

# LabVIEW を用いた電子制御実験教材の開発

佐々木慶文

## Development of Experimental Teaching Materials for Electronic Control Using LabVIEW

Yoshifumi SASAKI

*Department of Information Technology and Electronics, Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University, Ishinomaki 986-8580*

### Abstract

An experiment related to automotive electronics has been introduced as a new subject of the lecture "Experiments III・IV in the Fields of the Department" from this year. The goal of the experiment is to control a power window system using PC-based virtual instruments developed by NI LabVIEW. We designed concrete contents of the experiment and developed the teaching materials so that students will be able to acquire fundamental skills of electric control and developing the virtual instruments. In this report, overview of the experiment and the teaching materials were described.

### 1. はじめに

情報電子工学科におけるコース制導入に伴い、本年度より情報電子工学実験Ⅲ・Ⅳの内容が刷新され、いくつかの新規実験が導入された。その一つにカーエレクトロニクス実験がある。パワーウィンドウ制御を通して自動車の電子制御技術の一端を体験することを目的とした体験型の実験であり、National Instruments 製の仮想計測・制御機器開発ソフトウェアである LabVIEW<sup>(1)</sup>を用いて行うことが検討されていた。筆者は、実験の具体化と教材の開発を担当した。

本稿では実験概要、実験システムおよび開発した教材について述べる。また、情報電子工学実験および高校生向け体験授業で実施した結果について報告するとともに、今後の展開について述べる。

### 2. LabVIEW による計測・制御

LabVIEW は、仮想計測・制御システムを開発するためのグラフィカルプログラミング環境である<sup>(1)</sup>。あらかじめ用意された様々なライブラリを用いて VI (Virtual Instruments) と呼ぶ仮想計測・制御機器を容易に作成することが可能である。VI は、フロントパネル画面で計測器の操作パネルに相当する部分を設計し、ブロックダイア

グラム画面で計測器の内部回路に相当する部分を設計することにより作成される。図1にVIの例を示す。また、DAQ (Data Acquisition) インタフェースを用いることにより、様々な外部ハードウェアからデータを取得したり、外部ハードウェアを制御したりすることが可能である。

LabVIEW の最大の特徴はグラフィカルプログラミング環境である。図2に制御プログラムの一部をC言語とLabVIEWにより記述した例を示す<sup>(2)</sup>。C言語と比較してLabVIEWのグラフィカルプログラミングは直感的に処理の流れを理解しやすい。また、制御アルゴリズムを理解していれば、関数アイコンのドラッグ&ドロップにより比較的容易にプログラミングが可能である。実験では、このLabVIEWを用いて効率的に電子制御の基礎技術を習得する。

### 3. 実験概要および教材の開発

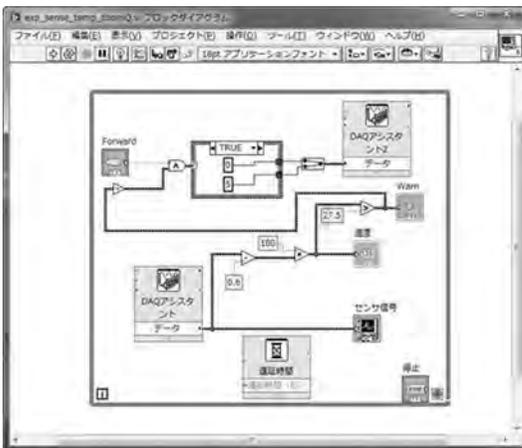
#### 3.1. 実験概要

実験は、主にLabVIEW演習、電子制御基礎実験、パワーウィンドウ制御実験の3つのテーマで構成される。情報電子工学実験では合計12コマの時間が割り当てられていたため、各テーマに4コマの時間を配分することとし、具体的な実験内容を検討した。

## LabVIEW を用いた電子制御実験教材の開発



(a) フロントパネルの例



(b) ブロックダイアグラムの例  
図1 仮想計測・制御機器 VI の例

### 3. 1. 1. LabVIEW 演習

LabVIEW を用いた電子制御を行うためには、まず、LabVIEW について学ぶ必要がある。上述の通り、LabVIEW はグラフィカルプログラミング環境である。本来、一般的なプログラミング言語と同様に系統的に学ぶ必要があるが、時間的な制約があるため必要最小限の LabVIEW の操作方法および後述の実験で要求されるグラフィカルプログラミング技術に焦点を絞った内容とした。具体的には下記の 8 つの演習課題を用意した。

- (1) LabVIEW の操作および VI の作成方法
- (2) 繰り返し処理
- (3) 演算
- (4) データ変換、データ表示
- (5) 条件分岐

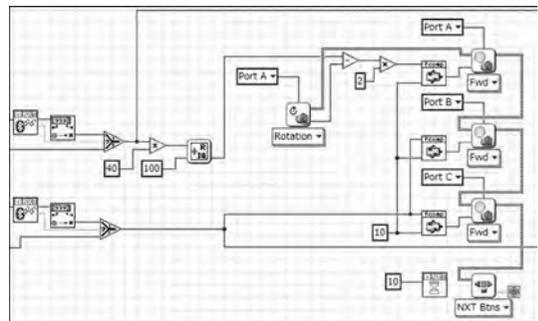
```
ecrobot_read_bt_packet(bt_receive_buf, 32);

analog_stick_left = -(S32)(*(&S8 *)(&bt_receive_buf[0]));
analog_stick_right = (S32)(*(&S8 *)(&bt_receive_buf[1]));

steering_angle = nxt_motor_get_count(MOTOR_STEERING);
steering_err = (STEERING_LIMIT*analog_stick_right)/100 - steering_angle;
steering_speed = STEERING_P_GAIN*steering_err;

nxt_motor_set_speed(MOTOR_STEERING, FrictionComp(steering_speed,PWM_OFFSET), 1);
nxt_motor_set_speed(MOTOR_RIGHT, FrictionComp(analog_stick_left,PWM_OFFSET), 1);
nxt_motor_set_speed(MOTOR_LEFT, FrictionComp(analog_stick_left,PWM_OFFSET), 1);
```

(a) C 言語による制御プログラムの記述例



(b) LabVIEW による制御プログラムの記述例(記述の一部を掲載)  
図2 C 言語および LabVIEW による制御プログラムの記述

- (6) 信号の波形表示
- (7) 信号の生成
- (8) 総合演習

演習 (1) では、主に LabVIEW の操作方法と VI の作成方法について学ぶ。VI は上述の通り、計測・制御機器の操作ボタンや表示器をフロントパネル画面で設計し、内部回路に相当する部分をブロックダイアグラム画面で設計することにより作成される。スイッチにより LED の点灯制御を行う簡単な VI の作成を通して、フロントパネルにおける部品の配置や、ブロックダイアグラムにおける部品、関数等の配置配線手法を学ぶ。演習 (2) および (5) は、ほとんどのプログラミング言語に共通の構文を習得するための演習である。演習 (3)、(4)、(6) および (7) は、電子制御基礎実験とパワーウィンドウ制御実験に対応した部品あるいは関数のプロパティ設定や使用方法を習得するための演習である。

### 3. 1. 2. 電子制御基礎実験

電子制御基礎実験では、DAQ インタフェースを用いて外部ハードウェアから情報を取得する手

法と、VI上で制御信号を生成し外部ハードウェアを制御する手法を学ぶ。また、自動車の電子制御に関連したいくつかのトピックについて実験を行う。本実験では、時間的な制約を考慮して下記の6つの実験課題を用意した。進捗状況のよい学生に対しては、さらに3つの応用課題を用意している。

- (1) LEDの点灯制御
- (2) プッシュスイッチの状態取得
- (3) 温度センサ信号の取得と温度の算出
- (4) DIPスイッチの設定状態の取得
- (5) モータドライバによるモータ制御
- (6) LED点滅制御

実験(1)および(2)は、DAQインタフェースにより外部ハードウェアに対して計測・制御を行う手法を学ぶための実験である。また、実験(3)から(6)は、自動車の電子制御に関連した実験である。

文献(3)および(4)によれば、自動車の電子制御の典型的な事例としてモータ制御が挙げられる。具体的なモータ制御の内容を検討してみると、モータは直接コンピュータにより制御されているわけではなく、リレー、パワートランジスタ、モータドライバなどのデバイスを介して制御されていることが多い。これはコンピュータシステムが大電流を伴う制御信号を直接出力することができないことに起因すると思われる。リレーの場合は開閉に必要な電流が大きいため、さらに開閉用のトランジスタを介するようである。従って、このような電子制御は、増幅用のトランジスタあるいはモータドライバを制御するものであると捉えても差し支えないと考えられる。そこで、トランジスタのスイッチング制御とモータドライバの制御を行う実験として、実験(1)、(5)および(6)を用意した。

### 3. 1. 3. パワーウィンドウ制御実験

実車のドアシステムを用いて、ウィンドウの上昇・下降制御と制御中のモータの状態を表すセンサ信号の観測を行う。用いたパワーウィンドウでは、2つの端子に与える電圧に応じて停止、正回転、逆回転するDCモータによりウィンドウが上昇・下降する。各端子に与える電圧は0Vまたは

バッテリー電圧12Vであるが、20A以上の電流が流れるためリレーにより切り替えられている。リレーはコイルに対して1A(5V)の電流を流すことによって開閉するため、上述の通り、コンピュータから制御する場合にはトランジスタによる増幅が必要である。このため、パワーウィンドウ制御実験では、ボタン操作に応じてリレー開閉用のトランジスタのスイッチング信号(電圧信号)を生成し、出力するVIの作成を行う。

一方、センサ信号としては、モータに組み込まれた2つのホールICから位相の異なる2つの方形波が出力されるため、これらの信号をLabVIEWにより観測する。センサ信号の周期はモータの1回転に対応し、位相のずれ方は上昇または下降状態を表すことから、観測した信号からモータの回転速度、パワーウィンドウの移動速度、移動方向などを推定する。

## 3. 2. 実験システム

### 3. 2. 1. 電子制御基礎実験システム

図3に示す通り、電子制御基礎実験システムはLabVIEWを搭載したPC、DAQインタフェース、センサ、制御対象で構成される。

図4に本実験で用いたDAQインタフェースを示す。DAQインタフェースには、cDAQ-9172 compact DAQシャーシにNI 9215アナログ入力モジュールとNI 9263アナログ出力モジュールを搭載したものをを用いた。表1に各モジュールの仕様を示す。

制御対象であるスイッチ類、LEDおよびモータ(モータドライバ)については、これらを搭載した実験ボードを開発して用いた。温度センサについては、市販の温度センサキットを用いた。図

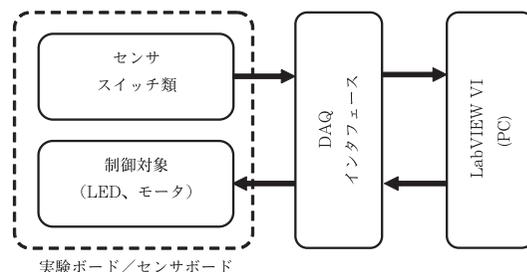


図3 電子制御基礎実験システムの構成



図4 DAQ インタフェース

表1 DAQ モジュールの仕様

モジュール	NI 9215	NI 9263
モジュール種別	アナログ入力	アナログ出力
チャンネル数	4	4
入出力範囲	±10V	±10V
分解能	16 ビット	16 ビット
サンプリングレート	100KS/sec	100KS/sec

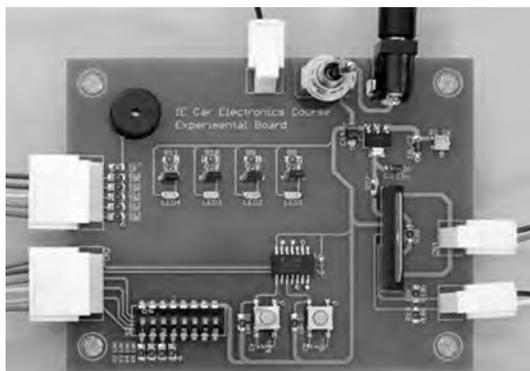


図5 電子制御基礎実験ボード

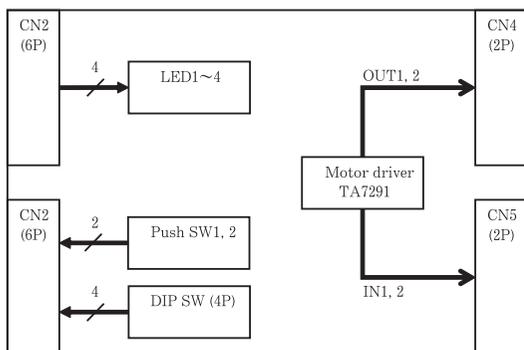


図6 電子制御基礎実験ボードの機能ブロック図

5 および図 6 に開発した実験ボードと機能ブロック図を示す。

DIP スイッチおよびプッシュスイッチのオフ・オンを示す信号はコネクタ CN2 から出力される。4つの LED は CN3 から入力される電圧信号に基づき、点灯・消灯する。CN5 にはモータドライバの 2つの制御信号が入力される。この信号に基づき、モータドライバは停止、正回転、逆回転およびブレーキの各モータ駆動信号を生成し、CN4 に対して出力する。センサ信号および制御信号はいずれも 0V または 5V の電圧信号である。

実験ボードは EAGLE 電子回路 CAD により回路および基板設計を行い、外注にて基板を製造し、筆者が部品を実装して製作した。このように独自にボードを開発する利点としては、実験に対して過不足なく機能を搭載できる点にある。

### 3. 2. 2. パワーウィンドウ制御実験システム

図 7 にパワーウィンドウ制御実験システムの構成を示す。基本的な構成は、電子制御基礎実験と同様である。

図 8 および図 9 にパワーウィンドウコントローラと機能ブロック図を示す。

パワーウィンドウコントローラは、内蔵されているマイコンボードを取り外し、機能ブロックに

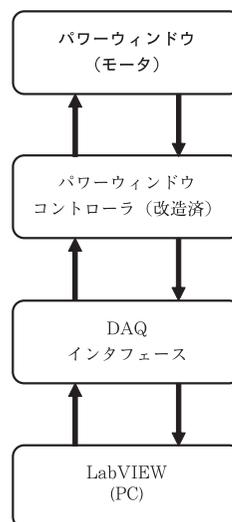


図7 パワーウィンドウ制御システムの構成



図8 パワーウィンドウコントローラ

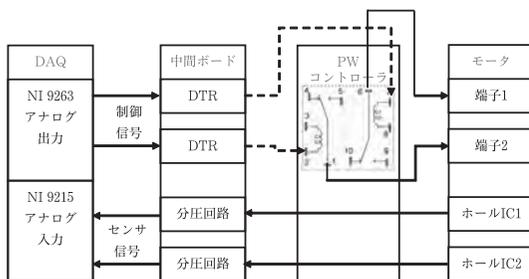


図9 パワーウィンドウコントローラの機能ブロック図

示すような中間ボードを搭載することにより、DAQ インタフェースを介して LabVIEW から制御可能のように改造されている。NI 9263 から出力される制御信号は、中間ボードに搭載されているデジタルトランジスタ (DTR) のオフ・オンを制御する。DTR のオフ・オンに応じてリレーが開閉し、パワーウィンドウモータが正回転、逆回転または停止する。パワーウィンドウモータに搭載されたホール IC からのセンサ信号は、中間ボードにより DAQ インタフェースの入力定格である 10V 以下の電圧信号に変換され、NI 9215 から LabVIEW に入力される。中間ボードは、電子制御基礎実験用の実験ボードと同様に CAD で回路および基板設計を行い製作した。本実験ではパワーウィンドウを制御したが、リレーを介して制御される他のシステムにも容易に応用が可能である。

### 3. 3. iPod touch 向け Web テキスト

本実験の大きな特徴の一つとして、テキストを iPod touch 向けの Web ページにて提供していることが挙げられる。情報電子工学科では、1 年次に iPod touch を教材として配布しているため、これを有効活用しようという試みである。

Web ページは Universal iPhone UI Kit (uiUI

Kit) と呼ぶ cascading style sheet (CSS) を用いて作成し<sup>(5)</sup>、特に、iPhone / iPod touch に適した表示と操作がなされるように工夫してある。また、iPad や PC でも比較的適切な表示がなされるように iPod touch、iPad、その他のデバイスという区別でそれぞれ uiUI Kit に基づく CSS を作成し、javascript によりクライアントのエージェントに応じて適切な CSS を選択するように作成した。Web ページは研究室に設置してある Web サーバ上に配置し、学内であれば常時閲覧が可能である。図 10 にテキストの一部を示す。



図10 Web テキスト

Web ページ化したテキストを用いることには、従来の印刷テキストを用いる場合と比較して主に下記のような利点がある。

- 図や強調にカラーが利用できる。特に、ソフトウェアの操作方法等の説明に適する。
- 修正が容易である。実験中に訂正箇所が見つかった場合、その場で修正が可能である。
- iPod touch のような携帯デバイスを用いれば、少ないスペースでもテキストが閲覧できる。図 11 に示すように、必要な装置類を机上に配置すると 1 人分のスペースをほぼ使い切ってしまう、従来の印刷テキストを閲覧することは容易ではない。これに対して、iPod touch で Web テキストを閲覧する方法ではスペースをほとんど必要としない。デバイスを片手で持ち、閲覧しながら作業することも可能である。
- Web ブラウザを搭載していればデバイスを選ばない。
- 印刷コストがかからない。  
逆に欠点としては、主に下記のような点が挙げられる。

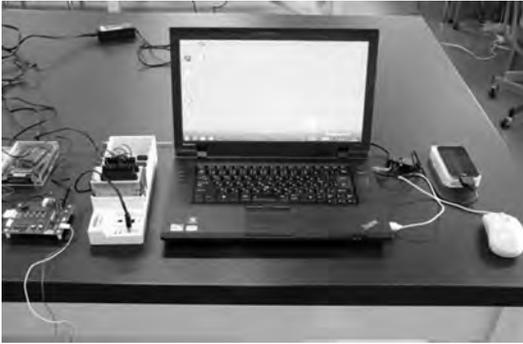


図 11 実験システムの配置例

- ・テキスト中にメモを取ることができない。
- ・ページ構成の設計によっては閲覧しづらいテキストになる可能性がある。

### 3. 4. 実験の実施

本実験は、既に情報電子工学実験、登米高校および浦谷高校体験授業において実施されている。

情報電子工学実験では 4 グループ 40 名程度の学生が受講した。このうち、8 割程度の学生は、時間的に余裕をもってすべての課題をこなしていたことから、実験時間に対する課題数や難易度の設定は概ね適切であったと考えられる。

内容の理解度については十分な検討が必要であるが、LabVIEW 演習に関しては、一般的なプログラミング演習と比較しても学生の進捗状況が良かったように見られた。これは、直感的なプログラミングが可能であるという LabVIEW の特長によるものであると考えられる。

電子制御基礎実験およびパワーウィンドウ制御実験に関しては、課題はこなしているものの、仮想計測器と外部ハードウェアがどのように連携し制御が行われているかを理解しきれていない学生が見られた。また、LabVIEW 演習、電子制御基礎実験およびパワーウィンドウ制御実験は、相互に関連を持たせて構成しているが、それぞれ独立したものと捉えて実験を行ってしまい、そのことが進捗の妨げになっている学生が見られた。基本的には実験テキストあるいは実験時の説明によって改善することが可能であると考えているが、実験内容および構成も含めて再検討が必要である。

登米高校および浦谷高校の体験授業は、実験時

間が 2 時間強であったため、パワーウィンドウ制御に必要な最小限の課題と温度センサからの情報取得に関する課題のみで実験を構成し直して実施した。登米高校の体験授業では 10 名の受講者に対して実験を行なったが、ほとんどの生徒が時間内に実験を終了することができた。しかしながら、Web テキストに実験の流れが理解しづらい部分があったため、次にどの課題に取り組みばよいか迷っている生徒が見られた。この問題点については、浦谷高校の体験授業実施までに Web テキストの修正を行ない、改善を試みている。

浦谷高校の体験授業も 10 名の受講者に対して実験を行なったが、登米高校と同様、ほとんどの学生が時間内に実験を終了している。また、登米高校の体験授業で見られた実験の進め方で迷っているような生徒は見られなかった。Web テキストの改善により、実験の流れはわかりやすく改善されていたと考えられる。ただし、1 名の学生が、コンピュータの操作が苦手であるという理由から、課題を半分程度しかこなせていなかった。今後、コンピュータの操作が苦手な受講者でも、電子制御実験を体験できるような工夫を検討することが重要である。

情報電子工学実験および体験授業において共通することとしては、実験に対して興味を持って取り組み、成果に対して充実感を得ていた受講者が多く見られたことが挙げられる。従って本実験は導入教育的な観点からは有用性が高いと思われる。

また、iPod touch でテキストを閲覧するという手法であるが、世代的に携帯デバイスを使い慣れていることもあり、簡単な使用方法を説明するだけで十分に使いこなしている様子が見られた。受講者によっては手法自体に興味を持つ者もあり、実験に対する興味を誘導する手段としても有用ではないかと考えられる。

図 12 に情報電子工学実験および浦谷高校体験授業の実施の様子を示す。

## 4. 今後の展開

### 4. 1. 実験教材の拡充

上述の実験は、パワーウィンドウ制御実験を除けば電子制御のごく基礎的な内容にとどまってお



(a) 情報電子工学実験の様子



(b) 涌谷高校体験授業の様子

図 12 実施の様子

り、アプリケーション的要素に乏しい。基礎的実験は重要であるが、アプリケーション的要素やエンターテインメント的要素が加われば、学生の実験に対する興味が深まると考えられる。

筆者は、これまでに石巻工業高校との連携支援授業において LEGO® MINDSTORMS® NXT を用いた電子制御実験を実施してきた<sup>(6)</sup>。この実験では、LEGO® MINDSTORMS® NXT により組み立てたモデルカーのラジコン制御や、超音波センサを用いたモデルカーの自動停止制御を行なう。文献(7)によれば、LEGO® MINDSTORM® NXT を制御するための LabVIEW アドオンが National Instruments から提供されており<sup>(8)</sup>、従来、C 言語プログラミングにより行っていたラジコン制御や自動停止制御実験を LabVIEW により行なうことが可能である。既に、ラジコン制御実験については動作を確認済みである。さら

に、LEGO® MINDSTORMS® NXT にはマイコンブロックを核としてサーボモータや超音波センサ、カラーセンサあるいは加速度センサなど多種多様なセンサが搭載可能である。これらのセンサ類やモータを活用すれば、アプリケーション的要素を含んだ様々な電子制御実験やエンターテインメント的要素を含んだ基礎実験を用意することが可能であると考えている。

#### 4. 2. 実験構成方法の検討

情報電子工学実験では、カーエレクトロニクスに必要な電子制御の基礎を理解し、アプリケーション事例を体験できるように用意したすべての課題に取り組む実験構成とした。一方で、高校生向け体験授業は、実験時間が2時間強である点と導入教育的観点から、アプリケーション事例を体験するために必要最小限の課題のみを取り上げて構成した。いずれの場合も、十分に実験として成立していたことは実施の結果から明らかである。

このように実験構成の観点からは比較的柔軟性の高いテーマであり、幅広い対象者に対して比較的容易に実験を再構成し、提供することが可能であると考えている。そこで、現状よりも効率的に実験を再構成できるように、体験授業向けの最小構成の実験を核とし、実験目的や時間に応じて適切な実験を選択的に追加するというような実験構成方法を検討中である。具体的には、現状の実験内容の整理、実験内容の充実化および実験のモジュール化の検討が必要である。このような実験構成の体制が整えば、さらに幅広い対象者に実験を提供できるとともに、容易に実験のバリエーションを増すことができるという利点が生まれると考えている。

#### 4. 3. Web テキストの改善

情報電子工学実験および予備実験において、Web テキスト中に適切なページ間のリンクを作成することにより、課題の取り組みやすさが向上することが明らかとなっている。また、上述の登米高校体験授業の場合のように、受講者にとってわかりづらいページ構成となっている部分が未だ存在する可能性がある。従って、全体的な Web テキストの改善が必要と考えている。

また、これまでに作成した Web テキストではほとんど動画を活用していない。特に、外部ハードウェアや DAQ など実験装置の操作方法は、静止画では理解しづらいという側面がある。このため、そのような説明に対して動画を導入し、学生が容易に理解できるようなテキストとすることを検討中である。

## 5. おわりに

本稿では、LabVIEW を用いた電子制御に関する体験型実験教材の開発について述べるとともに、情報電子工学実験および高校生向け体験授業において実施した結果について報告した。受講生の様子から、電子制御に関する導入教育的観点からは有用な実験であると考えている。

今後は、受講者の理解度という観点から実験内容や構成を検証するとともに、問題点の改善や内容の充実化をはかることが重要である。

なお、実験教材の開発の一部は、平成 23 年度石巻専修大学研究助成の援助を受けた。

## 謝辞

実験教材の開発にあたり、情報電子工学科の安田教授ならびに工藤教授には機材調達や予備実験において多大なご協力いただくとともに、有益な

ご助言をいただきました。ここに感謝いたします。

## 文献

- (1) “NI LabVIEW,” NATIONAL INSTRUMENTS, 2011, <http://www.ni.com/Labview/ja/>.
- (2) “nxtOSEK/JSP nxtOSEK,” Takashi Chikamasa, 2007, <http://Lejos-osek.sourceforge.net/jp/nxtgt.htm>.
- (3) 加藤光治、デンソーカーエレクトロニクス研究会、2010、図解カーエレクトロニクス [上] システム編、第 1 版、日経 BP。
- (4) 加藤光治、デンソーカーエレクトロニクス研究会、2010、図解カーエレクトロニクス [下] 要素技術編、第 1 版、日経 BP。
- (5) “iphone-universal,” Google Code, 2011, <http://code.google.com/p/iphone-universal/>.
- (6) 佐々木慶文、川村 暁、工藤すばる、菅原澄夫、2010、導入教育用の魅力あるエレクトロニクス教材について、石巻専修大学紀要、第 21 号、27-34。
- (7) 三島健太、2011、LabVIEW で学ぶ [最新]LEGO® Mindstorms NXT 入門、第 1 版、技術評論社。
- (8) “LabVIEW で動かす LEGO® MINDSTORMS NXT,” NATIONAL INSTRUMENTS, 2011, <http://www.ni.com/academic/mindstorms/ja/>.