

クリーンなエネルギーを運ぶ 風力発電機向けタワーケーブル及び接続材料

ケーブル・機器開発センター 富田 一成¹

Development of Tower Cable and Accessories for Wind Turbine

K. Tomita

近年、石油等の化石燃料にかわるエネルギーとして、再生可能エネルギーの一つである風力発電への注目が高まり、風力発電所の建設が国内外で進められています。当社では、風力発電用ケーブル・接続材料の開発を2000年頃から開始し、既に多くの風力発電所に納入しています。そこで、今回開発した風力発電機材について紹介します。

In recent years, as an alternate energy source to fossil fuels such as oil, wind power generation, which is a renewable energy source, is attracting increased attention and lots of wind power farms are being built within the country and overseas. We started development of cable and accessories for wind power generation from around 2000, and have already supplied them to many wind power plants. This paper reports an introduction to the wind power plant equipment and distribution systems we have developed.

1. ま え が き

経済産業省は、再生可能エネルギーの一つとして注目されている風力発電を、2030年までに1000万kWの導入目標をかかげており、現在、国内各地で風力発電所建設が進められています。

当社では図1に示すように六ヶ所村風力発電所を始め、これまで、全国50箇所以上、海外では米国、中国の風力発電所向けにケーブル、接続材料を納入しています。



図1 当社機材の敷設マップ
Fig. 1. The construction map of our equipment.

2. 風力発電機材について

2.1 風力発電系統

風力発電における電力の系統概略図を図2に示します。風車で発電された電力はタワー内のケーブルから地中ケーブル、架空ケーブルを経由し連系変圧器に送られ、送電網を通じて一般家庭に送られます。風車は騒音問題等から郊外に設置されることが多く、系統脆弱地域においては送電線の容量不足が懸念されているため、系統の強化が望まれています。

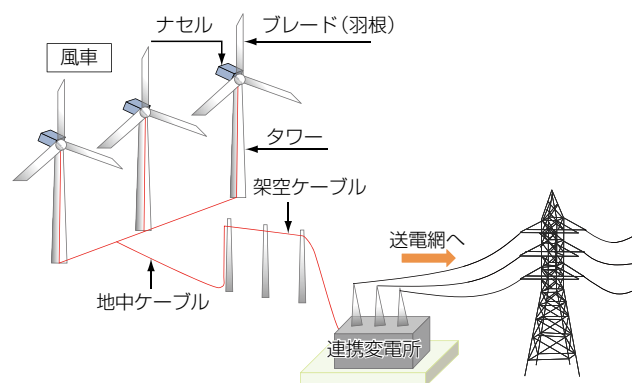


図2 風力発電における系統図
Fig. 2. System diagram in wind power generation system.

1 佐倉開発グループ主席研究員

略語・専門用語リスト 略語・専門用語	正式表記	説明
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	米国電気電子学会
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
DIN	Deutsche Industrie Normen	ドイツ工業規格
UL	Underwriters Laboratories INC.	アメリカ保険業者安全試験所
ブレード	Blade	風車の羽根
ナセル	nacelle	風車の上部にある発電機等を収納する部屋

2.2 ナセル、タワー内の各種機材

風車ナセル、タワー内にはさまざまな機器があり、これらの機器をつなぐケーブル、接続材料について開発を行っています。一例として 2 MW クラスのナセル内昇圧式風車に使用される当社の機材を図 3 に示します。風車タワー内に使用される耐捻回・耐屈曲ケーブルの他、開閉器や変圧機等への機器直結型コネクタ、雷被害対策としてニーズの高い避雷素子内蔵型のコネクタ、制御用ケーブルハーネス、光ケーブルハーネス等があります。今回はその中でも耐捻回ケーブル、接続材料（コネクタ）について説明します。

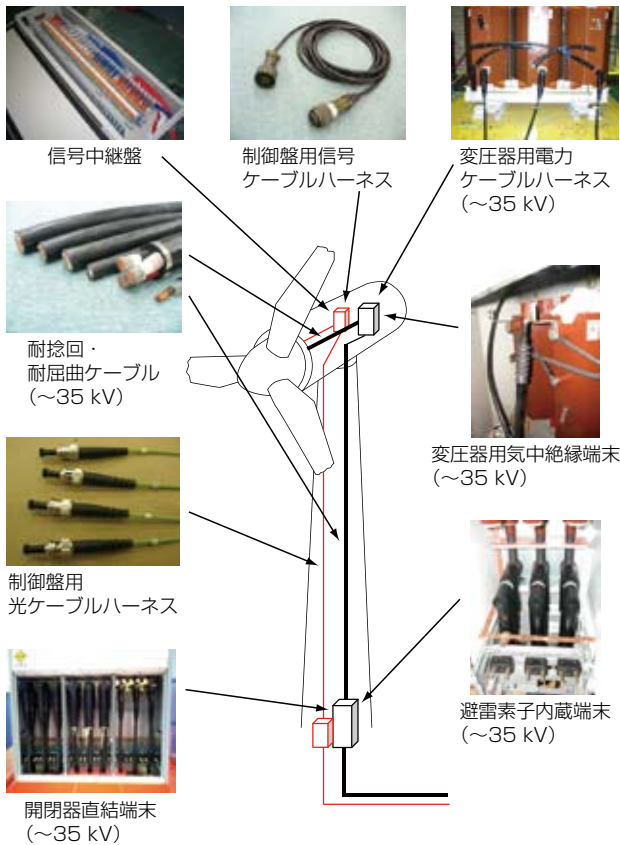


図 3 風車内で使用される当社機材
Fig. 3. Our equipment used in the Wind turbine.

3. 風力発電用ケーブルおよび接続材料

3.1 タワーケーブル

風車はナセルに取り付けられたブレード（羽根）を回転させることにより発電するため、効率よく風を捕らえるよう風が吹く方向へブレードとナセルを旋回させる必要があります。ナセルはタワーに対し旋回するため、ナセルとタワーを結ぶタワーケーブルには高い耐捻回性が求められています。また、敷設場所の気象条件を考慮した低温捻回特性や、タワー内火災に備えた難燃性が求められています。

当社では、長年培ってきた耐捻回性ケーブル（キャブタイヤケーブル）の構造設計および柔軟性材料に関するノウハウを活用し、耐捻回性や難燃性等、厳しい用途に耐えうる製品の開発を行いました。

3.1.1 捻回性能評価

図 4 に示すタワー内の捻回を模擬した捻回試験機を用い、ケーブルの電気性能に異常の無いことを確認しまし

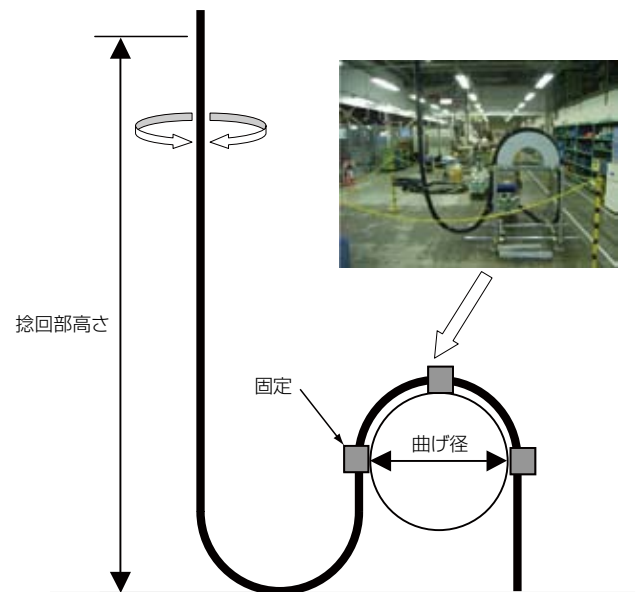


図 4 捻回試験装置概要図
Fig. 4. Schematic diagram of twisting test equipment.

た(表1)。また表2, 図5に低温捻回試験結果を示します。低温での捻回試験は-40℃の環境下で実施し, 試験後のケーブル解体調査により導体, 編組線とも異常が無いことを確認しました。

3. 1. 2 難燃性能評価

60°傾斜燃焼試験(JIS C 3005)および垂直一条燃焼試験(UL-1581 VW-1)にて試験を行い, 着火の無いことを確認しています。垂直一条燃焼試験の試験結果を表3に, 試験後の試料状況を図6に示します。

表1 捻回試験結果
Table 1. Test result of twisting test.

試験項目	試験内容		試験結果
捻回試験	±360°×10000 サイクル後 ±540°×40 サイクル シース, 遮蔽層, 導体に異常のないこと。		異常なし
導体抵抗測定	最大導体抵抗 0.795 Ω/km	試験前	0.690
		試験後	0.682
遮蔽抵抗測定	参考(mΩ)	試験前	87.4
		試験後	86.6
部分放電試験	10 pC以下(at 35 kV)	発生せず(at 40 kV)	
AC耐電圧試験	90.9 kV(5分間)	良	

表2 低温捻回試験結果
Table 2. Test result of low-temperature twisting test.

試験項目	試験内容	試験結果
捻回試験	-40℃ ±180°×10000 サイクル (実使用で±540°相当) シース, 遮蔽層, 導体に異常のないこと。	異常なし



図5 低温捻回試験後の遮へい層, 導体の状況
Fig. 5. Picture of shield wire and conductor after low-temperature twisting test.

表3 難燃試験結果(UL-1581 VW-1)
Table 3. Test result of flame test.

試験項目	試験内容	試験結果
VW-1 燃焼試験	試験試料: 457 mm×1 本 バーナー: チリルバーナー 火炎の使用時間: 15 秒間あて, 15 秒間休止を 5 回行う。 判定基準: ① いずれの接炎によっても 60 秒を超えて有炎燃焼しないこと。 ② 5 回の接炎中又は炎を取り去った後の損傷が 25 %を越えないこと。 ③ 有炎もしくは赤熱燃焼物又は有炎落下物により脱脂綿が着火しないこと。	合格 (着火せず)



図6 難燃試験後のシース状況(UL-1581 VW-1)
Fig. 6. Picture of sheas after flame test (UL-1581 VW-1).

3. 2 接続材料(コネクタ)

風力発電は欧州で早くから普及したことから, 日本に導入される風車や機器も, その多くが欧州製(DIN規格)の製品が採用されています。そのため, 欧州製風車用機器に接続可能な 22 kV 電力ケーブル用コネクタのラインナップを取り揃えました(表4)。図7に示すよ

表4 22 kV 機器直結型コネクタのラインナップ
Table 4. Separable connectors for 22 kV.

定格電圧	22 kV
定格電流	250 A / 400 A / 630 A の 3 種類
適合ケーブル絶縁体	絶縁体外径: φ 17.2 mm ~ 47.6 mm 絶縁体: 架橋ポリエチレン, EPゴム等
ケーブル導体サイズ	25 mm ² ~ 400 mm ²
性能(準拠規格)	IEC 60502-4
適合機器用プッシング規格	DIN 47 636



図7 630 A 用機器直結型コネクタの接続状況(例)
Fig. 7. Connection status of the separable connectors for 630 A (cases).

うに、風車タワー内の狭スペースに施設される機器は小さく、コネクタにもコンパクト化が要求されるため、嵌合界面設計を見なおし、機器の操作盤内に収納可能なコンパクト構造としました。また、当社では、従来より米国製機器向けとして 35 kV 以下の電力ケーブル用コネクタ (IEEE 386 規格準拠) も各種取り揃え、風力発電に使用される各種機器へのラインナップを図っています。

風車は敷設環境から落雷による被害を受けやすいことが課題として重要視されており、変圧器や開閉器の保護には一般的に避雷器が使用されています。避雷器とは落雷によって発生した異常電圧を抑制することで電力用機器を保護する役割を担っています。但し、一般的な避雷器は気中絶縁方式を採用しているため、絶縁離隔距離を確保する必要があり、装置が大きくなる問題が生じます。当社では酸化亜鉛阻止とコネクタを組み合わせたコンパクトな避雷素子内蔵型コネクタ (サージアレスタ) を開発しました。避雷器内蔵型コネクタの仕様を表 5 に、外観を図 8 に示します。

表 5 避雷器内蔵機器直結型コネクタ仕様

Table 5. Specifications of separable surge arrester.

定格電圧	27 kV
最大連続使用電圧	22 kV
公称放電電流	10 kV (8 / 20 μ s)
性能 (準拠規格)	IEEE C 62.11
適合機器用プッシング規格	DIN 47636, EN 50180, EN 50181 (36 kV-630 A)

4. む す び

風力発電は再生可能エネルギーとして近年急成長を遂げています。今後も国内、海外とも風力発電所の開発が



図 8 避雷器内蔵型コネクタの外観
Fig. 8. Picture of separable surge arrester.

多数計画されており、その中でも特に大規模な電力を供給できる洋上風力発電は日本の長い海岸線を生かし導入が期待され、安全性、信頼性、経済性の実証検証が進められています。風力発電は、天候の変動によって出力が不安定になるエネルギーですが、スマートグリッドや他の分散型エネルギーの組合せによりエネルギー供給の一躍を担うと考えられます。