

## 【原著論文】

## 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

杉山 学

経営管理研究室

### The relative efficiency evaluation for productivity of each electric power company after electric power deregulation in Japan using the DEA/Window Analysis and the Inverted DEA/Window Analysis

Manabu SUGIYAMA

Management and Decision Science

#### Abstract

This study evaluates the relative efficiencies for productivity of each electric power company in Japan, using the DEA/Window Analysis (Data Envelopment Analysis/Window Analysis) and the Inverted DEA/Window Analysis (Inverted Data Envelopment Analysis/Window Analysis). The first stage of this evaluation described the 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 the second stage of this evaluation, this paper analyzes trends of the relative efficiencies and inefficiencies of each electric power company for a total of 20 years *after* electric power deregulation. In this paper, trends of the relative efficiencies and inefficiencies of each electric power company became clear by various illustrations. The detailed trends of the productivity of each electric power company were also 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, 事業者の分類法

#### 1. はじめに

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), 発電事業などへの新規参入拡大により始まり, 2016 年(平成 28)4 月の小売全面自由化の実施を目前とした現在まで, 段階的に改革

が進んできた。そもそもわが国の電力自由化は、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といった、更なる効率化を目指すものである。そして、電気事業連合会のホームページ[6]やエネルギー白書[9]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。現在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。したがって、著者の論文[26]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[1,8,10,11,14,31]などによっても実証されつつある。

これに対し本研究の目的は、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)[3,4,5,13,21,32,33] と Inverted DEA (Inverted Data Envelopment Analysis: インバーテド DEA)[21,34,35]の時系列分析を用いて実証的に分析することである。加えて、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の各種データもようやく揃いつつある現時点で、震災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本論文の目的である。なお本研究の評価対象は、本土の電気事業者(電力会社)、計9社を対象としており、離島を多数抱える沖縄電力は除外している。

従来、わが国の電気事業者(電力会社)に関する生産性の効率性評価に対し 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]などがあげられた。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、電力自由化開始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。そこで著者は論文[26]において、電力自由化の開始前後の各10年間程度、計21年間(東日本大震災以前のデータまで)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性評価を DEA と Inverted DEA のウィンドウ分析(Window Analysis) [2,4,33]によって詳しく時系列的に分析、評価した。そして、これらの分析の数値結果を、直感的にわかり易く表現するために「ローソク足(Candlestick)」を用いたグラフ化の表現を新たに提案した。加えて、事業者の分類法[21,34]を利用して各社の推移のグラフ化も試みた。

この実証研究[26]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った。これはすなわち、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り、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。

そこで本研究の第2段階ともいえる本論文では、第1段階としての論文[26]における分析に2006年

(平成 18)以降のデータを追加する形で、1995 年(平成 7)の電力自由化開始後から最新データである 2014 年(平成 26)までの期間(東日本大震災以降のデータを含む)に焦点を当てて、電力各社の生産性の効率性評価を行うこととする。したがって、電力自由化開始後から約 20 年間にわたる自由化の進展について、わが国の電気事業者(電力会社)に関する生産性の効率性評価を 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、評価する。もちろん、これらの分析の数値結果を、直感的にわかり易く表現するために論文[26]で提案した「ローソク足(Candlestick)」を用いたグラフ化表現も行うこととする。加えて、事業者の分類法[21,34]を利用して各社の推移のグラフ化表現も論文[26]と同様に行うこととする。

本研究を行うことで、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ると考える。加えて本研究により、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」[9] 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の実施、そして 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 節では本研究で用いる DEA と Inverted DEA、これらに基づく事業者の分類法とウィンドー分析、そして、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のグラフ化手法について概要を示す。3 節では電気事業者(電力会社)の生産性の効率性評価のための具体的な分析設定と、その分析結果について示す。4 節では、これらの分析結果をもとに電力自由化開始後の各電気事業者(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評価の枠組み

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、基本的に論文[17,18,26,28,30]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[17,18,26]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。

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降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。そして、自由化に対する電力会社の取り組みとして『電力会社は、経営効率化を進めて電気料金の低減を図るとともに、お客さまのニーズを捉えた多様なサービス・価格を提供し、お客さまのご負担を軽減するよう取り組んでいます。』とある。

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、その評価は単純ではないといえる。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[26]などでも記述したように、電気事業体の公共性の面と企業性の面、すなわち公共的側面と企業の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」であるととらえることができる。したがって、公共的側面を評価するためには、非効率性を測定する Inverted DEA を用いることが適しており、そして、企業的側面を評価するためには、効率性を測定する DEA を用いることが適している。これらの分析手法をそれぞれ用いる。なお、DEA に関する記述は様々あるが、本論文では論文[26]と同様に文献[20,21]の記述に従うものとし、Inverted DEA に関しても文献[21,22]の記述に従うものとする。なお本論文では事業体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. 定性的な評価のための事業体の分類法

そして論文[26]と同様、電気事業体(電力会社)の生産性を定性的に評価するために、著者らが論文[34]で提案した DEA と Inverted DEA の結果を組み合わせた事業体の分類法も活用する。この著者らが提案した事業体の分類法は、DEA による各事業体の DEA 効率値  $\theta_o^*$  に対してしきい値  $\alpha$  を設定して良い悪いと 2 分割し、Inverted DEA による各事業体の IDEA 非効率値  $\phi_o^*$  に対してしきい値  $\beta$  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体全体を「A : 優秀な事業体」「B : 並の事業体」「C : 努力必要な事業体」「D : 特異な事業体」の計 4 つの集合に分割する分類法である。これにより、事業体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。

## 2.4. 時系列評価のためのウィンドー分析

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手法[2,4,13,16,32,33]は、既に様々なモデルが存在している。そこで本論文では、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]を論文[26]と同様に用い、電気事業体(電力会社)の生産性を時系列分析することとする。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、本論文では論文[26]と同じく、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[33]など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の1つはウィンドー数  $p$  の設定である。現時点でも決定的な設定方法はなく、通常、試行錯誤の上で決定されるが、文献[4]において設定の目安が示されている。論文[26]ではこの目安に従いウィンドー数  $p$  を設定したので、評価分析の継続性、一貫性を保持するために本論文でも同じウィンドー数を用いることとする。

## 2.5. ウィンドー分析の数値結果に対するグラフ化

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、直感的に一目では全体像を把握しにくい。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[25,26]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]を利用したグラフ化表現を新たに提案した。

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、ウィンドー分析の数値結果の表に関して、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。本論文では論文[26]と同様に、ある評価対象の電力会社の分析結果に関して、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ので、論文[26]で提案したグラフ化表現を用い、DEA/ウィンドー分析と Inverted DEA/ウィンドー分析それぞれに対し、論文[20,22]の表記に従って次のように設定することとする。

DEA/ウィンドー分析では第  $o$  番目の電力会社(DMU <sub>$o$</sub> )に対する効率値  $\theta_{o_{dt}}^*$  ( $o=1, \dots, n; d=1, \dots, w; t=1, \dots, k$ )が、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、単位期間を  $t$  期とし、4種の値については、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、 $t$  期についてのローソク足を作図する。そして、評価対象の DMU <sub>$o$</sub>  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。

これに対し、Inverted DEA/ウィンドー分析では DEA と同様に、第  $o$  番目の電力会社(DMU <sub>$o$</sub> )に対する非効率値  $\phi_{o_{dt}}^*$  ( $o=1, \dots, n; d=1, \dots, w; t=1, \dots, k$ )が、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、単位期間を  $t$  期とし、4種の値については、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、 $t$  期についてのローソク足を作図する。そして、評価対象の DMU <sub>$o$</sub>  ごとに、その傾向を時系列に沿って詳細に把握出来る

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. 電気事業者の生産性に関する分析設定と分析結果

#### 3.1. 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者は、論文[26]と同様、離島を多数抱える沖縄電力を除外して、本土の電気事業者(電力会社)、計 9 社とする。各電気事業者(電力各社)の入出力は前述したように以下に示す項目とし、入出力のデータは、論文[26]で使用した 1985 年度(昭和 60)から 2005 年度(平成 17)の計 21 年間(東日本大震災以前のデータまで)に加えて、2006 年(平成 18)から最新データである 2014 年(平成 26)までのデータを追加する形とし、合計 30 年間(東日本大震災以降のデータを含む)とした。

なお、本研究で使用された各種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。ただし、2014 年(平成 26)の最新データが記載された電気事業便覧が、今回の分析時点では発行されていない関係から、電気事業連合会のホームページ[6]の「電力統計情報」(電力各社から集めた設備情報・電力情報などのデータベース)から収集した。加えて、この「電力統計情報」にも一部データがなかったため、電気事業連合会のホームページ[6]からリンクされた電力各社のホームページの「事業概要」から各々データ収集し、使用することとした。

#### 【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

以上を踏まえると、具体的な DMU の数は  $n=9$ 、入出力データの期間は  $k=30$  である。そして、評価分析の継続性、一貫性を保持するために、本論文でも論文[26]と同じウィンドー数  $p=11$  を用い、11 期と設定した。そして、2.4 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  $W_t$  をそれぞれ具体的に示すと次の通りである。

$$\begin{aligned} W_1 &= \{1\}, W_2 = \{1,2\}, W_3 = \{1,2,3\}, \dots, W_9 = \{1,2,\dots,8,9\}, W_{10} = \{1,2,\dots,9,10\}, W_{11} = \{1,2,\dots,10,11\}, \\ W_{12} &= \{2,3,\dots,11,12\}, W_{13} = \{3,4,\dots,12,13\}, \dots, W_{18} = \{8,9,\dots,17,18\}, W_{19} = \{9,10,\dots,18,19\}, \\ W_{20} &= \{10,11,\dots,19,20\}, W_{21} = \{11,12,\dots,19,20\}, W_{22} = \{12,13,\dots,19,20\}, \dots, W_{28} = \{18,19,20\}, \\ W_{29} &= \{19,20\}, W_{30} = \{20\}. \end{aligned}$$

#### 3.2. ウィンドー分析の結果

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」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」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。



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) (その2)

生産性	11期間											Summary		Measures																																																																																																																																																																														
	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	t=22	t=23	t=24	t=25	t=26	t=27	t=28	t=29	t=30	Average	Mean	Var	Column Range	Total Range																																																																																																																																																									
電力会社	0.9867	0.9876	0.9877	0.9878	0.9879	0.9880	0.9881	0.9882	0.9883	0.9884	0.9885	0.9886	0.9887	0.9888	0.9889	0.9890	0.9891	0.9892	0.9893	0.9894	0.9895	0.9896	0.9897	0.9898	0.9899	0.9900	0.9901	0.9902	0.9903	0.9904	0.9905	0.9906	0.9907	0.9908	0.9909	0.9910	0.9911	0.9912	0.9913	0.9914	0.9915	0.9916	0.9917	0.9918	0.9919	0.9920	0.9921	0.9922	0.9923	0.9924	0.9925	0.9926	0.9927	0.9928	0.9929	0.9930																																																																																																																																				
中部電力	0.9462	0.9463	0.9464	0.9465	0.9466	0.9467	0.9468	0.9469	0.9470	0.9471	0.9472	0.9473	0.9474	0.9475	0.9476	0.9477	0.9478	0.9479	0.9480	0.9481	0.9482	0.9483	0.9484	0.9485	0.9486	0.9487	0.9488	0.9489	0.9490	0.9491	0.9492	0.9493	0.9494	0.9495	0.9496	0.9497	0.9498	0.9499	0.9500	0.9501	0.9502	0.9503	0.9504	0.9505	0.9506	0.9507	0.9508	0.9509	0.9510	0.9511	0.9512	0.9513	0.9514	0.9515	0.9516	0.9517	0.9518	0.9519	0.9520	0.9521	0.9522	0.9523	0.9524	0.9525	0.9526	0.9527	0.9528	0.9529	0.9530																																																																																																																							
北陸電力	0.9386	0.9387	0.9388	0.9389	0.9390	0.9391	0.9392	0.9393	0.9394	0.9395	0.9396	0.9397	0.9398	0.9399	0.9400	0.9401	0.9402	0.9403	0.9404	0.9405	0.9406	0.9407	0.9408	0.9409	0.9410	0.9411	0.9412	0.9413	0.9414	0.9415	0.9416	0.9417	0.9418	0.9419	0.9420	0.9421	0.9422	0.9423	0.9424	0.9425	0.9426	0.9427	0.9428	0.9429	0.9430	0.9431	0.9432	0.9433	0.9434	0.9435	0.9436	0.9437	0.9438	0.9439	0.9440	0.9441	0.9442	0.9443	0.9444	0.9445	0.9446	0.9447	0.9448	0.9449	0.9450	0.9451	0.9452	0.9453	0.9454	0.9455	0.9456	0.9457	0.9458	0.9459	0.9460	0.9461	0.9462	0.9463	0.9464	0.9465	0.9466	0.9467	0.9468	0.9469	0.9470	0.9471	0.9472	0.9473	0.9474	0.9475	0.9476	0.9477	0.9478	0.9479	0.9480	0.9481	0.9482	0.9483	0.9484	0.9485	0.9486	0.9487	0.9488	0.9489	0.9490	0.9491	0.9492	0.9493	0.9494	0.9495	0.9496	0.9497	0.9498	0.9499	0.9500	0.9501	0.9502	0.9503	0.9504	0.9505	0.9506	0.9507	0.9508	0.9509	0.9510	0.9511	0.9512	0.9513	0.9514	0.9515	0.9516	0.9517	0.9518	0.9519	0.9520	0.9521	0.9522	0.9523	0.9524	0.9525	0.9526	0.9527	0.9528	0.9529	0.9530																																											
関西電力	0.9343	0.9344	0.9345	0.9346	0.9347	0.9348	0.9349	0.9350	0.9351	0.9352	0.9353	0.9354	0.9355	0.9356	0.9357	0.9358	0.9359	0.9360	0.9361	0.9362	0.9363	0.9364	0.9365	0.9366	0.9367	0.9368	0.9369	0.9370	0.9371	0.9372	0.9373	0.9374	0.9375	0.9376	0.9377	0.9378	0.9379	0.9380	0.9381	0.9382	0.9383	0.9384	0.9385	0.9386	0.9387	0.9388	0.9389	0.9390	0.9391	0.9392	0.9393	0.9394	0.9395	0.9396	0.9397	0.9398	0.9399	0.9400	0.9401	0.9402	0.9403	0.9404	0.9405	0.9406	0.9407	0.9408	0.9409	0.9410	0.9411	0.9412	0.9413	0.9414	0.9415	0.9416	0.9417	0.9418	0.9419	0.9420	0.9421	0.9422	0.9423	0.9424	0.9425	0.9426	0.9427	0.9428	0.9429	0.9430	0.9431	0.9432	0.9433	0.9434	0.9435	0.9436	0.9437	0.9438	0.9439	0.9440	0.9441	0.9442	0.9443	0.9444	0.9445	0.9446	0.9447	0.9448	0.9449	0.9450	0.9451	0.9452	0.9453	0.9454	0.9455	0.9456	0.9457	0.9458	0.9459	0.9460	0.9461	0.9462	0.9463	0.9464	0.9465	0.9466	0.9467	0.9468	0.9469	0.9470	0.9471	0.9472	0.9473	0.9474	0.9475	0.9476	0.9477	0.9478	0.9479	0.9480	0.9481	0.9482	0.9483	0.9484	0.9485	0.9486	0.9487	0.9488	0.9489	0.9490	0.9491	0.9492	0.9493	0.9494	0.9495	0.9496	0.9497	0.9498	0.9499	0.9500	0.9501	0.9502	0.9503	0.9504	0.9505	0.9506	0.9507	0.9508	0.9509	0.9510	0.9511	0.9512	0.9513	0.9514	0.9515	0.9516	0.9517	0.9518	0.9519	0.9520	0.9521	0.9522	0.9523	0.9524	0.9525	0.9526	0.9527	0.9528	0.9529	0.9530











## 4. 分析結果に関する考察

### 4.1. ウィンドー分析の結果に関する考察

沖縄電力を除く電力会社 9 社の生産性に関して、企業の側面を時系列分析した DEA/ウィンドー分析の結果である表 1 と、公共的側面を時系列分析した Inverted DEA/ウィンドー分析の結果である表 2 に対して、2.5 節で解説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。なお、これらの図では全ての分析期間を記載せず、電力自由化開始以降の電力各社の生産性の効率性評価の推移に焦点を絞るために、電力自由化開始の 1995 年(平成 7)の 11 期から最新の 2014 年(平成 26)の 30 期までの計 20 年間、すなわち  $t = 11$  から  $t = 30$  までのそれぞれのローソク足、計 20 本を時系列に沿って並べて電力会社ごとにグラフ化したものである。

ここで、これらの結果の図において、DEA 効率値の図では、ローソク足の本体、すなわち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活動の効率性(企業の側面)が近年、改善している状況を示しており、白色である場合には、参照集合となる事業体の活動の効率性(企業の側面)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 非効率値の図では、ローソク足の本体、すなわち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活動の非効率性(公共的側面)が近年、悪化している状況を示しており、白色である場合には、参照集合となる事業体の活動の非効率性(公共的側面)が近年、改善している状況を示している。

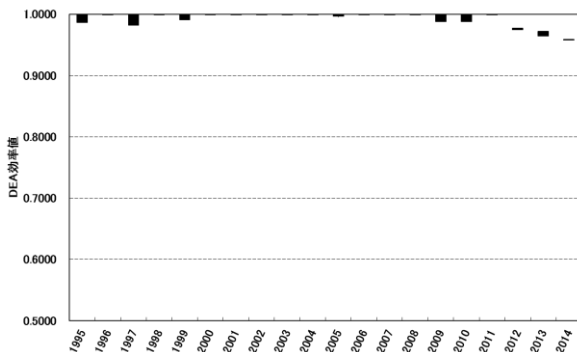


図 1：北海道電力の生産性推移(DEA 効率値)

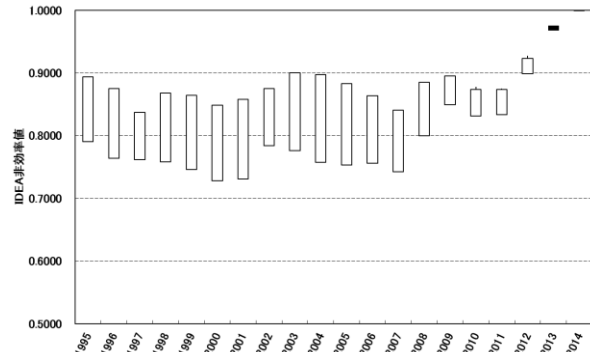


図 2：北海道電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

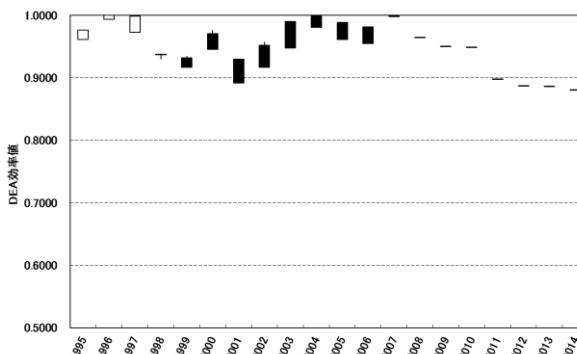


図 3：東北電力の生産性推移(DEA 効率値)

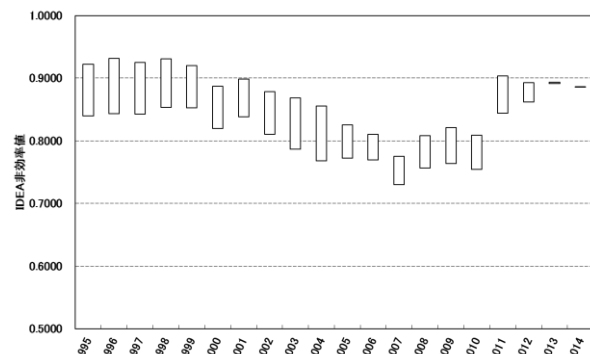


図 4：東北電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

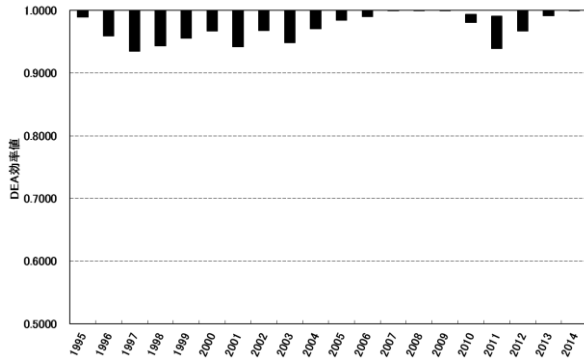


図 5：東京電力の生産性推移(DEA 効率値)

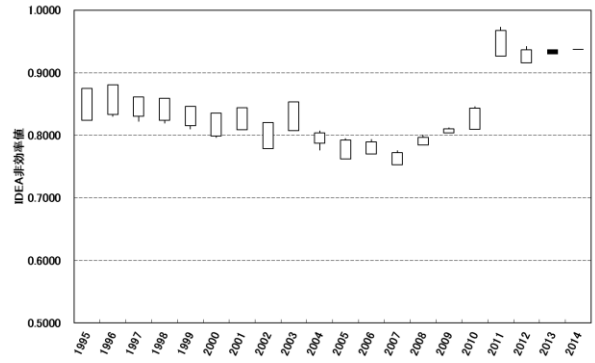


図 6：東京電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

北海道電力の生産性の推移は、図 1 からは自由化後に効率性が非常に高い水準で推移する傾向であったが、震災以降は悪化している。図 2 からは自由化後に非効率性が低い水準で推移していたが、震災以降は悪化している。東北電力の生産性の推移は、図 3 からは自由化後に効率性は比較的高い水準から若干悪化し、その後改善傾向であったが、震災以降は悪化している。図 4 からは自由化後に非効率性は比較的高い水準から改善傾向であったが、震災以降は悪化し、初期の水準に戻ってしまった。東京電力の生産性の推移は、図 5 からは自由化後に効率性が高い水準で推移する傾向であり、震災以降も高い水準を維持する傾向にある。図 6 からは自由化後に非効率性は低い水準からさらに改善傾向であったが、震災以降は明らかに悪化している。

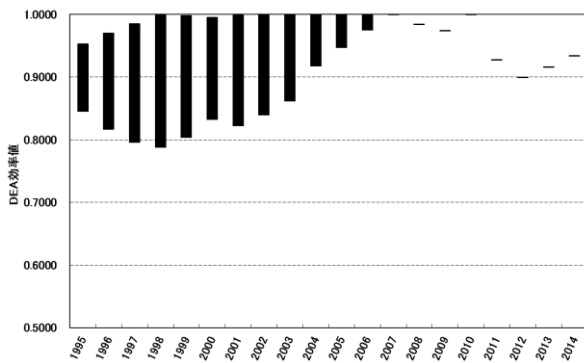


図 7：中部電力の生産性推移(DEA 効率値)

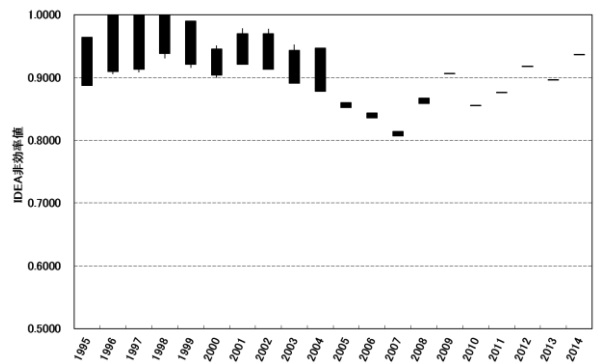


図 8：中部電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

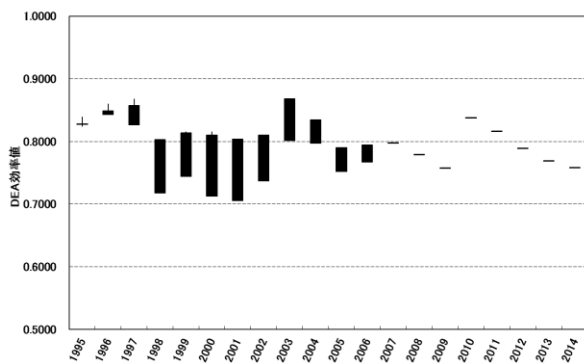


図 9：北陸電力の生産性推移(DEA 効率値)

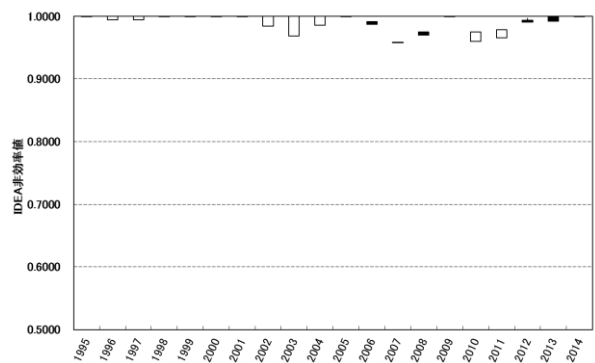


図 10：北陸電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

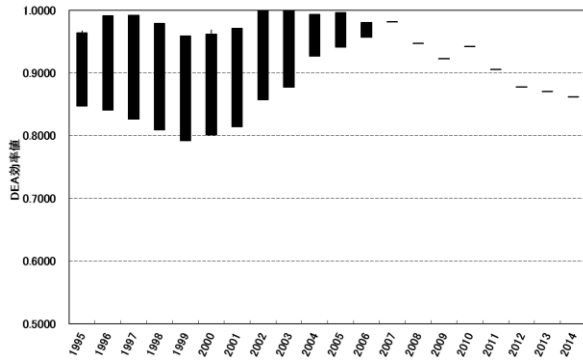


図 11：関西電力の生産性推移(DEA 効率値)

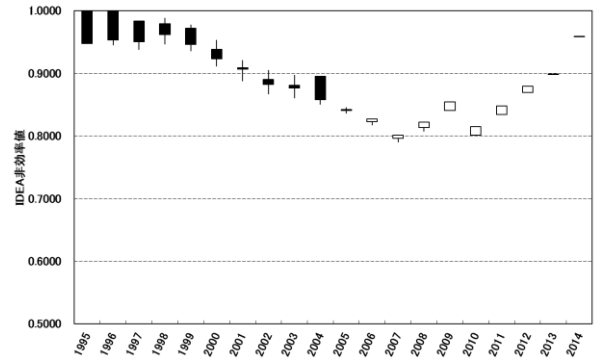


図 12：関西電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

中部電力の生産性の推移は、図 7 からは自由化後に効率性は比較的高い水準で推移していたが、震災前のリーマンショック頃から悪化傾向にある。図 8 からは自由化後に非効率性は高い水準であり若干改善傾向を示したが、リーマンショック頃から悪化傾向にある。北陸電力の生産性の推移は、図 9 からは自由化後に効率性は低い水準で推移する傾向であったが、震災以降は若干悪化傾向にある。図 10 からは自由化後に非効率性は非常に高い水準で推移する傾向である。関西電力の生産性の推移は、図 11 からは自由化後に効率性は比較的高い水準で推移していたが、リーマンショック頃から若干悪化し始め、震災以降は悪化傾向にある。図 12 からは自由化後に非効率性は比較的高い水準から改善傾向であったが、震災以降は急激に悪化している。

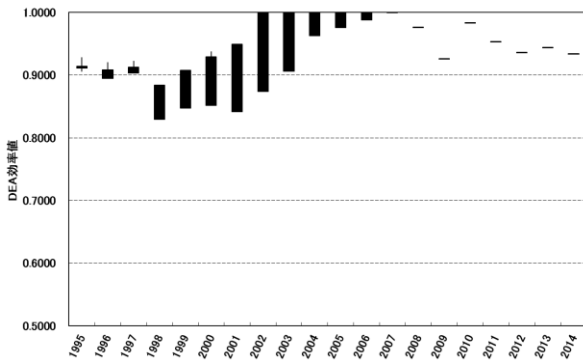


図 13：中国電力の生産性推移(DEA 効率値)

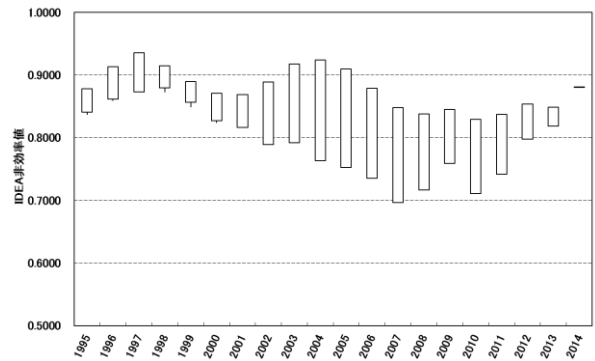


図 14：中国電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

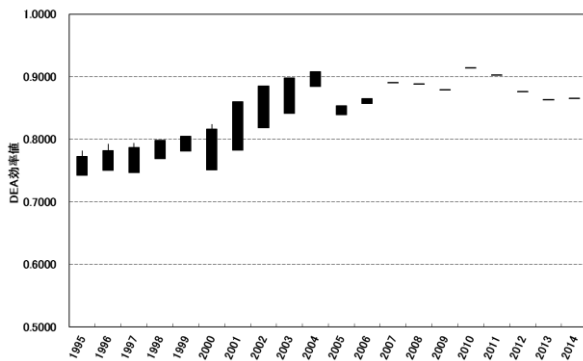


図 15：四国電力の生産性推移(DEA 効率値)

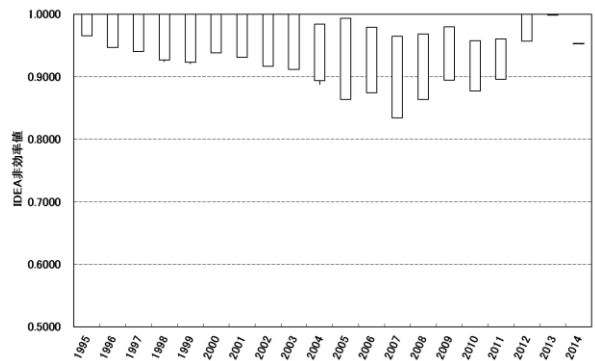


図 16：四国電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

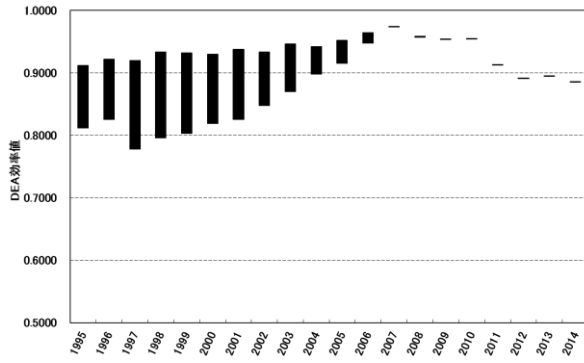


図 17：九州電力の生産性推移(DEA 効率値)

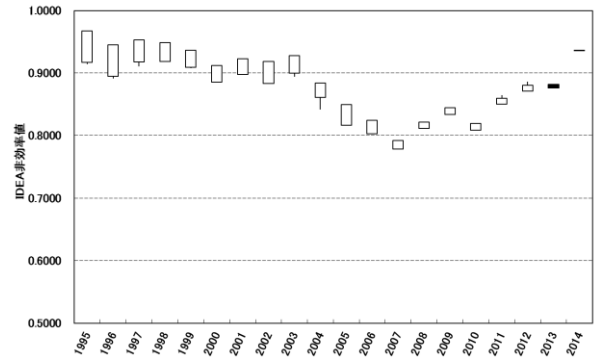


図 18：九州電力の生産性推移(IDEA 非効率値)

中国電力の生産性の推移は、図 13 からは自由化後に効率性は比較的高い水準で推移し一旦は改善したが、震災以降は悪化している。図 14 からは自由化後に非効率性は比較的低い水準で推移する傾向であったが、震災以降は若干悪化傾向にある。四国電力の生産性の推移は、図 15 からは自由化後に効率性は低い水準から徐々に改善しており、震災以降は若干悪化した程度である。図 16 からは自由化後に非効率性は高い水準で推移する傾向にある。九州電力の生産性の推移は、図 17 からは自由化後に効率性は中程度の水準で推移し一旦は改善傾向にあったが、震災以降は悪化している。図 18 からは自由化後に非効率性は比較的高い水準から徐々にではあるが改善傾向であったが、震災以降は特に悪化傾向にある。

#### 4.2. 電力各社の分類結果と考察

電力各社の生産性に対して、企業の側面である「効率性の追求」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」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評価として、著者らが提案した事業体の分類法[21,34]を活用し、論文[26]と同様に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。ただし、電力自由化前の推移は論文[26]の図中にあるので、本論文のこれらの図中では参考として点線の矢印でその推移の傾向を簡略化して示すこととした。そして、これらの図中にある実線の矢印は、自由化後の推移の傾向をわかり易く補ったものである。

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  $\theta_{o_d}^*$  ( $o=1, \dots, 9; d=11, \dots, 20$ ) の値、すなわち表 1 の各社に関する Average の計 10 個の数値であり、Inverted DEA/ウィンドー分析では各社の非効率値  $\phi_{o_d}^*$  ( $o=1, \dots, 9; d=11, \dots, 20$ ) の値、すなわち表 2 の各社に関する Average の計 10 個の数値である。そして本論文では、評価分析の継続性、一貫性を保持するために、事業体の分類に際しても論文[26]と同様に DEA 効率値  $\theta_{o_d}^*$  に関するしきい値は  $\alpha=0.9370$  と同じ値に設定し、IDEA 非効率値  $\phi_{o_d}^*$  に関するしきい値も  $\beta=0.9050$  と同じ値に設定した。



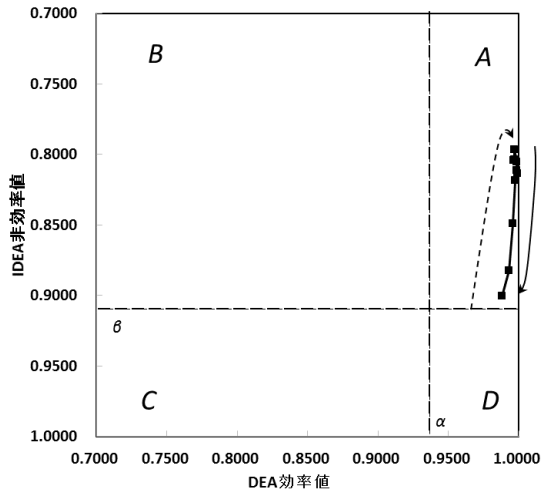


図 19：北海道電力の生産性の分類

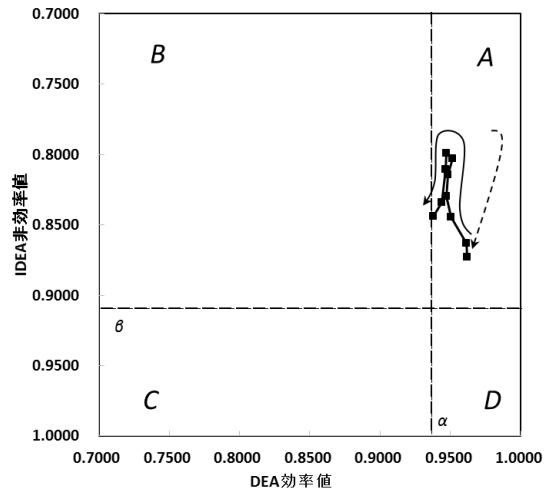


図 20：東北電力の生産性の分類

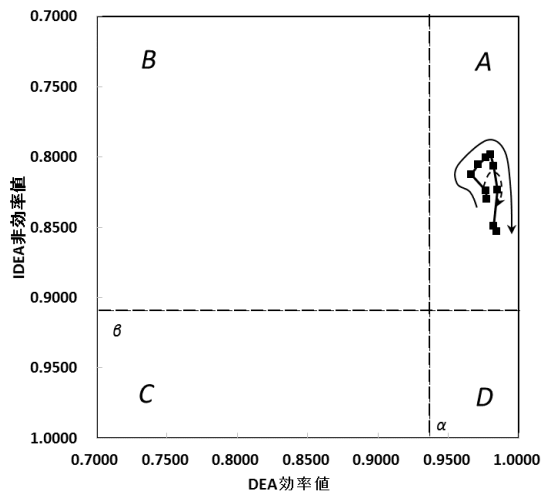


図 21：東京電力の生産性の分類

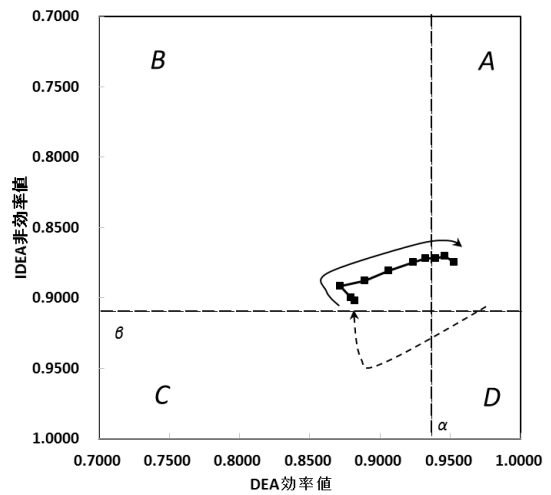


図 22：中部電力の生産性の分類

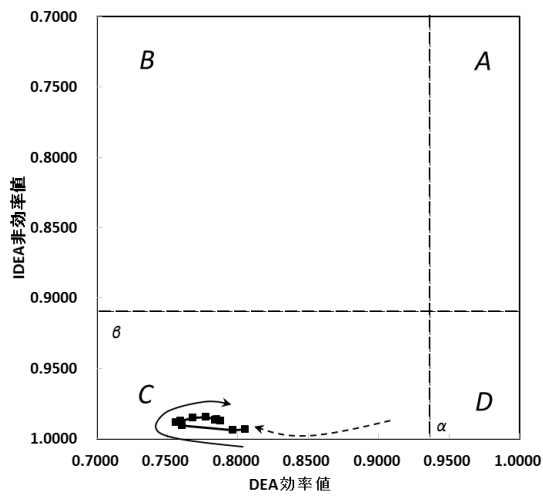


図 23：北陸電力の生産性の分類

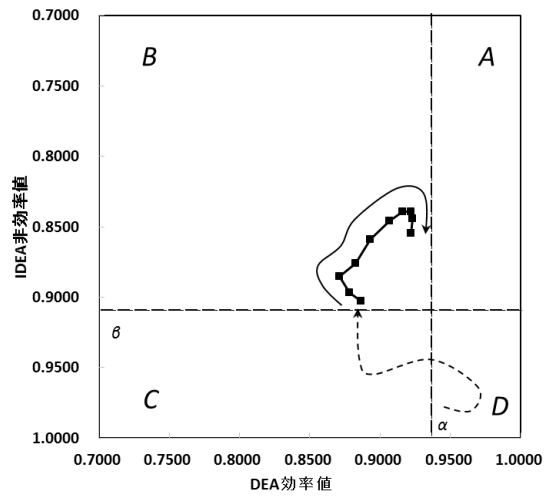


図 24：関西電力の生産性の分類

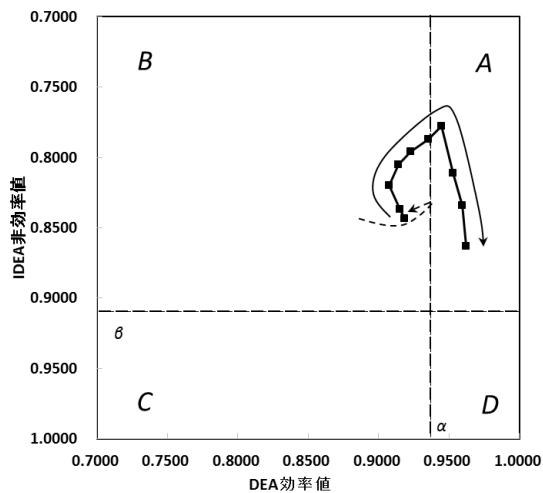


図 25：中国電力の生産性の分類

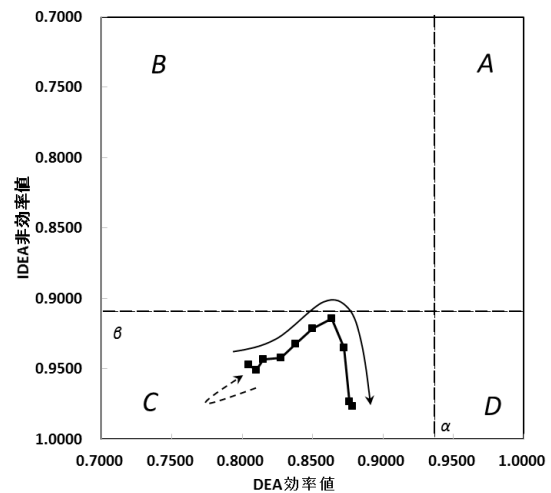


図 26：四国電力の生産性の分類

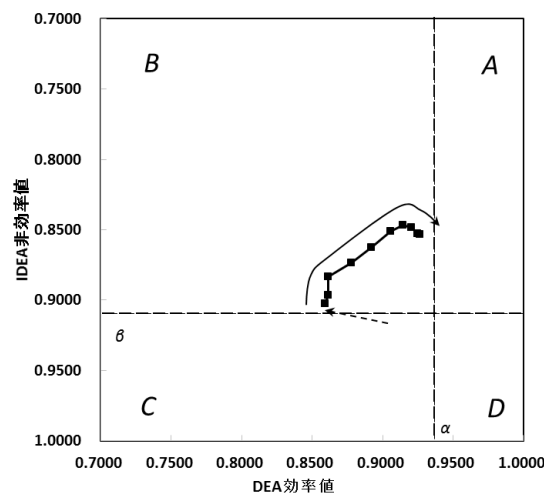


図 27：九州電力の生産性の分類

北海道電力の生産性の分類結果は、図 19 から自由化後も「A：優秀な事業体」で推移し、効率性はあまり変化がなく、非効率性は悪化傾向にあり、特に震災以降の悪化は顕著である。東北電力の生産性の分類結果は、図 20 から自由化後も「A：優秀な事業体」で推移し、効率性は若干悪化傾向にあり、非効率性は一旦改善されたが、震災以降は悪化傾向にある。

東京電力の生産性の分類結果は、図 21 から自由化後も「A：優秀な事業体」で推移し、効率性はほぼ変化がないが、非効率性は一旦改善していたが、震災以降は悪化が顕著である。中部電力の生産性の分類結果は、図 22 から自由化前は主として「D：特異な事業体」や「C：努力が必要な事業体」で推移していたが、自由化後は「B：並の事業体」から「A：優秀な事業体」へ移行し、効率性と非効率性ともに改善傾向であり、震災の影響は少ないようである。

北陸電力の生産性の分類結果は、図 23 から自由化後も「C：努力が必要な事業体」で推移し、効率性が一旦悪化した、近年は改善傾向にあり、非効率性はほぼ変化がない。したがって、震災の影響は特に出していないようである。関西電力の生産性の分類結果は、図 24 から自由化前は主として「D：特

異なる事業体」や「C：努力が必要な事業体」で推移していたが、自由化後は「B：並の事業体」へ移行し、効率性と非効率性ともに改善傾向であったが、震災以降は非効率性が悪化傾向にある。

中国電力の生産性の分類結果は、図 25 から自由化前は主として「B：並の事業体」で推移していたが、自由化後は「B：並の事業体」から「A：優秀な事業体」へ移行し、効率性と非効率性ともに改善傾向であったが、震災以降は非効率性の悪化が顕著である。四国電力の生産性の分類結果は、図 26 から自由化後も「C：努力が必要な事業体」で推移し、効率性と非効率性ともに改善傾向であったが、震災以降は非効率性の悪化が顕著である。

九州電力の生産性の分類結果は、図 27 から自由化前は「B：並の事業体」と「C：努力が必要な事業体」の境界で推移していたが、自由化後は「B：並の事業体」へ移行し、効率性と非効率性ともに改善傾向であったが、震災以降は非効率性が若干悪化傾向にある。

## 5. おわりに

本論文では、1995年(平成7)の電力自由化開始後から約20年間(東日本大震災以降のデータを含む)に焦点を当て、わが国の電気事業体(電力会社)の生産性を公共性「非効率性の改善」と企業性「効率性の追求」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。そして、このウィンドー分析の数値結果を、論文[26]で提案したローソク足を用いたグラフ化手法を用いて、直感的にわかり易く表現した。さらに、事業体の分類法[21,34]を利用して各社の推移のグラフ化表現も行った。これらにより、電力自由化開始後、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た。

この実証研究において、電力自由化開始後、電力各社の生産性の推移は、東日本大震災以前まではおおむね改善傾向にあったことが確認できた。すなわち、電力自由化への電力各社の取組みが多少なりとも成果を上げていた状況であったと考えられる。そして、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を超えた改革の成果が本格的に出始める前に、東日本大震災が発生し、震災による原子力発電所事故以降、特例を除き、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したため、各社の生産性は公共性と企業性の両面において、多くの会社が悪化傾向を示す結果となった。特に、公共性「非効率性の改善」の面での悪化が顕著であった。

実際、2011年(平成23)3月11日の東日本大震災による原子力発電の全面停止により、火力発電を主力とせざるを得ないため、その燃料調達コストが短期的に上昇し、コストの面において苦しい状況に電力各社は追い込まれた。各種報道などによれば、この様な状況下で、電気料金の値上げに係る認可申請を現在までに北陸電力と中国電力の2社を除く計7社が行い、認可され、料金が値上げ済みである。さらにその後、北海道電力と関西電力の2社は電気料金の再値上げの認可申請を行い、既に認可された状況でもある。

北陸電力と中国電力の2社については、震災以前の電源構成として原子力発電の規模が百数十万kwと小さく、総発電量に占める割合も多くなかったために、代替による影響が比較的になく済んだ

ため、そして、コスト面の経営努力によって現在まで電気料金の値上げが行われていないと考えられる。これに対し、本研究が分析対象とした生産性の観点からの評価結果を加えると次のことが言えるだろうと考える。まず、北陸電力の生産性の推移は自由化後も相対的に効率性は低い、近年は改善傾向にあり、非効率性はほぼ変化がなく、震災の影響は特に出ていないようである。したがってコスト面と生産性の面の両評価から、北陸電力は近い将来においても電気料金の値上げを実施しないだろうことが予想される。次に、中国電力の生産性の推移は自由化後、効率性と非効率性ともに改善傾向であったが、震災以降は非効率性の悪化が顕著である。したがってコスト面と生産性の面の両評価から、中国電力は近い将来において電気料金の値上げを実施せざるを得ないだろうことが予想される。

東日本大震災による原子力発電所事故以降、電力各社の電源構成が大幅に変更されたことから、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おり、エネルギー政策の方向性を示す第4次の「エネルギー基本計画」[9]が2014年(平成26)4月11日に閣議決定された。第1次計画が2003年(平成15)10月に決定されて以降、おおむね3年ごとに見直しされており、今回で4回目となる第4次計画では、『わが国のベストミックスの電源構成は、原発の再稼働、再生可能エネルギーの導入、地球温暖化の国際的な議論の状況を見極めて速やかに示す』ことが示されただけであった。

近年、政府が主として導入を進めてきた再生可能エネルギーは、太陽光発電や風力発電のように天候などに左右される電源であり、地熱発電や小水力発電のように天候などにあまり左右されない安定した電力供給が可能な再生可能エネルギーの導入は進んでいないのが現状である。したがって、太陽光発電や風力発電のような再生可能エネルギーによる電力供給では、重要なベースロード電源であった原子力発電の多くを代替するには、現在の技術力とコスト面で非常に困難であり、現実的でないことも事実である。これらの現状を踏まえた結果、『再生可能エネルギー導入に対し一層の努力をしていく』という曖昧な表現だけで、前回の第3次計画のような具体的な数値目標は示されない結果となったと考えられる。この様な中で、安全性を確保された原発から再稼働を進めていく方針が現政府内から示されており、福島第一原発の事故を受けて発足した原子力規制委員会が2013年(平成25)7月に施行した新規制基準に基づく審査をクリアした原発運転再開の第1号として九州電力の川内原子力発電所が、2015年(平成27)8月に初の再稼働を始め、9月には通常運転へ復帰した状況にある。

一方、2013年(平成25)4月2日に閣議決定された「電力システムに関する改革方針」[9]に従い、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に電力自由化が進展し、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が実現することで、電気事業者の経営効率化がより一層要求されるだろうと考える。その上、東日本大震災の発生以降国内の原子力発電の大多数がストップしており、国民の総意としての再稼働の是非も定まらない中、電力自由化に対する電力各社の経営効率化の対策も今後大きく変化しうるだろうと考える。これらの要因が絡み合い今後どのような形で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と考える。

加えて、本研究を進める中で以前、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へのインタビューの際に指摘されたように、「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。」ことが顕在化すれば、東日本震災以降の電力自由化の見直し議論の中で、「発送電分離」の仕組み作りに大きく影響する内容であり、要検討事項である。今後これらを検証することも重要な研究課題であると考えられる。

## 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 2015 年 8 月 31 日.
- [7] 電気事業連合会統計委員会 編 : 平成 7 年度版～平成 26 年度版 電気事業便覧, 日本電気協会, 1995～2014.
- [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, 2007～2014.
- [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 —, 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 —, *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 —, *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 —, *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 —, 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 —, *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 —, *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 —, *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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.