

情報学部プロジェクト演習における 「フィジカルコンピューティング」教育の実践

嶋田 理博
奈良産業大学 情報学部

概要

2009 年度から 2012 年度の 4 年間、情報学部「ラジコン製作プロジェクト」において、「フィジカルコンピューティング」教育を実践した。教材として Sun SPOT または Arduino を主に用い、合計 7 つのシステムを製作し、各年度の学園祭に出展した。自らハードウェアとソフトウェアの設計を行い、部品の選定・購入から始めてシステムを完成させる体験は、学生にとって有意義な学修であったと考える。

1. フィジカルコンピューティングとは

フィジカルコンピューティング (Physical Computing) とは、キーボードやマウス、ディスプレイといった間接的なインタフェースでなく、各種センサやアクチュエータを通じて人間とコンピュータが体感的に対話できるシステムを目指した教育・研究活動である¹⁾。1990 年代に、ニューヨーク大学ティッシュ芸術学部の Dan O'Sullivan と Tom Igoe によって提唱された²⁾。

フィジカルコンピューティングは、この 5～6 年で急速に身近な存在となった。そのきっかけとしては、リモコンを振ったり回転させたりすることで操作できる、任天堂のゲーム機 Wii の登場 (2006 年) が挙げられる。その後、マルチタッチパネルを用いたピンチ、スワイプ、フリックといった操作および加速度センサを用いた上下向きの自動認識やシェイクなど直感的な操作が可能な、スマートフォンやタブレット端末等の普及、ジェスチャや音声でゲームを操作できる Microsoft のゲーム機 Xbox 360 用コントローラ Kinect の登場 (2010 年) が続いた。また、後述する Arduino (2004 年開発開始) や Sun SPOT (2008 年発売) など、フィジカルコンピューティングシステムの製作に欠かせないマイコンボードも相次いで登場した。これらの機器の登場には、センサやプロセッサ、バッテリーの小型化、軽量化、省電力化といった近年の技術革新が大きく寄与している。

また、フィジカルコンピューティングの思想や活動を広め、推進する役割を担ったのは、O'Reilly が出版する雑誌「Make:」(2005 年創刊)³⁾ や、同誌の主催する「Maker Faire」(2006 年初開催)⁴⁾ 等のイベント、そしてインターネットの掲示板や動画投稿サイトを通じた世界的な情報や技術の交換であった。Arduino や Sun SPOT がオープンソースであったことも、フィジカルコンピューティングの推進に大きく影響している。

2. フィジカルコンピューティングの教育における意義

筆者は、情報学部の演習科目「プロジェクト演習」において、2009年度から2012年度まで4年間、フィジカルコンピューティングをテーマとして取り上げてきた。

フィジカルコンピューティングを教育に導入する意義としては、まず第一に、学修意欲を刺激するということが挙げられる。学生は、書籍の中の抽象的な内容や、ディスプレイの中の身体的に実感できない処理よりも、実際に目の前で動き、プロセッサの動作が体感として返ってくる物により興味を抱くと思われる。

第二の意義は、データの処理が平易で、プログラミングの入門教材として最適であるということである。フィジカルコンピューティングの世界で用いられるマイコンボードは、パソコンに比べると入出力が非常に単純で、突き詰めれば1bitデータの入出力か1byteデータの入出力しかない。プロセッサ内部の処理も、それら1bitまたは1byteのデータを演算し、条件によって分岐し、繰り返すという単純な処理である。パソコンのプログラミングに比べると平易であると言える。

第三の意義は、コンピュータアーキテクチャ、電子回路の学修になるということである。パソコンの場合、自分の入力がどのような経路や処理を経てプロセッサに届くかは、全くのブラックボックスで、講義でコンピュータの仕組みを学んだとしても、実感することは難しい。しかし、マイコンボードの場合、自らが電子部品を買い揃え、プロセッサまでの結線を行うので、例えば、ユーザがボタンを押したらその信号がどのようにプロセッサに届くかということを目に見えて実感することが出来る。

第四の意義は、本学情報学部の特徴である情報システム分野とメディアアート分野の学修の融合を実現できるということである。フィジカルコンピューティングは、人間や環境の体感的な情報のコンピュータに対する入出力を取り扱うので、インタラクティブアートやインタラクションデザインといった芸術分野で広く応用されている。そのため、例えば、Arduinoは、メディアアートの祭典であるアルスエレクトロニカ (Ars Electronica) で、2006年に名誉表彰 (Honorary Mention) を受賞している⁵⁾。そもそも、O'SullivanとIgoeがフィジカルコンピューティングを提唱したのは、芸術の表現手段としての教育プログラムを考えたことから出発している。

以上の理由から、筆者は、フィジカルコンピューティングを情報学部「プロジェクト演習」のテーマとして取り上げた。

3. 使用したマイコンボード

プロジェクト演習では、教材としてSun SPOT (サンスポット) とArduino (アルドゥイーノ) という2種類のマイコンボードを使用した。

3.1. Sun SPOT

Sun SPOT (Sun Small Programmable Object Technology)⁶⁾ は、Sun Microsystems が開発したマイコンボードである (図 1)。2008 年に販売が開始された。制御プログラムは Java 言語で記述し、Sun SPOT 上の “Squawk” という Java 仮想マシンによって実行される。主な仕様を表 1 に示す。



図 1 Sun SPOT

表 1 Sun SPOT の主な仕様

プロセッサ	32bit ARM920T 180MHz
RAM	512KB
フラッシュメモリ	4MB
入出力	デジタル入出力×10、アナログ入力×6

Sun SPOT は、大きさ 70×41×23mm、重さ 54g という小さな筐体に、3 軸加速度、温度、照度の各種センサ、フルカラーLED×8、IEEE802.15.4 無線ボード、750mAh のリチウムイオン電池がパッケージされており、Sun Microsystems のこだわりが感じられる完成度の高い製品だった。しかし、教育機関向けの割引価格でも 2 個セット品が約 4 万円と高価であり、学生 1 人に 1 台ずつを使わせることは予算的に難しかった。さらに、2009 年 9 月には販売を休止してしまい、入手不可能になってしまった (その後、2011 年 9 月に Oracle が販売再開している)。そこで、2010 年度後期からは、次に述べる Arduino ボードに移行した。

3.2. Arduino

Arduino⁷⁾ は、イタリア イヴレーア インタラクシオンデザイン大学院の Massimo Banzi、David Cuartielles らのチームが 2004 年に開発を開始した、マイコンボード (図 2) を含むフィジカルコンピューティングのシステムである。制御プログラムは Wiring 言語⁸⁾ で記述する。主な仕様を表 2 に示す。

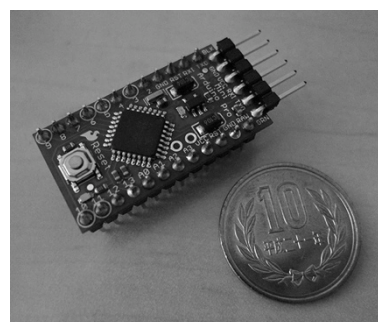


図 2 Arduino ボードの一つ
Arduino Pro Mini

表2 Arduino ボードの主な仕様

プロセッサ	8bit Atmel AVR ATmega168, ATmega328P 20MHz など
RAM	1～8KB
フラッシュメモリ	16～256KB
入出力	デジタル入出力×13、アナログ入力×6 など

(※Arduino ボードは互換機を含め複数種類あるため、機種によって仕様が異なる。)

Arduino ボードは、センサや無線ボード、バッテリーなどは組み込まれていないが、1台2,000円前後と安価で、学生1人に1台ずつを使わせることが予算的に十分可能であった。また、センサー類は別途購入する必要があるが、目的に応じた機器を選択することができることはメリットでもある。ハードウェアの設計や部品選定、購入、配線作業も学修の一部として活かすことが出来るようになった。

4. プロジェクト演習の活動

フィジカルコンピューティングを目標としたプロジェクト演習は、「ラジコン製作プロジェクト」というテーマで、2009～2012年度の4年間開講した。履修者数はのべ37名で、年度別・学年別内訳は表3に示す通りである。

表3 「ラジコン製作プロジェクト」の履修者数

	1年生	2年生	3年生	4年生
2009年度	5名	2名	4名	—
2010年度	7名	1名	3名	1名
2011年度	—	1名	3名	2名
2012年度	—	4名	0名	4名

(※2009年度の4年生、2011～2012年度の1年生は、カリキュラムとして、プロジェクト演習が開講されていない。)

「ラジコン」と「フィジカルコンピューティング」の意味は異なるが、「フィジカルコンピューティングプロジェクト」と言っても演習内容が想像できる学生は少ないと思われるため、方便として「ラジコン製作プロジェクト」と称した。後述するようにラジコンでないシステムも製作している。

以下に、各年度の活動を紹介する。

4.1. 2009 年度

教材は、Sun SPOT を用いた。「ラジコン製作プロジェクト」の初年度として、学生とともに以下の基本的なシステムを実験・試作した。

- Sun SPOT 内蔵 LED の点灯
- Sun SPOT 上のスイッチ押下の検知
- Sun SPOT 内蔵照度センサによる明るさ検知
- Sun SPOT 内蔵 3 軸加速度センサによる運動・傾きの検知
- デジタル入出力ポートを介した外部 LED の点灯
- デジタル入出力ポートを介した外部スピーカの発音
- デジタル入出力ポートを介したサーボモータの制御
- アナログ入力ポートを介した外部センサからの情報取得
- 内蔵無線ボードを介した Sun SPOT 同士の無線通信

4.2. 2010 年度

前年度に引き続き、前期は教材に Sun SPOT を使い、前年度に学んだことの応用として「ラジコンカー」(図3)と「エアキーボード」(図4)を制作し、学園祭に出展した。

また、「ラジコンカー」は、7月のオープンキャンパス模擬講義の教材としても活用した。

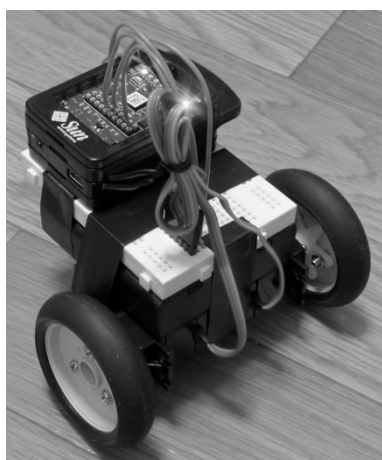


図3 ラジコンカー

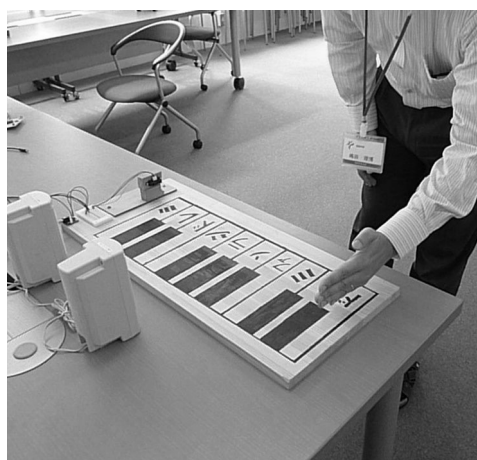


図4 エアキーボード

「ラジコンカー」は、ボタンやレバー操作なしで、リモコンを傾けた方向に車が走るラジコンである。リモコン側と車側各 1 機ずつ Sun SPOT を使っている。リモコン側の Sun SPOT は、リモコンがどちらの方向に傾いているかを内蔵 3 軸加速度センサーによって検知し、車側の Sun SPOT へ傾きデータを無線送信する。車側の Sun SPOT は、無線で受信した傾き方向に車が走るよう、無限回転のサーボモータを駆動し、左右それぞれの車輪を回転させる仕組みである。(図5)

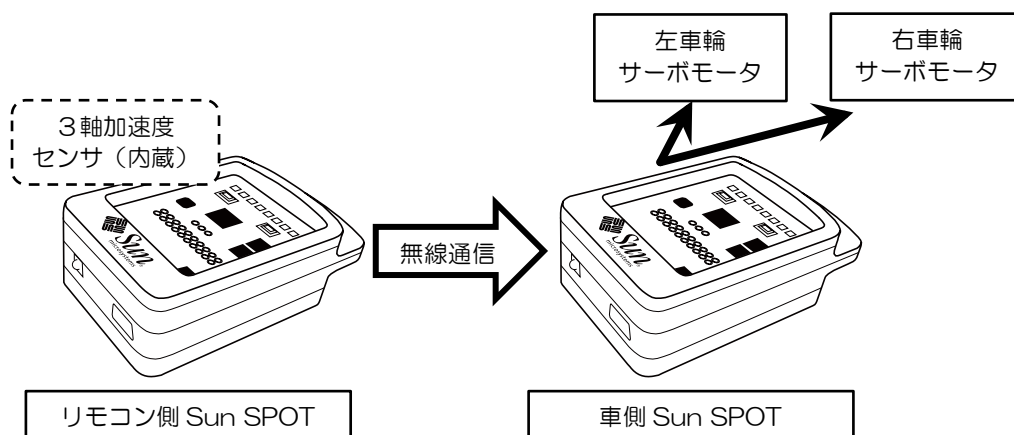


図5 ラジコンカーのシステム構成とデータの流れ

「エアキーボード」は、鍵盤などがなく、手をかざしただけで演奏できる楽器である。鍵盤の絵が描いてある板があり、その端に距離センサを設置している。距離センサによってかざした手の位置を計測し、手の位置に応じた音程の音がスピーカから発音する仕組みになっている。(図6)

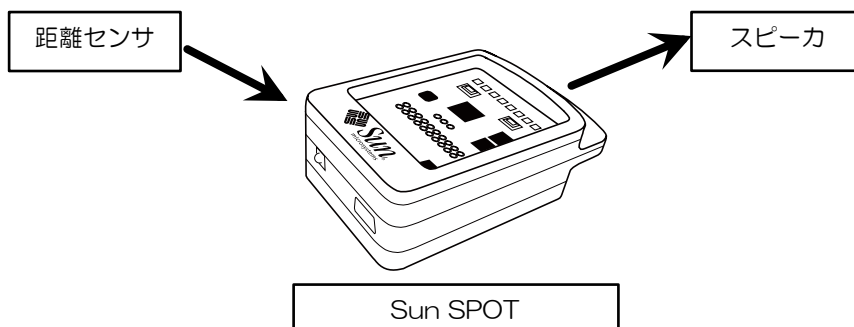


図6 エアキーボードのシステム構成とデータの流れ

4.3. 2011年度

3章で述べた理由から、2010年度後期から、教材を Arduino ボードに変更した。

2011年度は、前年度の「ラジコンカー」を Arduino システムで作り直したもの(図7)と、「対戦ゲーム機」(図8)を製作し、学園祭に出展した。

Arduino 版の「ラジコンカー」は、材料費が安価であることから複数台製作したので、7月のオープンキャンパス模擬講義の教材として使用したり、10月に御所市立葛上中学校の生徒が来学した際の体験授業の教材としても使用したりと大活躍であった。

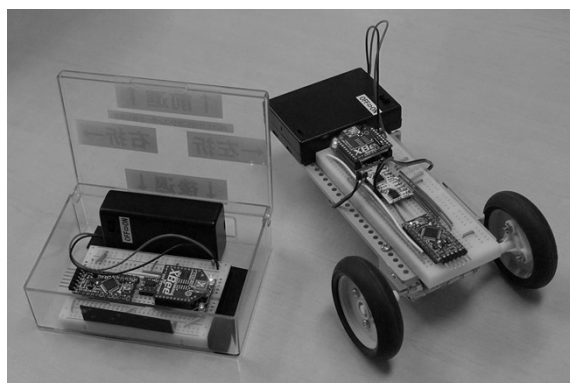


図7 Arduino版ラジコンカー（右）とリモコン（左）

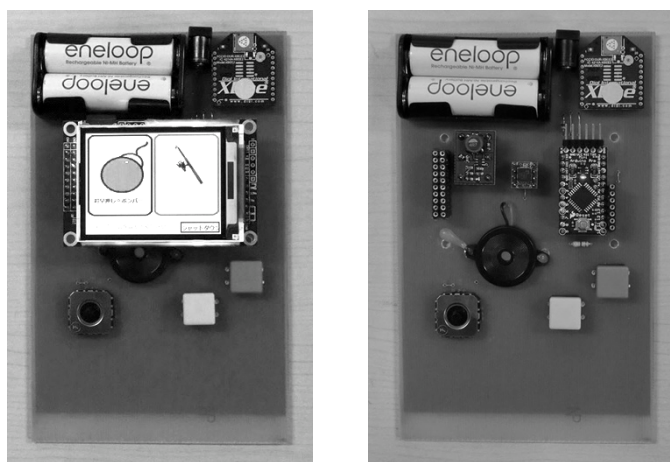


図8 対戦ゲーム機

（左）液晶画面で2つのゲームを選択してプレイ出来る。

液晶画面下のジョイスティック、2つのボタンで操作する。

（右）液晶ディスプレイを外したところ。Arduino本体、無線ボード（XBee）、加速度センサ、圧電スピーカ、レギュレータなどが基板上に配置されているのが見える。

「ラジコンカー」は、2010年度同様、ボタンやレバー操作なしで、リモコンを傾けた方向に車が走るラジコンカーの Arduino 版である。Arduino は、Sun SPOT と異なり、センサやバッテリーが内蔵されていないので、加速度センサ、無線ボードは別途購入し、自分で配線する必要がある。バッテリーは安価で入手が容易なニッケル水素電池を使用することとした。また、車輪を回転させるモータもサーボモータではなく DC モータを使用し、モータドライバを介して制御するよう仕様変更している。

「対戦ゲーム機」は、無線通信で対戦できるゲーム機である。入力デバイスとして、ジョイスティック、2つのボタン（タクトスイッチ）、加速度センサを備えている。出力デバイスとしては、液晶モニターと圧電スピーカを備えている。液晶モニターは、携帯電話の液晶のリサイクル品で 5,000 円程度で入手可能である。320×240 ドットの表示が可能で、コントローラと microSD カードスロットが組み込まれており、シリアル接続で Arduino からコマンド文字列を送信することにより、microSD カード内に用意した画像を表示することが可能である。図9に「対戦ゲーム機」のシステムの構成とデータの流れを示す。

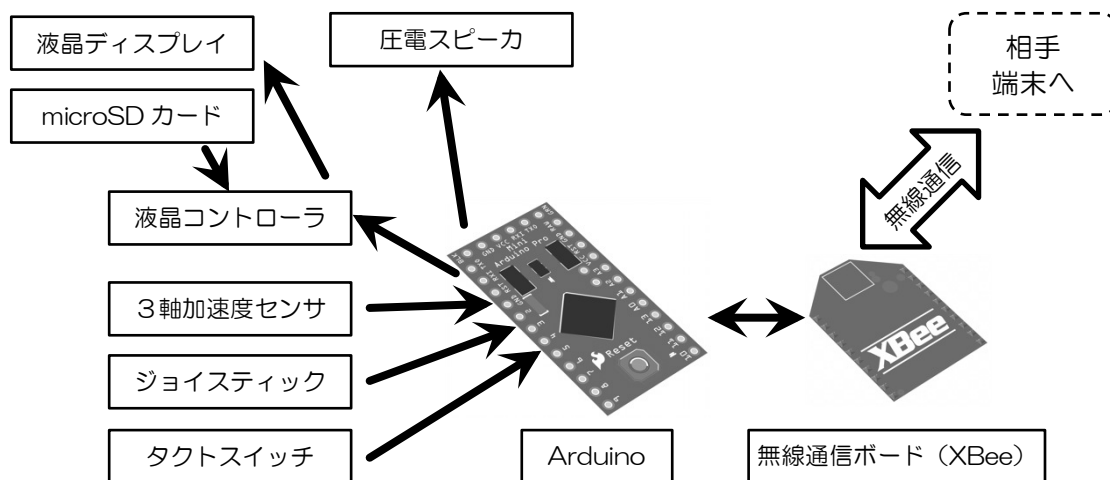


図9 対戦ゲーム機のシステム構成とデータの流れ

学生は、このゲーム機上のソフトウェアとして、早押しゲームと釣りゲームの2つ対戦ゲームを制作した。早押しゲームは、画面に指示される、本体の傾き、ジョイスティックを倒す方向、押すボタンの色、の3つの条件を先に正しく入力した方がポイントを獲得できるというゲームである。魚釣りゲームは画面でアタリが表示されたらジョイスティックをリールのように回し、大物が釣れた方が勝ちというゲームである。

4.4. 2012年度

2012年度は、「障害物を避けて走行する車」(図10)、「宝探しゲーム機」(図11)、「位置計測システム」(図12、図13)を製作し、学園祭に出展した。

また、昨年度製作した Arduino 版の「ラジコンカー」を、4月に星翔高等学校電子工学科の生徒が来学した際の体験授業の教材として使用した。

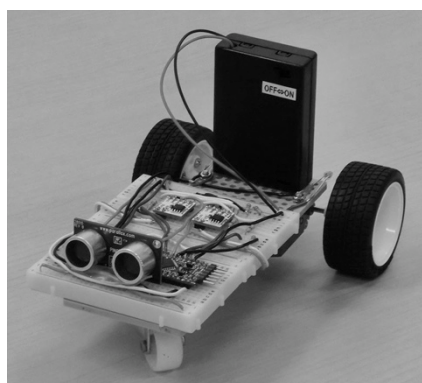


図10 障害物を避けて走行する車

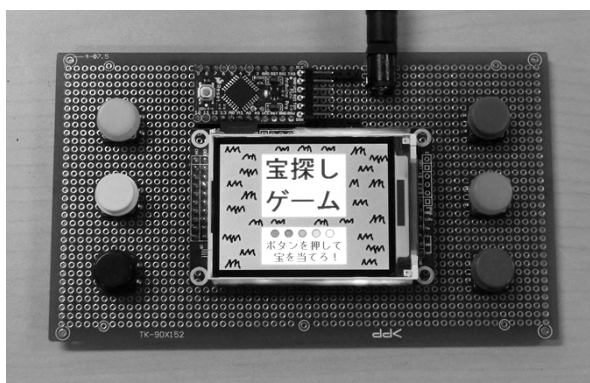


図11 宝探しゲーム機

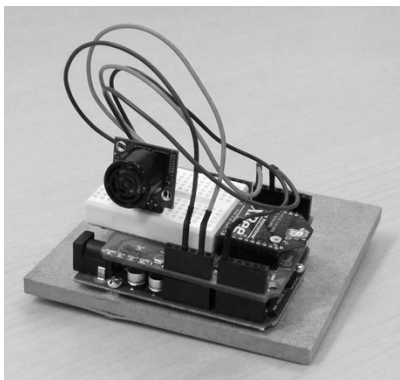


図 12 距離計測モジュール



図 13 位置計測システムで2次元的な位置を計算し、スクリーン上に表示しているところ。

「障害物を避けて走行する車」は、前面に距離センサがついており、前方障害物までの距離をリアルタイムに測定しながら走行する。障害物がある一定距離以内に近づくと後退して方向転換し、障害物を避ける。

「宝探しゲーム機」は、6つのボタン（タクトスイッチ）と液晶ディスプレイが備わっている。ゲームを開始すると6つのボタンのうち1つにランダムに当たりが設定され、ユーザの押したボタンにより「あたり」「はずれ」のメッセージが表示される。

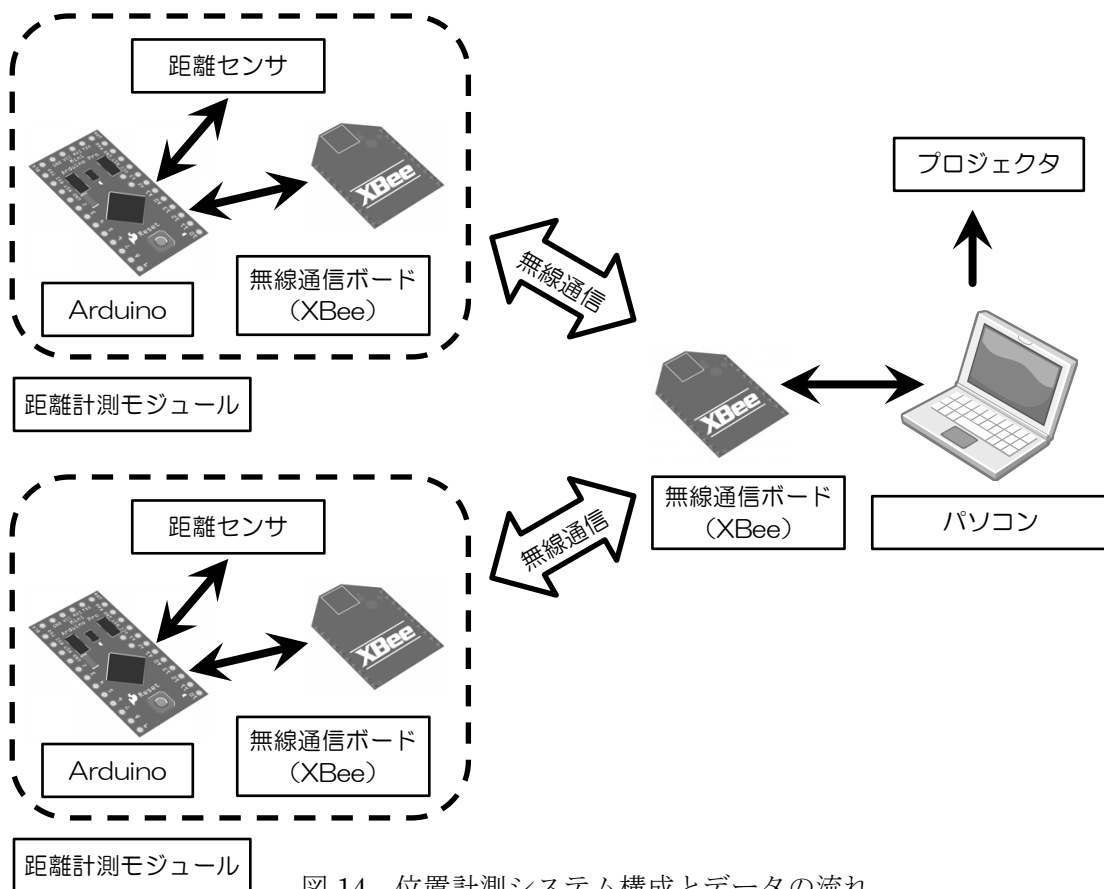


図 14 位置計測システム構成とデータの流れ

「位置計測システム」は、超音波方式の距離センサで測定した距離を、リアルタイムに無線送信する距離計測モジュール（図 12）と、それらモジュールから無線送信されたデータを受信して処理するコンピュータからなるシステムである。距離計測モジュールを数メートル離して2つ設置しておく、その前に何か物体があった時、2つのモジュールが測定した距離から2次元的な位置を計算できるので、その位置をスクリーン上にプロットする。「位置計測システム」の構成とデータの流れを図 14 に示す。超音波方式の距離センサを複数同時に使用すると、相互干渉を起こしてしまうため、1台ずつ個別に測距するタイミングを通知するために、距離センサーに向かうデータの流れも存在する。

5. まとめ

以上、4年間に渡って開講した「ラジコン製作プロジェクト」の成果について振り返った。4年間でのべ37名の学生が履修し、合計7点のフィジカルコンピューティングシステムを製作し、学園祭に出展した。

学生にとっては、実際に物を動かしたり、プロセッサの動作が目に見える形で分かるシステムの製作は知的刺激に満ちていたようである。センサなど電子部品の仕様書を読み、自ら部品を選定し、日本橋のパーツショップまで購入に行き、はんだ付けをしたり、ブレッドボード上で回路を組んだりしてデバイスをゼロから製作するのは貴重な体験であったと考える。

また、プロジェクト演習は1～4年生（現行のカリキュラムでは2～4年生）が同じ科目を履修し、友人と協力したり、先輩に教えられたり、後輩に教えたりといったコミュニケーションの中で共同作業をするのが特徴の一つとなっているが、特に学園祭の出展前など、連絡を取り合い、演習時間外に自主的に集まって製作を進めている姿がよく見られた。

残念ながら「ラジコン製作プロジェクト」は2012年度をもって終了となったが、この経験を活かし、学生の知的好奇心を刺激し、学生が主体的に学修に取り組むような講義テーマを、今後も探求してゆきたいと考える。

参考文献／リンク

- 1) Physical Computing at ITP, <http://itp.nyu.edu/physcomp/>
- 2) O'Sullivan & Igoe, 2004, "Physical Computing : Sensing and Controlling the Physical World with Computers." (Muska & Lipman).
- 3) MAKE magazine, <http://makezine.com/>
- 4) Maker Faire, <http://makerfaire.com/>
- 5) Ars Electronica | Prix Ars Electronica, <http://www.aec.at/prix/jp/winners/2006-prix-gewinner-digital-communities/>
- 6) SunSPOTWorld, <http://www.sunspotworld.com/>
- 7) Arduino, <http://arduino.cc/>
- 8) Wiring, <http://wiring.org.co/>