

アナログウェア

No. 4

まちがいだらけの熱対策 ホントにあった話30

コンピュータや電子回路のパフォーマンスを100%引き出すために

DIGIKEY.JP

ここで必要なものが、
きっと見つかります!

Digi-Key
ELECTRONICS

ecia MEMBER ecsn CEDA

Digi-Keyは、メーカーと直接、販売契約を締結したディストリビューターです。新製品が毎日追加されています。
Digi-KeyおよびDigi-Key Electronicsは、アメリカ合衆国とその他の国々にあるDigi-Key Electronicsの登録商標です。
© 2017 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA



イントロダクション エネルギーを上手に導いて電子部品に快適空間を

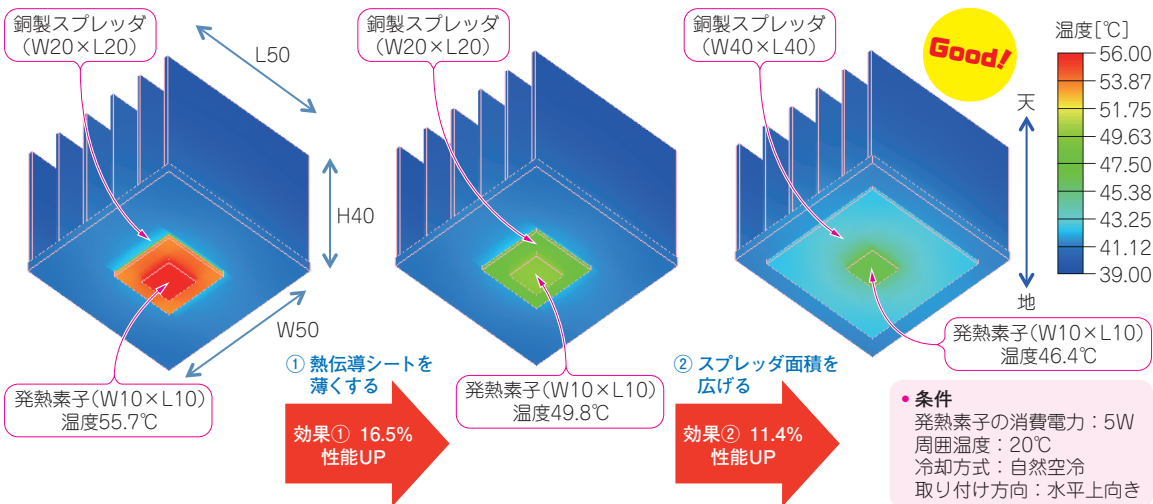
カラーで見る「熱」の科学館

執筆：深川 栄生 Shigeo Fukagawa

検証1 …熱伝導シートの厚さやスプレッド面積の影響

[第2章参照]

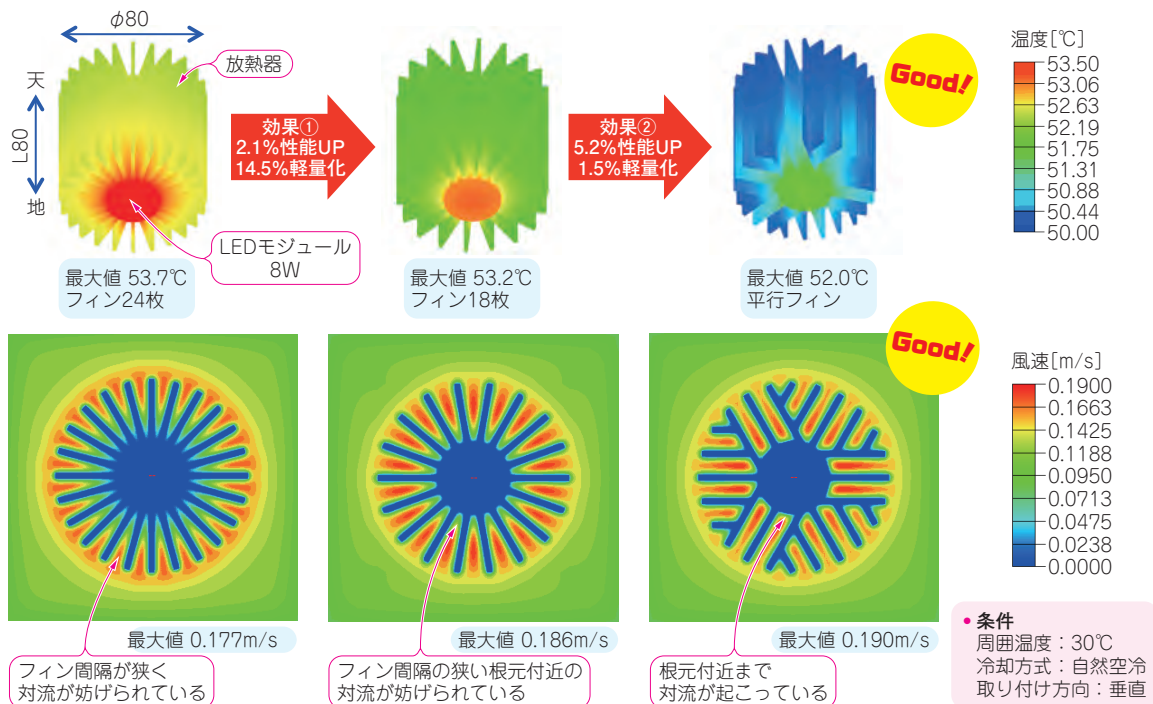
発熱素子と放熱器が同じでも、熱伝導シートを薄くしたり、スプレッド(熱拡散板)の面積を広げたりすると、発熱素子の温度を下げられる。



検証2 …フィン形状の影響

[第2章参照]

自然空冷の場合、フィン形状の最適化により対流を促進できる。放熱性能を高めるとともに軽量化できる。



第1章

カタログ・データの見方と熱設計の考え方

放熱器の基礎知識

電子機器において、装置の温度管理は非常に重要です。例えば、大型コンピュータの設置場所やサーバ・ルームなどは、必ず空調装置を用いて室内の温度管理を行っています。

たいていの電子機器は温度管理が十分に行われている場所で使われるとはかぎらないので、装置自身が熱を発生させないようにしなければなりません。

また、装置に負荷がかかって発熱が増えても、装置が破壊しないように設計する必要があります。そのために使用されるのが放熱器です。

本書では、この電子機器に使用される放熱器の使い方や効果について、失敗例を多く挙げて解説します。まずその前に、本章では放熱器に関する基本的な事柄について紹介します。〈編集部〉

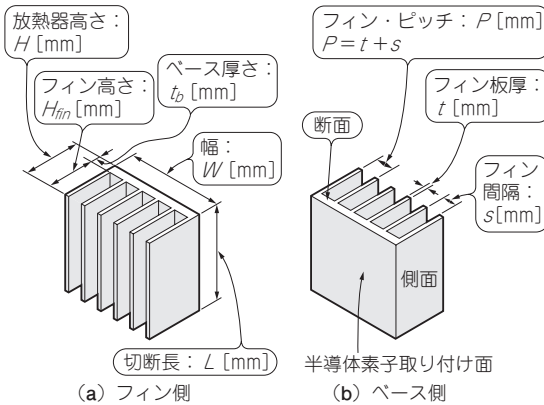


図1 放熱器の各部の名称
フィン間隔 s は、となりあうフィンの空間距離をいいます。フィン間隔 s にフィン板厚 t をたした値がフィンピッチになります($p = s + t$)

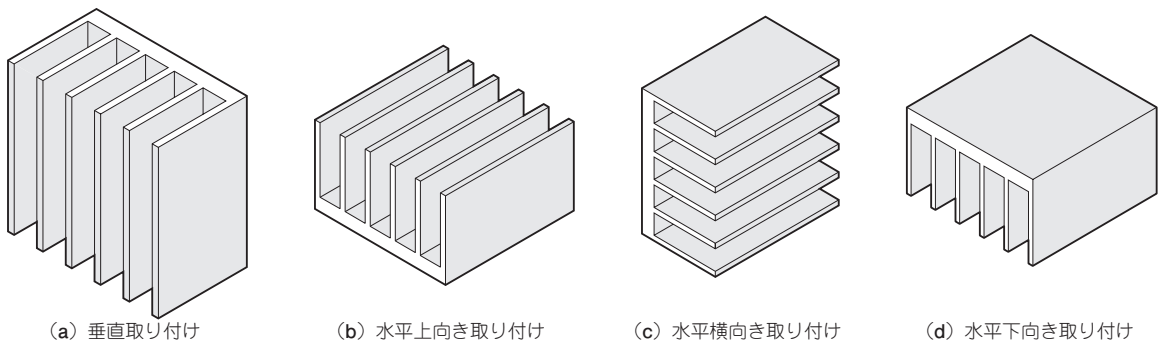


図2 放熱器の取り付け方向

カタログ・データの見方

● 水平取り付けか？垂直取り付けか？

本書では、図1に示すように放熱器の各部名称を統一しています。

放熱器の取り付け方向は、大きく「垂直取り付け」と「水平取り付け」の2つに分類されます。垂直取り付けとは、図2(a)に示すように、放熱器の断面を上下にした取り付け方です。また、水平取り付けとは、図2(b)、図2(c)、図2(d)に示すように、放熱器の断面を横方向にした取り付け方です。

水平取り付けには、図2(b)の水平上向き取り付け、図2(c)の水平横向き取り付け、図2(d)の水平下向き取り付けの3方向があります。単に水平取り付けと呼ぶ場合は、図2(b)の水平上向き取り付けを指します。

放熱器のカタログ・データの見方ですが、一般にカタログには製品名と外形図に加えてグラフと表が記載されています。表にはグラフの代表値が掲載されています。

グラフは放熱器の性能の指標である熱抵抗を表していますが、自然空冷と強制空冷では、グラフの横軸と縦軸の項目が異なります。

● 自然空冷か？強制空冷か？

▶ 自然空冷

図3に示す放熱器12BS031(三協サーモテック)を例に自然空冷について、説明します。自然空冷のグラフは、図3(b)に示すように、横軸が半導体素子の消費

放熱器の冷却方式と熱の伝わり方

現在の電子機器に使われる放熱器の役割は、高集積された半導体が発生する熱を外気に放出して、半導体の温度を一定値以下に保つことです。一般的な放熱器は、フィンと呼ばれる薄い金属板をたくさん並べて、できるだけ表面積が広く取ることで放熱性能を高める構造になっています。

〈編集部〉

冷却方式と種類

冷却方式や種類を知らないと、どのように放熱対策をしてよいのか見当が付きません。冷却方式がわからないために、放熱対策をまったく考えずに設計を進めて、設計途中で半導体の温度が上がりすぎていることに気づき、放熱器を追加する場合があります。

放熱器を設置するスペースを確保するための装置構造の見直しや、基板への固定穴の追加などが必要となり、開発の遅れやコストアップにつながります。

● 放熱器の冷却方式

冷却方式を理解していると、設計初期段階において、冷却方式と冷却方式にあわせた装置構造を決められるので、効率よく設計を進められます。

放熱器の冷却方式には、「自然空冷」、「強制空冷」、「強制液冷」があります。電子機器やプリント基板の放熱には、一般的に自然空冷と強制空冷がよく使われます。

▶ 自然空冷

自然に発生する対流によって冷却させる方式です。冷却のために特別な装置は必要ありません。強制的に風を送らなくても、放熱器の温度が周囲温度に比べて高くなると、放熱器の回りの空気が温められて軽くなるので、自然に対流が発生します。

▶ 強制空冷

ファンなどを使って強制的に対流を発生させて冷却する方式です。自然空冷と比較すると放熱性能は大幅に上がるので、放熱器を小型化できます。

ただし、ファンの寿命や騒音、外気を取り込むことによるホコリの付着といった問題が発生するので、信頼性を考慮する必要があります。

▶ 強制液冷

強制液冷は、冷却対象の回りに配置したパイプ内に水や油などを循環させて熱を下げる冷却方式です。強

制空冷よりもさらに放熱効果が上がります。大電力装置に適しています。

● 放熱器の種類

図1に示すように、放熱器には用途に応じて様々な種類があります。ここでは、主な空冷用放熱器を紹介します。

▶ プリント基板搭載用放熱器

図1(a)に示すのは、プリント基板に搭載する放熱器です。これらは、基本的に基板上に実装した半導体素子に取り付けて使います。基板に固定する方法として、「ねじ固定」、「丸ピンはんだ付け」、「端子はんだ付け」、「ばね」などがあります。

▶ 自然空冷用放熱器

図1(b)に示す自然空冷用放熱器「BSシリーズ」は、民生機器から産業機器まで幅広い用途に使用できる放熱器です。主に自然空冷に使われます。

▶ 強制空冷用放熱器

図1(b)に示す強制空冷用放熱器は、ファンを使って風を送り込む方式の放熱器です。産業機器や重電機器などのような、発熱容量が大きい装置向けです。放熱器の特徴にあわせて選択します。

● 最適な放熱器を選択することが重要

より適している放熱器があるにもかかわらず、知らないばかりに効率の悪い(重い、大きい、高価)放熱器を使ってしまう場合があります。

プリント基板用放熱器の場合は、基板への固定方法や放熱器の方向に関する知識の不足により、固定するのに苦労したり、放熱性能の悪い取り付け方向になることがあります。放熱器の最適な取り付け方向と取り付け方法を選択することで、放熱性能と信頼性の高い設計が可能になります。

熱の伝わり方の基礎

● 一般的に熱の伝わり方は3形態ある…熱伝導、対流熱伝達、熱放射

熱の伝わり方の基本を理解すると、放熱器から装置周辺へ熱がどのように伝わるかイメージできます。放熱器の選択に限らず装置全体の放熱設計に活かれます。

第3章

コンピュータや電子回路のパフォーマンスを
100%引き出すために

まちがいだらけの熱対策 ホントにあった話30

pp.7~16で
カラー
掲載中!

イントロダクション

1

2

3

4

自然空冷 / 強制空冷共通

ここでは、放熱器を自然空冷した場合と強制空冷した場合に共通する失敗例を紹介します。 〈編集部〉

[1] カタログ・データの測定条件を確認しないで、放熱器を選定した

● 要点

放熱器の放熱性能は、測定条件によって変わります。そのため、カタログ・データに記載されている数値を見て放熱器を選定する際は、測定条件を把握することが重要になります。カタログ・データの測定条件よりも厳しい環境で放熱器を使用する場合は、放熱性能が足らなくなり、放熱器の選び直しになることがあります。

● 放熱器の測定条件とは？

カタログには、データを測定したときの条件が掲載されています。自然空冷の場合は、放熱器の取り付け方向や熱源のサイズ、温度測定を行った場所、基板の有無などがあります。

また、強制空冷の場合は、風速の測定場所や風洞サイズなどがあります。

● カタログ・データの理解が放熱器選定の基本

測定条件により放熱性能は変わります。カタログに掲載されているデータの測定条件を把握することが、

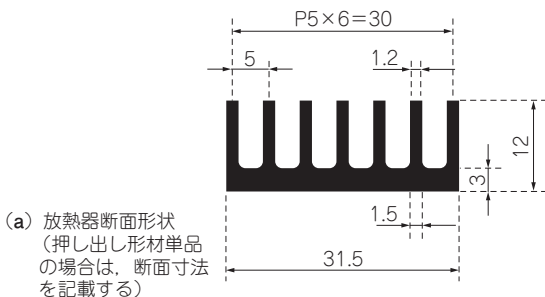


図1 自然空冷用放熱器のカタログ例(12BS031:三協サーモテック)

放熱器を選定する基本です。

図1に自然空冷の場合、図2に強制空冷の場合の放熱器のカタログ・データの例を示します。一般的に、放熱器の形状 [図1(a), 図2(a)], 放熱特性グラフ [図1(b), 図2(b)], 熱抵抗と重量(表1, 表2)などが記載されています。

● 測定条件は放熱器の種類や用途によって変わる

表3に、三協サーモテックの放熱器を自然空冷したときの測定条件を示します。プリント基板に搭載する放熱器は、発熱素子と放熱器を基板に実装した状態で測定しています。表3に示すように、製品シリーズによって、熱源のサイズや取り付け方向が異なります。汎用のくし形放熱器BSシリーズは、全面均一加熱で周囲に何も無い状態が測定条件です。

表4に、強制空冷における測定条件を示します。強制空冷の場合は、放熱器の種類が違っていても基本的に測定条件は同じです。熱源は片面全面均一加熱で、風速は前面(風上)を測定しています。

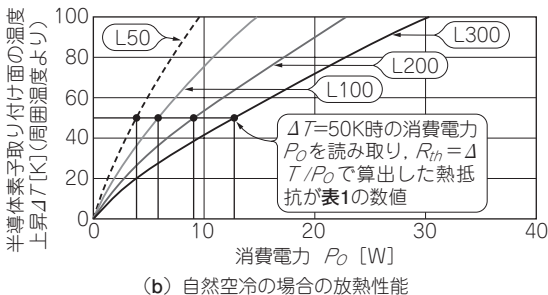
[2] 筐体の外の温度を周囲温度とした

● 要点

周囲温度とは筐体内の発熱の影響を受けない場所における温度のことで、熱設計の基準となる温度です。周囲温度を正確に測定することが精度の高い熱設計につながります。

● 周囲温度の正しい場所

図3に示すように、室内に装置があり、装置筐体内



第4章

試験用デジタル回路を動かして、
温度の測り方や取り付け方を学ぶ

実習！ 放熱器の冷却器と実践的対策

Digilent社(現ナショナル インストゥルメンツ)が開発したZYBOボードは、ザイリンクス社のZYNQ-7000を搭載し、SDRAMや各種のインターフェースを備えた、FPGAによるデジタル・システム開発用のボードです。本章では、このZYBOボードを例に放熱対策の実例をお見せします。

赤外線サーモグラフィ・カメラでZYBOボード全体の温度を測定し、具体的な放熱対策を考えます。放熱条件(取り付け方向、放熱器の表面処理、ZYNQ-7000と放熱器間の接触熱抵抗)を変えた場合の放熱効果の違いを実測により確認します。

〈編集部〉

放熱効果の測定方法

● 測定の準備

放熱効果の測定に必要な実験機材を写真1に、ZYBOボードの外観を写真2と写真3に示します。ZYBOボードにパソコンを接続し、ザイリンクス社が提供する開発環境VIVADOを使って動作させます。

ZYBOボードの消費電力を変化させる工夫として、意識的に消費電力を上げる回路を作ります。その回路を「消費電力ユニット」と呼びます。同じ回路構成の消費電力ユニットを16個用意し動作回路数を変えることで、ZYNQ-7000の発熱量を調整します。

消費電力ユニットの動作個数(1~16個)を写真2のZYBOボードの表面左下にある4個のON/OFFスラ

イド・スイッチを使って設定し、ZYNQ-7000の発熱量を決めます。

● 赤外線サーモグラフィ・カメラで温度分布を確認

放熱器を取り付けていない状態でのZYNQ-7000の温度と、ZYNQ-7000以外に発熱している部品を確認します。基板全体の温度分布を確認する必要があるため、赤外線サーモグラフィ・カメラ(写真4、R500EX-Pro:日本アビオニクス)を使います。赤外線サーモグラフィ・カメラは非接触なので、熱容量の小さな部品の温度測定に適しています。

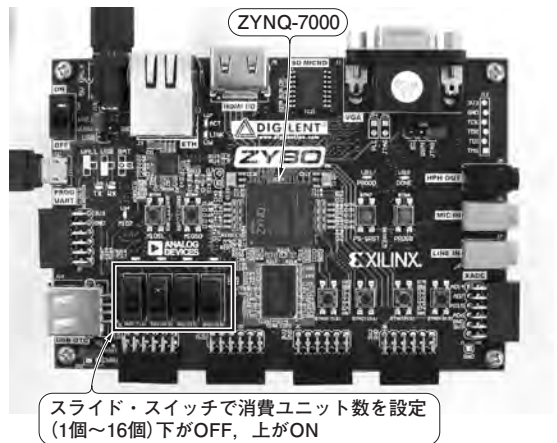


写真2 ZYBOボードの表面



写真1 実験機材
VIVADOを使ってZYBOボードの消費電力をコントロールしている

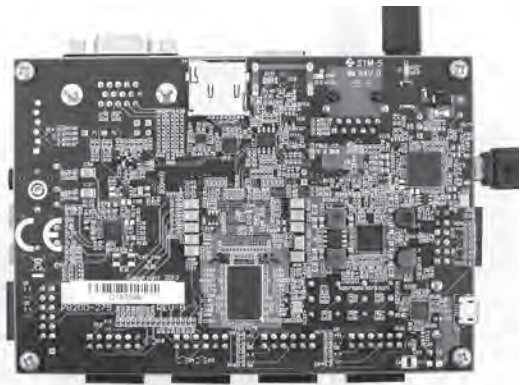


写真3 ZYBOボードの裏面

最大3万3千個のフリップフロップを500 MHzでON/OFF!

冷却実験用の可変発熱FPGA回路の設計

第4章の実験をする装置の開発依頼がありました。どのような回路を作るのか、要件を以下のように考えました。

- 冷却効果を確認できるよう十分に発熱する
- 消費電力は簡単に変更できるようにする
- 基本設計はシンプルでも回路規模を簡単に変更できる柔軟性をもたせる。デバイスに合わせて最大限、大規模な回路を容易に実装できるようにする

● 実験で使用したボード

ザイリンクス社のIC ZYNQ-7000^{ジック}を搭載したDigilent社のボードZYBO^{ジボ}を使用しました。ZYBOはSDRAMや各種のインターフェースを備えたボードです。

ZYNQ-7000は、ARM(Cortex-A9)^{アーム コーテックス}を2個と各種のI/Oインターフェース、さらにFPGAを合体したチップで、組み込み用途に最適なデバイスです。

今回の実験では、CPU部は使用せず、FPGA部に電力を消費する回路を実装しました。ZYNQ-7000のFPGA部^{ヒパド}の実装には、ザイリンクス社の提供するツールVIVADO^{ビバド}を使用します。今回は無償版のWEBpackを利用しました。

● 大規模な回路を高速に動かすと消費電力が増える

CMOSデバイスの電源電流は、大きく分けると次の3項目の和になります。

- ① 負荷容量充放電電流
- ② 貫通電流
- ③ リーク電流(サブスレッショルド電流)

①の「負荷容量充放電電流」は、ゲートやフリップフロップの出力につながっている負荷容量の充放電にかかる電流です。ゲート数と出力変化(0→1, 1→0)の頻度に比例します。

②の「貫通電流」は、出力が変化する際、出力部を構成するpMOSとnMOSが一瞬、同時にONする時間帯に流れる電流で、これもゲート数と出力変化の頻度に比例します。

③の「リーク電流」は、MOSFETがOFFの状態でも流れる極わずかな電流で、ゲート数に比例する値となります。

CMOSデバイスの電源電流は、ゲート数に比例し、ゲートの出力変化の頻度、つまり同期式回路であればクロックの動作周波数にも比例します。

CMOS回路において、消費電力(=発熱量)を増加

させるには、大規模な回路を構成すること、クロック速度を上昇させることがポイントです。

● 可変電力消費回路のポイント

FPGAの場合、組み合わせ回路で複雑・大規模なロジックを組んでも、論理合成の段階で単純化されてしまいます。

加えて、組み合わせ回路の出力信号を変化させるためには、入力信号を変化させる必要があります。その信号発生回路を作るのが難しいという問題もあります。

そこで、組み合わせ回路で複雑・大規模な回路を構成する方法は取らず、出力信号を変化させる方法として、レジスタを使った回路を使うことにしました。

回路の基本構成として、以下のような方針としました。

- 0.5クロックごとに出力を伝搬するようにシフト・レジスタを構成する
- シフト・レジスタへの入力信号をクロック単位で0/1反転させる

このような基本回路構成により、0.5クロック単位で全フリップフロップの出力を変化させます。

シフト・レジスタへの入力パターンは、単にクロック単位で変化するパルスで済んでしまいます。

消費電力を簡単に変更できるように、動作させるシフト・レジスタ回路をユニット分割し、外部より指定したユニットだけを動作させるようにします。

● 可変発熱回路の構成

以上の考察から、図1に示す回路構成としました。最上位モジュールzybo_pl_topを含め、5層の階層構造をしています。

▶1クロック遅延ユニット(OneClockDelay)

図1(a)のように、2個のDフリップフロップを用いたシフト・レジスタです。0.5クロック単位で2段構成にし、前段をクロックのポジティブ・エッジで、後段をネガティブ・エッジで動作させて、1クロック分の遅延を構成しています。通常、1クロックの遅延を作る場合、1個のDフリップフロップで構成できますが、消費電力増加のため、わざと0.5クロック単位で動作させています。

▶ディレイ・ライン・ユニット(DelayLineUnit)

1クロック遅延ユニットを使って、長い遅延ライン回路(シフト・レジスタ)を構成します[図1(b)]。遅延段数は後述するようにVerilog HDLのdefine文を使って定義しています。実験回路では140段としました。