

# パワーメータ PW3336/PW3337 シリーズ

長屋 実\*1

## 要 旨

パワーメータPW3336シリーズ(PW3336/ -01/ -02/ -03)/PW3337シリーズ(PW3337/ -01/ -02/ -03)は、直接入力で最大1,000 V, 65 Aを高確度で測定できる電力計である。大電流を高確度で測定するため、新たに開発したフラックスゲート方式による小型の電流センサを内蔵しており、直流から交流まで安定した測定を可能としている。ここに製品の特長、構成、特性例について解説する。

## 1. はじめに

現在、白物家電・AV 機器や PC・プリンタなどに代表される家電・OA 機器、工作機械や大型空調機器などに代表される産業機器において、省エネ法と昨今の電力不足などを背景に、製品の高効率化による省エネ性能のさらなる改善が活発化している。また、モータやインバータ、パワーコンディショナなどの特性評価においても同様であり、省エネ性能を検証する電力計には高い確度が要求されている。

PW3336 シリーズ(2 チャンネル仕様)とPW3337 シリーズ(3 チャンネル仕様)は、このような高い確度を求める市場ニーズに応えた電力計である。

## 2. 概要

PW3336/PW3337 シリーズは、当社パワーハイテスタ 3331 の後継機として開発した電力計である。その性能は基本測定確度 $\pm 0.15\%$  rdg. (3331 同等クラス最高確度)を実現し、電圧 0.15~1,000 V, 電流 2 mA~65 A の範囲で確度を保証し、DC から 100 kHz までの周波数帯域をカバーしている。また、高調波の測定方法に関する国際規格 IEC61000-4-7 に対応した高調波測定機能、生産ラインでの自動出荷検査に対応可能な LAN および RS-232C インタフェース、三相複数系統の同時測定が可能な同期制御機能などを標準で装備している。

さらに、付加機能として GP-IB インタフェースを搭載した PW3336-01/PW3337-01, D/A 出力を搭載した PW3336-02/PW3337-02, GP-IB と D/A 出力を搭載した PW3336-03/PW3337-03 を用意し、さまざまな計測シーンに対応できるようにした。



PW3337 の外観

## 3. 特長

### 3.1 直接入力で 1,000 V, 65 A まで確度保証

一般的な直接入力方式の電力計では、電流入力部にシャント抵抗を使用しており、その抵抗値は数  $m\Omega$  ~ 十数  $m\Omega$  程度である。そのため、特に大電流入力時にはシャント抵抗の自己加熱による発熱や、測定確度への影響がある。また、一般に電流入力部の入力抵抗に起因する計器損失が大きい。

PW3336/PW3337 シリーズでは、シャント抵抗の代替として新規開発した貫通型の小型電流センサを採用することで、自己加熱による確度悪化を抑えている。電流入力端子間は電流センサを貫通する導体で短絡されているのみであるため、シャント抵抗に対して 1/10 以下の入力抵抗(仕様は 1  $m\Omega$  以下)である。これにより、発熱および計器損失の影響を抑えつつ、最大 65 A までの大電流を $\pm 0.15\%$  rdg.の高確度で測定することを可能とした。

\*1 技術部 技術4課

### 3.2 豊富な結線方法で各種電力ラインに対応

PW3336 シリーズは、単相 2 線から三相 3 線まで、PW3337 シリーズはさらに三相 4 線まで測定が可能である。(表 1)

### 3.3 電力ラインごとにレンジ設定可能

電圧入力部、電流入力部、各チャンネル間が完全に絶縁され、それぞれが独立した 1 台の電力計として動作するため、電力ラインごとに測定レンジなど各種設定ができ、電位の異なる複数系統を同時に測定することが可能である。そのため、インバータや UPS のような電源機器の入出力効率(入力電力に対する出力電力の割合)を最適なレンジで測定できる。

一例として、図 1 に示すような太陽光発電システム用のパワーコンディショナを挙げる。入力は太陽光発電パネルからの直流(単相 2 線)、パワーコンディショナの出力は三相交流(三相 3 線)であり、3 チャンネルの PW3337 であれば 1 台で入出力各種項目の測定や入出力効率の測定ができる。

### 3.4 高精度、広帯域

PW3336/PW3337 シリーズでは、3331 と異なり測定をアナログ処理からデジタル処理に変えたことで、回路のノイズや温度特性などの不安定要因を削減し、従来製品以上の性能を実現した。

- 基本測定精度  $\pm 0.15\%$  rdg.  
(レンジの 50%未満は $\pm 0.1\%$ rdg.  $\pm 0.05\%$ f.s.)当社 3331 同等クラスの最高精度。
- 周波数帯域 DC, 0.1 Hz ~ 100 kHz  
直流測定、インバータモータの低速回転からの測定、商用機器測定、高周波の測定などに対応。
- 力率の影響  $\pm 0.1\%$ f.s.  
(電圧-電流間位相差  $\pm 0.0573^\circ$ )  
当社最高。トランスやモータなどの無負荷試験(低力率)に対応。

### 3.5 さらに多系統の測定に対応する複数台同期制御

PW3336/PW3337 シリーズには同期制御機能があり、それぞれを BNC ケーブルで並列接続することで最大 8 台までの同期測定ができる。例えば、三相入力/三相出力のインバータや、内部に複数系統の電源ラインがある機器などの各系統を、同時性をもって測定できる。

表 1 電力ラインと結線方法

電力ライン	結線の選択	
	PW3336 シリーズ	PW3337 シリーズ
単相 2 線	1P2W×2	1P2W×3
単相 3 線	1P3W	1P3W&1P2W
三相 3 線	3P3W	3P3W&1P2W
	3P3W2M	3P3W2M
		3V3A 3P3W3M
三相 4 線		3P4W

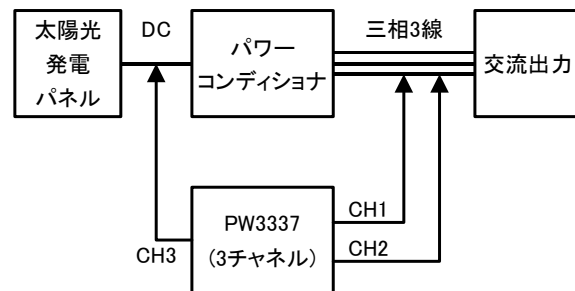


図 1 パワーコンディショナの測定例

### 3.6 電流センサで最大 5,000 A まで対応

外部電流センサ入力端子にオプションの電圧出力型電流センサを接続して、65 A を超える大電流の測定に対応できる。本体設定では、電流センサの定格により、クランプオンセンサ 9661 など 0.5 V 出力の電流センサを TYPE1、AC/DC カレントセンサ CT6862 など 2 V 出力の電流センサを TYPE2 として区別している。フレキシブルクランプオンセンサ CT9667(TYPE1)を使用した場合、最大 5,000 A までの測定に対応できる。

## 4. 構成

図 2 にシリーズを代表して PW3337-03 のブロック図を示す。チャンネル 1 からチャンネル 3 が測定回路のアナログ部である (PW3336 シリーズはチャンネル 2 まで)。全測定データは中央の FPGA でデジタル処理される。その後、測定データは CPU などデジタル制御回路で処理され、最終的な測定値として完成され、表示や各種インタフェースを通じて出力される。

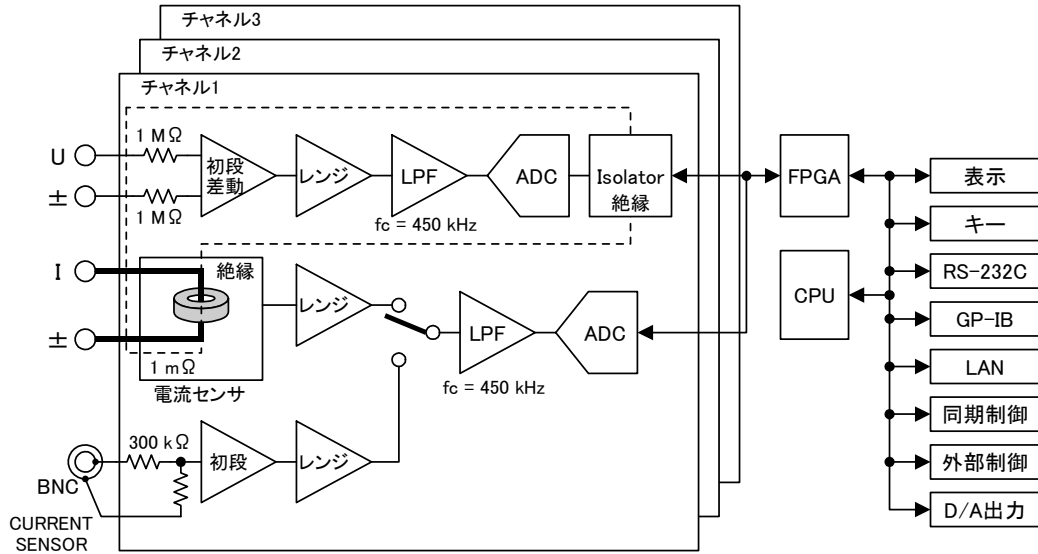


図2 ブロック図 (ハードウェア)

4.1 電圧, 電流入力回路

電圧入力部は差動入力方式であり, 抵抗分圧 + 絶縁デバイスにより全チャンネル絶縁入力とし, 高絶縁耐圧を実現している。

電流入力部は, AC/DC 最大 65 A までの電流を高確度で保証するため, CT6862 など実績のある電流センサ(DCCT)の技術を利用した新規開発の小型センサを内蔵している。本電流センサの基本構成を図3に示す。

直流から安定した電流測定を行うため, 検出部にはフラックスゲート方式を採用している。フラックスゲートの磁性材には直状の Co 系アモルファス材を使用しており, 飽和域に達するよう励磁電流を流しておき, 測定電線に電流が流れたときに発生する磁束変化による電圧波形の変化を検出することで, 測定電流にほぼ比例した出力信号を得ることができる。しかし, フラックスゲートは磁性材料が飽和する大きな磁界環境下では感度が得られなくなるため, ゼロフラックス方式と呼ばれる負帰還回路と組み合わせることで 65 A までのダイナミックレンジを可能とした。

PW3336/PW3337 シリーズの内部に電流センサを組み込むため, メインコアは図 4 に示す小型のリング状フェライトコアを新規設計している。メインコアはゼロフラックス動作における CT 動作の役目だけでなく, 内部に配置したフラックスゲートの磁気シールドとしての機能も備えている。帰還巻線として均等にトロイダル巻線を施すことで電流センサの CT 特性も良好となり, ゼロフラックス方式との組み合わせにより大電流でも図 5 に示すように DC ~ 100 kHz まで高確度で測定することが可能となっている。

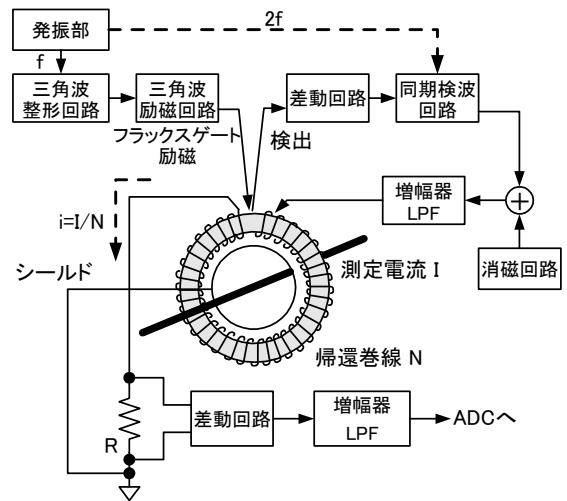


図3 電流センサ回路構成

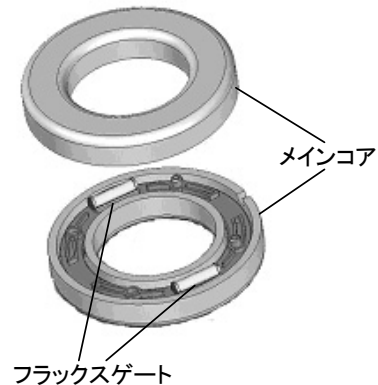


図4 電流センサのコア形状

## パワーメータ PW3336/PW3337 シリーズ

また、外部磁界の影響や帯磁の影響といった電流センサ固有の誤差要因についても、コア形状を円形の対称構造にすることで磁束分布が均一になり、影響量は小さく抑えられる。これにより最小電流レンジ 200 mA(確度保証最低電流は 2 mA)という微小電流測定についても高確度な測定が可能となっている。

### 4.2 A/D 変換部

電圧入力部、電流入力部からの信号は各レンジアンプにより、それぞれ所定のフルスケール電圧になるよう増幅される。ここで、レンジアンプは低ドリフトかつ広帯域を確保する目的で、独自の複合アンプを採用している。

レンジアンプ後は、カットオフ周波数約 450 kHz のローパスフィルタで帯域制限し、16ビット、700 kHz の A/D コンバータにより電圧、電流同時にデジタル信号に変換する構成となっている。

### 4.3 FPGA 部

図 6 に FPGA 内部の概略ブロック図を示す。入力された電圧、電流の波形データは各演算部に送られ、すべて同時並行で演算される。

#### (1) ゼロクロス検出

デジタルサンプリング方式の電力計において、測定の基本となる入力波形のゼロクロス検出は、従来アナログ回路により構成されることが多かった。PW3336/PW3337 シリーズでは、波形整形も含めてフルデジタル化した。カットオフ周波数を 100 Hz/500 Hz/5 kHz/200 kHz から選択できるデジタルフィルタを搭載し、波形のひずみに応じてこのフィルタを設定することでゼロクロスを正確に検出可能とした。

電圧、電流の周波数測定は、このゼロクロスと前後のサンプリング値から演算される。

#### (2) $\Delta$ -Y 変換

一般に、三相モータは内部では Y 結線だが中点が取り出せず、電圧は  $\Delta$  結線としてしか測定できない場合が多いが、相電圧/相電流で測定する必要がある。従来は CPU や DSP によるソフトウェアで  $\Delta$ -Y 変換を実現していたが、PW3336/PW3337 シリーズではこれを FPGA 内でハード的にベクトル演算処理で実現している。また、モータ測定で多用されている 3V3A 結線の接続で 3P3W3M 結線を選択すると、線間電圧が相電圧に変換された状態で測定できる。

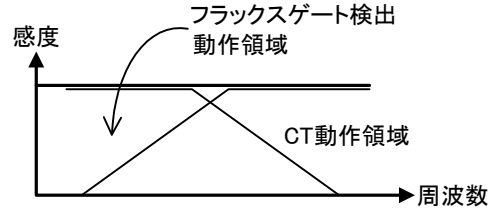


図 5 ゼロフラックス型電流センサの動作

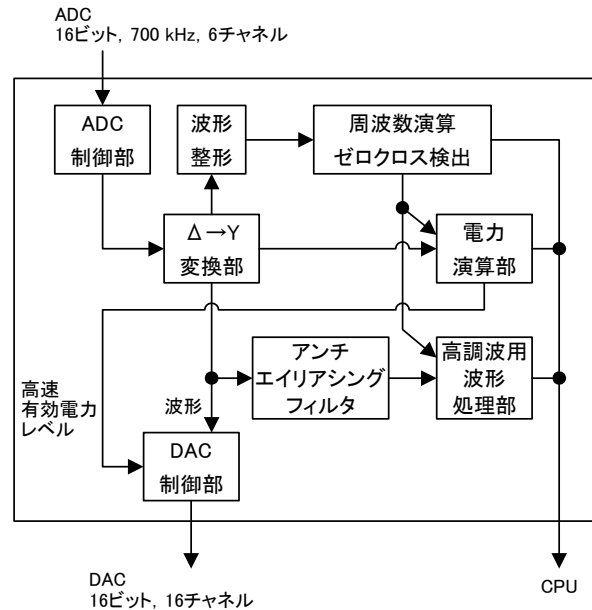


図 6 FPGA 内部概略ブロック図

### 4.4 D/A 出力

これまで当社電力計では、各測定値に応じたレベル出力(アナログ出力)と、入力波形に応じた瞬時電圧/瞬時電流/瞬時電力の波形出力を搭載していた。PW3336/PW3337 シリーズでは、新たに高速有効電力レベル出力の機能を搭載した。この出力は、同期ソースとして選択した電圧または電流の 1 周期ごとに更新される有効電力のレベルを D/A 出力として出力するものである。例えば入力が 50 Hz の交流の場合、その 1 周期は 20 ms であるため、高速有効電力レベル出力は 20 ms ごとに更新される D/A 出力となる。なお、この出力で対応可能な最高入力周波数は 5 kHz (周期 0.2 ms)までである。

## 5. 特性例

図 7~図 18 に諸特性を示す。この特性データは、当社所有の PW3337-03 を使用して測定した参考データである。

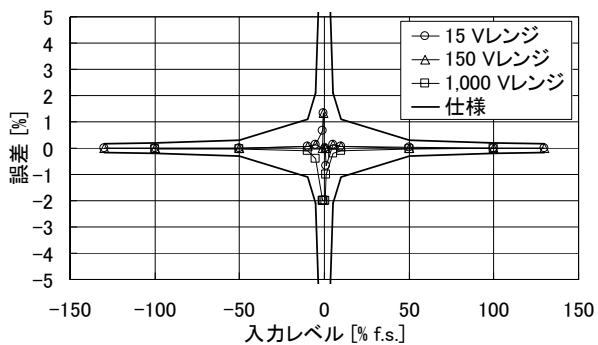


図 7 電圧リニア特性 (DC)

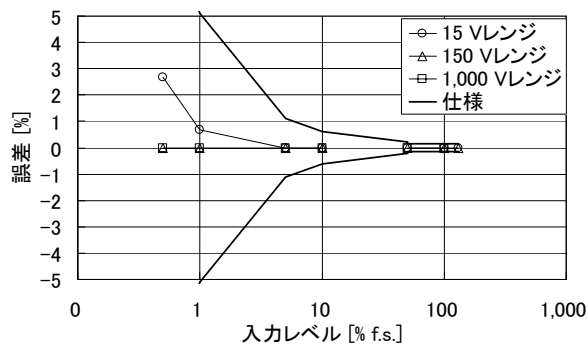


図 8 電圧リニア特性 (AC+DC, 55 Hz)

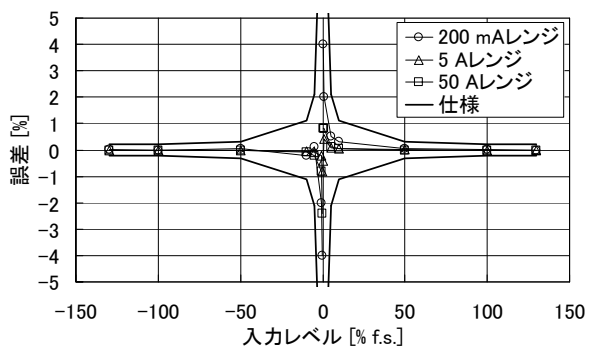


図 9 電流リニア特性 (DC)

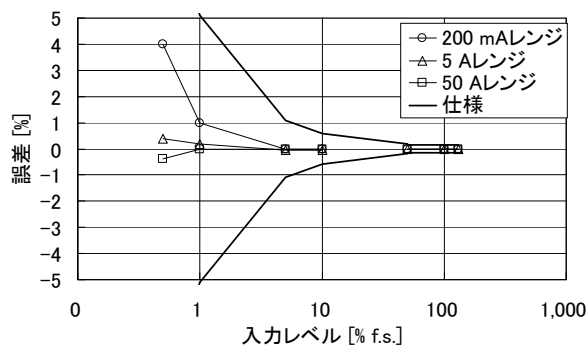


図 10 電流リニア特性 (AC+DC, 55 Hz)

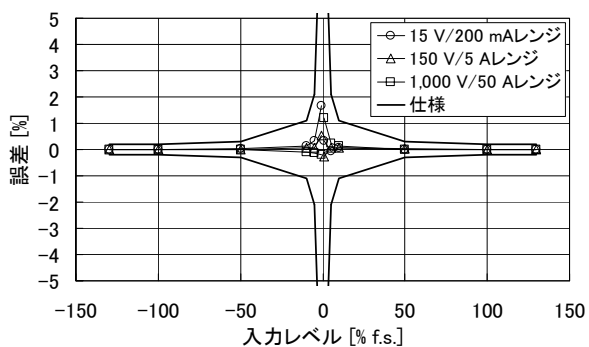


図 11 電力リニア特性 (DC, 電圧一定)

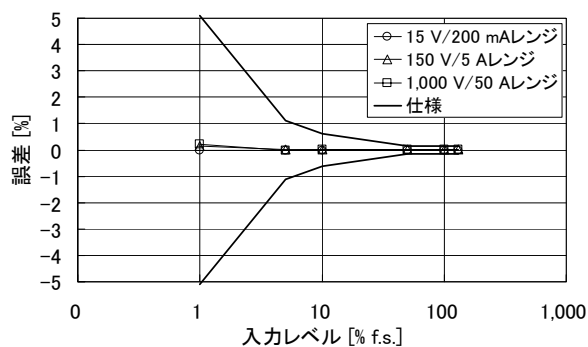


図 12 電力リニア特性 (AC+DC, 55 Hz, 電圧一定)

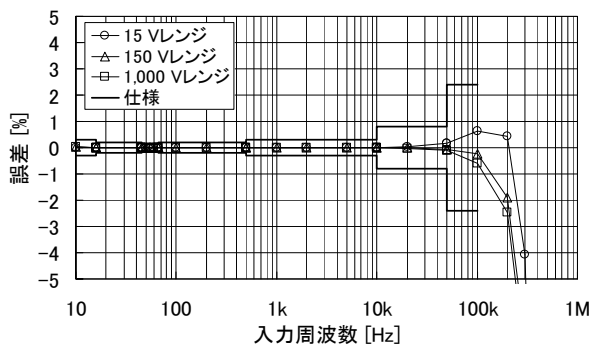


図 13 電圧周波数特性 (AC+DC)

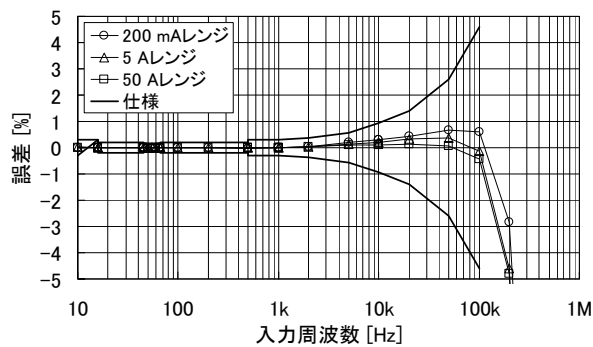


図 14 電流周波数特性 (AC+DC)

## パワーメータ PW3336/PW3337 シリーズ

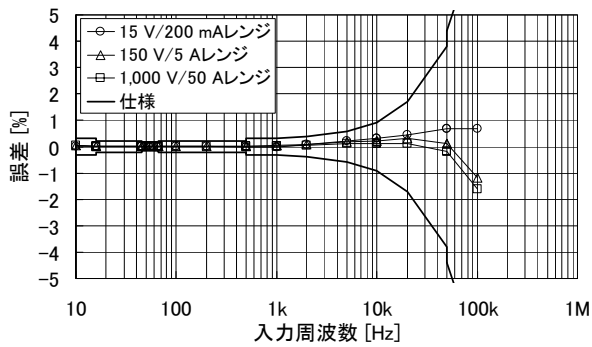


図 15 電力周波数特性 (AC+DC)

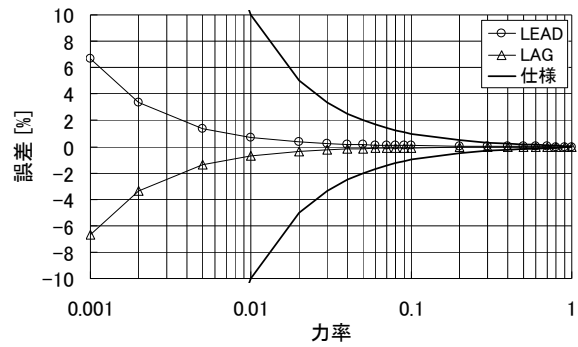


図 16 力率の影響 (300 V/5 A レンジ)

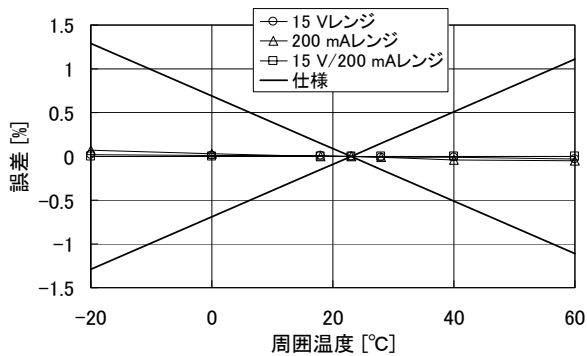


図 17 温度特性 (DC, 0 入力)

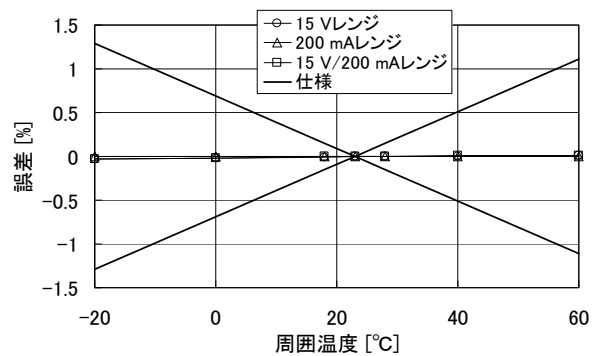


図 18 温度特性 (55 Hz, f.s. 入力)

## 6. おわりに

地球環境の保護のために、機器の効率運転および省エネルギー化は必須かつ急務となっている。また、省エネルギー商品の開発も今後さらに発展するものと予想される。電気(電力)が不可欠でありながら環境保護を含めたエネルギー問題にも直面している昨今、電力測定はすべてにおいての基本であり、PW3336/PW3337シリーズが電気機器の発展に寄与し続けることを期待する。

関 憲一\*2, 釘持 浩崇\*2

## 参考文献

- 1) 山岸君彦:9709 AC/DCカレントセンサ, 日置技報, VOL.27 2006 No.1, 33/39 (2006)
- 2) 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)
- 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