

風力発電設備用雷電流計測装置の新 JIS/JEM 規格対応と電流計測性能

■ 藤岡 博文
Hirofumi Fujioka

■ 藤野 守也
Moriya Fujino

風力発電の事業性向上のため、風車への落雷を正確に捕捉できる装置の普及が求められるようになり、改定中の JIS C 1400-24 : 2022 (近日発行予定) において、附属書として落雷検出装置の要求性能が規定されようとしている。同規格の要求性能を満たす新たな雷電流計測装置 (2022 年 3 月リリース) の仕様と、JEM (JIS で規定される性能の型式試験方法に関する規格) にもとづく電流計測性能の検証結果について紹介する。

1 はじめに

風力発電設備の導入に伴い、世界的にも特異に「エネルギー (電荷量^{注1)}) が大きい」日本海沿岸の冬季雷による、風車のブレード損傷、飛散等の雷被害が多発している⁽¹⁾。これを受け、経済産業省では 2015 年に、落雷検出装置の設置を含めた風力発電設備の雷被害再発防止対策を掲げた⁽²⁾。

東光高岳では、落雷の検知と外部への通知『風力発電設備と連携して運転を停止⁽²⁾』、電荷量の計測『耐雷設計の妥当性を把握⁽²⁾』といった、風力発電設備の雷被害再発防止対策に必要な機能を有する雷電流計測装置を開発・改良し^{(3), (4)}、これまでに日本海沿岸の冬季雷地域を中心として全国に約 800 台納入している。

さらに、風力発電の安全性、保安性向上のため、風車への落雷を正確に捕捉できる装置の普及が求められるようになり、改定中の JIS C 1400-24 : 2022 (近日発行予定) において、附属書として落雷検出装置の要求性能が規定されようとしている^{(5), (6), (7), (8), (9)}。

本稿では、本年 3 月に新製品としてリリースした雷電流計測装置 (以下、本装置) の仕様と、JEM (JIS で規定される性能の型式試験方法に関する規格) にもとづく電流計測性能の検証結果について紹介する。

2 新 JIS 要求性能と雷電流計測装置の仕様

(1) 新 JIS 要求性能

JIS C 1400-24 : 2022 の附属書にて規定予定の要求性能のうち、電流計測性能に関する項目を表 1 に示す^{(7), (9)}。

(2) 雷電流計測装置の仕様

表 1 に対応する本装置の計測仕様を表 2 に示す。すべての項目において、表 1 に示す JIS C 1400-24 : 2022 にて規定予定の要求性能を満足している。なお、計測精度は表 1 にもとづき製造業者である東光高岳が設定した。

また、本装置において追加・向上した仕様を表 3 に赤字にて示す。

表 1 JIS C 1400-24 : 2022 要求性能 (電流計測性能)

項目	内容
1	電流検出周波数帯域 (-3 dB ~ +3 dB) クラス I (設置可能地域: 日本全国): 0.1 Hz ~ 100 kHz
2	最大測定電流値 100 kA 以上
3	最小検出電流値 (トリガ電流値) 最大測定電流値の 1% または 2 kA の小さい値以下
4	最大測定電荷量値 600 C 以上
5	最小検出電荷量値 1 C 以下
6	検出精度 製造業者が指定
7	観測時間 0.5 s 以上

表 2 雷電流計測装置の計測仕様

項目	内容
1	周波数帯域 (-3 dB) 0.1 Hz ~ 300 kHz
2	最大計測電流 100 kA, 200 kA (計測可能電流値 = 最大計測電流 × 1.2)
3	トリガレベル 最大計測電流 × 1%
4	電荷量演算範囲 0 C ~ 9,999 C (分解能: 1 C)
6	電流波高値計測精度 10 kA 以上: ± 10% 以内 10 kA 未満: ± 1 kA 以内
	電荷量計測精度 10 C 以上: ± 15% 以内 10 C 未満: ± 2 C 以内 (精度範囲: 1,000 C 以下)
7	計測時間 1 s

表 3 雷電流計測装置の新規仕様

項目	内容
計測データ	電流波高値 (正負), 電荷量, 比エネルギー ^{注2)} (0.0 MJ/Ω ~ 99.9 MJ/Ω), トリガ時刻
電荷量演算サンプリング	10 μs (比エネルギーも同様)
遠隔データ収集機能	Web サーバ, Modbus/TCP (スレーブ)

3 新 JEM 型式試験の条件

JEM で規定予定の型式試験のうち、電流計測性能に関する条件^{(8), (9)}を以下に示す。

(1) 電流検出周波数帯域試験

- ・試験波形：正弦波または正弦波減衰振動波
- ・試験方法：試験電流を電流センサに鎖交
落雷検出装置のセンサ出力信号を測定

(2) 電流値検出試験

- ・試験波形：10/350 電流インパルス（正極性，負極性）
規約波頭長：10 μ s，規約波尾長：350 μ s
（最大測定電流値以外：100 μ s 以上）
- ・試験電流値（許容差 $\pm 10\%$ ）：最大測定電流値，最大測定電流値 $\times 0.5$ ，最小検出電流値（トリガ電流値）

(3) 電荷量値検出試験

- ・試験波形：長時間雷撃電流波形，短時間電撃電流波形（出典：JIS Z 9290-1）
- ・試験電荷量値（許容差 $\pm 20\%$ ）：最大測定電荷量値，最大測定電荷量値 $\times 0.5$ ，最小検出電荷量値

4 電流計測性能試験方法

(1) 電流検出周波数帯域試験

図 1 に電流検出周波数帯域試験の回路を示す。

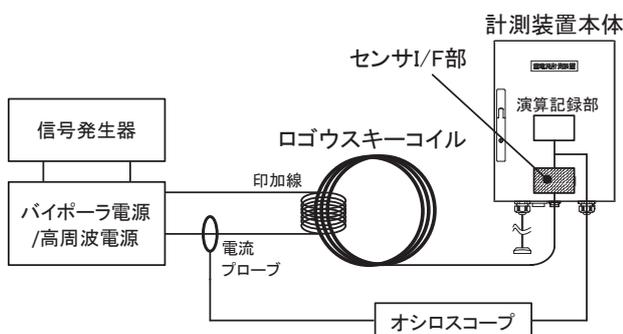


図 1 電流検出周波数帯域試験回路

信号源として交流電源（信号発生器＋バイポーラ電源：20 kHz 以下／高周波増幅器：20 kHz 以上）を使用し，印加線をログウスキーコイルに周回，ログウスキーコイルも印加線に周回することにより，正弦波（連続波，数百 Ap-p 相当）を印加し，印加線の電流波形とセンサ I/F 部の出力電圧波形の，おのおのから読取って換算した電流波高値を比較した。

(2) 電流値検出試験

図 2 に電流値検出試験の回路を示す。

信号源として 10/350 μ s インパルス電流発生器（（株）昭電のテクノセンタ（以下，テクノセンタ）内に配備）

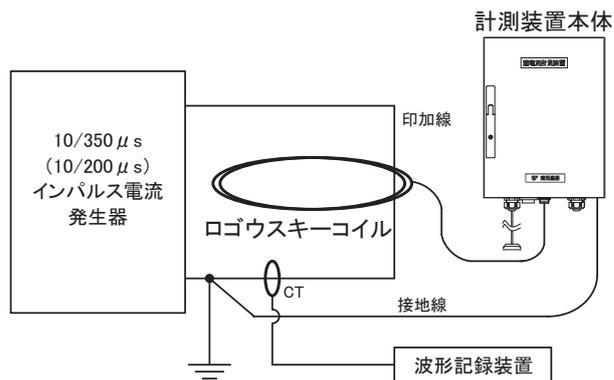


図 2 電流値検出試験回路

を使用し，ログウスキーコイルを印加線に 2 周回することにより，200 kA 相当までを印加して，印加線の電流波形から読取って換算した電流波高値と本装置の記録値を比較した。

なお，最小検出電流値（トリガ電流値＝トリガレベル）においては，10/200 μ s インパルス電流発生器（テクノセンタ内に配備）を使用した（ログウスキーコイルは印加線に 1 周回）。

(3) 電荷量値検出試験

図 3 に電荷量値検出試験の回路を示す。

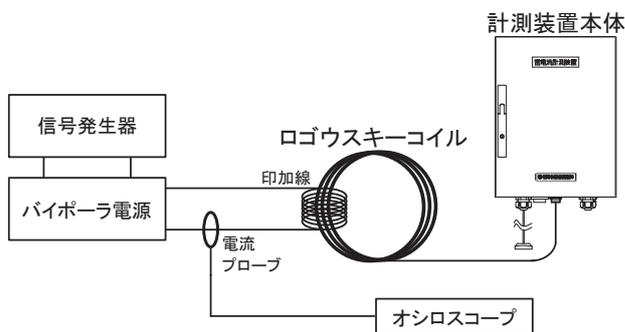


図 3 電荷量値検出試験回路

信号源として交流電源（信号発生器＋バイポーラ電源）を使用し，印加線をログウスキーコイルに 500 周回（最小検出電荷量値においては 10 周回），ログウスキーコイルも印加線に 10 周回することにより，試験電荷量値を有する長時間雷撃電流波形，短時間電撃電流波形を印加して，印加線の電流波形から換算して算出した電荷量と本装置の記録値を比較した。

(4) 雷電流計測装置の電流波高値計測性能試験

JEM 型式試験方法とは別に，本装置としての電流波高値計測性能試験（周波数特性，入出力特性）⁽³⁾も実施した。

100 Hz 以下（図 3：電荷量値検出試験回路と同一）では，信号源として交流電源（信号発生器＋バイポーラ電源）を使用し，印加線をログウスキーコイルに 500 周回，ログウスキーコイルも印加線に 10 周回することにより，電流波高値 10 kA 相当の正弦波（連続波）を

印加している。

100 Hz 以上 (図 4) では、信号源としてインパルス発生器を使用し、印加線をログウスキーコイルに 20 周回、ログウスキーコイルも印加線に 2 周回することにより 200 kA 相当までのインパルス波または減衰振動波を印加している。周波数は、印加電流波形の波頭長を 1/4 周期として換算している (例：波頭長 2 μs → 周波数 125 kHz)。

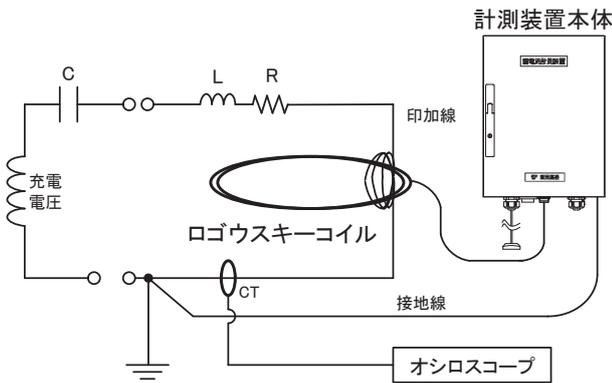


図 4 試験回路：インパルス発生器 (100 Hz～)

印加線の電流波形から読取って換算した電流波高値と本装置の記録値を比較した。

5 電流計測性能測定結果

電流計測性能の測定結果は、印加値に対する測定値の比誤差で評価した。

試験対象の本装置は、最大計測電流が 100 kA と 200 kA の 2 台で、ログウスキーコイルはコイル長 16 m (風車タワー外径：約 5 m 相当) である。

(1) 電流検出周波数帯域試験

図 5 に、センサ I/F 部の計測性能としての周波数帯域の測定結果を示す。

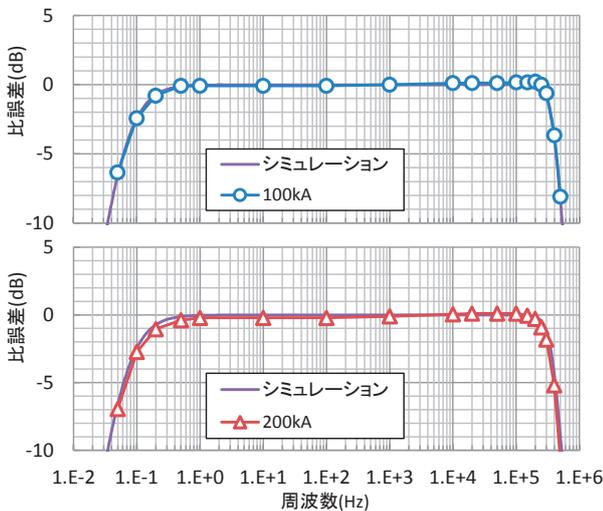


図 5 電流検出周波数帯域試験結果

本装置の周波数帯域における低周波数端 0.1 Hz と高周波数端 300 kHz は -3 dB 以上であり、1 Hz から 100 kHz まではほぼ平坦な特性になっている。

また、シミュレーション結果とも一致しており、設計どおりの動作となっていることも確認できる。

(2) 電流値検出試験

表 4 に、電流波高値の測定結果を示す。

最小検出電流値 (トリガ電流値 = トリガレベル：1 kA, 2 kA) では ±10% を超過する場合もあるが、計測精度 ±1 kA 以内 (10 kA 未満) になっている。

表 4 電流値検出試験結果

最大計測電流	印加電流	正極性		負極性	
		比誤差	電流差	比誤差	電流差
100 kA	1 kA	7%	0.1 kA	3%	0.0 kA
	50 kA	3%	—	3%	—
	100 kA	6%	—	3%	—
200 kA	2 kA	-11%	-0.3 kA	-7%	-0.2 kA
	100 kA	-2%	—	-4%	—
	200 kA	-3%	—	-4%	—

(3) 電荷量値検出試験

表 5 に、電荷量の測定結果を示す。

計測精度 ±15% 以内になっている。

試験電荷量値は、精度範囲「1,000 C 以下」にもとづき、以下のとおりとした。

- ・最大測定電荷量値：1,000 C
- ・最大測定電荷量値 × 0.5：500 C
- ・最小検出電荷量値：1 C

なお、(2) で 10/350 μs インパルス電流を印加した場合の電荷量も記載した。

表 5 電荷量値検出試験結果

最大計測電流	印加電荷量	比誤差	電荷量差
100 kA	1 C	-1%	0.0 C
	20 C	1%	—
	45 C	5%	—
	500 C	-6%	—
	1,000 C	-9%	—
200 kA	1 C	-7%	-0.1 C
	45 C	-4%	—
	90 C	-5%	—
	500 C	-9%	—
	1,000 C	-10%	—

(4) 雷電流計測装置の電流波高値計測性能試験

図 6 に、入出力特性の測定結果を示す。

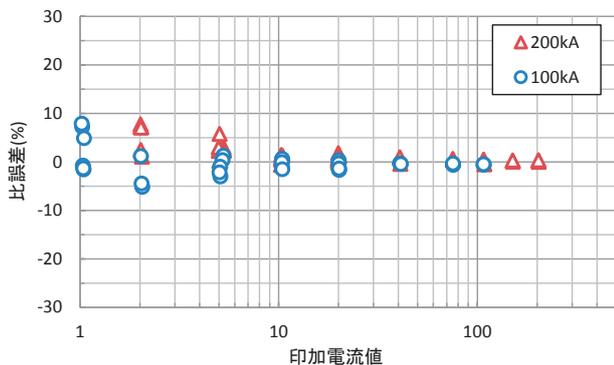


図 6 入出力特性測定結果

電流値に対して分解能 (0.1 kA) が粗くなる 5 kA 以下では比誤差が大きくなっているが、200 kA まで ±10% 以内であることが確認できる。

図 7 に、本装置としての周波数特性の測定結果を示す。

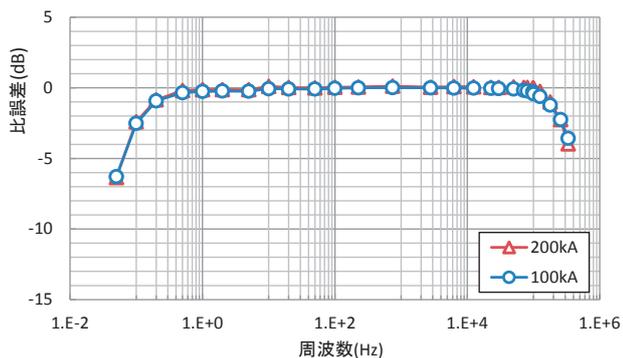


図 7 周波数特性測定結果

0.5 Hz から 100 kHz まで ±10% (約 ±0.9 dB) 以内であることが確認できる。また、JIS C 1400-24 : 2022 で規定予定の要求性能を満足する周波数帯域 0.1 Hz から 300 kHz において ±3 dB 以内であることも確認できる。

6 おわりに

本稿では、JIS C 1400-24 : 2022 で規定予定の要求性能を満たす新たな雷電流計測装置 (本装置) の仕様と、規定予定の JEM にもとづく電流計測性能の検証結果について報告した。

なお、今後は、JIS C 1400-24 : 2022 発行後の雷電流計測装置の自己適合宣言^{注3)} (JEM 型式試験成績書) に向けて対応していく。

■参考文献

- (1) 経済産業省：「新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ」https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/newenergy_hatsuden_wg/index.html
- (2) 経済産業省：「発電用風力発電設備の技術基準の解釈について (20140328 商局第 1 号) の一部を改正する規定」(2015)
<https://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000120248>
- (3) 藤岡博文：「風力発電設備用雷電流計測装置の電流計測性能」, 東光高岳技報 Vol.4 2017, p.39 (2017)
https://www.ttkk.co.jp/research/report/pdf/2017/giho2017_17.pdf
- (4) 酒井繁美：「風力発電設備用雷電流計測装置」, 東光高岳技報 Vol.6 2019, p.24 (2019)
https://www.ttkk.co.jp/research/report/pdf/2019/giho2019_10.pdf
- (5) 風力発電設備の耐雷健全性維持技術と法規制・規格調査専門委員会：「風力発電設備の耐雷健全性維持と稼働率向上のための最新技術」, 電気学会技術報告書 1501 号 (2020)
- (6) NEDO 成果報告書：「風力発電等技術研究開発 / 風力発電高度実用化研究開発 / スマートメンテナンス技術研究開発 (雷検出装置等の性能・評価技術の開発)」(2018)
https://www.nedo.go.jp/library/seika/shosai_201808/20180000000588.html
- (7) 山本和男, 他「Upcoming Japanese Standard Relating to Lightning Protection for Wind Turbines: Lightning Detection Systems」, ICOLSE2019, No. 20 (2019)
- (8) 山本和男：「落雷検出装置の諸特性とその役割」, 令和 2 年電気学会全国大会, S6-3 p.S6 (7) - S6 (10) (2020)
- (9) 山本和男, 他：「風車用落雷検出装置が満たすべき性能とその試験方法」第 42 回風力エネルギー利用シンポジウム, p.253-256 (2020)

■語句説明

- 注 1) 電荷量：雷放電の継続時間全域における雷電流の時間積分
- 注 2) 比エネルギー：雷放電の継続時間全域における雷電流の二乗の時間積分
- 注 3) 自己適合宣言：製造業者が JIS への適合を証明すること (第一者証明, 出典：JIS Q 1000)

藤岡 博文

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属

藤野 守也

戦略技術研究所
技術開発センター ICT 技術グループ 所属