

# 一般論文

## 新型太陽光発電用パワーコンディショナ 500kW/660kWスマートパワコンの開発

500kW/660kW Smart Power Conditioner : Newly Developed  
Central Solar Inverter for Large Scale Photovoltaic Systems

小林 成 彰*	菅 原 和 也*
N. Kobayashi	K. Sugahara
山 田 真 也*	高 野 知 宏*
S. Yamada	T. Takano
長谷部 孝 弥*	
T. Hasebe	

### 概要

CO<sub>2</sub>濃度の増加による地球温暖化の問題を解決する一手段として、当社は国内向けにSOLARPACKシリーズとして単機容量100~660kWの太陽光発電用パワーコンディショナを2008年よりラインアップし、大規模太陽光発電システム（メガソーラー）の発展に貢献してきた。今回、同シリーズの新型機種としてスマートパワコンを開発し、高効率化、機能改善、保守性の向上を実現した。

### Synopsis

We have been contributing the development of large scale photovoltaic (mega-solar) plants which are useful to solve global warming issues caused by the increase of CO<sub>2</sub> emission, by providing 100 to 660kW central solar inverter series named SOLARPACK from 2008 for a domestic use. In order to meet the further needs of our customers, we have developed the 500 and 660kW smart power conditioners with the characteristics of higher efficiency as well as improved functions and maintainability.

### 1. まえがき

将来の化石エネルギー枯渇やCO<sub>2</sub>濃度の増加による地球温暖化問題を解決する手段として再生可能エネルギーの実用化が進められてきた。特に、近年では再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT）の導入により、日本においても太陽光発電の導入が急速に進んだ。

当社は1980年代初頭より今日に至るまで、太陽光発電用パワーコンディショナ（以下、PCS）の開発・製品化に取り組んできた。2008年からSOLARPACKシリーズとして単機容量100kW~660kWのシステムを順次ラインアップしてきた。これらのPCSでは、高い発電能力に加えて、系統連系用技術として、系統電圧上昇時に無効電力を注入して電圧上昇を抑制する機能や、瞬低時の発電停止を防ぐFRT機能、系統の需給バランスにあわせて発電を抑制する出力制御機能などを順次開発・搭載してきた。

今回、同シリーズの新型機種としてスマートパワコ

ンを開発し、ラインアップに加えた。スマートパワコンでは、従来機種の設計コンセプトの見直しを行い、発電効率の向上、保守費用の低減、環境適合性の向上を図り、単機容量に拡張性をもたせた構造とした。

本稿では、スマートパワコンの特徴と性能について紹介する。

### 2. スマートパワコンの特徴

表1に今回開発したスマートパワコンの仕様、図1に当社PCSの製品ラインアップ状況を示す。

SOLARPACKシリーズの500kW/660kW品は、(1) DC集電機能、(2) EMIフィルタを標準搭載、(3) 制御電源の外部供給が不要、(4) 屋外仕様、という特徴をもち、好評をいただいていた。スマートパワコンではこれらの特徴を継承しながら、さらに発電効率の向上、補器損失の低減、保守性の向上を実現した。

\*電力・環境システム事業本部

表1 スマートパワコンの製品仕様

項目	仕様		備考	
	SPCS500-1	SPCS660-1		
出力容量	500kw/500kVA	660kw/660kVA		
入力回路数	2, 6, 12, 16回路	2, 6, 12, 16回路		
直流入力	定格電圧	DC450V	DC550V	
	入力範囲	DC0~750V	DC0~1000V	
	MPPPT追従範囲	DC350~750V	DC460~850V	
交流入力	相数	三相3線	三相3線	
	定格電圧, 周波数	230V, 50/60Hz	300V, 50/60Hz	
	力率	0.95以上	0.95以上	定格出力/力率1.0設定時
	電流歪率	総合5%以下、各次3%以下	総合5%以下、各次3%以下	定格電流比
効率(定格出力時)	97.2% (JISC8961)	97.8% (JISC8961)		
最大効率	98.4%	98.7%	実力値	
主回路方式	自励式電圧型		3レベルインバータ方式	
スイッチング方式	高周波PWM方式			
出力制御方式	出力電流制御形			
絶縁方式	商用周波絶縁方式			
連系保護	過電圧(OVR), 不足電圧(UVR), 周波数上昇(OFR), 周波数低下(UFR), 単独運転検出(受動的, 能動的)			
FRT機能	JEAC9701-2012準拠			
系統安定化機能	力率一定制御機能, 電圧上昇抑制機能			
出力制御機能	あり			
通信方式	RS-485, MODBUS			
冷却方式	冷却ファン, 熱交換器 併用ハイブリッド方式			
その他	設置場所	屋外		重耐塩, 塵害対応
	外形寸法	W3580×D1650×H1950(突起物を除く)		連系トランスは含まず
	質量	3350Kg		連系トランスは含まず

新シリーズ(スマートパワコン)		従来シリーズ					
500kW	660kW	100kW	250kW	500kW	660kW		
DC750V	DC1000V	DC750V	DC750V	DC750V	DC1000V		
塩害/重塩害地域向け 熱交換器+強制換気冷却		屋内形	屋外形	屋内形	屋外形		
							

図1 太陽光発電用PCS SOLARPACKシリーズ製品ラインナップ

2. 1 発電効率の向上

太陽光発電用PCSはインバータを用いて直流から交流への電力変換を行うが、その際の電力損失の主なものにスイッチング素子の損失と、交流へ変換する際に使用するフィルタのリアクトルによる損失がある。

従来のSOLARPACKシリーズでは、2レベルインバータ方式を採用してきたが、スマートパワコンで

は3レベルインバータ方式を採用することで、運用効率すなわち定格出力よりも低い出力での損失の低減を図った。

スマートパワコンの内部構成図を図2に、また、2レベルインバータ方式と3レベルインバータ方式のPWM変調方法の違いを図3に示す。

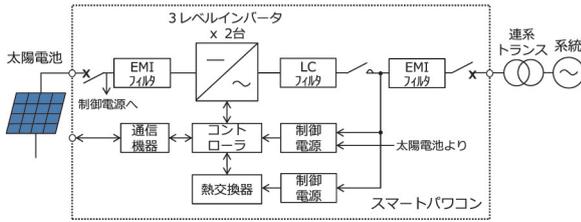


図2 スマートパワコンの内部構成図

インバータ	方式	回路構成	AC側波形
	3レベル		
2レベル			

図3 PWM変調方法の比較

図3に示すように、3レベルインバータ方式では変調時のスイッチング波形波高値が2レベルインバータ方式の半分となるため、リアクトルの損失（鉄損）と、低出力時（定格出力未満の領域）のスイッチング素子の損失を低減することができる。

図4にスマートパワコンの制御ブロック図を示す。制御の特徴の一つに中性点電位の安定化がある。3レベルインバータ方式では、コンデンサを2直列とすることで中性点電位を確立してゼロ電圧とするが、発電中は常に直列コンデンサの中性点に電流が還流する。系統電圧に歪み高調波電流や逆相電圧が発生する場合や力率1以外の運転時に無効電力がインバータを潮流している場合には、直列コンデンサに均等に有効電力が流れず、中性点電位が変動して、発電電力が十分に得られなくなる可能性がある。そこで、中性点電位を安定化するための制御方法を新規に開発して搭載している。

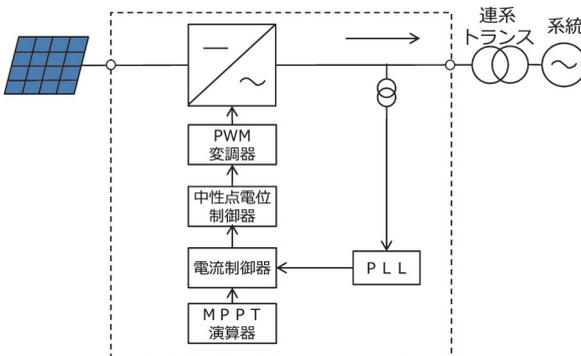


図4 スマートパワコン制御ブロック図

スマートパワコン500kW品の主回路効率特性を図5に示す。比較のため、従来の500kW品の特性も併せて示す。

定格出力（500kW）における主回路効率は同じだが、スマートパワコンは定格出力以下の領域での効率を向上させている。

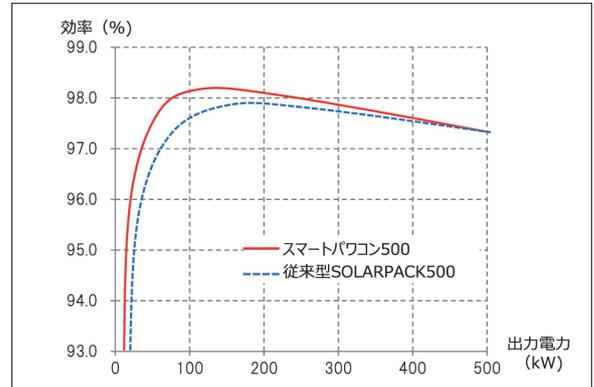


図5 主回路効率特性

太陽光発電の場合、太陽電池の出力は日射量に依存する。平均日射量の年間分布の一例（京都市、2016年、NEDO日射量データベースより算出）を図6に示す。通常、PCSは日射量 $1.0\text{kW}/\text{m}^2$ にて定格出力となるように設計されることが多い。日射量 $1.0\text{kW}/\text{m}^2$ における定格出力を500kWとして、図5と図6を重ね合わせたグラフを図7に示す。図7からわかるようにスマートパワコンでは実際に運用される出力領域（図7の灰色表示部分）で従来品よりも効率が高く、実運用効率の向上が期待できる。

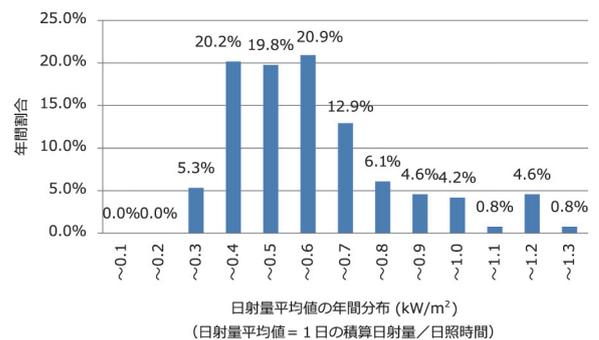


図6 京都市の年間日射量平均値  
(NEDO日射量データベースより数値を基にグラフ化)

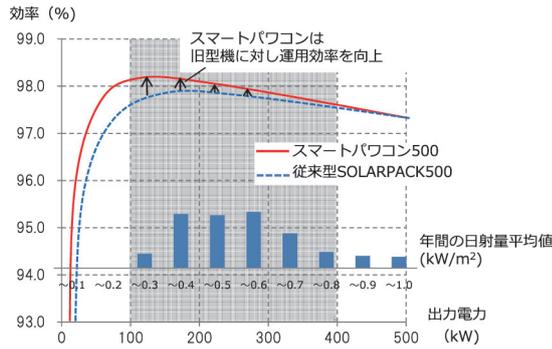


図7 主回路効率特性 (500kW品)

発電性能向上の点で重要な技術の一つにMPPT制御（最大電力点制御：太陽電池からできるだけ多くの電力を引き出す制御技術）がある。スマートパワコンではMPPT制御方式の見直しを行い、太陽電池の日射変化にミリ秒オーダーで追従できる方式を開発した。これにより曇天時等の大きな日射変動に対してもきめ細かい制御が可能となり、発電性能の向上を図っている。

### 2.2 補機損失の低減

スマートパワコンはファンによる強制冷却と熱交換器を併用することで補機損失の低減を図った。スマートパワコンの冷却方式を図8に示す。

従来のハイブリッド冷却方式（500kW品）では、制御部をエアコン冷却とし、インバータヒートシンク、リアクトルなど主な発熱体を配置している盤空間を強制空冷としていた。スマートパワコンでは、最大の発熱源であるインバータヒートシンクを強制空冷とし、ファンやヒートシンク、風洞部を耐塩仕様とすることで、塩害地域でも適用可能とした。

熱交換器はエアコンに比べて消費電力あたりの冷却能力が高く、盤冷却のための補機損失を低減できる。また、熱交換器には耐塩仕様のものを採用し、塩害地域でも適用可能とした。

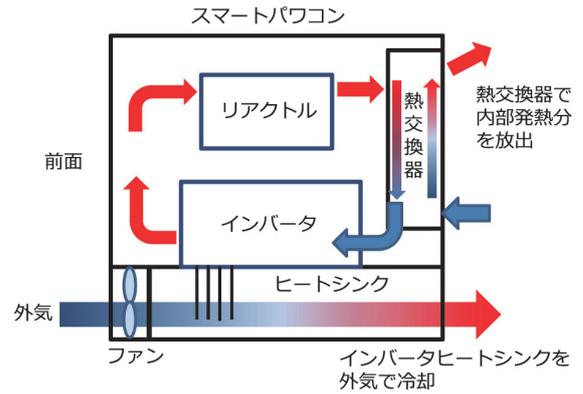


図8 スマートパワコンの冷却方式

### 2.3 保守性の向上

メガソーラー向けPCSでは大容量化に伴って特注部品の採用が増え、製造工数も増加している。

スマートパワコンでは構造の大幅な見直しと主要コンポーネントのモジュール化を進めることで、製造工程の分散化を図った。

図9にスマートパワコンの構造を示す。主要部材のコンポーネント化により設計作業を分散化し、構造設計期間の短縮を図った。また、製造工程も分散化することで効率的な生産が行えるようになり、コンポーネント化による保守性の向上も実現している。

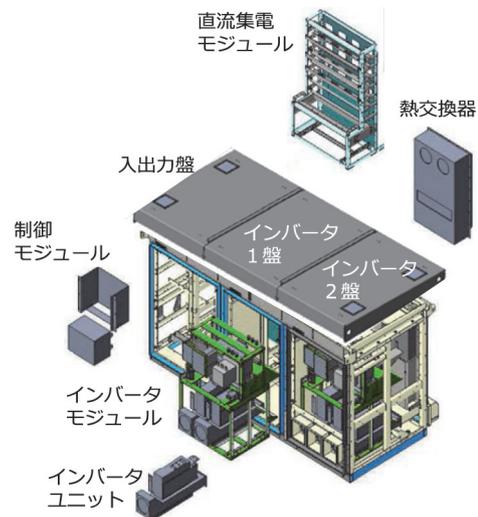


図9 スマートパワコンの盤構造

更に、構造の見直しにあわせて、利用者の視点に立って、従来シリーズから以下のような改善を行っている。

#### (1) PCS盤形状の見直し

従来シリーズに対し筐体高さを2/3程度に抑えることで、定期点検時の目視確認や、保守部品の交換を行いやすくした。

(2) 長寿命部品の採用

長寿命ファンの採用により部品交換の周期を10年に延長し、かつエアコンレスとしたことでメンテナンス費用を削減した。

### 3. 品質の向上

PCSに適用される各種規格に準拠・準用すると共に、型式試験として耐環境試験を行っている。

メガソーラー用PCSは発電容量・形状ともに大きく、小型PCSと比較して試験設備、試験電源容量、試験時間などの課題が大きくなるため、回路シミュレータを活用することで試験期間の短縮に努めている。その一例を以下に紹介する。

#### 3.1 耐環境試験

一般的な性能評価試験や各種保護機能試験以外の試験項目の一つとして、塩水噴霧試験（JASOサイクル試験）がある。スマートパワコンは塩害地域での利用を前提に設計しているが、図8に示すようにインバータの放熱用ヒートシンクは外気により冷却する必要があるため塩分にさらされることになる。ヒートシンクはアルマイト処理を施したアルミ材を使用するため、塩害による錆の懸念は少ないが、塩分の付着や若干の腐食も想定されることから、放熱部への塩水噴霧試験を実施し、熱抵抗値（冷却性能）に変化がないことを確認している。図10に塩水噴霧後のヒートシンクの外観を示す。

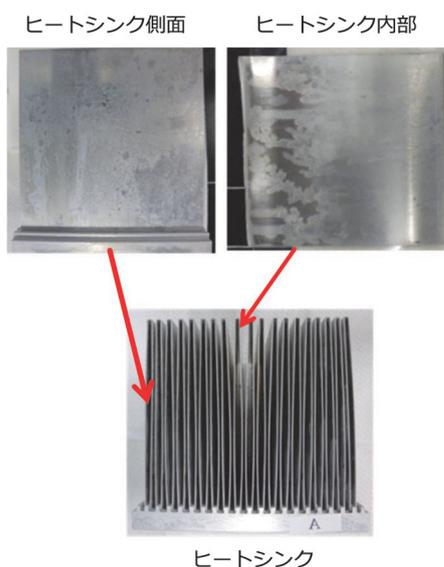


図10 ヒートシンクの塩水噴霧試験結果

#### 3.2 回路シミュレータの活用

当社ではPCSの制御・回路定数をモデルに実装し、定常特性のみならず系統外乱や日射量の過渡変化に対する挙動を実機と比較することで、シミュレーションの精度を高めている。

回路シミュレータを活用することで、実試験では様々な制約があって評価が困難な事象についても、製品試作前に挙動を把握することが可能になる。

図11にFRT/2LS発生時、図12に太陽電池短絡時のシミュレーション結果の事例を示す。このような異常な現象に対しては、回路シミュレータにより机上検討を十分に重ねておくことが製品品質の向上に有効である。

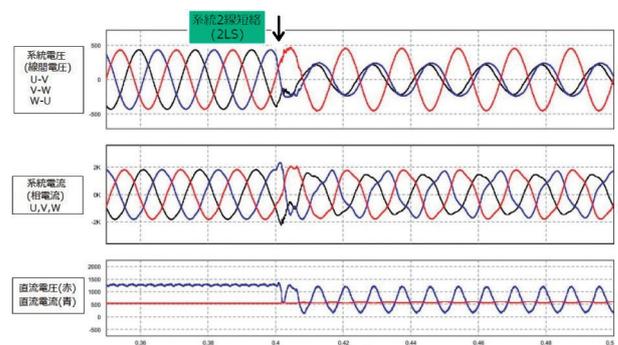


図11 シミュレーション例 FRT/2LS発生時

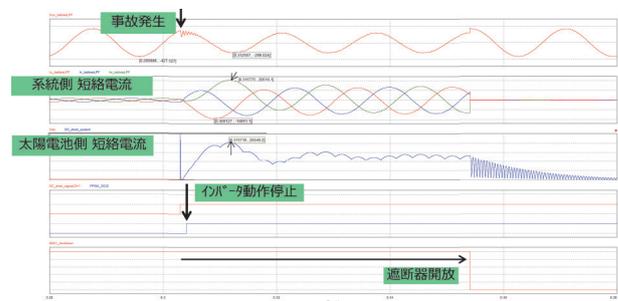


図12 シミュレーション例 太陽電池側短絡事故時

### 4. フィールド実証状況

2016年10月から、当社前橋製作所内にスマートパワコン（SPCS500）を導入し、フィールドでの運用試験を開始した。図13にその設置状況を示す。



設置状況 1 (正面)



設置状況 2 (背面)

図13 前橋製作所内 太陽光発電設備設置状況

実証試験ではスマートパワコンを550kWの太陽電池に接続して、年間を通じてのフィールド特性を取得していく。

## 5. あとがき

本稿では500/660kWスマートパワコンの特徴と製品改善にむけた取組を紹介した。

再生エネルギーの導入が継続している昨今、配電網の需要と供給のバランスを取ることがますます困難と

なっている。当社にはSVCや蓄電池PCSによる系統安定化技術の蓄積がある。今後は、太陽光発電用パワーコンディショナにもこれらの技術を応用することで、発電のみならず電力系統の安定化にも貢献していく所存である。

## 参考文献

- (1) 「太陽光発電用パワーコンディショナの効率測定方法」、日本工業規格、JISC8961
- (2) 山田真也、小林猛 他:「メガソーラー用パワーコンディショナの開発」、日新電機技報 Vol.54 No.1、pp.47-52(2009)
- (3) 小林猛、長瀬只雄:「100kW パワーコンディショナの海外認証取得」、日新電機技報 Vol.56 No.2、pp.43-48(2011)
- (4) 松川満:「大容量パワーコンディショナの複数台連系について」、電気設備学会学会誌4月号、pp.284-288(2011)
- (5) 小林猛、松川満:「大容量太陽光パワーコンディショナの開発」、SEIテクニカルレビュー No.182、pp.22-26(2013)
- (6) 高野知宏、長谷部孝弥、松川満:「太陽光発電用高機能・高効率パワーコンディショナ」、SEIテクニカルレビューNo.190、pp.62-65(2017)
- (7) 荒川 修三、荻原 義也 他:「スマート電力供給システム (SPSS) と実規模検証計画の概要」日新電機技報 Vol.59 No.1、p.49(2014)

## 執筆者紹介



**小林 成彰** Nariaki Kobayashi  
電力・環境システム事業本部  
システム装置事業部  
パワエレ設計部



**菅原 和也** Kazuya Sugahara  
電力・環境システム事業本部  
システム装置事業部  
パワエレ設計部



**山田 真也** Shinya Yamada  
電力・環境システム事業本部  
システム装置事業部  
パワエレ設計部



**高野 知宏** Tomohiro Takano  
電力・環境システム事業本部  
システム装置事業部  
パワエレ設計部 主幹



**長谷部 孝弥** Takaya Hasebe  
電力・環境システム事業本部  
システム装置事業部  
パワエレ設計部 主幹