

# 海底電力ケーブルシステムの技術動向と開発課題および取り組み ～ SDGs 達成への貢献～

## Technological Trends, Development Tasks and Initiatives for Submarine Power Cable Systems ～ Contribution to the Achievement of SDGs ～

桑原 諒介 \*1  
Ryosuke Kuwabara

丸山 悟 \*1  
Satoru Maruyama

茂森直登 \*1  
Naoto Shigemori

大竹陽介 \*1  
Yosuke Otake

松浦正樹 \*1  
Masaki Matsuura

越後雅邦 \*2  
Masakuni Echigo

末海 竜 \*3  
Ryo Matsumi

### 〈概要〉

近年、SDGs達成や2050年カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが活発となり、エネルギー構造の変革に注目が集まっている。中でも洋上風力発電は2040年に発電量を30～45 GWとする目標が政府より掲げられており、それに伴う海底電力ケーブルの需要が高まっている。また、洋上風力発電は風況の良い北海道や東北、九州地域への集中的な導入が想定されているため、電力大需要地である首都圏や関西圏へ送電するための長距離海底送電網の整備が計画されるなど、海底電力ケーブルの重要性はこれまでよりも増している。当社では、これらの需要に応えるべく多方面からの技術開発を行っており、本論文では、近年の海底電力ケーブルの開発状況や今後の技術動向について述べる。

### 1. はじめに

21世紀に入り世界的に地球温暖化が原因と考えられる自然災害が増加している。そのため、SDGs達成や2050年カーボンニュートラル実現への取り組みが活発となり、エネルギー構造の変革に大きな注目が集まっている。近年の日本国内における電源構成とエネルギー基本計画に掲げられている2030年度の見通しを図1に示す。CO<sub>2</sub>排出量が多い化石燃料を用いた発電の割合が高く、再生可能エネルギーの割合は18%（水力発電を抜いた場合は10%）に留まっているが、2030年には37%程度まで高める計画になっている。エネルギー供給における脱炭素化に向けた動きは世界的な潮流であり、各国が対策を進める中、日本としても急ピッチでの対策が求められている。

そこで、周囲を海に囲まれた島国である日本は、その地理的特長を活かし、洋上風力発電をエネルギー政策における主力電源の切り札としている<sup>1)</sup>。2019年4月には「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」が施行され、大型洋上風力発電開発を進める上での法律的基盤が築かれた。2020年12月に行われた「洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会」では、2030年に10 GW、2040年には

30～45 GWの導入目標で合意され、すでに国内4か所で合計1.5 GWの公募が始まっており、洋上風力発電の更なる増加が期待される。更に、洋上風力発電の導入ポテンシャルが高い地域は北海道や東北、九州地方であり、電力大需要地とは離れている。そのため、全国大での海底直流送電網の整備が計画される<sup>2)</sup>など、海底電力ケーブルの需要は現在よりも大幅に増加することが予想される。

当社としてはこれらの期待に応え、SDGs達成や2050年カーボンニュートラル実現に貢献するべく、多方面から海底電力ケーブルの開発を行っており、本稿では現在の開発状況や今後の技術動向について述べる。

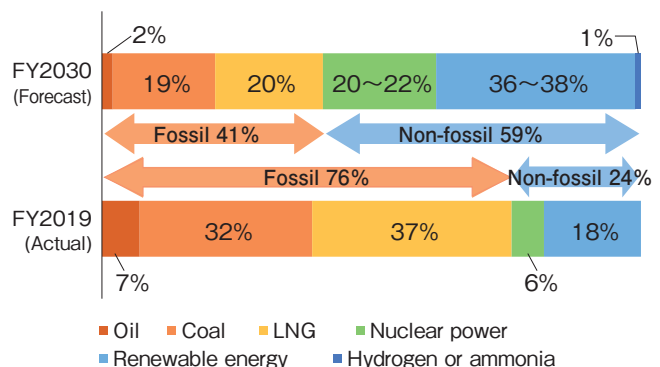


図1 2019年度(実績)と2030年度(見通し)の電源構成比較<sup>3)</sup>  
Comparison of power supply composition between FY2019 (actual) and FY2030 (forecast).

\*1 電力事業部門 技術開発部

\*2 電力事業部門 電力技術部

\*3 電力事業部門 新エネルギーエンジニアリング部

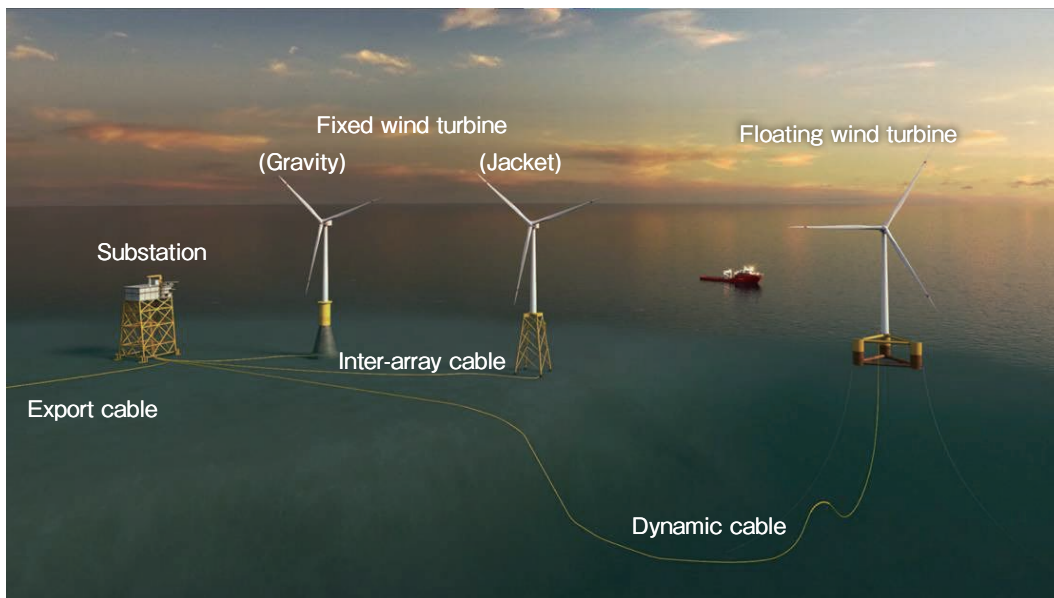


図2 洋上風力発電のイメージ<sup>4)</sup>  
Image of offshore wind power generation.

## 2. 着床式洋上風力発電向け海底電力ケーブル

図2に洋上風力発電のイメージ図を示す。現在、世界的に事業化されているほとんどの洋上風力発電は着床式と呼ばれる基礎を海底に建てる方式のものである。そのため、比較的浅い水深60 m以下程度の海域で導入が進められている。使用されるケーブルは、風車間あるいは風車と洋上変電所を繋ぐインターアレイケーブルと、洋上変電所から陸上までを繋ぐエクスポートケーブルの2種類に大別されるが、いずれのケーブルにしても着床式の場合には、ケーブルの大部分は埋設などによって固定された状態で布設されるため、基本的に疲労などを考慮する必要はない。しかし、基礎周囲の一部においてはケーブルが露出するため、Cable protection system (以下、CPS) を取り付けて疲労対策などを実施することが一般的である。

日本国内における着床式の洋上風力発電は2023年頃から本格的に導入が開始される。それに合わせて当社では、これまでの海底電力ケーブル開発で培ってきたノウハウを活かし、開発を着実に進めている。

### 2.1 インターアレイケーブル

洋上風力発電導入の初期段階においては1つの港湾区域に対し3～5 MW程度、送電電圧はAC22/33 kV級であった。一方で、近年では発電規模の拡大によって、8～12 MW超級の風車を用いた検討に移行し、送電電圧もAC66 kV級が主流となったため、ケーブルは以前よりも大型化している。加えて、Wind Farmにおける設置風車が増加していることもあり、インターアレイケーブルの布設数は増加し、施工性が非常に重要になっている。そのため、インターアレイケーブルにおいては軽量化に向けた開発が重要視されるようになってきている。

これまでのインターアレイケーブルは、島嶼連系用のケーブルで一般的に用いられる、架橋ポリエチレン絶縁鉛被鉄線鎧装海底電力ケーブルが主流であった。本ケーブルは水トリー発生防止用の遮水構造として鉛被を用いているが、鉛を用いること

によりケーブル重量は増加する。

そこで、昨今の着床式洋上風力発電設備向けインターアレイケーブルの技術動向を踏まえ、より安価で軽量のSemi-dry構造の採用を検討している。Semi-dry構造をした海底電力ケーブルの断面構造を図3に示す。特長としては、Tree retardant XLPE (以下、TR-XLPE) の適用と鉛被レス化の2つが挙げられる。TR-XLPEとは、従来のXLPEにはない水トリーを抑制する機能をもった絶縁材料であり、元々海外向けAC33 kV以下の配電地中ケーブルに適用されていた。

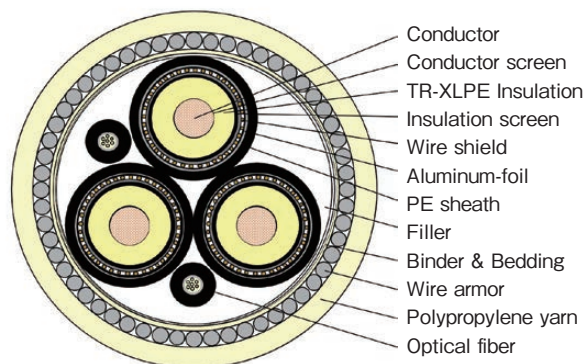


図3 Semi-dry 構造型海底電力ケーブルの断面図  
Cross section of semi-dry structured submarine cable.

TR-XLPEの適用により、ケーブル遮水層を従来の鉛被のような完全遮水ではなく、アルミラミネートのような簡易遮水が適用できるようになり、ケーブルの軽量化を図ることが可能になる。また、鉛は環境負荷物質に指定されており、使用量を減らすことはSDGs達成にも貢献できる。

## 2.2 エクスポートケーブル

エクスポートケーブルは、これまで島嶼連系などで用いられていた大型の海底電力ケーブルと同様の構造である(図4)。先述したように各風車で発電した電力は一般的に洋上変電所に集約され、送電ロスを減らすため昇圧して陸上まで送られる。現状のエクスポートケーブルの主流はAC154 kV級であるが、洋上風力発電の設置場所は好風況を求め徐々に沖合へと拡大してきており、更に設置風車の増加により発電量も増している。それに伴ってより経済的に送電するため、現在よりも高電圧であるAC220～275 kV級のエクスポートケーブルが今後はスタンダードになっていくと予想される。

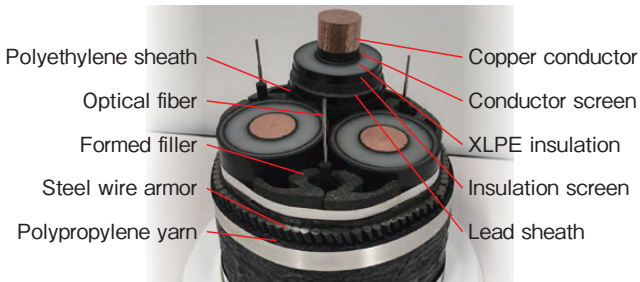


図4 AC275 kV 1400 mm<sup>2</sup> 海底電力ケーブル  
AC275 kV 1400 mm<sup>2</sup> submarine cable.

当社は高電圧化に向け、技術的な開発と製造設備面の両面からアプローチを行っている。技術開発としては、長尺海底電力ケーブル製造のための工場接続部(FJ)や、修理用接続部(RJ)の認証に向けた開発を進めている。製造設備としては、これまでよりも大型化したケーブルを撚り合わせるため、大型の撚り合わせ機が適用される。

## 3. 浮体式洋上風力発電向け電力ケーブル

浮体式洋上風力発電とは、浮体の上に風車が建設された発電方式である(図2)。水深がおおよそ60 mを超える海域では、一般的に浮体式洋上風力発電が着床式よりもコスト優位になるため、浅い海域に限られる日本においては浮体式の方が適している。加えて、図5に示す通り風が強い好風況域が大きいことも利点となっており、浮体式洋上風力の発電ポテンシャルは約424 GWと試算され、非常に大きな可能性を秘めている(着床式は約128 GW)<sup>5)</sup>。

現状、浮体式洋上風力発電は実績に乏しいものの、導入ポテンシャルの高さや課題克服への可能性も考慮して、2030年頃から浮体式の大規模Wind Farmが増加していくことが期待されており、当社としてもそこに貢献すべく、浮体式洋上風力発電向け電力ケーブルの開発を行っている。

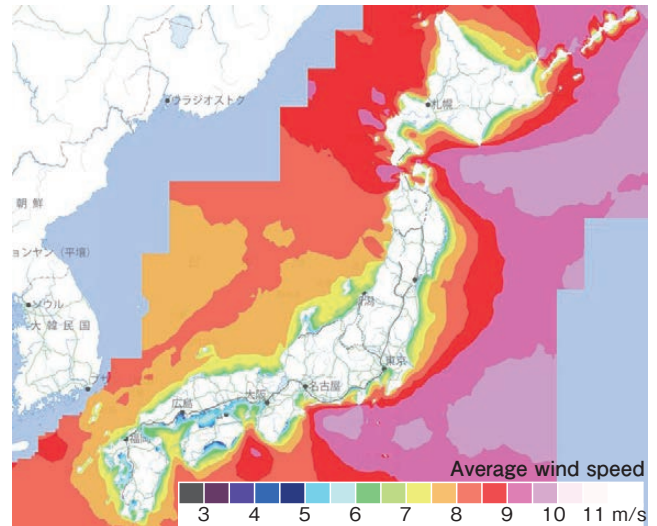


図5 日本近海における風況<sup>6)</sup>  
Wind conditions in the seas around Japan.

## 3.1 ダイナミックケーブル

図6にダイナミックケーブルの構造を示す。浮体式風車から引き出される電力ケーブルは一般にダイナミックケーブルと呼ばれ、浮体の波浪動揺や潮流による流体力によって曲率変動や張力変動などのダイナミック挙動を繰り返し受けるため、ケーブルには張力や曲げに対する耐久性(耐疲労特性)が求められる。そのため、可撓撚り導体、ワイヤ遮蔽層、曲げ疲労に優れた金属遮水層、二重交互撚り鎧装などの設計としている。

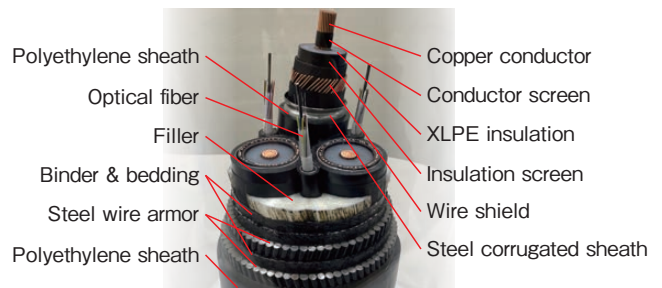


図6 AC66 kV 100 mm<sup>2</sup> ダイナミックケーブル  
AC66 kV 100 mm<sup>2</sup> dynamic cable.

当社は、2013年に開始された経済産業省からの委託事業であるFukushima Forward Project<sup>7)</sup>に参画した。本プロジェクトは、東日本大震災被害からの復興に向け、再生可能エネルギーを中心とした新たな産業や雇用の創出を目的とし、福島県沖合に2 MW、5 MW、7 MWの3種類の浮体式風車を設置稼働させ実証実験を行ったものである。当社としては、世界に先駆け、浮体式洋上風力発電の実現とその安全性・信頼性・経済性の検証のため、風車から洋上変電所までのAC22 kVダイナミックケーブルと、洋上変電所から陸揚げ地点までのAC66 kVダイナミックケーブル及び海底ケーブルを供試した。AC66 kVダイナミックケーブルはこれまでに例のないサイズ、電圧階級ではあったが、結果としてケーブルの稼働率は100%であり、当社のダイナミックケーブルは信頼性が高いものであることを示

すことができました。

更に、当社は Fukushima Forward Project で示した技術力が高く評価され、英カーボントラスト社から超高压ダイナミックケーブルの技術開発業務を受注し<sup>8)</sup>、構造設計・布設設計などを実施した。現在、カーボントラスト社を筆頭に、洋上風力発電向け電力ケーブルは電圧階級を高める検討がされており、将来的にエクスポート用のダイナミックケーブルでは高電圧化(AC66 kV 超～275 kV 級)が求められると予想される。当社はそのニーズに対応するべく、世界に先駆けた研究開発を行っている。

### 3.2 低コスト化に向けた技術開発

図7に浮体式風車例を示す。現在の浮体式洋上風力発電における係留方式はスパー型やセミサブ型などの緩係留方式が一般的である。しかし、この方式では浮体の動揺が大きく疲労対策によりケーブルシステムが高コスト化してしまうことや、海域専有面積が広く漁業や船舶運航への影響が大きいことが課題とされている。そこで、現在は緊張係留方式(Tension Leg Platform 式(以下、TLP))の浮体・係留システムの研究が進められている。TLPは緩係留方式に比べ優れた動揺特性を有しているため、ケーブルシステムを簡略化することができ、かつ係留索による海域占有面積を大幅に削減することができる。そのため、社会受容性が高く、より低コストな浮体式洋上風力発電の実現に貢献することができる。



図7 浮体式風車の例<sup>9)</sup>  
Example of a floating wind turbine.

## 4. 広域連系向け海底電力ケーブル

冒頭述べたように国内の洋上風力発電の適地は北海道、東北、九州地方に多いが、これらは電力大需要地から離れている。そのため、発電した電力の輸送において、送電系統の空き容量不足が問題となっており、海底直流送電網の整備が計画されている。

図8は直流送電と交流送電システムのコストを比較した概念図である。直流送電システムは、交直損益分岐点を超えるような大容量・長距離での使用に適しており、海底電力ケーブルの場合は一般に50 km程度とされているため、上述の送電網構築においては有利である。

更に、この送電網を用いて複数の Wind Farm と陸上の電力系統を多端子接続することで、地域間の電力供給が可能となり、レジリエンス強化にも繋がる。

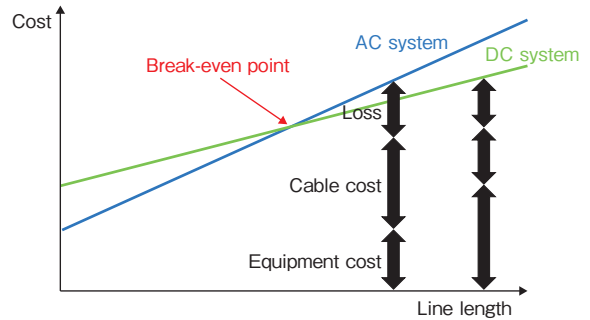


図8 交流と直流システムのコスト比較  
Cost comparison between AC and DC systems.

### 4.1 直流用絶縁材料の開発

従来から交流用に用いられてきたXLPE(以下、AC-XLPE)は、直流電圧下において、絶縁体内部に空間電荷が蓄積することで絶縁性能が低下することが報告されている<sup>10)</sup>。そのため、超高压直流送電では直流用に開発されたXLPE(以下、DC-XLPE)を主絶縁としたケーブルが適用されている。

図9にAC-XLPEとDC-XLPEの空間電荷測定結果を示す。AC-XLPEでは極性反転によって空間電荷分布が大きく変化しているのに対し、DC-XLPEは非常に安定した空間電荷分布になる<sup>11)</sup>。このように直流ケーブル向けの絶縁材料では、空間電荷特性の他、体積抵抗率や長期絶縁特性が重要であり、当社はこれまでの交流材料とは異なる特性を持った絶縁材料の開発に取り組んできた。

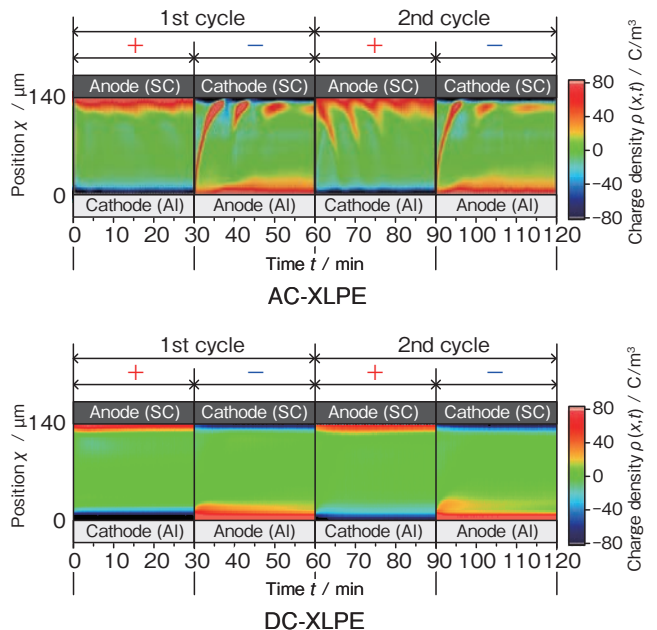


図9 交流材と直流材の空間電荷特性比較  
Comparison of space charge characteristics between AC and DC materials.

### 4.2 直流ケーブルシステムの最適化

広域連系向け海底電力ケーブルなどは、数百kmにおよぶ超長距離送電となるため周囲環境によって部位ごとに基底温度が大きく異なる。一般的には、海中部よりも陸上部の熱的条件が

厳しくなる傾向があり、ケーブルの設計（導体サイズの選定）においては熱的に一番厳しい部位を基準にするため、導体サイズが大きくなり高コスト化に繋がる。そのため、熱的な制約を受けやすい部分と受けにくい部分（例えば海中中部）の導体サイズを適切に変えることで、システム全体のコストを小さくすることが可能になる。当社では、導体サイズの異なるケーブル工場接続部（異径FJ）を含んだ直流海底電力ケーブル送電システムの開発を進めており、DC500 kV級の開発に成功している<sup>12)</sup>。図10はDC525 kV海底電力ケーブルシステム開発に供試したケーブルを示しており、長期性能試験としてCIGRE TB496 (VSC条件)<sup>13)</sup>に準拠した1年間の課通電試験を実施し、残存試験も含めすべての試験メニューに合格し、良好な結果を得ることができた。

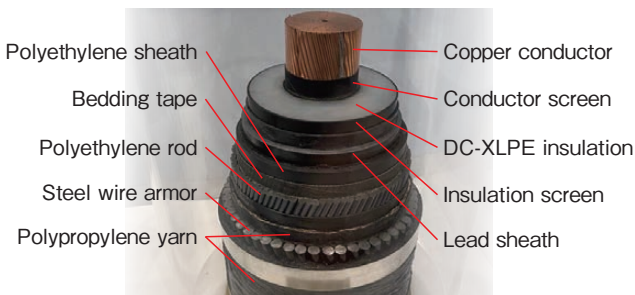


図10 DC525 kV 1800 mm<sup>2</sup> 海底電力ケーブル  
DC525 kV 1800 mm<sup>2</sup> submarine cable.

また、従来の海底電力ケーブルは布設可能な水深に制限があり、約300 m程度までである。そのため、広域連系向けの超長尺海底電力ケーブルを布設する際には、大水深海域を迂回し浅海部に沿ったルート設定をする必要があり、高コスト化や布設期間の長期化を招いてしまう。そこで当社では、最大水深1500 m級の深海に布設可能なDC500 kV級直流ケーブルの設計、製造技術の開発と、これまでと同コストレベルでの布設技術の開発を進めている。

### 5. 洋上風力向け電力ケーブルの布設技術

当社は島嶼連系の海底電力ケーブルに関して、100年以上の経験と非常に多く（約300件、2,000 km以上）の納入実績がある。洋上風力発電事業においても、国内初のケーブル布設を実施するなど洋上風力の黎明期から発展を支えている。これまでの布設実績を表1に、またFukushima Forward Projectにおけるケーブル布設船の様子を図11に示す。

#### 5.1 着床式洋上風力発電向け海底電力ケーブルの布設技術

着床式向け海底電力ケーブルの布設手順を図12に示す。布設船上の海底電力ケーブル端部にCPSと呼ばれる風車裾用の保護管を取り付ける。布設船上から海底電力ケーブルを送り出し、風車基礎へ海底電力ケーブルを引き込む。その後、次の風車位置に向け海底電力ケーブルを布設し、所定の位置で海底電力ケーブルを必要長分に切断してケーブル端部にCPSを取り付ける。半円シープでケーブルを吊り下ろしながら風車へ海底電力ケーブルを引き込み、シープを抜き取って布設完了となる。

表1 洋上風力向けケーブルの布設実績  
Installation results of cables for offshore wind power.

Name	Year	Turbine type	Remarks
Setana	2003	Fixed	The first project in Japan
Hibikinada (NEDO)	2012	Fixed	-
Fukushima	2013	Floating	AC66 kV dynamic cable
Fukushima	2014	Floating	-
Fukushima	2015	Floating	-
Fukushima	2016	Floating	-
Choshi (NEDO)	2015 (Repairing)	Fixed	-



図11 ケーブル布設船「開洋」  
Cable installation barge "KAIYO".

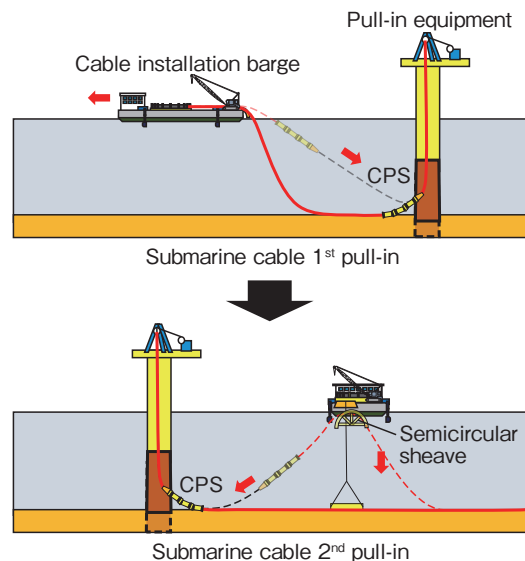


図12 着床式海底電力ケーブル布設手順例  
Example of submarine cable installation procedure.

### 5.2 浮体式洋上風力発電向け電力ケーブルの布設技術

浮体式向け電力ケーブルの布設手順を図13に示す。端部に極度曲げ防止材のBend Stiffener を取り付けけたダイナミックケーブルを、布設船から送り出し、洋上変電所へ引き込む。分散ブイなどのアクセサリー類を取り付けながらケーブルを布設し、所定の位置で海底電力ケーブルと接続して接続箱を沈設する。

次に、風車に向けて海底電力ケーブルを布設し、所定の位置でケーブル端部を海底に仮置きする。洋上変電所側と同様の手順で風車にダイナミックケーブルを引込んで布設し、仮置きした海底電力ケーブルを布設船上に引上げて接続作業を行う。その後接続箱を沈設し、布設完了となる。

先述したように2030年以降、浮体式洋上風力発電の導入が増加すると予想される。ケーブル製造だけでなく、布設技術という観点からも導入に貢献するべく開発を行っていく。

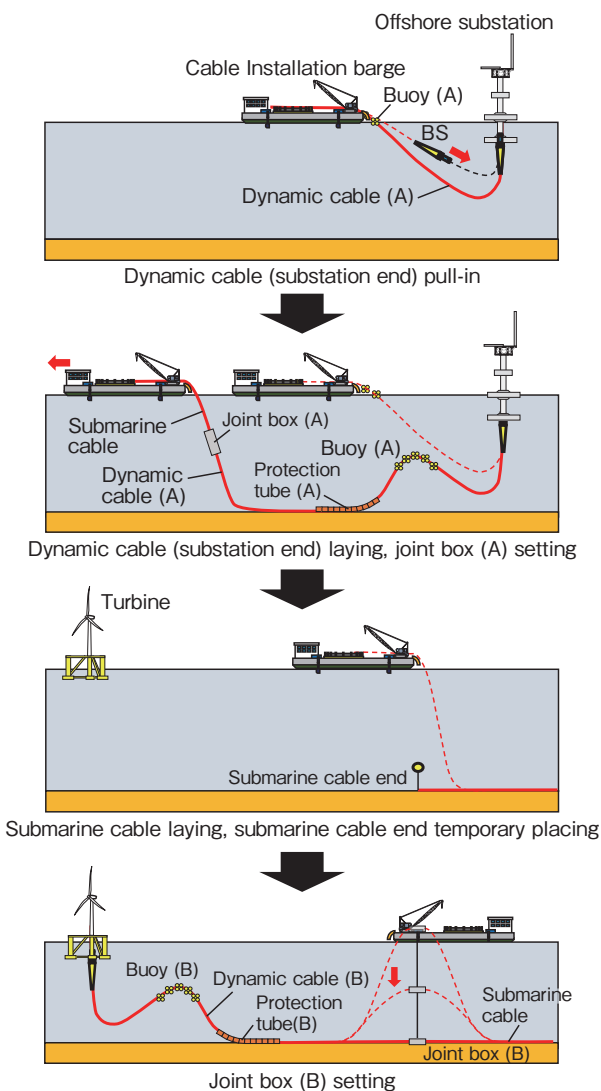


図13 ダイナミックケーブル布設手順例  
Example of dynamic cable installation procedure.

## 6. 海底電力ケーブルの運用・保守

海底電力ケーブルは、地中送電ケーブルに比べて保守が困難である。また、先述したように線路の中で海中や気中など布設環境が大きく異なるため、ケーブル設計や運用においても工夫

が必要となる。図14に示す通り、洋上風力産業のコストにおいて運用保守は36.2%を占めており、ここを如何にして低く抑えるかが洋上風力発電低コスト化への鍵になる。

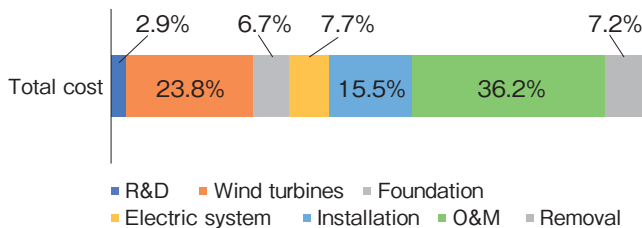


図14 洋上風力産業のコスト構造(着床式)<sup>14)</sup>  
Cost structure of offshore wind industry (Fixed).

### 6.1 ダイナミックレイティングシステム

従来の海底電力ケーブル送電システムを構築する場合、ケーブル導体許容温度により送電容量が決まることから、全長に亘って温度環境のもっとも厳しい部分において、定格電流を常時送電可能となる導体断面積を選定し設計されている。しかしながら、洋上風力発電においては、発電電力が変動するため、従来の導体断面積設計では過大なサイズとなりやすい。そこで、発電量からケーブル導体温度を推定し、送電電流制御を行うことで、最適な導体サイズのケーブルで運用することが出来れば、効率的かつ低コストで送電システムを構築することが出来る。このようなケーブルの導体温度推定により負荷制御を行うシステムはダイナミックレイティングシステム(以下、DRS)と呼ばれており、地中送電の分野でも一部実用されている。洋上風力発電に用いるケーブルは、周囲環境が異なる布設環境におかれるため、環境に応じて適切な温度予測が出来るアルゴリズムが必要となる。

ケーブル導体温度の推定は、ケーブル構成材料および周囲環境の熱抵抗・熱容量を定義し、各層間の熱収支を一次元方程式に表し非常過渡解析により計算する方法が一般的であるが、その方法では厳密な熱抵抗・熱容量の同定が必要となり、また計算時間もかかるという問題がある。そのため、筆者らは、布設環境に応じたケーブルの温度応答関数を求め、導体温度を推定するアルゴリズムの開発を行った。この温度応答関数は実際に布設されたケーブルシステムから得ることが理想であるが、解析によって求めることも可能であることから、異なる周囲環境に布設される洋上風力発電のケーブルシステムには有効な手法であると考えている。

図15は、本開発で採用した推定アルゴリズムを実装したDRS Serverを用いて、直流単芯海底電力ケーブルの負荷制御実験を行ったモデルを示しており、図16は、その結果の例である。図16(1)より、導体許容温度(この実験では90℃)以下となるように電流値が制御されていることがわかる。また、図16(2)より、推定された導体温度の誤差は概ね2℃以内であることから実用的に十分な精度であると考えている。

このようなDRSを用いることで、洋上風力発電に用いるケーブルシステムの最適化に貢献できるものと考えている。

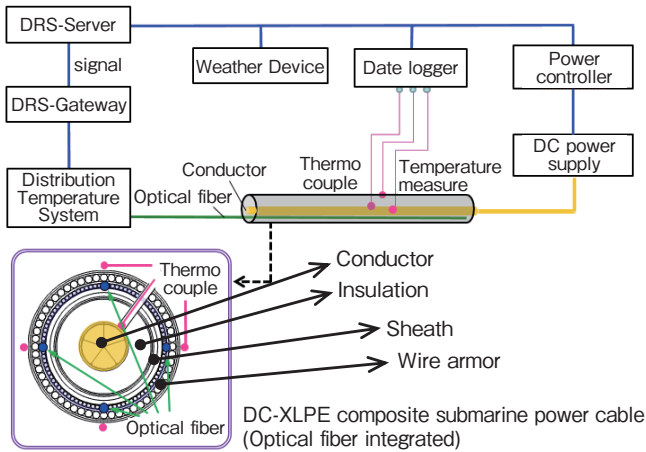
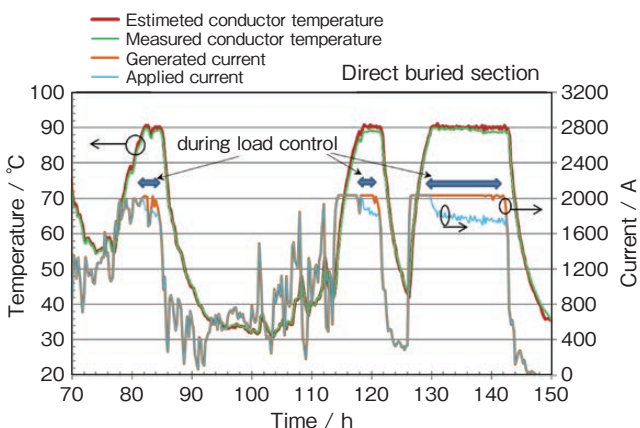
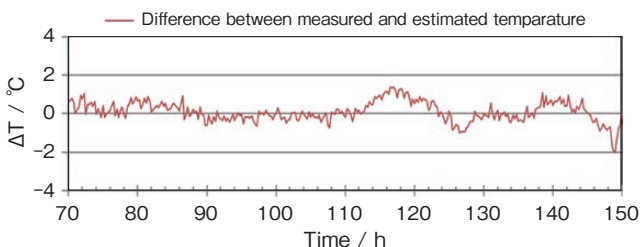


図15 DRS制御実験モデル  
DRS control experiment model.



(1) ケーブル導体温度と通電電流値  
Conductor temperature of cable and applied current.



(2) 導体温度の推定誤差  
Error of estimated conductor temperature.

図16 DRS制御実験結果の一例  
Example of current control experiment results used DRS.

### 6.2 保守システム

海底電力ケーブルは海底に布設されて運用されていることから、直埋や管路布設された地中ケーブル同様に定期的な点検・保守を行うことは難しい。海底電力ケーブルの場合、技術的には Remotely operated vehicle を用いてケーブルの布設・埋設状況を確認することが可能ではあるものの、コストがかかるため容易に出来る保守方法とは言いがたい。そこで恒常的な保守として、複合した光ファイバによる温度監視や、抵抗線を複合することによる船舶の錨や漁具などによるケーブルへの外傷を検知するシステムが実用されている。

しかし、ケーブルの劣化程度を診断するような技術は現状確立されていない。地中送電ケーブルにおいて採用されている絶縁劣化診断手法は、遮水層を持たないケーブル絶縁体に発生する水トリー劣化を対象としたものであり、海底電力ケーブルのように完全遮水構造で水のない環境下の絶縁劣化機構については、未だに劣化のメカニズムが解明されていない。したがって、そのような絶縁劣化に関する保守運用については、今後の開発課題である。

そのため、現在では海底電力ケーブルに事故が起こった際の早期復旧対策や外傷による事故防止策が検討されている<sup>15)</sup>。海底電力ケーブルの修復は、一般的に海底でケーブルを切断し、海上の作業船まで引き上げてからケーブルを割り入れて修復を行うため、船や作業員の確保に多くの時間や費用を要する。将来的にはケーブル保守や修理用船舶の共同保有などによって、これらの課題が解決される可能性がある。その他、海底電力ケーブルの事故リスク低減に向けた船舶とケーブルの位置情報を活用したマネジメントシステムや、海底での補修方法の開発が検討されている。

## 7. おわりに

本稿では、海底電力ケーブルの技術動向や当社の取り組みについて述べた。先述したように、政府の掲げるグリーン成長戦略のシナリオを達成するためにも、洋上風力発電の拡大は必要不可欠である。当社は今後も海底電力ケーブルの開発に邁進し、SDGs達成や2050年カーボンニュートラル実現に貢献していく。

なお、3.2, 4.1, 6.2項に関する開発は、新エネルギー・産業技術総合開発機構「次世代洋上直流送電システム開発事業」[多用途多端子直流送電システムの基盤技術開発]による成果である。

## 参考文献

- 1) 経済産業省HP>ニュースリリース>第6次エネルギー基本計画が閣議決定されました>関連資料「第6次エネルギー基本計画」(2021).  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html>
- 2) 経済産業省HP>ニュースリリース>第6次エネルギー基本計画が閣議決定されました>関連資料「2030年度におけるエネルギー需給の見通し(関連資料)」(2021).  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html>
- 3) 経済産業省HP>ニュースリリース>第6次エネルギー基本計画が閣議決定されました>関連資料「第6次エネルギー基本計画の概要」(2021).  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005.html>
- 4) Aker Solutions HP>What We Do>Renewable Energy Solutions>Offshore Wind (参照日 2021年12月21日).  
<https://www.akersolutions.com/what-we-do/renewable-energy-solutions/offshore-wind-solutions/>
- 5) 日本風力発電協会, 第39回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会 資料4「2050年カーボンニュートラルの実現に向けたエネルギー基本計画策定に対する意見」(2021).

- 6) NEDO HP>NeoWins (洋上風況マップ) (参照日 2021年12月21日).  
[https://appwdcl.infoc.nedo.go.jp/Nedo\\_Webgis/top.html](https://appwdcl.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/top.html)
- 7) 福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業総括委員会「平成30年度福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業総括委員会報告書」(2018)
- 8) 古河電工HP>ニュースリリース>浮体式洋上風力プラント用超高压ダイナミック海底ケーブル開発業務を受注 (参照日2021年12月21日).  
[https://www.furukawa.co.jp/release/2019/ene\\_190604.html](https://www.furukawa.co.jp/release/2019/ene_190604.html)
- 9) NEDO「浮体式洋上風力発電技術ガイドブック 付属資料編 7. 国内外の浮体式洋上風力発電プロジェクト事例」(2018).
- 10) 深川裕正, 他:「直流250 kV CV ケーブルの絶縁性能」, 電力中央研究所報告, No.177010 (昭和52年).
- 11) S. Kikuchi, H. Mori, A. Mori, T. Sakurai, Y. Yagi, "Performance of an optimized XLPE material for controlling space charge in HVDC transmission cable system" CEIDP 2017, 8B-6 (2017).
- 12) N. Shigemori, M. Yagi, T. Tabuchi, H. Mori, "Development of 350 kV and 525 kV HVDC extruded cable system", Jicable 19, A9.5 (2019).
- 13) CIGRE TB490, "Recommendations for Testing of Long AC Submarine Cables with Extruded Insulation for System Voltage above 30 (36) to 500 (550) kV" (2012).
- 14) 経済産業省・国土交通, 第1回 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 資料3「洋上風力の産業競争力強化に向けて(事務局資料)」(2020).
- 15) 2018 CIGRE SESSION, "Innovative Fault Location and Repair of Submarine Power Cables on the Seabed", B1-305 (2018).