数値シミュレーションによる光ファイバ終端機器用 太陽光自立電源システムの特性解析

正員 若尾 真治* 学生員 日下部 壮俊*
学生員 大橋 功幸* 非会員 鈴木 直幸*
学生員 堀井 洋史*

Computational Analysis of Photovoltaic Power Generation System for Optical Network Unit

Shinji Wakao*, Member, Taketoshi Kusakabe*, Student Member, Yoshiyuki Ohashi*, Student Member,
Naoyuki Suzuki*, Non-member, Hirofumi Horii*, Student Member

We have developed a novel computational simulator for a photovoltaic (PV) power generation system as an efficient design tool. The developed simulator enables us to predict the complicated performance of the whole PV system with high accuracy at short time intervals and evaluate the system quantitatively. In this paper, using the developed simulator, we quantitatively estimate the changes of PV current, battery voltage, battery discharging current, commercial supply current, and the period of practicable stand-alone operation, etc., according to the reduction of PV/battery capacity. To confirm the validity of the developed simulator, we compare the calculated values with measured ones. The computational results precisely agree with the measured values under various PV/battery capacity conditions. Furthermore, altering PV/battery capacity in the simulation, we successfully predict the system performance, e.g., the period of practicable stand-alone operation, and evaluate the PV system parameters.

キーワード：太陽光発電システム，光ファイバ終端機器，計算機シミュレータ，システムパラメータ，エネルギーフロー

Keywords: photovoltaic power generation system, optical network unit, computational simulator, system parameter, energy flow

1. はじめに

情報化時代の到来とともに情報通信網は光ファイバケーブルに置き換えられつつある。銅ケーブルとは異なり、光ファイバケーブルは、通信網の随所に配置される光ファイバ終端機器 (Optical Network Unit, 以下 ONU) や通信端末装置等に対して電力供給ができない。そのため広域災害が発生し商用系統が停電すると、広い範囲にわたり情報通信機能が麻痺してしまう恐れがあり、ONU 等への電力供給の信頼性が近年特に重要視されている。そこで我々は、このような状況に対処し得る太陽光自立電源システム (Photovoltaic Power Generation System, 以下 PV システム) を開発した⁽¹⁾。本システムは平常時には商用系統へは非売電の系統

連系型として動作し、停電時には太陽電池と蓄電池による独立型のシステムとして最低 2 日間の電力確保を保証し、PV 電力の活用により標準的な運転状態で 3 日間以上の電力供給を目標としている。このような条件に加え、ONU の代表として無線基地局等を考慮に入れると、電柱上や電話ボックス上など空間的に限定された場所へのシステムの設置が考えられる。したがって、限られたシステム容量の条件下でシステム内の各種パラメータを最適化し、上述の所望の動作条件を満足するように PV 発電電力を極力有効利用することが重要である。筆者らは、負荷電力容量に対する各システム構成要素の容量や商用系統からの電力補充制御などに関して種々の検討を加えた試作システムを構築し (図 1)、1 年以上にわたる運転実験の結果、PV 発電電力の利用率を平均 80% 強の高い値に保つと同時に、独立運転可能期間等の所望の動作条件が満足されていることを示してきた⁽¹⁾。今後、開発機の実用システムとしての完成度をより明確化するためには、システム性能をさらに詳細に評価する必要があると考えられる。そのためには長期にわたる

* 早稲田大学 理工学部 電気電子情報工学科
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
Dept. of Electrical, Electronics and Computer Eng., Waseda University
3-4-1, Ohkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555

運転実験を継続的に実施し、システム内の各種パラメータを変動させてシステムの特性評価を行ない、システム構成要素の容量配分の妥当性、独立運転期間の持続性等をより明確に示す必要がある。しかし、必要な実験データを収集するためには極めて長い時間を要するため、あるパラメータ変動が他の構成要素に及ぼす影響を全てのパターンにわたって定量的に評価することは極めて困難である。特に、本システムは平常時と停電時で異なる動作を行なう上に各構成要素の相互関係は非線形であり、システムの挙動は短時間で変化する非常に複雑なものである。したがって、上記目的のためのシステム特性評価を能率良くかつ効果的に行なうためには、計算機によるシミュレーションの導入が有効な手段と考えられる。これまでも多くのシミュレーションに関する有益な報告がなされている⁽²⁾。本論文は、既に実施済みのフィールドテスト結果に加え、シミュレーションによる開発システムの詳細な数値実験結果を補足することにより、本システムが所望の動作条件を満足し実用システムとして有効であることを、より明確化することを目的としている。

一般に、PV 発電特性の推定にあたり任意地点における短い時間刻みの日射データの入手が困難であることから、従来から用いられている PV システム用の汎用的なシミュレータはシステム挙動を模擬する際の時間刻みが長く、個々の機器に焦点をあてた理論的な評価式や概算的な安全係数等を用いて評価することが多い。そのため汎用的なシミュレータでは、上述の複雑な特性を有する本開発システムを木目細かく模擬し特性評価するのに十分とは言えない。このような背景のもと我々は、開発した PV システムに特化した設計ツールとして、独自のシミュレータを開発した。PV システムの挙動を短い時間刻みでシミュレーションする際に特に重要となるのは、システム内で発生する損失の定式化とシステム構成要素の特性のモデル化である。本シミュレータは、1 年以上にわたる運転実験の計測データに基づきシステム内の損失や各種構成要素を独自のモデル式で記述し、それらを回路方程式上で適切に結合することにより、短い時間刻み（6 秒毎に計算し、最終的には 10 分平均値を出力として算出）で実用上十分な精度でシステム全体の複雑な動作予測を可能とする特長を持っている。今回の解析対象システムでは、システムのコスト削減・大量普及を念頭に置き構成機器自体は全て一般的な既製品を用いており、限定されたフィールドテスト期間（例えば 1 年間）における気象等の短時間刻みの計測データの蓄積があれば、本シミュレータで採用したシステム内損失の定式化法、各構成要素特性のモデル化法やシミュレーションアルゴリズムの概念は、他の PV システムの解析にも容易に展開・適用可能なものである。

本論文では、まず、開発した計算機シミュレータについて説明する。次に、シミュレーション結果とシステム内の各種物理量の実験値とを比較することにより、開発したシミュレータの妥当性と有効性を示す。さらに、システムパ

ラメータを変動させ様々な条件下で数値実験を行ない、本 PV システムの特性解析を行なう。具体的には、PV アレイ容量および蓄電池容量に注目し、これらの容量比が本システム全体の動作特性、特に本システムにおいて最も重要な性能要素である災害時の独立運転可能期間に及ぼす影響をシミュレータで定量的に明確化し、本システムでの負荷に対する PV アレイ容量と蓄電池容量のバランスの妥当性を明らかにする。

2. 開発システム

図 1 に開発システムを示す。本システムは、負荷には ONU の一例として消費電力 12.5 W の PHS 基地局を採用し、容量 108.2 W の多結晶 Si 太陽電池（以下、PV アレイ）、容量 100 Ah のシール型鉛蓄電池、チャージコントローラ、補充電力制御装置により構成されている。システムのコスト削減・大量普及を念頭に置き、構成機器自体は全て既製品を用いている。蓄電池電圧に応じて過充電防止スイッチとしての役割を果たすチャージコントローラには、シール型鉛蓄電池（12 V）用に開発された既製品を用いており、PV

(a) システム外観

(b) システム構成要素

図 1 開発システム

Fig. 1. Developed PV system.

アレイをシステムから切り離す過充電点は蓄電池満充電電圧である 15 V, 再接続するリセット点は 13.5 V である。一方、蓄電池電圧に応じて過放電防止スイッチとしての役割を果たす補充電力制御装置は、最低 2 日間の独立運転保証の設計コンセプトより、蓄電池残存電力量が負荷電力量 2 日分を下回らないよう、蓄電池電圧が 12 V まで下がると負荷所要電流を負荷に供給する。この時、商用系統からの電流はすべて負荷へ流れ、商用系統から蓄電池への充電は行なわれない設定となっている。また本システムは、負荷所要電力が 12.5 W と小さいことより商用系統へ余剰電力の売電を行わず、システムの簡素化を図っている。チャージコントローラや補充電力制御装置をはじめ開発システムの詳細に関しては、文献 (1) に譲る。

また本システムにおける測定データは、日射量、気温、PV 電圧・電流、負荷電圧・電流、蓄電池電圧・充放電電流、系統補助電圧・電流であり、これらのデータは 6 秒毎に計測され 10 分間の平均値が記録される。

3. 計算機シミュレータの構築

ここでは、まずシステム内損失の定式化とシステム構成要素特性のモデル化について説明し、次に、シミュレーションのアルゴリズムについて述べる。

〈3・1〉チャージコントローラおよび補充電力制御装置による損失の定式化 システム内のエネルギーフロー⁽¹⁾に注目し、実験の瞬時値データに基づいてシステム内のエネルギーの流れを分類し、積み上げ面グラフとして図 2 に示す。システム内には常にエネルギーの流れに伴い損失が発生し、それが時間的に変化していることが分かる。実験システムの構成から、その損失はチャージコントローラによる損失と補充電力制御装置による損失の 2 つに主に起因するものと見なし、実験データをもとに損失を分類・定式化した。システム内のエネルギーの流れに伴い発生する全損失を、PV 電流の関数（チャージコントローラによる損失）あるいは系統補助電流の関数（補充電力制御装置による損失）と見なして分類し（図 3、図 4）、以下の近似式 (1)、(2) を導出した。(1)、(2) 式を用いることで、システム内のエネルギーの流れに伴う全ての損失を両式で包含し算定することができる。

$$\text{Charge Controller Loss} = 0.0964I_{PV}^2 + 0.6729I_{PV} + 0.097 \quad (I_{PV}: \text{PV 電流}) \quad (1)$$

$$\text{Current Controller Loss} = 0.8418I_{CS} + 0.6617 \quad (I_{CS}: \text{系統補助電流}) \quad (2)$$

〈3・2〉PV 電力特性のモデル化 システム内損失と同様、実験データに基づき PV 電力特性についてモデル化を行なう。PV 電力特性は日射量と気温により (3)、(4) 式によって記述した。ここで、 P_0 は日射強度 1 kW/m^2 、セル温度 25°C における定格出力であり、セル温度が 1°C 上昇したときの出力低下の割合を 0.005 としている。また、 k

図 2 システム内のエネルギーフロー分類
Fig. 2. Classification of energy flow in the system.

図 3 PV 電流と損失の関係
Fig. 3. Relationship between I_{PV} and losses.

図 4 系統補助電流と損失の関係
Fig. 4. Relationship between I_{CS} and losses.

は太陽電池アレイの動作点ずれによるミスマッチなどの損失を包含する補正係数であり、実験結果に基づき導出したものである。

$$P = k \times \phi \times P_0 \times \{1 - 0.005 \times (T_C - 25)\} \quad (3)$$

$$T_C = T + 25 \times \phi \quad (4)$$

ただし、 P : PV 電力 [W], P_0 : 定格出力 108.2[W]
 k : 補正係数, T_C : セル温度 $[\text{C}]$
 ϕ : 日射強度 $[\text{kW/m}^2]$, T : 気温 $[\text{C}]$

〈3・3〉蓄電池充放電特性のモデル化 本システムでは蓄電池充電電流が最大で 5 A 程度であり、また負荷所要電流が 1 A 程度であることから、1~5 A 前後の微弱な電

図5 蓄電池充放電特性

Fig. 5. Battery charge-discharge characteristics.

図6 補充電力制御装置動作特性

Fig. 6. Power controller characteristics.

流での充放電特性をモデル化する必要がある。蓄電池は充電状態がある一定値以上に上がると、急激に電圧が上昇する。つまり蓄電池が満充電状態近くなると、蓄電池充電状態に対する蓄電池電圧の上昇率が急激に大きくなる。今回、実際に使用する蓄電池を用いて種々の充放電電流値の条件下で充放電実験を行ない、計測データをもとに蓄電池電圧の上昇率の変化点を蓄電池充電状態80%とし、図5に示すように蓄電池充放電特性を2次および1次近似式でモデル化した。ここでは、蓄電池充電状態が100%を超えると蓄電池電圧はそれ以上の上昇が無いものとしている。また、グラフ中に示された以外の電流値に関しては、各グラフの値を内分・外分することで、あらゆる充電電流値に対応させることとしている。例えば、充電電流値が I_a [A] ($3.0 < I_a < 5.0$)、蓄電池充電状態 ρ [%] の場合の蓄電池電圧 $V_{Ia}(\rho)$ [V] は、以下の式で表現される。

$$V_{Ia}(\rho) = \frac{I_a - 3.0}{5.0 - 3.0} V_{5.0}(\rho) + \frac{5.0 - I_a}{5.0 - 3.0} V_{3.0}(\rho) \quad (5)$$

ただし $V_{5.0}(\rho)$ 、 $V_{3.0}(\rho)$ は、それぞれ充電電流値が5Aおよび3Aで蓄電池充電状態が ρ [%] の場合の蓄電池電圧である。一般に正確な蓄電池充電状態を実測することは不可能であるが、ここでは実験開始時に蓄電池を満充電状態にして置き、その後の蓄電池充放電電流値を積算することで、蓄電池充電状態として算出している。またその際、蓄電池充放電にともなう損失を考慮する必要があり、その損失係数に関しても充放電実験に基づいて導出している。

〈3・4〉 補充電力制御装置特性のモデル化 補充電力制御装置では出力端が12V一定に保持されており、理論上は蓄電池電圧が12V以上の時は系統補助電流がOFF、12V未満の時にはONとなる設定になっている。また、系統補助電流がONの場合でも、直流電源の出力設定を負荷所用電流値まで絞ることで、系統補助電流が負荷のみに供給されるよう制御している。しかし一般に回路性能上、実際は蓄電池が放電し蓄電池電圧が12V近辺まで近づいてきた際に、系統補助電流が若干漏れて供給される現象が発生する(図6)。また、図6からも分かる通り、この系統補助電

図7 PV電流-蓄電池放電電流特性

Fig. 7. PV current-battery current characteristics.

図8 フローチャート

Fig. 8. Flowchart.

流値を蓄電池電圧値の関数で直接表現することは困難である。そこで蓄電池放電時に、損失を考慮した上でのシステム内電流値には以下の(6)式の関係が常に成立することに着目した。

$$\begin{aligned} & (\text{PV電流} + \text{蓄電池放電電流} + \text{系統補助電流}) \\ & - \text{負荷電流} = 0 \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

本システムでは負荷電流値は一定で既知であるため、PV電流値と蓄電池放電電流値の関係が種々の蓄電池電圧毎に分かれれば、(6)式により系統補助電流値を算定することができる。PV電流値と蓄電池放電電流値の関係を、蓄電池電圧値毎に実験データより分析し導出した結果を図7に示す。図7より、蓄電池電圧の値にかかわらず、PV電流と蓄電池放電電流がほぼ線形の関係にあることが分かる。

〈3・5〉 シミュレーションアルゴリズム 開発したシミュレータでは、前述のエネルギー損失の近似式や各構成要素の特性式を考慮した上で、負荷を含めた回路方程式を導出し、その解をステップバイステップで算出する。日射量、気温を入力とし、PV電力・電流・電圧、蓄電池充放電電流・電圧・充電状態、系統補助電流などを6秒毎に計算し、最終的には10分平均値を出力として算出する。本シミュレータのフローチャートを図8に示す。

4. シミュレーション結果

〈4・1〉 実験方法 本システムでは、毎月初めの20日間は平常時として系統連系型、残りの10日間は災害による停電を模擬した独立型として動作させ、この操作を1ヶ月単位で連続的に繰り返して実験を行なった。シミュレーションも同様の条件で行ない、結果を実験値と比較した。入力データとしては、日射量、気温の実測値を用いている。

〈4・2〉 システム内物理量に関する比較 本シミュレータの信頼性を確かめるため、システム内物理量の実験値と計算値を比較した。実験期間(1997年3月～1998年7月)の中でシステム調整・システムダウン等が無く、1ヶ月間連続でシステム運転・測定を行なった12ヶ月分のデータにおける実験値と計算値の誤差を表1に示す。また、システム内物理量の一例として、期間中のある1日における蓄電池電圧・放電電流の実験値と計算値を図9、図10に示す。これらの図より、本シミュレータの計算値がシステム内の物理量の変動に良く追従し、その挙動を模擬していることが分かる。また、システム構成要素の容量変化時の条件下も含めて本シミュレータの妥当性、有効性を調べるため、実際のPVアレイ容量108.2W、蓄電池容量100Ahを各々100%として、以下の3通りに各容量を変化させて実験を行ない、シミュレータによる計算値と比較した。

表1 各種物理量の誤差

Table 1. Error values.

		1997年3月	1997年5月	1997年6月	1997年7月	1997年8月	1997年9月	1997年11月	1998年1月	1998年5月	1998年6月	平均
蓄電池電圧	平均誤差[V]	0.19	0.15	0.13	0.17	0.08	0.11	0.20	0.26	0.28	0.15	0.17
	平均誤差率[%]	1.51	1.11	0.96	1.30	0.66	0.84	1.59	2.08	2.32	1.92	1.43
PV電流	平均誤差[A]	0.10	0.10	0.07	0.15	0.09	0.06	0.10	0.42	0.10	0.13	0.13
	平均誤差率[%]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.17	0.11	0.01	0.01	0.05
蓄電池放電電流	平均誤差[A]	0.11	0.10	0.13	0.11	0.11	0.13	0.17	0.20	0.09	0.13	0.13
	平均誤差率[%]	0.07	0.08	0.06	0.12	0.08	0.05	0.09	0.31	0.08	0.09	0.10
系統補助電流	平均誤差[A]	0.06	0.09	0.13	0.08	0.14	0.12	0.17	0.17	0.09	0.13	0.12
	平均誤差率[%]	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.14	0.24	0.07	0.10	0.11

図9 蓄電池電圧 (PV・蓄電池 100%)

Fig. 9. Battery voltage: PV/battery capacity 100%.

図10 蓄電池放電電流 (PV・蓄電池 100%)

Fig. 10. Battery discharging current: PV/battery capacity 100%.

図 11 蓄電池電圧 (PV・蓄電池 50%)

Fig. 11. Battery voltage: PV/battery capacity 50%.

図 12 蓄電池放電電流 (PV・蓄電池 50%)

Fig. 12. Battery discharging current: PV/battery capacity 50%.

PV アレイ容量 100% - 蓄電池容量 50%
 PV アレイ容量 50% - 蓄電池容量 100%
 PV アレイ容量 50% - 蓄電池容量 50%

一例として、PV アレイ容量 50% - 蓄電池容量 50%における蓄電池電圧・放電電流の実験値と計算値の比較を図 11、図 12 に示す。図 11、図 12 においても、妥当な結果が得られていることが分かる。上記 3 通りの場合における計算値誤差は、PV アレイ容量 100% - 蓄電池容量 100%と同程度であったことから、本シミュレータはシステム構成要素の容量変化に対してもシステムの挙動予測が十分可能であることが分かり、その妥当性と有効性が示された。

〈4・3〉 独立運転可能期間に関する比較 本システムは、災害時の停電の際には PV アレイと蓄電池のみの独立型として 2 日間の電力確保を保証し、PV 電力の活用により標準的な運転状態で 3 日間以上の電力供給を目標としており、停電時にシステムがダウンするまでの期間（独立運転可能期間）の予測は非常に重要である。システムダウンは、蓄電池電圧が低下し、負荷を運転状態に保つのに必要な電圧を下回ってしまう場合に生じる。しかし、負荷所要電流が 1 A 程度と小さいため放電時の蓄電池電圧変化は微小であり、どの時点でシステムダウンが発生するのかを蓄電池電圧値をもとに明確に定めることは困難である。

図 13 独立運転可能期間 (PV・蓄電池 100%)

Fig. 13. Period of practicable stand-alone operation: PV/battery capacity 100%.

図 14 独立運転可能期間 (PV・蓄電池 50%)

Fig. 14. Period of practicable stand-alone operation: PV/battery capacity 50%.

そこで蓄電池充電状態に注目し、PV アレイ容量 100% - 蓄電池容量 100%の実験においてシステムダウンが確認された場合のシミュレーション値（蓄電池充電状態・電圧値）と実験値（蓄電池電圧値）とを比較することで、システムダウン時の蓄電池充電状態を考察した（図 13）。図 13 より、蓄電池充電状態（計算値）が 20%付近で蓄電池電圧（実験値）が急激に低下しており、システムダウンに至っていることが分かる。そこでシステムダウンの判定基準に蓄電池充電状態を採用し、そのしきい値を 20%としてシミュレーション上で設定することにした。

システムダウン時のしきい値を蓄電池充電状態 20%に設定した妥当性を確認するため、PV アレイ容量 50% - 蓄電池容量 50%の実験において同様の検討をさらに行なった。システムダウン前後の様子を示した図 14 において、実際にシステムダウンが発生した時刻と蓄電池充電状態（計算値）が 20%まで低下した時刻の差は 5 時間程度であった。以上より、システムダウン時のしきい値を蓄電池充電状態 20%に設定したことは妥当であり、独立運転可能期間に関しても、本シミュレータがシステム構成要素の容量変化に対応してその日数予測が十分可能であることが確認できた。

なお図 13、図 14 において、システムダウン後も蓄電池電圧の計算値が低下していないのは、本シミュレータが開発

システム運転時の特性解析に焦点を当てたものであり、蓄電池充電状態が80%以下の場合には全て1次近似式による蓄電池充放電特性モデルを採用しているためである（図5）。

5. システムの性能評価への応用

前章までの検討から、本シミュレータの計算結果は、フィールドテストの結果と同様、システムの性能評価を行なうのに実用上十分な精度を有するものであると言える。そこで、本シミュレータを用いて、システム構成要素の容量変化がシステム動作特性に及ぼす影響を検討した。

ここでは運転実験期間（1997年3月～1998年7月）の気象実測データを用い、PVアレイ容量、蓄電池容量を様々に変化させ、システム性能の主要素の一つである独立運転可能期間に及ぼす影響をシミュレーションした。シミュレーション上では、〈4・1〉節と同様に、システムを毎月始めの20日間は通常の系統連系型として動作させ、残りの10日間は災害による停電を模擬して商用系統から切り離し独立型として動作させている。このとき、蓄電池充電状態が20%まで低下した時点で、負荷に電力供給することができなくなりシステムダウンすると仮定する。

図 15 容量変化に対する独立運転可能期間（平均日数値）

Fig. 15. Average periods of practicable stand-alone operation under the various PV/battery capacity conditions.

図 16 容量変化に対する独立運転可能期間（最短日数値）

Fig. 16. Shortest periods of practicable stand-alone operation under the various PV/battery capacity conditions.

本シミュレータによる数値実験結果で、PVアレイ容量、蓄電池容量のいずれか一方を10%ずつ小容量化した場合の独立運転可能期間（平均日数値）を図15に示す。また、PVアレイ容量、蓄電池容量をそれぞれ10%ずつ小容量化し、36通りの組み合わせについて独立運転可能期間（最短日数値）を検討した結果を図16に示す。図15より本システムにおいては、蓄電池容量の減少に比べ、PVアレイ容量の減少の方が独立運転可能期間に対する影響度が強いことが分かる。また図16では、PVアレイ容量100%・蓄電池容量100%の場合の独立運転可能期間が非常に良好であり、PVアレイ容量、蓄電池容量のどちらか一方でも小容量化すると大幅に独立運転可能期間が短くなっていることが読み取れる。以上の結果より、本システムにおいては、負荷容量に対するPVアレイ容量・蓄電池容量のバランスが、システム設計の観点から適切なものであると評価できる。

6. まとめ

本論文では、筆者らが開発した光ファイバ終端機器用太陽光自立電源（PV）システムの詳細な特性評価を能率良くかつ効果的に行なう目的で、開発システムに特化した計算機シミュレータを開発し、その導入を試みた。まず、様々な運転条件下でシミュレーション結果と実験結果とを比較することにより、本論文で提案したPVシステム用シミュレータの妥当性と有効性を示した。さらに、システムのPVアレイ容量および蓄電池容量に注目し、これらの容量比が災害時の独立運転可能期間に及ぼす影響を、シミュレータにより定量的に明らかにした。既に実施済みのフィールドテストの結果⁽¹⁾に加えてさらに本論文のシミュレーション結果を補足することにより、負荷電力容量に対するシステム構成要素の容量配分や商用系統からの電力補充制御等のシステム内容の妥当性をより明確に示すことが可能となり、本開発システムが所望の動作条件を満足し実用システムとして有効であることを明らかにすることができた。

なお本研究費の一部は日本私立学校振興・共済事業団「新技術開発研究」および早稲田大学特定課題研究（課題 No. 99B-014）によることを付記し、関係者各位に謝意を表する。（平成13年3月6日受付、平成13年11月28日再受付）

文 献

- (1) T. Onuki, S. Wakao, R. Hirakawa, and T. Kusakabe: "Development of Photovoltaic System for Optical Network Unit", *T. IEE Japan*, Vol.120-D, No.5, pp.718-724 (2000-5) (in Japanese)
小貫・若尾・平川・日下部：「光ファイバ終端機器用太陽光自立電源システムの開発」, 電学論 D, **120**, 5, pp.718-724 (2000-5)
- (2) 太陽光発電技術研究組合監修, 黒川浩助・若松誠司 共編：太陽光発電システム設計ガイドブック, オーム社 (1994)

若尾 真治 (正員) 昭和40年7月7日生。平成5年3月, 早稲田大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。8年4月, 早稲田大学理工学部にて奉職。平成10年4月, 同大学理工学部電気電子情報工学科助教授, 現在に至る。IEEE, 日本計算工学会, 日本太陽エネルギー学会などの会員。

鈴木 直幸 (非会員) 昭和50年12月10日生。平成11年3月, 東京理科大学工学部電気工学科卒。14年3月, 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了, 在学中は, 主にPVシステムにおけるインテリジェント制御に関する研究に従事。同年4月より, (株)日立製作所に勤務, 現在に至る。

日下部 壮俊 (学生員) 昭和51年7月5日生。平成11年3月, 早稲田大学理工学部電気工学科卒。13年3月, 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了, 在学中は主に太陽光発電システムのシミュレータ構築に関する研究に従事。同年4月よりキヤノン(株)に勤務, 現在に至る。

堀井 洋史 (学生員) 昭和52年5月19日生。平成12年3月, 早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒。14年3月, 同大学大学院理工学研究科修士課程修了, 在学中は, 主にPV/風力/波力ハイブリッド発電システムに関する研究に従事。同年4月より, 富士写真フイルム(株)に勤務, 現在に至る。

大橋 功幸 (学生員) 昭和52年4月23日生。平成12年3月, 早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒。14年3月, 同大学大学院理工学研究科修士課程修了, 在学中は, 主に太陽光発電ローカル電力供給システムの構築に関する研究に従事。同年4月よりソニー(株)に勤務, 現在に至る。