

II-2-2. エネルギー – 欧州発エネルギー転換の現状と課題

【要約】

- ◆ 再生可能エネルギーと分散電源の普及は、導入コストの賦課金を含めた小売電気料金の上昇に留まらず、欧州の電力システムに構造的な問題をもたらしている。
- ◆ エネルギー転換が進行する中で、大手ユーティリティは大規模設備と高度な発電技術を駆使し、系統システムを通じて需要家に電気を届けるという従来のビジネスモデルから、再生可能エネルギーやエネルギー小売事業への大胆な戦略の転換や Prosumer（需給家）化する顧客との新たな関係の構築等、未知の領域へ大きく舵を切ろうとしている。
- ◆ エネルギー転換は需要家とエネルギー事業者との間にイノベーションを促し、新たな事業モデルと新鋭ベンチャーを生み出す原動力にもなっている。
- ◆ 自由化された競争環境下でエネルギーベストミックスを実現するためには、外部経済性が存在するエネルギー源について国民負担を最大限抑制しつつ確保するための政策が求められる。
- ◆ 我が国のエネルギー産業がこのエネルギー転換という産業の構造変化を見据え、新たな分野におけるイノベーションを通じ、持続的な成長を遂げていくことに期待したい。

1. はじめに

再生可能エネルギー先進国の「光」と「影」

欧州で再生可能エネルギーの導入が拡大している。欧州国民の強い環境志向、EU 主導の野心的な環境政策、豊富な自然エネルギーを擁する地理的優位性等、要因は様々だが、欧州はこの分野において早くから自主的に取り組んでおり、再生可能エネルギーの導入規模のみならず、昨今の国連気候変動枠組み構築に向けた議論においても世界をリードする。地球環境の文脈において、欧州は再生可能エネルギー先進国であり、「光」の側面がフォーカスされがちである。他方で、再生可能エネルギーの拡大が欧州の電力供給システムに「歪み」をもたらしていること、エネルギー転換という産業のパラダイムシフトに直面し苦悩する事業者の実態等、再生可能エネルギーの大量導入に伴う「影」の側面についても、最近では指摘がなされている。

本稿では、先ず欧州において再生可能エネルギーや分散型エネルギーの普及が電力システムにもたらしている様々な課題や事業者が直面する経営問題を明らかにする。その上で、そうした課題に対して、各国政府や事業者が如何にして対応しているかを政策面と企業戦略面から分析し、我が国においても今後エネルギー転換が進展することを見据え、エネルギー新時代の政策の在り方、新たなビジネスの潮流について考察を加えている。

尚、本稿では「エネルギー転換」を化石燃料から再生可能エネルギーへの一次エネルギーの変化と定義する。また、本稿における「再生可能エネルギー」とは、大規模水力等の在来型エネルギーを除く、非在来型エネルギーのみを指す。

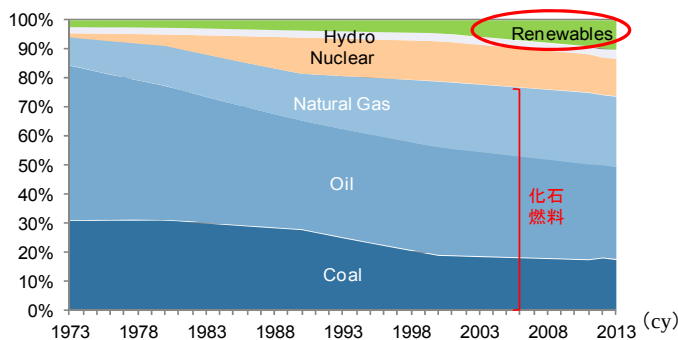
2. 欧州のエネルギー転換の現状と課題

欧州におけるエネルギー転換の現状

欧州では、1980年代前半から3E(energy Security, Environment, Economic Efficiency)に優れる原子力が化石燃料に代わる次世代エネルギーとして期待されたが、1986年のチェルノブイリ原発事故以降、新規開発は低迷し、それに代わるように、近年では再生可能エネルギーが急速に拡大している。再生可能エネルギーの主な用途は電力であることからこの傾向は電源構成の変化という形で表れている(【図表1、2】)。

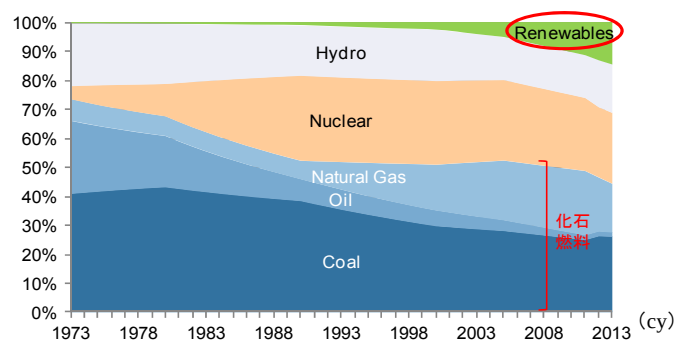
IEAによると、欧州の再生可能エネルギーへの投資は今後も増加を続け、2014年から2040年の累積投資額は1.4兆ドルに上り、2040年には欧州の発電電力量の1/3を再生可能エネルギーが賄うといった見通しが示されている(【図表3、4】)。

【図表1】 欧州(OECD)一次エネルギー構成比の推移

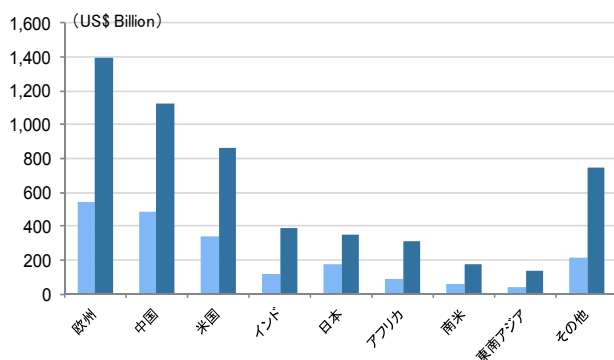


(出所)【図表1、2】とも、IEA 資料等よりみずほ銀行産業調査部作成

【図表2】 欧州(OECD)発電電力量の燃料構成比の推移



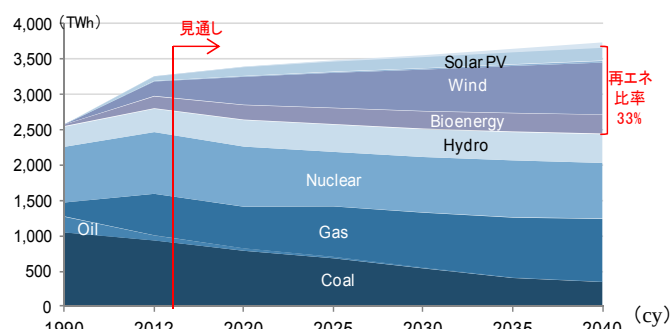
【図表3】 再生可能エネルギー累積投資額の地域別見通し



(出所)【図表3、4】とも、IEA 資料等よりみずほ銀行産業調査部作成

(注) 見通しは「新政策シナリオ」の数値を試用

【図表4】 EUの燃料種別発電電力量の見通し



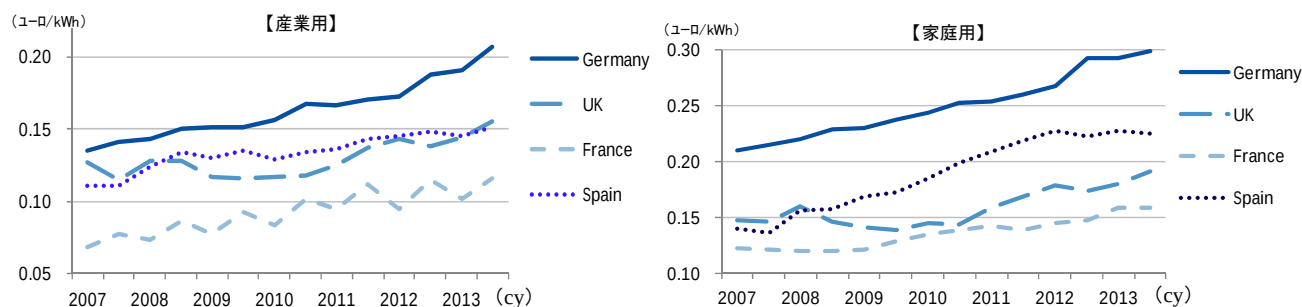
再生可能エネルギーの導入に伴い、上昇する小売電気料金

再生可能エネルギーは現在の技術において、発電コストの高い電源である。従って、普及させるためには何らかの政策的な補助が必要であり、日本を含め FIT¹導入国では、再生可能エネルギー導入に係るコストを賦課金として電気料金に上乗せして徴収している。近年、この賦課金の影響もあり欧州主要国の電気料金は上昇傾向にある(【図表5】)。特に、2050年迄に発電電力に占める再生可能エネルギー比率80%を目指すドイツでは、政府が電力多消

¹ Feed-in Tariff の略。再生可能エネルギーの固定価格買取制度

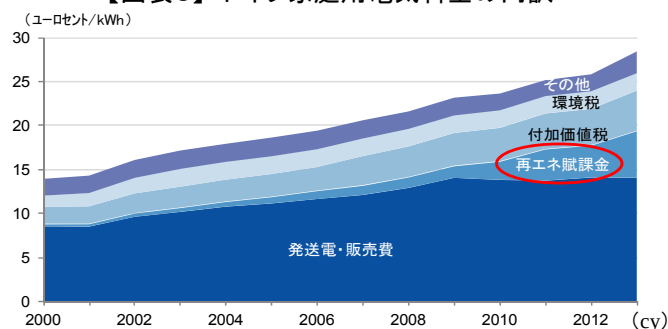
費産業の国際競争力に配慮し、賦課金負担を家庭用需要家に寄せていることもあって、家庭用電気料金の上昇が顕著である(【図表6】)。

【図表5】 欧州主要国の電気料金の推移



(出所)IEA 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

【図表6】 ドイツ家庭用電気料金の内訳



(出所)BDEW 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

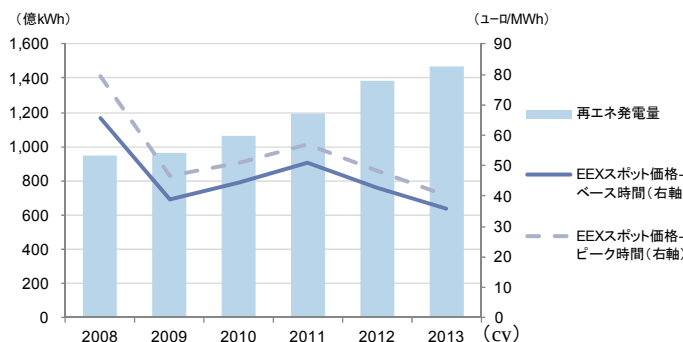
他方、卸電力価格は低迷

他方、卸電力価格は再生可能エネルギーの導入拡大に伴い低下傾向にある(【図表7】)。欧州では、再生可能エネルギーを最大限利用するため、他の電源よりも優先して給電される。これまで、主にガス火力が担ってきたミドル・ピークロードの高価格帯の需要が再生可能エネルギーに置き換わっていく中で、卸電力価格の低下に寄与していることが推察できる。【図表8】は、ドイツにおける Spark Spread²と Dark Spread³の推移を示したものであるが、Spark Spreadは2010年からマイナスで推移、即ち逆鞘の状態が続いている。石炭については、北米シェール革命を背景に安価な石炭が流入していること、褐炭という国内天然資源が豊富に賦存することから、辛うじてではあるがプラスを保っている。かくして相対的にコスト競争力が増した石炭火力は、足許では高稼働が続いており、このことが2010年以降、ドイツにおけるCO₂排出量を増加させる一因になっている。尚、欧州におけるCO₂排出権価格(EU-ETS)が近年低位で推移している点も、石炭火力の稼働率上昇の一因として指摘されている。

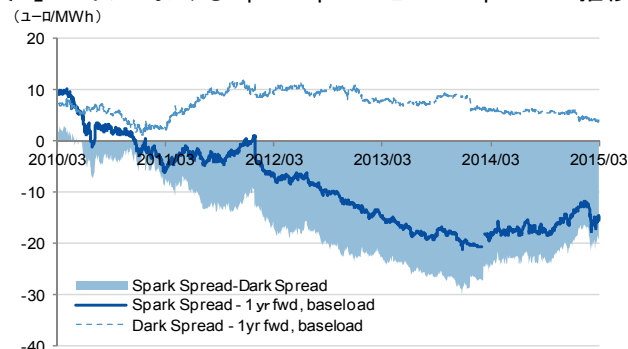
² 電力先物価格とガス先物価格の価格差。ガス火力発電の採算性を示す指標として使用される。

³ 電力先物価格と石炭先物価格の価格差。石炭火力発電の採算性を示す指標として使用される。

【図表7】卸電力市場(EEX)価格の推移



【図表8】ドイツにおける Spark Spread と Dark Spread の推移



(出所)【図表7、8】とも、EEX データよりみずほ銀行産業調査部作成

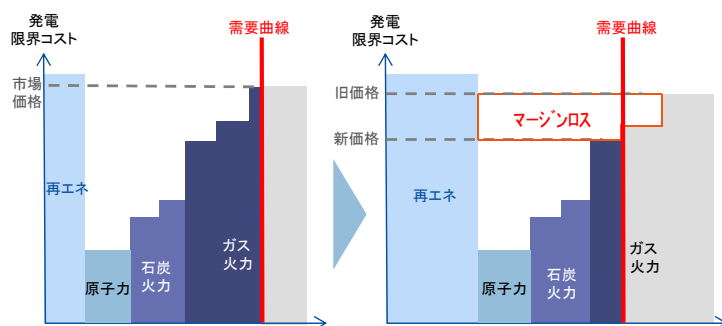
市場から退出する
ガス火力等の
負荷調整電源

優先給電される再生可能エネルギー由来の電力が市場に大量に流入すると、発電施設を限界費用順(費用の低い順)に並べたメリットオーダーにおいて、ガス火力は需要曲線の右側に押し出される(【図表9】)。再生可能エネルギーは出力が大きく変動するため、火力発電はその変動を吸収するバックアップとしての役割を果たすのだが、事業者にとってみれば、普段稼働しない火力発電所を、維持コストを掛けて保有し続ける意義は薄れる。ドイツでは、火力発電を中心に休止・閉鎖の計画が相次いでおり、2014年～2018年の4年間で5.4GW(純増減)の発電設備容量が失われる見通しだ。

英国では供給力
不足の懸念が深刻化

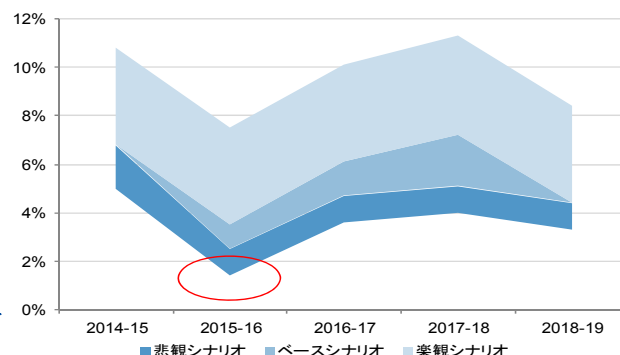
英国では、火力発電所の休止・閉鎖に加え、原発の老朽化もかなり進行している。現存する原発施設の9割が2023年迄に運転ライセンスが終了するなど、供給力不足が深刻化している。OFGEM(英国電力・ガス規制機関)の試算によれば、2015年～2016年にかけて、供給予備率が2%を下回るシナリオも存在する⁴(【図表10】)。

【図表9】メリットオーダーの変化イメージ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【図表10】英国 供給予備率の見通し



(出所) OFGEM 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

⁴ 電力の安定供給に必要な予備率は一般に3%と言われている。

送電系統建設計画の遅延と計画外潮流

ドイツでは系統ネットワークの課題も顕在化している。大規模な風力発電に適したエリアは北海の沿岸や沖合に多く分布するが、電力多消費型の産業の多くは南西部に集積しているため、再生可能エネルギーを自国で消費するためには南北をつなぐ高圧送電網の整備が必要となる。ドイツは、2009年に送電網拡張法「EnLAG法」、2012年にはFederal Requirement Actを発効、総長距離3,800kmの特別高圧電線の建設計画が決定したが、以下を理由に建設は大幅に遅延している。

第一に、巨額の投資負担が挙げられる。好風況地の多くは北海沖合50km近辺に分布しており、発電設備の設置や送電線の敷設工事が複雑かつ大規模になる。第二に、送電線建設予定地の住民による反対運動である。建設用地確保のための森林破壊、電磁波による健康への悪影響、景観悪化による地価下落などを理由に建設計画地の住民の多くが反対している。所謂 NIMBY (Not In My Back Yard) 問題である。第三に、州政府による合意プロセスが容易でない点である。地方分権が進むドイツでは、建設に際して送電線が通る各州の首相から承認を得る必要がある。過去に一旦合意したものの、建設段階で合意の無効を訴え計画が中断する事例もあり、建設が遅々として進まないのが実態のようである。

かくして、国民負担により導入した再生可能エネルギーは、自国内で消費しきれず、急激な出力変動による電圧上昇や停電を防ぐため、国際連系線を通じて、揚水発電等の吸収力を有する周辺諸国に安価で輸出されている。風力発電量と輸出電力量の強い相関関係からもその傾向を確認できる(【図表12】)。また、風力発電量の急激な増加等により、市場価格がマイナスになる(対価を払って電力を引き取ってもらう)局面もあり、余剰電力を地中に放電したり、売買が成立しないまま系統に流すケース(計画外潮流)も見られ、周辺国の系統を不安定にする要因にもなっている。

【図表11】ドイツの系統ネットワーク



(出所) BMWi 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

【図表12】ドイツの風力発電量と輸出発電量の推移



(出所) ENTSO-E 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

主要国では容量メカニズムの導入が検討される

こうした問題に政府も手を拱いている訳ではない。欧州主要国では、再生可能エネルギーの拡大により必要となる調整電源や、長期的な供給力を確保する目的で、容量メカニズムの導入(又は導入に向けた検討)が進む(【図表13】)。英国は、2014年12月に系統運用者の National Grid が第一回の容量オークションを実施した。フランスでは、分散型容量市場の導入が決まってい

る。他方、ドイツでは電力業界と政府との間で見解の隔たり⁵が大きく容量メカニズムの導入は決まっていない。

さらに英国では、低炭素社会実現に向けた課題も包括的に解決するため、電力市場改革(Electricity Market Reform、以下 EMR)を盛り込んだ「Energy Act 2013」を国会で可決した。EMR は、①容量市場の創設、②FIT-CfD の導入、③新設火力発電に対する CO2 排出基準の設定 (EPS : Emissions Performance Standard)、④CO2 排出価格の下限值設定の4本柱で構成されている(【図表 14】)。

【図表 13】 欧州主要国の容量メカニズムの検討状況

	英国	フランス	ドイツ
類型	容量市場(集中型)	容量市場(分散型)	戦略予備力 ⇒容量市場(分散型)
特徴	政府が策定した中長期の供給計画に基づき、系統運用者(National Grid)がオークションを実施、発電事業者が応札。そこで定まった容量価格に応じた支払いを系統運用者が発電事業者に行い、それに要する費用を小売事業者に負担させる方式	一定の要件を満たす容量を公的主体が認証し、その確保を小売事業者に対して義務付けた上で、認証を受けた容量を発電事業者や小売事業者の間で取引する方式。容量義務量に達していない事業者には、「容量インバランス」としてペナルティが課される。デマンドレスポンスもカウント可能	戦略予備力:緊急時に不足すると見込まれる量の電源を、系統運用者が戦略的予備力としてあらかじめ確保しておく方式 分散型容量市場:同左
検討状況	2014年12月に第一回オークション実施。 ＜第一回(2018年運用)入札結果＞ ・決済価格€19.4/kW ・合計49GWの容量(2018年運用分)が落札 ・内訳:既存31GW、更新15GW、新規3GW、デマンドレスポンス0.2GW	2016~17年の制度導入予定。2013年9~10月、RTE(系統運用者)が容量メカニズムに関するルールのコンサルテーションを実施。RTEはその結果を踏まえたルール案をエネルギー省およびCRE(エネルギー規制機関)に提出	検討中。連邦環境省およびBDEW(電気事業者等の団体)は分散型容量市場を支持しているが、連邦経済技術省は容量メカニズムの導入に消極的

(出所) 各種公開資料よりみずほ銀行産業調査部作成

【図表 14】 英国電力市場改革(EMR)の概要

容量メカニズム(CM)の創設	FIT-CfDの導入	新設火力に対する CO2排出基準(EPS) の設定	CO2排出量価格の下限值 (CPF)の設定
将来の容量に対して一定の対価を支払う仕組み。稼働する・しないに関わらず、一定の報酬が保証される。2014年12月から運用開始。	再生可能エネルギーのほか、原子力やCCS付火力なども対象。変動する卸電力価格のリスクをヘッジするための金融派生商品の位置付け。	発電所ごとにCO2排出量の上限を設定(450g/kWh) ⇒新設石炭火力に対するCCS設置を実質的に義務付け	排出権価格の下限を設定(EU-ETS価格が基準価格を下回る場合に、差額分を気候変動税または燃料税として支払)

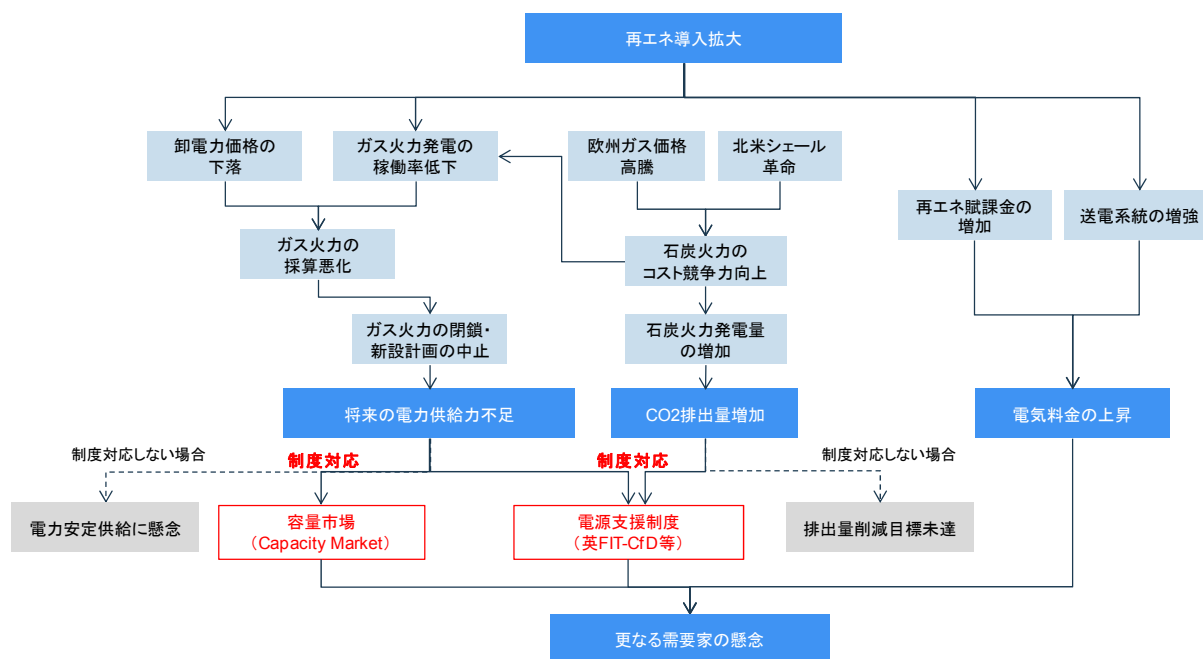
(出所) 各種公開資料よりみずほ銀行産業調査部作成

再生可能エネルギーの普及により欧州の電力供給システムに生じた「歪み」

このように再生可能エネルギーの導入拡大は、電気料金の上昇を通じた国民負担の増加に留まらず、経済性が悪化したガス火力の市場退出、供給力不足懸念、石炭発電量の増加を通じた CO2 排出量の増加、周辺国への計画外潮流といった広範かつ構造的な問題をもたらしている(【図表 15】)。こうした問題に対処するため政策が打たれているが、何れも更なる国民負担に繋がりがかねず、その影響が懸念されている。

⁵ 独政府は、国内供給力が需要を大きく上回る状況にある中で、容量メカニズムの導入は国民負担の増加に繋がりがかねないとして慎重な模様。電力業界は、再生可能エネルギーの導入拡大には調整電力として火力電源は必要、エネルギー市場における kWh 価値のみで火力発電を維持するのは困難であり、容量市場の導入は避けられないと主張している。

【図表15】 再生可能エネルギーの導入拡大が欧州電力システムに与える影響(まとめ)



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

3. 欧州の再生可能エネルギー政策について

(1) 欧州の再生可能エネルギー導入の背景

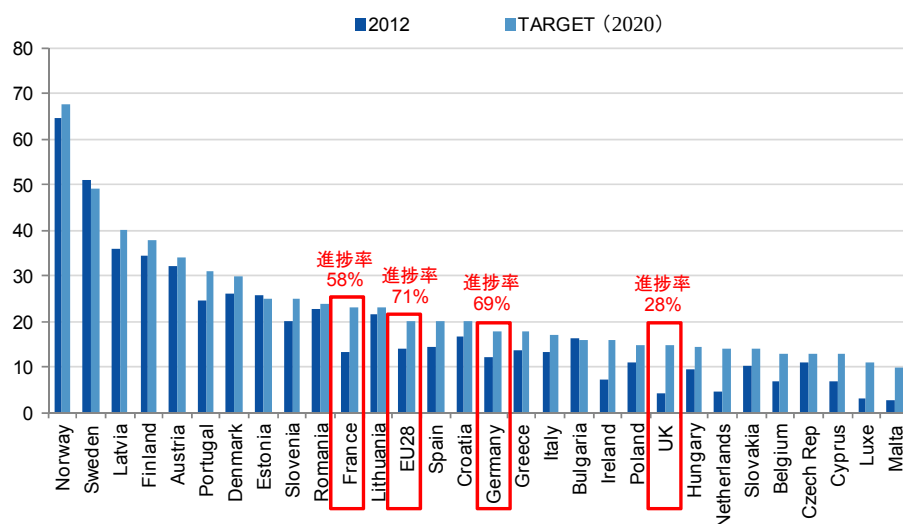
欧州全体での地球環境問題への対応意識

欧州諸国が再生可能エネルギーを積極的に導入しようとする背景にあるのは、地球温暖化問題への対応だ。欧州諸国は 1970 年代に「全ての政策は、まず環境への配慮から」との基本理念を確立し、エネルギー政策も気候変動対策と緊密にリンクさせて考えてきた。EU の気候変動対策のベースとなっているのが、2009 年に制定された「再生可能エネルギー利用促進指令 (20-20-20 (トリプル 20))」である。同指令は 2020 年に向けて温室効果ガス (GHG/Green House Gas) 排出量 1990 年対比 20%削減、消費エネルギー 20%削減、一次消費に占める再生可能エネルギー比率 20%達成を目指している。そして EU の目標を達成するために各国別にブレイクダウンし、法的拘束力を持たせる形で最終エネルギー消費に占める比率目標を各国別に課し、進捗状況の報告を求めている(【図表 16】)。

2050 年に向けて欧州全体で中長期的な目標を共有

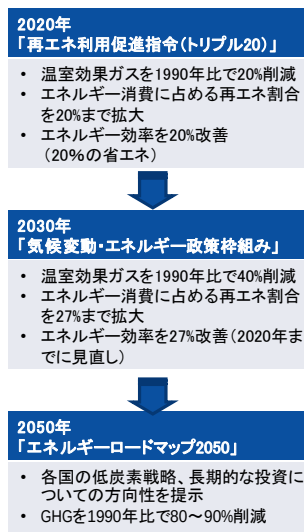
また EU は 2020 年以降についても、2030 年目標として欧州全体で GHG を 90 年対比 40%削減、最終エネルギー消費に占める再生エネの割合を 27%以上に引き上げること目標に掲げているほか、2050 年に GHG を 1990 年対比で 80~90%削減させることを掲げた「エネルギーロードマップ 2050」を制定している。このように、EU は中期・長期にわたり将来的な指標を掲げ、その目標を達成のために各国別に目標を課して進捗状況を管理する形で、気候変動対策に向けた着実な対応を図っている(【図表 17】)。

【図表16】 最終エネルギー消費量に占める再生可能エネルギー比率目標とその進捗



(出所)【図表 16、17】とも、Eurostat 資料よりみずほ銀行産業査部作成

【図表17】 EUの環境政策



(2) 欧州各国の再生可能エネルギー政策

欧州での FIT 導入は再生可能エネルギー拡大とコスト低減に寄与する一方、課題も顕在化

各国は、まずは当面の課題である 2020 年のトリプル 20 の自国の目標達成のため、再生可能エネルギーの導入を促す FIT などの導入促進制度を積極的に導入してきた。その結果、太陽光や風力発電など一部の電源については市場拡大に伴う量産効果で太陽光パネルや風力発電機の価格低減につながり発電コストが大幅に低下、グリッドパリティ⁶の実現という FIT の目標が一定程度達成されている。

一方で、前述のとおり再生可能エネルギー導入支援が需要家に多額の負担を強いることとなり、再エネ導入支援コストの削減が求められている。また FIT の仕組みは電力市場の自由化の本来の機能を歪める、との批判も出てきた。

ポスト FIT に向けては、将来の自立電源化を見据えた制度設計が為され始めている

こうした状況に対応するため、例えばドイツでは年間導入目標量とその時の導入実績に応じて新規の買取価格を調整することをあらかじめ定めたスライディング・スケール方式や、FIP⁷などが採用されている。また英国でも、市場取引を意識した動きとしてデリバティブの概念を導入した差額決済制度である FIT-CfD が導入されている(【図表 18】)。

このように欧州では、再生可能エネルギーの導入を支援しながらコントロールする政策や、一定の政策支援をしながらも市場価格をベースとする政策など、ポスト FIT に向けた動きが出始めている。こうした動きは、政策支援により拡大した再生可能エネルギーが、将来、他の電源と競争可能な自立型の電源となることを目指した過渡的な措置と位置付けられている。

⁶ 再生可能エネルギーなどの発電コストが既存の系統電力の発電コストと同等になること。ドイツでは、産業用電力価格 15.37 セント/kWh(2014 年平均価格)に対し、陸上風力の買取価格 4.9~8.9 セント/kWh、太陽光の買取価格 9.2~13.2 セント/kWh と、風力と太陽光ではグリッドパリティを達成(BDEW 資料)。

⁷ Feed-in Premium の略。再エネ電気を卸電力市場に直接販売し、卸電力価格に割増金(プレミアム)を上乗せする方式。プレミアムの単価が固定されるケースや販売価格に上限や下限を固定させる方法などもあり、近年では FIP の仕組みも多様化してきている。

【図表18】 欧州主要国の再生可能エネルギー政策

ドイツ	●2000年にFIT制度の根拠法となるEEG法(Erneuerbare-Energien-Gesetz)を制定しFITを開始(EEG法はその後4度改正) ●2012年よりプレミアム料金制(FIP)を選択制で導入 ●2014年のEEG法改正により、至近の導入実績に応じて新規の買取価格を調整するスライディング・スケール方式を導入。また市場取引への移行を見据え、一定規模(100kW)以上の再エネ設備については段階的にFITを廃止し市場での直接販売を義務付けること、②遅くとも2017年までに競争入札とする方針を明示
スペイン	●1994年にFITを開始。太陽光の買取価格が高額だったことから再エネの導入が他国より加速 ●経済危機のため国策で再エネ賦課金を需要家に十分に転嫁せず、電力会社の赤字が増大 ●2004年、FITとFIPの選択制を導入 ●2012年、固定価格での買取を凍結(2014年に太陽光・風力以外の一部の電源で再開) ●CEGRE(Control Center for Renewable Energy)による再エネ専門の監視・制御機関が系統を管理
イギリス	●2002年RPS制度開始、2008年FIT開始 ●2014年、5MW超の大規模の低炭素電源について、デリバティブの概念を導入した差額決済制度FIT-CfDを適用 ●FIT制度と併用されてきた再生可能エネルギー利用義務(RO制度)は、2017年3月末で新規受付終了予定
フランス	●2000年にFITを開始 ●発電設備の規模別にFITと入札制度を併用

(出所)各種資料よりみずほ銀行産業調査部作成

4. 欧州ユーティリティの企業戦略の変化

戦略の転換を迫られる大手ユーティリティ

火力発電や原子力発電のような大規模な設備を必要としない再生可能エネルギーの拡大は、地産地消の分散電源の普及を加速させる。こうした流れを受けて、大規模な設備と高度な発電技術を駆使し、系統システムを通じて需要家に電気を届けるというユーティリティ事業者のビジネスモデルが大きく変わろうとしている。欧州のユーティリティ事業者の多くは、経済性が大きく低下した火力発電事業のスクラップを含め、事業ポートフォリオの大胆な組み替えに取り組んでいる。【図表19】は公開資料やヒアリング等から確認できた大手各社の事業毎の方向性を示したものであるが、上流開発や原子力など、国としてのエネルギー安全保障に直結する分野は別として、火力発電を縮小し、成長する再生可能エネルギーや安定収入が見込まれる配電やエネルギー小売に経営資源をシフトする動きは概ね共通している。

【図表19】 大手ユーティリティの各事業領域における戦略方向性

	川上					川下
	上流開発	火力発電	原子力発電	再生可能エネ	エネルギー小売	その他
独E.ON	スピンオフ(実質Exit)			→	→	海外事業に注力
独RWE	Exit	→	Exit予定	→	→	規制事業(配電)に注力
英Centrica	→	→	→	→	→	ガス事業に回帰
仏EDF	—	→	→	→	→	海外事業に注力
仏GDF Suez	→	→	→	→	→	海外事業に注力

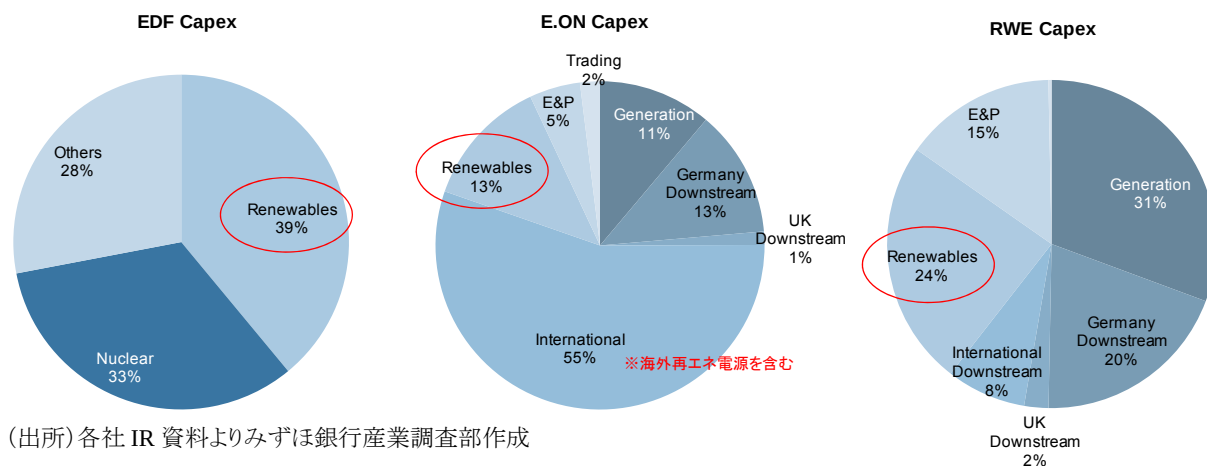
(出所)みずほ銀行産業調査部作成

大手ユーティリティの再生可能エネルギー事業

再生可能エネルギーは、風況や日照条件などの地理的条件だけでなく、各国の政策・制度に大きく依存するため、早くから導入補助制度が整備されてきた欧米先進国を中心に展開が見られる。また、再生可能エネルギーは現時点

では政策的な補助によって初めて成立する事業であり、一般に収益性が高くないことから、E.ON や EDF は建設した発電資産をインフラファンド等の投資家に売却し⁸、その資金で次の開発を手掛けるといった資産回転型の事業を展開している。

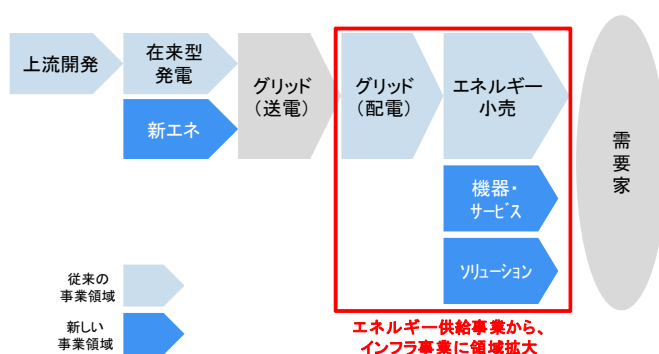
【図表20】 大手3社の設備投資額の内訳(2013年)



RWE のエネルギーインフラ事業への転換

RWE は再生可能エネルギーを中心とした分散電源が普及することで、エネルギーの Consumer (需要家) が Prosumer (需給家) 化している実態を踏まえ、Energy Provider (エネルギーの供給) から Energy Application (エネルギーの応用) の領域に踏み出している。ここでは、エネルギーの「販売」に加え、機器販売やソリューションの提供を含めたエネルギーの「インフラ」事業として展開することで、Prosumer 化する顧客との新たな関係を築き、囲い込む戦略がとられている(【図表 21、22】)。

【図表21】 RWE の事業領域の変化



【図表22】 RWE のエネルギーインフラ事業の一例

	提携先	事業概要
スマートホームデバイス	Nest (Google)	- 行動パターンの学習機能具备したサーモスタットにより、室内温度を最適管理(高い節電効果を実現) - 長期契約の需要家に無料配布(オランダではNestから独占販売権を取得)
	SAMSUNG	Samsungのホームセキュリティシステムを自社のHEMSと連携させてスマートホームの差別化を図る
	LEG (独ハウスメーカー)	- LEGが保有する物件(オンサイト)に、RWEが省エネコンサルの上、高効率コジェネを設置("Tenant's Electricity") - テナント側で高い節電効果を実現
EVインフラ	DAIMLER	- DaimlerとのEV共同事業 - 当社は欧州20カ国にEVチャージャー計2000台設置(EV電力需要を囲い込み) - V2Gによる系統安定化にも活用

(出所)【図表 21、22】とも、RWE IR 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

機器販売やソリューションの提供は、何れも顧客の省エネ行動を促すものであり、短期的にはエネルギー収入面でマイナスである。またユーティリティの提供を本業とする RWE が機器販売を行うことで大きな収益を得ることは想定し難い。こうした動きは、自社のブランド価値を高めるとともに、エネルギーに関

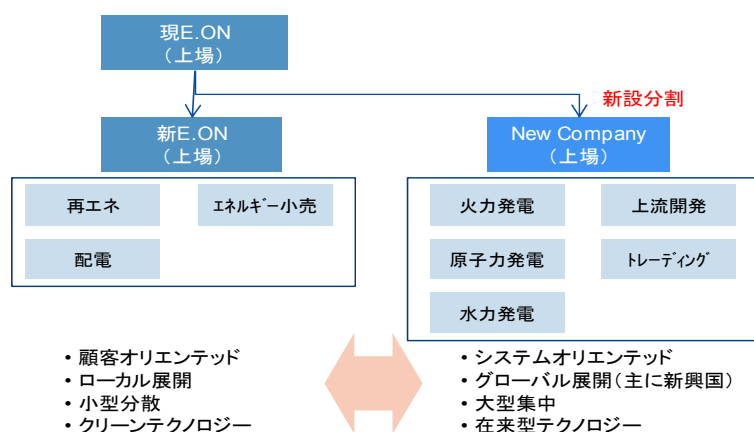
⁸ 資産売却後も、Operation & Management を提供する等、引き続き関与すること多い。

連するインフラに自社のエコシステムを構築し、顧客のスイッチングコストを高めることで、エネルギー需要を独占的に獲得することを狙った動きとみることができる。

在来型発電事業
のスピノフを
発表したE.ON

再生可能エネルギーやエネルギー小売事業に大胆に舵を切った例が、2014年11月に在来型発電事業のスピノフを発表したE.ONである。E.ONは2016年にスピノフする新会社に、在来型発電事業(火力、原子力、水力)、上流開発、トレーディングの各事業を移転し、自らは再生可能エネルギー、エネルギー小売、配電に特化した新しい事業体に生まれ変わる。エネルギー転換が進行し、事業環境が大きく変化する中で、事業特性が異なる在来型発電と再生可能エネルギーを同じ経営者の下で運営するのは企業価値最大化の観点から望ましくないとの判断が背景にあったものと推察できる。

【図表23】 E.ON のスピノフ計画



(出所)E.ON IR 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

欧州ユーティリティ
を取り巻く外部
環境の変化

大手ユーティリティが次々に大胆な事業モデルの転換を図る背景を考察してみると、エネルギー転換の進行によって「買い手の交渉力」と「代替品の脅威」が急激に増幅している実態が浮かび上がる⁹【図表24】。主力商品が突如として売れなくなり、これまで手掛けていなかった新たな商品が市場を席巻する。同時に需要家のニーズは多様化し、高度化する一方、需要家自らが新商品の生産者になる。こうした脅威は、大手ユーティリティの従来の事業モデルを崩壊させるだけの力を持っており、ここで事業モデルの変革が遅れば、企業としての存続も危ぶまれる。

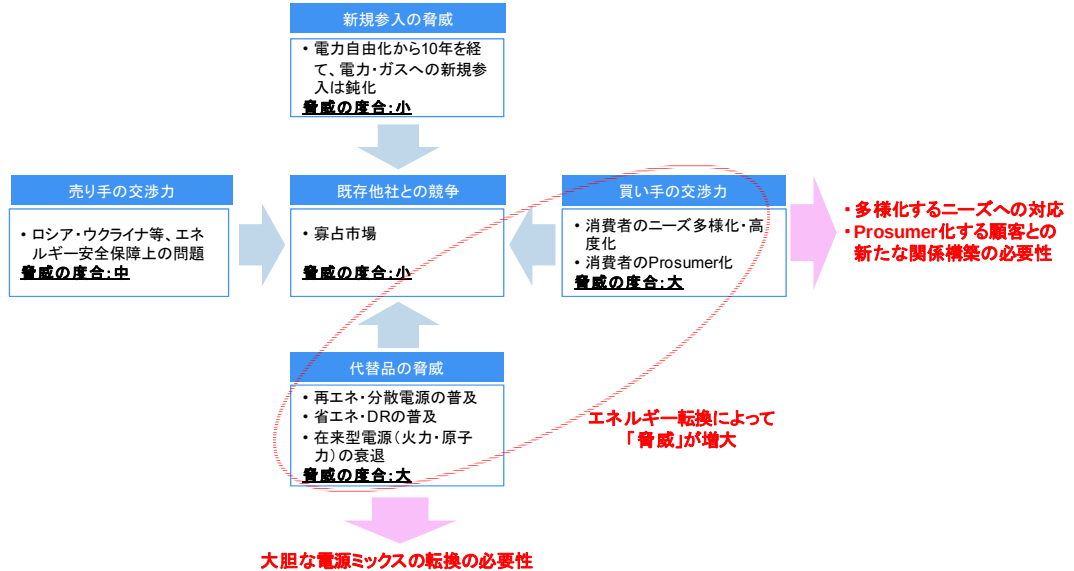
特に2050年迄に発電電力量に占める再生可能エネルギー比率80%を目指すドイツを母国市場とする事業者にとっては、再生可能エネルギーを中心とする電源ミックスへの転換は避けて通れない。また、需要家のニーズが多様化・高度化しながら、需給家(=Prosumer)化する環境下では、エネルギー供給事業から、電力の買取や、機器販売、省エネコンサルなどのサービス提供等を含めた広義のエネルギーインフラ事業へ領域を拡大していく必要性がある。E.ONやRWEの大胆な経営戦略の転換には、こうした産業構造の変化が色濃く映し出されている。

また、ConsumerのProsumer化の流れは、主にエネルギーの川下領域において、異業種との連携やイノベーションを促し、新たな事業モデルや新鋭ベンチ

⁹ 競争環境の分析に際しては、マイケル・E・ポーターの5 Forces Analysisを使用

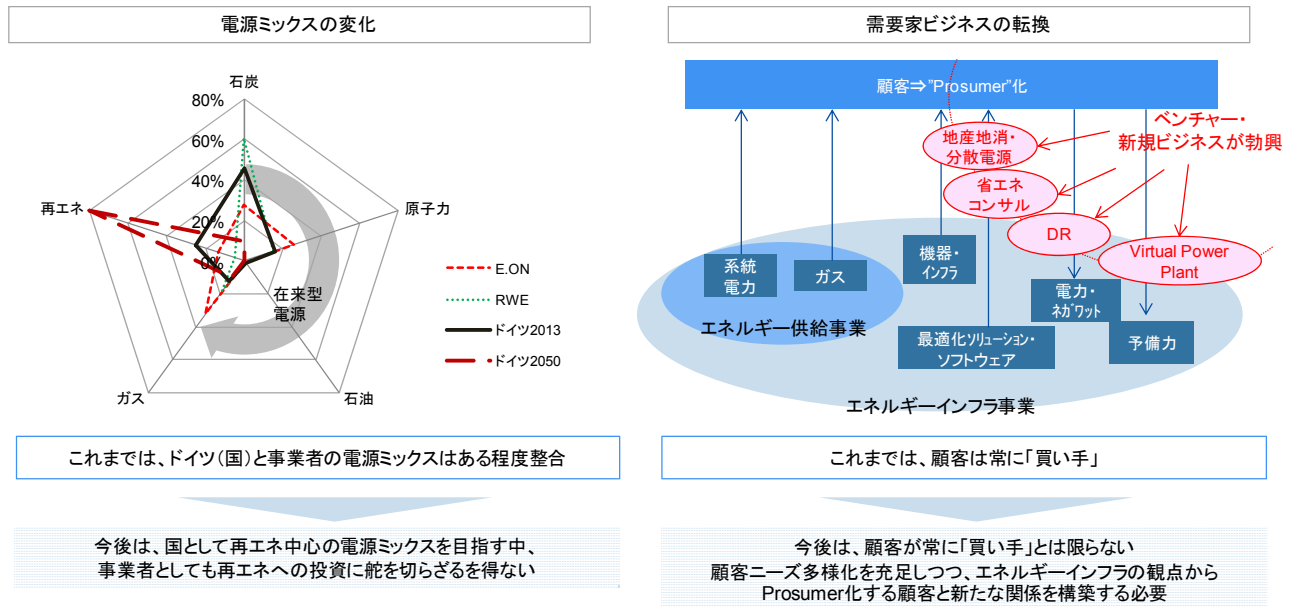
ヤーを生み出す原動力になっている。次節では、具体的なビジネスモデルとして VPP とデマンドレスポンスを採り上げる。

【図表24】 欧州ユーティリティの外部環境の変化(5 Forces 分析)



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【図表25】 「代替品の脅威」・「買い手の交渉力」への対応



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

(注) DR は Demand Response の略

5. 欧州における Virtual Power Plant と Demand Response

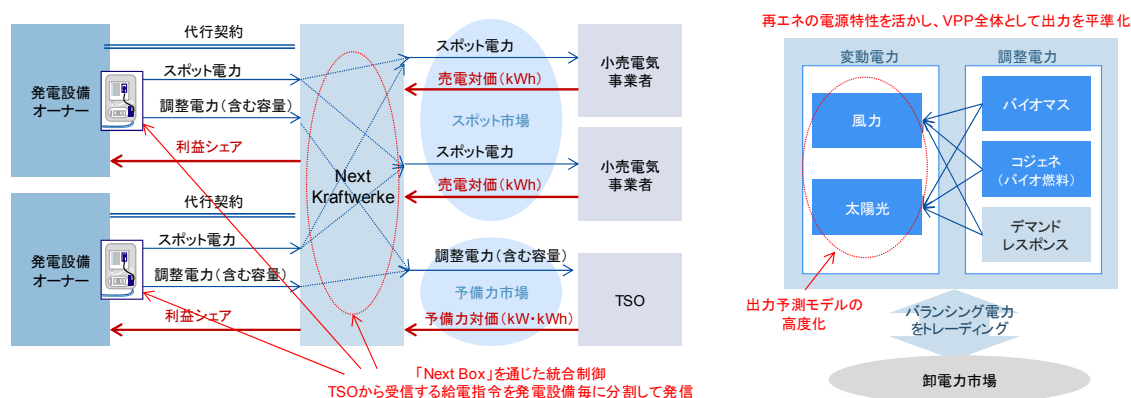
Next Kraftwerke
の VPP 事業モデル

ドイツの Next Kraftwerke 社は 2009 年に設立された Virtual Power Plant¹⁰ (以下、VPP) 事業者である。「Next Box」と呼ばれる通信機能付コントローラーを計 2,400 カ所の分散電源に設置し、各分散電源をオンラインで接続することで、1,000MW の容量を確保している。

同社は、電力需給家 (Prosumer) との間で電力販売に関する委託契約を締結し、スポット市場での電力販売や、系統運用者が行う予備力オークションにおいて、セカンダリー・リザーブ (5 分以内に応答) やターシャリ・リザーブ (需給変化に応じて手動で応答) の提供を行うことでマネタイズする。獲得した収入は、委託契約に基づき、分散電源保有者とシェアする仕組みだ。

同社が目指す理想の事業モデルは、再生可能エネルギーの出力変動を、再生可能エネルギーで調整することによる、再生可能エネルギーを主体とする VPP である。予測が難しい風力や太陽光等の自然変動電力に対して、バイオ燃料やコジェネ等を用いて負荷追従を行う。またマーケットの状況に応じて、VPP 内で調整した後の余剰電力を卸電力市場で売電し、収益の最大化を図る。同社は 2013 年に電力スポット市場を通じて再生可能エネルギー由来の電力を 24 億 kWh 販売した。

【図表26】 Next Kraftwerke の VPP 事業モデル



(出所) Next Kraftwerke ウェブサイトよりみずほ銀行産業調査部作成

Energy Pool の
Demand Response
事業モデル

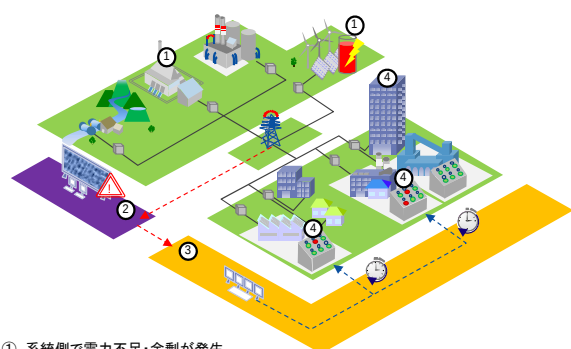
仏 Energy Pool 社は、2008 年にデマンドレスポンス・アグリゲーターとして設立されたベンチャーで、2010 年に仏 Schneider Electric (エネルギー・マネジメント大手) グループに傘下入りした。同社の特徴は産業用設備のデマンドレスポンス (以下、DR) に特化している点である。約 80 の大口需要家を同社のネットワーク・オペレーションセンター (Network Operation Center、以下 NOC) と接続することで、1,500MW の DR 容量を確保している。

同社の運用は全て自動化されている。まず、NOC が系統運用者から DR 指令を受信すると、NOC が需要家毎の応答量を解析し、各需要家に分割して DR 指令を発信、各需要家は信号を受信後、数分単位で、電力消費量を自動制御する。同社の強みは、産業需要家が創出できるネガワットの量や時間帯の幅をきめ細かく分析し、不測の事態にも柔軟に対応できる多種多様なポートフォリオを組む技術にある。

¹⁰ 複数の分散電源や需要抑制を通信ネットワークで統合し、あたかも一つの発電所のように制御・運営すること。

2013年には、経済産業省と新エネルギー導入促進協議会が主導する次世代エネルギー・社会システム実証事業の第三次公募案件に、双日等とともに参加するなど、近年、海外展開にも積極的である。

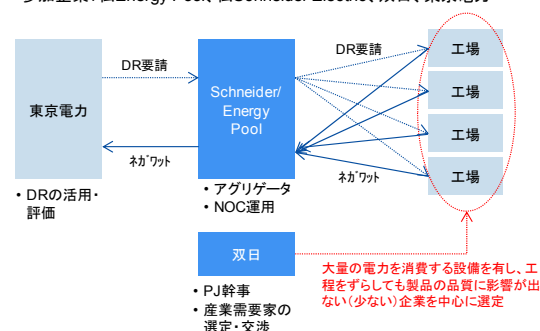
【図表27】 Energy Pool の DR 事業モデル



- ① 系統側で電力不足・余剰が発生
- ② 当社NOC(Network Operation Center)が、発電事業者/系統運用者からDR要請を受信
- ③ 当社統合システムが、DR参加設備毎の出力制御量を解析し、DR信号を発信
- ④ DR参加設備は、信号を受信後、分単位で、出力を自動制御(応答速度は数分単位)

【図表28】 Energy Pool の日本における DR 実証

- ・「平成25年度次世代エネルギー・社会システム実証事業費補助金の第三次公募」案件
- ・産業用需要家に特化したDR実証実験
- ・実証期間: 2013年12月~2015年3月
- ・事業規模: 5万kW
- ・参加企業: 仏Energy Pool、仏Schneider Electric、双日、東京電力



(出所)【図表 27、28】とも、Energy Pool ウェブサイトよりみずほ銀行産業調査部作成

欧州の DR の市場整備状況

再生可能エネルギーの出力変動への瞬動的な調整力として期待されているDRであるが、まだ欧州の多くの国ではDRが普及するための環境やルールの整備が追い付いていないのが現状のようだ。

欧州におけるDRの普及を推進する業界団体SEDC(Smart Energy Demand Coalition)によれば、DRが成立する要件として、①需要家(又はDRアグリゲーター)が市場にアクセス可能であること、②プログラム要件が厳しすぎないこと(参入障壁が高くないこと)、③DRの測定・評価の方法が確立していること、④対価の精算方法や罰則規定が明確化されていること、の4点を挙げている。この観点から、DRの市場整備状況を評価したものが【図表29】である。DRの環境が整備されている国は未だ多くないことが分かる。その中でも、市場環境が整いつつあるフランスや英国では、上述のEnergy Poolのようにベンチャーを中心にDRプレイヤーの台頭が見られる。

【図表29】 欧州におけるデマンドレスポンスの環境整備状況

2014					
	Consumer access	Programs	Verifications	Finance /Risk	Overall
Austria	3	3	3	3	12
Belgium	5	5	3	5	18
Denmark	1	0	3	3	7
Finland	5	3	3	3	14
France	5	5	3	5	18
GB	5	3	3	3	14
Germany	1	3	1	3	8
Ireland	3	3	5	5	16
Italy	1	1	0	1	3
Netherlands	3	3	3	1	10
Norway	1	3	3	5	12
Poland	1	3	3	0	7
Spain	0	1	0	1	2
Sweden	1	3	5	3	12
Switzerland	5	3	5	5	18
Overall Score	40	42	43	46	171
Max. Score	75	75	75	75	300

基準	DRアグリゲーションの法的根拠、BRP ^① とBSP ^② の契約関係
5	DR・アグリゲーションが複数の市場で可能
3	BRPとBSPの契約関係は不明瞭だが法的根拠のある市場は存在
1	BRPとBSPの関係は不明瞭で法的根拠も明確でない(商業的に成立しない)
0	DR・アグリゲーションの法的根拠が存在しない又は資源として認識出来ない
基準	プログラム要件の適正性
5	広範囲のDR資源が複数の市場に参加可能となるよう要件設計されている
3	デマンドサイドの市場参加要件に軽度の障壁があるが、市場参加は可能
1	デマンドサイドの市場参加要件が厳しすぎるため、競争環境に問題がある
0	プログラム要件がデマンドサイドの参加を事実上ブロックしている
基準	測定方法(ベースラインの設定等)と評価方法
5	全ての要件が詳細に定義されており、消費者がDRに参加可能
3	全ての要件は定義されていないが、DRの重大な障害にはなっていない
1	重要な要件が定義されておらず障害となっている
0	要件が存在しない
基準	ファイナンス・リスク管理
5	対価の支払と罰則は公正かつ適切
3	公平性に問題あり。また、罰則規定よりリスクが存在するが、参加自体は可能
1	支払条件が不適切と思われる。また罰則規定に重大なリスクが内在
0	支払条件が不適切。罰則規定が致命的な障壁になっている

(出所) SEDC 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

(注 1) Balancing Responsible Party: バランシンググループ

(注 2) Balancing Service Provider: アグリゲーター

6. インプリケーション ―エネルギー新時代の政策と戦略の一考察

エネルギー転換
は「対岸の火事」
か？

欧州では、環境志向の強い国民性を素地に、EU 主導の野心的な環境目標とそれに沿った各国の再生可能エネルギー支援制度やエネルギー安全保障への問題意識等が、エネルギー転換への大きな原動力となった。

我が国においても、今後、再生可能エネルギーは拡大する見通しである。確かに 3E+S の基本理念に照らせば、環境性 (Environment)、エネルギー安全保障 (Energy Security) および安全性 (Safety) に優れる再生可能エネルギーは、我が国にとって有望なエネルギー源であり、その導入は精力的に進められるべきである。

再生可能エネルギーの拡大には、調整電源の維持コストを含むトータルコストを踏まえた目標設定が必要

但し、急激かつ一定量以上の再生可能エネルギーの導入は電力供給システムに様々な弊害をもたらす。欧州の事例では、再生可能エネルギー導入に伴う賦課金 (国民負担) の増加、卸電力価格の低迷と火力発電の稼働率低下に伴うユーティリティ事業者の財務悪化、火力発電所の閉鎖加速と供給力・調整力不足の懸念、石炭火力の高稼働に伴う CO2 排出量の増加、送電網建設計画の遅れからくる再生可能エネルギー由来電力の国外流出や計画外潮流等の様々な社会問題が露呈した。また、そういった課題に対して、事後的に政策が打たれているものの、いずれも更なる国民負担に繋がりがかねない。重要なことは、「起こるであろう問題」に対して、フォワードルッキングな視点で、政策パッケージを打ち出していくことである。現時点で再生可能エネルギーは発電コストが高く、政策支援なくして普及させることが困難な電源である。従って、政策パッケージを打ち出す際には、調整電源の維持費用等、再生可能エネルギーの拡大により必要となる周辺のコストを含めたトータルのコストを示したうえで、国民の合意を得るプロセスが必要であろう。

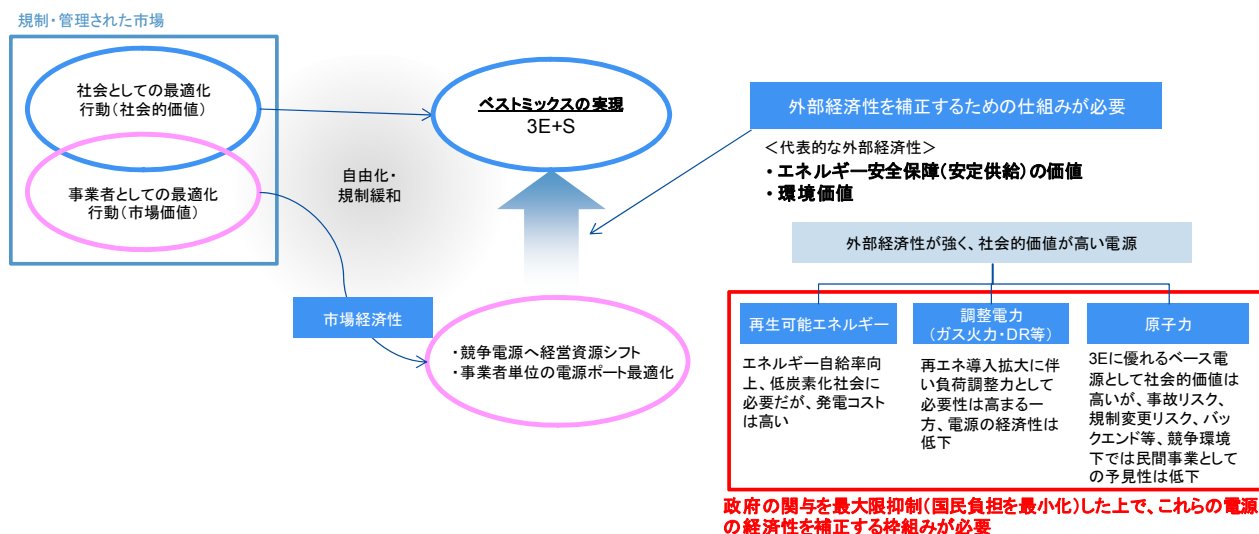
エネルギーを取り
巻く日本の国情

再生可能エネルギーの導入拡大に際しては、エネルギー・電力における我が国の立ち位置も今一度踏まえておく必要がある。日本は、「世界第五位のエネルギー消費大国」であり「少資源国」であるため、純国産である再生可能エネルギーの導入を拡大する意義は大きい。一方、欧州と異なり、島国である日本は国際連系線を通じた電力の輸入が出来ないこと、送電ネットワークの形状から広域的な運用に物理的・技術的な難しさが存在することから、安定供給や調整電力の確保には一層神経を尖らせる必要がある。その意味では、ガス火力発電のように、常に発電量をコントロールできる柔軟な電源の必要性は高まる。即ち、バランスの取れたエネルギーミックスの実現こそが、我が国にとって死活的に重要な課題ということになる。

競争環境下でエ
ネルギーミックス
を実現するため
の政策の在り方

自由化された競争環境下でエネルギーベストミックスを実現するためには何が必要であろうか。欧州の事例で見てきたように、社会全体として必要であっても競争市場メカニズムの下では評価されず、市場から退出を余儀なくされるエネルギー、所謂、外部経済性を有するエネルギーが存在する。代表的なものとしては、再生可能エネルギー、調整電力、原子力といった電源である。従って、求められることは、国民の追加負担を抑制しつつ、そういった電源を確保していくための政策ということになる。

【図表30】 自由化された競争市場におけるエネルギー政策の在り方

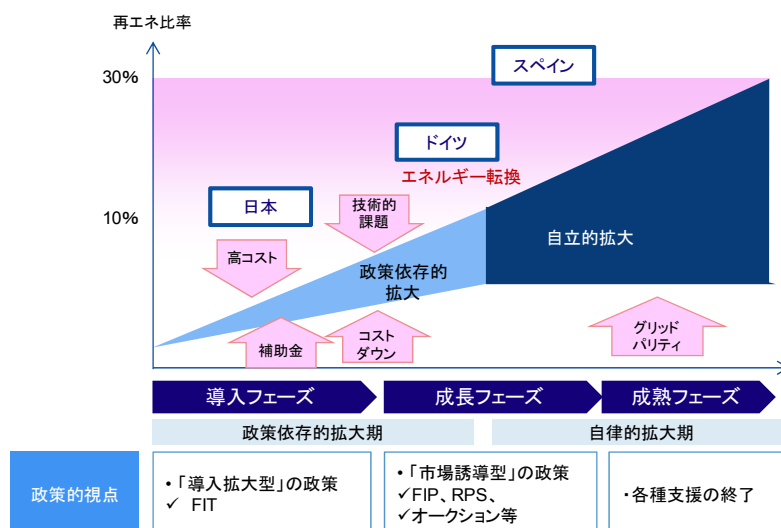


(出所) みずほ銀行産業調査部作成

再生可能エネルギーは、普及フェーズに応じた政策対応が必要

ここで再生可能エネルギー政策について、代表的な導入施策である FIT や FIP が、再生可能エネルギーの各普及フェーズにおいて、どのように位置づけられるか考察したい。FIT などの支援政策は、他の電源に比べ、コスト競争力が低い再生可能エネルギーに対して、補助金等を通じて市場を創出し、大量生産と技術革新によりコスト低減を実現することで、将来の自立的拡大を目指すものである。再生可能エネルギーの普及フェーズは【図表 31】のように大別される。

【図表31】 再エネ導入促進策のフェーズ類型



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

導入フェーズは、政策支援による市場の創出・拡大期である。再生可能エネルギーに市場競争力がない段階では、FIT 等により政策的に再生可能エネルギーを拡大する必要がある。成長フェーズは、市場が拡大した結果、大量生

産によるスケールメリットと技術進歩で再生可能エネルギーの低コスト化が進展するフェーズである。この段階では政策支援は未だ必要であるが、将来の自立電源化を見据え、再生可能エネルギー電力を卸電力市場へ直接販売するなど、市場価格をベースにした政策(FIP等)が有効と考える。最後に成熟フェーズは、低コスト化の更なる進展により、グリッドパリティが達成され、再生可能エネルギーが競争力ある電源として自立的に拡大するフェーズである。この段階では導入支援政策は不要となる。

我が国が市場価格ベース取引に移行するには時期尚早である一方、価格や導入量に予見性を確保する制度設計が必要

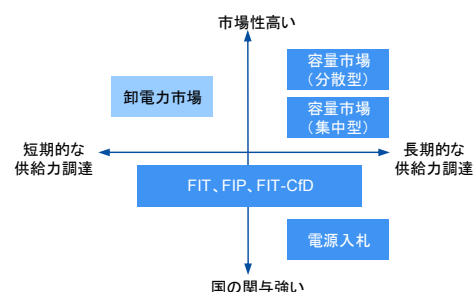
調整電源を確保するための措置

我が国においては、目標とする再生可能エネルギー導入量には未だ遠く及ばないこと、欧州と異なり卸電力市場が未成熟であることから、現時点では導入フェーズにあるといえ、従ってドイツのようなFIP制度に移行するには時期尚早と考えられる。斯かる中で、国民負担を抑制する手法として参考になるのが、2011年にドイツで導入されたスライディング・スケール方式である。同方式は、予め電源毎の年間導入目標を設定し、目標を上回る設備の導入が進んだ場合には、以降の導入分について補助の比率を自動的に引き下げていく方式である。買取価格の低減に予見性を保ちながら、導入量をコントロールすることが可能な手法として我が国も参考とすべきである。

次に、調整電源を確保するための政策について考えてみたい。一般に、長期的な供給力を確保するための措置としては、容量市場、電源入札、FIT(FIP、FIT-CfD)等が考えられる(【図表32】)。この中で、国民負担を極力抑制するという観点では、市場メカニズムが働きやすく、事業者の効率化努力を誘引する容量市場が有力な政策オプションと考えられる。他方、通常の容量市場は、「1kW・1 価」の市場であるため、例えば調整電源のような発電コストの高い電源には不向きであるし、エネルギーベストミックス実現に必要な外部経済性を補正する手段としても不十分と言える。そこで、電源特性毎に異なるkW価値を評価する仕組みや、特定の電源のみが参加できる容量市場のような枠組みが有効ではないかと考える。こういった仕組みが用意されることで、今後調整力として期待されているDRや分散電源の市場参加を通じたマネタイズの機会を創出し、新たなビジネスの育成にもつながるだろう。

【図表32】 長期的な供給力を確保する政策オプション

	容量市場		電源入札	FIT、FIP、FIT-CfD
	集中型	分散型		
概要	発電事業者が容量市場に電源を入れ、そこで決まった容量価格(統一価格)に応じた支払いを系統運用者が発電事業者に行い、それに要する費用を小売事業者に負担させる方式	一定の要件を満たす容量を公的主体が認証し、その確保を小売事業者に対して義務付けた上で、認証を受けた容量を発電事業者や小売事業者間で取引する方式	緊急時に不足すると見込まれる量の電源を、系統運用者が戦略的予備力として確保しておく方式	特定の電源に対して、予め定めた固定買取価格での買取を実質的に保証するもの
対象電源	全電源(含むDR)	全電源(含むDR)	特定電源	特定電源
国の関与度合い	高い	低い	高い	高い
特徴				
市場メカニズム	働きやすい	働きやすい	働きにくい	働きにくい
事業者の効率化インセンティブ	働きやすい	働きやすい	働きにくい	働きにくい
取引の透明性	高い	低い	低い	低い～高い
制度設計の複雑性	複雑	複雑	簡素	簡素～複雑
海外事例	米国(PJM等) 英国	フランス ドイツ(検討中)	スウェーデン	多数

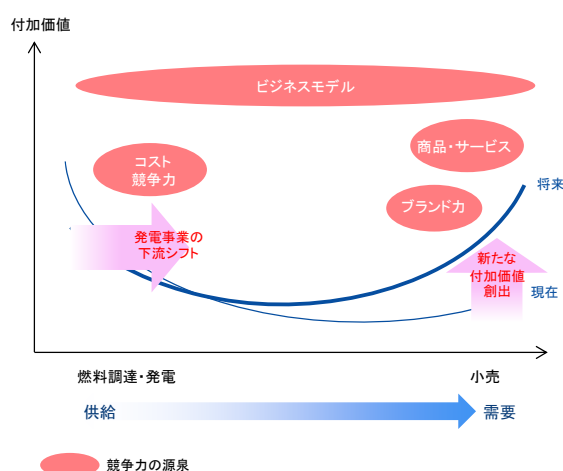


(出所) みずほ銀行産業調査部作成

エネルギー新時代の企業戦略の方向性

欧州の事例で見てきたように、エネルギー転換は、E.ON や RWE といった大手ユーティリティの事業モデルを根本から変革させるほどの環境変化をもたらした。程度の差こそあれ、日本においても、今後、エネルギー事業者にとって「代替品の脅威」・「買い手の交渉力」は増幅するであろう。このような環境においては、これまで競争力の源泉であった大規模集中型の発電ノウハウの優位性は薄れる一方、川下分野では、様々な事業機会が生まれる（【図表 33、34】）。RWE のように、エネルギー供給を主体とするビジネスモデルから転換し、機器販売（ハード）や省エネコンサル（ソフト）を含めた広義のエネルギーインフラの提供を主体とする事業者も出現するであろう。再生可能エネルギー、分散電源、DR、スマートメーターの普及がそういった動きを加速させる。

【図表33】 バリューチェーンにおける価値の移転



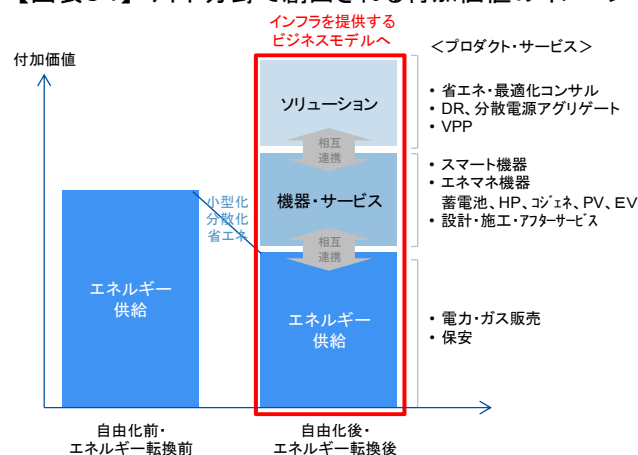
（出所）【図表 33、34】とも、みずほ銀行産業調査部作成

VPP はエネルギー新時代において有望な事業領域になりえる

ここでは、新たなビジネスモデルの一例として VPP を取り上げる。前節でも触れたように、欧州では分散電源の普及とともにベンチャーが中心となり VPP 等の事業モデルが誕生している。VPP がビジネスとして成立するためには、①需要家側のピークシフトニーズ、②再生可能エネルギーの拡大に伴う送配電事業者の系統安定化ニーズ、③制御の「自動化」に関する技術革新、④VPP や DR の経済価値を実現する市場の存在が必要と考える。我が国においては、ピークシフトニーズや系統安定化ニーズは既に存在していることから、今後、技術革新や市場の整備によって VPP が普及する可能性は大きい（【図表 35】）。VPP は複数の分散電源がお互いの電源特性を補完し合い、それ自体が高いフレキシビリティを有する一つの発電所として機能することで、地産地消のエネルギーコミュニティ形成や災害時のレジリエンス等、地域社会においても重要な役割を果たす。また、自らが需要家・発電設備単位の制御を請け負うことにより、系統への負担を和らげることから、再生可能エネルギーの導入拡大にも大きく寄与する。ドイツの Next Kraftwerke の例で見たように、出力が不安定な再生可能エネルギーも、その組み合わせにより VPP 単位では安定した電源になりえる。

エネルギー転換は、我が国にとって大いなるチャレンジである。再生可能エネルギーの急速な普及は電力システムに構造的な問題をもたらし、エネルギーベストミックスの実現を困難なものにする可能性がある。また、従来の大規模集中・系統システムを事業基盤としてきたエネルギー事業者の在り方を根底から変えるだけの大きな力を持った波である。

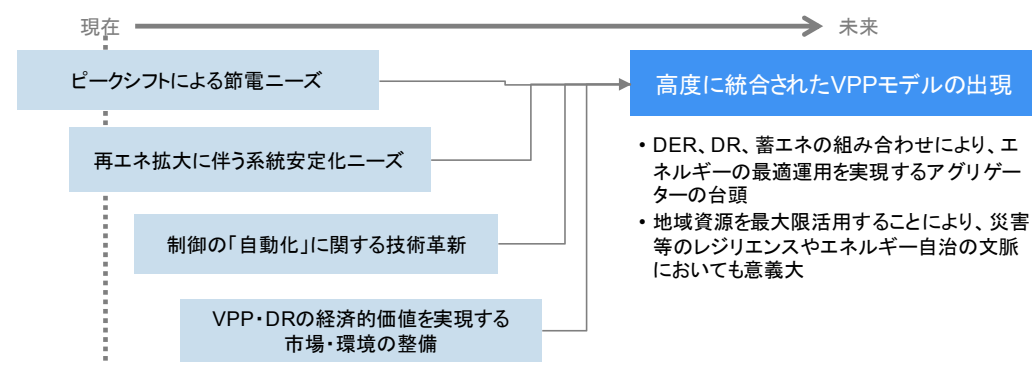
【図表34】 川下分野で創出される付加価値のイメージ



我が国のエネルギー産業が、新たな分野におけるイノベーションを通じ、持続的な成長を遂げていくことに期待

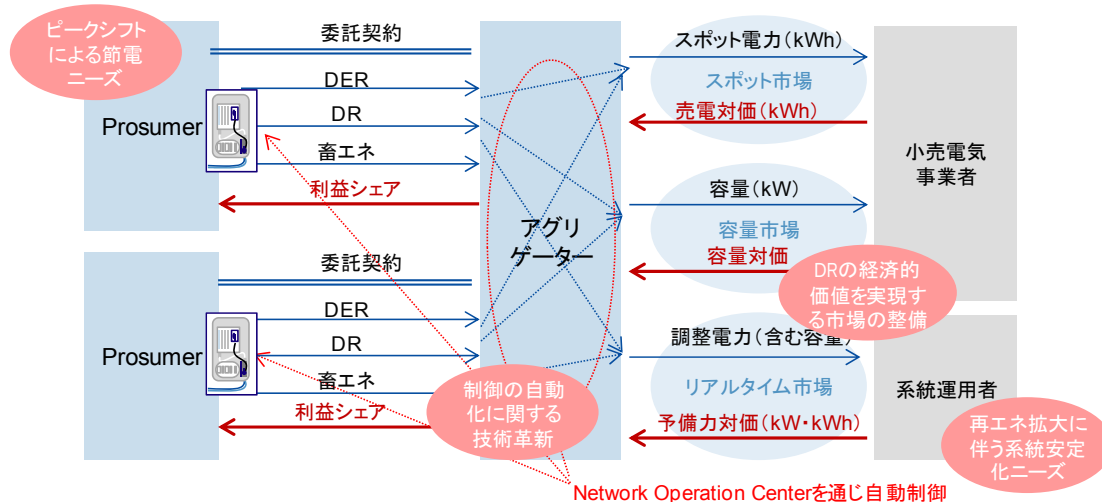
他方で、大いなるチャンスでもある。欧州の事例で見てきたように、川下分野におけるイノベーションが様々な事業機会を生み出す。事業者は新たな付加価値を生み出し、ビジネスモデルとして取り込むことによって、エネルギー新時代を勝ち抜く競争優位性を手にすることが出来るだろう。我が国のエネルギー産業が、このエネルギー転換という産業の構造変化を見据え、新たな分野におけるイノベーションを通じて、持続的な成長を遂げていくことに期待したい。

【図表35】 VPP・DR の普及シナリオ



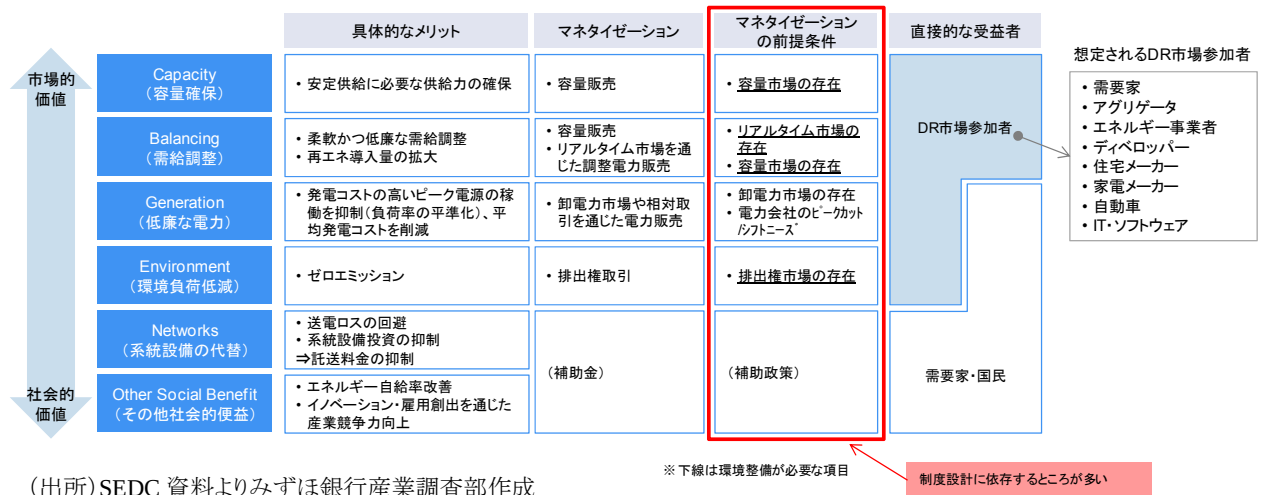
(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【図表36】 高度に統合された VPP モデルのイメージ



(出所) みずほ銀行産業調査部作成

【図表37】 デマンドレスポンスの意義とマネタイゼーションの条件



(出所) SEDC 資料よりみずほ銀行産業調査部作成

(資源・エネルギーチーム 篠田 篤／永井 洋之)
atsushi.shinoda@mizuho-bk.co.jp
hiroyuki.a.nagai@mizuho-bk.co.jp

©2015 株式会社みずほ銀行

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、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、弊行が信頼に足り且つ正確であると判断した情報に基づき作成されておりますが、弊行はその正確性・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ては、貴社ご自身の判断にてなされますよう、また必要な場合は、弁護士、会計士、税理士等にご相談のうえお取扱い下さいますようお願い申し上げます。

本資料の一部または全部を、①複写、写真複写、あるいはその他如何なる手段において複製すること、②弊行の書面による許可なくして再配布することを禁じます。