

再生可能エネルギー大量導入を考慮した次世代系統監視制御システムの動向

Next-generation Supervisory Control System Designed to Support Widespread Use of Renewable Energy

加藤 大祐
Kato Daisuke

堀井 博夫
Horii Hiroo

河原 大一郎
Kawahara Taichiro

世界的に再生可能エネルギーの導入が進んでいる。再生可能エネルギーを系統に連系する際には、同期安定度や電圧安定性といったさまざまな課題が発生する。再生可能エネルギーの導入割合が増加するにつれ、系統は不安定となり、大規模停電を引き起こす可能性は高くなる。そのような中、運用者の「AWARENESS（気づき）」の向上が求められており、これを可能とする系統監視制御システム技術として、PMU（フェーズ情報計測装置）が注目されている。日立グループは、PMUを採用した系統状態監視の技術開発を行い、この技術に関わる取り組みをグローバル市場で推進している。

1. はじめに

近年、再生可能エネルギーの導入が世界的に進められている。このエネルギーの中で、特に風力発電や太陽光発電は、気象条件の変化による出力変動や、落雷などの瞬時電圧低下による脱落を起こす可能性がある。また、再生可能エネルギー導入以外にも、系統事故などに起因する大規模停電の発生が後を絶たない。電力系統の安定性を確保するためには、これらの問題を可視化し、事前に対策する必要がある。

ここでは、再生可能エネルギーの導入や系統事故などを考慮した系統監視制御システム技術として、PMU（Phasor Measurement Unit）を採用した系統状態監視の技術、および日立グループのグローバル市場における取り組みについて述べる。

2. 再生可能エネルギー大量導入時および系統事故時の課題と対策

再生可能エネルギーが大量に導入された場合に問題となる同期安定度や電圧安定性、系統事故などによる大規模停電発生時におけるそれぞれの課題と対策について述べる。

(1) 再生可能エネルギー導入時の同期安定度の課題

同期安定度とは、送電線事故などの擾（じょう）乱が電

力系統に発生した際、運転中の同期発電機が脱調せずに安定状態を維持して運転し続けられる度合いのことである。従来の火力発電機は、慣性があるため、系統事故が発生した場合などに、事故前の同期のとれた状態に戻す力（同期化力）が強い。しかし、風力発電機や太陽光発電機は一般的に慣性がないため、同期化力がないことが多い。したがって、風力発電機や太陽光発電機の割合が増加し、火力発電機の割合が減少することで、同期して運転し、安定性を維持する発電機が減り、電力系統が不安定となることが課題である。

この課題への対策として、同期型風力発電機の導入が考えられるが、非同期な風力発電機のほうがコストは低いいため、導入の割合は非同期な風力発電機のほうが高いのが現状である。

(2) 再生可能エネルギー導入時の電圧安定性の課題

従来の火力発電機などは安定な出力で運転されており、無効電力についても適正に制御可能であったことから、系統電圧を適正な範囲に維持することに寄与していた。一方、再生可能エネルギーは出力が気象条件に左右されるため、火力発電機などに比べて不安定であるとともに、発電事業者が発電量を最大限に引き出すために、有効電力の出力を優先し、無効電力を供給しない場合、系統電圧の維持に悪影響を与えることになる。

このような場合の対策として、SVC（Static Var Compensator：静止型無効電力補償装置）や、STATCOM（Static Synchronous Compensator：自励式無効電力補償装置）などのFACTS（Flexible Alternating Current Transmission Systems：フレキシブル交流送電システム）機器を用いて、無効電力の制御をすることで系統電圧の維持や事故時の電圧変動を抑制する方法がある。しかし、誰の責任で導入するのかという課題が残る。

表1 | 世界の大規模停電の事例

先進国、新興国を問わず、広域大規模停電の事例は後を絶たない。近年では、電力コストの中に、停電などによる経済損失も含めることを議論している。

発生年月日	停電地域	事故概要	状況
2003年 8月14日	米国 北東部	停電規模：6,180万kW 停電範囲：米国8州、カナダ1州 影響範囲：約5,000万人 被害総額：40～100（億ドル）	樹木接触で送電線が停止し、カスケード的に停電が広域化
2003年 9月28日	イタリア	停電規模：2,770万kW 停電範囲：サルジニア島を除くイタリア全土	樹木接触により、スイスとの連系線が停止
2006年 11月4日	欧州	停電規模：1,700万kW 停電範囲：ドイツ、フランス、ベルギー、イタリア、オーストリア、スペインなど11か国 影響範囲：約1,000万人	ドイツ管内で、船の安全通過のため送電線の保安停止で過負荷遮断
2008年 2月26日	米国	停電規模：約340万kW（発電支障） 停電範囲：フロリダ州南部 影響範囲：約58万人	火災の影響により、原子力発電所、火力発電所が停止
2009年 11月10日	ブラジル パラグアイ	停電範囲：ブラジル18州、パラグアイ全域 影響範囲：約6,700万人	送電設備短絡事故
2011年 9月8日	米国 メキシコ	停電範囲：カリフォルニア州／アリゾナ州とメキシコの一部 影響範囲：約500万人	変電所作業ミス
2011年 9月15日	韓国	停電範囲：ソウル含む各地 影響範囲：約400万人	需給予測不良起因の手动による負荷制限
2011年 9月24日	チリ	停電範囲：サンティアゴ含む広範囲 影響範囲：約1,000万人	送電設備が故障
2012年 7月30日、 31日	インド	停電範囲：インド北部、東部、東北部 影響範囲：6億人以上	北部と西部を結ぶ送電線で事故が発生し、その後カスケード的に広域化

(3) 大規模停電発生時の課題

近年、世界では多くの大停電が発生している（表1参照）。最も大規模な停電の一例である2003年に発生した米国北東部の大規模停電では、高負荷運転と線路故障が重なり、初期の事故の兆候から1～2時間と長い時間を経て事故が伸展し、大停電に至った。送電停止に至るまで1時間近い時間があったが、リアルタイムで詳細な監視ができなかった点が問題であった。

上記(1)～(3)の対策として、電力会社間をまたがる広域監視およびリアルタイムに詳細な系統監視が可能な計測システムの導入が有効であると考えられる。計測システムを充実化し、運用者の「AWARENESS（気づき）」を向上させ、系統の不安定化や事故に対する事前の対策を実施することが求められており、最近ではより詳細な監視を可能にするPMUを使用した広域計測システム（WAMS：Wide Area Measurement System）の導入が世界的に進んでいる。

3. 系統監視制御システムの技術動向

3.1 PMUを用いた系統状態監視

PMUは位相、電圧、電流などの電力系統における計測情報に、GPS（Global Positioning System）から得られる絶

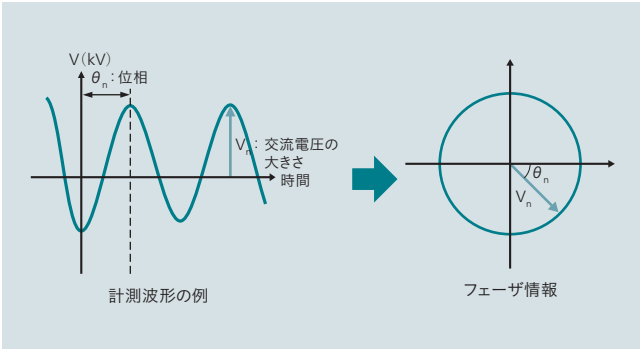


図1 | 計測波形の例とフェーザ情報

実際には離散値でデータを取得するが、ここでは簡単のため波形グラフで表現している。図の例では、フェーザ情報として、交流電圧の大きさ、位相を1つのベクトルとして表している。

対時刻を付加し、時系列の計測情報（図1参照）としてリアルタイムで計測する装置である。

従来の系統状態の監視はSCADA（Supervisory Control And Data Acquisition）によって行われてきた。しかし、SCADAで計測可能な情報は、電圧や電流などの大きさだけであり、位相を直接計測することはできなかった。また、過渡的な現象を解析するために必要な情報は、変電所に設置されているオシロ装置などから個別にデータを取得する必要があった。一方、PMUを用いて系統状態を監視する場合は、図2に示す伝送ルートにより、PMUからオンライン情報を計測し、短周期かつ時系列の波形情報としてリアルタイムに収集することができるようになる。これにより、従来の系統状態監視では不可能であった電力系統の過渡状態を即座に把握することが可能となる。

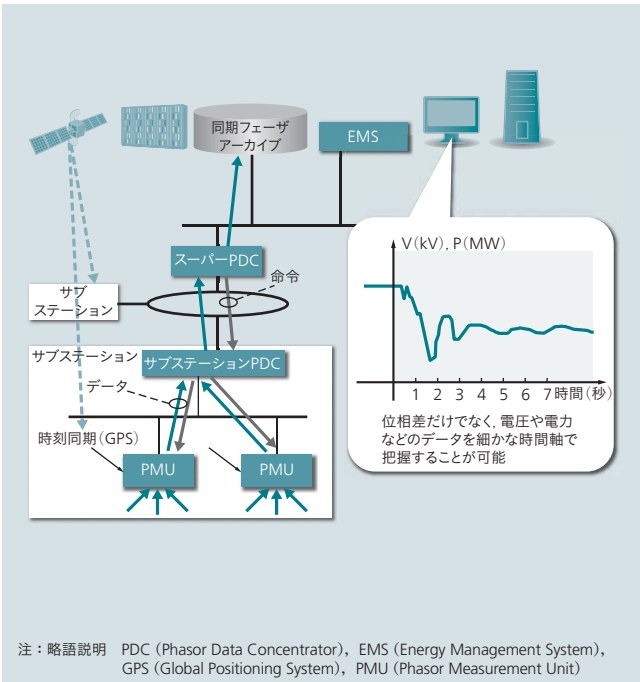


図2 | PMUデータの伝送ルート

PMUは計測周期が短周期であるため、細かな時間軸での計測が可能である。計測された情報はPDCに集約される。

表2 | SCADAとPMUの比較

PMUはSCADAに比べ、短周期なデータ収集ができ、位相の計測が可能である。

	SCADA	PMU
サンプリング周期	1点/2~4(秒)	10~60(点)/秒
測定項目	電圧や電流などの大きさ	電圧や電流などの大きさと位相
データ同時性の確保	不可能	可能(絶対時刻を使用)
利用範囲	管轄エリア内	管轄エリアを超えた広域エリア

注：略語説明 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

また、PMUの収集データは計測周期が短周期で絶対時刻によって同期がとれたデータであるという特長から、万が一事故が発生した場合においても、発電機脱落や送電線ルート断の事故時に収集した複数地点の波形情報を、事故の詳細解析に用いることで、次の事故回避の対策策定が可能となる。SCADAとPMUによる系統状態監視の比較を表2に示す。

PMUは世界的に普及が進んでおり、北米やインドではすでにPMU計測インフラが構築され、WAMSが実用化されている^{1), 2)}(図3, 図4参照)。

3.2 PMUの計測情報の利活用

PMUの特長から、PMUの計測情報にはさまざまな用途がある。PMUの計測情報を用いた日立グループの取り組みを以下に示す。

(1) 系統状態の監視

電力系統の送電線は、送電可能容量(TTC: Total Transfer Capability)の制約内で運用することが求められる。PMU計測情報を用いて位相、電圧安定度、周波数、潮流をリア

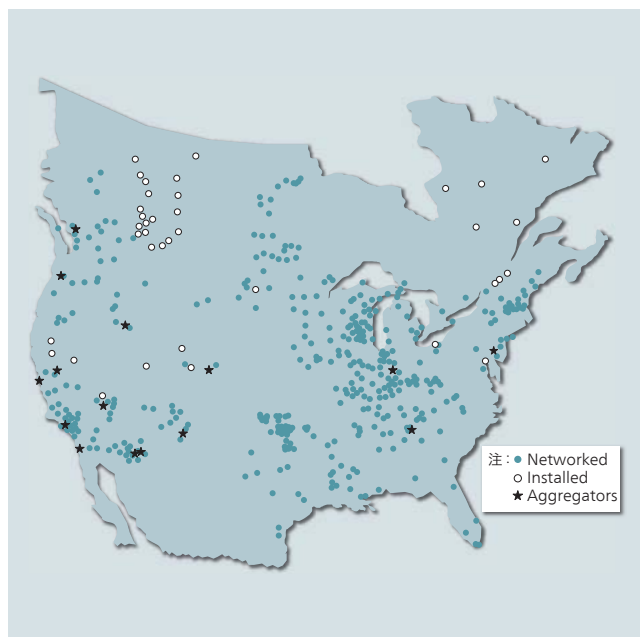


図3 | 北米におけるPMU導入状況(2012年)

2012年には500台のPMUが導入され、2014年末までには約1,000台のPMUが導入される予定となっている。

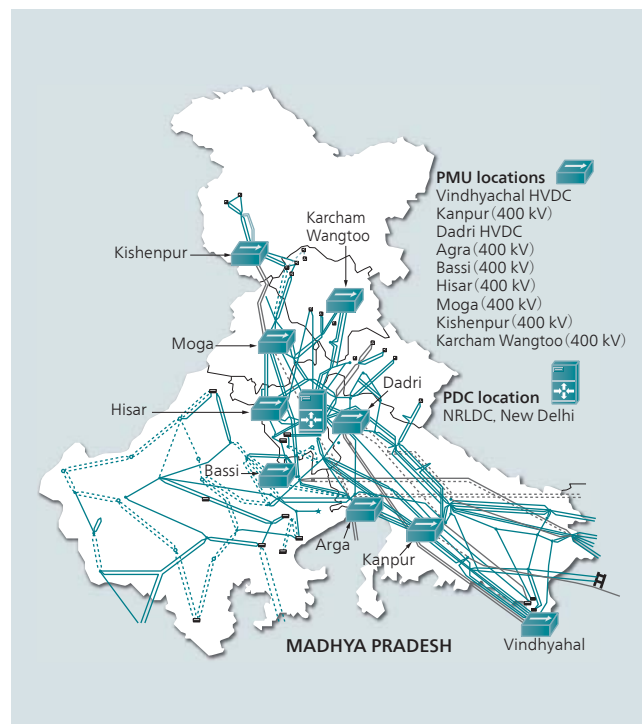


図4 | インド北部におけるPMU導入状況(2012年)

インド北部では、各地に分散するような形で、発電量が多い発電所付近の9か所の変電所にPMUが導入されている。

ルタイムで監視することにより、現在の系統状態を詳細に可視化でき、送電線運用に寄与できる。

(2) 広域系統の監視

PMUは、管轄範囲を超えた広域エリアの情報計測を、容易に実現可能とするため、外部系統における状態変化を把握できる。

(3) 系統動揺の監視

短周期の波形情報をリアルタイムに可視化できるため、従来は把握が困難であった系統動揺を監視し、運用者に通知できる。

(4) 事故の分析

系統事故など外乱発生時の波形情報を分析することで、事故現象を可視化し、早急な対策立案に利用できる。

(5) 状態推定の精度向上

複数の計測点における時間誤差のない計測データ取得や、SCADAでは計測不可能であった位相データを計測できるため、より精度の高い状態推定が可能である。

(6) 電力系統モデルの比較検証

解析ツールなどで用いる既存の電力系統モデルに対して、実データとの比較検証を行うことが可能となる。これにより、パラメータ調整などを行うことで、解析ツールのシミュレーション結果の適正化を図れる。

過負荷防止や系統電圧維持を目的とした場合、潮流や電圧を監視する装置が必要となるが、短周期での計測が可能なPMUは極めて有効である。また、実際の位相の計測や、

同時性が確保されたデータ計測がPMUで可能である特長から、精度の高い状態推定を実現することも可能であり、停電防止につながる。

このようにPMUを用いてより詳細に監視することで、将来、大量の再生エネルギーが導入された場合においても対応することが可能である。しかし、PMUによる系統監視技術が世界的に普及しつつあるものの、現在は系統の状態監視としての用途にとどまっている。日立グループは、今後、状態監視に加えて、PMUの計測情報を有効活用した系統制御に取り組んでいく。

4. グローバル市場における取り組み

日立グループは欧米、アジアをはじめとしたグローバル市場において複数のプロジェクトを推進中である。

例えば米国では、Department of Energy, Bonneville Power Administrationが募集する「2013年度 Technology Innovation R&D」プログラムに「再生可能エネルギー導入促進に適応する系統安定化システム研究」をテーマとして共同研究に参画している。この研究は、電気の流れをダイナミックに把握し制御することで、電力品質を向上させることをめざすものである。また、米国で普及が進んでいるPMUのデータを活用することで、再生可能エネルギーの有効活用や普及を目標とした統合型系統安定化システムの実現をめざしている。この研究での成果を用いて、風力発電や太陽光発電などの出力が変動しやすい再生可能エネルギーの本格的な普及に向けて、送電分野での再生可能エネルギーに適応するシステムの実現を図っていく。

5. おわりに

ここでは、再生可能エネルギーが大量に導入された電力系統における各種の課題に対応できる系統監視制御システム技術として、PMUを採用した系統状態監視の技術を紹

介した。

これらの系統状態監視システムにより、リアルタイムに状態を可視化でき、系統の不安定化や事故に対して事前対策を実施することが可能になる。今後は計測情報を有効活用することで、より高度な系統制御にもつながる技術となる。

参考文献など

- 1) North American Synchrophasor Initiative, March 8 (2012)
- 2) SYNCHROPHASORS INITIATIVE IN INDIA, June, 2012, POWER SYSTEM OPERATION CORPORATION LIMITED (POSOCO)
- 3) 小海, 外: 低炭素社会を支える電力系統安定化ソリューション, 日立評論, 92, 8, 580~583 (2010.8)
- 4) 堀井, 外: 電力供給安定化と広域連系を可能にする電力系統技術への取り組み, 日立評論, 94, 11, 788~793 (2012.11)
- 5) WECC SYNCHRO-PHASOR PROJECT WHITEPAPER, Proposed Scope, Version 3.0, JULY 17 (2009)
- 6) 日立ニュースリリース, 「再生可能エネルギー導入促進に適応する系統安定化システム研究」が米国BPAの「Technology Innovation R&D」のテーマとして採択 (2012.12)
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2012/12/1218a.html>

執筆者紹介



加藤 大祐

2011年日立製作所入社, インフラシステム社 電力システム本部
電力システム設計部 所属
現在, 電力系統監視制御システムの設計開発に従事



堀井 博夫

2004年日立製作所入社, インフラシステム社 電力システム本部
電力システム設計部 所属
現在, 電力系統監視制御システムの設計開発に従事
技術士(総合技術監理部門, 情報工学部門)
電気学会会員



河原 大一郎

1993年日立製作所入社, インフラシステム社 電力システム本部
電力システム設計部 所属
現在, 電力系統監視制御システムの設計開発に従事
電気学会会員