

再生可能エネルギーの導入拡大に向けた 蓄電池と PCS の現状と課題

藤井康平・小谷野眞司・白機錫*・胡睿*・山村真司*

(*日建設計総合研究所)

要 旨

2012年の固定価格買取制度導入以降、日本でも再生可能エネルギーの導入が進んでいる。一方で太陽光発電や風力発電といった変動電源の大量導入は、電力系統における電力品質や安定供給の確保といった新たな問題を生み出した。現在、これらの問題に対応する手段として、技術要素である蓄電池とPCS（パワーコンディショナー）に注目が集まっている。特に東京都は再生可能エネルギーの利用割合を2030年に30%程度まで高めるという政策目標を掲げているが、この目標を達成するためには蓄電池とPCSの導入が重要な役割を担うと考えられる。本稿では従来の電力需要側で変動電源を導入し、上述の問題に対処しつつその電力を有効に活用するという観点から、蓄電池とPCSの現状と課題、および今後の見通しを整理した。

キーワード：再生可能エネルギー、変動電源、蓄電池、PCS、需要側対応

1 はじめに

2012年7月に導入された固定価格買取制度（FIT）により、日本でも再生可能エネルギーの導入が進んでいる。特に2011年度には531万kWであった太陽光発電の導入量（設備容量）は、2015年度には3,065万kWに達し、4年間で約5.8倍という非常に高い成長率を見せている¹⁾。

しかし一方で、太陽光発電や風力発電といった変動電源の本格的な導入には様々な問題が伴う。例えば変動電源が大量に導入され、電力系統に連系されると、電力品質と安定供給の確保の面で電力系統に支障をきたす恐れがある。2014年9月には九州電力を始めとした大手7電力会社が、FITによる太陽光発電の設備認定容量が限界に達したとし、電力系統への接続制限を表明した。

火力発電や原子力発電を始めとする従来型の発電による電力供給システムでは、需要側の受電電圧と周波数を一定範囲内に収めるように、予測される電力需要に応じて発電側で出力調整を始めとする対策を講じ、電力品質と安定供給を担保してきた。一方で太陽光発電や風力発電といった変動電源は、その出力が自然環境条件に左右されるため、安定的な供給を維持することが困難である。このように電力供給が不安定な変動電源を電力系統に連系する場合、電力需要の予測に応じて発電側の出力

を調整するといった従来型の対策ではなく、電力需要を変動電源の発電量に合わせるという需要側からの対策が求められる。

需要側が発電量に合わせて需要量をコントロールする際に重要な役割を果たすのが、電気を「貯める」ことのできる蓄電池と、「電力の品質を安定化させる」設備であるPCS（Power Conditioning System：パワーコンディショナー）である。また、自家消費や売電、さらには非常時における防災電源としての使用を主目的として太陽光発電や風力発電等の変動電源を導入し、電力系統へ連系する場合も、電力系統への影響を回避するための設備として蓄電池とPCSの設置は必須となる。

以上を踏まえ、本稿では今後の再生可能エネルギーの導入拡大を見据え、特に電力需要側で変動電源を導入して系統連系した際に、電力系統への影響を抑えつつ電力を有効に活用するという観点から、蓄電池とPCSの現状と課題、および今後の見通しを整理する。

2 変動電源の導入と課題点

変動電源の導入が進むと、電力系統と電力需要側それぞれにおいて課題が表出する。電力系統に関しては、『NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版』において、変動電源が大量導入された際の課題と、各課題への

対策技術についてまとめられている。具体的には以下5点が系統課題として挙げられている。

- ①電力需給ギャップの発生
- ②周波数変動
- ③電圧上昇
- ④単独運転と不要解列
- ⑤事故時電力系統影響

要素技術としての蓄電池は、これらの課題のうち、①と②への対策技術として位置付けられる。またシステム制御技術としてのPCSは、③と④への対策技術として位置付けられる²⁾。

一方で、従来の電力需要家側で変動電源を導入し、電力系統に連系するという視点から見た場合、以下4点の課題がある。

- ①電力品質確保（電圧・周波数・位相コントロール）
- ②系統連系運転時におけるサイト内需給一致
- ③逆潮流（売電）（受電端電圧コントロール）
- ④単独運転機能（非常時負荷の設置と需給調整）

変動電源を導入する需要家側がこれらの課題に対応するためには、蓄電池とPCSの導入が必要となる。蓄電池は主に②と④の課題への対応を、PCSは全ての課題への対応を求められる。

3 蓄電池¹⁾

(1) 蓄エネルギー技術および蓄電技術

蓄エネルギー技術は、従来の一般的な電力・エネルギー貯蔵の用途に加え、現在では変動電源の出力変動がもたらす諸課題の解決や、電力潮流安定化技術としての期待も高まっている²⁾。代表的な蓄エネルギー技術として、位置、運動、磁気、圧縮、物理、化学等によるエネルギー貯蔵技術がある。蓄エネルギー技術はそれぞれの持つ特性に応じて、小規模利用から大規模利用まで、図1のような用途に用いられる。

これらのなかでも、化学エネルギーで貯蔵する蓄電技術（以下、蓄電池と呼ぶ）はその種類が豊富であり、モバイル機器の電池や産業用蓄電池まで、幅広い用途で使用されている。東日本大震災以降、真夏および真冬のピーク時における電力需給の逼迫が顕在化しており、これに対応するにはピークカットやピークシフト、停電時のバックアップ対策等が必要となるが、立地制約や建設リードタイムの短さの点で、他の蓄エネルギー技術に比べ

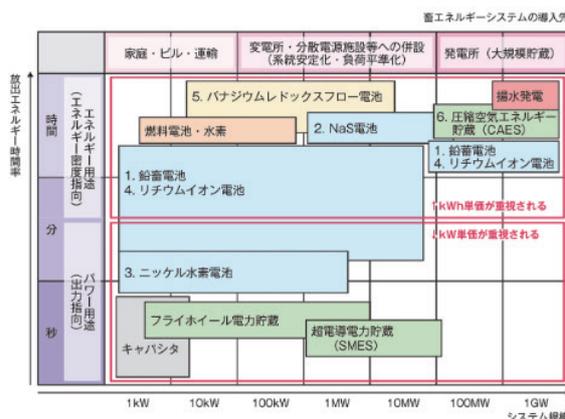


図1 各蓄エネルギー技術のポジショニング

（出典：NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版、p26）

化学エネルギーを用いた蓄電池の使用による対応には優位性があると考えられる。

蓄エネルギーシステムの導入先は、図1に示すとおり三つに大別される。本稿では商業施設やオフィス、住宅、公共施設といった、一定範囲の敷地内での変動電源導入とその際の課題解決を念頭に置くことから、図1のシステム規模「10kW～100kW」に対応する蓄電池である「鉛蓄電池」「ニッケル水素蓄電池」「リチウムイオン電池」「レドックスフロー電池」の特性や、メリットおよびデメリットを整理するⁱⁱ⁾。

(2) 各蓄電池の特徴

ア 鉛蓄電池

1859年に発明された鉛蓄電池は、蓄電池の中で最も古い歴史を持つ。正極に二酸化鉛、負極に鉛、電解液に希硫酸を用い、正極・負極の双方から電解液中に硫酸イオンが移動することで充電が行われる。現在では自動車用バッテリーとして広く利用されているほか、産業用のバックアップ電源や小型飛行機用電源としても用いられている。

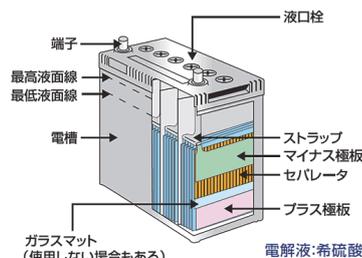


図2 鉛蓄電池の構造

（出典：一般社団法人電池工業会 HP）

鉛蓄電池のメリットとして、短時間での大電流放電や長時間の緩やかな放電を行っても比較的安定した性能を持つこと、常温の広い温度範囲（5℃～50℃）で動作可能なこと、他の蓄電池に比べて比較的安価（5万円/kWh、20万円/kW）であり使用実績が多いこと、過充電に強くリサイクル体制が確立されていることが挙げられる。一方デメリットとしては、他の蓄電池と比較して大型で重いこと、希硫酸を使用するため破損時に漏洩の危険があること、サイクル回数の増加に伴って放電時に発生する硫酸鉛が結晶化するサルフェーションという現象を起こすため性能が低下すること、充電状態が低い状態に置かれると電極の劣化が進行し、容量と入出力が低下すること等が挙げられる。

イ ニッケル水素電池

ニッケル水素電池は正極活物質にオキシ水酸化ニッケル、負極活物質に水素吸蔵合金、電解液に水酸化カリウムを主体とするアルカリ水溶液を用いた蓄電池である。充電時には活物質の水素を負極の水素吸蔵合金が大量に吸蔵し、放電時に水素を放出することで充放電を行っている。高出力・高容量・長寿命の人工衛星用バッテリーとして開発が進められ、1990年の実用化以降、それまでの代表的な小型蓄電池であったニッケル・カドミウム電池（ニカド電池）に代わる乾電池型蓄電池（充電電池）として普及した。

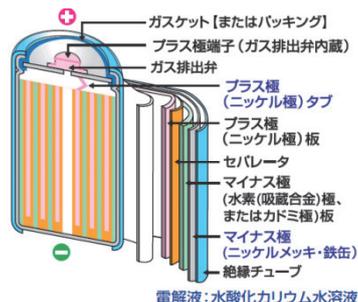


図3 ニッケル水素電池の構造
（出典：一般社団法人電池工業会 HP）

ニッケル水素電池のメリットとして、電解液に不燃性の水溶液を用いているため安全性が高いこと、過充放電に強く、反応物質の溶解・析出反応がないため鉛蓄電池より寿命が長いこと、急速充放電が可能であること、使用温度範囲が広いこと、鉛蓄電池よりもエネルギー密度と効率が上がることが挙げられる。これらのメリットにより、近年ではハイブリッドカーの動力源や鉄道、モノレールシステムの地上蓄電設備、平常時ピークカットや停電時の非常用電源として利用されている。

一方デメリットとしては、自己放電が大きいことⁱⁱⁱ、メモリー効果があること、水素吸蔵合金にレアアースのネオジウムを使用しているために供給不安があり、かつ今後の価格低下の可能性が低いこと、大容量化が難しいことが挙げられる。

ウ リチウムイオン電池

リチウムイオン電池は1991年に商品化が始まった蓄電池であり、電子機器の高性能化、多機能化の中で、ニッケル水素電池を越えるエネルギー密度を持つ電池として開発された。正極にリチウム含有金属酸化物、負極に炭素材（グラファイト等）、電解液に有機電解液を用いており、グラファイト層間のリチウムイオンがリチウム含有金属酸化物の層に戻ることで電気が発生する。

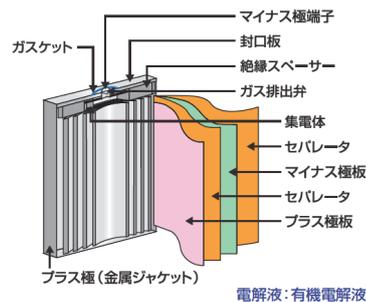


図4 リチウムイオン電池の構造
（出典：一般社団法人電池工業会 HP）

リチウムイオン電池のメリットとして、非水系の電解液を使用するためエネルギー密度が高く、同じ質量で比較するとニッケル水素電池の約3倍、鉛蓄電池の約7倍程度の電力貯蔵が可能であること、メモリー効果がほとんどないため、継ぎ足し充電を行う機器に適していること、電解液に水溶液を使用しないため氷点下の環境でも使用できること、充放電効率がよいこと、電圧が高く自己放電が少ないこと、小型化が可能であること等が挙げられる。これらのメリットから、現在ではスマートフォンやノートパソコンといった携帯機器のバッテリーから自動車用、スマートグリッド用と、多岐に渡って用いられている。また東日本大震災以降はピークカットや停電時バックアップといった需要側対策用途としての普及も始まっている。

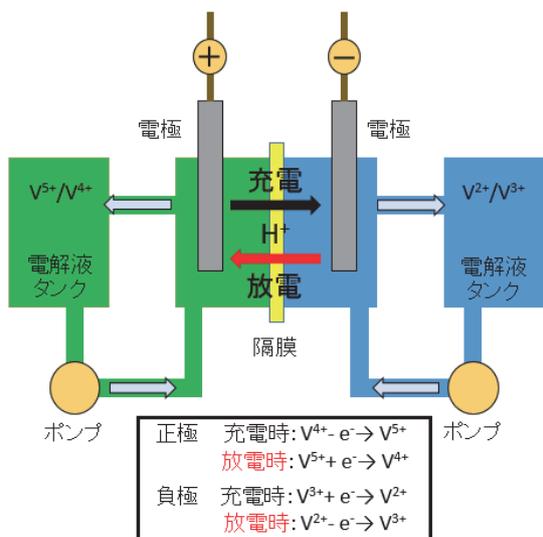
一方デメリットとしては、過充電・過放電に弱いこと、常用領域（4.2V以下）と危険領域（4.3以上）が接近し

ているため、安全性確保のために充放電を監視する保護回路が必要となること、そしてエネルギー密度の高さや有機溶剤を使用しているために急激な加熱による火災発生の危険性が高いことが挙げられる。またコストも鉛蓄電池やニッケル水素電池に比べて高価である。

エ レドックスフロー電池

レドックスフロー電池は正極・負極として設置したバナジウムを希硫酸に溶かして電解液とし、電解液が電池セルと電解液タンクの間を循環する際にバナジウムイオンの価数が増えることで充放電を行っている。

Reduction (還元) と Oxidation (酸化)、Flow (循環) の合成語であり、1974年にNASAが基本原理を発表した後、1980年代から実用化に向けた研究が進められてきた。日本では2001年に住友電気工業株式会社が商用化している。現在は工場の受電電力平準化や非常用電源、瞬時電圧低下・停電対策用途で実用化されているほか、風力発電の発電電力平準化の実証試験が行われている。



レドックスフロー電池のメリットとして、出力と容量の独立設計が可能であること、起電力を直接測定できるため、充電残量の正確な把握が可能であること、システムが不燃・難燃性材料で構成されているため安全性に優れていること、溶液タンクを増設するだけで電池容量を増やすことができ、大型設備に適していること、大部分の設備を一般的な機器で構成でき、電解質が半永久的に使用可能なため、超寿命(サイクル回数1万回以上)を期待できることなどが挙げられる。

一方でメリットとしては、小型化が困難であること、充電効率が低いこと、水の電気分解が生じる電位が制限となるためエネルギー密度が比較的低いこと、電解液を循環させるための付帯設備が必要でありどうしても大型化してしまうこと、原料のバナジウムはレアメタルであり比較的高価なこと等が挙げられる。

(3) 各蓄電池の比較と現時点での現状と課題

主な性能について各蓄電池を比較したものが図6である。これまでの記述と図6を踏まえ、蓄電池利用の現状と課題について、①コスト面、②技術面、③制度面の3点からまとめる。

蓄電池の種類	鉛	ニッケル水素	リチウムイオン	レドックスフロー
エネルギー密度 (Wh/kg)	35	60	200	10
コンパクト化	×	△	◎	×
コスト(円/kWh)	5万円	10万円	20万円	9万円
大容量化	○	○	○	◎
充電状態の正確な計測・監視	△	△	△	◎
安全性	○	○	△	◎
資源	○	△	○	△
寿命	17年	5~7年	6~10年	6~10年
サイクル数	3,150回	2,000回	3,500回	無制限

図6 各蓄電池の比較

(出典：経済産業省『蓄電池戦略』(2012) および「エネルギーコスト高への対応策の検討」(エネルギーコスト上昇に関する関係副大臣等会議第3回配布資料(2014年12月)より作成)

ア コスト面

現時点のコストを比較すると、低い方から鉛蓄電池(5万円/kWh)、レドックスフロー電池(9万円/kWh)、ニッケル水素電池(10万円/kWh)、リチウムイオン電池(20万円/kWh)、となる。鉛蓄電池は最も低価格であるが、既に確立された技術であるため、さらなる価格低減のポテンシャルは他の三つの蓄電池に比べて低いと考えられる。ニッケル水素電池は水素吸蔵合金にネオジウム等のレアメタルを用いるため、レアメタルの供給制約が発生する恐れがあり、価格低減ポテンシャルは比較的低いと想定される。リチウムイオン電池はピークカット、ピークシフトおよび停電時バックアップ用等の需要側対策用蓄電池として注目が増しており、各メーカーは生産体制の強化と前倒しでの製品投入を行っている。依然として高価ではあるが、今後の需要拡大と量産効果による価格低減ポテンシャルは高いと考えられる。

2012年に公表された『蓄電池戦略』では、産業用リチ

ウムイオン電池の2016年の価格は2011年比で54.5%まで低下すると想定されており、鉛蓄電池の93.9%、大型ニッケル水素電池の91.7%に比べても高い低減率が想定されている^{3,4)}。レドックスフロー電池は電解液にレアメタルであるバナジウムを大量に使う設計のため、以前はリチウムイオン電池と同等以上に高価だったが、近年は価格が低下しつつある。さらに住友電気工業がレアメタルを使用しない電解液を開発しており、量産が予定されている2020年以降、コストが低減する可能性がある⁵⁾。

イ 技術面

鉛蓄電池の技術は既に確立されたものであり、技術進歩のポテンシャルは他の蓄電池に比して低いが、充放電効率の向上、サイクル劣化の抑制、低SOC (State of Charge : 充電レベル) 状態での劣化抑制を改善させることで高性能化するポテンシャルを有している。ニッケル水素電池はレアメタルを使わない新たな素材の開発や自己放電抑制、温度特性を改善することで、高エネルギー密度化のポテンシャルを有している。リチウムイオン電池はさらなるエネルギー密度の向上など、技術進歩の余地が高いが、一方で安全性の向上とリサイクル技術の確立といった、リスク面からの技術進歩が求められている。小型リチウムイオン電池については国内規制、国際規制ともに存在するが、大型リチウムイオン電池については国内では2012年にJIS規制が定められたものの、国際規格は存在しておらず、安全性確保のために早急な対策が求められる。レドックスフロー電池はエネルギー密度と充電効率の向上が課題である。

ウ 制度面

蓄電池は使用に際して火災発生の恐れがあるため、消防法や火災予防条例によって規制される電気設備とみなされる。東京都の火災予防条例の場合、同一の場所に設置される蓄電池の合計容量が4,800Ahセル以上の場合に規制対象となる(東京都火災予防条例第13条)。この場合、設置前に所管の消防署に蓄電池設備設置の届出(添付図面として配置図、外形図、単線結線図、展開接続図等の提出が必要)を行う必要があり、設置工事完了後には消防検査を受けることが義務付けられている。蓄電池の構造によっては隔離距離基準がある。

また蓄電池設置のために新たに建屋を設ける場合、建築基準法に則って建屋の建築確認申請を行い、建築主事の確認、確認済証の交付を受ける必要がある。工場に設置する場合は工場立地法の確認も必要となる。

4 PCS (Power Conditioning System)

(1) PCSの重要性と役割

PCS (パワーコンディショナー) とは、分散型電源を電力系統に連系するための直流・交流を変換するインバータ・コンバータ装置と、系統連系保護装置を有する機器である。図7にその概念図を示す。PCSは変動電源によって発電された不安定な電力を一定以上の品質を保った電力に調整する働きを持つ。

分散型電源によって発電された電力を電力系統へ送電するためには、電圧や周波数、位相等の電力特性を制御する必要がある。PCSはこれらの制御を担っており、系統側へ安定した電力を供給するための重要な役割を果たす。

また、変動電源による発電電圧や周波数値が大きく変動した際には、電力系統との接続を切り離すことで健全性の確保とシステムの保護を図る。

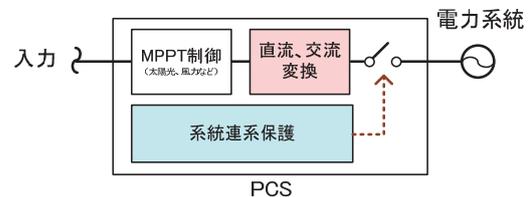


図7 PCSの概念図

(2) PCSの種類と特徴

PCSは制御する分散型電源や蓄電池の種類に応じて機能、特性が異なる。以下では太陽光発電、風力発電、蓄電池およびハイブリッドシステムのそれぞれに用いられるPCSの特徴と機能について整理する。

ア 太陽光発電用PCS

太陽光発電システムは図8に示す機器類によって構成される。各太陽電池セルによって発電された直流電流は保護機能を持った接続箱(集電箱)にまとめられたうえで、PCSによって利用可能な電圧・周波数の交流電力へと変換され、電力系統への送電やサイト内の一般負荷への供給が行われる。

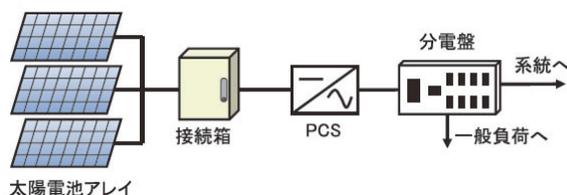


図8 太陽光発電システム構成図

(出典：「太陽光発電システム用パワーコンディショナーの動向について」(一財) 建築コスト管理システム研究所)

太陽光発電システムは、発電電力を電力系統に接続せずに全て自家消費する「独立型」と、電力系統に連系して利用する「系統連系型」に分けられる。必要となるPCSの機能も、独立型と系統連系型で異なっている。

イ 風力発電用 PCS

風力発電システムは図9に示す機器類によって構成される。

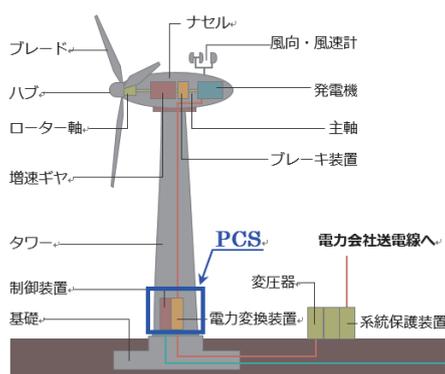


図9 風力発電のシステム構成図

風力発電の出力は風力の3乗とローター面積に比例するため、わずかな風速変動でも大きな出力変動が起こる。今後風力発電の導入が進むと、電力系統の電圧変動や周波数変動が誘発されやすくなり、結果として電力品質の低下を招く恐れがある。そのため、これを防ぐためにPCSが必須となる。

ウ 蓄電池用 PCS

蓄電池用PCSは蓄電池からの放電電力を直流から交流に、蓄電池への充電電力を交流から直流に変換するとともに、蓄電池から放電する際の出力抑制を行う機能を持つ。蓄電池用PCSを様々な種類の蓄電池を組み合わせることで、電力の平準化や周波数調整、非常電源・瞬低補償を行う。蓄電池用PCSの基本性能に大きな違い

はないが、蓄電池の種類によって充放電量の制御や管理方法が異なる。

エ ハイブリッドシステム用 PCS

ハイブリッドシステム用PCSとは、発電機用PCSと蓄電池用PCSを一体化したもので、分散型電源と蓄電池をまとめて制御することが可能なPCSである。構成を図10に示す。

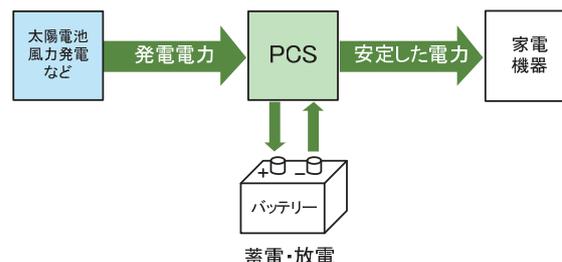


図10 ハイブリッドシステム PCS の構成図

一般的な分散型電源の蓄電システムでは、発電した直流電力を発電機用PCSで交流電力に変換し、その電力を蓄電池に貯めるために蓄電池用PCSで再度交流に変換して蓄電する必要があるため、2回の変換過程で大きなエネルギーロスが発生する。ハイブリッドシステム用PCSを使用すると直流のまま蓄電することができるため、変換ロスを防ぐことができる。

ハイブリッドシステム用PCSを用いるメリットとしては、以下の4点が挙げられる。

- ①分散型電源による発電量の変動に応じた蓄電池の充放電を行うことで、PCSから出力される有効電力を安定化し、電力系統の周波数安定化に貢献することができる⁶⁾。
- ②分散型電源による発電と蓄電池の組み合わせ運転により、ピーク電力の抑制が可能となる。
- ③災害による停電が発生した場合、必要な特定負荷への電力供給が可能となる。
- ④省スペースかつ初期費用を抑制できる。

(3) PCSの現状と課題

これまでのPCSは分散型電源を電力系統に接続する際の電圧変動・周波数変動を抑制することを目的としており、そのシステムは個別の分散型電源ごとに閉じていた。今後は大規模電源や分散型電源、個別需要、蓄電池等がIoTを用いた双方向通信のネットワークを介して協調し、電力システム全体としてマネジメントを行いな

がら電力の需給バランスをコントロールすることが重要となる。

また、特に太陽光発電の急速な拡大と電力系統容量の逼迫にともない、2014年9月には九州電力を始めとする大手7電力会社は電力系統への接続制限を表明した。このような状況に対応すべく、2015年1月のFIT法省令改正では、無制限・無保証の出力制限を条件に系統連系を行うこと、2015年4月1日以降に電力会社に接続申込が受領された案件のうち、地域・設備容量に応じて出力制御に対応可能な機器を設置することが義務づけられた。さらに2017年4月の改正FIT法では、原則として全ての太陽光発電設備への出力抑制対応が義務付けられた。これにより、全ての発電事業者は電力会社が公表する出力抑制スケジュールに合わせ、発電電力の出力をコントロールする義務を負うこととなった。

以上の観点から、現在PCSには出力抑制機能が求められている。出力抑制機能付PCSの技術仕様については、2015年3月に開催された総合資源エネルギー調査会省エネルギー・新エネルギー分科会新エネルギー小委員会において「出力抑制機能付PCSの技術仕様について」として提案されている。

出力制御対応PCS（以下「広義のPCS」と呼ぶ）は、従来のPCS（以下「狭義のPCS」と呼ぶ）と、電力会社から出力制限スケジュールを取得し、それに基づき狭義のPCSを制御する「出力制限ユニット」からなる⁷⁾。

出力抑制の方法は様々あるが、出力対応機器が通信機能を持つか否かにより、大きく二つの手法に分けられる。

一つ目は「固定スケジュール型の出力抑制」である。固定スケジュール型の出力抑制とは、出力対応機器にカレンダー機能を搭載し、あらかじめ特定の軽負荷期間を定めることで、その期間の出力を抑制する機能である。固定スケジュール型抑制機能はいくつかある出力抑制方法のなかで最も対策費用が安価であるといわれている。一方で年間の固定スケジュールを基に制御を行うため、急激な変化には対応できず、結果として発電の機会損失が多くなることが予想される。そのため、固定スケジュール型出力抑制機能は、通信回線を開設することが物理的に現実的では無い場所（山間地に立地する発電設備等）のみに用いる方向で検討が進められている⁸⁾。

二つ目は「インターネット等の通信機能を利用した出力抑制」である。出力対応機器が外部との通信機能を備

えている場合、電力会社が掲示する「出力抑制スケジュール」をインターネット上で取得し、これに則って狭義のPCSの出力を抑制することが可能となる。方法として、①専用回線による出力抑制、②出力抑制スケジュールの書き換えによる出力抑制、③配信事業者を活用した出力抑制スケジュールの書き換えによる出力抑制の3通りが想定されているが、いずれにせよ当日の需給状況に応じてほぼリアルタイムでの出力抑制が可能となるため、固定スケジュール型の出力抑制に比べて発電の機会損失は少なくなると考えられる。ただしインターネット回線を通じた出力抑制にはセキュリティ面でのリスクが伴うため、この点についても今後の技術開発と検証が必要となる。

2017年7月時点で、九州の離島では出力抑制が実施されたことはあるものの、九州本土では未だに出力制限は行われていない。ただし玄海原発の再稼働により、自然エネルギーの出力制限が開始される可能性も指摘されている⁹⁾。

5 おわりに

本稿では今後の再生可能エネルギーの導入拡大を見据え、特に電力需要側で変動電源を導入し、電力系統への影響を抑えつつ電力を有効に活用するという観点から、蓄電池とPCSの現状と課題、ならびに今後の見通しを整理した。

変動電源の導入にあたっては、蓄電池とPCSの両者が電力需給調整の面で大きな役割を果たしているが、電源の特質や使用方法に応じて、蓄電池とPCSの種類を上手く組み合わせることで電力の有効活用を図ることができる。

今後はIoTの進展やネガワット取引、VPP（仮想発電所）といった新たな制度の導入により、需要者側が主体となる取り組みが拡大する一方で、本格的な出力制限の実施も予想され、蓄電池とPCSの重要性はさらに高まると考えられる。再生可能エネルギーの普及をより促進させるためには、社会状況の変化を見極めたコスト低減や技術開発が求められる。

参考文献

- 1) 経済産業省：エネルギー白書2017（2017）
- 2) 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

- 編：NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版第9章系統サポート技術（2014）
- 3) 経済産業省蓄電池プロジェクトチーム：蓄電池戦略（2012）
 - 4) 富士経済：2012 電池関連市場実態総調査（2012）
 - 5) 日本経済新聞電子版：住友電工、次世代蓄電池の生産コスト 10 分の 1 に（2015 年 1 月 8 日）
<http://bizgate.nikkei.co.jp/smartcity/kanren/201501091315.html>
 - 6) 目黒光ら：パワーコンディショナーの電源環境対応技術，日立論評, 94(4), pp.33-36（2014）
 - 7) 太陽光発電協会・日本電機工業会・電気事業連合会：出力制御機能付 PCS の技術仕様について
<http://www.jpea.gr.jp/pdf/pes.pdf>（2015）
 - 8) 総合資源エネルギー調査会 省エネルギー・新エネルギー分科会 新エネルギー小委員会 系統ワーキンググループ（第 4 回）配布資料 2：出力制御システムの構築について
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shouene_shinene/shin_ene/keitou_wg/pdf/004_02_00.pdf（2015）
 - 9) 木村啓二・分山達也：2017 年春も出力抑制なしで乗り切った九州電力, 自然エネルギー財団連載コラム
http://www.renewable-ei.org/column/column_20170612_02.php（2017）

i 各蓄電池の性能および利点、課題については、以下の政府公表資料ならびにウェブサイトの情報を中心に整理した。

- ・独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構編（2014）『NEDO 再生可能エネルギー技術白書第 2 版』
- ・経済産業省蓄電池プロジェクトチーム（2012）『蓄電池戦略』
- ・一般社団法人電池工業会ウェブサイト
<http://www.baj.or.jp/index.html>
- ・住友電気工業(株)ウェブサイト“Redox Flow Battery”
<http://www.sei.co.jp/products/redox/pdf/redox-flow-battery.pdf>（2016）

ii 国としての蓄電システムの技術開発や具体的な目標設定については、『蓄電池戦略』や『NEDO 二次電池技術開発ロードマップ 2013』等を参照されたい。なお、「NAS 電池」については 100kW 以上と比較的大規模な電力貯蔵に適していることから、本稿では扱わない。

iii ただし近年では、エネルギー等の低自己放電タイプの充電地も増えている。