

ROHM Solution Simulator

PTC ヒータ 熱シミュレーション

このドキュメントは、PTC (Positive Temperature Coefficient) ヒータの電気シミュレーションと、内蔵デバイスの温度シミュレーションを同時に実行することが可能なシミュレーション環境の紹介と、その使用方法について説明しています。コンポーネントのパラメータを変更することで、さまざまな条件でシミュレーションが可能です。

1 シミュレーション回路

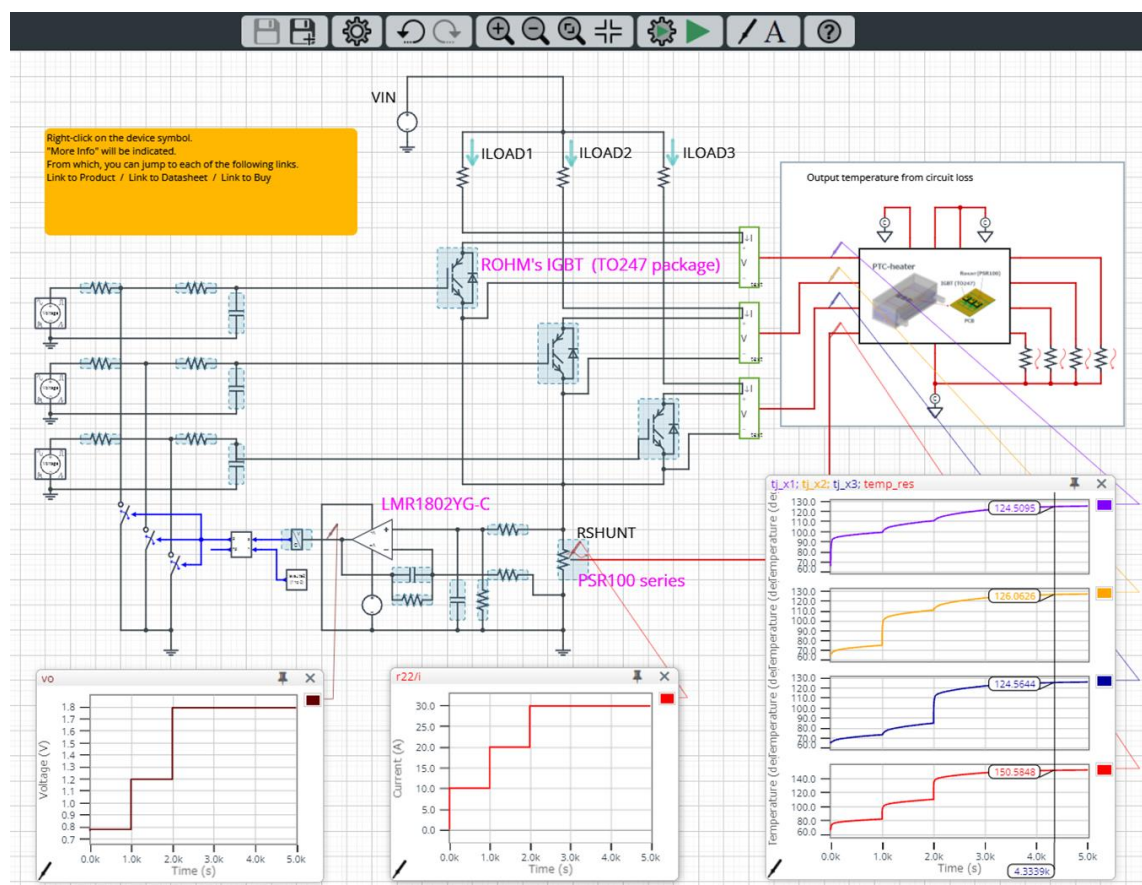


Figure 1. シミュレーション回路

この回路図では、黒と青色の配線は電気シミュレーション回路を、赤色の配線は熱シミュレーション回路を表しています。

この電気回路は、スイッチとなる IGBT が 3 並列の形式です。各 IGBT に負荷抵抗（ヒータ）が接続され、独立して駆動します。負荷電流は 3 つの IGBT で ON/OFF による 3 段階のみの調整で、スイッチングによる細かい調整は想定していません。また、3 つの負荷のトータル電流をシャント抵抗で検出し、過電流を保護する回路を備えています。

熱シミュレーション回路は、電気シミュレーションで算出したデバイスの損失と、一般的な PTC ヒータ（水冷環境を含む）を熱シミュレーションモデル（ROM^{*1}）化し、IGBT とシャント抵抗の温度を算出します。

*1 ROM (Reduced Order Model) : 3D-CAE で作成したモデルを 1D に低次元化する手法を用いたモデル

2 シミュレーションの方法

シミュレーション時間や収束オプションなどのシミュレーション設定は、Figure 2 に示す “Simulation Settings” から設定可能で、Table 1 はシミュレーションの初期設定を示しています。

シミュレーションの収束に問題がある場合は、詳細オプションを変更して解決することができます。電気回路のシミュレーション温度と各種パラメータは、“Manual Options” で定義されています。

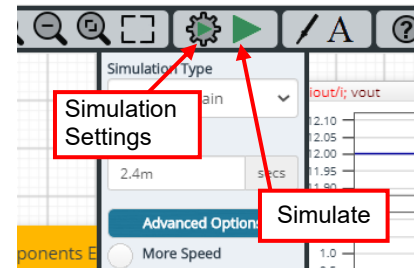


Figure 2. Simulation Settings と実行

Table 1. Simulation settings の初期値

パラメータ	初期値	備考
Simulation Type	Time-Domain	シミュレーションタイプは変更しないでください
End time	5000 secs	
Advanced Options	More Speed	
Manual Options	.TEMP 100	電気回路のシミュレーション温度 IGBT の収束温度ぐらいに設定してください
	.PARAM ...	詳細は Table 2 を参照

3 シミュレーション条件

3.1 パラメータの定義

Figure 3 の青色で示したコンポーネントは、シミュレーション条件を設定する必要があるため、マニュアルオプションでパラメータを定義しています。

Table 2 に、各パラメータの初期値を示します。これらの値は、Figure 4 に示すようにシミュレーション設定の “Manual Options” にてテキストボックスに書き込みます。

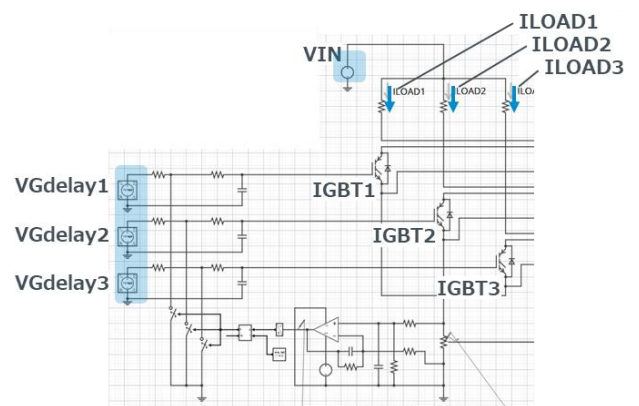


Figure 3. コンポーネントのパラメータ定義

Table 2. シミュレーション条件

パラメータ	変数名	初期値	単位	説明
V _{IN}	V_VIN	400	V	
I _{LOAD1}	I_LOAD1	10	A	
I _{LOAD2}	I_LOAD2	10	A	
I _{LOAD3}	I_LOAD3	10	A	
VG _{delay1}	VG_delay1	0	sec	IGBT1 が ON するタイミング
VG _{delay2}	VG_delay2	1000	sec	IGBT2 が ON するタイミング
VG _{delay3}	VG_delay3	2000	sec	IGBT3 が ON するタイミング

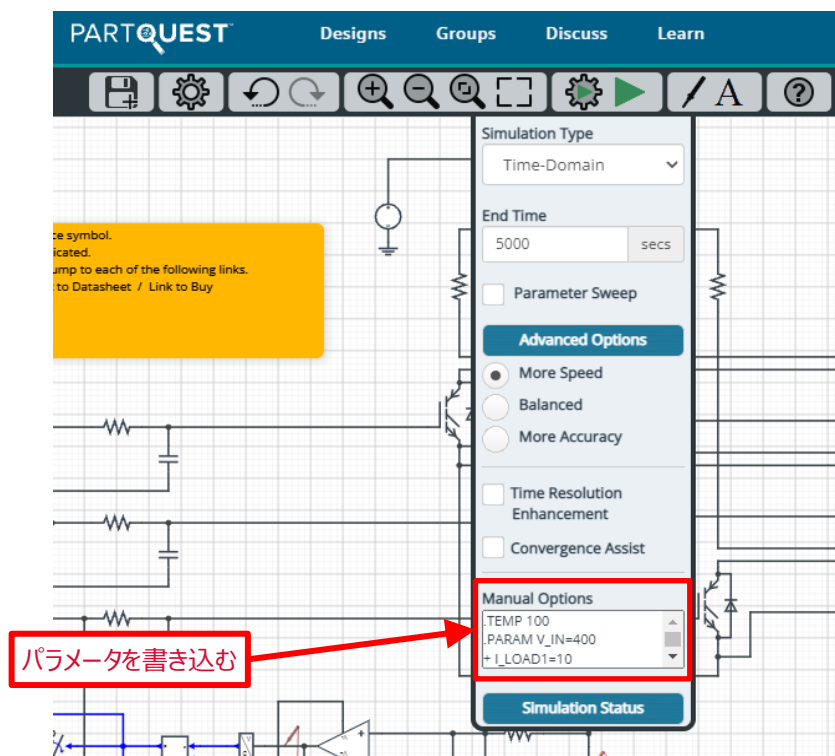


Figure 4. パラメータの定義

3.2 過電流保護

Figure 5 に過電流保護回路を示します。負荷電流は、シャント抵抗とオペアンプを使ったローサイドセンシング回路で検出します。負荷に流れるトータル電流は、シャント抵抗によって ΔV_{SHUNT} の電圧が発生します。この電圧をオペアンプで差動増幅し、“Voltage to Digital” 段のしきい値を超えると次段のスイッチが ON し保護を開始します。オペアンプの入力オフセット電圧を無視した場合、オペアンプの出力 V_O は以下の式で表せます。

$$V_O = I_{LOAD} \times R_{SHUNT} \times \frac{R_2}{R_1} \quad [V]$$

デフォルト回路は、 $I_{LOAD}=30A$ 、 $R_{SHUNT}=1m\Omega$ 、 $R_1=2k\Omega$ 、 $R_2=120k\Omega$ となっているため $V_O=1.8V$ が出力されます。“Voltage to Digital”のしきい値は 2V（過電流 $\approx 33.3A$ ）に設定しているため保護は動作しません。

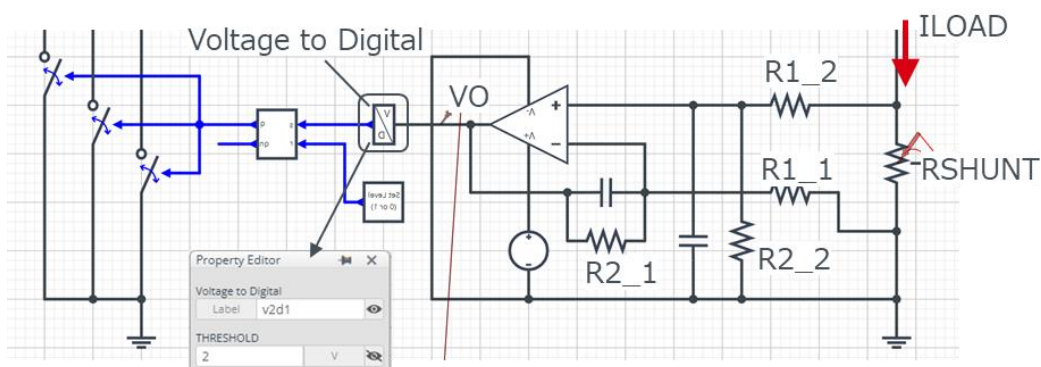


Figure 5. 過電流保護回路

3.3 熱回路

Figure 6 の “PTC-heater” シンボルは、PTC ヒータの熱シミュレーションモデル（ROM）です。また、PTC ヒータ熱シミュレーションモデルの端子説明を Table3 に示します。

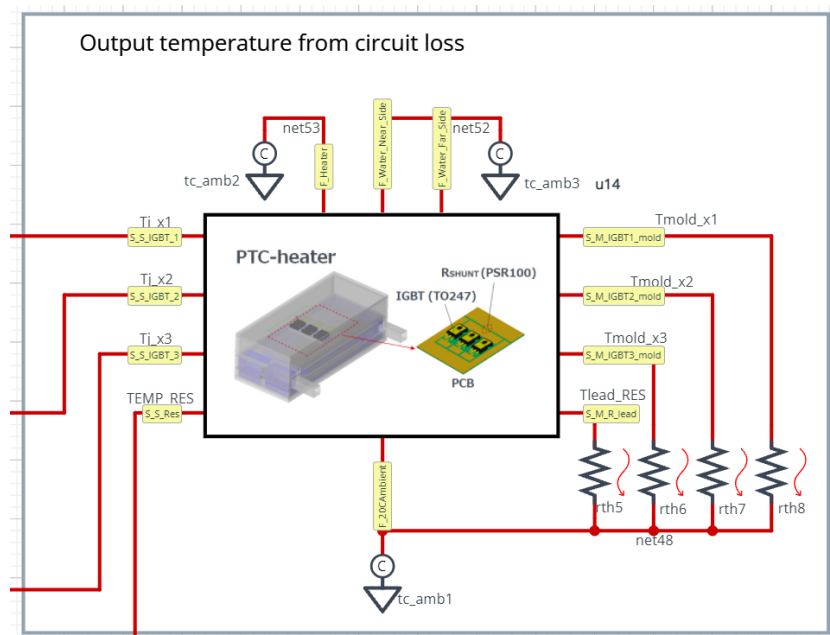


Figure 6. PTC heater 熱シミュレーションモデル

Table 3. 熱シミュレーションモデルの端子説明

端子名	説明
S_S_IGBT_1	IGBT1 の損失を入力し、 T_J をモニターする
S_S_IGBT_2	IGBT2 の損失を入力し、 T_J をモニターする
S_S_IGBT_3	IGBT3 の損失を入力し、 T_J をモニターする
S_S_Res	RSHUNT の損失を入力し、 T_J をモニターする
F_Heater	ヒータ温度
F_Water_Near_Side	冷却水の温度(入口)
F_Water_Far_Side	冷却水の温度(出口)
F_20CAmbient	周囲温度
S_M_IGBT1_mold	IGBT1 のモールド温度をモニターする（ハインピーダンスで受ける）
S_M_IGBT2_mold	IGBT2 のモールド温度をモニターする（ハインピーダンスで受ける）
S_M_IGBT3_mold	IGBT3 のモールド温度をモニターする（ハインピーダンスで受ける）
S_M_R_lead	RSHUNT のリード温度をモニターする（ハインピーダンスで受ける）

- S_S_xxxx 端子は、デバイスの損失を入力することで、デバイスの温度をモニターすることができます。
- F_xxxx 端子には “tc_amb” を接続し、その場所の温度に設定します。
- S_M_xxxx 端子は、IGBT のモールド温度、シャント抵抗のリード温度をモニターすることができます。

4 部品リスト

Figure 7 に主なコンポーネント名を示します。各コンポーネントの初期値は Table 4 を参照してください。コンポーネントの中には、使用する部品を予めセットされた品名リストから選択できるものがあります。変更可能な部品と品名リストを Table 5 に示します。品名変更は Figure 8 のように、コンポーネント上でマウスを右クリックし、“Properties” を選択します。“Property Editor” の “Spicelib Part” から使用する品名を選択します。

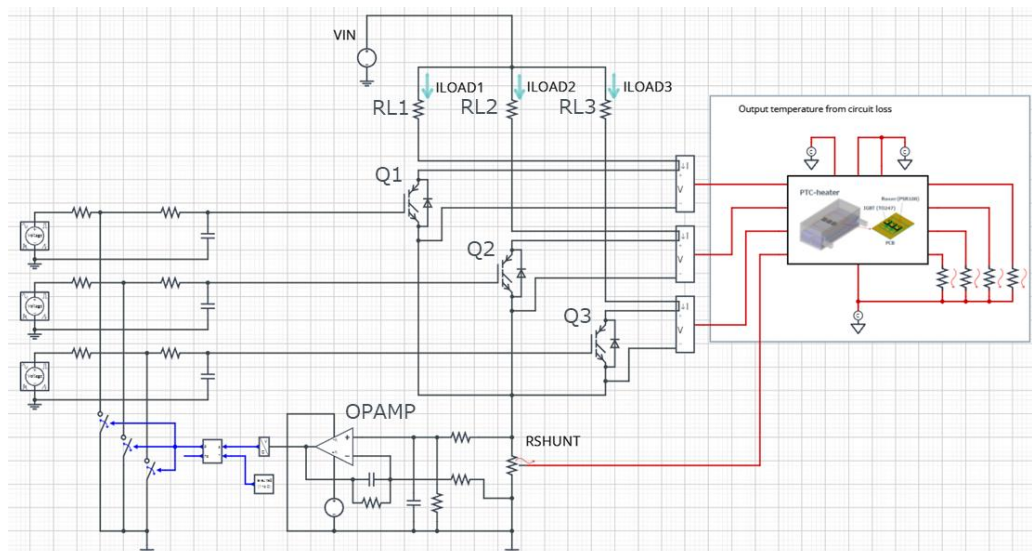


Figure 7. 主なコンポーネント名

Table 4. コンポーネントの初期値

コンポーネント名	機能	初期値	備考
Q1, Q2, Q3	IGBT	RGS00TS65D	TO247 パッケージ 変更可能
RSHUNT	Resistor	1mΩ	PSR100 シリーズ 定数選択可能
RL1, RL2, RL3	Load Resistor	{Vin/ILOADx}	固定
OPAMP	Op-amp	LMR1802YG-C	Datasheet model

Table 5. 変更可能な部品と品名リスト

コンポーネント名	機能	品名	仕様
Q1, Q2, Q3	IGBT	RGC80TSX8R	1800V, 40A
		RGCL60TS60D	600V, 30A
		RGCL80TS60D	600V, 40A
		RGS00TS65D	650V, 50A
		RGS00TS65E	650V, 50A
		RGS50TSX2DHR	1200V, 25A
		RGS60TS65D	650V, 30A
		RGS80TS65D	650V, 40A
		RGS80TSX2DHR	1200V, 40A
		RGT00TS65D	650V, 50A
		RGT40TS65D	650V, 20A
		RGT50TS65D	650V, 25A
		RGT60TS65D	650V, 30A
		RGT80TS65D	650V, 40A
		RGTH00TS65D	650V, 50A
		RGTH40TS65D	650V, 20A
		RGTH50TS65D	650V, 25A
		RGTH60TS65D	650V, 30A
		RGTH80TS65D	650V, 40A
		RGTV60TS65D	650V, 30A
		RGW00TS65D	650V, 50A
		RGW60TS65D	650V, 30A
		RGW80TS65D	650V, 40A

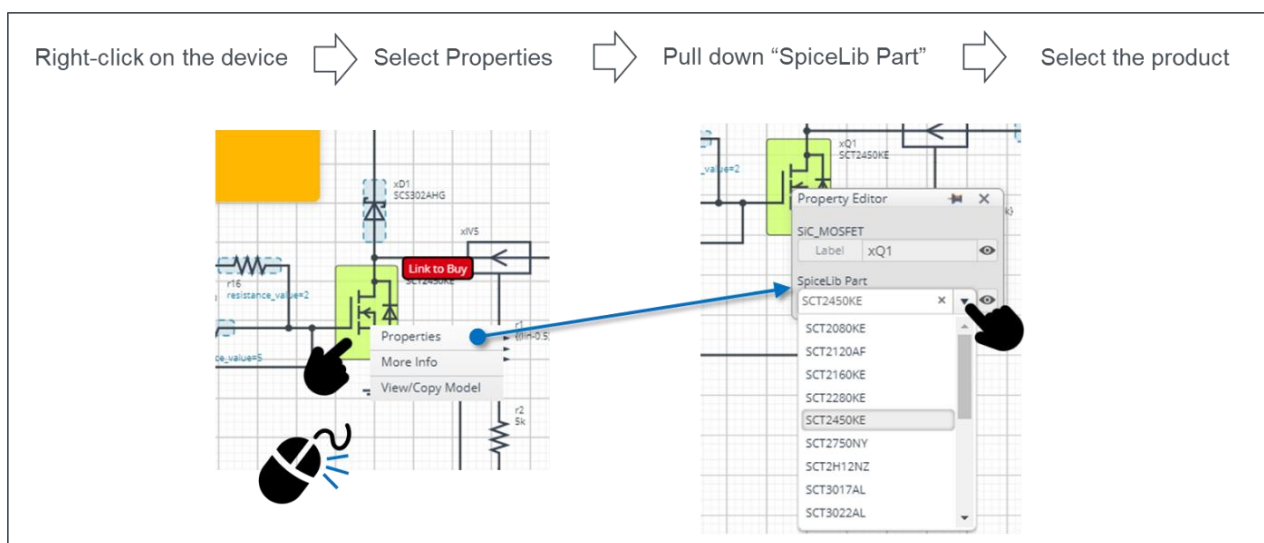


Figure 8. 使用する品名を変更する

5 関連文書へのリンク

5.1 製品

[IGBT \(TO247 パッケージ\)](#)

[シャント抵抗器 PSR シリーズ](#)

[グランドセンス オペアンプ](#)

5.2 アプリケーションノート

[ローサイド電流センシング回路設計](#)

参考：PTC ヒータ熱シミュレーションモデルについて

熱シミュレーションモデル（ROM）作成に使用した 3D モデルのイメージを Figure A に示します。また構造情報を Table A に示します。

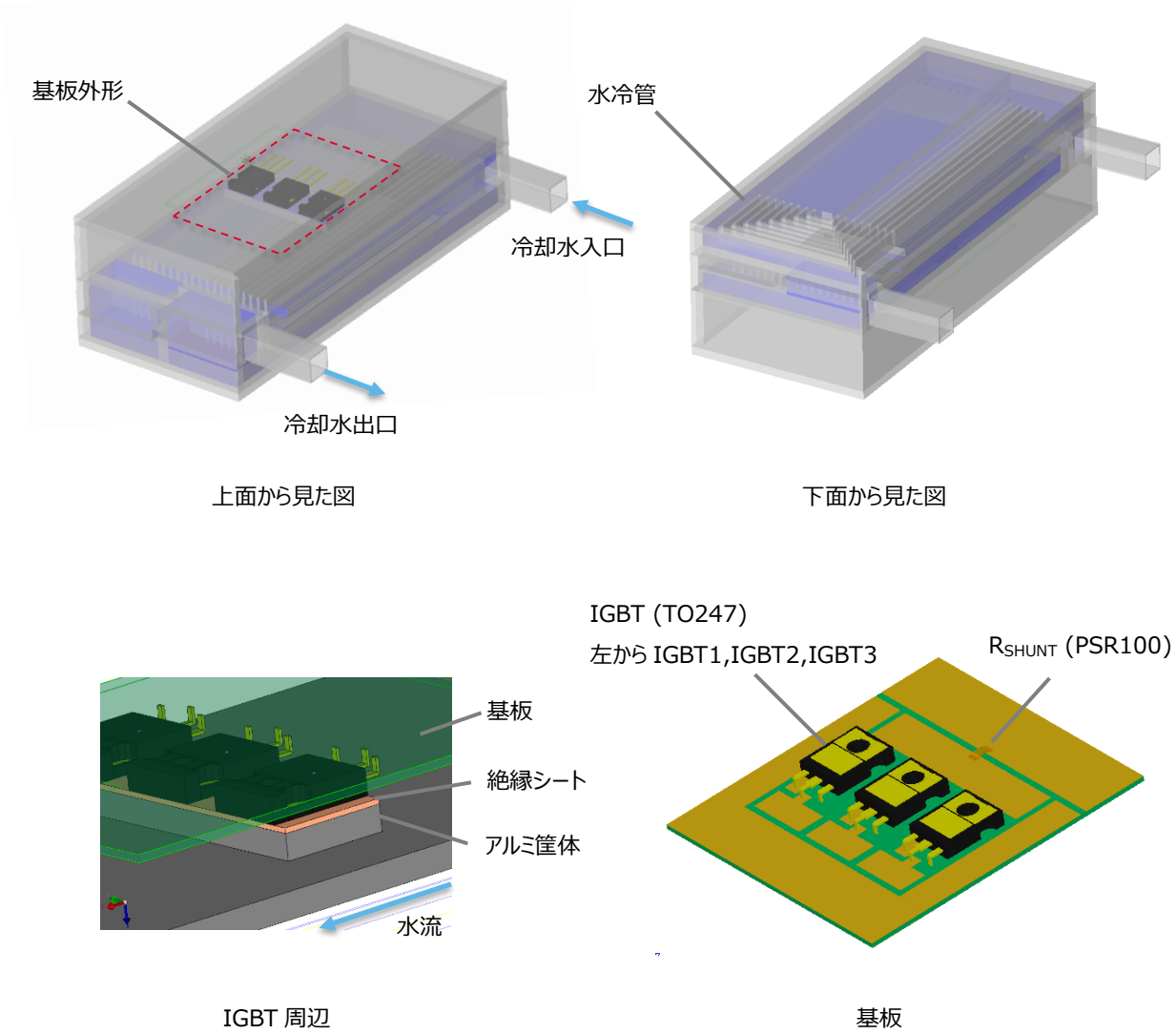


Figure A. PTC ヒータ 3D イメージ

Table A. 構造情報

構造部位	説明
アルミ筐体	外形寸法：250mm × 110mm × 120mm
基板	外形寸法：100mm × 90mm × 1.6mm 基板材質：FR-4 銅箔厚：70μm（2 oz 銅箔）
絶縁シート	厚み：1mm

* シミュレーション時間短縮のために、アルミ筐体部分の熱容量は考慮していません。

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したものです。万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上でご使用ください。
お客様にかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.co.jp/contact/>