

安定した電力利用に寄与する 電力システムのICT利活用

一般財団法人電力中央研究所 グリッドイノベーション研究本部
ネットワーク技術研究部門

おおたに てつお
大谷 哲夫



1. はじめに

電力は生活や産業に不可欠なエネルギーであり、需要家に対し電力を供給する電力システムを健全な状態で運用することが、安定した電力利用に直結する。健全な状態で運用するためには、発電と需要を常に同じ量に保つこと（需給バランスの維持）や、周波数や電圧といった電力品質を維持すること（品質維持）、事故発生時に事故区間を速やかに除去する（事故除去）とともに健全なエリアへの電力供給を継続すること（供給信頼度の確保）などが求められる。これらの要件を充足させるため、電力システムにおいてはICTを活用した様々なシステムが運用されている。

さらに、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギーの更なる普及や電気自動車（EV）を含む需要設備の活用などが求められている。これらに対応する際にも、ICTの利活用が重要な鍵となる。

以上の背景に基づき、本稿では、現在運用中のシステムにおけるICTの利活用を紹介するとともに、電力システムにおけるICT利活用の将来像や、ICTに対する期待を述べる。

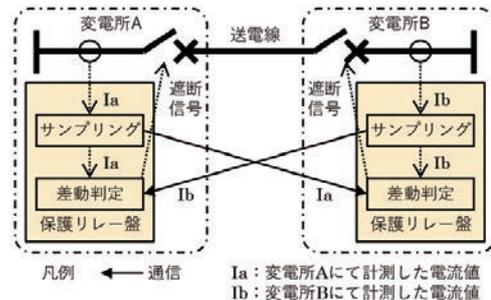
2. 電力システムにおけるICT利活用

電力システムにおいては、ICTを利活用している多種多様なシステムが存在しているが、本稿では「電力利用の安定化」に焦点を絞り、事故時の処理を担う送電線保護リレーシステムと系統安定化システム、平常時における需給バランスの維持に寄与する需給調整、送変電設備の有効利用と安定供給を両立させるノンファーム電源に対する出力制御、需要家近傍での電力供給と品質管理に寄与する配電自動化システムを紹介する。

なお、スマートメータシステムにおいても様々な通信が利用されているが、本稿では電力利用の安定化に焦点を絞るため、その概要については他の文献などをご参照いただきたい。

2.1 送電線保護リレーシステム

送電線保護リレーシステムは、送電線に発生した短絡あるいは地絡事故などを除去するシステムで、主保護リレーと後備保護リレーから構成される。このうち、通信を用いているのは主保護リレーであり、500kVや275kVといった



■ 図1. PCM電流差動リレーのシステム構成

基幹システムにおいては、PCM (Pulse Code Modulation) 電流差動リレーが用いられている。

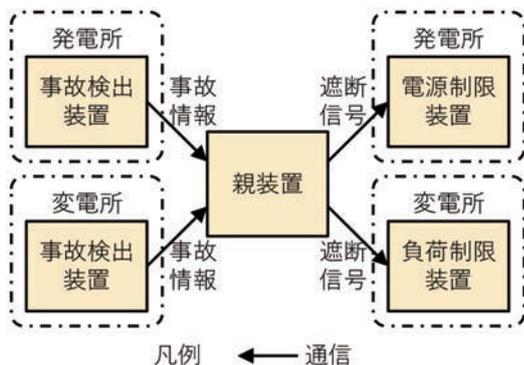
PCM電流差動リレーの基本的な構成と動作を図1に示す。送電線の両端に位置する電気所（変電所など）に保護リレー盤が設置され、送電線の各相に流れる電流の値をパルス符号化したデジタル信号として相手端に常時伝送する。保護リレー盤では、自端で計測した電流値と相手端から伝送されてきた電流値を用いて差電流を計算し、その値が整定値を超過すると送電線に事故が発生したと判定し、遮断器をトリップさせて事故区間を除去する。

PCM電流差動リレーに用いられる通信には、低遅延（50Hz系統であれば伝送許容時間5ミリ秒、60Hz系統であれば4ミリ秒）かつ高信頼（不稼働率がシステム全体で 1.0×10^{-7} ）であることが求められる^[1]。このため、マイクロ波無線^[2]やOPGW^[3]を伝送路として利用し、専用の多重化装置（CR-MUX）を用いて接続している。このうち、マイクロ波無線は、①送受信地点を最短距離で結ぶため伝送の低遅延性を確保しやすい、②物理的な線路がなく頑強な鉄塔を利用しているため大規模災害時でも信頼性が確保できる^[4]、といったPCM電流差動リレー用の通信技術として優れた特長を有している。

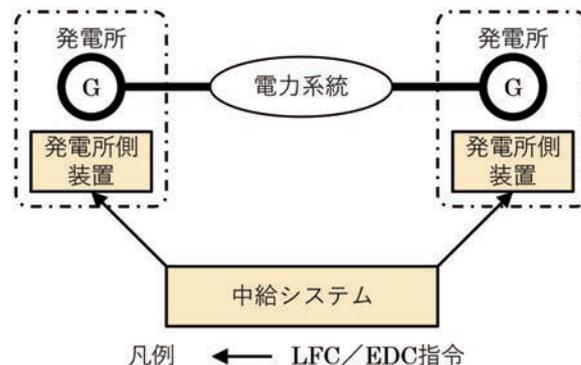
2.2 系統安定化システム

系統安定化システムは、過酷事故時における周波数維持などの目的のために運用されており、事故波及防止の役割を担っている^[5]。近年発生している大規模停電事故時にも動作し、ブラックアウトの発生を防止している^[6]。

オンライン事前演算形に分類される系統安定化システム



■ 図2. 系統安定化システムの基本的な構成



■ 図3. 需給調整に用いられるシステムの基本構成

の構成例を、図2に示す^[7]。親装置は、系統内の重要箇所における潮流などに関する計測値を常時受信し、基幹系送電線のルート断や発電機脱落などに関するすべてのパターンに対する制限先を一定周期で繰り返し演算している。そして、基幹系送電線のルート断や発電機脱落などが発生すると、その情報を事故検出装置が親装置に伝送し、その時点で制御対象を担う制限装置に対して遮断信号を送信する。制限装置は遮断信号を受信したら、該当する遮断器をトリップさせる。

事故情報や遮断信号の伝送に関しては、低遅延かつ高信頼を実現するICTが求められる。このため、PCM電流差動リレーの場合と同様に、伝送路としてマイクロ波無線やOPGWなどが用いられる。

2.3 需給調整

需給バランスを維持するため、負荷周波数制御 (LFC) や経済負荷配分制御 (EDC) により、発電機等の出力制御が行われている。これらの制御に用いられるシステムの基本構成を図3に示す。中央給電指令所にあるシステム(中

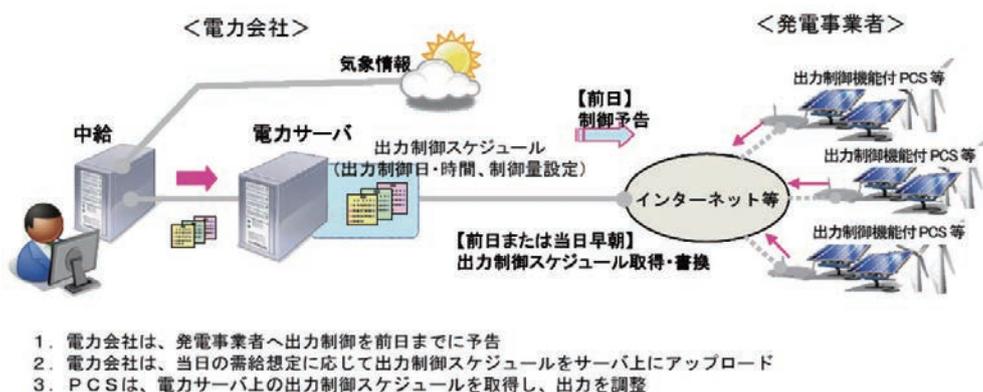
給システム) は、発電所等から出力や潮流などの計測値及び遮断器開閉状態などの状態値を受信するとともに、LFCに関する制御信号は数秒おきに、EDCに関する制御信号は数分おきに、対象となる発電所に対して送信する。

この制御に用いられる通信も(特にLFC指令について)低遅延かつ高信頼が求められることから、伝送路にはマイクロ波無線やOPGWが主に利用されている。

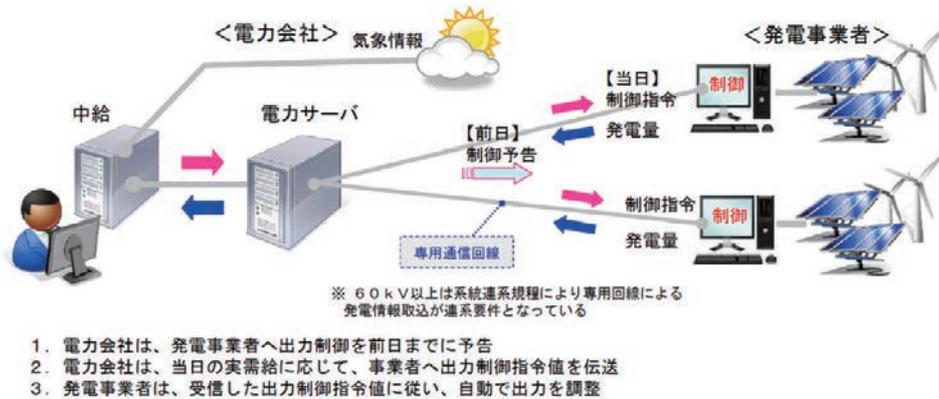
2.4 ノンファーム型接続電源に対する出力制御

ノンファーム型接続とは、送変電設備の空容量を上限として電源を接続する方法であり、空容量に合わせて電源の出力制御が行われる。具体的には、30分コマごとに、発電機の定格に対する百分率にてその出力上限スケジュールを予め通信で伝送することを基本とし、状況に応じて運用中の30分コマにおける上限値をオンデマンドで変更することによって実現されている。

本出力制御には、電源が連系する電圧階級に応じて2種類の異なるシステムが運用されている。高低圧(66kV未満)の系統に連系している電源については、図4に示すように、



■ 図4. 高低圧連系電源に対する出力制御システム (文献 [8] より引用)



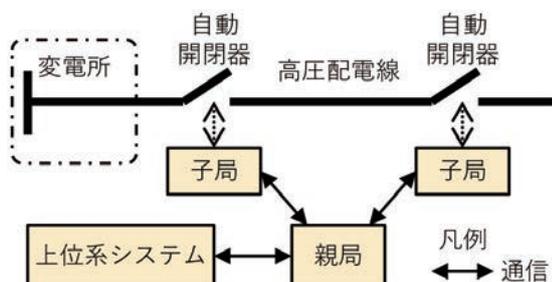
■ 図5. 特別高圧連系電源に対する出力制御システム (文献 [9] より引用)

インターネットとHTTPをベースとしたシステムが用いられている^[8]。このシステムでは、一般送配電事業者側にサーバが設置され、発電機側からインターネットVPNを経由して、HTTPにより周期的に出力上限スケジュールを取得する。一方、特別高圧 (66kV以上) の系統に連系している電源については、図5に示すように、専用線を経由して、CDT (Cyclic Digital Transfer) により出力上限スケジュールが配信されている^[9]。専用線を利用していることにより随時指令が可能であるため、当日の実需給に応じてリアルタイムでの出力制御も可能である。

2.5 配電自動化システム

配電自動化システムは、主に高圧配電線 (6.6kV) を対象に、系統切替や電圧調整、事故発生区間の分離による健全区間の早期復旧などの役割を担っている^[10]。配電自動化システムは、国内においてほぼ100%普及しており、電圧の適正化や停電時間の短縮に貢献している。

配電自動化システムの基本構成は、図6に示すように、監視制御や事故検出・復旧などの処理を担う親局と、高圧配電線に設置されている自動開閉器や電圧制御機器の監視制御を担う子局から構成される。親局はさらに、配電用変



■ 図6. 配電自動化システムの基本構成

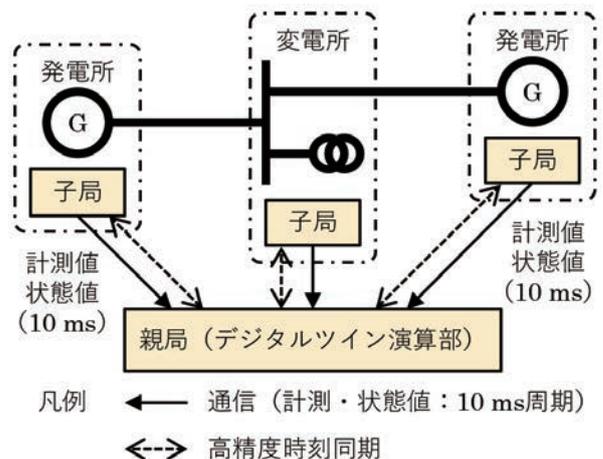
電所や給電制御所などの上位系システムとも連携している。親局と子局の間の通信には、配電線搬送・メタルケーブル・光ケーブルが専用線として用いられている。いずれの場合も、基本的には配電柱に添架されて、高圧配電線に沿って敷設されている。

3. 電力系統におけるICT利活用の将来像

これまでの電力系統におけるICT利活用とは大きく異なる将来像を持つと考えられる4項目について述べる。

3.1 デジタルツインにおけるICTの利活用

デジタルツインを実現する上で、ICTの利活用は必要不可欠である。デジタルツインの一つとして電力中央研究所が提唱しているRSDT (Real-time Smart Digital Twin) では、図7に示すように、発電所や変電所に設置された子局間で時刻を高精度に同期した上で、電流などの計測値を10ミリ秒間隔で子局から親局へ伝送する。親局は、受信し



■ 図7. RSDTの通信関係イメージ (計測・状態値伝送のみ)

た計測値等に基づいて数分後の系統安定度を把握し、必要に応じて予防制御などを行う^[11]。

3.2 電力系統とEVの連携

将来の電力利用において、現在から大きく変化する要素の一つが電気自動車 (EV) である。既に数多くのプロジェクトにおいて、EVが有する蓄電池の充放電機能を電力系統の運用に供する実証試験が行われている^[12]。これらの実証試験では、EVに対して指令値を伝送し、三次調整力② (需給調整市場における商品の一つ) を供出する実証試験などが行われた。今後は、テレマティクスデータとの連携なども行い、EVに関するより包括的なサービスにおける一つのメニューとして電力系統とEVの連携を実現することが期待される。

3.3 フレキシビリティの活用

前節に示した電力系統とEVの連携を含め、電力系統に連系する分散型電源や需要設備が提供するフレキシビリティ (電力出力や需要などを変更できる能力) を活用した電力系統の運用 (混雑管理や電圧管理など) にも注目が集まっている^[13]。フレキシビリティを活用するには、図8に示したようなプラットフォームを通じて、一般送配電事業者やアグリゲータなどが、取引や分散型電源の運用などに関するデータ交換 (通信) を行う。

3.4 設備保全データの収集

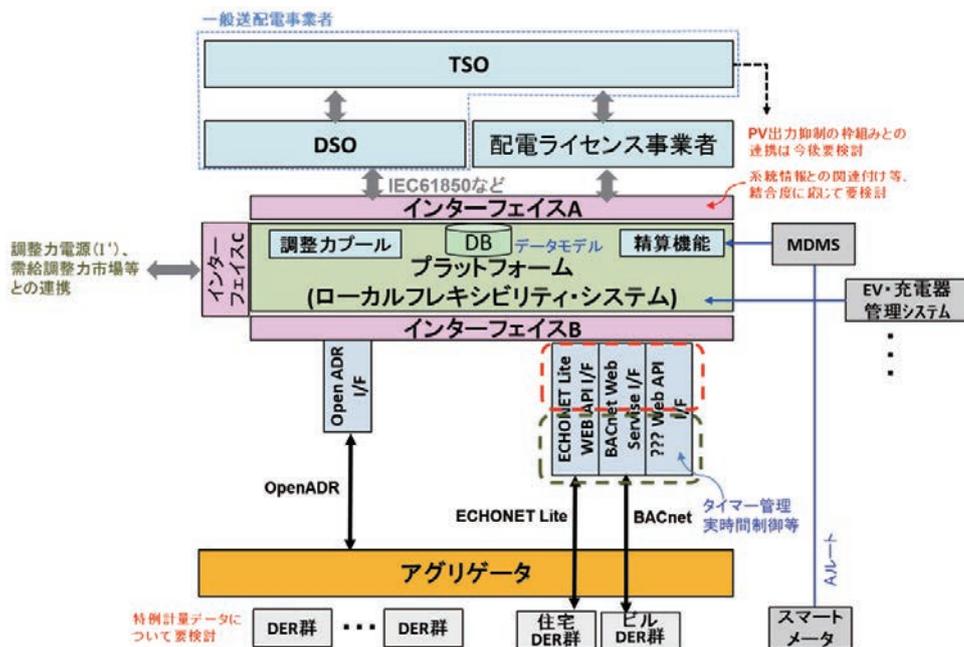
安定した電力利用を実現するためには、これまで述べてきたような電力系統の運用や保護だけではなく、変圧器や送電線などの設備が健全であることが求められる。これまでは基本的に定期的な点検を行うことで設備の健全性を維持してきたが、今後はICTを積極的に活用し、設備の状態を把握しながら適切な点検や修繕を行う方法 (スマート保安と呼ばれている) が主流になると考えられる^[14]。ここでは、温度・液位・振動など他分野でも多く利用されるデータに加え、部分放電など電力分野に特徴的なデータをIoTなどにより収集し、AIなどを活用して状態の分析を行うことが期待される。

4. ICTに対する期待

ICTの将来像を実現し、今後とも安定した電力活用を可能とする観点から、ICTに対する期待を述べる。

4.1 オープン性の確保とそれを実現する国際標準

EV連携やフレキシビリティの活用においては、電力分野以外の関係者が電力系統の運用に関わってくる。このような環境において利活用されるICTにおいては、オープン性を確保することが期待される。オープン性を確保する方法の一つとして、電力関連の通信の国際標準を作成している国際電気標準会議 (IEC) を中心とした、電力分野とそれ



■ 図8. フレキシビリティ活用のためのプラットフォーム (文献 [13] より引用)



以外の分野の連携に関する国際標準作成が挙げられる。例えば、電力システムの監視制御用通信の国際標準であるIEC 61850に関しては、熱エネルギーシステムとの連携やP2G (Power to Gas) に関する通信の標準作成が行われている。

4.2 無線通信の適用範囲拡大

既に、送電線保護リレーシステムやスマートメータなどにおいて無線通信が利用されているが、今後は設備保全データの収集でも無線通信の適用が進むことが期待される。この際、無線通信端末の電力供給についても無線化あるいは自立化を期待したい。さらには、保護や制御といった分野での無線通信を適用し、変電所などでの通信ケーブル撤去や試験の簡便化も期待される。

4.3 全光通信網の活用

デジタルツインを実現する上で、高速広帯域の通信を実現する必要がある。これに供する通信網の一つとして、全光通信網を実現するとともに、高速な無線通信と組み合わせた利用が期待される。既にIOWN構想がNTTより示されており、国内外の企業が参加する活動となっている^[15]。これらの技術がデジタルツインの実現などに寄与することを期待したい。

4.4 サイバーセキュリティの確保

サイバーセキュリティの確保は、あらゆる分野で求められる。しかし、電力分野に適用する場合には、電力系統運用の継続性確保との両立が求められる。例えば、証明書が失効した時点で即座に通信を切断してしまうと、電力系統の運用ができず、大規模停電などにつながってしまう恐れがある。このため、電力分野の特性に合わせた適切なセキュリティポリシーの確立とポリシーに基づく実装と運用が期待される。

5. おわりに

本稿では、様々なICTが電力系統において利活用され、安定した電力利用に寄与していることを示した。加えて、電力系統におけるICT利活用の将来像として、デジタルツイン、EV連携、フレキシビリティの活用、設備保全データの収集を示すとともに、それらを実現する際のICTに対する期待を述べた。

参考文献

[1] 「新しい通信技術による保護リレーシステムの設計合理化」、

電気協同研究、71巻、1号 (2015)

- [2] 「電力用マイクロ波通信システム設計技術」、電気協同研究、72巻、2号 (2016)
- [3] 「光ファイバー複合架空地線」、電気協同研究、46巻、1号 (1992)
- [4] 星：「北海道胆振東部地震において電力保安通信ネットワークが果たした役割について」、電子情報通信学会誌、103巻、12号、pp. 1180-1186 (2022)
- [5] 「電力系統を取り巻く環境変化がもたらす系統安定化システムの課題と対応」、電気共同研究、77巻、1号 (2021)
- [6] 大規模停電の記録編集委員会：「大規模停電の記録 —電力系統の安全とレジリエンス—」、オーム社 (2021)
- [7] 押田・小和田・黒瀬・前田・京本：「大規模系統安定化システム」、三菱電機技報、Vol. 86、No. 9、pp. 6-11 (2012)
- [8] 九州電力送配電株式会社：「太陽光・風力発電所出力制御機能 (66kV未満) 技術仕様書」
https://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0267/9119/td_n9ttgcx8.pdf (2022年11月11日閲覧)
- [9] 九州電力送配電株式会社：「太陽光・風力発電所出力制御機能 (66kV以上) 技術仕様書」
https://www.kyuden.co.jp/var/rev0/0267/9118/09_xajs89w.pdf (2022年11月11日閲覧)
- [10] 「配電自動化技術の高度化」、電気協同研究、72巻、3号 (2016)
- [11] 北内：「RSDT (Real-time Smart Digital Twin) に基づく次世代形電力系統信頼度制御システムの構想」、平成30年電気学会電力・エネルギー部門大会、No. 197 (2018)
- [12] 「令和2年度 パーチャルパワープラント構築実証事業成果報告」、一般社団法人環境創成イニシアチブホームページ (2021)
<https://sii.or.jp/vpp02/conference.html> (2022年11月11日閲覧)
- [13] NEDO：「「電力系統の混雑緩和のための分散型エネルギーリソース制御技術開発に向けたフィージビリティスタディ」事業成果概要 (最終報告)」 (2022)
<https://www.nedo.go.jp/content/100945215.pdf> (2022年11月11日閲覧)
- [14] スマート保安官民協議会 電力安全部会：「スマート保安アクションプラン」 (2022)
https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/industrial_safety/smart_industrial_safety/action_plan_denki.pdf (2022年11月11日閲覧)
- [15] NTT：「IOWN Innovative Optical and Wireless Network」
<https://www.rd.ntt/iown/> (2022年11月11日閲覧)