

Tigo の MLPE による太陽光発電システムの効率化と安全性の向上

Tigo's MLPE Improves Efficiency and Safety of PV systems

天野啓史*

1. Tigo Energy Inc. について

Tigo Energy Inc. は 2007 年に、システムレベルのアプローチと半導体、パワーエレクトロニクス、太陽エネルギーの専門知識を組み合わせた経験豊富な技術者チームによってシリコンバレーに設立されました。業界の Tier 1 モジュールおよびインバータのメーカーと提携することで、最もスマートな TS4 モジュールプラットフォームと共にイノベーションに集中し、より広範なエコシステムに貢献します。Tigo Energy Inc は、米国、ヨーロッパ、日本、中国、オーストラリア、中東にて事業を展開しています。

1.1 目的

Tigo Energy Inc. のミッションは、Flex MLPE (モジュールレベルのパワーエレクトロニクス) と通信技術を活用して、最小限のコストで最大のエネルギー生成するように設計されたスマートな PV 技術を提供することにより、ユーザーの ROI を向上させることです。

1.2 技術

Tigo は、すべての PV モジュールを IoT 化する PV 業界の取り組みの基礎として、MLPE 市場で Flex MLPE アーキテクチャを先駆けて開発しました。

2. MLPE とは

MLPE (Module Level Power Electronics) は、PV モジュール単位で監視や制御を行い、モニタリングによる発電量管理と不具合の発見、シャットダウンによる太陽光発電システムの安全性の向上、オプティマイジングによる最適化と発電ロスの抑制を行います。

3. Tigo の Flex MLPE

長年にわたる研究開発、試験、認証を経て、スマートな MLPE として TS4 プラットフォームを市場に投入しました。TS4 プラットフォームを用いると、モニタリング、セーフティ、発電量のオプティマイジングの中から、PV モジュール毎にニーズに応じた機能の選択が可能になり、この柔軟性が Flex MLPE の由縁です。TS4 プラットフォームには、ジャンクションボックスの形態として PV モジュール一体型 (Integrated) のものと、PV モジュールへ後付け型 (Add-on)、図 1 のものがあります。

TS4 プラットフォームは、表 1 の通り、4 機種の TS4 と三つの機能で構成されます。三つの機能とは、モニタリング、セーフティ、オプティマイジングです。

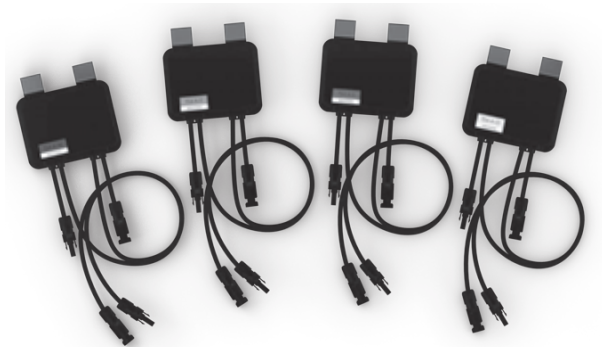


図 1 PV モジュールへ後付け型 MLPE

* Tigo Energy Inc., Director of Japan Sales (〒100-0006 東京都千代田区有楽町 2-7-1)
hiroshi.amano@tigoenergy.com

表1 TS4機種と機能

機種/機能	TS4-F	TS4-M	TS4-S	TS4-O
モニタリング	-	○	○	○
セーフティ, ラピッドシャットダウン	○	-	○	○
オプティマイジング	-	-	-	○
通信方法	PLC	無線	無線	無線

4. モニタリング

固定価格買取制度期間の20年、又は耐用年数の25年を超えて太陽光発電システムを使い続けるためには、保守点検を予測・実施することが重要です。モジュール単位のモニタリングを介してシステムの性能を確認することで、システムの稼働時間を最大化し、システムの不具合を深刻になる前に発見することができます。

4.1 Tigoのモニタリング

TS4Mのモニタリングの表示内容と機能には以下ようになります。

- (1) 発電量 (Wh)
- (2) リカバリー量 (Wh)
- (3) 出力 (W)
- (4) リカバリー量 (W)
- (5) 入力電圧 (V)
- (6) 出力電圧 (V)
- (7) 入力電流 (A)
- (8) 出力電流 (A)
- (9) 通信強度
- (10) グラフ (分, 時, 日, 月, 年)
- (11) データ・ダウンロード (秒~年毎)
- (12) アラート発信
- (13) レポート (月, 日毎)
- (14) ユーザー管理
- (15) 発電所情報
- (16) API データ共有

4.2 Tigoモニタリングの有効性

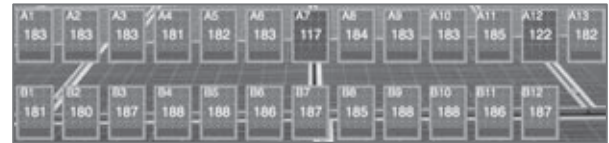
各PVモジュールのパフォーマンスを1分毎にモニタリング、1秒ごとのデータ保存することで、以下の不具合の発見と場所の特定が可能になります。

- (1) PVモジュールの日射量の低下

- (2) PVモジュールのホットスポットの有無
- (3) バイパスダイオードの不良
- (4) 断線, PVコネクタの接触不良
- (5) インバーター出力低下

下図のように出力 (W)、電流 (A)、電圧 (V) を高い精度でモニタリング表示されますので、症状によって不具合の発見と原因の特定が可能です。

出力 (W)



電流 (A)



電圧 (V)

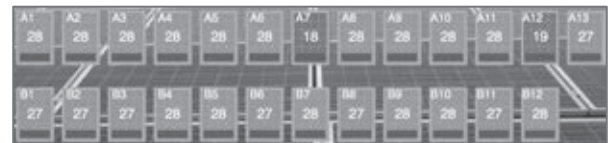


図2 モニタリング表示

5. セーフティ

世界中の太陽光発電システムの安全要件と危険管理が増加しています。MLPEは発電システムがこれらの基準を満たすのに役立ちます。現在、米国には最も厳しい太陽光発電の電気工事基準、NEC2017.690.12[®]があります。

このセーフティ機能は、火災など緊急時のシステム安全性を強化するだけでなく、通常のメンテナンス操作にも使用できます。この遮断機能により、設置作業員、消防士、およびメンテナンス技術者は、高電圧が存在しないという安全な環境を得ることができます。

5.1 セーフティ機能の目的

日射を浴びますとPVモジュールは高電圧で充電されます。これは、設置作業員や消防士などアレイの近くで作業する他の人にとっての主な安全上の懸念です。特に、太陽光発電システムを搭載した建物の火災消火活動での現場安全確保は多くの国々で重要視されています。DC切断後も、標準的な回路のPVモジュールは直列に接続されているため依然と

して開放電圧を伝達します。ストリングの直列接続により、各モジュールとケーブルは、許容される最大システム電圧に応じて、600V、1000V、さらには1500Vの電荷を運ぶことができます。セーフティ機能は、現場での手動または自動モジュールレベル切断により、安全性を強化します。

5.2 NEC2017.690.12[®] 概要

米国電気工事基準 NEC 2017.690.12 では、PV アレイ境界の外側、アレイの端から 350mm/1ft 以上外側の電気導体は、ラピッドシャットダウンが起動された後 30 秒以内に 30V 以下に、アレイ境界に内側、アレイの端から 350mm/1ft 以上外側の電気導体は、ラピッドシャットダウン機能を示すラベルの貼り付けと、ラピッドシャットダウンが起動された後 30 秒以内に 80V 以下に制限することが求められています。

5.3 Tigo 製品のラピッドシャットダウンへの対応

Tigo の Flex MLPE は、NEC 2017.690.12 に準拠するために、UL および IEC から認証を受けています。これらの認証は、現在世界中で出荷されている 40 社以上のモジュールメーカーと 15 社のインバーターメーカーによって製品化されています。図 3、図 4 のような二通りのシステム構成でラピッドシャットダウンを行います。NEC 2017.690.12 の中に定められていますラピッドシャットダウン起動条件の三通りのいずれにも沿っています。

図 3 で表されるように、TS4-S と TS4-O は無線通信を使用し、ラピッドシャットダウン起動後 10 秒で各 PV モジュールの出力電圧を 0V および 0V へ落とします。

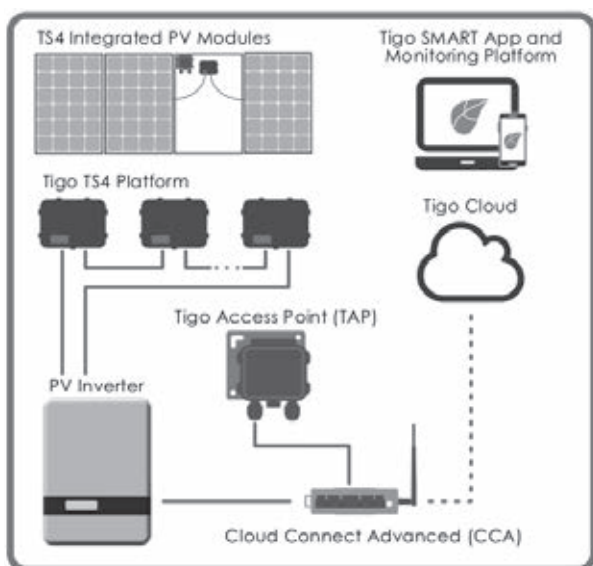


図 3 TS4-S と TS4-O のラピッドシャットダウン

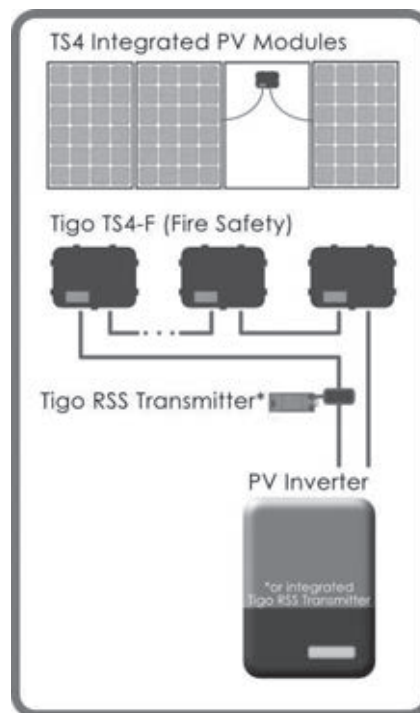


図 4 TS4-F のラピッドシャットダウン

TS4-F は、図 4 の様に、SunSpec 標準に沿った PLC 通信を使用し、ラピッドシャットダウン起動後 10 秒で出力電圧を 0.6V へ落とします。どちらの方法も、通信から“Keep-alive”信号がなくなることにより各モジュールの出力をシャットダウンさせます。

6. オプティマイジング

今日の PV システムは通常、ストリングで互いに直列に接続されたパネルで構成されており、これらのストリングのいくつかは並列に接続されてアレイを形成しています。直列に接続された PV モジュールの性質により、最適化しない限り、パフォーマンスが最も低いモジュールがアレイ全体のパフォーマンスに影響を与えます。以下では、PV アレイのパフォーマンス低下の原因の概要を説明し、インピーダンスマッチングと予測 IV の形でその影響を最小限に抑えるために利用できる優れた技術を説明します。

6.1 IV カーブ

最適化の必要性は、モジュール IV の曲線と、モジュールを直列に接続したときの動作を調べることで理解できます。キルヒホッフの現在の法則は、すべてのコンポーネントが直列に接続されている閉じた電子回路では、電流は同一であるべきだと定めています。たとえば、インバータに接続された単一の

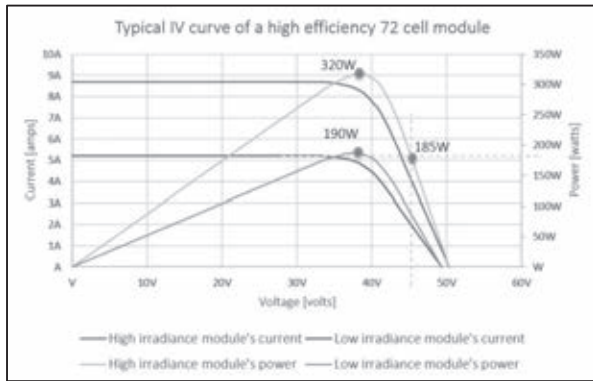


図5 異なる日射レベルにさらされる2つの同一のPVモジュールの例

ストリングを備えた単純なPVアレイでは、すべてのモジュールがその他全てと同じ電流を持つ必要があります。ただし、特定の条件下では、一部のモジュールはわずかな電流しか流すことができません。

下図5は、2つの同一のPVモジュールのIV曲線を示しています。1つは高い日照度にさらされる(A)、もう一つは低い日照度にさらされる(B)です。

同じ電流が両方のモジュールに適用されるため、インバーターの最大電力点追従制御(MPPT)は、モジュールAの電力点(高放射照度、約8.7A)、モジュールBの作動点(低放射照度、約5.2A)、またはその間の任意のポイントとなります。

8.7Aでは、強いモジュールAが最大電力を生成しますが、弱いモジュールBは完全にバイパスされます(8.7Aに一致するIV曲線上の点はありません)。5.2Aでは、弱いモジュールBはピーク電力ですが、強いモジュールAは最大185Wしか出力できません。Tigoによるモジュールレベルの最適化により、各モジュール(AまたはB)は、ストリング内の他のモジュールとは無関係に、利用可能な最大エネルギーを生成できます。この例の結果は、両方のモジュールから利用可能な電力を合計することにより、3つのオプションすべてについて定量化できます。

8.7Aの場合： $320\text{W} + 0\text{W} = 320\text{W}$

(強いモジュール出力 + 弱いモジュール出力)

5.2Aの場合： $185\text{W} + 190\text{W} = 375\text{W}$

オプティマイズされた場合： $320\text{W} + 190\text{W} = 510\text{W}$
 - 変換効率 (0.5% - 1.5%) = 505W

6.2 出力を低下させるミスマッチ

PVシステムの機器構成のミスマッチは、アレイ内のPVモジュール間のパフォーマンスの差を表します。ミスマッチは、影のないアレイであっても、PVシステムの発電量に大きな影響を与える可能性があります。モジュールの性能が同じでない場合、強いモジュールと弱いモジュールの電力曲線は異なります。インバーターが複数のモジュールに対して単一の動作点を選択する場合、強いモジュールと弱いモジュールの間で妥協が必要です。また、モジュールIVの曲線は1日を通して動的に独立して変化するため、中央のインバーターがアレイからの最大エネルギー収率を達成することはさらに困難になります。

ミスマッチの原因には以下のようなものがあります。

- (1) 雲の影と屈折
- (2) 障害物の影、方位の違い
- (3) 出力交差
- (4) PVモジュール間の温度の違い
- (5) バイパスダイオードの不具合
- (6) PVモジュール表面の汚れ
- (7) ストリング電圧の違い
- (8) PVセルの劣化
- (9) その他部品又は機械的劣化

6.3 Tigoのソリューション

TigoのTS4プラットフォームは、Predictive IV (PIV、特許出願中)、予測IVを利用する唯一のMLPEであり、最高のROIを保証します。Tigoは、各PVモジュールが最大エネルギーを生成できるように、最適な設定を予測する先進的なアプローチを提供します。

6.3.1 予測IV

予測IV (PIV)は、インピーダンスマッチングと長年の研究から進化した最新技術です。予測IVには、MPPTおよびインピーダンスマッチングテクニックに加えて、モジュールの最適な設定を予測して最大エネルギーを生成する過去のモジュールの動作統計が組み込まれています。その結果、より正確なモジュールレベルの最適化が実現し、エネルギー収率が向上します。

6.3.2 インピーダンスマッチング

電池と同様に、PVモジュールは直列に接続されています。すべてのモジュールが同じ量の電力を生成している場合、アレイは最適に発電しています。ただし、1枚のモジュールのパフォーマンスが低い

場合、同一ストリング内の他のモジュールも出力低下します。PV モジュールをパイプと考えると、完全なモジュールには大きなパイプがあり、パフォーマンスの低いモジュールには小さなパイプがあります。一緒に接続すると、細いパイプがアレイを通るエネルギーの流れを制限し、モジュールを加熱することで電力を失います。これにより、大きな電力損失とパネル損傷が発生する可能性があります。それは、図6で表されます。

インピーダンスマッチングテクノロジーは、トンネルを開いて一部の電流がパフォーマンスの低いモジュールをバイパスできるようにすることで、モジュール間のミスマッチを修正します。トンネルの直径は動的であり、必要な量だけ開きます。パフォーマンスの低いモジュールは引き続きストリングにその力を提供しますが、他のモジュールの流れを制限しません。図7ではそのバイパスが表されています。

6.3.3 Tigo のオプティマイジングのまとめ

Tigo TS4 ベースのオプティマイジングは Predictive IV を利用して、変化する条件に迅速に

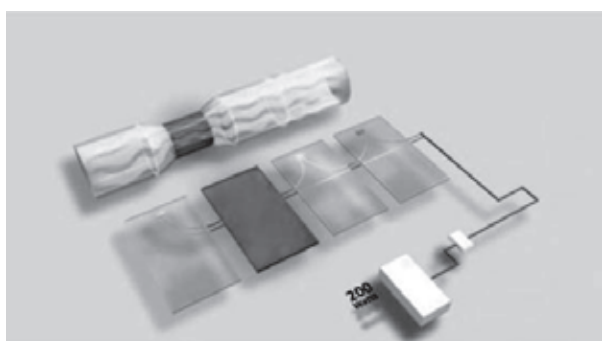


図6 直列に接続された4枚のPVモジュール
そのうち1枚はパフォーマンスが低く、電流を制限

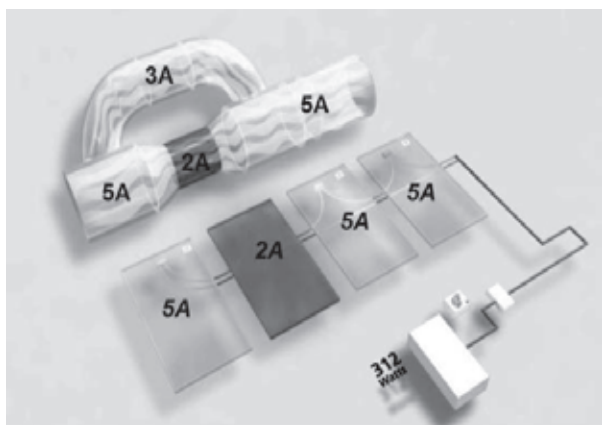


図7 パフォーマンスの低いモジュールを流ることができない電流は、オプティマイザーによってバイパス

対応できるようにします。各モジュールを最適な出力ポイントに戻し、ミスマッチにより失われたエネルギーを回収し、総発電量を増加させます。Tigo の TS4 プラットフォームと予測 IV は、ユニバーサルに使用される従来のインバーターおよびバッテリー充電器の多くと互換性を保ち、回路設計の変更など特定の設計変更を必要としません。そのことから、新しく設置される太陽光発電システムだけではなく、既に稼働中の既設太陽光発電システムにも MLPE を追加設置が可能です。

7. まとめ

MLPE の最も優位性のあるモニタリング、セーフティ、オプティマイジングを用いて、太陽光発電システムの効率化と安全性の向上を実現できます。その MLPE の中でも、Tigo の TS4 プラットフォームは以上に紹介しました精度の高いモニタリング、UL および IEC から認証を取得したセーフティ、ユニバーサルなオプティマイジング機能を用いて実現させています。今後これから新たに設置される太陽光発電システムだけに効率化と安全性の向上を望むのではなく、これまでに設置されたシステムの効率化と安全性の向上を行える Tigo の Flex MLPE は、太陽光発電の持続可能性に於いても有効であると思われま

参考文献

- 1) National Fire Protection Association, NFPA 70R National Electrical CodeR, (2020), USA.
- 2) Tigo Energy Inc., Maximizing Energy Harvest, The Roles of Predictive IV and Impedance Matching in PV Array Optimization, 2-6, California, USA.
- 3) Tigo Energy Inc., Rapid Shutdown Solutions for project developers and asset owners, (Jan. 2020), 1-6, California, USA.

著者略歴



天野啓史 (アマノ ヒロシ)

University of Victoria, Bachelor of Commerce 卒業.

2010年から外資太陽電池モジュールメーカーの国内スタートアップに携わる。2016年より現職、Tigo Energy Inc. の Director of Japan Sales.