



LPBの熱拡張で変わるLED設計

LEDシステムの光,熱1D,回路によるマルチドメイン検証

ローム株式会社
アプリケーションエンジニア部
瀧澤 登

アジェンダ

1. 背景
2. LPB 熱拡張でどう変わるか
3. LEDライトシステムの難しさ
4. LEDライトシステム理想的な検証
5. 光、熱、電気のマルチドメインモデルで可能になること
6. 発熱による放熱の広がり
7. 放熱経路抽出と注意点
8. VHDL-AMSでの解決手法とメリット
9. VHDL-AMS モデル
10. LED動作確認シミュレーション結果
11. LEDモデルを使用しての検証例
12. 業界活動
13. フリーシミュレーション環境とデモ
14. まとめ

1. 背景

LEDシステムの回路開発において現在はSPICEを使用している為電流値を結果として検証しております。この為、LEDやLEDドライバーの自己発熱や動作環境により目的の明るさに対してずれが生じていました。

これを解決するためマルチドメイン環境(VHDL-AMS)でモデル化する事で明るさを解とし熱、電気との協調設計でこれが解決できるようになります。しかし、従来、VHDL-AMS単体では回路と熱回路網の連携を行う準備にかなりの工数が必要でした。

LPBに熱関連が追加されることで、この工数の低減が見込まれ、熱と回路の連成解析が一般的なエンジニアまで広がることでしょう。この発表で熱を含んだ検証が広がる参考となれば幸いです。

2. LPB 熱拡張でどう変わるか

従来 回路(電流)熱(温度) 明るさが別々



回路(電流)熱(温度)関連づいた検証が可能

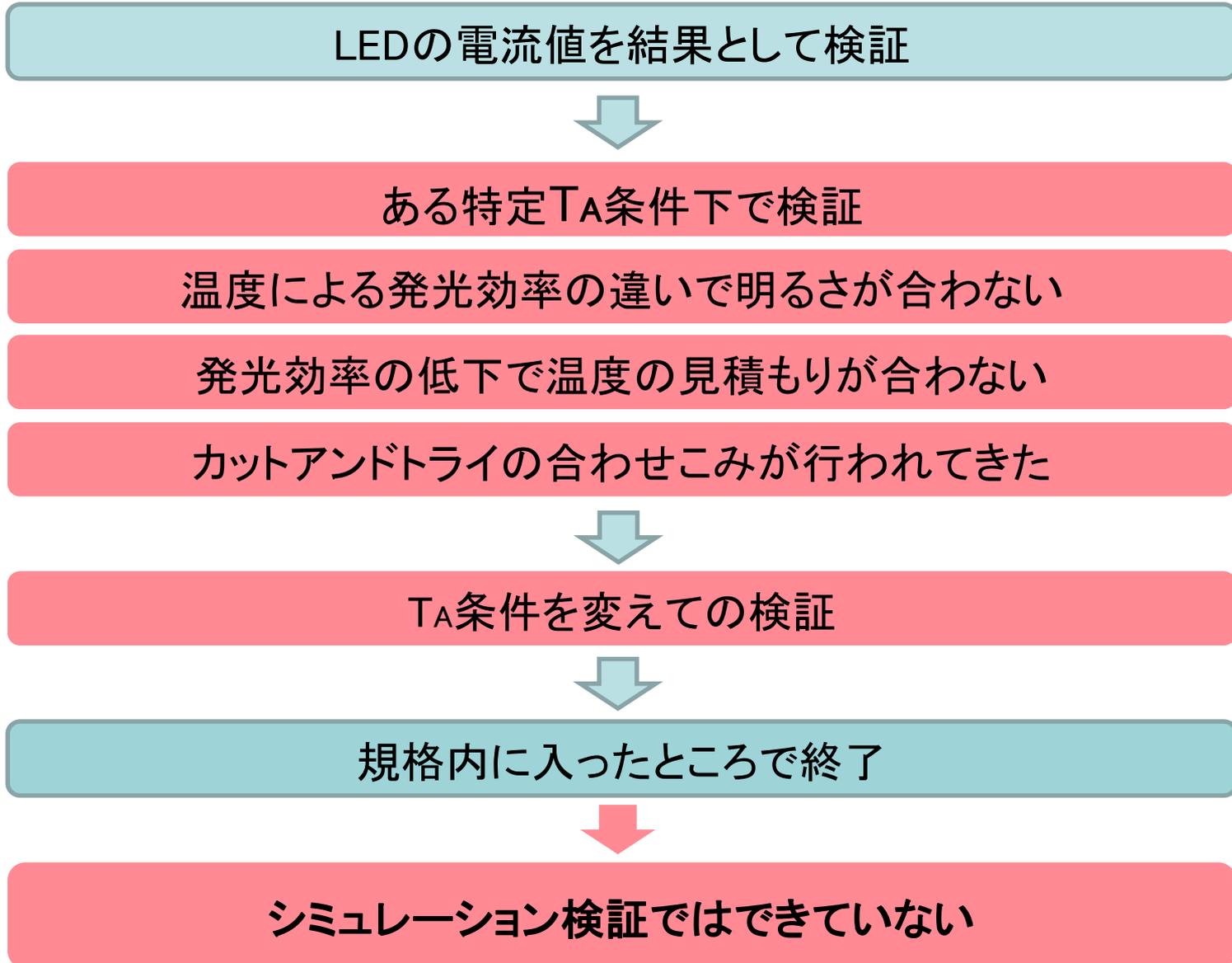


回路(電流)熱(温度)が決まれば明るさも決まる



明るさ 回路(電流)熱(温度) の検証ができる

2.2 従来の設計と検証(明るさの対応)



人手による経験値からのカットアンドトライ

2.3 回路シミュレーションSPICE VS. VHDL-AMS

SPICE検証

- 電流で等価的な結果での検証
- 自己発熱を含めない検証
- サーミスター等による温度制御は周辺温度を変えて等価検証
- ファンなどのクーリング制御は周辺温度を変えて等価検証



VHDL-AMS検証

- 光量での結果検証
- 自己発熱による変動を含めた検証
(基板や周辺状態 熱抵抗 熱容量 熱流での1D化で)
- サーミスター等による温度ディレーティング制御
(動作検証)
- ファンなどのクーリング制御
(動作検証)

3. LEDライトシステムの難しさ

LEDを点灯させると温度が上昇する

温度上昇による V_f の変動(消費電力の低下)

温度上昇による発光効率の変動(消費電力の増加)

温度上昇による明るさの変動(明るさの低下)

複数LEDの熱の相互干渉

LEDドライバーからの発熱

放熱経路モデル (熱とエレキとは別れていることが多い)

3. LEDライトシステム システム検証

ランプ開発の問題点の改善要求



動作時のLEDの明るさの検証が必要

動作時のLEDの温度の検証が必要

PWM駆動時のLEDのピーク温度検証

PWM駆動時のLEDドライバーのピーク温度検証



電気、熱、光のマルチドメインでのLEDモデル
電気、熱、光の相互検証(シミュレーション)

4. LEDライトシステム理想的な詳細検証

動作時のLEDの明るさでの検証

動作時のLEDの温度の検証

PWM駆動時のLEDのピーク温度検証

PWM駆動時のLEDドライバーのピーク温度検証



電気、熱、光のマルチドメインでのLEDモデル
電気、熱、光の相互検証(シミュレーション)



本来必要な明るさでの検証
放熱に関する検討も可能に

5. 光、熱、電気のマルチドメインモデルで可能になること

自己発熱を含めての熱検討(正確な放熱経路を使用しての)

LEDの多燈制御の検討

LEDの光量をターゲットとした最適化設計



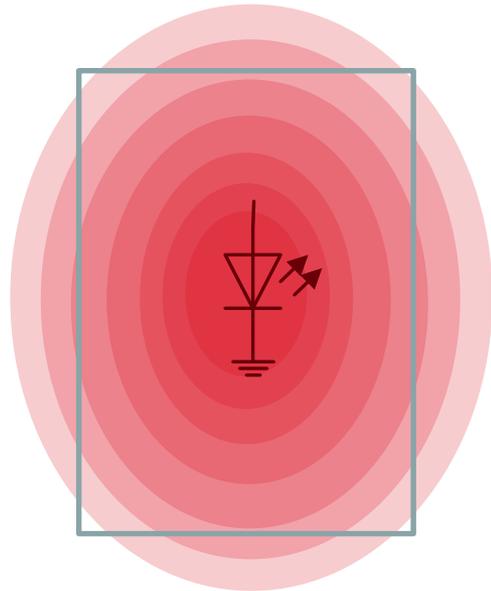
設計・検証の自動化



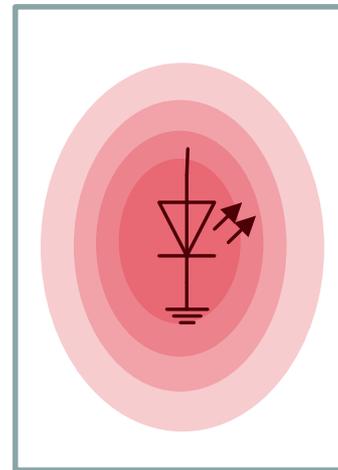
工数・設計コスト削減

6. 発熱による放熱の広がり

発熱量で熱抵抗は変わります



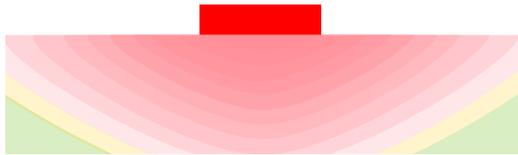
発熱量が多い場合



発熱量が少ない場合

6. 発熱量による放熱の広がり

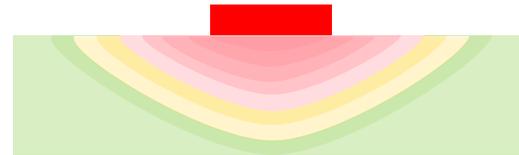
発熱量で熱抵抗は変わります



発熱量が多い場合



熱抵抗が高い



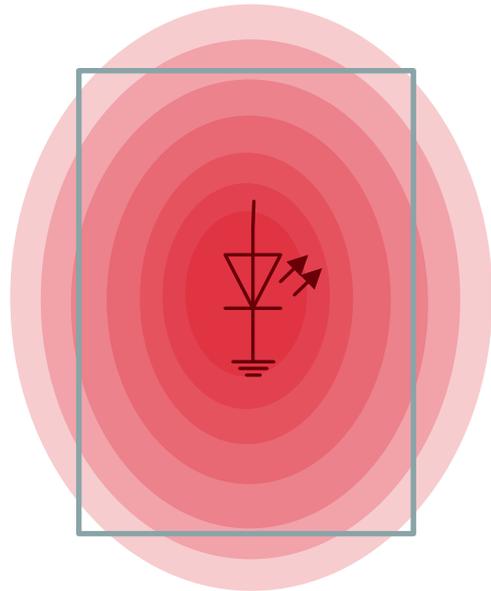
発熱量が少ない場合



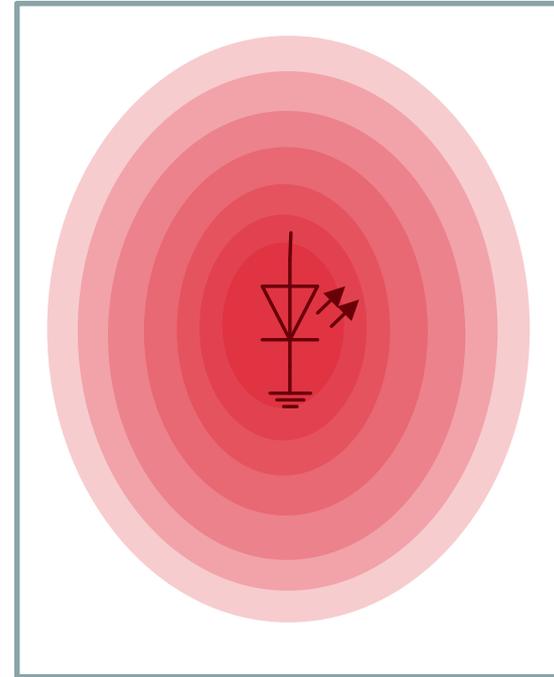
熱抵抗が低い

6. 発熱による放熱の広がり

基板の有効面積で熱抵抗は変わります



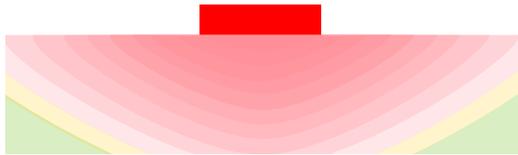
基板面積が小さい場合



基板面積が大きい場合

6. 発熱量による放熱の広がり

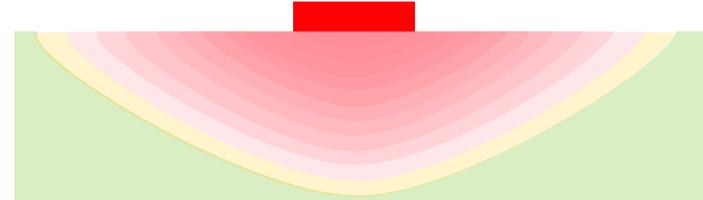
基板の有効面積で熱抵抗は変わります



基板が小さい場合



熱抵抗が高い



基板が大きい場合



熱抵抗が低い

7. 放熱経路抽出と注意点

CAD図面では理想的な平面で接します

実際は凹凸があり接触面積が異なります

CFDと実測のキャリブレーションを行う補正が必要

発熱量の変動に伴う熱抵抗の変動

多点でのCFD検証で熱抵抗の近似化

放熱面積サイズから来る飽和への配慮

多点でのCFD検証で熱抵抗の近似化

8. VHDL-AMSでの解決手法とメリット

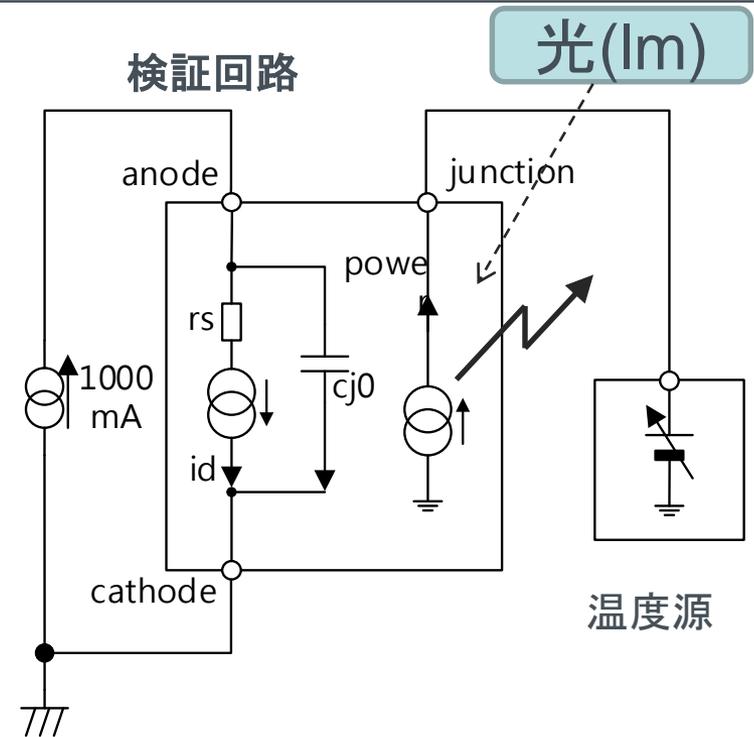
VHDL-AMSでのメリット

- マルチドメインでの結果が出来る
 - 光量 (lm)
 - 温度 ($^{\circ}\text{C}$, K)
 - 電力 (W)
 - 熱抵抗 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$, K/W)
 - 熱容量 (J/K)
 - 熱輻射
 - メカニカル (ファンによる空冷制御など)
- 回路 発熱 発光の3ドメインでのシミュレーションが可能
- 熱シミュレータに比較して非常に高速
 - 熱関連を1D化して回路と熱の練成シミュレーションが
実用レベルの速度出来る。
 - (熱抵抗 熱容量 熱流量 と 発熱でモデル化を行う)

9.1 VHDL-AMS モデル

LED モデルに含める機能

- 光量 (lm)は電流と温度の発光効率から
- 発熱は電流,電圧,,ジャンクション温度、効率から
- ジャンクション温度によるVf変動 発光効率変動
- 外部の熱抵抗網が正しければ温度のダイナミックな変動もあいます



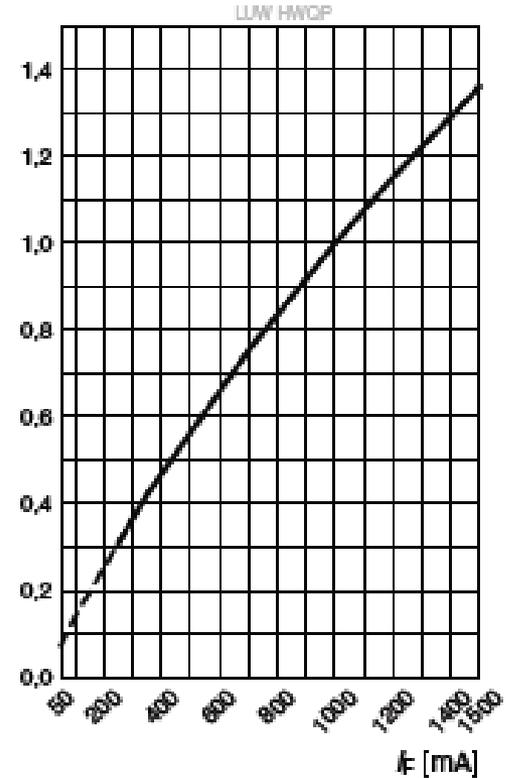
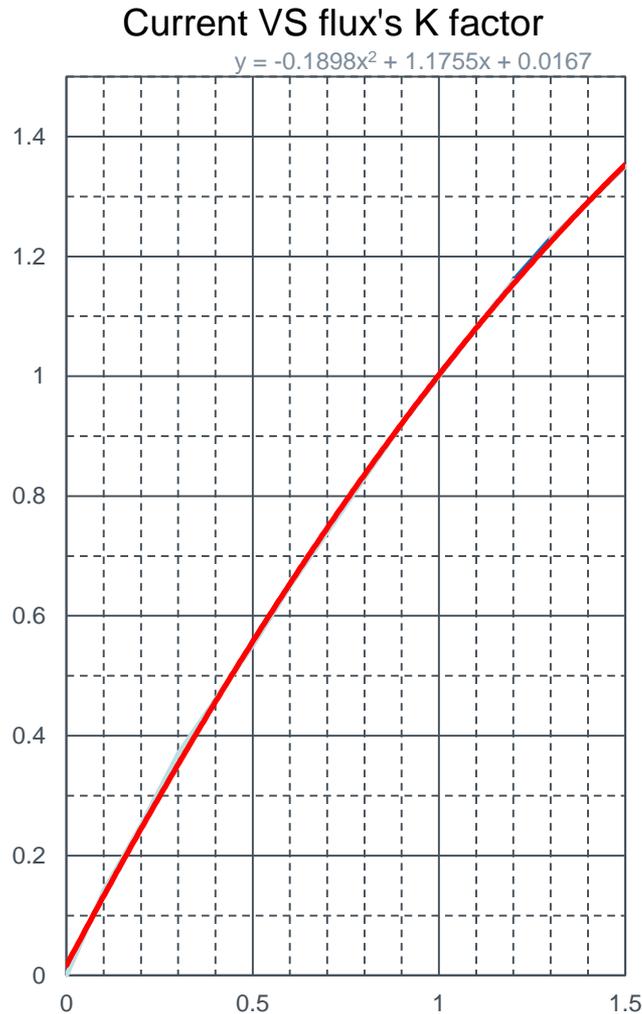
作成手順

- $V_f(V)$ の温度特性をデータシートから近似式を作成します
- 光量 (lm) の温度特性をデータシートから近似式を作成します
- 光量から光のエネルギーになった分を求めます ($IW = lm/683$)
- 発熱量 電流 $\times V_f - lm/683$ で求められます

9.2 VHDL-AMS モデル

近似式 電流 VS. 明るさ係数 (1A時を1として)

If(A)	K
0	0
0.1	0.14
0.2	0.25
0.3	0.37
0.4	0.46
0.5	0.55
0.6	0.65
0.7	0.74
0.8	0.83
0.9	0.92
1	1
1.1	1.08
1.2	1.16
1.3	1.23
1.4	1.29
1.5	1.35

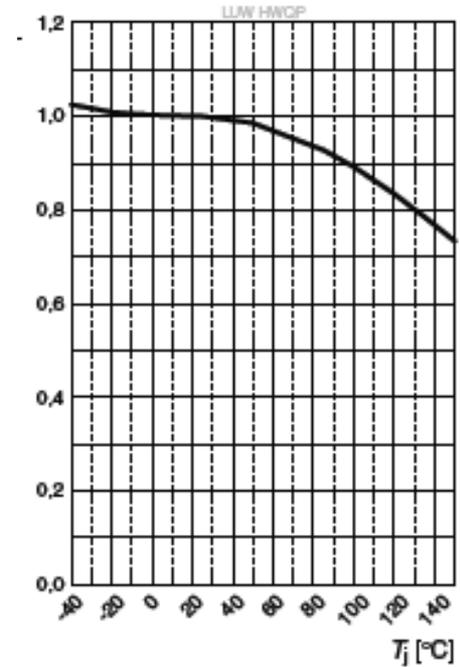
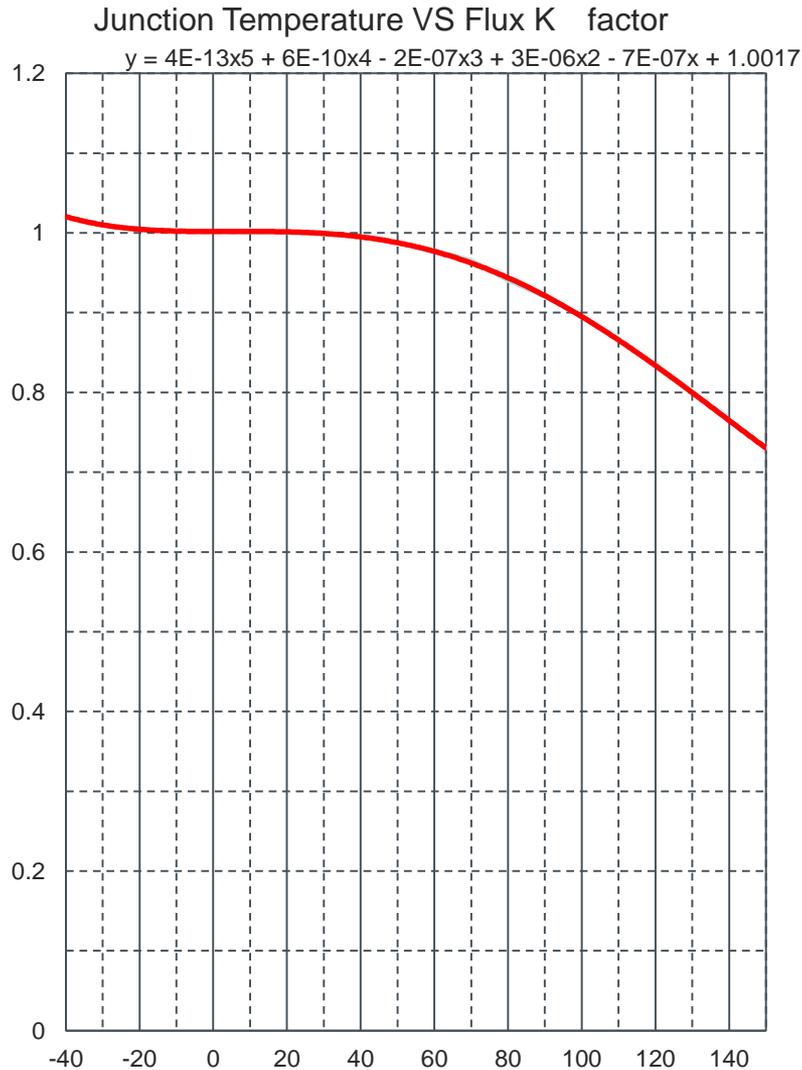


仕様書のスナップショット

9.3 VHDL-AMS モデル

近似式 電流 VS. 明るさ係数 (25°C時を1として)

Tj	K
-40	1.02
-30	1.01
-20	1.005
-10	1.003
0	1.002
10	1.001
20	1
30	0.998
40	0.996
50	0.988
60	0.978
70	0.966
80	0.94
90	0.92
100	0.895
110	0.865
120	0.835
130	0.8
140	0.765
150	0.73

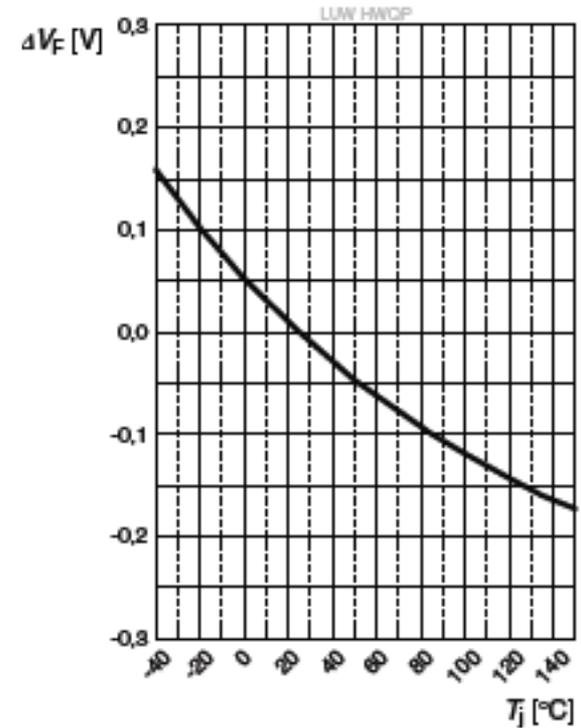
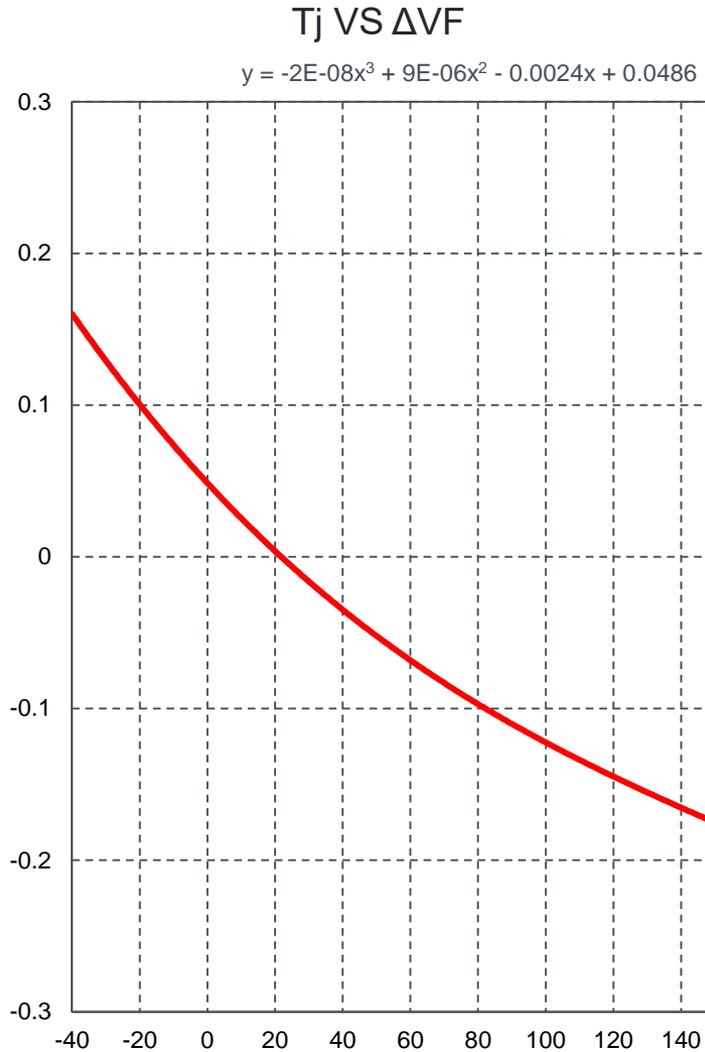


仕様書のスナップショット

9.4 VHDL-AMS モデル

近似式 電流 VS. Vf変化(25度時を基準として)

Tj	ΔVF
-40	0.16
-30	0.129
-20	0.1
-10	0.075
0	0.049
10	0.025
20	0.0024
30	-0.016
40	-0.035
50	-0.052
60	-0.068
70	-0.083
80	-0.098
90	-0.11
100	-0.122
110	-0.134
120	-0.145
130	-0.155
140	-0.166
150	-0.175



9.5 VHDL-AMS モデル

LED モデル

使用するライブラリー宣言

```
library IEEE;  
use IEEE.math_real.all;  
use IEEE.electrical_systems.all;  
use IEEE.FUNDAMENTAL_CONSTANTS.all;  
use IEEE.energy_systems.all;  
use IEEE.RADIANT_SYSTEMS.all;
```

電力計算用

光量計算用

```
library SVWebLib;  
use SVWebLib.thermal_c_systems.all;
```

熱計算用(摂氏に変えたもの)

9.6 VHDL-AMS モデル

続き

変数宣言

```
entity LED_th_OSLON_lum2 is
```

```
  generic (I_fwd      : current      := 500.0e-3;
           V_fwd      : voltage      := 3.5;
           lumens_nominal : LUMINOUS_FLUX := 350.0;
           r_off       : resistance   := 100.0e3;
           I_fwd_pulse_max : current   := 100.0e-3;
           V_rev_max    : voltage     := 5.0;
           Power_avg_max : power      := 120.0e-3;
           tau         : real         := 0.01);
```

ポート宣言

```
port (terminal p, n : electrical,
      terminal th : thermal);
```

電気的なPin宣言

熱のPin宣言

```
begin
```

```
  assert I_fwd > 0.02
```

```
    report "I_fwd must be greater than 0.02"
```

```
    severity error;
```

```
end entity LED_th_OSLON_lum2;
```

9.7 VHDL-AMS モデル

続き

動作の記述

architecture default of LED_th_OSLOM_lum2 is

```
quantity v_led across i_led through p to n;
quantity heat_output through thermal_c_ref to therm;
quantity temp_int across power_dissipated through thermal_c_ref to therm;
constant efficacy : real := lumens_nominal/(I_fwd*V_fwd);
constant i_knee : current := 0.1*I_fwd;
quantity vt : voltage ;
quantity V_fwd_t : voltage ;
quantity Isat : current ;
quantity r_on : resistance ;
quantity i_on : current ;
quantity v_knee : voltage ;
quantity stress_ratio_I_fwd_pulse : real := 0.0;
quantity stress_ratio_V_rev : real := 0.0;
quantity stress_ratio_Power_avg : real := 0.0;
quantity power_dissipated_avg : power := 0.0;
quantity lumens_instantaneous : LUMINOUS_FLUX := 0.0;
quantity lumens_perceived : LUMINOUS_FLUX := 0.0;
quantity lumens_th_factor : real := 1.0;
constant tau_eye_lpf : real := 1.0/(15.0*2.0*math_pi);
```

9.8 VHDL-AMS モデル

続き

begin

```
V_fwd_t == 2.0e-8*temp_int**3 + 9.0e-6*temp_int**2 + 0.0024*temp_int+ 0.0486;
```

```
v_knee == 0.7*V_fwd + V_fwd_t;
```

```
vt == (v_fwd + V_fwd_t - v_knee)/Log(i_fwd/i_knee);
```

```
Isat == i_fwd/Exp((v_fwd + V_fwd_t)/vt);
```

```
r_on == vt/(Isat*Exp((v_fwd + V_fwd_t)/vt));
```

```
i_on == Isat*(Exp((v_fwd + V_fwd_t)/vt) - 1.0);
```

```
if v_led < V_fwd use
```

```
  i_led == Isat*(Exp(v_led/vt) - 1.0) + v_led/r_off;
```

```
else
```

```
  i_led == (v_led - V_fwd - V_fwd_t)/r_on + i_on + v_led/r_off;
```

```
end use;
```

```
-- Stress Ratio Calculations and heat flow
```

```
stress_ratio_I_fwd_pulse == i_led/I_fwd_pulse_max;
```

```
stress_ratio_V_rev == -1.0*v_led/V_rev_max;
```

```
power_dissipated == v_led*i_led - lumens_instantaneous/683.0;
```

```
power_dissipated_avg == power_dissipated - tau*power_dissipated_avg'dot;
```

```
stress_ratio_Power_avg == power_dissipated_avg/Power_avg_max;
```

温度によるVf変動式

ダイオード特性

発光効率

9.9 VHDL-AMS モデル

続き

```
heat_output == power_dissipated;
```

温度による明るさの変動式

```
-- For information only
```

```
lumens_th_factor == -4.0e-13*temp_int**5 + 6.0e-10*temp_int**4 +2.0e-7  
*temp_int**3+3.0e-6*temp_int**2+7.0e-7*temp_int+1.0017;
```

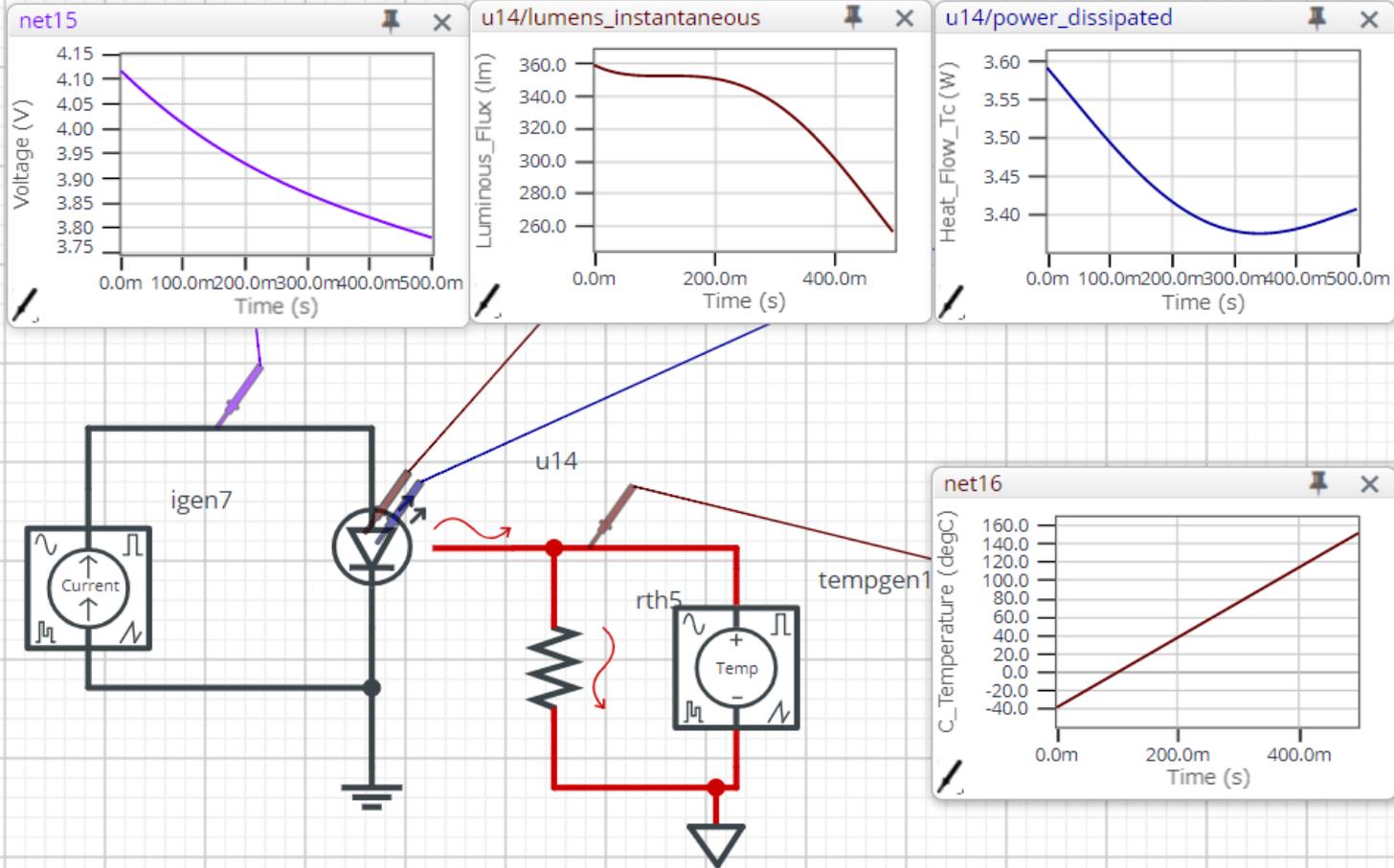
電流による明るさの変動式

```
lumens_instantaneous == (-0.1996*i_led**2+1.1951*i_led+0.0071)  
*lumens_nominal*lumens_th_factor;
```

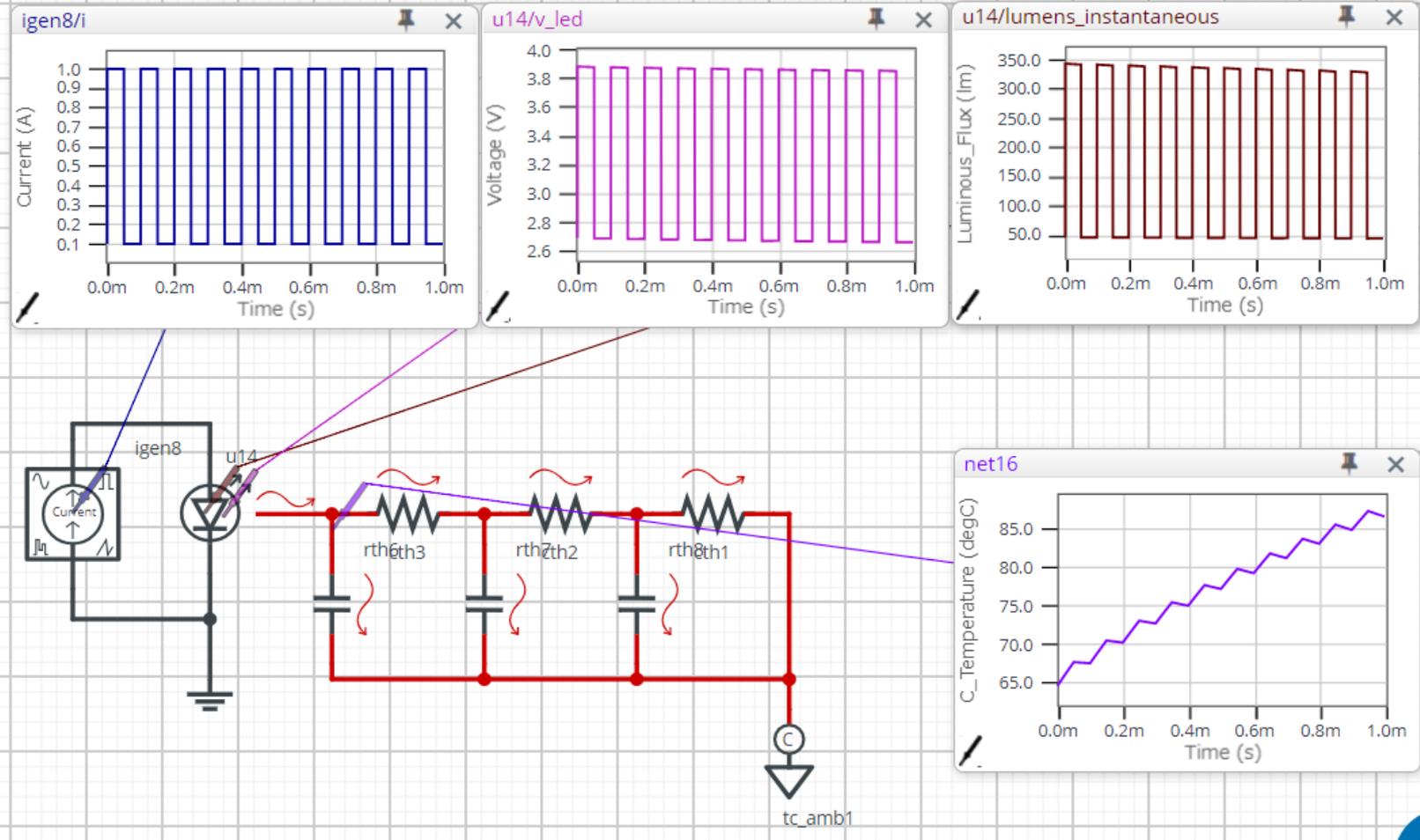
```
lumens_perceived == lumens_instantaneous - tau_eye_lpf*lumens_perceived'dot;
```

```
end architecture default;
```

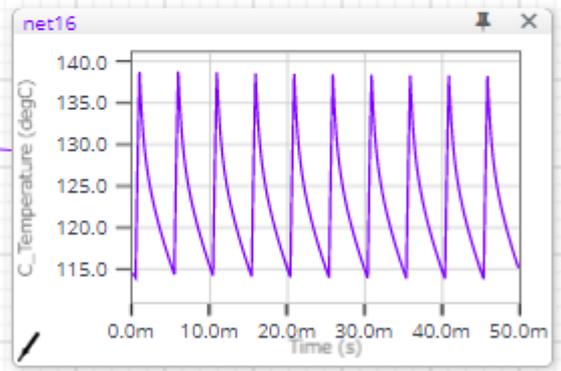
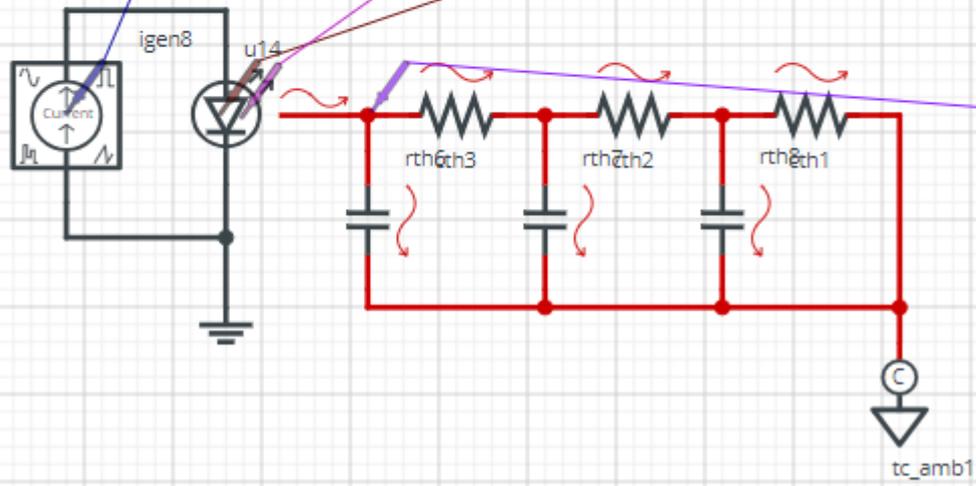
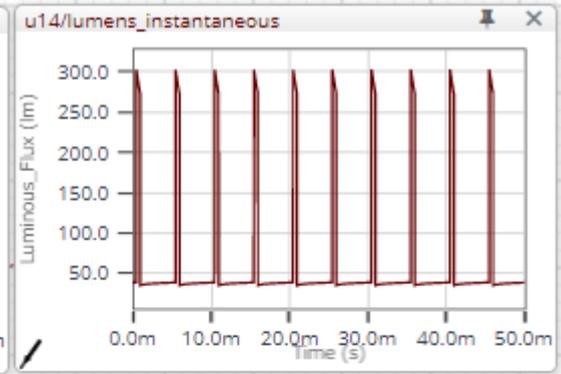
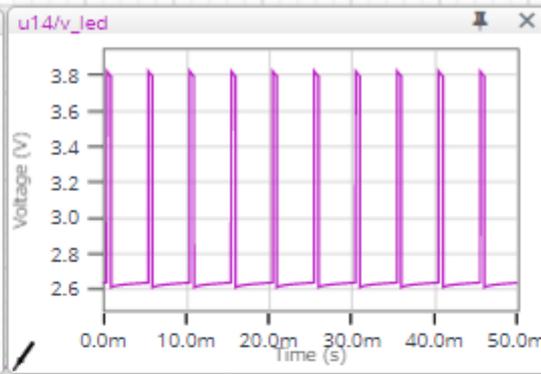
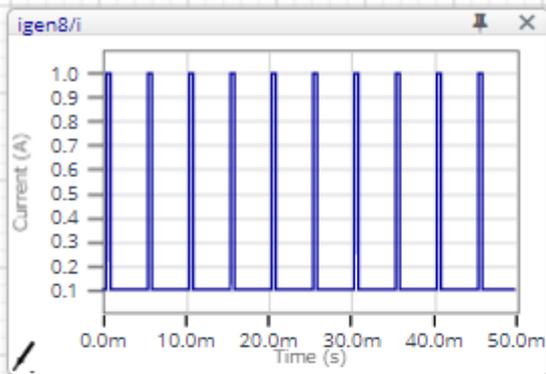
10.1 LED動作確認シミュレーション結果



10.2 LED動作確認シミュレーション結果



10.3 LED動作確認シミュレーション結果



12.1 JEITA 半導体パッケージング技術委員会

会員企業 :26社
特別会員 :2社
オブザーバ :Semi Japan Package標準化代表
主査 :吉田 浩芳
副主査 :以下5つのSC主査が兼任

半導体共通規格サブコミティ
Subcommittee on General Rules and Common 主査 吉田 浩芳

個別半導体パッケージサブコミティ
Subcommittee on Discrete Semiconductor Package 主査 中村 賢平

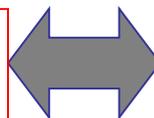
半導体包装サブコミティ
Subcommittee on Packing for Semiconductor Devices 主査 檜岡 浩喜

半導体ソケットサブコミティ
Subcommittee on Semiconductor Socket 主査 勝間 常泰

熱設計技術サブコミティ
Subcommittee on Thermal Technology and Design 主査 熊野 豊



■ IEC / SC47D国内委員会 (半導体パッケージ)
委員長 宮下 秀仁



■ IEC / SC47D国際委員会
議長 Stephan Tisdale
幹事 吉田 浩芳

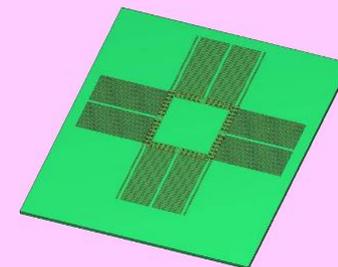
■ IEC / TC40 WG36 (部品包装連携) ■ IEC TC91 (実装技術連携)

12.2 熱設計技術サブコミティの取り組み

狭ピッチ半導体パッケージ対応熱特性評価基板

規格発行予定：2018/5月

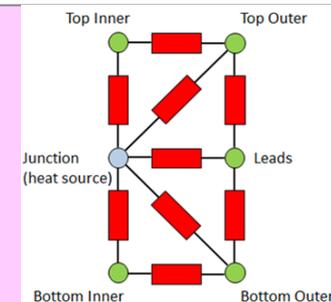
デファクトだったJEDEC規格の基板では、狭ピッチ半導体パッケージの実装が不可能だったため、これら半導体パッケージの熱特性パラメータを実験的に取得できなかった。狭ピッチパッケージに対応した熱評価基板の規格化を目指す。



過渡対応半導体パッケージ熱回路網モデル

規格発行予定：2018/5月

定常解析用パッケージ等価回路モデルは一般化されているものの、過渡解析用モデルは標準化されていなかった。特に過渡時の温度が問題となるパワー系半導体パッケージに関し、過渡対応の熱回路網モデリング手法を規格化する。

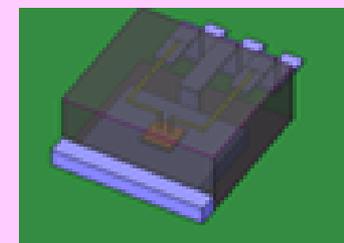


高精度を担保した半導体パッケージの簡易熱モデル (JTAM)

規格発行予定：2018/12月

*JEITA Thermally Accurate Model

近年電子機器は、熱解析技術を駆使した試作レスでの熱設計が求められている。半導体ジャンクション温度の精度を維持したまま、半導体パッケージの熱解析モデルを簡略化する手法の規格化を目論む。



新規参画企業を募集しております。
パナソニック(株) 熊野 豊まで
kumano.yutaka@jp.panasonic.com

12.3 モデル流通活動（自動車技術会の取り組み）



自動車技術会

技術会議・共同研究センター紹介

国際標準記述によるモデル開発・流通検討委員会

委員長： 加藤 利次(同志社大)

幹事： 市原純一(AZAPA)、辻公壽(トヨタ自動車)、瀬谷修(モーデック)

電子部品と熱Sub-WG

来季はSMPSを例に熱を含んだモデル記述法のルールを検討しております。
これは 過渡熱対応のパッケージモデルと接続したものになります。

ローム株式会社

アプリケーションエンジニア部

アプリケーション第1課パワーAE1G

瀧澤 登

E-mail： Noboru.Takizawa@dsn.rohm.co.jp

13. フリーシミュレーション環境

今回使用したフリー環境です
シミュレーション時間が1時間程度まで
回路が公開されます(有料バージョンはプライベート化できます)

The screenshot shows the homepage of SystemVision Cloud. The browser address bar displays "https://www.systemvision.com". The page header includes "SystemVision® Cloud" and navigation links for "Discuss", "Designs", "Blog", and "Workgroups", along with "LOG IN" and social media icons. The main content area features a teal background with the heading "The Free Cloud-Based Simulation Tool" and the subtext "Design and simulate complete analog, digital, mixed signal and electro-mechanical systems." A prominent "CREATE SCHEMATIC" button is centered. Below this is a link to "Learn More About SystemVision® Cloud". A featured blog section highlights "Need A Power Fairy? You Need Coordinated Electrical And Thermal Design!". A video player is embedded, showing a grid of icons and the text "SystemVision® Cloud in 5 easy steps" with a play button and a 2:16 duration. The video player controls at the bottom show a play button, a progress bar, and a 2:16 duration. A small chat icon is visible in the bottom right corner of the page.

14. まとめ

LPBの熱拡張でできることが説明できたと思います。

マルチドメイン環境での放熱経路網の1D化での注意点を説明しました

光をソリューションとした熱問題を解けることを示せました。

実際のLEDのモデル記述を示しました

フリー環境の情報の提供を行いました