電力の安定供給に貢献する系統用蓄電システム

Grid Storage Systems to Stabilize Power Supply

金本　真依 KANEMOTO, Mai　　毛内　俊晴 MONAI, Toshiharu　　宮村　尚孝 MIYAMURA, Naotaka

再生可能エネルギーの主力電源化に向けて、電力系統における需要と供給のバランスを保つための調整力として系統用蓄電システムが期待されている。富士電機はDC1,500 Vに対応した大容量の蓄電池PCSを新たに開発し、高電圧化が進む蓄電池パッケージとの接続を実現し、設置面積を大幅に低減した。また、PCSは重耐塩仕様にも対応し、沿岸部の遊休地などにも設置でき、高効率で安定した運用を実現している。制御システムは、需給調整市場および卸電力市場に対応している。

With the aim of transforming renewable energy into society's primary source of power, grid storage systems are expected to serve as a balancing force between supply and demand in power grids. Fuji Electric has developed a new, large-capacity storage battery PCS capable of supporting 1,500 V DC, enabling connections to battery packages of increasingly high voltages while greatly reducing their footprint. With its heavy salt damage-resistance, the PCS can be installed on idle land along the coast to use efficiently and stably. The control systems are compatible with the reserve market and the energy market.

1　まえがき

2050年までに温室効果ガスの排出を実質ゼロにするカーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギー（再エネ）の主力電源化が、重要な戦略の一つとして政府の“第6次エネルギー基本計画”に謳（うた）われている。再エネの拡大は、環境への影響を軽減する一方で、日照や風速など天候の変動によって発電量が不安定になるため、電力需給バランスを保つことが難しくなる。その解決策として、蓄電池の充放電で電力需給バランスを調整する系統用蓄電システムは重要な役割を果たす。

2022年には、「電気事業法」の改正が行われ、直接電力系統に接続する大型蓄電池から放電を行う事業が、発電事業に位置付けられたことで、電力の市場取引をターゲットとした系統用蓄電システムの導入が活発になっている。

富士電機は、電力安定化を目的としたさまざまな取組みを実施してきた。本稿では、電力の安定供給に貢献する系統用蓄電システムについて述べる。

2　電力安定化への取組み

富士電機の電力安定化への取組みを**図1**に示す。1990

2000		2010			2020（年）
1995 ○交直変換装置（50 kW、100 kW、250 kW、500 kW） NAS電池*1 1997 ○電池評価用交直変換装置（30 kW） 鉛蓄電池 1998 ○電池評価用充放電装置 NAS電池 1999 ○変電所用交直変換装置（500 kW） NAS電池 2002 ○電池評価用電力貯蔵機能付SPS（50 kVA、500 kVA） レドックスフロー電池適用	2004 ○風力出力安定化実証設備向け交直変換装置（±6 MW） レドックスフロー電池 2005 ○瞬時変動補償機能付UPS（300 kVA） FVH*2型鉛蓄電池 2006 ○風力発電出力安定化実証設備 LL形鉛蓄電池+ニッケル水素電池+電気二重層キャパシタ ○マイクログリッド研究設備 ニッケル水素電池+SLM型鉛蓄電池 ○瞬時変動補償機能付PCS（250 kVA）＆UPS（800 kVA） FVH型鉛蓄電池	2007 ○事業用ウィンドファーム出力安定化装置 LL形鉛蓄電池 2008 ○変動緩和型太陽光発電設備（300 kW） 電気二重層キャパシタ 2009 ○離島マイクログリッド実証設備 リチウムイオン電池+LL形鉛蓄電池 九州6離島 ○風力事業者向け安定化設備（±4.5 MW） LL形鉛蓄電池	2010 ○離島向け太陽光発電・系統安定化設備 リチウムイオンキャパシタ 沖縄3離島 2011 ○北九州スマートコミュニティ実証設備 リチウムイオン電池+ウルトラバッテリ ○風力事業者向け安定化設備（±4.5 MW） LL形鉛蓄電池	2012 ○離島向け系統安定化設備（300 kW） ニッケル水素電池 ○風力出力安定化検証設備 新型電池（国外製） ○直流マイクログリッド設備 リチウムイオン電池 ○ピークカットシステム LL形鉛蓄電池 2014 ○トンガ王国マイクログリッド リチウムイオンキャパシタ 2015 ○系統用蓄電システム（±30 MW） レドックスフロー電池 ○甑島（こしきじま）蓄電センター リチウムイオン電池（リユース） ○製品評価技術基盤機構 リチウムイオン電池	2016 ○ガラパゴス電力安定化 リチウムイオン電池+LL形鉛蓄電池 ○メガソーラー安定化 リチウムイオン電池 2017 ○需要家向けピークカット（長崎県諫早市） リチウムイオン電池（リユース） 2019 ○トンガ王国系統安定化システム リチウムイオンキャパシタ ○需要家向けコージェネレーション協調 EMS*3 2017～2020 ○北海道地区蓄電池併設型メガソーラー ○発電機協調用システム NAS*4 2023 ○EV*5用蓄電池で大規模系統蓄電システムを構築 リチウムイオン電池（リユース）

＊1 NAS電池：東京電力ホールディングス株式会社の商標または登録商標　＊2 FVH：古河電池株式会社の商標または登録商標　＊3 EMS：Energy Management System
＊4 NAS：東京電力ホールディングス株式会社および日本碍子株式会社の商標または登録商標　＊5 EV：Electric Vehicle

図1　富士電機の電力安定化への取組み

年代から系統安定化用途の蓄電システムの開発に着手し、2006 年には株式会社ウィンパワーの保有する西目風力発電所向けに、各種蓄電デバイスを活用した再エネ出力を平滑化する制御装置を開発した。さらに、2010 年に離島における電力安定化を担うマイクログリッドシステムを納入した。2011 年からの北九州スマートコミュニティ実証事業では、地域の電力平準化を行う蓄電システムを開発し、2016 年からのバーチャルパワープラント（VPP：Virtual Power Plant）実証事業では、VPP 対応需要家蓄電システムを開発した。これらのさまざまな取組みを通してノウハウを蓄積し、電力需給の最適化・安定化に貢献する制御技術を磨いてきた。富士電機は、高度な電力安定化技術および業界最高レベルの変換効率を持つ富士電機製パワーコンディショナ（PCS：Power Conditioning System）と、リチウムイオン、レドックスフロー、NAS〈注〉、鉛、キャパシタなど各種蓄電デバイスとの豊富な組合せ実績を強みに、用途に応じて最適な蓄電システムを構築する技術を持っている。次に代表的な蓄電システム構築事例について述べる。

2.1　離島マイクログリッドシステム

多くの離島では、電力系統は独立して小規模であり、ディーゼル発電が主力電源であるため、燃料の輸送費が掛かり発電コストが高く、環境負荷も高い。マイクログリッドシステムでは、燃料が不要な太陽光発電などの再エネを導入し、燃料のたき減らしによるコストダウンと環境負荷を低減すると同時に、蓄電制御システムを導入し、ピークシフトによる需給調整機能、周波数制御機能（ガバナフリー制御など）を実装することで、需給バランスや電力品質確保を行っている。**図 2** にマイクログリッドシステムの設備の外観を示す。

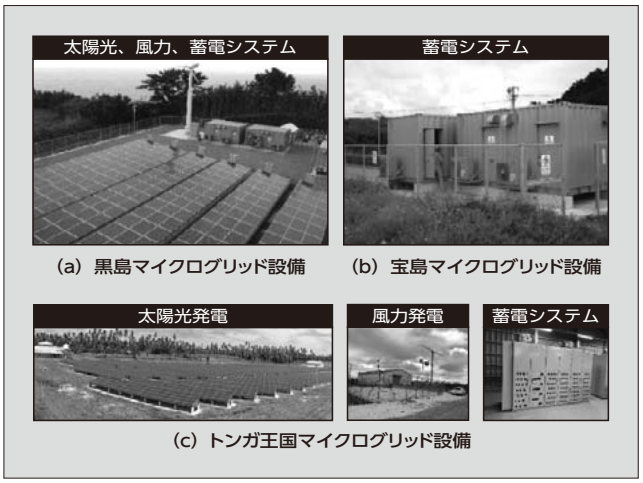

図 2　マイクログリットシステムの設備

〈注〉NAS：東京電力ホールディングス株式会社および日本碍子株式会社の商標または登録商標

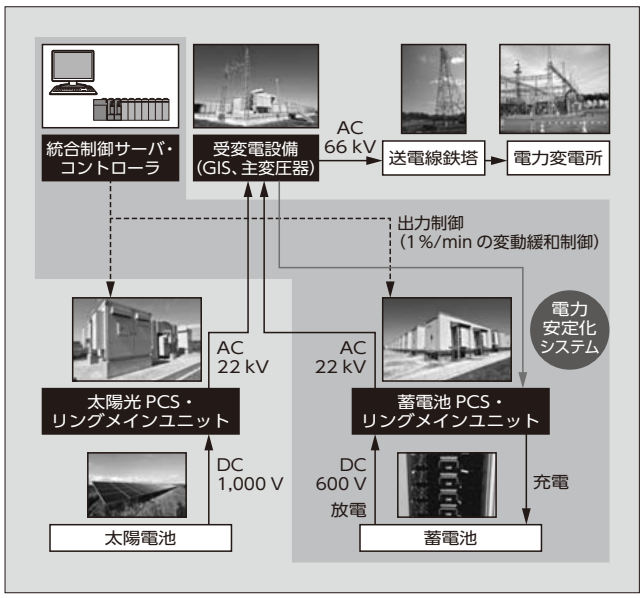

図 3　再エネ発電出力変動補償システムの構成例

2.2　再エネ発電出力変動補償システム

富士電機では、メガソーラーを中心とした事業用の再エネ発電設備を多数納入している。北海道電力株式会社管内では、再エネの導入量が増加し電力系統への影響が大きくなったため、これを低減するために連系電力の変化率 1% 以下/分の要件を設けた。この要件を満足するために、再エネの出力変動を蓄電池によって平滑化する蓄電システムを多数納入している。この安定化用ソフトウェアは富士電機の独自技術により蓄電池の設備容量を最小化することが可能である。**図 3** に再エネ発電出力変動補償システムの構成例を示す。

2.3　大規模系統用蓄電システム実証設備

北海道電力株式会社と住友電気工業株式会社が共同で構築した世界最大級（定格出力 15,000 kW、容量 60,000 kWh）の大規模系統用蓄電システム向けに、600 kVA の PCS65 台と周波数制御技術を適用した制御装置を 2015 年に納入した。制御機能として、電力系統の周波数変動に対応して高速に充放電を行うガバナフリー制御、中央給電指令所からのリモート制御（LFC：Load Frequency Control）を実装している。これは需給調整市場の一次調整力、二次調整力に該当するものであり、制御応答性能は需給調整市場の要件より、高速である。蓄電池の状態に合わせて、65 台の蓄電池 PCS を高速に制御することで、大規模な蓄電池の充放電制御を実現した[(1)]。納入した交直変換装置（蓄電池 PCS、昇圧変圧器、高圧遮断機など）の複数設置状況として、**図 4** に南早来変電所向け大規模系統用蓄電システムの外観を示す。

2.4　EV 用蓄電池を再利用した蓄電システム

ガソリン車に代わり電気自動車（EV：Electric Vehicle）の普及がさらに進むことが予想される。EV 用の蓄電池は

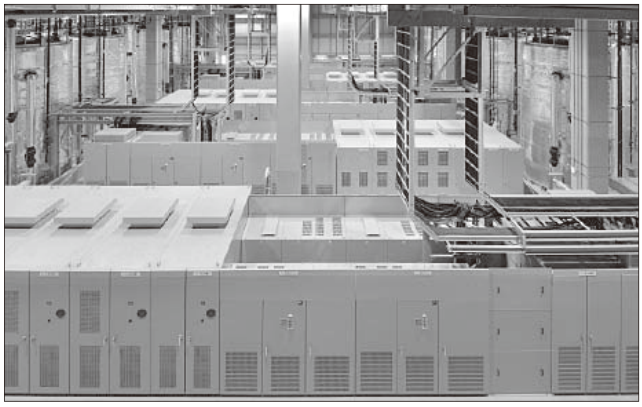

図 4　南早来変電所向け大規模系統用蓄電システム

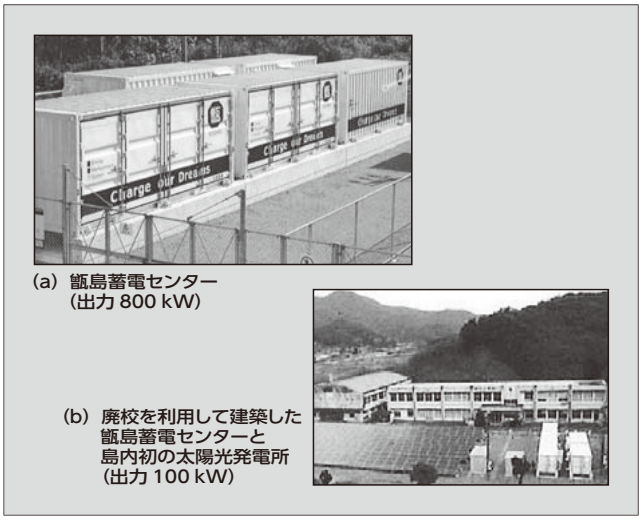

図 5　甑島蓄電センターに納入した EV リユース蓄電システム

5 ～ 7 年程度で交換が必要となるが、自動車用途ほど使用条件が厳しくない産業用途に再利用し、さらに継続運用が可能である。富士電機は、住友商事株式会社が構築した EV 用リユース蓄電システムの PCS および制御装置を納入した。このシステムは、EV に搭載されている蓄電池パックをそのままコンテナに実装してリユース時の作業最小化を図ったこと、さらに富士電機の制御装置に蓄電池の容量測定機能を実装してリユース蓄電池の寿命管理ができることを特徴としている。**図 5** に甑島蓄電センターに納入した EV リユース蓄電システムの外観を示す。

3　系統用蓄電システムの現状

2021 年に需給調整市場が開設され、一般送配電事業者が調整力を市場から調達するしくみができた。また、近年発生している需給ひっ迫問題は、卸電力市場において、電力価格の高騰や時間帯の違いによる料金差の拡大を引き起こしており、料金差を利用した裁定取引による事業性が増している。このような状況に加えて、経済産業省などの系統用蓄電システムに対する補助金制度も事業者を後押しし、大容量の系統用蓄電システムの導入が進められている。[(2)]

3.1　系統用蓄電システムの全体構成

富士電機は系統用蓄電システムを構成する主要コンポーネントである PCS から、高圧・特別高圧連系設備、制御装置までの機器を提供するとともに、システム設計からアフターサービスまでトータルでソリューションを提供することができる。富士電機は蓄電池を製品として保有してい

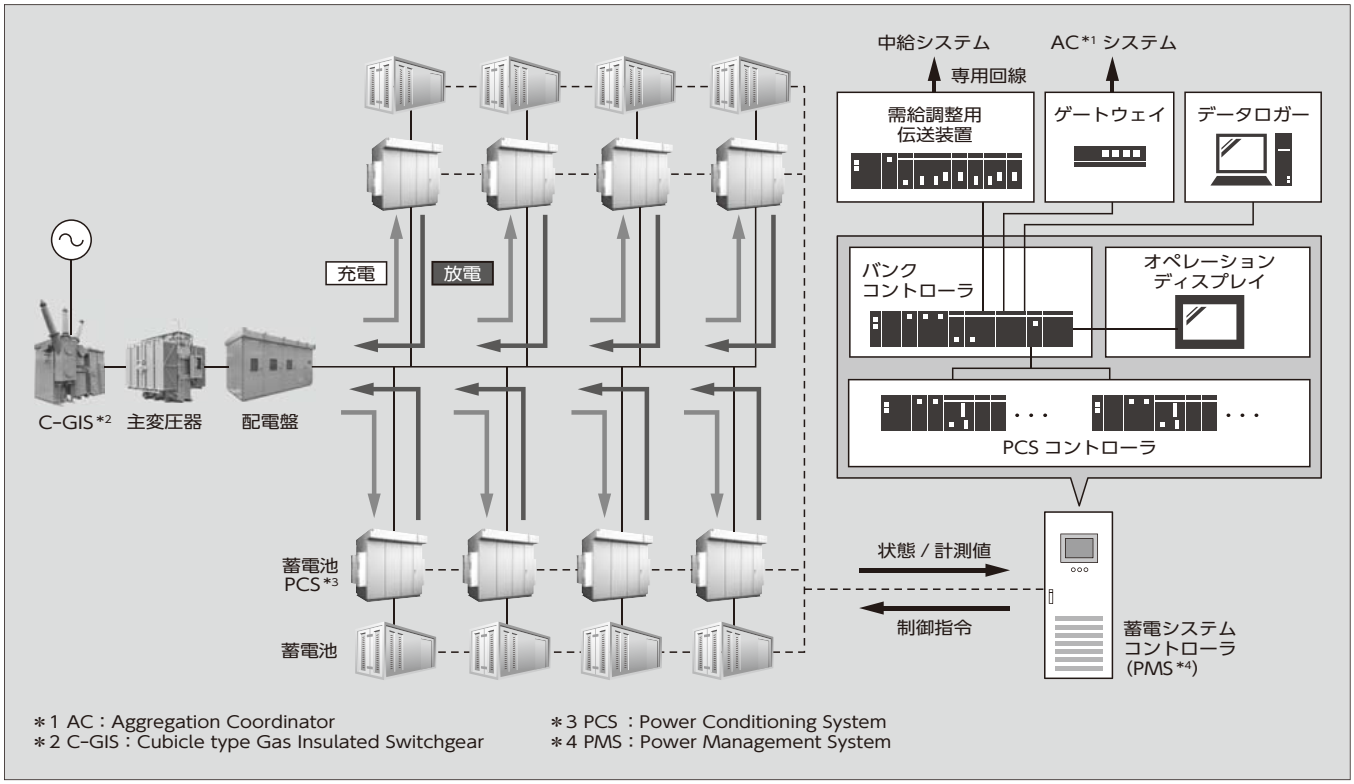

図 6　系統用蓄電システムの全体システム構成例

ないが、以前から多様な蓄電池メーカーと連携し、各種システムを納入した実績がある。近年、蓄電池は、大容量化、パッケージ化が進んでいるが、顧客の要望やシステムニーズに合わせ、多様な蓄電池の中から、最適な蓄電池を採用しシステム化することが可能である。**図6**に系統用蓄電システムの全体システム構成例を示す。

3.2　系統用蓄電システムの課題

近年の系統用蓄電システムは経済産業省などの補助事業により初期費用が抑えられるため、多くの事業者が参入しているが、次に示す課題がある。[3]

(1)　基本性能の向上

さらなる高効率化や省エネルギー（省エネ）化、小型化などが求められる。

(2)　直流電圧の高電圧化

蓄電池メーカーは、エネルギー密度向上、kWh 単価低減のため、直流電圧の高電圧化を図った標準のコンテナ蓄電池パッケージとして販売しており、この電圧範囲に対応する必要がある。

(3)　重耐塩仕様への対応

参入するエネルギー事業者の多くが、沿岸部の遊休地の活用を考えているため、適切な塩害対策が求められる。

(4)　高速な充放電制御

需給調整市場の一次調整力では最も短い応動時間が求められるため、周波数を高速で検出し、偏差に応じた充放電制御を行う必要がある。

(5)　上位システムとの連携

需給調整市場、卸電力市場などの市場取引に対応するため、上位にあって各需要家のエネルギー資源を束ねて需給調整を行うアグリゲーションシステムとの情報連携、および同様に上位にあって需給バランス調整などの指令を出す簡易指令システムからの指令に合わせて充放電制御を行う必要がある。

3.3　大容量蓄電池 PCS の特徴

3.2 節の課題の対策として、屋外に設置できる大容量の PCS をラインアップに加えた。制御装置としても従来から蓄積した制御機能に加え、経済産業省の VPP 実証事業などで開発した上位システムとの連携機能を実装し、系統用蓄電システムに必要な機能を実現している。定格容量 2,600 kVA PCS「PVI1400CJ−3/2600」と定格容量 2,750 kVA PCS「PVI1500CJ−3/2750B」を新たに加えて拡充した蓄電池 PCS のラインアップを**図7**に示す。このラインアップの拡充により、使用する蓄電池電圧、連系点の出力容量、使用用途に応じて、PCS を選択して、最適なシステムを提案することが可能である。PVI1400CJ−3/2600 および PVI1500CJ−3/2750B の仕様を**表1**に、同一の外観を**図8**に示す。

これらの大容量蓄電池 PCS は次の特徴を備える。

(1)　基本性能の向上

(a)　高効率化、省エネルギー化

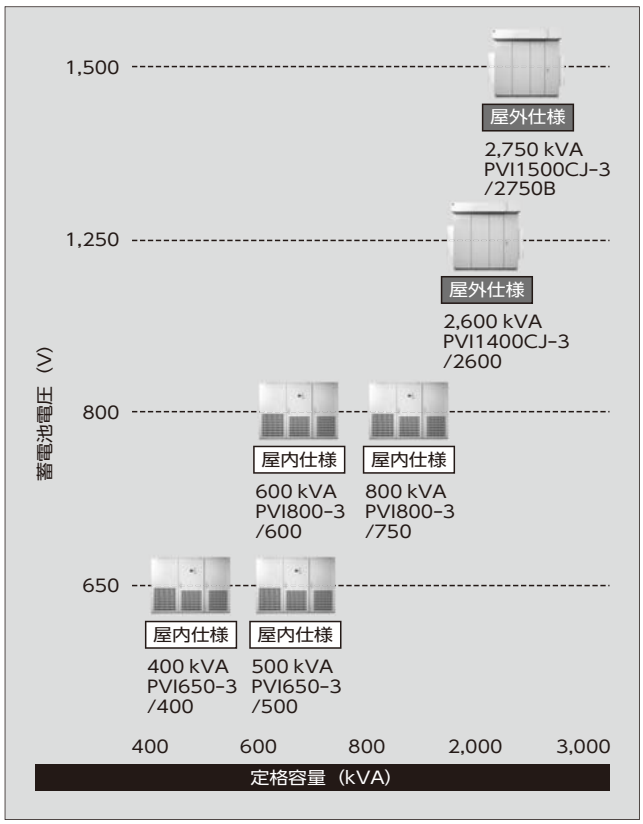

図7　蓄電池 PCS のラインアップ

表1　「PVI1400CJ-3/2600」と「PVI1500CJ-3/2750B」の仕様

項目		仕様	
型式		PVI1400CJ-3 /2600	PVI1500CJ-3 /2750B
定格容量（kVA）		2,600	2,750
有効電力（kW）		±2,600	±2,750
無効電力（kvar）		±1,560	±1,650
交流	定格電圧（V）	465	590
	出力電流（A）	3,228	2,692
直流	運転電圧範囲（V）	805 ～ 1,250	1,020 ～ 1,500
	最大入力電圧（V）	1,400	1,500
	最大入力電流（A）	3,296	2,752
装置仕様	装置最高効率（%）	98.4	98.4
	保護リレー	OV、UV、OF、UF、単独運転検出（能動、受動）、直流地絡検出	
	サイズ（mm）	W2,516×D1,545×H2,653	
設置環境	設置場所	屋外	
	周囲温度（℃）	−20 ～ +57	−20 ～ +47
	相対湿度（%Rh）	4 ～ 100	
	標高（m）	2,000 m以下	

最新の高効率 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）の採用により最高効率として、PVI1400CJ−3/2600 は 98.4%、PVI1500CJ−3/2750B は 98.7% を達成した。電力ロスを削減したことにより、スタンバイ中に冷却ファンを停止できるようになり、待機電力を低減し、省エネに貢献できる。

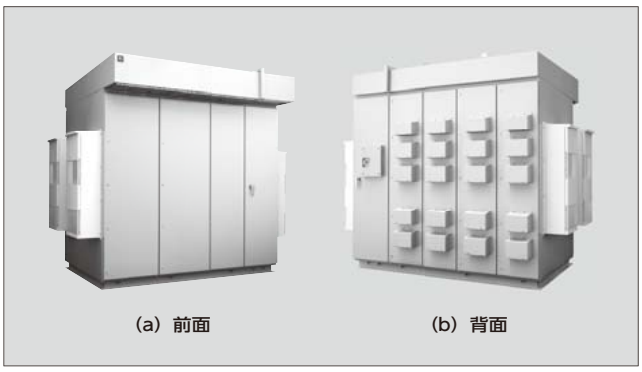

図 8　「PVI1400CJ-3/2600」と「PVI1500CJ-3/2750B」

(b)　屋外設置仕様

従来の屋内仕様の PCS を屋外に設置するため、コンテナや建物を用意する必要があり、さらに空調設備を設け、PCS の運転環境を常に保つ必要があった。新開発の PCS では、屋外に直接設置できることで、初期費用としてはコンテナや建物を不要とし、また、空調設備運転や定期交換のランニングコストを削減できる。

(c)　設置スペースの大幅な削減

電力変換回路の見直しにより、入力電圧の許容範囲の上限を大幅に引き上げた。従来タイプと比べて蓄電池の直列数を増加できるようになり、蓄電システムの設置面積を大幅に削減した。また、主回路をユニット化構造にすることで、装置の小型化を実現し、2,600 kVA 帯で世界最小レベルの設置面積（3.89 m^2）を実現している。

(d)　運用継続性

PVI1400CJ−3/2600 の単線結線図を**図 9** に示す。交流側、直流側ともに SPD（Surge Protective Device）、ACB（Air Circuit−Breaker）、直流側に地絡過電圧継電器を設けている。交流側はバスダクト接続、直流側は蓄電池コンテナが並列接続可能な端子を設けている。パワーユニット（インバータ回路）は四つのユニットから構成されており、一つのパワーユニットが故障した場合でも、残りのユニットで縮退運転が可能である。よって、故障時も事業に与える影響を最小限にして運転継続することができる。

(2)　直流電圧の高電圧化

現在、系統用蓄電システムに採用されている蓄電池の主流はリチウムイオン蓄電池であり、エネルギー高密度化による省スペース化、コストダウンが進んでいる。さらに、限られた設置スペースに、輸送・設置の効率を高めるために、蓄電池をコンテナに実装したパッケージでの提供を行っている。このため、蓄電池の直流電圧範囲も高くなってきている。

富士電機の PCS は高密度な蓄電池コンテナの電圧範囲である DC805 ～ 1,500 V に対応し、国産メーカーをはじめ、中国や韓国など国外のメーカーを含む各社蓄電池コンテナパッケージに接続できるようになり、システム構築の効率を高めている。

(3)　重耐塩仕様への対応

海岸に近い遊休地などで長期的な運用を可能とするため

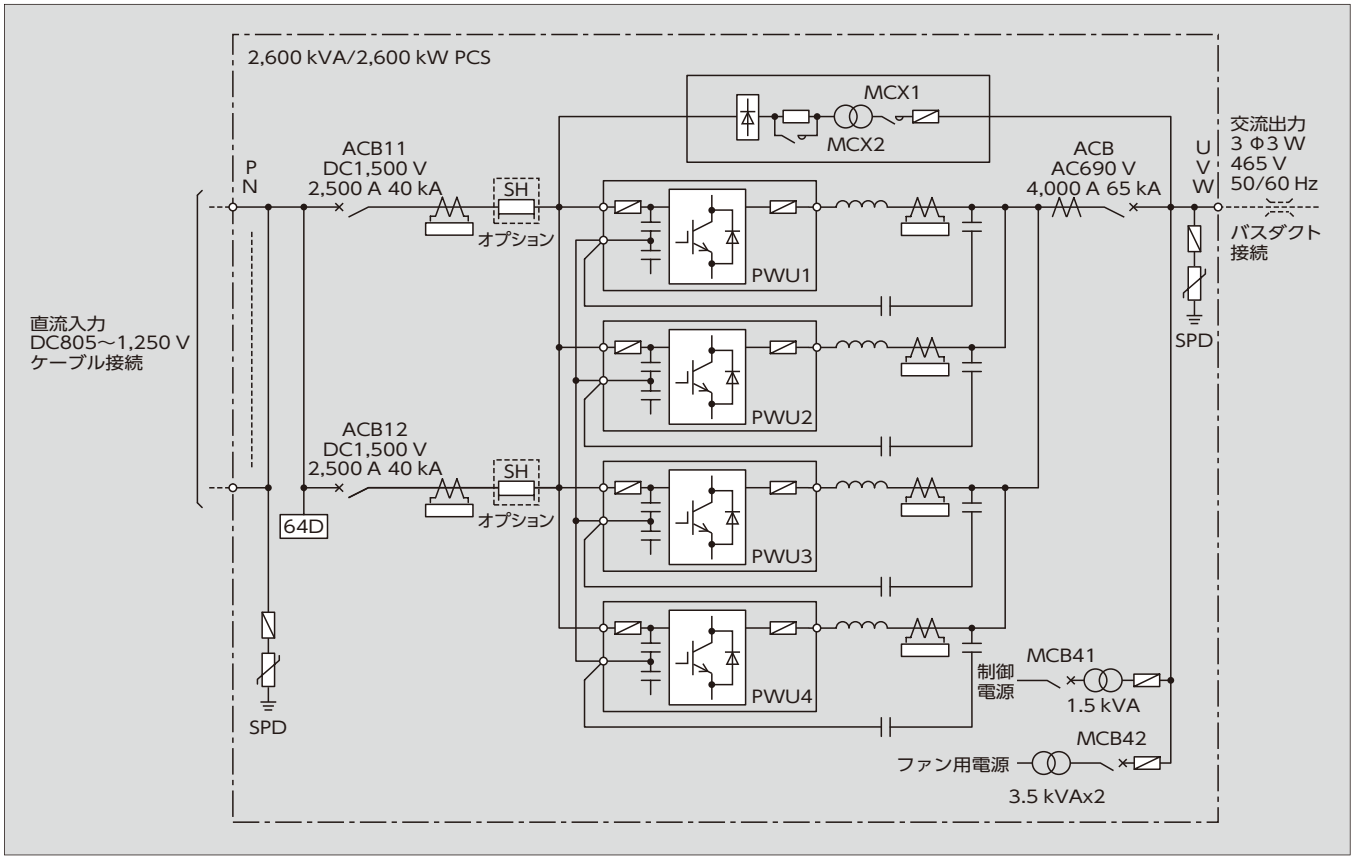

図 9　「PVI1400CJ-3/2600」の単線結線図

に塩害対策が要求されている。屋外設置仕様の大容量蓄電池 PCS の冷却構造を**図 10** に示す。PCS の内部を気密エリアと外気エリアに区分し、それぞれで冷却している。制御装置、インバータなどの環境影響を受けやすい重要機器は、熱交換器で冷却することで外気を導入しない気密エリアに格納している。環境影響を受けにくい冷却用ヒートシンクとリアクトルは、強制空冷ファンで冷却する外気エリアに格納している。外気エリアについては、納入実績の多い屋外型太陽光 PCS の稼働実績ノウハウを基に外装素材の一部腐食しやすい部分へのステンレス鋼やアルミニウムの適用、塗装対策、メンテナンスにおける交換周期の見直しなどを施して耐塩性を高めている。

⑷　高速な充放電制御

需給調整市場において、2024 年度に開始される一次調整力はガバナフリー相当制御と同じ役割と位置付けられており、高速な応答が必要である。富士電機製 PCS は、指令値のステップ変化に対する出力の 90％ 応答時間が 30 ms 以下であるとともに応答波形に振動がほとんどなく、一次調整力相当の高い応答性能を備えている。**図 11** に蓄電池 PCS の応答性能を示す。

⑸　上位システムとの連携

富士電機の制御システムは、系統用蓄電システムとして求められる、需給調整市場の一次から三次までの全ての調整力、および卸電力市場に対応している。また、蓄電所の要件として求められる連系点での力率制御も実現している。

上位のアグリゲーションシステム・簡易指令システムからの制御指令に合わせて充放電制御を行う連携機能については、経済産業省の VPP 実証事業（2016 ～ 2020 年）において開発し、商品化している。

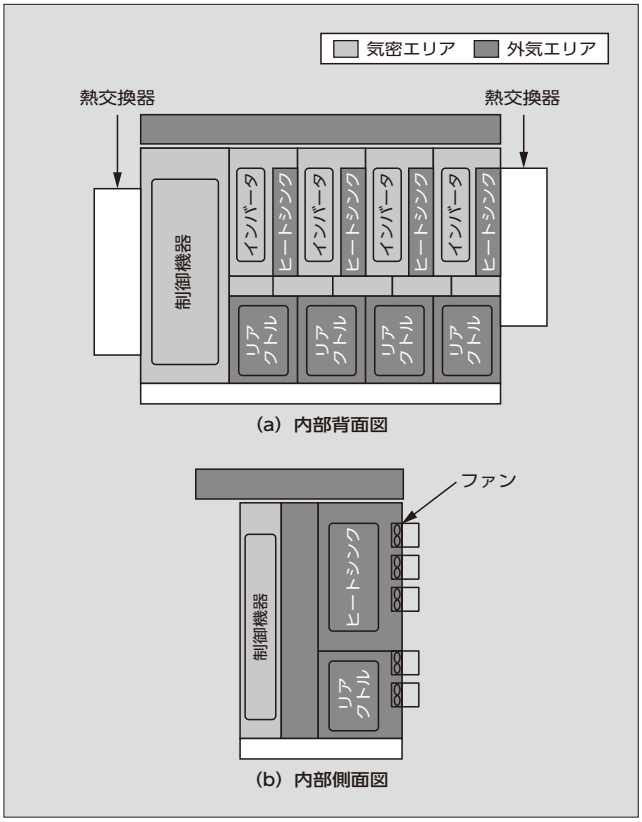

図 10　屋外設置仕様の大容量蓄電池 PCS の冷却構造

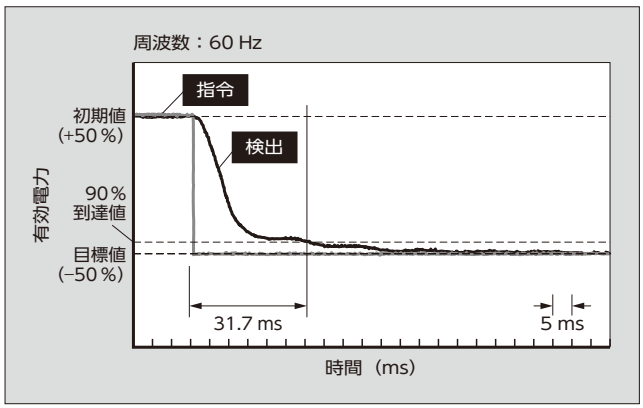

図 11　蓄電池 PCS の応答性能

3.4　制御機能の特徴

系統用蓄電システムに求められる要件に柔軟に対応するため、制御ソフトウェアのプラットフォームを構築・標準化し、次の対応を行っている。

⑴　高速分散制御

蓄電池の充電可能量、放電可能量および、PCS の状態に応じて、リアルタイムに複数 PCS に充放電指令値を一次調整力に対応できる高速で分配している。

⑵　蓄電池保護

蓄電池の過充電や過放電を防止する保護機能を実装し、電池を保護して劣化を抑制する充放電制御方法についても研究を進めている。

⑶　機能のモジュール化

上位システムとのインタフェースと、リミッタ制御、保守機能などの制御機能や、各種蓄電池との通信インタフェースをモジュール化し、制御システムを効率的に構築できるようにしている。

4　あとがき

電力の安定供給に貢献する系統用蓄電システムについて述べた。系統用蓄電システムは、今後、再生可能エネルギーのさらなる導入と主電源化に伴い、調整力としてのニーズが高まると予想される。さらに、電力系統の電圧問題、慣性力不足などへの対策が必要になるため、富士電機は PCS の機能として、電圧制御機能などを持つスマートインバータや疑似慣性を持った GFM（Grid Forming Inverter）の機能開発を進めている。

今後も将来動向に注視しながら、市場にマッチし、カーボンニュートラルに貢献できる技術、製品を開発・提供していく所存である。

参考文献

⑴　毛内俊晴ほか. 世界最大級の60 MWhレドックスフロー電池による系統蓄電池用の大容量交直変換システム. 富士電機

技報. 2017, vol.90, no.1, p.36−41.
⑵　宮村尚孝ほか. “［電機業界］カーボンニュートラル実現に貢献する技術”. 2023年電気学会D部門大会シンポジウム. 5−S9−3, 名古屋市, 2023−8−22/24, 電気学会.
⑶　笛木豊ほか. カーボンニュートラル実現に貢献する富士電機の技術. 技術雑誌スマートグリッド. 大河出版. 2022, no.10.

金本　真依
EMS、蓄電制御システムの企画・開発・エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社エネルギー事業本部エネルギーマネジメント事業部エネルギー制御技術部担当課長。

毛内　俊晴
電力・エネルギー分野の電力変換システム、特に蓄電制御システムの企画・開発・エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社エネルギー事業本部エネルギーマネジメント事業部エネルギー制御技術部課長。

宮村　尚孝
電力・エネルギー分野の EMS 関連の企画・開発・エンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社エネルギー事業本部エネルギーマネジメント事業部カーボンニュートラル推進部主席。電気学会会員。

富士電機

Innovating Energy Technology

＊本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。