



シミュレーションツールを使用した 光束試算例

目次

1. 概要	2
2. 直管 LED ランプの設計例	2
3. 直管 LED ランプ設計例の実測確認	5
4. LED ダウンライトの設計例	9
5. LED ダウンライト設計例の実測確認	11
6. まとめ	14

本書内に記載する型番 NFSW757D-V1 および NFSL757D-V1 は、弊社製品の型番であり、商標権を有する可能性のある他社製品といかなる関連性・類似性を有するものではありません。

1. 概要

本アプリケーションノートでは、弊社が提供する「Easy Estimation Tool」というシミュレーションツールを使用した光学特性（光束、発光効率など）の試算方法をご紹介します。このシミュレーションツールの詳しい使用方法については「Easy Estimation Tool Guide」をご参照下さい。

直管 LED ランプおよび LED ダウンライトの設計例を参考にシミュレーションツールを使用した試算方法をご紹介します。

2. 直管 LED ランプの設計例

2.1. 仕様の決定

まずは目標となる光束値や消費電力などの仕様を決めます。ランプ光束や発光効率については光学カバーによる光束低下を考慮した上で目標値を設定する必要があります。また、適用する規格によっては LED 駆動電圧、電流値が決まっている場合がありますので規格に対応した LED 駆動電源を選定する必要があります。

今回の設計例では日本照明工業会規格「JEL801：一般照明用 CX16t-5 口金付直管 LED ランプシステム」を参考に仕様を決定しました。

□仕様例

ランプ外形:	長さ 1,200mm
ランプ光束:	2,300lm 以上
ランプ効率:	145lm/W 以上
色温度:	5,000K
平均演色評価数 Ra:	80 以上
駆動電源:	出力電圧 DC45~95V 出力電流 DC350mA (JEL801 仕様)

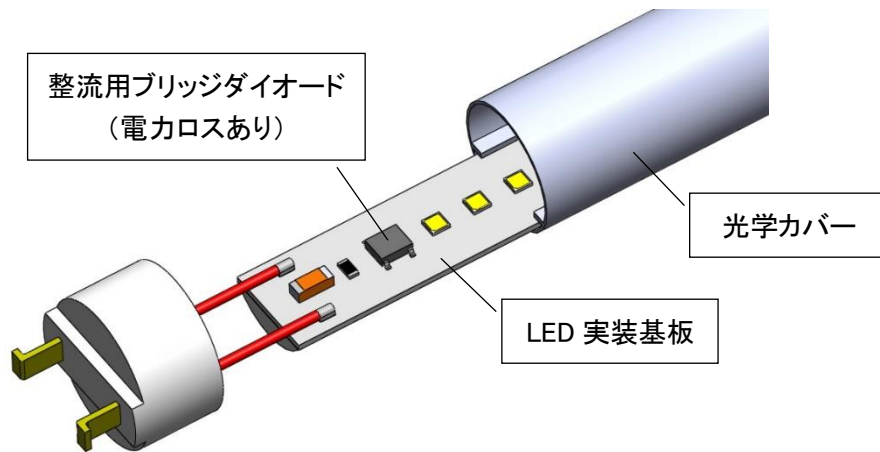


図 1. 直管 LED ランプのイメージ図

2.2. シミュレーションツールによる試算

決定した仕様を満たすことができる LED 数量をシミュレーションツールで導き出します。

2.2.1. LED 型番の入力

特性を試算したい LED の”Series”(シリーズ名)および”Type”(型番)を選択します。(図 2-青枠①箇所) 今回の直管 LED ランプの設計例では「NFSW757D-V1」のみで試算を行いました。1 シート内に最大 5 品種までの試算結果を比較出来るようになっています。今回の設計例では目標演色性を $Ra > 80$ としたため演色性ランク「R8000」の LED を選びます。

2.2.2. 試算パラメータの入力

2.1.の仕様例に合わせて、試算に必要なパラメータの入力を行います。(図 2-青枠②)

表 1. パラメータ入力内容

項目	内容	入力例
Target Flux	目標光束値	2,400lm (目標光束 2,300lm+マージン)
Color Rank	LED の色選別ランク	5,000K 狙いのため、sw50 ランクを選択
Junction Temperature T_j	推定される LED のジャンクション温度	同電力、同構造の器具を参考に 50°Cと推定
Optical Efficiency Loss	光学カバーなどによる光学ロス	光学カバーによる光束低下の実測値 10%を入力
Electrical Efficiency Loss	LED 以外で消費される電力	整流用ブリッジダイオードで消費される電力 3.7%を入力
LED Multiple	器具で使用する LED の数量	適当な数値を仮で入力(後で変更します)

2.2.3. LED 数量の試算

“Forward Current I_{FP} ”(図 2-青枠③)で試算したい電流値範囲を選択すると電流値毎の試算結果が表示されるようになります。(図 2-赤枠)ここでの電流値は LED1 個あたりに流れる電流値となりますのでご注意ください。

この状態で”LED Multiple”(LED 数量)を変え、希望の電流値におけるランプ光束、電力、効率が目標仕様値を達成できる LED 数を算出します。

今回の設計例では以下の手順で検討を行いました。

- ①. 試算結果(図 2-赤枠)の”lm/W”よりランプ効率 145lm/W を達成出来る LED1 個あたりの電流値を調べます。今回の条件では $I_{FP}=65\text{mA}$ 以下で達成可能となります。LED の特性上、低い電流値で LED を駆動させるほどランプ効率は上がります。LED 数量を変更してもランプ効率は変わりませんので、この時点での”LED Multiple”はいくつでも結構です。
- ②. $I_{FP}=65\text{mA}$ 以下という条件と駆動電源の仕様(出力電流 350mA)より、LED1 個あたりの電流値 $I_{FP}=35\text{mA}$ に決定します。ここで $350\text{mA} \div 35\text{mA} = 10$ 並列という回路構成が決まります。
- ③. 10 並列という回路構成を考慮して”LED Multiple”を 10 個ずつ増減させていき $I_{FP}=35\text{mA}$ で目標光束 2,400lm を達成できる LED 数量を調べます。LED 数量が 160 個のとき 2,473.9lm となり目標仕様達成となるので設計例の直管 LED ランプに必要な LED 数量は 160 個(16 直列 × 10 並列)となります。

2.3. 任意の光束値での試算について

本シミュレーションツールでは LED 毎に設定されている代表値(Typ.)で試算を行います。このため、実際に使用する LED は光束値や順電圧値が選別ランク内でばらつくことを考慮する必要があります。

試算結果の”lm”または”VF”(図 2-青枠④)に任意の値を入れることで、指定した光束値・順電圧値(定格電流駆動時)の LED を使用した場合の試算が可能となります。これにより、選別ランク内の最小または最大値寄りに分布が偏った場合のランプ光束、電力(効率)の試算を行うことができます。必ず最小・最大値が灯具の設計許容範囲に収まることを確認してください。

input drop down Target Flux: **2400** ② Pass

Series	Series_757D_V1				
Type	NFSW757D_V1_R8000				
Spec Current (mA)	65				
Tj Max (degreeC)	120				
Luminous Flux (lm)	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.
	21.4	32.0	36.0		
Forward Voltage VF (V)	Min.	Typ.	Max.		
	2.40	2.90	3.30		
Color Rank	sw50				
Junction Temperatuer Tj (degreeC)	50				
Cost per LED				\$	
Optical Efficiency Loss (%)	10.0				
Electrical Efficiency Loss (%)	3.7				
LED Multiple	160				
Total Cost	0.000			\$	

Forward Current Ifs(mA)	lm	VF	lm/W	W	lm/\$
input ③	100mA Max.				
1					
5					
10	717.7	417.71	165	4.177	
20	1428.4	426.79	161	8.536	
25	1779.8	430.87	159	10.772	
30	2128.4	434.68	157	13.040	
35	2473.9	438.26	155	15.339	
40	2816.0	441.64	154	17.666	
50	3490.2	447.90	150	22.395	
65	4475.0	456.37	145	29.664	
75	5113.9	461.62	142	34.621	
80	5428.3	464.16	141	37.133	
90	6047.3	469.15	138	42.223	
100	6654.0	474.06	135	47.406	

input Ifs: **35** mA input Ifs: **35** mA

lm	VF	lm/W	W	lm/\$
2473.9	438.26	155	15.339	

LED 1個あたりの任意の電流値での試算結果抽出 ⇒ Info

図 2. 直管 LED ランプ 試算結果

2.4. 直管 LED ランプの製作

2.1 で決定したランプ仕様、および 2.2 で試算した LED 数量より直管 LED ランプを製作しました。製作にあたり、以下の光束、順電圧分布を持つ LED を使用しました。

□試作品 実装 LED 仕様

- 型番: NFSW757D-V1
- 数量: 160 個 (16 直列 × 10 並列)
- 光束: Avg. 31.25lm (65mA 駆動、n=50 抜き取り)
- V_F: Avg. 2.93V (65mA 駆動、n=50 抜き取り)
- 色度ランク: sw50 (5,000K)
- 演色性ランク: R8000 (Ra>80)

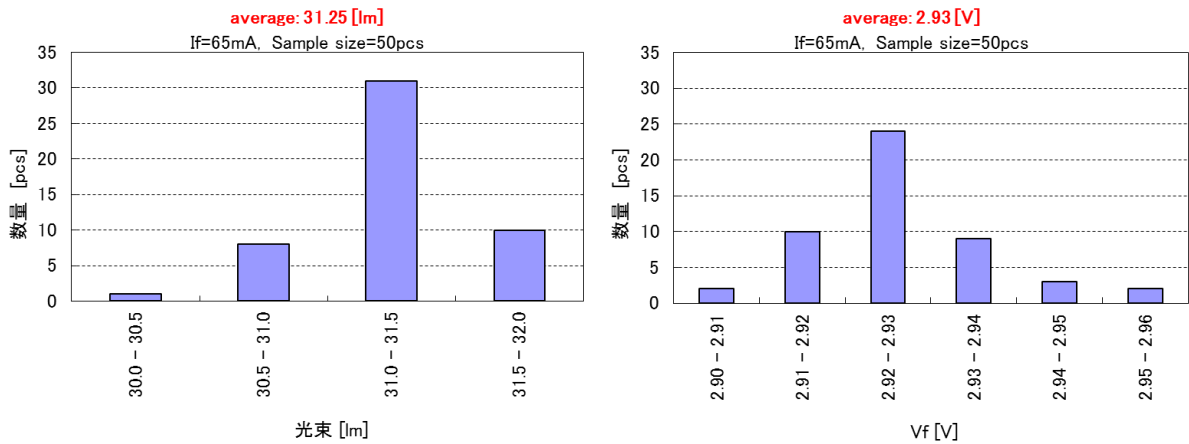


図 3. 実装 LED 単体測定結果 (n=50pcs 抜き取り)

3. 直管 LED ランプ設計例の実測確認

作成した直管 LED ランプを実際に測定し、実測結果と試算結果に大きな差が無いことを確認します。差が見られる場合は測定条件の見直しや再試算を行う必要があります。

3.1. 電気・光学測定

電力測定器でランプ電力を、積分球でランプ光束を測定します。必ず直管 LED ランプが熱飽和し、測定結果が安定するまでエージングを行ってから測定を行ってください。

□試作品 測定結果

- ランプ電力: 16.1W
- ランプ光束: 2,412lm
- ランプ効率: 150lm/W

3.2. 温度測定

3.2.1. 熱分布

直管 LED ランプが熱飽和した状態でサーモカメラ等を使用して LED 実装基板の熱分布を確認します。熱分布にムラがある場合、場所毎に LED のジャンクション温度に差が出てしまい、LED の温度特性により明るさムラの原因となることがあります。この場合、正確な試算ができない可能性があります。図 4 の熱分布測定結果では、熱が均等に広がっており問題のないことがわかります。

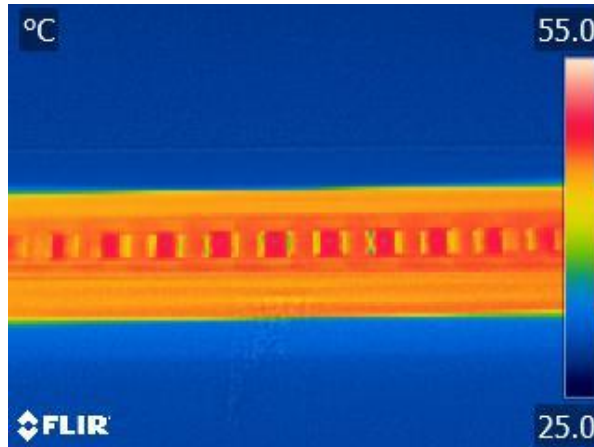


図 4. 直管 LED ランプ 熱分布測定結果

3.2.2. LED ジャンクション温度

LED のジャンクション温度 T_J は LED のはんだ接合部温度 T_S から式 1 より算出できます。LED のはんだ接合部温度 T_S は熱電対を LED の端子にはんだ付けまたは接着剤等で固定し、直管 LED ランプを熱飽和させた状態で測定を行ってください。このとき直管ランプの筐体(光学カバー等)は密閉し、製品の最終状態にて測定を行ってください。LED のジャンクション温度が絶対最大定格を超えないように熱設計を行ってください。

$$\text{LED ジャンクション温度 } T_J = T_S + R_{\theta JS} W \quad (\text{式. 1})$$

T_S = はんだ接合部温度(カソード側): °C

$R_{\theta JS}$ = ダイスから T_S 測定ポイントまでの熱抵抗: °C/W

W = LED1 個あたりの投入電力 ($I_f \times V_f$): W

□ 試作品 測定結果

LED はんだ接合部温度 T_S : 46.2°C

LED ジャンクション温度 T_J : 46.2°C + 13°C/W × 0.1W = 47.5°C

$R_{\theta JS} = 13^\circ\text{C/W}$...LED 仕様標準値

$W = 2.9\text{V} \times 35\text{mA} = 0.1\text{W}$

3.3. 実測結果と試算結果の比較および再試算

測定により得られた実測結果と試算結果を比較します。

表 2. 試算結果と実測結果の比較

	試算結果	実測結果	差
ランプ光束	2,474 lm	2,412 lm	-2.5%
ランプ効率	155 lm/W	150 lm/W	-3.2%

いずれも目標仕様値を達成していますが、実測結果が試算結果を下回る結果となりました。特にランプ効率における 5 lm/W の差はランプ性能に大きな影響を及ぼします。このため試算条件を見直し、より実機に近い条件で再度試算を行い試算結果が妥当性のあるものか確認する必要があります。

LED ジャンクション温度は実測結果から「47.5°C」、LED 単体光束および V_F については図 3 より、平均値の「31.25lm」と「2.93V」にそれぞれ試算パラメータを修正します。

表 3. 試算パラメータと実測値の比較

	試算パラメータ	実測値
LED1 個当たりの電流	35mA	35mA
LED ジャンクション温度	50.0°C	47.5°C
光学ロス	10%	10%
電力ロス	3.7%	3.7%
LED 数量	160 個	160 個
LED 単体光束	32.0lm (代表値)	31.25lm
LED 単体 V_F	2.90V (代表値)	2.93V

drop down Target Flux Pass

Series	Series_757D_V1		
Type	NFSW757D_V1_R8000		
Spec Current (mA)	65		
Tj Max (degreeC)	120		
Luminous Flux (lm)	Min.	Typ.	Max.
	21.4	32.0	36.0
Forward Voltage V _F (V)	2.40	2.90	3.30
Color Rank	sw50		
Junction Temperatur T _j (degreeC)	47.5		
Cost per LED			\$
Optical Efficiency Loss (%)	10.0		
Electrical Efficiency Loss (%)	3.7		
LED Multiple	160		
Total Cost	0.000		\$

Forward Current I _{FF} (mA)	Im	VF	lm/W	W	lm/\$
input	100mA Max.	31.25	2.93	-	-
1					
5					
10	703.2	421.40	161	4.214	
20	1399.4	431.15	156	8.623	
25	1743.7	435.47	154	10.887	
30	2085.2	439.48	152	13.184	
35	2423.7	443.22	150	15.513	
40	2758.9	446.74	149	17.869	
50	3419.4	453.19	145	22.660	
65	4384.2	461.85	141	30.021	
75	5010.2	467.20	138	35.040	
80	5318.2	469.80	136	37.584	
90	5924.6	474.90	133	42.741	
100	6519.1	479.93	131	47.993	

35 mA mA

Im	VF	lm/W	W	lm/\$
2423.7	443.22	151	15.513	

Info

図 5. 直管 LED ランプ 再試算結果

図 5 の再試算結果より、再度実測結果と比較します。

表 4. 再試算結果確認

	試算結果	実測結果	差
ランプ光束	2,424lm	2,412lm	-0.5%
ランプ効率	151lm/W	150lm/W	-0.7%

ランプ光束、ランプ効率ともに実測値と再試算結果の差異は小さく、試算通りの設計ができていると言えます。

4. LED ダウンライトの設計例

4.1. 仕様の決定

LED ダウンライトの設計例では、以下の仕様にて設計を行いました。

□仕様例

ランプ光束:	370lm 以上
色温度:	2,700K
平均演色評価数 Ra:	80 以上
LED 回路構成:	12 灯(4 直列 3 並列)
駆動電源:	出力電流 DC330mA (LED 回路は 3 並列接続なので、LED1 個当たりに流れる電流は 110mA となります)

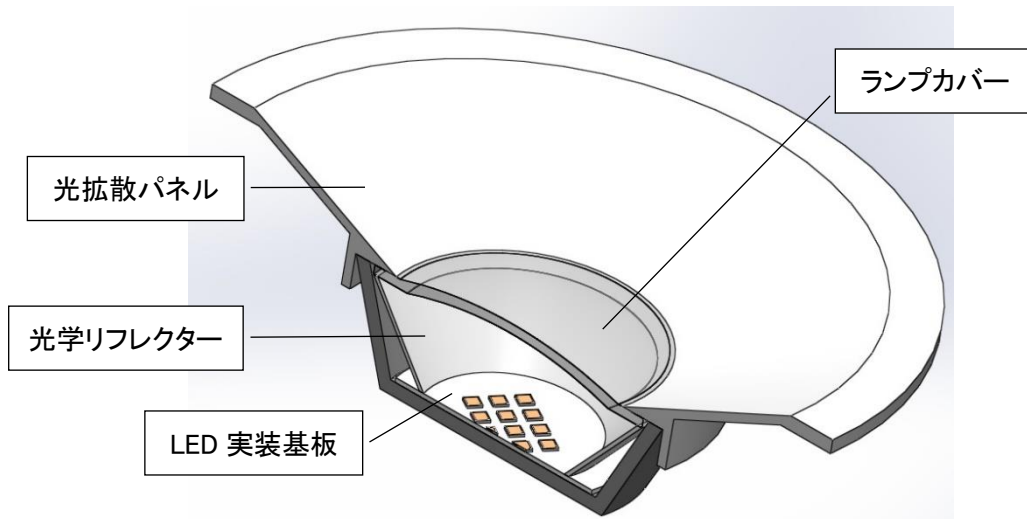


図 6. LED ダウンライトのイメージ図

4.2. シミュレーションツールによる試算

2.2.と同様の手順で試算を行います。

4.2.1. LED 型番の入力

設計例①と同じ LED パッケージの色調違い品である「NFSL757D-V1」を使用します。目標演色性を $R_a > 80$ としたため演色性ランク「R8000」の LED を選びます。

4.2.2. 試算パラメータの入力

試算に必要な各パラメータの入力を行います。

表 5. パラメータ入力内容

項目	内容	入力例
Target Flux	目標光束値	370lm
Color Rank	LED の色選別ランク	2,700K 狙いのため、sw27 ランクを選択
Junction Temperature T _j	推定される LED のジャンクション温度	同電力、同構造の器具を参考に 50°Cと推定
Optical Efficiency Loss	光学カバーなどによる光学ロス	ランプカバー、リフレクター装着による光束低下の実測値 19.3%を入力
Electrical Efficiency Loss	LED 以外で消費される電力	電力ロスなし
LED Multiple	器具で使用する LED の数量	12 個

4.2.3. 試算結果

図 7 の試算結果より、仕様条件において目標光束値 370lm を達成できていることがわかります。

input drop down Target Flux **370** Pass

Series	Series_757D_V1					
Type	NFSL757D_V1_R8000					
Spec Current (mA)	65					
T _j Max (degreeC)	120					
Luminous Flux (lm)	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
	18.0	25.9	30.3			
Forward Voltage V _F (V)	2.40	2.90	3.30			
Color Rank	sw27					
Junction Temperature T _j (degreeC)	50					
Cost per LED					\$	
Optical Efficiency Loss (%)	19.3					
Electrical Efficiency Loss (%)						
LED Multiple	12					
Total Cost	0.000				\$	
Forward Current I _{FP} (mA)	Im	VF	lm/W	W	lm/\$	
input	200mA Max.					
	10	38.6	31.33	123	0.313	
	15	57.9	31.68	122	0.475	
	20	77.3	32.01	121	0.640	
	30	115.5	32.60	118	0.978	
	40	153.1	33.12	116	1.325	
	50	189.8	33.59	113	1.680	
	65	242.9	34.23	109	2.225	
	75	277.1	34.62	107	2.597	
	80	293.8	34.81	105	2.785	
	100	358.9	35.55	101	3.555	
	120	421.9	36.28	97	4.354	
	150	515.9	37.38	92	5.606	
	180	611.0	38.44	88	6.920	
	200	673.5	39.12	86	7.620	

input I_{FP} **110** mA input I

Im	VF	lm/W	W	lm/\$
390.6	35.92	99	3.951	

Info

駆動電源の出力電流が 330mA かつ
3 並列回路より、LED 1 個あたり
110mA での試算結果を確認

図 7. LED ダウンライト 試算結果

4.3. LED ダウンライトの製作

LED ダウンライトの製作にあたり、以下の光束、順電圧特性を持つ LED を使用しました。

□試作品 実装 LED 仕様

型番: NFSL757D-V1
 数量: 12 個 (4 直列 × 3 並列)
 光束: Avg. 27.18lm (65mA 駆動)
 V_F: Avg. 2.93V (65mA 駆動)
 色度ランク: sw27 (2,700K)
 演色性ランク: R8000 (Ra>80)

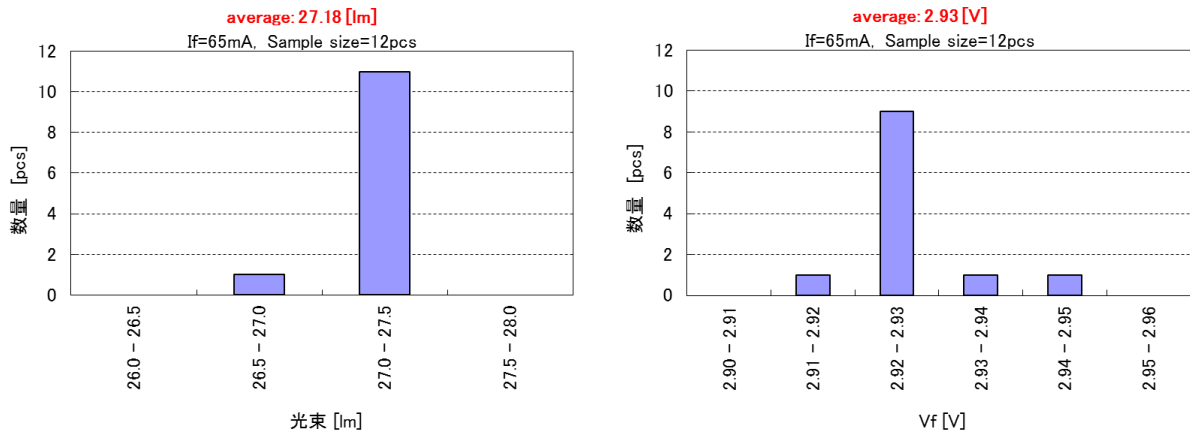


図 8. 実装 LED 単体測定結果 (n=12pcs 全数)

5. LED ダウンライト設計例の実測確認

5.1. 電気・光学測定

作成した LED ダウンライトの電気特性および光学特性を測定します。

□試作品 測定結果

ランプ電力: 4.0W
 ランプ光束: 409lm
 ランプ効率: 101lm/W

5.2. 温度測定

熱電対にてはんだ接合部温度を測定し、LED のジャンクション温度を算出します。

□試作品 測定結果

LED はんだ接合部温度 T_s: 47.4°C
 LED ジャンクション温度 T_J: 47.4°C + 13°C/W × 0.32W = 51.6°C

R_{θJS} = 13°C/W ...LED 仕様標準値

W = 2.9V × 110mA = 0.32W

5.3. 実測結果と試算結果の比較および再試算

測定により得られた結果と試算結果を比較します。

表 6. 試算結果と実測結果の比較

	試算結果	実測結果	差
ランプ光束	391lm	409lm	+4.6%
ランプ効率	99lm/W	101lm/W	+2.0%

実測結果と試算結果の間に若干の差が見られます。このため試算条件を見直し、再度試算を行い試算結果が妥当性のあるものか確認します。

LED ジャンクション温度は実測結果から「51.6°C」、LED 単体光束および V_F については図 8 の実装 LED 単体測定結果より、平均値の「27.18lm」と「2.93V」にそれぞれ試算パラメータを修正します。

表 7. 試算パラメータと実測値の比較

	試算パラメータ	実測値
LED1 個当たりの電流	110mA	110mA
LED ジャンクション温度	50.0°C	51.6°C
光学ロス	19.3%	19.3%
電力ロス	0%	0%
LED 数量	12 個	12 個
LED 単体光束	25.9lm (代表値)	27.18lm
LED 単体 V_F	2.90V (代表値)	2.93V

Series	Series_757D_V1				
Type	NFSL757D_V1_R8000				
Spec Current (mA)	65				
Tj Max (degreeC)	120				
Luminous Flux (lm)	Min.	Typ.	Max.		
	18.0	25.9	30.3		
Forward Voltage V _F (V)	2.40	2.90	3.30		
Color Rank	sw27				
Junction Temperature T _j (degreeC)	51.6				
Cost per LED					
Optical Efficiency Loss (%)	19.3				
Electrical Efficiency Loss (%)					
LED Multiple	12				
Total Cost	0.000				
Forward Current I _{FF} (mA)	Im	VF	m/W	W	lm/\$
input	200mA Max.	27.18	2.93	-	-
	10	40.4	31.53	128	0.315
	15	60.7	31.91	127	0.479
	20	80.9	32.26	125	0.645
	30	121.0	32.88	123	0.987
	40	160.3	33.43	120	1.337
	50	198.7	33.91	117	1.696
	65	254.3	34.56	113	2.247
	75	290.1	34.96	111	2.622
	80	307.6	35.16	109	2.813
	100	375.7	35.92	105	3.592
	120	441.8	36.67	100	4.400
	150	540.2	37.80	95	5.670
	180	639.7	38.89	91	7.001
	200	705.2	39.58	88	7.916

input I _{FF}	110 mA			
Im	VF	lm/W	W	lm/\$
408.9	36.29	102	3.992	

Info

図 9. LED ダウンライト 再試算結果

図 9 の再試算結果より、再度実測結果と比較します。

表 8. 再試算結果確認

	試算結果	実測結果	差
ランプ光束	409lm	409lm	0%
ランプ効率	102lm/W	101lm/W	-1.0%

ランプ光束は完全に一致、ランプ効率についても差は小さいため試算通りの設計ができていると言えます。

6. まとめ

LED 照明の設計を行う際は本アプリケーションノートでご紹介したように試算値と実測値との比較を行い、LED 設計の妥当性確認を行ってください。今回ご紹介したシミュレーションツールでは、LED 実装基板単体での試算は概ね一致しますが照明器具として試算する場合には構成部材および器具の構造による光学損失、電力損失が原因で想定した結果が得られない場合があります。この場合、各要因における損失量を明確にしたうえで再度試算を行ってください。なお、器具の構造などにより測定が難しい場合には LED 実装基板での試算、測定を行ってください。

本アプリケーションノートでは LED のジャンクション温度を求める際、熱抵抗 $R_{\theta_{js}}$ には仕様書で設定されている標準値を使用しましたが、実際の製品では特性にばらつきが生じます。一般的に LED 素子は自身のジャンクション温度が高いほど光出力が低下する特性を持っているため熱抵抗が最大値をとる熱最大条件においても必要光束が満たせるよう目標光束を設定してください。また同様に、順電圧値や光束値についても選別ランクごとに設定された代表値をとるとは限りません。このため、使用する LED の特性分布が選別ランク内で最小または最大値寄りに偏った場合においても器具の特性が許容範囲内に収まるように設計を行う必要があります。

<免責事項>

本書は、弊社が管理し提供している参考技術文書です。
本書を利用される場合は、以下の注意点をお読みいただき、ご了承いただいたうえでご利用ください。

- ・ 本書は弊社が参考のために作成したものであり、弊社は、本書により何らの保証をも提供するものではありません。
- ・ 本書に記載されている情報は、製品の代表的動作および応用例を示したものであり、その使用に関して、弊社および第三者の知的財産権その他の権利の保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- ・ 本書に記載されている情報については正確を期すべく注意を払っておりますが、弊社は当該情報の完全性、正確性および有用性を一切保証するものではありません。また、当該情報を利用、使用、ダウンロードする等の行為に関連して生じたいかなる損害についても、弊社は一切の責任を負いません。
- ・ 弊社は、本書の内容を事前あるいは事後の通知なく変更する場合がありますのでご了承ください。
- ・ 本書に記載されている情報等に関する著作権およびその他の権利は、弊社または弊社に利用を許諾した権利者に帰属します。弊社から事前の書面による承諾を得ることなく、本書の一部または全部をそのままあるいは改変して転載、複製等することはできません。

日亜化学工業株式会社

<http://www.nichia.co.jp>

774-8601 徳島県阿南市上中町岡491番地

Phone: 0884-22-2311 Fax: 0884-21-0148