

競争的市場を導入する 電力自由化¹

同志社大学 八木匡研究会 資源・エネルギー分科会

木村良、張景愛、平田篤史、岩橋愛佳、梶田健人
川口亮太、松井一輝、松下令、三輪泰士、二村晃太郎
荻田友里香、岡本拓、大野凌、斎藤公佑、左近太貴、
龍口諒、山田涼太

2011年12月

¹本稿は、2011年12月17日、18日に開催される、ISFJ 日本政策学生会議「政策フォーラム2011」のために作成したものである。本稿の作成にあたっては、〇〇教授（〇〇大学）をはじめ、多くの方々から有益且つ熱心なコメントを頂戴した。ここに記して感謝の意を表したい。しかしながら、本稿にあり得る誤り、主張の一切の責任はいうまでもなく筆者たち個人に帰するものである。（タイトルに脚注をつけてください。脚注の付け方は、「最終論文提出について」をご参照ください。）

競争的市場を導入する 電力自由化

2011年12月

要約

本論文は、日本において電気料金の低下、電力サービスの向上を電力の安定供給のもとに達成するため、電力自由化を実現することを目的として政策提言を行うことである。電力自由化の概要、問題点を分析し、日本における電力自由化の実現可能性を考察する。

第1章では、現在の日本の電力事業の形態、なぜ一つの電力会社が地域を独占しているのかについて、自然独占という特性について述べる。また、現制度のなかで最も大きな問題があると考えられる総括原価方式についてその問題点を指摘し、地域独占を解消して電力自由化を目指すべき理由として考察する。次に、日本の電力自由化動向についても触れ、日本において自由化が進んでおらず、制度が不十分であることを指摘する。

第2章ではまず、自由化された電力市場の構造について分析し、実際に自由化された欧米において、自由化がどのような効果、問題を引き起こしたかを考察する。そのなかで例に挙げるのは、電力自由化の成功例として挙げられることのある北欧やアメリカ、イギリスについてである。これらの国々ではそれぞれ違った電力自由化、システムとなっているため、それらを比較、検討することが日本における電力自由化を想定するために役立つと考えられる。

第3章においては、マルチエージェントモデルにより、発電事業者の行動分析を行った。この分析結果により、リアルタイム市場のない場合、市場原理に委ねるとピーク電源に十分な利益が与えられず、石油火力が市場から撤退し、市場全体の電力供給能力がピーク時間帯の基準需要量を満たさないこと、それに伴いピーク時間帯で価格が上昇することを示した。リアルタイム市場がある場合は、リアルタイム市場で利益を出すことが可能になった石油火力が大きくシェアを伸ばし、市場全体の電力供給能力はピーク時間帯の基準需要量を満たすことを示した。

そして、第4章において、それまでの分析を踏まえて以下のような政策提言を行った。

I：発送電分離

II：リアルタイム市場の導入

III：供給力確保の義務付け、容量市場の設置

これにより電力産業に競争市場を導入することが可能になり、新規参入者の増加によって電気料金の低下、供給源の多様化といった効果が期待できる。

目次

はじめに

第 1 章 現状・問題意識

- 第 1 節 日本の電力事業
 - (1) 自然独占という特性
 - (2) 総括原価方式の問題
- 第 2 節 日本の電力自由化動向
 - (1) 電力自由化とは
 - (2) 日本の電力市場動向

第 2 章 現状分析

- 第 1 節 電力市場の構造
 - (1) 市場モデルの概要
 - (2) ノルウェーの電力市場
 - (3) アメリカ PJM のシステム
- 第 2 節 欧米電力市場の問題
 - (1) カリフォルニアの電力危機
 - (2) イギリスの電力自由化

第 3 章 マルチエージェントモデルによる分析

- 第 1 節 市場モデルの構築と分析
 - (1) 市場モデルの概要
 - (2) 強化学習理論に基づく市場モデルの概要
 - (3) 発電事業者の入退場を考慮した電力市場分析
- 第 2 節 まとめ

第 4 章 政策提言

- 第 1 節 発送電分離
 - (1) 送電部門の売却
 - (2) 発電会社の分割
 - (3) 系統運用機関の設置
- 第 2 節 リアルタイム市場の導入
- 第 3 節 供給力確保の義務付け

先行論文・参考文献・データ出典

はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災により引き起こされた福島第一原子力発電所の事故により、日本の電力事業について、これまで明るみになっていなかった多くの問題が指摘されることとなった。私たちもこの事故をきっかけとして、日本の電力事業の問題、特に電力会社の地域独占状態について根本的な問題があるのではないかと考えた。そこで、本論文ではまず電力会社の地域独占の問題点を指摘し、次にそれを解決するための電力自由化について政策提言を行うことを目的とした。

これまで日本では、電力の安定供給は達成されていたといえる。一般家庭の年間平均停電時間は、ほかの先進国と比べても少なく、それゆえに電力産業について問題が提起されることも少なかった。しかし、一方で価格の観点からみると、日本は先進国の中でも高水準にあることが分かる。電気料金の高騰は、産業の空洞化を招く恐れもあり、非常に重要な問題である。それに加え、原子力発電事故により、大規模集中型電源のデメリットが浮き彫りとなり、電力不足に対応するため東京電力管内で計画停電が実施された。

過去にも電力自由化、発送電分離の議論はあったものの、電力会社の反対により、いまだに完全な自由化は達成されていない。日本全体が電力に注目している今こそ、電力自由化という電力産業の抜本的改革を進める好機だと考えている。

第1章 問題意識

第1節 日本の電力事業

① 自然独占という特性

電力や水道、ガスなどの公益事業は、その産業の特徴的な構造により地域において1社しか供給を行っていない。これらの産業には、市場において自由な取引が行われていたとしても、1社しか市場に生き残ることができない自然独占という特性があるためである。この自然独占の状態に陥る代表的な例のひとつは、規模の経済が存在する場合である。電力産業においては、そこに新しく参入しようとした場合、発電所や変電所、送電網などの固定資本に巨額の投資が必要になる。このように、生産規模にかかわらず一定で変化しない、土地や工場などの固定費用に巨額の費用が存在する産業には、規模の経済が存在するとされる。これは、生産量を拡大すればするほど生産物1単位あたりの費用である平均費用が低下することを意味しており、このような産業を費用逓減産業とも呼ぶ。すなわち、大規模に生産を行う企業のほうが小規模な生産を行う企業よりも安い費用で製品を生産することができるため、最終的には1社のみがその市場に生き残ることになる。また、規模の経済が存在するような産業は規模に関して収穫逓増であるともいわれる。規模に関して収穫逓増とは、生産の規模を2倍、3倍と拡大していくと、生産量は2倍以上、3倍以上に拡大することをいい、生産規模を大きくすればするほど生産物1単位当たり費用である平均費用はどんどん低下していく。つまり、生産量が多いほど価格を下げることができ、競争において優位に立てるため、やはり最後にはただ1社だけが勝ち残ることになる。このような産業に新しく参入する企業があったとしても、既存の大企業の生産規模を上回らない限り、より安い費用で生産を行うことができないため、事実上その市場への参入は不可能である。つまり、規模の経済性を有する産業においては、そのまま市場を放置しておくとも自然と独占状態となってしまうのである。

相手を追い出して市場におけるシェアを占有することに成功した場合、その後は独占的に価格を決定することができるため、複数の企業が競争すると、破滅的競争と呼ばれる猛烈な価格切り下げ競争が発生する。そして競争に敗れた企業はこの市場から撤退するものの、その後には莫大な使用されない固定設備が残ることにもなり、資源の大きな無駄が発生することになる。そしてまた、独占企業は価格支配力を持ち、自由な価格設定を行うことが可能になるため、超過利潤を獲得することができるようになる。これは、本来であれば消費者にもたらされるべき利益であり、社会的余剰が最大化されていないことを意味する。

こうした資源の無駄や分配上の問題を回避するために、政府は自然独占性を有する産業に対して無意味な競争に陥る前に規制によって独占を許す参入規制を行い、代わりに高額な独占価格を消費者に課さないよう価格規制を行うという政策をとることが考え出された。しかし、補助金や参入規制といった直接的な政府の介入は、許認可権に基づく官僚支配の温床となりやすいという

問題点もある。過度の政府の介入は結果的に様々な非効率性を生み出す可能性が高いだけではなく、時代に即した柔軟な対応が困難という問題もある。

② 総括原価方式の問題

現在、日本の電気料金は電気事業法という法律に基づき、総括原価方式という方法で決定されている。この総括原価方式では、発電、送電、電力販売にかかわるすべての費用を「能率的な経営の下における適正な原価」として、その上に一定の報酬率を上乗せした金額が電気料金として決定される。この上乗せされる一定の報酬とは、事業に対して投下された固定資本、すなわち資本投資の総額をレートベース資産として、これに適正な利潤率とされる公正報酬率を掛けた額である。

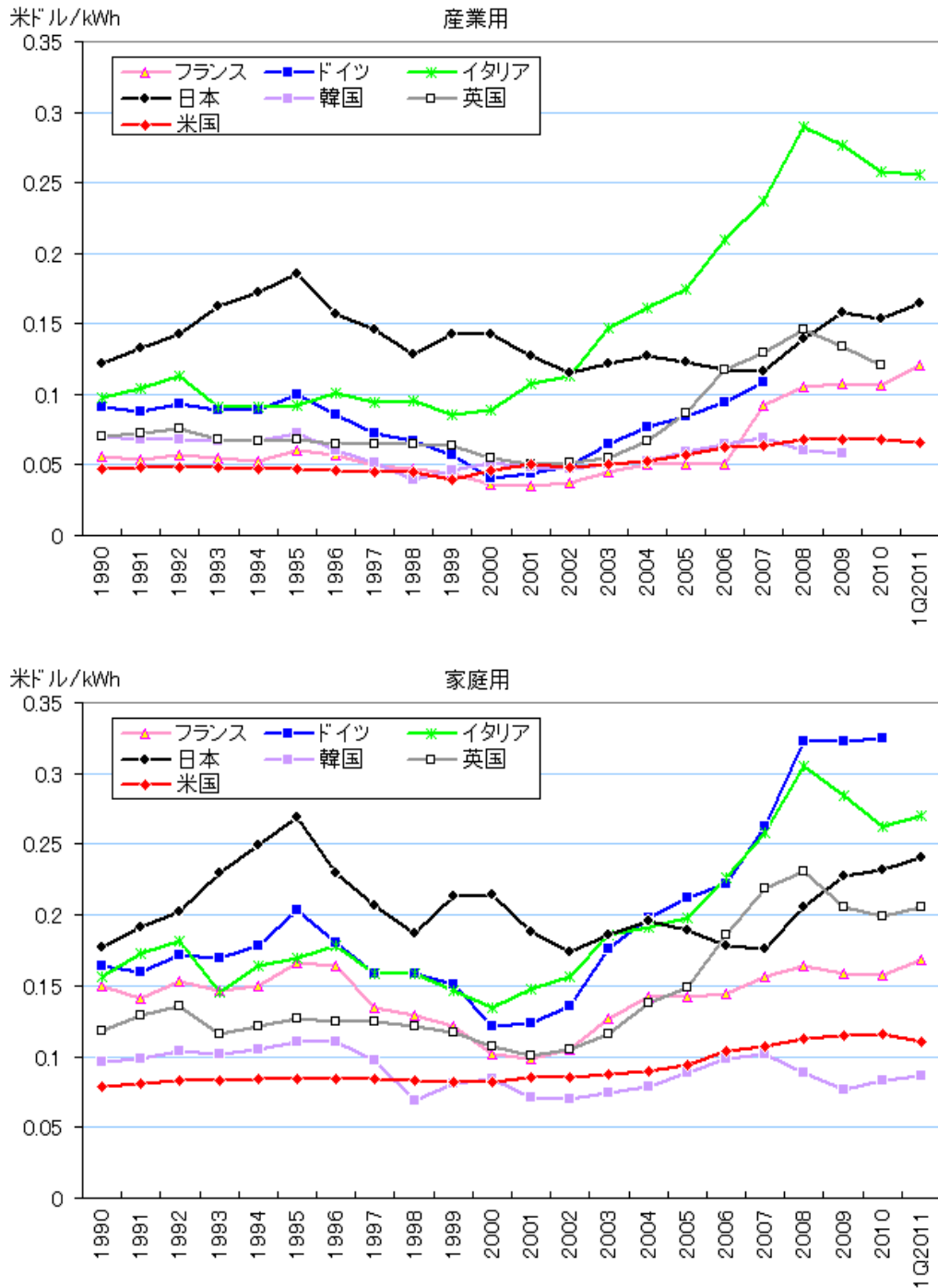
総括原価方式の問題のひとつは、電力会社にコスト削減のインセンティブがないことである。一般的な民間企業であれば、利益を生み出すためにコスト削減の努力をするのはごく当たり前のことだが、電力会社は経営にかかった費用を原価として電気料金に上乗せすることができるため、どれだけコストがかかろうと会社の利益には関係ない。そのコストの上に一定の利益を乗せて電気料金を決めることができる。つまりこの方式では電力会社は何をしようと利益が出るしくみになっているのである。

もう一つの大きな問題は、レートベースについてである。レートベースとは、簡単に言えば電力会社の資産のことであり、固定資産や建設中の資産、核燃料や特定投資などがすべて資産としてレートベースに含まれている。原子力や火力などの発電所はすべて電力会社の固定資産であるし、まだ稼働していない建設中の設備もレートベースに含まれる。また、核燃料のなかには、使用済み核燃料、いわゆる核のゴミも含まれている。これはなぜかといえば、使用済み核燃料は再処理をすれば再び燃料として使うことができる、つまり将来的な資産であるという理屈である。しかし、使用済み核燃料を再処理して発電するための技術、設備はいまだに実現のめどが立っていない。

以上のことから言えるのは、電力会社は資産を多く持てば持つほど利益を増やすことができるということである。そしてその資産として最も高価なものが原子力発電所であり、1基建設すれば5000億円、6000億円の資産になる。原子力発電をすればするほど使用済み核燃料も増え、それらはレートベースに含まれるため、利益を増やすことができる。こうして増えた電力会社の利益は、すべて電気料金に上乗せされ、消費者の負担となっているのである。このような状況があったからこそ、電力会社は原子力を推進してきた。国も原子力を推進するために、電力会社に有利な状況を維持してきたといえる。2011年3月11日の東日本大震災により引き起こされた福島第一原子力発電所の事故も、やみくもに原子力発電所の建設を推進してきた電力会社と国の体制が間接的な原因と見ることもできる。

以上のようなことから、総括原価方式は大きな問題を抱えていると考えられ、実際に日本の電気料金は各国と比較して高い水準にある(図1)。しかし電力会社に地域を独占させている現在の形態では、このような制度をとるしかないというのも事実だ。こうした問題を解決、改善するために、電力産業を根本から変革するような政策が必要だと考えた。それが、電力会社の地域独占状態を解消する電力自由化である。

電気料金の国際比較



(注) 米国は課税前の価格。1Qは第一四半期。

(資料) OECD/IEA, Energy Prices and Taxes, Volume 1999-1/Volume 2005-1/Volume 2011-1,2

図 1：社会事情データ図録 <http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/index.html> より出典

第2節 日本の電力自由化動向

① 電力自由化とは

電力供給の仕組みは、大きく分けて発電、送電、配電の3つから成り立っており、現在、日本では地域を独占している1社の電力会社がこの3つすべてを行っている。この状態では、需要家はその地域を独占している電力会社から電気を買う以外の選択肢はなく、企業が電力事業に新規参入することは困難である。電力自由化とは、参入規制を緩和することで新規参入を募り、電力産業に市場競争を導入することである。自由化をすることで、発電、供給事業に参入者が増え、需要家は供給事業者を選べるようになる。市場競争の導入により、電気料金の低下、サービスの向上を目指すことが電力自由化の意義である。そして、電力市場に公正・公平な競争的環境を整えるため、発送電分離と呼ばれる発電部門と送電部門の分離を行うことが提唱されている。そこで、まず発電と送電を分離しなければならない根拠について述べる。

第一節において、電力産業は規模の経済があり、自然独占の特質をもっていると述べた。しかし、発電部門に関しては、技術の発達により小規模でも効率良く電気を発電供給できる方法が生まれ、また需要規模が拡大したことなどにより、規模の経済が重要ではなくなったという事が言える。つまり現在では発電事業に関して、1社が独占する必要性はなくなったのである。だが一方で送電に関しては、依然として規模の経済が存在するため、独占状態にしておく必要がある。以上のことから、独占すべき部門とそうでない部門とを分離させるのが、発送電分離である。発電事業に新規参入者を募り、競争原理を働かせることによって、サービスの向上や電気料金を低下させる、という電力自由化の目的にとって必要不可欠なことだと考えている。

電力自由化・発送電分離の議論は、最近になって表れたものではない。欧米では、1990年にイギリスで電力自由化が行われてから、多くの国で電力自由化が進められてきた。日本においても、バブル経済の崩壊後、高コストの構造や、内外価格差の是正を目的として、競争原理の導入による経営効率化を促すべきとの議論が起り、1995年に電気事業制度改革が行われ、発電市場に競争入札制度が導入された。2000年の改革では、大口需要家を対象に小売り自由化が実施され、特定規模電力事業者と呼ばれる新規参入者が、電力会社の送電網を利用して電気を売ることができるようになった。その後、2004年には契約電力500kW以上、2005年からは契約電力50kW以上の需要家まで自由化対象範囲が拡大した。しかし、これは完全な電力自由化とはなっていない。新規参入者が電気を売ろうとしても、既存の電力会社の送電網を利用しなければならないという、参入者にとって不利な条件が残ったままだからである。

自由化が進まない原因のひとつは、既存の電力会社が消極的なことである。電力会社は、安定供給が損なわれることを根拠に発送電分離に反対する。電力会社は、仮に発送電分離が行われ、発電市場で発電コストの本格的な競争が起ると、自分たちも発電事業においてその競争に参加しなければ顧客を失うことになる。特に原子力発電のような国策による発電事業を持っているなかでは、一方でコスト構造が不透明な原子力を抱えながら、もう一方で発電コストの競争に勝ち抜くということは難しい。現状では、新規参入者が電気を売際には、既存の電力会社が持つ送電網を、託送料金と呼ばれる利用料を払って利用しなければならない。このような状況では、電力会社は自分たちの送電網を使わせる際、託送料金をなるべく高めに設定して、新規参入者がコスト競争力を持ちにくいように動くことが合理的な判断となる。力を持ちすぎた電力会社を解体するためにも、電力自由化が必要だと考える。

② 日本の電力市場動向

日本において、2005 年から日本卸電力取引所(JEPX)が運営されている。現在は、次の章で述べるスポット市場の取引が大半だが、数カ月先の電力を取引する先渡し取引も可能である。

日本の発電シェアを見ると、一般電気事業者が約 73% を占めており、発電事業者（自家発・卸電気事業者）は約 27%、特定規模電気事業者（Power Producer and Supplier 以下 PPS）の自社電源の発電容量のシェアは約 0.3% にとどまっている。卸電力市場においては、自由化の進展に伴い、徐々に取引形態が多様化し、流動性の高い取引も徐々に増加しており、今後、その拡大が期待されるところであるが、現状では一般電気事業者による長期の相対取引がほとんどを占める構造に大きな変化は生じていない。

電源調達の現状として、PPS は一般電気事業者からの契約に基づく卸供給である常時バックアップに 4 割程度依存している。それ以外は自家発余剰からの購入や自社電源等により賄っており、卸電力取引所からの調達は全体の 2.6% 程にとどまっている。卸電力取引所は全国規模での供給力確保や需給ミスマッチ時の際の電力の販売・調達手段の充実等が期待されていた。発電・卸電力市場に大きな構造変化が生じていない現在の状況下では、卸電力取引所がこれらの役割を担うことが引き続き期待されるところであるが、現状では、卸電力取引所の取引実績は我が国の小売販売電力量の 0.2% にとどまっているのが現実である。

第2章 分析～欧米の電力市場～

この章では、すでに電力自由化を行った欧米諸国の電力市場の構造・制度を比較、検討を行う。電力市場の構造、各国のシステムの相違を理解することが、日本における電力市場のシステムを想定することに役立つと考えられる。

第1節 電力市場の構造

本節では、まず欧米で導入されている電力取引のモデルを紹介する。そして次に、自由化の成功例として挙げられることの多い北欧の市場を例にして、電力市場の構造について述べ、アメリカのシステムとの比較を行う。

① 強制プールと任意プール

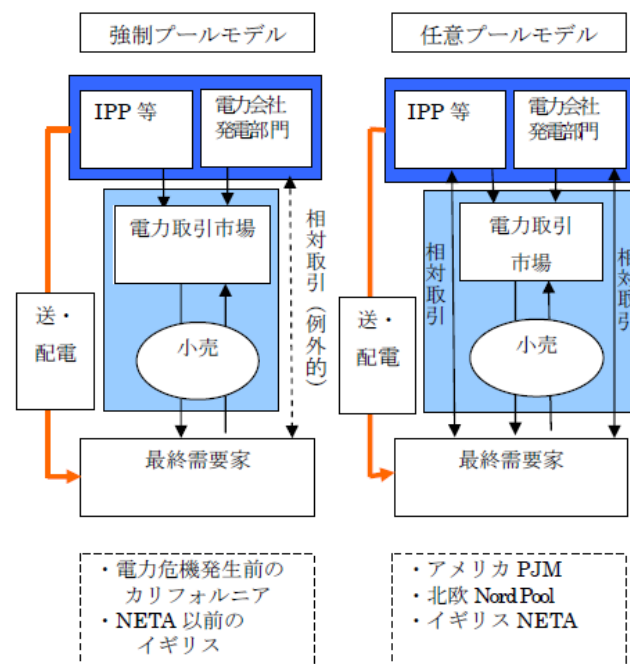
欧米で導入されている電力市場のシステムは、大きく分けて強制プールシステムと任意プールシステムの2つがある。

・強制プールシステム

強制プールシステムとは、すべての電力供給者が卸電力市場での取引を義務付けられている制度である。このシステムを採用している例として、アメリカのカリフォルニア、イギリスの旧制度などがある。

・任意プールシステム

任意プールシステムとは、強制プールとは違い、電力取引市場を介さない相対取引も認められている制度である。ノルウェーなどの北欧、イギリスの現行制度などがこれにあたる。



② ノルウェーの電力市場

ノルウェーでは、1992 年に電力の完全自由化をした。自由化を機会に、規制によって送配電料金が決められ、第3者に対する送配電線使用の公開が始まった。同時にノルドプール(Nord Pool)という電力取引所を設立し、前日スポットと先物の市場が開設された。ノルドプールは、現在では、スウェーデン、フィンランド、デンマークも加えた北欧4か国全体の電力需給を調整する市場として機能している。

・前日スポット市場

ノルドプールでは、1時間ごとに北欧全体の電力の需要と供給が一致する均衡価格を見出している。ここで決まる価格を、電力の前日スポット 価格と呼ぶ。この市場が前日スポット市場である。この市場では取引相手は特定されない。発電会社や最終需要家、配電会社といった数百の企業がノルドプールの前日スポット市場に参加しており、これらの市場参加者は、取引日における1時間ごとの需要予定表あるいは供給予定表を、オスロのノルドプールに取引日の前日正午までにe-mailあるいはfaxで知らせる。ノルドプールでは、これを集計してパソコンの画面上に北欧全体の需要曲線と供給曲線を描き、両曲線の交点で、マーケット全体の均衡価格を取引日の1時間ごとに決める。これが、その時間帯の全北欧の統一電力価格となる。これをシステム価格という。この価格は、前日の午後3時までに決まる。ノルドプールは、市場参加者に、その均衡価格の下での需給量の確認の報せを前日の夕方までに知らせる。さらに独立系統運用機関(Independent System Operator : ISO)に対しても、翌日各時間に各発電所がどれだけ発電し、各需要家がどれだけを購入するかを知らせる。

前日スポット価格は、ピーク時に高くオフピーク時に低い。これは、無駄な発電所建設と送電線の建設を抑制する。第一に、ピーク時の高いスポット価格は、ピーク時の電力消費を抑制する。これは、過大な発電所を不要にする。自由改善は、ピーク時の発電需要に対処するためだけの非効率な発電所を存続させる必要があるが、ピーク時の電力消費が抑制されるとそのような必要が無くなる。第二に、ピーク時の高いスポット料金は、ピーク時の送電量を抑制するから、長期的に送電線の建設の抑制を可能にする。これまで日本の送電線の建設がピーク時対応で建設されてきたことを考えると、前回スポット価格の導入による送電線建設の抑制効果は、長期的にみて自由化がもたらす最大の恩恵であると考えられる。

・リアルタイム市場

電力の場合は需給に微小なギャップが生じただけで周波数が変化し、やがては電力システムが停止してしまう。したがって、他の商品と違って、需給はいつも非常に狭い範囲で一致させなければならない。具体的には、実際の需要量に応じて発電量をリアルタイムに調整しなければならない。この給電指令を行うところが、給電指令所である。給電指令所は需給を一致させるだけでなく、電力の質を保つためにさまざまな指令をする。給電指令所を含めて送電を運用する機関であるISOは、取引日に最終的な電力の給電調整をする義務を課せられている。

当日の電力の流れは、前日にノルドプールがISOに知らせた予定需給量からある程度はずれる。当日になると、需要家は昨日の予定より多く需要したり、発電所も予定より少なく生産したりということが起きる。このため、現実の電力の流れに需給ギャップが生じうる。この需給ギャップがなくなるように、リアルタイムで発電量の調整を行う。ISOは、発電時間帯直前に電力を調達するために、リアルタイム市場をもっている。これはノルドプールとは全く別の市場である。リアルタイム市場に参加する各発電会社は、あらかじめ当日における給電運用のために必要な発電の価格と量を入札しておく。各社の入札量を低い価格から高い価格に向かって並べたものをテnder オファーという。ISOは現実の電力の流れを観察して、需給ギャップを相殺する量をリアルタイム市場から調達する。具体的には、安いほうからテnder オファーに並んでいる発電所のうち必要量に達するまでの量を供給する発電所に発電時間帯直前15分に発電命令を出す。その際、テnder オファーで必要量に対応する最も高い価格を、リアルタイム価格という。リアルタイム価格が、リアルタイム市場でその時間内に追って生産あるいは減産を行うすべての発

電会社に対して支払われる。すなわちリアルタイム価格未満の価格で入札した発電会社にも共通に払う。こうすることによって、いくら安く入札してもその価格とは関係なくリアルタイム価格で買ってもらえるから、正直に入札する動機が与えられる。当該取引が行われた後の検針の結果、ノルドプール市場参加者の事後的な電力需要量や供給量が、スポット市場で約束した電力需要量や供給量と異なる場合には、この差をリアルタイム価格で精算する。

③ アメリカ PJM(ペンシルバニア、ニュージャージー、メリーランド)のシステム

次に、アメリカの PJM(ペンシルバニア、ニュージャージー、メリーランド)のシステムについて、北欧のシステムとの相違点を挙げながら考察する。

第1に、PJMでは、ISOが送電部門から切り離されていることである。送電線の所有権は、電力会社にある。ただし、北欧でも PJMでも、ISOは発電部門からは完全に独立である。その上で、送電部門は北欧では ISO と一体になっており、PJMでは発電部門と一体になっている。

第2に、PJMでは ISO が前日スポット市場を運営していることである。北欧のシステムでは、前日スポット市場を運営する機関であるノルドプールは、各国の ISO とは独立した機関である。さらに、ISO が送電料金を決め、ノルドプールが電力本体価格を需給均衡価格として決めている。それに対して PJM では、前日スポット市場は ISO によって運営され、混雑や送電コストをも全て取り込まれた均衡価格を LMP (Locational Marginal Price) として売り手と買い手に共通の価格を提示する。この価格は、地点によって異なり、また時間帯によって異なる。基本的には図2で示された各地で共通の売り手価格・買い手価格が、中身を電力本体価格と送電価格、あるいは混雑料金などに分離せずに直接提示されることに特色がある。PJMには、システム料金は存在せず、地点ごとに異なる価格が ISO によって運用されている。しかし、PJMの地点料金は北欧のような送電ロスの限界費用に基づいた物にすることを目指しているが、2000年の段階ではプログラムの作成がそこまで追いつかず近似した物になっている。直接決められる。しかも、その各地点間の電力価格の差は、地点間の混雑を反映するように決められる。

第3の違いは、LMPが送電線の全てのノードごとに設定されていることである。ノルウェーでは、ノード全体を最大で5つのゾーンに分けて、ゾーン内の経済主体が直面する料金は均等であるが、PJMではノードごとに料金が異なる。一般的にはノードごとに料金を設定すると、そのノードにある発電会社が少ないために、独占的に供給を制限して高い料金をとるという市場支配力の行使が起きやすくなる。しかし、ゾーン制にしておくと、そのゾーン内での競争者が多いために、市場支配力の行使がしにくくなるというメリットがある。PJMでは環境規制が緩いため、発電所を短期間に建築できるという利点がある。また、特に東部はガスのパイプラインが整備されており、ガスタービンの発電所の建設が容易である。このため、PJMのノードではこのような独占力の行使がしにくい。このことが、ノードごとに混雑を反映した料金の設定を可能にしている。

PJMでは域内に立地する全ての需要家と供給家は PJM の前日スポット市場を通じて取引をすることになっている。したがって、域内の相対取引に物理的取引はなく、全ては金融的取引である。北欧のプールは任意プールである。すなわち、プールを利用しないで、物理的相対取引を行うことができる。任意プール制の利点は、手数料がかかるプールを利用しないで、直接取引をするという選択肢があることである。これがプール市場に対して競争圧力となり、手数料を引き下げさせる効果や、手数料を払っても価値があると受けとられるようにプールのサービスを向上させるインセンティブを与える。

第2節 欧米電力市場の問題

本節では、自由化を行った欧米において起こった問題について、その原因や教訓について考えていく。

① カリフォルニアの電力危機

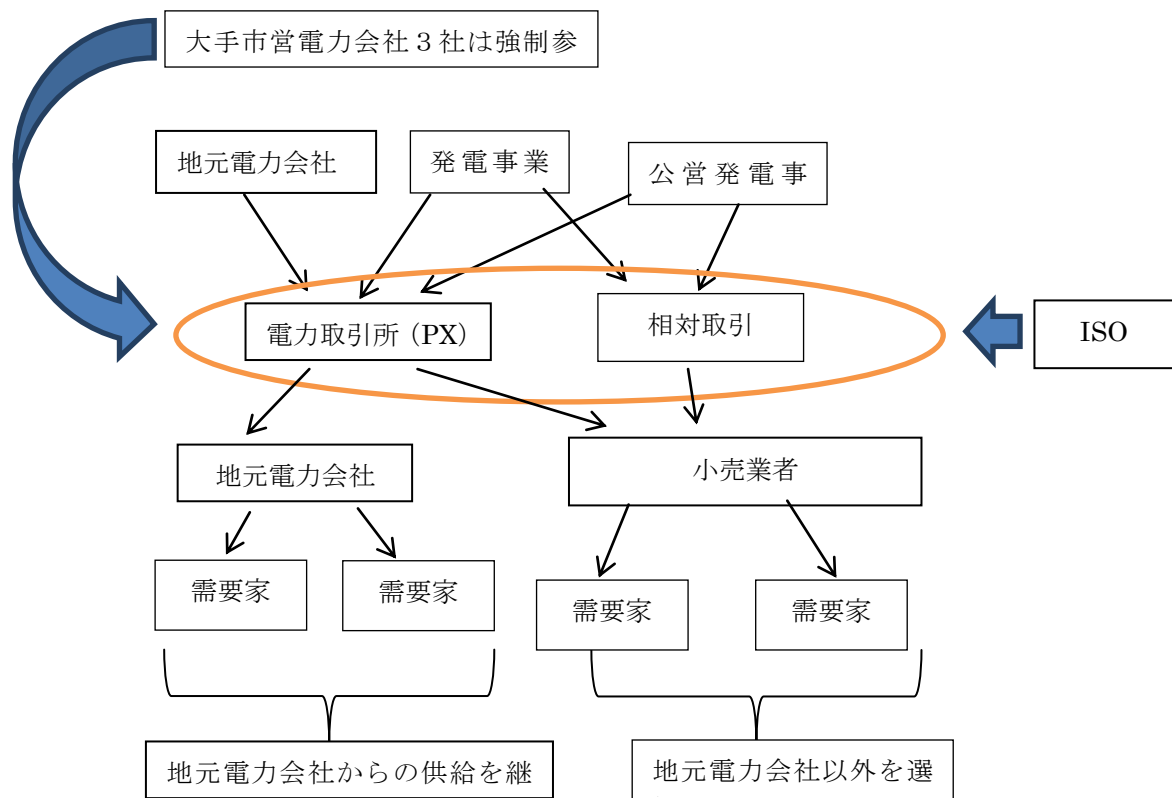
アメリカの場合、電力自由化については、州ごとにおいて異なり、自由化を主に進められている州には、カリフォルニア州やペンシルバニア州などが挙げられる。カリフォルニア州は、一般的には自由化は失敗していると言われている。ここでは、カリフォルニアの失敗例について考察する。

カリフォルニアの電力危機の概要

アメリカでは、1996年6月にFERC(連邦エネルギー規制委員会)によって、電力卸売市場の自由化が始まった。カリフォルニア州は、マサチューセッツ州とともに1998年3月に小売自由化を実施した。カリフォルニア州では、2000年の夏には卸電力価格が高騰し、電力会社が十分な電力を供給できなくなり、停電が頻発した。これがカリフォルニアでおきた電力危機である。

カリフォルニアの電力市場

カリフォルニアは、公設の卸電力取引所であるPXと独立系統運用機関であるISOを設立した。カリフォルニア州の主要な電気事業者である3大私营電力会社(Pacific Gas & Electric : PG&E、Southern California Edison : SCE、San Diego Gas & Electric : SDG&E)に対しては、電力取引所(PX)を経由した取引義務が課せられていた。これは、大手電気事業者の市場支配力をさけるためであった。他の新規参入事業者は取引所を通さずに相対取引も可能である。下の図は電力供給システムをあらわした図である。



・カリフォルニア州の主要電気事業者

事 業 者		販売電力量 (GWh)	販売収入額 (百万ドル)	需要家数 (千口)
私 営	Pacific Gas and Electric [PG&E]	70,187 (33%)	6,786 (34%)	4,536 (35%)
	Southern California Edison [SCE]	67,207 (32%)	6,692 (34%)	4,214 (33%)
	San Diego Gas & Electric [SDG&E]	14,718 (7%)	1,415 (7%)	1,185 (9%)
	その他	1,412 (1%)	105 (1%)	106 (1%)
公 営	Los Angeles Department of Water and Power [LADWP]	20,057 (9%)	2,081 (11%)	1,385 (11%)
	Sacramento Utility Municipal District [SMUD]	9,284 (4%)	722 (4%)	504 (4%)
	その他	22,583 (11%)	1,869 (9%)	956 (7%)
その他 (連邦・共同組合)		6,533 (3%)	121 (1%)	14 (0%)
合 計		211,981 (100%)	19,791 (100%)	12,900 (100%)

(出所) DOE EIA 資料をもとにエネルギー経済研究所作成

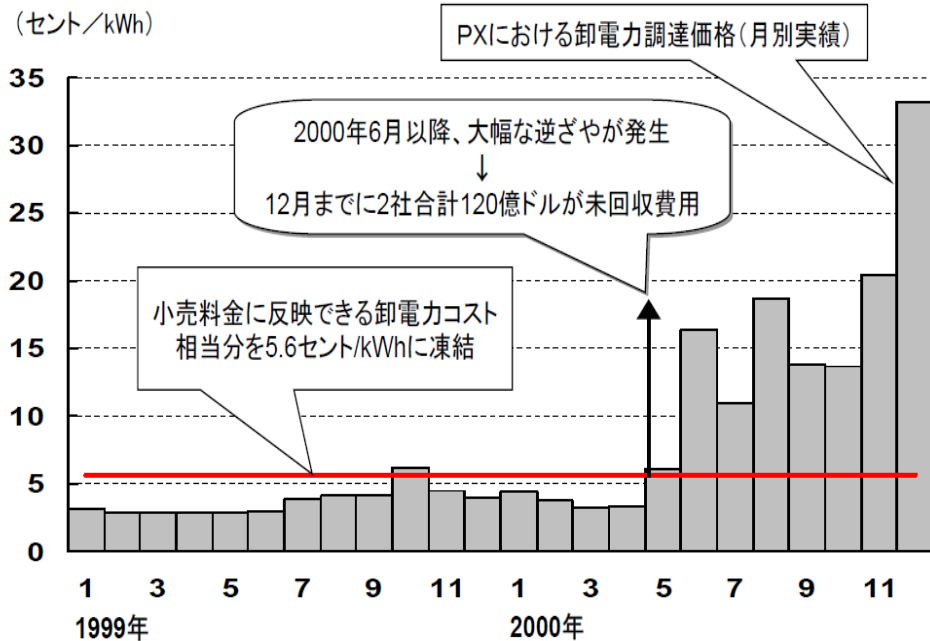
電力危機の要因

カリフォルニアの電力危機の原因としては、自由化によって電力会社の収入が減り、設備投資が控えられ、発電能力の低下したことや、天然ガスの価格の高騰などがあげられる。ここでは構造的要因について考察する。

・制度上の問題

三大私営電力会社に対するPXへの参加義務が課された。三大私営電力会社に規制当局である州公益事業委員会 (CPUC) が火力発電所の半分の売却を要請したことにより火力発電所を売却した。3社はPX以外に電力調達の手段がなかったため、発電事業者による売り手市場となってしまった。そして、3大私営電力会社による長期契約締結が困難で、これはPXに先物市場が事実上存在せず、長期的に価格変動リスクをヘッジできない状態である。

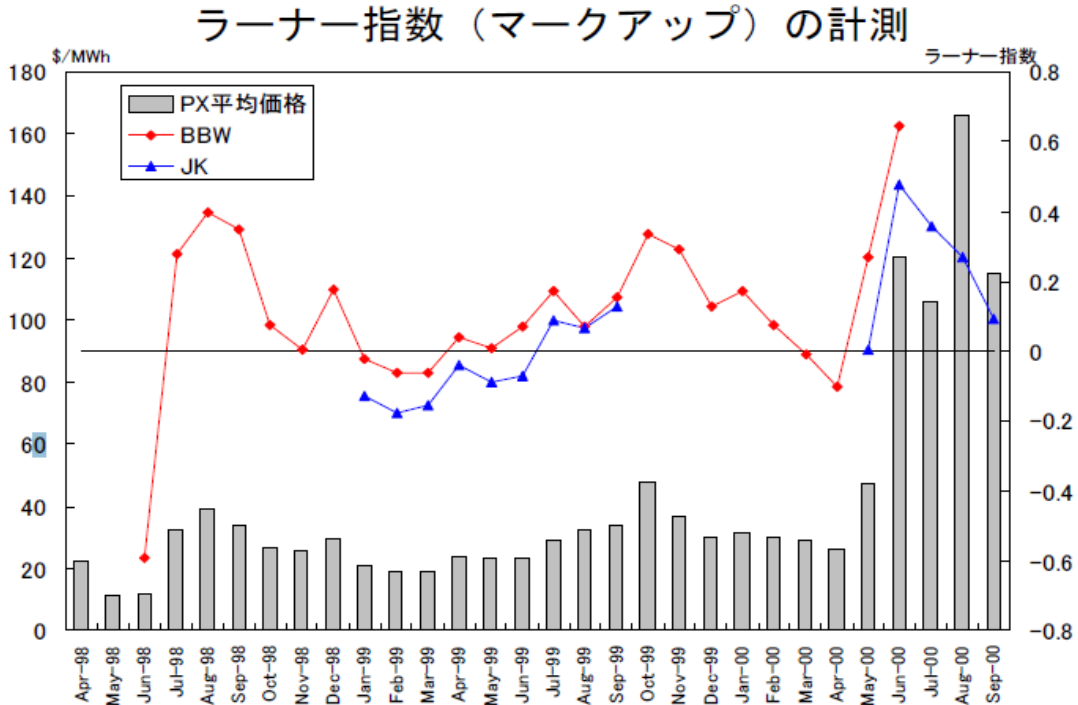
小売価格が凍結されているため、需要家に価格高騰のシグナルが行き渡らず価格に対する需要の弾力性が働かず、私営電力の大幅な逆ざやが発生した。(下図)



出典:PG&Eホームページ

・市場支配力の問題

ピーク時に、発電事業者の戦略的行動により、価格が意図的に吊り上げられた可能性があり、発電所の意図的停止による供給力削減の可能性がある。実際に、ピーク時間帯に近づくにつれ発電側は供給条件を厳しくしており、価格操作の疑惑は存在する。下図はラーナー指数を表した図である。ラーナー指数とは（価格－限界費用）/価格で、0 よりも大きいときに市場支配力行使の可能性があるということである。



BBW : Borenstein, Bushnell and Wolak(2000)によるラーナー指数の計測

JK : Joskow and Kahn (2001) によるラーナー指数の計測

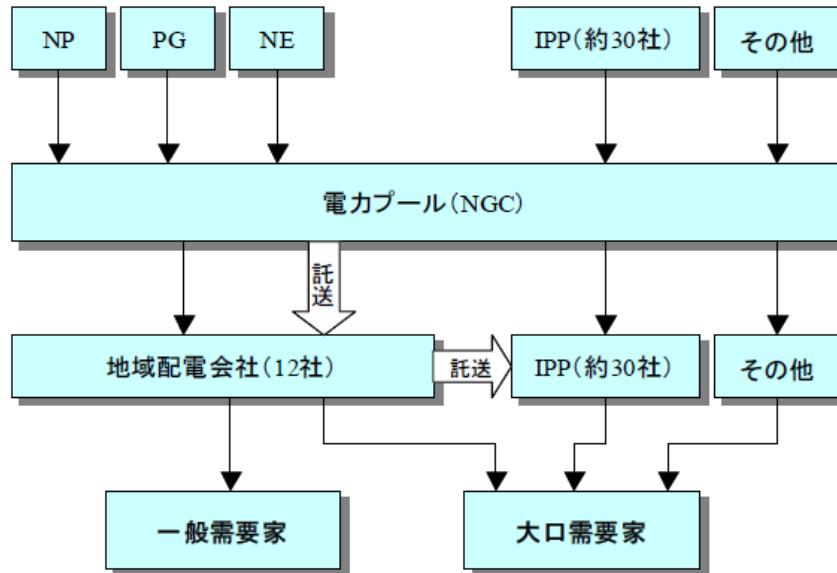
カリフォルニアの電力危機による課題と教訓

貯蔵ができないため、リアルタイムでの需要と供給の均衡が必要である。またネットワークを利用しないと取り引きできない。そのため、競争が機能するためには、十分な発電設備と送電能力が必要である。取引所の取引に大きく依存することは、卸売価格のボラティリティーの大きさや、市場支配力行使による価格吊り上げなどから、問題が多く相対取引を重視することも必要である。

② イギリスの電力自由化

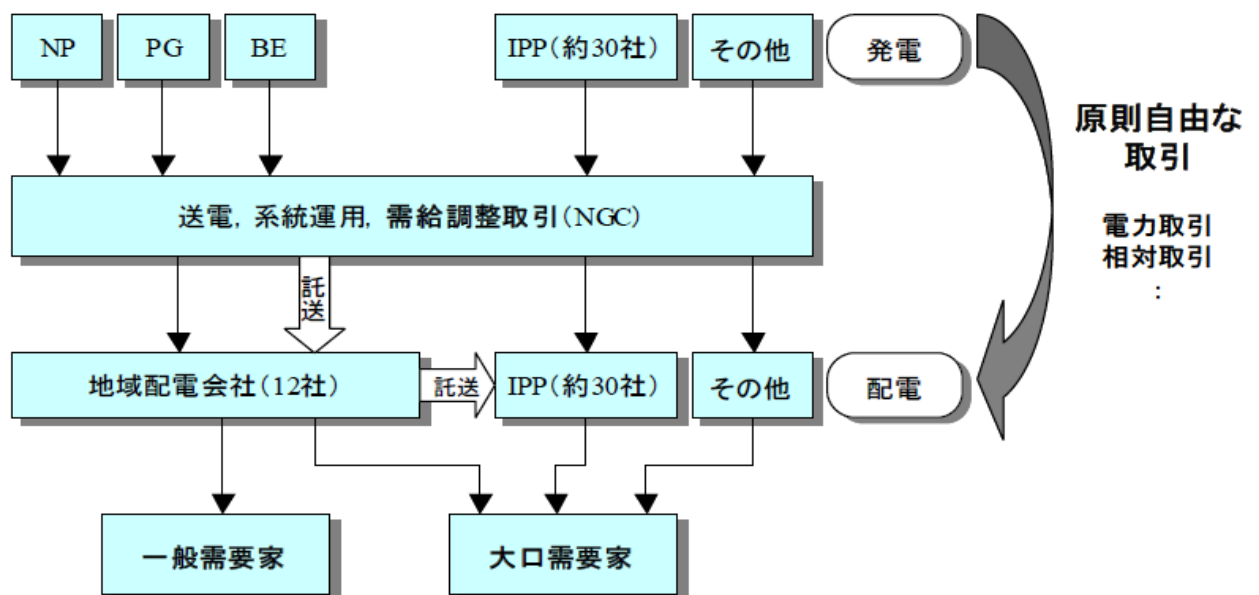
イギリスでは 1990 年に電気事業の民営化によって、イングランド、ウェールズ地方において発送電部門を統合していた国営電力を分割し、電力プール市場を導入することによって、完全競争型の供給システムへと移行した。それによりこれまで発送電を行ってきた国営の中央電力公社 (CEGB) は、ナショナル・パワー、パワージェン、ニュークリア・エレクトリックの 3 つの発電会社と、送電部門はナショナル・グリッド 1 社に分割された。発電市場は完全に自由化され送電会社である NGC が運営する電力市場を介して取引することを義務付けたプール市場を導入した。図)

民営化の結果として、電気料金は実質値では低下したものの、名目値としては上昇しており、競争導入による大きな価格低減の効果はみられなかった。中央集権的だった強制プールシステムでは、発電会社が結託して価格を吊り上げたり、大口の客に対して裏取引をして安く提供したりすることがあり、公正な取引が行われなかった。



新電力取引制度 (NETA) の導入

電力自由化後 10 年以上を経過した後、小売市場は全面的に自由化され、強制プールシステムを変更し、を導入した。公明正大な取引所を作って電力の取引を監視する、第三者を入れた仕組みにしたものが NETA である。NETA での卸電力取引は、相対取引と取引所取引とに大別される。



NETA 導入後、相対取引の規模は増加している。相対取引が中心に卸電力が取引されているものの、実際の取引時点に近づくにつれてそのポジションの変更などのためには、スポット市場が必要となってくる。そのため、NETA が導入された際に、UKPX や APX などの卸電力取引所が開設されている。

NETA の問題

NETA の問題は、余剰買取価格と比較して補給価格が高いこと、つまりインバランス価格の格差が大きいことだった。補給価格高騰の理由のひとつは、ほとんどの事業者が私設取引所取引および相対取引でカバーしていることから、取引量が少ないことだった。

当初のインバランス価格問題を背景に、風力等再生可能エネルギーは大きな影響を受けた。例えば風力発電事業者は出力レベルの想定が難しく 30~40% のインバランスが発生すると見られており系統投入量が不確実であるので、小売供給事業者が提示する買電価格は低く、一方インバランスによる損失が発生するため発電するのが難しくなった。複数の発電プラントを所有する発電事業者の場合には、他の発電プラントでこのリスクをカバーできるが、所有するプラントが少なく対応できない場合には相当な打撃を受けることになったそして、原子力発電所は出力調整が容易ではないためベース電源としての参入という選択肢しかなく契約価格も低く押さえられることになった。

第3節 安定供給確保

本節では、安定供給確保の観点から、アメリカで導入された容量市場について述べる。

競争的な市場での電力の価格は、短期限界費用と等しくなり、各時間帯の最適な給電を導くのみならず、長期的には効率的な設備を作る為に必要な役割を果たすと考えられていた。しかしこの考えは理論上のものであり、実際には電力エネルギーを取引する市場だけでは十分な設備投資がなされず、安定的な電力供給のために必要な供給力（適正な予備率）の確保が難しいと論じられるようになった。そうした中、米国の北東部では、電力を調達する小売供給事業者にあらかじめ一定の設備容量を確保する義務を課し、電力を取引する市場とは別に、その義務の過不足を調整するための容量市場が運用されていた。

その容量市場が用いられた背景として、前述の通り電力エネルギーを取引する市場だけでは安定供給のための十分な供給力を確保することが難しいと考えられていた。電力エネルギーを取引する市場において、基本的には、競争下で効率的な価格形成が為されていれば、発電所などの必要な設備投資が適切に行われていくと考えられるが、電力を取引する市場では他の財に見られない特徴がいくつかある。電力という財に対する需要は年間を通じて大きく変動する一方、経済的な貯蓄は困難であり、重要な変化に応じて在庫で対応することはほとんど出来ない。その上、受給のバランスが崩れると停電が生じ、社会的に大きな損失をもたらす危険性があるので、常に受給バランスを安定させる必要性がある。よって設備は、需要の変動に合わせて確保しなければならず、重要がピークになる時期も例外ではない。しかしピーク需要の時期は年間でごくわずかしかなく、その時にしか稼働しない発電設備（ピーク電源）が必要となるが、ピーク電源が確保されるには電力取引市場の価格が非常に高いものでなければならない。

この考えでは瞬時の供給調整にどの発電所を使うかは系統運用者の判断に委ねる必要があり、受給を一致させる段階において市場で取引する余裕は無く、市場原理以外の方法に頼らざるを得なくなる。よって需要の逼迫を解消する本来の価値が市場に反映されずに、過小評価される可能性がある。同時に市場価格が、需給逼迫時の価値を過大評価する可能性もあり、市場で安定供給に必要な設備投資のインセンティブを与えることは難しい。

そこで米国の一部地域で運用されていたのが、容量義務を課す制度である。その制度は登録された小売供給事業者（Load Serving Entities : LSE）に対して、安定的な供給を行うために十分な供給力の確保を、需要に応じて電力系統の運用機関（ISO）が技術的な観点から定めた予備率から義務付け、確保できない場合はペナルティを課すというものである。しかし、容量義務を課された LSE の中には、自ら保有する発電設備だけでは、その義務を達成することができない所もある一方、容量義務を超える発電設備を保有する所もある。そこで、市場参加者間で容量義務を取引できるよう、「容量クレジット」が導入された。容量クレジットは確保すべき容量が市場参加者間で交換可能であり、1 MW の容量はどの設備の容量で代替しても同じであると認めるものであり、これによって容量義務の過不足を調整できるようになった。このように容量クレジットを取引する市場が容量市場である。競争的市場での電力取引ではエネルギーの kWh 当たりの価格が決まるのに対し、容量市場は kW 当たりの価格が決まり、この容量に対する市場価格は必要な設備を確保するための投資インセンティブを与えることになる。

米国北東部で導入されている容量市場は、当初制度設計の問題が指摘されてきたが、それらによって廃止されることもなく、いくつかの修正を入れながら現在も存続している。

第3章 マルチエージェントモデルによる分析

本章では、先行研究である稲垣憲治(2005)「マルチエージェントモデルを用いた自由化された市場における発電事業者の行動分析」の分析を参照し、強制プール市場においてリアルタイム市場を導入する意義を考察する。

第1節 市場モデルの構築と分析

本節ではまずエージェントの概念について述べる。エージェントとは独自の目的を持ち、それを効率的な方法で実現しようとする実行主体を意味する。このようなエージェントが複数存在するモデルをマルチエージェントモデルと呼ぶ。

本研究では、電力市場をマルチエージェントモデルとみなす。すなわち、字通りの利益を最大化することを目的として戦略的に入札を行う市場参加者をエージェントとして、モデル化し、発電事業者の行動や市場の動きを推測する。また、市場方式はかつて、イングランド・ウェールズ地方において採用されていた強制プール市場とする。

① 市場モデルの概要

強制プール市場において、市場参加者はプール市場（スポット市場）のみを介して電力取引を行う。市場決済の手段としては、発電側のみが入札を行い価格が決定されるシングルオークション形式と、発電側・需要側双方の入札によって価格が決定されるダブルオークション形式の2種類が考えられる。図1-1、図1-2に強制プール市場モデルのシングルオークション形式およびダブルオークション形式の模式図を示す。

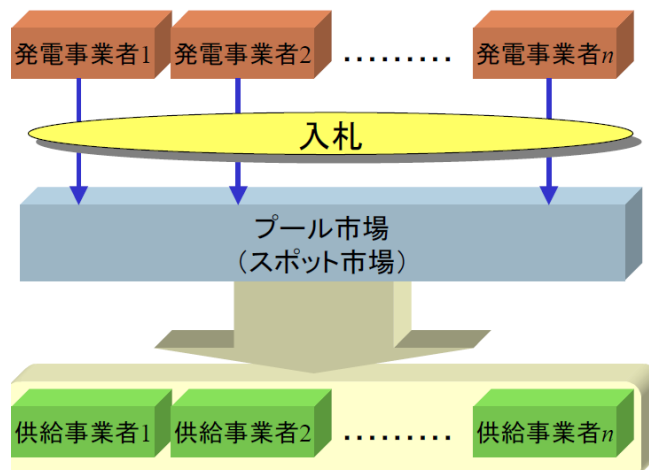


図 1-1 強制プール市場モデル（シングルオークション）

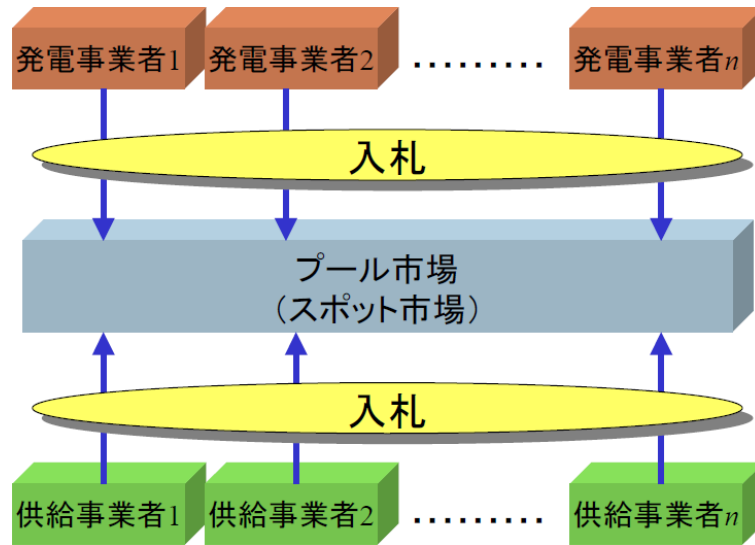


図 1-2 強制プール市場モデル（ダブルオークション）

図 1-1 のシングルオークション形式による強制プール市場においては、需要側（供給事業者）からの入札はないため、書く需要が全体として1つの需要として捉えることができる。

次に、シングルオークションとダブルオークションによる市場決済方法を図 1-3、図 1-4 に示す。

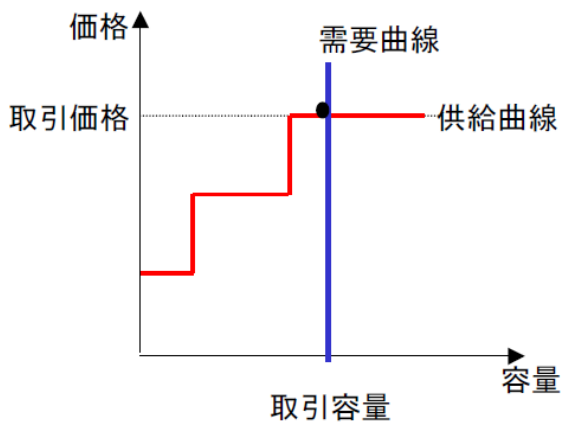


図 1-3 シングルオークションによる市場決済

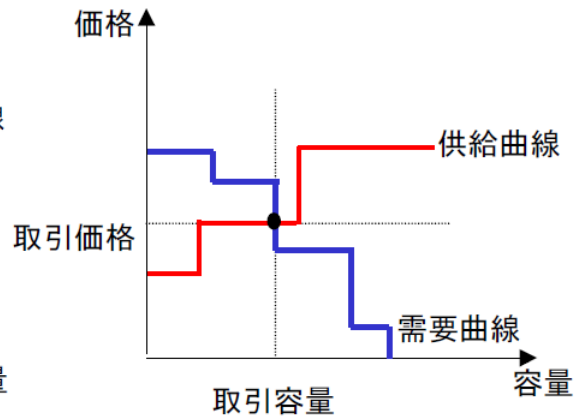


図 1-4 ダブルオークションによる市場決済

図 1-3 のシングルオークションでは、発電事業者が売値を入札し、その累積入札量が全需要量に達した点における入札率が、取引価格として全市場参加者に対して適用される。一方、図 1-4 のダブルオークションでは、発電事業者、供給事業者がそれぞれ電力の売値、買値をプール市場に対して入札する。さらに、その結果描かれる需給曲線の交点を求めることにより、取引価格と取引量を決定し、全市場参加者はこの取引価格に従って取引を行う。

本研究では一日前市場をダブルオークション形式とし、リアルタイム市場をシングルオークション形式としてモデル化を行った。

② 強化学習理論に基づく市場モデルの概要

2.1 エージェントのモデル化

本研究では電力の特徴を踏まえ、限界費用や限界効用に基づく入札モデルを用いた。市場には発電エージェント n 人 $G = \{A_{gi} : i=1, \dots, n\}$ と 1 人の需要エージェント $D = \{A_{dj} : j=1\}$ がいるものとする。

発電エージェント $G = \{A_{gi} : i=1, \dots, n\}$ が、発電するために必要なコスト関数 $C_i(q)$ は次のように表される。

$$C_i(q) = a_{gi}q^2 + b_{gi}q + c_{gi} \quad (2.1)$$

また、限界費用は、次のように表される。

$$dC_i(q)/dq = MC_i(q) = 2a_{gi}q + b_{gi} \quad (2.2)$$

本モデルにおいて発電エージェント A_{gi} は式(2.2)で表される限界費用曲線を基に、その切片 α_{gi} を戦略として決定するものとしてモデル化を行った。従って発電エージェント A_{gi} の入札曲線 $p_{gi}(q)$ は次式で表される。

$$p_{gi}(q) = 2a_{gi}q + b_{gi} + \alpha_{gi}$$

また、その様子を図 X-5 に示す。

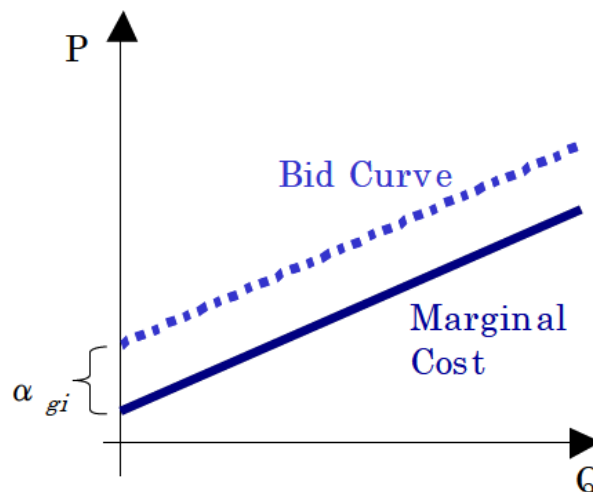


図 2-5 発電エージェントの入札モデル

次に、需要エージェント $D = \{A: j=1\}$ の限界効用 $U_j(q)$ についても述べる。

電力は生活必需品であり、需要家はたとえ電力価格が高騰しても、電力消費を抑えるという行動を取りにくい。すなわち需要の価格弾力性はとても小さいといえる。日本に先行する海外諸国の電力市場を分析した研究によると、電力需要の価格弾力性はおよそ-5%程度と見積もられている。本モデルにおいても、これを基にした限界効用を用いることにする。

需要の価格弾力性は一般的に

$$\eta = \frac{dq/q}{dP/P} \quad (2.5)$$

と定義されている。これを微分方程式として解くと次のようになる。

$$P = Cq^{1/\eta}$$

ただし C は定数である。もし(2.5)が基準点 (Q_0, P_0) を通るならば、式(2.5)は次のように変形できる。

$$P = \frac{P_0}{Q_0^{1/\eta}} q^{1/\eta}$$

本モデルでは、この需要曲線を基本限界効用関数とみなすことにする。この関数は無限大へと発散してしまうが、発電エージェントの入札戦略の上限値を 80 [¥/kWh] としているため、実施のプライスカップは 80 + 限界費用 80 [¥/kWh] となる。図 2-6 に例として、基準点 (Q_0, P_0) を(100000MWh, 5¥/kWh)とした時の Q と P の関係を示す。

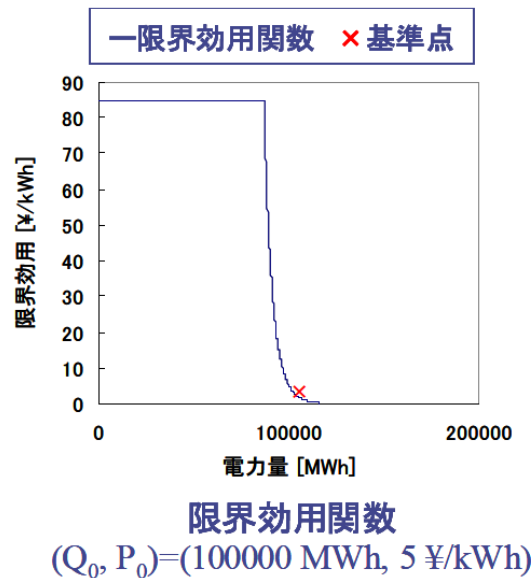


図 2-6 電力市場における限界効用関数

本研究では、図 2-7 のようなある一日の日本全国（沖縄を除く）一時間ごとの需要を基準需要 $\{Q_0(h): h=1, \dots, 24\}$ として設定した。また基準価格 P_0 ②については 5¥/kWh として。

また、需要エージェントは戦略を持たず、限界効用をそのまま入札するものとする。

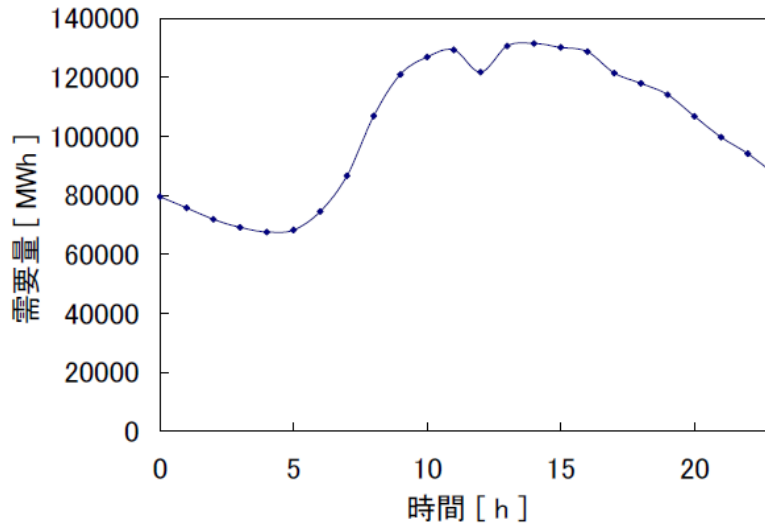


図 2-7 基準需要パターン

2.2 強化学習の仕組み

強化学習では、エージェントはある環境の中で、試行錯誤的に近くと行動を繰り返し、報酬を受け取る。ここでの行動とは、ゲーム理論における戦略を意味する。この一連の動作をエピソードと呼ぶ。各エージェントは報酬を最大化することを目的として効率的に達成するために、エピソードを繰り返してそれぞれの持つ意思決定機構を修正する。この様子を図 2-8 に示す。

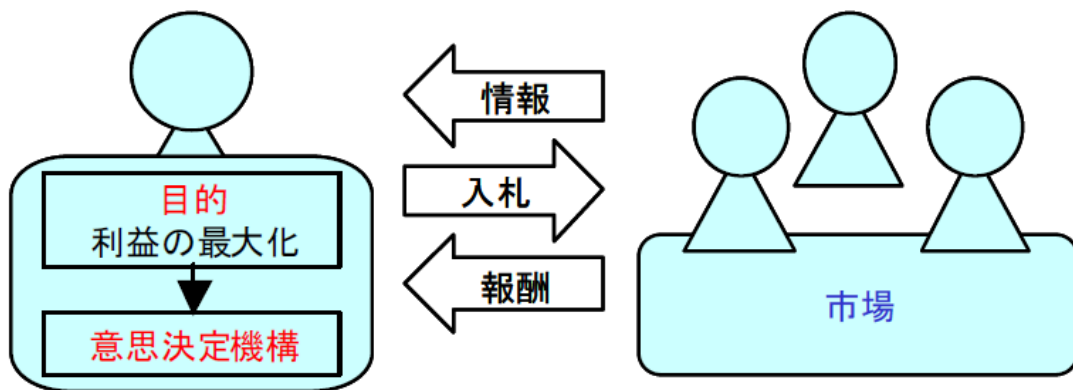


図 2-8 強化学習の流れ

2.3 収益

各エージェントは報酬を最大化することを目的とする。ここでの報酬とは、将来における割引期待収益を指す。時間ステップ t の後に受け取った報酬の系列を $r_{t+1}, r_{t+2}, r_{t+3} \dots$ と表すならば、割引率を γ として、きたい割引報酬 R_t は次のように表される。

$$R_t = r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} + \dots + \gamma^{T-t-1} r_T \dots \quad (2.7)$$

ここで T は最終時間ステップである。このように m 初期状態と終端状態が存在し、終端状態において、標準的な初期状態へとリセットが行われるようなタスクをエピソードのタスクと呼び、初期状態から終端状態へと至る一連の流れをエピソードと呼ぶ。

2.4 マルコフ性

強化学習の枠組みにおいて、エージェントは環境からの信号の関数として意思決定を行い、この信号は環境の状態と呼ばれる。この状態は、どのようなものであれ、エージェントが利用可能な情報を指す。理想的には、状態信号は過去の近くをコンパクトに集約し、さらに過去の関連情報をすべて保持していることが望ましい。このように、すべての関連情報を保持する状態信号はマルコフ不正を持つという。例えば、チェスにおける盤面上のすべてのコマ配置は、マルコフ性も持つ状態信号である。というのはどのような経緯でその駒配置となったとしても、次を取る手を考える際に重要となる情報は、現在の盤面上に集約されているためである。

ここで強化学習問題のために、マルコフ性の形式的定義を行う。時刻 t で取られた行動に対して、環境が $t+1$ においてどのように応答するか考える。最も一般的な場合では、この応答は以前に起こったあらゆることに依存する。この場合、 $t+1$ に状態が s' 、報酬が r となる確率分布 $\Pr$ は次のように表される。

$$\Pr\{s_{t+1} = s', r_{t+1} = r \mid s_t, a_t, r_t, s_{t-1}, a_{t-1}, \Lambda, r_1, s_0, a_0\} \quad (2.8)$$

一方、信号状態がマルコフ性を持つなら、 $t+1$ における環境の応答は t における状態と行動表現のみに依存することになり、このときの確率分布 $\Pr$ は次のように表すことができる。

$$\Pr\{s_{t+1} = s', r_{t+1} = r \mid s_t, a_t, r_t\} \quad (2.9)$$

逆に、式(2.8)(2.9)の確率分布が等しい場合、状態信号はマルコフ性を持つといえる。

もし環境がマルコフ性を持ち、現在の状態と行動が与えられるなら、式(2.9)の1ステップダイナミクスから、次の状態と行動を予測することができる。この式の反復計算を行うことにより、現時点までの完全な履歴が与えられた場合と同様に、現在の状態のみから将来の状態と期待される報酬のすべてを予測することができる。

2.5 行動価値関数

モンテカルロ法

強化学習理論において、意思決定は各エージェントが持つ行動価値関数に基づいて行われる。この関数は状態行動対の関数で、エージェントがある状態において、ある行動を行うことがどれだけよいのかを評価する。ここでは、「どれだけよいか」という概念は、将来において期待される報酬、つまり割引期待報酬に関して定義される。あるエピソード k について、知覚できる環境の状態が s の時に、行動 a をとることの行動価値関数を $Q_k(s, a)$ として定義する。ある時刻 t において、状態が s であった時に行動 a を取ったときの行動価値関数 Q_k は、将来の割引期待報酬を R_t として、次のように定義される。

$$\begin{aligned} Q_k(s, a) &= E\{R_t \mid s_t = s, a_t = a\} \\ &= E\left\{\sum_{i=0}^T \gamma^i r_{t+i+1} \mid s_t = s, a_t = a\right\} \end{aligned} \quad (2.10)$$

行動価値関数は経験の基づいて見積もることができる。例えば、ある状態においてとられた各行動に対して、個別に平均値が保持されるなら、それらの平均値は行動価値 Q に収束する。このようにして価値を見積もる方法をモンテカルロ法という。あるエピソード k について状態 s のときに a の行動を取った結果、エピソードの終了時までに報酬 R が得られたとき、行動価値関数 Q_k を次のように更新する。

$$Q_{k+1}(s, a) = Q_k(s, a) + \alpha[R - Q_k(s, a)] \quad (2.11)$$

ここで α は学習速度を表すパラメータであり、 $0 < \alpha \leq 1$ の値をとる。例えば $\alpha = 1/k$ とおくと、式(2.11)は次のように変形することができる。

$$\begin{aligned} Q_{k+1}(s, a) &= Q_k(s, a) + \frac{1}{k}[R - Q_k(s, a)] \\ &= \frac{R + (k-1)Q_k(s, a)}{k} \end{aligned} \quad (2.12)$$

すなわちこの行動価値 Q_k が、エピソードごとに得られる期待報酬の平均値を表していることがわかる。もしじゅうぶんなエピソードを経験すれば行動価値が、ダイスの法則に従う精度にて期待報酬へと収束する。

2.6 探索と知識利用

ポルツマン選択手法

Q 値が正確に期待報酬を表しているのであれば、ある環境における行動の選択肢のうち、もっとも Q 値が高い行動を取ればよい。しかしまだ学習途中であったり、市場ゲームのようなマルチエージェント環境下では、よりよい行動を探索せねばならず、探索と知識利用の間にジレンマが発生する。そこで、行動価値の学習を重ねつつ、行動を合理的なものにしていくエージェントが必要とされる。

式(2.11)のような学習を行う時、すべての行動が十分なエピソード回数の試行されることが、それぞれの行動価値を正しく推定するための必要条件となる。しかし、いつまでも報酬の得られない行動を繰り返すわけにはいかない。そこで、大きな報酬が期待される行動の探索と利用を効率よく行う手法の 1 つとして、ポルツマン選択手法が挙げられる。これは、現時点までに推測された行動価値を正しいものと仮定し、大きな報酬が得られるとされる行動の選択確率を大きく、小さな報酬しか得られないとされる行動の選択確率を小さくする。状態 s で行動 a を選択する確率 $\pi(s, a)$ は次式で表される。

$$\pi(s, a) = \frac{\exp[\frac{Q(s, a)}{T}]}{\sum_b \exp[\frac{Q(s, b)}{T}]} \quad (2.18)$$

ここで T は、ポルツマン温度と呼ばれ、 T を大きくするとほぼランダムな選択確率となり、小さくすれば Q 値の高い行動を出しやすくなる。その様子を図 2-9 に示す。

2.7 強化学習型市場モデル

強化学習を行うためにすべての値を離散化している。また本モデルでは、戦略決定から入札 m として利益が得られるまでを 1 エピソードとして見なす。複数の時間設けるが、自分の行動に依存する状態遷移を考慮しないため、モンテカルロ法を用いる。以下に通常市場モデルについて述べる。

強化学習型市場モデルにおいて戦略は離散化して表される。各エージェントはエピソード k において、それぞれの戦略 $\{a_{gil} : l = 1, \dots, N\}$ に対し、行動価値関数 $Q_{gi}^k(a_{gil})$ を持つ。そして、この時にとる戦略は次式の確率分布に従う。

$$\pi(a_{gil}) = \frac{\exp\left[\frac{Q_{gi}^k(a_{gil})}{T}\right]}{\sum_{k=1}^N \exp\left[\frac{Q_{gi}^k(a_{gik})}{T}\right]} \quad (2.19)$$

各エージェントは式(2.3) 式(2.6)に従い、離散化して入札を行う。市場において、発電側の入札を低いものから、需要側の入札を価格の高いものから並べなおすことにより、市場価格 P^* 、および市場取引量 Q^* が得られる。この様子を図 2-10 に示す。

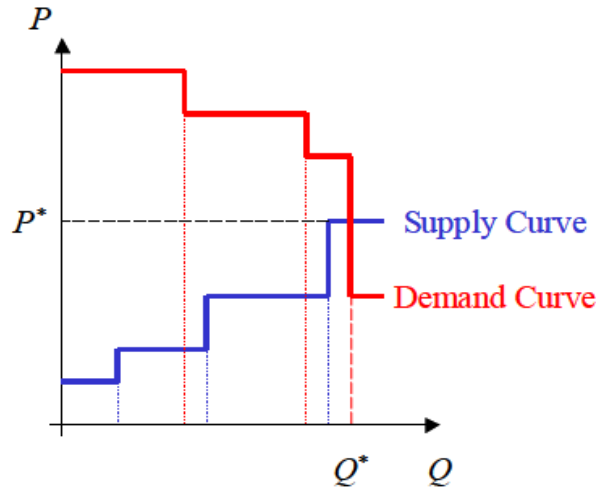


図 2-10 市場決済の様子

このように市場プロセスが行われ、発電エージェントは市場価格 P^* より低い入札分だけが約定され、需要エージェントは P^* より高い入札分だけが約定される。するとそれぞれの報酬が、次のように表される。

$$\begin{aligned} R_{gi}^k &= P^* q_{gi} - C_i(q_{gi}) \\ R_{dj}^k &= U_j(q_{dj}) - P^* q_{dj} \end{aligned} \quad (2.20)$$

そして発電エージェントはこのとき得られた報酬 R_{gi}^k を次のように行動価値へとフィードバックさせる。

$$Q_{gi}^{k+1}(a_{gil}) = Q_{gi}^k(a_{gil}) + \alpha[R_{gi}^k - Q_{gi}^k(a_{gil})] \quad (2.21)$$

このように入札から報酬を得るまでのエピソードを十分な回数だけ繰り返すことにより、行動価値を正しく見積もり、期待報酬の高い戦略の選択確率をあげていく。この一連の流れを図 2-11 に示す。

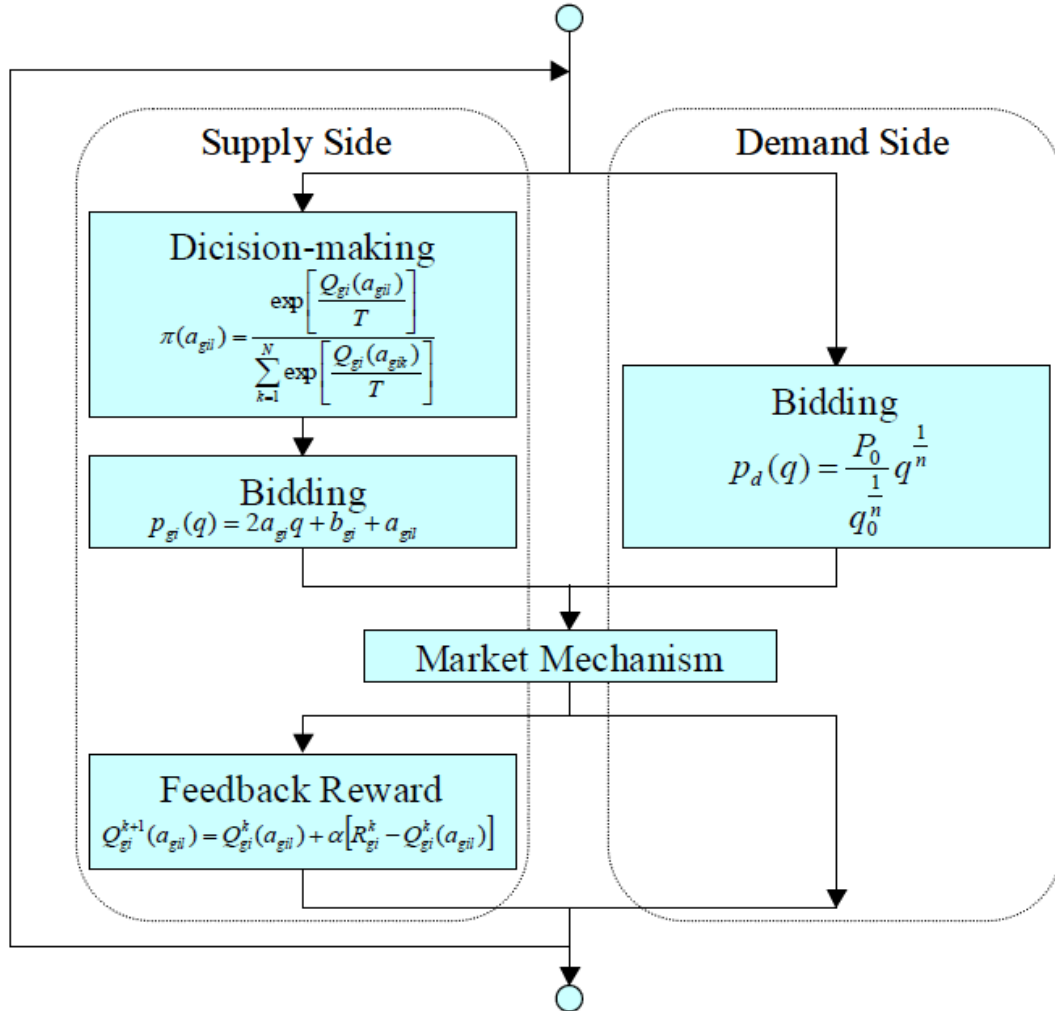


図 2-11 強化学習型市場モデルの計算フロー

③ 発電事業者の入退場を考慮した電力市場分析

電力供給市場システムに市場原理が導入され、激しい競争の中で発電者が利益を上げようとするれば、投資効果の低いプラントを建設するインセンティブは働かない。利益の上がらないプラントは売却されると考えられる。一方電力は貯蔵が困難であり同時同量の供給が必要である点と生活の基盤であり供給信頼性へのニーズが高いという特徴がある。これらの理由から本章では、以上のような強化学習理論によるマルチエージェント電力市場モデルを用いて、発電事業者の入退

場を考慮した電力市場分析を行い、発電事業者の入退場が行われた場合の市場の動きを解析した。

まず、3.1 節で前提条件を示した後、3.2 節で電力市場を①一日前市場のみの場合、②一日前市場の後にリアルタイム市場がある場合に分けて分析を行った。ここでは同時に市場原理により導かれる電源構成と従来の発電システム総コストを最小化した場合の電源構成との比較を行った。

次に、3.3 節においては、大企業による市場支配力の問題がしばしば指摘されていることを踏まえ、電力市場に大規模な発電事業者が存在する場合の電力市場分析を行い、大規模発電事業者の取りうる入札戦略を示すとともに、それに伴う市場の動きを分析した。

・ 3.1 前提条件

本節では解析に用いた前提条件について述べる。電力市場には様々な種類の電源構成プラントを持つエージェントが存在する。本モデルでは、水力、原子力、石炭火力、LNG 火力、石油火力の 5 種のプラントを想定する。また、各種プラントの燃料費、電源設備費を表 3-1 のように設定した。

	水力	原子力	石炭火力	LNG 火力	石油火力
燃料費[¥/kWh]	0	1.12	2.05	3.6	4.8
建設単価 [¥/kW]	404000	387000	310000	224000	191000
耐用年数[year]	40	50	50	50	50
年経費率	0.105	0.097	0.096	0.090	0.084

表 3-1 電源設備費用

-年経費率-

年経費率は、購入発電設備資本費(¥/kW)を 1 年間の発電費用に変換するための係数であり、次式で与えられる。

$$\text{年経費率} = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

r 利子率

n 耐用年数

いろいろな組み合わせについて、年経費率を計算してみるとつぎのようになる。

実際にモデルで使用する年経費率には、設置コスト(資本費)以外にも、運転維持費(修繕費+諸費+給料手当+業務分担費+事業税)を追加する必要がある。発電費用は資本費、運転維持費、燃料費の合計である。運転維持費は、公益事業学会における勝田・鈴木の発表 [3] のデータを利用して、つぎのような係数を使用した。この数値は資本費に対する係数であり、この係数によって資本費だけの年経費率を膨らませばよい。つまり、年経費率×(1+運転維持費係数)が総合年経費率になる。

また利子率は、ここ 10 年間、低金利が持続しているものの、この種の計算では 4%程度の数値を使う 64 情報科学研究 No.27(2006)ことが普通である。かつて高度成長の祭には 6%程度の数値が使われていた。また耐用年数を実質耐用年数にするか、法定耐用年数にするかが問題になる。発電コストの比較では法定耐用年数が用いられることが多いものの、実質的な電源の競合を評価するモデルでは、実質耐用年数を用いた方が懸命であろう。なぜならば耐用年数を過ぎた資

本の資本費は、会計上はゼロになってしまうが多数の設備が混在していれば、償却中の設備と償却済みの設備の平均をとる必要がある。そのような計算は面倒なので、ここでは法定耐用年数＝実質耐用年数として計算をおこなった。いわば勝手に法律を変えたことになる。通常の発電コストの比較では、償却以前の資本費計算で処理しているが、それも問題があるように思える。それらの平均をここでは火力 40 年(法定 15 年)、原子力 40 年(法定 16 年)、水力 40 年(法定 40 年)とした。下記の表の内、耐用年数 40 年の行に対する総合年経費率を使うことにする。

次に、強化学習に基づく電力市場モデルの計算に用いた初期条件を表 3-2 のように設定した。戦略の刻み幅は非線形にし、限界費用に近い入札は細かい刻み幅で、入札上限値に近い入札は大きな刻み幅で戦略を決定できるようにし、80¥/Kwh 以上の入札戦略は制限した。また、負荷追従制約などは考慮していない。

	発電エージェント	需要エージェント
ステップ数	8760 時間×15000 年	
α	0.25	-
入札ブロック	200MWh 毎	
状態数	24 時間	-
行動 a	0, ..., 20	-
戦略下限値	0	-
戦略刻み幅	$0.2 a^2$	-
入札戦略上限値	80[¥/kWh]	-
入札上限値	80+限界費用[¥/kWh]	-

3.1.1 従来の発電システム総コスト最小化

原価総括主義の時代には、各地域の電力会社が地域独占的に電力を供給しており、電力会社がその地域の電源計画を決定していた。その結果、電源構成は送発電システムのコスト最小化によって求められてきた。以下に、総発電システムのコスト最小化のための定式化を行う。また、ここでは負荷追従制約（負荷に対する追従性）などは考慮していない。

目的関数

$$TC = \sum_{i=1}^5 (g_i \times P_{Fi} \times Capa \times K_i + 365 \times H \times \sum_{t=0}^{23} P_{Vi} \times X_{i,t}) \rightarrow \min$$

TC:年間総発電システムコスト (k¥/year)

$X_{i,t}$: 第 i 種発電エージェントの時間帯における総発電電力(MWh)

K_i : 第 i 種発電エージェントの数

g_i : 第 i 種発電設備償却期間均等化経費率

P_{Fi} : 第 i 種発電設備の発電電力量 1kWh 当たりの燃料費(¥/kWh)

Capa: 1 発電エージェントの設備容量(MW)

ただし、 $i \in \{1: \text{水力}, 2: \text{原子力}, 3: \text{石炭火力}, 4: \text{LNG火力}, 5: \text{石油火力}\}$

制約条件式

電力需給バランス制約

$$\sum_{i=1}^5 X_{i,t} = Load_t (t = 0, 1, \dots, 23)$$

設備容量制約

$$X_{i,t} \leq K_i \times Capa (i = 1, 2, 3, 4, 5) (t = 0, 1, 2, \dots, 23)$$

発電エージェント数の整数制約

$$K_i \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

水力発電エージェントの上限制約

$$K_1 \times Capa \leq Load_{14} \times 0.2$$

$Load_t$: 時間帯 t における電力負荷 (MW)

3.1.2 競争原理 (発電事業者の入退場考慮)

電力システムに市場原理が導入されると、利益が出ている発電事業者は市場への入場が、損失を出している発電事業者は市場からの撤退が行われると考えられる。そこで、本モデルにおいて、発電エージェントは下のような入退場条件に応じて入退場を行うとした。また入退場条件を満たした場合、同種のプラントが入場するものとし、水力は入退場しないものとする。

- ・入場条件 (図 3-1 のように純利益に応じて確率を変化) かつ (確率 20 分の 1)
- ・退場条件 (図 3-1 のように損失に応じて確率を変化) かつ (確率 20 分の 1)

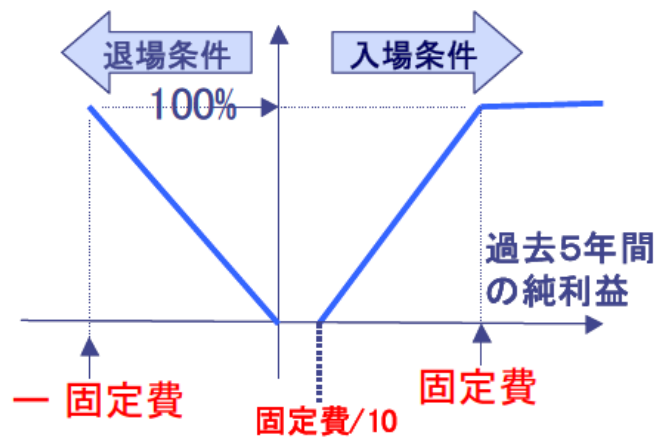


図 3-1 入退場条件

3.2 競争原理に基づく電源構成

3.2.1 一日前市場のみの場合

電力において、一日前や数時間前など通常の取引であれば、価格と量の関係を入札することで、ある程度の需要量を価格に応じて調整することができる。このような市場を電力取引 (PX : Power eXchange) 市場という。ここでは電力の市場取引が一日前市場のみによって行われる場合について分析した。

ただし、一人の発電エージェントは一種類のプラントのみを所有し、1400[MW]の発電容量を持つものとし、初期条件としてプラントの種類ごとに 10 人ずつ、計 50 人の発電エージェントが存在するとして計算する。

強化学習モデルにおいて、各発電エージェントは学習を繰り返し、最適な入札戦略へと行動を変化させる。そこでまず、図 3-2 に各発電エージェントの学習の様子を示す。図 3-2 は 14 時における全発電エージェントの入札戦略の平均値である。競争市場であるため、発電エージェントは学習により限界値近くに入札戦略とすることがわかる。

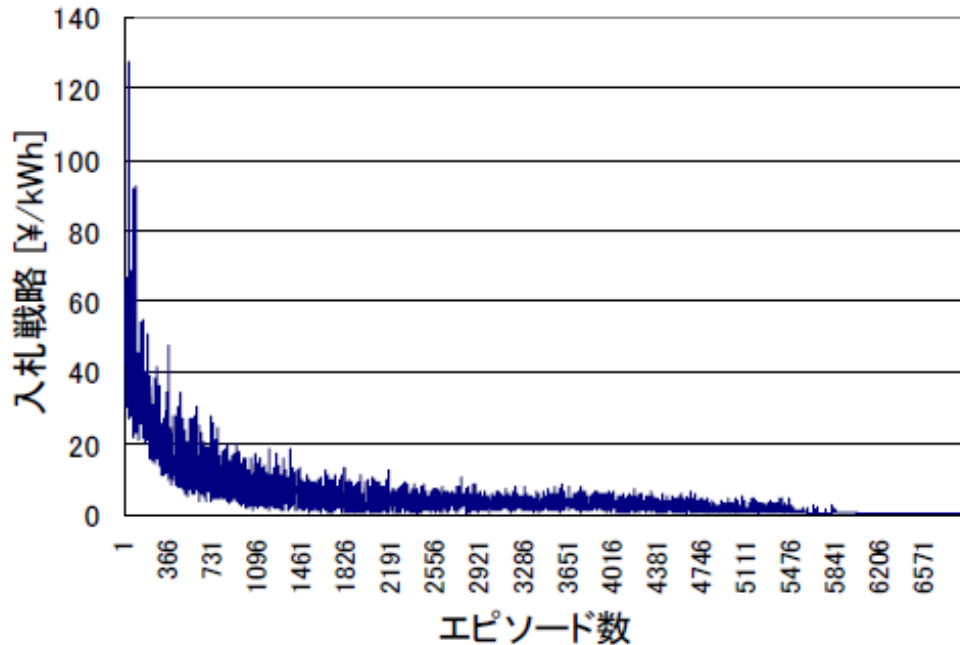


図 3-2 発電エージェントの学習の様子

また、発電エージェントは先に示した入退場条件により市場への入退場を繰り返す。種類別発電エージェント数の推移を図 3-3 に示す。

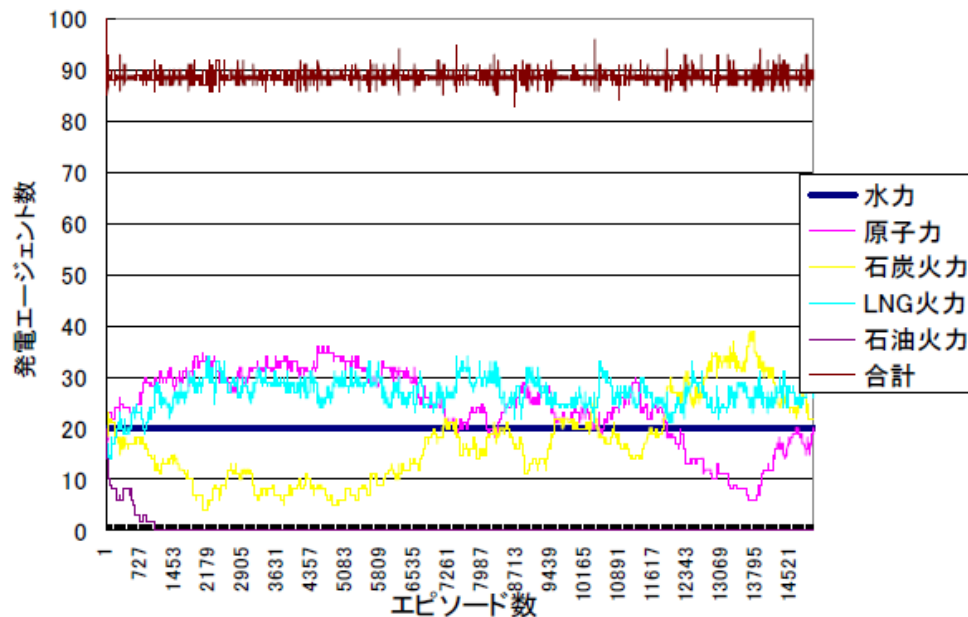


図 3-3 発電エージェント数の推移

図 3-3 より、石油火力は限界費用の低い多種のプラントに押し出される形で市場から撤退することがわかる。また、石炭火力・LNG 火力・石油火力の各プラント数は振動し、プラントの種類の割合は一定に定まらない。

また、ここで原子力と石炭火力に焦点をあてる。図 3-4 は図 3-3 から原子力と石炭火力の曲線を取り出したものである。ここからわかるように、原子力と石炭火力は、一方の数が増加すれば、他方の数は減少するといった今日鳥合の関係にあることが見て取れる。これは、どちらも限界費用の値が小さく固定費の値が大きいという特徴を有し、電源ベース付近を担おうとするためであると考えられる。また、図 3-4 を見ると両者はマクロ的に見て振動しており、一定の数に収束しない。この原因としては、新しい発電エージェントは情報を持たずに市場に産有するため、自らの入札戦略を学習するのに時間がかかり、その間にさらに発電エージェントが新規参入し、行き過ぎが生じるためと考えられる。

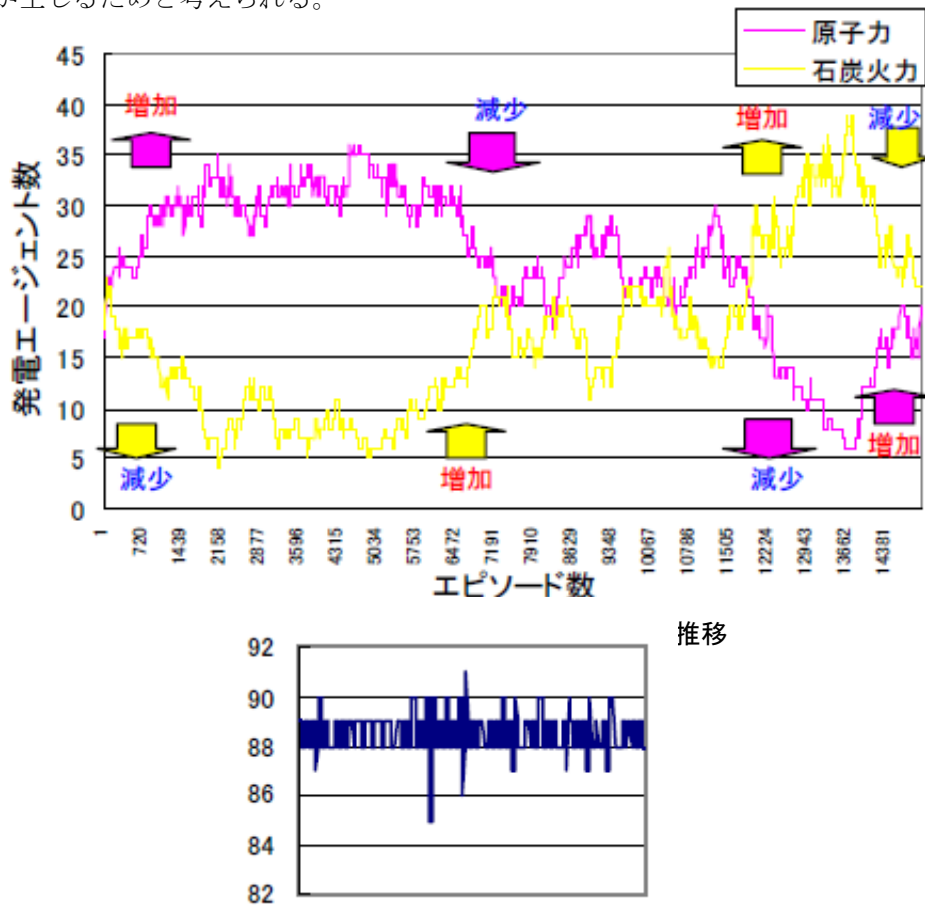


図 3-5 合計項目の拡大

次に発電エージェント数について考察する。図 3-5 に図 3-3 での合計項目の 300 エピソード分の拡大図を示す。図 3-5 より、発電エージェント数の合計は 88 と 89 を中心に振動することが見て取れる。

続いて、図 3-6 にエピソード最終地点でのプラント種類別電力取引量を示す。また、比較のため図 3-7 に 3.1.1 節で定式化した線形計画法で求めた発電システム総コストを最小化する電源構成を示す。これらの比較から、市場原理から導かれる電源構成は振動し、発電システム総コストを最小化する電源構成とは一致しないことが確認できる。ただし、プラントの割合は振動しているため、図 3-6 は単にエピソードの最終地点での電源構成を示したに過ぎず、エピソードの他の

地点ではこれとはまた異なったものになることに注意が必要である。図 3-6 から分かるように取引量が基準需要量を満たしていない。これは、ピーク電源に十分な利益が与えられず、各発電エージェントが入退場を行った結果、ピーク電源が市場から撤退し、市場の電力供給能力が基準需要量を下回ったためである。

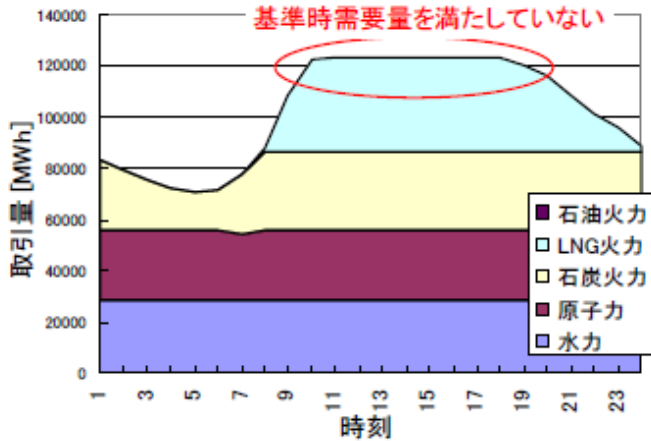


図 3-6 取扱量（競争原理）

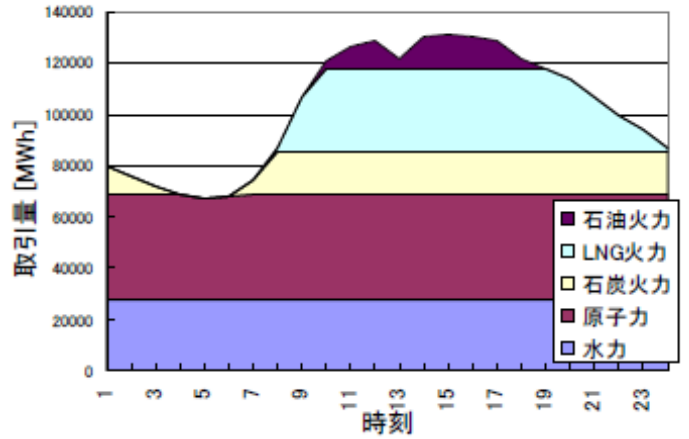


図 3-7 取扱量（発電システム総コスト最小化）

次に電力の市場価格を図 3-8 に示す。図 3-8 より、ピーク時間帯で基準需要量を満たしていないことによる価格の高騰が見て取れる。

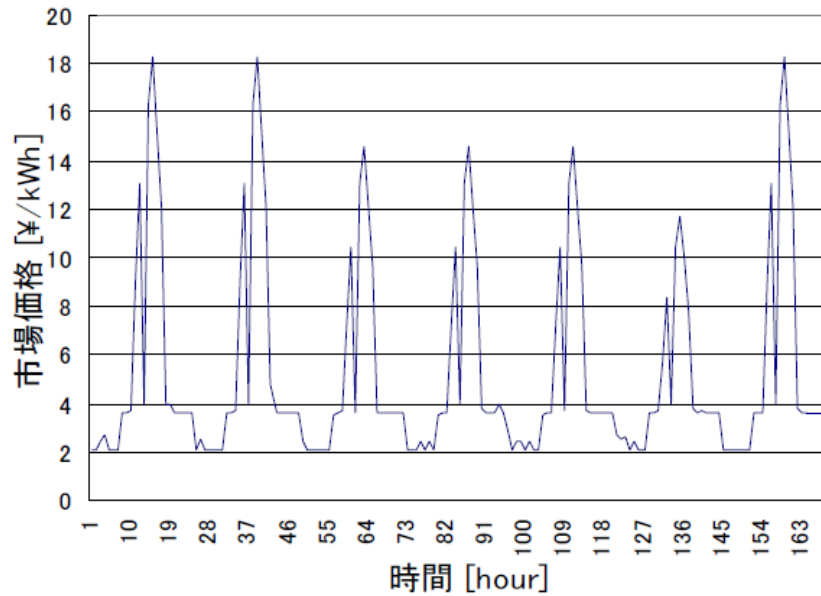


図 3-8 市場価格

3.2.2 リアルタイム市場ありの場合

通常財の市場であれば、需要家は価格が高いと思えば買わなければ良い。ところが電力には同時同量の制約があり、需要家が実際に電力を使用する瞬間には、発電側はその需要の大きさに合わせて発電出力を調整しなければならない。そこで、ここではこのような電力は ISO が管理するリアルタイム (RT: Real-Time energy) 市場と呼ばれる市場で決済されるものとする。この市場では需要家が実際に電力を使用した後に発電者がどれだけ出力を上げたかに応じて決定される。

そこで、ここでは電力市場を次のようにモデル化する。まず初めに通常市場における電力取引として前節と同じように発電エージェントと需要エージェントがそれぞれの限界費用関数と限界効用関数を基にした入札を行い、決済される。そして発電エージェントはもう一度入札を行い、需要家が実際に電力を使用する際に発生する不足電力に対して、ISO は安い入札をしたプラントから順に稼働命令を出す。そのため、実質的に需要の価格弾力性は 0 となる。本モデルでは、送電制約による潮流計算については考慮しない。その後稼働したプラントのうち最も高い入札価格が、リアルタイム市場価格として生産される。このような 2 つの市場決済手法を図 3-1-11 に示す。

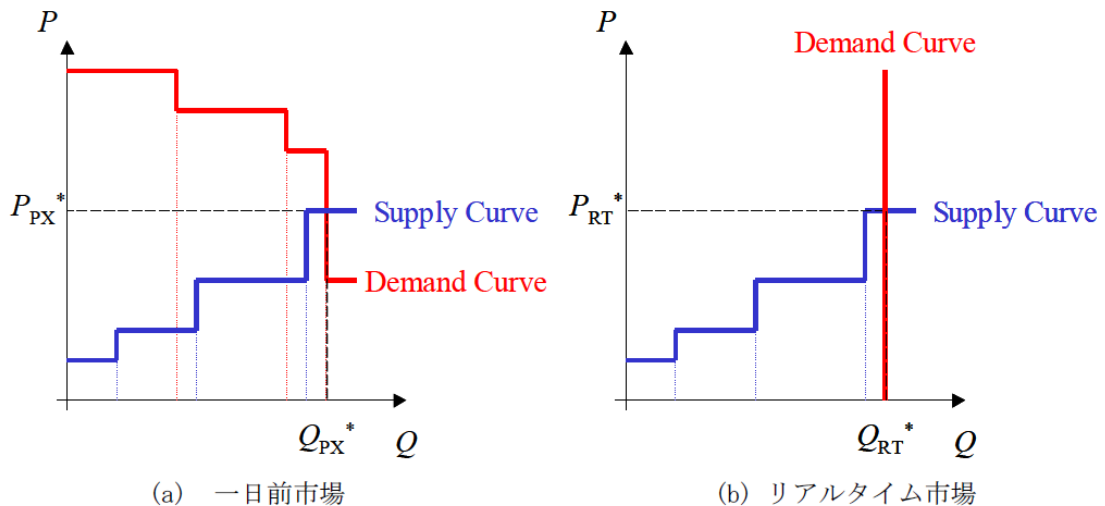


図 3-11 市場決済の様子

・ VOLL プライシング

リアルタイム市場の制度として、本研究では VOLL プライシングを採用した。VOLL プライシングとはピーク時の価格を電力不足によって起こる限界的な価値 (VOLL) を本にして設定し、この価格を上限として ISO が電力を調達するといった仕組みである。電力授受の直前における市場においては、事後的に決済が行われるため、事実上の需要の価格弾力性は 0 となる。従って、発電側の電力不足が生じた際には需給均衡がなされず、価格が無限大へと発散する。これを防ぐため、上限価格を設定する手法をプライスカップという。この市場決済の様子を図 3-12 に示す。

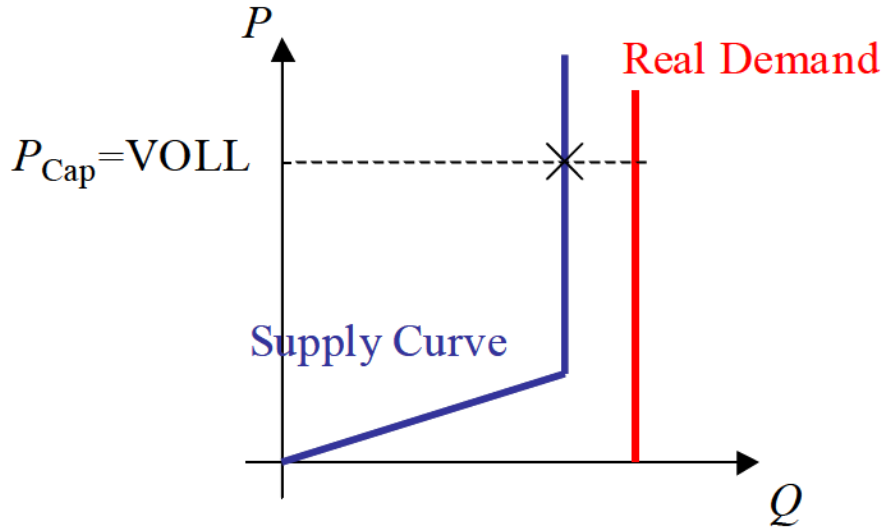


図 3-12 VOLL プライシングによるリアルタイム市場決済の様子

この仕組みの長所は、通常財と同じように限界効用を基にした市場メカニズムに基づいて価格決定がなされることである。例えば、10年に1度しか起きないような需要に対して、VOLLがプラントの固定費を回収できるほどに高ければプラントが建設され、VOLLがそれほど高くなければ負荷が遮断される。短所としては、モデルの上では限界効用を仮定することができるが、実際に電力の限界的な価値を算出することはほとんど不可能であることがあげられる。また、価格スパイクの問題がある。VOLLを見積もり、上限価格として設定すると、市場価格はごくまれに発生する需給逼迫期に、きわめて高い価格をつけることになる。これは市場の価格のボラティリティを大きくし、市場参加者すべてのリスクが大きくなる。特に発電事業者、ピーク電源の建設に対して大きな投資リスクを背負うことになり、需要の伸びに対するプラント増設インセンティブが働かない。そのため急な需要増加に対して脆弱なシステムとなる危険性がある。

・ 前提条件

ここでも一人の発電エージェントは一種類のプラントのみを所有し、1400[MW]の発電容量を持つものとし、初期条件はプラントの種類ごとに10人ずつ、計50人の発電エージェントが存在するとして計算する。

本モデルにおける電力授受の直前に必要とされる需要は、各時間における基本需要 $Q_0(h)$ の5%が、 $\sigma=0.5$ の対数正規分布に従うと設定した。このモデル化は、カリフォルニア電力危機の際、リアルタイム市場への依存度を制限するため既存の発電事業者が5%以上のリアルタイム取引を禁じられたという経緯を踏まえたものである。また、一日前市場における設定は前節と同じにする。

以上に述べたように、1日のちに電力取引を行う市場を2つに考慮し、需要エージェントは電力取引市場で約定した電力量を超える分の需要をリアルタイム市場からの調達で賄う。ただし今回、図3-12のようにVOLLに基づくプライスカップを儲け、85¥/kWhとする。

発電エージェントは24時間・2市場の計48状態の行動価値関数を持ち、それぞれの線楽を決定する。発電エージェントのその他の設定は前節と同様とする。ただし、負荷追従性を考慮して、原子力と石炭火力はリアルタイム市場への参加を不可とする。

また、1 時間後との 2 つの市場決済により、報酬が得られるまでを 1 エピソードとし、ある季節、ある時間に得られた報酬を、各市場の行動価値関数へとフィードバックするモンテカルロ法を用いる。ある時間 $h(h \in 24)$ において 2 つの市場 m_{px}, m_{rt} に対してそれぞれ行動 a_{px}, a_{rt} を選択したとき、この 1 日の報酬が R であった場合、行動価値関数を次式のように更新する

$$\begin{aligned} Q_{k+1}(h, m_{px}, a_{px}) &= Q_k(h, m_{px}, a_{px}) + \alpha[R - Q_k(h, m_{px}, a_{px})] \\ Q_{k+1}(h, m_{rt}, a_{rt}) &= Q_k(h, m_{rt}, a_{rt}) + \alpha[R - Q_k(h, m_{rt}, a_{rt})] \end{aligned} \quad (3.6)$$

この一連の計算の流れを図 3-13 に示す。

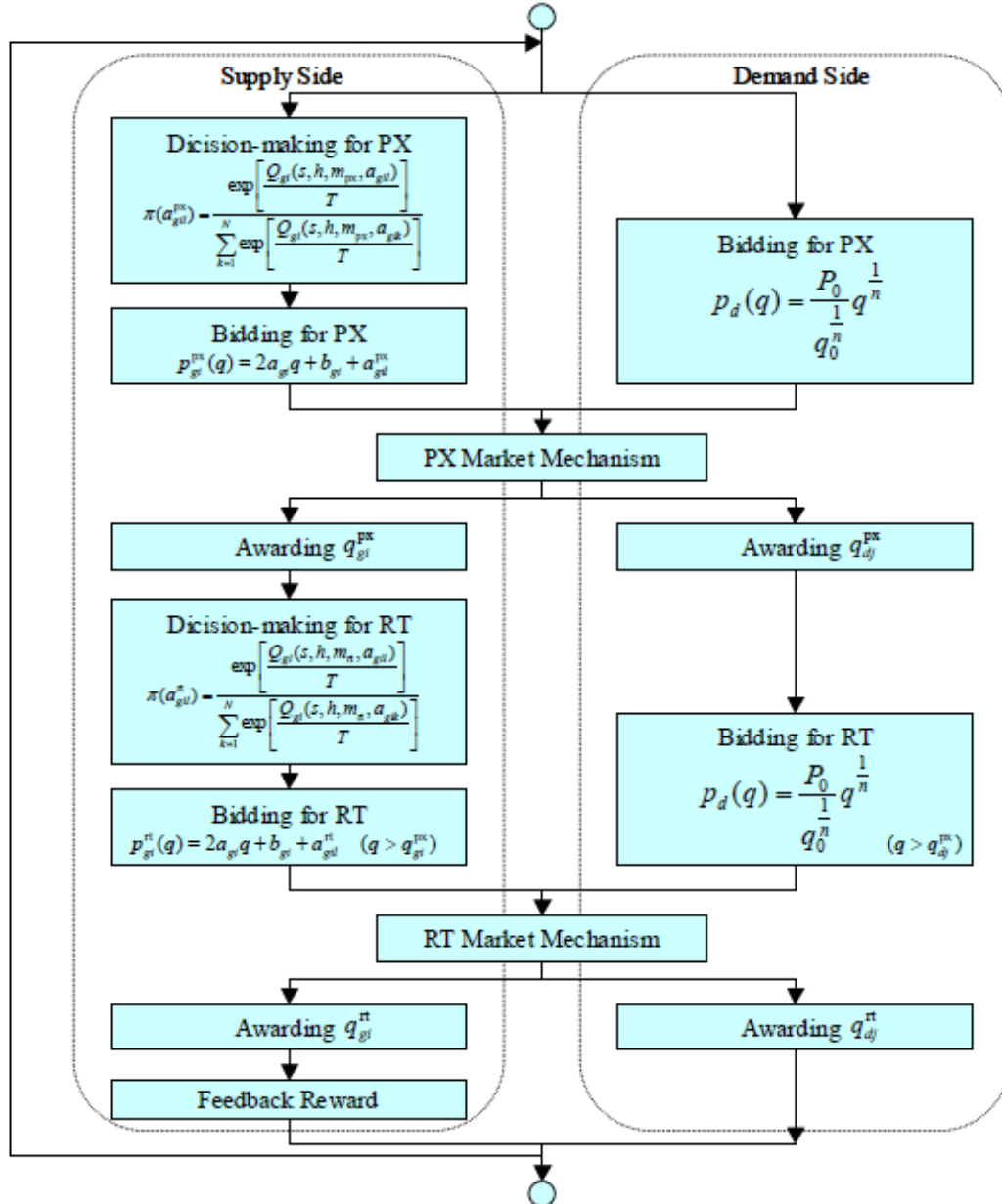


図 3-13 電力市場モデルにおける計算の流れ

・ 計算結果

リアルタイム市場を考慮した場合について、種類別発電エージェント数の推移を図 3-14 に示す。また、エピソード最終地点でのプラント種類別電力取引量を図 3-15 に示し、一日前市場のみの場合の電源構成(図 3-6)を再度示し比較する。

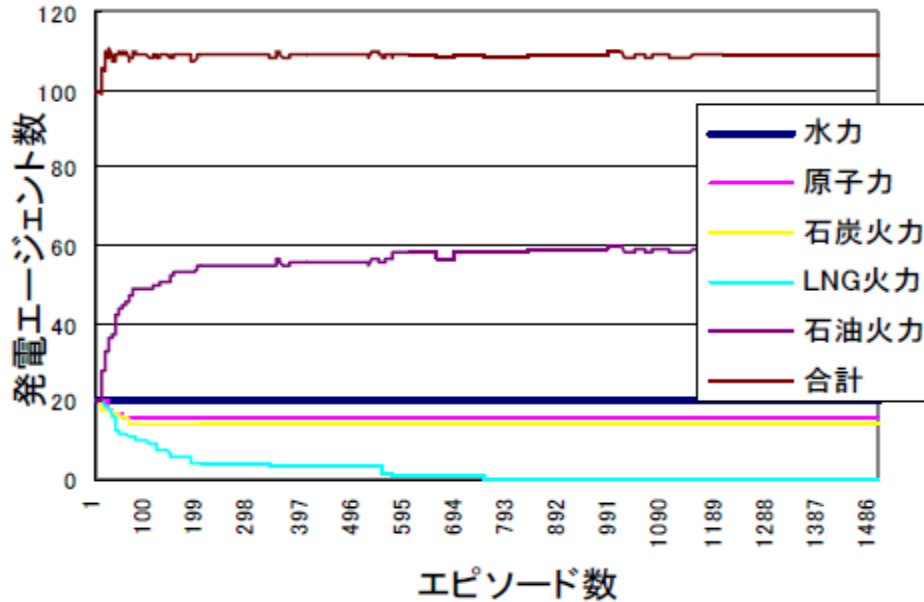


図 3-14 発電エージェント数の推移

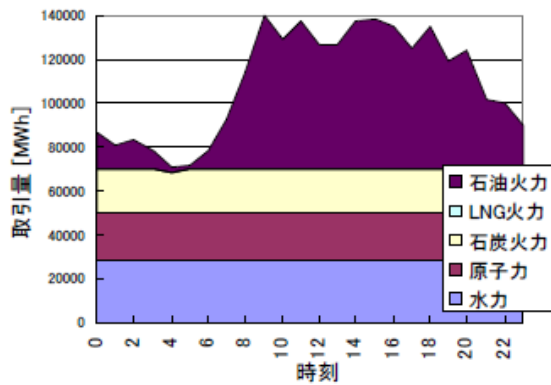


図 3-15 リアルタイム市場あり

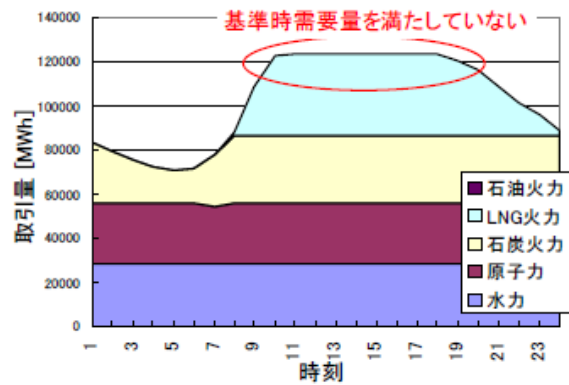


図 3-16 一日前市場のみ

図 3-14、図 3-15 よりリアルタイム市場で利益を出した石油火力がシェアを伸ばしていることが分かる。LNG 火力は石油火力に押し出される形で市場から撤退する。このことから、LNG 火力と石油火力は競合の関係にあるといえる。

また、図 3-15 から、リアルタイム市場がある場合、ピーク電源にも十分な利益を生み、市場は基準需要量を越える電力供給能力を保つことができることがわかる。

次に、図 3-17 に一日前市場の市場価格を示す。基準需要量を満たしているため、リアルタイム市場が無いときに比べ市場価格が低下していることが分かる。また、図 3-14 を見ると、全発電エージェント数は約 109 となり、図 6 で見られたような発電エージェント数の振動がほとんど

ど無い。これはリアルタイム市場がある場合には、市場に十分な数の発電エージェントが存在しており基準需要を満たしているため、一日前市場の市場価格が低く抑えられ、発電エージェント数が増加した際の各発電エージェントの利益に対する影響が少ないことが原因と考えられる。

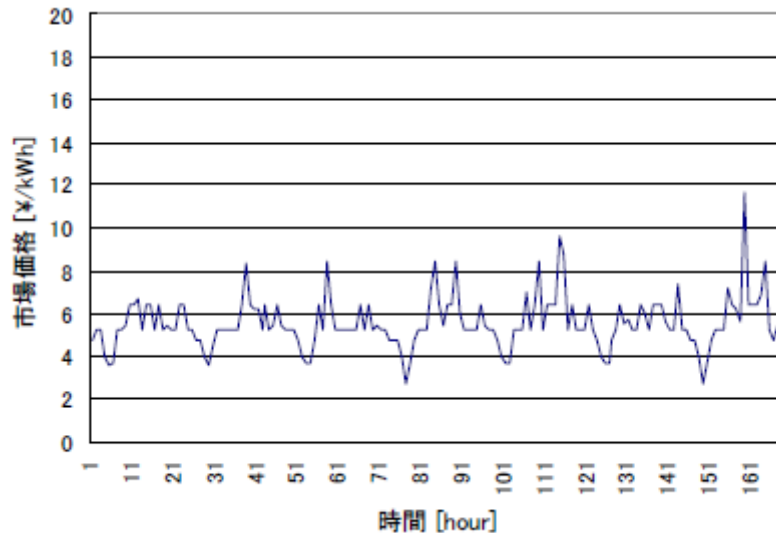


図 3-17 一日前市場の市場価格

第2節 まとめ

本章では、強化学習理論に基づくマルチエージェントモデルを用いて、発電事業者の入退場を考慮に入れた電力市場モデルを構築し分析を行った。まず初めに、各エージェントが動的環境の中でも学習し、最適な行動へと変化させることを示した。

市場方式として一日前市場のみの場合及びリアルタイム市場がある場合について分析を行った。

一日前市場のみの場合、市場原理に委ねるとピーク電源に十分な利益が与えられず、石油火力が市場から撤退し、市場全体の電力供給能力はピーク時間帯の基準需要量を満たさないこと、それに伴いピーク時間帯で価格が上昇することを示した。続いて、市場原理により導出される電源構成と発電システム総コストを最小化する電源構成との比較を行った。競争原理により導出される電源構成は振動し、割合は一定にならないことを示すと共に、その振動の動きから原子力と石炭火力は競合の関係にあることを示した。

リアルタイム市場がある場合、リアルタイム市場で利益を出すことが可能になった石油火力が大きくシェアを伸ばし、市場全体の電力供給能力はピーク時間帯の基準需要量を満たすことを示した。

第4章 政策提言

本章では、電力自由化の方法と導入するシステムについて政策提言を行う。第 1 章では、電力会社の地域独占の問題を指摘し、電力自由化の必要性を訴える根拠とした。第 2 章では、各国の電力市場・システム、その問題点を認識し、日本における電力自由化、導入するシステムについて検討した。第 3 章では、マルチエージェントモデルによる分析で、リアルタイム市場導入の意義を示した。

これらを踏まえ、本論文で行う政策提言は以下の 3 つである。

I：発送電分離

II：リアルタイム市場の導入

III：供給力確保の義務、容量市場の設置

第1節 発送電分離

本節では、発送電分離の方法について政策提言を行う。具体的には、(1)送電部門、配電部門の分離、(2)発電会社の分割、(3)系統運用機関の設置である。

以下ではそれぞれの詳細を説明していく。

① 送電部門、配電部門の分離

第 1 章で述べたように、一つの電力会社が発電部門と送電部門の両事業を行っている現在の地域独占状態では、競争によるコスト削減、サービスの向上は望めない。そこで提案するのが、発電部門と送電部門、配電部門とを分離させる発送電分離である。現在それぞれの地域を独占している電力会社から、送電・配電部門を分離し、それぞれ送電会社と配電会社として新設される。こうすることで、どの事業者にとっても中立性、公平性が確保される。

送電会社は、市場監視の徹底・継続とともに、特定の市場参加者の意向が反映されないような所有・運営形態となる。現在の電力系統利用協議会や日本卸電力取引所（JEPX）では、参加者の発電・入札状況の詳細を全く外部に開示しないになっている。これを、少なくとも一定期間を過ぎた後に第三者がこれを検証できる様に、完全な情報開示をさせる。こうすることで、新規参入しようとする事業者の掘り起こしを通じて市場参加者の裾野を広げ、健全な市場競争を促すことができる。

配電部門に関しては、よりローカルな運用が可能であり、現在の電力会社が行っている地域独占をより小型化したものとしたと考えれば、関連する変電機能も含めて小さい単位の地域に分割し、それぞれを地域独占事業者として配電事業を行う。例えば、東日本大震災後 1 か月間に行われた計画停電では、東京電力供給区域を 5 グループに分け、後日さらに各グループを細分化して合計 25 グループに分けて輪番停電を行った。この経験から、この程度の大きさと数の供給区域を区切って配電部門を分割することの可能性は十分に見込まれる。供給区域を小さくすることは、事業規模と供給地域の大きさという点で近年注目を集めているスマート・グリッドとの親和性が高いという副次的効果も期待できる。

② 発電会社の分割

送電・配電部門と分離された電力会社は、発電設備を所有・運営する発電会社として存続する。そして、この存続する発電会社は、独占力・市場支配力行使を防ぐ観点から、全部の発電設備ではなく、一部の発電設備を所有するのみにとどめる。そのため、発電会社を、火力発電数社、原子力発電 1 社といったように複数に分割する。

③ 系統運用機関の設置

送電分離に伴い、送電網のシステムを運用する独立した系統運用機関(Independent System Operator, : ISO)を設立する。ISO は系統の運用及び計画の機能を持ち、電力自由化を行ったほとんどの国で ISO が設立、または同等の機能を持った機関が存在している。

ISO は、給電指令所を含めた送電システムの運用、需給調整、リアルタイム市場の運営を行う。また、需要の瞬時的変化に追従し周波数を一定に維持する周波数維持サービス（レギュレーションサービス）、電源脱落などの事故時に供給力を調整する瞬動予備力サービスや電圧変動を吸収するため無効電力制御を行う電圧維持サービスなど電力系統の安定度、信頼度を確保するための系統運用制御としてのアンシラリーサービスの管理、運営も ISO が行う。

第2節 リアルタイム市場の導入

第 3 章の分析より、自由化された市場においてリアルタイム市場がなければピーク電源に十分な利益が与えられず、石油火力が市場から撤退し、市場全体の電力供給能力がピーク時間帯の基準需要量を満たさないことが分かった。そこで、自由化した日本の電力市場にリアルタイム市場を導入する。電力市場のシステムとしては、より競争原理を働かせることを目的とし、すべての事業者が卸電力取引所で取引を行う強制プール型のシステムを導入する。しかし第 2 章でも述べた通り、相対取引を認めない強制プール型では、大規模事業者による市場支配力行使などの問題が起こる可能性がある。そこで、特定の事業者による市場支配力の行使が認められ、問題視された場合は、相対取引を認める任意プール型のシステムに移行することも考えられる。

第3節 供給力確保の義務、容量市場の設置

安定供給の為に十分な供給力を確保するため、供給事業者に供給力確保を義務付ける。そして、市場参加者間で容量義務を取引できるよう、容量市場を導入する。需要に応じて ISO が技術的な観点から定めた予備率から義務付け、確保できない場合はペナルティを課す。自ら保有する発電設備だけではその義務を達成することができない事業者は、容量義務を超える発電設備を保有する事業者と容量クレジットを取引できる。容量クレジットは確保すべき容量が市場参加者間で交換可能であり、1 MW の容量はどの設備の容量で代替しても同じであると認めるものである。これによって容量義務の過不足を調整できるようになる。

○期待できる効果

これらの政策を実行することで、以下のような効果が期待される。

- ・送電部門を分離することで、送電網を運営する会社は新規参入を阻むインセンティブはなくなる。そして発電事業に新規参入がしやすくなり、そこに競争原理を働かせ、電気料金を低下させ

る、サービスを向上させるといった効果が期待できる。また、競争によるイノベーションも期待できる。

- ・消費者が発電会社を選ぶことが可能になる。つまり、より電気料金の低い発電会社を選ぶことや、電気料金は高くても、太陽光発電や風力発電などの自然エネルギー発電を行っている発電会社を選ぶことができるようになる。
- ・大規模集中型電源から小規模分散型電源への移行を促進する。これにより、自然エネルギー発電導入の促進、災害時などの大規模停電が発生するリスクの軽減が期待される。
- ・いままでは垂直統合された電力会社内部で隠れていた様々な価格が、市場で取り扱われるようになり、電力市場の透明化が実現できる。

○懸念される問題

電力自由化、発送電分離によって懸念される問題に、安定供給が損なわれる、目的とは反対に電気料金が上がる、というものがある。その例としてよく挙げられるのがカリフォルニアの電力危機だが、第 2 章でも述べたように、規制された小売価格などの制度上の問題から引き起こされたものであり、自由化そのものが安定供給を脅かすという事ではない。電気料金についても、イギリスなど自由化を進めた一部の国で電気料金が上昇した事実があるが、これは天然ガスなどの資源価格の高騰によるものと考えられる。また、アメリカにおいては自由化した州の電気料金は、平均で約 14 セント/kWh(2008 年)で、全米平均約 11 セント/kWh(2008 年)を上回っている。一方、電力自由化を実施していない州の電気料金は平均約 9.5 セント/kWh(2008 年)で、全米平均よりも低い状況になっている。しかし、そこには逆の因果関係も考えられる。すなわち、自由化州では経済活動が活発であり、それ故に電気料金が実際に高く、その高さに対する不満も強かった。したがって、自由化が積極的に推進されたが、非自由化州の電気料金を下回るほどには電気料金が低下しなかっただけという可能性が考えられる。現在、日本の電力会社は、発電設備と流通設備の一体的形成には垂直統合が必要であり、発送電分離をすると発電部門と送配電部門の間で調整する取引コストが増すと主張し、発送電分離に消極的である。しかし、電力会社の発電部門と送配電部門は、それぞれの規模が巨大で、技術特性や意思決定機能の点からも縦割り組織として分化しており、実質的には各々が独立した別会社であるとも見なしうる。さらに、特定規模電気事業者（PPS）の供給電力を託送する際に、その PPS の営業情報を利用して電力会社が不公正な取引を行うことがないように、送配電部門とそれ以外の部門の間で情報共有できないことになっている。このように、それぞれの部門が既に巨大で分断されつつも連携して活動していることを踏まえると、現在の垂直統合型の形態が両部門の協調に関する取引コストを格段に下げているとは考えにくい。

以上のことから、いくつかの懸念される問題はあるが、日本において電力自由化を棄却する決定的な根拠はないと考える。

以上のような政策提言を行うことで、電力の安定供給を損なうことなく、電力市場に競争原理を導入することができる考えた。

先行論文・参考文献・データ出典

《先行論文》

- ・八田達夫(2004)「電力競争市場の基本構造」RIETI Discussion Paper Series
- ・稲垣憲治(2005)「マルチエージェントモデルを用いた自由化された市場における発電事業者の行動分析」東京大学大学院新領域創成科学研究科基盤科学研究系先端エネルギー工学専攻 2004 年度修士論文

《参考文献》

- ・杉本二郎(2002)「英国：電力自由化、規制改革と企業戦略」IEEJ
- ・山口聡(2007)「電力自由化の成果と課題—欧米と日本の比較—」国立国会図書館 ISSUE BRIEF NUMBER 595
- ・細江宣裕、田中誠(2011)「東電賠償原資調達スキームと必然的アンバンドリング」GRIPS Discussion Paper 11-02
- ・服部徹(2008)「電力取引と供給力の確保—米国北東部における容量市場導入の経緯と最新動向—」The Operation Research Society of Japan
- ・小笠原潤一、十市勉「電力自由化を巡る海外の現状と今後の日本での展開」
http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/bul/Vol.46_08_389.pdf
- ・電気事業分科会制度改革 WG(2007)「電力市場における競争環境整備に係る検討結果について」
- ・富田輝博(2004)「ドイツにおけるエネルギー政策の転換と電力メジャーの経営戦略」立教大学情報学部『情報研究』第 30 号
- ・富田輝博(2006)「電力自由化の経済効果」立教大学大学院情報学研究科 IT News Letter Vol.2, No.3
- ・後藤美香、丸山真弘(2008)「欧州における電力自由化動向—制度改革の現状と英国 BETTA の取引動向—」電力中央研究所報告
- ・株式会社テクノリサーチ研究所(2011)「電気料金の内外比較に関する定量分析」
- ・青木昌彦(2011)「原発事故を超えて 危機に強い産業組織築け」、『日本経済新聞』, 8 月 4 日
- ・小出裕章(2011)『原発のウソ』扶桑社新書
- ・三菱電機 HP 電力自由化時代の電力システムとエネルギー有効活用
<http://www.mitsubishielectric.co.jp/shoene/kouza/vol04/index01.html>
- ・伊多波良雄、塩津ゆりか、原田禎夫(2009)『現代社会の財政学』晃洋書房
- ・原子力教育を考える会「よくわかる原子力」
<http://www.nuketext.org/index.html>
- ・矢島正之「カリフォルニア州の電力危機と PJM の概要」
<http://www.enecho.meti.go.jp/denkihp/bunkakai/3rd/3rdshiryou4sankoushiryou.PDF>

《データ出典》

- ・資源エネルギー庁 HP : <http://www.enecho.meti.go.jp/> 2011 年 9 月 28 日
- ・資源エネルギー庁 HP : <http://www.enecho.meti.go.jp/> 2011 年 9 月 28 日
- ・社会事情データ図録 : <http://www2.ttcn.ne.jp/honkawa/index.htm> 12011 年 9 月 12 日
- ・東京電力 HP : <http://www.tepco.co.jp/index-j.html> 2011 年 10 月 15 日