

経済学からみた電力システム改革の課題③

調査レポート

～競争的電力市場における供給力確保～

本シリーズでは、わが国の電力システム改革の問題および課題などについて経済学的視点から分析した結果について紹介をしている。

第1回の「Tirole 教授の研究業績と電気事業への示唆」、第2回の「発送電分離後の送電線投資問題」続き、第3回では、自由化後の電力市場における供給力確保の問題とその対応策や課題について紹介する。

1. はじめに

電力市場の自由化後、市場原理のみで十分な供給力を確保できるのかという論点は米国や欧州で自由化が開始された90年代からずっと問われてきたが、ここ数年、その問いが再び脚光を浴びている。その理由の一つが、再生可能エネルギー電源（再エネ電源）による影響である。自由化により完全競争市場を目指す一方、再エネ電源をFIT¹など政府による補助を与える形で大量に導入した結果、欧米諸国においては市場価格の低迷や従来型電源の休廃止といった歪みが生じ、ひいては供給予備力の低下や将来の供給力不足が懸念される状況にある。

わが国も市場原理を重視する一方で再エネ電源を政策的に大量導入するといった欧米諸国と同様の道を辿ろうとしており、供給力の確保に関する問題が今後生じてくる可能性がある。電力システム改革の制度検討においても供給力を確保するための仕組みが必要ということで容量市場を中心とした容量メカニズム導入に関する議論が行われている。

そこで、本レポートでは自由化された電力市場における供給力確保の問題とその対応策や課題について欧米諸国の事例も踏まえ紹介していく。

2. 供給力確保の理論

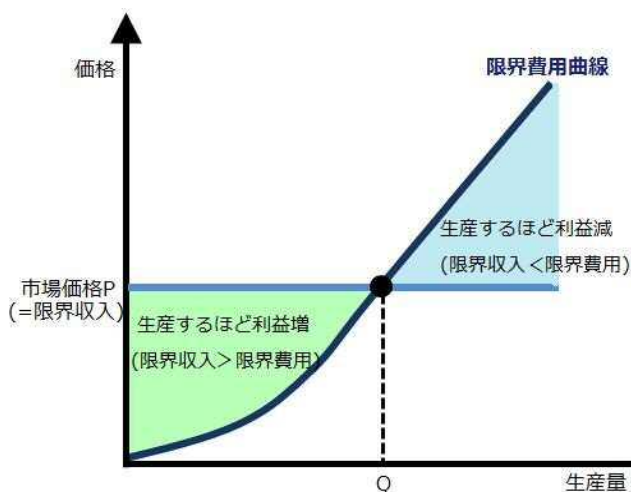
(1) Energy-only Market

もともと自由化後の卸電力市場では、供給力が不足すればそれに応じて市場価格が上昇し、この価格上昇が必要な投資を促すことで十分な供給力は確保できると考えられてきた。この考え方をEnergy-only Market という。

自由化された完全競争市場では、市場参加者が価格を自らコントロールすることが出来ないため、図表1のように市場価格と限界費用²が等しくなる生産量 Q で生産をすることが企業にとっては利潤を最大化することになる。

また一般的に限界費用曲線は右上がりの曲線

図表1 完全競争市場における利潤最大化



¹ Feed-in Tariff の略。再エネ電源で発電した電気を長期間固定優遇価格にて電力会社が買取ることを国が約束する制度。

² ある財・サービスをあと1単位だけ追加生産するために企業が払わなくてはならない追加の費用。

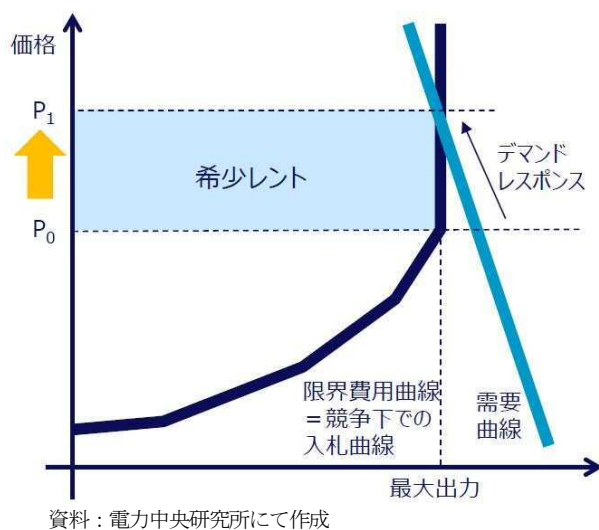
であるため、生産量が増加するほど市場価格は上昇することになり、その価格上昇が新たな投資や生産を促す仕組みとなっている。卸電力市場においても、限界費用曲線は、基本的には燃料費といったランニングコスト（電力市場の限界費用に相当）が低い電源から順番に並べることで作られるため、図表2のように右上がりとなる。しかし、卸電力市場は供給力つまり発電出力に上限があるため、限界費用曲線が最大出力で垂直になるという供給制約が存在する。よって、価格も需要が最大出力に達する時点が上限となり、それ以上上昇することが出来なくなる。

そこで卸電力市場においては、需要が最大出力を上回る局面では、市場価格が限界費用 P_0 ではなく、限界費用にプレミアムを上乗せした価格 P_1 で決まることを許容する仕組みを設けている。そうすることで、発電事業者はプレミアム分の追加収入を得ることができ、それが新たな設備投資の原資となる。これを希少レントと呼ぶ。

但し、この仕組みは限界費用を超える価格の上昇を許容することと、需要曲線が右下がりであることが前提となる。限界費用を超える価格上昇を許容するとしても、価格が極端に高騰すると消費者の負担が大きくなり、価格に上限を設けるといった規制を行う必要が出てくる。しかし、需要曲線が右下がりであれば、価格が上昇すれば需要は減るということであり、電力市場ではデマンドレスポンスと呼ばれている。これが働くことで上限価格を設ける必要はなくなる。

こういった前提と仕組みのもとであれば、市場原理のみで十分な供給力が確保できるというのが **Energy-only Market** の考え方になる。

図表2 卸電力市場における供給制約

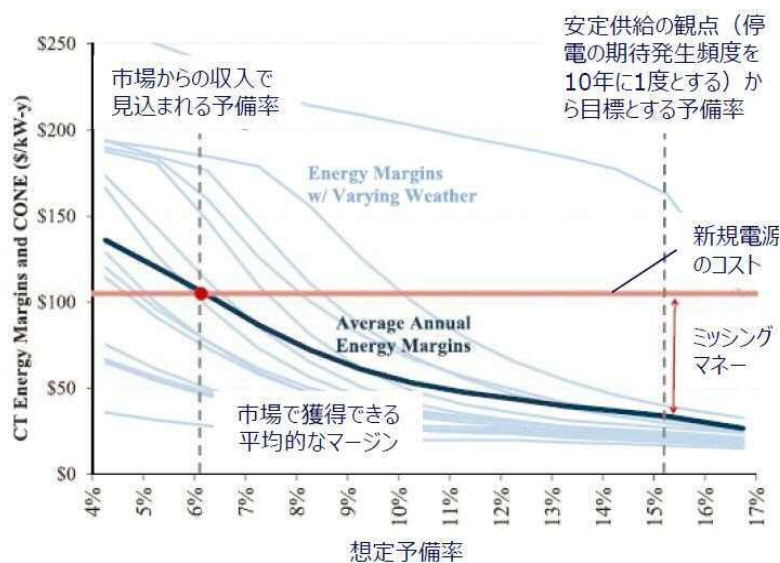


(2) Energy-only Market と安定供給

Energy-only Market の考え方では前提の他に一つ留意が必要な点がある。それはこの考え方に基づいて決まる供給力の最適水準は、経済的に最適な水準であるが、安定供給を確保するために必要と考えられた予備率を含む水準と必ずしも一致するとは限らないという点である。

図表3に米国テキサス州の卸電力市場で獲得できるマージン（利益）と新規電源のコストを比較

図表3 米国テキサス州の市場獲得マージンとコストの比較



した図を載せている。横軸が想定予備率、縦軸が価格で、青色の太い線が市場で獲得できる平均的なマージン (Average Annual Energy Margins)、赤色の線が新規電源のコストを表している。この青色の線と赤色の線の交点である想定予備率 6% が、Energy-only Market の考え方に基づいて決まる最適な供給予備率である。

しかし、テキサス州の系統運用者は安定供給の観点から予備率は 15% 必要だと主張している。経済学的には 15% 予備率がある状態は供給力が過剰な状態であり、市場価格は低下し、市場で得られるマージンも低下することになる。結果、獲得マージンが新規電源コストを下回り、回収できないコストが発生してしまう。これをミッシングマネーと呼ぶ。

予備率を経済学的に最適な 6% の水準にすることで安定供給上リスクがあると判断するかどうかは非常に難しい問題であるが、本ケースにおいては 6% を超える容量を確保しようとする Energy-only Market だけでは新規投資に必要なコストが賄えない状況になるということである。

(3) Energy-only Market による供給力確保を阻害する要因

自由化先進諸国では Energy-only Market により自由化後の供給力を確保しようと取り組んできたわけだが、主に米国において、卸電力市場の様々な制約から、先述した前提条件がそもそも実際の市場に当てはまっていないことが明らかとなり、市場価格の上昇だけでは十分な供給力を確保できないのではないかと懸念が高まった。

まず、前提条件の一つである、需給逼迫時に限界費用を超える価格の上昇 (希少レント) を許容するとした仕組みだが、米国では市場支配力の行使によって価格が上昇しすぎないように、上限価格

が設けられている。つまり、需給逼迫時においても価格がその上限以上には上昇しないよう抑えられているため、価格上昇によって設備投資を促す仕組みが機能しにくくなってしまっている。

また、二つめの需要曲線が右下がりである (デマンドレスポンスが働く) とする点だが、電気は必需財であるため価格弾力性³が低く、特にリアルタイム市場においては価格が上昇したからといって急に需要を抑制するといったことは難しい。価格に応じて柔軟に需要を変化させることが出来ないため、期待していたほどデマンドレスポンスも十分に活用出来ない状況にある。

このようにそもそもの前提が成り立っていないことに加え、現時点では電気事業および電気の財としての特性が Energy-only Market による供給力確保を阻害していることが明らかになっている。電気は貯蔵が出来ず、供給が不足すれば停電することになるため、常に需要と供給を一致させる必要があるが、最終的な需給の一致は市場に任せることは出来ず、系統運用者の運用により保たれている。そのため、市場価格は必ずしも最終的な需給を反映した価格ではなく、純粋な市場原理による価格ではない可能性がある。

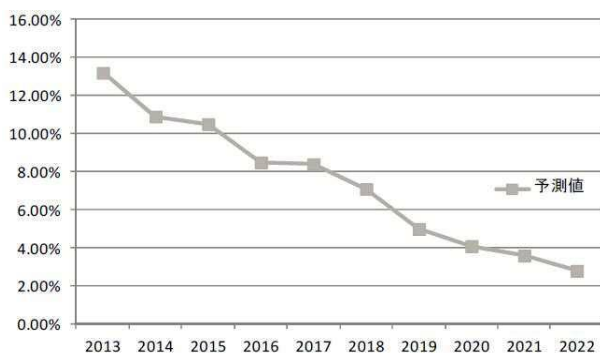
また、電気を安定的に供給すること、つまり信頼度の維持には公共財的性質がある。例えば今、需給が逼迫して停電が起きる可能性がある状況だとする。停電すれば全ての電気の消費者が困るわけだが、自分ではなく誰か他の人が緊急に発電出来る発電機を設置し、停電を回避する策を講じてくれば、自分自身は何もせずともメリットを享受出来てしまうことになる。そういった状況では誰も自ら予備力を確保しようとは考えず、どう

³ 価格変化に対する需要量の反応の度合を図る尺度。需要量のパーセント変化が価格のパーセント変化より大きい場合、価格弾力性が高いとし、小さい場合価格弾力性が低いとする。

しても予備力が過小供給になってしまうという問題が生じる。

図表4にテキサスにおける予備率の見通しを示している。テキサス州は Energy-only Market のみで供給力の確保を目指している代表的な市場であるが、前述の市場制約などにより電源投資が進まず、結果、予備率がどんどん低下していくことが予想されている。このように Energy-only Market のみではどうしても将来の安定供給に懸念が生じる状況になりやすい。

図表4 テキサス（ERCOT）の予備率の見通し



注: ERCOT とは Electric Reliability Council of Texas の略でテキサス州内の独立系統運用者 (ISO)。

資料: ERCOT (2012) のデータを基に電力中央研究所にて作成

3. 再エネ電源による影響

(1) 卸電力市場への影響

市場原理に基づく供給力の確保において特に近年問題となっているのが、再エネ電源による影響である。本来卸電力市場では、「2. 供給力確保の理論」でも説明したように各電源による競争のもと、需要曲線と限界費用曲線が交わる点 P_0 で価格は決まることが望ましい (図表5左図)。そして各電源は限界費用の安いものから順番に入札され供給力として利用

されることになる。

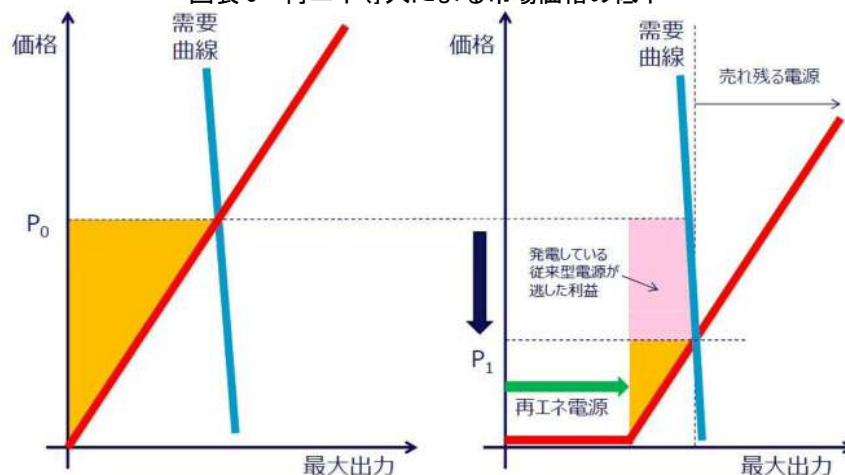
ここに再エネ電源が入ってくると、再エネ電源は基本的に燃料コストがかからず限界費用はゼロに等しいため、各電源の中で一番最初に入札されることとなる。そうすると、図表5右図のように供給曲線は再エネ電源が入ってきた分だけ右にシフトし、以前は市場で入札されていた火力など従来型電源が入札されず、売れ残ることになる。

一部、コスト競争力の高い従来型電源が入札されたとしても、供給曲線のシフトにより、市場価格は P_0 から P_1 へ低下するため、収入は減ることになる。なお、市場に参加する電源は、需給逼迫時の価格上昇 (希少レント) によりその固定費も回収しているが、このように供給力が余り、市場価格が低下している状況では固定費の回収が難しくなる。

再エネ電源が政策的補助を受けずに市場に入ってきているのであれば、市場原理の結果として従来型電源は市場から撤退せざるを得ないことになるが、再エネ電源は FIT による補助を受けており、固定費の回収が市場外で保証されている。つまり、従来型電源は不利な状況のもと競争させられていることになる。

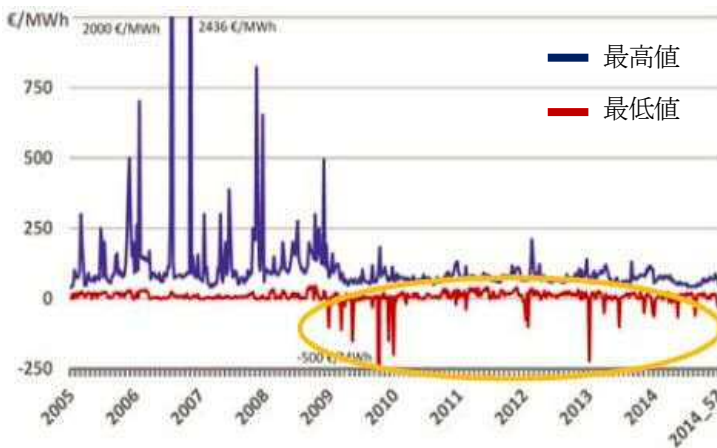
この問題が特に顕著となっているのが、欧州特

図表5 再エネ導入による市場価格の低下



資料: 電力中央研究所にて作成

図表6 ドイツの卸電力価格（週の最高値と最低値）の推移



資料：Fraunhofer

にドイツおよびその周辺国である。図表6にドイツの卸電力価格の週の最高値と最低値の推移を示している。ドイツでは2000年よりFIT制度を導入しているが、太陽光発電の設備費用が急落していく中、買取価格の調整が遅れ、09年以降は設備費用と買取価格の乖離が拡大した。そのため太陽光発電を設置することで一般家庭や事業者が大きな利潤を得られる状況が生まれ、太陽光を始めとする再エネ電源が急増した。これに伴い卸電力価格の最高値、最低値共に2009年頃から大幅に下落しているのが分かる。また最低値については09年頃からマイナスの価格、つまり発電するのにお金を払わなければならない状況が度々発生している。このように市場価格の低下、マイナス価格の発生により従来型電源は発電することが困難な状況となっており、稼働率は低下の一途を辿っている。その結果、売電収入は低下しており、発電効率が高く経済的にも優れるガスタービンコンバインドサイクル発電（CCGT）でさえも固定費が回収できないといった非常に深刻な状況にある（図表7）。

（2）安定供給への影響

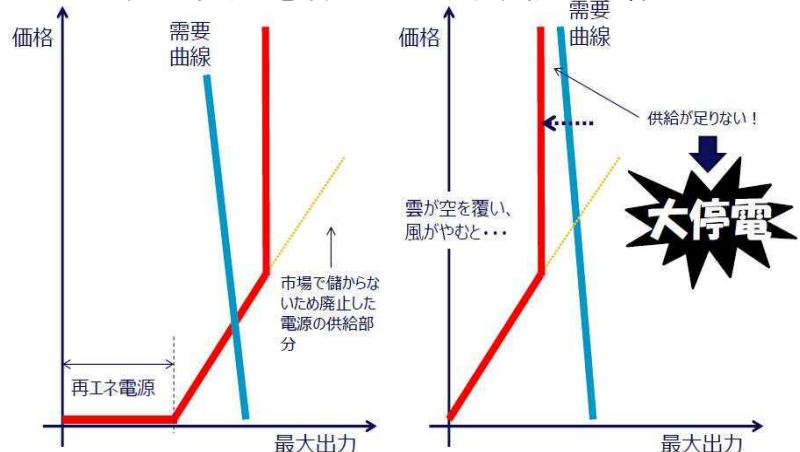
再エネ電源はこれまで説明したような市場価格への影響だけではなく、安定供給にも影響を及ぼす。再エネ電源は天候などによって出力が変動するため、再エネ電源が発電出来ない際に、そのバックアップをする電源が必要となる。しかし、主にバックアップ電源となる火力電源自体が市場価格低下により固定費が回収できなくなり、廃止される傾向にある。するとバックアップ電源の廃止により最大出力水準が低下するため、天候の影響で再エネ電源の出力が減少した際は、供給力が足りなくなり、停電が発生する可能性が出てくる（図表8）。

図表7 欧州主要国のCCGTの売電収入



資料：Linklaters

図表8 従来型電源廃止による安定供給への影響



資料：電力中央研究所にて作成

この問題を特に懸念しているのが、英国である。英国はドイツほど再エネ電源が導入されているわけではないが、低炭素目標の実現に向け、これから再エネ電源の導入拡大を図っていくとしており、従来型電源廃止による安定供給への影響に関する懸念が高まっている。

4. 容量メカニズム

(1) 容量メカニズムとは

Energy-only Market だけでは再エネの影響などによって十分な供給力が確保出来ないとし、英国など欧米諸国では容量市場を始めとした「容量メカニズム」と呼ばれる仕組みの導入が進められている。これは供給力に応じた一定の報酬を発電事業者に与えるとしたもので、戦略的予備力、容量支払、分散型容量市場（容量確保義務）、集中管理型容量市場（容量オークション）など国によって様々な制度がある（図表 9）。以下では、まず各メカニズムの概要を説明していく。

(2) 戦略的予備力

戦略的予備力はドイツで導入予定の制度で⁴、市場原理では生き残っていけない電源に対し、送電事業者が電源の維持に必要な資金を手当てすることで緊急時に稼働できるようにする仕組みである。但し、戦略的予備力はあくまで市場原理の活用を基本としたものであり、この仕組みで確保された電源は緊急時のみに利用され、市場には参加出来ないことになっている。なお、確保された電源は、通常時は使わない電源となるため、本制度のために新たな電源を建設することは不経済であり、結果として古い火力電源などが確保対象となっている。

また、選ばれた発電所のみが補助対象となることから、多数の発電所が本制度の対象となることを求める可能性があり、制度として安定しないのではないかと指摘もある。

(3) 容量支払

対象を一部の電源に制限するのではなく、供給力の確保に貢献している全ての電源を対象とした仕組みが容量支払である。支払われる価格は政府あるいは規制当局により決定され、全ての電源に対し一定額が支払われる。

なお、容量支払では設備の廃止や投資といった判断はあくまで市場参加者に委ねられているため、政府により決められる支払価格水準が非常に重要となってくる。価格があまりに安いと Energy-only Market のみの状況と変わらず、安定供給の確保には不十分であるとされる。また、あまりに高いと最終的に容量支払にかかわる費用を負担する消費者から不満が発生することとなる。

容量支払制度は、戦略的予備力と比べて全ての発電所に等しくその貢献に報いると言う点では評価できるが、支払価格をどう決めるかといった点が問題である。このため欧州では、本仕組みを既にスペイン、イタリアなどが導入しているが、新たに導入しようとする国は今のところない。

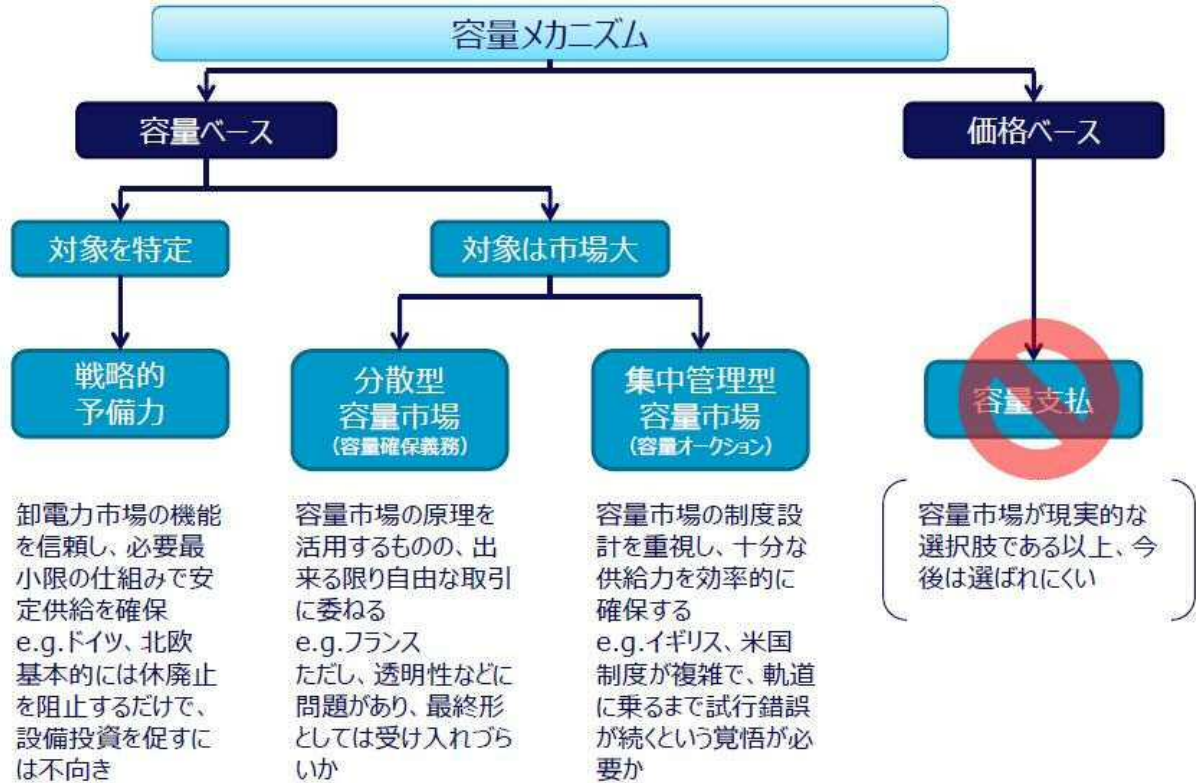
(4) 容量市場

容量支払のように供給力に対して支払う価格を政府が決めるのではなく、市場で決める仕組みが容量市場であり、フランスや英国、米国などで採用されている。

この容量市場の「市場」とは通常の市場とは異なるものになる。通常の市場では、商品に対する需要と供給があって、その一致する所で取引が行

⁴ ドイツでは「容量リザーブ」と呼称。2016年より導入予定。

図表9 容量メカニズムの選択



資料：電力中央研究所にて作成

われているが、容量市場には需要が存在しない。その価格が高いか安いかは別として、電気の使用に対価を支払うことには消費者は納得するが、常に十分な供給力を確保することに対して、個々の消費者は何の価値も見出さない。

このように、容量市場は、容量に対する需要がない、不完全な市場である。しかし、供給力を十分に確保するためにはこの不完全な市場を成立させる必要がある。そこで、政府や規制機関などが小売事業者に容量の購入を義務付けることで需要を作り出す仕組みとなっている。なお、需要曲線を作るには、購入量を義務付けるだけでなく、いくらでどれだけ買いたいのかが分かっていた方が望ましいと考えられる。

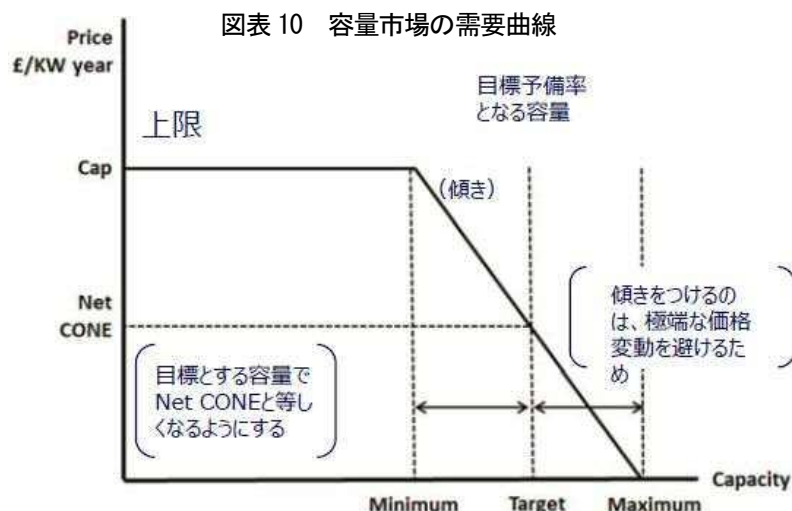
① 集中管理型容量市場

価格をオークションで決定する仕組みを集中管理型容量市場（容量オークション）と呼ぶ。英

国で採用されている仕組みで、政府（DECC：エネルギー・気候変動省）と系統運用者（National Grid）が小売事業者が買うべき容量と価格の関係を決め、図表10のような需要曲線を作成し、オークションを行っている。

需要曲線は、政府と系統運用者により設定される容量の目標調達量（Target）と正味固定費用（Net-CONE）⁵の交点を通るように、容量価格の上限価格（Cap）そして目標調達量の上下限值（Minimum, Maximum）など他のパラメーターをもとに作られる。こうして作られた需要曲線と容量提供者がいくらで容量を売りたいのかとい

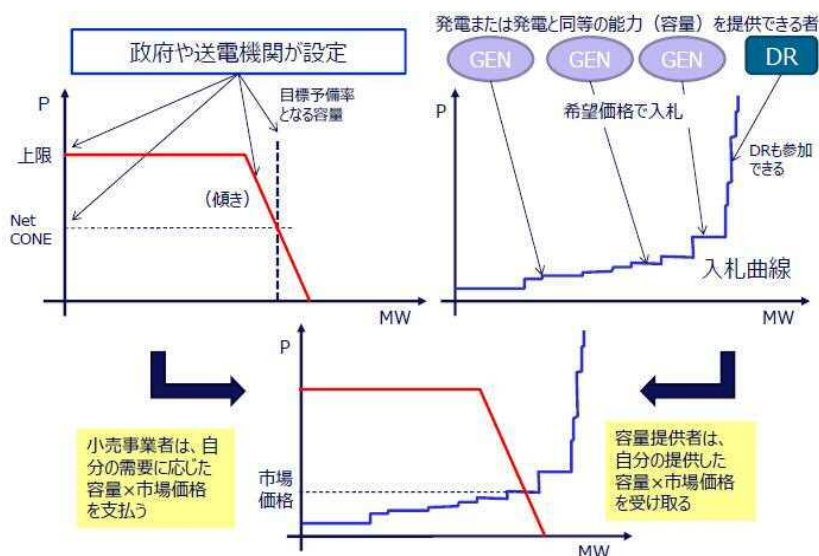
⁵ Net-CONEとはNet Cost of New Entryの略で、ガスタービンなどの新規建設コストから卸電力市場や需給調整市場で得られる期待収益を差し引いた値のことであり、卸電力市場価格が高い時には容量市場の期待価格も安くなる仕組みになっている。ガスタービンの建設コストを用いるのは、今後新規建設が最も行われると想定される電源であるためであるが、原子力や石炭火力に比べると建設コストが安いのではという議論も起きている。なお、Net-CONEの数値は市場の流動性等に応じてオークションごとに見直しが行われる予定である。



注：2014年12月に英国で実施された第一回オークションでは、Cap:75 £/kW/年、Net-CONE:49 £/kW/年、Target:5,080 万 kW に設定され、容量価格:19.4 £/kW となった。

資料：DECC (2013) を基に電力中央研究所にて作成

図表 11 容量市場の価格決定



資料：電力中央研究所にて作成

う供給曲線の交点で容量市場の価格は決定される（図表 11）。

ここで、何年後の容量を取引するのかということが問題となるが、一般的には3年以上先の将来の容量を対象とすることが多く、英国では4年先の容量を対象としている。

② 分散型容量市場

集中管理型容量市場は、需要曲線の作成や、容

量の対象をいつとするのかなど決めなければならないことが多い。そこで、いつでも買いたい人と売りたい人が集まって自由に取引できるようにした仕組みが分散型容量市場である。分散型容量市場はオークションではなく相対で価格、対象とする容量の時期などを決める仕組みである。集中管理型のようにオークションといった大掛かりな仕組みが必要ないため、市場運営コストが低く、政府（規制）の介入度合いが低いというメリットがある。しかし、分散型容量市場では取引相手を自らを見つける必要があるため、集中管理型の容量市場に比べて取引費用が大きく、小規模事業者には不利となり、競争を促さないのではないかというデメリットも指摘されている。なお、分散型容量市場はフランス、米カリフォルニアで導入されている。

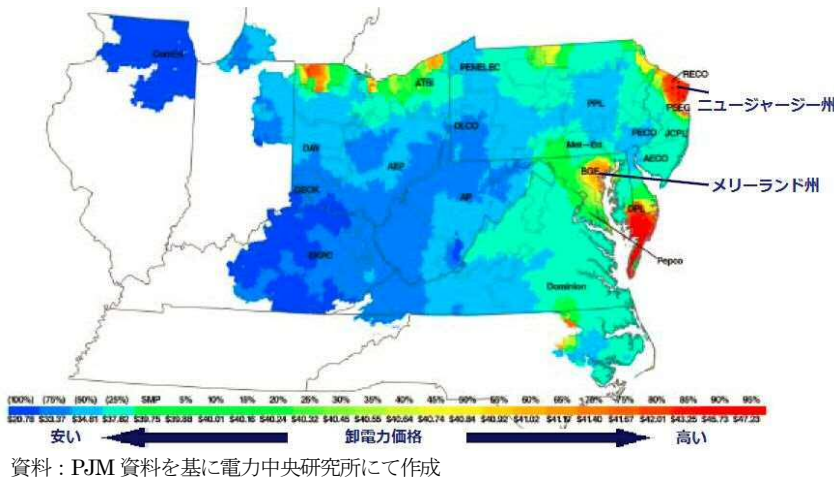
③ 容量市場の運営における注意点

集中型容量市場は先述したように決めるべきことが多く、政府や系統運用者による設定値が取引結果を左右するため、市場参加者から設定値に対する指摘や批判が起き、制度が安定しにくいといった点が懸念される。それを象徴するのが米国 PJM⁶の事例である。

PJM エリアに属するメリーランド州やニュー

⁶米国東部の13州とワシントンD.C.を管轄する地域送電機関(RTO)。RTOであると同時に、前日・当日市場やリアルタイム市場、発電容量市場などの運営も行っている。

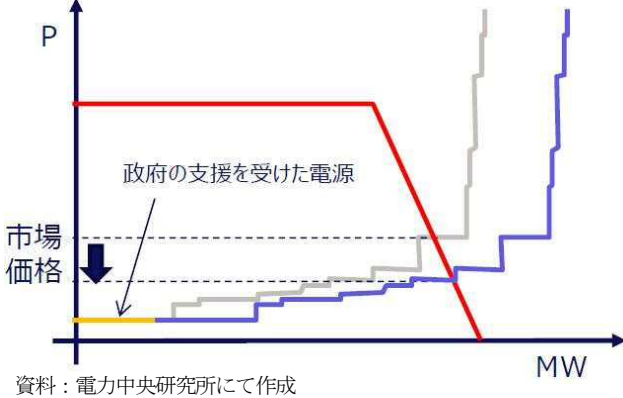
図表 12 PJM エリアの卸電力価格 (2013 年上半期)



を防ぐため、入札価格の下限を引き上げるルールを設けているが、新たなルールの設定により、効率的な電源の市場参加による純粋な価格低下まで阻まれることとなり、市場原理が機能しなくなってしまうことが懸念されている。

日本の電力システム改革においても容量市場の創設を検討する一方で、広域的運営推進機関

図表 13 政府支援電源による容量市場の歪み



による電源入札制度が設けられる予定となっており、PJM と同様の事態が懸念される。容量を確保するための制度がいくつも用意されると、それが互いに邪魔をし合って市場に歪みをもたらされ、市場価格の低下を招いたり、効率的な供給力確保が阻害される可能性があり、今後の制度検討に当たっては、こういった点に留意する必要があると思われる。

ジャージー州は容量市場が導入され供給力が十分に確保されているにもかかわらず、卸電力市場価格が高止まりした結果、電気料金も高い状況にある (図表 12)。州政府はこれに対し、容量が十分に足りていないことが原因と考え、長期間価格を保証する契約で電源の新規建設支援策を導入した。すると、市場原理に基づき競争が行われていた容量市場に政府による支援を受けた電源が混在することで、市場に歪みが生じ、卸電力市場における再エネ電源による影響と同様、価格に影響を与えることとなった。図表 13 のように政府の支援を受けた電源が容量市場の供給曲線を右にシフトさせ、結果、容量市場の価格は低下することになったのである。

PJM ではこれに対し価格が下がりすぎること

(5) 容量市場における新たな動き

容量市場における最近の動きとして、再エネ電源が増加していく中、「容量市場は単純に供給力を確保できれば良いというものではないのでは」という議論が出てきている。再エネ電源が増加すれば、再エネ電源の運転に合わせて柔軟にバックアップが可能な供給力が求められる。しかし、柔軟に運転可能な電源は割高であり、現行の容量市場では十分に確保が出来ない可能性があり、電源の能力別に分割された需要曲線を設定した容量市場や、柔軟性の高い電源のみを対象とする容量市場が提案されている。しかし、制度設計を複雑にしていくほど、市場原理に委ねることが前提であったはずの容量市場が結局は政府による規制でがんじがらめとなり、市場原理が機能しなくな

るといったことも懸念され、制度の変更やその設計には十分注意する必要がある。

5. おわりに

将来の供給力に懸念が生じた際、これまで紹介した容量メカニズムのうち、どれを選択すべきかということだが、服部(2015)が述べているように、これは容量メカニズムに何を期待し、導入に伴い発生するリスクのうち、どのリスクを警戒するかによって解が異なる。実際、欧州主要国は各国で異なるメカニズムを選択している。具体的には、ドイツは卸電力市場の機能を尊重することを重視し戦略的予備力を選択し、CO₂排出目標達成のため再エネ電源の導入を進める必要がある英国は、その成功には十分な容量の確保が欠かせないとして集中管理型容量市場を選択している。また、フランスは容量市場の原理を活用するが、集中管理型容量市場のように細かく制度が決められた仕組みよりは自由な取引に委ねることを望み、分散型容量市場を選択している(図表9)。

今後、わが国がどのメカニズムを選択すべきかについてもわが国が何を重視するかで異なることになる。服部(2015)は、各メカニズムにはそれぞれ問題点があり、不確実性も高いため、どれか一つを選ぶということではなく、現行の制度に馴染みやすい戦略的予備力から導入していき、更なる容量の確保が必要になればより厳格な集中管理型容量市場に制度を変更していくといったことも考えられると述べている。なお、容量メカニズムに関し欧州委員会は、本質的に政府による市場介入であり、消費者に追加的なコストが発生する制度であるとして、一定の条件下では認められるが、卸電力市場のみで適切な投資が行われることが望ましいとしている。わが国において容量メカニズムを導入していく際は、常に卸電力市場

のみに戻るといった選択肢も残し、柔軟に制度の導入を進めていくといったことが重要になると思われる。

レポート作成にあたっては(一財)電力中央研究所 服部上席研究員に多大の協力をいただいた。この場を借りて御礼を申し上げる。また、本レポートの内容に関しては、すべて著者が責を負うものとする。

経済産業グループ 舩岡 紅実

《参考文献》

- 伊勢公人(2015)「ドイツにおける再生可能エネルギーの開発とその課題」『海外電力』(2015年3月)
- 梅村英夫(2015)「まるわかり電力システム改革キーワード360」一般社団法人日本電気協会新聞部
- 嶋田祐一郎(2014)「詳細制度設計が進む英国の容量市場」『海外電力』(2014年9月)
- 服部徹(2015)「容量メカニズムの選択と導入に関する考察」『電力経済研究 No.61』(2015年3月)
- ハバード, R.G・オブライエン, A.P 竹中平蔵・真鍋雅史訳(2014)『ハバード経済学I入門編』
- European Commission(2015) *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS*