

風力系統への適用を想定した C-GIS用Cable Switch

松永敏宏*
Toshihiro Matsunaga

吉岡純生†
Yoshiki Yoshioka

香川耕一*
Koichi Kagawa

大西健司†
Kenji Onishi

Cable Switching Breaker for C-GIS Dedicated to Wind Power System Application

要 旨

再生可能エネルギーとして風力発電の導入が世界的に拡大する状況下で、三菱電機では風車への搭載に特化したキュービクル形ガス絶縁開閉装置(Cubicle-Type Gas Insulated Switchgear : C-GIS)を開発し、海外洋上風力発電向け72.5kV C-GIS“HG-VG-A”(以下“HG-VG-A形C-GIS”という。)として製品化した。

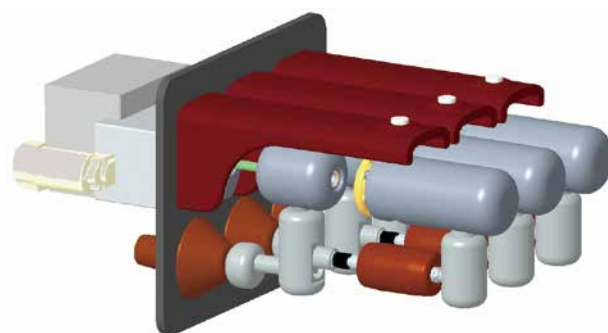
HG-VG-A形C-GISに集約された開閉器の中で、風車と連系回路の接続部を担う断路器(DS)はケーブル充電電流開閉能力を持たないため、風車と連系回路の接続・断路を行う際には洋上変電所の遮断器(CB)を開極して連系回路上の全ての風車も停止し、海底ケーブルの残留電圧が放電するのを待ってDSの開閉を行う必要があった。

こうした発電機会の損失を最小限に抑えて大規模洋上風力発電所の発電効率を最大化し、安定的な電力供給を実現するため、DSにケーブル充電電流開閉能力を付与し、より柔軟な系統運用を可能とするCable Switch(CS)を開発した。

CSは、HG-VG-A形C-GISの風車内搭載を可能とする厳しい寸法制約への影響を避けるため、従来のDSを基にして、ラッチ式速動機構、可動シールド、端子支持構造の強化、開極時電流に対する電氣的インタロックなどの技術を採用することで、HG-VG-A形C-GISの外形寸法を変更することなくケーブル充電電流開閉能力を付与したCSを開発、適用できた。



HG-VG-A形C-GIS



HG-VG-A用CSの構造

洋上風力発電向け風車への搭載に特化した72.5kV C-GIS“HG-VG-A”と新たに開発したCS

風車の運用に必要なCB、DSを集約して風車内に搭載可能な外形寸法を達成したHG-VG-A形C-GISに対し、DSにケーブル充電電流開閉能力を付与したCSを開発、適用した。

1. ま え が き

再生可能エネルギーの導入拡大によって、風力発電の分野では大規模な洋上風力発電所の建設が2010年前後から欧州を中心に本格化しており、今後は北米やアジア圏も加わって風力発電の導入が更に加速する見込みである。

大規模洋上風力発電所の建設では、据付の完了した風車から順次運用を開始し、発電機会を逃さず効率を最大化することが求められる。また、点検などに伴う風車停止、すなわち発電機会の損失を最小化することも重要視される。

こうした柔軟な風力発電システムの運用を実現するため、三菱電機では従来のDSにケーブル充電電流開閉能力を付与したCSを開発し、HG-VG-A形C-GIS⁽¹⁾に適用した。

本稿では、CSの概要及び採用技術について述べる。

2. HG-VG-A形C-GIS用CSの概要

2.1 大規模洋上風力発電所とC-GISの役割

図1に大規模洋上風力発電所全体の電力系統模式図を示す。10台程度の風車が海底ケーブルによって直列に接続されて連系回路を成し、さらに複数の連系回路が洋上変電所に集電・高電圧化されて陸上変電所へと送電されるツリー状の電力系統を持つのが大規模洋上風力発電所の特徴である。

図2に示すように、それぞれの風車で発電された電力は発電機直下の変圧器で72.5kVまで昇圧された後、事故時の短絡(地絡)電流を遮断して風車を保護するCBや、風車と連系回路の接続及び断路を行うDSを通じて海底ケーブルへと送電される。HG-VG-A形C-GISは風車の運用に必要なCBやDSを集約し、スペースの限られた風車内に搭載されて図2の破線で囲われた部位を担う。

風車の新設時では、DSを閉じて連系回路との接続を確保した後、CBを開極して風車からの送電を開始する。また、風車からの送電を停止して点検等を行う場合には、CBを開極してDSを切り、連系回路との断路を行う。

2.2 ケーブル充電電流開閉能力を持つCS

DS自体は高電圧印加中で電流を開閉する能力を持たないため、先に述べた風車と連系回路の接続・断路を行う場合は連系回路上のほか全ての風車もC-GIS内のCBを開極して発電機を連系回路から切り離し、また、洋上変電所内の連系回路に直結されたCBも開極して当該の風車を含む連系回路全体も電力系統から切り離さなければならない。さらに、風車同士は海底ケーブルによって接続されて

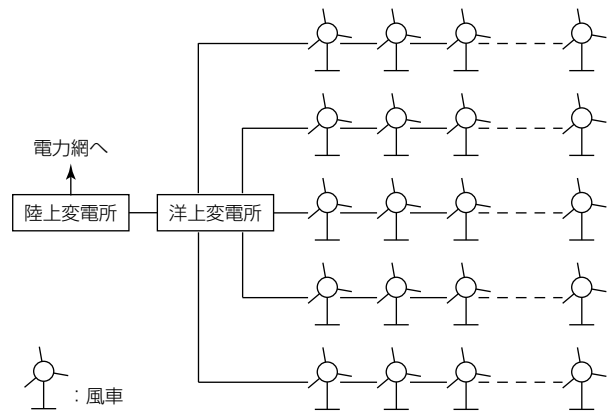


図1. 大規模洋上風力発電所全体の電力系統模式図

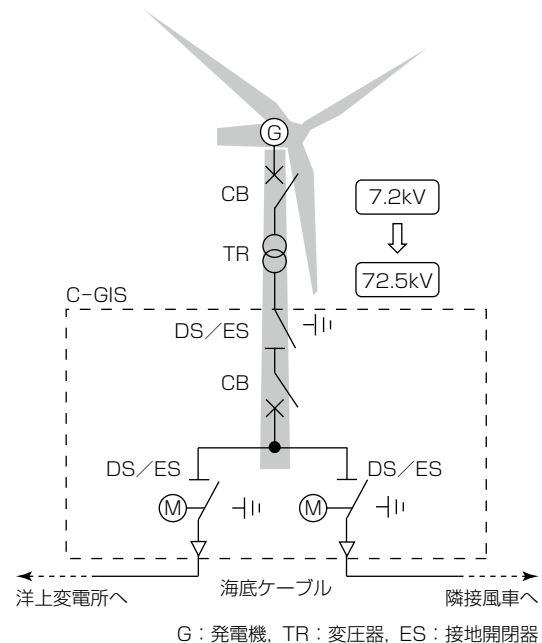


図2. 風車内の回路構成

いるため、送電停止後もケーブルの静電容量に応じた残留電圧によって充電電流を生じるのでDSを即座に開閉できず、残留電圧の放電を待ってからDSを開閉する必要があります。これは広範囲かつ長時間にわたるため、連系回路の開閉は風車の発電機会を損失することを意味する(図3(a))。

発電効率を最大化し、安定的な電力供給を実現するためには、より柔軟な系統運用を可能とする機器が求められることから、今回、DSにケーブル充電電流開閉能力を付与したCSを開発した(表1)。なお、風車内搭載のため制約が厳しいC-GIS外形寸法への影響を避けるため、CSの構造は従来のDSを基に機能を追加する開発で対応することにした。

従来のDSをCSに置き換えることで、ケーブル残留電圧の放電を待つ必要がなくなるだけでなく、洋上変電所のCB開極も不要となり、連系回路上の上流側の風車を停止するだけで風車と連系回路の接続・断路が可能になる(図3(b))。

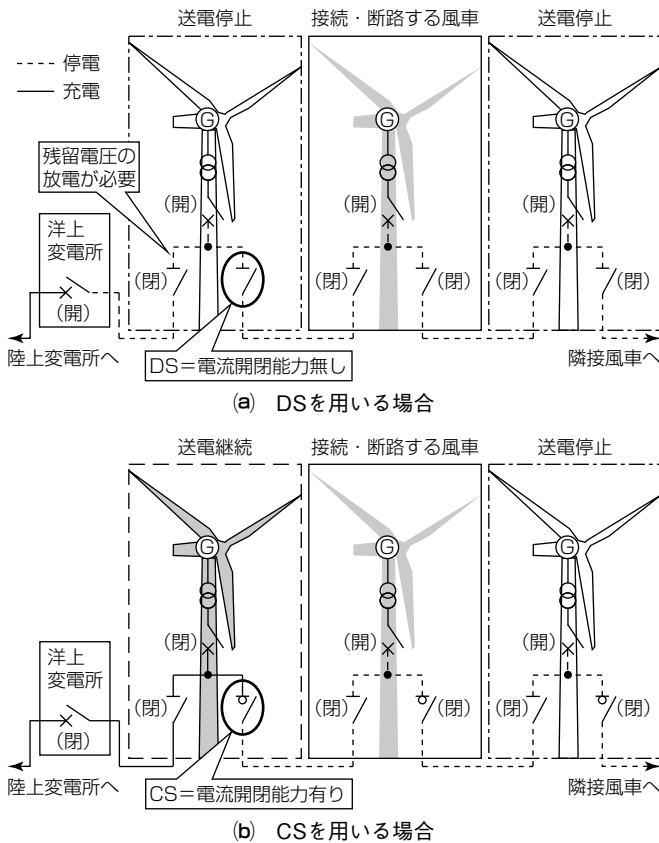


図3. 風車と連系回路の接続・断路

表1. CSの定格

項目	仕様	
準拠規格	IEC 62271-104 : 2020	
定格電圧	72.5kV	
定格電流	1,250A	
定格周波数	50Hz	
定格雷インパルス耐電圧	350kV	
ケーブル充電電流	遮断電流	40A (遮断クラスC1)
	投入電流	700Apeak
封入ガス	SF ₆ (六フッ化硫黄)	
定格ガス圧力	0.05MPa-G(at 20℃)	

3. HG-VG-A形C-GIS用CSの採用技術

ケーブル充電電流開閉で特に技術的な難易度が高いのは開極であり、これは容量性負荷の進み小電流遮断にほかならない。進み小電流遮断は、遮断電流こそ短絡時の事故電流と比べればはるかに小さいものの、小電流であるがゆえに容易に電流が遮断され、回復電圧が瞬時に立ち上がり約半サイクル後(50Hzの場合、約10ms後)にピークを迎えることから、開極時には短時間で十分な絶縁距離を確保できなければ端子間で再点弧が発生し、それによって引き起こされる過電圧によって機器の健全性を脅かす危険がある。よって、CSにはケーブル充電電流の無再点弧遮断が要求される。

次に、CSによる進み小電流遮断能力の確保のため、採用した技術を述べる。

3.1 ラッチ式速動機構

図4にHG-VG-A形C-GISに内蔵されている従来のDSユニットの開極動作を示す。DSは、操作機構から伝わる回転運動を円筒形の可動子内部に設けられた台形ねじで直線運動へと変換して、可動子を入側端子から切側端子へ向けて左進させ、端子間の断路を行っている。

この駆動方式は小型の操作機構で長尺の移動距離を得られる利点があるが、モータの回転に依存するため可動子の駆動速度が比較的遅く、回復電圧に対して短時間で必要な絶縁距離を確保できない。

そこでCSでは、図5に示すとおり切側端子と対向する入側端子内に主通電を担う可動子とは別の速動可動子と駆動用のばねを追加し、DSのように可動子が端子間を接続した際、可動子と速動可動子がラッチで係合する機構を設けた。開極の際は、可動子が左進して速動可動子を引き出しながらばねを蓄勢する。速動可動子が切側端子へ到達した位置でラッチが開放され、蓄勢されたばねの駆動力によって速動可動子が急速に右進し、短時間内に必要な絶縁距離を確保して電流の遮断を完了する。

3.2 可動シールド

電流遮断に必要な絶縁距離は電界強度に左右される。速動可動子は直径が細いため先端の電界強度が高くなることから、いち早く速動可動子を直径の大きい入側端子内に収納して電界強度を下げることで、電流遮断に必要な絶縁距離を短くできる。

しかしCSはDS同様、端子間に断路極間としての耐電圧性能が要求されるため、開極位置では電流遮断時以上に大きな絶縁距離を確保しておく必要があり、入側端子を切側端子へ接近させることができなかった。

この課題を解決するため、CSでは速動可動子と連動す

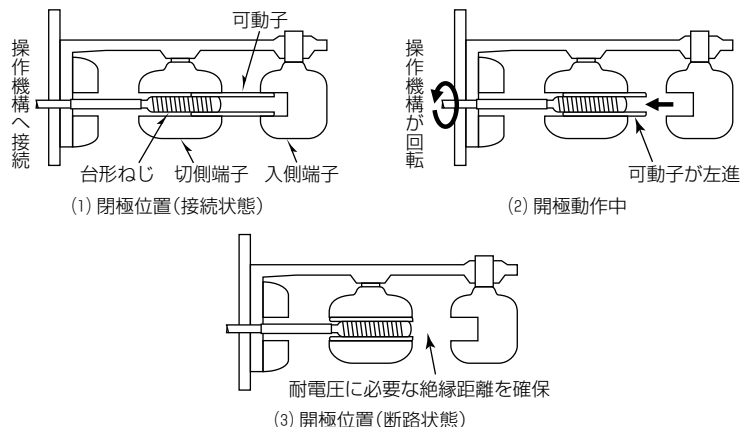


図4. DSユニットの開極動作

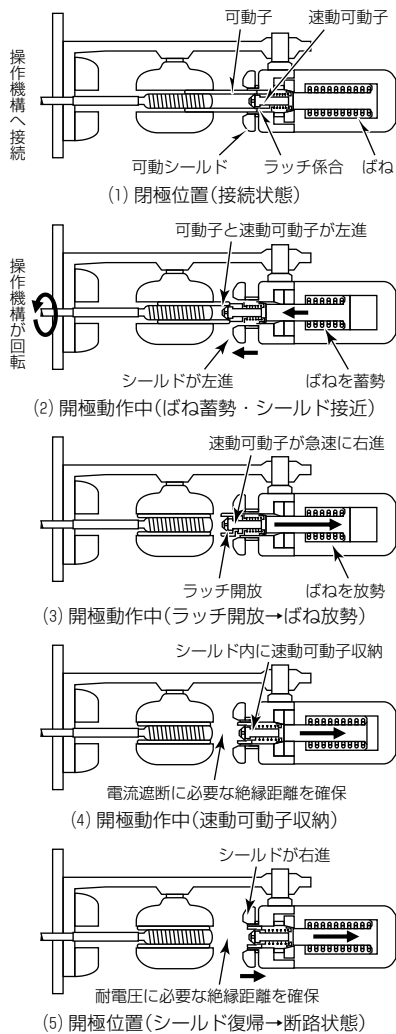


図5. CSユニットの開極動作

る可動シールドを入側端子に設けた(図5)。通常、シールドは切側端子から大きく離れているが、開極の際は可動子と速動して左進し、切側端子へ近づく。ラッチが解放され速動可動子が右進して入側端子内に収納されると、シールドも右進して通常の位置へ復帰し断路状態となり、開極位置の耐電圧性能に必要な絶縁距離を確保する。

3.3 端子支持構造の強化

駆動速度の遅いDSに比べ、CSは開極の際に速動可動子の動作方向へ大きな衝撃負荷を伴う。絶縁支持材で入側端子の上側1点を固定していたDSに対し、CSでは絶縁支持材を入側端子の下側にも追加して剛性を強化した(図6)。

3.4 電氣的インタロック

風車からの送電中は、発電機の容量に応じた負荷電流がCSを通じて連系回路へと流れる。その最大値はHG-VG-A形C-GISの定格電流と同様1,250Aであるが、CSに負荷電流開閉能力まで付与すれば非常に大型化することが想定された。そのため、CSは上流側の風車が送電停止された

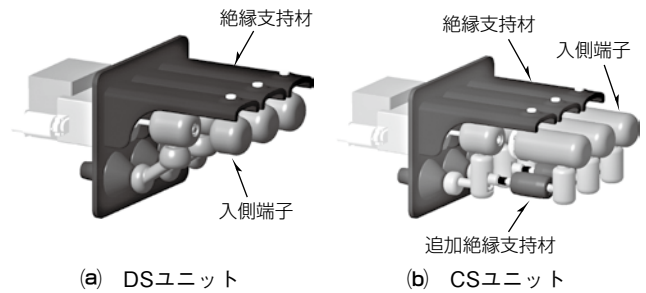


図6. DSユニットとCSユニットの端子支持構造

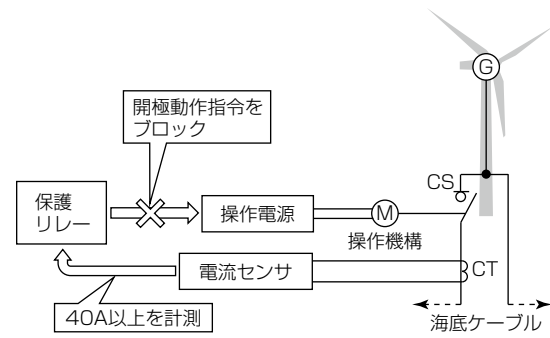


図7. 電氣的インタロック

条件でケーブル充電電流を開閉する運用を前提にした。

よって、CSが遮断可能なのはあくまでケーブル充電電流(最大40A)だけであり、短絡時の事故電流遮断はもちろん、定常時に連系回路を流れる負荷電流であっても表1の遮断電流を超える電流を遮断することは不可能である。

そこで、ケーブルに小型の変流器(CT)と電流センサを組み合わせた電氣的インタロックを設け、CTが遮断電流を超える電流を計測している場合は、動作指令をブロックしてCSを開極動作できない構成にした(図7)。

なお、ケーブル充電電流の投入に対しては、可動子、速動可動子それぞれの先端部に耐アーク性材料を適用した。

4. む す び

本稿では、海外洋上風力発電向けのHG-VG-A形C-GISに適用するCSの開発について述べた。

従来のDSを基に、ラッチ式速動機構などを採用することで、風車内搭載のため寸法制約が厳しいHG-VG-A形C-GISで外形寸法に影響を及ぼすことなく、IEC 62271-104規格に準拠したケーブル充電電流開閉能力を満足するCSを開発、適用できた。

CSの適用によって、大規模洋上風力発電所の発電効率を最大化し、発電機会損失を最小限に抑えた柔軟なシステムの運用を実現するため、今後も適用の拡大を進めていく。

参考文献

(1) 香川耕一, ほか: 海外洋上風力発電向け72.5kV C-GIS“HG-VG-A”, 三菱電機技報, 94, No.11, 618~622 (2020)