

洋上風力発電事業を支える洋上施設アクセスギャングウェイの開発

Development of Offshore Facilities Access Gangway Systems to Support Offshore Wind Power Generation Business

水谷 浩也 小川 慶太郎 井上 敏之
Hiroya Mizutani Keitaro Ogawa Toshiyuki Inoue

杉 勝俊 石川 勝
Katsutoshi Sugi Masaru Ishikawa

要 旨

洋上風力発電により電力を安定に供給するうえで、洋上風車の稼働率向上は不可欠である。洋上風車の稼働率を高めるためには洋上風車の運転の安定化および維持管理（O&M¹）の安定化が重要となる。しかし、O&M作業員が小型船舶を用いて洋上風車へ移動する場合、気象条件や海象条件により、作業員の安全性確保の観点から作業を断念することも少なくない。そこで当社は、フライトシミュレータやドライビングシミュレータの永年の開発により培ってきた6軸モーションベース技術を動揺補正制御に応用し、洋上風車への移乗時に気象条件や海象条件の影響を受けにくい小型船舶向けの洋上施設アクセスギャングウェイを国内において初めて開発した。

Abstract

Improving the availability of offshore wind turbines is essential to ensure a stable supply of electricity from offshore wind power generation. Stable operation and maintenance (O&M¹) of offshore wind turbines are important to improve their availability. However, when O&M workers transfer to offshore wind turbines by small vessels, they often have to abandon their work due to weather and sea conditions to ensure worker safety. Therefore, JRC has applied its 6-axis motion base technology, cultivated through the development of flight simulators and driving simulators over many years, to motion compensation control, and has developed Japan's first offshore facility access gangway systems for small vessels that are less affected by weather and sea conditions when transferring to offshore wind turbines.

1. まえがき

産業革命以降、人々の生活水準が向上する一方で地球温暖化が顕在化する中において、再生可能エネルギー活用への声が高まっている。海に囲まれた日本は洋上風力発電のポテンシャルが非常に高く、国策としても洋上風力発電の開発が進んでいる。近年では、洋上風力発電促進区域が設定され、各区域におけるウィンドファーム²事業の入札も進んでいる。2021年にはラウンド³1として三つの海域に対する落札事業者が公表された。さらに2023年にはラウンド²として新たに四つの海域に対する落札事業者が公表された。このような背景により、今後、沿海域における洋上風力発電設備の建造計画が加速される。

洋上風力発電のサプライチェーンのコスト構造において、O&Mはコスト構造全体の36.2%を占めており⁴、作業員輸送船の稼働率向上は安価かつ安定な電力供給を実現するう

えで非常に重要である。洋上風力発電において、洋上風車へのO&M作業員の移動や荷物の移送には船舶を使用する。遠浅な地形が続く欧州では沿岸から離れた海域にウィンドファームが建造され、O&Mにおいては長期間にわたりメンテナンス技術者を洋上風車へ派遣するため、作業員用居住設備や移乗設備を備えた大型の船舶（SOV⁴）が用いられる。一方、遠浅な地形が少ない日本においては前述の洋上風力発電促進区域が沿海域に設定されており、港湾に近い海域にウィンドファームが建造されることから、洋上風車へのメンテナンス技術者の派遣において、小型で機動力のある船舶（CTV⁵）の活用が期待されている。

気象や海象（波浪、潮流、風など）の影響を受けて動揺する船舶から洋上風車へ移乗する際、大型船であるSOVにおいては船舶と洋上風車間の距離を一定に保つ自動船位システム（DPS⁶）および船体の動揺を軽減させる大型アクセスギャングウェイ（以下、ギャングウェイ⁷）が備えられる。

¹ O&M (Operation and Maintenance)：洋上風車の運用および維持管理

² ウィンドファーム (wind farm)：多数の風力発電機を一か所に設置した施設。集合型風力発電所とも呼ばれる。

³ ラウンド：日本近海に指定される洋上風力発電促進区域の各々における建設ならびに運用事業者を決定するための入札

⁴ SOV (Service Operation Vessel)：洋上施設への作業員の搬送および施設における長期間の作業を支援するための船舶

⁵ CTV (Crew Transfer Vessel)：洋上風力発電施設の建造および維持管理に用いられる作業員輸送船

⁶ DPS (Dynamic Positioning System)：船体を所定の位置に誘導するシステム

⁷ ギャングウェイ：船体と移乗先との間を結ぶ架橋

しかし小型船であるCTVには大型ギャングウェイを備えることが不可能であり、海況⁸の影響を受けやすく洋上風車へ移乗できる確率がSOVと比べて低いのが現状である。日本における洋上風力発電事業を活性化するうえで、CTVに搭載できる小型ギャングウェイはO&Mの稼働率向上に大きく貢献する。

当社は、フライトシミュレータやドライビングシミュレータなどを永年にわたり開発し、市場へ送り出してきた⁽¹⁾。これら装置の開発により培ってきた動揺制御技術をギャングウェイへ応用し、国内で初となるCTV向けギャングウェイの開発を進めてきた。本稿では、CTV向け洋上施設アクセスギャングウェイ（以下、本装置）の機能、構造および設計への取り組みについて紹介する。

2. 洋上施設アクセスギャングウェイ

従来、人員がCTVから洋上風車へ移乗する際には、CTVは船体を洋上風車へ押し付けるように操船されていた。この時、CTVは波浪により動揺し、洋上風車との接続先の位置も上下に変動する。甲板上に待機する乗客者は、動揺が小さくなるタイミングを見計らい、CTVの船首から洋上風車へ移動するが、突発的な動揺による落水のリスクが免れなかった。

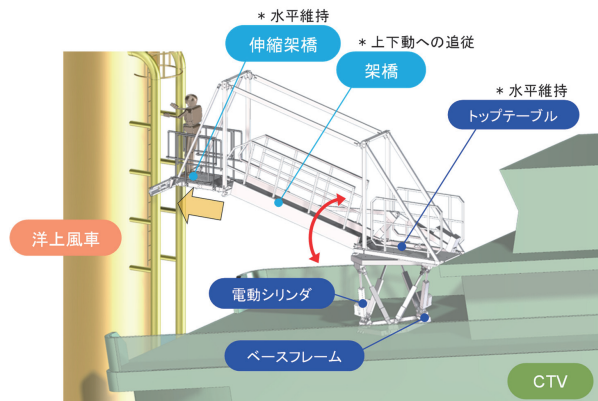
本装置はCTVの甲板上に設置され、CTVの動揺による洋上風車との間に生じる上下方向の位置変化を相殺するように補正を行うことにより、CTVと洋上風車との間の安全な移乗を可能とする。本装置の使用イメージを図1に示す。



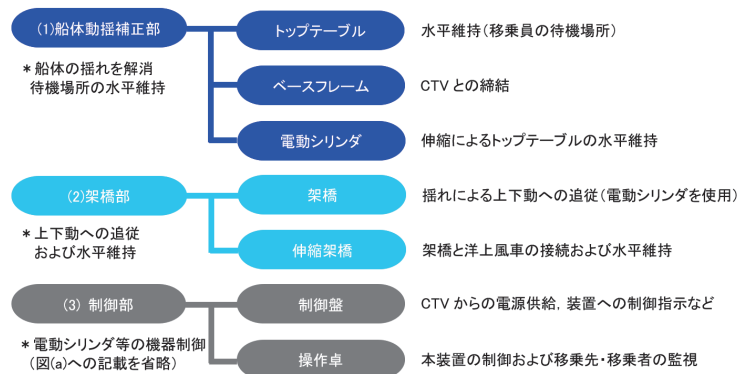
図1 CTVから洋上風車への移乗の様子

Fig.1 Schematic of the transfer to an offshore wind turbine from CTV

本装置は、船体の動揺を検知し補正する「船体動揺補正部」、CTVと洋上風車との間の移乗通路となる「架橋部」および本装置を操作する「制御部（制御盤・操作卓）」により構成される。本装置の概略と機器構成を図2に示す。



(a) 本装置の概略



(b) 機器構成と機能

図2 本装置の概略と機器構成

Fig.2 Overview and system configuration

⁸ 海況：本稿では波浪、潮流などを指す

2.1 船体動揺補正部

船体動揺補正部は、CTVの甲板に本装置を接続するベースフレーム、移乗者の待機場所として水平維持機能を有するトップテーブル、およびベースフレームとトップテーブルを接続する6本の電動シリンダにより構成され、スチュワートプラットフォームと呼ばれる機構を採用する。本装置は6本の電動シリンダの伸縮により6自由度の運動軸（並進3軸、回転3軸）を再現する機構を備え、この機構によりCTVの縦揺れ（ピッチ軸の回転運動）および横揺れ（ロール軸の回転運動）を補正する。本装置の近傍に設置した船体動揺計測装置により取得した動揺情報をもとに、制御盤のPLC⁹がトップテーブルの姿勢を水平に保つよう各シリンダの伸縮量を計算し、計算結果を伸縮指示として受令した6本の電動シリンダが個々に伸縮することによりトップテーブルが常に水平姿勢を保ち、CTVの船体動揺を補正する。

従来、当社が開発を続けてきたドライビングシミュレータは、発進・停止、坂道走行および旋回などの運転操作に応じて発生する加速度を模擬的に再現する制御を行う⁽¹⁾。一方、本装置はドライビングシミュレータと逆の制御を行うことにより動揺を打ち消す。ドライビングシミュレータと本装置の制御の違いを図3に示す。ドライビングシミュレータは、図3(a)に示すように、運転操作に合わせて並進・加減速の制御を行うことによりトップテーブル側を揺らす。本装置においては、図3(b)に示すように船体の動揺を打ち消す制御を行い、トップテーブルを安定化する。

2.2 架橋部

架橋部はCTVと洋上風車との間の通路であり、トップテーブル上に設置される。前項で述べたとおり、本装置は船体動揺補正部によりCTVのピッチ（縦軸の回転）およびロール（横軸の回転）方向の運動（揺れ）を軽減させるが、上下方向および前後方向の運動量が大きいことから、作業員の安全性をより向上させるため、架橋部においても動揺補正制御を行う。

架橋の上下方向の動揺補正は、トップテーブルに備えた電動シリンダを伸縮させて架橋を傾斜させる制御により行い、この制御によりCTVと洋上風車の間における上下方向の位置変動を軽減させる。伸縮架橋は洋上風車と正対し、先端ステップと洋上風車の間に隙間が生じないように先端ステップを洋上風車へ常に押し付けるように動作する。また、平行リンク機構の採用により伸縮架橋は常に水平姿勢を維持し、移乗時の安全性を高めている。

2.3 構造物の強度計算

既述した船体動揺補正部や架橋部は、装置の自重や動作により生じる荷重に加え、波浪や風などの外部環境により生じる荷重に対しても十分な強度を満たすように設計した。本装置の強度設計においては、図4に示す人員移乗（図4(a)）やCTV航行（図4(b)）などの予め想定した使用条件の下において本装置へ作用する荷重をMBD解析¹⁰により算出し、最大荷重が発生する条件を見積もった。この最大荷重条件に対し、装置を構成する部品やアSEMBリの強度をCAE¹¹により評価した。

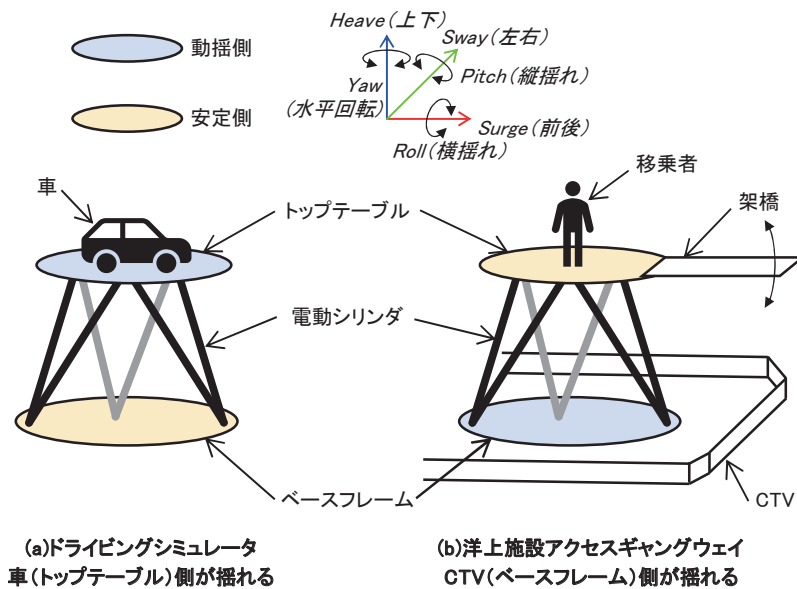


図3 ドライビングシミュレータと本装置の制御の違い

Fig.3 Differences in control between the driving simulator and this system

⁹ PLC (Programmable Logic Controller) : 本装置の動作を司る制御装置

¹⁰ MBD (Multi-Body Dynamics) 解析 : マルチボディダイナミクス解析。構成する部品が剛体としてどのような運動をするか、またその運動の過程でどのような荷重が発生するかを算出する解析手法

¹¹ CAE (Computer Aided Engineering) : コンピュータ支援設計

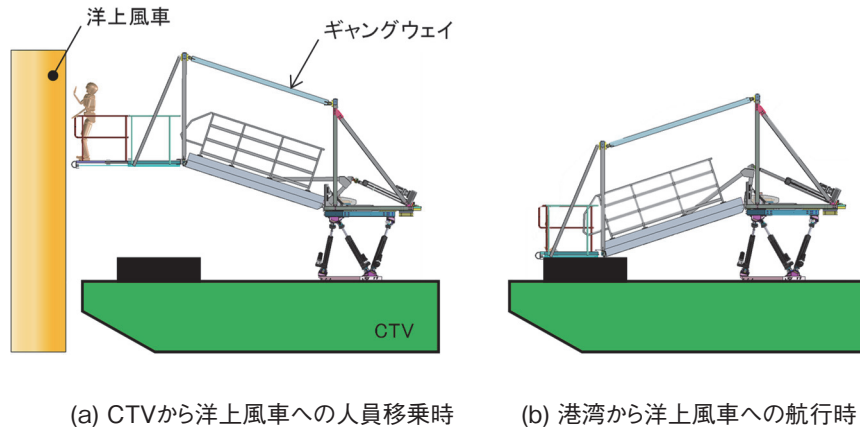


図4 本装置の使用シーン例

Fig.4 Schematics of the operation/stowed scene

本装置の評価は、装置の稼働中に発生する最大荷重を考慮した静的強度に加え、装置に作用する荷重に伴う疲労強度も考慮して実施した。この際、多種多様な稼働条件および荷重条件の下で部品に作用する荷重から応力を算出し、線形累積損傷則¹²⁾による疲労強度を評価した。また無数に存在する荷重条件に対し、CAEソフトウェアの組み合わせ荷重ケース機能を用いることにより強度計算に要する時間を短縮した。

2.4 制御部

制御部は、動揺補正用の電動シリンダや移乗可否通知用の信号灯などを制御する制御盤と、装置の操作および動作状態確認を行う操作卓により構成される。動揺補正量は制御部内のPLCにより計算され、個々の電動シリンダに対する伸縮量の指令が出力される。PLCは、電動シリンダの動作量、動作速度およびシリンダに生じるトルクなどの計測を常時行う。操作卓は、本装置の制御に関わるボタン、先端ステップや移乗先の状態を監視するモニタ、操作者の音声を移乗者へ伝えるハンドセット、および緊急停止ボタンなどを備える。操作者は、電動シリンダの状態や架橋の先端ステップと移乗先との接続状態などを総合的に判断して移乗可否を決定する。

制御盤および操作卓は甲板上に設置されるため、揺れや波しぶきに対する高い耐性（耐振性能、耐水性能）が求められる。設計においてはこのような耐性を考慮するとともに、気温や湿度の変化が著しい日本の沿海域における使用に十分耐えるよう耐環境性へも配慮している。

本装置は移乗者の安全確保を最重視し、構造物の強度設計の最適化に加え、各部のバックアップシステムや監視システムを備えることにより安全性を向上させている。さらに、本装置の設計が高い安全性を満たしていることについて第三者機関の審査を受け、承認を取得している。

3. フランス船級協会¹³⁾による基本承認の取得

本装置の開発は国内初であるが、本稿執筆時点においてCTVやギャングウェイに関わる規格が存在しないことから、洋上風力発電事業を先駆けて推進している欧州のフランス船級協会（BV¹⁴⁾）が定める大型ギャングウェイの規格を参考にして設計した。本装置は2022年12月にBVから基本承認（AIP¹⁵⁾）を取得した（図5）。AIPにおいては、本装置の仕様および運用方法に加え、安全な運用を維持するための故障モード影響解析（FMEA: Failure Mode and Effects Analysis）の実施結果について審査を受けた。なお、BVからは、CTV向けギャングウェイの構造や設計方法について、大型ギャングウェイや船舶の設計実績や規格の観点にもとづく助言を受けている。



図5 本装置に対するAIP（証書）

Fig.5 AIP certification

¹²⁾ 線形累積損傷則：物体が一定ではない波形の変動応力を受ける時に、疲労破壊までの寿命を予測する経験則

¹³⁾ 船級協会：船舶および船体設備の技術上の基準を定め、設計が基準を満たすことを確認するとともに、製造、設置および使用の各期間において検査し、基準に合致していることを保証する認証機関

¹⁴⁾ BV (Bureau Veritas)：フランス船級協会（1828年に第三者機関として発足した船級協会）

¹⁵⁾ AIP (Approval in Principle)：設計初期段階にある製品に対し、規則に基づいた観点で技術的な実現可能性を確認するスキーム。基本設計承認とも呼ばれる。

4. 開発の将来展望 (2軸動揺補正装置)

当社は、CTVよりもさらに小型の船舶にも適用が可能な装置として、本装置のほかに、船体の横揺れ(ロール軸の回転運動)・縦揺れ(ピッチ軸の回転運動)のみを補正する2軸動揺補正装置の開発も進めている。ロール軸とピッチ軸の回転による動揺を補正することにより、トップテーブル上は常に水平を保つように制御され、洋上風車への移乗者の足元安定化のほか、船舶上における(a)機器操作時の足元安定化、(b)傷病者の搬送サポート、(c)装置姿勢の安定化など多くのシーンにおける貢献が期待される。2軸動揺補正装置の活用例を図6に示す。

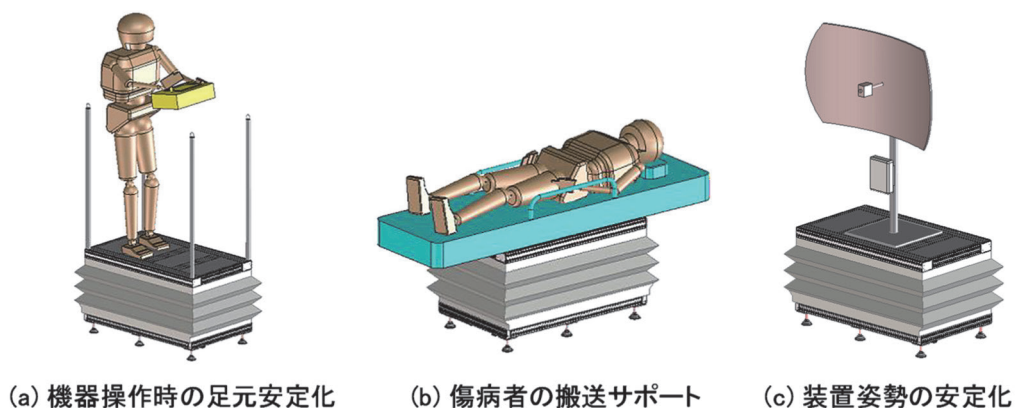


図6 2軸動揺補正装置の活用例

Fig.6 Usage examples of 2-axis motion compensation system

5. あとがき

当社が培ってきた6軸動揺制御技術を応用して開発した国内初のCTV向け洋上施設アクセスギャングウェイについて紹介した。

地球温暖化や原油価格の高騰により今後さらに再生可能エネルギーの需要が高まり、洋上風力発電事業の活況化が見込まれる中において、洋上風車の安定稼働を保つうえでメンテナンスは不可欠である。そして、洋上風車へのアクセスはメンテナンスの成否に大きく影響する。本装置によりCTVと洋上風車との間における移動の安全性を高め、洋上風力発電事業の活況化に大きく貢献することが期待される。

謝辞

本装置の設計、評価にあたり多くの方々のご協力をいただきました。船主、造船所、運航会社、建設会社および公的機関の皆様をはじめとする多くの方々のご協力に対し、ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 協坂, et al., “6軸モーションベースの開発”, 日本無線技報 第66号 pp42-45 (2014)

関連情報

- (2) 国土交通省ウェブサイト, “洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会”

<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001354521.pdf>