

# グローバル Project-based Learning における組込みソフトウェアのモデル駆動開発と適用評価

大江 信宏 久住 憲嗣 三輪 昌史 佐藤 未来子 渡辺 晴美

高度 IT 人材育成の観点とグローバル化を踏まえ、海外での Project-based Learning (以下, PBL) を通じて、組込みソフトウェアの技術スキル向上を図っている。重要な技術スキルの 1 つとしてモデル駆動開発 (以下, MDD) に焦点を当て、グローバル PBL を実施した。本稿では、短期間の PBL における、組込みソフトウェアの MDD に関わる PBL 課題設定について提案し、実施した成果を報告する。

Based on the viewpoint of advanced IT human resource development and globalization, we are working to improve the technical skills of embedded software through Project-based Learning (PBL) overseas. A global PBL was conducted with a focus on model-driven development as one of the key technical skills. In this paper, we propose a PBL task setting related to model-driven development of embedded software in short-term PBL, and report the results of implementation.

## 1 はじめに

高度 IT 人材育成の観点から Project-based Learning (以下, PBL) による教育が活発に行われるようになってきている [3]。工学系の複数の分野による分野横断型のグローバル PBL の人材育成も行われている [2]。IT 分野はグローバル化が必須であり、国内であっても海外の人と協力して仕事をすることが必要になっている。組込みシステムは、すでにあらゆる産業に浸透しているが、IoT, AI, 5 G などの普及によりさらに拡大していくことが予測される。そしてそれを支える組込みソフトウェアの開発規模はますます

増加していくことが予測される。このように、ソフトウェアの大規模化、複雑化に伴い、組込みソフトウェアの生産性、品質を向上させるための重要な技術として、モデリング技術が課題と認識されている [1]。

筆者らは、情報処理学会組込みシステム研究会が主催する国際会議 APRIS (Asia Pacific Conference on Robot IoT Systems Development and Platform) 2018 で、APRIS ロボットチャレンジ (APRIS-RC) をグローバル PBL として実施した。APRIS-RC の目的は、工学系の複数の分野の学生が海外の学生との英語でのコミュニケーションを取りながらプロジェクトベースで協力しながら課題を解決し、組込みソフトウェアを開発する教育を提供することであり、同時に、技術者のスキル向上、プロジェクト体験を目的としている。

本稿では、文化、言語の違う学生が一同に集まって行う短期間の PBL における、組込みソフトウェアのモデル駆動開発 (以下, MDD) に関わる課題設定について提案し、実施した成果を報告する。具体的に提案する方法としては、

- ・モチベーションを向上させるルール作り
- ・MDD の理解および体験環境の設定

A Result of Trial for Model-Driven Development through Global Project-based Learning.

Nobuhiro Ohe, Mikiko Sato, Harumi Watanabe, 東海大学情報通信学部組込みソフトウェア工学科, Dept. of Embedded Technology School of Information and Telecommunication Engineering, Tokai University.

Kenji Hisazumi, 九州大学・大学院システム情報科学研究 院 情報知能工学部門, Graduate School and Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University.

Masafumi Miwa, 徳島大学・大学院社会産業理工学研究 部 (理工学域), Institute of Science and Technology, Tokushima University.

・組み込みシステム制御技術を考え体験するための課題設定

・グローバル PBL としてのチーム編成の4つである。

## 2 関連研究

組み込みソフトウェアの開発規模拡大に伴い、組み込みソフトウェアの生産性、品質を向上させるための開発技術が求められている。MDD ツールを用いることで、UML モデルからコードの自動生成が可能になり、モデルの作成から動作検証までを短縮することが可能になっている。モデリングに着目した研究として、オブジェクト指向モデリングスキルの向上の教育に MDD ツールを用いることで、学習者がモデリング作業に集中できることを検証した研究がある [1]。この研究では、MDD ツールを用いる場合と用いない場合との比較からオブジェクト指向モデリング教育における、効果的な MDD ツールの活用方法を検討している。この前提は、通常、学生が 3~6 か月程度かけて行う学習での比較であり、活用方法である。これに対して、本研究では、短期集中で行う PBL において、PBL 課題をどのように設定し、どのように実施するか提案と適用評価を行っている。

## 3 PBL 課題設定の提案

### 3.1 モチベーションを向上させるルール作り

PBL では、複数のグループがそれぞれ課題を作るところから始めるケースも多い。しかし短期間で競争心をもって挑むためには、同じ課題で競うコンテスト形式がよい。また具体的なイメージがわかりやすい課題が望ましい。そこで、今回、「グリーンハウス内での果物の自動観察」というシナリオを設定し、これをドローンで模擬するための自動飛行モデルの作成を、課題として設定する。マンゴーやイチゴなどの農作物を栽培するには、農家は毎日それらを確認し、適切なタイミングで水や肥料を供給し、最後にそれらを摘み取る必要がある。大きな農場やたくさんのグリーンハウスを所有している農家にとって、これらの作業は大変重要である。この人手がかかる作業を効率化するために、「グリーンハウス内の果物の自動観察」

というシナリオを想定し、ドローンを使ってこれを模擬するためのモデルを作成、実践する。

具体的な要件は、ドローンはグリーンハウス内のいくつかの果物を見渡し、最初に、ベースエリアから離陸する。第二に、ドローンはどの果物を観察するか指示をもらい、グリーンハウスに入る。第三に、ドローンは果物を検索し、観察のために写真を撮る。写真は観察のために鮮明でなければならない。最後に、ドローンはグリーンハウスから出て、ベースエリアに着陸する。ドローンの自動飛行のために複数の AR マーカー画像がグリーンハウス内に設置されているとする。

### 3.2 モデリングおよび MDD の理解と体験

PBL 課題への取り組みを通して、モデリング技術と MDD の学習の重要性に気づかせ実際の現場で活用できるスキルを身につけることが目標である。開発には、MDD を行うことを課す。MDD で開発するための開発環境は、我々が準備し、実際に受講者が開発するのは一部分であるが、ドローンのクラスのステートマシン図を設計することにより、コードを自動生成し、すぐに実行確認できる環境を提供することにより、MDD のメリットを体験できるようにする。また、単に実装とその成果の競争だけでなく、発表会を行って、モデルを中心とした開発内容を説明することを課す。設計モデルについては、設計した理由とその内容を説明することを求める。単にハードウェアやプログラムコードに依存するモデルは良いモデルとは言えないことを伝えておく。良いモデルには、暗黙的または明示的に背景または要件が含まれている必要がある。モデルはシステムの動作を表す必要があり、モデルは、要件と実装の間の一種の橋渡しであることを徹底する。

### 3.3 組み込みシステム制御技術を考え体験するための課題設定

ドローンの自動飛行によるグリーンハウス内の果物の自動観察では、グリーンハウス内の条件や画像によって指示される内容をドローン自身が理解して、

飛行することが求められる。近年のドローンは前後左右、上昇下降などをセンチ単位で指定すると、ほぼそれに近い飛行ができるようになってきている。しかし、風があったり障害物があったりする場合や、電池の残量による飛行の差があるため、それらの影響を含めた自動制御が必要になる。このため、AR マーカー画像を置き、その画像をとらえることで、ドローンがどこを飛行しているかや、果物の写真を撮るために正面に来るような位置制御を必要とする自動飛行制御を課題に含める。

### 3.4 グローバル PBL としてのチーム編成

グローバル化が必須の IT 分野を学ぶ学生たちが、互いに英語でコミュニケーションするために、日本人の学生とタイ及びマレーシアの学生とが混在するようにチーム編成とする。海外で行うグローバル PBL では、日本人のほうが少ないため、各チームにはかならず日本人が入るようにする。コミュニケーション方法について制限はしないが、基本的な言語は英語であり、これに身振り手振り、そして IT 分野の共通語として UML 言語が使われる。

### 3.5 課題のルール詳細

コンテスト形式で行うためのルールと評価方法は次の通りである。グリーンハウス内での果物の自動観察コースを図 1 に示す。ドローンの自動飛行によるグリーンハウス内の果物の自動観察において所定の動作を正しく行い、写真を鮮明に撮影できたかどうかを評価する。離陸からベースエリアへの着陸までの所要時間の早い方を上位とする。トライする時間は 5 分間とし、その間、各チームは最初からゲームを再試行できる。5 分経過すると、ゲームオーバーとなる。すべての再試行の中で、そのチームの最高得点を評価点とする。

プレイの進行は、各チームがまずドローンをベースエリアにセットする。ジャッジに「スタート」を宣言する。「スタート」の宣言から、タイマーはカウントアップを開始する。チームは、ドローンを制御するためのプログラムを開始する。飛行中、プレイ中のチームはドローンとコントロール PC に触れてはい

けない。プレイ中のチームが再試行したい場合、チームは「再試行」を宣言する。5 分以内に、プレイ中のチームはいつでも「再試行」を宣言することができる。プレイ中のチームが「ゲームオーバー」を宣言すると、ゲームは終了する。または 5 分が経過すると、ゲームは終了する。

## 4 課題実施の環境構築 – プログラム自動生成のための環境構築と実装

MDD を理解し、体験させるため、課題設定において MDD を行うことを条件とする。UML モデルからコードを自動生成し、モデルの作成から動作検証までの時間の短縮化を図ることができる MDD ツールを使うこととする。その 1 つの実行可能モデルである Executable UML [4] は、OMG によって仕様が標準化されている。筆者らは、Executable UML が使える MDD ツールの BridgePoint [4] を利用して、PBL の開発課題の環境構築・実装を行うこととする。

MDD ツールを使いこなすためのプロジェクト環境の設定は、PBL 指導を行う側で事前に設定し、かつ課題に必要なクラスを設計しておき、PBL 受講者は、そのクラスのステートマシン図を設計するところから課題実施できるようにする。今回の PBL 課題における BridgePoint の環境構築は、ドローン制御のプロジェクトを作成し、(i) ドローンを飛行させる機能 (ii) ドローンのカメラがとらえる AR マーカーの画像を認識する機能 (iii) AR マーカーの画像からドローン自身の位置を把握する機能を持つクラスを “tello” という名称で 1 つ定義する。図 2 にプロジェクト下の定義を示す。

tello クラスのプログラムの自動生成のプログラム構造を、図 3 に示す。受講者が設計するのは図 3 の黄色のモデル部分である。tello クラスの実装を簡単にするため、ドローンとの通信部分や AR マーカーの認識、位置把握などは、ドローンのメーカーが提供している SDK のための Python サンプルコードを流用して、基本クラスとのインタフェース上で必要なコードを PBL 課題設定者が追加する。このほか、tello クラスからは、BridgePoint のブリッジ機能を使って外部コードを呼び出すように組込む。また、モデルがイベ

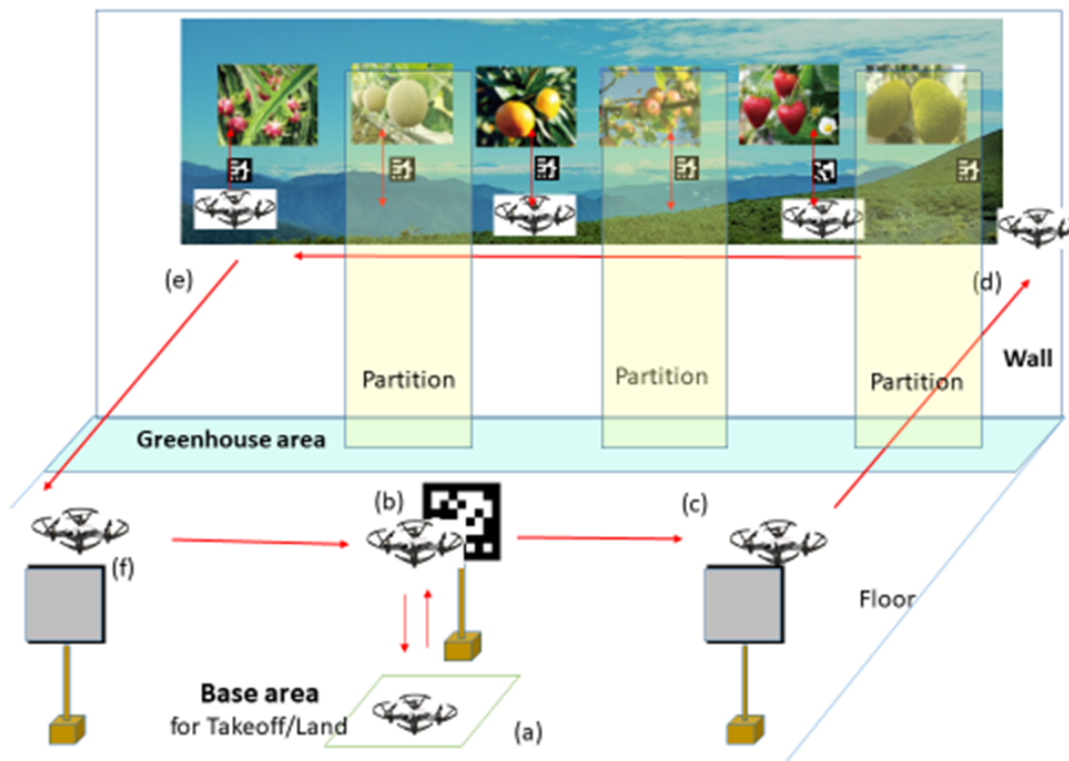


図 1 グリーンハウス内での果物の自動観察コース図

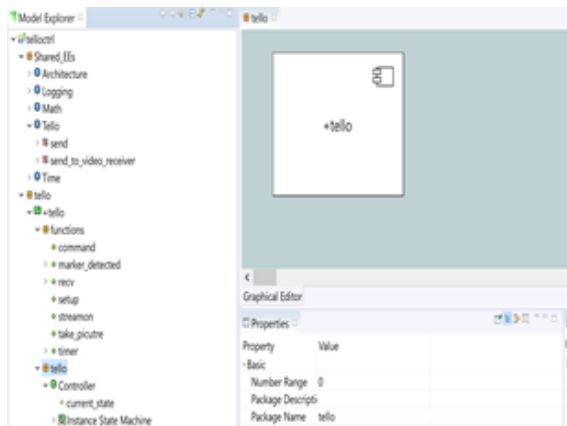


図 2 果物の自動観察 (名称: Telloctrl) プロジェクト概要

ントして受け取る仕組みを実装する。これらのためにブリッジと外部関数を用意する。ドローンからの画像受信および AR マーカー認識は、ドローンのマーカ

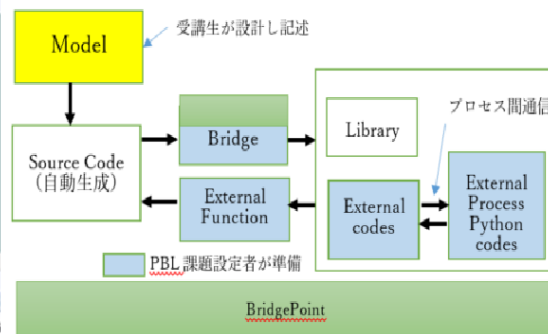


図 3 Tello クラスの自動生成のプログラム構造

から提供されている SDK 付属のプログラムソースがすでに Python 言語で実装済だったものをそのまま利用できるようにプロセス間通信による方法で実装する。これらの構造によって、ソースコードの自動生成

Shared EE Function	Comment
send	Send string to drone with UDP protocol
send_to_video_server	Send string to video server with UDP protocol
Tello Function	
Commands	Send commands to the drone using the send function
Setup	Initial setup
Streamon	Send streamon to drone using send function
Take_picture	Send "Take-picture" to video server using send_to_video_server
Timer	Time wait function
Event	
Recv	Occur event at receiving a response from drone Parameter: OK, NG
Marker_detected	Occur event at detecting AR marker Parameter: marker-id, x, y, z, roll, pitch, yaw

表 1 共通関数と Tello 関数とイベント

は、モデルから C 言語のソースコードを生成するモデルコンパイラで行う。アクション言語から呼べるメソッド、状態マシン図において各状態が受信するイベントの Tello 関係のみの一覧を表 1 に示す。PBL の受講者は、これらのメソッドとイベントを用いて、Tello クラスの状態マシン図を設計し、アクション言語を記述することによって、課題を実施する。

## 5 評価と考察

PBL を実施した評価および考察を述べる。PBL の実施期間は、2 日間で、ルールは事前に Web ページ上に公開しておいた。PBL に参加した受講生は、42 名で、これを 9 チームに分けて実施した。国別内訳は、日本人 14 名、タイ人 26 名 マレーシア人 2 名であった。文化、言語の違う学生が一同に集まって行う短期間の PBL における、組み込みソフトウェアの MDD に関わる課題設定についての成果と評価について述べる。

### (1) 課題実施の環境構築における実装結果

課題実施の環境構築・実装の評価は、必要最小限の開発で実装できた。実装したのは、ブリッジ関数が 3 つで、156 行、プロセス間および機体との通信関数は、112 行であり、一番コード量が多く

なることが予想された機体制御コード、AR マーカー受信と認識、プロセス間通信などは、機体メーカーが提供する SDK に関わる GitHub のコードを流用することにより、50 行程度の変更をするにとどまった。教育目的のロボットコンテストには同様の方式により実装が可能と考えられる。

### (2) MDD の理解と体験効果

今回モデリング部分は UML の状態マシン図を作成するのみであったが、状態とイベントによる遷移については、知っていたメンバも多く、理解はしやすかったようだ。MDD ツールを使った課題の実施という効果は、C 言語などによるプログラミングに比べて、理解が早く、短期の PBL でも十分習得できたと言える。今回 PBL 課題にチャレンジしたメンバは、一定の UML の知識を持つメンバが多く、設計上の共通言語として UML を用いることで、メンバ間の誤解を生みにくいというメリットもあった。短期間ということも考慮し、設計する部分を局所化したことも、そこに集中することができたという効果があった。

### (3) 組み込みシステム制御技術への理解度

単なるシーケンス制御のみでは、グリーンハウス内の果物の写真を正面から撮影できないため、AR マーカーを使った位置制御を行う必要があるが、その位置制御に苦労しているチームが多かった。一方、正面からの写真というのをある程度割り切って、位置制御を省略し、シーケンス制御のみで飛行させることによって、ベースから離陸して、所定の複数の写真を撮影してベースに戻ることができたチームもある。実際、9 チームのうち元に戻ってこれたのは 2 チームのみであった。苦労して最後まで飛行できなかったチームは位置制御の難しさを理解したが、それを省略したチームは、最後まで飛行できたものの、組み込み制御の難しさを回避したことになり、理解度という意味では、前者の方がよかったのかもしれない。

スキル面での各理解度を 5 段階評価で受講者に回答してもらった結果、4 以上（標準以上）の理解度の割合は、図 4 のグラフに示す通りであった。普通に理解できたというレベルを含めるとほぼ全員が理解で

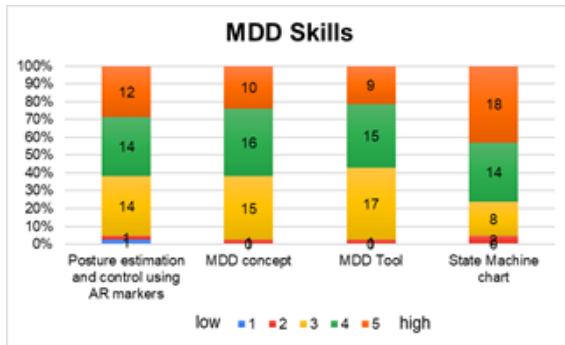


図4 スキルのアンケート結果

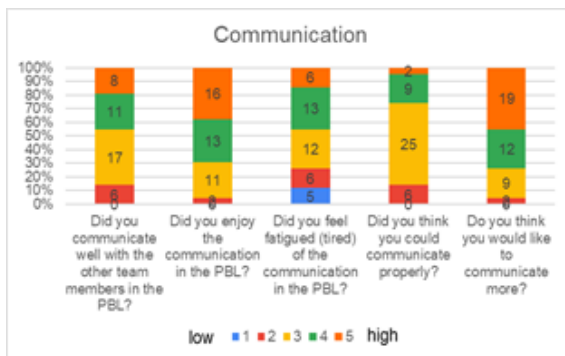


図5 コミュニケーションのアンケート結果

きたと評価できる。

## 6 まとめ

文化、言語の違う学生が一同に集まって行う短期間のPBLにおいて、組込みソフトウェアのMDDに関

わる課題設定についての提案と実施した成果を報告した。その手段として、コンテスト型PBLによるモチベーション向上は、短期間ではあるが、コンテストに向けチームは一丸となって課題に取り組んだと評価できる。モデリングのスキルとグローバルプロジェクトを体験させることが当初の目的であったが、モデリングのスキルは、MDDの概念の理解やツールの理解が進んだといえる。グローバルプロジェクトの体験は、ベースとなるコミュニケーションについてアンケートを行った結果、図5に示すように、互いに必ずしも十分とは言えないが、コミュニケーションを楽しむことができ、もっとコミュニケーションをとりたいと考える受講者が95%いたことは、互いにnativeではない学生通しのコミュニケーションがPBLを通して行われたと評価できる。

今回、行ったMDDの手法は、組込みソフトウェア開発のほかのケースでも活用可能であり、また異なるツールにおいても、基本的なツールの方式が同じであれば活用できると考えられる。

## 参考文献

- [1] 赤山聖子ほか: オブジェクト指向モデリング教育におけるモデル駆動開発ツールの活用方法の検討, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 1(2014), pp. 72-84.
- [2] 井上雅裕: グローバルPBL-イノベーション創出と持続可能な開発のための人材育成-, 情報処理, Vol. 60, No. 9(2019), pp. 886-889.
- [3] 戸沢 義夫ほか: Global PBL Feasibility Study の実践と得られた知見, 情報教育シンポジウム論文集, Vol. 6(2009), pp. 167-174.
- [4] xUML.org: eExecutable Translatable UML Open Source Editor, <https://xtuml.org/>, (参照:2020/7/30).