

学問分野を超えた「システムデザイン・マネジメント学」 の大学院教育の構築

— 大規模・複雑システムの構築と運用をリードする人材の育成を目指して —

神武 直彦*、前野 隆司、西村 秀和、狼 嘉彰

環境共生や安全等の社会的価値に配慮した大規模・複雑システムの構築や運用をリードする人材の育成を行うためには、学問分野を超えた文理融合型の「システムデザイン・マネジメント学」教育が必要である。そこで、技術システムのみならず社会システムを含むあらゆるシステムを教育の対象とし、システムのライフサイクルに沿ったデザイン能力、システムの実現に必要なマネジメント能力を身につけることのできる大学院教育を構築した。まず、社会・産業界や関連する国内外の教育研究機関等のステークホルダーと連携し、教育カリキュラムの整備や教員の採用、教育設備や研究拠点の整備、学生の募集、教育の実施、更には成果公表の方法を設計した。設計にあたっては、学生が身につけるべき能力と知識を六つに分類し、それらの能力と知識を身につけることのできる教育研究機関として2008年4月に大学院を開校した。現在まで約2年間大学院教育を実施し、学生の自己評価、外部評価委員による評価、論文等の学生の成果に基づいて検証した結果、構築した大学院教育の有効性を確認した。

キーワード：システムデザイン・マネジメント学、大規模・複雑システム、文理融合

Graduate education for multi-disciplinary system design and management

– Developing leaders of large-scale complex systems –

Naohiko Kohtake*, Takashi Maeno, Hidekazu Nishimura and Yoshiaki Ohkami

“System Design and Management” program, a study that integrates humanities and sciences by crossing many disciplines, is essential to foster talented persons who can lead in the development and operation of large-scale complex systems that are symbiotic, safe and secure. The subject of the new graduate school education is large-scale complex technological and social systems, with an education curriculum that provides practically oriented lectures through which students can acquire the capacity to consider systems, the faculty to design systems in line with system life cycles, and the ability for system management. By collaborating with industries and related stakeholders such as domestic and international educational research institutions, we designed an educational curriculum and recruited faculty members, developed educational facilities and research centers, recruited students, provided education, and moreover designed the method of publishing accomplishments. As for the establishment of the graduate school in April 2008, the educational curriculum was formed to provide students with opportunities to acquire must-learn capability and knowledge that were classified into six groups. The validity of the education method was confirmed based on verification of the students’ self-evaluation, evaluation by the external evaluation committee and accomplishments by students such as papers, after the first two years of graduate education.

Keywords: System design and management, large-scale complex system, multi-disciplinary

1 はじめに

日本の大学および大学院は、主に「単一の学問分野（以下、ディシプリン）の教育」と「未知現象を計画的に探索することによって普遍的な知識を発見、解明、形成するための研究である第1種基礎研究^[1]」を行っている。このような従来からの教育および研究は、長きにわたり高度な専門性を有する人材の育成成果をあげてきた。しかし、学問の専門化や詳細化は、分野を超えた問題に対処できる人材の育成には向かないという一面を有する^[2]。

一方、近年の実用化されたシステムには、ある分野の専門化や詳細化のみでは対処することが困難な様々な問題が生じつつある。例えば、発電システムや宇宙航空システム

の運用の際に直面する予期せぬ事故や故障への対応の困難さ、自動車やロボットの開発において直面する安全設計の困難さである。いずれも、対象とするシステムの大規模化や複雑化に起因することが多い^[3]。同時に、現代の科学技術文明が作り出したというべき地球環境問題の深刻化が、現代社会の最重要課題の一つとなっている。すなわち、各々のシステムが直面する安全性の問題やそれを巻き込む地球環境問題をそれぞれ個別の問題と捉えていたのではシステムを適切にデザインすることが困難になりつつある。安全や環境共生に代表される時空間スケールの異なる問題を同時に解決するシステムを実現するためには、安全性の問題、地球環境の問題、システムとそのシステムを構成する

慶應義塾大学 〒223-8526 横浜市港北区日吉 4-1-1 協生館

Keio University Kyoseikan, 4-1-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8526, Japan * E-mail: kohtake@sdm.keio.ac.jp

Original manuscript received November 6, 2009, Revisions received March 23, 2010, Accepted March 24, 2010

個々の要素の関連性、といったカテゴリやスケールの異なる多様な価値の間の複雑な相互作用をシステムの関係性としての確に捉え、システム全体をデザインする横断的学問の体系化と、これに基づくシステム統合的視点からの教育が不可欠である。ところが、産業界における様々な製品の開発やその運用の際に生じる複数のディシプリンにまたがる問題を解決するための方法は、国内では十分に教育されてきたとは言い難い。

欧米では、システムズエンジニアリングが複数のディシプリンにまたがる問題解決の役割の一翼を担ってきた。なお、日本ではシステムズエンジニアリングはITシステムのための工学と狭義に捉えられがちであるが、本来は、機械システムやITシステムから社会システムまで、あらゆるシステムの解析と統合に関する工学である。システムズエンジニアリングの国際学会である International Council on Systems Engineering（以下、INCOSE）によれば、システムズエンジニアリングとは「システムを成功裏に実現するための、複数のディシプリンにまたがるアプローチおよび手段」であると定義されている^[4]。そして、特に米国ではINCOSEにて定義されたシステムズエンジニアリングに沿った教育がマサチューセッツ工科大学、スタンフォード大学、海軍大学、空軍工科大学を初めとする75校の大学・大学院で体系的、実践的に行われている^[5]。

大学や大学院で行う教育では、産業界からのニーズを常に把握しておく必要がある。日本経団連教育問題委員会「企業の求める人材像についてのアンケート結果」^[6]では、理系の大学・大学院に対して人材育成の点で期待する点として主に表1に示した項目が挙げられている。技術系人材を採用する立場から、大学・大学院（理系学部・学科・専攻）に対して人材育成の点で何を期待するかを520社に質問したアンケートの結果であり、回答数が多かった項目五つを示している。このアンケートでは各社それぞれ三つまで回答を選択できることとしている。この結果からも、高度な専門知識を生かし、著しく変化する現在の社会情勢に対応して次世代のシステムを創り出し、マネジメントできる人材を輩出する大学・大学院が必要とされていることがわかる。

表1 産業界から大学・大学院への期待

回答	企業
専門の知識を学生にしっかり身につけさせること	340社
知識や情報を集めて自分の考えを導き出す訓練をすること	287社
専門分野に関連する他領域の基礎知識も身につけさせること	231社
理論に加えて、実社会とのつながりを意識した教育を行うこと	162社
チームを組んで特定の課題に取り組む経験をさせること	119社

このような社会的背景に鑑み、慶應義塾大学では2008年4月に大学院としてシステムデザイン・マネジメント研究科（以下、SDM研究科）を開設した。この大学院では、これまでの大学院にはない実践重視のユニークな教育カリキュラムを構築し、主に何らかの専門性を身に付けた実務経験者に対し、環境共生、安心・安全等の社会の要請を考慮した大規模・複雑システムのデザインを行える人材の育成を行っている。言い換えれば、従来の日本の大学院では育成することが困難であった、第2種基礎研究^[1]や応用研究をリードできる人材の育成を行っている。なお、ここで言う大規模・複雑システムには、発電システムや宇宙航空システムのような技術システムのみならず、金融システム、医療システム、地域社会、企業組織、NPO組織のような社会システムも含む。

我々の目標は、大規模・複雑システムを創造的にデザインし、確実にマネジメントするための学問体系であるシステムデザイン・マネジメント学（以下、SDM学）を構築し、その大学院教育を行い、大規模・複雑システムの構築と運用をリードする人材を育成することである。本論文では、我々の目標を実現するために設定した大学院設立のシナリオ、大学院教育を実施するために選択したそれぞれの要素とそれらの統合による現在までの成果について紹介する。その上で、学生による評価および外部評価とそれらに関する考察、今後の課題について述べる。

2 シナリオ

慶應義塾大学では、長い構想期間を経て、SDM学教育のための大学院開設に至った。1996年には世界に先駆け理工学部内にシステムデザイン工学科を設立し、機械工学、電気工学、情報工学、建築学等の工学系ディシプリンの枠を超えたシステムデザイン工学の教育・研究を行い、基礎学問能力と統合的視点を併せ持ったエンジニアの育成を行ってきた。2008年には、理学、工学、経済学、政治学等の技術系・社会科学系ディシプリンの枠を超えた文理融合型の学問であるSDM学の教育・研究を行うために、理工学部・理工学研究科とは別の組織としてSDM研究科を開設した。

SDM研究科開設にあたっては、大規模・複雑システムに携わる国内や海外の方々を対象に、大規模・複雑システムの開発や運用における現状の課題や大学院教育に対する産業界のニーズについてインタビューを行った。その結果、大学院教育へのニーズは、表1に記述した内容とほぼ同一であることを確認した。また、欧米を中心に発展してきているシステムズエンジニアリングや、日本の産業界において発展してきた自動車やロボット、プラント等の大規模・複雑

システムに対するデザイン手法、慶應義塾大学が21世紀COEプログラム「知能化から生命化へのシステムデザイン」で構築したシステムデザイン方法論^{[7][8]}、社会システムのデザインとマネジメントに必要な知識や手法を基本に、大学院教育の仕組みを設計した。修士課程では、教員および学生、もしくは学生同士のインタラクティブな教育を重視し、専門職大学院的な教育によって大規模・複雑システムの構築と運用をリードする人材を育成することを教育目標として設定した。また、博士課程では、研究を重視することによってシステムデザイン・マネジメント学の専門家を育成することを教育目標として設定した。

複数のディシプリンにまたがる課題を対象にした大学院教育において、我々の目標を実現するためには、様々な利害関係者(以下、ステークホルダー)との連携が重要である。目標を実現するために設定したシナリオと、主なステークホルダーとの関係を図1に示す。各ステークホルダーとSDM研究科との間のインプットとアウトプットを矢印で図に示し、そのうち、SDM研究科として特に重視しているものについてはその文字を下線・大文字で示した。なお、この図において、主なステークホルダーの一つである社会・産業界は、いわゆる「産官学」の「学」(教育研究機関)以外の全てを意味しており、政府や地方自治体、NPO法人等、あらゆる社会組織を含む。シナリオの詳細は、以下のとおりである。

(1) 教育カリキュラム整備

社会・産業界での課題や大学院教育に対するニーズを踏まえ、大規模・複雑システムを扱うために学生が身につけるべき能力を設定し、それらの能力を培うことのできる学問体系としてSDM学の体系を構築し、教育カリキュラムを整備する。単一のディシプリン教育に関しては、必要に応じて国内外の大学・大学院と連携する。

(2) 教員採用

教育カリキュラムに基づき、各科目の講義およびSDM学に関する研究を推進することのできる教員を採用する。特に、企業経験や海外経験を有し、大規模・複雑システムの開発や運用で一流の研究開発経験を有する教員を数多く採用する。

(3) 教育施設整備

教員と学生、もしくは学生同士の様々なコミュニケーションやグループ学習の創出を促進する教育施設を整備する。また、教育や研究における社会との密接な連携を重視するため公共交通機関によるアクセスの良い場所に整備し、遠隔地にいる学生や教員、国内外の関連機関との議論、会議を支援するための通信システムを充実させる。

(4) 研究拠点整備

社会や産業界での課題をSDM学の適用により解決す

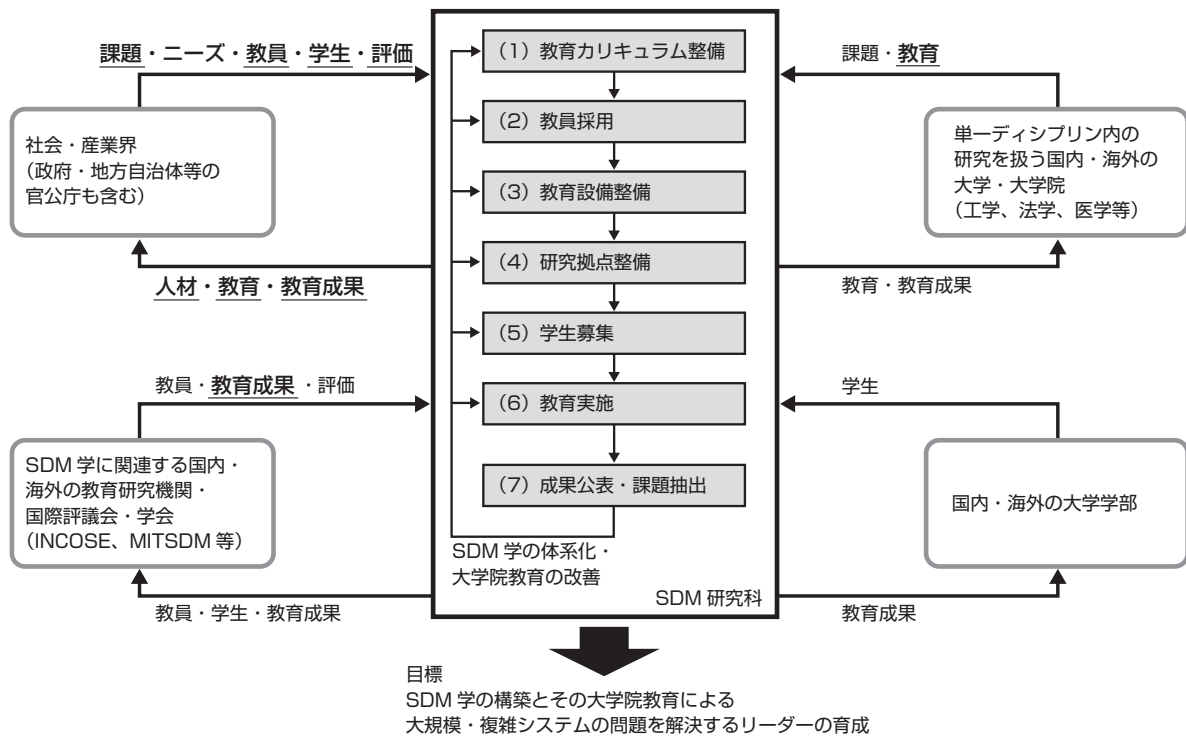


図1 目標達成のためのシナリオおよび各ステークホルダーとの関係

るとともに、得られた知見の活用と関連する教育研究機関、国際機関、学会との連携によってSDM学をさらに発展させるための研究拠点を整備する。

(5) 学生募集

多様な人材の交流に基づく学びを可能にするために、理工系、社会科学系、人文科学系等の何らかのディシプリンでの専門性を具備した人材を中心に募集する(いわゆる理科系と文科系の専門性を有する人材の割合を1:1、実務経験学生と新卒学生の割合を2:1程度にする)。また、国内学生の国際性の向上と、日本語を母国語としない学生へのSDM学の普及を目的として留学生を積極的に募集する。

(6) 教育実施

社会における未解決課題を主な対象にし、実体験型教育、グループ型教育を中心にSDM学の教育を実施する。それに加え、学生としての受け入れではなく産業界の実務者を対象にSDM学に関連したセミナーや講習会を積極的に実施し、大規模・複雑システムに携わるリーダーの育成を行うと共に、社会での課題や大学院教育へのニーズを抽出する。また、各教員の教育能力を向上させるためのファカルティ・ディベロップメント^{用語1}の機会を定期的に数多く設ける。

(7) 成果公表・課題抽出

大学院教育によって学生が得た能力や、教員が得た知見等を成果として各ステークホルダーに提示し、評価を受ける。また、SDM研究科に在籍する学生からの評価も受け、それらの評価を分析することで課題を抽出し、その結果に基づいて教育改善を行う。

上記のシナリオは、1サイクルで終わるのではなく、(7)の成果公表・課題抽出の結果を基に、(1)～(6)のそれぞれにおいて、SDM学の更なる発展と大学院教育の改善を定期的実施し、目標の実現を目指すというスパイラルアップ型^{用語2}のシナリオである。

3 大学院の開設

SDM研究科を開設するにあたって実施した国内や海外の産業界100社以上へのインタビューを基に産業界での課題や大学院教育に対するニーズを抽出した。その結果、大規模・複雑システムを扱うために学生が身につけるべき能力および知識を図2に示すように六つに分類した。横軸が関連するディシプリンの範囲、縦軸が対象とするシステムの規模や複雑さを示す。つまり、大規模・複雑システムを扱うリーダーには、システムデザイン能力、システムマネジメント能力が必要であり、その能力を身につけるためには、基盤となる能力としてシステム思考能力、コミュニケーション

ン能力が必要であることを意味している。また、ある分野の専門知識とその専門知識に関連した他領域の基礎知識を予め身につけていることが必要であることも意味している。それぞれの能力、知識の定義を以下に示す。

A) システムデザイン能力：

利用者、顧客、社会、環境等の多様なステークホルダーの真の課題や需要を把握し、システムの構想から開発、運用、廃棄までのライフサイクルの各段階において全体の整合性を考慮しながら創造的に課題の解決策を提案できる能力(デザインには、技術システムのデザイン、意匠デザイン、組織のデザイン、社会のデザイン、経営や政策のグランドデザインまで、あらゆるシステムにおける構想提言、ソリューション提言を含む)

B) システムマネジメント能力：

プロジェクトの進行やライフサイクルの進捗に伴う環境の変化に対応し、利用者や顧客等のステークホルダーの要求を満たすシステムデザインの実現やシステム管理・運用を統合的に進めることのできる能力

C) システム思考能力：

独立した個々の事象のみならず、各事象間の相互依存性や相互関連性に着目し、システムの全体像や課題の本質を横断的、俯瞰的、体系的に捉えることのできる能力

D) コミュニケーション能力：

自分の考えを相手に伝え、相手の考えを理解し、多様な人材とチームを組んで課題を解決することのできる能力

E) 専門知識：

技術系もしくは社会科学系での何らかの分野における深い知識(複数あることがより好ましい)

F) 基礎知識：

専門知識に関連する他領域の基礎的な知識
目標を実現するために選択した要素群およびそれらの要素の統合によって開設した大学院の教育について以下に述

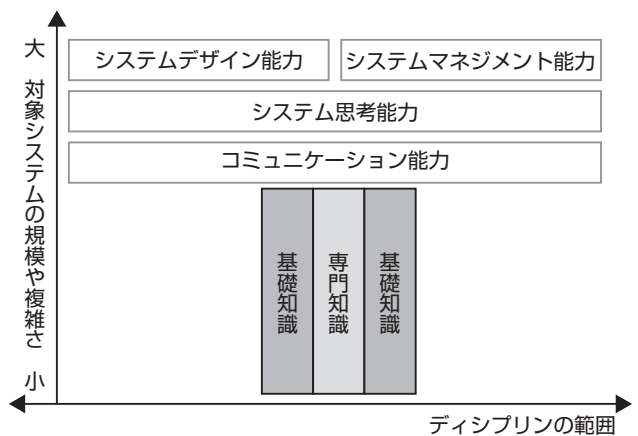


図2 学生が身につけるべき能力および知識

べる。

3.1 教育カリキュラム

設置した講義科目の概要を表2に示す。教育によって学生が身につけるべき能力および知識の各項目に対し、講義科目毎に関連があるものを○、特に関連の強いものを◎で示している。また、学生が専門とする分野によって受講すべき科目が異なるものについては△で示した。選択必修科目群および選択科目群に含まれる個別の講義科目については、表3にその名称を示す。

学生が身につけるべき四つの能力は、主に必修科目でその基盤となる内容を教育し、選択必修科目で補強する。それぞれの学生の専門分野によって学ぶべき内容が異なる場合は、選択必修科目もしくは選択科目によって習得する構成とした。対象とするディシプリンが多様であるため、学生はある分野の専門知識や基礎知識の習得のためにSDM研究科以外の大学院や大学の講義科目を受講することができる。特に、慶應義塾大学内の理工学研究科、経営管理研究科等の他の大学院と連携し、講義の相互補完を行い、教育機会を提供できるようにした。

各講義の単位は一部の講義を除いてほぼ全て1科目2単位とした。図3に修士課程カリキュラムの枠組みを示す。

()内の値は、学位取得のために必要な各科目の単位数である。修士課程の修了要件は、30単位以上の講義科目を修得し、そのうち、共通コア科目8単位、デザインプロジェクトALPS (Active Learning Project Sequence、以下ALPS) 4単位、システムデザイン・マネジメント研究2単位を修得することである。そして、技術系選択必修科目6単位以上、社会科学系選択必修科目2単位以上もしくはは

表2 教育カリキュラムと能力および知識の対応

	必修科目群							12科目	16科目	(他学部・他大学院開設科目)
	共通コア科目									
学生が具備すべき能力および知識	システムエンジニアリング序論	システムアーキテクチャとデザイン	システムインテグレーション	プロジェクトマネジメント	デザインプロジェクトALPS	システムデザイン・マネジメント研究	選択必修科目群 (技術系・社会科学系)	選択科目群 (技術系・社会科学系)		
システムデザイン能力	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
システムマネジメント能力	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
システム思考能力	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
コミュニケーション能力				◎	◎	◎	◎	◎		
ある分野における専門知識					◎	◎	△	△	◎	
専門分野に関する他領域の基礎知識					◎	◎	△	△	◎	

技術系選択必修科目2単位以上、社会科学系選択必修科目6単位以上を取得した場合に、修士の学位を取得することができる。学生が主体となって関わるができるよう、講義はグループ学習や演習、ディスカッションの機会が多く、1コマ90分の講義を14回実施する形式にした。海外からの学生を積極的に受け入れるために必修科目を中心に日本語のみならず英語による講義科目を併設した。

必修科目の教育カリキュラムについて以下に示す。教科書については、国際的な標準を講義における基礎知識とするために、システムズエンジニアリングに関する国際資格 Certified Systems Engineering Professional (以

表3 選択必修科目および選択科目

選択必修科目群	技術系科目	システム環境論
		ヒューマンファクター論
社会科学系科目	技術系科目	リスクマネジメント論
		ディペンダブルシステム論
		システム生命論
		デジタルマニファクチャリングシステム論
		コンピュータツールとテラリング
		国際問題概論
選択科目群	社会科学系科目	コミュニケーション技法
		ヒューマンリレーションズ論
		システム管理技術
		デザインと倫理
		モデリングの数学的手法と数理統計の基礎
		予測と最適化の数学的手法
	技術系科目	ダイナミクス解析と制御の数学的手法
		ネットワークとデータベース
		ソフトウェアセーフティエンジニアリング
		ソフトウェア工学
		経済・経営・会計概論
		法的問題概論
		システムのシミュレーション技法
		システムに関わる標準化の実例と対策
創造的意思決定論		
ビジネスインテリジェンス		
政策デザイン論		
国際経済システム論		
社会中枢システム		
システムデザイン・マネジメント特別講義		

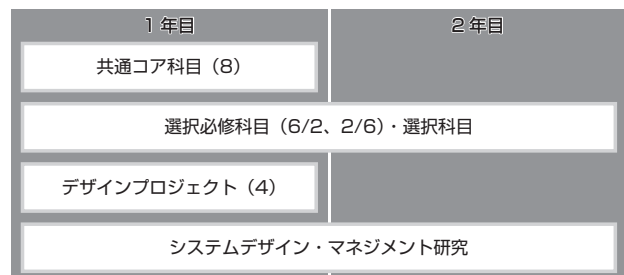


図3 修士課程カリキュラムの枠組み

下、CSEP)、プロジェクトマネジメントに関する国際資格 Project Management Professional (以下、PMP) に準拠した四つの書籍を採用した。共通コア科目全てに利用する書籍^[9]と、プロジェクトマネジメントを除く3科目で利用する書籍^[4]、プロジェクトマネジメントで利用する書籍^[10]、ALPS で用いる書籍^[11]である。

大規模・複雑システムの実務経験があり、その分野での知見や能力を持った教員が多いため、多くの講義では、その実務経験を講義に反映する形での教育形式としている。例えば、共通コア科目の「システムインテグレーション」では、システムズエンジニアリングの分野で体系化されつつあるそのプロセスや関係する手法について教科書を用いて紹介し、その上で、自動車および人工衛星の開発に携わったそれぞれの教員が実務上での課題解決事例の紹介や理論と実務間のギャップの説明、ある事例を題材にした演習等を行う。これによって、学生は、大量生産品の自動車と一品生産の人工衛星におけるシステムインテグレーションの違いや、日本で発展してきたデザイン手法等を学ぶことができる。

3.1.1 システムズエンジニアリング序論

システム開発プロセスにおける V モデル^{用註3}に沿った戦略的システムズエンジニアリングの基礎を講義する。つまり、システム思考、要求分析、機能物理分解、アーキテクティング^{用註4}等についての講義と実習を行い、社会の多様な要請に応えるシステムデザイン・マネジメント体系の基本を学ぶ。実習では、学生が数名でチームを組み、「利用者が自宅不在時に遠隔から操作可能な自動掃除システム」といった具体的なシステムの実現を最終ゴールとする開発も体験する。複数の教員が講義を担当し、学生は顧客役の教員にヒアリングを行い、課題やニーズの抽出から始め、システムの要求抽出から納入までの各開発プロセスにおける仕様書を作成し、開発プロセスに沿ってシステム開発を行う。それぞれのチームは競合他社という設定で、システムの実現を目指す。あるチームが実現した遠隔自動掃除システムを図4に示す。左図は遠隔地から操作を行うための web

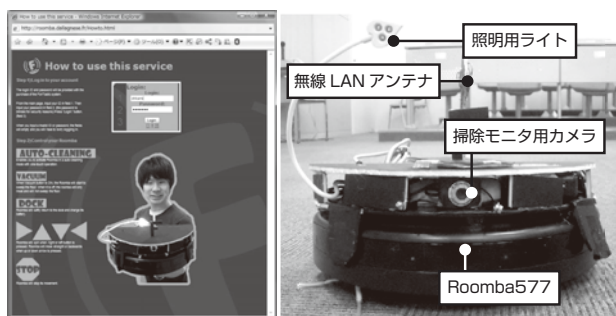


図4 自動掃除システム

によるサービス提供画面、右図が iRobot 社製 Roomba577 を基に開発された掃除システムであり、主な構成を示す。

3.1.2 システムアーキテクティングとデザイン

社会の要求に応じた多視点からの可視化と問題解決構造・詳細構造のアーキテクティングとデザインについて講義する。また、各学生の研究テーマのアーキテクティングとデザインについてグループ討議を行う。

3.1.3 システムインテグレーション

要素に分解する過程とそれらをシステムとして確実に統合するための学問体系を講義する。つまり、システムの要求仕様作成、分析、設計、動作検証、要求仕様の妥当性確認についての講義を行う。また、実践的なグループ演習を行い、その上で討議を行う。

3.1.4 プロジェクトマネジメント

プロジェクトマネジメントの基礎の講義を行う。具体的には、大規模・複雑システムのマネジメント、ロジスティクス（人事や調達）の基礎と実践、クロス・マネジメントおよびプロジェクトマネジメントの技法についての講義と演習を行う。演習の一例として、紙を利用したタワー建築のプロジェクト演習の様子を図5に示す。学生が数名でチームを組み、プロジェクトマネージャーを中心とした役割分担を決め、PMP に準拠したマネジメントプロセスに従ってタワー建築のための準備を実際に行う。紙の単価や学生1時間あたりの作業時間の単価も設定し、限られた費用、スケジュールの中で、より安定し、高さの高いタワーの建築をチーム毎に競い、その後に各チームのプロジェクトマネジメントの成果を評価する演習である。

3.1.5 デザインプロジェクトALPS

スタンフォード大学およびマサチューセッツ工科大学との国際連携グループプロジェクト科目であり英語で行われる。“Enhancing Senior Life in Japan”（2008年度）“Sustainable Community”（2009年度）といった全体テーマのもと、年間を通して4、5回のワークショップ（各2

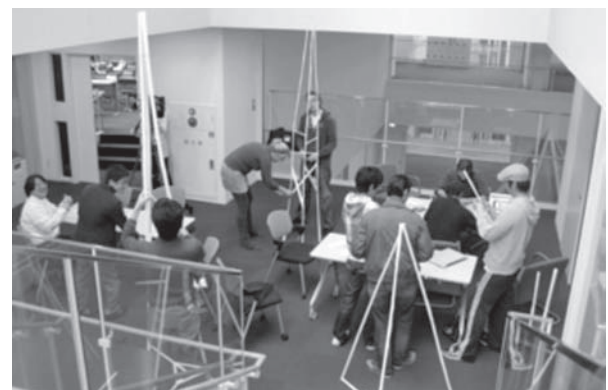


図5 紙タワー建築プロジェクト演習

日間）とその間のグループ学習を行い、学生は5-8名のチーム毎にシステムライフサイクルの全プロセスを体験し、最終日にはシステム提案の発表と議論を行う^{[11][12]}。図6に年間のワークショップおよびグループ学習の流れを示す。3大学の教員はテレビ会議も含めほぼ毎月ALPSの講義内容や方法について調整を行う。共通コア科目を中心に多くの科目と関係深い科目であり、学生は本科目を中心に個々の講義を理解し、個々の講義で得た知識を本科目に適用できる仕組みになっている。本科目については、文献^[12]で詳細を紹介している。

3.1.6. システムデザイン・マネジメント研究

修士論文研究に相当する。ただし、従来型の個人研究とは異なり、グループによってプロジェクト形式で学問分野を横断的に研究を実施し、安心・安全、環境共生、社会共生を含む社会のニーズに合致した研究を行うことを推奨している。学生は、プロジェクトにおいて個人で行った部分について論文としてまとめる。

3.2 教員

SDM研究科専任の教員12名と数10名の特別研究教員および招聘教員を教員として採用した。産業界での実務経験者が多くを占めることが一つの特色であり、宇宙航空、原子力、自動車、情報、精密機械といった技術システムや、金融、政策、財務、農業といった社会システムに関する大規模・複雑システムの実務経験があり、その分野での高度な知見や能力を持った人材を教員として構成した。海外からの学生を対象とした講義や海外の教育研究機関の教員や研究者との連携による教育を可能にするため、英語での講義が可能であることを採用の条件としている。

また、SDM学に関連する学問の世界的な動向を学生に提供し、ファカルティ・ディベロップメントの一環として教員の知識を向上させるために、海外から毎年10名程度の講師を招聘し、主に共通コア科目に関連した講義を集中講義や遠隔講義にて実施できるようにした。

3.3 教育施設設備

教員と学生、もしくは学生同士のコミュニケーションやグループ学習を促進するためにフリーシーティング型^{用語5}の学生居室とし、各学生には教材や実験機材を保管する個人ロッカーを提供するようにした。専門を同じくする教員と学生毎にスペースを壁で区切る従来の研究室型と異なり、学生固有の座席が存在しないが、様々なコミュニケーションやグループ学習毎に学生がその目的に応じて部屋や座席を確保し、互いに議論できる形態になっている。教員の居室はフロア内の一区間に集中させ、教員同士が頻繁にコミュニケーションできるレイアウトとした。

全ての講義を専属のスタッフがビデオ撮影し、講義資料と共にオンラインで配信するe-learningシステムを構築し、物理的に講義に出席できない学生に教育機会を極力提供できるようにしている。遠隔地の学生や教員、関連機関との議論、会議を行えるようにするために多くの会議室にテレビ会議システムを導入した。

大規模・複雑システムを扱うにはシステムデザインやシステムマネジメントを支援するシミュレーション技術やモデリング技術の能力を向上させる必要がある。そのため、それらの技術を扱うソフトウェアを学生はネットワーク経由で自由に利用できるような環境を整備した。また、コンカレントデザイン^{用語6}を行うことを目的とした大規模ワークステーションと複数の高精細ディスプレイで構成されるコンカレントデザインルーム（図7）を整備し、学生が複数の端末を持ち込むことでネットワークを介して様々なシステムを対象としたデザインを行うことができるようにした。

3.4 研究拠点

産業界における多種多様な課題をSDM学の適用によって解決すると共に、得られた知見を蓄積し、SDM学を発展させるための研究拠点として、SDM研究科附属のSDM研究所を開設した。産業界や学術界との連携によって様々な課題を解決することを目的に設立した研究所であり、各

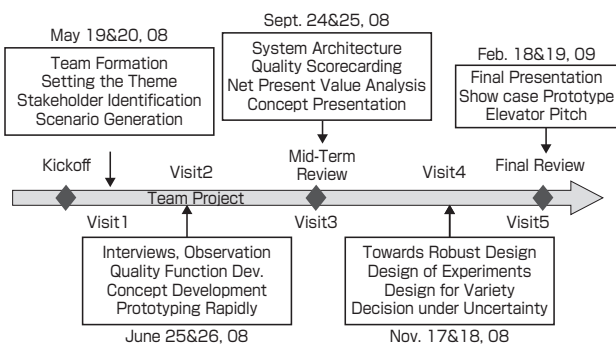


図6 ワークショップおよびグループ学習の流れ



図7 コンカレントデザインルーム

教員は研究所の中に特定の課題を解決するためのラボラトリーを設立することができる。連携者は、SDM 学に関連した情報を入手できるうえ、SDM 研究科の施設を利用できる。

また、大規模・複雑システムに関する課題を解決するには、ディシプリンの枠を超えた教育機関との連携、国際的な連携が必要である。そのため、慶應義塾大学大学院理工学研究科との連携によって文部科学省グローバル COE プログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」を 2008 年より開始し、主に環境共生・安全に代表される社会的価値を考慮したシステムデザインの研究と、それらを身につけた研究者の育成を目指した教育・研究活動を行っている。

SDM 研究科の研究課題の一部を以下に示す。対象とするシステムは、家電、情報、金融、保険、人間、教育等様々である。

- ・家電設計における分散設計環境での熱/音響トレードオフ設計手法^[13]
- ・情報システムにおけるメンテナンスコストを考慮した基盤ソフトウェア選択の効果検討^[14]
- ・屋内外シームレスな位置情報システムの実用化検討^[15]
- ・日本における企業通貨によって設計されたアライアンスシステムの評価^[16]
- ・日本における保険金不適切不払い・支払漏れとそれに対するより良い支払いアーキテクチャ設計^[17]
- ・階層構造化モデルを用いた人体の運動生理学的動作分析手法^[18]
- ・学問領域を超えたシステムデザイン・マネジメント学教育のための実習講義^[11]

SDM 学に関連する学問の世界的な動向を常に把握し、また、SDM 研究科の教育成果による学問分野への寄与を目的として、INCOSE ならびにシステムズエンジニアリ

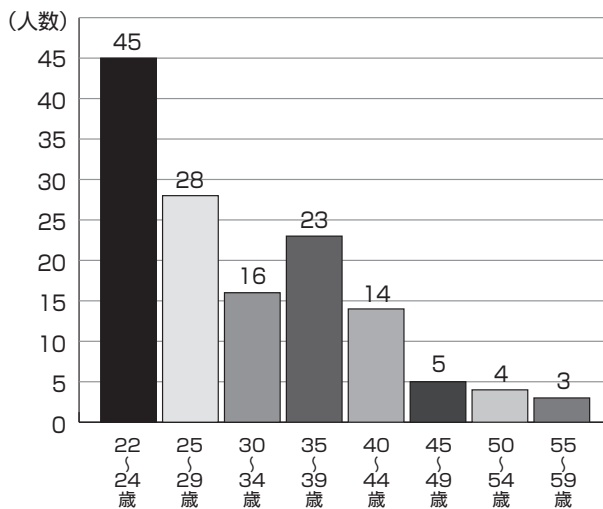


図8 修士課程在学学生の年齢分布

ング教育の国際協議会 Council of Engineering Systems Universities (以下、CESUN) に加盟し、定期的な協議会への教員の派遣やアジア太平洋地域の国際学会 APCOSE (Asia-Pacific Conference on Systems Engineering)^[19] を主催し、学生および教員の知識レベルの向上を図っている。

3.5 学生

産官学を問わず様々な組織に対して SDM 研究科による学生募集についての周知を行い、産業界に対しては社会人学生の派遣を要請した。その結果、年間 3 回にわたる入試を経て、開設前に設定したシナリオに近い形で学生を受け入れることができている。特徴的な点の一つは、幅広い年齢、様々な分野、国籍にわたる学生構成となっている点である。2008 年度、2009 年度それぞれ春学期および秋学期に入学生を迎え入れており、2009 年度の時点では、修士課程に在籍する学生が 138 名、博士課程に在籍する学生が 46 名である。在籍する学生の年齢は、20 代から 60 代まで広く分布しており、平均年齢は修士課程学生が 32 歳 (図 8)、博士課程学生が 42 歳 (図 9) である。また、出身学部は理工系から法学、政治学、経済学、文学、商学、農学、体育学にわたっており、実務経験者が多く、修士課程では 66 %、博士課程では 89 % を占めている (図 10)。実務経験者の職業は、製造、通信、コンサルティング、情報、航空・宇宙、金融、不動産、官公庁、建築、エネルギー、システム、医療、マスコミ・出版、法曹等と多岐にわたっている (図 11)。また、海外の大学からの留学生を含めた海外国籍の学生の割合は 20 % 程度である。当初の目的どおり、多様な専門知識を持つ学生および教員による多様な人材の交流に基づく学びの場を形成している。

3.6 教育

前述のように、教員の多くは大規模・複雑システムに関連した実務経験があるため、その経験を講義に反映する

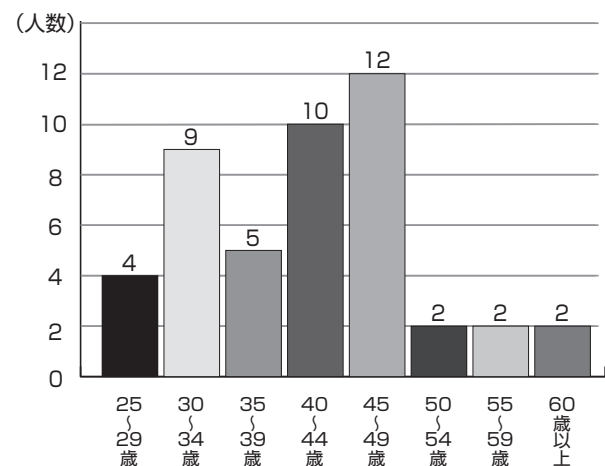


図9 博士課程在学学生の年齢分布

形での教育形式としている。また、専門知識が豊富で実務経験のある学生が多いため、産業界における特定の課題解決のための方策を講義の中で導き出す形式やSDM学の一部を体系化するための議論を主題にする形式の講義を数多く設置している。例えば、「社会システムに対する検証方法にはどのようなものがあるか？それぞれの方法の利点欠点は何か？」というテーマを金融システムの実務経験者である教員が学生に提示し、議論を講義毎に深化させていくという講義を行っている。それに加え、学生の主体性を重視し、学生が主催する講義の時間を用意し、学生自らがそれぞれのニーズに応じて専門性を持った学生もしくは外部の講師を招いて講義を実施することも奨励している。

それぞれの教員の能力や知識の向上を目的として、月に数回の頻度で教員によるファカルティ・ディベロップメントの機会を設けている。各教員が教育経験によって得た知見や課題を提示し、その知見の共有や教育・研究向上のための議論を定期的に行っている。

平日の昼間に通学することが困難な社会人学生にも学びの機会を提供するため、共通コア科目の日本語での講義は土曜日もしくは平日夜(19:00-20:30)に実施している。一方、海外からの学生はほぼ全員が仕事を持たないフルタイムの学生であるため、共通コア科目の英語での講義は平日昼間に実施している。また、学生としての受け入れではない産業界の実務者を対象に、SDM学に関係する対外セミナーや講習会を実施し、大規模・複雑システムのデザインやマネジメントに携わるリーダーの育成に貢献している。このことは、産業界での課題や大学院教育へのニーズ抽出にも役立っている。

3.7 成果公表・課題抽出

教育の成果は積極的に公表し、主に産業界からの評価を得る機会やその成果の産業界での適用の機会を設けた。たとえば、ALPSでは、最終講義において、各チームが与えられたテーマに対するサービスもしくはプロダクトの提案を行うが、その際に、10名程度の起業家、企業関係者、研究機関関係者に参加していただき、各提案を社会への

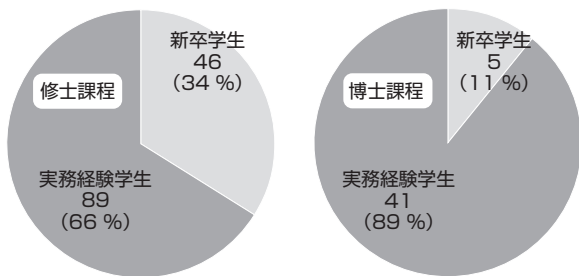


図10 新卒学生および実務経験学生の人数比率

適用の観点から審査して頂く機会を設けている。

授業の評価としては、講義科目毎に講義最終回時に受講生にアンケートを行い評価を受けるようにした。各講義科目の評価は担当教員および関係者のみが確認することができ、大学院教育全般に関する受講生からの評価については全教員で共有し、適宜課題を抽出して次年度の講義に反映している。また、大規模・複雑システムの開発や運用に従事されている産業界の方5名に外部評価委員に就任していただき、SDM研究科での大学院教育に対する外部評価を定期的実施していただく仕組みを構築した。

4 現在までの成果と今後の課題

SDM研究科を開設してから2年が経過し、2010年3月に修了者を輩出する現時点までの成果と評価、そして、それらを踏まえた今後の課題を以下に述べる。

4.1 多様な人材によるグループ学習の成果

ALPSでは、チーム毎に年間を通してグループプロジェクトを行い、多くの学生はシステマチックに社会要求を明確化すると共にアイデアを創出し具現化するための様々な考え方や手法を実践を通じて身につけることができた。具体的な事例として、あるチームによって創出されたアイデアとその成果について紹介する。

このチームは、2009年度のALPSのテーマ“Sustainable Community”に対し、少子化による廃校増加、農業の後継者不足、改善しない若者失業率といった課題を同時に解決する方法として、都心の廃校を利用した水耕栽培システムを提案した。図12にこのチーム(六本木ベジ&フルーツ)が作成した提案資料の一部を示す。新鮮で、安心、安全な食材を求める消費者のニーズと、都会で安定した収入を

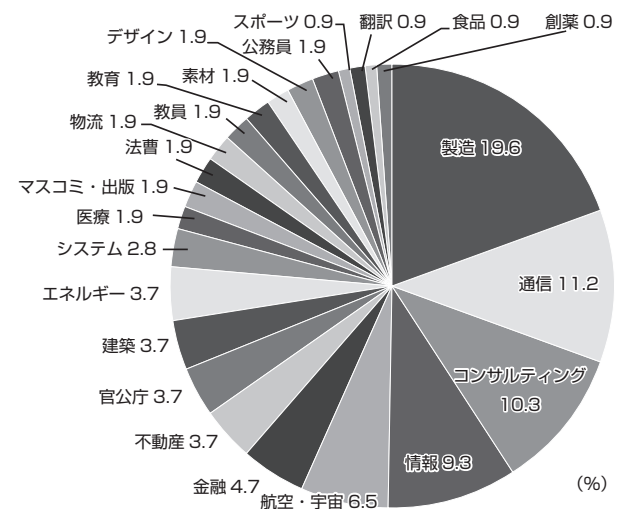


図11 実務経験学生の職種分布

得られる仕事をしたい若者のニーズを満たし、かつ、持続可能なビジネスモデルを構築したことがこの提案の強みである。この提案を導き出すために、このチームは、ALPSで得た手法や知識を基に、市場調査、ステークホルダーへのアンケート、インタビュー、テストプラントによるプロトタイプングを経て実現性の検証を行った。その結果、東京都および東京都中小企業振興公社主催の「学生起業家選手権」で優秀賞および日刊工業新聞社主催の「キャンパスベンチャーグランプリ」で関東経済産業局長賞を受賞した。現在、チームメンバーに数名の学生を加え、事業化に向けての検討と自治体や関係企業との調整を進めている。SDM 研究科の教育によって、実社会からの要求を抽出し、システムの構想から運用、廃棄までのライフサイクルを考慮したデザインを行う能力を獲得した一例である。

また、ALPS 以外の多くの講義においても、グループ学習やグループ討議を重視する SDM 研究科のコンセプトが有効であることを確認した。すなわち、多様なバックグラウンドを持つ学生同士が相互にそのバックグラウンドを理解し合うとともに、講義で得た知識を共有化するための議論がなされ、その上で、協調して課題に取り組むトレーニングを頻繁に行い、高い教育効果を得た。

4.2 複数のディシプリンの連携による教育

教員同士の連携による単一のディシプリンの枠を超えた講義を様々な形で実現すると共に、受講する学生からのフィードバックを得た。一例としては、社会科学系の専門性を持つ教員を中心とする研究グループが扱っている「コールトリアージ^{用語7} 緊急救急システム」に対し、技術系の専門性を持つ教員が連携して「システムのシミュレーション技法」の講義を行い、シミュレーション技法を用いたシステム設計や検証を実施している。その上で、技術的、社会科学的な側面において、このシステムの改善について分析、検

討を行っている。例えば、技術的に最適な解決方法を実現する場合に課題となる法的な制約や、現状の法的な制約の中で技術的に解決できることの限界について、従来よりも具体的、専門的な議論が可能になった。従来関係することが少なかったディシプリンの連携によって効果的な教育を行なうことができていると言える。また、「システム生命論」では、生物の環境適応性に学ぶシステムデザイン手法の教育を行い、従来のシステムズエンジニアリングでは解決できなかった、予期せぬ事態を考慮した設計論の講義と演習を行った。システムデザイン・マネジメント学がシステムズエンジニアリングを超えた社会・人間システムデザインに適用できることの一例である。

4.3 修士研究および博士研究

サービスやプロダクトのデザインのみならず、マネジメントのデザインや政策の提言等も含めた様々なシステムのデザインとマネジメントを対象にした特徴ある研究が修士課程および博士課程で行われている。特に、環境共生、安全・安心、社会協生等の複合的な価値と関係する研究テーマが数多く進められている。2009 年度に実施された修士研究テーマの一部を表 4 に示す。対象とするシステムは技

表4 2009年度修士研究テーマの例

研究テーマ
太陽光発電に併設する蓄電池共有による CO ₂ 削減効果の推定
クリーンエネルギービークル普及のための LCA を用いた炭素税設計
バイオマスエネルギー技術を中核とした都市農村共生社会のシステムデザイン
リサイクルを考慮した国内銅資源供給の持続可能性評価
大規模化学プラントにおける安全管理システムの提案
プロジェクト記述言語によるソフトウェア開発プロジェクトのリスクマネジメント
セミアクティブニーボルスターを用いた乗員下肢の保護制御システムデザイン
国際海運システムの安定化のためのグローバルな海上安全保障政策の作新
製造業における企業パフォーマンスと組織風土・文化の関連性の調査研究
地方自治体職員のモチベーションに関する調査研究 —活力ある組織風土の構築に向けて—
若手技術者のモチベーションに関する研究 —多大学共同微小重力実験プロジェクトを例にして—
主観的幸福における社会的なつながりの価値の明確化
住宅内超高速プラスチック光ファイバネットワークの中国展開戦略に関する研究
電子書籍の将来展望と活字メディア産業における構造変化に関する研究
海上を利用した宇宙往還機のビジネスモデルの検討および実証試験計画 —日本独自の有人機実現に向けて—



図12 ALPSでの提案の事例（六本木ベジ&フルーツ）

術システムから社会システムにわたる多様なシステムであるが、システムのライフサイクルを重視し、様々なステークホルダーからの要請に合致したデザインやマネジメントを行い、その成果の検証や有効性の確認までを研究論文にまとめるという点は全ての修士研究に共通しており、その点がSDM研究科での研究の特徴である。なお、SDM学に関連する博士論文の成果も出始めている^[20]。

4.4 産業界や海外機関との連携

産業界の実務者等を対象とした対外セミナーや講習会を定期的に行っている。また、宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA）とは、SDM学に関する協力協定を締結し、教育ならびに研究における連携を進めている。その一つとして、教員が、連携協定を結んでいるJAXAの職員に対してSDM学に関連するセミナーを提供しており、2008年度は延べ93名が受講した。宇宙開発分野で生じている様々な課題を共有するとともに、SMD研究科にて体系化された講義を提供し、それぞれの課題に対する解決方法についての議論を行った。受講者にアンケートを行なった結果、いずれのセミナーにおいても高い満足度が得られていた。特に、システムとしての全体的、包括的な視点に関する講義についての高評価が目立った。

また、前述のStanfordおよびMITとのALPSの講義の構築とワークショップの実施以外にも海外との連携を積極的に推進している。TU Delft（オランダ）やStevens Institute Technology（アメリカ）、ETH（スイス）、INSA（フランス）等と教育カリキュラムの相互利用等についての連携契約を締結し、TU Delftとは修士課程学生をそれぞれ複数名双方の大学に滞在させ、国際連携教育の成果を挙げている。さらに、KUSTAR（アブダビ）やAMET（インド）、エジプト日本科学技術大学より、それぞれの国の産業界からのニーズに対応したSDM学の構築や各大学での教育実

施の支援要請を受け、調整を進めている。これらにより、SDM学教育の世界的な需要があることを確認している。

4.5 学生による評価

2008年度春学期入学の修士課程2年生36名を対象に、入学してから1年の間にSDM研究科の教育によって向上したと考えられる能力とその程度、満足している経験の内容とその程度について意識調査を行った。また、その調査結果の比較として、慶應義塾大学大学院理工学研究科機械工学系の修士課程2年生23名を対象に同様の意識調査を行った。各々の項目に対して6段階での評価を記入できる形とした。各項目に対する両研究科での調査結果をもとにt検定を実施した。有意水準を1%とし、評価結果に優位差があったものを図13に示す。各項目に対する上側のグラフがSDM研究科学生から得た調査結果の平均値および標準偏差、下側のグラフが理工学研究科学生から得た調査結果の平均値および標準偏差である。

この結果により、SDM研究科の教育・研究カリキュラムが、少なくとも学生の自己評価の範囲では、表1に示した産業界から理系大学・大学院への期待に応える教育・研究を実施できていることがわかる。「論理的でわかりやすい論文や報告書を作成する文書作成能力」についてSDM研究科の学生による自己評価が低いことは、今後改善すべき課題の一つである。アンケートの対象が2年生になったばかりの修士課程学生であったため、1年生時には文書を作成することよりも課題の現場へ行くなど、行動することを重視しているSDM研究科の教育を受講した学生は文書作成能力の自己評価が低くなったのではないかと考えられる。これに対応し、コミュニケーション能力を向上させる講義を強化する予定である。なお、文書作成については、ALPSではチーム作業にて英語で報告書を作成する経験をし、修士論文では個人作業にて日本語で作成する経験をする。

大規模・複雑システムの問題を解決するために必要となる基本的な考え方や手法は、必修科目群によって全学生がある程度身につけられていると感じている。一方、その考え方や手法を社会・産業界で適切に使いこなすには、必修科目以外の科目をSDM研究科および他の大学や大学院で受講し、学生自らが研究や実際の業務で試行や適用を行う必要がある、その点での教育の成果の大きさは各学生の問題意識の強さ、視野の広さ、行動力の有無等に依存するところが大きい。この課題全てを大学院教育で解決することは難しいが、SDM研究科による社会・産業界との密接な連携や各指導教員による学生への個別指導、多様な人材で構成される学生同士の様々な交流を更に促進することで解決できることも多いと考えている。

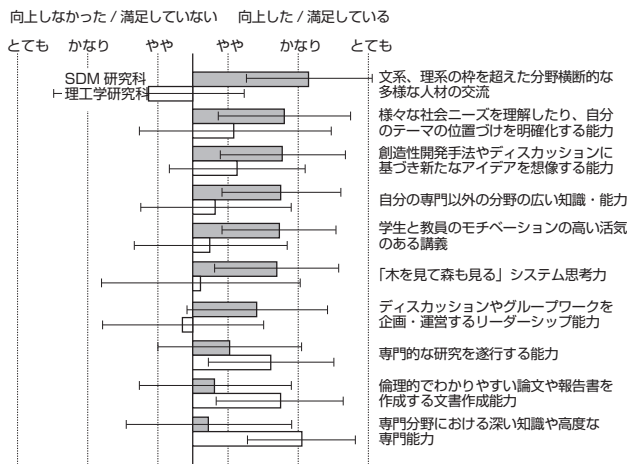


図13 SDM学生（上側棒グラフ）および理工系学生（下側棒グラフ）の意識比較

深い知識や高度な専門能力を向上させるための教育も重要であるため、その能力も他の能力と同時に向上させることができるようなカリキュラム作りを更に検討中である。学生毎に専門性が大きく異なるため、講義科目によっては、受講する学生の能力や知識レベルに大きな開きがあることも課題である。現在は、能力や知識レベルの高い学生に合わせた講義を行い、別途、その科目に関する補講を行うことで対処している。

4.6 外部評価

2008年度末の時点で、外部評価委員5名の方からSDM研究科開設1年経過後の外部評価をしていただいた。その結果、新たな教育に対する高い評価を得た一方、以下のような改善点も指摘された。開設後1年を経たSDM研究科による成果の産業界との更なる連携、講義を既に受講した学生の講義メンターとしての採用といった学生に主体性を持たせる教育の仕組み作り、視野を広く持ちつつ個々の本質も見極める「木を見て森も見る」SDM研究科の教育・研究コンセプトの徹底、等である。

それぞれの指摘を踏まえ、既に教育の向上を目指した改善を実施している。産業界との更なる連携については、例えば、ALPSにおいて、チームの提案次第では産業界と連携して実用化できるようにする、といった仕組み作りについて検討と調整を進めている。また、各講義で対象とする課題を産業界における課題と一致させ、その講義を経て創出された提案を課題提供企業にフィードバックする仕組みも検討している。

5 まとめ

技術システムから社会システムにわたる様々な大規模・複雑システムの構築と運用をリードする人材の育成を目指して開設したSDM研究科は、2010年3月に初めて修了者を出す。学生や外部評価委員の方による評価から、我々が大学院開設時に設定した大規模・複雑システムを扱うために学生が身につけるべき能力および知識を学生に身につかせていると判断できる。特に、多様な人材によるグループ学習やグループ討議を重視する教育カリキュラムによって、システムチックに社会要求を明確化し、その上でアイデアを創出し、確実に具現化するための考え方や手法を多くの学生が身につけていることを修士研究等の学生の成果物から確認している。一方、学生毎に高度な専門能力を向上させるための教育カリキュラムの拡充や、学生毎に専門分野が大きく異なることに起因する講義科目毎の学生の能力や知識レベルの開きに対する対処は今後の課題であるが、教育カリキュラムの更なる改良や、社会・産業界や関連教育研究機関、大学・大学院との連携の更なる強化が有効で

あると考えている。また、今後、修了者の卒業後の社会・産業界での成果を追跡調査し、SDM学の大学院教育の成果や課題をより具体的に検証、評価することによって、独自の大学院教育の更なる向上を図ることができると考えている。

6 謝辞

本研究の一部は文部科学省グローバルCOEプログラム「環境共生・安全システムデザインの先導拠点」の援助により行われ、SDMの教育の一部はグローバルCOEプログラムの若手研究者育成のために利用した。記して謝意を表す。また、創設時よりSDM研究科開設に尽力された浦郷正隆氏、小木哲朗氏、佐々木正一氏、白坂成功氏、高野研一氏、手嶋龍一氏、当麻哲哉氏、中野冠氏、春山真一郎氏、日比谷孟俊氏、保井俊之氏、故石井浩介氏、Olivier de Weck氏に深く感謝する。

用語説明

用語1: ファカルティ・ディベロップメント (faculty development) : 教員が授業内容やその方法を改善、向上させるための組織的な取り組みのこと。

用語2: スパイラルアップ (spiral up) 型: 計画を立て、それを実行し、検証し、改善点をまた次の計画へ盛り込むといったPDCA (Plan-Do-Check-Action) のサイクルを回しながら、目標に向けて活動することにより、直線的ではなく、らせん状の軌跡で目標を達成するやり方のこと。

用語3: Vモデル (V-model) : 要求分析から運用、廃棄までのシステム開発ライフサイクルを記述するための枠組みのこと。V字型に表される概念図の左側は要求が設計によって細分化され、下位の要求になることを示し、右側は試験と組み立てによってシステムが統合されていく様子を示している。

用語4: アーキテクティング (architecting) : コンセプトを具現化し、機能を要素に割り当て、要素間の関係性 (インタフェース) を明確化すること。

用語5: フリーシーティング (free seating) 型: 個々の学生に特定の座席は用意されず、先着順もしくは事前予約によって座席や居室を利用する仕組みのこと。

用語6: コンカレントデザイン (concurrent design) : システムの開発において、企画から運用、廃棄にいたるシステムのライフサイクルの全フェーズに関連する部門の担当が集まり、諸問題を討議しながら協調して同時並行的に作業にあたるデザイン手法のこと。

用語7: コールトリアージ (call triage) : 救急通報の際、通報者からの伝達情報に基づいて傷病者の緊急度・重症度を判断し、出動の必要性を判断する仕組みのこと。横浜市が2008年10月1日から開始した。

参考文献

[1] 吉川弘之, 内藤耕: 第2種基礎研究, 日経BP社 (2003).

[2] 吉川弘之, 内藤耕: 「産業科学技術」の哲学, 東京大学出版会 (2005).

[3] Nancy G. Leveson, *Safeware: System Safety and Computers*, Addison-Wesley Professional (1995).

[4] *INCOSE Systems Engineering Handbook*, version 2a (2004).

[5] W. Fabrycky and E. McCrae: Systems engineering degree programs in the United States. *Proceedings of the 15 INCOSE International Symposium*, CD-ROM (2005).

[6] 企業の求める人材像についてのアンケート結果, 日本経団連教育問題委員会, 2004年11月8日
<http://www.keidanren.or.jp/japanese/policy/2004/083.pdf>, (2004).

[7] 吉田和夫編著: 生命に学ぶシステムデザイン-知能化から生命化へのパラダイムシフト, コロナ社 (2008).

[8] 松岡由幸編著: デザイン・サイエンス 未来創造の六つの視点, 丸善 (2008).

[9] K.Forsberg, H.Mooz and H.Cotterman: Visualizing project management, *Models and Frameworks for Mastering Complex Systems*, Wiley (2005)

[10] *PMI A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, Fourth Edition (2008)

[11] 石井浩介, 飯野謙次: 設計の科学 価値づくり設計, 養賢堂 (2008).

[12] K. Ishii, O. de Weck, S. Haruyama, T. Maeno, S. Kim and F. Whitfield: Active learning project sequence: Capstone experience for multi-disciplinary system design and management education, *Proceeding of the International Conference on Engineering Design*, CD-ROM (2009)

[13] K.Seki, H.Nishimura, K.Ishii and L.Balmelli: Thermal/Acoustic trade-off design for consumer electronics in a distributed design environment, *Proceedings of the 19th INCOSE International Symposium*, CD-ROM (2009).

[14] K.Shimazu, S.Morita, K.Mori and Y.Okumura: A case study of the effects of platform software selection on information system maintenance cost, *Proceedings of the 19th INCOSE International Symposium*, CD-ROM (2009).

[15] S.Kim, N.Minato, D.Busser, and N.Kohtake: Transforming seamless positioning technology into a business using a systems design approach - scenario-based amorphous design, *2010 IEEE International System Conference* (2010).

[16] H.Yasuoka and Y.Ohkami: The evaluation of the alliance systems designed by "Enterprise Currencies" in Japan, *Proceedings of the 19th INCOSE International Symposium*, CD-ROM (2009).

[17] T.Yasui: Claim-payment failures of japan's insurance companies and designing better payment architecture: finding a standard solution to socio-critical systems by applying the system engineering vee model approach, *Proceedings of The 19th INCOSE International Symposium*, CD-ROM (2009).

[18] M.M.Kayo and Y.Ohkami: A method for analyzing fundamental kinesiological motions of human body by applying interpretive structural modeling, *Proceedings of The 19th INCOSE International Symposium*, CD-ROM (2009).

[19] APCOSE2008, <http://www.incose.org/japan/apcose2008/>

[20] 安岡寛道: 企業通貨 (ポイント・電子マネー) を用いたビジネスに関するマネジメントと評価方法の研究, 慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科博士論文 (2009).

執筆者略歴

神武 直彦 (こうたけ なおひこ)

1998年慶應義塾大学大学院理工学研究科修士課程修了。博士(政策・メディア)。同年宇宙開発事業団入社。H-IIA ロケット搭載機器の研究開発に従事。欧州宇宙機関訪問研究員を経て、宇宙航空研究開発機構主任開発員として、宇宙機搭載ソフトウェアに対する独立検証および有効性確認に従事。現在、慶應義塾大学准教授。システムズエンジニアリング、宇宙技術を利用したインテリジェントシステム等の研究に従事。INCOSE、IEEE、情報処理学会等の会員。SDM研究科では、主にインタラクティブな講義や国際連携を推進し、本論文では、全体の構成および現在までの成果に関する分析と考察を担当した。



前野 隆司 (まえの たかし)

1984年東京工業大学工学部機械工学科卒業、1986年東京工業大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程修了。博士(工学)。同年キャノン株式会社入社。1995年慶應義塾大学専任講師、同大学助教授を経て現在教授。この間、1990年-1992年カリフォルニア大学バークレー校 Visiting Industrial Fellow、2001年ハーバード大学 Visiting Scholar。システムデザイン・マネジメント学の研究に従事。日本機械学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会等の会員。本論文では、SDM研究科の全体構想、その導入と実業界からのニーズ分析、ソーシャルスキル系科目の教育・研究カリキュラムに関する議論、学生による評価の調査を担当した。



西村 秀和 (にしむら ひでかず)

1990年慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程修了。博士(工学)。1990年千葉大学助手、1995年千葉大学助教授を経て、2007年慶應義塾大学教授。2008年同大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授。現在に至る。モデルベースシステムズエンジニアリング、環境共生・安全のための制御システムデザインの研究に従事。日本機械学会、計測自動制御学会、自動車技術会、IEEE、INCOSE等の会員。本論文では、技術系科目の教育・研究カリキュラムに関する議論を担当した。



狼 嘉彰 (おおかみ よしあき)

1968年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了。工学博士。科学技術庁航空宇宙技術研究所、東京工業大学機械宇宙学科、慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科教授を経て、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科委員長・教授。この間、米国 UCLA 客員研究員、宇宙開発事業団研究総監を兼任。専門は宇宙システムのダイナミクスと制御。日本機械学会フェロー。INCOSE Fellow。計測自動制御学会、日本航空宇宙学会、IEEE等の会員。SDM研究科開設を提案し、開設のおよそ10年前から国際調査や設立準備を行ってきた。本論文では、シナリオの構築から教育の実施、成果公表、課題の抽出に至る全てのプロセスの統括を担当した。



査読者との議論

議論1 全体

コメント・質問（小林 直人：早稲田大学研究戦略センター）

本稿は、2008年度慶應義塾大学に新たに開設されたシステムデザイン・マネジメント研究科（SDM研究科）について、その創設のための基本コンセプトやその仕組み、カリキュラム構成など他には見られないユニークな特徴を紹介しています。また、この取り組みは社会的な問題解決のために従来のディシプリンを越えて複数ディシプリンを統合するとともに、それについて実践的な教育を行うという新たな魅力的な試みの例であり、本稿は社会的にも・教育的にも非常に有意義な報告となっています。

しかし、その一方で、初稿を研究論文としてみた場合、いくつかの不足している点があります。まず、この度のSDM研究科開設の経緯等はよく理解できますが、この論文の著者がそのプロセスの中で何を果たしたのかが不明です。大学自体や新たな研究科（あるいはその準備組織）が行ったことは概ね理解できますが、その中で具体的に著者が実施したことが、SDM全体の設計や構築なのか、あるいはより部分的な活動たとえば「5.2 学生による評価」、「5.3.3 実業界や海外機関との連携」などなのか、明確にしていなければならないと思います。また、その上で、本論文で論考し主張すべき内容を、整理して記述することが必要だと思います。

そこで、本稿をシンセシオロジーの研究論文とするためには、①まずSDM研究科開設にあたって著者は何を行ったのかを明らかにし、②（執筆要件にも書かれているように、）本研究の研究目標、シナリオ、要素の選択とそれらの構成・統合、結果の評価と将来展開、などを記述し論考を完結していただきたいと思っています。

研究論文とするには、たとえば以下のことが考えられます。

（例1）複数のディシプリンを統合した新たなSDM研究科の構成方法に主眼を置く考えかた（この場合は著者が研究科開設の中心的役割を果たしたことが必要です。）

1. 研究目標：「新たに開設したSDM研究科の構成方法の発展」など。
2. シナリオ：これまでのSDM研究科・SDM学の構成方法の論考を行うことにより、今後のカリキュラム改編などを通して、真のSDM学と教育の構築に向けたシナリオを記述。
3. 要素の選択とそれらの構成・統合：SDM研究科開設にあたって、SDM学が必要とする複数のディシプリン（要素）を何故選択し、それらを全体として統合する方法をどのように作り上げて行ったか、を記述。
4. 結果の評価と将来展開：上記判断を基に「木を見て森も見る」SDM研究科の教育・研究コンセプトは徹底されたかどうかの検証を述べる。もし、所期の成果が未達成の場合はその達成のための改善策を提示し、達成された部分はさらなる発展のための課題を記す。

（例2）SDM研究科の理念・実践の検証に主眼を置く考えかた（この場合は著者が検証・評価の中心的役割を果たしたことが必要です。）

コメント・質問（赤松 幹之：産総研ヒューマライフテクノロジー研究部門）

初稿では、全体として研究科の紹介の印象が強く、論文としての主張点が明確になっていないようです。構成学として伝えたいことを明確にして、それに関係しない部分は省略するなどして、ポイントが読者に伝わるように工夫していただきたいと思っています。

シンセシオロジーの論文としては、事実の列挙に留まることなく、全体の取り組みをシナリオとして記述していただきたいと思っています。例えば、システムデザイン・マネジメント研究科のカリキュラム作り、実際の学生教育、その教育の成果、という全体のプロセスを、どのような狙いや意図に基づいて、どのように具体化していったのか、さらに、学生達による具体的な成果を見て、それによって何を学生が獲得したと判断したのか、といった狙いと事実とその解釈を明確にして記述していただくことが、読者への多くの有益な情報提供になると思います。

回答（神武 直彦）

狼がこのSDM研究科設立の提案者であり、設立のおよそ10年前から国際調査や設立準備を行ってきました。また、前野、西村は、設立当時の教員であり、前野はSDM研究科開設の全体構想と主にソーシャルスキル系科目の教育研究カリキュラム、西村は主に技術系科目の教育研究カリキュラム構築の中心的役割を果たしました。最後に、神武は、産業界からの立場として開設前から関係があり、設立1年後にSDM研究科に加わった教員です。本研究においては、新たにSDM研究科に加わった立場で、SDM研究科におけるインタラクティブな講義の遂行や国際連携、SDM研究科における教育成果の分析や検証、考察を行っています。

そのため、研究論文とするために、（例1）のような流れでの論文として、本研究の研究目標、シナリオ、要素の選択とそれらの構成・統合、結果の評価と将来展開について、記述しました。新たに作成した図1がそのシナリオであり、我々の取り組みに特に関係のある利害関係者（ステイクホルダー）との関係を明記することで、我々の取り組みと社会との関係を説明しました。その上で、そのシナリオをどのように具体化し、現状どのような成果が出ており、今後解決すべき課題はどのようなものか、などについてその事実と解釈を記述しています。論文全体の記述を大幅に変更しました。

議論2 タイトル、サブタイトル

コメント・質問（赤松 幹之）

初稿のメインタイトルが「学問分野を超えた「システムデザイン・マネジメント学」の大学院教育」となっていますが、構成学の論文タイトルらしさが足りないと思います。SDM自体が構成学であるとともに、教育システムを作ることも構成学だと思いますので、例えばタイトルは「...大学院教育の構築」として、サブタイトルは「大規模・複雑システムの構成と運用ができるリーダーの育成を目指して」など、両方の観点で構成学の論文であることを明示できるタイトルをご検討ください。

回答（神武 直彦）

ご提案下さいましてありがとうございます。本論文の具体的な内容が推察できるように、タイトルおよびサブタイトルを以下のようにしました。

学問分野を超えた「システムデザイン・マネジメント学」の大学院教育の構築

—大規模・複雑システムの構築と運用をリードする人材の育成を目指して—

議論3 システムデザイン・マネジメントのカリキュラムの狙い、ポイント

コメント・質問（赤松 幹之）

表1で示された大学・大学院への期待に対応して、獲得すべき能力としてA)からC)にリストで示された能力を設定したとありますが、これらのポイントを説明いただけませんか。また、同様に表2に能力と科目とのマトリックスがありますが、カリキュラムの選定の考え方、講義におけるポイント、教材の選定など、システムデザイン・マネジメント学を学ばせるための工夫がどういったところにあったのかを明記していただきたいと思っています。

回答（神武 直彦）

表1および、4.1項A)からC)で記述しましたリスト、表2の関係について不明瞭な点、冗長な点がありましたので、その関係を明確にするとともに、学生が獲得すべき能力および知識についてそれぞれの関係を含め記述を追加修正しました。なお、学生が獲得すべき能力および知識は、修正後の論文における3項のA)からF)にあたります。表1に記述した日本経団連教育問題委員会によるデータのみならず、SDM研究科開設前に実施した社会・産業界100社以上へのインタビューで得られた見聞も踏まえ、設定しました。

能力と科目のマトリックスについても、カリキュラム設定の考え方や講義のポイント、工夫を説明するために表2の記述を含め、修正致しました。具体的な説明をさせて頂くために特に必修科目に焦点を絞って3.1項に記述しました。選択必修科目、選択科目については表3として添付しました。

議論4 システムデザイン・マネジメントを学ぶための教育方法

コメント・質問（赤松 幹之）

学ぶ方法としての講義、ALPS、またSDM研究が挙げられています。講義で学べること/学べないこと、ALPSで学べること/学べないこと、SDM研究によって学べること/学べないことを、整理していただけると良いと思います。また、システムデザイン・マネジメントは、教育でどこまで学ぶことができるのか、教育の限界はどこにあるのか、といったことにも言及していただけると有益です。

回答（神武 直彦）

理論的なことを講義で学び、そこで得た知識や手法を用いて、ALPSにおいて一定の期間5-8名程度の決められたチームによってシステムをデザインする、各学生が研究を行う、というのが基本的な切り分けです。ただ、講義においても得た考え方や手法を実際に手を動かしながら学ぶというインタラクティブ性を重視しており、ALPSや研究実施の過程で必要に応じて講義を受講する、学生が自ら講師を招いて理論的なことを学ぶということを推奨しているため相互補完的な関係になっています。また、個々の専門性は、それぞれの学生による研究の過程で高めていく形になっています。

学生の大半が実務経験者であり、それぞれが各専門分野での課題をSDM研究科に持ち込み、研究を行っています。そのため、SDM研究科にてシステムに関する全ての分野を常に網羅することはできませんが、教員および学生が多様な専門性を既に持っており、「半学半教（学ぶ者と教える者の分を厳密に定めず、相互に学び合い教え合う仕組み）」の形式でそれぞれの専門的知見を教え合うことができるため、本研究科のやり方により実質的にはあらゆることを扱うことができると考えています。

しかし、それぞれの学生によって専門性や問題意識が異なるため、システムデザイン・マネジメントについて学べることは、その学生の問題意識の強さ、視野の広さ、行動力の有無に依存するところが少なからずあると考えています。その点を課題として認識しています。そのため、その点4.5項に以下のように記述しました。

「大規模・複雑システムの問題を解決するために必要となる基本的

な考え方や手法は、必修科目群によって全学生がある程度身につけられていると感じている。一方、その考え方や手法を社会・産業界で適切に使いこなすには、必修科目以外の科目をSDM研究科および他の大学や大学院で受講し、学生自らが研究や実際の業務で試行や適用を行う必要があり、その点での教育の成果の大きさは各学生の問題意識の強さ、視野の広さ、行動力の有無などに依存するところが大きい。この課題を大学院教育で全てを解決することは難しいが、SDM研究科による社会・産業界との密接な連携や各指導教員による学生への個別指導、多様な人材で構成される学生同士のさまざまな交流を更に促進することで解決できることも多いと考えている。」

質問5 文理融合や国際連携

コメント・質問（赤松 幹之）

システムデザイン・マネジメント研究科の取り組みとして多くのことが列挙されていますが、例えば、文系・理系の枠を超えた人材交流によって何を学ぶのか、国際連携教育とシステムデザイン教育との関連はどのような点にあるのか、などについて、具体的に説明があると読者が理解しやすくなると思います。

回答（神武 直彦）

○文系・理系の枠を超えた人材交流によって何を学ぶのか？

実社会は文理融合型であり、技術システムや社会システムのデザインのためには、経済学、政治学、理工学など多様な分野の知識や経験が重要だと考えています。そのため、実社会と同じ構造での学びが可能であるということがSDM研究科での文系・理系の枠を超えた人材交流の意義だと考えています。

実際、修士課程1年生が全員受講するALPSでは、チーム構成において、文系理系のみならず、国籍、実務経験の有無、年齢、男女が異なる多様な構成になるよう考慮しており、（言語のみならず）言葉の違い、考え方の違い、専門性の違いを生かしあって特定の課題を解決していく力を身に付けてもらっています。

具体的には、4.2項の記述を追記修正し、具体例を記述しました。

○国際連携教育とシステムデザイン教育との関連はどのような点にあるのでしょうか？

具体的な事例の事例によって、我々の現在までの取り組みの成果を説明するために4.1項～4.4項に記述を追記修正しました。特に、ALPSについては、あるチームの活動を説明することによって学生が獲得した能力や知識、学生によって創造されたアイデアについて説明しています。