

風力を利用した省エネルギー型 下水道システムに関する 実用化評価研究

1. 研究の目的

下水道事業の進捗に伴い、使用するエネルギーは増大し、温室効果ガス排出による地球温暖化が問題となっている。なかでもエネルギー消費に伴う温室効果ガス排出量のうち、電力消費によるものが約64%を占めており（下水道統計平成8年度版）、処理場における省エネルギー対策を主として、事業の実施に伴う温室効果ガスの発生をできる限り抑制していくことが必要とされる。そのひとつとして自然エネルギーの有効利用が挙げられる。

宇ノ気七塚浄化センター（以下、本浄化センターという）は、日本海に面する河北台地砂丘地の一面に位置しており、地理的な条件を生かした風力による自然エネルギーを導入することは、維持管理費の低減、地球温暖化防止への寄与、環境にやさしいイメージの創造などの効果が得られるものと考えられる。

本研究は以上のような状況を踏まえ、本浄化センターに適合した自然エネルギーを積極的に取り入れることにより、商用電力の使用を大幅に削減できる省エネルギー型の処理システムの構築を目指すものである。

まず、平成10年度に宇ノ気七塚都市計画下水道施設組合と（財）下水道新技術推進機構の共同研究として、本浄化センターにおける風況等の自然条件を生かし、自然エネルギーの利用に取り組み、省エネルギー型の特色あるシステムについて検討を行った結

果、風力発電を導入することにより、維持管理費削減効果、地球温暖化防止効果等が得られるとの成果を得た。

それを受けて平成11年度は、事業効果に基づく適正な発電規模の設定を行い、効率的な運用方法を検討することにより、風力を利用した省エネルギー型下水道システムの仕様を設定した。また、風力発電機を設置することによる周辺環境への影響予測も併せて実施した。

さらに平成12年度においては、当該地域特有の冬季の落雷対策として、風力発電機と本浄化センター内の電気設備とを併せた総合的な避雷対策を検討することとした。なお、検討にあたっては、下水道の分野では過去に例のない手法を用いた。

2. 研究内容

2.1 対象技術の概要

風力を利用した省エネルギー型下水道システムは、風力エネルギーを発電機にて電力に変換し、下水処理場での動力源として使用することで、省エネルギー化を図る技術である。

2.2 研究内容

本研究の全体工程を表-1に示す。

平成12年度の研究は、風力を利用した省エネルギー型下水道システムの避雷対策を検討するものであり、その手順は以下のとおりである。

(1) 雷撃電流および雷撃エネルギーの基準値の設定

- (2) 大地固有抵抗値の測定
- (3) 直撃雷により生じる内部サージに対する検討
- (4) 避雷対策の提言

表-1 研究工程

項目	年 度			
	11	12	13	14
システムの仕様の設定	■			
導入効果の検討		■		
環境影響調査	■			
避雷対策の検討		■		
実施設計の設計・建設			
性能評価				■

2.3 対象施設概要 (平成9年度末現在)

施設名称：宇ノ気七塚浄化センター
 施設区分：公共下水道
 排除方式：分流式
 処理方式：オキシデーショントイッチ法
 計画汚水量：16,830m³ (日平均)
 21,150m³ (日最大)
 処理汚水量：3,180m³ (日平均)
 3,859m³ (日最大)

3. 研究結果

3.1 雷撃電流および雷撃エネルギーの設定

3.1.1 当該地域における雷観測

国内においては北陸を中心に冬季雷の研究が盛んに行われており、年間雷雨日数分布図 (以下、IKLマップという) がその1例として挙げられ、このIKLマップによれば、宇ノ気七塚地区では38日 (1954~1963年の観測結果の平均) である。

※IKLマップ：緯度および経度を15分で区切ったある地域で、雷鳴を聞いたり、雷光を目視で確認した日数を1年間にわたって合計した日数の分布図

3.1.2 風力発電施設への落雷頻度

ある範囲への落雷数を示す値として大地落雷密度 (Ng) があり、年間雷雨日数 (IKL) との間には次の関係がある。

$$Ng=0.1 \times IKL \text{ (回/km}^2\text{/年)}$$

また、雷撃回数 (Nt) と大地落雷密度 (Ng) には次の関係がある。

$$Nt=Ng \times B \text{ (回/年)}$$

ここで、B (km²) は等価受雷面積であり、地上

高H (m) の高層建築物の場合、等価受雷面積 (B) と高さは次の関係がある。

$$B=9 \pi H^2$$

したがって、宇ノ気七塚地区にブレード最高到達点60mの風力発電機を建設した場合、風力発電機への雷撃回数Nt (回/年) は次式より、0.39 (回/年) となる。

$$Nt=Ng \times B=0.1 \times IKL \times B=0.1 \times IKL \times 9 \pi H^2$$

$$=0.1 \times 38 \times 0.102=0.39 \text{ (回/年)}$$

H：風力発電機の高さ (=60m)

3.1.3 雷撃電流の発生頻度

次に、ある強度の落雷 (雷撃電流) が発生する頻度を示すものとして累積頻度曲線がある。計画地と同等の条件と見なせる三国地区 (福井) ・奥獅子吼・中能登の観測結果をもとに描いた雷撃電流頻度曲線は図-1の通りである。

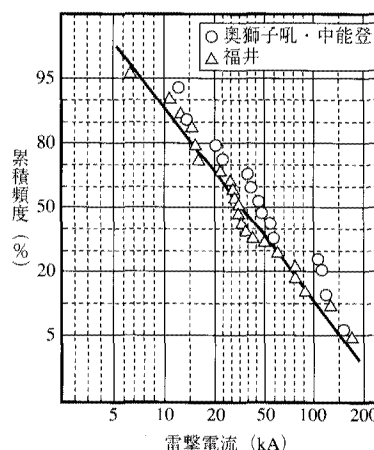


図-1 雷撃電流波高値の累積頻度曲線

3.1.4 雷撃電流および雷撃エネルギーの設定

前項の落雷回数と雷撃電流波高値の頻度値を乗算することにより、その雷撃電流を超える落雷がある年数が算出される (表-2)。

例えば、雷撃電流が10kAの雷は2.9年、100kAでは23.3年に1回落ちる可能性があることになる。

以上の結果を基に、本研究で用いる雷撃電流値を設定する。

波高値については風力発電機の耐用年数 (17年) を超える23.3年に1回の100kAを選定した。また、雷撃電流のエネルギー量を考慮するために必要な条件として、波頭長は10μsとし、波尾長は北陸地方特有の長時間継続する雷を考慮し、1,000μsとした。その雷波形の例を図-2に示す。

表-2 雷撃電流と累積頻度

雷撃電流 (KA)	%累積頻度値	落雷回数	累積頻度 [回/年]	左記, 雷撃電流を超える落雷がある年数
5	0.98	0.39	0.3822	2.6
10	0.88	0.39	0.3432	2.9
20	0.68	0.39	0.2652	3.8
40	0.50	0.39	0.1950	5.1
80	0.20	0.39	0.0780	12.8
100	0.11	0.39	0.0429	23.3
150	0.06	0.39	0.0234	42.7

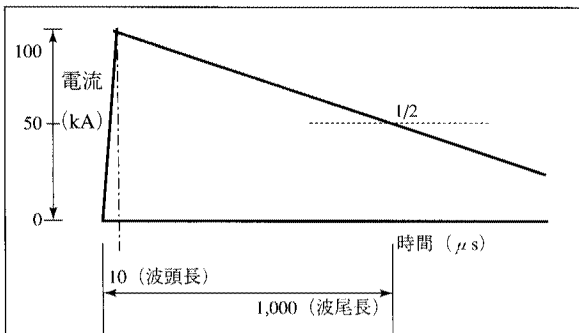


図-2 雷波形の例

セルおよびタワーを通して接地線に雷撃電流が流れる。地中に流れた直撃電流は、避雷器を通して本浄化センター内の電気設備にサージ電流として流れる。そこで、風力発電機を1基建設した場合の直撃雷の影響をEMTP解析によるシミュレーションを行い、各設備の避雷器強度、接地方式および接地抵抗値等の設定を行う。

※EMTP解析 (Electro-Magnetic Transients Program) : 雷撃によるサージ電流が流れる際に発生するエネルギー量の解析を行うもの

3.3.2 検討回路の設定

(1) 対象設備

検討対象となる設備のつながりを図-3にイメージ図として示す。

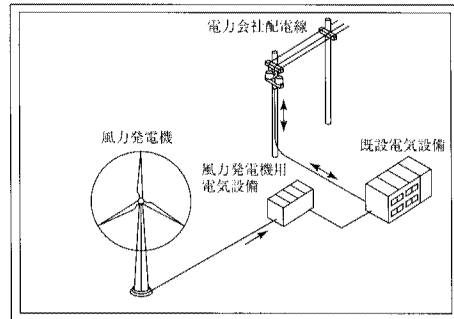


図-3 配電経路イメージ図

3.2 大地固有抵抗値の測定

3.2.1 概要

本システムの避雷対策を検討するうえで必要となる本浄化センター内の大地固有抵抗値の測定を行った。

3.2.2 測定地点

大地固有抵抗値の測定は、風力発電機の第1基が計画されている箇所を含む4地点で行った。なお、第2基が計画されている箇所はまだ造成が終わっていないため、近似値が計測できると想定される海岸側の地点を代替地点として含めることとした。

3.2.3 測定結果解析

各地点の測定結果から、本浄化センターとしての大地固有抵抗値の代表値を求めた。その結果から、例えば1Ω以下の接地を取得するためには110m、5Ω以下の接地を取得するためには80m、10Ω以下の接地を取得するためには50mのボーリング接地が必要と判断された。

3.3 風力発電を有する施設の避雷対策

3.3.1 概要

風力発電機が直撃雷を受けた場合、ブレードやナ

(2) 接地抵抗値

各設備の接地抵抗値を10Ω、5Ω、2Ω、1Ωの組み合わせパターンとして、解析を行うこととした。

(3) 接地方法

解析回路のパターンとしては、風力発電機および他の電気設備の避雷器接地を連係せず、単独接地とする場合(図-4)をはじめとして、順次風力発電機側の避雷器接地と次の避雷器接地を接地線で連係する場合を考え、最終的には電力会社配電線の架空地線との連係を行う場合(図-5)を設定した。

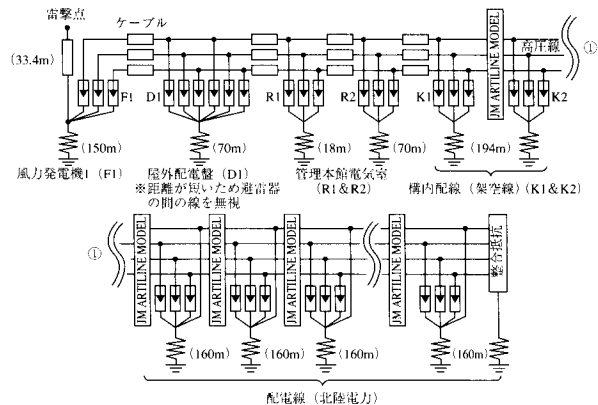


図-4 解析回路 (単独接地)

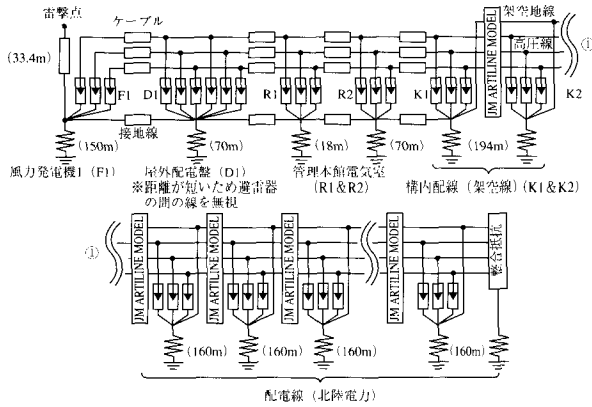


図-5 解析回路 (連接接地：
風力発電機～配電線架空地線)

3.3.3 解析内容

エネルギー量が大きい冬季雷対策のためには、避雷器が焼損しないような対策が必要である。そのため、3.1.4項で設定した雷撃電流に対し、各設備に設置された避雷器の処理エネルギーを算定することとした。

避雷器エネルギー耐量は、2.5kA用=15kJ, 5kA用=30kJであるという知見がある。現在10kA用は特注品であり、被害時の取り寄せ時間を要すると想定さ

れるため、5kA用を使用することを原則として考え、30kJを超えないエネルギー量となる対策をとるものとした。

3.3.4 解析結果

EMTP解析結果の一例として、単独接地のケースを表-3に、風力発電機～配電線架空地線までの連接接地のケースを表-4に示す。

ここで、避雷器処理エネルギーが30kJを超えるものについては網掛けをした。

3.3.5 結果考察

(1) 接地方式

(a) 単独接地

雷電流のうち、風力発電機の接地極へ流れ込む電流以外は、全て風力発電機の避雷器を介して他の設備の接地や配電線の接地に流れ込む。このため、風力発電機の避雷器の負担は非常に大きくなる(図-6)。解析結果より、風力発電機の接地抵抗値を1Ωとしても、70kJを超える避雷器処理エネルギーとなってしまう。

表-3 解析結果 (単独接地)

雷電流 波高値 (kA)	接地抵抗値 (Ω)					避雷器処理エネルギー (kJ)				
	風力 発電機	屋外 配電盤	管理 本館	架空線 1	架空線 2	風力 発電機	屋外 配電盤	管理 本館	架空線 1	架空線 2
100	10	10	10	10	6	1,140	52	51	105	167
100	5	10	10	10	6	846	39	39	79	124
100	2	10	10	10	6	353	18	17	34	51
100	1	10	10	10	6	73	4	4	7	10

表-4 解析結果 (連接接地：風力発電機～配電線架空地線)

雷電流 波高値 (kA)	接地抵抗値 (Ω)					避雷器処理エネルギー (kJ)				
	風力 発電機	屋外 配電盤	管理 本館	架空線 1	架空線 2	風力 発電機	屋外 配電盤	管理 本館	架空線 1	架空線 2
100	10	10	10	10	6	35	12	10	11	6
100	5	10	10	10	6	22	7	6	7	4
100	2	10	10	10	6	6	2	2	2	1
100	1	10	10	10	6	1	0.4	0.2	0.2	0.1

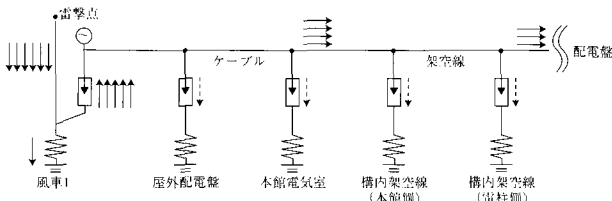


図-6 雷電流の分流状況模式図 (単独接地)

(b) 連接接地 (風力発電機～配電線架空地線)

風力発電機の接地と他の電気設備の接地を接続すると、風力発電機の接地へ流れ込む電流以外の部分を、他の避雷器で分担して処理することとなる。よって、各設備の避雷器の負担は軽くなる (図-7)。表-4の結果から、風力発電機の接地抵抗値を 5Ω 以下とすれば、 100kA の雷撃電流波高値に対して、公称放電特性 5kA の避雷器で保護できるという結果を得た。

よって、配電線の架空地線までの全ての設備の接地を接続することが最も有効であることが判明した。

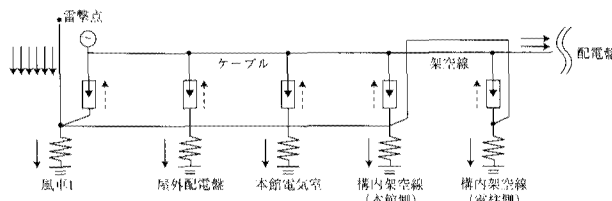


図-7 雷電流の分流状況模式図
(連接接地：風力発電機～配電線架空地線)

(2) 接地抵抗値の確保

3.2 項大地固有抵抗値の測定結果から、本浄化センターにおいて 5Ω 以下の接地抵抗値を確保するためには、 80m 以上の深層までポーリング接地を施さなければならないことが判明している。この距離は、風力発電機と既設電気設備との距離に相当するものとなり、落雷時の雷撃ショックが接地極と同様に電力系統側にもかかることが想定される。

したがって、風力発電機の接地導線を極力短くし、雷撃時のエネルギーを風力発電機直下の接地極で、より多く吸収する接地方式を採用するべきである。これを実現するためには、表層に銅線を敷設するメッシュ接地工法+ポーリング工法 (図-8) の採用が望まれる。

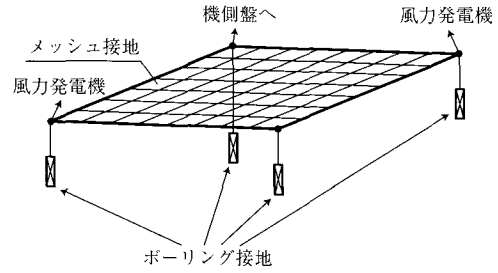


図-8 メッシュ接地+ポーリング接地工法 (例)

4. まとめ

平成12年度の実用化研究では、風力発電機を宇ノ気七塚浄化センターに建設する場合の落雷に関する影響を調査し、その対策案を示した。その手順は以下の通りである。

- (1) 過去の北陸地方の冬季における雷のデータから、本研究で対象とする雷撃電流のパターンとして、波高値 100kA 、波頭長 $10\mu\text{s}$ 、波尾長 $1,000\mu\text{s}$ を設定した。
- (2) 避雷対策は、機器の接地と密接な関係があり、その解析には大地固有抵抗値が必要となるため、現地での実測を4地点で行い、解析に用いる代表値を設定した。
- (3) 風力発電機が(1)で示したパターンの直撃雷を受けた場合に、本浄化センター全体の電気設備関連機器に与える雷サージエネルギーを算定し、機器保護のために設置すべき避雷器の強度を、EMTP解析を用いて求めた。解析結果から、風力発電機～配電線の架空地線に至る避雷器の連接接地方式の採用が妥当であるとの結論が得られた。

採用すべき避雷器は、外部からのサージ侵入対策の強化として、電力引込み部は 10kA の公称放電特性を有するものとし、また、風力発電機の接地方式は、地表近くのメッシュ接地とポーリング接地を併用し、合成抵抗値が 5Ω 以下を確保することとし、他の箇所の避雷器は接地抵抗値を 10Ω にすることにより、 5kA の公称放電特性を有するもので良いことが分かった。

以上より、本浄化センターにおける避雷対策は図-9のように施すものとする。

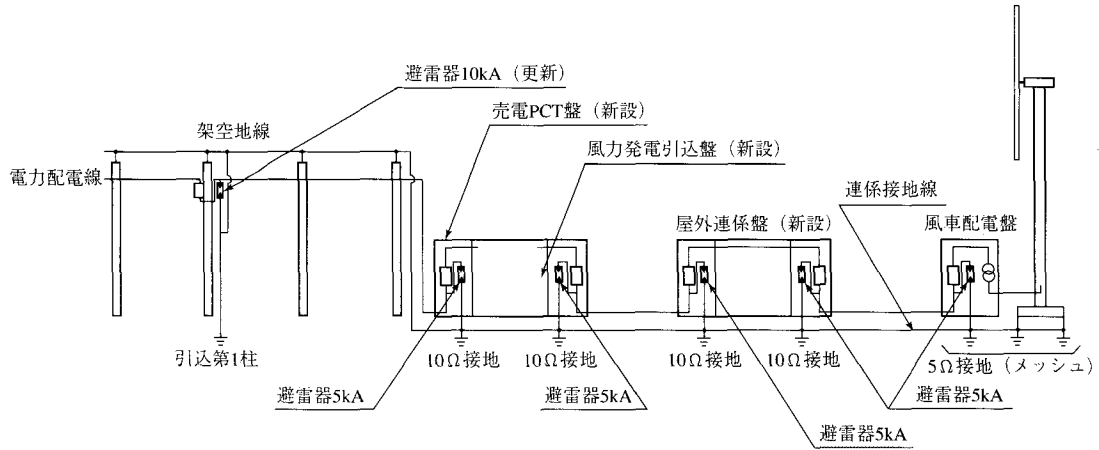


図-9 宇ノ気七塚浄化センターにおける避雷対策案

5. 今後の予定

今後は、実施設の設計・建設が行われる予定であり、その後、実施設の運転からのデータ採取、風況調査を行い、設定した仕様に対し評価案に基づき検

証・評価を行うものである。

また、周辺環境への影響についての確認も随時行う予定である。

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長	江藤 隆
研究第一部主任研究員	藤野 正人
研究第一研究員	川崎 貴義