

金融工学がもたらす電力経営革新について

張替 一彰

1. なぜ、金融工学なのか？

2000年夏、電力自由化の先進国である米国のカリフォルニア州において、電力価格が通常の数十倍に暴騰した上で、計画停電が行われ、数百万人の市民生活に対して多大な影響を与えるという象徴的な事件が発生した。それ以来、我が国の電力自由化の制度設計に関して様々な議論がマスコミなどを賑わしている。そして、その電力自由化の議論の中で、これまで電力事業そのものとは無縁であると思われた金融工学 (Financial Engineering) や金融技術 (Financial Technology) といった手法が共に語られることが多くなったことに気づかされる。

しかしながら、事業経営の革新というテーマで金融工学が関連づけられるようになったのは、電力業界だけのことではない。経済産業省経済産業政策局では、非公式な勉強会として、「事業における金融機能の活用に関する研究会」や「リアルオプション研究会」といったものを開催し、これまでの経験と勘と度胸に頼った日本的な事業経営に対し、先進的な金融工学を援用することによって、経営モデルの大規模なパラダイムシフトを引き起こす可能性を探っている。金融工学を用いた戦略的リスクマネジメントの評価・管理手法である BPM (Business Portfolio Management) や ERM (Enterprise Risk Management), リアルオプション (Real Option) はすでに欧米のリーディングカンパニーにおいては、試行実験から実際の実務への応用段階にきているケースも多く、海外のセミナーにおいては、自社の事例をベースにした啓蒙活動を行っているレベルの企業も多数存在する。これは金融工学が財務リスクのみならず、事業リスクの定量的モデル化ならびに評価、管理ツールとして、フレキシブルなソリューション能力を保有していることを認められて

いるからにはほかならない。

オプション理論によって、ノーベル経済学賞を受賞したロバート・マートン教授は、昨年、来日した際の講演で、21世紀の金融工学の役割の一つとして、事業経営革新への応用をあげていた。経営における金融工学の活用の巧拙が、先進的マネジメント経営の条件の一つとなってきていることの所作と言える。

金融工学を事業経営にビルトインする場合の重要なポイントは、事業リスクのコントロールを通じた企業価値の最大化にある。事業会社がさらされているリスクを評価した上で、各リスクファクターが収益に対して与えるインパクトを把握することがファーストステップである。セカンドステップとしては、“とるべきリスク”と“ヘッジすべきリスク”を峻別した上で、様々なリスクコントロール手法を援用して、両者を適切なレベルにコントロールする。それにより、企業価値を最大化していくのである。

電力会社がさらされている事業リスクは、電力価格リスクを中心として、金利、原材料、為替、天候、環境 (排出権など)、天災などの多くのファクターから構成されている。これらのファクターは互いに影響し合いながら電力会社の収益に大きなインパクトを与えており、自由化により燃料調整制度が撤廃あるいは実質的に無力化すれば、これらのリスクの戦略的マネジメントスキルの巧拙が電力会社の競争力を決定づけることになる。

例えば、米国の先進的リスクマネジメントを有する電力会社 (例えば、Enron や Axia など) は、これらの事業リスクを金融工学を援用してヘッジしているだけではない。彼らは、自分たちの高度なリスクマネジメントを積極的に活用することで、各種の事業リスク商品を組成し、他の電力会社やその他の事業会社に商品提供やリスクマネジメントコンサルティングを実施し、さらにはそれらの商品のトレーディングによってマーケットメイクすら行っているのである。

はりがえ かずあき

野村證券(株) 金融研究所 投資技術研究部
〒100-8130 東京都千代田区大手町 2-2-2

2. 金融工学を用いた発電設備の評価

2.1 スタテック DCF 法による評価

電力会社が創造するキャッシュフローの主たる源は、当然のことながら発電設備である。金融工学の発想で考えれば、発電設備のポートフォリオマネジメントが電力会社の企業価値創造のポイントとなる。発電設備をポートフォリオマネジメントするためには、まず、個々の発電所のアセットバリューを評価する必要がある。一般的には、ディスカウントキャッシュフロー法 (DCF 法) をベースとしたネットプレゼントバリュー (NPV) や内部収益率 (IRR) といった方法で評価する。昨今でいえば、EVATM¹ で評価するということが同じある。電力価格×発電量－投下資本×ハードレートの将来値をハードレートで現在価値に割り引いた上で合計すれば NPV が計算できる。NPV がプラスであれば、企業価値を創造している発電設備ということになるが、逆にマイナスであれば、企業価値を破壊している発電設備ということとなり、縮小、売却といった経営判断が期待される。しかし、このようなスタテックな DCF 法は、その収益の背後にある事業リスクやその事業リスクに対する経営判断の柔軟性を十分に考慮していないケースが多いため、思わぬリスクを背負う可能性がある。そこで、事業リスクをビルトインする形で評価するのがダイナミック DCF 法であり、さらに経営の柔軟性を考慮した DCF 法や金融のオプション理論を導入したリアルオプションアプロ

ーチなどがある (図 1)。

2.2 ダイナミック DCF 法

ダイナミック DCF 法のポイントは、インフルエンスダイアグラムと呼ばれる収益発生メカニズムを定量モデル化した上で、NPV に内包されたリスクをシミュレーションすることにある。図 2 は発電設備のインフルエンスダイアグラムの一例である。発電設備の営業利益を分解していき、個々のリスクファクターとしてのドライバーに展開する。売上であれば、気温や燃料調整が重要なキードライバーとなるし、コストであれば、為替や原材料の動きがキードライバーとなる。電力取引が自由化されれば、料金を設定するドライバーは需要やコストとも関係し、もっと複雑化するであろう。モデル化した後は、実際の過去データを利用して、各ドライバーがどれぐらいの変動可能性があるのかを明らかにした上で、収益に与える感応度を定量的に把握することが重要となる。

各ドライバーの分布が特定できれば、モンテカルロシミュレーションなどの手法を援用し、たとえば 1 万通りのシナリオを発生させ、その結果として、営業利益あるいは NPV がどの程度の変動幅をもっているかが、図 3 のような形で確認できる。図 3 のケースでは、43% の確率で NPV がマイナスとなるというものである。

2.3 柔軟性を考慮した DCF 法

発電設備のキャッシュフローは、図 2 のような形で様々なリスクにさらされている。しかし、電力市場が

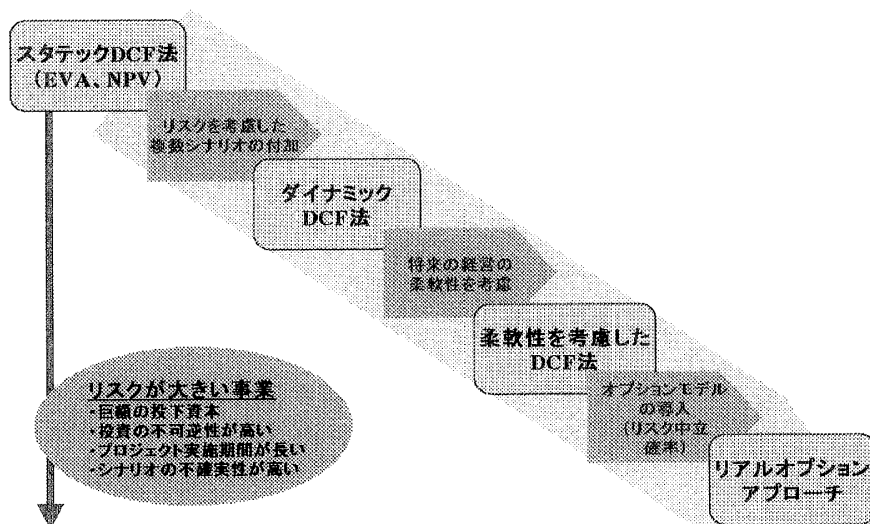


図 1 事業評価手法の比較

¹ EVATM は Stern Stewart 社の登録商標である。

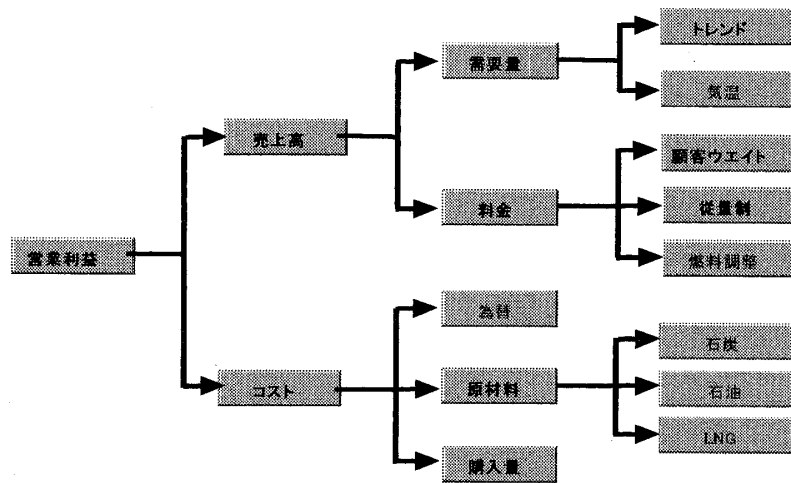


図2 インフルエンスダイアグラムの一例

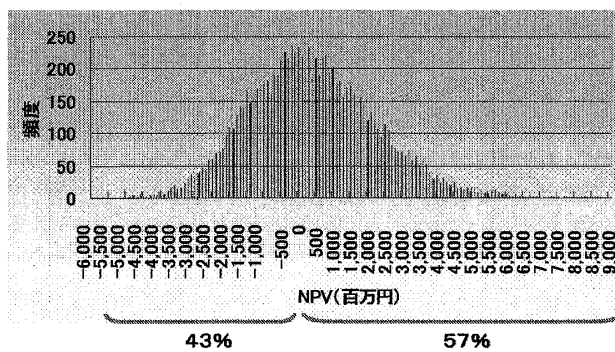


図3 NPV 分布の一例

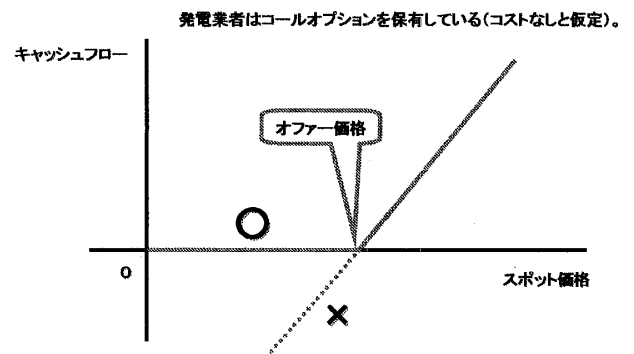


図4 発電設備のキャッシュフローのペイオフ

自由化されていれば、オファーする電力価格をコントロールすることができる（ただし、これは火力などのピーキングプラントの話であり、いったん停止させるとすぐに稼働できない原子力などのベースプラントはオプション性が薄い）。つまり、市場でついているスポット価格が自分たちが希望するオファー価格よりも安い場合には、電力を供給しないというオプションを保有しているのである（図4）。それにより、損失を限定することが可能となるが、これは金融の世界におけるコールオプションを保有していることと全く同じである。このオプションとしての柔軟性を考慮するため、一般的なダイナミック DCF 法を変更する必要がある。

具体的には、モンテカルロシミュレーションでマルチシナリオを発生させる場合に、発電を中止するオプションを行使するトリガーとして、オファー価格の下限設定を追加するのである。それにより、NPV の下振れリスクが減少する。なお、解析解として解く場合には、ベルマン方程式によるダイナミックプログラミング法を援用することなどが想定される。

2.4 リアルオプションアプローチ

電力市場が成立すると、市場において電力のスポット価格がつくことになる。その結果、このスポット価格を原資産とすることで、発電設備のオプション性を表現したキャッシュフローを複製することが可能となる。つまり、金融工学でもっとも重要な考え方の一つである無裁定条件によるリスク中立確率の発想が使えるのである。将来のスポット価格とそのボラティリティ、リスクフリーレート、発電コスト、オファー価格などのパラメーターを入力することで、有名な Black-Scholes 式による発電設備評価が可能となる。

$$\begin{aligned}
 \text{Call Price} &= \exp(-rT)[AN(\nu + \sigma T^\lambda) - HN(\nu)] \\
 &\quad + (H - K)N(\nu) \exp(-rT) \\
 &= \exp(-rT)[AN(\nu + \sigma T^\lambda) \\
 &\quad - KN(\nu)]; \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\nu = [\ln(A/H) - \sigma^2 T^{2\lambda} / 2] / \sigma T^\lambda$$

A = 先渡価格, T = 期間 (日数),

r = リスクフリー (連続複利),

λ = ボラティリティ成長性ファクター,

σ = ボラティリティ,

N = 標準正規分布の分布関数

H = オファー価格 (行使価格), K = 発電コスト

金融のモデルとの違いは、主にボラティリティの時間分散の拡散過程の置き方にある。金融では正規分布を仮定して、 λ が 0.5 で成長するが、電力価格の場合は、時差相関が高いために、0.5 より低い数字を使うことが多い。また、プライスパイクと呼ばれる電力価格の跳ねを表現するためにジャンプ過程 (ポワソン分布) を仮定したり、発電コストを固定化するのではなく、ガス価格などの変動条件を入れ、いわゆるスパークスプレッド (電力価格 - ガス価格) をモデルに考慮する場合もある。

図5に(1)式を使ったシミュレーション結果を掲載した。ポイントとしては、入力パラメーターとしての将来の市場価格 (先渡価格) が発電コストを下回っていても、変動性が高いために、コストを上回るシナリオが存在し、結果としてオプション価値がプラスとなっているところである。

2.5 BPM (Business Portfolio Management) による発電設備ポートフォリオ評価

これまでは単体で発電設備を評価する方法を金融工

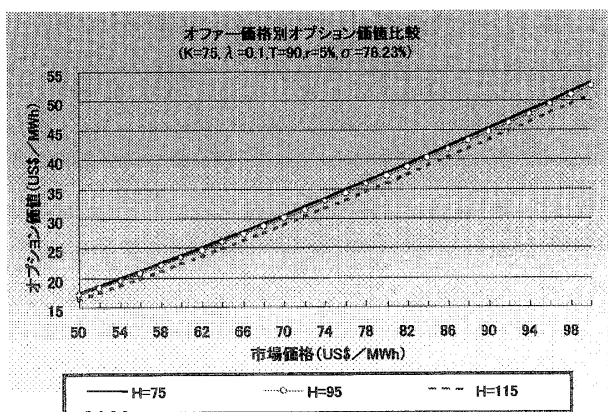


図5 BS式による電力設備評価

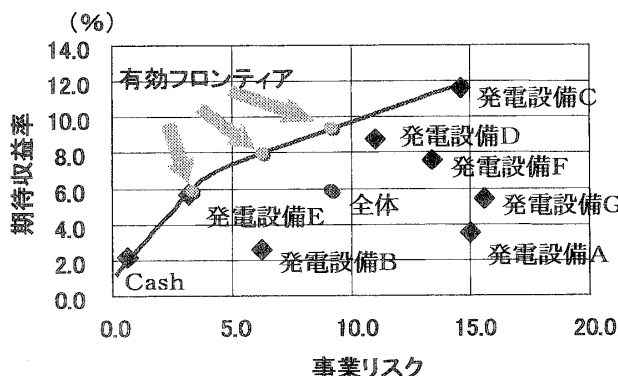


図6 発電設備のポートフォリオマッピング

学の視点から概観してきたが、最終的には個々の発電設備の収益とリスクをベースにポートフォリオマッピングを行う必要がある。図6は発電設備のポートフォリオマッピングの一例である。

図6では、MPT (Modern Portfolio Theory) を応用したポートフォリオのマッピング例を示しているが、図中の“有効フロンティア”といわれるラインが最適と想定される発電設備ポートフォリオ構成となっている。金融工学の重要なポイントであるポートフォリオの分散効果を通して、より低い事業リスクで同じ期待収益を達成できるようにポートフォリオを最適化する。

そのラインに実態を近づけるために、経営者は不要な発電設備の売却や徹底的なリストラ、業務プロセス改革、コストダウンを行い、一方で収益性の高い発電設備への追加投資やM & Aなどを行う。その場合、発電設備間のシナジー効果も考慮する必要があり、場合によっては、垂直統合のメリットも加味していく必要もあろう。発電設備ポートフォリオの最適化を通して、電力企業全体のリスク調整後の期待収益を高くし、企業価値を最大化することが目的となる。

3. ERMによる事業リスクコントロール

3.1 コントロールツールの種類と特徴

事業リスクをコントロールする方法は、リアルオプションや分散だけではない。デリバティブ、保険・ART、証券化、リスクキャピタルなどの方法もある。デリバティブはスワップ、先物、オプションなどの形態があり、組み合わせることで、複雑なペイオフをもつキャッシュフローに対しても対応が可能である。一般的には流動性が高く、コストが安い。客観性の高いインデックスがあれば、原則として、商品設計できるが、インデックスと損益の相関が低い場合には、ヘッジエラーが生じる。電力デリバティブは取引所ではなく、OTC市場 (Enron-Online, APX, HoustonStreetなど) で主に取引されている (値幅制限などの問題のため)。ただし、取引データが開示されていないため、透明性や流動性において問題がある。また、電力は貯蔵ができず、借りることもできないため、スポットと先物のアービトラージがうまく働かないといった構造的な問題を抱えている。デリバティブの満期期間も、1カ月程度であり、かなり短い。長期 (5~30年満期) については、PPAsによる取引契約がヘッジの主体である。

保険・ARTは多数の法則をベースとしたヘッジツールであるため、インデックスがなくても商品設計が可能であり、損失額そのものがカバーされる。最近では保険業界からリスクを資本市場に移転するための保険デリバティブとしてのART (Alternative Risk Transfer) などがある(代表的なものは地震保険型債券であるCAT bond)。証券化は資産サイドのリスクヘッジツールとして利用される。事業環境リスクなどにより、資産の陳腐化などが起きた場合に、小口証券化して、リスクを資本市場に移転させることが可能である。リスクキャピタルは将来、リスクが実現して損失が発生した場合に、債務超過に陥らないようにあらかじめ、事業ドメインごとのリスクにあわせて、適切な量の資本を用意しておく方法である。リスクの高い事業ドメインは、付加される資本量が多いため、ベンチマークとなる資本コスト額も増大する。

3.2 プライベートリスクヘッジ

既存のコントロールツールでは、対処できない残存した固有の事業リスクをプライベートリスクと呼ぶ。この部分をいかにコントロールするかが、ERM上、もっとも困難かつ重要な問題となる。このプライベートリスクをコントロールするためには、まず、プライベートリスクの客観性、透明性の確保が重要となる。そのためには、リスクを定量的に測定できる質の高いデータの集積が重要である。さらに、適切なスキーム設計が必要となる(図7)。

そのスキーム設計の際に、リアルオプションアプローチの発想が使える。リアルオプションをまずプライベートリスクのベースとなっている事業の評価として

使った上で、その評価の客観性、透明性を高め、市場における流動性を獲得して商品化させていくのである。たとえば、天然ガスにおいては変動性がNYMEXのcontractより大きいために同月内価格変動をスワップでヘッジできなかったという状況があった。Enronは天然ガスの月内価格変動リスクが与える事業収益へのインパクトをヘッジすることを考え、そのヘッジ商品を自ら開発し、市場化した経緯がある。

Enronはさらにその発想をすすめて、それがEnron-Onlineとしてインターネット上の電子商取引市場として結実している。Enron-Onlineでは、これまでヘッジ不可能であった事業リスク(電力、排出権、天候、工業用水、紙・パルプ、海上輸送権、ブロードバンド利用権など)を取引することが可能となっている。冒頭にも述べた通り、Enronは手数料は徴収せずに、値付け業務(Market Make)によるアービトラージで稼いでおり、通常のB2Bマーケットプレスと違い自らリスクを取っている。これは、Enronがもともと保有していた現物市場におけるエネルギーの取引ノウハウと投資銀行に勝るとも劣らない高給でウォール街から引き抜いた数百人のトレーダー、クオンツによる高度な金融工学リスクマネジメント・ノウハウを融合することにより初めて可能となったビジネスといえる。

昨年、Enronがリベートを前提とする電力の長期供給契約のスキームを発表したが、これは電力価格を原資産とするプットオプションの買いと考えられ、電力価格の下落やボラティリティの上昇によって、オプション価値が上昇する。つまり、自由化の状況によ

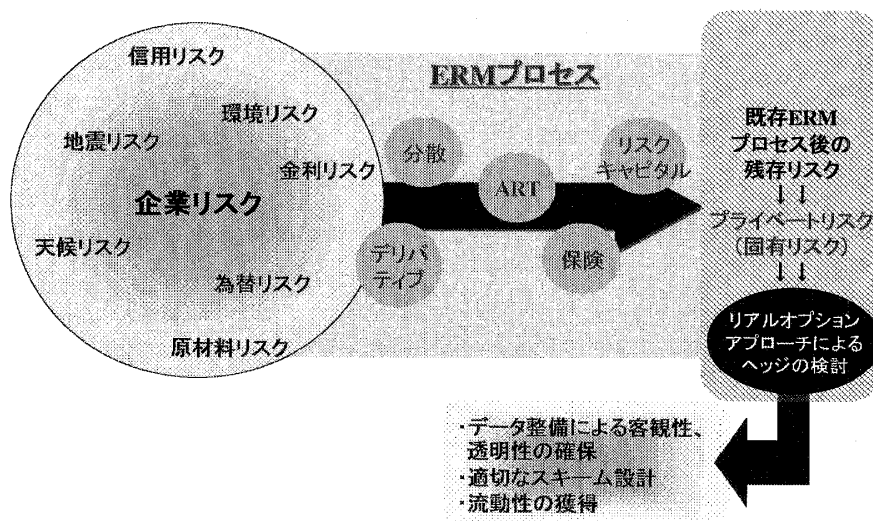


図7 プライベートリスクヘッジの概要

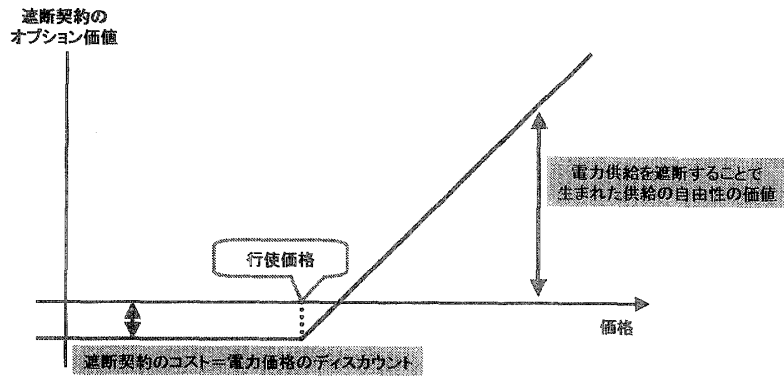


図8 遮断契約におけるオプションペイオフ

ては、実際に電力供給しなくても、権利を転売することで利益を創出することが可能である。これなどもリアルオプションの発想をベースとした事業リスクマネジメント戦略の一例であろう。

プライベートリスクのコントロールに関しては、他にも電力契約における事例がある。遮断契約 (interruptible power service) は電力会社が、電力供給が逼迫したときに、自家発電設備をもつ企業に電力供給を停止する条件で結ぶ契約のことである。事業会社はその分、ディスカウント価格で電力供給が受けられるというスキームになっている。この契約は、電力会社はあるオンピーク水準の価格 (あるいは需要量) を行使価格とし、ディスカウント額をプレミアムとするコールオプションを買っていることと同じである。これにより、ロードカーブの変動に合わせて、電力供給の自由性を確保できる (図8を参照)。

4. まとめ

エネルギー経営者は自由化に伴う多大な事業環境の変化にさらされつつある。彼らが始めるべきことは、まず自分たちが直面する、あるいは直面するであろうリスクに対して確かな知見を持つことである。そして、金融工学を応用した戦略的な発想で、そのリスクを経営に活かせるリスクマインドを持つことが重要である。そのポイントは、これまでの定性的なアプローチに加え、金融工学の発想をベースとした定量的で客観的なモニタリングシステムによる意思決定フレームワークを構築することにあると考える。

欧米のエネルギーリスクマネジメントのプロフェッショナルは、エネルギーの実務にも、金融工学の専門知識にも長けた、いわばハイブリッドなスキルを身につけている。自由化に伴い日本の電力市場が開放されていくに伴い、日本の電力事業者はそのようなノウハ

ウと豊富な経験を持つプロと同じ土俵で勝負していくことになる。彼らに対抗するための体制を構築し、スキルを身につけていくのは、一朝一夕で対応できるものではない。企業価値を最大化していくための方策としての金融工学を徹底的に研究し、自社への応用可能性を検討した上で、利用できるものは積極的に経営戦略にとりいれていくアグレッシブな経営姿勢が必要不可欠である。

これは電力業界のみならず、日本の産業界全般に当てはまることであろう。“失われた10年”といわれる事業活性化の機会をとりもどすべく、企業経営の革新をめざした新たな経営モデル構築のための試みが時代から要請されている。金融工学はそれに答える可能性を秘めた総合的な“ソリューション学”といえる。産業界と金融業界がともに手を取り合い、これから様々な取り組みを共に行っていく必要がある。

参考文献

- [1] RWE Energy Trading Ltd, 2000, “Valuing Power Plants and Commodity Spreads with Real Options”, Real Option Group Seminar, September 5-6.
- [2] Enron, 2000, “Real Option in Enron”, Real Option Group Seminar, September 5-6.
- [3] Nalin Kulatilaka, 1993, “The Valuation of Flexibility: The Case of a Dual-Fuel Industrial Steam Boiler”, Financial Management.
- [4] Joseph K. Winsen, 1999, “Real Options Theory and the Valuation of Generating Assets”, The New Power Markets, Risk Books, Ch. 4, Page 73-102.
- [5] Peter Griffes, 1999, “Power Asset Valuation—Real Options, Ancillary Services and Environmental Risks—”, The New Power Markets, Risk Books, Ch. 5, Page 103-126.
- [6] Shijie, Deng 1999, “Stochastic Models of Energy

Commodity Prices and Their Applications: Mean-reversion with Jumps and Spikes”.

- [7] Shijie, Deng, 2001, “Exotic electricity options and the valuation of electricity generation and transmission assets”, *Decision Support System* 30, Page 383-392.
- [8] R. Elliott, 2000, “Pricing Electricity Calls”, *Real Option Group Seminar*, September 5-6.
- [9] M. Hsu, 1998, “Spark Spread Options are Hot!”, *M. Hsu, The Electricity Journal*, Mar 01, v 11 n 2.
- [10] Shankar Nagarajan, 2000, “Power Forward Curves”, *Managing Energy Price Risk, Risk Books*, Ch. 12, Page 247-258.
- [11] Rajnish Kamat, 2000, “Exotic Options for Interruptible Electricity Supply Contracts”, *Working Paper*, University of California at Berkeley.
- [12] Jack Yeager, 2000, “Advanced Option Topics for Energy Traders—Making the Most of Hidden Optionality—”, *Energy Trade’s Institute in Chicago*, November 13-17.
- [13] 刈屋武昭, 山本大輔, 「リアルオプション」東洋経済新報社 (2001).