

1. 「民学産公」協働研究事業の概要

近年、地球温暖化問題が取り上げられ、クリーンで持続可能な再生可能エネルギーとして太陽電池に注目が集まっている。今回、特に「薄膜型」の太陽電池を街路灯に応用した事例を報告する。

2. 幹事(申請)団体のプロフィール

社名：横河電機株式会社
 所在地：東京都武蔵野市中町 2-9-32
 設立年：大正 4 年(1915 年) 9 月 1 日
 資本金：434 億 100 万円(2009 年 3 月末現在)
 従業員数：5,543 人
 代表者名：海堀 周造
 業種：電気機器
 事業内容：工業計器製造他

3. 協働研究事業の企画・実施の背景

本装置はプラスチックフィルムを基板材料とする薄膜型太陽電池を、「植物の葉」の形状をした台材に多数取り付け付けた構造をもつもので、昼間に太陽電池から集約された電力を蓄電池に蓄え、夜間に LED 照明を点灯する、商用電源を必要としない方式を採用。これにより、CO₂ を排出せず化石燃料の節約になるだけでなく、災害発生時に商用電力が断絶しても屋外の照明が確保されることで、安全に寄与できる。また装置形状は樹木をモチーフにすることで、自然環境に融合しやすいデザインを目指した。

4. 協働研究事業の詳細

5. 評価内容詳細

5.1 評価条件

表1 「太陽電池街路灯」2次試作 製作仕様

照明仕様	照明部	上部 LED照明 (12V/0.27A): 2個 下部 LED照明 (12V/0.02A): 4個
	消費電力	約 7W
	点灯時間	日没から翌朝まで (連続無日射保障日数3日)
	点灯シーケンス	モード1: 手動 モード2: 夜間自動点灯(Cdsセンサ) モード3: 夜間自動点灯(Cdsセンサ) 十人感点灯(焦電センサ)
蓄電池仕様	密閉鉛蓄電池	GS YUASA SER38-12
	定格容量	12V/38Ah (20時間率容量)
太陽電池仕様	形式	アモルファスフィルム AT7664 (三洋電機)
	電気出力特性 (AM1.5 100mW/cm ² 25℃)	最大出力Pmax: 335(mW) 最大出力動作電圧Vop: 3.6(V) 最大出力動作電流Iop: 93(mA)
	接続枚数	135枚 (5直列27並列)
	総出力 (AM1.5 100mW/cm ² 25℃)	最大出力Pmax: 45(W) 最大出力動作電圧Vop: 18(V) 最大出力動作電流Iop: 2.5(A)
充電放電仕様	型式	充放電コントローラ SA-MPPT-15L (電菱)
	システム電圧	12V
	制御方式	最適動作点追従(MPPT)制御
設置環境	日照時間	平均5時間以上/日

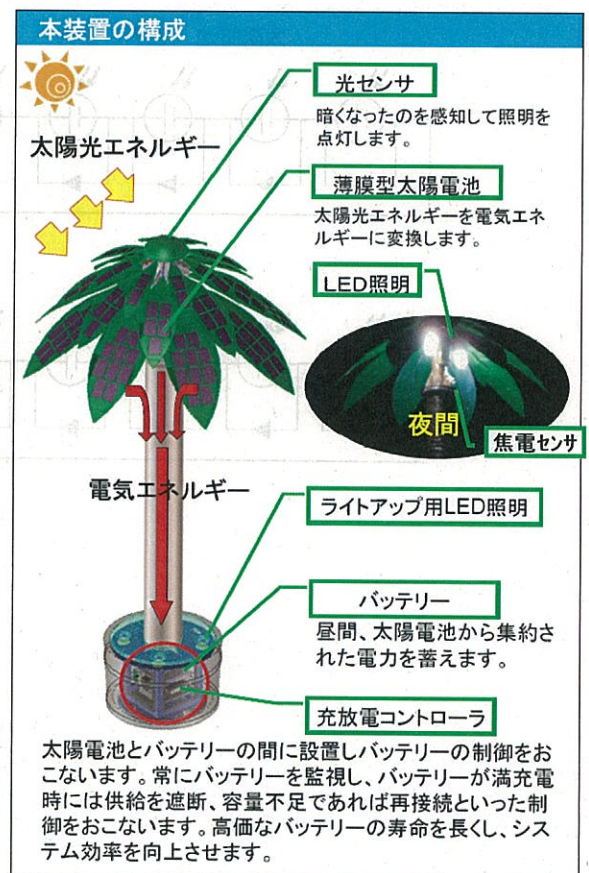


図1 装置構成

Date	2010/02/09/	Description	新規発行		
Issue	生産技術本部要素技術部	Author	秋山	Check	辻
Title	「民学産公」協働研究事業 報告書			Approval	真鍋
No.	STR-CPE170-P118			Revision	0
				Page	1/2

設置場所：横河電機本社新本館 9 F テラス (図 2)

日当り良好。15:00 以降建物の影になる。

評価期間：2009/10/29 ~ 2010/2/3 (98 日間)

気象データ：天気、日照時間(H)、全天日射量(MJ/m²)

→気象庁HPより取得

測定データ：発電電流量(Ah)

バッテリー最小電圧(V_{max})

バッテリー最大電圧(V_{min})

→充放電コントローラログデータより取得



図 2 設置の様子

電気回路：図 3 の通り。

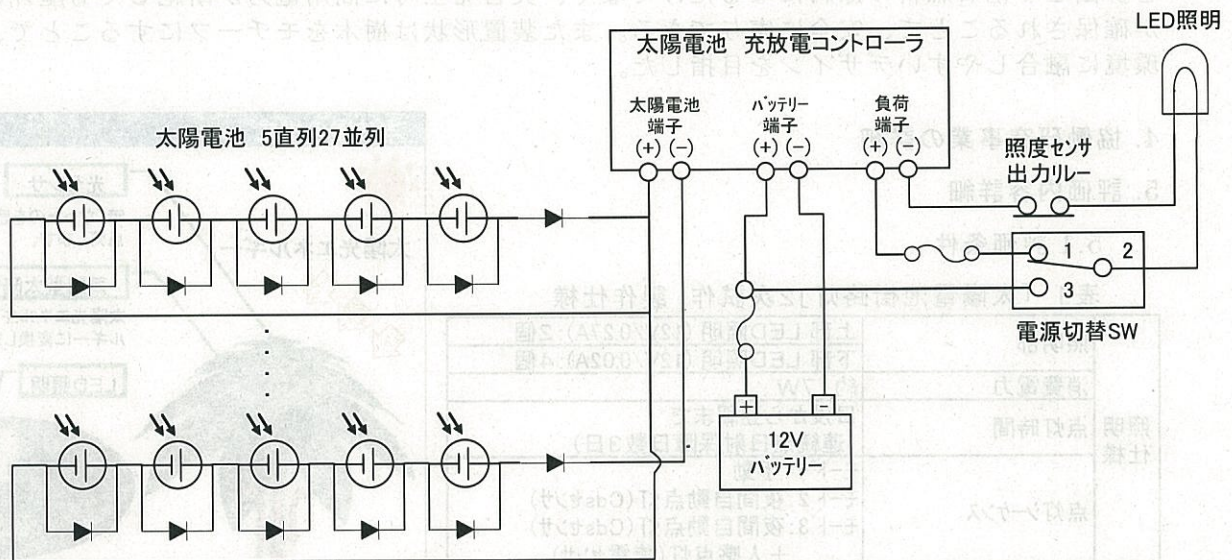


図 3 装置電気回路(概略)

5.2 評価予測

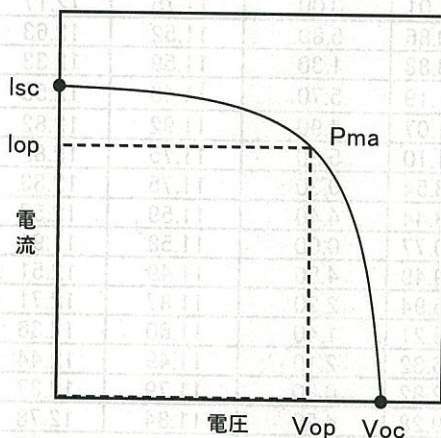
評価の予測は、表2のシステム設計の通り。

表2 「太陽電池街路灯」2次試作 システム設計書

負荷	システム電圧	12.0 V	<実測値>2009年11月12日測定 消費電力:2.3(W) 1日の使用時間:約14(h) 1日の消費電流量:2.7(Ah)
	消費電力(LED照明)	7.0 W	
	負荷電圧	12.0 V	
	負荷電流	0.6 A	
	1日の使用時間	10.0 h	
発電	1日の消費電流量(予測)	5.8 Ah/日	$= (\text{消費電力} \times \text{1日の使用時間}) / \text{システム電圧}$ $= \text{1日の消費電流量} / \text{平均日照時間}$ $= \text{1日の消費分を充電するのに必要な電流} / \text{Iop}$
	平均日照時間	5.1 h/日	
	日陰部分	50%	
	1日の消費分を充電するのに必要な電流	1.1 A	
	必要な並列接続数	12.3 セット	
蓄電	日陰部分を考慮した並列接続数	24.6 セット	$= \frac{\text{1日の消費電流量} \times \text{連続無日射保障日数}}{\text{バッテリー保守率} \times \text{放電深度}}$
	必要なソーラパネル数	123.0 枚	
	バッテリー保守率	80%	
	放電深度	75%	
	連続無日射保障日数	3 日	
蓄電	必要なバッテリー容量	29.2 Ah	

仕様決定

太陽電池仕様	アモルソフィルム AT7664 (三洋電機)	
	動作特性(AM1.5, 100mW/cm ² , 25°C)	
	最大出力:Pmax	335.0 mW
	最大出力動作電圧:Vop	3.6 V
	最大出力動作電流:Iop	93.0 mA
	接続回路	
	直列数	5
	並列数	27
	総ソーラパネル数	135
	トータル動作特性(AM1.5, 100mW/cm ² , 25°C)	
発電	最大出力:Pmax	45.2 W
	最大出力動作電圧:Vop	18.0 V
	最大出力動作電流:Iop	2.5 A
	平均日照時間	5.1 h/日
蓄電仕様	日陰部分	50%
	1日の発電電流量(予測)	6.4 Ah/日
	=最大出力動作電流 / 平均日照時間	
	密閉鉛蓄電池	
蓄電仕様	GS YUASA SER38-12	
	定格容量	12V/38Ah (20時間率容量)
	放電深度	75%



Voc : 開放電圧
 Isc : 短絡電流
 Vop : 最適動作電圧
 Iop : 最適動作電流
 Pmax : 最大出力

電流 - 電圧曲線(参考)

6. 実験結果

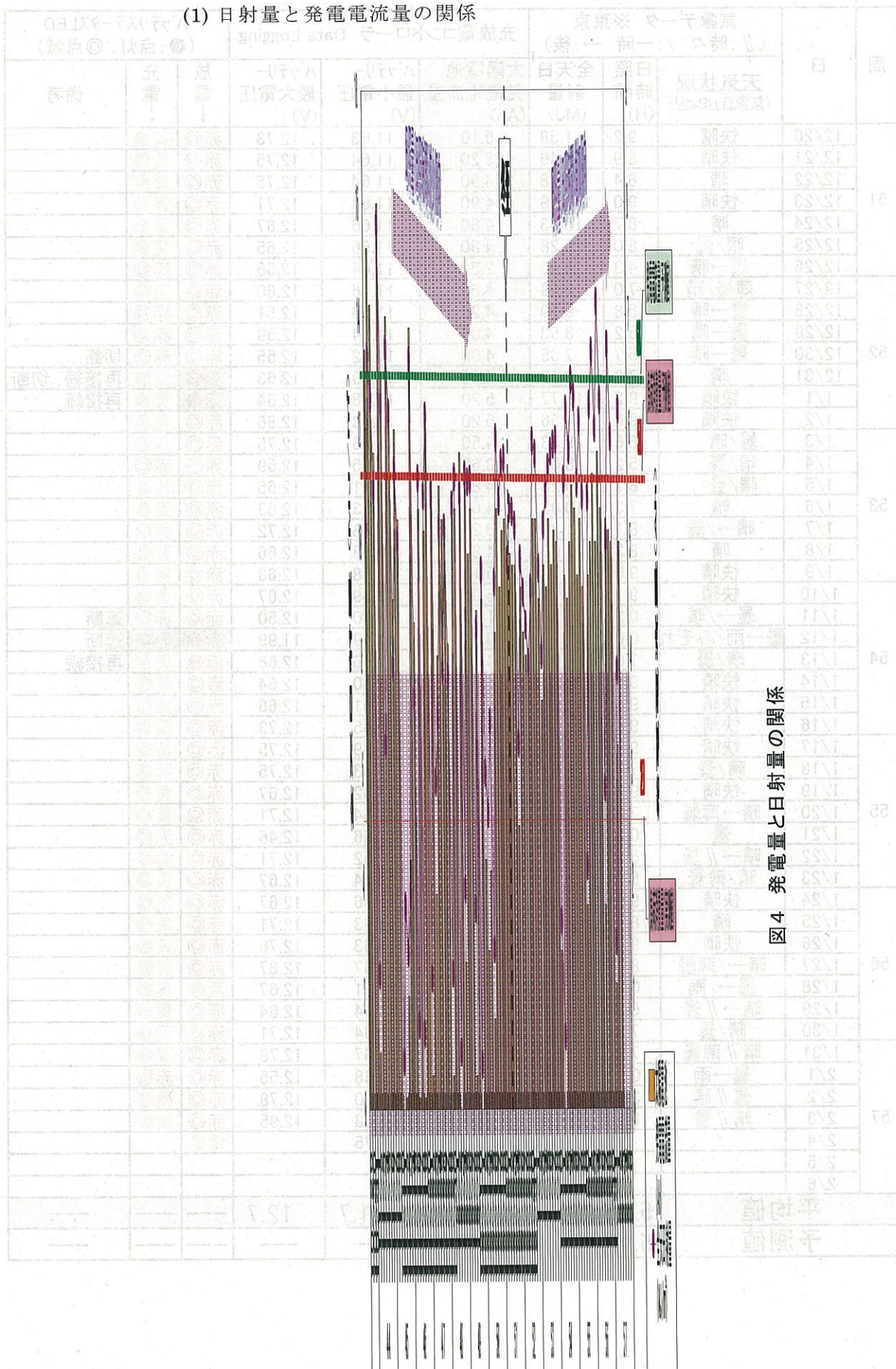
評価結果は、表3の通り。約1ヶ月半のフィールドテストの結果、一連の動作サイクル（昼間：太陽光発電→バッテリー蓄電、夜間：LED照明点灯）は、問題なく機能していることを確認した。

表3「太陽電池街路灯」評価試験データ

周	日	気象データ ※東京 (//:時々 /:-一時 →:後)			充放電コントローラ Data Logging			バッテリーステータスLED (●:点灯、◎点滅)		
		天気状況 (気象庁HPより)	日照時間 (H)	全天日 射量 (MJ/)	太陽電池 発電電流量 (Ah)	バッテリー 最小電圧 (V)	バッテリー 最大電圧 (V)	放電 ↓	充電 ↓	備考
43	10/29	曇→晴	5.0	10.27	6.70	11.68	12.76	黄●	黄●	
	10/30	晴→薄曇	8.3	13.29	7.60	11.75	12.94	黄●	黄●	
	10/31	晴→曇	7.9	12.56	7.10	11.86	12.95	黄●	黄●	
44	11/1	曇//晴→雨	4.7	10.94	5.80	11.91	13.07	黄●	黄●	
	11/2	曇//雨	0.0	2.36	0.50	11.93	12.60	黄●	黄●	
	11/3	快晴	10.0	15.61	8.00	11.75	13.03	黄●	黄●	
	11/4	晴//曇	7.1	12.44	6.50	11.91	13.12	黄●	緑●	満充電
	11/5	曇/晴	2.0	6.43	3.50	11.95	13.00	黄●	黄●	
	11/6	快晴	9.6	13.40	7.00	11.90	13.05	黄●	黄●	
	11/7	晴/曇	7.5	12.29	6.10	11.98	13.12	黄●	緑●	満充電
45	11/8	曇→晴	3.0	7.79	4.50	12.01	13.05	黄●	黄●	
	11/9	晴→薄曇	7.0	11.27	6.00	11.98	13.16	黄●	緑●	満充電
	11/10	晴→曇	5.4	10.02	5.20	12.02	13.08	黄●	黄●	
	11/11	大雨	0.0	0.84	0.00	12.01	12.33	黄●	黄●	
	11/12	曇	0.0	3.58	0.10	11.83	12.33	黄●	黄●	
	11/13	曇→雨	0.0	2.75	1.00	11.68	12.48	赤◎	赤◎	
	11/14	雨→曇	0.4	3.78	2.20	11.59	12.53	赤◎	赤◎	
46	11/15	快晴	9.6	13.20	6.90	11.51	12.51	赤◎	赤◎	
	11/16	曇	1.8	7.24	4.30	11.64	12.75	赤◎	黄●	
	11/17	雨	0.0	1.49	0.10	11.60	12.10	赤◎	赤◎	遮断
	11/18	曇/雨→晴	6.2	11.12	5.30	11.49	12.56	赤●	赤●	遮断
	11/19	曇→雨	0.0	1.32	0.10	11.91	12.33	赤●	赤●	遮断
	11/20	晴→曇	6.5	10.81	5.10	11.91	12.95	赤●	黄●	再接続
	11/21	晴/曇	8.9	12.23	6.10	11.77	12.86	黄●	黄●	
47	11/22	曇//雨	0.0	2.30	0.30	11.79	12.35	黄●	黄●	
	11/23	晴/曇	6.8	10.82	5.60	11.62	12.67	赤◎	黄●	
	11/24	曇/晴	0.9	5.78	1.90	11.68	12.49	赤◎	赤◎	
	11/25	雨→晴	4.2	6.88	4.00	11.56	12.48	赤◎	赤◎	
	11/26	晴/曇	7.5	10.24	5.50	11.54	12.55	赤◎	赤◎	
	11/27	曇/晴	4.5	7.74	5.20	11.58	12.71	赤◎	黄●	
	11/28	晴→曇	7.0	10.24	5.00	11.60	12.64	赤◎	黄●	
48	11/29	晴→曇	3.4	7.63	4.10	11.63	12.63	赤◎	黄●	
	11/30	曇/雨	0.0	2.38	0.30	11.60	12.18	赤◎	赤◎	遮断
	12/1	晴//曇	7.7	10.65	5.30	11.49	12.53	赤●	赤●	遮断
	12/2	晴	8.6	11.15	5.30	11.90	12.80	赤●	黄●	再接続
	12/3	雨	0.0	1.01	0.00	11.75	12.17	黄●	黄●	
	12/4	晴	8.6	10.86	5.80	11.52	12.63	赤◎	黄●	
	12/5	曇→雨	1.0	3.88	1.30	11.59	12.33	赤◎	赤◎	遮断
49	12/6	快晴	9.2	11.19	5.70	11.49	12.55	赤●	赤●	遮断
	12/7	晴/曇	7.9	11.07	4.90	11.92	12.82	赤●	黄●	再接続
	12/8	晴→曇	9.0	11.10	5.30	11.75	12.82	黄●	黄●	
	12/9	曇	0.0	3.54	0.30	11.75	12.33	黄●	黄●	
	12/10	晴	6.6	8.44	4.40	11.59	12.57	赤◎	赤◎	
	12/11	雨	0.0	0.77	0.00	11.58	11.91	赤◎	赤◎	遮断
	12/12	曇→晴	6.0	9.49	4.50	11.49	12.51	赤●	赤●	遮断
50	12/13	曇→雨	2.2	5.94	2.20	11.87	12.71	赤●	黄●	再接続
	12/14	曇→晴	2.4	5.21	1.40	11.60	12.36	赤◎	赤◎	遮断
	12/15	曇/晴	2.8	6.82	2.10	11.49	12.44	赤●	赤●	遮断
	12/16	曇	0.0	2.82	0.80	11.79	12.37	赤●	赤●	
	12/17	晴/曇	6.4	9.28	4.20	11.84	12.78	赤◎	黄●	再接続
	12/18	快晴	9.2	11.84	5.30	11.64	12.75	赤◎	黄●	
	12/19	晴	7.9	10.72	4.60	11.64	12.78	赤◎	黄●	

周	日	気象データ ※東京 (//:時々 /:-一時 →:後)			充放電コントローラ Data Logging			バッテリーステータスLED (●:点灯、◎点滅)		
		天気状況 (気象庁HPより)	日照 時間 (H)	全天日 射量 (MJ/	太陽電池 発電電流量 (Ah)	バッテリー 最小電圧 (V)	バッテリー 最大電圧 (V)	放 電 ↓	充 電 ↓	備考
51	12/20	快晴	9.2	11.38	5.10	11.63	12.73	赤◎	黄●	
	12/21	快晴	8.9	11.46	5.20	11.64	12.75	赤◎	黄●	
	12/22	晴	6.4	9.68	4.90	11.64	12.75	赤◎	黄●	
	12/23	快晴	9.0	10.59	4.90	11.64	12.71	赤◎	黄●	
	12/24	晴	8.7	10.53	4.80	11.66	12.67	赤◎	黄●	
	12/25	晴/曇	8.0	10.28	4.80	11.66	12.65	赤◎	黄●	
52	12/26	曇→晴	4.3	6.45	2.50	11.64	12.55	赤◎	赤◎	
	12/27	薄曇/晴	7.0	9.69	4.60	11.56	12.60	赤◎	黄●	
	12/28	曇→晴	5.8	9.10	4.20	11.56	12.51	赤◎	赤◎	
	12/29	曇→晴	5.2	8.53	4.00	11.54	12.59	赤◎	赤◎	
	12/30	曇→晴	5.7	7.85	4.00	11.52	12.55	赤◎	赤◎	切断
	12/31	晴	7.3	9.19	4.60	11.49	12.63	赤●	黄●	再接続、切断
53	1/1	快晴	9.2	11.77	5.20	11.48	12.64	赤●	黄●	再接続
	1/2	快晴	9.0	11.56	5.20	11.53	12.66	赤◎	黄●	
	1/3	曇/晴	6.6	9.53	4.50	11.56	12.75	赤◎	黄●	
	1/4	晴/曇	5.2	8.01	3.60	11.55	12.59	赤◎	赤◎	
	1/5	晴/曇	8.1	10.28	4.80	11.51	12.65	赤◎	黄●	
	1/6	晴	7.3	10.83	4.60	11.53	12.63	赤◎	黄●	
54	1/7	晴→/曇	8.1	11.30	5.20	11.53	12.72	赤◎	黄●	
	1/8	晴	8.3	11.60	4.80	11.58	12.66	赤◎	黄●	
	1/9	快晴	9.0	11.72	5.10	11.58	12.63	赤◎	黄●	
	1/10	快晴	9.1	11.79	5.00	11.59	12.67	赤◎	黄●	
	1/11	曇→/晴	0.2	3.30	1.40	11.60	12.50	赤◎	赤◎	遮断
	1/12	曇→雨/みぞれ	0.0	1.27	0.00	11.49	11.99	赤●	赤●	遮断
55	1/13	晴/曇	7.0	11.09	4.70	11.66	12.66	赤●	黄●	再接続
	1/14	快晴	9.4	12.33	4.50	11.50	12.64	赤◎	黄●	
	1/15	快晴	9.3	11.62	5.00	11.51	12.66	赤◎	黄●	
	1/16	快晴	9.4	12.86	5.50	11.55	12.73	赤◎	黄●	
	1/17	快晴	9.3	12.55	5.30	11.59	12.75	赤◎	黄●	
	1/18	晴/曇	7.0	11.02	4.70	11.63	12.75	赤◎	黄●	
56	1/19	快晴	9.3	12.12	5.20	11.62	12.67	赤◎	黄●	
	1/20	晴→薄曇	7.3	10.80	4.60	11.64	12.71	赤◎	黄●	
	1/21	曇	0.8	4.27	1.80	11.66	12.46	赤◎	赤◎	
	1/22	晴→//曇	5.9	10.78	4.70	11.52	12.71	赤◎	黄●	
	1/23	晴/薄曇	8.0	12.41	5.00	11.54	12.67	赤◎	黄●	
	1/24	快晴	9.6	13.34	5.60	11.56	12.67	赤◎	黄●	
57	1/25	晴	8.9	12.00	5.00	11.63	12.71	赤◎	黄●	
	1/26	快晴	9.7	14.23	5.80	11.63	12.76	赤◎	黄●	
	1/27	晴→/薄曇	8.7	12.50	5.30	11.67	12.87	赤◎	黄●	
	1/28	曇→/雨	0.9	5.66	1.80	11.71	12.67	黄●	黄●	
	1/29	晴→//曇	5.6	10.02	5.20	11.64	12.64	赤◎	黄●	
	1/30	晴/曇	7.9	13.46	5.10	11.64	12.71	赤◎	黄●	
57	1/31	晴//薄曇	7.8	11.83	5.00	11.67	12.78	赤◎	黄●	
	2/1	曇→雨	0.8	2.93	1.10	11.68	12.55	赤◎	赤◎	
	2/2	曇//晴	3.2	7.72	3.20	11.60	12.78	赤◎	黄●	
	2/3	晴//曇	6.9	12.32	5.00	11.63	12.95	赤◎	黄●	
	2/4					11.75		黄●		
	2/5									
	2/6									
平均値			5.7	9.0	4.1	11.7	12.7	---	---	---
予測値			5.1		6.4	---	---	---	---	---

(1) 日射量と発電電流量の関係



(2) 発電量とバッテリー残量の関係

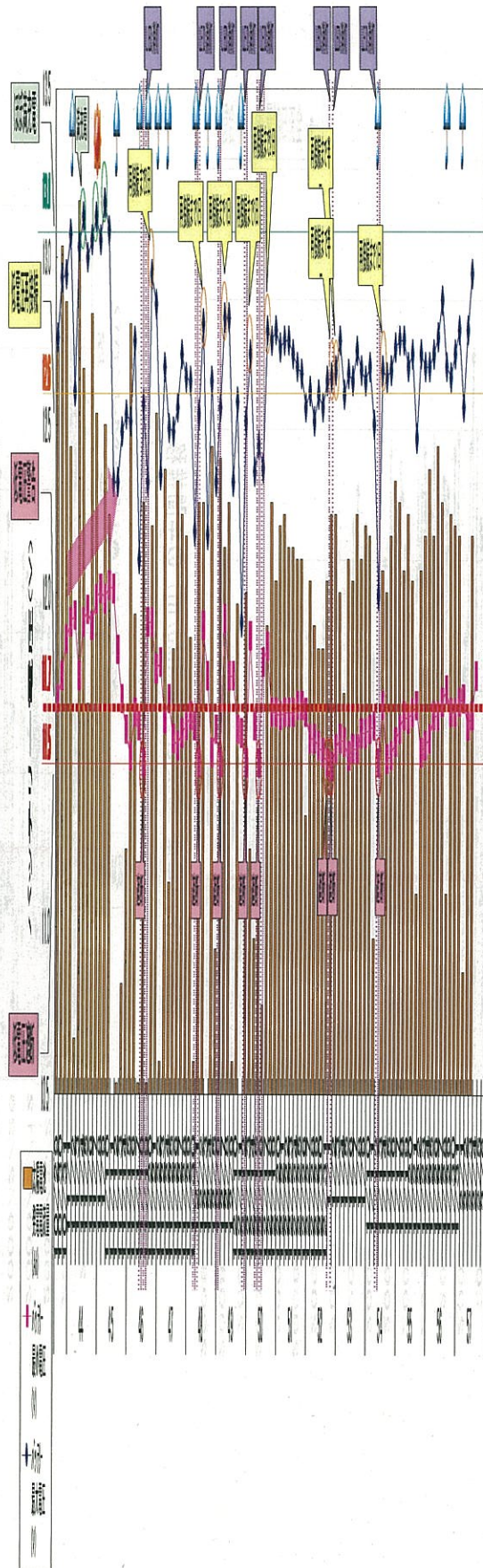


図5 発電量とバッテリー残量(目安)の関係

(3) 全天日射量の年間推移

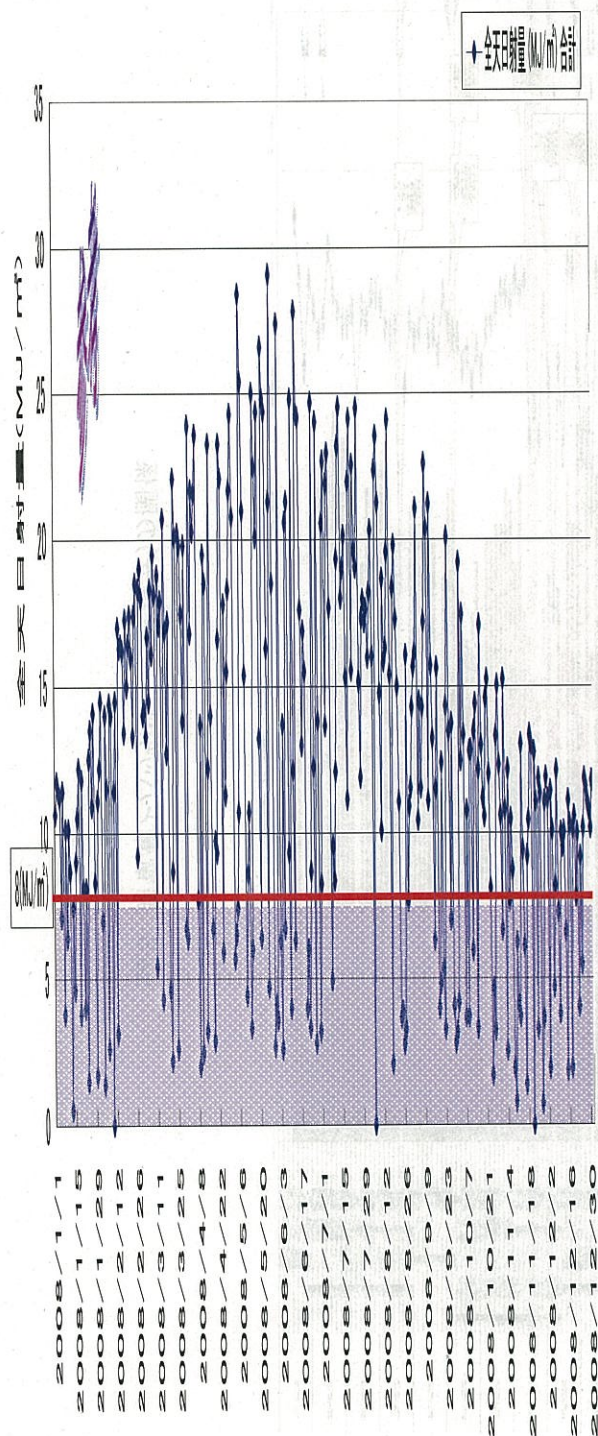


図6 2008年度 全天日射量 (MJ/m²) の年間推移

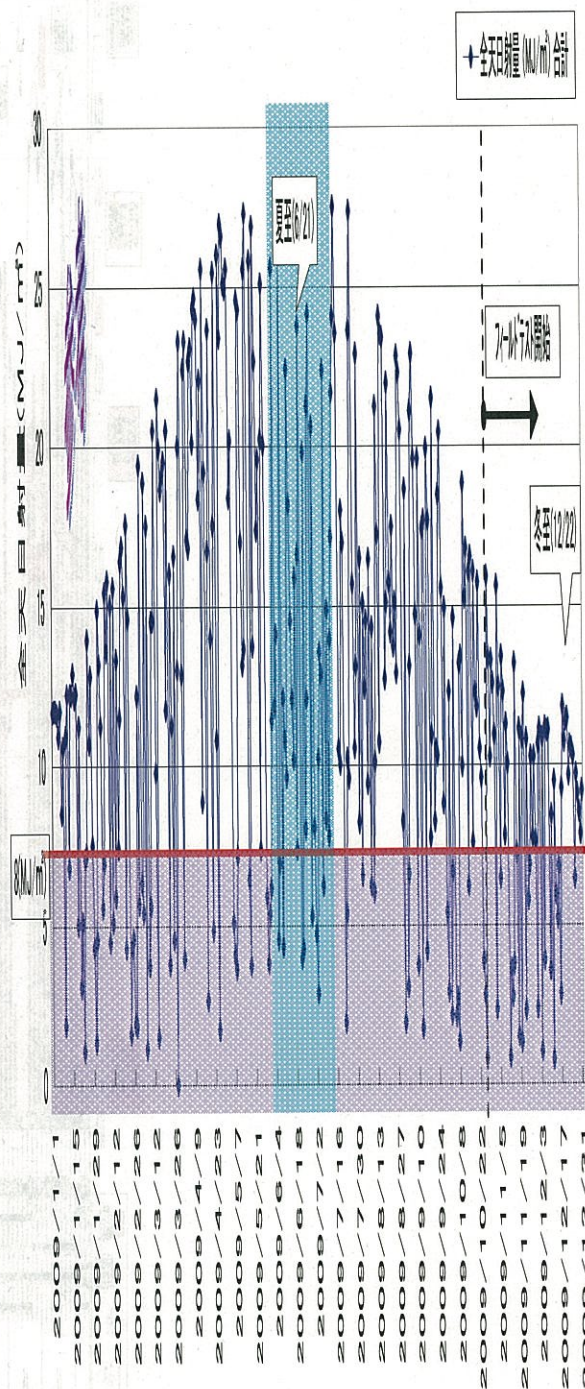


図7 2009年度 全天日射量 (MJ/m²) の年間推移

7. 実験の考察

・システム設計時に予測した値と実際の値との比較は表4の通り。日照時間が5H程度確保できれば、「発電電流量(Ah/日)>消費電流量(Ah/日)」となり、充電量は増加傾向となることが確認できた。

表4 システム設計値と実測値(平均値)の比較

	予測値	実測値
日照時間 (H/日)	5.1	5.7
発電電流量 (Ah/日)	6.4	4.1
消費電流量 (Ah/日)	5.8	2.7

※評価期間:2009/10/29~2010/2/3(98日間)

・雨天の日には、日照時間がゼロに等しく、太陽光発電することが出来ない。このように太陽電池の発電が無い状態(=バッテリーのみ)で使用できる日数(無日射保障日数)は、表5の通り。無日射保障日数は、その時点でのバッテリー残量によって変化する。

表5 無日射保障日数の予測と実績

バッテリー状態(注1)	予測値	実績
満充電時 (緑点灯)	3日間	4日間
半充電時 (黄点灯)	---	1日間
低電圧時 (赤点滅)	---	遮断(注2)

※注1:()はバッテリーステータスLEDの状態を表す

※注2:バッテリー電圧が11.5V以下となると、負荷との接続を遮断

・充放電コントローラーのバッテリー保護動作(11.5V以下で遮断、12.6V以上で再接続)を確認した。また、バッテリーと負荷との接続が遮断した後、再接続する為には、晴れの日(日照時間5H程度)が1~2日続く必要がある。

・冬至の時期は、日照時間が短くなる為、日射量が夏至の時期に比べ1/2程度に低下し、発電量も低下する。また、日没時間が長くなる為、LED照明の点灯時間が長くなり、電力消費量が多くなる。本フィールドテスト実施期間(10/29~2/3)は冬至の時期に近く、太陽光発電システムにとっては不利な条件の中で行われた。

・梅雨の時期は、日照時間は長い為、雨の日が多くなる為、前後の時期に比べ発電量が低下することが予想される。(バッテリーが低電圧遮断する確率が高くなる。)

・過去(2008年度)の気象データより、悪天候(全天日射量8MJ/m²以下)が2日間以上連続した回数は21回。この時、バッテリーが低電圧遮断したと仮定し、再接続に2日間かかった場合、一年間で悪天候により夜間LEDが点灯しない日は42日(年11%)程度と予測できる。

8. 今後の展開

悪天候等でLEDが点灯しない日数を減らす対策として、バッテリー消費を抑える(LED点灯時間をタイマ制御する)回路を組み込み、評価を継続する予定。

また、約2ヶ月間の実験結果では、雨水や強風に対する耐久性については問題が発生していないが、引き続き観察を続ける。

【補足資料】

9. 基礎実験

9.1 バイパスダイオードの効果確認

(a) 目的

一般に、太陽電池は陰が生じると、陰となった部分が発電に寄与しなくなり、逆に抵抗体となって電流が流れにくくなる。その為、直列接続されている太陽電池の一部分にでも陰がかかると、回路全体の電流値も減少する。この現象を避けるために多くの太陽電池システムでは、陰の部分バイパスする電流の通り道としてバイパスダイオードが内蔵されている。

本装置でも、バイパスダイオードを組み込むにあたって、基礎実験にて、その効果を確認した。

(b) 実験概要

照明を当てた状態で、各太陽電池を厚紙で遮光し、デジタルマルチメータで開放電圧と短絡電流を測定する。

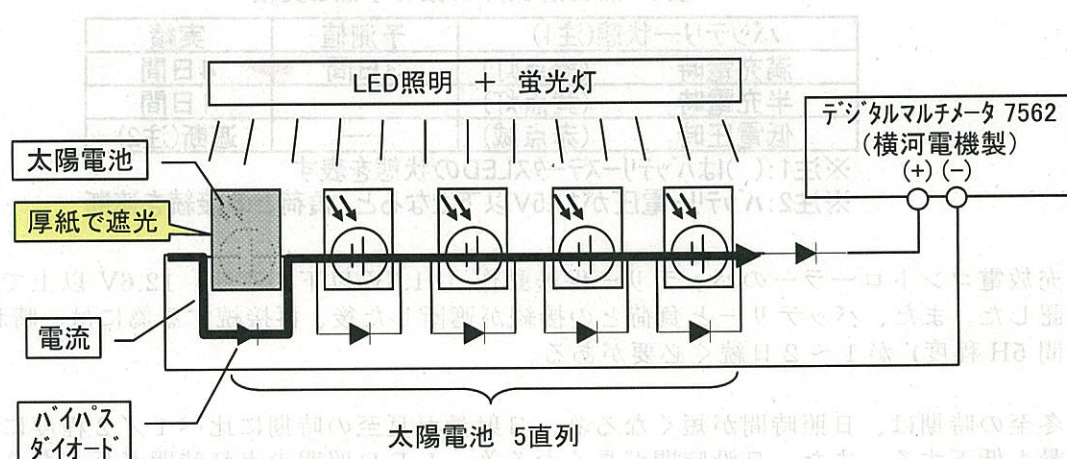


図8 バイパスダイオードの効果確認実験

(c) 結果

結果は表6の通り。遮光する太陽電池を1枚ずつ増やしていった時に、開放電圧が段階的に低下していることと、この間、短絡電流が約10mAとほぼ一定であることから、バイパス回路が正常に動作していることが確認できた。

表6 太陽電池遮光時の電圧と電流の関係

有効太陽電池枚数	5	4	3	2	1	0
太陽電池遮光枚数	0	1	2	3	4	5
短絡電流値 (mA)	10.50	10.64	10.22	10.23	10.14	0.01
開放電圧値 (V)	21.75	18.55	13.46	10.52	6.11	2.12

9.2 太陽電池の電圧電流特性確認

(a) 目的

本装置のシステム設計するにあたって、太陽電池の接続方法の違いによる電圧電流の特性を確認した。

(b) 実験概要

9.1 の実験と同じ照明条件で、2 直列と 2 並列の場合の電圧電流特性を確認する為、電圧発生器の出力電圧を可変し、そのときの設定値とデジタルマルチメータの電流値を測定する。

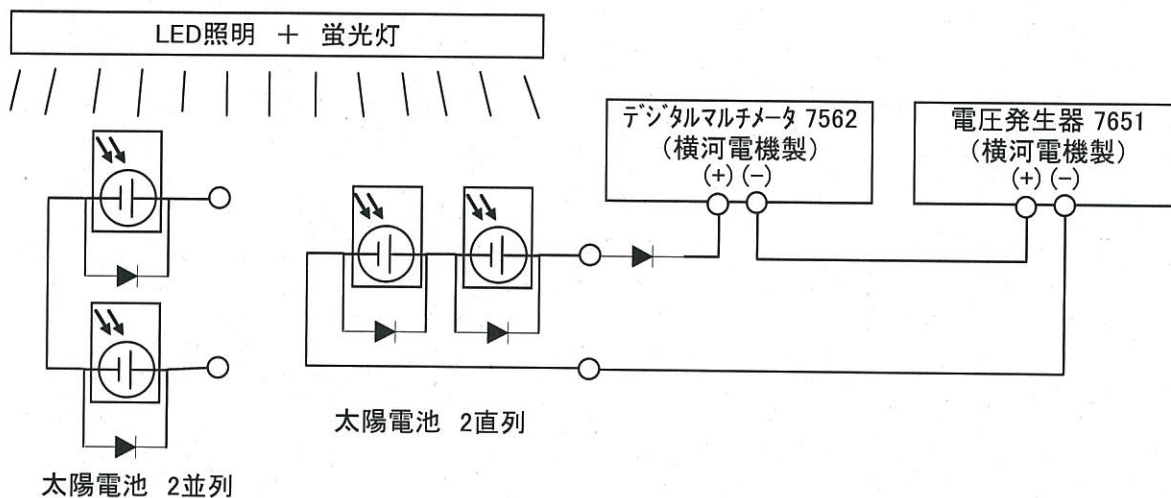


図9 電圧電流特性確認実験

(c) 結果

結果は図10の通り。直列接続の場合、出力電圧はおよそ2倍となる。また、並列接続した場合、出力電流はおよそ2倍となることが分かる。

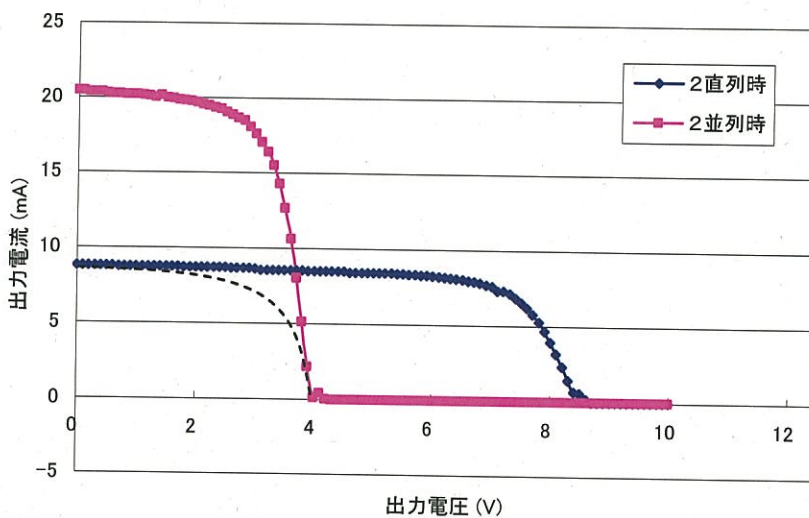


図10 2 直列と 2 並列の特性カーブ

以上

