

エネルギー市場における自由化の進展と 金融技術の活用

山本 毅, 安田 茂史, 後藤 毅

世界のエネルギー需要が堅調に拡大する中、原油や天然ガス市場では、価格が急速に上昇してきており、様々な産業に大きな影響を及ぼしている。海外における規制緩和の進展と市場メカニズムの導入によるエネルギー分野の環境変化は、事業の経営に大きなインパクトを与えるとともに、ORや金融工学をいかに活用していくかが企業の競争力を左右することとなっている。本稿では、事業会社にとって経営課題となりつつあるエネルギー市場への対応およびリスクマネジメントの手法について考察していく。

キーワード：エネルギー市場、デリバティブ、リスクマネジメント、ヘッジ手法

1. はじめに

海外における積極的な天然ガスおよび電力産業の制度改革は、グローバルなエネルギー市場の拡大とともに進展し、規制緩和の進む中で企業間での厳しい競争が行われている。また、原油や天然ガスの現物市場の進展とあいまって先物取引なども整備され、エネルギー関連デリバティブ市場も急速に拡大してきている。また、カリフォルニア電力危機に見られるような問題等も発生し、多くの教訓がもたらされるとともに、PJMや北欧などのように市場メカニズムによる電力取引が機能している地域もあり、各国が様々な取り組みを行っている。こうした規制緩和と市場メカニズム導入によるエネルギー分野の環境は大きく変化し、さらに地球温暖化問題とも密接に関連した形でエネルギー企業の経営に大きなインパクトをもたらしている。

本稿では、こうした海外の市場化の潮流変化を概観し、その中で重要な役割を担っているORおよび金融工学の視点から、天然ガス市場の構造や、リスクのヘッジ手法等を整理するとともに、事業会社にとって経営課題となりつつあるリスクマネジメントの手法についてまとめることを試みた。

2. 海外エネルギー市場の自由化の進展

2.1 欧米におけるエネルギー市場の自由化

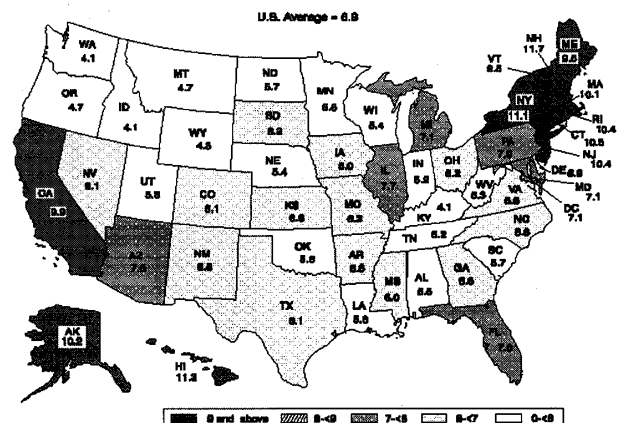
(1) 米国におけるエネルギー市場の自由化

米国では80年代からガス事業の自由化が進展し、市場原理による価格形成が進んでいった。

また、天然ガスの先物が上場されると、取引は拡大し、大きな市場が形成されていった。90年代に入ると、電力事業の自由化が進展し、州によって異なるものの、電力も取引所で市場原理による価格形成がなされるようになっていった。

米国における電力の自由化の進展は、州によって大

Figure 11. Average Revenue from Electricity Sales to All Retail Consumers by State, 1995
(Cents per Kilowatt-hour)



出典) 米エネルギー省ホームページ

http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/chg_str/regmap.html

図1 米国の州別電力料金比較 (1995年当時)。
料金が割高な州ほど自由化を検討。

やまもと つよし

みずほ第一フィナンシャルテクノロジー(株)

〒100-0004 千代田区大手町1-1-3

やすだ しげふみ, ごとう たけし

みずほコーポレート銀行(株)

〒100-8210 千代田区丸の内1-3-3

大きく異なり、小売の全面自由化の実施地域は15州とワシントンDCで、大口需要家のみを自由化対象としているのが4州となっている。カリフォルニア州は電力危機後、2001年9月に自由化停止、周辺の西部地域でも小売自由化見直しが相次いでいる一方、南部のテキサス州、東北部では着実に自由化を推進している(図1参照)。

(2) 欧州におけるエネルギー市場の自由化

欧州におけるエネルギー市場の自由化の特徴は、EU電力指令(1996年)を踏まえ、電力部門でも統一市場の形成を目指している点である。

英国、ドイツ、北欧地域が先行しており、段階的に大陸系諸国が追従しているという構図。

(3) 卸電力取引所

自由化を導入したほとんどの国・地域において、卸電力取引所が設立され機能している。電力卸取引設立の影響について米国、欧州の経験から共通する点を幾つかあげてみる。市場での価格が形成されることにより、販売のメニューが飛躍的に多様化し、顧客のニーズに合った料金体系が整備されていった。また市場取引部門に対する影響は非常に大きく、客観的に観察可能な「変動価格」を提供することで、変動価格をindexとした、デリバティブ取引の発生を促した。また、電力事業の経営の観点からは、リスクを定量化していくと同時に、収益安定化のため、機動的に価格固定化取引を実施していくこととなった。さらに、電力会社が発電資産のオフバランス化をはじめると、証券化取引生成の機会も拡大している。

2.2 エネルギーデリバティブ市場の拡大

欧米のエネルギー市場は、指標性の高い原油を軸にして、Heating OilやJet Kerosene等の石油精製品、天然ガス、石炭、フレート等の市場が発展。現在、電

力、CO₂排出権などの市場も流動性が増し、相互に関連した市場を形成している(図2参照)。

また、昨今の中国やインド等の目覚ましい経済成長に伴うエネルギー需要の増加により、エネルギー市場は急速に拡大してきており、原油価格は2008年6月上旬には1バレルあたり130ドルを超える値上がりを記録している。原油や天然ガスの市場においては、価格水準の上昇だけでなく、市場の変動性(ボラティリティ)も上昇しており、企業経営における不確実性が増加する一因となっている。こうしたエネルギー価格構造の変化に伴い、市場の変動を制御する手段として、デリバティブ市場も拡大が続いており、特に最近では、金融市場からの投資目的の資金流入も無視できなくなってきた(図3参照)。

2.3 エネルギー市場で活用される金融技術

(1) 料金メニューの多様化に活用される金融技術

エネルギー市場の自由化の進展に伴い、欧米のエネルギー企業は、顧客シェア獲得競争の激化の中で、他社との差別化を図っていく戦略として、顧客向けの料金メニューの多様化を図っている。顧客が電力会社やガス会社を選択することができる自由が生まれた状況においては、営業力の強化は言うまでもないが、競争力の中心となるのは商品であり、サービスである。こうした環境変化の中で、実時間料金制や各種固定価格制、定額料金制など様々な顧客ニーズに対応した料金が提案されている。また、個別の顧客ニーズに対応したカスタマイズ型のサービスも研究・設計・開発が行われている。

ある米国のエネルギー企業の事例では、ガスの供給を電力の供給に切り替えることができるメニューを提供している。

発電目的に利用する天然ガス販売先に対し天然ガス

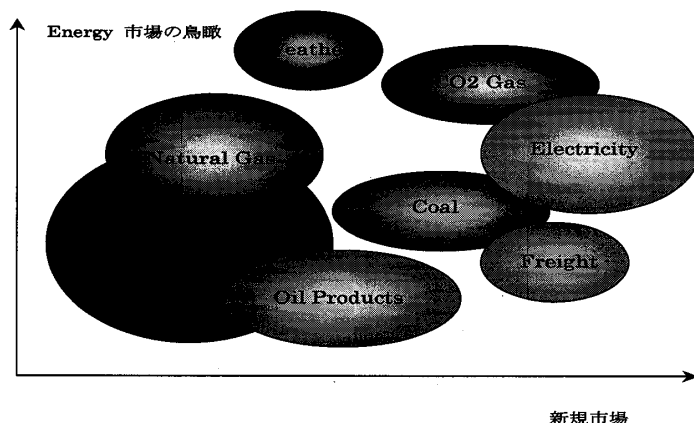


図2 Energy 市場の鳥瞰

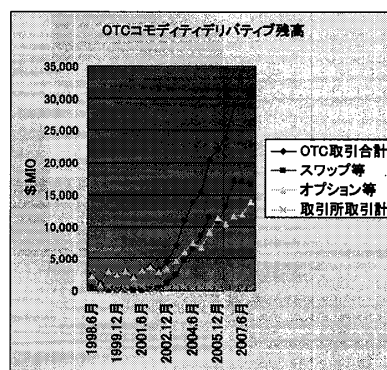


図3 コモディティデリバティブ残高推移(吉国統計)

の市場価格が上昇する見込みが強い際に、天然ガス販売をキャンセルし、代わりに、(電力価格が高騰していても)石炭火力の電力を市場価格アンダーで提供する取引を提案(図4参照)。

天然ガス販売が事前に定めた条件に従ってキャンセルされた場合、手元に天然ガスが残るが、手元に残った天然ガスは市場にて売却。天然ガス価格と電力価格は連動しやすく、電力価格上昇の余地がある場合に顧客は安価に電力を調達でき“Win-Win”な取引となる。

こうしたサービスを提供し、合理的な期間や価格を設定していく上では、電力、天然ガス、石炭等のエネルギー市場に精通し、金融技術を活用していくことが不可欠となってくる。また、市場の変化に応じて、適切に市場でのヘッジオペレーションを実施することができる市場取引部門も非常に重要な役割を果たすことになる。

上記のような顧客に対する料金メニューを構築する上では、市場における様々な基本取引が重要で、こうした基本取引をうまく組み合わせることで付加価値の高い料金メニューを提供していくことができる。基本取引としては、先物取引、先渡取引、スワップ取引、キャップ取引、フロア取引、スワップション取引等が上げられ、それぞれ天然ガス、電力、石炭等のエネルギー資産に対して、様々な期間の取引が市場で売買されている。

こうした基本取引を組み合わせることで、顧客向けに提供されているメニューを少し紹介すると、変動価格型電気(ガス)料金、上限付変動型電気(ガス)料金、上下限付変動型電気(ガス)料金、スワップ期間延長取引、天然ガスと電力の組合せ取引、デフォルト対応型ダブルトリガーオプション、天候デリバティブ組込み型オプション等がある。顧客ニーズに対応したメニューの多様化は、クレジットデリバティブや天候デリバティブ等の金融商品との複合型もあり、高度な金融技術により実現されている。

こうした顧客の個別ニーズに応じた料金メニューを提供していくためには、市場取引をリアルタイムで実施することのできるトレーダーが必要不可欠であり、欧米のエネルギー企業では、300人~400人のエネルギートレーダーが日々取引を行っている。一見金融機関のトレーディングルームと同じような風景であるが、発電所のスケジューリングや、在庫のモニタリングなどの機能を備えており、より複雑なオペレーションが行われている。市場動向を踏まえ、経済合理性に基づ

平常時(ガス価格低迷時)



緊急時(ガス価格高騰時)

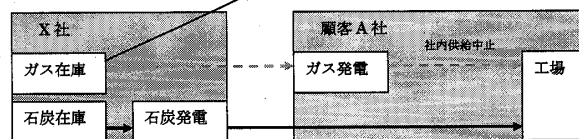


図4 総合エネルギーサービスの事例

いた発電資産の最適運用等も高度なノウハウを必要とする分野である。

3. 天然ガス市場における市場分析

ここでは代表的な米国エネルギー市場である天然ガスの価格動向について説明する。

3.1 米国天然ガス市場

米国の一次エネルギー消費に占める天然ガスの割合は約25%といわれており、石油の40%について2番目に大きい。また、石油・天然ガスともに米国は消費量世界第一位であるが、産出量については、石油が世界の7%程度に過ぎないために輸入量が多いのに対し、天然ガスは約20%と米国がロシアに次ぐ産出量を誇り自給率も80%以上と大きい。その結果、天然ガスについては米国内の現物市場における国際化は進展しなかったが、一方でその価格変動リスクの高さから先物取引(含むオプション)や先渡取引とその派生商品であるデリバティブ取引が大いに発達した(投機を好む市場参加者も増え、取引所での取引量は増加傾向にある)。

中でもHenryHub(SabinePipeLineLLCが所有するルイジアナ州エラス(Erath)にある天然ガスパイプラインシステムのハブポイントを指し、9つの州をまたぐパイプラインと接続している)が先物の代表銘柄とされており、NYMEX(NewYorkMercantileExchange)で上場され米国天然ガス市場のマーケット指標となっている。また、その他のハブ銘柄とのスプレッド取引も活発に行われている。

3.2 天然ガスの価格変動特性

このように指標となる銘柄自体が米国内市場の実需・需給要因に影響されやすいこと、先物取引市場における投機筋の影響を受けやすいことなどの要因により、天然ガスは図5のような価格変動特性を持つ。

(i) 戦争、天候などのイベントによる価格変動

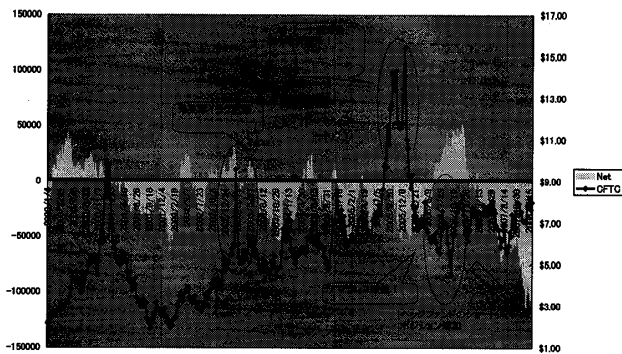


図5 天然ガス価格推移とCFTCネット建玉

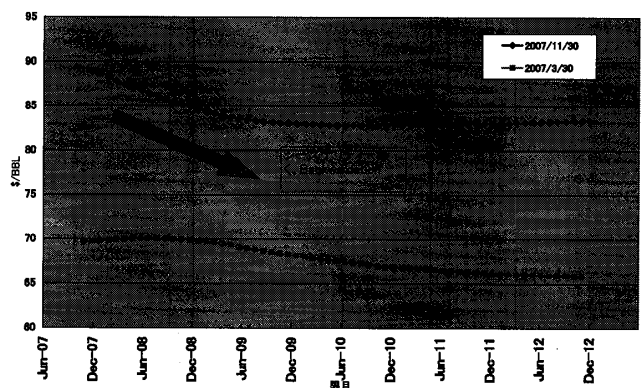


図6 WTIのタームストラクチャー

戦争や米国内の天候要因（寒波襲来，ハリケーンによる被害等の自然災害）に左右されやすい傾向がある。過去の価格推移を見ても，これらの要因により価格が2倍程度に急騰する局面が幾度となく生じていることがうかがえる（図5参照。Source: Bloomberg）。

(ii) 投資家動向

ボラティリティーの高さに着目した投機資金の流入を背景にヘッジファンド等のポジション操作が活発化しており，市場の価格形成にも影響を及ぼしている。特に短期的に取引金額が膨らむケースでは，価格への影響も大きい（コモディティー投資で有名であった大手ヘッジファンドの破綻によるポジション解消を連想し，価格が大きく変動した）。

(iii) シーズナリティー

天然ガス価格は，暖房や発電用の需要が高いため，総じて夏場の不需求期は価格が低く，冬場にピークをつける傾向が強い。先物市場やデリバティブ市場では，天然ガスの将来の受渡し価格についても取引が行われているが，このような季節性（シーズナリティー）が価格の期間構造に明確に現れている。

また，一般にコモディティー価格の期間構造については，①期先に対し期近の現物市場の需要の高まりを示す「期近高・期先安」の形状（Backwardation）や，②現物市場の需要の緩みを示す「期近安・期先高」の形状（Contango）の構造を取ることが多い。例えばWTI等の原油価格は通常 Backwardation となることが多く，価格は期先になるに従い徐々に低下する構造となっている（図6参照）。

一方，天然ガスの価格形成においてはシーズナ

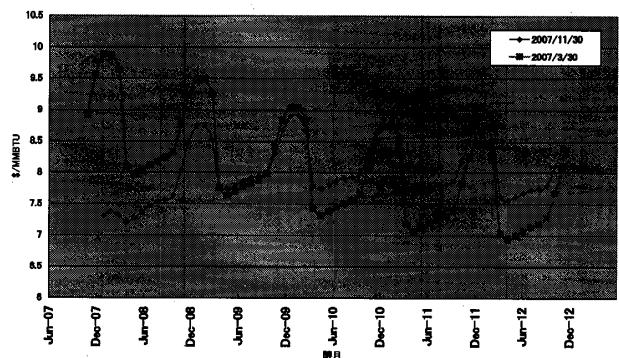


図7 天然ガスのタームストラクチャー

リティーの影響が強く現れており，価格カーブがウエーブする構造となる（図7参照）。

3.3 天然ガスの価格変動率と他商品との相関

前述のように，天然ガスは独特な需給要因や価格変動特性を持つため，価格のボラティリティー（日次変動ベース）が他の商品・エネルギーに対しても高い（表1参照）。変動率の分布については正規性の特徴も見られる。

また，金利・為替・株価等との相関性は薄い一方，同じ発電向けの用途がある原油価格とは若干の相関性が見られる。

ポートフォリオ理論による分散投資の観点から，相関係数の高いもの同士を選ぶのではなく，相関係数の低いインデックスへの分散投資がリスク軽減につながるとしており，昨今の投資家は株式市場，為替市場，債券市場のみならず様々な市場への投資を進め商品市場にもこの波が押し寄せて，価格変動の要因となっている。

4. デリバティブを活用したヘッジ手法

3節で照会したように，天然ガスなどではイベント等に伴う独特の価格変動特性，高い価格変動率がある

表1 変動率と相関

商品別価格変動率比較					
	HenryHub	WTI	\$/JPY	DOW平均	GOLD
価格ボラティリティー	3.15%	1.93%	0.61%	0.90%	1.08%
商品間相関係数					
	HenryHub	WTI	\$/JPY	DOW平均	GOLD
HenryHub	1	0.309	▲0.07	▲0.066	▲0.066
WTI		1	0.021	0.029	▲0.066
\$/JPY	▲0.07	0.021	1	0.643	▲0.201
DOW平均	▲0.066	0.029	0.643	1	▲0.233
GOLD	▲0.066	▲0.066	▲0.201	▲0.233	1

(過去1年間の日次変動率とその相関)

ことから、その価格変動をフルに製品価格に反映できない企業にとっては先物やデリバティブを使った価格ヘッジが重要である。実際このようなヘッジニーズを背景に、米国では先物市場やデリバティブ取引市場が発達してきた。

本節では、その具体的なヘッジ手法とその効果について述べる。

4.1 デリバティブを活用したヘッジ手法

(1) 先物取引

先物取引とは、将来一定条件（数量、価格、売買の区別、受渡し期日）で対象商品を売買することを約束する取引である。受渡しを約束した期日以前なら、その時点の市場価格で転売・買戻し（反対売買）を行い、値動きによって生じる売買価格差を現金決済（差金決済）することにより取引を終了することが可能。また最終売買日まで契約を維持することにより、商品を実際に入手する現物決済も可能である。

先物市場とは、多種多様な取引主体が、様々な目的で参加する透明でオープンな市場であり、参加者の取引相手が取引所となるため、個別取引先に対する信用リスクが発生しない。一方で各参加者は、将来の価格変動により生じ得る損失（取引所に対する負債）に備えるため、必要な証拠金を払い込み、また契約金額の変化に伴い日々金額を調整することが求められる。

北米の天然ガスについては、NYMEXにHenry Hubベースでの受け渡しを前提とする先物が、ICEには英国のNBP (the National Balancing Point)での受け渡しを前提とする先物が上場されている（図8参照）。

(2) OTC スワップ取引

ある参照指標を基準に受払い金額が決定される変動価格とあらかじめ決められた固定価格を当事者間で交換する取引を指す（商品の現物の交換は行わない）。OTCとはOverTheCounterを指し、特定の二社間での合意による契約であることから、当事者間で互いに

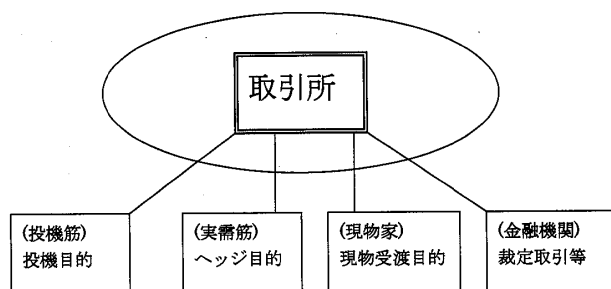


図8 取引所参加者イメージ

対する信用リスクが発生する。スワップ取引により、商品の購入・売却価格をあらかじめ固定化することが可能であるが、これにより事前に事業採算を確定させたり、見通し精度を向上させるといった効果が期待される（例えば、変動する原材料購入コストの事前の固定化などが考えられる）。

ただし、スワップ取引締結後に変動価格が本来の状況で有利な方向に推移した場合（上記の例で、原材料価格が低めに推移した場合）には、そのメリットがスワップ取引における損失により相殺されてしまい、結果的にヘッジ取引のコスト分だけ割高となってしまう可能性もある（図9参照）。

(3) OTC オプション取引

オプションとはある原資産を、一定期間内に特定の価格で買う（または売る）権利をいう。

原資産を買う権利についてのオプションを「コール」、売る権利についてのオプションを「プット」と呼び、原資産が株式であれば株式オプション、金利であれば金利オプション、通貨であれば通貨オプション、商品であればコモディティオプションという。取引所で売買される先物に係わるオプション（先物オプション）に対し、特定の二社間でオプション取引の条件を定めて締結する取引をOTCオプション取引という。オプションを取得する買手（オプションホルダー）はオプション料（プレミアム）を売手に支払うことで権利を取得する一方、売手は権利が行使された場合に定められた条件で売買を履行する義務を負うこととなる。

この場合、オプションホルダーの利益は無限に発生する可能性がある一方、リスク（損失）はオプションプレミアムに限定される。反対にオプションの売り手の利益は受け取ったオプション料（プレミアム）に限定される一方で、リスク（損失）は無限に発生する可能性がある。

プレミアムは、オプションを現時点で行使した場合の利益（本源的価値）と、現時点から将来の権利行使

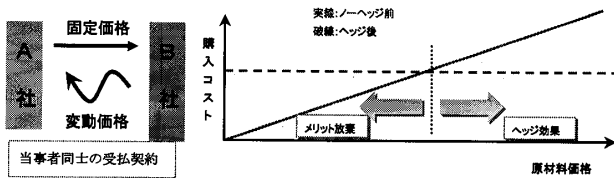


図9 スワップ取引のイメージ

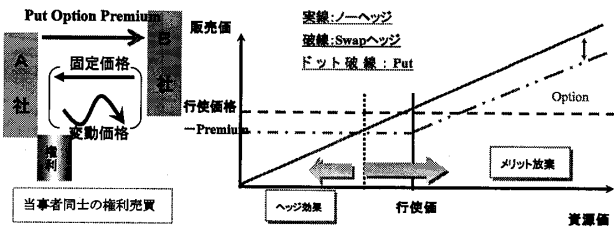


図10 プットオプション取引のイメージ

日までの利益に対する、期待可能性（時間的価値）の和で表される。プレミアムの価格計算の際にはオプション評価モデルが使用されるが、代表的なものとしては、1973年に発表されたBlack-Scholesの公式が挙げられる（図10参照）。

この他にも、プットオプションとコールオプションを組み合わせたカラー取引、スワップを開始する権利をやり取りするスワップションやバリアオプション等、エキゾチックデリバティブも多数存在し、最先端の金融工学の知識を駆使して評価・管理を行っている。

事業法人の中でも、どのヘッジ手法が現在の市場環境に適している、自社のリスクを軽減できるか判断して、デリバティブを活用していくことがより一層望まれる。

5. 自由化の進展と事業会社のリスク管理

5.1 事業会社のリスク管理

(1) 欧米エネルギー企業におけるリスク管理の運営

欧米のエネルギー企業は、自由化の進展に伴い、市場価格の変動を前提とした経営が極めて重要な課題となり、リスク管理は経営の最重点課題の一つとなっている。ドイツの電力大手RWE社の経営者は講演で次のような点を指摘していた。「ドイツにおける自由化の進展により、顕在化した発電事業と電力販売事業におけるコモディティリスクを把握することがきわめて重要となった。電力事業の経営における大きな変化は以下の3点である。①自由化によってもたらされたのは、価格競争の激化と市場からの新たな収益機会。②市場を前提とした新しいビジネスモデルの構築。③発

電資産にかかる膨大な価格変動リスクのマネジメント」

自由化の進展に伴う市場価格の変動は、企業経営に不確実性をもたらし、リスク管理が重要な課題となっていくと同時に、収益を生み出す機会も創出している。市場を前提とした発電資産の最適なオペレーションは、発電事業の競争力を左右する重要な点であり、金融工学とORが融合した分野となっている。特に国際的な金融の自由化を既に経験している金融機関が蓄積してきたノウハウは、エネルギー企業においても有効に活用されている。

エネルギー取引のリスク管理は、金融取引よりもより複雑で、様々な課題をカバーする必要があるといわれている。また、金融機関におけるリスク管理は、市場における長い経験を踏まえて蓄積されてきたものであるのに対し、欧米においてもエネルギー企業のリスク管理が体系化されたのはここ数年の極めて短い期間であり、大変ハードルの高いものであった。しかしながら、金融機関で蓄積された手法は様々な点で活用され、根本的な考え方としては共通のものが多い。人材の流動化が進む欧米においては、金融機関出身者も多く採用され、様々なノウハウの移転が行われている。

(2) リスクマネジメント組織の機能

電力やエネルギーの取引を非規制部門で取り扱う企業においては、フロントオフィス、ミドルオフィス、バックオフィスの3つの機能を分離した組織形態をとることが多い。これは金融機関における組織の形態と概ね共通である。フロントオフィス、ミドルオフィス、バックオフィスはそれぞれの機能を分担し、お互いに内部牽制する関係を持つことが重要で、特にミドルオフィスは、強い権限をもつと同時に経営と直結し、フロントオフィスを監視する機能を持つことになる。

リスク管理セクションは、市場環境下のエネルギー企業にとって、大変重要な役割を果たしており、市場の調査・分析を行う組織と連携して、常に市場に適合したリスクの定量化を実施していく。市場部門であるフロントオフィスに対しては、十分な内部牽制が働くように工夫されており、電力取引事業者においても、金融機関と同等ないしはそれ以上の進んだ市場のリスク管理が行われている。

また、電力取引や燃料取引のデリバリーに関する在庫管理やスケジューリングの部門とも連携し、スムーズにデリバリーが行われるように監視している。さらに、取引相手の信用リスクを定量化し、枠管理や担保

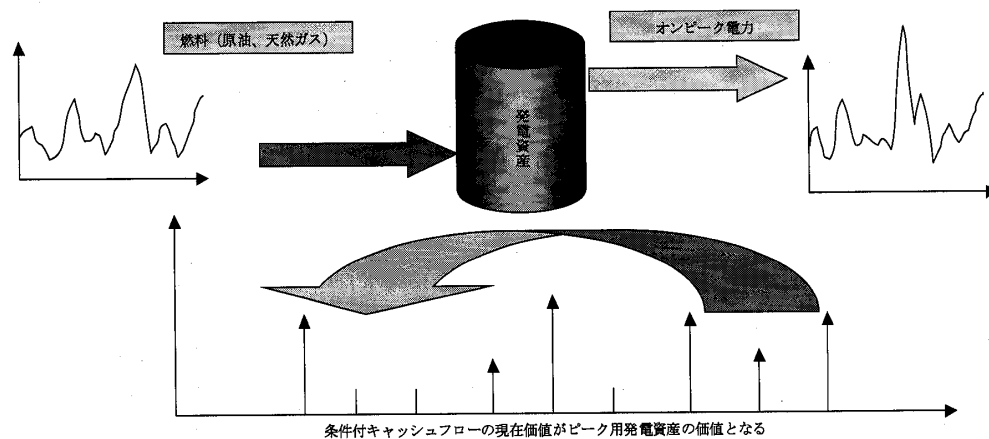


図 11 ピーク用発電資産の評価

管理を行っていく上でもリスク管理セクションの役割は大きい。

5.2 金融技術を活用したリスクの定量化

こうした背景を踏まえ、欧米のエネルギー企業では、略例外なく定量的なリスクの計測を実施している。ミドルオフィスにおける日々のリスク計測と経営者への報告は、金融機関で用いられている定量化のスタンダード VaR (Value at Risk) によって行われている。

既に述べてきたように、株式や為替レート以上に日々激しく変動するエネルギー市場でのオペレーションは極めて大きな市場変動リスクにさらされており、また、その市場も細分化され種類が多岐にわたることから、こうしたリスクの把握が経営者にとっては重要な課題であり、それに対する対応が経営の重要なテーマであることとなっている。

Value at Risk (VaR) とは、統計的に市場の変動を見積もり、 $\alpha\%$ (例：1%) の確率で発生し得る最大損失金額をいう。各種リスクファクター (市場で変動する価格) の変動によりポートフォリオ (市場や顧客との取引の集合体) の現在価値 P は変化するが、この変動を過去の実績データ等から推定し P の変動額を統計的な分布として見積もる。このとき、リスク計測期間 (例：1日) と信頼率 (例：99%) を設定し、その条件の下で商品の価値がこうむる可能性のある、市場変動による「最大」損失額を Value at Risk (リスクに晒されている金額の意) という (略して VaR, VAR などと書く)。VaR は「最大」損失額というただ1つの値で表現されるため、シンプルで感覚的に理解しやすい指標である。ただ理解しやすい一方で限界もあるため実務上はストレステスト等を併用することで補っている。

● 発電資産のリスク定量化

天然ガス発電資産から生産される電力は、市場の状況により収益が上がる場合もあれば、損失が発生する場合 (発電しない場合) もある。燃料価格と電力価格が市場の需給に基づいて変動する世界では、市場データから得られた情報を利用して、発電資産と送電設備をリアル・オプション法で評価することが可能であり、この経済性は、市場で取引が可能なスパークスプレッドオプションと同等であるといえる。

ピーク時用発電資産の保有者は、発電資産のヒートレート (損益分岐点となる) よりも市場で取引されているスパークスプレッドが拡大している場合、オプションを行使 (発電を実施) し、スパークスプレッドが縮小した場合にはオプションを行使しない (発電を実施しないで市場から購入) という選択肢を持っている。

欧米のエネルギー企業では、こうした天然ガス発電資産の市場リスクを VaR を用いて計測し、リスクのモニタリングやヘッジ取引の実施に活用している。このように、市場化が極めて進んだ環境においては、発電資産の評価に用いられるリアルオプション手法が、リスクの定量化にも活用されているのである (図 11 参照)。

燃料価格および電力価格を以下のようにモデル化すると、スパークスプレッドオプションの理論価値を求めることができる。

$$\frac{dF_P^{t,T}}{F_P^{t,T}} = \chi_P(\mu_P - \ln F_P^{t,T})dt + \sigma_P dB_1(t)$$

$$\frac{dF_C^{t,T}}{F_C^{t,T}} = \chi_C(\mu_C - \ln F_C^{t,T})dt + \sigma_C dB_2(t)$$

$$dB_1(t)dB_2(t) = \rho(t)dt$$

$$C(F_P^{t,T}, F_C^{t,T}, T-t) = e^{-r(T-t)} \left[F_P^{t,T} N(d_1) \right]$$

$$-K_H \left(F_C^{t,T} + \frac{1}{K_H} VOM_P^t \right) N(d_2)]$$

$$d_1 = \frac{\ln(F_P^{t,T} / (K_H F_C^{t,T} + VOM_P^t)) + v^2(T-t)/2}{v\sqrt{T-t}}$$

$$d_2 = d_1 - v\sqrt{T-t}$$

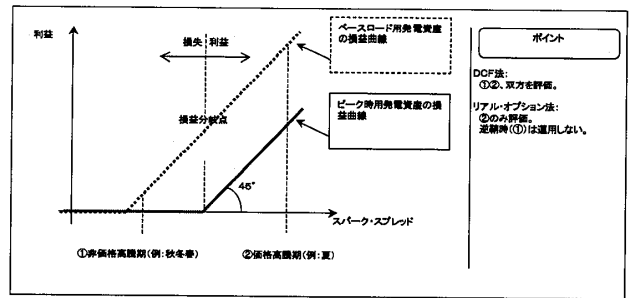
$$v^2 = \frac{1}{T-t} \int_t^T \{ \sigma_P^2 - 2\rho\sigma_P\sigma_G + \sigma_G^2 \} ds$$

記号	意味
t	観測時点。
T	満期時点。但し $t \leq T$ とする。
VOM_P^t	発電資産Xの、 t 時点のVOM (Variable Operation & Management Cost)。
$F_C^{t,T}$	t 時点の電力先渡価格(事業価値評価時点 t で観測され、 T 時点渡しの電力卸取引所価格)。
$F_G^{t,T}$	t 時点の発電用燃料先渡価格(事業価値評価時点 t で観測され、 T 時点渡しの発電用燃料市場価格)。
$B_i(t) (i=1,2)$	標準ブラウン運動。 $B_1(t)$ と $B_2(t)$ は瞬間相関 ρ をもつ。
σ_P	電力価格のボラティリティ
σ_G	燃料価格のボラティリティ
μ_P, μ_G	長期平均価格水準
κ_P, κ_G	平均回帰速度を定める係数

さらに、発電資産を複数ポートフォリオで保有している発電事業者は、燃料取引のポートフォリオ、電力取引のポートフォリオおよび保有発電資産のポートフォリオを日々最適に運用していくために、極めて高度な最適化オペレーションを実施しており、この運用が企業の収益性の源泉となっている。こうした取組みが企業の競争力を左右する重要なものとなっているのである(図12参照)。

6. 最後に

各節で見てきたように、欧米のエネルギー市場の活性化は、自由化の進展による参加者の拡大と、ORに



ピーク時発電資産の場合、損益分岐点が高くオプション法の利用が適している。

図12 リアルオプション手法による価値評価

よる最適化の手法等の金融工学の最新技術が下支えとなっていた。昨今のヘッジファンドの市場参加や地政学的なイベントにより、価格変動リスクはより増加しており、リスクキャパシティの大きい金融機関の担う役割は技術面・実務面ともにさらに増していくであろう。加えて、事業法人においても、財務健全性を保ちリスク管理の観点から、デリバティブを活用したヘッジの役割が今後はより一層大きくなっていくであろう。

参考文献

- [1] 電力自由化の成果と課題—欧米と日本の比較—, 経済産業課, 2007.
- [2] S. Deng, B. Johnson and A. Sogomonian, "Spark Spread Options and the Valuation of Electricity Generation Assets," 1999.
- [3] Risk Books, "The New Power Markets," 1999.
- [4] A. Eydeland and K. Wolyniec, "Energy and Power Risk Management," Wiley, 2003.