

解説

トップエスイー： サイエンスによる知的ものづくり教育

本位田 真一（国立情報学研究所／東京大学）

糸野 文洋（三菱総合研究所／国立情報学研究所）

田原 康之（国立情報学研究所）

鷲崎 弘宜（国立情報学研究所／総合研究大学院大学）

トップエスイーの概要

昨今、ソフトウェアシステムの不具合による大きな社会問題が続出している。その結果、ソフトウェアシステムの持つ脆弱さが浮き彫りになり、ソフトウェアシステムこそが情報化社会におけるリスクであるという認識が広く浸透した。また、開発すべきソフトウェアシステムも年々、大規模化、複雑化、高度化、多様化の一途をたどっている。こうした流れの中で、不具合のない高品質なソフトウェアシステムを開発するためには、開発にかかわるさまざまな人材のスキルの高さ、成熟した開発組織、整備された方法論や道具などさまざまな要素が要求される。いずれの要素も重要であるが、本稿では、人材のスキル開発に焦点を絞って、我々の活動であるトップエスイーを紹介する^{1), 2)}。

国立情報学研究所は、平成 16 年度から 5 年間の予定で文部科学省／科学技術振興調整費の支援を受け、トップレベルのソフトウェア技術者の育成を目指した「トップエスイー：サイエンスによる知的ものづくり教育」をスタートさせている。トップエスイーの教育理念を述べるならば、「計算機科学の知識を有する受講生を対象として、ソフトウェアシステムの背後にある本質を把握し、モデルとして具体的に記述・表現し、理論的基盤に基づいて体系的に分析・洗練化を行うことにより、高品質なソフトウェアシステムを効率的に開発できるスキルの開発」である。その理念の実現のために、産業界、大学、国研と密接に連携し、ネットワーク家電の分野でのカリキュラム開発、講座開発、教育、そして教材の普及活動などを精力的に進めている。産業界からは、現在 15 社が参加しており^{☆1}、教材開発、講師派遣、受講生の派遣

などの連携を実施している。教材開発においては、企業から教材の題材として数年先に顕在化することが予想される実問題を持ち込んでもらっている。また、10 名を超える講師を招いている。ちなみに講師の数は、国立情報学研究所、産業技術総合研究所、信州大学、筑波大学、東洋大学、東京女子大学、北陸先端科学技術大学院大学、立命館大学などからの教員、研究者も合わせて現時点では総勢で約 30 名に及ぶ。また、本プロジェクトでは、受講生として、平成 17 年 9 月には 1 期生を、18 年 9 月には 2 期生を、19 年 9 月には 3 期生を採用し、最終的には平成 20 年度までに計 50 名の修了生を輩出することを目指している。平成 19 年度は、企業の若手エンジニアを中心に、計 31 名を採用した。なお出願資格として、「大学・大学院などの高等教育機関にて、計算機科学にかかわる授業を 10 講座以上習得しており、きわめて優秀な成績を取得していること」としており、出身大学(大学院)の成績証明書の提出を求めている。選考方法は、出願書類審査を経て、筆記試験ならびに口頭試問を課している。

平成 19 年の秋学期の時点では、1 期生 6 名（12 名が 18 年度に修了）、2 期生 25 名（企業から 18 名と大学院生 7 名）、3 期生 31 名（企業から 24 名と大学院生 7 名）が受講している。

また、全国の大学や企業においても同等な教育の実施を図るべく、普及のための教材の開発も合わせて実施している。

共通スキルとしてのモデリング能力の開発

高度なスキルを有するソフトウェア技術者の育成は、古くて新しい問題である。たとえば、ソフトウェア技術者を目指す情報系の大学院の学生に対して、どのようなスキル教育を施すべきなのかは大きな課題である。彼ら

☆1 (株) NTT データ、鹿島建設 (株)、(株) CSK システムズ、ソフトバンクテレコム (株)、(株) デンソー、(株) 東芝、東芝ソリューション (株)、日本ユニシス (株)、日本電気 (株)、(株) 日立製作所、(株) 富士通研究所、松下電器産業 (株)、(株) 三菱総合研究所、三菱電機マイコン機器ソフトウェア (株)、メルコ・パワー・システムズ (株) (五十音順)。

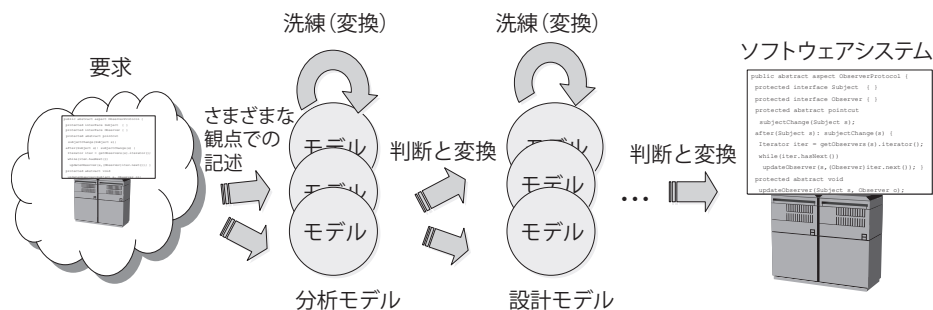


図-1 多段階モデル変換

の多くは、入社後の数年間はプログラマとして活躍し、その後は設計者、そしてITアーキテクトやプロジェクトマネージャとさまざまな職種をこなしていくことになる。多岐にわたるソフトウェア技術者において、プログラマならばプログラミングスキル、ITアーキテクトならば全体アーキテクチャ設計スキル、プロジェクトマネージャならば、プロジェクト管理スキルなどその職種ごとに求められるスキルも異なっている。大学院相当レベルの教育において、特定の職種に対するスキル開発を施すのは有効な手段とはいえない。トップエスイーではソフトウェア技術者としての共通スキルを身につけさせることを目的とする。

共通スキルを考える上で、実際のソフトウェア開発に着目する。ソフトウェア開発プロセスには、一般にシステム要求分析、システム方式設計、ソフトウェア要求分析、ソフトウェア方式設計、ソフトウェア詳細設計、実装・テストといったアクティビティが含まれる。これらのアクティビティでは中間成果物が作成され、次のアクティビティへと受け渡されるが、これはウォーターフォールやスパイラルなどどのようなライフサイクルモデルであっても本質的には共通である。たとえば、システム要求分析の結果、分析モデルが構築され、ソフトウェア方式設計の結果、設計モデルが構築される。言い換えれば、ソフトウェア開発プロセスとは本質的には多段階のモデル変換工程であり、各アクティビティで構築される要求モデル、分析モデル、設計モデル、実装モデルといったモデル間の変換を経てソフトウェアシステムができ上がる。(図-1)。プロジェクトマネージャ、ITアーキテクト、設計者、プログラマは、それぞれの立場でこれらのモデルにかかわることになる。このように、ソフトウェア開発にかかわるさまざまな職種において、モデリング能力を共通スキルの1つとして取り上げることができる。

モデリング能力とは、端的には良いモデルの構築能力、分析・検証能力、洗練化能力を意味する。ここで、良いモデルとは対象の捨象化、抽象化、単純化によって、

- 事柄の本質を表している
- 最小かつ完備である

• 解釈の一意性が実現されている
という性質を有しているものと定義できる。一方、モデリングとは「モデリングの道具の特性を踏まえた視点からの手順(モデリングプロセス)に従って対象を道具で表現していく」行為を意味している。さらに、高いモデリング能力とは

- モデリングプロセスが身につけている
- 厳格にモデル構築ができる
- モデル間の関連性を把握できる
- 保守性、再利用性などの非機能的特性を踏まえたモデル構築ができる

と言える。

ここで、一般的に論じるならば、より高度な問題解決能力を身につける際の有効な手法はさまざまな問題解決プロセスを習得することである。ソフトウェアシステムのモデリングプロセスも問題解決と位置付けられるため、さまざまなモデリングを習得することが高度なモデリング能力を身につける際の有効な手法といえる。実際のところ、ソフトウェアシステムには、さまざまな視点での切り口が存在し、その切り口を対象としたモデリングの道具も多種多様である。さらに、それぞれのモデリングの道具は固有のモデリングプロセスを有している(図-2)。

そこで、スキル開発の点からどのようにモデリング能力を身につけさせるかがポイントになる。まず、さまざまなモデリング技術に基づくソフトウェアツールが数多く存在していること、そして、これらの最先端のソフトウェアツールを習得するためには、計算機科学の知識が不可欠であることを明記しておく。たとえば、モデル検査ツールであるSPIN³⁾の習得には、前提知識としてオートマトン、時相論理、抽象解釈などが必要である。さて、トップエスイーの育成対象としては、情報系大学院相当の計算機科学の知識を有していることを前提としている。そこで、形式的な意味論を背景として持ち、その意味論を元に開発されている約20種類のツールを導入し、これらのソフトウェアツールをシャワーのごとく、繰り返し学習させることとする(図-3)。しかも、そのときに

用いる教材は実問題をベースにする。こうしたソフトウェアツール教育の効果について論じたい。上にも述べたように、ソフトウェアツールの習得には計算機科学の知識が必須である。最先端の評価の高いソフトウェアツールを習得する過程で、計算機科学に関する知識を深耕させることができる。そして、ソフトウェアツールを実問題に適用する過程で、モデリング能力が洗練化されることになる。このプロセスを10回から20回繰り返すことで、モデリング能力の深耕と計算機科学の知識の深耕の両者を同時に達成できることになる(図-4)。その結果、自身でソフトウェアツールを習得でき、そして新しい問題に対しても適用できるという応用力も身につくことになる。

カリキュラムの概要

本章では、トップエスイーのカリキュラム(表-1参照)について紹介する。まず、カリキュラムを決めるうえで、ソフトウェアシステムのドメインをネットワーク家電とした。ネットワーク家電の主な特徴として、他の機器とネットワークを通じて連携する必要がある、という点がある。このような機能を実現するためには、先進的なソフトウェアを組み込む必要がある。また、組み込み系とエンタープライズ系の両方のソフトウェア技術が要求される分野であり、我が国としても国際競争力が今後特に重要になる分野である。

なお、家電機器はインターネットを含むネットワークに接続されるので、セキュリティは重要である。また家電機器は消費者向け製品であるため、信頼性と効率性も必須である。さらに、この分野においては、近年の技術の進歩と嗜好の変化が非常に急速である。したがって、機器に組み込みのソフトウェアも、急速な変化に追随する必要がある。そこで、ネットワーク家電の持つ課題としてセキュリティ、信頼性・効率性、および変更容易性の3点を挙げ、これらを解決できる技術を受講生が習得できることを考慮した。

そして、計算機科学に基づく評価の高い複数のソフトウェアツールが存在していることを講座開発の前提とした。その結果、表-1に示すように、形式手法関係の講座が半分近く占めることになった。トップエスイーは必ずしも形式手法の教育を標榜しているわけではない。形式手法が有する厳格なモデリングプロセスを学ぶことで、「厳格にモデリングする」という癖を身につけさせることを意図している。たとえ実際には自然言語あるいは

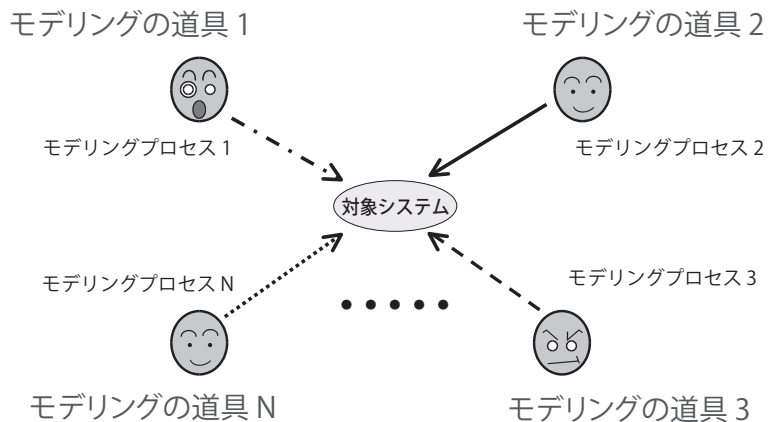


図-2 さまざまなモデリングプロセス

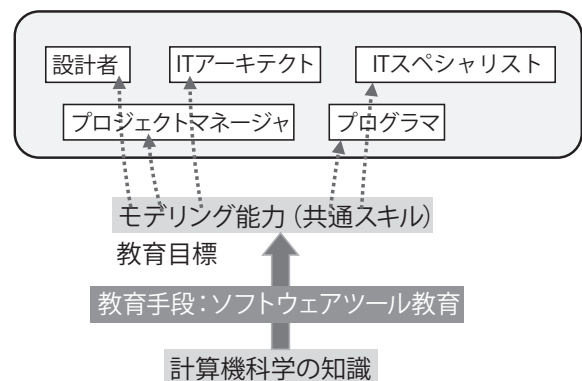


図-3 教育手段としてのソフトウェアツール教育

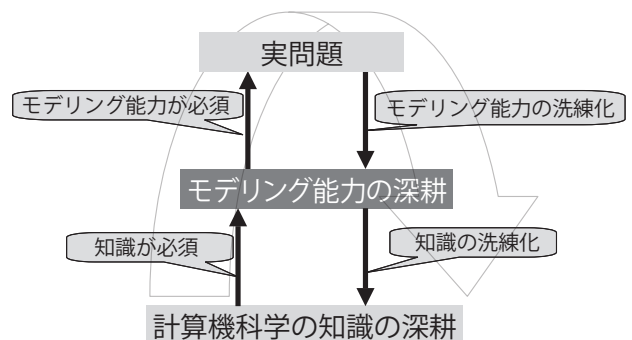


図-4 ソフトウェアツール教育の効果

UMLを用いてモデリングする場合でも、自ずと厳格にモデリングできることが肝要である。ここで、複数のツールを取り扱うことの意味は、1つのツールに依存せず、対象分野の基本的な概念を習得することにより、新たなツールへの適用能力を身につけることである。

表中のスキルレベルに関しては後述する。なお、現在、新たにマネジメント講座シリーズを開発中である。この講座シリーズでは、「経験・勘・度胸」によるソフトウェアマネジメントを、定量的で科学的な裏付けのある「マネジメント技術」とするための知識や技法について学習

技術スキルレベル		ソフトウェア要求分析	ソフトウェア方式設計	ソフトウェア詳細設計
4 (トップエスイーのゴールレベル)	現場の開発に近い規模・困難さのシステム開発課題に対し、独力で最先端のモデリング技術・ツールを複数組み合わせることで開発業務を行い、高い品質の成果を出すとともに、そのノウハウを方法論として一般化したり、新たなツールを開発できる。			修了制作
3	開発工程の各フェーズにおけるモデリング技術やツールに関して、従来のものから最先端のものまで、複数の技術・ツールを理解・習得し、指導者が与えた課題に対し、それらの技術・ツールを使い分けることができる。	セキュリティ要求分析	形式仕様記述(セキュリティ編) 性能モデル検証 実装モデル検証 並行システムのモデル化と検証	形式仕様記述(応用編) 設計モデル検証(応用編) ソフトウェアパターン アスペクト指向開発
2	従来のモデリング技術やツールの原理の基礎を理解し、指導者が与えた開発工程の各フェーズにおける例題に対し、これらの技術を適用することができる。	要求分析	形式仕様記述(基礎編) 設計モデル検証(基礎編) コンポーネントベース開発	
1 (トップエスイーのエントリーレベル)	ソフトウェアエンジニアリングの原理・原則および最先端のモデリング技術やツールの原理を理解する基礎知識とソフトウェア開発経験を持つ。			ソフトウェア工学実践 基礎理論

表-1 カリキュラム

するものである。

また、基礎理論ならびにソフトウェア工学実践を設けている。基礎理論は、受講生が他の講座を受講し理解するために必要な計算機科学に関する知識を総復習する。ソフトウェア工学実践は、UMLによるモデリングやプロジェクト管理、要求工学など現場で用いられているソフトウェア工学を総復習する。受講生全員が同じレベルからカリキュラム本体を開始できるように、受講生にはまずこの2つの講座の受講を義務付けている。

なお、受講生は、1講座ごとに1単位を取得できる。修了制作に合格してカリキュラムを修了するためには、少なくとも8単位を取得しておく必要がある。カリキュラム修了には最低1年半必要とする。成績は、頻繁に講義で出題される演習問題に対するレポートを主に考慮して評価する。各講座は毎週1コマ開講される12コマの講義から構成され、1コマの時間は90分である。講座は3カ月続き、これで1学期を構成する。1学年は3学期から構成される。

表-2に、各講座で使用している方法論とツールの一例を示す。受講生が、カリキュラムを修了するためには、8講座の習得により、約10～20点の異なるツールが有するモデリング技術の習熟が求められることになる。

教材開発の実際

本章では、トップエスイープロジェクトにおける教材

講座名	方法論	開発支援ツール
コンポーネントベース開発	ICONIX, KorbA, UML Component, Catalysis	J2SE/JavaBeans, Jude
形式仕様記述(基礎編)	B-Method, VDM-SL	VDM-SL Toolbox, B4Free, Click'n'Prove
設計モデル検証	設計の検査プロセスと検証方法	SPIN, SMV, LTSA
要求分析	KAOS, i*	K-Tool(自家製ツール), ST-Tool
ソフトウェアパターン	アナリシスパターン, アーキテクチャパターン, デザインパターン, オブジェクト指向設計原則	Jude, PatternWeaver, SMC, DoJA, Eclipse
形式仕様記述(応用編)	B-Method, VDM++	VDM++ Toolbox, B4Free, Click'n'Prove
実装モデル検証	プログラムの欠陥の発見的方法論	JPF (Java Path Finder), Centralizer (自家製ツール)
性能モデル検証	設計の検査プロセスと検証方法	UML Profile for SPT, Uppaal
セキュリティ要求分析	KAOS, i*, Misusecase, AbuseCase, Security Usecase	K-Tool(自家製ツール), ST-Tool, Jude

表-2 利用ツール(一例)

開発の実際について紹介する。教材ごとに大学関係者と企業とで作業部会を設立し、約1年かけて教材を開発する。特に教材の題材として、企業からは、数年先に顕在化することが予想される実問題を持ち込んでもらっている。作業部会では、さまざまな最先端のツールを実問題に適用し、試行錯誤を繰り返しながら、有用なツールを見極める。ツールを実問題に適用する際には、さまざ

講座	実問題
コンポーネントベース開発	インターネット上の複数のサービスの連携に基づく情報家電サービスシステムの分析/設計およびプロダクトライン化問題
ソフトウェアパターン	携帯電話やPC等の異種端末からネットワーク経由で操作可能な番組予約システムの分析/設計/実装およびフレームワーク化問題
アスペクト指向開発	ネットワーク経由で操作可能かつチケットレスなホテル予約システムの分析/設計/実装/テストおよび仕様追加に伴う保守問題
設計モデル検証 (基礎編, 応用編)	HDレコーダ・DVDレコーダ間でのコンテンツコピー機能に関し、ユーザによるコピー開始・停止操作、また電源断・再投入が任意のタイミングで発生し得る状況における、動作の正しさの検証問題
実装モデル検証	複数のユーザ間での情報交換を、分散環境で実現するクライアント・サーバシステムの、プログラムの正しさの検証問題
性能モデル検証	自動車のギア制御システム、オーディオ制御プロトコルの、リアルタイム性を考慮した動作の正しさの検証問題
並行システムのモデル化と検証	ネットワーク経由画像表示システムの設計/実装/検証問題
要求分析	DVDレコーダの連続ドラマ録画機能に関し、多種・多様なユーザニーズ、多数・多様なステークホルダ間の利害関係、多種・多様な制約、および多種・多様な実現方法の下で、機能要求を抽出・整理する問題
セキュリティ要求分析	文書管理システムのアクセス制御ポリシー決定問題、DVDレコーダの著作権保護機能要求分析問題、おサイフケータイのセキュリティ仕様
テスト	Javaで実装されたHDレコーダの予約録画機能に対する、さまざまな観点(ブラックボックス、ホワイトボックスなど)によるテスト、およびテスト駆動開発によるプログラミング問題
プログラム解析	Javaで実装されたWebショッピングシステム、および病院システムにおけるアクセス制御機能に関する、契約による開発に基づいたテスト
形式仕様記述(基礎編)	高信頼なアドホックネットワークシステムの設計問題
形式仕様記述(応用編)	高信頼な病院システムの設計/実装問題
形式仕様記述(セキュリティ編)	病院システムにおける高信頼なアクセス制御機能の設計問題

表-3 講座で採用している実問題

まなノウハウが必要となるが、それらを顕在化し教材としてまとめあげる。

前章で説明したように、本プロジェクトでは、受講生に高度なモデリング能力を習得させ、現実のソフトウェア開発、特にネットワーク家電の分野における課題を解決するために、ツールを活用してモデリング技術を適用できるようにすることを目的としている。実際の教材開発に当たっては、可能な限り現実のソフトウェア開発に即した題材を例題として使用する。そして、各講座で扱うモデリング技術やツールの活用により、現実的な課題への解決策を盛り込むように留意している。各講座が対象としている実問題を表-3に示す。

次に、本プロジェクトで開発した教材の例として、設計モデル検証(基礎編)について詳述する。設計モデルの欠陥を自動的に発見する技術として、SPINなどのモデル検査ツールが注目されている。しかしSPINには、独自の言語の使用など、モデリングに関する多くの難しさがあり、普及への障害となっている。本講座では、UMLモデルをSPINのためのモデルに変換するなど、各種の詳細なモデリング作業を体系的に構成することにより、設計検証プロセスを構築した。そして、SPINを利用する際の実践的ノウハウを、その設計検証プロセスに沿って習得することにより、上述のような難しさの解決を

指している。さらに本講座では、2～3名程度の少人数で構成されたグループ単位で実際の組み込みボードを用いた演習を行う。演習においては、まず、検証を行っていないネットワーク家電、具体的にはHDレコーダ・DVDレコーダ向けソフトウェア設計を組み込みボード上に実装し、設計誤りを発見する。次に、SPINを利用してソフトウェア設計の検証を行い、設計誤りの検出・修正作業を行うことにより、モデル検査技術の有効性と難しさを体得する。

その他の教材の例として、設計モデル検証(基礎編)と同様な方針で開発した、要求分析、および実装モデル検証を紹介する。

高品質なソフトウェアの開発のために、要求分析工程が重視されている。要求分析講座では、このような目的の達成を目指したゴール指向要求分析手法であるKAOSおよびi*/Troposを習得する。これらの手法は、ゴールモデルの構築・分析に基づいているため、モデリングの観点から体系的に整理したノウハウを習得する。また、DVDレコーダの連続ドラマ録画機能の要求分析という、現実的な問題を用いたグループ演習を行う。

プログラムの欠陥の発見と修正にも、近年設計モデルと同様にモデル検査技術が適用され、Javaプログラムのモデル検査ツールJava Pathfinderが注目されている。実

装モデル検証講座においては、Java プログラムを実装のモデルとしてとらえ、Java Pathfinder の利用ノウハウを、抽象化や環境のモデル化といった、モデリングノウハウとして習得する。さらに、複数のユーザ間での情報交換を分散環境で実現するクライアント・サーバシステムに対し、プログラムの正しさを検証するという実問題を用いて、Java Pathfinder ツールの利用ノウハウを体得する。

修了生の実際

トップエスイーでは、受講生の修了を認定するために修了制作を課している。修了制作とは、所定の単位数を取得済みの受講生が、教員の指導を受けながら主体的に約 5 カ月間をかけて、職場で抱える実問題あるいは実問題に近い課題を設定し、トップエスイーで習得した 2 種類以上のモデリング技術を駆使して課題を解決し、その成果および過程において得られた知見を報告書にまとめて発表するという一連の実習活動である。具体的な作業内容は課題に応じて異なるが、典型的には要求分析からテストに至る開発プロセスの一通りを実施する(図-5 参照)。

トップエスイーにおいて受講生に求められる最終目標は、表-1 における技術スキルレベル 4 に到達することであり、その到達の可否は、修了制作の発表内容を教員が評価して判定される。したがって表-1 に示すように、高品質な成果を生み出すにとどまらず、修了後の受講生自身や所属組織および広く一般における開発・技術活動について習得モデリング技術が活用可能となることを念頭において、(A) 解決の過程で得られたモデリング上の知見を再利用可能な方法論として一般化することや、(B) 一定の汎用性を備えてモデリング作業を支援する新

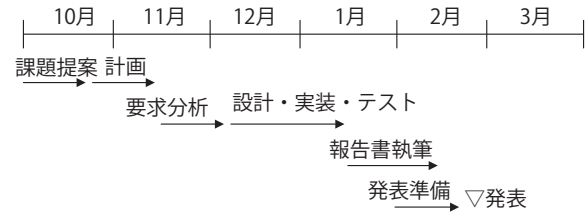


図-5 平成 18 年度の典型的な修了制作スケジュール

ツールを生み出すことが求められる。さらに 2 種類以上の技術使用を義務付けることで、状況に応じた技術の使い分けや、工程・側面を超えた複数技術の組合せといった実践上のノウハウが習得されていることを確認する。ただし、(B) を主目的とする場合は、作業負荷を考慮して 1 種類のみ技術使用を許可した。

平成 18 年度には、12 名の受講生が表-4 に示す各課題の解決に取り組み、発表内容の評価により全員について修了が認定された。各課題は実問題、あるいは実問題に近い複雑なもので解決に一定の困難さが伴うこと、用いたモデリング技術・ツールは各受講生にとってトップエスイー参加前には未習得かつ先端的であること、および、大多数は複数の技術・ツールを適材適所に組み合わせ用いたことから、トップエスイーにおける教育は実践的かつ教育効果に優れていると考えることができる。

トップエスイーの教育効果を具体的に示すために修了生の姿を浮き彫りにしたいと考える。そこでやや詳細になるが、修了制作の具体例を以下に 2 つ取り上げる。

- (1) 「UTM アプライアンスのログ情報解析ツールの解析」：セキュリティ機能を統合した UTM (Unified Threat Management) 製品の開発にあたり、同製品が出力するログの解析ツールを合わせて開発する必要があった。開発にあたり受講生は、機能要求の不明確さ

課題名	目的	使用モデリング技術・ツール (講座)	人
ポリシー制御システムの整合性技術	A	SPIN, NuSMV (m)	産
ホームネットワークにおけるコンテンツ配信サーバ	A	i*, KAOS (r), ADD, アーキテクチャパターン (p)	産
UTM アプライアンスのログ情報解析ツール	A	KAOS (r), ADD, アーキテクチャパターン (p)	産
センサミドルウェアのアーキテクチャ設計	A	KAOS (r), デザインパターン (p)	学
Web アプリケーションのページ間遷移仕様検証ツールの制作	B	SPIN (m), UML Components (c)	学
複数ステークホルダーを有する Web システムのビジネスモデル分析	A	i* (r), ミスユースケース (s)	学
コンプライアンス遵守のための要求分析	A	i* (r), ミスユースケース, HAZOP (s)	産
SPIN 利用支援 Eclipse プラグインの開発	B	SPIN (m)	産
無線センサネットワークにおける計測要求から計測処理への自動変換ルール	A	KAOS (r), デザインパターン (p)	学
モデル検査技術を用いた GUI アプリケーションの検証	A	SPIN (m), ICONIX (c)	産
映画推薦システムのレーティングを予測するコンポーネント	A	i* (r), デザインパターン (p)	学
要求を反映した形式仕様記述の獲得	B	KAOS (r), VDM++ (f)	学

表-4 平成 18 年度の修了制作における課題一覧
 (r: 要求分析, s: セキュリティ要求分析, p: ソフトウェアパターン, m: 設計モデル検証, f: 形式仕様記述, c: コンポーネントベース開発, 産: 企業からの受講生, 学: 大学院生)

や時間効率性・拡張性に関する品質要求などを問題として識別した。そこで受講生は、トップエスイーで習得した技術群から、要求分析において KAOS によるゴール指向分析、設計において品質特性駆動型設計を選択・併用し、問題を解決する形でツールを実装した。前者は多種の目標群を達成する観点に基づいて要求を詳細に識別・分析する手法であり、後者は各種パターン（定石や手本）を再利用して品質要求を満足するアーキテクチャを導出する手法である。さらに、これらの技術の組合せ方法には、これまで明らかでなかった実用上のノウハウが含まれていたため、受講生は全体を図-6に示す品質要求駆動型開発プロセスとして一般化

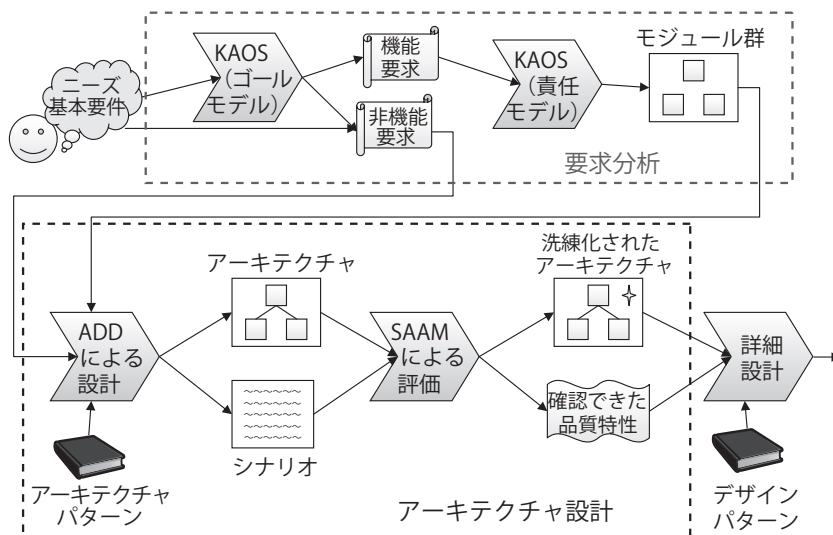


図-6 一般化された要求駆動型開発プロセス

した。これは、開発過程で得られた知見を方法論としてまとめるという(A)の好事例である。得られた解析ツールの実用化が検討されており、高品質であることから、背景理論と実上のノウハウを共に重視して複数のモデリング技術を習得させるトップエスイーの高い教育効果が結実した形と捉えられる。

(2) 「Webアプリケーションのページ間遷移仕様検証ツール」: Webアプリケーション開発の問題として、大規模・複雑なWebページ遷移の信頼性や安全性を検証することの難しさがある。たとえば、個人情報ページに到達する前に認証ページを必ずたどっていることや、行き止まりのページが存在しないことを人手で確認しようとする膨大な時間がかかり、さらには見落としの危険性もある。このような状態遷移上の性質の検証には、有限の状態空間を網羅的・自動的に探索するモデル検査が有用である。しかし、対象アプリケーションの振る舞いを有限状態モデルとしてモデリングするにあたって、必要な遷移情報が各ページ定義やフレームワーク(Webアプリケーション開発における共通処理と骨格をまとめたもの)の構成定義に分散し、結果として適用コストが大きく誤りも混入しやすいという問題を受講生は識別した。そこで受講生は、対象フレームワークをStrutsに設定し、ページ定義(JSPファイル)および構成定義(struts-config.xml)から遷移情報を抽出し、モデル検査ツールSPINが扱う有限状態モデルへと自動変換する実用的ツールstruts2spinを開発した(図-7)。つまり同ツールは、モデル検査をWebアプリケーションという実問題へ適用する際に必要なモデリング上の新ノウハウと手順をカプセル化し、誰でも一定品質のモデリング結果を得られる

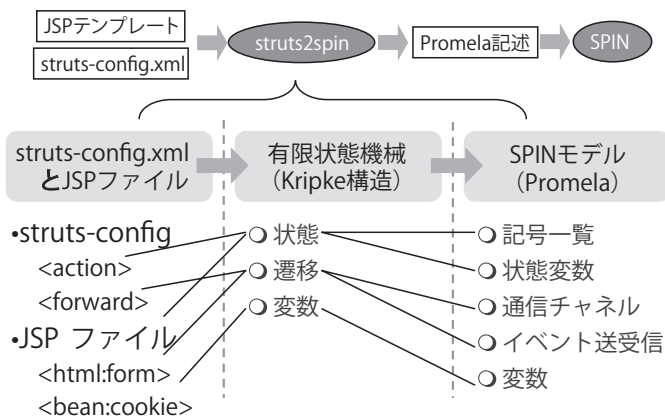


図-7 struts2spinの全体像

ように自動化する。受講生は実際のWebアプリケーションに同ツールを適用し、識別した問題を解決しつつ、遷移上の信頼性・安全性検証に有効なことを確認した。これは汎用性を備えた新ツールを生み出すという(B)の好事例である。同成果には学术界より高い評価が与えられており、国際会議における発表が予定されていることから⁴⁾、モデリング能力の洗練化を目指すトップエスイーの高い教育効果が結実した形と捉えられる。

トップエスイーにおける教育カリキュラム評価

トップエスイープロジェクトでは、その教育カリキュラムに対する評価の一環として、独自のスキル・知識体系の構築・整備を試みている。その具体的な目的は以下のとおりである。

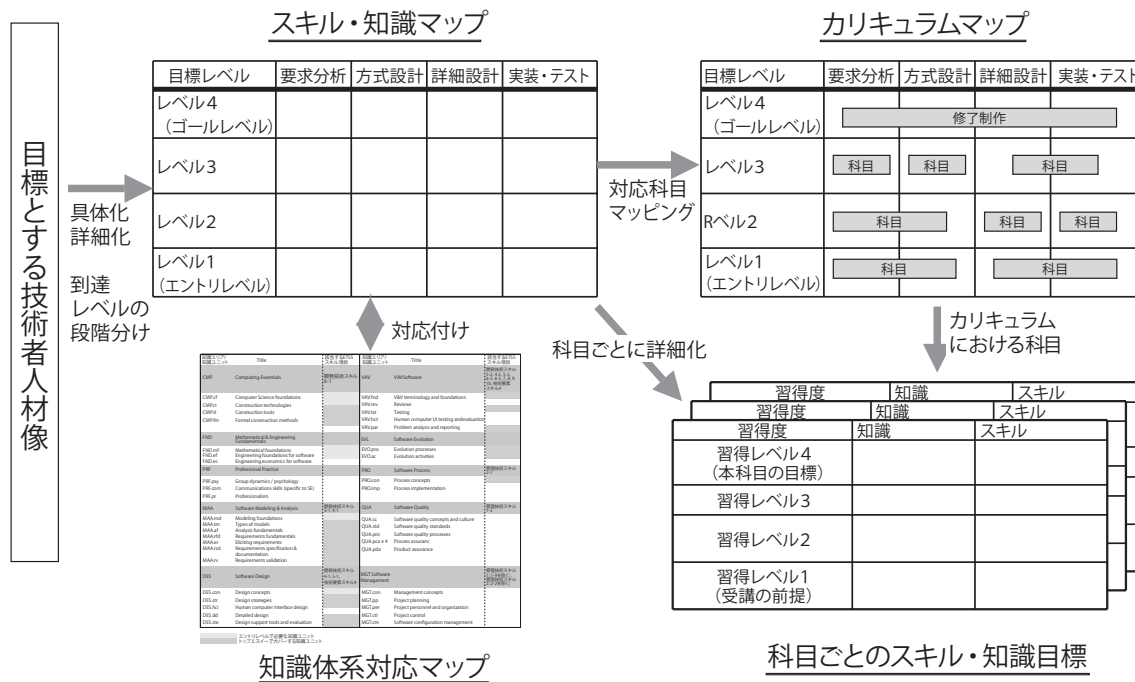


図-8 スキル・知識体系の全体構成

● 教育目標の妥当性の評価

教育目標とする習得スキル・知識とその到達レベルをより具体化・詳細化することにより、開発現場側から見た目標の妥当性を評価できるようにする。

● カリキュラム全体としての整合性の評価

習得スキル・知識やその到達レベルと科目との関係を明らかにし、カリキュラム全体を俯瞰することによって、科目の過不足等をチェックできるようにする。

● 標準カリキュラムとの対応の明確化

CC2005/SE2004⁵⁾ や情報専門学科におけるカリキュラム標準 J07:SE 領域など、ソフトウェアエンジニアリング分野のカリキュラム標準で提示されている知識項目との対応をとることにより、本教育プログラムの位置づけの明確化や教育内容の妥当性が評価できるようにする。

● 受講価値の判断材料の提供

科目のシラバスに加えて、習得スキル・知識を系統的に提示し、各科目の位置付けを明らかにすることにより、受講側にとっての受講価値判断または科目選択の判断材料を提供する。

現在のスキル・知識体系は、スキル・知識の鳥瞰マップ、カリキュラムマップ、科目ごとのスキル・知識目標標準との対応マップで構成される(図-8)。スキル・知識の鳥瞰マップは、習得目標とするスキル・知識を段階分けし、ソフトウェア開発工程ごとに具体的な習得目標を記したマップである。このマップに対して、各習得ス

キル・知識をカバーする科目を配置したものがカリキュラムマップである(表-1のカリキュラム)。さらにカリキュラムを構成する各科目では目標とするスキル・知識目標を段階的に規定している。表-5は科目の1つである設計モデル検証(基礎編)のスキル・知識目標の例である。また、標準カリキュラムとの対応を明確化するための対応マップも作成している。

トップエスイープロジェクトでは、期ごとに科目の追加検討や科目ごとの教育内容の改善が行われているため、これらの各内容も随時見直されている。

今後の展開

現在のトップエスイーの3期生の数は31名である。1つの教室で良質な教育ができる上限値であると考えている。我が国として毎年30名程度の修了生を出していくだけでは、諸外国の活動と比較して非常にお寒い状況である。そこで、トップエスイーの教育を、大学さらには企業にも広く普及させていきたいと考えている。たとえば50カ所の大学と企業で同等な教育を行うことで、1,500名の修了生を毎年生み出すことができる。そのためには、教材自身の洗練化は言うまでもなく、教材を広く普及させていく方針である。その一環として、各講座の講義ノートをサイエンスによる知的ものづくりシリーズとして順次刊行している⁶⁾。平成19年度中には、講義スライドもダウンロードできるように準備を進めている。また、文科省の先導的ITスペシャリスト育成推進

習得度	知識	スキル
習得レベル 4 (本科目の目標)	【モデリング能力】 中規模以上のシステムに対する Promela 記述 (モデルおよび仕様記述) のノウハウ (Promela で合計 500 行程度) 【ツール適用能力】 中規模以上のモデル記述 (Promela で合計 500 行程度) に対する検証とデバッグ・修正のノウハウ	【モデリング能力】 実例レベルの課題 (情報家電) を対象にシステムの振る舞いおよび仕様を Promela でモデリングできる。 【ツール適用能力】 SPIN を用いて上記のモデルが与えられた仕様を数学的に満たすことを検証できる。不具合が見つかった場合はその原因を追究し、除去することができる。
習得レベル 3	【モデリング能力】 並行システムの性質 (非決定性, 排他制御, プロセス間通信, 安全性, 活性, 公平性) に対する正確な理解 【ツール適用能力】 時相論理, モデル検査アルゴリズムの正確な理解と SPIN の高度な機能 (検証・デバッグなど) の使い方	【モデリング能力】 簡単な並行システム例題の振る舞いを Promela でモデリングできる。 【ツール適用能力】 SPIN を用いて上記のモデルが並行システムとしての諸性質を数学的に満たすことを検証できる。不具合が見つかった場合はその原因を追究し、除去することができる。
習得レベル 2	【モデリング能力】 オートマトンおよび UML の意味論 (特に状態チャート) に対する正確な理解 【ツール適用能力】 SPIN の基本機能の使い方	【モデリング能力】 簡単なシステム例題 (状態を有するシステム数が 2,3 程度) を対象に, UML の状態チャートを用い, システムの振る舞いをモデリングできる。Promela を用いて, 同例題をモデリングできる。 【ツール適用能力】 SPIN の基本機能の操作を行うことができる。
習得レベル 1 (受講の前提)	以下に関する概要を知っていること ・ UML, 並行システム, オートマトン, モデル検査アルゴリズム, 時相論理	・ Java を用いて, 並行プログラムを実装できる。

表-5 設計モデル検証(基礎編)のスキル・知識内容

プログラムなど他の教育プログラムとも積極的に連携を進めている。たとえば、東京大学、東京工業大学の学生を対象にした「情報理工実践プログラム」においてトップエスイーの6教材を使っている。今後は、北海道大学、筑波大学、名古屋大学、大阪大学、九州大学、早稲田大学などとも連携していく所存である。

標準カリキュラムとの位置付けを明らかにするために、トップエスイーの知識項目と情報専門学科カリキュラム J07:SE 領域の知識項目との対応付けを行っている。その結果として、J07 の知識カテゴリ「開発プロセスと保守」、「ソフトウェア品質とエンジニアリングエコノミクス」、「ソフトウェア開発マネジメント」がカバーされていないことが分かっており、現在、対応する科目の教材開発を進めているところである。なお、トップエスイーの活動の詳細は、www.topse.jp をご覧いただきたい。個々の講義シラバス、協賛企業名などが掲載されている。

謝辞 本人材養成ユニットは文部科学省科学技術振興調整費新興分野人材養成の支援により運営されていることをここに記すとともに感謝する。

参考文献

- 1) Honiden, S., Tahara, Y., Yoshioka, N., Taguchi, K. and Washizaki, H. : Top SE : Education Program of Japan to Produce Superarchitects Who Can Apply Software Engineering Tools to Practical Development, the 29th Int. Conference on Software Engineering (ICSE 2007), pp.20-26 (May 2007).
- 2) 本位田真一, 田口研治, 吉岡信和, 田原康之, 鷺崎弘宜: トップエスイー「サイエンスによる知的ものづくり教育」, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.9 (2007).
- 3) Holzmann, G. J. : The SPIN Model Checker : Primer and Reference

Manual, Addison Wesley (2004).

- 4) Kubo, A., Washizaki, H. and Fukazawa, Y. : Automatic Extraction and Verification of Page Transitions in a Web Application, 14th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC), IEEE CS (2007).
- 5) Computing Curricula 2005, ACM, AIS, IEEE-CS (2005).
- 6) 本位田真一監修: サイエンスによる知的ものづくりシリーズ, 近代科学社.

(平成 19 年 9 月 5 日受付)

本位田 真一 (正会員) honiden@nii.ac.jp

1978 年早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。(株) 東芝を経て 2000 年より国立情報学研究所教授。2006 年より同研究所アーキテクチャ科学研究系研究主幹を併任、現在に至る。2001 年より東京大学大学院情報理工学系研究科教授を兼任、現在に至る。早稲田大学客員教授、英国 UCL 客員教授、現在に至る。2005 年度パリ第 6 大学招聘教授。工学博士 (早稲田大学)。1986 年度情報処理学会論文賞、DICOMO2007 最優秀論文賞。日本ソフトウェア科学会理事、情報処理学会理事 (教育担当) を歴任。IEEE Computer Society Japan Chapter Chair, ACM 日本支部会計幹事。日本学術会議連携会員。本会フェロー。

桑野 文洋 (正会員) kumeno@nii.ac.jp

1990 年早稲田大学大学院理工学研究科数学専攻修士課程修了。同年 (株) 三菱総合研究所に入社、現在に至る。自動推論、エージェント指向言語、移動エージェントの研究開発に従事。2007 年より国立情報学研究所特任准教授を兼務、現在に至る。工学博士 (早稲田大学)

田原 康之 (正会員) tahara@nii.ac.jp

1991 年東京大学大学院理学系研究科数学専攻修士課程修了。同年 (株) 東芝入社。1993 ~ 96 年情報処理振興事業協会に出向。1996 ~ 97 年英国 City 大学客員研究員。1997 ~ 98 年英国 Imperial College 客員研究員。2003 年より国立情報学研究所に勤務。2007 年より同研究所特任准教授。博士 (情報科学) (早稲田大学)。エージェント技術、およびソフトウェア工学などの研究に従事。日本ソフトウェア科学会会員。

鷺崎 弘宜 (正会員) washizaki@nii.ac.jp

2003 年早稲田大学大学院博士課程修了。博士 (情報科学)。現在、国立情報学研究所および総合研究大学院大学助教。ソフトウェア工学の研究と教育に従事。2004 年日本ソフトウェア科学会高橋奨励賞、2006 年情報処理学会 SES 優秀論文賞。2007 年同学会山下記念研究賞。