

論文

公益事業の負荷平準化による利益管理 —規制緩和後の電力産業への非協力ゲームの適用—

檜尾 博*

小倉 昇†

<論文要旨>

本論文で扱う電力、ガス等の公益事業の利益管理は、他の産業といくつかの点で異なる特徴を持つ。

1) サービスの価格（コスト）と設備利用率との関係

需要の平準化による設備利用率の向上がコストの低減、利益の増大、サービス価格の低下に結びつく。

2) 公共サービスに対する利用者選択の硬直性

規制料金のため、柔軟な料金設定ができない。また、利用者側でもサービスを利用するために初期投資が必要で、一旦選択すると簡単には代替サービスに移行できない。

3) 利用者のサービス購入価格とサービスの社会コストのコンフリクト関係

一般的に既存サービスの利用機器の価格は、新サービスの利用機器の価格を下回る。一方、サービスの利用量が増加し、設備能力の上限に達すると、サービス提供に機会原価が生じるが、公共料金では機会原価を反映した価格設定は難しい。

本論文では2つの代替的な公益サービス（電力とガス）の設備利用率のアンバランスに着目し、需要を平準化させるためのコントロールの手段として、利用者の機器導入時における補助金政策を提案する。電力会社とガス会社をそれぞれプレーヤーとみなし、ビル空調需要家の獲得を非協力ゲームとして定式化し、以下の2ケースについて定量的に分析し、負荷平準化による利益管理の提案を行う。

1) 現状の規制を前提として、電力会社は電気蓄熱式に、ガス会社はガス空調に対し補助金を出す。

2) 規制緩和を前提として、電力会社がガス会社のガス空調に対しても補助金を出す。

東京電力と東京ガスについて数値例に適用してみたところ、現実には両者が熾烈な競争をしている事実に対し、規制緩和されると電力会社がライバルのガス空調に対しても機器導入時に利用者に補助金を出せば、より利益を上げることが可能なことを定量的に示すことができた。

<キーワード>

利益管理、公共サービス、需要コントロール、ゲーム理論、価格政策

1999年 1月 受付

1999年 7月 受理

*筑波大学大学院 経営・政策科学研究科博士課程企業科学専攻

†筑波大学大学院 経営・政策科学研究科教授

1. はじめに

本論文で扱う電力、ガス等の公益事業の利益管理は、他の産業といくつかの点で異なる特徴を持つ。以下にいくつか整理してみる。

1) サービスの価格（コスト）と設備利用率との関係

公益事業はピーク需要に対応するだけの設備を保有する義務があるため、サービス需要のピーク時以外には生産能力の余剰（アイドルキャパシティ）が生じている。需要の平準化がコストの低減、その結果として利益の増大、価格低下に結びつく。

2) サービスに対する利用者選択の硬直性

- ①規制料金（総括原価主義）のため、一部季節別料金制度等はあるものの、増分需要を直接コントロールするような料金設定ができない。
- ②サービスを利用するために利用者も初期投資が必要で、利用サービスを一旦選択すると簡単には代替サービスに移行できない。したがって、代替サービス間の利用者の移行を促進するために初期投資コストへの補助金（以下イニシャル補填と言う）が行われることがある。たとえば、消費者を囲い込むため、PHSの通信サービス業者がただ同然で通信機を販売し、切り替えを促進しているのはこの例である。

3) 利用者のサービス購入価格とサービスの社会コストのコンフリクト関係

社会全体からみてあるサービスの提供がボトルネックになっていない状況では、最も社会コストの安いサービスの利用が奨励される。そのサービスの利用量が増加し、設備能力の上限に達すると、サービス利用に機会原価が生じる。よって、サービス提供コストは、社会的に最も経済的な選択ではなくなるが、公共料金では機会原価を反映した価格設定は難しい。

一方、利用者からみると既存サービスについては、これまでの既存機器の利用、既存利用者の機器取替需要等による規模の経済性によって、既存サービスの利用機器の初期導入（購入）価格は新サービスのそれを下回る。したがって、既存サービスの利用が社会的に最適な選択でないにもかかわらず、利用者の既存サービス需要は増加し続ける。

本論文では以上のような公益事業のサービスの特徴を考え、2つの代替的な公益事業（電力とガス）の設備利用率のアンバランスに着目し、需要を平準化させるためのコントロール手段として、利用者の機器導入時にイニシャル補填の提供による導入促進策を提案する。イニシャル補填を使って電力需要のピーク時（夏季）の利用者をガスの利用へシフトさせることにより、電力会社とガス会社のコスト低減を図る。これは、一種の価格政策である。このような需要平準化政策の実現性についてゲーム理論を適用し、検証した。

2. 電力・ガス供給サービスへの適用

はじめに、電力産業の現状について概略する。日本の電力料金が欧米各国に比べ高いことから、現在、政府の審議会では、供給側に対しては、新規発電設備の入札制度（今後電力会社が必要とする新規の長期火力発電設備については、電力会社のみでなく、独立発電事業者も建設することができ、第三者機関が入札により決定する仕組み）や一部小売り自由化（2万ボルト以上の特別高圧需要家、主に工場等、に対して電力会社以外の独立発電事業者が電力会社の送電線を利用して、自由に電気を販売できる仕組み）等の競争促進策が検討されている（参考文献 [4]）。また、需要側についてみると、電力会社の設備投資は需要のピークである夏期の昼間に合わせて行われるため、ピークを押し上げるビルの冷房需要の伸びは、設備稼働率の低下につながり、電気料金の高い理由の一つとなっている。そのため、電気蓄熱式冷房（夜間に蓄熱槽に電気冷凍機により氷や冷水を貯め、昼間にその冷熱を利用する冷房方式）やガス冷房（都市ガスによる冷房）のさらなる普及による電力需要の平準化も検討されている（図1）。

電力使用量

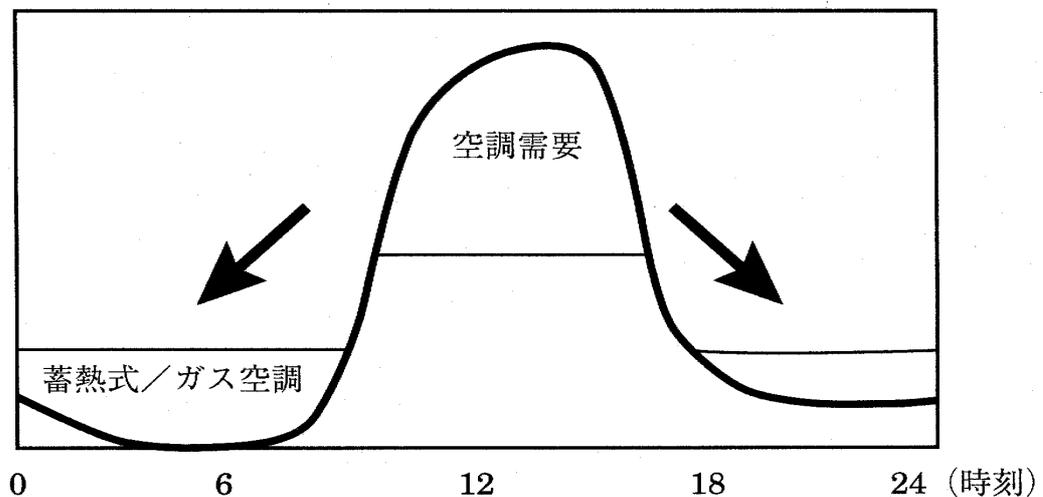


図1 蓄熱式空調による負荷平準化のしくみ

本研究では、電力需要のピークが業務用ビルの空調利用による夏場の昼間であるのに対し（図2）、ガス需要のピークは家庭の入浴による冬場の夜間（8－9時頃）であることに着目し（図3）、負荷平準化による電力会社とガス会社のそれぞれの利益管理を検討した。そこで、電力会社とガス会社をそれぞれプレーヤーとみなし、ビル空調需要家獲得競争を非協力ゲームとして定式化し、以下の2ケースについて定量的に分析し、負荷平準化のための新たな価格政策について提案を行う。

- 1) 現状の規制の枠組みで、電力会社は電気蓄熱式に、ガス会社はガス空調機に対しイニシャル補填を行う場合。
- 2) 規制緩和を前提として、電力会社がガス空調機に対してもイニシャル補填を行う場合。

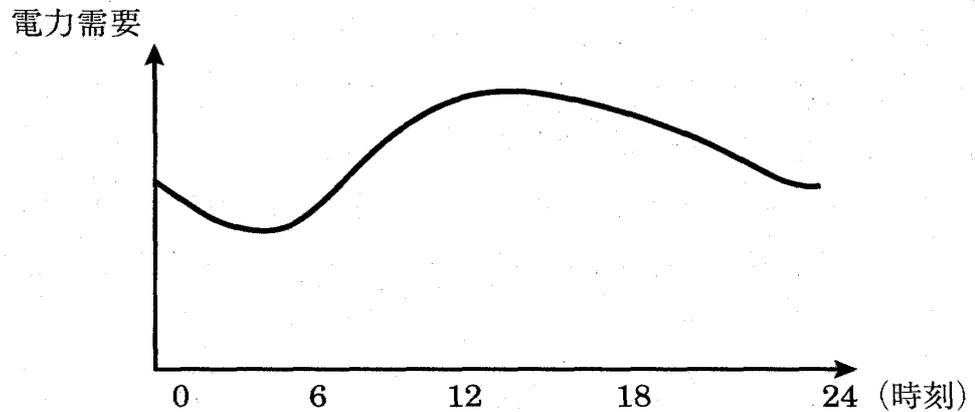


図2 電力需要パターン (夏季)

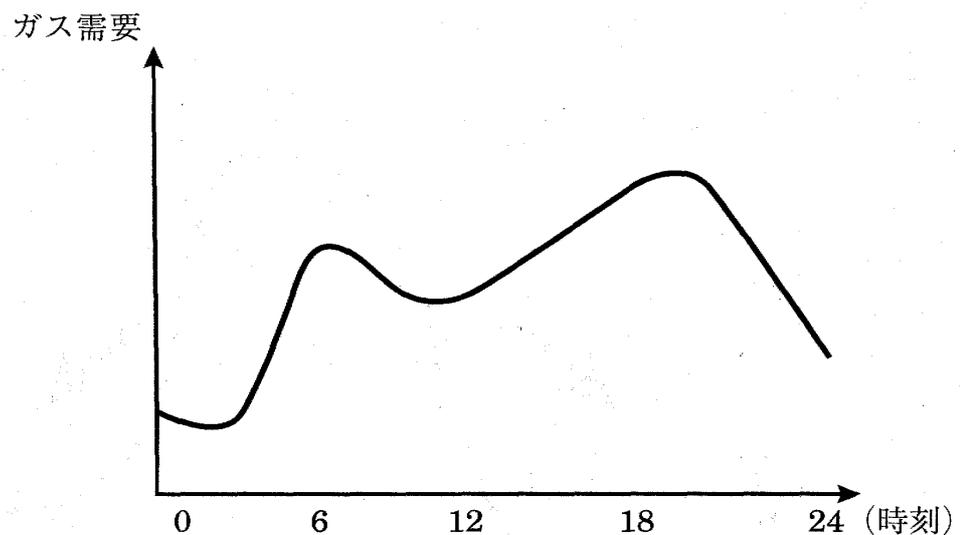


図3 ガス需要パターン (冬季)

従来の研究では、高橋 [9]、Gately [5] のように電力会社内の負荷平準化や、浅野 [2] のような発電部門での競争を扱ったものがある。また、西川等 [11] は、季節別時刻別料金の導入によって負荷平準化の提案をおこなっているが、これらの負荷平準化策では本研究のような代替的なエネルギーへの積極的な移行促進を実現することは難しい。

また、費用に関して簡単な理論式を与えて分析することが多いが、本研究では Kaplan et. al. [3] の活動基準原価計算の手法を参考にし、より現実的な費用関数を作成した。具体的には各社のセグメント別財務データから原価をコストプールにまとめ、それぞれ費用

発生要因を設定して、回帰分析により費用関数を推定した。さらに推定した費用関数に基づき、イニシャル補填による負荷平準化策の効果について実証研究を行った。

営業の第一線では、電力会社とガス会社はビルの空調機器の導入をめぐる熾烈な競争をしている。しかしながら、本研究の結果は現実に反して、電力会社が当面のライバルであるガス空調機器に対してイニシャル補填し、移行促進を行った方が、ガス会社のみならず電力会社にとっても利益を増大させることがわかった。

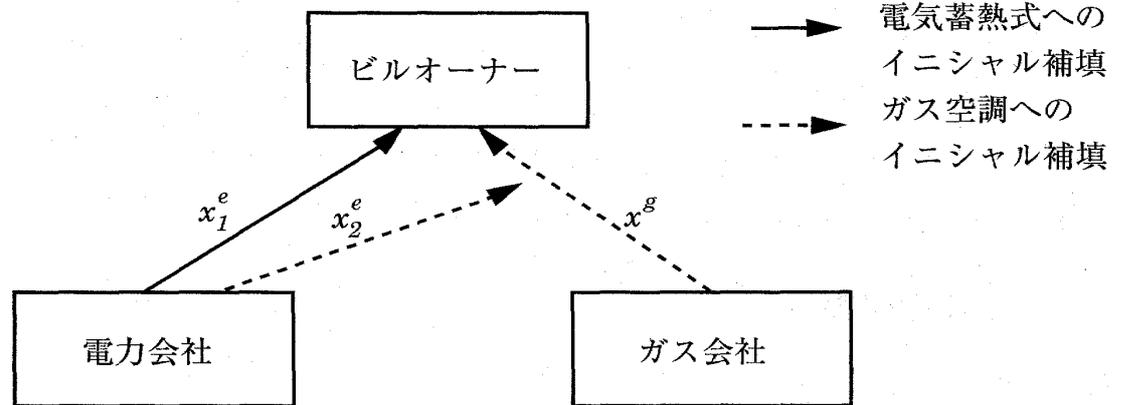
3. モデルの概要

3.1 ゲームのしくみ

ビルの空調機器の導入をめぐる電力会社とガス会社が競争を行う状況を、非協力ゲームとしてモデル化する。導入される空調機器は、負荷平準化を可能とする電気蓄熱式とガス空調、負荷平準化に反する従来型電気の3種類である。もちろん、それぞれの機器にイニシャル補填することは理論上可能である。しかし、電力負荷のピークをさらに押し上げる従来型電気に、電力会社がイニシャル補填してまで導入を促進することは、利益管理という点からあり得ない。また、ガス会社がガス需要の負荷平準化に貢献する夏期の空調需要を失うことになる電気蓄熱式や従来型電気に対してイニシャル補填することもあり得ない。したがって、ここでは空調機器導入時に、電力会社がビルオーナーに対する電気蓄熱式とガス空調へのイニシャル補填額をいくりにするかと、ガス会社がガス空調へのイニシャル補填額をいくりにするかを、各社の価格政策とする(図4)。利用者のランニング費用にあたる電気料金やガス料金は規制を受けているため、電力会社、ガス会社ともに戦略的には変えられないとする。また、ビルのオーナーは、空調機器に関するイニシャル費用とランニング費用の情報だけに基づいて空調機を選択すると仮定する。

電力会社やガス会社は設備産業のため、負荷平準化の効果は長期的に現れてくる。そこで本研究では各企業は長期的な利益最大を目指して、利用者へのイニシャル補填額を意思決定する。ここではある年に空調機器を導入するビル群が競争対象である。各社は、次の機器更新時まで(機器更新年数を20年と仮定して計画期間は20年)ビル群から得られる利益の現在価値から、初期年(設備導入年)のイニシャル補填額を減じた累積利益を最大化する。ここでは、各社がそれぞれ最適な価格政策をとるケースと、電力会社をリーダーとしガス会社をフォロワーとして最適化するケースの2通りを検討する。後者のケースでは、リーダーである電力会社は自分の戦略(イニシャル補填額)に対するフォロワーであるガス会社の戦略(イニシャル補填額)を予想して、自分の戦略を先手で決定する。フォロワーは後手で(リーダーの戦略を知ってから)、最適な自分の戦略(イニシャル補填額)を

決定する。



電力会社へのイニシャル補填額 (x_1^e, x_2^e) ガス会社へのイニシャル補填額 (x^g)

図4 ゲームのしくみ

3.2 民生用ビル需要家の機器選択モデル

ビルのオーナーが選択できる空調機の種類 i を3通り ($i = 1$: 電気蓄熱式, $i = 2$: ガス空調, $i = 3$: 従来型電気空調機) とする. ここでビルオーナーの各空調機 i の効用 U_i を空調自体の効用 U_0 と, イニシャル機器費用 IN_i から電力会社のイニシャル補填額 (x_1^e, x_2^e) とガス会社のイニシャル補填額 x^g を減じたものに, ビルオーナーの設備回収検討期間の総ランニング費用 (各空調機 i の年間ランニング費用 R_i * 回収検討期間) を足した合計費用で定義する. ただし, 電力会社は電気蓄熱式とガス空調へ, ガス会社はガス空調のみにイニシャル補填を行う. 費用以外の要因は本研究では無視した. 合計費用による機器選定の効果を表すパラメータ a (ただし, a は正) とイニシャル費用とランニング費用とのバランスを表すパラメーター b を導入すると, 各空調機 i を設置したときのビルオーナーの効用 U_i は,

$$U_1 = U_0 - a \{ (IN_1 - x_1^e) + bR_1 \} \quad (1)$$

$$U_2 = U_0 - a \{ (IN_2 - x_2^e - x^g) + bR_2 \} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} U_3 &= U_0 - a \{ (IN_3 + bR_3) \\ &= U_0 - a (IN_3 + bR_3) \end{aligned} \quad (3)$$

となる.

誤差分布 ϵ_i に2重指数分布を仮定すると, 多項ロジットモデル (付録1参照) となり, 上記の効用値 U_i を使って各空調機は以下のような確率 p_i で選択される. p_i は式の形から U_0 の大きさに依存せず, 合計費用のみによって決定される.

$$p_i(x_1^e, x_2^e, x^g) = \exp(U_i) / \sum_{j=1}^3 \exp(U_j) \quad (4)$$

4章、5章の適用事例では、一般的にいわれている空調機器等のビルオーナーの回収年から(1)式のパラメータ b を3年として、また(5)式が、最近の従来型電気とガス空調との現実の市場シェア(東京ガス調べ)に整合するよう、パラメーター a を0.005と設定した。

3.3 民生ビルの電力需要とガス需要

ある年に空調機 i を導入したビル群(電力需要群 i と呼ぶ)の電力需要の合計を D_i^e とする。ガス空調が導入されても、照明・動力分として電気が消費される。各電力需要群内では1件あたりの年間販売量 d_i や年間稼働率等の負荷ファクターは同一と考える。ある年に空調機を導入するビルの総件数を K 、空調機 i を導入するビルの件数を k_i とすると、 k_i は x_1^e, x_2^e, x^g の関数で以下のようなになる。

$$k_i(x_1^e, x_2^e, x^g) = K p_i(x_1^e, x_2^e, x^g) \quad (5)$$

これから空調機 i を導入したビルの電力需要の合計 D_i^e は以下のようなになる。

$$D_i^e(x_1^e, x_2^e, x^g) = k_i(x_1^e, x_2^e, x^g) d_i \quad (6)$$

次にガス需要についても同様に考える。ガス空調を導入したビルのガス空調需要の合計を D^g とする。ガス空調需要は1件あたりの年間販売量 g 、年間稼働率、季節備蓄量等の負荷ファクターは同一と考える。ビルのガス空調需要の合計 D^g は、電力需要と同様に以下のようなになる。

$$D^g(x_1^e, x_2^e, x^g) = k_2(x_1^e, x_2^e, x^g) g \quad (7)$$

3.4 電力会社の目的関数

各電力需要群の電力需要は、前節で述べたように電力会社の電気蓄熱式とガス空調へのイニシャル補填額 (x_1^e, x_2^e) とガス会社のガス空調へのイニシャル補填額 x^g に依存する。また各電力需要群に対応する電気料金 P_i^e は、外生的に与えられるとする。よって電力会社の利益 Π^e (目的関数)は、計画期間に対象となるビル群から得られる利益から補填額を減じた現在価値(割引率を r とする)とする。収入は、各空調機 i に対応するビル電力需要量 D_i^e と電気料金 P_i^e の積である。費用 C^e は次節で述べるように各需要群ごとの電力需要量 D_i^e によって決定される。

$$\Pi^e(x_1^e, x_2^e, x^g) = \left[\sum_{t=1}^{20} (1+r)^{-t+1} \sum_{j=1}^3 \{ P_j^e D_j^e(x_1^e, x_2^e, x^g) - C^e(D_j^e(x_1^e, x_2^e, x^g)) \} \right] - k_1 x_1^e - k_2 x_2^e \quad (8)$$

3.5 電力会社の費用の推定

電力会社の各費用については過去5年間の東京電力の有価証券報告書のデータより推定した。有価証券報告書では、費用をセグメント別に燃料費、発電、送電、変電、配電、販売、一般管理費、事業税等に分けて示されている。ここでは表1のように、4つの機能別コストプールにまとめ、それぞれの費用発生要因を設定した（活動基準原価計算（ABC）の考え方を参考にした）。具体的には、設備に関連する費用については、ピーク時の必要能力（需要）とし、販売関連費用は契約口数が費用発生要因とした。

表1 費用の分類と費用発生要因

| 費用項目 (Y=Y ₁ +Y ₂ +Y ₃ +Y ₄) | 費用発生要因 |
|--|----------------------------------|
| 燃料費 (Y ₁) | 販売電力量 (X ₁) (百万kWh) |
| 発電費・送電費・変電費・配電費 (Y ₂) | ピーク時電力量 (X ₂) (千kWh) |
| 販売費・一般管理費 (Y ₃) | 契約口数 (X ₃) (千口) |
| 事業税 (Y ₄) | 売上げ高 (X ₄) (百万円) |

各コストプールごとに、費用発生要因を説明変数とする費用関数を線形回帰により推定した。推定は、電力会社の場合、過去数年はコンスタントに需要の増加に応じて設備投資を行っているので、過去6年間の実績を元にして求めた（図4、図5）。定数項がマイナスになる場合もあるが、本分析の範囲では影響がないと考えた。ただし、燃料費と事業税については、一定比率を乗じた。将来の費用関数を過去の実績から推定することはやや粗い方法であるが、電力はほぼ技術が確立されたサービスであるので、今後、大幅に費用関数が変わるとは考えにくいので、これを利用することにした。

公益事業の負荷平準化による利益管理

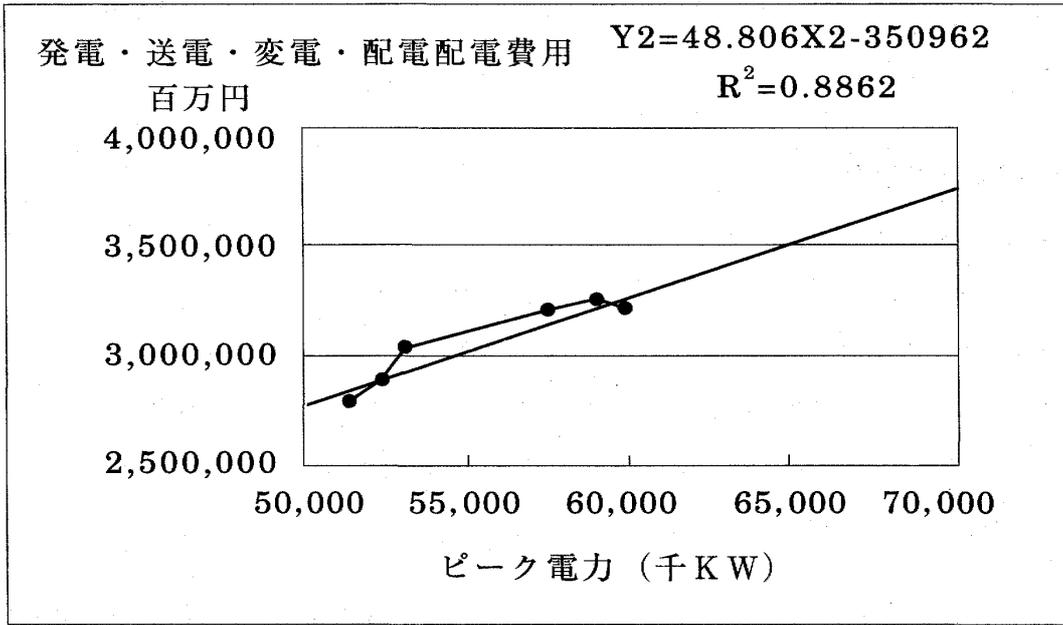


図4 発電・送電・変電・配電費用の推定

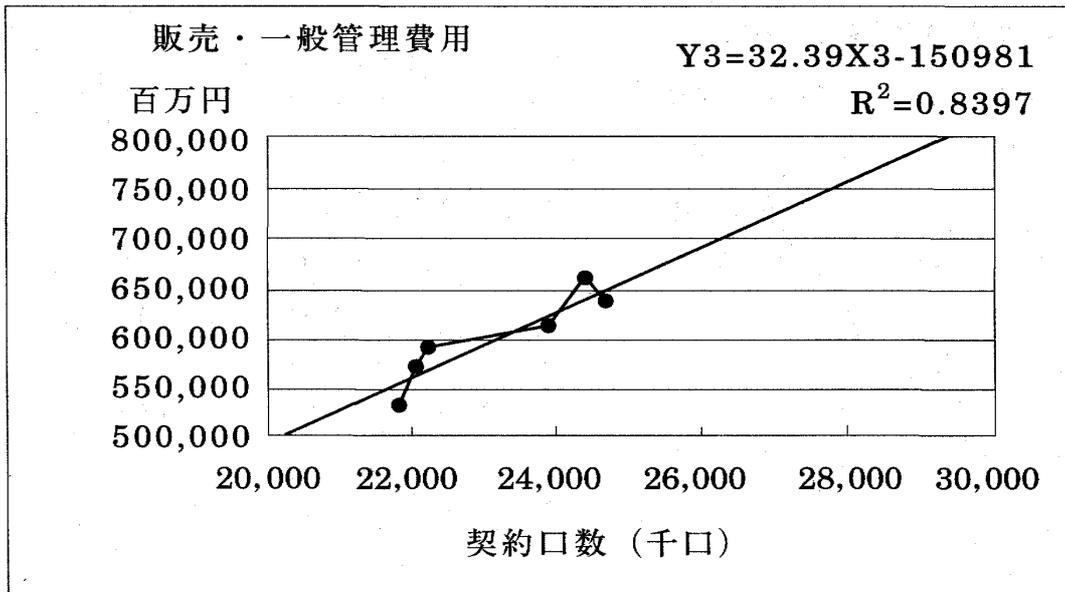


図5 販売・一般管理費用の推定

$$Y_1 = 3.0X_1 \tag{9}$$

$$Y_2 = 48.8X_2 + 35000 \tag{10}$$

$$Y_3 = 32.4X_3 - 15000 \tag{11}$$

$$Y_4 = 0.15X_4 \tag{12}$$

その結果，電力会社の費用関数Yは，

$$Y \text{ (百万円)} = 3.0X_1 + 48.8X_2 + 32.4X_3 + 0.15X_4 + 200000 \tag{13}$$

と推定された。この式から，電気蓄熱式やガス空調のように，年間の電力負荷に対してピ

ーク時電力量 (X_2) が小さい需要群は、1件あたりの電力会社の費用を減少させる効果がある。

3.6 ガス会社の目的関数

ガス空調需要は、電力空調需要と同じく電力会社のイニシャル補填額 (x_1^e, x_2^e) とガス会社のイニシャル補填額 x^g に依存する。ガス空調需要は1件あたりの年間販売量 g 、年間稼働率、季節備蓄量等の負荷ファクターと料金単価 P^g は、同一と考える。ガス会社の利益 Π^g (目的関数) は、計画期間内のガス冷房ビル群から得る利益から補填額を減じた現在価値とする。収入は、ガス空調需要量 D^g とガス料金 P^g の積である。また、費用 C^g はガス空調需要によって決定する。ガス料金は、外生的に与えられるとする。

$$\Pi^g(x_1^e, x_2^e, x^g) = \left[\sum_{t=1}^{20} (1+r)^{-t+1} [P^g D^g(x_1^e, x_2^e, x^g) - C^g(D^g(x_1^e, x_2^e, x^g))] \right] - k_2 x^g \quad (14)$$

3.7 ガス会社の費用関数の推定

ガス会社についても、有価証券報告書から燃料費、製造費、供給費、販売費とコストプールに分け、それぞれ表2のような費用発生要因を設定した。

表2 費用分類と費用発生要因

| 費用項目 ($Y=Y_1+Y_2+Y_3+Y_4$) | 費用発生要因 |
|------------------------------|-----------------------------|
| 燃料費 (Y_1) | ガス販売量 (X_1) (百万 m^3) |
| 製造費 (Y_2) | ガス販売量 (X_1) (百万 m^3) |
| | 季節変動量 (X_2) (百万 m^3) |
| | ピーク流量 (X_3) (百万 m^3) |
| 供給費 (Y_3) | ピーク流量 (X_3) (百万 m^3) |
| 販売費等 (Y_4) | 件数 (X_4) (千件) |

各コストプールごとに費用発生要因を説明変数とする費用関数を推定した。ガス会社の場合、電力会社と異なり約10年間隔で設備投資を行うので、電力会社のように過去の経年データから推定するのは適当ではない。そこで、平成7年の実績から各費用発生要因あたりの原単位を算出した。供給費と販売費が有価証券報告書上では供給販売費となり、分かれていない。そこで、製造設備と供給設備の資産比から供給費を推定し、残りを販売費とした。一般管理費は各費用項目ごとに比例配賦した。また、製造費については、季節備蓄タンク等の季節変動量を説明変数とする比率を60%、気化設備等のピーク時流量を説明変数とする比率を20%、受け入れ設備等の年間ガス販売量を説明変数とする比率を20%

と仮定した。

$$Y_1 = 16X_1 \quad (15)$$

$$Y_2 = 2X_1 + 55X_2 + 7X_3 \quad (16)$$

$$Y_3 = 85X_3 \quad (17)$$

$$Y_4 = 35X_4 \quad (18)$$

その結果、ガス会社の費用関数 Y は、

$$Y \text{ (百万円)} = 18X_1 + 55X_2 + 92X_3 + 35X_4 \quad (19)$$

と推定された。

4. 現状の規制下での電力会社とガス会社の競争

4.1 電力会社・ガス会社が独立に利益を最大化するモデル(ナッシュ均衡モデル)

まず現状の枠組みの下で分析を進める。電力会社は電気蓄熱式にのみイニシャル補填を、ガス会社はガス空調にのみイニシャル補填を行う。ここで電力会社は、ガス会社のガス空調へのイニシャル補填額 x^g に対して自分の利益を最大化する x_1^e を選ぶものとする。そのような x_1^e は x^g の関数であり、電力会社の最適応答関数 $R^{eN}(x^g)$ は、

$$R^{eN}(x^g) = \arg \max_{x_1^e} \Pi^e(x_1^e, x_2^e, x^g) \quad s, t, x_2^e = 0 \quad (20)$$

と定義できる。($\arg \max_x f(x)$ は $f(x)$ を最大にする x を左辺の値とする意味)。

また、ガス会社についても同様に電力会社の電気蓄熱式へイニシャル補填額 x_1^e に対して自分の利益を最大化する x^g を選ぶものとする。ガス会社の最適応答関数 $R^{gN}(x_1^e)$ は、

$$R^{gN}(x_1^e) = \arg \max_{x^g} \Pi^g(x_1^e, x_2^e, x^g) \quad s, t, x_2^e = 0 \quad (21)$$

と定義できる。

それぞれ電力会社が蓄熱式空調に、ガス会社がガス空調に補填し独立に利益最大化をすれば、ゲーム理論におけるナッシュ均衡解に相当する。この均衡補填額 x_1^{eN} , x^{gN} を数式で表すと以下のようなものである。

$$R^{eN}(x^g) = x_1^{eN} \quad s. t. x_2^e = 0 \quad (22)$$

$$R^{gN}(x_1^{eN}) = x^{gN} \quad s. t. x_2^e = 0 \quad (23)$$

これを図でみてみると、 x_1^e と x^g は上記の最適応答関数上を動くので、その交点が均衡解となることがわかる (図7) (付録2参照)。

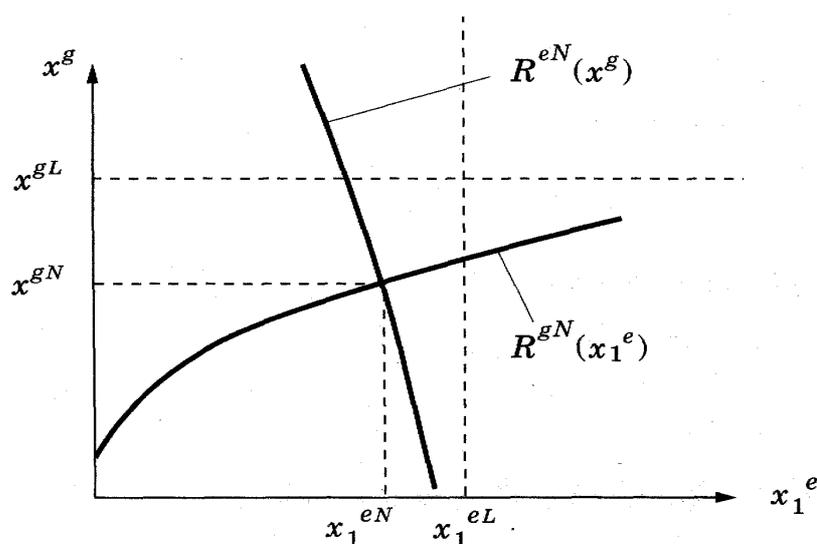


図7 電力会社とガス会社の最適応答関数

4.2 独立に利益最大化を図る場合の最適補填額の計算結果

そこで、首都圏に電力とガスをそれぞれ供給する東京電力と東京ガスに対し、本モデルを適用し試算を行った（前提条件は付録3参照）。また、首都圏のビルの半分が都市ガス供給可能とした（残り半分はガス冷房は導入されない）。本論文ではビルオーナーの機器選択に多項ロジットモデルを適用したため、解析的に上記の均衡解を求めることは難しいので、シミュレーションにより解析する。具体的には、各社のイニシャル補填額をそれぞれゼロから100万円刻みで増加させ、各利益を計算して、表3を作成した。自分が戦略を変えることにより、相手が戦略を変え、自分の利益が下がらない均衡点（表3の太枠部分）を探索した。

各社が独自に利益を最大にする行動を採ると、ある程度のシェアを取り合うナッシュ均衡が存在した。その結果を表3に示す。縦軸はガス会社のガス空調への補填額 x^g 、横軸は電力会社の電気蓄熱式への補填額 x_1^e である。使用期間中の利益の現在価値は表中に3段で示したもので、それぞれ上段がガス会社、中段が電力会社、下段がその和を示している。電力会社にとって、300万円の補填を行う戦略が、200万円の補填を行う戦略や400万円の補填を行う戦略よりも利益が高い。一方、ガス会社にとっても、100万円の補填が200万円の補填を行う戦略や補填を行わないよりも利益が高くなっている。この試算では、電力会社が電気蓄熱式に対し300万円の補填（現在価値607億円）、ガス会社がガス空調に対し100万円の補填（現在価値16億円）する場合は均衡点となった。

表3 各戦略（補填額）での各社の利益（現在価値）の試算

（単位：百万円）

| ガス空調への補填額 x^g | | 電気蓄熱への補填額 x^e | | |
|-----------------|------|-----------------|--------|--------|
| | | 200万円 | 300万円 | 400万円 |
| 0円 | ガス会社 | 1,993 | 1,550 | 1,134 |
| | 電力会社 | 57,696 | 59,411 | 58,384 |
| | 計 | 59,689 | 60,961 | 59,517 |
| 100万円 | ガス会社 | 1,983 | 1,572 | 1,172 |
| | 電力会社 | 59,350 | 60,694 | 59,383 |
| | 計 | 61,333 | 62,266 | 60,556 |
| 200万円 | ガス会社 | 1,395 | 1,336 | 870 |
| | 電力会社 | 61,523 | 62,459 | 60,822 |
| | 計 | 62,918 | 63,595 | 61,692 |

5. 規制緩和後の電力会社とガス会社の競争

5.1 電力会社がガス会社の戦略を予測して利益最大化を図るモデル

電力会社は1章で述べたように、電気蓄熱式と同様にガス空調が導入されても負荷平準化を図ることができる。よって、ガス空調にイニシャル補填を行うことによって電力需要のピークを下げることであれば、電力会社に利益をもたらす可能性がある。そこで規制緩和により電力会社がガス空調に対してもイニシャル補填を行うことが許される場合について、電力会社が利益最大化を図る場合を検討する。電力会社は先手で、ガス会社の行動を予測して自分の利益が最大になるよう電気蓄熱式とガス空調に対してのイニシャル補填額を表明する。一方、ガス会社は後手で電力会社の各イニシャル補填額を考慮して、利益最大になるようガス空調へのイニシャル補填額を決定する。

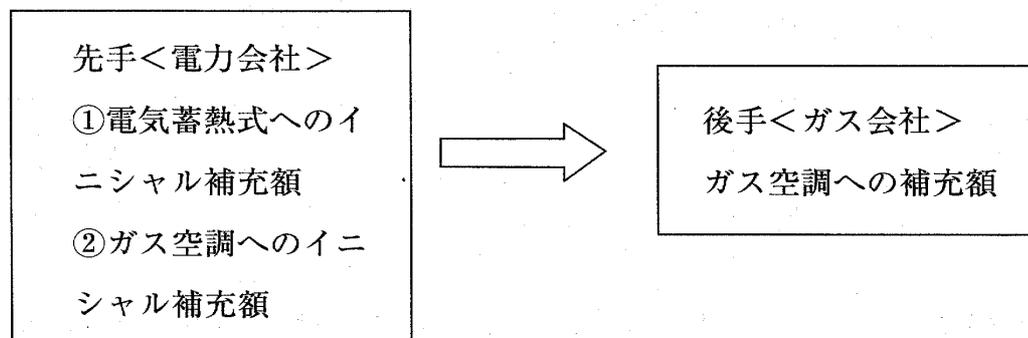


図7 各社の戦略

まずガス会社が電力会社の電気蓄熱式とガス空調へのイニシャル補填額 (x_1^e, x_2^e) 対し

て、自分の利益を最大化する x^g を選ぶ最適応答関数 $R^{gS}(x_1^e, x_2^e)$ は、

$$R^{gS}(x_1^e, x_2^e) = \arg \max_{x^g} \Pi^g(x_1^e, x_2^e, x^g) \quad (24)$$

と定義できる。

次に電力会社がガス会社の最適応答関数 $R^{gS}(x_1^e, x_2^e)$ に対して自分の利益を最大化する (x_1^e, x_2^e) を選ぶ最適反応関数を $R^{eS}(x_1^e, x_2^e)$ は、

$$R^{eS}(R^{gS}(x_1^e, x_2^e)) = \arg \max_{x_1^e, x_2^e} \Pi^e(x_1^e, x_2^e, R^{gS}(x_1^e, x_2^e)) \quad (25)$$

と定義できる。

この競争は、電力会社がリーダーで、ガス会社がフォロワーとするゲーム理論のシュタッケルベルグ均衡に相当する。この均衡補填額 $x_1^{eS}, x_2^{eS}, x^{gS}$ は以下の関係式を満たす。

$$R^{gS}(x_1^e, x_2^e) = x^{gS} \quad (26)$$

$$R^{eS}(x^{gS}) = (x_1^{eS}, x_2^{eS}) \quad (27)$$

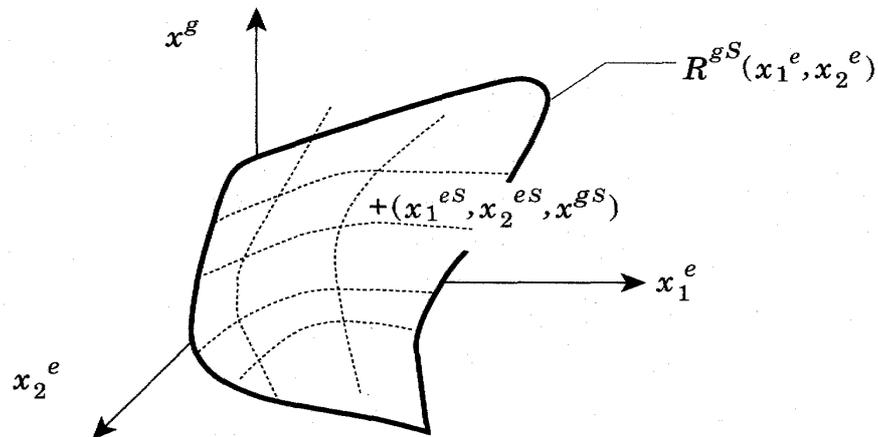


図8 電力会社がリーダーの場合の均衡解

図でみてみると、電力会社のイニシャル補填額 (x_1^e, x_2^e) に対して、ガス会社の最適イニシャル補填額 x^g は、3次元空間上の一つの曲面となる。均衡解はその曲面 $R^{gS}(x_1^e, x_2^e)$ 上で電力会社の利益 Π^e の最大になる点である (図8)。

5.2 電力会社がリーダーで利益最大化を図る場合の最適補填額の計算結果

各社の最適戦略 (イニシャル補填額) は以下の手順で試算した。まず、電力会社のガス空調への分担率、つまり電力会社のガス空調へのイニシャル補填額 x_2^e と、電力会社とガス会社のガス空調への補填額の和 $(x_2^e + x^g)$ との比 h を決める。

$$h = x_2^e / (x_2^e + x^g) \quad (28)$$

つぎに、各分担率ごとに電力会社がガス会社の戦略を予測して先手で戦略を決定する。さらに各分担率ごとに、ナッシュ均衡解の探索と同じように、各補填額ごとに両社の利益を計算し、均衡点を見つけた（表4の太枠の戦略の組み合わせ）。そうして、各均衡点の中で電力会社の利得の最大のものを選択した。その結果を表4-1から表4-3に示す。表の見方は前章と同じで、縦軸はガス空調への補填額（上段ガス会社分、中段電力会社分、下段その合計）、横軸は電気蓄熱式への電力会社の補填額である。利益（現在価値）は上段がガス会社、中段が電力会社、下段がその和を示している。電力会社がガス空調に対して、その50%を分担すると電力会社の利益は、40%分担する場合や60%分担する場合よりも利益が高い（表4-2）。このとき、電力会社は電気蓄熱式に対し300万円の補填、ガス空調に対し150万円の補填をする（現在価値622億円）。ガス会社はガス空調に対し150万円の補填を行う（現在価値24億円）。これは、電力会社、ガス会社とも4.3節で求めたナッシュ均衡解よりも共に利益が増加する（ガス会社9億円、電力会社15億円増加）。

表4-1 分担率40%の場合の各戦略での各社の利益（現在価値）

| 電力会社のガス空調補填額分担率 | | 40% (単位：百万円) | | |
|-------------------------|------|-------------------|--------|---------|
| | | 電気蓄熱への補填額 x_1^e | | |
| ガス空調への補填額 $x^g + x_2^e$ | | 200万円 | 300万円 | 400万円 |
| 60万円 | ガス会社 | 2,388 | 1,894 | 1,412 |
| 40万円 | 電力会社 | 58,945 | 60,372 | 59,143 |
| 100万円 | 計 | 61,333 | 62,266 | 60,566 |
| 120万円 | ガス会社 | 2,563 | 2,087 | 1,598 |
| 80万円 | 電力会社 | 60,355 | 61,507 | 60,094 |
| 200万円 | 計 | 62,918 | 63,595 | 61,692 |
| 200万円 | ガス会社 | 2,301 | 1,936 | 1,535 |
| 200万円 | 電力会社 | 61,722 | 62,678 | 61,162 |
| 300万円 | 計 | 64,023 | 64,614 | 626,966 |

表4-2 分担率50%の場合の各戦略での各社の利益（現在価値）

電力会社のガス空調補填額分担率

50%（単位：百万円）

| ガス空調への補填額 $x^g+x_2^e$ | | 電気蓄熱への補填額 x_1^e | | |
|-----------------------|------|-------------------|--------|--------|
| | | 200万円 | 300万円 | 400万円 |
| 100万円 | ガス会社 | 2,855 | 2,325 | 1,781 |
| 100万円 | 電力会社 | 60,063 | 61,269 | 59,911 |
| 200万円 | 計 | 62,918 | 63,595 | 61,692 |
| 150万円 | ガス会社 | 2,899 | 2,439 | 1,933 |
| 150万円 | 電力会社 | 61,124 | 62,175 | 60,763 |
| 300万円 | 計 | 64,023 | 64,614 | 62,696 |
| 200万円 | ガス会社 | 2,442 | 2,130 | 1,758 |
| 200万円 | 電力会社 | 61,748 | 62,767 | 61,445 |
| 400万円 | 計 | 64,190 | 64,896 | 63,203 |

表4-3 分担率60%の場合の各戦略での各社の利益（現在価値）

電力会社のガス空調補填額分担率

60%（単位：百万円）

| ガス空調への補填額 $x^g+x_2^e$ | | 電気蓄熱への補填額 x_1^e | | |
|-----------------------|------|-------------------|--------|--------|
| | | 200万円 | 300万円 | 400万円 |
| 120万円 | ガス会社 | 3,497 | 2,942 | 2,332 |
| 180万円 | 電力会社 | 60,526 | 61,672 | 60,364 |
| 300万円 | 計 | 64,023 | 64,614 | 62,696 |
| 160万円 | ガス会社 | 3,465 | 3,022 | 2,495 |
| 240万円 | 電力会社 | 60,725 | 61,875 | 60,708 |
| 400万円 | 計 | 64,190 | 64,896 | 63,203 |
| 200万円 | ガス会社 | 2,950 | 2,663 | 2,296 |
| 300万円 | 電力会社 | 60,182 | 61,420 | 60,518 |
| 500万円 | 計 | 63,132 | 64,083 | 62,813 |

6. まとめ

公益事業である電力とガスについて、民生ビルの空調需要に対する競合関係を非協力ゲームとして定式化し、利用者の購入機器への補助金を利用した負荷平準化による利益管理を検討した。

1) 既存の規制の枠組みで電力会社は電気蓄熱式に、ガス会社はガス空調機に対しイニシャル補填を行う場合

2) 規制緩和後に電力会社がガス空調機へもイニシャル補填する場合

をモデル化し、比較検討した。東京電力と東京ガスについてコスト分析を行い、現実のデータをあてはめてみた。規制緩和を前提として、電力会社がガス空調機に対してもイニシ

ヤル補填を行う場合。現実には両者が熾烈な競争をしている事実に対し、電力会社がガス空調に対してもイニシャル補填することが可能になれば、蓄熱式空調のみに補填するよりも両者とも利益を上げられることを定量的に示した。

設備能力費（発電費、送電費、配電費）とピーク電力量の関係、ガス製造費とピーク流量との関係は、供給会社が長期的な生産能力計画に基づいて準備した生産能力の範囲内に、ピーク時消費量がおさまることを前提としていることは本稿の限界である。ピーク量が計画能力を超えた時の機会原価はゲームにおいて考慮されていない。これらの機会原価を考慮すれば、均衡解は電力会社がかもっと積極的にガス空調に補助金を出すようにシフトするだろう。

ゲームの手法自体は目新しくないが、以下の点でより現実的な利益管理の政策提案ができた。

- 1) 費用関数の分析に管理会計の手法を参考にし、より現実的な試算を行った。
- 2) ゲームの戦略をイニシャル補填とし需要家の選択に多項ロジットモデルを導入することにより3種類の空調機から選択する状況を扱った。
- 3) 従来電力会社のみで検討していた負荷平準化政策をガス会社を含めた形まで拡張することで、より効果のある平準化策を提案した。

英国や米国等では電力産業の発電・送電・販売の分離が実際施行されている。本稿では需要面に視点をおいたが、今後は供給面に視点をおき、エネルギー産業の規制緩和後の利益管理について検討していきたい。

付 録

1. 多項ロジットモデルについて

本論文で適用した多項ロジットモデルは、マーケティングの分野で、消費者の製品選択のモデルでよく利用されるものである（参考文献 [6]）。これは回帰分析で一般的な、2項選択モデルにおいて分布関数にロジスティック分布を仮定したロジットモデルとは異なる。本論文の多項ロジットモデルでは、各選択肢（製品） j の選択確率 p_j は、効用 U_j と誤差 ϵ_j をもちいて、以下のように定義される。

$$p_j = \text{Prob} \{ U_j + \epsilon_j \geq U_k + \epsilon_k, \forall k \neq j \}$$

誤差 ϵ_j に関して、互いに独立に以下のような二重指数分布に従うと仮定する。

$$\text{Prob} (\epsilon_j < 0) = \exp[-\exp(-t)]$$

このとき、選択肢 j の選択確率 p_j は、計算により以下の式のようになる。

$$p_j = \exp U_j / \sum_{j=1}^j \exp U_j$$

本論文ではこの多項ロジットモデルを適用した。

2. ナッシュ均衡解の存在について

各社の目的関数が凸関数であれば、ナッシュ均衡解の存在性の定理により、ナッシュ均衡解の存在が示せる。しかし、本論文の目的関数は、空調機器の選択確率に多項ロジットモデルを適用したため、凸関数ではない。よってここでは以下の手順でナッシュ均衡解の存在を証明する。ここでは証明の概略を示す。まず、電力会社の目的関数があるガス会社の補填額 x^g に対して、最大点（内点）を一つ持つことを示す。これにより、ガス会社の補填額 x^g に対する電力会社の最適応答関数 $R^{eN}(x^g)$ は、最大点をつないだ包絡線を満たす (x^g, x_1^e) の集合である。同様のことがガス会社にも言える。さらにこれらの関数が図7のような形であり、 (x^{gL}, x_1^{eL}) の上限をもち交わることが示せるので、この交点がナッシュ均衡解である。

3. 適用事例の前提条件

1) 需 要

競争対称ビル件数 10,000件（内ガス供給圏は5,000件）

| | | | |
|----------------|----------------------|--|--|
| 年間電力量 | 420,000kWh／年 | | |
| うち空調比率 | 40% | | |
| 蓄熱式空調夜間比率 | 70% | | |
| ガス空調ガス使用量 | 75,000m ³ | | |
| ガス空調ピーク時倍率（*1） | 5000 | | |
| 季節備蓄率 | 8% | | |

（*1 ピーク時倍率＝年間使用量／ピーク時使用量）

| | 電気蓄熱式 | ガス冷房 | 従来型電気 |
|----------|-------|-------|-------|
| 電力ピーク時倍率 | 4,000 | 3,500 | 2,700 |

2) コスト

| | 電気蓄熱式 | ガス冷房 | 従来型電気 |
|----------------|-------|-------|-------|
| イニシャルコスト（万円） | 2,400 | 2,000 | 1,700 |
| ランニングコスト（万円／年） | 198 | 338 | 370 |

謝辞

本稿を作成にするにあたり、筑波大学経営・政策科学研究科の鈴木久敏教授、椿広計助教授には有益なご意見・ご指摘を頂きました。また、有益なご意見・ご指摘を頂いた査読者の方々には深く感謝いたします。

参考文献

- [1] Alles, M., S. Datar: "Strategic Transfer Pricing", *Management Science*, Vol. 44 , No. 4 , pp451-461, 1998
- [2] 浅野浩志・桑畑暁生: 「コジェネレータを含む電力供給システムのゲーム論的解析」, 電気学会論文誌B, 第113巻, 第7号, pp.713-719, 1992年
- [3] Atkinson A.A, R. D. Banker, R. S. Kaplan, and S. M. Young: *Management Accounting*, 2nd. Ed., Prentice Hall, 1997
- [4] 電気事業審議会基本政策部会電力負荷平準化対策小委員会: 「電力負荷平準化対策の今後のありかた (中間報告)」, 1997年
- [5] Gately, D.: "Sharing the Gains From Regional Cooperation,:A Game Theoretic Application to Planning Investment in Electric Power.", *International Economic Review*, Vol. 15, No. 1, pp. 195-208, 1973
- [6] 片平秀貴: 『新しい消費者分析』 東京大学出版会, 1991年
- [7] 岡田章: 『ゲーム理論』 有斐閣, 1996年
- [8] Stefanski, J. and Y. Kaya: "Conflict between Electricity and Industries-A Game Model", IFAC, *Dynamics of Natural Economics*, 1992
- [9] 高橋雅仁・浅野浩志・岡田健司・永田豊: 「統合資源計画モデルによる蓄熱式空調プログラムの最適導入規模の分析」, 第14回エネルギー経済コンファレンス講演論文集, pp. 411-416, 1998年
- [10] 西川 義朗: 『公益企業の料金と財務』, 税務経理協会, 1980年
- [11] 西川 偉一・喜多 一・坂本 和己: 季時別料金制における電力・都市ガス間競合の基礎的研究, 第4回エネルギー経済コンファレンス講演論文集, pp. 137-142, 1988年
- [12] Pavia, M. T.: "Profit Maximizing Cost Allocation for Firms Using Cost-Based Pricing", *Management Science*, Vol. 41. No. 6 , pp.1060-1072, 1995

A Profit Control in the Public-Service Corporation by Stabilizing the Service-Load

— A Non-Cooperative Game Theoretic Approach to the Deregulated Power Company —

Hiroshi Kashio*, and Noboru Ogura†

Abstract

A profit control in the public-service corporation is different from that in other industries in some respects.

1) Stabilizing the service-load directly contributes to reducing the cost, increasing the profit, and decreasing the service price.

2) Inflexible regulated service price (User's Cost of Service) and high exit barrier of the service users because of the expensive initial equipment cost.

3) Conflict between service price and social service cost.

In this paper we analyze the profit control in a power company by taking advantage of distributed peak load hours between the company and a gas company. We propose that a power company should subsidize the gas-air-conditioner to stabilize the air-conditioned load for commercial buildings whose regulated rate is cheaper than its marginal service cost.

This paper introduces a non-cooperative game theoretic approach to model and design the subsidy system. We found that a power company could achieve larger potential profit if they subsidize the gas-air-conditioned equipment.

Key Words

Profit control, Public Service, Load management, Game theory, Price strategy

Submitted January 1999.

Accepted July 1999.

* Doctoral Program in Management Science and Public Policy Studies, University of Tsukuba

† Professor, Doctoral Program in Management Science and Public Policy Studies, University of Tsukuba