

C-027

組込みシステムにおけるシステム工学教育  
System Engineering Education in Embedded System

井上雅裕\*  
Masahiro Inoue\*

1. はじめに

組込みシステムとは、機械や機器に組み込まれその機能を実現するコンピュータシステムである。組込みシステムには、多様な技術者の参加が必要であり、電子やソフトウェアだけではなく、機械、化学、建築などの多くの分野にわたるため、多様な技術者による仕様構築から設計、試験までの協同作業の実施とマネジメントが重要である。開発の成功のためには、システム分析設計を的確に実施し、開発プロジェクト計画の策定を適切に行う必要がある。

システムエンジニアリング[3]とプロジェクトマネジメント[5]は、成功裏にプロジェクトを実施するための両輪となる技術であり、芝浦工業大学システム工学部では、学部共通教育を実施している(図1)。

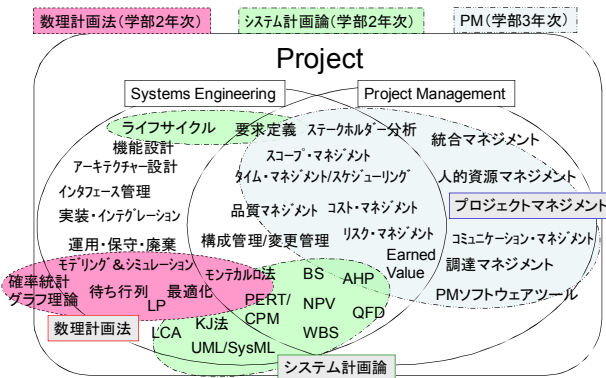


図1 学部でのシステム工学教育

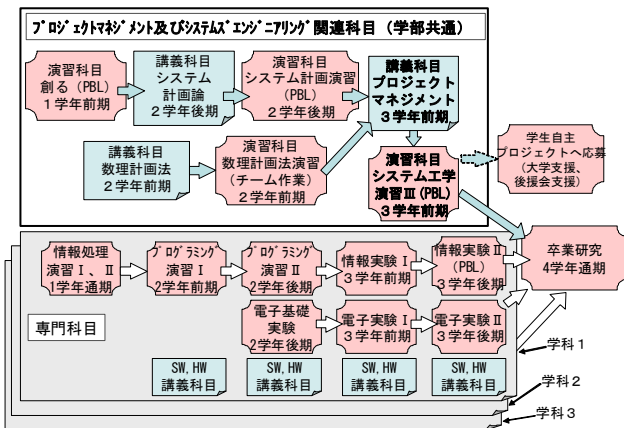


図2 システムエンジニアリング科目と専門科目

システムエンジニアリングとプロジェクトマネジメントは、経験が必要な科目である。これに対しては、図2に示したようにプロジェクトベース演習と講義をスパイラルに繰り返し、知識と経験を身につける教育を実施してきた[1][2]。今回、演習と講義の繰り返しにより知識と経験をスパイラルに高める教育の発展として、大学院修士課程で、組込みシステムでのシステム工学教育を策定し実施したので報告する。

2. 組込みシステムとシステムエンジニアリング融合教育

2.1 授業の目標

現在の組込みシステムの大部分はネットワークにより接続されており、組込みネットワーク・システムの開発が重要になってきている。

本授業では、組込みネットワーク・システムの技術と設計上の留意点を理解し、プロジェクトの計画を体験する。ここで言っている組込みネットワークの技術とは、ネットワークの技術や、組込みシステムの技術だけでなく、実社会の問題を解決するために、なぜこのような技術が必要なのか、なぜ技術開発が必要なのかまで遡った問題意識を与え、問題の対象が変わっても、適切な技術・システムを開発ができるメタ知識を身につけることを目標とする。

さらに、組込みシステムのエンジニアリングとプロジェクトの立上げ、計画を理解し体験することで実践的運用能力を付与する。

2.2 授業計画

大学院修士課程の科目として実施した組込みネットワーク特論の授業計画を図3に示した。

前半に組込みシステムとネットワークの講義と演習を配置し、後半にシステムエンジニアリング・マネジメントの講義と演習を配置した。後半の演習は組込みネットワークを対象としたプロジェクト計画の立案とシステムアーキテクチャ設計を実施する。

\*芝浦工業大学 システム工学部

## 組込みネットワークシステム特論 -Networked Embedded System-

- ・ 開講学年:大学院, 開講時期:後期, 期間:半年, 単位数:2単位
- ・ 授業の教育目的及び方針
  - ありとあらゆる物がネットワークに繋がり, 相互に連携するユビキタス・ネットワークシステムにおいて必要となる, ネットワークアーキテクチャ設計, システムアーキテクチャ設計, プロジェクトマネジメント, 組込みシステムに関し講義し, システム設計, プロジェクト計画書作成演習を行なう。

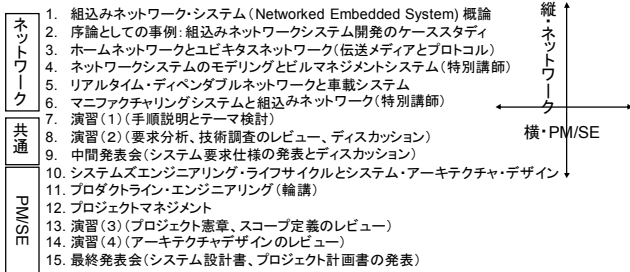


図3 授業計画

### 2.3 組込みシステムとネットワーク

前半の授業は, 下記の項目から構成した。

- (1) 組込みネットワーク・システム概論
  - (2) 序論としての事例:組込みネットワーク・システムと開発のケーススタディ
- ・実社会の開発課題をどう捉え, 分析し, 企画し, プロジェクトを立ち上げ, 計画し, システム設計をどう進めるかを学ぶ。事前にケースブックと課題を与え, 授業時間中は討議を中心とするケースメソッドとした。これにより, 以降の知識講義への問題意識を喚起する。
- (3) ホームネットワーク
  - (4) ネットワーク・システムのモデリングとビルドマネジメントシステム
  - (5) リアルタイム・ディペンダブル・ネットワークと車載ネットワーク
  - (6) マニファクチャリング・システムと組込みネットワーク

### 2.4 システムエンジニアリング・マネジメント

システムエンジニアリングとプロジェクトマネジメントの講義を後半に配置した。

- (1) システムエンジニアリング・ライフサイクルとシステムアーキテクチャ設計

組込みネットワーク・システムは, 図4に示したように, 複数のノードから構成されるシステムである。さらに, 各ノードは, 電気電子回路, ソフトウェア, 機械などから構成されている。開発にあたっては, ネットワーク・システム全体のシステム設計を実施し, 次にその構成要素の各ノードの設計を実施し, さらにノード単位で, 電気電子回路, ソフトウェア, 機械等

にブレークダウンして設計を進める。

本授業では, 最新の標準的な設計プロセスを採用した。ネットワーク・システムをノードの分解する段階のシステム設計は, INCOSE のハンドブック [3] と整合を取り, 各ノードに分解された以降の設計プロセスは, IPA の開発プロセスガイド [4] との整合をとった。

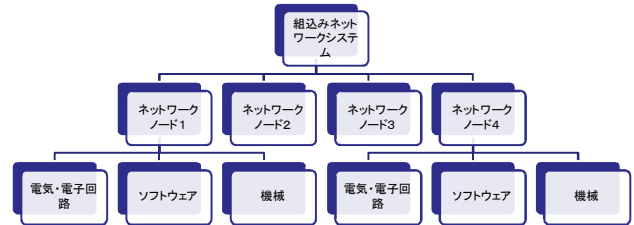


図4 組込みネットワークの階層構成

システムアーキテクチャ設計は, システムを構成要素に分解し, 構成要素間の構造とインタフェースを決定する工程であり, 多くの技術分野から構成される組込みシステムの設計では最も重要なプロセスの一つである。しかし, この部分の教育は, 逆に非常に困難である。今回は, 設計プロセスの知識とアーキテクチャ設計の事例を示してから, 後で述べる演習を実施した。

組込みシステムのアーキテクチャ設計に関しては, DoD のフレームワーク [6] の手順を踏まえると同時に, Systems Modeling Language [7] 等のアーキテクチャ記述言語を用いて作成する方法がある

- (2) プロダクトライン・エンジニアリング [8]

組込みシステムの複数機種でソフトウェアアーキテクチャとその上の主要なソフトウェアを共通化するプロダクトラインは, 品質向上, コスト削減, 開発短縮に寄与する。プロダクトライン・エンジニアリングには, 技術, 組織, プロジェクトマネジメントが重要であることを授業では示した。

- (3) プロジェクトマネジメント

プロジェクトマネジメントは, 学部教育の3年次の選択科目として設置しているが, 選択科目のため, 全学生が履修しているわけではない。また, 履修済みの学生でも知識として理解してはいるが, 運用できるまでには到達していない場合が多い。

本授業では, プロジェクトの立上げとスコープ計画を対象を絞り, 演習を実施するために必要な内容に関し, テンプレートを含め講義した。

## 2.5 演習

システムエンジニアリング・マネジメントを修得するには、適切な演習が必要である。組込みシステム開発のプロジェクト計画とシステム設計に関する演習テーマを、複数示し、学生に選択させた。

演習は、下記の手順で実施した。

- (1) システムの要求定義と技術調査
- (2) 中間発表会
  - ・選択したテーマ、システム要求仕様、実現に必要な技術の調査を報告する。
- (3) プロジェクト立上・計画
  - ・プロジェクト憲章[5]と、スコープ計画 (WBS) [5]を作成する。結果に対し学生間のピアレビューを実施した後、教員が改善の指導を実施する。
- (4) システムアーキテクチャ設計
  - ・システムの機能構成の定義を行った後、物理的な構成要素を決め、機能をこの物理的構成要素に配置する。ついで、構成要素間のインタフェースを定義し、文書化する。結果に対し学生間のピアレビューを実施した後、教員が改善の指導を実施する。
- (5) プロジェクト計画, システムアーキテクチャの更新
  - ・システムアーキテクチャ設計を踏まえて、プロジェクト計画を見直す。スコープ計画 (WBS) を更新する。
- (6) プロジェクト計画, システム設計最終発表会
  - ・プロジェクト計画とシステム設計書を発表する。

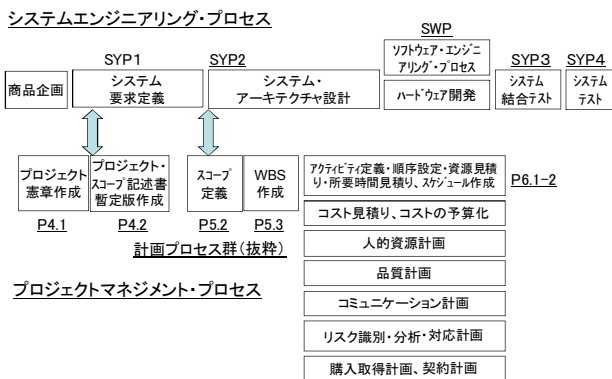


図5 演習でのシステムエンジニアリング・プロセスとプロジェクトマネジメント・プロセスの関連

図5に示したように、システムエンジニアリング・プロセス[5]とプロジェクトマネジメント・プロセス[4]の関連を示し、これに作業を配置した。

スコープ計画策定は、要求仕様を受けた段階で初回を

実施した後、システムアーキテクチャ設計が終了後に更新作業を実施した。この意図は、アーキテクチャ設計後でのスコープ計画の変化(詳細化)を体験することである。

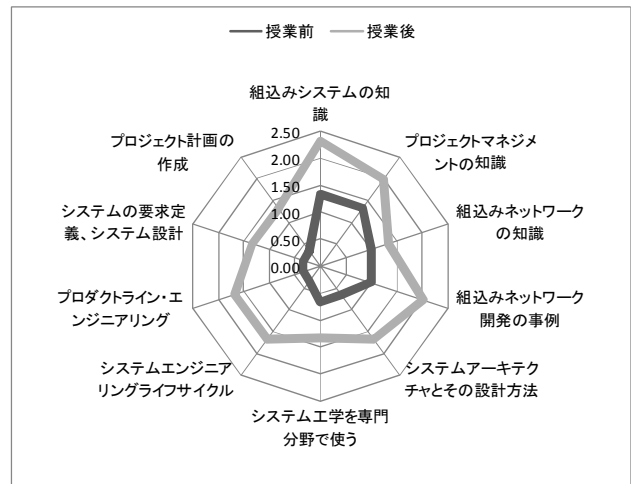
アーキテクチャ設計後の学生の WBS 更新版には、プロジェクトに固有な要素成果物に基づいた WBS エlement が付加される等の改善が見られる。また、アーキテクチャ設計の段階で抽出したインタフェースに実現のための WBS エlement が追加されているなど期待していた改善が確認できた。

しかし、アーキテクチャ設計前に、WBS がフェーズ分解(上位層の WBS 項目がシステム分析, システム設計, 実装, 試験など、フェーズで分解されており、システム固有の要素成果物が見えない)で実施されると、アーキテクチャ設計後も要素成果物分解に必ずしも移行しない。システムアーキテクチャ設計前にフェーズ分解の WBS を作成すると、システムアーキテクチャ設計以降も、初期の分解方法にとらわれ、フェーズ分解での詳細化に留まる傾向がある。

## 3. 授業の実施とその評価

授業を実施し、評価した。評価は、学生に対する授業評価とヒアリングで実施した。

(1) 授業前後での知識, スキル保有度の変化



3: 保有, 2: だいたい保有, 1: 少し保有, 0: 保有せず

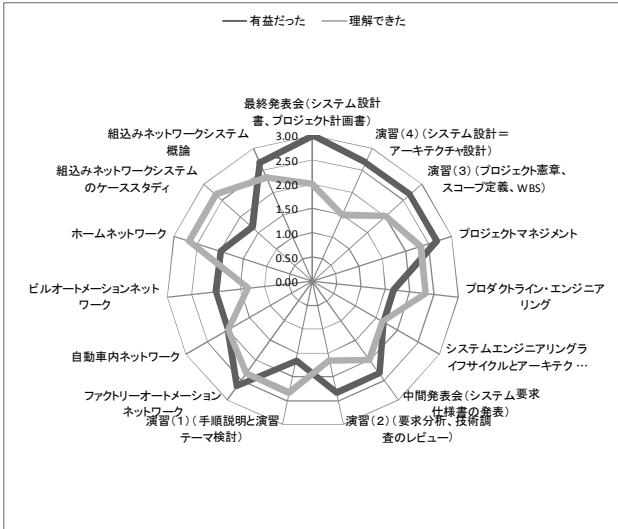
図6 授業前後での知識, スキル保有度の変化

図6に示したように、授業前は、要素技術の知識の保有度が相対的に高いのに対し、プロジェクト計画の作成、システムの要求定義・システム設計、システムエンジニアリングライフサイクル、アーキテクチャとその設計方法、プロダクトライ

ン・エンジニアリングの知機の保有度が低い。これらの項目は授業後には大幅に向上している。

(2) 授業の理解度と学生から見た有益度

授業評価では、一般に理解できたものを有益とし、理解できなかった対象を有益でなかったとする傾向があるが、図7ではそのような相関がない。比較的理解が容易だった技術の知識講義よりも、相対的に理解が困難であったシステムエンジニアリング・マネジメントに関する項目を有益だったとしている。



3:理解できた(有益), 2:だいたい理解できた(やや有益), 1:あまり理解できなかった(あまり有益でない), 0:理解できなかった(有益でない)

図7 授業は理解できたか、有益であったか

(3) 学生からの感想

学生の感想は、「仕様の分析やアーキテクチャ仕様を作成するなど普段やらないことに触れられた。組込みシステムについても理解が深まったと思う。」「課題は比較的大変だったがおもしろい授業でした。プロジェクトマネジメントの知識とシステムアーキテクチャの知識はこの先役立つと思う。」などである。

学生は、演習での初めての体験で苦労しているが、プロジェクトマネジメントとアーキテクチャ設計の重要性を理解している。

4. まとめ

大学院の授業として、組込みネットワーク・システムとシステムエンジニアリング・マネジメントを融合した授業を実施した。通信の要素技術の講義と組込みネットワーク・システムの設計ケーススタディを密接

に関連させたことで、技術開発の進め方に対する問題意識が高まった。要素技術とシステムエンジニアリング・マネジメントの融合授業は学生にとって有用である。

学生は、システムエンジニアリング・マネジメントの演習が授業で最も重要であるとの理解している。しかし、学生にとって難解であったことも事実である。理解と定着のためには、明確な手順に基づくスキル教育とプロジェクトベースの演習が適切であり、今後、アーキテクチャ記述言語による設計スキル教育と、プロジェクトマネジメントとシステムの設計から実装までを含む一貫したプロジェクトベース演習の強化を実施したい。

参考文献

[1] 井上雅裕, 長谷川浩志, システム工学及び段階的プロジェクト演習と連携したプロジェクトマネジメント教育, プロジェクトマネジメント学会春季大会, March 2007.

[2] 長谷川浩志, 岡村宏, 井上雅裕, 設計教育とシステム工学教育の連携, 日本機械学会, 第17回設計工学・システム部門講演会, Oct. 2007.

[3] INCOSE, INCOSE-TP-2003-002-03.1, Systems Engineering Handbook version 3.1, International Council on Systems Engineering (INCOSE), August 2007.

[4] IPA/SEC, 改訂版 組込みソフトウェア向け開発プロセスガイド ESPR Ver.2.0, 2007.

[5] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge 3rd Edition (PMBOK Guide), Project Management Institute, 2004.

[6] DoD Architecture Framework Version 1.5, DoD, April 2007.

[7] OMG, Systems Modeling Language (OMG SysML™), V1.0, OMG, Sep. 2007.

[8] 吉村健太郎, 製品間を横断したソフトウェア共通化技術, 情報処理, Vol.44, No.2, Feb. 2007.