

N-1 電制システムの開発

DEVELOPMENT OF N-1 POWER SUPPLY RESTRICTION SYSTEM

小野 正幸*・山内 誠也*・若月 雄貴*・鈴木 道人**
 Masayuki ONO, Seiya YAMAUCHI, Yuki WAKATSUKI and Michihito SUZUKI

In recent years, the domestic needs to interconnect renewable energy sources to electrical grids have been increasing. As one of the methods to accelerate application of the renewable energies, there is an N-1 power supply restriction system that can increase the amount of interconnection from multiple power sources by utilizing existing facilities. In this paper, we describe the details of our development of N-1 system that exploits IP networks and is low-cost, highly reliable and scalable.

Keywords : N-1 power supply restriction system, renewable energy resource, transmission line overload, transformer overload, protection relay, penetration test

1. はじめに

近年、再生可能エネルギー電源の増加に伴い、電力系統への連系ニーズが大幅に拡大している。しかし、電力系統の空き容量が不足する場合には、送電線などの系統増強が必要となり、設備増強に係る多額の費用や工期の長期化といった問題が発生する。これらが再生可能エネルギー電源導入拡大への障壁となっている。

我が国では、既存設備を最大限活用することで電源の連系量を拡大する「日本版コネクト&マネージ」という政策を進めており、その取り組みの一つが「N-1(エヌ・マイナス・イチ)電制」である。送電線は 2 回線を 1 組として設置されているが、送電線 1 回線や変圧器 1 台など電力設備の単一故障を「N-1 故障」という。これまでの送電設備の系統運用ルールは、万一の N-1 故障に備え、1 回線分の設備容量を電源接続の上限とする運用であった(図-1 参照)。しかしながら、これでは常に半分(2 回線のうち 1 回線分)の設備容量を空けておくことになり、運用効率が悪い。これに対し、「N-1 電制」とは、N-1 故障の発生時に、瞬時に電源を制限することを前提に、これまで空けていた 1 回線分を使用することで、平時の送電運用容量を拡大する仕組みである(図-2 参照)。

本論文では、このような再生可能エネルギー導入拡大へ向けた取り組みとして、関西電力送配電株式会社と共同で実施した N-1 電制システムの研究開発について述べる。

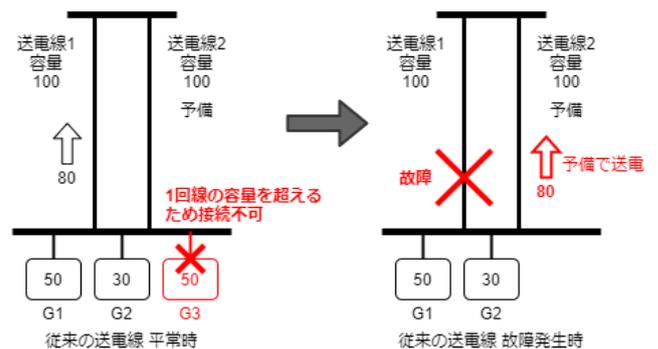


図-1 従来の送電線運用

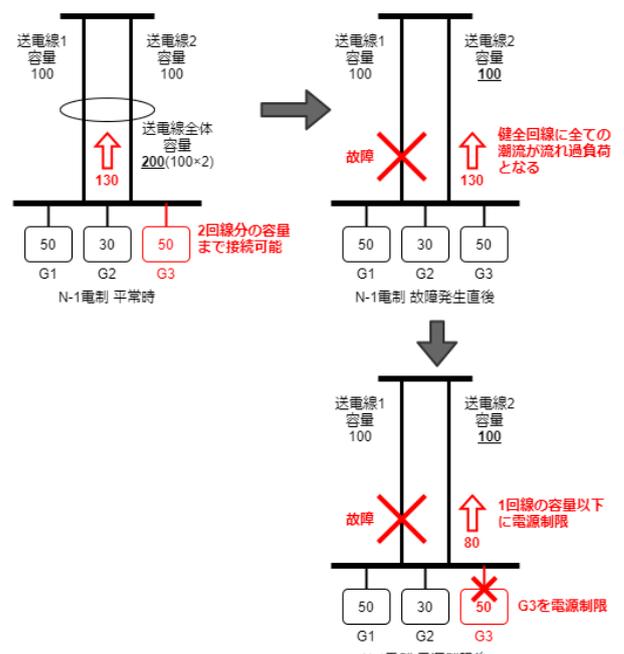


図-2 N-1 電制の送電線運用

* エネルギー事業統括本部 パワー&デジタル事業本部 システム事業部 制御装置部

** エネルギー事業統括本部 パワー&デジタル事業本部 営業統括部 システム営業技術部

2. 開発方針

N-1 電制システムは、多数の発電設備を同時に制御する必要があり、系統連系する発電事業者が増加していくことを想定すると、低コストかつ拡張性の高いシステムとする必要がある。さらに N-1 故障後、確実に電源制限を行う必要があり、運用システムに高い信頼性が求められる。しかし、関西電力送配電株式会社の既存の電源制限装置は信頼性が高いが、少数の発電設備しか制御できず、システム構築費用が高額であるという課題があった。

そのため、IP (Internet Protocol) ネットワークを活用した低コストで拡張性や信頼性が高い N-1 電制システムを開発する方針とした。

さらに、昨今問題になっている電力システムなどの重要インフラを狙ったサイバーテロなどの攻撃に対応したセキュリティ確保を条件とした。

3. N-1 電制システムの装置構成

(1) システム構成

今回開発した N-1 電制システムは、変電所に設置する検出装置および演算装置と発電事業者側に設置する制限装置から構成する(図-3 参照)。各装置間の情報や指令は、IP ネットワークを介して伝送が行われる。

検出装置、演算装置、制限装置の外観を図-4 に示す。

(2) 検出装置

検出装置は変電所などに設置され、送電線や変圧器から最大 3 要素(回線 1~3)の単相電流を取り込み、電流が過負荷整定値を超過した場合、その情報を演算装置へ通知する装置である。検出装置の主な装置仕様を表-1 に示す。

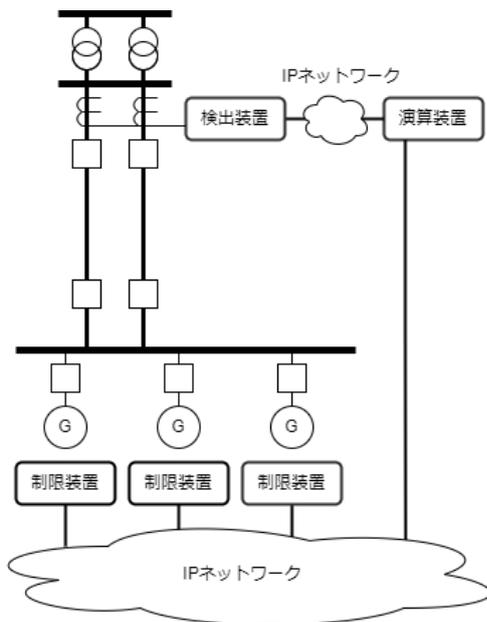


図-3 N-1 電制システム構成



検出装置・演算装置
(例:1面構成)

図-4 検出装置、演算装置、制限装置

(3) 演算装置

演算装置は変電所に設置され、検出装置から過負荷情報を受信し、制限装置に対して電源制限の優先順位設定に基づき、遮断指令を送信する装置である。最大 5 台の検出装置と最大 20 台の制限装置を接続可能とする。

その他、変圧器過負荷時に、制限対象発電所の遮断器を一斉遮断する機能などを具備した。演算装置の装置仕様を表-2 に示す。

表-1 検出装置 主な装置仕様

項目	仕様・機能
外形寸法 (mm)	W700×H2, 300×D450 ^{※1} W350×H2, 300×D450 ^{※2} ※1 演算装置と同一盤 ※2 検出装置単体
装置構造	自立構造、前後面保守構造
検出要素	・ 過負荷検出 3 要素 単相入力、三相入力 (オプション) ・ 潮流検出 (オプション)
バックアップ遮断出力	最大 2 点

表-2 演算装置 主な装置仕様

項目	仕様・機能
外形寸法 (mm)	W700×H2, 300×D450 ^{※1} W350×H2, 300×D450 ^{※2} ※1 検出装置と同一盤 ※2 演算装置単体
装置構造	自立構造、前後面保守構造
電制出力	・ 順序遮断 ^{※3} ・ 一斉遮断 ※3 遮断順序は設定値で指定
対向接続数	検出装置 5 台 制限装置 20 台

表-3 制限装置 主な装置仕様

項目	仕様・機能
外形寸法 (mm)	W480×H198×D276
装置構造	ユニット構造
遮断出力	・無電圧リレー接点出力

(4) 制限装置

制限装置は発電事業所側に設置される。演算装置から遮断信号を受信することにより、発電事業者側の制御盤へ無電圧接点で遮断信号を出力する装置である。発電事業者側の制御盤では、制限装置からの遮断信号を基に遮断器を開放することで発電所を系統から切り離す。制限装置の装置仕様を表-3に示す。

4. N-1 電制システム仕様

(1) 送電線過負荷時の基本動作

送電線の N-1 故障時に過負荷を検出した場合には、図-5に示すように制限対象発電所の遮断器を順番に遮断し、対象発電所の電源制限を行う。送電線の過負荷が復帰すれば、それ以上の遮断信号出力を停止することで、過剰な電源制限を行わない仕組みとしている。

(2) 変圧器過負荷時の基本動作

変圧器の N-1 故障により変電所の変圧器が過負荷となり、変圧器保護リレーが動作した場合、停電範囲が拡大する可能性がある。そのため、図-6に示すように制限対象発電所の遮断器の一斉遮断を行い、変圧器保護リレー動作より先行して対象発電所の電源制限を行う。

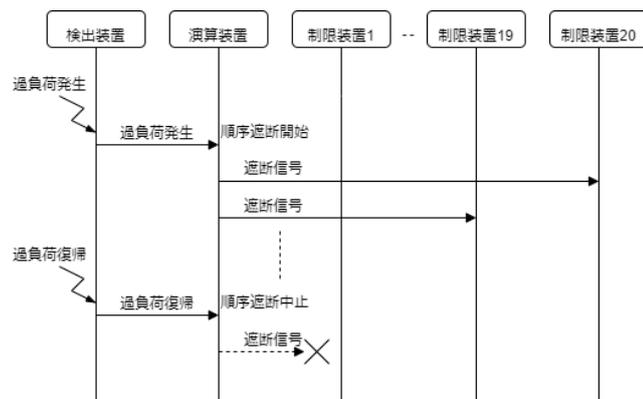


図-5 送電線過負荷時の基本動作

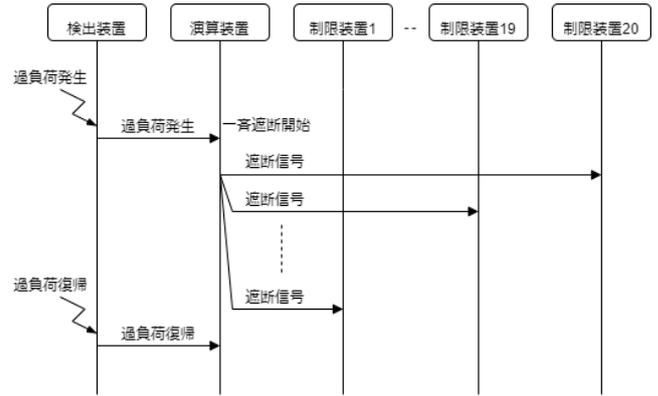


図-6 変圧器過負荷時の基本動作

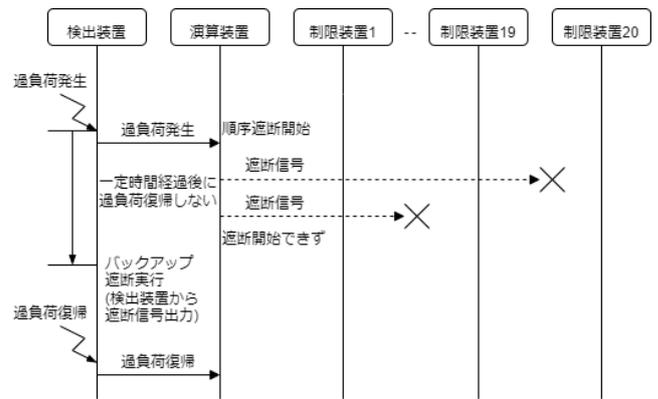


図-7 バックアップ遮断の動作

(3) バックアップ遮断

N-1 電制システム停止や発電所の遮断器不応動、各装置間の通信障害発生などにより、過負荷が一定時間復帰しない場合に検出装置から送電線の遮断器を開放させるバックアップ遮断機能を具備した(図-7 参照)。これにより、N-1 電制システムでは過負荷状態が復帰できない状況でも変電所の遮断器を開放することで、強制的に過負荷を復帰させ、送電線・変圧器の設備損傷のリスクを回避させる。

5. 低コストで拡張性と信頼性の高いシステムの実現

(1) 低コスト化の実現

高い信頼性を確保しながら、低コストを実現するための方策を以下に示す。

1) 過負荷情報の IP 伝送化

検出装置から演算装置への過負荷情報通知を IP 伝送で行うことにした。これにより従来のデジタル信号による通知で必要であった DI (Digital Input) や DO (Digital Output) などの入出力部品を削減し、検出装置および演算装置の小型化を図った。その結果 1 面での実装が可能となった。

2) ハードウェア共通化

演算装置は、遮断信号送出順の演算が主機能であり、電流計測のように専用のハードウェアを必要としない。そのた

め、演算処理を行う CPU (Central Processing Unit) 基板を他の製品から流用し共通化することで、スケールメリットを活かした製造が可能となり、製造コストの低減を図った。

3) 制限装置のハードウェア簡素化

本システムでは N-1 故障発生時に、検出装置で送電線や変圧器から取り込んだ電流を基に過負荷検出を行っている。そのため、発電事業者ごとの発電量を計測する必要がなく、制限装置の電流要素取り込みを省略した。

また、制限装置は、演算装置からの遮断信号を受信後、発電事業者の制御盤に対する遮断出力を条件に、演算装置へ応答信号を折り返す仕様とした。これにより、通信回線障害や制限装置故障による発電所の遮断失敗を演算装置で検出することができるようになり、制限装置での遮断器状態取り込みを省略することが可能になった。

このように N-1 電制を運用する上で必要な機能を整理することでハードウェアを簡素化し、コスト低減を図った。

(2) 拡張性の実現

N-1 電制システム導入後に検出装置や制限装置の追加や運用方法変更などに容易に対応できるように、以下の機能を実装して拡張性の向上を図った。

1) 試験機能

N-1 電制システムに検出装置や制限装置を増設後、システム全体を停止せずに動作確認を行うことができる試験機能を実装した。

図-8 に示すように演算装置から検出装置に対して試験制御要求を行い、検出装置は要求受信後に演算装置に対して試験モードの過負荷情報を通知する。演算装置は試験対象の制限装置へ試験モードの遮断指令を送信し、制限装置では実際の遮断信号出力は行わず、演算装置へ遮断指令を返送する。演算装置は、制限装置から遮断指令返送を受信することで、一連のシステム動作が正常に終了したことを認識する。このように各装置間の処理シーケンスを疑似的に実行することで、システム全体を停止せずに動作確認を行うことが可能にした。

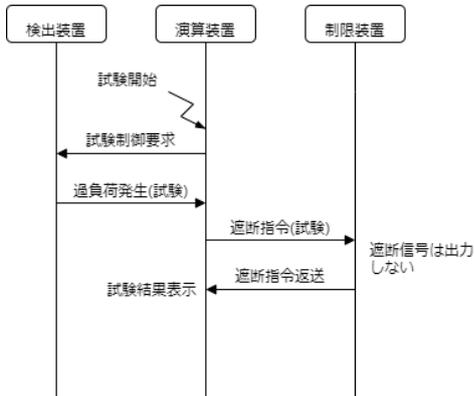


図-8 試験機能概要

2) 個別の装置ロック

発電事業者における点検などの作業時にシステム全体を停止することなく運転を継続させるため、制限装置単位に使用・ロックを設定できる機能を演算装置に具備した。

3) 電源制限順序の設定変更

現行の運用方法では、N-1 故障発生時に後から系統に連系した発電事業者から電源制限を行うことを基本としている。今後は、N-1 電制適用ルール変更なども考えられるため、その場合の運用も考慮して、電源制限を行う順序を設定で変更可能とした。

(3) 信頼性の確保

1) 伝送の二重化

各装置間の情報の受け渡しは、IP 伝送で実施するため、通信回線が切断されると N-1 故障発生時に発電事業者へ遮断指令が届かず発電所の電源制限ができなくなる。そのため、通信回線を二重化して、N-1 故障発生時かつ通信回線が 1 回線切断されても発電事業者へ遮断信号を通知できるようにした。また、通信回線切断が発生した時は、外部接点出力を行い、回線異常通知を可能にした。

2) ハードウェア単一故障による誤動作防止

検出装置は過負荷の検出およびバックアップ遮断を行うため、ハードウェア故障時にミストリップが発生するとシステム運用へ影響を与える。そのため、ハードウェアの単一故障によるミストリップを防止するために、メインリレーとフェイルセーフリレーの二重化構成とし、不要動作の防止を図った。

3) 伝送遅延時間測定機能

各装置間の情報の受け渡しを IP 伝送で実施するが、装置を設置する場所の通信回線の状況によって伝送時間が変化する可能性がある。そのため、検出装置と演算装置間、制限装置と演算装置間の伝送時間を測定する機能を実装し、通信回線の状況を確認できるようにした。

(4) セキュリティの確保

本システムに万一、コンピューターウイルス感染やサイバーテロなどが発生した場合、電力の安定供給に多大な影響を及ぼすことから、各種セキュリティ対策を実施した。主な対策内容を以下に示す。

1) 不使用ポートの物理的ロック

通常使用しない Ethernet ポートは、物理的にロックすることで不正使用の防止を図った。また、USB (Universal Serial Bus) ポートは、セキュリティ上のリスクにつながるため、本システムでは不使用とし、未実装とした。

2) 無関係な IP アドレス、プロトコルによるアクセス防止

検出装置、演算装置、制限装置にはそれぞれ対向接続先の IP アドレスを設定し、設定以外の IP アドレスから受信した

情報は破棄する仕様とした。使用しないプロトコルについては該当する通信サービスを停止することで無関係なプロトコルのアクセスを防止した。実装した機能を評価するため、Tenable®社の Nessus でシステムの脆弱性を検証するペネトレーションテストを実施し、リスク 0 件という良好な結果を確認した。

3) ホワイトリスト機能

本システムを構成する装置の OS (Operating System) には、組み込みシステムで広く使用されている RTOS (Real Time OS) と汎用 OS を採用した。本システムで採用した RTOS ではアプリケーションのインストールのように動作中にプログラムを追加することができない。そのため、コンピューターウイルスやマルウェアの侵入を防ぐことが可能である。汎用 OS では動作中にプログラムを追加することができるため、ホワイトリスト機能を実装した。ホワイトリスト機能は、実行させるプログラムをあらかじめ定義しておき、定義されていないプログラムをすべてブロックすることでコンピューターウイルスやマルウェアの侵入を防ぐ機能である。

6. おわりに

本研究では、開発方針で示した IP ネットワークを活用した低コストで拡張性や信頼性が高い N-1 電制システムを新規開発した。

本システムは関西電力送配電株式会社の特別高圧系統で運用され、再生可能エネルギー電源の導入拡大における電力の安定供給に大きく貢献することが期待される。

謝辞：本稿の作成にあたり、関西電力送配電株式会社電力システム技術センターの皆様方からご指導、ご助言をいただきました。この場を借りて厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 知花包章、三井秀太郎、乾貴行、小野正幸、山内誠也：N-1 電制システムの開発研究について、電気学会研究会資料