

卒業研究報告

題目

LSI 用のヒートシンクによる冷却効果

報告者

真田研究室

1090252 高橋 洸貴

平成 21 年 2 月 25 日

-目次-

第1章	序論	
1.1	背景.....	2
1.2	研究目的.....	2
第2章	ヒートシンク	
2.1	ヒートシンクとは.....	3
2.2	性能.....	3
2.3	櫛型.....	4
2.4	ピン型.....	5
2.5	コルゲート型.....	6
第3章	実験手順	
3.1	実験手順.....	7
3.2	実験条件.....	7
3.3	使用するもの.....	10
第4章	実験結果	
4.1	チップ.....	13
	ベース.....	14
4.2	櫛型(アルミ).....	15
	ピン型(アルミ).....	17
	コルゲート型(アルミ).....	19
4.3	結果一覧.....	21
4.4	その他.....	22
第5章	結論・今後の期待	
5.1	結論.....	26
5.2	今後の期待.....	27

参考文献

第1章 序論

1.1 背景

電子機器の冷却技術の歴史は、低価格化と空冷の歴史と言っても過言ではない。はじめ、1970年にIBMにより水冷の大型計算機が開発された。それからは、日本も対抗して新型大型計算機を世に出したが、それに搭載されたLSIチップの発熱量とLSIモジュールの発熱密度は増加し、冷却技術にしのぎを削っていた。

その後、小型化という現象が現れた。大抵の計算が、大型機を使用しなくても計算ができるようになった。最近では、ノートブック型、A4版、B5版、ポケットサイズといったようなものまで登場した。しかし、その一方でパソコン搭載のCPUの発熱量も飛躍的に上昇しており、常に熱問題が付きまっていたのである。そして、それらを常に解決してきたのが冷却技術である。

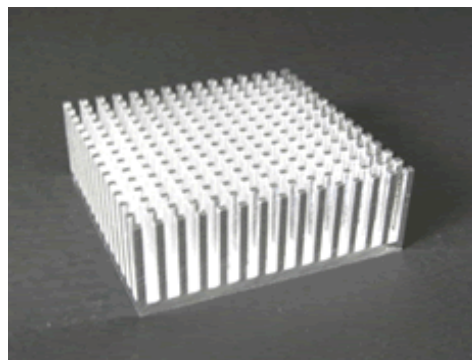
1.2 研究目的

本研究は、LSI用のヒートシンクの実用性を確かめるものである。そのため、CADのソフトを使用し熱解析を行うことにした。まず、CADを勉強しその上で様々なヒートシンクをモデリングする。そして、それぞれを熱解析し検討、比較を行う。なお、この実験は自然空冷の場合に限り、(ファンなどによる)強制空冷はないものとした。

第2章 冷却の種類

2.1 ヒートシンク

ヒートシンクとは、発熱する機械・電気部品に取り付けて、熱の放散によって温度を下げることを目的にした部品である。主に、熱が伝導しやすいアルミや銅などの金属が材料として用いられることが多い。通常、ファンなどを使用した強制空冷とそれらを使用しない自然空冷がある。前者は、冷却能力に優れる。後者は、ファンがない分騒音性、信頼性などにおいて有利である。そのため、冷却能力に問題がない場合後者を用いるのが一般的である。



2.2 性能

ヒートシンクの性能は、熱抵抗によって表される。この値が、小さいものほど性能が高いとされる。この値は、材質、大きさ、形状などによって決まり、性能を上げるために表面積が広くなるような形状に整形されることが多い。

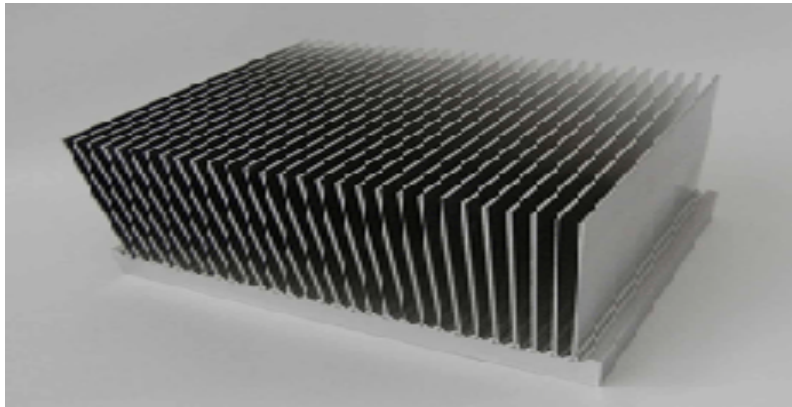
熱抵抗 = 1 / 熱の伝わりやすさ

熱の伝わりやすさ = 熱伝導率 × 熱断面積 / 長さ

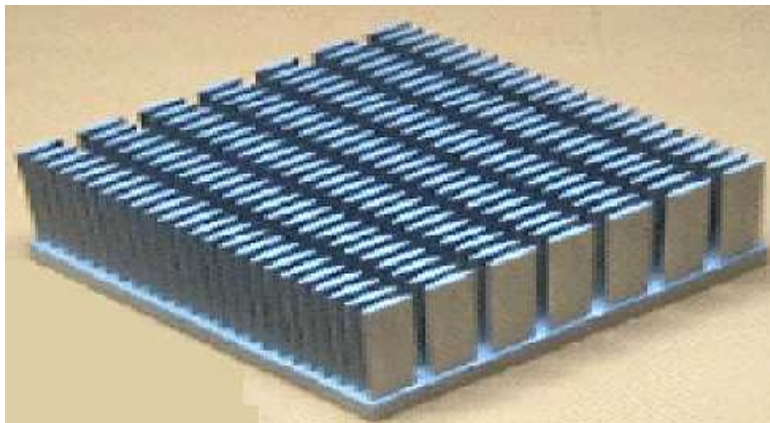
ここからは、一般的なヒートシンクの種類について述べる

2.3 櫛型

名前の通り、フィンの配置が櫛のように並んだもの



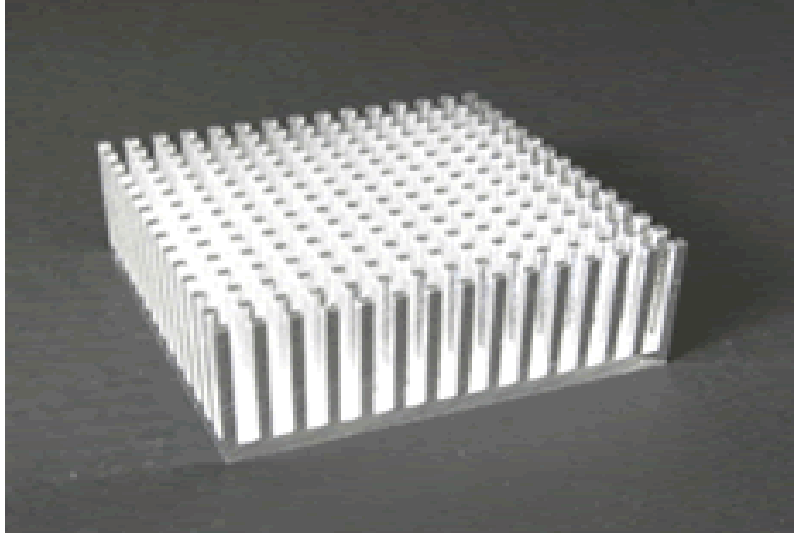
これのほかに、さらに横に溝を入れたようなものもある。



特徴：製造方法が大幅に簡易化されているため、安価に製造できる。

2.4 ピン型

ベースにピンを立てたもの。ピンの形は、六角や円など様々な形がある。



特徴：ピン型にすることにより、表面積が増える。
それにより、放熱性能にすぐれる。

2.5 コルゲート型

ベースにコルゲートフィンを取り付けたもの。

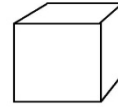


特徴: 表面積が増える。
その結果、冷却性能にすぐれる。

第3章 実験手順

3.1 実験手順

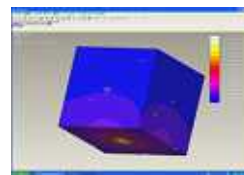
ヒートシンクを考える



CAD でモデリングする



それを熱解析する

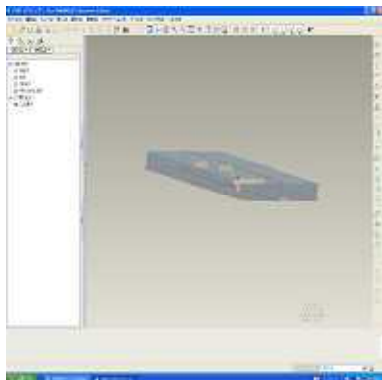


3.2 実験条件

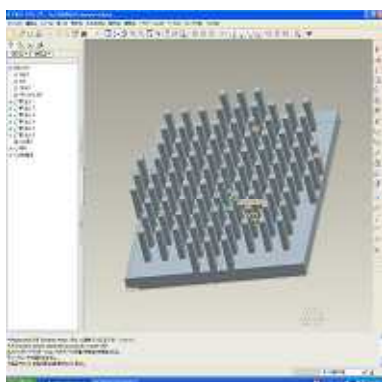
- ・自然空冷（ファンなどによる風は考慮しない）
- ・ベースの大きさは、 $30 \times 30 \times 2$
- ・空気と接触する表面積は 1860mm^2
アルミ（銅）板の厚さは 1mm
フィンの高さ 5mm で統一する。
- ・材料は、アルミと銅を使用する。
- ・有効桁数は、少数第4位までとする。
- ・境界条件は、空気の外側にあるものとする。

アルミの	比熱	$9.63753e + 08$ [$\text{mm}^2/\text{sec}^2e$]
	熱伝導率	192.163 [N/sec]
銅の	比熱	$3.77186e + 08$ [$\text{mm}^2/\text{sec}^2e$]
	熱伝導率	121.223 [N/sec]
空気の	比熱	$1.007\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
	熱伝導率	$26.14\text{mW}/(\text{mK})$

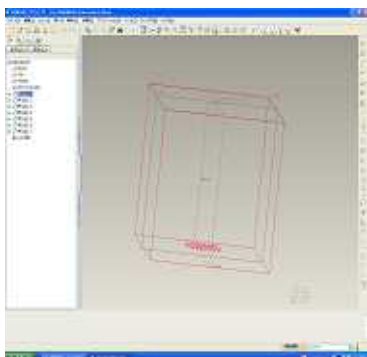
- ・シミュレーションは, チップ, ヒートシンク, 空気の部品をアセンブル(組み合わせ)で行う



チップ
+

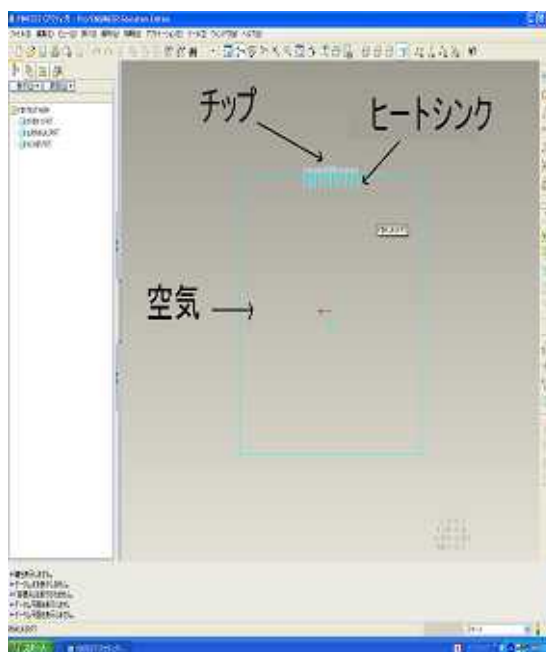


ヒートシンク
+



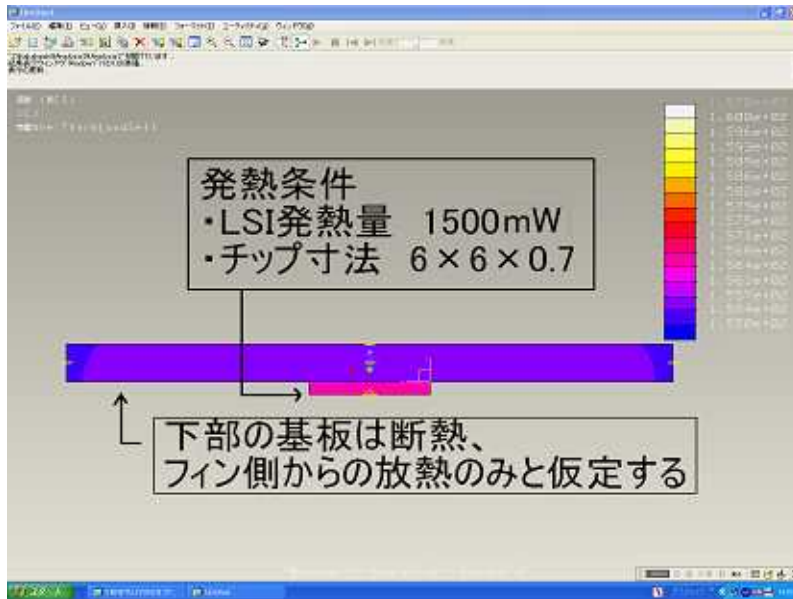
空気

=

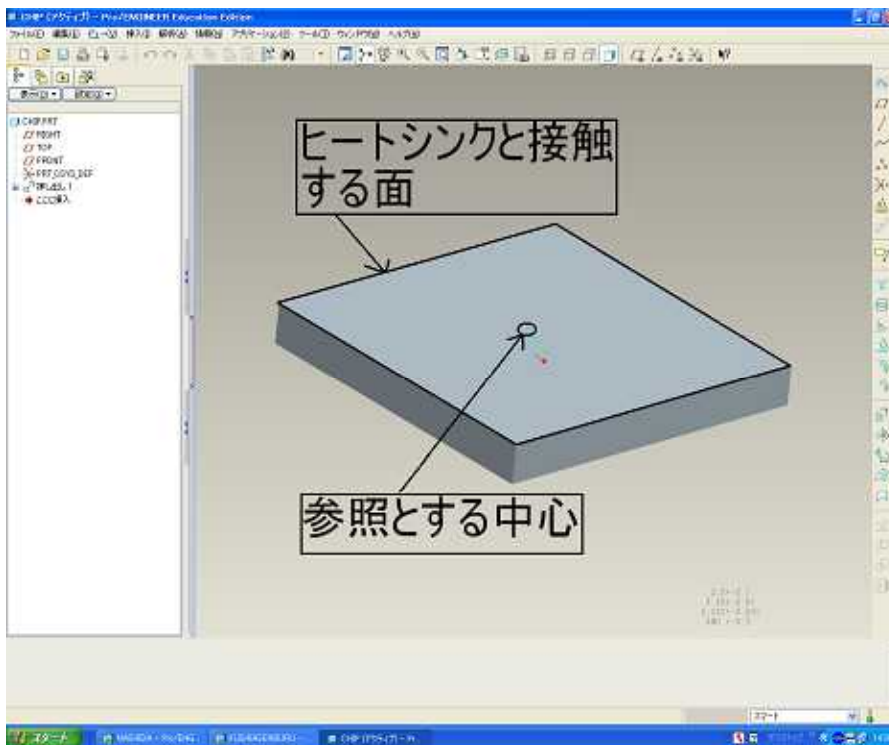


チップ + ヒートシンク + 空気 = シミュレーションするモノ

・加熱条件



・比較する温度は、チップとヒートシンクの接触面を参照としたものとする



3.3 使用するもの

- pro/engineer

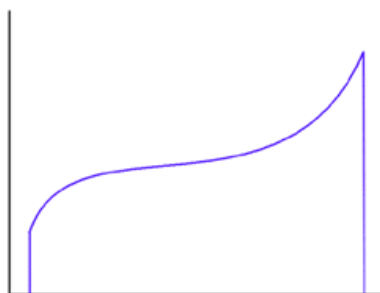
アメリカの PTC よりリリースされている C A D を中心とする製造業向けソリューション。設計を主な機能とし、現在の 3 次元 CAD の主流である。

- pro/mechanica

構造、機構ダイナミック、伝熱、および耐久性の各パフォーマンスについて設計のテストと最適化を行うためのツール。

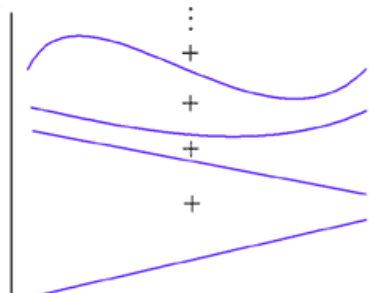
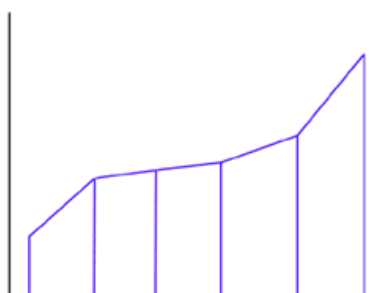
解析には有限要素法が用いられている。Pro/Mechanica では要素内の関数を高次多項式で近似し、粗い要素分割でも十分な計算精度が得られる P (Polynomial) 法と呼ばれる手法を採用している。一般的には H 法と呼ばれる手法が多く採用されている。

例として、グラフ (変位) で関数を近似してみる。従来法 (H 法) では、折れ線で近似する。分割数を細かくしていけば良い近似になる。これに対し、P 法は、2 つの 1 次関数といくつかの高次の関数の和で表そうとする。P 法有限要素法とは、この様な関数を、シェル要素の边上やソリッド要素の面上の変位として仮定し、有限要素の定式化を行う。変位の仮定以外は、通常の有限要素法と全く同じである。



従来の H 法

P 法の近似



このp法より、以下のようなメリットがある。

(1)要素数が少なくても、精度の高い解が得られる。

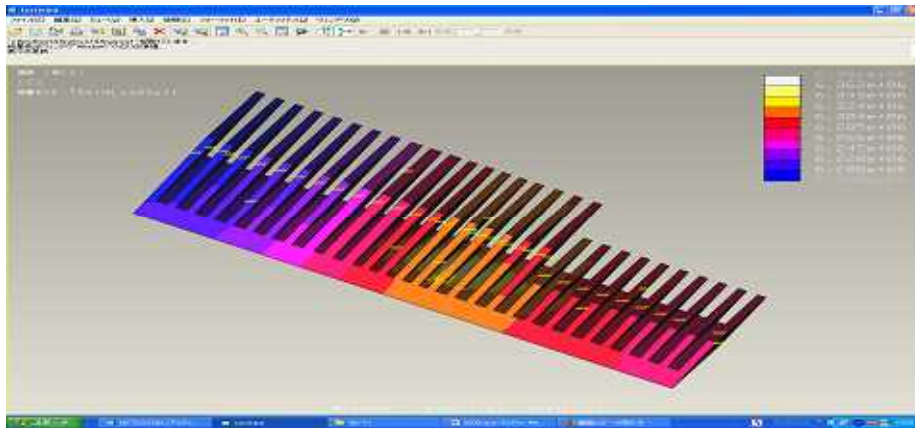
P法により構造解析に対する高度な知識の少ない設計者自らが解析を行うことができる。P法では、物体の形状は直線だけでなく、曲線などを含んでいる。一般的なFEM(H法)では、その形状を細かくすることで、精度を上げていける。たとえば、円を解析する場合、円を10角形とかに近似して考えると、角々になる。しかし、36角形ぐらいになれば、ほとんど円に見えてくる。これでは、沢山の要素を作らなければならない、つまり、労力と技量が必要となる。一方、P法では、形状を2次以上の多項式に置き換えて形状を近似させている。Mechanicaでは最大9次までの多項式が使える。たとえば、円なら4分割ほどで、実用的な結果が得ることができる。

(2)要素作成(メッシュ切り)が「楽」

この方法により要素数が、少なくなる。つまり、時間がかからない。しかし、それだけではない。一般にFEMのモデルは、図形要素(線、曲線、曲面)は、CADで作成し、FEMソフトで要素作成をするが、要素をいちいち手作業で作成するのは、時間がかかってしまう。そこで、面データを自動メッシュ機能を使い要素を作成する。つまり、面データを作成する必要があるということである。MECHANICAは、ワイヤーフレームを利用して、ちょうど簡単な面を張るような、作業で要素を作成していくことが出来る。よって、面張りの作業を省略することが出来る。また、形状の変更の必要があった場合、一々CADデータを修正して、要素作成をやり直すことなく、解析が進められる。

(3)形状の変更が簡単に可能

CADで形状を作成、それをベースにFEMソフトでメッシュ切り→解析→問題があれば、CADまで戻る。そしてまた、やり直しといったものが多い。MECHANICAでは、最近のCADにあるようなパラメトリック機能により形状を変更することが出来る。また、メッシュを張ったまま形状変更できる範囲が、H法タイプとは比べようも無いくらい広く、この機能を駆使し、感度解析や最適化解析をすれば、非常に良い結果が得られる。

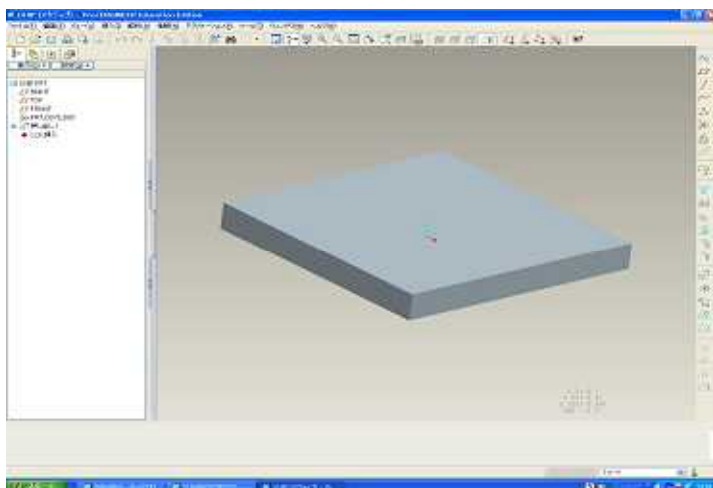


pro/mechanica を使用し、熱解析を行った櫛型のヒートシンク

第4章 実験結課

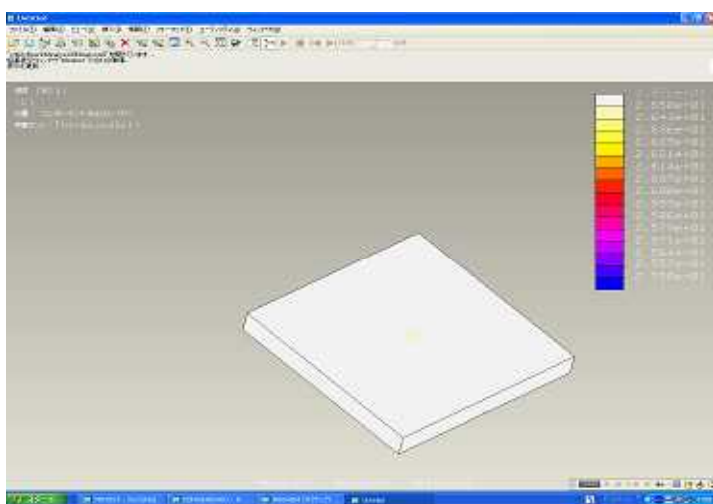
4.1 チップ

チップのみでシミュレーションを行う



上記がモデリングしたチップ

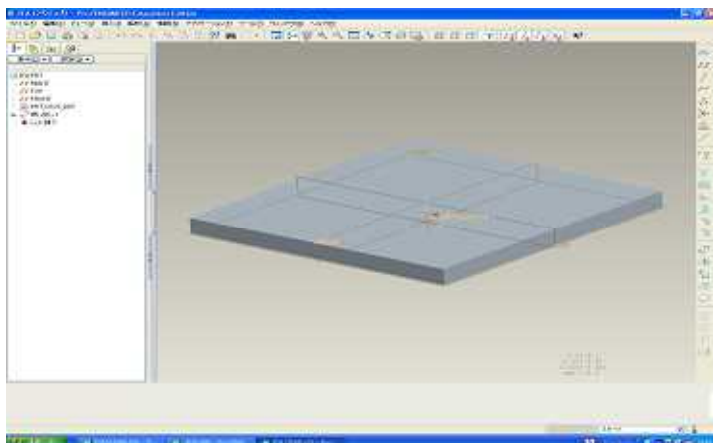
これに、空気のアセンブル（組み合わせ）を行い熱を与える。



中心温度は 29.4078
となった。

・ベース

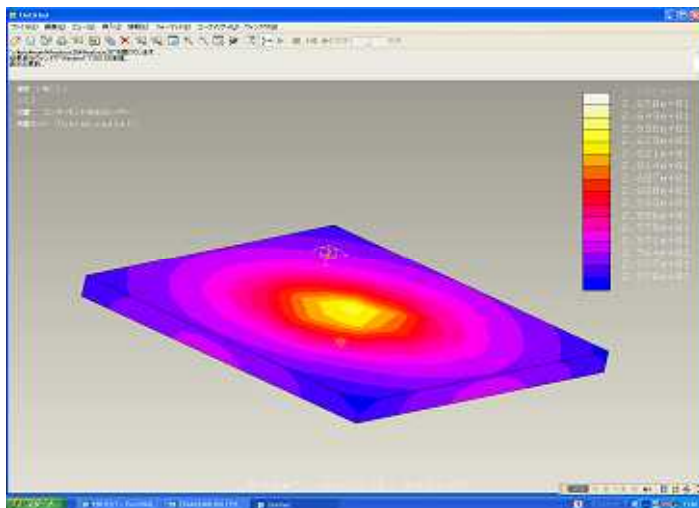
フィンがない状態のベースのみで、シミュレーションを行う



縦 30mm
横 30mm
高さ 2mm

上記がモデリングしたベース

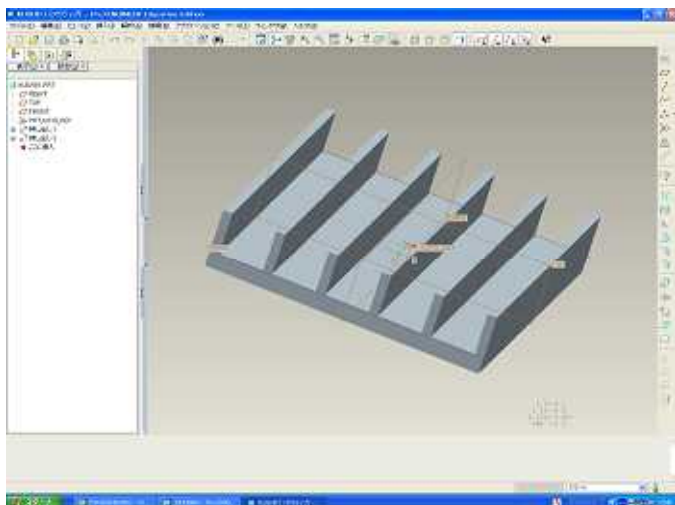
これに、空気、チップのアセンブル（組み合わせ）を行い熱を与える。



中心温度は、26.7081 度
となった。

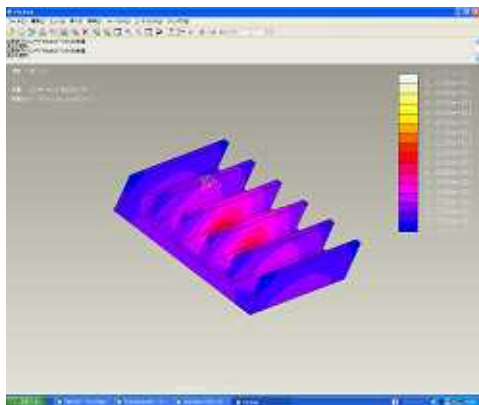
4.2 櫛型

(1)シミュレーションするモデル

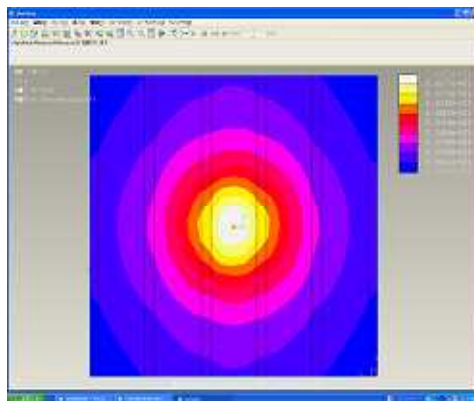


フィンの厚さ 1mm
フィン間のピッチ 4.8mm
フィンの高さ 5mm
フィンの枚数 6枚

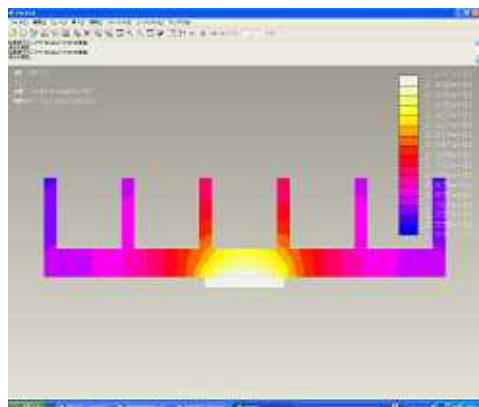
(2)シミュレーション結果



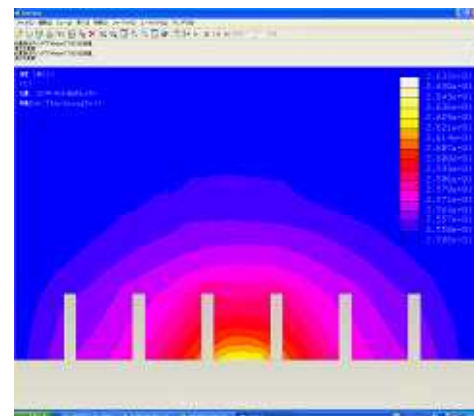
(a)全体



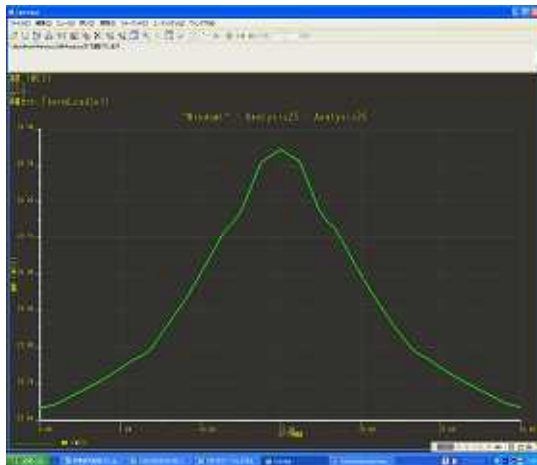
(b)ベース表面



(c)断面



(d)空気



(e) グラフ

(3) 考察

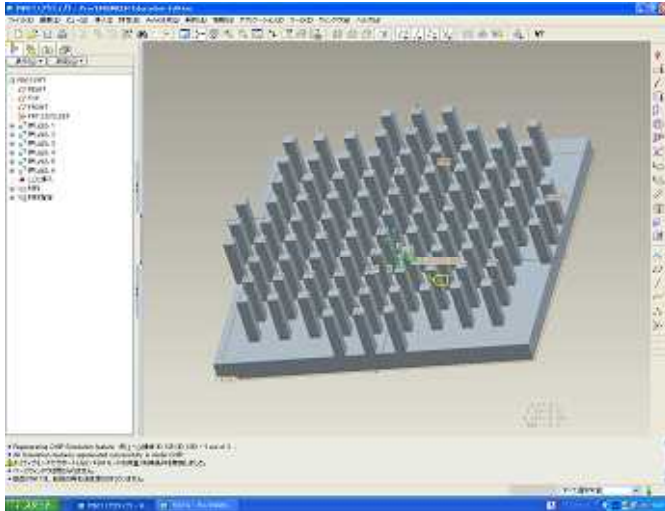
まず、底面の図 b より熱が水平方向にどのように変化しているか分かる。この場合は、上下方向によく熱伝導していることが分かった。この結果は、フィンが関係しているといえる。フィンは、同様の方向に配置されており、熱がそれに沿うような形で移動している。また、左右方向はフィンの所で温度が変化していることが分かる。フィンが壁となり、左右方向に伝搬するのをじゃましているように見える。実際、これはじゃましているのではなく、熱が縦方向に移動しているためである。

次に、縦方向である。これは、図 c,d より確認することが出来る。基本的には、半円を描くように伝搬していることがわかる。ただ、フィンがある領域のみ多少異なる。特に、中央付近は半円よりは、四角形に近い形になっている。これは、中央付近がよく放熱していることが原因と考えられる。

最後に、グラフ e である。このモデルは、左右対称であるため左右対称に結果が出る。図 b と同様に、フィンで温度変化が起こっていることが分かる。特に、中央付近はグラフの変化がよく見られる。

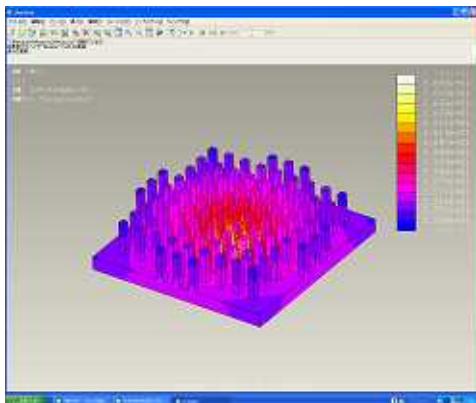
4.2 ピン型

(1)シミュレーションするモデル

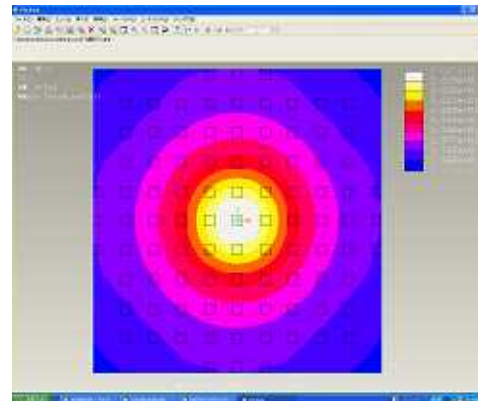


フィンの厚さ 1mm
フィン間のピッチ 3.5mm
フィンの高さ 5mm
ピンの個数 93 個

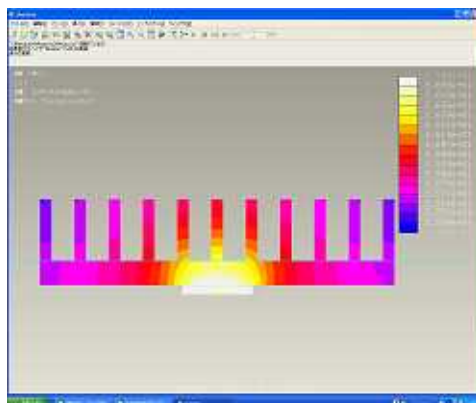
(2)シミュレーション結果



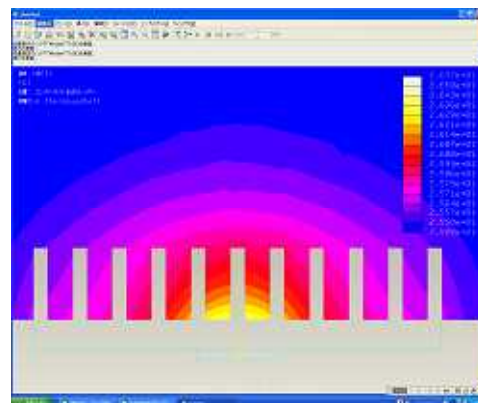
(a)全体



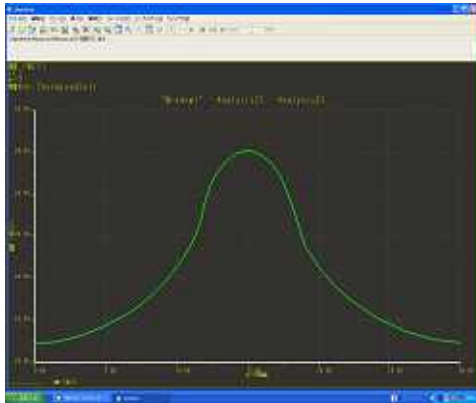
(b)ベース表面



(c)断面図



(d)空気



(e)グラフ

(3)考察

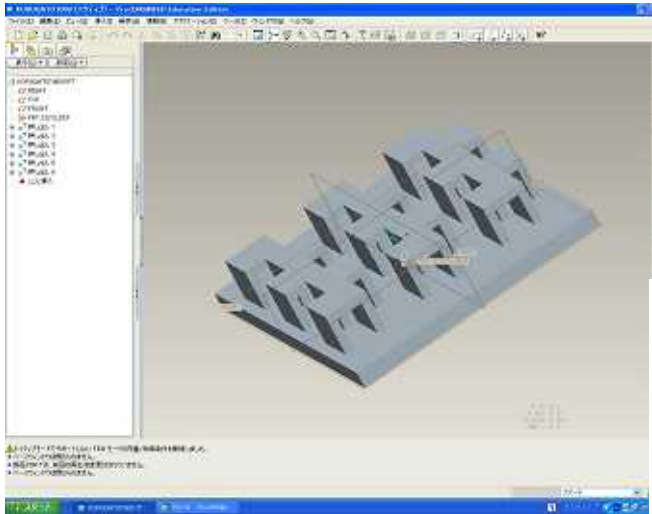
まず、図 b より横方向の伝搬を見てみる。基本的には、円を描くように伝搬している。ただ、中央から 12~15mm 付近では四つの外周に各辺の中心点に引っ張られるような形で伝搬した。これは、フィンそれぞれの角に配置されていないことが原因だと考えられる。

次に、縦方向である。これは、図 c,d により確認できる。熱は、基本的に半円を描くように伝播している。ただし、先ほどと同じく中央付近はフィンに引っ張られるような形になっている。これは、中央付近が効率よく放熱されていることが原因と考えられる。また、楕型と比較するとピン型の方が空気に影響を与えてないように見える。これは、この付近での放熱効率は楕型のほうがよいということを表している。

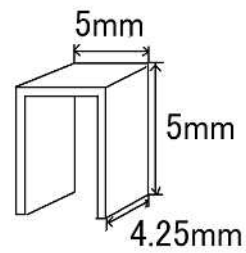
最後に、グラフ e である。最後に、グラフ e である。このモデルは、左右対称であるため左右対称に結果が出る。グラフはフィン間のピッチが狭いため滑らかに結果がでた。また、中央と端の温度変化の差を見てもとあきらかに違うのが分かる。中央のほうが大きく変化し、端に行くにつれて変化が小さくなっていく。これは、上記と同様に中央のほうが放熱効率がよいといえる。

4.2 コルゲート型

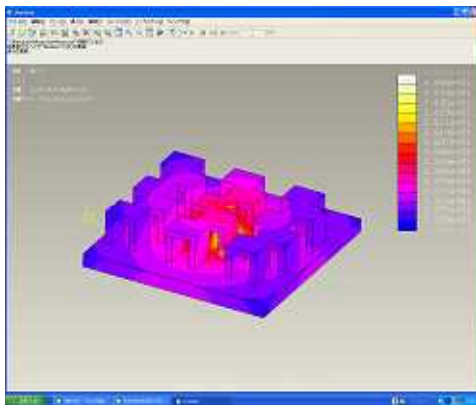
(1)シミュレーションするモデル



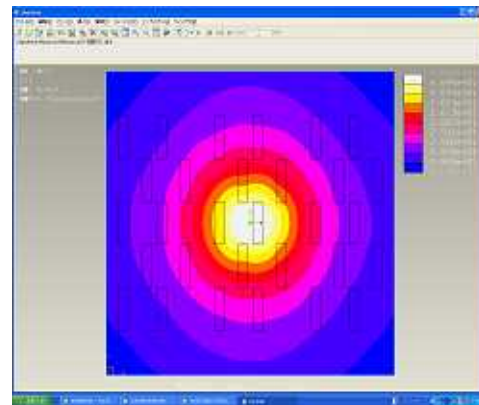
フィンの厚さ 1mm
フィン間のピッチ 5mm
フィンの高さ 5mm
フィンの個数 15 個
ゲートの寸法



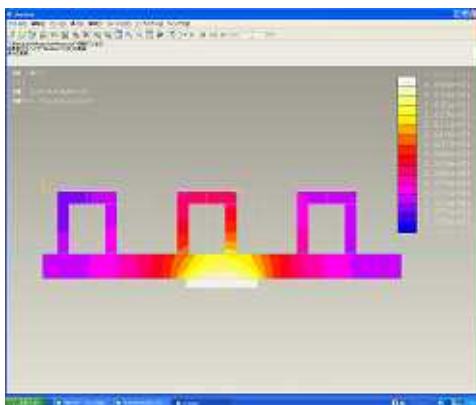
(2)シミュレーション結果



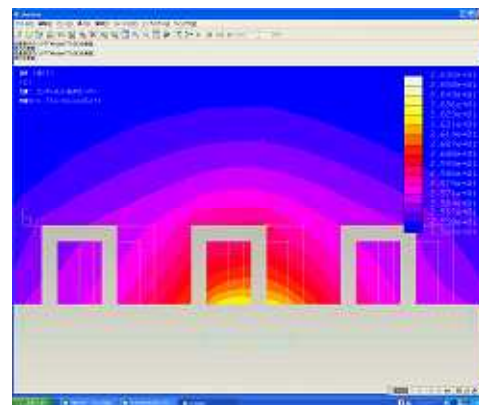
(a)全体



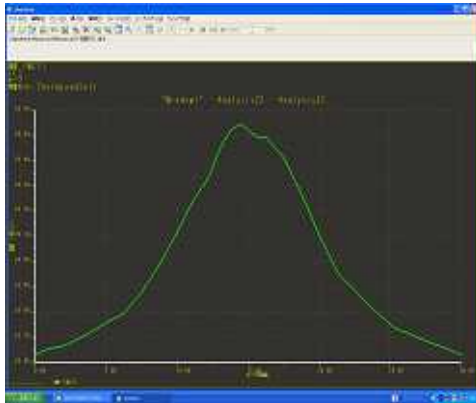
(b)ベース表面



(c)断面図



(d)空気



(e) グラフ

(3) 考察

まず、図 b より横方向の伝搬を見てみる。全体的に右側に引っ張られるように伝播している。これは、3 列目にあるフィン郡が全体的に左によっているためと考えられる。これにより、右側の放熱効果が高まりこのような結果と思われる。

次に、縦方向である。これは、図 c,d により確認できる。中央にあるフィンがもっとも放熱していることが分かる。特に、図 d の空気を見てみると分かりやすい。中央のフィンに引っ張られる形で伝播している。また、全体的に右側に放熱していることが分かる。

最後に、グラフ e である。最後に、グラフ e である。中央に大きな凹みがある。中央に最も近いフィンが原因であると考えられる。これにより、中央に近いほうが放熱効果が高いためと思われる。また、少しだが、右側のほうが放熱効果が高いよう見える。これは、熱源に近いフィンが右側に多く存在するためと考えられる。

4.3 結果一覧

それぞれの結果は以下の表のようになった。

種類	チップの温度(アルミ)
チップのみ	29.4.78
ベースのみ	26.7081
櫛型	26.5719
ピン型	26.6191
コルゲート型	26.5357

また、材料を変更し銅で行うと以下のような結果になった。

種類	チップの温度(銅)
櫛型	26.9880
ピン型	27.0385
コルゲート型	26.9460

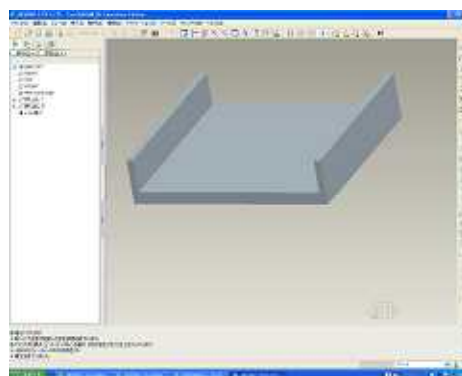
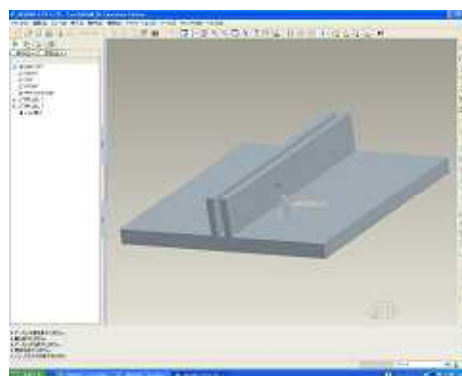
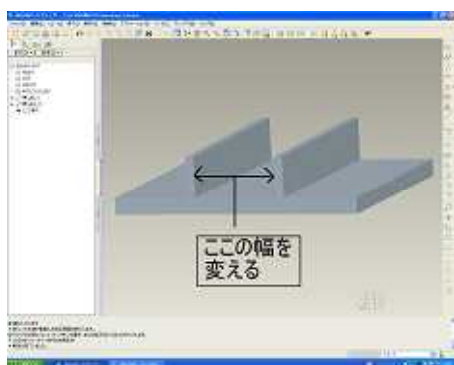
4.4 その他

・フィンと熱源の距離関係

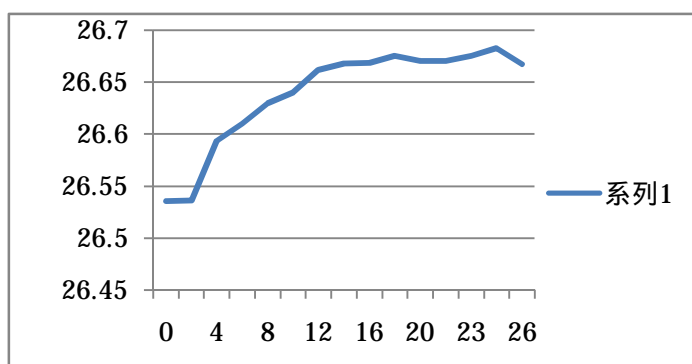
次のようなモデルを用意した

このモデルのフィン幅を変えることにより熱源との距離を変える。

(1)シミュレーションするモデル



(2)シミュレーション結果

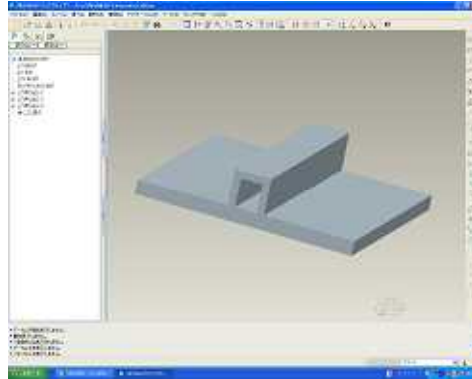
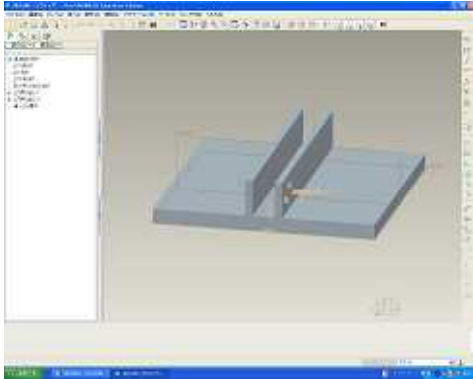


(3)考察

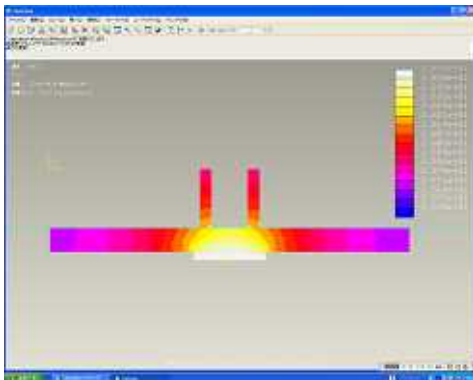
フィンと熱源との距離（櫛）は、シミュレーション結果（2）のようになった。熱源から遠くなるにつれて、冷却効果が弱まっていることが分かる。特に 15mm 付近からはほとんど効果に差はない。

- ・フィンの形状
フィンの形状による違いを比較する

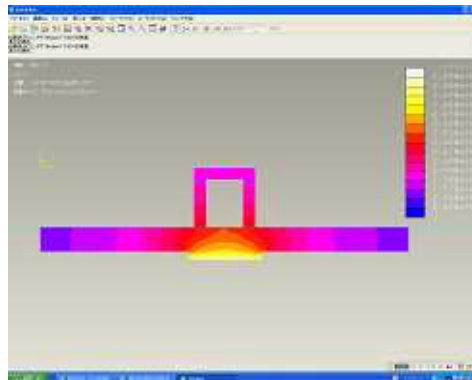
(1)シミュレーションするモデル



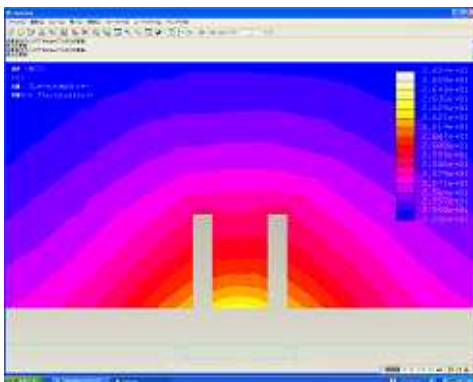
(2)シミュレーション結果



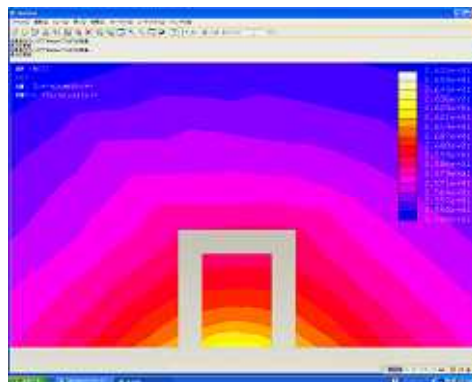
(a)断面図 中心温度 26.5965



(b)断面図 中心温度 26.5611



(c)空気



(d)空気

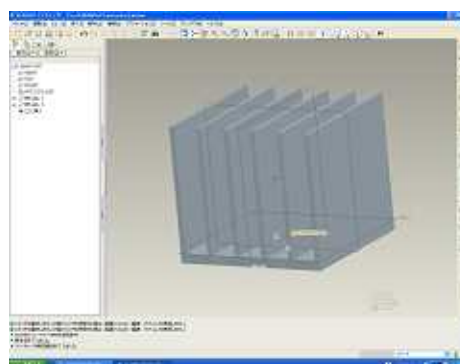
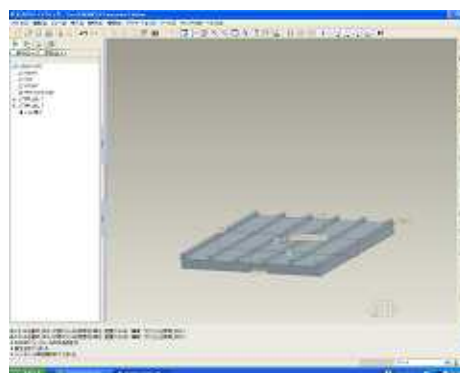
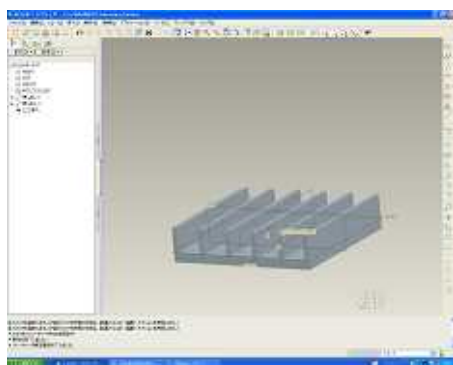
(3)考察

ゲート型のほうが冷却効果が高い結果となった。これは、ゲート型にすることにより表面積が増加したことが要因として考えられる。ゲート型にすることで、ゲート中に熱が籠ることも考えられた。だが、図dで見るとそのような結果にはならなかった。

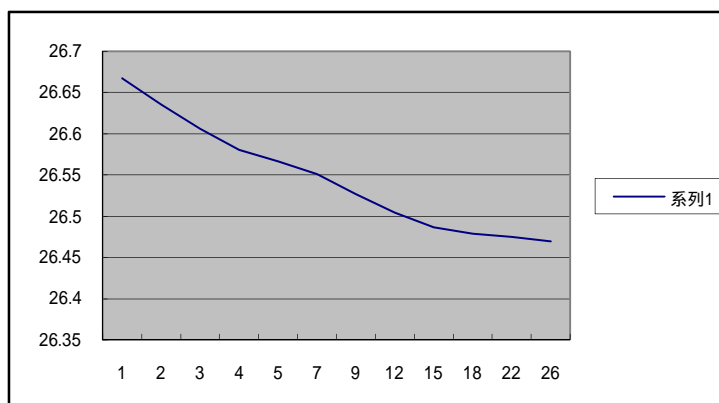
・フィンの高さ

フィンの高さによる違いを比較する。そのため、以下のようなモデルを準備した。

(1)シミュレーションするモデル



(2)シミュレーション結果



(3)考察

フィンの高さの違いによる冷却効果を(2)シミュレーション結果に示す。フィンを高くすればするほど、効果は高まる結果となった。これは、フィンの高くなるにつれ、表面積が増加しているためと思われる。また、18mmを超えたあたりから、冷却効果の伸び率が低くなっている。26mm以降は、いくら高くしても温度はほとんど変化しなかった。

第5章 結論・今後の発展

5.1 結論

(1) 三タイプによる比較

本研究では、三タイプ LSI 用ヒートシンクによる冷却効果を比較した。その結果、コルゲートタイプが最も効率よく放熱していることが分かった。

(2) 材料による比較

本研究では、アルミと銅による材料比較を行った。結果は、全体的に約 0.4 ほどアルミの方がよく放熱していた。

(3) フィンと熱源の距離関係

熱源に近い位置にフィンを設置することが重要であることが分かった。熱源から遠くなるにつれて、冷却効果が弱まる結果となった。また、ある一定の距離を越えると冷却効果に差がなくなることが分かった。

(4) フィンの形状

本研究では、二つのタイプの形状を用意し比較した。その結果、ゲート型の方がよく放熱していることが分かった。ゲート型にすることによって、中に熱が籠ることが考えられた。しかし、今回の実験ではそのような結果得られなかった。

(5) フィンの高さ

フィンの高さを高くすることにより冷却効果が高くなった。しかし、ある一定の高さを超えると効果変化が小さくなっていく。

(6) 効率のよいフィン

高さ、距離共にある一定の範囲を超えると冷却効果に差がなくなる現象が起きた。そのような部分を、事前にシミュレーションを行い、無駄な部分を省くことでコストダウンや効率をあげることができる。

5.2 今後の発展

今回、ファンなどのない自然空冷で実験を行った。しかし、現在はファンなどを使用した強制空冷が主流である。実際そちらの研究も行ってみたかったが、ソフトが対応していなかったため行えなかった。また、シミュレーションと実際の結果を比較してみかった。今後は、計画的に行動し効率のよく実験を行っていきたい。

熱とはなんだろう 著者：竹内薫 講談社

伝熱工学の学び方 著者：北山直方 オーム社

株式会社アルドール

http://www.andor.co.jp/product/products/pro_engineer/mechanica.html

株式会社 丸三電機

<http://www.lex.co.jp/corp/outline.html>

住友軽金属

<http://www.heatpipe.jp/heatsink/index.html>

コルゲートフィン型ヒートシンクの冷却特性 (第2報)

<http://www.jsme.or.jp/monograph/tesd/1997/PDF/b2x/b245.pdf>

株式会社アルファ

<http://www.micforg.co.jp/jp/indexj.html>

M E C H A N I C A / structure のここが好き！！

http://homepage3.nifty.com/ysan/cae/love_mech.htm

アプライドデザイン株式会社

http://www.ada.co.jp/products/StressCheck/sc_pfem.html