパークスプレッドである。クリーンスパークスプレッドは、スパークグリーンズプレッド(spark green spread)とも呼ばれる。

クリーンスパークスプレッドは、次式により計算する。

#### クリーンスパークスプレッド

= 卸電力価格 - 天然ガスのコスト - 天然ガスの燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数 × 排出権の単価

一方、クリーンダークスプレッドは、石炭使用の発電による二酸化炭素排出量に見合う排出権を購入して二酸化炭素排出をオフセットするコストを勘案したス

パークスプレッドである。クリーンダークスプレッドは、ダークグリーンスプレッド (dark green spread) とも呼ばれる。

クリーンダークスプレッドは、次式により計算する。

クリーンダークスプレッド

= 卸電力価格 - 石炭のコスト - 石炭の燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数 × 排出権の単価

なお、石炭の燃焼で排出する二酸化炭素量は天然ガスの燃焼で排出する二酸化炭素の約 2 ～ 2.5 倍である。

ここで、ダークスプレッド = 卸電力価格 - 石炭のコストであることから、クリーンダークスプレッドは次のように書き換えることができる。

クリーンダークスプレッド

= 卸電力価格 - 石炭のコスト - 石炭の燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数 × 排出権の単価

= ダークスプレッド - 石炭の燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数 × 排出権の単価

また、クリーンダークスプレッドとクリーンスパークスプレッドの差を、クライメイトスプレッド (climate spread) という。

クライメイトスプレッドは、次式により計算する。

クライメイトスプレッド

= クリーンダークスプレッド - クリーンスパークスプレッド

= (ダークスプレッド - 石炭の燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数 × 排出権の単価) - (スパークスプレッド - 天然ガスの燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数 × 排出権の単価)

= (ダークスプレッド - スパークスプレッド) - (石炭の燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数 - 天然ガスの燃焼で排出する二酸化炭素に見合う排出権の単位数) × 排出権の単価

欧州では、二酸化炭素排出量が多い火力発電会社が排出規制の主要な対象となっている。こうした発電会社は企業内で排出量の抑制のための投資をする。しかし、このような投資が進むと排出量抑制のための限界

図表14 CMEグループのスパークスプレッド計算表

#### Hedge Ratio

	Heat rate of power plant : <input type="text"/>
divided by	1,000
X	Electricity delivered in month (400MWh) × <input type="text"/> peak days
divided by	Size of fuel contract <input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/> million Btus
	Calculate
	Hedge Ratio : <input type="text"/>

#### Spark Spread

[Electricity total value - fuel total value] / the amount of electricity delivered in a month = spark spread in \$/MWh	
	(400MWh × <input type="text"/> peak days in a month)
X	<input type="text"/> Price per megawatt hour
minus	(Fuel price <input type="text"/> per mmBtus × <input type="text"/> <input checked="" type="checkbox"/> mmBtus per contract)
X	Hedge Ratio <input type="text"/>
divided by	(400MWh × <input type="text"/> peak days in a month)
	Calculate
=	Spark spread \$ <input type="text"/> /MWh

(出所) CMEグループ "Conversion Calculator"

コストが高くなり、排出権を購入した方がコスト安となる。この結果、発電会社の排出権購入が増加すると排出権価格が上昇して、この結果、企業内での排出抑制の限界コストと排出権価格が等しくなることとなる。

## (7) スパークスプレッド・オプション

### ①スパークスプレッド・オプションの概念

スパークスプレッド・オプションは、発電に使用する燃料価格と電力価格との間の価格差であるスパークスプレッドを原資産とするオプションである。

原資産を一定のヒートレートの燃料とするスパークスプレッド・オプション（ヨーロッパスタイル）のコールの買い手は、一定のヒートレートにオプションの満期時点における燃料価格を乗じた金額を支払うのと引き換えに1単位の電力の現物を受け取る権利を持つ<sup>(注47)</sup>。

スパークスプレッド・コールオプションのペイオフ  

$$= \max(S_T - K_H \cdot G_T, 0)$$

$T$  : 権利行使時点

$S_T$  :  $T$ 時点における電力価格

$K_H$  : 燃料 $G$ のヒートレート

$G_T$  :  $T$ 時点における燃料 $G$ の価格

トーリング契約は、発電設備の稼働に関する制約等を見無視すれば、契約期間中、満期が連続して到達する一連のスパークスプレッド・コールオプション（後述）であるとみることができる。

### ②スパークスプレッド・オプションの活用

電力の自由化が進んだ欧米では、発電所のビジネスプランを構築するに際してスプレッド・オプションのコンセプトを前提としている。すなわち、発電所の運営費を見無視して議論すると、電力価格から燃料価格×ヒートレートを引いた差額であるスプレッドがプラスの場合には、電力を生産すればするほど利益が出ることになり、発電所は稼働率を高める。これに対して、スプレッドがマイナスの場合には、電力を生産しても損失となり、発電所は稼働率を低下させるか停止させる。

これは、電力会社がスパークスプレッドを原資産とするコールオプションのロングポジションを持っていることを意味する。

上式について、発電に用いる燃料が天然ガスであるとするとき次の算式が成立する<sup>(注48)</sup>。

$$\pi = \max(P_e - HR P_g, 0)$$

$\pi$  = MWh当たりの利益

$P_e$  = MWh当たりの電力のスポット価格

$P_g$  = MMBtu当たりの天然ガスのスポット価格

$HR$  = MMBtu/MWhで運転する発電所のヒートレート

（スパークスプレッド・オプション取引の具体例）

ここで、発電所がスパークスプレッド・オプションを使って発電機を稼働させるか否かを選択する例をみよう<sup>(注49)</sup>。

いま、Topock (California-Arizona (CAAZ) boarder) の近くに250MWの発電能力を持つ発電所があるとすると、この発電所が実際に稼働した場合の運転ヒートレート (operating heat rate) は、8 MMBtu/MWhである。

一方、NYMEXで取引されているPalo Verde電力先物の期近限月 (prompt month contract) の満期が接近、22ドル/MWhで取引されている。

また、CAAZボーダーにおける天然ガスのスポット価格は2ドル/MMBtuである。

ここから、スポットマーケットをベースとするヒートレート (spot market heat rate) は、11MMBtu/MWh (=11,000Btu/kWh) となる。

したがって、発電所が持つスパークスプレッド・オプションは、イン・ザ・マネーにあり、発電所はこのオプションの権利行使をして、天然ガスを2ドル/MMBtuで購入、それを使って発電した電力を22ドル/MWhで売却するといった選択をすることになる。

仮に、スポットマーケットヒートレートが運転ヒートレートを下回れば、発電所を稼働することにより損失が発生することになり、発電所を休止する選択をすることになる。前述のとおり、発電所のペイオフは、当該発電所の運転ヒートレートを権利行使価格とするスプレッド・オプションであり、したがって、損益は次のように書き改めることができる<sup>(注50)</sup>。

$$\pi = \max[(MHR - HR) P_g, 0]$$

ここで、 $\pi$  = MWh当たりの利益

$P_g$  = MMBtu当たりの天然ガスのスポット価格

$MHR$  = スポットマーケットをベースとするヒートレート (spot market heat rate)

$HR$  = MMBtu/MWhで運転する発電所のヒートレート

## (8) ダークスプレッド

ダークスプレッドは、石炭と電力価格との間の価格差であり、スパークスプレッドの一種である。ダークスプレッドは、石炭を使用する火力発電所の利益を算出する指標として活用される(図表15)。ダークスプレッドの計算では、スポット価格が使用される場合も先渡し価格が使用される場合もある。

ダークスプレッド (ドル/MWh)

$$= \text{電力価格(ドル/MWh)} - \text{石炭価格(ドル/トン)} \times \text{ヒートレート(MMBtu/MWh)} \div \text{ヒートコンテンツ(MMBtu/トン)}$$

## ①電力価格

スパークスプレッドは、天然ガスのコストとオンピークの電力価格を使用して計算されるが、ダークスプレッドは、一般的にオンピーク電力とオフピーク電力の平均価格を使って計算される。この平均価格はフラットプライスと呼ばれる。スパークスプレッドの計算にフラットプライスを使用する理由は、伝統的に石炭使用の火力発電所はベースロードの電力を提供する役割を担っていることから、日夜を問わず運転することによる<sup>(注51)</sup>。

## ②燃料コスト

発電に使用する石炭の購入は、一般的に長期契約で行われることから公表されることはなく入手が難しい。

一方、スパークスプレッドの計算に使用される天然ガスは、長期であってもスポット価格に連動することから、容易に入手可能である。

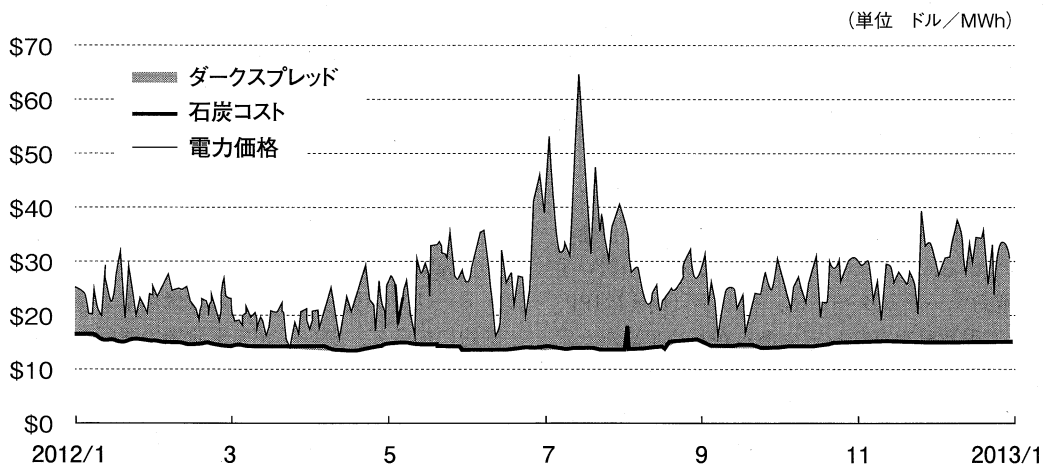
このため、ダークスプレッドを使ってさまざまな分析を行うアナリストは、期近限月の石炭価格を代用させることが少なくない。こうした期近限月の価格は、燃料価格のみであり、これに運搬コストを加算する必要がある。

## ③ヒートレート

現在、稼働している石炭使用の火力発電所のヒートレートは、大部分9,000~13,000Btu/kWhのレンジである。ちなみに、図表15の火力発電所は、蒸気タービンによる発電で10,000 Btu/kWhを前提としているが、これによれば、転換効率 (conversion efficiency) は、30%を若干上回る程度である<sup>(注52)</sup>。これに対して、前述のスパークスプレッドの計算の前提は、天然ガスを燃料とする高効率の複合サイクル発電で、そのヒートレートは、7,000Btu/kWhである。

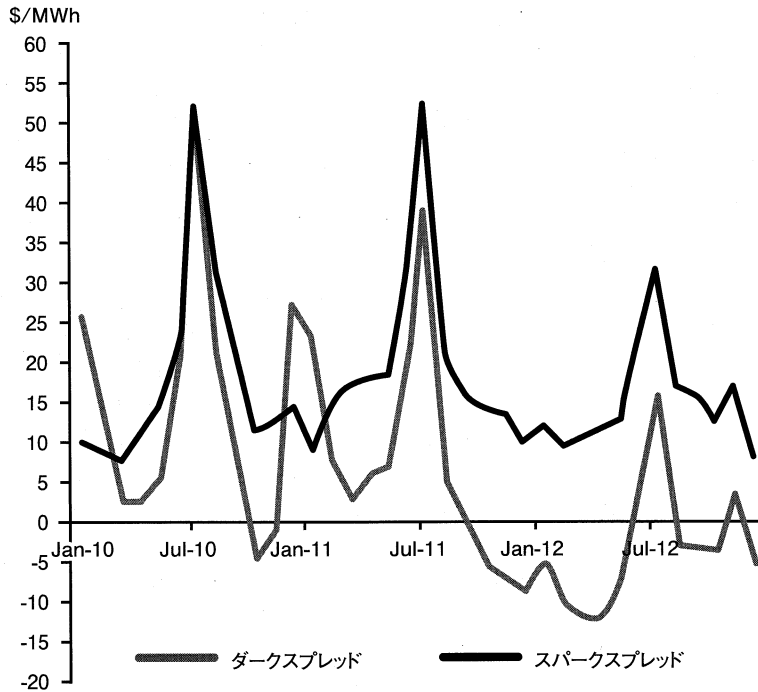
図表16のダークスプレッドの推移をみると、2011後半から2012年にかけてダークスプレッドがマイナス値を示しており、PSEG社の石炭を燃料とする火力発電所の経営が赤字となっていることが分かる。これは、シェールガス革命の影響で米国の天然ガス価格が低下、この結果、石炭価格と天然ガス価格が逆転したことや、天然ガス価格の低下を映じて卸電力価格が低下したことが響いているとみられる<sup>(注53)</sup>。

図表15 ミネアポリス火力発電所のダークスプレッドの推移



(出所) U. S. Energy Information Administration, 2013.2

図表16 PSEG社<sup>\*</sup>の電源のスパークスプレッドとダークスプレッド



※PSEG社：PJMエリア電気事業を行うニュージャージー州のエネルギー総合会社

(出所) 遠藤 操「電力取引における先物市場の活用」電力中央研究所2014.4

(原典) PSEG Analyst Conference Presentation 2013

## 7. トーリング契約

### (1) トーリング契約の概念と活用

#### ① トーリング契約の概念

トーリング契約 (tolling contracts) は、原材料がある設備に投入して、その結果、産出する製品を取得する契約で、トーリング契約の買い手は手数料 (toll) を支払って売り手が持つ発電設備を賃借することを内容とする。

こうした内容を持つトーリング契約は、さまざまな業界に適用可能であるが、特に電力業界では、活発に取引されている。すなわち、トーリング契約の買い手 (例えば電力マーケット) は、売り手 (例えばIPP) に前もって手数料を支払って、あらかじめ定めた一定期間中、発電設備を稼働させる権利、または発電設備の稼働により得られる電力を取得する権利を得る。トーリング契約が対象とする発電設備は、大半が火力発電である。

#### ② トーリング契約の当事者

トーリング契約の買い手は、燃料の手当てや電力の販売に責任があり、また、燃料価格や電力価格の変動リスクを引受ける。

一方、発電事業者は、トーリング契約の買い手との間であらかじめ同意されたヒートレートで一定量の電力を供給する責任を負う。これは、発電事業者がヒートレートから算出される燃料で一定量の電力を供給する責任を負うことを意味する<sup>(注54)</sup>。

### (2) トーリング契約の内容

#### ① 発電設備の起動、休止

トーリング契約には、発電設備が本来持つ運転面の制約に加えて、買い手が発電設備の運転をコントロールできる内容や、電力を取得する内容に制約が加えられることが少なくない。

例えば、大半のトーリング契約には、発電設備の再起動の回数に上限を設定する内容が含まれている<sup>(注55)</sup>。

すなわち、発電設備の再起動を頻繁に行うとその都

度、機械への負荷が大きくなり、それが機械の故障の原因となったり、設備の寿命を縮めることになる。したがって、トーリング契約の買い手があらかじめ定められた再起動回数を超えて発電設備を稼働させた場合には、極めて高額のパナルティを課す条件がトーリング契約に織り込まれることが少なくない。

また、こうした再起動にかかるコスト (start-up cost) に加えて、運転中の発電設備を休止させるコスト (shutdown cost) を要することもあるが、これはトーリング契約の買い手が負担することになる。

### ②トーリング契約のリアルオプション性

トーリング契約の買い手は、一定の制約があるにせよ発電設備から発電された電力を取得する権利を得ることから、トーリング契約の買い手となることは、運転の柔軟性について契約上制約のある発電設備を所有することと、実質的に同様の効果を持つことになる。

このことは、トーリング契約は、発電設備を運転する権利を原資産とする一連のリアルオプションであるとみることができる。すなわち、トーリング契約の買い手は、発電設備という実物資産に対して運転するか休止させるかの柔軟性を持つこととなり、これはトーリング契約の買い手の立場からみればオプションとしてとらえることができる。

ちなみに、金融オプションは、金融資産・負債を対象とするオプションであるのに対して、実物資産を対象としたオプションをリアルオプションという。なお、トーリング契約の買い手が持つ発電設備を運転する権利は、オペレーショナルオプションと呼んでいるが、これはリアルオプションで使われる用語である<sup>(註56)</sup>。

### ③トーリング契約の実例

トーリング取引は、たとえば、電力会社や自家発電設備所有者（発電事業者）と、電力を末端のユーザーに供給する会社や電力市場参加者（電力供給者）との間で契約される。

そして、トーリング契約を締結した電力供給者は、発電事業者が所有する電力プラントの稼働のスケジュール、運転について権利を得るか、発電事業者からあらかじめ決めておいた単価で、あらかじめ決めておいた電力量を上限として電力を購入することができる権利を得る。

したがって、トーリング契約は、電力会社と電力ユーザーとの間に位置して、電力を末端のユーザーに供給する電力供給会社が電力会社と契約して、実質的に

電力会社が電力供給会社に対して、安定的に電力を販売することを約束する契約であるとみることができる。ここで「安定的に」とは、たとえば、1ヶ月あたり一定の量の電力を販売する契約である。このトーリング契約は、サプライチェーンの概念に基づくもので、これによって電力供給会社はユーザーに対して安定的な電力供給が可能となる。

#### （トールの内訳）

トーリング契約で買い手が発電事業者に支払う使用料 (toll) は、2つの部分から構成される。その1つは、毎月支払う固定額でこれをキャパシティペイメントと呼んでいる。そして、もう1つは実際に電力設備を稼働して電力を手に入れた場合に1MWh当たりいくらかという形で支払う変動額である。

### (3) トーリング契約のメリット

#### ①トーリング契約当事者のメリット

トーリング契約は、一般的に長期契約となり、発電事業者にとって次のようなメリットがある<sup>(註57)</sup>。

第1は、毎月固定額が支払われることにより、発電設備の固定費のコストを賄うことができる。電力需要は、天候や実体経済活動等により大きな影響を受けることとなる。したがって、電力供給も先行き不透明な電力需要動向に対応しなければならない。電力供給者がこうした不透明な需要に対応するためには、前もって電力容量を確保することができる発電設備を用意しておくことが必要であり、その結果、発電設備の稼働の有無にかかわらず固定費を要する。発電事業者はトーリング契約によりこうした固定費をカバーすることが可能となる。

第2は、燃料の手当てと電力の購入はトーリング契約の買い手が責任を持って行うことになり、この結果、発電事業者は、燃料価格と電力価格の変動リスクを負うことはなくなる。

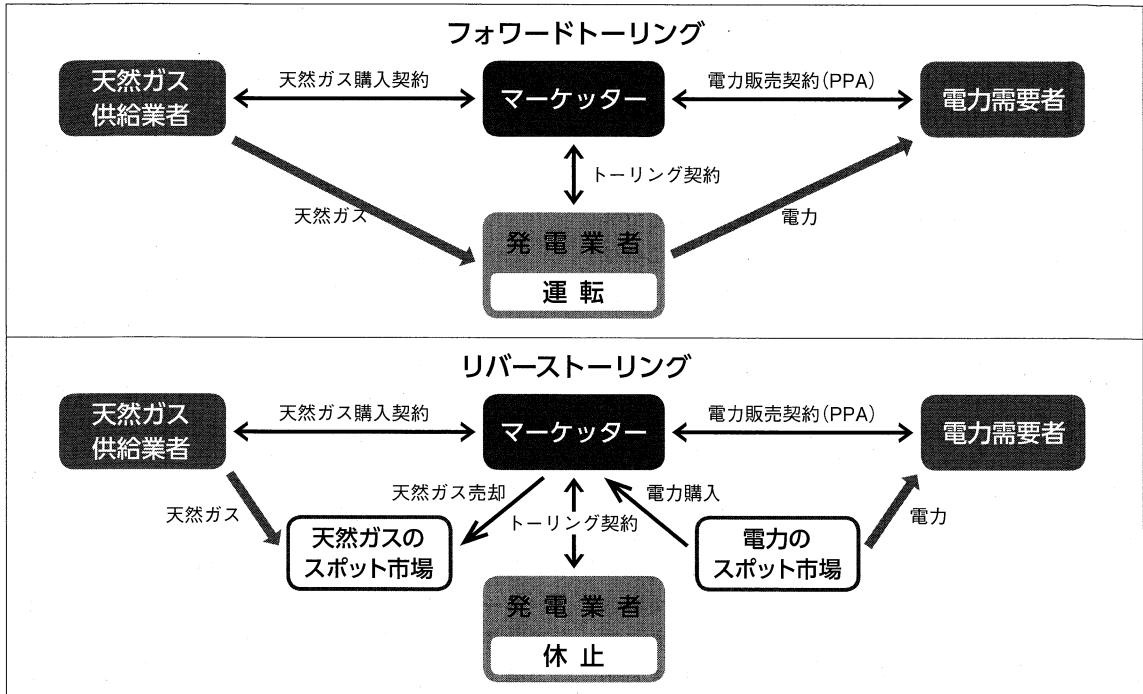
一方、トーリング契約の買い手となるマーケットター等は、燃料価格や電力価格いかにによって利益が増加することもあれば減少することもあることから、スパークスプレッドの動向を睨んで発電設備を稼働させるか休止させるか、柔軟に判断を行うことができる。

すなわち、スパークスプレッドが正值 (positive) であれば、マーケットターは発電設備を稼働させることになる。これをフォワード・トーリング (forward tolling) と呼んでいる (図表17)。

逆に、スパークスプレッドが負値 (negative) であ



図表17 フォワードトーリングとリバーストーリング



(出所) R. kenneth Skinner “Heat Rates, Spark Spreads, and the Economics of Tolling Agreements”  
Natural Gas & Electricity 2010.12 pp30-32をもとに筆者作成

れば、マーケットは発電設備を休止させることになる。これをリバース・トーリング (reverse tolling) と呼んでいる (図表17)。そして、リバース・トーリングの場合には、マーケットは、スポット市場において燃料である天然ガスを売り、同様にスポット市場で電力を購入することになる。

## ②具体例

マーケットにとって、次のような内容のトーリング契約を行うケースをみよう<sup>(注58)</sup>。

(トーリング契約の内容)

期 間：2015年5月1日から9月30日まで。

発電能力：300MW

キャパシティペイメント：

トーリング契約の買い手は、売り手に対して毎月1kW当たり9.20ドル（1月2.76百万ドル）を支払う。買い手は、発電設備の能力の限界まで発電して電力を入手する権利がある。発電設備が72時間を超えて休止状態でないときには、稼働開始後1時間以内に能力一杯まで到達できるものとする。

最小発電能力100MW～最大発電能力300MW

ヒートレート：

天然ガスの参照ヒートレートは、6,400Btu/kWh

トーリング契約の売り手は、発電設備の能力の最小限から最大限までこのヒートレートとなるよう発電設備の状態を維持しなければならない。

燃料：

天然ガスの確保と発電設備への輸送はトーリング契約の買い手が行う。

トーリング料：

MWh当たり3.75ドル

発電設備の運転開始と運転中止にかかる費用：

トーリング契約の買い手は、売り手に対して発電設備の運転開始1回当たり2,500ドル、運転中止1回当たり750ドルを支払うものとする。また、1年間の運転開始の回数は400回以内とするが、売り手、買い手双方の合意があればこの限りではない。

ペナルティ：

時間当たりの発電量であるMWhの実績が計画に比べて下回った場合には、1か月分をまとめてトーリング契約の売り手は買い手に対してペナルティを支払う。

#### 過剰電力：

発電設備からトーリング契約であらかじめ決められていた発電量を上回る発電があった場合には、トーリング契約の買い手は、その過剰電力を売却するよう努めることとする。その場合、買い手は、過剰電力の量に応じてトーリング料を支払うことになるが、追加的にキャパシティペイメントを支払う必要はない。

#### 発電設備の運転：

トーリング契約の売り手は、一般的に行われる発電設備の稼働ルールに則って、発電設備の運転と保守を行う責任を負う。

#### (トーリング契約のペイオフ)

こうしたトーリング契約の内容を持つケースで、現実にトーリング契約の買い手にとってどのようなペイオフとなるかを検討しよう<sup>(注59)</sup>。

ここでは、天然ガスの価格と電力価格が相対的にどのような関係にあるか、それをもとに発電設備の稼働をどのようにすればよいか、また燃料の入手と先行きの電力の売却に係る最適ナリスク管理はなにか、等が重要な検討事項となる。

これを具体的なケースでみると、トーリング契約の買い手であるマーケットの取引の相手方に日次のピーク電力を1 MWh50ドルで購入することを望んでいる企業があるとする。また、このマーケットとの間で天然ガスの供給に関する長期契約を締結したいとする業者がいるとする。

この場合に、前述のトーリング契約の内容を前提とすると、マーケットが天然ガスを購入する価格がいくらになればブレイクイーブンとなるかを計算する。

なお、5月から9月までの間の5か月間、発電設備の稼働はウィークデイのピーク時間しか稼働しないとする。この期間におけるピークデイは、110日となり、1か月間のピークデイは22日となる。

#### 発電設備の運転開始と運転中止にかかる費用：

月間22回の運転開始  
 $= 2,500 \text{ドル} \times 22 \text{回} = \text{月間} 55,000 \text{ドル}$

月間22回の運転中止  
 $= 750 \text{ドル} \times 22 \text{回} = \text{月間} 16,500 \text{ドル}$

#### キャパシティペイメント：

月間のキャパシティペイメント  
 $= \text{月} 9.20 \text{kW} \times 300 \text{MW} = 2.76 \text{百万ドル}$

#### トーリング料：1 MWh当たり3.75ドル

1 月当たりのピークデイ22日  $\times$  16ピーク時間  
 $= 1 \text{ 月当たり} 352 \text{ピーク時間}$

#### 電力販売契約 (Power Purchase Agreement, PPA) による平均収入予想

$= 1 \text{ MWh} \text{ 当たり} 3.75 \text{ドル} \times 352 \text{ピーク時間} \times 300 \text{MW}$   
 $= 1 \text{ 月当たり} 396,000 \text{ドル}$

#### 電力販売契約による収入予想：

ウィークデイのピーク時間  $= 1 \text{ MWh} \text{ 当たり} 50 \text{ドル}$   
 1 月当たりのピークデイ22日  $\times$  16ピーク時間  
 $= 1 \text{ 月当たり} 352 \text{ピーク時間}$

#### 電力購入契約による平均収入予想

$= 1 \text{ MWh} \text{ 当たり} 50 \text{ドル} \times 352 \text{ピーク時間} \times 300 \text{MW}$   
 $= 1 \text{ 月当たり} 5,280,000 \text{ドル}$

#### 天然ガスの最大量：

6,400 Btu/kWh ヒートレート  
 $= 1 \text{ MWh} \text{ 当たり} 6.4 \text{MMBtu}$

1 月当たり合計天然ガス  
 $= 1 \text{ MWh} \text{ 当たり} 6.4 \text{MMBtu} \times 352 \text{ピーク時間} \times 300 \text{MW}$   
 $= 675,840 \text{ MMBtu}$

#### 天然ガスのブレイクイーブン価格：

マーケットが、前述のトーリング契約を締結、また顧客との間で電力を1 MWh当たり50ドルで販売する長期販売契約 (PPA) を締結した場合の期待純収入は、次の式で算出される。

PPAによる収入5,280,000ドルーキャパシティペイメント2,760,000ドルートーリング料396,000ドルー発電設備の運転開始費用55,000ドルー運転中止費用16,500ドル  $= 2,052,500 \text{ドル}$

発電設備の限界的な運転費用はヒートレートに含まれていることから、スパークスプレッドが正值であるためには、天然ガスの月次支払総額 (発電所への運送費用を含む) が電力の販売から得られる収入以下であることが必要となる。

天然ガスの月次支払総額  $= 2,052,500 \text{ドル}$

#### 天然ガスのブレイクイーブン価格

$= 2,052,500 \text{ドル} \div 675,840 \text{ MMBtu} = 3.04 \text{百万Btu}$

この結果、トーリング契約の買い手であるマーケットが利益をあげるためには、天然ガスの価格は3.04百万Btuを下回ることが必要となる。

## 8. 二重トリガー電力オプション

電力需要は、気温との関係が極めて強い。そこで、米国等ではオプションのトリガーを気温と電力価格の2つ設定する二重トリガー電力オプション (Dual Trigger Power Option) が取引されている<sup>(注60)</sup>。

これを具体例でみよう。いま、ある電力のユーザーが、電力の購入量と気温との関係を分析したところ、温度が93°Fを超えると1°F当たり5MW、電力購入量が増加することが分かった。

そこで、このユーザーは、天候デリバティブを活用することとした。具体的には、2つのトリガーを持つコールオプションの買い手になる。その1つがあらかじめ決めた気温の水準であり、もう1つがあらかじめ決めた電力価格の水準とする。そして、この2つのトリガーを超えない限り、オプションは権利行使できないとする条件のオプションとする (図表18)。

このオプションは、単に電力価格を権利行使価格とするオプションよりもユーザーのニーズにマッチして、電力の価格・量的リスクをヘッジすることが可能となる。また、2つの権利行使価格をクリアしてはじめて権利行使ができるとの条件が付されていることから、一般の電力オプションに比べてプレミアムが安くなるメリットがある。

## 第4章 スワップ取引

### 1. スワップ取引の機能

#### (1) 原燃料スワップ取引

原燃料を対象とするスワップ取引は、一定の期間に亘って、一方の当事者が対象物の固定価格を支払い、

図表18 二重トリガー電力オプションの具体例

場所	フィラデルフィア
気温の指標	CDD(Max(実際の1日の平均気温-65°F, 0))
気温の権利行使価格	28CDD/日
電力価格の指標	PJM
電力のトリガー価格	50ドル/MW
電力価格の刻み幅 (tick)	5 MW/CDD
オプションのプレミアム	4万ドル
オプションの期間	××年5月～××年9月

(出所) Evolution Markets LLCの資料をもとに筆者作成

他方の当事者が変動価格を支払う形で、対象物の一定期間中の価格変動リスクを移転 (スワップ) する取引である。

一般的にスワップ取引は、OTC取引 (相対取引) で行われている。したがって、標準品を取引する先物取引と異なり、当事者双方のニーズを汲み取ったテイラーメードのスペックにして取引することができる。

米国のエネルギー業界では、早くから天然ガスや原油を対象とするスワップ取引が活発に行われてきた。

ここで、天然ガスを原燃料に使用する発電事業者が、先行き購入する天然ガスの価格変動リスクをヘッジする目的で、天然ガスを原資産とするスワップ取引を行うケースをみよう。

発電事業者は、天然ガスをスポット市場から購入する。これにより発電事業者は、先行きの天然ガスの価格変動リスクを持つことになる。

発電事業者は、価格変動リスクをヘッジするために、スワップディーラーとの間で天然ガスを原資産とする変動価格払い・固定価格受けのスワップ取引を実行する。

この結果、発電事業者のキャッシュフローは、実質的に固定価格で天然ガスを購入したと同様となり、先行きの天然ガスの価格変動リスクをヘッジしたことになる (図表19)。

そして、こうした取引が1990年代末から電力を原資産とする電力スワップ取引として活用されるようになった。

#### (2) 電力スワップ取引

電力スワップ (electricity swap, power swap) 取引は、スポット価格がいかに変動しようとも、一定の期間に亘って固定価格で定期的に電力を購入する、もしくは売却することを約束する契約である。すなわち、スワップ取引で電力を提供する当事者は、一定の電力受渡し期間において一定量 (通常は1MW単位) の電力をコンスタントに供給する一方、電力の供給を受ける当事者は、電力の受取りと引き換えに一定の金額を

図表19 発電事業者の天然ガススワップの活用

発電事業者の取引	発電事業者のキャッシュフロー
スポット市場から天然ガスを購入	変動価格の支払い
スワップ取引	変動価格の受取り + 固定価格の支払い
合 計	固定価格の支払い

(出所) 筆者作成

支払うスワップ取引となる。すなわち、電力スワップは、価格が変動する電力と一定の金額とを定期的に交換する取引である。このように、一般のスワップ取引と同様、電力スワップは複数の決済時点を持ち、各決済時点における先渡価格は同一である一連の先渡取引 (a strip of forward contracts) とみることができる。

このうち、変動する電力価格は一般的に一定期間の電力のスポット価格を平均したものが採用される。スワップ取引の受払は、月次や四半期ごとに行われることが多い。そして、決済は電気の現物であることも現金決済であることもある。

電力スワップ取引の期間は、一般的に短期や中期のケースが多く、長くても2年程度で行われている。また、電力スワップを原資産とするオプションである電力スワップション (electricity swaption) の取引もみられている。

## 2. 電力スワップ取引の具体例

電力スワップの買い手は、スワップ取引の際に当事者間であらかじめ決めておいた固定価格を支払い、例えば先行きの月間のオンピークの電力の平均価格 (スポット価格) を受け取る。米国西部の場合のピーク時間は午前6時から午後10時の16時間を指す<sup>(注61)</sup>ことから、単位1時間当たりの電力量×24時間×1か月の日数 (日祭日を除く) が想定元本となる。

電力スワップの買い手は、スポット価格であるオンピークの電力の平均価格があらかじめ決められている固定価格を上回れば利益を得ることになり、固定価格がスポット価格を上回れば損失を被ることとなる。

逆に電力スワップの売り手は、固定価格がスポット価格を上回れば利益を得ることになり、スポット価格が固定価格を上回れば損失を被ることとなる。

なお、金融スワップ等と同様に、固定価格支払い・変動価格受取りのサイドの取引当事者をペイヤー、変

動価格支払い・固定価格受取りのサイドの取引当事者をレシーバーと呼ぶこともある。

## 3. 電力スワップ取引の活用

電力スワップ取引は、発電事業者、最終需要者、そしてマーケッターにとって電力価格変動リスクのヘッジツールとして活用される。

### (1) 発電事業者のヘッジ

発電事業者は、スポット市場において電力の現物を売却する。したがって、先行きの電力価格の下落リスクをヘッジするにニーズを持つ。そこで、発電事業者は、先行きの電力販売価格を固定するために電力スワップの売り手となる。これにより、スポット市場における電力の売却は変動価格の受取りのキャッシュフローとなるが、電力スワップのレシーバーとなることにより変動価格支払い・固定価格受取りのキャッシュフローとなる。したがって、電力のスポット売り取引とスワップ取引のキャッシュフローを合わせれば、固定価格受取りとなって、発電事業者のリスクヘッジニーズが充たされることとなる (図表20)。

### (2) 最終需要者のヘッジ

最終需要者は、先行きの電力価格の上昇リスクをヘッジするにニーズを持つ。そこで、最終需要者は、先行きの電力購入価格を固定するために電力スワップの買い手となる。これにより、スポット市場における電力の購入は変動価格の支払いのキャッシュフローとなるが、電力スワップのペイヤーとなることにより変動価格受取り・固定価格支払のキャッシュフローとなる。そして、電力のスポット買い取引とスワップ取引のキャッシュフローを合わせれば、固定価格支払となって、最終需要者のリスクヘッジニーズが充たされることとなる。 (図表21)

図表20 発電事業者の電力スワップによるヘッジ

	発電事業者のキャッシュフロー
スポット市場における電力売却	変動価格による受取り
電力スワップ取引	変動価格による支払い・固定価格による受取り
合 計	固定価格による受取り

(出所) 筆者作成

図表21 最終需要者の電力スワップによるヘッジ

	最終需要者のキャッシュフロー
スポット市場における電力購入	変動価格による支払い
電力スワップ取引	変動価格による受取り・固定価格による支払い
合 計	固定価格による支払い

(出所) 筆者作成

### (3) マーケターのヘッジ

マーケターは、発電事業者や最終需要者のために、電力スワップ取引を行う。

#### ① マーケターと発電事業者間の取引と電力スワップ取引

マーケターは発電事業者から電力を固定価格で購入することにより、発電事業者のヘッジニーズを充たす。そして、購入した電力をスポット市場で変動価格で売却する。これによって、マーケターは先行きの電力価格の下落リスクを負う。

そして、マーケターは、先行きの電力購入価格を固定するためにスワップディーラーをカウンターパーティとして電力スワップの売り手となる。これにより、スポット市場における電力の売却は変動価格の受取りのキャッシュフローとなるが、電力スワップのレシーバーとなることにより変動価格支払い・固定価格受取りのキャッシュフローとなる。そして、電力のスポット売り取引とスワップ取引のキャッシュフローを合わせれば、すべてが相殺されて、マーケターにはプレミアム収入が残り、マーケターのリスクヘッジニーズが充たされることとなる。(図表22)

#### ② マーケターと最終需要者間の取引と電力スワップ取引

マーケターは、最終需要者に対して電力を固定価格で販売することにより、最終需要者のヘッジニーズを充たす。このために、マーケターはスポット市場から変動価格で電力を購入する。これによって、マーケターは先行きの電力価格の上昇リスクを負う。

したがって、マーケターは、先行きの電力購入価格

を固定するためにスワップディーラーをカウンターパーティとして電力スワップの売り手となる。これにより、最終需要者に対する電力の売却は固定価格の受取りのキャッシュフローとなるが、電力スワップのペイヤーとなることにより固定価格支払い・変動価格受取りのキャッシュフローとなる。そして、電力のスポット買い取引とスワップ取引のキャッシュフローを合わせれば、すべてが相殺されて、マーケターにはプレミアム収入が残り、マーケターのリスクヘッジニーズが充たされることとなる。(図表23)

### 4. ICEのスワップ取引

ICEでは、OTCで取引されている原油、天然ガス、電力のスワップ取引のクリアリングを提供している。

電力スワップでは、次のようなPJMの電力価格を原資産とするスワップが主要な対象商品となっている。

PJM WH Real Time Peak Daily Contract

PJM WH Real Time Peak Contract

PJM WH Real Time Off-Peak Contract

PJM WH Day Ahead LPM Peak Daily Contract

PJM WH Real Time Off-Peak Daily Contract

もっとも、金融規制の強化を目指すDodd-FrankによりCFTCがエネルギー物のスワップ取引に建玉規制を適用する動きがあり、ICEでは、スワップ取引を先物取引に移行させる方向にあると報じられている<sup>(注62)</sup>。

### 5. ベーシススワップ

ベーシススワップ(basis swap)は、電力の先物取引の受渡し場所と、実際の電力の受渡し場所が異なることによる価格差(ベーシス)のリスクをヘッジする

図表22 マーケターの電力スワップによるヘッジ

	マーケターのキャッシュフロー
発電事業者から固定価格による電力購入	固定価格による支払い
スポット市場における電力売却	変動価格による受取り
電力スワップ取引(レシーバースワップ)	変動価格による支払い・固定価格による受取り
合 計	すべてが相殺されて、マーケターにはプレミアム収入が残る。

(出所) 筆者作成

図表23 マーケターの電力スワップによるヘッジ

	マーケターのキャッシュフロー
最終需要者に固定価格による電力販売	固定価格による受取り
スポット市場からの電力購入	変動価格による支払い
電力スワップ取引(ペイヤースワップ)	固定価格による支払い・変動価格による受取り
合 計	すべてが相殺されて、マーケターにはプレミアム収入が残る。

(出所) 筆者作成

ことを目的とするスワップである。

米国エネルギー業界におけるベーススワップは、早くから天然ガスを対象に活発におこなわれていた。すなわち、NYMEX上場の天然ガス先物の受渡し場所はルイジアナのヘンリーハブであり、その他の場所での受け渡しニーズを持つ当事者にとってはベーススワップを持つことになるが、天然ガスのベーススワップ市場の拡大により、いまや米国やカナダのほとんどの受渡し場所を対象とする場合でも、ベーススワップの回避を行うことができるまでとなっている<sup>(注63)</sup>。

その後、1990年代後半から電力のベーススワップも行われるようになった。このベーススワップは、取引所上場商品に当事者が望む地点の受渡し電力の先物が存在しない場合に、電力価格のヘッジを取引所の先物で行う一方、その先物価格と当事者が望む地点の受渡し電力価格との差額をスワップのカウンターパーティと受払いするという内容のスワップ取引である。ベーススワップを活用することによって、当事者は取引所上場の先物の受渡し場所と実際の受渡し場所との価格差をヘッジすることができる。

## 第5章 グリーン電力証書

グリーン電力証書 (Green Electricity Certificates) の取引は、OTCと取引所の双方で行われている。このうち、取引所取引は、ノルドプール、国際石油取引所 (International Petroleum Exchange; IPE)、欧州エネルギー取引所 (European Energy Exchange; EEX)、豪州エネルギー取引所 (Energy Exchange Australia; EXAA) で行われている。たとえば、EEXグループのデリバティブ取引所であるEEX Power Derivativesでは、電力先物やオプションのほかに、グリーン電力証書であるGoO (Guarantees of Origin) を上場、取引している。

以下では、日本におけるグリーン電力証書を中心に概観することとする。

### 1. グリーン電力証書の内容

グリーン電力証書は、風力、太陽光、バイオマス等の再生可能エネルギーから発電された電力から、環境価値を切り離してそれを証券化して取引可能にしたものである。

すなわち、再生可能エネルギーから発電されたグリーン電力は、通常の電力とは違って、電力自体の価値

のほかに、省エネ、CO<sub>2</sub>削減に資する環境保全価値という付加価値を持っている。グリーン電力証書は、グリーン電力の価値を「エネルギーとしての価値」と「環境付加価値」に分解して、このうち後者の環境価値を証券化した商品である。

グリーン電力証書は、取引可能なグリーン証書 (Tradable Green Certificate; TGC)、再生エネルギー証書 (Renewable Energy Certificates, RECs)、再生可能エネルギークレジット (Renewable Energy Credit; REC)、グリーンチケット等、さまざまな名称で呼ばれている。

企業は、このグリーン電力証書を購入することにより、たとえ再生可能エネルギーによる発電設備を保有しなくても、環境価値の利用を通じて再生可能エネルギーの普及に貢献することが可能になる<sup>(注64)</sup>。

### 2. グリーン電力証書のメリット

グリーン電力証書の購入者は、自ら風力や太陽光等によるグリーン電力の発電設備を所有することなく、自らが使用する電気がCO<sub>2</sub>を排出しない自然エネルギーにより発電されたことを対外的に公表することができる。具体的には、企業の環境報告書等にカーボンオフセットとしてグリーン電力証書の内容を記載することにより企業イメージの向上を図るとか、グリーン電力で生産した商品・サービスを、環境価値を利用したものとして、顧客に情宣することができる。

なお、グリーン電力証書を使って環境価値を表現する場合には、所有する電力証明量を明確に示す必要があるとともに、グリーン電力証書をいつ、誰が、どこで、どの程度、どのような目的で使用したかを記載することとなっている。

一方、グリーン電力証書の発行主体となる再生可能エネルギーの発電者は、電力自体からの収入のほかに、グリーン電力証書による収入を発電所の維持管理費や設備の新增設等による発電効率の向上に充てることによって、グリーン電力の発電の推進を図ることができる。なお、これにより再生可能エネルギー発電事業者の電力は、環境価値が切り離された電力となり、したがって、自社のCO<sub>2</sub>の削減に使用することはできない。

### 3. グリーン電力証書のフレームワーク

グリーン電力証書は、次のフレームワークにより発行、販売される<sup>(注65)</sup>。

グリーン電力証書の利用者は、証書発行事業者に対してグリーン電力証書の購入を申し込む。

証書発行事業者は、これを受けて財団法人日本エネルギー経済研究所の附属機関であるグリーンエネルギー認証センターからグリーン電力設備認証を受けた発電所から発電された電力量の認証申請を行う。

グリーンエネルギー認証センターから認証を受けた電力量はグリーン電力証書として、証書発行事業者から購入者に発行される。

グリーン電力証書の購入費用は、証書発行事業者を通じて、再生可能エネルギー発電の設備、運用等の拡充コストに利用される（図表24／図表25／図表26）。

#### 4. グリーン電力の対象となる発電方式

グリーン電力証書の対象となる発電方式は、次のものとされている。

風力発電  
太陽光発電  
バイオマス発電  
水力発電  
地熱発電  
化石燃料・バイオマス混焼発電

なお、原子力発電は、エネルギー源であるウランが有限な鉱物資源であること等からグリーン電力から除外されている。

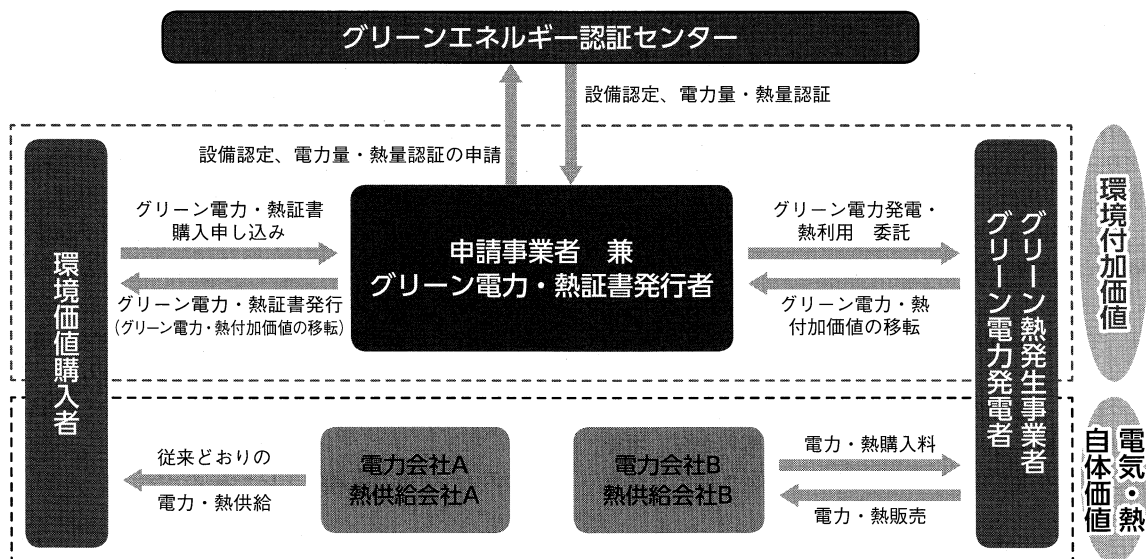
#### 5. RPS制度

RPS（Renewable Portfolio Standard）制度は、電力会社が、毎年販売電力量の一定割合以上を再生可能エネルギーをはじめとする新エネルギーから発電される電力を利用することを義務付ける制度で、再生可能エネルギー導入制度とも呼ばれている。

日本では、2003年にこのRPS制度を法制化した「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」（RPS法）が施行された。この法律により、電気事業者は風力、太陽光、地熱、中小水力、バイオマスといった新エネルギー等で発電するか、他から新エネルギー等の電力を購入するか、または、新エネルギー等電力相当量（環境価値）を取得することになる。なお、RPS法では電力の環境価値を電気相当量と呼んでいる。

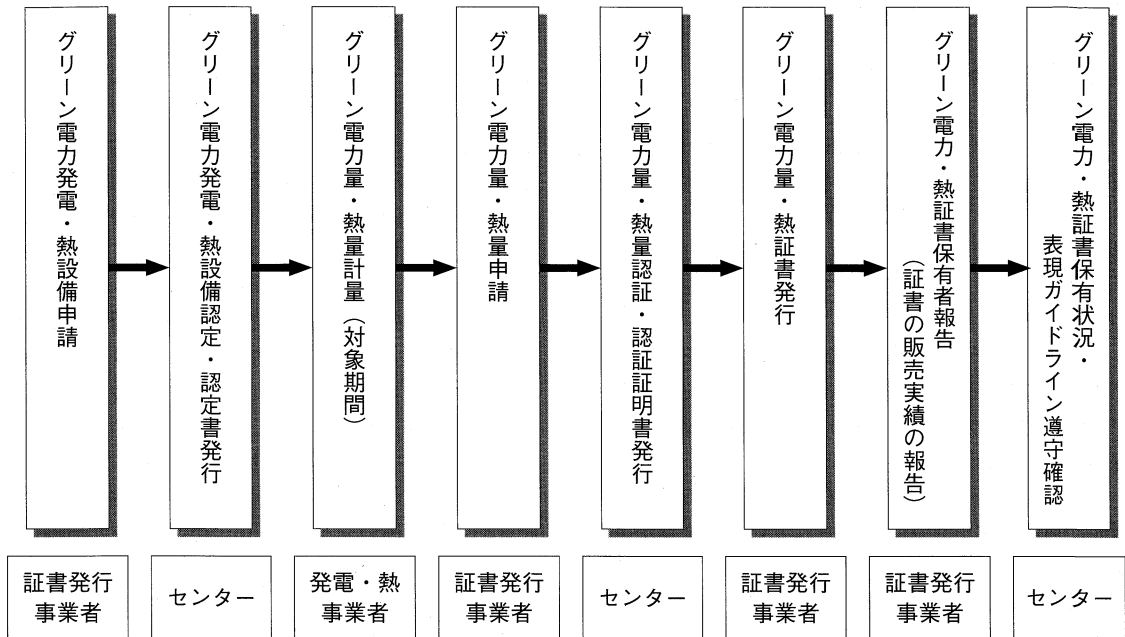
また、発電事業者が系統に流している電力をグリーン電力証書に使用する場合には、グリーン電力認証の際に、その旨をグリーンエネルギー認証センターに届け出る必要がある<sup>（注66）</sup>。

図表24 グリーンエネルギー認証センターの役割



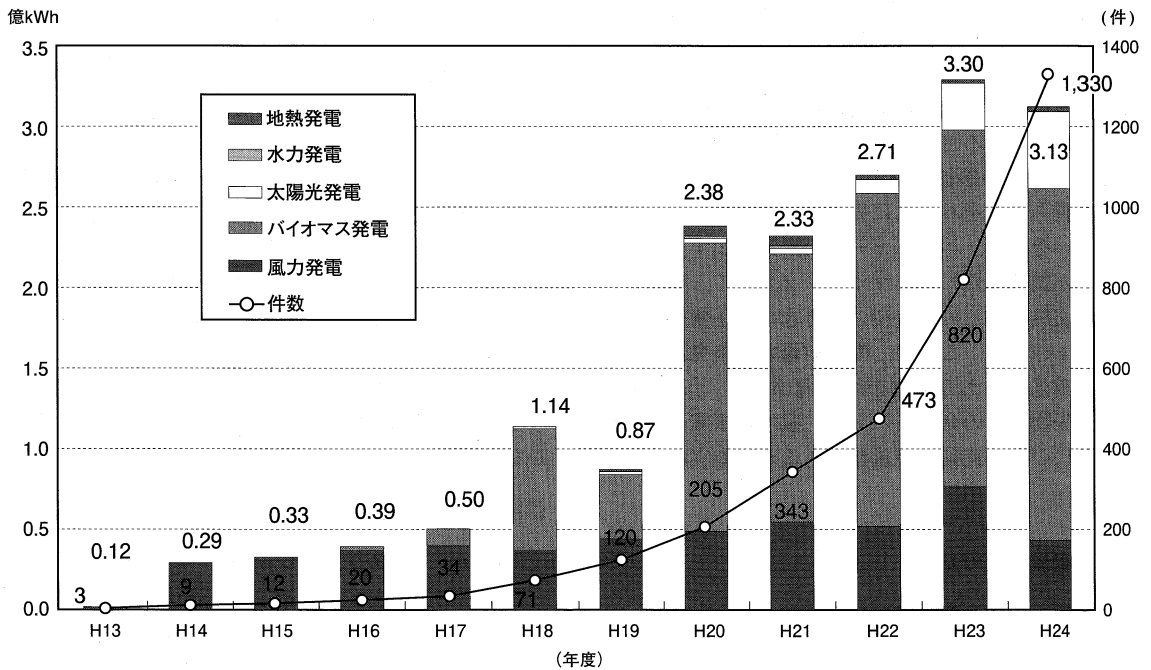
（出所）グリーンエネルギー認証センター

図表25 グリーンエネルギー認証のステップ



（出所）グリーンエネルギー認証センター

図表26 グリーン電力量認証の推移



（出所）グリーンエネルギー認証センター



## 第6章 電力市場の流動性－結びに代えて

### 1. 価格発見機能と市場流動性

市場流動性 (market liquidity) は、マーケットに買い注文、売り注文を出したときに相場に大きな影響を与えることなく、商品を売買できる要素である。市場流動性が潤沢になるためには、多くの売り手、買い手が常時マーケットに参加して活発に取引を行うことが重要となる。

市場流動性が潤沢な市場では、価格操作を行う余地が少なくなり、マーケットから適正価格 (fair price) がアウトプットされるという価格発見機能 (price discovery function) が発揮される<sup>(注67)</sup>。

マーケットが持つ最も重要な機能は、この価格発見機能である。マーケットに出されている注文量が多いと、市場参加者にとり売買はスムーズに出来て、また、その価格も市場の実勢を反映した価格で取引を行うことが可能となる。このように、価格発見機能はマーケットに厚い流動性が形成されて初めて発揮できることになる。

先物市場は、現物市場と異なり現物を購入する資金を必要とせず、少額の証拠金の差入れで取引が可能である。そして、様々な情報やニーズを持った多くの市場参加者が活発な取引を行うことがマーケットで適正価格が形成される重要な要件であり、それには、多数のプレイヤーの参加を誘引、確保するためのマーケットの環境整備が不可欠となる。

こうした市場参加者は、さまざまなニーズ、情報、予想を持ちそれをベースに先物の売り買いを行うことになる。そして、ヘッジャーと投機家が出す売り買いの注文が競争売買によりマッチングされて、市場参加者の注文結果として原資産の先行きの適正価格がアウトプットされる。これが、先物市場の価格発見機能である。前述のとおり先物市場の関係者が、「市場流動性は、先物市場の命である」と主張する事実、マーケットにいかに流動性が重要であるかを如実に物語っている。

### 2. 市場流動性の測定

#### (1) 市場流動性測定のアプローチ

それでは、こうした市場流動性の厚さ (潤沢の度合い) は、どのように判断することができるか。

これには、まずもって、マーケットにどれだけの市場参加者が存在するかという参加者の規模、また、そうした市場参加者の取引動機は様々なニーズに基づいているかという参加者層の多様性、そして、たとえ多くの市場参加者が存在してもそのなかでドミナントな地位にある参加者が市場を支配することはないかという参加者の市場シェアを観察することが重要である。

また、市場流動性の定量的な測定については、取引高や建玉の規模のほか、マーケットに出ている注文量を全部合計するのが最も簡単な方法である。しかし、市場流動性が持つ意義は、それにより価格発見機能が発揮できることにあり、したがって、売り買いの注文がマーケットの実勢を反映した価格で出されているかどうか重要である。

すなわち、マーケットの実勢価格から大きく乖離した注文、具体的には実勢価格に比べて大幅に安い買い注文や大幅に高い売り注文は、マーケットが激変するときでなければ取引が成立する見込みはない。したがって、その時点のマーケットの状況からみて取引成立が見込まれるような価格での注文量の多さが市場流動性を測る尺度になる。

こうしたことから、市場流動性の測定を量的に行うのではなく、価格面から行う方法が活用されている。このように価格面から市場流動性を測定する方法には2つのアプローチがある。

第1は、マーケットに出ている注文量が多いと売り注文と買い注文の価格差が狭くなり、逆に注文量が少ないとその価格差が広くなるというように売買の注文価格の開きで市場流動性を測定するアプローチである。

第2は、マーケットに出ている注文量が多いとたとえ大口の注文が新規に出てきたとしても、それによってマーケットの価格が動くことはない一方、注文量が少ないとさして大口の注文でなくてもマーケットの価格が影響を受けて、買い注文を出すと相場が上がり、売り注文を出すと相場が下がる方向に動くこととなる。このように、新規の注文がマーケットの価格に与えるインパクトの大きさが市場流動性が厚いか薄いかを判断するアプローチがある。

#### (2) 市場流動性測定の方法

##### ① ビッド・アスクスプレッド

買い注文価格をビッドと呼び、売り注文価格をアスクまたはオファーという。そして、ビッドとアスクないしオファーとの差をビッド・アスクスプレッド (bid-ask spread)、またはビッド・オファースプレッド

ド (bid-offer spread) と呼んでいる。

このビッド・アスクスプレッドは、市場流動性を測定する場合の重要な指標となる。すなわち、市場流動性が潤沢 (thick) であるところのビッド・アスクスプレッドは小さくなり、逆に、市場流動性が薄い (thin) とビッド・アスクスプレッドは大きく広がる。

市場参加者が新たに売り注文を出す場合には、買い注文の価格、すなわちビッドとマッチさせることになり、この結果、売り注文はビッドで成約される。逆に買い注文はアスクで成約することとなる。

したがって、ビッド・アスクの幅が広いほど、すなわち市場流動性が薄いほど投資家は買値と売値との間で大きなコストを支払うことになる。これが市場流動性リスクである。

## ②マーケットインパクト

市場流動性リスクを測定するもう一つの方法は、マーケットインパクトである。マーケットインパクト (market impact) とは、自分の注文でマーケットの価格が自己に不利の方向に動いてしまうリスクであり、このマーケットインパクトの大きさで、市場流動性の測定が可能である。

すなわち、流動性が厚い市場はマーケットインパクトが小さく、逆に流動性が薄い市場はマーケットインパクトが大きくなる。たとえば、大口の買い注文を出すとそれにより相場が上昇して、当初自分が思っていた価格より高い水準での執行になってしまうという形で流動性リスクが顕現化する。

## 3. 市場流動性の拡充に向けて

前述のとおり、「流動性はマーケットの命」ともいえる重要な要素であるが、それでは、市場流動性を高めるにはどのような施策が必要であろうか<sup>(注68)</sup>。

### (1) 商品のメニュー

マーケットにいかなる商品をどれだけ上場するかは、活発な取引を指向するために極めて重要な検討事項である。このために、まず市場参加者のニーズを汲み取り、その最大公約数的なスペックを持った標準品を上場することが必要である。また、取引単位については小口の参加者が取引しやすいように配慮する必要がある。しかし、あまりに小口化することは必ずしも市場流動性向上に資することにはならず、この点バランスのあるサイズにすべきである。

また、あまりに市場参加者の個々のニーズをきめ細かく吸いとりそれを商品化すると、上場商品数が多くなり、この結果、流動性の拡散 (sprit) を招来することになる。

商品のメニューを考える場合には、標準化があくまでも流動性を厚くするための一種の妥協策であることを念頭に置いて検討すべきである。

### (2) マーケット間の緊密な結び付き

1つのマーケットが孤立しているのではなく、マーケット間での結び付きが緊密になることによって、多くの参加者をマーケットに誘引して、この結果、取引が活発になることが期待できる。一般のコモディティとは異なり、電力のスポット価格と先物価格は、裁定取引で密接に関連しているわけではないが、参加者は、スポット市場と先物市場の双方で取引することが多いと考えられる。したがって、マーケット間の緊密な結び付きにより相乗効果が発揮されて、厚い市場流動性の形成につながることが予想される。

具体的には、上場商品の標準化について、できる限りスポット取引と先物取引との間の整合性を図ることに加えて、スポット市場における預託金と先物市場における証拠金の間で、クロスマージンの制度的導入を検討することも一法である。

### (3) 電力供給者、需要者双方からの積極的な参加と投機家の参加

潤沢な市場流動性は、多くの売り手と買い手の双方がマーケットで活発に注文を出すことにより形成される。したがって、この実現には電力供給、需要の両サイドとなり得る電力会社や新電力に加えて電力需要サイドとなるユーザーの参加が重要となる。

仮に、マーケットが大口の市場参加者で占められているような状況にあっては、小口取引のニーズがある参加者は、フェアな取引が期待できないとしてマーケットから遠ざかってしまう恐れがある。マーケットから適正な価格がアウトプットされるためには、多くの電力供給者、需要者が参加することが必要である。

また、再生エネルギーのウエイトが漸増する状況下、これをマーケットに取り込んでいく施策を検討することも、電力マーケット全体の流動性を拡充することにつながると考えられる。

さらに、進んでリスクを引き受けてそれからリターンを狙う投機家 (スペキュレーター) の参加が市場参加者のスコープを広げて活発な取引を促進する重要な

要素となる。ヘッジャーだけでは取引の活発化を図るには必ずから限界があり、ヘッジャーのカウンターパーティとなるスπεキュレーターが存在して、はじめて有効なヘッジが行われることが期待できる。このように、マーケットに流動性を供給する重要な役割を果たすスπεキュレーターが、自由にマーケットに参入できることが必要である。

確かに、投機の過熱から相場が適正価格 (fair price) から乖離することがある。しかし、厚い流動性のもとにあっては、こうした相場の振れは一時的に終わり需給を適正に反映した水準に回帰することになる。また、こうした投機の弊害は、マーケットに対する厳格な監視や投機家のポジションに対する制限等の措置によって、抑制することが可能である。

それには、まずは、リスクヘッジのニーズのある実需筋に限定させたうえでマーケットをスタートさせて、市場流動性の動向を眺めてそれからスπεキュレーターの参入の是非を検討するといった漸進主義 (gradualism) のアプローチを取ることにする選択肢も考えられる。

しかし、いったん流動性の薄いマーケットになり、それからリカバリーして潤沢なマーケットを形成することは極めて困難であることは、過去の内外の金融・コモディティの取引所で経験したことである。

マーケットの本質的な機能はリスクヘッジであり、そのリスクヘッジが円滑に行うことができるためには、マーケットに厚い流動性が存在することが大前提となる。

まさに、「流動性はマーケットの命である」ことを忘れてはならない。

#### (4) 信頼ある価格、価格指数

電力マーケットの流動性が潤沢となるためには、信頼ある電力価格、または価格指数の存在が不可欠である。

すなわち、マーケットから信頼ある価格、または価格指数が提供されることは、市場参加者の取引の参照材料となり、延いては取引の活発化に結びつくことが期待される。

#### (5) 燃料となる天然ガスと電力の値決めのタイミング

火力発電所は、通常、燃料と電力のリスクヘッジのために、天然ガスの買いと電力の売りとを同時に行う。

こうした取引がシングルプライス・オークション (板寄せ) で行われる場合には、入札のタイミングとその結果が出るタイミングとが異なることとなる。とくに、電力のオークションのタイミングと天然ガスのオーク

ションのタイミングが異なるようなことがあれば、有効なヘッジは望めない。

したがって、先物取引では、天然ガスも電力もザラバ (競争売買) で行われることが必要である。

#### (6) 透明性

いかなるマーケットにおいても透明性の拡充が重要であるが、特に相対的に新しい電力マーケットでは、多くの市場参加者からの厚い信任を得るために、透明なマーケットの構築が極めて重要である。

こうした透明性の拡充は、マーケットが的確に価格発見機能を發揮していることを明確にすることにより、市場参加者が安心して取引できるような環境を作り、また、広い層に亘って電力取引の理解度の深耕に資することにより、電力供給サイドに対しても需要サイドに対してもマーケットに新規参入を促すことが期待できる。

さらに、電力マーケットの透明性が高まることにより、市場参加者は、電力の価格、量の現状と先行きの見通しを的確に把握、分析することが可能となる。

#### (7) マーケットメーカーの活用

ザラバ取引において、マーケットメーカーを活用することも、流動性を高める有効な手段である。

##### ① オークションマーケットとマーケットメーカーマーケット

マーケットにおける売買取引は、売り手と買い手の価格、数量等の条件が合致すれば成立するが、取引所取引では、この売買成約に持ち込む手法に2つの方法がある。

第1は、市場参加者が出す売り注文と買い注文とを直接ぶつけて取引を成立させる形を取る。この手法はオークションマーケットとか、オーダー (注文) が取引のトリガーとなることからオーダードリブンマーケットと呼ばれる。

第2は、マーケットメーカーとして機能する市場参加者が、マーケットにこの価格なら売る、あるいは買うという形で一定の数量の注文を提示する。これを見てこの価格なら買おう、あるいは売ろうという他の市場参加者は売買注文を入れて取引を成立させる形を取る。

この取引仕法で運営されるマーケットは、マーケットメーカーマーケットとか、マーケットメーカーが提示するクオート (気配、マーケットに出ている注文)

が取引のトリガーとなることからクオートドリブンマーケットと呼ばれる。

## ②マーケットメーカー制度と市場流動性

マーケットは、多くの売り手と買い手が集まって、そこで売りと買いがぶつかり合いながら需要と供給が調整されて均衡価格で取引が成立するという形をとる。したがって、市場参加者の売りと買いの注文が直接ぶつかって売買が成立するオークションマーケットの取引仕法がマーケット本来の姿であるが、この方法は大量の注文がマーケットに集中するという市場流動性の厚さが、取引がスムーズに成立することの前提条件となる。

しかし、特に新規上場商品や、既过上場商品でもその特性によっては、純粋のオークションマーケットの手法ではマーケットに十分な流動性が提供されない場合もある。こうした状況を補完するために生まれたのがマーケットメーカー制度である。この制度では、取引の活況を図るために、取引所が指定したマーケットメーカーに売り買いの注文を出すという市場流動性の供給義務を課す。

市場参加者がマーケットメーカーになるかどうかはあくまでも任意であり、取引所がマーケットメーカーを希望した市場参加者の的確性を検討して指定するのが一般的である。

なお、マーケットメーカーのネーミングは、通常の売り買いの注文だけでは市場流動性が不足してマーケットの本来の機能を十分発揮できないことから、マーケットメーカーが自己勘定で注文を出してマーケットのあるべき姿を形成するということから来ている。

マーケットメーカーが流動性を供給する報酬は、基本的に提示する売り気配と買い気配のアスク・ビッドスプレッドであるが、このほかに取引所が別途、報酬を供与するケースもみられる。

## ③マーケットメーカー制度導入の留意点

前述のとおり、マーケットメーカー制度は、あくまでも任意での参加である。

したがって、マーケットメーカーとなることのメリットが魅力的であると同時に、マーケットメーカーが場に出す注文のビッド・アスクスプレッドがタイトであることを義務付ける等、マーケットメーカー制度の導入が確実に市場流動性の拡充に結び付くように、慎重にバランスを図って制度内容を固める必要がある。

## 脚注

1. Shi-jie Deng, Blake Johnsony, and Aram Sogomonianz "Spark Spread Options and the Valuation of Electricity Generation Assets" IEEE, Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1999 p1
2. Hany A. Shawky, Achla Marathe and Chiristopher L. Barrett "A first look at the empirical relation between spot and futures electricity prices in the united states" The Journal of futures markets. Vol.23 No.10. p931-955, Wiley Periodicals 2003
3. Energy Information Administration "Derivatives and Risk Management in the Petroleum, Natural Gas, and Electricity Industries" U. S. Department of Energy 2002.10 p29
4. *Ibid.*
5. 諸田崇義「コモディティ価格変動の特徴とプライシング・モデルの展開」日本銀行金融研究所 IMES Discussion Paper Series 2010-J-1 2010.1 pp17-18
6. 同上
7. 同上
8. 同上 p32
9. 同上 p36
10. Deng, *op. cit.* p11
11. U. S. Energy Information Administration *op. cit.* p32
12. H. N. E. Bystrom "The Hedging performance of electricity futures on the Nordic power exchange" Applied Economics p2
13. 経済産業省「電気事業法等の一部を改正する法律について（概要）」2014.6
14. 第3回制度設計ワーキンググループ事務局提出資料 p12
15. W. David walls "Volatility, volume and maturity in electricity futures" Applied Financial Economics 1999.9 pp293-287
16. Nord Pool "Trade at Nord Pool's Financial Market" Nord PoolASA 2004.4 p9
17. S. Stoft, T. Belden, C. Goldman, and S. Pickle "Primer on Electricity Futures and Other Derivatives" University of California 1998 p31
18. Woo, C. K., I. Horowitz, A. Olson, A. DeBenedictis, D. Miller and J. Moore "Cross-Hedging and

- Forward-Contract Pricing of Electricity in the Pacific Northwest" Managerial and Decision Economics, Wiley Online Library 2011 p265
19. *Ibid.* p267
20. Svetlana Borovkova, Helyette Geman "Analysis and Modelling of Electricity Futures Prices" The Berkeley Electric Press 2006
21. *Ibid.*
22. *Ibid.*
23. *Ibid.*
24. Sascha Wilkens, Jens Wimschulte "The Pricing of Electricity Futures:Evidence from The European Energy Exchange" The Journal of Futures Markets Wiley InterScience 2007
25. Hany A. Shawky, Achla Marathe and Chiristopher L. Barrett *op. cit.* p935
26. *Ibid.* pp936-937
27. *Ibid.* pp941-942
28. *Ibid.* pp953
29. S. J. Deng, S. S. Oren *op. cit.* p5
30. *Ibid.* p6
31. 諸田崇義, 前掲 p5
32. Iivo Vehviläinen "Basics of electricity derivative pricing in competitive markets" Applied Mathematical Finance 2002.9 p53
33. S. J. Deng, S. S. Oren *op. cit.* p10
34. Phebe Vayanos, Wolfram Wiesemann, and Daniel Kuhn "Hedging Electricity Swing Options in Incomplete Markets" International Federation of Automatic Control 2011 p846
35. Matilda Guo, Maria Lapenkova "Numerical Methods for Pricing Swing Options in the Electricity Market" Halmstad University 2010 p4
36. Phebe Vayanos, Wolfram Wiesemann, and Daniel Kuhn p846
37. Jussi Keppo "Pricing of Electricity Swing options" University of Michigan 2002 p338. Jesús F. Rodríguez "Hedging Swing Options" International Journal of Theoretical and Applied Finance 2011 Vol.14 No.2 2011 p297
39. Matilda Guo, Maria Lapenkova *op. cit.* p5
40. Michael Hsu "Spark Spread Options Are Hot!" The Electricity Journal 1998 p29
41. R. Kenneth Skinner "Heat Rates, Spark Spreads, and the Economics of Tolling Agreements" Natural Gas & Electricity 2010.12 p29
42. U. S. Energy Information Administration "Dark spreads measure returns over fuel costs of coal-fired generation" 2013.2
43. R. Kenneth Skinner" *op. cit.*
44. *Ibid.*
45. Michael Hsu *op. cit.* p31
46. NYMEX "A guide to energy hedging" p33
47. S. J. Deng, S. S. Oren *op. cit.* p9
48. Michael Hsu *op. cit.* p29
49. *Ibid.*
50. *Ibid.* p30
51. U. S. Energy Information Administration "Dark spreads measure returns over fuel costs of coal-fired generation" 2013.2
52. *Ibid.*
53. 遠藤操「電力取引における先物市場の活用 - 米国 PJMの事例 -」電力中央研究所報告2014.4 pp3-4
54. R. Kenneth Skinner *op. cit.* p30
55. Shi-jie Deng, Zhendong Xia "Pricing and Hedging Electricity Supply Contracts:a Case with Tolling Agreements" 2005 p6
56. Shi-jie Deng, Zhendong Xia "A Real options approach for pricing electricity tolling agreements" International Journal of Information Technology & Decision Making 2006 p422
57. R. Kenneth Skinner *op. cit.* p30
58. *Ibid.* p31をもとにしてケースを作成.
59. *Ibid.*をもとにしてケースを作成.
60. Evolution Markets LLC
61. S. Stoft, T. Belden, C. Goldman, and S. Pickle *op. cit.* p33
62. Nate Endrud "ICE Moving Cleared Energy Swaps to Futures" Stinson Leonard Street 2012.8
63. S. Stoft, T. Belden, C. Goldman, and S. Pickle *op. cit.* p38
64. 環境省グリーン電力活用サポート事務局「グリーン電力証書活用ガイドブック」環境省 p9
65. 同上
66. 同上 p18
67. 第9回電力システム改革専門委員会参考資料集 2012.11 p30
68. EEX "Response by European Energy Exchange to the Consultation by Ofgem on GB wholesale electricity market liquidity" EEX 2010

# 参考文献

- ・ Alexander Eydeland, Krzysztof Wolyniec "Energy and Power Risk Management" John Wiley & Sons, Inc (「電力取引の金融工学」 山木要一訳 エネルギーフォーラム2004.11)
- ・ Bessembinder, H and Lemon "Equilibrium pricing and optimal hedging in equilibrium electricity forward markets" Journal of Finance. 2002
- ・ Bradford G. Leach "The Evolution of the CME Group Electricity Complex"
- ・ CME Group, Harvard Electricity Policy Group Sixty-Sixth Plenary Session 2012.3
- ・ Energy Information Administration "Derivatives and Risk Management in the Petroleum, Natural Gas, and Electricity Industries" U. S. Department of Energy 2002.10
- ・ Hany A. Shawky, Achla Marathe and Christopher L. Barrett "A first look at the empirical relation between spot and futures electricity prices in the united states" The Journal of futures markets. Vol.23 No.10. 931-955, Wiley Periodicals 2003
- ・ H. N. E. Bystrom "The Hedging performance of electricity futures on the Nordic power exchange" Applied Economics
- ・ Iivo Vehviläinen "Basics of electricity derivative pricing in competitive markets" Applied Mathematical Finance 2002.9
- ・ Jesús F. Rodríguez "Hedging Swing Options" International Journal of Theoretical and Applied Finance 2011 Vol.14 No.2 2011
- ・ Julio J. Lucia, Eduardo S. Schwarz "Electricity prices and power derivatives. Evidence from the Nordic Power Exchange" 2000
- ・ Jussi Keppo "Pricing of Electricity Swing options" University of Michigan 2002
- ・ Les Clewlow and Chris Strickland "Energy Derivatives Pricing and Risk Management" Lacima Group (「エネルギーデリバティブ」 山木要一訳 シグマベイスキャピタル2004.2)
- ・ Matilda Guo, Maria Lapenkova "Numerical Methods for Pricing Swing Options in the Electricity Market" Halmstad University 2010
- ・ N. K. Nomikos, O. Soldatos "Using Affine Jump Diffusion Models for Modelling and Pricing Electricity Derivatives" Applied Mathematical Finance 2008.2
- ・ Peter Heppenger "Numerical hedging of electricity contracts using dimension reduction" International Journal of Theoretical and Applied Finance 2011 Vol.15 No.6 2012
- ・ Phebe Vayanos, Wolfram Wiesemann, and Daniel Kuhn "Hedging Electricity Swing Options in Incomplete Markets" International Federation of Automatic Control 2011
- ・ R. Kenneth Skinner "Heat Rates, Spark Spreads, and the Economics of Tolling Agreements" Natural Gas & Electricity 2010.12
- ・ Sascha Wilkens, Jens Wimschulte "The Pricing of Electricity Futures: Evidence from The European Energy Exchange" The Journal of Futures Markets Wiley InterScience 2007
- ・ S. J. Deng, S. S. Oren "Electricity derivatives and risk management" ELSEVIER 2005
- ・ Shi-jie Deng, Blake Johnson, and Aram Sogomonyan "Spark Spread Options and the Valuation of Electricity Generation Assets" IEEE, Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences, 1999
- ・ Shi-jie Deng, Zhendong Xia "A Real options approach for pricing electricity tolling agreements" International Journal of Information Technology & Decision Making 2006
- ・ Shi-jie Deng, Zhendong Xia "Pricing and Hedging Electricity Supply Contracts: a Case with Tolling Agreements" 2005
- ・ S. Stoft, T. Belden, C. Goldman, and S. Pickle "Primer on Electricity Futures and Other Derivatives" University of California 1998
- ・ Svetlana Borovkova, Helyette Geman "Analysis and Modelling of Electricity Futures Prices" The Berkeley Electric Press 2006
- ・ Wengler, J. "Managing Energy Risk" Penn Well Publishing Company (「電力取引とリスク管理」 鮫島隆太郎訳 エネルギーフォーラム2003.6)
- ・ Woo, C. K., I. Horowitz, A. Olson, A. DeBenedictis, D. Miller and J. Moore "Cross-Hedging and Forward-Contract Pricing of Electricity in the Pacific Northwest" Managerial and Decision Economics, Wiley Online Library 2011
- ・ 遠藤操「電力取引における先物市場の活用－米国 PJMの事例－」 電力中央研究所報告2014.4

- ・経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部「発電・卸電力市場の競争環境整備について」2008.3
- ・経済産業省資源エネルギー庁電力・ガス事業部電力市場整備課「電力小売市場の自由化について」2012.4
- ・経済産業省資源エネルギー庁「最近の卸電力取引における現状等について」2013.4
- ・総合資源エネルギー調査会基本政策分科会電力システム改革小委員会「資料集」2014.4
- ・総合資源エネルギー調査会基本政策分科会電力システム改革小委員会「第3回制度設計ワーキンググループ」事務局提出資料2013.10.21
- ・総合資源エネルギー調査会電気事業分科会「今後の望ましい電気事業制度の在り方について」2008.3
- ・電力システム改革専門委員会「電力システム改革専門委員会報告書」2013.2
- ・日本エネルギー経済研究所「平成24年度商取引適正化・製品安全に係る事業（諸外国における電力市場の実態等の調査）報告書」2013.3
- ・土方薫編著「電力デリバティブ」シグマベイスキャピタル2004.9
- ・藤原浩一、新関三希代「スプレッド・オプション評価公式を用いた裁定取引の可能性」同志社大学経済学論叢第58巻第3号 2006
- ・諸田崇義「コモディティ価格変動の特徴とプライシング・モデルの展開」日本銀行金融研究所IMES Discussion Paper Series2010-J-1 2010.1
- ・山田聡「電力自由化の金融工学」東洋経済新報社 2001.6