

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 21 日現在

機関番号：83501
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2012～2014
 課題番号：24700778
 研究課題名(和文) 省エネルギー・ライフスタイルの確立に向けたPVグリーンシステムの設計と実証実験

 研究課題名(英文) PV Green System designing and demonstration experiments aim to establish energy saving life style

 研究代表者
 菊池 佐智子(Kikuchi, Sachiko)

 山梨県富士山科学研究所・その他部局等・研究員

 研究者番号：50409471
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：「PVグリーンシステム」という第2世代の技術システムを確立させるため、「傾斜角と設置面の違いからみたPVグリーンシステムの特性」「PVグリーンシステムの季節特性」「PVグリーンシステムを成立させる緑化」を個別の目的として研究に着手した。その結果、PVグリーンシステムは、太陽光パネル裏面・地表面付近の気温を低下させ、電力量の増加に有効であること、12月から2月までの冬期を除いた期間において太陽光パネル周辺の高温化抑制に有効であること、太陽光パネル下では太陽光線スペクトルの赤や黄が不足すること、を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We studied to aim to establish “PV Green System” as the second generation of technology systems. The three objectives are the followings: (1) grasped the feature of “PV Green System” based on the angle of inclination and the installation surface, (2) grasped the season characteristics of “PV Green System” and (3) explained the cover plants condition to form “PV Green System”. We obtained some results. (1) “PV Green System” makes lower the temperature of under solar panels and ground surface. (2) “PV Green System” proved a beneficial of increasing electrical power. (3) “PV Green System” controlled a high-temperature around solar panels during excluding December to February. (4) The spectrum under the solar panels lack of red and yellow.

研究分野：ランドスケープ科学

 キーワード：再生可能エネルギー 環境デザイン 環境計測 観賞・景観環境植物 環境改善・緑化 環境緑化学
 都市緑化植物

1. 研究開始当初の背景

PV(Photovoltaics, 太陽光発電)は再生可能エネルギーを活用した発電方式である。2011年3月に発生した東日本大震災以降、純国産エネルギーで温室効果ガス排出などの環境影響が小さく、安全性が高いPVの導入・普及が期待されている。しかし、厳しい面積制限を有する日本では、PVの効率化、生産性向上、多様化だけでは、利用拡大の実現は困難である。これは、普及を加速するための新政策、建材・部材などと一体化して価値を付加した技術開発の必要性を示すものと言える。これまで、PVの研究開発は、変換効率の向上、他電力系統との連携、耐久性などが重視されてきたが、今後は、補助金、税制、金融などの各種インセンティブ、既存の環境配慮技術との連携など、総合的・技術的・実践的な第2世代の技術開発への移行が急務である。

本研究では、PVが設置されることの多い建物屋上を想定し、既存の環境配慮技術「屋上緑化」と一体化した第2世代の技術システム「PVグリーンシステム」の確立を目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「PVグリーンシステム」が成立する客観的根拠の明示とした。

3. 研究の方法

本研究では、神奈川県川崎市の明治大学農学部第1校舎4号館屋上(2階部分)の緑化試験区(4.0×4.0m)に方位角は同一0度(真南)とした太陽光パネル(傾斜角33.1度、傾斜角5度)を設置した。一般的なコンクリート舗装による屋上面(概ね半径4.0mは同じコンクリート舗装)に設置した同一角、傾斜角33.1度の太陽光パネルを対照とした。発電能力、コントローラーとバッテリーの器差確認の後(2012.7.8)、造成した屋

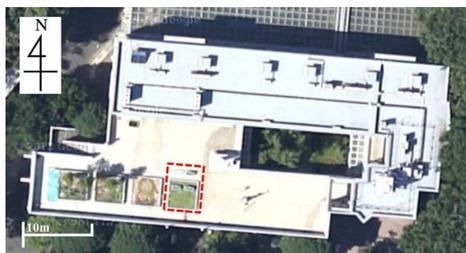


図-1 緑化試験区全景(赤色点線部)

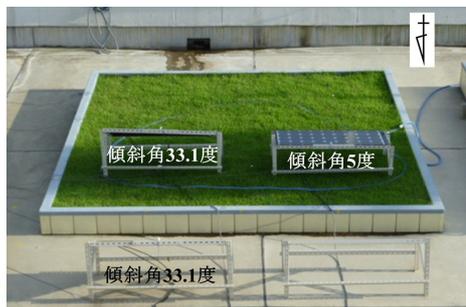


図-2 実験風景(PVグリーンシステム)

上緑化の芝草の生育が安定した2012年8月4日から実験を開始した。

供試植物

本システムでは、セダム緑化と比べて環境改善効果が高い芝草緑化による屋上緑化を採用した。芝種は、ターフ形成とダメージ回復の早さ、耐乾性、維持管理の手間・費用が軽減できる改良日本芝 *Zoysia japonica* Steud.の改良種「エルト」(以下「エルト」)とアユアラグラスの *Lolium rigidum* Gaud.の改良種「フィアウェイ2」(以下「フィアウェイ2」)のウインター・オーバー・シーディング(Winter Over Seeding: WOS)とした。

供試土壌

軽量化と一定程度の保水性・排水性を有する湿性多孔質人工軽量土壌とし、土壌厚は25cmとした。

維持管理

「エルト」のソッドを敷いて、芝草緑化を造成(2012.5.2)し、灌水は芝草が活着するまで適宜ホースで行った。芝草活着後は、灌水コンピュータ(GARDENA 製電池式ウォーターコンピュータ・自動水やりタイマー1862-20)を用い、自動灌水により懸念される局所的な乾燥や過湿を防ぐため、通常よりも灌水回数を増やし、緑化試験区の水分条件が芝生芝草の生育の制限要因にならないように配慮した。

太陽光発電システムの概要

施工実績高い単結晶太陽光パネル(SHARP 製独立型単結晶型太陽電池 NT-84L5H)にバッテリー(G&Yu・グローバルアサ製ディープサイクルバッテリー SMF31MS-850)、コントローラー(未来社製コントローラー PV-1212D1A)をつなぎ、発電システムを構築した。設置した太陽光パネルの方位角と傾斜角は、UR都市機構技術研究所での現地調査と技術者へのヒアリング、NEDOが公開する日射量データベース閲覧システムに基づき、決定した。地表面からの高さ30cmと方位角0度(真南)は同一とし、2つの傾斜角(33.1度、5度)を設定した。傾斜角33.1度は、緑化試験区のある神奈川県川崎市において、年間で最大の日射量が得られる角度、傾斜角5度は、現地調査を実施したUR都市機構が既存住宅に太陽光パネルを設置する際に、浮き上がり荷重に対する安全性を確保した角度である。

(2) 測定項目

測定項目は、発電電圧(電力量)、芝草の生育状況(鮮度、写真撮影)のほか、気温・湿度(太陽光パネル裏面、地表面付近、気象観測装置)、日射量(傾斜面日射強度、光量子束密度)とした。

表-1 太陽光パネルの電気出力特性

特性項目	記号	公称値	単位
開放電圧	V_{oc}	22.00	V
短絡電流	I_{sc}	5.400	A
最大出力動作電圧	V_{pm}	17.42	V
最大出力動作電流	I_{pm}	4.830	A
最大出力	P_m	84.00	W
モジュール変換効率	η_M	13.2	%

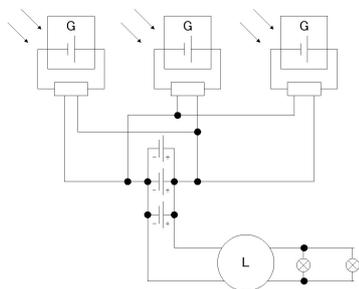


図-3 配電図

発電電圧(電力量)

太陽光パネルの発電電圧を 10 分間隔で測定し、瞬間値と平均値を記録した(安川商事株式会社製 M-DC・データロガーセット、ソーラー計測くん 12VKY-REC-12)。得られた発電電圧は専用ソフト Voltage Recorder for Windows でパソコンに取り込み、Microsoft Excel®上で全く発電しなかった 0V とノイズ(0.001~0.002V)を除いて、電流量を乗じて電力量を換算した。

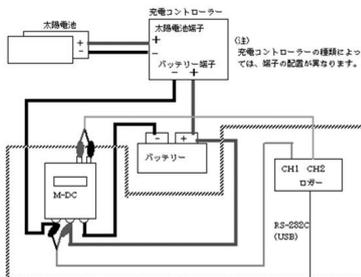


図-4 ログを組み込んだ配線図(イメージ)

鮮度

鮮度は、形態鮮度測定器(EBA Japan 製鮮度アシスト FC-3117-11A)を用いて、小型光量子計を中央とした方形区(20×20cm)内のサッチを測定(5 秒間隔で 25 回測定)、平均値を算出した。

写真撮影

週 1 回、試験区全体(8 方向)と太陽光パネル下(北 南方向、東 西方向)を撮影した。

気温・湿度

太陽光パネル裏面および地表面付近の気温・湿度は温湿度データロガー(KN 株式会社製超小型温湿度記録計Mkg ログ 1923)を用い、太陽光パネル裏面中央に水糸で固定した。測定高さは、地表面付近(20cm)と太陽光パネル裏面付近(40cm)とした。実験開始後は、試験区への人の立ち入りを制限し、人による輻射の遮蔽および人からの輻射に留意した。10 分間隔(平均値)で測定し、得られたデータは温湿度専用ソフト RhManager でパソコンに取り込み、日平均を算出した。

傾斜面日射強度と光量子束密度

傾斜面日射強度は、太陽光パネル上部に設置した小型日射計(英弘精機株式会社製小型日射計 ML-020MV)を使用した。光量子束密度は、傾斜角 33.1 度の太陽光パネル下(#4)、傾斜角 5 度の太陽光パネル下(#6)、傾斜角 33.1 度と傾斜角 5 度の太陽光パネルの間(#5)

と太陽光パネル設置の影響を受けない 3 点(#1, 2, 3)の計 6 点とし、小型光量子計(英弘精機株式会社製小型光量子計 ML-020P)を使用した。10 分間隔(瞬間値、平均値)で測定、電圧ロガー(日置電機株式会社製電圧ロガー LR5041)に記録した値は、専用ソフト LR5000 用ユーティリティでパソコンに取り込み、式(1)を用いて傾斜面日射強度または光量子束密度に換算した。

$$Q = E/K \quad \text{式(1)}$$

ここで、Q は傾斜面日射強度(W/m²)、光量子束密度(μmol/s/m²)、E はセンサーの出力 μV(mV)、K はセンサーの感度(μV/μmol/s/m², μV/W/m²)とする。

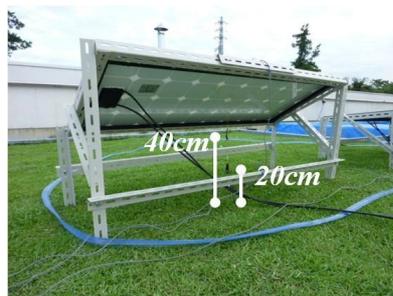


図-5 温湿度の測定箇所

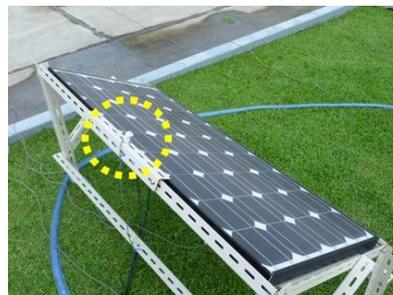


図-6 小型日射計(傾斜面日射強度)



図-7 小型光量子計(光量子束密度)

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

傾斜角と設置面の違いからみた PV グリーンシステム特性

傾斜角 33.1 度とした PV グリーンシステムの日累積電力量(2012.8.18 ~ 9.20 を除く)は最大 12.41Wh/日、平均 6.14Wh/日であった。コンクリート面に設置した場合の電力量は、最大 18.96Wh/日、平均 10.95Wh/日であった。設置面の形態と電力量の関係を検討したところ、有意水準 1%(両側 P 値 2.034×10⁻⁷)でコンクリート面に設置した場合の日累積電力量が大

きいことが示された。

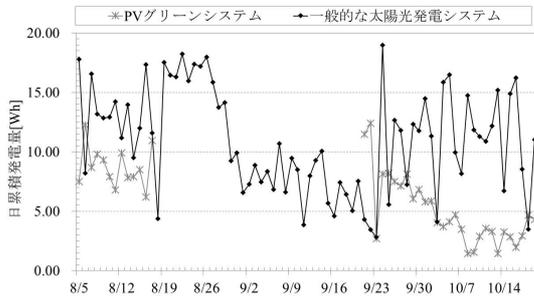


図-8 2012.8.5～10.19 の日累積電力量

PVグリーンシステムの季節特性

傾斜角 33.1 度とした PVグリーンシステムの日累積電力量は、最大 173,376.00Wh/日、平均 56,635.92Wh/日であった。コンクリート面に設置した場合の日累積電力量は、最大 594,912.00Wh/日、平均 96,965.39Wh/日であった。設置面の形態と電力量の関係を検討したところ、有意水準 1%(両側 P 値 1.29×10^{-9})で、コンクリート面に設置した場合の日累積電力量が大きいことが示された。

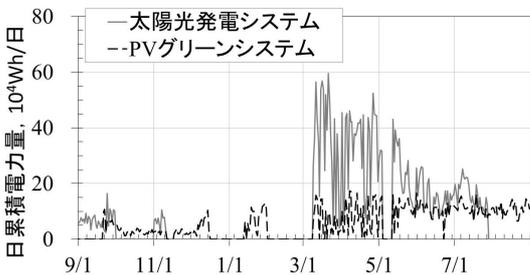


図-9 2012.9.1～2013.8.31 の日累積電力量

そこで、気象観測統計指針(気象庁, 2013)に基づき、解析対象とした 2012 年 9 月 1 日から 2013 年 8 月 31 日までのデータを 3 カ月ごとに分けて、芝草の生育と維持管理の状況と電力量の関係を検討した。

表-2 各季節の気温偏差の傾向

		PVグリーンシステム		太陽光発電システム	
		地表面	裏面	地表面	裏面
秋	平均	-2.08	-2.30	-1.16	-0.92
	最高	4.27	3.54	5.26	5.62
	最低	-8.29	-8.29	-8.29	-7.79
冬	平均	-5.18	-5.40	-4.88	-4.51
	最高	9.23	-1.21	-0.71	-0.71
	最低	-9.11	-8.82	-8.11	-7.61
春	平均	-6.11	-6.12	-5.17	-4.69
	最高	-1.11	-1.61	-0.61	-0.61
	最低	-10.61	-10.61	-9.61	-9.11
夏	平均	-4.44	-4.75	-3.66	-3.15
	最高	-0.73	-1.23	-0.73	-0.23
	最低	-8.93	-8.93	-7.63	-7.13

秋期(2012.9～11)は、太陽光パネル裏面付近の気温偏差が最も小さくなった。同時期に WOS に向けた芝草の深刈を行ったため、芝

草の蒸発散効果による太陽光パネル周辺の高温化抑制は小さくなることが予想された。そこで、WOS が太陽光パネル周辺の高温化抑制に影響を与えるのか否かを検討したところ、気温の同一測定高さにおいて、地表面付近(両側 P 値 3.23×10^{-6})、パネル裏面付近(3.55×10^{-18})ともに WOS の影響を受けていないことが示唆された。線形結合している太陽光パネル裏面付近の気温偏差を外し、地表面付近と裏面付近の気温と気温偏差を説明変数、電力量を目的変数にして重回帰分析を行ったところ、式の有意性は低かったが、太陽光パネル裏面付近の気温が下がるほど、電力用が増加し、加えて、地表面付近の気温と周辺の気温差が小さくなるほど電力量が増加することが示された。

冬期(2012.12～2013.2)は、太陽光パネル裏面付近の気温偏差が最も小さくなった。WOS を行って芝生緑化を維持したが、冬期は夏期に比べ、太陽光パネル周辺が高温化しないことが予想される。そこで、冬期の芝生緑化が太陽光パネル周辺の高温化抑制に影響を与えるのか否かを検討したが、太陽光パネル周辺の高温化抑制には影響がないことが示された。

春期(2013.3～5)も、秋期・冬期同様、太陽光パネル裏面付近の気温偏差が最も小さくなった。測定期間中は寒地型芝草『フェアイ2』から暖地型芝草『ルトロ』への生え変わり(スプリングトランジション)の時期であった。秋期の WOS 同様、芝草を深刈りするため、太陽光パネル周辺の高温化抑制が低下することが予想された。そこで、スプリングトランジションが太陽光パネル周辺の高温化抑制に影響を与えるのか否かを検討したところ、気温の同一測定高さにおいて、有意水準 1%(両側 P 値 2.94×10^{-14} (地表面付近)、 2.42×10^{-35} (太陽光パネル裏面付近))でスプリングトランジションの影響を受けていないことが確認できた。そして、線形結合をしている太陽光パネル裏面付近の気温偏差を外し、地表面付近と裏面付近の気温と気温偏差を説明変数、電力量を目的変数として重回帰分析を行ったところ、式の有意性は低かったが、地表面付近の気温と周辺の気温の差が小さくなるほど、電力量が増加することが示された。

夏期(2013.6～8)も、太陽光パネル裏面付近の気温偏差が最も小さくなった。2013 年は、連続した電力量とそれに対応した気温が測定できたことから、太陽光パネル周辺の高温化抑制の効果が最も期待できる夏期の効果を検証したところ、有意水準 1%(両側 P 値 1.56×10^{-11} (地表面付近)、 5.16×10^{-35} (太陽光パネル裏面付近))で PVグリーンシステムが太陽光パネル周辺の高温化抑制に有効であることが示された。線形結合をしている太陽光パネル裏面付近の気温偏差を外し、地表面付近と裏面付近の気温と気温偏差を説明変数、電力量を目的変数として重回帰分析を行ったところ、四季の中で最も式の有意性が高くなった。

そして、太陽光パネル付近の気温が下がるほど、電力量が増加すること、地表面付近の気温と周辺の気温の差が小さくなるほど、電力量が増加することを明らかにすることができた。

PVグリーンシステムを成立させる緑化

一元配置分散分析を用いて、同一品種間における鮮度の違いを検討したところ、『ILTO』では2012年8月と2013年7月($\alpha=0.01$)、2013年6月($\alpha=0.05$)、『FIAWEI2』では2013年3月と4月($\alpha=0.01$)において、PVグリーンシステムの影響が確認された。『ILTO』では、二元配置分散分析の結果から、季節変動の影響の有無が明らかになった($\alpha=0.01$)。

表-3 2012.8~2013.8の鮮度データ

	#1	#2	#3	#4	#5	#6
2012.8	76.00	74.80	87.40	86.20	73.00	83.40
2012.9	64.00	65.50	57.73	74.75	61.40	71.20
2012.10	37.09	59.40	41.93	37.09	59.40	41.93
2013.3	45.42	66.68	54.47	45.42	66.68	54.47
2013.4	39.36	65.69	42.07	39.38	65.69	42.07
2013.5	(#2)	61.94	(#2)	59.39	(#2)	57.85
2013.6	57.33	43.39	32.33	57.33	43.39	32.38
2013.7	71.00	39.35	39.46	71.00	39.35	39.46
2013.8	78.44	45.14	36.13	78.44	45.14	36.13

表-4 二元配置分散分析表

因子	季節変動	設置有無	誤差	全体
平方和	778.34	680.87	1,362.11	9,221.21
自由度	5	5	25	35
平均平方	1,436.67	136.15	54.48	
F値	26.35	2.50		
P値	3.24×10^{-9}	0.06		
判定	1%有意			

次に、2012年8月と2013年7月のサッチの状態を目視で比較したところ、#4と#6のサッチは他のサッチと比べて、芝草の葉長が伸長していた(表-5)。サッチを採取した6か所について、一元配置分散分析を行い、2012.8.12~2013.9.5の日累積光量子量(MJ/m²)はPVグリーンシステムの影響を受けていることを明らかにした($\alpha=0.01$)。#1,2,3の日累積光量子量に違いがないことを確認し、平均化し、傾斜角33.1度のPVグリーンシステム(#4)、傾斜角5度のPVグリーンシステム(#6)、傾斜角33.1度と5度の間(#5)を用いて、一元配置分散分析を行ったところ、#4はそれ以外と比べ、日累積光量子量が減少していた($\alpha=0.01$)。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

傾斜角と設置面の違いからみたPVグリーンシステムの特長

傾斜角が同一のPVグリーンシステムは、コンクリート面と比べて、太陽光パネル裏面の気温上昇を抑制すること、太陽光パネル裏面、地表面付近の気温が下がるほど、電力量が増加することが明示できた。

PVグリーンシステムの季節特性

PVグリーンシステムは、9月から11月の秋期、3月から5月の春期、6月から8月の夏期において、太陽光パネル周囲の高温化抑制に有効であること、特に夏期はその効果が顕著となることが明示できた。

PVグリーンシステムを成立させる緑化

太陽光パネル下の芝草の葉長が伸長すること、太陽光線のスペクトルの黄や赤が不足することを明らかにした。

(3) 今後の展開

今後は、芝草の草高と高温化抑制、発電量の関係性、緑化による修景効果、緑化にかかるライフサイクルコストと電力量の関係を検討し、太陽光パネル下の雑草抑制に関する緑化手法の提示へと展開していく必要が考えられる。

表-5 サッチの比較

	2012.8	2013.7	2012.8	2013.7	
#1			#2		
#3			#4		
#5			#6		

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計10件)

Kikuchi, S, Koshimizu, H. and Nishio, N., Comparative Study of the Thermal Impact of PV Panel on Turf Grass, 芝草研究, 査読無, 41巻, 1号, 2012, 91

菊池佐智子, 屋上緑化と両立可能な太陽光発電システムの検討, 特殊緑化技術に関する研究発表会要旨集, 査読無, 2012, 37-40

菊池佐智子, 屋上の被覆形態が太陽電池発電電圧に与える影響, 環境情報科学, 査読内, 41巻, 4号, 2012, 57

菊池佐智子, 輿水肇, 2012年夏期における日射量と温湿度からみた芝生の生育状態, 芝草研究, 査読無, 42巻, 別冊1号, 2013, 297-302

Kikuchi, S. and Koshimizu, H., Relative Analysis of Electric Voltage, Electric Power and Ambient Temperature of Solar Panels on Different Roof Surface, Proceedings of World Green Infrastructure Congress 2013, 査読無, 2013, 40

菊池佐智子, 2012年夏期実測に基づく屋上緑化被覆形態と太陽電池発電量の関係, 環境システム研究論文集, 査読無, 41号, 2013, 297-302

菊池佐智子, 地表面被覆の違いと発電量の関係性分析, 特殊緑化に関する若手研究者・企業関係者の合同発表会要旨集, 査読無, 2013, 60-63

菊池佐智子, 輿水肇, 電力量と芝草の成長解析によるソーラーシェアリングの環境条件, ランドスケープ研究, 査読有, 77巻, 5号, 2014, 669-672

菊池佐智子, 輿水肇, 鮮度データからみた太陽電池設置が芝生芝草の生育に与える影響, 芝草研究, 査読無, 43巻, 別冊1号, 2014, 98-99

菊池佐智子, 輿水肇, 芝生地上部に設置した黒色太陽光パネルの裏面下部の温度と電力量の季節変化, ランドスケープ研究, 査読有, 78巻, 5号, 2015, 683-686

〔学会発表〕(計13件)

Kikuchi, S., Koshimizu, H. and Nishio, N., Comparative Study of the Thermal Impact of PV Panel on Turf Grass, 日本芝草学会 2012 年度春季大会, 日本芝草学会, 東京農業大学(東京), 2012.6.24, ポスター発表

菊池佐智子, 屋上の被覆形態が太陽電池発電電圧に与える影響, 環境情報科学ポスターセッション(一般の部), 一般社団法人環境情報科学センター, 日本大学会館(東京), 2012.12.2, ポスター発表

菊池佐智子, 屋上緑化と両立可能な太陽光発電システムの検討, 特殊緑化技術に関する研究発表会, 公益財団法人都市緑化機構, 田島ルーフィング東京支社(東京), 2012.12.5, 口頭発表

菊池佐智子, 輿水肇, 2012 年夏期における日射量と温湿度からみた芝生の生育状態, 日本芝草学会 2013 年春季大会, 日本芝草学会, 明治大学(神奈川), 2013.6.16, 口頭発表

Kikuchi, S. and Koshimizu, H., Relative Analysis of Electric Voltage, Electric Power and Ambient Temperature of Solar Panels on Different Roof Surface, World Green Infrastructure Congress 2013, World Green Infrastructure Network, Nantes(France), 2013.9.10-13, ポスター発表

菊池佐智子, 2012 年夏期実測に基づく屋上緑化被覆形態と太陽電池発電量の関係, 環境システム研究発表会, 公益社団法人土木学会, 九州大学(福岡), 2013.10, 口頭発表

菊池佐智子, 地表面被覆の違いと発電量の関係性分析, 特殊緑化に関する若手研究者・企業関係者の合同発表会, 公益財団法人都市緑化機構, 田島ルーフィング東京支店(東京), 2013.12.6, 口頭発表

菊池佐智子, 輿水肇, 電力量と芝草の成長解析によるソーラーシェアリングの

環境条件, 日本造園学会全国大会, 西日本短期大学(福岡), 2014.5.25, 口頭発表
菊池佐智子, 輿水肇, 鮮度データからみた太陽電池設置が芝生芝草の生育に与える影響, 日本芝草学会 2014 年春季大会, 日本芝草学会, 福島大学(福島), 2014.6.1, 口頭発表

Kikuchi, S. and Koshimizu H., Turf Grass Growth and NDVI with Green Roof System under Photovoltaic Panels, WGIC2014, World Green Infrastructure Network, Sydney(Australia), 2014.10.7-10, 口頭発表

菊池佐智子, 輿水肇, 芝生地上部に設置した黒色太陽光パネルの裏面下部の温度と電力量の季節変化, 日本造園学会全国大会, 日本造園学会, 東京大学(東京), 2015.5.24, 口頭発表

菊池佐智子, 輿水肇, 光透過量の異なる太陽光パネル下の環境測定と芝草の状態, 日本芝草学会 2015 年度春季大会, 日本芝草学会, 日本大学(神奈川), 2015.6.21, 口頭発表

Kikuchi, S. and Koshimizu, H., Examination of Combination Green Roof with Photovoltaic Generation, WGIC2015, World Green Infrastructure Network, KKR ホテル名古屋(愛知), 2015.10.15, 口頭発表

〔その他〕

表彰

菊池佐智子, 屋上の被覆形態が太陽電池発電電圧に与える影響, 一般社団法人環境情報科学センター, ポスターセッション(一般の部), 理事長賞, 2012

菊池佐智子, 電力量と芝草の成長解析によるソーラーシェアリングの環境条件, 公益社団法人日本造園学会, ベストペーパー賞, 2014

出展

菊池佐智子, エコプロダクツ展において研究成果の一部を第2世代の環境配慮技術として紹介した(2013年, 2014年)

実用記事

菊池佐智子, ランドスケープ分野からみた再生可能エネルギーを考える, 日本造園建設業協会, 日造協ニュース, 484号, 4

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊池佐智子(KIKUCHI SACHIKO)

山梨県富士山科学研究所・環境共生研究部・研究員

研究者番号: 50409471