

A3.パワーモジュール電源の放熱設計

1)放熱設計の必要性について

パワーモジュール電源は原則、電源ベースプレート部からの放熱が必要となります。最終的には実機でご確認いただく必要はあります。しかしながら、放熱構造(ヒートシンク等の大きさ及びファンの有無等)は装置の仕様(外形等)への影響もあり、事前に設計されることをおすすめします。

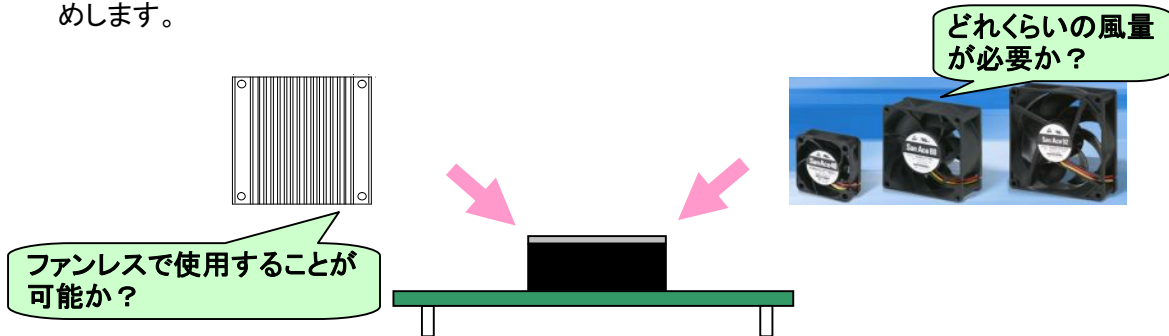


図3.1.1 パワーモジュール電源の放熱設計について

2)放熱設計について

①ベースプレート温度について

パワーモジュール電源は、図3.2.1に示すベースプレート温度以下で使用するよう設計されています。例えば、DHSシリーズにおいては最高ベースプレート温度が図3.2.1の範囲を超えないようにしてください。また、電源の信頼性は、ベースプレート温度に依存します。

信頼性の要求される環境下でご使用の場合は、ベースプレート温度を低くしてご使用下さい(詳細は「A4.信頼性について」をご確認願います)。

ベースプレート温度はベースプレート中央でご確認下さい。また、取り付け状態によりベースプレート温度が測定できない場合、一部の製品ではベースプレート端面の温度を基準温度とできません(例えば、DHSシリーズの場合は5°C温度マージンを取ってください。詳細は各製品の取扱説明をご確認願います)。

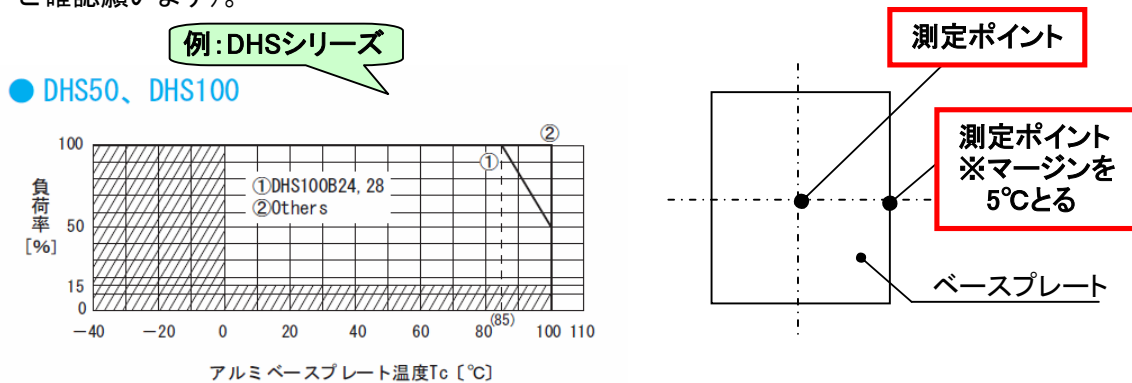
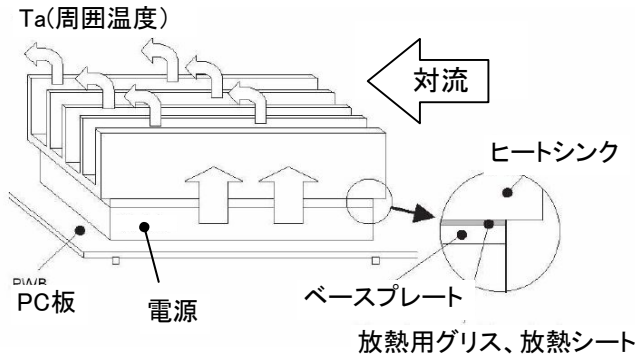


図3.2.1 パワーモジュールの温度ディレーティングと測定ポイント

②電源の発熱について

機器の発熱量は、その機器の消費電力(つまり内部損失)に依存します。これは電源においても同様です。電源の消費電力(損失)は下記のように求められます。



内部損失(Pd)の算出式

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100$$

↓

$$P_d = P_{in} - P_{out}$$

OR

$$P_d = \frac{1 - \eta}{P_{in}} \times P_{out}$$

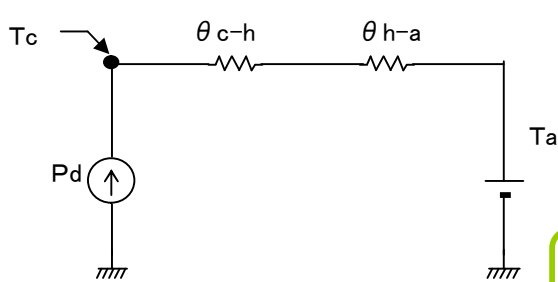
P_{in}: 入力電力[W]
 P_{out}: 出力電力[W]
 P_d: 内部損失[W]
 η: 効率[%]

図3.2.2 パワーモジュール電源の内部損失について

③熱抵抗について

パワーモジュール電源において、熱は電源のベースプレートから熱伝導によりヒートシンクに伝わり、ヒートシンクからの対流で周囲の空気に放熱されます。

電源の内部損失や伝導放熱の経路にあるヒートシンク等の熱抵抗が分かれば、図3.2.3に示す熱等価回路で表すことができます。この熱等価回路から、任意の周囲温度でのベースプレート温度を計算することができます。



θ_{h-a}: 放熱器熱抵抗[°C/W]
 θ_{c-h}: ベースプレートと放熱器間の接触熱抵抗[°C/W]
 (放熱用グリスや放熱用シートなど)
 P_d: パワーモジュール電源内部損失[W]
 T_c: ベースプレート温度[°C]
 T_a: 周囲温度[°C]

アルミベースプレート温度との関係式

$$T_c = P_d \times (\theta_{c-h} + \theta_{h-a}) + T_a$$

一般に熱等価回路はオームの法則で例えられます。
 ・ ΔT: 温度上昇値 → ΔV: 電圧降下値
 ・ P: 損失値 → I: 電流値
 ・ θ: 熱抵抗値 → R: 抵抗値

図3.2.3 熱等価回路について

④実際の放熱設計方法について

具体的な設計例を示します。
ここではCHS4004812B(クォータブリックサイズ)が下記条件で使用されると想定します。

使用条件

- ・入力電圧: 48V
- ・出力電圧: 12V
- ・最高周囲温度: 50°C
- ・出力電流: 20A

図3.2.4に設計の考え方を示します。
まずは、「a: 放熱に必要なヒートシンク(筐体)熱抵抗値の算出」を行います。
次に必要な放熱構造(ヒートシンク仕様、空冷条件)を確認します。ここでは、一例として
・「b: 当社オプションヒートシンクを使わない場合」
・「c: 当社オプションヒートシンクを使う場合」
・「d: 筐体放熱を行う場合」
の3パターンで検討します。

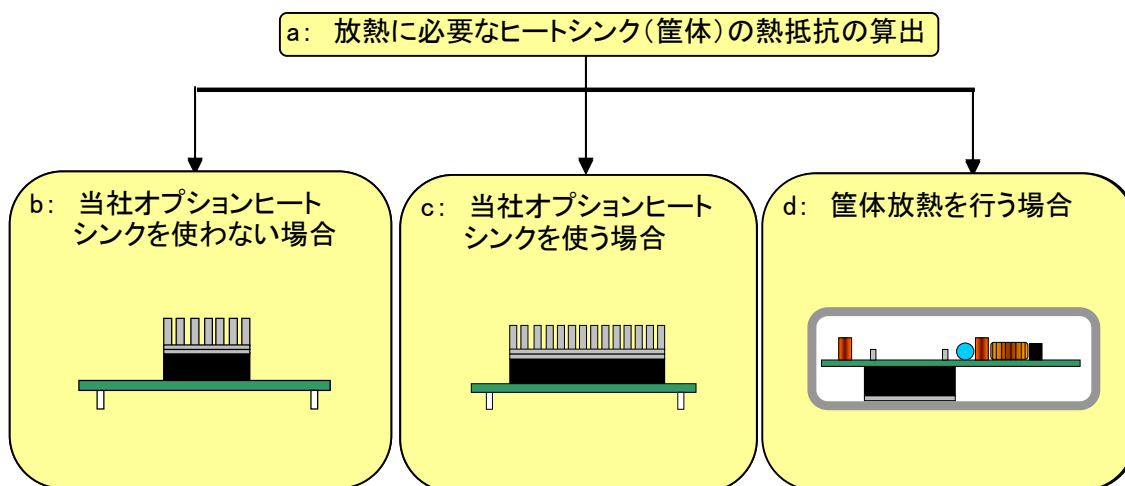


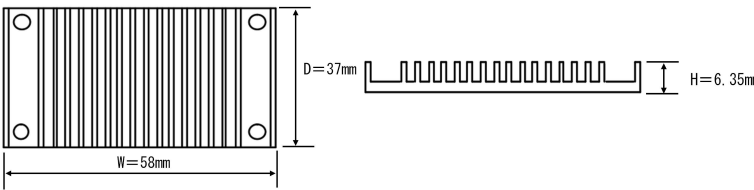
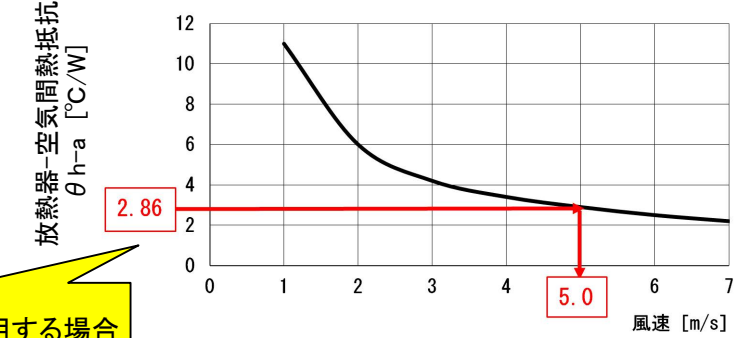
図3.2.4 設計の考え方

a: 放熱に必要なヒートシンク(筐体)熱抵抗値の算出

手順	内容	設計例
1	最高周囲温度 T_a [°C]、 最高アルミベース プレート温度 T_c [°C] を決める	使用条件から $T_a=50$ [°C] 信頼性向上のため、ここではアルミベースプレート温度が80°C以下になるように設計します。 $T_c=80$ [°C]
2	最大出力電力 P_{out} [W]を求める	$P_{out} [W] = V_{out} [V] \times I_{out} [A]$ (出力電圧 × 出力電流) $= 12 \times 20 = 240$ [W]

手順	内容	設計例
3	入力電力Pin[W]を求める	<p>Pinを求めるため、当社ホームページのテクニカルデータより「特性データ」をダウンロードします。特性データ内に「負荷電流-入力電力(Input Power by Load current)」特性のグラフがあります。グラフからお客ご使用条件における入力電力を読み取ります。</p> <p>1.Graph</p> <ul style="list-style-type: none"> —△— Input Volt. 36V ---□--- Input Volt. 48V -·-○-·- Input Volt. 76V <p>図3.2.5 CHS4004812B 入力電力-負荷電流特性</p>
4	内部損失Pd[W]を求める	$Pd[W] = Pin[W] - Pout[W]$ <p>(入力電力 - 出力電力)</p> $= 249.8 - 240.0$ $= 9.8 [W]$
5	接触抵抗 $\theta_{c-h}[^{\circ}C/W]$ を決める	アルミベースプレートとヒートシンク間の接触熱抵抗を決めます (ここでは熱抵抗0.2[$^{\circ}C/W$]のグリスを使用します)。
6	ヒートシンクの熱抵抗 $\theta_{h-a}[^{\circ}C/W]$ の上 限値を求める	$\theta_{h-a}[^{\circ}C/W] = \frac{T_c[^{\circ}C] - T_a[^{\circ}C]}{Pd[W]} - \theta_{c-h}[^{\circ}C/W]$ $= \frac{80[^{\circ}C] - 50[^{\circ}C]}{9.8[W]} - 0.2[^{\circ}C/W]$ $= 2.86[^{\circ}C/W]$

b: 当社オプションヒートシンクを使わない場合

手順	内容	設計例
1	ヒートシンクの選定をおこなう。	<p>例えば、当社オプションヒートシンク外形等がお客様要求を満たさない場合が考えられます。その場合、要求を満たすヒートシンクを当社オプション以外で探す必要があります。ここでは下記のヒートシンクを使用することにします。</p>  <p>図3.2.6 ヒートシンク外形(当社オプションパーツ以外)</p>
2	<p>必要な風速を求める</p> <p>【検討結果】 本ヒートシンクを使用する場合は、図3.2.7から5.0[m/s]以上の空冷が必要となります。</p>	<p>ヒートシンクの熱抵抗-風速特性から必要な風速を読み取ります。(「a: 放熱に必要なヒートシンク(筐体)熱抵抗値」でもとめた熱抵抗値以下となる条件を読み取ります)。 ヒートシンクの熱抵抗特性の表現方法は、メーカーによって異なるため詳細はヒートシンクメーカーにお問い合わせ下さい。</p>  <p>図3.2.7 ヒートシンクの熱抵抗-風速特性</p>
3	ファンを選定する	強制空冷が必要な場合、求めた風速条件を満たすファンを選定します。

c: 当社オプションヒートシンクを使う場合

※当社電源においては「ハーブリックサイズ (58.4mm × 61.0mm)」「クォータブリックサイズ (58.4mm × 37.3mm)」において、オプションヒートシンクをご用意しております。

手順	内容	設計例
1	別紙1の「4)ディレーティングカーブ」を確認します。	<p>当社オプションヒートシンクを用意している電源は負荷率と周囲温度、強制空冷条件の関係を示したディレーティング特性を準備しています(別紙1に電源サイズごとのディレーティング特性を示します)。本特性をもとに検討いただけます。</p> <p>図3.2.8 ディレーティング特性 ※別紙1の「F-QB-F1/F2、Bp=80[°C]」抜粋</p>

【検討結果】
F-QB-F1/F2を使用する場合は、図3.2.8から2.5m/s(500LFM)の空冷が必要となります(条件とした最高周囲温度50°Cで使用したい場合)。

d: 筐体放熱を行う場合

手順	内容	設計例
1	<p>別紙2の「3)ディレーティングカーブ」を確認します。</p> <p>筐体により検討方法は様々です。別紙2である規定の筐体(アルミ板)放熱させた場合のディレーティングカーブをまとめました。</p>	<p>筐体の熱抵抗が要求の熱抵抗を満たすか確認する必要があります。当然、筐体の種類(大きさ、材質、厚み、塗装条件)の影響を大きく受けることとなります。あくまで参考ではありますが、別紙2である規定の筐体(アルミ板)に電源を取り付けた際のディレーティングをまとめました。</p> <p>図3.2.9 ディレーティング特性(別紙2抜粋) ※別紙2の図3.5.7抜粋</p>

【検討結果】
今回の検討した筐体(アルミ板)を使用する場合は、図3.2.9から周囲温度62°Cで使用できます。(条件とした最高周囲温度50°Cを満たします)

- ⑤実機確認を行う。
最終的には実機でベースプレート温度を測定し、周囲温度50[°C]のときに80[°C]以下になることを確認します。

3)放熱設計の注意点について

①設計計算値について

- 設計手順を上記にて示してきましたが、設計計算値はあくまで目安としてお使いください。設計手順では、プリント基板への放熱、周囲への輻射は無いものとして扱っています。また、周囲の空気の対流条件、ヒートシンクへの風量・風速が大きく影響します。これらの要因によって設計値と実測値とは必ずしも一致しません。必ず実際の装置で確認し、ベースプレート温度が設計値以下であることを確認してください。
- 設計計算値よりもベースプレート温度が高くなる場合には、
 - ◎熱抵抗の小さいヒートシンクに変更する
 - ◎風量の大きなファンに変更する
 - ◎ヒートシンクに風が当たりやすく流れやすくなるように部品配置を変更する
 などを行い、ベースプレート-空気間の熱抵抗を下げてください。

②ベースプレートとヒートシンク間の接触熱抵抗について

- 接触熱抵抗のばらつきを低減するために、ベースプレートとヒートシンク間に放熱用グリスや放熱シートご使用ください。グリス、シートにはそれぞれ次のような特徴があります。
 - ◎放熱用グリス: 熱抵抗が低い(0.2~0.3°C/W)。
 - ◎放熱用シート: 放熱用グリスよりも熱抵抗が高い(0.3~0.4°C/W)。作業性が良い。
 なお、放熱用グリス使用時は、薄く均一に塗布してください。
- ベースプレートとヒートシンクが密着しないと、接触熱抵抗が非常に大きくなり放熱不足になります。ヒートシンクを取り付けるときは、取付穴全てをネジ止めしてください。

③ファンについて

- 同じファンを使用しても、部品配置、配線状況、空気の流路の間隔などで風速は大きく変わりますので、必ず実際のセットでベースプレート温度を確認してください。また、ファンの寿命、定期メンテナンス等に十分注意してください。

④ヒートシンク熱抵抗-風速特性について

- 一般にヒートシンクメーカーのカタログは、接触熱抵抗を含まない値が記載されています。ヒートシンクの熱抵抗は、
 - ◎取り付け状態(図3.3.1)
 - ◎周囲の条件
 (基板、部品、筐体との間隔や、自然対流通路を妨げる部品配線の有無、空気の流れやすさなど)で大きく変化しますので、必ずベースプレート温度を実機で確認願います。

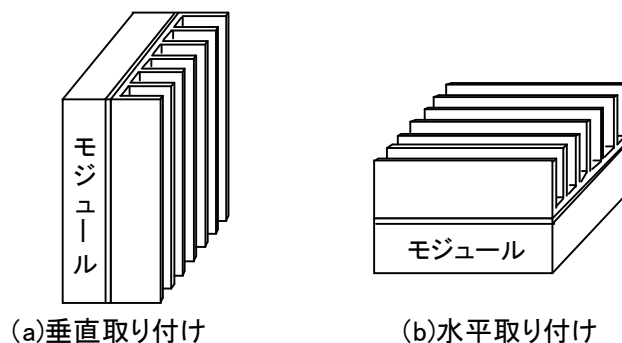


図3.3.1 取り付け状態

別紙1.当社オプションヒートシンク使用でのデレーティングカーブ

下記に電源ベースプレート温度ごとのデレーティングカーブ目安を示します。
最終的にはベースプレート温度を実機でご確認願います。

1)デレーティングカーブ想定条件

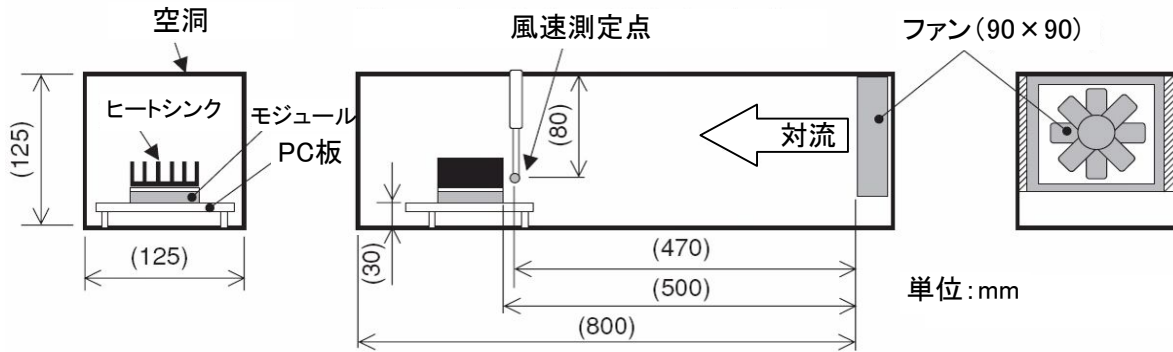


図3.4.1 想定条件

2)確認例

検討条件： CHS4004812B
電源最大周囲温度： 50[°C]
内部損失： 9.8[W]

信頼性を考慮して、例えばベースプレート温度80°C以下を目標値とします。
「4)デレーティングカーブ」に示す任意のオプションヒートシンクでのデレーティングカーブで使用可能となる空冷条件を確認します。

※図3.4.2に「クォータ(1/4)ブリックサイズ」、「Bp=80°C」、「F-QB-F1/F2」のデレーティングカーブを抜粋します。

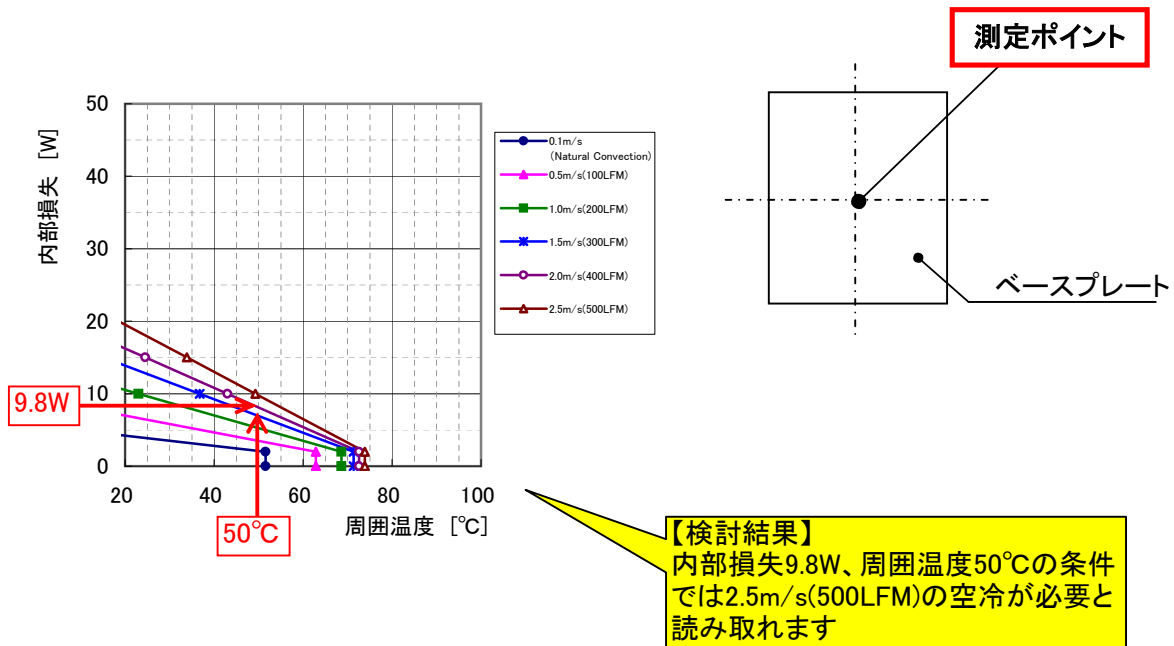


図3.4.2 デレーティングカーブ(「クォータ(1/4)ブリックサイズ」、「Bp=80°C」、「F-QB-F1/F2」)

3) オプションヒートシンク

① ハーフ(1/2)ブリックサイズ

表3.4.1 ハーフ(1/2)ブリックサイズ用オプションヒートシンク一覧

No.	Model 型名	Size [mm] 外形寸法			Thermal resistance [°C/W] 熱抵抗		Style 形状
		H	W	D	Convection	Forced Air 強制空冷	
					自然空冷 (0.1m/s)		
1	F-CBS-F1	12.7	57.9	61.5	7.5	図3.7参照	横型
2	F-CBS-F2	12.7	58.4	61.0			縦型
3	F-CBS-F3	25.4	57.9	61.5	4.6		横型
4	F-CBS-F4	25.4	58.4	61.0			縦型
5	F-CBS-F5	38.1	57.9	61.5	3.0		横型
6	F-CBS-F6	38.1	58.4	61.0			縦型

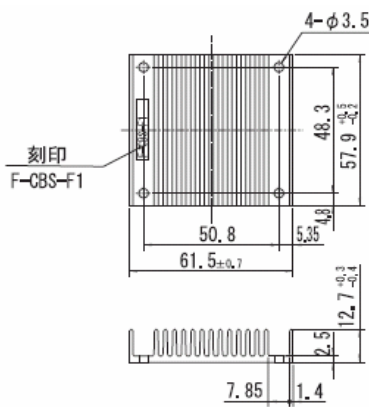


図3.4.3 F-CBS-F1の外形図

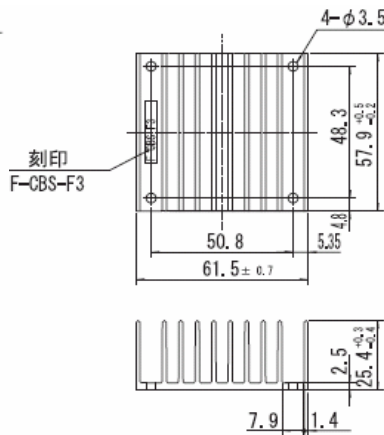


図3.4.4 F-CBS-F3の外形図

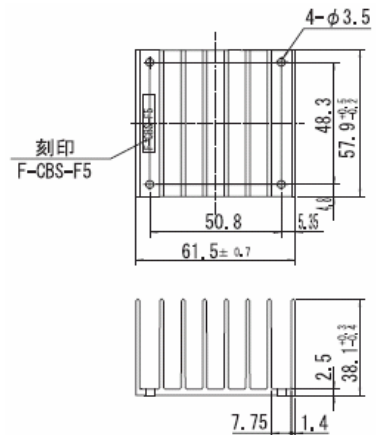


図3.4.5 F-CBS-F5の外形図

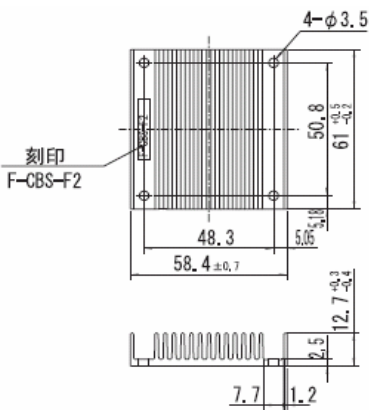


図3.4.6 F-CBS-F2の外形図

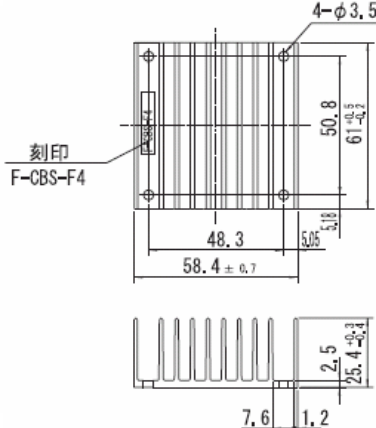


図3.4.7 F-CBS-F4の外形図

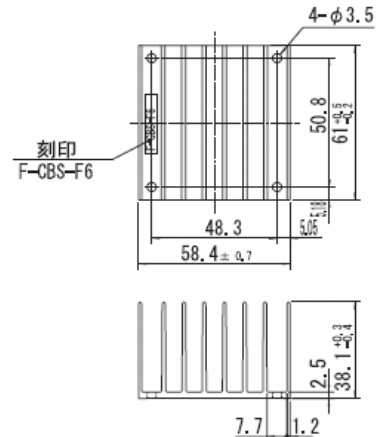


図3.4.8 F-CBS-F6の外形図

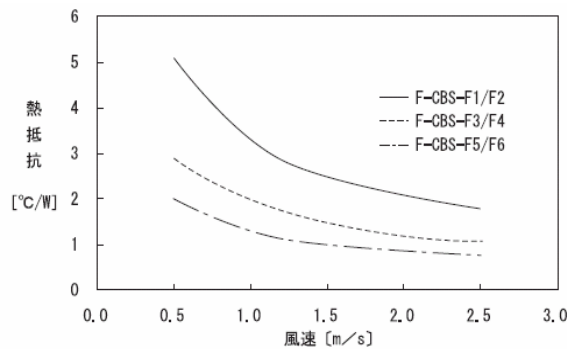


図3.4.9 ヒートシンク熱抵抗(強制空冷)

②クォータ(1/4)ブリックサイズ

表3.4.2 クォータ(1/4)ブリックサイズ用オプションヒートシンクー覧

No.	Model 型名	Size [mm] 外形寸法			Thermal resistance [°C/W] 熱抵抗		Style 形状
		H	W	D	Convection 自然空冷 (0.1m/s)	Forced Air 強制空冷	
1	F-QB-F1	12.7	58.4	37.6	14.0	図3.14参照	横型
2	F-QB-F2	12.7	58.7	37.3			縦型
3	F-QB-F3	25.4	58.4	37.6	7.5		横型
4	F-QB-F4	25.4	58.7	37.3			縦型
5	F-QB-F5	38.1	58.4	37.6	5.0		横型
6	F-QB-F6	38.1	58.7	37.3			縦型

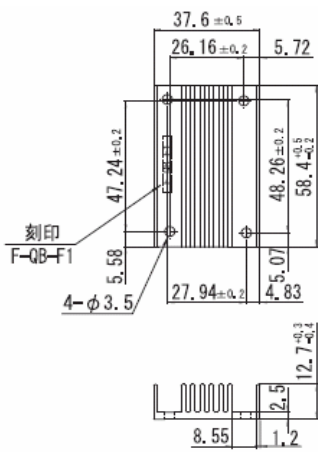


図3.4.10 F-QB-F1の外形図

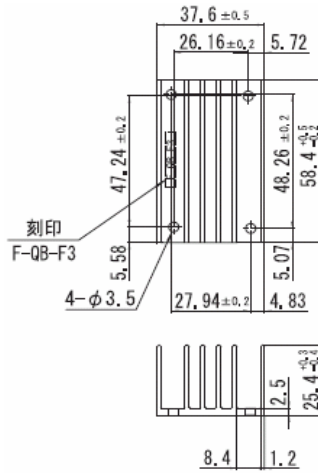


図3.4.11 F-QB-F3の外形図

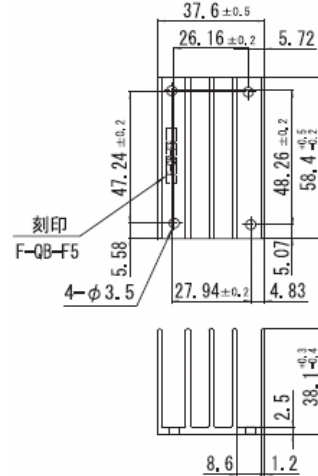


図3.4.12 F-QB-F5の外形図

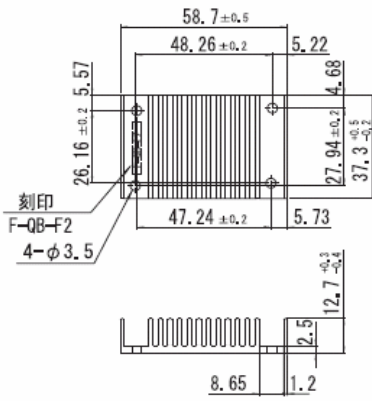


図3.4.13 F-QB-F2の外形図

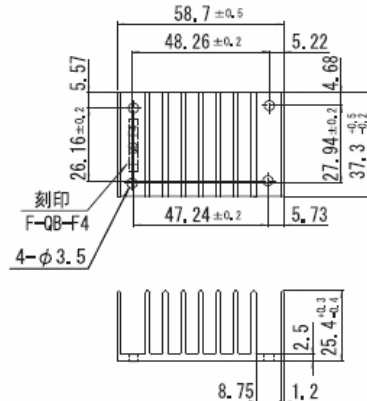


図3.4.14 F-QB-F4の外形図

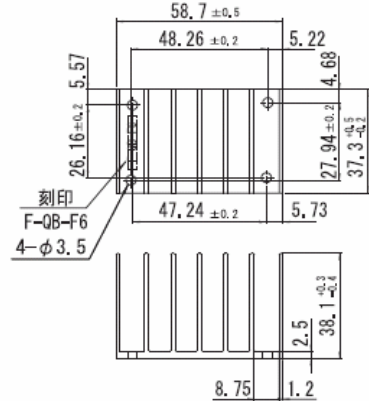


図3.4.15 F-QB-F6の外形図

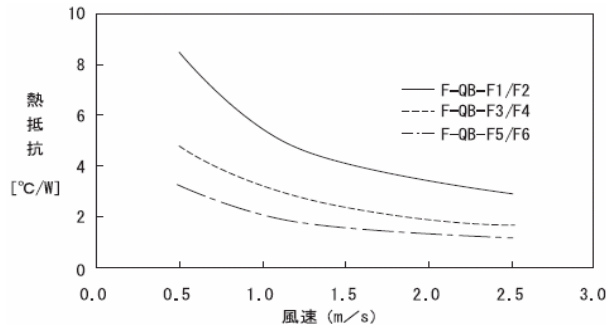


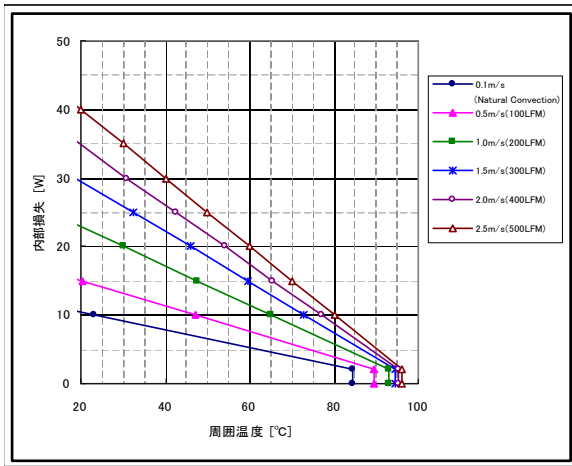
図3.4.16 ヒートシンク熱抵抗(強制空冷)

4) ディレーティングカーブ

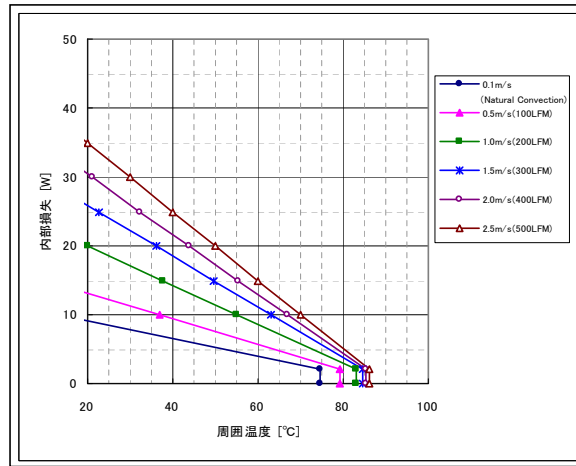
① ハーフ (1/2) ブリックサイズのパワーモジュールの場合

Bp=100°Cの場合

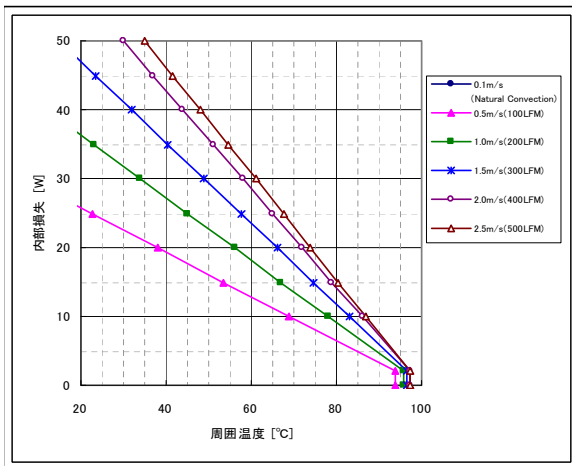
Bp=90°Cの場合



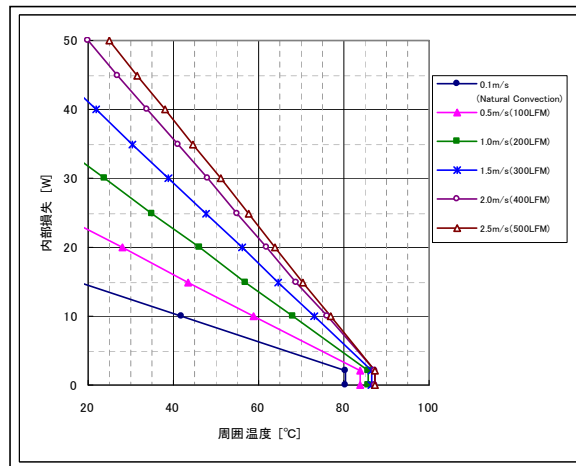
F-CBS-F1/F2 (H = 12.7mm)



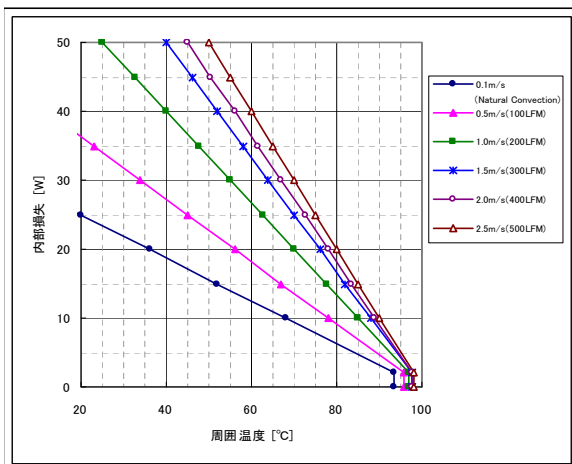
F-CBS-F1/F2 (H = 12.7mm)



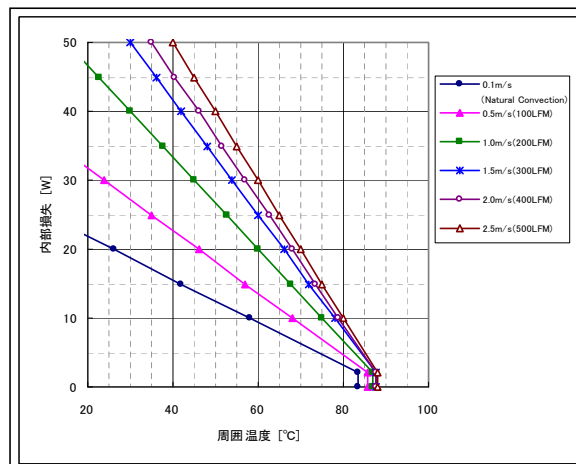
F-CBS-F3/F4 (H = 25.4mm)



F-CBS-F3/F4 (H = 25.4mm)

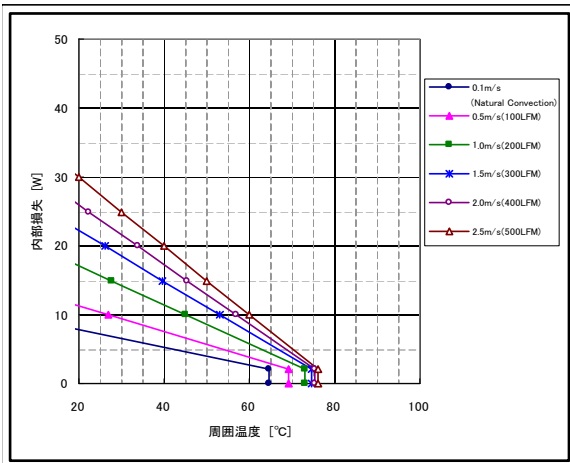


F-CBS-F5/F6 (H = 38.1mm)



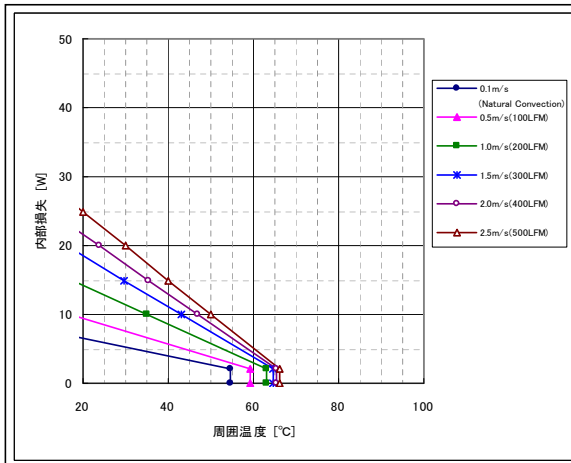
F-CBS-F5/F6 (H = 38.1mm)

Bp=80°Cの場合

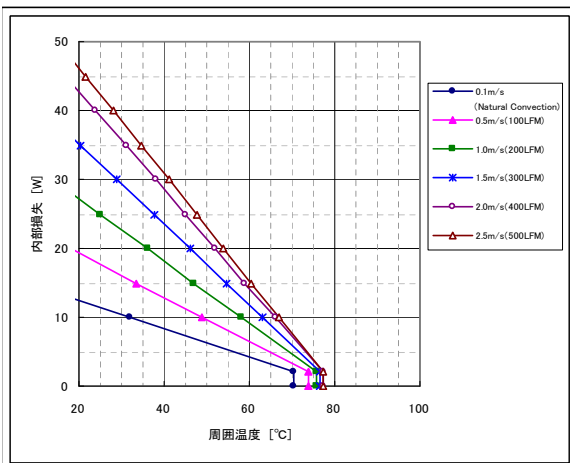


F-CBS-F1/F2 (H = 12.7mm)

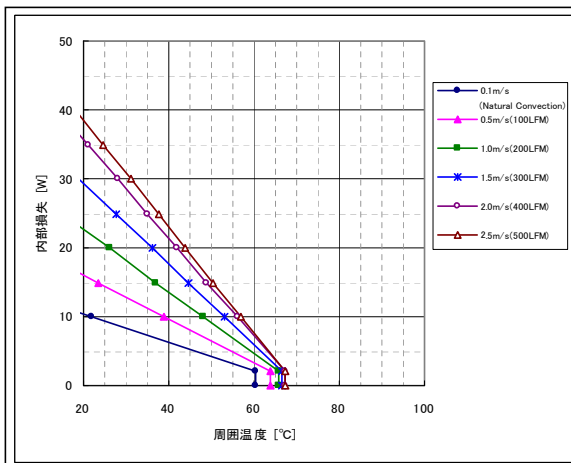
Bp=70°Cの場合



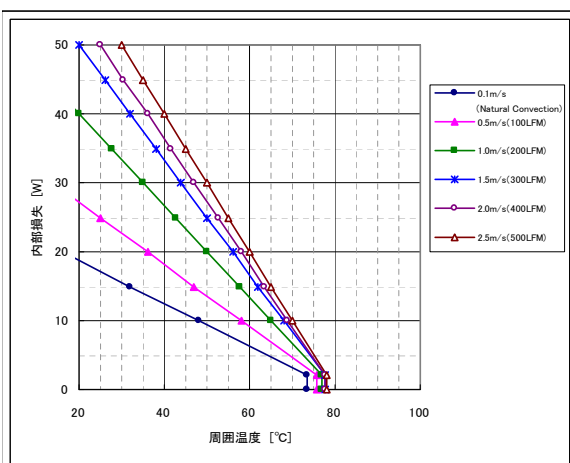
F-CBS-F1/F2 (H = 12.7mm)



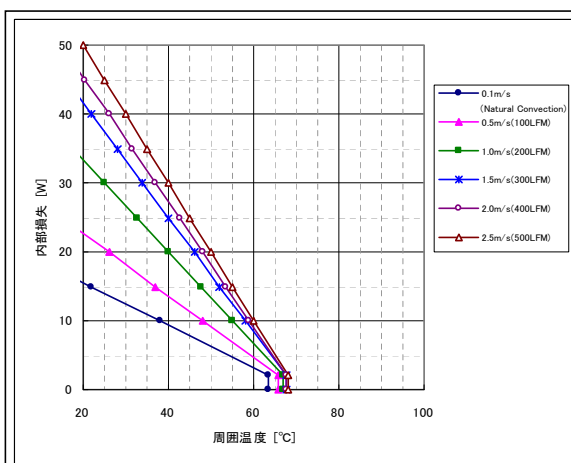
F-CBS-F3/F4 (H = 25.4mm)



F-CBS-F3/F4 (H = 25.4mm)



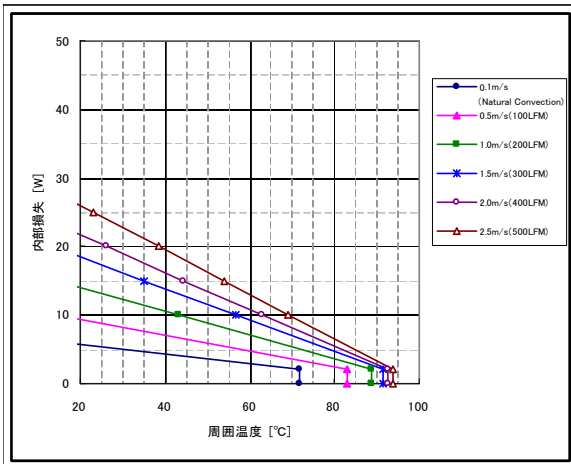
F-CBS-F5/F6 (H = 38.1mm)



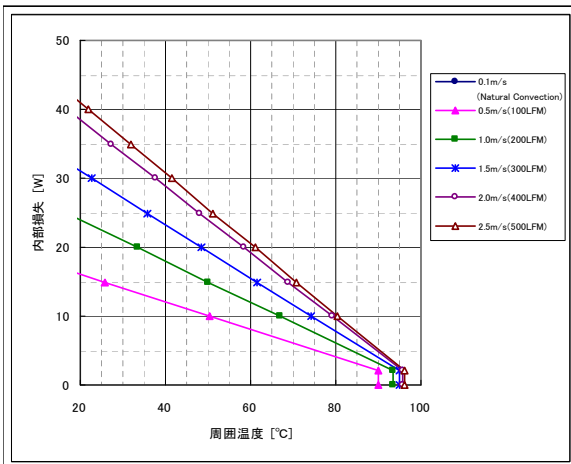
F-CBS-F5/F6 (H = 38.1mm)

②クオータ (1/4) ブリックサイズのパワーモジュールの場合

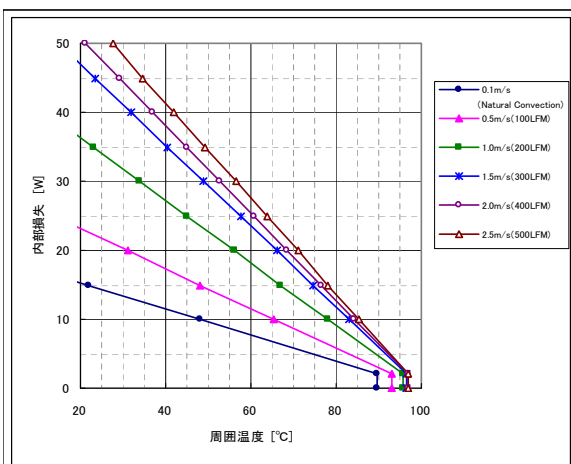
Bp=100°Cの場合



F-QB-F1/F2 (H = 12.7mm)

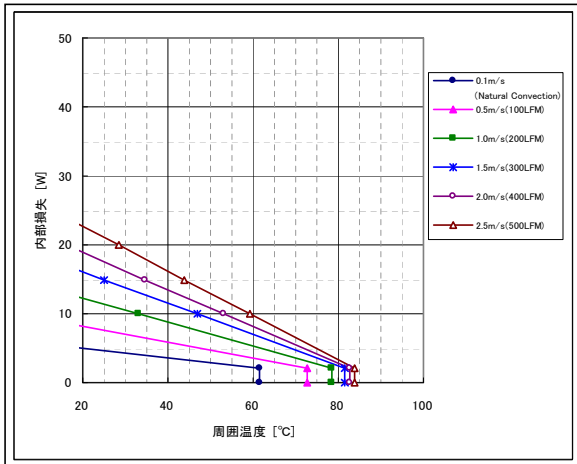


F-QB-F3/F4 (H = 25.4mm)

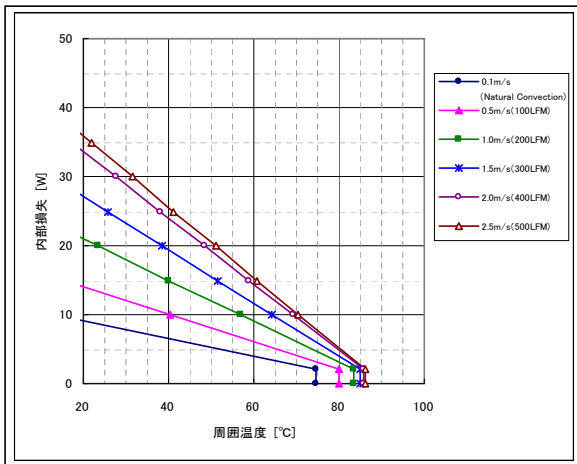


F-QB-F5/F6 (H = 38.1mm)

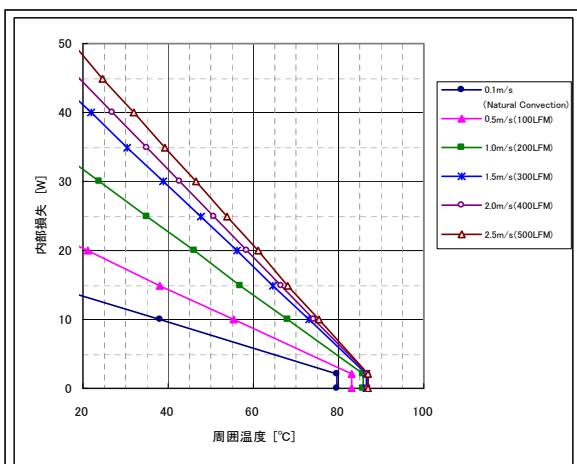
Bp=90°Cの場合



F-QB-F1/F2 (H = 12.7mm)

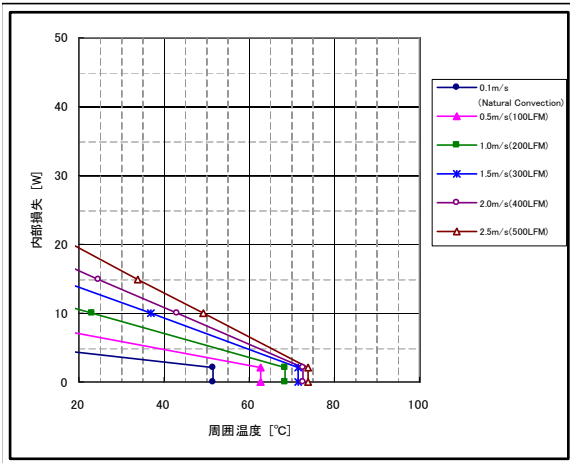


F-QB-F3/F4 (H = 25.4mm)



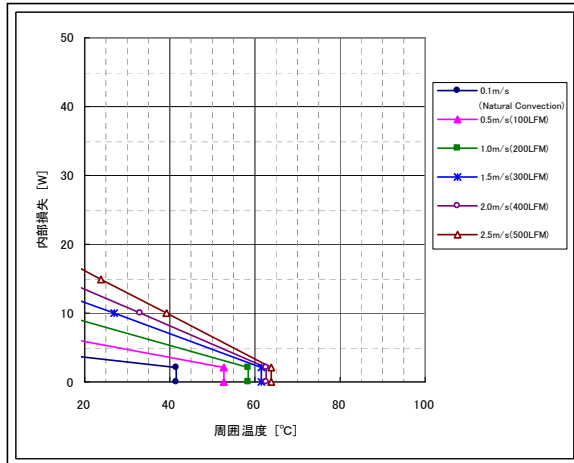
F-QB-F5/F6 (H = 38.1mm)

Bp=80°Cの場合

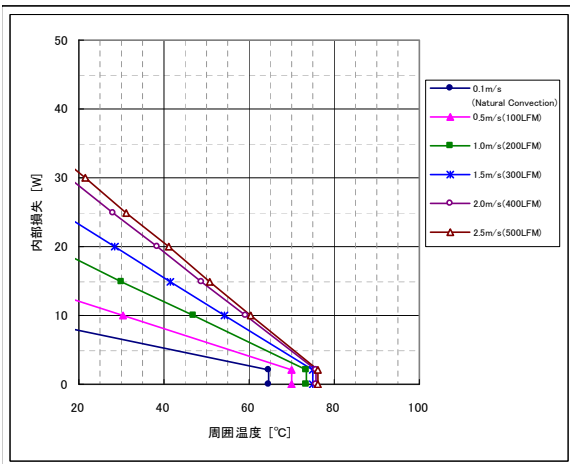


F-QB-F1/F2 (H = 12.7mm)

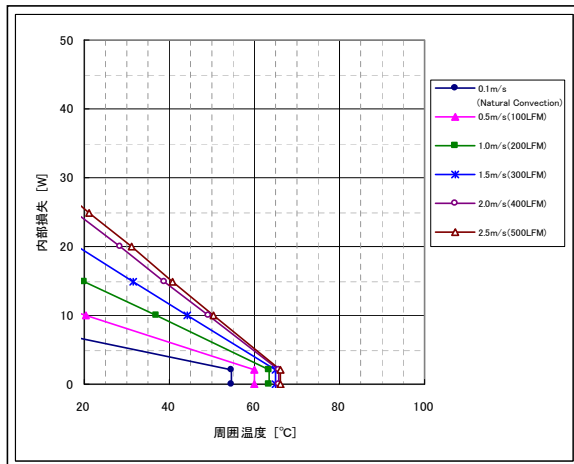
Bp=70°Cの場合



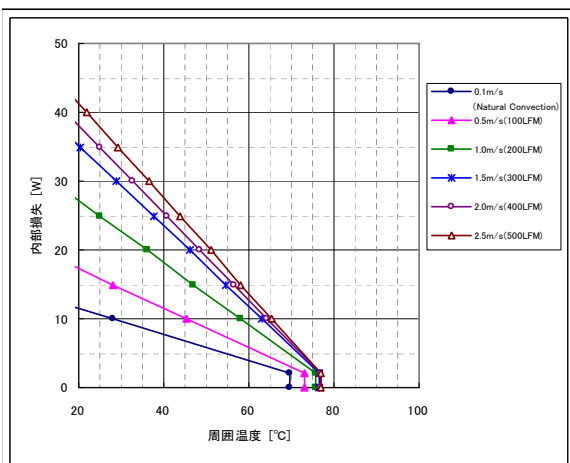
F-QB-F1/F2 (H = 12.7mm)



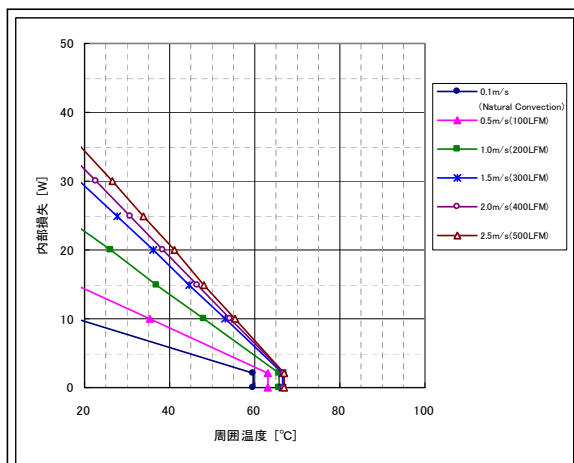
F-QB-F3/F4 (H = 25.4mm)



F-QB-F3/F4 (H = 25.4mm)



F-QB-F5/F6 (H = 38.1mm)



F-QB-F5/F6 (H = 38.1mm)

別紙2.筐体放熱の場合のデレーティングカーブ例

筐体放熱の場合、放熱する筐体の仕様(外形、厚み、材質)の影響を受けます。
ここでは、ある一例の筐体(1Uサイズの大きさのアルミ板)で、放熱条件を検討します。

1)想定したご使用条件(ご使用筐体)

1Uサイズラックに複数のスロットを挿入する方式の筐体を検討します(非密閉筐体)。
電源はスロットサイズ(1Uラック=540mm×320mmを想定)のアルミ板で放熱されます。
本条件で、電源仕様を逸脱しない範囲での最大周囲温度、最大電力を算出します。
※実際には「その他の実装部品(発熱部品)」「放熱条件」等の環境による
ところが多いため、あくまで目安としてご確認下さい。
※実際の設計においては、電源の温度以外の部品(電解コンデンサ、ライン
フィルタ等)の温度をご確認願います(特に密閉筐体の場合)。

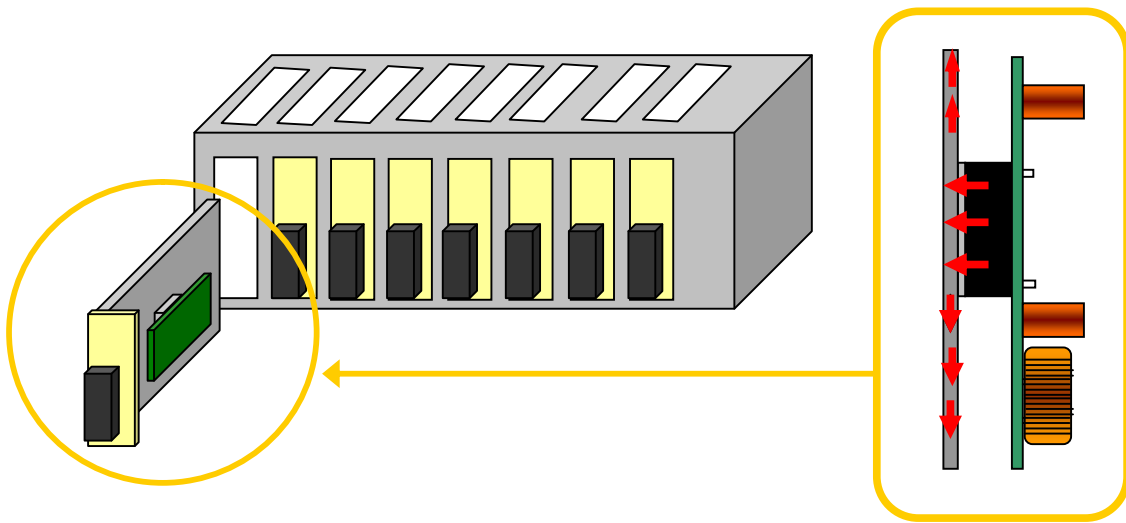
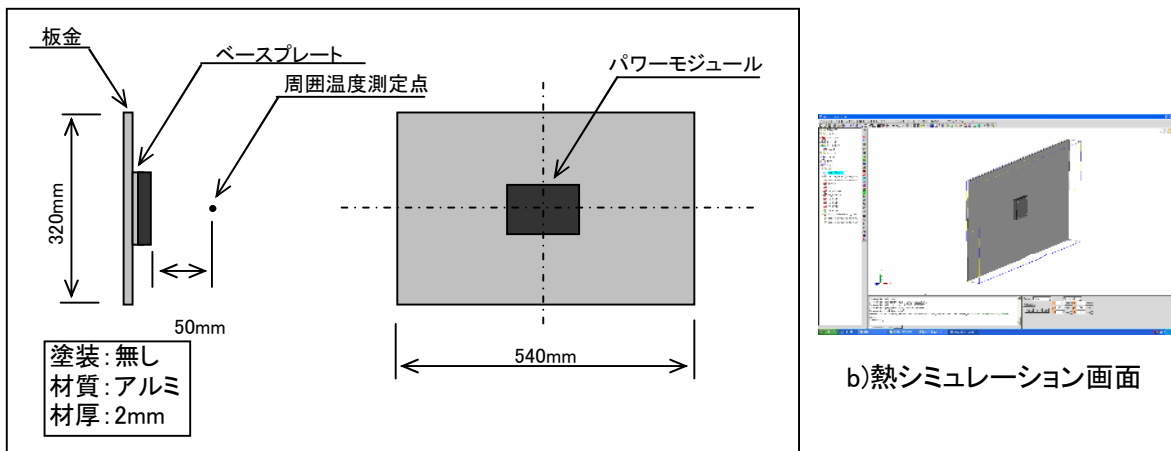


図3.5.1 想定したご使用条件(ご使用筐体)

2)デレーティングカーブ確認条件(熱シミュレーション条件)

放熱条件の検討方法として、今回は熱シミュレーションを用いました。
想定した筐体の1スロットを抜き出し、電源と板金みの状態に簡易化して熱シミュレーション
を行いました。シミュレーション結果から作成したデレーティングカーブを次項で示します。



a)熱シミュレーションモデル

b)熱シミュレーション画面

図3.5.2 熱シミュレーションでの筐体(板金)条件

3)デレーティングカーブ
①フルブリックサイズの場合

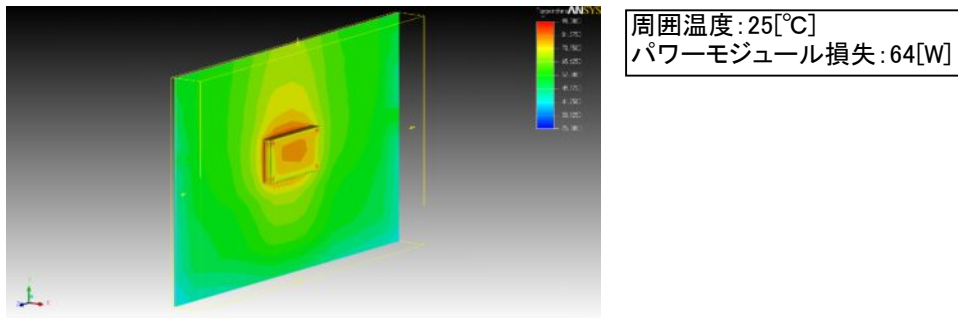


図3.5.3 熱シミュレーション結果例

図3.5.2筐体(板金)でのデレーティングカーブを図3.5.4に示します。

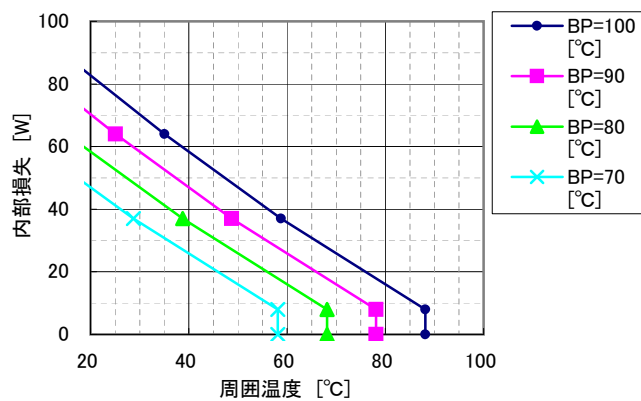


図3.5.4 デレーティングカーブ(フルブリックサイズ)

確認例

例えばDBS700B12での使用可否を判断します(Bp=80[°C]以下、負荷率50%)。
図3.5.5からシミュレーション上は、周囲温度39[°C]まで使用することができます。
(より高い周囲温度、高い負荷率で使用した場合は、放熱構造を再検討します)

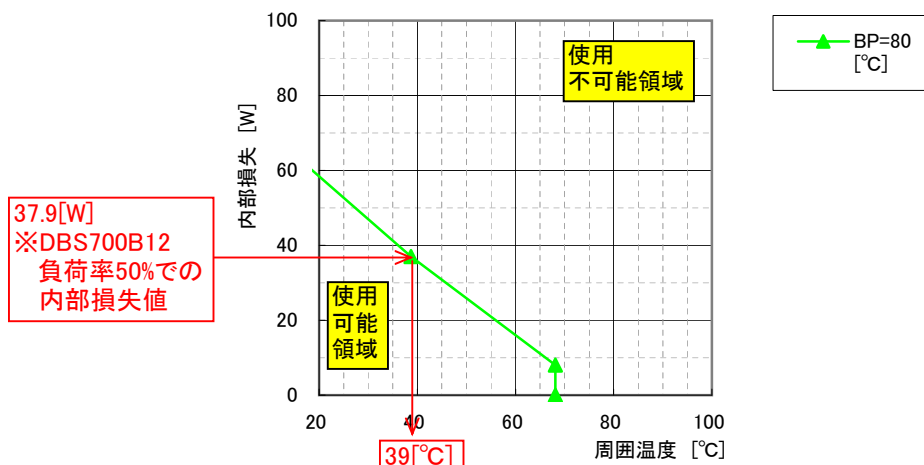


図3.5.5 確認例

③クォータ(1/4)ブリックサイズの場合

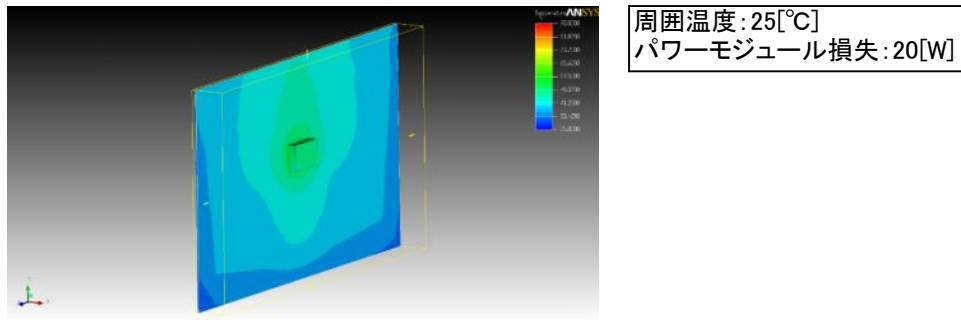


図3.5.9 熱シミュレーション結果例

図3.5.2筐体(板金)でのデレーティングカーブを図3.5.10に示します。

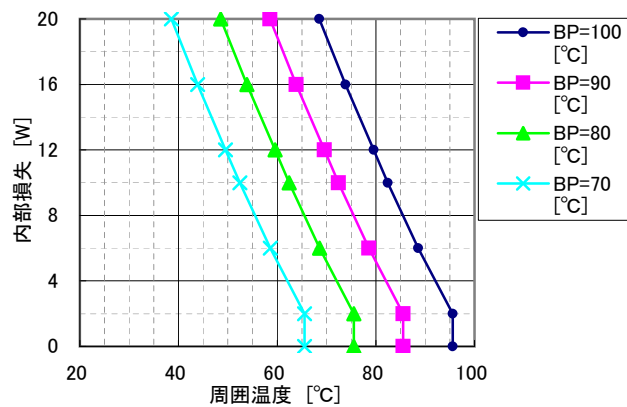


図3.5.10 デレーティングカーブ(クォータブリックサイズ)

確認例

例えばDHS100B05での使用可否を判断します (Bp=80[°C]以下、負荷率100%)。図3.5.11からシミュレーション上は、周囲温度50[°C]まで使用することができます。(より高い周囲温度、高い負荷率で使用した場合は、放熱構造を再検討します)

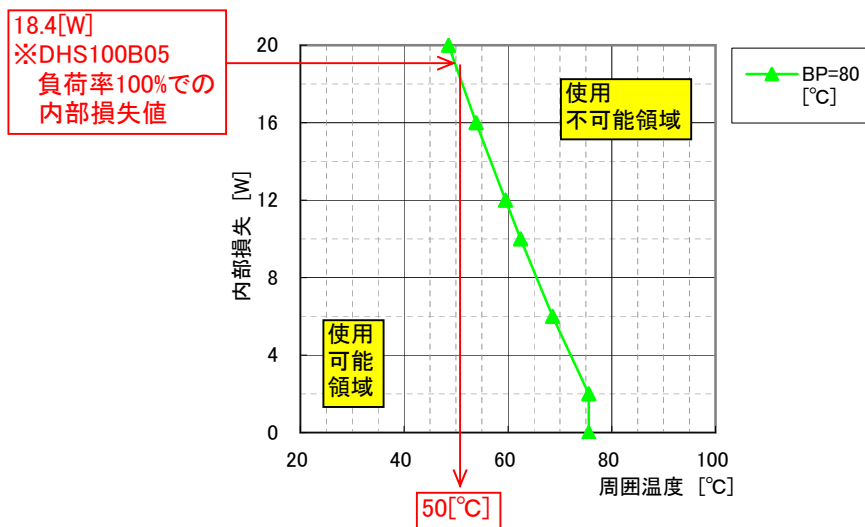
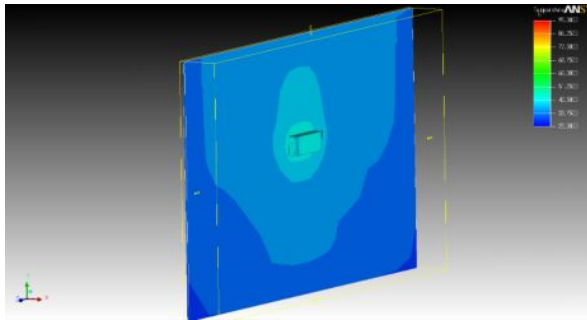


図3.5.11 確認例

④エイス(1/8)ブリックサイズの場合



周囲温度: 25[°C]
パワーモジュール損失: 12[W]

図3.5.12 熱シミュレーション結果例

図3.5.2筐体(板金)でのデレーティングカーブを図3.5.13に示します。

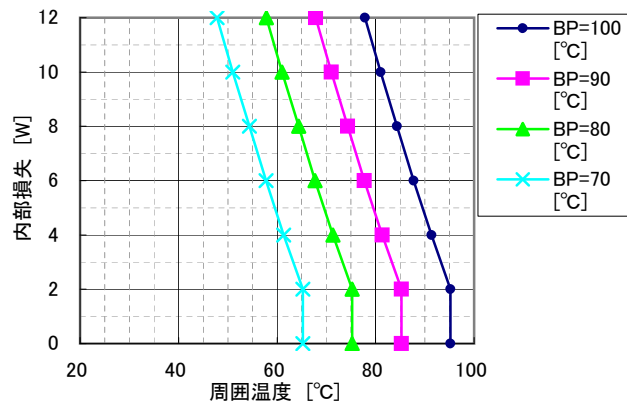


図3.5.13 デレーティングカーブ(エイスブリックサイズ)

確認例

例えばCHS2004805Bでの使用可否を判断します (Bp=80[°C]以下、負荷率100%)。図3.5.14からシミュレーション上は、周囲温度58[°C]まで使用することができます。(より高い周囲温度、高い負荷率で使用した場合は、放熱構造を再検討します)

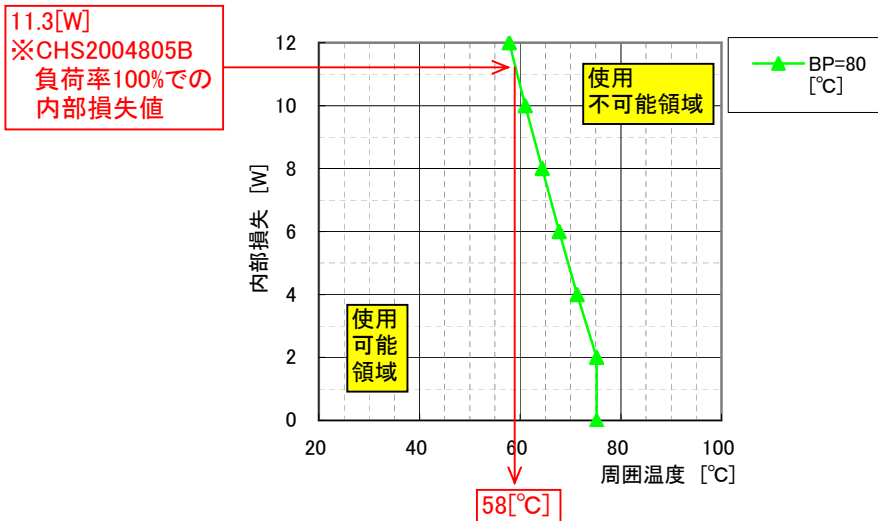


図3.5.14 確認例