

### 電気光学プローブを用いた有機薄膜太陽電池の電圧校正技術に関する研究

齋藤, 凌 / Saito, Ryo

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

58

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2017-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00014222>

# 電気光学プローブを用いた有機薄膜太陽電池の電圧校正技術に関する研究

CALIBRATION TECHNOLOGY OF ORGANIC PHOTOVOLTAIC CELL VOLTAGE USING ELECTROOPTIC PROBE

齋藤凌

Ryo SAITO

指導教員 品川満

法政大学大学院理工学研究科応用情報工学専攻修士課程

This paper describes the use of a transverse electrooptic probe to measure the electric field strength of an organic photovoltaic (OPV) cell model. It is necessary to measure the voltage of each OPV cell in order to diagnose failure of the OPV. We confirmed the principle of superposition for the electric field strength from each OPV cell model. These results show that the calibration of each OPV cell voltage can be accomplished by measuring the electric field strength over the OPV cells.

**Key Words :** Organic photovoltaic, electrooptic probe, electric field strength

## 1. 序論

近年、日常生活のありとあらゆる場面でエネルギーを生み出すために様々な発電機が一般家庭などに広く普及しつつある。その日常生活におけるエネルギー生産方法の1つとして有機薄膜太陽電池(OPV)が注目されている。OPVは薄い、柔軟、軽量、低コストといった特徴を持つ次世代型の太陽光パネルで、従来型のパネルよりも様々なシーンや物へ適用することができる[1][2]。現在OPVは研究・開発段階にあり、高品質なOPVパネルを効率的に生産するために、製造したOPVパネルの質を開発プロセス中で測り、故障箇所などの情報を即座にフィードバックする故障検知システムが必要とされている。この製造過程における故障検知を可能にするのが電気光学(EO)プローブ[3][4]である。EOプローブを用いたOPV計測の様子を図1に示す。

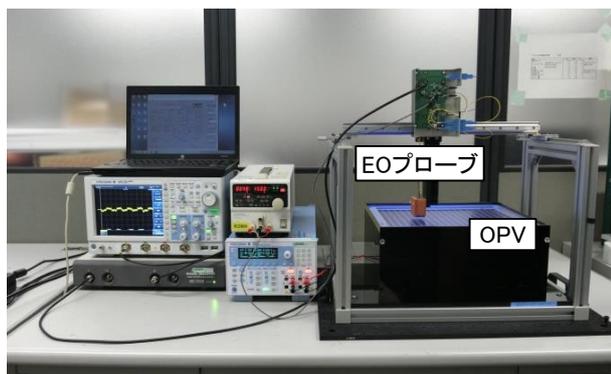


図1 EOプローブを用いたOPV計測

## 2. 有機薄膜太陽電池モデル

### (1) 重ね合わせの理

OPVパネルの評価を行うには、光を入射させたときにOPVの各セルに発生している電圧を高精度に測る必要がある。しかし、EOプローブはセルから発生した電界の強度を測る電界センサのため、直接的に電圧を測ることはできない。そのため、測定した電界強度から各セルの発生電圧を推定する方法を検討していく必要がある。セル発生電圧とセル表面の電界強度の関係を図3に示す。

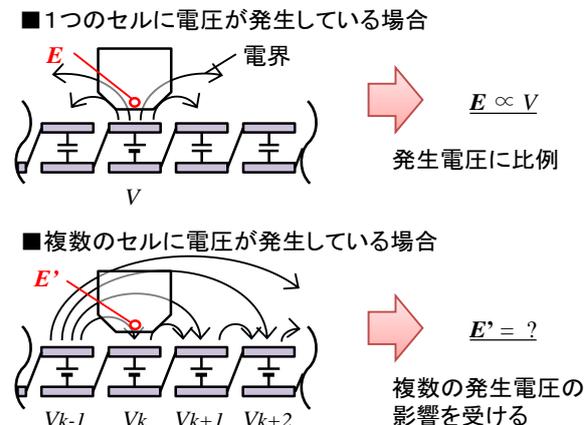


図2 OPVセル発生電圧と電界強度の関係

OPVは直列に接続された複数のセルで構成されている。複数あるセルのうち1つのセルだけに電圧が発生している場合、セル表面の電界強度は発生電圧に比例する。し

かし複数のセルに電圧が発生している場合,OPV 表面の電界強度はすべてのセルの発生電圧に影響されるため,各セルの発生電圧の推定が難しい.この複数セルに電圧発生パターンでの電界計測から各セルの電圧を推定するには,OPV 表面の電界強度に関して重ね合わせの原理が成立することを確かめる必要がある.

重ね合わせの原理とは,電界の発生源が複数あるとき,それらがつくる電界分布は発生源の1つ1つが単独で存在している場合の重ね合わせに等しくなるという物理現象である.これを OPV セルに当てはめると,複数セルに電圧が発生している場合の電界分布は,各セル単体に電圧が発生しているパターンの重ね合わせに等しくなるということである.本研究では,まず OPV モデルのテストボードを用いて,OPV 表面の電界分布に関して重ね合わせの原理が成立することを確認した.

### (2) 有機薄膜太陽電池モデル

OPV 表面の電界分布について重ね合わせの理が成立することを検証する実験を行うには,1つのセルに光を照射させて電圧を誘起させる単セル照射の状態と,全てのセルに光を照射して電圧を誘起させる全セル照射の状態を任意に再現するシステムが必要である.しかし,OPV の実デバイスを用いた実験では,特に単セル照射の状態を完全に再現することが困難という課題がある.その課題の解決方法として,光の入射によって電圧を発生させるという OPV の動作原理をモデル化することで,OPV の発電状態を任意に再現可能となる OPV モデルについて説明する.OPV の構造とそれに基づいた OPV モデルを図3に示す.

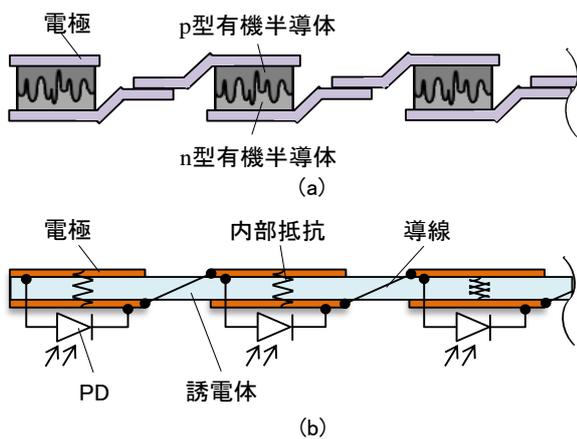


図3 OPV の構造(a)と OPV モデル(b)

まず,OPV 実デバイスの構造の例について説明する,OPV セルはバルクヘテロ接合された p 型有機半導体と n 型有機半導体の半導体溶液を用いた発電層と,その発電層を挟む2枚の電極によって構成され,さらに複数のセルを全て直列に接続することで1つの太陽電池として形成される.次に図3(b)に示した OPV モデルについて説明する,OPV モデルのセルは2枚の電極の間に誘電体を置

き,2枚の電極間にフォトダイオード(PD),内部抵抗素子を接続して形成され,各セルは導線を用いて直列に接続する,この PD にレーザ光などの光を入射させると,光の強度に応じた電流が生じる.PD から生じた電流と電極間に接続された内部抵抗素子によって,2枚の電極間に電位差が生じることから,この OPV モデルを用いることで光を当てて電圧を発生させるという太陽電池の動作を再現することが可能になる.

### 3. 電気光学プローブ

EO プローブはレーザ光と EO 結晶[5]の組み合わせによって,測定対象物の周囲,もしくは空間中の電界強度を計ることが可能なセンサである.また EO 結晶とは,結晶中に電界が印加された際に,結晶の持つ屈折率が変化するEO効果を示す結晶である.本研究で用いるEOプローブシステムはEO結晶や波長板などを用いてOPVなどから生じた電界強度をセンシングするプローブヘッド部と,プローブヘッドからのレーザ光をPDで受光し,プローブヘッド部で検出した電界強度を電気信号に変換して出力するEO/OE回路部の2つで構成される.EOプローブシステムのブロック図を図4に示す.

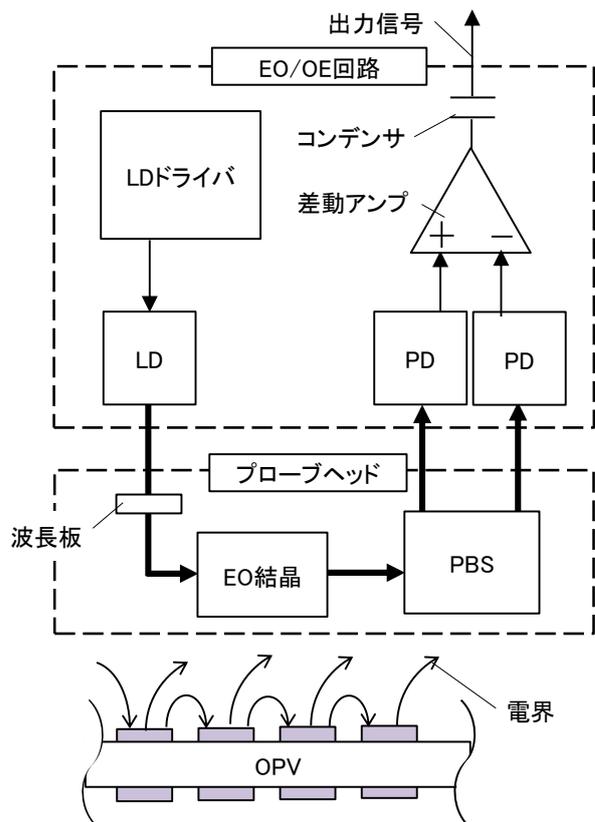


図4 EOプローブシステムの構成図

EO/OE 回路部は LD ドライバ,LD,PD,差動アンプ,コンデンサ等によって構成されている.LD ドライバによって LD を駆動させ,LD から照射されたレーザ光は光ファイバを通してプローブヘッド部へ送られる.波長板や EO 結

晶などを透過したレーザー光は偏光ビームスプリッター(PBS)によってP波とS波の2つの直線偏光に分割される。分割された2つのレーザー光はEO/OE回路部の2つのPDによって電気信号に変換され、2つの信号の強度差が差動アンプによって増幅される。増幅された信号はコンデンサによってDC成分をカットした後にオシロスコープやスペクトラムアナライザ、ロックインアンプなどの計測機器へ出力される。

#### 4. 実験及び電磁界シミュレーション

EOプローブを用いたOPVモデルの電界計測を行うために、ロックインアンプや制御用PCなどを用いてOPVモデル計測システムを構築した。構築したシステムの構成を図5に示す。

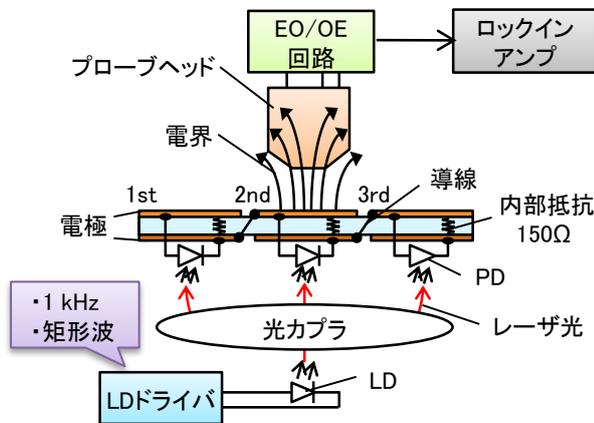


図5 OPVモデル計測システムの構成図

テストボードから生じた電界をプローブヘッド内のEO結晶で検出しEO/OE回路から出力された信号はロックインアンプに入力される。ロックインアンプはリファレンス信号と同じ周波数成分の信号から振幅と位相情報を取り出すことが可能であり、このロックインアンプを制御用PCとシリアル接続することでEO/OE回路から出力された信号の振幅と位相を制御用PC上で観測することができる。また、テストボードの各セルに電圧を発生させるために交流電流を出力可能なLDドライバ、LD、光カプラの3つを用いたLDドライバを用いてLDを駆動させ、LDから発生したレーザー光を光カプラに入射させる。レーザー光は光カプラによって3つのレーザー光に分岐され、テストボードの3つのセルに接続したPDにそれぞれ入射させることで、PDから生じた電流と内部抵抗により、各セルに電圧を発生させることができる。光カプラとPDの接続は取り外しが可能で、電圧を発生させるセル以外に接続された光カプラを取り外すことで、テストボードの電圧発生状態を任意に再現することができる。本研究では1つのセルにのみ光を入射させる単照射モードと全てのセルに光を入射させる全照射モードの2通りで実験を行う。2つの照射モードの概要を図6に示す。

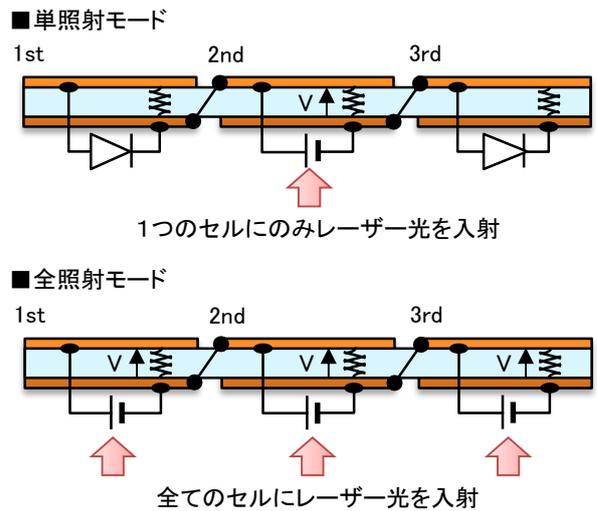


図6 単照射モードと全照射モード

各セル単照射モード時における各セル直上の電界強度の重ね合わせと全照射モードにおける電界強度の計測結果の比較を図7に示す。各セル直上の単照射モードにおける1セル目、2セル目、3セル目直上の電界強度の重ね合わせをそれぞれS1、S2、S3とし、全照射モードにおける1セル目、2セル目、3セル目直上の電界強度をそれぞれA1、A2、A3とした。

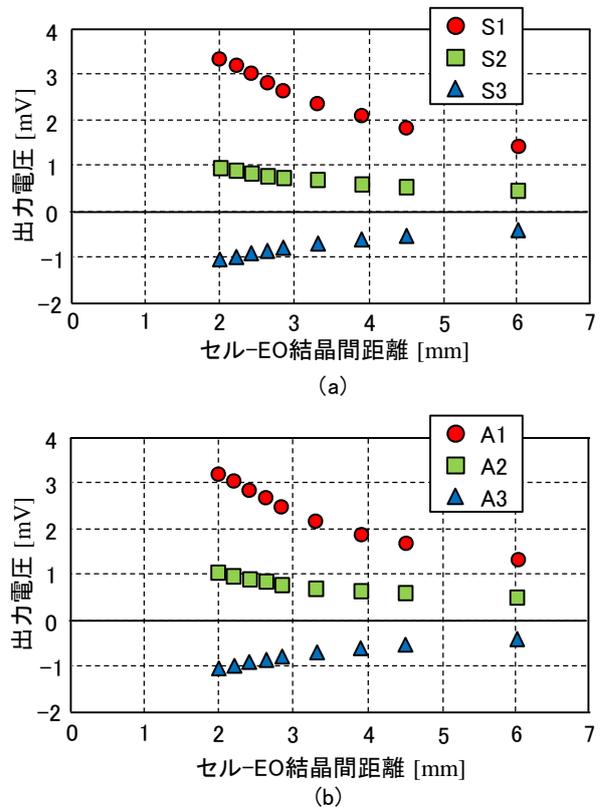


図7 単照射モードの重ね合わせ(a)と全照射モード(b)

2つの結果を比較すると、各セル直上の電界強度はほぼ一致していることが分かる。また、OPVモデル計測システムを用いたOPVテストボード表面の電界強度計測について

て、実験結果の確からしさを検証するために電磁界シミュレーションによる OPV モデル表面の電界解析を行った。本研究では Keysight Technologies 社の EMPro というソフトを用いて解析を実行した。シミュレーションの様子と、シミュレーションそれぞれを図 8 と図 9 に示す。

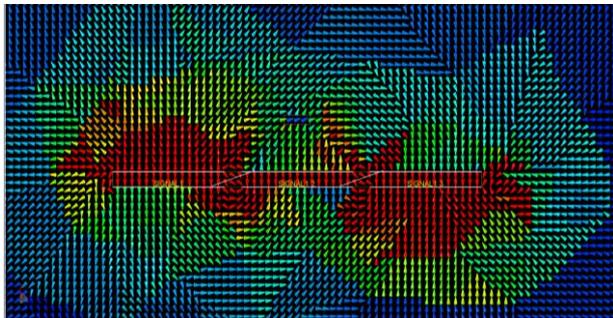


図 8 OPV モデル表面の電磁界シミュレーション

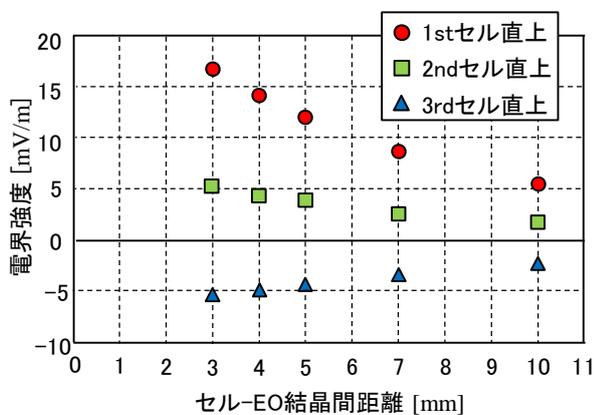


図 9 全照射モード時の電磁界シミュレーション結果

図 9 に示した結果は、図 7 に示した実験結果の 2 つのグラフと傾向が一致していた。このことから、OPV モデル表面の電界分布には重ね合わせの理が成り立つという実験結果の確からしさを示すことが出来た。

## 5. 結論

本研究では、OPV モデルを用いた実験と電磁界シミュレーションの結果より、表面の電界分布についても重ね合わせの理が成立するという結果が得られた。今後は、電界強度の測定結果から OPV セルに発生した電圧を推定する方法を探り、OPV 故障検知システムの製品化を目指す。

## 参考文献

- 1) C. W. Tang, "Two-layer organic photovoltaic cell," Appl. Phys. Lett., Vol.48, No.2 pp.183-185, 1986.
- 2) C. Lungenschmied, G. Dennler, H. Neugebauer, S. N. Sariciftci, M. Glatthaar, T. Meyer, and A. Meyer, "Flexible, long-lived, large-area, organic solar cells," Sol. Energy Mater. Sol. Cells, Vol.91, No.5 pp.379-384, 2007.
- 3) 品川満, "フォトリック電界センサの応用技術に関する研究," 博士論文, 2005.
- 4) J. Katsuyama, K. Matsumoto, R. Sugiyama, S. Hasegawa, M. Shinagawa, and Yoshiki Yanagisawa, "Failure Diagnosis of Organic Photovoltaic Using Electro-Optic Probe" Optical Review 21, No. 5, pp.621-627, 2014.
- 5) 応用物理学会光学懇話会, 「結晶光学」, 森北出版, 1975.