

## AVR335 : AVR®とDataFlash®とでのデジタル録音再生器

### 要点

- デジタル音声記録器
- 8ビット録音
- 8kHz採取速度
- 4000Hzまでの音周波数
- 4.25秒の最大録音時間
- 非常に小さい基板の大きさ
- 700バイト未満のコード

### 序説

この応用記述はA/D変換器付きAVRマイクロコントローラのどれかとAT45DB161B DataFlashメモリ、それと少しの追加部品を使用して音の記録、格納、再生をする方法を記述します。

この応用記述は録音用のA/D変換器、外部DataFlashメモリアクセス用の直列周辺インターフェース(SPI)、それと再生用のパルス幅変調(PWM)の使い方を詳細に示します。これらの機能部の1つまたはそれ以上を必要とする代表的な応用は、温度記録器、電話応答機、デジタル音声録音器です。

AT45DB161B DataFlashは2.7V専用の直列インターフェースフラッシュメモリです。それは16Mビットのメモリが各々528バイトの4096ページとして構成されています。その主メモリに加えて、DataFlashは各々528バイトの2つのSRAMデータ緩衝部を含みます。この緩衝部はDataFlashへ書くことに関して実質的に継続するデータの流れを許します。

AT45DB161Bはそのデータを連続的にアクセスするのにSPI直列インターフェースを使用します。このインターフェースはハードウェア配置を容易にし、系の信頼性を増し、切り替え雑音を最小にし、そして外圍器の大きさや活動するピン数を減らします。代表的な応用は画像記憶、データ記憶、デジタル音声記憶です。DataFlashは4mAの代表的な活動読み込み消費電流で20MHzまでのSPIクロック周波数で動きます。それは読み書き両方の動作に関して(2.7~3.6Vの)単一電圧電源で動きます。

その直列インターフェースは直列周辺インターフェース(SPI)の動作種別0と3に適合し、従ってAVRマイクロコントローラへ容易にインターフェースすることができます。

この応用記述ではマイクロフォンからアナログ試料を取ってそれらをデジタル値に変換するのにAVR ATmega8535が使用されます。その組み込みSPIがDataFlash間のデータ転送を制御します。再生のためにAVRのPWM機能が使用されます。コードに関しては非常に小さく、従って応用はより小さなAVRデバイスにも合うでしょう。

### 動作の理屈

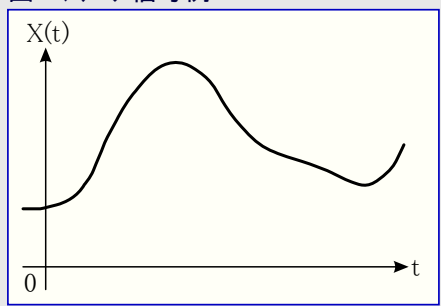
DataFlash内にアナログ音信号が格納され得る前にデジタル信号に変換されなければなりません。これは多くの段階で行われます。

最初に、アナログ信号(図1.)は周期的に試料を取ること(図2.)によって時間離散信号に変換されます。2つの試料間の時間間隔は“採取周期”そしてその逆数は“採取周波数”と呼ばれます。標本化定理に従い、採取周波数は最大信号周波数の最低2倍でなければなりません。さもなければ周波数領域での信号の周期的な継続は“折り返し歪(エイリアシング)”と呼ばれる空間重複に終わります。このような折り返し歪を持つ信号はその試料から独自に元に戻すことができません。

会話の信号は3000Hz以下にその主な情報を含みます。従って信号を帯域制限するために低域通過濾波器が用いられます。

3000Hzの遮断周波数を持つ理想的な低域通過濾波器に対して、採取周波数は6000Hzでなければなりません。濾波器に依存して、濾波器の傾斜はより大きいまたはより小さな勾配になります。特にこの応用に使用されるRC濾波器のような1次濾波器に関して、よりもっと高い採取周波数を選ぶことが必要です。上限はA/D変換器の機能によって決められます。

図1. アナログ信号例



8ビット AVR®  
マイクロコントローラ

### 応用記述

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、ATMEL社とは無関係であることを御承知ください。しおりのはじめにでの内容にご注意ください。

Rev. 1456C-04/05, 1456CJ1-10/13

この採取周波数で取られたアナログ試料を表すデジタル値を決めることは“量子化”と呼ばれます。アナログ信号は最も近い“許容”デジタル値(図3.)にアナログ信号を割り当てることによって量子化されます。デジタル値の数は“分解能”と呼ばれ、常に制限されます。例えば8ビットのデジタル信号に対しては256個の値で、またこの例(図3.)では10個の値です。従ってアナログ信号の量子化は常に情報の損失に帰着します。この“量子化誤差”はデジタル信号の分解能に反比例します。これは最小と最大の値間の範囲(この例(図3.)では3~8)である、信号の“活動範囲(ダイナミックレンジ)”にも反比例します。ATmega8535マイクロコントローラのA/D変換器はAGNDとAREFを最小と最大の信号値に設定することによって信号の活動範囲を調整することができます。

他方、後で与えられるようにA/D変換器の活動範囲を網羅するようにマイクロフォンの増幅器を調整することができます。両方の方法が量子化誤差を減らします。加えて、後者の方法は信号対雑音比(SNR)も増し、従って望まれるべきです。

図4.はアナログ信号を表すデジタル値を示します。これらはA/D変換結果として読まれる値です。

この応用では信号が決して越えない最小と最大の値を持ちます。最小未満と最大越えの信号の部分はどの情報も含みません。これらはメモリを節約するために取り除くことができます。

これは信号全体を下移動し、“最大”値を越える部分を破棄することによって行われます(図5.)。

図2. 時間離散信号

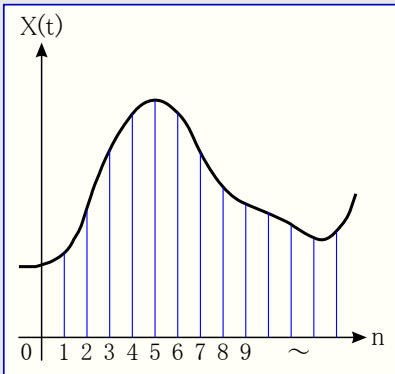


図3. 量子化された信号

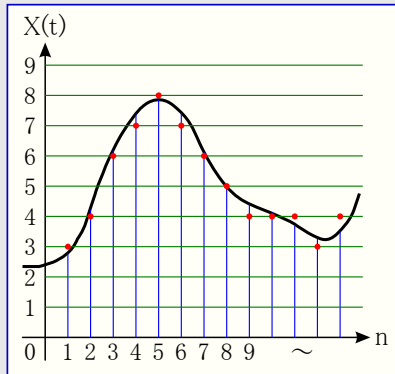
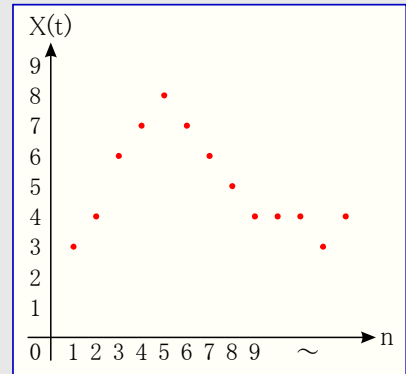


図4. デジタル信号



この応用では結果の信号が8ビットを持ちます。この信号は今やDataFlashに格納することができます。

DataFlashはプログラミング(書き込み)に先行する独立した消去周期を必要としません。“緩衝部から主メモリ ページの組み込み消去付きプログラム(書き込み)”または“緩衝部を通した主メモリ ページ プログラム(書き込み)”の命令使用時、DataFlashは実際のデータをプログラミング(書く)前にメモリ配列内の指定したページを自動的に消去します。システムがより高速な(200kbpsよりも大きな)書き込みの単位処理量を必要とするなら、全体の書き込み時間を減らすために主メモリ配列の区域を予め消去することができます。メモリの単一ページを消去するために任意選択の“ページ消去”命令が提供され、一方“塊消去”命令はメモリの8つのページに一度での消去を許します。主メモリ配列の一部を予め消去すると、より高速な書き込み時間を成し遂げるために“緩衝部から主メモリ ページの組み込み消去なしプログラム(書き込み)”命令が使用されるべきです。

最初の方法は追加の消去周期が全く実装されなくても良いので、最もコード効率的です。けれどもこの応用記述はそうのように望まれた場合にメモリの大部分が予めどう消去されるのかを図解するために塊消去を使用します。メモリ全体の消去は最大数秒かかり得ます。

メモリが消去されてしまった後、全てのページが満たされるまでデータを記録することができます。

DataFlashに書くために緩衝部1が使用されます。この緩衝部が(528個の試料で)満たされると、緩衝部は主メモリに書かれ、同時に529番目の変換が行われます。データは“録音”鉤が開放される、またはメモリが一杯になるまで録音されます。メモリ全体が満たされた場合、DataFlashが消去される前には新しいデータを格納することが全くできません。メモリが部分的に満たされているだけで、2回目の“録音”鉤が押された場合、新しいデータは既存データ直後に追加されます。

音の再生は常にDataFlashの先頭で開始されます。それは録音された全データが再生される、または“再生”鉤が開放されるのどちらかの時に停止します。

DataFlashは主メモリのページから直接、または2つの緩衝部の1つにページを複製してその緩衝部から読むことによる、どちらかでデータの読み戻しを許します。直接アクセス法はページ用の1つとバイト位置用の1つの2つのアドレスで、各単一バイトに対してDataFlashに長い初期化手順が転送されなければならないので、この応用には適当ではありません。これは8ビットPWM信号に対して510クロック周期の1つのPWM周期よりももっと長くかかります。

従って、1つのメモリ ページは2つの緩衝部の1つに複製されます。データがこの緩衝部から読まれると同時に、次のメモリ ページが他の緩衝部に複製されます。最初の緩衝部から全データが読まれてしまうと、他の緩衝部で読み込みは継続し、同時に最初の緩衝部が再取得されます。

DataFlash緩衝部からの読み込みデータはPWM周波数と同期されます。

図5. ビットを減らされたデジタル信号

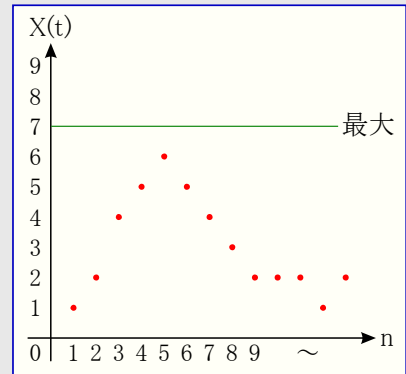
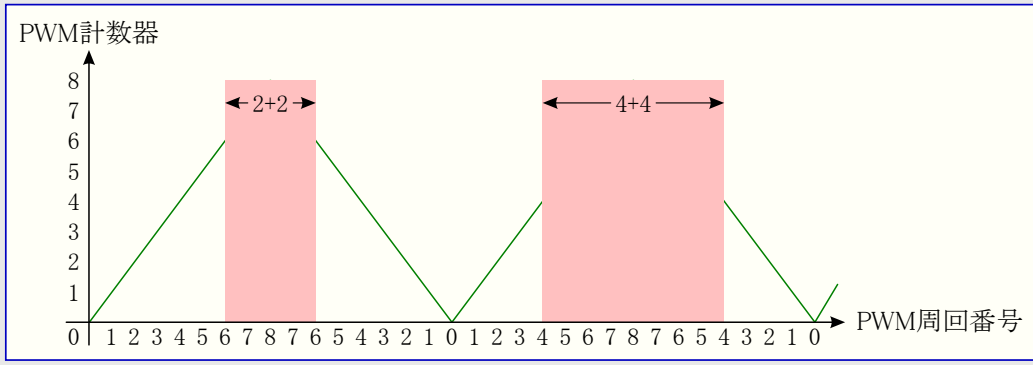


図6. 2つのPWM周期例



デジタル値はパルス幅変調(PWM)を使用することによって再生されます。図6.では、例の信号の2番目と3番目の試料が示されます。PWM信号の1周期は与えられた分解能(本例では8)によって表すことができる最大値に上昇計数し、そして再び0に下降計数する計数器から成ります。出力はPWM計数器がデジタル信号値に一致する時にONに切り換わり、それが再びこの値以下へ下がる時にOFFへ切り換わります。従って明るい赤の(訳注:原文は暗い)領域がその試料に於ける信号の電力を表します。図7.は例の信号に対するPWM信号を示します。

PWM周波数は信号周波数の最低2倍でなければなりません。出力の濾波器に依存して、最低でも4倍高いPWM周波数が推奨されます。

これは信号周波数を減らす、システムクロック周波数を増す、または信号の分解能を減らすのどれかによって達成することができます。

この応用に於ける出力濾波器の遮断周波数は、大まかにPWM周波数(15,686kHz)の1/4である4000Hzに設定されます。

システムクロック速度とPWM分解能がPWM周波数を決めます。

8MHzのシステムクロックで、10ビットPWMの周波数は3922Hz(8MHz ÷ 2 × 2<sup>10</sup> = 3922Hz)で、9ビット分解能に対しては7843Hz、8ビット分解能に対しては15,686Hzです。

最後の値だけが4000Hz信号のための搬送波周波数として扱うのに十分な高さです。従って、元の10ビットデジタル試料は8ビットに変換されます。

出力濾波器は出力信号を滑らかにして高い周波数のPWM搬送波信号を取り除きます。例の信号に対する結果の出力信号は今や何とかかんとか図8.で描かれるように見えます。(この例では8つのデジタル値だけが使用されるので非常に大きな量子化誤差と失った倍率を除き、信号は殆どアナログ信号(図1.)のように見えます。

図7. PWM出力信号

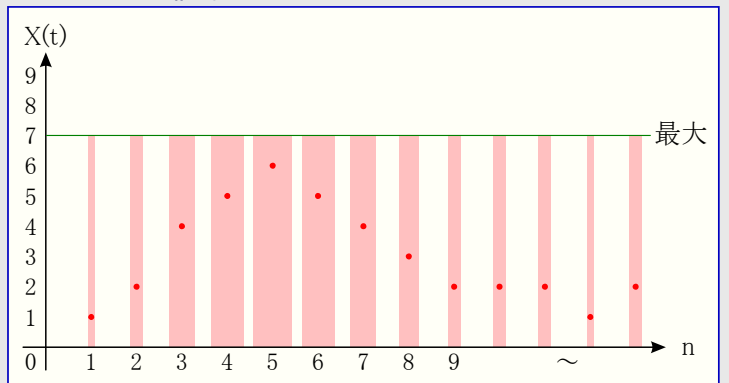
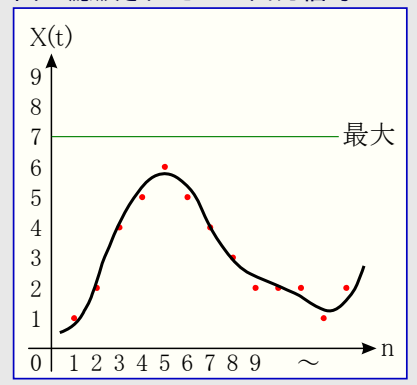
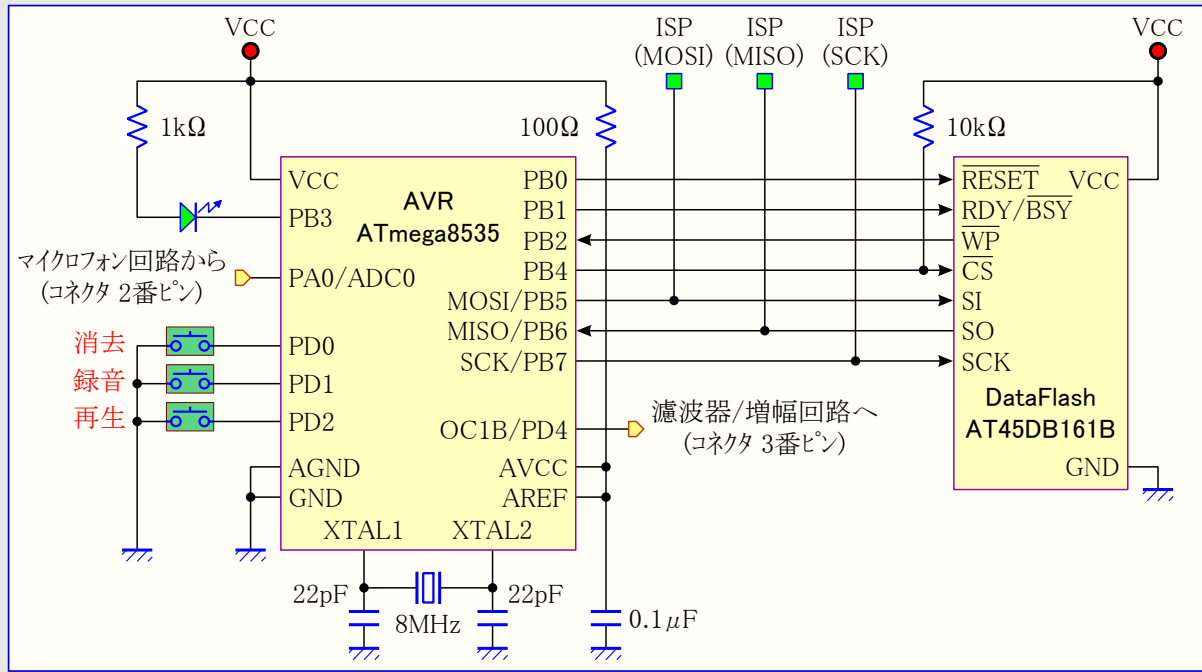


図8. 濾波されたPWM出力信号



## マイクロコントローラとメモリの回路

図9. マイクロコントローラとメモリの回路構成図



使用者は“消去”、“録音”、“再生”と呼ばれる3つの押し釦で音システムを制御できます。押し釦が押されていないならば、PD2～0に於いて内部プルアップ抵抗がVCCを提供します。釦押下は入力線をGNDに引き込みます。

使用者への送り返しとして、LEDがシステムの状態を表示します。

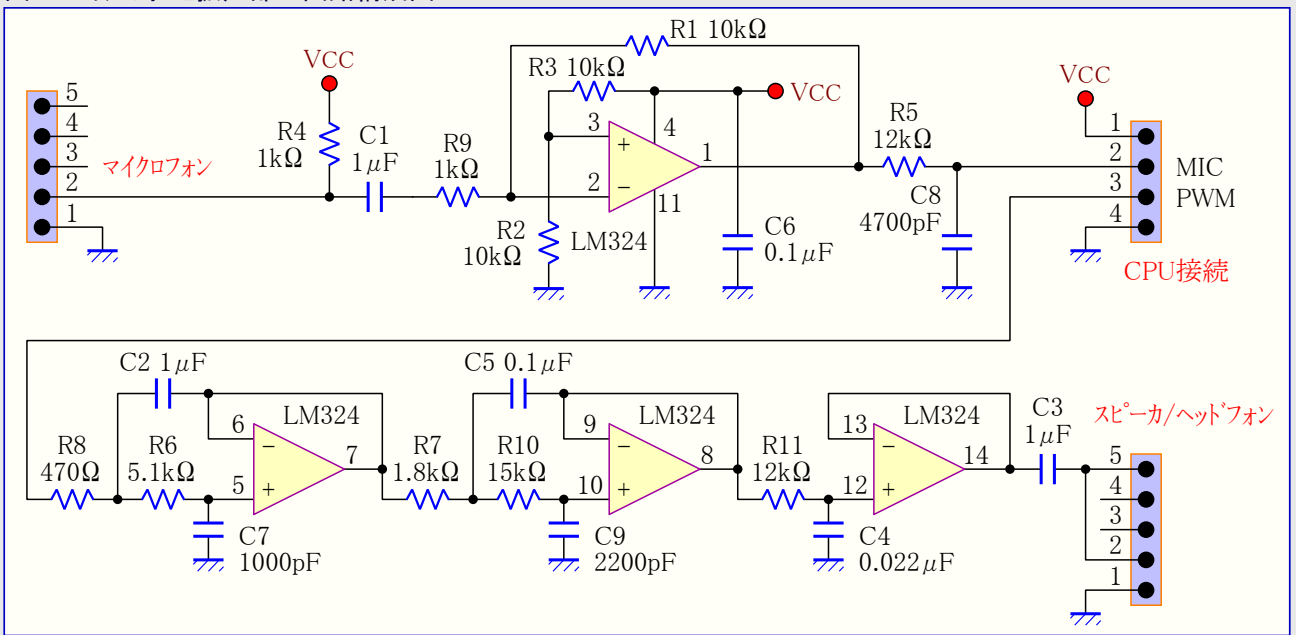
DataFlashはSPIバスを使用して直接AVRマイクロコントローラに接続されます。ISP機能がAVRの書き換えに使用される場合に、チップ選択線(CS)上のプルアップ抵抗はDataFlashが活性になるのを防ぎます。ISP機能が使用されないなら、この抵抗器は省略できます。

アナログ電圧(AVCC)はRC低域通過濾波器によってVCCに接続されます。基準電圧はAVCCに設定されます。

2つの22pFテカップコンデンサとの発振器用結晶がシステムクロックを生成します。

## マイクロフォンと拡声部の回路

図10. マイクロフォンと拡声部の回路構成図



マイクロフォン増幅器は簡単な反転増幅器です。利得はR1とR9(利得=R1÷R9)で設定されます。R4はマイクロフォンへの電力に使用され、C1は増幅器へのどんなDC成分も防ぎます。R2とR3は変位(オフセット)を設定します。R5とC8は簡単な1次低域通過濾波器を形成します。加えてR5は出力が回路短絡された場合にどんな損傷からも増幅器保護します。

拡声部回路は5次チェビシェフ低域通過濾波器と利得1の増幅器から成ります。

濾波器は2つの二同調型2次チェビシェフ濾波器(R6,R7,R8,C2,C7とR7,R10,R11,C9,C5)と1次受動濾波器(R11,C4)によって作り上げられています。これら3つの濾波器の遮断周波数は濾波器回路全体の通過帯域小波動を制限するため、互いに対して僅かにずらされています(二同調型)。全体の遮断周波数は4000Hzに設定され、これは大まかにPWM周波数(15,686Hz)の1/4です。

利得1の増幅器は出力からの帰還を得ることから回路を防ぎます。

C3は拡声器へのどんなDC成分も防ぎます。

## 実装

### 構成設定

プログラムが開始される時にポートが構成設定されなければなりません。これは"setup"サブルーチンで行われます。

SPI規約は主装置として1つの装置を定義し、他の装置は従装置としてこの主装置に接続されます。この応用ではAVRマイクロコントローラが主装置として、そしてDataFlashが従装置として機能します。ATmega8535がこの応用で主装置だけなので、SSピンは入出力ピンとして使用することができます。

ATmega8535のSPIはポートB(PB5とPB7)の交換機能として定義されています。この応用ではDataFlashに対する制御信号もポートB(PB0,PB2とPB4)で構成設定されます。空きピン(PB3)は状態LEDを制御するのに使用されます。主装置構成に関しては信号の直列クロック(SCK)、主装置出力/従装置入力(MOSI)、チップ選択(CS)、書き込み保護(WP)、リセット(RST)が出力で、一方主装置入力/従装置出力(MISO)と準備可/多忙(RDY/BSY)は入力です。LED用のPB3についても出力として定義され、ポートBのデータ方向レジスタは\$BDとして構成設定されます。

そしてポートBは全出力がHighで入力のプルアップ抵抗を持つ状態を定義するように設定されます。

ATmega8535のA/D変換器はポートAに接続されています。従ってポートAは高インピーダンス入力として定義されます。

ポートDは押し釦入力とPWM信号用の出力として扱います。ここではPD4出力ピンでのタイマ/カウンタ1のPWM機能が使用されます。

最後に割り込みが許可されます。この応用では2つの割り込み("A/D変換完了"と"タイマ/カウンタ1溢れ")が使用され、これらはそれらが必要とされる時にサブルーチンで許可と禁止が直接行われます。

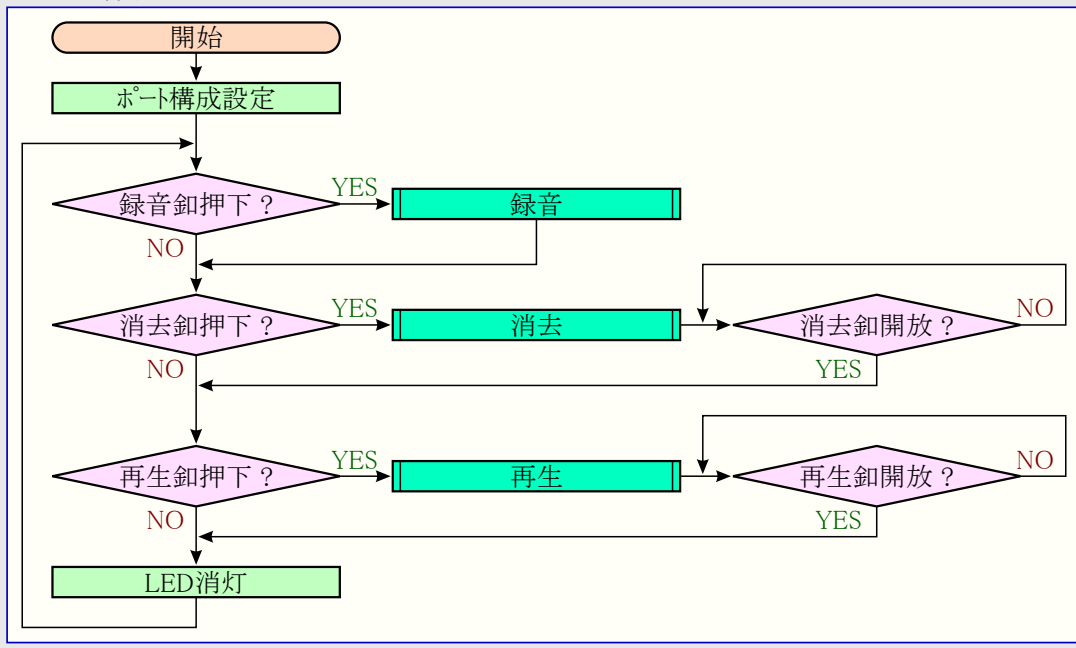
### 主繰り返し

主繰り返しでは、3つの押し釦が走査されます。それらの1つが押されたなら、システムが多忙で対応するサブルーチンが呼ばれたことを示すためにLEDがONにされます。

"消去"と"再生"の関数用のソフトウェアチャタリング除去のため、釦が開放されるまで追加の繰り返し(待機)が実行されます。

主繰り返しの間、システムがアイドル動作であることを示すためにLEDがOFFにされます。

図11. 主繰り返し





## 消去

DataFlashは任意で予め消去することができます。

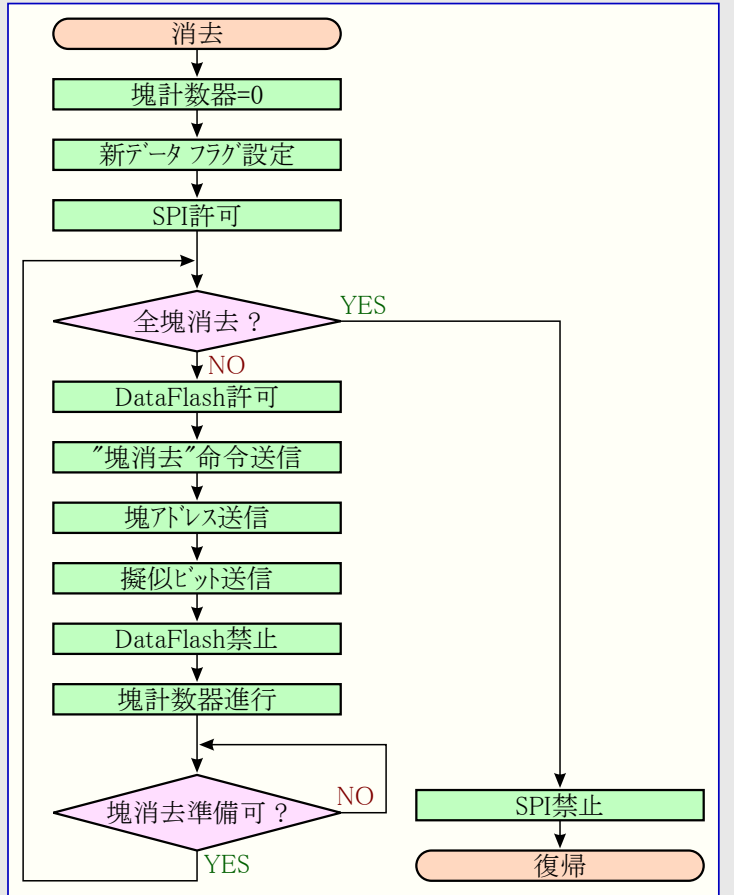
“消去”サブルーチンが呼ばれると、次の録音区間で新しいデータをDataFlashの先頭から格納できることを示すフラグが設定されます。

SPIはDataFlashをアクセスするように構成設定されなければなりません。ここで割り込みは全く使用されません。DataFlashに対するデータ順はMSB先行でATmega8535が主装置です。

DataFlashは正クロック位相で、 $\overline{CS}$ がHighからLowに切り換わった時にSCK信号がLowである(SPI動作種別0)か、またはCSがHighからLowに切り換わった時にSCK信号がHighである(SPI動作種別3)のどちらかを受け入れます。この応用ではSPIが動作種別3に構成設定されます。可能な最速データ転送を得るために、最低クロック分周が選択され、8MHzの発振器用クリスタルが使用された場合に2MHzでSPIバスを動かします。

塊消去を実行するには、 $\overline{CS}$ 線がLowに駆動され、DataFlash内に命令符号\$50が格納され、2つの予約ビット(0)、9ビットの塊アドレス、13ビットの何でも良い偽装ビットが後続します。この手順はバイト単位で従装置に転送されます。各バイト後、SPI割り込み要求フラグが直列転送完了を示すまで、SPI状態レジスタ(SPSR)が検査されます。手順全体が書かれた後、 $\overline{CS}$ 線がHighに駆動される時に塊の消去が開始されます。準備可/多忙(RDY/BSY)ピンは塊が消去されるまでDataFlashによってLowに駆動されます。そしてこの流れと同じ方法で次の塊が消去されます。これは512個の塊全部が消去されるまで行われます。消去された位置は\$FFを読みます。

図12. 消去



## 録音

“録音”サブルーチンはA/D変換器の構成設定と空の繰り返しから成り、これは“録音”釦が押されている限り実行されます。この応用ではADC0ピンが使用され、これはA/D変換多重器選択(AD MUX)レジスタが0に設定される必要があります。A/D変換制御/状態レジスタ(ADCSR)ではA/D変換器がクロック分周係数32で許可され、単独変換動作形態に設定、割り込み許可、そして割り込み要求フラグが解除(0)されます。A/D変換も直ちに開始されます。最初の変換は以降の変換よりも長くかかります(448の代わりに832発振器周期)。この時間後に、変換が終了されて結果をA/D変換データレジスタで読み出すことができることを示すA/D変換完了割り込みが起きます。

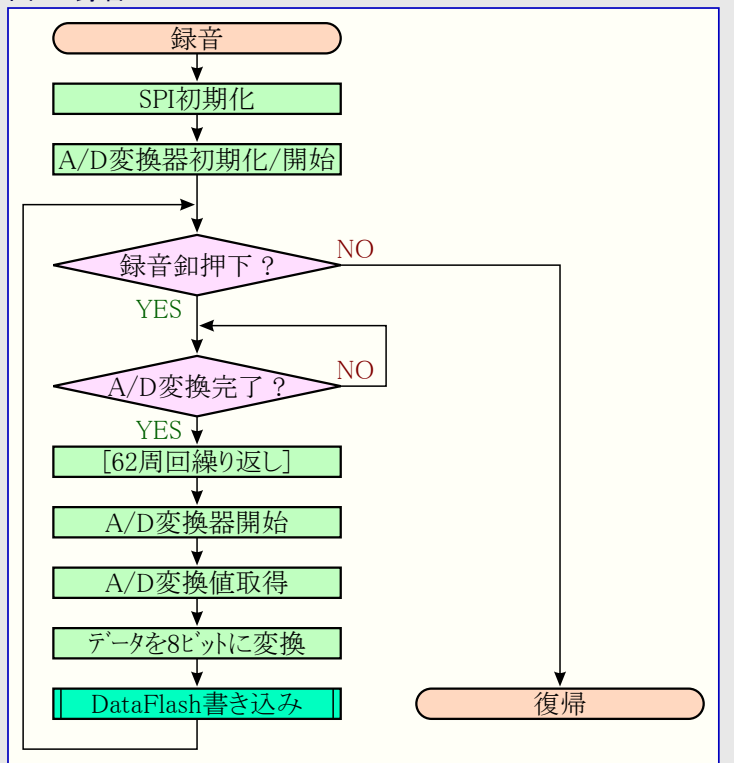
マイクロフォン回路からのアナログ信号は15,686Hzで採取されます。これは出力(PWM)周波数と同じ周波数です。

15,686Hzの採取周波数を達成するには、採取が510周期(15,686Hz×510=8MHz)毎に行われなければなりません。1つのA/D変換結果を得るために、各510周期毎にA/D変換器は32分周A/D変換クロックでの単独変換動作形態で動きます。単独変換は14 A/D変換クロック周期かかります。従って変換は14×32=448周期後に準備可となります。

変換が終了されると、割り込みが起きます。そして割り込み処理ルーチンは新しいA/D変換が開始される前に、在るべき510-448=62周期を満たすために(待機用)繰り返しを実行します。

[次頁へ続く]

図13. 録音



10ビットの変換結果は変換が開始されて2(A/D変換)周期後のA/D変換入力ピンでの値を表します。これらの10ビットはAGND～AREFの範囲を網羅し、これはこの応用で0～5Vです。けれどもマイクロフォン回路出力信号は2.3～3.5Vの範囲に制限されます。従って10ビットの変換結果は最小入力電圧を表す値で減算されます。これは2.3Vに対する\$1D5です。3.5V以上の信号値を表すデータの部分は上位2ビットを切り離すことによって取り除かれます。これはその変数“flash\_data”が“char”型(8ビット)として定義されているので、変換結果が“フラッシュ(DataFlash)書き込み”サブルーチンによって処理される時に自動的に行われます。そして次のA/D変換完了割り込みが起こる前に最終的な8ビットデータがDataFlashに書かれなければなりません。

## DataFlashへの書き込み

DataFlashへのデータ書き込みは最初に緩衝部へ書いてこの緩衝部が一杯の時にその内容を主メモリの1つのページに書くことによって行われます。

“write\_to\_flash”サブルーチンに於いて変数“j”は緩衝部内のバイト番号を、変数“k”は緩衝部が書かれるページ番号を表します。新データフラグがDataFlashの空を示す場合、両計数器が0に設定されます。

メモリが既にいくつかのデータを含む場合、変数はメモリ内の次の空き位置を示し、これは新しいデータがメモリ内容直後に追加されることを保証します。

2つの関数呼び出しに渡ってこれらの変数の内容を保つために、これらは静的変数として宣言されます。

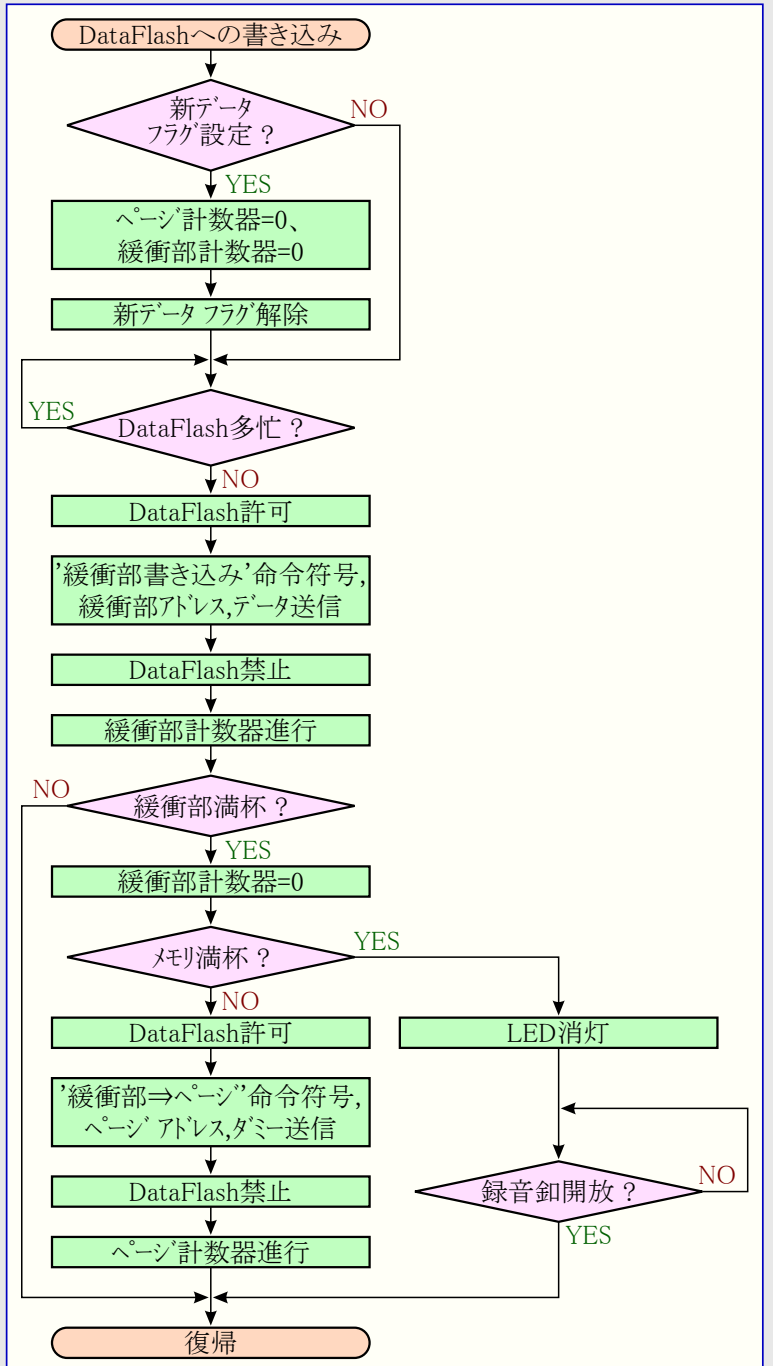
緩衝部にデータを書くため、CS線がLowに駆動され、DataFlashに命令符号\$84が格納されます。これには14個の偽装ビットと緩衝部内の位置用の10ビットアドレスが後続します。その後8ビットデータが入力されます。

この手順はバイト単位で従装置に転送されます。各バイト後にSPI割り込み要求フラグが直列転送の完了を示すまでSPI状態レジスタ(SPSR)が検査されます。手順全体が書かれた後でCS線がHighに駆動されます。

緩衝部が一杯で空のままのページがあれば、緩衝部はDataFlashの次のページに複写されます。先にメモリが消去されているので、データは追加の消去なしで書くことができます。

メモリが一杯の場合、“録音”釦が開放されるまで空繰り返しが行われます。メモリが一杯の間に録音されたどんなデータも失われます。

図14. DataFlashへの書き込み



## 再生

“再生”サブルーチンではDataFlashの内容が読み出されて15,686 Hzで動く8ビットPWMとして変調されます。より高い速度を達成するために、データは主メモリから直接読み出さずに2つの緩衝部の1つに交互に転送され、その後に緩衝部から読みます。その間に次のメモリページが他方の緩衝部に複写されます。PWMに関しては、16ビットのタイマ/カウンタ1がOC1BでのPWM出力で使用されます。これはタイマ/カウンタ1制御レジスタAとB(TCCR1A, TCCR1B)で定義されます。可能な最高周波数でPWMを動かすために、PWMクロック分周器は1に設定されます。

構成設定が行われる時にCS線をLowに駆動してDataFlashに適切な命令を転送することによって緩衝部1に先頭ページが複写されます。CS線が再びHighに駆動される時にページ⇒緩衝部転送が開始されます。DataFlashによって準備可/多忙ピンがHighに駆動されると、緩衝部1は有効なデータを含みます。その後、次のページの緩衝部2への転送が開始されます。両緩衝部が互いに独立しているので、DataFlashが2つ目のページから緩衝部2へデータを複写するのに未だ多忙の間に、緩衝部1から既にデータを読むことができます。

緩衝部からのバイト読み込みに対して、DataFlashに偽装値が書かれなければなりません。SPI従装置への主装置の書き込み活動がそれらのSPIデータレジスタ(SPDR)を相互交換させます。DataFlashへの偽装バイト書き込み後、AVRマイクロコントローラのSPDRはDataFlashからの出力データを含みます。

PWM計数が値“0”を含む時にタイマ/カウンタ1溢れ割り込みが起きます。この割り込みはDataFlashからのデータ出力をPWM周波数に同期するのに使用されます。緩衝部からの値がAVRマイクロコントローラに移動されると、タイマ/カウンタ1溢れ割り込みが起こるまで繰り返し(待機)が実行されます。そしてPWM計数がその最大値(8ビットPWMについては255)を含む時にPWM出力へ自動的にラッチされる、タイマ/カウンタ1比較Bレジスタ(OCR1B)にデータが書かれます。

緩衝部の最後の値が読まれた後、活性緩衝器が切り換えられます。

メモリ全体が再生されてしまったなら、全ての割り込みが禁止されてタイマ/カウンタ1が停止されます。

図16. 次ページ⇒次緩衝部

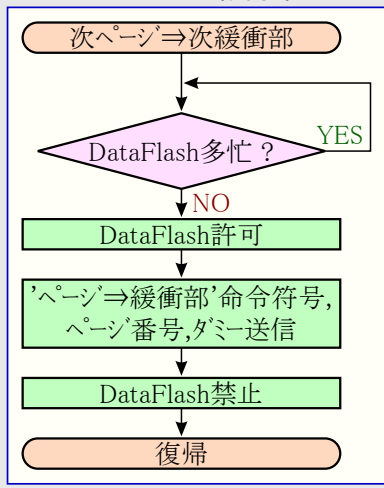


図15. 再生

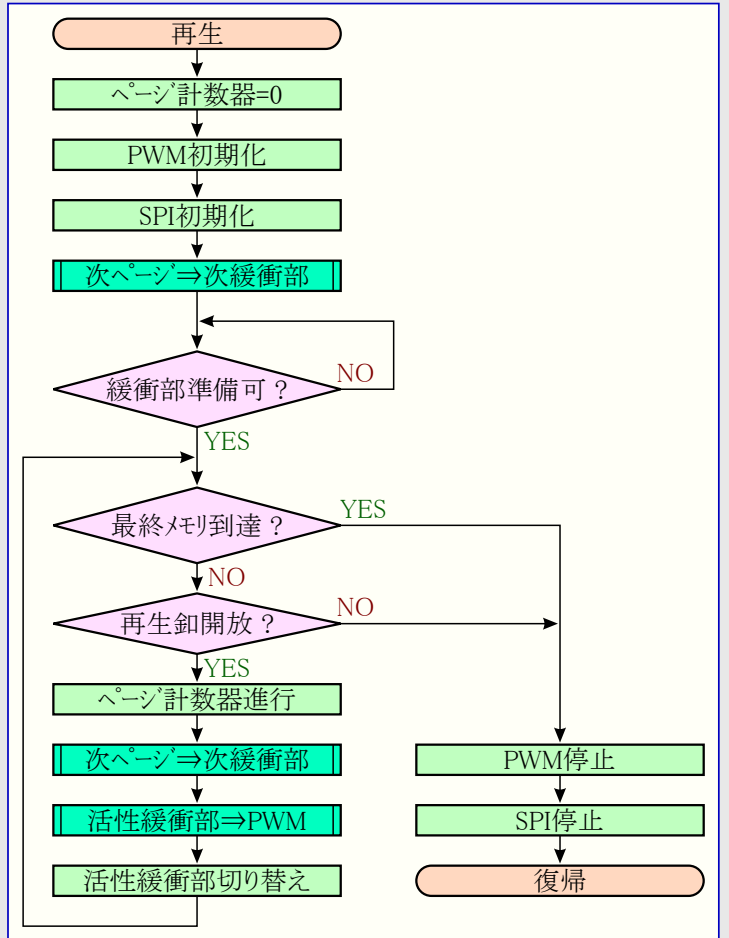
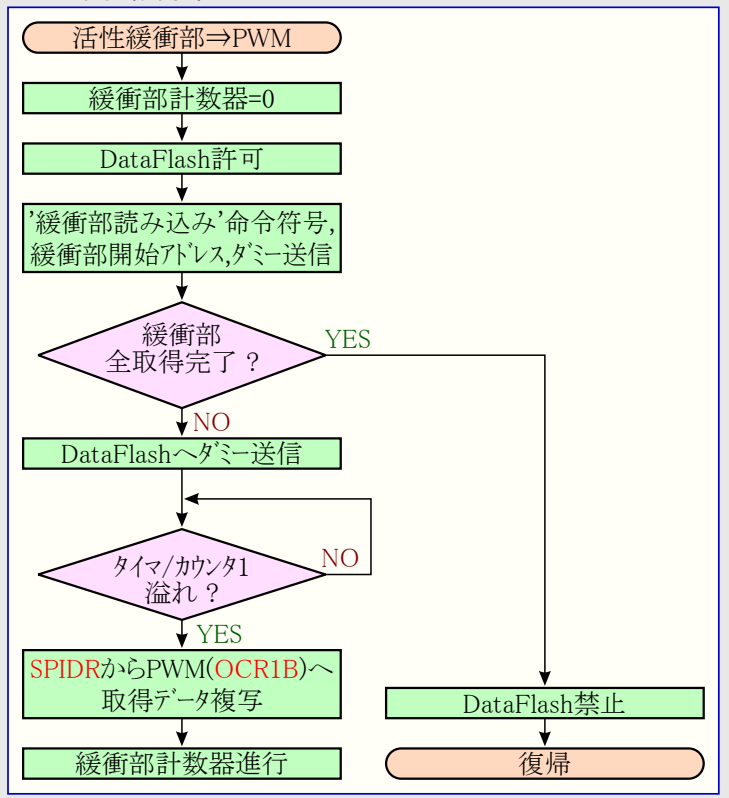


図17. 活性緩衝部⇒PWM





## STK200開発基板の使用

本書で記述される応用はSTK200開発基板を用いて検査と変更を行うことができます。この場合に於いていくつかの点に注意しなければなりません。

### チップ ソケット

この応用はA/D変換器を使用します。従ってマイクロ コントローラは“A/D parts”と記されたソケットに配置され、そしてマイクروفオン増幅器出力が“Analog”と記されたヘッダ コネクタに接続されなければなりません。

### ジャンパ

“setup.all”サブルーチンでの構成設定に従って、押し釦やLED以外の目的に使用されるピンの全てのジャンパが取り去られなければなりません。記述される応用に関するそれらはポートBのジャンパ0と2、それとポートDのジャンパ4です。

### SPI抵抗器

基板上のSPIと“Port B”と記されたピン ヘッダに接続されたデバイス間での妨害を避けるため、チップ ソケットとPort BヘッダのPB5～7間に10kΩの抵抗器が挿入されます。DataFlashがそれらのピン ヘッダに接続されている場合、STK200の裏面でそれらのコネクタを渡して半田短絡によって抵抗器が迂回されなければなりません。

### 基板上SPIの使用

チップ ソケットとPort Bヘッダ コネクタ間の抵抗器の回路短絡は、デバイスがPort Bヘッダ コネクタに接続されている時にプログラムの書き換えと照合に基板上のSPIを使用する場合にいくつかの問題を引き起こすかもしれません。問題が起きたなら、プログラムの書き換えと照合の間にデバイスを切断するか、または図9に従ってPB4とVCC間に10kΩの抵抗器を半田付けすることのどちらかがそれを救うでしょう。

## 変更と最適化

マイクروفオン出力信号は使用されるマイクروفオンの形式に依存して変化するかもしれません。最良の結果を得るため、AREFに最も近い最大出力信号を配給するマイクروفオン増幅器利得を選ぶことが重要です。データは殆どA/D変換器から読まれながらDataFlashに書かれます。より長い録音時間やステレオ信号が望まれた場合にこのデータの圧縮が可能で有用かもしれません。

この応用記述では状態フラグの2つの実装法が示されます。

1つの方法は全体変数を使用することです(換言すると、“playback”サブルーチンで使用される“wait”変数)。他の方法はレジスタ内の未使用ビットを使用することです。“erase”サブルーチンでは、アナログ比較器制御/状態レジスタ(ACSR)のACIS1ビットが次に新しいデータが格納されなければならないことを示すのに使用されます。アナログ比較器が使用されない限り、これはプログラム性能に於いてどんな負の影響も持ちませんが、1つのレジスタを邪魔な全体変数から開放します。

15,686Hz(各々510クロック周期)の採取周波数はA/D変換完了割り込みと遅延繰り返しによって生成されます。これはそれらが他の目的で使用されていないければ、独立した計時器(タイマ/カウンタ0またはタイマ/カウンタ2)によって置き換えることができます。

## 参照

- 「デジタル信号処理: 原理、算法、そして応用 第2版」Proakis, J.G. and Manolakis, D.G. 著 (1992)  
(Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications Second Edition)
- データシート:  
ATMEL AVR ATmega8535  
ATMEL AT45DB161B DataFlash

## 資源

表1. 使用周辺機能

周辺機能	説明	割り込み
タイマ/カウンタ1	8ビットPWM	タイマ/カウンタ1溢れ(PWM計数器=0)
ポートBのPB5,6,7	DataFlashアクセスのためのSPI	
ポートBのPB0,1,2,4	DataFlash制御線	
ポートBのPB3	状態LED	
ポートAのPA0	A/D変換器入力	A/D変換完了
ポートDのPD0,1,2	押し釦	
ポートDのPD4	PWM出力	

## 部品表

表2. マイクロコントローラとメモリの回路

部品	値	説明
AVR	ATmega8535	強化RISCフラッシュ マイクロ コントローラ
DataFlash	AT45DB161B	16ビット直列インターフェース フラッシュ メモリ
LED		状態表示
R3	100Ω	アナログ電圧濾波抵抗器
R2	1kΩ	LED電流制限抵抗
R1	10kΩ	DataFlashの“チップ選択”線用プルアップ抵抗
C1,C2	22pF	クロック信号回路発振コンデンサ
C3	0.1μF	アナログ電圧濾波コンデンサ
発振器用クリスタル	8MHz	クロック信号生成
押し釦スイッチ×3		“消去”, “録音”, “再生”用

(訳注) 原書では表2.の部品表のみATmega8535で他はAT90S8535として記述されています。基本的にどちらでも良いのですが、本書では後継版となるATmega8535で統一して記述しています。尚、ATmega8535の場合、本応用の実験的な使用に於いては発振用の外部部品を省いて(既定での)内部RC発振器で動作させることもできます。

表3. マイクロフォンと拡声部の回路

部品	値	説明
U1	LM324	4個入り演算増幅器
R8	470Ω	チェビシェフ濾波器抵抗
R4	1kΩ	マイクロフォン電力制限抵抗
R7	1kΩ	チェビシェフ濾波器抵抗
R9	1kΩ	マイクロフォン増幅器用入力抵抗
R6	5.1kΩ	チェビシェフ濾波器抵抗
R1	10kΩ	マイクロフォン増幅器用帰還抵抗
R2	10kΩ	マイクロフォン増幅器用変位(オフセット)
R3	10kΩ	マイクロフォン増幅器用変位(オフセット)
R5	12kΩ	マイクロフォンのRC濾波器抵抗
R11	12kΩ	イヤフォンのRC濾波器抵抗
R10	15kΩ	チェビシェフ濾波器抵抗
C7	1000pF	チェビシェフ濾波器コンデンサ
C9	2200pF	チェビシェフ濾波器コンデンサ
C8	4700pF	マイクロフォンのRC濾波器コンデンサ
C4	0.022μF	イヤフォンのRC濾波器コンデンサ
C5	0.1μF	チェビシェフ濾波器コンデンサ
C6	0.1μF	デカップ(雑音分離)コンデンサ
C3	0.1μF	アナログ電圧濾波コンデンサ
C1	1μF	マイクロフォンの交流結合
C2	1μF	チェビシェフ濾波器コンデンサ
C3	1μF	イヤフォンの交流結合
ミニジャック×2	35mm Φ	
マイクロフォン		3.5mmプラグ付き標準PCマイクロフォン
イヤフォン		3.5mmプラグ付き標準イヤフォン



## 本社

### Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131, USA  
TEL 1(408) 441-0311  
FAX 1(408) 487-2600

## 国外営業拠点

### Atmel Asia

Unit 1-5 & 16, 19/F  
BEA Tower, Millennium City 5  
418 Kwun Tong Road  
Kwun Tong, Kowloon  
Hong Kong  
TEL (852) 2245-6100  
FAX (852) 2722-1369

### Atmel Europe

Le Krebs  
8, Rue Jean-Pierre Timbaud  
BP 309  
78054 Saint-Quentin-en-Yvelines  
Cedex  
France  
TEL (33) 1-30-60-70-00  
FAX (33) 1-30-60-71-11

### Atmel Japan

104-0033 東京都中央区  
新川1-24-8  
東熱新川ビル 9F  
アトメル ジャパン株式会社  
TEL (81) 03-3523-3551  
FAX (81) 03-3523-7581

## 製造拠点

### Memory

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131, USA  
TEL 1(408) 441-0311  
FAX 1(408) 436-4314

### Microcontrollers

2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131, USA  
TEL 1(408) 441-0311  
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie  
BP 70602  
44306 Nantes Cedex 3  
France  
TEL (33) 2-40-18-18-18  
FAX (33) 2-40-18-19-60

### ASIC/ASSP/Smart Cards

Zone Industrielle  
13106 Rousset Cedex  
France  
TEL (33) 4-42-53-60-00  
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906, USA  
TEL 1(719) 576-3300  
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park  
Maxwell Building  
East Kilbride G75 0QR  
Scotland  
TEL (44) 1355-803-000  
FAX (44) 1355-242-743

### RF/Automotive

Theresienstrasse 2  
Postfach 3535  
74025 Heilbronn  
Germany  
TEL (49) 71-31-67-0  
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906, USA  
TEL 1(719) 576-3300  
FAX 1(719) 540-1759

### Biometrics

Avenue de Rochepleine  
BP 123  
38521 Saint-Egreve Cedex  
France  
TEL (33) 4-76-58-47-50  
FAX (33) 4-76-58-47-60

## 文献請求

[www.atmel.com/literature](http://www.atmel.com/literature)

お断り: 本資料内の情報はATMEL製品と関連して提供されています。本資料またはATMEL製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。ATMELのウェブサイト位置する販売の条件とATMELの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、ATMELはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえATMELがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益の損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してATMELに責任がないでしょう。ATMELは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。ATMELはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、ATMEL製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。ATMEL製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

© Atmel Corporation 2005. 全権利予約済 ATMEL®、ロゴとそれらの組み合わせ、AVR®とその他はATMEL Corporationの登録商標または商標またはその付属物です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

## © HERO 2013.

本応用記述はATMELのAVR335応用記述(doc1456.pdf Rev.1456C-04/05)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意識されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には( )内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。