



# メガソーラー用ストリング監視装置

String Monitoring Unit for Megawatt Solar Power Plants

後藤 哲生\*

Tetsuo Goto

森下 裕樹

Yuuki Morishita

武 正行

Masayuki Take

浅尾 芳久

Yoshihisa Asao

下口 剛史

Takefumi Shimoguchi

松下 友久

Tomohisa Matsushita

出力1MW以上のメガソーラー発電所の建設が急速に進んでいるが、大量に導入される太陽光パネルの初期設置不良、長期性能劣化、および外的要因による故障などにより発電量が低下し、売電量の低下を引き起こしている。数千枚～数十万枚で構成される太陽光パネルの故障を検知するため、既に敷設されている電力線を利用しPLC (Power Line Communication) 方式を使って、ストリング毎の発電量をリアルタイムに監視するメガソーラー用ストリング監視装置 (SSMAP) を開発した。また、ストリング監視装置を導入したメガソーラー発電所において測定した発電量データの解析を行い、発電量の低下を検出した例を紹介する。

While an increasing number of megawatt solar power plants have been constructed, some of them have already been facing problems with a degradation in power output due to initial failures, aging solar panels, or external factors. We have developed a string monitoring unit that uses power line communication (PLC) technology. These units monitor individual strings of hundreds of thousands of solar panels in real time without the need for connecting additional cables. We installed the units at a megawatt solar power plant, and successfully detected irregularities in power generation by analyzing data collected from the units.

キーワード：メガソーラー、PLC、ストリング、パワーコンディショナ

## 1. 緒言

再生可能エネルギーとして注目されている太陽光発電システムは、再生可能エネルギーの固定価格買取制度が全量買取制に変更された2012年以降から急速に普及し、出力1MW以上のメガソーラー発電所の建設が増加している。

大量に使用される太陽光パネルの初期の設置不良、長期性能劣化および外的要因による故障などが発生すると、発電量が低下し、売電量が低減する。メガソーラー発電所は、数千枚～数十万枚の太陽光パネルから構成されるため、どの太陽光パネルが故障しているかを、総発電量の低下から検知することは極めて困難である。このため、太陽光パネルが10～20枚程度直列に接続されたストリング毎の発電量の測定を、PLCを使って正確、かつリアルタイムに監視でき、後付けでも装置の設置が容易にできるストリング監視装置 (SSMAP) を開発した。本論文では、開発したストリング監視装置の特徴及び仕様と、ストリング監視導入後の発電量データの解析を行った結果について報告する。

## 2. PLC方式ストリング監視装置の概要と特徴

### 2-1 ストリング単位での監視

図1にメガソーラー発電所にストリング監視装置を導入した際の構成を示す。

メガソーラー発電所では、太陽光パネルを直列に接続したストリングを接続箱でまとめて集約し、パワーコンディ

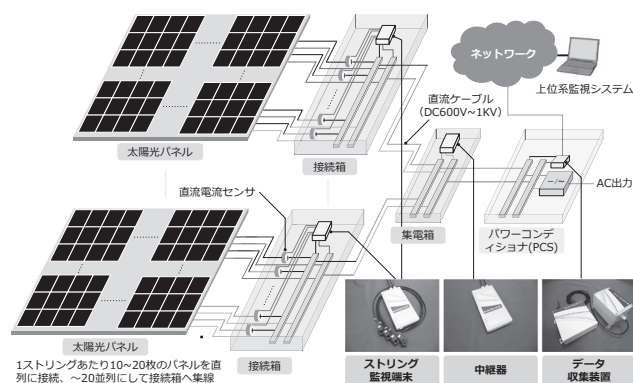


図1 ストリング監視システム構成

ショナ (以下PCS) に接続する。パネルの発電電力は、PCSにて交流に変換され、配電系統に連系される。

産業技術総合研究所の調査では、太陽光パネルは5年で2%程度の不具合が生じているとの報告があり<sup>(1)</sup>、長期間にわたって安定した発電を維持するためには、早期に不具合箇所を特定し、交換あるいは修理する必要がある。太陽光パネルの故障検出方法は、PCS、接続箱、ストリングまたはパネル毎に発電量を監視する方法がある。PCSや接続箱単位の監視は、一部の太陽光パネルに故障が発生しても、発電量の変動が小さく、天候変化による変動との切り分け

ができないため、故障検出が困難であった。また、パネル単位の監視は、メガソーラー発電所の規模が大きくなるにつれ、導入コストが増大する。これらに比べ、ストリング単位の監視は、パネル故障による発電低下を早期に検出でき、パネル単位の監視と比べて安価な価格で装置の導入が可能であるため、非常に有効な故障検出手段である。

## 2-2 PLC方式ストリング監視装置の特徴

図2にPLCによる信号伝達の原理を示す。

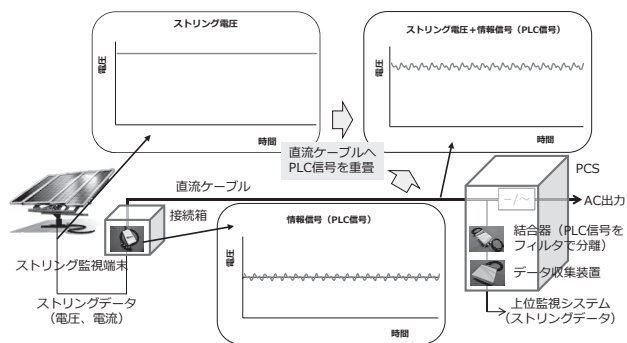


図2 PLCによる信号伝達の原理

接続箱で測定したストリングデータは、敷設されたDC600V~1kVの直流ケーブルを通信線として利用するPLC方式により伝送を行う。これにより新たな通信線の敷設を必要とせず、導入コストの低減が可能である。ストリング監視装置には、スマートメータ用通信に使われていること<sup>(2)</sup>、屋内外を問わず利用が可能であること、PCSが発生するノイズに対して安定した通信が可能であることから、kHz帯の周波数を使用するPLC方式を採用した。

各ストリング電流と電圧を計測するストリング監視端末は、接続箱の内部またはその近傍に設置される。ストリング監視端末が計測したデータは、PLCによりPCS入力部に設置するデータ収集装置に送信し、そこからインターネットを経由して上位系監視システムに送られる。また、太陽光パネルで発電した電力をストリング監視端末に使用するため、端末用の電源線も不要である。さらに、分割型直流電流センサの採用により、ストリング監視装置が導入されていない稼働済みの既設メガソーラー発電所に対しても、後付けで簡単に設置ができる特徴をもつ。

## 3. PLC方式ストリング監視装置の仕様

### 3-1 データ収集装置

表1にデータ収集装置の主な仕様を示す。

データ収集装置は、PCS用エンクロージャ内等に設置さ

れ、最大30台のストリング監視端末とPLCによる接続が可能である。そして、各ストリング監視端末から収集したデータは、業界標準として採用されているModbus経由で上位の監視システムにデータを提供できる(なお、Webサーバ通信の代表的なプロトコルであるHTTPまたはHTTPSを使った伝送も可能)。また、PLCを使ってストリングデータを収集するには、ネットワークIDや個別IDを各ストリング監視端末に設定する必要がある。運用の利便性を考慮して、各接続箱に設置されたストリング監視端末毎に設定作業を個別に行うのではなく、データ収集装置からPLC経由で一斉に各ストリング監視端末に設定ができるようにした。

表1 データ収集装置の主な仕様

項目	仕様	
上位系通信機能	LAN (100BASE-TX)	
上位系通信機能	Modbus	Modbusスレーブとして動作し、上位からのシーケンスに合わせてデータを提供
	HTTP/HTTPS	取得したデータをHTTPまたはHTTPSで上位に送信
対応ストリング監視端末数	データ収集装置1台あたり最大30台	
電源/消費電力	AC100V±10%/3W以下	
寸法	本体：W150×D150×H43mm、結合器：W102×D152×H82mm(突起部除く)	
設置場所	パワーコンディショナ用エンクロージャ内等	

### 3-2 ストリング監視端末

表2にストリング監視端末の主な仕様を示す。

ストリング監視端末の電源は、太陽光パネルの発電電力から供給され、電圧変動が大きいのが、安定した装置動作を行うため、PCSの起動電圧より低い電圧から動作できるようにした。また、近年20ストリングの接続箱が増加しているため、最大20ストリングまでのストリング電流の計測を可能とした。さらに、稼働済みの発電所に設置されている既設の小型接続箱にも容易に後付けできるよう、幅

表2 ストリング監視端末の主な仕様

項目	仕様	
監視I/F	ストリング電圧	1ch 最大1000V、精度±5% (1000V, 25℃)
	ストリング電流	20ch ±15A、精度±5% (15A, 25℃)
	デジタル信号	1ch・接点(入力)
計測周期	1分周期	
電流センサ	ホール素子タイプ・分割型、貫通型	
電源/消費電力	DC300V~DC1000V/20W以下	
寸法	本体	W35×D117×H223mm(突起部除く)
	センサ	分割型：W26×D27×H38mm、貫通型：W29×D46×H24mm(いずれも突起部除く)
設置場所	接続箱内(IP44以上)等	

を35mmまで小型薄型化し、容積比40%のサイズダウン(当社従来機比)を図った。

### 3-3 スtring監視システムの設置方法

図3に(a) 低圧系、及び(b) 高圧系におけるString監視システム構成を示す。

String監視装置は、基本的に図3に示すように、接続箱にString監視端末、PCSにデータ収集装置を設置する。また、低圧系と高圧系では、接続箱からPCSへの集線形態が異なるため中継器の設置形態が異なる。低圧系では、通常PCSと接続箱の間に集電箱が設置されているケースが多く、PCS内の入力端子は1つに集約されている。一方、高圧系では、PCSと接続箱の間に集電箱はなく、PCSの入力端子部が複数から構成されている。この場合、入力端子部Bに直接接続されるString監視端末のPLC信号が、PCSのDC/ACユニットを通過する際に減衰が発生する。また、PCSによって発生するノイズは、PCSによって大きく異なるため、中継器を集電箱またはPCSの入力端子部Bに設置することで、PLCによる安定したデータ収集を行うことができる。

表3には、String監視装置のPLC方式の仕様を示す。

表3 String監視装置で採用したPLC方式の仕様

項目	内容
使用周波数範囲	120kHz~400kHz
通信速度	1.25kbit/s, 5.0kbit/s (変調モードにより変化)
変調方式	スペクトラム拡散

使用周波数は、電波法により屋内外で使用できる低周波PLCの周波数帯域を使用した。ノイズに対するロバスト性を向上させるため、スペクトラム拡散方式を採用し、ノイズの状況により、Stringデータの伝送速度を2段階選択できるようにした。

## 4. 導入実績、導入例・監視データ

### 4-1 導入実績

当社のString監視装置は、1MW~15MWの発電所の約30ヶ所、合計約150MWに採用されている。

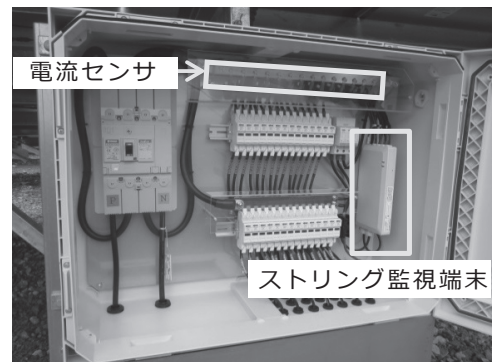


図4 String監視端末設置状況

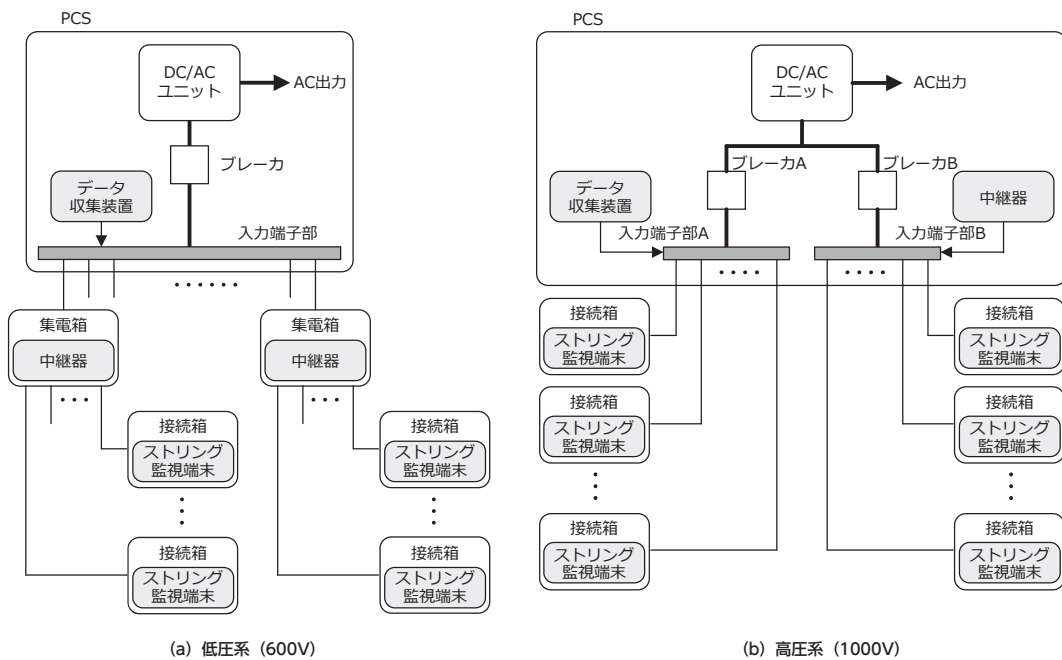
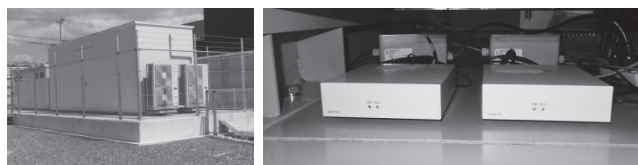


図3 高低圧系におけるString監視装置の設置形態

ストリング監視端末は、**図4**に示すように接続箱内の空きスペースに設置され、センサは、接続箱内の各ストリングに分割型電流センサを取り付けている。また、中継器は安定した通信を行うため、集電箱またはPCSの入力端子部に設置する。

データ収集装置は、**写真1**に示すようにPCS用エンクロージャ内の空きスペース等に設置される。設置後、各端末からのストリングデータは、1分周期で収集を行っている。



PCS用エンクロージャ (左)、PCS内の設置状況 (右)

写真1 データ収集装置設置状況

#### 4-2 導入例・監視データ

表4及び写真2に1MWの太陽光発電所での導入例を示す。

表4 1MW太陽光発電所の構成

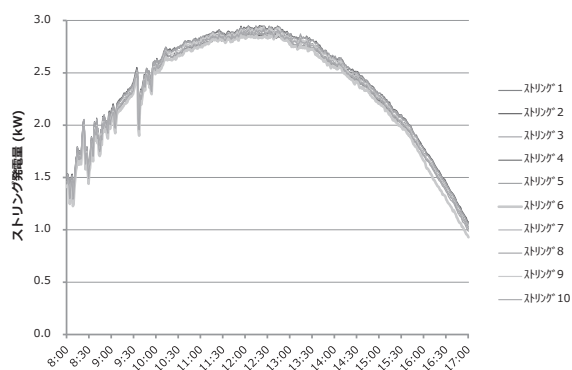
項目	構成内容
系統連系容量	1 MW
PCS	500kW×2台
集電箱	4台
接続箱	32台
ストリング数	314ストリング



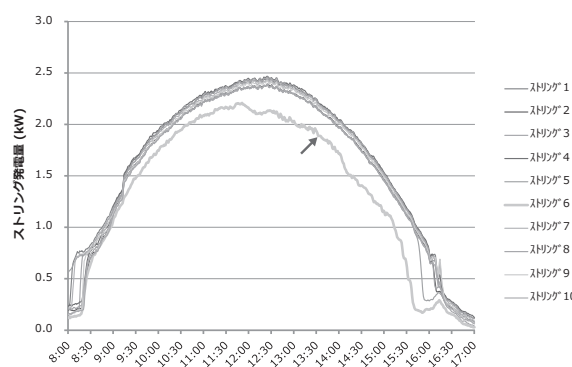
写真2 1MW太陽光発電所の全景写真

本発電所では、2015年1月から2016年1月までの13ヵ月間のストリングデータを用いて監視システムの動作および太陽光発電所の運転に関する健全性の確認を行った。

**図5 (a)** は、ある接続箱の2015年4月22日に計測した10本のストリングの1日の発電量の変化を示しており、10本のストリングがほぼ同じ発電をしていることが確認できた。一方、**図5 (b)** は、約7ヶ月後の2015年12月18日に計測した同一の接続箱でのストリングの発電量を示しており、1本のストリングの発電量が低下していることが確認できた。このストリングは、現地調査でも樹木等の影や汚れといった外的要因は確認されず、何らかの異常が発生した可能性がある。



(a) 2015年4月22日



(b) 2015年12月18日（約7ヶ月後）

図5 ストリング毎の発電量の一日の変化

また**図6**に示すように、朝方と夕方とで数本のストリングの発電量が、他のストリングに比べて低いものが確認できた。当該ストリングの太陽光パネルの状態を現地で確認したところ、**写真3**に示すように僅かな樹木の影が太陽光パネルにかかっていることが確認された。このような僅かな樹木の影による発電量低下への影響もストリング監視で検出可能である。

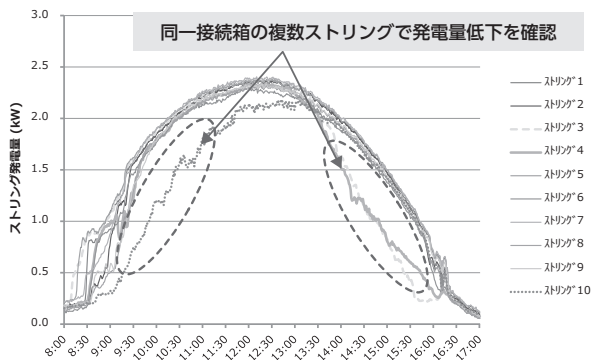


図6 ストリング毎の発電量の一日の変化

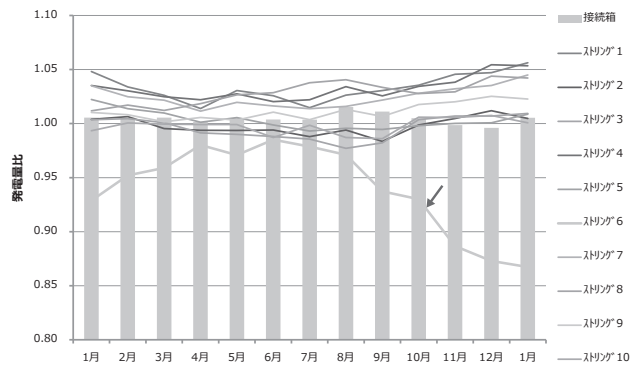


図7 ストリング及び接続箱の各平均発電量の比率

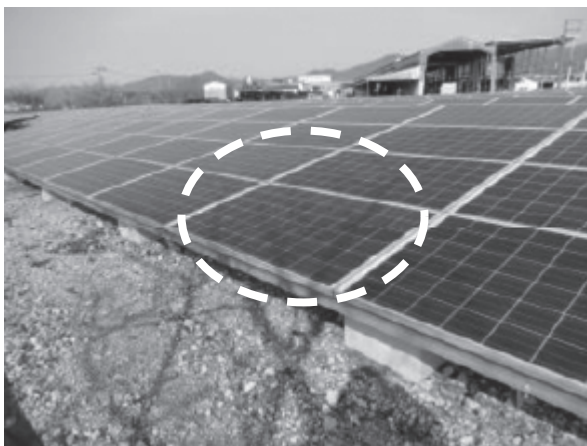


写真3 パネルにかかる樹木の影

間帯毎に発電量を分析した結果を表5に示す。

3つの時間帯(8時~10時、10時~14時、14時~17時)において、全314ストリングの平均発電量と個々のストリング発電量を比較し、平均発電量から10%以上発電量の低いストリングの発生率(全314ストリング中、表5左)と、その発電低下したストリングの発電量低下率の平均(表5右)を求めた。

表5 ストリング発電量低下一覧

年月	10%以上発電量が低下しているストリングの発生率(全314ストリング中)				左記発電低下しているストリングの発電量の低下率の平均			
	8~10時	10~14時	14~17時	8~17時	8~10時	10~14時	14~17時	8~17時
2015年1月	11.8%	2.2%	6.1%	2.9%	22.0%	26.0%	19.0%	22.0%
2015年6月	4.5%	1.3%	3.2%	2.2%	16.0%	22.0%	33.0%	25.0%
2016年1月	15.0%	2.5%	9.6%	4.5%	26.0%	28.0%	22.0%	22.0%

次にストリングデータをもとに、接続箱単位(接続箱内のストリングデータの合計)で発電量監視を行った場合とストリング単位で監視を行った場合の差について検証を行った。図7に示す棒グラフは、一つの接続箱の総発電量を、同一PCSに接続される全接続箱の発電量の平均値に対して正規化した値を時系列で示したものである。また、折れ線グラフは、一つの接続箱のストリング毎の発電量を、同一PCSに接続されている全ストリングに対する発電量の平均値で正規化した値を時系列で示したものである。なお、各月の値は、月の中で1日の発電量が最大となった日の値から算出したものである。接続箱単位での比較(棒グラフ)では、発電量比は平均値とほぼ同じ(発電量比 $\div$ 1.0)なのに対して、ストリング単位の発電量比(折れ線グラフ)では、1ストリングのみが平均値を大きく下回っている。つまり接続箱単位の監視では検出できない僅かな発電量低下が、ストリング監視では検出可能であることがわかる。

次に、2015年1月、2015年6月、2016年1月の各月において発電量低下が検出されたストリングに対して、時

このデータから、以下の分析が可能であり、ストリング監視導入により、メンテナンス性の向上が可能である。

- ①全314ストリングの平均発電量から10%以上発電量が低下したストリングは、10時~14時に比べ、8時~10時、14時~17時に多い。これは、樹木等による日陰の影響が朝夕の時間帯で発生しているためである。
- ②10%以上発電量が低下したストリングの発生率と、発電低下率の平均を、2015年1月と2016年1月で比較すると、いずれも増加していることがわかる。1年後の同月において、影の影響が同程度にもかかわらず、両者がともに増加していることから、何らかの原因で発電量低下が発生したと考えられる。

## 5. 結 言

ストリング監視により、大幅な発電低下に至る前に、ストリングでの僅かな発電量低下を検出することで故障の早

期検出が可能である。国内の稼働済み発電所では、ストリング監視の導入率は低いため、上記のような発電量低下が見落とされ、売電ロスが発生している可能性が高い。PLC方式によるストリング監視は、新たな通信線や電源線の敷設が不要であり、後付けでも稼働済み発電所に簡単に設置できることから、発電所の健全性の確認と維持、売電ロスの低減に有効な手段と考えられる。また、海外においては、ストリング監視の導入率が高いことから、今後は海外市場への展開も期待される。

- ・SSMAPは住友電気工業㈱の登録商標です。
- ・modbusはSchneider Electric USA Inc.の登録商標です。

#### 参 考 文 献

- (1) 加藤和彦、「太陽光発電システムの不具合事例ファイル PVReesQ!からの現地調査報告」、日刊工業新聞社、P.134-P.136 (2010)
- (2) 小川理、竹下和磨、「kHz帯PLCの動向と需要地系通信への適用課題」、電力中央研究所 P.1 (2011)

#### 執 筆 者

後藤 哲生\* : パワーシステム研究開発センター 主査



森下 裕樹 : パワーシステム研究開発センター



武 正行 : パワーシステム研究開発センター 主査



浅尾 芳久 : パワーシステム研究開発センター  
グループ長



下口 剛史 : パワーシステム研究開発センター 部長



松下 友久 : エネルギーシステム事業開発部  
グループ長



\*主執筆者