

【原著論文】

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—

杉山 学

経営管理研究室

**The relative efficiency evaluation for productivity of each Japan's
electric power company using the DEA/Window Analysis
and the Inverted DEA/Window Analysis :
Trends of the relative efficiencies and inefficiencies for a total of 21 years
before and after electric power deregulation**

Manabu SUGIYAMA

Management and Decision Science

Abstract

This study evaluates the relative efficiencies for productivity of each Japan's electric power company, using the DEA/Window Analysis (Data Envelopment Analysis/Window Analysis) and the Inverted DEA/Window Analysis (Inverted Data Envelopment Analysis/Window Analysis). This paper analyzes trends of the relative efficiencies and inefficiencies of each electric power company for a total of 21 years before and after electric power deregulation. In this paper, trends of the relative efficiencies and inefficiencies of each electric power company became clear by new illustrations based on the Candlestick. The details of the productivity of each electric power company were identified.

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, 時系列分析,
DEA/ウィンドー分析, Inverted DEA/ウィンドー分析, ローソク足

1. はじめに

電気事業連合会のホームページ[6] やエネルギー白書[9], そして各種報道などによれば, 国内外における規制緩和の流れのなかで, 日本における電力自由化は, 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った。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。実際、1995年(平成7年)から現在までに電気事業法改正が計3回行なわれており、2016年(平成28)を目途に小売全面自由化、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、全面自由化に関する具体的な電力システム改革が検討されている。

その中で2011年(平成23)3月11日に発生した東日本大震災による原子力発電所事故の被害は極めて甚大であり、電力各社の重要なベースロード電源であった原子力発電が全面ストップする現状となった。この現状を踏まえ、各種報道などによれば、わが国のベストミックスな電源構成について見直す議論も様々始まっているが、最も近い2014年(平成26)4月11日に閣議決定された「エネルギー基本計画」(おおむね3年ごとに見直しされる)でも、今後の方向性を具体的に確定できる段階に至っていない。東日本震災以後のこれら見直し議論の中で、「発送電分離」についても電力自由化の中心的な検討課題として再び上がってきおり、その方向性が示されつつある。

そもそも電力自由化は、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といった、更なる効率化を目指すものであり、現在まで段階的に進んできた。2000年(平成12年)、小売りの部分自由化が始まって以来、電力各社は料金体系を数回見直しており、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実行してきたが、東日本大震災の発生以後国内の原子力発電がストップし、火力発電を主力とせざるを得ず、その原料調達コストが上昇したため電気料金の値上げに係る認可申請をほぼすべてが行っており、再値上げの方針を打ち出す電力会社も出てきている。したがって、東日本大震災以前までは、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上がっていたのではないかといえ、これらは国内外の電力関連の多数の研究報告[1,8,10,11,14,30]などによっても実証されつつある。

しかし、生産性の観点から実際に効率化が行なわれてきたかは疑問が残る。これら電力自由化に関する国内外の研究の多くは、コスト面やコストに影響を及ぼすであろう法的制度面などの短期的な点に集中し、実際に電気事業の活動がどうであるかを長期的に示す生産性に注目した研究は数少ない。そこで本研究の目的は、わが国における電気事業者(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)[3,4,5,13,21,31,32]とInverted DEA(Inverted Data Envelopment Analysis: インバーテドDEA)[21,33]の時系列分析を用いて実証的に分析することである。

現在までに、わが国の電気事業者(電力会社)に関する生産性の効率評価に対しDEAを用いて時系列的に分析したものとしては、著者の論文[17,18]などがあげられる。しかし、これらの分析では時系列分析が不十分であったために、電力自由化後の生産性の効率化に対する結論を十分に導けなかった。そこで本論文では、電力自由化の開始前後の各10年間程度、計21年間(東日本大震災以前まで)を対象

に、わが国の電気事業者(電力会社)に関する生産性の効率評価を、ウィンドー分析[2,4,32]によって詳しく時系列的に分析、評価する。加えて、DEA と Inverted DEA のウィンドー分析の数値結果を、直感的にわかり易く表現する方法として論文[25]において提案した「ローソク足(Candlestick)」を用いた表現の設定を新しく変更し、さらに発展、応用させたグラフ化も本論文で新たに提案する。

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行なえ、現在、検討や再検討が行われている制度設計をする上で、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 節では本研究で用いる DEA と Inverted DEA、そして、ウィンドー分析について概要を簡潔に示す。加えて、ウィンドー分析の数値結果を、直感的にわかり易く表現するために以前提案した「ローソク足」を用いたグラフ化手法の設定を新しく変更し、さらに発展、応用させたグラフ化手法を新たな提案する。3 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前後の各電気事業者(電力各社)の生産性の効率化傾向に対する考察を行なう。5 節では本研究をまとめ、将来の研究課題を検討する。

2. 生産性評価の分析手法と新たなグラフ化手法の提案

2.1. 本論文で使用する生産性評価の分析手法

わが国における電気事業者(電力会社)の生産性評価に使用する分析モデルは、多入力多出力のシステムである事業者(DMU : Decision Making Unit)の相対的な効率を測定する DEA[3,4,5,13,21,31,32]と、著者らによって提案された日本オリジナルな DEA モデルである Inverted DEA[21,33]である。DEA に関する記述は様々あるが、本論文では論文[20,21]での記述に従うものとし、Inverted DEA に関する記述は論文[21,22]で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(比率形式)を使用する。

そして、DEA と Inverted DEA を組み合わせた分析として、著者らが論文[33]で提案した事業者の分類法も活用し、電気事業者(電力会社)の生産性を評価する。具体的に述べるならば、著者らが提案した事業者の分類法は、DEA による各事業者の DEA 効率値 θ_o^* に対してしきい値 α を設定して良い悪いと 2 分割し、Inverted DEA による各事業者の IDEA 非効率値 ϕ_o^* に対してしきい値 β を設定して良い悪いと 2 分割し、これらを組み合わせることで事業者全体を「A : 優秀な事業者」「B : 並の事業者」「C : 努力必要な事業者」「D : 特異な事業者」の計 4 つの集合に分割する方法ある。これにより、事業者の活動結果の特性について、よりわかり易い定性的な把握が可能となる。

加えて、本研究では電気事業者(電力会社)の生産性を時系列分析したいので、DEA において時系列的に効率性の変化を測定するための分析法[4,13,16,31,32]は様々存在するが、論文[17,18]を踏まえ、最も直感的に理解し易く、かつ、代表的なウィンドー分析(Window Analysis)[2]を同様に用いるとする。

ウィンドー分析に関する記述は様々あるが数理的に記述した文献はあまりない。そこで、本論文では DEA/ウィンドー分析に関する記述は論文[20]に従い、Inverted DEA/ウィンドー分析に関する記述は論文[22]に従い、適宜これ以降の文中でこれらの記述を利用する。

また文献[32]でも示されているように、ウィンドー分析を行う上での課題はウィンドー数 p の設定である。現時点で決定的な設定方法は無く、試行錯誤の上で決定されている。しかし、その目安として文献[4]では、

$$p = \begin{cases} \frac{k+1}{2} & \text{期間}k\text{が奇数のとき} \\ \frac{k+1}{2} \pm \frac{1}{2} & \text{期間}k\text{が偶数のとき,} \end{cases} \quad (1)$$

と設定することが示されている。

2.2. ウィンドー分析の結果に対する新たなグラフ化の提案

論文[25]でも述べたように、DEA と Inverted DEA に関するウィンドー分析の数値結果の表は、直感的に一見では理解しにくい。したがって、ウィンドー分析の数値結果を、時系列で相対的な要素を考慮した上で、直感的にわかり易く一目で表現するグラフ化手法が求められる。そこで、著者は論文[25]において、株価などの相場の値動きを時系列に沿ってグラフとして表す手法「ローソク足(Candlestick)」[12]を利用してグラフ化する方法を提案した。本節では、このローソク足を利用する際に設定を従来に対して新しく変更し、さらに発展、応用させたグラフ化手法を以下に提案する。

ローソク足をグラフとして表現するためには、単位期間を定め、単位期間中に初めに付いた値を始値、最後に付いた値段を終値、最も高い値を高値、最も低い値を低値とした情報を設定する必要がある。そして、この4種の値をローソク足と呼ばれる一本の棒状の図形に作図し、時系列に沿って並べて値の変動をグラフとして表現するのがローソク足チャート(Candlestick chats)である。

したがって、ウィンドー分析の結果の数値表に関して、ローソク足を利用したグラフ化は、その目的によって様々設定が可能である。論文[25]で提案したように、時系列分析の結果を、電力各社に対して相対的に全体を把握するのではなく、本論文では、ある評価対象の電力会社の結果に関して、その傾向を時系列に沿って詳細に把握することを目的とする。そこで、本論文ではウィンドー分析を数理的に詳しく記述した論文[20,22]の表記を利用し、この目的に合致するように従来の設定を新しく変更し、次のように設定する。

まず、ある o 番目の評価対象の電力会社(DMU $_o$)に対して、時系列に沿って変化を表現したいので、想定する単位期間と4種の値を、DEA/ウィンドー分析では各社の効率値 $\theta_{o,dt}^*$ ($o=1,\dots,n; d=1,\dots,w; t=1,\dots,k$) に関して同じ t 期の値で設定してローソク足をそれぞれ作図することとする。そして、評価対象の電力会社(DMU $_o$)ごとに、この k 個のローソク足を時系列に沿って並べてグラフ化し記述することとする。また、Inverted DEA /ウィンドー分析では各社の非効率値 $\phi_{o,dt}^*$ ($o=1,\dots,n; d=1,\dots,w; t=1,\dots,k$) に関して同じ t 期の値で設定してローソク足をそれぞれ作図することとする。そして、評価

対象の電力会社(DMU_o)ごとに、この k 個のローソク足を時系列に沿って並べてグラフ化し同様に記述することとする。

DEA/ウィンドー分析の場合についてより具体的に示すならば、同じ t 期($t=1, \dots, k$)においてウィンドー分析の番号 d が異なる効率値 $\theta_{o_{dt}}^*$ が複数存在するので、そのウィンドー分析の番号 d の集合を W_t とする。ここで、単位期間は t 期とし、単位期間中の始値を $\theta_{o_{bt}}^*$ ($b = \min\{d | d \in W_t\}$)、終値を $\theta_{o_{et}}^*$ ($e = \max\{d | d \in W_t\}$)、高値を $\max\{\theta_{o_{dt}}^* | d \in W_t\}$ 、低値を $\min\{\theta_{o_{dt}}^* | d \in W_t\}$ として t 期のローソク足を作図する。そして、評価対象の DMU_o ごとに、その傾向を時系列に沿って詳細に把握出来るように、 k 個のローソク足を時系列に沿って 1 から k まで並べてグラフ化する。また、Inverted DEA/ウィンドー分析の場合についてより具体的に示すならば、DEA と同様に、同じ t 期($t=1, \dots, k$)においてウィンドー分析の番号 d が異なる非効率値 $\phi_{o_{dt}}^*$ が複数存在するので、そのウィンドー分析の番号 d の集合を W_t とする。ここで、単位期間は t 期とし、単位期間中の始値を $\phi_{o_{bt}}^*$ ($b = \min\{d | d \in W_t\}$)、終値を $\phi_{o_{et}}^*$ ($e = \max\{d | d \in W_t\}$)、高値を $\max\{\phi_{o_{dt}}^* | d \in W_t\}$ 、低値を $\min\{\phi_{o_{dt}}^* | d \in W_t\}$ として t 期のローソク足を作図する。そして、評価対象の DMU_o ごとに、その傾向を時系列に沿って詳細に把握出来るように、 k 個のローソク足を時系列に沿って 1 から k まで並べてグラフ化する。

3. 電気事業体の生産性評価の枠組み

基本的に論文[17,18,27,29]で用いられた、わが国の電気事業体(電力会社)の生産性に関する評価の枠組みを踏襲し、改めて以下で解説を行う。

3.1. 電気事業体の生産性評価

論文[17,18]においても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、各電気事業体(電力各社)によって地域毎に独占的生産・供給されてきた。したがって、電気事業体の事業活動には、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、わが国の電気事業体は株式会社でもあり、その事業活動自体の継続や将来的な設備投資のために利益を生み出さなければならない。したがって、電気事業体の事業活動には、営利目的という企業性の追求も課せられている。

その上、段階的に進みつつある電力自由化や東日本大震災発生以後の火力発電中心の電力供給によるコスト上昇に伴い、一層の経営効率化が求められているのが現状である。電気事業連合会[6]によれば、『電力の小売の部分自由化の中、各電力会社はお客さまに信頼され選択される企業となるために、一層の効率化を進めるとともに、お客さまのサービス向上に積極的に努めていきます。』とあり、効率化が大前提となっている。

これらの点から電気事業体の事業活動は、公共性と企業性の両面を持ち合わせており、その評価も複雑であるといえる。そこで本研究では、電気事業体の生産性という観点から効率性評価を行うために、電気事業体を多入力多出力システムととらえ、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供給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表現し，評価を行う。

そして，電気事業体の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，企業的側面の追求とは「効率性の追求」であると考えられることができる。したがって，公共的側面(公共性の面)を評価するためには，非効率を測定する Inverted DEA を用いることが適しており，時系列的に非効率測定ができる Inverted DEA/ウィンドー分析を用いる。また，企業的側面(企業性の面)を評価するためには，効率を測定する DEA を用いることが適しており，時系列的に効率測定ができる DEA/ウィンドー分析を用いる。

3.2. 生産性評価のための時系列データとウィンドー分析の設定

評価対象となる事業体は，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以下の項目とし，入出力のデータは，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[7]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

すなわち，DMU の数は $n = 9$ ，入出力データの期間は $k = 21$ である。そして，文献[4]で示された(1)式を用いて，ウィンドー数 p を設定するならば，

$$p = \frac{21+1}{2} = 11,$$

となるので，本論文ではウィンドー数を 11 期($p = 11$)と設定する。したがって，2.2 節で示した t 期において効率値が存在するウィンドー分析の番号 d の集合 W_t を具体的に示すと次の通りである。

$$W_1 = \{1\}, W_2 = \{1,2\}, W_3 = \{1,2,3\}, \dots, W_9 = \{1,2,\dots,8,9\}, W_{10} = \{1,2,\dots,9,10\}, W_{11} = \{1,2,\dots,10,11\}, \\ W_{12} = \{2,3,\dots,10,11\}, W_{13} = \{3,4,\dots,10,11\}, \dots, W_{19} = \{9,10,11\}, W_{20} = \{10,11\}, W_{21} = \{11\}.$$

4. 分析結果と考察

4.1. ウィンドー分析の結果と考察

沖縄電力を除く本土の電力会社 9 社の生産性に対して，企業的側面である「効率性の追求」の面を時系列分析した DEA/ウィンドー分析の結果を表 1 に，公共的側面である「非効率性の改善」の面を時系列分析した Inverted DEA/ウィンドー分析の結果を表 2 に，それぞれを示す。加えて，2.2 節で新たに提案したグラフ化手法を利用して記述した結果を，図 1 から図 18 に示すこととする。

表 1: 生産性に対する DEA/ウィンドー分析の結果(11 期間: $p = 11$)

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	Mean	Summary Var	Measures Column Range	Total Range	
北海道電力	0.9558	0.9431	0.9516	1.0000	0.9564	0.9943	0.9468	0.9693	0.9820	0.9993	1.0000												0.9726	0.9824	0.0520	0.0231	0.0700
東北電力	0.9293	0.9463	0.9827	0.9939	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9814	0.9907	0.9612												0.9805	0.9744	0.0792	0.0268	0.0855
北海道電力		0.9300	0.9439	1.0000	0.9486	0.9868	0.9369	0.9623	0.9787	0.9962	0.9967	1.0000											0.9709				
北海道電力			0.9439	1.0000	0.9486	0.9868	0.9361	0.9602	0.9703	0.9872	0.9925	1.0000	1.0000										0.9751				
北海道電力				1.0000	0.9486	0.9868	0.9345	0.9578	0.9650	0.9808	0.9892	1.0000	0.9879	1.0000									0.9773				
北海道電力					0.9585	1.0000	0.9345	0.9578	0.9650	0.9808	0.9892	1.0000	0.9859	1.0000	1.0000								0.9793				
北海道電力						1.0000	0.9345	0.9578	0.9650	0.9808	0.9892	1.0000	0.9853	1.0000	0.9974	1.0000							0.9827				
北海道電力							0.9334	0.9561	0.9611	0.9762	0.9868	1.0000	0.9821	1.0000	0.9928	1.0000	1.0000						0.9808				
北海道電力								0.9561	0.9611	0.9762	0.9868	1.0000	0.9821	1.0000	0.9905	1.0000	1.0000	1.0000				0.9866					
北海道電力									0.9611	0.9762	0.9868	1.0000	0.9821	1.0000	0.9904	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000			0.9906					
北海道電力										0.9762	0.9868	1.0000	0.9821	1.0000	0.9903	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000		0.9941					
北海道電力											0.9868	1.0000	0.9821	1.0000	0.9903	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9963					
東北電力												0.9612										0.9805	0.9744	0.0792	0.0268	0.0855	
東北電力													0.9939									0.9860					
東北電力														0.9731								0.9880					
東北電力															0.9377							0.9834					
東北電力																0.9317						0.9784					
東北電力																	0.9711					0.9748					
東北電力																		0.9296				0.9683					
東北電力																			0.9521			0.9638					
東北電力																				0.9899		0.9710					
東北電力																						0.9628					
東北電力																						0.9618					
東京電力	0.9254	0.9281	0.9472	0.9615	0.9860	1.0000	1.0000	1.0000	0.9871	0.9937	1.0000											0.9754	0.9815	0.0416	0.0443	0.0820	
東京電力		0.9180	0.9403	0.9554	0.9820	1.0000	1.0000	1.0000	0.9990	0.9865	0.9913	1.0000	1.0000									0.9793					
東京電力			0.9310	0.9472	0.9792	1.0000	1.0000	1.0000	0.9942	0.9813	0.9892	1.0000	0.9955	1.0000								0.9834					
東京電力				0.9422	0.9769	1.0000	1.0000	1.0000	0.9892	0.9755	0.9885	1.0000	0.9885	0.9938	1.0000							0.9868					
東京電力					0.9715	0.9981	0.9983	0.9805	0.9668	0.9855	1.0000	0.9822	0.9795	0.9891	1.0000							0.9865					
東京電力						0.9801	0.9863	0.9698	0.9555	0.9804	1.0000	0.9751	0.9682	0.9779	0.9893	1.0000						0.9803					
東京電力							0.9862	0.9690	0.9546	0.9804	1.0000	0.9751	0.9682	0.9776	0.9893	1.0000	1.0000				0.9819						
東京電力								0.9676	0.9529	0.9804	1.0000	0.9751	0.9682	0.9770	0.9892	1.0000	0.9742	1.0000			0.9804						
東京電力									0.9570	0.9827	1.0000	0.9768	0.9695	0.9783	0.9897	1.0000	0.9744	1.0000	1.0000		0.9844						
東京電力										0.9671	0.9891	0.9600	0.9602	0.9685	0.9851	0.9998	0.9735	1.0000	0.9856	1.0000	0.9808						
東京電力											0.9892	0.9594	0.9557	0.9631	0.9781	0.9909	0.9607	0.9867	0.9733	0.9907	1.0000	0.9771					
中部電力	1.0000	0.9462	0.9716	0.9754	0.9908	1.0000	0.9979	0.9621	0.9260	0.9568	0.9331											0.9709	0.9462	0.2701	0.1617	0.1717	
中部電力		0.9867	1.0000	0.9996	1.0000	1.0000	0.9979	0.9621	0.9260	0.9568	0.9331	0.9702										0.9775					
中部電力			1.0000	0.9996	1.0000	1.0000	0.9963	0.9592	0.9222	0.9518	0.9475	0.9640	0.9856									0.9751					
中部電力				1.0000	1.0000	1.0000	0.9953	0.9573	0.9195	0.9483	0.9434	0.9595	0.9804	0.9997								0.9730					
中部電力					1.0000	1.0000	0.9928	0.9525	0.9120	0.9387	0.9324	0.9475	0.9663	0.9856	0.9983							0.9660					
中部電力						1.0000	0.9898	0.9459	0.9030	0.9271	0.9192	0.9331	0.9494	0.9687	0.9792	0.9950						0.9555					
中部電力							1.0000	0.9537	0.9106	0.9335	0.9247	0.9382	0.9535	0.9730	0.9825	0.9961	0.9992				0.9605						
中部電力								0.9430	0.8949	0.9140	0.9029	0.9122	0.9228	0.9405	0.9479	0.9571	0.9590	1.0000			0.9358						
中部電力									0.8808	0.8992	0.8901	0.8964	0.9071	0.9183	0.9274	0.9402	0.9384	0.9738	1.0000		0.9247						
中部電力										0.8645	0.8579	0.8447	0.8531	0.8581	0.8682	0.8837	0.8798	0.9120	0.9362	1.0000	0.8871						
中部電力											0.8456	0.8283	0.8365	0.8381	0.8490	0.8664	0.8601	0.8860	0.9095	0.9827	1.0000	0.8820					
北陸電力	1.0000	0.9386	0.9578	0.9285	0.9345	0.9670	0.9078	0.9155	0.8193	0.8215	0.8283											0.9108	0.8548	0.4242	0.0560	0.2472	
北陸電力		0.9740	0.9839	0.9288	0.9345	0.9670	0.9078	0.9155	0.8193	0.8215	0.8283	0.8488										0.9027					
北陸電力			0.9839	0.9288	0.9345	0.9670	0.9078	0.9155	0.8193	0.8215	0.8283	0.8488	0.8578									0.8921					
北陸電力				0.9288	0.9345	0.9670	0.9078	0.9155	0.8193	0.8215	0.8283	0.8488	0.8578	0.8028								0.8757					
北陸電力					0.9345	0.9670	0.9078	0.9155	0.8193	0.8200	0.8279	0.8488	0.8578	0.8005	0.8140							0.8648					
北陸電力						0.9670	0.9071	0.9155	0.8190	0.8153	0.8240	0.8452	0.8556	0.7928	0.8051	0.8106						0.8506					
北陸電力							0.9071	0.9155	0.8190	0.8153	0.8240	0.8452	0.8556	0.7994	0.8073	0.8157	0.8040				0.8371						
北陸電力								0.9155	0.8190	0.8171	0.8241	0.8452	0.8556	0.7948	0.8079	0.7999	0.7904	0.8105			0.8254						
北陸電力									0.8310	0.8317	0.8397	0.8604	0.8679	0.7969	0.8163	0.7953	0.7869	0.8078	0.8686		0.8275						
北陸電力										0.8172	0.8265	0.8475	0.85														

表 2：生産性に対する Inverted DEA/ウィンドー分析の結果(11 期間 : $p = 11$)

生産性 電力会社	$t = 1$ 1985	$t = 2$ 1986	$t = 3$ 1987	$t = 4$ 1988	$t = 5$ 1989	$t = 6$ 1990	$t = 7$ 1991	$t = 8$ 1992	$t = 9$ 1993	$t = 10$ 1994	$t = 11$ 1995	$t = 12$ 1996	$t = 13$ 1997	$t = 14$ 1998	$t = 15$ 1999	$t = 16$ 2000	$t = 17$ 2001	$t = 18$ 2002	$t = 19$ 2003	$t = 20$ 2004	$t = 21$ 2005	Average	Mean	Summary Var	Measures Column Range	Total Range	
北海道電力	0.9395	0.9901	1.0000	0.9494	0.9050	0.8793	0.8560	0.8485	0.8109	0.7905													0.9063	0.8376	0.7675	0.1034	0.2719
		0.9901	1.0000	0.9494	0.9050	0.8793	0.8560	0.8485	0.8109	0.7905	0.7644												0.8904				
			1.0000	0.9494	0.9050	0.8835	0.8606	0.8556	0.8158	0.7911	0.7644	0.7618											0.8716				
				1.0000	0.9797	0.9140	0.9103	0.8863	0.8800	0.8370	0.8095	0.7737	0.7719	0.7585									0.8655				
					1.0000	0.9485	0.9211	0.8967	0.8883	0.8459	0.8182	0.7833	0.7738	0.7598	0.7461								0.8529				
						0.9656	0.9319	0.9075	0.8967	0.8575	0.8266	0.7844	0.7741	0.7617	0.7464	0.7281							0.8346				
							0.9319	0.9075	0.8967	0.8575	0.8266	0.7844	0.7741	0.7617	0.7464	0.7281	0.7312						0.8133				
								0.9075	0.8967	0.8575	0.8266	0.7844	0.7741	0.7617	0.7464	0.7281	0.7312	0.7842				0.7999					
									0.8974	0.8586	0.8273	0.7844	0.7741	0.7618	0.7464	0.7281	0.7312	0.7842	0.7763			0.7882					
										0.8813	0.8508	0.8205	0.7812	0.7650	0.7545	0.7416	0.7449	0.7842	0.7763	0.7574		0.7871					
											0.8939	0.8630	0.8225	0.8032	0.7931	0.7782	0.7816	0.7978	0.7888	0.7712	0.7532	0.8042					
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											0.7839	0.8217	0.2553	0.0824	0.2025	
		0.8226	0.7815	0.7655	0.7360	0.7217	0.7381	0.7651	0.8220	0.8151	0.8395	0.8435										0.7864					
			0.8025	0.7882	0.7583	0.7388	0.7484	0.7652	0.8220	0.8151	0.8395	0.8435	0.8428									0.7968					
				0.7958	0.7655	0.7443	0.7517	0.7653	0.8221	0.8151	0.8395	0.8435	0.8428	0.8533								0.8035					
					0.7835	0.7582	0.7602	0.7654	0.8327	0.8241	0.8484	0.8519	0.8505	0.8561	0.8524							0.8167					
						0.7857	0.7769	0.7655	0.8327	0.8241	0.8484	0.8519	0.8505	0.8561	0.8522	0.8195						0.8240					
							0.7792	0.7656	0.8327	0.8241	0.8484	0.8519	0.8505	0.8561	0.8520	0.8190	0.8384				0.8289						
								0.7656	0.8327	0.8241	0.8484	0.8519	0.8505	0.8561	0.8520	0.8190	0.8384	0.8103			0.8317						
									0.8327	0.8241	0.8484	0.8519	0.8505	0.8561	0.8520	0.8190	0.8384	0.8103	0.7867		0.8336						
										0.8678	0.8929	0.8956	0.8931	0.8992	0.8919	0.8531	0.8614	0.8272	0.8061	0.7681	0.8597						
											0.9219	0.9222	0.9176	0.9242	0.9140	0.8717	0.8880	0.8523	0.8299	0.7892	0.7721	0.8730					
東京電力	0.8465	0.8589	0.8303	0.8235	0.7986	0.7907	0.7899	0.8185	0.8447	0.8243	0.8239											0.8227	0.8194	0.0557	0.0514	0.1134	
		0.8589	0.8303	0.8235	0.7986	0.7907	0.7899	0.8185	0.8447	0.8243	0.8239	0.8332										0.8215					
			0.8303	0.8235	0.7986	0.7907	0.7899	0.8185	0.8447	0.8243	0.8239	0.8332	0.8304									0.8189					
				0.8232	0.7981	0.7876	0.7891	0.8180	0.8443	0.8239	0.8239	0.8327	0.8273	0.8241								0.8175					
					0.7981	0.7876	0.7891	0.8180	0.8443	0.8239	0.8239	0.8327	0.8273	0.8241	0.8152							0.8167					
						0.7848	0.7865	0.8161	0.8433	0.8226	0.8236	0.8312	0.8245	0.8213	0.8122	0.7989						0.8150					
							0.7845	0.8147	0.8424	0.8216	0.8234	0.8300	0.8222	0.8191	0.8099	0.7962	0.8087				0.8157						
								0.8147	0.8424	0.8216	0.8234	0.8300	0.8222	0.8191	0.8099	0.7962	0.8087	0.7788			0.8152						
									0.8424	0.8216	0.8234	0.8300	0.8222	0.8191	0.8099	0.7962	0.8087	0.7788	0.8078		0.8146						
										0.8507	0.8588	0.8579	0.8403	0.8381	0.8264	0.8092	0.8167	0.7820	0.8119	0.7873	0.8254						
											0.8748	0.8758	0.8598	0.8578	0.8451	0.8271	0.8380	0.8006	0.8126	0.7762	0.7625	0.8300					
中部電力	0.8892	0.8822	0.9055	0.8940	0.8731	0.8588	0.8606	0.8807	0.9387	0.9506	0.9637											0.8997	0.9161	0.2658	0.0946	0.1777	
		0.8822	0.9055	0.8940	0.8731	0.8588	0.8606	0.8807	0.9387	0.9477	0.9601	1.0000										0.9092					
			0.9108	0.8983	0.8757	0.8593	0.8606	0.8810	0.9391	0.9444	0.9566	0.9932	1.0000									0.9199					
				0.8777	0.8520	0.8324	0.8316	0.8549	0.9155	0.9117	0.9222	0.9594	0.9681	1.0000								0.9023					
					0.8558	0.8340	0.8321	0.8549	0.9155	0.9117	0.9222	0.9594	0.9681	1.0000	0.9894							0.9130					
						0.8274	0.8223	0.8326	0.8953	0.8861	0.8954	0.9305	0.9412	0.9792	0.9652	0.9450						0.9018					
							0.8223	0.8326	0.8939	0.8844	0.8937	0.9305	0.9412	0.9792	0.9652	0.9450	0.9696				0.9143						
								0.8326	0.8939	0.8844	0.8937	0.9305	0.9412	0.9792	0.9652	0.9450	0.9696	0.9697			0.9277						
									0.8939	0.8844	0.8937	0.9305	0.9412	0.9792	0.9652	0.9450	0.9696	0.9697	0.9432		0.9378						
										0.8884	0.8972	0.9374	0.9483	0.9874	0.9727	0.9507	0.9785	0.9774	0.9523	0.9469	0.9488						
											0.8874	0.9054	0.9080	0.9304	0.9155	0.8994	0.9203	0.9169	0.8950	0.8867	0.8602	0.9023					
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											0.9893	0.9946	0.0079	0.0276	0.0311	
		1.0000	0.9979	0.9882	0.9912	0.9787	0.9777	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	0.9943										0.9931					
			1.0000	0.9897	0.9924	0.9794	0.9780	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	0.9943	0.9945									0.9931					
				1.0000	0.9837	0.9802	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9943	0.9945	1.0000								0.9953					
					1.0000	0.9837	0.9802	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	0.9943	0.9945	1.0000	1.0000							0.9953					
						1.0000	0.9883	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	0.9943	0.9945	1.0000	0.9996	1.0000						0.9975					
							0.9964	0.9961	1.0000	1.0000	1.0000	0.9943	0.9945	1.0000	0.9996	1.0000	1.0000				0.9983						
								0.99																			

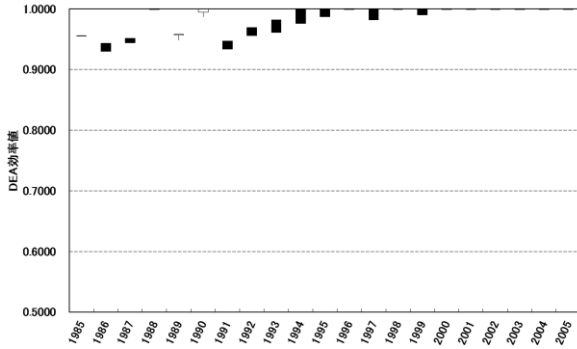


図 1：北海道電力の生産性推移(DEA 効率値)

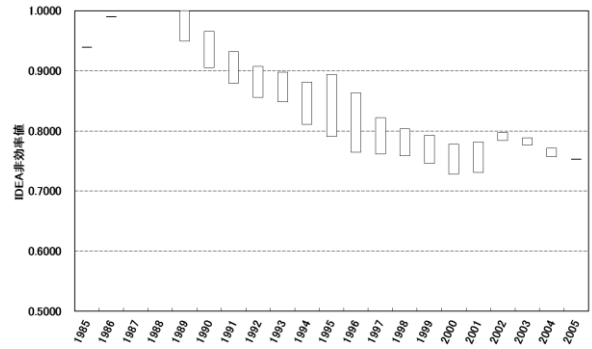


図 2：北海道電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

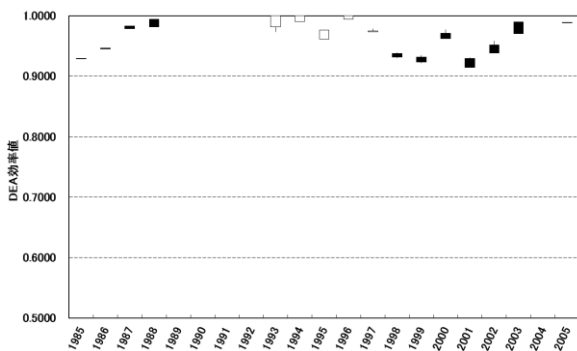


図 3：東北電力の生産性推移(DEA 効率値)

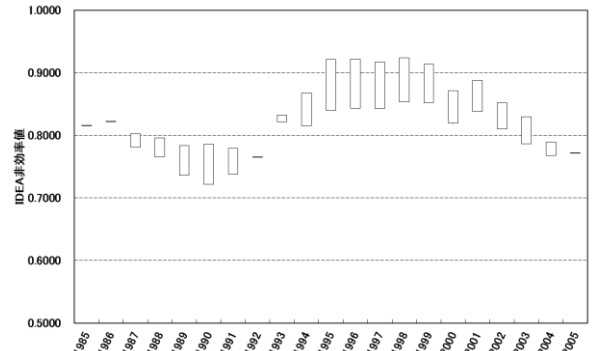


図 4：東北電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

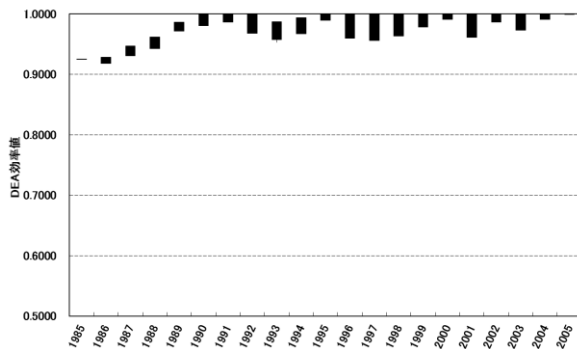


図 5：東京電力の生産性推移(DEA 効率値)

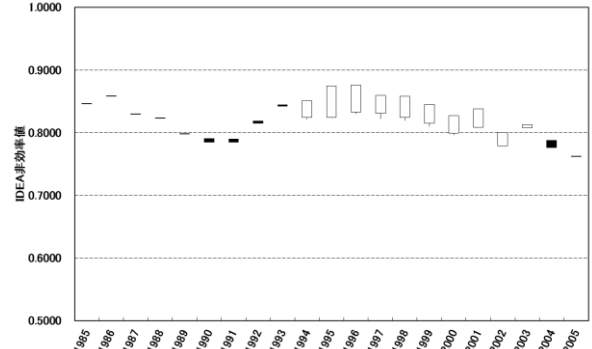


図 6：東京電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

ここで、これら結果の図において、DEA 効率値が記述された図中では、ローソク足の本体、ローソクの色が黒色である場合には、参照集合となる事業体の効率性(企業的側面)の活動が近年、改善している状況であり、白色である場合には、参照集合となる事業体の効率性(企業的側面)の活動が近年、悪化している状況を示している。これらとは逆に、IDEA 非効率値が記述された図中では、ローソク足の本体、ローソクの色が黒色である場合には、参照集合となる事業体の非効率性(公共的側面)の活動が近年、悪化している状況であり、白色である場合には、参照集合となる事業体の非効率性(公共的側面)の活動が近年、改善している状況を示している。

北海道電力の生産性の推移は、図1からは自由化後の期間に効率性が非常に高い水準で推移し一定傾向であり、図2からは自由化後の期間に非効率性が徐々に低い水準へ移行し改善傾向である。東北電力の生産性の推移は、図3からは自由化後の期間に効率性は比較的高い水準であるが若干の幅で改善と悪化を繰り返す傾向であり、図4からは自由化後の期間に非効率性は比較的低い水準で推移し近年は改善傾向である。東京電力の生産性の推移は、図5からは自由化後の期間に効率性が高い水準で推移し一定傾向であり、図6からは自由化後の期間に非効率性はほぼ同じ低い水準で推移し一定傾向である。

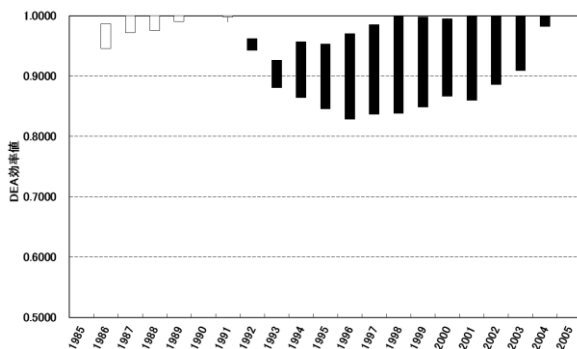


図7：中部電力の生産性推移(DEA 効率値)

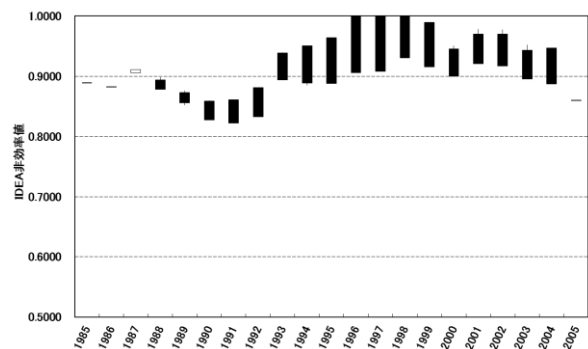


図8：中部電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

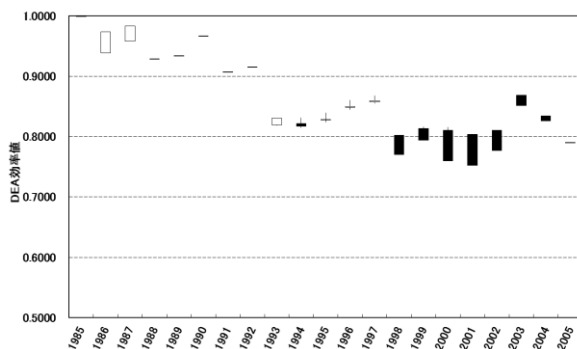


図9：北陸電力の生産性推移(DEA 効率値)

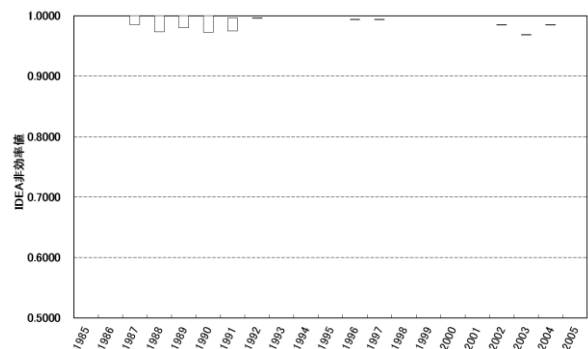


図10：北陸電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

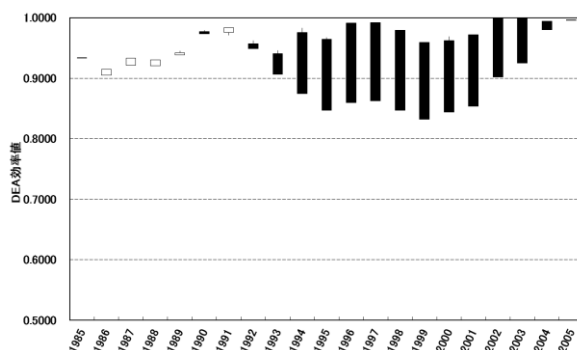


図11：関西電力の生産性推移(DEA 効率値)

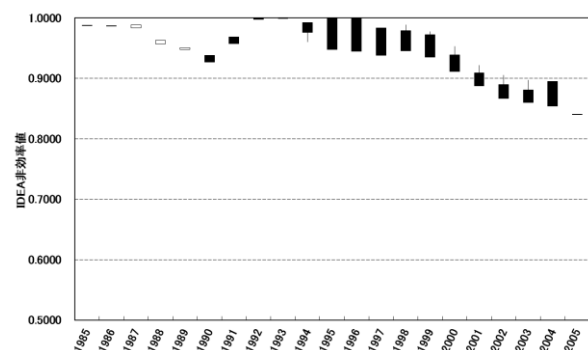


図12：関西電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

中部電力の生産性の推移は、図7からは自由化後の期間に効率性は比較的高い水準で推移し一定傾向ではあるが、他社の改善に後れを取っている状況である。図8からは自由化後の期間に非効率性は高い水準であり一定傾向である。北陸電力の生産性の推移は、図9からは自由化後の期間に効率性は低い水準で推移し一定傾向であり、図10からは自由化後の期間に非効率性は非常に高い水準で推移し一定傾向である。関西電力の生産性の推移は、図11からは自由化後の期間に効率性は比較的高い水準で推移し一定傾向ではあるが、他社の改善に後れを取っている状況である。図12からは自由化後の期間に非効率性は比較的高い水準から徐々に低い水準へ推移し改善傾向である。

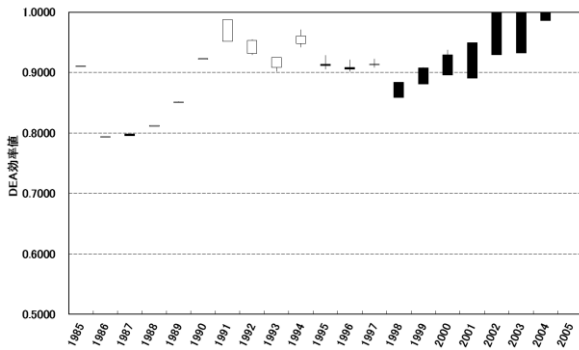


図 13：中国電力の生産性推移(DEA 効率値)

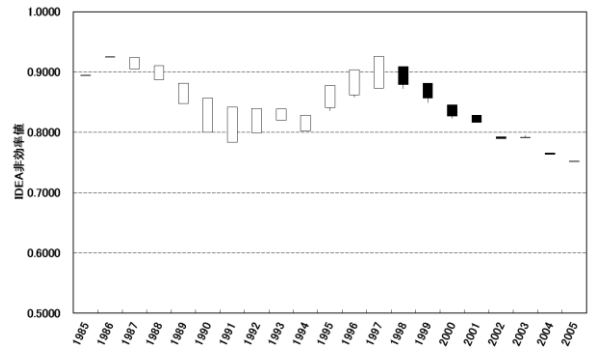


図 14：中国電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

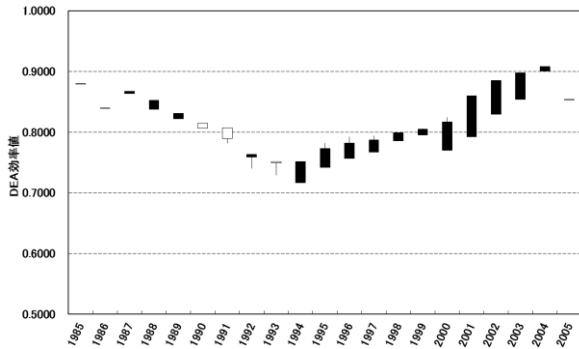


図 15：四国電力の生産性推移(DEA 効率値)

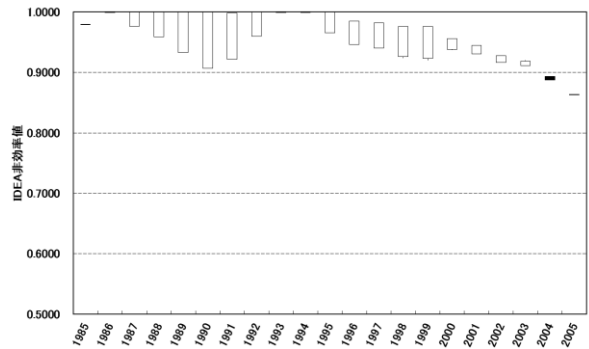


図 16：四国電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

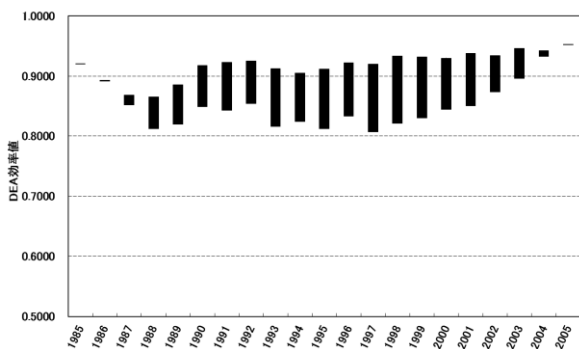


図 17：九州電力の生産性推移(DEA 効率値)

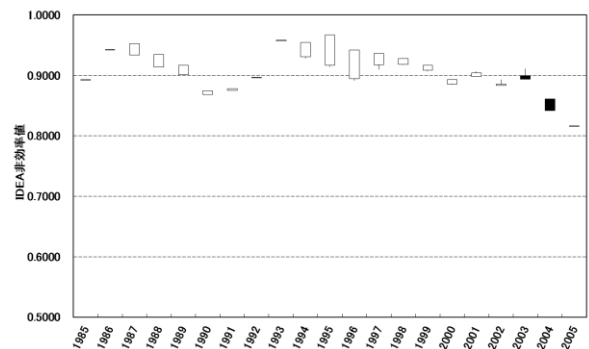


図 18：九州電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

中国電力の生産性の推移は、図 13 からは自由化後の期間に効率性は比較的高い水準で推移し近年は改善傾向であり、図 14 からは自由化後の期間に非効率性は一旦高くなりその後徐々に低い水準へ推移し改善傾向である。四国電力の生産性の推移は、図 15 からは自由化後の期間に効率性は低い水準から徐々に高くなり改善傾向であり、図 16 からは自由化後の期間に非効率性は徐々にではあるが高い水準から低くなり改善傾向である。九州電力の生産性の推移は、図 17 からは自由化後の期間に効率性は中程度の水準で推移し一定傾向ではあるが、他社の改善に後れを取っている状況である。図 18 からは自由化後の期間に非効率性は徐々にではあるが比較的高い水準から低くなり改善傾向である。

4.2. 電力各社の分類結果と考察

電力会社 9 社、各社の生産性に対して、企業の側面である「効率性の追求」の面を時系列分析した DEA/ウィンドー分析の結果と、公共的側面である「非効率性の改善」の面を時系列分析した Inverted DEA/ウィンドー分析の結果を組み合わせた分析として、著者らが提案した事業体の分類[21,33]を活用し、電力各社の分類上の推移を、図 19 から図 27 に示すこととする。

ここでの分類に用いる具体的な数値は、DEA/ウィンドー分析では各社の効率値 $\theta_{o_d}^*$ ($o=1, \dots, 9; d=1, \dots, 11$) の値、表 1 の各社に関する Average の値であり、Inverted DEA/ウィンドー分析では各社の非効率値 $\phi_{o_d}^*$ ($o=1, \dots, 9; d=1, \dots, 11$) の値、表 2 の各社に関する Average の値である。なお、ウィンドー分析を数理的に詳しく記述した論文[23,25]の表記に従えば、ウィンドー分析の番号 $d(d=1, \dots, w)$ の総数 w は $w=k-p+1$ と記述できるので、今回の分析では $w=11(=21-11+1)$ である。

加えて、今回、事業体の分類に際して、DEA 効率値 $\theta_{o_d}^*$ に関するしきい値は、 $\theta_{o_d}^*$ が計 99(=9×11) 個となるのでおおよそ半数ずつ 2 分割できる値、 $\alpha=0.9370$ に設定した。そして、IDEA 非効率値 $\phi_{o_d}^*$ に関するしきい値は、 $\phi_{o_d}^*$ が計 99(=9×11) 個となるのでおおよそ半数ずつ 2 分割できる値、 $\beta=0.9050$ に設定した。

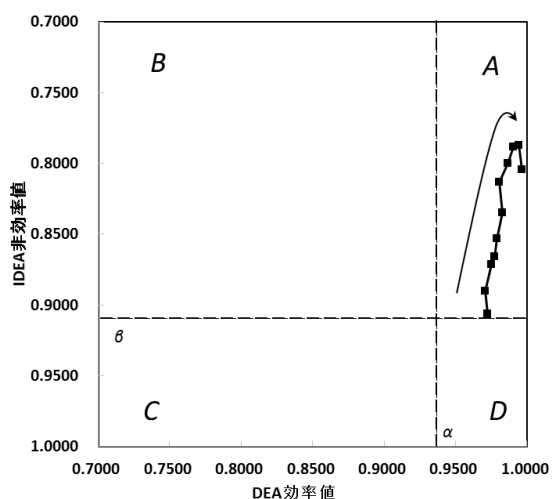


図 19：北海道電力の生産性の分類

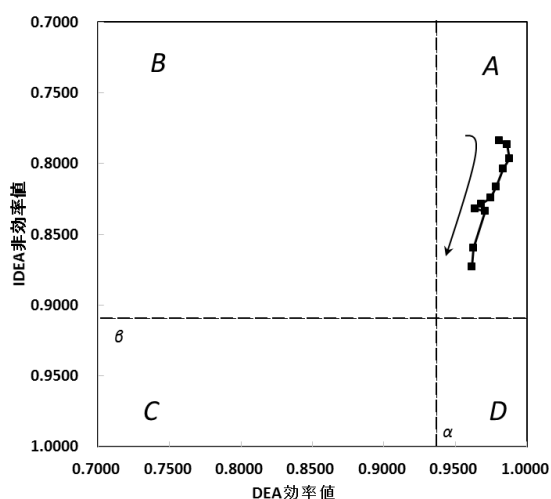


図 20：東北電力の生産性の分類

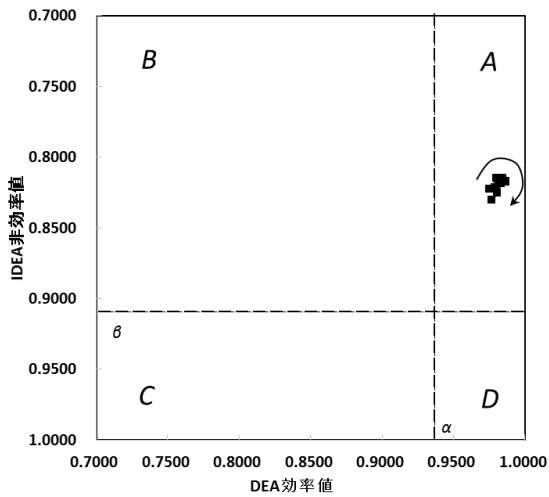


図 21：東京電力の生産性の分類

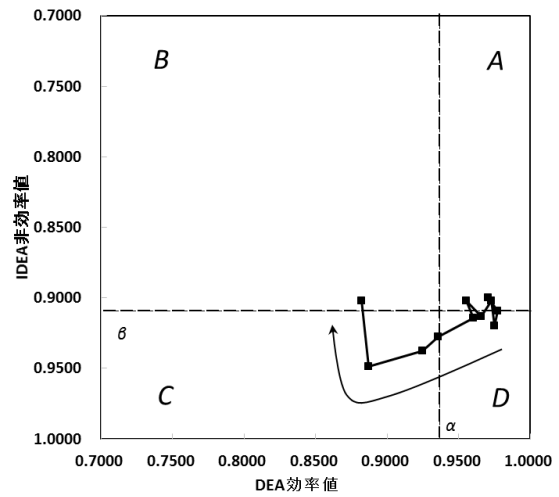


図 22：中部電力の生産性の分類

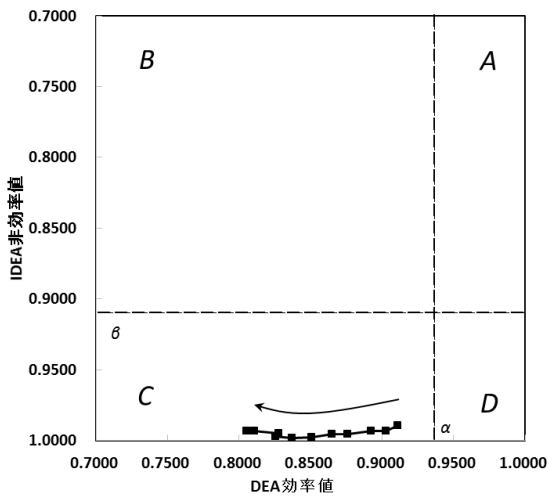


図 23：北陸電力の生産性の分類

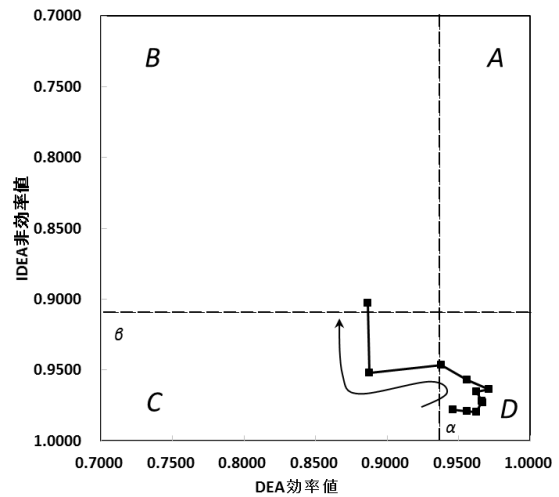


図 24：関西電力の生産性の分類

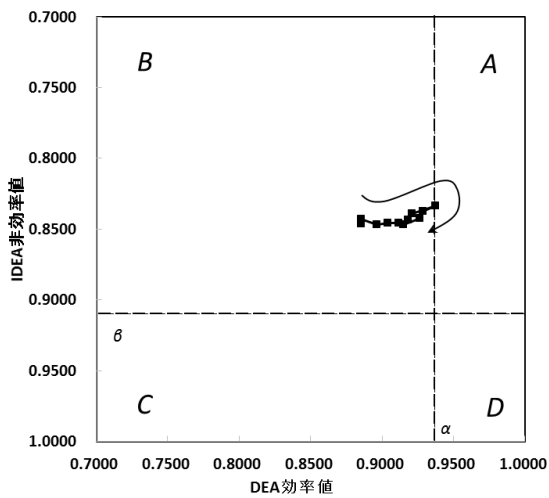


図 25：中国電力の生産性の分類

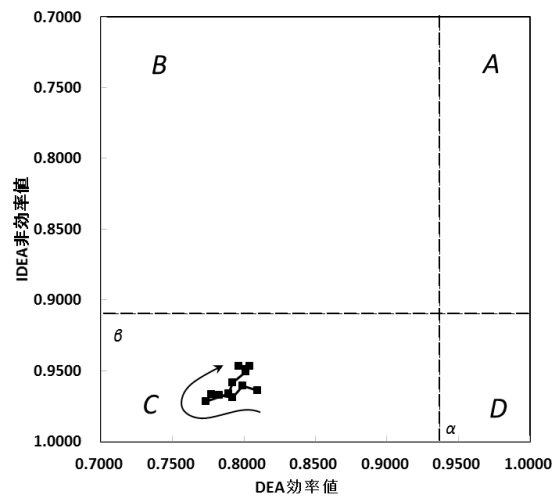


図 26：四国電力の生産性の分類

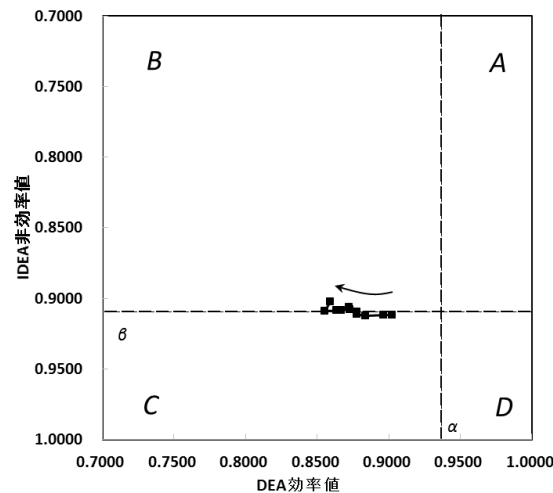


図 27：九州電力の生産性の分類

北海道電力の生産性の分類結果は、図 19 から「A：優秀な事業体」で推移し、効率性はあまり変化がなく、非効率性が改善傾向にある。東北電力の生産性の分類結果は、図 20 から「A：優秀な事業体」で推移し、効率性はあまり変化がなく、非効率性が悪化傾向にある。

東京電力の生産性の分類結果は、図 21 から「A：優秀な事業体」で推移し、効率性と非効率性ともにほぼ変化がなく一定傾向にある。中部電力の生産性の分類結果は、図 22 から自由化前は「A：優秀な事業体」や「D：特異な事業体」で推移していたが、近年「C：努力が必要な事業体」などへ移行し、効率性が悪化傾向にあり、非効率性は大きな変化がない。

北陸電力の生産性の分類結果は、図 23 から「C：努力が必要な事業体」で推移し、効率性が期間を通して悪化傾向にあり、非効率性はほぼ変化がない。関西電力の生産性の分類結果は、図 24 から自由化後もしばらくは「D：特異な事業体」で推移していたが、近年「C：努力が必要な事業体」などへ移行し、効率性が悪化傾向にあり、非効率性は大きな変化がない。

中国電力の生産性の分類結果は、図 25 から「B：並の事業体」で推移し、効率性が自由化後一旦改善したがその後悪化傾向にあり、非効率性はほぼ変化がない。四国電力の生産性の分類結果は、図 26 から「C：努力が必要な事業体」で推移し、効率性は自由化後に少しではあるが改善傾向にあり、非効率性は変化が少ない。

九州電力の生産性の分類結果は、図 27 から「B：並の事業体」と「C：努力が必要な事業体」の境界で推移し、効率性が悪化傾向にあり、非効率性はほぼ変化がない。

5. おわりに

本論文では、電力自由化の開始前後の各 10 年間程度、計 21 年間(東日本大震災以前まで)を対象に、わが国の電気事業者(電力会社)の生産性を公共性と企業性の両面からとらえ、DEA と Inverted DEA のウィンドー分析によって、詳しく時系列的に分析、評価した。加えて、このウィンドー分析の数値結果を、以前に提案したローソク足を用いたグラフ化の設定を新しく変更し、さらに発展、応用させた

新たなグラフ化手法を用いて、直感的にわかり易く表現した。これらにより、電力自由化後、生産性の観点から効率化が行なわれているかどうかを、実証的に検証してみた。

この実証研究において、1995年(平成7)の電力自由化後、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。これらは、電力自由化への各社の取組み方はもとより、各社の電源構成や需要家の構成による差も大きく影響を及ぼしているかもしれない。なぜなら、電力自由化の進展は段階的にゆっくりと進んでおり、異なる言い方をすれば、電力自由化への各社の取組み方が結果としてあまり差が出ないように進んできているともいえるからである。これらの方針は、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、からであろう。

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、2016年(平成28)を目途に小売全面自由化、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、一層の経営努力により電気事業者の生産性の効率化が要求されるだろう。その上、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、火力発電を主力とせざるを得ず、各社の電源構成が大幅に変更されたことから、電力各社の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各社の生産性に影響を及ぼすかを注視する必要がある。

一方、本研究を進める中で、電力事業の専門家である一般財団法人電力中央研究所の上席研究員に、電力自由化の状況についてインタビューを行ったところ、「電力各社は自由化後、電力料金引き下げのために新たな設備投資をかなり抑制してきている状況である。特に、送電設備に対する投資を抑えてきた状況であり、既に相当な時間を経ているので、今後送電設備の老朽化等による設備更新の費用問題が発生するだろう。」旨、発言をされていた。これは現在、送電線の容量不足による新規の大規模太陽光発電施設からの接続制限の問題が、各地、電力各社で生じていると報道されていることに合致している。特に、今回の分析により生産性が総じて高かった電力会社の管内で多く見られるようにも見受けられる。これが本当であるとすれば、東日本震災以後の見直し議論の中で、「発送電分離」についての再検討に大きく影響する問題であり、詳しく検証する必要がある、今後の重要な研究課題としてあげられると考える。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 基盤研究 (C) 23510159 の助成を受けたものです。また、本論文の査読者の方々からは有益なコメントをいただきました。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] Charnes, A., Clark, C.T., Cooper, W.W. and Golany, B. : A Developmental Study of Data Envelopment Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Force, Thompson, R.G. and Thrall, R.M. (eds.), *Annals of Operations Research*, Vol.2 (1985), 95-112.

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 野坂晃一, 増田克実 : 移動平均線の新しい読み方, かんき出版, 2010.
- [13] 末吉俊幸 : DEA — 経営効率分析法 一, 朝倉書店, 2001.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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 一, *経営システム*, Vol.15 (2005), 239-244.
- [18] 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.
- [19] 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 一, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.15 (2008), 53-70.
- [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 — DEA/ウィンドー分析によるJR旅客各社の推移 一, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.16 (2009), 61-82.
- [21] 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 一, 静岡学術出版, 2010.
- [22] 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 一, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.17 (2010), 47-69.
- [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 — 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 一, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.18 (2011), 67-96.
- [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(在西日本)の推移 一, *Journal of Social and Information Studies*, Vol.19 (2012), 17-45.
- [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 — ウィンドー分析の結果に対するローソク足をを用いたグラフ化の提案と鉄道各社の比較結果 一, *Journal of Social and*

- Information Studies*, Vol.20 (2013), 33-48.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 山田善靖, 末吉俊幸, 杉山学, 貫名忠好, 牧野智謙 : 日本の経営の為の 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.

