

小型風力・太陽光ハイブリッド発電システムの活用 — 雨水供給システムへの適用 —

池田 穰*

屋上緑化の灌水や人工池の水補給に必要な水を雨水タンクから配送するためのポンプの動力源として、小型風力・太陽光ハイブリッド発電システムを独立電源として用いた。具体的には、雨水集水屋根を通して雨水タンクに貯められた雨水を、ポンプと電磁弁により屋上緑化や人工池に供給した。その結果、雨水タンクの容量や集水屋根の面積を適切に設計すれば、小型風力・太陽光ハイブリッド発電システムを利用して、屋上緑化の灌水や人工池の水補給に雨水タンクからの水を有効利用できることが実証できた。これにより水道や商用電源を利用せずに、屋上緑化やビオトープ内の人工池の維持管理を行なうことも可能となる。

キーワード：垂直型風車、小型風力発電、太陽光発電、ハイブリッド発電、緑化、雨水、灌水、人工池

1. はじめに

屋上緑化やビオトープといった自然環境と共生する施設は、それらのもつ修景効果、温熱環境改善効果、生物多様性の保全効果等から多くの建造物に普及しつつある。こうした施設の維持管理には、生物の生存に必須の水の定期的な供給が必要であり、そのために水道や商用電源という既存のインフラ設備を用いることが多い。水道の代わりに雨水、商用電源の代わりに風力・太陽光という再生可能エネルギーを用いれば、屋上緑化やビオトープは、エネルギーの点から外部と自立した施設となり、自然環境と共生する施設にふさわしいものとなる。

近年、省資源・低炭素化にも資する再生可能な独立電源として風力・太陽光を利用した発電システムが普及し様々な用途への展開が期待されている。ここでは、小型風力・太陽光ハイブリッド発電システムを用いて雨水タンクからの水を、屋上緑化の灌水¹⁾やビオトープの人工池に補給する実証試験を行なった。

2. 方法

2.1 小型風力・太陽光ハイブリッド発電システム

小型風力・太陽光ハイブリッド発電システム（写真-1）は、垂直型小型風車と発電機および太陽光発電パネルを組み合わせたものである。試験に用いた垂直型小型風車は、比較的低風速（1m/s）でも発電でき、プロペラ型の風車と比較して静穏である。定格出力は 200W であ

る。表-1に風力発電機の諸元を示す。また試験に用いた太陽光発電パネルは、大きさ 111cm×50cm のシリコン単結晶セル太陽電池パネル（サンテックパワージャパン社製）で、定格出力は 64 W である。その他の付属装置として、発電制御装置（昭和電業社製）がある。これは充放電コントローラー、蓄電池（定格出力 DC12V）および DC/AC インバーターからなる。図-1にシステム構成を示す。



写真-1 小型風力・太陽光ハイブリッド発電システム

*環境事業部

表-1 風力発電機の諸元

項目	単位	値	備考
起動風速	m/s	1.2	風速12m/secの時
発電能力	W	43	
充電開始風速	m/sec	2.8	
最大耐風速	m/sec	60	
定格出力	W	200	
公称電圧	V	12	

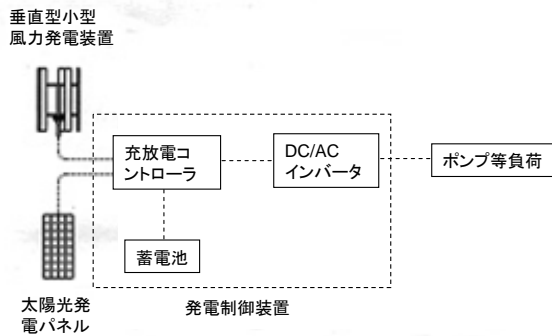


図-1 システム構成

2.2 屋上緑化灌水システム

図-2に屋上緑化灌水システムの概要を示す。雨水集水屋根 (2.3 m²) を通して雨水タンク (250L) に貯められた雨水をポンプ (CP-105S, 三菱電機社製, 定格出力

100W, 吐水量 18L/min) と電磁弁 (ADK11-20A, シーケーディ社製, 消費出力 13W) を通して屋上緑化システムに供給した。屋上緑化システムとして屋上緑化に実績のあるヤシ殻マット²⁾を厚さ 2cm, 面積 1.8 m²の鉄板上に敷設し模擬的な屋上とし, その上にコウライ芝を植栽した。

ヤシ殻マットは図-3に示すように保水性が高く一度飽和状態にすれば, 灌水しなくとも1ヶ月ほどの間植物の生存に必要な水分を保持できる。保水性に関連しヤシ殻マットの水分と pF (水分張力: 土壌の水分保持力を現す) との関係は図-4に示される。ここではヤシ殻マット内に点滴灌水ホース (ラム 17, ネタフィムジャパン社製) を敷設し, ヤシ殻マットの内部に水分センサを取り付け, 灌水制御装置 (ウォーターセイバー, クレアテラ社製) と連動させた。灌水制御装置により, 水分センサの pF 値が 2.7~3 相当の乾燥状態となった場合, ポンプと電磁弁が 30 分稼働し屋上緑化システムに総量 24L の雨水が供給されるようにした。灌水制御装置の消費出力は 8.4W で, 1日1時間 (10:00~11:00) の通電で適宜必要時に灌水が行なわれるように設定した。写真-2に屋上緑化灌水システムの概観を示す。

2.3 人工池の水補給システム

面積約 10 m², 水深 18cm, 容積約 1850 L のひょうた

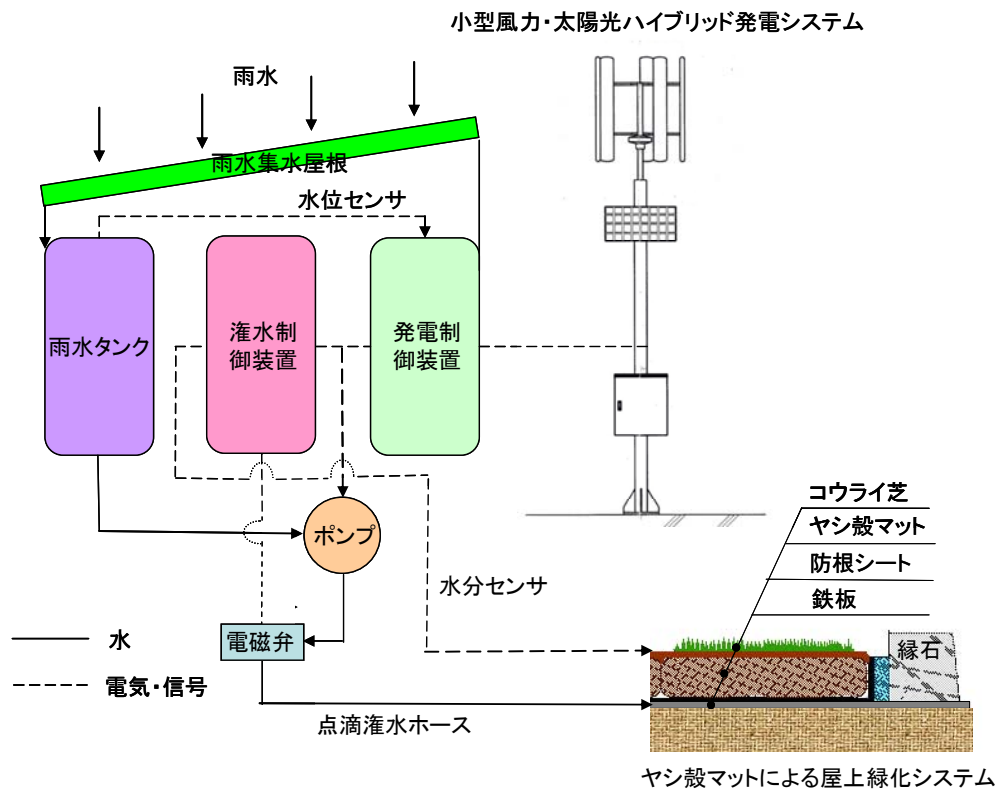


図-2 屋上緑化灌水システムの概要

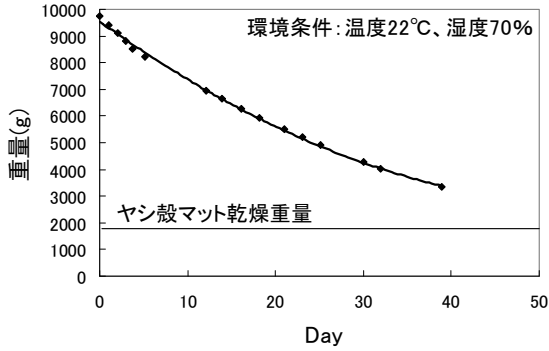


図-3 ヤシ殻マットの保水性能

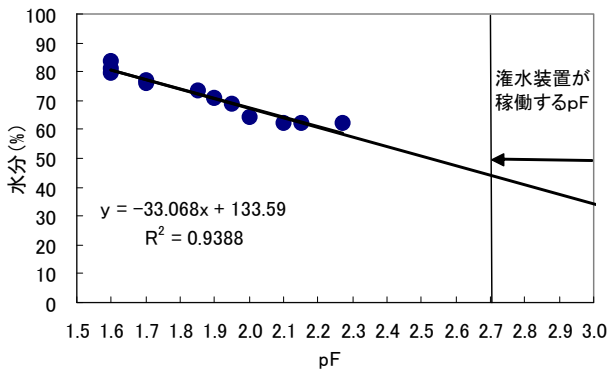


図-4 ヤシ殻マットの水分と pF の関係



写真-2 屋上緑化灌水システムの概観



写真-3 人工池

ん型の人工池(写真-3)をビオトープとして製作した。池の底面は、ビニールを2重敷きにして漏水を防いでいる。水深18cmを超えると水は、排水口から排水される。入水は雨水のみである。雨水として池面への降水に加えて、2.2の「屋上緑化灌水システム」で用いた雨水集水屋根、雨水タンクおよびポンプより構成されるシステムから水が補給される。池内には水位計(DPI260, ドラッグジャパン社製)を設置し、水位が基準とした水位より低下すると雨水タンクの水が補給される。毎日15:30~16:30の1時間に発電制御装置からこのシステムに電気が供給され、水分センサが作動するようにした。ポンプの最大稼働時間は1時間で、雨水タンクに水がない場合、ポンプは稼働しない。水位の変化はデータロガー(NR-1000, キーエンス社製)を用いて10分おきに記録した。

3. 結果と考察

3.1 発電量

表-2に2006年6月から12月までの月別の風速、風力発電量および太陽光発電量の日平均値を示す。また図-5、図-6に月別の日平均風力発電電圧と風速、月別の日平均太陽光発電電圧と全天日射量との関係をそれぞれ示す。風力発電電圧は風速に、太陽光発電電圧は、全天日射量にそれぞれ比例する。しかし平均電圧は、風力発電(1.5V)と太陽光発電(13.3V)では約9倍の開きがあり、発電電力においても風力発電電力(0.2W)

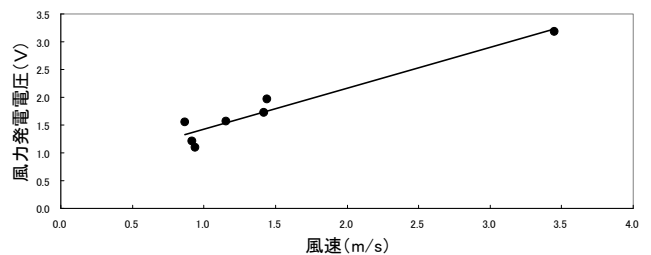


図-5 月別の日平均風力発電電圧と風速との関係

表-2 2006年6月~12月の月別の風力発電量(上)および太陽光発電量(下)の日平均値

年月	風力発電電圧(V)	風力発電電流(A)	風力発電電力(W)	風速(m/s)*
2006年6月	1.42	0.09	0.13	1.73
2006年7月	1.15	0.07	0.08	1.57
2006年8月	0.87	0.06	0.05	1.56
2006年9月	1.44	0.14	0.21	1.97
2006年10月	0.94	0.03	0.03	1.09
2006年11月	0.92	0.06	0.06	1.22
2006年12月	3.45	0.27	0.92	3.19
平均	1.45	0.10	0.21	1.76

年月	太陽光発電電圧(V)	太陽光発電電流(A)	太陽光発電電力(W)	全天日射量(MJ/m ²)*
2006年6月	12.75	1.17	14.92	14.1
2006年7月	13.61	1.37	18.70	12.6
2006年8月	14.31	1.38	19.69	15.7
2006年9月	14.29	1.16	16.56	12.6
2006年10月	13.14	0.93	12.20	11.0
2006年11月	12.90	1.12	14.41	9.0
2006年12月	12.33	1.85	22.76	7.4
平均	13.33	1.28	17.03	11.77

*風速は、太陽光発電パネル横に取り付けた風速計の測定値。全天日射量は、気象庁つくば観測所の測定値。

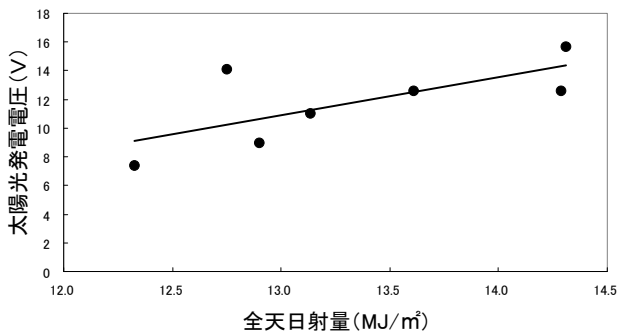


図-6 月別の日平均太陽光発電電圧と全天日射量との関係

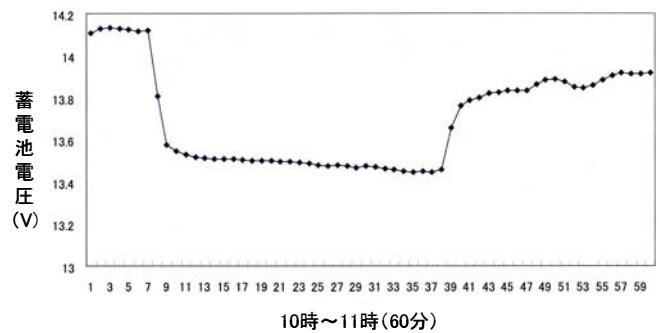


図-7 ポンプ等稼動時の蓄電池電圧の変化

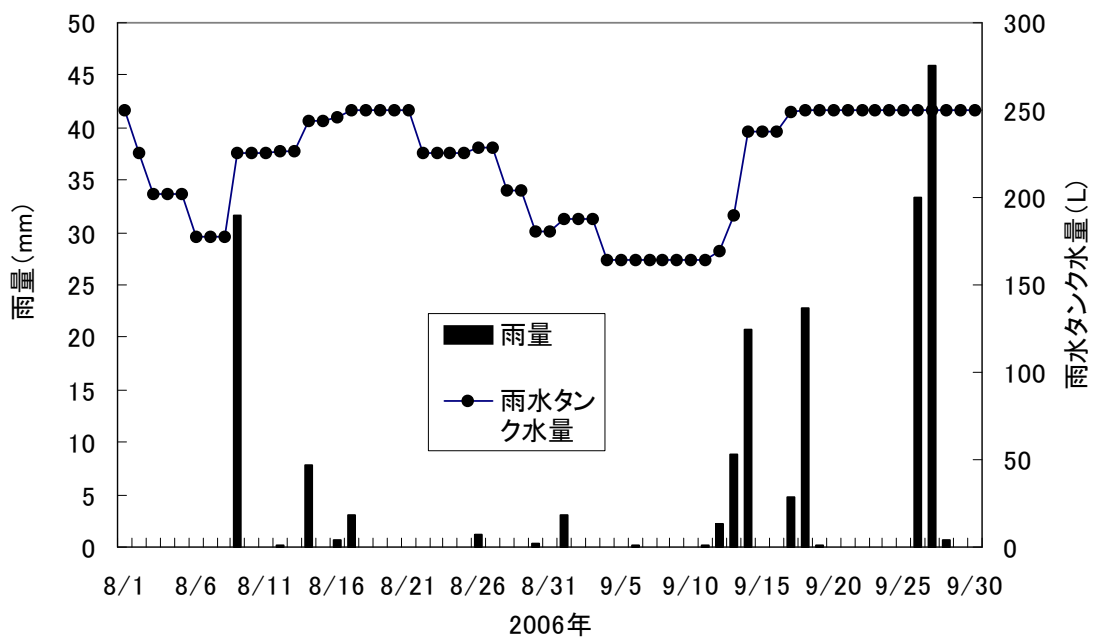


図-8 夏季における日雨量と雨水タンクの水量

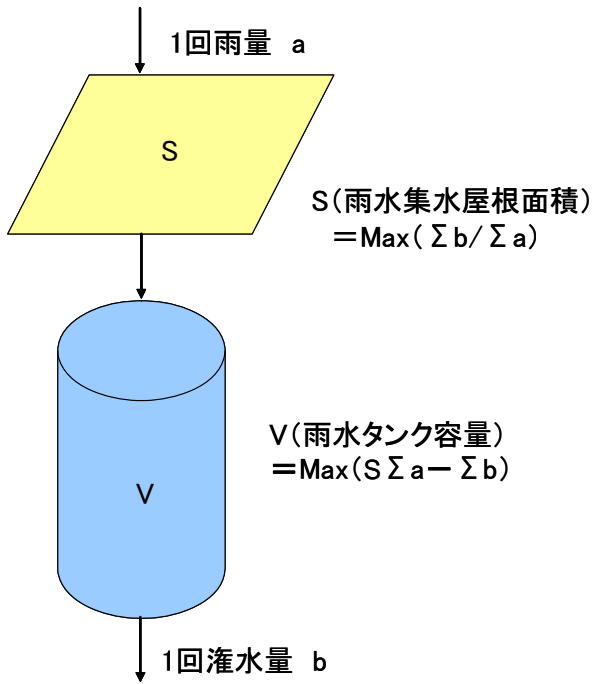


図-9 雨水集水屋根面積と雨水タンク容量の求め方

は太陽光発電電力 (17.0W) の 1.2%であった。このように小型風力発電で得られる電力は、太陽電池パネル 1 枚にも及ばない。モジュールに比べるとインパクトがあり、環境関連施設の可視化という点では太陽電池モジュールより効果があると考えられる。

また図-7 にポンプ等稼働時の蓄電池電圧の変化を示す。ポンプ等稼働時においても過放電が見られないことから、小型風力・太陽光ハイブリッド発電システムにより雨水供給のための必要十分な電力がまかな得ることが確認できた。

3.2 屋上緑化灌水システム

図-8 に 2006 年 8 月 1 日から 9 月 30 日までの日雨量と雨水タンクの水量を示す。この期間は最も気温が高くかつ蒸散量も大きい上に雨量も少ないため、植栽基盤の水分が最も不足しやすい。従ってこの対象期間の雨量が

雨水集水屋根面積と雨水タンク容量の決定に必要な設計条件となる。

図-9 に雨水集水屋根面積と雨水タンク容量の求め方の概要を示す。面積 1.8 m² の屋上緑化の灌水に必要な雨水集水屋根面積 (S) は、図-8 に見られるように雨がはじめて降る 8 月 9 日から 9 月 30 日までの任意の期間の累積灌水量 (Σb) を累積雨量 (Σa) で割り、その最大値 3.54 m² とした。この雨水集水屋根面積 (S) と雨量から各日の雨水タンクへの累積流入雨量 ($S \Sigma a$) をもとめ、そこから累積灌水量 (Σb) を差し引いた量 ($S \Sigma a - \Sigma b$) の最大値を雨水タンク容量 (V) とした。また ($S \Sigma a - \Sigma b$) の最小値がマイナスの場合、対象期間以前に雨水タンクにあらかじめその分の水が貯留されている必要がある。

本試験の場合、($S \Sigma a - \Sigma b$) の最大値は 162.84 L (9 月 27 日) であり、($S \Sigma a - \Sigma b$) の最小値は -24.20 L (8 月 2, 3, 6, 22, 28 日および 9 月 4 日) であった。よって雨水タンク容量として 162.84 L + 24.20 L = 187.04 L が少なくとも必要である。

これらの値は緑化面積 1.8 m² の場合であるが、例えば屋上緑化の平均的な面積として 250 m² (全国屋上・壁面緑化施工面積調査³⁾) の屋上緑化システムに灌水する場合には、この結果を外挿することで少なくとも 492 m² の雨水集水屋根と 26m³ の雨水タンクが必要であることがわかった。さらに夏季前に雨水タンクに 3.4m³ の水が貯留されている必要がある。

3.3 人工池の水補給システム

図-10 に夏季晴天時 (2008 年 8 月 4 日) における池の水位の 1 日の変化を示す。水位は水温補正を行った値であるが、風や生物の動きなど不明な原因で値のぶれが一部見られた。全体の傾向として 8:00~15:30 において蒸発により水位が低下する。そして 15:30 にセンサが水位低下を検知し、16:30 まで雨水タンクの水が池に供給される。水位はこの間 14.8cm から 15.4cm まで

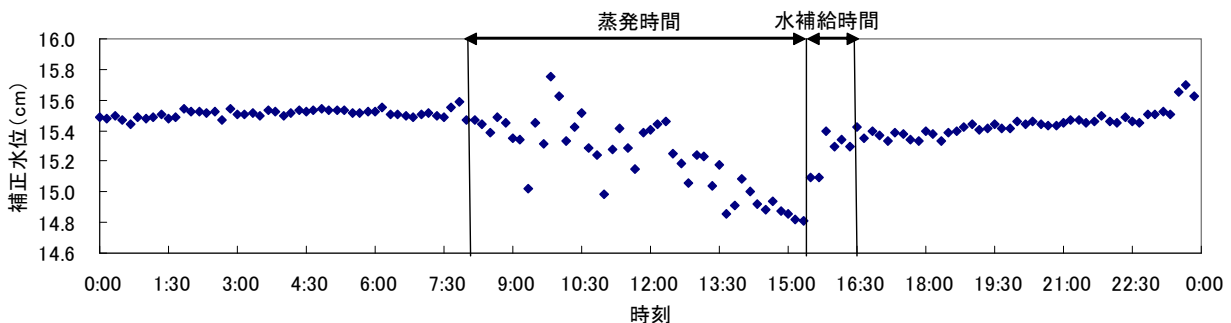


図-10 夏季晴天時の人工池の水位の日変化 (2008 年 8 月 4 日)

6.0mm 上昇し、元の水位に回復する。これによる雨水の供給水量は、約 60L になる。雨水タンクの容量が 250L であることから、最も蒸発速度の大きい夏季、晴天が続いた場合でも、池内の水と雨水タンクが共に最初に満水位であるなら $250\text{L}/60\text{L} \approx 4$ から、約 4 日間分の蒸発した水量が補給されることになる。人工池の容積は 1850L であることから、この蒸発速度が続いた場合でも $1850\text{L}/60\text{L} \approx 31$ より 1 ヶ月間無降雨が続かない限り、人工池の水は干上がらない。

4. おわりに

本実証試験により以下のことが明らかとなった。

- 2006 年 6 月～12 月の風力発電電力、太陽光発電電力の日平均値は、それぞれ 0.2W, 17.0W で、風力発電電力は、太陽光発電電力の 1.2% しかない。

しかしながら小型風車の回転する動きは、太陽電池パネルに比べるとインパクトがあり、環境関連施設の可視化という点では太陽電池パネルより効果があると考えられる。

- 小型風力・太陽光ハイブリッド発電システム、雨水集水屋根および雨水タンクを用いて、 250 m^2 の屋上緑化システムに灌水するには、少なくとも 492 m^3 の雨水集水屋根と 26 m^3 の雨水タンクが必要である。

また面積 10 m^2 、水深 18cm、容積 1850L の人工池では、蒸発により夏季晴天時日最大 6mm 水位が低下する。容量 250L の雨水タンクが満水の場合、約 4 日間同様の晴天が続いた場合でも人工池の水位は維持される。無降雨が続く場合でも約 1 ヶ月間人工池の水は干上がらない。

- これらの実証試験より、小型風力・太陽光ハイブリッド発電システムを用いて雨水タンクからの水を、屋上緑化の灌水やビオトープの人工池に補給するための雨水集水屋根面積や雨水タンク容量の設計手順を提案できた。

本実証試験は、株式会社昭和電業社、株式会社クレアラネットワークと共同して行なった。また試験に用いた小型風力・太陽光ハイブリッド発電システムは、株式会社新井組ほか 6 社で設立された小型風力発電研究会で検討した発電システムである。

参 考 文 献

- 池田穰, 山崎智雄, 山口修一, 井上博, 柳田友厚, 北村洋一: 小型風力・太陽光発電システムを利用した雨水による屋上緑化灌水システム, 土木学会第 62 回年次学術講演会, CS4-002, pp. 147-148, 2007
- 池田穰, 北村洋一: 植栽基盤「ヤシ殻マット」の諸特性, 日本緑化工学会誌, 28(4), pp. 507-511, 2003
- 国土交通省 都市・地域整備局 公園緑地・景観課 緑地環境室: 屋上・壁面緑化空間は新たにどの程度創出されたのかー全国屋上・壁面緑化施工面積調査について, 2009

Application of Small Vertical Wind and Solar Hybrid Power Generation System for Rain Water Supply System

Yutaka IKEDA

The small vertical wind and solar hybrid power generation system was examined to supply electricity of a water pump which delivers water from a rain water tank to roof top gardening or a small artificial pond. As a result, it is possible to use the small vertical wind and solar hybrid power generation system for a rain water supply system if the volume of the rain water tank and the area of the rain water catchment were suitably designed. It is indicated that roof top gardening or a small artificial pond can be kept without commercial power and waterworks facilities.