

教員養成におけるロボットを用いた計測制御の授業実践

鎌 田 敏 之^{†1}

教員養成系教育学部の授業のなかで、中学校技術科に関して、2003年3月に公示された新学習指導要領に含まれる「プログラムによる計測・制御」に対応すると考えられる授業を構想し、実践した。これまでセンサを用いて自律ロボットを製作・プログラミングする授業を9年間行ってきたが、昨年度初めてA/Dコンバータを通したセンサ入力を活用するロボットを作成させた。従来の、2値のみによるセンサ入力と比較して、アナログ値を取り扱うことで、より「計測」を意識したロボットの設計・製作・プログラミングができたと考えられる。本報告では、9年間の本授業の流れを説明するとともに、A/Dコンバータの値を利用させることでどのような学生の意識にどのような変化が生じたかを述べる。

A Report on Measurement and Control Class Using a Robot for Teacher Training Course Students

TOSHIYUKI KAMADA^{†1}

The author have conducted a class using hands-on autonomous robots for 9 years. The last fiscal year class (from Oct. 2008 to Mar. 2009), an analog sensor (Sharp's PSD distance sensor) was used for the first time. During previous classes, all of sensor inputs were treated as binary. The intention of this change is for corresponding to the new course of study for middle schools that announced publicly in Mar. 2008 from the MEXT. In this course of study, for Technology classes, "Programming for measurement and control" became compulsory. As a Technology teacher training, students must have more consciousness to the "measurement". By treating analog sensor, this purpose is considered to be successful from the reports of students. In this report, 9 years history of my hands-on autonomous robotics lab class is introduced first, and the change of student's sense of measurement by treating an analog sensor is described.

1. はじめに

2008年3月に公示された新学習指導要領において、中学校「技術・家庭科」の技術分野では「D 情報に関する技術(3)」として「プログラムによる計測・制御」が必修となった。筆者は中学校「技術・家庭科」の技術分野の教員養成を担当しており、学生に対し、これまで選択であった「制御」及び「プログラム」とともに、新たに加えられた「計測」を学習する機会を与える必要が生じることとなった。

一方、筆者は「制御」と「プログラミング」を題材として、センサを搭載した自律ロボットの製作実習を平成11年(1999年)から3年生を対象に毎年実施しており、実質的にはセンサによる「計測」に基づいたロボット制御のプログラミングを実習させていたことになる。しかし、学生のレポートからは「アクチュエー

タの位置を確かめる」「対象の有無を判定する」ためにセンサが必要となったという意識はあるものの、対象を「計測した」という自覚は見られなかった。これは、利用していたセンサが、マイクロスイッチやフォトリフレクタといったバイナリ値を返すものに限定されていたことが理由として考えられた。

そこで、学生に「計測」からイメージする言葉を聴取し、それが「重さ」「速さ」といった連続量であることを知った。課題を設定するにあたり、連続量を測定でき、取り扱いやすいアナログセンサを検討した結果、シャープ製のPSD測距センサ(GP2Y0A21YK)を用いることとし、遠方にある物体を探し当てて行動を起こすようなプログラムを作成させることとした。

また、アナログセンサであるため、電気的な量、ここでは電圧の変化をテストにより確認し、それがマイクロプロセッサ側でA/D変換された結果どのようなのかを確かめることに時間を割き、計測のイメージを強く持たせることとした。

^{†1} 愛知教育大学
Aichi University of Education

この結果、学生はそれぞれ自分の作品に満足し、「計測して制御した」という実感がもてたという回答をした。

本報告では、まず過去9年にわたる自律ロボット製作実習について紹介し、そのあと、今回のアナログセンサを用いた授業の設計について述べる。最後に、学生の感想とともに、今後の課題について述べる。

2. 自律ロボット製作制御実習

本実習は「プログラミング実習Ⅱ」という科目で実施されている。当初、本科目は「プログラミング実習Ⅰ」の発展的な内容を扱う趣旨で筆者が赴任した当初から設定されており、その趣旨にしたがってBASICやLOGOなどの発展的な内容を扱ってきた。しかし、教員養成系学部は文系であり、プログラミングという抽象的な活動を積極的に取り組もうとする学生は少なかった。また、これが必修科目であったことも災いし、学生の要望と教員の意図とのミスマッチに大いに悩まされた。当時は技術・家庭科においてもプログラミングは選択内容であった上に、過去のBASIC教育の失敗体験が教員の間にも根付いており、プログラミングの授業には批判的な見方がなされてきた。

そこで、技術・家庭科の技術分野における王道である「ものづくり」を主軸とし、そこにプログラミングの必然性を結びつける授業構想を行ったのが、この自律ロボット製作制御実習である。

ロボットがなすべき課題は与えるが、ロボットの構造や機構は自ら考え、センサの選択や取り付け位置も自ら試行錯誤して決定し、それらを用いてロボットを制御するという流れである。ロボットは学生ごとに形状が異なるため、同じプログラムを流用することができるとは限らない。したがって、ロボットのオリジナリティがプログラムのオリジナリティにも反映されるというしかけである。

1999年に取り組んだ最初の実践は、文献1)にまとめた。全体として、この構想はおおむね学生に好意的に迎えられ、特に趣味で工作に親しんでいた学生から、筆者も大いに学ぶことができた。一方、工作を苦手とする一部の学生には、プログラミングという逃げ場を失うこととなり、必修であったことも災いして大いに苦しめることにもなった。

2.1 過去の実習課題

以下に、これまでの実習内容と簡単なコメントを述べる。

2.1.1 1999年「缶の分別」

格子状に描かれたラインの交点に缶を置き、大き

な缶と小さな缶を分別して、フィールドの両端に運んで再びライン内に戻り、処理を継続するという課題である。

プロセッサにはBasic Stamp IIを用い、専用のBASICでプログラミングさせた。

交点の判断にはフォトリフレクタを4個以上十字型に配置し、カウンタを用いて自己位置を判断して、缶を運んだ後もとに戻れるようにする、という戦略が多くとられたが、ロボット自身の「揺れ」によりフォトリフレクタが反射を読み飛ばし自己位置を見失うエラーに悩まされる学生が多かった。

2.1.2 2000年「障害物を避けてボールを集める」

テーブル上に大小様々な障害物を置き、それを避けながらスタート地点からゴールまでの間にどれだけ多くのスチロールボールを集められたかを競う課題。

プロセッサは前年と同様、Basic Stamp IIを利用した。

テーブル周囲や障害物の周囲には安全ラインとしてテープを貼り、それを判断材料にしてロボットの衝突やロボットのテーブルからの落下を避けなければならない。ラインの判断やボールの検出にはフォトリフレクタを用いさせた。

しかし、結果的にはスタートからゴールまでの最適コースが学生に見いだされ、センサを用いず、最適コースをひたすら突き進みながらボールをかきこむロボットが勝利する結果となった。

2.1.3 2001年「玉入れ」

テーブル中央に玉入れのタワーを建て、テーブル周囲を壁で囲ったフィールド内で、ボールを集めながらタワーに投入する課題。

周囲の壁手前にはラインを引き、タワーにはラインを引かないことで、壁とタワーを区別する。また、この年はグループ単位でロボットを作らせ、複数のロボットが協調して課題を達成させるよう勧めた。

プロセッサは前年と同様、Basic Stamp IIを利用した。

ボールを集めるロボットと、タワーに運び込む（または打ち出す）ロボットに分けるグループが多かったが、集めたボールをもう一方のロボットに渡すことがうまくできずにほとんどのグループが時間切れとなってしまった。

2.1.4 2002年「ブロック運び」

テーブル端に積み上げられたブロックを、反対側の端まで運ぶ。ただし、中央には川に見立てた色の違う領域があり、ロボットはそこに入ることができない。2人チームで、2台のロボットでこの課題を達成させる。

プロセッサには Cricket²⁾ を用い、Cricket が持つ赤外線通信機能を利用するよう勤めた。言語は専用に設計された Logo である。

川に橋を架けるロボットを製作するチームと、川をはさんで 2 台がブロックを受け渡すロボットを製作するチームに分かれた。

2.1.5 2003 年「ブロック運びその 2」

前年度に作成されたプログラムがどれも処理を上から下へ順に流すだけであったため、ブロックを右端と左端の 2 領域に置き、右端は反対側の左端となるように、クロスして運ぶよう難しくした課題。

プロセッサは前年と同様、Cricket を利用した。

大きな橋を架けるチームと、橋が左右に移動するチームに分かれた。赤外線通信を利用するよう勤めたが、この年度の受講生たちは「長時間待つ」形で同期をとろうとするにとどまった。

2.1.6 2004 年「缶反転」

教員免許法改正に伴い、教科に関する科目の単位数が半減された（教職に関する科目へ移動）ため、本実習は選択科目になった。そのため、これ以後は受講生数名となった。

ライン上をトレースしながら進み、缶にぶつかったらそれをひっくり返すという課題。

プロセッサとして MYU ロボ基板³⁾、言語はドリトル⁴⁾を利用。

しかし、この年度の学生は全員脱落し、完成しなかった。

2.1.7 2005 年「缶反転」

前年度と同じ課題で再挑戦。コースをループ型に単純化した。

MYU ロボ基板は DC モータ 3 つまでのため、缶をつかんで持ち上げるために 2 軸が必要となり、ポートが不足するが、サーボモータは 1 ポートで駆動できるため、DC モータ 2 つで走行し、残りの 2 ポート（DC モータ 1 個分に相当）をサーボモータ 2 個駆動するために使えば解決することを示唆した。

この年度は、4 名全員完成にたどり着いた。サーボモータ 2 つで腕を作成した 1 名の他は、磁石を用いて缶を吸着し、反転させた後落とすなどして DC モータ 3 つで解決していた。

2.1.8 2006 年「ブロック積み」

2002-2003 年度で利用したスチロールブロックを、散らばった状態から積み上げるという課題。

4 つの DC モータを駆動できる MYU ロボ基板を試作し、これを利用したが、ファームウェアが未成熟のため、プログラミング以外の部分で受講生に苦勞を強

いることになった。

全員が全く構造の違うロボットを製作し、部分的には動かすことができたが、材料の強度の見積もりなどが甘く、1 名以外は完全に自律で動作させることができなかった（手を添えるなどして支えてようやく動く状態）。

2.1.9 2007 年「スラローム&缶分別」

正面に置かれた缶の太さを判別し、障害物の円筒をスラロームして抜けてから、太さに応じて左右前方に缶を置く、という課題。判別した状態をレジスタに保存し、最後に参照することが必要。

プロセッサは一昨年度の 3 モータ用に戻した。言語はドリトル上に実現した、構造化ロボット制御言語⁵⁾を利用。

受講生 5 名が互いにアイディアを出し合い、各自の好みで部分的にアイディアを採用しながら組み立て、全員が完走させた。

2.2 過去の実践のまとめ

実践を開始した 1999 年の段階では、目的に合う適切なプロセッサが国内では入手できなかった。そこで、Parallax 社製の Basic Stamp II を価格と入出力ポート数（16 個）及び BASIC でプログラミングできるという利点から、これを採用した。

しかし、実践を重ねるにつれ、当時の言語プロセッサが構造化命令を持たない（goto、gosub を用いる）BASIC であることから、ロボット制御の基本となる、イベント駆動型のプログラム作成の見通しが悪く、学生にプログラムの構造を理解させることが困難であることが問題であると感じるようになった。そこで、2002 年度から、Gleason Research 社が販売する Handy Cricket を採用し、フリーの専用プログラミングシステムである Cricket Logo によるプログラミングの学習時間をとって、これを利用させた。

いずれの場合も、本講座を履修する学生は英語を不得意とする者がほとんどで、日本語版学習資料の充実などさまざまな工夫を行ったが、文字入力段階で拒絶感を感じる者が多く、ロボット製作時間との兼ね合いの中で、製作とプログラミングの両者が中途半端になる傾向が大きくなってきた。

そこで、プログラミング言語ドリトルに対応し、3 つの DC モータが制御でき、仮想 CPU として十分なバイトコードを持つ MYU ロボ基板の完成は、受講生の「プログラミング学習時間」を短縮し、ロボット製作とプログラミングに十分な時間を与えるよい機会となった。

一方で、いわゆる「少年期の工作体験の減少」とよ

ばれる理由によるものか、受講生が機構を設計できない、または図に描くことができても製作できない(適切な部材を選択できない、正確な加工ができない、実現不可能な図を描いてしまう)ために、プログラミングの段階に至る前に授業時間を消費してしまうことが増えてきた。これまでは、徹夜を含む授業外時間の指導によって対応してきたが、正規の時間内に完了しないカリキュラムはそれ自体が問題である。

すなわち「ものづくり」のレベルの維持にこだわらず、受講生自身で設計・製作が短時間で可能であり、プログラミングにも十分な時間がとれる、バランスのよい課題の設定が必要であることがわかった。

3. 「プログラムによる計測と制御」に対応したカリキュラム

「はじめに」で述べたように「プログラムによる計測と制御」の必修化は、中学校の情報教育において、新学習指導要領における最大の変更点といえる。したがって、教員養成を担当する研究者の間でも様々な議論が行われているところである。西ヶ谷⁶⁾らはこれにいち早く取り組み、生徒の「計測」に対するイメージを、まず光センサや PSD 測距センサの A/D 変換値として読み取らせることにより、自然界の連続量を取り込み、離散的な数値としてプログラムから扱うこととして与えようとしている。

一方、筆者の受講生(大学生)に対する聴取からは、「計測」はすでに重さや速さなど自然界の連続量を読み取ることでありというイメージが形成されていると考えられたため、プログラムから利用するためには、それを A/D 変換して離散値として扱うことが必要であることを示すという方針が適切であると考えられた。

そこで、まず市販されている様々なセンサ(CdS、音センサ、圧力センサ、ひずみセンサ、色センサ、ホール素子)を手にとらせ、これらがどのように電子回路素子として働くかを規格表などを通して説明することで、「計測」の結果が抵抗値や電圧の変化として利用可能であることを理解させた。次に、PSD 測距センサを例に、実際に距離と電圧の変化の関係を記録させた。今回利用した GP2Y0A21YK は、距離 10cm から 80cm が有効測定範囲であり、10cm の場合の最大値 3V 程度をピークに、距離が離れるにしたがって、ほぼ 2 次関数に近似できる形で電圧が減少していく。

まずこのことを頭に入れた上で、それが MYU ロボ基板で用いられているマイクロプロセッサ PIC 16F688 内蔵の A/D コンバータで 8 ビットの符号なし整数値として現れることを、MYU ロボのプログラムを用い

表 1 2008 年度演習カリキュラム

内容	時数
概要説明, ルールの説明	1
センサとプログラムでの取り扱いに関する理解	1
ロボットの設計	1
ロボットの製作	7
構造化ロボット制御言語によるプログラミング	1
確実な動作のための調整	3
プレゼンテーション	1

て、値を PC 側に転送するプログラム(西ヶ谷らが使用したものと同一のもの)を利用して、確認させた。ここで重要なことは、電圧値そのものがコンピュータに現れるのではない、ということの理解である。プログラムで扱うのは整数値である、ということ、また、プログラム上でこの値を利用するためには、測定値が時間とともに変動する可能性が大きいことから、等号で比較するのではなく、不等号で条件判断する必要があることを強調した。

以上のことから、1 コマ 135 分の授業 15 回を、表 1 のように設定した。

なお、「確実な動作のための調整」の内容には、センサの位置調整やロボットの形状調整といったハードウェアに関するだけでなく、それに伴うソフトウェア上での時間(動作タイミング)や測定値に関する条件文など、プログラムの調整も含まれている。

一方、その前の「構造化ロボット制御言語によるプログラミング」では、構文の理解と、課題解決のために必要な、基本的なプログラムの構造に関する説明を中心に行う。したがって、学生は、まずこの時間に見よう見まねでプログラムを入力・動作させ、その後の 3 時間を含めて自らのロボットに対応するように変更を加えていく。都合 4 時間がプログラミングに割り当てられた時間と考えてよい。

学生は工作が不得手であり、そこに多くの時間が費やされることが見込まれるので、プログラミングの時間はこの程度が限度と考えられる。

4. 2008 年度課題「缶探し」

2008 年度の課題として、PSD 測距センサによる遠方の物体の探索を基本に考えた。これまではマイクロスイッチやフォトリフレクタの利用が中心であったため、フォトリフレクタを自作するなどして工夫しても、遠くても 3cm 程度の距離まで近づかなければ、物体の存在を認識することができなかった。今回利用するセンサを用いれば、フィールドとして利用している実験室の実験台中央から、両端までを見渡すことができる。

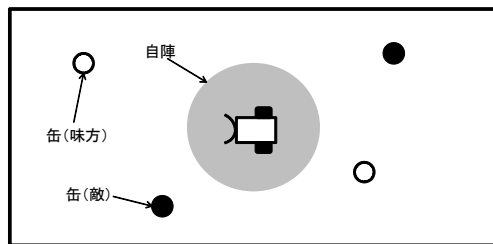


図 1 課題として設定したフィールド

そこで、フィールドの中央を出発点として、対象物を認識し、それぞれに対応した異なる行動をとるような課題を設定することとした。その概要を図 1 に示す。

ロボットは、フィールド中央の自陣から周囲を見渡す。見渡した先に物体を発見したならば、その物体に近づき、白黒を判別する。今回、フォトリフレクタとしてローム社製の RPR-220 を使用することを学生が希望したため（もう一方の候補として、可視光のフォトトランジスタと高輝度 LED による回路を示した）、赤外線を実際に反射または吸収するように、白にはアルミテープを、黒には経験上赤外光を適度に吸収する（測距センサも赤外線を利用するため、完全に吸収しないことが求められる）ビニールテープを空き缶に巻くことで対象物体を作成した。白（アルミテープ）は味方の物体としてロボットは判断し、なにもせずに自陣に戻る。黒（ビニールテープ）は敵の物体としてロボットは判断し、それをフィールド外に押し出すことによって排除し、自陣に戻る。この繰り返しである。なお、自陣は緑色のシートを実験台に貼ることで、カラーセンサにより位置がわかるようにすることを考えた。

4.1 実際の授業と学生の作品

授業は TA を勤める大学院 2 年生 1 名とともに入念に準備し、毎時進捗状況を確認しながら、工作の遅い学生にはある程度補助を与えつつ、予定通りに進行するよう努めた。

しかし、今回使用した MYU ロボ基板は入力が 4 ポートであり、これは取り付けることができるセンサが最大 4 つであることを意味する。学生とロボットの設計を行う際に、当初予定していた行動をとるには、以下のセンサが必要ということが明らかになった。

- (1) PSD 測距センサ
- (2) フォトリフレクタ
- (3) 缶に接したことを判別するためのマイクロスイッチ
- (4) 自陣を確認するカラーセンサ
- (5) 敵物体を押し出す際、ロボットが落ちないように

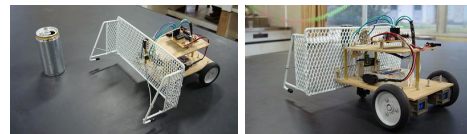


図 2 学生 A の作品

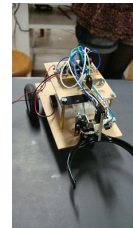


図 3 学生 B の作品

にするためのセンサ

このように、少なくとも 5 種類のセンサが必要であることがわかった。また、(5) は、どの方向でロボットが落ちるかわからないため、設置が難しいことが判明した。このことで、まず (5) が候補から外れ、敵物体を「少し押し込む」程度の動作に変更することとなった。

また、フォトリフレクタの回路はユニバーサル基板を適当な大きさに切断し、そこにはんだづけをさせたのだが、学生の工作能力が低く、丁寧なワイヤリングをすることが十分にできなかったため、カラーセンサの工作も時間上諦めざるを得なかった。

したがって、実際の授業では、学生は 3 つのセンサを利用するにとどまった。

実際の学生の作品例を図 2、図 3 に示す。

図 2 は確実な動作で物体を検出し、敵味方の判別を行うことができるまで調整を追い込んだ作品である。学生 A は、100 円ショップで網状の枠を入手し、これを物体を受けるカゴと考えた。網の一部を切り取り、センサを取り付けて動作させたところ、物体をカゴの中央に寄せなければ、物体に当たったことの検出はおろか色の判別もできないことに気づき、急遽、針金を枠に取り付けて物体を誘導するように改良した。また、フォトリフレクタが物体の正面に当たらなければ色の違いがわからないことに気づき、他のセンサとの位置関係から、缶の円周に沿って斜めにフォトリフレクタを取り付けるよう、何度もテストを繰り返し、完成させた。

図 3 は、物体を受ける部分に、100 円ショップのピーラー（野菜の皮をむく道具）のプラスチック部分を使用している。刃である金具を外すことで、期待するカップの形が得られると想像したのであろう。実際には、

大型のピーラーを使用したのにもかかわらず，測距センサの認識と，旋地回転の停止時間のずれから，直進してもカップの外に物体がずれてしまう場合があり，確実な動作にまでは至らなかった．

4.2 考察と今後の課題

図2，図3に見られるように，2008年度のロボットには，これまでとは違い，機構らしきものは一切ない．可動部分は，センサを除けば車輪のみである．機械工学の専門家から見れば，これをロボットと呼ぶことには抵抗があるかもしれない．しかし，工作力の低下した学生を対象として15週内でプログラミングまで終えるには，この程度の割り切りもやむを得ないと考えている．

ただし，機械工学的な配慮が全くないわけではない．学生A，Bともにロボットは2階建ての構造になっている．これは，重い物体である，モータやギアボックス，電池をできるだけ垂直に重ねることで，回転モーメントを小さくし，旋回しやすくするように指導した結果である．また，接地面積の小さなタイヤを選択しているのも，摩擦抵抗を少なくし，旋回しやすくするための工夫である．

部材としても，木材ならばMDF，金属ならばアルミ材料を使用するよう指導している．これは，十分な強度がありながら軽量であること，加工しやすいことが理由である．こうした指導上のノウハウは，過去9年間の積み重ねによって得られたものである．

しかし，はんだづけ能力の不足からカラーセンサ回路を諦めざるを得なかったことは残念である．近年の学生は，電気工作をある程度経験していても，100mil (2.54mm) ピッチ (間隔) の基板をミスなく丁寧にはんだづけすることができない．

今回，ノイズ除去のコンデンサやセンサ端子取り付けのため，MYU ロボ基板にはんだごてを当てる必要が生じたが，4名中2名は基板の銅箔を熱によりはがしてしまい，修復方法の指導をする必要があった．

プログラミングに関しても，やや指導が不足したと反省せざるを得ない面がある．例えば，MYU ロボ基板の「停止」命令は，モータへの通電を停止する命令であり，モータの両端をショートしてブレーキをかける命令ではない．そのため，慣性によって停止命令後，少し移動してしまうことが多い．これは例えば，プログラムによって停止後いったん少し戻すような命令を追加してみる，などの発想を促すべきことであったように思う．

一方で，MYU ロボ基板に，モータにブレーキをかける命令を追加する，現在0.1秒単位の分解能でしか

動作の指定ができないところをマイクロ秒単位にする，などの改良も考えられる．ほかに，モータ動作とセンサの値読み込みを並行動作させることは直感的にできないため，コルーチン動作を組み込むといった方向性も考えられる．これらは，今後の課題である．

5. おわりに

中学校新学習指導要領の「プログラミングによる計測と制御」に配慮した，教員養成課程の大学生を対象とした授業実践について報告した．

計測をこれまでの「プログラミングによる制御」に対してより強力に印象づけるため，各種センサの電気的特性の実験や，PSD 測距センサを利用したロボット作成課題を与えた．

実習後の学生4名はともに，充実した内容の授業で楽しむことができたと報告している．また，他の学生にも受講を薦めたいという者もいた．今後は，測距センサの値を複数利用して，計測値をより意味のある値として利用できるように課題を考えたい．

参 考 文 献

- 1) 鎌田敏之: 自律ロボット制御を通じたプログラミング教育の試み. 愛知教育大学教育実践総合センター紀要, Vol.5 (2002), pp.53-59.
- 2) Martin, F., Mikhak B., Resnick, M., Silverman B. and Berg, R.: To Mindstorms and Beyond: Evolution of a Construction Kit for Magical Machines, *Robots for Kids*, Morgan Kaufman, 2000.
- 3) 鎌田敏之, 井上修次, 室伏春樹, 紅林秀治: 教材用自立型制御ロボット基板の開発と授業実践. 日本産業技術教育学会第49回全国大会, 2006.
- 4) 兼宗進, 久野靖: ドリトルで学ぶプログラミング. イーテキスト研究所, 2008.
- 5) Kamada, T., Aoki, H., Kurebayashi, S. and Yamamoto, Y.: Development of an Educational System to Control Robots for All Students. LNCS 5090, Springer, 2008, pp.63-74.
- 6) 西ヶ谷浩史, 青木浩幸, 井上修次, 紅林秀治, 江口啓: 自律型3モータ制御ロボット教材を使った計測の授業. 情報処理学会 コンピュータと教育 (CE) 研究報告, No.98, 2009.