

## 【原著論文】

# DEA と Inverted DEA のノンパラメトリック検定を用いた わが国の電力各社の生産性に対する電力自由化の効果検証

杉山 学

経営管理研究室

## The verification of the effects on the electric power deregulation in Japan to the productivity of each electric power company by using the nonparametric test of the DEA and the Inverted DEA

Manabu SUGIYAMA

Management and Decision Science

### Abstract

This paper is verifying of the effects on the electric power deregulation in Japan to the productivity of each electric power company by using the parametric and nonparametric test of the DEA (Data Envelopment Analysis) and the Inverted DEA (Inverted Data Envelopment Analysis). In this paper, the first step of the evaluation of the relative efficiencies and inefficiencies of each electric power company for a total of 21 years before and after electric power deregulation. The second step of the verification of the effects on the electric power deregulation in Japan to the productivity of each electric power company by using the parametric and nonparametric test of the DEA and the Inverted DEA are clarified. The verification of the effects on the electric power deregulation of the productivity of each electric power company was identified statistically.

**キーワード** : 電気事業者(電力会社), 電力自由化, 相対的効率性評価, DEA, Inverted DEA,  
ノンパラメトリック検定, パラメトリック検定

### 1. はじめに

各種報道や電気事業連合会のホームページ[8], エネルギー白書[11]などによれば, 日本における電力自由化は, 規制緩和の一環として 1995年(平成7年), 発電事業などへの新規参入拡大により始まり, 段階的に改革が進んできた. 現在, 2016年(平成28)4月の小売全面自由化が実施された段階まで進んでおり, 今後, 2018年(平成30)から2020年(平成32)を目途に送配電部門の法的分離と, 引き続き,

全面自由化に向けた電力システム改革が進む予定である。これらの改革は基本的に、地域独占状態であった電気事業への競争原理導入により、電気料金の低減やサービス水準の向上を目指すものである。

文献[8,11]などによれば、わが国の電力自由化の目的は「安定的な電力供給の確保」と「効率的な電力供給システムの構築」という課題の同時達成を目指し、公平な競争を導入した日本型モデルの仕組みを整備することにある、とされている。既に現時点までに電気事業法改正が計4回行なわれており、これに伴い電力各社の料金体系が数回見直しされており、燃料費調整制度などが導入されてきた。その結果、電力各社は燃料費の変動要因以外でも電気料金の値下げを東日本大震災以前までは実施してきた。なお、著者の論文[27]で指摘した送配電設備の投資抑制による見かけ上のコスト低減という面も否定できないが、電気料金に直接関係するコストの面において、電力自由化の成果は多少なりとも上がっていたといえるだろう。これらは国内外の電力関連の多数の研究報告[1,10,12,13,15,34]などによっても実証されつつある。

これに対し著者の研究[27,28]は、わが国の電気事業者(電力会社)の生産性を時系列的に比較評価することで、電力自由化開始後、コスト面ではなく生産性の観点からも効率化が行なわれているかどうかを、効率性評価法であるDEA(Data Envelopment Analysis: データ包絡分析法)[5,6,7,14,22,35,36]とInverted DEA(Inverted Data Envelopment Analysis: インバーテドDEA)[22,37,38]の時系列分析を用いて実証的に分析した。加えて論文[28]では、2011年(平成23)3月11日の東日本大震災による原子力発電所事故以降、国内の原子力発電の全面停止状態での電力各社の生産性変化を把握することも行った。

この実証研究[27]の結果としては、1995年(平成7)の電力自由化の開始前後の計21年間(東日本大震災以前のデータまで)において、電力各社の生産性の推移はそれぞれ様々な状況であることが確認できた。これらの結果は、電力各社の電源構成や需要家構成を含めた従来から続く各社の差がそのまま分析結果に大きく影響を及ぼしている状況であり、加えて、わが国の電力自由化の進展が段階的にゆっくりと進んでいることが要因であると考えられる。すなわち、電力自由化への各社の取組みの成果の差が結果としてあまり出にくい状況だと考えられる。

そこで本論文では、著者のこれら一連の研究[27,28]の新たな展開として、電力自由化の開始前後の各10年間程度の計21年間(研究[27]と同期間)を対象に、電力各社の生産性の推移、すなわち、DEAとInverted DEAの各効率値の推移に対して、電力自由化に関する効果の有無を統計学的に有意であるかを検証することを目的とする。なお、本論文では文献[14,17]で紹介されている、DEA効率値に対するパラメトリック検定とノンパラメトリック検定の両者を、IDEA非効率値に対しても新たに適用し、電力自由化の効果検証を行う。

本研究によって導かれた結果から、電力自由化の目的である、効率的な電力供給システムの構築という企業性の追求と、安定的な電力供給の確保という公共性の追求に対する両面の評価が可能となる。加えて、東日本大震災による原子力発電所事故以降、「電力システムに関する改革方針」[11]が2013年(平成25)4月2日に閣議決定され、2016年(平成28)4月の小売全面自由化を経て、今後2018年(平成30)から2020年(平成32)を目途に送配電部門の法的分離などといった、全面自由化に関する具体的な

電力システム改革について、引き続き検討する際の重要な資料を提示できると考える。

本論文の構成は次のようにまとめることができる。まず、2節では電気事業者(電力会社)の生産性の効率性評価に関する枠組みについて改めて示し、DEA に関する仮説検定の手法について概要を示す。3節では電気事業者の生産性に関する仮説検定の設定について示す。4節では分析結果を示し、これらの結果をもとに電力自由化に関する効果の有無を統計学的に有意であるかを検証し、考察を行う。5節では本研究をまとめ、将来の研究課題を検討する。

## 2. 電気事業者の生産性評価で用いる分析手法と統計検定

わが国の電気事業者(電力会社)の生産性に関する評価の枠組みは、基本的に著者の論文[18,19,27,28,30,31,33]で用いられた枠組みを踏襲することとし、改めて以下に概要を示す。

### 2.1. 電気事業者の生産性評価

論文[18,19,27,28]において詳しく記述したように、わが国において電力は、日常生活や生産活動において広くエネルギー源として利用されており、各電気事業者(電力各社)によって地域毎に独占的生産、供給がされてきた。したがって、電気事業者の事業活動には、電力の安定した生産、供給という公共性の追求が課せられているといえる。またその反面、わが国の電気事業者は株式会社でもあり、その事業活動自体の継続や将来を見越した設備投資などのために利益を生み出さなければならない。したがって、電気事業者の事業活動には、営利目的という企業性の追求も課せられている。すなわち電気事業者の事業活動は、公共性と企業性の両面を持ち合わせており、その評価は単純ではないといえる。

そこで著者の一連の本研究[18,19,27,28]では、電気事業者の生産性という観点から効率性評価を行うために、次のように定義している。電気事業者(電力会社)を多入力多出力システムである事業体(DMU: Decision Making Unit)にとらえ、入力として経営資源である人、物、金、すなわち従業員、最大出力、総資産を用いて、いかに効率よく顧客にサービスを提供したかを表す出力として需要家数、販売電力量を用いることで生産性を表現し、相対的な効率性評価を行う。

### 2.2. 生産性評価のための分析手法

論文[27,28]などでも記述したように、電気事業者の公共性の面と企業性の面、すなわち公共的側面と企業的側面という観点から効率性評価に当てはめるならば、公共的側面の追求とは「非効率性の改善」となり非効率性を測定できる Inverted DEA が適し、企業的側面の追求とは「効率性の追求」となり効率性を測定できる DEA が適している。したがって、本研究では、これらの分析手法をそれぞれ用いる。なお、DEA と Inverted DEA に関する記述[16,20,21,23,24,25,26,29,32]は様々あるが、本論文では文献[22]の記述に従うものとする。なお本論文では事業者の生産性を評価する立場から、DEA と Inverted DEA とともに、規模に関する収穫一定(constant returns to scale)の CCR モデル(Charnes-Cooper-Rhodes model: 比率形式モデル)を使用する。

### 2.3. DEA に関する仮説検定

ここでは文献[14,17]を参考にし、DEA に関する仮説検定を示すこととし、これらの仮説検定を本研

究で用いることとする。仮説検定は一般にパラメトリック検定とノンパラメトリック検定に大別されるが、これら2つの違いは、解析のもととなる母数(本論文では、DEA 効率値  $\theta_o^*$  や IDEA 非効率値  $\phi_o^*$ ) が、ある特定の母集団分布に基づいていると仮定するか否かである。本節では DEA のパラメトリック検定の一つとしての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定 (Mann-Whitney's U Test) について次に記述する。

### 2.3.1. 最尤推定量

最尤推定量は、Banker[2]や Banker and Maindiratta[3]によって提案された仮説検定法である。ここで説明のために2グループ、AグループとBグループの場合を考える。それぞれのグループには、 $n_1$ 個と $n_2$ 個の事業体が属しているとする。この2グループの効率値の間に違いがあるかどうかを検定するために、次の統計量を調べる。

$$\frac{\sum_{o \in A} (\phi_o^* - 1) / n_1}{\sum_{o \in B} (\phi_o^* - 1) / n_2}, \quad (1)$$

この統計量は、DEA の出力指向型 CCR モデル(Output-oriented CCR model)の効率値  $\phi_o^*$  ( $=1/\theta_o^*$ ) が、それぞれ平均  $1+\sigma_1, 1+\sigma_2$  の指数分布に従うと仮定すると、自由度  $(2n_1, 2n_2)$  の F 分布に従う。ここで、 $\sigma_1$  と  $\sigma_2$  はそれぞれのグループにおける DEA の効率値  $\phi_o^*$  の標準偏差である。

帰無仮説  $H_0$ :  $\sigma_1 = \sigma_2$  AグループとBグループは同一分布に従う(平均と標準偏差が等しい)

対立仮説  $H_1$ :  $\sigma_1 > \sigma_2$  Aグループの効率値の方がBグループの効率値よりも大きい

であることを示している。

次に、効率値  $\phi_o^*$  の分布に関する仮定を指数分布から半正規分布に変えることにより、次の統計量

$$\frac{\sum_{o \in A} (\phi_o^* - 1)^2 / n_1}{\sum_{o \in B} (\phi_o^* - 1)^2 / n_2}, \quad (2)$$

を得る。この統計量は自由度  $(n_1, n_2)$  の F 分布に従う。

この2つの検定では、統計量が指数分布、半正規分布のもとで、最尤推定量になることが証明されている。この特徴は長所であるが、現実の DEA 効率値が指数分布や半正規分布に従う保証はまったくない。

### 2.3.2. マン・ホイットニーの U 検定

次に、マン・ホイットニーの U 検定というノンパラメトリック検定を示し、それがどのように DEA の仮説検定に組み入れられるかについて示す。なおこの検定は、ウィルコクソンの順位和検定と呼ばれるものと実質的に同じ方法であり、まとめてマン・ホイットニー・ウィルコクソン検定とも呼ばれる。この検定は、互いに独立な2つのグループが同じ母集団からサンプルされたものであるかどうかを検定するのに用いられる。この検定の特徴はその検出力の高さにあり、t 検定の代わりによく使われている。この検定では順位和を計算するだけで簡単に求められ、DEA 効率値の分布においても、あ

より多くの仮定を必要とせず、かなり実用性の高い検定手法と考えられている。ただ、パラメトリック検定のように、理論的洗練さが無いのが欠点ともいわれている。なお、この順位和検定を最初に DEA に応用したのは Brockett and Golany[4]である。

マン・ホイットニーの U 検定を DEA に応用するために、分析対象となる事業体は 2 グループあり、A グループと B グループとする。ここで、

帰無仮説  $H_0$  : A グループと B グループは DEA 効率値において同一分布に従う

対立仮説  $H_1$  : A グループと B グループは DEA 効率値において同一分布に従わない

であることを示している。

ここで、マン・ホイットニーの U 検定を行うために、次の U 統計量を求めることにする。

#### (1) U 統計量の計算

A グループと B グループにそれぞれ  $n_1$  と  $n_2$  個の事業体が属しているとする。  $n_1$  と  $n_2$  が十分大きな値のとき ( $n_1, n_2 \geq 20$ ) , 2つのグループを 1つにまとめ同一グループとし、DEA 分析を行う。得られた DEA 効率値の中で最も小さい値に 1 という順位を割り当て、その次に小さいものに 2 という順位を割り当てていく。なお、順位の取り方は逆にしてもかまわない。効率値が高い事業体を一番にして、その他の事業体の順序を決める方が DEA の利用者にはわかり易いかもしれない。

この順位から統計量  $U_1, U_2$  の値は

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - W_1, \quad (3)$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - W_2, \quad (4)$$

として計算され、  $U_1$  と  $U_2$  の小さい値を U 統計量とする。ここで、  $W_1$  と  $W_2$  はそれぞれ A グループと B グループに割り当てられた順位和である。

U の標本分布は、  $n_1, n_2 \geq 20$  の場合、

$$\text{平均} : E(U) = \frac{n_1 n_2}{2}, \quad (5)$$

$$\text{分散} : V(U) = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}, \quad (6)$$

の正規分布に近似されることがわかっている。実際に仮説検定を行う場合は、U 値を正規化した値

$$Z = \frac{|U - E(U)|}{\sqrt{V(U)}} = \frac{|U - n_1 n_2 / 2|}{\sqrt{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1) / 12}}, \quad (7)$$

と、標準正規分布  $N(0,1)$  との比較で行われる。なお、事業体の数が小さいときは、U の分布を直接計算して求められた統計数値表を使うのが一般的である。

#### (2) 効率値が同値の場合への対応

ここまではマン・ホイットニーの U 検定を DEA の分析結果に当てはめる場合、DEA 効率値が連続

的な分布を持つものとして、同じ効率値が起こらないことを仮定している。しかしながら、その仮定にはかなりの無理がある。例えば、通常 DEA では、DEA 効率値が 1 となり効率的と判定される事業体が複数存在することが知られている。このように効率的な事業体数が多い場合には、乗数制約法によって事業体数を減少させるなどして、効率的な事業体の再評価を行い、その結果に基づき順序化する対応が考えられる。

このような対応を行わず、事業体の同順位を許容する場合には、マン・ホイットニーの U 検定で一般的に行われる同順位に対して行われる、下記の分散の修正を適用することが考えられる。

$$V(U) = \left( \frac{n_1 n_2}{n(n-1)} \right) \left( \frac{n^3 - n}{12} - \sum_{i=1}^k \frac{(c_i^3 - c_i)}{12} \right) = \frac{n_1 n_2}{12(n^2 - n)} \left( n^3 - n - \sum_{i=1}^k (c_i^3 - c_i) \right), \quad (8)$$

ここで、 $n = n_1 + n_2$  であり、 $c_i$  は  $i$  番目の同順位の事業体数である。効率値が同値、すなわち、同順位に対する修正を  $U$  値の正規化の際に用いると次の式となる。

$$Z^C = \frac{|U - n_1 n_2 / 2|}{\sqrt{\left( \frac{n_1 n_2}{n(n-1)} \right) \left( \frac{n^3 - n}{12} - \sum_{i=1}^k \frac{(c_i^3 - c_i)}{12} \right)}}. \quad (9)$$

### 3. 電気事業体の生産性に関する仮説検定の設定

#### 3.1. 生産性評価のための時系列データ

評価対象となる事業体は、論文[27,28]と同様、離島を多数抱える沖縄電力を除外して、本土の電気事業体(電力会社)、計 9 社とする。各電気事業体(電力各社)の入出力は前述したように論文[27,28]と同様、以下に示す項目とした。入出力のデータは論文[27]と同期間、電力自由化が段階的に始まった 1995 年(平成 7 年)前後の各 10 年間程度、1985 年度(昭和 60)から 2005 年度(平成 17)の計 21 年間(東日本大震災以前までの期間)である。なお、本研究で使用されたデータの出所は電気事業便覧の当該年度版[9]からである。

#### 【入出力の項目】

入力： $x_{1j}$ 従業員数	出力： $y_{1j}$ 販売電力量
$x_{2j}$ 最大出力	$y_{2j}$ 需要家数
$x_{3j}$ 総資産	

#### 3.2. 仮説検定の設定

本論文では、まず、電力会社 9 社全体として、電力自由化の効果が出ているかを検証する。次に、電力各社の観点から、それぞれが電力自由化の効果が出ているかを検証する。具体的には次のように仮説検定を設定することとした。

##### 3.2.1. 電力会社 9 社全体としての電力自由化効果の仮説検定に関する設定

電力自由化の効果検証として 21 年間の電力各社を分析対象とするため、DMU の総数は  $n = 189$  ( $= 9 \times 21$ ) とし、DEA と Inverted DEA によりそれぞれ分析する。そして、電力自由化開始以前(1985～

1994 年度)の A グループと、電力自由化開始以後(1995~2005 年度)の B グループと、2 つの期間に分割する。したがって、A グループに属する DMU の総数は  $n_1 = 90 (= 9 \times 10)$  となり、B グループに属する DMU の総数は  $n_2 = 99 (= 9 \times 11)$  となる。これらに対して、DEA のパラメトリック検定の一種としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用し、電力自由化効果の仮説検定を行う。

**3.2.2. 各電力会社に対する電力自由化効果の仮説検定の設定**

各電力会社に対する電力自由化の効果検証としては、まず、21 年間の電力各社、DMU 数  $n = 189$  を対象とし、DEA と Inverted DEA によりそれぞれ分析する。そして、電力会社(DMU<sub>o</sub>:  $o = 1, \dots, 9$ )ごとに、電力自由化開始以前(1985~1994 年度)を A グループ(DMU<sub>o</sub> の総数は  $n_1 = 10$ )、電力自由化開始以後(1995~2005 年度)を B グループ(DMU<sub>o</sub> の総数は  $n_2 = 11$ )と 2 つに設定する。これらに対して、DEA のパラメトリック検定の一種としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用し、電力会社ごとにそれぞれ電力自由化効果の仮説検定を行う。

**4. 分析結果と考察**

沖縄電力を除く本土の電力会社 9 社の生産性に対して、企業の側面である「効率性の追求」の面を分析した DEA の結果を表 1 に、公共的側面である「非効率性の改善」の面を分析した Inverted DEA の結果を表 2 に、それぞれを示す。

表 1: 生産性に対する DEA の結果

生産性 電力会社	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	t = 8	t = 9	t = 10	t = 11	t = 12	t = 13	t = 14	t = 15	t = 16	t = 17	t = 18	t = 19	t = 20	t = 21	Average	Summary Var	Total Range
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005			
北海道電力	0.9388	0.9300	0.9439	1.0000	0.9486	0.9868	0.9334	0.9561	0.9611	0.9762	0.9868	1.0000	0.9821	1.0000	0.9903	0.9967	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9777	0.0132	0.0700
東北電力	0.9065	0.9228	0.9562	0.9724	1.0000	1.0000	1.0000	0.9723	0.9888	0.9888	0.9574	0.9902	0.9674	0.9208	0.9181	0.9593	0.9145	0.9380	0.9700	1.0000	0.9887	0.9640	0.0208	0.0935
東京電力	0.8725	0.8676	0.8837	0.9013	0.9405	0.9496	0.9671	0.9535	0.9396	0.9663	0.9881	0.9594	0.9557	0.9631	0.9781	0.9909	0.9607	0.9867	0.9733	0.9907	1.0000	0.9518	0.0306	0.1324
中部電力	1.0000	0.9234	0.9241	0.9170	0.9087	0.9158	0.9159	0.8875	0.8316	0.8514	0.8456	0.8283	0.8365	0.8381	0.8490	0.8664	0.8601	0.8860	0.9095	0.9827	1.0000	0.8942	0.0569	0.1717
北陸電力	0.9562	0.9017	0.9314	0.9283	0.9345	0.9670	0.9037	0.9128	0.8142	0.8041	0.8144	0.8371	0.8484	0.7646	0.7881	0.7597	0.7528	0.7770	0.8509	0.8266	0.7903	0.8507	0.0973	0.2142
関西電力	0.8908	0.8506	0.8539	0.8428	0.8477	0.8702	0.8676	0.8518	0.8381	0.8605	0.8469	0.8596	0.8629	0.8471	0.8324	0.8442	0.8534	0.9016	0.9250	0.9799	0.9963	0.8725	0.0392	0.1639
中国電力	0.9104	0.7929	0.7865	0.7974	0.8310	0.8883	0.9196	0.8951	0.8797	0.9319	0.8936	0.8903	0.9029	0.8502	0.8735	0.8895	0.8843	0.9247	0.9310	0.9851	1.0000	0.8885	0.0614	0.2135
四国電力	0.8467	0.8036	0.8298	0.8150	0.7968	0.7927	0.7700	0.7375	0.7289	0.7026	0.7360	0.7455	0.7496	0.7671	0.7780	0.7651	0.7915	0.8266	0.8520	0.8975	0.8537	0.7898	0.0488	0.1949
九州電力	0.8803	0.8460	0.8267	0.8104	0.8026	0.8189	0.8309	0.8470	0.7930	0.8163	0.8120	0.8328	0.8065	0.8214	0.8300	0.8445	0.8501	0.8737	0.8956	0.9327	0.9525	0.8440	0.0351	0.1595

表 2: 生産性に対する Inverted DEA の結果

生産性 電力会社	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 6	t = 7	t = 8	t = 9	t = 10	t = 11	t = 12	t = 13	t = 14	t = 15	t = 16	t = 17	t = 18	t = 19	t = 20	t = 21	Average	Summary Var	Total Range
	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005			
北海道電力	0.9395	0.9901	1.0000	1.0000	0.9494	0.9050	0.8793	0.8560	0.8485	0.8109	0.7905	0.7639	0.7559	0.7417	0.7325	0.7177	0.7185	0.7353	0.7317	0.7195	0.7140	0.8238	0.2164	0.2860
東北電力	0.8160	0.8226	0.7815	0.7655	0.7360	0.7217	0.7381	0.7651	0.8220	0.8151	0.8395	0.8435	0.8428	0.8519	0.8520	0.8190	0.8384	0.8099	0.7867	0.7544	0.7535	0.7988	0.0353	0.1303
東京電力	0.8435	0.8560	0.8265	0.8188	0.7934	0.7811	0.7845	0.8147	0.8424	0.8216	0.8234	0.8300	0.8222	0.8191	0.8099	0.7962	0.8076	0.7783	0.7908	0.7560	0.7435	0.8076	0.0162	0.1125
中部電力	0.8626	0.8598	0.8666	0.8576	0.8337	0.8139	0.8095	0.8264	0.8783	0.8698	0.8812	0.8969	0.8984	0.9085	0.9001	0.8898	0.9014	0.8983	0.8750	0.8705	0.8486	0.8689	0.0171	0.0991
北陸電力	1.0000	1.0000	0.9854	0.9737	0.9800	0.9724	0.9745	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	0.9943	0.9945	1.0000	0.9996	1.0000	1.0000	0.9846	0.9689	0.9855	1.0000	0.9909	0.0025	0.0311
関西電力	0.9388	0.9437	0.9343	0.9002	0.8845	0.8639	0.8969	0.9365	0.9399	0.8958	0.9076	0.9071	0.8989	0.9072	0.8987	0.8824	0.8635	0.8349	0.8234	0.8217	0.8112	0.8900	0.0329	0.1325
中国電力	0.8947	0.9251	0.9057	0.8874	0.8478	0.7993	0.7833	0.7943	0.8183	0.8017	0.8362	0.8586	0.8730	0.8724	0.8490	0.8232	0.8127	0.7712	0.7597	0.7399	0.7316	0.8279	0.0592	0.1935
四国電力	0.9773	1.0000	0.9742	0.9581	0.9332	0.9070	0.9218	0.9597	1.0000	1.0000	0.9603	0.9431	0.9354	0.9241	0.9192	0.9217	0.8982	0.8699	0.8555	0.8206	0.8318	0.9291	0.0543	0.1794
九州電力	0.8932	0.9429	0.9339	0.9134	0.9009	0.8687	0.8743	0.8944	0.9546	0.9261	0.9132	0.8901	0.9023	0.8879	0.8784	0.8612	0.8639	0.8453	0.8439	0.8021	0.7846	0.8845	0.0363	0.1700

**4.1. 電力会社 9 社全体としての電力自由化効果の仮説検定に関する結果と考察**

これら表 1 と表 2 の結果に基づいて、電力会社 9 社全体としての電力自由化効果の検証をするために 3.2.1 節において設定した枠組みで、DEA のパラメトリック検定の一種としての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用し、電力自由化効果の仮説検定を行った結果が表 3 と表 4 である。

表 3：生産性に対する DEA の結果の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均効率値		統計量	平均順位	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	A：自由化以前	B：自由化以後	z値：式(9)	A：自由化以前	B：自由化以後
電力会社9社全体	1.0633	1.0046	0.8885	0.8962	0.7937	91.689	98.010

注) \*：P&lt;0.05 \*\*：P&lt;0.01

表 4：生産性に対する Inverted DEA の結果の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均効率値		統計量	平均順位	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	A：自由化以前	B：自由化以後	z値：式(9)	A：自由化以前	B：自由化以後
電力会社9社全体	0.7440	0.6258	0.8870	0.8528	2.8533 **	106.906	84.177

注) \*：P&lt;0.05 \*\*：P&lt;0.01

表 3 と表 4 の検定結果から、公共的側面である「非効率性の改善」の面を分析した Inverted DEA の結果に関するマン・ホイットニーの U 検定においてのみ、有意水準 1% で、帰無仮説  $H_0$  が棄却され、「A グループ(自由化以前)と B グループ(自由化以後)は DEA 効率値において同一分布に従わない」結果となった。

これらをまとめるならば、日本の電力業界全体としては、電力自由化前後において、公共的側面である「非効率性の改善」の面で、若干の改善があったことが統計的に検証できた。ただ、企業の側面である「効率性の追求」の面などは、統計的に有意な差が認められないことが判明した。すなわちこの結果から、電力自由化の進展が段階的にゆっくりと進んでいることが示されたと言えるだろう。

#### 4.2. 各電力会社に関する電力自由化効果の仮説検定に関する結果と考察

これら表 1 と表 2 の結果に基づいて、各電力会社に関する電力自由化効果の検証をするために 3.2.2 節において設定した枠組みで、DEA のパラメトリック検定の一つとしての最尤推定法と、ノンパラメトリック検定としてのマン・ホイットニーの U 検定を適用し、電力自由化効果の仮説検定を行った結果が表 5 と表 6 である。

表 5：電力各社の生産性に対する DEA の結果の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均効率値		統計量	平均順位	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	A：自由化以前	B：自由化以後	z値：式(9)	A：自由化以前	B：自由化以後
北海道電力	11.0980 **	46.5120 **	0.9575	0.9960	3.3676 **	6.350	15.227
東北電力	0.6518	0.6836	0.9719	0.9568	1.3467	12.900	9.273
東京電力	3.5219 **	11.1614 **	0.9242	0.9770	3.3096 **	6.300	15.273
中部電力	0.7557	0.5758	0.9076	0.8820	1.5849	13.250	8.955
北陸電力	0.4320	0.2482	0.9054	0.8009	3.1688 **	15.500	6.909
関西電力	1.2592	1.2895	0.8574	0.8863	0.6338	10.100	11.818
中国電力	1.6337	2.5428	0.8633	0.9114	1.4788	8.900	12.909
四国電力	1.0851	1.1573	0.7824	0.7966	0.3521	10.500	11.455
九州電力	1.2562	1.4313	0.8272	0.8593	1.6196	8.700	13.091

注) \*：P&lt;0.05 \*\*：P&lt;0.01

表 6：電力各社の生産性に対する Inverted DEA の結果の検定結果

	最尤推定量				マン・ホイットニーのU検定		
	統計量		平均効率値		統計量	平均順位	
	指数分布：式(1)	半正規分布：式(2)	A：自由化以前	B：自由化以後	z値：式(9)	A：自由化以前	B：自由化以後
北海道電力	0.2670	0.1182	0.9179	0.7383	3.8742 **	16.500	6.000
東北電力	1.2744	1.6031	0.7784	0.8174	2.1830 *	7.900	13.818
東京電力	0.8760	0.7651	0.8183	0.7979	1.4084	13.000	9.182
中部電力	1.4267	2.0435	0.8478	0.8881	3.3096 **	6.300	15.273
北陸電力	1.7909	2.0327	0.9882	0.9934	0.7333	10.000	11.909
関西電力	0.6249	0.3939	0.9134	0.8688	2.1830 *	14.100	8.182
中国電力	0.7871	0.6370	0.8458	0.8116	1.1971	12.700	9.455
四国電力	0.3393	0.1656	0.9631	0.8982	2.8204 **	15.000	7.364
九州電力	0.6088	0.3718	0.9102	0.8612	2.7463 **	14.900	7.455

注) \*：P&lt;0.05 \*\*：P&lt;0.01

表 5 の検定結果から、企業の側面である「効率性の追求」の面を分析した DEA の結果は、北海道電力と東京電力が、最尤推定量による検定とマン・ホイットニーの U 検定の両者において、有意水準 1% で、帰無仮説  $H_0$  が棄却される結果となった。すなわち、企業の側面である「効率性の追求」の面において、統計的に有意な差が認められ、効率化が進行したことが判明した。そして、北陸電力はマン・ホイットニーの U 検定においてのみ、有意水準 1% で、帰無仮説  $H_0$  が棄却される結果となった。

表 6 の検定結果から、公共的側面である「非効率性の改善」の面を分析した Inverted DEA の結果、電力会社 9 社のすべてで最尤推定量による検定で、有意水準 1% と 5% のいずれでも、帰無仮説  $H_0$  が棄却されない結果となった。しかし、マン・ホイットニーの U 検定において、北海道電力、中部電力、四国電力と九州電力が有意水準 1% で、そして、東北電力と関西電力が有意水準 5% で、帰無仮説  $H_0$  が棄却される結果となった。すなわち、公共的側面である「非効率性の改善」の面において、一部、統計的に有意な差が認められ、効率化が若干進行したことが判明した。ただ、東北電力と中部電力は平均順位が大きくなっていることから、公共的側面である「非効率性の改善」の面において、逆に非効率化が若干進行したであろうことに注意する必要がある。

## 5. おわりに

本論文では、著者の一連の研究[27,28]の新たな展開として、電力自由化の開始前後の各 10 年間程度の計 21 年を対象に、わが国の各電気事業者(電力各社)の生産性の推移、すなわち、DEA と Inverted DEA の各効率値の推移に関して、電力自由化の効果の有無を統計学的に有意であるかを検証した。なお、本論文では文献[14,17]で紹介されている、DEA 効率値に対するパラメトリック検定とノンパラメトリック検定の両者を、IDEA 非効率値に対しても新たに適用し、電力自由化の効果検証を行った。

今回の研究によって、著者の実証研究[27]の結果として挙げた点、「電力自由化の開始前後の計 21 年間(東日本大震災以前のデータまで)において、わが国の電力自由化の進展は段階的にゆっくりと進んでいることで、電力自由化への各社の取組みの成果の差が結果としてあまり出にくい状況である」ことが統計学的にも確認できた。さらに、「電力各社の生産性の推移もそれぞれ様々な状況である」ことも統計学的に改めて確認できた。これらの結果が生じた理由は、わが国の電力自由化の目的である『「安定的な電力供給の確保」と「効率的な電力供給システムの構築」という課題の同時達成を目指し、公平な競争を導入した日本型モデルの仕組みを整備することにある』という方針の影響であろう。

今後、電力システム改革の工程が計画、検討されている通り、2018 年(平成 30)から 2020 年(平成 32)を目途に送配電部門の法的分離と進むことで、電気事業者の生産性の効率化に対して一層の経営努力が要求されるのは必至であろう。加えて、東日本大震災の発生以後、国内の原子力発電が全面ストップし、現在、数基の原子力発電施設が稼働状態になったとはいえ、火力発電を主力とせざるを得ない状況となった。したがって、電力各社の電源構成が大幅に変更されたことから、生産性の効率化対策も大きく異なってくると考えられる。これらがどのように今後電力各社の生産性に影響を及ぼすかを注視する必要がある。これらに対応する形で、今回本論文で行った仮説検定をより詳細に行い、検証

する必要があり、今後の重要な研究課題としてあげられると考える。

## 謝辞

本論文の査読者の方々からは大変有益なコメントと指摘をいただきました。ここに心から感謝の意を表します。

## 参考文献

- [1] 穴山悌三：電力産業の経済学, NTT 出版株式会社, 2005.
- [2] Banker,R.D. : Maximum Likelihood, Consistency and Data Envelopment Analysis : A Statistical Foundation, *Management Science*, Vol.39 (1993), 1265-1273.
- [3] Banker,R.D. and Maindiratta,A. : Maximum Likelihood Estimation of Monotone and Concave Production Frontiers, *The Journal of Productivity Analysis*, Vol.3 (1992), 401-425.
- [4] Brockett,P.L. and Golany,B. : Using Rank Statistic or Determining Programmatic Efficiency Differences in Data Envelopment Analysis, *Management Science*, Vol.42 (1996), 466-472.
- [5] Charnes,A., Cooper,W.W. and Rhodes,E. : Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research*, Vol.2 (1978), 429-444.
- [6] Cooper,W.W., Seiford,L.M. and Tone,K. : *Data Envelopment Analysis : A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [7] Cooper,W.W., 刀根薫, 高森寛, 末吉俊幸 : DEA の解釈と展望 その 1-3, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.39 (1994), 419-425, 480-485 and 547-555.
- [8] 電気事業連合会ホームページ, <http://www.fepc.or.jp/> 閲覧日 2014 年 8 月 28 日.
- [9] 電気事業連合会統計委員会 編 : 平成 7 年度版~平成 16 年度版 電気事業便覧, 日本電気協会, 1995~2004.
- [10] 後藤美香, 筒井美樹 : 日米電気事業の生産性総合評価 — 技術効率性及びコスト効率性, 電力中央研究所報告, Y97014.
- [11] 経済産業省 編 : エネルギー白書 各年度, 新高速印刷ほか, 2007~2013.
- [12] 八田達夫, 田中誠 編著 : 電力自由化の経済学, 東洋経済新報社, 2004.
- [13] 八田達夫, 田中誠 編著 : 規制改革の経済分析 — 電力自由化のケース・スタディ, 日本経済新聞出版社, 2007.
- [14] 末吉俊幸 : DEA — 経営効率分析法 —, 朝倉書店, 2001.
- [15] Sueyoshi,T., and Goto,M. : Efficiency-based rank assessment for electric power industry: A combined use of Data Envelopment Analysis (DEA) and DEA-Discriminant Analysis (DA), *Energy Economics*, Vol.34 (2012), 634-644.
- [16] Sueyoshi,T., Goto,M. and Sugiyama,M. : DEA window analysis for environmental assessment in a dynamic time shift: Performance assessment of U.S. coal-fired power plants, *Energy Economics*, Vol.40 (2013), 845-857.
- [17] 末吉俊幸, 町田浩, 杉山学, 新井健, 山田善靖 : 国鉄の分割・民営化とその企業効率変化 : DEA 時系列分析による実証研究, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.40 (1997), 186-205.
- [18] 杉山学 : 事業体の総合評価手法 — 電力事業体の効率性評価の事例 —, *経営システム*, Vol.15 (2005), 239-244.
- [19] 杉山学 : 電力自由化後の電力各社の生産性推移, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.14 (2007), 131-153.
- [20] 杉山学 : データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較のための時系列業績データ

- 基礎分析 — 各種業績データに基づく JR 旅客各社の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.15 (2008), 53-70.
- [21] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — DEA/ウィンドー分析による JR 旅客各社の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.16 (2009), 61-82.
- [22] 杉山学：経営効率分析のための DEA と Inverted DEA — 基本概念と方法論から、主観的な判断を加味できる応用モデルまで —, 静岡学術出版, 2010.
- [23] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — Inverted DEA/ウィンドー分析による JR 旅客各社の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.17 (2010), 47-69.
- [24] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — DEA と Inverted DEA のウィンドー分析による大手私鉄各社(在東日本)の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.18 (2011), 67-96.
- [25] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — DEA と Inverted DEA のウィンドー分析による大手私鉄各社(在西日本)の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.19 (2012), 17-45.
- [26] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — ウィンドー分析の結果に対するローソク足を用いたグラフ化の提案と鉄道各社の比較結果 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.20 (2013), 33-48.
- [27] 杉山学：わが国の電力各社の生産性に対する DEA と Inverted DEA を用いた時系列評価 — 電力自由化前後の計 21 年間の推移 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.22 (2015), 39-55.
- [28] 杉山学：電力自由化後の電力各社の生産性に対する DEA と Inverted DEA を用いた時系列評価, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.23 (2016), 33-54.
- [29] 杉山学：データ包絡分析法による JR と大手私鉄の事業活動効率比較 — 国鉄の分割・民営化後 19 年間の JR 旅客各社の推移に対するグラフ化表現を用いた時系列評価 —, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.24 (2017), 33-53.
- [30] Sugiyama,M. and Sueyoshi,T. : Finding a Common Weight Vector of Data Envelopment Analysis Based upon Bargaining Game, *Studies in Engineering and Technology*, Vol.1 (2014), 13-21.
- [31] 杉山学, 山田善靖：事業体間の相互評価情報を用いた調和的な効率性評価法, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.39 (1996), 159-175.
- [32] Sugiyama,M. and Yamada,Y. : Data Envelopment Analysis Using Virtual DMU as Intermediates : An Application to Business Analysis of Japan's Automobile Manufactures, *Journal of Japan Industrial Management Association*, Vol.50 (2000), 341-354.
- [33] 杉山学, 山田善靖：DEA と合意形成, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.46 (2001), 284-289.
- [34] 高橋洋：電力自由化 — 発送電分離から始まる日本の再生, 日本経済新聞出版社, 2011.
- [35] 刀根薫：経営効率性の測定と改善 — 包絡分析法 DEA による —, 日科技連, 1993.
- [36] 刀根薫, 上田徹 監訳：経営効率評価ハンドブック — 包絡分析法の理論と応用 —, 朝倉書店, 2000.
- [37] 山田善靖, 松井知己, 杉山学：DEA モデルに基づく新たな経営効率性分析法の提案, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.37 (1994), 158-168.
- [38] 山田善靖, 末吉俊幸, 杉山学, 貫名忠好, 牧野智謙：日本的経営の為の DEA 法：日本経済に果たす公共事業投資の役割, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.38 (1995), 381-397.