

風力を利用した省エネルギー型 下水道システムの計画策定 に関する調査研究

1. 研究目的

かつて我が国の高度経済成長に伴いエネルギーの消費量は記録的に増大したが、過去2度にわたるオイルショックで石油価格が高騰し、その後の経済成長に大きな影響を与えた。また、化石エネルギーの消費増大による公害発生、地球温暖化等が社会的問題となる一方、石油代替エネルギーとしての原子力発電も立地条件等で問題が多く、新たな施設の建設が困難な状況にある。

下水道事業においても例外ではなく、事業の推進に伴い、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3分の2を占めており、下水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。

我が国の平成12年度末における処理人口普及率は62%、汚水処理施設整備率は71%となった。普及率向上の施策は、今後とも継続して推進するとともに、下水道施設の維持管理に関する課題について対処しなければならない状況にある。

山形県の流域下水道においても、最上川下流流域下水道庄内浄化センターの供用開始により、当初計画された幹線整備、汚水処理施設整備が一巡し、処理人口普及率の向上に努めるとともに、維持管理の

諸問題が徐々に表面化してきている。

とりわけ、庄内浄化センターは、県内の流域下水道のなかでも維持管理費が高く、その費用の削減が急務となっている。

本研究は、下水処理場の維持管理費の削減の方策として「風力を利用した省エネルギー型下水道システム」を庄内浄化センターに導入することにより、汚水処理に必要な電力費の削減を図るとともに、自然エネルギーの活用によりCO₂排出量を削減し、地球温暖化防止効果を得ることを目的とするものである。

2. 研究内容

2.1 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、風力エネルギーを風力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、商用電力の削減を主体としたシステムの省エネルギー化を図る技術である。

ただし、商用電力と風力発電電力の両方を受電できるような設備構成とする。

風力発電を下水処理場に導入する場合の概念図を図-1に示す。

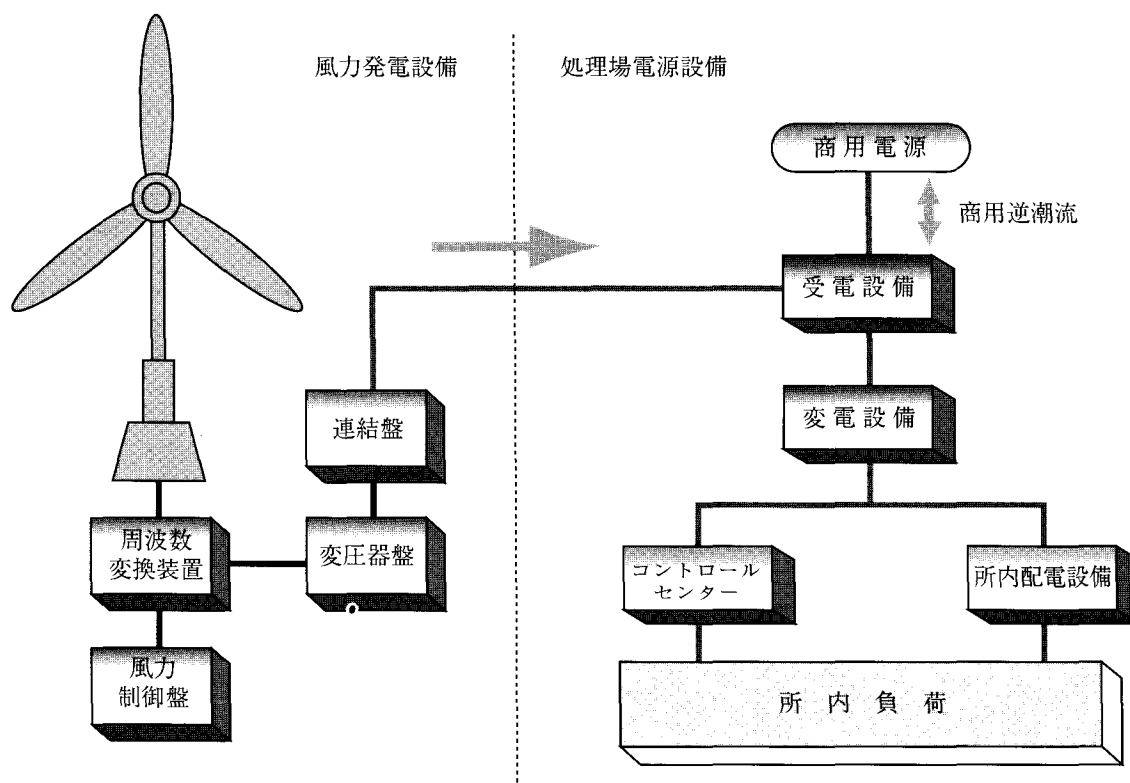


図-1 風力発電導入の概念図

2.2 本技術の特徴

本方式の特徴は、不安定な風力発電出力と電力会社の供給電力を連系（系統連係）することにより、**図-2**に示すように、発電出力が対象負荷の容量より大きくなる場合には、電力会社側に余剰電力を供給（逆潮流）することが可能であり、風力エネルギーを無駄なく有効活用できる。一方、発電出力が対象負荷より小さい場合には電力会社側から従来どおり購入することができるので、対象負荷に安定した電力の供給を行うことができるような構成となっている。

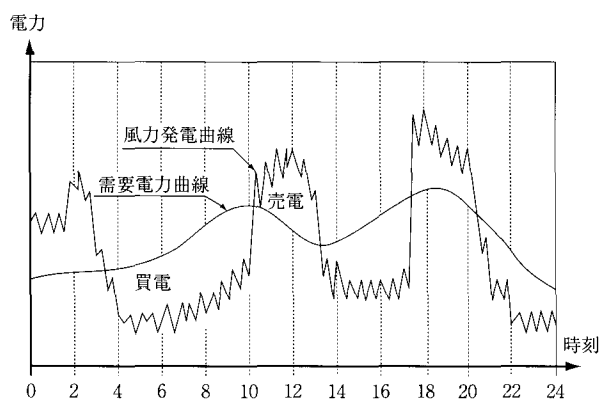


図-2 発電電力と需要電力曲線

2.3 計画策定目標

本システムの下水道事業への導入による効果としては、商用電力の削減による維持管理費削減効果、CO₂排出量削減による地球温暖化防止効果が得られることを目標とする。

(1) 電力量確保の安定性

年間を通じて安定した電力量が確保できることを目標として、年間設備稼働率（風車が運転している時間の合計値を年間時間で除した値）が60%以上、年間設備利用率（＝年間発電電力量/(定格出力×8760時間)）が19%以上であること。また、年間発電電力量は、庄内浄化センターの風力発電計画電力量以上を確保すること。

(2) 経済性

発電電力相当分の商用電力が削減できることから、庄内浄化センターにおける計画年間電力使用料金が削減できること。

(3) 環境性

風力発電機の運転による騒音レベルが、敷地境界において規制値以下であること。

(4) 地球温暖化防止効果

LCA（Life Cycle Assessment）評価によるCO₂削減率が年間90%以上であること。

(5) 安全性

事故等において、発電が停止した場合でも、商用電源に切替ることで処理場の機能が停止しないこと。

2.4 全体研究内容

本研究では、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、実施設計の検証・評価を行うことを最終目標として、**図-3**に示す全体研究フローに基づいて研究を行う。

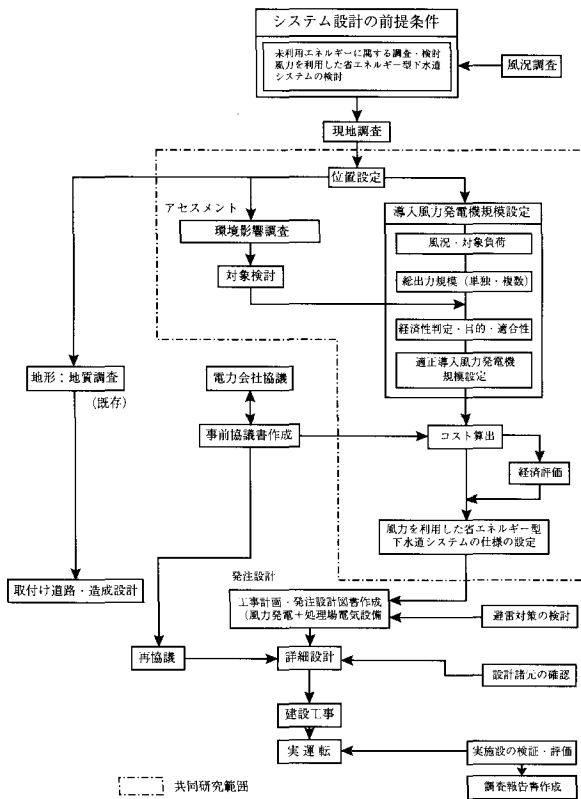


図-3 全体研究フロー

2.5 平成13年度研究内容

平成13年度は、以下の項目について実施した。

- ① 近隣風力発電所における実績調査
稼働中の風力発電施設を確認し、それらの運転状況の調査を行った。
- ② 東北電力との事前協議
事前協議に必要な手順の確認を行った。
- ③ 落雷被害防止対策の立案
・対策の対象となる雷の規模設定
・大地固有抵抗値の測定

2.6 研究対象施設概要

施設概要を以下に、計画概要を表-1に示す。

施設名称 庄内浄化センター

位置 山形県東田川郡余目町
大字家根合字大下
敷地面積 39,600m²
処理方式 標準活性汚泥法
放流先 京田川
供用開始 平成11年3月

表-1 計画概要

項目	全体計画 (平成27年度予定)	認可計画 (平成18年度予定)	実績 (平成12年度末)
計画処理面積 (ha)	2,128	1,497	668
計画処理人口 (人)	50,500	36,820	16,425
計画水量 (m ³)	30,931	21,139	2,800
処理能力 (m ³ /日)	31,000	15,500	3,900
池数	8	4	1
関係市町村	立川町・余目町・三川町・藤島町・酒田市		

3. 研究成果

3.1 近隣風力発電所における実績調査

本研究を実施するにあたり、近隣、特に東北地方日本海側の既稼働の風力発電所の実態を把握することは不可欠な要素であるので、次の異なる2カ所の風力発電所の実態を調査した。

- ① 竜飛ウィンドパーク 東北電力(株)
- ② 立川ウィンドファーム (株)たちかわ風力発電研究所

竜飛ウィンドパークおよび立川ウィンドファームのいずれも、初期段階に故障が多く発生していた。これらの故障の大半が、竜飛崎のような複雑な地形のサイトに特有な突風に起因するものと、運用開始初期における電力会社との系統連系に伴う発電機器の調整が必要なために生じたものであった。その都度改良工夫を施すことにより、故障件数が大幅に減少していた。

3.2 落雷被害防止対策の立案

3.2.1 目的および検討項目

庄内浄化センターがある庄内平野は、冬季に落雷が多く、風力発電施設への落雷事故の発生が懸念される。庄内浄化センターに適合した落雷被害防止対策を行う必要がある。

落雷被害防止対策の全体の検討フローを**図-4**に示す。このうち、平成13年度の検討項目は、避雷対策基準値となる雷撃電流および雷撃エネルギーの設定と、大地固有抵抗値の測定である。

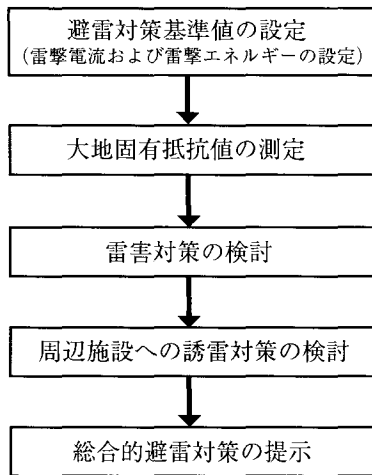


図-4 落雷被害防止対策 検討フロー

3.2.2 雷撃電流および雷撃エネルギーの設定

(1) 当該地域における雷観測

庄内浄化センター周辺の襲雷回数および強度を調査した。

気象庁酒田測候所(北緯38° 54.4' 東経139° 50.8')の2001年4月01日~2002年3月25日までの観測データ(財気象業務支援センター)と、年間雷雨日数(IKL: Isokeraunic Level)という、緯度および経度を15分で区切ったある地域で、雷鳴を耳で聞いたり、雷光を目視で確認した日数を1年間にわたって合計して作成されている年間雷雨日数分布図(IKLマップ)¹⁾を使用した。現在、我が国で使用されているIKLマップは1954年~1963年10年間の観測結果の平均である。

(2) 落雷頻度

① 襲雷日数

気象庁酒田測候所のデータより、庄内浄化センター周辺の年間襲雷回数(音と光が伴う回数)は136回で、年間襲雷日数は41日であった。この地域においては、襲雷日に雨も伴っており、襲雷日数と雷雨日数は同じ41日とした。また、IKLマップによれば35日であった。

風力発電設備への落雷頻度を検討するにあたり、用いる雷雨日数は危険側の41日を採用した。

② 風力発電設備への落雷頻度

ある範囲への落雷数を示す値として大地落雷密度(N_g)を考えると、年間雷雨日数(IKL)との間には次の関係がある。関係式には数種の式があるが、ここではS.A.Prenticeの式²⁾

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

を採用する。

また、雷撃回数(N_t)と大地落雷密度(N_g)には次の関係がある。

$$N_t = N_g \times B \text{ (回/年)}$$

$$B: \text{等価受雷面積 (km}^2\text{)}$$

また、地上高 H (km)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、庄内浄化センターにロータブレード高さ70mの600kW級風力発電機を設置したとすれば、風力発電機への雷撃回数(N_t)は、次式より求められる。雷雨日数は前述のとおり41日とする。

$$N_t \text{ (回/年)} = N_g \times B$$

$$= 0.1 \times IKL \times 9 \times \pi \times H^2$$

$$= 0.1 \times 41 \times 9 \times 3.14 \times 0.07 \times 0.07$$

$$= 0.57$$

よって、風力発電機への雷撃回数は、0.57回/年となる。

庄内地区やその近郊の独立高構造物への雷撃電流の観測データの有無が不明であるが、気象庁酒田測候所の2001年04月01日~2002年03月25日までの雷強度観測データより雷撃電流を推測できる。雷強度観測データを表-2に示す。雷鳴は耳で聞き、雷光は目視および雷放電カウンタにて確認し、その強弱はループアンテナによって雷撃電流波形を実測した結果をもとに判定される。雷強度と雷撃電流強度の関係は以下のとおりであり、強・中・弱の数値範囲はIEEE(電気・電子技術制定標準規格)に準じている。

雷強度 強: 雷撃電流100kA以上

中: 雷撃電流20kA~100kA未満

弱: 雷撃電流20kA未満

$$\text{発生頻度 (\%)} = (\text{発生回数} / \text{発生回数総計}) \times 100$$

表-2 雷強度観測データ
(気象庁酒田測候所 2001.4.1~2002.3.25)

	雷強度		
	強	中	弱
発生回数(回)	91	86	8
発生頻度(%)	49	46	5

(3) 雷撃電流

雷撃電流累積頻度 (%) と雷撃電流波高値 (kA) との関係を表すには、浄化センター近傍の複数年の測定データが必要であるが、公表されているデータが無い。よって、公表されているもので日本海側および海岸に近いという条件から、過去に北陸電力総合研究所において、1989年～1997年にわたり実施された福井県三国地区の落雷観測結果、および1993年～1997年にわたり実施された奥獅子吼試験線・奥獅子吼マイクロ鉄塔 (中能登) の落雷観測結果を参考とし、浄化センター付近の酒田測候所のデータとの比較検討を行った。

三国地区・奥獅子吼・中能登の観測結果を図-5に示す。この結果をもとに累積頻度値 (%) を算出すると表-3のようになる。表-2と表-3を比較すると酒田測候所と北陸電力総合研究所の落雷発生頻度は、ほぼ同等の値となる。三国地区・奥獅子吼・中能登と酒田測候所が、ともに日本海沿岸に位置し、冬季に雷が多いという条件や雷撃電流波高値累積頻度が類似していることから、雷撃電流および雷撃エネルギーの設定は、図-5と表-3のデータをもとにして行った。

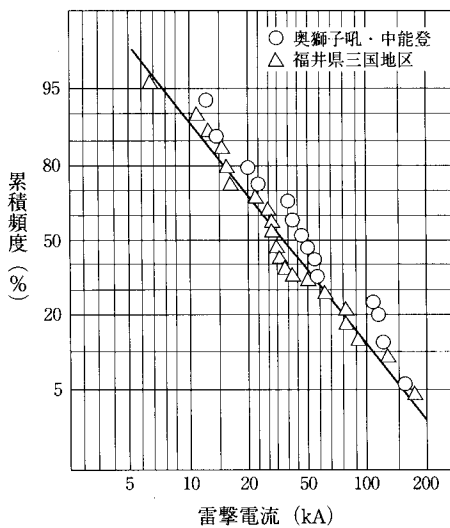


図-5 三国地区・奥獅子吼・中能登
雷撃電流波高値の累積頻度曲線

表-3 三国地区・奥獅子吼・中能登
雷撃電流波高値累積頻度

	雷撃電流 (kA)						
	5	10	20	40	80	100	150
累積頻度値 (%)	98	88	68	50	20	11	6
発生頻度 (%)	55		41			4	

(4) 雷撃電流および雷撃エネルギーの設定

雷撃回数と雷撃電流を乗算することにより、その雷撃電流を越える落雷が発生する年間頻度が算出される。算出結果を表-4に示す。

雷撃回数は0.57回/年を採用する。

表-4 雷撃電流と累積頻度

雷撃電流 (kA)	累積頻度値 (%)	雷撃回数	年間頻度 (回/年)	雷撃電流に相当する落雷が発生する年数
5	98	0.57	0.5586	1.8
10	88	0.57	0.5016	2.0
20	68	0.57	0.3876	2.6
40	50	0.57	0.2850	3.5
80	20	0.57	0.1140	8.8
100	11	0.57	0.0627	15.9
150	6	0.57	0.0342	29.2

$$\begin{aligned} \text{年間頻度 (回/年)} &= \text{累積頻度値} \times \text{襲雷回数} \\ \text{発生年数 (年)} &= 1 \text{年} / \text{年間頻度} \end{aligned}$$

雷害対策の検討のためのEMTP (汎用回路解析プログラム) 解析を行ううえで、雷撃の波頭長および波尾長が必要となるが、直撃雷では一般的に波頭長の50%累積頻度値は約10 μ s、10%累積頻度値は約1,000 μ s、波尾長の50%累積頻度値は約50 μ s、10%累積頻度値は約1,000 μ sであるといわれている。

(5) 雷撃電流の検討区分設定

今後検討しなければならない直撃雷のサージ電流に関する考察に用いる、雷撃電流パラメータの区分を設定した。波高値については、風力発電装置の耐用年数を17年と仮定し、耐用年数内に落雷する可能性のある最大の雷撃電流のものを採用した。表-4より、約16年に1回発生する波高値100kAを採用し、これに加え、庄内浄化センターの受電設備が6.6kVの高圧設備であり、その遮断器容量が40kAであることから、約4年に1回落雷する可能性のある40kAを採用した。

波頭長については50%累積頻度を有する10 μ sを採用し、波尾長については長時間継続する雷を考慮して1,000 μ sのものと、50%累積頻度の50 μ sを採用した。表-5に検討区分を示す。

波頭長は避雷器の放電開始に影響するパラメータであり、その波頭長は10 μ sであるためEMTP解析検討には、その値を用いるものとする。区分IとIIは約16年に1度、区分IIIは約4年未満に1度の落雷確率となる。

表-5 雷撃電流検討区分

雷撃電流 パラメータ	区 分		
	I	II	III
波高値 (kA)	100	100	40
波頭長 (μ s)	10 (50%)	10 (50%)	10 (50%)
波尾長 (μ s)	1000 (10%)	50 (10%)	1000 (10%)
電荷量 (c)	99.5	4.5	39.8

3.2.3 大地固有抵抗値の測定

(1) 概要

各種設備に対する雷害対策において、落雷があった場合に雷撃電流を速やかに大地に流すことが必要であるとともに、機器が常時正常に動作する状態を維持することが必要である。雷害対策用の接地は異常時に正常に機器が働くことを要求されるので、正しく設計・施工され、その状態が維持されることが大切である。そのためには、各接地に接地電流が流れた場合でも、それによって発生する接地電位上昇の影響を他の接地に与えないことが条件となる。よって、施設内他設備への影響を排除し、浄化センター内で安定した低接地抵抗値を得て、風力発電設備のための耐雷用接地設計を行うために、大地の固有抵抗値を測定した。

(2) 測定地点

大地固有抵抗値の測定にあたり、現在風況観測を行っている地点を中心に、南に120m、北に120mの地点を、風力発電機の有力設置候補地点として、測定点とした。

(3) 測定結果と考察

避雷設備は、A種接地工事に分類されているため接地抵抗値は10 Ω 以下の単独接地としなければならない。測定の結果、表層部に低い抵抗値がみられ、10 Ω 以下の抵抗値を得るための接地工法として、メッシュ接地工法が考えられるが、メッシュ接地工法では、限られた敷地内で面積を広くとる必要があり、季節変動や天候により不安定になるため、当浄化センター内において良好な接地を行うには、季節変動の受けにくいボーリング接地工法が有効であると判断された。10 Ω 以下の抵抗値を得るには最深で50mのボーリング接地が必要と判断された。

4. まとめ

(1) 近隣の風力発電所における実績調査

庄内浄化センターと同じく東北地方の日本海側に位置する風力発電設備である、竜飛ウィンドパーク(青森県)、および立川ウィンドファーム(山形県)を対象として実績調査を行った。

各施設での発電設備導入後の故障は、施設設置後に地域ごとの地形的な特性に合わせるための調整や、系統連係に伴う機器の調整が必要なため、初期段階で発生している。これらの故障は、その都度修正、調整することによって年々減少していた。

(2) 電力会社との事前協議

電力会社との事前協議に必要な手順、調整項目の整理を行った。

(3) 雷撃電流および雷撃エネルギーの設定

落雷被害防止対策の検討のための、避雷対策基準値となる雷撃電流および雷撃エネルギーの設定についての検討を行った。雷撃電流は、風力発電設備の耐用年数17年のうちで発生するであろう最大の落雷電流を考慮して、100kA(16年に一度の確率)を採用した。この結果は、今後の風力発電設備の耐雷性能の検討や、浄化センター設備のサージ対策の検討のための基礎データとなる。

(4) 大地固有抵抗値の測定

風力発電設備のための耐雷用接地設計に必要な、大地固有抵抗値の測定を行った。測定結果から、大地表層付近に条件を満たす層があることが認められ、接地方法としてメッシュ接地工法が考えられるが、季節変動の影響を受けにくく、安定した接地抵抗値が得られるボーリング接地工法が有効であり、より安全性が高いと判断された。

5. 今後の予定

今後は、実施設計・建設に向けた省エネルギー型下水道システムの構築、周辺環境への影響調査を行い、平成13年度に設定した避雷対策基準値および大地固有抵抗値をもとに落雷被害防止対策を検討する。

参考文献

1) 気象庁, 雷雨10年報, 1968

2) 有働 龍夫, 電力系統絶縁工学-サージと事故防止-

●この研究を行ったのは

研究第一部長

研究第一部主任研究員

研究第一部研究員

宮原 茂

藤野 正人

杉本 東

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長

研究第一部主任研究員

研究第一部研究員

田中 修司

藤野 正人

杉本 東