

■受領No.1327

## 曲率を有する太陽電池パネルの発電量を最大化するバルンサの開発

代表研究者

鵜野 将年

茨城大学工学部電気電子システム工学科 准教授



## 1. 研究目的

一般的に太陽電池パネルは、10~20枚程度のセルの集合体であるサブストリングの直列接続により構成される。太陽電池パネル内の各サブストリングに電気特性の差異が生じた場合、特性の最も劣るサブストリングによってパネル全体の発電量が著しく低下することがよく知られている。一般的なパネルは平面形状であるため、全てのサブストリングに対する太陽光入射角は等しいため電気特性に大きな差異は発生しない。

近年では太陽光エネルギーの更なる有効活用を目指し、薄膜太陽電池の開発や湾曲面への太陽電池パネルの適用が進められている（図1：プラグインハイブリッド車の屋根に搭載されるパネルの例）。これらは曲率を有する太陽電池パネルであるためサブストリング間には電気特性のばらつきが常に発生し、図2に示すように結果としてパネルの発電量は実面積と比して大幅に低くなってしま（季節にもよるが、湾曲により太陽電池パネルの発電量は30%程度低下する）。

本研究では、曲率を有する太陽電池パネルにおいて、サブストリングの電気特性を擬似的に均一化させることが可能なサブストリングバルンサ（以降、バルンサ）を開発する。バルンサは基本的には電力変換器（DC-DCコンバータ）であり、電気特性の劣るサブストリングに対して他のサブストリングからバルンサを介して電力伝送を行うことで擬似的に全てのサブストリングの電気特性

（もしくは発電量）を均一化させる（図3）。しかし、一般的な電力変換器はトランス等の大型部品を有するため、バルンサの適用により湾曲パネルやフレキシブルパネルの形状自由度が損なわれることになってしまう。本研究では、フレキシブルトランス（FT: Flexible Transformer）を用いることで太陽電池パネルの形状自由度を最大限に活かすことが可能なフレキシブルバルンサを開発する。

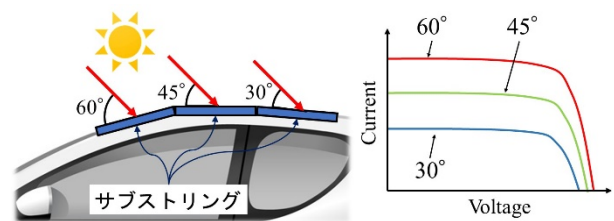


図1. 車体屋根に搭載された太陽電池パネルと各サブストリングの電気特性ばらつき

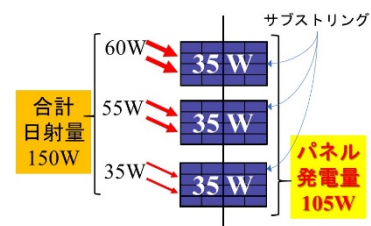


図2. 特性不均一による発電量低下

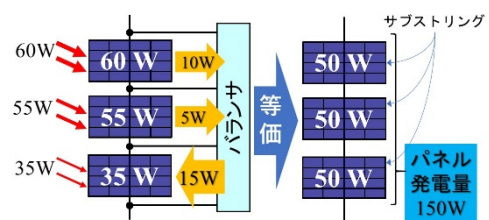


図3. バルンサによる電気特性の擬似的均一化

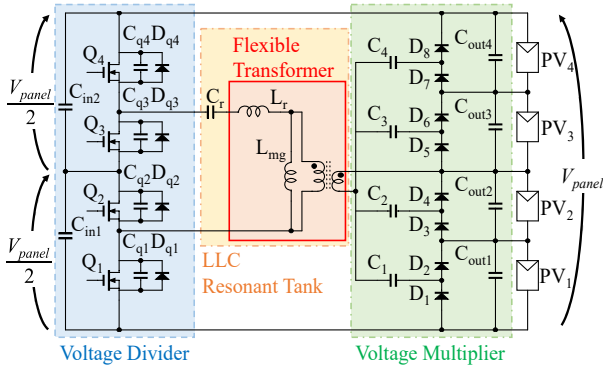


図 4. 本研究で開発するフレキシブルバランス

## 2. 研究内容

インタリーブモードで動作する分圧回路 (VD: Voltage Divider) を備えた LLC 共振型インバータと倍電圧整流回路 (VM: Voltage Multiplier) から構成される提案バランスを図 4 に示す。VD の動作により LLC 共振タンクへの印加電圧をパネル電圧の半分に低減しつつ、インタリーブ動作により共振回路の駆動周波数を 2 倍に高周波化する。一般的に、コアを有しない FT の励磁インダクタンスは小さいため、電圧印加時に大きな励磁電流が流れ銅損が増加する傾向にある。それに対して、提案バランスにおけるインタリーブ動作の VD による印加電圧の半減と高周波化により励磁電流を小さく抑えることが可能である。LLC 共振形インバータで生成された交流電圧により VM が駆動することで全サブストリングの電圧は自動的に均一化される。このとき、特性の劣るサブストリングに対してバランスから自動的に電流が供給されることで電気特性ばらつきが解消される。

コアレスである FT では励磁インダクタンス  $L_{mg}$  が低く、励磁電流の増加に伴う損失を抑えるために高周波動作が必須である。しかし、高周波化には表皮効果や近接効果による損失増加が予想されるため、発熱を考慮した設計が必要不可欠になる。

駆動周波数 600 kHz を目指し、 $L_{mg}$  が 10  $\mu\text{H}$ 、実効電流 1.0 A において発熱が 60°C 以下となるよう銅箔を太くすることで抵抗値を下げつつ、パターン間を広くとり近接効果を抑えるよう FT の設計を FEMTET® を用いて行った。試作した FT を図 5 に

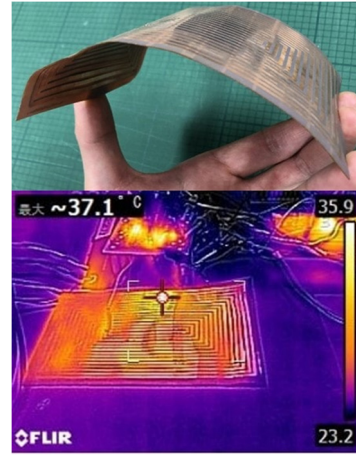


図 5. フレキシブルトランス

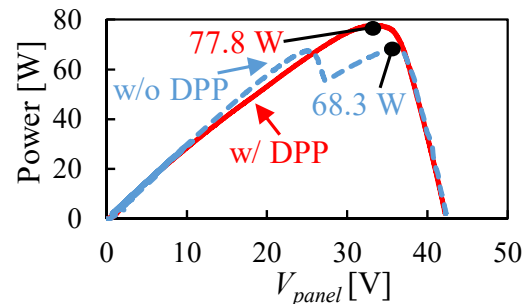


図 6. フレキシブルバランスによる発電量向上

示す。巻数比は 13:7、サイズは 15×10 cm である。 $L_{mg} = 10.5 \mu\text{H}$ 、漏洩インダクタンス  $L_r = 1.38 \mu\text{H}$ 、1 次と 2 次の巻線抵抗はそれぞれ 2.85 と 0.68  $\Omega$  であった。実効電流 1.0 A において最大発熱は約 37°C であり、仕様を満足することができた。

FT を用いて、4 直列のサブストリングで構成されるフレキシブルパネルを想定した実機検証を行った。短絡電流 3.0 A の PV2–PV4 に対して PV1 に約 33% の電流低下が生じた状況を模擬した。図 6 に取得した電力-電圧特性を示す。バランスにより最大電力点は 1 点に収束し、発電量は 68.3 W から 77.8 W へと 13.9% 向上したため、提案バランスの有効性が示された。

## 3. 発表 (研究成果の発表)

1. 相川慧人、鶴野将年、湾曲太陽電池パネル用フレキシブル補償器に関する研究、電気学会茨城支所研究発表会 (日立シビックセンター、2018

年)、IBK-18-079、 pp. 100.

2. 相川慧人、鵜野将年、湾曲太陽電池パネルの特性ばらつきを解消するフレキシブルトランスを用いた補償器の開発、電気学会全国大会（北海道科学技術大学、2019 年）