

蓄電池用スマートインバータの実証試験を配電ネットワーク試験場で開始

■ 吉井 誠
Makoto Yoshii

電力系統への再生可能エネルギーの導入量の増大により、電圧の変動が拡大する、周波数の変動が拡大するなど、電力系統が不安定化することが懸念されている。

これらに対し、パワーコンディショナ (PCS)^{注1)} にスマートインバータ^{注2)} 機能を組み込んで、電力系統の安定化を図ることが検討されている。

東光高岳では、小山事業所配電ネットワーク実証試験場 (FDN 試験場)⁽¹⁾ に既設置の NAS 電池^{注3)} 用 200 kW PCS へ、スマートインバータ機能を組み込み、実規模システムでの実証試験を開始したので紹介する。

1 はじめに

近年の再生可能エネルギーの導入量の増大により配電線の電圧が上昇する、再生可能エネルギーの発電電力の変動により電力系統の電圧が変動するなど、電力系統の電圧が不安定化することが懸念されている。

一方、電力系統全体への再生可能エネルギーの導入量が増大していくと、電力系統の周波数を安定化する調整力を担う同期発電機の台数と総容量が減少して、周波数が不安定化することが懸念されている。

これらに対し、再生可能エネルギーを電力系統に連系する PCS にスマートインバータ機能を組み込んで、電力系統を安定化する能力を与えることが検討されている。

(本稿では、スマートインバータ機能を組み込んだ PCS を、スマート PCS とよぶ。)

東光高岳では、**図 1** に示す小山事業所内の FDN 試験場に設置した太陽光発電 (PV) 用 50 kW PCS へ、ス

mart インバータ機能を組み込み、昨年より性能検証試験を開始した⁽²⁾。

これとともに、FDN 試験場に設置した、電力貯蔵用蓄電池である 200 kW NAS 電池と、NAS 電池用 200 kW PCS を、電力貯蔵、負荷平準化などの試験に供してきた。

このほど、NAS 電池用 PCS にスマートインバータ機能を組み込み、蓄電池を用いた系統安定化の性能検証試験を、実規模の模擬配電線で開始したので紹介する。

2 スマートインバータ機能の変更

直流電力が発電方向 (直流から交流) のみの PV 用スマート PCS のスマートインバータ機能⁽²⁾ と、直流電力が充電方向 (交流から直流) と放電方向 (直流から交流) の、双方向で使用可能な NAS 電池用スマート PCS のスマートインバータ機能 (**図 2**) には、次のような違

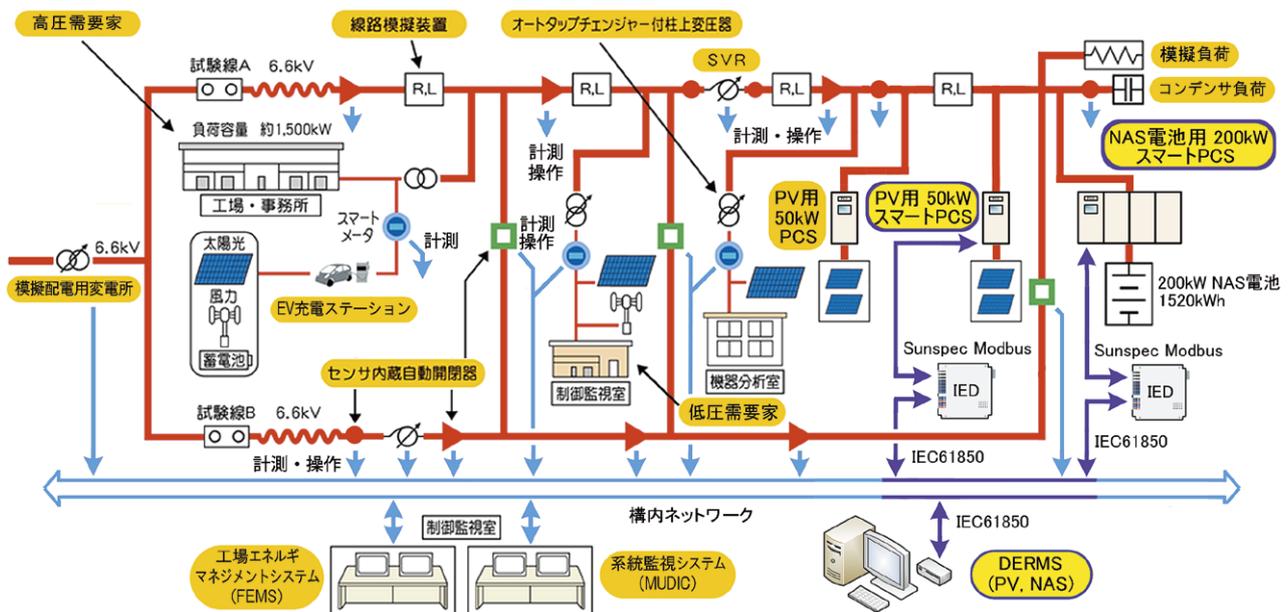


図 1 FDN 試験場の構成と、NAS 電池用 200 kW スマート PCS、PV 用 50 kW スマート PCS

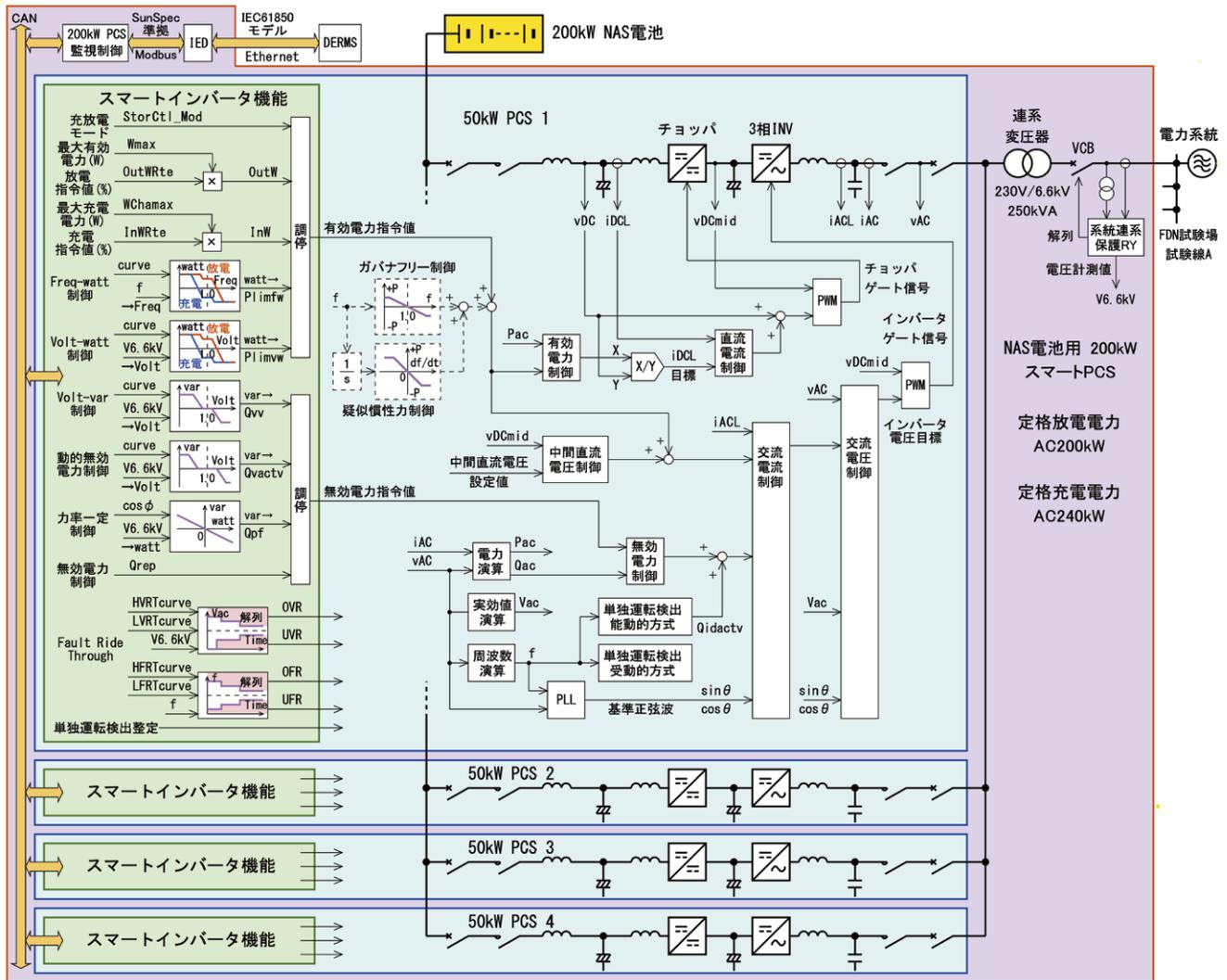


図2 NAS電池用200kWスマートPCSブロック図

いがある。

2.1 有効電力の制御範囲

PV用PCSでは発電方向かつPVパネルが発電可能な最大電力以下が、有効電力を制御可能な範囲である。

NAS電池用PCSでは充電と放電の双方向、定格充電電力～定格放電電力の間が、有効電力を制御可能な範囲である。

2.2 有効電力制御 (PV用)、充放電制御 (NAS電池用)

PV用PCSでは通常、最大無効電力制御 (MPPT) 制御がPVパネルの発電電力が最大になるように制御している。

PV用PCSのスマートインバータ機能の有効電力制御⁽²⁾は、PCS有効電力に発電方向の上限を設定し、PCS有効電力が上限を超えないよう、MPPT制御に制限をかける。

NAS電池用PCSの充放電制御は、図2左側に示す充放電モード、最大有効電力 (W)、放電指令値 (%)、最

大充電電力 (W)、充電指令値 (%) の設定に従い、充電電力指令値 (InW) または放電電力指令値 (OutW) を作成し、PCSの有効電力指令値とする。

2.3 Freq-watt 制御, Volt-watt 制御

PV用PCSでは、Freq-watt (周波数 - 電力) 制御⁽²⁾と Volt-watt (電圧 - 電力) 制御⁽²⁾の特性カーブ^{注4)}の制御出力 watt の範囲を、発電方向で0から定格電力とする。

そして、PCS有効電力が制御出力 watt を超えないようMPPT制御に制限をかけるので、Freq-watt 制御, Volt-watt 制御ともに、制御入力である周波数、電圧が上昇したときのみ、PVパネルから出力可能な有効電力を下げる方向に働くことができる。

NAS電池用PCSでは制御出力 watt の範囲を、充電定格電力から放電定格電力までとし、さらに、放電運転時 (図2左側のグラフで赤) と充電運転時 (青) で、使用する特性カーブを切り替える。

NAS電池用PCSでは、Freq-watt 制御, Volt-watt 制御ともに、制御入力である周波数、電圧が上昇したとき、

図2に示すPCSの有効電力指令を下げる（充電方向に振る）だけでなく、周波数、電圧が下降したとき、有効電力指令を上げる（放電方向に振る）ことが可能である。

2.4 力率一定制御

力率一定制御⁽²⁾の特性カーブは、PV用PCSでは制御入力wattの範囲を、発電方向で0から定格電力とする。

NAS電池用PCSでは制御入力wattの範囲を、充電定格電力から放電定格電力までとする。

3 実証試験

3.1 実証試験の内容

FDN試験場では、図1にある線路模擬装置(R, L)を用いて、模擬配電線のインピーダンスを制御することができる。

さらに、分散型エネルギー資源管理システムDERMS（詳細は本号別稿で紹介する）から指令して、NAS電池用PCSの有効電力を、充電240kW～放電200kWの間で、制御することができる。

両者を組み合わせることで、配電線のインピーダンスと潮流を制御した試験条件で、配電線電圧の変動量、Volt-var制御、Volt-watt制御を用いた模擬配電線の電圧変動抑制効果、さらに、ステップ式電圧調整器(SVR)のタップ制御を組み合わせた場合の電圧変動抑制効果を、評価・検証中である⁽³⁾⁽⁴⁾。

3.2 今後の実証試験予定

(1) 蓄電池によるPV発電電力の模擬

これまで、PV用PCSの容量50kVAがFDN試験場の模擬配電線の短絡容量⁽⁵⁾に比べ小さく、PV発電電力の変動による配電線電圧の変動量、PV用PCSの無効電力の制御により配電線電圧を制御可能な量が、小さいことがあった。

DERMSによりNAS電池用PCSの有効電力を、PV用PCSの有効電力の4倍に制御して、PVパネルおよびPV用PCSの容量が250kWである状態を模擬させ、これまでより大規模なPV発電電力の実変動に対する、スマートPCSによる電圧変動抑制の効果と、SVRのタップ制御を組み合わせた効果を検証していく。

(2) 蓄電池による再生可能エネルギーの変動補償

東光高岳ではNAS電池を用いて、蓄電池により再生可能エネルギーの発電電力の変動を補償する試験を、2000年代初頭から行ってきた⁽⁵⁾。

今後、PVの発電電力の変動に対する補償量をDERMSにより計算し、NAS電池用PCSで変動を補償させる機能の検証を行っていく。

さらにPV発電電力の数分から日単位の長期変動の補

償とNAS電池の充放電制御を統合し、さらに監視システム(MUDIC)、工場エネルギーマネジメントシステム(FEMS)と連携して、高圧需要家と低圧需要家の負荷変動の補償を統合していく。

(3) ガバナフリー制御⁽⁶⁾、疑似慣性力⁽⁷⁾との組み合わせ

電力系統への再生可能エネルギーの導入量の増大にともない、電力系統に接続される発電設備全体に対する周波数の調整力を持たないPCSの容量が増し、同期発電機の台数と総容量が減少することで、周波数の調整力が減少していくことが予想される。

周波数の調整力が減少することにより、再生可能エネルギー発電電力が変動による周波数偏差⁽⁸⁾が拡大する、発電設備の脱落、系統事故時などに周波数変化率(RoCoF)⁽⁹⁾と周波数偏差の最大が拡大⁽¹⁰⁾するなど、電力系統の周波数が不安定化することが懸念される。

スマートインバータ機能には、周波数偏差を縮小する方向に有効電力を出力するFreq-watt機能があるが、一般的には基準周波数の前後に不感帯(Deadband)を持つ⁽¹¹⁾設定にすることが多い。

これに対し、図2中に破線で示すように、周波数偏差に対し不感帯無しで有効電力を制御するガバナフリー制御と、周波数変化率RoCoFに対し有効電力を制御し同期発電機の慣性力を模擬する疑似慣性力をPV用PCSとNAS電池用PCSに組み込んで、周波数安定化の機能を検証していく。

さらに、スマートインバータ機能と仮想同期発電機⁽¹²⁾を組み合わせ、電系統を安定化させる検証を行っていく。

4 おわりに

FDN試験場のPV用50kW PCSと、NAS電池用200kW PCSにスマートインバータ機能を組み込み、再生可能エネルギー用と蓄電池用のスマートPCSを組み合わせた実証試験を開始した。

FDN試験場の、模擬配電線のインピーダンスを制御可能な特長と、外部の電力系統に影響を与えずに実系統規模での試験をできる利点を活かして、再生可能エネルギー用のスマートPCSと蓄電池用のスマートPCSを組み合わせ、配電線の電圧制御、マイクログリッド制御、さらに電力系統から切り離してNAS電池用PCSをCVCF運転させての自立系統制御などの、実証試験を進めていく所存である。

■参考文献

(1) 茂木規行：「配電ネットワーク実証試験場」, 高岳レビュー, No.175 (2011)

(2) 吉井誠：「スマートインバータの実証試験を配電ネットワーク試験場で開始」, 東光高岳技報, No.7 (2020)

(3) 山下裕輔, 宮崎輝, 芳澤信哉, 林泰弘, 村下直久：「SVR 設置配電系統への Volt-var 制御適用に関する基礎検討」, 令和元年電気学会電力・エネルギー部門大会, 論文 No.131 (2019)

(4) 尾崎卓也, 茂木規行, 宮本卓也：「配電系統の電圧制御シミュレーション」, 東光高岳技報, No.3 (2016)

(5) 吉井誠, 佐藤正幸：「電力系統への影響を低減した風力発電システム」, 高岳レビュー, Vol.48 No.1 (2001)

(6) 電気学会電気規格調査会：「2.用語の説明」, 自励変換装置の能動連系, JEC-2441-2012, p.8 (2012), 電気書院

(7) 一般社団法人日本電機工業会：「用語解説スマートインバータ (Smart inverter)」, <https://www.jema-net.or.jp/Japanese/res/dispersed/data/s09.pdf>

■ 語句説明

注1) パワーコンディショナ PCS (Power Conditioning System)：直流で発電された電力を交流に変換して電力系統に出力する機能を持ち, 制御監視装置, 系統連系変換装置, 直流変換装置, 付属装置などすべて備えた装置⁽⁶⁾。直流から交流, 交流から直流の双方向の電力変換が可能な場合も PCS とよぶ。PCS 全体を系統連系インバータとよぶことも多い。IEC 規格, CISPR 規格などの国際規格では, GPC (Grid Connected Power Converters) とよぶ。

注2) スマートインバータ：自律調整機能 (電圧安定化, 周波数安定化, 力率調整, 出力制御, ソフトスタートなどを実現するインバータ制御機能) と電力会社またはアグリゲータとの双方向通信機能を有し, 電力系統の安定化および電力品質の向上と同時に電力会社との協調を実現する次世代電力変換装置⁽⁷⁾。スマートインバータ機能を持たない PCS は, 系統電圧・周波数の変動に対して無効電力・有効電力が変化しないように制御するので, 電力系統を安定化する機能を持たない。

注3) NAS 電池：ナトリウム硫黄電池。正極に硫黄, 負極に金属ナトリウム, 電解質にβアルミナセラミックスを用い, 約 300°C で動作する。NAS 電池は, メーカーである日本ガイシ (株) の登録商標。

注4) 特性カーブ：制御入力と制御出力の関係, 制御特性。Freq-watt 制御を例にすると, 図2の左側に示すように制御入力の周波数 Freq を横軸, 制御出力の電力 watt を縦軸とする, グラフ上のカーブとして表すことができる。

注5) 短絡容量：電力系統で, 定格電圧と短絡電流の積から求まる皮相電力。配電線のある地点で定格電圧三相 6.6 kV, 三相短絡電流 2 kA であれば, 短絡容量は 23 MVA である。短絡容量を A, PCS の設備容量を B とすると, \pm 定格電圧 \times B/A が PCS により制御できる最大の電圧。例：短絡容量が 10 MVA の線路に接続した 200 kVA の PCS は, 線路電圧を最大 \pm 2% 制御できる。

注6) ガバナフリー制御：同期発電機においては, タービンの入力流量を制御する弁, 水力発電機ではガイドベーン, 蒸気タービンでは蒸気加減弁の開度を, 発電機の回転速度が上昇すれば減少させ, 回転速度が下降したら増加させて, 回転速度を一定に保つ制御。周波数低下が原因でタービン回転速度が低下したときは, 弁の開度を増加させるとタービンを介して発電機への機械入力が増加し, 電気出力が増加

して電力系統の周波数を上昇させる方向に働く。PCS では, 周波数偏差に不感帯を持たせずに, 周波数上昇時に有効電力出力を減少させ, 周波数下降時に有効電力出力を増加させる制御を, 同期発電機にならないガバナフリー制御とよぶ。

注7) 疑似慣性力：PCS に周波数変化率に応じて有効電力を制御させ, 回転機の慣性力を模擬する機能。慣性エネルギーは回転の角速度の二乗に比例するので, 慣性エネルギー 600 kJ の同期発電機の場合, 角速度 (電力系統周波数と同期) が定格の 1% 低下する間に, (線形近似では) 慣性エネルギーの 2%, 12 kJ のエネルギーを電力系統に放出する。よって 200 kW PCS に 600 kJ の慣性エネルギーを持つ同期発電機を模擬させる場合, 系統周波数が 1% /s の RoCoF^{注9)} で低下するとき, 疑似慣性力制御は PCS の電力を放電方向に 12 kW 増加させる。

注8) 周波数偏差：標準周波数 (50 Hz, 60 Hz) と実際の電力系統の周波数との差。国内の電力会社における平常時の周波数調整目標範囲は, 周波数偏差 \pm 0.2 Hz 内 (本州, 四国, 九州) および \pm 0.3 Hz 内 (北海道, 沖縄) である。 $-5\% \sim +3\%$ の周波数偏差に対し PCS は連続して, 同期発電機は短時間, 運転を継続することが求められる。

注9) 周波数変化率 RoCoF (Rate of Change of Frequency)：周波数の変化速度 $\Delta f / \Delta t$ 。電力系統の発電電力と電力需要の差に対し, 電力系統に接続される同期発電機の慣性モーメントが大きいかほど RoCoF が小さくなる。電力系統に接続される同期発電機の台数と容量が減り慣性モーメントが減ることで, RoCoF が大きくなる懸念されている。

注10) 周波数偏差の最大が拡大：発電設備の脱落により周波数が低下する場合を例とすると, 連系を継続している同期発電機のガバナフリー制御 (一次調整力) により発電電力が増加し周波数が上昇に転じるまでの, 周波数の最大の低下量を周波数最大偏差 (Nadir) とよぶ。系統に接続している同期発電機が減少すると, 発電設備が大量に脱落したときの RoCoF と Nadir が大きくなり, UFR が動作して負荷遮断による広域停電, さらに同期発電機の連鎖的な解列による電力系統のブラックアウトにいたる可能性が高まる。

注11) 基準周波数の前後に不感帯を持つ：Freq-watt 制御の不感帯の設定として \pm 数十 mHz \sim \pm 数 Hz の例が報告されているが, 国内の実証試験では不感帯を標準周波数の \pm 1% (50 Hz 系統では \pm 0.5 Hz) くらいに設定する例が多い。この場合, 電力会社における平常時の周波数調整目標範囲を逸脱してから, Freq-watt 制御が働くことになる。

注12) 仮想同期発電機 VSG (Virtual Synchronous Generator)：周波数変化に対しては疑似慣性力により有効電力を制御し, 電圧変化に対しては無効電力を制御して, 電力系統から見ると, あたかも同期発電機が連系されているように見える PCS を, 広い意味で仮想同期発電機とよぶ。狭い意味では, 回転子の運動方程式 (動揺方程式) と電気的な等価回路を PCS の制御に組み込み, リアクタンスを介して電力系統と連系した電圧源として動作させる PCS を仮想同期発電機とよぶ。仮想同期発電機には, ガバナフリー制御, 電圧制御 (AVR) まで含める場合もある。

吉井 誠

イノベーション推進部

イノベーション企画部 次世代系統技術グループ 所属