

住宅用太陽光発電システム用マルチパワーコンディショナ

Multi-Powerconditioner for Residential Photovoltaic System

小玉博一^{*1} 森内莊太^{*2} 江口政樹^{*3}
Hirokazu Kodama Sota Moriuchi Masaki Eguchi

要　旨

住宅用太陽光発電システム用パワーコンディショナにおいて、2種類の入力部(標準入力部+マルチ入力部)を設け、マルチ入力部側には昇圧回路を備えることによって、それぞれの入力部に対して独立した2チャネルの太陽電池最大点追従制御を可能とした。

これによって、モジュール枚数パターンが従来と比較して6倍以上に増加し、屋根の大きさや形に合わせモジュールを自由にレイアウトしても一台のパワーコンディショナでコントロールできるようになった。

We have developed a new power conditioner of solar energy systems for residential use. We call it "the multi-dc input power conditioner" which can be connected to two series of dc solar battery modules. One module should supply the standard voltage to the conditioner, whereas the other can be lower voltage, which will be boosted to the standard voltage with the built-in step-up chopper circuit.

Consequently, this new power conditioner increases the applicable combination of solar battery modules on the roof top sixfold of old models.

Therefore, we can offer solar energy systems for residential use that can fit on the various types of rooftops.

まえがき

住宅用太陽光発電システムは、1994年の政府の補助施策として、住宅用太陽光発電システムモニタ事業が開始され、529件の設置がなされた。1997年からは住宅用太陽光発電システム導入基盤整備事業と名称を変え、補助金総額も大幅に増加された結果、補助申込件数および設置件数が年々増加し、1999年度は補助申込件数17,267件に達している。

*1 電子部品事業本部 ソーラー事業部 第2技術部

*2 電子部品事業本部 ソーラー事業部 企画部

*3 技術本部 エコロジー技術開発センター

このように太陽光発電システムが急速に普及するに伴い、様々なニーズが顕在化してきた。その一つは設置レイアウトの多様化である。当初は屋根形状が切妻で、その南向きの面に3kW程度の容量の太陽電池モジュールを取り付けることを標準としてスタートした。しかし、最近は切妻屋根ばかりではなく、寄棟屋根への設置事例が増加し、また設置容量も、ユーザの希望にあわせて設置可能な屋根面全てにモジュールを設置することで、4kW以上のシステムを設置する事例が増加している。本稿では、このように設置に対するユーザ動向を捉え、より多様な設置レイアウトを実現することで、住宅用太陽光発電システムの一般への普及拡大を図ることを目的として、業界で初めて開発したマルチパワーコンディショナについて解説する。

1. パワーコンディショナとモジュールレイアウト

住宅用太陽光発電システムは、太陽電池モジュールによって発電された直流電力をパワーコンディショナによって交流に変換し、商用電力系統と連系運転を行うシステムである。パワーコンディショナの出力は、単相3線200Vに接続されることから、パワーコンディショナの定格入力電圧は直流で約200Vとなっている。一方、太陽電池セルの出力電圧はシリコン結晶系太陽電池の場合おおよそ0.5Vであることから、パワーコンディショナの入力電圧に合わせるために、多数の太陽電池セルを直列に接続することで、パワーコンディショナの入力に適した電圧を得ている。一般的には、太陽電池セルを複数個を接続してガラス等でパッケージしたものを太陽電池モジュール（以下モジュールと記す）と呼び、さらにこの太陽電池モジュールを複数枚直列に接続することによって、所定の電圧を得ている。

当社の標準的な住宅用のモジュールにおいては基準状態日射強度1kW/m²、モジュール温度25℃の条件下における最大出力動作電圧は26.0～27.5Vの範囲にあり、モジュールは8枚（一部機種は7～8枚）を直列接続して、パワーコンディショナに接続することが

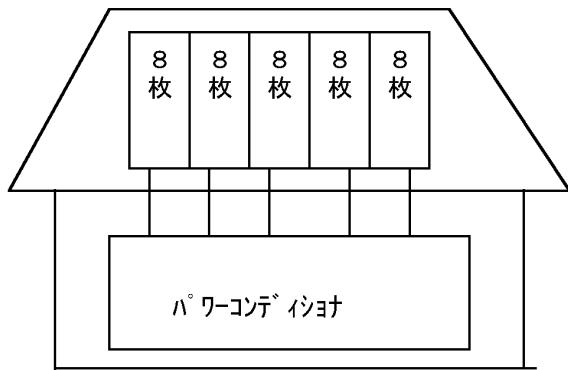


図1 当社従来のパワーコンディショナ

Fig. 1 Method of connecting solar batteries to the old power conditioner.

必要である。

このことから図1に示すようにパワーコンディショナ1台で対応可能なモジュールの枚数パターンは8の倍数である16, 24, 32, 40枚の4パターンに限られている。(モジュール8枚はパワーコンディショナの定格容量に比べてモジュールの容量が小さいため推奨していない)

また、直列に接続されたモジュールは同じ方位の屋根面に設置することが必要である。モジュールが直列接続されているために、一つの系統から取出せる電流は、出力電流が最小のモジュールによって制限されるためである。たとえば、西向きの屋根面と、東向きの屋根面にモジュールが設置され、これが直列接続されている場合、午前中は日射強度の小さい西面によって電流が制限されるため、東面に設置されたモジュールは最大出力動作点からはずれた点で動作し、本来得ることのできる出力が得られないためである。

以上のように接続に関するきまり事があるため、従来のパワーコンディショナを用いたシステムでは、モジュールの設置レイアウトに制限が存在した。モジュールが設置可能なスペースがあっても、そのスペースがモジュール8枚分に満たない場合には、設置できることになる。とくに寄棟屋根の場合は、各方位の屋根面積が切妻屋根の場合に比べて小さいことから条件が厳しく、ある方位の屋根面積が小さくてモジュール設置可能スペースがモジュール7枚分以下である場合には、全く設置することはできないことになる。

以上のように、太陽光発電システムの設置に際するきまり事のため、従来のパワーコンディショナを用いたシステムでは、モジュールの設置レイアウトに制限が存在し、市場でのユーザの要望に必ずしも対応でき

表1 マルチパワーコンディショナの仕様

Table 1 Specifications of multi-dc input power conditioner.

形名	JH40EK
定格入力電圧	DC200V(標準入力部), DC150V(マルチ入力部)
入力運転電圧範囲	DC130~320V(標準入力部), DC85~320V(マルチ入力部)
定格出力電圧	(連系運転時)AC202V, 50/60Hz, (自立運転時)AC101V, 50/60Hz
定格出力	(連系運転時)4.0kVA (自立運転時)1.5kVA
電力変換効率	94%(最大)
出力基本波力率	0.95以上(連系運転時)
高周波歪み率	総合5%以下 各次3%以下
外形寸法	(本体)W640×H379×D186mm, (リモコン)W98×H105×D15mm
質量	(本体)25kg(リモコン)0.2kg
インバータ方式	電圧型電流制御方式
スイッチング方式	正弦波PWM方式
絶縁方式	高周波絶縁トランス方式
電気方式	単相2線式 (単相3線式配電線に連系)
制御電源	太陽電池
連系保護	系統不足電圧 系統過電圧, 系統周波数低下 系統周波数上昇
単独運転検出	受動的方式 能動的方式

ない場合が多くあった。そこでこれらの決まり事を緩和して、モジュール設置レイアウトの多様化を図るものとして、業界初のマルチパワーコンディショナを開発・商品化を行った。マルチパワーコンディショナの仕様は表1に示す。

2. マルチパワーコンディショナの回路構成

太陽光発電システムは通常、太陽電池モジュールが8枚の直列アレイ(ストリング)を逆流防止ダイオードを介して並列に接続してシステム(太陽電池アレイ)を構成している。しかし、屋根面積の制約でストリング毎の直列枚数を揃えることができない場合がある。

太陽電池モジュールの直列枚数の異なるストリングA(8直列2並列)、ストリングB(6直列1並列)を並列接続した場合の太陽電池アレイ特性は図2(a)のようになる。A、B各々のストリングの最大電力はそれぞれP(A)、P(B)であるが、その合成特性の最大電力P(A+B)は各々のストリングの最大電力の和P(A)+P(B)より小さくなる。更に、通常の最大電力追従制御では、図2(a)のP(A)の位置を最大電力点と認識して動作する場合もあり、太陽電池が本来持つ発電能力を十分に取り出すことが出来なかった。

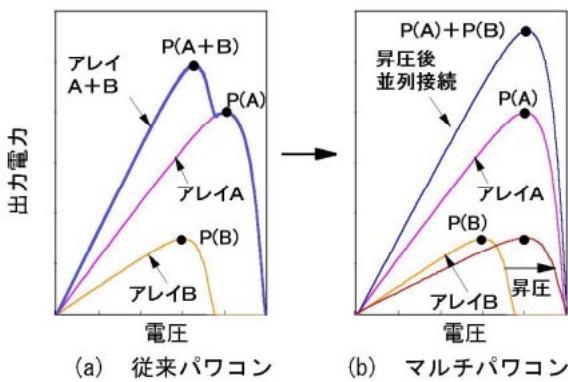


図2 太陽電池アレイの電圧 - 電力特性

Fig. 2 Voltage-power characteristics of solar batteries.

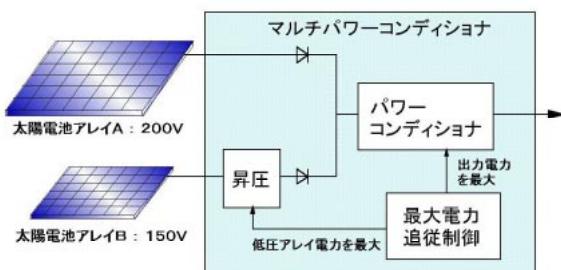


図3 マルチパワーコンディショナの概略構成

Fig. 3 Block diagram of multi-dc input power conditioner.

そこで、図2(b)のグラフに示すように、出力電圧の低いアレイBの電圧を適切に昇圧して、アレイAと並列接続することにより真の最大電力 $P(A) + P(B)$ を取り出すことが可能になる。そこで、マルチパワーコンディショナでは図3に示す概略構成図のように従来のパワーコンディショナの前段に昇圧回路を付加した構成となっており、昇圧回路を経由する入力部(マルチ入力と呼ぶ)と、昇圧回路を経由しない入力部(標準入力と呼ぶ)の2系統の入力部を持っている。図3では、電圧の低いアレイBはマルチ入力に接続され、昇圧回路で昇圧された後、標準入力に接続されるアレイAと並列接続されて、従来のパワーコンディショナ部に入力する構成となっている。ここで、昇圧回路の入力電力が最大かつパワーコンディショナの出力電力が最大となるように、昇圧回路の昇圧比、及びパワーコンディショナ出力電流を制御することにより、アレイA、アレイB双方の最大電力追従制御を行うことができる。マルチパワーコンディショナの昇圧回路の制御においては、昇圧回路の出力電圧は、標準入力の太陽電池アレイAの動作電圧と等しくなるので、昇圧回路における昇圧比は、アレイBの日射変動だけでなく、アレイAの日射変動による最適動作電圧の変化に対しても追従させる必要がある。

図4はマルチパワーコンディショナの主回路構成と制御部の概略構成を示す。図4では、高周波トランス絶縁方式の系統連系インバータの前段に斜線部で示される昇圧回路が付加されている。高周波PWMイン

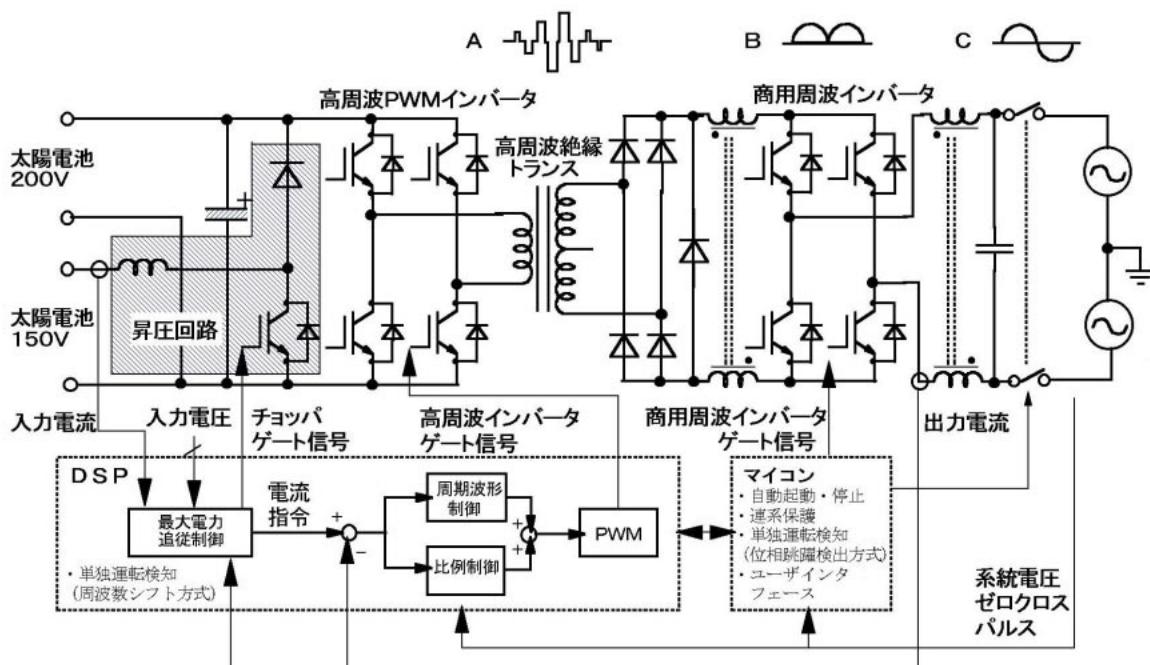


図4 マルチパワーコンディショナの主回路 / 制御回路構成

Fig. 4 Simplified schematic of multi-dc input power conditioner.

バータ部のスイッチ素子と昇圧回路内のスイッチ素子は1モジュールで構成されており、従来のパワーコンディショナに対し、僅かの主回路部品の追加で、本マルチパワーコンディショナの主回路は構成出来る。図4の主回路上段のA(高周波絶縁トランス1次側)、B(DCリアクトル)、C(ACリアクトル)の波形は主回路各部の電流波形の概略を示している。

マルチパワーコンディショナの制御は、DSPとマイコンによるデジタル制御が行われ、DSPでは主に、高周波PWMインバータの電流フィードバック制御、昇圧回路の制御、2チャネル最大電力追従制御、単独運転防止制御(周波数シフト方式)を行い、マイコンでは、商用周波インバータによる折返し制御、各種系統連系保護、インバータの自動起動・停止シーケンス、ユーザインターフェース等を受け持っている。

電流フィードバック制御は、適応デジタルフィルタを用いた周期波形成分の制御と比例制御を並列動作させた構成である。周期波形成分の制御は、系統電圧の零クロスパルス間を1単位とする電流誤差波形を順次波形積分することによって行われる。これにより、基本周波数の波形制御だけでなく、定常な高調波成分の制御も行うことができる。また、この電流制御構成では、定常状態では電流指令値と実際の出力電流フィードバック波形との定常偏差がゼロになることが特徴である。

3. マルチパワーコンディショナの効果

マルチパワーコンディショナJH40EKは、最大電力点追尾機能をそれぞれ装備した2種類の入力系統(+マルチ入力)を設けられており、図5に示すように標準入力3ユニットは、モジュール8~9枚直列/1系統、マルチ入力2ユニットは5~9枚直列/1系統と

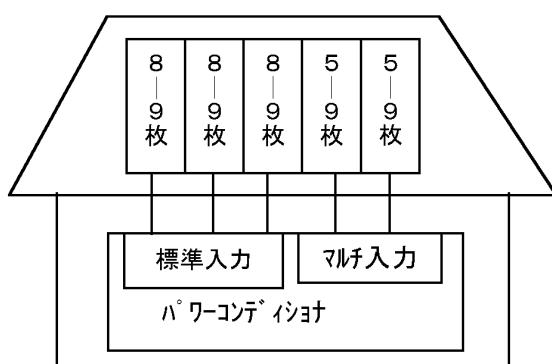


図5 マルチパワーコンディショナの太陽電池入力

Fig. 5 Method of connecting solar batteries to multi-dc input power conditioner.

表2 モジュール接続枚数一覧表

Table 2 List of connecting number for solar batteries.

パターンNo.	モジュール枚数(枚)	太陽電池容量(kW)
1	15	2.04
2	16	2.18
3	17	2.31
4	18	2.45
5	20	2.72
6	21	2.86
7	22	2.99
8	23	3.13
9	24	3.26
10	25	3.40
11	26	3.54
12	27	3.67
13	28	3.81
14	29	3.94
15	30	4.08
16	31	4.22
17	32	4.35
18	33	4.49
19	34	4.62
20	35	4.76
21	36	4.90
22	38	5.17
23	39	5.30
24	40	5.44

の組合せ接続が可能になっている。ただし、ここでもモジュールの組合せ接続に関しては以下の条件が多少加わる。

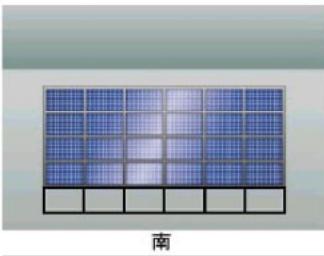
(1) 標準入力には必ず1ユニットの接続が必要、標準入力とマルチ入力を合わせて最低2ユニットの接続が必要。

(2) 標準入力が8枚の場合マルチ入力は5~8枚の直列数を選択。標準入力が9枚の場合マルチ入力は6~9枚の直列数を選択

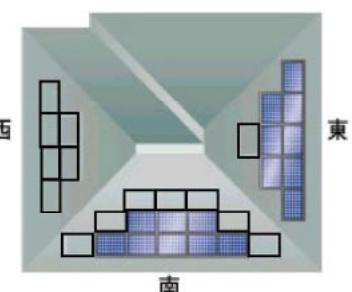
(3) 標準入力3ユニット、マルチ入力2ユニットはそれぞれ同じモジュール枚数を接続する

その結果、表2のモジュール接続枚数一覧表で示すように、多様なモジュール接続パターンが可能となっている。表2では、モジュールは代表的な機種であるNE-K136Aを例にして、太陽電池容量を記載しているが、この表からも明らかのように、太陽電池容量が約2.0~5.4kWの範囲でモジュール枚数パターンが24パターンと従来の4パターンと比較して6倍に増加し、設置可能な太陽電池モジュール組合せも15~40枚の範囲でほぼ1枚単位で構成できる。

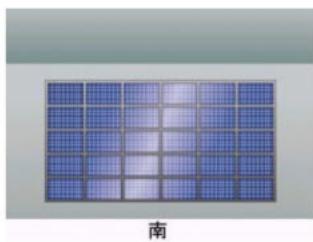
これにより寄棟屋根をはじめ、様々な大きさ・形状の屋根に効率よく太陽電池モジュールを設置すること



当社従来機 3.26 kW(24枚)
※太陽電池容量はモジュールNE-K136Aの場合



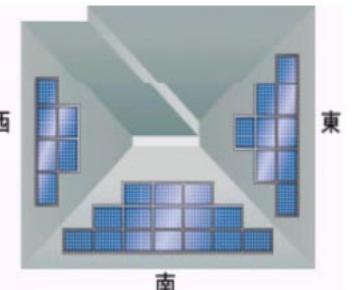
当社従来機 2.18 kW(16枚)
※太陽電池容量はモジュールNE-K136Aの場合



マルチパワーコンディショナ 4.08 kW(30枚)

図6 切妻屋根への設置レイアウト

Fig. 6 Placement examples on the gable rooftop.



マルチパワーコンディショナ 4.08 kW(30枚)

図7 寄棟屋根への設置レイアウト

Fig. 7 Placement examples on the ridge rooftop.

が可能となる。

以下にその効果に関して設置例をもとに説明する。

切妻屋根の場合

例えば図6に示す縦約4m×幅約7.2mの設置可能面積を持つ切妻屋根の場合では、縦5段、横6列の計30枚のモジュールを設置が可能なスペースがある。従来のパワーコンディショナを使用した場合は、8の倍数枚しか設置できないため、縦4段、横6列のレイアウトで24枚設置となり、残り6枚分の設置可能スペースを有効活用できない。

マルチパワーコンディショナを用いた場合、従来の1.25倍のモジュール30枚を設置することができる。このように切妻屋根へは屋根面積に合わせ、そのスペースを最大限に利用してモジュールを設置することが可能となった。

寄棟屋根の場合

例として図7に示す東面9枚、西面6枚、南面15枚の設置可能スペースがある屋根の場合、従来のパワーコンディショナを使用した場合は、東面に8枚、南面に8枚の合計16枚が設置可能枚数で、西面や南面に大きなスペースが余ることになる。これに対して、マ

ルチパワーコンディショナを用いた場合には東面9枚と南面のうち9枚を標準入力へ接続し、また、西面6枚と南面のうち6枚分をマルチ入力へ接続することで約1.9倍の30枚を設置することが可能となる。このように、各方位の屋根面積が小さく、東、西、南など複数面に異なる枚数でモジュールを設置するケースの多い寄棟屋根においても、寄棟屋根にも効率良くモジュールを配置することが可能になる。

その他

図8に示すように二段屋根など狭い場所へ設置する場合や、図9に示すように天窓等屋根に障害物がある場合、またガレージ、物置に設置する場合にも効率良く太陽電池モジュールを配置することが可能になる。

むすび

本稿では、住宅屋根などの太陽電池モジュール設置スペースの有効活用の観点から、異なる直列数で構成された太陽電池を入力可能なように入力系統を2系統用意したマルチパワーコンディショナを提案した。

また、本マルチパワーコンディショナの開発にあ

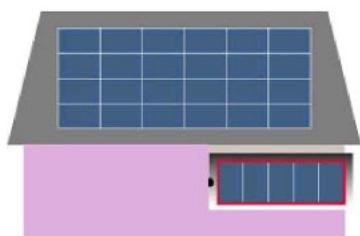


図8 狹いスペース(二段屋根等)に設置する場合
Fig. 8 Placement example on the double rooftops.

たって、主回路の高周波トランス絶縁方式、及び系統連系制御に係わる電流フィードバック制御等の基本構成は従来機種を継承した上で、特に太陽電池最大点追従制御については業界初の2チャンネルの太陽電池最大点追従制御を確立した。

今後もこれらの技術を基に、ユーザニーズにマッチした特徴ある太陽電池システムの開発を行っていく。

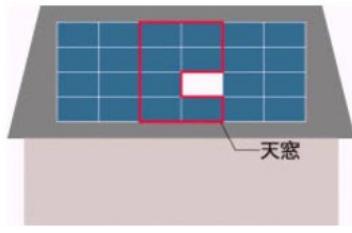


図9 天窓など屋根に障害物がある場合
Fig. 9 Placement example on the gable rooftop with skylights.

参考文献

- 1) 江口 小玉 竹林 中田，“DSPを用いた系統連系インバータのデジタル制御法”，電気学会研究会資料, SPC-96-7, pp. 61-68, (1996年1月).
- 2) 江口“太陽光発電における電力変換技術”2000スイッチング電源システムシンポジウム pp. C4-2-1 ~ C4-2-9(2000年4月)
(2000年5月30日受理)