

受変電設備の安定稼働に貢献する ディジタル形保護計測装置 PACGEAR の モデルチェンジ

■ 市川 隆之
Takayuki Ichikawa

■ 長谷川 誠
Makoto Hasegawa

■ 山田 康久
Yasuhisa Yamada

1 はじめに

受変電設備用の保護、制御、計測機能を一括収納したディジタル形保護計測装置である「PACGEAR (Protection and Control - GEAR)」は、1988年に当社が適用開始してから約40年が経過した現在も、受変電設備用ディジタル・マルチリレー^{注1)}として長くご使用いただいている。

適用当初より、市場ニーズや対象設備の形態に合わせて機種を展開し、高機能化や後継機種適用等を進めてきた。近年では、労働人口の減少に伴い、受変電設備での保守・メンテナンス作業の継続が困難になりつつある。

そこで課題解決のために、機能向上を実現したPACGEARシリーズの最新モデルPACe2を開発したので紹介する。

2 開発コンセプト

PACe2は、受変電設備の保守・メンテナンスの効率化のため、様々な機能を用意している。PACe2における開発コンセプトを図1に示す。3~5章で各コンセプトを説明する。ここでは主な特徴を紹介する。

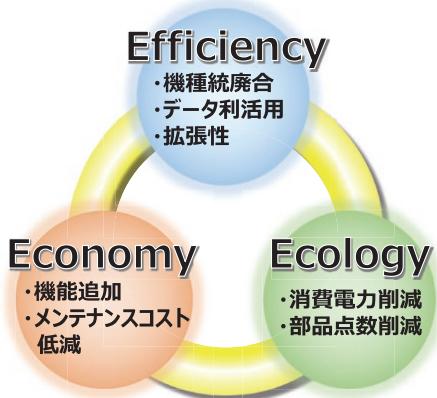


図1 PACe2の開発コンセプト

- 自動リレー試験機能による点検簡素化・点検周期延伸に寄与
- 各種データの記録による異常データの解析や設備故障の未然防止に寄与
- 市販の汎用ケーブルを用いてPCから設備状態の確認が容易
- 汎用的な伝送方式へ対応し既存設備との接続性向上

3 生産性・機能性の向上 (Efficiency)

3.1 機種統廃合

PACGEARシリーズでは、対象設備やお客様にあわせた様々な機種を展開してきた。そうすることで多様なニーズに応えてきた一方、使用部品の生産中止に伴う生産維持対応や保守・メンテナンスに課題が生じていた。

今回、使用部品を1点ずつ見直し、筐体サイズの異なるPACGEARシリーズの最小サイズに合わせるとともに、使用プロセッサの大幅な性能向上を図ることで、シリーズの統廃合を実現させた(図2)。

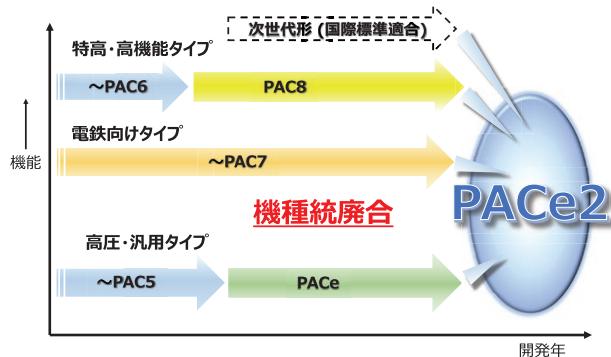


図2 PACGEARシリーズの統廃合

PACe2の外観と他機種サイズ比較を図3、図4に示す。筐体サイズをコンパクト化したことにより、装置の更



図3 PACe2外観

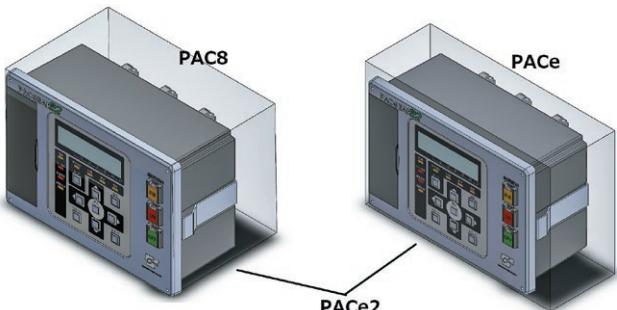


図4 PACe2と他機種との筐体サイズ比較

新時にはアタッチメントを取り付けることで、装置が取り付けられている扉の加工をせずにレトロフィットを行うことを可能とした。

3.2 データ利活用

お客様設備の診断や予防保全にもご活用いただくため、PAC8 から搭載しているデータセーブ機能を更に向上させた。これまでのアナログ情報（リレー動作のための基本波抽出後の Ry 入力情報）、リレー動作情報、トリップ出力/Do 出力情報、Di 入力情報に加え、オシロ波形記録として、4,800 Hz (50 Hz 時)/5,760 Hz (60 Hz 時) 周期で、アナログ / ディジタル・フィルタを介さずに、直接サンプリングした系統情報を記録できるようにした。

これにより、非接地系統の地絡事故時に生じる間欠地絡波形（台形波 VO/ 針状波 IO 波形）を解析ツールにより直接確認できるようになった（図 5）。

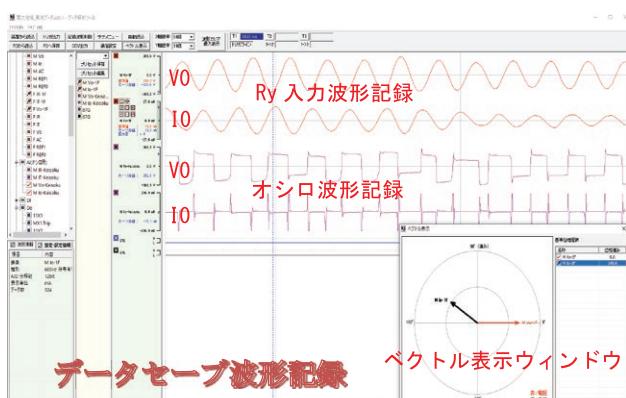


図 5 解析ツールによる波形表示（オシロ波形記録付）

非接地系統においては、地絡事故の様相が多様であることが分かっている（図 6）。本オシロデータは、これらの事故様相を基に、事故内容を迅速に判別するための有効な手段となる。トリップに至る前に自然復旧する事象であっても、PACe2 では即時のリレー検出で波形記録するため、本ツール活用により、事故再発の

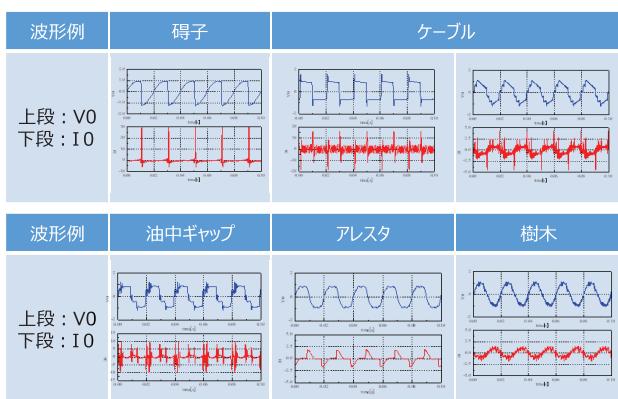


図 6 地絡事故時の VO, IO 波形例（実測結果）

未然防止に活用できる。

PACGEAR に蓄積されたデータを PC で確認する際、従来は専用通信ケーブルで接続し、データ取得していた。

PACe2 では本体に USB Type-C を搭載することで、PC 側に専用ポートが不要となり、市販ケーブルがそのまま使用できるようになった。特に PC とのインターフェースを USB にすることで、データセーブ記録の取得や確認のための待ち時間が少くなり、データ量が大幅に増加しても、ストレス無く作業が行えるようになった。

3.3 拡張性

PACe2 では、ハードウェアを共通化し、ソフトウェア設定で機能の有効・無効を設定できるようにしたことで、お客様の要望に合わせた機能追加が容易になった。

また将来的に内蔵した拡張基板により様々なセンシングや通信方式に対応できるようになるため、追加の設備が必要なくなり、設備更新が短期かつ容易となる。



図 7 PACe2 でのオプション基板拡張

4 環境負荷低減 (Ecology)

4.1 消費電力削減

使用部品の見直しと併せて、消費電力（使用電圧）の最適化も行った。ただ低消費を目指すだけではなく、最新の JEC 規格（JEC-2500-2010）を満たすよう、最適な使用電圧で構成している。これにより消費電力は、PAC8 に対して約 70%， PACe に対して約 20% 低減できた（表 1）。

表 1 各 PACGEAR シリーズでの消費電力と質量比較

PAC シリーズ	定格	平常時 (W)	最大時 (W)	質量 (kg)
PAC8	20 W	16	19	5.4
PACe	10 W	7	8	2.3
PACe2	10 W	5	6	1.8

4.2 部品点数の削減

PACe2 では、実装部品の見直しや再設計による部品の小型化や部品点数の削減を行った。その結果、高性能タイプである PAC7 や PAC8 と同等の性能を有しながら、汎用タイプの PACe と同じ基板枚数にすることができた。

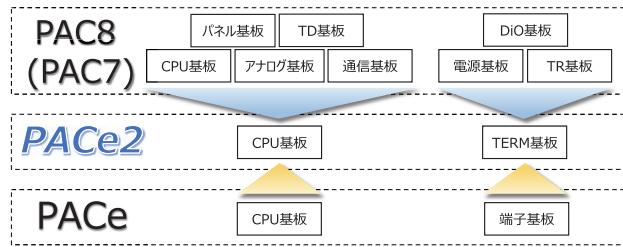


図 8 基板枚数の削減

これら使用部品の見直しにより、使用部品・筐体含めた質量は、消費電力同様 PAC8 に対して約 70%， PACe に対して約 20% 低減した（表 1）。

5 高機能・低廉化 (Economy)

5.1 機能追加

今回、PACe2 では従来の PACGEAR シリーズでは搭載していなかった表 2 の保護機能を新たにソフトウェアで実現した。新規にハードウェアを追加する必要がなく、設備全体の高機能化・低廉化に貢献できる。

表 2 PACe2 から搭載した保護リレー機能

追加機能	内 容
間欠地絡応動	間欠地絡時でのリレー検出・応動
地絡相表示	非接地系統での地絡相表示
高調波モニタ	高調波監視に影響する系統高調波モニタ

5.2 メンテナンスの効率化

現地試験の効率化や点検周期の延伸に貢献するため、PACe2 では自動リレー試験機能を搭載した。この機能は、内部アナログ回路に既知の基本波を印加させることで、リレー動作レベル、動作時間（内部トリップ出力までの時間）を監視・記録できる機能である。試験結果は、ツールを用いて記録・出力できる（図 9）。



図 9 自動リレー試験機能

5.3 伝送速度・容量の向上

伝送速度・容量の大幅な向上を実現させるため、PACe2 では伝送機能を改善した。PACe2 では従来の当社独自仕様だけでなく Modbus も使用可能となり、各種 PLC や様々なデバイスとの接続をしやすくした。伝送速度・容量の向上により、さらに多くの設備情報を監視・制御できるようになり、設備監視の効率化に貢献できる。

表 3 従来 PACGEAR シリーズとの伝送方式比較

伝送方式	～PAC8	PACe	PACe2
OPC-N-1 ^{注2)}	○	—	—
当社専用通信	○	○	○
CC-Link ^{注3)}	○	○	○
Modbus ^{注4)}	—	—	○

6 試験

6.1 準拠規格

PACe2 では、最新の JEC 規格に準拠した設計となっている。表 4 に準拠した JEC 規格を記す。

表 4 PACe2 が準拠する JEC 規格

No.	JEC 規格番号	規 格 名 称
1	JEC-2500-2010	電力用保護継電器
2	JEC-2501-2010	保護継電器の電磁両立性試験
3	JEC-2502-2010	デジタル演算形保護継電器の A/D 変換部
4	JEC-2510-1989	過電流継電器
5	JEC-2511-1995	電圧継電器
6	JEC-2512-2002	地絡方向継電器（※）
7	JEC-2518:2015	デジタル形過電流リレー
8	JEC-2520:2018	デジタル形過電圧リレー

※一部適合せず

JEC-2512-2002 地絡方向継電器では、地絡方向リレー要素の動作整定値が ZCT（零相変流器）の二次側表記で規定されている。従来の PACGEAR シリーズでは ZCT 一次側表記の整定値としており、これを二次表記に変更した場合、現地整定値と同じ値を選ぶことが困難となり、レトロフィットの思想にそぐわなくなる。

そのため本整定値については、JEC 規格には準拠せず、従来の PACGEAR シリーズで採用していた ZCT 一次表記での整定とした。

6.2 試験結果

ZCT 一次整定とした JEC-2512-2002 の一部試験以外、**表 4** の JEC 規格で規定されている試験は、全て良好な試験結果が得られた。

(1) 振動・衝撃試験

図 10 に振動・衝撃試験の一例を示す。



図 10 振動・衝撃試験

(2) JEC-2501-2010 規定の試験結果

JEC-2501-2010 保護継電器の電磁両立性試験に規定されている試験を実施し、全て試験結果は良好であった(表 5)。

表 5 JEC-2501-2010 試験内容と試験結果

No.	試験項目	試験結果	備考図
1	静電放電イミュニティ試験	良	
2	商用周波数イミュニティ試験	良	図 11
3	減衰振動波イミュニティ試験	良	
4	電気的ファストトランジェント／バースト(EFT/B)イミュニティ試験	良	
5	方形波インパルスイミュニティ試験	良	
6	サージイミュニティ試験	良	
7	商用周波数電磁界イミュニティ試験	良	
8	無線周波数電磁界伝導妨害イミュニティ試験	良	
9	放射無線周波電磁界イミュニティ試験	良	図 12

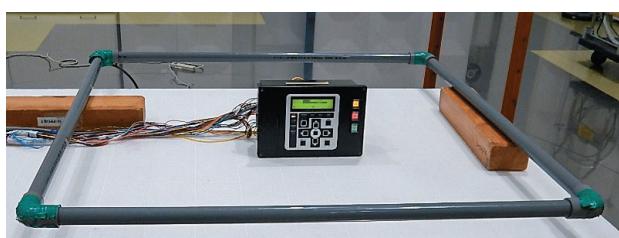


図 11 商用周波数イミュニティ試験



図 12 放射無線周波電磁界イミュニティ試験

6.3 国際標準規格に基づいた検証試験

本製品においては、JEC 規格への準拠のみならず性能検証試験の一環として、国際標準規格に基づいたイミュニティ試験の検証も実施し、装置としての妥当性を確認した。

表 6 は、JEC 規格を超えるイミュニティ性能を求められる国際標準規格における検証試験の内容とその結果を示す。

表 6 国際標準規格での検証試験結果

雷インパルス耐電圧試験		
試験仕様	国際規格	結果
1.2/50 μ s 5.0 kV 電気回路一括 = アース 計器用変成器回路間 計器用変成器回路 = 制御回路間 <u>JEC-2501-2010 : 4.5 kV</u>	IEC60255-5 IEC61850-3 (section6.6.3)	良
1.2/50 μ s 5.0 kV 計器用変成器回路端子間 制御電源回路端子間 <u>JEC-2501-2010 : 3.0 kV</u>		良
電気的ファストトランジェント／バースト・イミュニティ試験		
試験仕様	国際規格	結果
印加電圧 : 4.0 kV (CLASS-A) 繰返周波数 : 5.0 kHz, 100 kHz 電源回路 = アース間 <u>JEC-2501-2010 : 2.0 kV</u>	IEC60255-22-4	良
印加電圧 : 2.0 kV (CLASS-B) 繰返周波数 : 5.0 kHz, 100 kHz CT/VT 回路 = アース間 Di/Do 回路 = アース間 <u>JEC-2501-2010 : 1.0 kV</u>		良
電力周波数磁界イミュニティ試験		
試験仕様	国際規格	結果
磁界強度 : 100 A/m 連続 <u>JEC-2501-2010 : 30 A/m 連続</u> 1000 A/m 1~3 sec <u>JEC-2501-2010 : 300 A/m 1~3 sec</u>	IEC60255-26 IEC61000-4-8	良
放射性エミッション		
試験仕様	国際規格	結果
・CE 仕様 (CSPR11) ・FCC 仕様 (FCC-part15-A) <u>JEC-2501-2010 : 規定なし</u>	IEC60255-26	良

7 おわりに

PACe2 は、今までの PACGEAR シリーズの機能を継承しつつ、既設装置のレトロフィットも行えるものとなっている。特高向けや一部お客様向け用途など、ソフトウェアの開発や評価については引き続き対応していく。今後は、更なる価値向上を目指し、以下の機能を搭載する予定である。

- ・ソフト PLC 機能の搭載：市販ツールを活用し、お客様がシーケンスを作成・組込むことができるようになる。
- ・伝送機能の高機能化：国際標準規格（IEC 61850）に基づいた伝送方式を新たに拡張基板に搭載することで、海外製品など様々な機器との接続を可能にし、お客様のニーズに合わせた機器との接続性の向上を目指す。

■語句説明

- 注 1) マルチリレー：保護リレー、メータ、操作スイッチ、監視表示器、伝送機能等、複数の機能を 1 つの装置に集約した複合型の保護リレーのこと。
- 注 2) OPCN-1 : Open PLC Network 1 の略。FA システムにおける PLC を中心としたステーション管理を目的としたネットワーク規格。JEMA では、2011 年 10 月に認証手続きが終了している。

注 3) CC-Link : Control & Communication Link の略。三菱電機が開発した産業用オープンフィールドネットワーク。PLC や入出力機器などの制御機器とシリアル通信で結び、制御と情報を同時に扱えるようにする。CC-Link のロゴは、三菱電機の登録商標（第 4134745 号）。

注 4) Modbus : Modicon 社が開発した PLC などの制御装置間でのデータ送受信方式。製造業の自動化に欠かせない通信規格となっている。

東光高岳 HP 製品・サービス
デジタル形保護計測装置



市川 隆之

電力プラント事業本部
第二設計部 制御装置設計グループ 所属

長谷川 誠

電力プラント事業本部
第二設計部 制御装置設計グループ 所属

山田 康久

電力プラント事業本部
第二品質保証部 制御装置品質保証グループ 所属