規制緩和後の電力系統における 分権型電力供給システムに関する研究

学生員 上野 芙美子 (北海道大学) 正員 北 裕 幸 (北海道大学)
正員 田 中 英 一 (北海道大学) 正員 長谷川 淳 (北海道大学)

Study on Distributed Autonomous Supply System in the Deregulation Power System
Fumiko Ueno, Student Member, Hiroyuki Kita, Member, Eiichi Tanaka, Member, Jun Hasegawa, Member
(Hokkaido University)

As the world wide deregulation in the electric power industry progresses, the basic structures of future power systems should change drastically. Particularly, in power distribution systems which are the closest to the demand side in a power system, higher flexibility and higher reliability are necessary. Flexible, Reliable and Intelligent Electric eNergy Delivery System (called "FRIENDS") which has been proposed by the authors is a new concept for a future power distribution system. The most important idea of FRIENDS is to install the new facilities called *Quality Control Center* (QCC) between distribution substation and customers. QCC has dispersed generators, dispersed energy storage systems and many power electronics devices. By controlling those facilities appropriately, various purposes of FRIENDS can be achieved.

In Japan, power supply reliability is kept constant in high level, however, it will be difficult to keep the reliability level because Independent Power Producers (IPP) which have uncertainty will enter more and more into the electrical market if the deregulation makes progress and the market grows. If we want to keep the same level of reliability in the present system, we will need "useless" investment for expansion of equipment though some customers do not require the high reliability level. In other words, the present system cannot adopt to the deregulation. This paper proposes a new power supply system which has some advantages with in deregulation considering FRIENDS. In this system, a power system is divided into two parts and each part manages the reliability and the power rate independently. Further, this paper proposes two methods for evaluation of the system. First, by using the concept of value of service, we propose the method which decides the quantity of facilities in QCC and indicate that this system can allow a lower level of reliability. Second, by modeling a relation between power rate and load, we consider the construction of the proposed distribution system.

キーワード：分権型電力供給システム，供給信頼度，FRIENDS，多品質電力供給

keywords: Distributed Autonomous Power Supply System, Supply Reliability, FRIENDS, Customized Power Quality Service

1. まえがき

規制緩和後の電力システムにおいては、(1)多種多様な品質を持った電力の注入、(2)電気事業者における系統制御の困難さ、(3)系統計画・運用における不確定性の増大、などの理由から、電力システムの信頼度は相対的に低下することが予想される。このため、信頼度を従前と同じレベルに維持しようとする、設備増強・拡充のためのコストが余分に必要となり、規制緩和によるコスト削減の効果が失われることになる。

ところで、現在の電力システムにおける信頼度レベルはシステム全体で一様な値として決定されている。しかしながら、需要家の信頼度に対する要求は本来多様であり、全需要家に対し同じ信頼度レベルで供給するという前提の下で決定される信頼度は、個々の需要家から見ると必ずしも

最適なレベルとはならない。従って上記のような設備増強・拡充を行っても、現実には各需要家の信頼度ニーズが十分に満たされておらず、ある意味で「過剰な投資」をしていることも考えられる。本論文では、規制緩和後における電力システムの信頼度低下に対し、経済性を損わずに適切に対処することが可能な新しい電力供給システムを提案する。本システムは、全体の電力システムを図1のように「発電・送電」部分からなる「上位系統」と、複数の「配電・供給」部分からなる「下位系統」とに分割し、それぞれ独立に信頼度・電気料金を管理するいわば分権型の電力供給システムである。すなわち、上位系統では従来と同様に全体として一様な信頼度を設定する(グローバル信頼度と呼ぶ)こととし、規制緩和後においては比較的低い信頼度の電力の流通を許容する。一方、いくつかの地域に分割された下位系統では、上位系統から供給されるある信頼度レ

図1. 提案する分権型電力供給システムの概念図
Fig.1. Image of the Distributed Autonomous Supply System.

ベルの電力を各地域の信頼度ニーズに応じて、例えば著者がすでに提案している電力改質センター(QCC: Quality Control Center)¹¹⁾を導入するなどして独自に調整する(ローカル信頼度と呼ぶ)。これにより、上位システムの信頼度レベルが低下しても、各地域ではニーズに応じた適切な信頼度が確保され得る。単一信頼度を前提とした従来の供給システムでは、信頼度維持のための設備投資はシステム全体に対して行う必要があったのに対し、信頼度の管理を各地域毎に行うことで信頼度維持のための投資を主に下位系統側に集中させ、しかも個々の地域のニーズに合わせ無駄なく行えるという特徴がある。

以上のように分権型電力供給システムは、従来の電力供給システムに、(a)多様化:単一品質から多品質へ、(b)個別化:全系統一律から下位系統重点化へ、(c)分散化:集中管理から地域分散へ、という考え方を組み入れた新しい電力供給システムと言える。なお、(a)に関しては、すでに文献[2]において、プライオリティ・サービス理論の意義、特徴、ならびに需要家が受ける便益などが経済学的な観点から論じられている。また、文献[3]では、電気事業者・コージェネレーション・一般需要家の3者が共存する地域において、品質別電力供給を考慮し、社会厚生を最大化するような最適計画について報告がなされている。分権型電力供給システムにおいては、こうした品質別電力供給の考え方に加え、上記の(b)や(c)の考え方も考慮することで、規制緩和と環境に対応できるより柔軟な電力供給システムを想定したものである。

本論文では、構想している分権型電力供給システムの導入効果を評価するための基礎検討として、まず社会コスト最小化の観点から地域毎に信頼度およびQCC内の設備量を決定する手法を提案する。そして、本システム導入によって各地域の社会コストをどの程度減少させ得るか、あるいは社会コストが現状と同じになるように本供給システムを導入した場合、上位システムの信頼度をどの程度まで低下させることができるか、言い換えれば、規制緩和の進行をどの程度まで許容することができるか等について評価する。次に、下位系統における料金・信頼度を公正に決定するための一手法として、需要家の電気料金と電力需要との関係をも考慮した計算アルゴリズムを提案する。

2. 分権型電力供給システムの特徴と基本モデル

<2.1> FRIENDS と分権型電力供給システム

著者らはすでに、「高柔軟・高信頼電気エネルギー流通システム(FRIENDS: Flexible, Reliable and Intelligent Electric eNergy Delivery System)」と名付けた将来の望ましい電気エネルギー流通システムを構想しており¹¹⁾、その基礎的な検討を行ってきた。FRIENDSでは電力改質センター(QCC: Quality Control Center)という、主に電力の品質を改善するための設備を需要家近傍に設置し、配電用変電所の下位で高圧あるいは特別高圧の配電ネットワークを構成する。すなわち、現行の配電システムのように放射状高圧配電線に沿った柱上変圧器から需要家に単一品質の電力を供給する方式ではなく、QCCを配電ネットワークのノードとして機能させることで、あたかもそこに負荷が集中しているかのように電力を流通させ、QCC内の分散型電源(DG: Dispersed Generator)や分散型電力貯蔵装置(DESS: Dispersed Energy Storage System)を用いて多様な品質の電力を作り出し供給しようとするものである。このようにFRIENDSは需要家に近い配電システムに関する新しい概念であり、分権型電力供給システムにおける「下位系統」内部の一つの具体的な供給形態と考えることができる。すなわち、FRIENDSの概念を考慮した下位系統においては、上位系統から受け取った一定の品質の電力を内部のQCCという設備を通して種々の品質の電力を作り出し、需要家のニーズに合わせ供給することになる。以上のように、分権型電力供給システムはFRIENDSの概念を実際に実現可能な電力供給方式としてより具体化させたものと言える。

<2.2> 分権型電力供給システムの意義および効果

分権型電力システムが実用化されると、上位系統では負荷応答性は良くないが高効率の大規模集中電源でシステム全体のベース負荷を供給し、下位系統では各地域の変動負荷を域内のDG、DESSで独自に供給するというハイブリッド型の供給形態が実現されることになる。これにより、(1)上位系統側では負荷率が向上し、環境政策・エネルギー政策に合致した電源・流通設備計画が可能になる。また、(2)負荷率の向上に伴い送電線潮流も変動が少なくなり、競争環境における電力ネットワークの有効利用にも大きく寄与する。一方、下位系統側では地域毎に信頼度・料金を自律的に管理することになるため、(3)各地域に対して効率化のインセンティブを与えると共に、(4)地域性を生かして、環境に優しい自然エネルギー電源などの導入促進も期待できる。

<2.3> 導入評価のためのモデル化

分権型電力供給システムの導入効果を評価するために、電力システム全体を図2のようにモデル化する。すなわち、下位系統には地域が複数存在し、地域全体が上位系統から電力供給を受けている。また、FRIENDSでは一般に地域の中に複数個のQCCが設置されることを想定しているが、地域全体の評価をするため、本論文では仮想的に1つの地域に1つのQCC

図2 評価のためのモデル化
Fig.2. Model for Evaluation.

が設置されると想定し、評価を行っている。

また、QCCによる多品質電力供給については、以下の条件を考慮する。

- (1) 図2に示されるように、電力品質としては高品質電力と標準品質電力の2種類を設定する。この2種類の電力は、信頼度の大小によってのみ区別される。なお、信頼度は電力量不足確率（LOEP: Loss Of Energy Probability）によって評価する。
- (2) 事故などにより上位系統からの供給電力が不足する場合には標準品質負荷を優先的に遮断する。それでも供給支障が生じる場合には高品質負荷も遮断される（標準品質負荷の優先的負荷遮断）。
- (3) QCCはDG及びDESSによってモデル化する。これらはいずれも高品質電力需要のための供給力として用いられるが、特にDESSは上位系統から見た個々の地域の負荷が平準化されるような運用も行っている。なお、QCC間での電力の融通は簡単のため考慮しない。

3. サービス価値基準に基づく分権型電力供給システムの導入評価

<3.1> 評価手法の概要 サービス価値基準^[4]とは、

需要家が停電により被る損害をコスト換算した停電コストと、電力を供給するために必要な供給コストとの和で社会コストを定義し、供給信頼度をパラメータに取ったとき、社会コストが最小となる点において運用されることが社会全体において最も好ましい状態であるという考え方である。本章ではこのサービス価値基準の考え方にに基づき、従来の電力供給システムと分権型電力供給システムでの社会コスト最小値を算出し、その際の供給信頼度などを比較することによって分権型電力供給システムの導入効果を評価する。具体的には、図3に示すように、現状のシステムにおける、社会コスト最小値を SC_0 、そのときの信頼度を R_0 としたとき、分権型システムによる社会コスト最小値 SC が SC_0 よりも小さければ分権型システム導入に経済的メリットがあると言える。また、このときの上位系統の信頼度 R と R_0 との差は、社会コストの観点から許容できる信頼度の低下分と考えることができる。さらに、分権型電力供給システムを導入した場合の社会コストが SC_0 と等しくなる信頼度 R^* は、信頼度の低下を許容できる限界値を表している。

図3 社会コストと供給信頼度
Fig.3. Relation of Social Cost and Supply Reliability.

<3.2> 社会コストの計算法 前述のごとく、社会コストの値は与えられた信頼度を満たすような供給コストとそのときの停電コストの和として定義されている。以下では、各コストの算定方法について説明する。

(1) 上位系統における設備量決定 上位系統においては、上位系統が担うべき負荷に対して与えられた供給信頼度(LOEP)を満たすように設備を構築する必要がある。ここで「上位系統が担うべき負荷」は、従来の供給システムでは当然システム全体の総負荷になるが、分権型電力供給システムの場合、各地域のQCCが供給する電力分を除いた負荷のみとなる。このとき、必要となる上位系統の電源容量は、地域間で不公平が生じないように、各地域へ供給する際の信頼度を等しくするという前提で評価することとする。具体的には、各地域への供給信頼度を設定したとき、個々の地域 i が必要とする上位系統からの供給電力の最大値、 P_{si} (供給力と呼ぶ)を各地域の負荷持続曲線から求め、それを合計することによって($P_s = \sum P_{si}$)、上位系統の電源容量を算定する(図4)。ただし、各地域の負荷持続曲線としては、上位系統内での事故に伴う供給力の確率変動を考慮するため、供給力の低下を負荷の発生とみなした等価負荷持続曲線^[5]を用いている。これにより等価的に負荷は増加するが、上位系統からの供給力は変動のない一定の値とみなすことができる。また、実際には地域間の不等時性により、 $\sum P_{si}$ だけの電源容量は必要ない。すなわち、本論文では「これよりは多くなることはない」という多めに見積もった値で

図4 供給力の決定
Fig.4. Decision on Supply.

評価をしていることに注意を要する(従来システム、分権型電力供給システムの両方に対して同様に評価することになるので、これより評価結果が大きく変わることはない)。また、その際の経済的な電源構成は、上位系統が担うべき負荷を合計した総負荷に対して、上記の P_s だけの電源容量を確保することとし、例えばスクリーニング法¹⁴⁾によって算定することができる。これにより上位系統の供給コスト(設備費、運転費)が算定される。なお、実際の供給コストには流通設備のコスト等も考慮すべきと考えられるが、本論文では簡単のためこの項を陽には考慮していない。

(2) 各地域における社会コスト 系統全体の社会コストは、各地域における社会コストの和として表すことができる。各地域の社会コストは、「下位系統の設備コスト」、「下位系統が上位系統から買電する際の実電コスト」、「需要家の品質別停電コスト」の和である。ここで、上位系統が下位系統に電力を販売するときの単価(年間を通じて均一)は、原価主義に基づき、上位系統の供給コストを上位系統から下位系統へ販売する総電力量で除した値として算定する。これにより、上記の「下位系統が上位系統から買電する際の実電コスト」は、等価的に前節で求めた上位系統の供給コストを表すことになる。また、停電コストは停電電力量に需要家の停電単価を乗ずることによって容易に算出することができる。なお、下位系統の設備は分権型電力供給システムのみにおいて必要となるもので、具体的にはQCC内のDESSとDGに相当する。これらの設備の導入量及び運用量の決定については次節で述べる。

<3・3> QCC内設備の導入量および運用量の決定 前節の社会コストの算定においては、QCC内に導入されているDESSとDGの運用方法をあらかじめ仮定することが必要である。まず、DESSについては、各地域毎にその導入量を与え、各地域の負荷に対して一日単位で負荷平準化を行うようにDESSを運用する(図5)。すなわち、DESSは、与えられた変換器容量あるいは貯蔵容量のどちらかの制約に抵触するまで、需要の大きい方からピークカット、および需要の小さい方からボトムアップを行う。ここで、ピークカットされる電力量は高品質需要が減少するとみなし、ボトムアップされる電力量は標準品質需要が増加するものとする。DESSの導入量が増加すると上位系統から見た負荷率が向上することになるため、上位系統の電源構成が変化しベース電源の比率が大きくなると考えられ、上位系統の供給コストに影響を与えることになる。すなわち、DESSは、高品質負荷への供給力の一端を担うという効果があると同時に、各地域の負荷が平準化されることによって、上位系統における設備コストが減少し、下位系統が上位系統から買電する際の実電コストをも抑制できるという効果がある。次に、DGは高品質負荷の信頼度向上の目的で運用する。まず、DESSの運用による平準化効果を含んだ総負荷および高品質負荷に対して、上位系統からの供給力 P_{Si} を設定し、等価負荷持続曲線を作成する。得られた2つの等価負荷持続曲線に対してDG導入量を設定し、それ

ぞれの等価負荷持続曲線より総負荷の不足電力量・高品質負荷の不足電力量を算定する(図6)。このとき、標準品質負荷の不足電力量は総負荷の不足電力量から高品質負荷の不足電力量を減ずることで表される(これにより、標準品質負荷の優先的負荷遮断が考慮されることになる)。この品質別停電電力量に対して品質別の停電単価を乗ずることにより、電力品質別の停電コストを算出することができる。この品質別停電コストの和を「需要家の品質別停電コスト」とする。さらに、「下位系統の設備コスト」については、DESSの導入量に応じた設置コスト、DG導入容量に応じた設置コスト、DG発電電力量に応じた運転コストの3つの和で表すこととする。

次に、DESSとDGの導入量の決定について説明する。DESSとDGの運用方法を上述のように仮定すると、各地域におけるDESSの導入量と、上位系統から各地域への供給力が与えられると、各地域のDGの導入量は、それぞれの社会コストが最小となるように独自に決定することができる。このとき、DESSの導入量および上位系統からの供給力をパラメータとして様々に変え、全体の社会コストが最小となるような点を求めることで、DESSの望ましい導入量についても算定することができる。ただし、地域が複数存在し、各々の地域毎に負荷の特性などが異なる場合には、地域毎に望ましいDESSの導入量も異なると考えられ、そのすべての組み合わせの中から社会コストの最も小さい組み合わせを探し出すことは容易ではない。そこで、次節の数値計算例では、DESSを考慮した評価を行う場合には、各地域の負荷特性が同一、すなわち、地域毎にDESSの導入量が等しくなる場合に対して検討することとしている。

なお、以上のような最適化計算は、全体の社会コストが最小となるような点を探し出し、分権型電力供給システム導入の有効性を評価するために行っているものであり、実

図5 DESSの運用
Fig.5. Operation of DESS.

図6 DGの運用
Fig.6. Operation of DG.

際の運用においては、最初に上位系統からの供給力が何らかの方針に基づき固定的に与えられ、その下で、各地域では、自身の社会コストが最小となるように、独自に DESS と DG の導入量を決定することになると考えられる。

<3.4> 数値計算例

(1) 各地域の負荷特性が同一の場合における検討

以上の手法に対して試算を行った。試算データ^{[7][11]}を表 1 に示す。1 つの地域の負荷データとして高品質需要の多いと思われるオフィスビルなどを対象とした負荷モデルを作成し、これと同じ地域が 100 ケ所あるような電力システムを想定している。なお、停電単価の値は、文献[10][11]を参考に与えているが、高度情報化社会、高齢化社会の進展に伴い、将来的には無停電化に対する要求が現在よりもさらに大きくなるとの想定に基づいて、高品質需要の停電単価を、上記文献に記載されている値よりは若干高めに設定した。

従来システムにおいて社会コスト最小値を与える P_{Si} は 50[MW]、大型電源の用意すべき容量 P_s は $50 \times 100 = 5000$ [MW]であった。分権型電力供給システムにおいて、 P_{Si} を 30[MW]に設定した際の試算結果を図 7 に示す。DESS を 6[台]、DG を 14[MW]導入すると、分権型電力供給システム導入による社会コスト最小値が SC_0 と一致した。すなわち、従来システムでは社会コスト最小値による運用をするためには 1 つの地域に対して供給力を 50[MW]用意する必要があったのに対し、分権型電力供給システムを導入した場合には QCC として DESS を 6[台]、DG を 14[MW]用意しさえすれば、30[MW]の供給力で従来と経済的に遜色なく運用することができる。また、 P_{Si} の値を 27[MW]以下にした場合には、常に $SC > SC_0$ となった。このことは、逆に言えば P_{Si} が 27[MW]以上であれば、図 7 に示す結果から

表 1 試算に用いたデータ

Table.1. Data for Calculation.

	建設費	燃料費	効率	年経費率
DG	50,000	8.0	(発電) 0.20	0.20
DESS	700,000		(充放電) 0.85	0.13
	固定費	可変費		
原子力	51,000	1.3		
石炭火力	39,000	3.0		
LNG	29,000	5.0		
石油火力	23,000	7.0		

	停電単価
高品質	10,000
標準品質	100

建設費：¥/kW 固定費：¥/kW/年 燃料費・可変費：¥/kWh
停電単価：¥/kWh DESS単機容量：100kW/400kWh

図 7 試算結果(1)

Fig.7. Result of Calculation(1).

もわかるように、 $SC < SC_0$ が成り立つ DG 導入量・DESS 導入台数の組み合わせが存在することを表している。

(2) 負荷特性の異なる地域を考慮した検討 地域の負荷形態として 2 種類を想定した場合の試算結果を示す。ただし、本試算では DESS は考慮していない。負荷モデルには前節のモデル(地域 1)と、もう 1 つは集合住宅を対象とした標準品質需要の多い負荷モデル(地域 2)を作成し、各 100 ケ所ずつ計 200 ケ所の地域がある状態で電力システムが構成されていることを想定している。図 8 に、従来システムおよび分権型電力供給システムにおける社会コストの計算結果を示す。縦軸には地域全体の社会コストを、横軸には上位系統からの供給信頼度をとっている。上位系統の供給信頼度の値が 2.6×10^{-6} のときに、従来システムは社会コストが最小となった。このときの供給信頼度を R_0 、社会コストを SC_0 とする。このとき、地域 1 に供給すべき電力の大きさは 74[MW]、地域 2 に供給すべき電力の大きさは 70[MW]で、上位系統が用意すべき大型電源の容量は、 $(74+70) \times 100 = 14400$ [MW]であった。一方、分権型電力供給システムでは、与えられた上位系統の供給信頼度に対して各地域の社会コストが最小となるように QCC が導入され

図 8 試算結果(2)

Fig.8. Result of Calculation(2).

図 9 地域毎のローカル信頼度

Fig.9. Reliability on Each area.

ているが、その中でも上位系統の供給信頼度の値が 8.0×10^{-5} (図中の点 R に相当) のときに全体の社会コストが最小となっている。すなわち、分権型電力供給システムを導入した場合には、上位系統の供給信頼度がこの値で運用することが最も好ましいといえる。このときの各地域に必要な供給力は地域 1 が 62[MW]、地域 2 が 58[MW] となり、上位系統の供給力は $(62+58) \times 100 = 12000$ [MW] であった。すなわち、上位系統において約 2400[MW] の電源容量を削減できることを意味している。また、分権型電力供給システムを導入することにより、上位系統の信頼度の値が 1.1×10^{-6} から 4.5×10^{-4} の範囲では、従来システムにおける社会コスト最小値 SC_0 よりも社会コストを低い値で運用することができる。これは、上位系統の信頼度が 4.5×10^{-4} (図中の点 R*) まで悪化しても、分権型電力供給システムの導入により経済性は従来システムよりも悪化せずに運用することができることを意味している。

続いて分権型電力供給システムにおいて、与えられた上位系統の供給信頼度(グローバル信頼度)に対して、各地域の社会コストが最小となるよう DG 導入量を決定したときの、下位系統におけるローカル信頼度を求めた。結果を図 9 に示す。横軸は上位系統のグローバル信頼度を、縦軸は各地域のローカル信頼度を表しており、2 つのグラフはそれぞれ地域 1、地域 2 における品質別信頼度を示している。ここで、「全体の信頼度」とは、計算された上位系統の電源容量と下位系統の QCC で、仮に多品質電力供給を行わなかったときの信頼度を意味している。地域 1 は高品質負荷の割合が多く、その信頼度は地域 2 の高品質負荷信頼度と比較して全体の信頼度に近い値となった。逆に標準品質負荷の割合の高い地域 2 では、標準品質負荷の信頼度が全体の信頼度に近い値となっている。これは、それぞれの地域において構成割合の多い電力品質が地域全体の信頼度に影響を与えやすいことを示しており、地域内での社会コスト最小化を目的に DG 導入量を設定すると、地域の負荷形態の特徴に応じて地域毎のローカル信頼度が電力品質別に異なる値になることがわかる。なお、本試算ではグローバル信頼度の値を 7.57×10^{-4} よりも高信頼にした場合には、いずれの地域も DG 導入量が零となるとときに地域の社会コストが最小となっている。すなわち、この範囲においては QCC を導入し標準品質負荷の優先遮断のみを行えば、地域の社会コストが最小になるという結果となっている。従って高品質需要の多い、言い換えれば標準品質需要の少ない地域 1 では、上位系統の供給支障時には高品質需要をも一部負荷遮断することが必要となり、地域 1 の信頼度が地域 2 のそれよりも低下している。

4. 下位系統における信頼度・料金の決定に関する一手法

<4.1> 下位系統のモデル化 前章の計算において、分権型電力供給システムを導入することによって系統全体の社会コストが減少し、また上位系統の信頼度の低下を許

容できることを明らかにした。ところで、本供給システムを実際に導入する際には、下位系統毎に信頼度・料金を公平・公正に決定することが必要となる。本章ではその一手法として、需要家の行動を考慮して計算を行う手法を提案する。

まず、下位系統における信頼度・料金・需要との関係を図 10 のようにモデル化する。下位系統では上位系統から供給される供給信頼度と買電料金が提示されると QCC は需要家のニーズに応じた設備を用意し、上位系統からの買電コストならびに QCC 設置・運用にかかるコストを加味した電気料金を需要家へ提示する。それに伴い需要家はその価格と信頼度を考慮して、コスト最小化を目的に品質選択を変更すると考えられる。従って品質別需要の大きさは変化することになり、再び QCC に必要な設備量から算定を繰り返す必要がある。そして、これらがある一定値に収束したとき、下位系統の望ましい信頼度・料金が決定できたことになる。具体的な算定方法は次節以降で述べる。なお、本章では上位系統を簡略化して常に一定電力・一定料金で供給を行うものとして扱うこととする。また、QCC 内部設備としては DG のみを考えており、高品質負荷の信頼度向上の目的で運用する。

<4.2> DG 容量決定 初期値として品質別需要と信頼度の値が提示されると、それを満足するように等価負荷持続曲線を用いて、DG 導入量が決定される。この計算は <3.3> で説明した方法と同様である。

<4.3> 電気料金決定 QCC は DG 導入量に応じて高品質電力及び標準品質電力の需要家から次のように電気料金を徴収すると考えられる。高品質負荷を持つ需要家には、QCC が上位系統から購入する電力と、DG からの電力の 2 種類が供給されることになる。従って、高品質電力の需要家に対しては DG の設置・運用にかかるコストと、上位系統から購入する電力のうち高品質電力のために必要な電力量に応じた買電コストの和を、高品質負荷の総電力量で除したものを高品質電力の電気料金 C_H とする。また標準品質負荷を持つ需要家には、QCC が上位系統から購入する電力のみが供給されるため、標準品質電力需要家には上位系統の買電単価と等しい電気料金 C_L で再販するものとする。

<4.4> 需要家の行動のモデル化 品質別に提示された電気料金及び信頼度に対して需要家は様々な行動を取るものと考えられる。その行動のモデル化は以下のように 2 段階で考える。

まず第 1 段階として、図 11(a) に示すような価格と需要の関係を用いて、下位系統における総需要の変化を考慮する。すなわち、分権型システムが導入された場合に、与えられ

図 10 下位系統のシステム構成
Fig.10. Construction of the Distribution System.

図 11 需要曲線と停電単価曲線

Fig.11. Demand Curve and Interruption Cost Curve.

た電気料金 C に応じて総需要の値 P は次式のように与えられるものとする。

$$P = P^0 \left(\frac{C}{C^0} \right)^{-\eta} \quad (1)$$

ここに、 η : 価格弾性値、 P^0 : 従来システムでの需要、

C^0 : 従来システムでの電気料金

なお、(1)式では総コストを総電力量で除した平均的な単価を仮想的に単一の電気料金 C とみなしている。

次に、第2段階として、各地域は複数種類の負荷から構成されているものと考え、個々の負荷が高品質と標準品質の何れを選択するかを評価する。なお、「個々の負荷」とは、用途毎のレベル(例えば、パソコン、照明など)を考えている。停電単価 r [円/kWh]と消費電力量 ΔP [kWh]を持った負荷は、提示された電気料金および信頼度から自らの期待支払額を電力品質別に次の(2)、(3)式より算出し、より安価となる電力品質を選択するものと考えられる。

$$Pay_H = rR_H \Delta P + C_H (1 - R_H) \Delta P \quad (2)$$

$$Pay_L = rR_L \Delta P + C_L (1 - R_L) \Delta P \quad (3)$$

ここに、 r : 停電単価、 C_H 、 C_L : 高品質・標準品質電力の

電気料金、 R_H 、 R_L : 高品質・標準品質電力の信頼度

いずれも、第1項は停電コストを、第2項は買電コストを表している。そして、図 11(b)のように(1)式で得られた P の値を横軸の最大値に、縦軸には停電単価をとり、負荷を停電単価の順に並べたときに、需要家の分割点は(2)、(3)式の右辺を等しくする停電単価 r^{div} によって与えられる。これにより総需要 P を品質別に分割することができる。

<4.5> 数値計算例 以上の手法を用いて試算を行った。試算データを表2に示す。上位系統からの供給力を20[MW]と設定し、信頼度目標値として高品質電力の信頼度を 1×10^{-5} に設定し、この値よりも悪化しないような DG 導入量を求めている。ここで、今回は単純化のために年間一定負荷を想定している。また品質別需要の値に下限値を設けた。これは電力需要は0にはなり得ないという前提によるものである。結果を表3に示す。収束時における必要な DG 導入量は6.3MW、それによる品質別電気料金は標準品質が20.0[¥/kWh]に対して高品質は21.4[¥/kWh]という結果になった。また、需要の値は若干の減少しかみられなかった。これは(1)式における C^0 と C の値に大きな差がなく、需要の移行が起こりにくかったためと考えられる。

表 2. 数値計算に用いたデータ

Table.2. Data for Calculation.

系統買電単価	20[千円/MWh]	初期総需要	17.69[MWh]
DG固定費	50000[千円/MWh]	PH=P*0.73	12.95[MWh]
DG可変費	8[千円/MWh]	PL=P*0.27	4.74[MWh]
DG年経費率	0.2	PH下限値	
DG発電効率	0.2	PH*0.5	6.48[MWh]
価格弾性値	0.1	PL下限値	
停電単価下限	100[千円/MWh]	PL*0.3	1.42[MWh]
上限	5000[千円/MWh]		

表 3. 試算結果

Table.3. Result of Calculation.

	従来	分権型システム		
		総負荷	高品質	標準品質
需要 [MWh]	17.69	17.58	16.16	1.42
信頼度 (LOEP)	7.2×10^{-2}	5.0×10^{-2}	8.6×10^{-6}	6.2×10^{-1}
DG導入量 [MW]			6.3	
電気料金 [¥/kWh]	20.0	21.3	21.4	20

5. まとめ

本論文では、将来の新しい電力システムの形態として FRIENDS の概念を含む分権型電力供給システムの考え方を提案し、その導入効果について評価を行った。分権型電力供給システムを導入することによって、上位系統における供給信頼度の低下を許容できることを示した。また分権型電力供給システムの下位系統における信頼度・料金を適切に決定するために、需要家の行動を考慮した一手法を提案した。

ところで、本論文では、系統の信頼度を評価するに際しては、簡単のため、送配電部門における事故やその影響については考慮していない。したがって、数値計算例で示された信頼度(LOEP)の値は、実際の信頼度よりもかなり高い(良い)値となっているであろうことは否めない。しかしながら、本論文では、分権型電力供給システムを導入することにより、上位系統の信頼度が、従来システムよりも低下することを許容できるという相対的な評価について示したものであり、この結論自体は、送配電設備を考慮するしないに関わらず変わるものではないと考えている。今後、分権型電力供給システムのフィージビリティスタディーを行っていく際には、これらの点を含め、より詳細なデータを用いた検討が重要であると考えている。また、提案手法を用いて新規発電事業者などの導入可能性、CO2 排出量などの環境等についても検討を行う予定である。

最後に、本研究は文部省科学研究費補助金基盤研究(B)(一般研究)の助成を受けて行っていることを付記する。(平成13年2月26日受付、平成13年5月29日再受付)

文 献

- [1]奈良, 長谷川: 「新しい柔軟な電気エネルギー流通システム」, 電学論 B, Vol.117, No.1, pp.47-53(1997)
- [2]松川: 「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 (1990)

- [3] 増田・森・原田：「CGSを含む電力市場における品質別電気料金のスタックルベルグ型最適計画」第13回エネルギーシステム・経済コンファレンス講演論文集，pp.65-70 (1997)
- [4] Sandra Burns and George Gross : "VALUE OF SERVICE RELIABILITY" , IEEE trans. on Power Systems, Vol.5, No.3, pp.825-834(1990)
- [5] 陳，豊田：「増分供給信頼度を用いる電源補修計画法の提案」，電学論 B, Vol.108, No.5 (1988)
- [6] 安田，西谷，長谷川：「電力貯蔵システムを含む各種電源のベストミックスならびに最適導入手順決定」，電学論 B, Vol.108, No.12, pp.569-576(1988)
- [7] 特設記事：「マイクロガスタービン開発の現状と将来」，OHM.4, pp.55-59(1999)
- [8] 特集：「電池電力貯蔵システムの開発状況と今後の課題」，電気評論，7, pp.36-42(1997)
- [9] 神谷，田中，北，長谷川，白崎：「電力系統における超伝導エネルギー貯蔵システムのライフサイクル分析および経済性評価」，電学論 B, Vol.118, No.11, pp.1302-1311(1998)
- [10] R. Billinton and R. N. Allan : "Reliability Assessment of Large Electric Power Systems" , Kluwer Academic Publishers(1988)
- [11] 仲村・山城：「停電コストの推定に関する調査研究」 電気学会論文誌 B 分冊，119-B, No.2, pp.284-290 (1999)
- [12] 上野，北，田中，長谷川：「FRIENDS の導入を考慮した地域構成決定に関する基礎検討」，平成 12 年電気学会電力・エネルギー部門大会(論文Ⅱ)，No.311, 札幌(2000)
- [13] 上野，北，田中，長谷川：「FRIENDS の概念を含む電力システムにおける信頼度評価」，平成 12 年電気学会全国大会，6-159, 東京(2000)
- [14] 上野，北，田中，長谷川：「規制緩和後の電力系統における分権型電力供給システムに関する研究—分散型電力貯蔵装置を考慮した検討—」，平成 12 年度電気関係学会北海道支部連合大会，No.66, 札幌(2000)
- [15] 上野，田中，北，田中，長谷川：「規制緩和後の電力系統における分権型電力供給システムに関する研究—上位系統を考慮した検討—」，平成 13 年電気学会全国大会，6-107, 名古屋(2001)

上野 美奈子

(正員) 1977年1月6日生まれ。2001年3月北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻修士課程修了。同年4月松下システムエンジニアリング(株)入社，現在に至る。規制緩和下の電力系統の運用に関する研究に従事。

北 裕 幸

(正員) 1963年5月7日生。88年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。89年4月同大学工学部電気工学科助手，95年4月同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻助教授となり，現在に至る。博士(工学)。平成9年度論文賞受賞。主として，電力系統の計画・運用・制御に関する研究に従事。日本OR学会，電気設備学会会員。

田中 英一

(正員) 1952年8月12日生。77年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年4月同大学工学部電気工学科助手。95年4月改組により，同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻に配置換えとなり，現在に至る。主として，電力系統の解析・制御に関する研究に従事。日本OR学会，電気設備学会，計測自動制御学会会員。

長谷川 淳

(正員) 1943年12月13日生。71年3月北海道大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年4月同大学工学部電気工学科講師，同助教授を経て，85年4月同教授。95年4月改組により，同大学大学院工学研究科システム情報工学専攻に配置換えとなり，現在に至る。工学博士。平成9年度論文賞受賞。平成6年度B部門長，同9年度副会長(調査担当)。主として，電力系統の計画・運用・解析・制御および電気エネルギー工学全般に関する研究に従事。IEEE，照明学会，エネルギー・資源学会，低温工学協会，日本OR学会，電気設備学会等会員。

電力・エネルギー部門大会座長のコメントと回答

—A 19 電力自由化(1)—

質 疑

座長 塚本 幸辰

1. 同セッションでの対象論文への質疑応答

(1)

Q: QCC (電力改質センタ) を各地域に分散的に設置するということが、全系における Duration Curve (負荷持続曲線) に基づいて計画するのは不十分ではないか。負荷には地域的に不等時率があり、Duration Curve ではそれを反映できない。

A: QCC の設置計画は、各地域の社会コストが最小となるように地域ごとに自律的に決定しており、全系における Duration Curve を用いているわけではありません。また、不等時率の点のご指摘のとおりであり、本文中にも記載しておりますように、各地域で必要となる上位系統からの供給力の総和に相当する電源容量は、実際には必要ではありません。すなわち、本論文では「これより多くなることはない」という多めに見積もった値で評価をしています。ただし、従来システム、分権型電力供給システムの両方に対して同様に評価することになるので、これより評価結果が大きく変わることはないと考えています。

(2)

Q: あえて QCC を設置していくというのはコストアップにつながるのではないかと。むしろ、分散電源ごとの系統連系を個別に管理するわく組をきちんと構築すべきでは？

A: 需要家のニーズに柔軟に応えることができるように QCC を導入・運用することで、停電コストや上位系統側のコストを削減することができる可能性があり、トータルとして見た場合、必ずしもコストアップになるとは限りません。

(3)

Q: Duration Curve に基づくアプローチ自身が全体的な手法であり、自由化のなかでの計画アプローチにそぐわないのでは？

A: Duration Curve は、上位系統の電源計画を行う際に用いておりますが、ご指摘のとおり、自由化が更に進展しますと、上位系統においても「系統全体」という概念は薄くなっていくものと考えられ、異なるアプローチが必要になると存じます。

2. 著者に照会したい座長のコメント

提案にある“分権型”の意義を明確にする必要があると思われる。QCC 自身は誰が運用するのか？それは規制されるのか？もしそうであれば、規制の範囲を広げることにならないか？など。また、電力の品質別供給に関しては、新たな HW を設けるというよりも、契約管理/メニューを徹底するのが一般的な方向性ではないか？このあたりの比較検討を定性的/定量的両面からアプローチされれば、かなり有用なものになると思われる。

応 答

上野美美子・北 裕幸

田中 英一・長谷川 淳 (北海道大)

「著者に照会したい座長コメント」への回答

貴重なご意見ありがとうございます。“分権型”の電力供給システムでは、上位系統と各下位系統とがそれぞれ独立に信頼度・電気料金を管理することを想定しています。なお、そのための重要な技術である QCC の設置主体については、実際にはさまざまな形態が考えられるかと存じます。ただし、本論文では、社会全体としてのコストが最小となるという観点から評価を行っており、ここでは具体的な設置主体が誰であるかを特定する必要はありません。すなわち、私どもは、まずこうした供給方式が技術的・制度的に可能となった場合に、社会全体のコストにどのような影響があるのかを評価し、もしもその方式がコスト面で意味のあるものであるならば、次のステップとして QCC を誰がどのような形態で設置することになるかについて議論すべきであると考えます。

次に、品質別供給についてですが、メニューごとに契約管理をしっかりと行うにしても、極めて高い品質を要求する需要家に対しては、上位系統からの供給が停止した場合のバックアップ電源等が不可欠であり、また、個々の需要家・機器を遠隔監視・制御するための高度な情報通信ネットワークも必要になると考えられます。また、将来的に、QCC では信頼度のみならず電圧・周波数といった波形的な品質をも含めた品質別供給を行うことを想定しており、その場合には各種パワーエレクトロニクス機器を新たに導入することが必要と考えています。

電力・エネルギー部門大会書面討論

—A 19 電力自由化(1)—

論文題目「規制緩和後の電力系統における分権型電力供給システムに関する研究」

質問事項

質問者 皆川 保(東北学院大)

質問者、皆川は永年にわたる系統計画、運用、管理の実務経験から、この論文の内容について数々の疑問がある。その主要な疑問は以下のとおりである。[1]および[2]は本課題へのアプローチに関する基本的理念問題で、[3]および[4]は本論文がマクロ的電源計画の世界標準的手法(EEI手法)を変形した使用に基づく手法の妥当性に関する問題である。以下の4問にご回答をいただきたい。

[1] 電力自由化後の電力供給信頼度に関する誤認識

本論文の著者は他の多くの電力関係者と同様に、電力自由化後の電力供給信頼度に関して誤った認識をもっている。この論文の「まえがき」で電力自由化後の「電力システムの信頼度は相対的に低下することが自想される。……規制緩和によるコスト削減の効果が失われることになる。」と述べている。このことは、現在のIPP、その他の電力市場Playersが参加した1,2次系送配電設備を託送に使った比較的に大型の電力取引および風力発電や太陽電池発電等の系統連繫では系統運用が複雑になり、信頼度低下を懸念することはある程度期待できる。

しかし、電力自由化による設置が容易になった分散電源は本当に信頼度を低下させるのか?皆川の見解は全く逆で、分散電源は需要家側の信頼度を画期的に向上させる。昔から高信頼度の電源を必要とする需要家は自家発電設備を保有してきた。製鉄所では高炉および重要な製鉄設備の保安確保のために自家発電設備を保有してきたのは需要家サイドの信頼度向上対策であった。分散電源を保有する需要家は送配電線への依存を減少させ、送配電線や電源に事故が発生しても需要家の設備が全部停電することはない。つまり、自由化以前でも需要家は自らの責任と費用で自由に必要な高信頼度を獲得できたのである。また、電散電源を配電系統または送電系統に連繫するときの技術的問題は現在の系統保護リレー技術を応用するだけで十分解決できる。したがって、分散電源はむしろ需要家サイドの信頼度を向上する効果大きい。

経済性を追求するために電力自由化を実施する以上、高信頼度を望む需要家は自らの費用と責任で高信頼度の電源を確保するのが原則である。しかるに、高信頼度の電力を望むごく少数の特定業種需要家のための費用を、高信頼度を必要としない多数の一般需要家が分担しているのが現実である。しかも、現在では、高信頼度を望む需要家は以下に述べる分散電源を安価に、かつ、容易に入手できる。

現在、世界の大手自動車メーカーは環境対策のため膨大な研究費(トヨタは1兆円、GMは5兆円)を投入して燃料電池自動車の開発競争を行っている。我が国も10年後には生産する自動車のほとんどを燃料電池自動車などの低公害車に切り替える政策が検討されつつある。自動車に搭載できる燃料電池は家庭の電源および廃熱の利用にも併用することでエネルギー効率を飛躍的に向上させることが可能である。

MGT電源および水素ガスを使った燃料電池等の分散電源は、まだ、さまざまな技術的課題はあるが、10年後には爆発的に普及すると予測される。需要家の分散電源導入は信頼度を飛躍的に向上(無停電化)し、かつ、経済性と環境問題(特に、CO₂)を解決する決め手になる。

このことは大容量送電線が将来、確実に不要となることを意味する。ここで燃料電池自動車の普及には、(1)水素の大量生産方法、(2)水素の安全な輸送方法、などの問題がある。皆川はこのような技術動向から水素の大量生産方法の問題について、当面は、①原子力発電所の電気で水を電気分解して生産、②風力発電や太陽電池発電の電気で水を電気分解して生産、などをこれまで機会あるたびに提言してきた。この方式は風力発電や太陽電池発電の弱点である不安定な発電を需要が必要となしにいつでも供給できる安定電源へ代える利点がある。既に、ホンダ自動車は車体の屋根に張り付けた太陽電池からの電気で車を走行させると同時に余剰の電気を使って水を電気分解して水素をタンクに貯蔵し、太陽光を利用できないときは貯蔵した水素を使って燃料電池からの電気で行走する電気自動車を試作しテストを行っている。この自動車の走行に必要な補給物質は水だけである。

分散電源の導入に関する意義を要約すると次のとおりである。

- 分散電源の導入は需要家側の信頼度を向上する。
- 分散電源の導入は送配電設備投資を大幅に減少させ、経済効果が大きい。

[2] 高信頼度電力供給は電力会社の責任か?QCCは必要か?

一部の特定業種(e.g.半導体)の需要家は落雷時の瞬間的な停電や電圧低下にも強硬に抗議してくる。電力会社側で瞬停や瞬低をなくすためにはとてつもない巨額の費用を要する。現在、少数の需要家のために多大の投資をしても通常の需要家と同じ電気料金単価が適用されている。このことは、通常信頼度で満足している大多数の需要家が特定業種の需要家の信頼度向上対策費用をも分担していることを意味する。また、電力の品質を悪くしている特定業種

の需要家からは penalty を徴収すべきであるが、実際に徴収した事例を聞いたことがない。これは非合理的なことで、高品質電力を必要とする需要家は自らの責任で対策を実施すべきである。この費用を電力会社（即、一般需要家）に転嫁させてはならない。本論文が提唱する QCC をこのような観点から考察すると QCC の必要性和意義に疑念がある。

〔3〕 電源予備力保有に関する EEI 方式の基本原則に対する矛盾

この論文では DG および QCC 導入評価のモデル化には LOEP 計算を行って評価することになっている。この計算方法は EEI (Edison Electric Institute) 方式を採用している。EEI 方式は実質的世界標準方式で、日本は EEI 方式を基にした EI 方式（日本電力調査委員会）と称している。この方式が定義する全系統が保有すべき予備力を図 III-1 に示す。この図の不足電力 C は不足見込み日数として許容する信頼度指標となる（通常は 0.3 日/年、または 10 年間で 3 日は電力不足が許容される、ただし、この負荷持続曲線の横軸の単位は日数である）。その負荷は 1 日 24 時間中の最大負荷で短時間の負荷であっても 1 日中負荷がかかったものと仮定している。したがって、真の供給支障時間はもっと小さな値となる。論文の図 4～図 6 における負荷持続曲線の横軸の単位が明示されていない。万一、時間として表示すると本論文の内容にはもっと大きな問題が生じるが、横軸の単位が明示されていない段階では、ここではこれ以上論及しない。電源予備力保有に関して従来から世界的に適用されてきたこの手法の基本原則と矛盾する処理を行っているので、以下の事項について回答をいただきたい。

（1） 日本電力調査委員会 EI 方式の図 III-1（「電力需要想定および電力供給計画算定方式の解説」p. 153）が示すとおりである。図 III-1 の必要な供給予備力 (R) は需要予測誤差と景気変動などの不確定要因に基づく誤差に対処す

図 III-1 最大需要電力持続曲線と供給不足日数
（「電力需要想定および電力供給計画算定方式の解説」
日本電力調査会 p. 153）

るための供給予備力である。このような供給予備力を保有していても電源側に事故、その他の要因で出力減少が発生した場合、不足電力 C の分まで予備力を保有する必要はない。この不足分に対しては需給調整契約需要等の供給制限で対応している。論文の図 4、図 6 では予備力の規定がないまま、不足電力量を図示しているが、どのようにして各地域の不足電力量を求めるのか理解できない。予備力容量の設定次第で信頼度 (LOEP) の値が大きく変化する。更に、各地域ごとに高品質負荷に対する予備力および標準高品質負荷に対する予備力を与えることは実質的に不可能である。仮に、図 6 の総負荷・高品質負荷等価負荷持続曲線なるものを単純に各地域負荷持続曲線を合計して作っても現実と乖離したもので、その意味が分からない（〔4〕参照）。なお、現在、最も高品質電力供給を要求される代表的負荷の一つは半導体製造産業であるが、この負荷特性は 24 時間フラットに近い特性である。したがって、図 6 に図示されるようなピーク的な不足電力量にはならない。この論文は EEI 方式の考えを転用しているが、EEI 方式の基になっている基本原理に矛盾したものでその妥当性に疑問がある。

（2） 各地域の需要は地域ごとの気象条件、負荷特性、地球の自転に起因する日出・日没時間差（日本では 1 時間以上）などの差異から需要のピークは必ずしも一致しない。系統連系を拡大することにより需要のピークを大きく平準化することが可能となることと、および小さな地域ごとに供給予備力を保有するより全体として予備力をまとめて共有することで大幅に予備力を圧縮でき、経済的であることは既に実証されている。予備力を各地域単位で決めることは EEI 方式の基本原則に矛盾する。

〔4〕 信頼度算定法 (LOEP 算定) に関する技術的疑念

この論文の〈3・2〉節(1)では「個々の地域 i が必要とする上位系統からの供給電力の最大値、 P_n (供給力と呼ぶ) を各地からの負荷持続曲線から求め、それを合計することによって ($P_s = \sum P_n$)、上位系統の電源容量を算定する (図 4)。ただし、……上位系統内での事故に伴う供給力の確率変動を考慮するため、供給力の低下を負荷の発生とみなした等価負荷持続曲線を用いている」と記述している。

- ・各地の負荷持続曲線を単純に合計したものが全系統の負荷持続曲線にはならない（負荷発生の不同時性および持続曲線の横軸座標の不一致）。
- ・本来、時系列要素のデータを時系列要素をもたない持続曲線に変換するため図 5 のような単純な負荷持続曲線にならない（ピークカット分は横軸上にバラバラに上乘せされる）。
- ・EI 手法では予備力を設定しないと LOEP 計算ができないのに、どのようにして各地の「信頼度評価」をしているのか？（〈2・3〉節(1)）
- ・EI 手法の LOEP 計算では既に電源側の事故確率、その他確率要素を考慮されたものを使用している。供給力の低下を負荷の発生とみなした各地の等価負荷持続曲線を

合計した等価負荷持続曲線を使うことは適正でない。

回 答

上野美生子・北 裕幸

田中 英一・長谷川 淳 (北海道大)

貴重なご意見をいただきまして、誠にありがとうございます。
以下のように回答させていただきます。

[1] の質問への回答

質問者は、本論文では分散電源が信頼度を低下させることを前提としているかのように述べていますが、この点について論文中では全く言及しておりませんし、そういった状況を想定して計算を行っているものでもありません。むしろ、IPP、託送等の導入に伴う1, 2次系送配電設備（ここでは上位系統と呼んでいる）における信頼度低下に対しても、需要家の近くに分散電源（より正確には電力改質センター（QCC））を導入することによって、高品質を求める需要家に対し高い信頼度の電力を供給しようとしているものです。すなわち、質問者が後半部分で述べている「分散電源の導入は需要家側の信頼度を向上させる」という特性をまさに考慮したものと言えます。なお、質問者は分散電源を各需要家が個別に導入する状況について述べていますが、それは単に本論文における下位系統を、地域という単位から個々の需要家の単位に置き換えることに相当し、計算量は増加するものの評価手法自体は本質的に何ら変わるものではありません。QCCの守備範囲をどの程度にすべきかは別の問題であり、本論文ではそこまでは踏み込んでいません。

また、「分散電源の導入は送配電設備投資を大幅に減少させ、経済効果が大きい」という点は、ご指摘のとおりかと存じますが、本論文では、文中に記載してありますように流通設備については考慮していません。

[2] の質問への回答

質問者は、本論文では高品質電力供給は電力会社が行うことを前提としているかのように述べていますが、この点についても論文中では全く言及しておりません。本論文では、社会全体として望ましい状況を見出すために、システム全体におけるコスト（社会コスト）が最小となる点を求めているものであり、この場合、電力改質センター（QCC）の所有者が誰であるかを特定する必要はありません。また、高品質電力を供給するための分散電源のコストは、高品質電力を選択した需要家が負担することとして計算を行っており、それを標準品質電力を選択した一般需要家へ転嫁するような計算も行っていない。

[3] の質問への回答

(1) 本論文のLOEPの計算は、日本電力調査委員会EI方式とは基本的に異なっており、文献(5)で詳細に記述されている等価負荷持続曲線の概念に基づいたものです。なお、仮にEI手法を用いたとしても、ここではLOEPの値を指定して計算します（実際にはこれをパラ

メータとして変化させ、社会コストが最小となるLOEPを求めている）ので、それを満たすような予備力は一意に決定されるものと考えます。以下では、本論文の計算手法をより具体的に説明させていただきます。まず、上位系統からの供給力とは、その地域が上位系統から受電可能な最大電力を意味していますが、この値は上位系統の事故などによって確率的に低下する可能性をもっています。この供給力の低下を等価的に負荷の発生と考え、これをオリジナルの負荷の確率密度関数に畳み込むことで、供給力の低下を織り込んだ等価的な負荷の確率密度関数およびその持続曲線を算出することができます（これを等価負荷持続曲線と呼ぶ）。これにより、上位系統からの供給力は低下することのない一定の値として扱うことが可能になります。得られた等価負荷持続曲線に対して、与えられた（一定の）供給力を越えた部分の面積が不足電力量の期待値に相当します。したがって、逆にLOEPの値を最初に指定すると、それを満たすように上位系統からの供給力を決定することができます。この供給力には、その地域としての予備力分も当然含まれております。なお、QCCでは、供給力低下時において、標準品質電力は高品質電力よりも優先的に負荷遮断されるとともに、QCC内に導入されている分散電源によって高品質負荷へ供給することを考えています。したがって、本論文の図6(左)のように高品質負荷に対する等価持続曲線において、上位系統からの供給力と分散電源を高品質負荷に優先的に割り当てることで高品質電力の不足電力量を計算することができます。また、図6(右)のように、総需要の等価負荷持続曲線から高品質電力への割当て分を除くことで標準品質電力の不足電力量も計算されます。

(2) 各需要家の信頼度レベルを現状と同じにしたうえで、供給力を地域負荷ごとに算定しそれを積み上げるのであれば、ご指摘のとおり、必要以上に大きな電源容量が必要になります。しかしながら、本論文では、FRIENDSの概念を導入したことにより、信頼度管理に関して現状とは異なる考え方を想定できるという特徴があります。すなわち、すべての需要家の信頼度レベルを必ずしも現状と同じにするのではなく、各需要家の信頼度ニーズを考慮して品質別電力供給を行うとともに、その際の品質レベルについても地域ごとに異なる値を取り得ることを想定していま

参考図 等価負荷持続曲線と不足電力量

す。これにより、結果として電源が適材適所にむだなく導入され、社会コスト最小化の点ではむしろ現状よりも少ない供給力で十分であるという可能性が出てまいります。

〔4〕の質問への回答

ご指摘のとおり、各地域の負荷持続曲線を単純に合計したものは全系統の負荷持続曲線にはなりません。このため本論文でも、全系統の負荷持続曲線は各地域の負荷を同じ時間帯どうして合成し作成しております。なお、論文中でも述べているように、実際には地域間の不等時性により、 ΣP_{Si} だけの電源容量は必要ありません。すなわち、本論文では「これよりは多くなることはない」という多めに見積もった値で評価をしていることになります。ただし、従来システムと分権型電力供給システムの両方に対して同様に評価することになるので、これより評価結果が大きく変わることはないと考えています。

なお、本論文の LOEP の計算は〔3〕(1)の回答でも述べましたように、EI 手法とは基本的に異なるものです。

質問事項

質問者 伊与田 功 (三菱電機)

高品質負荷の停電単価を変化させると結果はどのように変化するか。代替手段である VPS の価格に比べ ¥10000/kWh は高いようにも思う。また停電コストは kWh に比

例するだけでなく、瞬低のように短時間でも大きな被害コストを発生させる要素もあるが、この要素の取扱い方法について見解をお願いしたい。

回 答

上野芙美子・北 裕幸
田中 英一・長谷川 淳 (北海道大)

貴重なご意見を頂戴し、誠にありがとうございます。停電単価の値は、文献(10)、(11)を参考に与えておりますが、論文中に記載しておりますように、高度情報化社会、高齢化社会の進展に伴い、将来的には無停電化に対する要求が現在よりも更に大きくなるとの想定に基づいて、高品質需要の停電単価を、上記文献に記載されている値よりは若干高めに設定しております。停電単価を低く見積もった場合には、品質別電力供給を行うことによる停電コストの減少効果が小さくなりますので、分権型電力供給システム導入によるメリットも小さくなることが考えられます。

また、ご指摘のとおり、停電コストの評価には、瞬低のようないわゆる電力の波形品質に係る要素も無視することはできません。本論文では、電力品質としてまず信頼度に着目したため、QCC 内部の構成として分散電源、電力貯蔵装置のみを想定しましたが、波形品質をも考慮する場合には、より高度な制御が可能な系統切替えスイッチや UPS のような品質改善装置を QCC 内に導入することが不可欠であり、これらのコストも含めて評価することが必要となります。以上の点は、今後検討すべき重要な課題と考えております。