

# カーボンニュートラル実現 に貢献する系統安定化システム

Remedial Action Scheme Contributing to Achieving Carbon  
Neutrality

\*系統変電システム製作所

## 要 旨

カーボンニュートラル実現に向けて必要になる再生可能エネルギー(以下“再エネ”という。)の主力電源化には様々な課題が想定されている。課題の一つに系統安定性の維持があり、その有力な解決手段として、高速な制御によって系統の不安定現象を未然防止する系統安定化システムがある。三菱電機は1970年頃から、その時代のニーズに合った系統安定化システムを多数開発してきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。最近では、2020年以降に運用を開始し、再エネの主力電源化によって生じる課題への対策機能を具備する2件の系統安定化システムを開発している。

## 1. ま え が き

2050年カーボンニュートラル実現、2030年温室効果ガス46%削減に向けて策定された第6次エネルギー基本計画で示されているように、再エネの主力電源化に向けた取組みが進められている。一方で、発電量が間欠的であり、インバーター経由で分散的に系統連系される再エネの増加は、電力系統の安定性に関して様々な課題を引き起こす。そのため、再エネ主力電源化に向けては、経済性面、需給バランス面だけでなく、系統安定性の課題解決が重要になっている。

従来の電力系統では、過酷事故発生時に電源制限や負荷制限を高速に実施することで事故影響が系統全体に波及することを防止し、大規模停電を未然に防止する系統安定化システムが、系統安定性を維持する上で重要な役割を担ってきた。再エネ主力電源化に向けた系統安定性の課題解決でも、運用対策(系統事故発生時に系統安定性の維持が可能な系統構成にしておくなど)、設備対策(無効電力補償装置、グリッドフォーミングインバーター等の設置)に加えて、電力系統全体の状態を監視し、事故発生時に高速で制御を実施する系統安定化システムの役割は更に重要になってくる。

本稿では、再エネ主力電源化によって生じる系統安定性での課題とその対策として次の2点を取り上げて、これらに対応する系統安定化システムの役割を、当社が開発した系統安定化システムの実例によって述べる。さらに、その他の課題への対策も含めて、今後の系統安定化システムに求められる役割について示す。

### (1) 系統事故時の再エネ不要解列による周波数低下への対策

従来主力電源であった火力発電、原子力発電等での同期発電機と比べて、インバーター経由で系統連系する再エネは系統の周波数変動・電圧変動によって系統から解列しやすい特性がある。このため、系統擾乱(じょうらん)発生時に大量の再エネが系統から不要に解列し需給アンバランスが生じて周波数が大幅に低下してしまうおそれがあり、この対策が必要になっている。

### (2) 再エネ発電電力送電による系統混雑発生への対策

再エネ発電ポテンシャルが高い地点は、大規模需要地や従来の大規模発電所設置地点から離れていることが一般的である。このため、再エネ発電電力を需要地に向けて送電するための送電設備の容量が不足し系統混雑が発生するおそれがある。再エネ主力電源化に向けては再エネ発電電力を最大限需要地に送電する必要がある。系統安定化対策を前提とすることで送電設備を増強せずに送電容量の運用上限を増加させることが可能になる。

## 2. 北海道電力ネットワーク(株)向け統合型系統安定化システム

1章(1)に示した系統事故時の再エネ不要解列による周波数低下対策機能を具備した系統安定化システムとして、当社が開発を進めている統合型系統安定化システム(IRAS: Integrated Remedial Action Scheme)について述べる。

### 2.1 開発の背景

北海道電力ネットワーク㈱では、“平成30年北海道胆振東部地震”に伴う北海道エリアの大規模停電(ブラックアウト)を契機に、電力系統レジリエンス強化を目的とした系統安定化対策を検討してきた。この対策の一つとして、当社が、IRASの開発を担当した。2024年3月の運用開始を予定している。

### 2.2 IRASの概要

IRASの全体構成を図1に示す。全ての装置をデジタルリレーで構成し、中央装置は別地点2か所に設置している。中央装置と端末装置間はリング状伝送路で接続し、合計55面が連携して機能する大規模システムである。IRASを構成する装置を表1に示す。

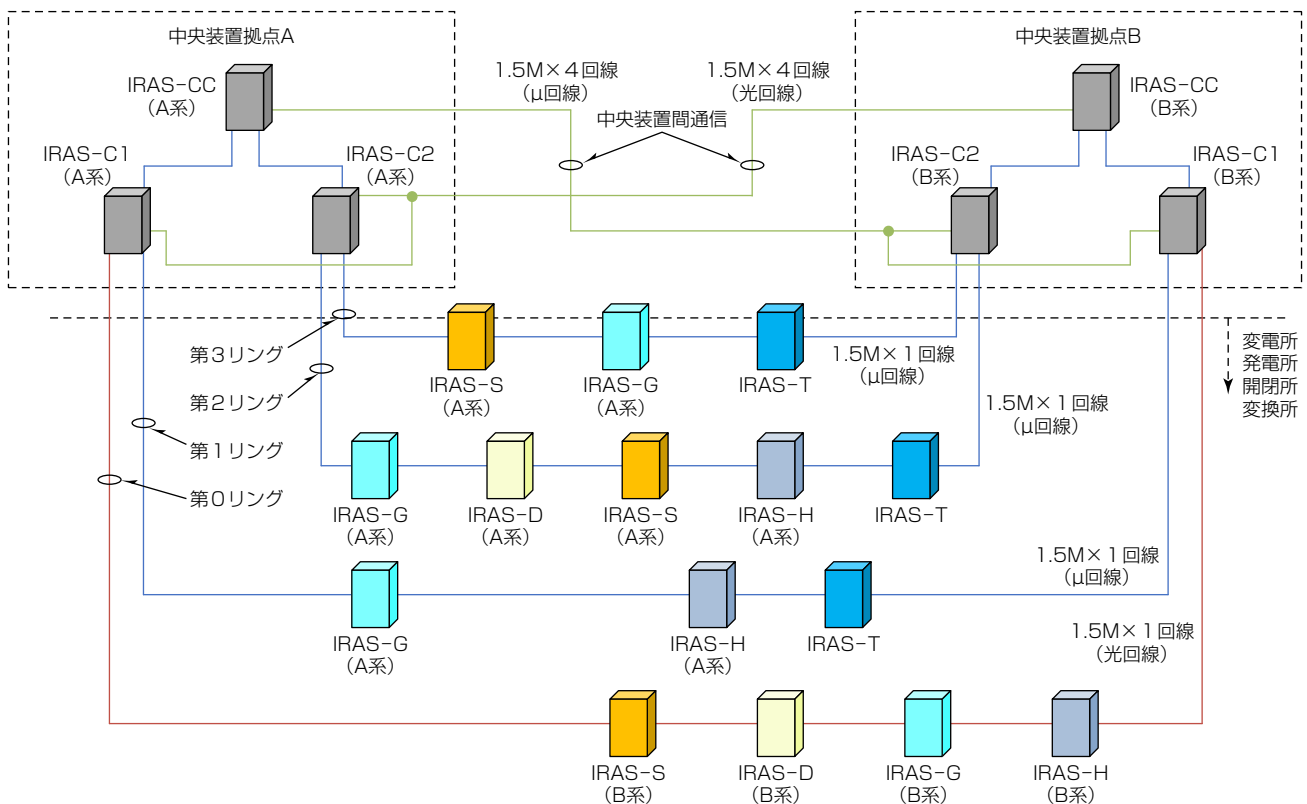


図1. IRASの全体構成

表1. IRASの装置構成

略称	機能概要	設置場所
IRAS-CC	制御演算	系制
IRAS-C1	端末装置～中央装置の伝送インターフェース	系制
IRAS-C2	端末装置～中央装置の伝送インターフェース	系制
IRAS-G	発電機出力計測・電源脱落検出・電源制限	発電所
IRAS-D	HVDC潮流計測・状態取得	変換所 変電所
IRAS-S	275kV変電所での潮流計測・回線停止検出	変電所 開閉所
IRAS-H	揚水機潮流計測・状態取得・揚水機遮断	揚水発電所
IRAS-T	潮流計測・負荷制限	変電所
IRAS-IF	通信ユニット(光電気変換)	全箇所

HVDC : High Voltage DC

### 2.3 周波数維持機能

周波数維持機能は、電力系統での事故によって生じる周波数変化を、負荷、発電機、揚水機のうち適切な対象の制御で抑制するものである。この機能は、事故前の系統状態を基に目標制御量を演算し、事故検出後即座に実行する主制御と、事故検出後の系統状態を基に目標制御量を演算し、周波数変化に応じて実行する補正制御で構成している。また、周波数維持機能ではHVDC連系設備(北本, 新北本)の状態を取得し、HVDCが具備する緊急時AFC(Automatic Frequency Control)機能に期待できる制御量を考慮して目標制御量を算出し、系統安定化システムによる制御量最小化を図っている。

大規模発電所での発電機脱落や、HVDC連系設備の重故障停止による周波数変化は、当該箇所に設置するIRAS-G, IRAS-Dで検出して主制御による対応が可能であるが、直接的な検出ができない再エネ電源等の脱落については、大規模発電所での発電量変化等、計測可能な電気量を基に需給アンバランス量を推定し、補正制御で対処する。この機能によって、先に述べた再エネ不要解列時の周波数低下に対応できる。

## 3. 北海道北部風力送電(株)向け転送遮断システム

1章(2)に述べた、再エネ発電電力送電による系統混雑発生への対策向け系統安定化システムとして、当社が開発し納入した転送遮断システムについて述べる。

### 3.1 開発の背景

北海道北部風力送電(株)は、風力発電ポテンシャルの高い北海道北部地域での風力発電(以下“WF”という。)導入拡大を目指して、WFの発電電力を主要需要地に向けて送電するための送電網を整備している。一方で、北海道北部地域は従来大型電源が存在する地域ではなく、主要需要地向けの送電経路には送電容量の限界があり、WFの発電電力を送電するためには、送電容量を最大限活用する必要があった。そこで、送電線1回線停止時に瞬時に送電量を抑制する転送遮断システムを構築することで、系統安定性の面での懸念を解消し、運用容量を確保することにした。なお、転送遮断システムは2023年2月に運用開始している。

### 3.2 システムの概要

転送遮断システムの概要を図2に示す。

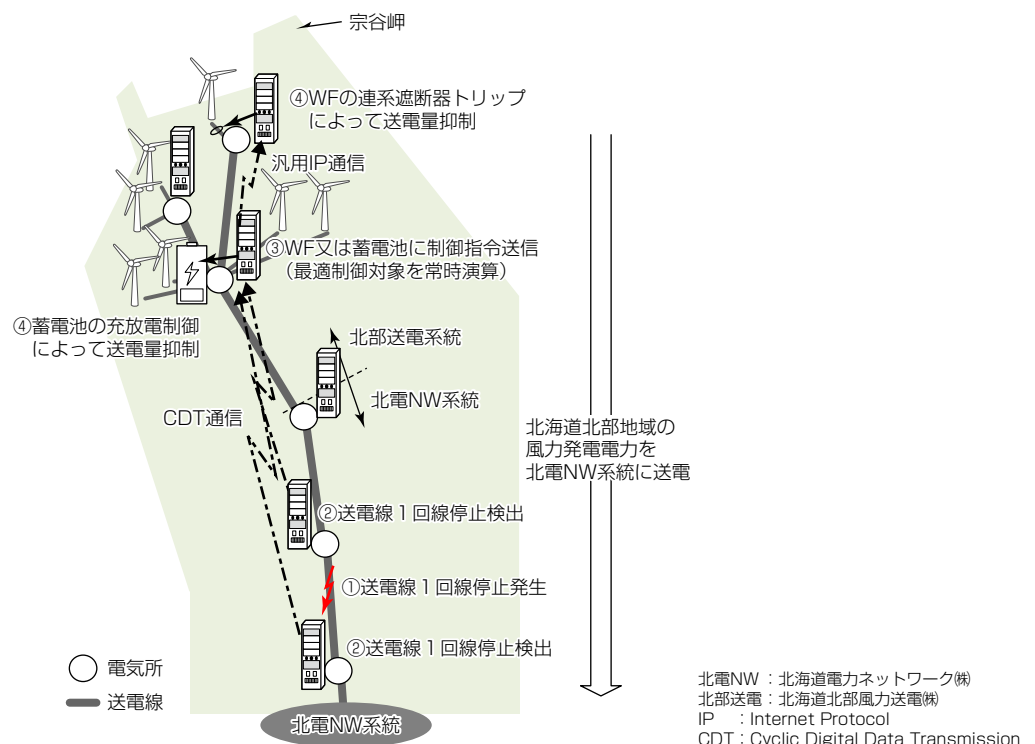


図2. 転送遮断システム概要(4)

### 3.3 転送遮断機能

転送遮断機能は、制御対象演算機能、事故検出機能、蓄電池制御機能、WF遮断機能から構成される。送電線1回線停止時の送電量抑制では、抑制後の送電量を既定値以下にすること、送電抑制量を既定値以下にすること、遮断対象WF数をできるだけ少なくすることを実現する。

制御対象演算機能では、蓄電池充放電量、各WF発電量等の情報を基に、先に述べた3点を満たす最適な制御対象を定周期で演算する。蓄電池は送電量を瞬時に調整する機能を持ち、転送遮断システムからの指令に基づいて送電量を抑制する。遮断対象WF数をできるだけ少なくするため、蓄電池で必要な抑制量が確保できる状況では蓄電池を制御対象として選択し、蓄電池だけでは抑制量が不足する場合にだけWFを制御対象として選択する。WFは複数あり遮断パターンが多く存在するが、全パターンのうち最も遮断対象WF数が小さく、必要な抑制量を確保可能なパターンを選択する。

事故検出機能では、監視対象送電線の遮断器パレット接点動作によって送電線1回線停止を検出する。

蓄電池制御機能、WF遮断機能は、それぞれ蓄電池に対する制御指令送信、WF連系遮断器のトリップを実施する。装置間での制御指令伝送は汎用IP通信で実現している。

転送遮断機能は、先に述べた再エネ発電電力送電による系統混雑発生への対策に該当し、送電線運用容量を引き上げて再エネ発電量を最大化することに貢献している。

## 4. 今後の系統安定化システムに求められる機能

2章と3章に述べたとおり、再エネの増加に伴って生じる課題への対策として系統安定化システムは既に重要な役割を担っているが、再エネ主力電源化に向けては、その役割はますます重要になってくると考えられる。

今後の系統安定化システムに求められる役割として想定される機能例を次に示す。

### 4.1 慣性力低下への対策

慣性力を持たないインバーター経由で系統連系する再エネが主力電源化した電力系統では、系統事故の影響による周波数変化速度が増加する。周波数変化速度が一定値より大きくなると再エネ電源が系統から解列する場合があります。過酷事故発生時に再エネが大量に系統から解列し事故が波及して大規模停電につながるおそれがある。これに対して、グリッドフォーミングインバーター・同期調相機の設置など、慣性力自体を増加させる設備対策に加えて、従来よりも高速に制御を実施し事故波及を防止する対策が有効になる。

従来の系統安定化システムでは、発電機・負荷等を遮断器トリップによって系統から解列することで制御を実現している。しかし、遮断器トリップは機器動作を伴うため一定の動作時間を要して、系統安定化システムでの制御所要時間のうちの大きな割合を占めている。制御の高速化に向けては、機器の動作を伴わずに高速に潮流制御が可能なインバーター機器を制御対象とする方法が考えられる。3章に示した転送遮断システムで蓄電池を制御対象とした事例は、この一例である。

### 4.2 各種制御システムとの連携

従来の電力系統では、基幹系統の大型発電所から配電系統に向けて一方通行で潮流が流れていたが、再エネが主力電源になった系統では、従来と比べて低い電圧階級に小容量の電源が分散化することになる。このような電力系統では配電系統の電源を制御することが系統安定性の維持に最も効率的になることが考えられる。しかし、系統安定化のための専用設備や通信回線を全ての小容量電源に設置することは非現実的であるため、系統安定化システムが既存の制御システム、例えばDERMS(Distributed Energy Resource Management Systems)等と連携し、これを經由して系統安定化システムから制御を実施することで、効率的に系統安定化制御を実現することが可能になる。

また、4.1節に述べたような制御高速化を目的としてインバーター機器を制御する場合だけでなく、再エネが主力電源化した系統で十分な制御量を確保する観点で、発電機・負荷等の従来機器以外に蓄電池やHVDCなどを制御対象とする必要性が生じることが考えられる。この実現に向けても、系統安定化システムと各種制御システムの連携が必要になる。

### 4.3 広域安定化制御

再エネ電源の偏在化や地域間連系線の増強等によって、ある地域での事故が他地域に波及することや、ある地域の事故

に対する系統安定化制御が地域をまたいだ遠方に影響を与えることが考えられる。自律分散的な制御や、複数の系統安定化システムを連携した中央集中型制御など、対応方法は複数考えられるが、いずれにしても連系する全系統を考慮した広域的な系統安定化制御の設計が必要になる。中央集中型制御の実現に当たっては、PMU(Phasor Measurement Unit)からの情報収集方法の確立など、広域的に多数のノード間で高速伝送を実現する方法の検討が必要になる。

## 5. む す び

再エネ主力電源化によって生じる課題への対策機能を持つ系統安定化システムとして、北海道電力ネットワーク(株)向けIRASと、北海道北部風力送電(株)向け転送遮断システムについて述べた。また今後の系統安定化システムに求められる機能の例を示した。これからも電力系統の安定化と効率的なネットワーク運用に寄与していく。

## 参 考 文 献

- (1) 押田秀治, ほか: 大規模系統安定化システム, 三菱電機技報, **86**, No.9, 484~489 (2012)
- (2) 小和田靖之, ほか: 最近の自端判定型系統安定化システム, 三菱電機技報, **89**, No.11, 609~612 (2015)
- (3) 草場健一郎, ほか: 再生可能エネルギー電源の大量導入に対応した系統安定化システム, 三菱電機技報, **92**, No.11, 621~625 (2018)
- (4) 再生可能エネルギー大量導入に寄与する転送遮断システム, 三菱電機技報, **97**, No.1, 58 (2023)

