

ネパールにおける太陽エネルギー利用と植生悪化の防止、回復 Role of Solar Energy in the Greenification of Arid and Semi Arid Lands in Nepal

○小島紀徳*, 尾崎益雄**, 安部征雄#, Sangeeta Sinha*, Jagan N. Shrestha^{##}、他 20 名
○Toshinori KOJIMA, A, Masuo OZAKI, Yukuo ABE, Sangeeta SINHA*, Jagan N. SHRESTHA*** *et al.*
*成蹊大学工学部、**前橋工科大学工学部、#筑波大学農林工学系、##Tribhuvan Univ. Inst. Energy
*Seikei University, **Maebashi Inst. Technol., #Tsukuba University, ##Tribhuvan University

Four solar home systems were installed in Maheshphant (Baireni), Syadul, Kailashnagar and Phulbariya. All these systems are to date working without any major problem. It can be concluded that the integration of WLED based lamps with the solar PV system reduces the cost of the system substantially, and increases the system reliability and comfortability.

Four solar pump systems were installed in Kubinde, Phulbariya, Dhunibesi and Maheshphant (Baireni). All these systems are to date working without any major problem. It can be concluded that the increase in farmers' income and improvement in land system are remarkable especially by their use in dry seasons.

1. 研究目的

ネパールは横方向に細長く、縦方向に急激な高度差を有しているため、送電設備の設置が困難であり、電力の恩恵は、全人口の10%（都市部）に限られる。85%を占める地方住民については、その5%が系統電源の恩恵を受けているにすぎない。幹線から電気を引くにはコスト負担が過大である。一方、小規模火力や石油ランプの導入は、地域・家庭環境悪化の原因ともなる。大規模水力発電施設は地殻変動の問題があり、電力源としては中小水力/太陽電池の使い分けが最も望ましい。過去の導入例からは、1家庭当たり8Wx3基程度の電灯でも充分ち、太陽電池も小規模な方が、その後の維持管理にも適することが明らかになった。

一方、点在する村落での調理用のエネルギーは主として薪炭によっているが、薪炭の採取は周囲の森林破壊、植生悪化、土壌劣化、環境悪化の原因となっている。ネパールでは土地の傾斜がきついため、一度植生が破壊されると土壌流出が起こり易く、水保持能が激減し、降雨量の割りには土壌の乾燥化が進み、植生回復が困難となる。ここで、太陽電池を設置し、ポンプシステムにより下方から表流水・地下水を組み上げ、少量の灌水・植林を行うことにより、植生回復が可能となる。植生回復後は灌水は不要となり、本システムを他へ転用しつつ徐々に植生回復域を増やすことが可能となる。個々の家庭への太陽電池導入による環境教育と共に、植生の回復を行うことにより、森林資源の維持、利用が可能となろう。本研究では上記システムの改善・最適化提案を行い、実証によりデータの取得・問題点の抽出を目的とする。

2. 研究経過

2.1 家庭用太陽電池システム(SHS)

4 基の家庭用太陽電池システムを Maheshphant (Baireni), Syadul, Kailashnagar and Phulbariya に初年度設置した。容量は 36 Wp、最大電流 2.4 A(常用 2.2a)、電圧 21 V(常用 17.2 V) の単結晶 36セルである。制御部は 12 V DC @10 A である。蓄電池部はタイ松下製 N 70 ZP で、自動車用 12V、重量 15kg (酸を除く)である。当初は、10 W 蛍光灯(12VDC, 16kHz)を用いた。

対象地の太陽光強度は、最大 6.2 kWh/m²/day、最小 2.5 であり、平均 4.5 kWh/m²/day であった。

Table 1 Average Solar Charging Current and Voltage

Hours	Current, amp			Voltage, volt		
	Clear	Cloudy	Av.	Clear	Cloudy	Av.
07:00	1.00	0.71	0.85	13.37	13.21	13.29
08:00	1.26	0.94	1.10	13.41	13.23	13.32
09:00	1.46	1.12	1.29	13.47	13.26	13.37
10:00	1.72	1.05	1.38	13.57	13.25	13.41
11:00	1.95	1.19	1.57	13.69	13.32	13.51
12:00	2.12	1.40	1.76	13.83	13.31	13.57
13:00	2.11	1.40	1.76	13.89	13.28	13.59
14:00	1.94	1.29	1.61	13.82	13.25	13.54
15:00	1.79	1.21	1.50	13.75	13.23	13.49
16:00	1.58	0.99	1.28	13.64	13.17	13.41
17:00	1.39	0.70	1.05	13.57	13.06	13.32
Av.e	1.67	1.09	1.38	13.64	13.23	13.44

2.2 太陽電池利用ポンプシステム(SPVWPS)

本日産プロジェクトで実施したサイトは以下の通りである。

Kubinde : Panchkhal 園芸センター近くで、ドリップ灌漑用の水の供給を目的とした。実施時期は、99年11月から00年2月である。自然泉からおよそ8mの高度まで水をポンプアップした。200ℓのドラム缶で集め、カリフラワー640本/200m²の栽培に用いた。圃地はABの両プロット

トに分け、A ではドリップ灌漑を日に 2 回、B ではバケツでいずれも 0.369 ㎥/本・日で給水した。

使用した太陽電池は、Show Solar Energy K.K. 製、GL 133、48.5 Wp、標準 3.05 A、15.9 V(最大 3.4 A、19.8 V)、モジュール効率 12.1 %である。また、ポンプは、Western Technology Development 製 WTD 2000-DDC-AAD、12 VDC 8.2 A、30 PSI、使用パイプは 12.7 mm である。平均蒸発量は、3.43mm/day 平均土壌温度は、20cm の深さで 18.8℃、年降雨量は 1294mm であった。

Phulbariya : Siraha 地域にあり、同様に太陽電池ポンプの有効性の確認を目的として 1998 年 9 月 10 日に設置した。地表面下に掘られた 2 つの径 1.53m、深さ 4.58m、容積 8.3m³ の水雨取り入れタンク 2 つからポンプアップするものである。機種はポンプ SHuRflo 9300 Series9325-043-101、P/N 11-175-00、24 VDC、最大揚程 70m、太陽光パネルは SP 70、70 Wp、最大 4.7 A21.7 V、36 単結晶セル x 2 である。

Dhunibesi: 本サイトは、Dhunibesi 園芸センターに、日産プロジェクトの開始前の、1998 年 3 月から、試験的に開始したものである。使用機器は Phulbariya の項で示したものと同一である。1997 年 6 月に植樹した桑の栽培 50 本 x 6 列のうち、3 列にドリップ灌漑を適用した。給水量はほぼ均一であり、夜間 8 時間をかけて、一本当たり 2.57 ㎥が供給された。30 日置きに、30cm の高さで刈り込みを行った。

Mahesh Phant : 本サイトは、本プロジェクト開始直後の 1998 年 6 月から緑化を目的にして設置した初めてのサイトでバラ栽培を目的とする。既に記載した、SP 65 と水中ポンプの組み合わせである。Kathmandu から Muglins に向かう途中、Muglins へ 50km 程度のポイント Bairani にある。Kathmandu に降雨があるときでも小雨にすぎない。1997 年は降雨はゼロであったがそれでも集水速度 1 ㎥/min であった。30m 上方のタンクに汲み上げている。灌水面積は 9650 m² である。なお、反対側の山の斜面は、農地として使用しているが、エロージョンの問題もあり、川からポンプアップして果樹への転換が良いと期待される。

Salanghat : 本サイトは、野菜の栽培を目的とした。太陽電池は SP36(36Wp、常用 2.1A、17.0V)が 8 セットであり、ポンプは上記のものと同じのもの 2 基である。設置は 1999 年 5 月 15 日であり、1050m³ の plot のドリップ灌漑を行った。

3. 研究成果

3.1 家庭用太陽電池システム(SHS)

Syadul における測定 : 市販のマルチメータを用い、0.5~1 時間おきに昼間の測定を行った。季節は 1 月から 3 月である。結果を Table 1 に示した。一方、蓄電池からの出力は、気象条件によらず、12.2~12.9V とほぼ一定に保たれた。測定期間中、これといった問題は生じず、安定した結果が得られた。

Kailashnagar (Chitwan) : Kailashnagar では、同様の測定を 4~6 月に実施した。充電圧については同様に変動も少なく、平均 14.22V が得られ、また、電流については平均 0.61A であった。充電電流が前記と比して小さいのは、ライトの使用負荷が小さく、朝からほぼ充電状態であったためであり、出力については同様に 12.5~14.0 の安定した値が得られた。

Pulimarang : Pulimarang は、1994 年に 46 SHS が設置され 6 年が経過している。システムの劣化を調べるために、現在の性能を測定し、過去に測定したデータと比較した。蓄電池内の酸液比重については、May 13-16、1994 測定時には 46 システムのうち、4 システムが 1150-1170kg/m³ であったことを除けば、いずれも 1210 以上の値を示し、内 35 システムが 1240-1260 の値であった。April 14-26、1995 測定時には、若干の低下が観察されたが、40 システムは 1200 以上の値を示していた。September 10-13、1997 には 1200 以上を示すものが 15 となり、一方 1100 以下のシステムが 1 つみられた。これが、June 27-30、1999 にはすべて 1100 以下となっていた。

一方太陽電池モジュールについては、容量は 35 Wp、最大電流 2.4 A(常用 2.1A)、電圧 22 V(常用 17.0 V)の単結晶 36 セルであり、今回導入したものとほぼ同等のものである Siemens PC-2、S/N 018591 B (2793) 01177 についてその性能の経時変化を測定した。結果を Table 2 に示す。測定時期によりばらつきはあるが、ほぼ一定の性能を保っていることがわかる。

Table 2 Time variation of short circuit ampere

Date	Hrs	Isc, A	Solar W/m ²	Weather
1993.12.11	12:30	2.2	960	Clear
1994.5.13	12:30	2.2	900	Clear
1995.4.14	12:30	1.2	700	Clear/clouds
1997.9.10	12:30	2.3	950	Clear
1999.9.5	12:30	2.4	1000	Intense
2000.2.26	12:30	1.7	800	Clear

SHS の問題点： 上述のバッテリーの劣化に加え、US\$ 450 といったコスト面の問題が大きい。ここでは価格低減のため、WLED (White Light Emitting Diode) の導入の可能性を検討した。

白色ダイオードの特徴と導入テスト： 白色ダイオードは、局所を強い光で照らすことが出来るため、家庭内での読み書き、作業を低エネルギーで行うには最適と考えられる。従来いくつかの商品がアメリカや日本で発売されており、交通信号、イルミネーションなどに用いられている。LED の寿命は、100,000 時間 [1]とされており、白熱灯に比して寿命、信頼性は高い。

そこで、本研究では、その簡便な利用のためにモデル設計を行い Kavre および Dhading において導入し、その可能性をアンケート調査に基づいて検討した。現地導入に先立ち、石油ランプからのすすの発生や光強度についてあらかじめ調査するとともに、光強度の比較を行った。

石油ランプ、ろうそくの現状： 石油ランプおよびろうそくからの水平板（読書、家内工業を想定）上への光強度を、Lux meter (TES 1332, Digital Lux Meter, Taiwan)を用いて測定した。結果を Table 3 に示す。IES 規格で快適な読書の基準とされる 332 Lux [2]を大幅に下回ることがわかる。なお、石油ランプのコストはろうそくの 1 割程度と低いものの、健康影響が懸念される。Casella 粒子濃度 Monitor AMS950 IS で測定したところ、3 時間で部屋全体が $7.5\mu\text{g}/\text{mm}^3$ と、WHO24 時間環境基準の $2.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ を大幅に越える値となった。

Table 3 Measurement of Light Intensity in Lux

Distance, cm	10	20	30	100
Kerosene lamp	22	8.9	4.5	0.2
9 cm h candle	21	5.0	1.4	0
13.5 cm candle	16	6	2.3	0.1
16 cm candle	11.5	6	2.7	0.1
A:3 WLEDs	1333	537	275	29

WLED を用いた照明器具の試作： LED(5.6 cd, 20 mA, 3.6 V, NSPW 500 BS, by Nichia Co., Japan)を用い、

- A: 3 LED 付きフレキシテーブルランプ
- B: 2 LED 付き固定箱形トーチライト
- C: 6 LED 付き天井固定型ランプ
- D: 8 LED 付き天井固定型ランプ

の各々を試作した。A について光度を測定した結果を併せて Table 3 に示す。IES 基準を十分越える値耐えられた。一方、180cm の距離では Table3 に示した石油ランプおよびろうそくに

いては測定範囲外(0Lux)であったのに対し、D は、中央部から 30cm 以内では 3Lux 以上の値を示した。電力当たりでも LED は 77 lm/W と、蛍光灯 (45 lm/W), 白熱灯 (10 lm/W) [1]に比して大きく、また耐久性も 100,000 時間と高い。石油と比較すれば、実に 662 倍の効率となる。

SHS システムの設計： 一軒あたり、A を 2 つ、D を一つとし、3 時間の照明とすると、A の消費電力は 216W、D は 576W であり、約 3Wh、これを平均のピーク太陽照射時間である 4 時間で割り、1W の太陽電池(10\$)で十分との結果がみられた。一方、蓄電池は、1.2 V D Cells / 6 Ah/6V が 6 個 (17\$)と計算され、A2 個 17\$, D16\$, その他 10\$として、結局、65\$のシステムが構築されることとなった。

計算の詳細は省略するが、蓄電池の寿命を 5 年としても、石油ランプでの効率の悪い照明を、石油を購入しながら 5 年間使用することと比較すると、本システムでは Rs.4550 (1 US\$ = Rs. 70)となり、石油だけの価格より Rs. 560 ほどやすくなる。さらには 5 年後に交換するべきものは、蓄電池だけである。なお、14 インチの黒白テレビ 3 時間をつけると、システムは US\$ 100 となる。

現地設置調査： 現地調査をまず従来の SHS 使用経験のある 3 利用者について行った。いずれも数十時間の利用後、A だけでは読書に不十分との答えであったが、D であれば、4000Rs 程度までであれば D タイプの購入の意図があるとの結果を得た。

一方、6 人の中学生について、A タイプのモニターを行い、十数時間の使用後、読書に適するとの回答を得た。また、石油ランプに比して好ましいとの感想であった。300Rs 以下で購入したいという回答が 3 人、500-1000Rs でも購入したいとの回答が 2 名であった。

最後に C タイプの使用を 4 人に約 100 時間モニターしてもらった。いずれも肯定的であり、2000Rs 程度の支払いは可との結果を得たが、ライトのカバーや強度の点で、改善の要望が出された。6 つの WLEDs からなる天井タイプランプについては、バッテリー交換なしに最高 156 時間の使用が可能であり、すべてのユーザーは灯油ランプより良いとした。

その他の検討： 眼科医のコメントとして、医学的にも WLED は、全ての点で灯油ランプより優れるとのコメントを得た。

1ワットの蛍光灯は、10 個の WLEDs に相当するが、一般照明に使えても、読書には適さない。

さらに太陽電池の DC からは、インバーターを解する必要がある。さらに、寿命も WLED の 100,000 時間に対して、6000 時間と推定される。

WLED 器具については、WLED 以外は、ネパールで製造可能である。また、従来のトーチライトの代用品としての可能性も高い。乾電池使用量も大幅に削減でき、さらに太陽電池との組み合わせにより、充電も可能となろう。

さらには、詳細は省略するが、本現地調査に際して、中小水力からの一部の電力使用を試みた。200V で配電し、直流に変換して各家庭で WLED と組み合わせたテストを行った。昼間の発電を各戸で蓄電しする事で、負荷変動をさけることも可能となり、電気の恩恵を受けることができる地域を拡大する可能性も立証された。

3.2 太陽電池利用ポンプシステム(SPVWPS)

Kubinde: 得られたカリフラワーの収量は、A プロットで 200kg、B プロットで 120kg であった。収入は、kg 当たり、11.5Rs である。一方、使用したポンプの能力は、日 1000 ㊦であり、実際に使用した水量は 118.3 ㊦である。このことから約 8 倍の能力が期待できる。このことから、本ポンプを用いることにより、1000 m² のさらなる灌水が可能と考えられる。これからの収入は、Rs. 18,400 と計算される。一方、本装置のコストは、Rs. 7,000 であり、回収は 3.8 年と計算される。

Phulbariya: 地元農民は 992 m² に小麦 RR 21 を植え、通常は収穫のない冬季(12-3 月)にその灌漑用に、6000 ㊦を灌水し、Rs. 1600 に相当する 145 kg の小麦の収穫量を得た。通常ネパール南部では、11 月から 6 月までは乾季に当たり、収穫が見込めないが、貯留雨水や深井戸の水を PV ポンプで汲み上げることにより、さらなる収穫が可能となることがわかった。

Dhunibesi: 刈り込みの後、設備を設置し、その 30 日後に、枝数で 113%、長さで 76%、重量で 159%の増大がみられた。同様の測定を 3 回繰り返す、そのうち 2 回は無降雨、1 回は 180mm 程度の降雨があったが、いずれも、ドリップ灌漑による大幅な重量等の増大がみられた。508 m² という狭い面積ではあったが、植林の可能性とドリップ灌漑の有効性が確認できた。このとき収入は、1 回の刈り込みで Rs. 2000 であり、通常では農作物が得られないこのような地域での桑栽培が可能であることが実証された。

Mahesh Phant: 本サイトでは本システムの導入により、バラをはじめとする多種の植樹の成長

速度も著しく増大し、またトマト、コーヒーなどの換金作物も植えられ、June '99 には Rs. 13,120.00、July-October '99 には Rs. 24,375.00、November '99 - March 2000 には Rs.9,630.00、March 2000 には Rs. 50,000.00 の収入が得られている。なお、1 US \$ = Rs. 69.4。収入増ばかりではなく、当該地域全体が緑化され、土壌浸食も押さえられている。現在も本システムは有効に活用されている。

Salanghat: 一度の収穫での収入は、Rs. 12,000 (US\$ 180) であった。その後、同規模の 2plot が同様に灌漑され、現在も稼働中であり、カリフラワー-250、トマト 402 など、千株程度の野菜が栽培中である。本年 6 月には成果が得られるものと期待される。

4. 今後の課題と発展

4.1 SHS

上記の研究から、太陽電池と WLED の組み合わせにより、コスト削減に寄与すると結論できる。また、環境負荷も大幅に減少できる。提案された照明システムの信頼性は、WLED システムは、従来の SHS システムに比べ、複雑な電子の回路を含まず、問題も少ない。さらに MHP が利用できるエリアでは、この利用も十分可能と思われる。

現在の研究は 5.6Cd WLEDs を利用したものであるが、現在 7.6 Cd WLEDs が開発中であり、その利用も可能と思われる。

4.2 SPVWPS

上記の研究から、太陽電池とポンプの組み合わせにより、栽培農家の特に乾季における収入増と植生・土壌システムの顕著な改善がみられることがわかった。現在設置後の経過をモニター中であり、データを積み上げることが必要である。太陽電池の活用との視点からは SHS と比して、蓄電池が不要であり、経費の回収に要する時間も短く、活用の場が今後広がることが期待される。実際、テスト地域近くでの類似システムの導入が図られつつあるようである。

参考文献

- [1]Ming Xing, Alexander Achmid. DC Illumination. Steca GmbH. Regional Conference Asia Pacific, Siemens Showa Solar.
- [2]A.Doig, S.Dunnet, et.al. Energy Options for Rural Communities (unpublished draft report)

論文発表 現在投稿準備中