

# I-V特性スキャン型 MPPT 制御における Lの低減に関する検討

A Study on Reduction of  $L$  for MPPT Control with I-V Characteristics Scanning

板子一隆\*<sup>1</sup>  
Kazutaka ITAKO

大道寺重俊\*<sup>2</sup>  
Shigetoshi DAIDOUJI

森 武昭\*<sup>3</sup>  
Takeaki MORI

## Abstract

The authors have proposed a new MPPT (Maximum Power Point Tracking) control with I-V characteristics scanning for a PV generation system. This proposed method has the extremely high MPPT efficiency due to scanning the I-V characteristics periodically. This paper investigates the reduction of  $L$  for the MPPT control with I-V characteristics scanning. From the experimental results, it is clarified that even if the value of  $L$  is extremely low, the maximum power point voltage can be accurately detected.

キーワード：MPPT 制御，昇圧型 DC-DC コンバータ，PWM

Keywords: MPPT control, step-up DC-DC converter, PWM

## 1. はじめに

近年，地球温暖化の問題が深刻になってきており，京都議定書では 2008 年～2012 年までの期間中に CO<sub>2</sub> の排出量を 1990 年に比べて少なくとも 6%削減することが求められるなど，石油に代わる新エネルギーの重要性が益々高まってきている．特に，太陽光発電はヨーロッパを中心として各国でその導入を国家的なレベルで推進しており，その導入量は年々増加の傾向にある．一方，技術的観点からも最大電力点追跡(MPPT)効率がより高く，小型軽量で低価格のパワーコンディショナの開発が望まれる．

そこで筆者らは，先に独立型太陽光発電システムのための MPPT 制御法として，I-V 特性スキャン型 MPPT 制御法を提案し検討を行ってきた<sup>(1)-(6)</sup>．この方法は，太陽電池に昇圧型の DC-DC コンバータを接続し，最大電力点検出動作と追従動作を交互に行うものであり，高い精度の MPPT を実現すること

ができる．この制御法は，一般的な山登り法と異なり，原理的に，部分影が生じて太陽電池電圧に対する出力電力の特性に 2 つ以上のピークを持つ場合でも最大電力点を確実に捉えることが可能であるという利点を有している．しかしながら，この制御方法では，DC-DC コンバータのインダクタの電流変化を利用して I-V 特性をスキャンするため，太陽電池の内部静電容量の影響を受けないような  $L$  の値を設定しなければならない．従って，ある程度大きなインダクタが必要となり，装置が大型化するなどの問題がある．

そこで，本論文では，この MPPT 制御法における  $L$  の低減に関する実験的検討を行い<sup>(7)</sup>良好な結果が得られたので以下に報告する．

## 2. I-V 特性スキャン型 MPPT 制御法

### 2. 1 動作原理

図 1 は筆者らが先に提案した I-V 特性スキャン型 MPPT 制御の回路構成である．同図において  $L$  はブーストインダクタ， $S$  は MOSFET 等の高速スイッチング素子， $C$  は平滑コンデンサ， $D$  は  $C$  の短絡防

\*<sup>1</sup> 神奈川工科大学工学部電気電子情報工学科准教授  
(〒 243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030)

e-mail: itako@ele.kanagawa-it.ac.jp  
\*<sup>2</sup> 神奈川工科大学太陽エネルギーシステム研究開発センター  
研究補助員

\*<sup>3</sup> 神奈川工科大学副学長，創造工学部ホームエレクトロニクス  
開発学科教授  
(原稿受付：2009 年 10 月 19 日)

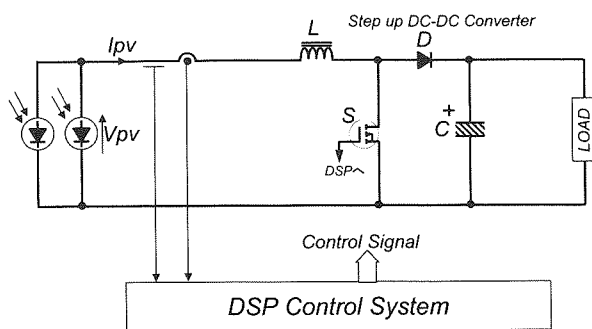


Fig.1 Circuit configuration.

止用ダイオードをそれぞれ表している。太陽電池は所要の電力に応じて並列に接続される。これを昇圧形の DC-DC コンバータを通して太陽電池電圧を昇圧して負荷に印加する。リアルタイムで検出される太陽電池電圧  $v_{pv}$  と太陽電池電流  $i_{pv}$  は A/D 変換され、マイクロプロセッサによる演算処理によって最大電力点を検出しながら、MPPT 制御を行う。図 2 は本制御方式の動作波形の概念図である。最大電力点  $P_{max}$  検出時 ( $P_{max}$  detecting) には、スイッチ S を OFF 状態 (OFF モード) にして、太陽電池電圧  $v_{pv}$  が開放電圧  $V_{OC}$  に到達したならば太陽電池電流  $i_{pv}$  は零となる。次にスイッチ S を ON 状態 (ON モード) にする。このとき、太陽電池の出力電力  $p_{pv}$  の変化を利用して、最大電力点における最適動作電圧  $V_{OP}$  を検出することができる。次に太陽電池電圧  $v_{pv}$  が得られた最適動作電圧  $V_{OP}$  になるように数十 kHz と高い周波数  $f_c (=1/T_c)$  でスイッチングして DC-DC コンバータの出力電圧を制御する (Tracking operation)。この検出動作と追従動作をある一定周期で行うこ

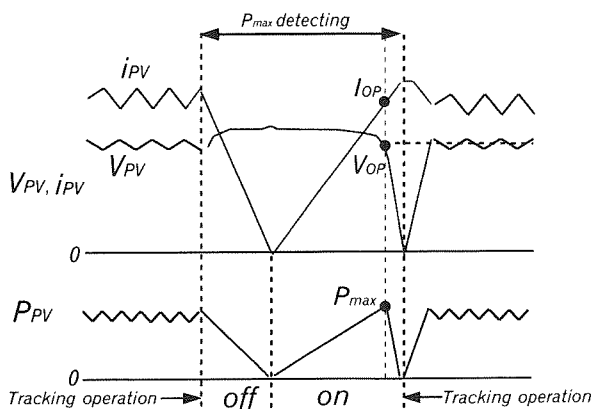


Fig.2 Operational waveforms.

とで、常にその条件下で得られる最大限の電力を取得することが可能となる。この検出動作の期間は数 ms と短いため、電力取得に与える影響は無視できる。

### 2. 2 L の設定

太陽電池の I-V 特性を求める場合、数十 kHz と高い周波数で電圧・電流を変化させるとその出力は多価関数となり、正確な値を得ることができない<sup>(8)</sup>。従って、 $P_{max}$  検出期間において正確に I-V 特性を求めるためには数百 Hz と低い周波数で変化させる必要があるため、 $L$  の下限値が制限される。最大電力  $P_{max}$  は ON モード時に検出される。本論文では、最も厳しい条件として、公称開放電圧  $V_{OC}$  が  $L$  に印加されたときに、太陽電池 1 枚分の電流が零から短絡電流  $I_{SC}$  に到達する時間を 1.0ms 以上に設定する。この速さで太陽電池電流を  $0 \rightarrow I_{SC} \rightarrow 0$  と振動させると 500Hz (周期 2ms) と低い周波数となり、太陽電池の I-V 特性を一価関数として取り扱って問題ない。そこで、検出開始時点  $t=0$ 、太陽電池電流  $I_{PV}$  が短絡電流  $I_{SC}$  に到達する時点  $t=t_1$  とし、 $t=0$  での太陽電池初期電流を零と仮定すると以下の関係式が成り立つ。

$$\frac{V_{OC}}{L} t_1 = I_{SC} \dots \dots \dots (1)$$

検出時間  $t_1$  が 1ms 以上という条件より、 $L$  に関する以下の条件式が導かれる。

$$L[mH] \geq \frac{V_{OC}}{I_{SC}} \dots \dots \dots (2)$$

しかしながら、実用上、 $L$  の値はなるべく小さい方が望ましい。そこで、次章では  $L$  の値を低減するための検討を行う。

### 3. L 低減のための検討

以下に、 $L$  の値を小さくした場合の影響を検討する。図 3 は図 1 の回路に  $L$  の値を順次切り替えて I-V 特性を検出するための回路を付加した実験回路である。今回使用した太陽電池モジュールは、GT133S (単結晶シリコン) 公称最大出力  $P_m=50W$ 、公

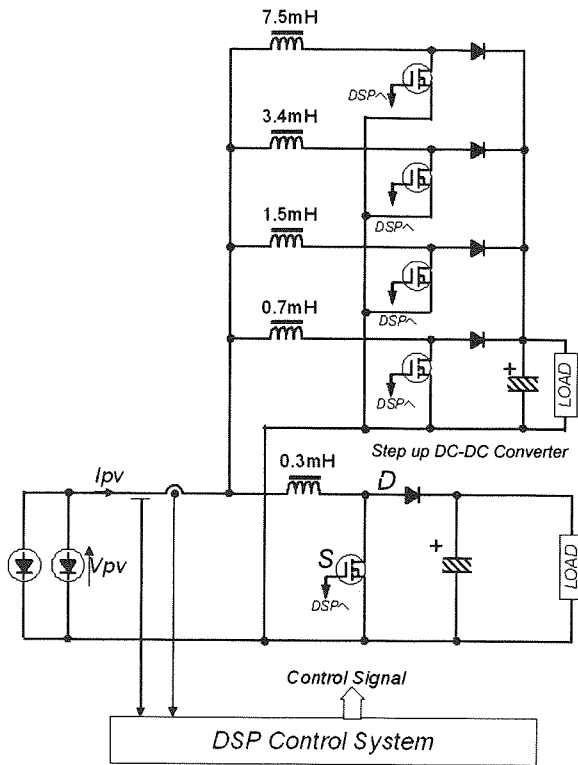


Fig.3 Experimental circuit.

称最大出力動作電流  $I_{pm}=3.05A$ 、公称最大出力動作電圧  $V_{pm}=16.4V$ 、公称短絡電流  $I_{sc}=3.35A$ 、公称開放電圧  $V_{oc}=20.5V$  である。負荷側に挿入する平滑コンデンサは  $C=2200\mu F$ 、ブーストインダクタ  $L$  の値は、(2)式より求めた  $3.06mH$  を大きく上回る  $7.5mH$  から順次値を  $3.4mH$ 、 $1.5mH$ 、 $0.7mH$ 、 $0.3mH$  と連続的に小さくしていき、I-V 特性をスキャンする。負荷には電子負荷装置を用いて、負荷電圧を  $25V$  一定とした。図 4 は  $G=1000W/m^2$ 、太陽電池の温度が  $53^\circ C$

における検出波形の一例である。同図より、 $L$  の値を小さくしていくとスキャンのための時間が徐々に短くなることが確認できる。ON モードにおいて  $3.06mH$  より小さくなると検出時間が短くなり、太陽電池モジュールの内部静電容量の影響を受けて、太陽電池電流が増加( $L=0.3mH$  では  $L=7.5mH$  に対して  $6\%$  程度増加)し、最大電力  $P_{max}$  の値が幾分大きくなること明らかとなった。すなわち、最大電力  $P_{max}$  の値を正確にとらえることができない。図 5 は、図 4 の ON モードにおける太陽電池出力電力が最大となる電圧  $V_{OP}$  の値を各日射強度  $G$  をパラメータとして示している。同図より、各  $G$  とも  $L$  の変化に対して  $V_{OP}$  の値がほぼ一定となることが分かる。例えば、 $G=1000W/m^2$  のとき  $L=7.5mH$  のとき  $V_{OP}=14.9V$ 、 $L=0.3mH$  のとき  $V_{OP}=15.0V$  とその差は  $0.1V$  と僅かである。使用した太陽電池モジュールの特性からこの差が太陽電池出力電力に与える影響は  $0.1\%$  程度であることを確認している。すなわち、 $L$  を小さくしていくと太陽電池電流の値が増加し、 $P_{max}$  の値そのものは不正確となるが、その最大電力  $P_{max}$  点における太陽電池電圧の値  $V_{OP}$  は実用上問題ない程度の精度で検出されるので、この値を用いて MPPT 制御を行うことができる。

図 6(a)は図 4 と同様の実験を行い、検出波形から I-V 特性を求めたものである。同図より、 $G=400W/m^2$ 、 $1000W/m^2$  の両方とも  $L=7.5mH$  と  $0.3mH$  の I-V 特性が相似していることが分かる。すなわち、検出の速さが変わっても I-V 特性の形状は変化しないことが

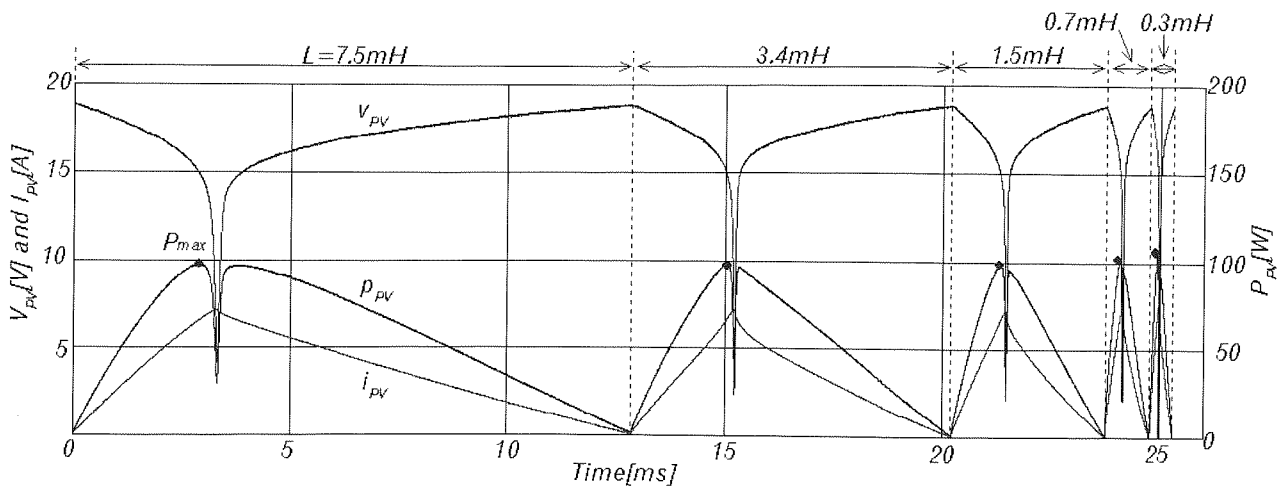


Fig.4 Detecting waveforms.

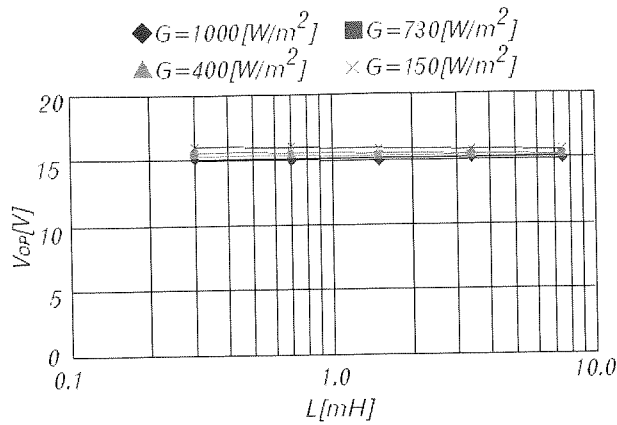
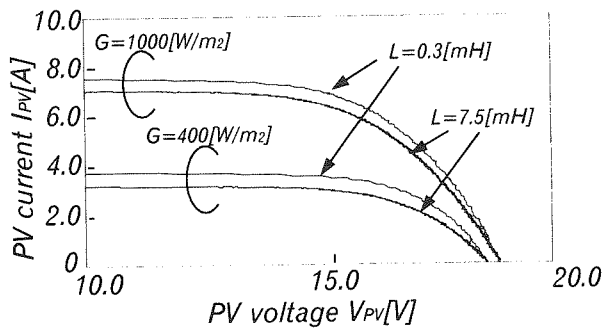
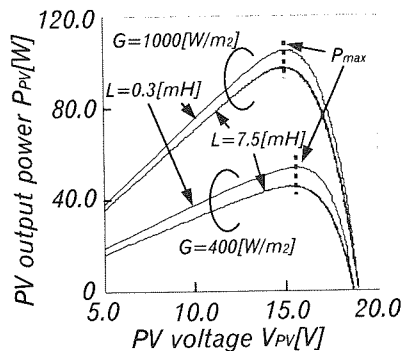


Fig.5  $V_{OP}$  vs.  $L$ .



(a) I-V Characteristics.



(b) P-V Characteristics.

Fig.6 I-V and P-V Characteristics.

明らかとなった。従って、図 6(b)に示すように各日射強度とも  $L=7.5\text{mH}$  と  $0.3\text{mH}$  の P-V 特性の最大電力は異なるが、最大電力となる太陽電池電圧の値  $V_{OP}$  は同じになることが確認できる。

図 7 は、各種太陽電池モジュールを用いて、まず式(2)から得られる  $L$  の値より大きめの  $L$  で最大電力を検出し、その後小さい  $L$  に切り替えて最大電力点を検出し、そのときの  $V_{OP}$  の値に追従するように制御を行ったときの太陽電池出力電力の波形の一

Table 1 Nominal values of PV panels.

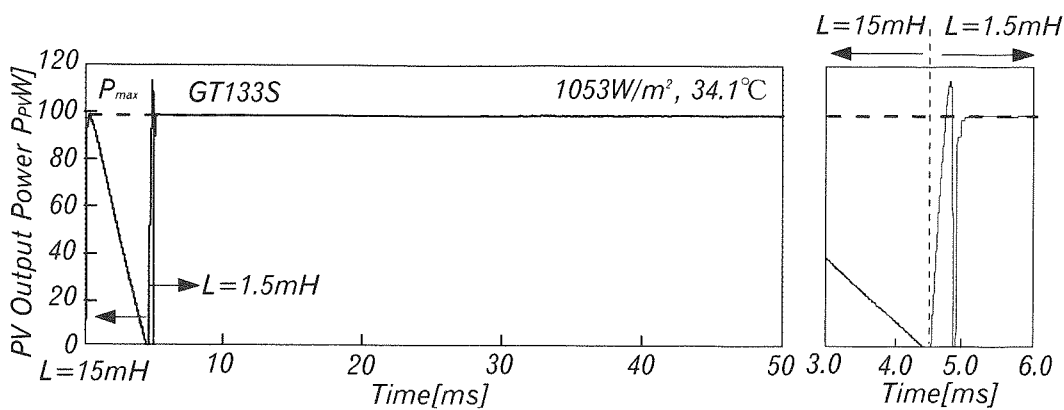
型番	種類	公称最大出力電圧[V]	公称最大出力電流[A]	負荷電圧[V]	式(2)のL[mH]	L(大)[mH]	L(小)[mH]
GT133S	単結晶	16.4	3.05	49.2	12.2(2枚直列)	15.0	1.5
G180T-02E	多結晶	23.8	7.57	35.7	3.6	7.5	0.7
SC70-A	CIS	37.6	1.85	56.4	24.5	60.0	3.4

例である。負荷電圧は、それぞれのパネルの公称最大出力電圧のときに昇圧比が 1.5 となるように設定している。そこで、使用した各モジュールの公称値等を表 1 に示す。同表における  $L$ (小)の値は極力小さい値となるように設定している。今回使用した制御ボードにおける A/D コンバータの分解能の関係から、検出動作に必要な時間は  $400\mu\text{s}$  程度となるため、この時間で検出できる  $L$  の値を最小限度値としてそれぞれ設定している。

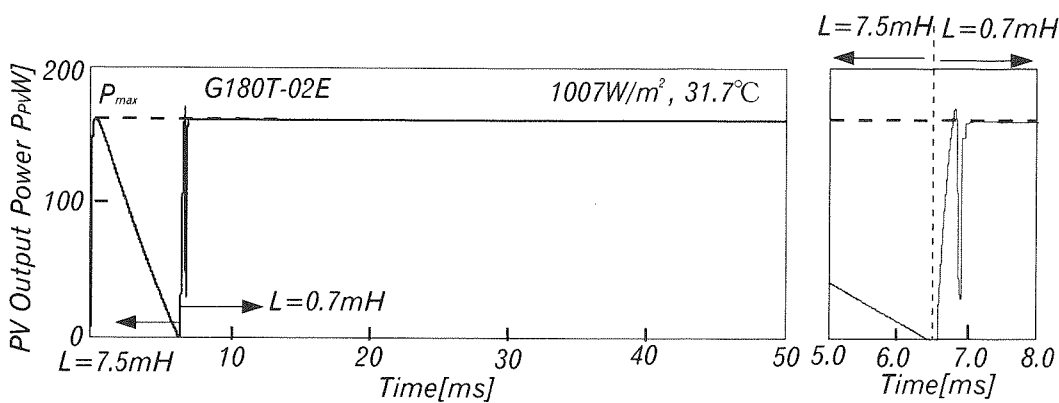
図 7(a)~(c)は単結晶シリコン GT133S, 多結晶シリコン G180T-02E, CIS 化合物 SC70-A モジュールをそれぞれ使用した結果である。ただし、単結晶シリコンでは 2 枚のモジュールを直列に接続して実験を行った。同図より、各モジュールとも小さい  $L$  で検出、追従した電力は大きい  $L$  で検出した最大電力にほぼ一致していることが確認できる。

図 8 は、太陽電池モジュール GT133S を 2 枚並列に接続し、 $L=7.5\text{mH}$  の場合と  $L=0.7\text{mH}$  の場合の 2 つの装置を用意して、日中の 9:00~15:00 まで同時に動作させたときの太陽電池出力特性である。ただし、負荷電圧は 25V, 検出周期は 1.0s に設定している。同図より、 $L=7.5\text{mH}$  と  $L=0.7\text{mH}$  の出力電力特性が重なってしまっていることが分かる。この出力電力をそれぞれ積算して発電電力量を算出すると、 $L=7.5\text{mH}$  では 462Wh,  $L=0.7\text{mH}$  では 460Wh とほぼ同じ値となった。図 9 は、図 8 の  $L=7.5\text{mH}$  の出力電力に対する  $L=0.7\text{mH}$  の出力電力の誤差率を表したものである。同図より、誤差率は  $\pm 2\%$  以内となっていることが確認できる。この誤差の要因は 2 つのシステムを同時に動作させているため、それぞれのパネルや DC-DC コンバータ特性の相違などが考えられる。

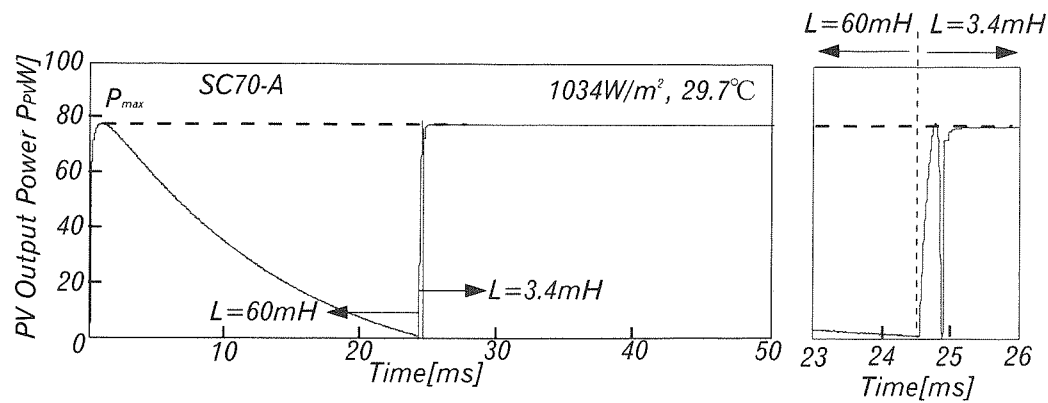
以上より、 $L$  の値を小さく設定しても実用上問題なく MPPT 制御の行えることが実験により明らかとなった。ただし、I-V 特性検出のための最小の時間は A/D 変換の時間軸の分解能により制約を受



(a) single-crystal silicon



(b) poly-crystal silicon



(c) CIS compound

Fig.7 Measured waveform.

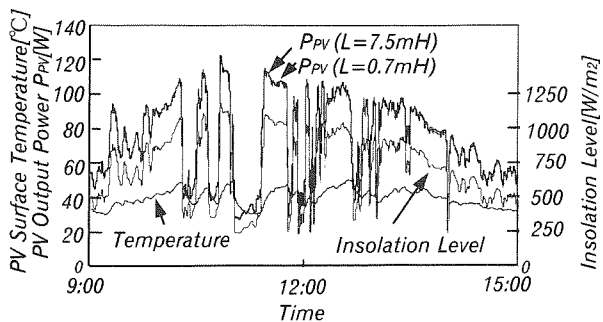


Fig.8 Output power characteristics of PV cell.

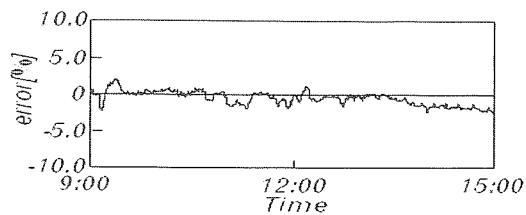


Fig.9 Error on PV output power by different values of L.

けるため、 $L$ の設定の際にはこの点に留意する必要がある。本実験で用いたデジタル制御システムでは  $400\mu\text{s}$  程度で最大電力点を正確に検出し、追従することが可能であった。

なお、本方式は一定の周期で I-V 特性をスキャンするため、DC-DC コンバータの入力側の電圧電流が大きく変動する。しかしながら、この検出時間は  $400\mu\text{s}$  程度と極短時間のため、DC-DC コンバータの出力電圧は通常の平滑コンデンサでその変動を十分吸収できるため、例えば、DC-DC コンバータの負荷としてインバータが接続された場合でもその動作特性にはほとんど影響を与えない。

#### 4. あとがき

本論文では、筆者らが先に提案した I-V 特性スキャン型 MPPT 制御法における  $L$  の低減に関する実験的検討を行い、 $L$  の値を小さくしても最大電力点における太陽電池電圧の値  $V_{OP}$  を実用上問題のない精度で検出できることを明らかにした。これにより、MPPT 装置の小型軽量化や低コスト化が可能になると考えられる。

終わりに、本研究は、文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業(平成 19 年度～平成 21 年度)の私学助成を得て行われたものであることを記して謝意を表します。

#### 5. 参考文献

- (1) 板子,森：“独立型太陽光発電システムにおける最大電力点追跡のための一制御方式”，電気学会論文誌,123-D,No.12,pp.1537～1543,2003.
- (2) 板子, 森：“独立型太陽光発電システムの MPPT 制御方式におけるバッテリー電圧センサレス化の検討”,日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会(2003 年),No.130.
- (3) K.Itako and T.Mori:"A New Current Sensorless MPPT Control Method for PV Generation Systems" Proceedings of 11th European Conference on Power Electronics and Applications 2005.
- (4) K.Itako and T.Mori:"A Current Sensorless MPPT Control Method for a Stand-Alone-Type PV Generation System" Electrical Engineering in Japan, WILEY(USA), Vol.157,No.2,pp. 65～71, 2006.
- (5) K.Itako and T.Mori "A New MPPT control method for PV generation systems" The International Conference on Electrical Engineering 2006.
- (6) K.Itako and T.Mori : "A Single Sensor Type MPPT Control Method for PV Generation Systems" Proceedings of 12th European Conference on Power Electronics and Applications 2007.
- (7) 板子, 大道寺, 森：“I-V 特性スキャン型 MPPT 制御方式の  $L$  の低減に関する検討”,日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会(2008 年),No.104.
- (8) 大場, 藤巻, 江田：“太陽電池モジュールの動的等価回路”，電気学会論文誌,109-D,No.8,pp.542～548,1989