

北米の自由化市場で発電事業を支える容量市場と金融の力

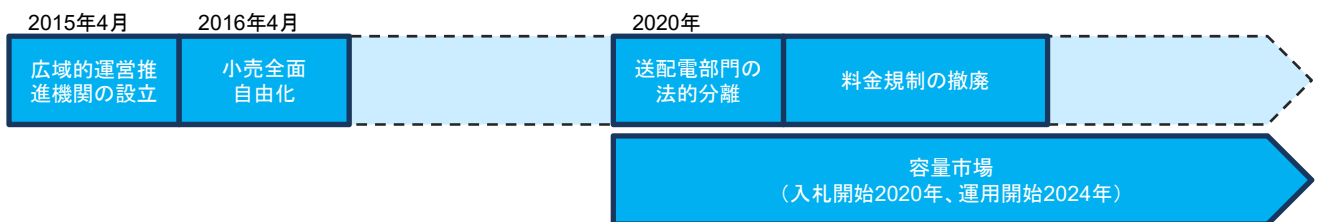
企業金融第5部 エネルギープロジェクト班 安部 聡一、鈴木 兼三
産業調査部 産業調査ソリューション室 上田 絵理

1. 自由化市場における発電事業

- 世界で感染拡大が続く新型コロナウイルス(以下、「新型コロナ」)は、電力業界にも大きな影響を及ぼしている。特に2020年春頃に各地でみられたロックダウン措置は、電力需要並びに電力市場価格(以下、「市場価格」)を大幅に押し下げた。自由化市場の発電事業においては、需要および価格の低下は収益を大きく引き下げる。かかる状況下、北米では、将来の供給力(発電設備容量・kW)に対する対価が得られる容量市場という仕組みが、非常に重要な役割を果たしている。
- 日本の電力市場では、競争の促進による効率化やコスト低減などを目的に、2015年より電力システム改革が進められており、2016年には小売が完全自由化、2020年には送配電部門の法的分離がなされ、今後は規制料金の撤廃が予定されている。これにより、日本の電力市場は、地域独占・規制料金市場から競争自由化市場へと移行する(図表1-1)。
- これまでの、発電所の建設・運営にかかる費用は、総括原価方式により電力料金から回収されてきたが、システム改革後の競争市場では、電力市場の需給で決まる価格・発電量をもとに回収を図ることになる。自由化後の卸電力市場を完全競争的なものと仮定すると、市場価格は、需要曲線と供給曲線の交点で決まり、メリットオーダー※1により最後に稼働する発電所の限界費用※2と一致する。発電所の変動費は、市場価格で回収されるが、固定費については、市場価格と各発電所の限界費用との差(スプレッド)をもとに回収していくことになる(図表1-2)。
- 1990年代から自由化を進めた欧州の電力市場では、2000年代後半から、燃料が不要で限界費用がほぼゼロとなる太陽光・風力発電の導入が急速に進む一方で、経済危機などにより電力需要は伸び悩んだ。火力発電所の設備利用率と市場価格が押し下げられ、新規投資は停滞し、将来の供給予備力の低下が懸念された。
- 日本でも、電力システム改革を進めるなかで、同様の懸念が議論され、2024年から容量市場が導入される(図表1-1)。これにより、火力発電所は固定費の回収原資を確保でき、投資回収の予見性は向上する。
- しかし、容量市場も完璧ではない。自由化で先行する北米市場では、自由化市場特有のリスクに対して、ファイナンス面でも柔軟な工夫が施されており、発電事業者の投資回収を支えている。本稿では、容量市場のメリットに加え、リスクを説明したうえで、ファイナンス上の工夫について紹介する。

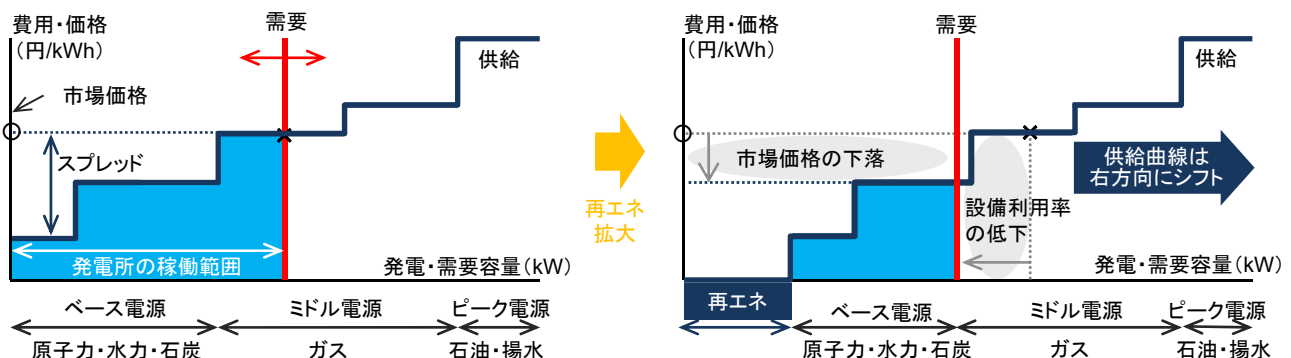
※1 発電所は、限界費用が安いものから順に、需要を満たす点まで稼働する ※2 1kWh追加的に発電するための費用

図表1-1 電力システム改革



(備考) 各種公表資料により日本政策投資銀行作成

図表1-2 メリットオーダー・イメージ図

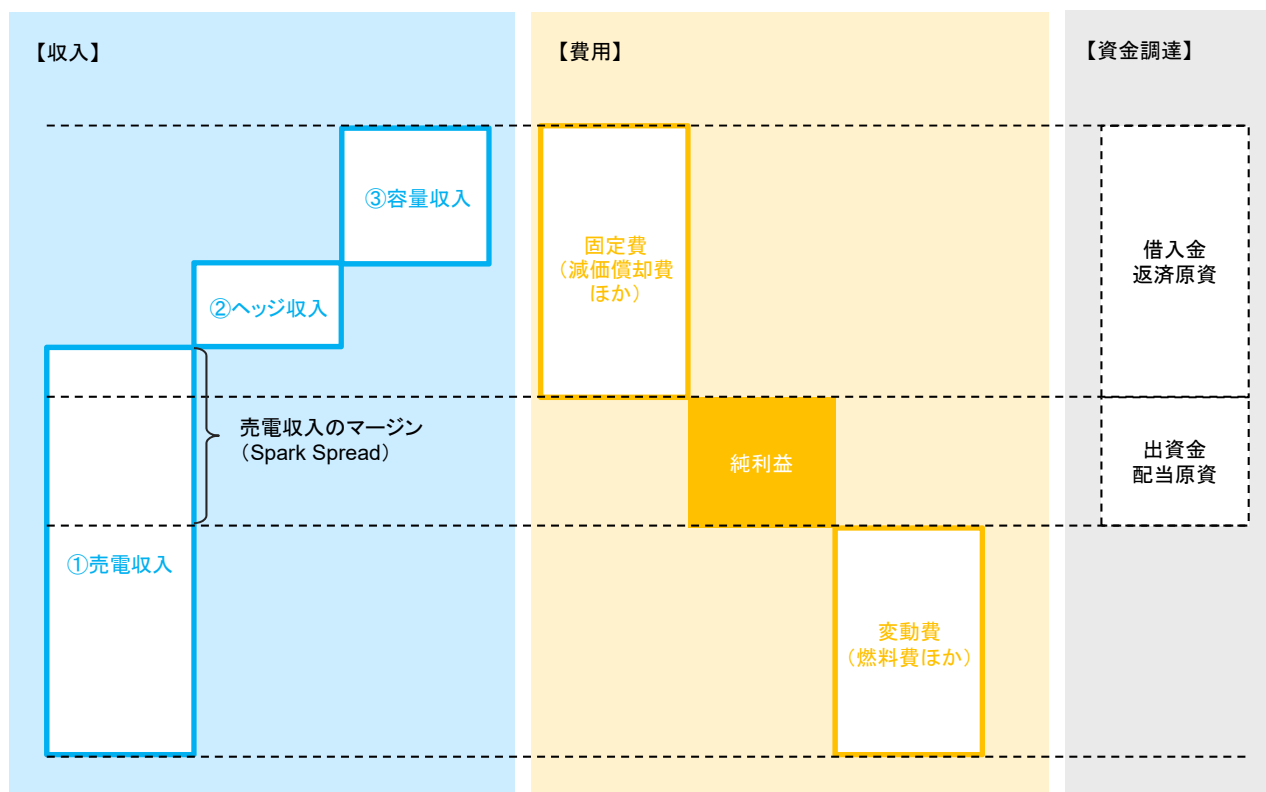


(備考) 日本政策投資銀行作成

2. 北米の自由化発電市場のマーケット構造

- 本稿では、北米の主要な自由化発電市場であるPJM(米国東海岸の独立系系統運用機関)やNYISO(ニューヨーク独立系系統運用機関)について取り扱う。これらの地域の発電所の収入は、主に①売電収入、②ヘッジ収入、③容量収入で構成され、発電所の建設・運営にかかる固定費と変動費の回収に充てられる(図表2-1)。
- ①売電収入は、卸電力市場からの売電による収入で、売電量×市場価格により算出される。発電所の基幹となる収入だが、売電量、市場価格ともに需給などにより刻一刻と変動するため、ボラティリティは高い。
- ②ヘッジ収入は、①売電収入の価格変動リスクをヘッジするための金融商品から得る収入で、商品の契約条件に従って、将来の売電収入の一部固定化や、売電価格のダウンサイドヘッジが可能となる。なお、正確にはヘッジ効果という表現が正しいが、ここでは便宜上、ヘッジ収入と表記する。
- ③容量収入は、容量市場入札にて将来の供給力を落れできた発電所が得られる収入で、発電設備容量×容量市場価格に相当する収入を系統運用機関より得ることができる。当該収入は、①売電収入に比べるとボラティリティは比較的少なく、数年後の収入を予め一定程度確定させることができるため、①売電収入のボラティリティを補完する位置づけにある。なお、日本では、4年先の供給力が入札にかけられるが、これは3年先の供給力を入札取引するPJMの容量市場設計を模倣したものである。
- これらの①～③の収入は、費用の投資回収に充てられる。変動費は、①売電収入により回収され、変動費回収後のマージンと②ヘッジ収入および③容量収入によって固定費を回収する。余剰分は発電所の純利益となる。
- また、資金調達 측면からみると、固定費部分は借入金で賄い、比較的安定した収入が確保できる②ヘッジ収入や③容量収入を返済原資とするケースが多く、純利益は出資金の配当原資へと回っていく。
- 以降では、これらの収入のうち、主に①売電収入と③容量収入を取り上げ、それぞれの収入の特徴について詳細に説明をする。

図表2-1 北米自由化発電事業の収支構造



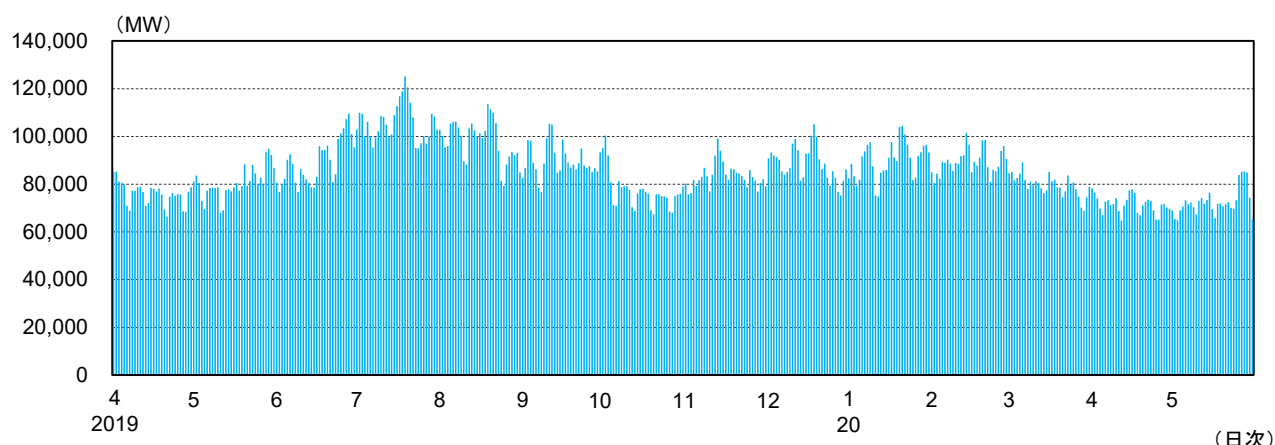
(備考) 日本政策投資銀行作成

3. 需給バランスの変動がもたらす売電収入のボラティリティ

- 3章・4章では、売電収入とSpark Spread^{※3}のボラティリティについて考察する。売電収入やSpark Spreadには、電力の需給と資源価格の変動が大きく影響している。3章では需給変動、4章では資源価格変動が売電収入やSpark Spreadに与える影響を分析する。
- 電力需要は、気候により大きく変動する。一般に酷暑・厳冬の際は、電力需要は増加し、冷夏・暖冬の際は、電力需要は減少する。また、今年は、新型コロナ感染防止のためのロックダウン措置や経済活動の低迷から、PJM、NYISOともピーク時には10%超の電力需要が減少している。電力需要の増加は、需要曲線を右にシフトさせ、市場価格は上昇する。一方で、電力需要の減少は、需要曲線を左にシフトさせ、市場価格は下落する。
- 供給サイドでは、近年は、家庭用太陽光をはじめとする再生可能エネルギーの増加による影響が大きい。再生可能エネルギーは、限界費用がほぼゼロに近いため、発電すると供給曲線は右にシフトする(図表1-2)。再生可能エネルギーの発電の有無は天候に左右されるため、供給曲線は、好天候の際は、右にシフトし、市場価格は下落する。悪天候の際は、その逆となる。北米においても脱炭素化の潮流が深まるなか、ニューヨーク州では複数の大規模洋上風力の建設も検討されており、こうしたエリアでは、供給サイドからの市場価格への影響がますます大きくなると考えられる。
- 市場価格は、需要曲線と供給曲線の交点で決まり、発電量は当該発電所が供給曲線上において、その交点より左に位置しているか否かで決まる。需要曲線と供給曲線は気候などの影響から常に変動しており、発電量と市場価格のボラティリティ、すなわち売電収入のボラティリティが生じている(図表3-1、図表3-2)。

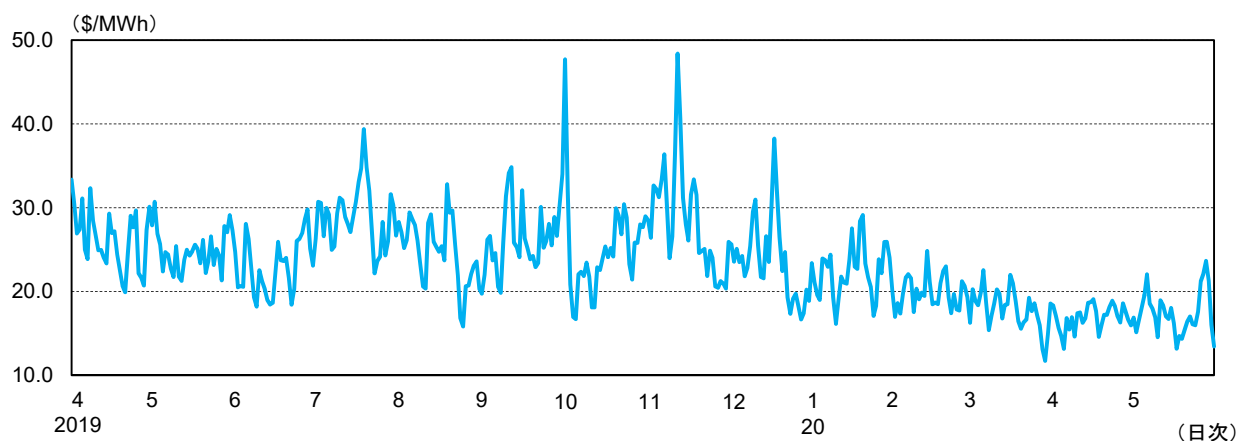
※3 図表2-1 売電収入のマージンに相当する部分で、1発電量当たり(kWh)の限界マージン(売電収入－変動費)

図表3-1 PJM 総電力需要(日次平均)



(備考)PJMホームページにより日本政策投資銀行作成

図表3-2 PJM 電力市場価格(日次平均)

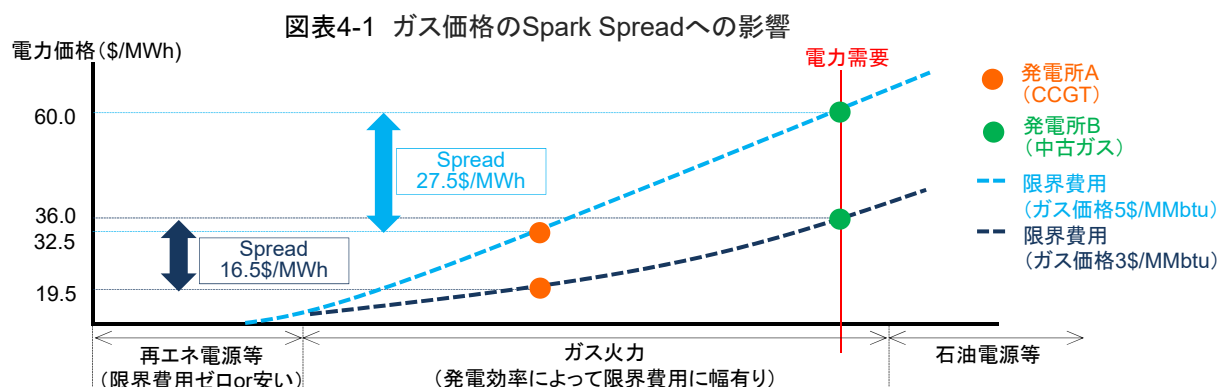


(備考)PJMホームページにより日本政策投資銀行作成

4. 資源価格の変動がもたらす Spark Spread のボラティリティ

- 本章では、資源価格が Spark Spread にどのような影響を与えるのかを考察する。資源価格の変動に伴い、それらを燃料とする火力発電所の変動費も変動し、供給曲線は上下にシフトする。北米市場では、潤沢なシェールガスを活用するガス火力発電所が多く、シェールガス価格が市場価格に大きく影響し、両社は相関関係を持つ。ガス価格と市場価格は同方向に動くため、Spark Spread への影響は限定的にとどまりそうだが、実際は影響が大きいケースがある。
- 最新型で発電効率の良いガス火力発電所A(CCGT※4)と老朽化が進んだ効率性の低いガス火力発電所Bを用いて分析をしてみる。ここでは、メリットオーダー上、需給の交点に位置し市場価格を決定する(ブライセッター)のが発電所Bと仮定し、発電所Aはその市場価格を享受する(ブライステイカー)と考える。非効率な発電所Bは、効率の良い発電所Aに比べ燃料使用量が多いため、燃料価格の上昇は、限界費用を大きく引き上げる。結果として、発電所Bが需給の交点に位置する場合、市場価格も大きく引き上がる。
- この際、発電所Aの Spark Spread は、図4-1のとおり燃料価格高騰時は拡大し、燃料価格下落時は縮小する。ガス価格が3\$/MMBtuから5\$/MMBtuに上昇すると、市場価格上昇幅(36\$/MWh→60\$/MWh)は、発電所Aの限界費用の上昇幅(19\$/MWh→32.5\$/MWh)を上回り、発電所Aの Spark Spread は拡大する(16.5\$/MWh→27.5\$/MWh)。このように、Spark Spread は資源価格変動によるボラティリティに晒されている。
- なお、売電収入や Spark Spread は市場変動の影響が大きく不安定であることから、金融ヘッジ商品による収入安定化も発電所にとって重要な取組であり、多様な商品が提供されている(図表4-2)。

※4 Combined Cycle Gas Turbineの略称。ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせ発電する高効率発電



発電効率 (Heat Rate)* (Btu/kWh)		ガス価格低				ガス価格高			
		ガス価格 (\$/MMBtu)	限界費用** (\$/MWh)	電力価格 (\$/MWh)	Spark Spread (\$/MWh)	ガス価格 (\$/MMBtu)	限界費用** (\$/MWh)	電力価格 (\$/MWh)	Spark Spread (\$/MWh)
発電所A (高効率CCGT)	6,500	3.0	19.5	36.0	16.5	5.0	32.5	60.0	27.5
発電所B*** (中古ガス火力)	12,000		36.0		0.0		60.0		0.0

* 1kWhの発電に必要な燃料投入量を示す指標。数字が低い方が少ない燃料で発電が可能であり、効率が低いことを意味する

** 限界費用は燃料費のみと仮定し、ガス価格×Heat Rateにて算出、*** 需給の交点

(備考) 日本政策投資銀行作成

図表4-2 主な金融ヘッジ商品

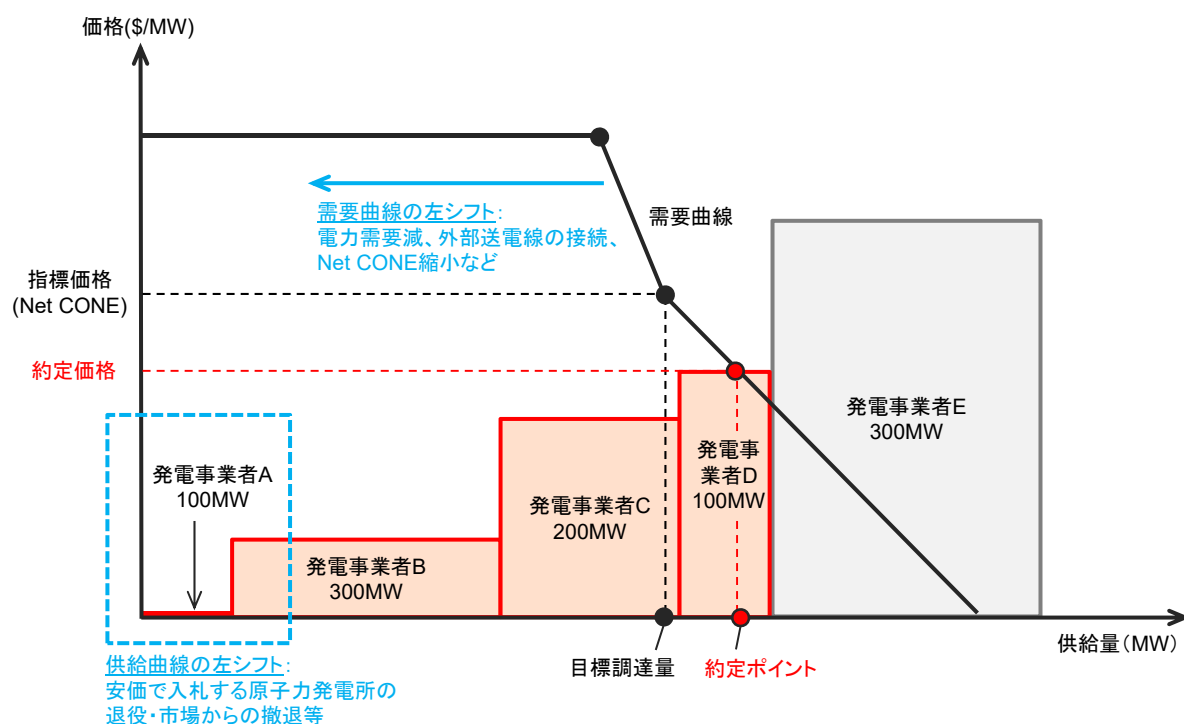
Revenue Put Option	- Spark Spreadが契約上定めた一定水準を下回った場合に、契約の相手方から、契約上の金額との差額が補填される金融商品 - 商品購入者である発電所の支払は、原則商品購入時の一括プレミアム支払のみ。5～7年程度のSpark Spread下振れリスクをヘッジすることができる
Gas Netback	- 電力価格とガス価格の相関率を、「電力価格×●%＝ガス価格」にて契約上固定化し、実際のガス価格の変動に関わらず、計算式にて定めたガス価格を支払うことでSpark Spreadを一定程度ヘッジする金融商品 - 電力価格の下落幅がガス価格の下落幅よりも大きく、Spark Spreadを圧迫するような場合に、ヘッジ効果を発揮する - 契約期間は8～10年程度
Spark Spread Hedge	- 電力先物とガス先物を同時に組み合わせ、将来の一定期間(半年～2年程度が一般的)におけるSpark Spreadを実質固定化するもの - 先物価格は、実際のスポット価格の動向などを受けて常に変動するが、短・中期的な将来の収支を市場変動のボラティリティから切り離すことが可能となる

(備考) 各種公表資料により日本政策投資銀行作成

5. 売電収入を補完する容量収入にもボラティリティ

- 本章では、これまで説明した売電収入やSpark Spreadのボラティリティを補完し、投資予見性を向上させるために導入されている容量市場について、その効果とリスクについて説明する(図表5-1)。
- 新型コロナによるロックダウン措置期間には、電力需要は大幅に減少した。また、原油価格も一時は20\$/bbl程度で推移するなど、化石燃料価格の大幅な下落も相まって、電力市場価格も急落し、売電収入は価格・数量の両面から減少を余儀なくされた。その中において容量市場は、将来の供給力確保のための市場であり、短期的な需要減少には左右されないため、容量収入は、売電収入リスクを軽減するクッションとして機能しており、短期的なボラティリティを補完する役割を果たしている。
- 一方で、容量市場価格も、需給両面の変動が一定のボラティリティを生んでおり、リスクもある。容量市場では、将来の電力需要や域内で確保すべき発電容量、新規発電所投資にかかるとされる費用(Net CONE)を踏まえ、定期的に需要曲線の見直しが行われる。例えば、容量市場の対象エリアAにエリアBから新たに送電線が接続される場合、エリアAの電力需要の一部をエリアBからの電源に依拠することができるため、結果として域内で確保すべき発電容量が減少し、需要曲線は左にシフトする(市場価格は下押し)。
- また、供給面で容量市場価格に大きく影響するのが、発電容量の大きな原子力発電所の動向である。米国の原子力発電所は、建設から相応の時間が経過しており投資回収が概ね終了しているケースや、州政府などからの補助金で固定費回収が図られているケースなど、容量市場での投資回収を必要としないプロジェクトも散見される。これらの発電所は、容量市場に非常に低価格で入札し、市場価格を過剰に引き下げていると指摘されている。原子力発電所は、発電所あたりの発電容量が大きく、市場に与えるインパクトも大きいため、PJMでは、このような発電所の最低入札価格を定めるルール: Minimum Offer Price Rule (MOPR) の改正が議論されている。改正後、これら原子力発電所が市場から退出すれば、供給曲線は当該容量相当分だけ左にシフトし、結果として市場落札価格は大きく上昇する。
- 容量市場は、売電収入のボラティリティを補完する役割を果たしており、実際に足元で生じている新型コロナに起因する大幅な電力需要の剥落と市場価格の下落による売電収入減少を補っている。一方で、容量市場価格には、各種エネルギー政策の動向が需給両面から大きく影響するため、相応の不確実性もはらんでいることに留意が必要である。

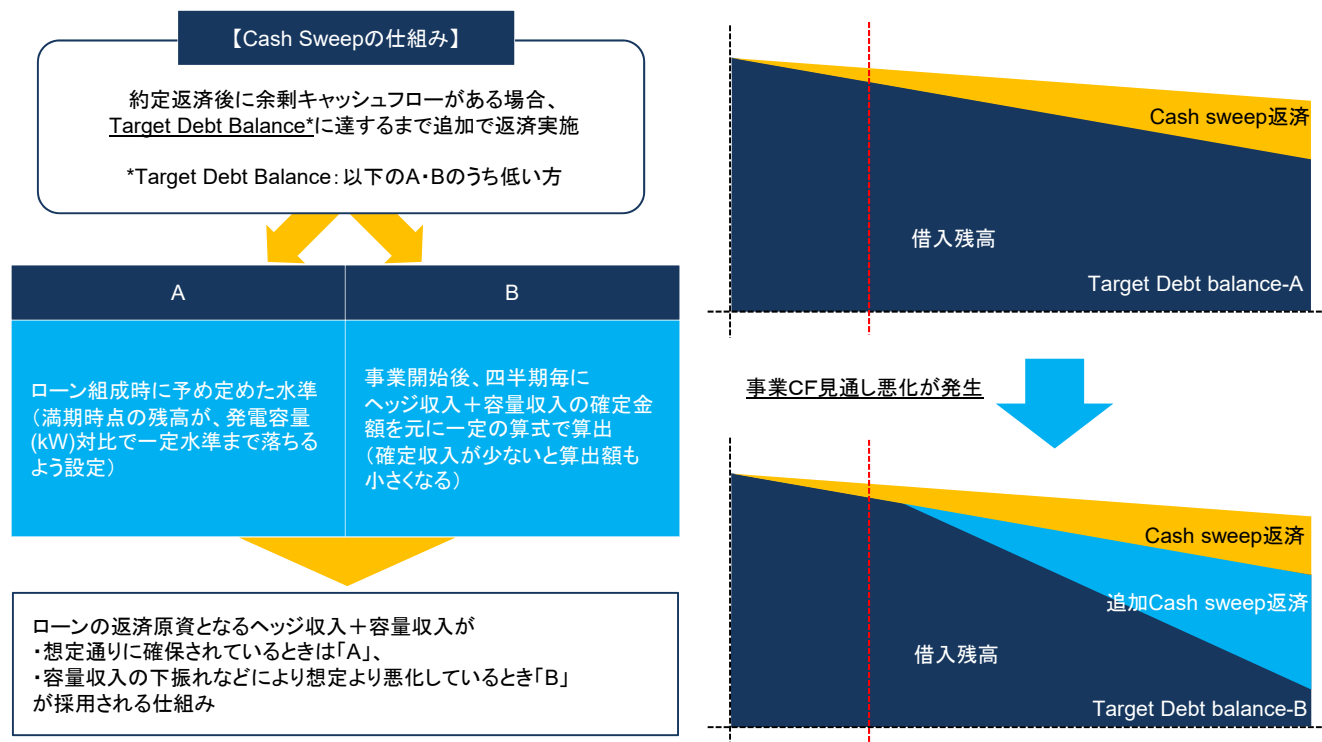
図表5-1 容量市場の需給曲線と外部要因による影響



6. 収入ボラティリティに対する金融商品上の工夫

- ここまで、売電収入と容量収入の特徴について説明した。売電収入を補完する容量収入にも一定のボラティリティがある中で、発電所の資金調達では、これらのボラティリティに対し、ある工夫がなされている。発電所の建設資金は発電事業者がプロジェクトファイナンスで調達するのが一般的であり、プロジェクト毎にファイナンスが組まれることが多い。北米では、変動の大きい発電所の収支構造に対応したファイナンス設計が市場に浸透している。
- コンセプトとなるのは、予見性の高い(リスクの低い)収入を借入金返済に対応させ、予見性の低い(リスクの高い)収入は、そのリスクを出資者が請け負う、という構造だ。具体的に借入金の商品設計をみてみる。まず一つ目の特徴として、一定期間毎に必ず返済しなければならない約定返済の金額を極力低減し、代わりに収支に余裕がある際に追加的な返済を要請するCash Sweepの比重を大きくしている。約定返済の部分は、ヘッジ収入および容量収入などの予見性の高い収入によって概ね返済できるように設計され、売電収入のボラティリティにより一時的に収支が下振れた際にも、借入金の債務不履行(デフォルト)は回避される。
- また、このCash Sweepを支えるTarget Debt Balanceの仕組みもユニークである。Target Debt Balanceは、Cash Sweepの金額を決めるための「目標借入金残高」であるが、事業状況に応じて、A・Bの2パターンのどちらかが採用される仕組みとなっている。例えば、ファイナンス組成時に比べて、容量市場の市況が悪化し、想定していた容量収入が得られなかった場合には、より目標借入金残高の低いTarget Debt Balance Bが採用され、Cash Sweepが増額する(借入返済を更に促進する)。このとき、貸し手にとっては、借入返済が促進されることでリスク負担が軽減されるが、出資者にとっては、キャッシュフローが生まれても優先的に借入返済に充てる割合が増えてしまい、配当収入を見込みにくくなる。収入の予見性変化に合わせて、貸し手と出資者のリスク負担を調節するユニークな仕組みといえる(図表6-1)。
- このように、比較的予見性のある収入をファイナンス返済の設計に織り込むことで、不確実性の高い自由化市場でもファイナンス組成が可能となり、事業者による活発な発電所投資が可能となっている。
- 今年度から入札が開始される容量市場の導入により、わが国でも発電分野の自由化市場への移行が段階的に進んでいくものと思われる。本邦発電事業者も自由化市場では、容量市場などを活用した投資回収の予見性向上を図っていくことになるが、電力ファイナンスにかかる資金調達についても、北米で導入されているような工夫が不可欠であり、本邦電力自由化市場に適した金融商品の導入が期待される場所である。

図表6-1 Target Debt Balanceの仕組み



©Development Bank of Japan Inc.2020

本資料は情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引等を勧誘するものではありません。

本資料は当行が信頼に足ると判断した情報に基づいて作成されていますが、当行はその正確性・確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しましては、ご自身のご判断でなされますようお願い致します。本資料は著作物であり、著作権法に基づき保護されています。本資料の全文または一部を転載・複製する際は、著作権者の許諾が必要ですので、当行までご連絡下さい。著作権法の定めに従い引用・転載・複製する際には、必ず、『出所：日本政策投資銀行』と明記して下さい。

お問い合わせ先 株式会社日本政策投資銀行 産業調査部

Tel: 03-3244-1840

e-mail(産業調査部): report@dbj.jp