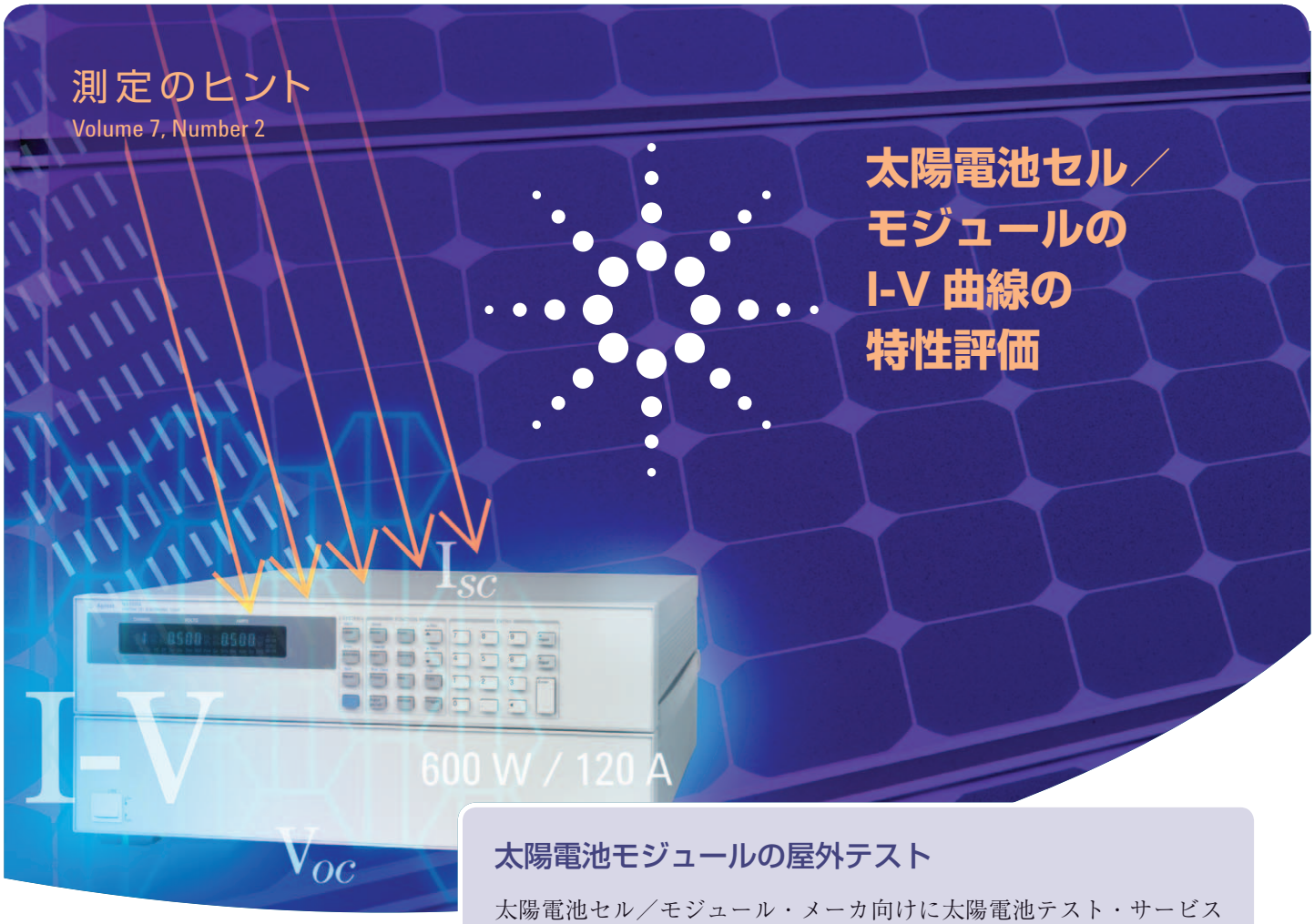
測定のヒント
Volume 7, Number 2

太陽電池セル／モジュールの I-V 曲線の特性評価

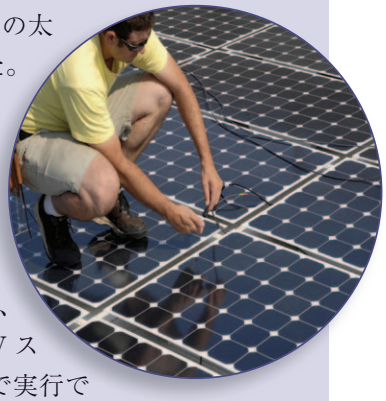


太陽電池産業の急激な成長により、太陽電池セル／モジュールの I-V 曲線の特性を迅速かつ正確に捕捉するためのテスト／測定ソリューションの必要性が高まっています。太陽電池テクノロジーは、住居／民生／軍事用のアプリケーションで使用され、開発される太陽電池セル／モジュールのパワー・レベルや変換効率もさまざまです。また、テストも研究、品質保証、製造の各段階で行われ、それぞれに測定速度、測定確度のニーズや、捕捉すべきデバイス特性の範囲が異なります。このような多様性のために、太陽電池テストに使用可能な電子計測ツールを熟知し、それぞれの利点や制約を理解しておくことが重要です。

この測定概要では、I-V 曲線の特性評価に使用できるさまざまな電子計測ツールについて説明し、太陽電池セル／モジュールの測定ニーズに最適な測定器を選択するためのヒントを提供します。

太陽電池モジュールの屋外テスト

太陽電池セル／モジュール・メーカ向けに太陽電池テスト・サービスを提供している国立研究所で、太陽電池モジュールの屋外テストを行うことになりました。テストは、屋外で実行されるので、堅牢で持ち運びが簡単な測定ソリューションが必要でした。研究所では、さまざまな出力パワーのモジュールをテストしていたので、「マルチボックス」ソリューションを回避するために、広いパワー・レンジを備えたテスト・ソリューションが必要でした。モジュールの出力パワーは、小さいもので 30 W、大きなものだと 500 W でした。研究所は、Agilent の N3300 電子負荷を採用して、顧客の太陽電池モジュールの特性評価を行いました。N3300 シリーズの電子負荷は、最大 600 W を処理でき、最大 120 A を 1 チャネルでシンクでき、このパワー処理能力は広い温度範囲で仕様化されています。N3300 の特長により、さまざまな天候条件下での屋外テストが可能になりました。また、研究所では、N3300 内蔵のリスト機能を使用して、100 V ステップを超えるステップ変化を 1 秒足らずで実行できました。



Agilent Technologies

I_{sc} から V_{oc} までの I-V 曲線の特性評価

太陽電池セルを短絡電流（I_{sc}）から開放電圧（V_{oc}）まで評価するには、V_{oc} をカバーして I_{sc} をシンクできる電圧レンジが必要です。I-V 曲線の特性評価は通常、電圧を I_{sc} から V_{oc} にステップ変化させることにより、行われます。電子負荷または 2 象限 DC 電源を使用して、各電圧ステップで電流を測定します。

- **電子負荷の使用：**

  定電圧モードで電子負荷を使用して、ある電圧範囲で電圧をステップ変化させながら、各電圧ステップで電流を測定します。電子負荷が太陽電池モジュールの特性評価用の優れたソリューションである理由は、2 象限 DC 電源よりも最大パワー・レンジが大幅に広いからです。例えば、Agilent の N3300 電子負荷は、3 個の各チャネルでは 600 W、3 個のチャネルを結合すると 1800 W をシンクできます。I-V 曲線の特性評価に電子負荷を使用する際の制約は、0 V まで電流をシンクできないことです。通常、電子負荷の最大電流シンク能力は、約 3 V で低下し始めます。

- **2 象限 DC 電源の使用：**

  ここでは、2 象限 DC 電源を、正および負の電圧の電源ではなく、電流のソースとシンクが行える電源と考えます。2 象限 DC 電源は、一般的にパワー・レンジが大きな電子負荷を備えていません。しかし、0 V で電流をシンクでき、多くの場合、電子負荷よりも測定確度が優れています。Agilent 6611C-14C および 6631B-34B の 2 象限 DC 電源は、太陽電池セル／モジュールの I-V 曲線の特性評価に最適なソリューションです。ハーフ・ラック・サイズの 6611C-14C DC 電源は、最大 3 A の電流を、フル・ラック・サイズの 6631B-34B ファミリでは最大 10 A の電流をシンクすることができます。

太陽電池セルの特性評価の実行

研究や品質保証テストでは、多くの場合、明状態で I-V 曲線を評価することと、暗状態でセルの逆バイアス特性を捕捉することが必要です。

明状態でのセルの I-V 曲線からは、セルの変換効率や最大パワー・ポイントなどのパラメータが得られます。暗状態での逆バイアスの太陽電池セルのテストでは、セルの並列抵抗やブレークダウン領域などのパラメータが得られます。

太陽電池セルの特性を評価するには、4 象限 DC 電源が最適です。4 象限電源では、電流のシンクとソースが行え、正および負の電流を出力できるので、1 台でセルを完全に評価できます。例えば、Agilent U2722A 電源／測定ユニットは、3 チャネル（パラレル動作）の 4 象限 DC 電源で、高確度の測定機能を内蔵しています。U2722A の電圧レンジは ±20 V で、最大シンク／ソース電流は 120 mA です。

測定のヒント

市販の 4 象限電源を、太陽電池セルのテストに使用する場合は、高価なことと最大電流が小さいことの 2 つが制約になります。このため、2 象限 DC 電源とスイッチとを併用したり、2 象限 DC 電源のペアを反直列接続して、4 象限電源をシミュレーションすることができます。いずれの方法も、4 象限 DC 電源の動作を模倣しますが、それぞれに制約があります。

2 象限電源とマトリクス・スイッチの使用

2 象限電源は、4 象限電源のように負の電圧を発生できませんが、スイッチを使用して 4 象限電源と同じように使用することができます。**図 1A** と**図 1B** は、太陽電池セルを評価するための、2 象限 DC 電源とマトリクス・スイッチを使用したテスト・セットアップを示しています。

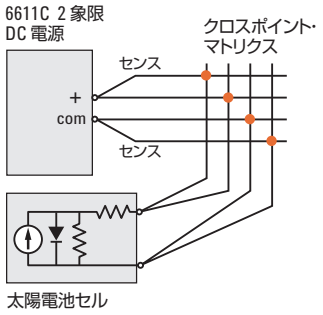


図 1A. 太陽電池セルの I-V 曲線を評価するための、太陽電池セルの電気特性評価テストのセットアップ

図 1A では、マトリクス・スイッチを使用して、DC 電源の出力リードと外部センス・リードを太陽電池セルに接続しています。マトリクスの各交点は、マトリクスの行と列の接続を表しています。図 1A は、太陽電池セルの I-V 曲線を捕捉するための DC 電源とマトリクス・スイッチの構成を示しています。このセットアップでは、DC 電源は、正の電圧を、負（シンク）および正（ソース）の電流とともに太陽電池セルに供給できます。

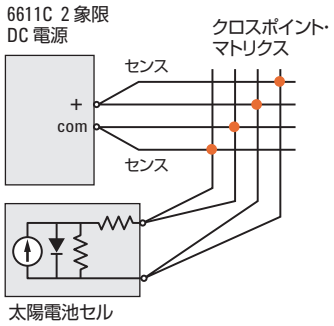


図 1B. 太陽電池セルの逆バイアス電気特性を評価するための、太陽電池セルの電気特性評価テストのセットアップ

図 1B の DC 電源とマトリクス・スイッチの構成では、負の電圧を、負および正の電流とともに太陽電池セルに供給して、逆バイアスの電気特性を評価することができます。

図 1A および図 1B のシンプルなセットアップで、2 象限 DC 電源とマトリクス・スイッチを、4 象限電源の代わりに使用できます。ただし、この場合は、スイッチング中に、DC 電源と被試験太陽電池セルとの間に瞬断が生じます。テスト・プランで、スイッチング時のこの瞬断を許容できることが必要です。Agilent のほとんどの DC 電源に、この内蔵スイッチング機能をオプションで搭載することができます。

反直列接続での２象限 DC 電源の使用：

２台の２象限電源を反直列接続することにより、セル／モジュールの開放電圧以上の電圧から完全な逆極性までの電圧を瞬断なく変化させることができます。２台の電源の負の端子は互いに接続し、各電源の正の端子は被試験太陽電池デバイスに接続します。**図２**は、太陽電池セルを評価するために、２台の Agilent 6631B 電源を反直列に接続した状態です。電源１の正の端子は、太陽電池セルの正の端子に接続されています。電源２の正の端子は、太陽電池セルの負の端子に接続されています。このように、２台の電源と太陽電池デバイスを反直列構成で接続すると、４象限動作を実現できます。電源１で電流を供給しているときに、電源２は電流をシンクします。逆に、電源２が電流を供給しているときに、電源１は電流をシンクします。太陽電池セルが明状態の場合は、電源１は０Ｖから Voc までプログラミングされ、太陽電池が発生する電流をシンクします。電源２は、０Ｖにプログラミングされ、そのまま維持されます。デバイスが暗状態で、セルの全電圧が０Ｖよりも大きい場合は、電源１が電流を供給し、電源２が電流をシンクします。デバイスが暗状態で、セルの全電圧が０Ｖよりも小さい場合は、電源２が電流を供給し、電源１が電流をシンクします。

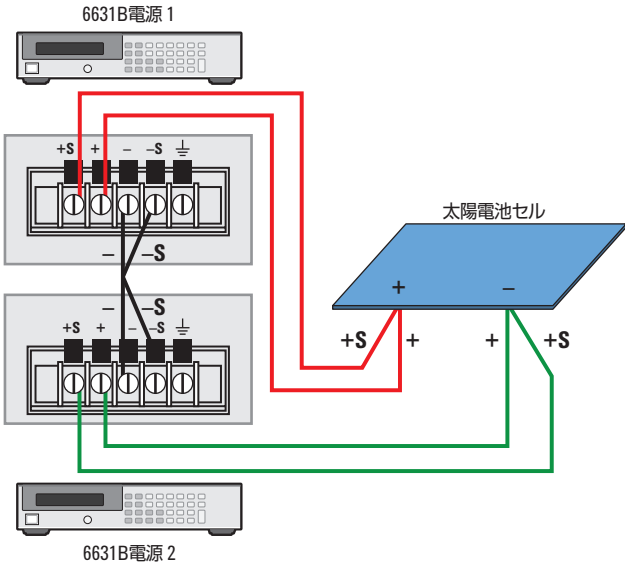


図２．反直列接続された２台の２象限 DC 電源

２台の２象限 DC 電源を反直列に接続して、太陽電池セルを評価する場合の詳細については、アプリケーション・ノート『Agilent 663XB Power Supplies Connected in Anti-Series to Achieve Four Quadrant Operation for Solar Cell and Module Testing』を参照してください。

測定確度の向上

太陽電池セル／モジュール・テストに使用する電子負荷と DC 電源の測定確度が不十分な場合は、デジタル・マルチメータ（DMM）をセットアップに追加して測定確度を向上させることができます。代表的なセットアップでは、電源電圧、太陽電池セル／モジュールの電流、基準セルの電流の３種類の主要な測定を DMM で実行します。電流測定は、DMM を出力電流に直列接続して行います。この他に、精密シャントを出力電流に対して直列に接続して、電流測定を行う方法もあります。DMM で、シャントの両端で電圧降下を測定します。シャントの抵抗値と測定した電圧値から、DUT の出力電流を求めることができます。この方法では、シャントの値を選択できるので、DMM で使用する測定レンジを制御できる利点があります。また、シャントを使用すれば、DMM を DUT に近接させて使用する必要がなく、DMM の電圧検出性能を活用することができます。

測定のヒント

DMM による測定は、１台の DMM といくつかのスイッチを使用する方法と、複数台の DMM を使用するコストが高い方法の２つの方法があります。光源が点滅する場合は、１台の DMM を使用する方法では問題が生じます。点滅している場合は、電流測定が同時に行われないと、基準セルと DUT での光の輝度が異なってしまい、測定の不確かさがテストに追加されます。光の点滅による不確かさを解決するには、基準セルと DUT の各測定で DMM が必要です。複数台の DMM による同時測定を確実に実行するには、各 DMM の外部トリガを使用して測定にトリガをかけます。

Agilent デジタル・マルチメータ

Agilent は、個別の太陽電池テスト要件に適合できるように、さまざまな確度、測定速度、価格の DMM を提供しています。

	34401A	34410A	34411A	3458A
分解能	6 1/2 桁	6 1/2 桁 デュアル・ディスプレイ	6 1/2 桁 デュアル・ディスプレイ	8 1/2 桁
基本 DC 確度	35 ppm	30 ppm	30 ppm	8 ppm
最大測定回数 /s	1,000	10,000	50,000	100,000

まとめ

多くの太陽電池アプリケーション／テクノロジーが現在、市場に普及しており、太陽電池セル／モジュールのパワー／電流範囲もさまざまです。太陽電池テストに必要な速度、確度、測定は、製品開発の段階やアプリケーションによって異なります。パラメータやテスト要件がさまざまなため、太陽電池テストのニーズに最適なテスト機器の選択は、非常に困難です。この「測定のヒント」では、使用可能なさまざまなソリューションの情報や有用なヒントを提供し、太陽電池テスト・ソリューションのセットアップを支援します。

Agilent の太陽電池セル・テスト製品ファミリの詳細については、以下のサイトをご覧ください。
www.agilent.co.jp/find/solarcelltest

アジレント・テクノロジー株式会社
本社〒192-8510 東京都八王子市高倉町 9-1

計測お客様窓口
受付時間 9:00-18:00（土・日・祭日を除く）

TEL ■■ 0120-421-345
(042-656-7832)
FAX■■ 0120-421-678
(042-656-7840)
Email contact_japan@agilent.com
電子計測ホームページ
www.agilent.co.jp

● 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

© Agilent Technologies, Inc.2009

Published in Japan, July 24, 2009
5990-4050JAJP
0000-00DEP

Agilent Technologies