

研究速報

太陽電池モジュールを用いた反射波制御の基礎的検討
 畠山 和徳[†](学生員) 高橋 応明^{†a)}(正員)
 宇野 亨[†](正員) 黒川 浩助[†]

Fundamental Study on Electromagnetic Reflection Control by
 Using the Solar Cell Module

Kazunori HATAKEYAMA[†], Student Member,
 Masaharu TAKAHASHI^{†a)}, Toru UNO[†], Regular Members,
 and Kosuke KUROKAWA[†], Nonmember

[†] 東京農工大学工学部, 小金井市

Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and
 Technology, 2-24-16 Naka-cho, Koganei-shi, 184-8588 Japan

a) E-mail: omei@cc.tuat.ac.jp

あらまし 本論文では、建築物壁面に設置されつつある太陽電池モジュールの太陽電池セル間配線形状を変化させて電磁波障害を低減させる方法について検討している。配線間隔や形状のパラメータを適当に選ぶことにより、通常のコモジュールに比べて反射波を20 [dB] 以上低減できることを示した。

キーワード EMC, FDTD, 地上波デジタル放送, ゴースト現象, 太陽電池

1. まえがき

近年クリーンエネルギーへの関心が高まり、一般家庭だけでなく、ビルなどの高層建造物の壁面にも太陽電池が取り付けられるようになってきている。一方、建造物の高層化とともに、その壁面で生じる反射電磁波による電磁波障害が問題となっている。具体的には、テレビ放送局から直接届いた電波と建造物の壁面から反射した時間遅れの波が受信されることにより、映像が2重、3重に見えるゴースト現象として現れる。特にビルなどの高層建造物付近の住宅などで発生する割合が大きい。太陽電池モジュールはおおむね金属板と考えられるため、電磁波障害がいっそう深刻になる。今後は地上波デジタル放送に移行していき、信号処理によりある程度ゴースト現象を緩和することが可能であるが、近くで強い反射が発生する場合や遠方からの大きく遅延した反射波が到来するような環境では信号処理だけでゴースト現象を緩和させるのは困難であると予想される。したがって、太陽電池が取り付けられた高層建造物による電磁波障害の対策が必要となる。太陽電池モジュールを斜め上に傾けることによって反射波を上空に向けようとする方法もあるが、設置スペースや美観の点で問題である。

そこで本論文では、太陽電池モジュールの高周波特性を変化させることにより反射波を所望の方向に向け

ることを考えている。この方法の一つとして、本論文では太陽電池モジュールを構成している太陽電池セルアレー間のインピーダンスを変化させ、反射指向性を制御する方法に着目した[1]~[4]。セルアレー間のインピーダンスの変化は、太陽電池セル間を結んでいる直流電力収集用配線の形状を変えることによって行う方法をとっている。本手法の有効性はFDTD法[5]による解析によって確認する。また本解析では、太陽電池セルは周期構造であるとしている[6],[7]。

2. 太陽電池のモデル化

2.1 解析手法

本節では太陽電池の構造とFDTD法によるモデル化の具体的なパラメータを示す。図1(a)に代表的な単配線太陽電池アレーの構造とその寸法を示す。太陽電池はセルを固定するための充てん材であるEVA:Ethylene vinyl acetate ($\epsilon_r = 3.3$)の中に半導体セルが置かれた構造となっており、モジュールを構成する際のカバー素材としてガラス($\epsilon_r = 3.9$)が使われている。太陽電

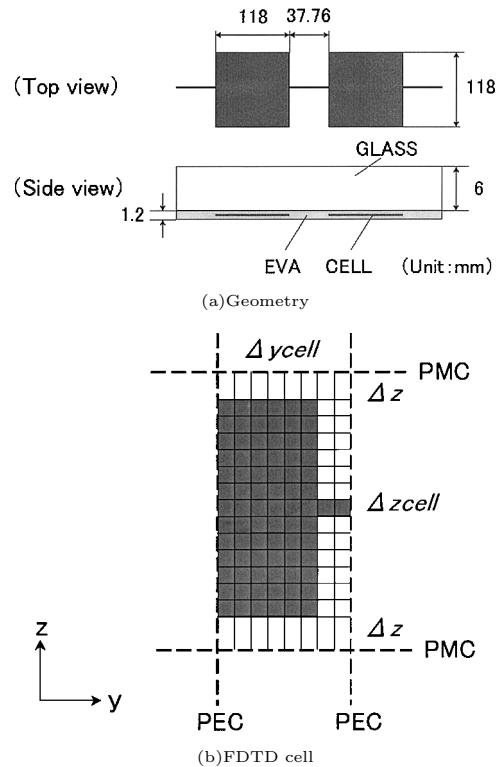


図1 単配線太陽電池モジュールの構造とFDTDセルの配置

Fig.1 Geometry and FDTD cell grid for single wiring solar cell module.

表 1 解析に用いたパラメータ
Table 1 Parameters for analysis.

Δt	6.5e-13 [sec]
Δx	11.8 [mm]
Δy	11.8 [mm]
Δz	11.8 [mm]
Δy_{cell}	2.36 [mm]
Δz_{cell}	2.36 [mm]
Δx_{eva}	0.2 [mm]
Δx_{glass}	2 [mm]
PML 層	16

池セルの間隔は、その設置形態によって様々なものがある。一般家屋等の屋上設置用には発電量を向上させるためにできるだけ密にする傾向にあるが、ビルの壁面に設置する場合は、採光やデザイン面が重視され間隔は広めにとられる。本論文は後者を対象にしていることから、その代表的な値である 37.76 [mm] を採用した。

解析において、太陽電池モジュールは図 1 (a) のように横 1 列に配列したアレーが縦方向にも一様に配列されているとして無限平面アレーを構成しているものとした。この太陽電池モジュールに地上波デジタル放送の周波数帯である 700 MHz の水平偏波の平面波を垂直に入射させ、その際に生じる定在波を観測することにより、位相及び反射係数特性を求めた。なお、位相については相対位相の基準として図 1 (a) の単配線モデルを用いている。

このように周期構造のモデルを考えるためには、図 1 (b) に示すように完全電気壁及び完全磁気壁をおけばよいことになる。このときの解析に用いた FDTD 法の各パラメータを表 1 に示す。 Δt はステップ時間、 Δx 、 Δy 、 Δz は解析空間のセルサイズ、 Δx_{eva} は EVA、 Δx_{glass} はガラス、 Δy_{cell} 、 Δz_{cell} は太陽電池セルを設定する際の不均一メッシュ [8] に用いたセルサイズである。また入射波の進行方向と垂直に PML 吸収境界条件を用いている。配線の太さは 2.36 [mm] とし、EVA に挟み込まれた半導体セルの厚みは非常に薄いため考慮していない。

さて、太陽電池は一般に太陽光が入射する日中と光が入射しない夜間とでその特性が異なる。しかし、太陽電池セル端子間のインピーダンスは図 2 に示すように高周波帯においてはどちらの場合もほとんど 0Ω になることから [9]、本解析においては完全導体として扱った。

2.2 平行配線モデル

太陽電池セル間の配線には、図 1 (a) のように 1 本

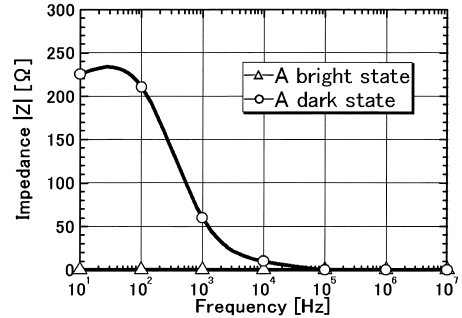


図 2 太陽電池の明暗状態による端子間インピーダンス [9]
Fig. 2 Terminal impedance of a solar cell in dark and bright states [9].

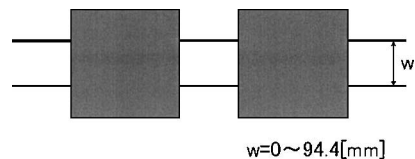


図 3 平行配線モデル
Fig. 3 Parallel wiring model.

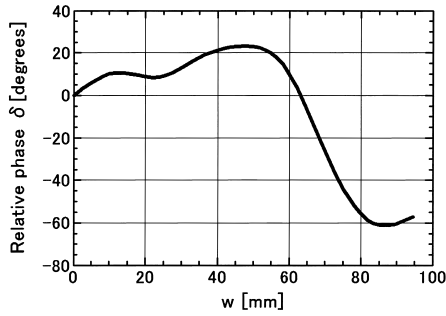
の配線で電圧を取り出すもののほかに、効率良く電圧を取り出す目的で図 3 に示すように 2 本の配線を用いるものも少なくない。本論文ではこれを平行配線モデルと呼ぶ。平行配線の間隔 w をセルの中心からそれぞれ $w/2$ ずらしたときの反射係数を図 4 に示す。 $w = 50 \text{ mm}$ 程度までは位相の変化は小さいが、それ以上の間隔にすると、相対位相の変化が大きくなる。このことから配線間隔が位相の変化に大きく寄与していることがわかる。なお、反射係数の大きさは、 $w = 60 \text{ mm}$ 付近でピークを示すものの、およそ 0.6 程度で配線間隔にはさほど依存しない。

2.3 片側配線折り曲げモデル

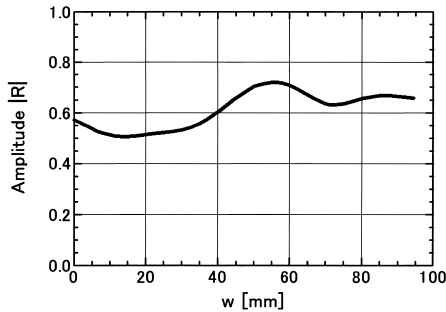
上で述べたように、太陽電池間の配線を 2 本にすることによって相対位相を変化させることができたが、これだけでは反射波の方向を変えることができない。そこで図 5 に示すように、平行配線の片側の配線を折り曲げることによって上下の位相差を変化させることを考えた。配線間隔 w 、折り曲げ位置を一定とし、縦方向の折り曲げ長 l を変化させたときの反射係数を図 6 に示す。位相は $l = 20 \sim 25 \text{ mm}$ の範囲で 180° 近く変化している。また反射係数は $l = 20 \text{ mm}$ でほぼ 0 となり反射がほとんど生じない。

3. 太陽電池モジュール構成

本章では、前述までに得られた単体の特性を利用し



(a)Phase



(b)Amplitude

図 4 配線間隔変化法による特性
Fig. 4 Reflection coefficient of parallel wiring model as a function of the spacing w .

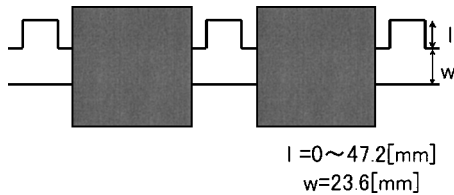
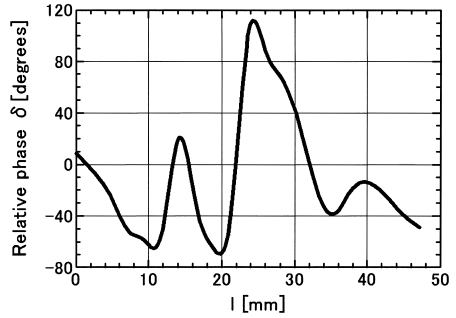
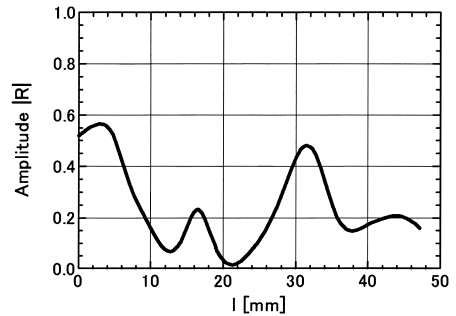


図 5 片側配線折り曲げモデル
Fig. 5 Single side bended wiring model.



(a)Phase



(b)Amplitude

図 6 片側配線折り曲げ法による特性
Fig. 6 Reflection coefficient of a single side bended wiring model.

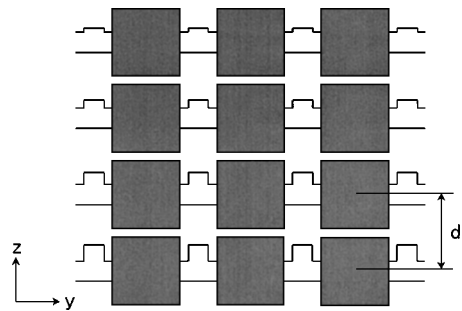


図 7 太陽電池アレー構成
Fig. 7 An example of solar cell array.

て、反射電磁波を制御する太陽電池モジュールを構成する方法とその特性を示す。ビルなどで反射したテレビ放送波によって電磁波障害が生じるのは、ケーブルテレビを導入していない 2, 3 階建て程度までの一般家屋がほとんどであると考えられる。そのため障害を発生させないようにするには、反射波の向きが上方向に向くように、進み位相の太陽電池セルを下部に、位相遅れのセルを上部に配置すればよい。そのようなした例を図 7 に示す。

太陽電池モジュールの垂直面内指向性は次式によって与えられる [10]。

$$f(\theta) = \sum_{m=1}^N E_m \exp[j\{\delta_m + k_0 d(m-1) \cos \theta\}]$$

$(m = 1, 2, 3, \dots)$ (1)

ここで δ_m は前節で求めた反射波の相対位相であり、 N は垂直方向に配置した太陽電池セルの数、 d は垂直方向のセル間隔である。また E_m は太陽電池セルの素子パターンである。

表 2 アレーに用いた太陽電池セルの寸法
Table 2 The size of the solar cell used for the array.

	l [mm]	w [mm]	R_m	δ_m [degrees]
#1	24.2	23.6	0.08	0
#2	22.3	23.6	0.05	-60
#3	21.6	23.6	0.03	-120
#4	20.0	23.6	0.05	-180

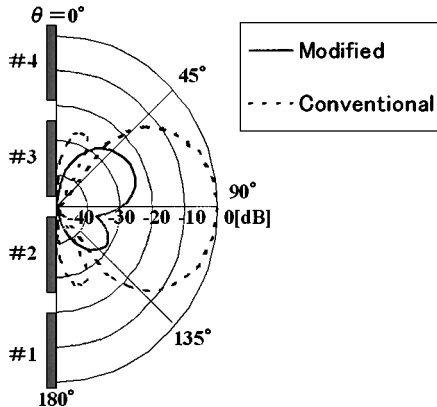


図 8 アレー指向性 ($\phi = 0$)
Fig. 8 Array directivity. ($\phi = 0$)

さて、一般に使われている太陽電池モジュールは、太陽電池セル 4 列で一つのモジュールを構成することが多い。そこで、アレー素子は位相差が一番大きく、反射が小さい片側配線折り曲げモデルとし、表 2 のような寸法とした。このときの指向性を図 8 に示す。ただし、#1 は最下段に配置する太陽電池セルであり、セル間の間隔は $d = 130$ mm とした。また、式 (1) における素子パターンは

$$E_m = R_m \sin \theta \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

とダイポールの素子パターンとした [11], [12]。ここで R_m は各パラメータにおける反射係数の振幅である。片側配線折り曲げモデルを用いたアレーについては 57° 方向にピークが得られ、通常の太陽電池モジュールと比較して下方向の放射が抑制される。またその最大値は 20 [dB] 以上改善が見られ小さくなっていることがわかる。

4. むすび

太陽電池セル間の配線間隔に応じて反射波の位相を変えることができ、更に片側の配線を折り曲げること

によって通常の太陽電池モジュールと比較して大きく反射を低減させることができることがわかった。また、4 素子アレー構成の太陽電池モジュールにおいて具体的にその効果を検証した結果、上方向にビームが向き、下方向への放射が抑制され、通常の太陽電池モジュールと比較して 20 [dB] 以上反射を低減させることが可能であることを示した。

本論文では太陽電池間の配線による効果だけを検討したが、今後は別の可能性も含めて太陽電池モジュールによる電磁波障害対策法について検討していく予定である。また電磁波が太陽電池に斜めに入射した場合や、地上波デジタル放送の周波数帯である 470 から 770 MHz における特性なども合わせて検討し、実験による確認を行う予定である。

文 献

- [1] R.J. Dinger, "Reactively steered adaptive array using microstrip patch elements at 4 GHz," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.AP-32, no.8, pp.848-856, Aug. 1984.
- [2] J. Huang and R.J. Pogorzelski, "A Ka-band microstrip reflectarray with elements having variable rotation angles," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.46, no.5, pp.650-656, May 1998.
- [3] J. Huang and A. Fera, "Inflatable microstrip reflectarray antennas at X and Ka-band frequencies," IEEE AP-S/URSI Symp., pp.1670-1673, July 1999.
- [4] 畠山和徳, 高橋応明, 宇野 亨, 黒川浩助, "太陽電池モジュールを用いた反射波制御の基本的検討," 信学技報, AP2002-143, Jan. 2003.
- [5] 宇野 亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 1998.
- [6] 佐藤 浩, 堂前洋幸, 高橋応明, 安部 實, "コンクリート壁の表面形状による電磁波の反射, 透過抑制," 信学論 (B), vol.J82-B, no.4, pp.674-682, April 1999.
- [7] 小林 豊, 高橋応明, 安部 實, "ガラス表面上金属導線の配置による電磁波遮断," 信学論 (B), vol.J83-B, no.10, pp.1446-1452, Oct. 2000.
- [8] P. Monk and E. Suli, "Error estimates for Yee's method on nonuniform grids," IEEE Trans. Magn., vol.30, no.12, pp.3200-3203, Dec. 1994.
- [9] 桜井康弘, 黒川浩助, "太陽光発電アレイ分布定数回路シミュレーション," 太陽/風力エネルギー講演論文集, pp.307-310, Nov. 2000.
- [10] 本郷廣平, 電波工学の基礎, 実教出版, 1983.
- [11] 安達三郎, 佐藤太一, 電波工学, 森北出版, 1998.
- [12] 新井宏之, 新アンテナ工学, 総合電子出版, 1996. (平成 14 年 12 月 20 日受付, 15 年 4 月 14 日再受付)