

負荷遮断料金によるデマンドサイド・マネジメント

Interruptible/Curtailable Rate as an Option of DSM

松 川 勇*

Isamu Matsukawa

1. 負荷遮断料金の目的と現状

負荷遮断料金は、需要家に負荷調整（遮断）を要請するのに対して料金割引を行う制度である¹⁾。電気事業は、安定供給を実現するため、需要に見合った供給能力の確保に努めてきた。しかし、需要には不確定な要素が多く、予測を上回る事態も起こりうる。また、発電設備や系統において事故が発生すると、局所的に負荷を遮断しなければならぬケースが起こる。負荷調整を行わないにこしたことはないが、電力供給はわずかな能力不足でシステム全体がダウンしてしまうため一瞬たりとも供給不足は許されず、常に調整可能な負荷を確保しておかなければならない。

近年都市部を中心に電力の需給逼迫が深刻化し、ピーク抑制策としての負荷遮断料金の重要性も増している。大規模電源の開発が今後ますます困難になる事態が予想されるため、電力融通の強化や小規模・分散型電源の開発等供給サイドの対策に加えて、需要家の協力を得ながら負荷形態を望ましい方向に誘導するデマンドサイド・マネジメントの展開も不可欠である。負荷遮断料金は、デマンドサイド・マネジメントの手法の1つであり、季時別料金と同様に料金を通じた間接的な負荷制御の手法である。

電気事業は、負荷遮断料金として随時調整契約を大口需要家に選択制で提供してきた。随時調整契約は、事前に通告する時間の長さに応じて、①通告調整（1日前）、②緊急時調整（1～3時間前）、③瞬時調整（通告後即時遮断もしくは通告無しのリレーによる遮断）、の3つに区分されており、通告が直前になるほど高い割引率が適用されている。契約期間は通常1年であるが、瞬時調整契約については5年以上と定めている会社も多い。また、その適用は他の需給調整契

によってはさらに契約電力2000kW以上等の制限が加えられる。調整の対象となる負荷についても、契約電力の20%以上や1000kW以上などの制約がある。遮断回数や時間については、通告調整の場合年間20～30回および1回につき3～4時間をそれぞれ上限とする例が多い。緊急時調整では、年10～40回および1回につき3～6時間が多く、また、瞬時調整では遮断回数や時間を無制限とする電力会社もある。

随時調整契約は基本・従量の2部料金制を採用しており、また、調整された負荷に応じて料金総額から割り引かれる。負荷調整に関する予約と実施のそれぞれについて料金割引が適用され、予約分（予約料）については契約した調整電力量(kW)と予約回数をもとに、また、実施した分（実施料）については調整した回数と量をもとにそれぞれ算定する。なお、調整回数が予約を超えた場合には追加割引がある。瞬時調整契約については、負荷調整を拒否した場合には割引金額の2倍の違約金が課されるケースもある。

負荷遮断料金の対象は、産業の大口需要家に限定されていた。しかし、需給逼迫を背景に制度の拡充が図られている。たとえば、東京電力は、1992年から緊急時調整契約の対象に500kW以上の契約電力の業務用需要家を新たに加えた。一般家庭には、負荷遮断料金制度は適用されていない。ただし、鹿児島市において住宅および小規模店舗を対象とした空調や給湯の直接負荷制御（direct load control）の実験が行われており、需要家との双方向通信システムによる直接負荷制御の導入可能性が検討されている²⁾。

2. 資源配分効率を高める負荷遮断料金

負荷遮断料金は、資源配分効率の観点から望ましい性質をもっている^{3),4)}。資源配分効率は、消費者の利益と生産者の利潤の和（社会厚生）が大きいほど高い。資源配分効率の向上は、電気料金規制の主な目的の1つである⁵⁾。負荷遮断料金を適切に設計し運用すれば、

*財団法人電力中央研究所 経済社会研究所
エネルギーシステムグループ主査研究員
〒100 東京都千代田区大手町1-6-1

資源配分効率を高めることができる。

供給が確保される確率を電力サービスの品質と考えると、品質を重視する消費者は、たとえ料金は高くても信頼度の高いサービスを要求するであろう。半導体メーカーにとっては、1分の停電でも多額の損害になる。逆に、電力品質を重視しない消費者には、供給信頼度が著しく低下しない限り料金は安い方が好まれる。同質のサービスを供給するよりも、個々の消費者のニーズに応じて多様なメニューを提供する方が資源配分効率を高めることになる。

もちろん、電力の品質が高くかつ料金水準が低いのが理想である。しかし、設備のコスト負担は増加の一途をたどっており、1980年度には総費用のうち設備関係費は電力9社計で35%であったが、1991年度には45%を占めるに至っている。現在の水準以上に供給信頼度を向上させるには、将来多額の投資が必要となり、料金負担の増加が予想される。すべての需要家に高品質サービスを提供して高額な料金負担を強いるよりも、負荷遮断料金を拡充して消費者のニーズに沿った料金メニューを提供する方が、消費者の便益を高めるだけでなく電力会社にもピーク電源への投資負担が軽減できるメリットがある。

多額の投資を行っても供給力の増強が需要増加に追いつかなければ、最悪の場合消費者に電気を割り当てる必要が生じる。供給不足が深刻化しているアメリカの一部地域は、需給逼迫時にすべての消費者の負荷をできる限り同じ時間・回数で遮断する「輪番停電 (rotating outage)」を実施している。輪番停電は各消費者への供給確率を均一にして公平さを確保してい

るように見えるが、電力サービスから受ける価値が消費者の間で著しく異なる状況では、すべての消費者に同等に停電を強いるのを公平と呼ぶには問題がある。

負荷遮断料金と一般契約のメニューを選択制で提供することが、均一料金のもとで輪番停電を強いるのに比べて優れているのは、すべての消費者の便益が向上する点にある⁶⁾。この点を、サービス価値 (限界効用) に応じて需要家を6つのグループに区分し、各グループの限界効用が年間を通じて一定で20円/kWh から60円/kWh に分布するケースを例にして解説する (表1)。負荷遮断料金には遮断回数や時間に上限があるので、最低限保証する供給信頼度水準 (表中の「最低供給信頼度」) を予め設定した (ただし、これらの数値は例示のために想定したものであり、現実の供給信頼度や随時調整契約に明記された遮断時間や回数の上限値をはるかに超えている)。需要は時期によって変動するが、表1では年間の平均値 (百万kW) のみを掲げている。一般契約と負荷遮断契約の料金は、それぞれの契約における供給信頼度を1単位向上するのに必要な追加コストと等しくなる場合に社会厚生上最適となるので、この追加コストをベースとして算定することができる。なお、電源容量については長期的な状況を想定し、料金や消費者のメニュー選択と同時に社会厚生を最大化する水準に決定されるものとして算定した。

すべての消費者の供給確率 (年間供給時間) を均一としたケース (輪番停電) と比較するために、電気事業の収入は変わらないものとして (収入中立) 料金メニューを算定する。このとき、負荷遮断契約では最低

表1 負荷遮断料金メニュー例と消費者の便益

	料 金 (円/kWh)		最低供給信頼度 (年間供給時間)		実際の供給信頼度 (年間供給時間)		
	1	2	3	4	5	6	合 計
負荷遮断契約	5.0		5,256		5,519		
一般契約	15.7		8,147		8,191		
均一料金	11.6			7,096		
需要種	1	2	3	4	5	6	合 計
限界効用 (円/kWh)	32	20	54	40	50	60	
平均需要 (百万kW)	2.1	17.8	2.2	15.3	17.8	8.8	64.0
停電コスト+料金 (10億円/年)							
遮断料金あり	216	1,645	283	2,134	2,543	1,410	8,231
均一料金のみ	271	2,070	358	2,309	2,998	1,620	9,626
費用削減 (10億円/年)	55	425	75	175	455	210	1,395

出典：松川，斎藤 [1992] より作成

限保証する供給信頼度を一般契約の2/3に設定すると料金は1/3程度になる(ただし、この数値例では発電費用のみをベースとして料金計算をしているので、実際よりも料金の水準は低い)。これに対して、均一料金のもとで輪番停電を実施するケースでは、料金は11.6円/kWhの水準になる。この数値例では、一部の需要種について投資の限界費用よりも電気サービスから得る限界効用が低いため、社会厚生観点で最適な水準に電源容量を設定した場合にある程度の負荷遮断が実施されることになる。負荷遮断料金と一般契約を合わせたケースでは、供給信頼度は最低水準をそれぞれ若干上回る結果となった(表1の「実際の供給信頼度」)。また、輪番停電(均一料金)のケースにおける年間供給時間は消費者間で同一であると仮定されているが、これは負荷遮断契約に比べて大きく一般契約よりも小さい数値となった。

停電で1kWh需要が減ると消費者にとってはサービス価値(効用)から料金支払を除いた分が損失になるので、この額を停電コストと定義する。停電コストと料金支払の2つを6需要種で合計した数値をみると、負荷遮断料金と一般契約を併せて適用するケースでは、均一料金で輪番停電を行うケースよりも15%ほど減少しており、負荷遮断料金の適用による社会厚生は増加は明白である。また、この数値例では消費者が一般契約か遮断契約のどちらか期待便益(最低供給信頼度と効用の積から料金支出を差し引いた数値)の高い方を選択すると仮定して、消費者のメニュー選択を分析しているが、6需要種すべてについて輪番停電よりも費用(停電コスト+料金)が1~2割削減されている。どの消費者にとっても、均一料金で輪番停電を行うケースに比べて負荷遮断料金と一般契約を併せたメニューの方が有利であることがわかる。

3. 負荷遮断料金の最適な運用

負荷遮断料金によって電気事業・需要家双方の便益を向上させるためには、メニュー設計とともに運用が鍵を握る。電力会社は、遮断の有無を決定する際に、翌日のピーク負荷に関する予測を参考にする。通常需要家に対する負荷遮断の要請は、供給力に対して需要の予測値が一定の割合を越えた場合に行われる。しかし、予測には誤差がつきものであるから需要を過大評価した場合には余計に遮断してしまうことになる。また、遮断回数には上限があるから、遮断要請が契約期間の前半に集中すると、後半に需給逼迫が深刻化した

場合に対応できなくなる。

予測の誤差や遮断回数の上限を考慮した上で、需給逼迫が厳しい日に集中して負荷遮断を行うように、遮断の有無の基準(threshold)を設定することが望ましい。発電プラントはメリット・オーダーにしたがって限界燃料費用の安いものから運用されるから、供給能力を一定とすると需要が高いほど限界費用も増加する。したがって、限界費用が高い日に負荷遮断を集中すれば燃料コスト節約のメリットも拡大する。

Caves & Herrigesは、確率的動的計画法を用いて負荷遮断の基準を効率的に設定するモデルを開発した⁷⁾。効率的な負荷遮断基準とは、燃料費用と負荷調整費用の和を最小化するものであり、それは、契約の残り期間、遮断可能な回数、需要予測に関する不確実性の関数で表現される。供給能力の一定割合に需要の予測値が達した場合に負荷遮断を実施する方法に比べて、燃料費用および負荷調整費用を抑えることができる。アメリカ北東部のNiagara Mohawk Power Corporation (NMPC)社の需要予測および費用想定に関して1989年12月の平日20日間の実データをもとにして計算したところ、確率的動的計画法を用いて求めた基準をベースに負荷遮断を行う方が、供給力の一定割合に需要が達した場合に遮断するよりも、費用が1~2割少なく済む点が指摘された。Caves & Herrigesの手法は、現在NMPC社で使われている。また、社会厚生を最大化するように負荷遮断料金のメニューと遮断の運用基準を同時に決定するモデルも開発されている⁸⁾。

Oren & Smithは、需給逼迫が厳しい日に的確に負荷遮断を実施できるように、遮断の有無を判断する基準を決めるモデルを開発した⁹⁾。負荷遮断の基準Hは、遮断可能な負荷量、年間最大負荷予測の誤差の分布、翌日最大負荷予測の誤差の分布等をパラメータとして設定した場合、需給逼迫の厳しい日に負荷遮断が実施される確率を最大化する問題の解として次式で与えられる。

$$H = \mu - L - z(\alpha)\sigma$$

ただし、Lは遮断可能量を、また、 μ は年間最大負荷の期待値をそれぞれ示す。 α は、需給が逼迫し負荷遮断が必要な日であるにもかかわらず、需要が過小に予測され遮断の必要がない、と判断される確率を表す。

$z(\alpha)$ は、翌日最大負荷の予測誤差が正規分布にしたがうものと仮定した場合、予測誤差が z 以下になる確率が $1-\alpha$ に一致する場合の数値 z に相当する。 σ は、

年間最大負荷の予測誤差と翌日最大負荷の予測誤差の結合正規分布における標準偏差を示す。これらのパラメータを設定すれば、対応するHが計算できる。計算は、スプレッド・シートを用いて簡単にできるように工夫されており、アメリカ北東部のNew England Electric Service(NEES)社で実際に用いられている。このプログラムから算定されたHの数値をもとに負荷遮断を実施することによって、NEES社には1989年1年間において少なくともピーク削減による780万ドルのコスト削減のメリットがあるものと見積もられている。

4. 需要家の料金メニュー選択と負荷調整

負荷遮断料金は、メニュー設計および運用を適切に行うことによって、需要家の合理的な選択行動を通じて電気事業と需要家双方の便益を高める効果を持つ。しかし、需要家がニーズに適合したメニューを選択するためには、合理的な判断を下すのに十分な情報が必要である。停電を経験することが希であり負荷を遮断された場合の対応が不十分な状況では、どの料金メニューが最適であるかを判断するのは容易でない。

停電対策として、非常用電源を設置する需要家がいる。停電時に非常用電源が作動しなかったケースがしばしば報告されるが、大半は軽故障、つまりスイッチの操作を誤る等の初歩的なミスが原因である。このように、負荷が遮断された状況に対する需要家の認識と対応は、必ずしも十分ではない。

負荷遮断料金の契約では、遮断可能な負荷量が明記される。需要家は、遮断可能な負荷量を決める際に、使用する電力のうちどの部分を遮断すべきかを予め決めておく必要がある。百貨店が負荷を調整する場合に、客のいる場所まで照明や冷房負荷を遮断するわけにはいかないだろう。

負荷調整のノウハウを、ビジネスとして販売する会社もある。たとえば、デマンド料金に加入したビルに対して、優先度の低い場所の空調負荷を遮断してピーク削減を行い、基本料金を減らす等のコンサルティング活動を行っている。不況が長引くなか、エネルギー・コストの削減を望む需要家の関心を呼んでいる¹⁰⁾。

随時調整契約が業務需要家に拡大されたのを契機に、電力会社は需要家に負荷調整の予行演習をってもらうプログラムを試みている。このようなプログラムを積極的にすすめ、負荷遮断に対する需要家の認識を高めて円滑に対応してもらうことが、負荷遮断料金を効果的に運用するために不可欠であろう。

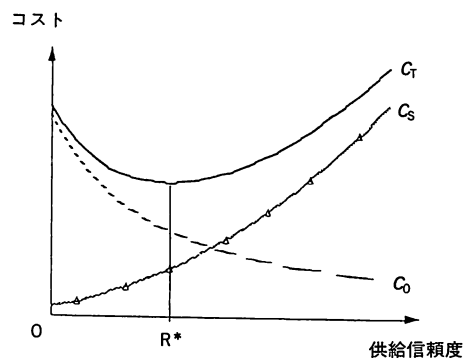
5. 統合資源計画への展開

供給信頼度の向上に必要な投資が事業資産に組入れられることにより、電気事業は安定供給に務め、需要家もその便益を享受してきたが、他方で相応のコストも負担してきた。今後は用地不足がますます深刻化し、また、地元住民との合意形成がますます困難になる事態が予想されるので、需要の伸びに見合った電源や送電設備を確保できる保証はない。

図-1は、供給信頼度と費用および便益に関して今直面している状況を表した概念図である。横軸には、1需要家あたり停電時間などの供給信頼度指標が、また、縦軸には信頼度水準に対応した投資費用がそれぞれ示されている。供給信頼度を高い水準に引き上げるほどコストが増大するが、これは右上がりの曲線Csで描かれている。他方、供給信頼度向上による消費者の便益増加にはしばしば停電コストの削減が指標に用いられるので、ここでは停電コストを縦軸にとる。供給信頼度が低い水準の時には停電コストの減少もめざましいが、高い信頼度の場合には停電も非常に少なく、信頼度の水準を少々引き上げて期待される停電コストの減少はわずかであろう。図の右下がりの停電コスト曲線Coは、このような状況を示している。

それでは、資源配分効率の点で望ましいのはどの状態であろうか。投資費用と停電コストの合計は図-1の曲線CTで示されるが、資源配分効率上最適な状態はCTが最小となる場合である。これは、投資費用の増分と停電コストの減少が等しくなる点R*にほかならない。投資を最も効率的に行うには、信頼度を1単位上げた場合に必要なる費用と消費者の便益が一致するまで設備を拡充すればよいことになる¹¹⁾。

供給設備への投資は質・量両面にわたるが、なかで



出典：Burns & Gross [1990], Fig. 1.

図-1 量適設備水準

も電源への投資は供給の根幹をなすものである。資源配分効率上最適な電源容量について、Burns & Grossは具体的な投資決定の指標を提案している¹²⁾。まず投資の限界費用については、供給予備力として追加する設備の費用を指標としている。このデータについては入手が容易であるが、問題は供給信頼度の1単位向上で消費者が得る便益(限界効用)の計測である。限界効用の計測は、まず、説明変数として供給予備力を用いた「調整負荷関数」の推定から始める。予備力が小さいほど、負荷調整に対する緊急さの度合いが増す。緊急さの度合いに応じて消費者に要請する負荷調整の内容が異なるため、負荷調整に関する対応措置ごとに調整された負荷量を推計し、これを予備力を説明変数とする関数として求めることができる。次に、負荷調整によって消費者が負担した停電コストを別途推計する。最後に、供給予備力の1単位の変化にともなう調整負荷と停電コストの変化を掛け合わせて限界効用を算定する。

投資の限界費用と限界効用の均等化条件をベースとした設備水準の決定は、消費者が供給信頼度の向上で得る便益を考慮した点でサービス価値(value of service)にもとづく方式と呼ばれる。料金水準はあくまで原価主義の原則に沿って決めるが、投資決定では消費者の享受する電気サービスの価値を反映させるのである。したがって、料金設定において明確さや客観性を保持したうえで、できる限り設備投資面で資源配分効率を高めることになる。

しかし、サービス価値にもとづく方式を実際に適用するには課題も多い。供給信頼度の向上による消費者の便益の指標に停電コストを用いるとしても、停電コストの具体的な内容を明らかにして計測するのは容易でない。停電によって消費者が被る損失は、直接・間接的なもの、金銭的なものとそうでないもの等実にさまざまな項目が考えられる。これらの損失は電気の使い方によっても著しく異なるし、回数、時間、時期、事前の通告時間等の要因にも左右される¹³⁾。

停電コストを電力損失の機会費用と定義するならば、非常用電源の選択行動を分析して停電コストを計測することが可能である。非常用電源の保有は停電の回避を通じて電力品質を高めるが、設備などに多額のコストが掛かる。需要家が合理的に電力品質とコストの組み合わせを選択するものと仮定すれば、設置された非常用電源の限界費用は電力損失の限界費用に一致する¹⁴⁾。業種、規模、電力消費量など、設置コストおよ

び電力品質以外の要因も非常用電源の選択に影響を及ぼすため、これらの要因も考慮して需要家の非常用電源に関する選択を分析すれば、電力損失の機会費用としての停電コストを計測することが可能である。大型コンピュータ利用者を対象にアンケート調査を行い、多項選択ロジット・モデルを用いて分析した例では、非常用電源の普及率が5～8割と高い金融・通信業の停電コストは、kWあたり年間2～3万円に達することが指摘されている¹⁵⁾。

負荷遮断料金は、デマンドサイド・マネジメントを展開するうえで有力なオプションの1つである。小規模・分散型電源、電力融通、自家発電からの余剰電力購入等、供給サイドの対策に加えて、負荷遮断料金や季特別料金、直接負荷制御等の需要サイドのオプションを有効に活用すべきである。今後は、需給両面の対策を比較評価し、最適な組み合わせを追求する統合資源計画(integrated resource planning)の検討が重要課題となろう。

参考文献

- 1) 植草益・松川勇[1993].「料金規制の理論と実際」、『講座 公的規制と産業第1巻電力』, 第5章, NTT出版(刊行予定).
- 2) 柿本仁司[1992].「負荷集中制御実証試験」、『動力』213, 26-37.
- 3) Chao, H. P., and R. Wilson[1987]. "Priority Service : Pricing, Investment, and Market Organization," *American Economic Review*, 75, 899-916.
- 4) 松川勇[1990].「プライオリティ・サービス: 電力における品質差別化の料金理論の概要」, 電力中央研究所報告 Y90004.
- 5) 植草益[1991].『公的規制の経済学』, 筑摩書房.
- 6) 松川勇・斎藤雄志[1992].「新しいエネルギーサービスとその影響 プライオリティ・サービスとその料金」, 第8回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集, 7-12.
- 7) Caves, D. W. and J. A. Herriges[1992]. "Optimal Dispatch of Interruptible and Curtailable Service Options," *Operations Research* 40, 104-112.
- 8) 米国電力研究所[1992]. Designing an Integrated Menu of Electric Service Options, EPRI Report TR100523.
- 9) Oren, S. and S. Smith[1992]. "Design and Management of Curtailable Electricity Service to Reduce Annual Peaks," *Operations Research* 40, 213-228.
- 10) 日経産業新聞[1993]. 5月12日.
- 11) Sanghvi, A. P.[1983]. "Optimal Electricity Supply Reliability Using Customer Shortage Costs," *Energy Economics*, 5, 129-136.
- 12) Burns, S. and G. Gross[1990]. "Value of Service Reliability," *IEEE Transactions on Power Systems*, 5, 825-

834.

- 13) 米国電力研究所[1989]. *Customer Demand for Service Reliability*, EPRI Report P-6510.
- 14) Bental, B. and S. Ravid[1982]. "A Simple Method for Evaluating the Marginal Cost of Unsupplied Electric-

city," *Bell Journal of Economics*, 13, 249-253.

- 15) Matsukawa, I and Y. Fujii[1993]. "Customer Preferences for Reliable Power Supply : Using Data on Actual Choice of Back-Up Equipment," *Review of Economics and Statistics*, (forthcoming).

後援行事ごあんない

「第3回地球環境産業技術動向調査報告会」

— 地球環境関連技術シーズ発掘のために —

1. 主催 財団法人 地球環境産業技術研究機構, 新エネルギー・産業技術総合開発機構
2. 後援 関東通商産業局, 近畿通商産業局, (株)日本機械工業連合会, (株)日本化学会, (株)化学工学会, (株)日本農芸化学会, エネルギー・資源学会, (株)関西経済連合会
3. 日時・場所
 - ①京都…国際高等研究所 平成5年11月25日(木) 13:00~17:30
(京都府相楽郡木津町木津川台9-3 TEL 07747-3-4000)
 - ②東京…日本薬学会 長井記念ホール 平成6年1月17日(月) 13:00~17:30
(東京都渋谷区渋谷2-12-15 TEL 03-3406-3326)
(※10月26日(火)に仙台にて本年度第1回が開催されました。)
4. 定員 京都…150名 東京…220名
5. 申込締切 京都…11月12日(金) 必着 東京…1月4日(火) 必着
6. 参加費 無料(但し, 希望者には資料集を5,000円で頒布します。)

〔報告内容〕

- | | |
|--|---|
| a. 温室効果ガスの化学的低減策とその評価に関する調査 | d. 大量発生CO ₂ の分離・処理技術に関する調査 |
| b. 太陽エネルギー利用によるCO ₂ の化学的固定化技術に関する調査 | e. 産業分野におけるCO ₂ 対策技術評価法の調査 |
| c. CO ₂ 排出量をベースとした既存の産業技術の評価調査 | f. 自然エネルギーによるCO ₂ グローバルリサイクルシステムの可能性調査 |
| | g. 生物反応素子によるエネルギー変換技術に関する調査 |

■ 問い合わせ先

財団法人 地球環境産業技術研究機構

〒619-02 京都府相楽郡木津町木津川台9-2

TEL 07747-5-2301 FAX 07747-5-2314

担当: 企画調査部 表, 山本, 大江