

# 風力発電所の 経済的な接地設計

志賀 悟 石原卓己



## はじめに

風力発電所は大規模、かつ低コストで導入可能な再エネ電源として有力視され、開発プロジェクトも増加している。一方、風車の接地はJIS C 1400-24:2014（風車-24部）や風力発電規程（JEAC 5005:2019）に最新の国際技術が導入されている。

本稿は風力発電所の現状と最新の接地設計の考え方、設計手順、実施例を紹介する。

表1 JWPAのロードマップ

年度	風力発電導入実績と 導入目標値[万kW]				発電 電力量 [億kWh]
	合計	陸上	着床	浮体	
2010	248	245	3	0	43
2020	1,090	1,020	60	10	230
2030	3,620	2,660	580	380	840
2040	6,590	3,800	1,500	1,290	1,620
2050	7,500	3,800	1,900	1,800	1,880



## 風力発電所の現状<sup>(1)</sup>

①2020年9月に就任した菅首相は2050年まで温室効果ガス排出を実質ゼロにすると宣言した。これは達成が困難と思われていた従来の目標（80%削減）をさらに進めたもので、再エネ型経済社会の創造が必須となってくる。このため、再エネを電力の主力電源化と位置づけ政策展開を図っている。具体的には2030年における導入目標（22～24%）を見直して2030年に45%、2050年に50～60%とする提案もなされている。

②風力発電はCO<sub>2</sub>排出ゼロだけでなく、原料を海外に依存しない国産資源であるため、エネルギーの安全保障の面でも重要である。

③風力発電協会（JWPA）のロードマップ（2016年2月）によると陸上と洋上の出力は2010年（248万kW）、2020年（1090万kW）、2030年（3620万kW）、2040年（6590万kW）、2050年（7500万kW）と増大計画である（表1）。

この計画によると2030年には原子力発電所30基、2040年には66基分に相当する。しかし、

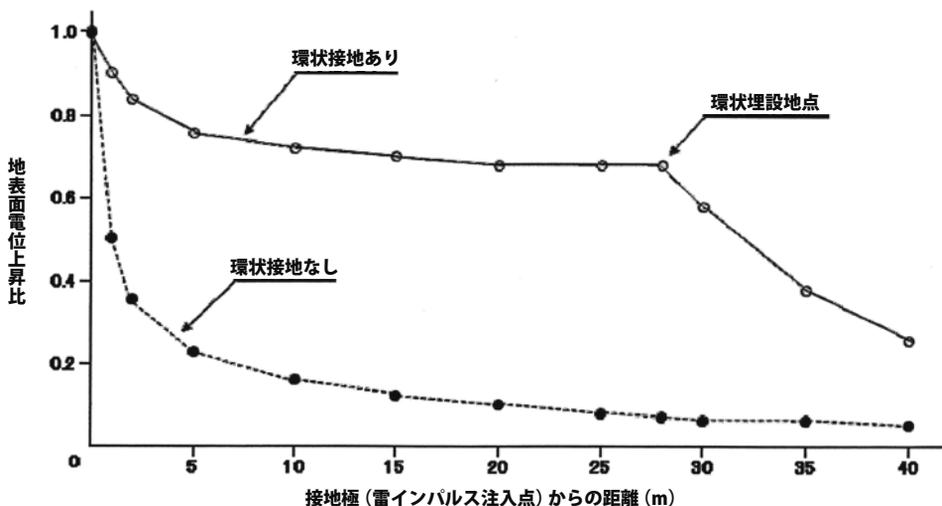


図1 風車周辺の地表面電位分布

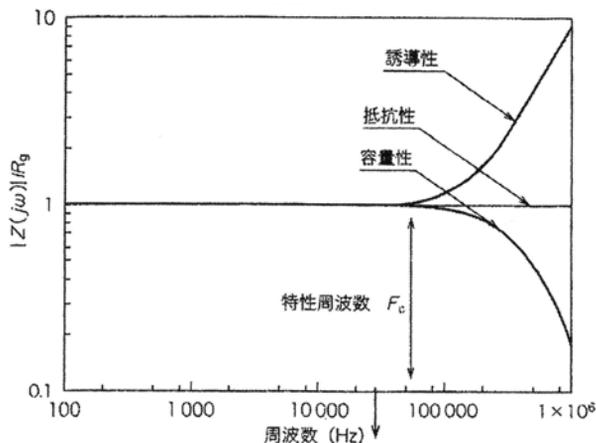


図2 接地インピーダンスの周波数特性

2019年末の実績は292万kW (2414基) となっており、未達である。これは環境アセスに4～5年を要していることも要因と思われる<sup>(2)</sup>。

④環境アセス中の10MW以上の案件は2020年12月時点で陸上が322箇所、洋上が66箇所となっている。

### 3 風車の接地に要求される要件<sup>(3)</sup>

以下の要件を満足することが必要となる。

#### ①所要接地抵抗の決定

高圧系統の地絡電流による機器保護や接地電位上昇の制限から決定される。一般的には電気設備の技術基準の解釈17条 (A種接地: 10Ω) や18条2項の規定 (2Ω), 24条2項のB種最低値 (5Ω) およびメーカー指定値が採用されている。

#### ②歩幅電圧の低減工法

風車への落雷時に人や動物の感電を防止するために周辺の地表面電位を均一化する。このためには環状接地極が有効となる。環状接地の効果例を図1に示す<sup>(4)</sup>。この図はインパルス電流を印加して測定した実測値で、環状接地点までの内側は地表面電位が平坦化しているが外側は変化が大きい。

#### ③接地インピーダンスの低減工法<sup>(3)</sup>

雷電流などの高周波電流が流入すると接地極の構成によっては定常抵抗値より高い値に上昇し、絶縁を脅かすことになる。雷電流の周波数は1MHz (1×10<sup>6</sup>) 程度であり、変化が大きい。従って、接地インピーダンスが上昇しない工法が要求される (図2)。

#### ④等電位ボンディングの構築

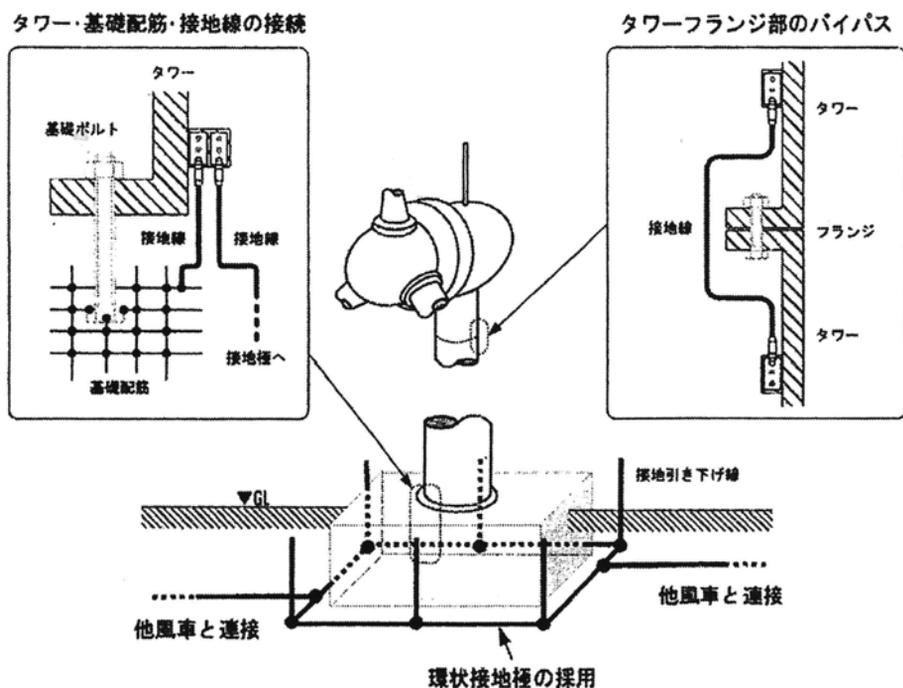


図3 等電位ボンディングの例

風車の基礎、場所打ち杭やタワーの鉄筋および鉄骨と環状接地極は導体で接続し、接地極間における電位差の最小化を図り、火花の発生を防止する。図3に接続例を示す<sup>(5)</sup>。

#### ⑤低コスト工法の採用

コストは接地極長に比例するので、接地極長が短く、かつ容易に施工できる工法が望まれる。



### 接地設計手順

手順は以下となる。

目標抵抗の決定→大地抵抗率の測定→接地工法および接地抵抗の計算→接地工事→接地抵抗の測定→報告書作成



### 接地工法の選定

接地工法は水平電極工法と垂直電極工法が採用される。

各工法の特徴を以下に示す。

#### ①水平電極工法（帯状接地：EP-1適用）

- ・接地極長が比較的短い

- ・環状接地の構成が容易
- ・低サージインピーダンス構成（裸導線、棒状接地の30%程度）

- ・工事が容易
- ・適用実績が大
- ・狭い敷地では抵抗取得の制限あり。
- ・比較的安価（垂直工法の数10%）

#### ②垂直電極工法（ボーリング工法）

- ・狭い敷地でも抵抗取得が可能
- ・適用実績が大
- ・工事が大規模
- ・環状接地は困難（別途工事が必要）
- ・比較的高価



### 接地極の種類と抵抗計算

風力発電所の接地極は第Ⅰ極から第Ⅳ極で構成される。

第Ⅰ極：風車基礎鉄筋

第Ⅱ極：場所打ち杭の鉄骨

第Ⅲ極：環状接地

第Ⅳ極：敷地外の利用（取付道路や電力ケーブル敷設溝など）

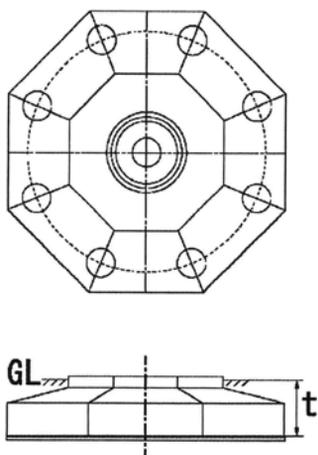


図4 風車基礎の模式図

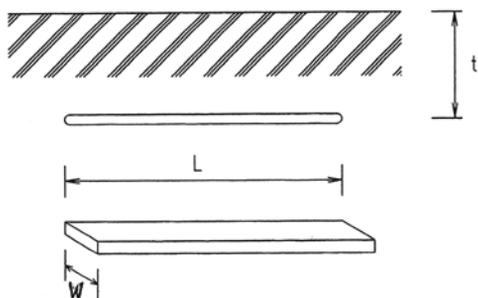


図5 帯状接地極



図6 接地設計例

①第I極の抵抗計算 (R1)・・・図4  
メッシュ接地極に換算して計算する。

$$R1 = \frac{A \cdot M \cdot \rho}{4P} \left[ 1 - \frac{4t}{\pi P} \right] \dots \dots (1)$$

( $\rho$ :大地抵抗率, P:メッシュ極の等価半径, t:深さ, A:置換係数, M:メッシュ係数)

②第II極の抵抗計算 (R2)  
棒状接地に換算して計算する。

$$R2 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \frac{4L}{r} - 1 \right] \dots \dots (2)$$



図7 帯状電極による環状接地例



図8 帯状電極とEP-1

N本の合成抵抗  $Rn = R2 / N \times \eta$   
(L:接地極長, r:電極半径,  $\eta$ :集合係数)  
③第III極の抵抗計算 (R3)・・・図5  
帯状接地 (EP-1) で計算する。

$$R3 = \frac{0.7\rho \cdot K}{2\pi L} \left[ \ln \frac{2}{Wt} L^2 \right] \dots \dots (3)$$

(L:接地極長, W:接地極の幅, t:深さ, K:形状係数)

④第IV極の抵抗計算 (R4)  
工法により式 (2) や式 (3) で計算する。  
合成抵抗R0は相互干渉係数を考慮して式 (4) で算出する

$$R0 = 1 / \left( \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \right) \times 1.15 \dots \dots (4)$$

## 7

### 実施例

接地設計例を図6に示す。各接地極は接続されている。

図7に帯状接地における環状接地の例を図8に帯状接地 (EP-1) の写真を示す。

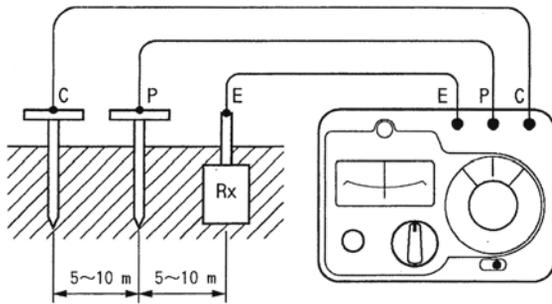


図9 直読式接地抵抗計による測定

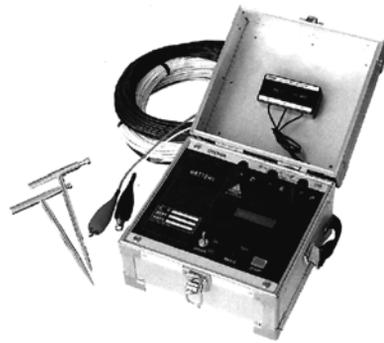


図10 サージインピーダンス計 (OIT-14)

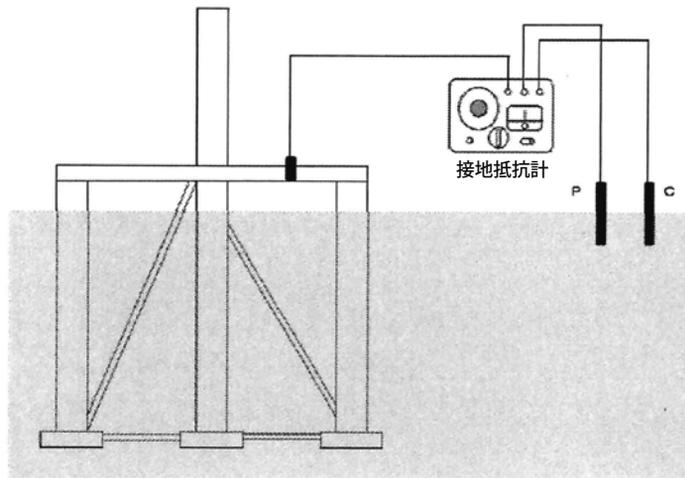


図11 洋上風力の接地抵抗測定



## 接地抵抗の測定<sup>(5)</sup>

### ①陸上風力

- ・直読式接地抵抗計 (図9)
- ・電圧降下法
- ・接地インピーダンスの測定 (新発売 OIT-14, 図10)

### ②洋上風力<sup>(5)</sup>

- ・測定回路図を図11に示す。
- (a) 海中を大地とみなす
- (b) 補助電極 (C極, P極) を海面に沈める
- (c) 直読法の測定値はバラツクため参考値とする



## おわりに

本稿を以下にまとめる。

- ①風力発電所の現状と接地設計の最新技術およ

び設計, 施工例を紹介した。風力発電は再エネの有力電源として今後増大する。

②接地の基本要件を満足し, 比較的経済的な帯状接地での施工例を提案した。今後はこれらの工法が採用されることが望まれる。

③新型コロナウイルスによる2回目の緊急事態宣言中での執筆となった。この窮屈な日常から解放されるとともに, 再エネ事業全般の一層の発展を祈念する。

### <参考文献>

- (1) 新エネルギー新報No 228: 2021年1月15号
- (2) 風力発電の主力電源化にむけた提案 (2019年5月): 第14回再エネ導入次世代NW小委員会
- (3) JIS C 1400-24:2014:風車—第24部雷保護
- (4) 発電所及び地中送電線の耐雷設計ガイド: 2011年 電力中央研究所総合報告 H06
- (5) 風力発電規程: JEAC 5005:2019

(執筆者: 地質環境テック株式会社)