

実学としてのDEA

—ドイツ配電事業のインセンティブ規制の事例紹介—

筒井 美樹

DEA は、代表的な効率性計測手法の一つとして、多くの研究者がその手法を磨き、また多くの事例研究が報告されている。その一方で、研究ベースではなく、実際に社会で活用されている事例は、わが国ではまだ多くはない。しかし、海外に目を向けると、DEA が社会で活躍している場面を見かける。本稿では、DEA が実践的に活用されている事例として、ドイツの配電事業のインセンティブ規制を紹介する。

キーワード：DEA、インセンティブ規制、配電事業、ドイツ

1. はじめに

OR 学会のホームページに、このような記述がある。

人間社会で使われることのない OR は意味がありません。みなさん、OR は実学です [1]。

このページには、OR とは、世の中にあふれているさまざまな課題に立ち向かい、それを「筋のとった方法」で解決していくための学問であることが述べられている。つまり、社会で実践的に役に立ってこそその OR、ということである。

本特集の中心的存在である包絡分析法 (Data Envelopment Analysis: DEA) も OR の手法の一つであり、公共団体や企業など、さまざまな事業体の効率性評価に用いられている。これらの事業体は、みな一様に優れたパフォーマンスを発揮しているとは限らない。あるものは少ない資源で多くの成果をあげ、またあるものは、多くの資源を費やすにもかかわらず成果はあがらない、ということが往々にしてある。この場合に想定される立ち向かうべき「課題」とは、たとえば、効率的な事業体とそうではない事業体を識別することや、非効率的な事業体が効率性を改善するための指針を示すことなどが考えられよう。このような課題に対し DEA は、データをもとにした客観的な評価や、改善の方向性を提供することができる。

1978 年に、Charnes 先生と Cooper 先生の手によって DEA が世に出て以来 [2]、さまざまな応用モデルが

開発されるとともに、さまざまな産業への適用事例が報告されている [3]。中には、事業主体ではなく、スポーツ選手やチームなどに応用する事例も多い。

このように、確かに世界各国で DEA の研究は進んでいるが、それでは、実学としての DEA はどうか？ どのように社会で実践的に使われているのであろうか？ 本稿では、DEA がどのような分野で、どのような特徴を活かして活躍しうるのであるかを簡単に整理したうえで、具体的な活用事例として、ドイツの配電事業のインセンティブ規制を紹介したい。

2. DEA の基礎の確認

ここで改めて、DEA の基礎的な部分について、簡単に確認しておきたい。

DEA は、インプット（投入資源）から、アウトプット（成果）を生み出す活動を行っている、同種の複数の主体 (Decision Making Unit: DMU) を分析の対象とする。この主体は、会社や団体などの社会活動を行う事業体でもよければ、個人や国などでも構わない。互いに同種の活動を行っている（同種のインプットを使い、同種のアウトプットを生み出している）主体であればよい。

このうち、より少ないインプットで、より大きなアウトプットを得ることができる DMU を効率的とみなし、優良者の集合である「効率的フロンティア」を構成させる。このフロンティアをベンチマークとし、それ以外の DMU の相対的な位置づけを定量的に示していく。回帰分析では、平均値をベンチマークとして捉え、そこからの乖離は「残差」である。一方 DEA では、最も効率的な DMU がベンチマークで、そこからの乖離が「非効率」とみなされる。

DEA の優れた点として指摘されるのが、複数のイン

つづい みき

一般財団法人 電力中央研究所 社会経済研究所
〒100-8126 東京都千代田区大手町 1-6-1
miki@criepi.denken.or.jp

ブット・アウトブットを容易に扱える点である。単に、少ないインプットで、より大きなアウトブットを達成する DMU を評価するのであれば、生産量／投入量という指標（生産性指標）を作ればよい。この値が大きい DMU が効率的であるといえる。ただし、インプットとアウトブットが一つずつの場合は簡単であるが、それぞれ複数ある場合はどうなるだろう。最もオーソドックスな対処方法としては、分子・分母ともに、それぞれの要素にウェイトを付けて合算し、「仮想生産量／仮想投入量」を計算すればよい。本稿では、これを「加重生産性指標」と呼ぶこととする。

しかし、次に問題になるのが、どのようにウェイトを付けるか、という点である。それらの要素に市場価値が付いていれば、それを利用することができる。また、経験値に基づき主観的に決定することもできるし、AHP などの手法を使うことも考えられる。これらに対し、DEA では、最適化問題のモデル内でウェイトが決定される。つまり、事前に要素間のウェイトを定義する必要がないのである。

たとえば、ある DMU_z を評価する場合、加重生産性指標の値が最も高くなるような、DMU_z 自身にとって都合のよいウェイトを設定する。同様のウェイトをすべての DMU にも適用したうえで加重生産性指標を計算し、最も値が高い DMU をベンチマークとする。DMU_z の効率値は、このベンチマークからの乖離率から計算すればよい。すべての DMU の中で DMU_z の加重生産性指標値が最も高ければ、効率値は 1 となる。もしも劣っていれば、1 以下の値が付される。DMU_z にとっては、自身に最も都合のよい条件で比較されているのだから、その条件下でほかの DMU に劣るのであれば、文句の付けようがない。

このようなウェイトの採用は、DEA の最大の特徴であり、被評価者にとって都合よく変化するので、「可変ウェイト」と呼ばれている。この可変ウェイトがあればこそ、DEA は複数のインプット・アウトブットを容易に扱えるのである。

特に、インプットやアウトブットの価値が金銭などでは明確に計れないようなケースにおいて、「可変ウェイト」は重宝される。もしも金銭価値として示されているなら、あえてウェイトを置かずとも合計することは可能である。金銭価値で示されている時点で、それぞれの要素の単価をウェイトとして価値換算されているからである。同様に考えると、金銭価値で計れない要素とは、その単価が明らかではないものといえる。

たとえば、非営利団体の活動成果などは、これに該

当するものが多い。教育や研究などの分野では、インプットもアウトプットもその単価が計りにくい。医療の分野でも、金銭価値に換算できないような要素を扱うことがあるだろう。DEA の適用事例の多いスポーツの分野でも、個々のプレーの単価を示す事は容易ではない。実際に、DEA が学校や病院などの非営利活動や、スポーツの分野などの評価に頻繁に利用されているのも、この可変ウェイトがあるからこそともいえる。

ただし、可変ウェイトも場合によっては欠点となる。効率的フロンティアを構成しているのは、いずれかの可変ウェイトの下で、効率値が 1 と評価された複数の DMU である。仮に、インプットやアウトブットの数が増えていくと、可変ウェイトによって効率性と評価される DMU も増えてしまう。これは、効率性評価の判別能力が落ちてしまうことを意味する。

DEA では、複数の要素を扱えるものの、それが多すぎても問題が生じる。DMU の数を n 、インプットの要素数を m 、アウトプットの要素数を s とすると、経験則として、下記を満たすことが推奨されている [4, 5]。

$$n \geq \max\{m \times s, 3(m + s)\} \quad (1)$$

DEA では、多くの要素を利用しようとすると、その分、DMU の数も相当数必要となるのである。別の言葉を使うなら、DMU の数が限られるような分野には適用しにくい、ということでもある。

3. どのような産業で実践的に利用されるのか

先述のとおり、DEA の適用先は多岐にわたるが、以降は DEA が活用される産業について検証したい（図 1）。

一般に、市場経済においては、需要と供給で最適な価格が決まる。その中で、優れたパフォーマンスの事業体は自由競争に競り勝ち、市場に生き残りうるが、その逆の者は淘汰される。それが市場メカニズムである。結果として、パフォーマンスのよい事業体と、そうでない事業体は識別される。

一方で、世の中のすべての事業体が競争市場に置かれているわけではない。先に挙げた学校や病院（特に公営）などは、営利目的の事業体ではなく、サービスの価格も規制され、むしろ公益サービスの提供が目的ともいえる。特に、サービス価格が費用に応じて決定され、費用の回収がある程度保証されているケースな

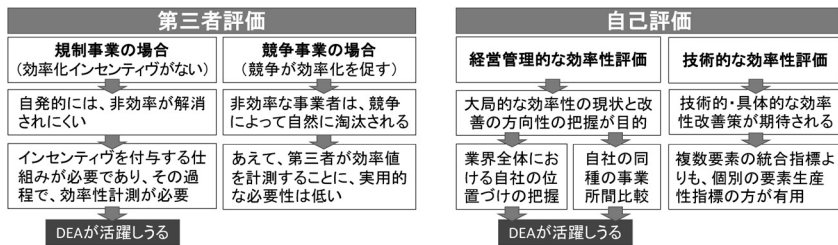


図1 産業分析で DEA が実践的に活用されうる場面

どは、効率化インセンティブが働きにくい。非効率な運営を行っていても自発的には解消されずらく、それでも競争市場のように淘汰されることがない。このように、非効率が発生しやすい業態ほど、事業者の効率性を評価してその状況を把握し、効率化を促すことがより重要となりうる。すなわち、DEA もより有効に活用されうると考えられよう。

効率化インセンティブの働きにくい規制事業などに対し、擬似的な競争環境を提供するのがベンチマーク規制やインセンティブ規制である。目指すべき具体的な目標を与え、その達成度に応じて報酬が与えられる（もしくは提供する財・サービスの価格が決められる）ことで、効率化努力を促そうというものである。DEA は、まさにこのベンチマークの考え方をモデル化したものといえる¹。

この場合、DEA を実際に用いて評価する主体は規制機関である。第三者の立場から、同種の産業の複数の事業者を比較・評価することになる。相対比較を通じて、各事業者の改善すべきポイントや、その方向性までは示すとしても、その具体的方法は各事業者が考えるべきものであり、規制機関が口を出す必要はない。この点では、その産業の事業活動を代表するデータが利用できればよく、各社の企業機密にあたるような詳細なデータまでは必要としない。データ収集が必要ではあるが、この範囲のデータであれば、規制機関にとっては不可能ではない。実際に、規制事業で DEA を用いている事例は多く、本特集の刀根先生の論考における「NTT の上限価格算定」は、まさにこの事例である。

もちろん、規制事業以外の、競争に晒され常に効率化インセンティブを有する事業者にとっても、自らの状態を評価し、かつ改善するための指針は必要である。DEA はその一助となるだろう。しかし、実践的であるかという観点で捉えれば、同時に限界も見えてくる。

¹ 一方、具体的にどのように報酬に結び付けるかは、さまざまな方法があり、代表的なものに、プライスカップ規制や収入キャップ規制などがある。

まず、このような事業者は、より具体的な効率化改善策を欲している場合がある。機器をどのように運用すればよいのか、どのような素材を採用すればよいのか、どのタイミングで生産すればよいのか、など。DEA が提供できるインプットを θ % 減少させればよい、という情報だけでは、大きな方向性を示すことはできても、より実践的な解を与えることは難しい。

また、大きな指針を示すだけであれば、代表的なインプット・アウトプットを扱うだけでもよいが、より具体的な活動へのインプリケーションを求めるとなると、考慮しなければならないデータの種類自体も増えてくる。先にも述べたように、扱う要素数が増えることで、DEA の判別精度は落ちていくことになる。同時に、DEA を適用するためには、同様の同業他社の情報の収集も必要となる。このような詳細情報を、複数の事業者から一様に入手することは事実上困難であり、DEA を適用するのは非現実的と思われる。

さらに、DEA は複数の要素から一つに統合された効率性を計算するが、統合指標よりも、各要素がどのような状況にあるか、個別情報のほうが有用な場合も多い。むしろ、単一のインプットとアウトプットで計算されるシンプルな要素生産性指標のほうが、好ましいと判断されることもあるだろう²。

しかし一方で、自社評価に利用する場合であっても、経営者が業界全体の中における自社の活動の位置づけを評価するという場面では、詳細な技術情報よりも、DEA の効率値のような大局を示す統合指標のほうが有用となる場合も多い。また、自社内の多数の事業所間の評価といった場面でも、DEA は活躍するであろう。

このように DEA は、より詳細な技術的評価や改善策への期待には、必ずしも応えられる手法ではない。

² 実際、現場が具体的に目指すのは、他社との相対的な目標ではなく、あくまで絶対的な効率性水準の上昇である。その場合は、個別の要素生産性指標を参照したほうが使い勝手が良い。DEA などによる相対的な評価は、あくまで、その努力の結果を、事後的に他社と比較しているものと捉えるべきである。

しかし、経営管理手法として、自らの効率性について他者と比較したうえでの大局を把握することには威力を発揮しうる。つまり、DEAも適材適所であり、その性質にあった使われ方をしなければ、実践的な価値を失ってしまうといえるだろう。

4. 送配電ネットワーク事業のインセンティブ規制

本稿では、規制事業におけるインセンティブ規制で、DEAが実際に用いられている事例として、ドイツの配電事業を紹介する。その前提として、まず、送配電ネットワーク事業の位置づけについて簡単に述べておきたい。

わが国でも、電気事業の自由化が進められており、2016年4月に、小売事業の全面自由化が実施されたことは、報道や事業者の宣伝などを通じ、多くの方が認識しているだろう。戦後から続けられてきた電力会社による地域独占体制が廃止され、われわれ一般の電気の消費者は、地元の電力会社以外の供給者も、自由に選べるようになったのである。

しかし、電気事業すべてが自由化されたわけではない。電気事業は、発電、送電、配電、小売と、異なる特性の事業に分類することができる。このうち自由化が進められているのは、発電事業と小売事業である。送電や配電といった、いわゆるネットワーク事業は、引き続き規制事業として維持される。これは、送配電ネットワークについては、自然独占性があると考えられているためである。送配電ネットワークへの投資は莫大であり、固定費が大きいため、供給規模が拡大するほど、平均的な供給費用が安くなる規模の経済性が働く。このような場合は、複数社で競争するよりも、1社が独占的に事業を展開したほうが効率である。このように、発電と小売が自由化され、ネットワーク事業は規制下に置かれるという状況は、わが国に先立って自由化が進められた欧米諸国でも同様である。

このような競争の働かない事業においては、料金規制が必要となる。わが国では、電気事業における料金規制として、総括原価方式が採用されてきた。これは、電気の供給に必要と認められた原価をもとに、電気の価格が決められる方式である。この場合、費用回収がある程度認められるため、多大な設備投資が必要とされている場合には、事業者にとって投資を進めやすい料金規制方式といえる。しかし一方で、費用を価格に転嫁することがある程度許容されているため、無駄な投資が行われるリスクも伴う。

総括原価方式は、自由化以前の欧米でも一般的な手法であったが、近年、特に欧州では、ネットワーク事業にさらに強力な効率化のインセンティブを与えるような規制方式を採用する国が増えてきている。本特集のJohnson先生の解説記事にもあるように、プライスカップや収入キャップといったインセンティブ規制がその主流であり、その中でDEAが活用されている[6, 7]。

プライスカップ規制は、サービスの料金に上限値を定める規制である。上限値を数年間据え置くことで、事業者がその期間中に達成したコスト削減分は、そのまま利益に結び付けることが可能になる。努力した分は、自身の利益として受け取ることができるため、効率化（費用削減）インセンティブが強い。収入キャップも同様の考え方で、こちらは価格ではなく、収入に上限を設ける方法である。収入キャップの代表的な価格算定式は下記のとおりである。

$$R_t = R_0(1 + CPI - X) \quad (2)$$

R_t は、 t 期の収入の上限値、 CPI は消費者物価指数であり、 X は生産性上昇率（ X ファクター）である。すなわち、規制期間の初期に定められた収入上限に対し、物価上昇率と生産性上昇率を控除したものが、 t 期の収入上限となる。この基本形に加え、設備投資関連の調整項や品質要因、効率性要因などが含まれる場合もある。この効率性要因の計測において、DEAや確率的フロンティア法（Stochastic Frontier Analysis: SFA）などの効率性計測手法が用いられているのである。

本稿では、SFAについて多くを述べないが、DEAと並ぶ二大効率性計測手法の一つである[8]。SFAは計量経済学的手法を用いるため、関数型や誤差項の分布についての仮定を事前におく必要がある。一方でDEAは、このような仮定をおく必要がなく、データに結果を語らせるという点が長所とされる。しかし、DEAの基本モデルでは、フロンティアとの格差を非効率と考え、誤差項を考慮しない。そのため、データに忠実という長所が、異常値に引きずられるという短所とも背中合わせとなる。その点、SFAは誤差項を考慮しているため、異常値にはある程度対応できる。このように、DEAとSFAは一長一短で、互いに補い合える関係にあるといえよう。

5. ドイツの配電事業の事例

次に、ドイツの配電事業者に対するDEAの活用実態について紹介する。ドイツでは、配電料金に収入キャップ規制が課されており、その算定においては、産業全

体の生産性上昇率に加え、各社の効率値を加味することになっている [9]。この効率値の計測には、DEA と SFA が併用されている。筆者は、2016 年 7 月にドイツに出張する機会があり、エネルギー規制当局 (Bundesnetzagentur: BNetzA) を訪問し、実際にどのように DEA を利用しているか、その実態について話を聞いた。ここでは、その一部を紹介したい。

ドイツは、配電事業者の数が極めて多いことが特徴的であり、4 大電力会社に加えて、中小事業者が国内に 800 社以上も存在している。効率性計測の対象となるのは、このうち 200 社程度という。DEA や SFA は、DMU 間の相対比較を行うため、その数が多いほうが計測上望ましい。その点で、ドイツの配電事業は、これらの手法を適用するにふさわしい業態と考えられる。

収入キャップの具体的な方法については、「電力ネットワークのインセンティブ規制に関する条例 (Anreizregulierungsverordnung: ARegV)」の中で詳細に定められている。実は、各事業者の効率値計測について、DEA と SFA を用いること自体も、この条例に明記されている。たとえば、米国のネットワーク事業の規制においても DEA が用いられることはあったが、あくまでも参考情報として使われる程度であった [10]。それと比較すると、条例に定められているという事実は、DEA が実学として社会で活用されているという実感を与えてくれる。

具体的には、それぞれ二つの異なるデータセットで計算した、DEA の結果二つと、SFA の結果二つの中から、最もよい数値が各事業者の効率値として採用されることになっている。DEA のモデルとしては、最もシンプルなモデルの一つである、non-decreasing returns-to-scale (NDRS) モデルが用いられている。インプットとして費用を用い、アウトプットとしては、配電線の長さや供給エリアの面積など、11 種類ほどの要素が設定されている。

実際に利用するのは 11 項目程度であるが、そのために、700 項目近いデータを各事業者から集めているという。規制当局の担当者 10~15 人で、約 200 社から集めたデータをすべて精査し、総合的でないデータなどについては、事業者とやりとりしながら、3~6 カ月かけてデータを整えていく。規制期間が 5 年間なので、5 年に一度の作業ではあるが、その膨大な作業が、ドイツにおける収入キャップ規制を支えているといえる。

ここで整えたデータをもとに、費用要因分析を行うが、これについては、外部のコンサルや学識者などに委託しているという。この分析を経て、実際に用いら

れる 11 項目のデータが選択される。ただし、このうち 4 項目については、先に示した条例において、利用することが定められている。

条例には、かなり細かいことまで規定されているという。必ず利用しなければならない 4 項目のデータについてのほかにも、DEA モデルでは NDRS を使うこと、DEA と SFA の四つの結果から最もよい値を使うことなども、条例の中で定められている。

このように、詳細な計算方法まで条例で定められていることには、メリットもデメリットもあるという。メリットとしては、規制当局側がこれらのモデルを利用することを正当化することができる点が挙げられる。評価結果が配電事業者の収入に大きく影響を与えることになるため、評価結果を不服とする事業者も数多い。実際、訴訟も多く起こっているという。評価する側の規制当局としては、用いている手法に法的根拠があることで、このような訴訟において敗訴するリスクを少しでも減らすことができると推察される。

一方、デメリットとしては、計算方法について改善余地が明らかになっても、条例が改訂されなければ改善できない点が挙げられる。たとえば、多くの DEA 研究者よってモデルは日々進化しているが、現時点では条例で定められた基本モデルしか利用できない。規制当局では、新しいモデルに対する検討は行っているが、新たに条例を改定しない限り、その採用は困難である。

また、利用を義務づけられている 4 項目のデータについても、改善余地があるという。担当者の話によると、この 4 項目については政治的妥協によって選ばれた要素が強く、純粋にテクニカルな観点から選ばれていないという。他国の DEA の専門家と議論した際も、これらのデータ同士は相関が高く、同時に利用することで、DEA でも SFA でも問題を引き起こすと指摘されているという。

また、DEA と SFA の 4 種類の結果の最もよいスコアを利用する、という点についても改善の余地があると考えられている。先に述べたように、DEA と SFA はそれぞれ長所・短所がある。それを補うために、両手法を併用するにもかかわらず、よいほうの結果の一つだけ選ぶという方法は、併用効果を損ねているといえる。実際に、評価対象の配電事業者の効率値の平均が 96% という極めて高い数値となっており、本来の規制の主目的である効率化インセンティブを、十分に付与できていないと指摘されている。

このように、ドイツにおいては配電ネットワーク料

金の収入キャップ規制の一部として、DEA が活用されている。このこと自体は、DEA の研究者の一人として大変誇らしく思う。その反面、その実際の運用は、データの収集から精査、計算結果のフィードバック、さらには訴訟対応など、規制当局の担当者の膨大な労力によって支えられており、制度としての実用における難しさを痛感するばかりである。

6. おわりに

本稿では、DEA が実学として、産業界で実践的に利用されている事例について紹介した。

DEA の実践的な利用可能性については、その利用主体から二つのタイプに大別できるだろう。第三者が主体となって、複数の事業体を評価するものと、評価される側の事業体自身が、自社の効率性の把握と向上を主眼として、他社との比較評価を行うものである。本稿では、前者の事例を挙げ、効率化インセンティブの働きにくい規制事業へのインセンティブ規制に、DEA が実践的に用いられていることを示した。

一方、後者については、現場においてより具体的なかつ技術的な改善策を DEA に求めるのには限界があり、むしろ、大きな改善の方向性を示すことに、DEA の強みが発揮されることを述べた。

実はもう一つ、事業者が自らのために DEA を用いる例がある。たとえば、インセンティブ規制が適用されているドイツの配電事業者は、DEA や SFA を用いた評価結果を規制当局から突きつけられている。この際、事業者側は、DEA や SFA の知識がなければ、その結果を検証することができない。事業者の収入に関わる重要な結果であり、検証せずにそれを受け入れるわけにはいかない。実際にドイツでは、結果検証のためにコンサルなどが雇われており、計測結果に対する訴訟も多数起きている。つまり、第三者による評価への備えとして、被評価者自身が DEA を用いる必要性も増しているということである。多少後ろ向きな活用

方法ではあるが、これもある意味で実学としての DEA といえる。発想を変えれば、自らの効率性をピーアールするための手法としても使いうるだろう。

わが国では、NTT の料金規制において用いられているものの、送配電事業をはじめ、その他の規制事業において、こういったインセンティブ規制が導入されるようになるかどうかは、いまだ不透明である³。しかし、もしもこのような機会が増えれば、評価者に対しても、被評価者に対しても、実学としての DEA の活躍の場が広がることとなるだろう。DEA の強みを理解し、それを活かせる使い方をすることが、実用に向けた鍵といえる。

参考文献

- [1] OR 学会, 「オペレーションズ・リサーチとは」, <http://www.or.sj.or.jp/whatisor/whatisor.html> (2017年3月23日閲覧)
- [2] A. Charnes, W. W. Cooper and E. Rhodes, "Measuring the efficiency of decision making units," *European Journal of Operational Research*, **2**, pp. 429-444, 1978.
- [3] J. S. Liu, L. Y. Y. Lu, W.-M. Lu and B. J. Y. Lin, "A survey of DEA applications," *Omega*, **41**(5), pp. 893-902, 2013.
- [4] 刀根薫, 『経営効率性の測定と改善—包絡分析方 DEA による—』, 日科技連出版社, 1993.
- [5] W. W. Cooper, L. M. Seiford and K. Tone, *Data Envelopment Analysis, A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, 2nd edition, Springer, 2007.
- [6] P. J. Agrell and P. Niknazar, "Structural and behavioral robustness in applied best-practice regulation," *Socio-Economic Planning Sciences*, **48**, pp. 89-103, 2014.
- [7] A. B. Haney and M. G. Pollitt, "Efficiency analysis of energy networks: An international survey of regulators," *Energy Policy*, **37**, pp. 5814-5830, 2009.
- [8] S. C. Kumbhakar and C. A. K. Lovell, *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press, 2000.
- [9] 三枝まどか, 服部徹, "ドイツの送配電事業におけるインセンティブ規制の課題—低炭素社会に向けた設備投資への影響を中心に—," 電力中央研究所報告, Y10032, 2011.
- [10] 後藤美香, 筒井美樹, 服部徹, "電気事業における経営効率性分析の活用—分析手法と海外の適用事例—," 電力中央研究所報告, Y03024, 2004.

³ 少なくともわが国の送配電事業は、ドイツとは異なり、DMU の数が圧倒的に少ないため、DEA や SFA の適用に際しては、さまざまな工夫が必要とされるであろう。