

下水道施設の有する空間利用の あり方に関する調査

1. 調査の背景と目的

下水道事業は、都市の水環境保全の中核事業として浸水防除、生活環境の改善および公共用水域の水質保全等の役割を下水道普及率の向上とともに果たしてきた。

下水道施設の有する空間は、今後、下水道事業そのものに求められる多様な機能の実現に向けて、拡大や活用を進めるとともに、清らかな水や緑のある快適な都市空間の形成や、都市の成長に伴う諸機能の整備と協調して活用されるべきものである。

これまでも処理場施設の有する上部空間は公園やスポーツ施設として、また、管渠施設は光ファイバーの敷設により、無人ポンプ場の遠隔制御等に利用されてきた。

下水道処理場は、広大な用地を必要とする施設であり、今後は、この空間を高度に利用することで新エネルギーを創造することも考えられる。

新エネルギーの中でいま注目されるのは、下水処理施設の有する広大な空間を利用できると共に、クリーンなエネルギーを創出できる太陽エネルギーである。

本調査は、現状における太陽エネルギー（太陽光発電システム）利用の動向を調査すると共に、下水道施設の有する空間の活用に太陽エネルギーを取り入れる手法について検討を行った。

2. 調査内容

太陽光発電システムについて、既存資料の文献調査を行うと共に、下水道施設の上部空間を利用した場合の潜在発電可能量の試算や太陽光発電システムを導入する場合に考慮すべき項目を整理した。

また、実際に下水道処理場に導入した場合のケーススタディを行った。

3. 調査結果

3.1 下水道施設における潜在発電量

3.1.1 潜在発電量

下水道施設の中で、最も利用可能な空間は水処理施設（最初沈殿池、エアレーションタンク、最終沈殿池）の平坦な上部空間である。この上部空間のうち、水面積に相当する部分が太陽光発電に利用可能であると仮定した。

標準活性汚泥法を対象とした場合、水処理施設の面積は、次式で表される。

$$A=0.135Q \text{ (m}^2\text{)}$$

ここで、A：利用可能面積（m²）

Q：処理能力（m³/日）

全国の計画処理能力の合計は、68,425,014 m³/日（平成4年度版下水道統計より）である。この処理能力をもとに、水処理施設の利用可能面積は概ね以下のとおりとなる。

$$A=0.135 \times 68,425,014 = 9,237,000 \text{ m}^2$$

利用可能面積を全て太陽光発電に利用した場合、年間発電可能量は、

$$9,237,000 \text{ m}^2 \times 0.1 \text{ kW} / \text{m}^2 \times 365 \text{ 日} \times 3.61 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ h} \\ \div 1,217,000 \text{ kWh} / \text{年} \text{ となる。}$$

ここで、0.1kW/m²は一般的な1m²当たりの発電効率を見込んだ発電量である。また、水平面日射量は全国平均値の3.61kWh/m²・日とした。

実際には各種の制約があり利用可能面積の全てに太陽光発電システムを設置できないが、潜在発電能力は大きいと考えられる。

3.1.2 全使用エネルギーとの比較

全国の下水道の処理場における電気エネルギー使用量は表-1のとおりである。(平成4年度版下水道統計)

表-1 全国の下水道処理場の年間使用エネルギー量
単位：千kWh/年

施設名称	場内ポンプ	水処理	汚泥処理	その他	合計
下水道	542,407	1,655,286	627,305	469,287	3,294,285
流域下水道	159,508	462,752	212,952	119,951	955,163
特定公共下水道	4,442	20,341	7,417	1,490	33,690
特環公共下水道	1,583	9,152	1,524	7,427	19,687
合計	707,940	2,147,531	849,199	598,155	4,302,825

〔出典：下水道統計 平成4年度版（日本下水道協会）〕

これから、先に求めた年間の太陽光発電システムの潜在発電量は、下水処理施設の全電気エネルギー量の28.3%を賄い、水処理施設の電気エネルギー量の56.7%を賄えることになる。

3.1.3 CO₂発生量の削減効果

太陽光発電による電力を用いることは、石油等の化石燃料の消費量削減やCO₂発生量の抑制につながり、現在重要な問題となっている地球温暖化対策に寄与することが可能である。

太陽光発電システムを下水処理場で有効可能な上部空間の全てに設置したと仮定すると、年間約80万tのCO₂発生量の抑制が可能と試算される。

3.2 太陽光発電のメリット

下水処理施設の上部空間活用として、太陽光発電を導入するメリットとして次の点があげられる。

- (1) 水処理施設の上部空間を活用できる。
- (2) 省エネルギーとなると共に下水処理場の電力エネルギーの自給率が向上する。
- (3) 地球環境保全のためにクリーンな自然エネルギーを活用できる。
- (4) 太陽光発電設備を設置することにより、地域住民に対し、環境保全施設としてのアピールができる。

(5) 購入する電力の削減により、維持管理費の低減効果が得られる。

(6) 太陽電池の発電特性と処理施設の電力消費パターンが似ており、電力ピークカットに貢献できる。

3.3 太陽光発電システムの種類

太陽光発電システムの利用方法は、大きく2つに分類できる。電力会社の電力システムとつながっているシステムを「連系型システム」、電力システムとつながっていないシステムを「独立型システム」と称している。

「連系型システム」には、常時連系型システムと、太陽光発電システムのパワーが不足している時だけ電力システムに切り替える切り替え型システムがある。また、常時連系型システムには、逆潮流がある場合とない場合に分類される。

逆潮流ありのシステムとは、太陽光発電の余剰発電電力を電力会社の電力システムに送り出す機能を有したシステムである。

システムの種類を図-1に、代表的な例として逆潮流ありのシステムの構成を図-2に示す。

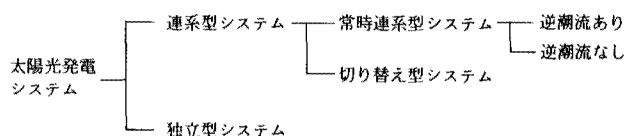


図-1 太陽光発電システムの種類

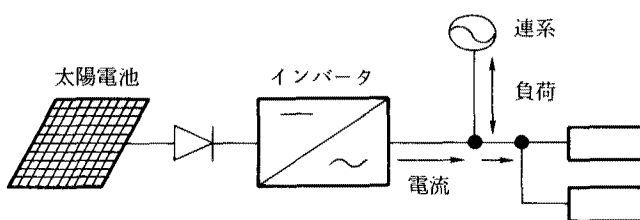


図-2 逆潮流ありのシステムの概念図

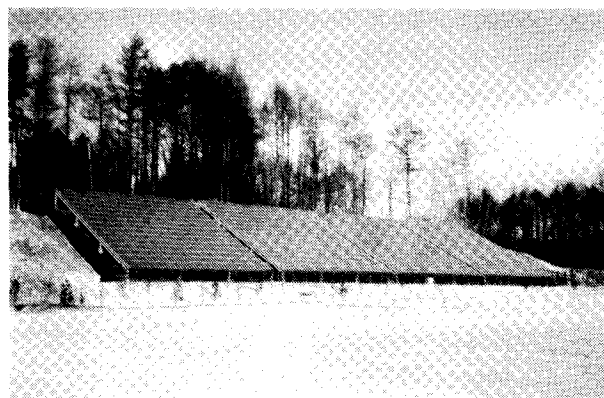


写真-1 太陽光発電システム設置例

3.4 利用分野と適用例

太陽光発電システムが現在利用されている代表的なものとして、人工衛星などの特殊なもの他、商用電源が得にくい離島用電源、無人灯台や航路用のブイの電源等にも利用されている。さらに、学校や公民館等の公共用移設、ビルや工場等の業務用施設、個人・集合施設でも照明用や換気・空調等の補助電源として利用例が増えてきている。

下水道施設においては、導入を検討した事例はあるが、まだ、実施例はない。しかし、上水道においては、東京都水道局の東村山浄水場において、太陽光発電の実証実験を行うべく現在建設中である。

東村山浄水場での実証実験の概要は次のようになっている。

事業主体：NEDOと東京都環境保全局及び水道局の共同事業

期 間：平成10年度まで

太陽電池：単結晶シリコン太陽電池

設置場所：既設配水池の上部の未利用グラウンド面
設置面積：約 1,800㎡

最大発電電力：70kW

年間発電量：約70,000kWh

供給先：既存の電力システムと連系して、主として浄水場の動力電源として使用。

なお、下水道施設での利用方法としては、太陽光で発電した電力を商用電源に連系して、処理場全体の動力電源として利用するか、単独で屋外照明やマンホールポンプの制御・テレメータの電源等への用途が考えられる。

3.5 太陽光発電システム導入の環境

3.5.1 設置・運用に係わる法的手続き

太陽光発電システムを導入する場合に関係する法令等としては電気事業法がある。

それによれば、太陽光発電システムで、その回路電圧が30V以上のものは自家用電気工作物として位置付けられている。太陽光発電の設置・運用に関わる手続きをまとめたものを表-2示す。

表-2 太陽光発電設備の設置・運用の関わる手続き

出力の範囲	工 事 計 画	使用前検査	使用開始届	主任技術者	保安規定	届出先
500kW以上	認可	実施	不要*	選任	届出	通産局
100kW以上 500kW未満	届出	実施	不要*	不選任承認	届出	通産局
100kW以上	不要	不要	不要*	不選任承認	届出	通産局

*譲渡・借用したものの使用開始届は必要

3.5.2 系統連系技術要件ガイドライン

現在、電力系統への連系について、電気事業法には特段の規制はなく、電力会社と自家用発電設備の設置者との協議に委ねられており、電力系統への連系を円滑に行うために通産省にて「系統連系技術要件ガイドライン」が整備されている。

ガイドラインによれば、系統への連系に際しては、商用系統の供給信頼性(停電時等)及び電力品質(電圧、周波数)に対して悪影響を与えない、公衆及び作業者の安全並びに電力供給設備又は電気設備に対して悪影響を及ぼさない事となっている。

3.5.3 電力買取制度

電力会社は、信頼性の高いクリーンなエネルギーの責任ある供給への取組の一環として、1993年4月から余剰電力の購入を行っている。

太陽光発電、風力発電について、販売している契約種別毎の電力料金単価で購入するものである。既に、1992年度から自家用発電設備設置者から希望があれば、一定の条件の下で逆潮流ありの連系を承認し、余剰電力の購入を実施している。

3.5.4 下水道事業に適用可能な制度

下水道施設において、適用可能な補助金制度としてはNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)が補助を行っている「新エネルギー発電フィールド事業」がある。

この事業の目的は、各種施設に太陽光発電設備等を試験的に設置し、実際の負荷の下で長期運転を行い、各種データを収集・分析して、本格的導入普及に有用な資料として取りまとめ、太陽光発電、燃料電池発電等の一般普及への素地形成を図ることである。

この制度では、地方公共団体等はNEDOと共同事業者となり事業を進めるもので、費用の分担は、NEDOが2/3、共同事業者が1/3となっている。また、対象施設として下水道・し尿処理場も含まれている。

施設の補助金制度の併用については、NEDO側に制約は特にない。

3.6 設置計画と保守点検

3.6.1 設置計画

設置計画にあたり次のような項目の調査・検討を行う必要がある。

- (1) 設置候補地点の状況
- (2) 負荷の所要電力と時間変動パターン
- (3) 電力会社との連系と運転方式
- (4) 気象条件

- (5) 予算
- (6) 設置予定時期

3.6.2 太陽電池容量計算方法

太陽光発電システムは、システム設置予定場所の日射量条件に応じて設計を行う。

日射量条件は時々刻々変化しており、日射量以外の条件も補正のために係数が設定されている。

これらの諸条件を考慮した上で、年間予想発電量の概略試算を行うことが望ましい。

年間発電量の概略計算方法は、以下の式で表される。

$$Q_m = 365 \times k \times \frac{P_p \times Q_d}{P_o}$$

ここに、

- Q_m : 年間発電量 (kW)
- P_p : 太陽電池設置容量 (kWp)
- P_o : 標準状態における日射強度 (kW/m²)
- Q_d : 受光面傾斜日射量 (kWh/m²/日)
- k : 補正係数
(補正係数については、日本電気工業会、太陽光発電技術マニュアルに準ずる。)

3.6.3 保守点検

太陽光発電システムを長期にわたり、安全に運転を続けていくには、法的な点検、自主点検を行うことが重要である。

点検の頻度については、現在のところ表-3のようになっている。

表-3 太陽光発電システムの点検頻度

項目	100kW以上	10kW以上 100kW未満	10kW未満
太陽電池発電所	2ヶ月に1回	1年に2回以上	4年に1回以上

3.7 太陽光発電システムの下水道施設への導入検討

3.7.1 設置上の留意点

太陽光発電システムの導入にあたっては、周辺環境との調和、場内水処理施設との関連性に留意して設計を行う必要がある。

(1) 周知環境との調和

太陽光発電システムのアレイは濃青色をしており、周辺環境に違和感を与えるものではない。また、発電時にも駆動部分がないことから、周辺への騒音対策も不要とされている。

むしろ、自然エネルギーを利用したクリーンな発電施設として、周辺住民への環境保全アピールに有効な施設としての活用が望まれる。

(2) 水処理施設との関連性

太陽電池アレイの設置場所としては、覆蓋された水処理施設上部が考えられることから、太陽光発電設備や水処理施設の維持管理に必要なスペースの確保につとめる。

特に、かき寄せ機、曝気装置等の主要機器に対する保守点検作業が容易にできることを前提に、設置場所を検討する必要がある。

(3) 水処理既設構造物への影響

太陽光発電のモジュールの重量は、約15kg/m²であり、架台等を含めた太陽電池アレイの重量も50kg/m²以下であるため、太陽光発電のモジュールを水処理施設の覆蓋上に設置することは、構造上の問題はない。ただし、モジュールの重量が一点に集中しないよう加重を配分するなどの配慮は必要である。

3.7.2 ケーススタディ

処理能力を以下のように設定した場合の各処理施設のスペース(水処理施設上部空間)に太陽光発電システムを導入した場合の年間発電量を試算した。

- ① 小規模：4千m³/日、
オキシデーションディッチ法
- ② 中規模：5万m³/日、
標準活性汚泥法
- ③ 大規模：10万m³/日、
標準活性汚泥法

それぞれの施設に設置するシステム容量を30kW、100kW、500kWとして検討を行った。その結果を表-4に示す。

表-4 ケーススタディ結果一覧表

処理能力	システム容量	システム設置スペース	年間発電電力量	電力料金の削減額/年
4千m ³ /日	30kW	約500m ²	約3.4万kWh	約39.8万円
5万m ³ /日	100kW	約1,700m ²	約11.6万kWh	約139.7万円
10万m ³ /日	500kW	約8,500m ²	約57.6万kWh	約677.4万円

- 注) ①電力料金の単価は11円70銭/kWhとして計算した。
 ②設置スペースには、保守点検用のスペースを加えた。
 ③発電電力算出のための補正係数は0.81に設定した。

なお、4千m³/日の処理場では、ディッチの上部利用が可能な30kWのシステムを想定し、5万m³/日の処理場では、フィールドテスト事業として公共施設での使用実績の最大規模である100kWシステムを想定した。また、10万m³/日の処理場は、施設規模から水処理施設上部利用可能面積を最大に設置し

た場合に相当する500kWシステムを想定した。

(1) 太陽光発電システムに各装置概略寸法

各処理能力毎にシステムを設置した例について、太陽光発電システムを構成する主要な装置について概略をまとめると表-5のとおりとなる。

表-5 各処理能力毎の装置概略仕様

処理場処理能力	4,000m ³ /日	50,000 m ³ /日	100,000 m ³ /日
太陽電池 占有面積	約 500m ² 横32m ×縦15.5m (ディッチ上部 全面)	約 1,700 m ² 横32m ×縦53m (水処理のエア タン部分)	約 8,500 m ² 横32m ×縦53m×5 (水処理施設全面)
接続箱 (単位: mm)	1,000 × 1,200 × 370 3 面	1,000 × 1,200 × 370 10 面	1,000 × 1,200 × 370 50 面
インバータ盤 (単位: mm)	1,950 × 1,000 × 800 1 台	2,350 × 1,200 × 1,000 2 台	2,350 × 1,200 × 1,000 10 台

(2) 太陽光発電システムにより賄える電力量

太陽光発電により発電した電力が下水処理場で使用する全電力量に対し賄える比率を試算した。

ケースとしては 10万 m³ /日の処理能力の処理場を例として、100kWシステムを設置した場合と 500kW システムを設置した場合を検討する。

検討結果を表-6、表-7に示す。また、時間毎の流入水量、消費電力量と500kWシステムを設置し

た場合の時間毎の太陽光発電量を図-3に示す。

この計算結果より、500kWシステムを導入すれば、昼間においては、処理場全消費電力の10~20%の電力を太陽光発電で賄うことが可能である。

3.7.3 太陽光発電システムの概算価格

太陽光発電システムの概算価格は次の表-8の通りとなっている。装置には、太陽電池パネル、接続箱、架台、インバータ、連系保護装置が含まれている。また、この価格は、装置のみの価格であり、工事費は含んでいない。

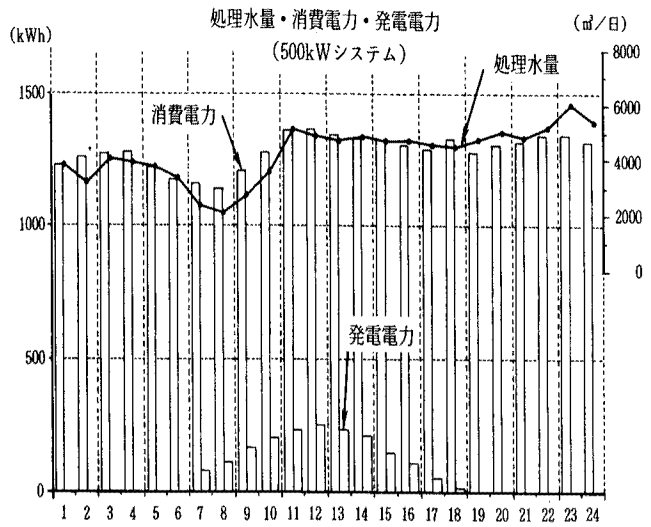


図-3 時間毎処理水量・消費電力・太陽光発電量

表-6 100kWシステムでの太陽光発電の賄い率

太陽光発電電力量 (kW)	15.4	22.7	33.2	41.3	47.8	51.0	47.8	42.9	30.0	21.9	10.5	2.4
消費電力量 (kW)	1,160	1,150	1,210	1,280	1,370	1,370	1,350	1,320	1,320	1,310	1,290	1,330
太陽光発電賄い率 (%)	1.3	2.0	2.7	3.2	3.5	3.7	3.5	3.3	2.3	1.7	0.8	0.2
時間	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

表-7 500kWシステムでの太陽光発電の賄い率

太陽光発電電力量 (kW)	77.0	113.4	166.1	206.6	239.0	255.2	239.0	214.7	150.0	109.4	52.7	12.2
消費電力量 (kW)	1,160	1,150	1,210	1,280	1,370	1,370	1,350	1,320	1,320	1,310	1,290	1,330
太陽光発電賄い率 (%)	6.6	10.0	13.7	16.1	17.4	18.6	17.7	16.3	11.4	8.4	4.1	0.9
時間	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

表-8 発電容量毎の概算価格

発電容量	10kW	30kW	50kW	100kW	500kW
概算価格	37	94	122	220	1,060

注) 装置の概算価格であり、工事費は含まれていない。
装置には、太陽電池パネル、接続箱、架台、インバータ、
連系保護装置が含まれる。
500kWシステムの概算価格は、一次補間して求められた
想定値である

4. まとめ

本調査は、下水道施設の有する空間の有効利用方法の一つとして、水処理施設上部を利用した太陽光発電システムに着目し検討を加えた。

本調査においては、下水道施設に太陽光発電システム導入についての関連法規制等を整理し、下水道施設に適用する場合の技術的な諸条件について、検討・整理を行った。

下水道施設の内、水処理施設上部のみを太陽光発電に利用した場合でも、相当規模の潜在的発電能力を有していることが分かった。

また、実際の処理場をモデルとして太陽光発電のケーススタディを行った結果、10万 m^3 /日規模の処理場に500kWシステムを設置した場合では、最大で約20%の消費電力を賄うことが可能である。

このように太陽光発電システムは、下水処理施設の有する空間を有効に利用できると共に、クリーンなエネルギーを創出でき、維持管理についても容易である。

太陽光発電システムは、新たな下水処理施設の空間利用の手法及びクリーンなエネルギーの創出技術として注目されるべき技術であり、今後、積極的に利用することにより、化石燃料の消費量の削減、ひいては、地球温暖化原因物質である CO_2 発生抑制に寄与できると考えられる。

ただし、現時点で太陽光発電システムを導入する場合、システムの建設費、維持管理費と電力料金削減とのバランスを検討する必要がある。

発電効率をより高めることによる、省スペース、建設コストの削減が今後の実用化へ向けての課題になるものと考えられる。

● この調査に関する問い合わせは

研究第一部長

佐藤 和明

技術部技術課長

村上 孝雄

研究第一部研究員

森 正治

研究第一部研究員

高木 克也