

## 創立100周年記念論文

### パワーエレクトロニクス製品のあゆみ —電力品質改善装置からパワーコンディショナまで—

History of Power Electronics Products  
— Power Quality Improvement Device and Power Conditioner —

松川 満\* 佐野 耕市\*  
M.Matsukawa K.Sano

#### 概要

1973年に世界で初めて製品化に成功したTCR方式SVCが、当社のパワーエレクトロニクス製品の幕開けである。それ以降電力用半導体の進歩とともに、パワエレ応用製品への期待は高まり、高効率化、小型化、低コスト化を目標に開発が引き継がれてきた。2000年以降地球規模でのエネルギー問題が深刻化、太陽光発電市場が開花、当社パワエレ技術は系統連系用パワーコンディショナへと引き継がれパワエレ製品として初めての量産化体制を構築し、新エネルギー事業として現在に至っている。本論文では、40年以上に渡る当社パワエレ応用製品と技術開発の概要を解説する。

#### Synopsis

The SVC (TCR) System which succeeded in commercialization for the first time in the world in 1973 is the opening of Nissin power electronics. With progress of a semiconductor, an expectation to power electronics application product is rise. Development has been taken over, targeting high efficiency, miniaturization and low cost.

After 2000, Energy problems get intensified by global scale, so photovoltaic generation market bloomed. Our technology is taken over to power conditioner unit and becomes first mass production as a power electronics product. In this paper, we explain a brief outline of our power electronics application products and technical development which passes in more than 40.

#### 1. まえがき

当社は1945年の住友電気工業株式会社からのコンデンサ移管と系統技術、解析技術のコア技術で調相設備メーカーとして社会に貢献すると共に、サイクルオーダーの電圧変動（フリッカ）対策として、溶接機に直列コンデンサを、アーク炉に同期調相器+緩衝用リアクトル、鉄共振形（飽和リアクトル+並列コンデンサ方式：当社商品名ボルタン）などの静止器を開発し納入した。この経験とサイリスタ制御技術開発により、1973年当社はサイリスタ制御形無効電力制御装置（SVC）の実用化を世界で初めて実現した。この年米国W.E.Newell氏がパワーエレクトロニクス（以下パワエレ）という技術体系を提唱し、電力・エレクトロニクス・制御技術の融合の必要性を力

説した。まさに当社は世界のパワエレ技術の先駆者的な企業として高い評価を得るとともに、電力品質維持・改善装置の日新としての地位を確立した。その後1970年代後半のオイルショックにより日本の高度成長期は終焉を迎え、国内設備投資が抑制傾向にある厳しい市場環境下、1980年代後半には東海道新幹線の高速化と列車増対応として新幹線用SVCを多数納入、それ以降2000年までSVCを電力品質改善の主力製品としながらも、新たに瞬時電圧低下補償装置や限流遮断装置など特徴ある工場電源品質改善装置の開発・販売に実績を重ねた。電力、交通、産業それぞれの分野において、国内トップクラスのシェアを維持してきた。

一方、1997年気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）が京都で開催されて以降、地球環境問題の

\*電力システム事業本部

高まりとともに、再生可能エネルギーの活用ニーズが高まった。当社はパワエレ技術を応用した太陽光発電システム用パワーコンディショナ（以下、PV用パワコン）および太陽光発電システムに関わる技術開発と商品化に注力、事業拡大を計ってきた。2012年までは補助金に依存していたこの事業も、同年7月日本版FIT（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）が制度化され、システムコストの低下による相乗効果もあり、日本国内では、一斉かつ劇的に市場は開花した。当社は1983年からPV用パワコンの研究開発および100kW以上の大容量器を他社に先駆け製品化していたことから、FITによる急激な市場立上がりにも即応し、2015年度までに累積約1600MWの納入実績をあげた。一方、太陽光発電システムを含めた大量の分散電源が電力系統に連系される場合の課題も浮上し、分散電源の普及と電力品質の両立が重要な課題になってきた。この課題克服のために、SVCから始まった電力品質改善技術とPV用パワコンにより培った系統連系・電力制御技術は、コンポーネント開発からエネルギー供給システム開発へと応用されていくことになるだろう。

図1に、電力品質改善装置から新エネ用パワコンまで当社のパワエレ主力商品とそれを支える基盤技術開発の変遷を示した。当社パワエレ技術が、40年以上に渡り、時代背景を先見し、お客様のニーズに応じてきたことがわかる。次項からは、電力品質改善装置とPV用パワコンを中心に報告する。

## 2. 当社パワエレ事業の基盤 ……………PQ（Power Quality）製品の進歩

電力品質改善装置（PQ）の開発は1960年代にスタートし、サイリスタ応用技術や電力系統解析という基盤技術をベースに無効電力制御による系統安定化装置（SVC）を実用化した。図2に、1973年に世界で初めて実用化に成功した鉄鋼向けフリッカ対策用リアクトル電流制御型SVC（22kV18MVA）のシステム構成を、図3に外観を示す。

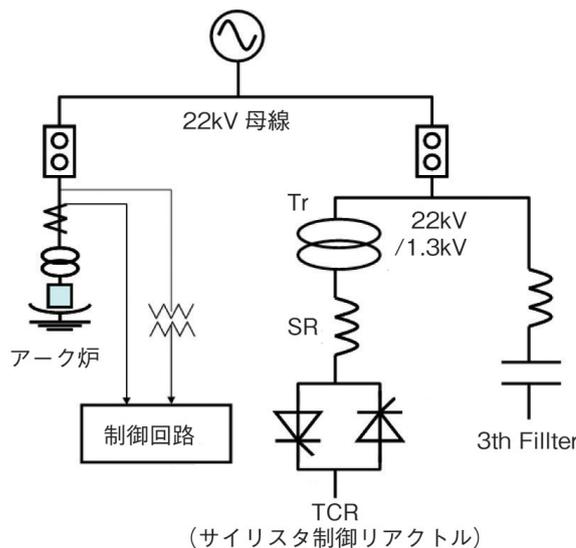


図2 SVCシステム構成

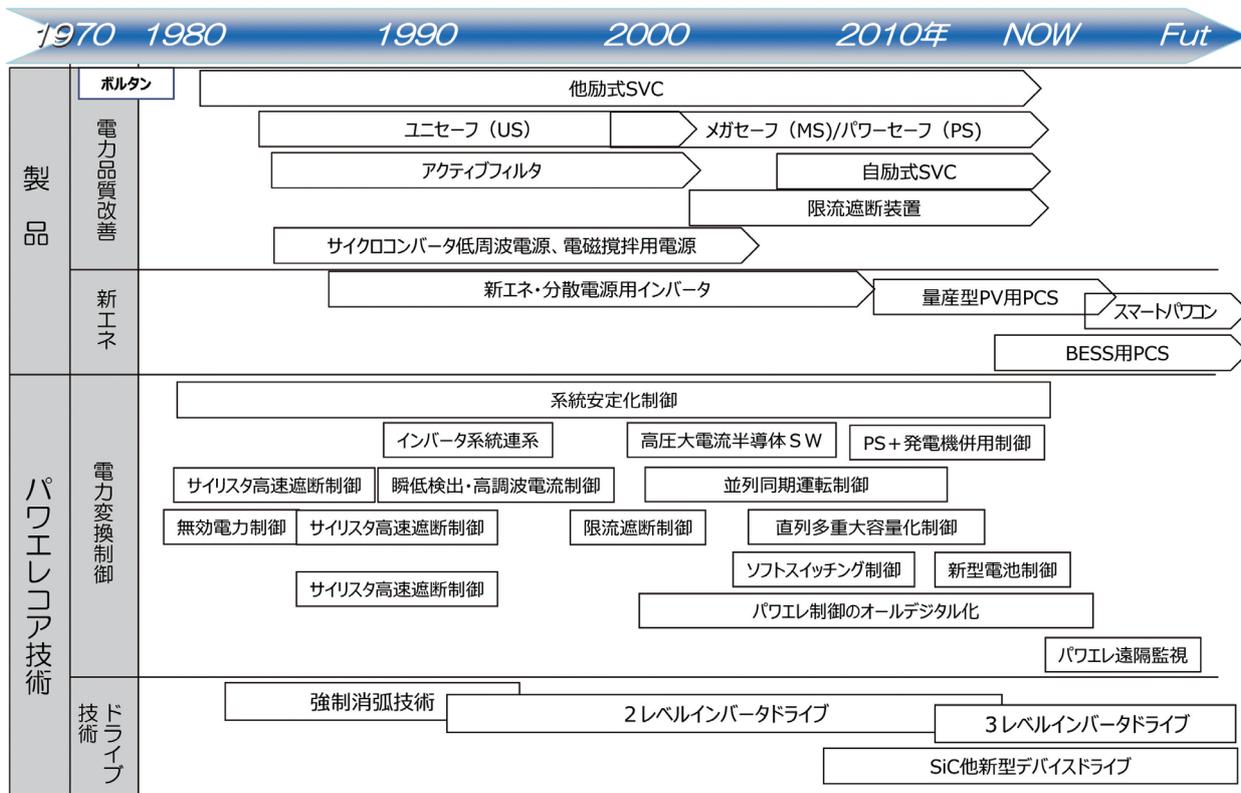
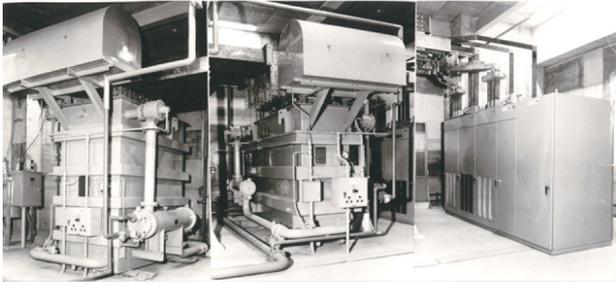


図1 パワエレ主力商品とベース技術開発の変遷



降圧変圧器 Tr      リアクトル SR      サイリスタ装置

図3 SVC外観

これ以降、鉄鋼向けフリッカ対策を中心に、電力各社の系統安定化や新幹線、溶接機、圧延機、スキー場リフト、港湾クレーン、トンネル、ダム工事等の負荷の電圧変動対策に適用され、近年では、風力発電機等の分散電源の電圧変動対策に適用されている。

図4は大容量風力発電設備の導入増加に伴い、系統安定化の目的で設置された22kV、30MVAのSVCである。また、またインバータを用いた自励式SVCも製品化し、配電系統末端での風力発電設備向けの電圧安定化装置として稼働している。



図4 株式会社ユーラスエネジー  
宗谷岬ウインドファーム納めSVC

また、1995年には、当社としてはじめてDC4500V級の自己消弧形デバイス（GTO：Gate-Turnoff-Thyristor）を採用し、高効率でコンパクトな自励式SVC（VSVC）の開発に成功した。本装置の特徴は、ベース電圧を確保する低周波GTOインバータ（BINV）と、波形整形を目的とした高周波GTOインバータ（FINV）の直列接続によるハイブリッド構成にある。大容量化と高効率化を両立させた当社として初めてのMVA級自励式インバータの技術成果である。図5に装置外観を示す。

これらの技術は、瞬時電圧低下対策装置の大容量化へと引き継がれ、工場一括まとめて補償できることを特徴とし



図5 某製鉄所向けVSVCの外観

9626③

た大容量瞬低対策装置として商品化した。半導体工場や自動車工場をはじめとする大容量かつ高品質な電源を必要とするお客様のニーズに応えた製品である。当社の瞬低対策装置は、文字通り瞬低のみに対応するもので、直列補償方式を採用、直流側にコンデンサでエネルギーを蓄積する方式である。蓄電池に比べ長寿命でコンパクトであることを強みとしてこれまで延べ600台以上納入した。さらに、瞬低だけにとどまらず、停電時にも対応できる大型の無停電電源装置（当社商標：パワーセーフ）として改良を重ね、大容量UPSの製品化に成功した。2011年、自家発電機とのハイブリッドにより、2次電池では補償できない長時間の補償が可能なUPS電源を製品化、某日系海外メーカに納入した。図6にパワーセーフ部の外観を図7にハイブリッドシステムの構成図を示す。

系統停電発生後、発電機が起動するまで負荷に影響を与えることなく無瞬断で電圧を補償し、発電機電圧確立



図6 某社納入ハイブリッド型UPS（パワーセーフ部）外観

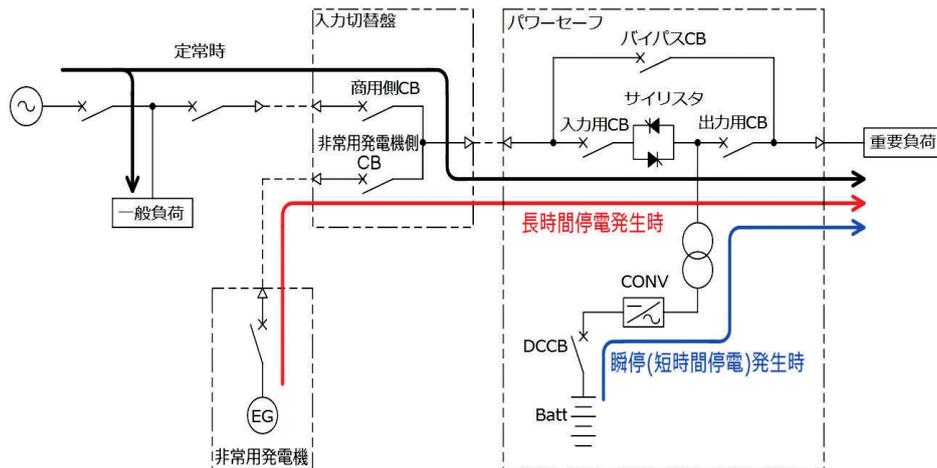


図7 発電機&パワーセーフハイブリッドUPSの構成

後は、パワーセーフから発電機へと電力供給をスイッチするシステムである。

お客様における海外への事業展開において、工場電源の品質、すなわち展開地域の電力品質は重要な検討要素である。当社は、瞬低から停電まで最適な補償装置を有していることから、基幹電源の品質レベルに応じた補償装置をご選択いただくことができる。

このように電源品質対策装置の歴史は長く、すでに稼働設備は老朽化が進んでいるところもある。近年本格的な設備更新の時期に入り始めてきた。新たな価値を付加した新PQ製品の提案に向け邁進しているところである。

### 3. 分散電源用パワーコンディショナの技術開発

#### 3. 1 太陽光発電用パワーコンディショナの市場開拓から事業化まで

オイルショックを経験したわが国では、1990年代から、家庭分野、民生分野、産業分野、電力分野を問わず、省エネ、創エネニーズが高まった。当社は、1980年代初頭から、太陽光発電用パワーコンディショナ（PV用パワコン）を製品化、特に産業用大容



図8 某県企業局様100kW PVシステムとPCS (右上) 写真 949

量器に特化し他社に先駆け市場投入を行った。特徴的なものとして、 $\pm 400V$ （インバータ入力最大電圧DC800V）対応で、当時としては画期的な制御方式であった瞬時空間電流ベクトル制御方式を採用し、100kW定格にて最大変換効率97.0%（6.6kW昇圧Tr込み、1980~90年当時）を達成した。図8に納入事例を示す。

また、当社は、研究開発用としての新たな試みも率先して行ってきた。1998年に南極昭和基地のエネルギー削減を目的として、50kWのパワコンを納入した。自家発電機への連系の実用化一号器である。図9に設備外観を示す。本パワコンは2016年4月、無事18年の任務を終え、当社の新しいパワコンに更新された。



図9 南極昭和基地納め50kWパワコン

2000年以降は、量産を視野に置いた大容量（100kW以上）のPV用パワコンの開発に着手、2008年100kW器を、翌2009年に250kW器に容量拡大を図り市場投入した。その後2012年まで補助金制度中心に動いたこの市場も、同年7月日本版FIT（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）が制度化され、日本国内では急激に市場が開花した。2014年に更なる大容量開発に着手、

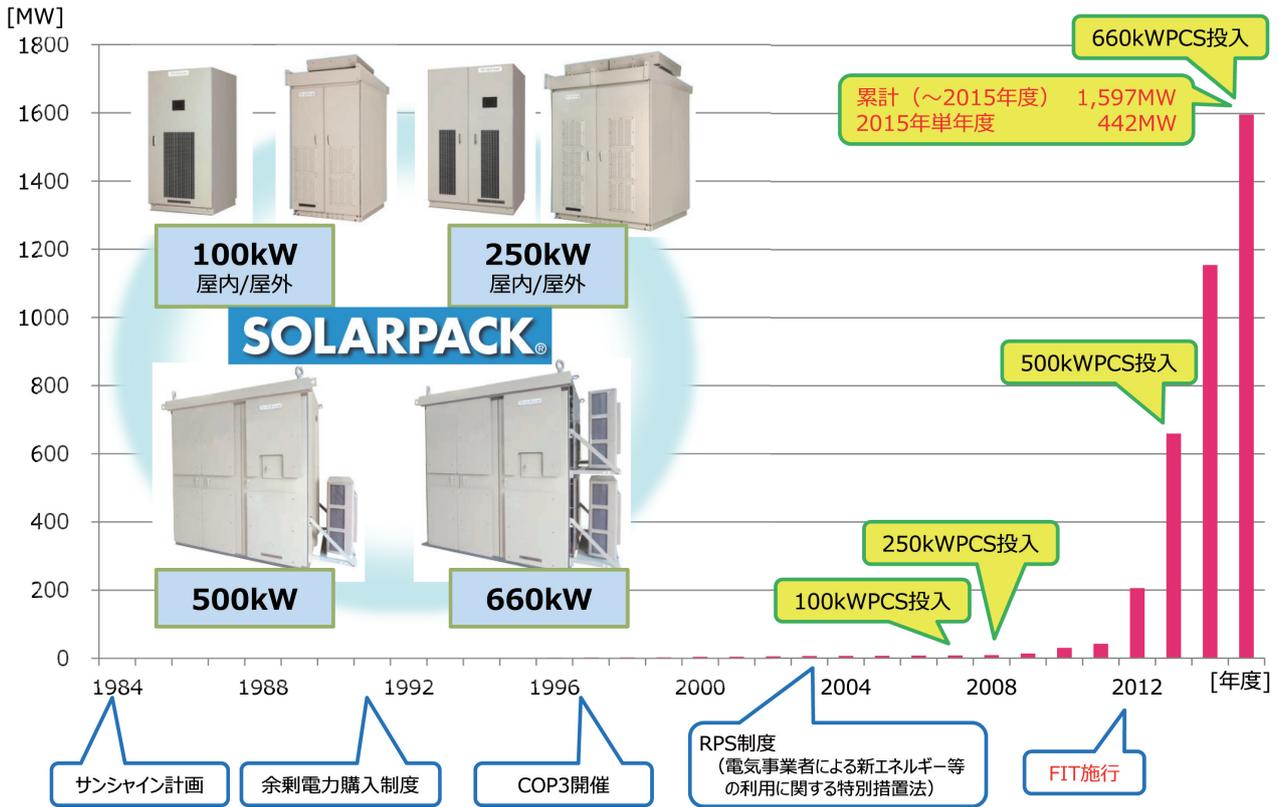


図10 当社パワーコンディショナ累積納入実績



図11 スマートパワーコンディショナの外觀

2015年に DC750V/500kWPCS、DC1000V/660kWを製品化した。これらはSOLARPACKという商品名で2015年度まで累積1600MW販売した。図10に、主な社会背景を付記して、累積納入の変遷を示す。FIT制度以降急激に市場が立上ったことがわかる。

### 3. 2 高機能・高性能化パワーコンディショナ (スマートパワコン) の開発

太陽光発電所の投資対効果をも高めるため、ランニングコストの削減が望まれた。当社はこれに対応するため、2016年PV用パワコンのモデルチェンジを図った。内部消費電力の大幅な低減を目的として、盤内

冷却をエアコン冷却方式から熱交換器冷却方式へ変更、また電力変換効率改善 (98%) と直流運転電圧範囲の拡大 (最大950Vから運転可能) を狙い3レベルインバータを開発、さらにメンテナンス対象部品の長寿命化設計によりメンテナンス期間をこれまでの5年から10年に延長するなど、競争力と顧客満足度の高いスマートパワコンを開発した。DC750V/500kW、DC1000V/660kWの2機種を2016年度市場投入した。今後、750kW以上への大容量化を図っていく。図11に外觀写真を示す。

### 3. 3 パワエレを支えるコア技術の研究開発

#### 3. 3. 1 高変換効率への挑戦

本項では、やや技術的な紹介になるが、パワエレ技術の大きな狙いである変換効率と小型化を追求した研究開発の成果を紹介する。2000年以降パワエレの制御はアナログからデジタルへ完全に移行、複雑な制御アルゴリズムも制御プログラムの組み方の工夫で実現できる時代となった。パワエレ技術者にソフトウェア開発能力が必須になり始めた頃である。

当社は2003年、まだ大容量変換器には実用化されていなかったソフトスイッチング技術に注目し、将来実用化が期待される燃料電池を電源とする10kVAパワコンをオールデジタル制御を用いて試作した。図12にそ

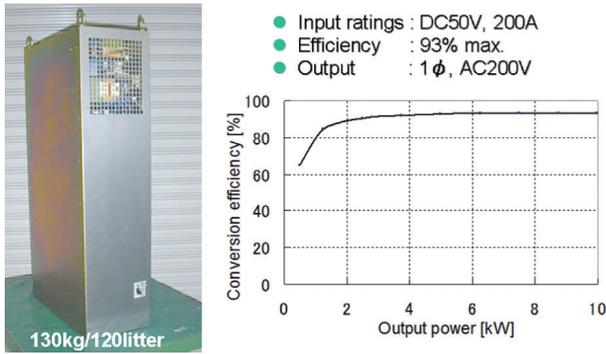


図12 燃料電池用INVと変換効率特性

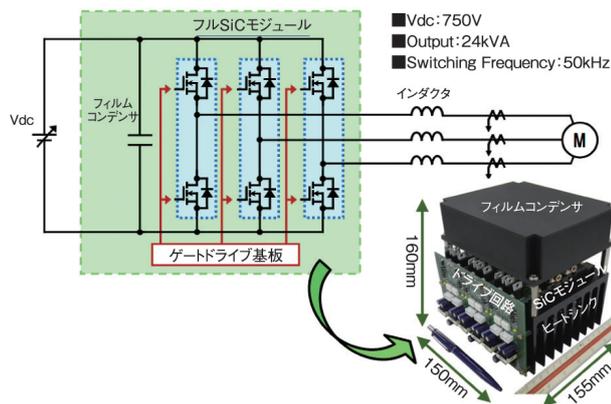


図13 オールSiCインバータ24kVA試作機

の概観と変換効率特性を示す。電力変換器の高効率化に向け、ソフトスイッチング方式導入に取り組み、低損失、低エミッション変換技術を確立した。

電力変換器の高効率化には、新型デバイスの採用と最適な駆動回路・冷却技術の開発も重要な要素となる。まだ価格に難があるものの実用化に向け着実に進歩しているSiC（シリコンカーバイド）MOS-FETデバイスを搭載した高周波インバータを住友電気工業と2012年に共同開発した。出力24kVAのオールSiCインバータを図13に概要を示す。当社10kWのPV用パワコンでのデバイス置換では変換効率99%（Si比で損失半減）を確認した。SiCデバイスの優れた高周波特性と高温動作特性により、騒音レス、連系リアクトルレス（変圧器利用）、冷却ファンレス等、システム効率の向上とコンパクト化を狙っている。

### 3. 3. 2 分散電源大量導入時代に向けた技術開発

2012年7月FIT制度が導入されて以降、太陽光発電システムを中心に、分散電源が大量に導入され、電力エネルギー供給源としてのポテンシャルが高くなり始めてきた。2014年には、FRT機能（瞬低などの系統擾乱に過敏に動作せず不要解列なしに運転を継続する機能）の具備が系統連系規程で義務づけられた。この機能は欧州や中国でいち早く規格化されており、当社は

FRT機能含む海外仕様のパワコンを中国で先行開発していたことから、このノウハウを採用し、国内向けパワコンにもタイムリーに導入した。

さらに大量導入により、電力系統では負荷消費量と発電量の量的、時間的な不釣合が発生する地域が出現し、これが配電線電圧上昇や電力系統周波数変動を発生させていた。この対策には、二次電池のような有効電力のバッファ機能が必要になる。当社は、これまで鉛、RF（レドックスフロー）、LiB（リチウムイオン）、NiMH（ニッケル水素）、NAS（ナトリウム硫黄）など、多種多様な二次電池を用いて、負荷平準化装置、風力発電用STATCOM、大型UPSなど商品化してきた。このノウハウが今後、再生可能エネルギーの自家消費と出力変動抑制又は余剰電力吸収用BESS（Battery Energy Storage System）システムという形でパッケージ化され、普及してくものと考えている。図14は、2016年沖縄県宮古島宮古空港に納入した80kWの太陽電池発電と218kWhの二次電池（Li電池）組み合わせた独立型のハイブリッド電源供給システムであり、系統に影響を与えず再生エネルギー100%のエネルギー供給を実現した。系統安定化と再生エネルギーの効率的利用を両立させた納入事例である。

このような自然エネルギーによる電力供給と電源品質の維持（改善）を両立させる技術をベースとして、さらに情報通信技術、電力マネージメント技術、人工知能技術を融合し、フレキシブルかつ自律分散的な電力制御を取り入れることができれば、エネルギーコストのさらなる低減も可能となる。これに向けた新たなシステムに取り組んでいる。日新版スマートグリッドSPSS（Smart Power Supply Systems）の実証検証を当社前橋製作所にて2014年3月から開始した。図15に設備構成概要を示す。500kWのPVシステム（パワコンは250kW2台と500kW1台の切替可能）と700kWのガスエンジン発電機、および、96kWhのBESSシステムを併設している。ここにもパワエレ技術がコア技術として活躍している。

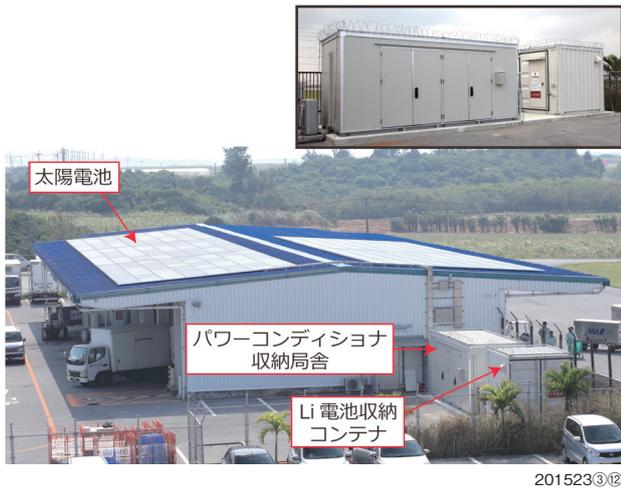


図14 BESSシステム\_宮古島宮古空港納

#### 4. むすび

以上、パワエレ技術に関して当社のあゆみ、開発状況、を概説した。当社のパワエレ事業は、電源品質の維持・改善と再生可能エネルギー応用の2つの柱で支えられていることを述べた。2011年の東日本大震災で、わが国のエネルギー政策は大きな転換を迫られた。2016年電力自由化によりエネルギーコストへの意識も大きく変わってくるであろう。お客様のニーズに合った新しい電力供給

システム構築を目指していくことが重要であると考えている。その過程において当社のパワエレ事業を支える3つ目の柱の姿が見えてくると確信する。

#### 参考文献

- (1) William E.Newell, "Power Electrics-Emerging from Limbo" PESC, Keynote Talk (1973.10)
- (2) 箱田、宮田、近藤：「当社SVCの歩みと動向」日新電機技報、Vol.36、pp36-45 (1991.11)
- (3) 西台：「電力系統とパワーエレクトロニクス」、日新電機技報、Vol.38、pp.1-2 (1993.12)
- (4) 河崎、多田他：「自励式無効電力補償装置“VSVC”の開発」日新電機技報、Vol.38、pp.28-34 (1993)
- (5) 河崎、佐野：「瞬低・停電対策装置」日新電機技報、Vol.49、pp.21-25 (2004)
- (6) 荒川他：「当社のスマートグリッドへの取り組み」日新電機技報、Vol56、pp.27-33 (2011)
- (7) 松川、織田：「当社のパワーエレクトロニクス事業」日新電機技報、Vol59、pp3-8 (2014)

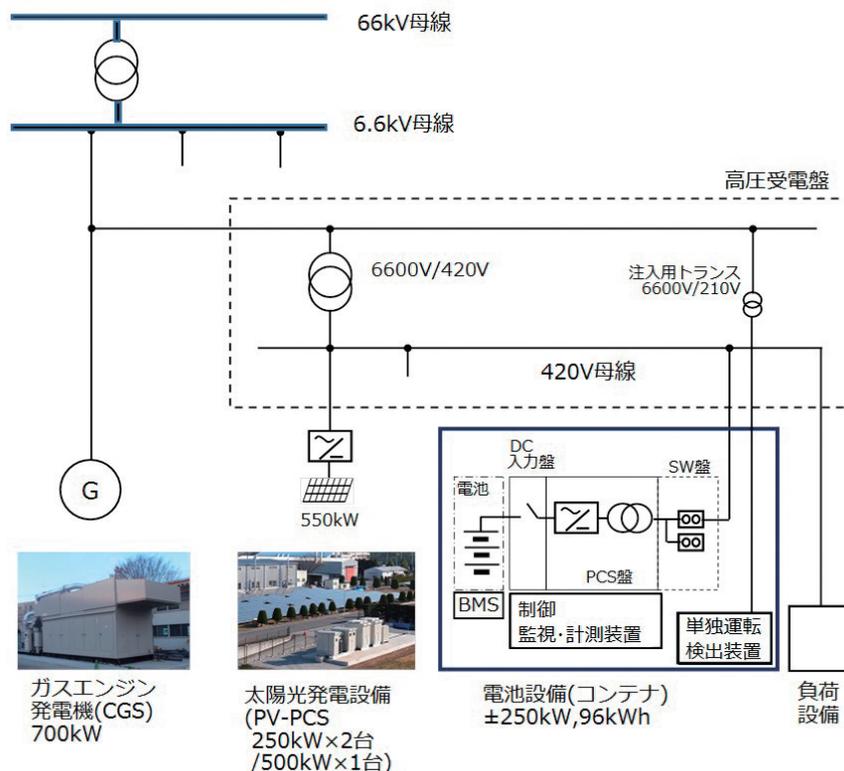


図15 SPSS検証概要図他

執筆者紹介

---



松川 満 Mitsuru Matsukawa  
電力システム事業本部  
新エネルギー事業部 開発部 部長  
技術士(電気・電子)



佐野 耕市 Kouichi Sano  
電力システム事業本部  
システムエンジニアリング部  
新エネルギー技術部 主幹