

# 海外洋上風力発電向け72.5kV C-GIS “HG-VG-A”

香川 耕一\*  
Koichi Kagawa  
吉田 忠広\*  
Tadahiro Yoshida  
白井 隆†  
Takashi Shirai

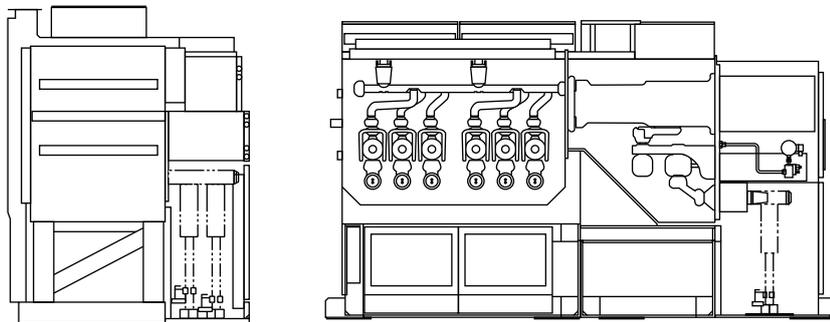
72.5kV C-GIS for Overseas Offshore Wind Turbine "HG-VG-A"

## 要 旨

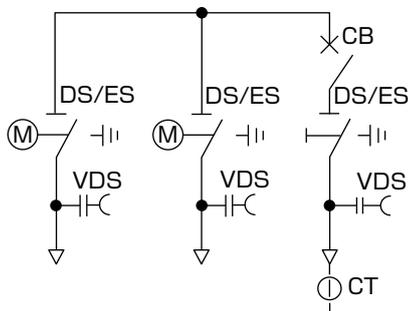
洋上風力発電用の風車に適用されるキュービクル形ガス絶縁開閉装置(Cubicle-type Gas Insulated Switchgear : C-GIS)は、風車の発電容量拡大に伴う系統電圧格上げ(36kVから72.5kV)への対応を求められており、三菱電機では風車への搭載に特化した海外洋上風力発電向け72.5kV C-GIS “HG-VG-A”を製品化した。

一般に広く適用される特高C-GISでは、それぞれ異なる回路に用いる盤を複数列盤して構成されていた。今回製品化したC-GISでは、風車のタワー内という限られた空間に設置し、さらに保守に必要な時間を極力短縮するために一体化された盤に必要な機能を集約することをコンセプトとして開発を行った。

機能集約、短時間設置を実現させるためには一つのガス区画に風車の発電機を保護する回路に用いるVCB(真空遮断器)1台、DS/ES(接地装置付き断路器)1台と風車間を連携する回路に用いるDS/ESを2台収納する構造を実現することが必要であった。以前に同定格の国内向けC-GISの開発で縮小化を行ったDS/ESを流用し、開閉器の配置刷新と圧力タンクの構造を見直すことで、一つの盤に合計4台の開閉器を収納して風車内のスペース制限内へ搭載可能なC-GISの大きさを実現した。また、内部アークに対応したパネル構造や海外規格に準拠したケーブル接続端末を採用することで、欧州の風力発電市場に適したC-GISにした。



洋上風力発電向け HG-VG-A の構造



風車に搭載するC-GISの単線図



洋上風力発電向け HG-VG-A

CB : Circuit Breaker, VDS : Voltage Detecting System, CT : Current Transformer

## 海外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”

風車の運用に必要な開閉器を一体化された盤に集約することによって風車へ搭載可能な外形寸法を達成した上で、設置及び保守点検に必要な時間の短縮を図った海外洋上風力発電向け72.5kV C-GIS “HG-VG-A”を製品化した。

## 1. ま え が き

欧州では再生可能エネルギーの導入が促進されており、中でも風力発電は単基発電量が大きい風車を洋上に建設する大規模な洋上風力発電プラントの整備が進められている。風車の発電容量拡大に伴って送電ロスを削減するために系統電圧の格上げも進められており、風車に用いられる変圧器、C-GIS等の機器や風車間をつなぐ連系ケーブルも36kVから72.5kVへの格上げが進められてきた。三菱電機では、その需要に対応するために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”)を製品化した。

本稿では、HG-VG-A形C-GISの概要及び採用技術について述べる。

## 2. HG-VG-A形C-GISの概要

### 2.1 洋上風力集電システムとC-GISの役割

図1は洋上風力集電システムの全体構成を示す。図のように風車は海底ケーブルによって直列に接続されて、風車で発電した電気エネルギーは洋上に設置された変電所に集められる。そのため複数の連系回路が洋上変電所から放射状に配置され、一つのプラントを構成する。集めた電気エネルギーは昇圧された後、海底ケーブルを介して陸上変電所へ送られる。図2では直列に接続された風車間の連系回路を、図3に風車に搭載するC-GISの単線図を示す。発電機で発生した電気エネルギーは変圧器で72.5kVまで昇圧され、海底ケーブルへ供給される。風車に搭載されているC-GISは破線で囲われた部分の回路を持っており、風車を保護するブレーカと海底ケーブル相互を接続及び断路の役割を担う。

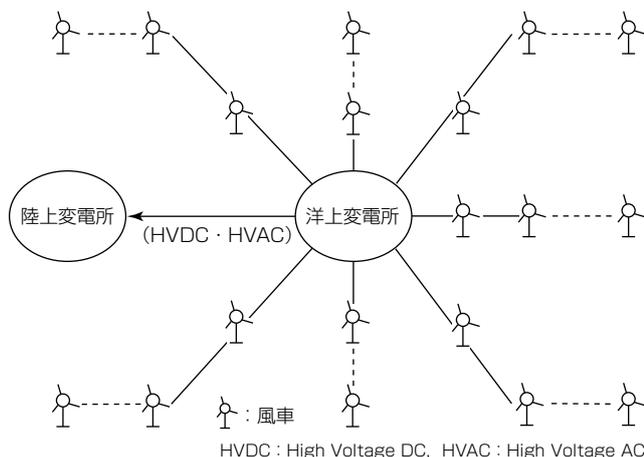


図1. 洋上風力集電システムの全体構成

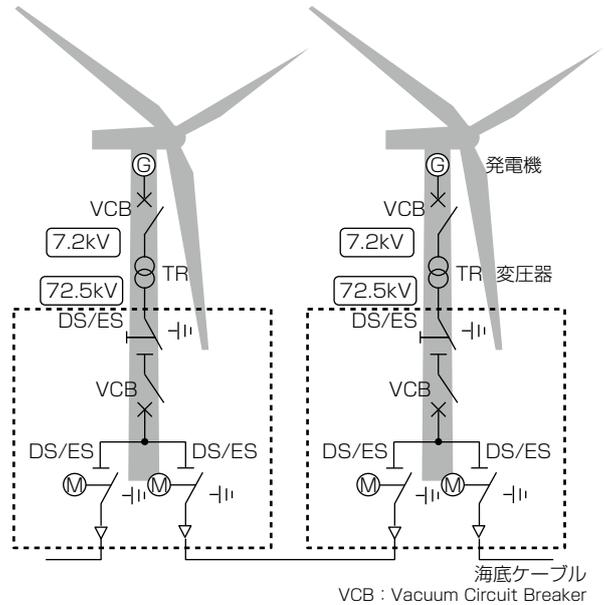


図2. 風車間の連系回路

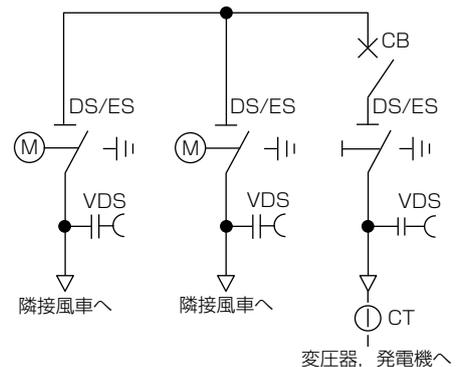


図3. 風車に搭載するC-GISの単線図

1章で述べた単基容量の増加に伴って、従来の系統電圧(36kV)では連系ケーブルの本数を増やす必要があった。連系ケーブル及びその敷設工事に要するコストはプラント建設に占める割合が大きいいため、連系ケーブルの本数を増やすよりも系統電圧を格上げして本数を抑制することでコストを抑えられると判断され、最近導入されている6～10MW風車のプラントでは72.5kV採用が主流になっている。

### 2.2 風車搭載での制約とC-GISの構造

#### 2.2.1 風車内レイアウト

三菱電機がC-GISを供給した風車には設置スペースの制約があり、それをクリアするためにC-GIS構造の見直しを行った。C-GISはタワー内の比較的低い位置に設置されるが、風車内部レイアウト及びハッチ寸法の都合から幅4,200mm、奥行き1,600mmのスペースに2.1節で述べた回路を持つC-GISを収める必要があった。三菱電機では、既に製品化していた国内向け72/84kV C-GISを流

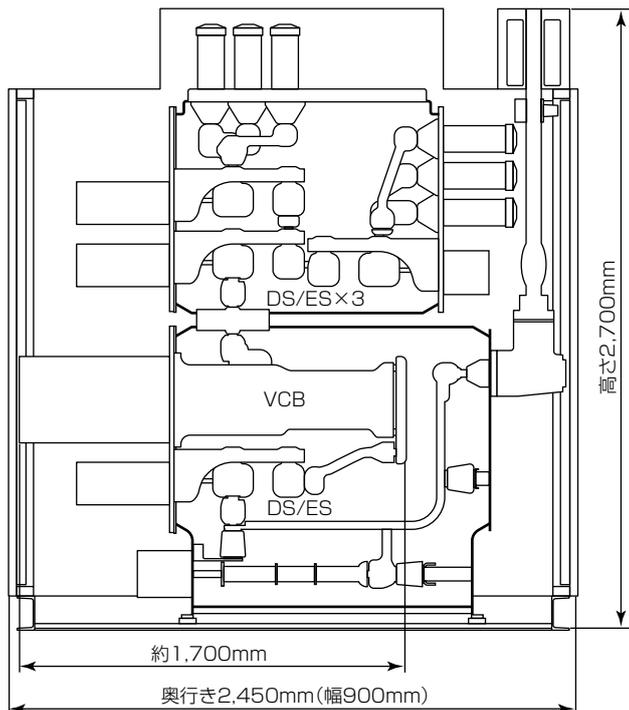


図4. 国内向け72/84kV C-GIS“HG-VG-A”の構造

用して洋上風力送電向けに適用する構想があった。図4に構造を示す国内向け製品は1回路ごとに1面を構成しており、2.1節で述べた洋上風力発電向けC-GISの単線から3回路・3面の構成になることが想定された。しかし、幅及び奥行き寸法は幅2,700mm、奥行き2,450mmと先述の風車内寸法制限の奥行き寸法を超えてしまうため、C-GISの構造を見直す必要があった。C-GISの回路で最も寸法の大きい開閉器であるVCBは奥行き寸法が約1,700mmあり、VCB単体で風車内奥行き寸法制限を超えているため、国内向けC-GISでは奥行き方向に配置されているVCBを90°回転して幅方向に配置することでC-GISの奥行き寸法を短縮し、風車内の寸法制限に収めた。

### 2.2.2 コンテナ輸送

風車内部への設置で、C-GIS高さ寸法の制限はなかったが、欧州まで大量輸送に対応するためにはコンテナに収納する必要があった。コンテナ収納に際しては、C-GIS本体の高さだけでなく木製スキッドを用いたフォークリフトによる移動が必須になるため、それらを考慮して2,200mm以内にC-GIS本体の高さを抑える必要があった。そこでつり金具の縮小化やガス絶縁部の電界最適化によって高さ寸法の制限をクリアした。

図1の集電システムからガス区画の分割は不要と判断して、従来の構造では各回路及び回路同士を接続する母線が独立したガス区画を持っていたが、必要な3回路分の開閉器を一つのガス区画に収納することで各回路間の距離を

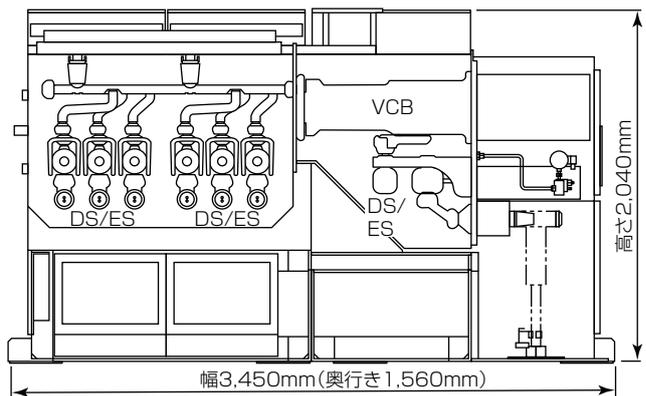


図5. HG-VG-A形C-GISの構造(つり金具除く)

表1. HG-VG-A形C-GISの仕様

項目	仕様
準拠規格	IEC 62271-203 IEC 62271-200(内部アーク)
定格電圧	72.5kV
定格電流	1,250A
定格周波数	50/60Hz
定格短時間耐電流	25kA・3s
封入ガス	SF <sub>6</sub> (六フッ化硫黄)
定格ガス圧力	0.05MPa-g(at20℃)

短縮してC-GISの幅寸法を最小化した。このようにしてHG-VG-A形C-GISは図5に示す構造を採用した。また、仕様は表1に示すとおりである。

## 3. HG-VG-A形C-GISの採用技術

今回製品化したHG-VG-A形C-GISで採用した主要な技術は、①機械的インタロック、②内部アーク対応、③海外規格に準拠したケーブル接続端末、④ENA(Energy Networks Association)規格への対応である。それらについて述べる。

### 3.1 機械的インタロック

今回は欧州市場で要求があるES(Earthing Switch)位置の機械的インタロックを具備した。その目的は、制御電源が消失されている場合でもインタロックが確実に機能する必要があるためである。HG-VG-A形C-GISでは、ケーブルの接続端末を囲うケーブル室のカバーとDS/ESの操作装置をワイヤで機械的に接続することで、DS/ESの操作装置をES接続状態(回路が接地された状態)に操作した場合だけカバーの開放が可能になり、なおかつそのカバーが開放された状態ではESの接続解除及びDS(Disconnecting Switch)接続の操作を行えなくする機械的なインタロック機構にした。DS/ES操作装置とケーブル室の関係を図6に示す。

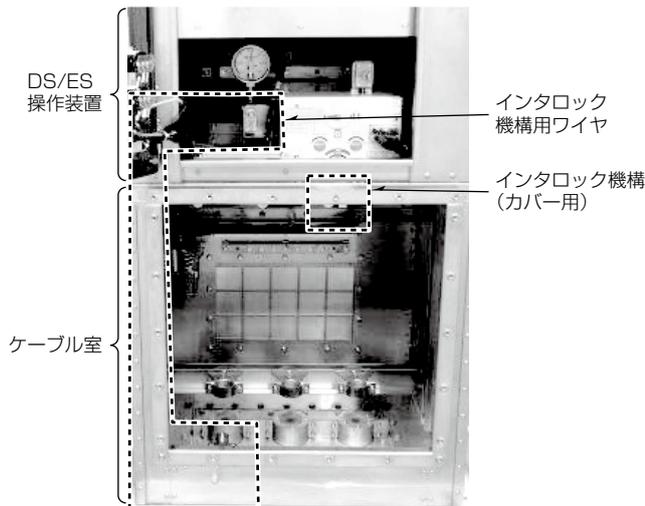


図6. DS/ES操作装置とケーブル室

### 3.2 内部アーク対応

C-GISの内部及びケーブルの接続端末付近で地絡又は相間短絡の事故が発生した場合、短絡によって発生したアークによる爆発(内部アーク)が起こる。仮に風車のメンテナンスを行っている際に内部アークが発生すると、生じた爆発によって作業員が危険にさらされる可能性があるため、洋上風力発電向けC-GISでは、IEC(International Electrotechnical Commission) 62271-200にあるAFRL相当の安全性の要求があった。AFRLとは、内部アークによって発生したアークガスの、C-GISの正面(F)・側面(L)・後面(R)への噴出を許容しないというものである。この要求に対して洋上風力発電向けC-GISでは、C-GIS内部で短絡事故が発生しても圧力タンク及び筐体(きょうたい)が破壊されることなく、発生したアークガスをC-GISの上方向へ噴出することで周囲の安全確保を可能にした。

C-GISに接続されるケーブルは、表面に接地層を持つ端末と、接地層を持つCVケーブルの組合せが主なので相間短絡は発生しにくいと想定されるが、IEC 62271-200ではケーブル室でも二相短絡条件での内部アーク対応が要求される。そのためケーブル室の筐体(きょうたい)には内部アークで発生する圧力に耐える構造を具備するとともに、ケーブル室をC-GIS前面に配置した関係でAFRLを満たすにはC-GISの幅方向から上方又は奥行き方向から上方へアークガスを噴出させる必要があった。図6に示すようにケーブル接続箇所は、ケーブル接続作業時のアクセスを考慮して各回路DS/ESの下方でC-GIS本体の前方に向けて配置されているため、図7に示すように金属のパネルで構成されたケーブル室の中で発生したアークガスを、同じく金属のパネルで構成して圧力タンク下方に配置したダクトと後方に配置した煙突を介して確実にC-GISの上方向へ噴出できる構造にしている。

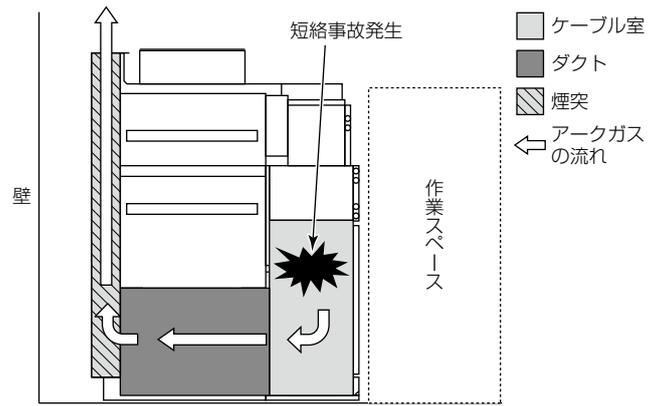
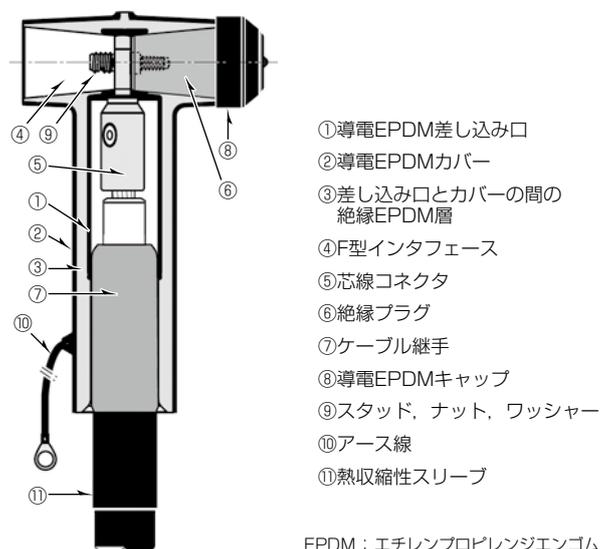


図7. 短絡事故発生時のアークガス放出経路

### 3.3 海外規格に準拠したケーブル接続端末

C-GISへケーブルを接続する方法として、日本国内の72/84kVクラスではT型又はI型の終端箱が用いられることが多い。これに対して洋上風力発電システムに用いられるケーブルではEN(European Norm)規格(EN 50181)のF型インタフェースという端末が選定された(図8)。F型インタフェースは、24/36kVクラスと同規格C型インタフェース(DINともいう)の適用電圧を格上げしたものであり、ケーブル端末にはT型のコネクタが適用される。これは洋上にある風車内でのケーブル接続作業を短時間で完了させるための配慮から選定されている。三菱電機の洋上風力発電向けC-GISは、DS/ES下部にケーブル接続端末を手前方向に配置し、ケーブル施工時のアクセス性を確保している。ケーブル接続端末を収納するケーブル室は、ケーブル施工に必要な作業スペース(高さ)を確保しており、C-GIS本体から下方での作業が不要な構造にしている。



EPDM: エチレンプロピレンジエンゴム

図8. ケーブル端末<sup>(1)</sup>

### 3.4 ENA規格への対応

風車が英国圏内に建設される場合、搭載されるC-GISにENA規格(英国の電気製品に関する安全規格)への準拠を要求される場合がある。今回対応した主な内容について述べる。

C-GISの主回路について、単線や開閉器の状態及び回路の充電状態を視覚的に表示する要求があり、その対応を図9に示す。ここでは風車の発電機につながる回路を表示しており、単線を模擬した図に配置された表示器が各開閉器の操作に連動して開閉器の状態を表す。また、VDS(電圧検知器)の表示部も配置されており、当該回路の充電状態を表示している。

開閉器の状態表示は状態ごとに色分けを行う必要がある。また、開閉器の操作装置は操作する部分ごとに施錠できなければならない。それらへの対応を図10に示す。三位



図9. ENA規格対応の表示(主回路の単線)

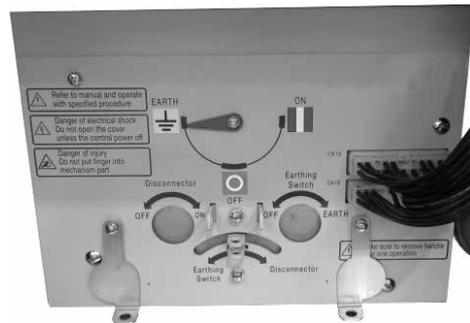


図10. ENA規格対応の表示(DS/ES操作装置)

置DS/ESの操作装置で、ES入、DS/ES切、DS入の状態をそれぞれ指定された色と記号で表示している。図の中央下寄りにはDS/ESを手動で操作する場合に操作ハンドルを挿入する操作口があり、その操作口に対してパドロックを施錠することで操作ハンドルが挿入できなくなるシャッターを設けている。

## 4. む す び

今回製品化した海外洋上風力発電向け 72.5kV C-GIS “HG-VG-A”について述べた。既に製品化されていた国内向け72/84kV C-GIS “HG-VG-A”のユニット及び構成技術を流用して最適化することで、新市場へ投入できる製品が完成した。

洋上風力発電は欧州を中心にアジア、北米でも2040年頃まで導入が促進される見通し<sup>(2)</sup>であり、再生可能エネルギー普及のために更なる供給の拡大を進めていく。

### 参 考 文 献

- (1) Nexans : カタログ“High Voltage Accessories up to 72.5kV”
- (2) IEA : “World Energy Outlook 2019” Figure 14.12 (2019)