

論文の内容の要旨

論文題目：

電力貿易におけるリスク管理に関する研究

(A Study on the Risk Management of Electricity Trading)

氏名 佐々木 大輔

■研究の背景

諸外国では、電力の貿易が広く一般的に行われている。とりわけ、最近では再生可能エネルギーへの需要の高まりから、水力や地熱といった電源の余剰を積極的に取引しようとする動きが顕著である。具体的な例を挙げれば、EUの全加盟国は2020年までに全エネルギー消費の20%を再生可能エネルギー由来としなければならないという義務を負っており、そのままでは義務の履行が困難と考えられる国では、再生可能エネルギーに余剰がある国から電力を輸入しようとするのである。加えて、固定価格買取制度（FiT）などの制度的な枠組みも整備されつつあることから、電力貿易に係る事業には大きなビジネスチャンスがあると考えられるようになった。

このような状況の下、高圧直流（High-Voltage Direct Current, HVDC）による送電により電力貿易を行うプロジェクトが、現在、世界中で計画されている。これらのプロジェクトは「スーパーグリッド（super grids）」と呼ばれており、代表的なものでは、DESERTEC（主に欧州）、TuNur（チュニジア）、Medgrid（北アフリカ・欧州）等がある。また、アジア地域においても、アジア・スーパーグリッド構想（ASG）等が提言されており、電源の確保・多様化といった観点から検討に値するものであるといえよう。

さて、電力貿易には大きな商機がある一方で、相当程度のリスクが存在することにも留意しなければならない。すなわち、国際的なインフラ事業には様々なリスクが伴うことから、適切なリスク管理が求められるのである。具体的なリスクの例としては、需要リスク（Demand Risk）、資金調達リスク（Funding Risk）、金利変動リスク（Interest Rate Risk）、非常危険（Political Risks）といったものが挙げられるが、事業の円滑な遂行を図る観点から、これらのリスクに対しては対処法（ヘッジ）が講じられるのが一般的である。なお、上下水道事業の国際展開を対象としたものではあるが、国際的なインフ

ラ事業を実施する際に想定されるリスクを体系的に整理し、その対処法（ヘッジ）について、主にリスク管理の視点から考察し評価を加えた研究としては、佐々木他（2014）がある。

また最近では、事業の遂行に伴う不確実性の取扱いに関して、リアルオプションの導入が議論されている。リアルオプションとは、ファイナンス理論を実物資産（事業）に適用する概念であり、実物資産（事業）のオプション性を定量化して取引可能なものにしてしようとする試みである。これまで、電力事業においては、発電プロジェクトを中心にリアルオプションの適用可能性が研究されてきた。これについては、Martinez-Cesena *et al.* (2013)に詳しい。今後は、電力貿易のような送電を伴うプロジェクトにおいても、リスクへの対処法（ヘッジ）の一形態として、リアルオプションの適用可能性を模索する動きが活発になるものと考えられる。

■研究の目的

本研究では、リスク管理の観点から、定性的側面と定量的側面の両面に関する分析を行い、その結果を基に、電力貿易におけるリスク管理上の特徴・留意点等に関する知見を得ることを目的としている。その際、当該リスクへの対処法（ヘッジ）の一形態としてリアルオプションを導入し、ヘッジコストの試算を試みた。もし、当初の事業価値がヘッジコストよりも大きければ、理論的には、リスクヘッジが可能ということになる。

■研究方法

本研究は、文献調査、インタビュー調査、シミュレーションにより実施した。また、事例研究の対象としては、IceLink（アイスランド・英国間の送電プロジェクト）及びCASA-1000（中央アジアにおける送電プロジェクト）を選択した。また、IceLinkに係る事例研究の枠組みとしては、東京大学・マスダール科学技術大学・アイスランド大学・アイスランド国営電力会社（Landsvirkjun）の4者による共同研究を採用した。

シミュレーションについては、各事例について、まず伝統的な評価手法（DCF法）で事業評価を行った後、リアルオプションの算出を行った。なお、本研究においては、リアルオプションをリスクへの対処法（ヘッジ）の一形態として捉えていることから、考察の対象を「事業撤退オプション」（プット）とした。すなわち、事業に内在するリスク（不確実性）が顕在化した際には、一定の対価を受領して事業から撤退できる権利の価値を算出した。価値の算出に当たっては、ヨーロピアンタイプ（満期時のみ権利行使可能）の場合Black-Scholes方程式を、アメリカンタイプ（いつでも権利行使可能）の場合LSM法（Least Squares Monte Carlo Approach）をそれぞれ用いた。また、主要なパラメータについては、適宜、感度分析を行ってその特徴を把握した。

■研究の特色

電力事業のプロジェクト評価に係る既往研究では、将来のキャッシュフローを確定的に見積もるものが少なくない。本研究では、リアルオプションの考え方を導入することにより、事業の遂行に伴う不確実性を評価の枠組みに陽に取り入れており、この点に特色がある。また、電力事業においては発電プロジェクトに適用されることが多いリアルオプションを電力貿易（送電プロジェクト）に適用している点は、特筆に値する。すなわち、電力貿易に固有のリスク（例えば、非常危険（Political Risks）等）が相当程度存在するようなケースにおいて、本研究の成果を基に、リアルオプションを対処法（ヘッジ）の一形態として導入可能か否かの検討を行うことができるようになるものと考えられる。

■研究で得られた知見

アイスランドでは、ほぼすべての電力が水力発電及び地熱発電により賄われており、再生可能エネルギー由来の電力を欲する英国に対して、国内よりも高い価格で売電しようとするプロジェクト（IceLink）が計画されている。具体的には、アイスランドからスコットランドまでの約 1,000 km を送電容量 1,000 MW の海底送電ケーブルで結ぶことにより、年間 5 TWh の電力を英国に輸出するというものであり、2022 年の実現を目指している。当該プロジェクトに内在するリスクのうち、特に留意する必要のあるものは、資金調達リスク（Funding Risk）と非常危険（Political Risks）である。まず、資金調達リスクであるが、2008 年の金融危機の際、アイスランドの銀行は英国を始めとした欧州諸国の預金者に損失を与えており、訴訟にまで発展している。このような状況下で、IceLink の実施に当たり、外国の金融機関（ファイナンサー）から長期的に安定した資金供給を受けることには、相応の困難が伴うだろう。また、IceLink は、収益性の面で英国の再生可能エネルギー由来の電力に対する固定価格買取制度（FIT-CfD）における権利行使価格（strike price）が相対的に高いことに依存しており、英国の政策変更の影響を強く受けるという点で、潜在的な非常危険（Political Risks）を内包しているものと考えられる。

CASA-1000（Central Asia South Asia Electricity Transmission and Trade Project）については、1,200 km の送電線を敷設し、タジキスタン、さらに将来的にはキルギス共和国から、夏期に発生する余剰電力 1,300 MW をアフガニスタン経由でパキスタンに供給しようとするプロジェクトである。当該プロジェクトは、2006 年以降、タジキスタン、キルギス共和国、アフガニスタン、パキスタンの 4 か国が中央アジアの水力発電を利用した中央アジア・南アジア間の国際電力貿易の実現に向けて合意し、世界銀行を中心とした国際金融機関の支援の下進められてきたものである。特に留意すべきリスクとしては、電力供給リスク（Power Supply Risk）、及び需要リスク（Demand Risk）が挙げられるだろう。あくまで、夏期に発生する余剰電力のみを取引する前提で計画されて

おり、新規の発電施設を建設しなくても経済的利益は確保できるとされているが、今後、夏期の国内電力需要が想定よりも増えた場合は、輸出される電力量が減り、事業の経済性に影響を及ぼす可能性がある。同様に、電力価格の内外差に起因する貿易への需要も、今後の電源開発等の状況により変化することは十分想定される。

なお、IceLink 及び CASA-1000 の両プロジェクトに関して、事業評価に係る定性的な分析については、中山他（2015）ですでに公表済みである。

さて、シミュレーションの結果であるが、IceLink 及び CASA-1000 の両プロジェクトともに、伝統的な評価手法（DCF 法）によっても、事業可能性が確認された。さらに、リアルオプションの価値についても算出し、リスクへの対処法（ヘッジ）の一形態として導入する際のコストの目安を提示した。すなわち、ヘッジの対価として適正とされる価格について、リアルオプションの考え方（ファイナンス理論）に基づいて計算した。

今後の課題としては、リアルオプションをどのようなスキーム（契約形態）で導入するのか、実務的な観点から考察すること等が挙げられよう。例えば、契約締結の際に、何らかの偶発事故条項（contingency clause）を設定すること等が考えられる。今後は、既存の商慣習等も踏まえた上で、より実務的なスキームの提案が求められる。

■ 引用文献

中山幹康，佐々木大輔，伊藤園子．水力発電による他国への新規売電を阻む内政および外政上の困難に関する考察．水文・水資源学会誌．2015，vol. 28，no. 2，p. 72-83.
佐々木大輔，佐藤裕弥，滝沢智．日本企業及び自治体等による上下水道事業の国際展開において想定されるリスクとその対処法．公益事業研究．2014，vol. 66，no. 1，p. 31-40.

Martinez-Cesena, EA.; Mutale, J.; Rivas Davalos F. Real options theory applied to electricity generation projects: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013, vol. 19, p. 573-581.