

# スイッチングコンバータ接続時における 太陽電池モジュールの電磁ノイズ特性

A Study of the Radiation Noise Characteristics of PV Modules  
with Switching Converter

堤 淳祥 \*<sup>1</sup>  
Atsuyoshi TSUTSUMI  
石原好之 \*<sup>3</sup>  
Yoshiyuki ISHIHARA

原田和郎 \*<sup>2</sup>  
Kazurou HARADA  
戸高敏之 \*<sup>4</sup>  
Toshiyuki TODAKA

## Abstract

This paper investigates the radiation noise characteristics of PV modules, when a DC-DC converter is used for a power conditioner in a PV system. First, the radiated emissions from a PV module have been measured outside in the case of power generation. Next, the noise characteristics have been measured in the anechoic chamber in order to shut out the external noise. The experimental results clarify that the PV module itself does not cause the electromagnetic noise, however, the noise caused by the DC-DC converter conducts to the PV module through the connecting wire and it is radiated from the PV module as an antenna. The experimental results also show that the noise level from a PV module is varied by the output current and the module size.

キーワード： 太陽電池モジュール, パワーコンディショナ, DC-DCコンバータ, 放射ノイズ, 伝導ノイズ  
Key Words: PV module, Power conditioner, DC-DC converter, Radiated emission, Conduction noise

### 1. はじめに

太陽光発電システムは、エネルギー回収効率の良いシステムを実現するため、DC-DCコンバータやDC-ACインバータ等で構成されるパワーコンディショナを用いることにより、システム内における太陽電池モジュールの最大出力点制御や蓄電池の充放電制御を行っている<sup>(1)</sup>。

DC-DCコンバータやDC-ACインバータ等のパワーエレクトロニクス機器は、基本動作としてスイッチングによる電力変換・制御を行うため、スイッチングに伴う電磁ノイズが発生する。特に近年における電力用半導体デバイスのスイッチングの高速化は妨害波レベルを押し上げる傾向にあり、放射された電磁ノイズは、他の電子

機器の動作への障害や通信障害の原因となっている。太陽光発電システムにおいても、パワーコンディショナのDC-DCコンバータやDC-ACインバータにより生じた電磁ノイズが、導線を介して太陽電池モジュールに伝導し、モジュールから放射されることが考えられる。

本論文では、パワーコンディショナとしてDC-DCコンバータを接続した太陽電池モジュールにおいて、モジュールから放射される電磁ノイズの測定を行ったので報告する<sup>(2)</sup>。

### 2. 屋外における測定

#### 2.1 実験方法

屋外において太陽光発電を行う太陽電池モジュールから放射される電磁ノイズの測定を行う。実験配線図を図1に、また、使用する太陽電池モジュールの規格を表1に示す。太陽電池モジュールと接続するDC-DCコンバータには、図2に示すCuk形コンバータ<sup>(3)</sup>を用いた。スイッチング周波数は100kHzである。

電磁ノイズ測定は、EMIレシーバ(Hewlett-Packard 8542E)を用いて尖頭値検波により行った。周波数150kHzから30MHzの範囲の電磁ノイズ特性の測定にはループアンテナ(EMCO社製MODEL6502)を用い、アンテナと

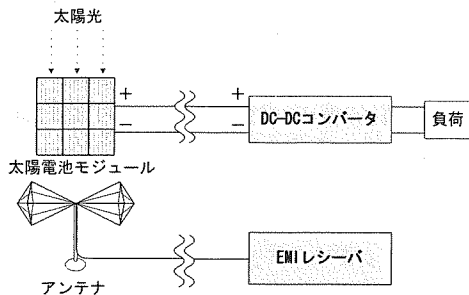


図1 実験配線図

\*1 学生員 同志社大学大学院工学研究科  
\*2 会員 同志社大学工学部助教授  
\*3 会員 同志社大学工学部教授  
\*4 会員 同志社大学工学部教授  
(原稿受付:平成12年12月28日)

Student of Graduate Course, Doshisha University  
Associate Professor, Doshisha University  
Professor, Doshisha University  
Professor, Doshisha University

表1 太陽電池モジュールの規格

外形寸法(mm)	356 × 330 × 38
最大出力(W)	12.0
最適動作電圧(V)	17.10
最適動作電流(A)	0.70
開放電圧(V)	21.30
短絡電流(A)	0.75

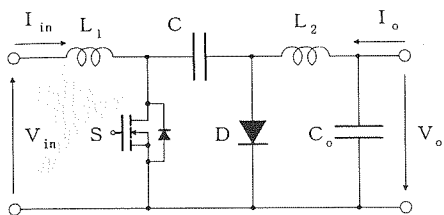


図2 Cuk形コンバータ回路図

モジュールとの距離は50cmとした。また、周波数30MHzから300MHzの範囲ではバイコンカルアンテナ(SchwarzbeckMESS-ELEKTRIK社製BAA9106)を用い、アンテナとモジュールとの距離は3mとした。アンテナとコンバータの距離は、コンバータから直接放射されるノイズの影響が無視できる程度まで離して測定を行った。

2.2 コンバータ接続による放射ノイズ

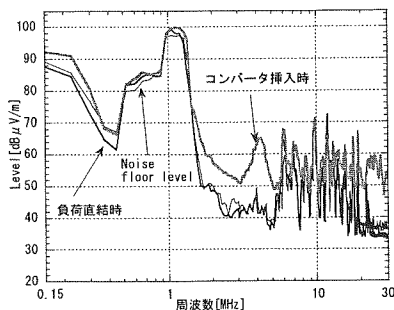
太陽電池モジュールと負荷(20Ω)を直接つないだ場合と、モジュールと負荷の間にコンバータを挿入した場合とのノイズレベルの比較を行った。コンバータ挿入時と負荷直結時においてモジュールの出力は同一としている。周波数150kHz~30MHzのノイズレベルを図3(a)に、周波数30MHz~300MHzのノイズレベルを図3(b)に示す。

モジュールに負荷を直接接続した場合は、機器が動作していない場合(Noise floor level)と比較してノイズレベルの変化が見られないのに対し、コンバータを挿入すると主に1.5MHz~50MHzの周波数においてノイズレベルの上昇が見られる。このことから、コンバータから発生したノイズが導線およびモジュールに伝導し、それからノイズが放射されているものと考えられる。

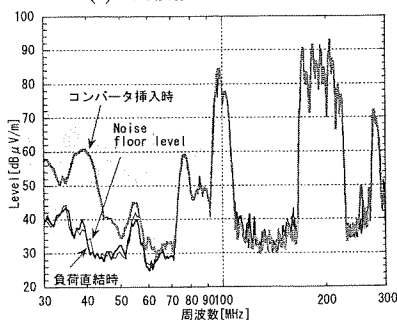
なお、周波数1MHz、100MHzおよび200MHz付近におけるノイズレベルの著しい上昇はAM、FM、VHF等の放送電波の影響によるものである。そのため、これらの周波数付近でのモジュールから放射されるノイズレベルに関してはこの測定では検討することができない。

2.3 太陽電池モジュールの面積によるノイズ特性の変化

太陽電池モジュールの面積を変えることにより、放射する電磁ノイズがどう変わるかを調べた。まず、モジュールの枚数を1枚、2枚、3枚と直列に接続することでモジュールの面積を変化させた。回路内に流れる電流によりノイズレベルが変化することが予想されるため、モジュールおよびコンバータ内に流れる電流を一定にして実験を行った。ノイズレベルの比較を図4に示す。



(a) 周波数150kHz~30MHz



(b) 周波数30MHz~300MHz

図3 コンバータ接続による放射ノイズ

図4(a)より、150kHz~30MHzの周波数範囲において、モジュールの枚数に応じてノイズレベルが上昇していることが分かる。このことから、モジュールの面積が大きくなるとノイズレベルも増大すると言える。ただし、この結果が単にモジュールの面積増によるものか、またモジュール面積増による出力増加によるものかは更に検討を行う必要がある。一方、図4(b)より、今回の実験において30MHz~300MHzの周波数範囲ではモジュール枚数による違いが見られなかった。

3. 電波暗室内における測定

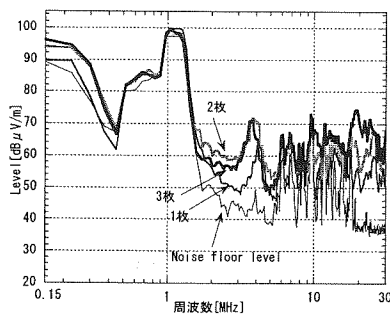
3.1 実験方法

屋外における測定結果では、DC-DCコンバータ挿入時にノイズレベルが上昇し、コンバータから発生した電磁ノイズが太陽電池モジュールへ伝導しモジュールから放射される可能性が示された。ただし、屋外でのノイズ測定は2.2で述べている様に、放送電波等の測定対象以外からのノイズの影響を受けるため、厳密な測定評価は困難である。そのため、次に電波暗室内での測定により更なる検討を行う。

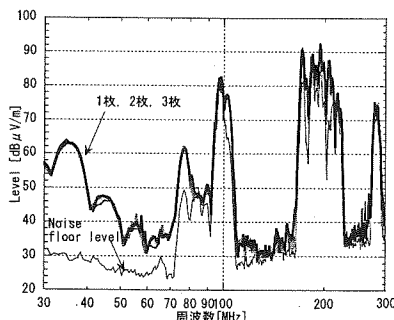
電波暗室内では、太陽光発電は不可能なため、安定化電源を用いてモジュールにコンバータの入力電流を強制的に流すことにより、電磁ノイズ特性の測定を行う。ここで、この方法により測定したモジュールのノイズ特性が、実際に発電を行う場合のノイズ特性と同等であることを確かめるため、屋外において、太陽光による発電を行っている場合と、太陽光を遮蔽し安定化電源を用い

てコンバータの入力電流を強制的に流した場合とのノイズ特性の比較を行った。測定結果を図5に示す。発電時と電源使用時でほぼ等しいノイズ特性が得られており、安定化電源を用いた測定の妥当性が了解される。

電波暗室での測定は、図6に示すように太陽電池モジュールとアンテナのみを室内に設置し、モジュールから

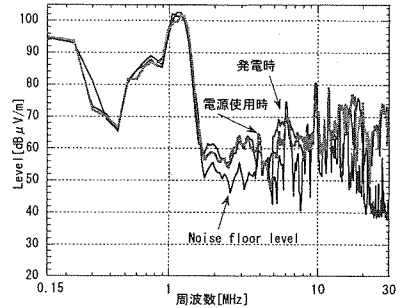


(a) 周波数 150kHz~30MHz

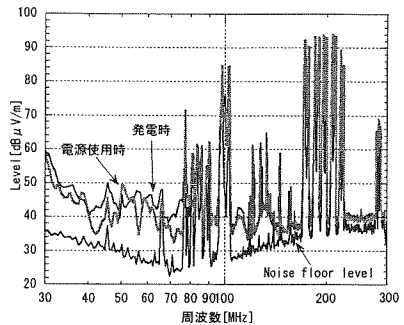


(b) 周波数 30MHz~300MHz

図4 モジュールの面積によるノイズ特性の変化



(a) 周波数 150kHz~30MHz



(b) 周波数 30MHz~300MHz

図5 発電時と電源使用時のノイズ特性の変化

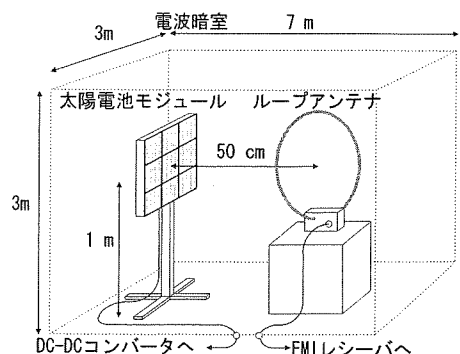


図6 電波暗室内の配置図

の導線を連絡コネクタを介して室外の安定化電源とコンバータに接続した。配線図を図7に示す。なお、導線には屋外での測定と同様にシールドケーブルを使用し、導線から放射するノイズの影響を極力抑えるようにした。

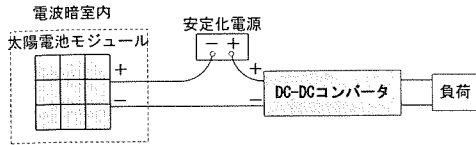


図7 配線図(モジュール接続時)

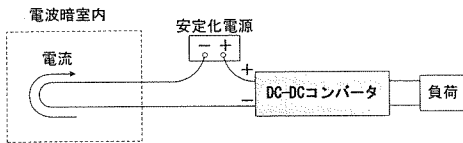
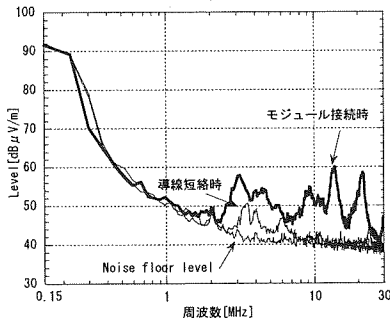
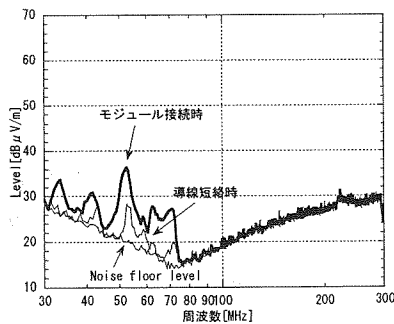


図8 配線図(導線短絡時)



(a) 周波数 150kHz~30MHz



(b) 周波数 30MHz~300MHz

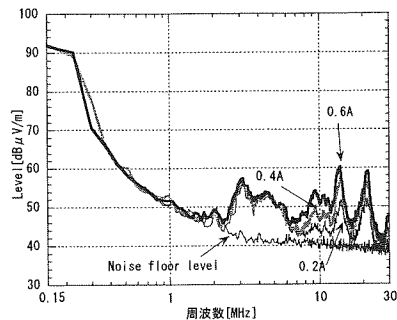
図9 太陽電池モジュールの有無によるノイズ特性の変化

ここで、導線から放射するノイズの影響を調べるため、モジュールの裏側で導線を短絡させ、モジュールをつないだ場合と同じ大きさの電流を流すことにより、導線だけの電磁ノイズ特性を測定しモジュール接続時との比較を行った。配線図を図8に示す。なお、コンバータへの入力電流は0.6Aとしている。

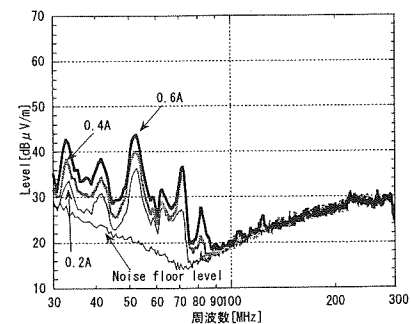
モジュール接続時と導線短絡時のノイズレベルの測定結果を図9に示す。モジュール接続時と導線短絡時を比較すると周波数1MHz~75MHzにおいてノイズレベルに大きな差が見られる。このことから、導線からノイズが放射されているのではなく、モジュールから電磁ノイズが放射されているということが言える。

### 3.2 太陽電池モジュールに流れる電流によるノイズ特性の変化

太陽電池モジュールに流れる電流の大きさを変えた場合のモジュールから発生する電磁ノイズへの影響を調べた。電流の大きさ(0.2A, 0.4A, 0.6A)によるノイズレベルの比較を、図10に示す。モジュールに電流が流



(a) 周波数 150kHz~30MHz



(b) 周波数 30MHz~300MHz

図10 モジュールに流れる電流の大きさによるノイズ特性の変化

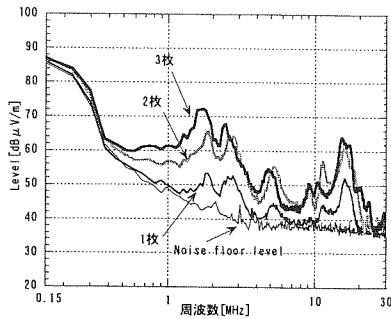
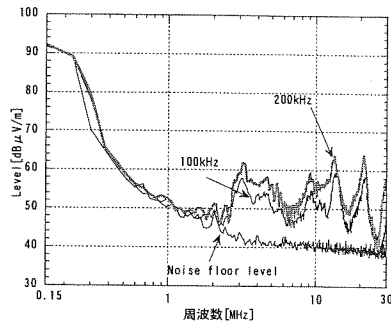
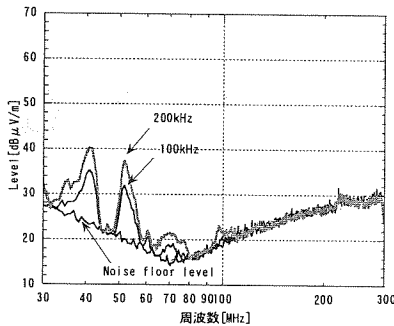


図 11 モジュールの面積によるノイズ特性の変化



(a) 周波数 150kHz～30MHz



(b) 周波数 30MHz～300MHz

図 12 コンバータのスイッチング周波数による放射ノイズレベルの変化

れると Noise floor level(コンバータ OFF 時)と比較して周波数 2MHz～90MHz においてノイズレベルが高くなっている。また、流れる電流が大きくなるに従い、ノイズレベルの上昇も大きくなっている。コンバータの入力電流が大きくなると、コンバータから発生するノイズが増えるためモジュールに伝導するノイズが増えてレベルが上がったと考えられる。

### 3.3 太陽電池モジュールの面積によるノイズ特性の変化

屋外での測定と同様に太陽電池モジュールの枚数を変えて電磁ノイズの測定を行った。屋外における測定でモジュール枚数による違いが見られた 150kHz～30MHz の周波数範囲において、モジュールの電流を 0.6A として実験を行った。測定結果を図 11 に示す。

図 11 より、枚数が増えるにつれて 400kHz 以上の周波数においてノイズレベルが増えているのがわかる。この結果よりモジュールの面積が大きくなると放射されるノイズが大きくなると言える。よって 2.3 節の屋外での実験におけるノイズレベル上昇の主要因もモジュール面積増化によるものといえる。

### 3.4 コンバータのスイッチング周波数によるノイズ特性の変化

パワーコンディショナのコンバータのスイッチング周波数を変えた場合の電磁ノイズの影響を調べる。コンバータの入出力電流、電圧は同一としスイッチング周波数を 100kHz、200kHz と変えてノイズレベルの比較を行った。周波数 150kHz～30MHz のノイズレベルを図 12(a) に、周波数 30MHz～300MHz のノイズレベルを図 12(b) に示す。図より、200kHz のスイッチング周波数の方がモジュールから放射されるノイズのレベルが高くなっている。

一般にコンバータはスイッチング周波数が高くなると、より大きなノイズを発生する。図 13 は、コンバータの入力ラインの伝導ノイズを測定したものであるが、スイッチング周波数が高い方がノイズレベルが高くなっているのがわかる。これより、コンバータから伝導するノイズが大きくなると、モジュールから放射されるノイズも大きくなることが確認できる。

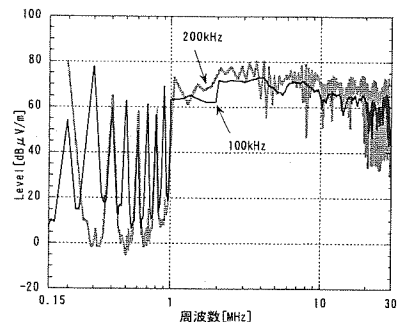


図 13 コンバータのスイッチング周波数による伝導ノイズの変化

### 3.5 フィルタによるノイズの抑制効果

ノイズフィルタによるノイズレベルの抑制効果を調べた。図 14 に示すように、太陽電池パネルと DC-DC コンバータの間に 10kHz のローパス L-C フィルタを挿入する。L-C フィルタはノーマルモードノイズ対策部品でありこれによりコンバータとモジュールの間を伝わるノーマルモードノイズを除去することでパネルから放射されるノイズレベルの低減を図った。フィルタは電波暗室内の DC-DC コンバータに近い位置に挿入した。同様に、太陽電池パネルと DC-DC コンバータの間にインダクタンス値が 2mH のコモンモードチョークを挿入してコモンモードノイズの低減を図った。コモンモードチョークは、2 本の入カラインに用いられたコイルを結合さ

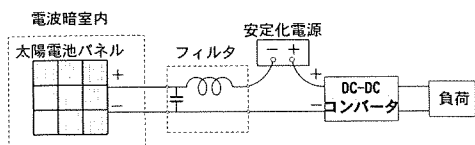
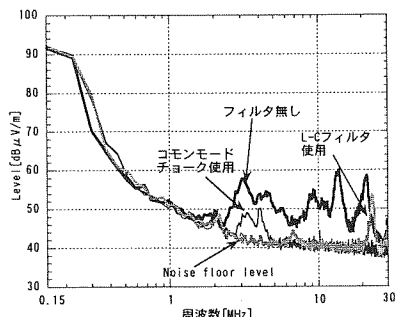
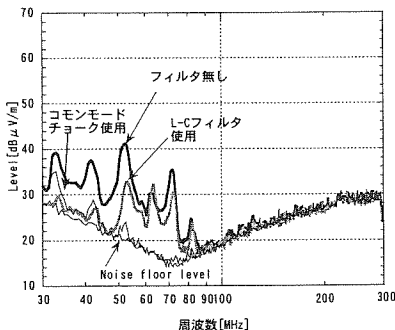


図 14 フィルタの挿入図



(a) 周波数 150kHz~30MHz



(b) 周波数 30MHz~300MHz

図 15 フィルタによるノイズ特性の変化

せることにより、ノーマルモード電流にはインダクタンス成分を発生せず、コモンモード電流にのみインダクタンス成分を発生するよう構成されたチョークコイルである<sup>(4)</sup>。

フィルタの有無によるノイズレベルの比較を、図 15 に示す。パネルとコンバータの間に L-C フィルタを挿入することにより 1MHz から 80MHz の周波数において最大で 30dB 程度のノイズの減少がみられる。また、コモンモードチョークを挿入することにより 1MHz から 80MHz の周波数においてノイズレベルの大幅な減少がみられる。ともにノイズ除去の効果がみられるが両フィルタの効果を比較すると、広い周波数範囲において L-C フィルタよりもコモンモードチョークの方がノイズ除去に有効である。これは、DC-DC コンバータからパネルに伝導するノイズにおいてコモンモードノイズがノーマルモードノイズよりも大きいためだと考えられる。

### 4. まとめ

以上、パワーコンディショナとして DC-DC コンバータを使用した場合の、太陽電池モジュールから放射される電磁ノイズについて、屋外および電波暗室内における測定により検討を行った。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 太陽光発電を行う太陽電池モジュールはそれ自体が電磁ノイズを発生しているのではないが、パワーコンディショナとして使用される DC-DC コンバータから発生したノイズが導線を伝導し、太陽電池モジュールがアンテナとなりノイズを放射する。
- (2) 太陽電池モジュールから放射されるノイズレベルは 50MHz 以下の周波数範囲で高く、またモジュールに流れる電流が大きくなると、モジュールから放射されるノイズレベルも高くなる。
- (3) 太陽電池モジュールの面積が大きくなるに従い、電磁ノイズのレベルが高くなる。ただし、今回の実験において 30MHz 以上の周波数範囲ではノイズレベルの変化は見られなかった。
- (4) 太陽電池パネルと DC-DC コンバータの間にフィルタを挿入することにより太陽電池パネルから放射されるノイズの低減を図ることが可能である。

今回、測定に使用した太陽電池モジュールの出力は最

大でも 6W 程度であり、実際に用いられるモジュールの面積、出力を考慮すると、その放射ノイズは今回の測定値より大きくなることが予想される。低ノイズのコンバータの使用や伝導ノイズの抑制等有効なノイズ対策をとる必要がある。

なお本研究の一部は、文部科学省学術フロンティア推進事業の研究として行ったものである。謝意を表す。

#### 参考文献

- (1) 太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会, 太陽エネルギー利用ハンドブック(1985), 604-618, 太陽エネルギー学会, 東京
- (2) 堤・原田・石原・戸高, 太陽電池パネルから放射される電磁波ノイズの検討, 太陽/風力講演論文集(1999), 京都.
- (3) S.Cuk and R.D.Middlebrook, A New Optimum Topology Switching DC-to-DC Converter, PESC 77 RECORD (1977), 160-179, Palo Alto, California
- (4) 電気学会 電子回路のアイソレーション総合技術調査専門委員会編, 電子機器のノイズアイソレーション技術(1998), 92-100, コロナ社, 東京