

# パワーアナライザ PW6001

依田 元\*1

## 要 旨

パワーアナライザ PW6001は、新開発の高速電力解析エンジンを搭載し、当社の電力計としては最高の0.05%の精度と2 MHzの測定帯域の両立を実現した電力計である。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

当社は、電力測定にかかわる革新的技術を駆使し、常に新しい機能や特長を電力計に取り入れてきた。

たとえば、1991年に当社で発売したAC/DC デジタルパワーハイテスタ 3192において、世界で初めて電力計に「効率」という測定項目を搭載した。1998年に発売したパワーハイテスタ 3193では、世界で初めて6チャンネル入力で三相インバータの入出力を同時に測定できる機能をもった高精度、広帯域、および大電流入力の電力計を実現した。さらに2009年には高精度かつ小型で可搬型のパワーアナライザ 3390を発売した。

今回の製品開発では、この伝統を継承し測定精度、測定帯域、および安定性をさらに追求すると同時に、オシロスコープなみの波形解析、FFT 解析機能などの電力解析機能を充実させた電力計とした。

## 2. 特長

### 2.1 高精度、広帯域、高安定性

$\pm 0.05\%$ 精度と2 MHzの広帯域の信号を、18ビット、5 MS/sという電力計では世界最高のサンプリング性能で測定する。従来機ではAC精度に比べ悪化していたDC精度も大幅に向上させ、AC/DC変換の効率を高精度に測定できる。

また、高周波のスイッチング波形やダイナミックに変化する波形でも正確なゼロクロス検出機能によって、高速の10 msデータ更新でも精度を落とさず安定して測定できるようにした。



PW6001の外観

### 2.2 高いノイズ耐性

当社初の光素子を使った高耐圧、低容量結合の絶縁と、アルミ削り出しの独自形状シールドで、100 kHzで80 dBというCMRR(Common-Mode Rejection Ratio)を達成した。これにより高速化が進むスイッチングデバイス周辺でも高精度かつ安定して測定できる。

### 2.3 電流センサの性能を引き出す機能

高精度センサ用の専用入力部と広帯域センサ用の入力部を用意し、どちらのセンサにも電力計本体から電源供給するようにした。さらに高精度センサの位相特性を補正する独自機能により、数十kHzの電力も高精度に測定できる。

### 2.4 高機能な波形観測機能

5 MS/sの電圧電流波形6チャンネル+モータ入力4チャンネル(CH AとCH Bのアナログ波形は50 kS/s)の波形を1Mワード記録できる大容量ストレージを搭載し、オシロスコープに近い操作性で波形観測ができる。さらに波形のズームとFFT解析機能を搭載し、電力測定と同時に高機能な波形観測を可能とした。

\*1 技術部 技術4課

パワーアナライザ PW6001

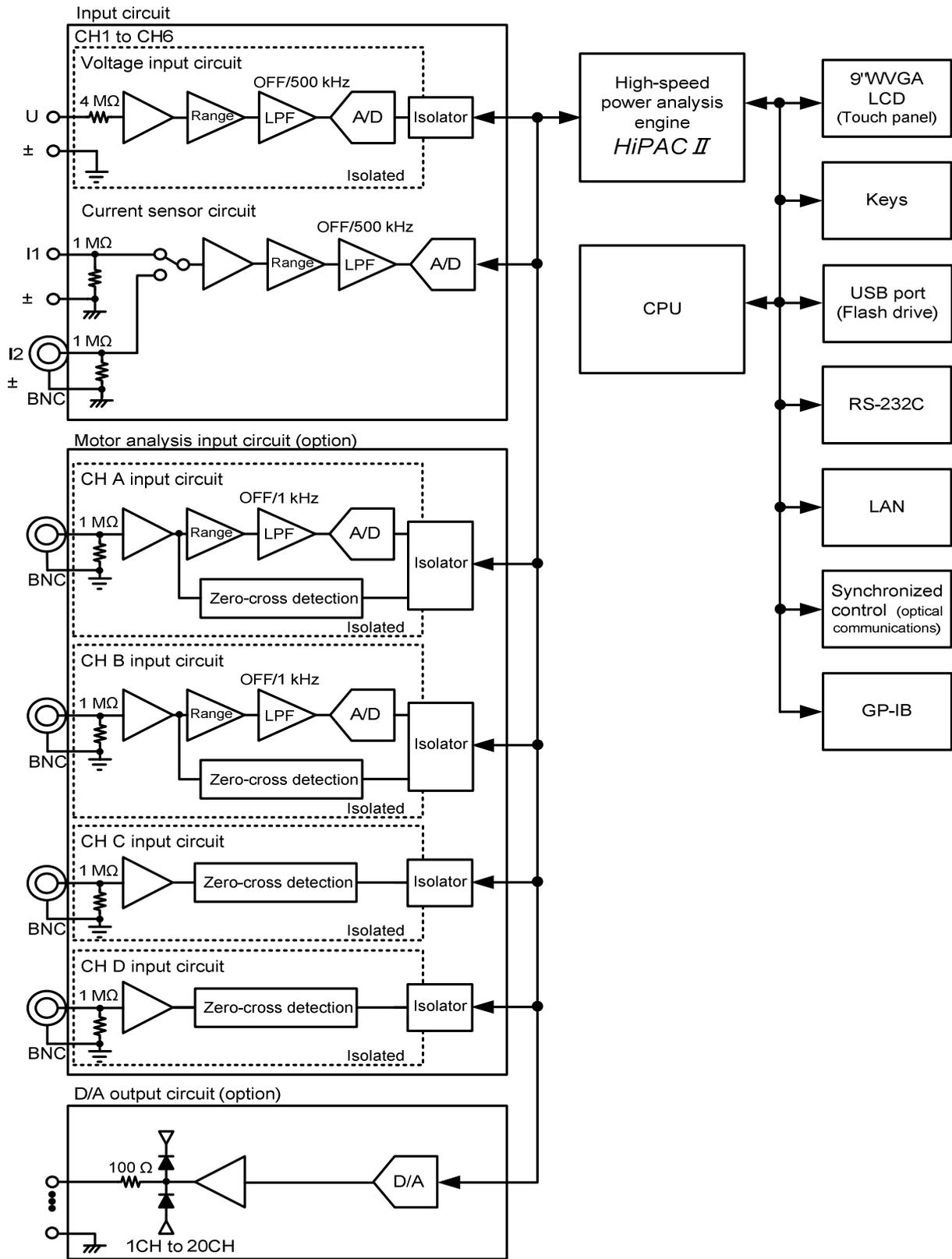


図1 ブロック図

## 2.5 光ファイバによる高性能な同期

光ファイバにより最長 500 m 離れた 2 台の PW6001 でデータの同期ができる。測定値を 1 台に集約して 2 台間で効率演算できる数値同期モードとサンプリング波形レベルで同期して 2 台間で波形比較まで可能な波形同期モードを用意した。

## 3. 構成

図 1 に PW6001 のブロック図を示す。主に左側が測定回路のアナログ回路部で、測定信号を各チャンネルにある A/D コンバータで量子化している。図右側では、全測定データを高速電力解析エンジンでフルデジタル処理させた後、デジタル制御回路に渡され最終的な測定値として完成し、画面表示や各種インタフェースを通じて出力される。

### 3.1 測定回路

#### (1) 電圧電流測定回路部

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。電流センサ入力部は高確度電流センサ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。電圧電流測定回路の各レンジ回路は、高安定で広帯域化するためディスクリートの複合増幅回路を採用した。ローパスフィルタは主にアンチ・エイリアシング・フィルタとして機能し、各種演算への折り返しノイズの影響を排除している。18 ビット、5 MS/s の A/D コンバータは全チャンネルの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。

アナログ回路を可能な限りシンプルにし、測定波形のゼロクロス検出と各種複雑な演算機能を同エンジンに任せることで、高確度と広帯域を実現した。

電圧測定部の最大の発熱部である入力抵抗をアルミ削り出しの独自形状のシールドケースと一体化し、放熱をすることで高安定性を確保した。

電流センサ入力部は、センサ入力専用としセンサ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センサ入力部から最大の発熱部とな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。

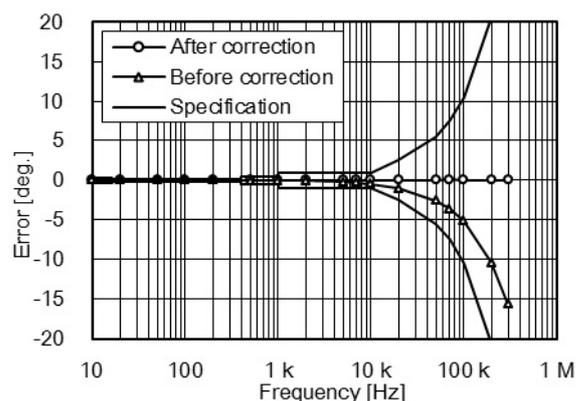


図 2 CT6862 の位相特性補正

#### (2) モータ解析入力回路部

モータ解析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。全チャンネルを絶縁入力にしたことにより、GND が共通のために起こるチャンネル間のクロストークを削減した。これにより 2 系統のモータ解析を可能とした。

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もっている。

### 3.2 高速電力解析エンジン

電力計の性能を決める主な要素は、電圧、電流、およびモータ解析のアナログ入力部ならびに高速電力解析エンジンである。当社は高確度で広帯域を持つアナログ入力部の開発もさることながら、高速電力解析エンジンも独自に開発してきた。高速電力解析エンジンは、アナログ入力部の全データを周期検出、広帯域電力解析、高調波解析、FFT 解析、波形表示など、すべての測定を独立かつ同時並行でリアルタイムに解析する。3390 に搭載した初代エンジンと比べ、その処理性能は 15 倍に至る。ここでは、新たに搭載した特長的な機能について説明する。

#### (1) 電流センサの位相特性補正

高確度電流センサは、周波数帯域内の高周波領域において、周波数に比例して位相誤差が徐々に増加する傾向にあるため、高周波で低力率な測定対象では、測定確度が悪化する場合がある。位相特性補正部では、5 MS/s の電流波形に対して、位相特性を補正する独自の信号処理をリアルタイムに実施する。電流センサの位相特性情報は、電流センサの検査成績表から、周波数と位相差を数値入力で設定する。入力された周波数と位相差から計算される時間差を判断し、相当時間の補正処理を行う。このような方法により、当社でラインアップするさまざま

## パワーアナライザ PW6001

な電流センサや、電流センサ個々の特性に応じて最適な補正を行うことができる。

図 2 に AC/DC カレントセンサ CT6862 の位相特性参考データと補正後に想定される特性を示す。

### (2) 広帯域高調波解析

高調波演算部は、5 MS/s の波形に対して、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後の波形を使用する。サンプリングレート変換により発生するエイリアシングを抑制するため、デジタルアンチ・エイリアシング・フィルタによりあらかじめ帯域を制限する。このフィルタは高調波解析専用としていたため、広帯域の電力測定と、エイリアシングのない正確な高調波解析を同時に行うことができる。これらサンプリングレート変換とデジタルアンチ・エイリアシング・フィルタの最適化に加え、高速電力解析エンジンの処理性能の向上によって基本波周波数 0.1 Hz から 300 kHz、解析可能な帯域 1.5 MHz、最大で 100 次までの解析性能を達成した。これにより、ワイヤレス給電の伝送波形の歪率と位相差が測定できる。

### (3) 2 台同期測定

従来、同期測定では機器間接続用に電気信号を用いていたため、インバータ測定におけるノイズ環境において、ノイズ耐性を保ったまま通信できる距離と速度には限度があった。そこで PW6001 では電気信号を光信号に変換する SFP 光モジュールを本体に備え、接続ケーブルを光ケーブルに置き換えている。これにより、500 m 離れた PW6001 の高速電力解析エンジン同士を、1Gbps の通信速度と高いノイズ耐性をもって接続できるようにした。通信速度を向上することで、接続したスレーブ器の波形データと測定データをマスター器に転送可能とした。光ケーブルの長さに応じて、最大で約 2.5  $\mu$ s の伝送遅延を生じるが、自動補正により伝送遅延をキャンセルする機能を搭載し、同期確度を向上している。

## 3.3 ソフトウェア

チャンネル数が多く、高機能な波形観測機能があるなど、従来機と比べて多機能であるが、タッチパネルを採用したことにより、わかりやすく簡単な操作性を実現した。これにより従来機に比べ操作性が飛躍的に向上している。機能的な面では以下の点が従来と比べ改善された。

### (1) 高調波測定

従来は 1 系統に同期した高調波解析だったが、PW6001 では最大 6 系統に同期した解析を可能にした。また IEC モードと WideBand モードを備え、グルーピング設定も可能とし、さまざまな高調波測定の要望に応えることができる。

### (2) 平均化

従来の指数化平均に加え、平均化方式として要望の多かった単純加算平均を追加した。これにより従来機より長時間の平均処理が可能になり、より安定した測定値を提供できるようになった。

### (3) データ更新レート

従来機のデータ更新レートは最短 50 ms だったが、PW6001 は最短 10 ms で高調波を除くデータを更新する。発進、加速のモータの挙動をはじめ、過渡状態の電力をより細かく解析できるようになった。

### (4) 2 台同期測定

従来機はタイミング同期のみをサポートしているが、PW6001 はタイミング同期に加え、測定値の転送(数値同期モード)、波形転送(波形同期モード)をサポートする。数値同期モードにおいては最短 50 ms のデータ同期を実現している。

### (5) ユーザ定義演算

従来は PC に取り込んでから再計算するしかなかった複雑な演算式も PW6001 単体でリアルタイムに演算可能とした。同期測定で取得したスレーブ機の測定値も演算式として使用できる。

### (6) 波形表示・FFT 解析

5 MS/s の波形をカーソル測定、任意の範囲をズーム表示できるようにして、従来機に比べ波形表示と解析機能を大幅に向上させている。

また、最大 2 MHz までの FFT 解析は波形の解析範囲を任意に指定できるので、詳細な波形解析やノイズ解析ができる。

これら多彩な機能をオシロスコープに近い操作性で実現した。

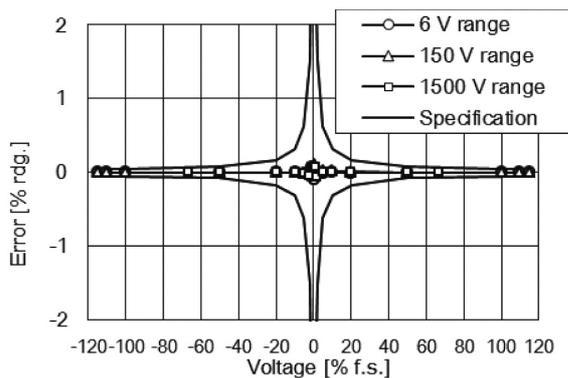


図3 電圧リニア特性 DC

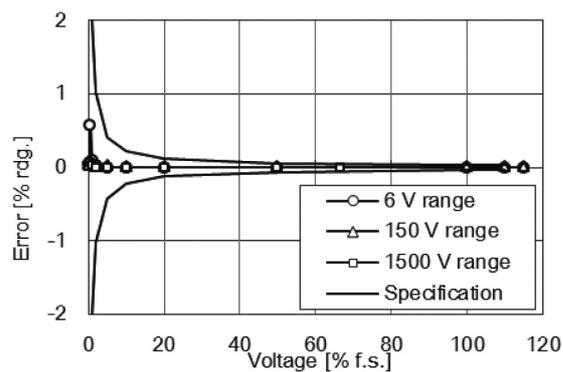


図4 電圧リニア特性 AC+DC

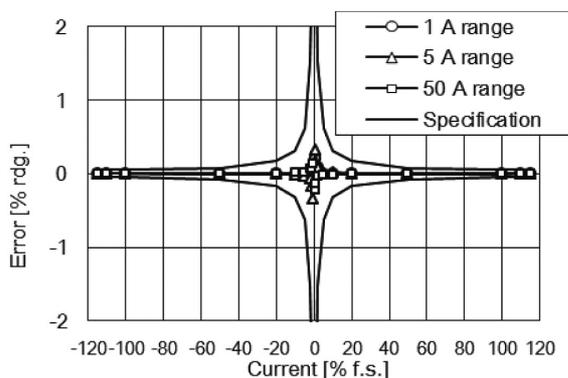


図5 電流リニア特性 DC

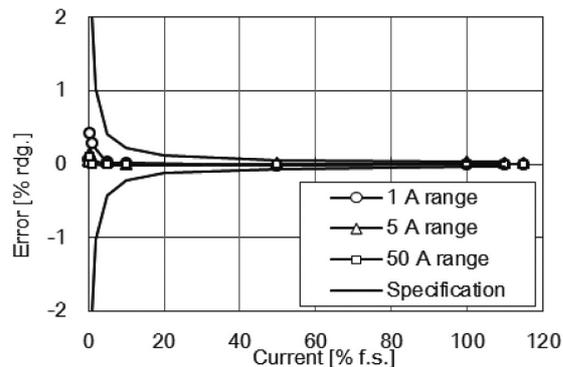


図6 電流リニア特性 AC+DC

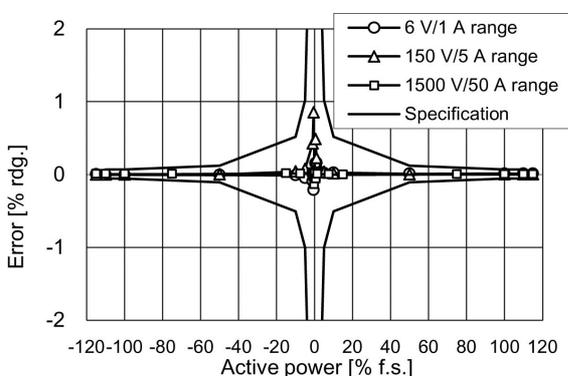


図7 有効電力リニア特性 DC

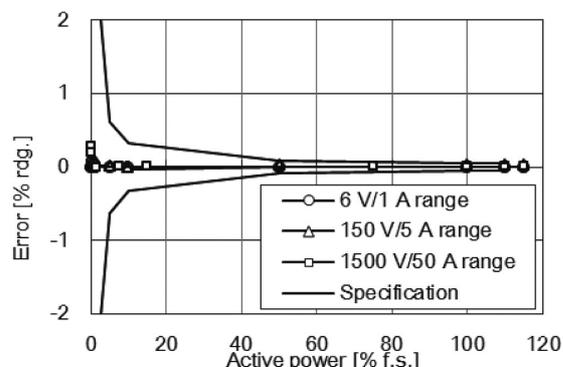


図8 有効電力リニア特性 AC+DC

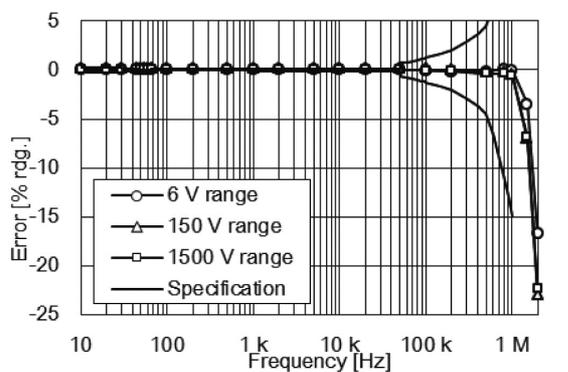


図9 電圧周波数特性 AC+DC

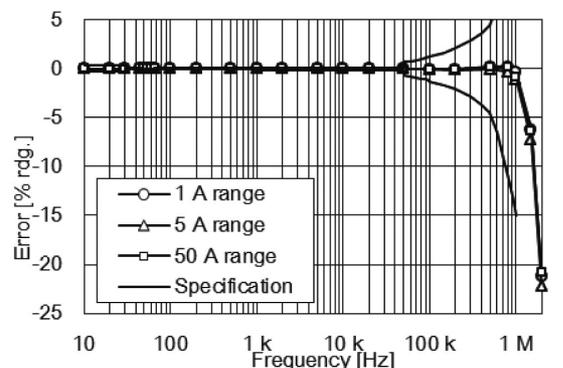


図10 電流周波数特性 AC+DC

パワーアナライザ PW6001

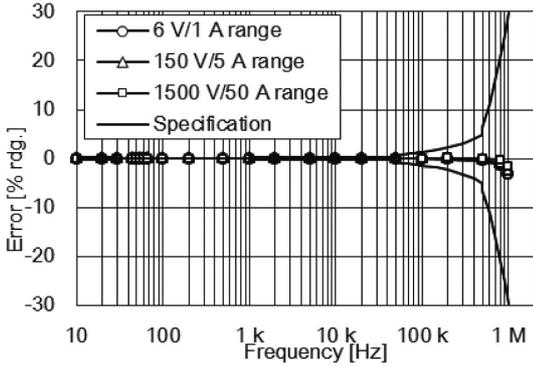


図 11 有効電力周波数特性 AC+DC

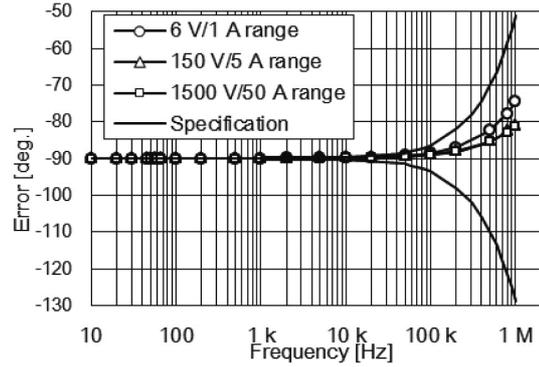


図 12 位相周波数特性 AC+DC

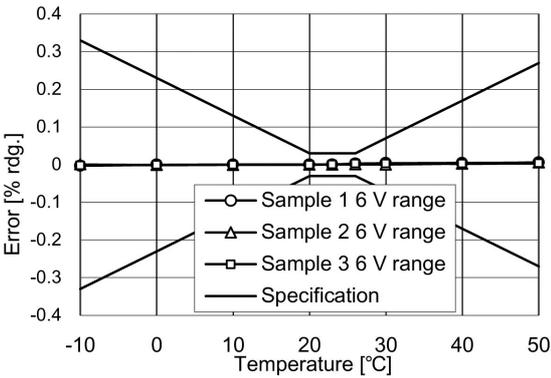


図 13 電圧温度特性 DC 0% f.s.

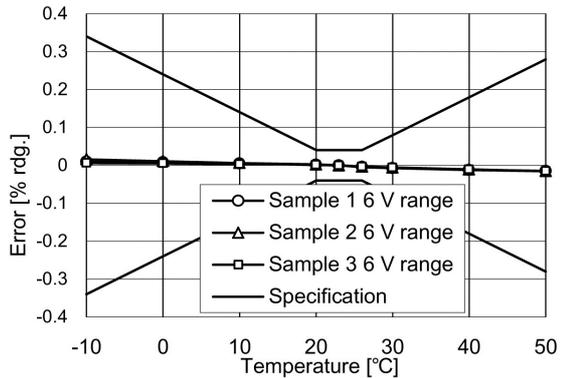


図 14 電圧温度特性 AC+DC 100% f.s.

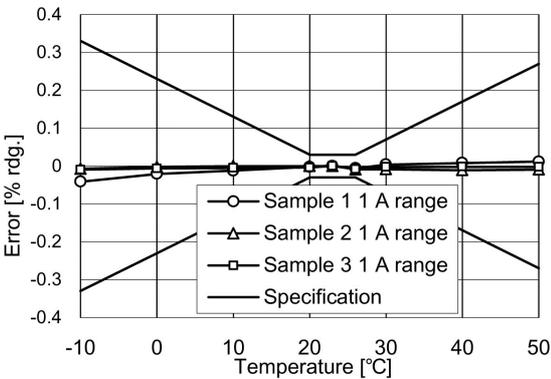


図 15 電流温度特性 DC 0% f.s.

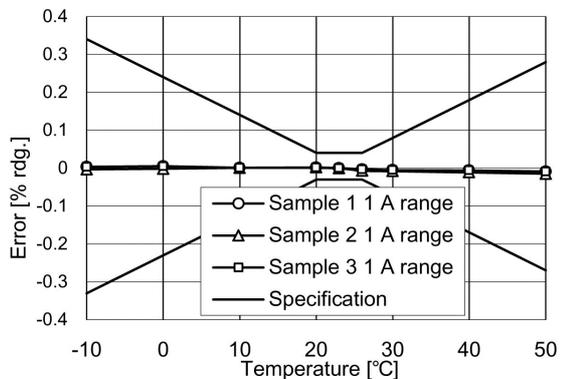


図 16 電流温度特性 AC+DC 100% f.s.

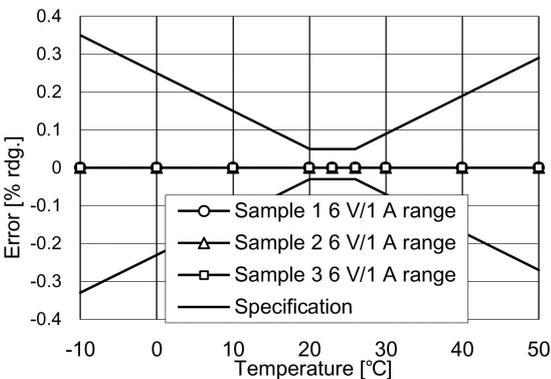


図 17 有効電力温度特性 DC 0% f.s.

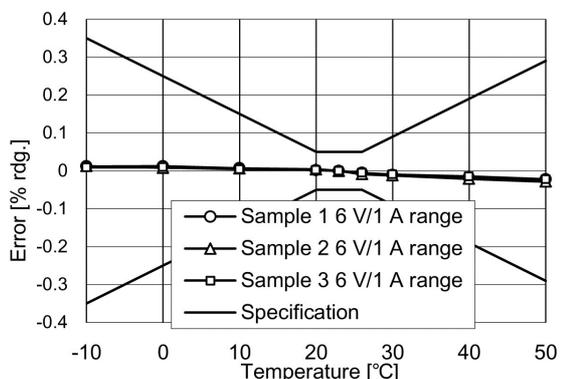


図 18 有効電力温度特性 AC+DC 100% f.s.

### 3.4 機構

EIA ラック準拠の4Uサイズの筐体は、6チャンネルを搭載しつつ広帯域で高精度測定ができるよう、構造設計された。

測定安定性と耐ノイズ性能の向上のため、入力部には新規設計のアルミ削り出しによる独自形状のソリッドシールドケースを採用している。さらに入力部間にシールド板を設け、入力部間のクロストークを低減している。

本体筐体は測定値の安定性ならびに剛性と堅牢性の向上のため板金部品の相互接合を従来機に比べ強化した。また、内部ファンの適正配置による空冷と熱源を分離する構造により測定回路周辺温度の均一化と安定化を実現し、温度特性を向上させている。

内部ファンに長寿命品を採用したことにより、長期間の使用でも測定値を安定させることができ、従来機と比べてメンテナンスの回数も低減させた。

成形品であるフロントパネルには直線的でシンプルなデザインを施し、当社フラッグシップ機にふさわしい外観デザインとした。また、波形解析のための2つのノブの周りにLEDを配置した。ノブが操作可能なおとときにはLEDが点灯して操作者が視覚的に認知できることで、複雑な操作を直感的に行えるようにした。

また、板金インサート一体成形ハンドルを本体筐体の前後左右の4隅部に装着し、グリップ部には青色TPE素材を使用することで十分な強度と、持ちやすさを実現している。

必要な機能や実用性を追求し、高精度測定と耐久性を兼ね備えた機器として、シンプルにまとめあげること努めた。そのデザインコンセプトが評価されて、2015年度グッドデザイン賞を受賞した。

### 4. 特性例

図3から図18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、従来機と比較してきわめて良好な特性となっている。

これら特性はDCから広帯域の測定が必要なインバータ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PW6001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、および位相の特性については、組み合わせられる電流センサの特性が加算される。

### 5. おわりに

機器の効率運転および省エネルギーの技術開発をする方々に最高のツールを提供すべく、最新の技術と当社のノウハウを最大限に盛り込んだ電力計を開発した。PW6001が世界のエネルギー効率の改善に役立ち、地球環境保護に貢献できれば幸いである。

小林 宏企\*2, 田中 利明\*2, 山浦 千明\*2,  
竹内 陽一郎\*2, 瓶子 利夫\*3

### 参考文献

- 1) 山岸公彦: 3193 パワーハイテスタ, 日置技報, VOL.20 1999 NO.1, 47/56(1999)
- 2) 山岸公彦: 3194 モータ・ハーモニックハイテスタ, 日置技報, VOL.23 2002 NO.1, 29/34(2002)
- 3) 久保田訓久: パワーアナライザ 3390, 日置技報, VOL.31 2010 NO.1, 17/24(2010)

\*2 技術部 技術4課

\*3 技術部 技術10課

