

電力レジリエンスを担保し、脱炭素社会を支える需給調整機能

企業金融第5部 エネルギー・プロジェクト班 安部 聡一、名生 一貴
産業調査部 産業調査ソリューション室 飯田 一之

要旨

- 脱炭素社会実現に向けて、再生可能エネルギーの主力電源化が進む北米電力自由化市場では、排出権制度のコスト負担増等により火力調整電源が退役する傾向にあり、系統用蓄電池による調整力整備が取り組まれている。また需要側では、分散電源(太陽光発電等)の導入拡大により、従来の中央集中的な発送電体制が転換期にあり、この潮流の中で、複数の分散電源やEV(車載用蓄電池)などを統合制御し、相互需給調整を行うVPP事業(アグリゲーション・ビジネス)が拡大している。
- 脱炭素化に向けたパラダイムシフトの過程において、系統側と需要側の双方で設備投資機会が見込まれる中、それを支えるファイナンスの役割は重要である。当行は、事業者とともに設備投資毎の特徴を踏まえた最適ナリスクシェアの方法を模索し、脱炭素社会実現をファイナンス面からサポートしていく。

脱炭素社会実現に向けて、国内にて再生可能エネルギーの主力電源化が進められている。本稿では、同時に必要となる需給調整機能について、先行する北米電力自由化市場を事例に、今後の展望とファイナンスにおける論点についてまとめた。

1.脱炭素社会の実現へ向けたパラダイムシフト

2050年の脱炭素社会実現に向けて、第6次エネルギー基本計画を起点とした再生可能エネルギー(以下、「再エネ」)の主力電源化が進められている。

系統側と需要側の双方で再エネ導入拡大と共に、気象条件などによる発電量のボラティリティが大きくなれば、電力消費量と発電量を一致させる需給調整が一層困難になることが見込まれ、大停電に至るなど、電力レジリエンスに懸念が生じる。

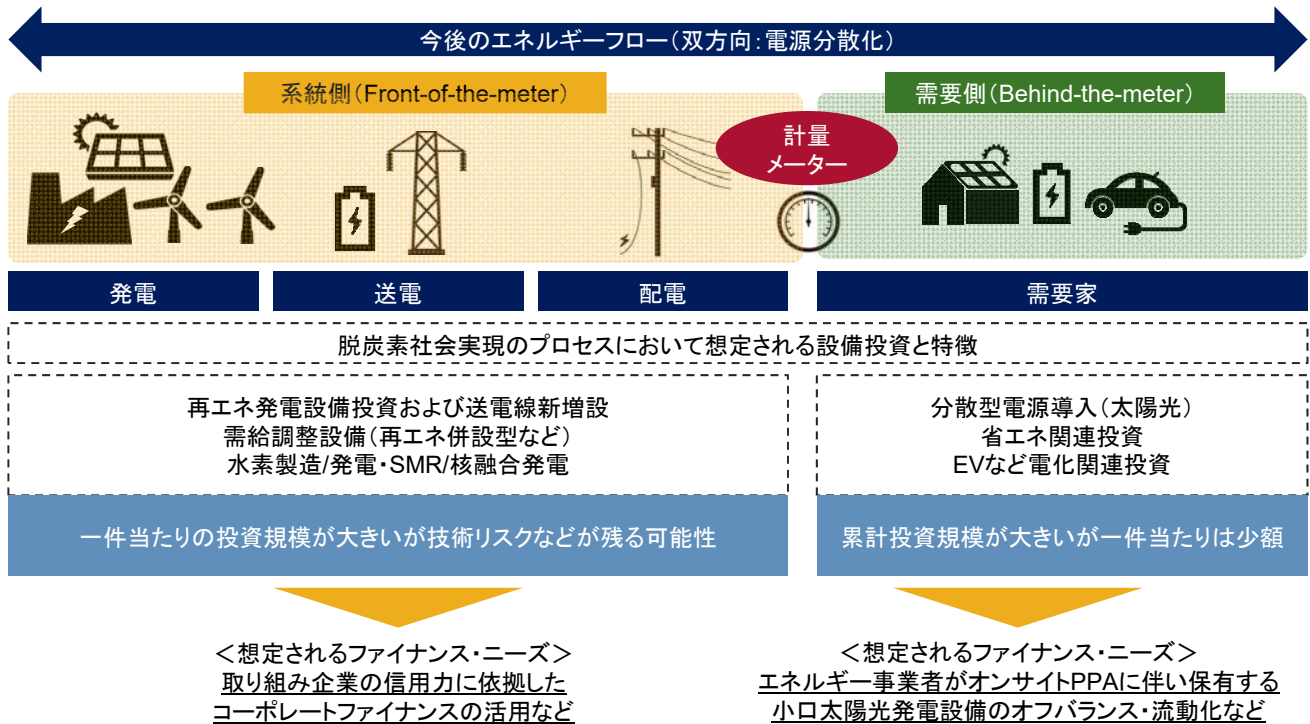
本邦が目指す再エネ比率を先行して達成したカリフォルニア州(CAISO:カリフォルニア州独立系統運用機関)などの北米電力市場は、限界費用の安価な再エネ電源の台頭や排出権取引コストの負担増に伴い需給調整機能を担う火力電源が退役に追い込まれており、結果として大規模停電の対策に苦しむ。本稿では北米市場において発現している構造的課題を紹介すると共に、その解消に向けて導入される系統用蓄電池の需給調整機能について紹介する。

電力バリューチェーンは脱炭素社会に向けたパラダイムシフトの過渡期にあり、そのプロセスにおいて様々な設備投資機会が期待される。計量メーターを境界に、系統側(Front of the meter)と需要側(Behind the meter)に分けて捉えた場合、系統側では、再エネ発電設備の建設や基幹送電線の新増設、需給調整用蓄電池に対する設備投資が行われる。また需要側では、個別には規模の小さい太陽光発電設備などがオンサイトPPA(注1)の様な形態で整備され累計としては大規模の設備投資が見込まれるほか、再エネ分散化電源としての太陽光発電設備などが普及拡大した結果、従前の系統側から需要側へ向けた中央集中的な発送電体制から、需要側と系統側の双方で発電される体制へ転換していく(図表1)。

系統側と需要家側の双方で経済波及効果の大きい設備投資ニーズが高まる中、適切なリスクシェアを前提としたファイナンス組成に向けて、産業界とファイナンス提供者が二人三脚で脱炭素化への取り組みを推進していく必要がある。

注1:オンサイトPPA: 電力会社などが導入コストの負担をして、需要家の敷地内に太陽光発電設備を設置し、需要家から電力使用料を受領する形態。大規模太陽光発電所の建設適地が限定的である中、新築戸建てなどに同PPA形式で太陽光発電設備を設置することで、相応の賦存量(導入可能な発電容量)が確保される見込み。

図表1 電力バリューチェーンのパラダイムシフトと設備投資機会



(備考) 日本政策投資銀行作成

2. 排出権と再エネの導入が誘発する火力調整力の退役

火力発電所は、時間帯や季節により変動する再エネ発電量を補う形で、人為的に発電量を増減させて電力需要と供給を一致させる調整電源としての能力を担う。再エネ主力電源化に伴い調整力の重要性が高まる一方、火力発電所は自由化市場において収益機会を失い、加えて政策的に導入された二酸化炭素排出権に伴う費用負担が増大することで、退役を選択せざるを得ない現状に直面している。

自由化市場において卸電力価格は需要曲線と供給曲線の交点で決まる。供給曲線は、左側から限界費用の安い順に発電所が並べられて形成されており、限界費用の最も安い発電所から、需給の交点に位置する発電所(プライスセッター)までのレンジ内に限界費用がおさまる発電所が卸電力市場での売電を行うことができる。

再エネは限界費用がほぼゼロに近く供給曲線の左端に位置していることから、卸電力市場において

価格競争力の高い電源として位置付けられており、同電源の導入拡大は供給曲線を大きく右へシフトさせる。

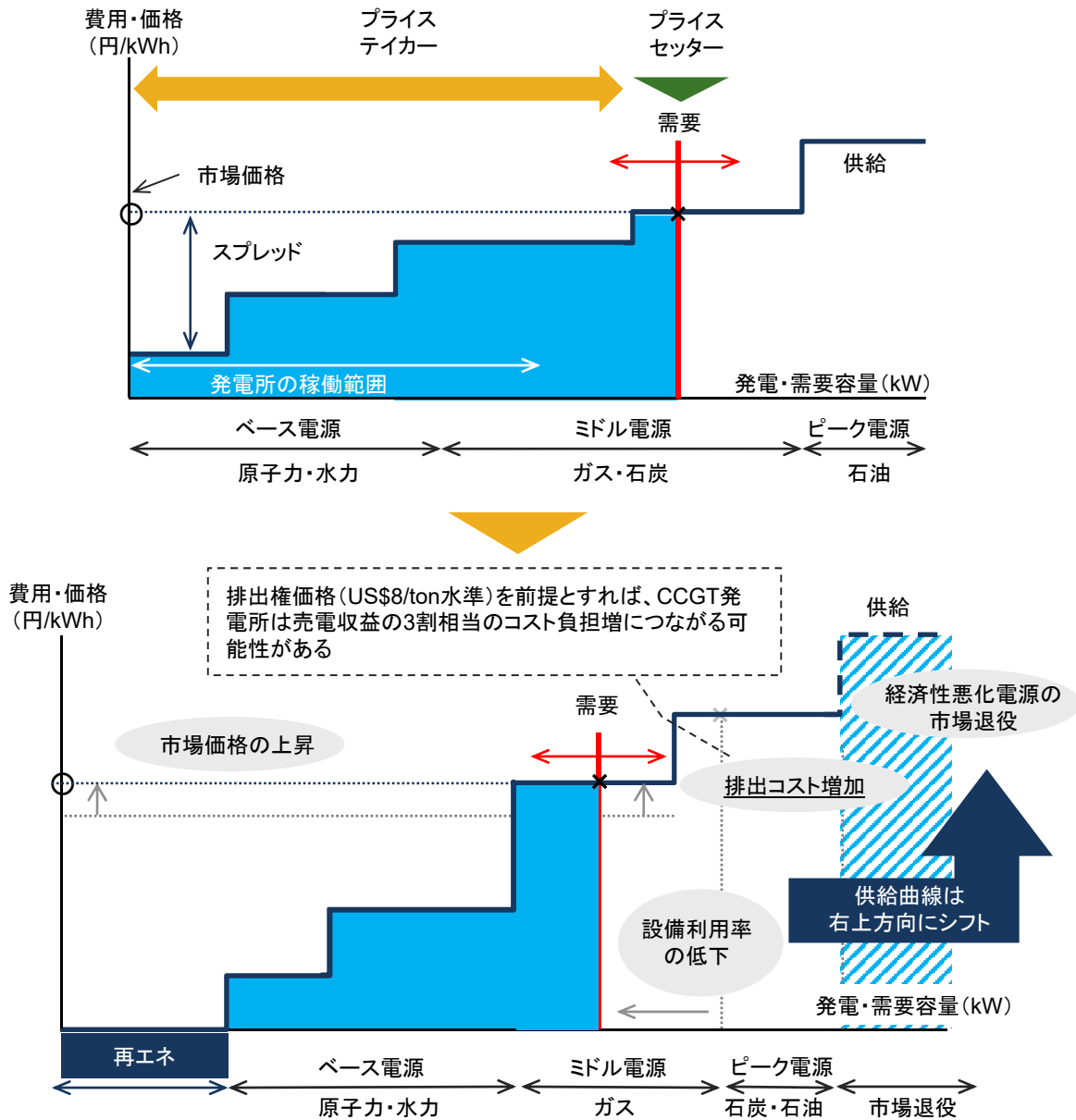
供給曲線の右シフトに伴い、プライスセッター(需給の交点に位置する発電所)に位置していた火力発電所(運用コストの高い老朽化火力発電など)は需給の交点の右側へ押し出されることで設備利用率が低下して収益機会を喪失する。代わりに、それまでプライステイカーであった高効率の最新型ガス火力がプライスセッターに入れ替わるのが、現在自由化市場で起きている電源の新陳代謝である。

プライスセッターが、より限界費用の安い(発電効率の高い)発電所へ入れ替わる新陳代謝は卸電力市場の約定価格を下落させるため発電事業者の減収要因となり、一部の火力発電所(損益分岐点の高い老朽化発電所など)は不採算に陥る。そのような状況に加えて、Regional Greenhouse Gas Initiative(環境対策に先駆的な州を横断して運営される排出権取引組織)による入札などを通じた二

酸化炭素の排出権確保が義務付けられる発電所は、排出権コスト負担により増加した限界費用の卸電力市場を通じた回収を図るが、卸電力価格だけ

では増加する排出権コストを補うことが難しく、結果として経済性が悪化して退役を選択する状況が発生している(図表2)。

図表2 卸電力市場の価格決定メカニズム



(備考) 1.日本政策投資銀行作成

2.プライスセッター(価格設定者):

需給交点に位置する発電所。限界費用が高く、そのコストを補う利潤確保を目的に卸電力市場へ応札する

3.プライステイカー(価格受容者):

限界費用が安いいため、プライスセッターにより決まる卸電力価格にフリーライドすることで利潤を確保することが可能

4.CCGT:

コンバインドサイクル・ガスタービンの略。ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた高効率発電技術

3.調整力不足に伴うレジリエンスの課題

本邦の脱炭素化社会実現に向けた取り組みと共通点が多いCAISOは、2045年までに電力需要の100%を再エネで調達する目標を掲げて主力電源化を進めており、EVの導入拡大にも積極的である。大停電以降、導入を進める系統用蓄電池(蓄放電能力を使い、電力系統網における発電量と電力消費量を一致させる)は、従来型火力調整力とは異なる特徴を有するが経済的および技術的課題も残されている(図表3-1)。

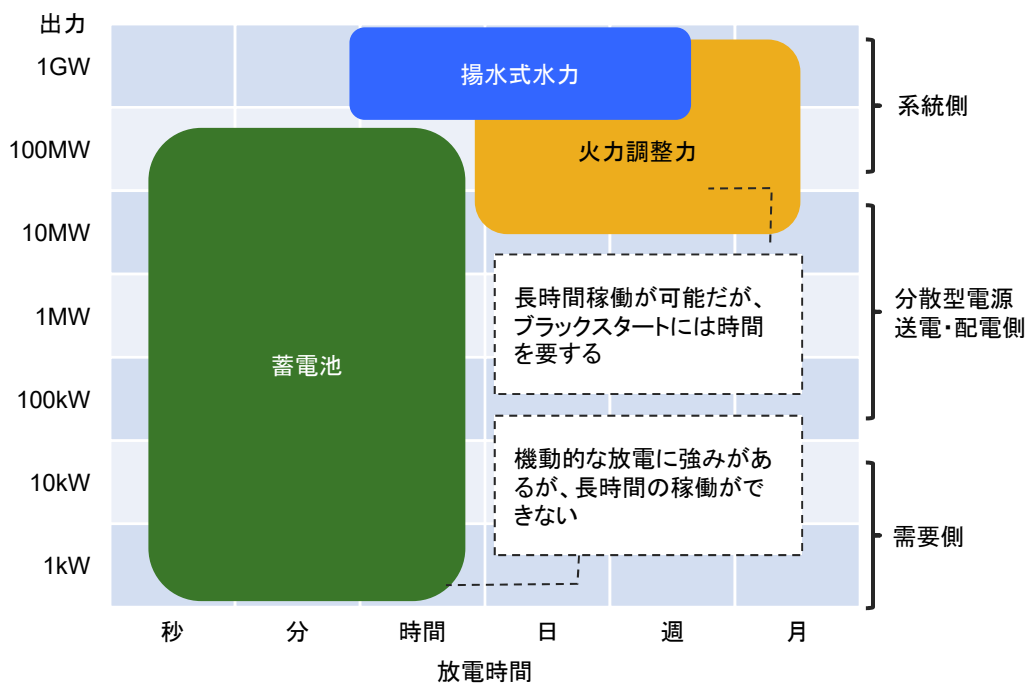
2020年夏、カリフォルニア州では厳気象による冷房などの電力需要が増加する中、夕刻のEV充電による電力需要増が重なった。他方で系統側および需要側の太陽光発電量は日没と共に剥落したため、電力需給逼迫に伴う電力価格の高騰(スポット価格は平常時のUS\$20/MWhからUS\$1,000/MWhへ50倍近く高騰)の後に計画停電に至った。本来、自然現象に影響されない火力発電所の出力増強と需給調整力が期待されるケースであるが、CAISOでは再エネの台頭により多くの火力発電所が退役に至り十分な調整電源が不在であったことに加え、

電化促進により需要側での電力消費パターンも複雑化しており、予見性をもった系統運用者による需給調整に限界があったと指摘されている。

停電以降、火力電源に代替する調整力として系統用蓄電池の潜在的ニーズが着目され、電力会社、金融投資家などによる大型投資が進められている。日中に供給過剰となる再エネ電力を吸収(蓄電)して日没後の需給逼迫時に放電する系統用蓄電池の需給調整方法は、再エネ発電所に対する出力抑制を回避すると共に、再エネ発電所のピーク発電量に対応させた基幹送電線増強投資を縮減する可能性がある。

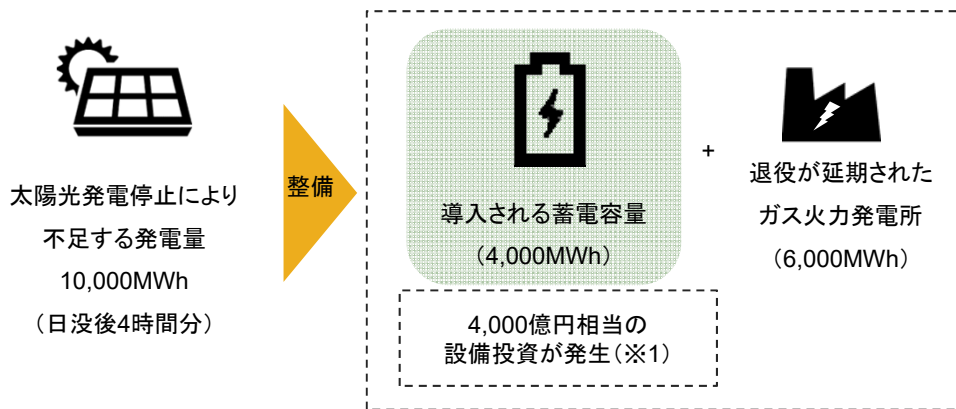
また系統用蓄電池の機動的な放電能力は、事故などの緊急的な再エネ発電所の停止に伴う大規模停電のリスクを抑制する。再エネは火力調整電源(タービンを使用する電源)よりも需給変動に対する慣性力が弱く、緊急停止時に瞬時に発電量がゼロに至る。停電を回避するには、火力電源の始動では対応できない速度で剥落する再エネの発電量を、瞬時に放電開始できる系統用蓄電池で補うことが有効である。他方、蓄電池の放電時間を超えて

図表3-1 蓄電池の技術的特性



(備考) 日本政策投資銀行作成

図表3-2 調整電源ミックスと投資額の試算



<試算前提>

2021年時点CAISO太陽光発電容量(12,500MW)稼働率20%、蓄電池8,000MWh(出力2,000MW、放電時間4時間)、稼働率50%の蓄電容量は4,000MWh
老朽化火力発電所の発電容量(3,750MW)設備利用率40%稼働時間4時間、
設備投資:蓄電池単価5万円/kWh×8,000MWh
※1 設備投資額に補助金は考慮せず

(備考)日本政策投資銀行作成

需給が逼迫するケースにおいては対応しきれないという蓄電池技術の限界があるため、火力調整電源と組み合わせた導入が現実的とされているが、2021年CAISOにて試算すると、4,000億円相当の設備投資が発生することとなる(図表3-2)。

4.系統用蓄電池の収益形態別類型と特徴

系統用蓄電池には、太陽光発電所などに併設される「再エネ併設型(注2)」と、大型蓄電池を単体で設置して系統接続する「スタンドアローン型」に大別される。再エネ併設型は、太陽光発電所など発電量のボラティリティのある再エネ発電所に併設され、卸電力市場の需給が緩慢になり、電力価格下落や再エネの出力抑制がかけられる傾向にある日中の発電電力を蓄電し、日没後など需給がタイトになる時間帯に放電(売電)することで収益性の向上が期待され、発電事業者は超過収益と導入コストを比較して蓄電池の併設を検討する。スタンドアローン型蓄電池にも、収益類型がある(図表4-1)。

現行の系統用蓄電池のコスト水準(5万円/kWh:蓄電容量と投資額をもとに算出)を前提とすると、系統用蓄電池の投資額に対する裁定収入の割合

は(注3)20~50%の水準と試算されるため、容量収入などが投資および利益回収の相応部分を担う。また、市場の電源構成の変化や調整電源整備の進捗などに伴いダックカーブ(注4)が平坦になるなどした場合には、裁定収入の減収に伴い収益確保や投資回収が難しくなるリスクを包含している(図表4-2、図表4-3)。

注2:再エネと親和性のある導入形態であるが、蓄電池のO&M(保守整備)は発電所のそれとは異なるため、別途人材確保などを行う必要がある。

注3:系統用の蓄電池価格:5万円/kWh(稼働率50%稼働期間20年間)を前提とし、各北米市場の平均的On/Offピーク値差を採用した場合、ERCOT(テキサス州の独立系統運用機関)では50%、PJM(米国北東地域の独立系統運用機関)/NY-ISO(ニューヨーク州の独立系統運用機関)/CAISOでは20%相当が、裁定収入で回収出来る割合であると試算される。

注4:正味電力需要とは、電力消費量から太陽光発電などの発電量を差し引いた実質電力需要であり、時間帯別の変化をグラフで示すとアヒルの腹と頭に見えることから、ダックカーブと呼称される。

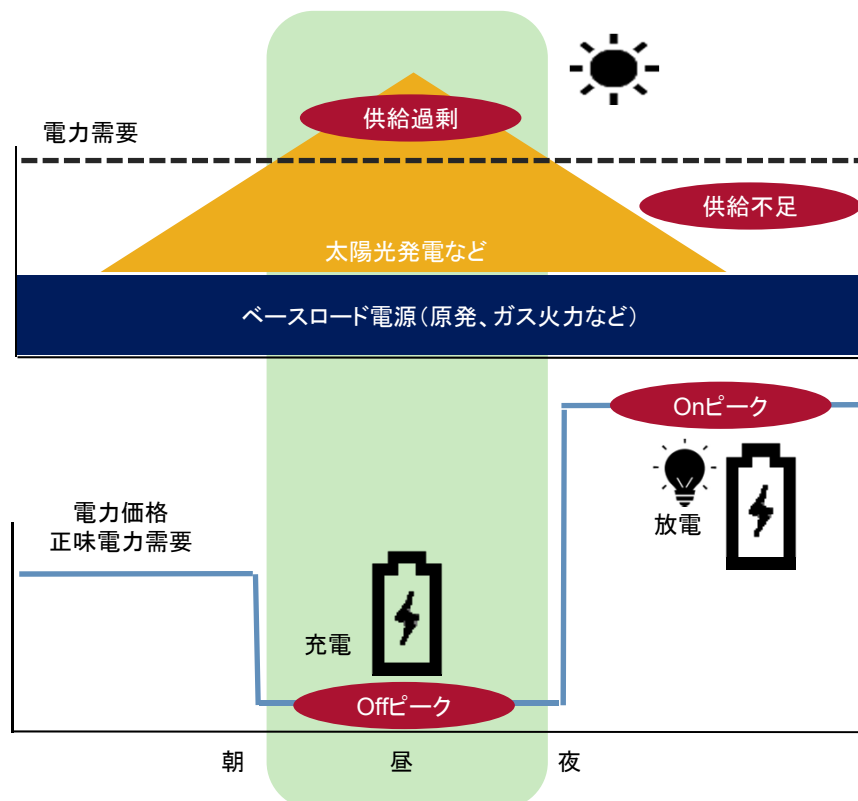
図表4-1 スタンドアローン型の類型と特徴

PPA型 (長期固定収益型)	電力会社や発電事業者などと蓄電池事業者(金融機関などにより組成される蓄電池プロジェクトSPCなど)の間で相対契約を締結する。蓄電池事業者は、設備が稼働可能な状態(availability)を維持する対価として固定料金を受領し、投資および利益回収が行われる
マーチャント型 (市場連動収益型)	プロジェクトSPC(電力会社や金融機関などにより組成される)が大型蓄電池を保有運営する。電力価格が低下する時間に蓄電(買電)して価格上昇時に放電(売電)するという卸電力市場での裁定収入のほか、容量市場(注5)などの市場取引を通じて投資および利益回収を行う

注5:容量市場、卸電力市場などについては、日本政策投資銀行 DBJ Monthly Overview 2020年9月号『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』参照

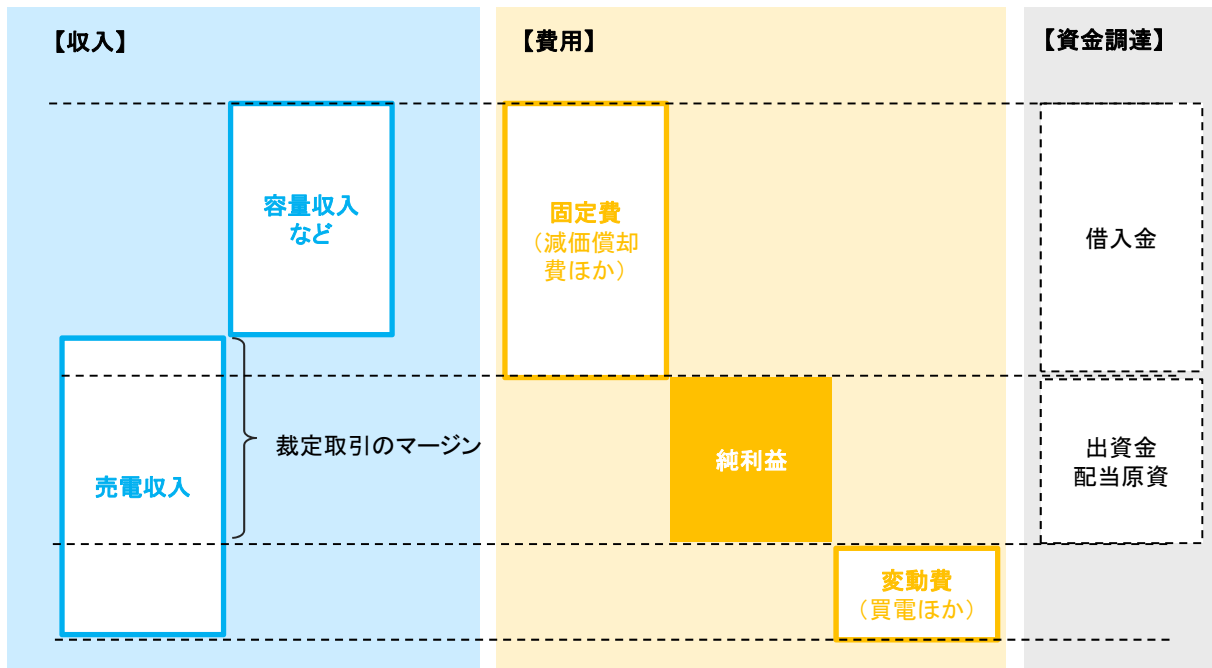
(備考)日本政策投資銀行作成

図表4-2 裁定収入のイメージ



(備考)日本政策投資銀行作成

図表4-3 マーチャント型の収支構造



(備考)日本政策投資銀行作成

5.EVがもたらす需要側調整力整備へのインパクト

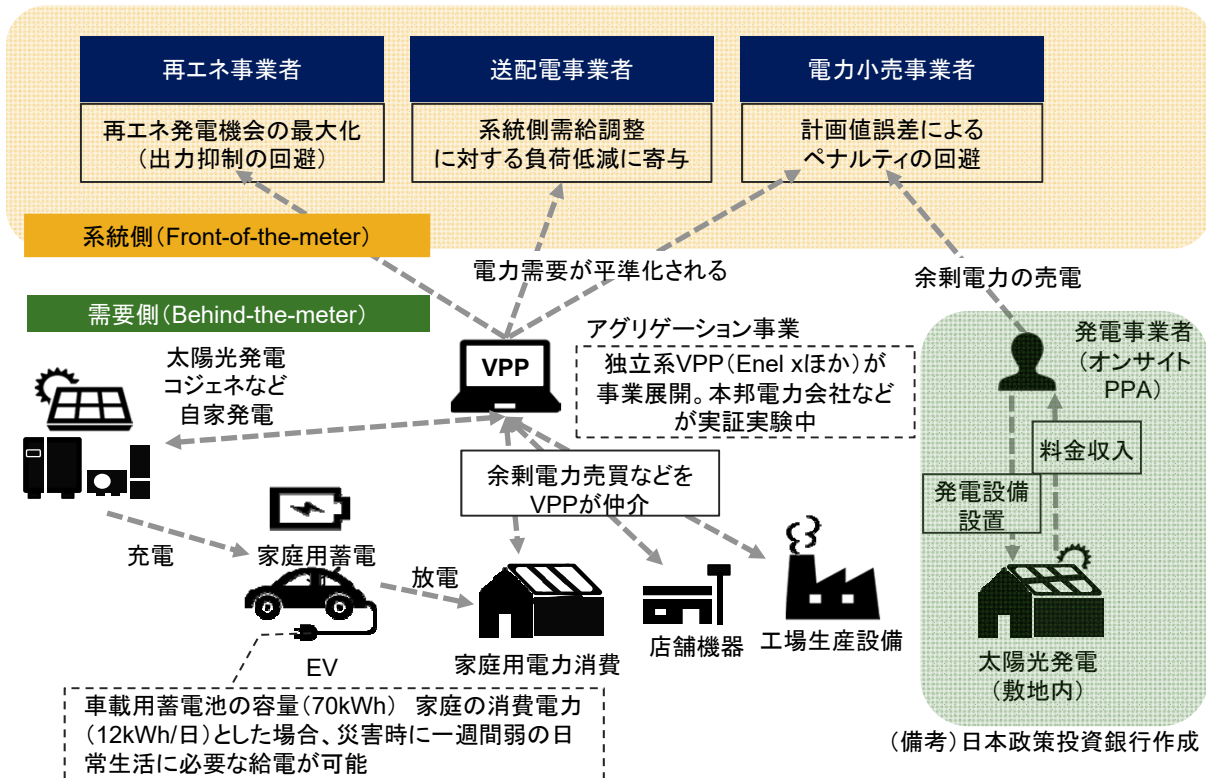
系統用蓄電池は、その使用するリチウムイオン(コバルト、ニッケルなどの希少金属を使用)の原価が高く、また汎用性が低いため製造コストが高いことなどから導入コストが高止まりしている状況にある。しかし、EV(電気自動車)の普及に伴う車載用電池メーカー間の競争はリチウムイオンの製造価格の低下をもたらすほか、現在進められる実証実験(中古EV蓄電池を系統用蓄電池へ再利用する)などにより、系統用蓄電池の導入コストの更なる低減が期待されている。

EVはそれ自体で蓄放電能力を有しており、その能力を活用して家庭用需給調整電源としての役割を担うことが可能である。現在、需要側では家庭用蓄電池が屋根置き太陽光発電と併用され、その余剰電力の蓄電に使用されているが、例えば、その役割をEVの車載用蓄電池で代替した場合、家庭用蓄電池の購入コストが不要となるだけでなく、その大容量の蓄電量(約1週間分の家庭用電力を給電)が非常用電源として機能することで災害停電時のレジリエンス向上にも資するため、EVと住宅の共同開発が取り組まれている。

普及拡大するEVを家庭用需給調整電源として活用することは、間接的に系統の安定運用にも資する。例えば、日中に発電が余剰となる太陽光電力をEVの車載用蓄電池へ充電して日没後の自家消費電力に使用すれば需要側で自己完結して需給調整することが可能になり、系統側の需給調整電源にかかる稼働負荷が軽減される。

北米ではEVのみならず、各需要家が所有する様々なエネルギー・アセット(屋根置き太陽光発電、家庭用蓄電池、コジェネなどの発電・蓄電装置)をソフトウェアにより相互接続(アグリゲート)することで仮想的に発電所の機能(VPP: Virtual Power Plant)を持たせ、接続する複数の需要家間(サービス契約者間)で相互に電力需給をマッチングさせる、電力サービス(アグリゲーション・ビジネス)が拡大している。このサービスも、需要側の需給調整力を高める点で系統にかかる需給調整負荷を軽減させるだけでなく、すでに需要家が保有しているエネルギー・アセットを活用する点で、系統側の大型調整力投資よりも迅速な調整力整備を可能にするものと期待される(図表5)。

図表5 需要側で展開される各種ビジネス



6. 設備投資機会の創出と金融サポート

脱炭素化社会に向けたパラダイムシフトの過程において、系統側と需要家側の双方に設備投資機会が創出されている。本邦においては、すでに系統側で太陽光、陸上および洋上風力などの再エネ発電所の建設が先行しているが、今後それら発電量に応じた需給調整能力の整備や、発電電力を需要地に託送するための陸上および海底送電線の新增設にかかる設備投資が不可欠となる。また、需要側では個別には規模の小さい太陽光発電設備などがオンサイトPPAの様な形態で整備され、累計としては大規模の設備投資が見込まれる。

エネルギー政策の原点であるS+3E(注6)(電力レジリエンスを前提とした経済的な電力の安定供給)を担保した脱炭素化を実現する上では、これらの設備投資が遅滞なく行われエネルギー・バリューチェーンが再構築される必要があり、それをサポートするファイナンスの役割は重要であるが、難しさも残る。

例えば、系統側の設備投資の中には実証実験段階の技術リスクを包含するケースや、技術革新によ

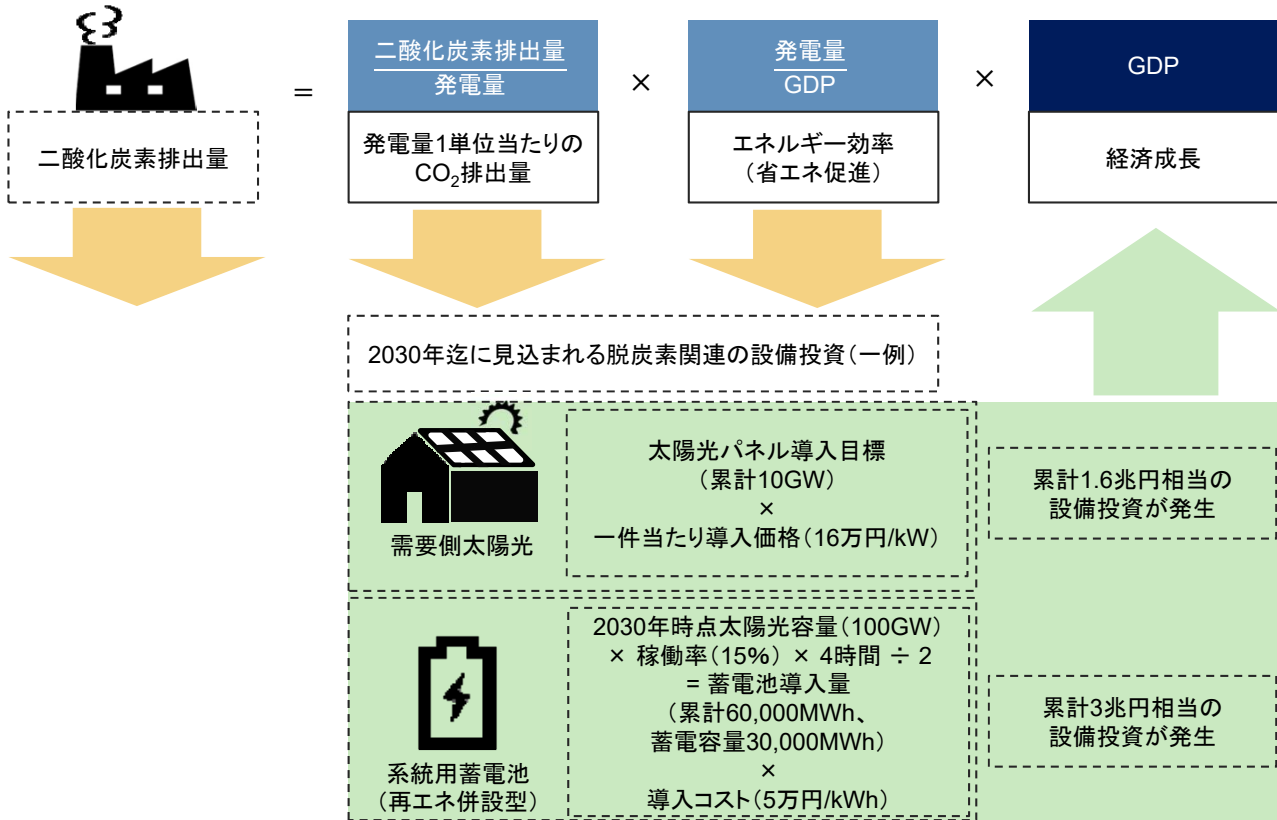
り投資回収よりも技術の陳腐化が早い可能性、収入形態が卸電力市場などに連動しており投資回収の予見性が低いなどマーチャントリスクを包含するケースなどが想定される。また需要側で発生する個々に小規模な設備投資に対応する場合、ファイナンス組成の費用対効果の観点から、設備投資主体(オンサイトPPAの設備投資主体となる電力会社など)と協働の上、相当金額規模に纏めた上でポートフォリオ形式でのファイナンス組成をすることなどが必要となるだろう。

現時点で画一化されたファイナンス・ソリューションがなく、難易度の高い脱炭素関連の設備投資をサポートするため、当行が北米の自由化市場で取り組むファイナンス商品の仕組みや、本邦の容量市場制度などの枠組みなども組み合わせながら、事業会社と共に、最適なリスクシェアの方法を模索し、脱炭素社会実現を金融面からサポートしていきたい。

注6:S+3E:安全な発電(Safety)をベースに、電力レジリエンスの基礎となる電力安定供給(Energy Security)を前提とした経済的電力価格(Economic Efficiency)と環境配慮(Environment)を同時達成するエネルギー政策の基軸

(参考) 経済波及効果の高い設備投資により脱炭素化が推進される

二酸化炭素削減に向けた各種取り組みは、①発電量1単位当たりのCO₂排出量、②GDP一単位当たりの電力量、③GDP、の3つの要素に分解して捉えることができる。その上で、二酸化炭素削減に寄与する再エネ導入や省エネ促進など(①および②)の過程で創出される経済波及効果の高い設備投資を、③経済成長に繋げていく思考も重要である



※需要側太陽光一件当たりの容量(4kW)と仮定
 ※太陽光発電の日没後4時間の発電量の半分を蓄電池(稼働率50%)で補うと仮定
 ※設備投資額に補助金は考慮せず

(備考) 日本政策投資銀行作成

©Development Bank of Japan Inc.2021

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