

日置技報

HIOKI Technical Notes

HIOKI

Vol. 44

2024



目次

スラリ解析システム	1
執筆 中山 直人	
絶縁抵抗試験器 BT5525	9
執筆 西村 宏太	
パワーアナライザ PW8001	13
執筆 釘持 浩崇	
AC/DCカレントプローブ CT6830/CT6831	
AC/DCカレントセンサ CT7812/CT7822	21
執筆 山岸 君彦	
接地抵抗計 FT6041	29
執筆 三木 昭彦	
日置技報 総目次	35

表紙のコンセプト

HIOKIのロゴマークの「O」をモチーフに、日置技報への想いを表現しました。

「O」は単純な丸ではなく、楕円形をしています。

これは、地球が卵を抱擁する姿をモチーフに、ひとをはぐくみ、新しいものを誕生させ、社会の発展に貢献するというイメージをデザインしたものです。

世界初の技術開発への情熱、世界のお客様にソリューションを提供する熱意、新たな計測価値を創造する意志。これらの想いを、コーポレートカラーの青色と複数の色で表現しました。



日置電機本社 歴代製品と新製品の展示ゾーン

スラリー解析システム

中山 直人 *1

要 旨

スラリー解析システムは、リチウムイオン電池の電極スラリーのインピーダンスを測定・解析し、スラリーの電子伝導性を示す3つの定量指標を出力する製品である。ここに製品の概要、機能・特長、および計測事例について解説する。

1. はじめに

当社は、完成セルの開放電圧や内部抵抗の検査ができる測定器を提供することにより電池の検査市場に参入した。その後、注液前の絶縁検査、溶接部の品質検査、組立工程といった生産工程におけるソリューションも提供できるようになった。そして、近年ではスラリー作製やシート作製といった初期工程の、特に量産前の研究開発におけるソリューションを提案しており、ユーザーとともに電池材料評価への知見を深めている。図1にスラリー解析システムの外観を示す。図2にリチウムイオン電池（LIB）の生産工程に対して、当社の製品がどこで使われているのかを示す。

2. 概要

スラリーにおけるインピーダンスの基礎として、インピーダンス測定、解析、および解析事例の3つに分けて紹介する。

3. スラリーのインピーダンス測定

物質の電気的性質は誘電性と導電性の2つの性質で表される。導電性は電気の流れやすさ、誘電性は電気の溜めやすさを示す。スラリーのインピーダンスを測定すると、その測定結果はスラリーを構成する物質自体が持つ電気的性質や構造を反映した誘電性と導電性を示す。逆に言うと、誘電性と導電性を測定することで、構成物質の性質や電子伝導の状態を知ることができる。導電性と誘電性は、電気回路ではコンダクタンスGとキャパシタンスCに対応し、インピーダンス測定器を使えばこれらを正確に測定



SA9002 + IM3536



SA9002 + SA9001 + IM3536

図1 外観

できる（図3）。

さらに測定周波数を変えたときのインピーダンス特性を解析することにより、それぞれの構成要素を分離して観測できる。LIBの電極スラリーを例に、計測例を説明する。LIB電極に使われるバインダーを溶かした溶液に活物質と導電助剤を順に分散したスラリーを準備する。そのスラリーに交流電界をかけてインピーダンスを測定し、キャパシタンスとコンダクタンスを測定すると、図4から図6のような特性を示す。赤色がキャパシタンスで、青色がコンダクタン

*1 計測ラボラトリー

スラリー解析システム



図2 リチウムイオン電池の生産と検査

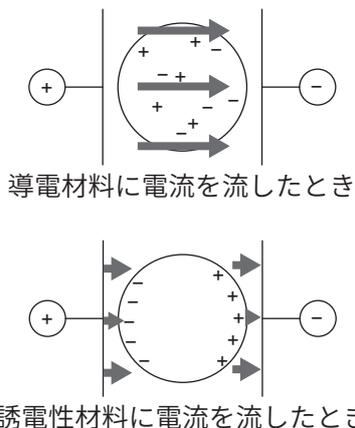


図3 物質のインピーダンスを測定したときの物質の挙動

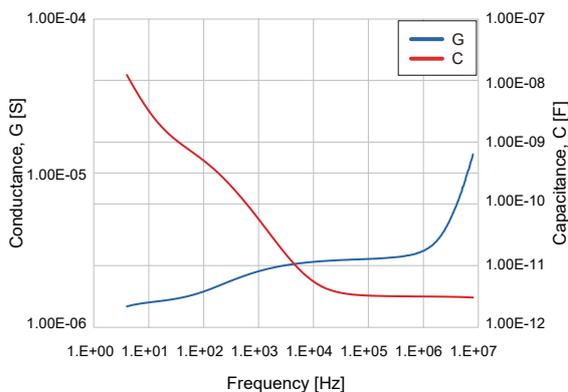


図5 バインダー溶液 + 活物質

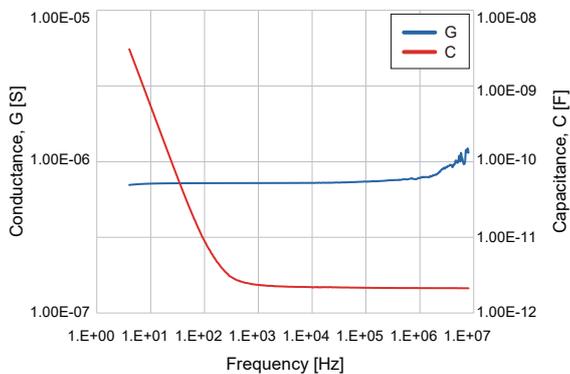


図4 バインダー溶液

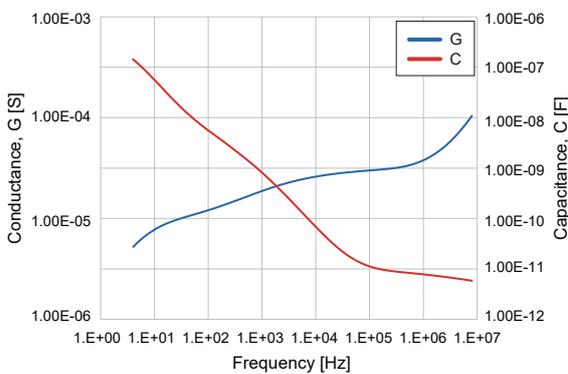


図6 バインダー溶液 + 活物質 + 導電助剤

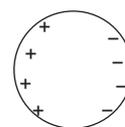
スである。バインダー溶液では周波数に対して一定の値を示している。それに対し、活物質および導電助剤を溶液に分散すると周波数によって異なる特性を示していることがわかる。この特性は、スラリーを構成する物質自体の誘電率、導電率、活物質や導電助剤の形状やサイズ、体積分率によって変化する。これを利用してスラリーの構成の解析や、その状態変化の観察などに応用できる。

物質が誘電性を示すもとなる分極にはいくつかの種類がある。どのような分極になるかは、測定周波数によって異なる。ここに示したインピーダンス特性は、測定周波数が数 Hz から数 100 MHz の範囲での測定結果である。一般的に、この帯域では、分子および粒子の配向分極ならびに粒界の界面分極が観測されると言われている。配向分極は、電界を印加すると各分子が電界からトルクを受けて回転し、分子の方向が電界方向にそろうため、全体として大きな分極を示す。界面分極は、今回のスラリーのように 2 種類以上の物質からなる不均質系では、電界により移動した電荷が界面に滞留し、それによって分極が発生する。スラリーでは、水などの有極性分子による配向分極や、浮遊する粒子界面の電荷移動による界面分極が顕著に表れる。これらの分極による誘電率を測定し解析することで、スラリーの構成や機能の解明につなげることができると考えている (図 7, 図 8)。

インピーダンス測定には、インピーダンスアナライザや LCR メータが用いられる。これらの測定器は、幅広い周波数でインピーダンスを測定できる。インピーダンスの周波数特性は物質により異なるため、見たい特性に合わせて適切な周波数範囲の測定器を選ぶ必要がある。当社では、それぞれの周波数範囲に対して幅広い製品群を提供している (図 9)。スラリーの測定においては、浮遊粒子の界面分極や溶媒分子の配向分極が誘電特性を特徴づけている。この特性を観測するためには、数 Hz から数 100 MHz 程度の広い範囲において高確度に測定できる LCR メータ IM3536 やインピーダンスアナライザ IM7581 が適している。

インピーダンスアナライザを使って試料のインピーダンスを測定するためには、試料と測定器を接続するためのフィクスチャが必要である。スラリーのように、電極を持たず形状が不安定

粒子の配向緩和 (分極)



粒界の界面緩和 (分極)

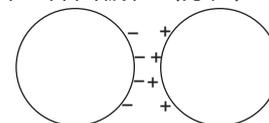


図 7 配向分極と界面分極

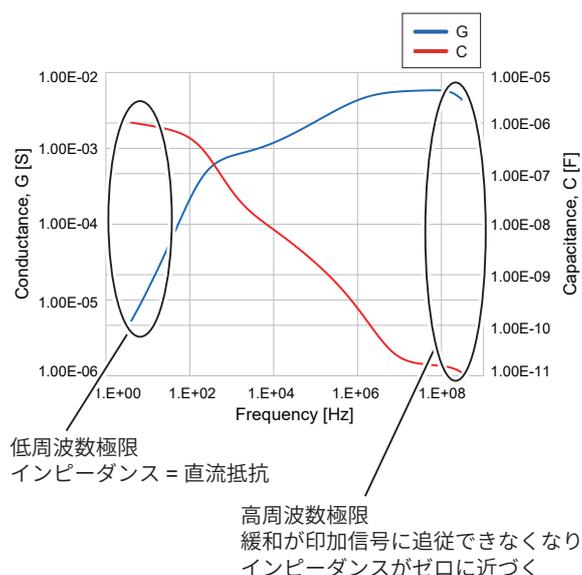


図 8 LIB 負極スラリーの電気的性質

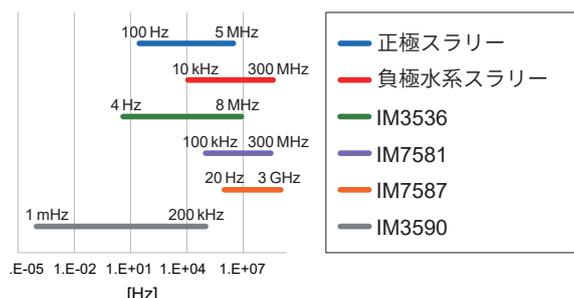


図 9 各測定器の測定周波数範囲

な試料に対しては、電極構造と試料の形状を保持するための電極セルが必要である。試料の物理的・化学的性質や誘電率の大きさ、さらには利用できるサンプルの量によって、最適なセル構造が異なる。試料の形状を保持する材質は、絶縁性が高く、誘電率とその周波数依存性の小さいものが適している。電極は、このような電気的特性に加えて、耐腐食性などの化学的安定性が求められる。一般的に、電極面積が大きいほう

スラリー解析システム

が電極間の電界が一様になり理想的な計測に近づくが、測定器の測定精度も考慮して電極の形状を決定する。誘電率は、実際に測定されるキャパシタンスとセル定数から求められる。測定値が測定器の確度範囲に入るように、試料の誘電率が低い場合はセル定数を小さくしたり、誘電率が高い場合はセル定数を大きくしたりして、セル定数を調整する（図10）。

以上のように、電極セルは試料の特性に応じて準備する必要があるため、一般には市販されておらず、多くの場合はユーザーが自作する必要がある。当社では、リチウムイオン電池の電極スラリーの特性を参考にして電極セルを設計し、販売している（図11）。

4. インピーダンス解析

インピーダンス解析技術のひとつとして、スラリーの混ざり具合を推定する電子伝導性の定量指標化を紹介する。LIB電極スラリーのイメージを図12に示す。大きな黒い丸が活物質、小さな青い丸が導電助剤、これらがバインダー溶液中に浮遊していることを示している。左のイメージでは導電助剤が凝集し、右のイメージでは導電助剤がネットワーク構造を形成している。このような状態でスラリーのインピーダンスを測定したとき、左のイメージと右のイメージとで電気の流れ方が異なる。この特性を解析したものが、これから紹介するスラリーの電子伝導性を示す定量指標のDCR, Rratio, Uniformityである。

LIB正極スラリーのインピーダンス測定値をナイキストプロット表示したものを図13に、LIB電極スラリーの電気等価回路を図14に示す。解析アルゴリズムの大部分は、インピーダンス測定値から電気等価回路の各回路素子のパラメーターを得るというものである。ナイキストプロットには、複数の円弧が含まれていることが確認できる。この円弧一つに対して、電子の流れにくさを示す抵抗素子Rと、電子の溜まりやすさを示す容量成分CPEを並列に接続した回路を当てはめていく。ここで注意しなければならないのが、見た目の円弧の数と必要なR//CPE回路の数は異なるということである。R//CPE回路の数を増やせば増やすほどフィッティングの精度は高まる。一致度だけを追い求めて非物理

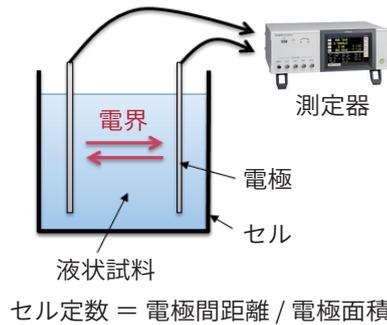


図10 液体試料のインピーダンス測定



図11 電極セル SA9001

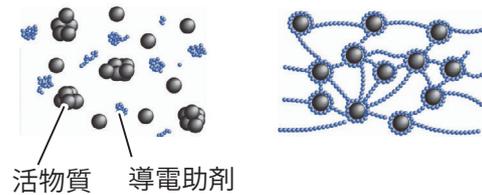


図12 LIB電極スラリーのイメージ

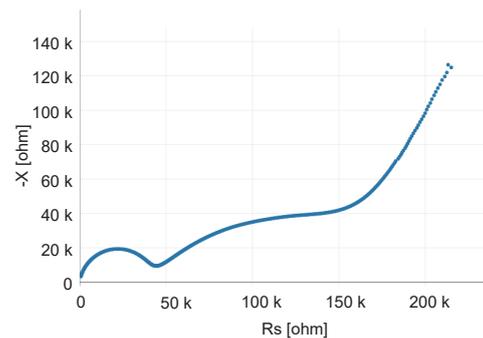


図13 インピーダンス測定値

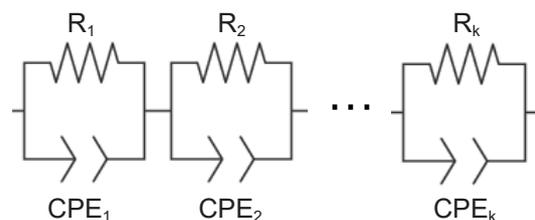


図14 電気等価回路

的なパラメーターを増やさないように、R//CPE回路の数を抑えるアルゴリズムが必要となる。

フィッティングにより得られた回路素子パラメーターを用いて、スラリーの電子伝導性を表す定量指標を計算する。定量指標の1つ目は直流抵抗 (DCR) である。これは、スラリーの電気等価回路における抵抗成分の総和で、スラリーの全体抵抗に相当し、単位は Ω である。スラリーの電気等価回路において、R//CPE回路の個数を λ としたとき、DCRは以下で表される。

$$DCR \equiv \sum_{\lambda} R_{\lambda}$$

2つ目は抵抗比率 (Rratio) である。これは、DCRに対して、導電材料の抵抗成分が占める割合で、単位はなく最大値は1である。最大値の1になった場合、スラリー中の導電パスはすべて導電材料で形成されていると考えられる。スラリーの電気等価回路において、導電材料の抵抗成分を R_{λ} としたとき、導電材料の $Rratio_{\lambda}$ は以下で表される。

$$Rratio_{\lambda} \equiv \frac{R_{\lambda}}{DCR}$$

3つ目は均一性 (Uniformity) である。これは、導電材料による緩和過程の分布を表す指標で、CPE指数 p を用いて分布を定量化している。こちらも単位はなく最大値は1である。最大値の1になった場合、導電パス中の導電材料がすべて同じ状態で存在していると考えられる。スラリーの電気等価回路において、導電材料のCPE指数を p_{λ} としたとき、導電材料の $Uniformity_{\lambda}$ は以下で表される。

$$Uniformity_{\lambda} \equiv p_{\lambda}(\text{CPE index})$$

導き出したスラリーの電子伝導性は、スラリー中の導電材料が形成する導電ネットワークにおいて、ネットワークの発達具合とネットワークの均一性の2軸で表現したスラリーの分散状態に関連していると考えられる。凝集状態であれば発達度と均一性の両方が低くなる。ネットワーク構造と凝集状態が混在していれば、発達度は高いが均一性が低くなる。分散状態であれば、発達度は低いが均一性は高くなる。ネットワーク構造であれば、発達度も均一性も両方高くなる。このような状態に対して、横軸のネットワークの発達具合は、導電材料由来の抵抗成分の比率 (Rratio) が関連していると考え、縦軸のネッ

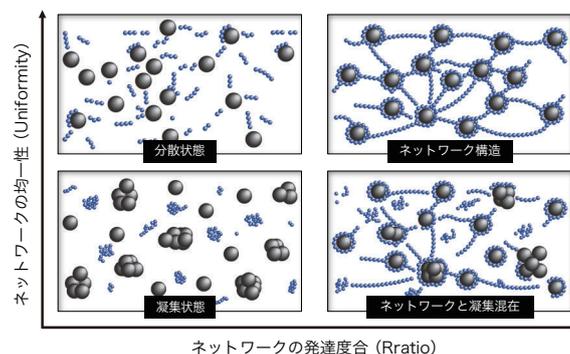


図 15 スラリーの電子伝導性と材料状態の関連性

トワークの均一性は、導電助剤由来の緩和過程の均一性 (Uniformity) が関連していると考えられる (図 15)。

5. 機能・特長

以上の測定・解析技術を実装したスラリー解析システムの機能・特長を以下にまとめる。

- 電極セル SA9001
LIB 電極スラリーのインピーダンス測定に最適なセル定数であり、少量のスラリーでインピーダンスが測定できる (図 11)。
- テストフィクスチャ SA9002
電極セルを LCR メータにケーブルを使わないで接続でき、ワンプッシュで接続できる (図 16)。
- 測定ソフトウェア SA2633
IM3536 本体の設定が不要で、簡単にスラリーのインピーダンスを測定できる (図 17)。
- 解析ソフトウェア SA2632
クラウドサーバー上に解析ソフトウェアを構築し、日々進化する電池材料に即座に対応できる (図 18)。
ソフトウェア画面は直感的に操作できるデザインで、測定値の解析から結果分析までスムーズな操作を実現した (図 19～図 21)。

スラリー解析システム



図 16 テストフィクスチャ SA9002

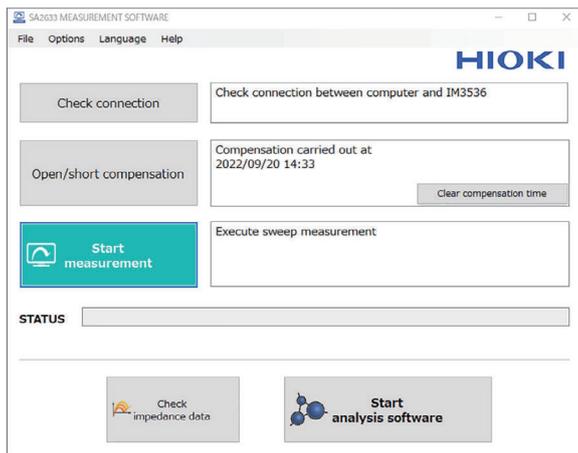


図 17 測定ソフトウェア SA2633

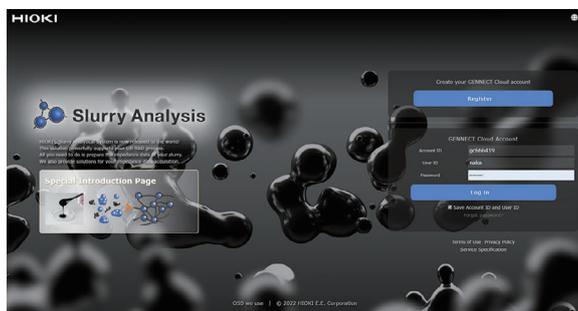


図 18 解析ソフトウェア SA2632

視覚的にわかりやすいダッシュボード



図 19 SA2632 の画面 (ダッシュボード)

3 ステップで単純化した解析操作

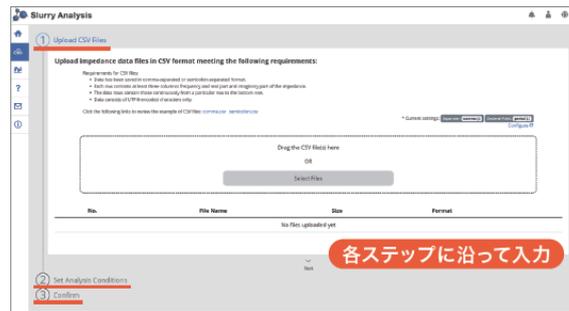


図 20 SA2632 の画面 (解析操作)

直感的でグラフィカルな解析結果の比較

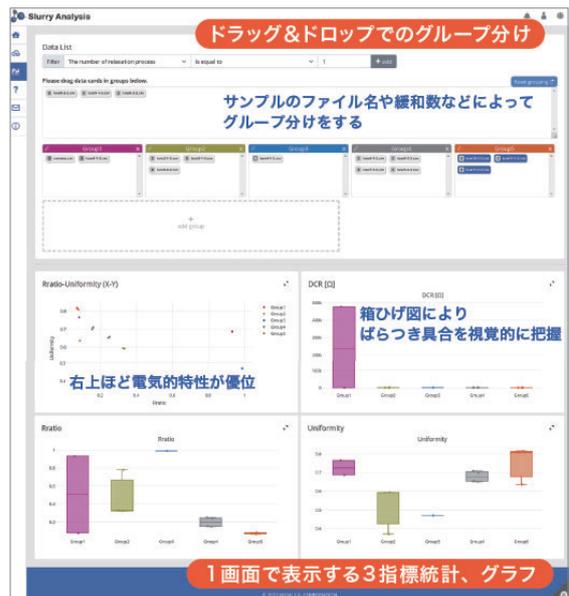


図 21 SA2632 の画面 (解析結果)

6. 計測事例

(1) 目的

分散剤添加量によるスラリーへの影響を、インピーダンスとレオロジーの両方で確認した。

(2) スラリーの作製条件

- 固形分比率：活物質 96%，導電助剤 2%，バインダー 2%，分散剤 0.08%～0.16%（導電助剤に対して 4%～8%）
- 導電助剤スラリー調製：導電助剤，分散剤，および NMP でスラリーを作製
- 電極スラリー調製：導電助剤スラリーに活物質およびバインダー溶液を加える

(3) 考察

- 分散剤：添加 4% → 5% vs 導電助剤量
Rratio は急激に上昇し、 G' と G'' の差は縮まった。分散剤の添加によって導電助剤の凝集体が解消するとともに、形成した導電助剤ネットワーク構造が導電パスとして機能していることが示唆された。
- 分散剤：添加 5% → 8% vs 導電助剤量
さらに分散剤を増やしていくと、スラリーの G'' が優位となるため、流動性が向上し塗工を調整しやすくなるが、Rratio は低下した。導電助剤ネットワークの微細化が進行する一方で、切断も起きていることが推測される。
このように、スラリーの電子伝導性と動的粘弾性は独立して変化する特性であり、両方の特性を把握することにより、より詳細な材料分散性を考察できる (図 22, 図 23)。

7. おわりに

持続可能な社会を目指すため世界各国で進められている脱炭素化の取り組みの中で、スラリー解析システムはバッテリーのライフサイクルに貢献できる。スラリー解析システムが高性能な電池をつくり、最適な製造プロセスを判断するために活用されることを想定している。

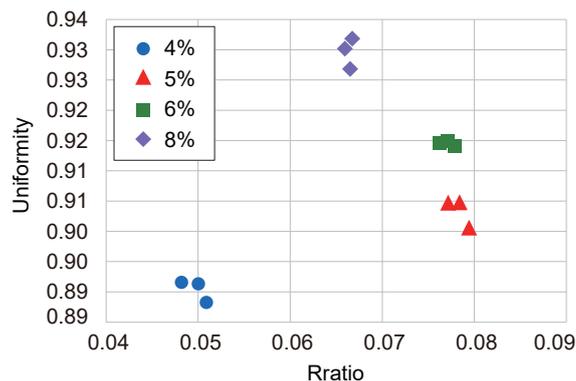


図 22 電子伝導性

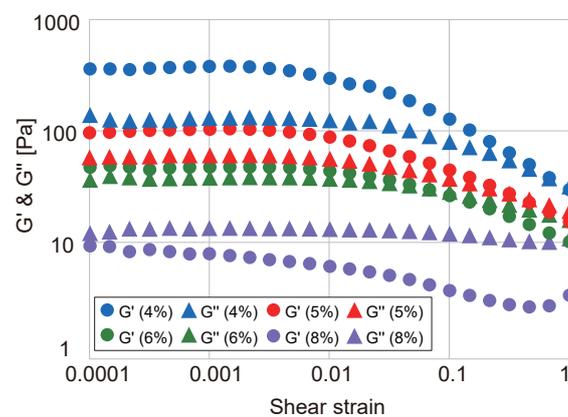


図 23 動的粘弾性

絶縁抵抗試験器 BT5525

西村 宏太 *1

要 旨

絶縁抵抗試験器 BT5525 は、リチウムイオン二次電池 (LiB) の注液前電極間の絶縁抵抗を測定できる製品である。BT5525 は従来の絶縁抵抗試験器では発見できなかった LiB の製造工程で生じる微小短絡やコンタミネーション (金属異物の混入, 以下「コンタミ」) を検査で検出するための BDD (Break Down Detect) 機能を搭載している。ここに製品の概要, 機能・特徴, および特性データについて解説する。

1. はじめに

リチウムイオン二次電池 (LiB) が実用化されてから 20 年近くが経過し, スマートフォン, ノート PC などの民生小型機器の普及に LiB が貢献した。近年では電気自動車 (EV) およびハイブリッド車 (HEV, PHEV) に搭載されている車載用 LiB の市場が拡大している。それに伴い, EV の火災事故が増えている。LiB の発火の代表的な原因が電池セルにおける微小短絡やコンタミである。LiB の製造工程でセパレーターの切断時に生じる金属粉などがセル内に混入し, これが内部短絡を引き起こし発火につながる。こうした現状を踏まえ, 自動車メーカーや LiB 製造メーカーにとって今まで以上に LiB の安全性や品質管理が重要になっている。

BT5525 はこれらの要求に応えるべく開発された製品である。図 1 に BT5525 の外観を示す。

2. 概要

BT5525 は測定対象物に電圧を印加することで流れる電流を測定し, 印加した電圧と測定した電流から演算により抵抗値を求める。最大で 500 V の電圧を印加でき, 9999 MΩ までの抵抗を測定できる。長年開発してきた絶縁抵抗測定技術の設計ノウハウにより, 電圧発生に起因するノイズ・外部ノイズの影響を大幅に低減している。それによりばらつきの小さい安定した測定が可能となり, コンタミによる内部短絡の検出を実現している。さらに測定対象物に正しく接触しているか判断できるコンタクトチェック機能を搭載しており, 誤判定のない絶縁抵抗試験器を実現している。



図 1 BT5525 の外観

3. 機能・特徴

図 2 に BT5525 のブロック図を示す。

3.1 電圧発生機能

DC 25 V から 500 V までを 1 V 分解能で設定できる。出力電圧を生成後, 独自技術のリプル低減回路を通すことで低ノイズかつオーバーシュートがない電圧を測定対象物に印加できる。

3.2 電流制限機能

測定対象物に印加する電流の上限を, 50 μ A の微小電流から 50 mA の大電流まで細かく設定できる。これにより, 測定対象物の損傷や破壊のリスクの軽減と, 容量成分が含まれた測定対象物への充電時間の短縮の両立が可能となった。

3.3 自動放電機能

試験後に測定対象物に蓄えられた電荷を BT5525 の内部で放電し, 次の試験で他の機器が破損することを防止できる。測定終了後 40 mA 以上の電流を流して放電するため, 測定対象物に容量成分が含まれている場合でもすばやく放電が可能である。

*1 SM ユニット

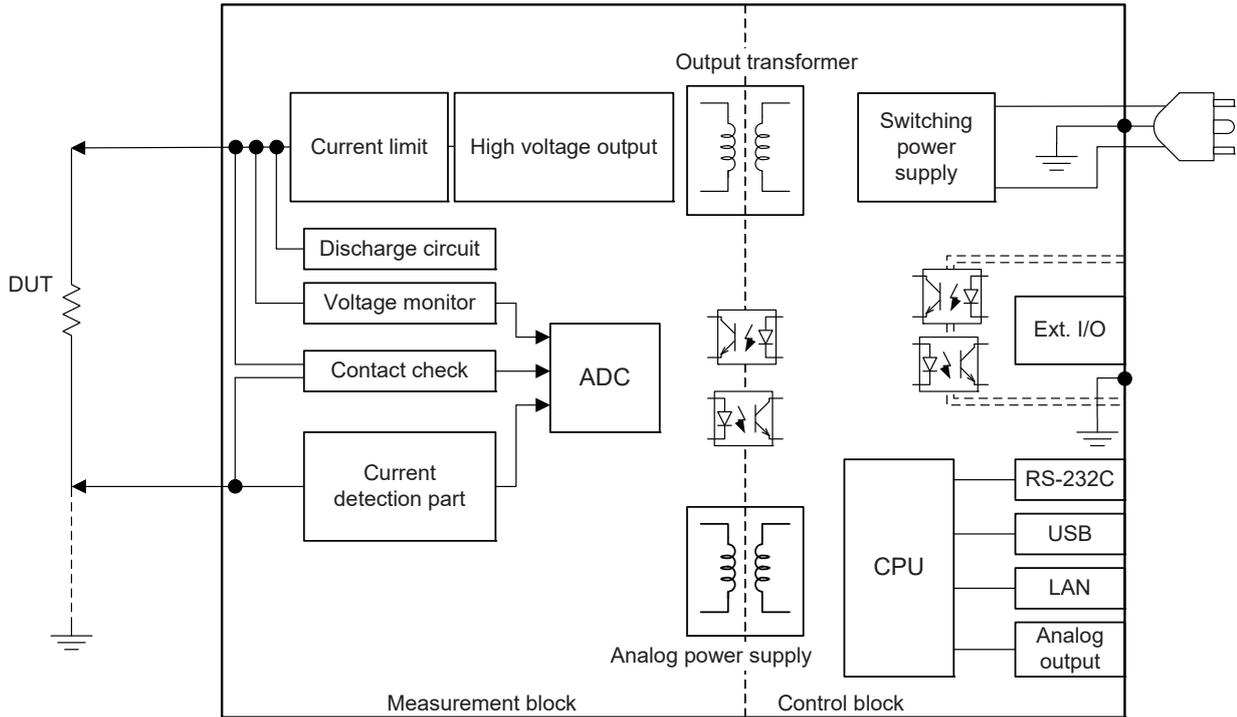


図2 ブロック図

3.4 電圧測定機能

測定対象物に印加している電圧を常時監視している。そのため、電圧が印加されたことで生じる測定対象物の変化を瞬時に捉えることが可能である。

3.5 コンタクトチェック機能

試験開始後、設定電圧を印加する前に測定端子間の容量成分を測定することで測定プローブが測定対象物に接触しているかを確認できる。従来の4端子測定法から、当社独自の技術開発による2端子測定法でのコンタクトチェックで、設備搭載時の配線の簡素化が可能になった。

3.6 電流測定機能

電流測定回路は10 nA から2.5 mA までの電流を測定できる。設備搭載時に周辺機器から生じる低周波コモンモードノイズに対して、設計ノウハウにより測定電流に対する影響を最小限に抑えることができた。

3.7 BDD (Break Down Detect) 機能

図3にBDDの概略図を示す。

電解液充填前のバッテリーセル段階でコンタミによる微小内部短絡を検出できる独自の検査機能である。生産工程の早い段階で不良品を発

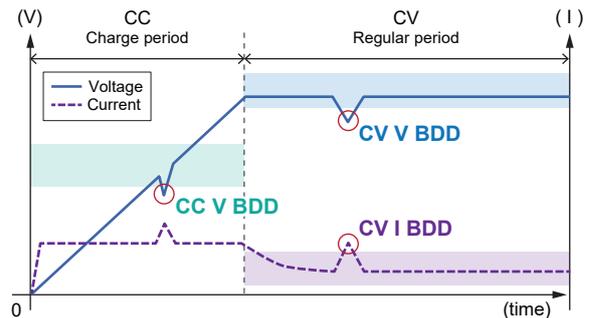


図3 BDD 概略図

見し取り除くことで、出荷後の発熱起因による火災事故や故障などのリスク防止に役立つ。これらの潜在的な故障原因を排除することは、劣化しにくい電費性能の良いバッテリー生産にもつながる。

BT5525では、絶縁抵抗試験と同時にアナログ回路（ピークホールド）とデジタルサンプリング（5 MS/s）を融合した独自の検出方法である。充電期間中の電圧変化量、充電後の定常状態の電圧と電流の変化量をそれぞれ監視し、微小な変化を検出している。

従来のオシロスコープや記録計による波形計測で発生していた、サンプリングのタイミングや分解能によるとりこぼしの問題を解決できる。

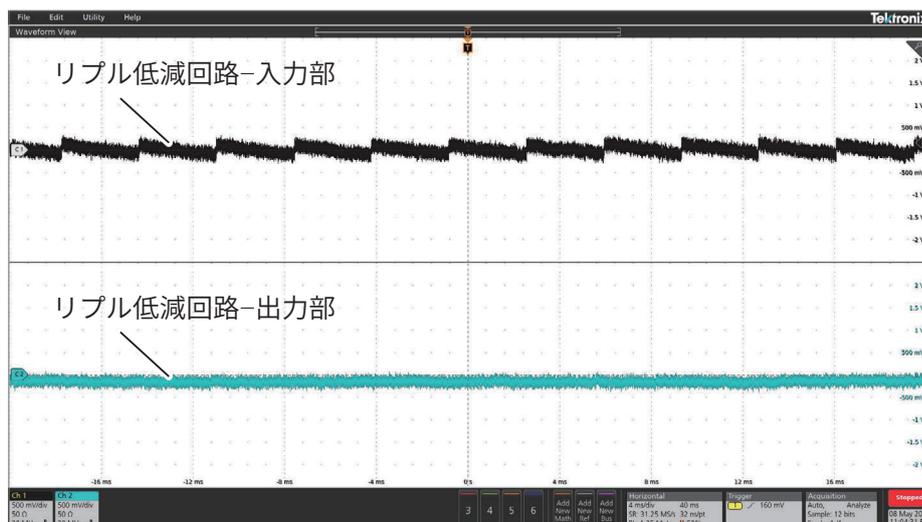


図4 リプル低減回路の前後の試験電圧波形
(横軸：4 ms/div, 縦軸：500 mV, 試験電圧：100 V, DUT：無負荷)



図5 BT5525 と ST5520 の試験開始時の試験電圧波形
(40 ms/div, 試験電圧：500 V, DUT：1 μ F)

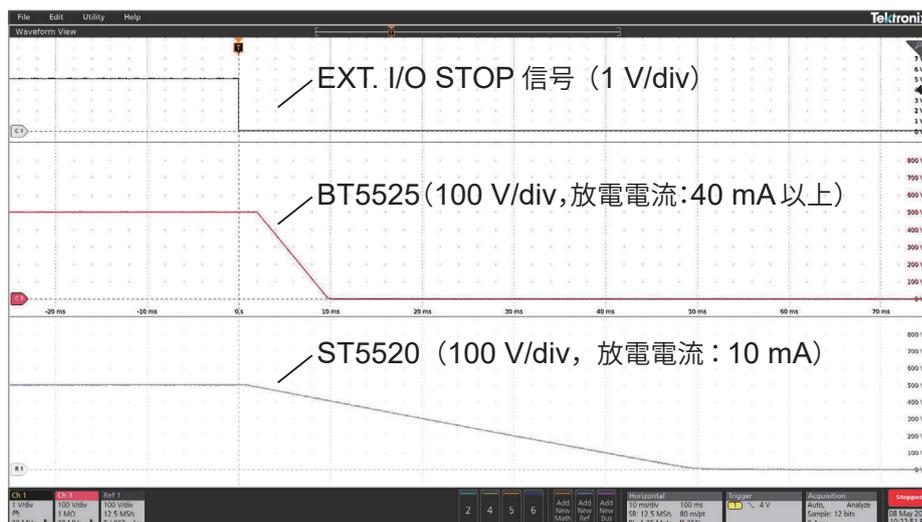


図6 BT5525 と ST5520 の試験終了時の試験電圧波形
(10 ms/div, 試験電圧：500 V, DUT：1 μ F)

4. 特性データ

4.1 発生部

BT5525 本体の小型化および軽量化，ならびに高効率化を実現するため，試験電圧の生成には，高周波トランスを用いたスイッチング方式を採用している．しかしながら，スイッチング方式で生成した試験電圧には，リップルノイズが重畳してしまう．このリップルノイズが今回新たに搭載した BDD 機能における誤検出の原因にもなりうるため，高電圧出力部のリップル低減回路でリップルノイズを圧縮している．(図 4)

BT5525 では，従来製品の ST5520 に比べて，充電速度を約 25 倍，放電速度を約 4 倍に高速化している．これにより大容量化が進むバッテリーの絶縁抵抗検査の大幅なタクトタイム短縮に貢献できる．(図 5，図 6)

4.2 BDD

図 7 と図 8 に諸特性例を示す．これらのデータは代表例であり，製品の特性を保証するものではない．

5. おわりに

BT5525 の特徴や構成について記載した．BT5525 は高精度な絶縁抵抗測定ができる計測器である．それにより電池の製造ラインでコンタミを検出できれば，EV の発展に貢献できると信じている．EV の発展により脱炭素化・持続可能な社会の実現に貢献できれば幸いである．

竹内 大介 *2，森角 拓郎 *2

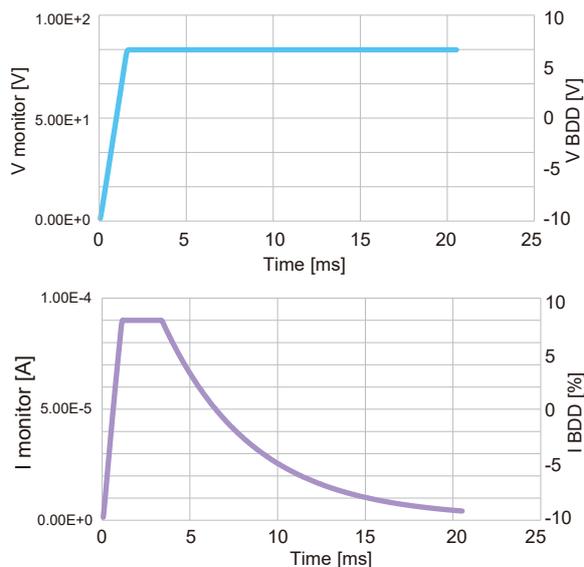


図 7 BDDなし

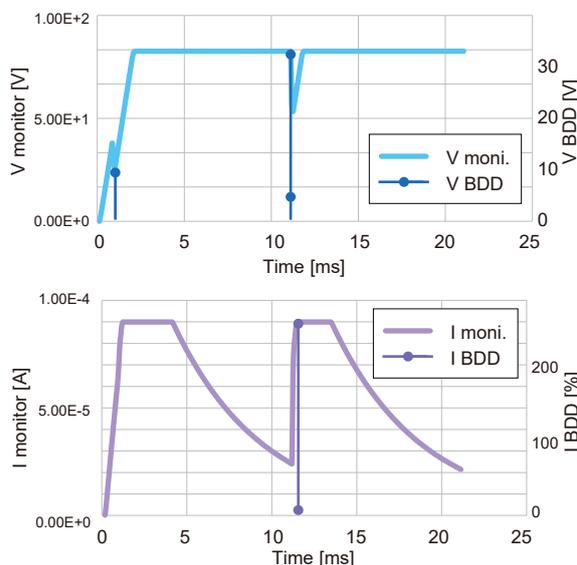


図 8 BDDあり

*2 SM ユニット

パワーアナライザ PW8001

鈿持 浩崇 *1

要 旨

パワーアナライザ PW8001 は、第三世代の高速電力解析エンジンを搭載し、当社電力計として最高の $\pm 0.03\%$ の基本確度、15 MHz サンプリングの U7005 と、DC 1500 V 入力に対応した 2.5 MHz サンプリングの U7001 を自由に選択し、高速スイッチングデバイスを搭載したインバーターや、高電圧出力のパワーコンディショナーの評価など、ユーザーの用途に合わせて最適なシステムを構成できる電力計である。ここに製品の特長、構成、および特性例について解説する。

1. はじめに

当社では、市場の測定要求や技術進化に対応できる電力計を継続して開発し、高確度、高安定性、および高信頼性の測定器をユーザーに提供してきた。従来製品のパワーアナライザ PW6001 は、発売直後から多くのユーザーにさまざまな用途で使用され、好評をいただいた。近年では、省エネルギー機器の技術の進化に伴い、EV（電気自動車）や再生エネルギーへの関心が世界中で急速に高まり、普及が拡大している。これにより、関連機器の開発現場では、さらに高確度で広帯域な測定が要求されるようになった。用途が多様化し、測定対する要求も一層厳しくなっている。これらの要求に応えるために、PW8001 は従来の技術的特徴を継承しつつ、測定性能面および機能面が大幅に向上した。

図 1 にその外観を示す。



図 1 PW8001 の外観

ロニクス機器の電力、変換効率、および損失をより正確に測定することを可能としている。

(2) 2.5MS/s 入力ユニット U7001

U7001 は、商用周波数の電力基本確度 $\pm 0.07\%$ 、直流電力確度 $\pm 0.07\%$ を実現し、DC 1500 V CAT II の測定を可能とした。これにより、1500 V の直流高電圧を有する電源機器においても、安全で正確な評価を実現する。

2. 特長

2.1 世界最高クラスの確度、広帯域電力測定と、高電圧測定を実現する 2 つのユニット

PW8001 には、2 種類の入力ユニット U7005 と U7001 を用意した。この 2 種類の入力ユニットを最大 8 チャンネル自由に組み合わせて選択できることにより、測定対象および用途に合わせた最適なシステムの構築を可能としている。

(1) 15MS/s 入力ユニット U7005

U7005 は、商用周波数の電力基本確度 $\pm 0.03\%$ 、直流電力確度 $\pm 0.05\%$ を実現し、測定周波数帯域を 5 MHz まで広帯域化した。これにより、高効率化、高周波化するパワーエレクト

2.2 電流センサーとの高い親和性

電流センサーとパワーアナライザの両方を自社で開発している強みを生かして、従来製品でも電流センサーとパワーアナライザの高い親和性を持ち、高確度、高信頼性の測定を可能にした。

インバーターの電力、高周波リアクトル、およびトランスの損失を正確に測定するためには、電流センサーの位相誤差を補正して測定する方法が有効であり、従来製品の PW6001 でこの機能を実現した。しかし、PW6001 では、位相補正を都度適切に設定する必要があり、十分に電流センサーの性能を生かすことができない事態

*1 SS ユニット

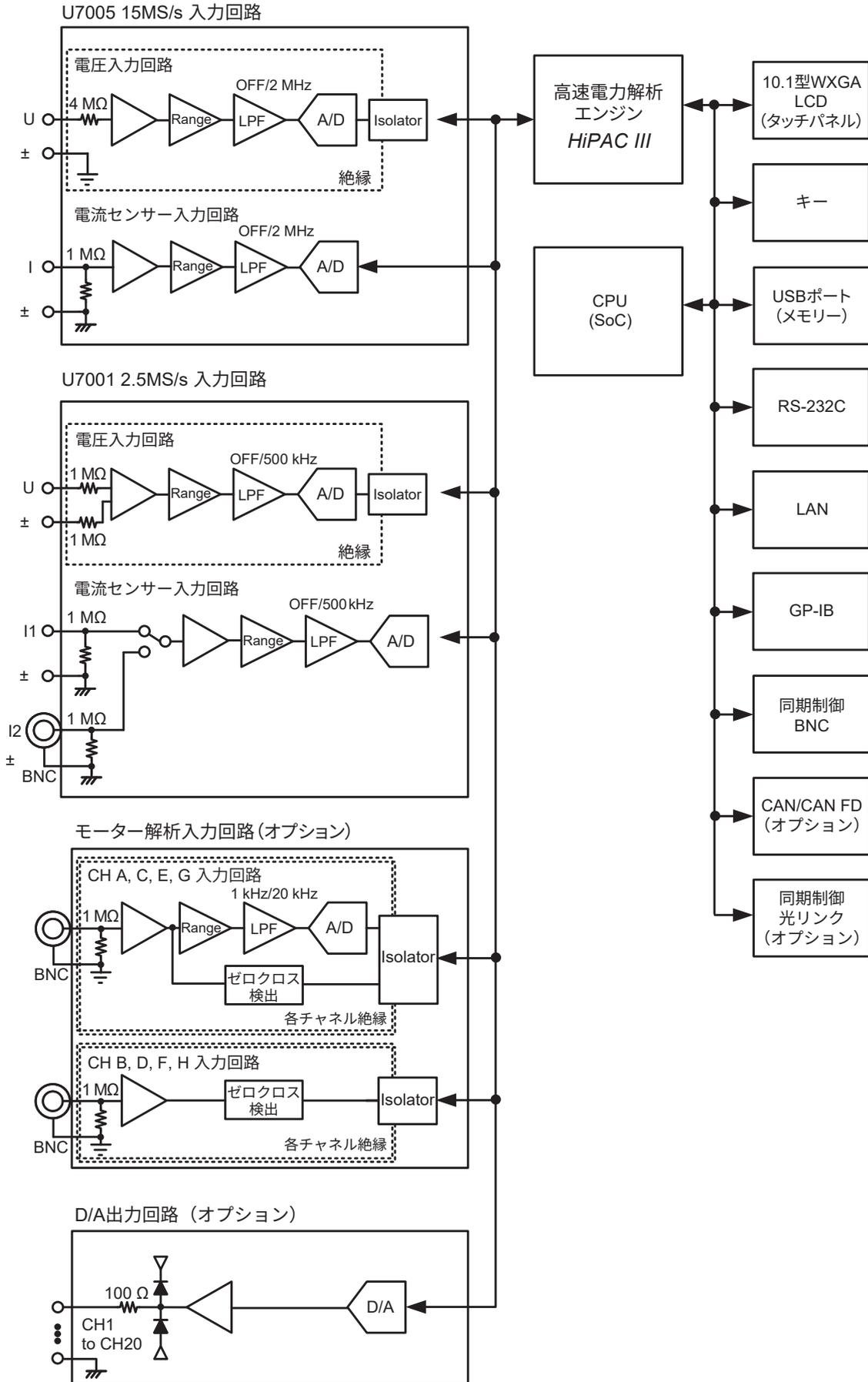


図2 ブロック図

が発生することも考えられた。

PW8001には、対応する電流センサーを接続するだけで、適切な位相を自動補正する「新・電流センサーインターフェイス」を新たに搭載した。特別な設定は必要なく、電流センサーの性能を最大限引き出すことを可能とした。

図2にブロック図を示す。

2.3 波形観測機能の進化とパワースペクトラム解析機能の実装

従来製品にも搭載されていた波形観測機能について、15 MS/sの電圧電流波形とモーター入力8チャンネルの信号を任意のトリガにより5 Mワードの長さで記録できるように進化させた。さらに、従来製品は電圧と電流だけが解析対象だったFFT解析機能に有効電力を追加し、パワースペクトラム解析機能に進化させた。これにより、電力測定と合わせて波形観測をできるようにしたことで、評価の効率化を図れるだけでなく、今まで正確に確認ができなかった電力の周波数解析も行うことができる。

2.4 高ノイズ耐性、高安定、高再現性

SiCやGaNなどを用いた電力変換器の評価では、高速スイッチングによる電力変動を正確に把握するため、測定器に高ノイズ耐性が要求される。PW8001では、U7001で従来製品と同等のノイズ耐性100 dB (100 kHz)を確保した。U7005では、110 dB (100 kHz)とさらに高いノイズ耐性を確立することにより、年々技術進歩する電力変換器を、高い安定性と再現性で測定することを可能とし、評価の効率化を図ることができる。

3. 構成

3.1 アナログ

(1) 電圧測定部

(a) U7005

電圧入力部はシングルエンド入力とし、光素子を使った絶縁デバイスにより全チャンネルを絶縁入力としている。U7001と同様に、アンチ・エイリアシング・フィルターを搭載し、同時にサンプリングした電圧と電流波形を高速電力解析エンジンに転送する。18ビット15 MS/sの

A/Dコンバーターを採用することで、より高速な信号を高精度に測定できる。これにより、SiCやGaNに代表されるwide band gap半導体を使った電力変換器の電力損失をより正確に測定できる。

(b) U7001

電圧入力部は差動入力方式であり、抵抗分圧と絶縁デバイスにより全チャンネルを絶縁入力とし、高絶縁耐圧を実現している。ローパスフィルターは主にアンチ・エイリアシング・フィルターとして機能し、各種演算への折り返しノイズの影響を排除している。16ビット2.5 MS/sのA/Dコンバーターは電圧と電流を同時にサンプリングしデジタル信号に変換して高速電力解析エンジンに転送される。

(2) 電流測定部

電流センサーの入力部には高確度電流センサーとのマッチングを最大限に考慮した入力回路を採用した。電流センサーの入力部は、センサー入力専用としセンサーの出力を高確度に測定できるようにした。こうすることで電流測定部の中で最大の発熱部であるシャント抵抗を排除でき、広帯域で高安定な測定を実現した。

(3) モーター解析

モーター解析の入力部はシングルエンド入力とし、絶縁デバイスにより全チャンネルを絶縁入力としている。これにより、グラウンドが共通のために起こるチャンネル間クロストークを削減した。入力チャンネル数を8チャンネルとし、これにより最大4系統のモーター解析を可能とした。また、アナログ信号入力や波形のトリガ入力として使用できる機能も搭載されている。

3.2 デジタル

(1) 電力解析エンジン

PW8001では、第三世代電力解析エンジンとして、従来製品であるPW6001の電力解析エンジンの構成を基にプラットフォームを一新し、FPGAとCPUコアを有するSoCを採用することにより、各処理能力の大幅な向上を図った。

これにより、従来と同様の、測定値に影響を与えないフィルター処理による安定したゼロクロス検出から、高安定、高再現性の測定を実現したまま、最速1 ms間隔のデータ更新を可能とした。また、データ更新間隔の設定が1 msの場

パワーアナライザ PW8001

合でも、従来どおり入力周波数の変動に合わせてデータ更新間隔が自動で追従するため、従来の操作性のまま、変化の遅い信号から高速で変化する信号まで、設定を変更することなく測定を可能としている。

(2) 電流センサー位相補正

従来製品から搭載された電流センサーの位相補正機能において、電流センサーの位相補正の分解能を約 50 倍に向上させることにより、電流センサーの位相誤差をより少なくすることを可能とした。

また、「新・電流センサーインターフェイス」により、電流センサー生産時の個々の位相特性情報を電流センサーに記録、PW8001 でその情報を取得することにより、ユーザーは特別な操作を意識することなく、電流センサーの個体差による測定値への影響を最小限とし、特性を最大限生かした測定環境を提供することを可能とした。

(3) 広帯域高調波解析

PW8001 でも従来製品と同様に、15 MHz サンプルングの電圧、電流波形に対して、同期している基本波周波数に応じた最適なサンプリングレートに変換した波形を使用し、高調波演算を行う。サンプリングレート変換時には、アンチエイリアシング・フィルター処理を行うが、このフィルター処理は、通常の電力測定用の信号とは独立している。そのため、基本波周波数が低い場合でも、広帯域の電力測定と、エイリアシングの影響を受けない高調波解析を同時に行うことを可能としている。

PW8001 では、基本波周波数の範囲を最大 1.5 MHz、最大解析次数を 500 次とし、さらに広い帯域の高調波を解析可能とした。

3.3 ソフトウェア

(1) プラットフォーム

基本設計は従来製品を踏襲しているが、FPGA と 6 つの CPU コアで構成されるヘテロロジーニアス・マルチコア SoC を中心としたプラットフォームに一新した。

2 つのコアにはリアルタイム性が求められる処理を割り当てるため、リアルタイム OS (Real-Time Operating System) を AMP (Asymmetric Multi-Processing) 構成で動作させた。残り

の 4 つのコアは、既存のソフトウェア資産と各種ハードウェア資産に対応した汎用 OS を SMP (Symmetric Multi-Processing) 構成で動作させた。各 OS は、割り込みや共有メモリーを介して通信を行い、協調しながら動作する。

(2) 汎用 OS の処理

汎用 OS に割り当てた処理は次のとおりである。これらの処理の実装には既存のソフトウェア資産を活用することにより、開発工数を大幅に削減できた。

- ユーザーインターフェイス
- 通信
- ファイル
- 波形解析 (拡大表示, FFT)

(3) リアルタイム OS の処理

リアルタイム OS に割り当てた処理は次のとおりである。最速 1 ms 間隔で電力演算を行うと同時に 50 ms 間隔で高調波演算を行う必要があるため、それぞれを別々のコアに割り当てた。

- 電力演算
- 高調波演算
- データ出力 (D/A, CAN)

3.4 機構

EIA ラックサイズ準拠の 5U サイズで設計された筐体には、多系統化への要求を満たすため、8 チャネルの入力ユニットが搭載されている。

高速スイッチングによる電力変動を正確に捕捉するために、ソリッドシールドと光絶縁デバイスの 2 つのキーデバイスの採用により、優れたサンプリング性能と耐ノイズ性能を両立している。

本体筐体は測定値の安定性および堅牢性を維持しつつ、板金構造と使用部材の見直しにより従来製品の PW6001 より軽量化を実現している。また、ファンによる空冷設計を刷新し、本体上面および下面には開口部を設けないことにより、ちりやほこりの侵入を防いでいる。

フロントパネル部には、大型のタッチパネルディスプレイを採用し、ユーザーのスムーズな操作を叶え、直感的なノブ操作により、操作性を追求したインターフェイスとなっている。青色、板金との一体成形ハンドルを前後左右の四隅に装着することで、運搬性と共に、意匠性も高めている。

4. 特性例

図3～図17に諸特性を示す。リニア（直線性）の特性、温度安定性、周波数特性など、同等クラスの製品と比較して極めて良好な特性となっている。これらの特性は、DCから広帯域の測定が必要なインバーターやパワーコンディ

ショナーの入出力の効率測定をする場合において、測定精度や測定の再現性を大幅に向上させる。この特性データは当社所有のPW8001を使用して測定した参考データであり、製品の特性を保証するものではない。また、電流・有効電力・位相の特性については、組み合わせる電流センサーの特性が加算される。

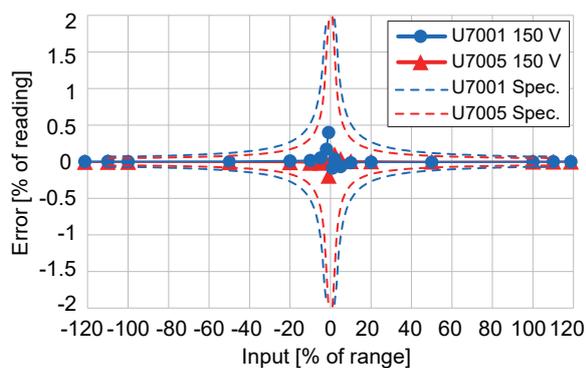


図3 電圧リニア DC

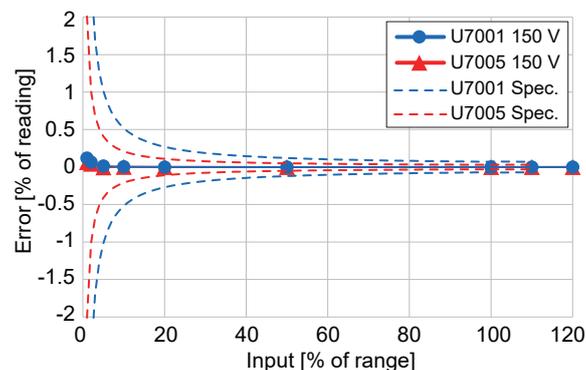


図4 電圧リニア 55 Hz

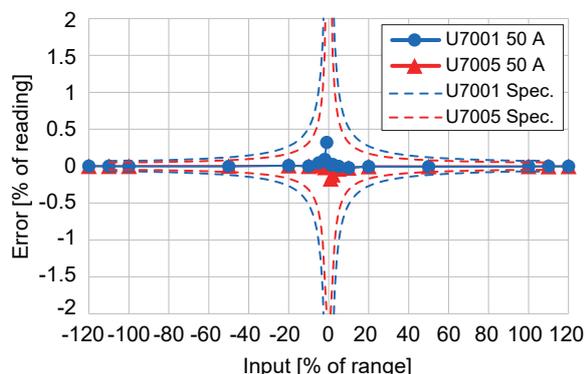


図5 電流リニア DC

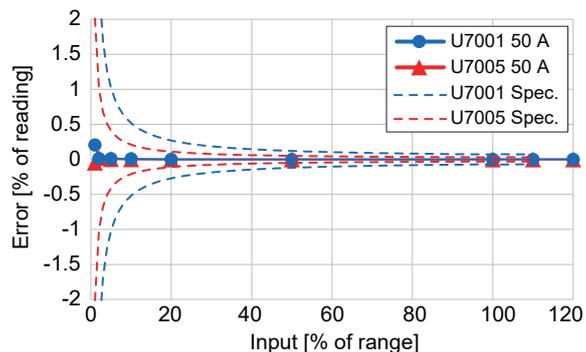


図6 電流リニア 55 Hz

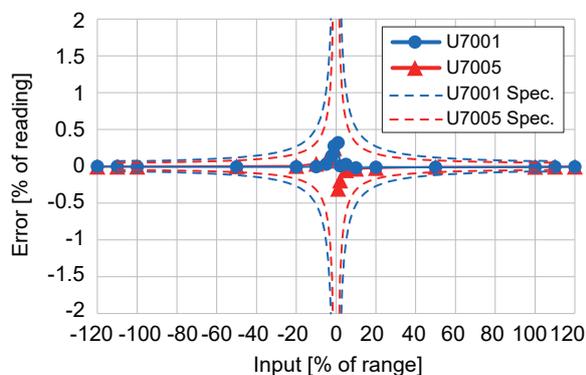


図7 有効電力リニア DC

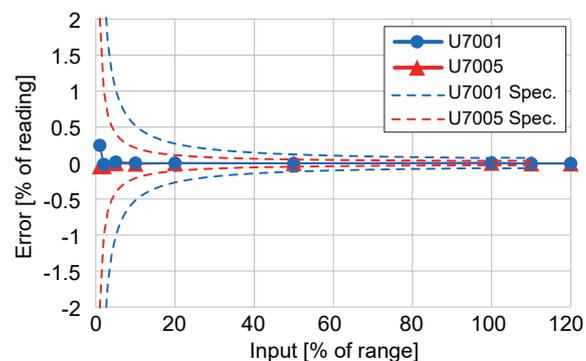


図8 有効電力リニア 55 Hz

パワーアナライザ PW8001

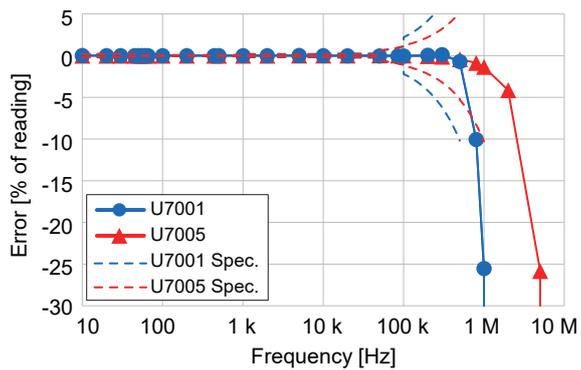


図 9 電圧周波数特性

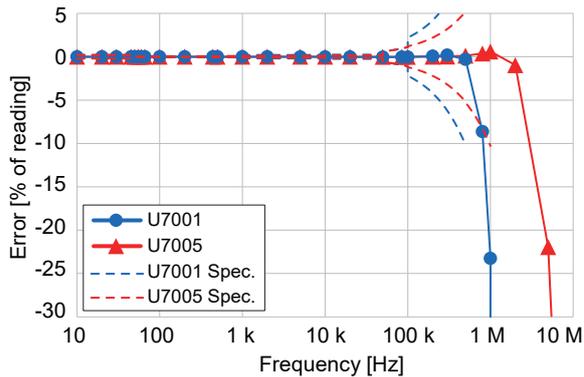


図 10 電流周波数特性

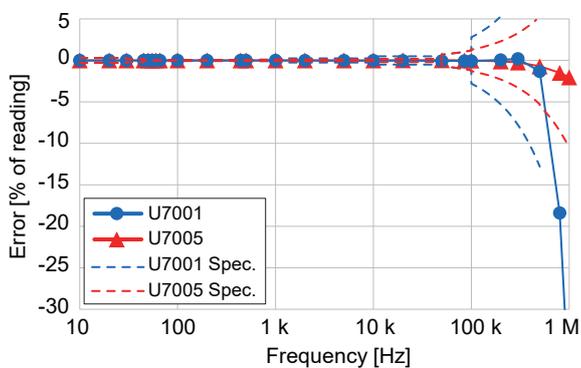


図 11 有効電力周波数特性

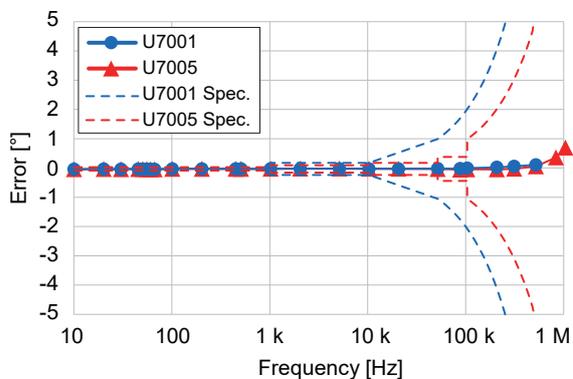


図 12 位相周波数特性

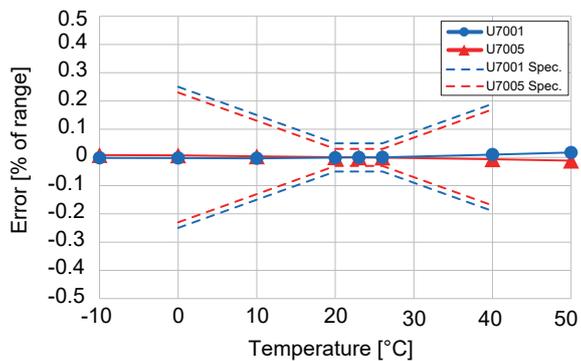


図 13 電圧温度特性 DC 0% 入力

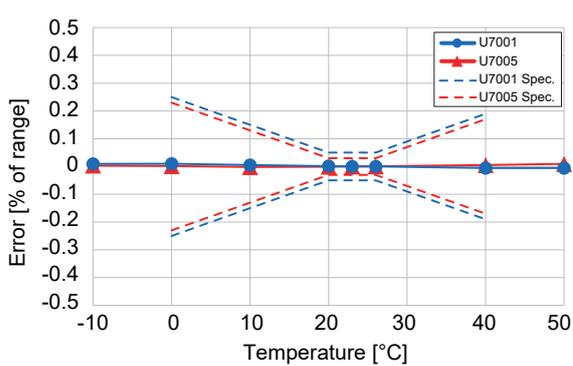


図 14 電流温度特性 DC 0% 入力

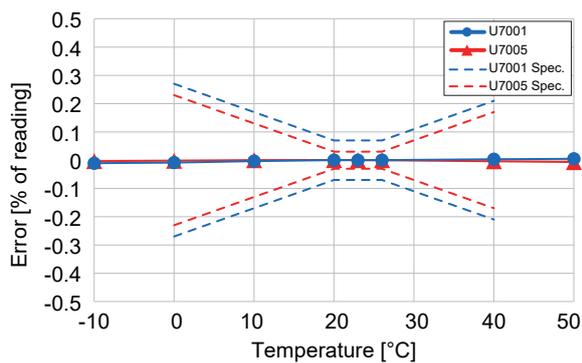


図 15 電圧温度特性 55 Hz, 100% 入力

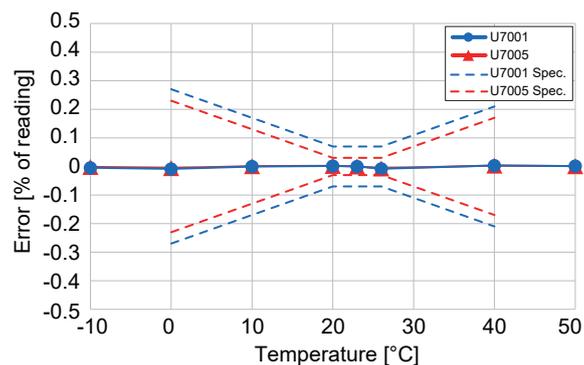


図 16 電流温度特性 55 Hz, 100% 入力

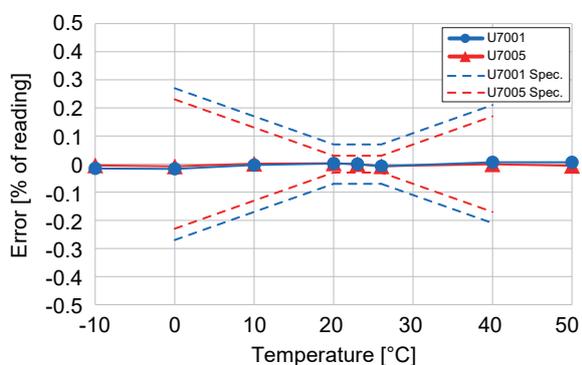


図 17 有効電力温度特性 55 Hz, 100% 入力

5. おわりに

PW8001 の特徴や構成について記載した。PW8001 の特徴および性能が、電力測定にかかわる多くのユーザーの問題解決の一助となり、さらなる省エネルギー化、技術革新などを促進することにより、持続可能な社会の実現に貢献できれば幸いである。

林和延^{*2}, 滝口真也^{*2}, 瓶子利夫^{*2},
竹内陽一郎^{*3}

参考文献

- 1) 依田 元：パワーアナライザ PW6001, 日置技報, VOL.37 2016 NO.1, 45/52 (2016)

*2 SS ユニット

*3 プロダクトマネジメント部

AC/DC カレントプローブ CT6830/CT6831 AC/DC カレントセンサ CT7812/CT7822

山岸 君彦 *1

要 旨

AC/DC カレントプローブ CT6830/CT6831, AC/DC カレントセンサ CT7812/CT7822 は, 定格電流 2 A および 20 A の小型クランプ型電流センサーである。ここに製品の概要, 特長, 構成, および特性について解説する。

1. はじめに

全世界的な脱炭素社会の実現に向けた活動が進む中で, 機器の高効率化や省エネルギー化への取り組みが進んでいる。当社では各市場に向けて電流センサーを提供しているが, 小型・高密度化が進む中で, 狭い箇所で測定したい, 暗電流を測定したいなどの要求が多くなってきている。

2. 概要

AC/DC カレントプローブ CT6830/CT6831, AC/DC カレントセンサ CT7812/CT7822 は, 狭い場所での測定に対応できるように, 従来製品に対して体積比で 1/10 に小型化した電流センサーである。図 1 にその外観を示す。

2.1 機能・特長

(1) 小型

従来製品体積比で約 1/10, スライド開閉構造の採用で狭い箇所でのクランプも簡単にできる。

(2) 広い使用温度範囲

従来製品と同様に $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ の広い温度環境で使用できる。

(3) 高確度

$\pm 0.3\%$ of reading $\pm 0.1\%$ f.s. (DC)

小型化したにもかかわらず従来製品とほぼ同等性能である。

(4) 周波数帯域が広い

DC \sim 100 kHz

直流電流だけでなく, インバーターの二次側などの高周波電流も測定できる。

(5) 低消費電力

センサー部の回路構成を低電圧で動作するようにしたことで, 従来製品に対し約 1/5 の消費電力に抑えた。電池製品のデータロガーでも使用できる。

(6) 接続機器への自動認識

各センサーの ID により, 接続先の機器によっては電流レンジが自動認識される。CT6830/CT6831 は内部メモリーに各種情報が書き込まれており, パワーアナライザ PW8001 使用時は位相補正值が自動で設定される。



図 1 外観

*1 SS ユニット

AC/DCカレントプローブ CT6830/CT6831 AC/DCカレントセンサ CT7812/CT7822

図2に接続機器の組み合わせを示す。

なお、ME15WとPL14はコネクタの互換性は無い。

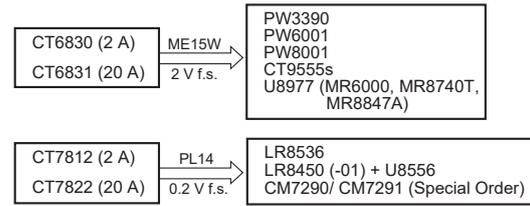


図2 各接続機器の組み合わせ

3. 構成

3.1 測定原理

センサー部は従来製品と同様にフラックスゲートを使用したゼロフラックス型電流センサーである。フラックスゲートを採用することで、オフセット変化の小さい安定した直流電流測定ができる。また、ゼロフラックス型電流センサーはセンサーコアへの負帰還動作となるため、大電流でもコアを飽和させることなく大幅に小型化することができた(図3)。

なお、4製品ともにセンサー部は共通設計になっており、中継ボックス側で出力レートを変更し、定格2 A、20 A、2 V f.s. (ME15W)、0.2 V f.s. (PL14)に対応している。

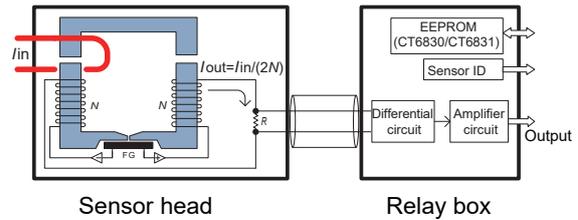


図3 内部ブロック図

3.2 構造

センサー部は狭い箇所でも開閉しやすいようにスライド構造を採用した(図4)。さらに、突き合わせをくし歯構造にすることで、長期間の安定した電流測定が可能である。



図4 センサーの開閉構造

4. 代表特性例

4製品ともにセンサー部は共通のため、記載がない特性についても同様なデータが得られる。

4.1 直線性

図5から図8に直線性を示す。ゼロフラックス型センサーのため直線性は良い。定格電流以上の50 Aで直線性が悪化するの内部電源電圧による制限である。定格の1/1000程度以下では、センサーの出力ノイズ、調整しきれないオフセットの影響による。

4.2 温度特性

図9から図12に温度特性を示す。フラックスゲートを採用したゼロフラックス型センサーにすることでオフセット、感度ともに安定したセンサーとなっている。

4.3 周波数特性

図13と図14に周波数特性を示す。4製品とも同じ構成としたため、ほぼ同じ特性になっている。

なお、CT6830/CT6831については、中継ボックス内のメモリーには各センサー個別の位相データが書き込まれている。PW8001と組み合わせた場合、PW8001側で位相データを読み込んで電力演算をするため、高い周波数帯域でも高精度な電力測定が可能である。

4.4 同相電圧の影響

図15と図16に同相電圧の影響を示す。図3のブロック図に示しているが、センサー部からの信号を中継ボックス内部の差動検出回路で受ける構成にすることで同相電圧による影響を抑えることができ、インバーター機器などノイズ環境下でも十分に使用できる。

AC/DCカレントプローブ CT6830/CT6831 AC/DCカレントセンサ CT7812/CT7822

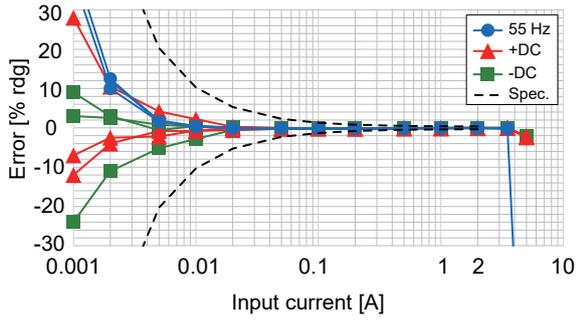


図 5 CT6830 直線性

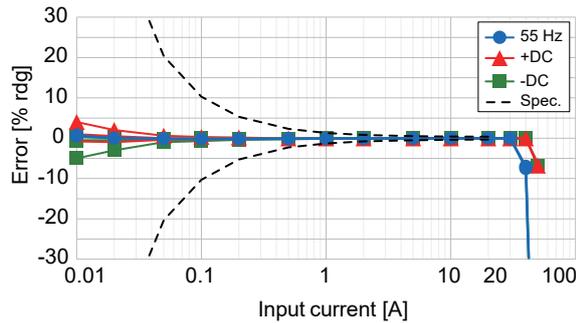


図 6 CT6831 直線性

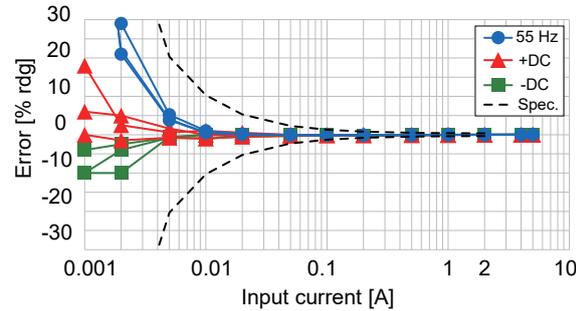


図 7 CT7812 直線性

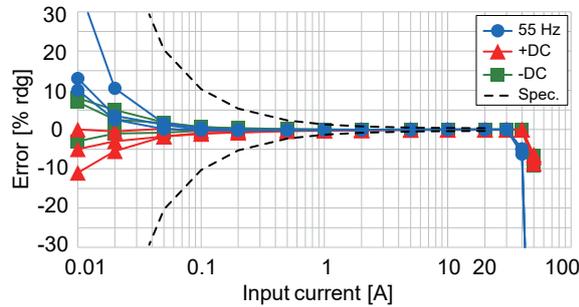


図 8 CT7822 直線性

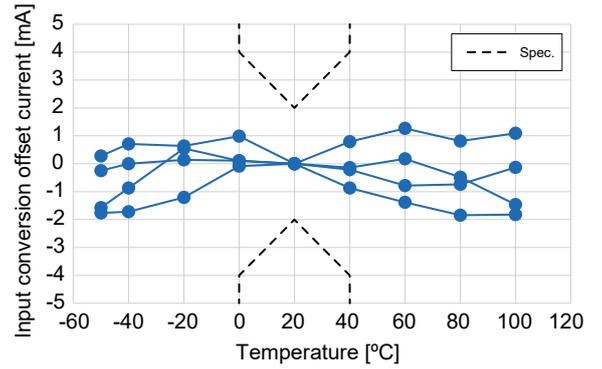


図 9 CT6830 オフセット - 温度特性

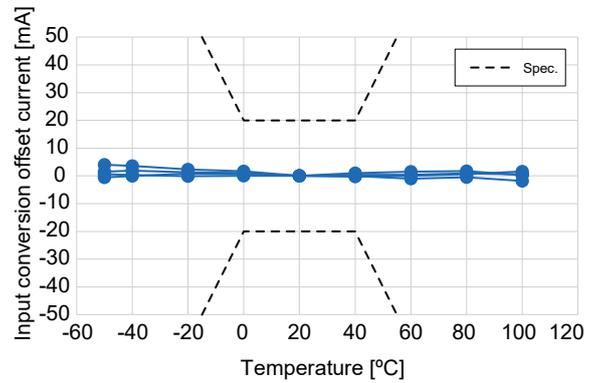


図 10 CT6831 オフセット - 温度特性

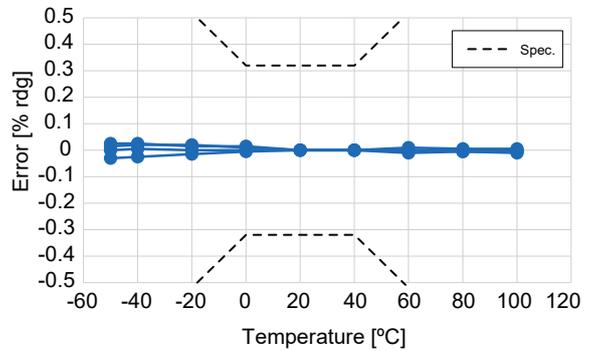


図 11 CT6830 感度 - 温度特性

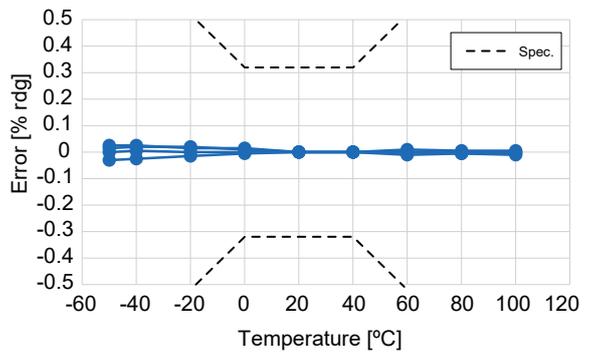


図 12 CT6831 感度 - 温度特性

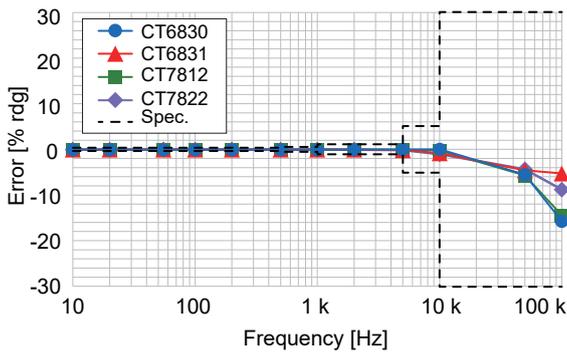


図 13 振幅 - 周波数特性

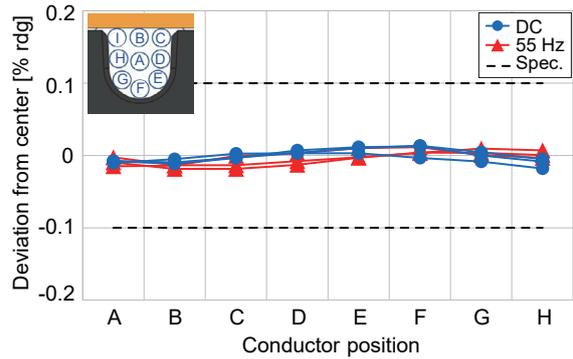


図 17 CT6830 導体位置の影響
φ2 mm 線材 (2 A 入力)

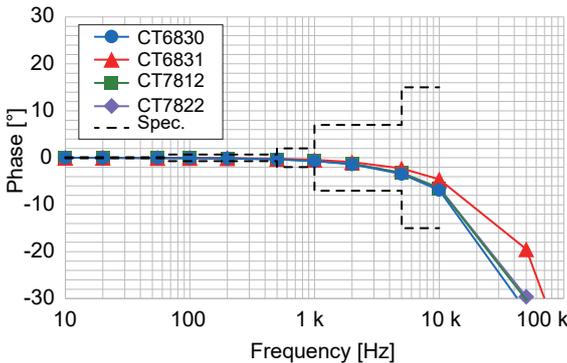


図 14 位相 - 周波数特性

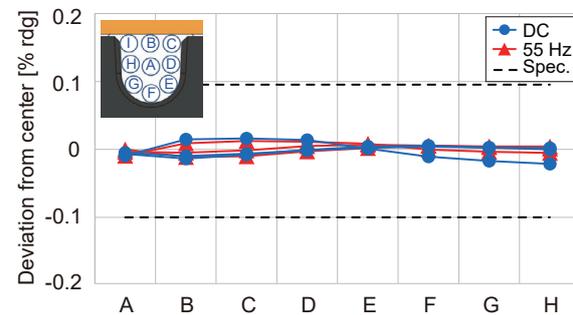


図 18 CT6831 導体位置の影響
φ2 mm 線材 (20 A 入力)

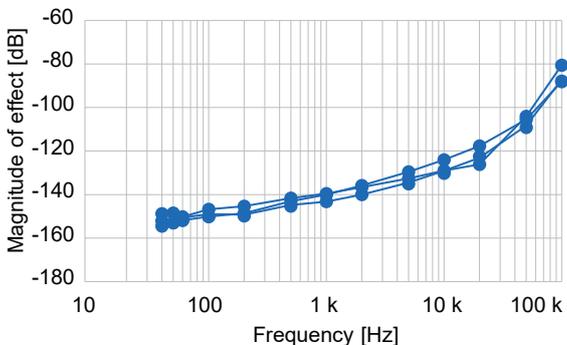


図 15 CT6830 同相電圧の影響

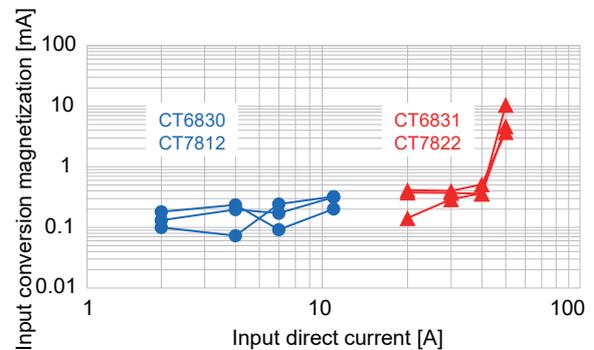


図 19 帯磁の影響

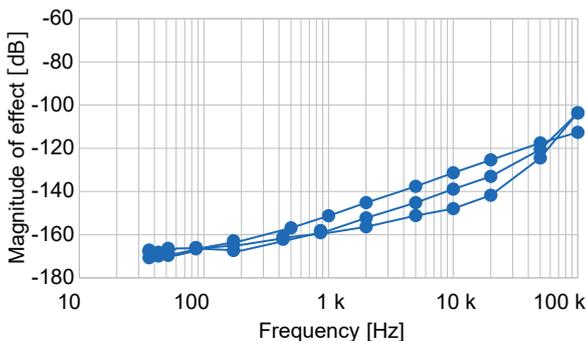


図 16 CT6831 同相電圧の影響

4.5 導体位置の影響

図 17 と図 18 に導体位置の影響を示す。開閉構造のセンサーは開閉部が最も影響を受けやすい箇所であるが、くし歯構造を採用することで、導体位置による影響を抑えている。

4.6 帯磁の影響

図 19 に帯磁の影響を示す。各センサーの定格電流以下の直流電流であれば、1 mA 以下の帯磁量である。ただし、50 A 程度から帯磁が増加する。

4.7 近接導体の影響

図 20 と図 21 に近接導体の影響を示す。構造上、開閉部の先端が近接導体の影響を受けやすい。より精度よく測定する場合は、近接する電線はできるだけ離すことが必要である。

4.8 安定性

図 22 から図 24 に長時間の安定性を示す。オフセット、感度ともに変化は小さい。試験は 23°C 環境ではあるが、長期測定には十分に安定した性能である。

4.9 出力ノイズ

図 25 に出力ノイズを示す。4 製品ともにセンサー部は共通ではあるが、出力レートが違うため、ノイズの出方は違う。小さい電流の波形を観測する場合には、定格電流の小さいセンサーを選択する方が良い。

5. 組み合わせ例 (参考データ)

5.1 PW8001 電力計との組み合わせ

図 26 から図 29 に電流直線性、図 30 から図 33 に電力直線性を示す。CT6830/CT6831 ともに最小レンジは電力計内部で 50 倍されて測定するため、交流測定ではセンサーノイズの影響を受ける。直流電流は PW8001 側でゼロアジャストを実行すれば低電流でも直線性良く測定できる。なお、交流電力の測定では、電圧側と同じ周波数成分で演算をするため、直線性の良い電力測定が可能である。

図 34 に電力の周波数特性を示す。PW8001 の位相補正機能により、電力の高周波域の周波数特性は改善される。

図 35 に SiC インバーターの実測例を示す。周波数帯域の広い CT6872 と比較した限りでは、キャリアが 10 kHz 程度であればほぼ同じ結果を得ることができる。

5.2 データロガーとの組み合わせ

メモリハイロガー LR8450 + 電流モジュール U8556

図 36 から図 39 に直線性を示す。ロガー内部の約 5 kHz のローパスフィルターにより電流センサーのノイズが低減され、良好な直線性となる。直流電流測定ではロガー側でゼロアジャストを実行すれば良好な直線性となる。

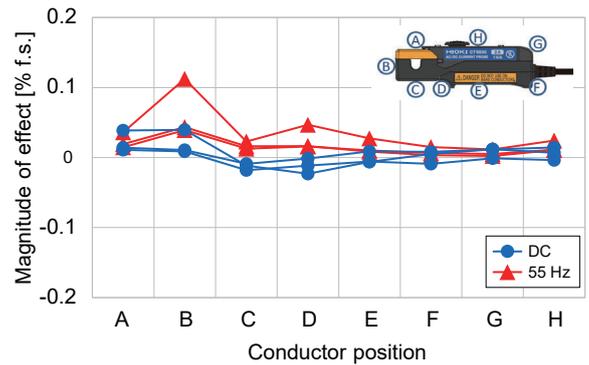


図 20 CT6830 近接導体の影響 (2 A 入力)

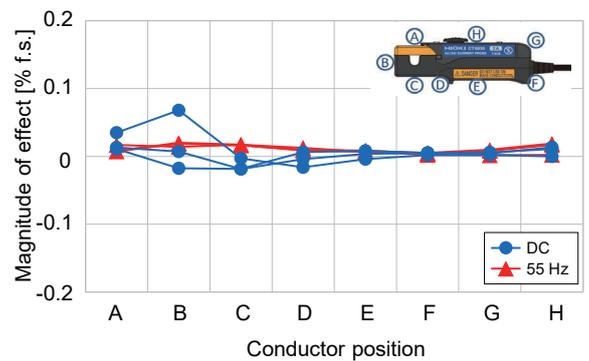


図 21 CT6831 近接導体の影響 (20 A 入力)

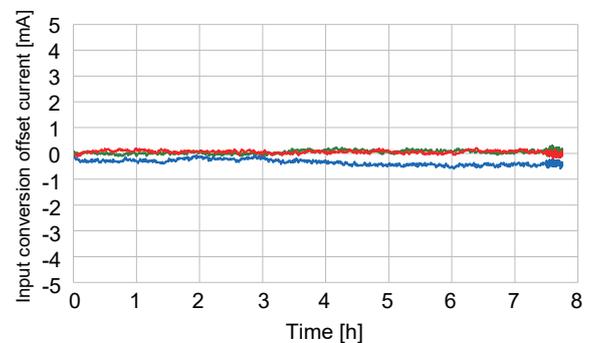


図 22 CT6830 オフセット安定性 (無入力, 23°C)

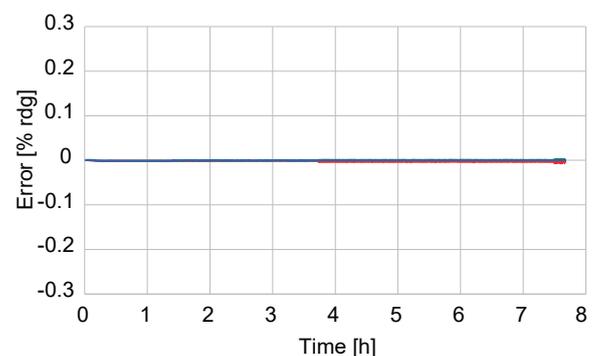


図 23 CT6830 感度安定性 (2 A/55 Hz, 23°C)

AC/DCカレントプローブ CT6830/CT6831 AC/DCカレントセンサ CT7812/CT7822

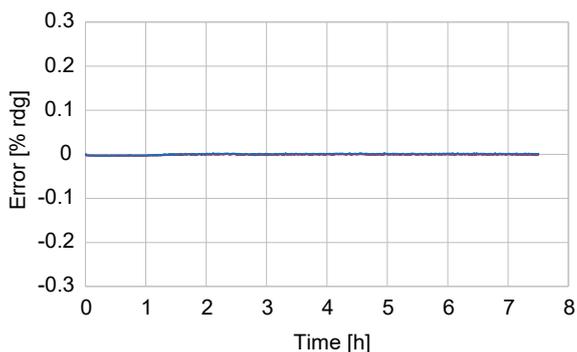


図 24 CT6831 感度安定性 (20 A/55 Hz, 23°C)

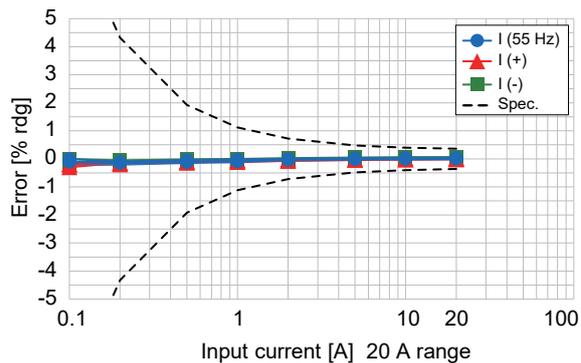


図 28 CT6831 電流直線性 (20 A レンジ)

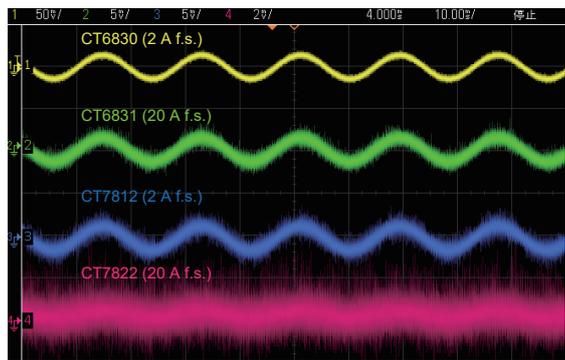


図 25 出カノイズ (10 mA, 55 Hz 入力時)

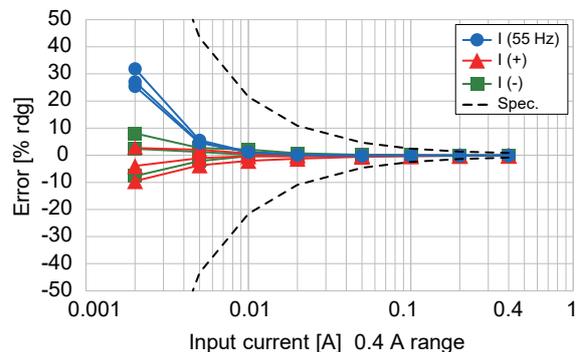


図 29 CT6831 電流直線性 (0.4 A レンジ)

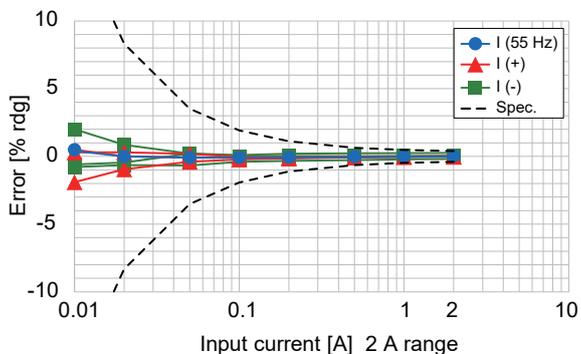


図 26 CT6830 電流直線性 (2 A レンジ)

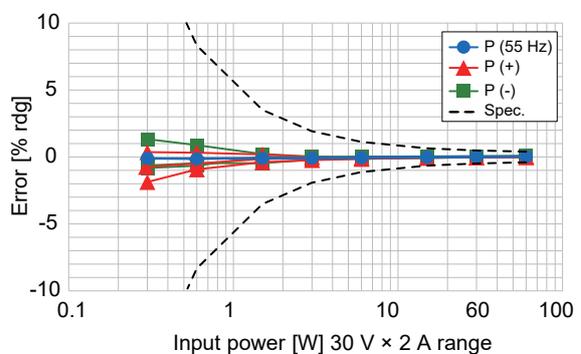


図 30 CT6830 電力直線性 (30 V x 2 A レンジ, 30 V 固定)

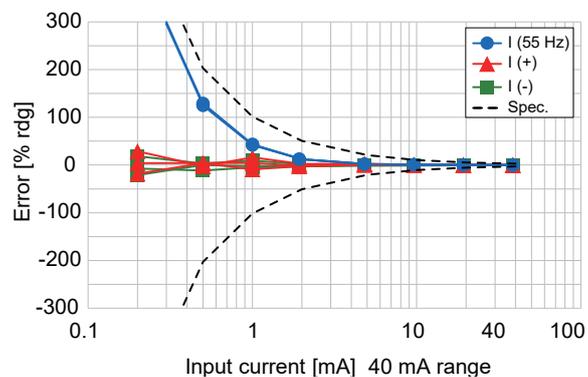


図 27 CT6830 電流直線性 (40 mA レンジ)

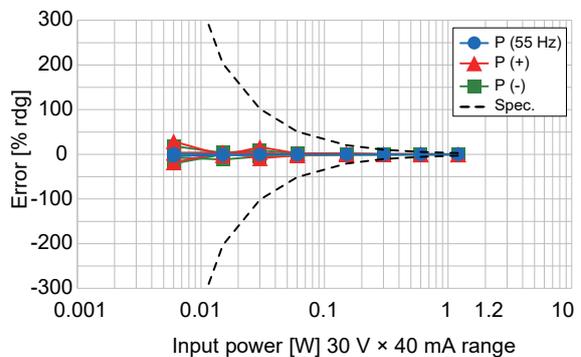


図 31 CT6830 電力直線性 (30 V x 40 mA レンジ, 30 V 固定)

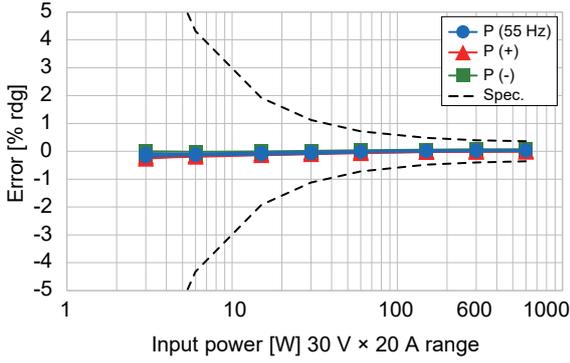


図 32 CT6831 電力直線性
(30 V x 20 A レンジ, 30 V 固定)

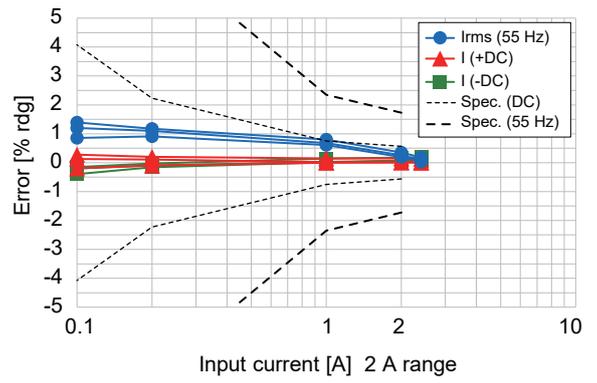


図 36 U8556 + CT7812 (2 A レンジ)

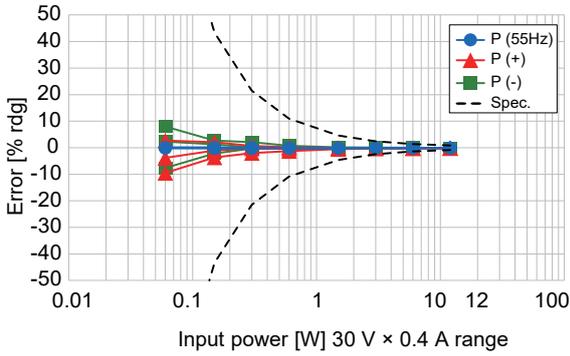


図 33 電力直線性
(30 V x 0.4 A レンジ, 30 V 固定)

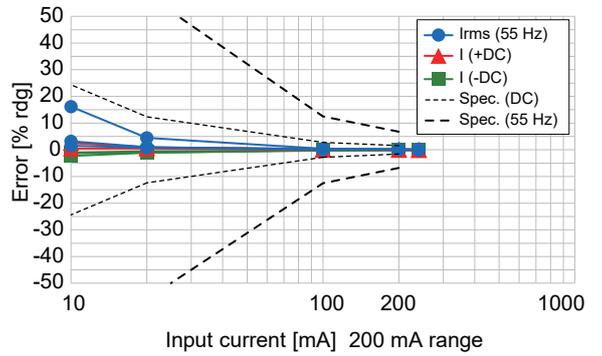


図 37 U8556 + CT7812 (200 mA レンジ)

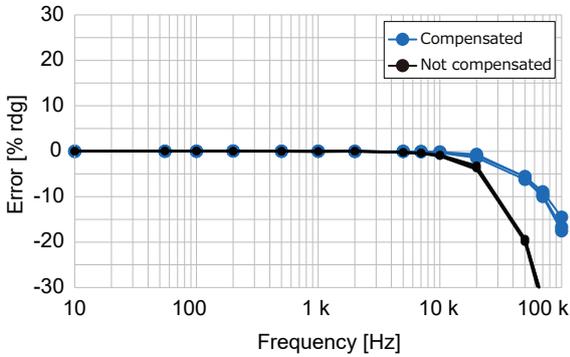


図 34 CT6830 電力周波数特性
(6 V x 2 A レンジ, 力率 1)

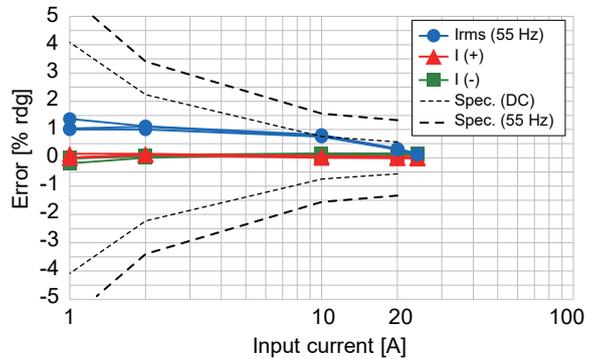


図 38 U8556 + CT7822

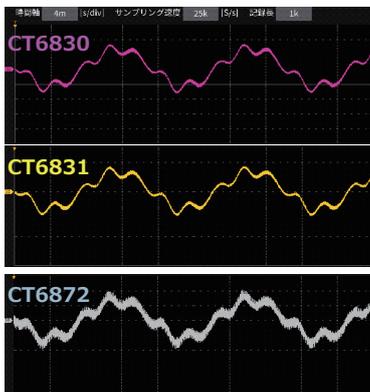


図 35 SiC インバーター二次側電流波形
基本波 60 Hz, キャリア 10 kHz

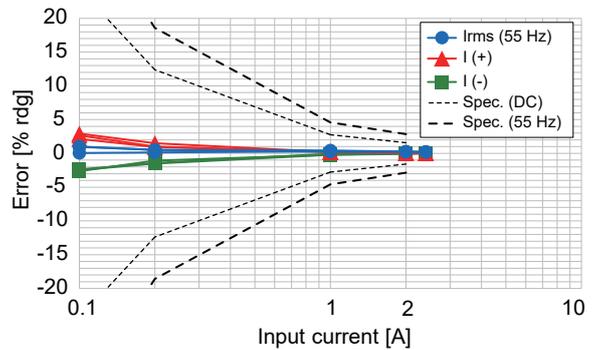


図 39 U8556 + CT7822

6. 活用事例

6.1 自動車の WLTP 電流計測

WLTP の電流計測では、各電装系の消費を個別に測定したいという要求が高くなっている。本センサーは小型であるため、ダッシュボード内など、場所を選ばず設置でき、各電装系の消費電流を測定できる（図 40）。

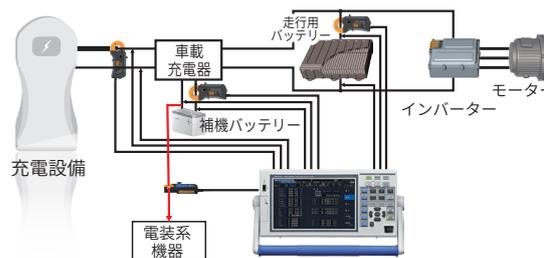


図 40 WLTP 計測 (CT6830/CT6831)

6.2 自動車の暗電流計測

バッテリー上がりの原因の調査には暗電流計測が重要である。最新の車には多くの電装機器が搭載され、待機電流が多い。また、停止状態に電装機器が原因不明で動作することもバッテリーの電圧低下の原因になる。

本センサーをデータロガーや無線モジュールと組み合わせることで、多くの電装機器の暗電流を多チャンネルで計測できる（図 41）。

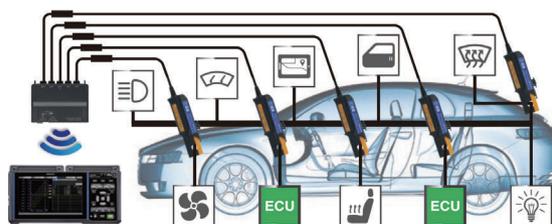


図 41 車載機器の消費電流，暗電流計 (CT7812/CT7822)

7. おわりに

世界的な脱炭素社会に向けた省エネルギー機器の開発は、より小型化、高密度化へ進んでいる。この製品がより広く活用され、脱炭素社会の実現に向けた省エネルギー機器の研究開発が促進されることを期待する。

渡辺 英雄 *2

参考文献

- 1) 山岸 君彦：AC/DC カレントセンサ CT6862/CT6863，日置技報，VOL.31 2010 NO.1，25/34（2010）
- 2) 池田 健太：AC/DC カレントプローブ CT6841/CT6843，日置技報，VOL.36 2015 NO.1，45/54（2015）

*2 SS ユニット

接地抵抗計 FT6041

三木 昭彦*1

要 旨

接地抵抗計 FT6041 は、接地設計に必要な 4 電極法の接地抵抗測定機能や、接地線を切り離さなくても正確に接地抵抗測定ができる MEC 機能を備えた多機能な接地抵抗計である。ここに製品の概要、機能・特長、および計測事例について解説する。

1. はじめに

脱炭素社会実現のため、全世界で再生可能エネルギーによる発電施設が増加している。そこで、データセンターや病院施設などでは機器の故障や停止を防ぐため、落雷によるノイズから機器を守る必要がある。これらの施設を安全かつ、安定して運用するためには接地設計が重要である。

また、接地抵抗を規定値以下に維持するため、定期的に検査をする必要がある。接地抵抗を正確に測定するためには、接地線を設備から切り離して測定をする必要があるが、感電する危険があるため、容易に設備から切り離して検査をすることができない。

これらの問題を解決するため、使い方が簡単で、クランプを用いた接地抵抗測定ができる接地抵抗計 FT6041 を開発した。図 1 にその外観を示す。

2. 概要

FT6041 は多機能な接地抵抗計である。接地設計に必要な大地抵抗率を測定できる 4 電極法や、多重接地で単独の接地を測定できる MEC 機能などの測定機能を備えている。なお、MEC とは Measuring Earth resistance using a Clamp の略で、当社独自の名称である。特に、接地抵抗測定については、あらゆる環境でも使えるよう測定範囲を従来製品の 100 倍である 300 k Ω までに拡大し、ノイズ環境でも測定ができるように地電圧を 30 V まで許容できるようにした。



図 1 FT6041 の外観

3. 機能・特長

3.1 主な仕様

- 接地抵抗測定範囲：0.000 Ω ～ 300.0 k Ω
- 測定周波数：94 Hz, 105 Hz, 111 Hz, 128 Hz, 55 Hz
- 許容地電圧：30 V rms
- 補助接地極の許容接地抵抗：最大 100 k Ω

3.2 本体構造

接地抵抗を測定する場所は屋外が多く、特に接地設計をするときは土の上に測定器を置いて測定をするため、防じん・防水性能は IP67 とした。

3.3 クランプセンサー

75 mm の太いアースバーでも測定できるように大口径にし、かつ、混みあった配線部分でも使えるようにジョーの断面積を小さくして接地線を噛みやすい設計とした。

3.4 接地網モジュール

舗装された市街地では接地抵抗の測定に必要な補助接地棒を打ち込むことができない。この

*1 事業推進部

接地抵抗計 FT6041

問題を解決するために、測定コード L9845 と一体化できる接地網モジュール L9846 を用意した。測定コードを伸ばして、コンクリート上に置いて水を掛けるだけで接地抵抗を測定できる。

4. 原理

4.1 接地抵抗測定

接地抵抗測定は、測定対象に正弦波信号を印加し、電流信号と電圧信号をそれぞれ測定して演算処理をしている。

測定対象には純抵抗成分である接地抵抗以外に、インダクタンス成分や容量成分が含まれる。インダクタンス成分や容量成分は測定には不要なため、電流信号と同相の電圧信号を測定することで取り除いている。MEC 機能や 2 つのクランプを用いた接地抵抗測定も基本的な測定原理は同じである。

4.2 MEC 機能

MEC 機能は、イギリスの電気設備の保護接地に関する実施基準である BS7430 に記載された測定方式を取り入れた機能である。接地抵抗測定と同じく、MEC 機能は測定対象に正弦波信号を印加して測定するが、電流信号はクランプセンサーで検出して演算処理をする。

4.3 2 クランプ測定

多重接地されている箇所において、接地抵抗の測定ができる。測定対象の接地抵抗を R_x 、他の多重接地されている接地抵抗をそれぞれ R_1, \dots, R_n とすると、測定する抵抗値は式 (1) で表される。

$$R_m = R_x + \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \dots \dots \dots (1)$$

このとき n が十分大きく各 R_i が小さい値であれば、式 (2) になり、式 (1) の第 2 項を無視できるため、 R_x の値を測定できる。

$$R_x \gg \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} \dots \dots \dots (2)$$

FT6041 では、注入クランプセンサーから測定対象に正弦波信号を印加し、印加した電圧と検出クランプセンサーで得られた電流信号から接

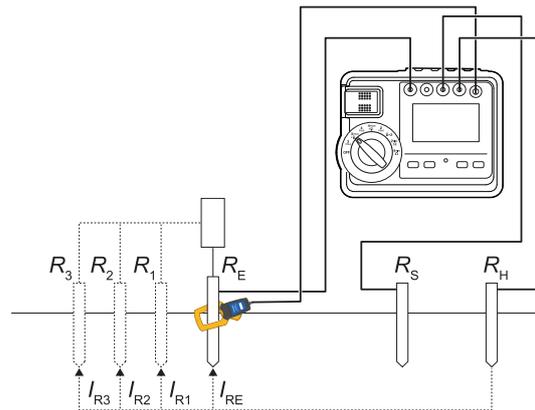


図 2 MEC 機能の接続図

地抵抗を演算している。

4.4 低抵抗測定

接地抵抗測定と基本原理は同じであるが、低抵抗測定では正弦波信号の代わりに直流信号を測定対象に印加し、電流信号と電圧信号から抵抗値を算出している。

5. 構成

5.1 ハードウェア

(1) 本体

● 4 電極接地抵抗測定

電池電圧を昇圧し、出力電圧を生成している。これを H 端子 -E 端子間に印加し、E 端子に流れ込んだ電流と S 端子 -ES 端子間の電圧を測定することで抵抗値を算出している。

また、同期検波を利用することで測定周波数だけを選択して測定し、耐ノイズ性能を向上させている。さらに、5 つの測定周波数を選択できる仕様とすることで、ノイズの影響を受けにくい安定した抵抗測定ができる。

● MEC 機能

多重接地抵抗の中から 1 つの接地極を測定しようと 3 電極法で測定しても、その他の接地極から測定電流が回り込むため、並列抵抗値を測定してしまう。1 つだけ測定するには接地極を切り離す必要があるが、これを切り離すには多大な時間がかかる。また、データセンターや病院などの施設のように電源を落とせない場所を測定できないことも問題であった。

そこで、通常の接地抵抗測定に加えてクランプセンサーを用いることで、1 つの接地極だけを測定できるようにした。図 2 に接続図を示す。

多重接地されたうちの1つの接地極の抵抗 (R_E) は、測定電圧 (V) およびクランプセンサー測定電流 (IR_E) を用いて、式 (3) で表される。

$$R_E = V/IR_E \dots \dots \dots (3)$$

● 2クランプ測定

2クランプ測定は、注入クランプセンサーと検出クランプセンサーを用いて多重接地のうちの1つの接地極を簡易的に測定する機能である。注入クランプセンサーに電圧を印加し、クランプセンサーの一次側と二次側の巻き数比に応じた電圧が測定対象に印加される。抵抗値に応じた電流を検出クランプセンサーで測定することで、抵抗値を算出している。

● 低抵抗測定 (導通チェック)

測定対象に電池電圧を印加し、電圧および電流を測定し抵抗値を算出している。定電流測定回路では流れた電流を I-V 変換回路により検出し、測定電流が 200 mA の定電流となるように制御される。また、誤って活電部に接続コードが接続された場合はヒューズが溶断し、測定回路が保護される安全設計となっている。

5.2 ソフトウェア

(1) 自動測定

測定キーを1回押すだけで、地電圧測定、補助接地抵抗、および接地抵抗を自動で測定するため、操作が簡単である。

測定を開始すると、地電圧が許容範囲内かどうかを自動でチェックする。次に各補助接地極の接地抵抗を測定して、補助接地抵抗値が許容範囲内かどうかを自動でチェックする。補助接地抵抗値が許容範囲を超えた場合は測定を中止し、どの補助接地極が許容値オーバーであるかを表示する。そのため、許容値オーバーした補助接地極を容易に確認できる。地電圧と補助接地抵抗が許容値内の場合は、自動で接地抵抗の測定を実行する。また、接地抵抗の大きさに応じて、自動で表示レンジを選択する。

(2) 使用端子ガイド表示

ロータリースイッチを測定するファンクションに設定すると、画面上部に使用する端子を表示する。この表示に合わせてケーブルを接続できるため、接続の間違いなどの測定ミスを防ぐことができる。また、測定開始時に自動で接続チェックをして、接続していない端子がある場

合は、その端子のガイド表示が点滅するため、接続がされていない端子を知ることができる。

(3) コンパレーター機能

測定が終了した場合、測定した抵抗値があらかじめ設定したしきい値を超えたときにブザーと LED でそれを知らせる。しきい値は $1 \Omega \sim 500 \Omega$ の範囲で設定できる。測定値を確認することなく、正常な抵抗値かどうかを知ることができ、測定作業の効率を上げることができる。

(4) 無線通信

オプションのワイヤレスアダプタ Z3210 を FT6041 に装着すると Bluetooth® 通信ができ、携帯端末用アプリケーションソフトである GENNECT Cross が利用できるようになる。GENNECT Cross を使用することで、測定値をスマートフォンに転送し、測定値の表示と保存、報告書の作成が簡単にできる。

また、GENNECT Cross を経由することで、ファームウェアのバージョンアップに対応する。今後、機能アップなどがあった場合、本体を当社に送り返すことなく、現場ですぐに最新のファームウェアに更新できる。

5.3 構造

(1) 本体

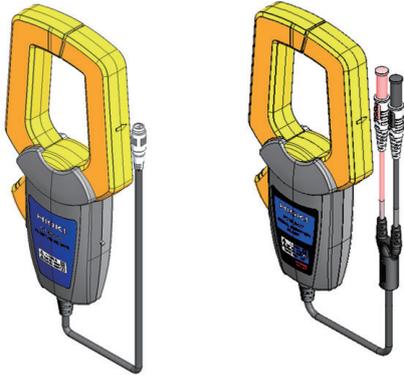
デザインコンセプトは「新しい測定スタイルで作業のしやすさにこだわった接地抵抗計」とした。直感的な操作を実現するために、ロータリースイッチと MEASURE キーを採用した。

ロータリースイッチは、多彩な測定ファンクションの中から、意図したファンクションに即座にアクセスできる。OFF の位置を水平方向 (9 時の方向) に配置し、使用頻度を考慮し、時計回りに 3POLE → 4POLE → 2POLE → 2クランプ → 低抵抗測定の順とした。

MEASURE キーは、右側を押す単発測定の他、キーを引き起こすことで連続測定を簡単に行うことができる。接地抵抗測定時または低抵抗測定時に活線警告表示が赤く点灯して注意を促す。

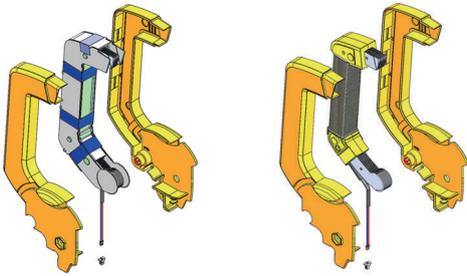
当社のコーポレートカラーであるプロダクトブルーのプロテクタで外装を覆うことで、測定器を持った際に手になじむようグリップ力を高めた。また、プロテクタを装着することで、落下時の衝撃を和らげ、安心して地面に設置できるようにした。

接地抵抗計 FT6041



CT9848 FT9847

図3 センサーの外観



CT9848 FT9847

図4 センサーの分解図

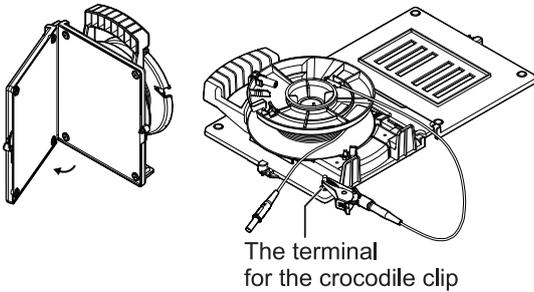


図5 L9846の外観

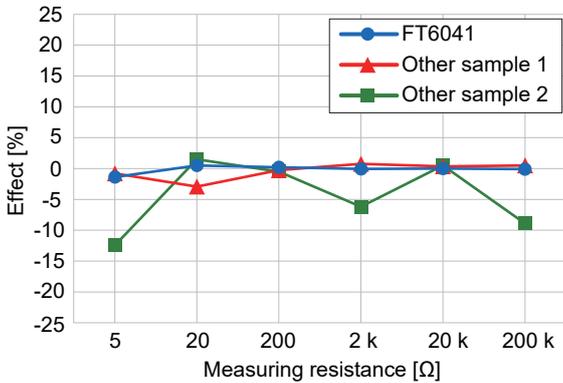


図6 地電圧の影響

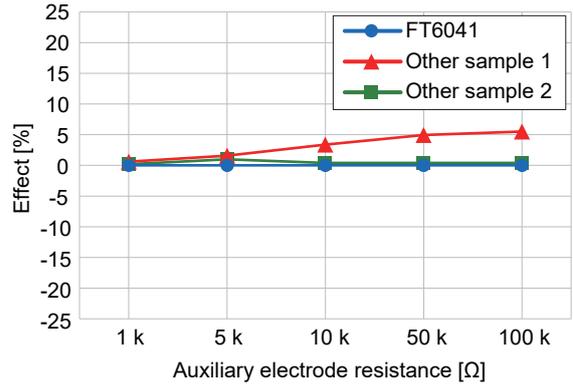


図7 補助接地電極の抵抗の影響 (R_H)

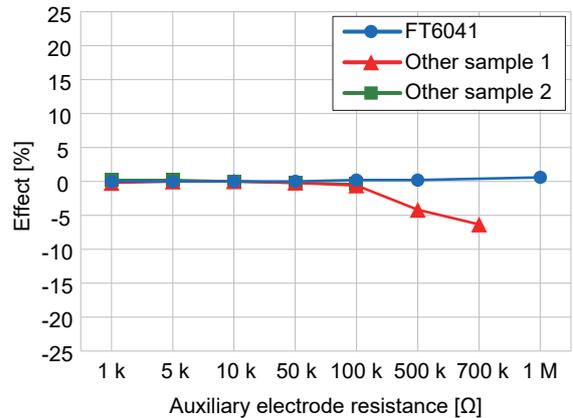


図8 補助接地電極の抵抗の影響 (R_S)

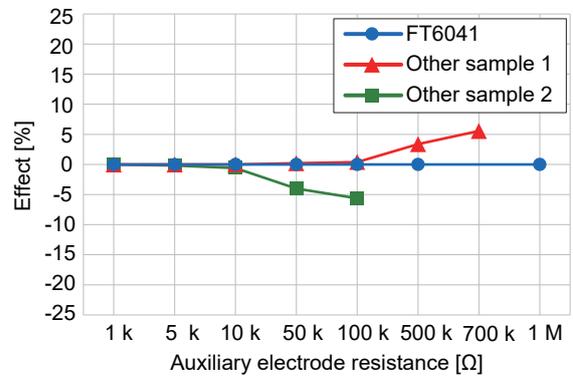


図9 補助接地電極の抵抗の影響 (R_{ES})

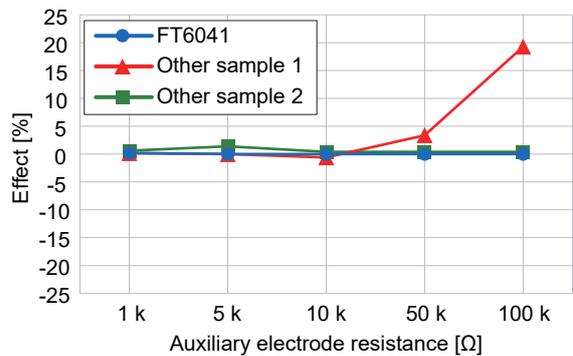


図10 補助接地電極の抵抗の影響 (R_E)

外装は主に上ケース、下ケース、および電池カバーで構成され、各部品間に適した手段でシーリングを施し、防じん・防水構造を実現している。

(2) クランプセンサー

図3にクランプオンセンサ CT9848 とシグナルインダクションクランプ FT9847 の外観を示す。

2クランプ測定を実現するため、信号注入用の FT9847 と信号検出用の CT9848 の2種類のクランプセンサーを開発した。

ほとんどの成形部品において部品の共通化を図っており、FT9847 と CT9848 は出力ケーブル以外、同じ外観である。

また、見た目で当社製品とわかるように、手持ち部分や指示板などは既存のカレントセンサのデザインを踏襲している。

注入センサーである FT9847 は、注入信号による磁気飽和が生じないように設計している。

検出センサーである CT9848 は、微小電流の検出が必要であるため、微小電流の検出に適したコア材を採用している。また、2クランプ測定では FT9847 から測定ラインに一定の信号を注入して CT9848 で検出するが、注入信号をダイレクトに検出しないよう、構造を工夫している(図4)。

(3) 接地網モジュール

図5に接地網モジュール L9846 の外観を示す。巻き取り器と一体構造とすることで利便性を向上させた。L9846 はスポンジも有し、スポンジに保水能力を持たせることで、安定した測定ができる。

6. 測定事例

6.1 地電圧の影響

接地抵抗測定は発電システムで使用されることがある。ノイズ環境でも正確な測定値を示すことができるようにするため、FT6041 は地電圧の許容範囲を 30 V とした。図6は AC 30 V / 60 Hz の地電圧を印加したときの接地抵抗測定の影響量を示したグラフである。他社製品と比較して、各測定抵抗において、影響量が少ない。

6.2 補助接地電極の抵抗の影響

接地抵抗測定は地面に補助接地棒を挿して測

定する必要がある。よって、各補助接地電極に抵抗がある状態で測定することになる。特に4電極法は接地設計に使用するため、補助接地電極の抵抗の許容範囲が広く、かつ、影響量が低いことが望まれる。図7から図10は各補助接地電極の抵抗の影響量を示したグラフである。他社製品と比較して、許容値が大きく、影響量も少ない。

7. おわりに

FT6041 は、測定範囲が広く、かつ、ノイズ環境にも強い接地抵抗計である。また、MEC 機能や2クランプ測定機能を備え、今まで確認が困難であった箇所の接地抵抗を測定できる。さらに、L9846 を用意することで、補助接地棒を打ち込むことができない場所でも接地抵抗測定が容易になる。

脱炭素社会実現のため、再生可能エネルギーによる発電施設が増加している現在、安全かつ安定して運用するためには接地の設計、および、保守・点検が重要である。FT6041 が接地設計や保守・点検の業務に関わる多くのユーザーの手助けになれば幸いである。

仙田 学^{*2}、永井 明博^{*2}、宮澤 健明^{*2}、
森下 公二^{*2}、和田 直^{*3}、小川原 崇裕^{*4}、
長澤 広輝^{*5}

商標

- Bluetooth® ワードマークおよびロゴは登録商標であり、Bluetooth SIG, Inc. が所有権を有します。

日置電機株式会社は使用許諾の下でこれらのマークおよびロゴを使用しています。その他の商標および登録商標は、それぞれの所有者の商標および登録商標です。

*2 事業推進部

*3 SS ユニット

*4 SM ユニット

*5 品質保証部

日置技報 総目次 (第1号～第44号)

2000年以降の日置技報は、当社ウェブサイトからダウンロードできます。(www.hioki.co.jp)

日置技報 第1号 1980年 (NO.1)

- ・「日置技報」発刊にあたって
- ・ソリッドハイコーダ
- ・電子式無接点メーターリレー
- ・クランプオン電力計

日置技報 第1号 1980年 (NO.2)

- ・マイクロハイコーダ
- ・ハイテストパック特集
- ・クランプ式漏洩電流計

日置技報 第2号 1981年

- ・AC トランスデューサ
- ・デジタルハイテスタ利用技術
- ・3150 接地抵抗計
- ・7001 標準発生器, 7002 電流ユニット

日置技報 第3号 1982年

- ・ソリッドハイコーダ
- ・3402 デジタル回転計
- ・3160 シリーズクランプ電流計

日置技報 第4号 1983年

- ・8301 クイックハイコーダ
- ・3222 プログラマブルハイテスタ
- ・8801 メモリハイコーダ
- ・7005 プログラマブル直流標準発生器

日置技報 第5号 1984年

- ・8401 X-Yハイプロッタ
- ・8601 ピコハイコーダ
- ・8802 メモリハイコーダ
- ・3164 クランプオン直流電力計
- ・3261 デジタルクランプハイテスタ

日置技報 第6号 1985年

- ・3224 ミリオームハイテスタ
- ・8800-10 ニューシリーズ
- ・3180 シリーズデジタル電力計
- ・7051 プログラマブル精密直流電源
- ・アナログ式回路計生産の自動化

日置技報 第7号 1986年

- ・2500 システムコントローラ
- ・8803 FFTハイコーダ
- ・3601 ユニバーサルカウンタ
- ・3263 クランプ式漏洩電流計

日置技報 第8号 1987年

- ・8820 メモリハイコーダ
- ・3191 デジタル電力計
- ・3265 AC/DCクランプ電流計
- ・3267 クランプ力率計
- ・9309 出力変換器
- ・3520 LCRハイテスタ
- ・7010 直流信号発生器
- ・表面実装装着自動機の開発

日置技報 第9号 1988年

- ・3403/3404 デジタル回転計
- ・8850 メモリハイコーダ

日置技報 第10号 1989年

- ・3264 AC/DCクランプ電流計
- ・3266 クランプ力率計
- ・9485 広帯域入力ユニット
- ・1120 インサーキットテスタ

日置技報 第11号 1990年 (NO.1)

- ・3117/3119 絶縁抵抗計
- ・9270/9271 クランプセンサ
- ・9486 クランプユニット
- ・3228 リペアテスタ

日置技報 第11号 1990年 (NO.2)

- ・3530 LCRハイテスタ
- ・7020/7021 プログラマブルシグナルソース
- ・8815/8830 メモリハイコーダ
- ・3165 クランプ電力計

日置技報 第12号 1991年

- ・3226 ミリオームハイテスタ
- ・3521 LCRハイテスタ
- ・1121 インサーキットテスタ
- ・8816/8831/8833 メモリハイコーダ

日置技報 第13号 1992年

- 8825 メモリハイコーダ
- 8851 メモリハイコーダ
- 3192 AC/DCデジタルパワーハイテスタ
- 3195 デジタルパワーアナライザ

日置技報 第14号 1993年

- 3186 デジタルパワーハイテスタ
- 3620 データアナライザ

日置技報 第15号 1994年

- 3610/3611 レーザ変位計
- 1201 ウェーブフォームハイテスタ
- 8840 メモリハイコーダ

日置技報 第16号 1995年 (NO.1)

- 1929 4端子抵抗測定機能
- 8852 メモリハイコーダ
- 8220 マルチハイプレイ
- 8001 サーモハイプレイ
- 3227 ミリオームハイテスタ
- 3187/3188/3189 AC/DCパワーハイテスタ

日置技報 第16号 1995年 (NO.2)

- 特別寄稿 (丹野 頼元教授)
- 8804 メモリハイコーダ
- 8711/8712 ラインモニタハイコーダ
- 8005 ヒューミディティハイプレイ
- 7070 ウェーブフォームジェネレータ
- 3370/3371 パワーアナライザ
- 9277/9278/9279 ユニバーサルクランプオンCT
- 3450 メグオームハイテスタ
- 3423 ルクスハイテスタ

日置技報 第17号 1996年

- 8805 メモリハイコーダ
- 8853 メモリハイコーダ
- 3531 Zハイテスタ
- 3167 AC/DCクランプオンパワーハイテスタ
- 3415/3416 放射温度ハイテスタ
- 3256 デジタルハイテスタ

日置技報 第18号 1997年

- 3550/3555 バッテリハイテスタ,
- 9203 デジタルプリンタ
- 7011 DCシグナルソース
- 7032 ユニバーサルハイパワー
- 3330 パワーハイテスタ
- 3452 メグオームハイテスタ

日置技報 第19号 1998年

- 8835 メモリハイコーダ
- 8845/8846 メモリハイコーダ
- 3522 LCRハイテスタ
- 3551 バッテリハイテスタ
- 3155 リークカレントハイテスタ
- 3625 温湿度ロガー
- 3166 クランプオンパワーハイテスタ
- 3281/3282 デジタルクランプオンハイテスタ
- 3283 クランプオンリークハイテスタ
- 3151 アースハイテスタ

日置技報 第20号 1999年

- 8826/8841/8842 メモリハイコーダ
- 3540 ミリオームハイテスタ
- 3560 ACミリオームハイテスタ
- 7075 ウェーブフォームジェネレータ
- 3441/3442 温度ハイテスタ
- 3273 クランプオンプローブ
- 3193 パワーハイテスタ
- 3331 パワーハイテスタ
- 3280 クランプオンハイテスタ
- 3284/3285 クランプオンAC/DCハイテスタ

日置技報 第21号 2000年

- 3157 保護導通試験器
- 3168 クランプオンパワーハイテスタ
- 3245 ソーラハイテスタ
- 3332 パワーハイテスタ
- 3453 デジタルメグオームハイテスタ
- 3511 LCRハイテスタ
- 3630S データミニシリーズ
- 8807/8808 メモリハイコーダ

日置技報 第22号 2001年

- 3143 アースハイテスタ
- 3274 クランプオンプローブ
- 3287/3288 クランプオンAC/DCハイテスタ
- 3636 クランプロガー, 3637 AC電圧ロガー,
- 3638 リークロガー, 3639 パルスロガー
- 8420 メモリハイロガー
- 8720 ビジュアルハイコーダ

日置技報 第23号 2002年

- 8855 メモリハイコーダ
- 3153 自動絶縁耐圧試験器
- 3275 クランプオンプローブ
- 3286 クランプオンパワーハイテスタ
- 9667 フレキシブルクランプオンセンサ
- 3194 モータ・ハーモニックハイテスタ
- 3196 電源品質アナライザ
- 3237/3238/3239 デジタルハイテスタ
- 3660 LANケーブルハイテスタ
- 燃料電池セルモニタ線検査装置

日置技報 第24号 2003年

- 8730/8731 波形判定器
- 3535 LCR ハイテスタ
- 3532-80 ケミカルインピーダンスメータ
- 3503 C ハイテスタ
- 3912 コミュニケーションベース
- 3156 リークカレントハイテスタ
- 3169 クランプオンパワーハイテスタ
- 3246 ペンシルハイテスタ
- 3454 デジタルメグオームハイテスタ

日置技報 第25号 2004年

- 8420-50 メモリハイコーダ
- 3931 高圧コンタクトチェッカ
- 3661 光パワーメータ, 3662/3663 レーザ光源
- 2300 遠隔計測システム
- 3541 抵抗計
- 9624-10 PQA ハイビュープロ
- 3290 クランプオンAC/DCハイテスタ
- 3276 クランプオンプローブ
- 3144 ノイズサーチテスタ
- 3255-50 デジタルハイテスタ

日置技報 第26号 2005年

- 特別寄稿 創業70周年記念に寄せて
- 分布定数型フィルタの動作解析
- 交流インピーダンス測定による肝由来細胞株中の薬物代謝酵素反応の検出
- 2211 カメラモジュール評価装置
- 3664 光パワーメータ
- 2300 遠隔計測システムのアプリケーション
- 3290-10 クランプオンAC/DCハイテスタ
- 3120 検電器
- 3129 検相器

日置技報 第27号 2006年

- 培養細胞測定システムを用いた細胞増殖能のリアルタイム測定
- 8860/8861 メモリハイコーダ
- 3504 C ハイテスタ
- 3561 バッテリハイテスタ
- ワイヤレスロガー
- 9709 AC/DC カレントセンサ
- 3351 電源ラインモニタ
- 3455 高電圧絶縁抵抗計

日置技報 第28号 2007年

- 2321 波形モジュール
- 3197 電源品質アナライザ
- 3333 パワーハイテスタ
- 3470 磁界測定器
- 3554 バッテリハイテスタ
- 3665 LAN ケーブルハイテスタ
- 9100 燃料電池評価ソフト
- 9743 光センサ

日置技報 第29号 2008年

- メモリハイコーダ 8860-50/8861-50, 高圧ユニット 8961
- Cハイテスタ 3505/3506
- マルチファンクションモジュール 2306, メモリモジュール 2354
- メモリハイロガー 8423
- クランプオンセンサ 9272-10, センサユニット 9555-10
- AC/DC パワーハイテスタ 3334/3334-01
- ノイズハイロガー 3145, クランプオンノイズセンサ 9754
- 検電器 3480/3481
- クランプオンハイテスタ 3291, クランプオンリークハイテスタ 3293

日置技報 第30号 2009年

- メモリハイコーダ 8847
- メモリハイコーダ 8870
- メモリハイロガー 8430
- アナログカメラモジュール評価装置 2221
- AC 自動絶縁耐圧試験器 3174
- Cハイテスタ 3504-60/-50/-40
- Ior リークハイテスタ 3355
- セーフティハイテスタ 3258

日置技報 第31号 2010年

- メモリハイコーダ 8847 機能アップ (周波数ユニット 8970, 電流ユニット 8971)
- 抵抗計 RM3542
- DC シグナルソース SS7012
- パワーアナライザ 3390
- AC/DC カレントセンサ CT6862/CT6863
- アナログメグオームハイテスタ IR4000 シリーズ

日置技報 第32号 2011年

- メモリハイコーダ MR8880
- メモリハイロガー LR8400/LR8401/LR8402
- データミニ LR5000 シリーズ
- インピーダンスアナライザ IM3570
- バッテリハイテスタ BT3562/BT3563
- 漏れ電流試験器 ST5540/ST5541
- LED 光測定器 TM6101
- タコハイテスタ FT3405/FT3406

日置技報 第33号 2012年

- メモリハイコーダ MR8875
- ペンレコーダ PR8111/PR8112
- 等価回路解析ソフト IM9000
- 抵抗計 RM3543
- 超絶縁計 SM7810,
電源ユニット SM7860 シリーズ
- 表面/体積抵抗測定用電極 SM9001
- 電源品質アナライザ PW3198
- AC/DC カレントセンサ CT6865
- アナログメグオームハイテスタ IR4082-11

日置技報 第34号 2013年

- 磁気センサを使用した金属微粒子検出
- メモリハイコーダ MR8740/MR8741,
デジタルボルトメータユニット MR8990
- LCR メータ IM3523/IM3533/IM3533-01
- ケミカルインピーダンスアナライザ IM3590
- 磁界測定器 FT3470-50 シリーズ
- デジタルマルチメータ DT4281/DT4282
- 絶縁抵抗計 IR4050 シリーズ
- クランプ接地抵抗計 FT6380/FT6381

日置技報 第35号 2014年

- 試料形状に依存しない新規シート抵抗計測法の開発
- ワイヤレスロギングステーション LR8410
- PV 推定発電量計 LR8400-92/-93
- 抵抗計 RM3544/RM3545/RM3548
- クランプオンパワーロガー PW3360
- パワーメータ PW3336/PW3337 シリーズ
- デジタルマルチメータ DT4220/DT4250 シリーズ

日置技報 第36号 2015年

- 特別寄稿 創業80周年に寄せて
- デジタルマルチメータ用IC HAZ01
- 電流プローブ向け薄膜ホール素子の低ノイズ化
- ワイヤレス熱流ロガー LR8416
- インピーダンスアナライザ IM7580
- SMD テストフィクスチャ IM9100
- 絶縁抵抗試験器 ST5520
- バッテリーインピーダンスメータ BT4560
- クランプオンパワーロガー PW3365,
電圧センサ PW9020
- AC/DC カレントプローブ CT6841/CT6843
- 照度計 FT3424
- 接地抵抗計 FT6031

日置技報 第37号 2016年

- 電気化学測定を用いためっき液の品質管理
- メモリハイコーダ MR8827
- 任意波形発生ユニット U8793,
波形発生ユニット MR8790,
パルス発生ユニット MR8791
- 差動プローブ P9000-01/-02
- ワイヤレス予測カビ指数計 LR8520
- ワイヤレスミニロガー
LR8512/LR8513/LR8514/LR8515
- 熱流ロガー LR8432,
熱流センサ Z2012/Z2013/Z2014/Z2015/Z2016/
Z2017
- LCR メータ IM3536
- パワーアナライザ PW6001
- パワーメータ PW3335
- 電流プローブ CT6700/CT6701
- 絶縁抵抗計 IR4053
- AC/DC クランプメータ CM4370 シリーズ

日置技報 第38号 2017年

- インピーダンスアナライザ
IM7580A/IM7581/IM7583/IM7585/IM7587
- SMD テストフィクスチャ IM9110
- 抵抗計 RM3542A
- バッテリテスタ BT3554
- 超絶縁計 SM7110/SM7120/SM7420
- 直流電圧計 DM7275/DM7276
- AC/DC カレントボックス PW9100
- 電源品質アナライザ PQ3100
- AC/DC カレントプローブ CT6844/CT6845/CT6846
- AC/DC カレントセンサ CT7631/CT7636/CT7642,
AC/DC オートゼロカレントセンサ
CT7731/CT7736/CT7742,
ディスプレイユニット CM7290/CM7291
- AC フレキシブルカレントセンサ
CT9667-01/-02/-03, CT7044/CT7045/CT7046
- AC クランプメータ 3280-10F/-20F,
AC フレキシブルカレントセンサ CT6280
- 電圧計付検相器 PD3259
- WPT 評価システム TS2400

日置技報 第39号 2018年

- メモリハイコーダ MR6000/MR6000-01,
4ch アナログユニット U8975,
高速アナログユニット U8976
- AC 非接触電圧プローブ SP3000,
AC 電圧プローブ SP9001
- AC クランプパワーメータ CM3286/CM3286-01
- RGB レーザ照度計 TM6102,
RGB レーザ輝度計 TM6103,
光パワーメータ TM6104
- バイパスダイオードテスタ FT4310
- 遠隔計測サービス SF4101/SF4102

日置技報 第40号 2019年

- メモリハイコーダ MR8740T,
デジタルボルトメータユニット U8991,
VIR発生ユニット U8794
- スイッチメインフレーム SW1001/SW1002,
マルチプレクサモジュール SW9001/SW9002
- AC/DC カレントセンサ CT6904/CT6904-60
- AC/DC クランプメータ CM4375/CM4376

日置技報 第41号 2020年

- 電極抵抗測定システム RM2610
- インパルス巻線試験器 ST4030A
- 電流プローブ CT6710/CT6711
- AC/DC カレントセンサ CT6875/CT6876/CT6877
- AC クランプメータ CM4141/CM4142

日置技報 第42号 2021年

- メモリハイロガー LR8450/LR8450-01
- AC リーククランプメータ CM4001
- AC リーククランプメータ CM4002/CM4003

日置技報 第43号 2023年

- AC/DC ハイボルテージディバイダ VT1005
- AC/DC カレントセンサ CT6872/CT6873
- デジタルマルチメータ DT4261
直流高電圧プローブ P2000
- GENNECT Cloud SF4180

日置技報 第44号 2024年

- スラリ解析システム
- 絶縁抵抗試験器 BT5525
- パワーアナライザ PW8001
- AC/DC カレントプローブ CT6830/CT6831
AC/DC カレントセンサ CT7812/CT7822
- 接地抵抗計 FT6041

2024年11月20日発行（非売品）

編集 デザイン戦略課 マニュアルデザイングループ

発行人 デザイン戦略課 高木 禎久

発行所 日置電機株式会社

HIOKI



国内拠点

www.hioki.co.jp/

本社 〒386-1192 長野県上田市小泉 81

製品のお問い合わせ

 **0120-72-0560**

9:00～12:00, 13:00～17:00

土・日・祝日を除く

TEL 0268-28-0560 FAX 0268-28-0569

info@hioki.co.jp

修理・校正のお問い合わせ

ご依頼はお買上店（代理店）または最寄りの営業拠点まで

お問い合わせはサービス窓口まで

TEL 0268-28-1688 cs-info@hioki.co.jp

2103 JA

編集・発行 日置電機株式会社

Printed in Japan

- ・CE 適合宣言は弊社ウェブサイトからダウンロードできます。
- ・本書の記載内容を予告なく変更することがあります。
- ・本書には著作権により保護される内容が含まれます。
- ・本書の内容を無断で転記・複製・改変することを禁止します。
- ・本書に記載されている会社名・商品名などは、各社の商標または登録商標です。