

特集 I

太陽光発電におけるモジュール及びストリングレベル・パワーエレクトロニクス (MLPE / SLPE) の最近の技術動向

Ampt 社ストリングオプティマイザによる太陽光発電システムの最適化方法と実証データ

Optimizing PV system by using Ampt-string optimizer and its effect

近藤茂樹*

1. はじめに

太陽光発電システムにおいて、太陽電池モジュールによって光エネルギーを光電変換後に使用できる交流電気エネルギーとして取り出すまでに多くの損失が発生している。損失は、物理的な影や汚れに起

因する太陽光量の減少による損失→ DC 側の損失 → AC 側の損失の順で発生する (図 1)。

Ampt 社のストリングオプティマイザ (以下ストリングオプティマイザ) は、DC 側損失の Module array mismatch loss (以下ミスマッチ損失) を低減させるための装置である。

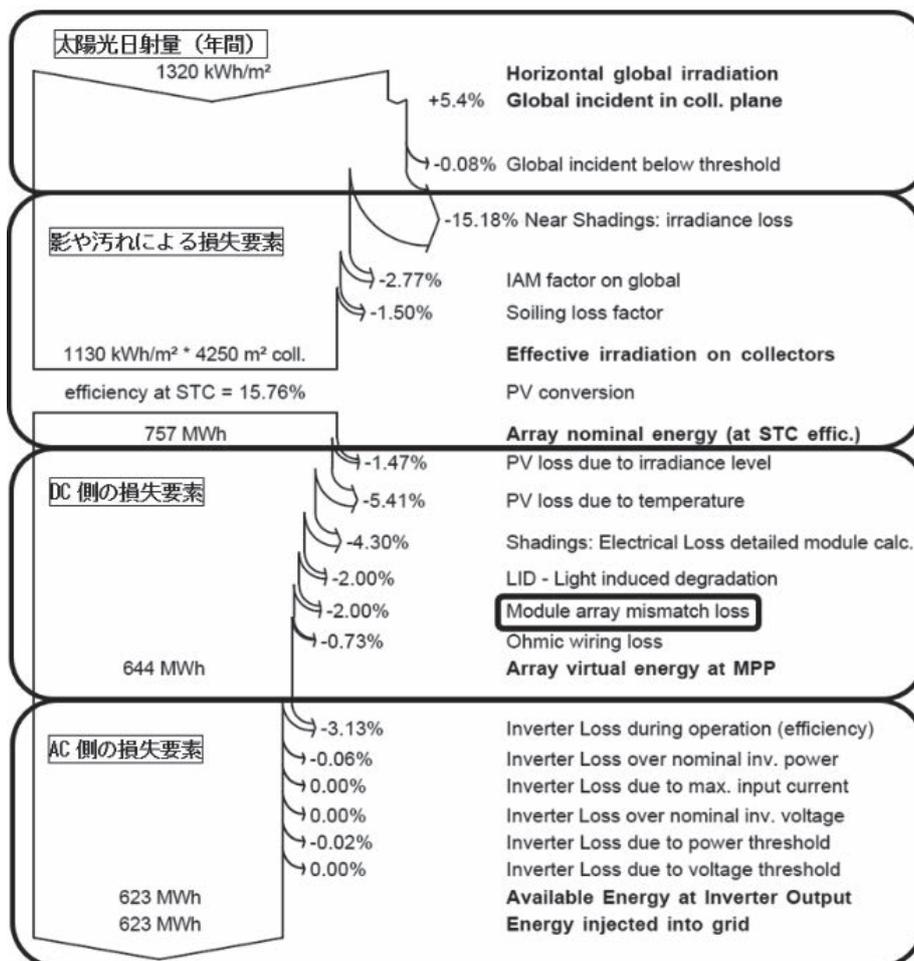


図 1 PV 発電量の年間損失図表 (1)

*アンプトジャパン合同会社 日本支社長

* Ampt Japan, LLC Country Manager

メガソーラーシステムは、電圧を上げるための太陽電池モジュール直列回路（以下PV スtring）と電流を増大させるための多数のPV String並列接続で構成されている（図2）。並列に接続されているそれぞれのPV Stringはそれぞれ異なる最適動作電圧を有するが、全て並列に接続されているため全体として最大出力になるようにパワーコンディショナ（以下PCS）が決定する一つの電圧で動作する。結果としてそれぞれのStringは最適動作電圧からズレて発電することになり最大出力からの損失が生じる、これがミスマッチ損失である。

太陽電池モジュールは経年でランダムに劣化するため年々ミスマッチ損失は増大し20年間では5～10%の損失となる。

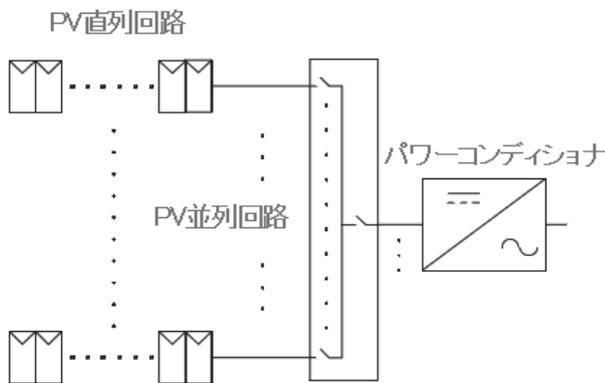


図2 従来型メガソーラーシステム単線結線図

String最適化は、全てのStringの最大出力を引き出すために、全てのStringを異なる最適動作点で動作させるためのDC-DCコンバータ装置である。

メガソーラーシステムにString最適化を導入することによってこのミスマッチ損失を低減し発電量を増加させることができる。

2. 太陽光発電所のミスマッチ損失の種類と割合

設計や現場の状況によってミスマッチ損失割合は大きく異なる。ミスマッチのタイプとその損失割合を表1に示す。それぞれのPV発電所においてミスマッチ損失がどの程度であるかを正確に予測することは難しい。現在ほとんどの太陽電池モジュールは半導体であり半導体は経年劣化する。それらの経年劣化速度はモジュール毎に異なり周囲温度の違いによりバラつきは広がっていく。20年後にはモジュール劣化バラつきによる出力損失は5～10%に増大する。

また、太陽光発電所の普及が進み平坦な影の無い土地での設置が難しくなっている。FIT売電価格が低下していくにつれ大規模な造成工事は経済的に困難になってきた。造成費用の削減のため地なりに太陽電池アレイを設置することになるが、森林の影の影響やそれぞれのアレイが太陽に対して異なる方向を向くことになるので最大動作点のミスマッチが生じる（図3）。



図3 異なる方向を向くアレイ設置

表1 PVシステムのミスマッチ損失の割合⁽²⁾

タイプ	定義	ミスマッチ損失
モジュール出荷時のバラつき	製造プロセスのバラつきによる出力のバラつき製造メーカーによって決定される。	0.2% to 1%
モジュール温度の違い	フィールドでのモジュール間の温度差、アレイのレイアウト、傾き、架台、地面状態、気候等によって決定される。これは時間の経過とともに常に変化する。	0% to 1.5%
不均一汚れ	モジュール表面の不均一な汚れ、アレイのレイアウト、傾き、気候、地面状態によって決定される、通路の端に近いモジュールとStringがより速く汚れる。	0% to 2%
雲による影	アレイ上を雲が通過することによる電力過渡現象年間を通して影響は少ない。	0% to 0.1%
ケーブル電圧降下	モジュールからパワコンまでの配線による電圧降下アレイのレイアウト、ケーブルサイズ及びケーブル長によって決定される。	0% to 0.5%
その他	アレイ間の影、山、鉄塔等による影の影響発電量自体が大幅に減少するが、ミスマッチによる損失も10%を超える場合もある。	0% to ?
経年劣化	セルやモジュールは異なる速度で経年劣化する。動作温度が10℃上昇することにおよそ2倍の速度で劣化する。この値は時間とともに増加する。	0% to 2.5%
	合計、上記が複合化され、時間の経過とともに増加する。	0.2% to 8.1%

3. string最適化外観と入出力

string最適化は2つの PV string 入力回路 (Input A と Input B) と一つの出力回路 (V out) で構成されている。両側が入力で中心部が出力 (図4)。

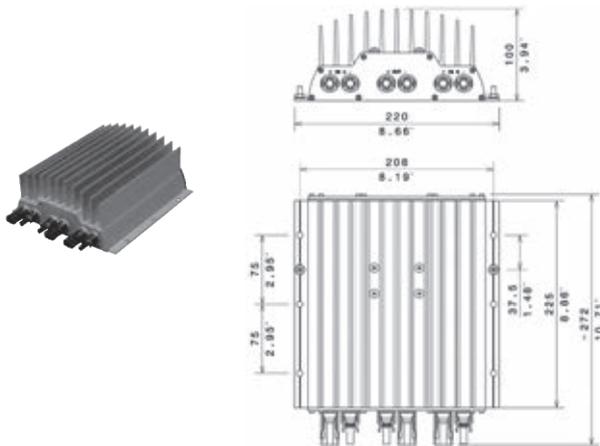


図4 string最適化の外観と寸法

4. string最適化の動作

2つの PV string を1個のstring最適化に入力する (図5)。

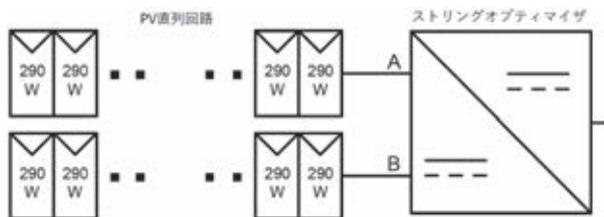


図5 string最適化入出力回路

2つの PV string は、最大電力追尾 (以下 MPPT) 制御によってそれぞれ異なる最適動作電圧で動作する。2つの入力には DC-DC コンバータを内蔵し PCS の決定する DC 電圧で各 PV string の最大電力を出力する。

図6に、影の生じていない直列stringと影の生じているstringの P (電力) -V (電圧) カーブを示す。セントラル PCS は合成カーブの最大ポイントで C 点で動作する。この時、各string ではそれぞれの曲線の頂点である最大出力点で動作していない。

影のあるstringでは最大出力点は D 点だが A 点、影のないstringの最大出力点は E 点だ

が B 点で動作する。この最大出力点との差が mismatch 損失となる。string最適化内部の DC-DC コンバータによって各stringが最大出力点となる電圧で動作し最大電力を PCS に出力する。

string最適化の合成出力点は D 点と E 点を足した F 点となり C 点との差が発電量増加分になる。

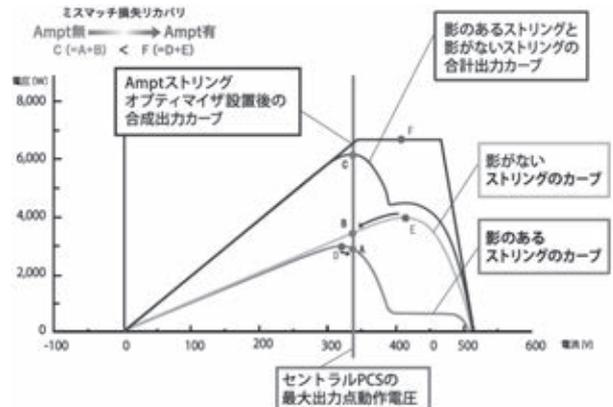


図6 P (電力) -V (電圧) カーブ

5. 実証データ

(1) 設置状況

東側の森林の影響ではほぼ午前中の中 PCS 3 の約半分の太陽電池アレイに影が生じている大分県山間部の設置後3年目の発電所において、リパワーリング目的として後付けでstring最適化を設置した実績を紹介する (図7)。

PV アレイ on PCS 3: 694.72kw (260w × 2672 枚)

PCS 仕様 : 500 kw/600V inverter

string最適化

: V600 タイプ × 92 個

(2) オプティマイザの設置方法

既存の接続箱の裏側にアングルを配置してオプティマイザを取り付けし、接続箱内に接続されている PV string 配線を一旦端子台から取り外しオプティマイザへ入力しオプティマイザの出力を接続箱の端子台へ入力する (図8)。工事は短期間で実施可能であり、接続箱単位でブレーカーをオフにして進めることができるので工事時の発電ロスが少量である。



図7 設置現場写真



図8 スtring オプティマイザ取り付け方法

(3) String オプティマイザの効果

String オプティマイザ設置後 2018 年 6 月～2019 年 5 月までの約 1 年間のデータと、設置前 2017 年 6 月～2018 年 5 月までの約 1 年間のデータを比較した。影の影響のない PCS 2 の発電量を基準にして、オプティマイザ設置前 PCS 3 発電量とオプティマイザ設置後 PCS 3 の変化割合 (PCS 3/PCS 2) を比較した (表 2)。オプティマイザ設置前 PCS 3 発電量は東側の森林の影の影響で PCS 2 発電量に対して 18.27% の発電量減であったが、オプティマイザ設置後 PCS 3 発電量は 13.56% の発電量減に改善できた。影による太陽光減少分を解消はできるわけではないが PV String 間の mismatch 損失の 4.71% (= 18.27-13.56) を改善できた。PV モジュールの経年劣化による PV String 間の mismatch 損失はさらに広がっていくので、この改善値 4.71% は翌年さらに広がっていく。

6. PV モジュールの経年劣化について

現在ほとんどの PV モジュールがシリコン半導体材料でありその経年劣化は避けることのできない発電量損失を生む。動作中の周囲温度が高いほどシリコン半導体の経年劣化率も大きくなり、PV モジュールの動作温度の違いにより劣化速度が異なる。劣化による出力減少は避けようがないが、劣化の早いものと遅いものが混じることによるよって発生する mismatch 損失は String オプティマイザで防ぐことができる。

PV モジュール合計 708 kWp, PCS 容量 630 kW, 設置場所が千葉県の場合の 20 年間の PVSystem ソフトによる発電量シミュレーション結果 (図 9 及び表 3) によると、オプティマイザ無しの場合には 20 年後の年間発電量は初年度の 88.37% に減少するがオプティマイザ有りの場合は 95.36% まで改善される。20 年間生涯発電量は 3.5% アップとなり 568 MWh (16914.8-16346.5) の増加量となる。

表 2 String オプティマイザ導入の効果 (実発電量は、PV 1kWp 当りの年間発電量 (kWh))

String オプティマイザ	データ期間	PCS	実発電量/kWp	PCS 3/PCS 2	効果
導入前	2017/6～2018/5	PCS 2	1,089.1 kWh	81.73%	
		PCS 3	890.2 kWh		
PCS 3 のみに導入後	2018/6～2019/5	PCS 2	1,079.8 kWh	86.44%	4.70%
		PCS 3 (導入)	933.3 kWh		

表 3 5 年毎の発電量減少

経年	1	5	15	20	合計
無オプティマイザなし(MWh)	865.0	846.7	794.0	764.4	16346.5
無の場合の経年残存率	100%	97.88%	91.79%	88.37%	
有オプティマイザあり(MWh)	866.0	857.4	836.2	825.8	16914.8
有りの場合の経年残存率	100%	99.00%	96.56%	95.36%	
有り/無しの効果割合	0.1%	1.3%	5.3%	8.0%	3.5%

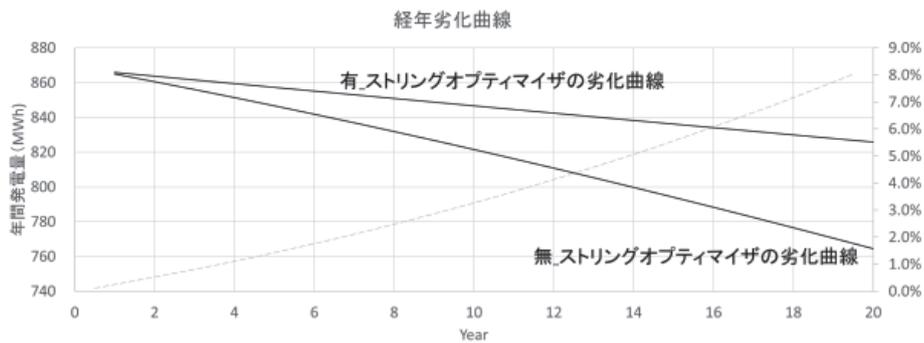


図9 20年間発電量シミュレーション

7. モニタリング機能

ストリングオプティマイザを設置することによってオンラインモニタリングが可能となる。コミュニケーションユニットを付加しインターネットを経由してリアルタイムで各ストリングオプティマイザの入出力の電圧と電流を監視することが可能（図10）。オンラインデータ分析によりPVストリングやストリングオプティマイザの故障を発見しタイムリーなメンテナンスを実施することによって発電量の損失を最小限に防ぐことができる。

8. おわりに

2012年から国のFIT政策が始まり約8年が経過し2020年度の抜本的な見直しにより太陽光発電をとりまく事業環境に大きな変化が起きている。その

ためFIT制度に頼った大規模発電所の建設は縮小しつつある。

世界的な環境問題の解決のために自然エネルギーの割合を今後も継続してあげていく必要がある。そのための方法のひとつとして既存電所の効率を上げる「リパワリング」が重要になってくる。例えばこれまでの国内運転中の40GWの既存発電所をリパワリングして3%向上させることができれば1.2GWの新規の発電所建設と同じ意味がある。ストリングオプティマイザはこのリパワリングの分野で大きな貢献ができると考え、さらなる性能アップとコストダウンを推進する。

9. 参考文献

- 1) PVSYST Photovoltaic software
- 2) M.Prost, A.Olsson: Reduction of Mismatch Losses in Solar Installations Using Optimizers

著者経歴



近藤茂樹（コンドウ シゲキ）

1982年3月同志社大学工学部卒業、同年4月京セラ（株）太陽電池事業部入社、積水グループでの太陽電池モジュールの開発、JX日鉱日石エネルギーでのメガソーラーシステムの設計に携わる。2017年より現職。アメリカのストリングオプティマイザの製造会社Ampt, LLC社の日本支社長。

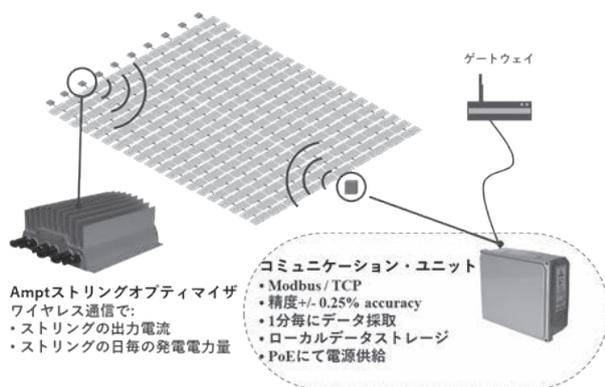


図10 モニタリングシステムの仕組み