

PEARL: ロボットチャレンジを活用した 分野・大学を超えたPBLカリキュラム

久住 憲嗣¹ 元木 誠² 細合 晋太郎¹ 渡辺 晴美³ 三輪 昌史⁴ 小倉 信彦⁵ 久保秋 真⁶
菅谷 みどり⁷ 鶴林 尚靖¹ 福田 晃¹

概要: 全国の 15 大学が連携して進める教育プログラム「分野・地域を越えた実践的情報教育協働ネットワーク」において、九州大学では付加価値の高い Cyber Physical System を構築できる人材の育成を目的として、平成 25 年度より教育コースを開始した。本稿では、九州大学で開発を進めているコンテストチャレンジ型組込みシステム開発 PBL のカリキュラムを紹介する。さらに、2015 年度の実施状況について報告する。

A Inter-Disciplinary and University PBL Curricula using Robot Challenge

KENJI HISAZUMI¹ MAKOTO MOTOKI² SHINTARO HOSOAI¹ HARUMI WATANABE³ MASAFUMI MIWA⁴
NOBUHIKO OGURA⁵ SHIN KUBOAKI⁶ MIDORI SUGAYA⁷ NAOYASU UBAYASHI¹ AKIRA FUKUDA¹

Abstract: 15 Universities in Japan launched the Education Network for Practical Information Technologies or enPiT at 2013. As a one of the network, graduate school of information science and electrical engineering, Kyushu University started to an educational program for training students who can develop high value-added cyber-physical systems. We introduce the curriculum for the project. The paper also demonstrate the result of the curriculum in FY2015.

1. はじめに

今日、我が国が抱える震災復興や少子高齢化など種々の社会的課題の解決や、社会の新たな価値や産業の創出などを、情報技術の活用を通じて行うことが重要な課題となっている。この情報技術を活用して社会の具体的な課題を解決できる人材を育成するために、文部科学省情報技術人材育成のための実践教育ネットワーク形成事業の支援のもとで、九州大学を含む全国の 15 大学（申請代表校：大阪大学）は、教育プログラム「分野・地域を越えた実践的情報教育協働ネットワーク（Education Network for Practical

Information Technologies, 略称 enPiT : エンピット）」[1] を平成 24 年に開始した。enPiT では、大学間/大学・企業間で緊密に連携をとりながら、クラウドコンピューティング、セキュリティ、組込みシステム、ビジネスアプリケーションの 4 つの分野を対象に、グループワークを用いた短期集中合宿や分散 PBL を実施し、日本の将来を担う世界に通用する真の実践力を備えた人材を全国規模で育成することを目指す。

九州大学は、名古屋大学と共に、組込みシステム分野において、大学、企業、団体等と密接に連携し、実践的な教育を実施・普及する。本稿では、組込みシステム分野のカリキュラムを枠組みとして、九州大学と参加大学の教員で協働開発した「コンテストチャレンジ型組込みシステム開発 PBL」のカリキュラムについて延べ、2015 年度の実施内容について述べる。

本稿の構成は次の通りである。第 2 節では enPiT 組込み

¹ 九州大学
² 関東学院大学
³ 東海大学
⁴ 徳島大学
⁵ 東京都市大学
⁶ チェンジビジョン
⁷ 芝浦工業大学

分野全体のカリキュラムの枠組みについて述べる。第3節では九州大学事業のカリキュラムであるコンテストチャレンジ型組込みシステム開発 PBL について説明し、第4節では PBL の演習課題を紹介する。第5節では2015年度に実施した結果と考察を述べ、第6章で本稿をまとめる。

2. enPiT・組込みシステム分野のカリキュラム

組込みシステム分野 [2] では、「組込みシステム開発技術を活用して産業界の具体的な課題を解決し、付加価値の高いサイバーフィジカルシステム (CPS) の構築による効率のよい社会システムを実現し、エネルギーや環境問題など現在の日本が抱える重要課題に対応できる人材」を育成することを目標として、ディペンダビリティ技術、センサー・ネットワーク技術、モデルベース開発・検証技術、HW/SW 協調開発技術等の組込みシステム開発に関する発展的な内容を学習する。連携大学 (九州大学・名古屋大学) 内にとどまらず、広く全国から参加大学を募り、情報処理学会組込みシステム研究会の後援を受け、九州大学の連合型 PBL (Project Based Learning) と新しい産学連携教育手法である名古屋大学の OJL (On the Job Learning) の2タイプを実施する。両タイプとも問題発見能力を身につける「基本コース」(主に修士課程1年生を対象)と管理技術とその運用方法まで踏込んだ高度な問題解決能力を身につける「発展コース」(修士課程1・2年生を対象)を設ける。参加学生の指導教員は、学生に帯同して一緒に教育コースに参加し、分散 PBL の実施ノウハウを修得することとしている。補助期間終了後に各大学で教育コースを継続して実施できる体制にするためである。

カリキュラム (表2) は、(1) 基礎知識学習は、組込みシステム基礎、ソフトウェア工学、および各大学で必要とされる科目で構成する。(2) 短期集中合宿は、分散 PBL のキックオフ合宿という位置付けで、基本コースではサマースクール、発展コースではスプリングスクールとなる。(3) 分散 PBL は九州大学の連合型 PBL と名古屋大学の OJL のいずれかを選択する。

3. コンテストチャレンジ型組込みシステム開発 PBL

九州大学では付加価値の高い CPS を構築できる人材の育成を行うが、そのプロジェクトの愛称を PEARL (Practical information Education collaboration network Against Research fields and Localities) [3] とし、ESS ロボットチャレンジ実行委員会と密に連携し、コンテストチャレンジ型組込みシステム開発 PBL の教育を実施していく。

PEARL で実施する連合型 PBL では、情報処理学会組込みシステムシンポジウム (ESS) のロボットチャレンジテーマを共通テーマとして実施する。このテーマでは、制御、機体、各種センサー、組込みソフトウェアを利活用する

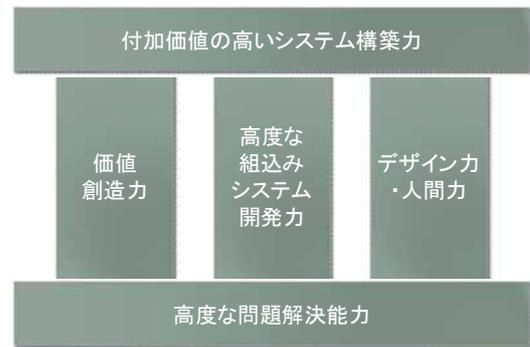


図1 PEARL の教育目標

ことが求められる。また、画像認識を用いた位置の把握など参加学生が様々な工夫を行うことができる教材にもなっている。情報の利活用教育に適した教材と言える。

PEARL の教育では、付加価値の高い CPS を構築できる人材の育成に向け、高度な問題解決能力、価値創造力、高度な組込みシステム開発力、デザイン力・人間力を重視した教育を行い、これらを統合した付加価値の高いシステム構築力を有した人材の育成を目的とする (図1)。以下では、基本コースの連合型 PBL について述べる。

3.1 学習目標

以下に学習目標を挙げる。

- (1) 高度な問題解決力、価値創造力を身につける。具体的には、過去に体験したことがある問題に類似した問題であれば、次のことが実行できることを目標とする。
 - (a) 既存の研究、手法、システムなどについて調査、追試できる
 - (b) 解決すべき課題に対して、調査に基づいて問題を定義するところから、仮説を立てて検証するまでのプロセスを構築できる
 - (c) (a), (b) について、プロジェクトマネジメント手法を活用して実行できる
- (2) 組込みシステムの開発について高度な開発力を身につける。具体的には次のことが実行できることを目標とする。
 - (a) ソフトウェア工学に基づくシステム開発、とりわけモデルを中心に据えたシステム開発プロセスを構築し、これに基づいたシステムの開発が実践できる
 - (b) ソフトウェアとハードウェアの相互作用を伴うシステムについて、協調設計が必要となるような統合的システムを開発できる
 - (c) ハードウェアの制約を配慮した、あるいはハードウェアの性能を引き出すことができる

表 1 組込みシステム分野のカリキュラム

	授業科目名	概要等
(1) 基礎知識学習	組込みシステム基礎	ディペンダビリティ技術, センサー・ネットワーク技術, モデルベース開発・検証技術, HW/SW 協調開発技術等の組込みシステム開発に関する基礎について学ぶ.
	ソフトウェア工学	分散PBLを実施する上で必要なソフトウェア開発技術やプロジェクトマネジメント手法について学ぶ. 開発支援ツールの利用やモデルベース開発の基礎についても学ぶ.
	その他	各大学で必要とされる科目
(2) 短期集中合宿	サマースクール	基本コースの分散PBL (組込みシステム開発総合演習) のキックオフ合宿として実施する. 基本コースの学生が組込みシステム開発と分散PBLの実施に必要なスキルを学ぶ. 1週間程度をめどに, 自主的に学生に運営をやらせ, 学生がハードウェアからソフトウェアまでの幅広い一連の開発プロセスを実際に体験する機会にする.
	スプリングスクール	発展コースの分散PBL (組込みシステム開発総合演習) のキックオフ合宿として実施する. 参加大学の指導教員, PM, 発展コースの学生が参加し, 分散PBLの指導方法や進め方についてFDを行う.
(3) 分散PBL	組込みシステム開発総合演習 基本コース	基礎知識, 短期集中合宿で得た知識を基に, チームで組込みシステムを開発する.
	組込みシステム開発総合演習 発展コース	基本コース修了者が開発可能なレベルの組込みシステムを, 技術および実用の両面から, より実践的な組込みシステムへ発展させる開発方法について学ぶ.

3.2 コース構成

PEARLにおけるコース構成は以下の通りである:

- スプリングスクール
 - 分散PBL
 - サマースクール
 - ロボットチャレンジ
- 以降, 順に説明する.

3.3 スプリングスクール

1年間のPEARLカリキュラムのキックオフのためにスプリングスクールを実施する. 本スクールにおいて学生は分散PBLを遂行する上で必要十分なスキルを身につける. 本スクールは2日間の集中講義, 1週間のミニPBL, および, 成果発表会で構成する.

2日間の集中講義

2日間の集中講義では以下の講義を実施する:

- オリエンテーション, チームビルディング
- 実践力・研究力のためのPBLで養う問題発見・解決力
- 開発ターゲット
- 制御プログラム製作のための実験計画
- 組込みシステム開発概論
- ソフトウェア開発方法論 (構造化分析・設計)
- 要求記述と管理
- ファシリテーションスキル
- Scrumによるプロジェクトマネジメント

1週間のミニPBL

1日間の集中講義で解説したことを, ミニPBLで活用しつつ開発体験することにより, 知識だけではなくスキルと

しての定着を目指す. 以前は講義のみを実施していたが, スキルの定着が十分ではなかったため, ミニPBLを導入した.

ミニPBLでの演習課題は, 掃除機風ロボットの自動制御ソフトウェアを開発することである. 120cm × 80cmの長方形の外周を, ロボットに載せたペットボトル及び長方形の角に置いた杭のペットボトルを倒さない様に一周し, 走行タイムを競う (図2).

ミニPBLの折り返し日に中間報告会を遠隔で実施する. また, 最終日に成果報告会を実施する.

【タスク】

- ▶ Kobukiにペットボトルを乗せ, 杭の外側を1周する.
- ▶ ペットボトル及び杭を倒さないこと.
- ▶ 他社 (=他グループ) に負けないように, なるべく早くスタートエリアまで戻ること.

【評価】

- 3回走行タイムを記録し, ベスト記録で争う.

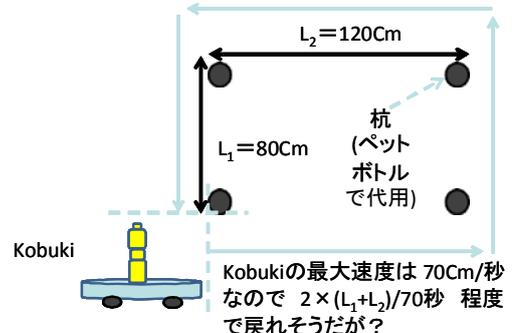


図 2 スプリングスクール演習内容

3.4 分散 PBL

スプリングスクール修了後、各チームにおいて PBL を実施する。分散 PBL の課題については 4 節で述べる。

3.5 サマースクール前半

サマースクール前半は 8 月頃に実施する。サマースクール前半では、まず、競技会の一部を実施した上で、講義および各種ワークショップを実施する。競技会後に実施することで、半期の PBL での開発体験を振り返ることができ、そこで得られた課題を研究に結びつけることができる。

サマースクール前半での講義内容は以下の通りである：

- 論文の書き方、まとめ方
- モデリングと制御系の設計
- 最新の技術動向 (コンテキスト指向プログラミング, IoT 等)

さらに、講義と半期の開発体験を受けてチーム内外でディスカッションするために、以下を実施する。

- 学生企画
- ワークショップ

3.6 サマースクール後半

サマースクール後半は 10 月に組込みシステムシンポジウムと連携して実施する。競技会、ポスター発表、enPiT-Emb PBL 成果報告会を実施する。ポスター発表や PBL 成果発表会を通して、今まで実施してきた PBL での成果を他チームと共有し、よりよい知見を得る。

4. 分散 PBL 演習

本節では分散 PBL で実施する演習内容について説明する。なお、本内容は ESS ロボットチャレンジの課題でもある。

4.1 スマートモバイルロボット競技

スマートモバイルロボット競技では、サマースクールで実施する中間課題としてコンパルソリ課題、ESS ロボットチャレンジ本選において自動掃除課題が課せられる。以下コンパルソリ課題、自動掃除課題について述べる。

4.1.1 コンパルソリ課題

コンパルソリ課題では 5 分間であらかじめ与えられた課題を 1 台の同一の iRobot Create 2 を使用してできる限り遂行する。各課題の評価の最高点の合計点をコンパルソリの評点とする。なお、課題ごとに独立したフィールドを設置することとする。

1. フィールド上に示した 50cm 四方の範囲で、180 度超信地旋回を反時計回り、時計回り、反時計回り、時計回り、反時計回りを行う。ただし、1 回の 180 度旋回終了後に 3 秒以上停止する。
2. 1 辺 2 メートルの四角形を描くように時計回りで 2 周

し、走行の軌跡を表示する。ただし、走行軌跡はスタート時の時刻と座標 $(t_s, x_s, y_s) = (0, 0, 0)$ を基準とし、0.1 秒ごとの時刻と座標を課題が終了するまで表示する。

3. 2m 四方程度のフィールドを反時計回りに壁沿いを 1 周した後、ドッキングステーションに帰還する。ただし、壁沿いを 1 周するまでは、ロボットの一部でも壁から 0.5m 以上離れてはならない。
4. 2m 四方程度のフィールドにまばらに数個程度まかれたゴミを回収する。ただし、ゴミの配置はランダムであり、リトライする場合も再度ランダムに配置される。

4.1.2 自動掃除課題

iRobot Create2 により自律的に掃除を行い掃除の精度を競う競技である。自動掃除課題では規定の時間内 (5 分～10 分) に環境内を自律的に動作し、フィールドにまかれたゴミを吸い込む。ロボットは最大 2 台使用することができる。いずれかのロボットが環境中に配置されているドッキングステーションで停止したことをもって、課題終了とする。なお、ドッキングステーションへの到達は充電モードへ切り替わったことにより判定する。課題終了後に吸い込んだゴミの総量等を元に審判が採点する。

床にはゴミとしてストロー (ϕ 5mm \times 20mm) がまんべんなくフィールド上に撒かれている。また、場所によってはビーズ (ϕ 8mm プラスチック製) が撒かれている。後者のほうが得点が高い。

また、フィールド内に 1 台のゴミ排出器が設置されている。ゴミ排出器は Raspberry Pi で構成されており、WiFi で接続し MQTT を用いて通信する。ロボットがゴミ排出器に特定のメッセージを送信することで、ゴミが排出される。排出されたゴミをすべて吸い取れた場合にはボーナスポイントを付与する。

競技中には、ロボットの状態がわかるような画面表示をすること。画面表示には聴衆に見てほしいと思うような、参加者が工夫した点を含めて表示すること。また、大会側が準備した外部のプロジェクターに接続して表示すること。

以下の項目から総合的に評価する：

- 回収したゴミの総量
- ゲート内ゴミ
- 追加ハードウェアの有無
- 画面表示内容のわかりやすさ

4.2 マルチコプタ競技

マルチコプタ競技では、サマースクールで実施する中間課題として位置計測課題及びホバリング課題、ESS ロボットチャレンジ本選において自律航行課題が課せられる。マルチコプタ競技では、いずれの課題においても同様のハードウェアを用いるものとする。以下、マルチコプタ競技のハードウェア構成、位置計測課題、ホバリング課題、自律

航行課題について述べる。

4.2.1 位置計測課題

マルチコプタを用いたプロジェクト型教育やコンテストの課題で用いるのに有効な位置計測方式の提案とそのデモンストレーションを行う。位置計測方式とは、屋内用マルチコプタの自動航行に使用するための、マルチコプタ自体の位置を計測する方式のことである。位置計測チャレンジでは、その設置の容易さや調整の難易度、学習への寄与等も考慮し、評価を行う。

デモンストレーションでは、提案された位置計測方式を用いたマルチコプタの実際の飛行、もしくは、飛行体を参加者が動かすことにより行う。それと同時に、位置推定の状況・状態を表示するモニタリングソフトを運用すること。デモンストレーションの例としては、例えばあらかじめ設定したコースに対して位置推定ができていることを画面上で示し、さらに可能であれば自律航行を行うことが望ましい。

4.2.2 ホバリング課題

自律航行によりホバリングを行い、動作の正確性を競う競技である。この自動航行競技により、高度制御などの飛行技術の評価する。本航行競技では、マルチコプタは以下の競技項目を順次実行していく。- 自動離陸および空中静止（高度制御の確認） 離着陸エリア(1m × 1m) から離陸し、高度 1.5m まで上昇し、空中静止を 10 秒行う。- 離着陸エリア中に着陸する。

4.2.3 自律航行課題

自律航行により規定動作を行い、動作の正確性を競う競技である。この自動航行競技により、高度制御・方向制御・直進性能などの飛行技術を確認する。本航行競技では、マルチコプタは以下の競技項目を順次実行していく。

- 自動離陸および空中静止（高度制御の確認） 離着陸エリアから離陸し、所定の高度まで上昇、空中静止を 10 秒行う。
- 直進飛行（直進性能の確認） 空中静止時と同じ高度を維持しつつ、幅 3m の飛行エリアを直進する。折り返しエリア到着後に空中静止する。
- 90 度旋回（方位制御の確認） 折り返しエリアで 90 度回頭後（± 15 度程度を維持）、空中静止を 10 秒行う。
- 自動帰還（システムとしての完成度の確認） 離着陸エリアに戻り、着陸する

5. 評価

本節では 2015 年度に実施したアンケート結果を踏まえて、議論する。

図 3 に講義、および、演習の満足度に関するアンケート結果を示す。負荷の高い講義や演習にもかかわらず、共に 8 割以上の受講生から満足したとの回答を得ることができた。

図 4 にスプリングスクールからサマースクール後半終了

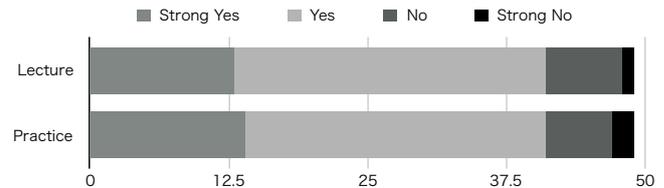


図 3 満足度

までのスキルの向上に関する主観評価結果を示す。本アンケートはサマースクール後半終了後に実施し、受講者に受講前と受講後の各スキルの保持度合いを主観的に記述させた。各スキル項目については学習目標をさらに細分化して設定した。スキルは、以下の 4 段階で記述させた：

1. スキルが無い（指導されても全然遂行できそうに無い）
2. いつでも横で指導してもらえらるなら遂行できると思う
3. 難易度が高くなければ独力でも遂行できると思う
4. すべて独力で遂行できる自信がある

図中左側はコース終了後のアンケート結果である。右側はコース受講前と受講後の差分を数値化した値の平均である。

スキル獲得の難易度により多少差があるものの、全体としては平均で 0.5 ポイント程度、スキルが増加している。比較的、プロジェクトマネジメントに関するスキルの向上が多い結果となった。また、抽象度が高く高度なスキルである、5) 問題に対して調査・検討した技術を適用して効果を検証できる、12) ロボットの特長調査ができる、16) イベントリストの作成、17) データフローダイアグラムの作成が伸び悩んだ。なお、19) 構造図を元に C 言語のプログラムを記述することができるについては、C 言語を学んでいない受講生が多く含まれていたからだと思われる。

6. おわりに

九州大学大学院システム情報科学府では、平成 19 年度に「社会情報システム工学コース (QITO)」[4] を設置し、情報技術人材育成事業を進めてきた。この QITO の PBL テーマの中からコンテストチャレンジ型テーマを取り出し、それを複数の大学が連合して実施する連合型 PBL とし、ネットワーク形成事業 PEARL をスタートさせ、5 年目を迎える。本稿ではプロジェクトを進めていく過程で、スキルとして定着させるための様々な工夫を導入し、さらに、新技術からの要請による教育の拡充を行ってきた結果を述べた。

教育プロジェクトは立ち上げるよりも継続が難しい。今後も情報処理学会組込みシステム研究会と連携しつつ継続して教育を実施していきたい。また、時代の要請に応じてカリキュラムの改善を重ねていきたい。

謝辞 九州大学 PEARL プロジェクトは、「分野・地域を越えた実践の情報教育協働ネットワーク」の補助金により文部科学省 情報技術人材育成のための実践教育ネット

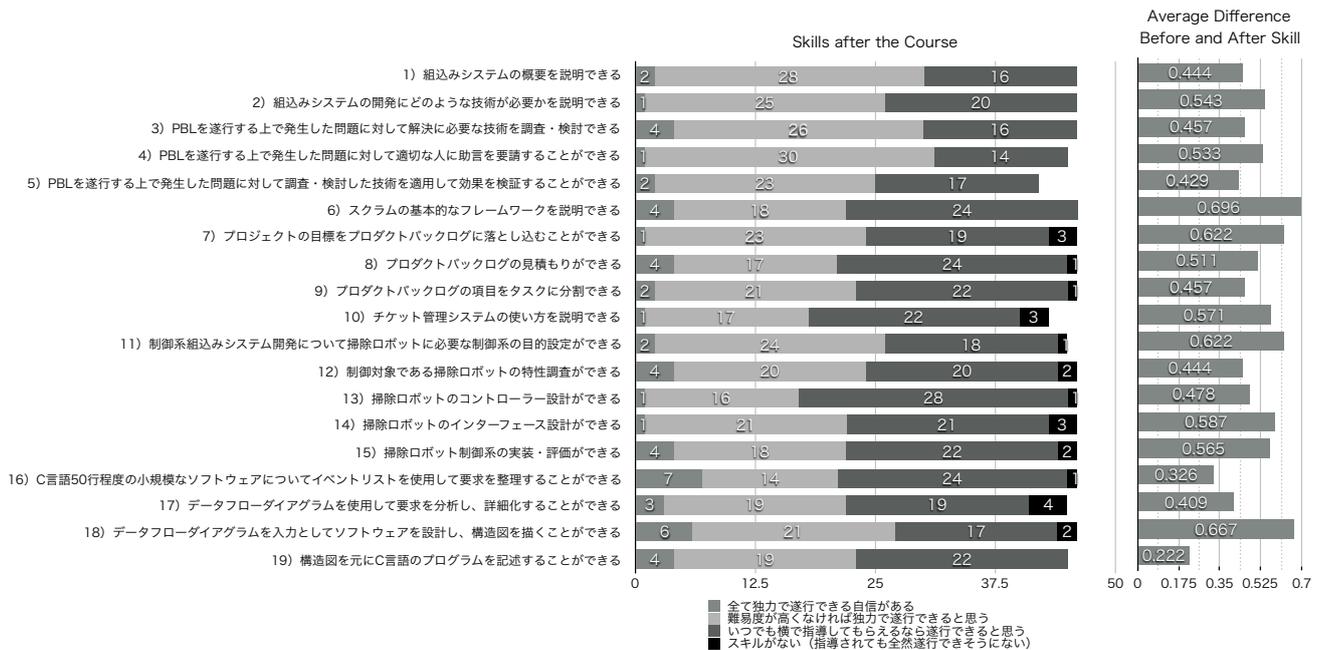


図 4 スキル向上

ワーク形成事業の一環として実施したものである。

参考文献

[1] 分野・地域を越えた実践的情報教育協働ネットワーク：ホームページ, <http://www.enpit.jp/>.
 [2] 分野・地域を越えた実践的情報教育協働ネットワーク組込みシステム分野：ホームページ, <http://emb.enpit.jp/>.
 [3] 分野・地域を越えた実践的情報教育協働ネットワーク組込みシステム分野九州大学事業：ホームページ, <http://www.qito.kyushu-u.ac.jp/project/PEARL/>.
 [4] 九州大学大学院システム情報化学府情報知能工学専攻社会情報システム工学コース：ホームページ, <http://www.qito.kyushu-u.ac.jp/>.