

# SPICE(PCBsim™)による太陽電池シミュレーション

シグナル工房：[www.signalkhobho.com](http://www.signalkhobho.com)

野田 敦人

今回は SPICE による太陽電池シミュレーションに挑戦しました。太陽電池の等価回路は簡単な回路ですが、太陽電池のカタログの仕様からそれぞれの回路素子のパラメータを決定するのは独特のコツが必要のようです。PCBsim では1つのセルで回路素子を決定し、そのセルを M\*N のアレイで解析するネットリストにするツールが付属されており自動的にパラメータが決定されます。

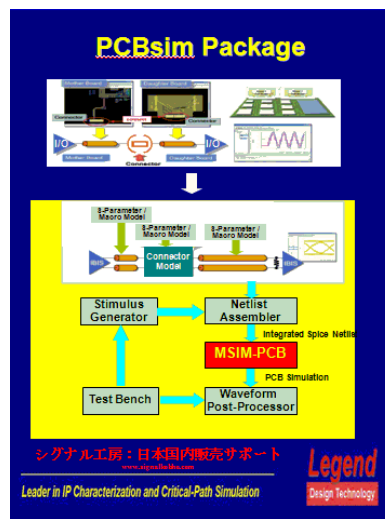


図1 PCBsim

## 1) 太陽電池の等価回路と SPICE ネットリスト

太陽電池の等価回路はいくつか提案されていますが、一番単純な形は図2のようなものです。この等価回路を作るには直列抵抗  $R_s$ 、シャント抵抗  $R_{sh}$  や短絡電流  $I_{sc}$ 、ダイオードモデルなどいくつかのパラメータを決定する必要があります。

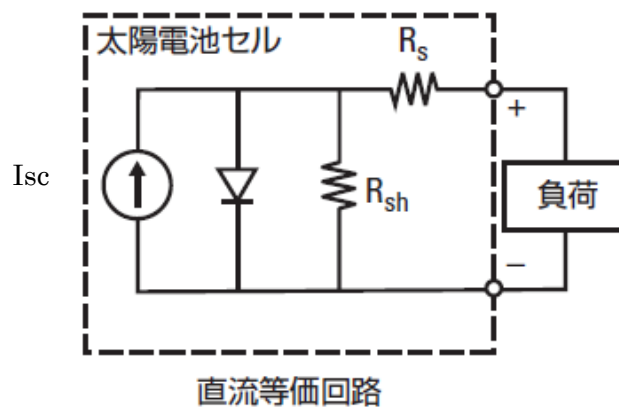
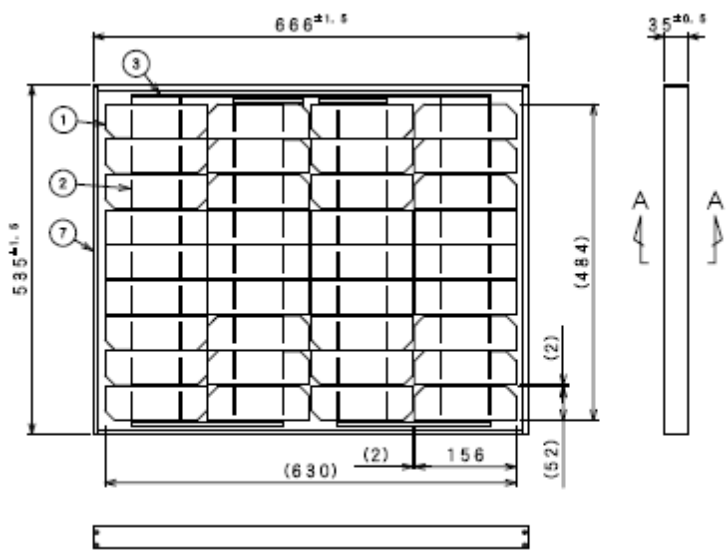


図2 太陽電池の等価回路

図3はある太陽電池メーカーの66.6cm\*535cmの太陽電池パネルの仕様です。このカタログ値からパラメータを決定します。図からはパネル上に9\*4=36個の太陽電池セルが搭載されているように見えます。一方で性能としてはこの36個が接続されたトータルな性能しかありません。したがって等価回路としてはこのパネルを1つの大きなセルとするモデルを作成することになります。



基準状態：モジュール温度 25℃ AM1.5 放射照度 1kW/m<sup>2</sup>

| 項目                            | 出力値      | 性能          |
|-------------------------------|----------|-------------|
| 公称最大出力 (P <sub>m</sub> )      | 40 [W]   | 90%以上 (JIS) |
| 公称最大出力動作電流 (I <sub>pm</sub> ) | 2.3 [A]  |             |
| 公称最大出力動作電圧 (V <sub>pm</sub> ) | 17.4 [V] |             |
| 公称短絡電流 (I <sub>sc</sub> )     | 2.5 [A]  | 90%以上 (JIS) |
| 公称開放電圧 (V <sub>oc</sub> )     | 21.6 [V] | ±10% (JIS)  |

GT40 出力特性図 @1000W/m<sup>2</sup> AM1.5 25℃

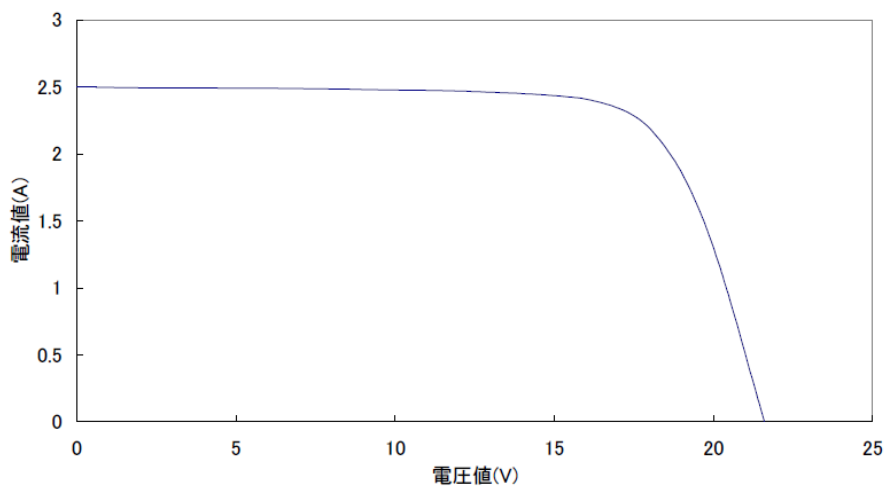


図3 太陽電池のカタログ値

## 2) パラメータの決定

まずカタログの出力 V-I 特性の図から直列抵抗  $R_s$  とシャント抵抗  $R_{sh}$  を決定します。通常は図 4 のように  $R_{sh}$  は V-I カーブの Y 軸との交差点の傾き  $\Delta V_{sc} / \Delta I_{sc}$  になります。また  $R_s$  は X 軸との交差点の傾き  $\Delta V_{oc} / \Delta I_{oc}$  となります。カタログの V-I カーブからは、 $R_{sh}$  はほとんどフラットで、 $\Delta V_{sc} / \Delta I_{sc}$  は  $1\text{ K}\Omega \sim 100\text{ K}\Omega$  というような値に見えます。この  $R_{sh}$  の値はあまり等価回路の特性に大きな影響を与えないため  $1\text{ K}\Omega$  というような値で良いようです。直列抵抗  $R_s$  はカタログの V-I カーブからは  $2\Omega$  程度に読めます。この  $R_s$  の値は等価回路の特性に大きな影響を与えるようです。このパネルの場合は複数のセルを接続するケーブルの抵抗なども加算されるため、通常より大きくなると思われそうですが、等価回路の  $R_s$  の値は  $2\Omega$  より小さい値にしない実際とは一致しなくなりました。特に面積が  $100\text{cm}^2$  より大きなセルのモデルの場合は、 $R_s$  の値は  $\Delta V_{oc} / \Delta I_{oc}$  の関係から調整が必要のようです。

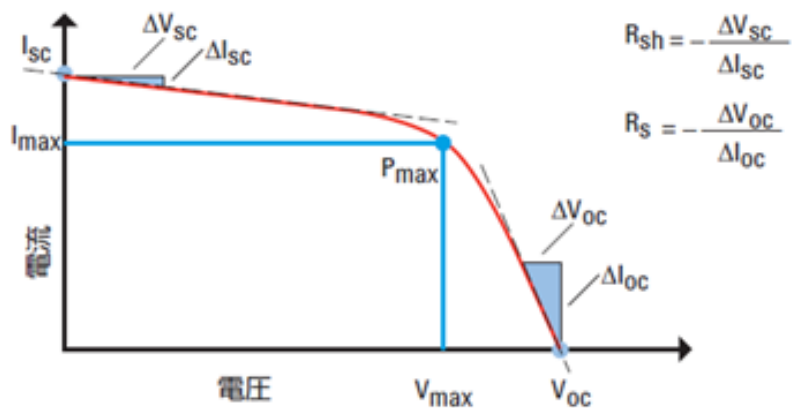


図4  $R_s$  と  $R_{sh}$  の決定法

次に  $I_{sc}$  はカタログ値の短絡電流  $I_{sc}=2.5\text{A}$  をそのまま使用します。このカタログ値の上にモジュール温度  $25$  度、 $AM=1.5$ 、 $1\text{ k W/m}^2$  という記載があります。これは  $AM=1.5$  という標準大気の状態状態で温度  $25$  度の条件で測定された出力であるという意味です。パネルに入射される太陽光が朝夕で直角でない場合を想定するにはこの値を三角関数などで減算調整する必要があります。次はダイオードモデルの  $I_s$  (飽和電流)、 $R_s$  (直列抵抗)、 $N$  (放射係数) を決める必要があります。

.MODEL DIODE D( $I_s=0.01\text{N}$   $R_s=0.01$   $N=2.5$ )

それぞれダイオードの特性を決めるパラメータですが、太陽電池のモデルに等価する場合は実際の意味とは異なってくるようです。まず  $I_s$  (飽和電流) は代表的な値として  $10^{-11}$  のような値でよいようです。代表的な値を選べば特性に大きな値を与えません。また  $R_s$  は上で考慮した直列抵抗  $R_s$  と同じ値にします。問題は  $N$  で、この値は特性に大きな影響を与えます。通常のダイオードは  $N=1 \sim 2$  の値と言われています。複数のセルを接続した総面積が  $100\text{cm}^2$  を超えるような太陽電池の等価回路ではこの  $N$  の値を  $20 \sim 40$  というような大きな値にする必要があるようです。PCBsim のツールでは独自の計算式でこの  $N$  の値を算出しています。

### 3) ネットリストと解析結果

PCBsim で作成したネットリストは以下の通りです。Rs の値は  $\Delta V_{oc} / \Delta I_{oc}$  では  $2\Omega$  でしたが、解析結果から調整して  $0.5\Omega$  にしました。

```
*solar_cell
IL 0 1 DC 2.5
VTEST 2 0 DC 0
D1 1 0 DIODE
RS 1 2 0.5
RSH 1 0 1000
.MODEL DIODE D(Is=0.01N Rs=0.5 N=32.357)
.TEMP 25
.OPTION POST
.DC VTEST 0 25 0.1
.PLOT DC I(VTEST) VTEST*I(VTEST)
.PROBE
.END
```

シミュレーション結果は図5のようになりました。カタログの公称最大電力  $40\text{W}$  に対して、シミュレーション結果は  $42\text{W}$  となりました。Rs の値の微調整などでさらに精度が上がるものと思われます。

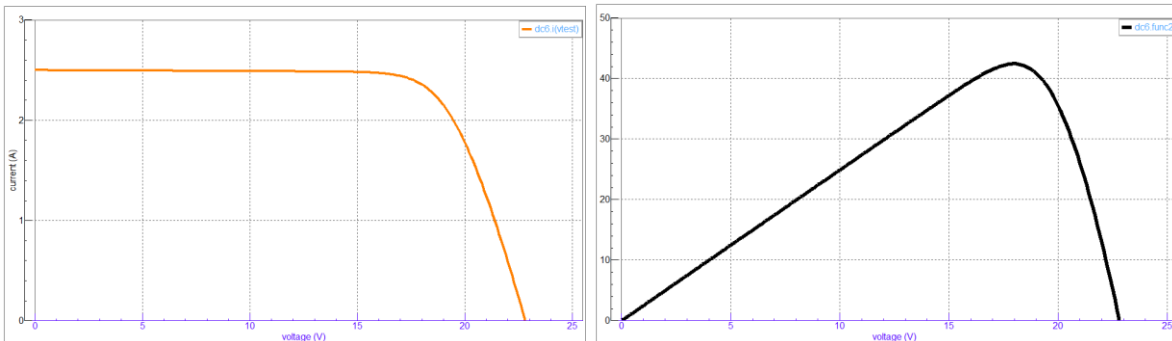


図5 太陽電池のSPICE シミュレーション結果

注：本資料はあくまでもネットリストのサンプルとして参考させていただくもので、解析結果の精度についてはシグナル工房では責任を負いかねます。