

実時間制御系開発とソフトウェア工学の融合カリキュラム開発プロジェクト

情報電気電子工学科 汐月哲夫

1. 緒言

本学科に関わるものづくりの素養として、近年特に組込みシステムの開発技術者の養成が叫ばれている。組込みシステムの開発においては、実時間性や高信頼性が求められること、ハードウェアとソフトウェアに跨ることなど通常のシステム開発にはない素養が求められるため、独自の育成プログラムが必要である。本プロジェクトは、ソフトウェア工学の成果を基本にして、組込みシステムの設計・開発・テストの流れを実践的に体験しながら体系的に技術を習得できるカリキュラムを開発することを目的として活動を行った。

ここでは平成19年度の取組みとして、ロボットコンテストを通じたPBL型カリキュラムの検討、学生実験テーマとしてのマイコンを用いた組込み実験実習環境整備、および近年のソフトウェア工学の成果を生かしたものづくり教育カリキュラムの検討結果について報告する。

2. コンテスト型PBLとしてのカリキュラム検討

実時間制御系開発に要求される技術的要件としては、制御系を構成するセンサ、アクチュエータ、制御装置等の個々の要素技術と、制御対象の特性解析から制御アルゴリズムの実装・評価などの統合化技術が要求される。この種のものづくりプロセスは、土木・建築や電気・機械など歴史の長い技術分野ではほぼ確立されているが、制御系設計や組込みシステムの分野では未開拓の部分が多い。本プロジェクトでは、ソフトウェア工学的観点からこのような組込みシステム開発の教育・研究に取り組んでいるMDDロボットチャレンジに参画し、PBLとしてのカリキュラム化可能性について検討した。

2-1. MDDロボットチャレンジ

このロボット競技会は情報処理学会組込みシステムシンポジウム(ESS2007)の特別企画として2004年から開催されている小型ヘリウム飛行船の自律飛行の競技会である。明示的な論理にもとづくソフトウェアモデルの変換を繰返すことにより最終ソフトウェアを生成する開発方式であるMDD (Model Driven Development) の研究の推進が目的で、UML(Unified Model Language)の活用を勧めている。具体的な開発対象(ドメイン)として小型ヘリウム飛行船

Haluna-4Mを用い、その航法システム開発に競技会形式で取組むことにより組込みソフトウェア開発の基礎学習とMDDの研究推進という、PBL(Project Based Learning)の機会を提供している。

2-2. スケジュール

2007年度は以下のスケジュールで行われた。

- 5月中: 参加募集 締め切り
- 6月初: 組込みプログラミング(講習会)
- 6月下: HW組立て講習(2名/チーム)
- 7下旬: MDDイニシアティブ(講習会)
- 9月中: 耐空性審査
- 10月初: モデル提出
- 10/19: コンテスト本番, ワークショップ

このように、コンテストまでに講習会を行い、技術普及と参加者の人的ネットワーク構築を図っている。

2-3. 開発対象(ドメイン)

図1はMDDロボットチャレンジにおける開発対象の全体図である。

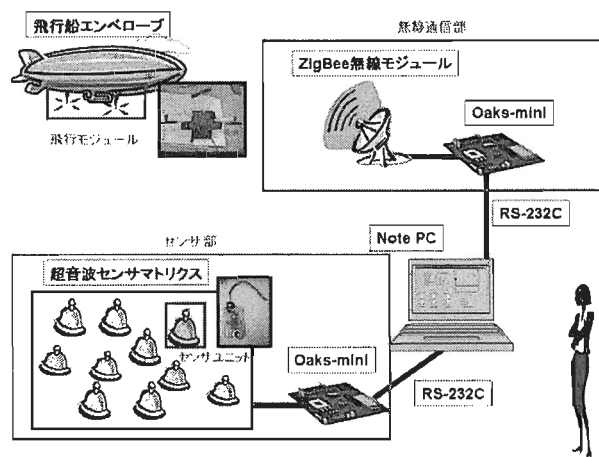


図1. MDDロボットチャレンジ全体図

容積約180リットルの飛行船エンベロープは室内で飛ばせる小型飛行船で約100グラムの浮力を持つ。搭載している飛行船モジュール(Halna-4M)は、小型モータドライバ(3ch)、超音波式高度センサ、ヨー角速度センサ、無線モジュール(2.4GHz, Zigbee)とMPU(M16C:Renesas)で構成されている。高度や方位情報を地上局に送信したり、地上局の指令に従って3つの

プロペラの回転方向や速度を変化させる機能がある。

地上局は、RS232Cで接続された無線通信部、センサ部および制御用PCからなる。無線通信部は飛行船とPCとの通信を仲介する。センサ部は床上に配置された超音波センサからの信号を受取り、制御用PCに受信センサIDと受信時刻を送信する。制御用PCは、飛行船モジュールおよびセンサ部より届いた情報を元に飛行船の状態を推定し、競技ルールに従った振舞いを飛行船のモータを使って実現するための指令を計算し、そしてその指令値を通信モジュールを介して飛行船に転送する。さらに、飛行船や制御器の状態の画面表示機能も担っている。通信部とセンサ部は飛行船モジュールと同じMPUで構成され、OSなしのモジュールとしてROMにロードされたプログラムで動いている。制御用PCはLinuxを搭載したDOS/V機で、プログラムはGNU gccで開発され通常のLinuxプログラムとして実行する。

2-4. 熊本大学の取組み

熊本からは、熊本知能システム技術研究会(RIST)のリアルタイムOS利活用技術検討会のメンバから構成される産学連携チーム(BEARS UNION)を構成し、そのメンバとして著者の研究室に所属する学生(修士4名、学部4年3名)を参加させた。このチームは社会人も含め16名からなるが、実質的には研究室での開発となった。業務は多岐に渡る。

1. 全体スケジュール管理、主催者との連絡
2. 飛行船製作、動作確認
3. 地上局製作、動作確認
4. 全体テスト

これら業務内容を担当者で分担し、カレンダー形式で提示しながら進捗状況の確認と分担や工程の見直しを繰り返した。本コンテストでは参加チームの技量や体力に応じて主催者側に主催者側からの情報提供や機器の借用を求めることも可能なので、スケジュール上困難な点については適時主催者と協議の上進めた。結果、制御用PCのソフトウェアに限定するソフトウェアチャレンジチームとして参加登録した。

飛行船の改造や各種センサに工夫を凝らすシステムチャレンジとあわせて11チームの登録があった。競技はソフトウェア審査と飛行競技の2部門の合計で競われる。モデル審査と飛行コンテストの2部門の合計得点で競われる。幸いにもBEARS UNIONはソフトウェア部門1位、飛行競技2位、総合2位の審査結果を得た。

2-5. カリキュラムとしての評価

本コンテストの教育的効果として以下の点が上げられる。

1. ものづくりに関わる達成感・満足感
2. 集団創造の実践的経験
3. 目的を共有する他者との人的ネットワーク

参加した学生の弁によると、実験レポート受理や定期試験による単位取得とは異なったおおきな達成感を感じている。その意味では大学の授業の一環として組み込まれてしまうと半減する可能性はある。

従来のソフトウェアは個人創造による作品的傾向が強かったが、品質保証された工業製品としてのソフトウェアを開発するための実践的経験になった。

今回は産学連携チームを構成することにより地元企業の若手技術者との交流の場の機会を得た。また、競技会には後半にワークショップが組まれており、モデル評価や開発時の苦労話の情報交換など学術講演会とは異なった実践的な情報交換と人的ネットワークづくりが行われた。

総じて、この種のコンテストはPBLとして大学教育に組み込む価値が十分にあると感じた。問題点としては、経費の調達、主催者の業務負担があげられるが教育効果を考えればカリキュラム化する価値は十分にあると考える。

3. 組込み実験実習環境整備、

実時間制御実験装置を組込みシステムとして実現するための技術力育成を目的とした学生実験テーマ「組込みシステムを用いた計測と制御」を新設し環境整備を行った。

3-1: 実験概要

MCU(マイクロコントローラユニット)を用いてPID制御の実験を行う

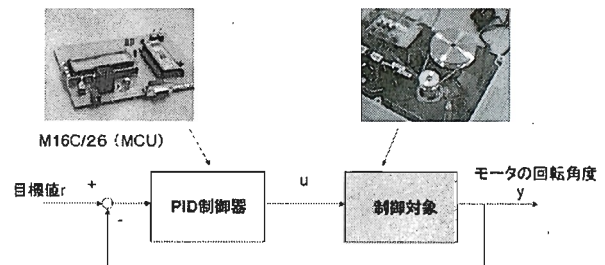


図2. 組込み実験実習の概要

この実験の対象となるシステムは図2に示すフィードバック制御系である。DCモータよりなる1入力1出力の単純なメカトロ系を、16ビットCPU(M16)

を内蔵するマイコンを使って制御する。モータの回転角度はロータリーエンコーダ（500[パルス/回転]）の2相信号パルスを用い、モータはPWM信号を電流増幅して駆動する。この計測と制御のためのプログラムをC言語で記述してコンパイル・ダウンロード・実行・評価の開発プロセスを体験する。実験は以下のスケジュールで行われる。

第1週： MCU概要説明

第2週： PWM信号によるモータ駆動

第3週： ロータリーエンコーダによる角度検出

第4週： フィードバック制御系の構築

第5週： プレゼンテーション

第6週： 予備日

1週間後： レポート提出締切り

この内容を1年間に3回実施することにより5名×6班×3回=90名の学生に対応する体制をとっている。

3-2：実験機材および環境

組込みシステム実験においては以下のような実験環境の整備が必要となった。

制御対象： 自作（ロータリーエンコーダ，DCサーボモータ，モータ駆動アンプ）

制御装置： OAKS16MMINI Fullkit を用いた，M16C/26（ルネサス社）のMCUを搭載したマイコンボードを使用している。

プログラム開発環境： プログラム開発にはMS-Windowsを搭載したPCに専用のコンパイラ，プロジェクトエディタ，テキストエディタ，モニタ（オークス電子）をインストール。

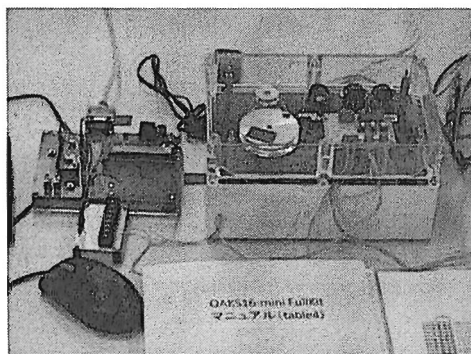


図3. 実験装置概観

計測装置： オシロスコープ（波形観測，マルチメータ，周波数カウンタ機能）

ハードウェア工具： 電気回路工作（半田ゴテ，ニッ

パ等），機械工作用工具（ドライバ，ペンチ，鑿）

ネットワーク設備： データシート，マニュアルのダウンロード・閲覧機能（インターネット，PDFブラウザ），ファイル共有・頒布機能，共有プリンタ

その他： 科学技術電卓，方眼紙

3-3：実験手順と学習者の活動

各週ごとの実験はおおまかに下記のシナリオに従って行われる。

1. インストラクタは今週の学習項目について，実験環境に依存しない原理の解説をする。
2. インストラクタは実験遂行にあたって実験環境に依存する内容の解説をする。
3. 今週の課題と達成目標を示す
4. 学習者は達成目標に達すべく課題に取り組む。
5. 学習者は必要があれば，インターネットによる情報収集，工具によるハードウェアの修理を行う。

この実験の特徴は，実験室にマニュアルやデータシートが完備しているとは限らないことや，実験装置に生じるかもしれない不具合の解消も実験の内容として取り入れる点にある。

3-4：実験テーマ新設の評価

本実験テーマは開始したばかりで実験機材，環境，進め方などレビューはこれからであるが，以下の点は特徴的である。

- ・ 電気・機械・ソフトウェアという異なる要素技術の統合化を体験できる。
- ・ シミュレーションではなく実際の物理システムを扱う楽しさと難しさを実感できる
- ・ ハードウェアに直結したプログラミング技術が習得できる

4. ソフトウェア工学とものづくり教育

ソフトウェア工学は，本来コンピュータのソフトウェアの開発方法を研究対象とする情報工学の一分野であるが，近年その成果を周辺の分野にも取り入れる動きが活発である。組込みシステムや制御工学分野においてもその成果を生かす方策を検討することは意味がある。

4-1. ソフトウェア開発工程

ソフトウェア開発では以下の手順を踏襲することが安全で高機能なソフトウェアを短期間に生産する余蘊であると言われている。

要求分析： 着想したソフトウェアがどのような機能を持つべきかを検討し，必要に応じて文書化する。

設計：機能がソフトウェアとしてどのように実装されるべきかを検討し、必要に応じて仕様化する。

コーディング：仕様に従ってプログラムを作成する。

テスト：作成されたプログラムが機能的な要求を満たしていることを実証する。

運用・保守：ソフトウェアを使用したり、新たな要求に応じて機能を追加・変更する。

このシナリオはあらゆるものづくりに対応することが可能であり、機能仕様定義、内部仕様定義、製作・実装、評価試験、メンテナンスなど、電気・機械・土木・建築などあらゆる分野に共通する要素を持つ。

4-2. オブジェクト指向

オブジェクト指向とはソフトウェアをオブジェクトとその相互作用から生じる振る舞いとして捉える考え方である。従来の、データ構造とアルゴリズムに着目した構造化プログラミングに対して、内部構造のカプセル化、属性の継承、呼び出しにおけるポリモルフィズム性などの概念が特徴的である。

ものづくりの「もの」はオブジェクトに通じ、システムのシス=sys テム=tem も要素(item)の合成(synthesis)であることから、システム工学のみならずものづくり一般に通じる基礎的概念として捉えることが可能である。このような観点から工学部カリキュラムに積極的に取り入れることは当然のことであるが、オブジェクト指向言語によるプログラミング実習の枠を超えた取り組みが必要である。

4-2. 設計図としてのUML

ものづくりには設計図が必要なことは言うまでもないが、電気・機械・土木・建築などの分野に比べソフトウェア分野における設計図の標準化は非常に遅れている。例えば、アルゴリズムの表記法には、フローチャート、NSチャート、Hichart, PAD, HCPなど様々なものが個々の分野で使用されている。

ソフトウェア分野でも仕様記述言語の標準化の議論が盛んであるが、2005年にOMG(Object Management Group)より提唱されたUML 2.0 (Unified Modeling Language)はそれまでの規格を大幅に見直して実用に供すると評価されている。

UMLでは13種類の図が提案されているが、それは構造図と振る舞い図に分類される。

【構造図】

クラス図／複合構造図／コンポーネント図／配置図／オブジェクト図／パッケージ図

【振る舞い図】

ユースケース図／状態機械図(状態遷移図、ステートチャート図)／相互作用図(シーケンス図／コミュニケーション図(コラボレーション図)／相互作用概要図／タイミング図)

機械や建築分野のカリキュラムに設計製図の講義・演習があるように、ソフトウェア分野においても設計製図演習は必要であり、そのための標準記述手法としてUMLは有力候補であると考えられる。

4-3. カリキュラム構成としての留意点

UML文法は膨大でありこれを網羅的に講義・演習することは効率的ではない。また、今後の仕様変更も考えて、現段階では枠組みや表記法を利活用する(借用する)という姿勢で十分かと思われる。また、プログラム言語や自然言語と同様に、言語の修得と言語を活用した活動(この場合は設計や開発)は区別する必要がある。

まとめ

ここでは、ロボットコンテストを通じたPBL型カリキュラムの検討、学生実験テーマとしてのマイコンを用いた組込み実験実習環境整備、および近年のソフトウェア工学の成果を生かしたものづくり教育カリキュラムの検討結果について報告した。「ものづくり創造」を大学のカリキュラムのなかに位置付けるにはものづくりの実践・演習のみならず、方法論や言語などの哲学を持つ必要性を痛感する。

参考：

- [1] 右立ほか：組込みシステム技術の実践的修得と課題、MDDロボットチャレンジ2007の参加を通して、産学官技術交流会。2007.1.22
- [2] 情報処理学会 組込みシステムシンポジウム
<http://www.ertl.jp/ESS2007/mdd/index.html>
- [3] 組込みネット：
<http://www.kumikomi.net/article/report/2007/32md/01.html>
- [4] ルネサステクノロジー：<http://japan.renesas.com/>
- [5] オークス電子：<http://www.oaks-ele.com/>
- [6] OMG：<http://www.omg.org/>
- [7] 山内監修, UML2.0, 秀和システム