

バイパスダイオードテスタ FT4310

三木 昭彦^{*1}

要 旨

バイパスダイオードテスタ FT4310は、太陽電池モジュールに接続されたバイパスダイオード(BPD)の開放故障と短絡故障を検出できる測定器である。ここに製品の特長と構成について解説する。

1. はじめに

太陽光発電システムが普及し始めたころ、太陽電池はメンテナンスフリーであると言われていた。しかし、メンテナンスをしないと発電効率が低下し、予定した売電収入を得ることができないことが、最近では認識されつつある。また、太陽光発電システムの安全性についても見直されている。太陽光発電システムの運用を誤ると危険な状態になり、最悪の場合は火災などの災害を引き起こすおそれがある。この発電効率の維持と安全性の確保のために保守点検のガイドラインも整備されており、ガイドラインに基づいた点検が必要とされている。¹⁾

このような背景から、太陽光発電システムの安全性を確保するツールとしてバイパスダイオードテスタ FT4310 を開発した。

2. 概要

FT4310 は、太陽電池モジュールに接続された BPD の開放故障と短絡故障を簡単に検出できる測定器である。

BPD は、太陽電池モジュールにおいて、部分影または故障により発電できなくなった太陽電池セルを避けて、発電された電流を流す機能を持った部品である。この部品は、太陽電池モジュール全体の発電量の低下を抑える役割と、発熱による火災を防ぐ安全上重要な役割を担っている。

太陽電池モジュールは、図 1 に示すように太陽電池セルを直列に接続した構造であることが多く、BPD は複数の太陽電池セルと並列に接続されている。図 2 のように発電しない太陽電池セルが 1 つ存在した場合、BPD がある状態では、太陽電池モジュール全体に流れる電流が、発電しない太陽電池セルを迂回して BPD に電流が流れる。それに対し、図 3 のように BPD がいない状態(開放故障)では、発電しない太陽電池セルは抵抗体となり、該当の太陽電池セルで太陽



FT4310 の外観

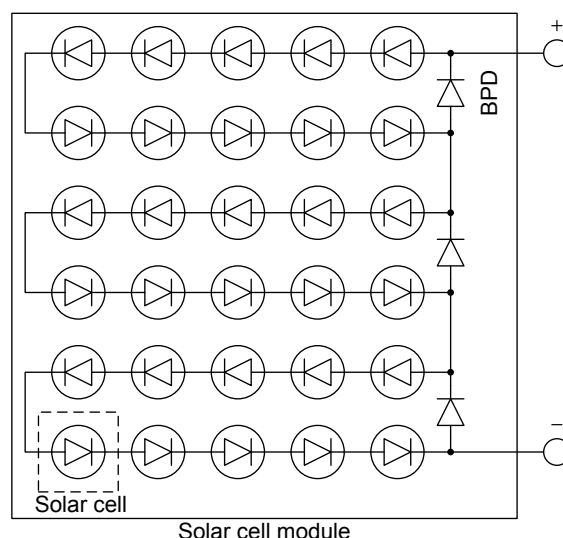


図 1 太陽電池モジュールの等価回路

電池モジュール全体に流れる電流が自己消費される。そのため、太陽電池モジュール全体の発電量は低下し、最悪の場合は発熱による火災が発生するおそれがある。

また、BPD が短絡故障の場合は、太陽電池モジュ

*1 技術2部 技術5課

バイパスダイオードテスタ FT4310

ール全体に流れる電流が故障した BPD に常時流れ、開放故障と同様に発電量の低下や火災のおそれがある。

しかし、今までは BPD の故障を簡単に測定する方法がなかったため、BPD はほとんど検査されていなかった。そこで、BPD の故障状態を簡単かつ素早く検出できることをコンセプトとして FT4310 を開発した。

3. 機能・特長

3.1 測定機能

FT4310 には、BPD の開放故障と短絡故障の判定に必要なすべての項目を検出できる BPD TEST モードと、BPD の短絡故障の検出に特化した V_{OC} モードの、2 つの測定モードがある。

BPD TEST モードでは、1 回の検査で太陽電池モジュールの開放電圧(V_{OC})、短絡電流(I_{SC})、およびバイパスルート抵抗(R_{BPR})の 3 項目の特性を見ることができる。 R_{BPR} は太陽電池モジュールの配線抵抗を含むバイパスルートの抵抗である。BPD の開放時には、この値がオープン表示になるため、開放故障を検出できる。また、抵抗値を把握することで、太陽電池モジュール接続部の接触不良と BPD の劣化を検出できる。同じ種類の太陽電池モジュールの V_{OC} を比較すれば、短絡故障も検出できる。なお、1 回の測定に要する時間は 2 秒以下である。

V_{OC} モードでは、基準値と比較しながら V_{OC} を測定できるため、BPD の短絡故障を容易に検出できる。また、太陽電池モジュールの V_{OC} 測定に特化しているため、測定時間は BPD TEST モードの半分の 1 秒以下である。

BPD TEST モードと V_{OC} モードともに太陽電池モジュール単位での測定はもちろんのこと、太陽電池モジュールを直列に接続したストリング単位でも測定できる。

また、2 つの測定モード以外に、ユーザが FT4310 を安全に使うことができるように、FT4310 の内部回路の異常を確認できる SELF CHECK モードがある。FT4310 は最大で DC 1000 V、12 A の太陽電池システムを測定できる。入力される電圧と電流が大きいため、FT4310 本体の方が一の故障に備えて、このモードを用意した。

3.2 昼夜問わず測定可能

太陽電池モジュールは日射下で電圧を発生

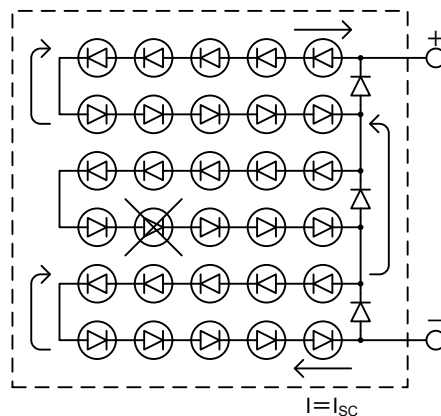


図2 太陽電池モジュール(BPDがある場合)

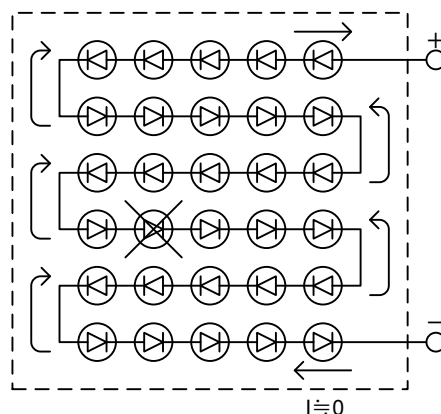


図3 太陽電池モジュール(BPDがない場合)

する。そのため今までは、BPD の開放故障を検出するには太陽電池モジュールを遮光して測定するか、または夜間に測定する必要があった。FT4310 は世界初の技術により日射下でも太陽電池モジュールを遮光せずに開放故障した BPD を検出できる。また、接続箱に FT4310 を接続して使用するため測定も簡単である。

3.3 Bluetooth®通信機能

スマートデバイス用アプリケーションの GENNECT Cross または GENNECT Field を使用することで、ユーザの携帯端末に測定データを送信できる。さらに、送信データに基づきその場で報告書を簡単に作成できる。

4. 測定原理

4.1 BPD 開放故障検出

太陽電池はフォトダイオードの一種であり、定電流源に例えることができる。図4で示すように、太陽電池に流れる I_{SC} の大きさは日射量だけに依存する。さ

らに、図 5 で示すように外部から電圧を印加しても回路に流れる電流(I)は増加しない。この太陽電池が持つ特性を利用して、FT4310 は BPD の開放故障を検出している。

FT4310 は最初に太陽電池モジュールの P(+)端子と N(-)端子間を短絡し、回路に流れる I_{SC} を測定する。次に I_{SC} より大きな電流($I_{SC}+I\alpha$)を太陽電池に印加し、そのときに回路に流れる電流(印加電流)を測定する。BPD がない場合は太陽電池によって電流が制限されるため、印加電流はほぼ I_{SC} である。一方、図 6 に示すように、BPD がある場合は I_{SC} よりも大きな電流($I\alpha$)は BPD を通って流れるため、印加電流はほぼ $I_{SC}+I\alpha$ である。このことから、太陽電池モジュールに外部から電圧を印加し、印加電流が I_{SC} より大きいか否かを見ることにより、BPD が開放しているかどうかを判断できる。

式(1)は BPD が開放故障していることを、式(2)は BPD が故障していないことを示す。

$$I \doteq I_{SC} \dots\dots\dots (1)$$

$$I = I_{SC} + I\alpha \dots\dots\dots (2)$$

表 1 に実測例を示す。 I_{SC} よりも大きな電流が流れるか否かで判断するため、太陽電池モジュールの発電状況に関係なく判断できる。よって、どのような日射条件でも、さらに夜間でも検査できる。なお、FT4310 では $I\alpha = 1 \text{ A}$ としており、太陽電池モジュールに負荷を掛けることなく検査できる。

表 2 に、正常な太陽電池モジュールを日射量が異なる 2 つの条件で測定した結果を示す。日射条件が異なっても印加電流は I_{SC} に 1 A を加算した電流値になっていることがわかる。もし BPD が開放故障している場合、印加電流はほぼ I_{SC} と等しくなるため、日射条件が変わっても BPD の開放故障を検出できる。

4.2 BPD 短絡故障検出

BPD が短絡故障すると、図 7 に示すように太陽電池の該当する部分が発電に寄与できなくなる。よって、ほかの太陽電池モジュールと比較して出力電圧が低い。FT4310 は BPD が短絡することで生じる電圧の差を検出することで、BPD の短絡故障を検出している。 V_{OC} モードには比較モードを実装し、このモードで最初に測定した太陽電池モジュールの電圧を基準値として、その電圧との差を比較して検出できるようにしている。

4.3 R_{BPR} 測定

FT4310 は BPD TEST モードで R_{BPR} も測定する。

バイパスダイオードテスタ FT4310

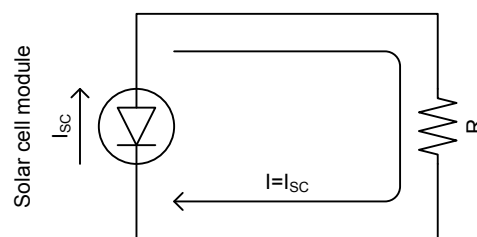


図 4 太陽電池の特性

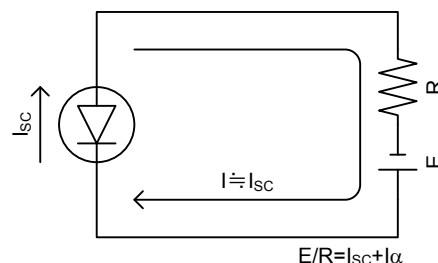


図 5 太陽電池の特性(外部電源接続, BPD なし)

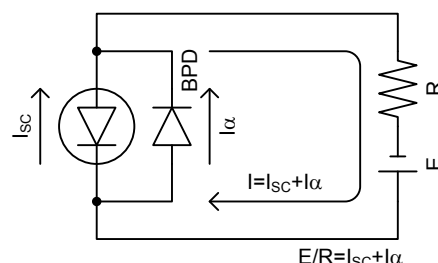


図 6 太陽電池の特性(外部電源接続, BPD あり)

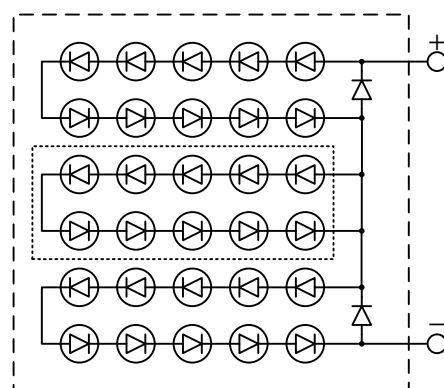


図 7 太陽電池モジュール(BPD 短絡故障)

表 1 太陽電池モジュールの測定結果

BPD の状態	V_{OC} [V]	R_{BPR} [Ω]	I_{SC} [A]	$I_{SC} + I\alpha$ [A]
正常	565	2.1	1.0	2.0
開放故障	554	OPEN	1.0	1.0

表 2 太陽電池モジュールの短絡電流と印加電流

日射量	短絡電流 I_{SC} [A]	印加電流 I [A]
低い(曇り)	0.3	1.3
高い(晴れ)	8.1	9.1

バイパスダイオードテスタ FT4310

これにより、太陽電池モジュール接続部の接触不良とBPDの劣化を簡易的に検出できる。

図8に太陽電池モジュールの直列抵抗を含めた等価回路を示す。FT4310で測定できる R_{BPR} とは、図中の太陽電池モジュール全体の直列抵抗(R_S)とBPDの経路に入る直列抵抗(R_{BD})とを足し合わせた抵抗である。なお、 R_S には太陽電池モジュールの配線抵抗と接続部の接触抵抗が含まれ、 R_{BD} にはBPDの内部抵抗が含まれる。図8において、 $I_{SC} + I\alpha$ が流れたときの+極と-極との間の電圧を V とすると、次の式(3)が成り立つ。

$$V = (I_{SC} + I\alpha) \cdot R_S + I\alpha \cdot R_{BD} + n \cdot V_F \dots\dots\dots (3)$$

ここで $I\alpha$ の値を $I\alpha 1$ と $I\alpha 2$ に変変させて V を2回測定する。 $I\alpha 1$ を印加したときの電圧を V_1 、 $I\alpha 2$ を印加したときの電圧を V_2 とする。ただし、日射量の変化はなく、 I_{SC} が一定とすると、次の式(4)と式(5)が成り立つ。式(4)と式(5)から式(6)が算出され、 R_{BPR} を求めることができる。

$$V_1 = (I_{SC} + I\alpha 1) \cdot R_S + I\alpha 1 \cdot R_{BD} + n \cdot V_F \dots\dots\dots (4)$$

$$V_2 = (I_{SC} + I\alpha 2) \cdot R_S + I\alpha 2 \cdot R_{BD} + n \cdot V_F \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{V_1 - V_2}{I\alpha 1 - I\alpha 2} = R_S + R_{BD} = R_{BPR} \dots\dots\dots (6)$$

太陽電池モジュール接続部の接触不良が起きると R_S は大きくなる。また、BPDが劣化してくると内部抵抗が変化することがある。よって、同じ種類の太陽電池モジュールを複数検査し、 R_{BPR} の値を比較することで、太陽電池モジュール接続部の接触不良およびBPDの劣化を検出できる。

5. 構成

5.1 ハードウェア構成

(1) 概略

図9にブロック図を示す。FT4310の測定部は、電圧発生部、電流検出部、および電圧検出部で構成されている。

(2) 電圧発生部

「4. 測定原理」の項で説明したとおり、太陽電池モジュールの I_{SC} より大きな電流を発生できる電流源が必要である。これを実現するため、FT4310ではコンデンサの放電電流を使用している。コンデンサに充電した電荷を短時間で放電することにより大電流を得ている。たとえば、出力定格が10Aの太陽電池モジュールを測定するためには大容量の電源が必要になるため、一般的には外形寸法が大きくなり携

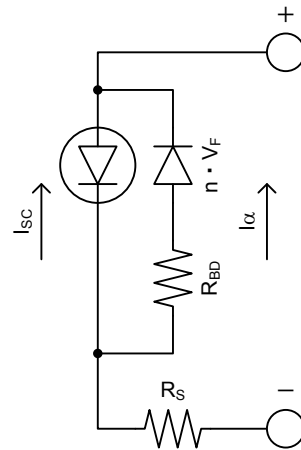


図8 太陽電池モジュールの直列抵抗

帯性を欠くことが多い。しかし、FT4310は電流源にコンデンサを用いることで、測定器の小型化を実現している。小型でありながら、出力定格が12Aまでの太陽電池モジュールを測定できる。

また、太陽電池モジュールに印加する電流を $I_{SC} + 1A$ かつDC 100V以下に制限している。印加信号を制限しているため、太陽電池モジュールに負荷を掛けることはない。

(3) 電流・電圧検出部

電圧発生部にコンデンサを使用しているため、印加される電流と電圧は過渡的な応答を示す。よって、電流検出と電圧検出の両方にピークホールド回路を実装することで、電流と電圧の測定を実現している。

5.2 ソフトウェア

(1) 自動ホールド機能

測定ごとに測定スイッチを押して測定するのでは必要以上の作業時間を要する。そこで、テストリードを測定対象に接続して太陽電池モジュールの電圧を検出すると、自動でバイパスルートを測定する自動ホールド機能を設けた。測定が終了すると自動で測定値の表示を維持するため、多点計測が必要である現場において迅速な作業を実現できる。

(2) スマートデバイス用アプリケーション

FT4310は、すでに配信されているスマートデバイス用アプリケーション、GENNECT Cross または GENNECT Field に対応している。これらのアプリケーションは Android™ 4.3 以上の Android 端末および iOS 10 以上の iOS 端末に対応している。

GENNECT Cross は無償で提供されており、測定器からの測定値保存、現場写真、手書きメモなどと結合してPDFレポートを作成できる。また、FT4310を

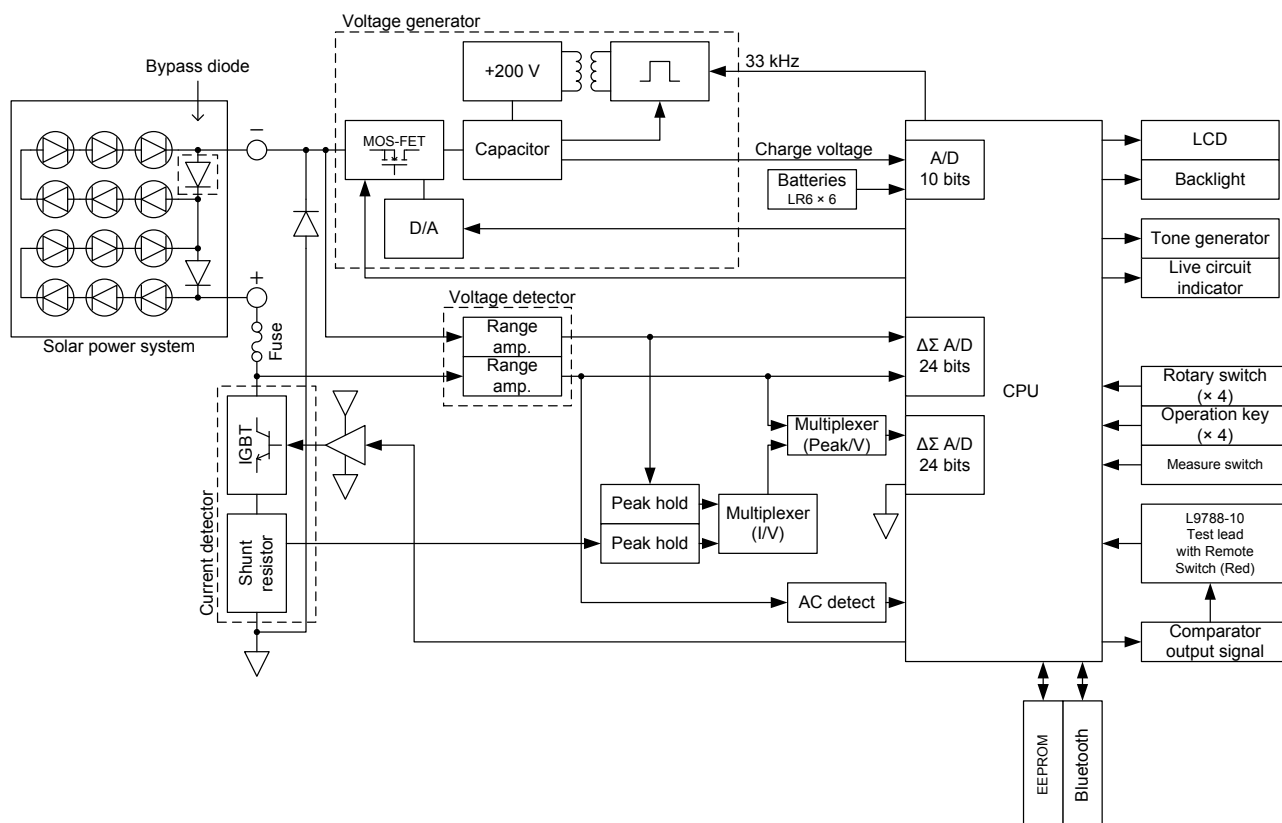


図9 ブロック図

含めて最大 8 台の測定器を同時に接続できる。リアルタイムで測定値を観測できるだけでなく、接続している測定器がホールドされると測定値を保存できる自動保存機能を提供している。この機能では、FT4310 の自動ホールド機能と組み合わせることで、FT4310 とスマートデバイスのいずれにも触れることなく測定値を保存できる。

(3) 短絡電流比較機能

「4. 測定原理」の項で説明したとおり、BPD TEST モードでは太陽電池モジュールに2回電流を印加することで R_{BPR} を算出している。測定原理では I_{SC} を一定として仮定説明したが、実際には雲の流れや何らかの影響で I_{SC} が変化することもある。日射量が急変すると R_{BPR} 値に影響を及ぼすため、 I_{SC} の変動が一定以上の値になった場合は、LCD 上の R_{BPR} 表示を点滅させている。表示値を点滅させることで、測定に異常があったことがわかるようになっている。

5.3 構造

(1) 本体

図 10 に FT4310 の構造を示す。

メガソーラなどの規模が比較的大きな太陽光発電システムでは、接続箱が点在している。よって、FT4310 を使用する際は測定と持ち運びを繰り返す

ことが想定された。そこで、持ち運びが簡単で測定中は首に掛けることができ、本体が手に収まるように小型化した。

また、屋外で使用されるため耐熱性や耐落下性を考慮した。感電防止のため筐体の外装部分にはプラスチックを使用している。さらに、1 m の高さから落下させても十分に耐えられるよう、本体内部には一部に板金部品を使用して強度を高めている。なお、外装には耐熱性が高く、強度も強い PPE を使用している。

(2) 携帯用ケース

図 11 に携帯用ケース C0206 の外観を示す。C0206 は FT4310 に標準で付属しており、本体および付属品を収納できる。測定後は使用したテストリードを本体に接続したまま収納できるよう構造を考慮した。

首掛け用のベルトは4点支持構造とした。これにより安定した状態で首に掛けることができ、測定中は、両手で測定プローブを被測定物に確実に接触させることができる。

バイパスダイオードテスタ FT4310

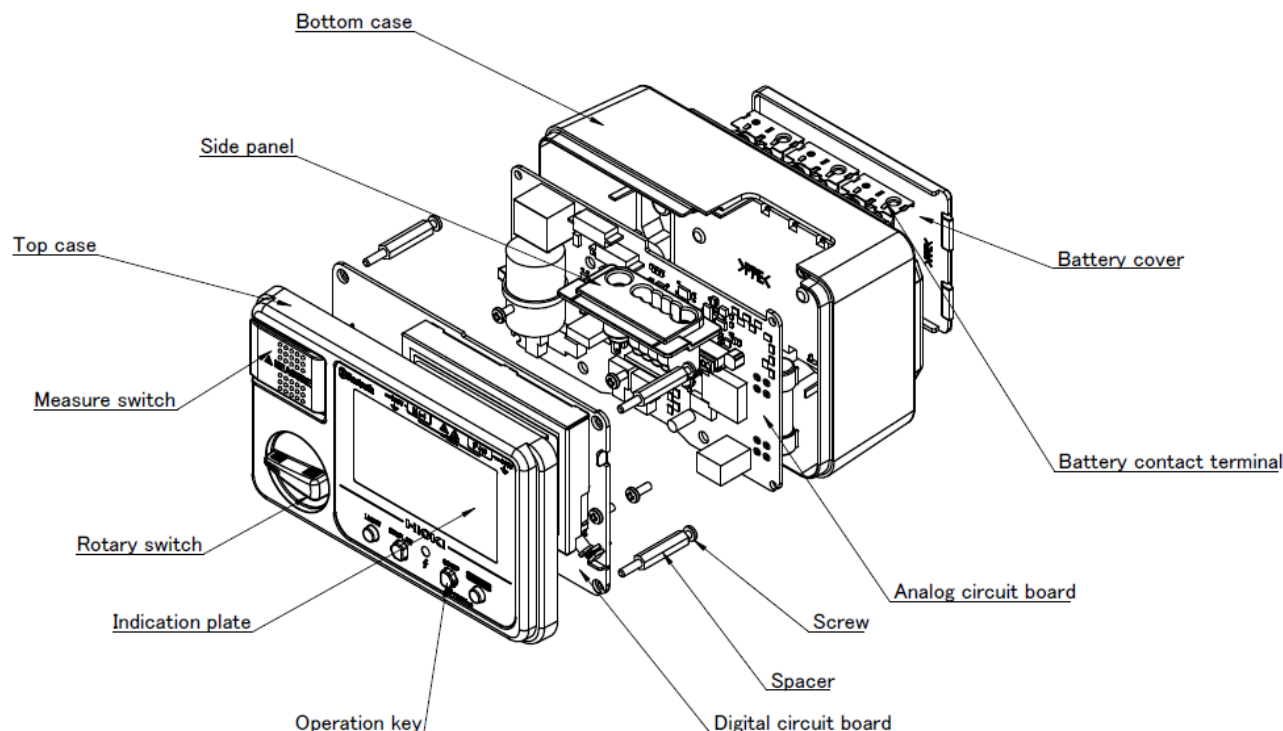


図 10 本体構造

6. おわりに

FT4310 は、太陽電池モジュールに接続された BPD の開放故障と短絡故障を簡単に検出できる測定器である。太陽光発電システムを安全に運用するために、広く活用されることを期待する。

姫野 秀徳^{*2}，ムハメド ムサディック^{*3}

参考文献

- 1) 一般社団法人日本電機工業会・一般社団法人太陽光発電協会，太陽光発電システム保守点検ガイドラインJM16Z001 (2016)
- 2) 樋口昌男：昼夜を問わない太陽電池ストリングのバイパスダイオード開放故障検出，2016年電気設備学会全国大会講演論文集，221/222，一般社団法人電気設備学会 (2016)

商標

- Bluetooth®は Bluetooth SIG, Inc. の登録商標です。日置電機株式会社はライセンスに基づき使用しています。
- Android は Google, Inc. の商標です。
- iOS は，Cisco の米国およびその他の国における登録商標です。



図 11 C0206 の外観

*2 技術2部 技術5課

*3 プロダクトマーケティング部 プロダクトマーケティング2課