

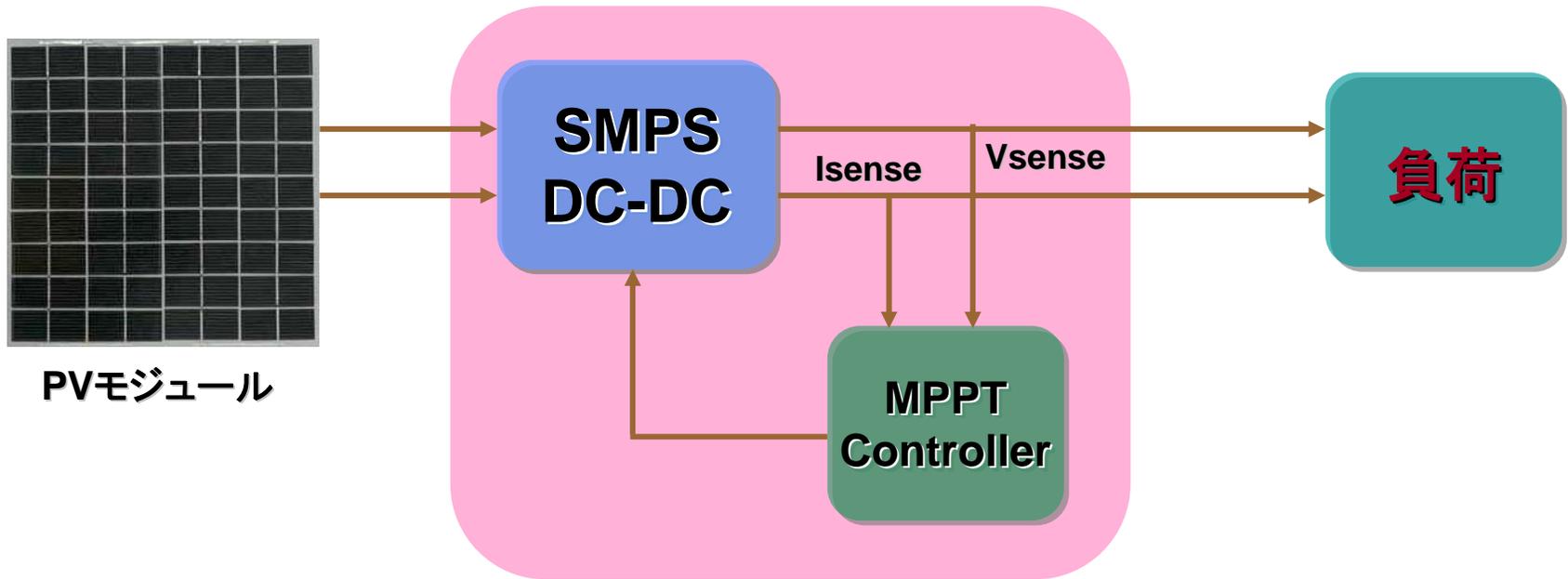
等価回路による太陽電池モデリング・解析

アツビゲリ P.S.
アプリケーションエンジニア

サイバネットシステム株式会社



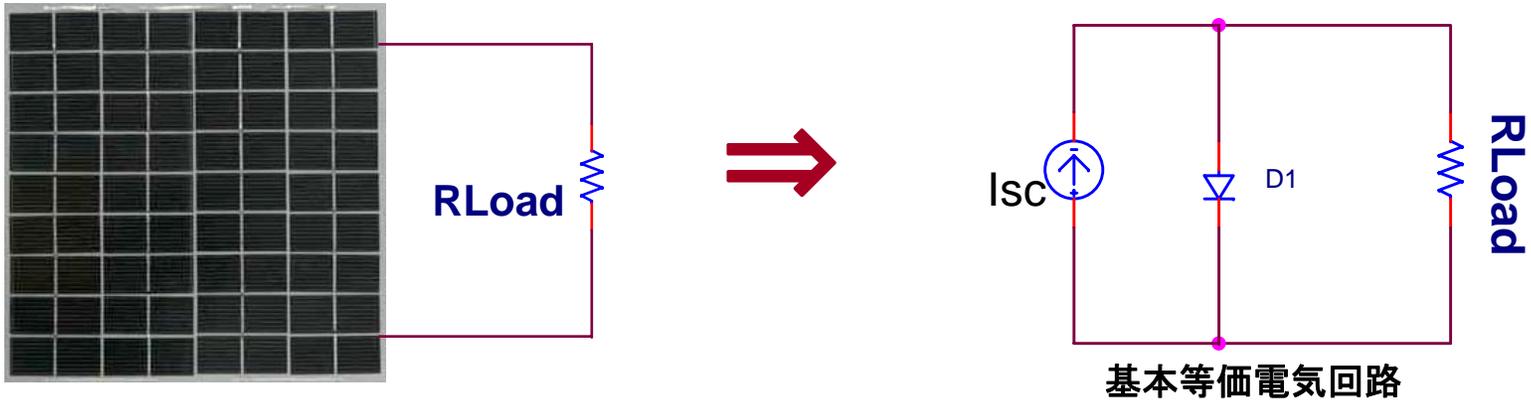
太陽電池 (PV) システム構成一例



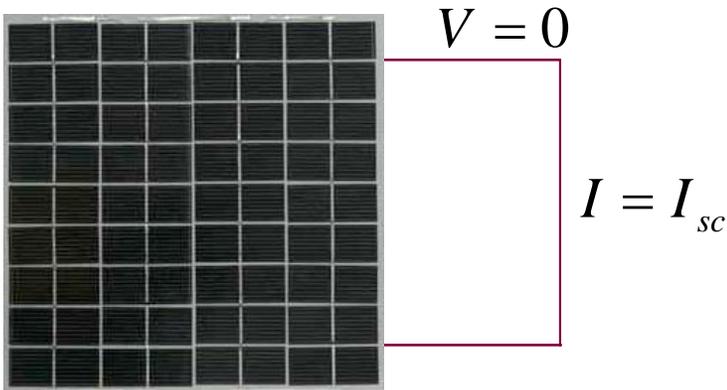
なぜ解析する必要がある

太陽電池(PV)セル、あるいはモジュールを含んだシステムは非線形数式で表わすことができます。また、回路方程式により各ノードの電圧及び電流を求めることはできますが、場合によって解析解を持っていないこともあります。

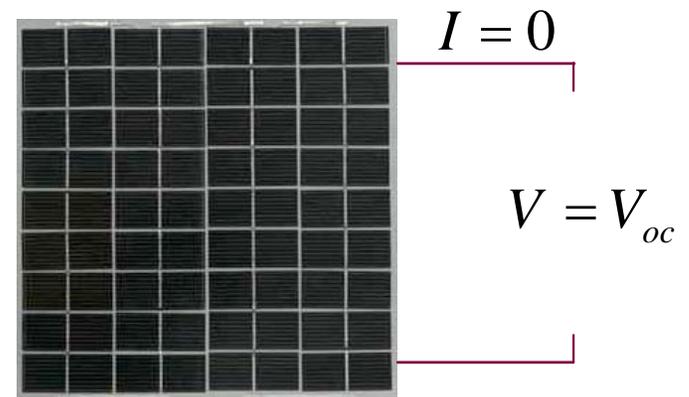
さらに、PVセル、モジュールの特性は、日射量及び周囲温度に依存します。これらは時間と共に変化するものなので製品を設計・製造したあとに問題現象を把握して対策とるよりは解析ツールを用いて事前に想定される現象を把握しておいた方が対策とりやすくなります。いくつかの問題を事前に回避することも可能です。



短絡電流



開放電圧



CYBERNET 太陽電池(PV)の基本等価電気回路

基本等価電気回路モデルにKCLを適用すると以下の式を得ることができます。

$$I = I_{sc} - I_d$$

$$\text{Since, } I_d = I_o \left(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1 \right)$$

$$I = I_{sc} - I_o \left(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1 \right)$$

q = 素電荷

k = ボルツマン定数

T = 絶対温度

v_d = ダイオード電圧

精度の良いモデルを表わすには以下の点も考慮する必要がある:

1. シリーズ抵抗:

実際の太陽電池には半導体物質、金属グリッド及び電流バスによるシリーズ抵抗成分が発生します。複数のPVセルをシリーズ接続した際にシリーズ抵抗成分の影響が大きくなります。

2. シャント抵抗:

PVセルに並列に漏れ電流パスが存在し、これをシャント抵抗(並列)で表わすことが可能。複数個のPVセルを並列接続した際には、このシャント抵抗の影響が大きくなります。

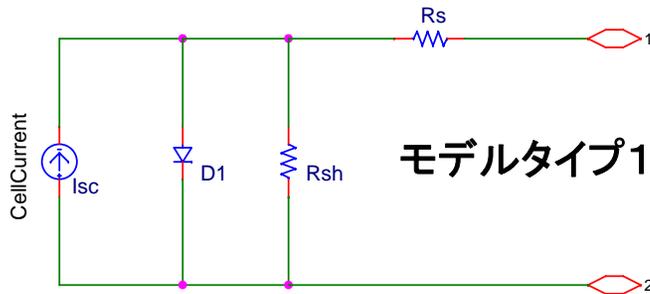
さらに、

3. 再結合:

PN接合の空乏層にて発生する再結合による電流パスが存在します。これをシャント抵抗に並列なダイオードで表わします。

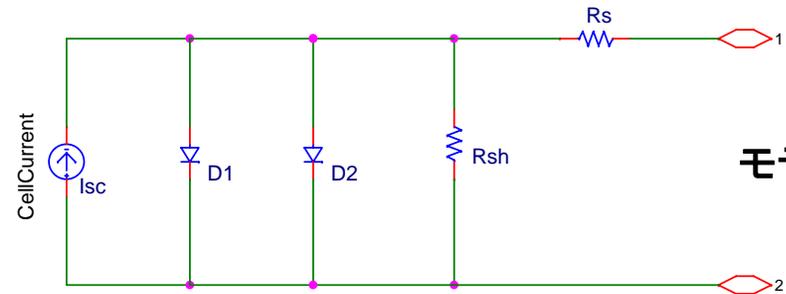
シリーズ抵抗、シャント抵抗と再結合を配慮したPVセルモデル

シリーズ抵抗、シャント抵抗のみ配慮



モデルタイプ1

シリーズ抵抗、シャント抵抗、再結合を配慮



モデルタイプ2

$$I = I_{sc} - I_{s1} \left(\exp \frac{q(V + IR_s)}{nkT} - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}}$$

$$I = I_{sc} - I_{s1} \left(\exp \frac{q(V + IR_s)}{nkT} - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp \frac{q(V + IR_s)}{nkT} - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}}$$

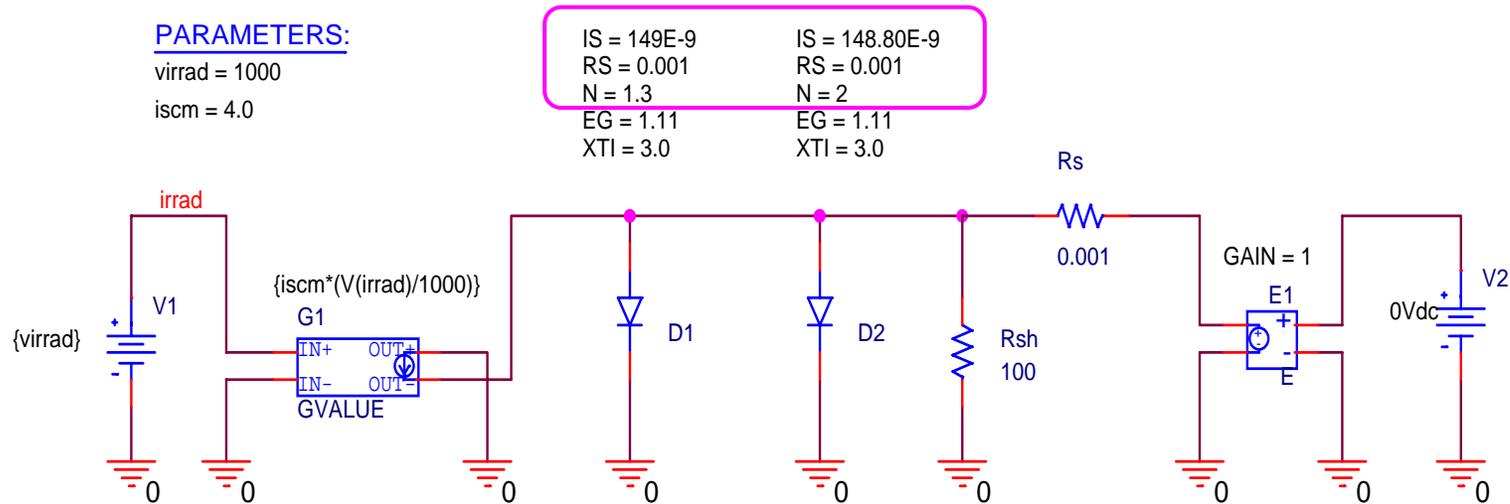
これらを用いて太陽電池の性能特性の合わせ込みを行うことができます。

CYBERNET PSpiceA/D上でシミュレーション行なうには？

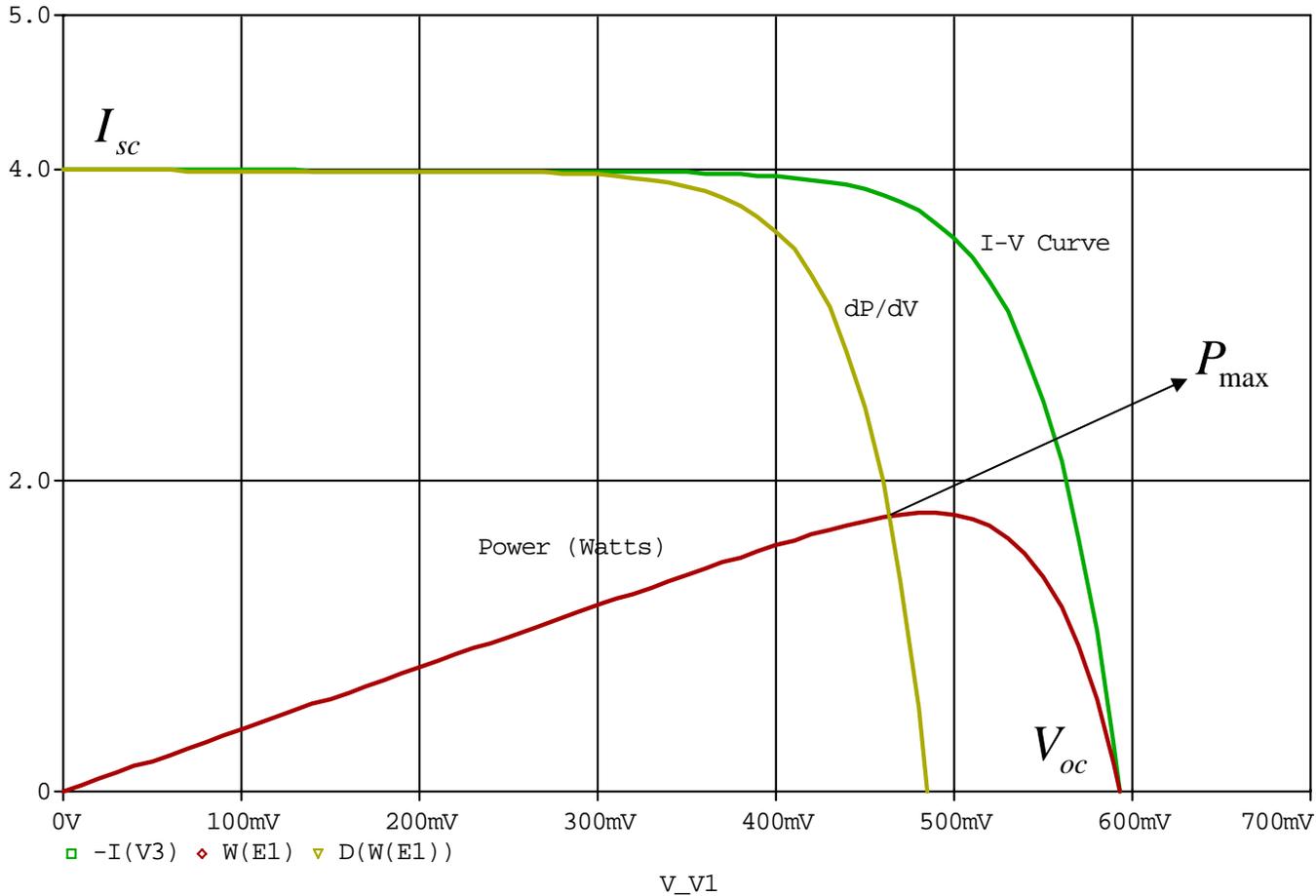
太陽電池仕様例

電気特性	
最大出力	1.7W
最大動作電圧	0.46V
最大動作電流	3.82A
開放電圧	0.59V
短絡電流	4.0A

- ◇ 入力は日射量を電圧レベルで指定
- ◇ Gパーツを使って、日射量を短絡電流へ変換
- ◇ まず R_s 、 R_{sh} の値を調整することによって、特性を調整可能
- ◇ 各ダイオードの I_S 、 R_S 、 N を調整することで更に、調整が可能
- ◇ Eパーツを使用することで、同じ負荷を複数のPVセルやPVモジュールへ接続することが可能



太陽電池モデルのPSpice解析結果



$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}}$$

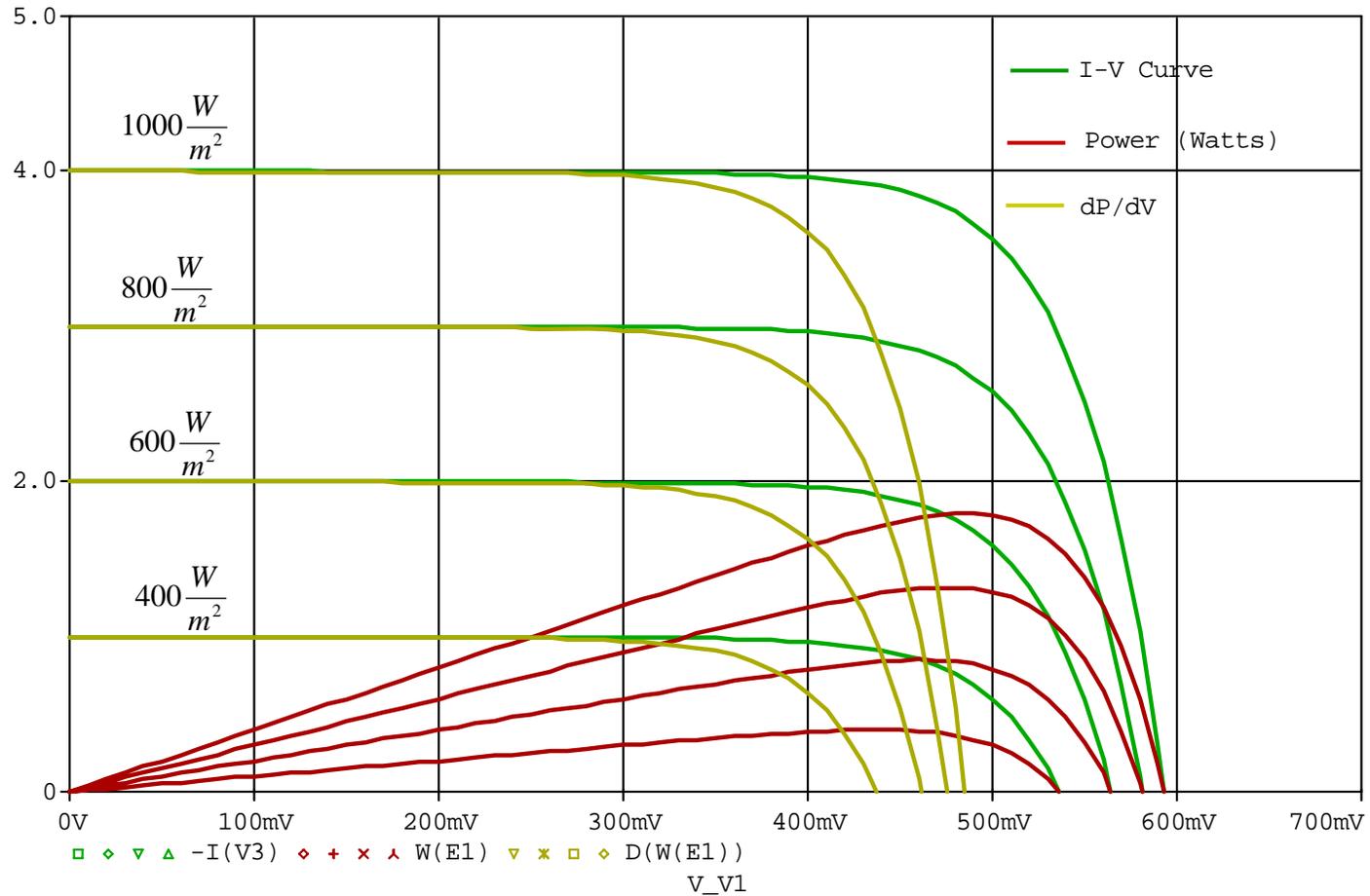
$$I_{sc} = 4.0A$$

$$V_{oc} = 0.593$$

$$P_{max} = 1.792W$$

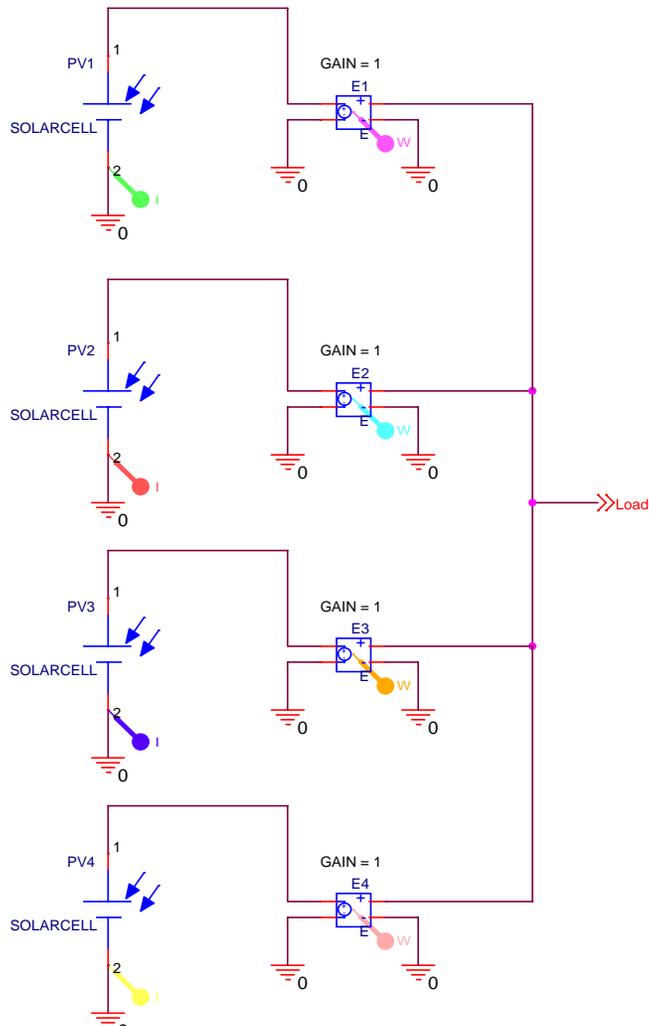
$$FF = 0.74583$$

日射量影響度の検証



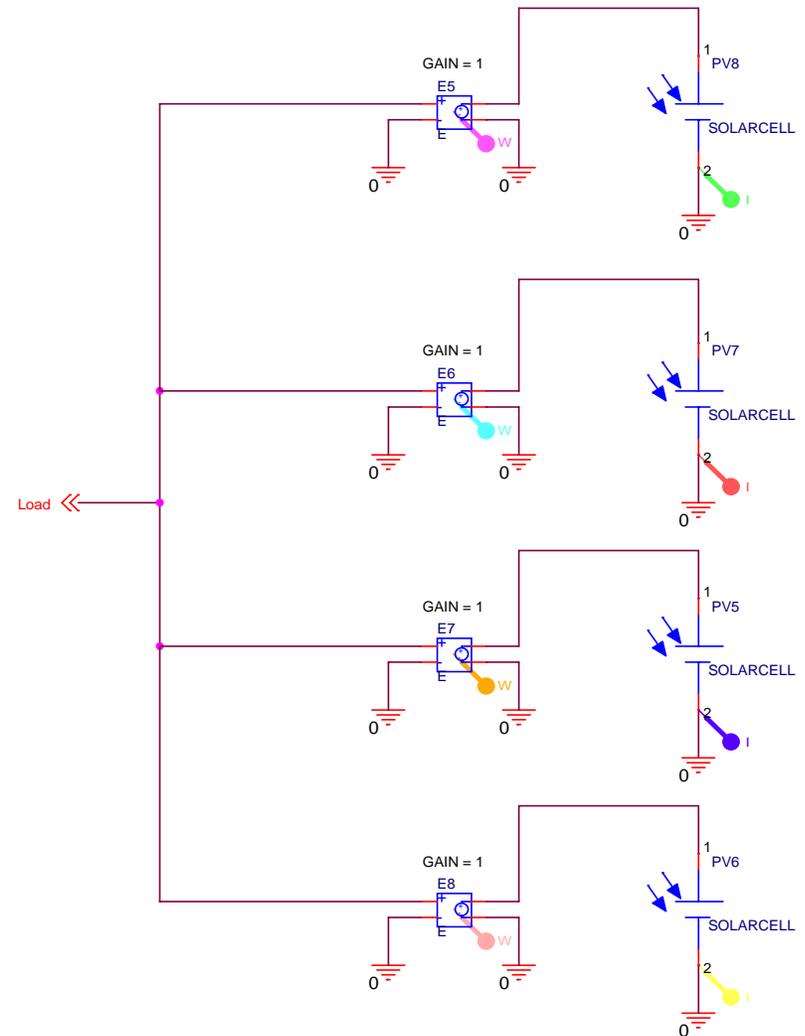
シリーズ抵抗の影響度検証

Effect of Varying R_s (Series Resistance)

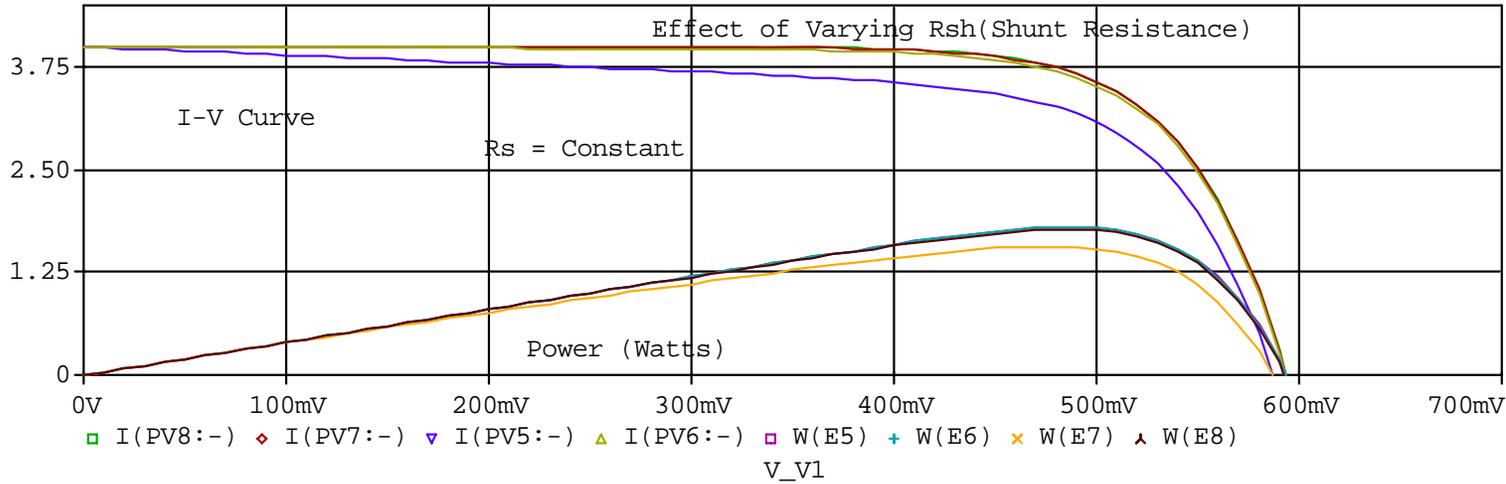


シャント抵抗の影響度検証

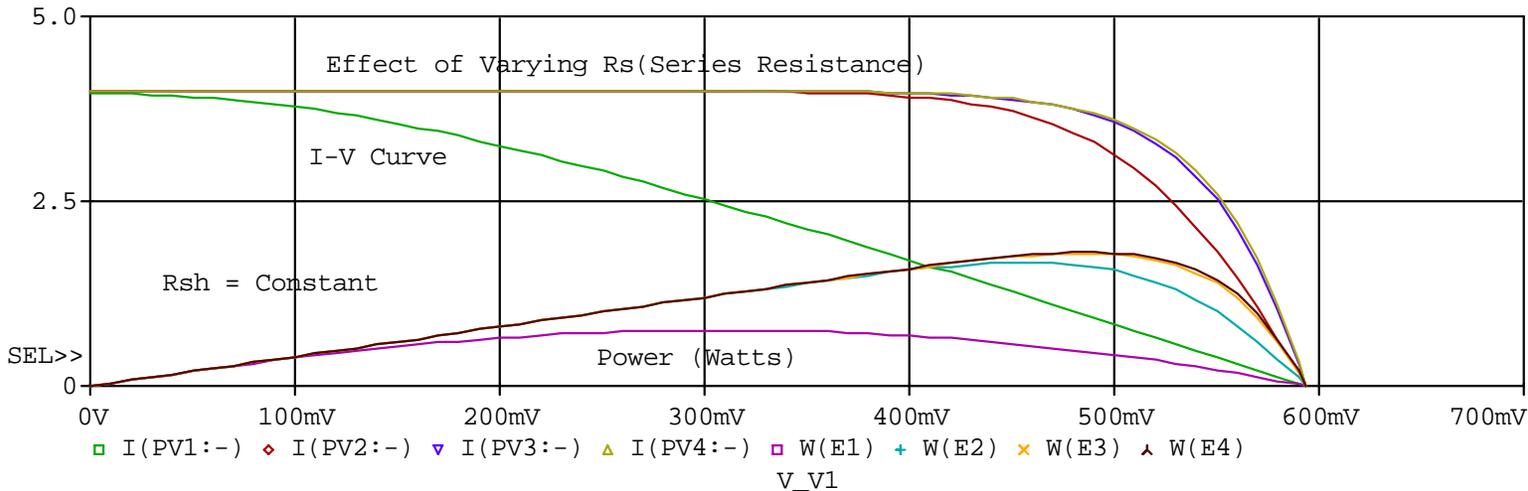
Effect of Varying R_{sh} (Shunt Resistance)



PSpice解析結果

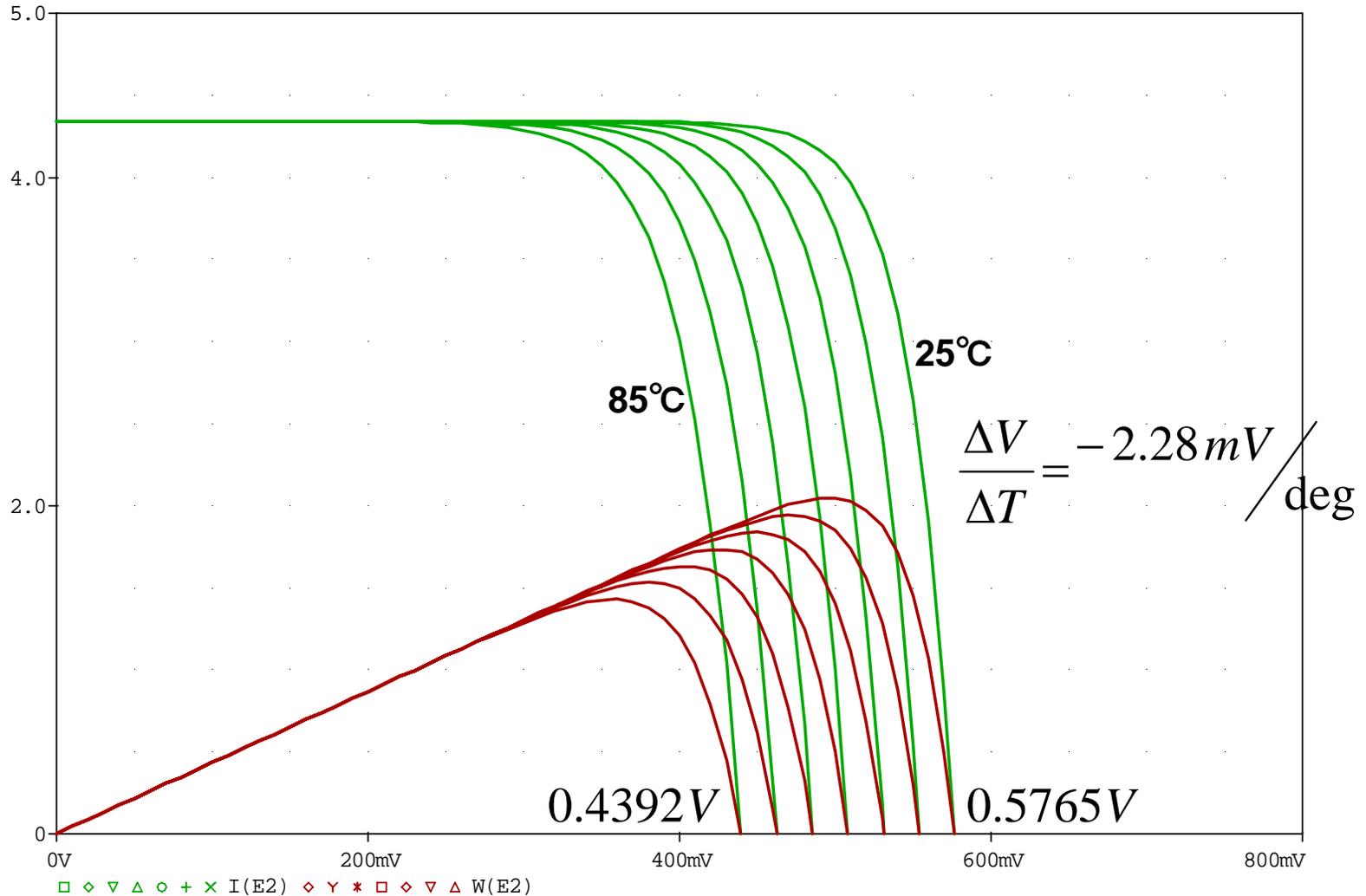


シャント抵抗
の
影響度検証



シリーズ抵抗
の
影響度検証

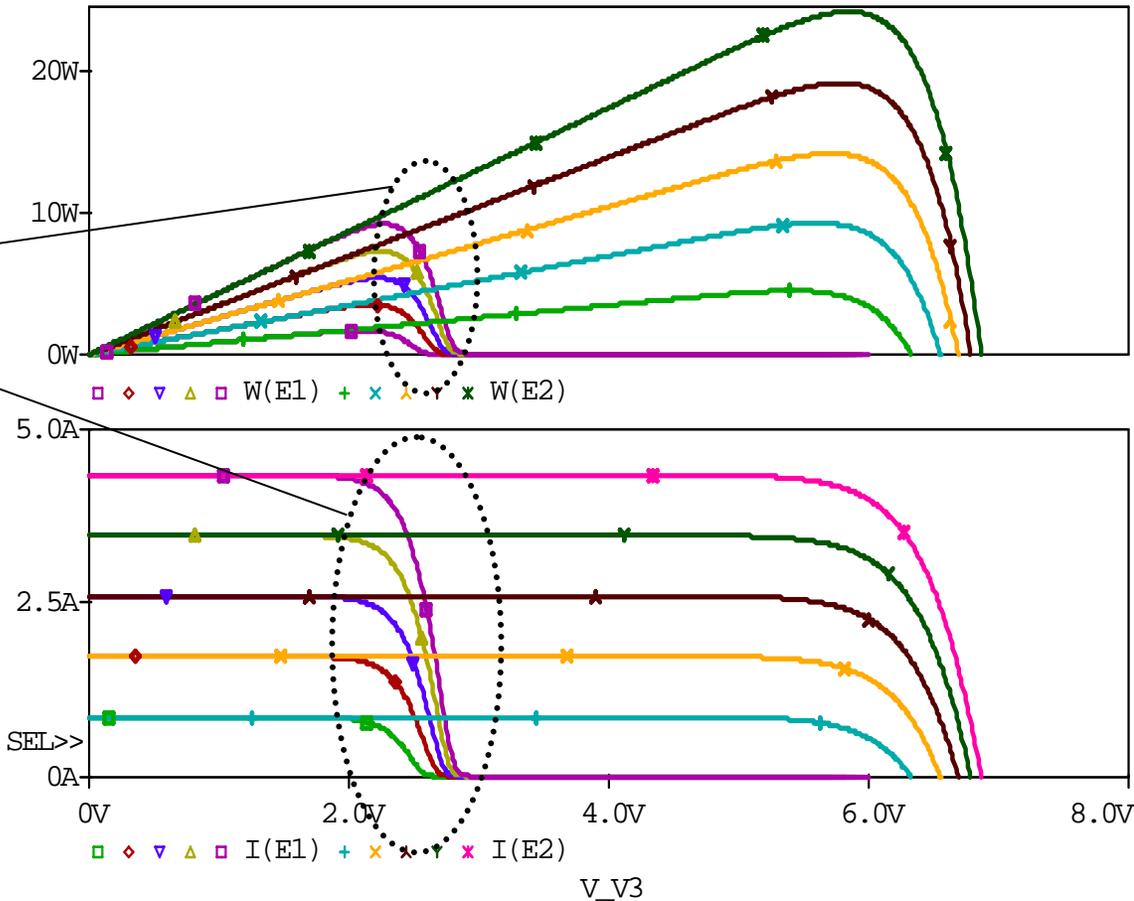
太陽電池の温度依存性



日陰の影響による出力変化

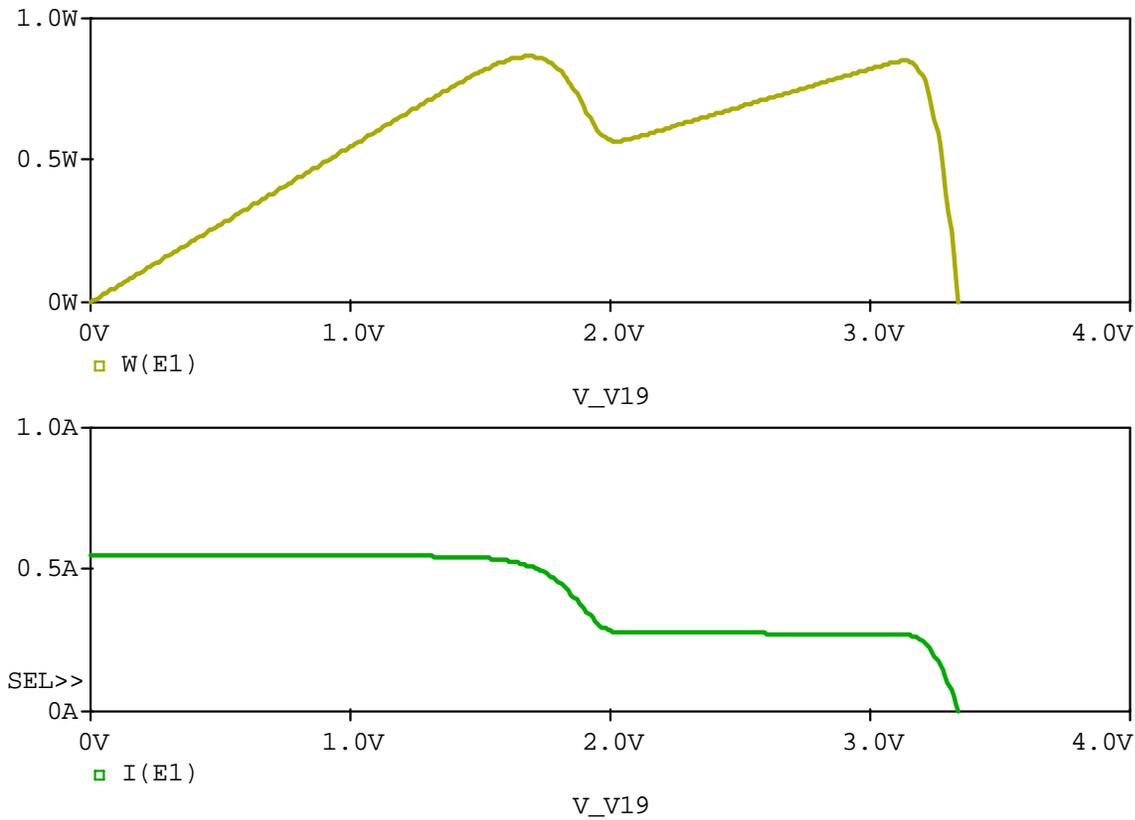
太陽電池をシリーズ接続

日陰の影響で半分の太陽電池出力がゼロ



日陰の影響による出力変化

太陽電池を平行接続



太陽電池BP SX 150Sの仕様

電気特性	
最大出力	150W
最大動作電圧	34.5V
最大動作電流	4.35A
開放電圧	43.5V
短絡電流	4.75A

- ① 本資料のページ7に指定回路をそのまま利用して解析を行なう。
- ② 解析後、PspiceA/DのProbe Managerより評価関数を指定する。
- ③ 評価関数指定後、AAOよりOPTIMIZERを起動し、評価関数を指定した評価関数を取り込む。
- ④ 評価関数に条件を指定する。
- ⑤ 最適化したい定数を指定して実行する。

PARAMETERS:

virrad = 1000
iscm = 4.0

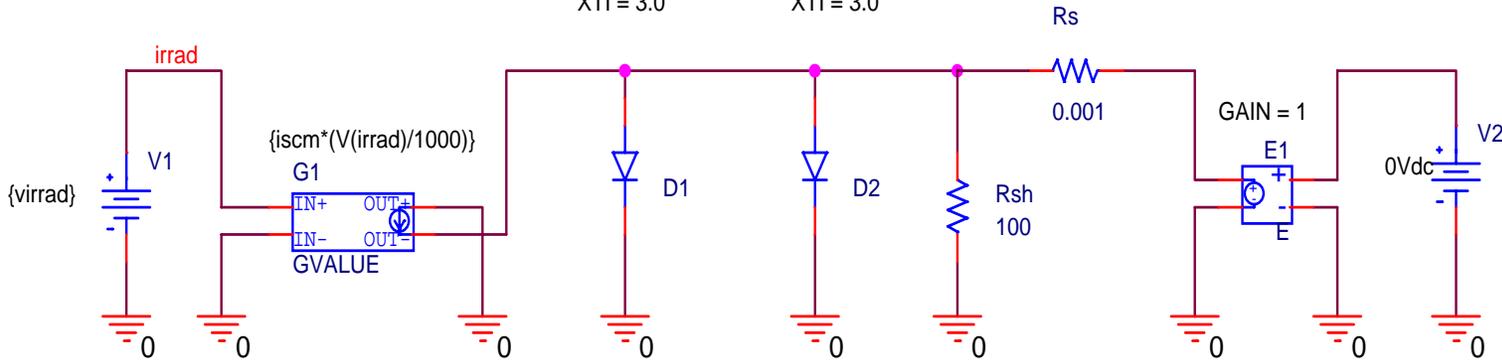
IS = 149E-9
RS = 0.001
N = 1.3
EG = 1.11
XTI = 3.0

IS = 148.80E-9
RS = 0.001
N = 2
EG = 1.11
XTI = 3.0

Max(W(E1))、XatNthY(I1(E1),0,1)、

XatNthY(I(E1),4.35,1)及びYatX(W(E1),34.5)

評価関数を使用してモデルパラメータを最適化します。



定数最適化
前の回路

Error Graph



Parameters [Next Run]							
	On/Off	Component	Parameter	Original	Min	Max	Current
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	D1	RS	0.001 0	100u	1 0	128.3297m
	<input checked="" type="checkbox"/>	D1	N	1.3000	1	200	85.1566
	<input checked="" type="checkbox"/>	D1	IS	1.4900e-007	1 n	1.4900u	23.4638n
	<input checked="" type="checkbox"/>	D2	RS	0.001 0	1 u	1 0	1.0001 m
	<input checked="" type="checkbox"/>	D2	N	24	1	500	239.5117
	<input checked="" type="checkbox"/>	D2	IS	1.4880e-007	1 n	1.4880u	12.8119n
	<input checked="" type="checkbox"/>	Rs	VALUE	0.001 0	100u	1 0	32.9023m
	<input checked="" type="checkbox"/>	Rsh	VALUE	100	1	10k	128.4004

Click here to import a parameter from the design property map...

AAO OPTIMIZERを使ってPVセル定数の最適化

Specifications [Next Run]										
	On/Off	Profile	Measurement	Min	Max	Type	Weight	Original	Current	Error
	<input checked="" type="checkbox"/>	iv.sim	YatX(W(E1),34.5)	149.5000	150.5000	Goal	3	149.2562	149.1336	-245.0694mM
▶	<input checked="" type="checkbox"/>	iv.sim	XatNth Y0(E1),4.35,1)	34.2500	34.7500	Goal	2	34.1873	34.1256	-363.2998mM
	<input checked="" type="checkbox"/>	iv.sim	XatNth Y01(E1),0,1)	43.2500	43.7500	Goal	2	42.4599	42.5328	-1.6582M
	<input checked="" type="checkbox"/>	iv.sim	Max(W(E1))	149.5000	150.1000	Goal	4	150.0492	150.0268	OK

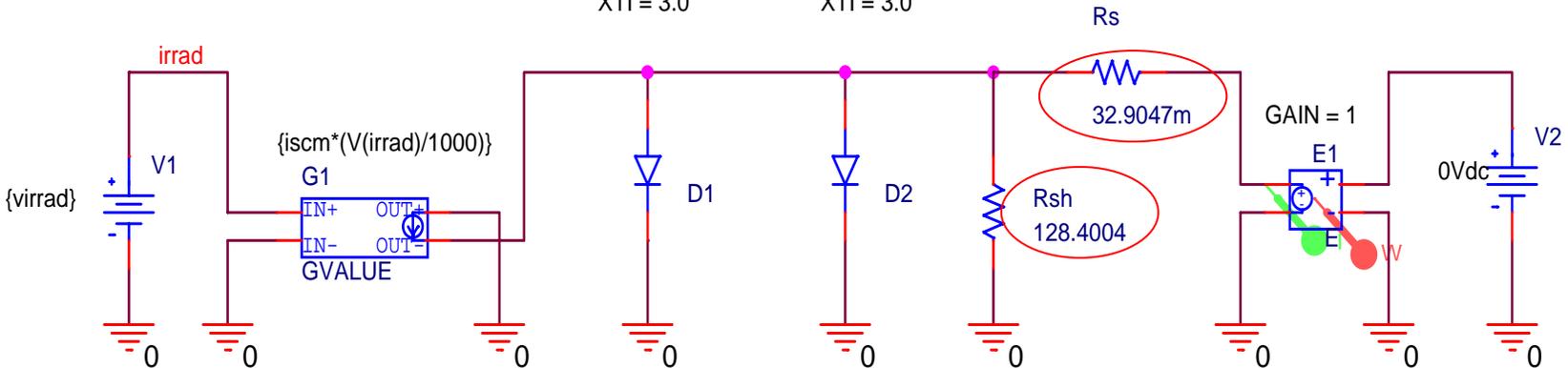
Click here to import a measurement created within PSpice...

PARAMETERS:

virrad = 1000
iscm = 4.75

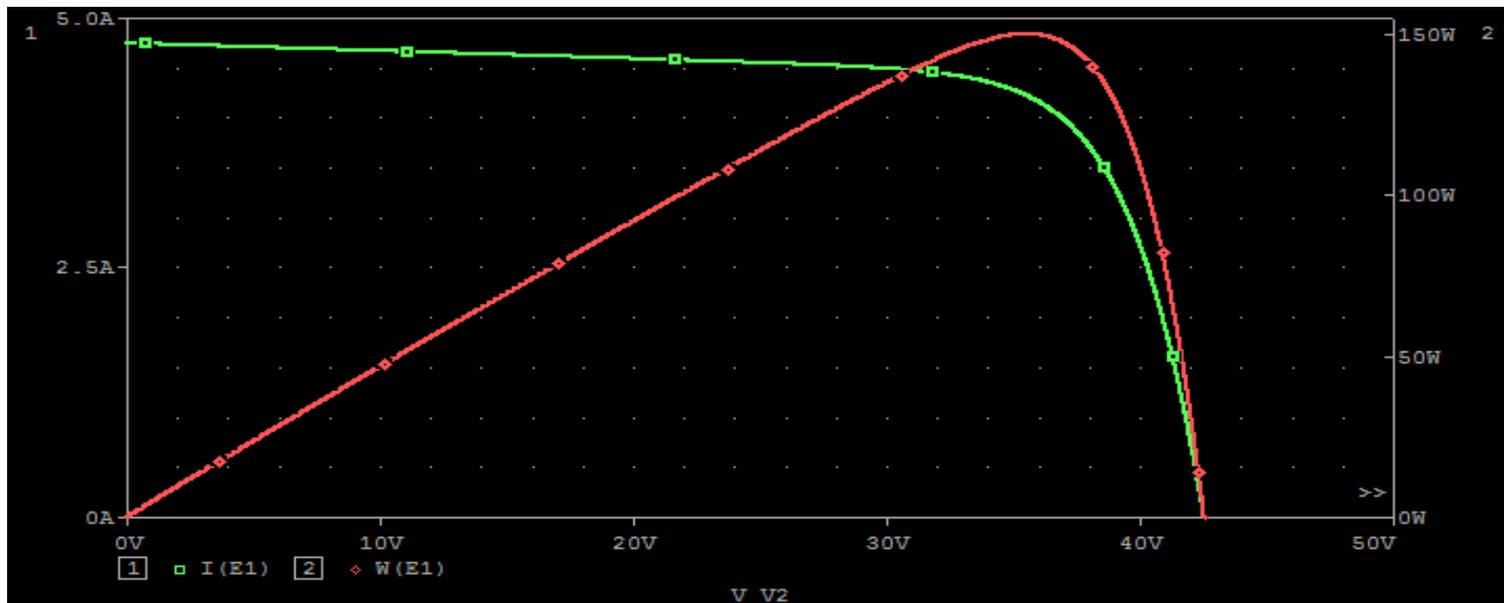
IS = 23.4638E-9
RS = 128.3315m
N = 85.1566
EG = 1.11
XTI = 3.0

IS = 12.8119E-9
RS = 1.001m
N = 239.5117
EG = 1.11
XTI = 3.0



BP SX 150S 太陽電池モデル

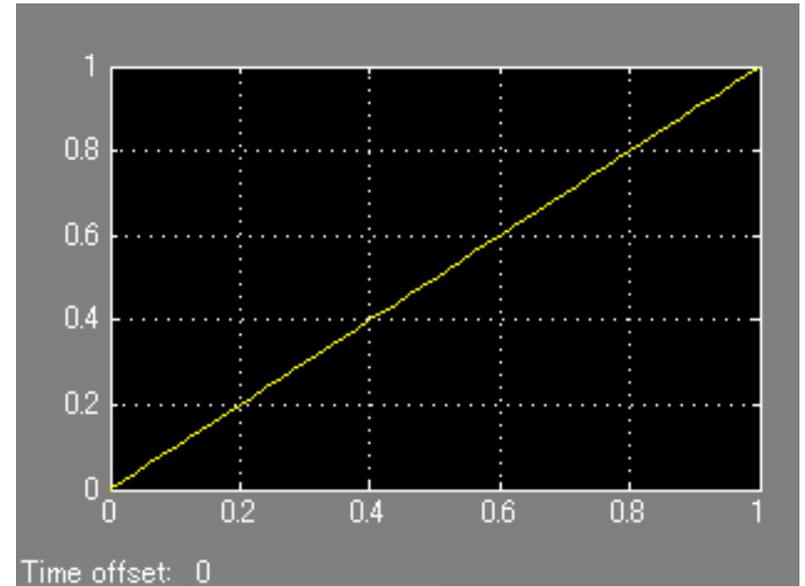
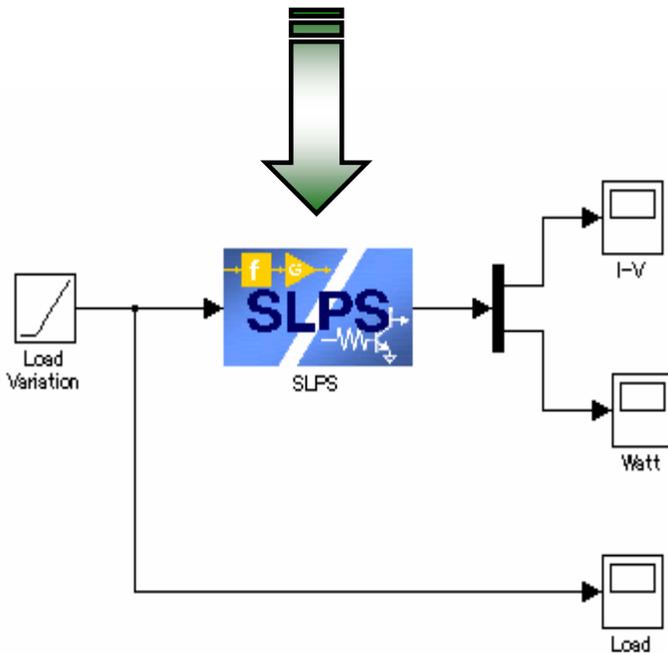
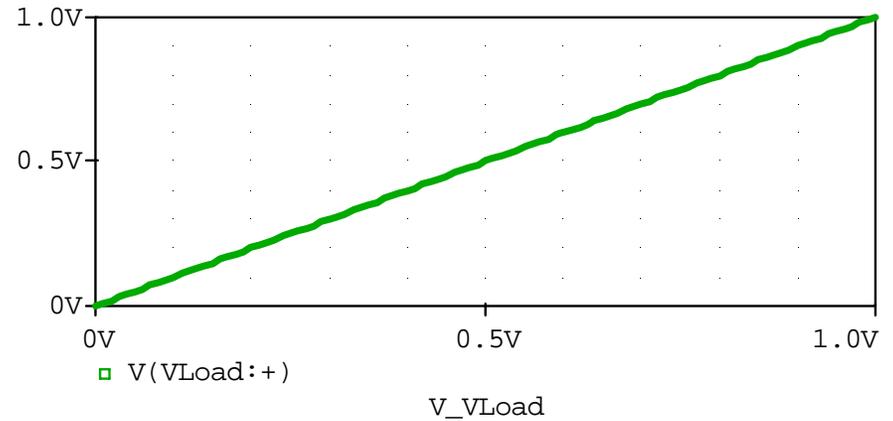
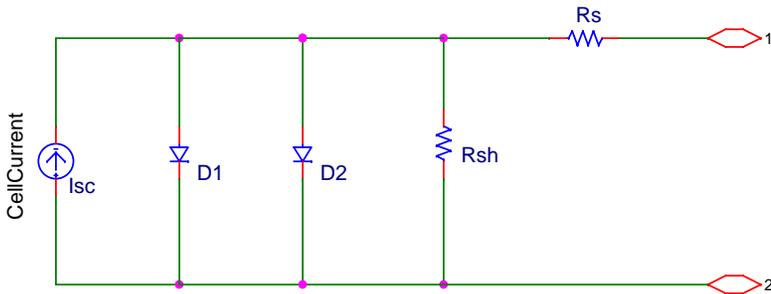
電気特性	データシート	PSpiceA/Dモデル	誤差
最大出力	150W	150.0268W	0.00017%
最大動作電圧	34.5V	35.5V	2.89%
最大動作電流	4.35A	4.2214A	1.8%
開放電圧	43.5V	42.5329V	2.2%V
短絡電流	4.75A	4.7488A	0.0002%



Measurement Results			
Evaluate	Measurement	Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	Max(W(E1))	150.02682	
<input checked="" type="checkbox"/>	XatNth Y(1)(E1)(0,1)	42.53287	
<input checked="" type="checkbox"/>	XatNth Y(1)(E1)(4.35,1)	34.12557	
<input checked="" type="checkbox"/>	YatX(W(E1)(34.5)	149.13362	

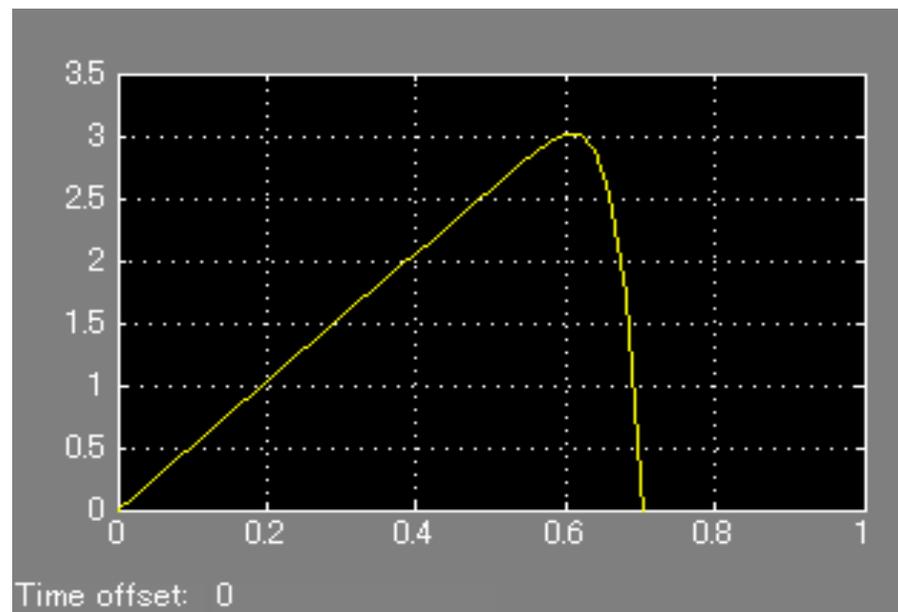
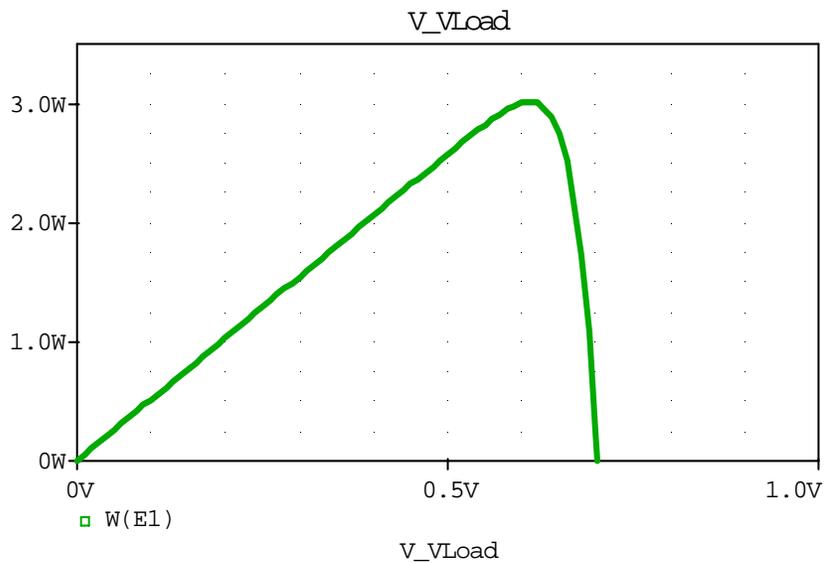
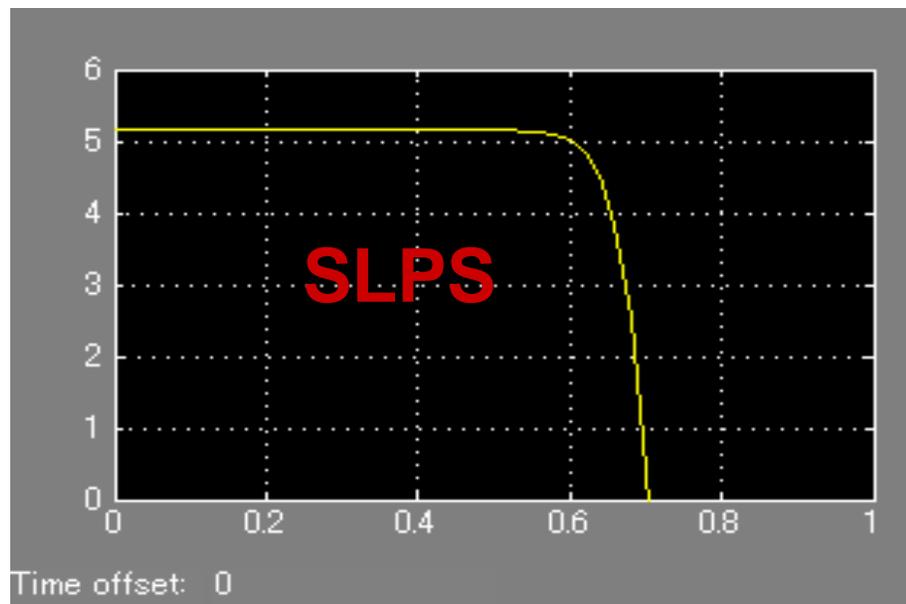
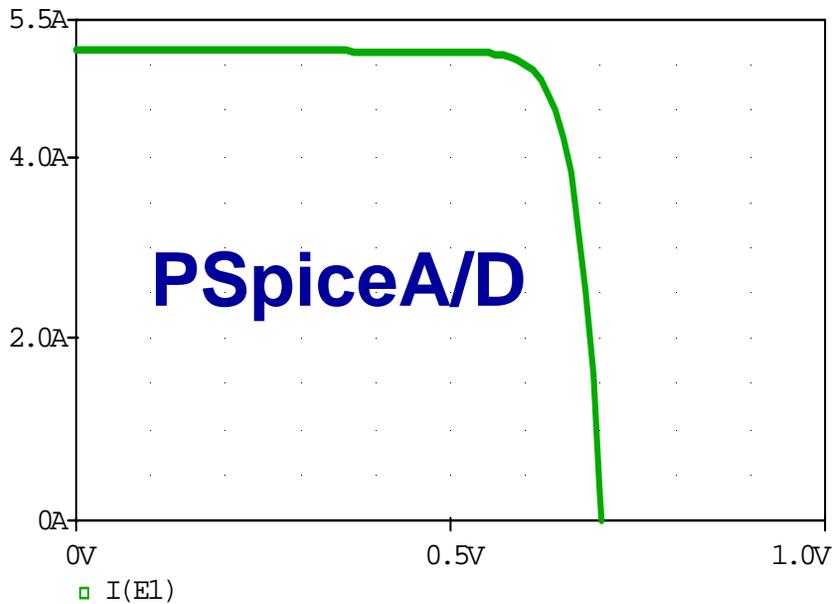
Click here to evaluate a new measurement...

Matlab/Simulink \Leftrightarrow SLPS \Leftrightarrow PSpiceA/D



連成解析

CYBERNET



連成解析

Matlab/Simulink \Leftrightarrow SLPS \Leftrightarrow PSpiceA/D

- ★ PSpiceA/Dにて太陽電池を等価回路に置き換えて特性評価が可能
- ★ 太陽電池を含んだパワーエレクトロニクス回路解析が可能
- ★ Matlab/Simulinkと連成(SLPS)が可能ですので様々なMPPTコントローラをSimulinkで実現し、SLPS経由でパワーエレクトロニクス回路制御が可能

まとめ

- ◇ 太陽電池の等価回路モデル記述について確認しました。
- ◇ **PSpice A/D AAOのOPTIMIZER**を使うことで**太陽電池モデルのパラメータ最適化**が容易にできることを確認しました。
- ◇ **Matlab/Simulinkと連成(SLPS)**することで太陽電池の評価の可能性について確認しました。