

修士論文

呼吸情報を用いたコミュニケーションツールの開発と評価

公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
システム情報科学専攻

木塚 あゆみ

2008年1月

Master's Thesis

**Hotaru-Tsushin: A communication tool with Respect to
Respiratory Information**

by

Ayumi KIZUKA

Graduate School of Systems Information Science
Future University – Hakodate
January 2008

Abstract- This is a pen. About 500 words.

Biological Signal,

This is a pen. About 500 words.

Keywords: Interface, Non-Bevel Communication, Involuntariness, Synchronization Phenomenon, Respiration

概要： およそ 2000 字 .

対面コミュニケーションにおいて呼吸は随意と不随意の二面性を持つことから，内に秘めた情動を表出するという重要な役割を持っている．しかし，呼吸情報が発するメッセージは言語や視覚情報に埋もれてしまい気付かれることも少なく，これまで重要視されてこなかった．本研究では呼吸情報を可視化するコミュニケーションツール「ホタル通信」を開発し，内的なメッセージをも共有できる豊かなコミュニケーションの実現を行った．「ホタル通信」は呼吸リズムに応じて明滅し，リズムの変化で色調が変化する．また，互いの呼吸リズムが同期すると発光部の周囲が光り表示する．評価実験の結果，「ホタル通信」による呼吸の可視化がユーザ相互に呼吸の同期をもたらし，互いの気持ちを伝え合うことが示唆された．(3 2 7 字)

キーワード： インタフェース，ノンバーバル・コミュニケーション，不随意性，同期現象，呼吸

目次

第1章 序論

- 1.1 背景
- 1.2 研究目標
- 1.3 システム情報科学における本研究の位置付け
- 1.4 論文の構成

第2章 関連研究

- 2.1 呼吸
- 2.2 目に見えないコミュニケーション
- 2.3 呼吸リズムの引き込み
- 2.3 1ビットコミュニケーション
- 2.5 光を使った表現に関する注意

第3章 呼吸情報を用いたシステム

- 3.1 システムの試作
 - 3.1.1 くちぶえマスター
 - 3.1.2 まとめ
- 3.2 システムの試作 2(仮)
 - 3.2.1 呼吸情報を使った毛筆システム(仮)

第4章 ホタル通信

- 4.1 ホタル通信システム構成
- 4.2 マイコン制御
 - 4.2.1 Arduino
 - 4.2.2 開発環境
- 4.3 呼吸計測部
 - 4.3.1 呼吸の計測
 - 4.3.2 測定回路
 - 4.3.3 マイコンによる信号処理
 - 4.3.4 呼吸計測部のインタフェース

- 4.4 発光部
 - 4.4.1 呼吸運動の表示
 - 4.4.2 呼吸同期の表示
 - 4.4.3 マイコンによる LED 制御
 - 4.4.4 発光部のインタフェース
- 4.5 通信
- 4.6 予想される効果
 - 4.6.1 背景としての同期現象

第 5 章 評価実験

- 5.1 方法
- 5.2 結果
- 5.3 考察
 - 5.3.1 ホタル通信のインタフェース
 - 5.3.2 ホタル通信の効果
- 5.4 インタフェースデザインの改良
 - 5.4.1 改良 1
 - 5.4.2 改良 2
- 5.5 まとめ

第 6 章 ホタル通信の応用

- 6.1 ホタル通信 Ver.2
 - 6.1.1 システム構成
 - 6.1.2 呼吸計測部
 - 6.1.3 発光部
 - 6.1.4 通信
 - 6.1.5 形状
 - 6.1.6 評価
 - 6.1.7 まとめ
- 6.2 ホタル通信 Ver.くま
 - 6.2.1 システム構成
 - 6.2.2 形状
 - 6.2.3 評価
 - 6.2.4 まとめ
- 6.3 Global ホタル通信
 - 6.3.1 背景としての環境問題
 - 6.3.2 システム構成
 - 6.3.3 評価
 - 6.3.4 Global ホタル通信の応用
 - 6.3.5 まとめ

第7章 結論

7.1 まとめ

7.2 今後の課題と展望

7.2.1 呼吸情報の利用の有効性

7.2.2 発展

参考文献

付録1 Arduino-Processing の呼吸表示プログラム

付録2 Arduino によるホタル通信メイン・プログラム

図目次

表目次

(ページ番号は保留)

第 1 章 序論

1.1 背景

研究を実施するに至った背景と研究の目的、技術的背景、社会的背景、研究の必要性
アプローチの仕方

人と人の対面コミュニケーションには、言葉を使ったバーバル・コミュニケーションと、言葉以外の情報を伝達しあうノンバーバル・コミュニケーションがある。このノンバーバル・コミュニケーションには、表情や視線、しぐさなどの目に見える情報と、声の大きさ、息遣いなどの目に見えない情報を使ったコミュニケーションがある。これらすべての情報はコミュニケーションにおいて重要な役割を持っているが、我々は普段、特に目に見えない情報のメッセージに気付かないことも多い。これらのメッセージを可視化することで、対面コミュニケーションはより豊かになる。

本研究では、ノンバーバルなコミュニケーション情報から呼吸情報のメッセージ性に着目した。

呼吸は生命を維持するために自律制御され不随意に機能する一方、随意的に制御できるという性質も合わせ持つ。例えば、人が興奮しているときには呼吸が速くなり、リラックスしているときには呼吸が遅くなるという、人の情動に対応した不随意に生じる現象がある。対面コミュニケーションにおいて、不随意な性質をもつ呼吸情報を可視化することで、内的なメッセージをも共有することが容易になる。

1.2 研究目標

目標 問題設定

何を明らかにしたいか、何を実現したいか

新しいインタラクションを実現したい。

呼吸情報を利用することの有効性を明らかにしたい。

本研究では、互いに身体情報を共有し、豊かなコミュニケーションを実現するために、コミュニケーションツール「ホタル通信」を開発した。ホタル通信は、呼吸を光の明滅で可視化したものである。また呼吸の速さによってその光の色が変化するとともに、ユーザ同士の呼吸の一致を発光部の周囲を光らせることによって表示する。最後に、ホタル通信を用いることによって得られたコミュニケーション効果を示し、今後の展望を述べる。

1.3 システム情報科学における本研究の位置付け

関連分野との関連

システム情報科学への貢献

オリジナルな研究成果はどの部分か

本研究はシステム情報科学のメディアデザイン領域に位置づけられる。

呼吸は身体運動と関連していることが分かっている[1*]。射撃競技や弓道，書道，吹奏楽の演奏など，タイミングを計る必要のある運動では，呼吸によりその制御を行う。また，怒っているときは呼吸が速くなり，リラックスしているときには遅くなるなど，呼吸は情動とも関連している[2*,3*]。さらに，「あうんの呼吸」と言われるように，密なコミュニケーションを行うと呼吸の同期が起こる傾向がある[4*,5*,6*]。呼吸の性質に関する研究は以上のものである。

呼吸情報を視覚や音で表すことによってバイオフィードバックを用い，リラクゼーションを目的とした研究がある[7*]。また，身体情報を用いたコミュニケーションシステム“InterActor”(渡辺,2000)[8*,9*]においては，人の音声，頷き，瞬き，身体動作を視覚化している。この視覚化によって身体リズムの引き込みが起こり，利用者への伝達効果の変化が確認された。以上が呼吸情報を利用した研究である。しかし，呼吸情報を用いてコミュニケーションを行ったという研究はない。本研究では，呼吸情報を用いたコミュニケーションツール，ホタル通信を開発した。ホタル通信の効果を評価することで，呼吸情報利用がコミュニケーションにおいてどのような効果をもたらすかを示し，それがシステム情報科学への貢献となる。

1.4 論文の構成

この論文は全7章から構成されている。第1章は序論で本研究を開始するに至った背景と研究の位置付けについて述べている。第2章では本研究に関連する領域での研究の状況を紹介する・・・

第2章 関連研究

2.1 呼吸

呼吸は自分の意志で調節することができる一方、脳幹の呼吸中枢で自律制御されているため、普段は意識しなくても呼吸を続けることができる。呼吸生理学的に前者の随意的呼吸を行動性呼吸と呼び、代謝にかかわる呼吸を代謝性呼吸と呼ぶ。

代謝性呼吸は不随意であるが、情動に伴っても変化する¥cite{Kakigi1997,Arita2006}。例えば Boiten(1994)らは、ネガティブな心理状態あるいはストレスフルな心理的状态にあるとき、呼吸数が増加することを明らかにした¥cite{Boiten1994}。ついで、Skaggs(1930)はポジティブな心理状態あるいはリラックスした心理的状态のとき、呼吸数が減少することを明らかにした¥cite{Skaggs1930}。*この辺り詳しく。

2.2 目に見えないコミュニケーション

目に見えないコミュニケーションのひとつに、化学的なコミュニケーションがある。Martha K. McClintock(1971,1998)は、親密な関係にある集団内の女性が、自分で気付かないうちに月経開始時期を調整しあうことを明らかにした¥cite{Martha1971,Kathleen1998}。McClintock は、この同期現象を無臭の化学物質であるフェロモンの影響によるものであると考えた。月経周期のうち濾胞期、排卵期それぞれに女性から採取した汗を、週に3日4ヶ月間、別の女性に与え続けた。その結果、濾胞期の汗成分を与えられた被験者の月経周期が2日弱短縮し、排卵期の汗成分を与えられた被験者は2日弱延長した。それによって、親密な女性同士の月経開始時期が同期する傾向が生じた。このような調整が行われる理由として、妊娠・出産時期を同じにすると集団で育児を行って有利だという面があるからではないかという説がある。*もう少し増やせる+図を入れてもいい。

この化学的コミュニケーションは呼吸と同様、不随意的な情報が用いられたコミュニケーションである。これ以外にも、我々は無意識のうちに多くの情報を伝達し合っている可能性がある。

2.3 呼吸リズムの引き込み

「息が合う」「あうんの呼吸」と言われるように、密なコミュニケーションを行うと呼吸リズムがお互いに引き込まれるという傾向がある。中村(1995)は、演奏曲中の「間」で歌手と伴奏者は非対面時よりも、顕著に対面時のほうが互いの呼吸が同期する傾向にあること示した¥cite{Nakamura1995}。さらに、長岡ら(2000)は練習を繰り返すことによって、2演奏者間の呼吸が一致することを明らかにした¥cite{Nagaoka2000}。相手の呼吸リズムと同期すると、情動を相手と共有することができ、互いに気持ちがつながっている感覚をもつことができる。*もう少し増やせる+図を入れてもいい。

渡辺ら(1998)は、生後3ヶ月の乳児の寝かしつけの過程で、母子間の呼吸に引き込み現象が起こることを示した^{Watanabe1998}。まず母親からはじめに、副交感神経活動の指標となる呼吸の周波数帯(0.14~0.4Hz)に入る。すると続いて乳児にも、ともに同様の呼吸成分が現れた。また、母子にリズム音を聞かせるというストレス付加をし、心拍間隔変動の変化から情動変動を調べた。乳児の情動ストレスが生じたとき、それに応じて母親の情動ストレスが同調した。このように、生理的側面における情動の引き込み現象も見られた。そしてこれらの現象は、特に身体を密着していた母子に顕著に見られた。これは、身体を密着させることによって、互いの呼吸がより伝わりやすかったためだと考えられる。*** 図を入れてもいい。**

2.4 1ビットコミュニケーション

Feel Light を参考。

1ビットコミュニケーションの可能性を示す。

2.5 光を使った表現に関する注意

本研究は光を使って呼吸情報を表現する。光を使った表現については、一般的にポケモン現象とよばれる光感受性発作が起こらないように注意する必要がある。光感受性発作は、閃光や光の点滅を見ることによって起こる発作である。

光感受性発作を引き起こす視覚刺激の特徴として、周波数10~30Hzの点滅刺激で賦活効果が高く、特に15~18Hzで大きい。さらに、白色光より赤色光(620~710nm)の賦活効果が大きい。そのため、本研究では10~30Hzの光の点滅・急速変化・明滅、強赤色は使用せず、光量はフィルターを用いて抑えることにした^[*]。

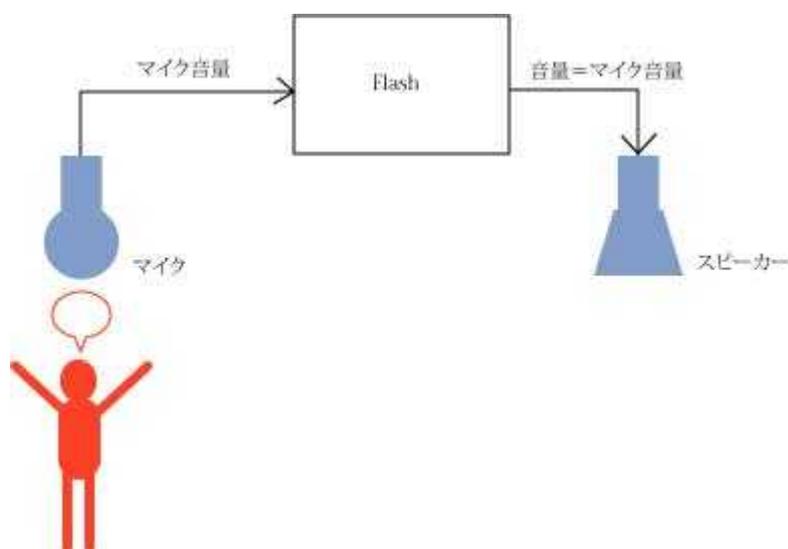
[*] 日本脳波・筋電図学会 光感受性発作に関する委員会: 光感受性発作に関する委員会報告. 日本臨床神経生理学 Vol.27, No.4, 1999

第3章 呼吸情報を用いたシステム

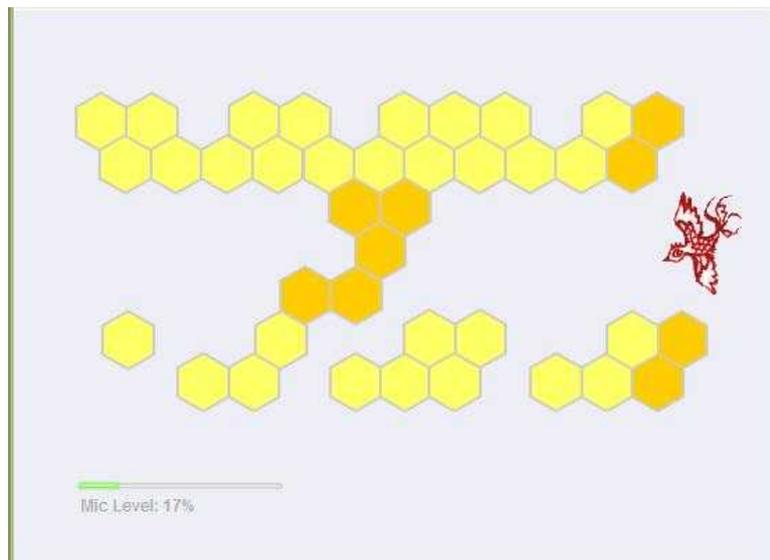
3.1 システムの試作

3.1.1 くちぶえマスター

呼吸情報を用いたシステムの試作を行った。ユーザがマイクに息を吹きかけると、その息の大きさに応じた口笛の音がスピーカーから出力されるしくみである(図¥ref{くちぶえマスターシステム概略})。口笛の音階は、ディスプレイのウィンドウに表示されたマス目にカーソルを合わせることによって変化させることができる(図¥ref{くちぶえマスター画面})。くちぶえマスターを使うと、口笛が吹けない人でも自分の息を使って口笛を演奏することができる。



くちぶえマスターシステム概略



くちぶえマスター画面

3.1.2 まとめ

＊ ＊

・開発環境

3.2 システムの試作 2

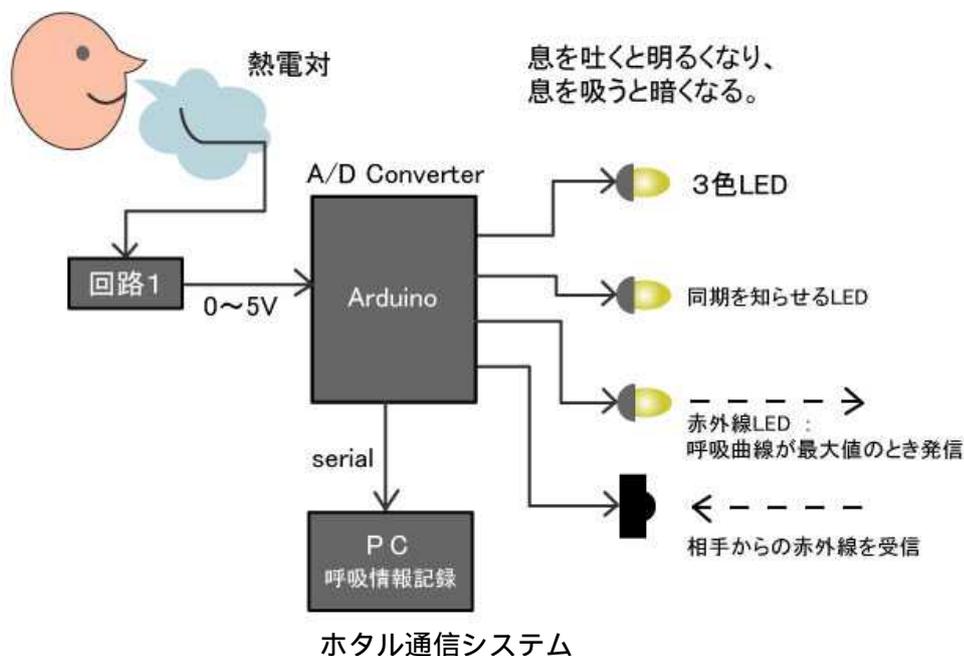
3.2.1 呼吸情報を使った毛筆システム

＊書くか微妙．

第 4 章 ホタル通信

4.1 ホタル通信システム構成

ホタル通信は、呼吸を計測する計測部と呼吸情報を表示する発光部からなり、息を吸うと消灯し、息を吐くと点灯するシステムである(図¥ref{ホタル通信システム})。ホタル通信はユーザが装着して使用する(図¥ref{ホタル通信})。発光部の光の色は、呼吸リズムの速度によって変化する(図¥ref{呼吸リズムに合わせた LED の色変化})。また、ユーザ間の呼吸リズムがそろくと発光部の周囲が点灯し、呼吸が同期したことを表示する。



* 仮

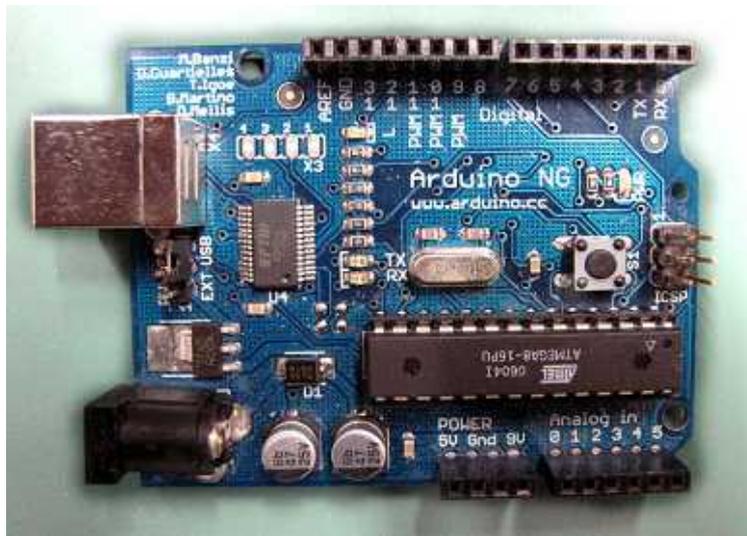
ホタル通信

4.2 マイコン制御

マイコン (Microcomputer) は「超小型のコンピュータ」である。マイコンを用いて呼吸計測回路からの信号を処理し、その信号に応じて LED の制御を行う。マイコンは H8, PIC などが一般的であるが、近年 Phidgets や Arduino など、センサ等の外部インタフェース制御が簡単にできるマイコンが普及している。本研究では Arduino を使用した。

4.2.1 Arduino

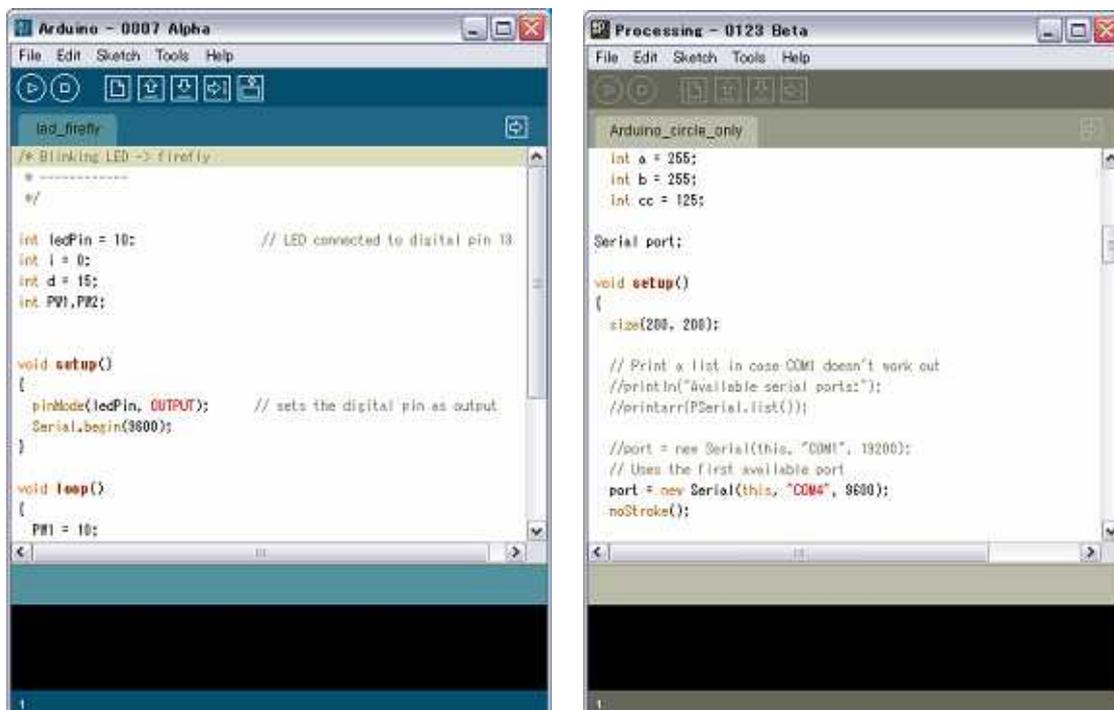
Arduino は、アトメル社の Atmega8 を使ったオープンソースのフィジカルコンピューティング用に設計されたシンプルな I/O board である(図¥ref{Arduino})。外部接続されたセンサなどを容易に制御できるよう、ボードにプログラム開発環境を備えている。本研究に用いた Arduino NG には 14pin の Digital Output と 6pin の Analog Input が備わっており、USB ケーブルからシリアル通信が可能である。



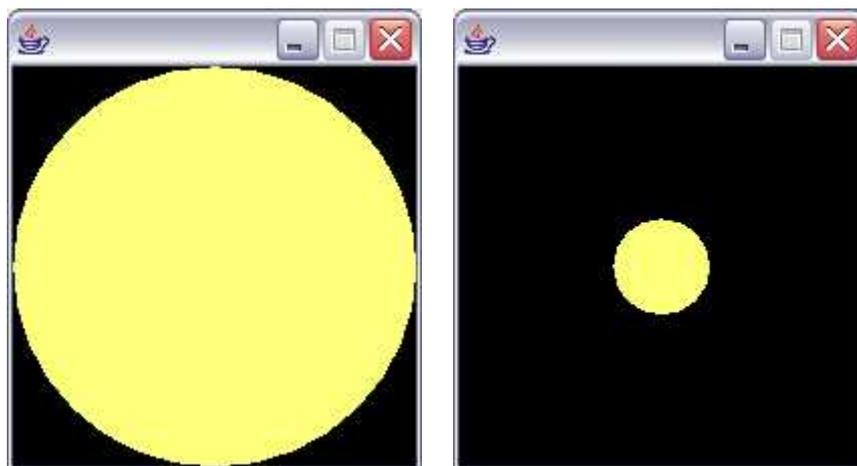
Arduino

4.2.2 開発環境

Arduino のプログラミングには Arduino という Processing をベースにした言語を用いた(図¥ref{Arduino 開発画面})。Processing とは、オープンソースのプログラミング言語で、プログラムされたイメージやアニメーションの表示をインタラクティブに行うことに特化している。Arduino は Processing との相性がよいため、デモ発表用として、ホタル通信での呼吸情報の表示にも用いた(図¥ref{Processing による呼吸情報の表示})。息を吐くと円の半径が大きくなり、息を吸うと円の半径が小さくなるように表示させた。



Arduino 開発画面 (左), Processing 開発画面 (右)



Processing による呼吸情報の表示
(左:吐息時, 右:吸息時)

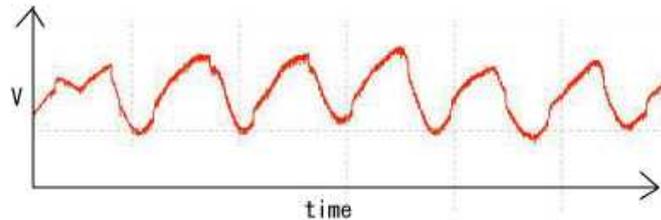
4.3 呼吸計測部

4.3.1 呼吸の計測

呼吸は、温度センサとして熱電対を使用し計測した。熱電対とは、中高温領域を中心に最も多く用いられている温度センサである。異なる2種類の金属線を結合し、その2本の接点に温度差を与えると起電力 E が発生する（ゼーベック効果）。この現象を利用し、温度変化を計測する。今回使用した熱電対は K 型熱電対で、金属線クロメル(+)とアルメル(-)を結合したもの（測定温度範囲は $-200\sim+1200$ ，同範囲の熱起電力は $-5.891\sim+48.828\text{mV}$ ）である。

温度センサとして一般的によく用いられるサーミスタは安価であるが、熱を持ちやすくリアルタイムな温度変化の測定に不向きである。熱電対のほうがわずかな温度変化の測定も可能であり、温度と熱起電力との関係が直線的で使用しやすかったため、熱電対を用いた。

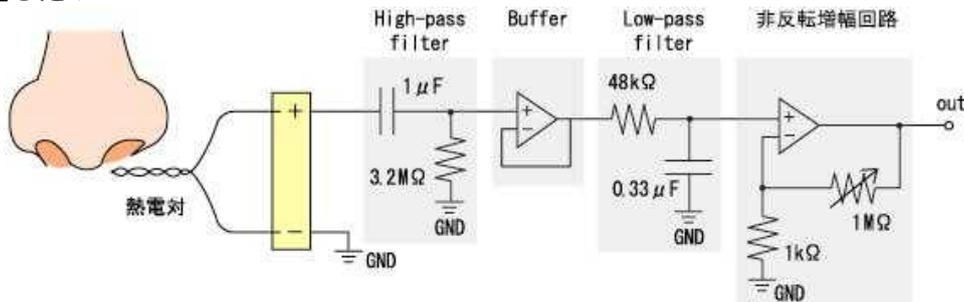
呼吸運動は、熱電対を被験者の左鼻下に設置して測定した。鼻の下に設置することにより体内で温められた空気を吐くと上昇し、外気を吸うと下降するという曲線が得られる（図 $\ref{呼吸曲線}$ ）。これを呼吸曲線とする。



呼吸曲線

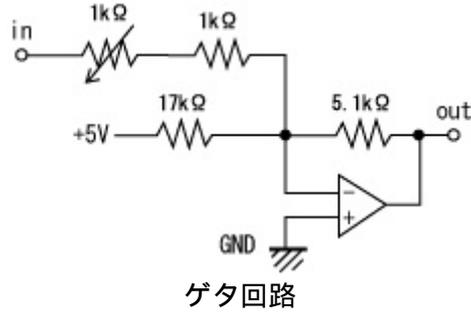
4.3.2 測定回路

回路にはノイズフィルターも含んでいる（図 $\ref{呼吸測定回路}$ ）。呼吸固有の周波数はおよそ $0.1\sim 0.5\text{Hz}$ であるため、カットオフ周波数を $10\text{Hz}\sim 0.05\text{Hz}$ とし、増幅率を 1000 倍に設定した。



呼吸測定回路

この時点の回路のアウトプットは-5~0V であるため、最後に+5V 電圧を加算するゲタ回路（加算回路）を設置した(図¥ref{ゲタ回路}) .



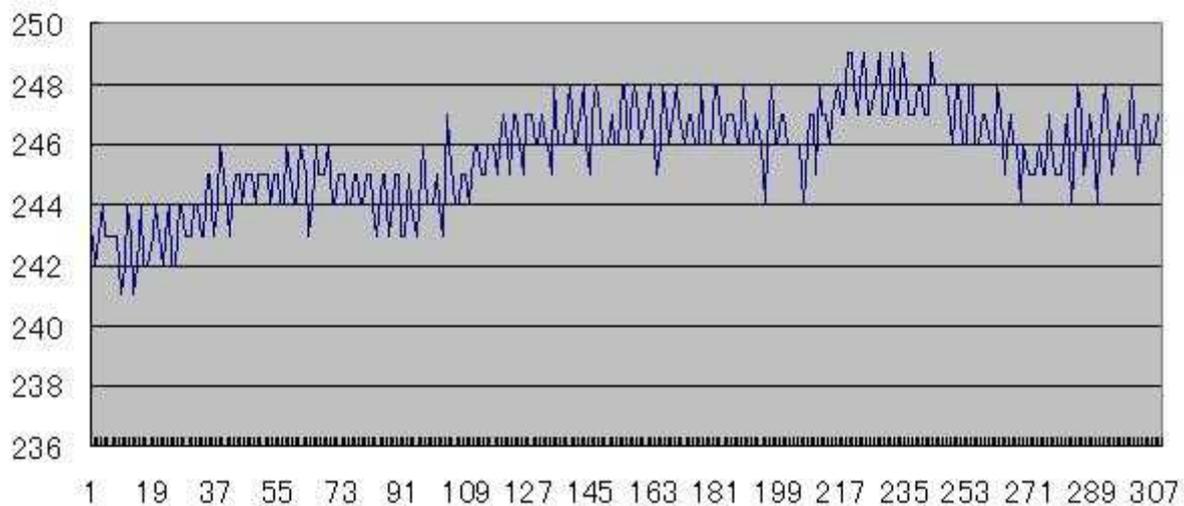
4.3.3 マイコンによる信号処理

呼吸測定回路ではノイズフィルターを使っているが、それでも回路からの信号には図¥ref{呼吸測定回路からの信号(元データ)}のようにノイズが混入する場合が多い .そのため、回路からの信号 x を、以下の式で積分処理している .

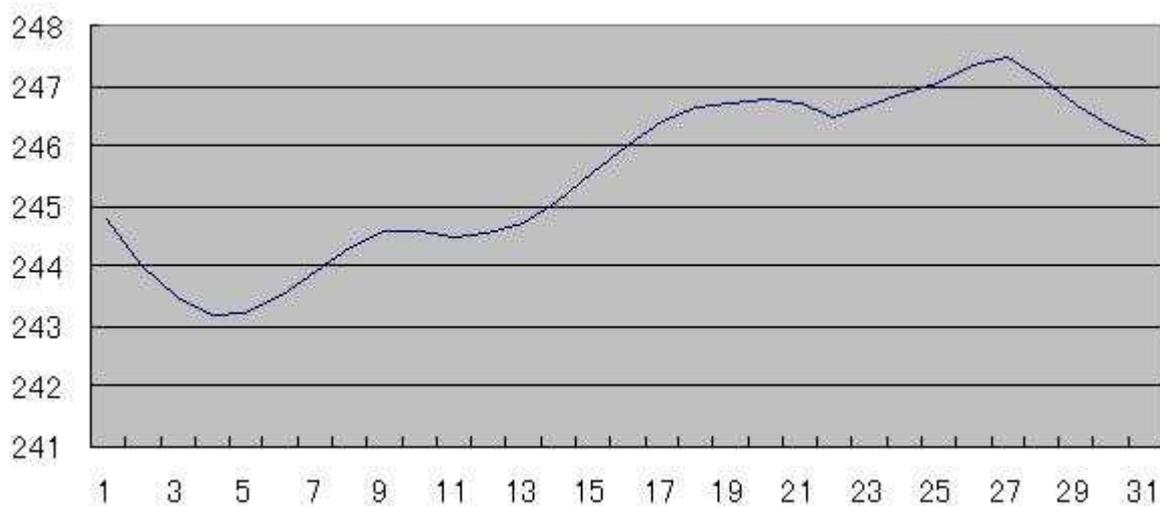
$$\frac{\sum_{i=n}^{n+50} f(x) \cdot x}{50}$$

(4.1)

信号処理した結果、図¥ref{呼吸測定回路からの信号(処理後)}の平滑化された信号が得られる .



呼吸測定回路からの信号(元データ)



呼吸測定回路からの信号(処理後)

4.3.4 呼吸計測部のインタフェース

形状は(図¥ref{呼吸計測部の形状})に示した．呼吸計測部は頭に装着でき，ヘッドセット似た形状になっている．鼻下に熱電対部分が来るように調節できるようになっており，装着して不快感を与えないよう，丸みのあるデザインにした．

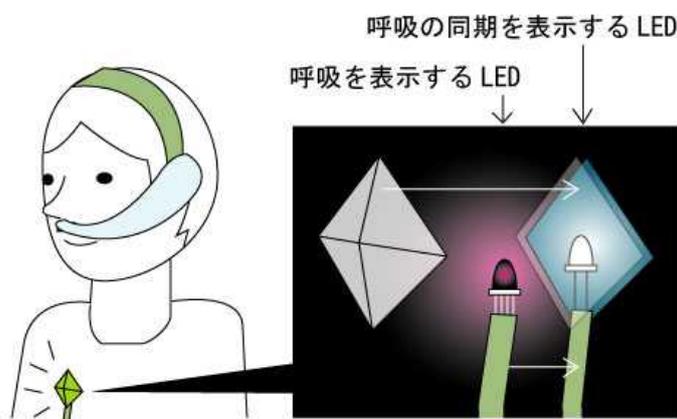


呼吸計測部の形状

* 計測のサンプリング周波数

4.4 発光部

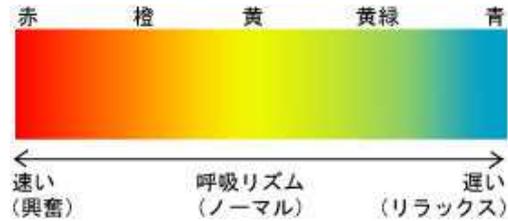
発光部には，図¥ref{発光部}のように，呼吸を表示する LED と呼吸リズムの同期を表示する LED がある．



発光部

4.4.1 呼吸運動の表示

呼吸を表示する LED は、熱電対で計測した値によって光量に変化する。この LED の色は図 3 に示したように 呼吸リズムが速くなると赤色に 呼吸リズムが遅くなると青色に、その中間色として黄色に滑らかに変化する(図 4 呼吸リズムに合わせた LED の色変化)。



呼吸リズムに合わせた LED の色変化

4.4.2 呼吸同期の表示

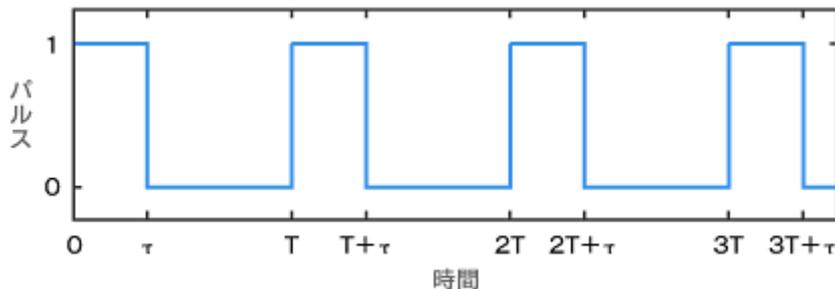
呼吸リズムの同期を表示する LED は、呼吸運動の表示 LED の背後に設置した。ユーザ相互の呼吸が同期したとき一瞬この LED が発光し、ユーザは呼吸が同期したことを知ることができる。

4.4.3 マイコンによる LED 制御

LED は PWM (Pulse Width Modulation) 制御という方式を使っている。PWM はパルス波のデューティ比を変化させて変調する変調方法である。デューティ比とは、周期的なパルス波を出したときの周期とパルス幅の比のことで、以下の式で表される。

$$D = \frac{\tau}{T}$$

(D: デューティ比, τ : パルス幅, T: 周期)



* (仮)

LED に流す電圧によって LED の明るさを変化させることはできるが、マイコンで LED

を制御するには電圧の ON-OFF 変化を使う PWM 方式で LED の明るさを制御するのが一般的である。マイコンでは流す電圧の調整が困難であり、回路に無駄な熱が発生するなどし、動作が不安定になりやすいためである。

4.4.4 発光部のインタフェース

発光部の呼吸を表示する LED は(図¥ref{発光部})に示すように手前に設置した。呼吸リズムの同期を表示する LED は、呼吸を表示する部分の周囲が光って見えるように、背景全面を光らせるプラスチック板で挟んだ。発光部は胸の位置にピンで留めるか、首から下げられるようになっている。

4.5 通信

ユーザ相互の呼吸の同期を表示するためには、独立した個々のホタル通信システムが互いの同期を認識する必要がある。本システムでは、赤外線 LED と赤外線受信モジュールを使用し通信する (図¥ref{ホタル通信システム})。呼吸曲線がピークするとき、つまり吐息から吸息に変わるときに自分側の赤外線 LED が点灯する。その信号を、相手のホタル通信に取り付けた赤外線受信モジュールで受信する。出力と入力的一致し、それがある程度連続したとき互いの呼吸が同期したと認識し、同期を示す LED が発光する。この赤外線 LED も PWM 方式によって点灯制御している。

4.6 予想される効果

呼吸の可視化により、相手の呼吸リズムやその変化を知ることによって、相手の感情や意図を推測することができる。また、相手とのコミュニケーションだけにとどまらず、自分の呼吸を見ることによって、自分の意外な感情や無意識の意識に気づくことができる。

* *

4.1.8 背景としての同期現象

文献¥cite{スティーヴン 2005}によると、マレーシアの無数のホタルは、夜毎いっせいに明滅する。そこにはリーダーもなく、環境からの合図も見られない。約一万個の細胞集団からなる心臓のペースメーカー細胞も、個々の細胞は司令部からの命令なしにいっせいに機能する。一方、物理集団にも同じ現象が見られる。超伝導体では無数の電子が見事に歩調を合わせながら進む。そのため、電気は抵抗を全く受けずに流れるように進むことができる。これらはすべて同期現象と呼ばれている。

ホタルをはじめ、惑星や心臓のペースメーカー細胞の集団はすべて、振動子の集合体である。それらは自律的な周期を持ち、一定のインターバルで反復運動をする。振動子が2つ以上ある場合、物理・化学的プロセスによって振動子が互いに影響を及ぼしあう。ホタ

ルはコミュニケーションをとり，ペースメーカー細胞は電流を交換する．近年では結合振動子を単純化したモデルで扱い，その力学的プロセスが少しずつ明らかになってきている．

先述の月経周期や呼吸のように，人は脳波，心拍，運動なども常に生体リズムを伴っている．これらの生体リズムは感覚器官を通して与えられる周期的入力に影響を受け，リズムの間に引き込みが生じる．コミュニケーションにおいても，互いの生体リズムを共有し，引き込むことで互いの気持ちを伝え合っているということが考えられる．このことから，ホタル通信を使い呼吸情報を共有することによって，気持ちを伝え合うことが期待される．

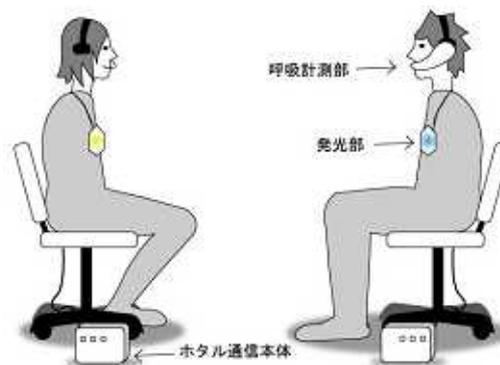
第 5 章 評価実験

ホタル通信によるコミュニケーション効果の有用性を検証するために、以下の評価実験を行い、被験者からの意見に基づき考察する。

5.1 方法

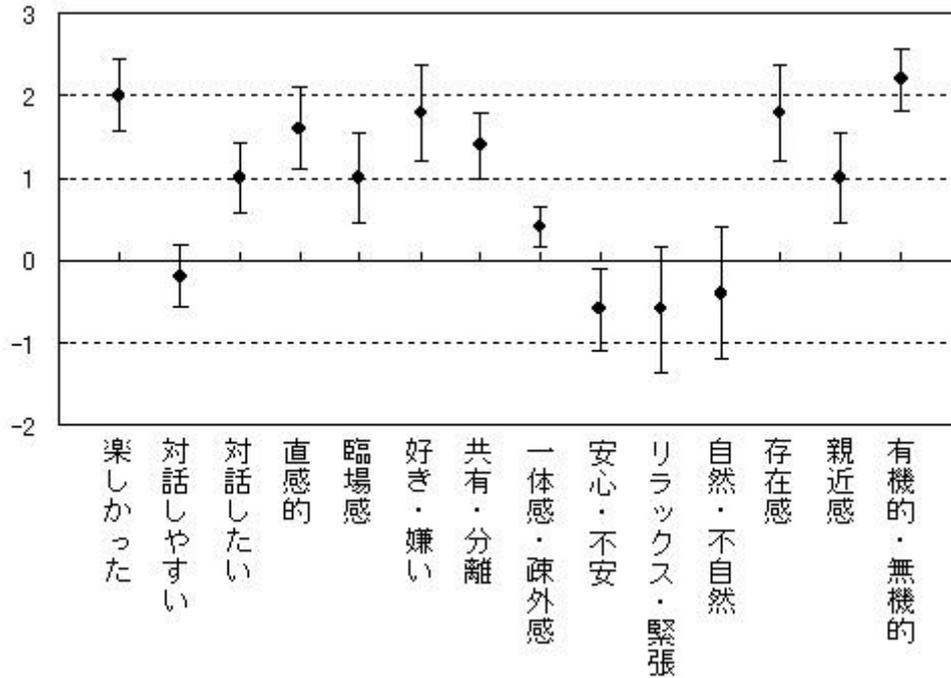
互いに面識のある 21～25 歳の A,B,C,D,E,F の 6 名を被験者として、インタフェースと使用効果の評価を行った。実験は 2 人 1 組で行い、A-B,C-D,E-F を対にした。それぞれに 1 試行約 3～10 分間、2～5 試行、ホタル通信を装着した状態で椅子に座り会話してもらった。2 者間の距離は 1～2 m 程度の、違和感のない距離をとってもらった(図 ¥ref{実験の様子})。各試行間には適度の休憩時間をとった。

呼吸情報の共有によるコミュニケーション効果を見るために、ホタル通信に 1) 装着者の呼吸を反映させた場合、2) ダミーの呼吸を反映させた場合の 2 つの場合について比較する実験を行った。被験者の官能評価とその他コメントを質問紙調査し、その時の被験者同士の会話と呼吸曲線を記録、分析を行った。



5.2 結果

実験条件 2) に対する 1) のときのホタル通信に対する官能評価の結果を(図 ¥ref{全被験者の官能評価})に示す。評価は中立 0，最高 3 で行った結果である。



全被験者の官能評価

被験者 A-B

女性 A と B はともに同じ大学の同じ研究室の先輩と後輩である。実験中、普段と同じように会話してもらったところ、途切れなく早口で会話が続いた。

1) 実験後の質問紙調査によると両者とも、喋っているうちに慣れてしまい、ホタル通信の反応はあまり気にしなかった、自分の光は全く見なかったという意見が得られた。呼吸が同期した回数は、1分あたり約 1.25 回であった。

2) 同様に各自、自分の光を全く見ていなかったため、ダミーの呼吸だと気付かなかった。呼吸が同期した回数は1分あたり約 1.22 回であった。

被験者 C-D

女性 C と男性 D は同じ大学で恋人同士の2人である。普段と同じように会話してもらい、また、普段聞けないようなことも聞いてもらった。

1) C に聞きづらいことを聞いた D は、動揺したときに D の光がいつもと違うような気がした、また、相手の反応を見て自分の光り方が気になり、何度か自分の光を確認したとコメントした。C は、D の反応が面白かった、自分の光は話の合間に何度か確認した、とコメントした。また、呼吸が同期した回数は、1分あたり約 0.48 回であった。

2) 両者とも、自分の光を確認したのは1分に1回程度だとコメントがあった。少し違和感をもったが、実験中は光がダミーの呼吸情報によるものであるとは気付かなかった。呼吸が同期した回数は1分あたり約 0.43 回であった。

被験者 E-F

男性 E と女性 F は同じ大学で同学年の、たまに顔を合わせる程度の友人である。実験ではまず、普段と同じように会話してもらった。

1) 始めは 2 人ともリラックスし、互いの様子を見ながら会話していた (図 ¥ref{被験者 E, F の発言と呼吸の同期}の(d)-(f) 3 試行)。3 分ほど経過した後、2 人は呼吸が同期すると発光部の周囲が明滅することに気がつき、呼吸を同期させよう呼吸することに集中し、無言になった (図 ¥ref{被験者 E, F の発言と呼吸の同期}の(g),(h) 2 試行)。E と F は、呼吸を合わせるのは意外と難しいとコメントし、互いの胸の位置にあったホタル通信の発光部を自分が見える位置に持ち上げ、相手と自分の光の両方が視界に入るようにしていた。結果的に、同期したことを示す光が頻繁に現れた。E は、呼吸の細かな変化に注意すると少しうまくいったと意見を述べた。

1 分ほど休憩を取った後、また始めと同じように会話をしてもらったところ (図 ¥ref{被験者 E, F の発言と呼吸の同期}の(j)-(m))、同期を示す光が何度か現れた。会話数も始めの方より多くなり、会話がスムーズになった。呼吸が同期した回数は 1 分あたり約 1.04 回であった。

2) あまり自分の光を見ていなかった始めのほうは、E と F はダミーの呼吸であることにあまり気付かなかった。E は、会話が途切れたとき気になって自分の光を見たが、ダミーの呼吸であると気付かなかった。しかし、呼吸の同期した回数は 1 分あたり約 0.92 回であった。

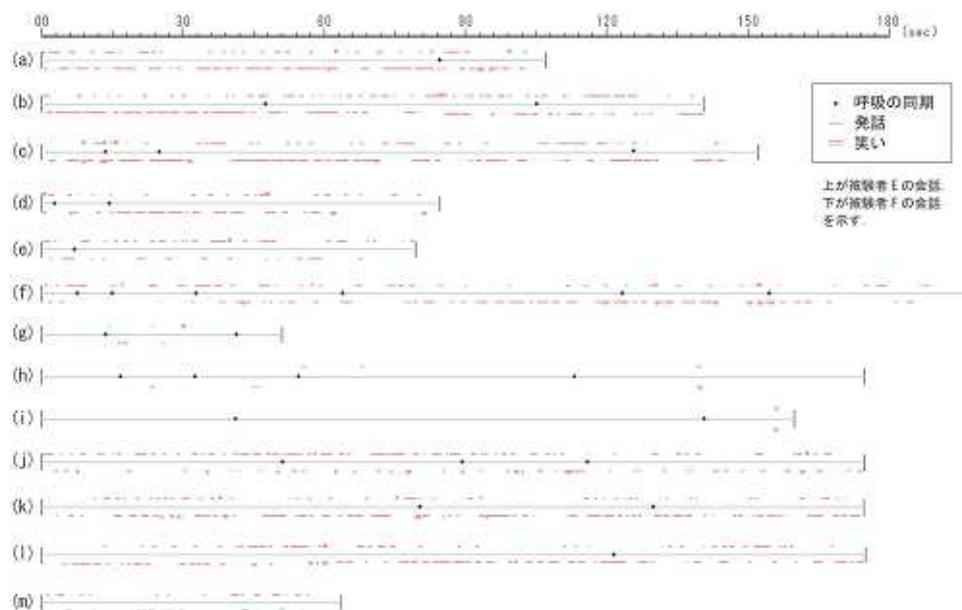
2) 条件下のときと比較した 1) 条件下の実験後に E と F から以下の感想を得た。

(i) E の感想

- ・同期を示す光を見たとき、会話が相手と合ったような気がして嬉しくなった
- ・光の変化が大きいつき、相手が会話の内容で何らかの感情が働いたと感じた
- ・相手が話しているときの相手の光は気にならなかったが、自分の話しているときの相手の光は気になった。
- ・自分の話が相手に通じているのかの判断材料になった
- ・発光部を装着する位置は顔の辺りがいい、普段は顔を見て会話するから

(ii) F の感想

- ・無言で同期しようとしたとき、会話はなかったが、暖かい感じがした
- ・自分が発するブルーの光で、気持ちが少し和らいだ
- ・相手が青い色を発していないとき、緊張しているのかなと感じた



被験者 E, F の発言と呼吸の同期

((a) 条件 2)による 1 試行目の結果, (b) 条件 2)による 2 試行目の結果,
(c) 条件 2)による 3 試行目の結果, (d) 条件 1)による 1 試行目の結果,
(e) 条件 1)による 2 試行目の結果, (f) 条件 1)による 3 試行目の結果,
(g) 条件 1)による 4 試行目の結果, (h-i) 条件 1)による 5 試行目の結果,
(j-m) 条件 1)による 6 試行目の結果)

5.3 考察

5.3.1 ホタル通信のインタフェース

ホタル通信のインタフェースに関して、普段は顔を見て会話するため、発光部を装着する位置は顔の辺りがいい、という意見があった。以前制作していたホタル通信のプロトタイプ(図¥ref{ホタル通信の旧デザイン})はこの点をうまく対応していたため、図¥ref{ホタル通信の旧デザイン}デザインを再検討した。

5.3.2 ホタル通信の効果



ホタル通信の旧デザイン

官能評価の結果を見ると、楽しかった、直感的など全体的な項目の評価が高いが、安心・不安やリラックス・緊張、自然・不自然の項目の評価は低い。特に被験者 C-D 間で評価が低かった。これは、普段聞けないようなことも互いに聞いてもらったために生じた評価であると考えられる。

被験者 A-B の結果を見ると、ホタル通信をほとんど見ていないにもかかわらず呼吸が同期した回数が比較的多い。これは、親しくよく喋る間柄であれば普段から会話や呼吸のリズムを共有し、すでに気持ちが通じ合っていたことが考えられる。

被験者 C-D の結果を見ると、呼吸が同期した回数は少なく、ホタル通信をあまり活用できていない。C が「実験中、何かを試されている感じがした」と後に述べていることからいえるように、2 人とも緊張して、会話がギクシャクしていたからだと考えられる。

被験者 E-F の結果を見ると、ホタル通信に慣れてくるにつれ、呼吸が同期した回数が増加している。このことは、後半はホタル通信によって呼吸情報を共有し、気持ちを伝え合うことができるようになったためだと示唆される。また、質問紙の意見からすると、被験者はホタル通信を使って相手の気持ちを推測していることが分かった。また、呼吸を光で表示したことで、ホタル通信を使うことに心地よさを感じていることが分かった。

* ホタル通信の開発、および実際にホタル通信を装着してコミュニケーションしてもらった評価実験の結果を報告した。

近年は、ノンバーバル・コミュニケーションについての研究が盛んに行われており [6, g] , それを利用したインターネットや情報ネットワークを利用した様々なインタフェースが提案されている。本研究で提案したホタル通信は、このようなユビキタス環境における人と人をつなぐリズムの共有を最も大切にしたいインタフェースとも言え、不随意的な身体情報の共有もできるという新しいインタラクションの実現の可能性を示すと考えている。

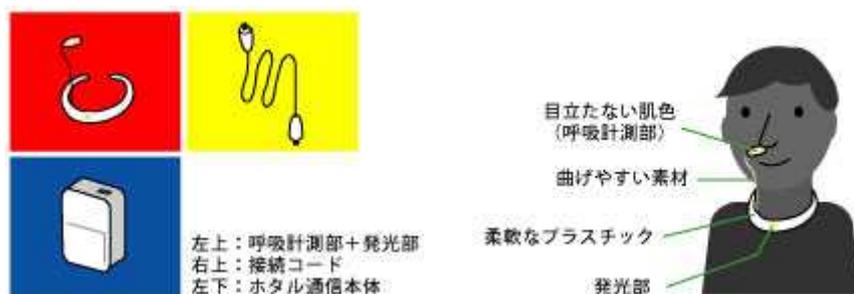
実験結果から、ホタル通信を使うことによって呼吸情報を共有し、気持ちを伝え合うことができたことが示唆された。

* システムの評価（耐久性）

* 関連研究との比較

5.4 インタフェースデザインの改良

5.4.1 改良1



図? 形状 A

ホタル通信の付け心地が不自然に感じたという官能評価の結果から，ホタル通信インタフェースの形状を改良した．形状は(図¥ref{形状 A})に示した．発光部は柔軟なプラスチック呼吸計測部は頭に装着でき，ヘッドセット似た形状になっている．鼻下に熱電対部分が来るように調節できるようになっており，装着して不快感を与えないよう，丸みのあるデザインにした．

発光部の呼吸を表示する LED は(図¥ref{形状 A})に示すように手前に設置した．呼吸リズムの同期を表示する LED は，呼吸を表示する部分の周囲が光って見えるように，背景全面を光らせるプラスチック板で挟んだ．発光部は胸の位置にピンで留めるか，首から下げられるようになっている．

5.4.2 改良2

ホタル通信の形状として，最終的に(図¥ref{ホタル通信の新デザイン})を採用することにした．

虫の触覚みたいなのだ．

5.5 まとめ

第 6 章 ホタル通信の応用

6.1 ホタル通信 Ver.2

6.1.1 システム構成

ホタル通信 Ver.2 は、第 5 章で述べたホタル通信と基本的システムは同じであるが、光による表現をよりシンプルにしたものである。ホタル通信 Ver.2 は、呼吸を計測する計測部と呼吸情報を表示する発光部からなり、息を吸うと消灯し、息を吐くと点灯するシステムである(図¥ref{ホタル通信 2 システム})。ホタル通信はユーザが暗闇で装着して使用する(図¥ref{ホタル通信})。ホタル通信 Ver.1 と異なる点は、発光部の光の色は常に黄緑色で、呼吸リズムの速度によって変化しないという点である。そして、ユーザ間の呼吸リズムがそろろうと発光部の色が黄緑色からだんだん白くなり、呼吸が同期したことを表示する。

ホタル通信 2 システム

6.1.2 呼吸計測部

呼吸は、温度センサを用いて計測する。温度と熱起電力との関係が直線的であり使用しやすいことから、温度センサとして K 型熱電対(測定温度範囲-200 ~ +1200)を使用した。呼吸運動は、熱電対を被験者の左鼻下に設置して測定した。鼻の下に設置することにより体内で温められた空気を吐くと上昇し、外気を吸うと下降するという曲線が得られる。これを呼吸曲線とする。

信号処理のため回路を製作した(図¥ref{ホタル通信システム}内,回路 1)。呼吸計測に合わせ、カットオフ周波数を 10Hz ~ 0.05Hz、増幅率を 1000 倍に設定した。

* 熱電対を用いた理由

6.1.3 発光部

点灯に使用する LED は、マイコン (Arduino) を用いて制御を行う(図¥ref{ホタル通信システム})。発光部には、呼吸を表示する LED と呼吸リズムの同期を表示する LED がある。呼吸を表示する LED は、熱電対で計測した値によって光量が変わる。この LED の色は図 3 に示したように、呼吸リズムが速くなると赤色に、呼吸リズムが遅くなると青色

に、その中間色として黄色に滑らかに変化する。呼吸リズムの同期を表示する LED は、互いの呼吸が同期したとき発光し、ユーザは同期したことを知ることができる。

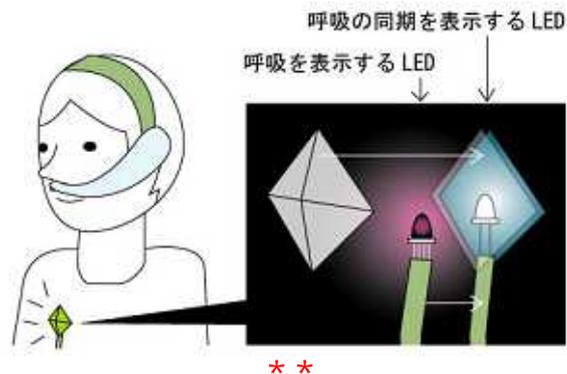
6.1.4 通信

ユーザ間の呼吸の同期を表示するためには、独立した個々のホタル通信システムが互いの同期を認識する必要がある。本システムでは、赤外線 LED と赤外線受信モジュールを使用している(図¥ref{ホタル通信システム})。呼吸曲線がピークするとき、つまり吐息から吸息が変わるときに自分側の赤外線 LED が点灯する。その信号を、相手のホタル通信に取り付けた赤外線受信モジュールで受信する。連続して出力と入力一致したとき、互いの呼吸が同期したと認識する。

6.1.5 形状

形状は(図¥ref{ホタル通信の形状})に示した。呼吸計測部は頭に装着でき、ヘッドセット似た形状になっている。鼻下に熱電対部分が来るように調節できるようになっており、装着して不快感を与えないよう、丸みのあるデザインにした。

発光部の呼吸を表示する LED は(図¥ref{ホタル通信の形状})に示すように手前に設置した。呼吸リズムの同期を表示する LED は、呼吸を表示する部分の周囲が光って見えるように、背景全面を光らせるプラスチック板で挟んだ。発光部は胸の位置にピンで留めるが、首から下げられるようになっている。



6.1.6 評価

呼吸の可視化により、相手の呼吸リズムやその変化を知ることによって、相手の感情や意図を推測することができる。また、相手とのコミュニケーションだけにとどまらず、自分の呼吸を見ることによって、自分の意外な感情や無意識の意識に気づくことができる。

6.1.7 まとめ

こ

6.2 ホタル通信 Ver. くま

6.2.1 システム構成

システム構成は基本的に第5章で述べたホタル通信と同じである。
形状が・・・

6.2.2 形状

くま



*もっと分かりやすい写真を
ホタル通信 Ver. くま

6.2.3 評価

親しみやすさ。
インタラクティブ東京での結果。



インタラクティブ東京でのデモンストレーション

6.2.4 まとめ

こ

6.3 Global ホタル通信

6.3.1 背景としての環境問題

ここ数年頻繁に地球温暖化，異常気象などが問題となっている．それに対して私はマイ箸を持ったり，レジ袋を受け取らなかつたりすることしかできなかった．街ではリサイクル運動が推奨され，それを良いことだと思い積極的に参加してきた．

「地球にやさしい」環境活動はリサイクルと称した企業の利益追求の犠牲になり，効果もたらされないことがあった．その性質が余り明らかになっていないダイオキシンが猛毒である，ペットボトルなどの資源回収がリサイクル社会を作る，と過剰に報道されるなど，環境問題を取り扱う情報には正確さが曖昧なものが多い．実際にはダイオキシンの毒性は全くなく，北極の氷は海に浮いているものだから仮にとけても海面は上がらない，といった意見もある[*]．

環境問題は複雑で，その計測が困難なことから，情報が正しいかどうかを客観的に判別することが難しい．この環境問題について，私は少なくとも「できるだけゴミを出さないように努めること」はゆっくりとした循環型社会につながると考えた．

エコジャパンカップ 2007[**]では，「現代バージョンの環境共生・循環型経済社会を再生し，健やかで，豊かで，美しい，環境と経済が好循環する『eco japan』」を提案してい

る。これに対して、私は特に「循環型社会」の循環を加速させるシステムではなく、ゆっくりとした循環を擁護するシステムを提案した。

従来のプロダクト作品やアート作品には少ない、客観的数値データに基づいた作品であるため、より環境に対する実感が伴う。Global ホタル通信を使うことによって、身近なものごと地球規模の環境問題との関係性を見出すことができ、環境問題をより身近に感じて自分なりの「eco」に対する取り組みを容易に行うことができる。

[*] 武田邦彦 / 著「環境問題はなぜウソがまかり通るのか」(洋泉社)

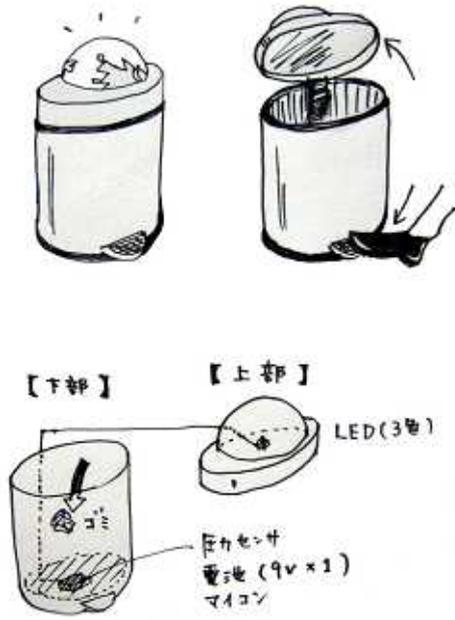
[**] エコジャパンカップ 2007 は Web サイトを参照 (<http://www.eco-japan-cup.com/>)

6.3.2 システム構成

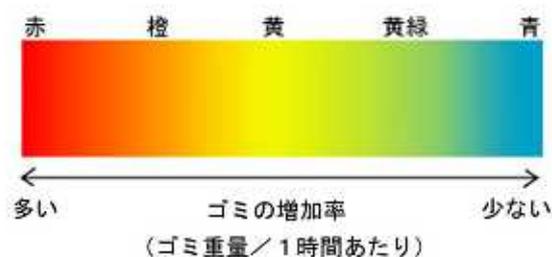
“ Global ホタル通信 ” は「今そこにあるものと地球のつながりを感じることによって、eco につなげる」というコンセプトの元に制作された新しいゴミ箱のデザインである。Global ホタル通信の概略は図 [¥ref{Global ホタル通信}](#) に示した。ゴミ箱の上部は地球を模している。基本的システム構成は通常のホタル通信と同じで、マイコン (Arduino) を用いて圧力センサと LED を制御している。ゴミ箱内のゴミの重量の 30 分あたりの増加率によって、上部の地球が色を変化しながら発光する。図 [¥ref{Global ホタル通信の色変化}](#) のように、ゴミの増加率が少ないと青色だが、多くなるとだんだん赤色に、その中間色として黄色に変化する。そしてその光はホタルのようにぼうっと明滅を繰り返し、まるでその「地球」が呼吸している = 生きているのではないかと思わせる。

また、前の時間と比べてゴミの増加率が低くなると、ゴミ箱を開けた際に一瞬点滅表示する。これは、「地球」からの「Thank You!」というメッセージを表している。日常的にゴミの存在を意識でき、ゴミになるようなものを購入しないようにする意思につなげるツールである。

このゴミ箱の光の明滅には、呼吸情報を用いた。あるユーザ 1 名に映画を観てもらった。官能評価で苦しい・悲しいと感じたときの呼吸リズムと、嬉しい・楽しいと感じたときの呼吸リズムを記録した。それをそれぞれゴミの増加率が多いとき、少ないときの光の明滅のリズムに当てはめ、表現した。このことによって、ゴミ箱を見た者は無意識に「地球」に感情があるように感じ、よりゴミを捨てたくない気持ちにつなげることができる。



Global ホタル通信



Global ホタル通信の色変化

6.3.3 評価

実験的にオフィスに設置したところ、同室のゴミ箱を利用する人々が「ゴミ」という存在に対して意識し、ゴミになるようなものを購入しないようにする意思に結びついた。

また、エコビジネスの芽を見つけ、育てるコンテスト「eco japan cup 2007」に出品したところ、本作品“Global ホタル通信”は2007年12月13日(木)~12月15日(日)東京国際展示場にて行われたエコプロダクツ 2007にて展示され、カルチャー部門エコデザインの準グランプリを受賞した。

6.3.4 Global ホタル通信の応用

現段階では Global ホタル通信には 9V 電池が必要である。しかし、この電池を使うと、1日程度しかもたない。Global ホタル通信はエコのためのツールなので、消費電力を抑えるためにマイコンを Arduino とは別の省電力のものに変え、電池を太陽電池に変える必要がある。

現在、試作段階の類似ツール“Global エレキテル通信”がある。これはゴミの増加率の代わりにリアルタイムの電気使用量を計算する。「Global ホタル通信」と同様に、時間あたりの電気使用量が増加すると赤色に、減少すると青色に変化し、ホタルのように明滅を

繰り返す．これを使うことによって，電気の無駄遣いをしないようにする意識に結びつけられると考えられる．

6.3.5 まとめ

この Global ホタル通信には呼吸情報を用いた 表現に呼吸リズムを用いたことにより，ユーザは「地球」に感情を見出すことができ，よりゴミを捨てたくない気持ちにつながられた．呼吸リズムを用いることにより，ユーザに無意識に感情を訴えることができることが示唆された．

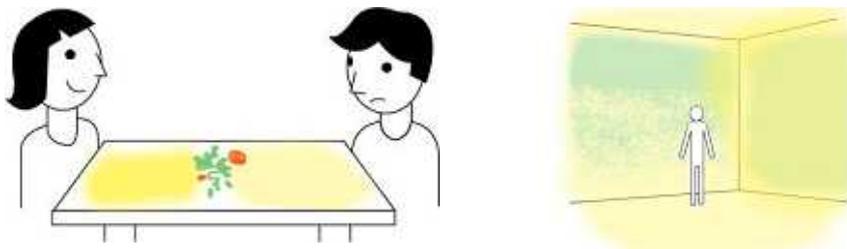
第7章 結論

7.1 まとめ

本研究では、呼吸を可視化するツール「ホタル通信」の開発、および実際にホタル通信を装着してコミュニケーションしてもらった評価実験の結果を報告した。

近年は、ノンバーバル・コミュニケーションについての研究が盛んに行われており[6, g], それを利用したインターネットや情報ネットワークを利用した様々なインタフェースが提案されている。本研究で提案したホタル通信は、このようなユビキタス環境における人と人をつなぐリズムの共有を最も大切にしたいインタフェースとも言え、不随意な身体情報の共有もできるという新しいインタラクションの実現の可能性を示すと考えている。

本稿では、ホタル通信を使うことによって呼吸情報を共有し、気持ちを伝え合うことができたことが示唆された。今後の展開として、ホタル通信を同時に複数人数で使う実験も行っていきたい。マレーシアの同期する無数のホタルのように、大勢でコミュニケーションを行うと、大勢の気持ちを伝え合い、より一体感をもてることが予想される。また、ホタル通信の機能を環境の中に埋め込んだ、ホタルテーブル（呼吸するテーブル）やホタルーム（呼吸する部屋）(図¥ref{ホタルテーブルとホタルーム})の実現を行っていく。これらはモバイルのホタル通信と異なり、自分や相手の呼吸情報を環境の中に見ることで、より親密に互いに向き合えることが期待できる。また、引き続きホタル通信の評価実験を行っていきたい。



ホタルテーブルとホタルーム

7.2 今後の課題と展望

呼 .

7.2.1 呼吸情報の利用の有効性

7.2.2 発展

- * 今後の課題と将来展望
- * 本研究の応用可能性
- * 評価方法の検討（赤川さん）
- * コミュニケーションモデル
- * 表現の洗練化について（赤川さん）

謝辞

*

参考文献

¥begin{thebibliography}{99}

¥bibitem{Kakigi1997} 柿木 昇治, 藤沢 清ら. 新生理心理学 2 巻 生理心理学の応用分野, 北大路書房, 1997.

¥bibitem{Arita2006} 有田 秀穂(編). 呼吸の事典. 朝倉書店, 2006.

¥bibitem{Boiten1994} Boiten, F., Frijda, N.H., Wientjes, J.C. Emotions and respiratory patterns: Review and critical analysis. ¥emph{International Journal of Psychophysiology}, Vol.17, pp.103-128, 1994.

¥bibitem{Skaggs1930} Skaggs, E.B. Studies in attention and emotion. ¥emph{Journal of Computer and Psychology}, Vol.10, pp.375-419, 1930.

¥bibitem{Martha1971} Martha K. McClintock. Menstrual synchrony and suppression. ¥emph{Nature}, 229, pp.244-245, 1971.

¥bibitem{Kathleen1998} Kathleen Stern and Martha K. McClintock. Regulation of ovulation by human pheromones. ¥emph{Nature}, 392, pp.177-179, 1998.

¥bibitem{Nakamura1995} 中村 敏枝. 「間」における演奏者と伴奏者の呼吸の同期, 日本心理学会第 59 回大会発表論文集, Vol.631, 1995.

¥bibitem{Nagaoka2000} 長岡 千賀, 小森 政嗣, 中村 敏枝. 練習が演奏者間の呼吸の一致に及ぼす効果, 日本心理学会第 64 回大会発表論文集, Vol.603, 2000.

¥bibitem{Watanabe1998} 渡辺 富夫, 大久保 雅史. コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価, 情報処理学会論文誌「次世代ヒューマンインタフェース・インタラクション」特集号, vol.39, No.5, pp.1225-1231, 1998.

¥bibitem{スティーヴン 2005} スティーヴン・ストロガッツ. Sync-なぜ自然はシンクロしたがるのか-. 早川書房, 2005.

¥bibitem{Watanabe2001} 渡辺 富夫, 荻久保 雅道, 石井 裕. 身体的バーチャルコミュニケーションシステムにおける呼吸の可視化と評価, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.3, No.4, pp.319-326, 2001.

¥bibitem{Suzuki2004} Suzuki, K. and Hashimoto, S., FeelLight : A Communication Device for Distant Nonverbal Exchange, ¥emph{Proc. of ACM SIGMM workshop on Effective Telepresence}, 2004.

[1] 柿木昇治, 藤沢清ら. 新生理心理学 2 巻 生理心理学の応用分野, 北大路書房, 1997.

[2] 有田秀穂(編). 呼吸の事典. 朝倉書店, 2006.

[3] Boiten, F., Frijda, N.H., Wientjes, J.C. Emotions and respiratory patterns: Review and critical analysis. *International Journal of Psychophysiology*, Vol.17, pp.103-128, 1994.

[4] Skaggs, E.B. Studies in attention and emotion. *Journal of Computer and Psychology*, Vol.10, pp.375-419, 1930.

[5] Martha K. McClintock. Menstrual synchrony and suppression. *Nature*, 229, pp.244-245, 1971.

[6] Kathleen Stern and Martha K. McClintock. Regulation of ovulation by human pheromones. *Nature*, 392, pp.177-179, 1998.

- [7] 中村敏枝. 「間」における演奏者と伴奏者の呼吸の同期, 日本心理学会第 59 回大会発表論文集, Vol.631, 1995.
- [8] 長岡千賀, 小森政嗣, 中村敏枝. 練習が演奏者間の呼吸の一致に及ぼす効果, 日本心理学会第 64 回大会発表論文集, Vol.603, 2000.
- [9] 渡辺富夫, 大久保雅史. コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価, 情報処理学会論文誌「次世代ヒューマンインタフェース・インタラクション」特集号, vol.39, No.5, pp.1225-1231, 1998.
- [10] スティーヴン・ストロガッツ. Sync-なぜ自然はシンクロしたがるのか-. 早川書房, 2005.
- [11] 渡辺富夫, 荻久保雅道, 石井裕. 身体的バーチャルコミュニケーションシステムにおける呼吸の可視化と評価, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.3, No.4, pp.319-326, 2001.
- [12] Suzuki, K. and Hashimoto, S., FeelLight : A Communication Device for Distant Nonverbal Exchange, Proc. of ACM SIGMM workshop on Effective Telepresence, 2004.

[*] Processing については Web サイトを参照 (<http://processing.org/>)

付録その 1

```
/**
 * 息を吐くと円の半径が大きくなり，息を吸うと円の半径が小さくなるように
 * 表示させるプログラム
 */

import processing.serial.*;

// State of the circle drawing
boolean circleExpanding = true;

// Size of the circle
float circleSize = 0;

int c = 0;
long t = 0;

int a = 255;
int b = 255;
int cc = 125;

Serial port;

void setup()
{
  size(200, 200);
  port = new Serial(this, "COM4", 9600);
  noStroke();
  ellipseMode(CENTER_RADIUS);
}

// 円を描く部分
void draw()
{
  background(0);
  t++;
  if(t >= 2147483647){
    t = 0;
  }
}
```

```
while (port.available() > 0) {
  int value = port.read();
  serialEvent(value);
}

fill(a, b, cc);

if(circleExpanding) {
  ellipse(width/2, height/2, circleSize, circleSize);
  circleSize += 0.5;
}else{
  ellipse(width/2, height/2, circleSize, circleSize);
  circleSize -= 0.5;
}
if(circleSize > width/2) {
  circleSize = width/2;
}
if(circleSize < 10) {
  circleSize = 10;
}
}

// Arduino からのシリアル通信を処理
void serialEvent(int serial)
{
  if(serial == 48) {
    circleExpanding = false;
  }
  if(serial == 49) {
    circleExpanding = true;
  }

  println(serial);
}
```

付録その2

```
/**
 * ホタル通信のメインプログラム
 * 呼吸 - LED1
 * pwm を赤/青 LED だけ用いる
 * 平均値の出し方を随時に変えてみたバージョン
 **/

// 積分
int i = 0;
int h[70] = { 0 };
long sum = 0;
int heikin1, heikin2;
int now;

// 最大値を計算
int maxx;
int widthh[4] = { 8, 8, 8, 8 };
char line1, line2;
long t = 0;
long time1, time2;
int widadd = 8;

//Yellow_LED
int ledPin3 = 11; // LED connected to digital pin 11
int YPW2 = 4;
int k1 = 0;

//Red_LED
int ledPin2 = 12; // LED connected to digital pin 12
int RPW1 = 0;
int RPW2 = 1;
int k3 = 0;

//Blue_LED
int ledPin1 = 10; // LED connected to digital pin 10
int BPW1 = 0;
int BPW2 = 1;
```



```
    h[i] = h[i-1];
    sum += h[i];
}
h[0] = analogRead(0);
sum += h[0];
heikin2 = sum/70;

t++;
if(t >= 2147483647){
    t = 0;
}

//LED_Yellow and Red
if(k1 == 1){ // 下向きのベクトルのとき (温度下降時)
    if(YPW2 > 1){
        YPW2 = YPW2 - 2; // LED だんだん暗く
    }
    if(YPW2 <= 1){
        YPW2 = 1;
    }
}
if(k1 == 0){ // 上向きのベクトルのとき (温度上昇時)
    if(YPW2 < 150){
        k3 = 0;
        YPW2 = YPW2 + 2; // LED だんだん明るく
    }
    if(YPW2 >= 150){
        YPW2 = 150;
        if(k3 == 0){ //要は LED が max のとき
            time1 = time2;
            time2 = t;
            widthh[0] = time2 - time1; // 振幅

            if(widthh[0] >= 400){
                // 振幅が増加するとき だんだん青に
                if(sokudo >= -4) sokudo++;
            }
            else if(widthh[0] <= 250){
                // 振幅が減少するとき だんだん赤に
                if(sokudo <= 4) sokudo--;
            }
            else if(widthh[0] > 250 && widthh[0] < 400){
                // 振幅基準値
                if(sokudo >= 1) sokudo--;
                if(sokudo <= -1) sokudo++;
            }
        }
    }
}
```

```
    }
    k3 = 1;
  }
  //赤外線 LED
  for(cont=0;cont<28;cont++){
    if(pulsos[cont]==1){
      for(cont2=0;cont2<38;cont2++){
        digitalWrite(IRPin,HIGH);
        delayMicroseconds(13);
        digitalWrite(IRPin, LOW);
        delayMicroseconds(13);
      }
    }else{
      digitalWrite(IRPin, LOW);
      delay(1);
    }
  }
}
}
}
}
analogWrite(ledPin3, YPW2); // sets the LED on

//LED_Red and Blue
if(sokudo <= 1 && sokudo >= -1){ // 振幅基準値 (LED 黄色)
  // LED 明るさ 0 に
  RPW1 = BPW1 = 0;
  RPW2 = BPW2 = 1;
}
if(sokudo == 2){ // 振幅が増加するとき だんだん青に
  RPW1 = 0;   RPW2 = 1;
  BPW1 = 1;   BPW2 = 10;
}
if(sokudo == 3){ // 振幅が増加するとき だんだん青に
  RPW1 = 0;   RPW2 = 1;
  BPW1 = 1;   BPW2 = 5;
}
if(sokudo == 4){ // 振幅が増加するとき だんだん青に
  RPW1 = 0;   RPW2 = 1;
  BPW1 = 2;   BPW2 = 4;
}
if(sokudo == 5){ // 振幅が増加するとき だんだん青に
  RPW1 = 0;   RPW2 = 1;
  BPW1 = 2;   BPW2 = 1;
}
}
```

```
if(sokudo == -2){ // 振幅が増加するとき だんだん赤に
  RPW1 = 1;    RPW2 = 10;
  BPW1 = 0;    BPW2 = 1;
}
if(sokudo == -3){ // 振幅が増加するとき だんだん赤に
  RPW1 = 1;    RPW2 = 5;
  BPW1 = 0;    BPW2 = 1;
}
if(sokudo == -4){ // 振幅が増加するとき だんだん赤に
  RPW1 = 2;    RPW2 = 4;
  BPW1 = 0;    BPW2 = 1;
}
if(sokudo == -5){ // 振幅が増加するとき だんだん赤に
  RPW1 = 2;    RPW2 = 1;
  BPW1 = 0;    BPW2 = 1;
}

// Red LED
digitalWrite(ledPin2, HIGH); // sets the LED on Red
delay(RPW1);
digitalWrite(ledPin2, LOW);  // sets the LED off Red
delay(RPW2);
// Blue LED
digitalWrite(ledPin1, HIGH); // sets the LED on Blue
delay(BPW1);
digitalWrite(ledPin1, LOW);  // sets the LED off Blue
delay(BPW2);

/* Down */
if(heikin1 > heikin2){
  if((line1 == 'U' && line2 == 'F') ||
     (line1 == 'F' && line2 == 'U') ||
     (line1 == 'U' && line2 == 'U')){
    line1 = line2;
    line2 = 'D';

    k1 = 1;
  }

  else if(line1 == 'F' && line2 == 'F'){
    line1 = line2;
    line2 = 'D';

    k1 = 1;
  }
}
```

```
    else{
        line1 = line2;
        line2 = 'F';
    }
}

/* Up */
else if(heikin1 < heikin2){
    if((line1 == 'D' && line2 == 'F') ||
        (line1 == 'F' && line2 == 'D') ||
        (line1 == 'D' && line2 == 'D') ||
        (line1 == 'F' && line2 == 'F')){
        line1 = line2;
        line2 = 'U';
        k1 = 0;
    }
    else{
        line1 = line2;
        line2 = 'F';
    }
}

/* Flat */
else {
    line1 = line2;
    line2 = 'F';
}

/* 赤外線受信モジュール */
sekimoju = analogRead(1);

if(sekimoju <= 1 && k3 == 0){
    for(i=0 ; i<=10 || douki>=250 ; i++){
        douki = douki + 4;
        analogWrite(ledPin4, douki);
    }
}
else{
    douki = 0;
    analogWrite(ledPin4, douki);
}
Serial.println(heikin2);
}
```

目次

表目次