製品解析報告書

品種　　;日産エクストレイルハイブリッド(DAA-HNT32、2015年発売)
Converter ASSY DCDC(292A0-4BC0A)基板
内容　　; 放熱解析

ご注意事項

- この報告書は、ご依頼者の調査、解析、開発等の一助になることを目的としています。この報告書は、著作権によって保護されます。
- 株式会社エルテック(以下当社)は、ご依頼者に正確で信頼できる情報を提供することを常に努力しております。しかしながら、このレポートに含まれているすべての情報の　絶対的な精度を保証することは可能ではありません。
- 当社は、この報告書に含まれていた情報の使用から発生する特許権侵害、契約交渉・訴訟等の不利益の責任を負いません。

株式会社エルテック

本社　兵庫県伊丹市東有岡4丁目42番8号

TEL（072）787－7385

FAX（072）787－7382

E-mail contact@ltec.biz

目次

#		ページ
1	エグゼクティブサマリー	3
2	TDK製DC-DC コンバータ技術ロードマップ	4
3-1	NISSAN XTRAIL バッテリーと DC-DCコンバータ構成	5
3-2	リチウムイオンバッテリー冷却システム構成図	7
4	NISSAN XTRAIL TDK製 DC-DCコンバータ構成	8
5	DC-DC回路ブロックおよび主な発熱源	12
6	DC-DCコンバータ：発熱源とヒートシンクへの実装	16
7-1	TDK DC-DCコンバータケース放熱器	17
7-2	ヒートシンク（放熱器）の外形と寸法	19
8	TDK DC-DCコンバータ放熱器熱抵抗の算出検討	20
9-1	放熱器における二次元（2D）伝熱解析	23
9-2	放熱器の熱特性に熱伝達率の影響	29
9-3	空気流速度（Vf）対放熱器フィンチャネル対流熱伝達係数hc	30
9-4	ヒートシンク上熱源の位置の影響	31
10	DC-DCコンバータ熱等価回路	33
11	参考資料	35

1. エグゼクティブサマリー

日産XTRAILハイブリッド自動車に使用されるTDK製12V DC-DCコンバータの熱マネージメント解析について報告します。
解析の目的は、(1)放熱マネージメントの観点から、システムの構造を分析し、(2)熱等価回路抽出し、重要な半導体デバイス及び部品の温度の推定を可能にする。
実効熱抵抗の熱分析および抽出/推定をするためには、次の手順によって行われます、

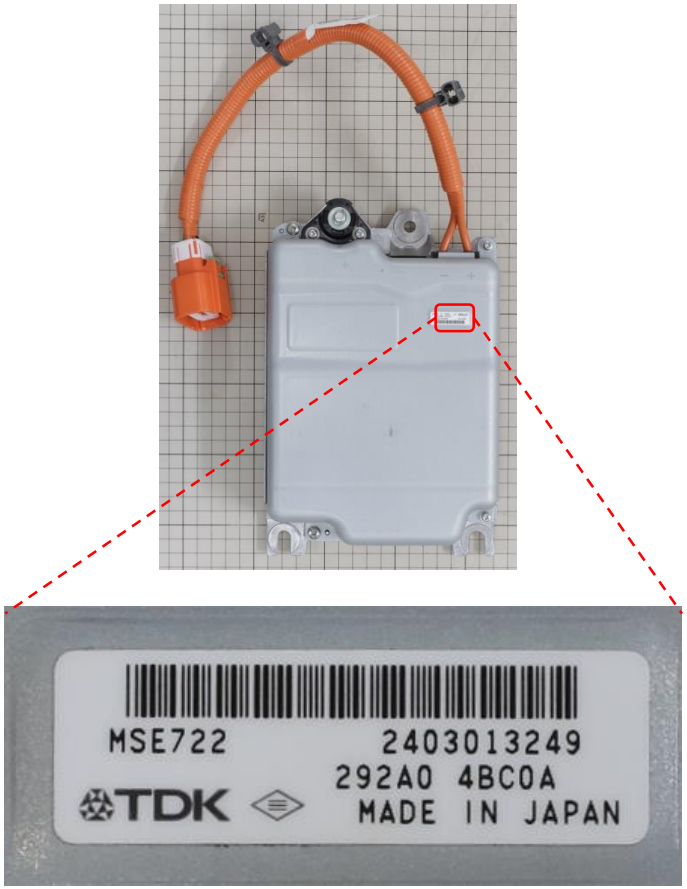
- ・実際のハードウェアの寸法測定及び材料分析・識別
- ・発熱源を識別するための回路のSPICEシミュレーション
- ・解析モデリング(ヒートシンク、部品の熱モデル)
- ・熱シミュレーション。

結果:

1. 12VのDC-DCコンバータは、リチウムイオン電池パックに搭載され、押出された(extruded)フィンヒートシンクのアルミニウムケースに収容されています。(Fig. 4-1, Fig4-2参照)
2. 全体のDC-DCコンバータは、ブロアファンとダクトヒートシンクによって空冷されています。(Fig. 3-2参照)
3. 主な発熱源は、(1)整流ダイオード(最大負荷時のPD～64W)、および(2)フルブリッジのスイッチングトランジスタ(PB～28W最大負荷時)されている。この状態に、ダイオードの接合部温度はTj～160℃(スペックTjのマックス=175℃)となります。
4. ダクトフィンヒートシンク熱抵抗は、自然対流ではRth～1.8℃/Wであり、強制対流モードで空気流速度Vf＝6m/sと仮定するとRth～0.4℃/Wと予測します。
5. デバイスの過熱を防止するためにこの空冷レベルは必要であると思われます。
6. 整流器ダイオードの接合・ヒートシンク間の熱抵抗はプリント基板(PCB)のビアの熱抵抗によって制約されています。従ってPCBCuパッドにおけるサーマルビアの数を増やすことによって、この影響を低減することが可能と思われます。
7. プリント基板(PCB)内の最高温度(Tpcb_diode～153℃)は、整流ダイオードの取り付け位置で発生します。この値は、FR4材料の許容最大動作温度よりも高い。従って、PCBがFR4以外の高Tgの材料を使用していると考えられます。

2. TDK製DC-DC コンバータ技術ロードマップ

GEN 5



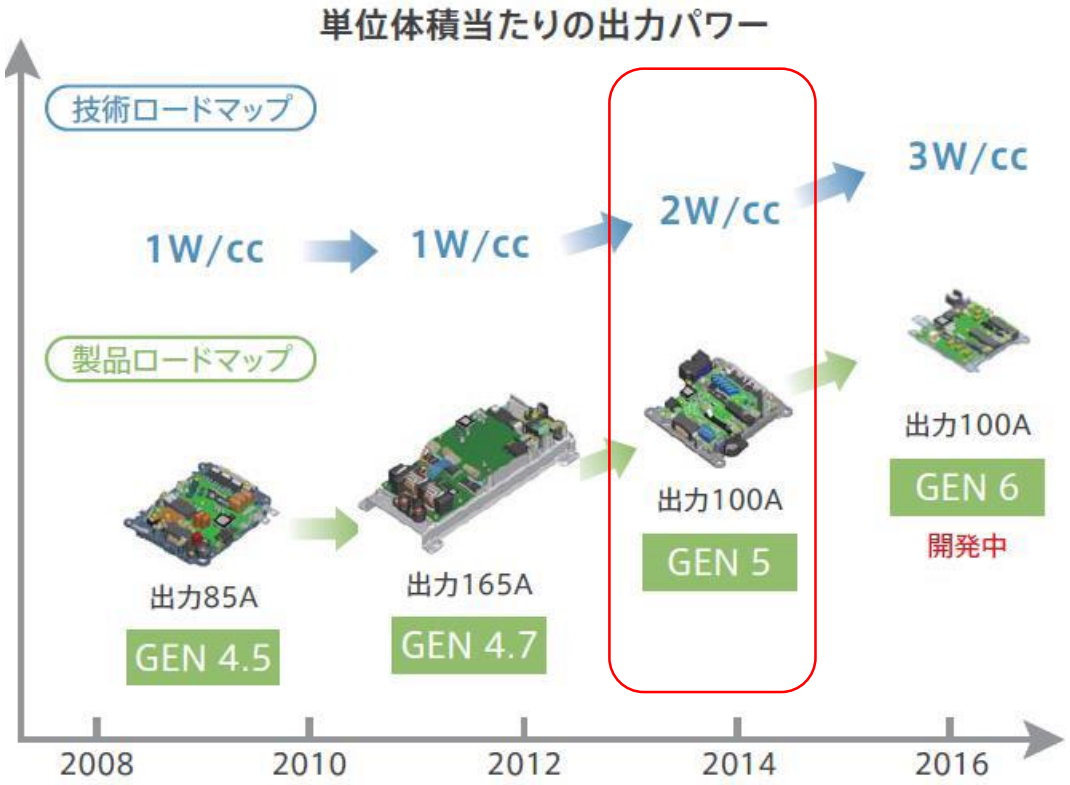
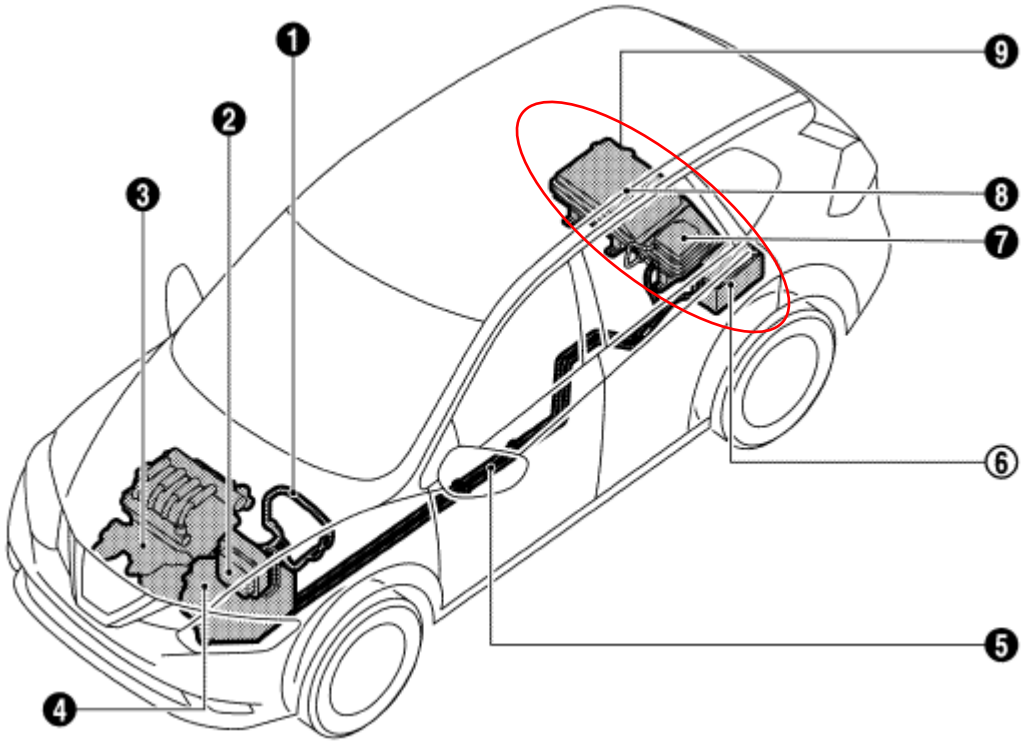


Fig. 2-1 TDK製DC-DC コンバータ技術ロードマップ

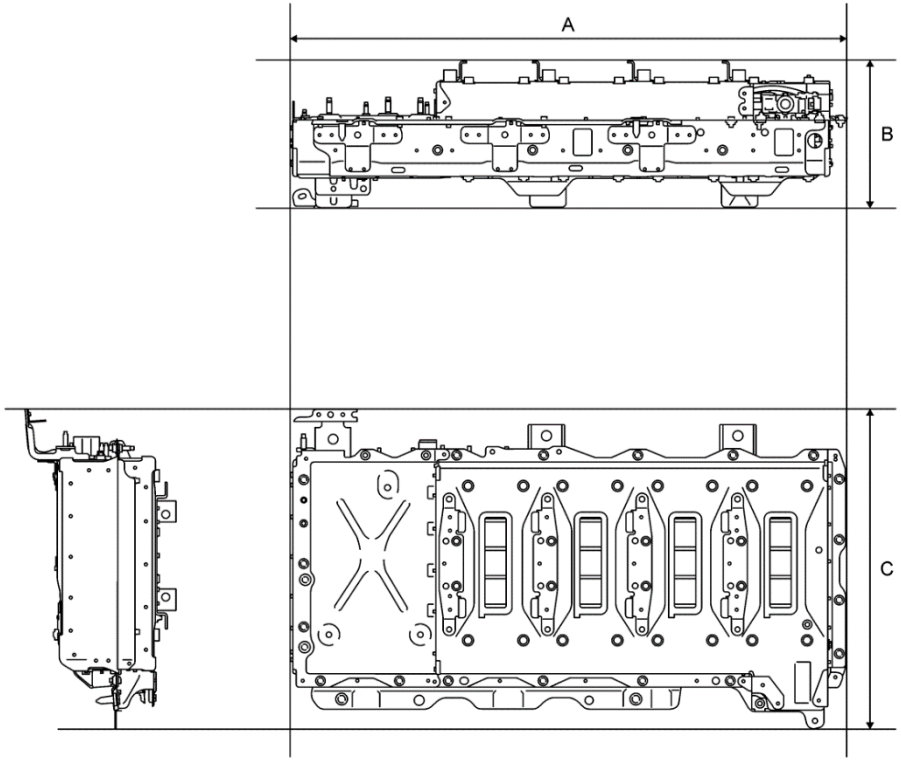
3-1. NISSAN XTRAIL バッテリーとDC-DCコンバータ構成



6	12V バッテリー リチウムイオンバッテリー横
7	DC/DC コンバーター リチウムイオンバッテリーの 高電圧を変換して、 12V バッテリーに供給する
8	リチウムイオンバッテリー

Fig. 3-1-1 NISSAN XTRAIL バッテリーとDC-DCコンバータ構成

3-1. NISSAN XTRAIL バッテリーとDC-DCコンバータ構成



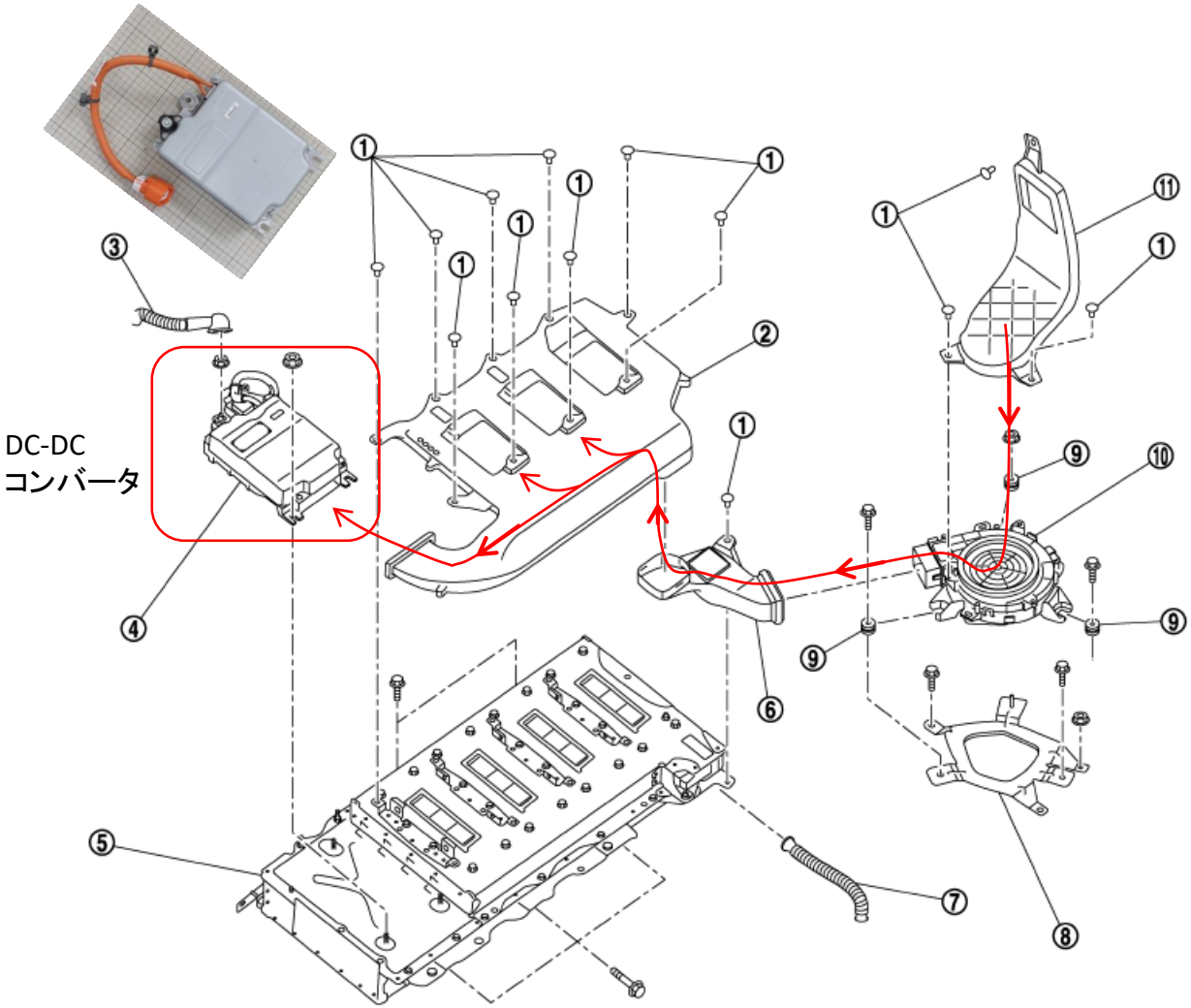
リチウムイオンバッテリー仕様

8. リチウムイオンバッテリー仕様

項目		仕様
種類		リチウムイオン電池
構成		4 モジュール（56 セル）
定格電圧	(V)	202
重量	(kg)	34.9

Fig. 3-1-2 リチウムイオンバッテリー仕様

3-2. リチウムイオンバッテリー冷却システム構成図

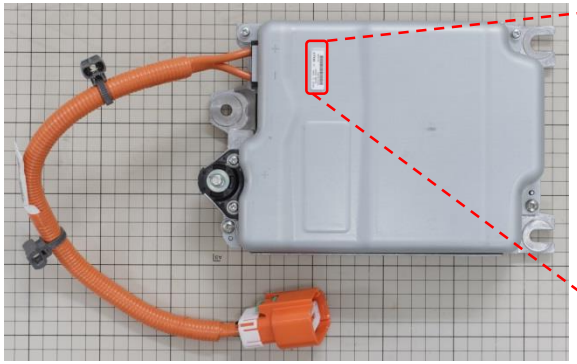


2	エアダクト1
4	DC-DC コンバータ リチウムイオンバッテリーの 高電圧を変換して、 12V バッテリーに供給する
5	リチウムイオンバッテリー
6	エアダクト2
8	バッテリー冷却ファンブラケット
10	バッテリー冷却ブロワファン
11	エアダクト3

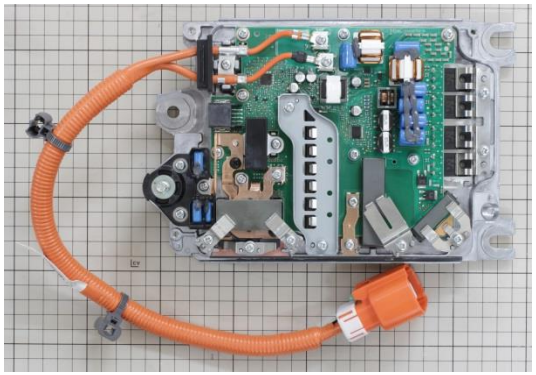
気流は送風ファン⑩とダクト②によりDC-DCコンバータに分配されます。

Fig. 3-2 リチウムイオンバッテリー冷却システム構成図

4. NISSAN XTRAIL TDK製 DC-DCコンバータ構成



本体ケースカバー取外し



製品外観

Fig. 4-1 NISSAN XTRAIL TDK製 DC-DCコンバータ構成

4. NISSAN XTRAIL TDK製 DC-DCコンバータ構成

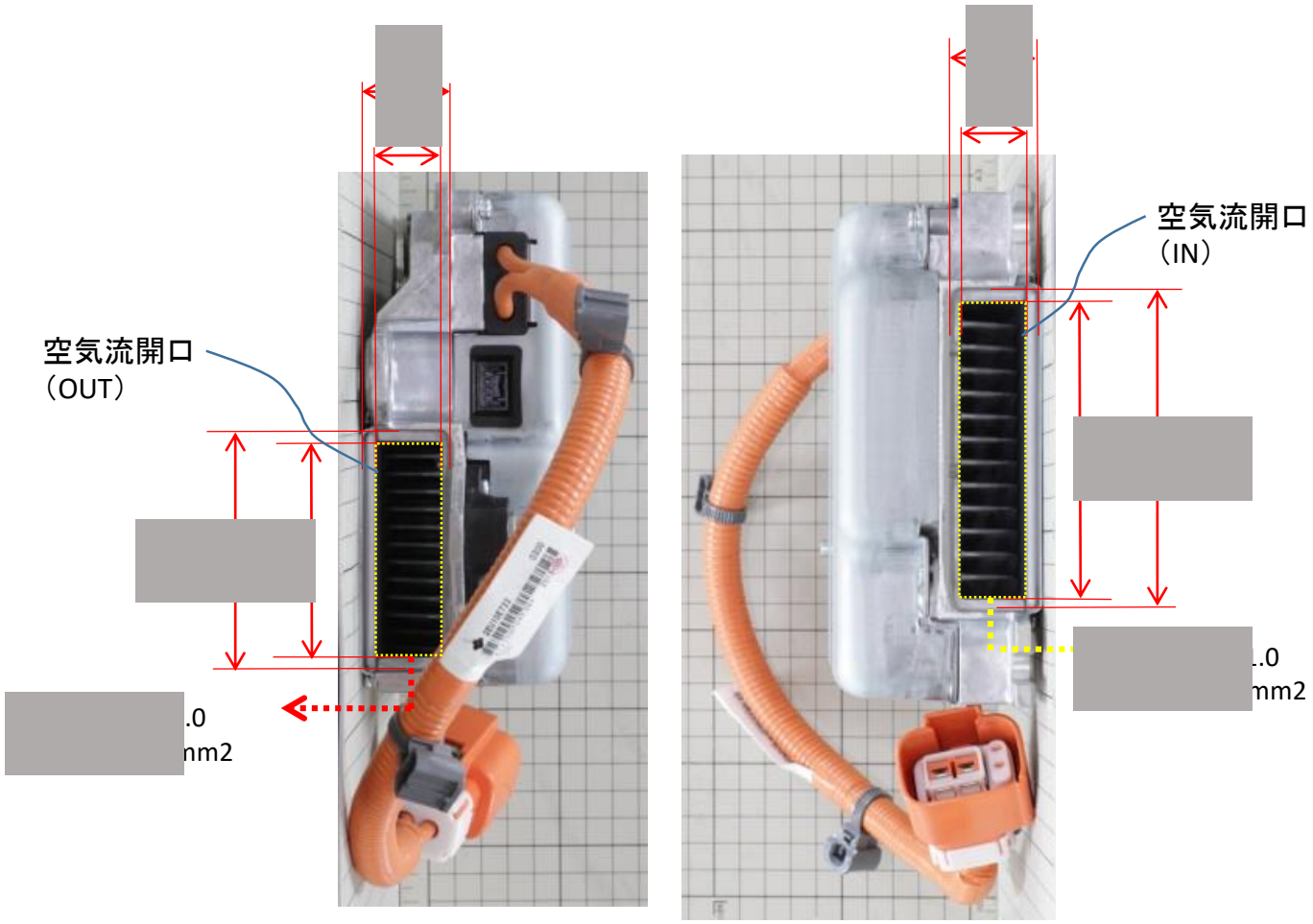
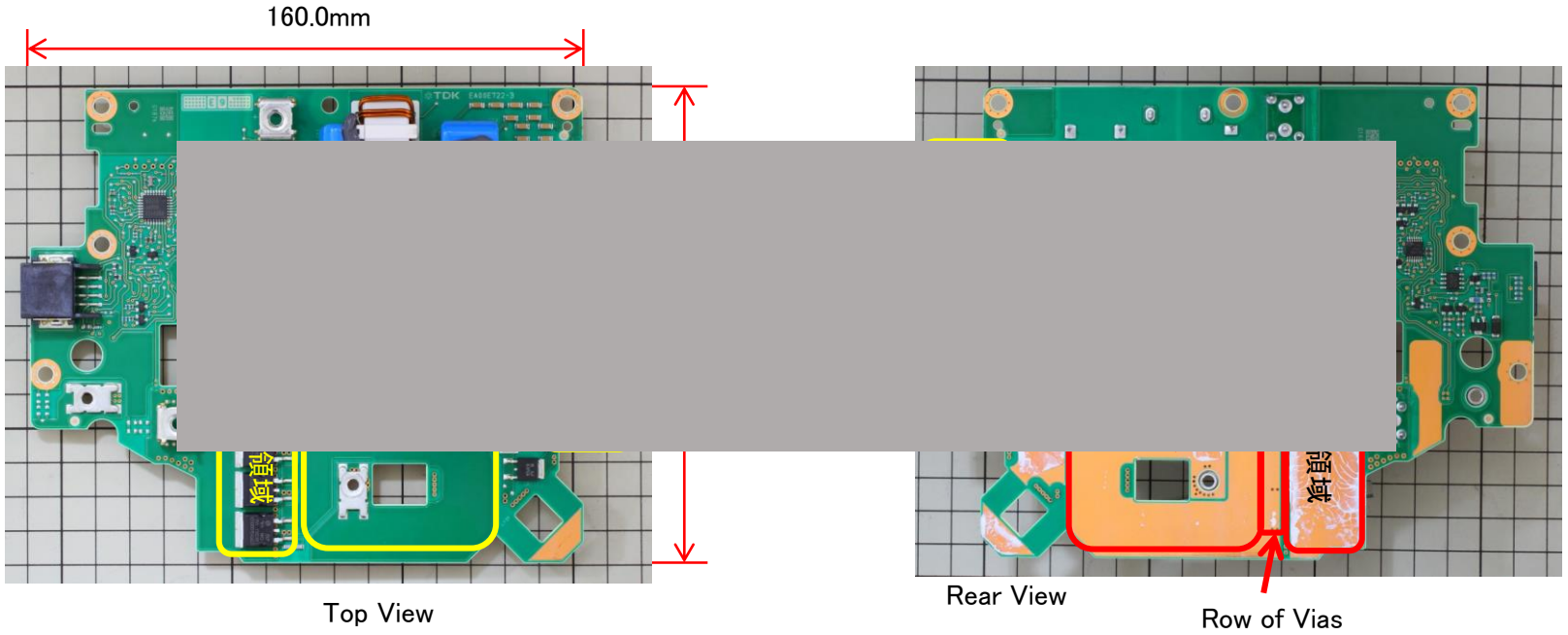


Fig. 4-2 TDK製 DC-DCコンバータケース 空気流開口

4. NISSAN XTRAIL TDK製 DC-DCコンバータ構成



出力整流器ダイオード
・プリント基板の最上層（L1）に半田付けし、サーマル・ビアで接続されたプリント基板の4つCu層（L1-L4）を通して
ヒートシンクに取り付けられています。

Fig. 4-3 基板外観

4. NISSAN XTRAIL TDK製 DC-DCコンバータ構成

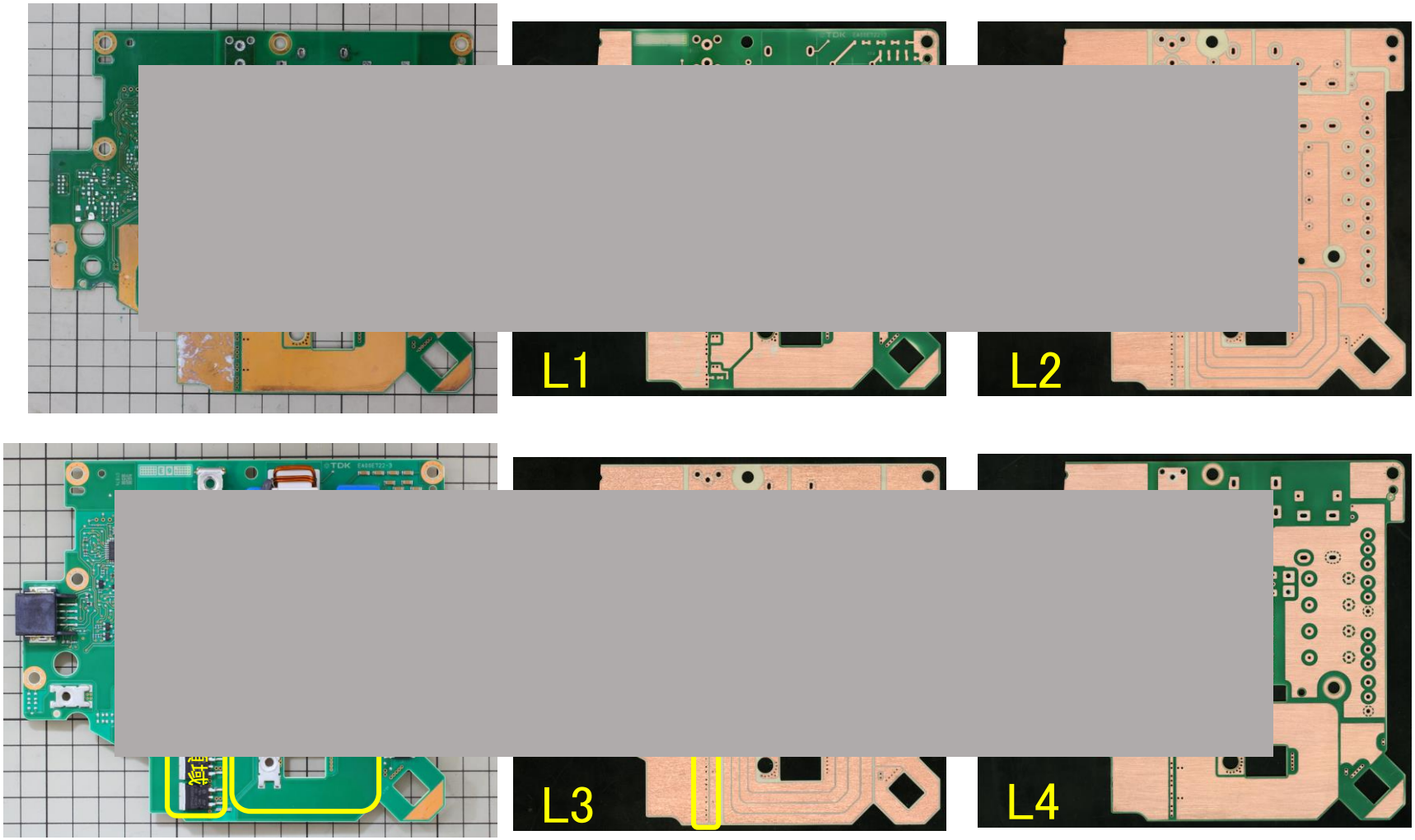
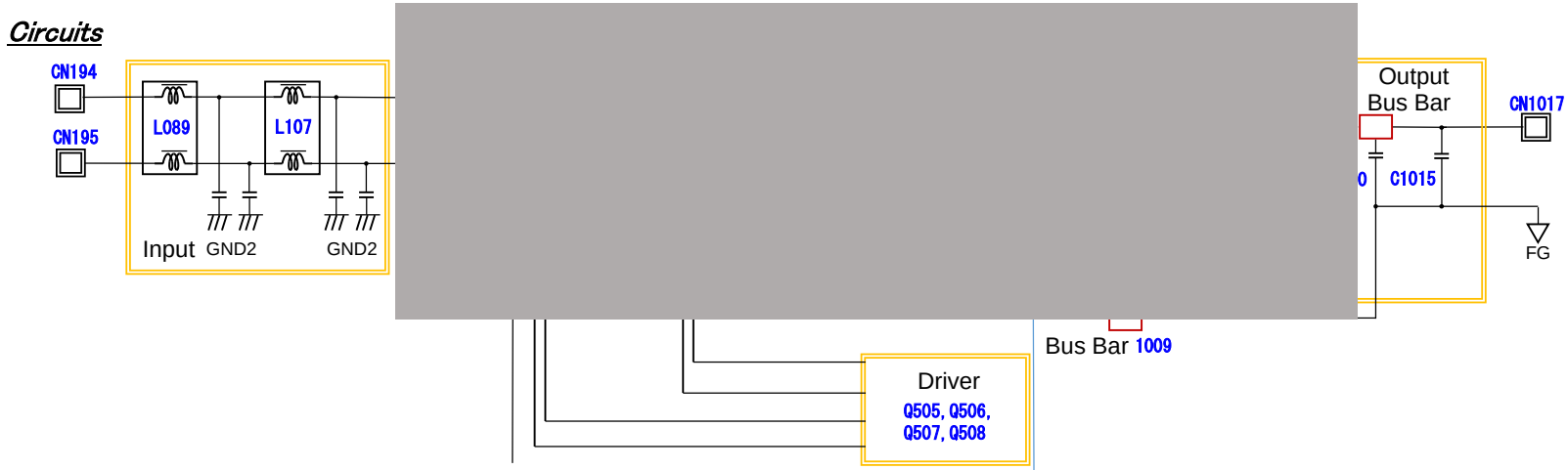


Fig. 4-4 各層写真

5. DC-DCコンバータ回路ブロックおよび主な発熱源



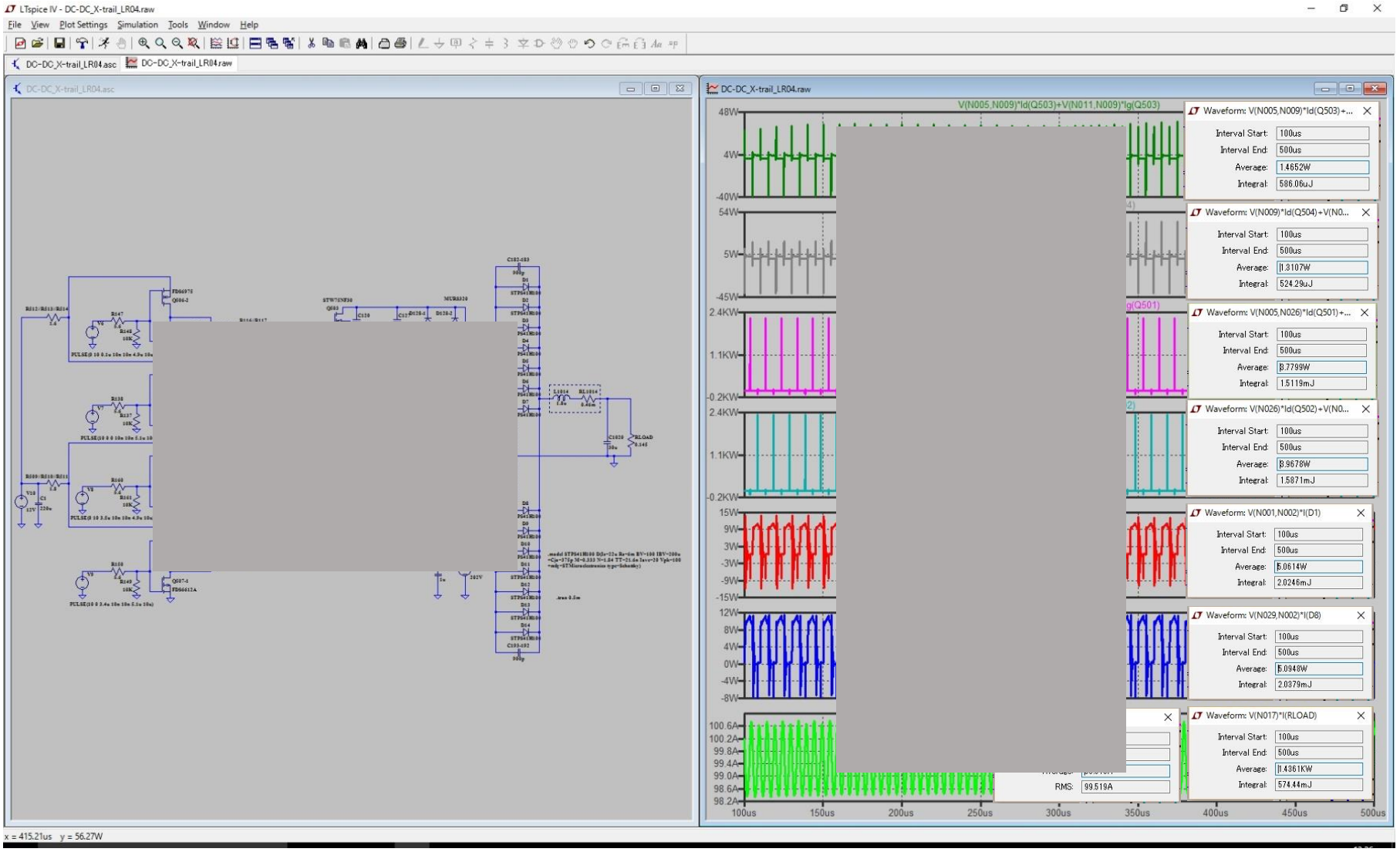
□ : ブロック名

一次側の主な電力損失及び発熱源
・Full-Bridge MOSFET（Q501~504）
・出力トランス（TR802）＋共振インダクタンス（L801）

二次側の主な電力損失及び発熱源
・整流用**SBD**（D184~191）
・平滑用インダクタンス（L1014）

Fig. 5-1 Block Diagram

5. DC-DCコンバータ回路ブロックおよび主な発熱源



SPICE simulation results of the power dissipated in (1) Primary, (2) Secondary side transformer and (3) the output smoothing inductor L1014 Cu windings.

Fig. 5-2 SPICE simulation results of voltage waveforms 1

5. DC-DCコンバータ回路ブロックおよび主な発熱源

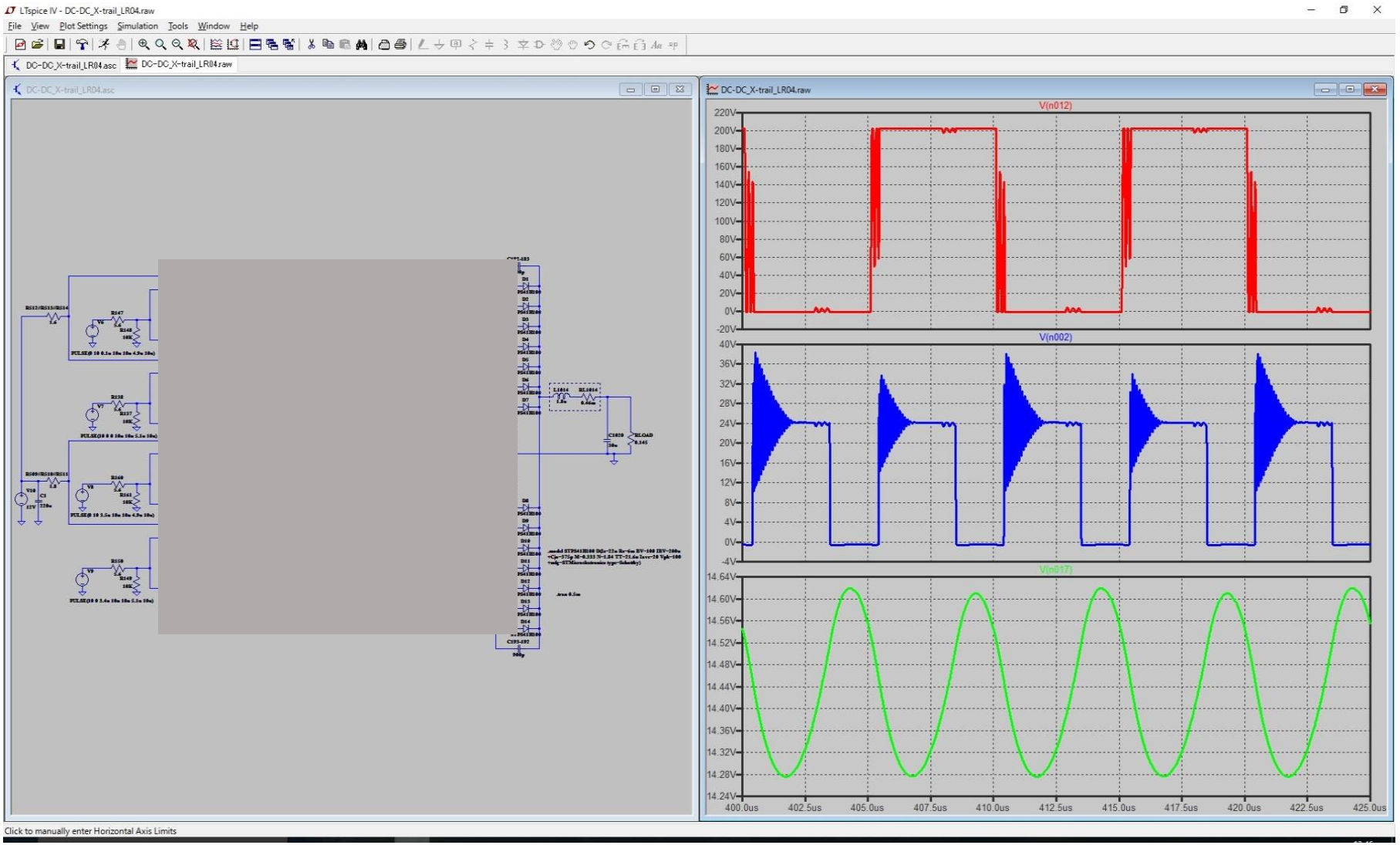


Fig. 5-3 SPICE simulation results of voltage waveforms 2

5. DC-DCコンバータ回路ブロックおよび主な発熱源

Table 5-1 SPICEシミュレーションによる電力損失の結果

		単位		主要因	単位
負荷電流					
負荷電力					
ジョットキーダイオード					
上				98	W
下				36	W
				34	W
MOSトランジスタ					
Q503				52	W
Q504				07	W
Q501				99	W
Q502				78	W
				36	W
コイル寄生抵抗					
RL1014					
トランス2次					
RL22					
RL23					
トランス1次					
RL21_1					
RL21_2					
	20.7824	W			
			主要因合計	102.3994	W
	負荷電力/(負荷電力+主要因)			93.4	%

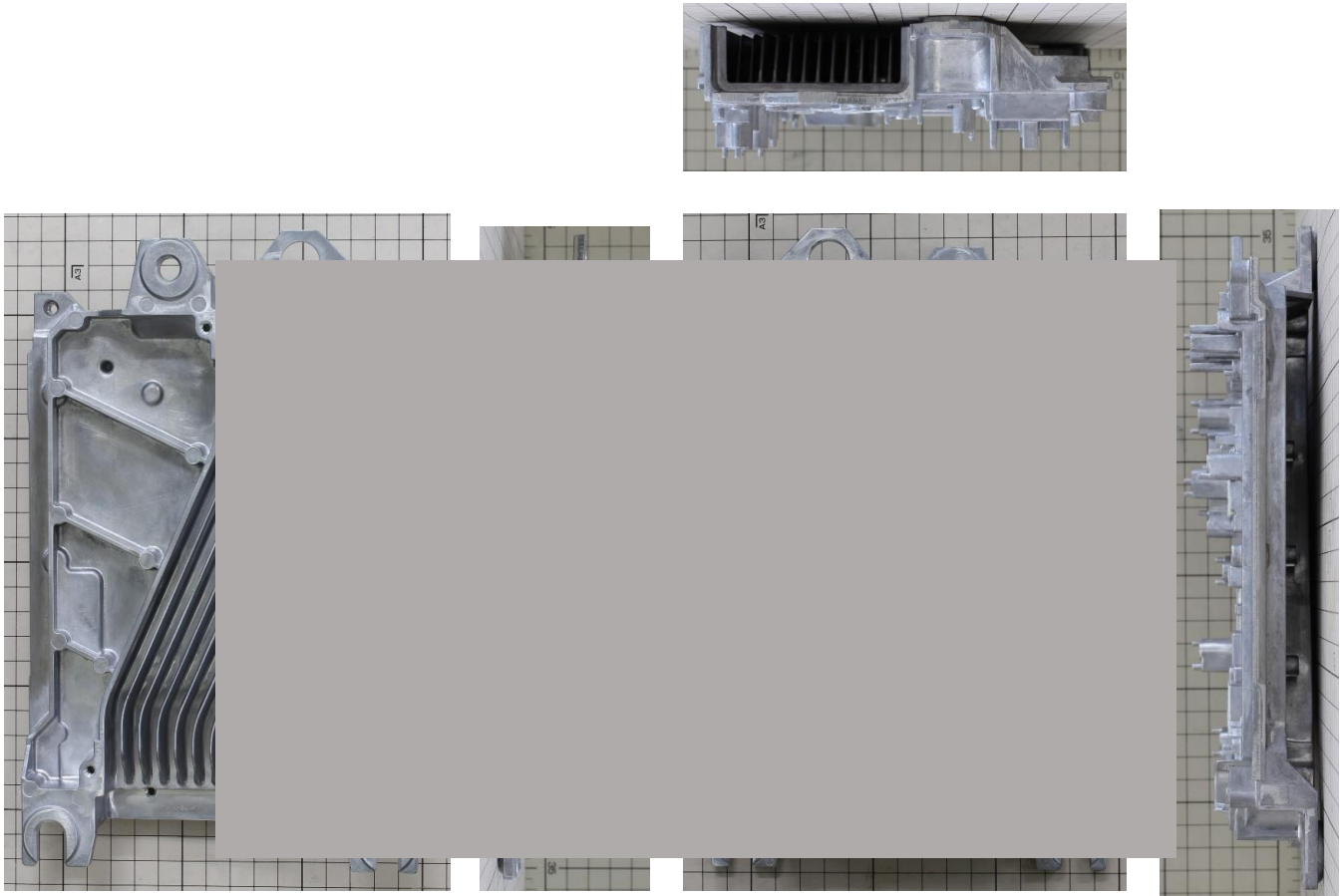
6. DC-DCコンバータ:発熱源とヒートシンクへの実装

Table 6-1 DC-DCコンバータ:発熱源とヒートシンクへの実装

デバイス・部品	Tjmax [℃]	PKG	Rthj,c [W/℃]	ヒートシンクへの実装	Rthc,hs [W/℃]
Full-Bridgeトランジスタ STW75NF30	[redacted]	TO-247	[redacted]	・トラ[redacted]は、絶縁導熱シ[redacted]押し付けられて[redacted]	1.6 Tr当たり
整流器Schottkyダイオード STPS41H100C-Y	[redacted]	D2PAK	[redacted]	・プリ[redacted]ーマル・ビアで接[redacted]を通してヒート[redacted] ・プリ[redacted]1℃/Wである。[redacted]/W.	0.85-1 全体整流実装面積。
Full-Bridgeトランス(変圧器) TR802(部分的なフェライトコアと平面PCB変圧器)	[redacted]	[redacted]	[redacted]	・磁気[redacted]プリント基板部[redacted]います。 磁[redacted]5℃/W フ[redacted]23℃/W	5 0.5
出力平滑用コイル L1014 (MB1Hフェライトコア)	[redacted]	[redacted]	[redacted]	・放熱[redacted]われます。 磁気[redacted]います。 フェ[redacted] コイルボビンは、高熱伝導性の熱可塑性材料を使用することが想定されます。熱伝導率k=3W/m・K	5

備考:
1) データシート
2) FR4プリント回路基板の最大温度定格

7-1. TDK DC-DCコンバータケース放熱器



ヒートシンク：Fin側

ヒートシンク：プリント基板側

Fig. 7-1-1 ヒートシンク

7-1. TDK DC-DCコンバータケース放熱器

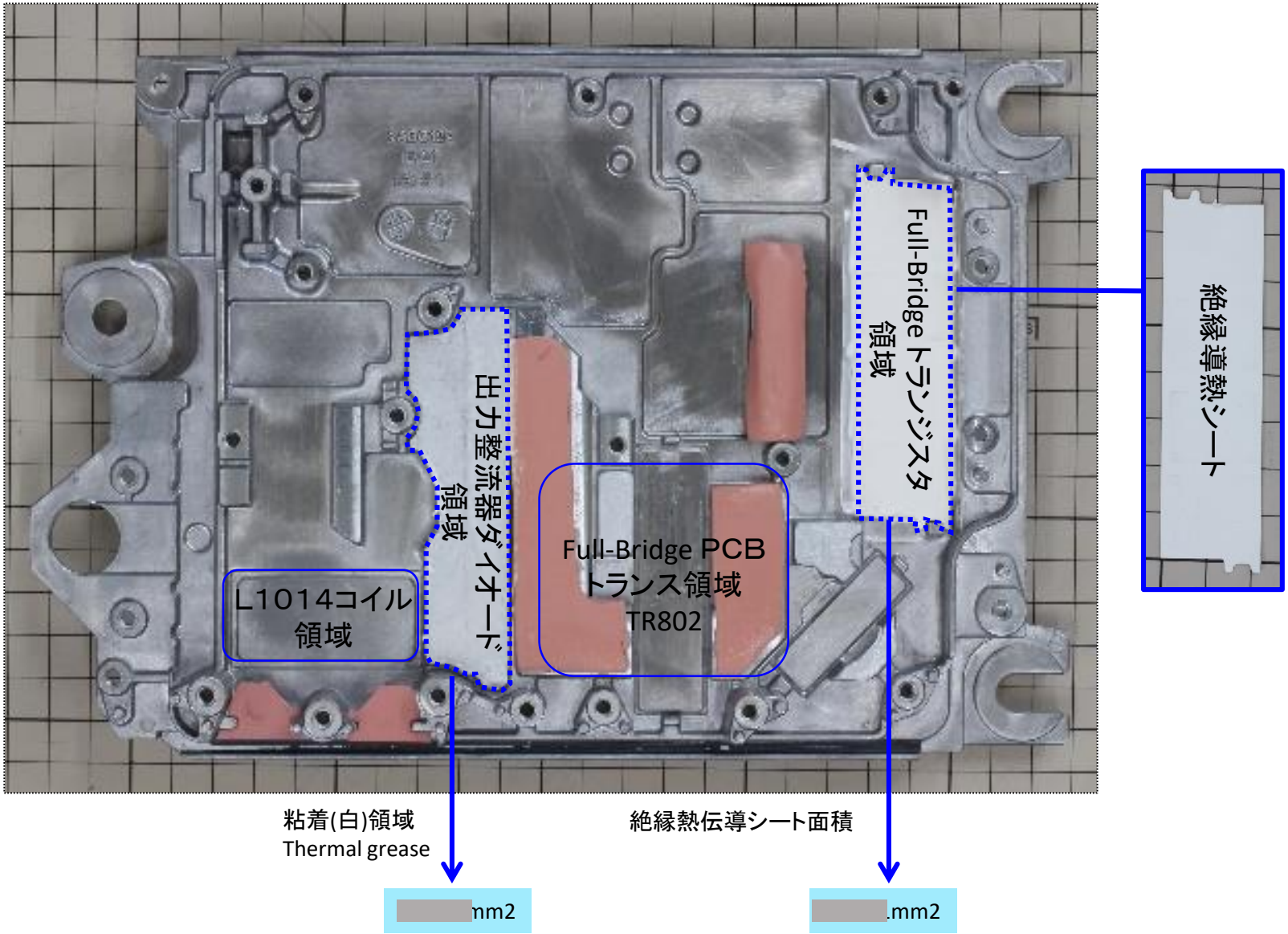
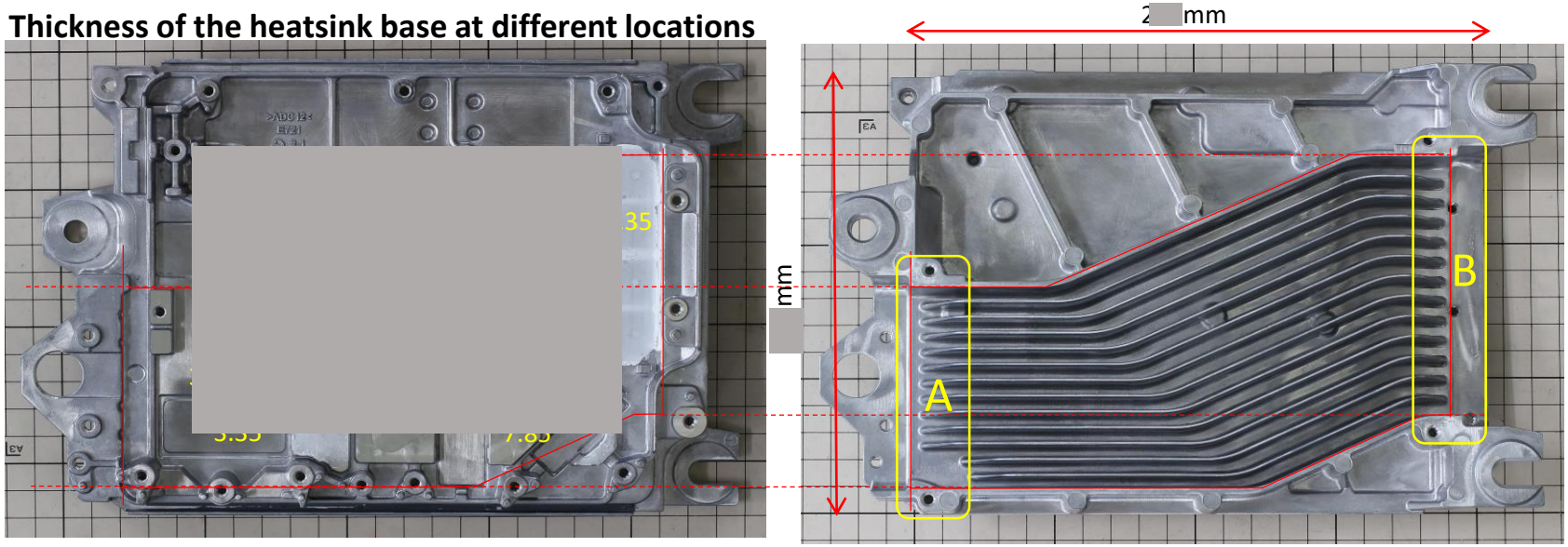


Fig. 7-1-2 放熱器上の熱源実装領域

7-2. ヒートシンク(放熱器)の外形と寸法



unit: mm

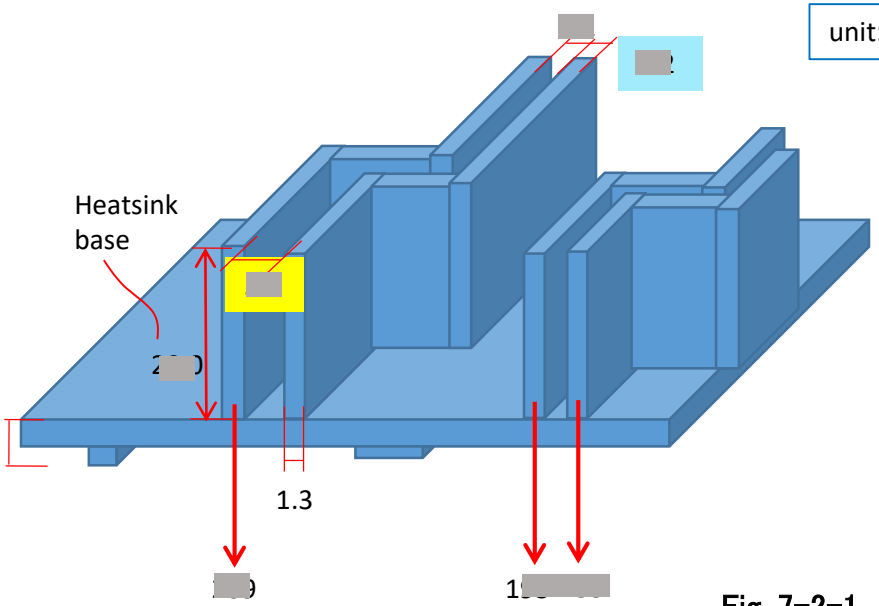


Table 7-1 放熱器の外形と寸法

			A	B
Hf	Fin高さ	mm		
t	Fin幅	mm		
s	Fin-Fin間	mm		
p	Finピッチ	mm		
Nf	Number of Fins			
W	Heatsink Fin area width	mm		
L	Fin channel length (Avg)	mm		

Fig. 7-2-1 ヒートシンク(放熱器)の外形と寸法

8. TDK DC-DCコンバータ放熱器熱抵抗の算出検討

Table 8-1 Heat sink thermal resistance 1

NISSAN XTRAIL HYBRID: 12V Battery DC-DC Converter

Heat Sink Dimensions

		Units		
	Heatsink material		Al	
Wb	Heatsink base width	mm		0
Lb	Heatsink base length	mm		5
Whs	Fin Heatsink width	mm		0
L	Fin Heatsink length	mm		9
Hf	Heatsink fin height	mm		0
t	Fin thickness	mm		2
p	Fin pitch	mm		2
s	Fin spacing s=p-t	mm		5
tb	Heatsink base thickness	mm		4
Afin	Heatsink Fin Area	mm2		0
Nfin,chan	Number of fin channels			2
Af	Total Fin Convection area	mm2		0
		cm2		5
Am	Fin profile area Am=Lc x t	mm2		8
Abf	Area of Heatsink base for convection s･L･(Nfin-1)	mm2		5
Vhs	Heatsink Volume= Hf x L x Whs	mm3		0
		cm3		8
s/L	Heatsink Air Channel width/Length ratio			8
km	Heatsink material thermal conductivity	W/m.K		0
kair,o	Air thermal conductivity	W/m.K		4
δ	Air density	Kg/m3		1
ν	Air viscosity	m2/s		5

Considering average pitch

8. TDK DC-DCコンバータ放熱器熱抵抗の算出検討

Table 8-2 Heat sink thermal resistance 2

h	Forced convection heat transfer coefficient	W/m^2・℃		
hnv	Natural convection Vertical heat transfer coeff	W/m^2・℃		
hnhb	Natural convection Horizontal heat transfer coeff	W/m^2・℃		
γHf				
ηf	Fin efficiency			
Natural Convection				
Rth,fin	Heatsink Fin thermal resistance	℃/W		
Rth,base,conv	Heatsink base convection thermal resistance	℃/W		
Rth,hs	Heatsink thermal resistance	℃/W		
Forced Convection				
Rth,fin	Heatsink Fin thermal resistance	℃/W		
Rth,base,conv	Heatsink base convection thermal resistance	℃/W		
Rth,hs	Heatsink thermal resistance	℃/W		

Results of computed thermal resistance for the finned area of the heat sink.

放熱器(ヒートシンク)のフィン領域の算出熱抵抗結果。

8. TDK DC-DCコンバータ放熱器熱抵抗の算出検討

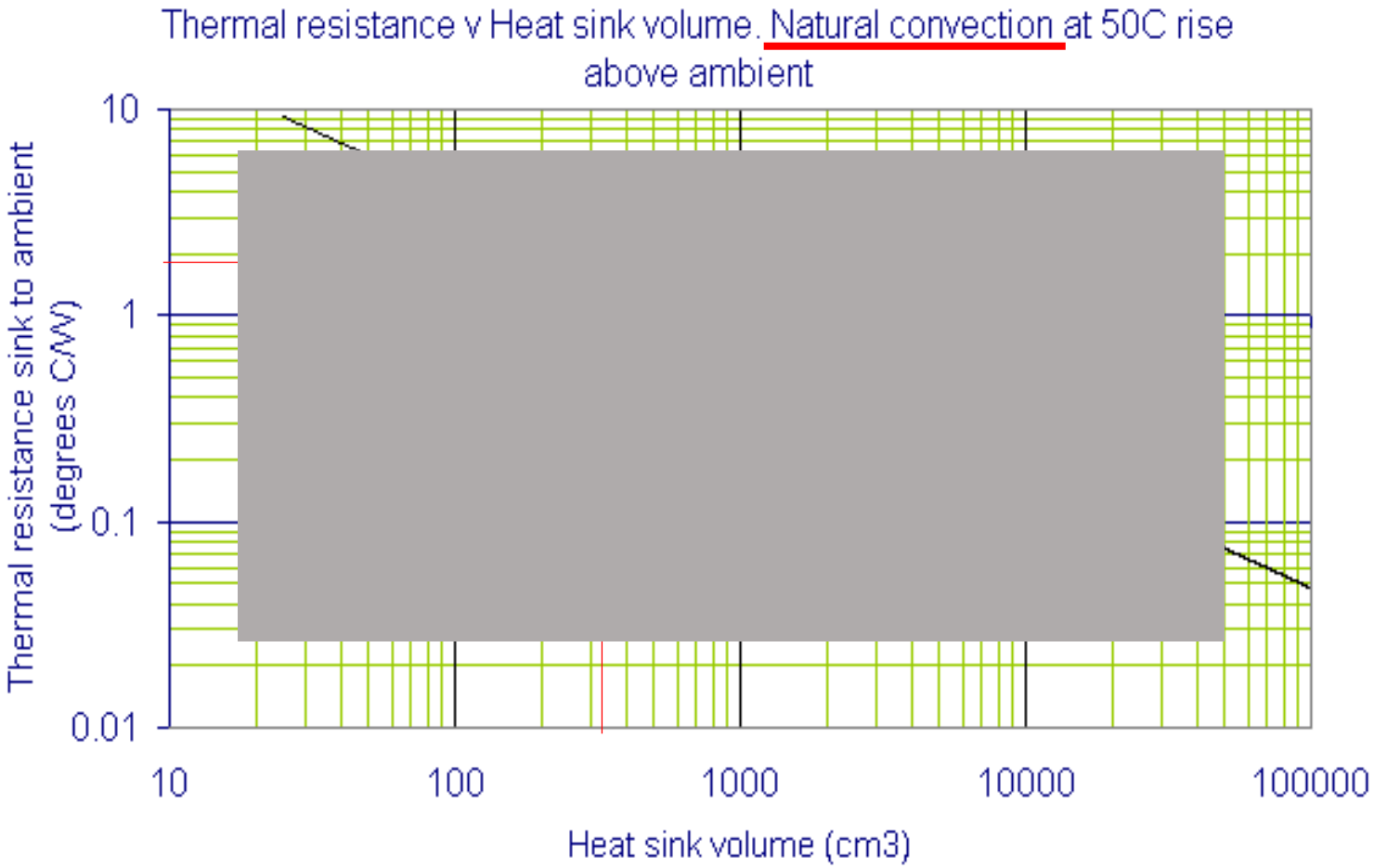
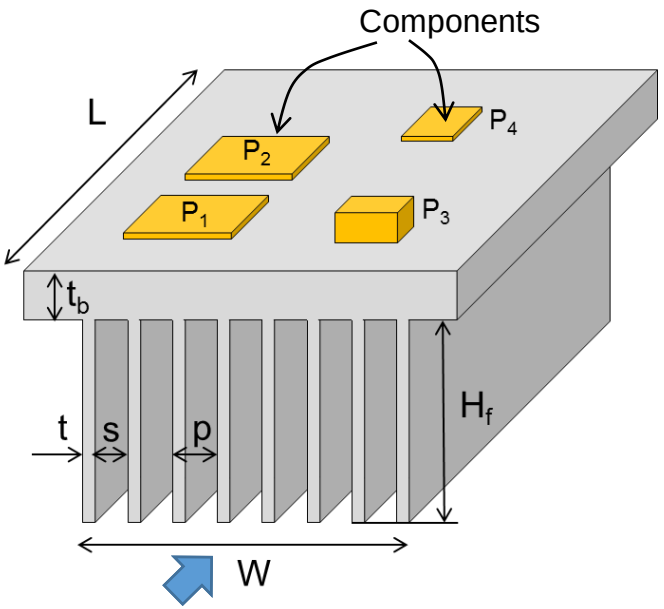


Fig. 8 ヒートシンクの熱抵抗と体積及び自然対流との一般的な関係

9-1. 放熱器における二次元(2D)伝熱解析

			A	B
Hf	Fin高さ	mm		
t	Fin幅	mm		
s	Fin-Fin間	mm		
p	Finピッチ	mm		
Nf	Number of Fins			
W	Heatsink Fin area width	mm		
L	Fin channel length (Avg)	mm		



ヒートシンクを使用して熱除去の従来の解析は、単一の熱源又はヒートシンクの全域を発熱源すると想定しています。コンポーネント間の相互作用の結果は考慮していません。
このセクションでは、コンポーネント/デバイスとヒートシンク界面における温度分布を解析し、結果は、各コンポーネント/デバイス温度を推定するために使用しています。

Fig. 9-1-1 放熱器における二次元(2D)伝熱解析

9-1. 放熱器における二次元(2D)伝熱解析

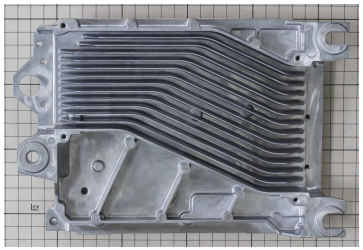
Table 9-1 Material Parameters

km	Thermal conductivity of heatsink metal	W/m.℃	[redacted]
heff	Finned heatsink Effective heat convection coefficient	W/m2.℃	[redacted]
hn	Unfinned Effective heat convection coefficient	W/m2.℃	[redacted]
tb	Thickness of Heatsink base plate	mm	[redacted]
Δx	Unit analysis cell size	mm	[redacted]
ζ	Fractional base thickness for lateral thermal conduct.		[redacted]
r	Heatsink base lateral thermal resistance		[redacted]
Rhc	Fiined Effective heatsink convection resistance		[redacted]
γ	r/Rh		[redacted]
Rhn	Unfined Effective heatsink convection resistance		[redacted]
η	r/Rhn		[redacted]

				Thermal Conductivity k [W/m・℃]
1	Case, Heat sink	Heat sink	Aluminum	[redacted]
2	Insulating Thermally conductive sheet	Transistor-Heat sink	Furukawa Electric	
3	TIM (Thermal Interface Material)	Diode-Heat sink		
4	PCB Laminate	PCB	Mitsubishi Gas Chemical FR-4(EL190T, FL700)	
5	Copper	PCB traces	Cu	
6	Magnetic Core (Ferrite)	Transformer, Coil	TDKフェライト概要 TDK-EPCOS	

※メーカー公開資料より

9-1. 放熱器における二次元(2D)伝熱解析



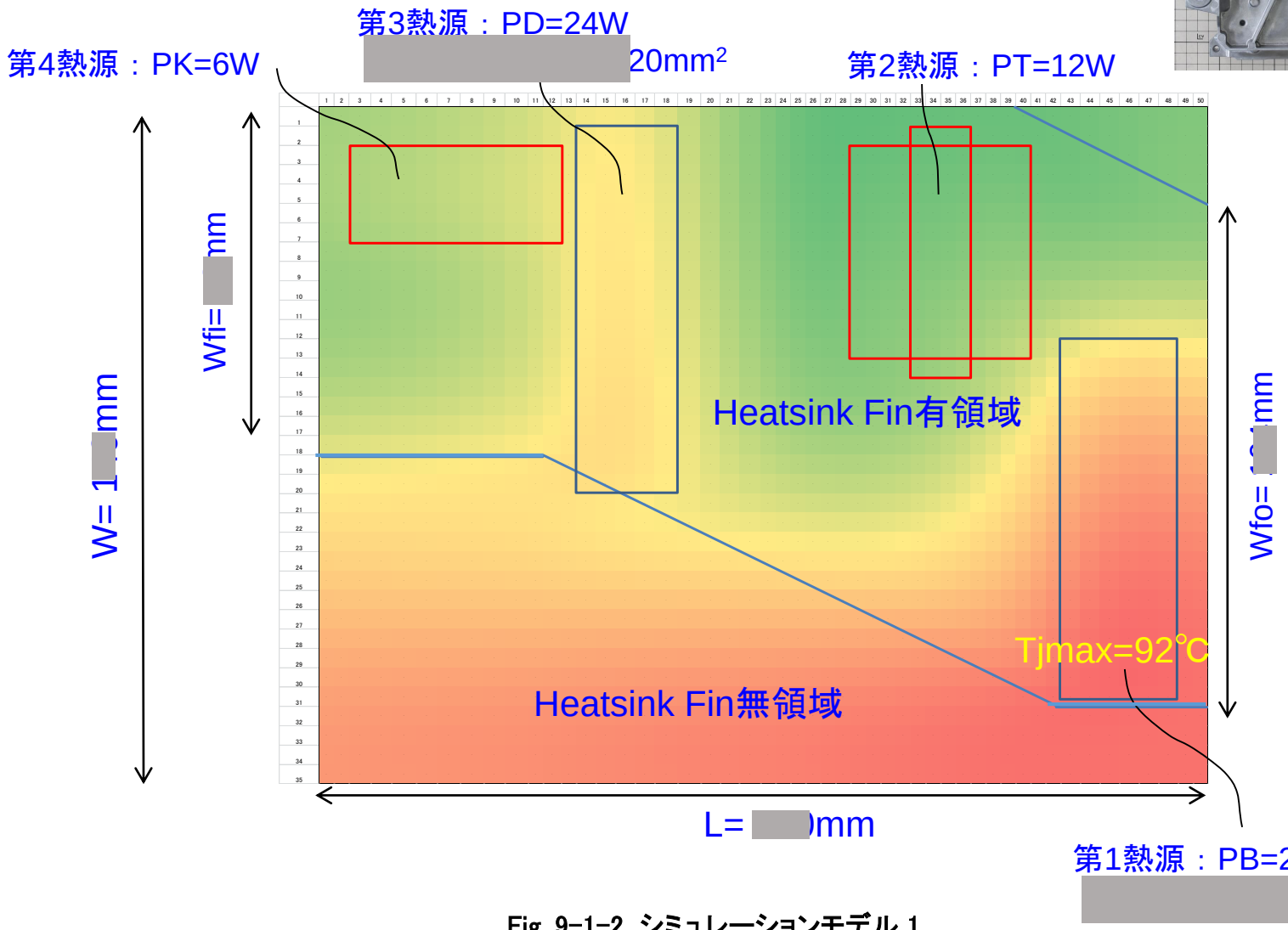


Fig. 9-1-2 シミュレーションモデル 1

9-1. 放熱器における二次元(2D)伝熱解析

Fig. 9-1-3 シミュレーションモデル 2

9-1. 放熱器における二次元(2D)伝熱解析

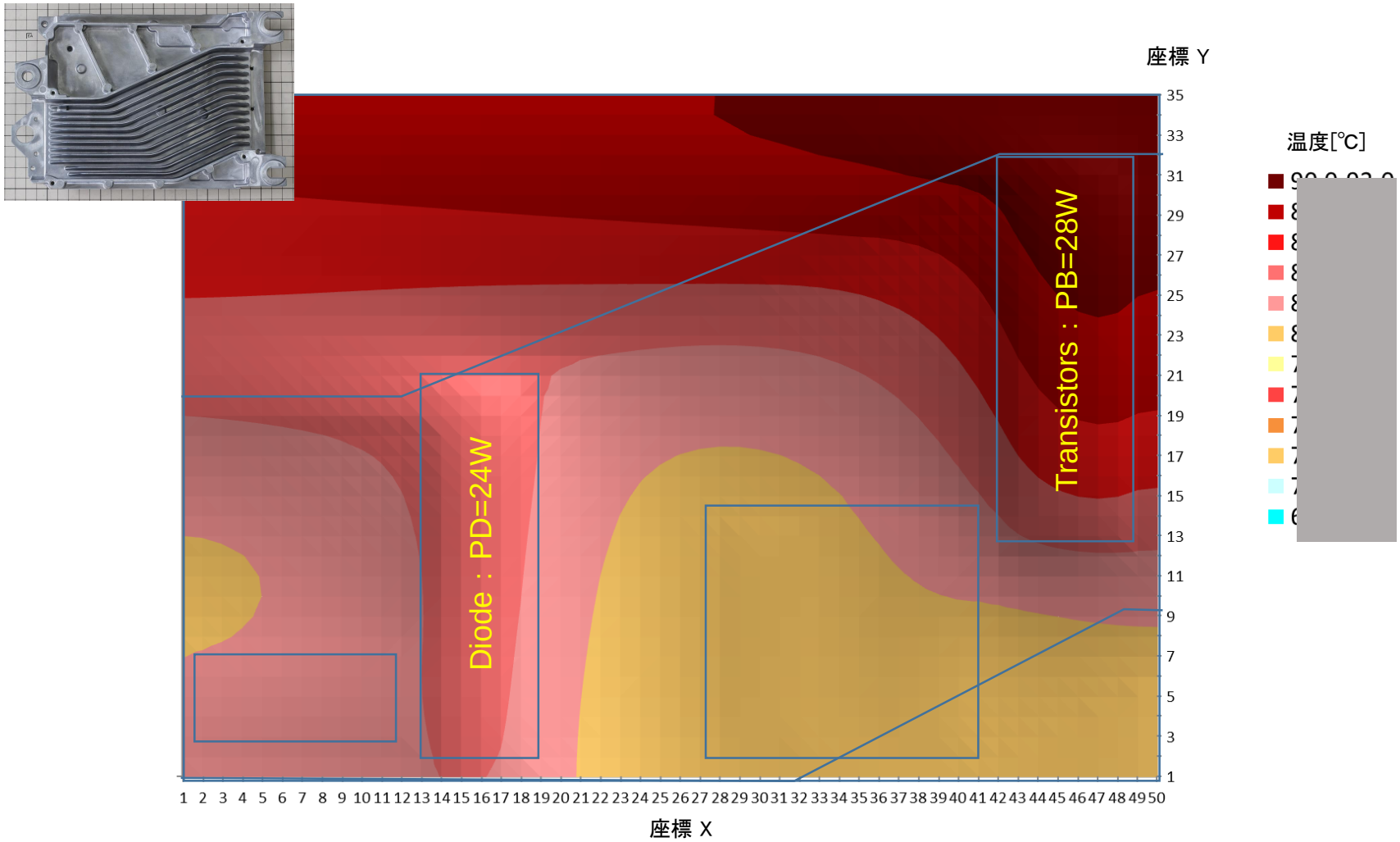


Fig. 9-1-4 放熱器の温度分布 1

9-1. 放熱器における二次元(2D)伝熱解析

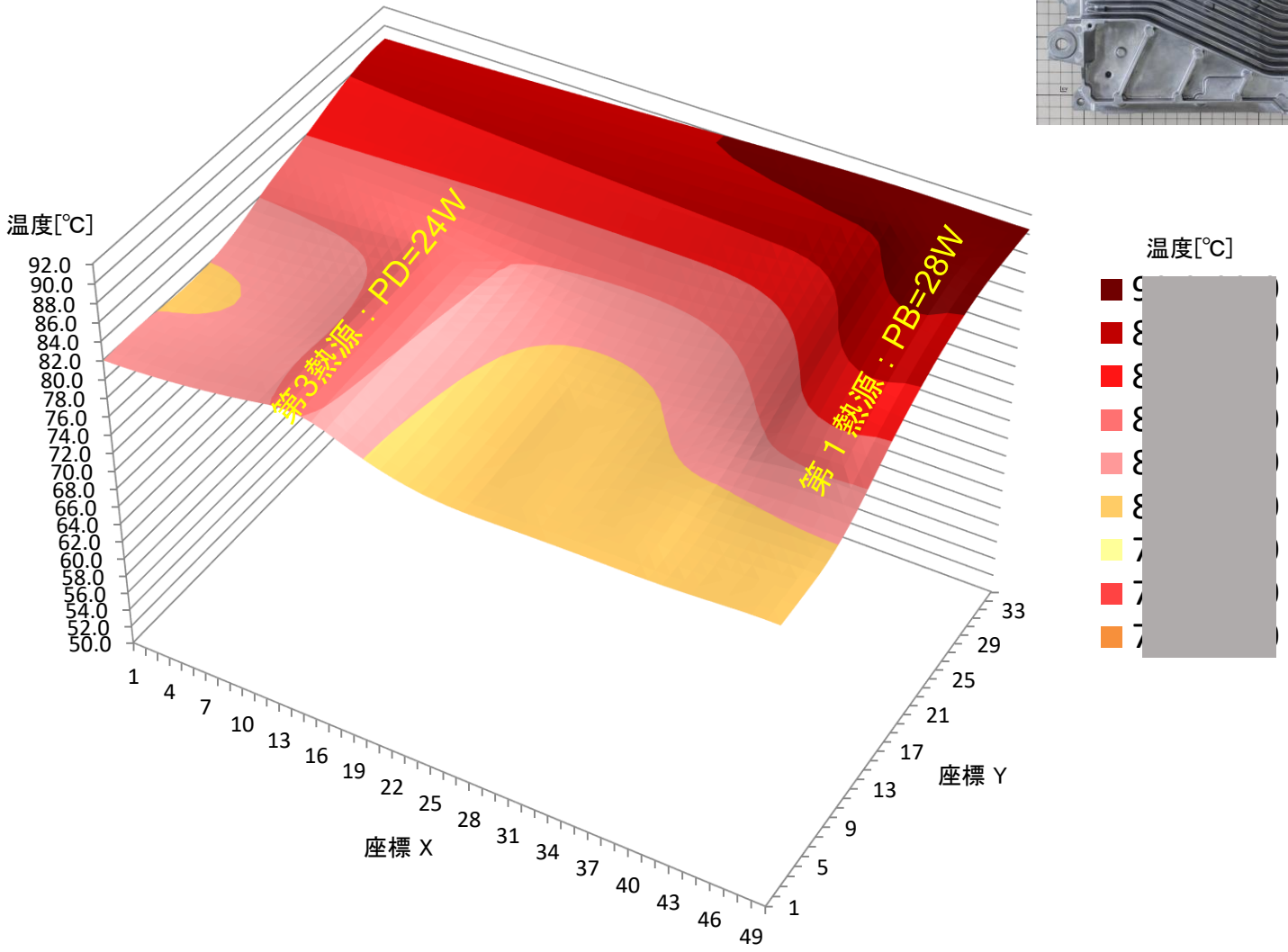
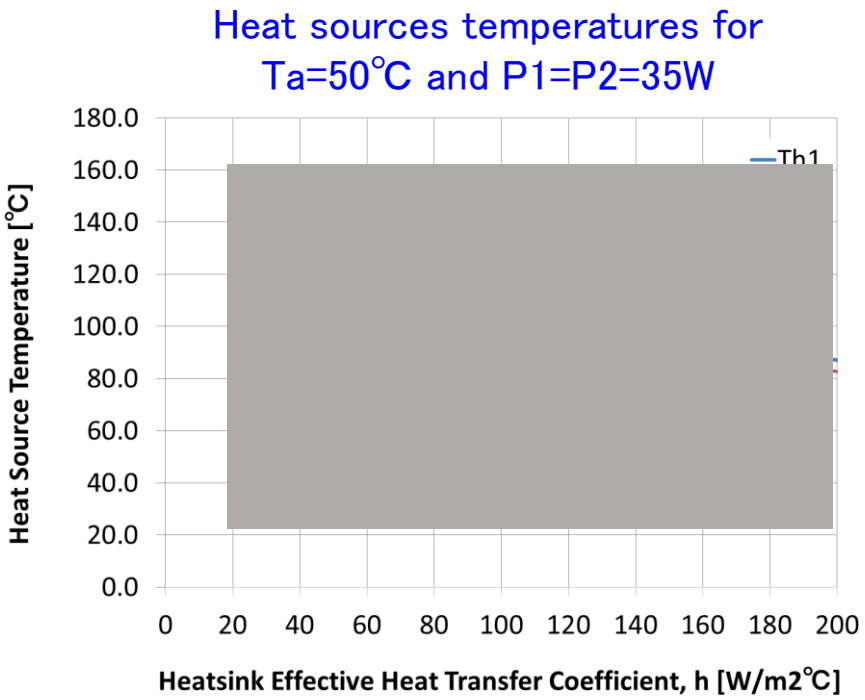


Fig. 9-1-5 放熱器の温度分布 2

9-2. 放熱器の熱特性に伝達率の影響



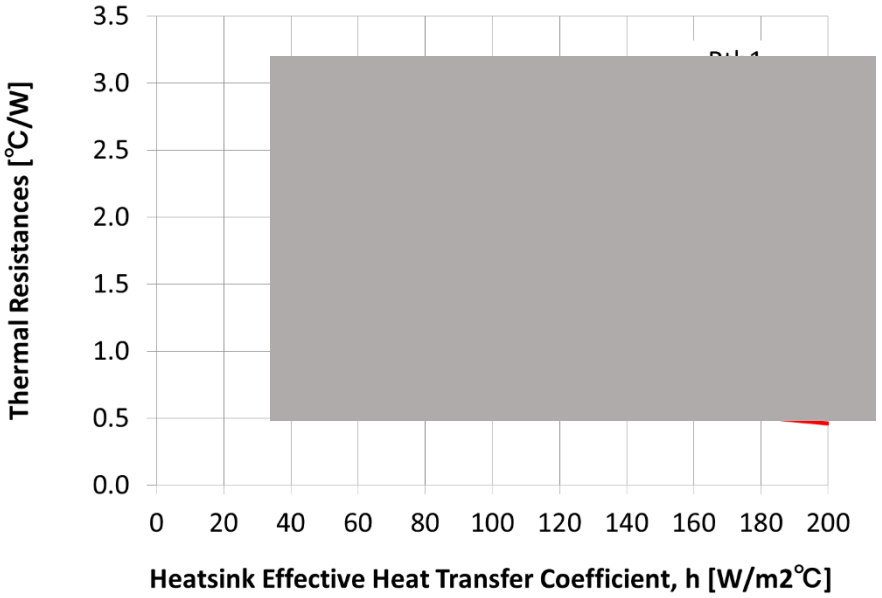
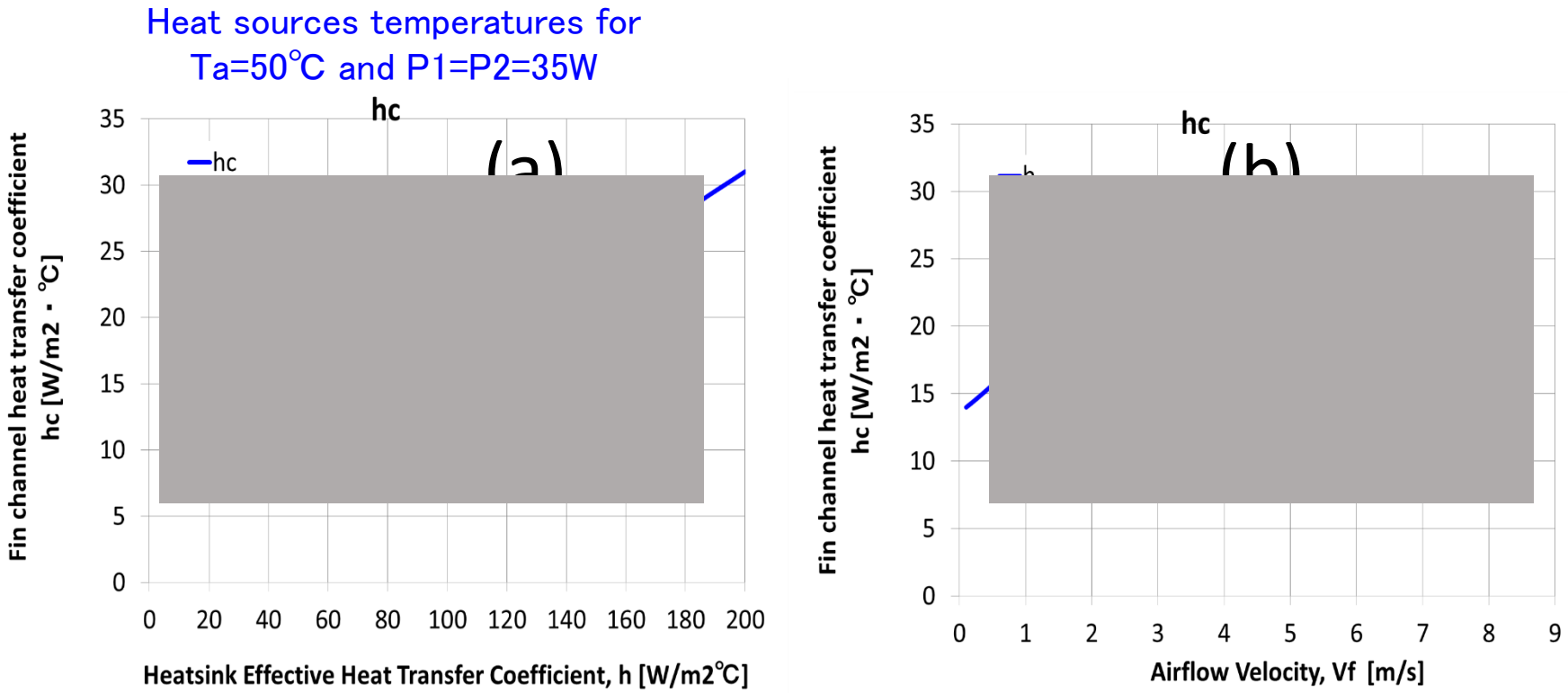


Fig. 9-2-1 放熱器の熱特性に熱伝達率の影響

9-3. 空気流速(Vf)対放熱器フィンチャネル対流熱伝達係数hc



a) 放熱器有効熱伝達係数heffと放熱器フィンチャネル対流熱伝達係数hc(縦軸x)との関係。
b) 空気流速度(Vf)対放熱器フィンチャネル対流熱伝達係数hc(縦軸x)。

この結果から、例えば、heff＝ 180W/m²・℃(フィンチャネル対流熱伝達係数hc～28W/m²・℃相当)を実現するためにVf～6m/s の空冷が必要になります。

Fig. 9-3-1 空気流速(Vf)対放熱器フィンチャネル対流熱伝達係数hc

9-4. ヒートシンク上熱源の位置の影響

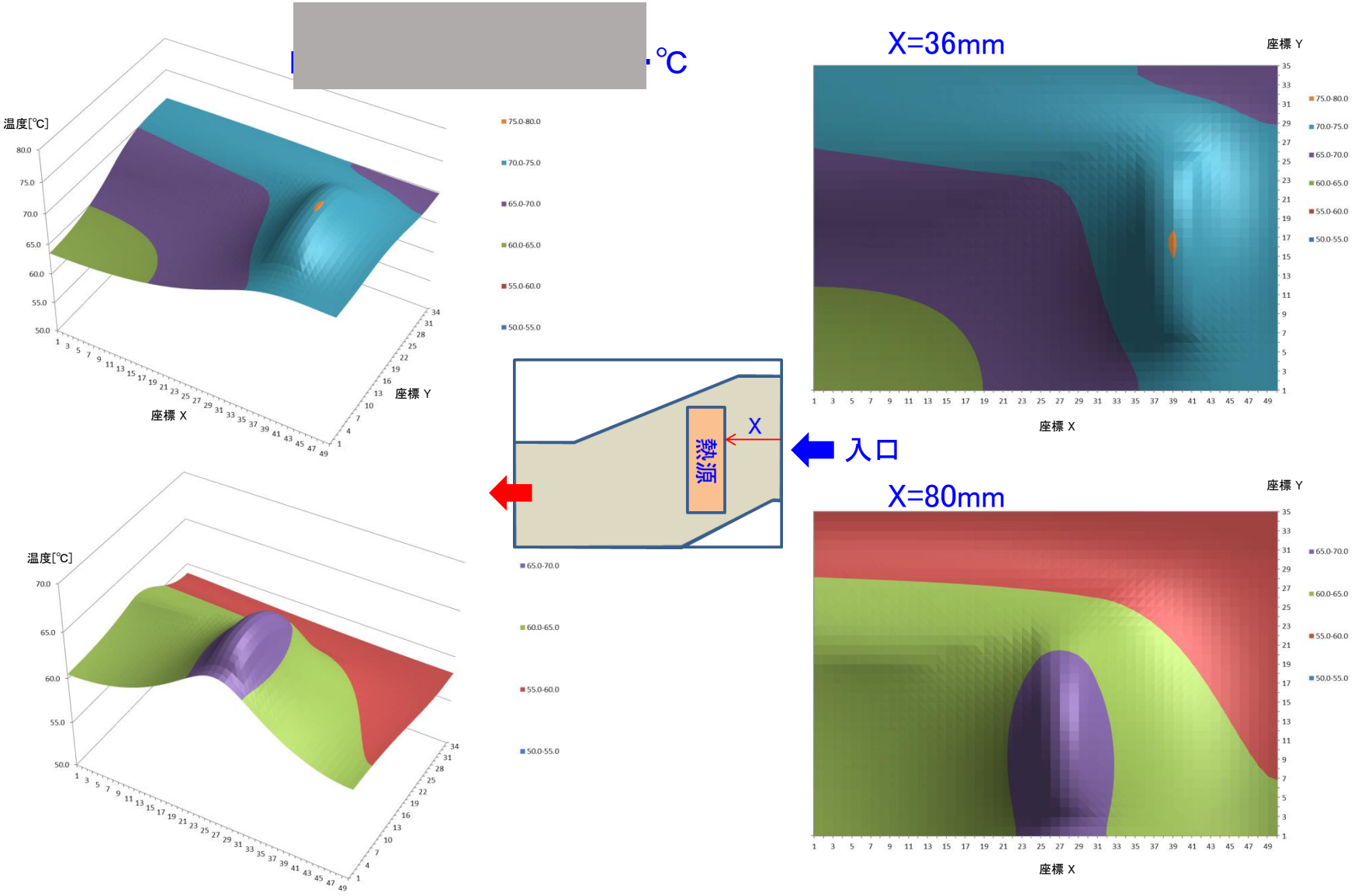
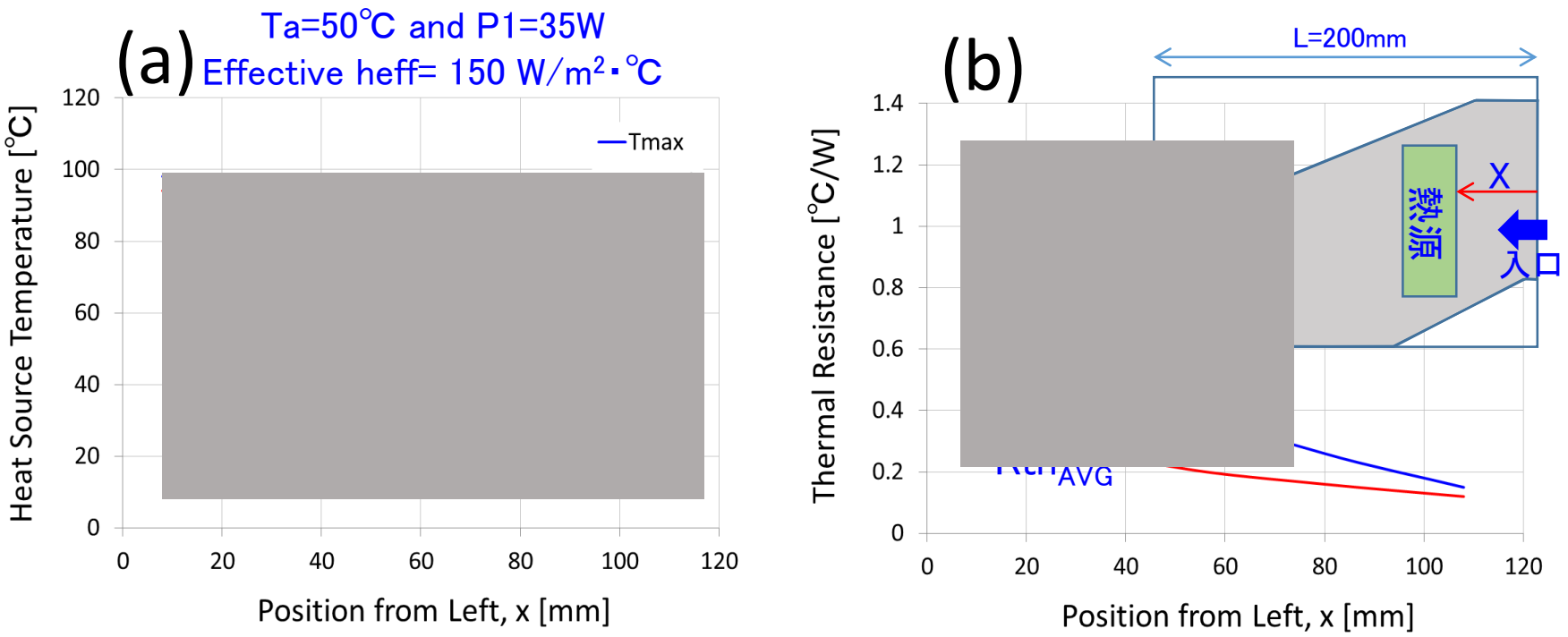


Fig. 9-4-1 ヒートシンク上熱源の位置の影響 1

9-4. ヒートシンク上熱源の位置の影響

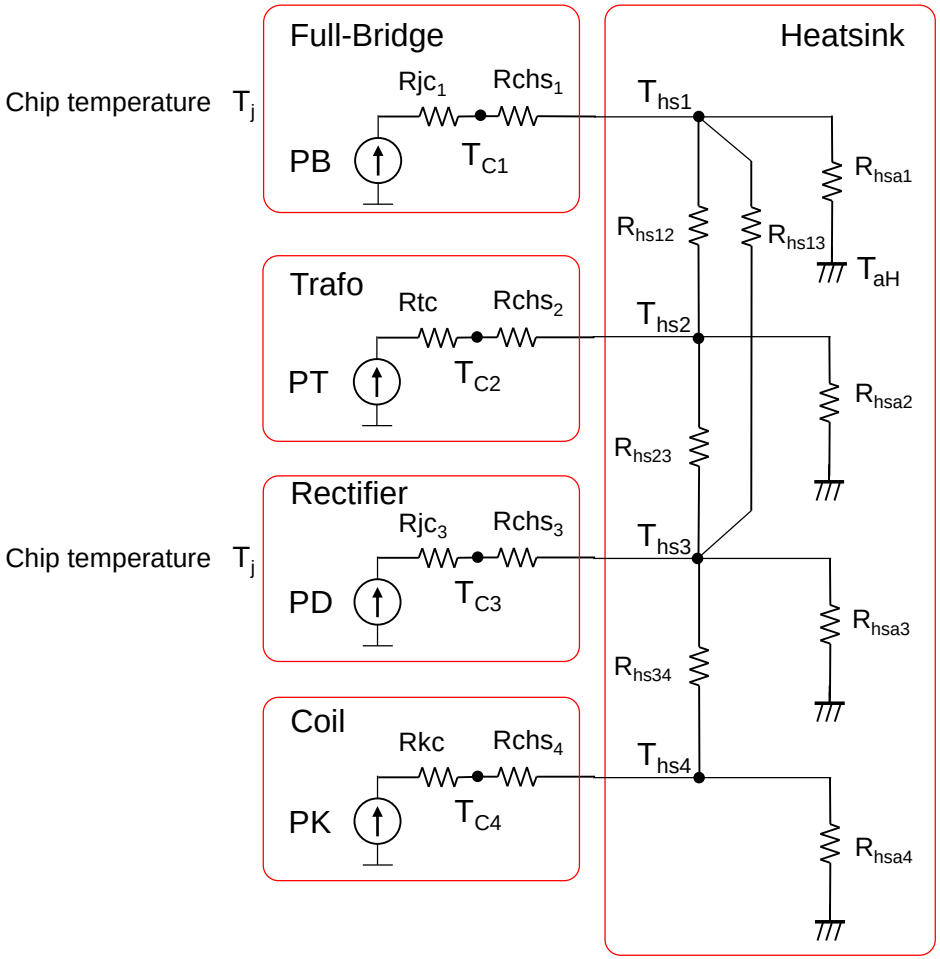


ヒートシンクの左端から測定されるヒートシンク上に熱源位置（x）の効果。
a)熱源の温度（T1）と位置Xとの関係。
b）熱源の熱抵抗Rth温度上昇を低減するために、熱源がヒートシンクのエッジから40ミリメートル以上離れている必要があります。Rth1と平均気温を考慮した熱抵抗Rth_{AVG}。

温度上昇を低減するために、熱源がヒートシンクのエッジから40mm以上離れている必要があります。

Fig. 9-4-2 ヒートシンク上熱源の位置の影響 2

10. DC-DCコンバータ熱等価回路

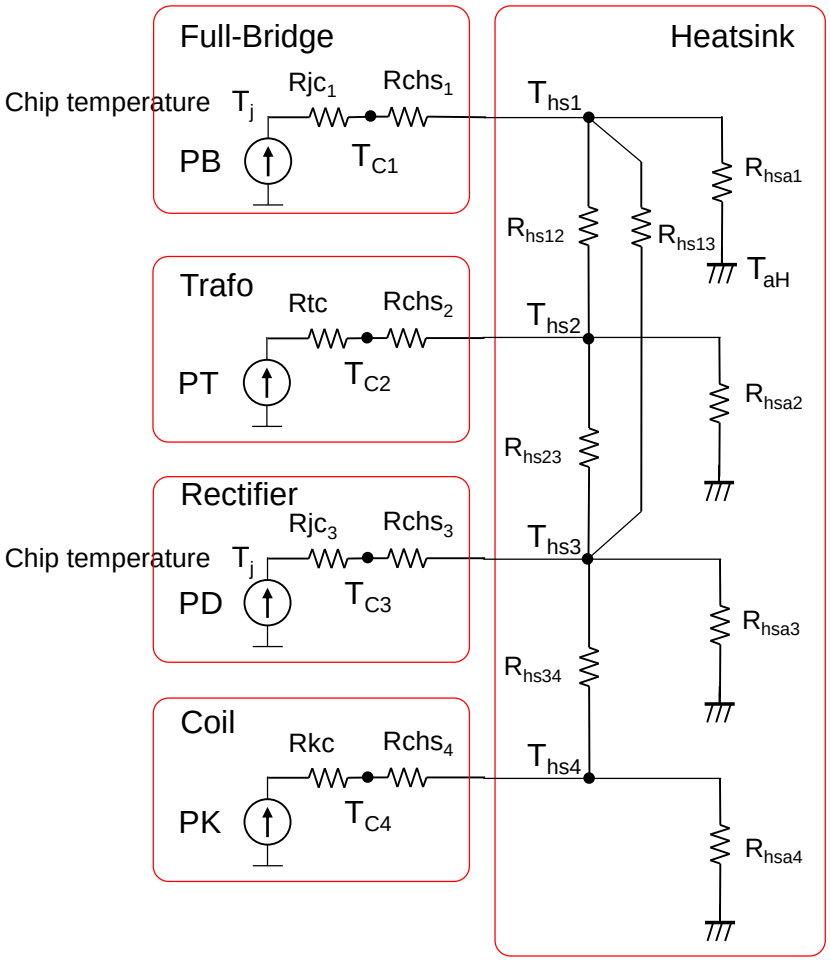


熱抵抗		[℃/W]
Rjc1	MOSFET Junction-pkg case	
Rchs1	MOSFET pkg case-heatsink ＊Insulating conductive heat sheet	
Rtc	Transformer-case	
Rchs2	Transformer case-Heat sink	
Rjc3	Diode Junction-pkg case	
Rchs3	Diode pkg case-heatsink ＊Effect of PCB Via is dominant	
Rkc	Output Coil Core-Surface	
Rchs4	Output Coil Surface-heatsink	
Rhsa1	Full-Bridge Heatsink-Ambient air	
Rhsa2	Transformer Heatsink-Ambient air	
Rhsa3	Diode Heatsink-Ambient air	
Rhsa4	Output Coil Heatsink-Ambient air	
Rhs12	Thermal coupling Full-Bridge-Transformer	
Rhs13	Thermal coupling Full-Bridge-Rectifier	
Rhs23	Thermal coupling Transformer-Rectifier	
Rhs34	Thermal coupling Rectifier-Coil	
Tj	Semiconductor Junction temperature	
Tc	Device/Component Case temperature	
Ths	Heatsink Component side temperature	
TaH	Ambient (Heatsink Fin surface) temperature	
PB	Full-Bridge power loss (k=4)	
PD	Rectifier Diode dissipation	
PT	Transformer power loss	
PK	Output Coil power loss	

主な発熱源と実効熱抵抗を含むDC-DCコンバータの抽出した熱等価回路。

Fig. 10-1 シミュレーション条件

10. DC-DCコンバータ熱等価回路



Device/Componet Temperatures				Limit T
T_1-1	FB Transistors Tj			
T_2-2	Transformer Temperature			R4
T_3-3	Rectifier Diodes Tj			
T_4-4	Coil Temperature			
T_1c	FB Transistors Tc (PKG)			
T_2c	Transformer PCB			R4
T_3c	Rectifier Diodes Tc (PKG-PCB)			R4
Ths1	FB Transistor-Heat sink interface			
Ths2	Transformer Heat sink Interface			
Ths3	Rectifier Diode-Heat sink interface			
Ths4	Coil Heat sink Interface			
TAVG	Heat sink Interface Average Temp			
Rth、hs	Heat sink AVG thermal Resistance	0.4	°C/W	

最大負荷状態時の熱シミュレーションの結果は、
1）最高デバイス温度は、TJ～160℃であり、整流ダイオードで発生する（リミットTjmax=175℃）
2）プリント基板（PCB）内の最高温度(Tpcb_diode～153℃)は、整流ダイオードの取り付け位置で発生します。この値は、FR4材料の許容最大動作温度よりも高い。したがって、PCBがFR4以外の高Tgの材料を使用していると考えられます。

電力損失で熱等価回路を用いて、デバイス・部品の温度を推定されます。選択された電力損失は、推定最大負荷状態を表します：Vo=14V、Io=100A。

Fig. 10-2 シミュレーション結果(最大負荷時)

11. 参考資料

#		ページ
11-1	プリント基板ビア構造と各配線厚	36
11-2	プリント基板Cuパード（L1-L4） 整流器ダイオード 熱抵抗	37
11-3	整流器：出力フィルタコイルL1014 熱抵抗	39
11-4-1	Full-Bridge トランス	40
11-4-2	プレーナ型プリント基板トランス	41
11-5	半導体デバイス・材料の特徴温度	42
11-6	絶縁導熱シート特性	43
11-7	多層プリント配線板用高性能FR-4材料（三菱ガス化学）	44

11. 参考資料

11-1. プリント基板ビア構造と各配線厚

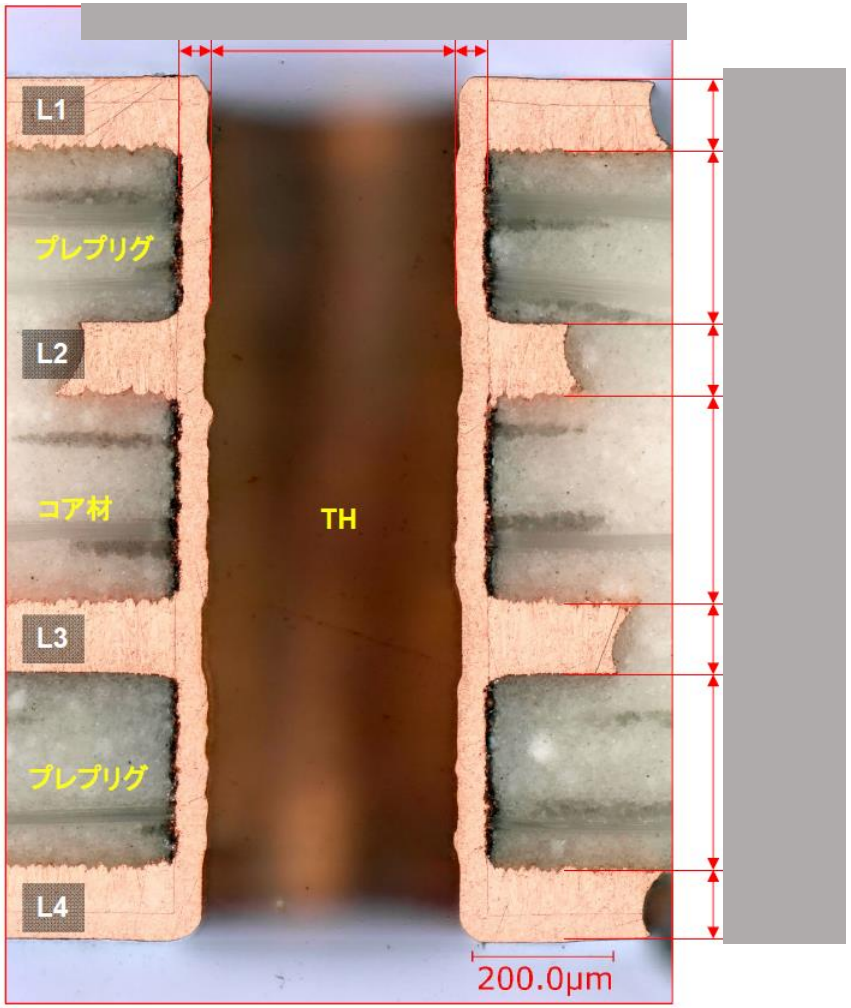
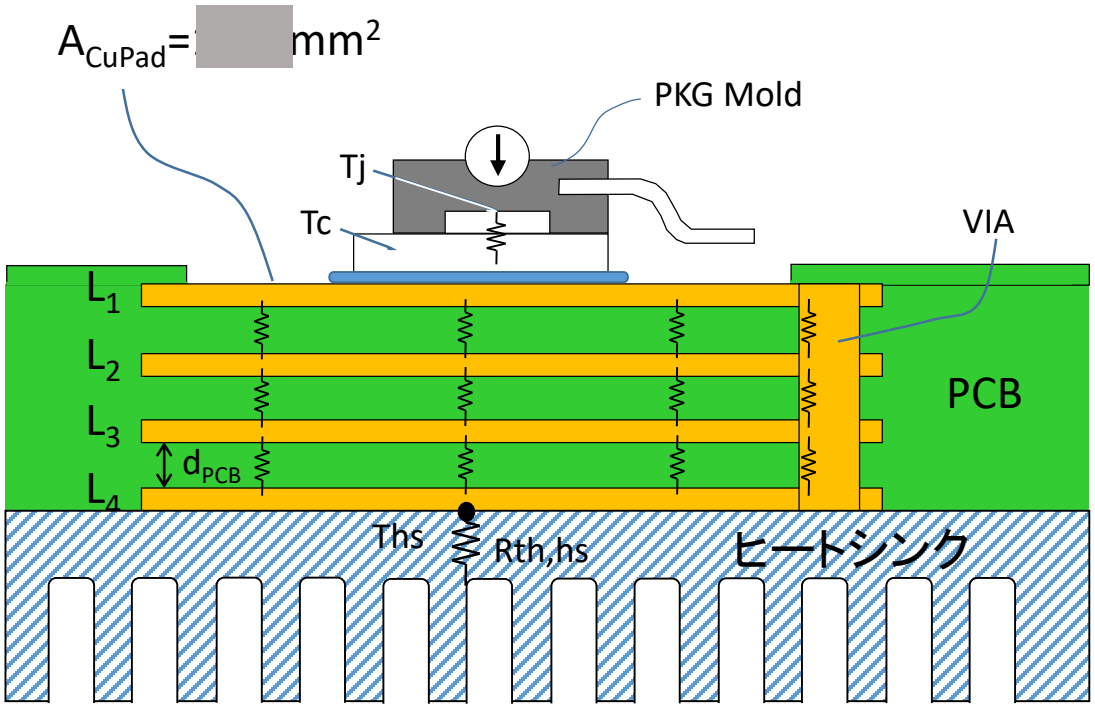


Fig. 11-1 プリント基板ビア構造と各層配線厚

11. 参考資料

11-2. プリント基板Cuパード(L1-L4) 整流器ダイオード 熱抵抗



整流器ダイオード熱抵抗モデル

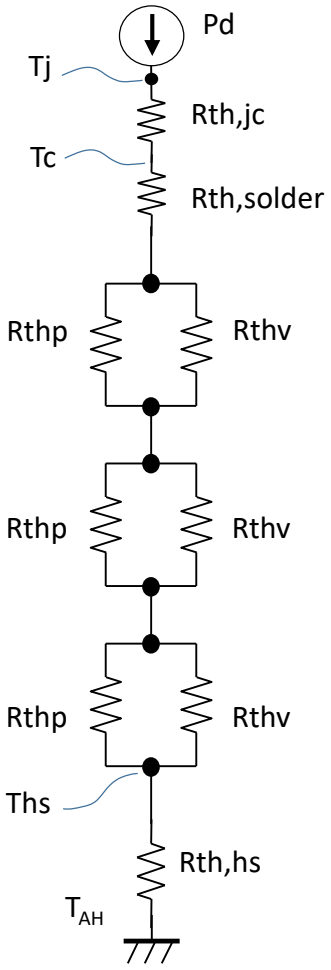
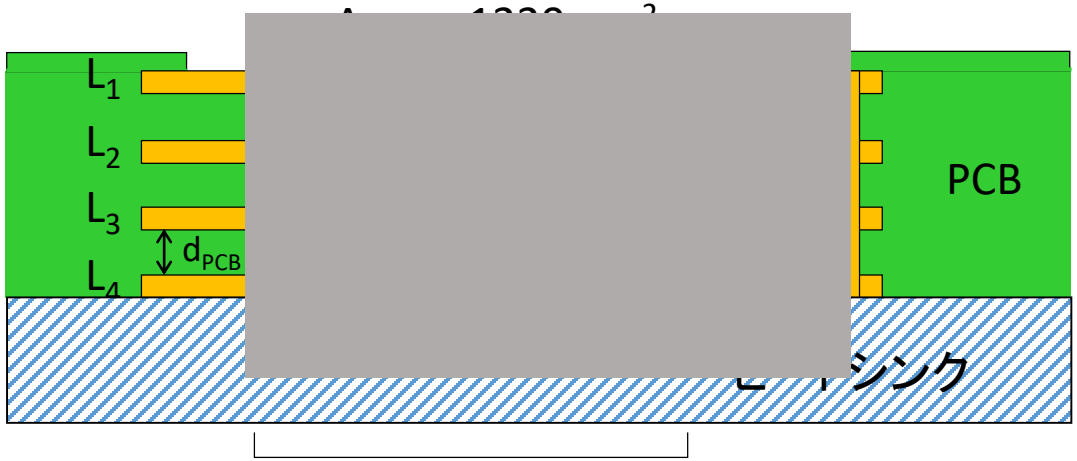


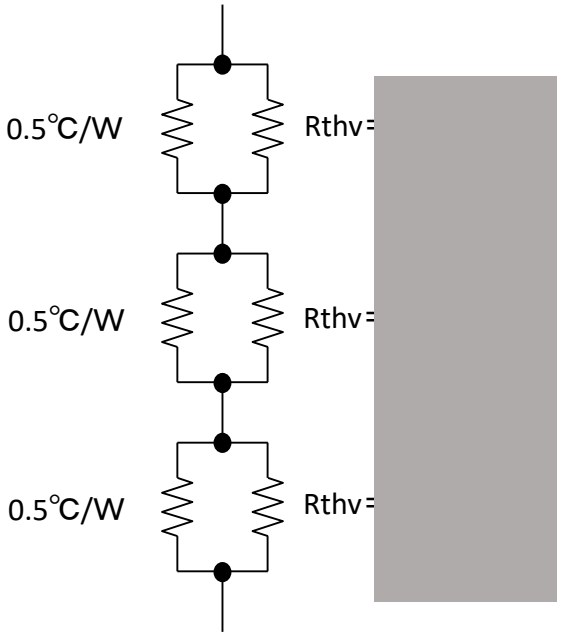
Fig. 11-2-1 プリント基板Cuパード(L1-L4)熱抵抗 1

11. 参考資料

11-2. プリント基板Cuパード(L1-L4) 整流器ダイオード 熱抵抗



ダイオード直下にビアなし



R_{TH} 0.5 ℃ / W

Via / per layer(
PCBの層間熱抵
ヒートシンクへ
Rth～0.85℃/W

並列接続を含む)と推定されます。

基板Cu層L4とL1を相互接続するプリント基板のビアはダイオードの直下に設置することを避け、Cu層端の1行のみ設置しています。
整流器ダイオードの効果的な熱抵抗はビアによって決定されます。
あまり効率が良くないデザインと考えられます。

Fig. 11-2-2 プリント基板Cuパード(L1-L4)熱抵抗 2

11. 参考資料

11-3. 整流器:出力フィルタコイルL1014 熱抵抗

コイルはヒートシンクに直接取り付けられています。通常、コイルの熱抵抗は、周囲空気に曝されるコアおよび巻線の領域からの熱対流を考慮して与えられる。フェライトコア(MB1H9)の熱伝導率はk = 5W / m・℃で想定する。巻線のCu線はコア中心のピラーを加熱し、熱はコアを通ってヒートシンクへ伝導されます。
Cu線はボビンで絶縁されている。熱伝導率の高い熱可塑性プラスチックを使用していると仮定しています(k = 5W / m・℃)。

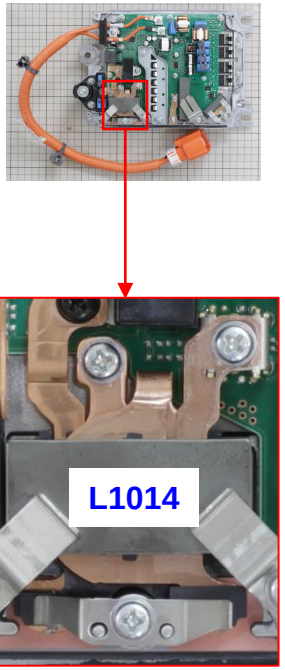
1) Heat f

2) Heat

3) Heat

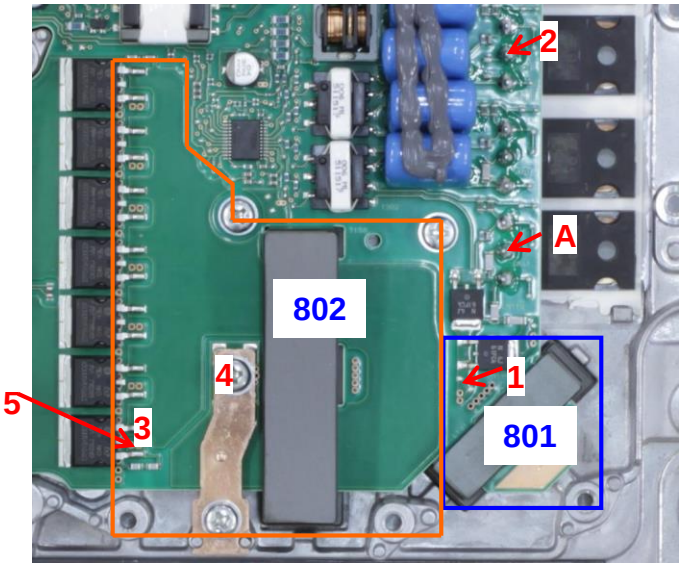
2.8 ℃/W .

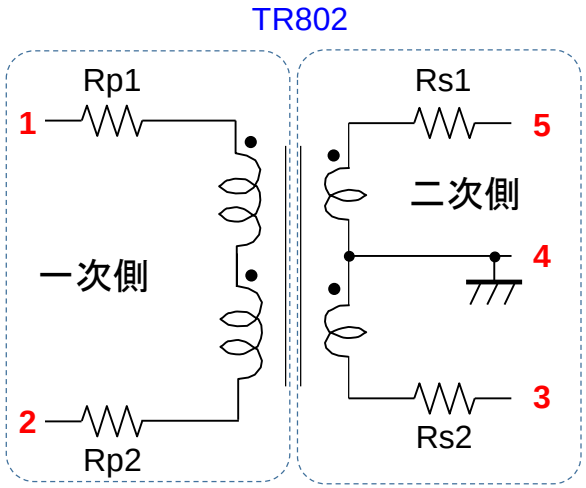
そして、



11. 参考資料

11-4-1. Full-Bridge トランス



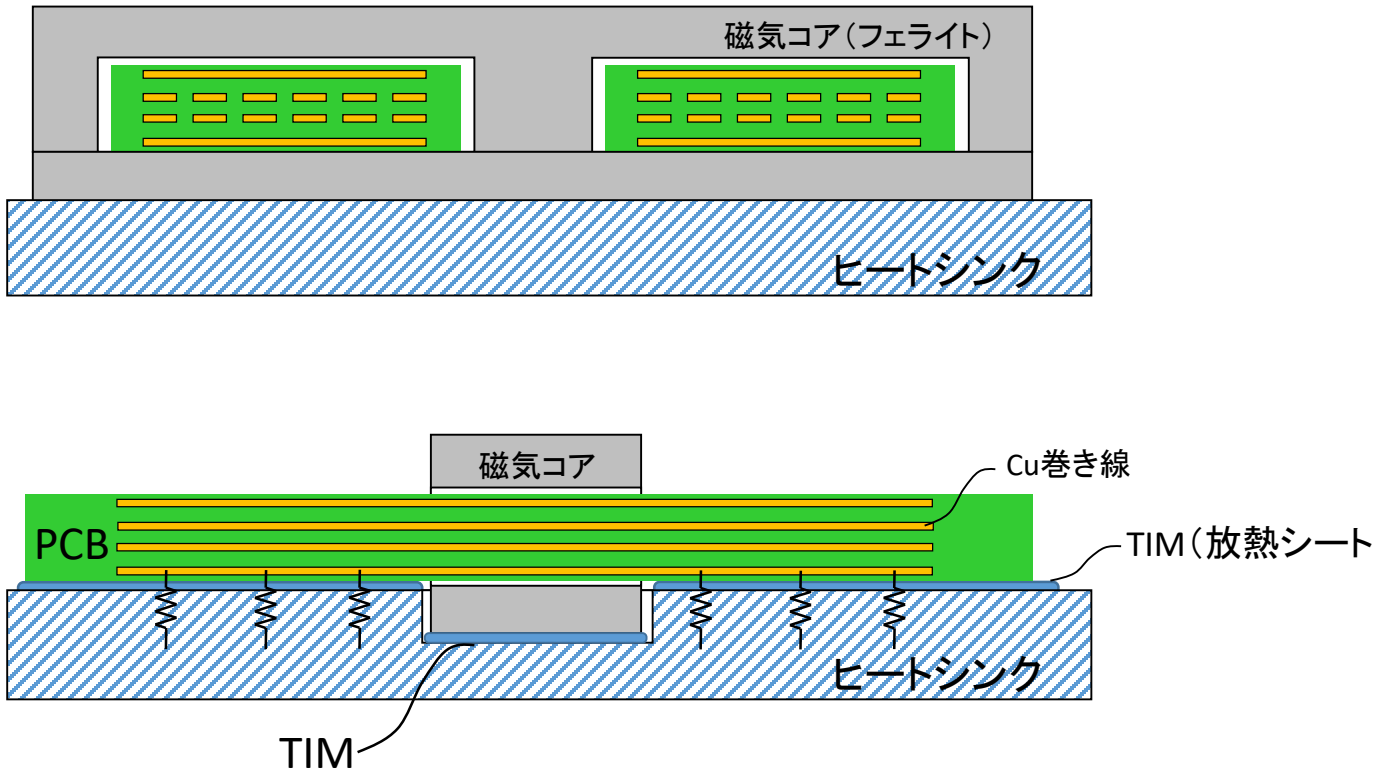


	@ 25℃	@100℃
Rp1 [mΩ]	26	35
Rp2 [mΩ]	26	35
Rs1 [mΩ]	0.94	120
Rs2 [mΩ]	0.96	122

Fig. 11-3-1 Full-Bridge トランス

11. 参考資料

11-4-2. プレーナ型プリント基板トランス



平面プリント基板（PCB）変圧器（TR802）は、の構造が示されています。プリント基板部分は、絶縁導熱シートを介して接続されています。

Fig. 11-3-2 プレーナ型プリント基板トランス

11. 参考資料

11-5. 半導体デバイス・材料の特徴温度

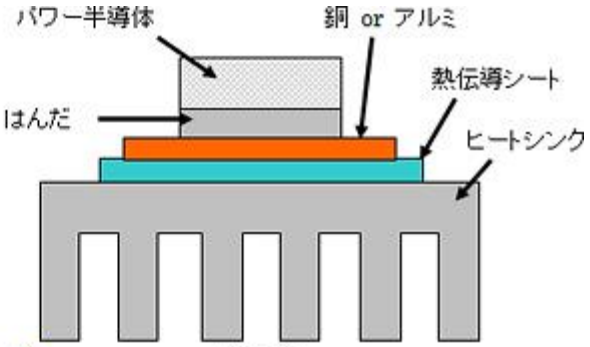
Table 11-5 半導体デバイス・材料の特徴温度

温度[℃]	
−55	最小半導体保存温度
−40	最小自動車の動作温度
85	多くの電解コンデンサの最高温度
125	デジタル回路の典型的な最大動作温度
130	FR4プリント回路基板の最大温度定格
150	シリコンデバイスの典型的な最大接合部温度定格
165-185	典型的なパワートランジスタのシャットダウン温度
155-190	パッケージモールド樹脂のガラス転移温度
183	Sn63Pb37 (63% tin, 37% lead)半田の融点
188	Sn60Pb40 半田の融点
217-220	Sn96.5Ag3.0Cu0.5 (96.5% tin, 3% silver, 0.5% copper)半田の融点
280	ダイアタッチ半田の典型的な融点
350	PNダイオードの順方向電圧Vfが0Vに近づきます （Siパワーデバイスの真性温度 Ti）
660	純アルミニウムの融点
1400	シリコンの融点

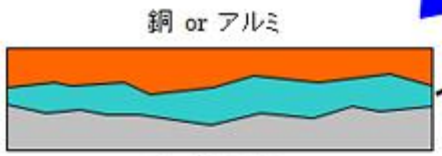
11. 参考資料

11-6. 絶縁導熱シート特性

熱伝導シートによる銅とアルミの接合



応用例



拡大図

(銅 or アルミ/熱伝導シート/ヒートシンク)

部材表面に微小な凹凸が存在
⇒空隙で熱抵抗が大きくなる

熱伝導シートを挟むことで…

- 柔軟なシートの密着性で空隙をなくす
- 異材間の界面熱抵抗を大幅に低減

放熱シート	メーカ
	古河電子
熱伝導性 (W/m・K)	
高耐熱性 (℃)	
高絶縁性 (Ω・cm)	
絶縁破壊強度 (kV/mm)	
柔軟性	
密着性・粘着性に優れている	
低分子シロキサンの揮発がほとんど無い	

古河電子株式会社
http://www.furukawa-denshi.co.jp/product/alumi/zetsuen.html

11. 参考資料

11-7.多層プリント配線板用高性能FR-4材料(三菱ガス化学)

Table 11-7 多層プリント配線板用高性能FR-4材料(三菱ガス化学)

一般材料特性一覧表

項目	測定条件	単位	EL190T	EL190T	EL230T	EL700
比誘電						
誘電正						
絶縁抵						
表面抵						
体積抵						
曲げ強						
曲げ弾						
引張強						
ヤング						
ポアソ						
ガラス						
熱膨張						
熱伝導						
比熱						
熱分解						
Time						
Delar						
ピール						
	18μ-VLP	A	kN/m	1.1	1.1	1.1	0.8
樹脂比重		A	–	1.44	1.44	1.42	1.51
耐燃性	UL94	E-168/70	–	V-0	V0	V-0	V-0