

技術紹介

直流給電システムやEV 充電インフラの従量課金に向けた直流電力量計

黒木 雄太 Yuta Kuroki 千田 智行 Tomoyuki Chida
長谷川 敏夫 Toshiyo Hasegawa 迫山 光弘 Mitsuhiko Sakoyama

2050 年のカーボンニュートラル実現に向け、世界的な再生可能エネルギーの主力電源化への取組みと共に直流給電システムの実証が進められており、直流機器間の電力取引に利用する直流電力量計の必要性が高まっている。こうした中、世界的に直流電力量計に関する規格標準化が進められており、日本においても同様な状況である。今後、直流電力量計のニーズが顕在化すると思込まれるため、東光東芝メーターシステムズ（株）では国内規格のみならず、国際規格も視野に入れた直流電力量計の開発に取り組んでいる。

1 はじめに

2050 年のカーボンニュートラル実現に向け、世界的に太陽光発電などの再生可能エネルギーが普及拡大している⁽¹⁾。それと共に、直流である太陽光発電を極力ロスなく、安定的に運用するため、直流機器である蓄電池や電気自動車（以下、EV）等と組み合わせた直流給電システムの実証が世界的に進められている⁽²⁾。

直流給電システムにおいては、交流を介さずに直流にて機器間の電力授受が行われるため、この従量課金には直流電力量計が求められる。

こうした中、国際電算標準会議（IEC）は、直流給電システムや EV 充電インフラなどを対象とした直流電力量計の規格である IEC 62053-41⁽³⁾ を 2021 年に発行した。また、国際法定計量機関（OIML）は EV 用充電器向けの電力量計に特化したガイド文書である OIML Guide 22⁽⁴⁾ を 2022 年に発行するなど、直流電力量計に関わる標準化の動きが活発化している。

国内においては、JIS C 1216-2⁽⁵⁾ に直流電力量計の規格が定められ、これに準じた計量器が取引証明に用いられてきた。一方で、家庭の太陽光発電や EV などの分散リソースの普及とともに現れた新たなリソースとの電力の取引やネガワット取引⁽⁶⁾ など、新たな取引ニーズに対応し、令和 4 年 4 月 1 日より電気計量制度の合理化を図る措置（特定計量制度）が規定された⁽⁶⁾。これに伴い、2024 年 3 月には一般社団法人日本電機工業会（JEMA）から発電設備等の直流電力量計測の検査規定（JEM1518）が発行されるなど、国内においても直流電力量計が徐々に注目されはじめている。

こうした世界的な直流電力量計の標準化の流れを受け、東光東芝メーターシステムズ（株）では国内規格はもとより、国際規格も視野に入れた直流電力量計の開発に取り組んでいる。

本稿では、開発中の試作器について、その仕様検討、設計検証の概要について紹介する。

2 直流電力量計の概要

2.1 概略仕様

試作器の定格を表 1 に示す。定格は、50 kW 級の EV 用急速充電器に搭載可能な仕様とした。

試作器の基本仕様を表 2 に示す。準拠規格の IEC 62053-41、JIS C 1216-2 及び参考規格の OIML Guide 22 を満足することで、DC 1,500 V 以下の直流給電システムの直流電力量を高精度に計量できる。

表 1 定格

相線式	定格電圧	定格電流	計器定数 ^(注2)
直流 2 線式	400 V	125 A	20 pulse/kWh

表 2 試作器の基本仕様

項目	基本仕様
準拠規格	IEC 62053-41 JIS C 1216-2
参考規格	OIML Guide 22
精度階級	1.0 級（目標 0.5 級）
電流測定範囲	始動電流 Ist = 0.5 A 最小電流 Imin = 6.25 A 最大電流 Imax = 125 A
電圧測定範囲	DC 150 V～450 V
補助電源	DC 24 V ± 10 %
動作保証温度範囲	−25℃～+70℃
使用相対湿度	≦ 95 % RH
消費電力	≦ 0.21 A（補助電源 DC 24 V 時）
通信インターフェイス	RS485, 9,600 or 19,200 bps
質量	約 0.7 kg
寸法	W 120 mm × H 120 mm × D 67 mm

2.2 構造及び各部の機能

試作器の各部の構造及び機能を図 1 に示す。

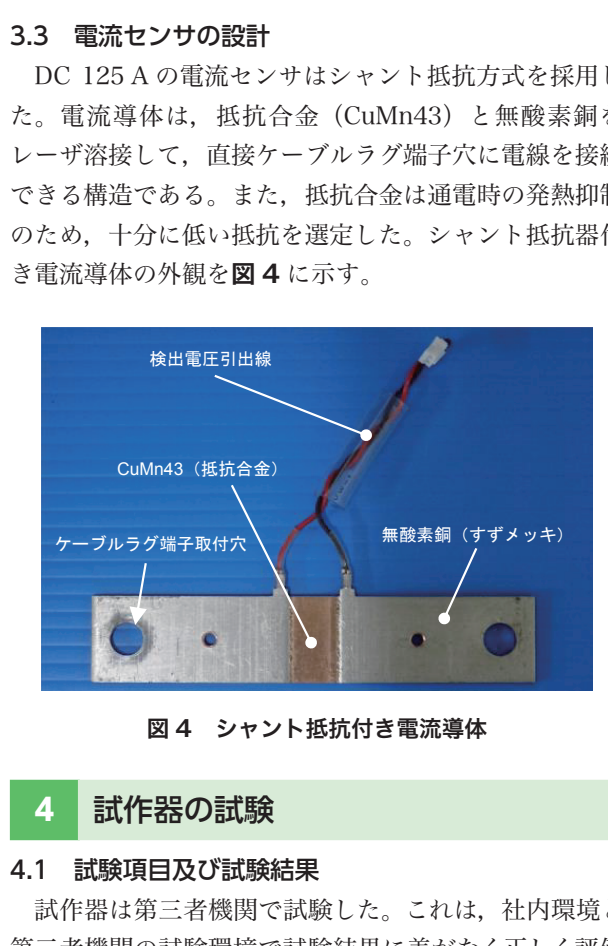


図 1 各部の構造及び機能

- (1) DC 400 V 入力
直流給電システムの電源ユニット（AC/DC-Link）を接続する。
- (2) DC 400 V 出力
測定対象の負荷（EV 等）を接続する。
- (3) 補助電源入力
DC 24 V を供給して、回路駆動用電源として使用する。
- (4) 絶縁電圧入力
図 2 に標準回路と試験回路の端子配線図を示す。JIS C 1216-2 では、電圧回路と電流回路間の絶縁が規定されているため、標準回路の緑線部を切断する機構を備えている。試験回路では、直流電圧源と直流電流源の供給装置をそれぞれ分離して接続できるため、疑似的な電力供給が可能となる。
- (5) 液晶パネル
測定対象負荷の取引電力量を表示する。kWh 単位の小数点第 3 位まで測定可能なため、1 Wh ずつの計量進捗が可能である。
- (6) 赤外線 LED
電力量に比例した計量パルス^(注3)を赤外線 LED で出力する。主に器差校正用に使用され、50 kW 印加時に 1,000 Hz の高速パルス（20 pulse/kWh）が出力されるため、短時間で器差校正ができる。
- (7) 発信パルス
電力量に比例した需要家サービスパルスを出力する。10 Wh ごとに 1 パルスを出力する。このパルスを利用することにより遠隔で電力量を管理できる。
- (8) 通信インターフェイス
RS485 方式を採用し、計器 ID（製造番号）で要求すると現在の電力量指針値を返す。
- (9) 封印^(注4)ねじ
電力量計の計量機能改ざん等を防止するために、封印等の措置が必要となる。

3 試作器の設計

今回試作器を設計した上で主要な設計ポイントを示す。

3.1 回路ブロックの絶縁構成

通信インターフェイス（RS485、USB）と EV 用充電器の絶電回路（電圧入力、電流入力）及び補助電源入力の絶電を保持するため、絶縁素子を採用して基礎絶縁の AC 2 kV 以上を確保した。各回路ブロック間の絶縁構成を図 3 に示す。

- ①通信インターフェイス（USB）－ 電圧・電流入力間：AC 5 kV
- ②通信インターフェイス（RS485）－ 電圧・電流入力間：AC 5 kV
- ③通信インターフェイス（USB, RS485）－ 補助電源入力間：AC 2 kV
- ④電流入力（IS-1L）－ 電圧入力（PI-2L）間：AC 4.25 kV

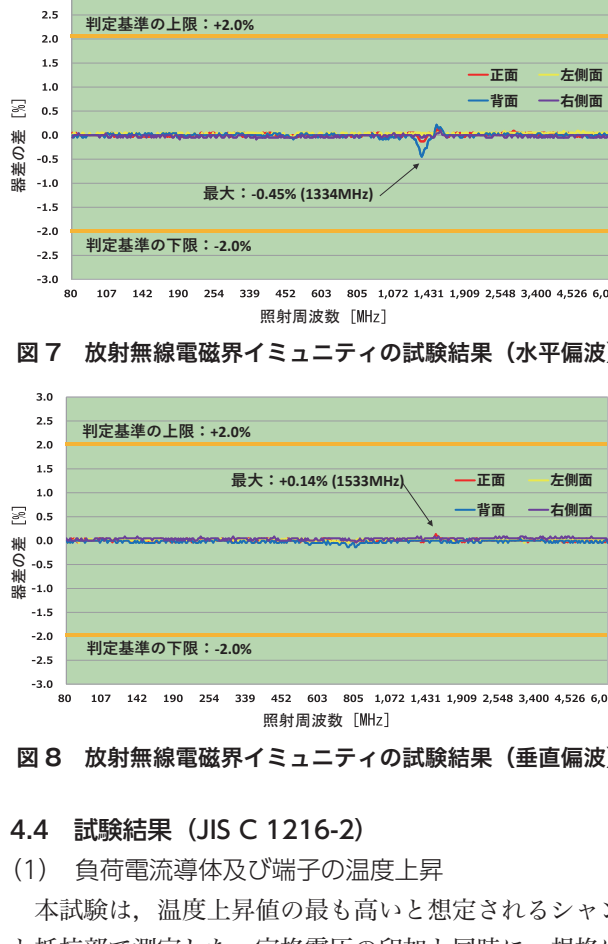


図 3 回路ブロック絶縁構成

3.2 温度特性の補償方法

AD 変換部（PGA^(注5)等）及び AFE^(注6)部品（抵抗・コンデンサ等）の温度特性のばらつきに応じた補正が必要である。補正においては、電圧オフセット、電流オフセット、電圧ゲイン、電流ゲインの 4 点を考慮する必要があるが、特にゲイナミックレンジを広げたい直流電流の検出処理は、HPF^(注7)により DC 成分を除いて見ないため、電流側のオフセットの温度ばらつきがそのまま特性に表れてしまう。そのため、温度補正値を設定する必要がある。

温度補償は、以下の通りに実施し、試験方法や判定基準は IEC 62053-41 に準拠する。

①温度補正前の器差^(注8)を取得する

温度補正が 0 の状態で器差を取得する。表 3 に温度補正前の温度係数を示す。

表 3 温度補正前の温度係数

負荷電流 [A]	低温側 [℃]	高温側 [℃]	温度係数 [%/K]	判定基準 [%/K]
125	−25	−5	0.02	0.03
	−5	15	0.03	0.03
	15	35	0.03	0.03
	35	55	0.02	0.03
	55	70	0.03	0.03
6.25	−25	−5	0.02	0.03
	−5	15	0.01	0.03
	15	35	0.01	0.03
	35	55	0.02	0.03
	55	70	0.02	0.03

負荷電流は、電流測定範囲から最大電流 125 A と最小電流 6.25 A を抜粋した。また、動作保証温度範囲から 20℃刻みで測定した温度係数を求めた。温度係数は最大 +0.03%/K と規格に対してマージンがないため、温度補償が必要である。

②温度補正前の結果を元に温度補正係数を求める

常温を境に高温側と低温側に分けて調整箇所 8 点の温度補正係数を求める。はじめに、無負荷状態（0 V、0 A）でオフセットを補正する。続いて、定格電圧及び定格電流を印加しゲインを補正する。表 4 に温度補正の各調整箇所を示す。

表 4 温度補正項目調整箇所

温度補正項目	
電圧オフセット	低温側
	高温側
電流オフセット	低温側
	高温側
電圧ゲイン	低温側
	高温側
電流ゲイン	低温側
	高温側

表 5 に温度補正後の温度係数を示す。温度係数は最大 ±0.01%/K と判定基準に十分に満足しており良好な結果である。ただし、使用部品のばらつき等により、共通の温度補正値を設定すると判定基準を満足させることは困難である。そのため、個別に測定を行い、個別に温度補正値を設定する必要がある。

表 5 温度補正後の温度係数

負荷電流 [A]	低温側 [℃]	高温側 [℃]	温度係数 [%/K]	判定基準 [%/K]
125	−25	−5	0.00	0.03
	−5	15	0.00	0.03
	15	35	−0.01	0.03
	35	55	0.01	0.03
	55	70	0.00	0.03
6.25	−25	−5	0.00	0.03
	−5	15	0.01	0.03
	15	35	0.00	0.03
	35	55	−0.01	0.03
	55	70	0.00	0.03

3.3 電流センサの設計

DC 125 A の電流センサはシャント抵抗方式を採用した。電流導体は、抵抗合金（CuMn43）と無酸素銅をレーザー溶接して、直接ケーブルプラグ端子穴に電線を接続できる構造である。また、抵抗合金は通電時の発熱抑制のため、十分に低い抵抗を確保した。シャント抵抗器付き電流導体の外観を図 4 に示す。

図 4 シャント抵抗付き電流導体

4 試作器の試験

4.1 試験項目及び試験結果

試作器は第三者機関で試験した。これは、社内環境と第三者機関の試験環境で試験結果に差がなく正しく評価できていることを確認するためである。ただし、負荷電流導体及び端子の温度上昇試験は社内環境でのみ実施した。試験項目は、計量精度に関わる基本特性や耐ノイズ性能、放熱性能を確認するために選定した。IEC 62053-41 の試験項目及び試験結果を表 6 に示しており、判定基準を満足している。また、JIS C 1216-2 の試験項目及び試験結果を表 7 に示しており判定基準を満足している。

表 6 試作器の試験結果（IEC 62053-41）

試験項目	試験結果	判定基準	判定
電流変動による誤差限度	MAX：±0.13 % −0.13 %	6.25 A ≤ I < 12.5 A：±1.0 % 12.5 A ≤ I ≤ 125 A：±0.5 %	良
放射無線電磁界イミュニティ	MAX：±0.5 %	誤差変動の許容限度：±2.0 %	良

表 7 試作器の試験結果（JIS C 1216-2）

試験項目	試験結果	判定基準	判定
負荷電流導体及び端子の温度上昇	温度上昇：30.5℃	温度上昇の限度：65℃	良
衝撃性雑音	MAX：+0.05 %	器差の差：±2.0 %	良

4.2 器差の測定方法

器差の測定方法について、概略図を図 5 に示す。電流は、直流電流源から電流センサを介して取得した出力を標準パワーメーター^(注9)に入力する。電圧は、直流電圧源から標準パワーメーターに直接入力する。このとき、標準パワーメーターで算出された電力値を真値とする。この真値と周波数カウンタで取得した計量パルスから計算して器差を求める。

図 5 器差測定の概略図

4.3 試験結果（IEC 62053-41）

(1) 電流変動による誤差限度

本試験は、定格電圧を印加した状態で、試験電流（6.25 A、12.5 A、125 A）を印加して器差を測定した。図 26 に電流変動による誤差限度の試験結果を示す。器差は 12.5 A のときが最大で −0.13 % と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。

図 6 電流変動による誤差限度の試験結果

(2) 放射無線電磁界イミュニティ

本試験は、規格に定められている通り、補助電源に定格電流の 1.1 倍の 26.4 V で通電し、測定上限電圧 450 V 及び 25 A の負荷電流を印加した状態で実施した。表 8 に規定されている試験条件で、電磁波を照射する前と照射中の器差をそれぞれ測定し、照射したことによって生じる器差の差を求める。

表 8 放射無線電磁界イミュニティの試験条件

項目	条件
周波数範囲	80 MHz から 6,000 MHz で掃引
周波数ステップ	前の周波数の 1 %
滞留時間	1 周波数当たり 3 秒以上
電界強度	10 V/m
振幅変動	1 kHz の正弦波で 80 %
偏波面	水平、垂直
照射面	正面、左側面、背面、右側面

図 7 に水平偏波時の放射無線電磁界イミュニティの結果を示す。器差の差は最大で −0.45 % と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。また、図 8 に垂直偏波時の放射無線電磁界イミュニティの結果を示す。器差の差は最大で +0.14 % と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。

図 7 放射無線電磁界イミュニティの試験結果（水平偏波）

図 8 放射無線電磁界イミュニティの試験結果（垂直偏波）

4.4 試験結果（JIS C 1216-2）

(1) 負荷電流導体及び端子の温度上昇

本試験は、温度上昇値の最も高いと想定されるシャント抵抗部で測定した。定格電圧の印加と同時に、規格に定められている通り、定格電流の 1.1 倍である 137.5 A の負荷電流を印加する。そして、2 時間後のシャント抵抗部の温度上昇値を測定する。温度の測定は、シャント抵抗部に熱電対をはんだ付けして実施した。表 9 にシャント抵抗部の温度上昇の結果を示す。温度上昇値は 30.5℃であった。これは、判定基準の 65℃を超えておらず良好な結果である。

表 9 シャント抵抗の温度上昇

開始直後 [℃]	2 時間後 [℃]	温度上昇値 [℃]	判定基準 [℃]
23.1	53.6	30.5	65

(2) 衝撃性雑音

試験は、定格電圧及び 20 A の負荷電流を印加して実施した。表 10 に規定する条件で衝撃性雑音を電圧回路とベースとの間及び電流回路とベースとの間に印加して器差を測定し、衝撃性雑音を印加したことによって生じる器差の差をそれぞれ求める。

表 11 に衝撃性雑音の試験結果を示す。器差の差は最大で +0.05 % と判定基準を十分に満足しており良好な結果である。

表 10 衝撃性雑音の試験条件

項目	条件
パルスの高さ	1.5 kV
パルス幅	200 ns 及び 500 ns
パルスの立ち上がり時間	1 ns
パルスの繰り返し周波数	商用周波数と同一
パルスの極性	正及び負
パルスの位相	0°～360°

表 11 衝撃性雑音の試験結果

試験電圧 [V]	負荷電流 [A]	印加箇所	パルス幅 [ns]	極性	器差の差 [%]	判定基準 [%]
400	20	電圧回路とベース間	200	+	0.03	2.0
				−	0.00	2.0
			500	+	0.02	2.0
				−	0.05	2.0
		電流回路とベース間	200	+	0.02	2.0
				−	0.01	2.0
			500	+	0.05	2.0
				−	0.03	2.0

5 おわりに

今後も拡大が想定される再生可能エネルギーの導入と共に直流電力量による従量課金への要請を想定し、直流電力量計の試作評価を行った。これにより、直流計測技術の知見を深めることができた。

世の中では直流給電システム、EV 充電インフラの高電圧・大電流化が進んでおり、さらに標準化も進んでいくと考えられる。こうした社会動向を見極め、事業化に向けた製品開発を急進的に取り組みを推進していく。

参考文献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁：令和 4 年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書 2023）
- (2) NEDO：超分散エネルギーシステム分野（直流技術）の技術戦略策定に向けて
- (3) IEC 62053-41：2021, Electricity metering equipment-Particular requirements-Part 41: Static meters for DCenergy (classes 0, 5 and 1)
- (4) OIML G 22:2022, Electric Vehicle Supply Equipment(EVSE)-Metrological and technical requirements- Metrological controls and performance tests
- (5) JIS C 1216-2：2017, 電力量計（変成器付計器）－第 2 部：取引又は証明用
- (6) 経済産業省資源エネルギー庁：特定計量制度に基づく電気の計量について

■ 語句説明

- 注 1) ネガワット取引：需要家が節電して余剰となった電力で取引すること。
- 注 2) 計器定数：1 kWh 当たりの計量パルスのパルス数を表す値。
- 注 3) 計量パルス：計器で計量する電力量に比例するパルスで、計器の試験に使用するもの。
- 注 4) 封印：ベースとカバーの開封を防ぐため、封印ねじ及び封印キャップで物理的に保護するもの。
- 注 5) PGA [Programmable Gain Amplifier]：SPI 通信等でオペアンプのゲインを 1～数十倍まで可変設定できるもの。
- 注 6) AFE [Analog Front End]：センサの信号検出とマイコン等のデジタル信号処理デバイスを結ぶアナログ回路。
- 注 7) HPF [High Pass Filter]：特定の周波数以下の信号を減衰するフィルタ。AC 信号のオフセット除去に有効。
- 注 8) 器差：計量値から標準器が示す真実の値を減じた値のその真実の値に対する割合。
- 注 9) 標準パワーメーター：電圧と電流を入力して計算で電力を求める。本評価では、この電力値を真値として使用した。

黒木 雄太 東光東芝メーターシステムズ株式会社 事業企画部 事業戦略グループ 所属

千田 智行 東光東芝メーターシステムズ株式会社 開発部 スマートメーター開発グループ 所属

長谷川 敏夫 東光東芝メーターシステムズ株式会社 開発部 スマートメーター開発グループ 所属

迫山 光弘 東光東芝メーターシステムズ株式会社 開発部 スマートメーター開発グループ 所属

東光高岳技報 No.11 2024