

アンシラリーサービスの新しい費用配分ルール

浅野 浩志

1. アンシラリーサービスとは

電力システムの発送配電の各機能が分離され、電気エネルギー(有効電力)を発生し、配電会社あるいは需要家まで送るサービス(送電サービス)と予備力確保、電圧維持、周波数調整などシステムを安定的に運用するサービスが独立に供給される必要が生じた場合、従来電力供給サービスの中に含まれていたシステム運用維持に不可欠なサービスをエネルギーや送電サービスとは別に定義する必要がある。このようなシステム運用サービスをアンシラリーサービスと称する。わが国では補助的サービスと訳されることが多いが、正確にはシステム運用維持サービスとも呼ぶべきものである。北米電力信頼度協議会(NERC)では連系システム運用サービス(IOS)と呼ぶ。一般にアンシラリーサービスには、周波数制御、瞬動予備力、待機予備力、電圧調整(無効電力)、ブラックスタートなどが含まれる。

わが国の場合、一部特高需要家に部分的にダイレクトアクセスが認められても、相対取引のみで、実時間で運用するようなスポット市場は未だ存在しないが、新規参入者(PPS)がいわゆる同時同量を達成できない場合、システム運用者である既存電力会社が需給バランスをとるための運用を行わざるを得ない。この追加的なサービスコストはまさにアンシラリーサービスコストの一部であり、全系均一ではなく、特定の電力取引に起因する場合、適切に費用分担することが公平である。

このように現時点でもアンシラリーサービスの適切な提供と価格設定はある程度重要

であり、さらに将来を見通すとわが国においてもその重要性は高まる。また、アンシラリーサービスの効率的で公平な費用配分ルールの確立は、送電料金などと並んで、制度設計の不可欠な要素となっているにもかかわらず、先進的にアンシラリーサービスを導入している諸国においても理論的に十分に検討がなされているわけではない。そこで、小論では、既存の総括原価主義にかわる新しい配分ルールについて解説する。送電料金設定¹⁾と同様に限界費用や増分費用に基づく単価の設定がよく提案されるが、ここでは、これらの既存のルール以外にゲーム理論を共通費用配分問題に応用して、オーマン=シャープレイ値配分方式の優れた特質(収支条件、効率性、公平性)を紹介する。

2. 共用サービスの費用配分

アンシラリーサービスには、託送契約毎に分離でき、送電利用者の個別要求に基づいて対応可能な個別サービスと、システム運用者が安定供給・信頼度維持のため全量制御し、全系に配分する共用サービスとがある。

例えば、加州では、個々のサービスが分離・計量可能ならば、送電利用者はサービスを自主供給するか、独立システム運用機構(ISO)等が運営するアンシラリーサービス市場で調達する。一方、分離・計量できないならば、ISOが必要量を調達し、全ての利用者が電力取引の規模に応じてサービスコストを負担する。ここではこの負担ルールの望ましいあり方を論じる。

例えば、電圧維持のための無効電力供給機能の場合、託送市場において託送利用者の中に

はより多くの無効電力を要求する利用者とそうでない利用者の間に負担の不公平が生じる。しかし、NERCでは実際にはこの分離のための費用を正当化するほどのメリットはなく、均等負担としている^[3]。

3. 従来の価格設定方式

総括原価方式：電圧維持のために調相設備などから供給され、市場からの調達が困難なメニューについては、サービスコストを基に料金を設定する。規制当局の認可を要する。

市場価格決定方式：瞬動予備力など市場から調達可能なメニューについては競争市場に委ねる。上限を設けることもある。

現実に適用されるルールは総括原価方式が主流である^[2]。

4. 新しい費用配分ルール

4.1 費用配分ルール評価の視点

アンシラリーサービスの費用構造を考えると、その全てのサービスを競争市場で効率的に調達することができるわけではないことが分かる。したがって、市場に委ねられない部分（共通費的な部分、特に系統運用部門が主体となるサービス）について利害関係者間で費用を配分するための何らかのルールが必要となってくる。しかも、そのルールは次の条件を満たすことが望ましい。

- A) 経済効率性
- B) 参加者間の公平性
- C) 費用の回収（収支均衡）
- D) 協力ゲームにおける提携参加へのインセンティブの有無

特に採用されたルールのインセンティブ両立性が重要であり、理論的には協力ゲームの提携が形成され得るか、費用を長期的に削減できるかに関心が集まる。

以下の議論において、アンシラリーサービスの費用は費用関数 $T(\mathbf{b})$ [\mathbf{b} は参加者 i の取引量 $b_i(i=1, \dots, n)$ のベクトル]によって表されるものと仮定する。例えば、 \mathbf{b}_i を各エージェントの取引量とし、次式のようなサービス費用関数を想定する。

$$\mathbf{b} = \{b_1=1; b_2=2; b_3=1\}$$

$$T(\mathbf{b}) = b_1 + (b_2 + b_3)^3 \quad (1)$$

$$\text{総費用は、} T(1, 2, 1) = 1 + (1+2)^3 = 28$$

となる。

このような関数と数値例を用いて

- ・限界費用方式
- ・シャープレイ方式
- ・オーマン-シャープレイ方式

等の費用配分の方法について考察する^[4]。

4.2 限界費用配分方式

経済理論によれば、限界費用による価格設定（すなわち完全競争市場における価格）は、ある仮定の下で最も効率的な資源の配分をもたらすことが知られている。しかし、限界費用による共通費の配分は総費用を上回る（下回る）収入をもたらすことがある。例えば、(1)式を用いると、総収入は、82となり、総費用28を上回る。そこで、一律に一定の比率をかけて総収入が総費用に等しくなるように調整することはできるが、この時ある参加者の提携が他の参加者を補助する可能性が生じる。数値例では、エージェント1の費用は1であるが、調整済み限界費用方式での負担は、0.34で済むため、他の参加者から補助を受けることになる。

4.3 増分費用配分方式

各参加者が順番に加えられた時の費用の差分(増分費用)をもとに配分した場合、費用回収と相互補助の問題は解決できるが、加える順番によって配分の結果が異なるという欠陥が

ある。(1)式の例では、増分費用が逡増するため、できるだけ早く参入した方が有利になる。

4.4 シャープレイ値配分方式

シャープレイ方式^[6]は、増分費用方式の欠陥を補うため、加える順序に関する全ての順列について、増分費用による配分を計算し、その平均値によって最終的な配分を決めるものである。

(1) 全ての可能な参入順位の計算

・増分費用配分方式では、送電線サービスを受ける順番について不公平が生じる。

・エージェントがある(協力)ゲーム(アンシラリーサービスは一種の公共的な財で共通設備の利用に関して協調が必要)参加しようとするとき、各エージェントにとってどれだけの利得あるいは費用負担が生じるかを予想する。

各エージェント*i*にとってある提携(ある託送契約)*S*から抜けたときの利得*v*の差を限界貢献度という。

限界貢献度= $v(s)-v(S-\{i\})$ 、*v*は特性関数(提携の収入あるいは価値)

*n*人のエージェントがランダムな順序で全体提携*N*を形成するとき、シャープレイ値 $\phi_i(v)$ はエージェント*i*の提携に対する限界貢献度 $v(s)-v(S-\{i\})$ の期待値(その提携がどの程度の確率で形成されるかを考える)である。

$$\phi_i(v) = \sum r(S)[v(s)-v(S-\{i\})] \quad (2)$$

$$r(S) = (s-1)!(n-s)!/n!$$

エージェント全体を並べる順序は*n!*通りある。エージェント*i*を含む提携*S*を固定したとき、*S*のメンバーの数を*s*とすると、提携*S-\{i\}*のメンバーの数は(*s-1*)で、*S*以外のエージェントの数は(*n-s*)であるから、提携*S-\{i\}*の形成方法は、(*s-1*)!(*n-s*)!通りある。

エージェント*i*が最後に参加して提携*S*が成

立する確率は、(*s-1*)!(*n-s*)!/n!となる。

この確率が限界貢献度 $v(s)-v(S-\{i\})$ のウェイト $r(S)$ に相当する。

全ての参入順位毎のサービスコスト*T*()を計算し、加重平均を計算している。この平均値がシャープレイ値 {1,17,10} に相当する。

(2) シャープレイ値配分方式の限界

参加者の数が増加すれば、計算回数は指数的に増加して計算コストがかかる、という難点に加え、取引量に対して中立的ではないという問題があり、同質的な参加者間で不公平が生じる場合がある。すなわち、取引量一単位あたりの費用負担額が異なる。

同質的なエージェント間でさえ、取引単位量に関して公平でない場合が生じる。

例：エージェント2と3で取引量(託送量)が異なる場合、下記のように託送単価に差が生じる。

エージェント2：8.5/単位

エージェント3：10/単位

4.5 修正シャープレイ値配分方式

シャープレイ方式による配分の限界は、各参加者を取引量の最も小さい参加者に合わせて分割し、分割された単位の全ての順列について増分費用を計算することで克服できる。

修正シャープレイ値配分方式ではシャープレイ値配分方式の比較可能要件の問題を解決するため、エージェントの取引サイズを均一にする。ここでは、エージェント2を他のエージェントと同じサイズに分割する。全てのエージェントでシャープレイ値(9/単位)が等しくなり、取引規模に関する公平性が保たれる。

4.6 オーマン-シャープレイ値配分方式

オーマン-シャープレイ方式は、修正シャープレイ方式における参加者の分割単位を極限まで小さくとった場合の配分である。オーマ

ン-シャープレイ方式によって、収支均衡条件を満たした上で、経済効率的かつ公正な配分が実現される。数値例では、修正シャープレイ値(9/単位)と同一である。

オーマン-シャープレイ値は、**additive, weakly aggregation invariant, non-negative**といった属性を備えていることが証明されている^[5]。

オーマン=シャープレイ値の性質：

1) 加法性

特性関数 v, w に対して

オーマン=シャープレイ値

$$\phi_i(v+w) = \phi_i(v) + \phi_i(w), i=1, \dots, n$$

が成立。

2) 集計に関して弱不変

シャープレイ値のもつ対称性の性質を取引単位を均一にしたときに拡張したもの。

ある配分ルール f に関して、

$C(q_1, \dots, q_n) = C'(\sum \lambda_i q_i)$ for all $q \leq q^*$, q^* は目標とする生産水準。 C は総コスト, C' は固定費。

implies $f_i(C, q^*) = \lambda_i f_i(C', \sum \lambda_i q^*)$

を満たすとき、 f は集計に関して弱不変。 λ_i は取引 q_i を集計するときのウエイト。

3) 単調性

エージェント i がコスト低減に貢献するとき、 i の単価が増加しないこと。

これはインセンティブ両立性の必要条件である。

5. 結語

CEPEL(ブラジル電力研究所)では、上記のようなオーマン-シャープレイ方式の配分ルールを24母線系統における無効電力費用配分問題に適用し、その有用性を示している。26の相対取引が同時に生じる時でも、収支の差は1%以下に収まっている。このような考え方が現実に検討される背景には既に送電網利用者間で交渉による価格決定が行われていることがあげられる。

現実に適用するときは、各送電線利用者ごとの寄与が明示される費用関数を同定できるかが最大の課題である。電圧維持のための無効電力供給は、発電設備と送変電設備の双方から提供され得る。調相設備など送変電設備からの無効電力供給は送電料金に含まれる。発電設備(多くの場合、ISOから信頼性マストラ設備に指定される)からの無効電力供給は、運転費用を0とし設備のみ総括原価に含む。実際にはどの発電機からどれだけ無効電力を供給しているかを同定することは難しい。

わが国では、発電事業者からアンシラリーサービスを調達するスポット市場が存在せず、系統運用を既存の垂直統合型電力会社が一括して行うため、託送料金にそのコストが含まれ、平均費用に基づく費用分担が適用されている。将来、新規参入者や離脱需要家らと既存利用者間で公平な費用負担(収支均衡条件)を実現し、送電網の効率的な利用を促すインセンティブを付与されるルールとして、小論で取り上げた新しい費用配分ルールは一考に値する。

【参考文献】

- [1] 浅野浩志：競争的電力市場における送電料金設定の現状と課題、電力経済研究 No.38、1997年7月
- [2] ORNL(1996), Ancillary Service Costs for 12 U.S. Electric Utilities, ORNL/CON-427
- [3] NERC(1997), Defining Interconnected Operations Services under Open Access, NERC IOS WG Final Report.
- [4] F.L.Alvarado, et al.(1999): "Methods and Tools for Costing Ancillary Services", CIGRE SC-38, August, 1999
- [5] H.P.Young(1994): "Cost allocation", in Handbook of game theory, Vol. 1, Elsevier
- [6] 鈴木(1994)、新ゲーム理論、勁草書房

〔あさのひろし
電力中央研究所 経済社会研究所〕