

自分にだけの目覚まし時計

—指向性スピーカーの製作とその応用—

4年C組 寺川 峻平

指導教員 米田 隆恒

1. 要約

私は朝早く起きたいときに、自分の目覚ましの音でまだ寝ている家族を起こしてしまうことが嫌だった。そこで、超音波を利用した指向性スピーカーを製作し、マイコンと組み合わせて自分にだけアラームが聞こえる目覚まし時計を開発した。また、スピーカーからの超音波を利用した睡眠リズムの計測システムの開発を行っている。

キーワード 指向性スピーカー、超音波、マイコン、睡眠サイクル、寝返り

2. 研究の背景と目的

私は幼い頃、日曜日早朝の特撮ヒーロー番組をよく見ていた。そのため、目覚まし時計をセットして親よりも早く起きなければならなかった。しかし確実に起きようとするれば、アラームの大きな音でまだ寝ている親兄弟を起こしてしまう恐れがあり、かといって音量を下げれば自分が起きられない。幼い私は、週に2日しかない休みに親をしっかりと寝かせてあげたいという思いと、一度きりの放送を見逃したくないという思いに悩まされ、その結果「自分にだけ聞こえるスピーカーを作ろう」と考えるようになった。そして高校生になった私は、インターネットで指向性スピーカーの存在を知り、開発を始めた。

今回、私は「自分にだけアラーム音が聞こえ、かつ快適な眠りと目覚めを妨げない目覚まし時計の開発」を目的として研究を行った。ここでの快適な眠りとはイヤホン等の装置を直接体につけないということ

あり、快適な目覚めとはベッドを直接揺らしたり極度に不快な音によって目を覚ませたりしないということである。具体的な研究の流れを下に示す。

[研究1] 指向性スピーカーの製作

[研究2] 目覚まし時計の製作

[研究3] 睡眠リズム計測システムの開発

3. 研究内容

[研究1] 指向性スピーカーの製作

自分専用の目覚ましグッズは既にいくつも開発・商品化されている。それらは主に二つのタイプに分けられ、一つは耳栓型のデバイスからアラームを鳴らすタイプ、もう一つは音の代わりに振動で目を覚まさせるタイプである。中でも後者の種類は多様であり、指定した時刻になると振動する枕や、腕時計型で血圧・心拍数などから眠りの浅い時間帯にバイブレーションで目覚めさせてくれるという製品もある。

しかし、これらは今回の目的を満たすものではない。耳栓タイプのもは他人に音が聞こえることはないものの、装着時の違和感によって快適な眠りが妨げられる恐れがある。また振動タイプは振動が床などを伝わって近くで寝ている人を起こしてしまう恐れがある。そこで非接触で、かつ音を狭い範囲にだけ届けることのできる指向性スピーカーを製作することにした。



図1 指向性スピーカー



図2 超音波スピーカー
直径約 10mm

今回指向性スピーカーの製作に使用した超音波スピーカーは $40\text{kHz} \pm 1\text{kHz}$ に共振周波数を持つので、タイマーIC (NE555) を2つ使用して 40kHz 前後の方形波を作り、入力信号とした。このタイマーIC は一緒に使用する抵抗器とコンデンサの抵抗値・容量によって任意の周波数の信号を作り出せるというもので、抵抗器に半固定抵抗器 (抵抗値を自由に変えられる) を使用

することで部品を基板にハンダ付けした後でも出力信号の周波数を変化させることができる。よって作成した回路 (図3) では2つの超音波の差の周波数、つまり実際に耳に聞こえる音の周波数を、約 2kHz までの範囲で自由に調節することが可能である。

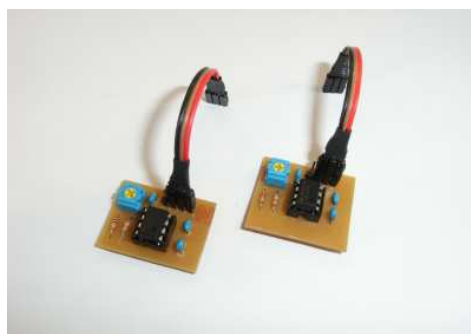


図3 タイマーIC を使用した発振回路
発振周波数 40kHz

タイマーIC の電源電圧は後に使うマイコン等の部品と同じく $+5\text{V}$ とするため、直接超音波スピーカーを駆動するには電圧が低い。そこで、FET (電界効果トランジスタ) を使用して電圧変換を行った。FET はトランジスタの一種で、今回使用した FET (図4) はゲート端子-ソース端子間に基準値より高い電圧をかけるとドレイン端子-ソース端子間に電流が流れるというものである。



図4 スイッチング用 FET
(N-ch MOSFET μPA2753)

この性質を利用し、FET をスイッチのように使うことによってタイマーIC の信号

で大きな電圧を制御することができるのである。

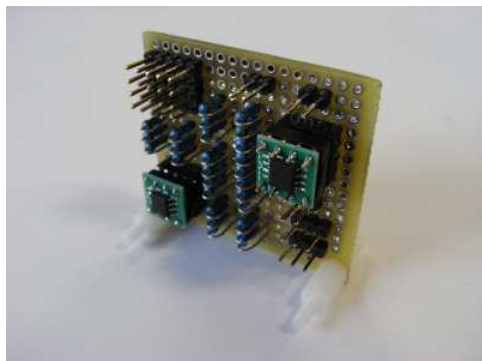


図5 スピーカー駆動用電圧変換回路

[研究2] 目覚まし時計の製作

PIC マイコンと LCD キャラクタディスプレイ、リアルタイムクロックモジュール（以下、RTC モジュールという）を使って目覚まし時計を製作した。マイコンとはマイクロコントローラの略称で、プログラムを専用の機器で書き込むとその通りに動作するというものである。PIC マイコン（図6）は microchip 社が開発したマイコンであり安価で入手性が高く開発環境が整っていることが特徴である。



図6 PIC マイコン
PIC18F2320

今回は I²C 通信モジュールを内蔵している PIC18F2320 という PIC マイコンを使用した。LCD キャラクタディスプレイは小型の液晶表示機で、時刻やその他の情報表示

に使用する。RTC については後述する。

<研究2-1 水晶発振器使用型の製作>

まずは時間の周期を水晶発振器（図7）から得る時計を製作した。水晶発振器とは、電圧をかけると一定の周期で電圧の変化する信号を出力する部品である。この信号を PIC マイコンで処理し、1秒をプログラムによって作り出して時計を作ろうと考えた。

しかし実際に製作してみると、水晶発振器自体の誤差やプログラムの処理方法によって生じる誤差によって、多いときには一晩で2分もずれてしまうことがあり、別の方法で時計を作ろうと考えた。



図7 水晶発振器

<研究2-2 RTC 使用型の製作>

次に RTC モジュールを利用して時計を製作した。

RTC とは少ない消費電流で計時を続ける機能を持つ電子部品で、時計・カレンダーの用途で使われるものである。身近な例を挙げると、PC のカレンダーや時計が電源を切っても正常に動いているのはこの RTC を使用しているからである。今回使用した RTC モジュール（図8）は内部に高精度調整済み水晶振動子を内蔵しており、PIC から命令を送ることで日時の書き込み/読み取りを行うことや、タイマー機能・一定周期の信号出力機能などが利用できる。

つまり、＜研究2-1＞でPICマイコンが行っていた動作をRTCに任せることができるのである。これによってプログラムが簡単になり、また精度の高い計時を行うことが可能となる。

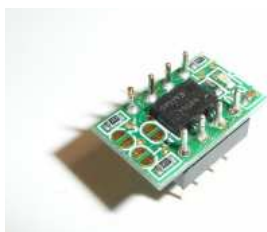


図8 RTCモジュール
RTC-8564NBを使用

RTCとPICの間でデータのやり取りを行うには、I²C通信という通信方式を用いる必要がある。I²Cとは2本の信号線によって通信を行う方式であり、SCLと呼ばれる信号線からの信号でタイミングをとりながらSDAと呼ばれる信号線でデータを送/受信する。通信のために必要なポートが2つで済むため、ピン数の少ないマイコン等に適した通信方式だとされている。

また、RTCに対して現在時刻等の入力操作をするため、タクトスイッチ3つを入力装置として使用した。

[PICマイコンの動作の流れ]

- ①電源投入時に現時刻の設定画面を表示し、タクトスイッチによって入力された時刻をRTCモジュールに設定する。
- ②設定後、デジタル時計表示に切り替えるが、任意に現時刻を設定しなおすことが可能である。
- ③時刻表示中にアラーム時刻設定ボタンを押すと設定画面を表示し、入力された時刻データをPICマイコンに保存しておく。

④RTCモジュールから時刻データを読み出し、表示する。

⑤③④を繰り返し、③のアラーム時刻と④で得られた時刻が同じであれば指向性スピーカーを鳴らす。

このようにして目覚まし時計を製作することができた。これによって「自分にだけアラームが聞こえ、快適な眠りを妨げない目覚まし時計」を製作するという目的は達成されたといえる。しかし、快適な目覚めについては、ただアラームを鳴らすだけという既存の製品と全く同じ方法をとっており、不快ではないが面白味・新規性に欠ける。そこで、私はこの目覚まし時計に睡眠サイクルを計測する機能をつけられないかと考えた。

[研究3] 睡眠リズム計測システムの開発

快適な目覚めを実現するにはどうすればよいのか。ヒントは冒頭で述べた目覚まし時計の例にあった。人間は睡眠中に浅い眠りと深い眠りを繰り返すということが知られている。眠りの浅いときに起こされるとすっきり目覚めることができ、逆に眠りの深い時に起こされると不快感を覚えるといわれている。浅い眠りと深い眠りの周期は個人差があるもののほぼ一定で、そのサイクルがわかれば、次にいつ浅い(深い)眠りが訪れるかを予想することができる。眠りの浅い状態では血圧の変化が激しくなったり心拍が不規則になったりするため、冒頭で述べた腕時計型の目覚まし時計はそれらをもとにして浅い眠りを予測し、設定時刻に一番近い浅い眠りのときに振動してユーザーを起こすのである。このように、睡

眠リズムを計測すれば快適な目覚めを実現することができるはずである。

しかし、今回の研究では非接触を目標としているため、上記のように血圧や心拍数などをモニタすることは困難である。私は夜遅く家族が寝静まった頃に、どうしたものかと思案していた。すると背後で弟が寝返りをうった。そこで私は寝返りと睡眠リズムとの間になにか関係があるのではないかと考え、インターネットで調べてみた。その結果、寝返りが浅い眠りと深い眠りを切り替えるスイッチの役割を果たしているという記述が見られた。そこで私は寝返りを検知することによって睡眠リズムを計測することができるのではないかと考え、そのようなシステムの開発を行った。

寝返りを検知するために、私は超音波スピーカを距離センサとして利用しようと考えた。距離測定は非常にポピュラーな超音波の利用法であり、今回製作した指向性スピーカでも同様に可能であると考えたからである。寝返り検知の考え方を以下に示す(図9)。

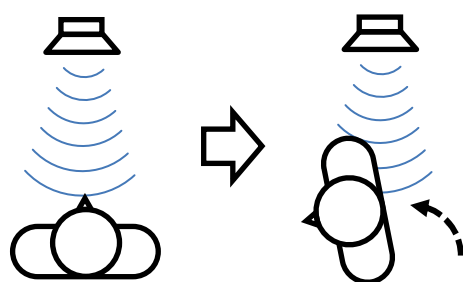


図9 寝返りによる距離変化

目覚まし時計は寝ているユーザーの周囲数メートルの範囲に固定されているとする。ユーザーが寝返りをうつと、目覚まし時計とユーザーとの距離が寝返りをうつ前後で

異なるはずである。この距離の変化を検知することで寝返りをうったかどうかを判定するというものである。

製作した寝返り検知システムの流れを下に示す。

- ①0.5 ミリ秒間超音波を送信する。同時にPIC 内部で0.3 ミリ秒毎のカウントアップをスタートする。
- ②跳ね返ってきた超音波を受信するとカウントアップをストップする。
- ③一つ前に計測したデータと比較し、同じでなければその時の時刻を記録用配列に記録する。
- ④①②③を1分ごとに繰り返す

①でカウントアップの周期が0.3 ミリ秒間隔なのは、音波が約10cm進むのにおよそ0.3 ミリ秒かかるためである。これによって小さな体の動きを検知しないようにし、PICのメモリの使用量を抑えている。また、睡眠リズムは分単位でわかればいいので、距離の測定を1分間隔で行っている。そのため、この寝返り検知システムは「寝返りを打った時刻」ではなく「ある時間帯に寝返りを打ったかどうか」を調べるものであるといえる。

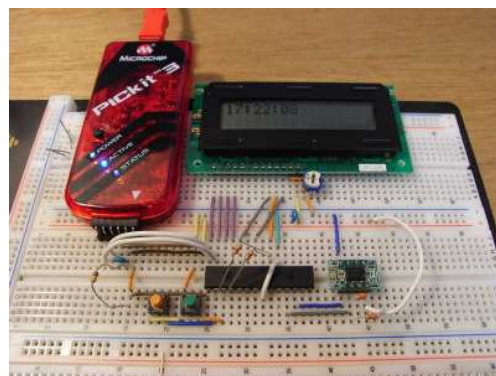


図10 実験風景
時計動作中

超音波の受信には超音波センサ（図 11）を用いた。超音波センサからの信号をオペアンプで増幅し、ショットキーバリアダイオードで検波したのちにコンパレータで基準電圧と比較する。超音波を受信し、コンパレータへの入力電圧が基準電圧よりも高くなれば PIC マイコンの入力ピンに電圧がかかって超音波の受信を判断するというものである。

現在は製作した超音波受信回路の増幅率の調整を行っており、それが終わり次第、データの収集を始める予定である。



図 11 受信用超音波センサ

4. 今後の課題

・基板の製作

回路の変更を行うことが多かったため、目覚まし時計・寝返り検知システムの回路をブレッドボード上に作成した。しかし、このままでは目覚まし時計として使用することは困難なので、ある程度回路構成が決定した段階でユニバーサル基板上に部品を実装する必要がある。

・超音波スピーカーの駆動方法の改良

現在の駆動回路では 0V とスピーカー用電源電圧とを繰り返し印加しているが、Hブリッジ回路を利用して電圧の入力の向き

を逆転させれば、同じ電源電圧でも 2 倍の電圧変化をもたらすことができる。効率よくスピーカーを駆動するため、Hブリッジ方式の駆動回路を製作する必要がある。

・寝返りデータの処理

寝返り検知システムを製作したが、浅い眠りを予想してアラームを鳴らすために、得られた寝返りのデータから睡眠リズムを割り出す方法を研究する必要がある。将来的には SD カードなどに寝返りのデータを保存して PC 上でデータをモニタできるような機能や、簡単な日記とともにデータを保存して管理するソフトウェアを製作したいと考えている。

5. 参考文献

- [1]「非線形音響学の基礎」, 鎌倉友男、愛智出版
- [2]「音のなんでも小辞典」, 日本音響学会、講談社
- [3]「電子回路入門講座」, 見城尚志、高橋久、電波新聞社
- [4]「電子工作のための PIC18F 本格活用ガイド」, 後閑哲也、技術評論社
- [5]「超指向性音響システムの開発」, 鎌倉友男、酒井新一

6. 謝辞

今回の研究において、サイエンス研究会物理班顧問の米田先生や本校の先生方、また研究発表会等でアドバイスをくださった多くの方々、信州大学での講演後にお話を聞かせていただいた電気通信大学の鎌倉教授に、この場をお借りして深くお礼申し上げます。