

メガソーラー用PCS

🔌 PCS, メガソーラー, MPPT (最大電力追従制御), 電力変換効率, 系統連系

* 長谷川一穂 Kazuho Hasegawa

概要

昨年から現在までに、国内電力会社によるメガソーラー発電所計画が続々と発表されており、1システムの規模は数MWから10数MWまでの大形システムとなっている。これまでは公共施設や工場などにおける自家消費システムが主流であった太陽光発電システムは、現在では単独の発電所単位の計画となっている。太陽光発電所としての運用では、太陽光発電用PCS (Power Conditioning Subsystem) に対して従来とは異なる要求が生まれ、PCS単機容量の大形化や、新たな視点の制御技術が必要となってきている。発電所という位置付けにより、これまで以上にPCSの信頼性、高効率が求められるため、当社もこのニーズに応えるPCSをラインアップし、開発を進めている。



太陽光発電用PCS サンジェネック SUNGENEC外観

1. ま え が き

太陽光発電は、ドイツに端を発したFIT (フィードインタリフ: 発電量の高価買い取り優遇制度) により欧州では確実に普及が進んでおり、投資対象ともなるFIT制度下で太陽光発電はメガソーラー (1000kW以上) クラスが続々と導入されてきた。一方、日本の太陽光発電は、従来個人住宅用が市場の70%以上を占めていたが、ここ数年にわたりシステム容量の大形化傾向にある。更にその傾向を明確にしたのが、2008年7月の洞爺湖サミットに向けて発表された「福田ビジョン」である。この中で、新エネルギーの主役としてメガソーラーについて触れられており、今後日本においても本格的メガソーラー時代に突入することを予感させる。太陽光発電システムの主役はもちろん太陽電池であるが、その発電電力を効率よく安

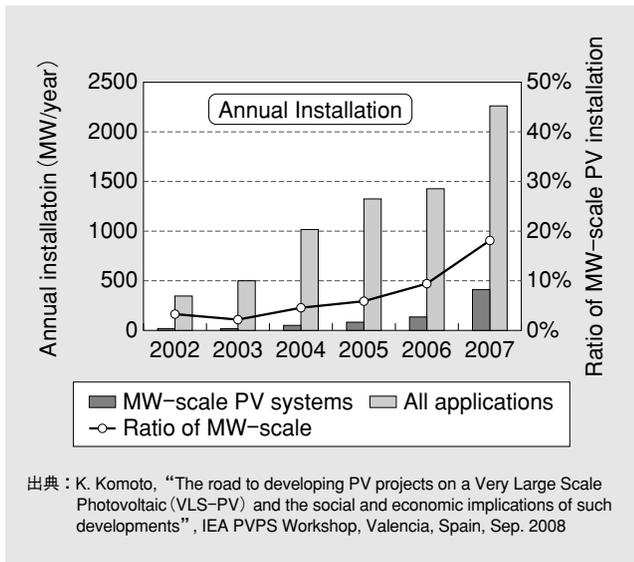
全に系統に接続する機能を果たすPCS (Power Conditioning Subsystem) は、システム全体に占めるコスト面での存在感以上に責務が大きい。本稿では、日本のメガソーラー時代への本格的幕明けを告げた市場動向と、系統連系の要であるPCSの現状と今後の展開について紹介する。

2. メガソーラーの動向

2.1 世界のメガソーラー動向

世界のメガソーラーの導入はここ数年急速に拡大しており、出力1MW以上のシステムは、2000年代初頭には10基程度であったが、2008年末には800基を上回り、合計出力も約3GWとなっている。第1図にIEA PVPS諸国 (欧米アジアなどの先進19か国) におけるメガソーラー (1000kW以上) の年間導入量推移を、第2図に累積の太陽光発電システム導入量推移を示す。

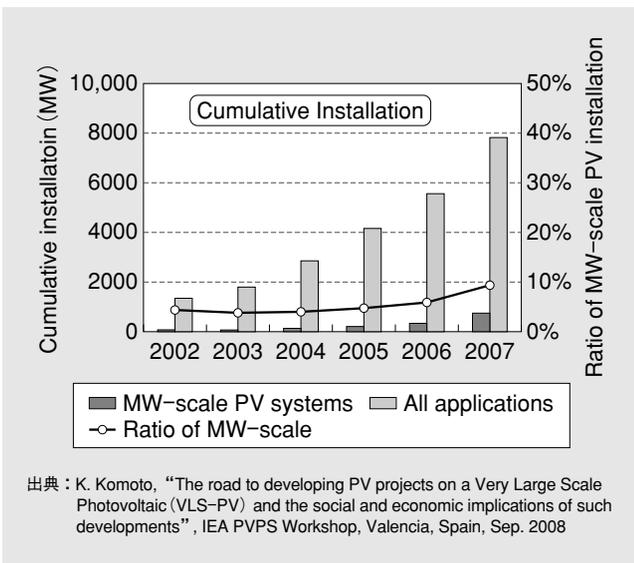
*電力ソリューション技術部



出典：K. Komoto, "The road to developing PV projects on a Very Large Scale Photovoltaic (VLS-PV) and the social and economic implications of such developments", IEA PVPS Workshop, Valencia, Spain, Sep. 2008

第1図 年間導入量推移

IEA PVPS諸国（欧米アジアなどの先進19か国）における年間の太陽光発電システム導入量（様々なアプリケーションの合計）と、世界のメガソーラー（出力1MW以上のシステム）の導入量の推移を対比したものを示す。



出典：K. Komoto, "The road to developing PV projects on a Very Large Scale Photovoltaic (VLS-PV) and the social and economic implications of such developments", IEA PVPS Workshop, Valencia, Spain, Sep. 2008

第2図 累積導入量推移

IEA PVPS諸国（欧米アジアなどの先進19か国）における累積の太陽光発電システム導入量（様々なアプリケーションの合計）と、世界のメガソーラー（出力1MW以上のシステム）の導入量の推移を対比したものを示す。

2.2 日本の動向

2.2.1 導入目標

福田ビジョンでは、太陽光発電の導入目標とその達成に向けた施策について具体的に触れられている。2020年には現状の10倍、2030年には40倍に増やすとしており、2005年度の設備導入量140万kWをベースと仮定すると、2020年1400万kW、2030年には5600万kWが目標となる。

これを達成するための施策として、次の2つのポ

第1表 電力会社によるメガソーラー導入計画の例
電力会社によるメガソーラー導入計画の例を示す。

電力会社	名称(仮称)	導入予定地	出力規模	着工・運開予定
東京電力	浮島太陽光発電所	神奈川県川崎市 (臨海部： 川崎市所有地)	7MW	着工： 平成21年度 運開： 平成23年度
	扇島太陽光発電所	神奈川県川崎市 (臨海部： 東京電力所有地)	13MW	
	米倉山太陽光発電所	山梨県甲府市 (山梨県所有地)	10MW	着工： 平成22年度 運開： 平成23年度 (一部)
関西電力	堺第7-3区太陽光発電所	大阪府堺市 (堺市西区の産業 廃棄物埋立処分場 第7-3区)	10MW	着工： 平成21年度 運開： 平成23年度
	堺コンビナート太陽光発電施設	大阪府堺市 (シャープ等による コンビナートの工場 屋根等)	18MW (当初 9MW)	着工： 平成21年度 運開： 平成22年度
中部電力	メガソーラー たけとよ発電所	愛知県知多郡武豊町 (武豊火力発電所 敷地内)	7MW	着工： 平成21年度 運開： 平成23年度
北陸電力	—	(北陸電力所有地 など)	1MW×4	平成23年度 より運開
四国電力	松山太陽光 発電所 (既設0.3MW への増設)	愛媛県松山市 【第一期】 (松山発電所跡地)	1.7MW	運開： 平成23年度
		愛媛県松山市 【第二期】 (松山発電所跡地)	2.3MW	運開： 平成32年度 までに
九州電力	港発電所跡地	福岡県大牟田市 (発電所跡地)	3MW	着工： 平成21年度 運開： 平成22年度

出典：新エネルギー財団 平成20年度提言

イントが挙げられている。

(1) 電気事業者による世界最大級のメガソーラー発電の全国展開

(2) 新築持家住宅の7割以上で太陽光発電を採用

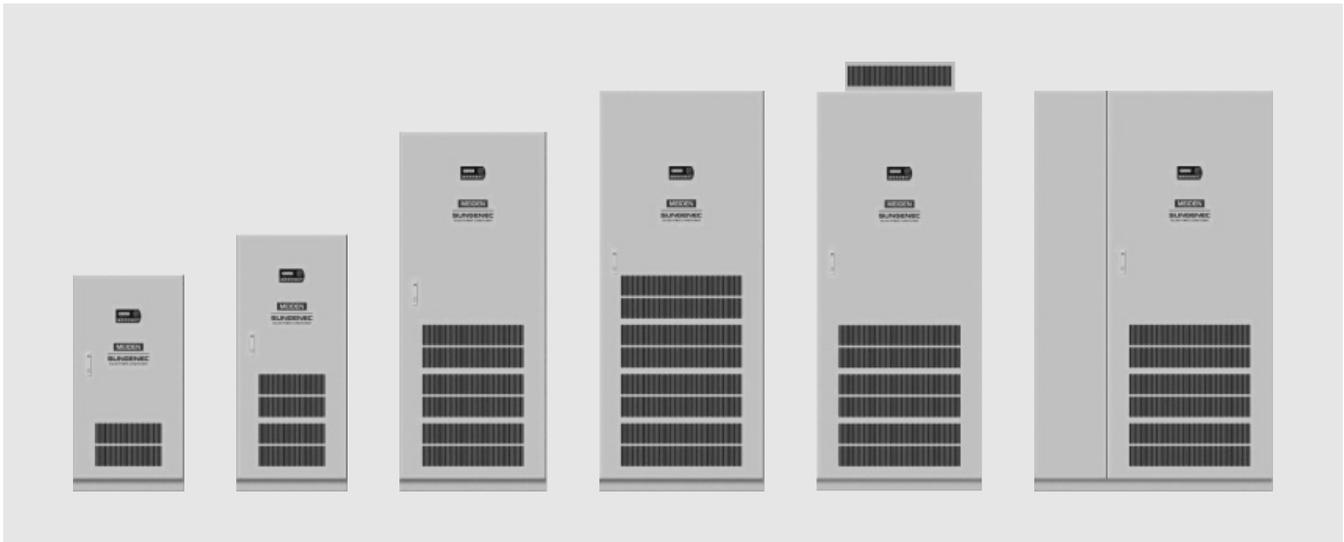
2.2.2 電力各社による取り組み

電気事業連合会では2008年9月19日、メガソーラーへの取り組みについて発表し、「2020年までに電力10社合計で約30地点、14万kWを導入」することを表明しており、2009年度までに4万kW程度のメガソーラー発電の建設に着手する予定で、公表されている計画は第1表の通りである。

3. PCS

3.1 SUNGENECシリーズ

当社のPCSはSUNGENECシリーズとして



第3図 SUNGENECシリーズ外観
 当社シリーズ全機種の外観図を示す。左から10/20/30/50/100/250kW

第2表 SUNGENECシリーズ PCS仕様
 250kW機のPCSの電氣的仕様を示す。

項目	定格・性能	備考	
定格容量	250kW		
定格	100%連続		
インバータ制御方式	電圧形電流制御PWM インバータ		
運転方式	最大電力追従制御		
絶縁方式	商用周波絶縁トランス方式		
直流入力	定格電圧	400V	
	電圧運転範囲	225~500V	
	MPP制御範囲	250~450V	
	定格出力運転範囲	250~450V	
	減定格運転範囲	225~250V, 450~500V	
交流出力	定格電圧	440V	
	定格電流	328A	
	定格周波数	60Hz	
	電気方式	三相3線式	
	電圧変動許容範囲	定格電圧±10%	
	周波数変動許容範囲	定格周波数±3%	
	出力電流ひずみ率	総合電流ひずみ率5%以下 各次電流ひずみ率3%以下	
	出力力率	0.95以上	
	自動電圧調整	進相無効電力進み 0.85まで 出力電力抑制率 0まで	
その他	変換効率	95%以上(入出力定格時。 絶縁トランス含む)	JIS C 8961 2(1) 定格負荷効率
	絶縁抵抗	5MΩ以上	500Vメガーにおいて
	絶縁耐力	交流主回路 アース: AC2000V 1分間	
		直流主回路 アース: AC2000V 1分間	
		制御回路 アース: AC1500V 1分間	プリント板は適用外
発生損失	15kW	定格時損失6%	

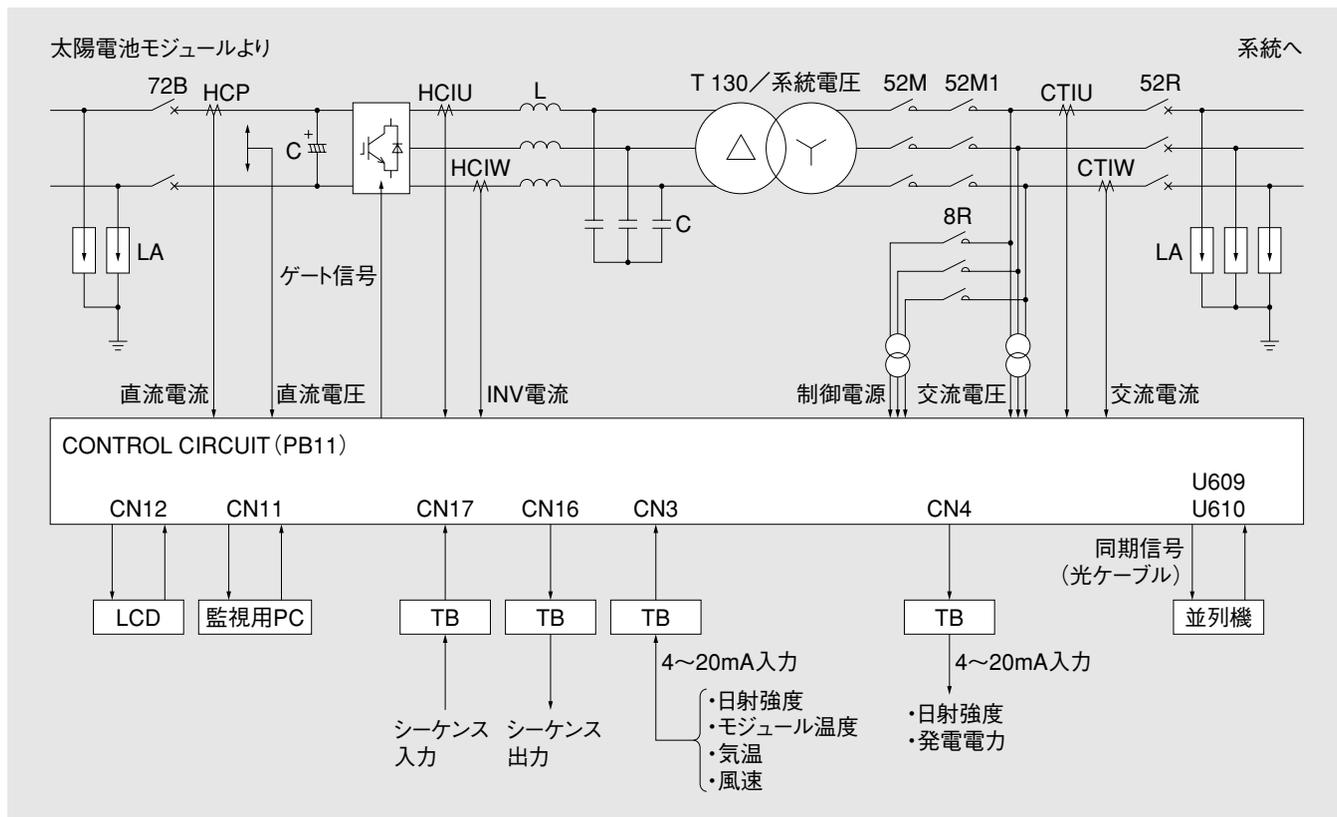
10/20/30/50/100/250kWの6機種をラインアップしている。第3図にこのシリーズの外観を示す。

3.1.1 仕様と回路構成

第2表に250kW機の仕様を示す。直流入力電圧範囲はDC225~500V, 最大電力追従範囲はDC250~450Vとしている。これは600VのIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子によるインバータを適用したシリーズのためである。太陽電池アレイの設計に際しては、DC300Vを基準として直列数を決定することとなる。また、第4図に示すように交流出力側には絶縁トランスを標準装備しており、これは10~250kW機まですべてに共通している。このため、PCS出力電圧は200V系又は400V系を選択することができ、動力系で三相400V系を選択することができる。

3.1.2 基本機能について

PCSは太陽電池が発電した直流電力を交流電力に変換し、交流系統に連系(同期)した電力を供給する。主に次の制御機能を有し、更に商用系統と連系するために「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」、「電気設備技術基準」に準拠した機能を有し



第4図 SUNGENECシリーズ回路構成図
当社シリーズの共通回路構成を示す。

ている。

(1) 自動運転機能 日射強度が増大してPCSが運転可能な条件となると自動的に発電を開始し、日没時など太陽電池出力が小さくなると自動的に停止し、待機状態となる。

(2) 最大電力追従制御機能 太陽電池出力は日射強度や太陽電池温度によって変動するが、PCSはこの出力がいつも最大のポイントで運転できるように直流電圧を一定間隔で変動させる制御を行っている。これを最大電力追従制御 (MPPT: Maximum Power Point Tracking) と言う。

(3) 単独運転検出機能 系統連系運転中に系統側で停電が発生した場合で、PCS出力と負荷電力が平衡であると出力電圧・周波数が変化せず連系保護リレーで検出することができない。現実には非常に可能性の低いケースではあるが、万が一このような単独運転状態が発生すると系統側に対して危険を及ぼす恐れがあるため、これを防止する方式がとられている。

日本では、受動的方式と能動的方式の2方式を併用することが求められている。受動的方式とは、連系運転状態から単独運転に移行する際の電圧波

形や位相、周波数などの変化を検出する。能動的な方式はインバータ出力に無効電力などの変動要因を常に与えておき、通常の連系運転時には系統側のパワーが大きいので出力に表れず、単独運転時には変動要因が表れることで検出する。

3.2 メガソーラー用PCS

メガソーラーとはその名の通り、メガワット (1MW = 1000kW) 以上の大規模システムのことであるが、その太陽電池アレイに必要な面積は1MWあたり1.5~2万m²となる。この広大な面積の太陽電池アレイ群を直流ケーブルで接続し、PCSまで集約することになるが、そのケーブルドロップも可能な限り小さくしなければならない。すなわちケーブルサイズを太く、配線数を少なくすることが望まれる。これを実現するには太陽電池モジュールの高電圧化と共に、PCSの直流入力電圧範囲も広く高くということが必要となる。

3.2.1 メガソーラー用新250kW PCSの開発

当社は、日本では業界に先駆けて250kW機を販売してきたが、メガソーラーシステムから要求される直流電圧範囲と最大使用電圧の拡大を実現するために、新たな回路構成を適用した250kW機を

ラインアップに加える予定である。

(1) 回路構成 従来はインバータ+出力変圧器の構成としており、DC入力電圧範囲225~500Vとしていたが、新機種においてはチョッパ回路を追加することで、これを100V広げ225~600Vとし、最大電力追従範囲も250~600Vとすることとしている。結果として、太陽電池アレイはDC400V程度（従来は300V）を基準とした直列数まで上げることができる。それにより並列数を削減できるので太陽電池アレイ側の配線削減、工事費削減につながる。また、DC電圧を上げることによりケーブルの電流に余裕が生まれ、ケーブル損失低減などのサイズアップする際にも有効となる。

チョッパ回路のDC入力電圧範囲は最大600Vにとどまらず225~800V程度までとし、チョッパ回路出力をDC750Vとすることでインバータの高効率運転を可能とし、PCSの電力変換効率を上げることも期待できる。新機種では定格出力時効率

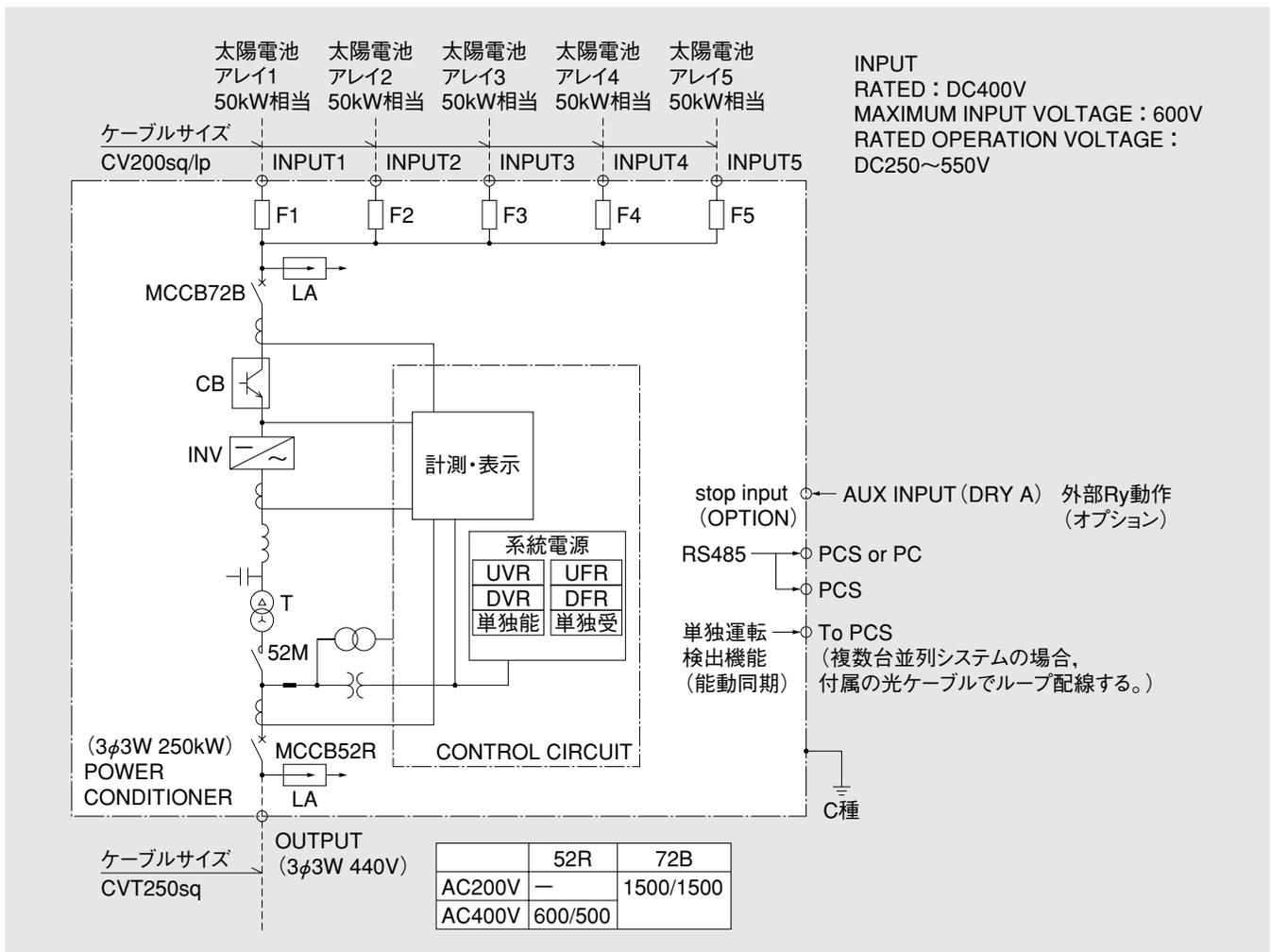
95%以上、最大効率は更なる向上を目指している。

第5図に回路構成例を示す。

(2) 発電所用PCSに望まれる機能

(a) PCSの直流電圧範囲 PCSは太陽電池と商用系統双方とをマッチングさせる極めて重要な設備である。メガソーラーはその名の通り1000kWを超えるため、その電流値も大きい。システム設計としては極力直列数を上げて、並列数を減らすことが望まれる。

日本ではDC750Vまでを低圧と区分されており、MCCB（Molded Case Circuit-Breaker）など電気部品はそのほとんどが500/600V適用を前提としている。よって、電力ケーブルやPCS内部部品なども600V耐圧のものが選定される。これは太陽電池も同様で、国内向け太陽電池の最大システム電圧はDC500~600Vである。一方、海外では高圧という区分がなく、低圧の上は特高となる。よって直流電圧も高い傾向があり、システム電圧上限



第5図 メガソーラー用新形250kW機構成図
チョッパ付き新形PCSの回路構成図を示す。

を1000Vクラスまで対応可能なモジュールが適用される。この場合、PCSに求められる許容電圧範囲もDC800~1000Vクラスとなる。国内における計画では、国内市場向け太陽電池を適用することから直流は低圧区分内でシステム設計する必要がある。

(b) 電力変換効率 システム全体の効率を上げるため、太陽電池レイアウトやPCSの配置を検討するが、PCS単体における高効率化もまた、コストと同様に重要課題である。当社の250kW現行機の場合は出力時の効率は94%以上となる。日本では定格出力時の効率を表記することになっているが、欧州などではEURO η （ユーロイータ）といった指定出力レベルごとの効率に重み付けをして計算する表現がある。これはPCSが定格出力することは少なく、効率カーブとしては60~70%あたり（設置条件により異なる）に最大効率点がかかることが実際のフィールドでは重要であることを踏まえている。また、効率表現には制御電源や出力トランスを含んでいるか否かにより数値は大きく変わるため、比較には注意が必要である。

(c) 遠方監視制御 これまで普及してきた自家消費メインのシステムにおいては出力をコントロールすることなく日射に比例した発電電力を得るだけである。しかし発電所運用となると、他の発電所とまではいかないまでもそれなりの監視制御を求められることが予想される。Web監視、PCSの運転停止などができることが望ましい。

3.3 大量普及に必要な技術

日本における太陽光発電の更なる大量普及に向けては、1000万kWを超える段階で新たな取り組みが必要であると考えられている。電気事業連合会によると、そのポイントとしてはシステムの周波数対策、電圧対策、信頼度の3点を挙げている。これらの重要性を踏まえ、系統側での対策とPCS側での対策との両輪で対応が求められていくと思われる。

(1) 周波数対策

(a) 余剰電力の吸収 電力需要が低い春、秋などでは余剰電力が多く発生するので蓄電池などによる吸収対策が必要である。また、休日が連続するゴールデンウィークやお盆、年末年始などの特異日については太陽光発電の出力抑制を行い、影

響を軽減する対策が必要である。

(b) 発電予想 電力の安定供給には需要と供給を瞬時に合わせる必要があるが、太陽光発電が大量普及するとそれが困難となるため、精度の高い発電予想が期待される。

(c) 周波数調整能力 電力需要変動に太陽光発電変動分が加わることで、変動量は更に増大することから、現状以上の周波数調整能力が必要となる。（火力発電での能力不足を蓄電池などとの協調で吸収する。）

(2) 電圧対策 太陽光発電からの逆潮流により系統電圧が上昇するため、許容量超過の際の対策として、電圧調整機能（SVC）が必要である。

4. む す び

日本における2007年までの太陽光発電導入量は191.9万kWに達し、1994年から60倍となっている。この内、住宅用は全体の約80%、155.4万kWを占めている。日本の太陽電池の生産量は世界トップとなり、上位5社の内2社は日本メーカーである。しかしながらPCSについては欧州メーカーが自地域での市場拡大に乗り勢いをつけており、日本メーカーが参入するには非常に厳しい状況におかれている。これは欧州との規格の違いや電気事業法などの違いによる製品部品の差によるものも大きい。現在、日本の電力会社によってメガソーラーの先導的導入が始まろうとしているので、PCS装置の高効率、コストダウンを進め、更に海外で適用できる系統安定化技術の確立、機能の付加などが重要となってくるものと考えている。大量普及時代を見据えたPCSのソフト面での追求や国際化に向けた取り組みを進めることが将来求められるPCSであると確信している。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



長谷川一穂 Kazuho Hasegawa
太陽光発電システムのエンジニアリング業務に従事