

再生可能エネルギー拡大のための電力 の産業組織と競争政策*

— 日本と英国の国際比較 —

Electricity Network Investment and Competition Policy For a Low Carbon Future

桑 原 秀 史

The electricity network has emerged as critical for successfully liberalizing power markets. Efficiency and productivity analysis is a central concept in industrial organization of network utilities. One of the most disputed issues of the restructuring process of the electric power industry has been the organization of the transmission sector of this industry. It has been widely held that this sector must remain tightly regulated due to the external cost and benefits that arise from the operation and investment of transmission resources. In this paper we discuss the approaches in the field of economics to managing these network externalities for a low carbon future and examine the potential for a system of network investment contracts to successfully manage these externalities in a lightly regulated environment.

Hidechika Kuwahara

JEL : L10, L13, L40, L43, L51

Keywords : Oligopoly pricing, Market integration, Electricity, Competition Policy, Innovation, Investment incentives, Emission trading, Environmental economics

* 本稿作成にあたり Klemperer, P. (Univ. of Oxford), Armstrong, M. (Univ. of Oxford), Evans, R. (Univ. of Cambridge), Ritz, R. (Univ. of Cambridge) の各 Professor から有益な助言を頂いた。記して感謝したい。

序

我が国の電力改革では、2015 年に電力会社ごとに分断されていた送電網を一体運用する「広域系統運用機関」が設立される。次いで 16 年の電力小売事業の全面自由化、18～20 年の「発送電分離」（電力会社から送配電部門を切り離す）に向けて、自由化の動きが進む。国は並行してガスの自由化の議論も進めている。自由化による新規参入が実効性をもった場合、電力やガス、通信、石油元売り、家電量販店、鉄道などの業界の垣根をこえた合従連衡が進むことになる。

一方、近年、自然エネルギーを用いた小規模な分散型電源は普及の度合いをはやめている。持続可能な成長を築く低炭素経済にむけて、地球環境保護やエネルギーセキュリティの観点から、再生可能エネルギーに基づく分散型電源の普及は重要な課題である。

本稿は我が国の電力市場の産業組織論的特徴を前提に、地球温暖化対策と再生可能エネルギー支援策の動向を政策評価し、具体的にどのように電力改革が進むべきかを理論と実証の観点から検討し、政策上の課題を吟味する。最初に重要なことは、政府と行政および広域系統運用機関は、地域間連系の強化など送電網の再整備を進めるとともに、電気事業者間の公正な競争環境の整備、地域間電力融通による需給バランスの改善、地域間で偏在する再生可能エネルギーの送配電接続の促進など、全国レベルでのエネルギー資源の有効活用と送配電網の公正な一体運用を実現しなければならない。

そこで第 1 に我が国において電力の自由化が進展した場合、企業の競争環境と企業戦略状況はどのようになるのかを整理する。具体的には、自由化のもとでの企業の送配電部門の投資行動に着目し、その理論的分析とともに、今後の送配電料金のあり方について検討を加える。その際、電力自由化と環境政策において先陣を切った英国の産業組織と経済成果を理論的・実証的に考察する。英国の高説に学ぶだけでなく、前徹を踏まないように、我が国に見合う制度設計と政策運用を研究することが課題である。第 2 に、今後強く求められるネットワーク電源と分散型電源の共生のために、必要な条件はなにかを、技術と市場のイノベーションの点から整理する。その際、大規模電源と、分散型電

源を含む地域内融通型電力供給システムが共生機能する経済的システムを構築するための施策を、産業組織論の観点から検討する。分散型電源の系統連系に伴い、そのシステムは連系された電力系統の信頼性、品質、安全性に影響を与える。イノベーション創出のシステム設計を吟味するとともに、電源を系統連系するために必要な技術的要件を満たす整備・投資等のコストを、誰がどのように負担すべきか吟味する。素材として、英国の再生可能エネルギーの支援策と、再生可能エネルギー接続に伴う系統設備増強の投資インセンティブを、新たな配電・送電料金の制度設計によっていかに確保しているかを、規制改革のフォーミュラーの観点から考察する。

第3に、我が国において2016年以降に進められる電力小売事業の自由化の果実が、国民生活の向上に、どのような状況のもとで実現できるかを吟味する。とりわけ英国の電力自由化の現況と動向を踏まえ、英国電力の市場構造の変化と価格変動との関係を実証的に検討することで、電力市場システムにおける競争政策の重要性を指摘する。

I 再生可能エネルギー拡大と送配電投資

1 発送電分離の必要性

2018～20年の「発送電分離」の施策が講じられたとしても、送電会社は引き続き独占企業として運営される。新規参入の電力事業者に対しては送電線を公平に開放することによって、競争の導入を図られねばならない。（なお競争導入によるアクセス・チャージ（接続料金）の決定の仕方と効果に関する体系的な理論は、桑原（2008）3章を参照されたい。）旧電力会社以外の新規の発電会社にも送電線を公平に開放するためには、発送電一体である電力会社の給電指令所を発電所から分離することである。その初期の分離形態としてはまずTSO（Transmission System Operator）方式を選択する必要がある。TSO方式とは電力会社から発電会社を分離し、そして送電部門と給電指令所の両部門をもつ会社をつくることである。この後者の送電と給電の会社は別会社にして法的に分離することが望まれる。

むろん持ち株会社として運用する場合には、発電部門と、送電・給電部門が資本関係にある。その場合、送電線開放の中立性を担保するためには、行政機関が運用面において中立性を監視し、非中立的な行動がとられたならば厳格に罰することが不可欠である。この監視・罰則機能が円滑に進まないならば、遅かれ早かれ、我が国においては TSO の法的分離ではなく、発電部門と送電部門さらに給電指令所 (Independent System Operator) のこの三つの部門間に資本関係のない、所有権分離いわゆるアンバンドリングの方式を選択せざるをえない状況が民意のあいだで生まれよう。

2 不確実性のもとでの報酬率規制と送配電投資の抑制行動

政府と行政および広域系統運用機関は、地域間連系の強化など送電網の再整備を進めるとともに、電気事業者間の公正な競争環境の整備、地域間電力融通による需給バランスの改善、地域間で偏在する再生可能エネルギーの送配電接続の促進など、全国レベルでのエネルギー資源の有効活用と送配電網の公正な一体運用に意をそそがねばならない。

今後、電力の自由化が進めば、送配電部門の投資行動はどのように変化するのだろうか (需要の確実性のもとでの報酬率規制と送配電投資の理論研究は、桑原 (2008) 2 章で詳細に施したので参照されたい。とりわけ制約条件のもとでの利潤極大化の十分条件や、多種の企業目標のバリエーションとの関係については、拙著を参照されたい)。

ところでアバーチ＝ジョンソン効果のエッセンスは次の通りである。収益率が規制される場合、二要素の限界代替率は要素価格比よりも小さくなる。このことは公正報酬率規制がある場合、独占企業の資本労働比率は総生産費を極小にする資本労働比率よりも大きくなり、生産要素が非効率的に用いられることを意味する。しかし、需要関数に不確実性が導入された場合、アバーチ＝ジョンソン効果の結果とは違ったものとなることに留意しなければならない。

被規制企業は事前に価格 p と資本 K を選択する。労働 L を伸縮的な投入物ととらえ、需要を満たすために労働量で調整するとみると、企業は事後的にそれを選択する。かりに需要の確率変数の分布関数が既知であるならば、事前に

選択した価格と資本について、報酬率制約を充足する確率を決定することができるので、確率制約条件計画法の問題としてとらえられる。

そこで報酬率制約は

$$h(u : p, K) = [pq(p, u) - wL(q(p, u), K)]/K$$

である。なお価格 p と資本 K が選択されると、次式より、 h は u の狭義凹関数である。

$$dh/du = \partial q/\partial u \cdot (\bar{p} - w \cdot \partial L(q, \bar{K})/\partial q)/\bar{K} = 0$$

$$d^2h/du^2 = -1/\bar{K} \cdot w \cdot (\partial q/\partial u)^2 \cdot \partial^2 L(q, \bar{K})/\partial q^2 < 0$$

制約付き期待利潤最大化による k に関する一階の条件は

$$E[-w \cdot \partial L/\partial K] - r + \lambda(\partial u'/\partial K \cdot f(u') - \partial u''/\partial K \cdot f(u'')) = 0$$

となる。

アバーチ＝ジョンソン効果の結果は、 $\lambda > 0$ で制約が有効であるならば、その条件は

$$\partial u'/\partial K \cdot f(u') - \partial u''/\partial K \cdot f(u'') > 0$$

である。

ここで一様の確率密度関数 $f(u') = f(u'')$ とコップ＝ダグラス生産関数 $f(K, L) = K^{1/2}L^{1/2}$ を用いると、上式と違う結果が導出される。規制制約が有効で、 u' と u'' の存在を想定するすると、特定の u に対応する生産量に必要な労働は $L = X(p)^2 u^2 / K$ となる。 $h = s$ で評価すると u の二次方程式として

$$wX(p)^2/K \cdot u^2 - pX(p)u + sK = 0$$

が生じる。つぎに K に関する u' と u'' の偏微分係数より、

$$\partial u'/\partial K - \partial u''/\partial K = \{[-(p^2 - 4ws)^{1/2}]/wX(p)\} < 0$$

となる。

したがって被規制企業、すなわち電力会社は当該生産量の期待最小費用を生み出す資本量よりも、より少ない資本量 (undercapitalization) を選択する

ことがわかる。このように需要や費用において不確実性のない状況で生まれる報酬率規制の効果である過大資本投資の結果とは、不確実性のある状況のもとでは全く異なる結果が生じる。すなわち、需要や費用において不確実性が高い部門においては、過少の資本投資の行動が選択され、一方、需要および費用において確率的状況が高い部門では、報酬率規制が過大の資本投資行動を促すのである。

今後の我が国における電力自由化を展望するとき、小売自由化や発送電分離に対する既存電力会社の対応行動として、需要と費用の不確実性が増すことが想定される状況のもとでは、管轄地域外への送電投資や、既存の送配電網に再生可能エネルギーをつなぐ接続線への整備投資を極力抑えるであろう。現行の総括原価主義に基づく公共料金設定のもとでも過少投資が促されるのであるから、競争導入が進めば、不確実性の高い需要部門への送配電投資をさらに控えることが予想される。既存電力会社は、地域間競争を抑えながら発電部門と小売供給部門との垂直的な統合と、通信事業や住宅事業など、他の事業とのシナジー効果を充実させながら、顧客囲い込みを目的とした発電部門と小売供給部門への投資を強化する戦略をとることは明らかである。

3 再生可能エネルギー拡大のための送配電投資促進策

政府と行政および広域機関は、地域間連系の強化など送電網の再整備を進めるとともに、電気事業者間の公正な競争環境の整備、地域間電力融通による需給バランスの改善、地域間で偏在する再生可能エネルギーの送配電接続の促進を実現しなければならない。

具体的には、北海道と東北を結ぶ北本連系線の整備、震災後に顕在化した東日本の相馬双葉幹線の増強、東西の 50Hz～60Hz の周波数変換装置の増強、中国、近畿、四国、九州を結ぶ西日本の送電網の強化が緊急に求められる。今後必要な送電投資の対象は、管轄地域の外側の地域間連系線と、既存の送配電網に再生可能エネルギーをつなぐ接続線である。

さらに、電力会社の行なう送電事業や国の補助事業には、民間企業間での十分な競争が不可欠である。送電投資等のインフラ投資にも PFI 等の民間事業

者の創意工夫がいかされる枠組みを活用することが望ましい。さらに国内外の投資ファンドを幅広く募り、業界の取引等の透明性を増すことで外資を積極的に導入し、一刻も早く国際的に開放された電力ネットワークを構築しなければならない。送電線網が脆弱な地域においても、固定価格買取制からの収入を原資に、民間企業が主体となって、既存の送配電網に再生可能エネルギー発電を接続するための送電線を整備する事業が進んでいる。例えば、経済産業省の支援で、北海道の稚内、宗谷、留萌において、三井物産・丸紅・ソフトバンク連合、ユーラスエナジーが北海道電力と共同して送配電整備事業の整備があげられる。

再生可能エネルギーを拡大し、最大限活用していくためには、発電の変動性を吸収するために定常的に需給バランスの広域化を図る必要がある。そのためには、電力会社管轄を結ぶはざま間のエリアの送電線整備とその公正な運用を推進する頑健な政策が求められる。

II 分散型電源と再生可能エネルギー

1 分散型電源の特徴

分散型電源のメリットは、第1に化石燃料の消費が削減されとともに、第2に二酸化炭素など温室効果ガスの排出削減の効果が期待できる点にある。さらに、第3に電源がオンサイトの需要地近傍に設置されるので送電線の増設繰り延べが可能となり、第4に送電損失の減少が予想される。第5に電源が小規模であるので、建設工期が短縮され、電力需要の変動に対して即応性が認められる。一方、デメリットとしては、自然エネルギー発電のように発電出力が気象条件に左右されることから出力変動が生じる。コージェネレーションなどにみられるように分散型電源は、既存の電力系統との連系によって、変動電力への対応を行い、発電電力を有効に利用することが必要である。

これらの点から、分散型電源を系統連係するときには、既存の電力系統の電力品質や信頼度、安全性に影響を与えないようにすることが要請され、系統連係技術要件を明らかにして、諸要件に沿った形で施策を行うことが肝要である。

2 分散型電源の活用方法

具体的に、以下の考察にとって重要と考えられる、分散型電源の系統連系に伴って生じる課題と対策にふれておきたい。対策の課題は、①電力品質の確保、②電力系統との保護強調による供給信頼度の確保、③安全の確保である。

最初に電力品質を確保することが重要である。分散型電源が連系されると、系統の電力潮流が変化し、連系された系統の電圧分布が変化する。ここでは 2 つのケースが考えられる。第 1 に常時電圧変動の問題であるが、分散型電源が投入されたとき、連系された系統の負荷が軽くなることで、電圧上昇が生じる。とりわけ発電設備を保有する需要家から電力系統に電力を送り出す、いわゆる逆潮流のケースでは、連系点の電圧が周辺の電圧より上昇をきたす。配電系統側では、変電所から末端に流れるにつれて電圧が低下するように電圧管理を行っている。この逆潮流によって配電線に接続されている需要家への供給電圧を規定値内におさめることができない事態が生じる。そこで発電装置の力率制御などによって、電圧上昇を食い止める対策が必要となる。他方、第 2 に分散型電源が脱落するケースであるが、この場合は負荷の増加により電圧低下が生じる。この対策は、脱落分に対応した負荷制限を行い、電圧低下を防止する対策が必要である。さらに瞬時電圧変動についても考慮が欠かせない。風力やバイオマス発電の際に利用する同期発電機や、太陽光発電などで採用する自励式インバータなどでは同期投入により、連系時の突入電流を回避することが必要である。さらに、発電出力変動により電圧フリッカが生じるならば、フリッカを抑制する装置が求められよう。電力品質の課題としては、以上の電圧変動対策に加えて、高調波対策がある。太陽光、燃料電池などのインバータ連系の分散型電源では、インバータが高調波電流の発生源となるので、それは系統電圧のゆがみをつくり、系統内の力率改善用コンデンサの焼損などを起こす可能性がある。高周波スイッチングによる低次高調波の削減、高調波フィルタの設置などの対策が望まれる。

供給信頼度の確保については、分散型電源の導入の折に、電源側事故や系統側事故に対して、適切な保護リレーを設置して分散型電源を系統から解列する装置の設置が必要である。また安全の確保については、とくに配電系統などに

連系される分散型電源が単独運転状態が継続すると公衆感電、需要家機器損傷など保安面のリスクが生じるので、転送遮断装置や単独運転検出機能を設置して単独運転時に分散型電源を系統から解列させるしくみが不可欠である。このため、分散型電源の大量導入に対応した電力流通システムの技術的あり方、および産業組織と公共政策の方向を明らかにし、分散型電源を有効活用する施策を示すことが求められる。

欧米諸国では、電力自由化の効果と環境負荷低減の目的から、多数の分散型電源が電力系統、とりわけ、配電系統に接続されてきている。「次世代配電ネットワーク」の名のもとで、マイクログリッドやスマートグリッド等が提唱され、実験段階にある。前者は、分散型電源と電力貯蔵装置および負荷などを接続する小規模ネットワーク内において、分散型電源の出力変動の影響を解決し、配電系統に悪い影響を及ぼすことなく経済的に系統連系させる方式である。後者は、多品質電力供給、自由な分散型電源の系統連係、双方向電力潮流、需要家側制御、分散型電源と大規模集中電源の最適負荷配分などを軸に、パワーエレクトロニクス機器や制御用通信設備などを利用する、いっそう柔軟な電力システムを目指したものである。

以上の分散型電源の育成と有効活用に関する技術動向を踏まえ、分散型電源の導入に対応した産業組織と公共政策のあり方を検討しよう。これによって固定価格買い取り制度（FIT）の運用のあり方を考察する。

3 分散型電源と電力ネットワークの産業組織

(i) 基本モデル

市場価格が電力の総市場需要の線形関数となるような市場を考えよう。 $p = a - bD_T$ であり、ここで p はスポット価格、 a は需要切片、 b は需要勾配、 D_T は総市場需要である。電力はガスタービンや石炭火力等の伝統的発電事業者と太陽光発電や風力等の断続的発電事業者（企業・家庭を問わない）に分けられる。前者の産出を X_Z 、後者の産出を安定部分と確率部分に区別し、 X_S 、 $0 + \varepsilon_S$ で示す。

$E[\varepsilon_S] = 0$ 、 $\text{Var}[\varepsilon_S] = \sigma_S^2$ と仮定する。断続的発電事業者は競争状態にあ

り、ゼロの限界費用で産出を提供できるとし、産出物は限界的な入札の買値価格で販売される。伝統的発電事業者の費用関数を $C_Z(X_Z) = \mu X_Z + \theta/2 \cdot X_Z^2$ とする。伝統的発電事業者は常に限界発電事業者であり、市場価格を設定する。均衡産出量(X_Z)と、 $E[\varepsilon_S]=0$ のケースでの競争均衡における平均均衡価格(p_c^*) は、それぞれ

$$X_Z = [a - b(X_S, 0 + \varepsilon_S) - \mu]/b + \theta$$

$$p_c^* = [\theta(a - bX_S, 0) + b\mu]/b + \theta$$

である。

太陽光発電等の断続的発電事業者の固定費用を除く純利潤 ($E[\pi_s]$) から、太陽光発電等の産出が享受する平均価格は、

$$p_s = p_c^* - (\theta/b + \theta) \cdot (b/X_S, 0) \cdot \sigma_S^2$$

となる。太陽光発電等の自然エネルギー事業者が享受する平均価格は、第 1 項の平均市場価格と、第 2 項の太陽光発電等の産出変動から生じる「競争的な断続性要因」からなる。以上から次のことが示される。第 1 に、火力等の伝統的な発電事業の限界費用の勾配が増加するにつれて、太陽光発電等の産出変動から生じる市場価格への影響は増す。第 2 に、需要が非弾力的になればなるほど、その産出変動の市場価格への効果は増大する。第 3 に、分散 σ_S^2 が大きくなるとともに、断続性効果は強まる。このように、競争的な断続性要因は、太陽光発電等の自然エネルギー事業者が享受する平均価格を、平均市場価格以下に低下させる側面をもっている。実際には、火力・水力・原子力など既存の電気事業者が保有する伝統的な発電所間で産出の断続性がみられるとしても、それらの相関係数は、太陽光発電等の自然エネルギーといった低い産出間での相関係数よりも低いであろう。

(ii) 市場構造の変化と市場成果

次に火力などの伝統的発電事業者は市場構造が、競争状態から独占的要素を含む状態に移行したとする。第 2 に伝統的発電事業者は先渡契約を結ぶ。独占状態の効果は、太陽光発電など出力の不安定要因である、断続的要素が平均市

場価格と産出量でウエイト付けされた価格との差を拡大する。一方、先渡契約の効果は、その契約がスポット市場での価格上昇のインセンティブを抑える点にある。さらに、独占者である伝統的発電事業者は、参加者が利潤を得る価格を超えないようなスポット価格を設定するように、先渡契約の水準を決定する。

独占である伝統的発電事業者が期待スポット価格 $E[p]$ がベースロードの参入コスト p_m^* を超えないように先渡契約を行うのであるから、 $\varepsilon_s = 0$ のとき、期待スポット価格と伝統的発電事業者の先渡数量は、それぞれ

$$E[p] = p_m^* = [(b + \theta)(a - bX_S, 0) - b^2 F_z + b\mu] / (2b + \theta)$$

$$F_z = [(b + \theta)(a - bX_S, 0) + b\mu - (2b + \theta)p_m^*] / b^2$$

となる。

そこで、火力などの伝統的発電事業者が独占の場合に、太陽光発電等の自然エネルギー事業者が享受する平均価格 (p_s) は

$$p_s = p_m^* - \{[\theta / (b + \theta) + b^2 / (2b + \theta)(b + \theta)] \cdot b / X_S, 0 \cdot \sigma_s^2$$

となる。

火力などの伝統的発電事業者の市場構造が、競争から独占に移行することによって、競争的な断続性要因だけでなく、市場支配力に基づく戦略的な出力の不安定要素、すなわち「戦略的な断続性要因」が加わる。もとより伝統的発電事業者は「戦略的な断続性要因」を補償させるために、平均電力価格を上昇させる ($p_m^* > p_c^*$)。ここでは、太陽光発電等の自然エネルギー事業者は、平均市場価格が伝統的発電事業者の市場構造の独占への移行にともなって上昇したとしても、競争の状態よりは経済厚生は低下していることに注意しなければならない。

次に、電力市場についてより一般的な仮定である寡占市場構造を考えよう。伝統的発電事業者の市場構造が複占で、費用関数を $C_i(X_i) = \mu X_i + \theta \cdot X_i^2 (i = A, B)$ とする。最初に先渡契約を条件として2段階目のスポット市場での行動を検討し、ついでこれらの行動をすべての当事者が期待するとして、最初の段階である契約決定を説明しよう。

伝統的な複占の発電事業者 A のスポット市場での販売量は事業者 A の先渡契約量 F_A の増加関数、事業者 B の先渡契約量 F_B の減少関数である。

寡占市場において期待市場価格 p_o^* は、 $\varepsilon_S = 0$ のとき、

$$p_o^* = [(2\theta + b)(a - bX_S, 0) + 2b\mu - b^2(F_A + F_B)] / (2\theta + 3b)$$

となる。

一方、太陽光発電等の自然エネルギー事業者は、競争行動のため、契約市場では期待スポット価格で契約する（先渡契約の価格 $k =$ 期待市場価格 p_o^* である）。太陽光発電等の自然エネルギー事業者の平均価格は

$$p_s = p_o^* - [(\theta/b + \theta) + \{b^2/(3b + 2\theta)(b + \theta)\}] \cdot b/X_S, 0 \cdot \sigma_S^2$$

である。

火力などの伝統的な発電事業者が独占であるケースと同様に、当該事業者が寡占であっても、出力の不安定性に基づく競争的な断続性要因と戦略的な断続性要因が、太陽光発電等の自然エネルギー事業者の平均価格を低下させている。しかし戦略的な断続性要因の価格への低下効果は独占の場合よりも小さい。

より留意すべきは、断続性要因のみならず、平均価格自体が市場構造の独占と寡占で異なるという点である。とりわけ断続性要因は、先渡契約の水準とは独立であることに注目すべきである。

以上から、第 1 に、市場支配力といった市場構造の問題を考慮しなくても、火力・水力・原子力など既存の電気事業者は、太陽光発電等の自然エネルギー事業者よりも、より高い平均価格を享受する。これはスケールとしては小さいが、出力の不安定性による競争的な断続性要因の結果である。第 2 に、市場支配力の導入は平均価格を上昇させるだけでなく、戦略的な断続性要因によって、火力・水力・原子力など既存の電気事業者と太陽光発電等の自然エネルギー事業者との報酬の差を大きくする。なお価格に占めるこの市場支配力によるマージンのスケールは大きい。第 3 に、先渡契約のような契約がない場合、スポット価格は常に限界費用価格を超え、同時に、伝統的発電事業者よりも程度はより小さいが、太陽光発電等の自然エネルギー事業者も市場支配力から利益を享受する。

次に火力・水力・原子力など既存の電気事業者が内生的な契約を結ぶ場合を整理しておこう。第1に、火力・水力・原子力など既存の電気事業者が独占であれば、自発的に先渡契約を締結しない。これは、先渡契約による市場支配力を制限する「コスト」が生じるのみであって、競合事業者のマーケットシェアを得る「便益」がないことによるものである。第2に、独占または寡占の火力・水力・原子力など既存の電気事業者が先渡契約を締結する場合、戦略的な断続性要因は先渡契約水準の関数ではないが、その先渡契約量の水準は絶対的な価格水準を低下させる。したがって、より現実に近いケースを考えると、すなわち、火力・水力・原子力など既存の電気事業者が寡占や独占的な市場構造の場合、出力不安定性からの戦略的な断続性の要因は、先渡契約やオプション契約がない場合に比較して、その効果は増大することが重要である。

第3に、前日スポット市場は、前日に補正的な確定数量の契約取引を可能にするので、当日のリアルタイムの電力調整の必要量を小さくする有効な機能もっている。

4 送配電投資の強化と競争政策

以上から、再生エネルギー拡大のためには、「発送電分離」の施策に加えて、少なくとも2つの改革が加速しなければならない。政府と行政および広域系統運用機関は、地域間連系の強化など送電網の再整備を進めるとともに、地域間電力融通による需給バランスの改善など、全国レベルでのエネルギー資源の有効活用を実現することである。

例えば家庭用電力についていえば、太陽光発電は、風力などと比べてスケールメリットが大きくなく、一般家庭の屋根などへの分散設置と、メガソーラーと呼ばれる、遊休地などへの大規模設置が進められている。大規模設置を行うメガソーラーはその立地条件から配電系統の設備の少ないところや、系統の脆弱なところに設置が計画される場合が多い。また必要な送電容量も大きいので連系に際して連系設備の整備・強化が求められる。一方、住宅用の太陽光発電など、発電出力が需要家の電力使用量を上回り、需要家側から電力系統向けに電力が流れると配電系統の電圧上昇が生じる。さらに、需要家の太陽発電から

電力系統側へ電力が増大し、需要家の使用電力が電気事業法に基づく適正値（ $101\pm6V$ ）を逸脱すると、太陽光発電の電圧上昇抑制機能が働き、太陽光発電の出力低下が生じる。そこで配電系統における電圧上昇を抑制することを目的に、国は補助金を支給することで、円滑に柱状変圧器分割設置や電圧調整機器設置を進めることが求められる。

第 2 に、政府と行政および広域系統運用機関は、電力自由化の果実を国民の福祉の向上につなげるべく、電気事業者間の公正な競争環境を整備・強化しなければならない。このためには根本的な電力システム改革、なかなづく電力卸売市場システムの改革が不可欠である（なぜ電力卸売市場の競争とその改革が不可欠かは、桑原（2008）4 章「競争政策と規制改革および経済厚生」を参照されたい。）そこで次に英国の電力産業組織を検討しながら、卸売市場改革の重要性を論じることにしよう。

III 我が国電力卸売市場改革の重要性と電力のシステム設計

1 電力卸売市場の改革と競争政策

最初に英国電力の市場構造の変化についてみておこう。英国における電力産業組織の特徴は、発電、送電、配電、小売供給の各部門が機能的に分離されていることにある。1990 年の発電部門の全面自由化、1999 年には小売市場が全面自由化されている。2013 年において発電ライセンスは 128 社、送電ライセンスは 10 社（うち 7 社は洋上送電事業者）、配電ライセンスは 21 社、小売供給ライセンスは 107 社に発給されている。なお 2011 年の家庭用・小売市場のシェアを企業別にみると、Centrica（英国資本）が 25%、SSE（英国）が 20%、E.ON UK（ドイツ）が 17%、RWE npower（ドイツ）が 13%、EDF Energy（フランス）が 13%、Scottish Power（スペイン）が 12%である。これら上位 6 社で小売市場において 99%以上のシェア、発電市場で 70%のシェアを占有している。ちなみに電気事業法において、家庭用電気の供給約款のなかで、電気料金表の公表義務規定が設定されている。さらに顧客が選択した場合の応諾義務も規定されている。すでに 2002 年に料金規制が撤廃されており、料金設

定については 1998 年競争法（日本の独占禁止法）の適用対象となっている。

卸電力は 2005 年から導入された BETTA（グレートブリテン大の卸電力取引制度）のもとで取引されている。各事業者は相対取引や先物取引によって卸電力を自由に売買する。中央決済機関は、各事業者の売買した契約電力量と計量に基づく実際の受け渡し量を 30 分単位で比較し、その差分をインバランス価格で決済する。この決済の役割に責任をもっている事業者は Ellexon である。Ellexon は需給調整決済規則（BSC）エージェントを通じて、決済額の算定、検診・データ収集、データ通信、プロファイリングなどのサービスを提供する。他方、系統運用者（SO）は系統のバランスを維持するために、系統運用に必要な電力を相対取引や受給調整市場（BM）での取引を通じて調達する。異なる 3 つの送電系統（E&W 地域を NGET、スコットランド地域南部を SPT、北部を SHETL がそれぞれの送電系統を所有する。）を単一の系統運用者である NGET（National Grid Electricity Transmission）の系統運用部門が運用している。つぎに配電線は 14 社が管轄区域において独占的に提供されている。これらの送配電会社は、すべての事業者に公平に流通設備のアクセスを認めることが義務付けられている。したがって送配電料は価格規制がなされ、いわゆる公共料金である（NGET（2013）, *UK Future Energy Scenario*; OFGEN E-Serve（2013）, *Feed in Tariff Updated Quarterly Report*; 桑原（2008）も参照されたい。）。

発電事業者は 50MW 以上の発電ユニットについて、小売事業者の場合は 50MW 以上の小売供給について、需給調整参加ユニット（BMU）として登録する。登録したユニットは、系統運用者に取引前日 11 時までに 30 分間の発電と需要計画を通告し、系統運用者はプラントまたは系統ごとに通告された需給計画に基づき、時間単位ごとにプラントを積み上げていく。電力の受け渡し 1 時間前であるゲートクローズ時刻（GC）までに、アンシラリーサービス契約による調整（発電事業者との相対取引で行う。）や、需給調整市場での取引によって、需給を調整することになる。

我が国の電力の卸取引量は国内電力需要の 1%程度である。卸電力取引所での価格が電気料金の指標になるためには、2～3 割のシェアが必要となろう。こ

のような意味からも英国の電力卸売市場改革を参考にシステム改革と組織の改善が望まれる。

2 送配電料金の設定と投資促進型インセンティブ規制

中央決済機関は各事業者のインバランスをデュアル・インバランス価格で決済する。需要が供給を上回るとき、小売事業者からみれば、顧客の合計検針量が中央システムの登録機関への通知契約量より多い場合、系統システムが購入する価格（SBP）が採用される。一方、供給が需要を下回るとき、系統システムが売る価格（SSP）が採用される。このようにインバランス価格は、スポット市場価格と需給調整市場（BM）価格および需給調整量に基づき、30 分ごとに設定される。なお系統運用者が需給バランスの維持や潮流の安定のためにかった費用は、すべてバランスサービス料金として、送電料金のなかに算入される。系統運用の費用は公共料金として規制される。送電料金は、接続料金と送電線使用料金およびバランスサービス料金で構成される。接続料金の算定にはシャロー接続方式が採られている。発電事業者が負担するのは、最大 2km の電源線の設置費用と維持運営費に限定される。これを超える接続で発生する基幹送電系統の費用は、送電線使用料金に算入される（長期の系統費用については Lise=Kryseman（2007）も興味深い。）。

送電線使用料金は、配電料金と同様に、RIIO 料金規制（「成果に基づく総収入の上限規制」）で決定される。これは英国の公共料金決定の特徴と解せられ、プライスカップ規制の展開型であり 2013 年から採用されている。RIIO 料金規制は $\text{Revenue} = \text{Incentives} + \text{Innovation} + \text{Output}$ の頭字語である。成果基準が達成された場合に財務誘因が与えられ、達成されないと罰則が加えられる。成果基準としては再生可能エネルギー、低炭素化の環境目標値、系統接続の適時性、接客等の顧客満足度、ネットワークの信頼性、供給信頼度、資産健全性、リスク程度、送電強化達成度、安全性、技術開発投資の目標値等の指標から形成される。系統運用会社である NGET の系統運用部の上限収入額の価格算定期間は長期の 8 年である。RIIO 料金規制の特徴は系統運用に必要な革新プロジェクト投資のための収入額、炭素抑制と環境改善に要する投資、再生可能エ

エネルギー拡大のための送電拡充投資に必要な収入額が、それらの成果目標値に基づいて算定化されているところにある。次にこの RIIO 料金規制（「成果に基づく総収入の上限規制」）が投資促進型インセンティブ規制となり得る原理的根拠を考察しよう。

3 送配電料金フォーミュラの経済的機能

実際のプライス・キャップ制では、新規投資がなされたのち、プライス・キャップのパラメータはどのように変化するのであろうか（多様なプライス・キャップ制の資源配分効果については、桑原（2008）2 章を参照されたい。）。具体的には、RIIO 料金規制では、どのように基本的なフォーミュラを修正・補正することで、系統ネットワークへの投資インセンティブを確保しているのであろうか。

まずプライス・キャップと投資インセンティブとの関係を検討するに当たり、プライス・キャップのパラメータ（ P_0 と X ）と要投資報酬との関係を理解することが有益である。年間の資本費用（ ACC ）は総資産利益率と減価償却費の合計である。資産年齢を時間の関数、 $A = t_0 + t$ （ t_0 は資産の購入時）とすれば、

$$ACC = WACC * K * (L - A) / L + K / L$$

である。ただし K は資本投資額、 L は耐用年数、 $WACC$ は被規制のウェイト付き平均資本費用であるとし、企業の実際の $WACC$ を反映すると想定する。

投資は次の効果をもつ。①資産の耐用年数にわたる運営・維持費用の削減 S を伴う。②生産能力の拡大、いわゆる需要増加 $ID(Q_1 - Q_2)$ に寄与する。③料金値上げを伴うことなく追加収入を得ることはできないが、投資は顧客に対してサービス品質の向上につながる。

そこでプライス・キャップの原型フォーミュラは

$$P(t) = P_0 * (1 + t * (CPI - X))$$

である。ここで新規投資がなされる前に、 $CPI - X$ のプライス・キャップは、利潤 $Q_0 * P_0 * (1 + t * (CPI - X)) - C_0(t) = 0$ になるように、設定されると仮

定する。 $C1(t) = C0(t) + ACC - S$ より

$$P0' = P0 * (Q0/Q1) + (1/Q1)(K/L)^*(WACC^*(L - A0) + 1) - S/Q1$$

$$CPI - X' = (C0(0)/C1(0))^*(CPI - X) - K*WACC/(L*C1(0))$$

以上から、新たに開始する価格水準は次の 3 つの点で先在する開始価格水準 $P0$ と異なる。すなわち、①投資による生産容量拡大は、投資が $P0*(1 - (Q0/Q1))$ の平均費用低下を導くので、需要拡大につながる。②費用削減効果 $S/Q1$ は明らかである。③さらに資本費用効果（第 2 項）が生じている。一方、新規の $CPI - X'$ の価格軌道は、2 点で先在のそれとは異なる。① $(C0(0)/C1(0))$ の調整要因を導く投資の費用水準への変化が、 $(CPI - X)$ に適用される。②項目 X' には、 $K*WACC/(L*C1(0))$ に等しい資本費用が含まれている。このように、分散型電源の拡充のための投資を保障するためは、行政当局が投資による生産容量と費用削減および資本費用への効果のバランスを十分に考慮して、当初の価格水準 $P0$ と生産性変化率 X というパラメータの規模と方向を決める必要がある。

この意味で、英国において、ガス・電力市場局（OFGEM）が 2010 年から適用されている料金規制において、送電線使用料の場合と同様に、配電系統においても大量の分散型電源の接続を保障させる設計が試みられた。経済的な投資インセンティブ効果をもつ RIIO 料金規制（「成果に基づく総収入の上限規制」）の施策と卸売市場にみられる競争促進的な制度設計が構築されたことは注目に値する。

日本の制度に照らして考えるならば、電力市場への新規参入を拡大するためには、送電線の開放の仕方を 30 分同時同量制から、計画値方式に変更しなければならない。この改革が、プライス・キャップ制を通じて送電線投資と運用費用を削減させるのである。

IV 再生可能エネルギーの拡大とイノベーション促進策

1 再生可能エネルギーの拡大に向けての総合的施策

英国の初期の国内排出量取引制度は、2006 年 12 月で終了したが、これらの問題点を補正する形で、2005 年 1 月から EU 域内の排出量取引が創設され、2008 年から第 2 期（2008～以降）に入っている（英国の排出量取引の制度と運用についての詳細は桑原（2008）6 章を参照されたい。）。第 2 期における発電施設への割り当てには、送電端容量 100MW 以上の発電施設にはベンチマーク方式が適用されている。すなわち、発電施設に割り当てられる排出枠は、燃料および技術別の排出計数に基準年（2000～2003 年）の平均設備利用率を乗じて算定されている。一方、100MW 以下施設にはグランドファザリング方式が適用されている。また、一定基準を満たす高効率のコージェネ施設については優遇措置が講じられている。

2008 年 11 月、今後のエネルギーと環境政策の基本方向を示した 3 つの法律、すなわちエネルギー法と気候変動法および大規模公共事業に係る計画法が成立。とりわけ再生可能エネルギーの拡大のための規定として重要な点は、エネルギー法に盛り込まれている①固定価格買い取り制度の導入と②再生可能エネルギー購入義務制度の強化にある。

現実の総発電量に占める再生可能エネルギー発電量の割合は 2011 年時点で約 11%であるが、EU の再エネ利用促進指令の達成に向け、英国では 2020 年までに発電量に占める再エネの割合を 30%にまで高めることにしている。

2002 年から導入された再生可能エネルギー購入義務制度（Renewable Obligation）は、すべての電力小売事業者に対して、小売電力量の一定割合について、再生可能エネルギー証書（ROC）の購入を義務付けている。再生可能エネルギー事業者には、ガス・電力市場局（OFGEM）からその発電量に応じて証書が発行される。再生可能エネルギー購入義務量は、2002 年の 3%から 2015 年の 15.4%へと段階的に上げられる。電力小売事業者が発電事業者から必要枚数分の証書を調達できなかった場合、ガス・電力市場局にバイアウト価格として 1,000KWh 当たり約 33 ポンドの罰金を支払う。この罰金額は市場局で

プールされ、再生可能エネルギー証書を調達したものに対し、調達量に応じて再配分される。このように再生可能エネルギー証書の価格は、再生可能エネルギーの開発量を誘導するように、有効なシグナリング機能を果たしている。

また、英国の場合、電力供給事業者が再生可能エネルギー電力を購入した場合、その購入額に応じて気候変動税（詳しくは桑原（2008）参照されたい。）が減額され、この減額分を電気料金引き下げの原資にするか、事業者の利益として保有するかは任意である。これらの施策によって、再生可能エネルギー購入義務制度が補充され、バイオマス燃料によるコージェネ、オフショア風力、風力ファームなど、比較的成本の安い中規模以上の技術から順次普及が伸びたように思われる。英国では大手 6 社の供給事業者と発電事業者とで締結される再生可能エネルギー電力の購入契約は、長期契約であり、前述したように独立の小規模な発電事業者に多い断続性・間欠性の電源との長期取引は見合さざるを得ない状況におかれる。この点を支援するのが、次の述べる固定価格買取制度である。

具体的には、2008 年のエネルギー法のなかで、既存の再生可能エネルギーの購入義務制度は次のように強化されている。既存の再生可能エネルギーの購入義務制度では、電源種類を区別することなく一律に再生可能エネルギー証書が発行されている。施策が功を奏し、比較的成本の安い電源技術から普及が進んだ。そこでこれらを補正し、潮力、波力、太陽光など普及がおもわしくない電源に対しては、少ない発電量でも再生可能エネルギー証書を発行するという手立てを打つことで、電力の多様なエネルギー源を支援する方向である。

つぎに固定価格買い取り制度の対象電源は、小規模低炭素電源（small-scale low-carbon generator）で、5MW 以下の再生可能エネルギーで、バイオマス、太陽光、燃料電池、地熱など小規模の電源である。導入は 2019 年 4 月以降を予定している。方法は最終需要家が余剰電力を電力系統に戻す分に、固定価格が適用される。固定価格買取の費用負担の方法は、供給事業者が最終需要家へ支払った合計金額を、供給事業者の再生可能エネルギーを除く販売電力量シェアで再配分する仕組みである。電力供給を自由化している英国では、市場構造の態様によって、小規模なシェアの供給事業者は電気料金への費用転嫁

が困難になることが予想される (DBERR (2008), *Reform of the Renewable Obligation: Government Response to the Statutory Consultation on the Renewable Obligation Order* 2009 も参照されたい。)。再生可能エネルギーの支援と、安定供給のもとでの電力市場の競争維持をいかに図るかが課題である。

なお 気候変動法は 2050 年までに温室効果ガス排出量を 1990 年比で 80%削減する義務を主務大臣に課しており、法的拘束力をもつ温室効果ガスの削減目標を設定している。この目標の達成に当たり、5 年ごとの国全体の炭素排出量の上限を設定して、排出量を管理する「カーボン・バジット制度」導入する。気候変動委員会は、炭素排出量の達成状況等を監視し、議会に報告する義務を負う。

このような地球温暖化対策は、技術革新の創造、環境・生活品質の向上、さらにエネルギーにおける消費者主権の確立につながる。これらのメリットをいかに確かなものにできるかは、エネルギー市場の産業組織のダイナミズムとイノベーション促進政策によるものと考えられる。

2 我が国の電力イノベーションの方向と内容

(1) 火力発電

今後火力発電については、高い発電効率を実現するために、微粉炭火力では蒸気温度を 700℃に上げる先進超々臨界圧火力発電 (A-USC) の開発、石炭ガス化複合発電 (IGCC) ではガスタービン入口温度を 1500℃、1700℃に上げることによる効率向上の技術革新、さらに酸素吹 IGCC と燃料電池 (SOFC) を組み合わせた石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) の開発を加速せねばならないであろう。

またたんに技術開発だけでなく、新たな LNG 基地の稼働や米国のシェールガス輸出認可により LNG 調達先が広がりつつある状況のもとで、燃料調達コストを下げる仕組み作りも重要である。現在、原油価格は北米天然ガス価格と比較して大幅に拡大しており、LNG 価格と原油価格をリンクさせる意味は事実上なくなっていると考える。長期契約での交渉力を上げるだけでなく、長期契約からスポット取引へ軸足を移すことで、安定供給を維持することが肝要で

ある。

(2) 次世代型太陽光発電

つぎに太陽光発電については、従来の単接合太陽電池の変換効率を上回り、かつ低コスト化を展望できるような次世代型太陽電池の研究開発が重要になっている。現在進展している多接合太陽電池の場合、複数の異なる材料の半導体を積層させ、全体として太陽光スペクトルとの整合を高め、透過損失と熱損失を低減させる構造になっている。また半導体量子ドットや超格子を導入して太陽電池の高効率化を図る、従来とは異なる量子ナノ構造太陽電池の研究開発の進展がまたれる。

とくに多接合型や中間バンド型太陽電池は、太陽電池セルの面積を小さくし、半導体使用量を少なくできるので低コスト化など経済性に注目されてきた。将来的に、集光型太陽光発電システムは、多接合型や高効率量子ナノ構造型太陽電池の変換効率を向上させるための技術としても有望であると考えられる。メガソーラー、ソーラータウン、スマートシティーなど地域の分散型電源として、幅広い用途が予想される。次に国際的にも引けをとらない、我が国水素社会に向けた総合技術の開発と応用にも、政府は意を用いねばならない。

(3) 水素社会に向けた技術の取り組み

現在実用もしくは開発段階にある水電解技術はアルカリ水電解、固体高分子(PEM)水電解、固体酸化物水蒸気電解(SOEC)である。固体酸化物水蒸気電解は高温のため貴金属触媒が不要であり、費用上有利性を持ち得る。再生可能エネルギーから大量の水素を製造する段階に入ったとき、固体酸化物水蒸気電解は重要な役割を果たす。ここではこの電解技術を応用して電池並みの高い充放電効率が得られる水素電力貯蔵システムの開発が促進されねばならないであろう。

エネファームをはじめ分散型発電装置、とくに熱電併給のコージェネレーションシステムとして使用される定置形燃料電池システムでは、さまざまな燃料から水素を取り出すための改質システムが備えられる。また固体高分子形の純水素燃料電池の大容量化を目指して、水素社会を支える基盤技術のイノベーションを促進することが必要である。

3 再生可能エネルギーの拡大とイノベーション促進政策

ここで、今後、電力イノベーションをどのように促進するかの方針について理論的検討を加え、イノベーション促進のための施策の枠組を示したい。企業は一方で再生可能エネルギー提供の費用削減活動へ開発・投資、いわゆるイノベーション投資を行い、他方で行政機関が当該エネルギーの価格を平均費用に等しく設定するまでの、この時間的許容期間のなかで、企業は超過利潤を得ることになる。行政機関の政策手段は買い取り上限価格と意識的な価格調整の遅れである。研究開発の活動が成功したときの便益は行政規制の時間的遅れを伴って消費者に利益が及ぶ。

技術革新の投入を I とし、 B を技術革新投資による総利得、 c を技術革新投入の単位費用としよう。一定の限界費用は技術革新の前では 1 に等しく、革新後 B だけ低下するとする。企業の目標は純収入流列の現在価値 (V) を最大化であり、行政機関の政策に時間のラグがないときには技術革新への投資誘因は存在しない。

ここで P_0 と q_0 を 1 として正規化を行い、つぎに技術革新投資の変化による企業の利益現在価値最大化の行動を求めると

$$dV/dI = (1/r)(1 - e^{-rT})B' - (I) - c = 0$$

となる。追加投資による限界価値生産物がその投資の限界費用に等しいに他ならない。最大化の二階条件が充足すると仮定して、行政機関による価格調整の時間ラグを見ると

$$dI/dT = \{-re^{-rT}B'/(1 - e^{-rT})\}B'' > 0$$

である。価格調整のラグが長くなれば、技術革新の追加投資が生じやすくなる。

つぎに割引率との関係を調べると

$$dI/dr = \{(1 - (1 + rT)e^{-rT})B'/(1 - e^{-rT})\}B'' < 0$$

となる。利子率の上昇は投資誘因を低下させる。同様に、投資投入の単位費用の上昇は研究開発の活動量を低下させる。

$$dI/dc = \{r/(1 - e^{-rT})B''\} < 0$$

で表せる。さらに重要なことは投資活動による便益関数の形状が技術革新に影響を与えることである。研究開発活動による収益曲線が上方にシフトして、投資がより増えた段階で変曲するケースを考えると、このシフト自体はより容易に技術革新導入させることができることを表わしている。ここで i を技術革新導入の容易さを表わすパラメータとすると、

$$dI/di = (-b'/ib'') > 0$$

技術革新導入がより容易なる条件が整えれば、さらに技術革新が促されるのである。

これらの技術革新投資を、再生可能エネルギーの分野において促進するためには、サプライチェーンを含む電力ネットワークと通信、金融などとの共同研究開発が不可欠である。既存の電力ネットワークを開かれた公正な競争環境へと変革を図ることが求められる。

例えば、我が国の方向として、知財戦略における国際標準をめぐる、日系自動車メーカーだけでなく、水素の製造、貯蔵、輸送といったサプライチェーンの企業群とも連携をとって共同研究開発を加速することが不可欠である。水素・燃料電池車（FCV）をはじめとする自動車の安全基準は、国連欧州経済委員会の作業部会である「自動車基準調和世界フォーラム（WP29）」の決定が最優先される。この標準化機関において日系自動車企業の提案が国際標準規格として法制化する各国の手続きも進行している。

電力ネットワーク分野における共同研究開発の効果は大きい。共同研究開発によってリスクを分散し、技術を補完しあうことによって、必要資金が巨額であっても、一部を政府が支援することで、有効な開発を実施できる可能性が生ずる。基礎的な分野での研究開発も促進される。専有可能性が少ない基礎的な研究分野における技術のスピルオーバーを共同研究開発によって内部化できるからである。また、研究開発の成果をメンバー間さらに通信、金融、住宅などのネットワーク間でも共有できるので、研究開発の効率性が高まる。たんなる既存電力会社間での発電段階や小売供給段階でのデメリットの生じやすい共同行為とはその効果は異なり、国民経済にとって有益な効果を持っている。水素

サプライチェーンにおける共同研究開発は再生可能エネルギー拡大に向かっての研究開発を促進し、その効率高め、さらに技術の普及を促進する。多くの側面において、経済厚生が高まることが期待される。

V 我が国の小売電力自由化後の産業組織と競争政策の重要性

1 自由化後の英国電力の産業組織と価格変動

英国において、1990年に1MWを超える需要家を対象にして始まった小売自由化は、94年に自由化対象が100KWにまで引き下げられ、99年5月には家庭用を含めて小売市場が完全自由化された。電力とガス市場の小売市場での競争は、消費者に大きな利益を与えている。第1は低価格による利益であり、第2は消費者にとって利用できるサービスの選択幅が拡大したということ。第3は節電意識の喚起。第4は環境共生型エネルギーの生育である。

地元配電会社（一般供給事業者）の1MW超の市場における供給シェアは、1990年が57%、94年が37%、98年は20%と減少を続けている（DTIのHPデータより）。また94年に自由化枠が100Khまで引き下げられたが、その100KW～1MWの市場の地元配電会社のシェアは、94年が70%、98年が41%と大きく下がっている。また、99年の完全自由化以降、家庭用の需要家は供給事業者を2割近く変更したと報告されている。このように小売市場は1990年に1MW市場、94年に100KW市場が自由化され、1999年5月に全面自由化された。しかし2013年現在、供給ライセンスの所有者数は107社超であるが、家庭用市場は、Centrica社（BG）、E.ON UK社、SSE社、RWE Npower社、EDF Energy社、SP社の6大グループに集約された。ビッグ6が市場の9割、家庭用99.5%の占有率をもっており、高度寡占の状態にある。2013年現在の供給事業者変更率は、商工業で100%、家庭用で約50%である。

2 我が国の電力の産業組織改革のあり方と競争政策

英国での家庭用と産業用の実質平均電力価格の2003年までのトレンドをみると、第1に、産業用電力価格は、過去14年間、主として化石燃料価格の低下によって、大幅に下がっている。民営化（1990年）以前の3年間は横ばい

であったが、1990 年の初めに大きく低下した。また、1994 年の自由化対象の拡大以来、96 年の半ばまで一貫して低下している。この低下率は、化石燃料課徴金が 10%から 2%に下げられるにつれて、歩調を速めている。とりわけ、産業用電力うち小口ユーザーの価格低下の方が、大口ユーザーのそれよりも大きく下がっていることも付け加えておこう。しかし 2003 年以降、家庭用電力水準も産業用電力水準も上昇し、とくに家庭用においては請求支払い方式、ダイレクトデビット方式、プリペイメント方式のいずれにおいても上昇している。

第 2 に、家庭用電力価格は、1990 年から 99 年まで 19%低下しているが、この低下の大部分 (17.5%) は 1996 年以降に起こっている。1999 年 5 月の電力小売市場の完全自由化の導入は、相当な影響を与えた。また、供給に関する価格規制が残されていた、一般供給事業者 (地元配電会社) の家庭用標準料金についても 2002 年 4 月、価格規制が廃止された。

そこで、総括的な角度から、英国電力価格と産業集中をめぐる市場構造との関係を実証的に検討しよう。電力価格と産業集中度をめぐる市場構造との関係を 1986 年～2011 年について、実証分析の結果を示したものが、表 1 である。

記号は次の通りである。EW：英国の卸電力価格指数 (1995 年=100)、ER：英国の小売電力価格指数 (1990 年=100)、EI：英国の産業用電気料金 (ペンス／kWh)、EH：英国の家庭用電気料金 (ペンス／kWh)、CR2：企業別発電量ベースの上位 2 社集中度、CR3：企業別発電量ベースの上位 3 社集中度、SU:供給電力量ベースの上位 3 社小売事業者集中度、SA：1MW を越える小売市場における地元配電会社の供給量シェア、G1：CR2 の二乗、G2：CR3 の二乗、CS:消費電力量 (10^6 kWh)、SB：SA の二乗、である。データソースは、EW、ER、EI、EH は OECD／IEA, *Energy Prices & Taxes*、CR2、CR3、SU、SA、CS は Ofgem, *Domestic Retail Market Report*、*Domestic gas and electricity supply competition*、*DGTREN Report* (各年版)、*Financial times*、*PowerUK*、各社アニュアルレポート、HP 等である。

表 1 の①式より、英国の卸電力価格は発電量ベースで上位 2 社集中度が約 70%まで、集中度と共に有意に上昇する。②式より、卸電力価格は発電量ベースで上位 3 社集中度が約 85%まで、集中度と共に有意に上昇する。とくに、卸

表 1

	EW	EW	ER	ER	EI	EI	EH	ER	EI	EH
Con.	60.52 (1.24)	-6.89 (-0.78)	57.08 (0.34)	56.19 (1.98)	5.52 (1.42)	1.89 (0.43)	6.00 (2.07)	2.27 (3.07)	1.98 (3.21)	-12.45 (-0.97)
CR2	3.12 (3.30)		2.45 (3.68)		9.32E-02 (3.65)					
CR3		3.45 (4.45)		1.89 (2.65)		7.12E-02 (2.85)	5.78E-02 (1.90)			
SU										1.12 (1.67)
SA								2.64 (4.32)	0.19 (3.23)	
G1	-2.78E-02 (-3.78)		-2.89E-02 (-4.67)		-8.24E-04 (-4.32)					
G2		-1.56E-02 (-4.78)		-1.32E-02 (-2.45)		-4.57E-04 (-2.45)	-4.45E-04 (-1.99)			
CS	0.23 (0.67)	2.45E-02 (0.76)	-0.67 (-0.34)		-1.67E-03 (-0.02)	1.34E-04 (0.02)				
SB								-3.87E-02 (-5.78)	-1.45E-03 (4.34)	
\bar{R}^2	0.90	0.82	0.67	0.32	0.86	0.71	0.02	0.64	0.55	0.01
DW	2.00	1.60	1.45	0.67	2.20	1.34	0.89	2.10	2.00	0.45
No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩

電力価格は発電量ベース上位 2 社集中度と上位 3 社集中度の二つの変数について、正の有意な線形関係をもっている。ちなみに筆者の研究では、原油価格上昇と再生可能エネルギー賦課金の変化は価格変動と有意な関係を検証している。

小売電力価格については、③式より、発電量ベースで上位 2 社集中度が 50%まで、集中度と有意に上昇する。とりわけ、1990 年代後半以降の小売電力価格と発電量ベースで上位 2 社集中度とには有意な正の関係がみられる。④式より、小売電力価格は、発電量ベースで上位 3 社集中度についても、約 60%まで順相関の関係がある。なお、小売電力価格については、卸売価格のように、発電量ベースの集中度と単純な線形の関係はみられないことも留意されたい。⑤・⑥式より、産業用電料金については、発電量ベースで上位 2 社（CR2=60%まで）あるいは 3 社集中度（CR3=80%まで）と正の有意な関係がみられる。

⑦式より、家庭用電気料金の完全自由化は 1999 年以降であるが、発電量ベースの集中度とは有意な関係はみられない。⑧式より、1MW を越える小売市場における地元配電会社の供給量シェアと小売電力価格との関係は、サンプル数に限りがあるが、1MW を越える小売市場における地元配電会社の供給量シェアが 30%以下の領域では、その供給量シェアの上昇と共に、小売価格は上がる

傾向をもつ。この順相関の傾向は、その供給量シェアが 40%以下の範囲であれば、⑨式から、産業用電気料金についても見て取れる。したがって 1MW を越える小売市場における他地区配電会社の供給量シェアの増加は、小売価格や産業用電気料金を抑える結果となる。また家庭用電気料金と、供給電力量ベースの上位 3 社小売事業者集中度の関係は⑩式の通りである。このように英国電力の自由化後の価格変動に対して、集中度をめぐる寡占的市場構造の影響は、看過しがたいものである。

以上から、我が国の電力改革は、小売自由化や発送電分離のみで、改革の実をあげることはできないと思われる。第 1 に、送電線の開放を現行の 30 分同時同量方式から計画値方式に変更することが必要である。第 2 に、前日スポット市場を活性化することで、リアルタイム市場の本来の競争機能を復活させることが望まれる。このような種々の方策がステップを踏んで講じられねばならない。真なる改革の方向は、政府と行政および広域系統運用機関が、地域間連系の強化など送電網の再整備を進めるとともに、電気事業者間の公正な競争環境の整備、地域間電力融通による需給バランスの改善、地域間で偏在する再生可能エネルギーの送配電接続の促進など、世界的にみて、グローバルなレベルでのエネルギー資源の有効活用と、送配電網の公正な開放と一体運用を実現することである。そのためには電力システムの競争政策に基づいた改革が前進することを期待する。

結び

以上、再生可能エネルギーの拡大に伴う電力産業組織の課題を検討した。再生可能エネルギーは出力が不安定であるが、同種の分散型電源を組み合わせたり、適切な制御を実施することによって平均効果や相互補完効果が期待でき、系統に優しい分散型電源システムを構築することができる。蓄電池等との結合によりいっそう変動の少ない電源となるように、イノベーションを喚起する総合政策が必要である。

低炭素社会に向けて持続可能な成長を築くためには、経済分析に基づいた、再生可能エネルギーの拡大のための購入義務や価格買い取り制度の強化、送

電・配電システムへの投資インセンティブの確保など、積極的かつ体系的な支援策が強く求められている。その際、供給信頼度と電力品質の向上および経済的なエネルギー供給システムの構築に、競争政策促進の観点から意を用いなければならない。さらに政策が実施されるに当たり肝要な点は、有効競争を目指す規制改革に基づいて、国民にとって便益と費用の関係の透明性が担保され、同時に公平な国民と企業の負担が追求されねばならない。

地球環境の保全とエネルギーの安定供給を達成するためには、自由企業体制を原則的に維持し、経済発展のダイナミックなパフォーマンスに着眼するならば、市場経済の独特のメリットを減殺することなく、むしろ積極的に活用することを建て前とし、競争政策の促進と規制改革によって、可及的すみやかに資源配分効率の改善の途を求めることが望まれる。

参考文献

- Ahn, S.C. and Sickles, R.C. (2000), “Estimation of Long-Run Inefficiency Levels: A Dynamic Frontier Approach,” *Econometric Reviews*, 19, 461-492.
- Amir, R., Evstigneev, I. and Wooders, J. (2003), “Non cooperative versus Cooperative R&D with Endogenous Spillover Rate,” *Games and Economic Behavior*, 42, 183-207.
- Chen, C.M. (2009), “A Network-DEA Model with New Efficiency Measure to Incorporate the Dynamic Effect in Production Networks,” *European Journal of Operational Research*, 194(3), 687-99.
- EON-CN (2008), *Regulatory Report for DG Incentive, RPZs & IFI*.
- Fabra, Natalia, Nils-Henrik M. von der Fehr and Harbord, D. (2006), “Designing Electricity Auctions”, *RAND Journal of Economics*, 37(1).
- Green, R.J. (1996), “Increasing Competition in the British Electricity Spot Market” *Journal of Political Economy*, 100(5).
- Growitsch, C., Jamasb, T., and Wetzel, H. (2012), “Efficiency Effects of Observed and Unobserved Heterogeneity: Experience from Norwegian Electricity Distribution,” *Energy Economics*, 34, 542-548.
- Hagiv, A. (2006), “Merchant or Two-Sided Platform ?,” *Review of Network Economics*, 6, 155-133.

- 八田達夫・田中誠編 (2007) 『規制改革の経済分析』日本経済新聞社。
- Jamasb,T., Nuttall,W.J., and Pollitt,M. (2003), *Future Electricity Technologies and Systems*, Cambridge University Press.
- Joskow,P.L. (2002), “Electricity Sector Restructuring and Competition: A Transaction-Cost Perspective”, in Brousseau, E. and Glachant,J.M., *The Economics of Contracts*, Cambridge University Press.
- 金本良嗣・蓮池勝人・藤原徹 (2006) 『政策評価のミクロモデル』東洋経済新報社。
- Klemperer,P.,(2000), *The Economic Theory of Auctions*, Edward Elgar Pub..
- 桑原秀史 (2008) 『公共料金の経済学—規制改革と競争政策—』有斐閣。
- (1998) 『小売市場の経済分析』千倉書房。
- Kuwahara,H., (1997), “Concentration and Productivity in the Retail Trade in Japan,” *International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 7,109-125.
- Laffont,J-J. and Tirole,J. (1993), *A Theory of Incentives in Regulation and Procurement*, MIT Press.
- Lise,W. and Kryseman,G. (2007), “Long-term Price and Environmental effects in a Liberalised Electricity Markets” *Energy Economics*, 29, 532-48.
- Mitchell,B. and Vogelsang,I. (1991), *Telecommunications Pricing: Theory and Practice*, Cambridge University Press. [桑原秀史・直江重彦・山内弘隆監訳 (1995) 『電気通信の経済学』、文真堂]。
- Neuhoff,K. and Newbery,D. (2005), “Evolution of Electricity Markets: Does Sequencing Matter?” *Utilities Policy*, 13.
- Pffice of Public Sector Information (2009), *Climate Change Act 2008, Explanatory Notes*.
- Ofgem (2006), *Transmission Price Control: Final Proposal*, London: Ofgem.
- Ofgem (2009), *Electricity Distribution Price Control Review, Policy Paper*, December. London: Ofgem.
- Ofgem (2013), *RIIO-T1: Final Proposal for NGET and HGG.*, London: Ofgem.
- Pollitt,M (2008), “Liberalisation and Regulation in Electricity Systems” in Sioshansi,F.P.(ed.), *Competitive electricity Markets*, Oxford: Elsevier.
- Segal,I. and Whinston,M. (2000), “Naked Exclusion: Comment,” *American Economic Review*, 90, 296-309.
- Segal,I. and Whinston,M. (2000), “Exclusive Contacts and Protection of Investment,” *Rand Journal of Economics*, 31, 603-633.

- Sijm, J., Bakker, S., Chen, Y., Harmse, H. and Lise, W. (2005), *CO2 Price dynamics: The Impact of EU Emissions Trading on the Price of Electricity*, Energy Research Centre of the Netherlands.
- Silva, E. and Stefanou, S. E. (2007), "Dynamic Efficiency Measurement: Theory and Application," *American Journal of Agricultural Economics*, 89(2), 398-419.
- 植田和弘・大塚直 (2010) 『環境リスク管理と予測原則：法学的・経済学的検討』有斐閣。
- Vasconcelos, H. (2005), "Tacit Collusion, Cost Asymmetries, and Mergers," *Rand Journal of Economics*, 1, 39-62.
- Weitzman, M. (2008), *On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change*, mimeo.