

# 次期保護・制御装置「Veuxシリーズ」の開発と製品化

Development and Commercialization of Advanced Protection Relay “Veux Series”

小松 親司      野呂 純      城戸 三安  
 Komatsu Chikashi      Noro Jun      Kido Mitsuyasu  
 吉田 昌司      兵藤 和幸      山田 弘道  
 Yoshida Shoji      Hyodo Kazuyuki      Yamada Hiromichi

保護・制御装置は、落雷などの事故発生時に電圧や電流の異常発生を検出し、遮断器開放指令を出力することによって事故区間の切り離しを行い、安定した電力を供給するための装置である。今回開発した「Veuxシリーズ」は、従来の装置と比較して高信頼・高機能化を図ったほか、現行の市場ニーズであるユニット交換の容易さが特徴である。さらに、将来を見据えて次世代通信網へ対応可能とするために汎用ネットワーク機能を備え、機能分散形保護システムや安定化装置など新しいアプリケーション対応を考慮したシステム構成とした。

## 1. はじめに

電力系統や変電機器の保護・制御を担う保護・制御装置には、落雷などの事故が発生したとき、直ちにこれを検出し、遮断器にトリップ指令を出力して事故を除去し、電力系統の安全運用を維持する責務がある。

保護・制御システム分野においては、高信頼・高機能化に加え、保護・制御装置の心臓部であるリレーユニット部だけを交換して、装置全体を延命化するユニット交換対応への適用など、市場を取り巻く環境が大きく変化してきている。

日立グループは、これらの市場変化のニーズに応えつつ、急速な発展を遂げている情報通信の汎用ネットワークインタフェース技術を装備し、近年注目されているIEEE1588原理を採用した新しい保護・制御装置「Veuxシリーズ」を開発した。

ここでは、保護・制御装置「Veuxシリーズ」の開発コンセプト、および製品適用事例について述べる。

## 2. 保護リレー技術の開発経緯

日立デジタル形保護・制御装置の開発ロードマップを図1に示す。電力系統の保護リレーは、電磁形、静止形な

どのアナログリレーからスタートしたが、1980年代にはマイクロプロセッサを適用したデジタルリレーが実用化された。日立製作所は、1984年に第一世代デジタルリレーとして「JDRシリーズ」を開発し、本格導入した。

さらに、1994年にはフラットディスプレイを搭載し、アナログ入力部を高精度化した第二世代デジタルリレー「EDシリーズ」を開発した。このシリーズでは、さらにフラットディスプレイの代わりにPCを装置に接続して、装置の運用状態や動作・異常発生時の履歴表示を確認可能とした。

2003年には、EDシリーズの実績と技術資産を継承し、通信機能充実による遠隔操作対応を可能とし、かつ小形・省エネルギー化を実現した「EDR+シリーズ」を開発した。

今回開発したVeuxシリーズでは、分散アーキテクチャ採用による省配線ユニット化を実現し、2007年に改訂された社団法人日本電気協会の「電力用規格B-402」（デジタル形保護継電器および保護継電装置）および2009年に

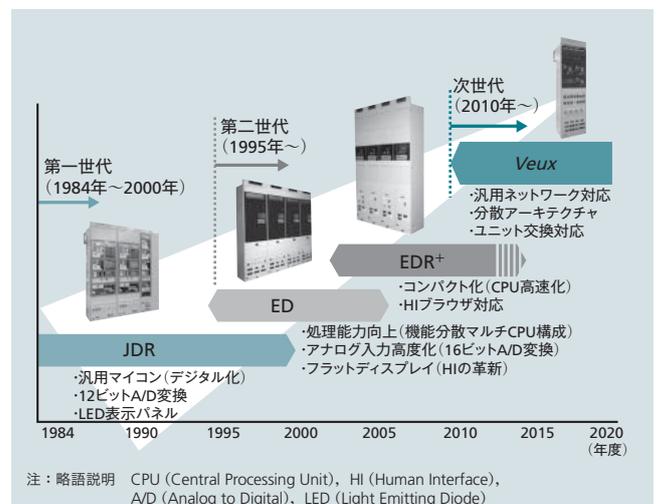


図1 | 日立デジタル形保護・制御装置の開発ロードマップ

1984年の第一世代から始まり、四世代目のシリーズとして「Veuxシリーズ」を開発した。

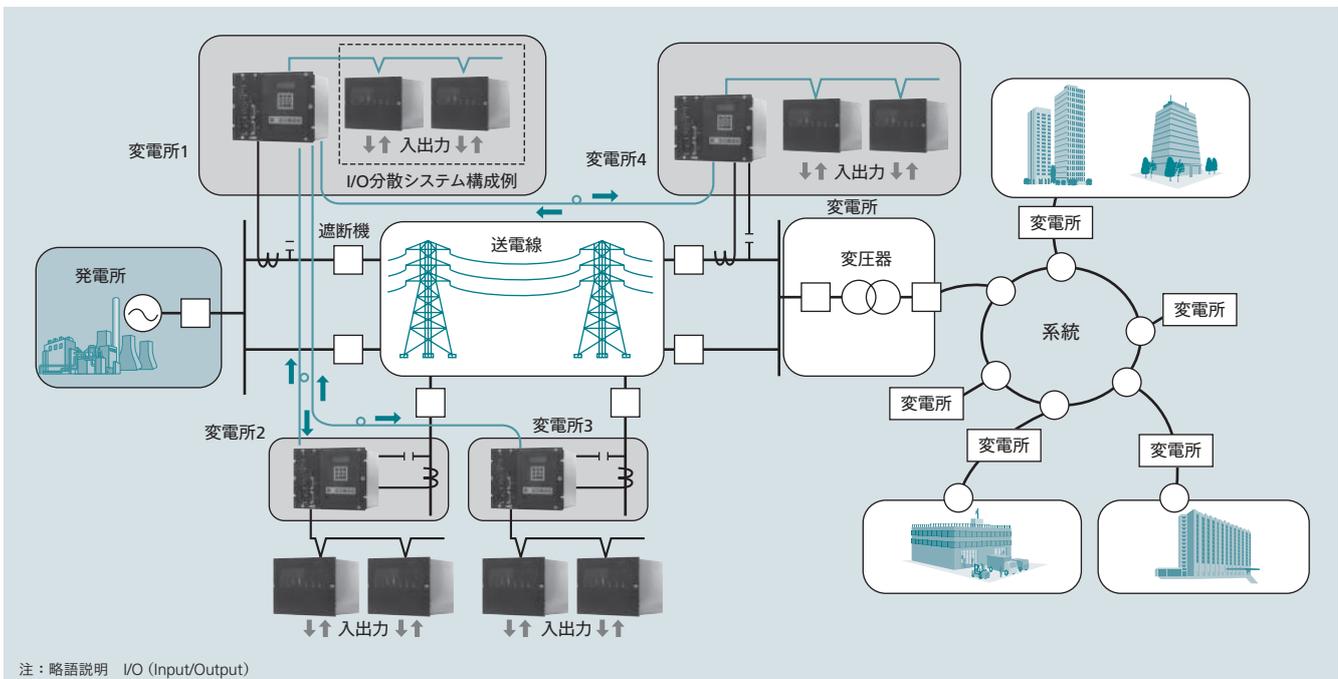


図2 | Veuxシリーズ適用分散システムの構成例

各電気所に分散配置してそれぞれのユニットが同時にサンプリングした電力系統の電流・電圧情報を共有することが可能である。I/Oについてはリアルタイム機能で分散構成ができる。

刊行された社団法人電気協同研究会第65巻第2号「保護リレーの新しい機能・性能」で提唱されているユニット更新を実現可能としている。

### 3. Veuxシリーズの開発コンセプトおよび特徴

Veuxシリーズの開発コンセプトと特徴を以下に示す。

#### (1) 次世代通信網対応

広域LAN (Local Area Network) や次世代通信網 (NGN: Next Generation Network) といったIP (Internet Protocol) ネットワーク対応を考慮し、保護リレーシステムとしてのリアルタイム性能を満足する汎用ネットワーク機能を備えた。

#### (2) 分散アーキテクチャ

Veuxシリーズでは、保護演算部の設置場所の制約を受けずにアナログデータおよびI/O (Input/Output) データ交換をリアルタイムに実現する分散アーキテクチャとした。

Veuxシリーズを適用したリアルタイム分散システム構成例を図2に示す。

保護リレー装置は、その責務として系統の電流、あるいは電圧を取り込み、系統故障時の電気現象から対象とする保護区間内部の故障を検出する必要がある。例えば、送電線保護リレーでは、落雷などで発生する送電線の短絡、あるいは地絡現象を検出する必要があり、これは送電線両端を通過する電流を取り込み、キルヒホッフの法則に基づいて、内部故障の判定を実施している。

送電線の両端に設置される保護リレー装置は通信路を介

して、取り込んだ電流情報を互いに受け渡しする必要がある。しかし、両端の取得データの同時刻性、いわゆるサンプリング同期が、ある一定の精度で実現されていないと、誤差が大きくなり、正しく内部故障と外部故障の判定が実施できない。一般には、両端のサンプリング同期性能は、数十 $\mu$ s程度以下とする必要がある。

リアルタイム性能の要求が厳しい保護リレーシステムを分散構成とする場合、アナログサンプル値 (SV) の同時刻性が、最も重要になる。Veuxシリーズでは、光イーサネット<sup>※</sup>通信技術と高精度サンプリング同期技術 (IEEE1588原理) を採用し、分散した装置間でサンプリング同期誤差1 $\mu$ s以下 (光通信路直結接続時) を実現した。

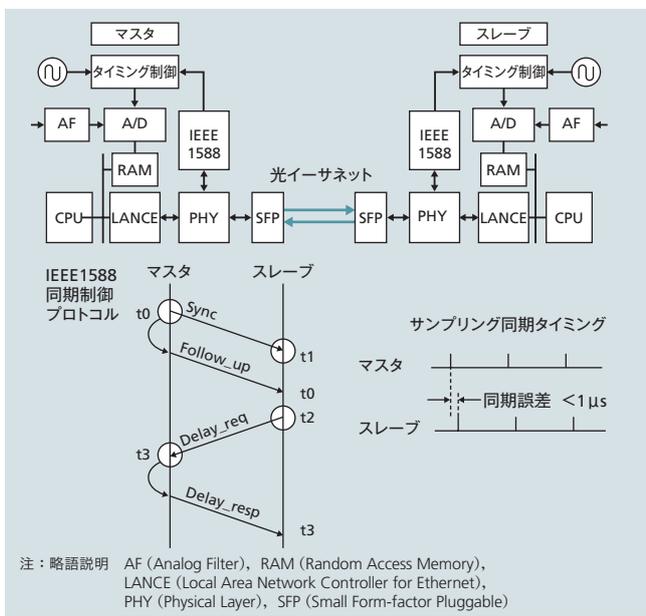
サンプリング同期機能の構成を図3に示す。さらに、ネットワークI/O機能を設け、ハードウェア的なI/O分散配置を可能な構成とした。I/O機能の新旧比較を図4に示す。

#### (3) コンパクト・省配線化

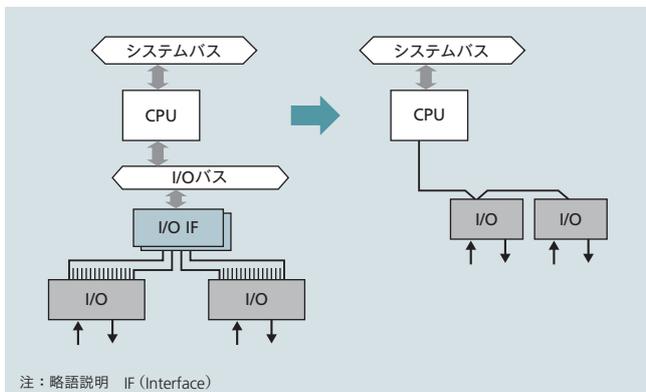
最新半導体技術を駆使した高速演算CPU (Central Processing Unit)、および大規模FPGA (Field-programmable Gate Array) を採用し、電子回路の実装密度を高めて実装基板数を減らし、さらに入力変換器の実装見直しによるコンパクト化を図ることで演算部の1ボックス化を達成した。

これに併せてアラーム回路 (装置異常検出および警報出力する回路) の標準化、および基板化、アプリケーション

※) イーサネットは、富士ゼロックス株式会社の登録商標である。



**図3** IEEE1588原理を適用したサンプリング同期機能構成  
IEEE1588同期制御 packets を相互に送受信してスレーブがマスタのサンプリング時刻に同期を合わせる。ハードウェアで実行しておりナノ秒 (ns) オーダの高精度化が図れる。



**図4** I/O機能の新旧比較  
従来はCPUからパラレル信号でのI/OインタフェースとしていたがVeuxシリーズではCPUからシリアルリンクでインタフェースすることで省配線化を図り、I/O増設や変更にも柔軟に対応することができる。

に合わせたI/O機能の最適化を図った。  
さらに、外部機器とのインタフェースを行うI/O部とCPU部をシリアルリンクで接続して省配線化を図った。

**(4) アナログ入力部の高精度化**  
超高速サンプリング (当社従来機比：16倍) による折り返し誤差防止用アナログフィルタの小形化と、超高速サンプリングに対応したハードウェア信号処理回路を実装して信号とノイズの分離比率を高めてアナログ入力部の高精度化を図り、ダイナミックレンジを拡大した。

また、フェーザ原理に基づく信号処理回路をFPGAに実装し、今後の計測アプリケーションに有効適用できるようにした。

**(5) 高信頼化**  
回路コンパクト化による部品点数削減とハードウェアによるメモリ監視機能 [ECC (Error Checking and Correct-

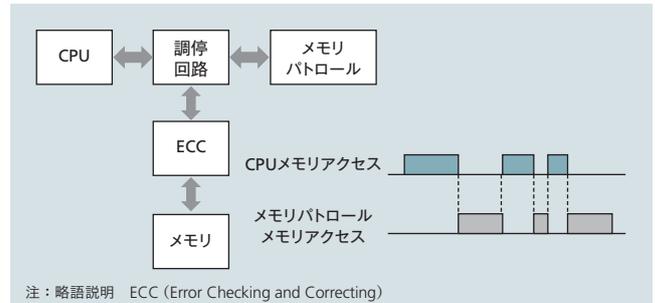
ing) 機能およびメモリパトロール機能] を備え、従来のメモリ健全性 (ハードウェア健全性) チェックのみならず、一過性的に発生するデータ化けを防止するデータ健全性チェックへ監視機能を進化させ、信頼度を向上させた。メモリパトロール機能の概念を**図5**に示す。メモリパトロール機能はCPUとメモリアクセスを調停し、CPUがアクセスしていない時間にバックグラウンドで動作し、アプリケーション動作に影響を与えず監視する。さらに、常時監視機能を見直し、より実際に即した監視機能とすることで最適化を図った。

**(6) 運用性向上**  
簡易LCD (Liquid Crystal Display) 表示機能を標準で備え、PCを装置に接続しなくても、容易にリレー整定、運用設定、リレー動作や入力電流量などの運用状態、動作内容、異常内容などの装置状態が把握できるようにして運用保守性を向上させた。

また、有寿命品である電源装置はユニット前面から容易に交換が可能な構造とした。

**(7) 市場ニーズへの対応**  
「電力用規格B-402」および「保護リレーの新しい機能・性能」で提唱されているユニット更新といった市場ニーズに対応するため、デジタル部 (CPUユニット) とI/O部 (I/Oユニット) をそれぞれ分離して構成し、ユニット交換対応を可能とした。これにより、ユニットレベルでの機能変更を可能とし、交換範囲を少なくすることで部品改廃による変更リスクの低減を実現した。

**(8) PCM通信のマイグレーション対応**  
Veuxシリーズでは汎用ネットワークインタフェースを備えており、電流差動リレーに適用されている現行のPCM (Pulse-code Modulation) 通信機能がオプション接続で実現できる。将来的にPCM通信が現行の同期通信網 (PDH/SDH：Plesiochronous Digital Hierarchy/Synchronous Digital Hierarchy) からIP網へ移行 (マイグレーション) した際でも容易に対応可能な構成とした。



**図5** メモリパトロール機能の概念  
メモリパトロール回路はCPUがメモリアクセスしない時間に周期的にメモリのデータ健全性をECC回路にてチェックする機能を持つ。積極的に1ビットのエラー訂正を行う。

### (9) 新しいアプリケーションへの対応

Veuxシリーズの汎用ネットワーク機能を用いて機能分散形保護システムや安定化装置、およびリアルタイムプロセスバス機能を用いたネットワークリレーなど、将来の新しいアプリケーションへの対応を考慮したシステム構成とした。

#### 4. 開発技術の製品化

Veuxシリーズの1号機適用は、今後の保護方式変更も考慮し、低位系の主後一体形送電線保護リレー装置（主保護：PCM電流差動方式、後備保護：距離継電方式）をターゲットとした。

装置のPCM通信の仕様は現行の同期通信網であるため、前章に記した開発コンセプトの(3)～(8)の項目を踏襲した装置とした。Veuxシリーズ装置構成例を図6に示す。

この装置の装置構成は保護方式ごと（主保護、1L後備保護、2L後備保護）にCPUユニットとI/Oユニットにより構成している。また、補助リレーユニットもユニット内部にて保護方式ごとに仕切りを設け、保護方式ごとに補助リレーに手が触れない構造としている。これにより、将来保護方式を変更する必要が出た場合においても、容易に対応可能となっている。

また、アナログ入力部の高精度化によってリレー単体の精度が良くなるなど、装置性能も向上している。

この装置は場内試験および顧客立ち会い試験を終了後に現地へ搬入し、現地での全試験項目を無事完了後、2011

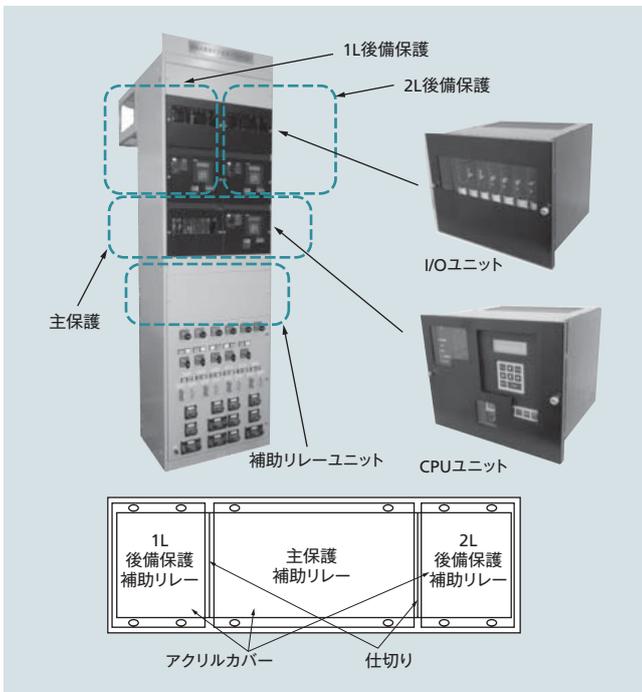


図6 | Veuxシリーズ装置構成例

機能・性能を担保したユニットを保護装置盤に実装して構成する。機能変更にユニット交換で対応できるとともに、ユニットベースでの部品改廃への対応が可能である。

年3月から稼働している。

#### 5. おわりに

ここでは、保護・制御装置「Veuxシリーズ」の開発コンセプト、および製品適用事例について述べた。

Veuxシリーズ装置では、コンパクト・省配線化、アナログ入力部の高精度化、高信頼度化、運用性向上、ユニット交換可能な構成などの開発コンセプトを実現した。

今後は、Veuxシリーズ装置の製品ラインアップを拡大し、全国規模で納入していく。また、汎用ネットワークインタフェースに対応した装置や、汎用ネットワーク機能を用いた新しいシステムも開発していく考えである。

#### 参考文献

- 1) 城戸，外：汎用ネットワークインタフェース及びIEEE1588原理を適用した広域分散形デジタルリレーの開発，電気学会保護リレーシステム研究会資料，PPR-10-038（2010.8）

#### 執筆者紹介



小松 親司

1991年日立製作所入社，情報制御システム社 発電制御システム設計部 所属  
現在，電力系統用保護・制御装置の設計に従事  
電気学会会員，IEEE会員，CIGRE会員



野呂 純

1987年日立製作所入社，情報制御システム社 発電制御システム設計部 所属  
現在，電力系統用保護・制御装置の設計に従事  
電気学会会員



城戸 三安

1979年日立製作所入社，情報制御システム社 制御装置設計部 所属  
現在，電力系統用保護・制御装置の設計に従事  
電気学会会員



吉田 昌司

1988年日立製作所入社，情報制御システム社 制御装置設計部 所属  
現在，電力系統用保護・制御装置の設計に従事  
電気学会会員



兵藤 和幸

2001年日立製作所入社，情報制御システム社 発電制御システム設計部 所属  
現在，電力系統用保護・制御装置の設計に従事  
電気学会会員



山田 弘道

1986年日立製作所入社，日立研究所 情報制御研究センター グリーンモビリティ研究部 所属  
現在，システムLSIの高信頼化に関する研究開発に従事  
電子情報通信学会会員