

電力システムにおける 即応性の価値とパラダイム変化



蓮池勝人



前田一樹

CONTENTS

- I 電力自由化と再生可能エネルギーの拡大の両立というチャレンジ
- II 世界の先進的な電力システムと技術ニーズ
- III 即応性の価値と技術
- IV 日本の電力システムの課題
- V 日本の電力業界、重電業界の課題

要 約

- 1 先進諸国の電力システムにおける「電力の市場取引化」と「再生可能エネルギー導入量の増大」という大きな流れの中で、電力システムにパラダイムシフトが起きつつある。このパラダイムの変化を背景に、世界の先進的な電力システムにおいては、即応性・柔軟性を高めるための種々の政策が導入されてきている。
- 2 一方で、技術的な観点からは、国内外で蓄電システムの実証、導入が進められたり、火力発電システムの即応性を追求した技術開発、運用が行われたりしている。こうした即応性は、各種制度・政策の導入によって、新たな価値を持ちつつある。
- 3 今後の日本も、電力システム改革や新しいエネルギー計画のもとで、海外の先進諸国と同様に「電力の市場取引化」と「再生可能エネルギー導入量の増大」にチャレンジしようとしている。日本には、蓄電池技術や火力発電技術など、即応性の価値を発揮できる技術を有する企業はたくさん存在する。また、それを活用できる電力関連の事業者も高い能力を有する。系統運用や市場取引のデータを有効に活用できる環境を整え、利用することで、即応性の価値の高まりの動きを事業機会にしたい。

I 電力自由化と再生可能エネルギーの拡大の両立というチャレンジ

先進国諸国における過去20年間の電力システムの課題は、電力取引市場の効率的運用であった。特に、市場支配力の対策や、供給力不足などの市場の失敗をいかに効率的にコントロールしつつ、安定供給を図るかを模索してきた。

送配電分野は自然独占とする一方で、発電、小売の参入規制を緩和し、双方の参入プレイヤーを増やし、競争環境を創出した。電力の取引市場を創設し、取引できる商品を増やすことで、市場取引を通じて需給バランスを取る範囲を広げている。たとえば、30分単位での電力量 (kWh) を取引するだけでなく、いわゆる調整力と呼ばれるものも入札制度を創設するなどして効率化を進めている。

自由化が進められている国や地域では、従来の垂直統合型の供給体制が発・送電に分離され、電力を共有する主体と、電力システムの安定性を維持しながら運営する主体が別となっている。垂直統合型の供給体制においては、発電設備の保有者とシステムの運用者がともに電力会社で、同一であったため、電力システム全体の効率性を目指すことができた。しかし、自由化された市場においては、各プレイヤーがそれぞれの利益最大化を目指して行動するため、システムの安定性を維持することが難しくなる。

一方で、エネルギーセキュリティの向上や温室効果ガス削減に対する要請を背景に、世界各国で再生可能エネルギーの導入が進んでいる。EUにおいて2007年に「20-20-20」として設定された「エネルギーの目標の一つと

して2020年までにGHG（温室効果ガス）を20%削減し、省エネを20%進める」政策に代表されるように、特に先進諸国で風力発電、太陽光発電といった再生可能エネルギーの導入が急速に進められた。国際エネルギー機関 (IEA: International Energy Agency) によれば、2012年の風力発電、太陽光発電の発電量はそれぞれ521TWh、97TWhであったが、これが2040年には1254TWh、408TWh (現行政策シナリオ)にまで拡大する見込みである。

系統運用者は、電力システムの安定性を維持し、停電などの系統事故を回避するために、時々刻々と変動する電力の需要と供給を一致させている。火力発電や原子力発電など、発電量の制御が可能な発電設備を主とするこれまでの電力システムにおいては、系統運用者が計画的に電力の需給調整を行うことができた。しかし、広く知られているように、風力発電や太陽光発電の発電量は天候に依存する。そのため、風力発電・太陽光発電が増加すると、系統運用者が計画的に電力の需給調整を行うことが難しくなる。また、再生可能エネルギーが増加すると、結果として火力をはじめとした回転機系発電機が少なくなり、電力システム全体の需給調整能力が低下する。なぜなら、一般的に電力システムの周波数制御は、発電機が周波数の変化に対して発電機への機械的入力をリアルタイムで自動的に調整する「ガバナフリー制御」や、系統運用機関の指令を受けて発電機の調速機を調整する「負荷周波数制御 (LFC; Load Frequency Control)」によって行われるが、これらは稼働している回転機系発電機のみ可能な制御だからである。したがって、再生可能エネルギーの導入拡大は、電力システムに流入する不安定

な電力の比率を増大させるだけではなく、電力系統の需給調整能力の低下をもたらし、結果として、電力系統を安定運用する難しさが増しているのである。

再生可能エネルギーの普及が進む国では、不安定な再生可能エネルギーの導入と、電力の市場取引の推進を並行して進めており、電力系統の安定運用は、技術的、制度的に難しさを増してきているのである。

こうした、先進諸国の電力システムにおける「電力の市場取引化」と「再生可能エネルギー導入量の増大」という大きな流れの中で、電力システムにパラダイムシフトが起きつつある。

すなわち、電力システムの目標が、これまでの発電・送配電効率の追求から、再生可能エネルギーの大規模導入を前提とした、電力供給の安定化・低コスト化の追求へと変化しつつあるのである。

火力発電をはじめとする回転機系発電機が主たる電源で、垂直統合型の電力会社により系統運用されている従来の電力システムにおいては、発電・送配電効率の追求が電力システムの目標であった。このような電力システムでは、大規模で効率的な発電設備を集中的に配置し、電力システム全体を効率化することが重要であった。しかし、再生可能エネルギーが普及し、電力自由化が進展する中においては、再生可能エネルギーの普及と発電事業者間の健全な競争を担保しながらも、電力供給の安定性を維持することが必要になる。こうした変化においては、これまでのような規模の追求による効率化もさることながら、電力系統の即応性や柔軟性に価値が移行してきており、短時間で出力を増減させることが

できる発電設備や、発電量が過剰な時間帯に電力を消費・吸蔵するような設備の重要性が増してきている。

電力システムにおけるパラダイムの変化を背景に、世界の先進的な電力システムにおいては、即応性・柔軟性を高めるための種々の政策が導入されてきている。たとえば、米国連邦政府のエネルギー規制機関FERC (Federal Energy Regulatory Commission) が2011年に発令した指令FERC Order 755では、系統運用機関の出力指令に対してより高速かつ正確に出力した発電設備に対して高い報酬を支払うことが義務付けられた。これは、即応性の高い設備に対してインセンティブを付与することで、電力系統全体の即応性・柔軟性を高める政策にはかならない。

II 世界の先進的な電力システムと技術ニーズ

以下では、米国、アイルランドを例に挙げながら、電力系統の即応性・柔軟性を高めるための政策動向、技術動向を概観する(表1)。

1 米国PJM

卸電力市場で取引される商品(サービス・プロダクト、以下「プロダクト」)の細分化や、発電設備の稼働実績へのインセンティブ付与を通じて、電力系統の即応性・柔軟性を高めようとしているのが米国のPJMである。

PJMは、イリノイ州やペンシルベニア州など米国北東部の13の州と一部地域の系統運用を担う地域系統機関である。PJMは、アンシラリーサービス市場を通じて予備力を調達することで電力系統の安定性を維持している。

表1 先進的な電力システムにおける即応性・柔軟性を高めるための取り組み

	米国PJM	アイルランド	米国カリフォルニア州
システムの即応性・柔軟性に対するニーズの背景	<ul style="list-style-type: none"> 効率的な市場運営に対する要請 	<ul style="list-style-type: none"> 風力発電導入量の拡大に伴う電力系統の不安定化 	<ul style="list-style-type: none"> 「ダックカーブ問題」(太陽光発電の拡大に伴う正味の電力需要の急激な伸び)
取り組み	<ul style="list-style-type: none"> Regulationプロダクトの細分化 設備の稼働実績に報酬を支払う Pay for Performance 	<ul style="list-style-type: none"> アンシラリーサービス市場への14ものプロダクトの導入 	<ul style="list-style-type: none"> 主要電力会社3社への電力貯蔵システムの導入義務化 CAISO市場への電力貯蔵システムの参入要件の緩和

ここで「アンシラリーサービス」とは、電力品質（周波数や電圧）維持のために、系統運用者が発電事業者から調達するサービスを指し、一般的には、発電設備が事故などで系統から脱落した場合などにも電力を安定的に供給するための予備力を指す。アンシラリーサービス市場では、系統運用者から出力指令を受けてから定められた出力に到達するまでの「反応時間」と、その出力を維持する「持続時間」で取引されるプロダクトが定義され、プロダクトごとに市場で取引されている。

PJMは、このプロダクトを細分化することで、システムの即応性を高めている。PJMでは、アンシラリーサービスのプロダクトの中でも特に高い即応性が求められるものを「Regulation」と定義し、市場から調達してきた。しかし、電力システムの即応性・柔軟性の向上に対する要請を受け、2012年、PJMはRegulationプロダクトを、火力発電など相対的に即応性が低い設備向けのプロダクト「RegA」と、蓄電池やフライホイールなど即応性が極めて高い設備向けのプロダクト「RegD」とに分割した。すなわち、プロダクトを細分化し、Regulationの中でも高い即応性が求められるものをRegDとし、より高い価格での取引を実現することにより、即応性の高い発電設備に対してインセンティブを付

与しているのである。事実、RegDはRegAの2倍程度の価格で取引されている。

また、PJMは、発電設備の稼働実績に対して追加的なインセンティブを付与している。前出のFERC Order 755を受け、PJMは2012年10月に「Pay for Performance」とよばれる制度を導入した。これは、PJMが発電設備の出力の変化量に対して報酬を支払うというものである。たとえば、発電機AがPJMの出力指令に従って停止の状態から10MWに出力を上げ、その後再び停止したとすると、10MWの上昇と10MWの下降で合計20MW出力が変化したとされ、これに対して20MW分の報酬が支払われる。Pay for Performanceのもとでは、即応性の高いリソースは一定時間における出力の変化量を大きくすることができるため、結果的に大きな報酬を得られることになるのである。

PJMはさらに、Performance Scoreとよばれる、発電リソースを対象とした応答出力の正確性を表す指標を導入し、同指標で高い値を示す設備に高い報酬を支払っている。

上記の電力システムの即応性を高めるための政策は、結果として、市場の効率的な運営にも寄与している。PJMのRegulation調達量は2010～12年で平均して1時間あたり884MWであった一方で、RegDやPay for Performance

導入後の2013～14年では平均して575MWにまで低下している。PJMは、プロダクトの細分化や即応性の高い設備へのインセンティブの付与により、電力系統の安定運用と卸電力市場の効率的な運用を両立しているのである。

2 アイランド

市場で取引されるプロダクトの細分化をさらに進めようとしているのがアイランドである。

アイランドは、電力消費量に占める再生可能エネルギー由来の電力の割合を2020年までに40%にするという意欲的な目標を掲げている。風況に恵まれていることもあって、同国では再生可能エネルギーの中でも風力発電の導入が進んでおり、既に国内の発電電力量の約18%が風力発電となっている。発電電力に占める風力発電の比率が瞬間的に70%近くに達することもあり、近年、系統の安定性維持が非常に難しくなっている。

アイランドで、系統の安定運用に関して特に論点になってきているのが、風力発電の増加に伴い顕在化する次の3つの事象への対応である。

第一の事象は、発電所の脱落に代表される系統事故である。一般的に、電力系統の中で、風力発電をはじめとした「非同期系」の発電機の比率が大きくなると、ガバナフリー制御を行うことのできる発電機が少なくなるため、電力系統の周波数は変化しやすくなる。これは、電力系統の周波数が大きく変化し、発電所の脱落など系統事故の発生するリスクが大きくなることを意味する。アイランドでも、風力発電の増加に伴い、系統事故の発生回数が増大することが予想されてい

る。これには、常時十分な予備力を確保しておく必要がある。

第二の事象は、風力発電の予測誤差の発生である。風力の発電量が予測を大幅に下回った場合、ほかの電源で不足分を賄う必要がある。これには、予測誤差に対応できるよう、即応性の高い発電設備を十分に確保しておく必要がある。

アイランドで論点となっている第三の事象は、電力需要から風力の発電量を差し引いた正味の電力需要の急激な伸びである。電力需要が伸びる時間帯と風力の発電量が落ちる時間帯が重なった場合、その追従には高い即応性の設備が必要となる。

こうした事象に対応しながら、再生可能エネルギー40%という目標を達成するために、アイランドでは2011年から、アンシラリーサービス市場の改革が行われている。現在は市場の詳細設計段階であり、規制機関や系統運用機関を中心に、各種プロダクトの調達量や、系統運用機関と発電事業者間の契約内容などの検討が進められている。

アイランドのアンシラリーサービス市場改革に関して、特筆すべきポイントが2つある。一点目は、プロダクトの数が非常に多いことである。実に14ものプロダクトの導入が検討されている。これは、ほかの国・地域に比べて圧倒的に多くなっている。二点目は、ほかに例を見ない、極めて高い即応性が求められるプロダクトの導入が計画されていることである。導入が計画されている14のプロダクトの中でも最も高い即応性が求められるFast Frequency Response (FFR) は、反応時間が2秒、持続時間が8秒と非常に短い。PJMのRegulationの反応時間が5分であるこ

とを勘案すれば、FFRが極めて高い即応性を要求していることが見て取れる。

アイルランドではこのように、アンシラリーサービス市場のプロダクトを細分化することで、電力系統の細分化を進めている。PJMやアイルランドの例から、今後ほかの国や地域でも、系統の即応性・柔軟性を高めることを目的に、プロダクトの細分化が進んでいくものと予想される。

3 米国カリフォルニア州

米国カリフォルニア州では、より直接的に、電力系統の即応性を高める政策を導入している。すなわち、一般的に即応性の高い電力貯蔵システムの導入を明確に促進しているのである。

カリフォルニア州では、太陽光発電の導入拡大に伴い、いわゆる「ダックカーブ」が問題となっている。これは、夕方6時頃、電力需要の伸びと太陽光発電の出力低下が重なり、電力需要から太陽光発電量を差し引いた正味の電力需要が急激に伸びる事象を指し、2020年には、夕方の3時間で正味の電力需要が13GWも伸びるとされている。これは、原子力発電所13基分にも相当する規模である。この伸びに火力発電で対応しようとする、特に短周期のアンシラリーサービス供給力が不足するといわれている。カリフォルニア州の系統運用機関であるCAISO (California Independent System Operator) は、ダックカーブ問題に対応するため、PJMのPay for Performanceと同等の内容の「mileage」と呼ばれる制度を導入し、即応性の高い発電リソースに対してインセンティブを付与している。

加えて、カリフォルニア州で特筆すべき

は、電力貯蔵システムの導入を直接的に推進している点である。蓄電池をはじめとする電力貯蔵システムは、出力を短時間で変動させることができ、従来型の火力発電に比べて即応性が高い。ダックカーブ問題を背景に、カリフォルニア州公益事業委員会 (CPUC; California Public Utilities Commission) は、主要電力会社3社に対して2022年までに合計で1.3GWの電力貯蔵システムの調達を義務付けている。これを受けて2014年11月には、カリフォルニア州最大の電力会社Southern California Edison (SCE) が合計250MWの電力貯蔵システムの調達を公表し、中には米国の独立系発電事業者 (IPP) であるAESの100MWの系統用蓄電池プロジェクトなど、系統用蓄電池のプロジェクトとしては世界最大規模のものもあった。

また、前出のCAISOは、アンシラリーサービス市場への電力貯蔵システムの参入を前提とした制度を導入している。揚水発電や蓄電池、フライホイールなどの電力貯蔵システムを対象とした「NGR/REM」とよばれる制度で、容量は小さいものの出力が大きい電力貯蔵システムに対する参入要件を緩和する制度である。具体的には、従来、CAISO市場に参入する設備が入札する出力は、60分以上維持できるものでなければならなかったが、これがNGR/REMの導入により、15分以上維持できる出力となったのである。

たとえば、電力貯蔵システムには、15分間で容量を使いきるようなものもある。このような電力貯蔵システムが1MWhあったとき、従来の制度では60分間維持できる出力での入札となるため、1MWでしか入札できない。しかし、NGR/REMの導入以降は、15分間維

持できる出力で入札可能となるので、4 MWで入札することができる。これにより、同システムは卸電力市場から従来と比較して4倍の報酬を得ることになるため、結果として即応性の高いリソースの導入が促進されることになるのである。

このように、カリフォルニア州では、電力貯蔵システムに対する導入促進策を取り入れることで、電力システム全体の即応性を高めようとしている。

III 即応性の価値と技術

前述の通り、先進国のいくつかの地域においては、市場の効率化、再生可能エネルギーの導入拡大への対応のための市場整備を進めている。また、即応性に対するインセンティブや蓄電システムの義務化など即応性の技術

の導入を促す制度も導入されている。

ここでは、即応性を担う技術として、蓄電システムと最新鋭の火力発電に関する動向の一端を示したい。

1 蓄電システム

電力システムの即応性・柔軟性に対するニーズが高まっていく中、それを実現する技術として注目されているのが系統用蓄電システムである。既に触れたように、系統用蓄電システム、中でもリチウムイオン電池などの蓄電池は従来の発電機に比べ、より高速かつ正確に出力を制御することができる。このため、前出のPJMやカリフォルニア州では系統用蓄電池の導入が進んでいる。

中でも最も系統用蓄電池の導入が進んでいるのがPJMである。既に150MW以上の蓄電池が導入されているとされ、直近もPJMのア

表2 主要な海外の大型蓄電プロジェクト

立地	出力	蓄電池容量	事業主体	目的	ステータス
Maui Auwahi (米国ハワイ)	11MW	4.4MWh	Sempa	風力の出力安定化	運転中 (2008年～)
Los Andes (チリ)	12MW	4MWh	AES	周波数調整義務への対応力確保	運転中 (2009年～)
Angamos (チリ)	20MW	4MWh	AES	周波数調整義務への対応力確保	運転中 (2011年～)
Laurel Mountain (米国ウェストバージニア)	32MW	8MWh	AES	周波数調整市場、風力の容量市場参加	運転中 (2011年～)
Stephentown (米国ニューヨーク)	20MW	5MWh	Beacon Power	周波数調整市場	運転中 (2011年～)
Kafuku (米国ハワイ)	15MW	3.75MWh	First Wind	風力の出力安定化	N/A (2011年運転開始、2012年火災事故)
張北 (中国河北省)	36MW	36MWh	国家电网	風力および太陽光の出力安定化	運転中 (2011年～)
Notrees (米国テキサス)	36MW	9MWh	Duke Energy	風力の出力安定化	運転中 (2012年～)
Talnique (エルサルバドル)	10MW	2.5MWh	INE	風力の出力安定化	運転中 (2012年～)
Hazle Township (米国ペンシルベニア)	20MW	5MWh	Beacon Power	周波数調整市場	運転中 (2013年～)
Tait (米国マサチューセッツ)	20MW	5MWh	AES	周波数調整市場	運転中 (2013年～)
Regelkraftwerk Feldheim (ドイツ)	10MW	6.5MWh	Enercon	風力の出力安定化	建設中 (2015年運転開始予定)

※ 網掛けは即応性が求められる周波数調整の用途。特に、米国のプロジェクトはすべてPJMの周波数市場向け出所) 各種資料より作成

表3 主要な日本国内の大型蓄電プロジェクト

立地	出力	蓄電池容量	事業主体	目的	ステータス
対馬（長崎県） 種子島、奄美大島 （鹿児島県）	2～3.5MW	0.8～1.4MWh	九州電力	離島の太陽光・風力の系統連系量 拡大	運転中（2014年～）
能代（秋田県）	80MW	480MWh	東北電力	供給力確保（夜間電力蓄電）	運転中（2011年～）
二又（青森県）	34MW	245MWh	日本風力開発	風力の出力安定化	運転中（2009年～）
吹越（青森県）	12MW	N/A	日本風力開発・ 前田建設	風力の出力安定化	運転中（2015年～）
隠岐（島根県）	NAS 4.2MW LIB 2.0MW	NAS 25.2MWh LIB 0.7MWh	中国電力	離島の風力など再生可能エネルギーの系統連系量拡大の実証	建設中 （2015年運転開始予定）
南早来（北海道）	15MW	60MWh	北海道電力・ 住友電気工業	再生可能エネルギーの調整力として 基幹系統の安定化を図る実証	建設中 （2015年末運転開始予定）
南相馬（福島県）	40MW	40MWh	東北電力	再生可能エネルギーの調整力として 基幹系統の安定化を図る実証	建設中 （2016年運転開始予定）
豊前（福岡県）	50MW	300MWh	九州電力	太陽光の余剰吸収の実証	建設中 （2015年運転開始予定）

※ 網掛けは即応性が求められる周波数調整の用途
出所）各種資料より作成

ンシラリーサービス市場への参入が相次いでいる（表2）。最近では、住友商事や日本電気が同市場への参入を発表している。

日本においても、系統安定化を目的とした大型蓄電池の実証が行われている（表3）。日本では、昼夜間の電力需要の格差を解消する技術として日本ガイシと東京電力によって共同開発されたNAS電池の導入が進んでいる。各種蓄電技術の中でもNAS電池は大容量であることが特徴である。近年、再生可能エネルギーの変動に対応できるよう、系統安定化のための蓄電池の実証が急ピッチで進められている。

2 火力発電

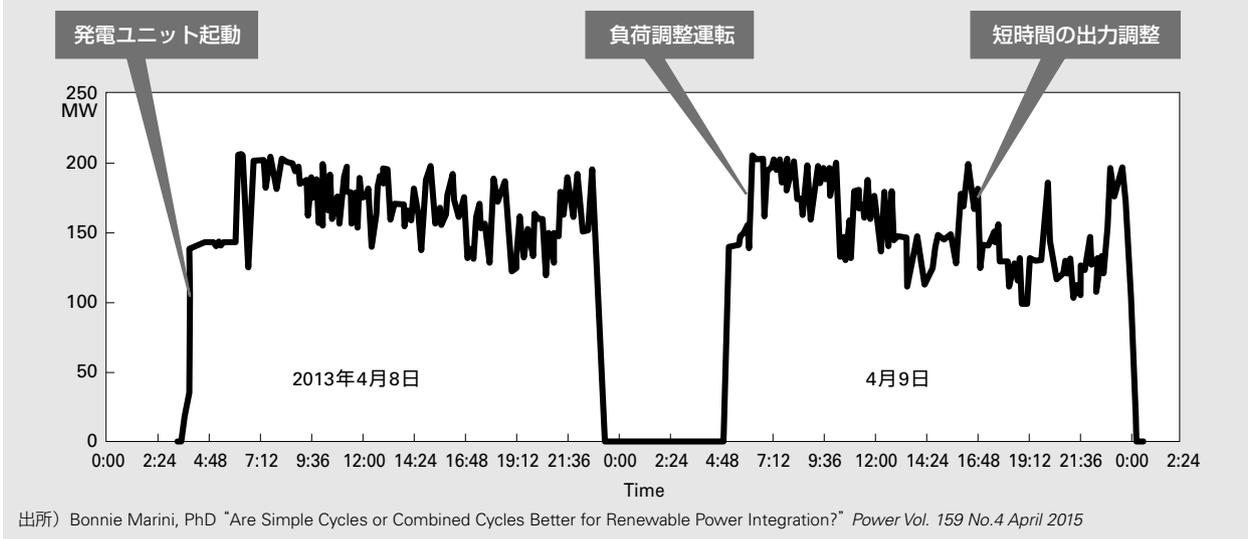
これまでの、火力発電技術においては発電効率が最優先されてきたが、即応性への対応も進みつつある。火力発電の技術の中でも新しい高効率型であるコンバインドサイクルの発電効率は、1990年頃に約50%程度だった

が、最近では60%を超えるところまできている。

一方、近年は火力発電でも即応性へのニーズが高まっている。従来は、コンバインドサイクルの発電システムは、初期投資が比較的大きい一方で発電効率が高く変動費が小さいため、ベースロードで利用されることが多かった。ところが最近では、最新鋭の火力発電が系統の調整力として利用されることも多くなっている。

たとえば、Siemensは最新鋭の発電技術の開発にあたり、開発早期から即応性への対応を進め、FACY™と呼ばれる技術を導入している。ドイツでは風力発電が多く導入され、系統の調整力に対するニーズが高く、ドイツ南部のIrschingという発電所では、やや古く発電効率の低い第5系列をベースロードで運転し、最新鋭のより発電効率の高い第4系列を負荷調整電源として運転している（図1）。こうした運転の状況は、従来の効率最優先の

図1 Irsching第4系列の典型的な発電パターン



出所) Bonnie Marini, PhD "Are Simple Cycles or Combined Cycles Better for Renewable Power Integration?" Power Vol. 159 No.4 April 2015

技術、運用のコンセプトを前提とした場合と全く異なる。

3 即応性の価値

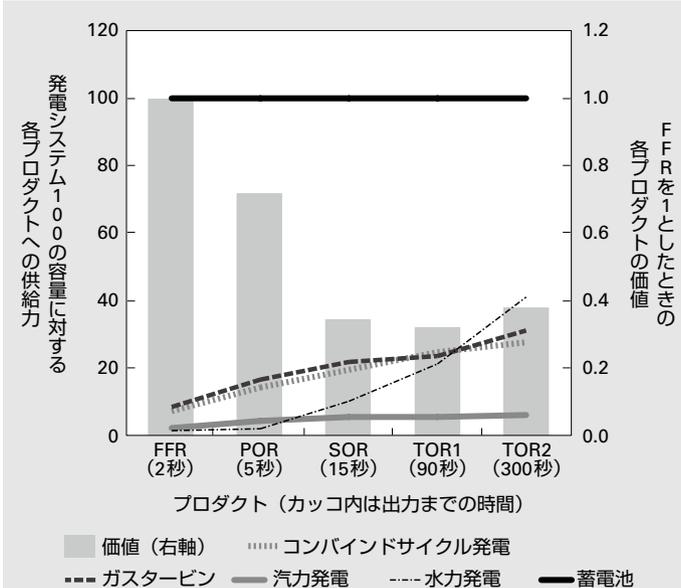
周波数の調整では、前述の通り、各市場で即応性の高い技術が系統安定化に対しより高い価値をもたらすことから、それに応じて高い

対価が得られるような制度設計がなされている。

また、即応性の観点から電源を見ると全く異なる世界が広がる。図2はアイルランドを例に各技術が各周波数市場のプロダクトに対しどの程度の出力ができるかを示したものである。たとえば、発電能力を100としたとき、各種の火力発電はFFRに対して10の能力も発揮できない。一方、蓄電池は容量あたりのコストは高いが、ミリ秒単位での出力が可能であるため、定格出力通りの出力ができる。

周波数調整市場をひとくくりにしてしまうと、本来価値が高いはずの即応性の高い技術が過小評価されてしまうため、市場を分割し、価格差別化ができるような市場設計が行われている。前述の通り、PJMがRegAとRegDを分割したことで、RegDの取引価格は2倍になっている。また、現在制度設計中ではあるが、アイルランドではFFRはほかのプロダクトと比べ、非常に高い価格の想定がされている。たとえば、起動時間2秒のFFRに対し、15秒のSORは、FFRの価格の

図2 アイルランドにおけるプロダクトへの対応力と各プロダクトの価値



出所) EirGrid and SONI (2014) "DS3 System Services" などより作成

34%に過ぎない。

IV 日本の電力システムの課題

日本においては、10電力会社による発電、送電、配電、小売が行われる垂直統合型の電力供給システムを維持しつつ、自由化が順次進められた。1995年に発電について卸電力供給を行う発電会社（IPP）の参入が可能になり、2000年以降大規模な需要家から順次自由化が進められて新電力（PPS）の参入が可能となった。2016年4月からはいよいよ低圧の需要家（家庭および小規模な事業所など）の自由化が始まる。また、2005年には取引市場（日本卸電力取引所）が設置された。

しかしながら、発電、小売に占める電力会社の市場シェアは依然として高い。発電では、電力会社が他社から卸電力を仕入れた割合は2014年度に17.0%、小売では需要家がPPSから電力供給を受けた割合は同5.2%にとどまる。

こうした電力会社中心の電力需給は、電力設備の安定的な維持をもたらし、安定した電力供給を実現している。日本の需要家1件あたり停電時間（SAIDI）は16分と、ほかの先進諸国に比し高い安定性を有していることが分かる（図3）。

一方で、電気料金は世界で最も高い水準となっている（図4）。特に、東日本大震災以降、原子力発電所の稼働率が低下し、追加的な化石燃料の費用がかさみ、震災前と比べ平均で家庭用電気料金が25.2%、産業用電気料金が38.2%値上がりしている。なお、原子力発電所の再稼働などにより、電気料金は低下すると見込まれる。

日本の電力システムは垂直統合型の電力会社により、電気料金は高いながらも品質は世界最高水準の電力を供給してきたといえる。しかしながら、今後は、再生可能エネルギーの積極的推進と、発電、送電・配電、小売を分離するアンバンドリングが進む。

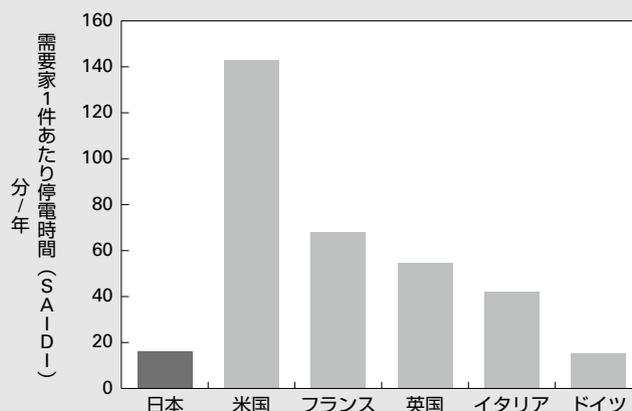
2015年7月には今後のエネルギー需給システム構築のよりどころとなる「長期エネルギー需給見通し」が経済産業省で決定された。2030年には、再生可能エネルギーによる電力量を、22~24%とすることが想定された。また、2015年4月には「電力システムに関する改革方針」が閣議決定され、20年をめどにアンバンドリングを進める方針が示された。

世界で起きている市場化と再生可能エネルギーの導入の融合というチャレンジに取り組もうとしているのである。

V 日本の電力業界、重電業界の課題

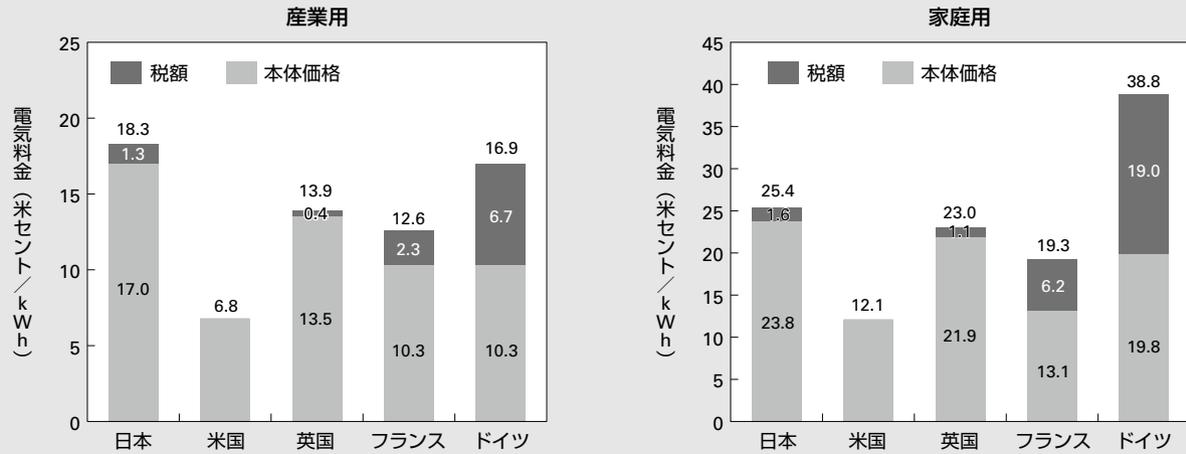
これまで見てきた通り、世界では、再生可能エネルギーの導入拡大に伴う系統安定化を市場メカニズムで解決するための制度の導入、技術開発が進められてきた。一方、日本

図3 需要家1件あたり停電時間（SAIDI）



注) 2013年度、アメリカは100のユーティリティの13年間平均
出所) 電気事業連合会 “FEPC INFOBASE”、LBNL “Assessing Changes in the Reliability of the U.S. Electric Power System”、CEER “Benchmarking Report 5.2” より作成

図4 主要国の電気料金の比較



※ドイツの税額の多くは再生可能エネルギーの買い取りのための賦課金出所) 経済産業省『エネルギー白書2015』

はシステムの安定性を優先し、こうした取り組みには一歩距離を置いてきたといえる。

前述の先進諸国では、市場の高度化に対して電力会社やメーカーが技術で支えてきている。たとえば、IoTの導入についてGEのガスタービンが引き合いに出されることが多いが、即応性の観点からは、こうした重電メーカーの開発の仕組みに注目したい。

自由化された電力取引市場あるいは独立した系統運用では、市場に存在する大量のデータが活用できる。たとえば、取引価格や系統運用方法のデータが公開され、発電事業者がどのような戦略で応札、運転するのか、系統運用機関はどのような戦略で複数の電源を組み合わせるのかなどが手に取るように分かる。前述の 아일랜드 では、30分ごとに応札した量と価格の組み合わせや、その結果、その発電ユニットがどの程度の負荷率で発電したかのデータが入手できる。また、発電機に多数のセンサーを設置すれば、そこから機器の状況を運転状況に照らして把握すること

が可能である。しかも、こうしたデータはオンラインで詳細な時間分解能で取得できる。このようなデータがあれば、それを分析するツールを用意しておけば、技術開発へのフィードバックのスピードも劇的に上がる。しかしながら、これは取引市場と系統運用機関のデータの公開度が高いこと、発電事業者がデータ提供に対して協力的であることがあって初めて実現できるフィードバックである。

日本に目を転じると、取引市場からは限られたデータしか入手できない上、オペレーションのデータの公開に対して消極的な電力会社もあり、メーカーはトラブル時に呼び出され、その場で得た限られたデータを活用する以外にはない、ということもある。そのため、前述のフィードバックが働くには限界があった。結果としてメーカーは機器のオペレーションに対して理解が深まらず、ユーザーニーズの変化に対応するスピードが必ずしも十分ではないということになる。

ただし、こうした環境は、今後の電力シス

